| 경제·인문사회연구회 협동연구총서 | 05-20-01 |

기후변화 영향평가 및 적응시스템 구축 Ⅰ

한화진 안소은 최은진 한기주 이정택 김해동
손요환 박용하 조광우 윤정호 이은애 김승만

주관연구기관 ● 한국환경·정책평가연구원
협력연구기관 ● 한국보건사회연구원, 한국산업연구원
농업과학기술원, 계명대학교, 고려대학교

| KEI | RE-01 | 경제·인문사회연구회 협동연구총서 |

기후변화 영향평가 및 적응시스템 구축 Ⅰ

한화진 안소은 최은진 한기주 이정택 김해동
손요환 박용하 조광우 윤정호 이은애 김승만

한국환경정책·평가연구원
Korea Environment Institute

연구진

연구책임자 한화진 (한국환경정책・평가연구원 연구위원)

참여연구원 안소은 (한국환경정책・평가연구원 책임연구원)

박용하 (한국환경정책・평가연구원 연구위원)

조광우 (한국환경정책・평가연구원 책임연구원)

윤정호 (한국환경정책・평가연구원 책임연구원)

이은애 (한국환경정책・평가연구원 연구원)

김승만 (한국환경정책・평가연구원 연구원)

최은진 (한국보건사회연구원 부연구위원)

서미경 (한국보건사회연구원 연구위원)

송현종 (한국보건사회연구원 책임연구원)

강은정 (한국보건사회연구원 책임연구원)

정영호 (한국보건사회연구원 부연구위원)

김경남 (한국보건사회연구원 연구원)

김진희 (한국보건사회연구원 연구원)

한기주 (한국산업연구원 연구위원)

임동순 (한국산업연구원 연구위원)

이정택 (농업과학기술원 환경생태과장)

나영은 (농업과학기술원 농업생태계 연구실장)

한민수 (농업과학기술원 연구원)

방혜선 (농업과학기술원 연구원)

김명현 (농업과학기술원 박사후 연수원)

김해동 (계명대학교 환경학부 교수)
박명희 (계명대학교 연구원)
구현숙 (계명대학교 연구원)
조용진 (계명대학교 연구원)

손요환 (고려대학교 환경생태공학부 교수)
이우균 (고려대학교 환경생태공학부 교수)
조용성 (고려대학교 환경생태공학부 교수)

연구자문위원

조병옥 (환경부 지구환경담당관실 과장)
김 승 (한국건설기술연구원 수자원사업단 단장)
권원태 (기상연구소 기후연구실장)
임종환 (국립산림과학원 산림생태과 연구관)

ⓒ 2005 한국환경정책·평가연구원

발행인 윤서성
발행처 한국환경정책·평가연구원
서울시 은평구 불광동 613-2
우편번호 122-706
전화 380-7777 팩스 380-7799
http://www.kei.re.kr
인쇄 2004년 12월
발행 2004년 12월
출판등록 제17-254호
ISBN 89-8464-134-0 93530

값 11,000원

서 언

올해는 기후변화 대응의 구체적 이행방안을 규정한 교토의정서가 마침내 발효되고 그동안 국제사회에서 논의되어온 기후변화 대응 협상의 첫 라운드가 시작된 의미 있는 해였습니다. 아울러 지구상의 곳곳에서 기후변동과 연계되는 기상 이변의 사건들이 많았던 해이기도 합니다. 의정서 발효이후 우리나라에서는 여느 때와는 달리 기후변화에 대한 논의가 여러 곳에서 활발하게 진행되었습니다. 최근 지구촌 곳곳에서 나타나는 일련의 기후변화와 연관된 잦은 빈도와 고 강도의 기상재해로 인해 기후변화 이슈는 21세기 대표적인 환경, 경제, 사회 즉, 지속가능발전 이슈로 전망되고 있습니다.

기후변화 대응은 기후변화 원인의 온실가스 배출을 완화(mitigation)하는 장기적 대책과 기후변화로 인한 피해와 영향의 취약 분야를 확인하여 피해를 최소화하는 적응(adaptation)의 두 가지가 상호 연계되어 균형을 이루어야 합니다. 지금까지 국제사회나 각 국가에서 논의되고 노력한 것은 온실가스 완화에 무게가 실렸던 것이 현실입니다. 우리나라도 예외는 아니었으며 지금까지의 기후변화 대응 논의는 인간의 사회경제시스템이나 자연시스템 즉 수용체가 받는 영향과 취약성을 최소화하는 노력보다는 온실가스 배출 자체를 줄이는 데 집중되어 왔다는 것입니다.

기후변화로 인한 영향의 파급효과는 환경, 경제, 사회, 문화, 정치 등에 걸쳐 상당히 큽니다. 기후변화로 인한 영향으로 수자원, 식량안보, 에너지 안보가 위험에 처할 수 있습니다. 따라서 경제사회체제와 생태계에 미치는 기후변화의 부정적 효과를 감소시키기 위한 일련의 대응조치 즉 적응이 중요합니다. 이러한 상황에서 기후변화협약 대응의 최고의사결정기구인 당사국총회에서는 약 3년 전부터 기후변화 적응을 주요 이슈로 선정한바 있으며, 마침내 금년 캐나다에서 개최된 11차 당사국총회에서는 국제사회가 공동으로 노력할 기후변화 적응 5개년 작업계획을 채택한바 있어 앞으로 전개되는 기후변화 협상에서 적응이슈가 중요하게 다루어질 전망입니다.

우리나라도 기후변화 영향으로부터 자유롭지 않다는 것은 일련의 기상재해 및 자연 생태계의 변화 등으로부터 추정할 수 있습니다. 이러한 기후변화의 적응조치의 중요성에 대한 인식이 국제사회에서는 증대되고 있음에도 불구하고 아직까지 우리나라

에서는 기후변화 영향과 적응조치를 연계하는 연구나 정책은 추진되지 못하고 있습니다.

적응문제는 기후변화 영향과 취약성 평가 및 대응 방안의 개발과 평가라는 두 가지 측면에서 중요합니다. 이러한 맥락에서 과거 우리나라에서 추진된 기후변화 영향평가 연구는 적응문제를 고려하지 않는 경우가 대부분 이었습니다. 예측된 기후변화로 인해 받게 되는 영향과 취약성 정도를 파악하여 미래에 있어 받아들일 수 있는 수준의 위험이 어느 정도인지를 설정하는 것이 중요합니다. 특히 기후변화의 영향은 산림, 농림생태계, 해안, 건강, 그리고 산업에 이르기까지 부문이 다양한 것이 특징입니다.

이에 따라 본 연구는 기후변화 영향 부문의 다양성을 고려하여 다학제간 협동연구로 3년간 수행할 계획으로 추진되었습니다. 아울러 연구를 수행하는 과정에서 관련기관, 전문가간 협력 네트워크를 구축하여 정보 교환 및 토론을 통해 기후변화에 따른 영향평가 및 적응과제의 이행역량을 제고하기 위한 목적으로 산・학・연・정 위원으로 구성된 '기후변화적응포럼'을 운영하고 있습니다. 동 포럼은 기후변화로 인한 영향의 취약분야를 선택하는 의사결정 도구로도 활용될 예정입니다.

이러한 관점에서 본 연구결과는 기후변화 영향으로 인한 취약 부문을 확인하고 피해를 최소화하는 사전예방차원의 국가 적응대책 수립에 정책적 활용도가 높을 것으로 우리나라의 장래 지속가능발전 추진 방향을 설정하는데 기여할 것으로 기대합니다.

1년간 본 연구의 총괄책임을 맡아 수행한 한화진 박사와 본 원에서 연구진으로 수고한 안소은 박사, 박용하 박사, 조광우 박사, 윤정호 박사, 그리고 이은애, 김승만 연구원의 노고에 깊은 감사를 표합니다. 아울러 협동연구기관의 공동연구자로 참여하여 성심 성의껏 연구를 수행한 보건사회연구원의 최은진 박사, 산업연구원의 한기주 박사, 농업과학기술원의 이정택 과장, 계명대학교의 김해동 교수, 고려대학교의 손요환 교수를 비롯한 모든 참여 연구원들께 감사를 드립니다. 또한 외부자문위원으로 참여하여 처음 연구가 시작되면서부터 최종까지 훌륭한 자문과 연구의 질적 향상에 도움을 주신 환경부 지구환경담당관실 조병옥 과장, 한국건설기술연구원 김승 단장, 기상연구소 권원태 실장, 국립산림과학원의 임종환 박사와 내부 자문위원으로 도움을

주신 김용건 박사, 김종호 박사, 강영현 박사께도 감사드립니다.

2005년 12월

한국환경정책·평가연구원

원 장 윤 서 성

국 문 요 약

기후변화협약 제2조에 의하면 협약의 궁극적 목적은 대기 중의 온실가스 농도를 기후체계가 인위적 간섭으로부터 보호될 수 있는 수준으로 안정화하는 데 있다. 또한 동 조약은 온실가스 안정화가 생태계가 자연적으로 기후변화에 적응하고, 식량생산이 위협받지 않으며, 지속가능한 경제발전을 보장할 수 있는 시간 프레임 안에 달성되어야 한다고 명시하고 있다. 따라서 협약의 당사국총회는 협약의 목적을 달성하기 위하여 대기 중의 온실가스 안정화, 즉 완화(mitigation)조치에 역점을 두어 왔으며 특히 온실가스 배출의 역사적 책임을 지고 있는 선진국에 온실가스 배출감축을 의무화하는 교토의정서 이행에 중점을 두어왔다.

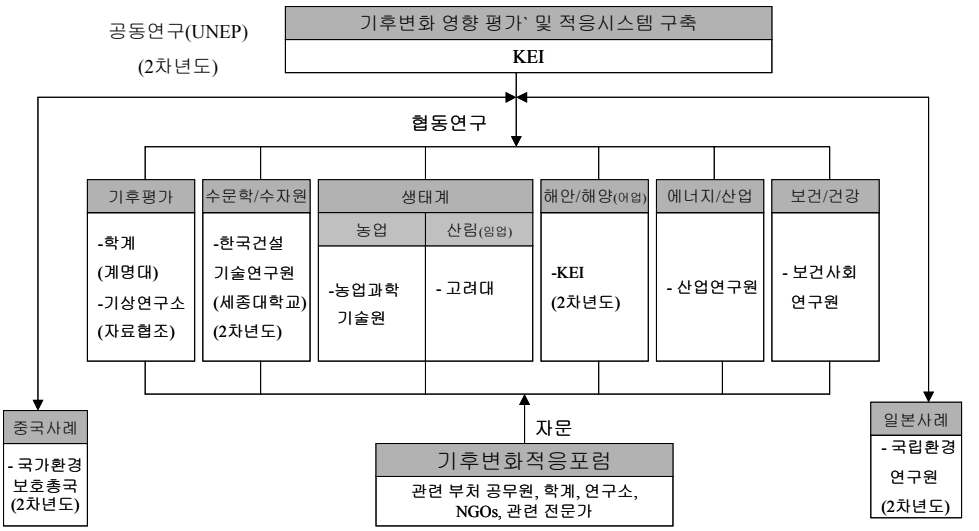
그러나 최근 온실가스 저감과 함께 기후변화에 대한 적응(adaptation)의 중요성이 개발도상국을 중심으로 이슈화되었고, 제7차 당사국총회 이후 그 논의가 본격화되었다. 특히 제8차 당사국총회에서는 개발도상국의 기후변화에 대한 적응을 위한 지원과 기술이전의 중요성을 강조하는 델리선언(Delhi Ministerial Declaration)이 채택되었고, 제10차 당사국총회에서는 기후변화 영향과 적응조치에 대한 5개년 작업계획이 수립되어 2005년 캐나다 몬트리올에서 개최된 제11차 당사국총회에서 채택되었다. 따라서 적응은 온실가스 저감과 함께 기후변화협약의 2개의 주요 축으로 자리 잡고 있으며, 향후에도 쟁점 이슈로써 논의가 지속될 것으로 예상된다.

적응은 개인, 공동체, 또는 국가차원에서 극단적인 기상재해를 포함한 모든 기후변화로 인한 영향에 대처해가는 과정으로 정의할 수 있다. 특히 기후변화의 위험에 탄력적으로 대체할 수 있는 사회・경제적 여건을 갖추지 못하고 있고, 국가경제가 기후변화 영향에 민감한 농업, 수자원 등에 의존하고 있는 개발도상국에서의 적응은 위급한 이슈가 될 수 있다.

우리나라는 '기후변화협약대책위원회'를 설립하여 기후변화협약 대응 종합대책을 3차에 걸쳐 마련하고, 기후변화 대응을 위한 국제적 노력에 동참하고 있으나 아직까

지는 온실가스 저감에 치중하고 있어 기후변화 영향평가 및 적응대책 분야에 대한 연구가 부족한 실정이다. 특히 그동안 국내 관련연구는 특정부문에 대하여 단기적이고 기초과학차원의 기후변화 영향평가를 중심으로 진행되어 왔으며 적응정책과 연계하여 수행된 연구는 미흡한 편이다. 그 결과 기후변화 대응의 큰 축인 적응전략 마련을 위한 국가차원의 종합대응책 수립에 어려움이 많은 실정이다.

본 연구의 목적은 기후변화의 부문별 영향평가를 실시하고, 평가결과를 바탕으로 우리나라에서 기후변화로 인한 취약부문을 확인하며, 취약부문에 대한 적응능력 향상을 위한 통합적이고 비용효과적인 기후변화 국가 적응정책 시스템 구축에 있다. 본 연구는 2005, 2006, 2007년에 걸쳐 3년 동안 연차적으로 수행되며, 아래 그림과 같은 연구추진계획을 갖고 있다.



<연구 추진체계도(안)>

주) 한국건설기술연구원은 과학기술부 21세기 프론티어 연구개발사업인 '수자원의지속적확보기술개발사업단'을 의미함.

그림에서와 같이 본 연구는 기후변화의 과학적 사실은 물론, 기후변화 영향평가를 수자원, 생태계(농업생태계, 산림생태계), 해양/해안, 산업/에너지, 보건/건강부문으로 나누어 진행한다. 이 중 1차년도(2005)에는 기후변화 현상, 영향 및 적응에 대한 개념 소개와 기후변화 영향평가 및 적응에 대한 국내·외 논의동향 파악에 중점을 두는 동시에 농업생태, 산림생태, 산업/에너지, 보건/건강의 4개 부문을 중심으로 영향평가 관련연구에 대한 검토가 이루어진다. 2차년도(2006)에는 수자원, 해양/해안부문의 관련연구 동향파악과 함께 1차년도의 결과를 바탕으로 기후변화로 인한 미래의 취약부문 확인과 평가를 위한 구체적 기법을 마련하고 한반도에 적용 가능성을 검토한다. 마지막 3차년도(2007)에는 1차, 2차년도 연구결과를 토대로 기후변화 취약부문의 적응능력을 향상시키기 위한 우리나라의 적응정책 프레임워크를 마련한다. 특히 확인된 취약부문의 피해저감을 위한 부문별 적응 프로그램을 수립하고, 적응대책의 우선순위를 밝혀내며, 적응능력을 제고할 수 있는 방안을 제시한다.

본 연구의 1차년도 주요결과를 요약하면 다음과 같다. 먼저 부문별 영향평가의 다양성과 복잡성을 고려하여 학제적 접근을 원칙으로 하고 부문별로 전문성을 갖는 전문기관을 중심으로 협동연구의 형태로 과제가 추진되었다(위의 그림참조). 5개 전문기관, 즉 계명대(기후평가), 농업과학기술원(농업), 고려대(산림/임업), 산업연구원(산업/에너지), 보건사회연구원(건강/보건)과의 협동연구를 통한 기후변화 영향평가 결과, 국내에서는 관련통계 구축정도 뿐만 아니라 관련연구가 매우 미미한 것으로 나타났다. 현황에 대한 정확한 파악은 미래를 예측하고 평가하는 2-3차년도 연구에 토대가 되므로 영향평가에 대한 현황파악은 2차년도에도 지속적으로 보완되어야 할 것으로 보인다.

자연생태계 영향평가의 일부로 진행된 농업 및 산림생태계 부문은 다른 부문에 비해 비교적 자료축적이 양호한 것으로 나타났다. 먼저 농업생태계 부문의 영향평가 연구 검토결과를 보면, 기후변화가 주요 과수의 만개일, 지역별 서리발생일, 벼의 이앙기 및 출수기 등에 영향을 미치는 것으로 조사되었으며, 작물에 큰 영향을 미치는 호우나 태풍의 빈도수가 증가함에 따라 그 피해액 역시 1980년 이후 급격히 증가한 것으로 보고되었다. 농업기후학적 측면에서 작물재배 가능지역이 대부분 북상할 것

으로 예상되며, 기존의 작물별 재배적지에서의 생산성과 안정성이 크게 위협받을 것으로 보인다 (농촌진흥청, 1981; 윤성호와 이정택, 2001; 서형호, 2003; 심교문 외, 2004; 김영국 외, 2005). 현재 농업부문에는 기후변화 관련연구 수행을 위해 농촌진흥청 산하에 '기후변화협약 특별대책단'이 구성되어 연구사업을 기반구축사업, 부문저감사업, 적응기반사업으로 구분하여 진행하고 있다. 이 중 적응기반사업은 농업 기상재해를 포함한 기후변화 영향평가를 중심으로 이루어지고 있다.

기후변화가 산림/임업에 미치는 영향은 국가 및 지역에 따라 그리고 연구 혹은 모니터링의 수준과 기간에 따라 매우 다르다. 그러나 크게 산림생태계, 산림생장 및 생산성, 산림재해, 임업에의 영향으로 구분지어 생각할 수 있다. 국내 관련연구를 살펴보면 국립산림과학원의 자체연구사업과 과학기술부 연구사업으로 식생대 이동, 산림생산성 변화예측, 생물계절변화, 생물다양성 예측 등이 수행되었으며, 일부 적응전략도 제시된 바 있다(신준환・임종환, 2003). 한국환경정책・평가연구원에서는 한반도 식생대 변화를 예측한 바 있고(전성우, 2002, 2003), 일부 학계에서 특정지역의 생태계에 대해 민감성과 취약성을 평가한 바 있다(공우석, 1999, 2000). 한편 정부차원에서는 산림청이 탄소흡수원 10개년 계획(2005.3)을 마련하여 추진하고 있으며, 동 계획은 기후변화협약대응 제3차 종합대책과 환경부와 기상청이 공동으로 구축한 한국기후변화협의체(Korea Panel on Climate Change, KPCC)와 연계하여 진행될 예정이다. 탄소흡수원 10개년 계획에는 산림의 탄소흡수원으로서의 역할 증대뿐만 아니라 기후변화에 따른 산림생태계 영향평가 및 적응 관련연구와 모니터링 체계구축 강화도 중요한 연구 분야로 포함되어 있다. 특히 지속가능한 산림경영을 통한 적응정책 수립은 산림부문에 있어서 지속가능발전의 틀 안에서 적응을 연계시킬 수 있다는 점에서 시사점이 크다.

기후변화로 인한 건강/보건부문의 영향평가 연구는 국내에서는 아직 제한적이다. 특히 기후변화와 질병발생간의 상관관계를 규명하는 작업은 상당한 기간과 통계학적 분석이 필요하기 때문에 관련연구에 대한 장기적인 로드맵 작성이 필요할 것으로 보인다. 따라서 본 연구에서는 인구집단별 유병(有病) 현황을 중심으로 기후변화가 건강/보건에 미치는 영향을 간접적으로 분석하였다. 기후변화로 인한 대기오염 증가로

호흡기계통의 질환이 취약계층인 노인과 어린이를 중심으로 계속 증가할 것으로 전망되며, 실제로 2000년 이후 천식 및 아토피 환자수가 늘어나고 있는 것으로 파악되었다(국민건강보험공단, 2003). 한편, 일반적으로 열 스트레스로 인한 사망은 최고기온이 나타난 1-2일 후에 가장 많이 발생하는 것으로 알려져 있는 데, 우리나라 서울의 경우 29.9℃에서 1℃ 상승할 때마다 사망률이 3% 증가하고 혹서가 7일 이상 지속될 때 사망률은 9% 이상 증가되는 것으로 발표되었다(김소연, 2004).

산업부문에 있어 기후변화 영향평가와 적응관련 국내 사례연구 역시 매우 제한적인 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 산업부문의 영향평가 및 적응 방법론의 개요를 설명하고 관련연구에 대한 방향에 대한 시사점이 제시되었다. 지금까지 기후변화로 인해 산업부문이 받는 영향평가는 대부분 농업, 임업, 수산업과 같은 일차산업에 국한되어 왔으며, 제조업이나 서비스업 등에 미치는 영향은 그 방향과 정도가 불명확하고 불확실하기 때문에 예측이 어려운 것이 사실이다. 제조업의 경우 기후변화는 최종 소비재 특히 냉방장치, 청량음료, 여름의류와 같은 여름상품에 대한 소비패턴 변화를 가져올 것으로 보이며, 이러한 소비패턴의 변화는 곧 생산과정의 변화를 초래할 것으로 보인다. 또한 기후변화는 건설업 및 서비스업에도 영향을 미칠 것으로 예상되며, 특히 여름철 레크리에이션 산업이 평균기온 상승으로 보다 활기를 띠게 될 것으로 보인다. 산업부문에 있어서는 적응정책 수립보다는 기후변화로 인한 영향이 어디서, 어느 정도, 그리고 어떤 경로로 발생하는지에 대한 이해와 평가기법에 대한 연구가 시급히 요구된다.

2006년도의 2차년도 연구는 1차년도 연구에서 제외된 수자원, 해양/해안부문의 관련연구 동향파악과 함께 1차년도의 결과를 바탕으로 기후변화로 인한 미래의 취약부문 확인과 평가를 위한 구체적 기법을 마련하고 한반도에 적용 가능성을 검토한다. 우선 IPCC와 국내・외 공신력 있는 기관에서 권장하는 취약성 평가방법을 조사하는 동시에, 취약부문 선정을 위한 기준을 검토하고 한반도에 적용할 수 있는 평가방법을 이끌어내는 작업을 수행할 계획이다. 또한 우리나라의 미래 기후변화 현상을 정확히 규명하기 위해 지역기후모델을 활용하여 다양한 시나리오를 구축할 예정이다. 이러한 지역기후모델은 부문별 기후변화 영향평가와 접목될 수 있도록 추진되어야 한다.

특히 자연생태계와 같이 미세지형이나 기후에 민감한 부문은 그 영향이 국지적으로 나타날 가능성이 높으며, 따라서 지역기후모델의 활용이 더욱 중요하다. 또한 2차년도에는 2005년 12월 제11차 당사국총회에서 결정된바 있는 기후변화 영향 및 적응조치에 대한 전 지구적 차원의 '5개년 작업계획'의 전개 동향을 면밀히 분석하여 본 연구와 연계, 추진할 예정이다.

차 례

서 언

국문요약

제1장 서론 ····· 1

1. 연구의 배경과 목적 ····· 1
2. 연구의 범위 및 방법 ····· 5

제2장 기후변화 현상과 기후예측 시나리오 ····· 11

1. 기후변화 현상 관측을 위한 IPCC 평가 기준 ····· 11
2. 우리나라의 이상 기후변화와 기후변동 ····· 16
   가. 지상기온의 변동 ····· 17
   나. 대도시의 지상기온의 경향 ····· 21
   다. 강수의 변동 ····· 22
   라. 풍속의 변동 ····· 24
   마. 상대습도의 변동 ····· 25
3. 우리나라의 기후변화와 자연재해 ····· 27
4. 지역기후모델에 의한 한반도 주변의 기후변화 시나리오 ····· 33

제3장 기후변화 영향, 취약성, 적응에 관한 개요 ····· 42

1. 기후변화 영향, 취약성, 적응의 개념 ····· 42
   가. 영향 ····· 42
   나. 취약성 ····· 43
   다. 적응 ····· 45
2. 기후변화의 영향 ····· 51
   가. 기후변화의 영향: IPCC 제3차 보고서 요약 ····· 51
   나. 기후변화의 부문별 영향 ····· 57
3. 기후변화 영향평가 및 적응 방법론 ····· 63

가. 기후변화 영향평가 개요 ····· 63
나. 기후변화 영향평가: 지표 종 또는 지표 시스템을 활용한 영향평가 ····· 71
다. 기후변화 영향평가: 통합적 영향평가 ····· 75
라. 기후변화 적응 방법론: OECD 적응 분석방법 ····· 78
마. 기후변화 적응 방법론: UNDP 적응정책체계 ····· 86

제4장 국제사회의 기후변화 영향평가 및 적응연구 동향 ····· 95
1. 기후변화협약상의 적응논의 ····· 95
가. 기후변화협약상의 적응관련 이슈 논의 전개과정 ····· 95
나. 적응 5개년 작업계획에 대한 각국의 입장 ····· 98
2. 주요국가의 기후변화 영향평가 및 적응 대응체제 ····· 102
가. 일본 ····· 102
나. 영국 ····· 110
다. 미국 ····· 116
3. 건강/보건부문의 기후변화 영향평가 및 적응연구 ····· 122
가. IPCC 지역별 건강영향 평가 연구사례 ····· 122
나. 세계보건기구의 건강영향평가 연구사례: 기후변화로 인한 질병부담 ··· 125
다. 국가별 건강영향평가 연구사례 ····· 126
라. 국가별 적응대책: 주요도시의 heat warning system 사례 ····· 132
4. 산업부문의 기후변화 영향평가 및 적응연구 ····· 135
가. 영향평가 분석방법: 비용-편익분석 ····· 135
나. 영국의 연구사례: 제3차 국가보고서를 중심으로 ····· 137
다. 캐나다의 연구사례 ····· 139
라. 일본의 연구사례: JPCC 보고서를 중심으로 ····· 141
5. 농업부문의 기후변화 영향평가 및 적응연구 ····· 147
가. IPCC 연구사례 ····· 147
나. 일본의 연구사례 ····· 150
다. 영국의 연구사례 ····· 154
라. 호주의 연구사례 ····· 157

마. 캐나다의 연구사례 ····· 157
6. 산림부문의 기후변화 영향평가 및 적응연구 ····· 160
가. 미국의 연구사례 ····· 160
나. 캐나다의 연구사례 ····· 161
다. 영국의 연구사례 ····· 162
라. 일본의 연구사례 ····· 163

제5장 우리나라의 기후변화 영향평가 및 적응조치 동향 ····· 165
1. 우리나라의 기후변화 영향평가 및 대응체제 ····· 165
가. 지구온난화 대응체제 ····· 165
나. 영향평가 대응체제 ····· 167
다. 적응대응체제: 제2차 국가보고서 ····· 168
2. 건강/보건부문의 기후변화 영향평가 및 적응조치 ····· 170
가. 건강/보건부문의 기후변화 영향평가 ····· 170
나. 건강/보건부문의 기후변화 적응조치 ····· 176
3. 산업부문의 기후변화 영향평가 및 적응조치 ····· 178
가. 산업부문의 기후변화 영향평가 및 적응 개요 ····· 178
나. 기후변화에 따른 국내 제조업 투입구조 및 산업구조 변화 분석방법 ·· 181
다. 산업부문 기후변화 영향평가 및 적응정책에 대한 시사점 ····· 185
4. 농업부문의 기후변화 영향평가 및 적응조치 ····· 188
가. 우리나라의 농업생태계 ····· 188
나. 우리나라의 기후변화와 농업기상재해 발생현황 ····· 192
다. 국내 농업부문 적응관련 연구동향 ····· 202
라. 한반도 기후변동에 따른 농업부문의 대응방안 ····· 208
5. 산림부문의 기후변화 영향평가 및 적응조치 ····· 212
가. 기후변화가 산림에 미치는 영향 ····· 212
나. 한반도 주변 및 국내 관련연구 동향 ····· 221
다. 기후변화에 대한 산림부문 적응정책분석 및 평가 ····· 222

제6장 결론 및 향후 연구계획 ····· 235

참 고 문 헌 ····· 240

부록 ····· 127
〈부록 1〉 동아시아의 기후변화와 자연재해 현황 ····· 259
〈부록 2〉 미래의 기후변화 예측 ····· 275
〈부록 3〉 기후변화 영향평가 및 적응 네트워크 웹 사이트 ····· 299
〈부록 4〉 국내·외 기후변화 영향 및 적응 관련 연구 사례 DB ····· 303

Abstract ····· 381

표 차 례

<표 2-1> 20세기 동안 관측된 기후변화 관련 지표 ····· 16
<표 2-2> 우리나라 주요지역의 기온상승과 이에 기여한 지구온난화와 도시화의 기여도 분석 ····· 20
<표 2-3> 자연재해에 따른 연도별 피해상황 ····· 28

<표 3-1> 기후변화에 대한 적응의 특성별 구분 ····· 48
<표 3-2> 기후변화에 대한 부문별 적응 유형 ····· 50
<표 3-3> 확인된 지구온난화 영향: 빙하, 바다얼음, 일부 동식물 ····· 53
<표 3-4> 21세기에 예상되는 이상기후와 주요 영향 ····· 55
<표 3-5> 기후변화 적응영향에 대한 경제적 평가 도구 ····· 84
<표 3-6> 기후변화 적응 영향에 대한 경제적 평가도구 내용 ····· 84

<표 4-1> 일본 환경성 심의회 구성표 ····· 106
<표 4-2> 일본 지구온난화 영향평가 분야별 내용 ····· 109
<표 4-3> 2000년도의 기후변화로 인한 세계보건기구의 DALYs(1,000명당)추계 ··· 126
<표 4-4> 국가차원의 기후변화 건강영향평가 사례 ····· 127
<표 4-5> 미국의 건강부문 평가와 우선적 연구 분야 ····· 129
<표 4-6> 미국의 기후변화 건강영향평가 연구사례 ····· 130
<표 4-7> 영국의 기후변화 건강영향평가 연구사례 ····· 131
<표 4-8> 캐나다의 기후변화 건강영향평가 연구사례 ····· 131
<표 4-9> 1994년 캐나다 기후변화 적응 비용 추정 및 향후 방향 ····· 140
<표 4-10> 기후변화로 인해 영향을 받는 산업활동 분야 ····· 142
<표 4-11> 기후변화에 대한 농업부문의 영향, 적응, 취약성 ····· 148
<표 4-12> UK의 기후변화 3차 국가보고서에서 농업부문에 관한 내용 ····· 156
<표 4-13> 캐나다 농업부문의 적응 전략 ····· 159

<표 5-1> 우리나라에서의 기후변화 영향, 취약성 및 적응조치 ····· 169
<표 5-2> 도시 농촌 간 기후변화의 영향 비교 ····· 172
<표 5-3> 혹서기간의 사인별 초과사망 ····· 175
<표 5-4> 기후변화로 인한 영향별 건강취약성 사례 ····· 176
<표 5-5> 기후변화로 인한 건강영향을 줄이기 위한 조치 ····· 177
<표 5-6> 농경지 이용 현황 ····· 188
<표 5-7> 화학비료 소비량 ····· 190
<표 5-8> 가축 사육두수 ····· 191
<표 5-9> 지역별 서리발생일의 변화 ····· 196
<표 5-10> 벼 이앙기조한일의 변화 ····· 197
<표 5-11> 벼의 출수조한일 및 안전출수조한일의 변화 ····· 198
<표 5-12> 1904년부터 2000년 사이에 발생한 농업기상재해의 10년 평균 빈도 ·· 199
<표 5-13> 피해순위(1-20위)로 본 호우·태풍피해 현황 ····· 199
<표 5-14> 농업부문 기후변화협약 특별대책단 연구사업 예 ····· 202
<표 5-15> 이산화탄소와 온도 및 GCMs 시나리오에 따른 농업기수 지대별 벼 수량 변화율 ····· 207

<부록 표 1-1> 아시아 지역의 자연재해 현황: 홍수·집중호우 ····· 267
<부록 표 1-2> 아시아 지역의 자연재해 현황: 한발 ····· 272
<부록 표 1-3> 아시아 지역의 자연재해 현황: 한파 ····· 273
<부록 표 1-4> 아시아 지역의 자연재해 현황: 열파 ····· 274

<부록 표 2-1> 배출시나리오-기후모델(GCM)-영향평가연구의 추이 ····· 279
<부록 표 2-2> 전 지구 대기모델에 의한 온난화에 따른 열대저기압 발생 수의 변화 ·· 297

<부록 표 4-1> 기후변화 영향 및 적응 연구관련 국내외 DB구축 현황 (산림부문) ·· 330
<부록 표 4-2> 기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문 연구결과 DB 목록 (국내) ··· 331
<부록 표 4-3> 기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문 연구결과 DB 목록 (국외) ··· 333

그 림 차 례

<그림 1-1> 기후변화 적응시스템 구축의 필요성 개요도 ····· 4
<그림 1-2> 연구의 범위 ····· 5
<그림 1-3> 3개년 연구 추진체계도 ····· 8
<그림 1-4> 협동연구와 기후변화 적응 포럼과의 연계 ····· 9

<그림 2-1> 한반도의 기온변화경향 ····· 18
<그림 2-2> 도시화의 영향이 비교적 적은 지역에 대한 기온상승 경향 ····· 21
<그림 2-3> 한반도 연강수량의 변화경향 ····· 23
<그림 2-4> 지난 50년간(1954-2003) 14개 지점에서 관측된 강수일과 호우일수의 변동경향 ····· 23
<그림 2-5> 풍속의 장기적 변동경향 ····· 24
<그림 2-6> 봄철 상대습도 변화에 관한 장기적 변화경향 ····· 26
<그림 2-7> 연도별 자연재해로 인한 사망, 실종자수 (1958~2002년) ····· 32
<그림 2-8> 연도별 자연재해 피해액 (1958~2002년) ····· 32
<그림 2-9> 전 지구 기후모델에 nesting 되어진 지역기후모델의 개념도 ····· 35
<그림 2-10> 일본열도 전역에 대해서 평균한 월평균강수량의 관측치(파선, 기호는 ×)와 모델계산결과(실선, 기호는 ●)간의 시계열 비교 ····· 37
<그림 2-11> 지역기후모델에 의한 지구온난화실험의 일강수량(mm) 비교 ····· 39

<그림 3-1> 기후변화의 영향, 취약성, 적응 ····· 44
<그림 3-2> 적응 구성요소 및 형태 ····· 46
<그림 3-3> OECD 압력-상태-반응 모형 ····· 82
<그림 3-4> 다기준 분석 개념도 ····· 85
<그림 3-5> UNDP 기후변화적응정책 사업수행 체계도 ····· 88
<그림 3-6> 기후변화적응의 주요 요인별 관계 ····· 90

<그림 3-7> UNDP 기후변화적응정책 전략수립 체계도 ····· 91
<그림 3-8> 기후변화 적응정책의 효과 ····· 92
<그림 3-9> 기후변화 적응의 효과측정 ····· 94

<그림 4-1> 일본의 지구온난화 대응체제 ····· 102
<그림 4-2> 영국의 지구온난화 대응체제 ····· 111
<그림 4-3> 영국 기후변화 영향평가 프로그램 구조 ····· 113
<그림 4-4> 영국의 지역별 영향평가 절차 ····· 114
<그림 4-5> 미국의 지구온난화 대응체제 ····· 117
<그림 4-6> 미국의 기후변화 영향평가 조정체제 ····· 121
<그림 4-7> 기후변화 적응의 균형이 존재하지 않는 경우 ····· 136
<그림 4-8> 기후변화 적응에 복수균형이 존재하는 경우 ····· 137
<그림 4-9> 적응의 유무에 따른 작물 수량의 퍼센트 변화 ····· 149
<그림 4-10> 개량형 SIMRIW(벼의 기상-성장 모형)에 의해 추정된 벼품종 일본세이의 수량에 대한 온도·CO_2 농도 반응 ····· 153
<그림 4-11> 기상, 해충 및 수자원의 3요소로부터 본 취약성의 분포 ····· 154
<그림 4-12> 캐나다의 농작물에 대한 기후변화의 잠재적 영향 ····· 158

<그림 5-1> 연도별 천식, 아토피 환자수 변동추이 ····· 172
<그림 5-2> 연도별 주요 매개체 전염질병 발생빈도의 추이 ····· 173
<그림 5-3> 2002년~2004년 월별 응급환자 수 변화추이 ····· 175
<그림 5-4> 기후변화관련 위험 및 불확실성 ····· 180
<그림 5-5> 기후변화 적응의 경제적 파급효과 분석 방법론 ····· 181
<그림 5-6> 기후변화의 경제적 파급효과 기준안 설정 ····· 182
<그림 5-7> 기후변화 적응의 경제적 파급효과 ····· 183
<그림 5-8> 단일 산업, 기업의 기후변화 적응 효과 ····· 184
<그림 5-9> 단일 산업, 기업의 기후변화 적응 ····· 185
<그림 5-10> 한국의 토지 이용현황 ····· 189
<그림 5-11> 농경지 이용현황 ····· 189

<그림 5-12> 우리나라의 배출원별 온실가스 배출 비중(2001년) ····· 191
<그림 5-13> 농업부문의 배출원별 온실가스 배출 비중(2001년) ····· 192
<그림 5-14> 한국의 평균기온 변화 추세 (1911년~2000년) ····· 193
<그림 5-15> 한국의 평균강수량 변화 추세 (1911년~2000년) ····· 194
<그림 5-16> 월 평균기온과 벚꽃 개화일의 변화(서울) ····· 195
<그림 5-17> 최근 동해 위험온도(-25℃이하) 발생지역 분포도 ····· 197
<그림 5-18> 최근 10년간(1991-2000년)의 농업기상재해 발생현황 ····· 200
<그림 5-19> 최근 10년간(1991-2000년) 발생한 농업기상재해의 분포도 ····· 201
<그림 5-20> 최근 10년간(1991-2000년) 발생한 시군별 호우의 발생회수 및 누적피해 면적 ····· 201
<그림 5-21> 1931-1961년과 1971-2000년 벼의 출수기 비교 ····· 203
<그림 5-22> 가을보리(겉보리 H; 쌀보리 N; 맥주보리 M)의 안전재배지대 ····· 204
<그림 5-23> 이산화탄소 농도에 따른 광합성속도 및 증산량의 변화 ····· 205
<그림 5-24> 기후적 사과 재배 적지판정 모형을 적용한 기온 상승정도별 적지분포 변화 예측 ····· 206

<부록 그림 1-1> 일본의 년평균 지상기온의 경년변화 1901~2000년 ····· 259
<부록 그림 1-2> 일본의 이상고온·이상저온 발생수의 경년변화 ····· 261
<부록 그림 1-3> 일본의 연강수량에 대한 평년비의 경년변화 ····· 262
<부록 그림 1-4> 일본의 이상다우·이상소우의 발생 수에 대한 경년변화 ····· 263

<부록 그림 2-1> 기존 연구에 따른 이산화탄소 배출 시나리오의 폭과 SRES 시나리오의 궤적 ····· 282
<부록 그림 2-2> 장래 사회발전 양상의 차이에 따른 이산화탄소 삭감대책의 난이도 ··· 285
<부록 그림 2-3> (a)11개의 기후모델로 계산된 이산화탄소 1%/년(또는 IPCC 시나리오 1992a)을 기초로 산출한 100년간의 연평균 지상기온 변화량 (℃/100년)의 평균치, (b)모델간의 표준편차 ····· 289
<부록 그림 2-4> (a) 11개의 기후모델로 계산된 연강수량, (b) 모델간의 표준편차 ·· 290
<부록 그림 2-5> 일본기상연구소모델(MRI-CGCM1)로 평가된 아시아의 겨울철 몬순 ·· 292

<부록 그림 2-6> 독일의 MPI 모델로 예측된 아시아의 겨울철 몬순 ····· 292
<부록 그림 2-7> (a)관측과 (b)MRI-CGM1에 의한 현재기후 재현실험에서의 하계 강수량(음영으로 표현, mm/day), 해수면기압(등치선, hPa), 850hPa고도의 바람, (c)이산화탄소 배증시와 현재기후 재현 실험간의 차이 ····· 294
<부록 그림 2-8> 해수면 수위변화 패턴의 사례. MRI-CGCM2로 IS92a 시나리오에 따른 온실가스와 에어로졸 배출을 고려한 실험결과 ····· 296

<부록 그림 3-1> K-CCIANET 웹 사이트 구조 ····· 301

<부록 그림 4-1> 잠재적 매개곤충 및 설치류 전염병 ····· 304
<부록 그림 4-2> 날씨와 기후변화가 온도 관련 질병에 미치는 영향 ····· 329

제1장 서론

1. 연구의 배경과 목적

인간의 활동에 의해 야기된 이상(異常)적인 기후변화는 극단적인 기후 현상의 빈도와 강도에 미치는 단기적인 변화뿐만 아니라, 장기간에 걸친 온도상승, 강우량 변화, 강우 패턴 변화, 해수면 상승 등을 포함한다. 즉, 기후변화는 기후 시스템을 구성하는 대기, 해양, 생물, 빙하, 육지 등에 다양한 경로로 작용하여 자연 생태계와 인간의 사회, 경제시스템에 커다란 영향을 준다. 관측적인 평가에 의하면 지구상의 기후변화는 뚜렷하게 나타나고 있으며 20세기 동안 증가된 북반구의 평균기온은 지난 1000년간 중에서 가장 큰 것으로 평가되었다. 지구의 평균해수면 높이가 올라갔으며 해수의 온도가 증가하고 눈과 빙하로 덮인 곳의 면적이 줄어들고 있다.

지구기후통계 분야 전문기관인 미국 국립해양대기국은 2001년 세계 평균기온이 지난 120년 동안의 평균치보다 0.69℃ 높았다고 발표하면서 "지구온난화가 급격한 기후변화와 함께 대재앙을 불러올 것"이라고 경고한 바 있다. 기후변화에관한정부간협의체인 유엔 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)의 3차보고서(IPCC, 2001a)에서는 21세기말까지 인간의 활동에 의한 지구온난화로 지구평균기온이 최대 5.8℃까지 상승할 것으로 예측하고 있다.

IPCC는 이러한 기후변화로 인한 영향이 현재 이미 나타나고 있다고 보고, 현 세대와 미래세대가 직면하게 될 문제와 취약성을 평가하여 기후변화로 인한 악영향을 최소화하기 위한 적응(adaptation) 조치의 중요성을 권고하기 시작했다. 기후변화의 영향은 지역의 생태환경에 따라 다르게 나타나고 인간 사회에 있어서도 영향이 각각 다르므로 각 지역에 따라 적응 전략도 달라져야 한다. 이와 같은 맥락에서 현 세대가 직면한 기후변화의 부정적 영향을 사전에 최소화하기 위해 취약성 평가와 적응 조치의 중요성이 강조되는 것이다.

기후변화협약 이행에 관한 최고결정기구인 당사국총회(Conference of Parties: COP)에서도 기후변화 적응이 중요 사안으로 취급되고 있다. 당사국 총회에서의 적응 논의는, 2003년 COP 9에서 개발도상국들이 기후변화의 영향이 현실적으로 나타나고 있어 적응문제가 시급하다고 강조하면서 시작되었다. 최근 개발도상국들은 선진국의 도움을 받아 국가적응프로그램(National Adaptation Program, NAP)을 수립하고 있으며 이를 위해 적응 기금(adaptation fund)이 설립되었다. 2004년 개최된 10차 당사국총회(COP 10)에서는 기후변화 적응조치에 대한 '부에노스아이레스 행동계획'을 채택하고 기후변화의 영향, 취약성 평가 및 적응 수단 등에 관한 전 지구적 차원의 5개년 작업계획을 수립, 시행할 것을 결정한바 있다. 2005년 제22차 부속기구회의에서는 동 계획의 수립, 시행에 관한 워크샵을 개최, 각국의 의견을 수렴하는 절차가 진행되었고 마침내 2005년 COP 11에서는 5개년 작업계획이 확정되었다.

우리나라에서도 기후변화의 영향은 국민이 실감하는 정도로 나타나고 있고, 지속가능발전과 연계되어 중요이슈로 부각되고 있다. 32년만의 폭설과 사상 최악의 가뭄, 다시 37년만의 폭우를 경험했을 뿐만 아니라 국지성 호우, 삼한사온의 변화 등에 의해 막대한 생태적 피해[1]까지 나타나고 있는 실정이다. 그에 따라 '기후변화협약 대책위원회'를 설립하여 기후변화협약 대응 종합대책(1, 2, 3차)을 마련하는 노력을 하고 있으나 아직까지는 온실가스 배출을 저감하는 기후변화 완화(mitigation)에 치중하고 있어 기후변화의 영향평가 및 적응대책 분야에 대한 연구는 부족한 실정이다.

우리나라에서 기후변화 관련한 과학적인 연구 활동은 1992~1997년까지 G-7 선도기술과제로 기후변화예측 기술개발, 지구대기조성 변화감시 등의 연구수행을 통해 본격화되었다. 기후변화의 영향평가에 대한 연구는 1990년대에 환경부와 과학기술부의 G-7 과제를 통해 '기후변화 영향평가 및 영상처리 기술개발'에 대한 연구내용으로 강수와 농업에 미치는 기후변화의 영향을 분석한 바 있다. 그 이후에는 기후변화영향평가와 관련된 연구가 분야별로 학계와 연구기관에서 주로 학술적인 차원에서 또는 일부 기관에서 제한된 분야에 대한 정책제안을 위해 영향을 조사하고 평가하는 기술

1) 2100년 산림생태계 변화에 따른 손실액이 연간 3천만 7억 달러에 이를 것으로 보인다(전성우 외, 2002).

개발을 중심으로 이루어져 왔다. 그러나 사실상 이러한 연구결과가 국가 적응정책에 반영되지는 못하고 있다. 국가적 차원에서는 2000년대에 들어 제2차 기후변화종합대책이 만들어지면서 관심을 갖게 되었으나 이 중에서도 특히 기후변화와 관련된 사회, 경제적 영향연구는 온실가스 저감대책 차원에서의 경제적 관점에서 에너지, 산업을 주로 하는 산업체의 경제 분석에 국한되어 왔으며 적응전략에 수반되는 사회, 경제적 영향부문의 연구방법이나 연구에 대한 논의는 거의 전무한 실정이다.

환경부 주관 하에 "기후변화로 인한 건강피해 및 영향평가" 연구 추진(2003~2005년), 차세대 핵심환경기술개발사업의「기후변화 영향평가 모형의 개발- 물관리 부문 중심으로」, 그리고 과학기술부 21세기 프론티어 연구개발사업인 「수자원의 지속적 확보기술개발 사업단」의 "기후변화에 의한 수자원 영향평가 체계구축" 등 기후변화로 인한 일부 분야에 대한 영향평가 연구가 과학적인 차원에서 수행 중에 있다. 즉, 그동안의 연구는 특정 분야에 대해 주로 학술적인 목적으로 기후변화 영향평가 분야에 단기적, 기초과학 연구차원에서 진행되어 왔다. 따라서 기후변화대응의 큰 축인 국가 적응전략과 연계되어 기후변화 영향평가 연구를 수행한 경우는 부재한 상황으로서 국가차원의 종합 대응책 마련에 활용하기에는 미흡한 것이 사실이다.

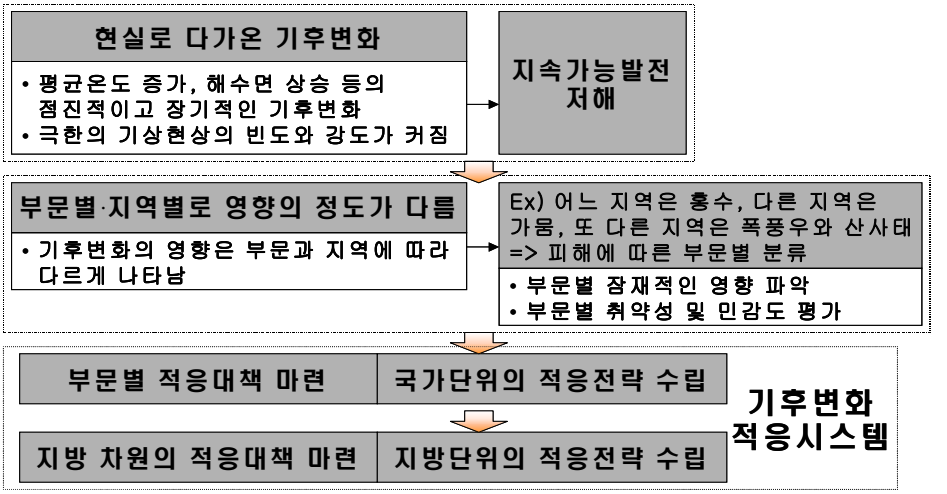
장래 기후변화가 더 진전되면 홍수, 한발, 열파 등의 이상기상의 빈도, 강도가 더욱 증대하고 심각한 영향이 생길 것으로 예측된다. 이러한 악영향은 온실가스 자체의 배출을 줄이는 노력만으로는 충분히 피할 수 없다. 계속적으로 온난화되고 있는 기후에 대응하여 인간, 사회, 경제를 조절해 나갈 적응대책이 필요하게 된다. 결국 국가차원의 기후변화 대응은 온실가스 배출저감과 적응대책의 조화 속에서 이루어져야 한다. 이러한 맥락에서 보았을 때 우리나라의 기후변화 대응은 아직 균형을 잡지 못하고 있다.

기후변화는 지역별, 부문별로 그 영향이 다르게 나타나고 있다. 기후변화의 영향에 대한 신뢰성 있는 평가척도가 마련되어야 하고 적절한 적응체계가 마련되어야 한다. 아울러 국가의 적응프로그램은 국제사회의 프로그램의 추진 방향과 보조를 맞추는 것도 필요하다. 기후변화 영향이 자연생태계를 시작으로 야기되었으나 사회경제적 인간 시스템에 다양하게 영향을 주므로 결국 계획된 적응대책으로 발전하도록 과학

적인 부분과의 연결고리가 중요하다고 보겠다.

적응이슈는 기후변화로 인한 영향, 취약성 평가의 과학적이고 기술적인 사항과 산업, 경제, 사회 등 국가 지속가능발전 전반적인 요소에서 통합적으로 다루어져야 하므로 관련 연구도 이러한 맥락에서 이루어져야 한다. 이러한 점은 사회적 통합과 형평성, 그리고 지속가능발전을 위해 필수적인 요소일 것이다. 즉 국가적 지속가능발전을 고려하여 적응전략을 마련하는 노력이 필요한 것이다.

이러한 배경 하에 본 연구가 추진되었으며 연구의 최종목적은 분야별(환경, 사회, 경제) 영향을 종합적으로 분석, 평가 예측하는 과학적 체계 구축을 기본으로, 우리나라에 있어 기후변화 영향의 취약부문을 파악하고 피해를 최소화하고 적응능력(adaptive capacity) 향상의 통합적이고 효과적인[2] 국가 적응정책 시스템 구축 방안을 마련하는데 있다(<그림 1-1> 참조).



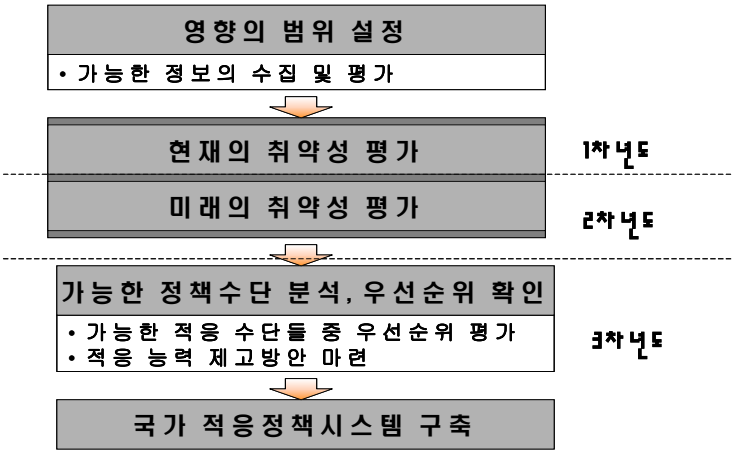
<그림 1-1> 기후변화 적응시스템 구축의 필요성 개요도

2) 잘못된 적응전략(maladaptation)은 기후변화에 따른 비용만 증가시키고 기후변화의 영향을 더 악화시킬 수도 있다.

2. 연구의 범위 및 방법

가. 주요 연구내용

본 연구는 2005년, 2006년, 2007년, 3년에 걸쳐 진행된다. 3년간 연구에서 다루어지는 기후변화 영향, 적응의 분야는 수자원, 농업생태, 산림생태, 해양·해안, 산업·에너지, 그리고 보건·건강에 한정하였다. 이중 1차년도에는 농업생태, 산림생태, 산업·에너지, 보건·건강의 4개 분야에 중점을 두며 나머지 분야에 대해서는 2차년도 연구내용에 포함시켜 수행하도록 한다.[3] 주로 1차년도는 현황 파악, 2차년도는 미래 추정체계 구축, 그리고 3차년도는 국가 적응정책 시스템 구축의 단계로 추진된다(<그림 1-2>).



<그림 1-2> 연구의 범위

3) 해양·해안분야에 대해서는 본 연구 1차년도에서 다루고자 하는 현황 파악에 대해 기 수행된 연구(조광우 외, 2002)를 참고할 수 있으며 수자원분야는 현재 과학기술부 21세기 프론티어 연구개발사업인 「수자원의 지속적 확보기술개발 사업단」에서 추진하고 있어 중복을 피하였다.

1) 1차년도(2005년, 본 연구 보고서의 범위) - 현황파악(동향과 사례 분석)

당해년도에는 기후변화의 현상, 영향 및 적응에 대한 개념의 이해와 함께 1차년도에 설정한 분야에 대해 기후변화영향평가 및 적응에 대한 국내·외 논의 및 연구동향을 분석하고[4], 과거 우리나라의 기후변화 경향과 그에 따른 자연재해 및 환경·경제·사회적인 영향을 공신력 있는 획득 가능한 자료를 중심으로 총체적으로 분석, 평가하는 것을 주요 내용으로 한다. 아울러 이러한 국내·외 주요 연구결과는 데이터베이스화하여 웹 사이트(http://k-ccianet.kei.re.kr)를 구축한다.

위의 <그림 1-2>에서 알 수 있듯이 분류된 부문에 대해 가능한 자료·정보를 수집, 평가하여 기후변화 영향 정도를 파악하고 우리나라의 현재의 취약성을 평가해 내는 것이다. 아울러 기후변화 영향, 취약성, 적응과 관련하여 지금까지 수행되어온 연구의 한계점을 밝혀내고 2차년도 연구에 적용한다. 1차년도에 계획한 아시아지역 사례 연구는 개발도상국(브라질, 중국, 인도, 남아프리카, 세네갈, 방글라데시)을 대상으로 2차 년도에 추진할 UNEP과의 국제공동연구와 연계하여 2차 년도에 추진한다.

2) 2차년도(2006년) - 미래 추정체계(미래 취약성 평가 체계구축)

연구 2차년도에는 1차년도의 기후변화로 인한 영향분석·평가를 기초로 미래의 취약분야를 평가하기 위한 구체적인 평가기법 및 적응대책을 조사한다. 우선 IPCC와 국내외 공신력있는 기관에서 권장하는 평가방법을 조사하는 동시에, 취약부문 선정을 위한 기준을 검토하고 한반도에 적용할 수 있는 평가방법을 이끌어내는 작업을 수행한다. 둘째로 한반도에서의 영향을 평가하고 미래의 영향정도를 예측하기 위해서 기후변화 전망에 따라 영향평가 및 취약부문이 어떻게 달라지는지 적용 가능한 방법을 통해 초동적으로 밝혀낸다. 한반도 기후변화에 영향을 미치는 국내외적 요인을 전망하는 연구 또한 수행한다.

특히 2차년도는 2005년 12월 COP 11에서 결정한바 있는 기후변화 영향 및 적응조치에 대한 전지구적 차원의 '5개년 작업계획' 추진동향을 면밀히 분석하여 연구내용과 연계, 추진토록 한다.

---

4) IPCC체계를 기본으로 함.

3) 3차년도(2007년) - 적응정책 시스템 구축

3차년도의 연구에서는 1차, 2차년도 연구결과를 토대로 분야별로 기후변화 취약 부문의 적응 능력을 향상시키기 위한 우리나라 적응정책프레임워크를 마련하게 된다. 즉, 취약 부문의 피해 저감을 위한 분야별 적응 프로그램을 수립하고, 적응대책의 우선순위를 밝혀내며, 적응능력을 제고할 수 있는 방안을 제시하게 된다. 아울러 연구결과를 종합하여 기후변화 적응대책과 완화대책 간의 연계 구축에 대한 방향제시를 하게 되는데 이 부분은 2007년 발간될 IPCC 제4차 평가보고서의 내용과 연계, 추진할 예정이다. 아울러 3차년도에는 1차, 2차년도 연구를 통해 나타난 결과를 활용하여 기후변화 영향, 적응에 대한 대국민 홍보방안도 마련한다.

나. 연구 추진체계 및 방법

효율적인 자료조사와 신뢰성 있는 자료의 선택 등은 각 해당분야 전문가들의 판단이 필요하므로 각 분야의 전문가로 연구팀을 구성하여 협동연구로 추진하고 아울러 과제 이행역량을 제고하기 위해 산・학・연・정 위원으로 기후변화 적응포럼을 구성・운영하였다.

1) 협동연구 추진

기후변화 적응시스템을 구축하는 데 있어 우선 기후변화의 영향에 대한 수준과 취약성을 파악하는 것이 필요하다. 기후변화는 각 부문에 따라 다른 영향을 미치기 때문에 부문별 연구 수행이 우선 필수적이다(bottom up 접근). 따라서 본 연구는 대상 분야의 다양성과 복잡성을 고려하여 통합적, 다 학제 접근을 원칙으로 협동연구로 추진한다. 3년간에 걸쳐 수행할 협동연구 추진체계는 <그림 1-3>과 같다. 분야에 따라 2차 년도부터 참여하는 기관도 있다.

1차 년도에 참여하는 협동연구기관과 연구과제는 아래와 같다.

o 기후평가 분야: 계명대학교 환경학부

- 과제명: 기후변화 특성 및 대응책 조사 연구

o 건강/보건 분야: 한국보건사회연구원

- 과제명: 기후변화로 인한 건강영향 및 적응대책 조사연구

o 산업/에너지 분야: 한국산업연구원

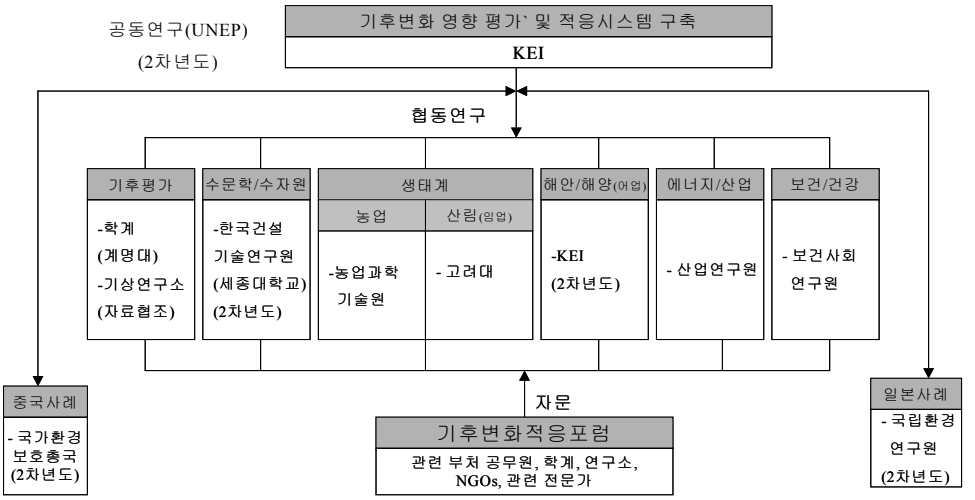
- 과제명: 산업부문의 기후변화 영향 평가 및 적응대책 조사 연구

o 농업 분야: 농업과학기술원 환경생태과

- 과제명: 농업부문의 기후변화 영향평가 및 적응정책 연구에 관한 고찰

o 산림/임업 분야: 고려대학교 환경생태공학부

- 과제명: 산림/임업부문의 기후변화 영향평가 및 적응정책 연구에 관한 고찰



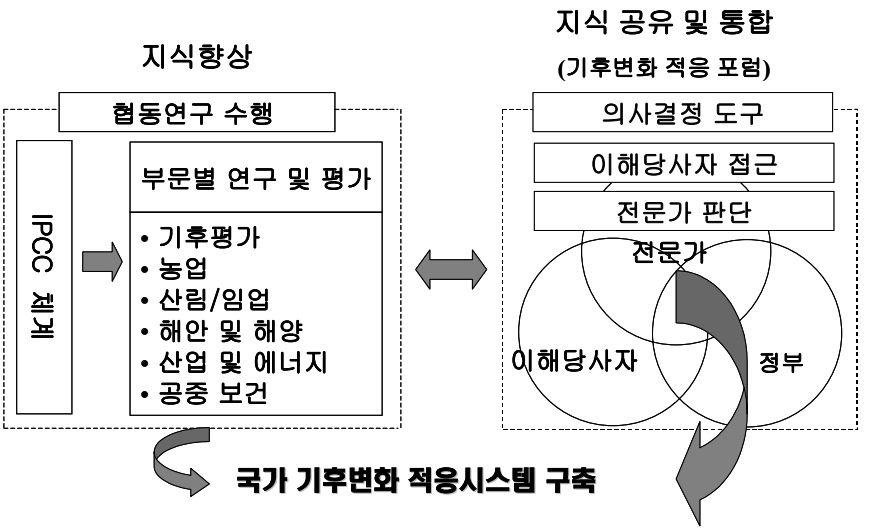
<그림 1-3> 3개년 연구 추진체계도(안)

주) UNEP과의 국제공동연구, 수자원분야, 해양·해안분야를 비롯한 중국, 일본의 아시아 지역 사례 연구는 2차 년도에 수행할 계획이며 기상연구소는 기후변화 적응포럼을 통해 자료 협조의 형태로 참여함. 여기서 아시아지역 사례는 국제워크샵 개최와도 연계하여 추진할 예정임.
한국건설기술연구원은 과학기술부 21세기 프론티어 연구개발사업인 '수자원의지속적확보기술개발사업단'을 의미함.

각 기관에서는 분야별로 가용한 자료·정보를 수집, 분석하고 기후변화 영향 및 적응조치와 관련된 논의와 연구의 현재 상황을 평가하며 영향 분야의 취약성과 국내 대응의 현실 및 한계점을 판단하게 된다.

2) 기후변화 적응포럼 구성, 운영

본 연구에서는 '기후변화 적응포럼'을 구성, 운영하여 연구의 효과성 및 효율성을 높이고, 학제 간 통합 연구가 실질적으로 잘 이루어질 수 있도록 한다. 포럼은 기본적으로 본 연구를 지원하는 성격을 갖는 동시에 본 연구와 함께 학제 간 협력 연구를 가능하게 해주는 수평적 연구체계를 만들어 준다(<그림 1-4> 참조). 즉, 관련기관, 전문가간 협력 네트워크를 구축하여 정보 교환과 토론을 통해 기후변화에 따른 영향평가 및 적응과제의 이행역량을 제고하기 위한 것이다. 아울러 포럼은 향후에는 기후변화로 인한 영향의 취약분야를 선택하는 의사결정 도구로도 활용될 예정이다.



<그림 1-4> 협동연구와 기후변화 적응 포럼과의 연계

특히 1차년도 연구는 기후변화 관련 기존의 동향파악 및 사례분석 등이 중점적으로 이루어지므로 과학적, 정책적으로 총체적 자료를 제공하는 IPCC (2차 평가보고서; Second Assessment Report(SAR), 3차 평가보고서; Third Assessment Report(TAR)) 의 분석결과를 많이 활용하였다.

제2장 기후변화 현상과 기후예측 시나리오

본 장에서는 기후변화 현상 관측을 위한 IPCC 평가기준과 우리나라의 이상기상과 기후변동, 그리고 그에 따른 자연재해 및 지역기후모델 결과 등을 정리하여 제시하였다. 동아시아의 기후변화 현상은 <부록 1>에, 전 지구차원의 기후변화 예측 시나리오는 <부록 2>에 각각 나타내었다.

1. 기후변화 현상 관측을 위한 IPCC 평가 기준

기후는 자연적으로 변화하고 있다(자연적 기후변화). 그러나 인간의 활동에 의해 야기된 이상(異常)적인 기후변화는 극단적인 기후 현상의 빈도와 강도에 미치는 단기적인 변화뿐만 아니라, 장기간에 걸친 온도상승, 강우량 변화, 강우 패턴변화, 해수면 상승 등을 포함한다. IPCC에서는 아래에 제시한 6가지 기준에 입각하여, 기후변화와 변동성을 평가하고 있다.

- 기후는 온난화되었는가?
- 기후는 보다 습해졌는가?
- 대기/해양 순환이 변하였는가?
- 기후가 보다 많이 바뀌었거나, 극단적으로 되었는가?
- 20세기의 온난화가 이상현상인가?
- 관측된 추세들이 내부적으로 일치하는가?

6가지 기준 중에서 관측된 추세의 일치성에 대해서는 관측에서의 결론 도출에 있어 관측이 정밀하고, 완전하며, 일관적이라는 것을 전제로 한다. 때로는 어떠한 추세가 관측으로부터 추출되지 않는다하여 그 추세가 없는 것으로 단정 지을 수는 없다. 그것은 자료의 부적합성을 반영하거나, 행해진 자료 분석이 불완전했음을 나타내기

도 한다. Karl *et al.*,(1995a)은 기후변화를 탐지하고 설명하는 데에 중요한 역할을 하는 기후변수 자료 대부분이 분명한 결론을 이끌어 내기에는 현재 충분하지 않음을 제시한 바 있다. 특히 강수량과 같이 지역적으로 변동성이 큰 변수들의 경우에 있어 변수에 대한 지구규모 추세를 찾을 때는 더욱 그러하다. 위에서 제시한 나머지 5가지 기준에 대한 IPCC의 결론을 요약하면 다음과 같다.

기후는 온난화되었는가?

- 19세기 후반부터의 온난화 경향은 여러 자료(IPCC, 1990, 1992)외 기타)를 이용하여 분석해 보았을 때 그리 뚜렷하게 나타나지는 않는다. 전 지구적인 지표면 기온은 19세기 후반에 비해 0.3~0.6℃, 최근 40년(자료의 신뢰성이 있는 기간) 동안은 0.2~0.3℃ 정도 변한 것으로 나타났다. 그러나 이러한 현상은 전 지구적으로 균등하게 나타난 것은 아니며 일부 지역에서는 오히려 기온이 하강한 사실을 알 수 있다. 최근 온난화 경향이 가장 뚜렷하게 나타난 지역은 40~70N^{o} 대륙이다.
- 20세기 중반부터의 기온 변화를 살펴보았을 때, 육지에서는 대체적으로 일교차가 감소하는 경향을 나타낸다. 이에 대한 이유로는 주간 기온의 상승폭에 비해 야간 기온의 상승폭이 두 배 정도로 높다는 것을 들 수 있으며, 운량 증가 또한 일교차 감소의 원인이 된다.
- 라디오존데와 MSU(Microwave Sounding Unit)를 통한 관측결과는 대류권 기온이 1979년 이래 약간 하강하고, 전 지구 지표 온도는 약간 상승한 것으로 나타난다. 그러나 표본 기간이 너무 짧은 관계로 화산활동이나 ENSO(El Nino and Southern Oscillation)와 같은 일시적인 현상의 영향이 크게 반영되어 나타날 수 있으므로 이러한 현상들을 고려하여 분석하는 것이 바람직하다. 실제로 이런 일시적 현상을 보정하면 지면과 대류권에서 모두 기온이 약간 상승했음을 알 수 있다. 한편, 1950년대부터의 라디오존데 기록을 분석한 결과는 대류권이 지상에서의 기록과 비슷한 양상을 보인다.
- 1979년 이래의 기록에서 성층권 하부가 냉각되고 있다는 사실이 나타났다. MSU

의 관측 값보다 라디오존데의 관측 값이 더 큰 냉각 폭을 보이는데 이는 서로 다른 기기를 사용함에 따라 나타나는 결과일 것으로 예상된다. 1994년 현재의 전 지구 평균 성층권 기온은 위성이나 라디오존데 관측 이래로 최저값을 보이고 있다.

- IPCC(1992)가 예측했듯이 Pinatubo화산 폭발(1991)이 일어난 다음해인 1992년과 1993년에 지면과 대류권은 차가워졌고 하부 성층권은 따뜻해진 것이 관측되었다. 1994년에는 다시 원래대로 지면과 대류권이 더 따뜻해졌으며 1994년의 지면 온도는 전 지구 평균값으로 1860년이래 상위 5%를 기록했다.
- 온난화에 대한 간접적인 지표(시추공의 기온, 적설면적, 빙하의 후퇴 등)들의 결과 역시, IPCC(1990, 1992)가 온난화에 관한 직접 지표와 간접 지표들이 상당히 일치하는 양상을 보인다고 밝혔던 사실을 입증한다. 예를 들면 해면 바로 아래 온도(sub-surface)의 변화 경향은 지면 온도의 변동 양상과 일치하고 있어 지구 온난화의 직접 지표과 간접 지표가 일치함을 보여주는 것이다.
- IPCC(1992)가 언급했듯이 1973년 위성 관측이 실시된 이래 전 지구 혹은 반구의 해빙 면적(sea ice cover)을 살펴보면, 해빙 면적이 뚜렷한 감소 현상을 보이지 않아 지구 온난화를 뒷받침하는 경향을 찾아보기 어렵다. 하지만 북반구에서 해빙의 양은 1990년대 들어 대체로 평년치 이하의 값을 보여 왔다.

기후는 보다 습해졌는가?

- 20세기 들어서 육지에서는 강수량이 1%정도 증가한 반면, 1980년 이래로는 강수량이 적은 편이었다. 북반구 고위도의 육지에서 특히 겨울철에 기온 상승에 수반하여 강수량이 늘어났다. 한편, 아프리카에서 인도네시아에 이르는 아열대 및 적도 지역에서는 1960년대 이래 기온이 상승함에 따라 강수량이 지속적으로 감소하고 있다. 이러한 다양한 변화 양상은 유선, 수면 고도, 토양 수분 등과 관련하여 나타난다.
- 최근 수십 년간 중부 태평양의 적도 지역에서는 강수량이 늘고 그 남북지역에서는 감소하였다. 기타 해양에서의 강수량 변화에 대해서는 아직 뚜렷한 결과가 없다.

- 1988년 이래 북반구에서의 적설면적은 21년 평균(1974-1994)값보다 낮은 값을 보여 왔다. 눈-복사 피드백이 북반구 중-고위도 육지에서의 봄철 온난화를 증폭시켜왔다.
- 구소련에서 대부분의 기간에 걸쳐 증발량이 1951년 이래 감소하고 있다(미국도 같은 경향을 보임). 적도 해양에서는(모든 지역에서 그러한 것은 아니지만) 증발량이 증가하였다.
- 여러 증거들을 종합해 보면, 최소한 1973년 이후로는 대기 중의 수증기량이 증가하였다(IPCC, 1992).
- 최근 수십 년 동안에 걸쳐서 해상에서는 대류운, 중층운, 고층운이 증가하여 운량이 늘어났다. 육지의 많은 부분에 걸쳐 최소한 1970년까지는 운량이 증가했다. IPCC(1990, 1992)도 역시 운량 증가를 보고하고 있다.

대기/해양 순환이 변하였는가?

- 세계 곳곳의 물수지에 영향을 주는 ENSO의 양상이 1970년대 중반 들어 이상현상을 나타내었고, 1989년부터는 그 양상이 더욱 심해졌다. 1970년대 중반부터는 엘리뇨의 빈도와 지속 기간이 증가했고, 라니냐는 반대 경향을 보여 왔다. 적도 태평양과 그 주변 육지에서의 강수량 변화(예를 들면 지난 20년간 아열대 육지에서 강수량 감소)는 ENSO의 양상과 관련되어 있으며, 또한 ENSO는 지표면 온도에도 영향을 미친다.

기후가 보다 많이 바뀌었거나 극단적으로 되었는가?

- 기후의 변동 폭과 극값에 대한 자료는 아직 전 지구적인 변화가 있다고 말할 단계는 아님을 보여준다. 하지만 일부 지역에서는 극 기상(extreme weather)의 빈도와 변동 폭의 변화가 나타난다.
- Sahel 지방과 같이 장기적으로 강수량이 감소하는 일부 지역을 제외하고는 한발의 빈도와 강도에 변화가 생겼다는 증거는 없다.
- 강우량 극값 현상과 홍수 발생의 변화에 대한 연구는 거의 없었다. 기록이 있는

일부 지역에서는 강우량 극값(extreme rainfall)의 강도가 높아졌다는 증거가 명확하진 않지만 그 현상은 넓은 지역에 걸쳐 나타난다.

- 최근의 자료를 보면(1988년 이래) 북대서양에서 강한 온대저기압(extra-tropical cyclone)의 발생 빈도가 높아졌음을 알 수 있다. 대서양 전체적으로는 강한 적도-사이클론의 활동은 1995년을 제외하고는 감소했다. 다른 지역에서는 관측 시스템과 분석 방법의 변화로 인해 극단적인 종관 체제(extreme synoptic system)의 강도와 빈도가 나타나는 경향을 명확히 찾지 못하고 있다.
- 지난 수십 년 동안 극단적으로 낮은 최저기온의 빈도가 줄어들었음은 확실하다. 그러나 극단적으로 높은 최고기온의 발생 빈도 변화는 뚜렷이 드러난 바 없다.
- 북반구 중위도에서 최근 수십 년간의 일교차는 줄어들고 있다.

20세기의 온난화가 이상현상인가?

- 여러 기록을 살펴보았을 때, 지난 수십 년간의 북반구 여름철 기온은 최소한 서기 1400년 이후 최고치를 기록하고 있다. 지난 세기 동안의 지구 온난화는 과거 600년 중 최저 기온을 기록한 이후 이루어 진 것으로 나타난다. 기록의 한계로 인하여 1400년 이전의 자료를 통하여 전구 기온변화에 대해 논하기는 어렵지만, 얼음 봉(ice core) 자료를 통해 비교해 본다면 적어도 1400년 이래 20세기의 기온이 가장 높았음을 알 수 있고, 몇 군데의 얼음 봉 자료는 현재의 기온이 지난 수천 년간의 기온 중 최고치임을 보여준다.
- 대기, 해양의 순환과 기온 그리고 물순환계에 영향을 주는 대규모의 급격한 기후변화가 지난 빙하기동안 그리고 현재의 완신세(Holocene)로 전환기동안에 일어났다. 그린랜드와 북대서양에서는 수십 년의 시간동안 5℃정도의 변화가 발생했다.
- 지난 일만 년(완신세)동안은, 그 전 일만 년에 비해 기온의 변동 폭이 작았다. 불완전한 관측과 고기후적 증거들을 통해 보면 전구 평균기온이 지난 일만 년의 기간 중 한 세기에 1℃이상 증가한 적은 없었던 것으로 평가된다.

20세기동안 관측된 기후변화 관련 지표는 IPCC 제3차보고서에 나타나 있으며 다음 <표 2-1>과 같이 요약된다.

<표 2-1> 20세기 동안 관측된 기후변화 관련 지표

관측 지표	관측내용
대기 중 CO_2 농도	280ppm(1000-1750년)에서 368ppm (2000년)으로 31±4% 증가
대기 중 CH_4 농도	700ppb(1000-1750년)에서 1750ppb (2000년)으로 151±25% 증가
대기 중 N_2O 농도	270ppb(1000-1750년)에서 316ppb (2000년)으로 17±5% 증가
지구평균지표기온	20세기에 걸쳐 0.6 ± 0.2℃ 상승
북반구 강수량	20세기에 걸쳐 5-10% 증가
지구평균 해수면	20세기에 걸쳐 연간평균 1-2mm 속도로 상승
극지방 빙하	1950년 이후 늦여름과 초가을 사이의 극지방 빙하의 두께는 40% 얇아졌으며 면적은 10-15% 감소함
작물재배기간	지난 40여년 동안 북반구에서는 매10년마다 약 1-4일 길어짐

자료: IPCC. 2001c.「Climate Change 2001: Synthesis Report」

2. 우리나라의 이상 기후변화와 기후변동

본 절에서는 우리나라의 연구자들에 의해 제시된 연구 성과에 기초하여, 주요 기후요소의 장기적인 변동(long-term trend)에 대해서 기술하며, 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 전국의 연평균 기온은 상승하는 경향을 보이며, 도시화의 영향을 제외하면 기상관측이 이루어진 수십 년 동안에 약 0.4~0.8℃ 상승하여 전 지구 평균과 거의 같은 정도의 기온 상승경향을 보인다. 도시지역의 기온관측 값을 포함시켜 평균하면 이보다 2배 이상 상승한 것으로 평가된다.

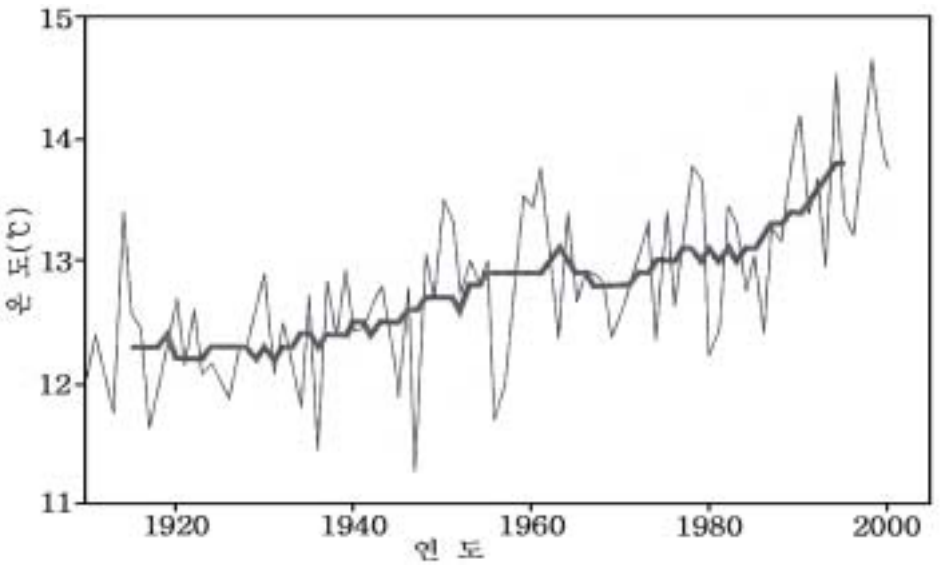
- 기온상승은 하계보다 동계에, 최고기온보다는 최저기온의 상승경향이 훨씬 큰 것으로 평가된다.
- 풍속은 거의 모든 지역에서 감소경향을 보였다. 이는 지역규모 기후모델에서 예측한 아시아몬순 순환의 약화경향 (JPCC, 2003)과 일치하는 것으로 판단된다.
- 강수일수는 감소하고(14%) 연간 강수량은 약간 증가(7%)하는 추세로 호우발생빈도가 증가(18%)하는 것으로 나타났다. 최근 50년 동안에 14개 기상관측 지점에서 강수일수는 감소하였으며, 80mm 이상의 호우일수는 증가하였다는 보고가 있다.
- 서리일, 결빙일 등 혹한과 관련된 지수는 감소하고, 냉방일, 열대야 등 혹서와 관련된 지수는 증가하는 추세에 있다는 연구결과가 제시된 바 있다. 반면에 이들 지수는 지구온난화의 영향보다는 도시화의 영향을 더 크게 받고 있다는 평가도 있다.
- 겨울철 기온의 상승으로 겨울은 짧아지고 여름과 봄은 길어지는 자연계절의 변화가 나타나고 있다는 연구보고가 있다. 이러한 경향이 도시에서 현저히 높고 교외에서는 약하다는 사실로부터 지구온난화의 효과보다 도시화의 영향이 큰 것으로 판단된다.
- 상대습도는 뚜렷한 감소경향이 나타나며, 특히 봄철의 건조화 경향이 현저하였다. 이는 기후모델의 예측(JPCC, 2003)에서 나타난 결과와 일치한다.
- 기후요소의 장기적 변화경향을 평가함에 있어서 지구온난화의 영향과 도시화 효과를 분리하여 평가하고자 하는 시도가 이루어지고 있는데, 지구온난화의 효과를 과학적으로 평가하기 위해서는 이러한 노력이 지속되어야 할 것으로 판단된다.

가. 지상기온의 변동

지구온난화에 따른 우리나라의 지상 기온변화 경향을 조사하기 위해서는, 전국의 기상관측소 가운데 도시화의 영향이 비교적 적으면서도 관측 자료의 균질성이 장기

간 유지되고 있는 지점을 대상으로 조사하여야 한다. 그러나 우리나라의 경우에는 도시화 비율이 매우 높고, 국토가 협소하여 도시화의 진척에서 제외된 지점을 충분히 선정하기가 어렵다.

<그림 2-1>은 지난 세기 동안의 한반도 기온상승경향을 나타내는 것으로, 이 자료는 80년 이상의 기상관측자료가 있는 6개 기상관측소(서울, 인천, 강릉, 부산, 전주, 목포)의 일평균기온의 장기적 변화경향을 나타낸 것이다. <그림 2-1>에 의하면 한반도의 연평균기온은 1930년경까지 12℃를 중심으로 상승과 하강을 반복한다. 그 후, 1950~1960대 사이에 상승하였고 1970년대에는 약간 하강하였다가 1980년대에 들어서면서 다시 상승하는 경향을 보이고 있다. 1980년대 후반부터는 한반도의 연평균기온이 13℃를 넘어섰다. 그리고 1990년대 이래로 상승경향이 최대를 보이고 있다. 이 자료에 근거하여 지난 세기 동안의 한반도의 기온상승은 약 1.5℃/100년이라고 주장되고 있다. 그런데, 이들 지점은 모두가 도시화의 영향을 많이 받은 곳이라는 관점에서 볼 때, 지구온난화로 인한 한반도의 기온상승이 지구평균(0.6℃±0.2/100년)보다 2배 이상 높았다는 주장에는 무리가 있는 것으로 평가된다.



<그림 2-1> 한반도의 기온변화경향

이런 문제를 극복하기 위하여 도시지역의 기상관측소에서 얻어진 기온자료에 나타난 기온상승분을 지구온난화 효과 성분과 도시화 효과 성분으로 나누어 평가해보려는 연구가 있었다. 이것은 크게 2가지 방법으로 대별되는데, 하나는 Lowry의 방법을 따라서 도시지역과 그에 인접한 교외 관측지점의 기온변화경향을 비교하는 것(김경환 외, 2004; 김해동, 2003)이며 다른 하나는 EOF 분석을 통하여 기온상승 분을 지구온난화효과와 도시화영향으로 나누어 평가하는 것이다(오성남 외, 2004; 박혜숙, 1994). 서로 다른 방법으로 연구된 도시지역의 기온상승에 대한 2가지 성분의 기여도는 큰 차이가 없는 것으로 평가된다.

일본기상청에서는 도시화의 영향이 비교적 적으면서도 관측 자료의 균질성이 장기간(1898~1999) 지속되고 있는 일본 전역의 15개 지점의 지상기온을 분석하였는데, 그 결과 과거 100년간에 지구온난화의 영향으로 약 1.0℃의 기온상승이 있었다고 지적하였다(JPCC, 2003). 그리고 Kato(1996)는 도시를 포함한 일본의 51개 지점의 기온변화경향을 조사한 후에, 도시화의 영향을 제외시킨 결과 1920~1992년 동안에 지구온난화로 인한 기온상승은 약 0.8℃/100년이었다. 이 값은 전 지구 평균지상기온 상승경향과 거의 같거나 약간 높은 정도임을 알 수 있다.

<표 2-2>는 오성남 외.(2004)에 의해 분석된 우리나라 주요 지역의 기온상승과 이에 기여한 지구온난화와 도시화의 기여도를 나타낸 것이다. 그리고 <그림 2-2>에서는 도시화의 영향이 비교적 적다고 평가되는 지역에 대한 기온변화 자료를 제시한 것이다. <표 2-2>와 <그림 2-2>로부터 우리나라에서 관측되는 기온상승에 지구온난화가 미치는 효과는 0.4~0.8℃/100년 수준으로, 지구평균의 기온상승 혹은 일본의 그것과 비교하여 비슷한 수준에 있는 것으로 보인다.

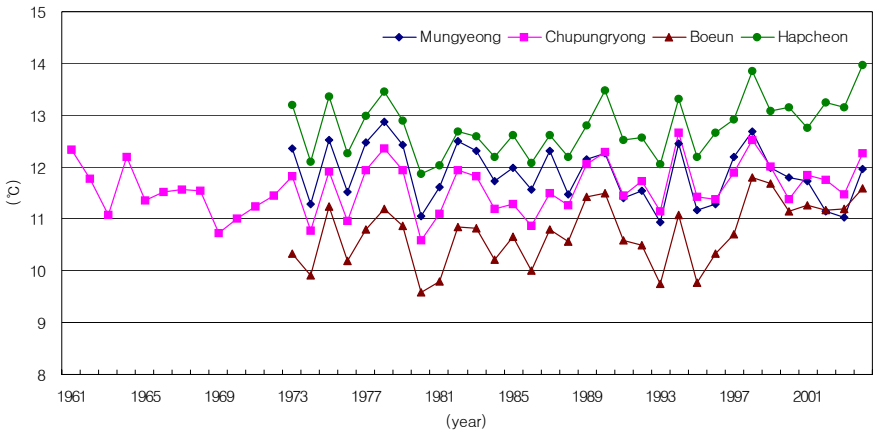
<표 2-2> 우리나라 주요지역의 기온상승과 이에 기여한 지구온난화와 도시화의 기여도 분석

Locations		1973~1982		1983~1992		1993~2002		1973~2002	
		$\overline{T}_{\min}$	$\overline{T}_{\max}$	$\overline{T}_{\min}$	$\overline{T}_{\max}$	$\overline{T}_{\min}$	$\overline{T}_{\max}$	$\triangle\overline{T}_{mean}$	$\triangle(\overline{T}_{mean}-T_{NCEP})$
Urban	Busan	10.96	18.20	10.65	18.47	11.60	19.22	1.16	0.49
	Daegu	8.48	18.78	8.63	18.97	9.53	19.78	1.48	0.81
	Daejeon	7.35	17.55	7.22	17.75	7.96	18.55	1.45	0.86
	Gwangju	8.83	18.51	8.84	18.48	9.54	19.28	1.11	0.44
	Seoul	7.98	16.67	7.83	16.49	8.74	17.33	1.39	0.80
Rural	Boeun	4.70	17.02	4.53	16.62	4.93	17.50	0.69	0.10
	Chupung-nyeong	6.85	17.00	6.56	16.68	6.81	17.59	0.43	-0.16
	Ganghwa	5.86	16.15	5.53	15.98	6.47	16.36	0.57	-0.02
	Geoje	9.12	18.04	9.61	18.71	9.57	18.81	0.56	-0.11
	Seosan	7.23	17.02	6.96	16.82	7.45	17.62	0.44	-0.15
	Suncheon	7.14	18.64	7.11	18.72	7.33	19.72	0.45	-0.22
	Yeoungchun	6.93	18.64	6.40	18.36	6.60	18.87	0.41	-0.26

자료: 오성남 외.(2004)

이와 관련하여, 최영은(2004)은 다음과 같이 평가하고 있다 : 한반도의 기상관측소에서 관측된 기온증가경향에는 지구온난화로 인해 나타나는 한반도의 온난화경향과 함께 각 관측지점의 도시화로 인한 국지적인 상승경향이 내포되어 있다. 도시화는 온실가스의 증가로 인한 지구온난화 시그널과 마찬가지로 평균기온의 증가를 가져오기 때문에 이를 정량적으로 제거하기가 어려운 것으로 알려져 있다. 한반도 기온의 지역별 변동형태는 1960년대를 전후로 변화하는 모습을 나타냈다. 1960년대 이전에는 자연변동인 반면에 이후로는 산업화와 도시화 등으로 인해 지역별 기온상승경향의 차이가 자연적인 변동을 넘어 뚜렷하게 나타났다. 또한 1960년대 이후에는 인구가 많은 대도시에서 관측된 기온의 증가경향이 그 이전과 비교하여 가속화되었으며, 대도시 관측 자료에 도시화로 인한 기온상승효과가 포함되어 있음을 알 수 있었다. 1960년대

이후의 대도시에서의 뚜렷한 기온증가는 한반도 평균기온에 편향을 주어 급격한 상승경향을 나타내었다. 이와 같은 평가결과를 기초로 하여 도시화 효과를 제거한 후의 한반도의 온난화는 지난 90년간 0.5~0.7℃의 기온증가가 있었음이 추정된다.



<그림 2-2> 도시화의 영향이 비교적 적은 지역에 대한 기온상승 경향

자료: 김해동(2003)

나. 대도시의 지상기온의 경향

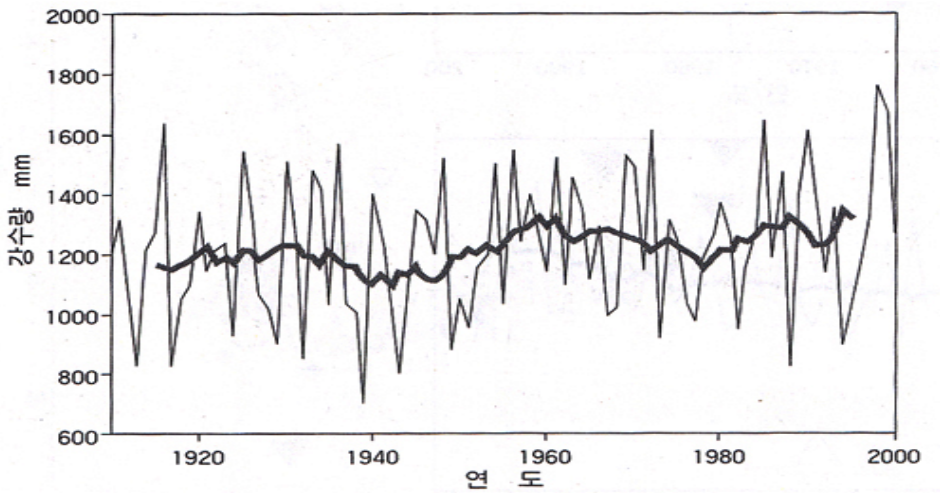
우리나라에서 80년 이상의 기상자료가 있는 6개 도시의 지난 75년간(1909-1993)의 평균기온 상승률은, 서울(1.44), 부산(0.96), 목포(0.14), 대구(1.57), 강릉(1.23), 전주(1.22)로 평가되어(김맹기 외, 1999) 일본에 비하여 기온상승경향이 훨씬 낮았던 것으로 분석된다. 참고로 일본의 경우에, 도시화의 영향이 현저한 6개 도시(Sapporo, Sendai, Tokyo, Nagoya, Kyoto, Hukuoka)의 연평균기온 변화는 2.4℃/100년에 이르며, 동경은 이보다 높은 2.4℃/100년으로 평가되고 있다(JPCC, 2003). 이러한 상승경향은 앞에서 기술한 바와 같이 도시화의 영향이 비교적 적은 지역에 대한 기온상승경향(0.8℃/100년)의 약 300%에 이르는 것이다.

다. 강수의 변동

한반도에서의 연강수량의 변화는 <그림 2-3>과 같다. 한반도에서의 강수량의 변동폭이 해마다 크게 나타나고 있다. 전반적으로는 증가하는 경향을 보이는 것으로 보고되고 있으나(최영은, 2002; 최기선 외, 2005), 변동 폭이 매우 커서 증가추세가 뚜렷하지는 않다. 최영은(2002)은 연강수일수는 감소하였으나 연강수량은 증가하여 결과적으로 강수강도가 증가하였다고 주장한 바 있다. 권원태(2005)는 최근 50년간(1954-2003) 14개 관측지점(서울, 강릉, 인천, 울릉도, 추풍령, 전주, 대구, 울산, 포항, 광주, 부산, 목포, 여수, 제주)에서 관측된 자료를 분석하였다(<그림 2-4> 참조). 이 연구를 통하여, 강수일수는 감소하고 일강수량이 80mm 이상인 호우일수의 발생빈도는 1954-1963년에는 연평균 1.6일이었던 것이 1994-2003년에는 2.3일로 증가하는 추세를 보인다고 보고한 바 있다.

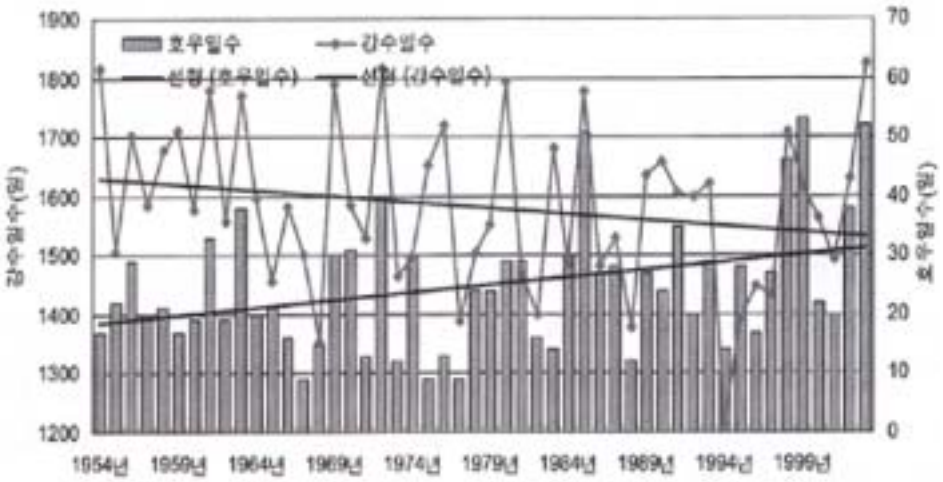
그러나 1990년대 후반부터 최근에 이르는 수년을 제외하고서 자료의 변화경향을 살펴보면, 저자가 주장한 변화경향으로 판단하기 어렵다는 것을 알 수 있다. 이들 관측 자료에 대한 단순한 선형적 변화경향을 볼 수는 있지만, 이것이 통계적 유의성을 가진다고 판단하기에는 자료가 불충분하다.

강수경향의 변화는 지구온난화에 수반되어 발생되는 것으로 예측되는 현상이고, 이러한 경향이 한반도의 관측 자료와 일치하는 것으로 보인다하더라도 그것을 온난화의 영향이라고 판단하기에는 현재 자료가 충분하지 않다. 일본의 경우에도, 강수량, 강수일수 및 강수강도에 대한 관측 값의 변화경향이 우리나라와 유사한 변화를 보이는 것으로 보고되고 있으나, 아직은 이러한 변화가 지구온난화의 영향이라고 단정하기에는 자료가 불충분한 것으로 판단하고 있다(JPCC, 2003).



<그림 2-3> 한반도 연강수량의 변화경향

자료: 최영은(2004)

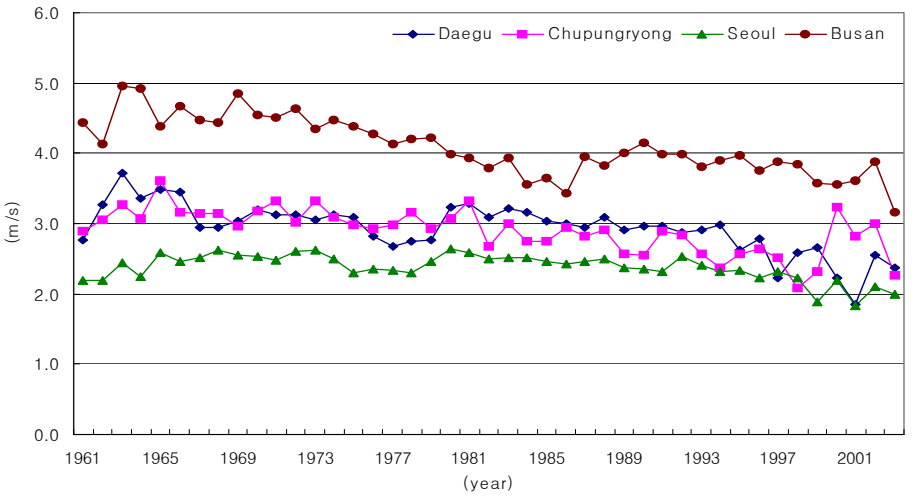


<그림 2-4> 지난 50년간(1954-2003) 14개 지점에서 관측된 강수일과 호우일수의 변동경향

자료: 권원태(2005)

라. 풍속의 변동

전 지구 기후모델의 아시아몬순의 강도변화에 관한 예측에 의하면 강수량에 대해서는 일치된 결과를 얻을 수 없지만, 겨울철 몬순의 강도가 약화될 것이라는 점에는 일치된 결과가 얻어지고 있다(IPCC, 2001a). 그리고 불확실성은 크지만, 태풍의 발생수와 여름철 동아시아몬순 순환의 변화도 예측되고 있다(JPCC, 2003). 기후변화가 풍속 변화를 유발할 수 있다는 추정에서 도시와 도시화의 영향을 비교적 적게 받는 지점을 대상으로 풍속변화를 조사하였다(<그림 2-5> 참조). 그 결과 모든 지점에서 풍속이 저하하는 것으로 나타났다. 풍속의 저하는 여름철 체감온도를 상승시키는 역할을 할뿐만 아니라, 도시지역의 대기환경용량을 낮추어 환경 쾌적성을 저하시키고 지면-대기간의 열수지 변화를 유발한다는 점에서 그 중요성을 찾을 수 있다. 향후 풍속변화와 지구온난화간의 관련성을 평가하는 보다 정교한 연구가 필요하다.

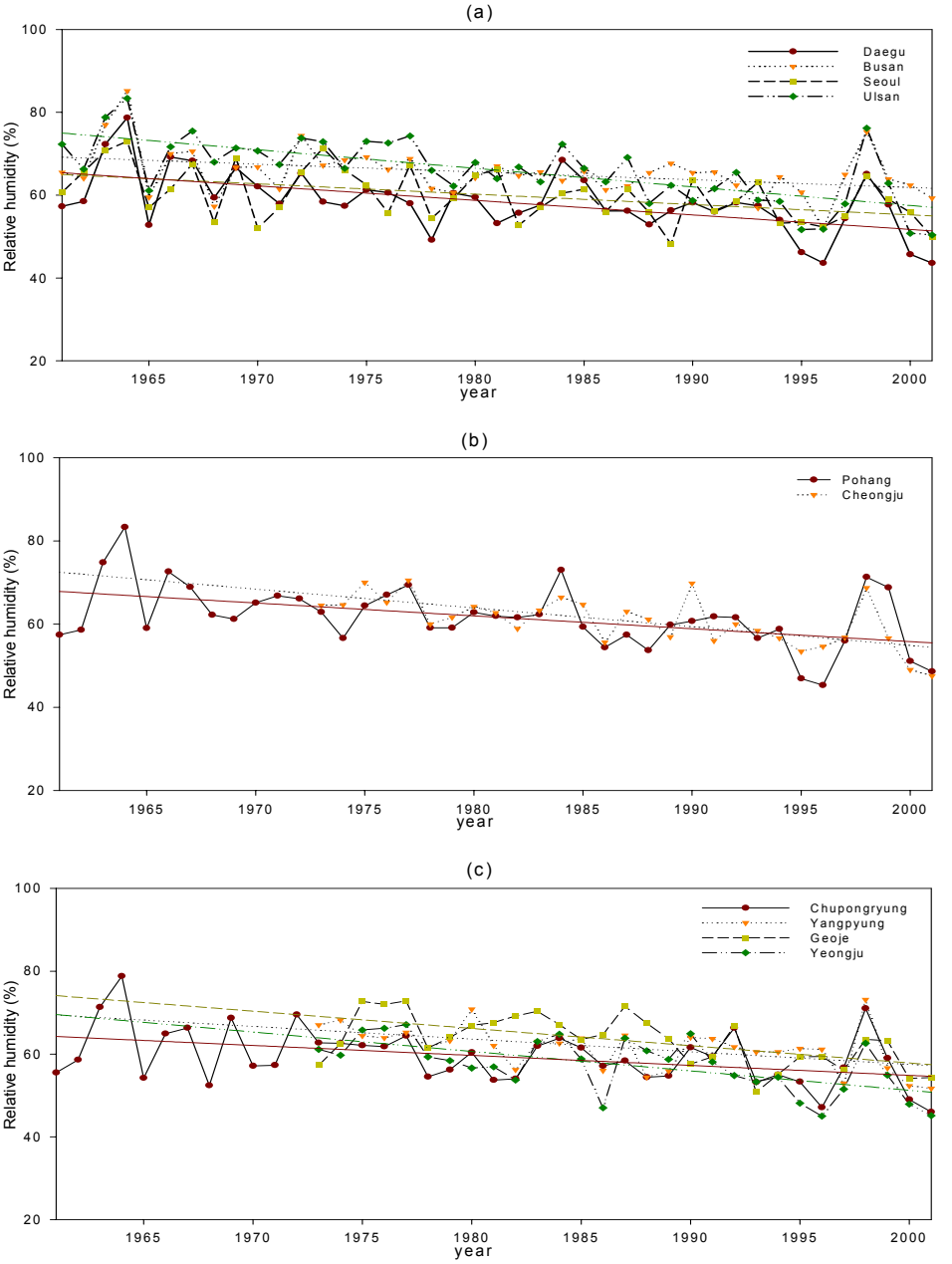


<그림 2-5> 풍속의 장기적 변동경향

마. 상대습도의 변동

전국의 10개 기상관측소에서 관측된 최근 40년 동안의 상대습도의 변화를 분석한 결과 지역의 규모에 관계없이 모든 지역에서 상대습도가 감소하는 경향으로 나타났다. 상대습도는 포화수증기압에 대한 실제 대기 중에 포함되어 있는 수증기압의 비율이므로, 상대습도 감소경향은 강수일수의 감소 이외에도 온난화와 도시화의 영향으로 기온이 상승하여 포화수증기압이 증가한 데도 원인이 있다.

10개 지점에 대한 상대습도의 감소는 지난 40년간에 약 7%로 평가되었다. 이를 계절별로 살펴보면, 봄철에 감소량이 가장 컸다. 이어서 겨울, 여름 그리고 가을의 순서로 나타났다. 그리고 건조화의 원인으로는, 봄철에는 포화수증기압의 증가효과(온난화의 영향)와 수증기압의 감소효과(대기 중의 수증기량 감소)가 동시에 큰 것에 기인하는 것으로 평가되었다. 겨울과 가을에는 주로 포화수증기압의 증가(온난화의 영향)로, 여름에는 대기 중의 수증기량 감소가 주요원인이 되어 건조화가 진척되고 있는 것으로 평가되었다(김해동, 2003). <그림 2-6>은 감소량이 가장 큰 봄철 상대습도의 변동을 예로 제시한 것이다.



<그림 2-6> 봄철 상대습도 변화에 관한 장기적 변화경향

자료: 김해동(2003)

3. 우리나라의 기후변화와 자연재해

이상적인 기후변화로 인해 이상기상 등의 자연재해 발생의 빈도와 강도가 점차 증대되고 있으며 이로 인한 경제적 손실(adaptation deficit) 또한 커지고 있다. 우리나라의 본격적인 재해대책 업무는 1962년 6월 18일 법률 제 1912호에 의거 경제기획원의 국토건설청을 해체하여 건설부로 확대개편하면서 시작되었다고 평가되고 있다. 그 이전에 우리나라에 대한 태풍 피해는 제대로 집계되어 있지 않으며 따라서 시간의 진행에 따른 피해상황을 서로 비교하기는 어려운 실정이다. 본 연구에서는 행정자치부 국립방재연구소에서 발간된 보고서(2003. 3)에 제시된 우리나라 자연재해 발생 추이자료에 기초하여 1963년 이후의 풍수해 피해를 요약하여 <표 2-3>에 제시하였다.

<표 2-3> 자연재해에 따른 연도별 피해상황

연도	피해상황	재해원인
1963	296명의 인명피해, 4,712백만원의 물적 피해	제4호, 제9호 태풍을 포함하여 6월 중순에서 8월 중순까지 2개월여에 걸친 심한 폭우현상이 지속
1964	395명의 인명피해, 3,393백만원의 물적 피해	중부지방의 집중호우에 의한 홍수피해, 영남지방의 한발피해가 심하였음
1965	242명의 인명피해와 10,900백만원의 물적 피해	6월말까지는 기록적인 한발 피해, 7월 이후로는 대홍수에 의한 피해 발생
1966	157명의 인명피해와 5,771백만원의 물적 피해	태풍 15호, 17호의 상륙과 장마전선에 수반된 집중호우에 의한 피해
1967	29명의 인명피해와 484백만 원의 물적 피해	상륙한 태풍이 없었고, 장마기의 강수량도 적었음. 겨울철 혹한과 봄철에 강풍을 수반한 폭우현상이 발생하였음
1968	174명의 인명피해와 5,431백만원의 물적 피해	태풍 7호의 상륙과 7월 중순에 장마전선이 활성화하면서 폭우 발생, 10월 하순에 폭풍우와 해일의 엄습으로 재해 발생
1969	699명의 인명피해와 29,541백만원의 물적 피해	1월에 혹한과 폭설, 6월에 우박 피해, 7월 말에서 8월초에 걸쳐서 폭우발생
1970	267명의 인명피해와 20,394백만원의 물적 피해	태풍 2호(7월)와 11호(8월)의 상륙에 수반된 호우피해가 많았음
1971	357명의 인명피해와 11,005백만원의 물적 피해	1월의 폭설 피해과 강풍에 수반된 해일피해 발생, 7월에 장마전선에 수반된 호우피해
1972	852명의 인명피해와 34,109백만원의 물적 피해	7월에 장마전선에 수반된 폭우현상, 9월에 태풍과 우박의 피해가 컸음
1973	103명의 인명피해와 5,495백만원의 물적 피해	5월에 강풍을 동반한 폭우현상, 6월에서 7월 중순에 걸쳐서 한발, 8월 중순에 태풍 10호, 8월 말에 집중호우와 해일피해
1974	178명의 인명피해와 23,243백만원의 물적 피해	5월 중순에 호우와 폭풍 피해, 7월 초에 태풍 "길다"의 상륙, 8월 말에 폭우 피해(섬진강 범람)
1975	91명의 인명피해와 8,863백만원의 물적 피해	5월의 우박피해, 7-9월에 걸쳐 폭우로 인한 수해가 발생하였음
1976	529명의 인명피해와 14,109백만원의 물적 피해	3월에 폭설피해, 5월에 고온과 한발, 6월에 태풍 7호와 8호의 상륙에 따른 수해 발생, 8월초에서 중순에 걸친 집중호우현상으로 대부분의 피해가 발생하였음

자료: 행정자치부 중앙재해대책본부. 2003. 재해연보.

<표 2-3> 자연재해에 따른 연도별 피해상황 (계속)

연도	피해상황	재해원인
1977	345명의 인명피해와 56,793백만원의 물적 피해	4월까지 극심한 한발 발생, 5~6월에 걸쳐서도 극심한 한발발생, 7월초와 8월 초에 발생한 집중호우로 홍수피해발생
1978	158명의 인명피해와 29,404백만원의 물적 피해	집중호우와 태풍 "칼멘"에 의한 피해가 약 60%를 차지하였고, 11~12월에 발생한 동해안의 폭풍과 해일에 의한 피해도 컸음
1979	423명의 인명피해와 158,410백만원의 물적 피해	6월 하순~8월에 걸친 긴 장마와 태풍 "쥬디"와 "어빙"의 영향으로 전국적인 홍수피해가 컸음, 10월에는 우박피해도 발생하였음
1980	279명의 인명피해와 198,070백만원의 물적 피해	1월에 한파와 폭설의 피해, 7~8월의 기록적인 저온현상, 7월의 집중호우현상으로 사상 최고의 물적 피해 발생
1981	216명의 인명피해와 121,582백만원의 물적 피해	총 4차례의 태풍 상륙, 7~9월에 걸친 호우피해
1982	121명의 인명피해와 81,353백만원의 물적 피해	1월의 폭설, 8월의 태풍(세실, 엘리스), 7월 하순의 집중호우, 10월 중순의 우박피해
1983	91명의 인명피해와 19,316백만원의 물적 피해	4~5월의 기록적인 고온현상, 4월의 폭풍, 5월의 해일, 9월의 태풍(FORREST) 피해, 6~8월의 우박(6회) 피해
1984	265명의 인명피해와 248,348백만원의 물적 피해	1~3월의 한발, 9월의 폭우, 9월 이후 연말까지 가뭄, 피해의 90% 이상이 호우에 의한 것이었음
1985	250명의 인명피해와 13,644백만원의 물적 피해	1월의 극심한 가뭄, 여름철의 기록적인 다우현상 발생, 총 피해의 약 70%가 호우에 의한 것임
1986	156명의 인명피해와 233,318백만원의 물적 피해	1월의 강추위와 폭설 및 폭풍피해, 6월의 우박피해, 10월 중순의 강풍과 국지성 호우피해, 7월 말 태풍(VERA)로 인한 피해(전체 물적 피해의 70% 차지)
1987	1,022명의인명피해와 1,057,545백만원의 물적 피해	7월 중순의 태풍 셀마, 7월 하순에서 8월말까지 총 45일간 연속된 호우와 태풍 다이나로 인한 피해 속출. 태풍 셀마로 인한 피해가 약 37%를 차지하였음
1988	143명의 인명피해와 121,865백만원의 물적 피해	7월에서 9월에 걸쳐 호우 피해가 발생(전체 피해의 약 92% 차지)하였으나, 연중 가뭄이 극심한 해였음
1989	307명의 인명피해와 549,386백만원의 물적 피해	1월에 폭설 피해 발생, 4-5월에 남부 지방의 극심한 가뭄 발생. 7월에 태풍 쥬디와 집중호우에 따른 피해가 컸음. 전체 피해의 약 63.5%가 호우에 의한 것이었음
1990	257명의 인명피해와 649,607백만원의 물적 피해	9월 중순에 발생한 호우에 의한 피해가 가장 컸음 (9월 9일부터 12일까지 사흘 동안에 서울에 2,287.1mm의 비가 내려 기상관측상 최고의 강우량을 기록하였음).

<표 2-3> 자연재해에 따른 연도별 피해상황 (계속)

연도	피해상황	재해원인
1991	240명의 인명피해와 386,868백만원의 물적 피해	폭풍, 폭설, 집중호우가 자주 발생. 기상현상의 지역적인 편차가 심하게 발생하였음. 방글라데시에서 태풍으로 10만 명 이상이 사망하고, 인도와 파키스탄에서는 폭염으로 300여명이 사망하였음
1992	40명의 인명피해와 24,058백만원의 물적 피해	8월 하순에 태풍 테드의 내습, 9월 하순에 집중호우의 발생으로 피해 발생. 호우에 의한 피해가 전체의 약 63%를 차지하였음
1993	69명의 인명피해와 197,114백만원의 물적 피해	여름철 저온현상 발생. 2차례 태풍 상륙(퍼시, 로빈).태풍과 장마전선에 수반된 집중호우로 인한 피해가 컸음
1994	72명의 인명피해와 153,375백만원의 물적 피해	기록적인 혹서의 해였음. 6월말과 8월말에 발생한 집중호우로 인한 피해가 컸음
1995	158명의 인명피해와 6,012백만원의 물적 피해	2차례의 태풍 상륙(페이, 제니스)에 수반된 집중호우로 인한 피해가 컸음
1996	77명의 인명피해와 4,831백만원의 물적 피해	7월 26-28일에 발생한 집중호우로 경기와 강원북부에 427-687mm의 비가 내렸고, 서해안에 만조시점과 맞물리면서 총 피해액의 88.5%가 발생하였음
1997	37명의 인명피해와 1,909백만원의 물적 피해	장마전선에 수반된 집중호우와 태풍 티나의 상륙에 따른 피해가 컸음
1998	384명의 인명피해와 2,231,000백만원의 물적 피해	1990년대 최대의 재해 발생. 특히 7.31-8.18의 호우, 9.29-10.1의 태풍 등 총 14회의 자연재해가 발생하였음
1999	89명의 인명피해와 12,197백만원의 물적 피해	7.23-8.4일의 호우, 9.17-9.24일의 태풍 등 총 8회의 피해가 발생. 2차례의 태풍 내습(니일과 올가)에 따른 휴전선 부근의 폭우 발생(453-975mm). 국지적인 집중호우가 다발한 것이 특징임
2000	49명의 인명피해와 6,454백만원의 물적 피해	호우 3회, 태풍 2회 등 총 5회의 재해발생. 특히 8.23-28일 사이에 임진강 유역에 집중 호우 발생(동두천 428mm, 연천 430mm). 재해의 다발에도 피해를 최소화한 해였음
2001	82명의 인명피해와 1,256,100백만원의 물적 피해	겨울에 폭풍설 발생, 7월 초-중순에 걸쳐서 집중호우가 발생가 발생하는 등 총 8회의 재해 발생
2002	270명의 인명피해와 6,103,800백만원의 물적 피해	태풍 루사로 인한 피해가 5조원에 이르렀음. 강릉에 하루 동안에 870mm의 기록적인 집중호우가 발생하였음

앞의 표에서 제시된 최근 우리나라 자연재해 현황과 추이특성을 정리해 보면 다음과 같다.

자연재해 발생의 특성

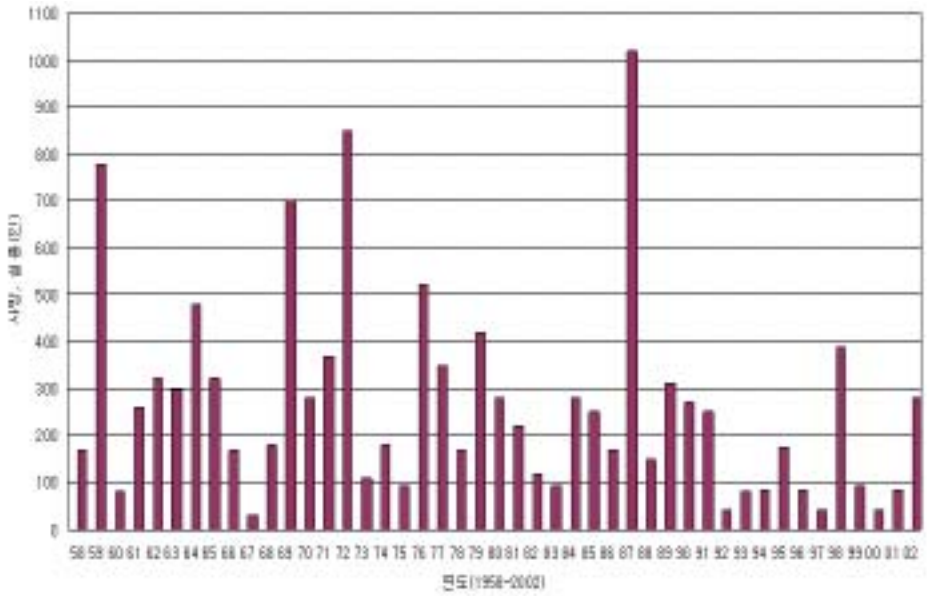
우리나라 자연재해의 대부분은 풍수해가 차지하고 있다. 최근의 통계에 따르면, 피해원인으로는 호우(37%), 태풍·호우(22%), 태풍(15%) 순이었고, 인명피해는 전체 인명피해의 50%가 호우로 발생하였다(재해연보, 2003). 우리나라 자연재해 피해통계는 기록상으로는 1961년부터이지만 피해복구지원 차원에서 시설물별로 정액지원에 근거한 것이기 때문에 실제 피해액과는 거리가 있다.

인명피해

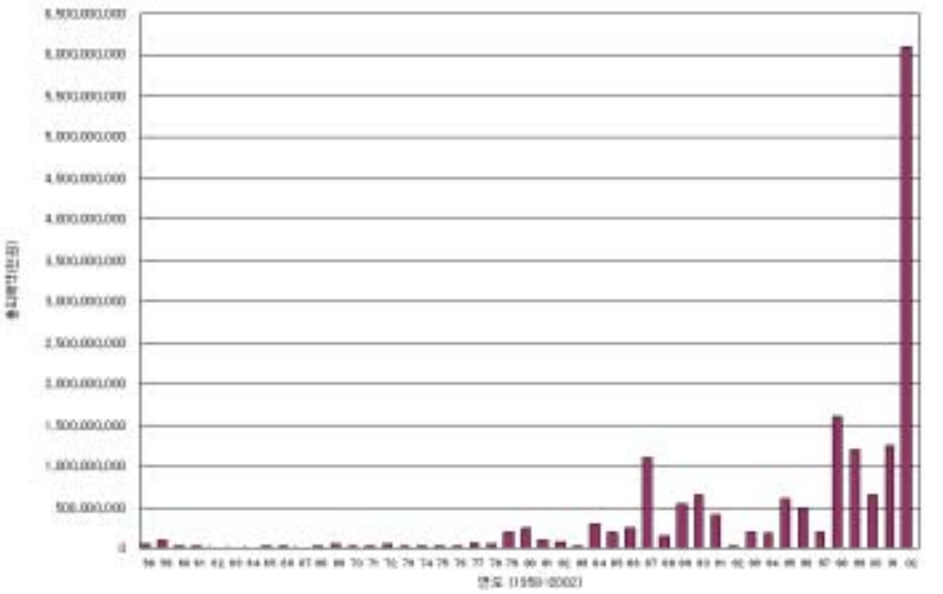
연도별 인명피해는 확실히 감소추세에 잇다. 연도별 인구증가와 복잡한 사회시스템으로 인하여 인명피해의 잠재성이 증가하고 있음에도 불구하고 인명피해가 줄어드는 것은 자연재해에 대한 대응책이 어느 정도 효과를 발휘한 것으로 평가된다(<그림 2-7>).

경제적 손실

자연재해로 인한 재산피해액은 연도별로 증가하는 추세가 뚜렷하다. 2002년과 2003년도의 태풍(루사, 매미)에 의한 엄청난 피해를 제외하더라도 자연재해에 의한 피해액은 확실한 증가세를 보이고 있으며, 특히 2000년대 이후로는 연평균 피해액이 1조원을 훨씬 상회하고 있다(<그림 2-8>).



<그림 2-7> 연도별 자연재해로 인한 사망, 실종자수 (1958~2002년)



<그림 2-8> 연도별 자연재해 피해액 (1958~2002년)

재해추이 전망

자연재해는 자연적 외력(강수량, 바람 등)이 주원인이며, 최근 복잡한 사회시스템(해안 매립지의 집중 개발과 지하시설 등)으로 피해가 가중되고 있다. 자연적 외력인 태풍, 집중호우 등은 인력으로 제어할 수 없기 때문에 대비가 최선의 대책이지만, 과도한 개발, 하천 통수능력의 부족, 방재시설물 설치의 부적합 등은 개선이 가능하다. 이러한 문제에 대한 정비는 기후변화에 따른 적응전략 중에서도 가장 시급을 요하는 것이라고 할 수 있다[5].

4. 지역기후모델에 의한 한반도 주변의 기후변화 시나리오

본 절에서는 JPCC(2003)보고서와 일본의 지구온난화연구 이니셔티브 기후변동 연구분야 보고서(2002)에 소개된 연구 성과를 바탕으로, 지역기후모델로 예측된 한반도 주변의 기후변화에 대해서 기술한다.

지구온난화예측에 그동안 주로 이용되어온 전 지구 기후모델(Global Climate Model, GCM; 대기·해양결합 모델)의 수평 공간분해능은 250km 내외이다. 이 정도의 분해능의 결과를 그대로 이용해서 지역 수준의 기후변화예측을 수행하기란 불가능하다. 이에 따라 지역기후 수준으로 연계시키기 위한 방법(예: 다운 스케일링)이 수행되고 있으며 예를 들어 아래와 같은 것이 이용된다.

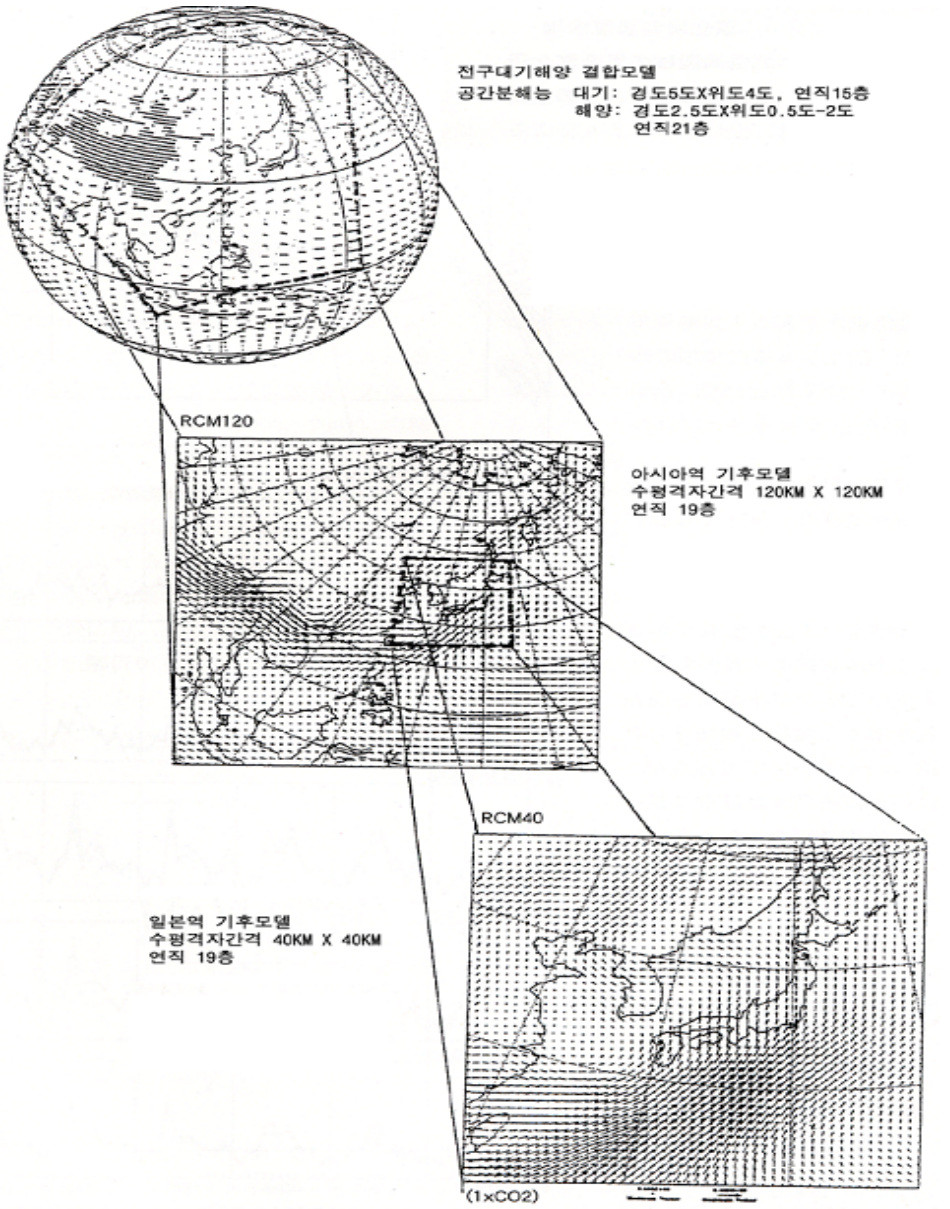
1) 전 지구 기후모델에서 계산된 해수면온도를 경계조건으로 설정하고, 고분해능 전 지구 대기모델을 이용해서 계산한다.
2) 대상이 되는 지역만을 고분해능화한 지역기후모델(Regional Climate Model, RCM)을 이용하고, 영역의 경계조건은 전 지구 기후모델로 계산한다(<그림 2-9> 참조).
3) 장기간의 관측을 이용해서, 전 지구 기후모델로 표현할 수 있는 대규모운동 장에

5) 기후변화로 인한 이상기상 등을 미리 예측하고 피해의 위험 요소를 사전에 예방하는 것이 중요하며 이러한 것이 기후변화 적응대책의 일부에 해당된다.

관한 기상요소의 변동과 지역적인 기후변동과의 사이에 성립하는 통계적 관계를 구하고, 이것을 온난화 시의 변화에 적용한다.

위의 1)의 방법으로는 지금까지 100km 정도의 분해능이 한계이고, 3)에 대해서는 온난화에 의한 기후변화에 자연변동으로부터 얻어진 통계적 관계가 얼마나 성립할지 불명확한 부분이 많다. 이로 인해 관심영역의 온난화 영향을 살펴보기 위해서는 2)의 지역기후모델에 의한 다운 스케일링이 보다 신뢰성이 높은 방법으로 이용되고 있다.

전 지구 기후모델에 의한 온난화 점증실험의 결과에 고분해능 지역기후모델을 둥지화(nesting)해서, 온난화에 수반되는 동아시아 지역의 기후변화예측을 수행하는 연구기관이 일본에는 3곳에 - 일본기상청 기상연구소, 일본전력중앙연구소, 일본국립환경연구소 - 이른다. 여기서는 이들 연구기관에서 예측한 결과 중에서 JPCC(2003)에 주로 소개되고 있는 한반도를 포함한 동아시아 지역의 주요 기후요소에 대한 내용을 간략히 서술하고자 한다.



<그림 2-9> 전 지구 기후모델에 nesting 되어진 지역기후모델의 개념도

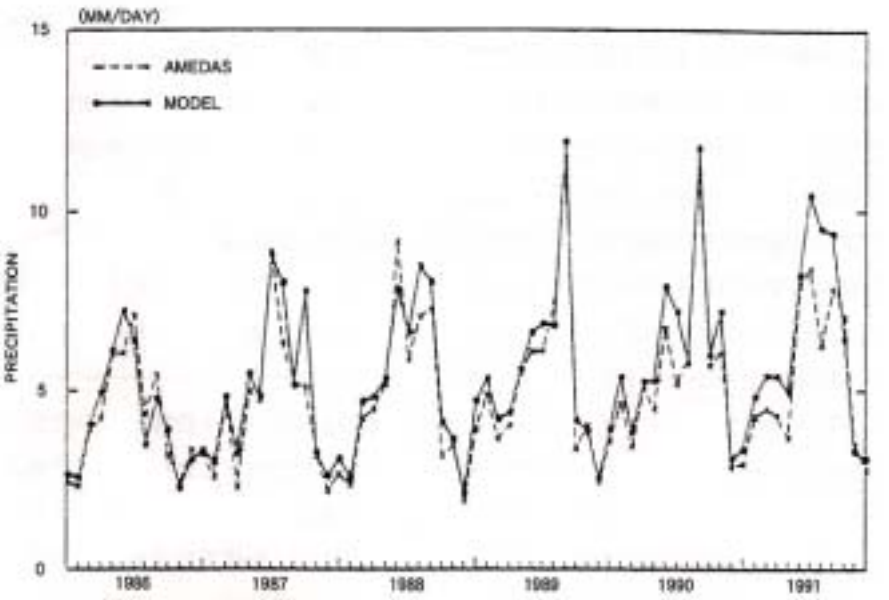
자료: Sato(2000)

지역기후모델의 성능에 대하여

지역기후모델의 성능은 과거의 관측 자료를 이용해서 검증할 수 있다. 이는 모델출력 대신에 수치예보모델의 초기자료로 사용되고 있는 관측자료(객관분석자료)를 경계·초기조건으로 사용하여, 장시간 적분을 수행한 후에 그 결과를 관측된 기후자료와 비교하는 것이다. 혹은 하나하나의 저기압에 수반되는 강수량이 관측 자료와 모델 출력 간에 어느 정도나 대응되고 있는지를 조사할 수도 있다. 이들을 상호 비교해 보면 태풍에 수반된 강우량 등을 제외하면 비가 내리는 시간대는 상당히 잘 대응되고, 양에 대해서도 어느 정도 비교할 수 있을 정도의 수준임이 확인되었다(Sasaki et al, 1995; Kato et al., 1999; Mabuchi et al., 2000; Emori et al., 2000; Sasaki et al., 2000).

모델평가연구의 사례로 <그림 2-10>에 Mabuchi et al.,(2000)의 자료를 제시하였다. 30km 격자간격을 갖는 JSM(Japan Spectral Model)에 일본기상연구소에서 개발한 육면식생모델(BAIM; Biosphere-Atmosphere Interaction Model; Mabuchi et al., 1997)을 조합한 지역기후모델을 구성하였다. 이 모델에 객관 해석치를 경계조건으로 하고, 격자간격은 등지화하여 6년 반 연속 적분하여 얻은 결과로 모델 산출의 강수량자료와 자동기상관측자료(AMeDAS)에서 측정된 것을 비교한 것이다.

1991년에 모델이 강수량을 과대 계산하고 있는 것을 제외하고는 계절과 경년변화를 잘 표현하고 있음을 확인 할 수 있다. 일본을 크게 4개 지역으로 나누어, 각 지역별로 모델결과와 관측치를 비교한 경우에도 모델이 각 지역마다 계절변동과 경년변화 경향을 잘 표현하고 있는 것을 확인할 수 있다(Mabuchi, 2000).



<그림 2-10> 일본열도 전역에 대해서 평균한 월평균강수량의 관측치(파선, 기호는 ×)와 모델계산결과(실선, 기호는 ●)간의 시계열 비교

자료: Mabuchi et al.,(2000)

이산화탄소 농도 배증 시 동아시아지역의 기후변화 예측실험 결과 (지역기후모델의 활용)

대기 중의 이산화탄소 점증실험의 수행에 있어서, 전 지구 기후모델이 완벽하다면 대기 중의 이산화탄소 농도를 현재의 값에다가 1년에 1%씩 증가시키는 점증실험 하나로 충분하겠지만 현실적으로는 모델에서 다루는 물리과정이 불충분하여 비교실험의 형태를 취하고 있다.

기후영향평가에 있어서 가장 널리 이용되고 있는 것은, 다른 조건은 완전히 동일하게 두고 대기 중의 이산화탄소농도만을 증가시키는 점증실험과 기준실험(현재의 조건대로 적분)이라는 2가지 계산을 수행하여 얻어진 결과의 차이를 이용하여 이산화탄소 배증에 따른 기후변화를 평가하는 것이다(일본기상연구소, 일본국립환경연구소).

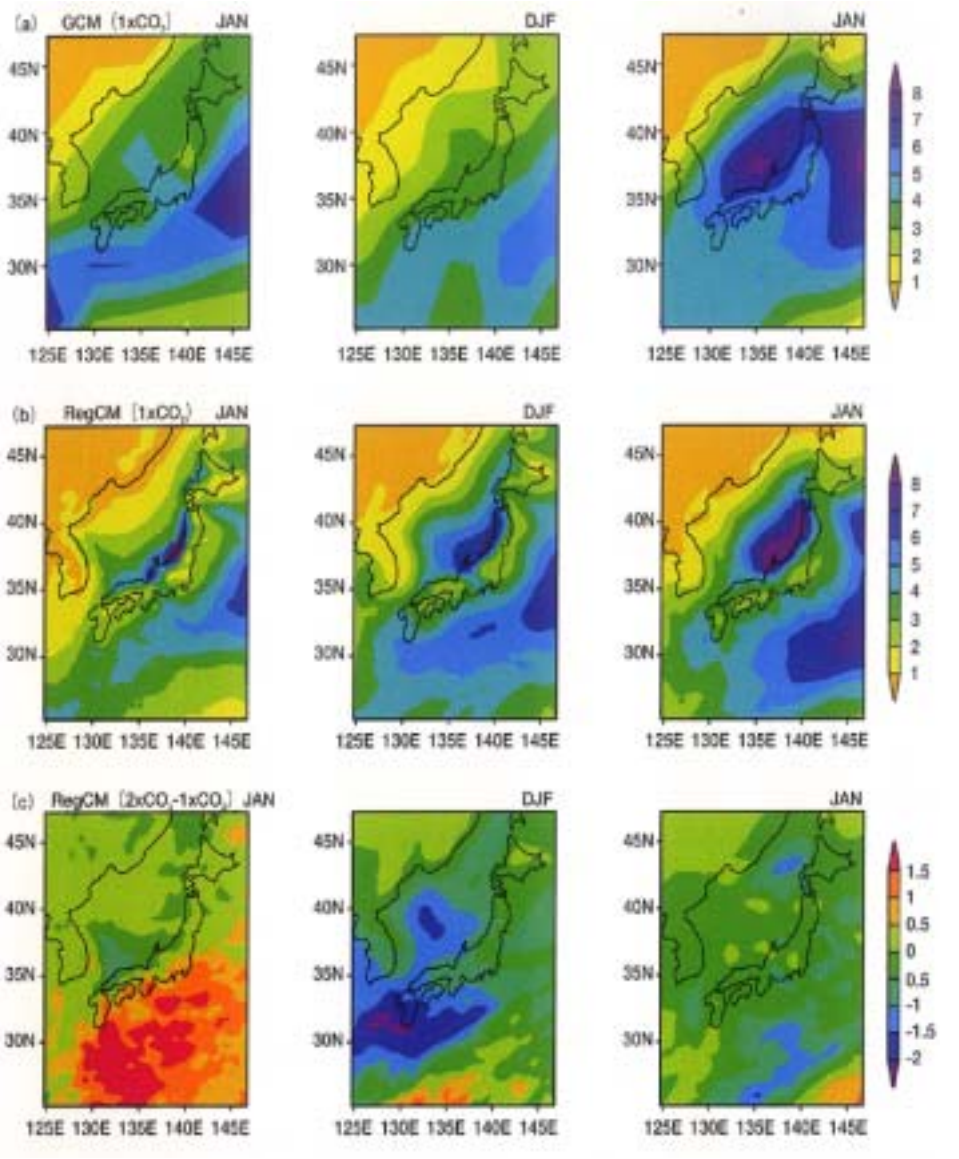
지역기후모델에 의한 한반도 주변의 기후변화 예측

앞에서 소개한 바와 같이 일본에서는 3개의 연구기관(기상연구소, 국립환경연구소, 전력중앙연구소)이 각각 독립된 지역기후모델을 개발하여 동아시아 지역의 온난화의 영향을 계산하고 있다. <그림 2-11>은 3개 기관에서 수행한 지구온난화실험에 의한 겨울철 강수량에 대한 결과를 제시한 것이다. 각 실험마다 설정 조건은 서로 다른데 이에 대한 설명은 아래와 같다.

일본기상연구소(Sato, 2000)는 수평분해능 400km인 기상연구소 기후모델에 분해능 120km인 아시아지역모델, 그리고 아시아모델 영역 내에 분해능 40km인 JSM을 2중으로 둥지화해서(<그림 2-9> 참조) 20년간을 적분하였다. 일본국립환경연구소(Emori et al., 2000)에서는 수평분해능이 560km인 동경대학기후시스템센터/일본국립환경연구소(CCSR/NIES) 기후모델에 의한 지구온난화실험으로 얻어진 해면수온 변화를 갖고(경계조건으로 이용), 분해능이 280km인 대기대순환모델을 이용하여 10년간을 적분하였다. 여기에 분해능 50km인 JSM을 둥지화 하고 있다.

일본전력중앙연구소(Kato et al., 2002)는 수평분해능 280km인 NCAR의 기후모델에 분해능 50km인 동아시아지역모델을 둥지화 하여 10년간 연속하여 적분하였다. 이를 염두에 두고 <그림 2-11>을 살펴보면 겨울철에 시베리아 한기단 확장에 수반된 강수(강설)와 내륙지역의 건조한 기후특징이 전 지구 기후모델에서는 제대로 재현되지 못하고 있고, 모델 간에 차이가 크다는 것을 알 수 있다. 그렇지만 지역기후모델에서는 이러한 특징이 제대로 재현되고 있다는 것을 알 수 있다.

또 온난화 시에 시베리아대륙에서 불어 나오는 한기의 유출이 약화된다는 사실은 대부분의 전 지구 기후모델에서 예측되고 있기 때문에 지역규모 기후모델에서도 거의 일치된 강수변화 패턴이 예측되고 있다. 그러나 일본 남부지역(북태평양 측)의 건조화 문제에 대해서는 모델 간에 예측이 어긋나고 있어서, 이를 경계 자료로 사용하는 지역규모 모델에서도 일치된 결과가 산출되지 못하고 있다. 이러한 사실로부터 지역규모모델의 결과는, 경계 자료를 제공하는 전 지구 기후모델의 예측 정확도에 영향을 받는다는 것을 알 수 있다.



<그림 2-11> 지역기후모델에 의한 지구온난화실험의 일강수량(mm) 비교

(상단: 전 지구 기후모델, 중단: 지역규모 기후모델, 하단: 이산화탄소 배증에 수반되는 변화. 좌측열: 일본기상연구소(1월 평균), 중앙열: 일본국립환경연구소(12~2월 평균), 우측열: 일본전력중앙연구소(1월 평균)).

자료: 石井柴郎, 大熊健司(2002)

지역규모 기후모델의 현황과 개선점

우리나라에서도 제한 지역기후모델을 도입하여(기상연구소, 2004; Oh et al., 2004) 150년(1951~2100) 고해상도 기후변화예측자료를 산출하고 있다. 그러나 이들 연구에서는 제한 지역규모모델의 한계점과 불확실성에 대한 검증과정은 언급되고 있지 않다. 반면에 일본에서는 지역규모 기후모델에 의한 기후예측과 관련하여, JPCC(2003) 보고서에서 아래와 같이 문제점을 기술하고 있다. 즉, 일본 3개 기관의 지역규모 기후모델의 결과로부터, 대기 중 이산화탄소농도 배증 시 동아시아의 기후가 어떻게 변할 것인가에 대한 결론을 현 상황에서 도출하는 것은 시기상조이며 이에 대한 몇 가지 주요 이유로 아래 사항을 생각할 수 있다.

첫째, 지역규모 기후모델에 경계조건을 부여하는 전 지구 기후모델에 있어 동아시아 지역 부근에서의 결과 간에 차이가 크다는 것이다. 또한 전 지구 기후모델의 기준실험이 어느 정도나 현재 기후를 제대로 재현하고 있는가에 대한 상세한 조사가 더 필요하다.

둘째, 각 기관에서 운영하고 있는 지역규모 모델의 물리과정이 일치하지 않는다. 이러한 차이가 최종결과에 어떻게 영향을 미치고 있는지 향후 신중하게 검토할 필요가 있다.

셋째, 점증실험에서 통계적 의미에서의 기후를 어떻게 정의할 것인가 하는 문제가 있다. 일본의 3개 기관은 모두가 10년을 선택하고 있지만(일본국립환경연구소는 해수면 온도편차를 계산할 경우에만 50년을 선택하고 있음), 10~30년 주기변동의 존재가 지적되고 있는 사실을 볼 때 10년 평균으로 기후를 정의하는 것은 확실히 불충분하다.

한편, 지역규모 모델을 이용한 기후예측에 있어서 희망적인 부분도 많다. 어떤 계절, 어떤 지역에 대해서 복수의 전 지구 기후모델이 현재 기후를 일정 수준의 정확도로 표현하고 있으며, 대기 중 이산화탄소농도 배증 시의 임펙트에 대해서도 공통의 결과를 산출하고 있을 때에는 지역규모 기후모델은 다소간의 차이는 있다하더라도 대체로 전 지구 기후모델의 임펙트에 부응한 지역 기후정보를 계산하는 능력이 있는 것으로 판단된다.

온난화에 수반되는 지역규모의 기후정보를 생산하고 지역규모의 기후변화를 계산할 수 있게 되었지만, 그 결과를 그대로 영향평가 그룹 혹은 일반인에게 제공하기에는 아직 제한적 단계에 있다. 다시 말하면 경계·초기조건으로 사용한 전 지구 기후모델의 동아시아 주변의 여름과 겨울철 계절풍 및 그때 수반된 아시아대륙 규모의 순환을 표현하기에는 아직 정확도가 떨어진다는 사실, 그리고 모델에 따라서는 현재 기후를 표현할 때에 bias가 있다는 점에서 결과를 있는 그대로 믿을 수 없는 상황이다.

또 대기 중의 이산화탄소농도 증가에 대한 전 지구 대기의 응답으로서 엘니뇨와 북극진동 등의 자연변동 중에서 어느 한쪽의 극성(極性)에의 선택적 응답의 중요성이 최근에 지적되고 있다(Noda, 2000). 그렇다면, 동아시아지역은 어느 쪽의 자연응답 탁월지역으로부터도 벗어난 가장자리에 있기 때문에, 어느 쪽의 응답패턴 영향 하에 놓여질지는 대단히 미묘한 영향력에 의해 결정되어질 것으로 예상된다. 현 상태에서는 지역규모 기후모델에 경계조건을 주는 전 지구 기후모델의 장점과 단점 모두 같이 영향을 미치고 있다. 향후 전 지구모델의 편기(bias), 특히 여름과 겨울철 아시아몬순에 관계하는 것을 줄이는 노력이 필요하다. 자연변동과의 관계에 있어서는, 온난화예측실험에 대해서도 계절예보실험과 마찬가지로 복수의 서로 다른 초기치를 이용하여 복수의 수치실험을 수행하는 앙상블실험으로 나아가야 할 것이다. 향후 당분간은 전 지구·지역규모 기후모델을 연계하는 노력이 필요할 것으로 판단된다.

전 지구·지역기후모델의 적운대류, 구름복사과정 등의 물리과정에 대한 모수화(parameterization)가 향상된다는 것을 전제로, 가까운 장래에 이러한 지역규모 기후모델을 둥지화함으로써 기후변화가 지역규모에 미치는 영향을 평가하는 일이 충분히 가능할 것으로 판단된다. 그러나 그때에도 태풍에 수반되는 강수가 중요한 역할을 하는 수자원변화의 예측은 발생 수에 대한 통계적 변화와 태풍 그 자체의 특성변화, 지역규모 기후모델의 측면경계에 도달하기까지의 경로변화, 그리고 지역규모 기후모델 영역 내의 진로변화 등에 대한 모든 사항이 일정한 정확도를 달성하여야만 하기 때문에 여전히 어려운 문제로 남아 있다(JPCC, 2003).

제3장 기후변화 영향, 취약성, 적응에 관한 개요

적응은 기후변화 완화와 함께 기후변화에 대한 중요한 대응 방안 또는 전략으로 간주되고 있으며 이를 위해서는 기후변화 영향과 취약성 평가가 선행되어야 한다. 본 장에서는 기후변화 영향, 취약성, 적응의 개념을 IPCC 정의를 중심으로 살펴보고, 기후변화로 인한 부문별 영향과 평가방법, 그리고 적응조치를 위한 접근법에 대해 이론적으로 정리하였다.

1. 기후변화 영향, 취약성, 적응의 개념[6)]

가. 영향

영향(impact)이란 자연 시스템과 인위적 시스템에 대한 기후변화의 결과를 의미하며, 영향에 대한 적응 여부에 따라 잠재적인 영향(potential impact)과 잔여 영향(residual impact)으로 구분할 수 있다. 잠재적 영향이란 적응을 고려하지 않았을 때 나타날 수 있을 것이라 예측되는 기후변화로 인한 모든 영향을 말한다. 잔여 영향이란 적응이 이루어진 이후에 예측되는 기후변화의 영향을 말한다.

또한 기후변화의 영향이 어느 부문에서 나타나는 가에 따라 기후변화의 영향을 시장적 영향과 비시장적 영향(non-market impact)으로 구분하기도 한다. 시장적 영향이란 시장의 거래와 연결되어 있고 국내총생산에 직접적인 영향을 주는 것으로, 농산품의 공급과 가격변화를 그 예로 들 수 있다. 비시장적 영향이란 생태계 혹은 인간의 복지에 영향을 주거나 또는 시장에서 거래되는 것과는 직접적인 연관이 없을 때를 말한다.

특히 이러한 영향을 모두 합쳐서 집합적 영향(aggregate impact)이라 하는데, 이는 부문 혹은 지역에 걸쳐 나타나는 모든 영향을 통합한 것을 의미한다. 영향의 집합은

6) IPCC(2001b)

서로 다른 부문과 지역에서 나타나는 영향의 상대적 중요성을 인식할 필요가 있다. 예를 들어 집합적 영향의 측정은 영향을 받은 사람의 전체 수, 순일차생산성(net primary productivity)의 변화, 변화를 겪는 시스템의 수, 그리고 경제적인 비용의 총합 등을 포함한다.

나. 취약성

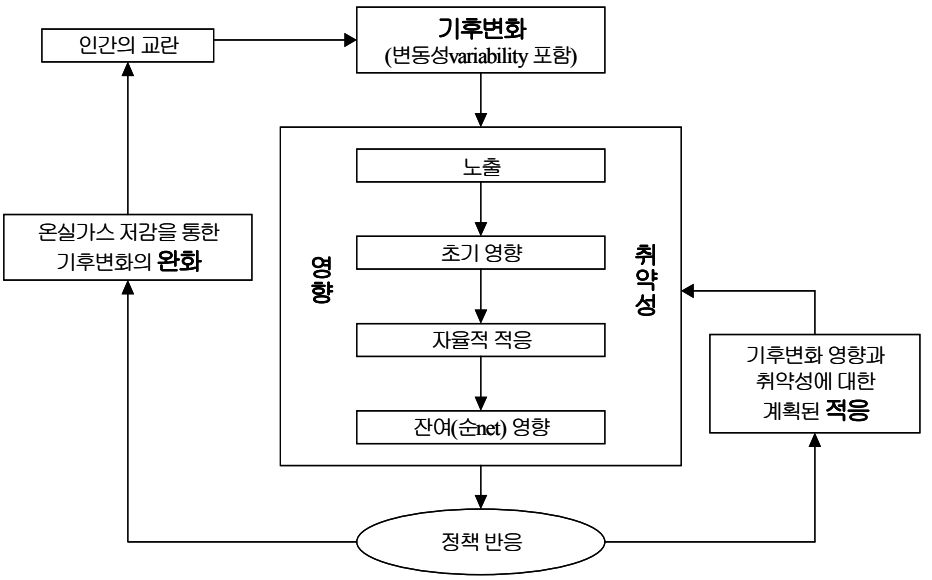
적응을 위해서는 기후변화의 영향에 취약한 부분을 발견하는 노력이 필요하다. 즉 취약성이 큰 부분을 찾아내는 작업은 적응을 위한 선행 단계이다. 취약성(vulnerability)이란 기후 변동성(climatic variability)이나 극단적인 기상 현상을 포함하는 기후변화의 악영향에 대하여 어떤 시스템이 받아들일 수 없는 정도, 혹은 대처할 수 없는 정도로 정의할 수 있다. 취약성은 시스템이 노출된 기후 변동의 크기와 속도, 시스템의 민감도, 그리고 시스템의 적응능력의 함수이다.

시스템의 민감도는 해로운 영향이든 유익한 영향이든 기후의 교란에 의해 시스템이 받는 영향의 정도를 말한다. 즉, 유익한 영향과 해로운 영향을 포함한 다양한 주어진 환경에서 변화가 있을 경우, 시스템이 변화에 순응할 수 있는 정도를 말한다. 여기서 영향이란 직접적(예를 들면 평균온도, 온도범위, 온도변이성 등의 변화에 대한 반응으로서 작물 생산량의 변화)이거나 간접적(예를 들면 해수면 상승 때문에 나타나는 연안 범람의 빈도수 증가로 인한 피해)인 것을 모두 포함한다.

적응능력이란 기후변화의 영향에 적응할 수 있는 시스템, 지역 또는 사회의 능력을 뜻한다. 적응능력의 확충은 다양하고 극단적인 이상기후현상을 포함한 기후의 변화와 불확실성에 대항할 수 있는 실제적인 수단이다. 즉 적응능력을 키움으로써 취약성을 줄이고 지속가능한 발전을 촉진할 수 있다. 한편, 적응능력은 적응조치의 개발과 확산을 촉진 또는 억제하는 경제적, 사회적, 제도적, 기술적 조건에 따라 달라진다. 따라서 기후변화에 적응하는 능력과 기후변화의 위험에 대한 취약성에 영향을 미치는 사회, 국가 및 지역의 특성에 대해 점차 많은 관심이 모아지고 있다.

취약성을 파악하는 이유는 기후변화의 위협이 모든 지역에서 공통적으로 나타나지

않는다는 점에서 기인한다. 어떤 지역은 대홍수에 고통을 받기도 하고, 어떤 지역은 수자원 부족에 직면할 수도 있다. 또 어떤 지역은 가뭄의 빈도와 강도가 커지기도 하고, 다른 어떤 지역은 폭풍우, 눈사태 등과 같은 극한의 기상상황에 시달리기도 한다. 이러한 자연재해는 도시의 교통망을 교란시키고 경제활동에 영향을 줄 수도 있다. 따라서 취약성 평가는 취약성이 큰 부문(sector)과 지역(장소)을 중심으로 적응 전략을 세우는 것을 가능하게 한다. 즉, 기후변화의 영향에 저항하고 자율적으로 적응하는 능력이 각각의 생태계와 인간 사회의 역량에 따라 달라지기 때문에 취약성이 각각 다르게 나타나고, 그에 맞는 적응 전략도 차이를 둘 수밖에 없다(<그림 3-1> 참조).



<그림 3-1> 기후변화의 영향, 취약성, 적응

자료: IPCC(2001b)

다. 적응

적응의 정의

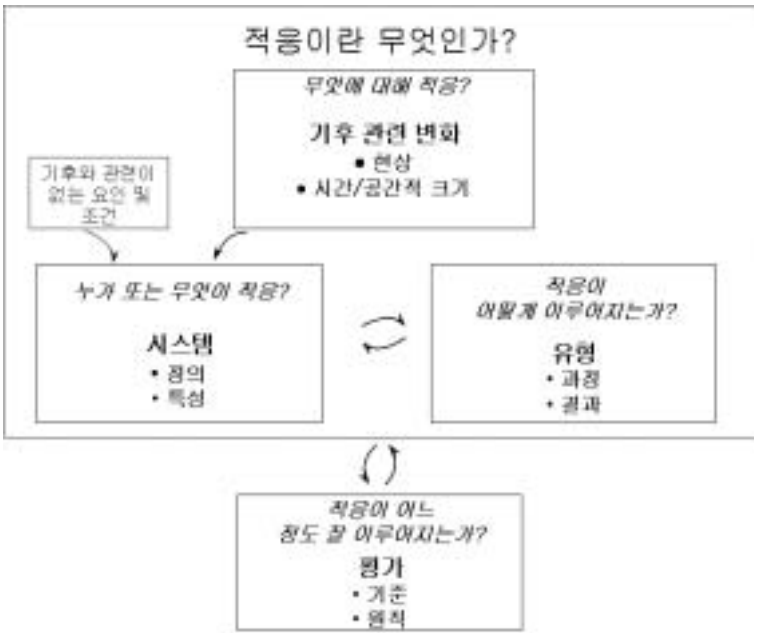
적응(adaptation)은 현재 나타나고 있거나 미래에 나타날 것으로 보이는 기후변화의 파급효과와 영향에 대해 자연·인위적 시스템이 조절을 통해 피해를 완화시키거나, 더 나아가 유익한 기회로 촉진시키는 활동으로 정의할 수 있다. 즉, 적응은 발생할 가능성이 있는 피해를 줄이거나 기후변화로 인한 기회를 활용하기 위한 과정, 관행 또는 구조상의 변화를 말한다. 예를 들면 기후변화에 대한 사회와 지역의 취약성을 줄이기 위한 조정 또는 기후변화에 대한 대응활동 등이 이에 해당한다.

적응 문제는 기후변화 이슈와 관련하여 다음과 같은 두 가지 측면에서 중요성을 갖는다. 하나는 영향과 취약성의 평가와 관련된 것이고 다른 하나는 대응 방안의 개발과 평가에 관한 것이다. 기후변화의 영향과 취약성, 그리고 기후변화의 비용 또는 위험을 정확히 추정하기 위해서는 적응이 미래에 어떠한 식으로 이루어질 것인가를 정확히 이해하는 것이 대단히 중요하다. 기후변화협약 제2조는 기후변화협약의 목적을 기후체계가 위험한 인위적 간섭을 받지 않는 수준으로 대기 중 온실가스 농도를 안정화시키는 것이며, 그러한 수준은 생태계가 자연적으로 적응하고 식량생산이 위협받지 않으며 경제발전이 지속가능한 방법으로 진행될 수 있는 것이어야 한다고 명시하고 있다. 생태계, 식량공급, 지속가능한 발전이 취약해지거나 또는 위험을 받게 되는 수준은 이들이 기후변화에 따른 자연재해에 대항하는 정도와 적응능력에 따라 달라진다. 따라서 기후변화의 위험성을 올바로 평가하기 위해서는 영향의 크기와 취약성 정도를 측정할 때 자생적(autonomous) 적응 가능성을 고려하지 않으면 안 된다.

적응은 적응을 하는 과정과 적응이 이루어지는 조건을 둘 다 의미한다. 그러나 적응은 사용하는 분야에 따라 해석이 달라질 수 있는데, 예를 들면, 생태학에서 적응이란 생물체 또는 생물종이 자신을 둘러싼 환경에 맞추어 가는 변화를 의미하는 반면 사회과학에서 적응은 개인과 사회경제 시스템의 집합적 행위에 의한 조정의 의미로 사용이 되고 있다.

적응의 구성요소

적응은 다음과 같은 세 가지 요소로 구성이 된다. 첫째, 누가 또는 무엇이 적응을 하는가, 둘째, 어떤 기후변화의 현상에 대해 적응이 이루어지는가, 셋째, 적응 과정과 형태는 어떠한가 등이다. <그림 3-2>는 이러한 요소들을 보여주고 있다.



<그림 3-2> 적응 구성요소 및 형태

적응의 대상

기후변화의 영향 및 적응에 관한 지금까지의 연구는 대부분 실제로 일어날 가능성이 있는 몇 가지 미래의 기후변화 시나리오에 국한하여 이루어져 왔다. 예를 들면, 기온 또는 습도와 같은 연평균 조건 같은 것들이다. 그러나 적응의 대상이 되는 기후변화 관련 현상에는 연평균 조건의 변화 뿐 아니라 기후조건의 가변성(可變性) 및 이와 관련된 극단적 현상까지도 포함이 되어야 한다. 평균 조건의 변화는 실제로 극심한 이상 기후를 비롯한 특정 연간 조건의 특성과 발생 빈도의 변화를 통해 감지가 된다. 따라서 기후변화에 대한 적응은 반드시 가변성에 대한 적응도 포함해야만 한다.

특히 일반적인 경우와는 달리 이상 현상의 규모와 발생 빈도 변화에 취약한 시스템의 경우 가변성에 유의를 할 필요가 있다.

자연과 인간 시스템은 기후의 공간적 차이에 적응해왔으며, 기후가 연평균 값에서 벗어나는 시간적 변동에도 성공적으로 적응하기도 한다. 농업, 산림, 주거지역, 산업, 수송, 인간의 건강, 수자원관리 등 많은 사회적, 경제적 시스템은 기후가 정상적인 조건에서 다소 벗어나는 경우 이에 적응을 해 왔으나 극단적인 조건이 발생하는 경우에는 대부분 적응에 실패를 해왔다. 매년마다의 기후조건 변화에 적응을 할 수 있는 능력은 시스템 또는 지역마다 상이하며, 시간이 지남에 따라 변화할 수도 있다. 따라서 기후변화에 대한 적응능력은 대응 가능한 일정 범위내의 기후조건 변화에 적응을 하는 능력 뿐 아니라 새로운 방법 또는 기존 방법의 변화를 통해 성공적으로 대응을 할 수 있는 기후조건의 범위를 확대시키는 능력, 즉 과거에는 적응에 실패했으나 성공을 할 수 있도록 대응능력을 배양하는 것도 포함한다.

적응의 유형과 형태

적응은 매우 다양한 형태를 지니고 있다. 적응 유형, 즉 적응이 이루어지는 방법은 적응의 여러 가지 다양한 속성에 따라 구분이 된다. 일반적으로는 적응이 의도적으로 이루어졌는지 여부와 대응 시점 등을 기준으로 구분된다(<표 3-1> 참조). 우선 의도성을 기준으로 보면, 자생적 또는 내부적으로 자연히 일어나는(spontaneous) 적응은 기후변동의 초기 영향이 나타난 이후에 직접적인 정부기관의 개입이 없이 반사적으로 대응하여 이루어지는 적응을 의미한다. 이러한 자생적 적응에 대한 추정치는 현재 기후변화의 영향과 취약성을 평가하는 데 있어 사용이 되고 있다. 이에 비해 계획된 적응은 기후변화 영향이 뚜렷하게 나타나기 이전에 그 영향을 미리 예상하고 이에 대응하여 이루어지는 적응을 뜻한다.

<표 3-1> 기후변화에 대한 적응의 특성별 구분

특성	용어		
의도성 (Purposefulness)	자생적 (Autonomous)	↔	계획적 (Planned)
	자발적 (Spontaneous)	↔	목적에 의한 (Purposefulness)
	자동적 (Autonomous)	↔	의도적 (Intentional)
	자연적 (Natural)	↔	정책 (Policy)
	수동적 (Passive)	↔	능동적(Active) 전략적(Strategic)
시점 (Timing)	예상에 의한 (Anticipatory)	↔	대응적 (Responsive)
	사전 행동적 (Proactive)	↔	반응에 의한 (Reactive)
	사전적 (Ex ante)	↔	사후적 (Ex post)
시간 범위 (Temporal Scope)	단기 (Short term)	↔	장기 (Long term)
	전술적 (Tactical)	↔	전략적 (Strategic)
	순간적 (Instantaneous)	↔	누적적 (Cumulative)
공간적 범위 (Spatial Scope)	지역적 (Localized)	↔	광범위한 (Widespread)
기능/효과 (Function/Effects)	후퇴(Retreat)-조절(Accommodate)-보호(Protect) 예방(Prevent)-인내(Tolerate)-확산(Spread)-변화(Change)-복구(Restore)		
유형 (Form)	구조적(Structural)-법적(Legal)-제도적(Institutional)- 규제적(Regulatory)-금융적(Financial)-기술적(Technological)		
성과 (Performance)	비용-효과성(Cost-Effectiveness)-효율성(Efficiency)- 이행가능성(Implementability)-형평성(Equity)		

자료 : IPCC. 2001b. 「Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability」. pp.884.

계획된(planned) 적응이란 조건이 변화할 것이라는 또는 변화했다는 인식, 그리고 이에 대응하여 손실을 최소화하거나 기회를 최대한 활용하기 위해서는 어떤 행동이 필요하다는 인식을 바탕으로 공공기관이 의도적으로 수행하는 정책적 의사결정의 결과로 해석이 되고 있다. 자생적 적응은 실제 또는 예상된 기후변화로 시장 또는 후생이 변화하는 데 대응하여 주로 민간부문에 의해 이루어지는 활동으로 해석이 되고 있다. 자생적 적응은 또한 계획된 적응이 "개입 전략(intervention strategies)"이라고 불리 우는 것과 달리 공공기관에 의한 개입 없이 '자연적'으로 발생하는 것이라는 개념도 제기되고 있다. 따라서 자생적 적응은 민간 부문에 의해, 계획된 적응은 공공부문에 의해 이루어지는 것으로 정의가 된다.

적응의 주체

적응과 관련한 다양한 의사결정자들을 구분하는 것도 중요한 문제이다. 아프리카 농업 및 수자원의 경우, 적응 이해당사자와 잠재적 적응 주체는 기후변화로 인해 피해를 받기 쉬운 소비자에서부터 재난지원과 조사를 담당하는 국제기구까지 다양하다. 가난하고 토지가 없는 가계는 재산이 없기 때문에 적응을 할 수가 없어 심각한 질병, 사망 등의 문제에 직면할 수밖에 없다. 물 공급 적응에 관한 문제에 있어서는 토지소유자, 민간부문 상업종사자, 지방 정부당국, 물과 관련한 비즈니스, 중앙정부, 그리고 국제기관 등이 연관이 되어 있다. 각 관련자들은 이해관계, 정보, 위험, 재원 등이 각기 상이하고, 따라서 필요하다고 생각하는 적응 대응조치의 유형도 각각 다를 수밖에 없다.

적응이 이루어지는 주체는 "system of interest", "unit of analysis", "exposure unit", "activity of interest" 또는 "sensitive system"이라고 불리 운다. 적응은 관리되지 않는 자연시스템 내에서는 자생적이고 반응적으로 이루어지며, 생물 종 및 사회의 조건변화에 대한 대응 수단이다. 인간 시스템에서 적응은 사적 이익을 위한 것일 수도 있고 공적 이익을 위한 것일 수도 있다. 민간부문은 개인, 가계, 기업 등이, 공공부문은 정부가 적응에 관한 의사결정의 주체가 된다. 인간 시스템 내에서 민간부문과 공공부문이 수행하는 적응의 역할은 분명하지만 서로 연결이 되어있지는 않다. 시점, 자연 또는 인간 시스템, 공공 또는 민간 의사결정자 등 적응의 주체로 구분된 적응유형의 차이는 <표 3-2>와 같다.

<표 3-2> 기후변화에 대한 부문별 적응 유형

		예비적 조치	반응
자연 시스템		-	- 경작 시즌 기간의 변화 - 생태계 구성의 변화 - 습지 이동
경제 (인간) 시스템	민간	- 보험 증가 - 가옥 및 정주구조 변화 - 오일 채굴 방식 변화	- 농업 양식 변화 - 보험요율의 변화 - 냉방 및 공기정화기 구매
	공공	- 조기경보체제 구성 - 새로운 건물 설계 및 건축방식 도입 - 재정착에 대한 유인제도 시행	- 보상금 및 보조금 지급 - 건물 코드 강화 - 해안 양식 증대

자료: Jan Corfee-Morlot, Martin Berg and Georg Caspary. 2003. "Exploring Linkages between Natural Resource Management and Climate Adaptation Strategies," OECD Working Party on Global and Structural Policies on Development Co-operation and Environment.

기후변화와 적응

위에서 언급한대로 기후변화는 실제로 나타나고 있는 현상이다. 그 결과 수자원, 농업생산, 연안지역, 에너지 공급, 인간 정주지의 문제, 보건 부문 등과 같은 다양한 중대 부문에서 전 세계적으로 위협을 받게 되었다. 하지만 기후변화에 의한 위협은 세계의 모든 지역에서 똑같이 나타나는 것은 아니다. 어떤 지역은 문자 그대로 대홍수에 고통을 받기도 하고, 어떤 지역은 수자원 부족에 직면할 수도 있다. 또 어떤 나라들에서는 홍수의 빈도수와 강도가 커지고, 연안지역은 완전히 물에 잠기기도 한다. 하지만 다른 어떤 지역은 이미 건조하게 되어 가뭄의 빈도와 강도가 커지기도 한다. 폭풍우, 진흙사태, 눈사태 등과 같은 기타 극단적인 기상현상에 고통을 받는 국가들도 있다. 따라서 모든 도시들과 교통망과 경제적인 부분이 위험에 처하게 된다.

최근 기후변화의 영향과 관련된 것으로 보이는 징후들이 극명하게 드러나고 있음에도, 현재로서는 이러한 적응 진행과정을 어떻게 관리해야 할지에 대한 경험이 사실상 존재하지 않는다. 또한 누가, 언제 영향을 받는지를 예측하는 체계적인 위험 평가

방식도 없다. 하지만 확실한 것은 기후변화의 영향이 가장 적응능력이 떨어지는 사람들에게 더욱 극명하게 나타날 것이라는 것이다. 왜냐하면 빈곤국가는 물론 심지어 선진국의 빈곤층들도 재정적인 능력과 기술적 능력이 부족하기 때문이다. 이러한 이유로 개발도상국들은 기후변화에 책임을 가지고 있는 산업화된 국가들에게 적응 조치를 계획하고 시행하기 위한 강화된 지원을 요구하고 있는 것이다. 마찬가지로 선진국 내부에서도 적응능력이 낮은 사람들은 기후변화 영향의 피해에 '민감하게' 반응할 수 있다. 이러한 점에서 우리나라의 경우에도 특히나 기후변화 영향에 취약한 지역과 집단 등을 찾아내어 적응대책을 마련하는 것은 중요하다. 이는 사회적 통합과 형평성, 그리고 지속가능발전을 위해 필수적인 요소일 것이다. 즉 국가적 지속가능발전을 고려하여 적응전략을 마련하는 노력이 필요하다. 따라서 기후변화의 악영향을 완화하기 위한 정책은 기후변화 영향과 취약성에 대한 계획된 적응을 의미한다.

2. 기후변화의 영향

가. 기후변화의 영향: IPCC 제3차 보고서 요약

인간의 경제적 활동에 기인한 기후변화는 장기적으로는 기온상승, 강수량과 강우패턴의 변화, 해수면 상승 등을 초래하는 한편 단기적으로는 이상기후 현상의 빈도와 강도에 영향을 미친다. 그리고 이 영향들은 모두 자연 생태계와 인간사회에 심각한 피해를 초래하게 된다(IPCC, 2001a & 2001b). 그러나 생태계와 인간사회가 기후변화로 인해 종국적으로 받게 될 영향의 특성은 생태계간 또는 인간사회간에 커다란 차이가 있다. 이는 대기 온도, 강수량, 이상 기후 현상과 같은 외적 요인 자체가 각기 다르게 나타날 뿐 아니라 이러한 영향에 대해 대응 또는 적응을 하는 능력이 크게 차이가 있기 때문이다. 즉, 기후변화의 영향에 보다 적절히 대응을 하고 적응을 할수록 기후변화의 피해는 그만큼 줄어들 것이다. 따라서 기후변화가 생태계와 인간에 미치는 영향을 올바로 이해하기 위해서는 이 두 가지 요소를 모두 정확히 파악을 할 수 있어야 한다.

IPCC는 기후 시스템과 기후변화를 평가하기 위한 대순환 기후모델(GCM: General Circulation Model)을 이용하여 시뮬레이션을 한 결과 오는 2100년까지 대기 온도가 1990년 수준에 비해 1.4~5.8℃ 상승하고, 그 결과 해수면이 9~88㎝ 높아질 것으로 예측을 하였다. IPCC 3차 평가보고서에는 이러한 예측 결과를 바탕으로 하여 기후변화와 관련하여 다음과 같은 몇 가지 결론이 제시되고 있다.

확실성이 입증된 기후변화의 영향 : 빙하, 바다 얼음, 일부 동식물

기후변화로 인해 지구 생태계에는 이미 여러 가지 다양한 변화가 일어나고 있는 것으로 판단되고 있으며, 이 가운데 일부는 과학적으로 확실성이 입증이 되고 있다. 그 예로는 빙하 축소, 영구 동토층의 융해, 강물과 호수의 동결시기 지체 및 조기 해빙, 중위 및 고위도의 식물 성장기간 증대, 극지점 및 고위도 방향으로의 동식물 서식지 이동, 동식물 군집 규모의 축소, 및 앞 당겨진 식물 개화시기, 곤충 출현 시기, 조류 알의 부화시기 등을 들 수 있다(<표 3-3> 참조)[7].

7) 이러한 예는 주로 북미, 유럽, 및 극지방에서 확인된 것들이며, 아프리카, 아시아, 또는 남미 지역의 경우에는 확인된 변화가 보고된 것이 거의 없다.

<표 3-3> 확인된 지구온난화 영향: 빙하, 바다얼음, 일부 동식물

영향	지역	현상
빙하해빙 및 감소	유럽 알프스	1850년 이후 빙하 면적 50% 감소
	네팔	히말라야 빙하의 급속한 해빙. 5-10년 후에는 지역 주민에 홍수 피해 발생 가능
	알라스카	알라스카 빙하 해빙
ice shelf의 붕괴	남극 반도	Larsen Ice Shelf 붕괴(1995, 1,300㎢, 1998, 300㎢, 2002, 3,250㎢)
바다 얼음 면적 및 두께 감소	북극해	1950년 이후 바다 얼음층의 여름철 두께는 40%, 봄 및 여름철 면적은 10~15% 각각 감소
강 및 호수 결빙시기와 해빙 시기 지연	북반구 중고위도 지역	강과 호수의 결빙 기간이 2주 가량 감소
	캘리포니아 중북부 지역	1940년대 이후 해빙기가 앞당겨짐
중고위도 지역 식물 생장기간 증가	유럽	13개 식물 및 수풀의 생장기간 증가
극지역 및 고위도 지역으로의 동식물 이동	알프스	10년 동안 고산식물 서식지 높이가 연간 1~4m 상승. 산 정상에서는 식물이 사라짐
	북미	일부 나비 서식지가 북쪽으로 이동
	오스트리아	1961~1990 기간 중 노르웨이 가문비나무의 직경 증가
동식물 집단 서식지의 감축 또는 회복	북태평양, 북대서양	여름철 플랑크톤 밀집도가 1980년대 이후 북태평양 및 북대서양 지역에서 각각 30%, 14% 감소
	미국 북동부	적색 가문비나무 수 감소
	아리조나	관목 수 증가, 겨울철 강수량 증가 등 반건조 생태계로의 변화
	서아프리카 초원지대	적절한 습도 지역에서 서식하는 동식물종 서식지 축소
	콜로라도	반건조 지역에서 키가 작은 풀이 자라는 스텝 생태계 확대
식물 개화기, 곤충 출현 시기와 조류 알 부화시기 가 앞당겨짐	위스컨신 남부	10개 초본 및 나무 종의 개화 시기가 앞당겨짐
	유럽 및 북미	1950~2000 기간 중 잎이 펴지는 시기 1~4주, 단풍이 지는 시기 1~2주, 곤충이 나타나는 시기 1~2주 씩 각각 앞당겨짐
	영국	1990년대 기간 중 식물의 개화 시기가 1954년에 비해 평균 4.5일 빨라졌음
	일본	지난 50년 동안 벚나무 개화시기가 5일 앞당겨졌음

자료: Atsunobu(2004)

홍수 및 한발 증가, 일부 국가 및 지역에서 기후변화 영향 가시화

최근 수년간 홍수, 한발과 같은 극심한 이상기후 현상이 일부 아시아 지역에서 보다 빈번하게 발생하고 있고, 자연 생태계와 인간사회에 대한 영향이 이미 가시적으로 나타나기 시작하였다. 기후변화와 극심한 이상기후간의 관계는 데이터 부족으로 인해 명확하게 규명되기는 어렵지만, 기후 모형을 이용한 시뮬레이션의 결과 기후변화는 태풍 및 엘니뇨와 관계가 있음이 밝혀진 바 있다. 예상되는 기후변화의 영향은 <표 3-4>와 같이 매우 다양하다. 이러한 영향은 자연생태계와 인간사회에 심각한 피해를 미치기 때문에 면밀한 검토가 요구된다.

<표 3-4> 21세기에 예상되는 이상기후와 주요 영향

	21세기에 예상되는 이상 기후 현상과 발생 가능성[1)]	예상되는 주요 영향
단순한 이상기후	최고 기온의 상승; 모든 지역에서 무더운 일수와 혹서기간 증가 (가능성이 매우 큼)	▪ 고령자와 도시 빈곤층의 사망률 및 중증질환 발생율 증가 ▪ 가축 및 야생동물에 대한 혹서 스트레스 증가 ▪ 여행 목적지 변경 ▪ 많은 곡물에 대한 피해 위험 증가 ▪ 전기냉방 수요 증가 및 에너지 공급 신뢰성 감소
	최저 기온의 상승; 모든 지역에서 추운 날 수와 한파기간 증가 (가능성이 매우 큼)	▪ 추위 관련 인간의 사망률 감소 ▪ 일부 곡물에 대한 피해 위험 감소, 여타 곡물에 대해서는 피해 위험 증가 ▪ 일부 질병 병균 매개체의 범위와 활동 확산 ▪ 난방에너지 수요 감소
	보다 집중적인 호우 (많은 지역에서 가능성이 매우 큼)	▪ 홍수, 산사태, 눈사태 등의 피해 증가 ▪ 토양 부식 심화 ▪ 홍수유량 증가로 일부 대수층 물함유량 증대 ▪ 정부 및 민간 홍수 보험 및 재난구조 시스템에 대한 압력 증가
복잡한 이상기후	대부분의 중위도 내륙에서의 혹서 피해와 한발 위험 증가 (가능)	▪ 곡물수확 감소 ▪ 지반 침하로 인한 건물 기초 약화 피해 증가 ▪ 수자원 양의 감소 및 질의 저하 ▪ 산불화재 발생 위험 증가
	열대지역의 최대 풍속 사이클론과 평균 및 최고 강수량 발생 빈도의 증가 (일부 지역에서 가능)	▪ 인간 생명에 대한 위험, 질병 발생 및 기타 위험 증가 ▪ 연안 침식 및 연안 건물과 기반시설에 대한 피해 증가 ▪ 산호초, 망그로브와 같은 연안 생태계에 대한 피해 증가
	많은 지역에서 엘니뇨와 관계된 한발과 홍수의 심화 (가능)	▪ 한발 및 홍수 빈발 지역의 농산물 및 목축 생산성 하락 ▪ 한발 지역의 수력 발전량 감소
	아시아 하절기 몬순 강수량 변동성 증대 (가능)	▪ 아열대 지역의 홍수 및 한발 규모 증대와 이에 따른 피해 증대
	중위도 지역 폭풍의 강도 증가 (의견 불일치)	▪ 인간 생명 및 건강 위험 증가 ▪ 자산 및 인프라스트럭쳐 손실 증가 ▪ 연안 생태계 피해 증가

주: [1)] '가능성이 매우 큼'과 '가능'은 발생가능성이 각각 90~99%, 및 66~90% 수준을 의미

자료: IPCC. 2001b. 「Climate Change 2001 - Impacts, Adaptation, and Vulnerability」.

기후변화는 전 세계적으로 영향을 미칠 수 있는 대규모의 비가역적인 변화를 초래할 수 있다. 예를 들면, 주요 대양 해류 흐름의 속도 감소 또는 중지, 그린랜드, 서부 남극지대와 같은 지역의 대규모 빙원(ice sheet)의 해빙, 육지 식물의 대규모 고사와 영구 동토층 해빙에 따른 탄소 배출 등이 해당된다. 이러한 변화는 21세기 중에는 커다란 규모로 발생할 가능성이 매우 적지만 기후변화가 가속화될 경우 보다 급속한 변화가 일어날 가능성이 크다.

자연과 인간 시스템은 기후변화에 대해 민감 및 취약

자연 생태계는 외부 충격에 대해 매우 민감하고 이에 적응하는 능력이 충분치 못하기 때문에 기후변화로 인해 커다란 피해를 입을 수밖에 없다. 특히 빙하, 산호초, 망그로브 숲, 북반구 침엽수 산림, 열대림, 남북극 지역, 모든 고산 생태계, 및 초원 습지 등이 기후변화의 영향을 크게 받게 될 것으로 분석되고 있다. 한편 인간사회는 모든 종류의 산업, 에너지 산업, 인간의 건강과 거주지 등이 기후변화의 영향을 가장 많이 받을 것으로 예상되고 있다. 기후변화의 영향은 그러나 전적으로 부정적인 것만은 아니다. 기후변화 초기에는 농산물 생산 증가, 추위로 인한 사망자수 감소와 같은 긍정적 효과도 있을 것으로 예상된다. 그러나 그 후에는 부정적 효과가 긍정적 효과에 비해 커지게 될 것이다.

적응의 중요성 증가

적응이란 기후의 지속적인 변화에 대응한 자동적 또는 계획에 의한 행동의 변화를 의미한다. 인간은 기후변화의 부정적 효과를 완화하기 위한 행위를 취하게 될 것이나, 이를 위해서는 막대한 비용이 들고, 또 모든 피해를 다 회피하는 것이 가능하지도 않다는 문제가 있다. 물론 자연 생태계와 인간사회는 기후변화에 대해 어느 정도 자동적으로 적응을 할 수 있다. 더욱이 인간 사회는 대응 전략을 체계적으로 수립하고 이행을 할 수가 있다. 예를 들면, 농산물 생산에는 기후가 하나의 생산요소인데, 인간은 오랜 경험을 통해 이상 기후에 적응을 할 수 있는 지식과 능력을 축적해왔다. 따라서 인간은 기후변화의 영향에 대응을 하는데 있어 이러한 지식과 경험을 충분히 활용할 수 있을 것이다.

이와 같이 적응조치의 중요성에 대한 인식이 증대되고 있음에도 불구하고 적응조치는 아직까지 기후변화를 완화(예: 온실가스 배출 저감)하기 위한 방법과 조화를 이루어 모색이 되지 못하고 있다. 이는 지금까지 적응조치의 효과와 비용을 추정하는 방법에 관해 연구가 거의 되어있지 않았을 뿐 아니라 이러한 조치의 이행에 관한 사례 연구도 크게 부족하기 때문이다. 따라서 앞으로는 적응조치에 소요되는 비용의 경제성 평가와 적응조치를 온실가스 배출 저감 조치와 연계하는 방안에 관한 연구가 더욱 중요해질 것이 분명하다.

개발도상국이 선진국보다 커다란 피해

각종 기후변화 영향의 특성과 지역별 분포를 보면 선진국보다는 개발도상국들이 더 많은 피해를 입는 것으로 나타났다. 개발도상국들은 더욱이 경제력이 약하기 때문에 기후변화로 인해 입게 될 경제적 손실의 규모는 대기온도 상승에 비례한다고 볼 수 있다. 반면 선진국들의 경우에는 대기온도가 2~3℃정도 상승할 때 까지는 경제적 손실을 입을 수도 있고 반대로 이익을 얻는 가능성도 예상되고 있다. 그러나 선진국들도 기온이 그 이상으로 상승하게 되면 종국적으로는 경제적 손실을 입게 될 것이다. 이에 따라 기온 상승 폭이 작을 경우에는 세계 GDP가 약간 증대 또는 감소할 것이나, 기온 상승폭이 클 경우에는 감소하게 될 것이 분명하며, 문제는 그 규모가 어느 정도일 것인가이다.

나. 기후변화의 부문별 영향

수자원

물은 식물, 동물, 및 인간의 생명유지에 필수적인 존재이다. 지구 표면에는 1조3,860억 ㎦의 물이 있으며, 이 가운데 2.5%가 담수다. 그리고 이 담수의 1% 이하만이 수자원으로 이용 될 수 있는데,[8] 기후변화는 이 빈약한 수자원에 커다란 영향을 미칠 것으로 예상되고 있다.

---

8) Gleick, P. 2000. 「The World Water 2000-2001」. Island Press.

수자원에 대한 기후변화의 영향을 이해하기 위해서는 먼저 기후변화가 강수량에 어떤 영향을 미치는지를 정확히 파악해야 한다. 컴퓨터를 이용한 기후 모델을 통해 예측한 여러 연구결과에 의하면 동남아시아의 고위도 지역에는 강수량이 증가하는 반면 중앙아시아, 지중해 연안지역, 아프리카 남부지역, 호주 등에서는 강수량이 감소하게 된다.

이러한 가운데 많은 국가들이 물 부족 현상에 직면하게 될 것이다. 인간이 일반적으로 사용할 수 있는 수자원 가운데 20% 이상이 물 감소를 나타내어 전 세계적으로 17억 명 가량이 물 부족의 위험에 직면하게 될 전망이다. 더욱이 인구증가와 경제성장으로 인해 물 수요가 증대됨에 따라 2025년에는 물 부족으로 고통을 받는 세계 인구수가 50억 명으로 늘어날 것으로 전망되고 있다. 이러한 물 부족 현상은 특히 중앙아시아, 남부 아프리카, 지중해 연안지역과 같이 현재에도 물이 부족한 지역에서 더욱 심각해질 전망이다. 반대로, 강수량이 증가하게 될 남부 아시아와 같은 지역에서는 호우와 홍수의 규모와 빈도가 증가할 것으로 예측이 되고 있다. 이밖에 수자원을 눈에 의존하는 지역에서는 겨울철 눈이 비로 변하여 강수량이 최대로 되는 기간이 봄에서 겨울로 바뀌는 변화가 예상되고 있다.

농산물 및 식량 확보

지속적으로 증가하고 있는 세계 인구를 충족시키기 위한 식량 확보는 근대 사회의 가장 중요한 과제 중 하나이다. 영양결핍 상태에 있는 세계 인구수는 1990년에 8억4천만 명이었으나 1997~1999년 기간 중에는 7억7,700만 명으로 감소하였고, 2015년까지는 2억 명으로 더욱 감소할 전망이다.

일부 개발도상국의 경우에는 경제가 성장함에 따라 식량 수요 뿐 아니라 축산용 곡물 수요도 증가할 전망이다. IPCC 제2차 평가보고서(IPCC, 1995)는 지구온난화로 인해 곡물 생산이 증가하고 이는 급증하는 세계인구에 대한 식량공급을 증대시키는 이점이 있다는 것을 지적하였다. 그러나 제3차 평가보고서는 이러한 낙관적 예측을 수정하여 농산물에 대한 기후변화의 영향이 식량공급을 위협할 수 있다는 가능성을 지적함으로써 보다 비관적인 견해를 피력하고 있다.

기후변화가 농산물 생산과 식량문제에 미치는 영향을 구체적으로 살펴보면 다음과 같다. 우선 농업은 기후를 생산요소로 사용을 하므로 이미 기후변화에 적응하기 위한 조치를 다양하게 강구해왔다. 만일 연평균 기온이 2~3℃ 상승하고 이에 대한 체계적인 적응조치가 취해진다면 중위도 지역의 곡물생산은 증가할 가능성이 있다. 그러나 이와 반대로 열대지역에 있어서는 높은 기온과 물 부족으로 인한 피해가 발생할 것이므로 약간의 기온상승도 곡물의 생산 감소를 가져올 것이다. 더욱이 아프리카와 아시아 지역에서는 한발과 홍수와 같은 이상 기후현상과 인구증가에 따른 식량수요 증가, 그리고 국제시장에서의 곡물 및 식량가격 상승 등으로 인해 식량 확보문제가 더욱 심각해질 것이 예상된다. 그리고 기후변화가 특정 곡물생산에 미치는 영향은 곡물 종자, 토양, 질병, 이산화탄소의 생육촉진 효과, 대기온도, 광물 영양소, 대기질과의 상호작용, 그리고 적응조치 등과 같은 요인에 따라 다르게 나타날 것이다.

지구온난화는 곡물생산에 긍정적 측면도 지니고 있다. 이산화탄소 대기 중 농도 상승의 생장촉진 효과가 하나의 예이다. 그러나 실험실 실험에서는 이러한 생장촉진 효과가 크게 나타나지만 실제 자연의 실험에서는 그 효과가 그렇게 크지 않을 것이며 극심한 혹서 및 한발이 있을 경우에는 더욱이 그러한 효과가 미약할 것으로 예상되고 있다. 특히 열대지역에서는 대부분 고온으로 인한 피해가 곡물생산의 저해요인으로 작용할 가능성이 높다.

육상, 담수, 및 연안 생태계

앞에서 살펴 본 바와 같이 지구온난화는 지구 전역의 자연 생태계에 영향을 미치고 있다. 특히 적응 능력이 약한 생태계는 앞으로 더 커다란 영향을 받아 다른 지역의 동식물에까지 영향을 미칠 것으로 예상되고 있다.

육상 생태계는 탄소를 흡수함과 동시에 배출도 하는 메카니즘을 갖고 있다. 육상 생태계의 지난 20여 년간 이산화탄소 흡수 및 배출 총량을 비교한 연구결과들에 따르면 이산화탄소 총 흡수량은 배출량보다 큰 것으로 나타났다. 그럼에도 불구하고 육상 생태계는 오는 21세기 중반에 이르기 까지는 높은 기온과 기타 요인이 가져 올 부정적 영향으로 인해 배출량이 흡수량보다 클 것으로 예측이 되고 있다.

수상 생태계의 경우, 연어, 송어와 같은 찬물에 사는 어류들은 서식지 감소에 직면하게 될 것이며, 일부 경우에는 이로 인해 완전히 멸종을 할 가능성도 점쳐지고 있다. 그러나 따뜻한 물에서 사는 어류는 서식지가 확대되어 담수어 서식지 경계가 극지방 쪽으로 이동할 전망이다. 아울러 부영양화와 기타 요인에 의한 강물과 호수의 수질 악화로 인해 일부 어류와 조개류의 서식지가 위협받게 될 가능성이 있다.

산호초, 염수(鹽水) 소택지, 망그로브 숲과 같은 연안 생태계는 다양성과 생산물이 풍부하다. 이러한 생태계에 미치는 기후변화의 영향은 해수면 상승, 해수면 수온 상승과 폭풍 증가 등을 들 수 있다. 전 세계 곳곳에서 나타나고 있는 산호초의 백화현상은 1997~1998년에 발생하였던 미증유의 엘니뇨현상에 기인한 것으로 분석되고 있다. 지구온난화 진전에 따른 해수 온도 상승은 백화현상을 더욱 심화시켜 산호초를 결국 멸종시키게 할 것이 분명하다.

인간의 건강

병균 매개체 감염성 질병인 말라리아, 뎅그열(dengue)은 세계 인구의 40~50%에까지 영향을 미치는 것으로 추정이 되고 있다. 열대 및 아열대 지역에 만연하고 있는 이 질병들은 기후변화로 인해 지리적 전염가능 지역범위가 확대되고 있다.

전염성 질병의 발생 또는 확산은 병원체와 모기와 같은 병균 매개동물의 번식상태, 단일 지역 내 인구밀도, 환경조건, 사회경제적 요소, 공중보건시설 유무 등에 달려 있다. 따라서 지구온난화와 함께 열대 및 아열대 지역 개발도상국의 전염성 질병 발생률 증가와 이러한 질병의 온대지역으로의 확산은 피할 수가 없을 것이다. 더욱이 기온 상승과 홍수발생 증가에 따라 위생조건이 악화된다면 설사 등을 일으키는 수인성 전염병 또한 확산이 될 것으로 보인다. 이에 따른 피해는 특히 적절한 식수공급 시설과 하수처리 시설이 부족한 개발도상국의 도시지역에 크게 나타날 것으로 우려되고 있다.

지구온난화가 진행됨에 따라 대단히 무더운 여름 날 수는 증가할 전망이다. 무더운 날이 몇 일씩 지속되는 혹서기간의 증대에 따라 혹서로 인한 사망자 수가 증가할 것이며, 이러한 피해는 습도 증가, 도시의 열섬현상, 대기오염과 같은 요인들에 의해 더

욱 악화될 것이다. 도시의 노인층, 병약자 및 냉방기가 없는 사람들이 특히 이러한 피해에 더욱 크게 노출될 것이 예상된다. 온대지역 국가의 경우에는 겨울철 사망자 수 감소가 여름철 사망자 수 증가보다 클 것이지만 이러한 경우는 세계 모든 국가에 해당되는 것이 아니라 선진국에 국한될 전망이다.

또한 개발도상국의 경우에는 홍수로 인한 익사, 설사 및 호흡기 질환 감염, 및 기아와 영양결핍 등의 위험 증가에 직면할 것으로 예상된다. 이와 더불어 태풍과 같은 열대 저기압 현상의 증가는 인구가 밀집한 일부 저위도 연안지역의 건물 등 시설의 파괴와 같은 피해도 초래할 것이 예상된다.

인간 거주지, 에너지, 및 산업

오늘 날 세계 인구의 47%는 연안지역에 위치한 대도시에 살고 있다. 앞으로도 교외지역에서 도시지역으로의 인구 이동은 지속될 것이며 이에 따라 해수면 상승과 극심한 이상기후로 인한 피해도 더욱 커질 것으로 예상이 된다. 특히 연안지역의 엄청난 강수량 증가와 해수면 상승은 홍수 및 산사태를 유발함으로써 이 지역 주민에 심각한 위협을 가하게 될 것이다.

이러한 피해는 또한 하수관거 시설, 물 공급 및 폐기물 관리 시스템 능력이 부족한 개발도상국 대도시에도 크게 나타날 것으로 보인다. 즉 인구밀도가 높고, 주택, 깨끗한 물, 공공보건 서비스 등이 부족한 지역은 피해를 입을 가능성이 매우 크다. 또한 개발도상국이든 선진국이든 관계없이 급속한 도시화에 따른 인구밀도의 급증은 극심한 이상기후의 피해를 받게 될 자산의 규모가 커짐을 의미한다. 해수면이 2080년까지 40㎝ 상승하는 경우(중간 정도 상승 시나리오) 높은 파고로 인한 홍수피해를 입게 될 연안지역 주민 수는 7,500만~2억 명 정도가 될 것이며, 시설물 및 자산 피해는 이집트, 폴란드, 베트남과 같은 국가에 있어 수백억 달러에 이를 것으로 예측이 되고 있다.

이상 기후로 인한 재난 피해 규모는 지난 수십 년간 빠른 속도로 증대되어 왔다. 이러한 피해로 인해 세계 전체가 받는 경제적 손실액은 1950년대에는 1999년 불변 미달러화 기준으로 연간 39억 달러 정도였으나 1990년대에는 이보다 10.3배나 많은 연

간 400억 달러에 이르는 것으로 추정되고 있다. 이에 따라 이러한 손실을 보전하기 위한 보험금액은 1950년대에는 거의 전무했으나 1990년대에는 92억 달러에 이르는 것으로 추산되었다. 만일 피해액이 이 수준을 넘어서게 되면 보험회사는 이를 더 이상 감당하기가 어렵게 되어 자연 재난에 대한 민간부문의 보험제도는 사라지게 될 것으로 예상되고 있다.

지역별 영향

IPCC 제3차 평가보고서는 세계를 10개 지역으로 나누어 각 지역의 현재 상황, 지역별로 특별한 문제점, 적응조치 등을 기초로 하여 지역별로 기후변화의 영향, 적응 능력, 및 취약성을 평가하였다. 예를 들면, 아시아 지역에 대해서는 생태계, 생물다양성, 농업, 식량 확보, 수력 및 수자원, 해양 및 연안 생태계, 인간 건강, 및 인간 사회 등에 분석의 초점이 맞추어 졌다. 그리고 아프리카, 중남미, 및 아시아지역에 미치는 부정적 영향으로는 강수량 변화, 홍수 및 한발 발생빈도 증가, 식량 공급 감소, 어획량 감소, 건강피해 증가, 생물다양성 감소 등을 제시하고 있다. IPCC는 이러한 기후변화의 부정적 영향이 이들 국가들의 향후 경제발전에 커다란 걸림돌로 작용할 것으로 전망하였다.

한편, 북미, 호주, 뉴질랜드에는 적응능력이 미약한 원주민들이 살고 있으며, 생태계의 적응능력 또한 취약한 것으로 평가되었다. 유럽의 경우 남부 및 북극 인접지역은 극심한 이상기후로 인한 홍수의 발생 빈도 증가와 같은 영향에 대해 다른 지역에 비해 취약한 것으로 평가되었다.

극지역의 기후변화는 정도가 대단히 크고 신속할 것이며, 대빙원(ice sheet)과 빙하의 변화, 해빙 면적과 두께 감소, 영구 동토층(凍土層)의 감소 등이 예상되었다. 이러한 변화는 태양광선의 반사율(albedo)에 영향을 미쳐 온난화를 더욱 가속화시키게 될 것이다.

3. 기후변화 영향평가 및 적응 방법론

본 절에서는 기후변화 영향평가의 개요와 함께 대표적인 영향평가 방법인 지표 종 또는 지표 시스템을 활용한 방법과 통합적 평가방법을 소개한다. 또한 적응 관련 방법론의 개요와 함께 OECD 와 UNDP를 중심으로 국제기구에서 권장하고 있는 적응 관련 분석방법을 정리해 본다.

가. 기후변화 영향평가 개요[9)]

과거에 진행된 기후변화 영향평가 연구는 대부분 적응문제를 고려하지 않았으며 대신 “단순한(naive)” 또는 “dumb farmer" 가정을 도입하였었다. 이 "dumb farmer" 가정이란 농업부문에만 해당되는 것이 아니며 기후변화 조건 변화에 대해 아무것도 예상을 하지 않거나 이에 대응하지 않으며 아무 것도 변하지 않는 것처럼 계속해서 행동을 하는 사람들을 일컫는 표현이다. 이러한 연구들은 자생적, 계획적 적응을 무시하기 때문에 잠재적 영향과 순영향(net impacts)을 구분할 수가 없고 따라서 취약성을 평가하는 데 한계가 있다는 문제점이 있다.

그러나 최근에 들어와서는 기후영향 평가모형에서도 적응수준을 가정하여 접근하는 것이 일반화 되고 있다. 여러 연구들이 이 방법을 채택하였는데, 예를 들면, 연안지역 연구는 Nicholls and Leatherman(1995), 농업부문 연구는 Mendelsohn et al.,(1996) 및 Rosenzweig and Parry(1994), 목재 연구는 Sohngen and Mendelsohn(1998), 그리고 건물의 공간조건에 관한 연구는 Rosenthal et al.,(1995) 등을 들 수 있다.

이 연구들은 적응조치가 기후변화의 부정적 영향을 크게 완화하고 기후조건 변화에 따른 기회로부터의 이익을 취할 수 있도록 하는 잠재력을 갖고 있음을 입증하고 있다. Rosenzweig and Parry(1994) 모형은 적응을 가정할 경우 기후변화 하에서도 세계 일부 지역에서는 식량 생산이 증가할 수 있음을 보여주고 있다. Stuczyinski et al.,(2000)은 적응조치가 마련되지 않을 경우 기후변화에 따른 폴란드의 농업생산 감

9) IPCC(2001b)

소는 5~25%에 이를 것이나 적응조치가 취해질 경우에는 농업생산량이 현 수준의 -5%~+5% 범위에서 움직일 것으로 예측을 하였다. Downing(1991)은 적응조치가 이루어질 경우 아프리카의 식량부족율을 50%에서 20%로 낮출 수 있음을 보였고, Mendelsohn and Dinar(1999)는 인도 농업부문에 대한 기후변화의 피해 효과를 25%에서 15~23%로 낮출 수 있는 것으로 추정하였다. Reilly et al.,(1994)은 적응이 이루어지지 않을 경우 식량 부문에서의 전지구적 후생 변동 효과는 -1억~-612억 달러에 이를 것이나 적응을 가정하면 동 효과가 -370억~+700억 달러로 나타날 것으로 추정하였다.

여기서 유의할 점은 이러한 연구결과들은 극단적인 이상 기후와 같은 조건 변화가 아닌 평균적인 기후조건 변화에 대응하여 이루어지는 적응이 기후변화 피해를 어느 정도까지 완화시킬 수 있는가를 의미하는 잠재적인(potential) 피해 저감 크기를 나타내는 것이며, 실제로 이루어질 것으로 예상되는(likelihood) 피해저감 정도를 의미하는 것은 아니라는 점이다.

영향평가 모델은 모두 평균 조건의 변화에 대한 적응에 초점을 둔 기후시나리오를 바탕으로 하고 있으며, 각 연도간의 변동(inter-annual variations) 또는 극단적인 이상기후에는 관심을 거의 두지 않고 있다. 비록 소수이기는 하지만 일부 연구는 평균 조건의 변화에 대응하는 적응의 잠재적 효과가 기후변화와 관련된 변동성에 대응하기 위한 적응의 경우보다 크다는 주장을 제시하고 있다. 예를 들면, Mendelsohn et al.,(1996)은 적응을 가정할 때 평균기온의 상승은 미국 농업에 이익이 되지만 기온의 연간 변동은 피해를 증가시킨다는 결론을 내리고 있다. West and Dowlatabai(1999)도 각 연도간의 기온차이와 극단적인 기후를 가정할 경우의 최적 적응 및 피해 규모는 평균 기후조건의 점진적 변화를 가정하는 경우와 상이함을 보이고 있다.

IPCC에서는 기후변화 영향평가의 방법론 적용 시 고려해야 할 7가지 질문과 각 질문에 대한 설명을 제시하고 있는데 그 내용은 다음과 같다[10].

- 영향평가를 위한 적절한 분석규모는 어느 정도인가?

10) IPCC에서 전문가들과의 인터뷰와 영향 방법론에 대해 총체적으로 검토, 분석한 결과에 의한 것이다.

- 비교를 위한 기준선(baseline)은 무엇이 되어야 하는가?
- 기후와 사회경제적 변화에 대한 통합 시나리오는 어떻게 사용되어야 하는가?
- 극단적인 기후현상 및 기후변동에 대한 영향평가의 전망(prospects)은 어떠한가?
- 방법론과 도구에는 점진적인 영향(transient effect)을 어떻게 포함시켜야 하는가?
- 적응능력을 위한 방법론에 있어 최근에 이뤄낸 진보는 무엇인가?
- 온실가스 배출을 줄이기 위한 정책과 취약성은 어떻게 연관되어야 하는가?

영향평가를 위한 적절한 분석규모

기후변화 영향평가는 평가의 범위와 규모를 결정하는 것으로부터 시작해야 한다. 즉, 주요 정책 이슈는 무엇인지, 기후변화의 영향에 노출된 것은 무엇이고 누구인지, 적절한 규모(시간적 규모, 지리적 범위, 해상도(resolution))는 무엇인지 등에 대한 질문에 답해야 한다는 것이다.

정책 이슈를 확인하기 위한 방법에는 체크리스트와 목록, 문헌 분석, 조사와 인터뷰, 시뮬레이션 등이 있다. 평가의 범위를 결정하는 과정은 '반복적'이어야만 한다. 프로젝트의 설계는 기후변화의 영향에 노출되어 있는 것이 무엇이고 누구인지에 대한 것을 '구체화'해야만 한다. 이러한 영향의 대상에는 경제 부문, 기업, 개인 등이 포함될 수 있다. 적응 전략의 평가는 정책 결정과 관련된 이행자들 혹은 영향에 피해를 입는 사람들을 고려해서 이루어져야 한다. 시간 규모와 지역적 범위 및 해상도의 선택은 평가의 초점 대상과 연관되어 있다. 지구적인 평가에 대한 연관성은 정책적·경제적 맥락을 이해하는데 필수적이다.

기후변화는 다양한 부문들에 다중의 영향을 줄 뿐만 아니라 사막화, 물 부족, 경제구조조정 등 기타 사회경제적·환경적 스트레스와의 상승효과도 갖는다. (IPCC 제2차 평가보고서에서 발표되었던) 대부분의 연구들은 단일 부문에 미치는 영향에 초점을 맞추어 왔으며, 지역적인 통합을 시도하거나 기후변화로 인한 위험이 가장 큰 개체군을 확인하는 연구는 거의 없다. 취약성 평가는 개체군과 지역에 미치는 기후변화의 다양한 영향을 통합하는 한 가지 방법이 될 수 있다. 취약성 평가를 위한 공식적인 방법은 끊임없이 개발되어 왔으나 아직 초기단계에 머물러 있다.

비교를 위한 기준선 (baseline)

기후변화의 영향은 일반적으로 기후변화가 있을 때와 없을 때의 차이를 말한다. 하지만 영향평가를 위한 (혹은 적응을 평가하기 위한) 기준을 설정하는 방법에 대해서는 연구자들 사이에 의견이 분분하다.

대부분의 연구들이 미래의 기후변화 시나리오를 적용하지만, 현재의 환경적 기준과 사회·경제적 기준을 바탕으로 영향을 평가하게 된다. 비록 이러한 접근이 '현재 시스템'의 민감성에 대한 정보를 제공해 주지만, 기후의 변동성에 따라 변화하는 사회·경제적 민감성은 파악할 수 없다는 단점을 가지고 있다. 기후변화가 존재하지 않을 때조차도 사회·경제적 발전이 진행되기 때문에 환경과 사회의 기준은 변화할 것이다. 기후변화가 존재할 때에는 시스템의 반응과 자율적 적응을 고려해야만 한다. 엄격하게 말해서 기후변화의 영향은 기준의 변화를 고려하여 평가해야만 한다.

미래의 불확실성과 함께, 다양한 영향 인자들의 미래의 기준에 대한 가정들은 넓은 범위를 가질 수밖에 없다. '배출 시나리오에 관한 특별 보고서(SRES)' 내의 배출 시나리오는 이러한 전망을 반영하고 "대안적인 미래"에 대한 다양한 예측을 바탕으로 이루어져 있다. 특히 지역적 수준에서 위험에 대응할 수 있는 적응 프레임을 짜기 위해서는 SRES 시나리오를 바탕으로 해야 한다는 것이다. 예컨대 방글라데시에서 물 부족에 대응하는 것은 인도나 네팔과의 지역적 협력 시나리오에 따라 다른 결과를 가져올 것이다. 미래의 기준을 만들기 위한 요소나 절차에 관한 일관성은 거의 없다. 영향에 노출되어 있는 것은 누구인지, 민감한 부문을 어떻게 선택할 것인지, 기후변화의 영향에 노출된 이해당사자의 규모에서 사회적·제도적 변화의 동인이 무엇인지 등을 포함하는 일관성 또한 거의 없다는 것이 한계이다.

기후변화와 사회·경제적 변화를 고려한 통합 시나리오

영향평가 연구에서 사용되는 지역의 기후변화 데이터를 만들기 위해서는 보통 수개월이 걸리고, 사회·경제적 시나리오를 설정한 후 온실가스 배출을 정의하기 위해서는 추가적으로 수개월이 걸리기 때문에 시간지연이 나타나는 것은 어쩔 수 없다. 따라서 IPCC 3차 평가보고서에 발표된 대부분의 영향연구는 1992년에 IPCC가 개발

한 IS92 배출 시나리오를 사용하였다. 최근 IPCC는 기후변화 영향평가 연구자들을 위해 데이터 센터를 만들어 SRES 시나리오를 연구자들이 활용할 수 있도록 돕고 있다. 이러한 IPCC의 활동은 일련의 통일된 시나리오를 제공함으로써 서로 다른 연구들 간의 비교나 해석에 있어서의 일관성을 확보할 수 있게 해준다.

취약성 평가는 기후변화의 영향이 온실가스 배출과 기후변화에 피드백 할 수 있는 수준의 시간·공간 규모에서 이루어진다. 이러한 경우에 온실가스 배출에 기반한 기후변화 시나리오 및 사회·경제·기술적 상황의 변화 시나리오가 일관성을 가져야 한다. 이것은 지구적인 평가와 통합 평가의 본질적인 요소이다. 하지만 지역 수준에서는 기후변화 완화(mitigation)와 적응(adaptation) 간의 피드백이 거의 없기 때문에 이러한 부분이 그렇게 중요한 문제는 아니다.

극단적인 기후현상 및 기후변동에 대한 영향평가의 전망

극단적인 기후현상의 변동성과 빈도의 증가는 평균 기후의 변화보다 더 심각한 영향을 초래한다. 즉, 극단적인 현상은 기후영향의 주요한 원인이며, 극단적인 현상의 변화는 기후변화가 나타남에 따라 나타나는 영향의 대부분을 차지할 것이다. 즉, 기후변화의 맥락에서 극단적인 현상에 관한 방법론적 이슈는 기후 시나리오의 개발, 영향의 평가, 반응의 평가, 대규모 영향 등을 포함한다.

기후 시나리오 개발과 관련하여 IPCC의 작업그룹 I 은 대순환모델(General Circulation Models, GCMs)의 결과로부터 얻은 변동성의 변화를 평가하는 방법론에 대해 논의한다. 몇 가지 부족함이 있더라도, GCMs은 기후의 변동성 경향을 제공해 줄 수 있다. 극단적인 현상에 관한 역사적인 데이터를 이용하는 것도 유용하다.

극단적인 기후현상에 대한 일차적 영향 (first-order impact) 평가는 현재 개발된 많은 모형들이 미래의 기후 현상과 극단적인 현상의 변화를 정확히 예측해내지 못할 수 있기 때문에 어려움이 따른다. 하지만 변동성 변화에 대한 시스템의 반응을 평가하기 위한 부분의 방법론은 개선되고 있다. 그 중 하나의 예는 점진적인(transient) GCMs에 의해 주어진 10년의 주기를 이용하여 유역모형에 적용함으로써 얻어진 결과값으로 홍수의 변화를 평가하는 것이다.

기후의 변동성 변화는 극단적인 영향의 빈도를 증가시킬 수 있다. 만약 기후의 요소가 받아들일 수 있는 수준의 위험 분기점을 넘어 버린다면 취약성은 "받아들일 수 없는 수준"으로 되어버리고 만다. 적응에 있어서의 한 가지 이슈는 미래에 있어서의 받아들일 수 있는 수준의 위험이 어느 수준인지를 설정하는 데 있다. 호주의 연구에 따르면 이해당사자들이 결정하는 분기점에 대한 이슈는 새롭게 등장하는 이슈이며, 변화하는 기후의 위험에 반응하는 이해당사자 및 시설의 학습을 평가하기 위한 방법론은 발전하고 있다. 이에 대한 대안적인 방법으로는 역방향 접근이 있을 수 있는데, 이는 현재의 위험에 대한 민감도, 큰 영향을 주는 위험 변화의 특성화, 반응 능력의 평가 등에 초점을 맞추는 방법론이다.

불연속적인 기후현상에 대한 분야는 더 많은 연구를 필요로 한다. 현재의 GCMs 해상도는 허리케인과 같은 불연속적인 현상의 강도와 경로 및 빈도를 평가하기에 충분하지 않다. 비록 ENSO 같은 상태가 지구 온난화와 함께 더욱 영속적이 될 것이라는 모형 결과가 있지만, 이러한 결과를 취약성 평가로 이어나가기에는 아직 무리가 있다. 경험적인 방법론은 불연속적인 현상의 평가에 적합하다. 이러한 방법론은 1998년 방글라데시에서 나타난 사이클론뿐만 아니라 1997-1998년의 ENSO에 의해 나타난 피해를 세부적으로 분석하는 데 적용되었다. 이 방법은 "가정에 따른 결과", 예를 들면 만약 기후변화가 일어난다면 이러저러한 영향이 나타날 것 같은 형태의 시뮬레이션에 적용되었다. 예를 들어, 물 부족과 농작물 감소로 설명되는 1930년대의 Dust Bowl 기간에 나타난 경우와 비슷한 것은 미국의 옥수수 지대에서 기후변화의 영향을 시뮬레이션하는데 사용되어진다.

대재앙과 같은 시나리오로 표현되는 현상은 독특하거나 단일한 현상이기 때문에 신뢰성이 떨어진다. 따라서 이러한 잠재적인 대재앙 현상에 관한 연구가 더욱 필요하여 궁극적으로는 대규모 영향에 관한 체계적인 평가가 수행되어야 할 것이다.

점진적인 영향의 고려

점진적인 기후 시나리오[11](transient climate scenarios; 기후의 변화를 고려하지 않

11) 점진적 시나리오(transient scenarios); 기후 민감도(CO_2 농도가 두 배가 되었을 때의 표면온도에

는 평형 기후 시나리오에 비해 진보된 형태)는 현재 영향평가에서 가장 널리 쓰이고 있다. 또한 동시에 정적인 모형으로부터 역동적인 프로세스 기반의 영향 모형으로 전환되고 있다. 시스템은 보통 시간에 따라 다른 반응을 보이는 요소들로 이루어져 있고, 이는 현재의 균형이 시간이 흐른 이후에는 더 이상 유지되지 않을 것이라는 것을 뜻한다.

몇몇 육상 생물권 연구는, 보통의 생물군계가 변화하는 기후와 토지이용의 변화에 따라 같은 반응을 보이지 않을 것이라는 점을 설명한다. 개체 및 종간의 경쟁, 교란 지대의 변경(예, 화재, 폭풍우), 종의 이주 등의 모든 요인들은 생물권의 반응에 상당한 시간차를 갖게 한다. 더구나 만약 교란이 증가함에 따라 사망률이 다른 식생의 생장보다 더 빠르게 나타난다면, 탄소의 순배출원으로 기능하게 되어 기후변화에 영향을 줄 것이다. 이러한 반응은 공간적 규모의 함수로 표현될 수 있다.

시간에 따른 평가를 하기 위해서 영향 모형은 각 시스템의 서로 다른 시간 반응을 포함해야만 한다. 예컨대 말라리아의 영향은 반복적인 감염에 대한 인간의 저항력에 따라 달라진다. 대안적으로, 기후변화의 피해는 기후변화의 '크기' 한 가지 보다는 '변화 속도'와 연관된다. 실제적인 점진적 방법론을 사용했을 때 기후변화 및 영향과 방법론 사이의 시간적 상호관계를 이해하는 것에는 아직도 해결해야 할 과제가 많이 남아있다.

적응 능력의 평가

최근에 적응 능력의 평가는 상당히 중요하다. 이는 교토의정서 이행만으로는 이미 상당히 이루어진 기후변화를 피하는 데에는 충분하지 못하다는 점과, 사회·자연시스템이 이미 나타난 기후변화에 어느 정도 대응할 수 있다는 추정에 따른 것이다. 이러한 적응에 관한 연구는 다른 현상과는 다르게 장기간의 시간 규모를 갖기 때문에

따른 지구적으로 평균적인 반응)는 기후 모형에서 정적(static)계산 혹은 균형(equilibrium)계산에 기초하고 있고, 이러한 기후 모형은 CO_2의 증가를 적용한 이후에 정상 상태(steady state)에 도달하는 것을 허용한다. 하지만 시간에 따른 기후변화의 패턴뿐만 아니라 기후변화의 점진적인 기간(transient phase) 동안에 나타나는 지구적인 기후 온난화의 양은 평형상태에서와는 다르게 나타난다. 기후변화 영향에 대한 최근의 연구는 완전히 연동된 대양-대기 일반 순환 모형(AOGCMs; ocean-atmosphere general circulation models)을 통해 기후변화의 점진적인 혹은 시간에 따라 변화하는(time-dependent) 시나리오를 이용한다. 실제로 지구는 인위적인 요인들에 의하여 점진적인 반응을 하고 있다.

위에서 언급했듯이 점진적인 기후변화 시나리오가 주요한 연구절차의 일부로 사용되고 있다. 이와 관련하여 관리된 환경(예, 농업, 해안)에 대한 기후변화의 영향을 다루는 최근의 연구들은 일반적으로 적응 전략을 고려하고 있지만 기술적인 부분에 치우치고 있다는 한계가 있다. 적응 절차에서는 다양한 요소들(환경적 요소, 행동방식의 요소, 경제적 요소, 제도적 요소, 문화적 요소)이 적응의 장벽이나 인센티브로 작용할 수 있다는 것을 고려해야 한다.

적응에 대한 연구를 디자인 할 때 고려할 점들을 나열하면 다음과 같다. 먼저 적응, 개별적 정책결정, 지방의 상황 등의 관계에 대하여 충분한 이해가 필요하다. 예컨대 농부에 의한 적응은 농업에 미칠 수 있는 잠재적인 기후변화의 영향을 절반 이상 줄일 수 있다. 하지만 지방의 토양 상태, 기후, 경제적인 인프라 및 기타 자원들에 따라 적절한 조치가 달라질 수 있다. 또한 농부의 인식도 하나의 요소로 작용하는 것이 사실이다. 그러므로 적응의 평가는 참여방법을 고려하여 인터뷰 및 전문가 견해 등을 통해 사이트 규모의 특성과 지역의 특성에 대하여 파악하고 있어야 한다.

또한 규모 간의 상호작용의 고려가 중요하다. 예컨대 농업 부문에서 적응전략은 다중 규모의 인자(농장규모, 국가적 규모, 지구적 규모)와 정책결정을 가능 하도록 하는 이러한 인자들의 통합에 의해 영향을 받는다. 다중 규모의 상호작용을 조사하기 위해서는 다중-수준 모형(multi-level modeling)과 같은 도구가 필요하다. 또한 씨뿌리기 시기의 조정, 재배종의 교체 등과 같은 상대적으로 즉각적인 특별조치와 모니터링 및 연구와 같은 장기간의 적응전략 및 절차를 고려하는 것이 필요하다. 많은 연구들은 전자에 치중하고 있으며 후자와 같은 방법론은 과제로 남아있다. 한편, 비교 연구에는 개체군들, 지역, 부문 내에서 적응전략의 우선순위를 평가할 필요가 있다. 극단적인 기후 현상과 변동성에 대한 적응은 이미 영향평가분야에서 중요하게 언급되었으나, 장기적인 기후변화와 더욱 밀접하게 연결하여 생각해 볼 필요가 있다. 마지막으로 적응전략에 대한 이해당사자의 평가를 연구에 포함하는 것이 필요하다. 정책결정 분석 도구를 사용하는 것이 한 예가 될 수 있다. 적응전략의 효과성을 모니터링하기 위해서 취약성을 척도로 사용하는 것도 가능하다.

완화정책과 연계된 취약성 평가

완화정책에 대한 한 가지 접근법은 온실가스 배출 저감목표를 온실가스 농도나 기타 간접적인 방법이 아닌 '취약성 저감'을 기준으로 정하는 것이다. 즉, 인류가 견딜 수 있을 것으로 판단되는 영향의 범위를 설정하여, 견딜 수 있는 수준까지만 온실가스 배출을 허용하는 배출 통로(emission corridors)를 설정할 수 있다. 이러한 "연착륙(safe landing)"식 접근은 경제, 사회, 형평성 등의 이슈로 확대될 수 있고 그에 따라 견딜 수 있는 수준의 특정 범위를 정의하고 배출 통로를 획득할 수 있게 된다.

이러한 접근법들은 기후의 영향이 점진적인 변화가 존재하는 시스템과, 급격한 변화를 보이는 분기점을 갖는 시스템의 경우를 나누어 접근해야 한다는 점에 착안한 것이다. 후자의 경우에는 견딜 수 있는 수준의 범위를 설정하는 것이 상대적으로 쉬운 반면 점진적인 변화를 보이는 시스템에서는 견딜 수 있는 범위의 설정이 어렵고, 적응에 대한 불확실성에 의해 부분적으로 모호하게 된다. 견딜 수 있는 범위에 대한 기준을 세우는 결정은 과학자들과 이해당사자들, 정책결정자, 비정부기구(NGOs) 등과의 긴밀한 협조를 하는 등의 자문 절차를 거쳐야만 한다.

나. 기후변화 영향평가 : 지표 종 또는 지표 시스템을 활용한 영향평가

기후변화로 나타나고 있는 인적·자연 시스템에 대한 영향의 평가는 복합적이고 또한 종종 서로 연관된 기후 외적인 요소들이 이들 시스템에서 동시에 나타남에 따라, 특별히 기후변화로 인해 나타나는 영향을 판별하는 것이 쉽지 않다. 이러한 문제를 극복하기 위해 지표 종(indicator species)과 지표 시스템(indicator system)을 활용하는 방법이 제시되었다. 지표 종과 지표 시스템은 기후변화에 대한 반응을 관찰하고 자연시스템에 미치는 기후변화의 일반적인 영향을 추론할 수 있게 해준다. 여기서 중요한 부분은, 기후변화의 예측을 위한 방법에 있어 일관성을 갖는 많은 연구들의 결과에서 체계적인 패턴을 찾아내는 것이다. 관찰된 기후변화의 특성은 연구들이 다양한 시스템과 다양한 지리적인 지역에 걸쳐 반복적으로 이루어질 때 확실성이 높아지기 때문이다.

기후변화는 인간의 건강, 농업과 물리학적 시스템, 생물학적 시스템 등에 영향을 주면서 인적·자연 시스템에서의 반응을 불러일으킬 것이다. 집중적으로 관리되는 인적 시스템에서는 기후변화의 직접적인 영향이 완화되거나 다른 인자들과 완전히 혼동되어 판별이 불가능할 수도 있다. 반대로 인간의 개입이 거의 없는 자연 시스템에서는 기후변화의 영향이 투명하게 나타난다. 지표 종 또는 지표 시스템을 활용한 영향평가 시 고려하여야 하는 이슈들을 정리하면 다음과 같다.

자연 시스템으로부터의 발견

기후 온난화 경향에 따라 예측된 물리적 반응 : 빙권(cryosphere)은 '녹는 현상'에 의해 기후변화에 매우 민감하다. 그에 따라 빙권의 다양한 요소 중 그 크기, 범위 및 가장자리 부분 등은 과거의 기후 지표로 자주 사용되어왔으며 현재 나타나고 있는 기후변화의 지표로도 사용될 수 있다. 특히 빙하 범위의 관찰된 변화는 과거 빙하의 지표가 될 수 있다. 높은 위도와 높은 고도에서 빙핵(ice cores)은 과거의 강우, 온도, 대기의 구성 등에 대한 감도 높은 연간 또는 계절적인 기록을 제공해준다. 이러한 기록은 과거 수백 년 전까지 거슬러 올라갈 수 있게 해주어 과거의 기후를 기록함에 있어 큰 가치를 갖는다. 시추공을 통한 빙핵 측정은 영구동토층의 온난화에 대한 데이터를 제공해준다.

기후온난화 경향에 따라 예측된 생물학적 반응 : 모든 유기체들은 기후 및 기상 현상에 의해 영향을 받는다. 생리학적·생태학적 반응분기점은 종들의 분포(예: 종들이 살아남을 수 있고 번식할 수 있는 장소를 결정)와 라이프 사이클의 시기(예: 성장 시기, 번식, 휴면기 등)를 결정한다.

홍적세(Pleistocene)의 빙하기와 완신세(Holocene)에 나타났던 과거의 대규모 기후변화에 대한 반응 연구는 현재의 기후변화에 대한 생물 반응을 예측하기 위한 적절한 기초를 제공한다. 전형적으로 종의 범위 혹은 이동 목적지는 평균 연간 온도가 1℃ 올라갈 때마다 북쪽으로 이동하거나 더 높은 고도로 이동하는 식으로, 수백 ㎞ 정도

의 변화가 나타나게 된다. 진화적인 변화와 종 전체의 멸종은 드물게 나타나는 반면, 생물기후학적 변화는 쉽게 관찰된다. 조류, 거대 포유동물, 원양 어류, 일부 곤충과 같은 이동성이 있는 동물들에 있어서 종의 범위는 개체가 이동하거나 이주 목적지가 변할 때 변화한다. 따라서 이러한 이동은 실제로 연간 기후의 변동성을 추적할 수 있게 해준다. 특히 식물과 같은 다수의 야생종들은 이동성이 제한되어 있어 단일한 장소에서 살아갈 수밖에 없다. 이동성이 제한된 종들의 분포범위 변화는 개체들의 이동에 의해 나타나기보다는 그보다 훨씬 더 느리게 진행되는 개체군 멸종과 군체형성(colonization) 기작에 의해 나타난다. 조간대 해안에 서식하는 유기체들은 두 극단을 반영한다. 많은 종들의 성체는 완전히 이동성이 제한되는 반면, 유충 시절에는 자유롭게 부유할 수가 있다. 이렇게 이른 시기(유충 시기)의 분산은 대양의 흐름에 의해 가능하다. 따라서 이러한 종들의 분포 변화는 해수면 온도의 변화뿐만 아니라 흐름의 강도 및 경로 변화들에 의해 나타날 것이다.

데이터의 강점과 한계 : 지표를 활용한 기후변화에 대한 반응 연구의 장점은, 연구가 시간 축과 공간 축 위의 어느 부분에 존재하는지에 대한 점과, 다른 연구들과의 차별성(개체군의 수, 종의 수 등)에서 찾을 수 있다. 종의 분포 변화를 평가하기 위해서 다양한 지리적 지역에 걸친 데이터는 특히나 종들 간의 범위의 경계 및 이주 목적지의 변화를 반영하는 것이 중요하다. 시간에 따른 경향을 평가하기 위해서는 수십 년에 걸쳐 나타나는 빈도(연간 빈도수가 이상적)를 관찰하는 것이 매우 유익하다. 또한 다양한 종과 개체군을 대상으로 반복적인 연구를 시행하는 것은 결과의 보편성을 확보하기 위한 필수적인 요소이다.

데이터와 반응 형태 : 이동성을 가진 종의 범위는 개체가 이주 목적지에 대한 즉각적인 반응을 보여줄 때 매우 민감하게 반영될 수 있다. 연구에서는 기후 데이터 그 자체를 가지고 연간 변이로부터 장기간의 경향을 파악할 필요가 있다. 이동성이 제한된 종들의 분포는 제한된 분산 능력 때문에 본질적으로 시간 지연이 나타나게 된다. 개체군의 수 혹은 지리적 위치 범위의 변화는 둘 다 연간 단위로 분석했을 때 크게

눈에 띄지는 않으나, 수십 년 혹은 100년을 대상으로 했을 때는 발견할 수 있다. 이러한 종의 분포 변화뿐만 아니라 생물기후학적 변화도 장기간의 데이터를 통해 확인할 수 있다. 금세 나타나는 반응으로는 작은 포유류나 도마뱀의 크기(몸의 크기)를 들 수 있다. 온난화가 진행됨에 따라 크기는 작아진다.

데이터로부터의 인과관계 규명 : 기후변화의 영향은 자연의 생물군에서 관찰될 수 있으나, 경험적 접근을 통해 기후변화의 연관성을 확인하는 것은 쉽지 않다. 하지만 기후변화에 의한 영향이라는 것을 확인할 수 있는 불확실성의 수준은 충분히 낮출 수 있다. 불확실성 수준을 낮추기 위한 방법으로는 통계학적 분석효과의 극대화, 적절한 연구 디자인을 통한 주요 불확실성 인자들의 통제 등을 생각할 수 있다

관리된 인적 시스템에서의 발견

인간의 건강 : 많은 야생의 유기체들이 인간에 질병을 옮기는 매개 곤충으로 기능한다. 질병은 역사적으로 기록이 잘 되어 있으며, 질병 발생의 분포와 강도를 야생 매개 곤충의 분포나 병원균의 전염에 있어서의 변화에 대한 지표로 사용할 수 있다. 많은 질병 매개 곤충은 기후에 의해 영향을 크게 받는 것으로 알려져 있다(예: 말라리아를 옮기는 아노펠레스 모기). 질병 기록을 이용하는 데에 따른 문제는, 질병 전염에 있어서 매개 곤충의 존재가 필수적이기는 하지만 그것만으로는 충분하지 않다는 것이다. 공중위생 설비라든지 예방접종 프로그램이라든지 영양 상태 등과 같은 사회경제적 인자들은 야생의 매개 곤충들의 존재가 실제로 인간에게 영향을 주어 질병을 발생시킬 수 있는지에 대한 큰 결정요소가 된다. 사실 전염과 질병의 독성은 그 자체로도 기후에 의해 직접적으로 영향을 받는다. 따라서 질병이 비록 기후변화 영향의 잠재적인 중요한 요소일지라도 기후변화의 직접적인 영향을 판단하기 위한 유용한 지표는 되지 못한다.

농업 : 경작 식물들은 동물에 비해 대기 중 CO_2 농도 증가에 대한 직접적인 영향이

더욱 크다. CO_2의 증가는 식물의 물리적 구조와 탄소/질소 비율(탄질비)을 변화시킨다. 탄질비의 변화는 식물의 생장 속도, 수확량, 해충에 대한 민감도, 수분함량에 대한 민감도 등을 변화시킨다. 이러한 영향은 복잡한 방식으로 기후변화 그 자체의 영향과 상호작용한다. 게다가 현재 기후 상태에 대응하기 위한 농장경영과 같은 관리가 이루어짐에 따라 기후변화의 영향이 줄어들게 된다.

다. 기후변화 영향평가 : 통합적 영향평가[12)]

통합적 평가(Integrated Assessment; IA)란 모든 분야의 상호작용을 평가함으로써 다양한 과학 분야로부터 얻은 지식을 융합시키는 학제 간 연구의 절차를 의미한다. 이러한 통합적인 영향평가 연구의 장점은, 통합적인 영향평가를 통해 각 부문별 시너지 효과의 통찰이 가능하다는 점이다. 즉, 자연 생태시스템에서는 부분의 합은 전체가 아닌 경우가 일반적이므로 통합적 영향 파악이 실제적인 영향에 더욱 가까운 평가를 내릴 수 있다는 것이다. 통합적 평가의 목적은 기후변화의 영향을 자연자원 관리, 생태계의 지속가능성, 경제 발전 등과 같은 더 넓은 맥락에서 파악하도록 하는 데에 있다.

하지만 이러한 통합적 평가는 부문별 연구보다 현실적으로 어려운 데, 이는 부문별 상호작용에 대한 지식이 충분해야 하며 통합적 평가가 단순히 다양한 학문을 포괄한다는 점을 뛰어넘어 상호 연계된 학문을 지향하여 협동이 중요하다는 점에 기인한다. 다시 말해 기후에 민감한 이슈들(예: 수자원 관리, 농업, 임업, 어류 및 야생, 인프라의 계획, 경제 발전 등) 사이의 연계관계가 복잡하여 분석적인 도구가 아니라 전반적이고 실용적인 방식에 초점을 맞춘 학제 간 협력이 이루어질 필요가 있는데, 이것이 상당히 어려운 작업이라는 것이다. 과학적 불확실성이 존재할 뿐만 아니라 정부 등에 의한 정책결정이 미치는 다양한 복잡성을 정확하게 설명하는 데 태생적인 어려움이 존재하기 때문이다[13)].

12) IPCC(2001b)
13) UNEP(1998)

현재 통합적 평가는 다음 4개의 방법론 중 하나를 채택하고 있다.

- 상호관계와 피드백이 수학적으로 반영되며, 때때로 불확실성까지 명확히 통합된 컴퓨터 모형
- 미래가 어떻게 펼쳐질 것인지를 반영하는 시나리오 분석
- 제한되어있고 균질하지 않은 데이터 사용
- 기존의 경험과 전문가로부터 구축한 정성적 평가

위에서 제시한 4가지의 통합평가모형은 각각 강점과 약점을 가지고 있으며, 통합접근은 각 부문들의 세부적인 노력이 제대로 이루어질 때에 더욱 나은 결과를 갖게 된다. 성공적인 통합적 영향평가 수행을 위해서는 연구 초기단계에서 다음과 같은 이슈들을 충분히 고려하여야 한다.

문헌 리뷰

통합평가는 기존에 있던 각각의 부문평가로부터 정보를 얻어야 한다. 이러한 데이터의 요구는 연구 설계단계의 초기에 적절히 조율되어야 한다. 이들 데이터의 필요조건은 국가 연구 설계단계의 초기에 가장 유기적으로 구성되어 있기 때문에 국가의 기후변화 영향 연구에서 어떤 작업이 있었는지에 대해 파악하는 것은 중요하다. 통합평가는 초기의 영향연구에서 얻은 결과물을 바탕으로 시작하고 전문가들을 섭외하는데 있어서 효과적이다. 만약 영향연구가 거의 이루어지지 않았다면 부문 연구를 시행하고 시작단계에 있는 통합평가 프레임워크에 두는 것을 추천할 수 있다.

평가의 이슈 또는 목적의 확인

기후 영향 평가에서 관심을 가져야 하는 문제는 생태계, 자원관리, 자원 추출 운용, 인프라 유지관리 등에서의 기후에 민감한 측면들이다. 통합평가의 참가자에게 이슈를 명확하게 해주는 것은 평가에 도움이 된다. 또한 통합평가의 목적을 분명히 하는 것도 연구의 효율적 진행을 위해 중요하다. 일반적으로 통합평가의 목적 중의 하나는 기후변화를 정책 인자로 고려하지 않는 지역에 기후변화를 적극적으로 고려하도록 유도하는 데에 있다. 즉, 만약 통합평가를 통해 특정 지역의 목표 혹은 국가적 목표가

설정된다면 이를 위한 연구를 더 효율적으로 진행할 수 있다는 것이다. 통합적 평가는 또한 다양한 부문들과 시스템 사이에서 나타나는 상호작용을 포함하는 기후변화의 영향을 이해하는 데에 목적을 가지고 있다.

연구의 분석단위 설정

통합평가 연구의 분석단위 설정은 정책목표의 선택에 따라 달라진다. 국가적인 연구의 경우에는 연구범위가 이미 국가차원으로 선택되었다고 할 수 있으며, 국가 내부의 단위(예: 그리드, 셀)를 설정하면 된다. 일반적으로 국가 내 연구단위는 경제적인 데이터의 이용성과 정책결정력 때문에 행정구역 단위로 설정된다. 또한 생태구역(예: 산림, 초지, 해안 구역)이나 유역으로 연구단위를 설정할 수 있는 데, 이는 특히나 다양한 환경이슈나 자원이슈(예: 수자원 공급, 수력발전, 민물 서식지, 관광)를 통합하는 데 적합한 단점이 있는 반면 이웃하는 행정구역간의 정책적 충돌을 일으킬 수도 있다. 만약 수자원 관리가 통합적 평가의 정책목표로 설정된다면 행정구역 단위보다는 유역을 단위로 연구 범위를 설정하는 것이 더 적합하다.

현재의 기술수준에 대한 고려

통합평가모형에서는 기후변화 영향을 매우 다양한 방식으로 다룰 수 있다. 일반적으로 통합평가모형은 현재 이용 가능한 최신의 기술을 반영하고 있지만, 경우에 따라서는 최신기술의 반영이 현실적으로 어렵기도 하다. 국가 수준의 사례 연구의 수가 증가하고 있음에도, 지역적 수준에서의 기후변화와 그 영향에 대한 지식은 제한되어 있으며 동일한 가정에 기초한 일관성 있는 지구적인 밑그림은 아직 나오지 않았다. 대부분의 지구적 영향평가는 선진국에서 수행된 연구를 기초로 하여 다른 지역으로 외삽하는 방식을 취한다. 이러한 외삽은 지리적 차이, 개발 수준, 적응능력 등을 포함하는 지역적인 상황을 주의 깊게 고려할 때에만 성공할 수 있기 때문에 어려움이 많다.

대부분의 통합모형에 적용되는 변수간의 함수관계는 단순하며 보통 임시적이다. 이는 아직도 시간에 따른 영향의 변화가 어떻게 변하는지에 대한 이해가 부족하다는 것을 의미한다. 기후변화 영향은 다양한 역동성을 구분하지 않고 정적인 "단편적인

(snap-shot)" 평가로 조정(calibration)된 절대 온도의 선형함수 혹은 지수함수로 나타내는 경우가 많다. 변수간의 연관관계에 대한 이해를 발전시키는 것이 통합 모형 발전을 위한 가장 중요한 과제 중 하나이다. 경제발전, 인구성장, 기술진보, 값의 변화, 자연적인 기후의 변동, 자연 생태계에 대한 증가하는 스트레스 등과 같은 기본수준의 경향은 기후변화의 취약성에 강한 간접적 영향을 준다. 이러한 부분들에 대한 이해는 더욱 발전되어야 하고, 모형에 통합되어야만 한다.

이해당사자들의 역할[14]

통합 분석과 통합 평가 사이의 중대한 차이점은, 평가의 경우에 명확한 정책적 함의를 가지고 있다는 데에 있다. 이러한 차이는 평가연구를 설계할 때에 중요하게 부각되는데, 과학자, 정책 결정권자, 이해당사자 등의 협력적인 노력을 통해 설계되어야 한다. 통합적인 평가의 본질적인 요소는 실제 삶과 연관된 질문에 대하여 종합적이고, 사람들이 납득할 수 있는 해답을 제시하는 것이다.

또한 중요한 점은 과학자와 이해당사자들이 공통의 이슈에 대하여 함께 작업한다는 데 있다. 통합적 연구는 우선 기후변화가 자원 및 자원의 사용에 미칠 수 있는 잠재적인 영향에 대해 연구하고, 이어서 평가된 영향의 정책적 함의를 연구한다. 또한 평가를 통해 예측된 결과를 시민들과 정부관계자들의 요구사항과 비교할 수 있다. 여기서 유의할 점은 연구자들은 오로지 정보의 제공자로서의 역할과, 시민으로서의 역할만을 할 수 있는 반면 이해당사자들(정부기구, 비정부기구, 사업장)은 정책결정 과정에 주도적인 역할을 할 수 있다는 점이다.

라. 기후변화 적응 방법론: OECD 적응 분석방법

OECD는 개별 회원국이 참여하는 다양한 워크샵과 세미나를 통하여 기후변화 적응 효과분석 방식과 체계를 검토하고 있다. OECD의 연구는 기본적인 계량분석, 다부문 모형 등 정량적인 분석 방법론 소개와 함께 기후변화 적응에 따른 농림부문 (<표

14) UNEP(1998)

3-2> 참조), 해양부문 등 자연자원 및 환경의 변화에 따른 적응 분석 사례를 많이 제시하고 있다.

또한 개발과 기후변화 적응에 대한 프로젝트를 통하여 기후변화가 경제발전계획에 미치는 영향에 대한 분석도 강화하고 있다. 특히 2000년 개최된 "기후와 개발에 관한 비공식 고위급 회의"에서는 개발과 기후정책이 양방향 상호 영향을 미치는 점을 강조하였다. 즉, 기후변화정책이 경제개발에 영향을 미치는 동시에 경제개발정책이 기후변화에 영향을 미친다고 인식한다.

OECD는 기후변화 적응과정을 지역단위 사회경제체계에서부터 기후변화에 따른 부정적 효과 및 취약성에 지속적으로 대응해 나아가는 과정으로 인식한다. 즉, 기후변화는 기본적으로 기후라는 자연환경의 변화에 의하여 발생하며, 인간의 경제사회활동이 각 지역단위(기후변화의 영향이 미치는 최소 단위)에서 민간 및 공공부문을 포함하여 피해를 최소화하는 방향으로 재설정되는 것을 의미한다. 따라서 기후변화가 경제사회에 미치는 효과는 기후변화에 대한 자연환경 시스템이 어떠한 탄력성(resilience)를 갖고 적응하며, 이후 경제사회활동이 자연환경 시스템 변화에 따라 나타내는 적응력 수준에 의하여 구체적인 영향이 결정된다.

OECD는 또한 기후변화 적응 효과 연구에 있어서 공간적, 시간적 차이에 대한 이해가 매우 중요하다고 강조한다. 따라서 개발정책에 있어서는 각종 지표와 정책목표의 설정이 국가 수준에서 이루어지는데 반하여, 기후변화 적응은 효과와 대응 정책이 국가 수준뿐만 아니라 지역 수준에서 검토되어야 한다. 시간적 구조도 기후변화 적응과 관련된 각종 투자 등에 있어서 상당한 차이를 나타낼 수 있다. 대체로 개발정책은 단기 혹은 중기의 회임기간을 가정하는 반면 기후변화 적응정책은 매우 장기적인 (very long-term) 시차를 두고 문제해결에 접근한다.

OECD는 선진국인 대부분의 회원국에 비하여 개발도상국의 경우, 기후변화 및 적응 이슈가 주요 정치적 논의과제로 부상하고 있지 않다고 파악한다. 그러나 선진국과 개발도상국의 기후변화 적응, 취약성 등에 대한 공동연구를 통하여 개발도상국의 인식 증진, 정보 교환 및 이용 확대를 유도할 수 있다고 전망한다.

OECD 기후변화 적응분석 기준

OECD의 기후변화 적응 효과 관련 주요 연구결과에 따르면, 기후변화 적응 연구는 기후변화로 인하여 발생하는 환경 변화가 미치는 취약성, 탄력성, 적응 과정, 적응 능력에 대한 분석으로 구성된다. 취약성은 기후변화에 대응하여 경제사회체계 및 생태계가 부정적 효과를 감내하거나 피해를 입는 정도를 의미한다. 일반적으로 합의된 과학적 사실에 근거하여 평가되며 경제사회체계의 기후 민감성, 적응 능력과 함께 기후변화 자체의 변화 속도 및 정도의 함수로 설명된다. 탄력성은 현재 경제사회체계에 변화를 수반하지 않고 기후변화를 감내하는 정도로 정의된다. 기후변화 적응은 경제사회체계가 기후변화의 영향에 따라 재조정되는 일련의 과정을 의미한다. 이러한 과정은 대체로 기후변화에 따른 피해와 편익감소를 완화하는 경제사회체계의 재조정을 중심으로 파악된다. 적응은 시점에 따라 예비적 적응과 대응적 적응, 적응 주체에 따라 민간부문 적응, 공공부문 적응으로 구분된다. 적응 능력은 특정한 경제사회체계가 적응을 위한 전체적인 능력을 의미한다.

기후변화 적응 영향 평가 분석을 위하여 OECD 연구에서도 IPCC의 지속가능발전 일반원칙에 근거하여 기본적인 접근을 시도한다. 주요 고려사항은 다음과 같다.

- 외부의 충격에 의하여 발생하는 경제사회체계에 대한 취약성은 영향 노출정도, 민감성, 적응 능력 규모의 함수이다.
- 영향 노출 정도와 민감성은 적응 능력에 의하여 변화될 수 있다.
- 경제사회 및 자연환경 시스템은 점진적 변화에 대하여 자동적으로 적응하는 경향이 있다.
- 인간의 경제사회체제는 기후변화의 잠재적 위협 및 취약성과 미래의 기회 제약을 감소시키기 위하여 적응정책과 전략을 수립하여 수행할 수 있다.
- 외부 충격에 따른 취약성의 경제적 비용은 적응에 소요되는 추가적 비용과 회피할 수 없는 피해비용의 합으로 산출된다.

IPCC, UNDP 등 대부분의 주요 기관의 논의와 같이 기후변화 적응 능력은 경제체

제의 성격, 지역, 경제 및 산업부문에 따라 다양하게 형성된다. 그러나 주요 결정요인을 살펴보면 다음과 같다.

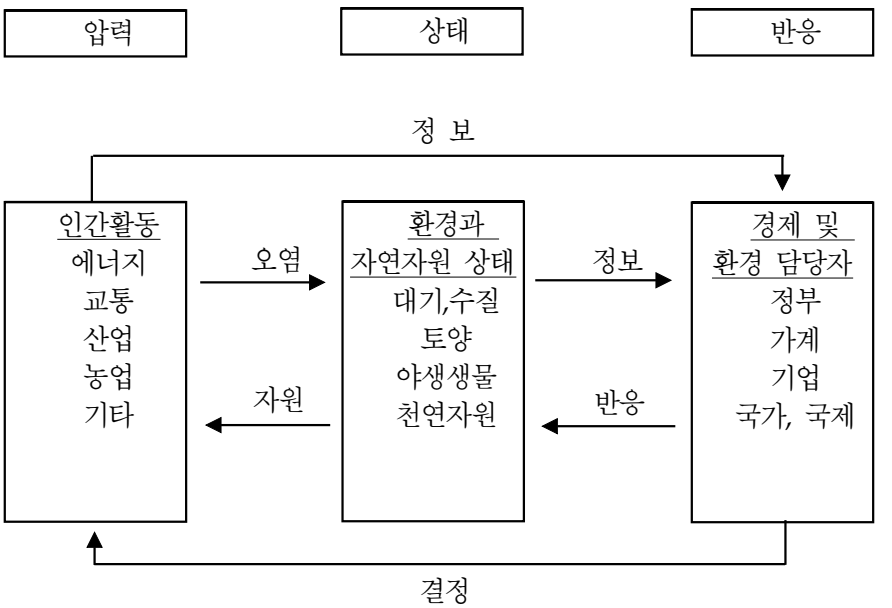
- 기후변화 적응을 위하여 이용 가능한 기술적 대안의 선택 범위
- 기후변화 적응을 위하여 가용한 자원의 부문별, 지역별 분포
- 기후변화 적응을 위한 핵심 제도적 장치, 의사결정기구의 성격, 의사결정기준
- 교육과 개인적 역량 및 안전 유지 정도 등을 포함하는 인적 자본의 규모
- 지적 재산권, 특허, 표준화 정도 등 사회 자본의 규모
- 체계적인 위험조정 및 관리 체제
- 의사결정 담당자의 정보 이용 및 관리 능력
- 기후변화 및 적응과 관련된 정보에 대한 일반 인식, 지역 단위에서 기후변화 적응 중요성에 대한 인식

OECD 기후변화 적응분석 도구

OECD에서 제시하는 기후변화 적응의 영향 평가 분석도구는 일반적인 지속가능발전에 대한 정량적 평가 도구와 유사하다. 주요 분석도구로는 기본적으로 영향 정도를 측정하는 지표(indicators), 영향의 경제적 비용과 편익을 측정하는 비용편익분석(CBA: Cost-Benefit Analysis), 비용편익분석으로 포함할 수 없는 환경적, 사회적 영향을 평가하는 다기준 분석 (MCA: Multi-Criteria Analysis), 기타 경제사회 이슈를 포괄하는 일반균형모형 등을 들 수 있다.

OECD에서는 환경정책과 부문별 정책을 통합하고, 경제에 환경을 반영할 수 있는 지표를 UNCSD의 DSR모형과 유사한 PSR(Pressure-State-Response)모형을 기본틀로 하여 제시하여 왔다 (<그림 3-3> 참조). PSR구조는 압력・상태・반응이라는 지표체계로 OECD의 기본적 지표체계에 대하여 논란의 여지가 있지만, 많은 국가와 관련기관에서 PSR 구조를 기본틀로 지역의 특수성을 고려하여 실제로 적용하고 있다. 기후변화 적응과 관련하여 정량적 지표가 가장 어려운 분야는 경제적, 환경적 자본스톡과 인적 및 사회적 자본스톡 등 자본스톡에 관련된 분야이다. 경제적 자본스톡은 일반적

으로 신고전학파 경제학에 근거하여 시장가격을 통하여 추정할 수 있다. 그러나 기후변화 적응과 관련하여 시장의 불완전성이 개입될 경우 정확한 추정에 어려움이 크다. 자연 및 환경자본은 핵심적인 자연과 환경을 구성하는 요소에 대한 정량화를 통하여 추정한다.



<그림 3-3> OECD 압력-상태-반응 모형

자료 : OECD. 1998. 「Towards Sustainable Development - Environmental Indicators」.

예를 들어 자연 및 환경 자본스톡에 대한 피해 혹은 적응을 통한 피해의 완화는 대기중 오염물질 수준, 수질오염, 토양오염 및 산림황폐화 등을 통하여 일차적으로 측정된다. 이후 다양한 가치 추정방식을 통하여 경제적 의미를 갖는 정량화를 시도한다. 사회 참여자들간의 수평적 결속, 사회체계를 구성하는 가치 기준에 근거한 사회 네트워크 수준으로 정의되는 사회자본스톡은 기후변화 적응과 관련하여 가장 추정하기 어려운 분야이다. 여기에는 기후변화에 따른 취약성 완화, 적응 능력 강화를 위한

제도적 장치의 효율성, 인식 증진, 적응정책 추진의 효율성 등을 대상으로 측정할 수 있다. 인적자본은 대체로 교육수준 및 가치, 노동생산성, 개별 경제주체의 경제활동 능력 등을 포함한다.

비용편익분석은 기후변화 적응과 관련되어 다양한 항목으로 파악되는 비용과 편익을 시산하고 이를 비교하여 순편익 혹은 순비용을 도출하는 방식이다. 비용편익분석 기본모형은 다음의 식과 같다.

$$NPV = -I_0 + \frac{B_1 - C_1}{(1+r)} + \cdots + \frac{B_T - C_T}{(1+r)^T}$$
$$= -I_0 + \sum_{t=1}^{T} \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=1}^{T} \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

여기서, NPV는 현재가치화된 순편익, I_0는 기후변화 적응을 위한 초기시설투자비 혹은 일시에 발생하는 초기비용 항목 (편익항목이 될 수도 있음), Bt, Ct 는 각각 t차 년도에 발생하는 편익 및 비용, T는 법정 내구년수, r은 할인율을 나타낸다. 순수하게 재무적 분석일 경우 비용, 편익, 할인율 등은 시장가격으로 평가되며, 현재가치화된 순편익은 기업과 소비자의 이윤극대화 및 효용극대화 원칙에 따라 화폐화된 수치로 제시된다.

그러나 기후변화 적응과 같이 경제, 사회, 환경문제가 포괄적으로 적용되는 사안일 경우, 앞서 설명한 것과 같이 시장가격이 불완전하거나 존재하지 않는 성과 및 가치에 대하여 정확한 사회적 가중치를 부여할 수 없다는 시장의 왜곡으로 인하여 정확한 가치 추정이 불가능한 경우가 많다. 이러한 경우 시장실패를 보정하거나 존재하지 않는 가격을 설정하는 잠재가격의 적용이 필요하다. 특히 기후변화 적응과 같이 환경문제가 주도적인 경우 암묵적인 경제적 가치의 변화를 추정하는 다양한 방식의 도구가 필요하다(<표 3-5> 및 <표 3-6> 참조).

<표 3-5> 기후변화 적응영향에 대한 경제적 평가 도구

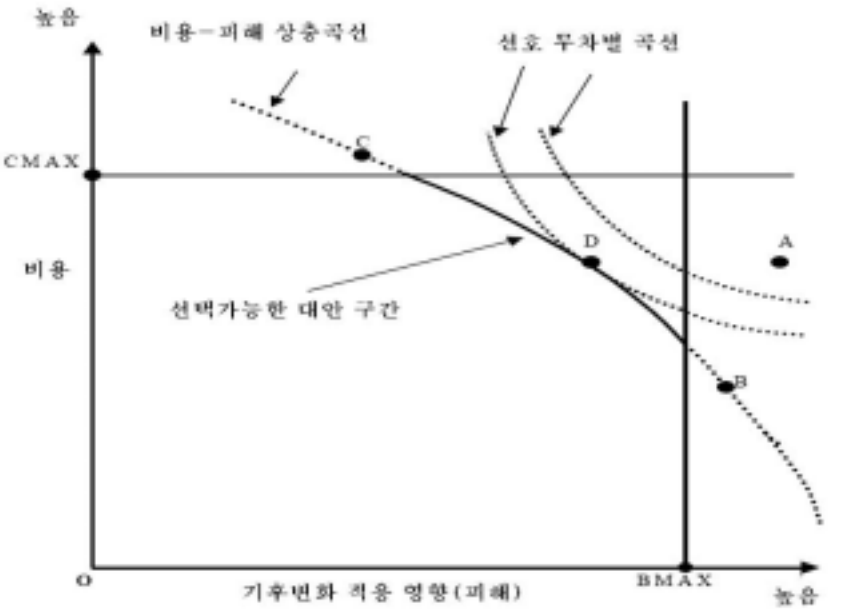
	시장 형태		
적응 행위	전통적 시장	암묵적 시장	가상적 시장
기본 적응행위	생산효과, 건강효과, 방어적, 예비적 적응비용	여행비용, 임금격차, 자산가치 대리시장재화	가상적, 임의적 시장
의도적 적응행위	대체비용		조건부가치추정법 적용

<표 3-6> 기후변화 적응 영향에 대한 경제적 평가도구 내용

적응 효과	주요 내용
생산효과	기후변화에 따라 투자 및 생산활동의 변화 발생
건강효과	기후변화로 인하여 건강 및 보건에 미치는 영향, 예를 들어 단위 생산량의 감소 등
방어적, 예비적 비용	기후변화로 인하여 발생하는 부정적 환경에 대응하는 비용 지출 증가, 예를 들어 음용수 처리 비용 증가 등, 이러한 적응 비용은 온실가스 저감정책을 수행할 경우 회피되는 피해규모로 고려됨.
대체비용	기후변화로 환경자산의 피해가 발생하였을 경우, 향후 동일한 서비스를 향유하기 위하여 대체, 보완하는데 소요되는 비용
여행비용	기후변화에 따른 환경비용의 간접적 추정
자산가치	헤도닉가격추정, 기후변화에 따른 자산가치의 변화를 통하여 적응 비용 혹은 편익 주정
임금격차	기후변화로 인한 환경여건의 변화로 발생하는 임금의 차이 추정
대리 시장재화	기후변화로 발생하는 경제사회환경 변화를 추정하기 위하여 가장 근접한 재화나 서비스를 대리 재화나 서비스로 선정하여 정량화
가상시장	실험 방식을 통하여 경제적 가치 추정
조건부가치추정	설문을 통하여 직접적으로 기후변화 적응에 대한 경제적 가치 추정

다기준 분석은 CBA와는 달리 기후변화 적응에 의하여 초래되는 여러 가지 비용과 편익을 화폐화된 방식으로 측정하지 않는다. 그러나 기후변화 적응으로 발생하는 환경적, 사회적 변화에 해당하는 다양한 지표를 선정하여 단계적 제계를 통하여 영향의

정도를 평가한다. 예를 들어 가장 상위 지표로 생명활동을 선정하고 순차적으로 보다 소득의 변화 등 기능적인 항목에 대하여 평가한다. 경우에 따라서 가치판단이 필요한 항목이 있지만 실제 측정은 반드시 화폐화된 비용 혹은 편익일 필요가 없다.



<그림 3-4> 다기준 분석 개념도

<그림 3-4>는 다기준 분석의 일반적 원리를 나타내고 있다. 여기서는 기후변화 적응 피해를 가정하여 적응을 위한 비용과의 관계를 통하여 최적 적응 수준을 제시하고 있다. 위의 그림에서 A, B, C, D는 각각 적응을 위한 정책대안 혹은 전략을 편익과 비용(적응을 통한 피해의 회피)이라고 가정한다. 대안 B는 대안 A에 비하여 우월하게 제시된다. 그러나 대안 B, C, D는 경제적 비용과 환경적 편익 측면에서 무차별한 대안이다. 다기준 분석 방식에 따라 비용과 편익을 각각 CMAX와 BMAX로 설정할 경우, 유일한 대안은 D로 제시된다. 여기서 D는 비용과 편익에 대하여 최소한의 가치판단을 통하여 결정되는 경제-환경 선호 무차별 곡선에 의하여 구체적인 수준이 결정된다.

만일 선호 무차별 곡선의 도출이 매우 어려울 경우 적응정책 대안의 선정은 다양한 기준을 반복적으로 좁혀서 선택 가능한 대안 구간을 선정하는 방식을 이용할 수 있다. 다기준 분석 방식은 기후변화 적응과 관련된 속성을 추가하여 보다 현실적인 분석 도구로 활용할 수 있다.

마. 기후변화 적응 방법론: UNDP 적응정책체계

그동안 기후변화협약에 따른 온실가스 저감을 통한 기후변화 완화의 경제적 효과, 대응 전략 등에 관한 연구는 다양하게 제시되어 왔다. 그러나 기후변화적응과 관련된 연구나 보고서는 상대적으로 매우 적다. 이에 따라 특히 개발도상국을 중심으로 적절한 정책 대응을 수행하는데 어려운 점이 많다. 또한 대부분의 적응관련 연구가 적응정책의 우선순위 선정, 실무적인 접근방법론 등에 있어서 심도 있는 연구결과를 제시하지 못하였다. 국제연합개발계획(UNDP)은 이러한 현실을 감안하여 기후변화 적응정책체계(APF: the Adaptation Policy Framework)라는 프로그램을 도입하여 다양한 정책현실을 고려한 적응체계 접근방법론을 제시하였다.

UNDP 적응정책체계 개요

기후변화 적응정책체계(APF)는 기후변화에 대한 적응체계 구축에 있어서 네 가지 원칙에 의거하여 구성된다. 이들 4대 원칙은 첫째, 단기적 기후변화에 대한 대응과 장기 기후변화 취약성에 대한 대응, 둘째, 경제발전 맥락에서 적응정책수단의 선택, 셋째, 적응정책에 있어서 지역적 특성의 고려, 넷째, 적응전략과 정책수행 과정의 조화 등이다.

UNDP의 APF는 주로 개발도상국이 기후변화에 따른 국내적 대응체계를 구축하고, 각종 계획 및 정책 수행과정을 평가하는데 목적이 있다. 또한 이러한 정책 수단이 장기적인 지속가능발전 전략과 부합하도록 유도하는 지침으로 활용될 수 있다. APF는 또한 이론적 접근보다는 실제적 유용성을 강조한다. 즉, 해당 국가가 농업, 수자원, 공중보건, 재해관리 등의 분야에서 현재 직면하고 있는 취약성에 대한 실제 정보를

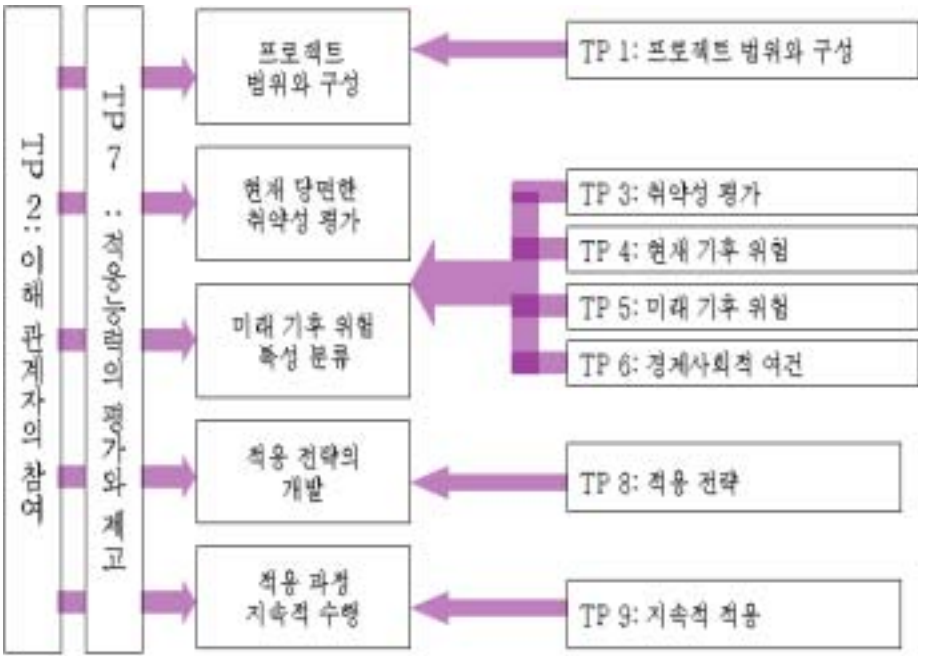
토대로 선택 가능한 정책 수단을 평가하는 것이다.

개별 국가 정부가 APF를 통하여 획득하는 주요 정보로는 정책수단 개발, 통합평가, 적응 프로젝트의 형성 등이 있다. 정책수단의 개발은 APF를 통하여 기후변화에 따른 피해를 최소화하는 한편 경제부문별로 유용한 정책 수단을 파악하는 것을 의미한다. 통합평가는 적응정책의 수행에 따라 경제 부문간 상호 연계되는 간접 및 유발효과를 포괄적으로 분석하는 것이다. 적응 프로젝트의 형성은 기후변화에 따라 발생하는 각종 피해에 직접 대응하는 개별 프로젝트 혹은 복합 프로젝트를 구성하는 APF 단계이다. 이러한 프로젝트는 지역적 여건을 고려하여 규모, 수행 단계 등 구체적인 내용을 형성하게 된다.

UNDP 적응정책체계의 주요내용

기후변화 적응정책체계(APF)는 기본적으로 기후변화현상 자체에 대한 평가보다는 기후변화에 적응하기 위한 각종 대응 프로젝트를 수행하는 데 있어서 필요한 접근방법론과 효과를 파악하기 위한 것이다. 여기서는 프로젝트의 범위와 목적 설정, 프로젝트 팀 구성, 취약성과 적응에 대한 기존 정보 검토 및 종합, 구체적인 프로젝트의 설계 등의 단계로 대응 프로젝트 작업을 수행한다. 개별 단계에 대해서는 각각 상세한 실행계획을 통하여 접근방법을 구체화 한다.

전반적인 적응정책의 체계는 이해당사자의 파악, 참여에서 시작하여 적응과정을 지속하는 7개 단계로 구분된다(<그림 3-5> 참조). 우선 1단계인 프로젝트의 범위와 설정단계에서는 적응정책 수행을 위한 개별 프로젝트의 범위와 목적, 프로젝트의 팀 구성, 취약성 및 적응에 대한 기존 정보의 검토와 종합, 그리고 프로젝트 수행 설계 등이 포함된다.



<그림 3-5> UNDP 기후변화적응정책 사업수행 체계도

자료: UNDP. 2003. 「User's Guidebook for the Adaptation Policy Framework-Final Draft」.

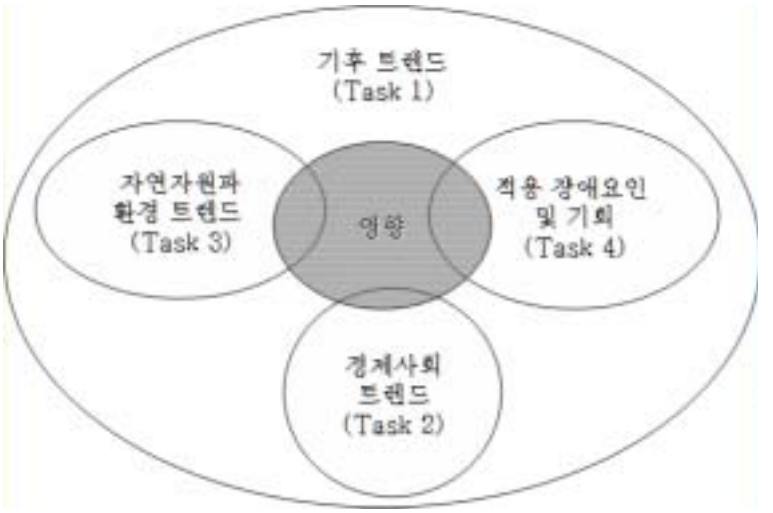
이를 위하여 일차적으로 적응 프로젝트와 관련된 이해당사자의 파악과 참여가 선행되어야 한다. 이해당사자는 직접, 간접적으로 적응을 위한 프로젝트의 주체로서 사업 전반에 걸쳐서 다양한 의견과 피드백을 제공하는 역할을 수행한다. 이후 정책 검토 과정에서는 다양한 이해관계자가 전문성과 경험을 바탕으로 기후변화 적응과 개별 정책의 관련성, 개별 정책의 시행가능성, 기존 대책에서 적응 내용 포함 여부 등을 고려하여 기존 정책의 성격을 기후변화 적응과 관련하여 규명한다. 이러한 절차를 거쳐 적응 프로젝트의 구체적인 내용, 범위, 목적이 설정되며 이해당사자 및 의사결정자 간의 효율적인 의사소통체계 구축, 프로젝트의 감시와 평가 등 세부 사항이 결정된다. 2단계인 프로젝트 팀 구성은 앞서 설정된 프로젝트 범위와 목적에 부합되도록 한다. 전문성, 지역성 등 기후변화 적응의 효과와 정책 대응의 사후적 효과에 대한 대표성 있는 의견이 제시되도록 이루어져야 한다.

기존 정보의 종합 단계에서는 기존의 연구자료 및 연구결과의 시사점을 파악하여 프로젝트의 개략적인 방향을 설정하는 단계이다. 이때 기존 연구 결과는 개별 프로젝트의 기준선 개발을 위한 기초자료로 활용된다. 기준선(baselines)은 적응의 효과에 대한 기본적 방향과 개념을 제시함으로써 향후 구체적인 프로젝트 선정에 기여한다. 이러한 정보를 종합하여 현재의 기후변화에 따른 취약성에 대한 정량적 혹은 정성적 지표를 개발한다. 개발된 지표는 프로젝트의 우선 순위 선정, 프로젝트의 감시 및 평가 등에 활용된다.

프로젝트의 설계에서는 앞의 단계에서 이루어진 정보 종합평가, 기본적인 수행체계 등을 토대로 기후변화 적응체계의 일련의 과정에 대한 설계를 수행한다. 이 단계에서는 현재 본 연구에서 목표로 하는 기후변화 적응의 효과가 어떤 경로로 유발되고 경제주체별로 어떤 영향을 미치는지에 대한 기초 방법론을 구성하는 것과 부합된다.

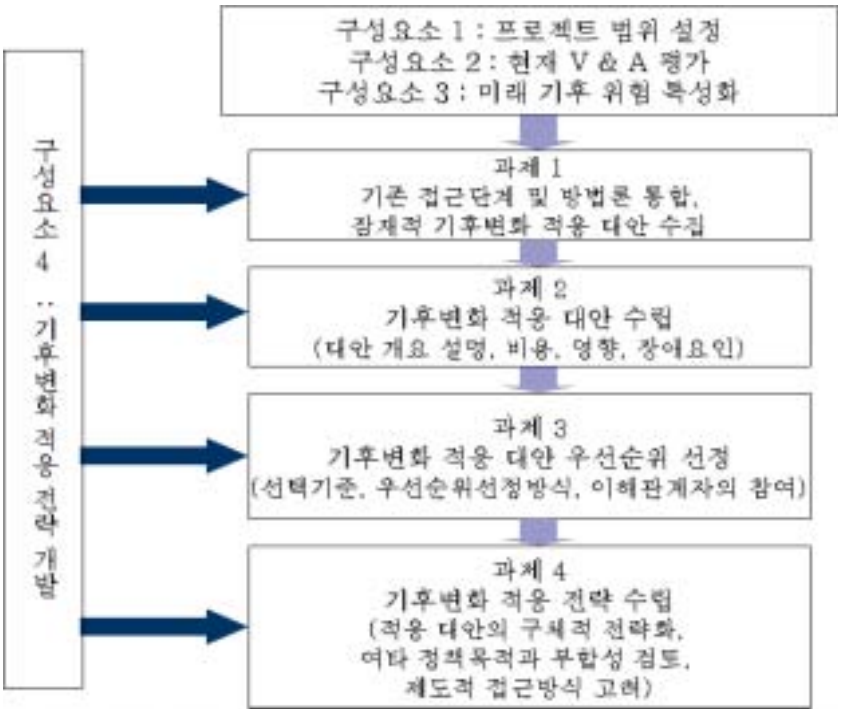
3단계인 취약성 평가 단계에서는 주요 방법론을 적용하여 기후변화 적응 및 위험을 정량화하는 작업이 수행된다. APF에서 추천되는 주요 방법론으로는 a) 기후 위험 접근법(Climate hazard approach) : 특정한 기후 위험에 대한 결과 분석, b) 취약성 기반 접근법(Vulnerability-based approach): 미래 기후 위험에 의해 영향을 받게되는 현재 혹은 미래의 취약성, c) 정책 분석 접근법(Policy analysis approach): 위험의 사전 노출 정도 변화, 위험에 대한 민감성 변화에 대응하는 각종 정책의 효과성 분석, d) 적응 능력 접근법(Adaptive capacity approach): 적응에 따른 경제사회 전체의 수용 능력 연구 등이 제시되고 있다.

4단계인 현재 기후 위험, 취약성, 적응 평가에서는 기후 위험과 잠재적 영향, 사회경제적 평가, 정책과 각종 조치를 포함한 적응 능력 평가, 사회경제적 조건과 기후 취약성 등에 대한 평가를 포함한다. 5단계인 미래의 기후 위험 평가는 미래의 사회경제 및 환경여건을 전망하여 기후변화에 따른 위험, 취약성을 평가하는 단계이다. 여기서는 기후변화의 장기적 추세, 경향, 기타 관련 요소에 대한 전망, 사회경제적 여건의 변화와 기회요소, 자연자원 및 환경의 변화 특징, 적응과 관련된 기회와 장애에 대한 전망 등을 포함한다(<그림 3-6> 참조).



<그림 3-6> 기후변화적응의 주요 요인별 관계

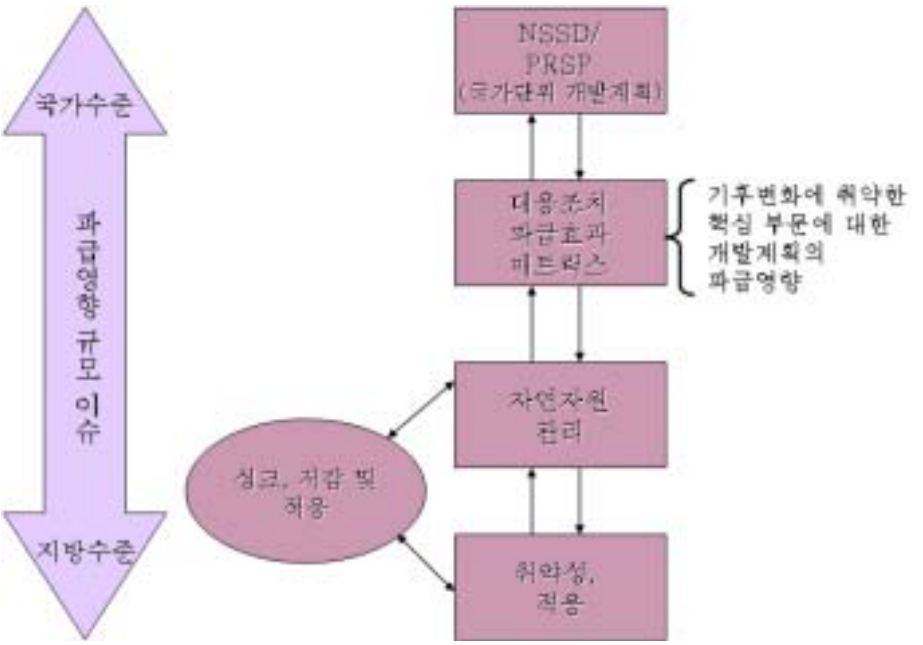
6단계인 적응전략 개발에서는 기후변화에 따른 취약성과 위험에 대응하는 각종 정책 수단, 조치 등을 강구하는 단계이다. 여기서는 <그림 3-7>에서와 같이 주요 작업을 통하여 적응 조치 개발 계획 수립, 관련된 각종 규제 및 법령 제정, 특정 정책 및 조치에 따른 권고 및 고려사항 등을 개발하는 것이다. 또한 적응 전략을 주요 경제 주체에게 보급시키고 효과적인 실행을 위하여 이해당사자의 다각적인 참여 방안도 마련하는 단계이다. 이 단계에서는 우선 APF의 단계별 잠정 결과를 공식적으로 평가하여 각종 정책 및 조치에 대한 분류 및 정리작업을 수행한다. 이후 적응정책의 비용, 영향, 기타 장애요인 등의 특성을 파악하여 우선순위를 결정한다. 정책 우선순위 결정과 관련된 사례로 NAPA(National Adaptation Plans of Action) 지침을 들 수 있다. NAPA는 주요 기준으로 a) 기후변화에 대한 피해를 방지, 완화시킴으로서 얻게 되는 편익의 지표가 되는 예상 손해 수준의 회피 추정, b) 적응 능력 정도의 지표인 빈곤 감소, c) 비용 절감, 추가적 편익 지표가 되는 다국간 환경협약 상승효과, d) 비용의 효과성 등이 포함된다. 이러한 기준을 적용하여 비용편익분석 혹은 비용효과분석, 다기준 분석 등 다양한 방법론에 따른 기후변화 적응정책 우선순위가 최종적으로 결정된다.



<그림 3-7> UNDP 기후변화적응정책 전략수립 체계도

자료: UNDP. 2003. 「User's Guidebook for the Adaptation Policy Framework-Final Draft」.

마지막 단계인 적응 과정의 지속적 수행에서는 APF 프로젝트에 의하여 수행되는 전략 및 정책을 검토, 평가하며, 지속적으로 효과를 유지하도록 관리하는 단계이다. 여기서는 새로운 적응과정과 기존 적응과정을 효율적으로 통합하고, 제도적 지원을 강화하며, 적응과정에 따른 정책의 세부 조정을 수행한다(<그림 3-8> 참조).



<그림 3-8> 기후변화 적응정책의 효과

한편 적응정책 수행과 관련되어 여러 단계에서 공통적으로 영향을 미치는 요인에 대한 판단도 중요하다. 특히 이해 당사자의 적극적인 참여는 APF의 성공적 수행을 위하여 매우 중요한 사항이다. 우선 프로젝트의 범위 설정에 있어서는 이해 당사자의 파악, 관심 등이 중요하다. 현재 및 미래의 기후변화 위험 평가에서는 이해당사자의 공통 이해 및 상충, 전문분야별, 지역별 대표성, 미래 전망에 대한 평가 등이 이해당사자의 주요 역할이다.

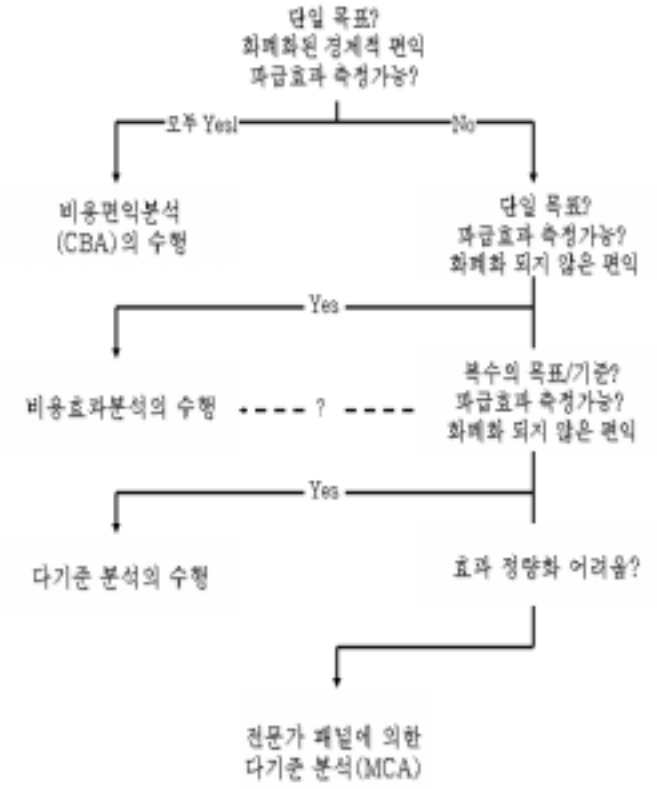
UNDP는 다음의 6 가지 기후변화 적응관련 영향 분석 방법론을 권고하고 있다. 아래에 제시된 접근 방법은 기후변화의 취약성 및 적응에 대한 기본적인 접근 방법과 의사결정과정, 정책 선택과정 등에 대한 지침과 기준을 제시하고 있다.

- 기후변화의 영향평가 및 적응에 관한 IPCC 지침 (IPCC Technical Guideline for Assessing Climate Change Impact and Adaptation)
- 미국의 기후변화 연구 프로그램 (U.S. Country Studies Program)
- UNDP의 적응정책체계 (UNDP Adaptation Policy Framework, APF)

- 다지역, 다부문 기후변화 영향 및 적응에 관한 평가 (Assessments of Impacts and Adaptation to Climate Change in Multiple Regions and Sectors)
- 국가 적응 프로그램 실행 준비 지침서 (Guidelines for the Preparation of National Adaptation Programmes of Action(NAPA))
- 기후영향의 적응 방안에 관한 영국 프로그램: 위험, 불확실성, 의사결정 (UK Climate Impacts Programme(UKCIP) Climate Adaptation: Risk, Uncertainty and Decision Making)

OECD와 UNDP 적응 분석방법 활용방안 및 시사점

OECD와 UNDP에서 제시하는 기후변화 영향평가 분석체계는 기존의 환경문제의 경제적 분석과 유사하다. 다양한 비용편익분석, 여행자비용, 가상평가법 (CVM, contingent valuation method) 등 가치 추정 도구와 함께 일반균형모형의 적용 등을 포괄하고 있다. 또한 적응의 영향 평가와 함께 다양한 방식의 적응 대안의 선정, 수행, 효과분석의 중요성도 강조하고 있다. 또한 전반적인 기후변화 영향효과 분석은 기후변화와 지속가능한 발전의 거시적 관계에서 수행되어야 함을 제시하고 있다. 즉, 온실가스의 발생과 기후변화로 야기되는 환경문제가 경제사회체제 및 생태계에 미치는 효과를 전체적으로 파악하여야 한다. 따라서 기후변화 적응 영향 분석은 경제, 사회, 환경의 다층적인 연계를 통하여 이루어져야 한다. 대부분 국제기구의 연구 자료를 근거로 하여 요약된 기후변화 적응의 효과 추정방법론은 <그림 3-9>에 제시되어 있다. 우선 적응 영향 평가 대상이 정량화 가능한지를 판단하고, 가능할 경우 CBA 방식을 택하고 가능하지 않을 경우에는 대안적 방식을 선택한다. <그림 3-9>는 대안적 방식으로 다기준 분석방법을 제시하고 있다.



<그림 3-9> 기후변화 적응의 효과측정

제4장 국제사회의 기후변화 영향평가 및 적응연구 동향

본 장에서는 기후변화협약 상의 기후변화 영향 및 적응관련 이슈 논의 과정과 각국의 부문별 기후변화 영향평가 및 적응관련 연구체계, 그리고 부문별 주요 연구결과를 중심으로 제시하였다.

1. 기후변화협약상의 적응논의

가. 기후변화협약상의 적응관련 이슈 논의 전개과정

유엔기후변화협약(UNFCCC)의 목적(협약 제2조)은 "기후체계가 위험한 인위적 간섭을 받지 않는 수준으로 대기 중 온실가스 농도의 안정화를 달성하는 것이며 그러한 수준은 생태계가 자연적으로 기후변화에 적응하고 식량생산이 위협받지 않으며 경제발전이 지속가능한 방식으로 진행되도록 할 수 있기에 충분한 기간 내에 달성되어야 한다"는 것이다. 이러한 목적을 달성하기 위해 협약 상 명시된 공약에서는 자연적으로 기후변화에 적응토록하기 위한 적응조치들을 강조하고 있다(협약 제4조 1항(나), (마), (바), 제4조 4항, 4조 8항, 그리고 4조 9항). 특히 4조 1항 (마)와 (바)에서는 기후변화 영향의 범주를 예를 들어 제시하고 있는데 연안관리, 수자원, 농업, 공중보건 및 경제 분야를 강조하고 있다.

협약에서는 기후변화 완화와 적응을 균형 있게 고려할 것을 명시하고 있으나 그동안 국제사회에서는 협약의 목적을 달성하기 위해 온실가스 농도를 안정화하기 위한 활동 즉, 완화조치(mitigation)에 역점을 두어 왔으며 특히 선진국에 온실가스 배출감축을 의무화하는 교토의정서 이행에 중점을 두었다[15]. 이러한 노력은 기후변화협약 당사국 총회(Conference of Parties: COP)가 7번에 걸쳐 열리는 동안 계속되었는데 즉, 1995년 COP 1의 Berlin Mandate에서 2001년 COP 7 Marrakesh Accord까지는 기

15) 2005년 2월 16일, 교토의정서 발효에 따라 2012년까지(2008-2012년, 1차 공약기간) 소위 선진국(미국, 호주 등은 불참)들은 온실가스 배출감축의 정량적 목표를 의무적으로 달성해야 한다.

후변화협약 대응의 큰 2개의 축(<그림 3-1>)에서 온실가스 배출을 저감하는 기후변화 완화에 주로 협상의 논의가 맞추어져 왔다.

기후변화협약 대응에서 '적응'의 중요성은 COP 7 이후 개발도상국을 중심으로 논의가 전개되었고 2002년 COP 8에서 적응이슈를 강조하는 델리선언문이 채택되면서 본격화 되었다고 볼 수 있다.

기후변화 적응과 완화, 그리고 지속가능발전을 관심 있게 다룬 당사국총회(COP)와 그 핵심 결정사항을 요약하면 다음과 같다.

- COP 7 : 지속가능발전을 지지하면서 적응과 완화를 위한 기금(fund) 설립을 이끌어 낸 마라케시 합의문(Marrakesh Accords), 기술이전을 위한 프레임워크, 교토의정서를 운용하기 위한 세부사항 합의
- COP 8 : 델리 선언(Delhi Ministerial Declaration), 온실가스 저감을 통한 기후변화 완화 문제와 함께 기후변화 적응의 중요성 부각. 인도 등 개발도상국들은 선진국들이 감축의무 대상 국가를 확대하는 것보다도 개발도상국의 적응에 대한 지원과 기술이전 등이 더욱 중요함을 강조
- COP 9 : 기후변화에 대한 영향, 취약성, 적응 및 완화의 과학적·기술적·사회·경제적 측면을 각각 독립된 의제로 다루기 시작하면서 적응에 대한 관심 증대
- COP 10 : 기후변화 영향과 적응조치에 대한 부에노스아이레스 프로그램으로 5개년 작업계획 수립의제 채택(결정문 1/CP.10)

2004년 12월, 부에노스아이레스에서 열린 제10차 기후변화협약 당사국 총회는 협약 하에서의 10년간의 활동을 특징지을 뿐만 아니라, 2005년 2월 16일 교토의정서 발효를 위한 준비회의의 성격을 갖는 총회였다. 특히 COP 10에서의 성과는 '적응(adaptation)'을 기후변화에 대한 국제적 논의의 주류로 자리매김할 수 있게 해주었다는 점이다. 즉, 이상기상 등의 기후변화의 증거가 늘어나고 있다는 인식에 따라 COP 10에서는 "적응과 반응(response)에 관한 부에노스아이레스 작업계획 수립"에 관한 의제를 채택하였다. 작업계획에는 취약성에 대한 과학적 평가 및 적응옵션 마련, 최빈

국에서의 적응에 대한 '국가행동계획(National Action Plans)'의 지원, 그리고 적응을 지속가능발전 계획의 주된 이슈로 채택하는 등의 내용이 포함되어 있다.

COP 10은 기후변화에 있어서 적응과 완화는 지속가능발전에 영향을 주며, 다시 지속가능발전을 위한 조치는 적응과 완화 조치와 맞물려있다는 현재 국제사회의 인식을 바탕으로 하고 있다. 이러한 인식의 변화는 자연스러운 것으로, 의제 21(Agenda 21; 1992), 새천년개발목표(Millennium Development Goals; 2000), 지속가능발전을 위한 지구정상회의(World Summit on Sustainable Development; 2002) 등이 UNFCCC에 영향을 주면서 지속가능발전에 대한 논의가 포함되었고, 특히 적응과 연결되었다는 것을 알 수 있다.

2005년 12월 캐나다 몬트리올에서 개최된 COP 11에서는 기후변화 영향과 적응 5개년 작업계획이 마침내 채택되었다. 작업 프로그램에는 프로그램 목표, 활동영역, 절차 및 세부방식 등이 포함된다. 기후변화협약 부속기구에서는 적응과 관련하여 국제사회에서 논의할 주요 이슈로 방법론, 데이터 및 모델링 취급, 취약성 평가, 적응계획, 조치 및 활동 그리고 지속가능발전과의 통합 등을 강조하고 있다.

즉, 기후변화에 대한 오랜 논의과정은 적응과 완화, 그리고 지속가능발전의 이슈를 통합하여 평가할 수 있는 정책이 필요하다는 방향으로 나아가고 있다. 특히 위에 제시한 최근의 COP 10과 COP 11의 동향은, 과거 온실가스 '완화'에 주로 관심을 기울이고 있던 상황에서, 이미 진행되고 있는 기후변화의 영향에 주목하고 그에 대응하는 방식으로서의 '적응'에 대한 논의에 물꼬를 튼 셈이다. 결국 국제사회에서는 2006년부터 적응관련 논의와 전문적 연구 활동이 활발해 질 전망이며 이러한 적응이슈는 2012년 교토체제 이후의 기후변화협약 협상 전개에서 새로운 변수로 작용할 수도 있다고 전문가들은 전망하고 있다. 이러한 과정에서 IPCC에서 발간하는 평가보고서는 기후변화협약 이행의 국제협상에 있어 과학적, 정책적인 판단을 하는데 크게 기여하고 있다. 참고로 2007년 말 발간을 목표로 하고 있는 IPCC 제4차 평가 종합보고서(synthesis report)에서는 기후변화의 적응, 완화와 지속가능발전과의 연계에 대한 중요성을 부각시킬 전망으로 다음의 6가지 즉, 1)기후와 기후영향에 있어 관측된 변화, 2)변화의 원인, 3)시나리오별로 기후변화와 기후변화의 단·장기 영향, 4)전 지구 및

지역수준에서의 적응과 완화 옵션 및 대응, 지속가능발전과의 상호관계, 5)장기 전망: 기후변화협약의 목적 및 조항에 부합하고 지속가능발전의 범주에 있어서 적응 및 완화 관련된 과학 및 사회경제적 관점, 그리고 6)중대 발견(robust findings) 및 주요 불확실성 확인 등을 주요 범주로 고려하고 있다[16].

나. 적응 5개년 작업계획에 대한 각국의 입장[17]

2004년 개최된 COP 10에서는 과학기술자문부속기구(SBSTA)로 하여금 COP 11에서 당사국들이 최종 결정할 수 있도록 "기후변화에 의해 나타나는 과학적·기술적·사회경제적 측면에서의 영향과 취약성 및 그에 따른 적응 전략"을 위한 5개년 작업계획안을 제출하도록 하였다. 이에 따라 5개년 작업계획의 주요 요소를 결정하기 위한 선행 작업으로 방법론, 데이터와 모형, 취약성 평가, 적응 계획, 대책과 이행, 지속가능발전 방안으로의 통합 등에 대한 견해를 당사국들에 제출하도록 요청한 바 있으며 2005년 5월, SBSTA-22에서는 회의 기간 중 개최된 워크샵을 통해 적응 프로그램의 작업계획(WP)에 포함될 5가지 요소 (WP의 포괄적 목표; 범주; 구성, 주요 milestone과 성과물; 초기 세부적인 활동내용; WP의 검토방식 및 발전방향)에 대한 각국의 입장이 발표된바 있다. 2005년 10월에는 적응관련 5개년 작업계획에 대한 비공식 워크샵이 COP 11 이전에 개최되었다. 상기 두 번의 워크샵을 통해 각국이 제안한 내용의 요지는 다음과 같다.

중국

- 작업계획에서 추구하는 목표는 기후변화에 적응하기 위한 지구적 수요(global demand)에 기반을 두고 정의되어야 하며 이에 따라 적응과 지속가능발전 체제와의 통합을 촉진하는 것에 두어야 함.
- 기후변화에 적응하기 위한 지구적 수요로는 기후변화 영향 및 적응 분석을

16) 2004년 개최된 IPCC 20차 총회에서 범위와 내용에 대한 논의가 있었다.
17) UNFCCC SBSTA, 2005, Item 3 of the provisional agenda (Scientific, technical and socio-economic aspects of impacts of, and vulnerability and adaptation to, climate change).

위한 모델, 방법의 불확실성 감소, 그리고 개발도상국을 중심으로 한 각국에 대한 능력향상임.

- WP 범주로는 1/CP.10에 명시된 주요 요소(방법론, 데이터 및 모델, 취약성 평가, 적응계획 및 행동조치, 그리고 지속가능발전과의 통합)와 과학적인 관점, 시범 프로젝트 추진의 3가지가 적합
- 5년 후 WP의 성과물로는 적응의 주요 분야(농업, 수자원, 해안지역관리 등)에서 당사국들이 활용할 수 있을 정도로 일련의 모델 및 방법론이 크게 향상되는 것과, 적응관련 기술을 개발도상국에 이전할 수 있는 메커니즘을 수립하는 것임.
- 초기 세부적인 활동으로는 영향과 적응에 관련된 이슈 확인, 개발도상국 전문가들을 위한 강화된 기술훈련 및 대화채널의 구성이며 WP를 다음 단계로 발전시키기 위한 검토 절차가 매년 이루어져야 함
- 전문가 그룹 형성과 같은 시급한 추진사항에 대해 상향식 접근(bottom-up approach)이 필요하며 적용 가능한 분야를 단기와 장기로 구분하는 2 트랙 접근 방식 제안

일본

- 적응프로그램은 기후변화의 취약성 확인과 만족스러운 지식 축적을 목적으로 해야 하며 이를 위해 주요 이슈별 개별 로드맵 작성과 로드맵상의 특정 임무를 수행하기 위한 이행체계 수립이 필요함.
- WP의 범주로는 1/CP.10에 명시된 주요 이슈에 대한 작업, 부속기구회의 기간 중의 지속적인 워크샵 개최, 관련 자료 및 정보의 배포 등이 포함됨.
- 특히 WP 범주에 있어 4가지 이슈 중 방법론, 데이터 및 모델과 취약성 평가가 우선 추진되어야 하며 이를 위해 지역모니터링시스템(regional monitoring system) 구축을 제안하고 지역의 선진국내에[18] '기후변화 모니터

18) 여기서 지역의 선진국으로 일본은 자국을 염두해 두고 있으며 이로써 일본은 특히 아시아지역에서 기후변화 관련 연구의 선두 역할을 목표로 하고 있음

링 평가 센터(climate change monitoring assessment centers)' 설립의 필요성을 피력

- 영향평가와 방법론에 초점을 맞출 것을 주장

EU

- 작업계획은 기후변화의 시·공간적인 특성을 고려하여 기후변화로 인한 지역적이고 국부적인 영향, 취약성 및 위험을 확인하고 평가할 수 있도록 함으로써 모든 당사국들에 도움이 되어야 하며, 국가/지역의 개발계획 과정과 적응 및 기후위험 요소의 통합 촉진에 도움이 되도록 하는데 목적을 두어야 함
- WP의 구성은 기존의 축적된 관련 정보 및 교훈의 가용자원의 활용(stock-taking), 기후변화 영향, 취약성, 적응평가를 향상시키는데 있어서의 문제요인과 소요 및 기회에 대한 확인, 적응 이행을 위한 기존 제도의 메커니즘/관련 기관의 확인 작업 등이 해당함.
- WP 검토는 2007년 IPCC 4차 평가보고서 발간이후 진행될 것을 제안

미국

- 작업계획은 기후변화 영향, 취약성 및 적응에 대한 과학적, 기술적 정보 및 경험의 적용을 향상시키는데 목표를 두고 실질적이고 구체적인 결과에 초점을 맞추며 기후변화 적응 문제를 다루는데 있어 통합적이고 비용효과적인 방향으로 추진되어야 함.
- 특히 미국은 계획의 범주 및 구성에 있어 분야별 접근(sectoral approach)을 강조하는데 1-3개년에는 예를 들어 수자원, 농업, 해안지역 관리 분야에 대해 집중적으로 방법론, 데이터 및 모델, 취약성 평가(overview paper)를 수행하고 전문가 워크샵을 통해 의견을 교환하면서 4-5개년에는 지속가능발전과의 통합과 지방, 지역 그리고 국제적 수준에서의 실질적인 적용을 고려할 것을 제안
- WP 초기 세부적인 활동으로는 분야 선택(choose sectors), 관련 분야 파트너 및 전문가 확인, 그리고 포맷 구성의 중요성을 강조

뉴질랜드

- 뉴질랜드는 주요 이정표로 SBSTA로 하여금 각 당사국들에게 국가보고서(national communication) 제출 시 기후변화 영향, 취약성, 적응문제를 다루는데 있어서 국가, 지역, 전지구차원의 결정적인 한계에 대한 각국의 견해, 적응능력(adaptive capacity)의 정도 및 한계 등을 보고서에 포함하도록 요청할 것을 제안
- 또한 WP의 범주가 광범위하므로 1-2년 단기계획으로 구체적이고 상세하게 우선순위를 정하여 추진하고, 계획의 중간단계 검토를 거쳐 향후 필요한 소요분야와 목표달성 정도를 확인하는 절차가 필요하다고 강조

투발루(AOSIS)와 방글라데시

- 이들 국가들은 WP에서는 현재 및 미래 기후변화에 특히 취약한 도서국가 및 개발도상국 지역에 초점을 맞춰 '행동지향'의 필요성을 강조하고 WP 범주에도 취약한 국가들의 긴급한 필요 사항, 취약성 평가, 적응계획 및 행동이 포함될 것을 제안

위에 제시한 각국의 입장에서 알 수 있듯이 적응문제를 접근하는데 있어 선진국과 개발도상국간에 다소 의견 차이가 있다. 하지만 국제사회는 기후변화 영향, 취약성 및 적응에 대한 과학적, 기술적 정보 및 경험의 적용을 향상시키는데 목표를 두고 취약분야를 완화할 수 있도록 실질적이고 행동 지향적 조치와 결과에 초점을 맞추어야 하며 기후변화 적응문제를 다루는데 있어 통합적이고 비용효과적인 방법으로 추진되어야 한다는 데는 대부분 국가가 입장을 같이하고 있다.

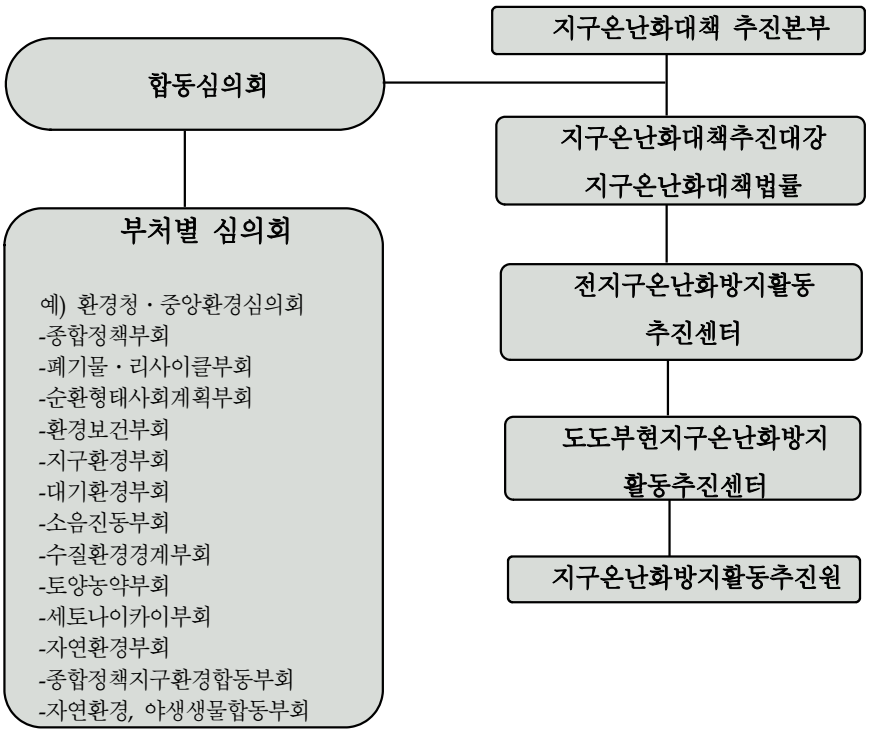
적응이슈가 개발도상국가의 문제 제기로 출발한 것은 사실이나 최근 미국 등 선진국을 비롯하여 세계 각국에서 산발적으로 일어나는 기후변화 연관 기상재해 사건들을 경험하면서 소위 선진국들도 기후변화 영향으로부터 자유롭지 못하다는 것을 인식하게 된 것이다.

2. 주요국가의 기후변화 영향평가 및 적응 대응체제

본 절에서는 일본, 영국, 미국을 중심으로 각국의 지구온난화 대응체제와 기후변화 영향평가 대응체제에 대해 살펴본다.

가. 일본

일본은 지구온난화 문제를 해결하기 위하여 자원순환형의 경제사회를 건설하고, 국민의 이해와 각계 각층의 참여와 협력 및 모든 정책 수단을 동원하여 실질적인 목표가 달성되도록 기본적인 방향을 설정하고 있다. 일본 정부의 지구온난화대책 추진체계는 다음 <그림 4-1>과 같다.



<그림 4-1> 일본의 지구온난화 대응체제

자료: 조광우 외.(2002)

일본 정부의 기후변화대책 추진의 주체는 지구온난화대책 추진본부이며, 추진본부에 의하여 1998년 제정된 지구온난화대책추진대강 및 지구온난화대책추진법률이 기후변화 대응에 있어 핵심을 이루고 있다. 일본의 지구온난화 대응체제는 기후변화협약에서의 의무감축을 실현하기 위한 온실가스 배출저감에 초점을 맞추고 있으며, 지구온난화의 영향에 대처하기 위한 대응체제는 환경성 중심으로 소규모로 활동하고 있다. 기후변화 영향에 대한 평가는 환경성 지구온난화문제검토위원회를 중심으로 이루어지며 그 대응 전략 및 정책 수립은 관련 행정부서를 중심으로 이루어지고 있다.

지구온난화 대응체제

일본 정부는 기후변화협약 및 교토의정서의 원활한 수행과 지구온난화 방지와 관련한 구체적이고 실효성 있는 대책을 종합적으로 추진하기 위하여 내각에 지구온난화대책추진본부를 1997년 설립하였다. 추진본부의 구성은 내각총리대신을 본부장으로 하며, 부본부장은 내각관방장관, 환경청장관, 통상산업대신 3인이 맡고 있다. 본부원은 국가공안위원회위원장, 북해도개발청장관, 경제기획청장관, 과학기술청장관, 오키나와개발청장관, 국토청장관, 외무대신, 오오쿠라대신, 교육부장관, 후생대신, 농림수산대신, 운수대신, 우정 대신, 건설대신, 자치대신 등 다수의 각료들로 구성되어 있다. 본부에는 간사를 두고 있으며 간사는 관계 행정기관의 직원으로 본부장이 지정한 관직에 있는 자로 하고 있다. 본부의 서무는 내각관방에 두어 환경청 및 통산산업성의 협력을 얻어 처리하는 형태를 갖추고 있다.

지구온난화대책추진본부의 주요업무는 교토의정서 상의 온실가스 의무감축 준수를 위한 이행방안 마련, 지구온난화 대책의 종합적 계획수립 및 추진, 온실가스 억제대책 추진, 산림 등 이산화탄소 흡수원 대책 추진, 환경·에너지부분 기술의 연구개발 강화, 국제 협력의 추진 등을 포함하고 있다. 위와 같은 지구온난화와 관련한 포괄적인 업무를 효율적이며 체계적으로 추진하기 위하여 추진본부는 1998년 지구온난화대책추진대강 및 지구온난화대책추진법률을 제정하였으며 동 대강 및 법률에 의거 기후변화협약 대응을 해오고 있다. 추진본부에 의하여 제정된 지구온난화대책추진대강 및 지구온난화대책추진법률에 의한 일본 정부의 지구온난화 대책의 기본 방향은 에

너지 효율 향상과 신재생에너지 도입 그리고 안전성 높은 원자력발전 입지확보 등을 중심으로 온실가스배출감축 대책을 추진하는 것을 골자로 하고 있으며, 지구온난화 대책의 실효를 거두기 위해 정부의 솔선수범, 섬머타임제와 같은 환경친화적 생활양식의 확립, 배출권거래, 공동이행, 청정개발체제 등의 교토메커니즘을 활용하고 개발도상국의 지구온난화대응 능력 강화 등을 포함하고 있다.

지구온난화 대책의 추진에 관한 기본 방향 및 주요 정책은 지구온난화 문제와 관련 있는 9개의 심의회로 구성된 합동심의회에서 결정된다. 지구온난화대책추진본부장은 각의를 결정하기 위해 지구온난화대책 추진에 있어 지구온난화 문제 국내 대책에 관하여 각 부처별 최고심의 기구인 관계심의회 합동회의 개최를 요구할 수가 있다. 필요에 따라서 추진본부와 합동심의회의 회원들과의 공동 회합도 개최하고 있다. 합동심의회에서 검토하는 분야는 온실가스배출 및 감축과 관련된 산업, 민생, 운송 부문 등 관련 분야 전반을 포함하고 있으며, 이들의 검토를 통하여 기후변화협약 대응에 관한 국가 기본방향 및 목적, 주요 정책을 결정하고 있다.

위의 합동심의회는 기후변화협약 대응을 위해 국가 전반에 관한 기본 방향 및 목적, 주요 정책을 설정하는 역할을 하는 반면 구체적인 사업 계획 및 실천 방법은 관계부처 심의회와 그 심의회의 여러 부속회의 및 협회를 통하여 시행되는 체제를 갖추고 있다. 지구온난화와 관련한 정부 기관 (성이나 청)에는 분야별 심의회가 있으며, 그 심의회에는 또한 여러 안건 별로 심의회나 조사회 등이 있다. 범국가적으로 추진할 사항이 생겼을 때에는 Task-Force 팀의 형태로 관련 심의회 대표자들로 구성된 합동심의회를 구성한다. 심의회의 구성은 각 사안에 대하여 관련 분야 전문가 (대학, 연구소, 학회 등)와 이 사안과 직접적인 관련이 있는 분야의 대표 (주부협회, NGOs, 제조업협회 등)들로 구성되어 있다. 심의회의 모임은 사전부터 공개되어 일반인의 의견수렴 및 참여가 가능하며, 또한 사후 회의록도 공개되고 있다. 심의회의 결정 사항이 정책과 법 마련에 바로 반영되고 있으며, 또한 이를 통하여 일반인의 의견 수렴 및 관심을 얻을 수 있는 창구역할을 하고 있다.

예를 들어 환경청의 경우 최고심의회의는 중앙환경심의회로서 30인의 다양한 환경 전문가로 구성되어 있다. 중앙환경심의회의 부심의회에는 종합정책부회, 폐기물·리

사이클부회, 순환형태사회계획부회, 환경보건부회, 지구환경부회, 대기환경부회, 소음진동부회, 수질환경경계부회, 토양농약부회, 세토나이카이부회, 자연환경부회, 야생생물부회, 동물애호부회, 그리고 종합정책 및 지구환경합동부회, 자연환경 및 야생생물합동부회 등 15개 부회가 있다. 부회별 주요 소관 업무는 <표 4-1>과 같다. 부회에는 소관업무의 분야별 추진을 위한 소위원회 또는 전문위원회를 두고 있다. 그 예로서 지구환경부회에는 국내제도소위원회, 목표달성시나리오소위원회, 플류톤대책소위원회가 있으며, 종합정책 및 지구환경합동부회에는 지구온난화대책세제전문위원회를 두고 있다.

전국지구온난화방지활동추진센타는 환경성 장관이 전국에 1개소를 지정할 수 있도록 한 지구온난화대책추진에 관한 법률에 따라 재단법인 일본환경협회가 전국센터로서 지정되었다. 이 센터는 지구온난화방지에 기여하는 활동을 촉진시키는 것을 기본 목적으로 하고 있다. 주요 업무는 지구온난화와 관련한 국내외 정보 수집 및 제공, 지구온난화방지를 위한 라이프스타일 개혁 활동을 위한 민간단체 지원, 일상생활에서 온난화 방지활동 및 지자체, 산업계의 대처 등에 관한 조사, 도도부현의 지역센타 지원, 지구온난화 방지에 관한 내용 보급 및 교육을 통한 홍보 활동 등을 포함하고 있다. 센터의 운영은 시민, 산업계, 지자체의 분야별 대표자들로 구성된 파트너십 형태의 운영위원회에서 심의하여 결정하는 방식을 취하고 있다.

도도부현 지구온난화방지활동추진센타는 지구온난화대책추진법률에 의거 각 도도부현 지사에 의하여 지정되고 있다. 현재 일본 전국에 9개의 미치현에서 도도부현 센타가 지정되어 지구온난화 방지활동 관련 업무를 수행 중에 있다. 도도부현 센터의 주요활동으로는 지구온난화 현상 및 지구온난화 대책의 중요성에 관한 교육 및 홍보, 지구온난화방지활동추진원 및 지구온난화대책 추진을 위해 활동하는 민간단체 활동 지원, 일상의 온실가스 배출 저감 조치에 대한 조회, 상담 및 조언, 일상생활 온실가스 배출 실태에 대한 조사 분석 및 정보 제공 등을 수행하고 있다.

<표 4-1> 일본 환경성 심의회 구성표

부회명	관련 업무
중앙환경심의회	환경기본계획과 관련, 환경기본법 제15조제3항에 규정사항처리 환경 및 관계대신 자문에 따라 환경보전에 관한 주요사항 조사심의 관련법령규정에 의거한 권한에 관련한 사무 상기에 규정된 사항과 관련 내각총리대신, 환경장관 또는 관계대신에 의견을 제시할 수 있음
종합정책부회	환경기본계획에 관한 사항 환경보전 관련 주요사항(다른부회 소장사항 제외)
폐기물・리사이클 부회	폐기물처리 및 리사이클추진 관련 중요한 주요사항
순환형태사회계획 부회	순환형 사회형성 추진기본계획에 관한 주요사항
환경보건부회	공해와 관련된 건강피해 보상 및 예방 관련 주요사항 화학물질대책 그 외 환경보건 관련 주요사항
지구환경부회	지구환경보전 관련 주요사항
대기환경부회	대기환경보전, 교통환경대책, 악취방지 관련 주요사항
소음진동부회	소음방지 및 진동방지 관련 주요사항
수질환경경계부회	수질환경경계 보전 관련 주요사항 지반환경보전 관련 주요사항
토양농약부회	토양환경보전 관련 주요사항 농약에 의한 환경오염방지 관련 주요사항
세토나이카이부회	세토나이카이 환경보전 관련 주요사항
자연환경부회	자연환경보전 및 자연공원 관련 주요사항
야생생물부회	야생생물 보호 및 수렵 관련 주요사항
동물애호부회	동물보호 및 관리 관련 주요사항
종합정책. 지구환경합동부회	환경기본계획에 관한 사항 지구환경보전 관련 주요사항
지구환경, 야생생물합동부회	지구환경보전 관련 주요사항 야생생물 보호 및 수렵 관련 주요사항

자료: 조광우 외.(2002)

지구온난화대책추진법률에 의거 도도부현 지사는 지역 내에서 지구온난화 현상, 지구온난화 대책에 관한 지식 보급 및 지구온난화대책 추진을 위한 활동에 열의와 식견을 가진 사람 중에서 지구온난화방지활동추진원을 위촉할 수 있도록 하고 있다. 현재 지구온난화방지활동추진원은 12개 현에서 1,453명이 위촉되어 활동을 수행하고 있다. 추진원의 주요 임무는 지구온난화 현상 및 대책의 중요성에 대해 주민의 이해를 높이는 것, 해당 주민에 대해 일상생활 온실가스 배출 저감 등을 위한 필요한 조언을 하는 것, 지구온난화대책 추진 활동을 수행하는 주민에 대해 당해 활동에 관한 정보 제공 등 기타 협력을 하는 것, 온실가스의 배출 저감 등을 위해 국가 또는 지방공공단체가 행하는 시책에 필요한 협력을 하는 것 등을 법률로 규정하고 있다.

영향평가 대응체제

지구온난화가 일본에 미치는 영향을 평가하기 위하여 일본 환경성은 1988년부터 전문가라고 이루어진 「환경성지구온난화문제검토위원회」를 구성하였다. 1991년에는 산하에 「영향평가분과위원회」가 구성되었고 동 분과위원회 활동을 통해 일본의 기후변화 영향평가 연구가 「The Potential Impacts of Climate Change in Japan」(NIES, 1993)으로 출판되었다. 이 영향평가서는 일본 국내 및 해외에 보급되어 기후변화가 일본에 미치는 영향 및 향후 필요한 연구에 대한 정보를 연구자들과 정책결정자들에게 소개함으로써 지구환경연구에 대한 예산 증가와 더불어 일본의 기후변화 영향 평가 연구를 학계를 중심으로 활성화하는 계기가 되었다. 그 후 제 2차 영향평가는 1995년 12월 환경청 지구온난화문제 검토위원회 산하에 지구온난화영향평가 작업그룹을 설립하여 1차 평가 이후의 각 분야의 연구 결과를 요약 정리하였으며 향후 필요한 연구내용을 정리하였다. 그 결과는 1998년 Global Warming-The Potential Impact on Japan (Nishioka and Harasawa, 1998) 단행본으로 출판되었다. 제3차 평가서는 1차 및 2차 평가서와 유사한 체제 하에서 작성되어 2001년 3월 발간되었다.

일본 국토 전역의 전 분야에 대한 영향평가에는 여러 가지 목적을 가지고 있다. 먼저 이 영향평가는 기후변화협약에 의하여 일본이 제출하는 국가보고서 (National Communication)의 일부분인 '기후변화가 일본에 미치는 영향' 자료로 사용되며 2001

년 완성된 IPCC 제3차 평가보고서에 일본의 국가 자료로 활용되었다. 이것으로 기후변화에 대한 일본의 취약성을 세계에 전달하게 되는 것이다. 둘째, 이 보고서는 일본 국민에게 자신들의 삶과 밀접한 기후현상을 가지고 기후변화의 대응전략 필요성을 설명함으로써 기후변화에 대한 적절한 정보를 제공하는 역할을 하고 있다. 셋째, 기후영향평가 및 대응전략 연구자들에게 현재까지의 연구 상황을 소개함으로써 다음 연구 과제에 대한 지침을 제공할 수 있도록 한다. 넷째, 이 평가 작업을 통해 기후변화 영향에 관련된 여러 분야의 연구자들 사이의 네트워크를 형성하는 것이다.

작업의 체제는 먼저 7개의 주요분야 (기후 · 자연생태 · 농림수산업 · 수문수자원/수환경 · 사회기반 · 건강 · 취약성평가)에 대한 작업그룹을 형성하고 분야별로 전문가 (총 31명)가 참여하도록 구성되었다. 각 그룹은 각 학회, 지방자치단체, 연구소 등의 연구결과를 요약하였으며 그 결과를 바탕으로 해당 전문가 워크샵을 개최하여 조정을 거친 후 초안을 만들어 검토위원회의 검토를 거쳐 완성되었다. 기후변화 영향평가 분야별 내용은 아래의 <표 4-2>와 같다. 일본의 영향평가 결과는 학계, 행정부, 일반인에게 주기적으로 제공되고 있다. 학계에서는 향후 영향 평가의 방향 및 연구 내용을 검토하여 영향평가 관련 연구를 지속적으로 수행하며 정부는 부서별로 대응 전략 및 정책을 개발하는 역할을 하고 있다.

<표 4-2> 일본 지구온난화 영향평가 분야별 내용

영향 평가 분야	영향 평가 내용
기후변화예측	○ 지구규모 기후변화예측 ○ 일본의 기후변화 예측 - 기온 및 강수량 변화 - 일본 고유의 기상현상 변화
자연생태계에 대한 영향	○ 산악지역에 대한 영향 ○ 초지에 대한 영향 ○ 사막화 ○ 습지에 대한 영향 ○ 생물다양성, 자연보호구역에 대한 영향
농림수산업에 미치는 영향	○ 농림수산업의 중요성 및 취약성 ○ 일본에서 농림수산업의 최신 연구 분야 ○ 향후 농림수산업의 과제
수문·수자원 및 수환경에 미치는 영향	○ 수문·수자원 ○ 담수생태계 ○ 연안·해양 환경
사회기반시설 및 사회·경제 시스템에 미치는 영향	○ 연안역, 거주지, 사회기반시설, 산업활동의 현상과 문제점 ○ 연안역, 거주지, 사회기반시설, 산업활동의 취약성에 관한 연구 상황
건강에 미치는 영향	○ 인간 건강에 대한 직접적인 영향 ○ 매개성 질병에 대한 영향 ○ 온난화가 사망률에 미치는 영향
기후변화에 대한 일본의 취약성	○ 이상기상에 대한 일본의 취약성 ○ 온난화가 환경 질에 미치는 영향 ○ 1994, 1995년 폭서에 의한 영향 ○ 향후 과제 - 이상기상 등이 사회·경제에 미치는 영향 평가 - 온난화 영향의 탐지 - 사회·경제 시스템의 취약성 평가 방법 확립과 그에 따른 평가 - 국지·지역적 오염과 온난화와의 관계 분석

자료: Nishioka and Harasawa(1998).

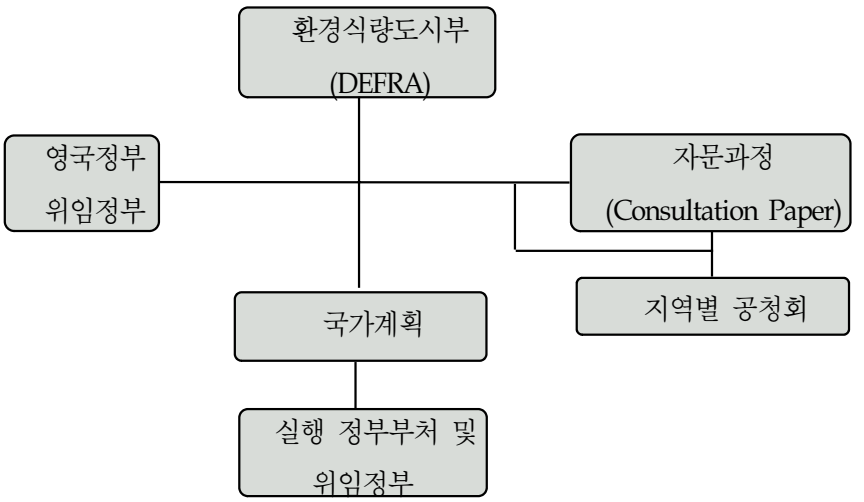
나. 영국

지구온난화 대응체제

영국의 지구온난화 대응은 영국기후변화프로그램 (UK's Climate Change Programme)에 기초하고 있다. 이 국가계획은 영국 정부의 총괄적 주관 하에 지속적인 재검토와 정책 이행평가가 이루어지고 있다. 영국정부의 기후변화 대응체제는 환경식량도시부 (Department for Environment, Food and Rural Affairs: DEFRA)의 책임 하에 영국 정부와 위임 정부가 참여하는 체제를 가지고 있다. 영국 기후계획의 수립은 DEFRA 중심으로 초안을 작성하고 다양한 이해당사자들로부터 광범위한 의견수렴 과정을 거치는 것이 큰 특징이라 하겠다. 최종 수립된 국가계획은 DEFRA를 포함한 정부의 관련 부처들을 중심으로 이행되는 과정을 거치고 있다.

수립된 국가계획은 각 부처의 책임 하에 이행되는 체제를 가지고 있다. 수립된 국가 계획 중 DEFRA는 주거 분야, 열병합 및 발전과 같은 에너지 분야, 그리고 배출거래제에 대한 책임을 맡고 있다. 영국 정부 (UK government)와 3개의 위임 정부 (스코틀랜드 의회, 웨일스 의회, 북아일랜드 의회)로 구성된 대응체제에서 위임정부는 각각의 관할권 내에서 온실가스 배출 저감 목표, 이행 정책 등과 같은 국가기후변화프로그램의 전파 및 수행의 임무를 맡고 있다. 각 지역 정부는 그들의 관할권내에 지역 차원의 정책이행에 대한 책임을 맡고 있으며 중앙정부는 지역정부의 정책 수행에 대한 자금 지원, 장려, 그리고 안내자의 역할을 수행하고 있다.

DEFRA는 구 환경교통지역부 및 농업수산식품부가 통합되어 생성된 부처로서 기존의 부처들에 분산되어 있던 기후변화관련 프로젝트들을 통합하여 주관하고 있다. 기후변화관련 국가 계획에 많이 관여하고 있는 DEFRA의 환경보호국은 에너지환경 폐기물부, 환경・위험 및 대기부, 환경보호전략부, 수질 및 토양부가 있으며 각 부는 주요업무별 팀으로 구성되어 있다. 환경식량도시부의 주요업무 및 대응분야에서 제외된 국가기후변화프로그램 정책관리 및 수립의 협력기관으로는 교통, 지자체, 지역부, 무역산업부, 재무부, 외무부, 임업위원회, 국제개발부 등이 있다. 각 협력부는 1명의 Green Minister를 위임하여 각 부처별 국가기후변화프로그램 및 기후변화관련 대책 프로그램의 운영을 관리한다.



<그림 4-2> 영국의 지구온난화 대응체제

자료: 조광우 외.(2002)

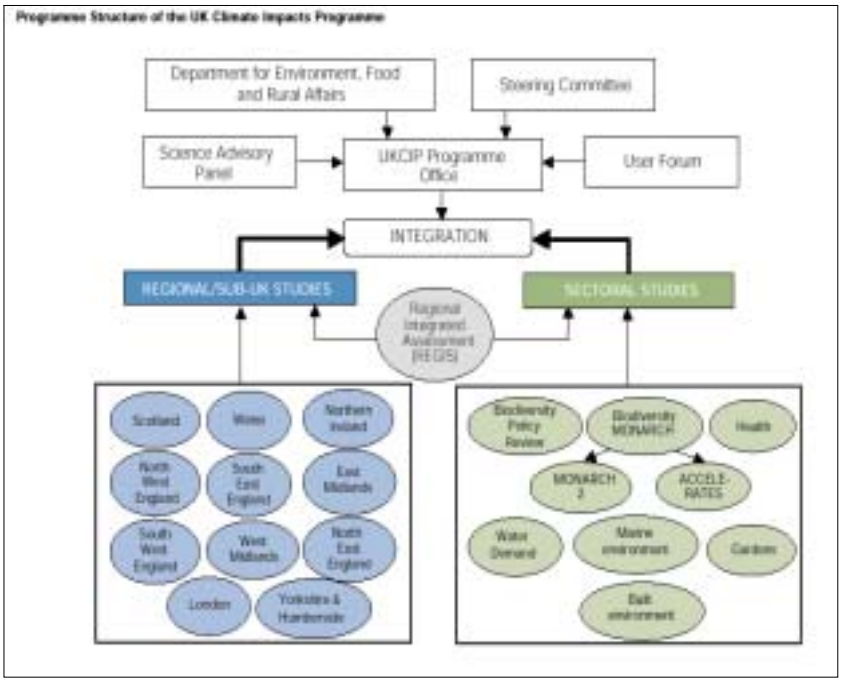
영국 정부와 위임 정부는 국가기후변화 종합계획 수립 시 환경식량도시부의 책임 하에 다른 정부 부처들과 협력을 통하여 매우 폭넓은 자문과정을 거치고 있다. 주요 자문방식은 국가기후변화프로그램의 수립 시 10,000부 이상의 국가기후변화프로그램 초안을 정부 부처, 학계 및 연구소, 산업계, 지자체, NGOs, 일반 대중 등 모든 이해당사자에게 배포하여 다양한 의견을 수렴하는 형태를 띠고 있다. 배포된 국가계획의 초안에 대한 응답 그룹의 구성에 있어서도 산업계 (39%), 지자체 (11%), 대표그룹 (30%), 공공단체 (5%), 학계 및 일반대중 (11%), 환경단체 (4%) 등 다양하게 분포하고 있어 각계각층의 의견이 수렴되고 있는 것으로 평가되고 있다. 수집된 다양한 의견은 전문 연구기관의 분석을 통해 국가계획에 포함시키는 과정을 거친다. 개정된 국가계획은 지역별 공청회의 과정을 거치고 있다. 지역별 공청회는 각 지역의 이익과 대중교육, 전파 그리고 지역사회에 맞는 국가 정책 개발 및 대안 제시를 목적으로 하고 있다. 영국 정부와 위임 정부 그리고 환경식량도시부는 공청회의 일정과 지역별 자문이 필요한 의제를 공고하고 지역 참가자의 신청을 받아 공청회를 개최하고 있다. 이와 같은 영국기후변화 대응체제의 광범위한 자문 과정은 지속적으로 변화하는 환경과 정책의 개선을 위해 행해지고 있는 것으로 파악되고 있다.

영향평가 대응체제

1997년 영국 정부는 해수면 상승을 포함한 지구온난화에 따른 기후변화 영향을 평가하고 가능한 적응 전략 수립을 위한 조정기구로써 영국기후영향프로그램 (UKCIP: UK Climate Impacts Programme)을 UKCCP 활동의 일부로서 설립하였다. UKCIP 활동은 연구결과들이 통합되어 국가 및 지역 정책에 활용될 수 있어야 하므로 공통의 통합적인 골격하에 구성되어 있다. 연구의 통합적인 접근은 연구에 사용되는 자료 및 시나리오를 공통적으로 사용하는 것과 연구비 제공자와 연구자들의 네트워크 구성 및 특정한 평가 방법론 개발을 통하여 가능하다.

UKCIP의 주요 특징을 살펴보면 과학과 정책결정자 사이의 직접적인 연결을 통하여 연구 결과가 국가, 지방 및 지역 단계에서 필요한 정책으로 활용되고 연구가 수요자 중심으로 제공되도록 하고 있다. 또한 기후변화 영향평가에 대한 이해당사자와의 새로운 파트너십을 형성하도록 하고 있다. UKCIP는 다양한 영향 평가 연구들이 국가 차원에서 정책 결정에 유용하며 통합적으로 활용될 수 있도록 체제가 구성되어 있다. 또한 정보 교환 및 홍보를 통하여 기후변화 영향에 대한 제도적 인식을 증대시키는 데 초점을 두고 있다.

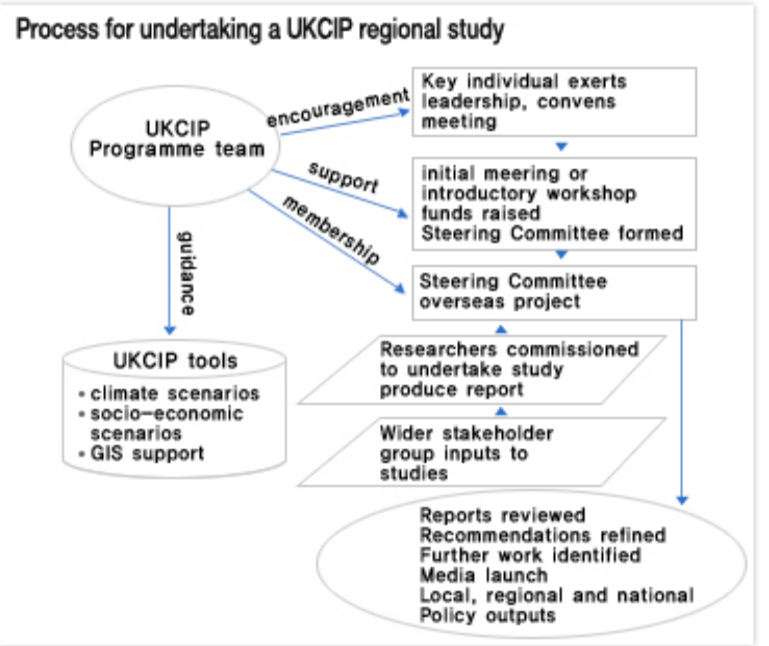
UKCIP의 구조는 <그림 4-3>과 같다. 먼저 UKCIP는 DEFRA가 주관하며 주요 정부부서, 공공 기관, 국민 개인 및 NGOs의 대표들로 구성된 조정위원회 (Steering Committee)의 자문을 받는다. 과학자문패널 (Science Advisory Panel)은 UKCIP의 통합을 감독하며, 이용자 패널 (User panel)은 각종 기관이 기후변화 영향에 대하여 UKCIP와 상호 작업을 할 수 있도록 하고 있다. 지난 3년간 UKCIP는 다양한 기관들의 이해당사자들이 이끄는 분야별, 국가별, 지역별 기후변화 영향평가 연구를 수행하였다. 그 결과 많은 지역을 대상으로 영향연구에 대한 정보와 자료를 수집하였고 그 정보들은 해당 지역에 대한 기후변화 취약성 정보 및 지역 내의 적응 수단 정책 개발을 위하여 제공되고 있다.



<그림 4-3> 영국 기후변화 영향평가 프로그램 구조

자료: 조광우 외.(2002)

지역별 영향평가를 수행하는 절차는 <그림 4-4>와 같다. 영향평가 분야는 생물다양성, 건강, 수자원, 홍수, 농업, 연안역 및 해양환경, 건축 환경 (각종 구조물, 도로, 철도, 전력공급계통 등)등이 있다. 그 이외에 UKCIP는 영향평가를 위한 기본적인 도구를 제시하고 있는데 그 도구로는 영국 Hadley Centre 지구 기후모델 결과에 의한 영국 기후변화시나리오가 있다. 이 기후시나리오는 모든 UKCIP 영향평가 연구에 사용되어 왔다. 그러나 대부분의 영향평가는 이들 기후 자료보다 공간분해능이 더 높은 자료를 필요로 하기 때문에 Hadley Centre에서는 지역기후모델을 개발하였고 2002년부터는 이러한 지역기후모델 자료가 영향평가 연구에 제공되고 있다. 또 다른 도구로는 영국의 사회경제시나리오, 기후변화 영향 비용 계산 방법론, 정책결정자들이 기후변화 범주에서 정책결정시 위험 및 불확실성을 다루는 지침 등을 포함한다.



<그림 4-4> 영국의 지역별 영향평가 절차

자료: 조광우 외.(2002)

위의 프로그램에 의하여 조사된 기후변화영향에 대하여 정부는 전략적 대응을 수립하고 있으며 이 대응에는 다양한 공공 및 민간 분야의 기관들이 참여하고 있다. 강이나 연안 범람 방어, 교통망, 새로운 건물이나 저수지 등과 같은 주요 인프라에 대한 계획을 위한 평가나 정책적 대응 방안에 관하여 영국 정부는 UKCIP를 통하여 향후 30 - 50년 이상의 기간에 대한 영향평가, 정책적 의미 및 관련 대응 정책을 수립하였다. UKCIP를 통하여 영향평가가 수행된 분야로는 생물다양성, 농업/원예/양식, 산림, 에너지, 수자원, 토양, 수송, 건강, 오락/관광/문화유산 및 연안역/해수면 등이 있다.

영국은 UKCIP에 의한 영향평가 및 대응 전략 수립 이외에도 기후변화의 모든 문제를 통합적으로 연구하고, 기후변화와 자국의 지속발전과 연계시키는 통합연구 프로그램으로 2000년 10월 틴달센타(Tyndall Centre)를 발족시켰다. 이 센타는 온실가

스 배출저감 및 기후변화 영향에 적응하는 전략 연구와 기후변화 문제를 자국의 지속 발전과 연계시키는 방안 개발에 초점을 맞추고 있다. 연구 인력은 경제학자, 환경과학자, 사회과학자 및 공학자 등 다양하게 구성되어 기후변화관련 종합 연구를 수행하고 있으며 연구자, 재계지도자, 정책 자문가, 언론 및 일반 대중과 공동으로 작업을 수행하고 있다.

Tyndall Centre는 세개의 위원회 즉 자연환경연구위원회(NERC: Natural Environment Research Council), 경제사회연구위원회(ESRC: Economic and Social Research Council) 및 공학및물리과학위원회(EPSRC: Engineering and Physical Sciences Research Council)로 구성되어 있다. NERC는 환경 변화의 이해 및 예측에 관한 연구에 초점을 맞추고 있으며 주요 프로그램으로는 대기, 해양 및 연안역, 빙하권의 관련 과정의 이해, 육상과정, 질소순환, 해양순환, 해양대기 상호작용 및 육지-대기 상호작용의 역할 및 영향에 관한 연구, 과거 기후변화에 대한 이해에 관한 연구 등이 있다. ESRC는 기후변화에 대한 사회경제적 영향 및 온실가스 완화에 대한 경제적 분석 연구를 주로 하고 있다. EPSRC는 UKCIP와 공동으로 건축환경, 운송 등의 기후변화 영향에 대한 연구와 더불어 기후변화 적응 전략의 공학적인 해법에 연구 초점을 맞추며 이런 적응 전략들이 영국의 경제, 사회 및 환경적인 지속발전 전략과 일치하는가를 점검하고 있다. 또한 EPSRC는 기후변화 적응 및 온실가스 저감과 관련한 다양한 활동을 지원하는데 그 중에는 지속적인 전기발전 및 공급과 도시환경 및 수자원 관리 등을 포함한다.

Tyndall Centre의 연구 주제는 기후변화연구 통합체제 구성 (Integrating Frameworks- a system approach), 현 사회의 감축방안 평가 (Decarbonising Modern Societies- a target approach), 기후변화 적응전략 연구 (Adapting to Climate Change- a questions approach) 및 연안역 보호 연구 (Sustaining the Coastal Zone-a place-based approach) 등 크게 네 가지를 포함하고 있다. 기후변화연구 통합체제 구성에 관한 연구는 기후변화 관련 정책 결정에 필요한 모든 분야 (기후시스템의 물리적 및 사회경제적 요소)의 정보를 통합하여 정책 선택에 따라 미래의 사회, 경제 기후여건에 어떤 영향을 줄 것인가에 대하여 연구를 수행한다.

기후변화 적응전략에 관한 연구는 회피할 수 없는 미래의 기후변화 및 과거의 경험에 의한 기후변화 영향에 대하여 적응하는 방안을 모색하며 기후변화는 사회의 여러 부분에서 다른 영향을 줄 수 있기 때문에 기후변화 영향의 정의와 평등 차원의 문제도 함께 고려한다. 이 분야의 연구 전략은 다음 일곱 가지 질문에 대한 대답을 찾는 것으로 요약 될 수 있다. 먼저 적응 대상, 적응 부분, 적응이 필요한 이유에 대한 질문과, 기후변화에 적응할 제도적 능력에 영향을 미치는 요소, 적응이 어려운 기후변화 수치의 존재 여부, 적응의 정의 및 평등에 관한 문제, 영향평가 대상에 필요한 도구 및 시나리오 평가방법론, 적응의 경제적 비용과 편익측정 개선 방안, 그리고 기후변화에 대한 자연계의 적응방안에 대한 연구를 포함한다.

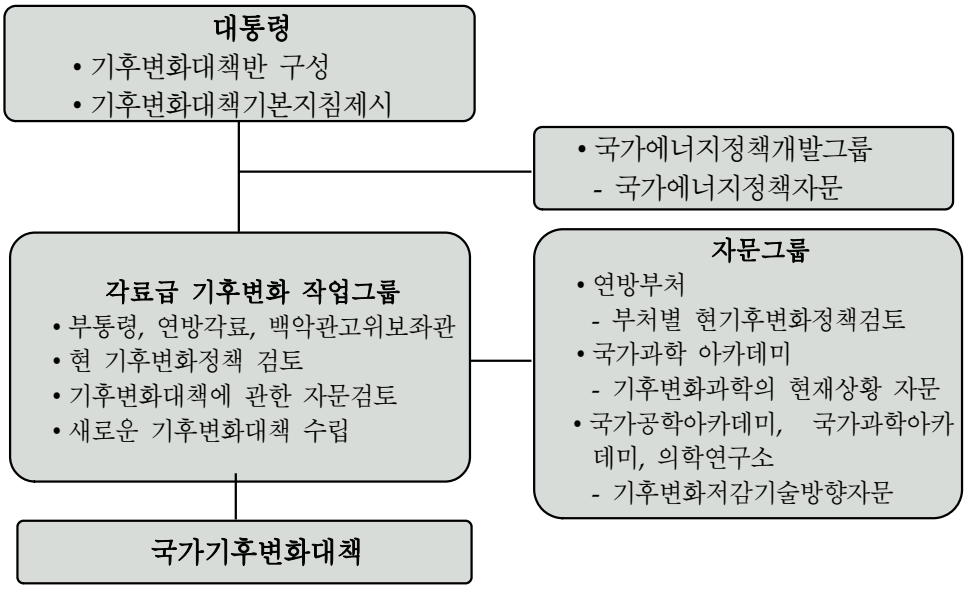
다. 미국

지구온난화 대응체제

2002년 2월 14일 미국 부시 대통령은 지구온난화에 능동적으로 대처하기 위하여 기술혁신 및 시장체제 도입을 골자로 하는 새로운 기후변화정책을 발표하였다. 미국의 기후변화대책 추진체계는 행정부에 따라 다르며 클린턴 행정부 시기에는 국가 전체적인 체계는 존재하지 않고 다만 백악관 내에 task force가 존재하였다. 부시 행정부가 들어서면서 기후변화협약에 대한 국제적인 이행 압력이 가중됨에 따라 행정부를 중심으로 적극적으로 대처하고 있다. 부시 행정부는 각료급 기후변화 작업그룹(Cabinet-level climate change working group)을 중심으로 하는 새로운 미국 기후변화대응체제를 구성하였으며 그 추진체계는 <그림 4-5>와 같다.

부시 대통령은 2001년 1월 집권 후 바로 기후변화의 심각성을 인식하고 미국의 현 기후변화정책 및 프로그램에 대한 각료급 검토 및 혁신적인 대응 조치를 개발하도록 하였다. 또한 대기 중 온실가스 농도를 안정화하는 장기적인 목적과 일치할 것, 과학적인 근거에 의해 작성될 것, 새로운 정보나 새로운 기술에 적응할 수 있도록 유연성을 유지할 것, 경제성장과 번영을 보장 할 것, 시장 체제의 인센티브를 추구하고 기술혁신에 박차를 가할 것 및 개발도상국을 포함한 지구적인 참여를 토대로 할 것 등

6개의 기본원칙을 제시하였으며, 이들 대응 조치들이 위의 기본 원칙의 토대 하에 수립되도록 기본방향을 제시하였다.



<그림 4-5> 미국의 지구온난화 대응체제

자료: 조광우 외.(2002)

각료급기후변화 작업그룹(WG)은 부시 대통령에 의하여 설립되었으며 위원은 부통령, 연방정부각료 (국무장관, 환경장관, 에너지장관, 농업장관 등) 및 백악관 고위보좌관들로 구성되었다. 이 WG은 각 연방정부 부처, 국가과학아카데미, 국가공학아카데미, 의학연구소, 국가에너지정책개발그룹 등 다양한 그룹으로부터 자문을 받고 있다. 기후변화 관련 기존 정책에 대한 검토 대상으로는 연방정부, 주정부 및 지방정부, 산업계 및 NGOs를 포함하며 검토 분야로는 전기, 수송, 산업분야, 건물, 농림, 연방정부 및 국가에너지 정책 등을 포함하고 있다. 위의 검토는 관련 각종보고서 검토 및 관련 연방부서의 협조를 통하여 이루어지고 있다. 검토 결과 현재 미국은 온실가스 저감을 위한 다양한 전략을 추구하고 있는 것으로 파악되었다. 그 주 내용으로는 에너지효율 및 재생에너지 사용을 증대시키는 자발적인 파트너십 프로그램, 연구개발 투자 및 세금지

원, 제품효율의 허용 최소기준 설정, 건물 및 수송부분에서 온실가스 저감프로그램이 포함된다.

동 WG의 다른 임무는 새로운 기후변화대책 수립을 위한 자문그룹의 자문을 검토하는 것으로서 이를 위하여 국가과학아카데미(National Science Academy: NAS) 에게 현재의 기후변화 지식 현황에 대한 보고서 작성을 요청하였다. 국가공학아카데미 (National Engineering Academy) 및 의학연구소 (Institute of Medicine)에 대하여는 기후변화 저감기술에 대한 자문을 요청하였고, 그 결과 제출된 보고서에 대하여 검토하였다. 동시에 국가에너지정책개발그룹 (National Energy Policy Development Group)의 국가에너지 정책 전반에 관한 권고사항을 검토한다. 각료급 WG에 의한 기존의 기후변화 관련 미국의 온실가스 저감 정책 검토를 위하여 연방정부 부처, 주정부 및 지방정부, 산업계 및 NGOs는 전기, 수송, 산업분야, 건물, 농림 등에 대한 정책방향 및 내용을 제출하고 있다.

국가과학아카데미는 각료급 기후변화 WG의 요청에 따라 기후변화와 관련 현재 우리가 알고 있는 것과 알지 못하는 것에 대한 최신 정보에 관한 보고서를 작성 제출하는 역할을 하고 있다. NAS 검토 결과 현재 기후변화에 대하여 다수의 불확실성이 존재하는 것을 발견하였으며 따라서 대기 중 온실가스 농도 증가 및 기후시스템의 운동을 포함한 많은 과학적 문제에 대하여 더 많은 연구가 필요하다는 결론을 내렸다. 이 보고서에 따라 부시 대통령의 견해는 기후변화 관련 모든 국내 정책은 과학적 발견에 철저히 근거해야 한다는 원칙에 따라 미국기후변화연구 발의안 (US Climate Change Research Initiative)을 발표하였다. 동 발의안의 주요 내용은 상무성이 기후변화 연구의 우선 순위 설정, 연구 투자 검토, 연방기관 사이의 조정을 극대화시키는 방안을 강구하도록 하고 있으며, 상무성에서 검토된 모든 우선 연구 분야에 연구비를 충분히 지급하도록 하는 것을 주요 골자로 하고 있다. 현재 기후변화 관련 연구는 미국기후변화연구프로그램 (US Global Change Research Program)을 통하여 많은 연방부처가 참여하는 형태를 취하고 있다.

국가에너지정책개발그룹은 부통령을 위원장으로 연방정부의 주요 각료 (국무부장관, 재무부장관, 내무부장관, 농업부장관, 상공부장관, 교통부장관, 에너지장관, 환경

청장, 연방비상관리청장 등) 및 대통령 고위 보좌관으로 구성되어 있다. 이 그룹은 에너지 효율 증대 및 에너지 보존, 대체에너지 및 더 청정한 에너지 사용을 통한 온실가스 저감을 위하여 국가에너지 정책 전반에 대하여 다양한 권고를 하는 역할을 하고 있다. 동 그룹은 분야별 권고사항과 기후변화 국가정책 수립에 중요한 역할을 하고 있으며 부처별 기후변화 정책 방향에 대하여도 구체적으로 권고하고 있다.

국가과학아카데미, 국가공학아카데미 및 의학연구소로 구성된 자문그룹은 기후변화 완화를 위한 기술개발의 중요성 및 기술개발 투자 기준에 대한 기본 지침을 제공하는 역할을 하고 있다. 위의 자문에 기초하여 대통령은 상무부장관, 환경청장 및 에너지부장관에게 미국 기후변화 관련 기술개발 현황을 평가하고 개선 방안을 시달하고 있다. 또한 기후변화 완화 기술 개발의 중요성을 인식하여 국가기후변화기술(National Climate Change Technology) 발의안을 발표하였다.

궁극적으로 미국에서는 대통령에 의해 제시된 기본 지침과 기존 미국의 기후변화 정책 및 기후변화대책에 관한 자문 내용을 토대로 새로운 기후변화대책이 수립된다. 이들 대책과 병행하여 자국에게 불리하다고 생각하는 교토의정서의 결점 (개발도상국 온실가스 의무부담 제외, 교토의정서 감축 목표치의 과학적 근거 결여 및 과도함, 세계 및 미국 경제에 대한 큰 위협, 미국 경제의 타국 종속 등)에 대한 논리 개발 및 새로운 국제협약의 구상에 대한 업무도 수행하고 있다.

영향평가 대응체제

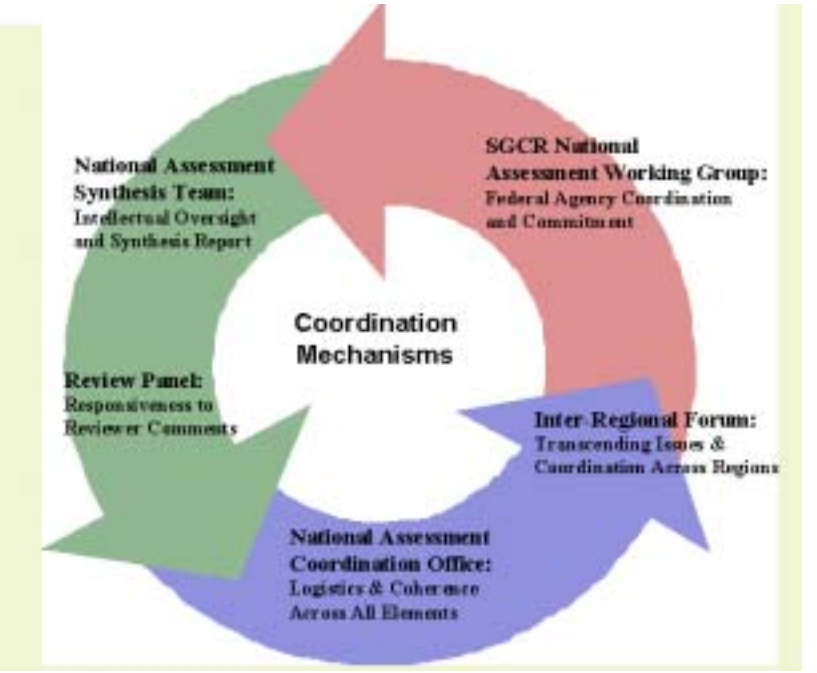
미국의 기후변화 영향평가 대응체제는 지구온난화 대응체제와는 별도로 운영되고 있는 것으로 파악되고 있다. 미국은 지구온난화를 포함한 기후변화가 자국에 미칠 영향에 대하여 USGCRP (US Global Change Research Program)을 중심으로 다양한 연구 기관 및 정부 부처에 의하여 산발적으로 수행해 왔다. 그러나 기후변화에 대한 영향평가는 국가적 통합 관리 및 조정이 필요하다는 인식이 증가함에 따라 다양한 의견수렴과정을 거친 후 USGCRP 주요 업무로써 미국영향평가프로그램 (USNS: US National Assessment)을 1997년 발족시켰다. 현재 USNS 업무는 USGCRP의 업무 중 중요한 부분을 차지하고 있다. USNS의 설치 근거는 1990년 제정된 지구변화연구법

(Global Change Research Act: GCRA)에 명시된 USGCRP의 연구 역할, 즉 기후변화 연구의 통합, 그리고 지구환경변화가 인간 및 자연 환경에 미치는 영향 분석 등에 기초하고 있다. USNS 활동을 통하여 축적된 자료는 기후변화에 대한 미국의 미래 영향에 적절히 대처할 국가전략 수립 및 IPCC에 제공할 국가보고서로 활용되고 있다. USNS 활동 방식은 기본적으로 지구환경 변화와 관련한 다양한 이해당사자 (연방정부, 산업계, 노동계, 학계, 비영리기관, 일반대중 등)가 참여하도록 하고 있다. 영향평가는 과학자들과 이해당사자들과의 공동 작업을 통하여 수행되며 기후변화에 대처할 정보를 각계 각층의 이해당사자에게 제공하고 있다.

USNS의 구성 및 조직은 아래 <그림 4-6>과 같이 국가영향평가종합팀 (NAST: National Assessment Synthesis Team), 지구변화연구위원회 (SGRC)의 국가영향평가 작업그룹 (NAWG: National Assessment Working Group), 지역간포럼 (Inter-Regional Forum), 검토위원회 (Review Panel) 및 국가영향평가중개사무소 (NACO: National Assessment Coordination Office)로 구성되어 있다. 먼저 NAST는 USNS의 전 과정에 대한 과학적 자문 및 국가종합보고서를 작성하며 정부, 학계, 민간분야의 회원 (약 12명)으로 구성되어 있다. NAWG는 영향평가를 후원하고 장려하고 있는 연방정부기관들의 참여를 조정하고 전체 영향평가 전략 개발과 대상지역 및 분야를 조직하며 후원하는 역할을 한다. 검토위원회는 USNS의 과정에 대하여 검토 의견을 제시하며 그중 특히 국가종합보고서에 대한 검토를 실시한다. NACO는 국가 영향평가 과정에 참여하는 다양한 (단위별, 지역별, 연방 정부 등) 참여자들이 국가 영향평가 과정에 상호 협력할 수 있는 네트워크 및 골격을 제공한다.

USNS의 업무는 크게 3가지 요소 (①지역별 평가 (Regional Assessments), ②분야별 평가, ③국가 종합)로 구성되어 있다. 먼저 지역별 평가는 미국 전역을 20개 지역으로 나누어 지역별로 주요 문제에 대하여 초점을 맞추고 있다. 지역평가는 먼저 워크샵의 형태로 수행되며 2 - 3개의 주요 이슈에 대한 정량적인 분석, 지역 이해당사자들의 참여 및 보고서 발간의 형태로 진행되고 있다. 분야별 평가는 국가적 차원에서 미국시민, 사회, 경제와 관련된 문제에 초점을 맞추고 있다. 현재 1단계로 5개 분야 즉 농업, 연안역 및 해양자원, 산림, 인간 건강 및 수자원에 대하여 평가를 수행하고 있

다. 상기 5개 분야는 국가차원의 분야이며 지역별로는 이외에 지역별로 중요한 분야에 대하여도 평가를 실시하고 있다. 국가 통합 작업은 지역별, 분야별 평가 결과를 통합하는 종합보고서 형태로 수행되며 향후 25년에서 100년 간 기후변화 영향에 관련된 사항들에 대하여 포괄적인 내용을 포함하게 된다.



<그림 4-6> 미국의 기후변화 영향평가 조정체제

자료: 조광우 외.(2002)

지역별 영향평가를 위하여 지역별 최소 한 명의 지역조정자 (regional coordinator)와 영향평가를 후원하는 하나의 접촉기관 (Agency Contact)을 지정하고 있다. 많은 지역에서는 자체적 전략 개발을 위한 조정위원회와 영향평가를 수행할 영향평가팀을 두고 있으며 국가영향평가작업그룹(NAWG)은 각 지역에 대하여 전략 수립을 돕고 있다. 지역별 보고서 및 지역 영향평가는 지역조정자와 해당지역의 접촉기관이 책임을 지는 체제를 갖추고 있다.

3. 건강/보건부문의 기후변화 영향평가 및 적응연구

가. IPCC 지역별 건강영향 평가 연구사례

아시아 지역

아시아 지역의 기후변화로 인한 건강문제는 말라리아, 콜레라 등이다. 열스트레스(thermal stress) 및 공기오염 관련 질병도 중요한 보건문제로 주목되고 있다. 인디아, 방글라데시, 스리랑카, 타일랜드, 말레이시아, 캄보디아, 라오 인민민주공화국, 베트남, 인도네시아, 파푸아 뉴기니아, 일부 중국 지역에서는 말라리아가 주요 매개체 전염 질병이다. IPCC에서는 환경적인 기온변화 및 강수변화가 아시아지역의 말라리아 분포의 지리적 범위를 확산시킬 것으로 전망하고 있다.

콜레라, 설사병과 같은 수인성 질병은 남아시아지역의 식수오염으로 인해 발생한다. 이러한 질병은 더워진 기후에서 더 많이 발생할 것으로 전망된다. 열파(heat)의 직접적인 건강영향도 중요한 보건문제이다. 매일의 평균기온과 습도로 표시되는 열지수(heat index)는 동경지역에 거주하는 65세이상 남성의 열사병 발생에 많은 관련성을 가지고 있다. 중국의 난징도시에서는 1988년에 17일 동안 36℃이상의 최고 기온이 있었던 기간에 열사병환자가 급증하였고 사망도 증가하였다. 일본의 동경에서는 31℃이상의 고온에서 비슷한 현상이 관찰되었다.

호주 및 뉴질랜드

뉴질랜드의 크리스트쳐치에서는 21.5℃이상에서 1℃ 증가할 때마다 전체 사망이 1.3% 증가하는 것으로 나타났다. 겨울철에는 기대치보다 더 많은 사망이 보고되지만 통계적으로 유의하지 않은 것으로 보고된 바 있다. 1800년 이래로 기후 위험 (climate hazards)으로 인한 사망은 호주에서는 매년 평균 50명 정도로 보고되고 있고, 이중 60%는 열파로 인한 것이며 20%는 열대저기압 및 홍수로 인한 것이다. 기후변화는 호주의 열파빈도를 증가시키지만 폭풍과 홍수의 빈도증가에 대해서는 불확실하다.

호주에서 아르보바이러스전염병(곤충 매개 바이러스)이 최근 증가하였다. 뎅기 및

로스리버 바이러스의 외래종 매개체인 흰줄숲모기(*Aedes albopictus*)가 뉴질랜드에서도 발견되었다. 호주 남동부 지역에서는 로스리버 바이러스 질병 및 머레이벨리 뇌염이 집중호우 후에 나타났다. 남서부 호주에서는 로스리버 바이러스의 주요 매개체가 소금물 서식모기인 *Ae. camptorhynchus*로써 해수면의 변동과 전염병 발병이 관련되어 있는 것으로 나타났다. 기후 시나리오에 의하면 호주 및 뉴질랜드의 일부지역은 많은 매개체 전염질병이 증가할 것으로 전망된다. 그러나 이러한 추세는 공중보건감시 및 대응체계의 강화와 유지로 통제될 수 있는 변수에 의해 많이 달라질 수 있다.

호주의 많은 도시와 뉴질랜드의 오클랜드에서 오존 및 다른 광화학 산화물들이 대기오염의 주원인이 된다. 호주의 브리스번에서 현재의 오존 수준 및 미립자들이 입원환자증가와 관련 있는 것으로 보고된 바 있다. 따뜻한 날씨는 이러한 오염물질의 생성을 증대시키는 것으로 예상되지만 풍속 및 구름의 정도도 변수로 작용하기 때문에 예측하는 것이 어렵다.

유럽

유럽지역에서 기후변화 및 변동성으로 인한 건강영향요인은 주로 열 스트레스 및 공기오염, 매개체 및 식품매개질병, 수인성질병, 홍수 등이다. 많은 유럽도시들에서 일일 사망률이 여름기온상승과 더불어 증가한다. 1976년 7월의 열파와 1995년 7,8월의 열파는 런던 심장호흡기계 질병을 가진 노인의 사망을 15% 증대시켰다. 1987년 7월 아테네에서 있었던 열파는 2000명의 초과사망과 관련 있었다. 그러나 따뜻한 겨울은 한파관련사망을 감소시키는 효과가 있다. 잉글랜드 및 웨일즈에서 겨울철 평균기온이 2.5℃ 증가하면 2025년까지 연간 9000명의 사망을 감소시킬 것으로 전망하고 있다.

보건체계가 미흡한 상황에서는 남동부유럽의 말라리아 발생이 따뜻한 기후로 인해 더 증가할 것이다. 지중해 지역에서는 매우 적은 수의 전염병 사례가 보고된다. 그러나 공중보건 자원이 현존하고 있고, 모기의 서식지를 줄이는 노력이 있는 상태에서는 어떤 기후변화가 있어도 말라리아가 확산될 가능성은 매우 적다. 최근까지도 유럽에서는 뎅기 전염이 없었지만 이탈리아 및 알바니아에서 흰줄숲모기의 출현은 염려되

는 현상이다. 지중해 지역에서는 모래파리(sand fly: phlebotomine fly)에 의해 인간과 개에게 레슈매니아 질병이 전염되는데 내장침해와 피부침해 두 종류가 있다. 이 질병은 메마른 서식지와 관련이 있으며 기온이 높으면 질병의 범위가 북쪽으로 확산된다.

라임 질병 및 진드기 매개 뇌염(tick-born encephalitis: TBE)을 전파하는 매개체인 Ixodes ricinus 및 I. persulcatus는 유럽의 온대성 지역에서 발견된다. 스웨덴의 최근 관찰에 의하면 2년간 온난한 겨울과 더불어 TBE가 증가한 것으로 나타났다. 진드기의 분포는 겨울이 따뜻해지면서 북쪽으로 확산되는 것으로 나타났으나 그 관련성은 아직 논란의 소지가 있다. 기후변화로 인해 진드기매개질병이 북쪽으로 확산되지만 더 남쪽 지역에서는 전염이 줄어들 수도 있다.

가정에서 식수부족이 심한 동부 유럽 일부국가에서는 기후변화로 인해 식수의 지원이 더 감소될 수 있다. 극한 상수현상의 빈도와 강도가 증가하면 와포자충증(cryptosporidiosis) 전염의 위험이 증가할 수 있다. 모기, 바퀴벌레, 설치류와 같은 식품매개질병의 보균생물들의 분포는 기후변화로 인해 변화할 수 있다. 영국 및 북아일랜드에서의 연구에 의하면 월간 기온과 식품매개질병의 빈도 사이에 강한 관련성이 있는 것으로 나타났다. 홍수와 관련된 렙토스피라병은 일부 유럽지역에서 문제가 되고 있다. 1997년 우크레인 및 체코공화국에서의 홍수, 1967년의 포루투갈의 홍수 발생 이후에 이 질병이 보고되었다. 홍수로 인한 상해 및 질병과 마찬가지로 심리적인 고통으로 인한 자살 등은 이러한 사건과 관련이 있는 것으로 알려져 있다.

북아메리카

기후변화로 인한 직접적인 영향은 열스트레스, 폭풍 및 홍수로 인한 손상 또는 상해(injury) 등이다. 광화학적인 스모그 및 미세 미립자 물질은 이 지역에서 중요한 환경적인 건강문제를 일으킨다. 북아메리카에서 기후변화의 어떤 효과가 도시대기질에 영향을 주는 지는 불확실하다. 그러나 고온이 유의한 광화학적인 스모그를 일으킬 것으로 전망된다. 1997년 미국 및 캐나다에서는 많은 사람들이 일부 대기오염물질이 대기환경기준치 이상의 지역에 살고 있는 것으로 나타났다. 미국에서 빈번한 홍수는 자연재해로 인한 주요 사망원인 중 하나이다. 매년 약 147명의 사망이 평균적으로 보고

된다. 캐나다에서는 레드리버의 홍수로 1997년에 25,000명의 사람들이 이동하였다.

미국은 북동부 및 중서부지역이 열 관련 질병에 취약한 것으로 보고되고 있다. 1993년 필라델피아에서 열 관련으로 118명이 사망했다. 1995년에는 밀워키에서 91명, 시카고에서 726명이 사망했다. 캐나다에서는 온타리오 및 퀘벡에서 고온으로 인해 부정적인 영향을 받는 것으로 보고되고 있다. 그러나 따뜻해진 겨울날씨로 인해 추위관련사망이 감소할 수 있다.

북아메리카에서 매개체 전염질병이 지역적으로 발생하고 있다. 말라리아가 캐나다에서는 19세기말에 사라졌고, 미국에서는 1970년에 사라졌다고 세계보건기구에서 발표했다. 그러나 미국에서는 라임 질병, 로키산 홍반열, 세인트루이스 뇌염, 서부지역 말뇌염, 설피토기 바이러스와 같은 다른 기후관련 매개체 전염질병이 발생하고 있다. 미국에서는 라임질병이 주요 매개체 전염질병이고, 캐나다에서는 진드기가 발견되지만 질병의 전염은 보고된 바 없다. 기후변화로 인해 캐나다지역에 라임 질병과 로키산홍반열이 확산될 것으로 예상된다. 40%정도의 사망률을 가진 한타바이러스 전염은 미국에서 1991-1992년간 엘니뇨 현상으로 인한 이상 장마현상과 관련이 있고 231명의 호나자가 보고되었다. 이와 관련하여 캐나다 지역에서도 환자가 발생하였다. 지역적인 강수에 대한 예측이 어려운 상황에서는 이 질병의 확산을 예상하는 것도 어렵다.

나. 세계보건기구의 건강영향평가 연구사례 : 기후변화로 인한 질병부담

세계보건기구에서는 기후변화로 인한 질병부담을 추정한 바 있다. 장애를 적용한 수명 년수 (Disability Adjusted Life Years, DALYs)를 기초로 한 질병부담과 건강 중간개입의 효율성을 측정한다. 그것은 조기 사망으로 얻어지는 결과 또는 특정 해에 발생한 장애로부터 오는 미래 장애 없는 수명 년수의 현재 가치로 계산되어진다. 세계보건기구는 각 질병의 DALYs 의 데이터베이스와 DALYs를 얻기 위한 선택된 건강개입(interventions)의 비용에 관한 정보를 확보하고 있으며 DALYs를 어떻게 계산할 수 있는가에 대한 정보도 WHO 웹사이트를 통해 얻을 수 있다. 기후영향에 대한 연구들은 단순한 상관관계에서부터 복합 스트레스를 포함한 복잡한 종합 평가에 이

르기 까지 접근이 광범위하게 이루어진다. 전 지구적으로 보면 기후변화로 인한 건강영향은 선진국보다는 개발도상국 및 저개발국가에서 피해가 크다고 볼 수 있다. 세계보건기구에서 제시한 질병부담은 <표 4-3>과 같다. 여기에서 장애보정여명을 보면 선진국에서는 영양실조, 설사병, 말라리아 등으로 인한 손실은 없는 반면 홍수로 인한 손실여명이 상대적으로 크게 존재하는 것을 알 수 있다(<표 4-3> 참조).

〈표 4-3〉 2000년도의 기후변화로 인한 세계보건기구의 DALYs(1,000명당) 추계

	영양실조	설사병	말라리아	홍수	소계	전체 DALYs/million pop.
아프리카	616	414	860	4	1894	3071.5
동지중해	313	291	112	52	768	1586.5
라틴아메리카 및 카리브해 지역	0	17	3	72	92	188.5
남동아시아 지역	1918	640	0	14	2572	1703.5
서태평양 지역a	0	89	43	37	169	111.4
선진국b	0	0	0	8	8	8.9
세계	2847	1460	1018	92	5517	920.3

a: 선진국 제외, b: Cuba 포함

자료: McMichael, A. J., et al., 2003. WHO. Climate Change and Human Health: Risks and Responses. pp. 152.

다. 국가별 건강영향평가 연구사례

미국과 유럽을 중심으로 한 많은 국가에서 기후변화와 건강영향에 대한 연구를 국가차원에서 진행해 오고 있다. 이 연구들에서 핵심이 되는 내용은 영향요인을 정확하게 조사하고 파악하는 것과 예측, 조기경보시스템 개발 등이다. 여기서는 관련연구의 국가별 연구사례를 <표 4-4> - <표 4-8>에 정리하였다.

<표 4-4> 국가차원의 기후변화 건강영향평가 사례

국가	문헌	방법	기후변화에 관한 관심영역
Antigua and Barbuda	O'Marde & Michael, 2000	유추에 의한 예측	해수면 상승으로 인한 해안지역 홍수, 허리케인의 영향, 뎅기열 전파의 증가
호주	NHMRC, 1991	전문가 판단	특정 영역 없으며 적응에 중점을 둠
호주	McMichael et al., 2002	예측 모델링	열 스트레스의 영향 기술하지 않음, 말라리아매개곤충의 분포 변화, 설사병의 증가
카메룬	UNEP / Ministry of Environment and Forestry, Cameroon, 1998	전문가 판단	콜레라, 말라리아, 황열, 수막염, 영양실조의 증가 가능성

<표 4-4> 국가차원의 기후변화 건강영향평가 사례(계속)

국가	문헌	방법	기후변화에 관한 관심영역
캐나다	Duncan et al., 1997	문헌고찰, 전문가 판단, 예측 모델링	열 관련 사망의 증가, 매개전염성 질병 위험성의 캐나다로까지의 확장, 환경으로 인한 난민
피지	de Wet & Hales, 2000	문헌고찰, 예측 모델링	뎅기열, 설사병의 증가
일본	Ando, 1993	문헌고찰	열 스트레스와 광화학적 대기오염의 증가, 말라리아
일본	Ando et al., 1998	문헌고찰, 전문가 판단, 예측 모델링	열 스트레스, 말라리아
키리바티	Taeuea, T. et al., 2000	문헌고찰, 예측 모델링	뎅기열, 설사병, 시가테라어독(ciguatera fish poisoning)의 증가
네덜란드	Martens, 1996	문헌고찰, 전문가 판단	열 스트레스, 홍수
뉴질랜드	Woodward et al., 2001	문헌고찰, 예측 모델링	뉴질랜드 북섬으로의 매개모기종의 유입 위험성
파나마	Sempris, E & Lopez, R. eds. 2001-ANAM /UNDP	설사병과 독감을 야기하는 기후에 대한 양적 평가	취약지역에서의 설사병의 잠재적 증가
포르투갈	Casimiro, E & Calheiros, J. M., 2002	광범위한 문헌고찰, 예측 모델링, 위험인구집단 파악	열 관련 사망, 음식과 물로 인한 전염병, 대기오염의 영향, 매개곤충과 설치류에 의한 전염병
스리랑카	Ratnasari, J., 1998	전문가 판단, 예측 모델링	말라리아
세인트루시아	St Luda National Communication	기후에 민감한 질병의 최근 부담 평가	가뭄과 설사병
영국	CCTRG., 1996	문헌고찰	열 관련 사망과 극단적 기후 사건
영국	Dept. of Health, 2002	전문가 판단, 예측 모델링	열 스트레스, 대기오염, 홍수, 수인성 전염병
미국	USEPA, 1989	문헌고찰, 모델링	매개전염성 질환의 증가
미국	Patz, et al., 2000(+여러 문헌)	문헌고찰, 전문가 판단	-
잠비아	Phiri, J. & Msiska, D., 1998	전문가 판단	말라리아, 주혈흡충병, 수인성 전염병과 영양실조

자료: WHO. 2003. 「Climate Change and Human Health: Risk and Responses」, pp. 186.

<표 4-5> 미국의 건강부문 평가와 우선적 연구 분야

잠재적 건강영향	관심대상의 날씨 요소	건강영향에 변화를 줄 수 있는 방향	우선적 연구 분야
열 관련 질병과 사망	· 극단적인 열 · 정체기단 (stagnant air masses)	↑	· 예측력 향상, 경보와 대응 · 도시설계와 에너지 시스템, 노출평가
겨울철 사망	· 극단적 한파 · 설빙	↓	· 독감과 기타 겨울철 사망이 갖는 날씨와의 관련성 등
극단적 날씨 사건과 관련된 건강영향, 폭풍	· 강수량 변동 (폭우 등)[a]	↑	· 예측력 향상, 경보와 대응, 감시 향상, 과거의 경보 영향과 효과 조사
대기오염 관련 건강 영향	· 온도 · 정체기단	↑	· 날씨와 대기오염농도의 관련성 · 온도/습도가 대기오염에 미치는 영향 · 날씨가 식물배출과 알레르겐(예: 꽃가루)에 미치는 영향
수인성 전염병과 음식으로 인한 전염병	· 강수량 · 강어귀의 수은	↑	· 물/환경이 해양관련 질환에 미치는 영향 모니터링 증가 · 토지이용이 수질에 미치는 영향(강 유역 보호) · 오염물질의 이동경로 및 결말 모니터링/mapping 향상
매개전염병과 설치류에 의한 전염병	· 온도 · 강수량 변동 · 상대습도	↕	· 신속한 진단검사 · 감시 향상 · 기후관련 질병전파 과정 연구

주) National Assessment Synthesis Team의 추계자료에 근거함.

a: 허리케인과 토네이도 빈도의 변화추정치는 알려지지 않음.

<표 4-6> 미국의 기후변화 건강영향평가 연구사례

연구	주요 연구내용
극한 강수와 수인성질병의 관계(미국 EPA, 2001)	· 1948-1994년간의 수인성질병 발생 동향과 강수자료의 분석 · 50%-68%의 수인성질병이 강수현상에 뒤따라 발생한 경향을 보임
기후변화로 인한 비의도적 손상의 관련성 (미국 EPA, 2003)	· 극한 날씨로 인한 비의도적 손상을 줄이기 위한 전략개발에 관한 연구임. 자동차 사고, 낙상, 질병 및 사망을 초래하는 손상의 심각성과 빈도를 고찰하고 날시와 관련된 변화를 분석하며 가능한 예방 전략을 개발함
폭력적인 범죄에 대한 기온의 영향에 대한 역학적 연구 (미국 EPA, 2003)	· 기온과 폭력적인 범죄간의 관련성을 분석하여 지구온난화에 관련된 과제를 도출하기 위한 연구임. 매일의 평균기온과 폭력, 강간, 살해사건 등의 관련성을 분석함
Environmental health 특집호(2001)	· 미국의 기후 및 기온변화로 인한 잠재적인 질병과 사망에 대한 영향 · 미국의 기후 변동·변화(variability & change)로 인한 극한 날씨의 잠재적 건강영향 · 미생물에 의한 수인성 및 음식물 매개질환에 대한 기후변화의 잠재적 영향 · 매개동물을 통한 질병에 대한 기후변화의 잠재적 영향

<표 4-7> 영국의 기후변화 건강영향평가 연구사례

연구
· The Expert Group on Climate Change and Health in the UK(2001)에서 2020년, 2050년, 2080년의 기후변화와 건강과의 관계에 대한 검토결과 발표
주요 연구내용 및 결과
· 기온관련 사망자수 : 여름철 고온으로 인한 사망이 연간 2,800명 정도 늘어날 것으로 예상
· 기상재해 : 겨울철 폭풍으로 인한 손상, 태풍으로 인한 침수로 수만명의 사람들이 일시적으로 거주지를 상실할 우려가 있음
· 대기오염 : 오존농도는 2050년까지 20% 가량 상승으로 관련질환과 사망 증가위험이 있음. 오존층훼손으로 인한 자외선 노출로 피부암 및 시각손상의 위험
· 매개동물을 통한 질병 : 말라리아, 저지대 지역의 병균을 가진 모기, 진드기 등의 증대가능성이 있으나 전반적인 위험은 상대적으로 낮음
· 수인성 및 음식물 매개질환 : 콜레라, 장티푸스 등의 위험은 낮음. 원생동물(protozoa)로 인한 질병의 가능성이 있음. 해조류 확산이나 가뭄의 영향은 크지 않은 것으로 예측됨

<표 4-8> 캐나다의 기후변화 건강영향평가 연구사례

연구
· Health effects of Climate Change and Health Co-benefits Resulting from Potential Kyoto-driven Policies: a Canadian Prespectives(2002)
주요 연구내용 및 결과
· 기상재해로 인한 영향 : 수십년에 한번 있는 심각한 태풍이 수년에 한번씩 발생하고 있음 홍수로 인해 직접적인 사상자 외에도 장기적인 건강영향이 존재함. 물 부족 현상은 장기적으로 스트레스성 질환증가와 삶의 질 악화를 가져올 수 있음
· 대기오염으로 인한 건강영향 : 대기중 오존농도가 어린이, 노인에게 영향 심각함
· 매개동물 : 매개모기가 서식하는 감염위험지역이 확대됨. 들쥐에 의한 한타바이러스 감염자수 증가, 라임병 확산 위험이 있고 야외활동증가에 따른 매개동물로 인한 질병확산 등
· 수인성 및 음식물 매개질환 : 전통적으로 물고기과 해산물을 섭취하는 소수민족에게 병원균과 독성물질에 의한 위험이 있음. 강수 후에 발생하는 박테리아 증가로 건강에 영향을 줄 수 있음

라. 국가별 적응대책 : 주요도시의 heat warning system 사례

기후변화로 인한 온난화는 도시지역에 더 큰 영향을 준다. 프랑스, 이탈리아, 호주, 중국의 연구와 함께 적응조치의 예시로써 heat warning system 사례를 소개한다.

Summary of the mortality impact assessment of the 2003 heat wave in France

프랑스는 2003년 8월 2일부터 15일 사이에 최악의 혹서를 경험하였다. 프랑스의 전 지역이 이 혹서의 영향을 받았는데, 8월 1일부터 20일 사이에 14,800명 이상의 사람들이 사망하였다. 대규모 사망자수의 증가는 기온의 상승 패턴과 유사한 경향을 따랐다. 8월 마지막 3일부터 그 이후 3개월 동안은 평상시 사망률로부터의 편차가 관찰되지 않았다(즉, 8월말부터는 보통의 사망률로 돌아옴). 혹서의 영향은 도시별로 다르게 나타났다. 고온 지속 기간의 영향과 계절적 평균기온의 편차가 뚜렷하다면 사망자들에게서 관찰된 모든 차이점을 설명할 수 없을 것이다. 희생자들은 주로 75세 이상의 노년층 여성이었다. 비교위험도 측면에서나 전 세계 사상자수에 대한 기여도 측면에서 볼 때, 열(고온)과 연관된 사망이 가장 중요하다고 볼 수 있다. 이런 결과에 기초하여 프랑스정부는 2004년에 Heat Health Watch Warning System(열 건강 감시경보시스템)을 개발하였고 각 지방을 위한 예방활동계획을 수립하였다.

The impact of the summer 2003 heat waves on mortality in four Italian cities

이 연구는 2003년도 혹서가 특정원인에 의한 사망률에 미친 영향을 평가하고, 이탈리아 4개 도시인 볼로냐, 밀라노, 로마, 튜린의 사망위험을 증가시켰다고 간주되는 인구학적 특성 및 사회경제적 조건의 역할을 평가하는데 그 목적이 있다.

거주인구의 연령, 성, 사망원인별로 일일 사망률이 고려되었다. 일일 초과 사망률은 관찰된 사망자수와 평균 사망자수간의 차이로서 산출되었다. 열이 건강에 미치는 영향은 최고온도(maximum apparent temperature)라는 용어로서 측정되었다. 사망률이 가장 극단적으로 관찰된 지역은 이탈리아 북서지역으로, 튜린과 밀라노에서 23% 이상의 초과를 보였다. 75-84세, 85세 이상의 인구집단이 가장 영향을 많이 받았고 여성

들의 사망률 증가가 더 컸던 것으로 집계되었다. 또한 로마에 거주하는 사회경제적 수준이 낮은 집단(17.8% 이상)과 튜린에 거주하는 교육수준이 낮은 집단(43% 이상)에서 가장 큰 초과 사망률을 기록하였다.

특정원인에 의한 사망률 분석은 이전의 호흡기계 또는 심혈관계 질환에 의한 열관련 사망률 증가 연구에서 얻은 결과를 지지해줄 뿐만 아니라, 중추신경계 질환과 신진대사/내분비 장애에 의한 사망률이 유의하게 초과함을 보여준다. 2003년도 혹서의 결과를 통해서, 혹서에 영향을 받기 쉬운 인구집단에 적합하도록 고안된 미래예방프로그램의 필요성이 강조된다. 효율적인 예방계획 및 혹서기간동안의 사망률 감시망과 함께 경보시스템을 도입하면 열과 관련된 사망률에 있어서 유효한 감소를 보일 것이다.

프랑스 : The heat wave of August 2003: What happened?

2003년 8월에 프랑스에서는 이례적으로 센 강도의 혹서가 발생하였고, 2003년은 지난 53년 동안 최저, 최고, 평균기온 모두에서 가장 높은 온도를 기록하였으며, 그 지속기간도 길었다. 게다가 오염인자 배출을 야기하는 고온과 햇빛은 대기의 오존수치를 유의하게 상승시켰다. 2003년도 혹서가 건강에 미치는 영향을 평가하기 위해 8월 한 달간 몇몇 역학연구들이 신속하게 이루어졌다. 초과사망률은 14,800명인 것으로 추정되었는데, 이는 2003년 8월 1일부터 20일 사이 전체 사망률 증가의 60%와 비슷한 수준이다. 극단적인 고온기간 동안 초과사망률은 뚜렷한 증가를 보였다. 열 관련 사망의 특성을 보면, 노년층에서 가장 높은 사망률을 보였고 덜 자율적인 사람이거나 신체적 장애나 정신질환이 있는 사람들이 열에 더욱 취약한 것으로 나타났다. 따라서 이 연구들에서는 응급상황 담당 부서와 함께 조기경보시스템 도입에 관한 중요한 정보를 제시하고 있다. 2003년 여름 혹서로 인해서 여러 유럽 국가들이 받은 공중보건에의 영향도 평가되었다. 발생한 강도와 시기가 각기 다른 혹서로 인해서 유럽 대다수 국가의 사망률이 급증하였으나, 그중에서도 프랑스가 가장 큰 증가를 보인 것으로 간주된다. 그러나 더욱 심층적인 비교를 위해서는 모든 국가에 대해서 표준화된 자료수집 방법을 사용할 것이 요구되고, 이런 차원에서 합동조사가 이루어질 것이다. 이러한

초기 기술연구 후에는 위험인자와 열 관련 사망에 대한 원인규명 연구가 착수되었고, 지금 진행되고 있다. 국가보건당국은 건강에 대한 혹서의 영향을 고려해서, 각 지역별 열감시경보시스템(Heat Watch Warning System; HWWS)을 포함하는 '2004년 국가 혹서계획(Heat Wave National Plan)'을 진행시키기로 결정하였다. 이 HWWS는 프랑스 기상청과 공동으로 과거 일일 사망률 자료와 14개 프랑스 도시의 기상 지표 분석을 바탕으로 가장 적합한 지표와 유인책을 찾으려는 노력을 하고 있다. 2003년 8월 혹서로 인해서 국민 건강은 큰 영향을 받았고, 이러한 예외적인 사건은 예측하기 어려운 현상에 대한 궁금증을 증폭시킨다. 비상상황이라는 인식하에 시행되는 조치, 연구 등 공동의 노력이 조기 경보 전략의 수립과 효율적인 예방에 유용하다.

An operational heat/health warning system in Shanghai

이전의 연구는 특정한 기단 내의 표면 온도가 높으면 사망률이 증가할 수 있다는 데 주목하였다. 이 연구는 기능적인 열/건강 경보 시스템을 도입하면서 나타난 중국 상해의 일일 사망률과 날씨간의 관계를 평가하고자 한다. 여러 기상학적인 관찰법을 사용하면서, 종관적인 분류가 1989년부터 1998년까지의 매 여름을 상해의 8개 대기유형중 하나로 규명하는데 활용되었다. 일일 대기유형과 그에 따라서 발생한 상해 사망률에 대한 비교분석을 통해서 가장 높은 사망률은 극단적으로 덥고 습한 대기(MT+) 때문에 나타나는 것으로 밝혀졌다. 단계적 회귀법을 사용하면, MT+ 기단의 발생과 함께 나타날 높은 수준의 사망률을 예측하는 알고리즘이 생성될 것이다. 열/건강 경보 시스템은 2001년 여름에 시험적으로 가동되었고, 시민들에게 건강에 잠재적으로 위협이 되는 날씨 상황을 경고하는데 경보시스템이 사용될 수 있음을 보고하였다.

Heat-stress-related mortality in five cities in Southern Ontario: 1980-1996

캐나다 남부 온타리오의 Toronto-Windsor지대는 여름동안 덥고 습한 날씨를 경험했고 이로 인해서 사람들이 열스트레스(heat stress)와 높은 사망위험에 노출되었다. 기후변화가 발생하면 남부 온타리오의 열스트레스 상황은 더 빈번하고 심각해질 수도 있다. 여름날씨가 건강에 미치는 영향을 평가하기 위해서 Windsor, London,

Kichener-Waterloo-Cambridge, Toronto, Hamilton의 도시지역에 거주하는 64세 이상 노인들의 열관련 사망률을 17년 동안 분석하였다. 사람들의 적응 잠재성과 열스트레스에 대한 취약성을 파악하고자 인구학적 요인, 사회경제적 요인, 주거 요인을 측정하였다. 열스트레스가 있는 날(heat stress day)은 기온이 32℃를 초과한 날로 정의된다. Windsor 지역만 제외하고 노인들의 사망률은 열스트레스가 없는 날보다 있는 날에 유의성이 더 높은 것으로 나타났다. 열스트레스와 사망률 간에 가장 강한 관련성을 보인 지역은 Toronto와 London이었고 Hamilton이 그 다음이었다. 열 관련 사망률이 가장 높은 도시들은 상대적으로 도시화수준과 생활비 수준이 높았다. 기후변화로 인한 온난화 외에도 인구집단이 고령화될수록 취약성은 증가하고, 계속되는 도시개발과 불규칙한 확장은 남부 온타리오의 열스트레스 상황을 더욱 악화시킬 것으로 전망된다. 열스트레스 상황에 대한 취약성 감소 노력과 포괄적인 더운 날씨 감시/경보 시스템 개발을 위한 노력이 필요하다.

4. 산업부문의 기후변화 영향평가 및 적응연구

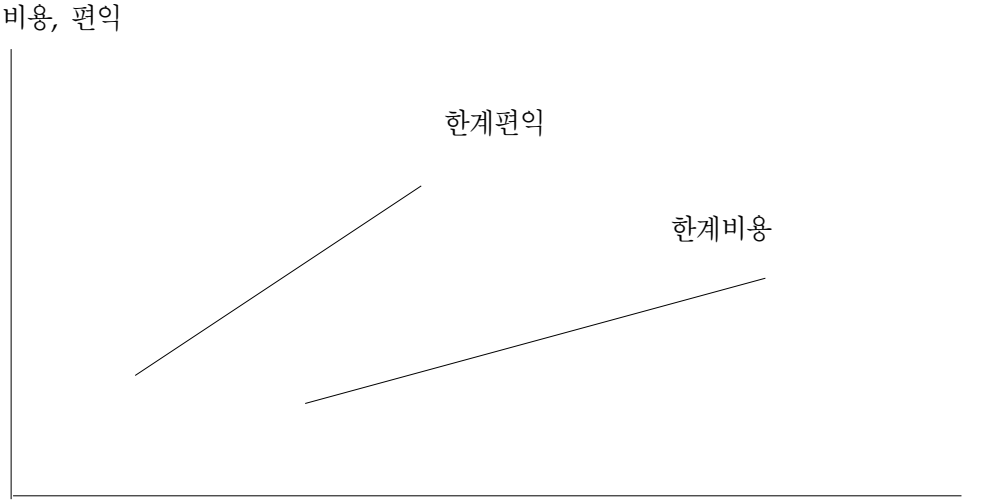
가. 영향평가 분석방법: 비용-편익분석

기후변화로 인한 산업부문의 효과는 일반적으로 기후변화적응에 따른 비용과 편익에 의하여 평가된다. 실질적인 경험적 효과 분석에서는 다양한 방법을 통하여 비용과 편익을 추정하는 것이 가능하지만, 보편적으로 생산자나 소비자 잉여의 변화정도를 측정하여 평가한다. 한계편익은 체감하고 한계비용은 증가한다는 가정 하에 기후변화에 대한 적응의 적정수준(균형)은 한계편익과 한계비용이 만나는 점에서 결정된다.

여기서 기후변화 적응에 따른 한계비용은 일반적으로 기후변화의 정도가 커질수록 증가하는 즉, 한계비용이 증가하는 경향이 있으나, 한계편익은 반드시 체감한다고 가정할 수는 없다. 특히 적응을 통한 회피비용을 편익으로 가정할 경우, 한계편익이 체증하는 경우도 가정할 수 있다. 특히 한계편익과 한계비용이 비선형일 경우, 균형이

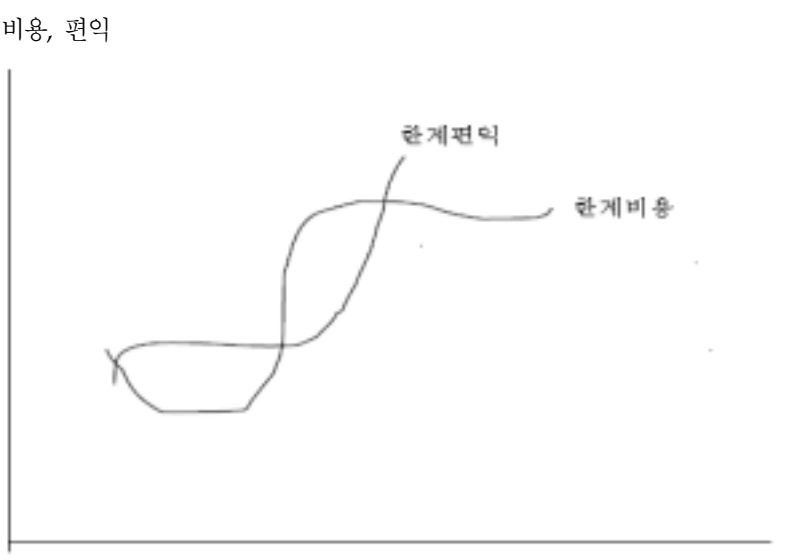
존재하지 않거나 복수의 균형이 가능할 수 있다(<그림 4-7>, <그림 4-8> 참조). 따라서 기후변화 적응에 따른 영향평가는 매우 어려운 것으로 판단된다.

기후변화 적응과 관련하여 제조업을 중심으로 한 산업별 영향에 대한 분석은 그동안 활발하지 않았다. 이는 기후변화라는 자연과학적 충격이 이에 민감한 농업, 임업, 축산업 등 일차산업을 중심으로 영향이 파급되기 때문이다. 또한 제조업 등은 자연상태의 변화가 주는 직접적 효과, 즉, 기온 변화에 따른 노동 및 자본생산성의 변화 등이 제조업 산업 활동에 직접적으로 영향을 주는 경우, 정량적 평가가 쉽지 않기 때문이기도 하다.



<그림 4-7> 기후변화 적응의 균형이 존재하지 않는 경우

그러나 기후변화의 제조업 부문에 대한 충격은 원재료 공급 측면에서는 매우 클 수 있다. 예를 들어 음·식료품 산업의 경우에는 많은 원자재를 농업 등 일차 제품에 의존하기 때문에 중간투입제품의 생산비용 상승에 의한 비용 증가, 기후변화 적응에 따른 소요 비용으로 인한 비용 증가 등이 예상된다. 이러한 비용 증가는 산업 부문의 요소대체나 투입량 감소 등으로 인하여 해당 산업 부문에 대한 부정적 효과를 야기한다.



<그림 4-8> 기후변화 적응에 복수균형이 존재하는 경우

나. 영국의 연구사례 : 제3차 국가보고서를 중심으로[19)]

영국경제는 여러 가지 측면에 있어 기후변화에 민감하다. 홍수와 태풍과 같은 이상기후 현상은 일부 경제부문에 타격을 미치는 한편, 기온상승과 물 부족에 대응한 운용 및 가공 기술이 더욱 필요하게 될 것이다. 기후변화는 국내 또는 해외에 대한 영향을 통해 간접적으로 시장수요와 공급을 변화시킬 수 있다. 1995년에 비정상적으로 따뜻했던 날씨가 경제에 미치는 영향을 분석한 결과에 의하면 다양한 분야에 있어 파급효과가 있었음을 알 수 있다. 예를 들면, 일부 곡물 수확의 감소와 가축문제로 인한 농업부문 손실, 물수요 증가에 따른 비용, 보험 산업에 대한 땅의 침강에 의한 건물파괴 등과 관련한 비용 등을 들 수 있다. 한편, 에너지 및 산업 부문에 대한 기후변화의 영향과 대응정책 관련 시사점으로는 다음과 같은 것들이 제시되었다.

19) UK DEFRA. 2001. The UK's Third National Communication under the UNFCCC, Department for Environment, Food and Rural Affairs.

에너지

영향	정책 관련 시사점
• 난방용 수요 감소 및 냉방용 수요 증가 • 태풍 증가 및 해수면 상승은 해양 석유 및 가스 생산과 연안 및 강 어귀에 위치한 정유시설과 핵발전소에 영향을 미침 • 수력, 풍력 및 바이오매스와 같은 재생가능 에너지사용 잠재성 증가	• 적응의 기술적 잠재성은 높으며, 대부분의 자산 수명은 기후변화보다 짧음 • 재생가능 에너지의 의무적 생산 및 소비 제도 도입

건설업

영향	정책 관련 시사점
• 토양의 수축은 건물 기초를 침식하여 붕괴 위험성 증가 • 태풍 피해 위험 증가 • 건설 적합 시기 변화 • 바람의 변화와 겨울 강우량 증가	• 디자인 규격과 기준 개정 • 사회간접자본에 대한 계획 기간 • 건설 생산성과 건설자재 사용 가능성 • 주택 건설에 사용되는 자재의 품질 및 지속성 • 이상 기후에 대한 사회의 취약성을 감소시키기 위한 보험 산업 • 에너지 수요를 저감할 수 있는 구조 개발(기후변화 완화)과 기후변화 영향에 견딜 수 있는 잠재력 조사(적응)

제조업, 소매 및 서비스 산업

영향	정책 관련 시사점
• 겨울철 혹한기의 감소는 제조업에 대한 피해 감소 • 쇼핑 습관, 구매 패턴 및 수요의 변화 • 고온은 제조업 공장에 커다란 피해 • 식품소매업자는 냉동보관 창고 규모를 확대해야 할 필요성 증가 • 일부 산업은 물공급 문제 직면 • 산업체 부지로부터 처리되지 않은 폐수 흐름 증가	• 쇼핑 몰의 디자인 및 개점 시간 변화 • 전자 쇼핑 증가 • 건강, 안전, 및 환경 요건 수정

수송

영향	정책 관련 시사점
• 이상 기후현상의 발생 증가는 도로, 철도 및 항공 수송에 커다란 피해를 미쳐 막대한 사회적 비용 발생 • 해상 수송, 항구에 대한 피해 가능 • 여타 부문에 대한 영향에 크게 의존	• 철도 전기화에 대한 풍속 증가의 영향 • 이상 기후에 대한 보다 많은 정보 필요 • 사회간접자본의 회복력 증대를 위한 투자 증가

보험 부문

영향	정책 관련 시사점
• 이상기후 발생 빈도의 증가 및 홍수, 침강 및 사태 위험 증가	• 보험회사는 이상기후에 대한 사회의 취약성을 줄이기 위해 자산 시장과 협력할 필요성 증가 • 적정한 재난 계획 채택 • 가장 크게 피해를 받는 지역의 보험 가입 가능성과 관련한 문제 발생

다. 캐나다의 연구사례

Dore와 Burton(2000)은 캐나다와 영국에 대한 기후변화 적응의 비용 추정 사례분석 결과를 제시하고 있다(<표 4-9>) 참조)[20]. 캐나다의 경우 기후변화에 대응한 적응정책 수단에 대해서는 비교적 활발한 연구가 진행되었으나, 적응에 따른 비용과 편익, 그리고 적응 이후에도 발생하는 기후변화의 잔여 비용에 대한 경험적 연구는 매우 제한적으로 제시되고 있다.

20) Dore Mohammed H.I. and Burton Ian. 2000. The Costs of Adaptation to Climate Change in Canada: A Stratified Estimate by Sectors and Regions, A.I.R.G., Environment Canada

<표 4-9> 1994년 캐나다 기후변화 적응 비용 추정 및 향후 방향

부문	총지출 (mil CAN dollar)	기후변화적응 변화정도 (%)	적응 비용 (mil CAN dollar)	향후 방향
운송부문	7.368		1,657	감소
항공	83.5	100	83.5	감소
해양	258.8	55	143.8	감소
철도	702.0	29	203.2	불확실
도로	6,323	19	1,227	감소
건설	50,000	4	2,000	증가
농업	1,887	70	1,330	증가
임업	556	72	403	증가
수자원관리	1,058	43	767	증가
홍수조절	4.7	80	3.8	증가
가계	6,023	88	5,296	감소
위기관리	14.4	75	10.8	증가
기상정보	189	100	189	증가
계	19,096	61	11,653	

경험적 연구 결과가 부족함에도 불구하고, 기후변화 적응 연구에서는 대체로 기후변화 적응의 비용과 편익은 다음의 세 가지 주요 이슈를 포함하여 논의되어야 한다고 강조하고 있다. 우선 적응의 비용과 편익은 지리적 여건과 산업 부문별 특성에 따라 다양하게 발생한다. 따라서 경험적 연구는 이러한 차이점을 반영하는 모형 추정에 근거하여 수행되어야 한다는 점이다. 둘째, 기후변화 적응을 위하여 도입되어야 한다고 제시되는 다양한 수단은 현재의 기술 수준에 비하여 개선된 수준이다. 따라서 미리 이러한 적응 수단을 도입할 경우 상대적으로 비용이 적어질 가능성이 있다. 셋째, 캐나다의 경우 주요 정책결정자 및 결정기구는 현재 기후변화 및 적응 수단에 대하여 불완전하지만 비교적 충분한 정보를 가지고 있는 것으로 판단된다. 그러나 미래의 경우에는 이러한 적응 수단의 효과에 대해서는 매우 불확실한 정책 결정 여건에 놓일 것으로 예상된다.

본 보고서는 캐나다의 경우, 1992년 불변가격 기준으로 약 116억 캐나다 달러 정도의 적응 비용이 발생하는 것으로 추정된 결과를 제시하고 있다. 이러한 추정은 기본적으로 8개 산업 및 경제활동 분야에 대한 총지출규모, 기후변화 적응의 영향 정도 및 비용, 그리고 향후 적응영향의 방향 등에 대하여 설문조사 방식에 의거하여 추정한 결과이다. 이러한 추정결과는 주요 경제 및 산업분야별로 표본을 설정하여 기후변화 적응에 관련된 정보를 제공한 후, 해당 표본이 부담하거나, 대응을 위하여 예상하는 각종 지출에 대한 응답을 통하여 도출된다. 여기서 대표적인 적응 비용인 에너지 비용은 산업부문별로 기존 에너지 소비를 고려하여 적절하게 배분하며, 의료비용 등 일부 불확실한 적응 비용은 포함하지 않고 있다. 한편 추정된 결과의 신뢰도를 제고하기 위하여, 일차 설문조사결과에 대한 전문가 검토를 통하여 최종적으로 추정결과를 선택하는 방식을 택하고 있다.

라. 일본의 연구사례 : JPCC 보고서를 중심으로[21)]

산업부문에 대한 영향

일본의 산업계는 지난 70년대에 발생하였던 두 차례의 석유파동을 계기로 두 가지의 커다란 구조변화를 나타내었다. 이 중 첫 번째는 에너지 및 자원 절약의 필요성을 인식한 에너지성(省) 의식의 확대이다. 이와 관련해서는 산업구조 변화에 수반하여 에너지성 제품 및 소재의 공급이라는 흐름이 형성되었고, 이와 아울러 에너지를 절약하려는 움직임이 각 분야에 확대가 되었다. 두 번째는 생산 및 유통 시스템의 체질강화다. 즉 각종 외부 충격으로부터의 위험을 감소, 회피, 및 분산하는 시스템이 구축됨으로써 고도 공업사회의 특징인 강력한 체질을 갖추게 된 것이다.

이에 따라 지구온난화가 산업과 에너지에 미치는 직접적인 영향은 현재의 기후변화 예측 수준(정도, 속도, 시기)에 의하면 극히 경미하고, 설사 영향이 있다고 하더라도 충분한 대응이 가능한 것으로 판단되고 있다. 그러나 에너지의 80%, 식료품의 60% 정도를 해외에 의존하는 일본이 지구온난화로부터 받게 될 2차 및 3차 영향의 크기

21) 자료: JPCC(1997, 2003)

및 복잡성은 예측을 하기가 어렵다.

온난화에 의해 변화가 예상되는 기상(기후) 요소로부터 직접적인 영향을 받게 될 것으로 보이는 산업 및 에너지 부문은 <표 4-10>과 같다. 본 절에서 분석되는 기후변화의 영향은 온난화와 기후변동으로부터 현재의 시스템이 받게 될 영향 측면을 대상으로 한 것으로 배출량 삭감 및 온난화 대책에 따른 영향감소는 고려되지 않았다.

기후변화가 일본 산업에 미치는 영향을 분석한 결과에 의하면 기온이 상승하면 세제의 매출액이 전국적으로 1,000톤 정도가 증가하고, 반면 물이 부족하게 되면 세탁회수가 감소하여 매출이 줄어드는 것으로 나타났다. 또한 기온 변동은 청량음료 등 여름상품의 매출량에 직접적인 영향을 미치는데, 6~8월의 전국 평균기온이 1℃ 상승하면 여름상품(에어컨, 맥주, 청량음료, 의료품 등)의 소비가 약 5% 증가하는 것으로 조사되었다.

<표 4-10> 기후변화로 인해 영향을 받는 산업활동 분야

기후변화 요소	산업	에너지 (전력)
강수 패턴 및 수량 변화	물 수요(산업용, 음료용) 물 부족에 직면하는 식품 및 제품 제조업	수력발전량, 댐시설 관리 및 운용, 냉각수 확보
기온 상승	공기조절 및 냉난방 기기 주택 및 건물의 단열구조 계절형 산업의 번창・쇄락 (동절기)방한복, 의료・난방기기 (하절기)여름상품, 청량음료 및 식품	공기조절, 냉난방수요, 송변전기기의 허용온도 범위 변경
수온 상승 (해수, 담수)	어업자원 관리, 급탕용 가스 수요	터빈냉각 효율(발전 출력)의 저하, 발전설비 부착 생물 증가
해수면 상승	레져산업, 연안입지 설비, 제방 설비	연안입지 설비 침수
습도 (불쾌지수)		공기조절 및 냉방 수요
태풍 및 기타	공장설비, 운수업, 통신, 통신정보기기 산업	바람에 강한 송배전설비 설계, 염해대책, 우뢰 및 눈 피해 대책, 자연에너지 발전

근년 들어와서는 번개가 치는 일수가 크게 증가하고 있지는 않지만 전자·통신제어형 가전기기의 보급이 증가함에 따라 이러한 기기가 오작동하거나 파손이 되는 경우가 급증하고 있다. 또한 풍력발전설비가 번개를 맞는 경우도 종종 나타나고 있다. 이에 따라 이에 대응한 가전업계 및 자연 에너지 설비업계의 대책 마련이 적극 요구되고 있다.

이러한 기후변화의 영향에 비추어 볼 때 산업구조의 변화는 불가피한 것으로 보인다. 예를 들면, 온난화에 따라 여름상품의 소비가 증가하고, 이는 이러한 상품의 생산증대를 초래하여 이 부문에서의 전력수요 증가를 가져올 것이다. 즉, 무더운 기간이 길어지면 에어컨, 맥주, 청량음료 및 빙과 등의 여름상품 소비가 증가하고, 전기기기 및 식품 생산업체는 계절상품의 생산을 확대함으로써 전력 수요가 증가하는 것이다. 또한 온난화가 진전되면 적운(積雲)이 형성되는 경우가 많아질 것이며 이로 인해 공급이 증대되고 있는 정보통신 기기 및 자연 에너지 설비에 대한 피해가 증가할 것이므로 번개에 견딜 수 있는 기기의 개발이 요구되고 있다.

주요 산업 부문별로 기후변화의 영향을 살펴보면 다음과 같다.

관광, 레크레이션 : 관광 및 레크레이션 산업의 경우에는 고온형 이상기후가 저온형 이상기후보다 좋은 영향을 미친다. 온난화에 의한 스키장의 영향은 정량적 분석은 없으나 그렇게 크지 않은 것으로 분석되고 있다. 적설량은 주로 국지적인 기후 조건에 의해 결정이 되는데, 지구온난화가 국지적 기후에 커다란 영향을 미치지 못하는 것으로 나타나기 때문이다. 동해안 지역의 강설량과 온난화 관계를 조사한 한 연구에 의하면 온난화가 이 지역의 강설량에 별다른 영향을 미치지 않으며 그 보다는 북반구 규모의 기압배치가 일본 상공의 강설량을 좌우하고 있다. 1993년 겨울은 7년 연속 따뜻했는데, 이 당시 스키용품의 매출이 부진했던 것도 온난화로 인한 적설량 부족 때문이 아니라 불황에 기인한 것으로 분석되었다.

해수면 상승으로 영향을 받을 가능성이 있는 연안 지역의 레크레이션 분야로는 레크레이션 시설, 요트항해, 해수욕, 낚시, 바다속 관광 등이 있다. 이상기후가 해수욕객 수에 미치는 영향에 관한 한 연구에 의하면 덥지 않았던 1993년 여름 기간 동안의 해수욕객 수는 예년의 1/2~1/3로 감소하였었다.

건설업 : 이상기후가 건설업에 미치는 영향을 거시적으로 분석한 한 연구결과에 의하면 1981~85년의 5년 동안 재해복구 사업의 공정별 내역은 하천 62.7%, 도로 28.0%, 모래방지 사업 3.6%, 해안 3.3% 등이었다. 전국적으로 보면, 태풍을 포함한 호우가 하천 및 도로에 미치는 영향은 매우 크다. 건설백서에 의하면, 1993년에는 건설성 소관의 공공토목시설과 관련된 피해 총액이 8,746억 엔에 달했다. 해수면 상승의 대책으로는 부두 접안시설을 높이고 수문 및 배수시설 등을 설치하는 것이 필요하다. 운수성은 해수면이 1m 높아지는 경우 11.5조 엔이 필요하고, 건설성은 2,700km 길이의 호안시설을 보강하는 비용이 약 6조 엔에 달하는 것으로 추정하였다. 결과적으로 이상기후현상은 건설업에 있어서는 사업량이 크게 확대되는 기회로 작용할 것이다.

제조업 : 기후변동은 생산 활동보다는 소비자의 구매의욕에 보다 커다란 영향을 미친다. 기후변동과 지역산업에 관한 한 설문조사 결과에 의하면 제조가공품은 대체로 저온형 기상으로부터는 불리한 영향을 받지만 고온형 기상으로부터의 영향은 유리한 것으로 나타났다.

한편 매출액의 1/4 정도가 계절상품인 가전제품의 경우, 에어컨 수요는 여름철 매우 더운 날 하루 4만대 가량 증가하는 것으로 조사되었다. 또한 1993년 여름에는 덥지도 않았고 비가 많이 와 에어컨의 매출액이 전년 동기비 7월은 18%, 8월은 93% 각각 감소하였고, 기타 여름 상품의 매출도 저조하여 GNP가 0.18% 감소한 것으로 추계되었다. 여름철 서늘한 날씨에 의한 음료 매출액 감소는 또한 음료수 용기 재료인 알루미늄 산업의 부진을 유발하였다. 이에 반해 1994년 여름은 대단히 더워 음료, 알루미늄 산업, 에어컨 등 냉방기기, 여름 의류 등 여름철 상품에 대한 7,200억 엔 상당의 소비수요가 창출이 되어 매출이 대폭 증가하였다.

에너지 부문에 대한 영향

에너지 수요에 영향을 미치는 기상 요인 : 전력수요는 사회・경제적 상황, 계절, 기상조건, 사람들의 관심을 크게 끄는 행사 개최 등에 의해 항상 변동을 하지만, 이 가운데서도 기상조건은 최대 전력을 좌우하는 중요한 요인 가운데 하나다. 전력수요에 대한 분석에 의하면 최대전력에 영향을 주는 주요 기상요인으로는 냉방수요와 난방수요에 각각 영향을 미치는 여름철의 고온현상과 겨울철의 저온현상을 들 수 있다. 기온과 전력수요와의 관계를 보면 기온이 섭씨 20℃보다 낮아지거나 높아질수록 전력수요가 증가를 하고 있다. 한편, 기온 1℃ 변화하는 데 따른 전력수요의 변동량을 나타내는 기온감등도의 연도별 추이를 보면 근년에는 냉방수요가 증가함에 따라 기온감응도가 상승하는 추세가 뚜렷이 나타나고 있다. 또한 날씨가 맑거나 흐린 상태도 최대전력에 영향을 주는 주요한 기상 요인 가운데 하나다. 날이 흐릴 경우에는 조명용 전력수요가 증가하기 때문이다.

기타 요인으로서는 간접적으로 기온과 습도를 나타내는 불쾌지수를 들 수 있는데, 불쾌지수가 높아지면 냉방수요가 증가하는 경향이 있다. 눈이 내리는 것도 겨울철 조명용 최대 전력수요를 증가시킨다. 또한 봄과 여름철에는 빗물을 이용하는 농사용 전력수요가, 가뭄 시에는 관개용 펌프 사용에 의한 전력수요가 증가를 한다. 한편, 태풍통과 후 푀엔 현상에 의한 기온상승도 역시 냉방 전력수요를 크게 증가시키는 요인으로 작용을 한다.

에너지(전력 및 가스) 수요에 대한 영향 : 여름철 전력수요의 40%는 냉방수요로서 기온에 의해 크게 좌우가 된다. 최근 조사에 의하면 기온이 1℃ 상승하는 경우 일본의 전력수요는 일반 가정 160만 세대분의 사용량에 해당하는 약 500만kW가 증가하는 것으로 나타났다. 기온상승은 또한 여름상품의 생산량과 소비량을 증가시켜 공장 가동률 상승과 이에 따른 전력수요의 증가 요인으로 작용을 한다. 이러한 첨두부하의 증가는 주로 석유와 같은 화석연료 발전이 담당을 하므로 결과적으로 이산화탄소 배출 증가를 초래한다. 반면, 상수도 수온 상승은 급탕용 가스 소비 감소의 요인으로 작용을 한다.

더욱이 현재 동경의 여름철 일간 최저기온은 24~25℃로 냉방이 불가피하다. 이에 반해 지방에는 냉방용 전력 수요가 도시에 비해 상대적으로 적다. 그러나 앞으로는 전국적으로 도시화가 진전됨에 따라 주택 및 내부발열이 큰 건물의 냉방용 전력 소비가 크게 증가할 것으로 예상되고 있다. 한편, 일본 11개 도시의 가정용 에너지 소비의 경우에는 냉방, 난방, 동력 수요를 전부 합하면 평균기온과 마이너스의 상관관계를 나타내고 있어 온난화는 도시 전체의 에너지 소비를 감소시키는 것으로 분석되고 있다.

온난화가 에너지 수요증가를 가져오는 한 예로 양돈·양계업의 경우를 들 수 있다. 기온이 상승하면 계란과 돈육과 계육의 생산력이 떨어지므로 가축사의 기온관리를 위한 에너지 소비가 증가하게 되고, 이와 아울러 기온상승에 의한 질병 발생을 방지하기 위한 위생관리 설비의 가동에 의한 에너지 소비도 증가할 것으로 보인다.

한편, 서비스 경제화의 진전, 정보통신사회의 형성, 보다 쾌적한 생활 지향 등 사회문화의 변화에 따라 업무용, 가정용을 중심으로 한 전력수요가 경제 전체의 에너지 수요보다 빠른 속도로 증가할 전망이다. 그 결과 화석연료 이외의 에너지 공급이 증가하지 않는 한 이산화탄소 배출원단위의 저감과 억제 노력에도 불구하고 발전에 따른 이산화탄소 배출량이 계속해서 증가할 것이다.

에너지 공급(시설, 운용 등)에 대한 영향 : 하천수는 농업용수 및 발전용수로 사용이 된다. 수력발전소의 발전량은 하천수량에 비례하며, 이는 다시 하천 유역의 강수량과 강설량에 크게 의존한다. 따라서 강수량과 강수 패턴, 및 강수 분포의 변화는 기존의 수력발전용 설비의 운용에 영향을 미친다.

이상 가뭄현상이 나타날 경우 생활용수 뿐 아니라 공업용수에 의존하는 업종에도 급수제한이 이루어져 감산 및 조업정지가 불가피해 짐으로써 산업에 커다란 영향을 미치게 된다. 산업용, 생활용 및 농업용 물 수요와 전력 수요가 최대로 커지는 여름철 가뭄은 높은 기온을 의미하며, 따라서 냉방용 전력수요 증가를 가져온다. 한편, 겨울철에는 물수요가 줄어들어 이러한 전력 수요는 감소할 것이나 적설량의 부족은 다음해 봄철의 하천수량에 영향을 미칠 것이다.

발전소의 발전효율은 냉각열원의 온도에 의해 영향을 받는다. 해수온도의 상승 및

해류의 변화에 의한 냉각수 온도의 변화는 발전출력을 저하시킨다. 복수기 온도 상승에 관한 현재 설계 조건(해수온도 18~21℃) 하에서는 해수온도 1℃ 상승은 화력과 원자력의 발전 출력을 각각 0.2~0.4% 및 1~2% 정도 저하시키는 것으로 분석되고 있다.

한편, 전신주에 의해 연결되는 송전선은 산악지역에서부터 도시에 이르기까지 광범위하게 분포되어 있기 때문에 번개, 빙설, 염해(鹽害) 등의 기상 조건 발생에 의해 돌발적인 계통사고가 날 가능성이 있다. 번개에 의한 방전사고, 전선에 눈이 들러붙는 경우, 태풍 또는 폭풍, 및 염해 발생 등과 같은 이상기상 현상에 의해 계통이 자동 폐쇄되거나 발전정지 등과 같은 사고 가능성이 존재한다.

기후변화와 수자원 변동 및 해수면 상승이 발전운용, 전력시설, 송전시설 등에 미치는 이러한 영향들을 정리해 보면 다음과 같다.

- 강수패턴의 집중 호우형화: 수력발전량이 저하되고 토사유출 및 퇴적량 증가
- 태풍 발생 빈도 증가 : 댐 및 옥외시설의 안전성이 저하
- 냉각용수의 수온 상승 : 발전효율 저하
- 해수면 수위상승 : 방파제 등의 보수 필요성 증대
- 수위 상승 : 기존 냉각수 계통의 가압(加壓) 필요
- 빈번한 번개 발생, 눈의 수분함유량 증가, 태풍의 대규모화: 송배전 시설에 악영향
- 이상 고온 : 송배전기기의 기능 저하

5. 농업부문의 기후변화 영향평가 및 적응연구

가. IPCC 연구사례

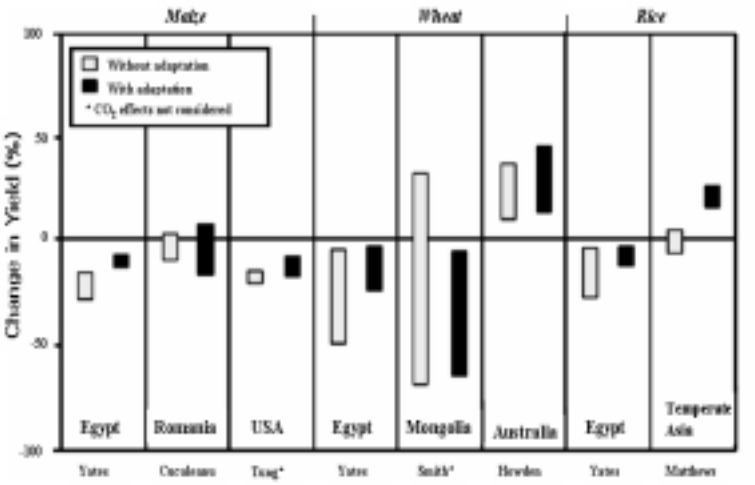
IPCC 2001년 제3차 평가보고서에는 농업부문에 대해 지금까지 보고 된 전세계의 연구 결과들이 체계적으로 정리되어 있다. 이 중 기후변화에 대한 농업의 영향, 적응, 취약성에 관하여 살펴보면 <표 4-11>과 같다.

<표 4-11> 기후변화에 대한 농업부문의 영향, 적응, 취약성

구분	주요내용
영향	·높은 이산화탄소에 기인한 온도 상승은 일반적으로 작물 수량을 증가시킨다. 하지만, 곡물 및 사료의 품질은 이산화탄소가 풍부해지고 온도가 높아질수록 떨어진다. ·이산화탄소 증가에 의한 작물 생산력의 상대적 증가는 습한 토양보다는 건조한 토양조건에서 일반적으로 크다. ·토양 특성과 과정은 온도 증가에 영향을 받는다. 토양 침식과 토양 악화는 작물 수량에 대한 기온 상승의 악영향을 더욱 악화시킬 것이다. ·밀 성장에 관한 모델의 모의는 기후변화 하에서 큰 폭의 온도 변화(극단적인 상황의 빈도 변화)가 평균 곡물 수량을 감소시키는 것을 나타낸다. ·기후변화 영향에 의한 작물의 수량은 연구에 사용된 시나리오(equilibrium scenarios, transient scenarios)에 따라 다른 결과를 나타낸다. 일반적으로 transient scenarios보다 equilibrium scenarios에서 더 큰 수량 손실이 나타난다.
적응 및 취약성	·식물의 적응에서 육종과 유전자 조작은 매우 유용하다. ·기후변화에 적응이 없는 상태에서는 온대보다 열대에서 일정한 수량 손실이 있다. 적응이 고려된 상태에서는 모든 위도에서 극단적인 수량 손실이 완화되지만, 열대에서는 여전히 기준선 수준보다 낮은 수량 손실의 경향이 있다. ·기후변화에 대한 가축 적응의 실험과 모의의 부족 때문에, 가축을 기후변화의 물리적 스트레스에 적응시키는데 있어서 목축업자의 능력은 알려져 있지 않다. ·자본과 기술력을 충분히 가진 농부들은 기후변화에 그들의 영농 시스템을 적응시키기를 기대한다. 그러나 이러한 과정에는 상당한 비용이 필요할 것이며, 이론적일지라도 적응의 비용은 기후변화의 속도에 의존할 것으로 보인다. ·적응 후의 농업에서 기후변화에 대한 영향은 전지구적 수입에 작은 변화율을 가져올 것으로 평가된다. ·모든 지역에서 기후변화의 경제적 영향을 개선하는데 있어서, 적응의 유효성은 결정적으로 지역적 재원 기부에 의존할 것이다. 그것은 개발도상국과 과도기에 있는 국가보다 선진국이 기후변화에 더 잘 적응해 나간다는 것을 의미한다. ·토양과 수자원의 악화는 전지구 농업에서 중요한 미래 도전 중의 하나이다. 이러한 과정은 온도와 강수량의 불안정한 변화에 의해서 증대될 것이다. ·2.5℃ 이상의 전지구 온도 상승은 낮은 신뢰도를 가지지만 물가를 올리게 할 것이며, 8억의 인구를 기아 위험에 처하게 할 가능성이 있다.

자료: IPCC(2001b)

기후변화에 대한 적응이 있을 때와 없을 때의 작물의 수량 변화를 비교한 연구들(Smith et al., 1996a; Matthews et al., 1997; Tung and Haith, 1998; Yates and Strzepeck, 1998; Cuculeanu et al., 1999; Howden et al., 1999)은 매우 적지만, 분명히 적응은 대부분의 경우에 있어서 수량 손실을 개선하며, 수량 획득을 강화한다. <그림 4-9>의 수직 막대의 각 쌍은 각 연구에 대해 적응이 있을 때와 없을 때 작물의 퍼센트 변화 범위를 나타낸다. 8개 연구 중 6개 연구에서 적응된 수량의 중앙치는 적응되지 않은 수량의 중앙치에 비하여 위로 이동한다. 적응은 8개 연구 중 7개에서 최저의 수량 손실을 개선한다.



<그림 4-9> 적응의 유무에 따른 작물 수량의 퍼센트 변화

자료: IPCC(2001b)

이와 같이 기후변화에 대한 적응은 기후변화에 의한 많은 악영향을 상당히 감소시키고 이로운 영향을 강화하는 가능성을 가진다. 이러한 적응에 있어서, IPCC가 중요하게 여기는 것은 기후변화의 점진적 변화(평균변화)가 아니라 변이성과 극단과 관련된 것이다. 만약 변화가 점진적이라면, 대부분의 부문, 지역, 사회는 평균 조건의 변화에 적당하게 적응할 수 있지만, 평균보다는 조건의 빈도와 강도의 변화, 특히 극단에 더욱 취약할 수 있고, 덜 적응할 수 있다.

나. 일본의 연구사례

1988년 일본의 환경청에 설치된 '지구온난화문제검토위원회'는 기후변동 전반에 대한 과학적 현상을 파악하는 활동을 수행하고 있다. 이 위원회는 1992년에 영향평가 분과회를 설치하여, 1994년에 일본에서의 기후변동영향보고를 정리했다. 이것은 1994년 UNFCCC 사무국에 제출된 제1차 일본의 국가보고서의 참고자료가 되었다. 더욱이 1995년 '영향평가실무반'을 설치하여 두 번째 보고서 『온난화의 일본에 대한 영향 1996』을 정리하였다. 2001년에는 제3차 보고서 『지구온난화의 일본에 대한 영향 2001』(환경성(環境省), 2001)이 발간되었다. 여기에서는 세 번째 보고서 내용 중 농업부문과 관련된 기후변화 영향에 대해서 요약하였다.

토양환경에서는 해수면 상승에 의한 저해안지역에서 농업토양의 지하수위 상승과 염화가 진행되고, 기온상승에 의한 토양호흡의 증가로 토양유기물질의 무기화가 빨라지며, 토양미생물상이 단순화된다고 지적하고 있다.

벼 재배에 있어서는 온난화에 의해서 고위도 지역에서는 생산량의 증가가, 저위도 지역에서는 고온에 의한 생육 장해가 일어날 것이다. 이러한 영향에 대해서 현재와 같은 수준의 수량을 유지하기 위해서는 동북과 북해도 지방에서 재배기간을 빠르게 하는 방법과 그 외의 지방에서는 재배기간을 늦출 필요가 생긴다. 최근에는 CO_2 상승효과를 평가하는 연구가 진행되어, CO_2 농도 배증 시에 출수일수가 약 5% 단축되고, 건물중이나 수량이 약 25% 증가하는 것이 밝혀졌다. 그러나 높은 CO_2 조건 하에서 고온에 의한 불임의 증가 등의 악영향도 예측되기 때문에 해결해야 할 과제가 아직 많다. 또한 이러한 연구들은 포장시험 등의 실험적 방법이나 작물 생장 모델을 이용한 방법으로 활발히 연구가 진행되고 있다. 이러한 입장에서 전국적인 쌀 생산량을 유지하기 위해서는 고온 내성 품종의 개발 등이 유효할 것이라고 지적한다.

고온 조건에서 소맥을 재배했을 경우에는 출수 시기가 앞당겨진다. 겨울 소맥의 경우에는 출수가 빨라짐으로 인해서 등숙기가 초봄의 기온 변동이 급격한 시기가 되기 때문에, 저온에 직면할 위험성이 커진다고 할 수 있다. 이것은 기온 상승뿐만 아니라 저온 발생율의 변동이라고 하는 관점에서 영향 예측이 중요함을 의미한다. 콩에 대해

서는 뿌리 주변 토양의 온도가 상승하면 생육이 억제될 가능성이 있으며, 옥수수는 생육 후기에 고온과 만날 경우에 불임 장해가 생기는 위험성이 있다. 벼에 대해서는 기온 상승과 CO_2 농도 상승과의 복합 효과의 연구가 착수되어 있지만, 맥류, 콩, 옥수수에 대해서는 연구가 미진하다.

병해충에 대해서는 주로 겨울의 기온이 상승함으로써 월동 가능 지역 및 분포가 북상할 것으로 예상된다. 그러나 해충 분포의 변화는 약제에 의한 방제의 영향을 강하게 받기 때문에 반드시 기온 상승을 반영하지 않는 경우도 있다. 또한 일반적으로 곤충은 복잡한 먹이그물 안에 위치하고 있어서, 그 발생량은 경쟁종이나 천적 등과의 상호작용의 결과에 지배되고 있다. 예를 들면, 벼의 주요한 해충인 멍나방 등의 세대 교대수와 이러한 천적 곤충류의 세대 교대수를 비교하면, 거미 이외의 천적류의 세대 교대수가 상대적으로 많아지는 점이 지적되고 있다. 따라서 논의 곤충군집에 대해서는 온난화에 의한 해충의 개체수의 증가와 천적의 개체수의 증가의 관계를 정량적으로 분명히 할 필요가 있다고 지적한다.

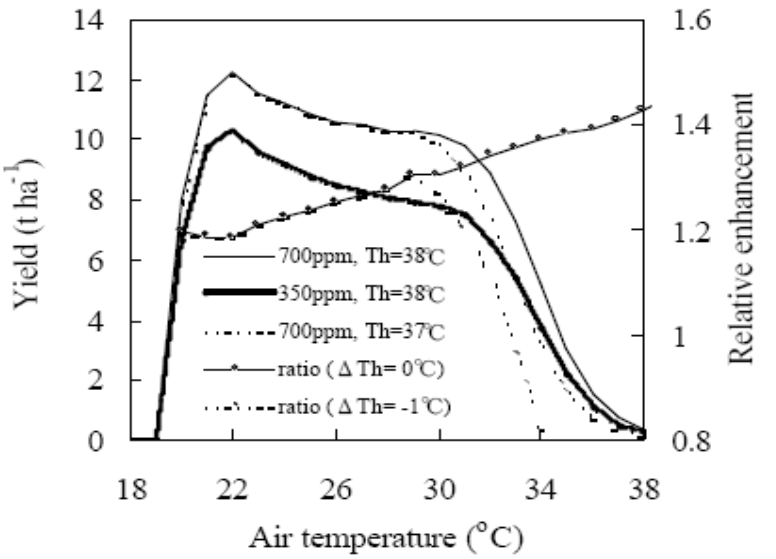
최근 잡초에 대한 온도 변화의 영향 외에, 높은 CO_2 농도 조건에서의 영향을 해명하는 노력들이 이루어지고 있지만 아직 연구의 예가 적다. 일반적으로 C4식물은 열대에 기원을 가지므로, 고온・건조 조건에서 C3식물보다 활발한 생장을 나타낸다. 일본과 같은 온대지역에서는 두 식물의 생체량에 계절적인 교대가 나타나며, 최근의 연구에 의하면 적산온도 1578℃일에서 C3식물로부터 C4식물로 우점종이 바뀌는 것이 밝혀졌다. 온난화에 의해 기온이 2℃ 상승하면, C4종으로 교대하는 시기가 전국적으로 3주간 정도 앞당겨진다.

환경성의 지구환경연구기금(The Global Environment Research Fund)에 의해서 실시된 연구보고서 『지구온난화에 의한 생물권의 취약성의 평가에 관한 연구』의 "(4) 농업생태계의 취약성에 관한 연구"(林 陽生 외, 2001)에서는 온난화가 농업생태계에 미치는 영향을 예측하고, 취약성을 평가하기 위해서, 기후자료 분포에 대한 영향과 벼 재배에 대한 영향에 초점을 맞추어, 7개의 세부과제를 설정하여 연구를 실시했다. 즉, (1) 일본 각지에 있어서 기후변화의 예측치 추정, (2) 온난화에 의한 잠재적 벼수량 변화의 지역적 차이 해명, (3) 온난화가 해충의 세대수 증가에 미치는 영향 해명, (4)

온난화가 벼의 고온 불임[22]에 미치는 영향과 예측, (5) 온난화에 의한 적설량 변화가 벼 재배에 주는 영향의 예측, (6) 동아시아의 농업기후자원과 식물생산력에 대한 기후변화의 영향 해명, 그리고 (7) 취약성에 관한 지도를 작성하여 종합적 고찰을 했다.

그 결과, 온난화 조건으로 벼의 수량을 많게 하기 위하여 최적의 재배 기간이 선택되어졌을 경우에도, 전국 평균으로 본 수량은 감소하는 것으로 나타났다. 그 원인으로서 벼의 고온 불임을 생각할 수 있다. 즉, 실험을 통하여, 특정의 생육 단계에서 고온과 고이산화탄소 농도 조건이 서로 간섭하여, 벼의 생육에 영향을 주는 것을 밝혔다(<그림 4-10> 참조). 한편, 온난화 시에 벼 해충의 세대수는 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 온난화가 진행되면, 강적설량의 감소 및 조기에 눈이 녹는 것으로 예측되어 하천 유량이 변하고 필요한 시기에 수자원이 부족할 가능성이 있다는 것을 지적했다. 온난화 시 동아시아 기후의 비교적 장기적인 예측으로부터, 온량지수(WI)가 현재의 위치보다 수백 km 북으로 이동할 가능성과 일본 주변에서 잠재적 1차순생산량이 평년의 약 70%까지 변화될 가능성이 있을 것으로 지적했다. 마지막으로 일본의 벼 재배에 대한 영향평가를 위하여 온난화와 동시에 일어나는 일사량이나 강수량・적설량의 변화, 해충의 발생 등에 의한 벼 재배에 다양한 악영향을 미치는 요인들을 조합하여 일본 전국의 벼 재배의 취약성을 지도로 작성 하였다(<그림 4-11> 참조).

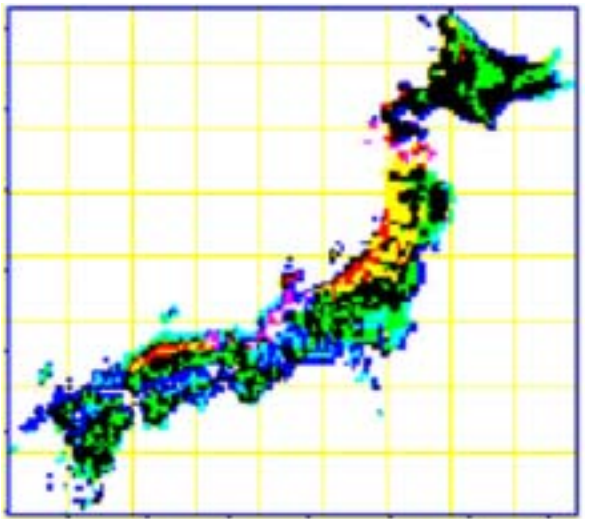
22) 높은 온도에서 씨를 맺지 못하는 것을 의미한다.



<그림 4-10> 개량형 SIMRIW(벼의 기상-성장 모형)에 의해 추정된 벼품종 일본세이의 수량에 대한 온도·CO_2 농도 반응[23)]

자료: 林 陽生 외.(2001)

23) 고온불임의 온도반응은 아끼히까리의 것을 이용했다. 환경은 정상조건으로는 온도일교차를 8℃, 전천일사량을 20MJm^{-2}day^{-1}, 일장을 12시간으로 했다. 고CO_2 농도조건에서는 고온에 의해 씨가 맺히는 것이 최대치의 50%가 되는 온도(TH)가 자연 CO_2 농도조건 하에 동일한 경우와 1℃ 저하하는 경우의 양자에 대해서 나타냈다. 표시가 있는 곡선은 CO_2 농도가 2배가 된 때의 온도조건에 있어서 증가한 수량비를 나타내고 있다.



<그림 4-11> 기상, 해충 및 수자원의 3요소로부터 본 취약성의 분포

<백색: 3요소의 변화에 대해 취약한 지역; 황색: 해충과 수자원의 변화에 취약한 지역; 엷은 푸른색: 기상과 해충의 변화에 취약한 지역; 핑크색: 기상과 수자원의 변화에 취약한 지역; 붉은색: 수자원의 변화에 취약한 지역; 녹색: 해충의 변화에 취약한 지역; 청색: 기상의 변화에 취약한 지역; 흑색: 벼가 재배되고 있지 않은 지역>

자료: 林 陽生 외.(2001)

다. 영국의 연구사례

영국의 농업부문에서 기후변화는 DEFRA에서 전적으로 조사하고 있다. DEFRA 지원의 최근 연구에 의하면 영국의 농업의 경제적 생존력을 유지하기 위해서는 변화하는 기후 조건의 영향에 적응해야만 하고, 동시에 환경에 대한 농업의 영향을 줄이기 위한 지속가능한 실천을 계속적으로 개선해야만 한다고 지적하였다(UK DEFRA, 2004). 농업과 관련된 몇몇 UKCIP(UK Climate Impacts Programme) 연구들(Holman and Loveland, 2001; Harrison et al., 2001)은 관개에 제한적이지 않다면 수량이 증가하고, 새로운 농작물이 도입될지도 모른다는 것을 보여주었다. 그러나 그것은 매우 복잡한 것이다. 단지 기후에 대한 변화만이 고려되었을 때는 연구된 대부분의 작물에

서 수량이 감소했다. 증가된 대기 이산화탄소의 효과가 고려되었을 때는 모든 작물의 수량이 증가했다. 또한 관개 수요는 2050년대에는 최대 26%까지 증가할 지도 모른다(Downing et al., 2003). 기후변화만으로는 수확 패턴에 크게 영향을 주지 않는다. 연구 결과들은 사회경제적인 요인과 홍수에 있어서 예상된 변화들이 미래의 농업 생산의 패턴에 더 크게 영향을 줄 수 있다는 것을 보여주었다. 예를 들면, 사탕무 생산의 예상되는 밀도와 분포는 연안의 범람과 농업생산의 경제성에서 변화에 대한 사회의 반응에 의해서 분명하게 영향을 받았다(Holman and Loveland, 2001).

UK의 기후변화 3차 국가보고서에서 농업부문에 관한 내용을 아래와 같이 정리하였다(UK DEFRA, 2001; <표 4-12> 참조).

<표 4-12> UK의 기후변화 3차 국가보고서에서 농업부문에 관한 내용

농업, 원예	
영 향	정 책 관 련
· 관개에 대한 수요 증가 · 농작물 성장계절의 연장과 분포 범위의 확대 · 어떤 부문에서는 생산성은 증가 · 집약적으로 사육하는 가축에 대한 열 스트레스 · 주요 농경지에 대한 해수면의 상승과 홍수의 영향	· 고온에 대한 최고의 관개방법, 가축밀도 및 통풍에 대해 농부에게 조언 · 보다 효과적인 집수지물관리를 증진하기 위하여 적절한 식물종의 선택 · 새로운 농작물 및 품종의 도입; 새로운 파종 기술과 파종과 수확 체제의 변화 · 일반농업정책(CAP)에서 유동성을 증진 · 야생생물 이동통로의 개발을 증진
반응 연구 새로운 작업: 극한 기상(가뭄과 홍수); 초지와 곡류 시스템에 대한 기후변화의 영향; 다양한 기후변화 시나리오에 대한 농업생산의 잠재적 적응 그 외 프로젝트: 작물병해충과 병, 잡초, 작물 성장과 발달 및 농경지에 대한 기후변화의 영향 평가; 농작물 모델 개발; 영국과 웨일스에서 기후변화에 대한 농업 시스템의 적응 반응의 우선권과 비용의 확인 그리고 지리적 · 경제적 반응의 지도 작성 정책 기후변화와 잠재적 적응 전략의 적당한 의미 그리고 관개와 물관리 계획에 대하여 산업 지도자와 농부들에게 지도. 가축의 고통과 사망을 막기 위해서는 사육장 안에 온도가 높아지면 가축 밀도를 낮추어야 한다는 인식을 심어줌. 적당한 장소에 야생생물의 이동통로를 개선. 주요 관심사를 확인하기 위해서, 기후변화 영향과 적절한 적응방법을 고려하기 위해서는 농업과 연계	

자료: UK DEFRA(2001)

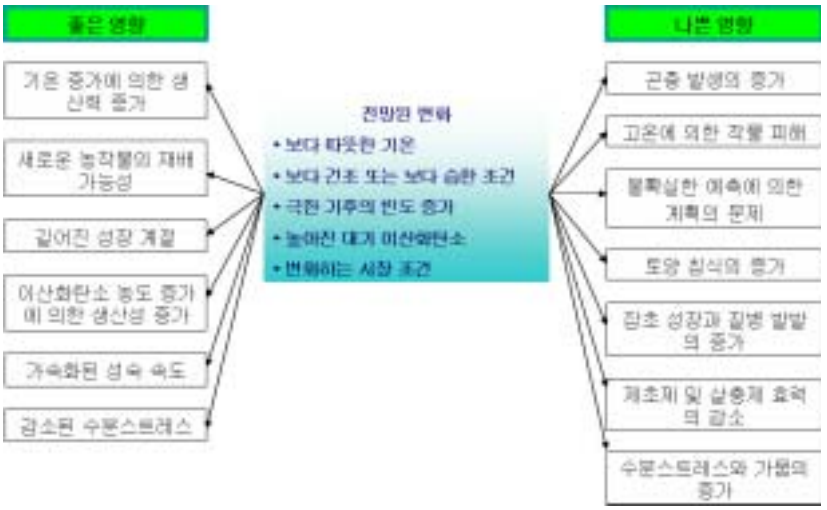
라. 호주의 연구사례

호주는 기후변화협약을 이행하고 온실가스 프로그램을 수행하기 위하여 1998년 연방정부기관인 AGO(the Australian Green Office)를 설립했다. 호주에서는 경제적으로 중요한 농업부문에 대한 영향이 주요 관심사이다. 농업에 있어서 기후의 영향을 예측하는 것은 복잡하다. 어떤 영향들은 좋지만(높은 이산화탄소 농도에 의한 성장과 물 이용효율의 증대), 온도 증가, 강수량 감소 및 더욱 빈번한 극한 사건들에 의해 잠재적으로 상쇄되어질 수 있다.

기후변화로부터의 영향들은 염류화와 토양 침식 등과 같은 호주가 직면하고 있는 다른 육지 퇴행을 악화시킬 가능성이 있다. 수분 평형과 지하수위의 변화는 염화를 높일 수 있고, 높은 홍수와 먼지 폭풍을 유발시키는 한발은 극적인 토양침식을 가져올 수 있다. 호주의 가장 중요한 농업 지역인 the Murray Darling Basin에 대한 영향은 물 유용성의 감소, 잡초, 병해충 및 병의 증가, 그리고 대기 중의 이산화탄소 농도의 증가에 의한 영향을 포함할 것이다. 호주 농업은 작물재배, 원예, 포도 재배 및 목초지를 포함한다. 이러한 다양성과 농업 활동들이 많은 다른 영역들에 관련이 있기 때문에 기후변화의 영향이 다양할 것이다.

마. 캐나다의 연구사례

캐나다에서는 일차 농업 생산, 잠재적 적응 옵션, 농업의 취약성에 초점을 두어 연구를 진행하고 있다. 캐나다에서는 <그림 4-12>와 같이 예상되는 기후변화에 대하여 좋은 영향과 악영향을 제시하고 있다. 좋은 영향으로는 따뜻한 온도에 의한 생산력의 증가, 새로운 작물이 자랄 수 있는 가능성, 길어진 성장기간, 높은 농도의 이산화탄소에 의한 생산력의 증가, 성숙율의 촉진, 수분 스트레스의 감소를, 악영향으로는 곤충 세대수 및 번식의 증가, 고온에 의한 농작물 피해, 확실하지 않은 예측에 의한 계획의 문제, 토양 침식의 증가, 잡초 성장과 병의 급증, 제초제와 살충제 효과의 감소, 수분 스트레스와 한발의 증가를 언급하고 있다.



<그림 4-12> 캐나다의 농작물에 대한 기후변화의 잠재적 영향

자료: Canada(2002)

최근의 몇몇 캐나다의 연구들은 다른 형태의 농작물에 대해서 이산화탄소의 농도가 배가 되었을 때의 대순환모델(GCM)에 의한 연구 결과들을 보고하고 있다. McGinn et al.,(1999)은 알버타에서 옥수수와 밀은 21-124% 증가할 것이라고 보고하였다. Singh et al.,(2001)은 퀘백에서 옥수수와 사탕수수 수량은 20% 증가하는 반면, 밀과 대두 수량은 20-30%까지 감소할 것으로 제안했다. 또한 그들은 카놀라, 해바라기, 감자, 담배, 사탕무에는 좋은 영향을 미치지만, 그린피스, 양파, 토마토와 양배추에는 수량 감소가 있을 것으로 예상했다.

적절한 적응은 거대한 기후변화에 대한 영향을 감소시킬 수 있다. 적응 옵션은 다음에 제시된 질문들을 고려하여 평가되어야 할 것이다.

- 농업은 어떤 기후변화에 가장 민감한가?
- 적응은 누구에게(생산자, 소비자, 산업) 필요한가?
- 추진할 또는 수행할 가치가 있는 적응 옵션은 어떤 것이 있는가?
- 선택된 적응이 실행될 전망은 있는가?
- 재정적 비용은 누가 부담할 것인가?

- 선택된 적응은 문화와 생계에 어떻게 영향을 미칠 것인가?

평가를 통해 캐나다에서는 농업부문에 관한 적응 옵션을 다음과 같이 분류하고 있다.

- 기술 개발(새로운 작물의 품종, 물 관리 기술혁신 등)
- 정부 프로그램과 보험(농업 보조금, 개인보험 등)
- 농가 생산 습관(농작물 다양화, 관개 등)
- 농가의 재정적 관리(수입안정프로그램)

이들 적응 옵션들은 다양한 다른 집단들(개인 생산자, 정부 기관, 농업식품산업)에 의해서 수행되어질 수 있을 것이다. 이들 집단들은 관심과 우선순위에 차이를 가지므로, 때때로 충돌할 수도 있다. 그러므로 적응 옵션을 이행하기 전에 주의 깊고, 철저하게 평가되어져야 할 것이다. 캐나다 농업부문에서는 96개의 적응조치가 선정이 되었는데, 그 내용은 <표 4-13>과 같다.

<표 4-13> 캐나다 농업부문의 적응 전략

적응 전략	조치 수
토지 지형 변경	11
물 사용 및 이용가능성 개선 및 토지 침식 방지시스템 사용	29
농작물 생산 방식 변경	21
농산물 생산 기간의 변경	2
상이한 곡물 종류 사용	7
정부·제도적 정책 및 프로그램	16
신기술 연구	10

6. 산림부문의 기후변화 영향평가 및 적응연구

가. 미국의 연구사례

앞서 살펴본 바와 같이 미국은 1990년 자연 및 인간에 의한 지구변화에 대해 이해를 증진하기 위해 지구환경시스템의 모니터링, 이해, 지구변화 예측 및, 건전한 과학적 기준을 제공할 목적으로 지구변화연구법 (Global Change Research Act)을 제정하고, 미국 지구변화연구프로그램 (USGCRP)을 수립하엿다. 이를 기점으로 과거 15년 동안 미국은 과학연구, 모니터링, 데이터 관리 및 기후변화 분석 평가에 대한 기초지식을 구축하기 위한 연구에 막대한 투자를 하엿다.

또한 미국 농무성 산림청은 기후변화와 산림생태계에 관하여 문제가 있는지, 그 문제가 얼마나 심각한지, 그리고 그 문제에 어떻게 대응할 것인지 등 3가지 의문사항을 규명하기 위하여 산림청지구변화연구계획 (FSGCRP; Forest Service Global Change Research Program)을 수립하여 추진하고 있다 (USDA FS, 1996). 여기에는 다음과 같은 4개의 과학프로그램과 2개의 다분야간 활동이 있다. 과학적 프로그램 요소는 1) 대기/생물권 가스 및 에너지 교환, 2) 생태계 동태, 3) 교란 생태학, 4) 인간 활동 및 자연자원 상호관계 등이며, 다분야간 활동은 1) 평가 및 모델링, 그리고 2) 자료의 질적 평가 등으로 구성되어 있다.

이와 관련하여 미국 농무성 산림청에서는 2000년도에 재생자원계획법 (RPA; Renewable Resources Planning Act)에 근거하여 "기후변화가 미국 산림에 미치는 영향"에 관한 종합보고서 (USDA FS, 2000)를 제출한 바 있는데, 여기에서는 기후변화에 따른 식생대 이동, 생산성 변동, 산림부문 영향 평가, 목재 및 종이에 의한 탄소저감, 토양탄소 저장, 임업부문 기후완화활동 등이 포함되어 있다. 아울러 CCRI와 연계하여 2004-2005년도의 중점 과제로 다음 5개 과제를 선정하였다; 1) 산림청 시험림 네트워크를 기반으로 개선된 기술과 관측 통합을 통한 산림 탄소 저장과 플럭스 관측 개선, 2) 프로세스 수준의 연구와 관측을 통합한 산림과 기후 관계의 이해, 예측, 관리 개선, 3) 산림생산성 증가, 환경 개선, 화석연료 차단 등을 통한 산림관리기술의 개발,

4) 통합적 산림탄소동태 예측모델 보급, 5) 산림부문 온실가스 산정방법 및 가이드라인 개선 및 제공 등으로 구성되어 있다.

산림생태계의 탄소 저장과 플럭스 추정 개선과 과학적 지식에 근거한 탄소관리체계 개발을 위해 2005 회계연도에 미국 산림청은 1백 5십만 달러를 추가로 투자할 계획이다. 아울러 임목, 하층목, 산림토양, 목재생산물을 포함한 산지에서의 탄소 플럭스 추정량을 집계할 계획이다. 그리고 자연자원보전청은 탄소플럭스 및 온실가스 배출에 대한 보전활동의 효과를 측정하기 위하여 새로운 측정기술, 분석기술 및 정보관리시스템을 개발할 계획이다. 미국 농무성의 관련 과제로서, 바이오에너지 및 생물기반의 생산물의 이용증진 기술 개발 및 농임업에서 온실가스 측정 및 산출방법 개선 등이 있는데 이는 기후변화기술프로그램으로 보고될 계획이다. 그리고 1980년부터 미국 과학재단 (NSF)의 지원으로 현재 26개 장기생태연구지를 포함한 미국 장기생태연구네트워크를 구축하여 생태계의 장기적 변화 모니터링과 함께 기후변화에 따른 영향을 평가하는 사업을 지속적으로 추진하고 있다.

나. 캐나다의 연구사례

캐나다는 400백만 ha 이상의 산림을 보유하고 있는데 이는 세계 총 산림의 10분의 1에 해당된다. 캐나다 정부는 1998년 기후변화활동자금 (CCAF, Climate Change Action Fund)으로 1억5천만불을 조성하여 1998-2001년 3개년 동안 총 76개 연구과제에 대하여 지원하였다. 기후변화 적응과 관련하여 캐나다 기후변화 영향 및 적응연구 네트워크 (C-CIARN; Canadian Climate Impacts and Adaptation Research Network)가 구축되어 지방정부, 대학 및 이해당사자들이 참여하고 있다. 아울러 캐나다의 대표적 기후변화 프로그램으로 캐나다 기후변화 영향 및 적응계획 (C-CIAP; Climate Change Impacts and Adaptation Program)이 있다. 여기서는 경쟁적 방식으로 연구비를 지원하고 기후변화에 대한 캐나다의 취약성과 지식간의 격차에 대한 보고를 통해 정책결정을 위한 정보제공 목적으로 실시하고 있다. 농업, 생태계, 임업 등 총 12개의 분야로 나누어 수행되고 있으며, 생태계 및 임업과 관련되어 지원된 대표적 연구

과제는 다음과 같다. 1) 생태계: 기후변화가 퀘백 북부지역 토탄습지에 미치는 영향: 위성 데이터와 야외 토탄퇴적물 데이터의 결합, 캐나다 북극 서부지역의 선사시대 적응: 환경변화와 인간 주거지 이동 및 인구밀도의 관계 해석, 기후변화가 브리티시컬럼비아의 해양 서식지 바닷새 개체수에 미치는 영향: 기후변화가 소형 바닷새의 생존과 번식에 미치는 영향평가, 2) 임업: 캐나다 서부 내륙 산지 산림의 생산성과 활력의 기후변화 영향: 72개 임분에서 기후변동, 해충 및 다른 인자들이 임목의 생장과 활력에 미치는 영향을 연륜해석을 통해 분석, 산림수문학에 있어서 기후변화 영향의 지표 개선: 기후변화가 산림 물 수지에 반응하는 정도를 증명하기 위한 지표 개발, 한대림의 자연 교란과 기후변화: 해충에 의한 교란과 기후변화의 상호 영향 평가, 캐나다 산불이 기후변화에 미치는 영향: 과거 50년간 캐나다에서 발생한 산불과 기후변화가 산림군집, 목재생산, 탄소저장에의 영향 평가, 한대림의 취약성 평가: 문헌을 통한 연구의 취약성 평가와 다양한 강수의 생태지역별 민감성과 취약성 통합이 해당된다.

다. 영국의 연구사례

영국은 기후변화관측과 연구를 위해 UKCIP를 설립하고 매년 약 12백만 파운드의 자금을 지원하는 등 이 분야 연구에 많은 투자를 하는 국가 중의 하나이다. 영국 임업청 (Forestry Commission) 산림연구원 (Forest Research Agency)의 기후변화 연구도 UKCIP와 연계되어 수행하고 있는데, 기후변화영향, 프로세스 및 경험모델 개발, 산림모니터링 자료 해석 등 다양한 분야와 연계되어 있다. 다음과 같은 연구영역으로 각 연구계획들을 포함하고 있다: 기상 (meteorology), 계절학 (phenology), 산림생태계 모니터링 (monitoring of woodland condition), 미래 생물종 적합성 예측 (predicting future species suitability), 기후변화영향 연구(climate change impact studies), 지상의 오존 오염의 영향 평가 및 모델링, 환경 및 사회경제적 변화의 다른 측면과의 상호관계이다.

라. 일본의 연구사례

일본은 삼림총합연구소 연구과제, 환경청 지구환경연구과제 및 지구변화프론티어 연구센터 연구사업 등에서 지구온난화에 의한 산림생태계의 영향 및 적응연구를 수행하고 있다. 삼림총합연구소에서는 산림생태계모니터링 연구 등 7개 연구영역을 설정하고 있는데, 이중 2개 과제가 기후변화와 직접적으로 관련되며, 1개 과제는 이에 따른 장기적 생태계변화 모니터링 연구이다. 기후변화와 관련된 연구과제들은 다음과 같다: 1) 임업경영 및 정책 분야: 교토의정서 흡수원으로서의 산림기능평가에 관한 연구, 지구온난화와 이것이 산림, 임업, 임산업에 미치는 영향의 예측 및 평가, 투명하고 검증 가능한 수법에 의한 흡수원의 평가에 관한 연구, 2) 산림기상환경 분야: CO_2 flux 관측의 심화와 모델화에 의한 산림생태계의 탄소 수지량의 고도 평가, 소나무림 생태계에서의 탄소수지의 해명, 3) 식물생태 분야: 지구온난화의 생물권에의 영향, 적응, 취약성 평가 연구, 지구 온난화가 온대 식생에 미치는 영향: 강설 환경변화 민감성 평가, 아열대, 난대 및 온대 산림의 기후변화 민감성 평가, GIS활용 열대우림 생태계의 기후변화 민감성 평가, 지구온난화가 농림수산업에 미치는 영향의 평가와 대책기술 개발, 21세기의 탄소관리를 향한 아시아 육상생태계의 통합적 탄소플럭스 연구가 해당된다.

그리고 환경청의 지구환경연구 종합추진비를 통하여 기후변동이 산림식생에 미치는 영향 연구 사업을 수행하고 있는 바, 1993-1995년에 지구온난화가 식물에 미치는 영향의 해명에 관한 연구 (산악지에 있는 식생대의 이동조건에 관한 연구조사), 1996-1998년에 아시아태평양지역에서 지역온난화가 국지식생에 미치는 영향 및 이의 보전에 관한 연구 (온난화가 일으키는 현식생의 동태와 분포 변화), 1999-2001년에 지구온난화에 의한 생물권의 취약성 평가에 관한 연구 (산림생태계의 취약성 평가) 그리고 2002-2004년도에 지구온난화의 생물권에의 영향, 적응, 취약성 평가에 관한 연구 (자연림, 인공림 취약성 평가와 적응대책) 등을 수행하고 있다.

지구변화 연구를 위하여 1997년 10월 일본 우주개발사업단 (NASDA)과 일본해양연구개발기구 (JAMTEC)가 공동으로 지구변화프론티어연구시스템 (FRSGC; Frontier

Research System for Global Change)이라는 프로젝트를 출범하였다. FRSGC에는 ① 기후변동연구, ② 수분순환 연구, ③ 대기조성 연구, ④ 생태계변화 연구, ⑤ 지구온난화 연구, ⑥ 지구환경변화 모델링 연구 등 6개 프로그램이 있으며, 각 프로그램에는 3개씩의 연구그룹들로 구성되어 있고, 현재 180여명의 연구원 가운데 1/3이 해외에서 영입한 학자들로 구성되어 있다. 6개 프로그램 가운데 생태계변화 연구 프로그램에는 육상생태계모델 그룹, 공간적 생태계 관측 및 모델링 그룹, 그리고 해양생태계모델 그룹으로 구성되어 있다. 육상생태모델 그룹에서는 산림과 초지 등 육상생태계와 대기간의 이산화탄소 교환에 대한 모델링을 통하여 지구환경변화에 따른 반응을 시뮬레이션하는 연구를 수행하고 있으며, 사용하는 모델로는 Gap 모델의 하나인 Sim-Cycle 모델을 사용하여 장기적인 변화를 예측하는데 현장 측정자료와 위성영상 등을 활용하여 공간적으로 통합 및 확장하는 연구도 수행하고 있다. 그리고 공간적 생태계 관측 및 모델링 그룹에서는 식생-기후 관계, 생태계변화 탐지, 생물·물리적 환경변수의 추정 및 모니터링 그리고 생태계프로세스 변화 모델링을 위한 인공위성자료 분석 등을 수행하고 있다.

제5장 우리나라의 기후변화 영향평가 및 적응조치 동향

본 장에서는 우리나라의 기후변화 영향평가 및 대응체제와 함께 관련 연구사례와 적응조치 동향에 대하여 부문별로 살펴보고 기후변화에 대한 우리나라의 취약성을 평가하는데 활용토록 한다.

1. 우리나라의 기후변화 영향평가 및 대응체제

가. 지구온난화 대응체제

1992년 기후변화협약이 채택된 이래 우리나라 정부는 기후변화협약에 효율적으로 대응하기 위해 1992년 8월 "지구환경관계장관대책회의(이하 장관대책회의)"를 설치하였다. 장관대책회의는 1992년 개최되었던 리우회의 직후 "의제 21" 등에서 규정한 지구환경문제 즉 기후변화협약은 물론 교육, 여성, 빈곤, 보건 등이 전반적인 국가 정책과 연관되고 장기적으로는 무역규제와 에너지 사용, 생산 공정 등 국내 산업정책에 대한 규제로 발전될 것으로 예상됨에 따라 이에 대한 합동 대책의 수립·추진 및 지구환경관련 주요 시책의 협의·조정을 위하여 국무총리 훈령 제 216호로 설치된 것이다. 그러나 장관대책회의는 1995년 6월 그 기능이 중단되었고, 1996년 6월 정부의 위원회 축소 방침에 따라 결국 폐지되었다. 그 이후 기후변화협약 대응을 위한 국가의 지속적인 대책 수립 및 추진에 상당한 지장이 초래되었으며 이에 따라 국내 대책의 체계적인 조정 및 실천을 위한 국가 차원의 조정 체계의 설치 필요성이 대두되었다.

대외적으로는 1997년 12월 일본 교토에서 개최된 기후변화협약 제3차 당사국 총회에서 선진 38개국의 온실가스 저감의무 부담을 결정한 교토의정서가 채택되고 우리나라를 포함한 선발개발도상국에 대한 선진국들의 자발적인 온실가스 저감 참여 압력이 가중되기 시작하였다. 이에 따라 1998년 1월 19일 대외경제조정위원회는 기후변화협약에 대한 범정부 차원의 적극적인 대응방안 마련을 위하여 관계부처, 학계·산

업계・연구기관 등이 참여하는 범정부대책기구 구성을 결정하였고, 이에 따라 관계부처의 조율을 거쳐 1998년 4월 국무총리 훈령으로 기후변화협약 범정부대책기구가 설치되었다.

국무총리 훈령으로 설치된 범정부대책기구는 1999년부터 각각 3년 계획으로 기후변화협약 대응 종합대책을 수립, 이행해 오고 있다. 2005년에는 제3차 종합대책을 마련하고 2007년까지 계획으로 과제를 시행해 오고 있다. 현 범정부대책기구는 기후변화협약대책 위원회, 실무위원회, 실무조정회의 등 3단계 협의체 형태로 구성되어 있다. 실무조정회의는 분야별 (6개 분야) 대책반을 두고 있으며 자문의 전문화를 위하여 연구기관 및 학계전문가로 구성된 전문가 「풀」이 구성되어 있다.

기후변화협약대책 위원회는 국무총리가 위원장으로 회의를 주재하며 13개 관련 부처 장관이 위원으로 구성되어 있다. 실무위원회는 국무조정실장이 위원장이며 위원으로는 15개 부처 차관 및 청장이 참여하고 있다. 실무조정회의는 국무총리실 경제행정조정관을 위원장으로 하며, 6개 대책반장, 관계부처 국장 및 연구기관 대표 등으로 구성되어 있다. 실무조정회의에는 범정부대책기구에서 가장 핵심적인 기능을 담당하고 있는 6개 대책반이 있으며, 대책반에는 총괄대책반, 협상대책반, 에너지・산업대책반, 환경대책반, 농림대책반 및 연구개발반 등 분야별로 구성되어 있다. 분야별 대책반은 주관부처 책임 하에 관계부처, 학계, 연구소, 산업계의 민간전문가로 구성된 위원회 형태로 운영되고 있다.

각 대책반별 주관부처 및 관계부처 그리고 주요임무를 보면, 총괄대책반은 국무조정실 주관 하에 13개부처가 참여하고 기획, 종합 조정, 평가, 홍보 등의 업무를 수행하고 있다. 협상대책반은 외교통상부 주관 하에 산업자원부와 환경부가 참여하며 해외동향 파악 및 전파와 주요 예상 의제에 대한 협상전략을 수립하는 역할을 담당하고 있다. 에너지・산업대책반은 산업자원부가 주관하고 있으며 재정경제부, 건설교통부, 과학기술부가 참여하고 있으며 주요 임무는 에너지 절약, 효율 향상, 대체에너지 및 에너지 소비형 산업구조 개편에 관한 것이다. 환경대책반은 환경부 주관으로 산업자원부, 건설교통부, 해양수산부가 참여하고 있으며 폐기물 감량 및 재활용 대책, 수자원, 교통, 해양부분 대책에 관한 업무를 수행하고 있다. 농림대책반은 농림부 주관 하

에 농업진흥청과 산림청이 참여하며 농축산부분 메탄가스 배출 저감대책 및 흡수원 보존 확대의 임무를 맡고 있다. 마지막으로 연구개발반은 과학기술부 주관 하에 산업자원부, 환경부, 기상청이 참여하고 있으며 온난화 영향평가, 온실가스 배출 저감 관련 기술 개발 업무를 담당하고 있다. 그리고 전문가들로 구성되는 민간전문가 「풀(pool)」을 구성하고 있다.

우리나라에서 기후변화협약 대응을 위하여 구성된 정부의 대응 체계 즉 1992년의 지구환경관계장관회의 및 1998년의 기후변화협약 범정부대책기구는 모두 정부 부처간 협의체 형태의 대응체제로서 구성되었다. 우리정부는 위의 협의체 대책기구를 통하여 기후변화협약에 대한 국내외 대책 수립 및 수립된 대책의 일관성 있는 추진을 그 목적으로 하고 있다. 위 추진 체계를 통한 기후변화협약 대응을 위한 대책 수립은 bottom-up 과정을 보이고 있다. 즉 관련 부처별로 기후변화 관련 담당자들이 주변의 기후변화 전문가의 자문을 참조로 해당 부처의 대책을 수립하여 추진본부에 제출하고 추진본부에서는 관련 부처별로 제시된 대책 안을 취합하여 전문가에 의한 자문 및 실무조정회의에서 협의 조정하는 과정을 취하고 있다. 조정된 대책 안은 실무위원회 및 위원회를 통하여 국내 대책으로 최종 결정되나 후자의 과정들은 일종의 형식적인 측면이 강하다. 이상의 과정에서 알 수 있듯이 우리나라 기후변화협약 대응체제는 기후변화 및 기후변화협약 대응을 위한 구체적인 대책을 수립하는 체제라기보다는 부서별로 수립된 대책을 종합적으로 조정 및 협의의 기능만을 담당하는 체제로 작동하고 있다.

나. 영향평가 대응체제

우리나라는 지구온난화로 인한 기후변화의 영향 및 적응이슈를 종합적으로 전담하는 대응 체제는 아직 갖추고 있지 못하다고 볼 수 있다. 다만 기후변화협약 대응 체제 하에서 정부 부처별 담당업무를 나누어 대응하는 수준이다. 즉, 앞서 살펴본 기후변화협약 대응체제 안에서 기후변화영향에 대한 문제는 주기적 (3년)으로 부서별 계획을 수립하고 그 계획을 종합하여 기후변화협약 종합대책을 발표하는 체제로 운영되고

있다. 각 부처에는 기후변화와 관련 업무를 담당하는 공무원이 1-2명 정도 있으나 이들이 기후변화 업무만을 담당하는 것이 아니라 일반적으로 다양한 국제협약관련 업무를 담당하고 있다. 또한 이들은 주기적으로 자리를 옮김으로 인해서 전문적인 지식 축적이 요구되는 기후변화 업무를 감당하기에는 매우 부족한 실정이다. 이로 인하여 부서별 종합대책은 진지하게 이루어지기보다는 주위의 전문가의 단편적 자문을 통하여 이루어지고 있다. 주요 영향평가 분야와 관련한 부처의 연구 활동 상황을 살펴보면 기상청을 중심으로 지구온난화 및 기후변화 예측 문제를 다루고 있으며 환경부, 해양수산부, 농업진흥청 등을 포함한 정부 부처를 중심으로 관련 분야별 영향 평가를 수행하고 있다.

그동안 기후변화 대응과 관련하여 온실가스 배출완화와 함께 적응의 중요성을 각계 각층에서 제기 한 결과(한화진 외, 2002) 제3차 기후변화협약종합대책에는 국가 '적응기반구축'이라는 제목 하에 주요 사업으로 포함이 되었다. 그러나 여전히 기후변화 대응 국가 전체사업에서 차지하는 위치는 미약하며(기후변화대응 전체 예산의 약 0.1% 수준) 여전히 단편적으로 추진되고 있다. 특히 기후변화의 영향과 적응대책을 지속가능발전 차원에서 연결하려는 즉, 과학적인 결과를 사회, 경제적인 국가 시스템과 연결하는 체계연구는 아직 갖추지 못하고 있다. 환경부가 2005년 4월 구성한 온실가스 감축 추진기획단은 환경부서내의 기후변화 업무를 전담하고 있으나 영향평가 및 적응과 관련된 업무는 거의 이루어지지 못하고 있다. 물론 2005년에 환경부와 기상청이 공동으로 발족한 기후변화협의체(KPCC)가 이러한 역할을 할 것으로 기대되고 있으나 아직 구체적인 체계 구축으로 발전하지는 못한 듯하다.

다. 적응대응체제: 제2차 국가보고서

향후 예측되는 기후변화는 우리나라의 농림수산, 해상, 육상생태계, 재해, 건강 등 여러 분야에 영향을 미칠 것으로 예상된다. 이에 기후변화가 초래한 각종 영향을 줄이고 기후변화에 적절히 적응하고자 부문별로 기후변화에 따른 영향을 파악하고 적응조치들을 강구하고 있다. 농림수산업부문, 해상부문, 육상생태계에 대해서는 주로

재배작물, 재배어종, 그리고 생물 종에 미치는 영향이 크며, 건강부문에 대한 영향은 사람들의 질병과 관련되어 있다. 이에 따라 각 해당부문에 대한 적응조치도 영향을 미치는 항목 즉, 농작물 관련, 생물다양성, 수자원, 해수면, 수자원확보, 질병예방 등에 대해 취해진다. 각 부문에 기후변화가 미치는 각종 영향과 이 영향을 줄이고자 취하는 적응조치들은 <표 5-1>과 같이 요약된다. 하지만 지금까지의 연구는 단편적인 현상에 기초한 것이며 미래를 예측하고 앞으로 수용가능한 수준의 위험이 어느 정도인지를 설정하는 연구로 발전하지는 못하고 있다.

<표 5-1> 우리나라에서의 기후변화 영향, 취약성 및 적응조치

	취약성 및 영향	적응조치
기후변화	▪ 작물재배 가능지역의 북상 ▪ 작물의 생산성 위협 ▪ 농업 생태계 생산성 및 안정성 장애	▪ 농작물 재배방법 ▪ 품종육성 ▪ 지역별 재배작물 변화
	▪ 산림식생대의 이동 ▪ 산림생태계 구조변화 ▪ 산림재해 증가 ▪ 병해충 발생추이 변화	▪ 생물다양성 보전체계 수립 ▪ 산림 생산성 유지대책 수립 ▪ 산림재해 방지대책
	▪ 수온변화로 인한 해양생태계와 수산자원의 변동 ▪ 해수면의 상승으로 연안침식과 연안시설물 유실	▪ 수산자원 변동에 대한 대응방안 ▪ 한반도 해수면 상승 영향평가 및 대응 ▪ 연안침식 및 연안 구조물 방어대책 수립
	▪ 홍수, 가뭄 및 태풍으로 피해증가 ▪ 수자원의 양적, 질적 저하로 피해증가	▪ 재해 대응방안 수립 ▪ 수자원 확보대책
	▪ 더위로 스트레스와 질병증가 ▪ 전염성 질병체의 분포변화로 전염병 이동의 증가	▪ 질병 예방활동의 강화 등 ▪ 전염병 유행 예측사업

자료: 임재규(2003)

2. 건강/보건부문의 기후변화 영향평가 및 적응조치

가. 건강/보건부문의 기후변화 영향평가

인구집단의 건강수준은 물질적인 생활수준, 사회적·자연적 환경의 질(quality)을 반영하며 공중보건의 인프라를 반영하므로, 인구집단의 건강수준은 기후변화로 인한 취약성을 평가하는 기초 자료가 될 수 있다. 본 연구에서는 인구집단의 건강수준에 대한 자료를 통하여 국내에서 기후변화가 건강에 미치는 영향을 살펴보고자 한다.

우리나라의 주요 유병(有病)의 현황

질병으로 인한 우리나라 국민의료비 지출규모의 경우 1985~1998년 사이에 연평균 15.62%의 증가율을 보이고 있는데 이는 국내총생산(GDP)의 연평균 증가율 13.96%를 상회하는 것으로, 이와 같이 국민의료비의 증가와 경제성장률과의 격차가 지속된다면 급증하는 의료비의 조달 등 질병으로 인한 국민의 부담이 가중될 것으로 전망된다(정영호, 2002). 입원 및 외래 진료비(건강보험 환자), 진료로 발생하는 작업시간 상실에 따른 비용, 그리고 사망으로 인한 손실소득액 등 주요 질병으로 발생한 1999년도의 경제적 비용은 총 36조 8710억원으로 추정되었는데, 이는 동 연도 GDP의 약 7.6%에 해당하는 금액이다.

우리 국민들이 앓고 있는 질병 중에서 만성질병이 차지하는 비중이 1995년 69.1%에서 1998년 74.5%, 2001년 80.6%로 증대되고 있으며, 연간 만성질병을 앓는 인구비율 또한 1995년 29.9%에서 1998년 41.0%, 그리고 2001년 46.2%로 증가하는 추세에 있다[24]. 연간 우리 국민이 주로 앓고 있는 만성질병은 관절염(1위). 고혈압(2위), 치아우식증(3위) 등이며, 만성질병 유병률은 성, 연령, 소득수준 등의 사회경제적 특성에 따라 차이를 나타낸다. 특히 65세 이상 국민이 만성질병을 겪는 경우는 전체의 70%이상을 차지하는 것으로 나타났다(유근춘 외, 2003). 질병을 앓고 있는 국민의 특성을 볼 때 사망률과 달리 남성보다 여성이 유병율이 높게 나타난 바 있다. 우리나라 국민이

24)보건복지부, 2001 국민건강영양조사, 2002.

주로 겪는 만성질병의 종류는 관절염, 치아우식증, 고혈압, 위염, 소화성 궤양 등의 순으로 나타났다. 특히 치아우식증, 관절염, 고혈압은 본인부담 외래의료비가 높은 만성질병으로 나타났다.

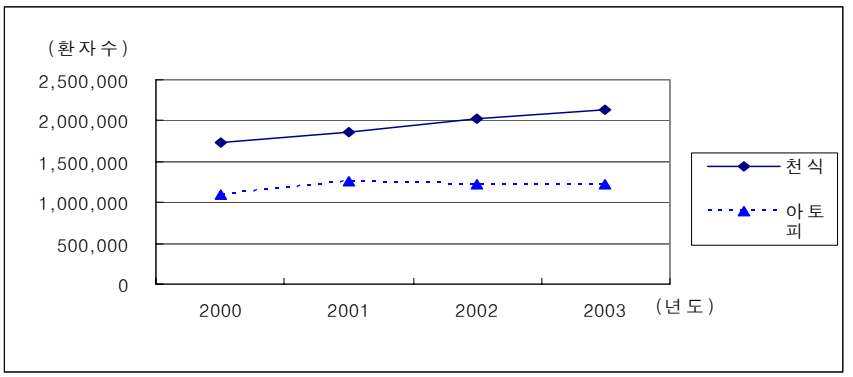
유근춘 외.(2003)의 국민의료비 변동요인 분석연구에 의하면 교육수준이 국민건강수준을 향상시키는 방향으로 일관성 있게 나타났다. 반면 소득수준은 건강수준향상에 유의한 영향을 주지 못하는 것으로 나타났다. 한편 의사수의 증가가 국민건강수준 향상에 유의하게 기여하며 특히 영아사망률감소에 기여하는 것으로 보고되었다. 우리나라 국민의 건강행태와 관련된 위험요인을 흡연, 음주, 스트레스 인지율, 영양 및 체중관리 등을 중심으로 살펴보았다. 2001년도 국민건강검진조사 결과에 의하면 만성질병의 주요 위험요인인 과체중은 남성은 40대까지 증가하다가 50대부터 감소하고 여성은 60세까지 증가하다가 70세 이상에서 감소하였다.

기후변화는 지역기획, 거류지 기획, 빌딩 설계 등에 영향을 준다. 지역적 특성, 지역의 에너지 사용 등의 요인 때문에 기후변화는 결론적으로 지역개발에 영향을 주게 된다. 또한 도시지역의 경우 농촌지역과 뚜렷하게 다른 영향을 받는 것으로 나타나 지역별 기획에 기후변화의 영향은 더 커질 것으로 전망된다(<표 5-2> 참조).

고령화 사회에서 입원환자 및 외래환자의 질병양상도 변화하고 있다. 폐렴, 백내장 등의 질병이 다발성 입원질병으로 부상하고 있다. 또한 외래환자의 주요 상병요인에서는 호흡기계질환이 가장 빈도가 높고, 치과질환, 결막염, 피부질환 등의 빈도가 지속적으로 높다는 것을 알 수 있다. 기후변화로 인하여 대기오염이 증가한다면 이러한 호흡기계통 질환의 취약계층인 노인과 어린이 환자수는 계속 증가할 것으로 전망된다. <그림 5-1>에서 나타나듯이 천식, 아토피 환자수가 증가하는 것은 환경오염의 영향이 크고 이에 영향을 받는 취약계층이 증가하고 있기 때문이라고 해석된다. 천식 환자수는 외래와 입원환자에서 지속적으로 증가하는 것으로 나타나고 있다.

<표 5-2> 도시 농촌 간 기후변화의 영향 비교

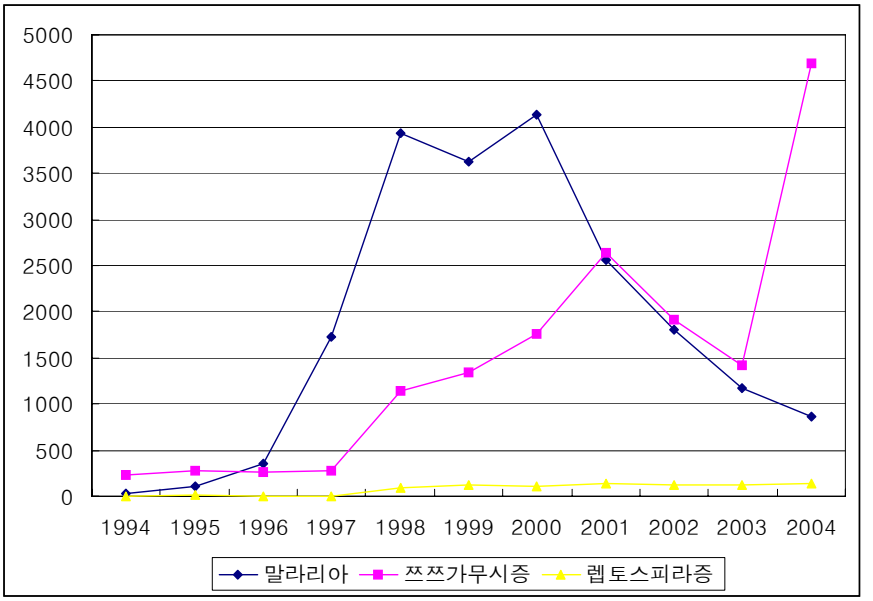
기상학적 요인		농촌과 비교한 도시의 특성
복사 (radiation)	태양열 복사	less
	자외선 복사(겨울)	less
	자외선 복사(여름)	less
	일조시간	less
기온	연평균 기온	higher
	복사일수	higher
	최저기온	higher
	최고기온	higher
습도	상대습도	less
	절대습도	no change
안개		less
구름		more
강수량	연평균	more
	눈	less
바람	평균 풍속	less
	무풍상태	more
	돌풍	more
오염물질	미세입자	more
	가스	more



<그림 5-1> 연도별 천식, 아토피 환자수 변동추이

자료: 국민건강보험공단. 2003. 건강보험통계연보.

우리나라는 그동안 전염성질환의 유병이 낮은 선진국형 양상을 보여 왔다. 그러나 지난 10년간의 추이를 보면 쯔쯔가무시증, 렙토스피라증, 신증후군 출혈열 등이 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 세균성 이질은 1999년, 2000년, 2003년에 상당히 높아졌던 기록을 보이고 있다. 말라리아는 1998년 이후 약간씩 감소하고 있다. 특히 렙토스피라증 및 쯔쯔가무시증은 8월에서 10월에 가장 많이 발생하므로 기후변화의 영향을 가장 많이 나타내는 질병이라고 할 수 있다. 말라리아도 6월-9월에 가장 높은 빈도를 나타내는 질병이다(<그림 5-2>참조). 한편 체계적인 공중보건시스템을 가동하는 경우에는 기후변화와 관련된 전염성 질병의 통제가 가능할 것으로 많은 선진국에서는 전망하고 있다.



<그림 5-2> 연도별 주요 매개체 전염질병 발생빈도의 추이 (단위:명)

사망률의 변화

우리나라의 연간 사망자수는 1991년 이후 매년 감소하는 추세에 있다 (유근춘 등, 2003). 최근 우리나라 국민의 연간 사망분포는 여름철에 사망률이 낮고 겨울철에 사망률이 높은 경향을 보이는데 1999년부터 2003년까지의 월별 연간 사망자수의 분포를 보면 겨울철 사망이 다소 감소하고 여름철사망이 약간 증가하는 경향이 나타나고 있다. 인체와 외부환경 사이에는 전도, 대류, 복사, 증발 등의 기전을 통해 열 교환이 이루어지고 있다. 더위에 대한 인체의 순응은 5-6일이 지나면 가능하나 완전한 순응은 길게는 5-6년 걸린다.

무더위는 식욕을 낮추고, 혈관팽창으로 인한 혈액순환 속도를 빠르게 하며, 땀을 많이 흘리게 한다. 장시간 고온에 노출되었을 때 생리적 영향과 반응을 살펴보면, 세포손상으로 효소의 변성 또는 비활성화, 세포막 파괴로 단백질 합성 장애, 열스트레스로 인한 심장의 부담 증가 등이 있고, 주요 증상으로는 일사병, 탈진, 열기절, 만성질환자의 사망위험증가 등의 결과를 가져올 수 있다.

열스트레스로 인한 사망은 최고기온이 나타난 1-2일 후에 가장 많이 발생하는 것으로 알려져 있고, 열지수(체감온도지수)로 인한 사망은 최고 열지수 2-4일 후에 가장 많이 발생하는 것으로 알려져 있다. 고온으로 인한 심장병환자의 사망은 36.5℃에서 1°C 증가할 때마다 사망률이 28.4% 증가(Diaz, 2004)하는 것으로 보고된 바 있다. 열지수 37 °C이상에서 1°C 증가할 때마다 사망자가 8명씩 증가한다는 보고가 국내에서 있었다(최광용 외., 2005). 서울의 경우 29.9°C에서 1°C 상승할 때마다 사망률이 3.0% 증가하고 혹서가 7일 이상 지속시 사망증가가 9%이상 (김소연, 2004; <표 5-3> 참조)되는 것으로 발표되었다.

계절별 응급환자수의 변화

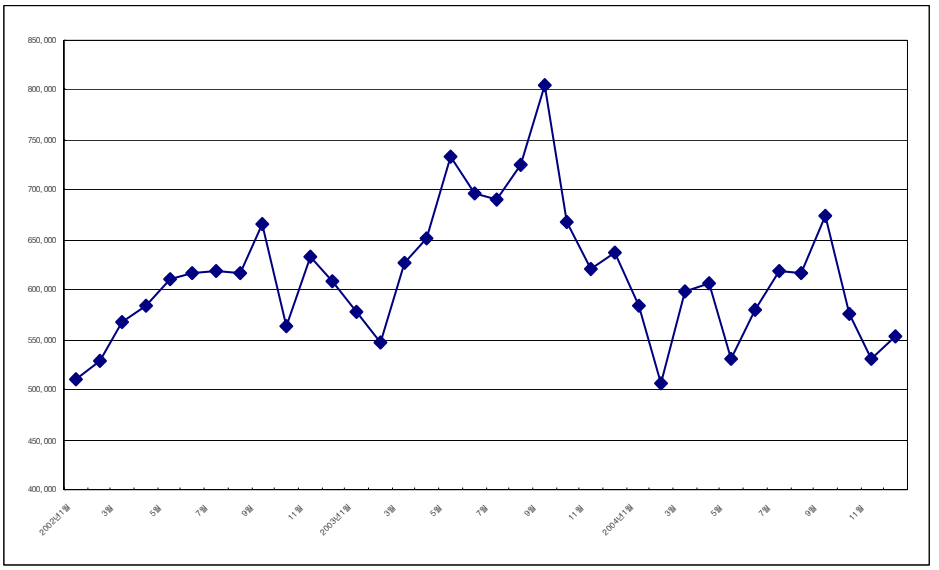
응급실로 수송되는 환자의 월별 추이를 보면 월별사망률과 약간의 차이를 보인다. 응급 환자수는 여름철 및 가을철에 가장 높은 빈도를 보이고 있다(<그림 5-3>참조). 8, 9월은 혹서기간, 태풍 등이 많은 시기이기도 하고, 사람들의 야외활동이 많은 시기이기도 하다.

<표 5-3> 혹서기간의 사인별 초과사망

사인분류	ICD-10 Code	관찰수	기대수	초과 사망수 (95% 신뢰구간)
호흡기계 질환	J00-J98	197	137	60(43.8)
내분비, 영양, 대사질환	E00-E88	158	107	46(43.0)
- 진성 당뇨병	E10-E14	133	92	41(44.6)
순환기계 질환	I00-I99	1,142	875	267(30.5)
- 뇌혈관질환	I60-I69	688	471	217(46.1)
- 기타 심장질환	I26-I51	266	201	65(32.3)

* 위의 모든 사인분류에서 통계적으로 유의함($p<0.05$)

자료: 김소연. 2004. 「기후변화로 인한 여름철 혹서현상이 사망률에 미치는 영향」. 아주대학교 의학박사학위 논문; pp. 38-44 재구성.



<그림 5-3> 2002년~2004년 월별 응급환자 수 변화추이

자료: 중앙응급의료센터

나. 건강/보건부문의 기후변화 적응조치

기후변화로 인한 적응조치 마련을 위해서 영향평가와 취약성 부문을 확인하는 것이 선행되어야 함은 물론이다. 건강/보건부문의 기후변화 영향별 취약성 사례는 <표 5-4>와 같고, 취해질 수 있는 적응조치의 예는 <표 5-5>와 같다. 건강피해를 줄이기 위해 건강영향 요소별로 법적, 기술적, 교육적권고, 그리고 문화적·행위적 적응조치가 가능함을 알수 있다.

<표 5-4> 기후변화로 인한 영향별 건강취약성 사례

건강문제	건강취약성 사례
기온 관련 질병이환 및 사망	▪ 혹한 및 혹서관련 질병 ▪ 호흡기 및 심장혈관질환
극한 기후현상으로 인한 건강영향	▪ 공중보건 인프라 피해 ▪ 상해 및 질병이환 ▪ 재난으로 인한 사회정신적 스트레스 ▪ 산업보건위해요인 ▪ 인구의 이동
대기오염 관련 건강영향	▪ 옥외 및 실내 공기오염물질에 대한 노출 변화 ▪ 천식 및 다른 호흡기계 질병 ▪ 심장마비 및 뇌졸중, 기타 심혈관질환
식수 및 식품 오염	▪ 장관계 질병(설사, 구토 등)
매개동물로 인한 전염성 질병	▪ 박테리아, 바이러스 및 모기, 진드기와 같은 매개동물로 인한 질병
성층권 오존 감소로 인해 자외선 노출 증대	▪ 피부암 ▪ 백내장 ▪ 면역기능의 장해
도시 및 지방 지역 주민의 취약성	▪ 노인 ▪ 생계형 인구집단 ▪ 어린이 ▪ 장애인 ▪ 만성질환자 ▪ 최근 이민자들 ▪ 저소득층 및 노숙자
지역사회 보건 및 사회경제적인 영향	▪ 건강의 결정요인 변화 ▪ 전 세계적인 질병의 부담 ▪ 지역사회 경제의 취약성 ▪ 온실가스감축 기술의 위험과 건강이익

<표 5-5> 기후변화로 인한 건강영향을 줄이기 위한 조치

건강영향	법적	기술적	교육적 권고	문화적·행위적
고온	- 가이드라인 설정 - 기후 감시 및 경고 시스템 가동 - 도시지역에 나무 심기 - 교육 캠페인 실시	- 열섬효과와 냉방기 사용을 줄이기 위한 주거, 공동주택, 도시계획 - 건물 단열 강화 - 도로에 반사율이 높은 물체 설치	- 조기 경보 시스템	- 수분공급 유지 - 최고 온도 낮 시간 중 휴식 취하는 작업계획 수립
기상재해	- 법적인 기획 - 가이드라인 설정 - 강제이주 - 경제적 지원 - 질병 대비 프로그램 신설 - 홍수방지 위한 토지 사용계획 실시 - 무분별한 주거지 개발 행위 금지	- 도시계획 - 대피소 - 강력한 호안(護岸) 시설 건설 - 위생 시스템 확충	- 조기 경보 시스템	- 대피소 운영 - 기상통보에 유의
공기의 질	- 교통량 통제	- 대중교통수단, 공기정화장치 증가	- 오염경보	- 합승운동에 참여
설치류에 의하여 매개된 질병	- 백신 프로그램 실시 - 백신 관련법 도입 - 병원체 매개동물 번식지 제거 교육 캠페인 추진	- 매개체 관리 - 예방접종 - 감시체계구축, 예방, 프로그램관리 - 창문 커튼장치 설치 - 병원체 매개동물의 불임 수컷 방출	- 보건교육	- 물 보관시 유의 - 열대 곤충 퇴치제 사용 - 제충제 함유 방충망 사용
수인성 질병	- 수질 보호법 - 수자원 질 관리 권고	- 병원균관리 - 물관리 강화 - 위생 강화	- 끓인 물의 유용성에 대한 지각	- 손씻기와 위생에 주의 - 오물저장식 변기사용

자료: IPCC(2001b)

3. 산업부문의 기후변화 영향평가 및 적응조치

타 부문과 비교해 볼 때 산업부문에 있어서 기후변화 영향평가나 적응연구는 매우 제한적이다. 문헌검토 결과, 산업부문 기후변화 영향평가 및 적응과 관련하여 국내 사례연구는 거의 전무한 것으로 나타났다. 따라서 본 절에서는 앞으로 우리나라에 적용이 가능한 산업부문의 기후변화 영향평가 및 적응 방법론을 중심으로 그 개요를 설명하고, 미래의 관련연구에 대한 방향 및 적응정책에 대한 시사점을 제시하고자 한다.

가. 산업부문의 기후변화 영향평가 및 적응 개요

기후변화 영향으로 인한 산업부문의 적응은 기본적으로 생산방식이나 생산환경, 생산물 구조의 조정을 의미하기 때문에, 적응의 주체와 적응의 대상이 비교적 분명하다. 적응의 목표는 기후변화에 따라 발생하는 평균적인 여건의 조정과 취약성의 개선으로 요약된다. 평균적인 여건 조정은 점진적으로 진행되고 산업활동 체계 전체에서 수행되며 취약성 개선은 구체적이고 직접적인 적응이다.

기후변화 적응(adaptation)은 경제사회체제와 생태계에 미치는 기후변화의 부정적 효과를 감소시키기 위한 반응이다. 한편 기후변화 완화(mitigation)는 그러한 효과를 야기하는 원인물질인 온실가스를 줄이는 활동이다. 따라서 산업부문에서의 기후변화 적응은 불가피하게 온실가스 저감 정책과 연계하여야 한다. 이는 산업부문이 대부분 경제적 이윤을 극대화하는 기업으로 구성되어 있어, 기후변화에 대한 적응이 피해를 최소화 하는 방식으로 진행되기 때문이다. 즉, 피해 최소화는 보다 적극적인 선택인 계획된 적응이라는 측면에서 기후변화를 야기하는 온실가스의 저감을 통하여 달성될 수 있다는 것이다.

일부 연구에서는 기후변화 적응이 실제 온실가스 저감에 대해서는 반대의 효과를 갖는다고 주장한다. 즉 적응이 효과적으로 수행될 경우 지구온난화의 근본 원인인 온실가스의 저감 필요성이 적어진다는 주장이다. 그러나 현실적으로 기후변화 적응이

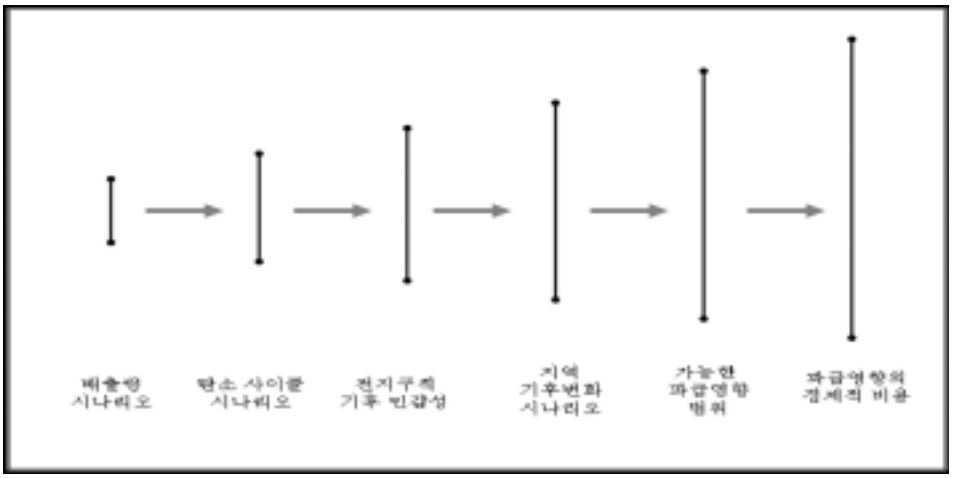
다양한 요인에서 결정되면, 이러한 요인들은 대체로 온실가스 저감능력을 증가시키는 측면이 있다.

산업부문에서 기후변화의 영향, 이에 따른 적응 과정의 발생, 적응의 효과에 대한 분석은 후생경제학적 분석을 필요로 한다. 즉, 기후변화의 효과를 외부효과, 불확실성, 형평성 등의 기준으로 판단하여 결과를 시산하는 과정이 필요하다. 따라서 분석체계는 경제, 사회, 환경에 대한 전반적인 연계와 상호작용을 바탕으로 설정되어야 한다. 그러나 이러한 연계성을 감안하는 한편 구체적인 기후변화 적응 효과는 사례분석과 같이 특정한 적응 내용을 중심으로 다루어져야 할 필요가 있다.

산업부문 기후변화영향평가와 관련하여 주요 이슈를 살펴보면, 우선 기후변화와 관련된 위험, 불확실성에 대한 평가이다. 본질적으로 지구적 환경문제인 기후변화는 구체적인 변화와 충격 추정이라는 측면에서 불확실성이 크게 내포되어 있다. 특히, 경제, 사회, 환경을 고려하는 경우 불확실성의 정도는 증대된다. 위험은 기후변화에 따른 취약성을 포함한다. 특히 위험발생의 불가측성, 비선형성, 비가역성 등에 대한 일반 기준과 방법론의 적용이 필요하다. 예를 들어, 민감성 분석, 몬테카를로 모의시행, 구간분석 등의 접근이 적용 가능한 방식이다.

기후변화에 따른 위험 및 불확실성은 <그림 5-4>에서와 같이 항목별로 정도가 상이하게 나타난다. 가장 불확실성이 적은 분야는 구체적인 투입 및 배출의 추적이 가능한 배출량 발생 추정이며, 탄소 싸이클과 전지구적 기후 민감성도 과학적 사실에 바탕을 두고 추정된다는 면에서 비교적 불확실성이 적다고 할 수 있다. 그러나 기후변화의 영향과 적응 효과를 지역과 국가수준으로 확대하는 경우 반응 및 효과 메커니즘의 복잡성으로 인하여 불확실성은 크게 증가하며, 파급효과 규모자체는 가치 판단과 평가가 포함되면서 불확실성이 매우 크게 나타난다.

기후변화의 장기성으로 인하여 산업부문에 대한 영향평가에 있어서도 적절한 할인율의 선택이 필요하다. 일반적으로 환경문제와 관련된 할인율은 세대간 형평성 측면에서(duty of care) 미래의 환경 편익 혹은 위험의 회피에 대하여 사적 할인율보다 낮은 수준을 적용한다. 또한 설정된 할인율의 범위 내에서 특이사항을 검토하기 위하여 할인율 민감성 분석을 수행하여 적정 할인율을 선택하는 과정이 필요하다.

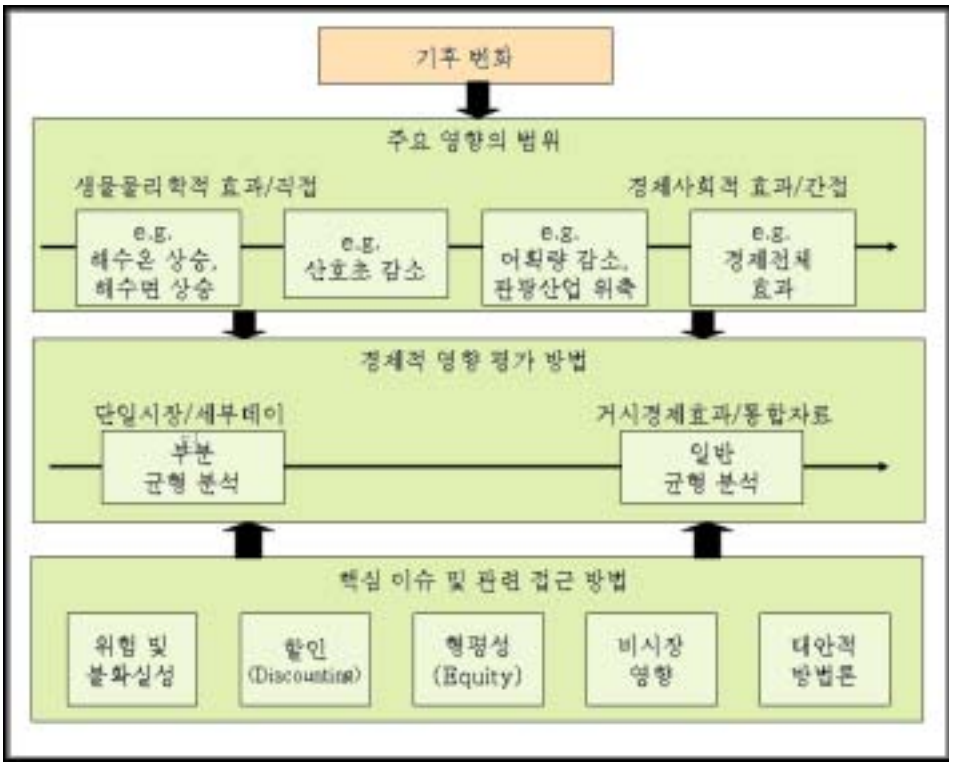


<그림 5-4> 기후변화관련 위험 및 불확실성

형평성 혹은 배분적 정의의 문제는 본 연구에서 명시적으로 포함하기 매우 어려운 사안이다. 그러나 기후변화의 영향과 적응이 동일하게 발생하는 사안이 아니기 때문에 최소한의 형평성과 관련된 논의는 필요하다. 예를 들어 소득 계층별, 지역별 모형을 설정하거나 특정 지역의 기후변화가 사후적으로 야기시키는 형평성 문제를 제시하는 방식이 있다. 즉, 소득 계층별, 지역별, 세대별, 산업별로 기후변화 및 기후변화 적응과 관련된 비용과 편익의 흐름을 매트릭스 형태로 구성하여 파악하는 방식이다.

마지막으로 기후변화 자체는 비시장적 속성을 포함하는 문제이다. 산업부문의 활동이 대부분 시장에 의하여 결정되고 가치 평가가 이루어지지만, 비시장적 효과 요소가 발생할 경우 평가하는 방식이다. 이는 다양한 가치 평가 방법론을 적용하여야 하는 사안이다.

<그림 5-5>는 기후변화 적응에 따른 파급효과 분석 체계를 설명하고 있다. 본 연구에서는 산업부문과 경제 일반 부문의 효과를 대상으로 한다. 기후변화효과는 생물물리학적인 직접효과가 일차적으로 발생하고 경제사회적 효과가 경제주체의 행위 변화와 경제사회활동의 여건변화를 통하여 간접적으로 발생한다. 이에 대한 영향은 부분 및 일반균형 시각에서 평가된다. 평가 고려요소는 앞서 설명된 것과 같이 불확실성, 할인율 선택, 형평성, 비시장가치 추정, 대안적 방법론의 선택 등이 있다.

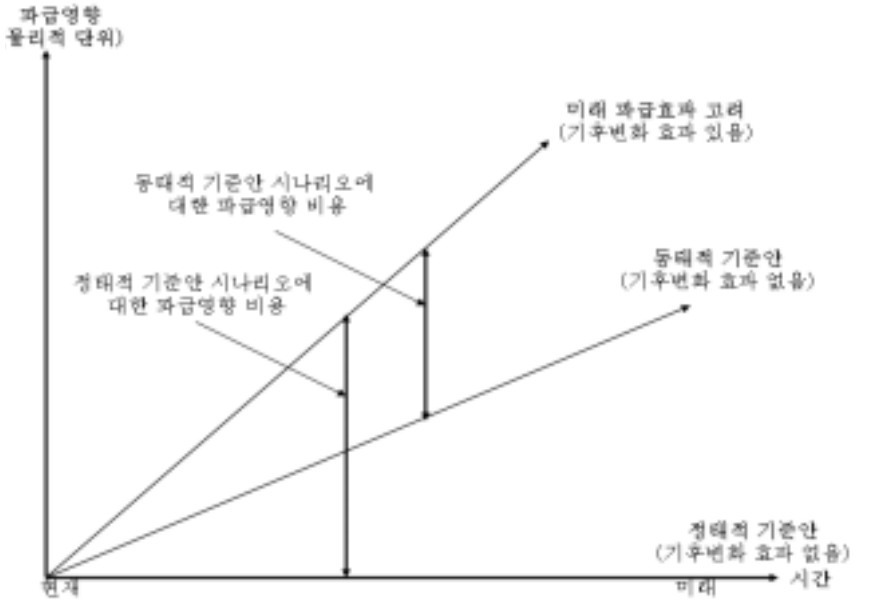


<그림 5-5> 기후변화 적응의 경제적 파급효과 분석 방법론

나. 기후변화에 따른 국내 제조업 투입구조 및 산업구조 변화 분석방법

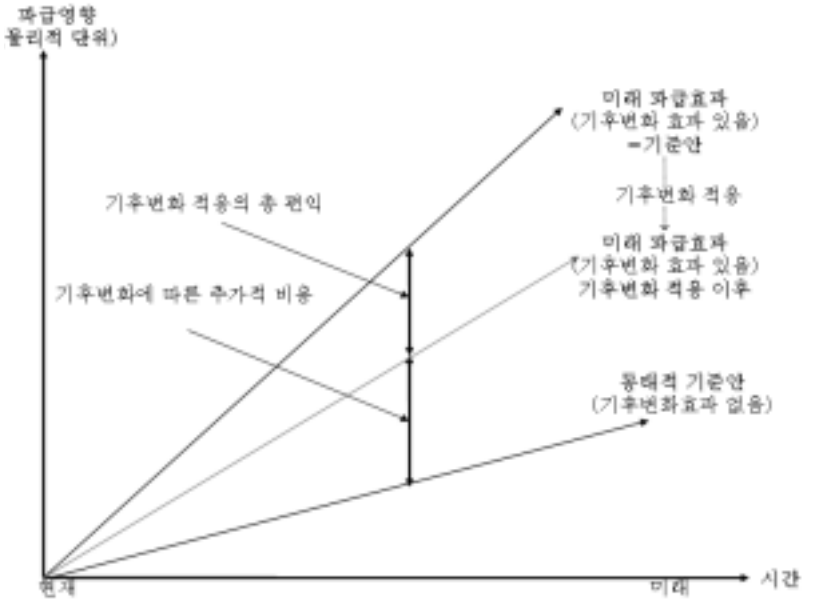
산업부문 효과 측정 개요

국내 산업(제조업 중심)의 기후변화 영향 평가는 기본적으로 기후변화 자체의 효과에 대한 기준과 적응 행위를 포함한 효과를 통하여 분석된다. <그림 5-6>은 시간에 따라 기후변화가 갖는 효과(비용)를 제시하고 있다. 우선 정태적 기준안은 기후변화가 발생하지 않았을 경우 예상되는 일반적인 비용곡선(수평)이며, 동태적 기준안은 시간적으로 일정한 수준의 비용을 고려하여 설정된 비용곡선이다. 한편 기후변화라는 환경적 문제는 그림에서 미래 파급효과로 제시되며, 정태적(동태적) 기준안과의 차이가 기후변화가 미치는 파급효과로 정의된다.



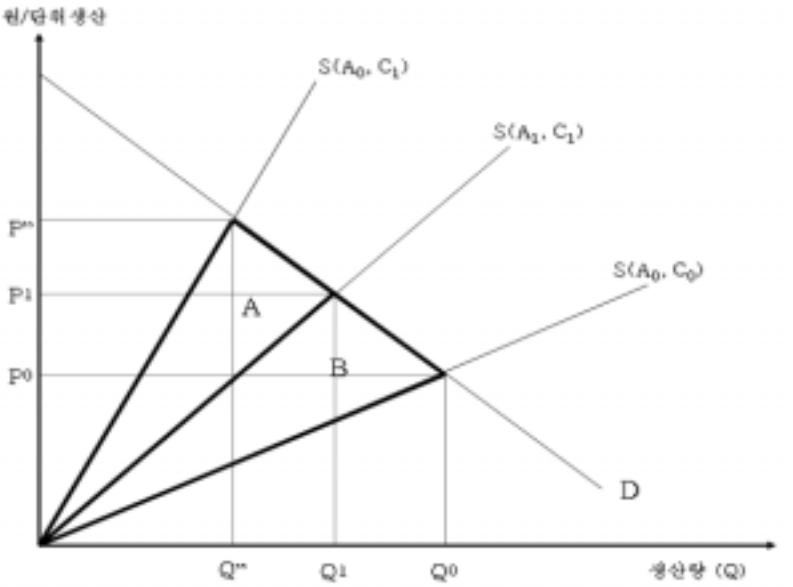
<그림 5-6> 기후변화의 경제적 파급효과 기준안 설정

기후변화 적응의 효과는 <그림 5-7>에 제시되어 있다. 여기서 기후변화 적응은 <그림 5-6>의 미래 파급효과 가운데 산업부문의 적응 행위를 통하여 발생하는 비용의 회피(감소)로 정의된다. 따라서 순 적응 효과는 미래파급효과와 적응 파급효과 곡선의 차이로 도출된다.



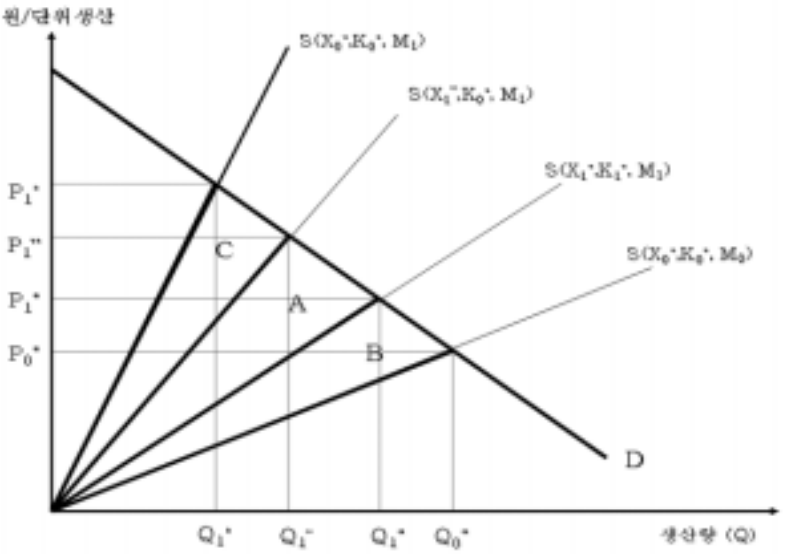
<그림 5-7> 기후변화 적응의 경제적 파급효과

이를 단일 시장과 관련하여 살펴보면 아래의 <그림 5-8>과 같다. 여기 A0, A1은 각각 현재(0) 기후수준에 대한 적응, 변화된 기후(1)에 대한 경제주체의 적용을 의미하고, C0, C1은 현재 기후와 미래의 변화된 기후로 정의된다. 따라서 S(A0, C0)는 <그림 5-7>의 동태적 기준안과 같은 표현이며, S(A0, C1), S(A1, C1)는 각각 적응 없는 미래 파급효과와 적응을 포함한 미래 파급효과로 볼 수 있다. 여기서 A와 B는 기후변화에 따라 발생하는 생산자와 소비자의 잉여 감소 혹은 피해비용이며, B는 적응을 통하여 해당 산업 혹은 기업이 회피하게 되는 기회비용(편익)으로 간주된다.



<그림 5-8> 단일 산업, 기업의 기후변화 적응 효과

한편 <그림 5-9>는 기업의 생산함수 측면에서 적응효과를 나타내고 있다. X, K, M은 각각 생산활동을 위한 가변투입요소, 고정투입요소를 나타낸다. M은 기후변화의 수준을 나타낸다. 여기서 기후변화는 무작위 또는 역사적 자료에 근거한 확률적 속성으로 정의할 수 있다. <그림 5-9>는 <그림 5-8>을 산업부문의 기후변화 적응 과정이라는 측면에서 보다 구체적으로 해석할 수 있다. 우선 S(X0, K0, M0)는 기후변화가 없는 경우 기업의 공급함수이다. S(X0, K0, M1)은 기업이 적응활동을 수행하지 않았을 경우 입게 되는 최대 피해가 반영된 공급곡선이다. S(X1, K0, M1)는 기업이 가변투입요소의 변화를 통한 단기적 기후변화 적응을 나타낸 것이고, S(X1, K1, M1)은 고정투입요소의 변화까지 반영된 장기적 기후변화적응이 고려된 공급곡선이다.



<그림 5-9> 단일 산업, 기업의 기후변화 적응

다. 산업부문 기후변화 영향평가 및 적응정책에 대한 시사점

기후변화로부터 산업부문이 받는 영향과 적응 문제에 대한 지금까지의 연구는 대부분 농업, 임업, 수산업 등 1차 산업에 국한되어 왔으며 제조업 부문에 대한 것은 개념적인 것에 불과한 실정이다. 이는 제조업의 경우에는 기후변화의 영향이 단기간에는 대부분 극히 미약하게 나타나기 때문이다. 물론 장기적으로는 여러 가지 다양한 영향을 받게 되겠지만 영향의 방향과 정도가 불명확하고 불확실하기 때문에 제조업 부문이 어떠한 적응 행위를 취할 것인가를 예측하는 것은 매우 어려운 일이다.

기후변화로부터 제조업이 받게 될 영향은 크게 수요 측면과 공급 측면으로 나누어 볼 수 있다. 우선 수요 측면에서는 지구온난화로 인한 최종 소비재의 소비 패턴 변화를 들 수 있다. 지구온난화는 일단 평균 기온을 상승시켜 여름철을 더 덥게 만들고 겨울철 추위를 약하게 할 것으로 보인다. 물론 이러한 변화는 지역 또는 국가마다 달리 나타날 것으로 예측되고 있다. 어떤 국가에서는 여름 기온이 더욱 올라가고 겨울은 더 추워질 가능성이 예상되고 있다. 따라서 모든 국가에 대해 동일한 예상을 할

수는 없지만 우리나라나 일본과 같은 극동지역의 기후는 4계절 기온이 평균적으로 상승하는 것으로 예측이 되고 있다. 이 경우 냉방장치, 청량음료, 여름 의류와 같은 여름철 상품에 대한 수요가 증가하여 이들 산업의 비중이 커지는 반면 난방용품 산업은 상대적으로 위축이 될 수밖에 없을 것이다. 따라서 계절과 관계된 상품 생산업체들은 소비 패턴 변화에 맞추어 생산패턴도 변화해 나갈 것으로 보인다.

이러한 소비 패턴의 변화는 관련 상품의 원재료를 생산하는 산업에도 파급효과를 미치게 된다. 예를 들면 온난화에 따른 청량음료의 소비 증가는 청량음료 용기 재료인 알루미늄 수요 증가를 유발하여 알루미늄 산업에 긍정적 요인으로 작용을 하게 된다.

기후변화는 단순히 평균기온만을 높이는 것이 아니라 혹서, 혹한, 빈번한 홍수 및 태풍 발생과 같은 이상 기후현상을 유발한다. 이러한 이상 기후현상은 각종 시설과 설비의 성능을 저하시키거나 고장이 일어나는 원인으로 작용할 것이다. 낙뢰가 빈번히 발생할 경우 각종 전기 및 전자제품의 고장이 잦아지게 되고, 혹서나 혹한 또는 빈번한 홍수나 태풍 발생도 각종 제조품의 성능에 마찬가지의 영향을 미치게 된다. 따라서 제조품의 생산업체들은 생산 제품이 자연재해로부터의 피해를 덜 받도록 노력을 기울이지 않으면 안 될 것이다.

기후변화는 제조업 뿐 아니라 건설업 및 서비스업에도 영향을 미칠 것으로 예상되고 있다. 태풍이나 홍수 또는 해수면 상승은 이로 인한 피해를 방지하기 위한 건설공사의 증대를 가져와 건설업에는 대단히 긍정적인 요소로 작용할 것이 예상되고 있다. 한편, 서비스업에서는 여름철 레크레이션업이 평균 기온 상승으로 보다 활기를 띠게 되고 이상기후로부터의 피해를 저감케 하는 금융파생상품의 발전이 이루어 질 것으로 보인다.

기후변화는 또한 국민소득 수준에 영향을 미쳐 내수규모를 변화시킬 가능성도 존재한다. 소득수준 상승은 제조업 전반에 걸쳐 긍정적인 영향을 미치게 되지만 그 반대의 경우도 가능하다. 또한 고소득층과 저소득층의 소득 분배가 어떻게 변할 것인가에 따라서도 수요의 크기와 패턴도 영향을 받을 수 있다. 그러나 기후변화가 향후 우리나라의 소득 수준과 소득 분배에 어떤 영향을 미칠 것인가에 대한 연구는 아직 미

흡하다. 따라서 기후변화의 영향과 적응에 대한 정확한 이해를 위해서는 이에 대한 연구가 시급히 요구된다.

기후변화는 내수 변화 뿐 아니라 수출수요 패턴의 변화를 통해서도 국내 제조업에 영향을 미치게 된다. 기후변화가 우리나라의 주요 수출대상국의 소득수준을 향상시키고 우리의 주종 수출품목에 대한 해외 수요가 지구온난화로부터 긍정적인 영향을 받는 다면 기후변화는 우리의 수출 증대 요인으로 작용할 수 있다. 이는 역으로 기후변화로 인해 증대되는 상품에 대한 경쟁력 제고가 국내 산업의 주요 과제로 등장할 것임을 시사한다.

한편, 공급 측면에서는 기후변화에 따른 생산요소의 가격 및 수급변화가 국내 제조업에 영향을 미칠 것으로 보인다. 우선 국내적으로는 이상 기후가 제조업의 에너지 효율을 저하시켜 에너지 소비 증대를 가져올 가능성이 있다. 또한 여름철 냉방용 에너지 수요 증가 폭이 겨울철 난방용 에너지 수요 감소 폭보다 커 국내 에너지 순수요가 증가함으로써 에너지 가격이 상승할 가능성이 있다. 이 경우 에너지 효율 증대를 위한 노력의 중요성이 더욱 커지게 될 것이다. 이러한 국내 요인과 더불어 국제에너지 가격도 기후변화로 인해 상승한다면 국내 제조업의 에너지 비용은 대폭 상승하게 되어 커다란 부담 요인으로 작용할 것으로 보인다.

이 밖에 농수산물과 목재류, 그리고 광산품의 국제 가격 변화도 국내 제조업에 상당한 영향을 미칠 것으로 보인다. 이들 1차 산품의 국제 가격이 기후변화로 인해 높아질 경우 원자재의 수입의존도가 높은 국내 제조업은 커다란 영향을 받지 않을 수 없을 것이다.

이와 같이 기후변화가 국내 제조업에 미치는 영향은 다양한 만큼 이에 대비한 노력도 다각적으로 전개 될 필요가 있다. 적응이 적절히 이루어지지 못할 경우 국내 제조업이 기후변화로 인해 받게 될 영향이 매우 클 가능성이 있다. 그러나 어떠한 영향을 어느 정도 받게 될 것인가에 대한 충분한 이해가 있어야 적응문제도 예측가능하기 때문에 이에 대한 선행 연구가 시급히 요구된다.

4. 농업부문의 기후변화 영향평가 및 적응조치

가. 우리나라의 농업생태계

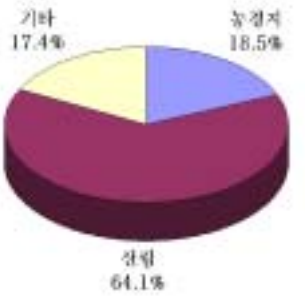
우리나라의 농경지 면적은 지난 1970년 이후 연간 약 13.7천 ha 꾸준히 줄어들고 있는 실정이다(<표 5-6> 참조). 2003년 기준으로 우리나라의 농경지는 전체 국토면적 9,960천 ha의 18.5%(1,846천 ha)를 차지하며, 그 중 61%(1,127천 ha)가 논이고, 39%(719천 ha)가 밭이다(<그림 5-10>, <그림 5-11> 참조). 한편 전체인구 47,925천 명 중 농가인구는 3,530천 명으로 7.4%를 차지하고 있다(통계청).

<표 5-6> 농경지 이용 현황

(단위: 천 ha)

구분	계	논	밭
1970	2,298	1,273	1,025
1975	2,240	1,277	963
1980	2,196	1,307	889
1985	2,144	1,325	819
1990	2,109	1,345	764
1995	1,985	1,206	779
2000	1,889	1,149	740
2003	1,846	1,127	719

자료: 국립농산물품질관리원



<그림 5-10> 한국의 토지 이용현황

자료: 행정자치부

<그림 5-11> 농경지 이용현황

자료: 국립농산물품질관리원

한편, 비료소비는 1990년까지는 증가 추세를 보이다가 1990년 이후부터는 줄어드는 추세를 나타내고 있다(<표 5-7> 참조). 비료소비에서 아산화질소를 배출하는 질소비료의 소비가 2004년 기준으로 약 53%를 차지하고 있다.

<표 5-7> 화학비료 소비량

(단위: 천 ton)

구분	계	질소	인산	가리
1970	563	356	124	83
1975	886	481	238	167
1980	828	448	196	184
1985	807	414	186	207
1990	1,104	562	256	286
1995	954	472	223	259
2000	801	423	171	207
2003	678	359	143	176
2004	747	394	157	196

자료: 농림부. 농림통계연보

가축은 장내발효와 분뇨의 분해과정을 통하여 온실가스인 메탄(CH_4)을 발생시킨다. 한국인의 생활패턴이 육류를 많이 소비하는 방향으로 변함에 따라서 한국의 가축 사육두수는 1970년에 26,069천두에서 2003년에 120,737천두로 증가하였으며, 이와 같은 증가추세는 돼지 및 닭의 두수의 급격한 증가에 의한 것이다(<표 5-8> 참조). 반추동물인 한(육)우의 경우는 1970년 이후 큰 증가 및 감소를 나타내지 않고 있으며, 젖소의 경우는 1990년 이후 약 500천두 수준에 머물러 있음을 나타내고 있다.

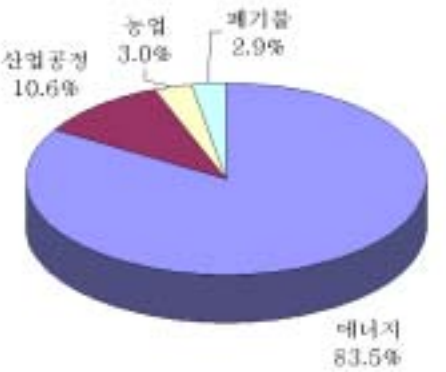
우리나라에서 배출되는 온실가스 총량은 148백만 TC이며, 그 중 농업부문은 약 3%를 배출한다(<그림 5-12> 참조). 농업부문의 온실가스 배출량 중 농경지는 66%, 축산은 34%를 차지하며(<그림 5-12> 참조), 세분하면 벼논 45%, 농업용 토양 21%, 분뇨분해 18%, 장내발효 16%이다(<그림 5-13> 참조).

<표 5-8> 가축 사육두수

(단위: 천 두)

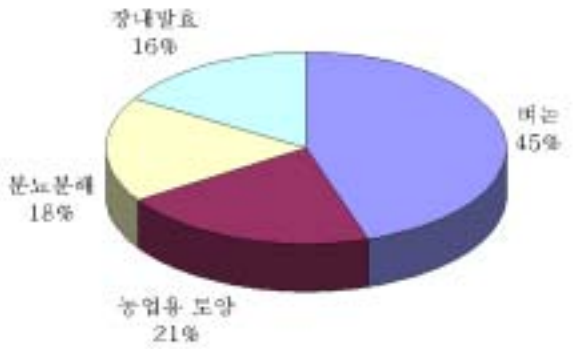
구분		1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2003	2004
반추동물	한(육)우	1,286	1,556	1,361	2,553	1,622	2,594	1,590	1,480	1,666
	젖소	24	86	180	390	504	553	544	519	497
기타	돼지	1,126	1,247	1,784	2,853	4,528	6,461	8,124	9,231	8,908
	닭	23,633	29,939	40,130	51,081	74,463	85,800	102,547	99,019	109,666
합계		26,069	32,828	43,455	56,877	81,117	95,408	112,805	110,249	120,737

자료: 농림부. 농림통계연보



<그림 5-12> 우리나라의 배출원별 온실가스 배출 비중(2001년)

자료: 임재규(2003)



<그림 5-13> 농업부문의 배출원별 온실가스 배출 비중(2001년)

자료: 임재규(2003)

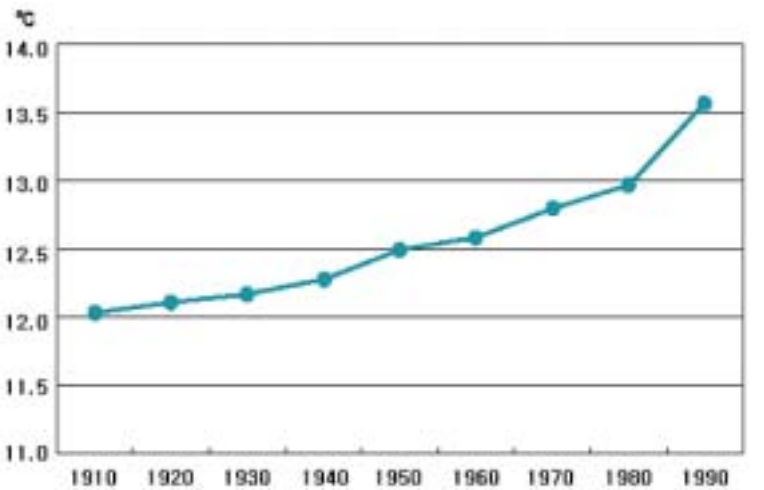
나. 우리나라의 기후변화와 농업기상재해 발생현황

작물의 생산성은 재배작물의 품종이 갖는 유전적 특성과 재배기술 및 재배환경에 의해 결정된다. 그 중 품종과 재배기술은 육종가와 재배기술가의 노력으로 많은 발전을 가져오고 있지만, 재배환경은 인위적으로 조절 할 수 없는 부분이 많고 특히 기상환경은 자연기상조건에 많이 의존하고 있다. 그러므로 특정 지역에서 재배하는 작물과 품종은 그 지방 기후에 적응되는 과정을 거쳐서 그 지역의 풍토에 알맞게 진화되어 왔다고 볼 수 있다. 날씨가 순조로울 때는 작물 생육도 순조롭지만 현재와 같이 기상이 평년과 크게 달라지면 작물의 생육도 예년과 달라지며, 그 정도가 심할 때는 큰 피해를 받게 된다.

기후변화

한국의 기후 관측기록에 의하면, 지난 90년 동안 평균기온이 지속적으로 상승하였으며, 1990년대의 기온 상승폭이 이전에 비해 가장 큰 것으로 나타났다(<그림 5-14> 참조). 10년간의 평균강수량은 증가하는 경향을 보였지만, 1910년대, 1940년대, 1970년대는 강수량이 다른 기간보다 비교적 적은 건조기로 나타났다(<그림 5-15> 참조). 일최고기온과 일최저기온에 나타난 극값 분석결과에 따르면, 겨울 저온일의 발생빈도가 현격하게 줄어들며, 여름 고온일은 증가하고 있는데, 이러한 경향은 해안지방보다 내륙지역에서 많이 발생하고 있다.

농작물의 파종시기 및 등숙기간은 계절과 밀접한 관련이 있다. 일평균기온 5℃ 이하를 겨울, 20℃ 이상을 여름으로 정의하고 그 사이를 봄과 가을로 정의하여 계절의 변화를 살펴본 결과[25], 겨울은 1920년대에 비하여 1990년대에 약 한달 정도 짧아졌으며, 여름과 봄은 기간이 길어진 것으로 나타났다.

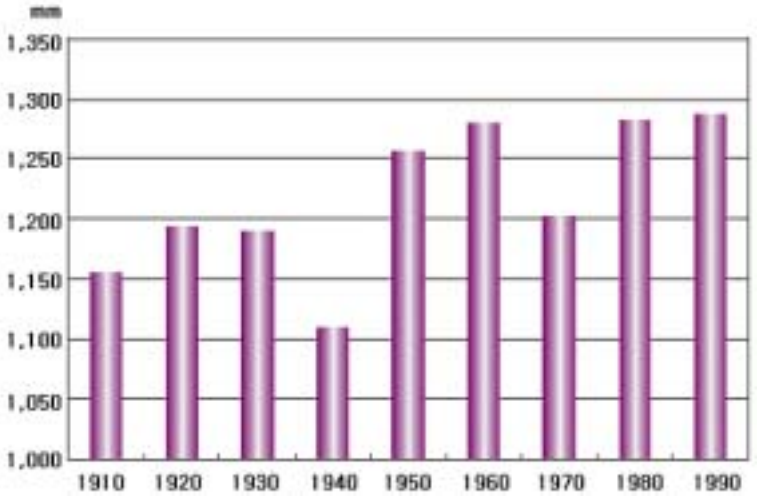


<그림 5-14> 한국의 평균기온 변화 추세 (1911년~2000년)[26]

자료: 임재규(2003)

25) 기상연구소 기후연구실(http://crlweb.metri.re.kr/data/oasis_001.pdf)

26) 장기간 관측 자료가 있는 6개 관측소(서울, 강릉, 인천, 대구, 부산, 목포)의 기온을 10년 간격으로 평균한 값.

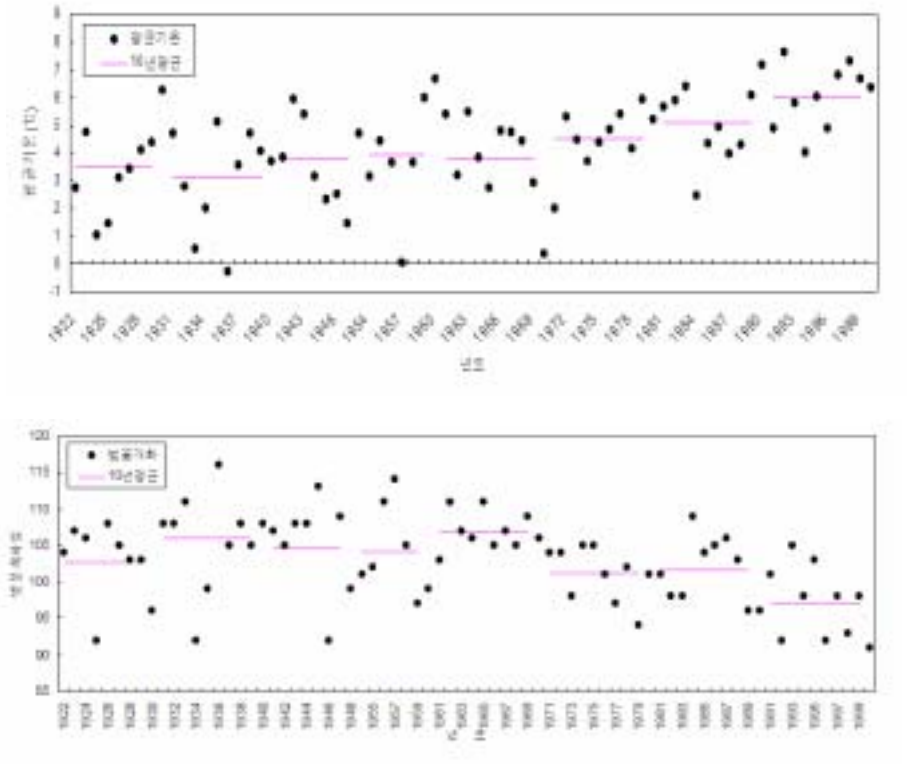


<그림 5-15> 한국의 평균강수량 변화 추세 (1911년~2000년)[27]

자료: 임재규(2003)

이러한 기후변화에 대한 영향은 식물 및 작물에서도 나타나고 있다. 서울의 지난 1922-2000년의 자료에 의하면, 3월의 10년 평균 기온이 1971년부터 상승하고 있으며, 이러한 기온상승에 따라서 벚꽃의 만개일이 빨라지고 있다(<그림 5-16> 참조). 이러한 현상은 서울뿐만이 아니라 전국에서 나타나고 있다. 농업과학기술원(2005)에서 사과, 배, 복숭아, 포도에 대한 만개일을 추정한 결과에서도 만개하는 시기가 빨라지고 있음을 알 수 있다. 그 중 사과의 경우를 살펴보면, 1931-1960년 대비 1971-2000년의 만개일이 서울의 경우에는 8일, 강릉 4일, 대구 4일, 광주 5일이 단축된 것으로 나타났다.

27) 강수량을 10년 간격으로 평균한 값.



<그림 5-16> 월 평균기온과 벚꽃 개화일의 변화(서울)

자료: 농업과학기술원 내부자료

지역별 서리발생일의 변화를 보면, 1931-1960년에 비하여 1971-2000년에 서리가 내리는 첫날은 늦어졌고, 마지막 날은 빨라져서, 결과적으로 추풍령을 제외하고는 서리가 없는 무상기간[28]이 5일(제주)에서 82일(목포)까지 늘어났다(<표 5-9> 참조). 이러한 변화는 농작물에 대한 동해(凍害, frost damage)의 피해를 줄이는 반면, 해충의 월동 가능성을 높이는 악영향을 줄 수 있다.

28) 서리가 발생하지 않은 기간

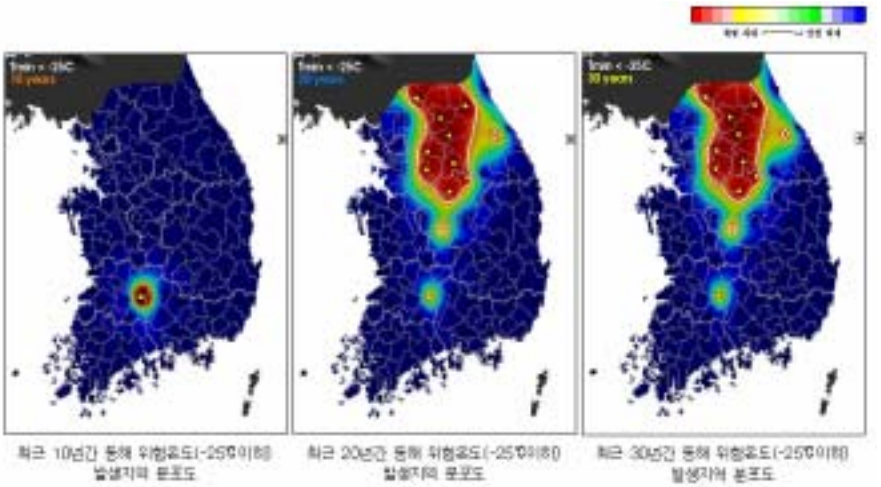
<표 5-9> 지역별 서리발생일의 변화

지역	서리					
	1931-1960			1971-2000		
	첫 날	마지막날	무상기간	첫 날	마지막날	무상기간
강 릉	11월 6일	4월 3일	215	11월24일	3월31일	237
서 울	10월18일	4월14일	186	10월22일	4월 4일	200
인 천	10월28일	4월 3일	207	11월 7일	3월31일	220
울릉도	11월25일	3월17일	252	12월 2일	3월17일	259
추풍령	10월14일	4월12일	184	10월18일	4월20일	180
포 항	11월 6일	3월21일	229	11월24일	3월16일	252
대 구	10월20일	4월11일	191	10월20일	3월25일	218
전 주	10월16일	4월25일	173	10월28일	4월 8일	202
울 산	10월28일	4월10일	200	11월 8일	3월29일	223
광 주	10월11일	4월16일	177	10월30일	4월10일	202
부 산	11월21일	3월 8일	257	12월 8일	2월17일	293
목 포	9월13일	4월 3일	162	11월24일	3월24일	244
여 수	9월16일	3월11일	188	11월18일	3월18일	244
제 주	12월13일	3월12일	275	12월15일	3월 9일	280

자료: 농업과학기술원 내부자료

복숭아 품종의 동해 위험온도는 대화조생, 대구보, 기도백도, 사자조생, 동랑조생이 -25℃이고, 백도, 창방조생, 대통령, 미백도, 서미골드, 월미, 유명, 장호원황도, 천중도가 -21℃이다. 이러한 복숭아 동해발생 가능지역의 분포를 분석한 결과(서형호, 2005)는 최근의 동해발생 가능지역의 분포역이 축소되었음을 보여주고 있다(<그림 5-17> 참조).

벼의 이앙기 및 출수기의 변화가 나타나고 있다. <표 5-10>은 벼 이앙기조한일의 변화를 나타낸 것이다. 1931-1960년과 1971-2000년을 비교해 보면, 강릉, 인천, 추풍령을 제외하고 전국적으로 이앙기조한일이 약 3.2일 빨라졌음을 알 수 있다. 이러한 빨라진 이앙기가 급격히 기온이 변화하는 봄철의 추운 날과 겹칠 경우 농작물에 큰 피해가 일어날 가능성이 높아진다. <표 5-11>은 출수 및 안전출수조한일이 각각 전국평균 약 4.4일 앞당겨졌음을 나타낸다.



<그림 5-17> 최근 동해 위험온도(-25℃이하) 발생지역 분포도

자료: 서형호(2005)

<표 5-10> 벼 이앙기조한일의 변화

지역	이앙기조한일			
	1931-1960년 (A)	1951-1980년 (B)	1971-2000년 (C)	C-A
강 릉	5월 9일	5월 9일	5월 9일	-
서 울	5월10일	5월 9일	5월 9일	-1일
인 천	5월 9일	5월 9일	5월 9일	-
울릉도	5월23일	5월19일	5월16일	-7일
추풍령	5월 9일	5월 9일	5월 9일	-
대 구	4월28일	4월25일	4월24일	-4일
전 주	5월 6일	5월 5일	5월 3일	-3일
울 산	5월 1일	5월 1일	4월28일	-3일
광 주	5월 3일	5월 1일	4월30일	-3일
부 산	4월29일	5월 2일	4월26일	-3일
목 포	4월29일	5월 2일	4월28일	-1일
여 수	5월10일	5월 6일	5월 4일	-6일
제 주	5월 4일	4월27일	4월24일	-10일
평 균				-3.2일

자료: 이정택 외.(2003)

<표 5-11> 벼의 출수조한일 및 안전출수조한일의 변화

지역	출수조한일			안전출수조한일		
	′31-′60	′71-′00	차	′31-′60	′71-′00	차
강 릉	7월24일	7월18일	-6일	7월29일	7월23일	-6일
서 울	7월16일	7월 9일	-7일	7월21일	7월 4일	-7일
인 천	7월16일	7월16일	-	7월21일	7월21일	-
울릉도	7월28일	7월23일	-5일	8월 2일	7월28일	-5일
추풍령	7월26일	7월22일	-4일	7월31일	7월27일	-4일
포 항	7월26일	7월13일	-13일	7월31일	7월18일	-13일
대 구	7월12일	7월10일	-2일	7월17일	7월15일	-2일
전 주	7월12일	7월11일	-1일	7월17일	7월16일	-1일
울 산	7월17일	7월 9일	-8일	7월22일	7월14일	-8일
광 주	7월10일	7월 9일	-1일	7월15일	7월14일	-1일
부 산	7월17일	7월10일	-7일	7월22일	7월15일	-7일
목 포	7월11일	7월 9일	-2일	7월16일	7월14일	-2일
여 수	7월12일	7월10일	-2일	7월17일	7월15일	-2일
제 주	7월11일	7월 8일	-3일	7월16일	7월13일	-3일
평 균			-4.4일			-4.4일

자료: 이정택 외.(2003)

농업기상재해 발생현황(1904-2000년)

지난 97년간(1904-2000년) 우리나라에 발생한 기상재해의 현황을 살펴보면, 기상재해 유형 중 폭풍우가 총 377회로 가장 많이 발생하였고, 다음이 강풍 246회, 황사가 26회 발생하였다(<표 5-12> 참조). 이러한 기상재해는 농작물에 커다란 영향을 준다. 월별 발생현황을 살펴 보면, 가뭄은 12월과 1월을 제외하면 연중 고르게 발생하였지만 6월에 가장 심하였고, 강풍은 겨울철과 봄철에 많이 발생하였다. 이상저온은 주로 겨울철에 많이 발생하였지만, 5월과 7월에도 발생하는 경향을 보였다. 태풍과 폭풍우는 6월부터 발생빈도가 높아져 7, 8월에 최고치를 보이고, 그 후 점차 감소하는 경향이었다. 황사는 주로 4월에 많이 발생한 것으로 조사되었고, 우박은 5, 6월과 10월에 많이 발생하였다.

<표 5-12> 1904년부터 2000년 사이에 발생한 농업기상재해의 10년 평균 빈도

기간(10년)	가뭄	폭설	돌풍	우박	고온해	저온해	폭풍우	태풍	황사	총 계
1904-1910	-	1	2	-	-	2	7	3	-	15
1911-1920	1	6	7	4	-	2	23	5	0	48
1921-1930	1	2	5	4	1	2	6	7	0	28
1931-1940	1	7	6	4	-	4	7	10	0	39
1941-1950	30	23	46	-	-	3	54	5	0	161
1951-1960	29	37	75	9	4	5	53	10	3	225
1961-1970	14	27	19	7	4	10	56	9	3	149
1971-1980	14	32	31	6	3	13	65	8	1	173
1981-1990	13	33	52	9	20	39	56	18	4	244
1991-2000	10	29	3	5	29	30	50	19	15	190
총 계	113	197	246	48	61	110	377	94	26	1272

자료: 심교문 외.(2003)

작물피해에 큰 영향을 미치는 호우·태풍의 피해 현황을 분석해보면, 1981년 이후에 피해발생 빈도가 높아지고 있으며, 그 피해액 또한 높게 나타나고 있다(<표 5-13> 참조). 이러한 현상은 자연재해의 발생 빈도의 증가뿐만 아니라, 그 강도도 커지고 있음을 보여주는 하나의 예가 된다.

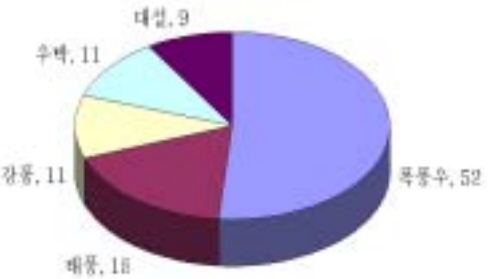
<표 5-13> 피해순위(1-20위)로 본 호우·태풍피해 현황

연대	피해액 순위	출현횟수
1970년 이전	13, 16위	2
1971-1980	15위	1
1981-1990	3, 4, 6, 8, 12, 17, 18, 19위	8
1991-2000	1, 2, 5, 7, 9, 10, 11, 20위	8

자료: 중앙재해대책본부

최근 10년간 농작물 피해 기상재해 발생현황(1991-2000년)

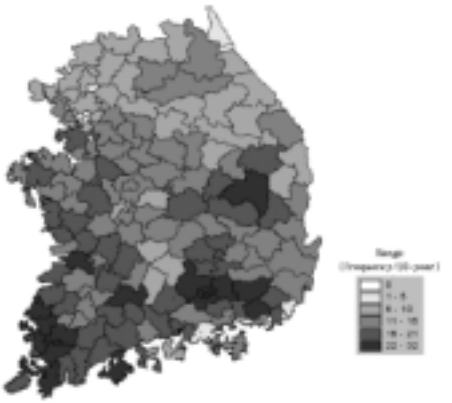
1991년부터 2000년까지의 농작물에 피해를 준 기상재해유형을 살펴보면, 폭풍우에 의한 피해가 52회로 가장 많았으며, 다음이 태풍 18회, 강풍과 우박이 각각 11회, 대설이 9회로 나타났다(<그림 5-18> 참조).



<그림 5-18> 최근 10년간(1991-2000년)의 농업기상재해 발생현황

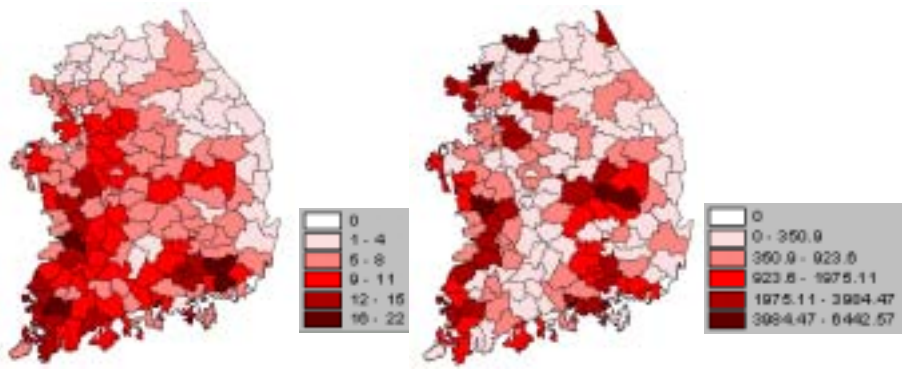
자료: 심교문 외.(2003)

최근 10년간 농작물에 피해를 준 기상재해는 주요 농작물의 재배기간인 6-9월 사이에 집중적으로 발생하였으며, 전체 기상재해 발생의 약 78%에 해당하였다. 시·군별로 살펴보면 김해지역이 32회로 가장 많이 발생하였으며, 다음으로 밀양과 나주지역이 29회, 김제지역이 28회로 나타났다(<그림 5-19> 참조). 호우의 시군별 발생회수 및 피해면적 현황을 살펴보면, 강원도 철원, 경기도 파주지역의 누적피해면적이 큰 것으로 나타났다(<그림 5-20> 참조).



<그림 5-19> 최근 10년간(1991-2000년) 발생한 농업기상재해의 분포도

자료: 심교문 외.(2003)



발생회수(회) 피해면적(ha)

<그림 5-20> 최근 10년간(1991-2000년) 발생한 시군별 호우의 발생회수 및 누적피해면적

자료: 심교문 외.(2003)

다. 국내 농업부문 적응관련 연구동향

현재 우리나라에는 기후변화에 대한 농업부문의 연구를 수행하기 위하여 농촌진흥청 산하에 기후변화협약 특별대책단이 구성되어있으며, 이들은 기후변화협약 국제회의 대응, 연구과제 지원 및 관련 연구를 수행하고 있다. 연구 사업으로는 기반구축사업, 부문감축사업, 적응기반사업으로 되어있으며, 세부 과제는 다음과 같이 구성되어 있다. 여기서 적응기반사업은 농업 기상재해를 포함한 기후변화 영향에 대한 평가가 주로 수행되고 있다.

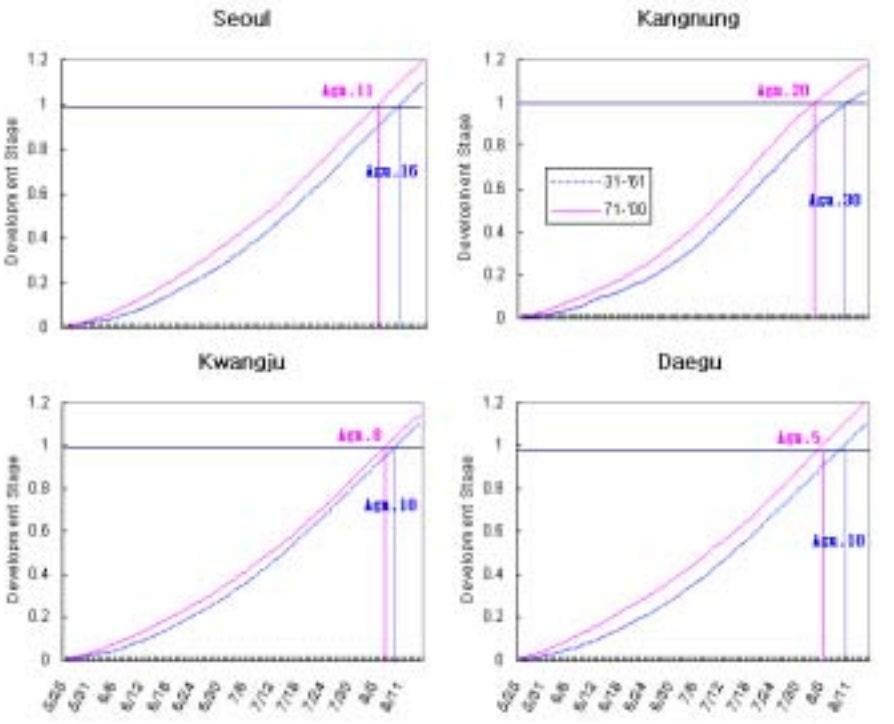
<표 5-14> 농업부문 기후변화협약 특별대책단 연구사업 예

사업구분	세부 과제
기반구축사업	- 축산분뇨 처리 개선 - 음식물 쓰레기 퇴비화 연구 - 지진 등 재해방재 기반구축
부문감축사업	- 농경지 온실가스감축 - 반추가축 장내발효 개선 - 축산분뇨 처리 개선 - 온실가스 배출량 통계 작성
적응기반사업	- 농경지이용 탄소고정능력 - 농업용수 영향평가 - 황사의 농업환경 영향평가 - 작물생육, 생산성 영향평가

작물생산환경 변화 및 기상재해 대비 연구

농업기후학적인 작물재배 가능지역이 대부분 북상할 것으로 보이며, 기존의 작물별 재배적지에서의 생산성과 안정성이 커다란 위협을 받을 것으로 예상된다. 우리나라에서 벼의 알맞은 출수기는 출수 후 40일간의 일평균기온으로 결정한다. 그 기준에 의하면 자포니카 벼가 최고수량을 내는 등숙기간의 일평균기온은 22℃이고, 안전수

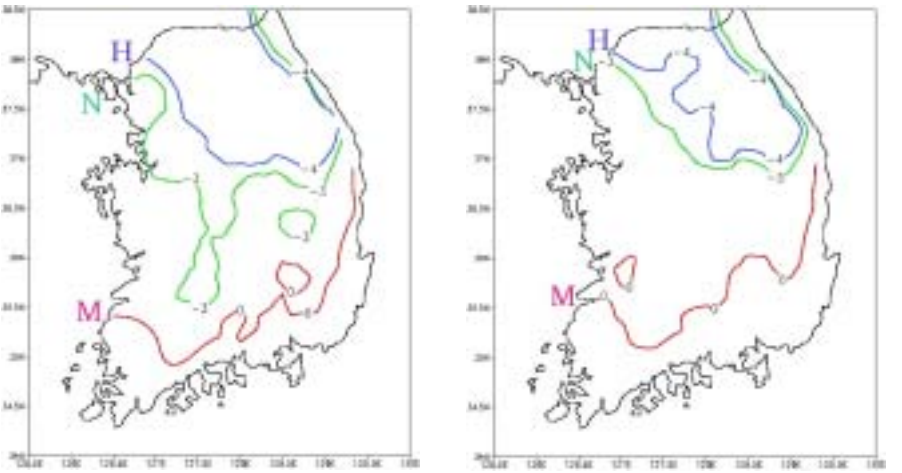
량을 내는 일평균기온의 범위는 21-23℃이다. 그리고 통일형벼는 자포니카 벼보다 알맞은 등숙기온이 높아서 최고수량을 내는 일평균기온은 25.6℃로 추정되었다(농촌진흥청, 1981). 윤성호・이정택(2001)은 1998년과 1999년은 농업기후로 보아 이상기상으로 경과되었으며, 벼에 알맞은 출수기가 평년보다 일찍 나타나서 늦게까지 지속되었고, 따라서 자포니카 벼는 알맞은 등숙기온보다 높은 온도에서 등숙기가 경과되었을뿐만 아니라 일조부족과 강우일수 증가로 불리한 조건이었다고 보고하였다. <그림 5-21>은 출수기 변화를 나타낸 것으로써, 서울, 강릉, 광주, 대구의 모든 지역에서 벼의 출수기가 과거(1931-1961)보다 최근(1971-2000)에 2-10일가량 빨라졌음을 나타내고 있다.



<그림 5-21> 1931-1961년과 1971-2000년 벼의 출수기 비교

자료: 이정택 외.(2003)

심교문 외.(2004)는 최근의 기후변화를 고려하여 가을보리의 안전재배지대를 구분하였으며, 그 결과 최하월인 1월의 평균기온 및 최저기온에 의한 가을보리의 맥종별 혹은 품종별 안정재배지대는 최근 14년(1987-2000년)의 산술평균값과 재현기간 10년에 해당하는 기상값 분석에서 모두 평년보다 북상하였다(<그림 5-22> 참조). 이는 최근의 지구온난화와 관련이 있으며, 특히 월동기간의 기온상승이 가장 크게 기여한 것으로 보고하였다.

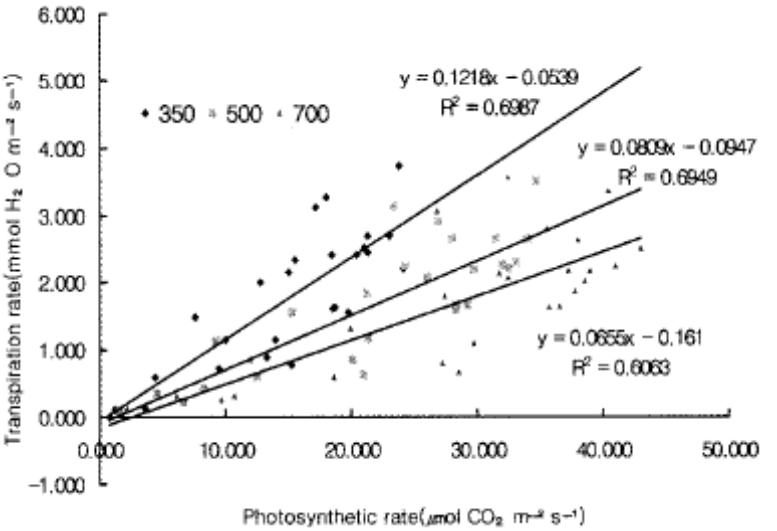


1971-2000년 1987-2000년

<그림 5-22> 가을보리(겉보리 H; 쌀보리 N; 맥주보리 M)의 안전재배지대

자료: 심교문 외.(2004)

최근에 김영국 외.(2005)는 이산화탄소 농도 증가에 따른 벼의 생육 반응에 대한 연구 결과를 발표하였다. 그들의 결과에 의하면, 벼 유묘기에는 대조구에 비해 500 ppm, 700 ppm에서 건물중이 35-47% 증가하였으며, 광합성률도 높은 CO_2 농도에서 증가하였으나 생육이 진전될수록 약간 감소하였다. 출수 직전부터 55일간 처리한 벼의 수량에서는 대조구와 처리구간에 큰 차이를 나타내지 않았지만, CO_2 농도에 따른 광합성 속도 및 증산량은 농도가 높아지고 광합성속도가 빨라질수록 낮아져 수분 이용 효율이 높은 것으로 나타났다(<그림 5-23> 참조).



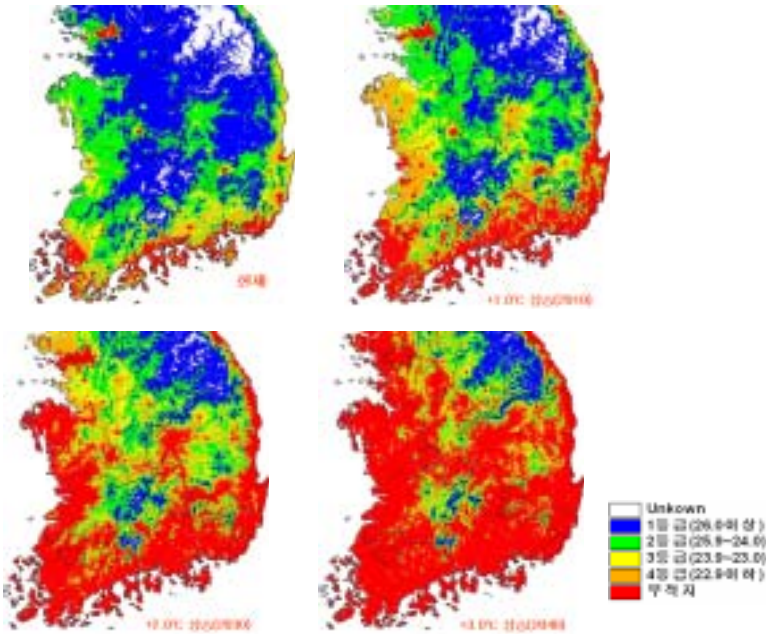
<그림 5-23> 이산화탄소 농도에 따른 광합성속도 및 증산량의 변화

자료: 김영국 외.(2005)

서형호(2003)는 사과의 경우는 재배면적이 감소하고 있다고 지적하였으며, 그러한 이유로 전체 재배면적의 감소나 상대적인 수익성 감소 가능성이 있지만, 근본적으로는 장기간의 재배기간 경과에 따라 사과의 기온요구도 등 기후조건에 의해 품질이 떨어지고, 재배가 불리한 지역은 도태되고, 재배에 적합한 지역은 활성화되면서 나타난 현상으로 보았다. 반대로 복숭아의 경우는 그 재배지역이 경기도 북부, 충북 북부, 강원도 일대까지 확장된 것으로 보고하였다.

<그림 5-24>는 2003년 원예연구소에서 작성한 사과의 기후적 적지판정 모형을 이용하여 만든 기온 상승정도별 적지변동 예측도이다. 이 예측도는 사과 '후지'의 품질 판별 기준 중 가장 뚜렷한 특징을 가지고 있는 착색을 기준으로 하였다. 1등급 또는 2등급에 해당되는 지역이 최상의 착색을 발현하기에 유리한 지역이라고 할 수 있다. 이 결과에 의하면, 현재 재배적지의 예측은 실제 사과의 주산지들이 대부분 포함된 것을 알 수 있다. 그러나 생육기 기온이 상승함에 따라 남쪽에서 북쪽으로, 해안에서 내륙으로, 평지에서 산지로, 도시의 중심에서 외곽으로 재배적지가 점차 축소되는 것

을 볼 수 있다. 또한 매우 추운지역인 산간지가 점차 적합한 지역으로 변해가는 것을 알 수 있다. 사과 생육기 평균기온이 3℃ 정도 상승하면, 대부분의 지역이 사과 재배에 적절하지 않는 것으로 표출되어 있다. 기상청 자료로 분석해 보면, 생육기 평균기온이 3℃ 정도 상승하려면, 지금과 같은 추세로 약 2040년 이후가 될 것으로 판단된다. 만일 이 재배적지 변동 예측이 정확하다면, 향후의 사과 재배를 위해서 상품성 향상을 위한 새로운 재배방법 개발이 필요하며, 적 품종의 육종과 선택이 필요할 것으로 판단된다.



<그림 5-24> 기후적 사과 재배 적지판정 모형을 적용한 기온 상승정도별 적지분포 변화 예측

자료: 서형호(2005)

기후조건은 과실의 품질에도 영향을 미친다. 사과는 착색요소 중 안토시아닌의 생성이 기온과 일사량 등에 영향을 받으며, 성숙기 일평균 기온이 12-13℃일 때 착색이 가장 양호하다. 서형호 외.(2002)의 보고에 의하면, 과실 성숙기의 기온과 부의 상관성

이 있으며, '후지'의 품종에 있어서 과실의 당도는 일조시간이 길수록 높아지고, 경도는 평균기온이 낮을수록 높아진다. 또한, 기후변화는 과수의 생리장해에도 영향을 주며, 사과 '쓰가루'의 생리현상인 수확 전 낙과와 재배 기상환경의 관계에 대한 연구결과, 수확전 낙과율은 평균기온이 높고 해발고도가 낮은 지역의 사과원이 높은 경향을 보이고, 낙과시기도 해발고도가 높은 곳에 비해 낮은 곳이 훨씬 빠르게 진행된다(서형호 외, 2003).

기후변화 시나리오에 의한 작물의 생산성에 관한 국내 연구는 미비한 상태이지만, 신진철 외.(2000)가 모의한 벼의 생산성 변동에 대한 보고가 있다(<표 5-15> 참조).

<표 5-15> 이산화탄소와 온도 및 GCMs 시나리오에 따른 농업기수 지대별 벼 수량 변화율

(단위:%)

농업기후지대	이산화탄소		온도			GCMs		
	1.5배	2배	1℃상승	2℃상승	4℃상승	GFDL	GISS	UKMO
남부 평야지	20.2	31.4	-11.0	-19.7	-35.0	-12.8	-3.1	-32.2
중북부평야지	18.6	28.9	-7.5	-12.5	-23.3	0.0	9.5	-11.3
중 산 간 지	16.2	24.6	-5.9	-10.8	-18.2	6.1	11.8	-0.6

자료: 신진철 외.(2000)

이산화탄소 농도가 1.5배 증가하면 평균 18.3%의 수량증가를 보이며, 2배 증가 시에는 약 28.3% 증가하는 것으로 나타났다. 반면에 온도가 상승함으로써 수량은 급격히 감소되는 것으로 나타났다. 이산화탄소와 온도가 동시에 상승하면, 남부지방에서는 수량이 감소하고, 중부지방에서는 현상유지를 하며, 중산간 지대는 수량이 증가하는 것으로 나타났다. 이와 같이 지구온난화와 이산화탄소 증가에 의한 생산성이 지역에 따라서 시나리오에 따라서 각각 다르게 나타났다.

라. 한반도 기후변동에 따른 농업부문의 대응방안

기후변화 진행에 동반하여 작물, 품종, 토양조건, 해충, 병 등 농업생태계 구성요소들은 생태계의 안정을 위하여 자기조직화가 일어나겠지만, 농업생태계의 특성으로 보아 생태계 교란을 극복하자면 생태계 관리기술이 적극적으로 투입되어야 할 것이다. 특히 작물과 식생에 대한 이산화탄소 농도의 직접적 영향은 물론, 이산화탄소의 농도 증가가 야기 시키는 계절별 온도 변화, 물 부족, 영양물질 순환의 이상, 대기의 조성과 질의 변화 등의 환경 변화와 작물의 상호작용 등에 대하여 주시하여야 할 것이다. 이러한 기후변화에 따른 농업생태계 변화에 관하여 우리나라가 향후 가장 시급하게 해결해야할 분야로 농축산 부문에서 온실가스발생 모니터링과 저감대책 개발을 들 수 있다. 기후변화에 따른 농업생태계변화 대응 연구로는 농업기후자원 평가 및 활용 연구, 작물 군락 미기상 및 국지기상 연구, 기후변화에 대응하는 작물 및 작물의 특성 연구와 농업기상정보 활용 연구, 농업기상재해 경감 연구, 온실가스 배출제한 혹은 배출저감 기술과 흡수 증대 기술 등으로 나누어 볼 수 있다.

농업기후자원 평가 및 활용 연구

작물생산을 좌우하는 3대 기후자원은 태양에너지, 온도, 물이다. 태양에너지와 온도는 높은 정의 상관이 있으므로, 대부분의 경우, 온도와 물의 공급여하로 농업기후자원량을 평가한다. 이러한 농업기후자원의 분포는 기후변화에 의해서 바뀌게 되므로, 현재 국내 각지에서 재배되고 작물들은 변화된 기후자원에 영향을 받게 될 것이다. 따라서 작물별 안전 재배 지대를 구분하고, 기후변화에 따른 작물 생산성 반응을 연구하는 것이 필요할 것이다.

작물 군락 미기상 및 국지기상 연구

농업생태계내의 미기상 환경은 대기의 기상요소의 변화에 따라서 크게 좌우되며, 대기의 화학적 조성이나 물리량의 변화는 지표면의 상태나 생태계내에서의 식물의 생활양상 변화에 영향을 받는다. 식생의 존재와 활동이 기후온난화에 영향을 미치는

정도를 평가하며, 작물의 생육은 군락 주위의 환경조건에 따라 크게 좌우됨으로 생육환경의 개선이나 작물 보호를 위하여 경지이용에 따른 작물군락내 미기상환경 구명과 불량미기상환경을 개량하는 연구가 필요하다.

일사 수광량(受光量) 차이에 따라 일 최고기온의 분포도 매우 다양할 것이므로 야외관측을 통한 실용성 있는 추정방법의 개발이 필요하다. 시공간적으로 불연속적인 강수현상의 정확도를 높이기 위해서는 강수관측밀도를 높이는 것이 좋다. 또한 농경지 이용에 따른 각 작물군락 내에서 일어나는 온실가스의 순환(배출 및 흡수) 기작을 밝히는 것은 농업부문의 온실가스 인벤토리 작성뿐만 아니라, 감축기술 개발에 기초 자료를 제공할 것이다.

기후변화에 대응하는 작물 및 작물의 특성 연구

기후변화 대응을 포함하는 앞으로 우리나라 농업이 나아가야 할 작물의 바람직한 특성은 첫째, 지속농업을 가능하게 하여야 하고, 둘째, 이산화탄소 농도 증가를 좋은 조건으로 받아들이며, 셋째, 지구온난화에 따른 기후변화에 대한 적응력 증대 등과 같은 농업생태계 안정에 역동적으로 대응할 수 있는 것이라야 할 것이다.

작물생산 관련형질 : 생산과 관련된 작물의 특성은 ① 최소의 보조에너지(비료, 농약, 연료) 투입수준이 현재보다 낮고, 생산은 현재 수준보다 높아야 한다. ② 수확지수에 얽매이기보다는 절대수량과 아울러 바이오매스 생산량이 높아야 한다. 바이오매스 생산량 증가는 농업이 이산화탄소를 고정하는데 기여하며 그에 상당하는 산소를 방출하여 대기정화에 기여한다. 우리나라에서 헥타르당 쌀 5.5톤을 생산하는 수준에서 벼는 이산화탄소 19,467 kg을 흡수 고정하고, 산소 141,152 kg을 방출한다(윤성호 외, 1996). ③ 작물의 키가 어느 정도 크고 줄기가 실한 특성을 찾아서 쓰러짐에 대비해야 한다. 작물의 왕성한 새끼치기나 가지 벌기의 특성은 소출과 바이오매스 생산에 이바지하고, 잡초발생의 억제, 종자의 절약, 토양침식의 방지에 도움이 된다.

작물의 생산은 현재와 같이 단위 면적과 단위 시간에 대한 수량만 높은 것을 목적으로 하기보다 절대 바이오매스 생산이 높고, 수량은 현재 수준 이상을 유지하며, 단

위 보조에너지 투입에 대한 생산량이 높은 특성이 지속되는 체계가 바람직하다.

작물의 환경 적응 능력 관련 형질 : 이산화탄소 농도 증가에 따라서 일차생산을 위한 광합성 자원이 풍부해지므로 이산화탄소를 흡수 고정하는 능력이 큰 품종을 육성하는 것은 기후변화 대응에서 당연한 과제이다. 이러한 것에는 다음과 같은 것들이 있다. ① 온대작물이 열해와 냉해 모두에 견딜수 있도록 기상이변에 대한 안정성을 확보할 수 있는 형질을 찾아야 할 것이다. ② 농작물의 적지적작(敵地適作)은 현재보다 더욱 강조될 것이다. 우리나라는 복잡한 산악지형으로 인해 더욱 다양한 국지기후의 분화가 예상되기 때문에 작물마다 더욱 세분된 농업기후지대 구분이 요구되며, 그 기후지대에 알맞은 품종을 육성해야할 것이다. ③ 작물의 병과 해충에 대한 저항성이 높은 품종육성이 필요하다. ④ 과수와 같은 영년생작물은 특정한 기후와 토양 자원을 최대한 이용할 수 있는 다양한 품종을 육성 보급하여 주산단지를 이루어나가야 할 것이다. ⑤ 잡초와의 경쟁에서 생태적으로 유리한 작물의 형질을 찾아낸다. 따라서 장차 기후변화 조건에서 어떤 경우에도 이산화탄소 농도 증가와 온도 상승이 작물에게 유리하게 작용하는 특성이 요구된다.

뿌리의 특성 : 기후변화에 대하여 작물이 대응할 수 있는 방안 중에서 뿌리에 관한 것들을 들면 다음과 같다. ① 보다 강력한 뿌리활력[29]을 지니도록 해야 할 것이다. ② 메탄배출량이 적은 벼 품종의 선발이 요구된다. ③ 콩과작물 뿌리의 질소고정능력이 높은 품종을 육성하여야 할 것이다. 콩과작물이 아닌 작물에 대해서도 질소고정 미생물이 공급하는 질소에 의존하는 작물과 품종을 선발함과 아울러 미생물의 선발과 접종방법을 개발한다. ④ 기상재해 등에 의한 도복의 피해를 줄이기 위해서는 뿌리가 더욱 깊게 분포하는 특성이 요구된다.

종실의 특성 : 등숙기간의 온도가 높은 것에 대비하여 화곡류에서 현재와 같은 입

29) 담수생태에서 자라는 벼는 통기조직이 발달되어 있는 작물이지만, 근권의 산소는 밭 상태보다 훨씬 부족하므로 뿌리의 산화력과 유기산 또는 황화수소 같은 해로운 물질에 대해 견디는 성질.

종이라면 종실의 길이가 긴 것이 유리할 것이고, 종실을 소립(小粒)을 택하면 이삭당 알맹이 수가 많아야 할 것이다. 온도가 높아지면 등숙기간의 단축 현상이 일어남에 따라 짧은 등숙기간에 충실한 종실을 생산 할 수 있는 특성이 요구된다.

작물의 유전자 구성 : 벼, 보리, 밀과 같은 자화수정 작물은 유전적으로 고정된 순계는 병해충 또는 기상재해에 취약하므로, 한 지역 안에서도 저항성이 다양한 여러 품종을 재배한다면 재해 발생시 일부 품종은 피해를 입더라도 다른 품종은 안전할 수 있을 것이다.

농업기상정보 활용 연구

기후변화는 농경지이용의 기본을 변하게 하는 것이므로 작부체계와 토지이용계획에 초점을 맞춘 농업기상정보시스템 구축과 농업기상 장기예보 시스템을 확립하여 그 활용을 보편화하여야 할 것이다. 최근 통신기술 및 농민들의 의식 수준 향상으로 기상에 대한 관심이 증대되고 있으며, 농업기상 정보의 이용에 대한 요구가 높아지고 있다. 따라서, 현재 농업기상정보시스템의 구축과 활용에 대해서는 기상청 및 관련 단체에서 서비스를 실시하고 있다. 산업기상정보허브[30]에서는 농업부문과 관련된 여러 가지 기상정보 및 기상재해정보를 제공하고 있으며, 농촌진흥청에서는 농업기상정보시스템[31]을 통하여 농업기상정보 및 병충에 대한 예보 및 정보를 실시간으로 안내하고 있다.

농업기상재해 경감 연구

기후변화로 발생되는 재해로는 한발, 홍수, 폭우, 고온해가 두르러지고 있다. 기상재해 가운데 풍수해는 지역적 편중이 심하고 불연속적으로 나타나고, 온도나 일조와 같은 연속변이를 하는 기상요소는 같은 상태의 날씨가 장기간 연속되어 일어난다. 저온해, 고온해, 가뭄, 일조부족 등이 그러하다. 적중률 높은 기상전망은 기상재해의 사

30) http://industry.kma.go.kr
31) http://weather.rda.go.kr

전대책을 서두르게 할 것이다. 기후변화는 날씨의 양극화 현상이 특징이라는 것을 이미 기정 사실로 받아들이고 있다. 따라서 빈번하고 강도 높은 집중호우로 인한 홍수에 대비해서는 수문관리에 초점을 맞추어야 할 것이다. 하천의 규모와 홍수 조절용 저수시설은 물론, 논둑의 높이까지도 조절하여 기여할 수 있는 방도를 찾아야 할 것이다.

온실가스 배출제한 혹은 배출저감기술과 홉수증대 기술

농경지에서 배출되는 메탄, 아산화질소 발생억제에 관한 연구에서는 논, 밭에서 배출되는 메탄, 아산화질소를 억제하는 시비체계, 재배체계, 물관리기술 등을 개발하고 질소를 시용한 토양에서 배출된 아산화질소 및 질소화합물을 억제하기 위하여 완효성질소 비료 등의 효과를 평가하였다. 축산에서 반추가축의 메탄 및 아산화질소 배출과 그 변동요인의 해명에 관한 연구에서는 메탄, 아산화질소 발생량의 변동요인을 급여영향요소 구성과의 관계를 해명하여 배출 저감을 위한 급여영양 구성비 및 억제물질을 이용한 대책기술 개발을 하였다. 이러한 온실가스 저감 및 홉수에 대한 연구는 지속적으로 연구가 이루어져야할 것이다. 이외에도 농민들을 대상으로 하는 기후변화와 대응방안에 대한 교육 및 홍보활동, 기후변화가 농업의 경제적 부분에 미치는 영향 연구, 가축의 적응력 향상 등의 활동이 필요할 것이다.

5. 산림부문의 기후변화 영향평가 및 적응조치 32)

가. 기후변화가 산림에 미치는 영향

기후변화가 산림에 미치는 영향은 국가 및 지역에 따라, 그리고 연구 혹은 모니터링의 수준과 기간에 따라 매우 다르다. 또한 어느 영역까지 영향을 미치는지의 여부도 범위의 한정을 어렵게 하는 요소가 되고 있다. 따라서 현재까지 보고되고 있는 내용도 방대하고 심지어는 상반되는 자료도 제시되고 있어 이를 일반화시키는 데에 무

32) 본 절의 많은 내용은 국립산림과학원의 자료 협조로 이루어졌다.

리가 있다. 기후변화가 산림 분야 전반에 미치는 영향의 영역(UK DFRA 2001)은 아래와 같다.

- 생장기간의 연장 및 이산화탄소 농도 증가에 기인한 생산성 향상
  : 최고 25% 정도까지 가능
- 생산성 증가는 지역에 따라 강수량의 감소, 양분의 불균형, 대류권의 오존 농도 증가 등의 이유로 제한적이 될 가능성이 있음
- 이산화탄소 농도 증가에 따라 증발산이 증가하고 이 결과 수분 손실이 증대되어 임관의 통도성 감소
- 평균 풍속강풍에 의한 피해 증가
- 병해충의 발생 증가
- 일부 종에서 생물계절학적 변화로 서리 피해 증가
- 수목한계선의 상승으로 임목지 증가
- 질소 배출량의 증가로 인한 임목지 하층식생의 변화
- 개화 및 결실 변화로 일부 종의 천연 갱신 가능성 변화
- 산림의 도시에서의 다양한 용도 및 휴양 목적 이용을 위한 수요 증가, 재생 자원으로서의 가치 상승으로 산림에 대한 사회경제적인 요구 증가
- 임목의 상업적 이용에 따른 수종 분포도 변화
- 일부 지역 특정 종의 경우 극심한 건조로 인한 고사 증가
- 산불 발생 위험도 증가
- 목재의 질 저하 가능성

아래에는 구체적으로 산림생태계, 산림생장 및 생산성, 산림재해, 및 임업의 분야에서 우리나라를 중심으로 일어나는 현상을 집중적으로 설명하고자 한다. 향후 2차년도 이후의 연구에서 매 항목별 보다 상세한 내용이 기술될 것이다.

기후변화가 산림생태계에 미치는 영향

산림생태계의 구조와 기능 : 기후변화는 산림생태계의 구조와 기능의 변화를 유발시킨다. 구조적인 측면에서는 식물의 분포와 생육범위가 변하여 산림식생대가 달라지고, 미생물과 곤충의 생리생태가 변하여 병충해의 발생추이가 달라지며, 야생동물의 생리생태가 변하여 그들의 동태와 습성이 달라지게 된다. 기능적인 측면에서는 우선 기온 상승에 따라 수분과 열 수지가 변하게 되는데, 이러한 변화는 구조적인 변화와 더불어 유기물의 분해속도를 변화시켜 산림생태계의 양분순환 체계와 생산성에 심각한 영향을 미치게 된다. 즉 지구온난화에 의하여 산림생태계가 영향을 받는 과정은 식물의 잎 표면에서의 물, 열 및 이산화탄소의 교환에 따른 생리적 반응에서 출발하여 생장 및 생식양상의 변화, 미생물, 동식물 등을 포함한 생물군집의 종 조성 변화 및 숲의 생장 변화, 그리고 크게는 식생대의 이동이 예상된다.

또한 생태계의 먹이사슬, 수분수지, 양분순환 체계, 교란체계 등도 변화하여 기후변화의 영향은 생태계의 구성요소를 변화시킬 뿐 아니라 궁극적으로는 산림생태계의 종합적인 반응으로 나타나게 된다(Markham et al., 1993). 생태계라는 시스템은 상당히 복잡한 시스템으로서 이들은 상호연관성이 있으므로 개별적 특성을 분리해서 파악하기 어렵다. 아울러 산림생태계의 이러한 구조와 기능적 변화는 역으로 기후변화에 영향을 주기도 하는데 이는 산림생태계의 탄소저장고로서의 기능뿐만이 아닌 다양한 생태적 서비스를 제공하는 시스템이기 때문이기도 하다.

산림식생대 변화 : 고기후 기록으로 보았을 때 기온 상승에 따라 식생분포가 높은 곳으로 이동하였는데 이 때 몇몇 종의 생태계가 사라지기도 하였다. 따라서 분포범위가 한정적인 종들은 사라지게 되거나 새로운 서식지로의 이동이 어려워 위험에 처하게 된다. 특히, 우리나라의 지형특성은 산악지가 많고 숲이 주로 산에 위치하고 있기 때문에 식생대의 이동은 수평적인 것뿐만이 아니라 수직적인 이동도 중요하게 작용할 것이다. 우리나라의 아고산지대에 위치하고 있는 한대림 지역은 지형적인 섬으로 격리되어 기후변화에 따라 그 분포역이 훨씬 좁아질 것으로 예상된다. 따라서 이 지

역에 분포하고 있는 구상나무, 가문비나무, 전나무, 분비나무 등의 갱신, 생장추이 및 군집변화에 대한 모니터링과 이들의 보전대책 수립이 필요할 것으로 생각된다.

공우석(1999)은 한라산 정상 부근의 고산식물 8종(눈향나무, 돌매화나무, 시로미, 들쭉나무, 구름송이풀, 구름체꽃, 구름떡쑥, 솜다리)의 수평 및 수직적 분포도와 생태적 특성 등을 생물지리학적으로 분석하였다. 그 결과 빙하기 중 기후가 한랭해지면서 동북아시아로부터 유입된 식물 중 일부가 후빙기에 기온이 상승하면서 한랭한 피난처를 찾아 고지대로 이동하여 정상 일대에 격리 분포하고 있다고 하였다. 한라산 산정부의 한랭한 기온, 짧은 생육일수, 강한 바람, 불규칙적인 적설심도, 그리고 기후요소들의 심한 연교차 등 기후적 요인과 척박한 토질, 주기적인 동결 및 해빙과 연관되는 주빙하성 지형 간섭이 발생하는 불리한 조건 등은 열악한 환경에 대한 적응력이 상대적으로 앞선 고산식물들이 생육할 수 있는 여건을 마련해 주었다. 그러나 향후 지구온난화 등 기후변화 시 이들이 소멸할 가능성이 있음을 보여주었고 보존대책 마련이 필요함을 시사하였다.

기후변화에 따른 산림생태계 내부의 수종구성의 변동을 예측해 보면, 기후변화에 따라 종별로 특이한 생리적 반응을 나타내어 수종별 경쟁력이 변화하고 천이의 진행방향도 바뀌게 되어 현 식물군집구조와는 다른 군집구조로 변할 수도 있게 된다. 즉 수종의 구성이 바뀌게 될 것으로 예상되는데, 기후변화에 따라 곧바로 상층 우점종이 바뀌지는 않을 것이다. 왜냐하면 상층을 구성하는 수종들은 대부분 수령이 길고, 점진적인 기후변화에 대하여 어느 정도는 적응할 수 있는 능력이 있기 때문에 이미 중상층을 점유하고 있는 수목들은 살아남을 수 있을 것으로 판단되기 때문이다. 따라서 군집구조의 변동은 번식능력과 경쟁력의 차이에 의하여 하층에서 갱신되는 치수들의 종 조성이 달라지고 중상층의 수목이 고사한 다음 이들이 우점하게 되어야 식생대의 변화 형태로 드러날 것으로 보인다.

또한, 기후변화는 산림식생의 개엽시기에도 영향을 미칠 것으로 예상된다. 실제로 영국의 한 연구에서는 1℃ 상승에 개엽시기가 5-7일 정도 앞당겨 지는 것을 확인한 바 있다(Sparks and Carey, 1995). 국립산림과학원의 연구에 따르면 개엽이 춘계의 기온에 크게 영향을 받는 것으로 나타났다. 이러한 개엽시기 및 생육기간의 변동은 산림

식생뿐 아니라 산림내 미생물, 곤충, 조류, 동물 등에도 영향을 미칠 것으로 예상된다.

산림 종다양성 변화 : 기후변화는 산림내의 식생, 동물, 곤충 등의 종 다양성에 영향을 미칠 것이다. 그동안 한반도에서도 뚜렷한 기온상승경향이 있었다는 것과 최근 기상의 변동 폭이 심하다는 것을 감안하면 환경변화에 대하여 대처능력이 높은 다세대를 거치는 종이 생존에 유리할 것이다. 아열대와 같은 따뜻한 지역으로 갈수록 다세대를 거치는 종수가 많으므로 이러한 종들이 보다 온난한 기후에 유리할 것이며, 다세대를 거치는 종은 환경변화가 심한 경우에 적은 세대를 거치는 종보다 적응력이 높을 것이다.

그러나 기후변화가 종다양성에 미치는 영향에 대한 연구는 흔하지 않다. 최근 Kwon et al.,(2002)의 연구에 의하면, 우리나라에서 솔나방이 과거(1969~1971년) 중부지역에서 연 1회 발생하였고, 남부는 연도별로 1~2회 발생하였으나, 최근에는 전국적으로 2회 발생하였다. 9월 평균기온이 예년에 비해 2.5℃ 정도 높았던 1999년도에는 10월 중순에 3세대가 발생하는 등 향후 기온상승으로 2세대를 초과하여 발생할 가능성이 있는 것으로 예측되었다. 설악산 나비류에 대한 분석자료에 의하면 1967년도에 비하여 1997년도에 출현빈도가 감소하는 종수가 1년에 3~5세대를 거치는 나비류인 제비나비, 줄흰나비, 작은주홍부전나비, 부전나비 등 4종보다 1~2세대를 거치는 나비류인 왕자팔랑나비, 이른봄애호랑나비, 모시나비, 갈구리나비, 작은홍띠점박이푸른부전나비, 외눈이지옥사촌나비 등 6종으로 더 많았다. 같은 기간 동안 출현빈도가 증가한 종은 반대로 3~5세대를 거치는 나비류가 더 많았다.

야생동물이 기후변화에 어떻게 반응을 나타낼 것인가에 대하여는 구체적인 자료가 많지 않고, 특히 항온동물인 경우에는 기상인자에 대하여 직접적으로 영향을 받기보다는 서식지의 변동과 먹이자원이 되는 다른 식물과 곤충 등의 변화에 크게 지배될 것이므로 2차적인 변화특성을 보일 것으로 생각된다. 그런데 식물의 잎이 나는 시기가 달라지고, 곤충의 발생시기가 달라지는 것과 유사하게 양서류, 조류 및 포유류와 같은 야생동물들에 대하여 생물적 시기의 변동이 관찰되고 있다. 다음의 몇 가지 외국의 예를 들면, 영국에서 양서류가 17년 동안 연평균기온이 1℃상승함에 따라 연못

에 출현한 시기가 9일에서 10일정도 빨라졌다는 것(Beebee, 1995)과, 조류의 부화일이 25년 사이에 9일 앞당겨진 경우(Crick et al., 1997) 등이 있다. 이러한 생물시기의 신호는 대체로 온도와 낮의 길이로 알려져 있다. 그런데 만일 상호의존적인 종들간에 생물학적 시계의 신호가 다르다고 하면 그 종은 생활사(life cycle)를 완수하는데 필요한 먹이공급시기 등이 맞지 않아 심각한 위험에 처할 가능성이 있다. 예를 들어 철새의 경우 현지까지 도달하는데 에너지를 많이 소모하는데 그곳에서의 먹이 조건의 변화는 철새 개체군의 유지에 큰 영향을 줄 수도 있다.

기후변화가 산림생장 및 생산성에 미치는 영향

수목의 생장 및 산림생산성의 변화에는 기온뿐만 아니라 강수량, 대기 중 이산화탄소농도, 수분이용효율, 질소의 무기화속도 등이 함께 영향을 미친다. 이산화탄소 농도 증가효과를 고려하지 않았을 경우 온도상승에 따른 호흡량 증가와 구름량의 증가로 생산성이 떨어질 것으로 예상할 수 있다. 그러나 이산화탄소 농도증가에 따른 비료효과를 감안했을 때 인산이 부족하지 않다면 광합성과 생장이 증가할 것으로 예측된다(Mellilo et al., 1993). 한편으로는 대기중 이산화탄소 농도증가가 생장의 증가나 바이오메스 축적량 증가는 가져오지 않고 다만 탄소/양분순환 속도만 빠르게 할 것이라는 분석도 있다(Körner and Arnone, 1992). 그러나 비교적 건조한 열대림에서는 대기중 이산화탄소농도 증가가 식물의 수분이용효율을 향상시켜 생산성을 증가시킬 수 있을 것이라는 데에는 의견을 같이하고 있다.

온대림 지역에서는 기온이 상승하고 대기 중 이산화탄소농도가 증가함과 동시에 질소무기화속도가 빨라짐으로써 대체로 생산성이 증가할 것으로 예측하고 있다. 그러나 비교적 건조한 지역이나 강수량이 줄어드는 지역에서는 증발산량의 증가와 함께 건조피해로 생산성이 떨어질 것으로 예상된다. 우리나라의 경우 기후변화 시나리오에 따르면 기온상승과 더불어 강수량도 동시에 증가할 것으로 예상하고 있어 산림생산성이 증가할 것으로 예상된다. 그러나 온도상승은 토양에서의 호흡을 증가시키기 때문에 산림 순생산성이 증가하더라도 산림생태계의 총 탄소저장량은 크게 변화가 없거나 심지어 줄어들 것으로 예상하고 있다(Thornley et al., 1991). 아울러 산불발

생 증가나 병해충의 만연 등에 의하여 탄소저장량이 감소할 수도 있을 것이다(Smith and Shugart, 1993).

한대림지역은 온도상승으로 극지방의 일부지역에만 남을 것으로 예상되고 온대림이나 열대림에 비하여 크게 영향을 받을 것으로 보인다. 산불발생빈도와 병해충발생이 증가하여 산림 내 바이오매스 저장량이 줄어들고, 남방한계선에서는 온대 선구수종이나 초지로 변환될 것으로 예상된다. 이 지역의 순생산성은 수분이 제한요소가 아니기 때문에 온도상승과 생육기간 연장, 이산화탄소농도 증가 및 질소무기화의 증가에 의하여 향상될 것으로 예상된다. 그러나 이 지역에는 산림토양에 많은 유기물이 집적되어 있기 때문에 온도상승에 따른 유기물 분해로 이산화탄소배출량이 증가할 것으로 예상된다. 나무의 나이테를 이용하여 연륜연대학에서 그 당시의 기후를 추정하는데 사용하기도 하는데, 기후와 생장과의 관계는 그 지역의 제한요인이 무엇인가에 따라 달라질 수 있다.

국립산림과학원에서는 우리나라 온대중부지역에 대하여 기후변화에 따른 산림생태계 변화를 예측하기 위하여 연평균기온이 100년간 1℃ 상승 및 2℃상승이라는 2가지 기후변화 시나리오를 적용하여 예측하였다. 대상지역은 중부내륙지역을 가정하여 생장도일(GDD: Growing Degree Days, 5℃ 기준)을 2,500으로 하여 시뮬레이션 시작부터 200년도까지는 평년기온으로 진행하다가 그 후로 점진적으로 기온이 상승하는 것으로 하여 400년까지를 예측하였다. 기온상승이 없을 경우에 비하여 100년간 1℃ 상승하는 경우는 바이오매스량이 증가 또는 유지되고 졸참나무, 서어나무, 개서어나무의 점유율이 증가하며 잣나무와 신갈나무는 감소될 것으로 예측되었다. 100년간 2℃ 상승하는 경우는 기온상승시작 후 150년이 지나면서 바이오매스량이 감소되고 졸참나무, 개서어나무의 점유율이 증가하고 잣나무와 신갈나무는 감소될 것으로 예측되었다(임종환, 미발표자료).

기후변화가 산림재해에 미치는 영향

기후변화는 산림병해충, 홍수 및 산사태, 산불 피해의 발생 시기, 빈도, 규모 등에도 영향을 미칠 것으로 예상된다.

산림병해충 피해 : 수목이 스트레스를 받아 쇠퇴하는 원인들에는 기후, 생물, 대기오염, 산성우 등 다양한 요인들이 있다. 그 중에서도 기후변화로 인한 쇠퇴도 예상되고 있다. 아열대성 수목병원균의 하나인 푸사리움가지마름병은 대체로 1월 평균기온이 0℃ 이상인 지역에 발병하는 병원균으로 원래 미국 남부, 멕시코, 하이티 그리고 일본 큐슈남부 및 오키나와 등지에 분포하였다. 이 병원균이 우리나라에 최초로 발견된 것은 1996년이었고 그 후 전국적으로 확산하는 중에 있다. 해충으로는 동남아시아가 원산지인 대벌레류가 1983년 삼척에서 처음 발생된 이래 대벌레는 경상남북도, 우리대벌레는 강원도와 충청북도 등 내륙산간지역으로까지 확산되고 있다. 그리고 소나무재선충병을 매개하는 솔수염하늘소의 분포가 남부지역으로부터 점차 북상하고 있다. 또한, 현재 중부지방에 발생되고 있는 참나무시들음병도 온난화가 지속되면 빠른 속도로 광범위하게 확산될 가능성이 크다.

홍수 및 산사태 피해 : 최근 우리나라에서도 이상기후의 현상으로 게릴라성의 집중호우, 그리고 이로 인한 홍수, 및 산사태와 임도붕괴 등의 자연재난이 이어지고 있다. 우리나라의 산사태는 대부분 강수와 산불에 의한 것이고 돌발적으로 발생하며, 붕괴발생 후 고속으로 운동하는 특성이 있어 산사태의 발생이나 산사태 토괴의 운동을 예측하기 매우 어렵다. 현재까지 연구된 바에 의하면 강수에 의한 산사태는 대체로 연속강우량이 200mm 이상이거나 시우량이 30mm 이상인 경우에 발생한다고 한다. 물론 여기에는 모암이라든가 지형, 경사도, 토심, 숲의 형태에 따라 달라지게 된다. 산사태 발생의 연도별 추이를 보면, 1987년 태풍 셀마와 호우로 인하여 1,000ha가 넘는 면적이 피해를 받았고, 1998년 집중호우로 인하여 이보다 많은 면적이, 그리고 2002년도의 경우는 유사 이래 피해가 가장 컸다고 하는 1998년도 피해면적의 2배가 넘는 면적이 피해를 입었다. 이러한 악기상으로 인한 재해의 변화는 진폭이 길수록 커지고 있어 예측하기 힘들다는 것이 문제이다.

장기적인 기후변화차원에서 강수량 변동과 산사태발생량과의 관계를 알아보려면 최근 기후변화시나리오에서 어느 정도 예측치를 제공하고 있는 기후요소인 연강수량과 산사태 발생면적과의 관계를 알아보아야 할 것이다. 강수량이 증가함에 따라 산사

태 발생면적이 증가하는 것을 알 수는 있으나 일반화시켜 수식을 만들어내기는 어렵고, 다만 그 최대발생위험면적과 같은 상한선을 도출할 수 있을 것으로 보인다. 2002년도에는 이 상한선의 2배가량 상회하는 피해면적을 나타내었다. 이는 산사태 피해지역의 대부분이 1996년도와 2000년도에 산불피해를 크게 입었던 지역이었다는 것을 상기하면 이해될 수 있다. 산불피해 후 나무의 토양고정효과가 없을 뿐만 아니라 피해목 정리작업 등으로 인한 임지의 불안정성이 그 원인이었던 것으로 판단된다. 이러한 상한선 이하로 피해면적을 줄이기 위해서는 산사태위험지역을 구분하고 이에 대한 대비와 관리를 어떻게 하느냐에 달려 있을 것으로 판단된다. 물론 이러한 불확실적인 요소들로는 앞서 지적한 집중강우의 빈도와 강도, 전년도 발생량, 토양조건과 식생형태 등이 작용하는 것으로 판단된다(임종환, 2002).

산불피해 : 우리나라의 산불발생은 자연적 발화보다는 사람의 실수로 인하여 발생되는 것이 대부분이다(산림청, 2001). 산불 발생빈도는 입산자 실화, 특히 한식과 같은 성묘객 실화 그리고 논밭소각에 따른 산불 등의 순으로 나타나고 있다. 계절별로 보면 봄철이 68%로 단연 빈번하고 대형 산불도 많은 것으로 나타나고 있다. 그 이유는 이 시기에 강수량이 적고 아직 활엽수의 잎이 나오기 전이므로 건조한 봄바람과 함께 숲바닥이 햇빛에 나출되어 낙엽이 건조한데다가 이때 한식이 있어 성묘객에 의한 실화까지 겹치기 때문으로 분석된다. 산불이 발화하였을 때 얼마나 대형화되고 강도가 얼마나 센가는 연료의 유형과 상태, 지형, 그리고 기상요인으로 결정되는데, 기상요인 가운데 중요한 것은 공중습도와 풍속, 강수 그리고 기온이라 할 수 있다.

그동안 우리나라 대형 산불의 발생분포를 보면, 주로 강원도해안과 영서산간지역, 그리고 경북지역에서 빈번하게 발생한 것을 알 수 있다. 총 37건 중 강원도지역이 22건으로 전체의 60%, 이중 영동지방이 14건이나 차지하고 있다(산림청, 2002). 따라서 우리나라의 대형산불발생이 지역적으로 편차가 크다는 것을 잘 보여 주는데, 이것은 최근 Shin et al.(1998)이 남한지역에 대하여 계절별 기온과 강수량을 기준으로 생태지역을 구분한 것으로도 잘 설명이 되고 있다. 즉 강원해안지역의 봄철 강수량이 최소인 것과 영서지방에서 넘어와 건조한 바람이 부는 푄엔현상과 함께 설명된다. 2000년

4월 동해안지역 산불은 강릉시, 삼척시 등 5개 지역에 걸쳐 10여건이 동시다발적으로 발생하여 23,794ha의 산림이 피해를 입는 대형산불이 발생하였다. 또한, 2005년 4월에는 양양지역에서 973ha의 대규모의 산불이 발생하였다. 이와 같은 산불피해의 대형화는 봄철의 장기적 건조현상과 산불발생시의 강풍에 의한 것으로 판단되고 있다.

기후변화가 임업에 미치는 영향

현재 낙후되어 있는 임업의 현실을 감안할 때 기후변화가 임업에 미치는 영향은 단기적으로 그리 크지 않은 것으로 예상된다. 그러나 장기적으로는 기후변화에 따라 산림생태계, 산림생장, 산림재해 등과 같은 산림관련부문이 영향을 받으면서 산림을 대상으로 하는 임업이 서서히 영향을 받을 것으로 판단된다. 기후변화 및 지구온난화 등으로 인하여 산림의 환경적 기능이 중시되고 이 환경적 기능이 탄소배출권 거래 등과 같은 형태로 시장에서 거래가 이루어진다면 임업의 변화는 대단히 클 것으로 예상된다. 우선, 국가 및 지방자치단체에서의 산림부문에 투자가 증가되면서 산림관련 사업 및 계획부분의 임업이 활성화 될 것이며, 목재인증제 등으로 산림생산업이 청정산업으로 부각될 가능성도 있다. 그러나 이러한 긍정적인 효과 외에 산불, 산사태, 병해충 발생 등과 같은 다른 제약요인들에 의한 부정적인 효과도 있을 수 있으며, 기온이 상승하면서 소나무, 잣나무 등 전통적인 수종이 쇠퇴하고 이와 관련된 임업이 함께 쇠퇴할 수도 있다.

나. 한반도 주변 및 국내 관련연구 동향

산림생태계에 대한 영향평가 및 적응과 관련하여서는 국립산림과학원에서 자체연구사업과 과학기술부 연구사업으로 식생대 이동, 산림생산성 변화 예측, 생물계절변화, 생물다양성 변화 예측 등을 수행하여 왔으며 일부 적응전략도 제시한 바 있다(임종환과 신준환, 2005). 그리고 한국환경정책・평가연구원에서는 한반도 식생대변화를 예측한 바 있고(전성우 외, 2001, 2002), 일부 학계에서 특정지역의 취약생태계에 대한 민감성과 취약성을 평가한 바가 있다(공우석, 1999, 2000).

현재까지 국가연구사업으로 추진된 육상생태계 분야의 기후변화영향평가 및 생태계변화 모니터링 사업으로는 다음과 같은 것들이 있다: 기후변화가 한반도에 미치는 영향과 지구환경 관련 대책 연구(과학기술부 특정연구, 1994-1996): 산림식생대 변화 및 산림생산성 변화 예측, 기후변화에 따른 생태계 영향평가 및 대응방안 연구(한국환경정책·평가연구원, 2000-2002): 산림식생대 변화 예측, 한반도 지역 육상생태계의 탄소플럭스 감시기술개발(환경부 차세대핵심환경기술개발사업, 주관: 연세대, 산림부문: 국립산림과학원, 2001-): 탄소플럭스의 체계적 관측, HydroKorea 개발(과학기술부 프론티어연구사업, 주관: 연세대, 산림부문: 국립산림과학원, 2004-), 지구환경변화에 대응한 장기생태계변화 연구(국립산림과학원 자체연구, 1996-2003, 2004-2013): 개엽 및 개화시기 변화, 산림미기상, 생물다양성변화 모니터링 등 기후관련 생태계변화 모니터링 및 기후변화에 따른 생태계변화예측 모델 개발, 국가 장기생태연구(환경부, 2004-): 산림, 연안 및 도시생태계 변화 모니터링 등이 해당된다.

한편 최근 정부 차원의 대책과 관련하여서는 2005년 2월 교토의정서의 발효와 발맞추어 기후변화협약과 교토의정서 대응전략을 수립하여 왔다. 그 결과로서 만들어진 것들 가운데 본 주제와 관련된 것으로는 범정부차원의 기후변화협약 대응 제3차 종합대책(2005. 2.), 산림청의 탄소흡수원 10개년 계획(2005. 3.), 환경부와 기상청의 한국기후변화연구협의체(KPCC) 설립 등이 해당된다. 이러한 대책에는 기후변화에 따른 산림생태계의 영향 및 적응관련 연구와 모니터링 체계 구축 강화 부분도 일부 포함되어 있다.

다. 기후변화에 대한 산림부문 적응정책분석 및 평가

적응 수단

이상에서 기후변화가 산림에 미치는 영향을 검토하였다. 문제는 이러한 영향 기작이 상당히 복잡한 시스템으로서 예측 및 파악하기가 매우 어렵다는 것이다. 다만 현재의 지식수준 단계에서 기후변화가 산림부문에 미치는 악영향을 완화하기 위한 적응수단을 다음과 같이 요약할 수 있다.

생물다양성 보전 : 우리나라에서 식생대의 이동은 위도와 고도 상승이 동시에 이루어질 것으로 예상되고 이는 과거의 기후변화속도보다 빠른 속도로 환경이 변화할 것으로 예상된다. 따라서 생물다양성을 보전하기 위하여 전 국토, 한반도 및 동북아지역 차원의 생태계 네트웍 구축 등 종합적 보전체계와 더불어 서식지가 분할되지 않도록 하여 생물의 이동과 정착에 문제가 없도록 하는 것이 중요하다. 이 때 필요한 경우 식재나 경쟁식물제거와 같은 적극적인 행위도 필요하다.

그리고 이와 같은 서식지환경 변화에 따라 멸종이나 감소위험이 있는 생물종에 대한 보호대책을 강구하여야 한다. 이를 위해서는 기후변화에 민감한 종이나 군집이 파악되어야 하는데, 그 대표적인 식생이나 군집들로는 ① 고산지 식생, ② 작은 섬지역에 국한된 식생, ③ 분포범위가 극히 적은 군집, ④ 분포 선단지 개체군, ⑤ 기후변화시 이동이 느린 수종 등을 들 수가 있다. 이를 바탕으로 기후변화를 감안한 생태계 보전전략은 다음과 같이 요약할 수가 있다: 현재의 보전지역에 대하여 가능한 다양한 지역에 넓은 면적으로 설정하고 보전지역간의 연계성을 확보, 토착종이 다양하게 생육하고 있는 지역의 보호, 식물종 및 군집의 이동이 가능하도록 서식지 분할 방지, 특수한 생육지를 요구하는 종 및 군집에 대하여는 이식, 관배수 등의 집약 관리, 그리고 다른 종과의 경쟁양상의 변화로 위협받는 경우는 경쟁종을 제거하는 것 등이다.

산림의 생산성 유지를 위한 임업활동 : 기후변화시 현재 생육하고 있는 종들은 그 지역이 살아가기에 부적합한 환경이 되기 때문에 다른 종의 유입이 없거나, 조림지역에 식재하고 있는 수종들이 과거에는 적응이 가능하였으나 향후 기후변화에 적응하지 못할 경우에 수종을 바꾸지 않으면 산림에서의 생산성이 크게 저하되거나 산림쇠퇴가 예상된다. 따라서 기후변화에 따른 조림수종 선정과 수종별 조림 및 육림기술 체계정립이 요구된다.

산림재해 방지 : 기후변화 양상에 따른 산불의 위험도와 홍수로 인한 산사태 등 재난의 위험도 예측, 이러한 생태적 교란의 위험에 대해 민감한 지역의 구분, 그리고 이들 재난의 예방 및 관리대책의 수립이 요구된다. 기후변화시 현재는 대두되지 않고

있는 병해충이 크게 부각될 수가 있기 때문에 병해충의 생리생태적 연구를 통하여 이들에 대한 사전관리를 도모해야 하며, 외부로부터 유입되는 병해충의 감시체계와 식물검역체계 강화도 필요하다. 생태계는 공간적으로만이 아니라 시간적으로 보아서도 단기적인 변화를 안다고 하여 곧 장기적인 현상을 예측할 수 있는 대상이 아니므로 종합적이고 장기적인 조사나 모니터링이 필요하다. 아울러 기후학자와 힘을 합하여 어느 기후적 요인이 어떠한 메커니즘으로 생태계에 대하여 얼마만큼 영향을 주는지에 대한 분석과 고찰도 요구된다. 마지막으로, 기상변동 또는 기후변화와 관련하여 생태계변화의 장기적인 모니터링 조사와 생태적 과정을 종합적이고 체계적으로 접근하여 이를 예측하고 평가할 수 있는 연구가 시급히 필요하다. 그리고 이때 생태계의 변화는 기온변화나 증발산량의 변화 등 기후요소의 변화를 가져오게 되므로 학제적인 연구와 모델개발을 위한 시도가 필요할 것으로 생각된다.

적응정책

법과 제도 : 산림을 지속가능하게 경영하는 임업활동은 곧 산림의 온실가스 흡수기능을 증진시키는 밑바탕이 된다. 교토의정서에서는 신규조림(afforestation), 재조림(reforestation), 산림전용억제와 같은 산림관련 토지용도변경활동과 지속가능한 산림경영을 통해 온실가스의 저감을 유도할 수 있는 산림정책의 촉진을 권고하고 있다. 이러한 국제적 환경 변화에 따라 우리나라는 산림기본법(2001)을 제정하여 지속가능한 산림경영(Sustainable forest management; SFM)을 우리의 산림관리의 정책방향으로 법제화하였다. 본 법은 산림에 대한 다양한 국민적 수요에 부응하기 위하여 산림의 보전과 이용이 조화를 이루도록 산림을 경영하고 임업의 발전을 도모함에 필요한 산림정책의 기본적인 방향을 설정함으로써 산림관련 모든 법제와 정책의 기본이 된다. 본 법의 제정에 따라 SFM은 기존의 산림법시행령이라는 하위법에서 벗어나 산림기본법의 주요 이념을 달성하기 위한 핵심 정책방향으로 자리 잡게 된 것이다.

현 산림기본법시행령(제11조)에서는 SFM의 검토기준으로 산림생태계의 ① 생물다양성의 보전, ② 생산성의 유지, ③ 건강성 및 활력도, ④ 토양 및 수자원의 보전, ⑤

온실가스의 흡수기여도, ⑥ 산림의 사회경제적 편익의 유지 및 강화 등을 규정하였다. 향후 이러한 기준에 따라 지속가능한 산림 경영의 기준과 지표를 선정할 계획이며, 특히 온실가스의 흡수기여도라는 기준에 맞는 국내 지표 선정이 SFM의 선정작업과 함께 수행되고 있다. 향후 2008년부터 시행되는 제5차 산림기본계획에서는 임지, 목재, 산림부산물, 물, 휴양 등의 산림 재화 및 서비스의 장기전망을 바탕으로 산림기본계획을 수립할 예정이며, 이 과정에서 임업활동에 의한 온실가스흡수를 지속가능하게 발휘할 수 있도록 산림정책이 추진될 계획이다. 이와 관련하여 산림기본법은 기존의 산림계획제도와 달리 산림자원 및 임산물의 수요와 공급에 관한 장기전망을 기초로 10년 단위의 산림기본계획을 수립, 시행하도록 법에서 정하고 있으며(제10조 및 제11조) 향후 본 법규에 따라 토지이용 및 임업활동에 따른 탄소 흡수·배출 전망을 함께 이룰 계획이다.

재정 및 기술지원 : 우리나라는 국제 열대 목재 기구(ITTO), 생물다양성 협약(CBD), 사막화 방지협약(CCD), 유엔기후변화협약(UNFCCC) 등의 산림 및 기후변화 관련 국제기구 및 협의체에 적극적으로 참여할 뿐만 아니라, 각종사업에 재정지원을 하고 있다. 또한 세계경제의 한국 위상에 부합되는 수준에서 유엔환경계획(UNEP), 세계기상기구(WMO) 등 환경관련 국제기구 및 협의체에 자금, 기술, 인력을 제공하고 있고, 주변국가와 환경관련 협력 체제를 구축하고 있다. 또한 개발도상국들의 지구환경 보호활동을 지원하기 위한 목적으로 설립된 지구환경기금(GEF)에도 분담금을 지속적으로 출연하고 있다. 우리나라의 경제가 세계경제에서 차지하는 비중이 계속 커짐에 따라 우리나라의 분담금 수준도 지속적으로 증가하고 있다.

한편 우리나라는 여러 경로를 통하여 개발도상국들의 개발협력 프로그램을 유무상 자금협력 형태로 수행하고 있다. 이들 프로그램들이 과거에는 무역 및 투자의 증진, 인간기본욕구 충족 및 인적자원개발 분야에 집중되었으나, 최근에는 지속가능개발, 개발도상국과의 파트너십 강화, 그리고 개발에 있어서 개발도상국의 주인의식을 제고하는 방향으로 그 초점이 맞추어지고 있다. 또한 범지구적 과제인 환경, 빈곤퇴치, 여성개발, 그리고 인구문제 등이 최근 개발협력의 주요 분야로 부상하고 있다.

그리고 국제사회에서 OECD 회원국이며 선발개발도상국의 입장에 있는 우리나라로서는 지구온난화를 방지하기 위한 국제적 노력에도 적극적으로 동참하기 위하여 여러 가지 기술이전 프로젝트를 검토 및 추진하고 있다. 현재 에너지절약 및 효율개선, 그리고 온실가스 저감을 위한 기술부문에서 한국국제협력단(KOICA)의 에너지절약 및 이용효율화과정 연수사업과 APEC 및 IEA 등의 국제기구를 통한 협력사업, 그리고 여러 국가들과의 양자협력사업 및 프로그램 등이 추진되고 있다.

또한 KOICA는 1996년도부터 인도네시아, 말레이시아, 페루, 에디오피아 등 개발도상국의 산림관리자를 초청하여 우리나라의 경험을 토대로 산림경영분양의 최신 정보를 소개하고, 그들의 지식을 향상시키기 위한 산림경영과정 연수사업을 실시하고 있다. 이 연수과정을 통해 지속가능한 산림경영을 위한 신규조림, 산림휴양, 도시림관리, 산림보전 등과 관련된 기술의 이전과 경험의 공유가 이루어지고 있다. KOICA는 이에 더하여 2001년부터 중국, 몽골, 우즈베키스탄, 파키스탄 등 사막화 피해를 받고 있는 아시아 개발도상국들의 관련 공무원을 초청하여 한국의 산림녹화사업 경험을 바탕으로 사막화 방지과정 연수사업을 실시하고 있다. 1996년부터 2002년까지 29개국에서 131명의 산림관리자들이 이 두 연수사업에 참여하였으며, 앞으로도 그 규모를 더욱 확대할 예정이다.

임업관련 재정지원의 대표적인 사업으로서 다음과 같은 프로젝트형 무상협력 사업이 있다. 중국 사막화에 대한 심각성을 인식하고 2050년까지 서부 대개발이라는 목표를 갖고 사막화방지 정책을 수행하고 있는 중국정부의 참여 요청에 따라 한국정부는 무상협력자금 5백만불과 관련 기술을 지원하여 5년 동안(2001년~2005년) 중국 서북부지역 5개소(내몽골 통료시, 감숙성 백은시, 신강 투루관, 귀주성 귀양시, 영하회족자치주)의 사막화 방지 조림사업에 참여하고 있다. 이러한 사업들은 전문적인 연구 및 연수기관인 국립산림과학원을 통하여 이루어지고 있으며, 앞으로도 지속적으로 확대를 실시함으로서 개발도상국에서 임업활동을 통한 온실가스저감노력을 돕기 위한 기술이전 및 능력형성에 기여할 것이다.

지속가능한 산림경영을 통한 적응

산림관리체계(산림계획제도) : SFM을 이행하는 가장 유력한 수단으로 국제사회는 국가산림계획(National Forest Program)을 수립, 추진할 것을 각 국가에 요구하고 있는데, 우리나라의 현행 산림계획제도가 이에 해당한다. 현재 우리나라는 계획적인 조림, 무육, 벌채, 병충해 방제 등 각종 산림사업을 통해 SFM을 실현하고자 매 10년마다 전국단위 산림계획(산림기본계획), 광역단위 산림계획(지역산림계획) 그리고 소유자별 산림계획(영림계획)을 수립하고 있다.

현행 산림기본계획은 산림기본법(제11조)에 근거하고 있으며 SFM이 이루어지도록 전국의 산림을 대상으로 ① 산림시책의 기본목표 및 추진방향, ② 산림자원의 조성 및 육성에 관한 사항, ③ 산림의 보전 및 보호에 관한 사항, ④ 산림의 공익기능 증진에 관한 사항, ⑤ 산림재해의 예방 및 복구 등에 관한 사항, ⑥ 임산물의 생산·가공·유통 및 수출 등에 관한 사항, ⑦ 산림의 이용구분 및 이용계획에 관한 사항 등에 대하여 기본 계획을 수립하고 있다. 현 제4차 산림기본계획은 2003년에 변경되어 2007년까지의 국가산림계획을 담고 있다. 지역산림계획은 산림기본법(제11조)에 근거하고 있으며 특별시장·광역시장·도지사 및 지방산림관리청장은 산림기본계획에 따라 관할 지역의 특수성을 고려하여 지역산림계획을 수립·시행하도록 규정되어 있다.

영림계획은 산림법(제8조, 제73조)에 근거하고 있으며, 국유림과 민유림(공유림 및 사유림)에 대하여 각각 조림, 육림, 임도시설, 벌채, 산림소득사업과 관련된 계획을 수립하도록 규정하고 있다. 민유림의 경우 대부분 전문 임업기관인 산림조합의 영림기술자를 통해 대행 수립되고 있다. 이와 같이 영림계획을 수립하여 산림경영을 할 경우 정부의 보조와 융자에 있어 우선 지원대상이 됨은 물론 세제상의 혜택도 부여받고 있다.

우리나라는 SFM을 경영단위에서 이행하는 유력한 수단으로 영림계획작성 경비를 전액 보조하고 있다. 2003년까지 10만 ha의 산림에 대하여 영림계획 작성경비를 보조하고 있으며, 2004년부터 매년 40만 ha에 대하여 작성경비를 보조할 계획이다. 또한 영림계획 작성지에 대한 실행을 유도하기 위하여 영림계획 작성지에서 지속가능하게

산림을 경영하였을 경우 융자, 보조 및 세제 지원을 강화할 계획이다.

숲 가꾸기 사업 : 숲 가꾸기란 지속가능한 산림경영의 기본 원칙에 따라 생태적으로 건전한 산림을 육성하고 우리 사회의 지속가능한 발전을 위하여 산림의 공익적, 사회·경제적 이익이 최적으로 발휘되도록 산림을 보전하고 관리하는 것을 의미한다. 이를 위한 산림 작업으로는 어린나무 가꾸기, 덩굴치기, 가지치기, 솎아베기, 병해충 방제 등의 작업이 있다. 이러한 숲 가꾸기는 건전한 산림 육성을 통한 산림의 환경적 경제적 기능 향상을 목적으로 하는 공공적 국가사업으로 인정받아 현재까지 예산이 책정되어 왔으며, 숲 가꾸기 사업에 따른 탄소배출권은 교토의정서 상 온실가스 저감을 위한 산림경영활동으로 인정되고 있다. 따라서 숲 가꾸기 사업은 산림의 공익기능 향상 및 탄소배출 감축의무 부담을 감소시키는 국가사업으로서 그 당위성이 확대되고 있다.

국가, 지방자치단체 및 민간단체는 지속적인 숲 가꾸기 사업 등 산림경영의 강화로 산림의 건강성을 높임으로서 산림의 온실가스 흡수 능력을 유지·증진하는 정책을 추진하고 있다. 현재 우리나라의 산림은 가꾸어 주어야 할 30년생 이하의 어린 숲이 76%를 차지하고 있으며 향후 가꾸어 주어야 할 산림면적이 280만 ha로 추정되고 있다. 지금까지의 이행실적을 보면, 1998년부터 2001년까지 6,469억원을 투입하여 1,024천 ha의 산림에 대한 숲 가꾸기 사업을 추진하였다. 이러한 숲 가꾸기 사업은 이산화탄소 흡수 능력을 유지·증진시킬 뿐만 아니라 수원함량, 탄소흡수, 야생동물 서식환경개선 등 환경기능을 증진시키는 효과를 거둘 수 있다.

숲 가꾸기 사업에 국가 및 지방자치단체뿐만 아니라 민간단체에서도 활발한 참여가 이루어지고 있다. 현재 생명의 숲 가꾸기 국민운동본부를 비롯한 여러 NGOs들이 생명의 숲, 학교 숲, 마을 숲 등의 조성을 위한 다양한 숲 가꾸기 사업을 실행하고 있다. 향후 산림의 이산화탄소 흡수 능력을 유지·증진하고자 490만 ha에 대한 숲 가꾸기 사업을 2022년까지 완료하여 온실가스 흡수원으로서 인정받을 수 있도록 추진할 예정이다.

산림재해방지

병해충 예찰 및 방지 : 병해충의 조기발견, 적기의 집중방제로 산림생태계의 건강성 유지 및 산림자원의 손실을 방지하는 것은 곧 온실가스의 흡수원을 유지, 증진시키는 길이며 기후변화 영향에 적응하는 길이기도 하다. 현재 우리나라 전체 산림의 약 5%가 각종 산림병해충 피해를 입고 있으며, 특히 소나무류 병해충이 50% 이상을 차지하고 있다. 우리나라는 최근 5년간 매년 전체 병해충발생 면적의 70%를 방제하고 있다. 현재는 예찰기능을 강화하여 조기발견 및 적기 방제로 성과를 제고하고 있으며, 특히 소나무류해충(솔잎혹파리, 솔껍질깍지벌레, 재선충 등)에 대한 중점 방제로 기존 산림의 흡수원을 유지하고자 노력하고 있다. 향후 솔잎혹파리 피해 산림에 대해서는 방제성과 제고를 위해 지역 완결주의로 방제하고자 하며 이중 우량 소나무림지역, 경관보전지역 등을 우선 방제할 계획이다. 다음으로 소나무재선충을 총력 방제하고자 발생 전지역(부산, 양산, 거제 등)에 대한 집중방제로 확산을 차단할 계획이다. 또한 밤나무에 대한 병해충 방제를 위해 2002년부터 40천 ha씩 방제 계획을 수립하였다.

홍수 및 산사태 예방 및 방지 : 산림을 기능별로 구분하고 재해방지기능의 산림에 대해 집중관리하여 산림재해를 예방하고 있다. 또한 소유역 및 중유역단위의 유역안정화 사업을 통해 홍수로 인한 산림재해를 예방하고 있다. 향후에도 산림기능 유역별 사업이외에도 사방사업을 확대하여 산사태예방 및 수해피해를 최소화시킬 것이다.

산불 예방 및 방지 : 산불로부터 국민의 생명과 재산을 보호하고 산림자원의 보호와 자연생태계를 보전하는 것은 곧 산불로 인한 온실가스의 즉각적인 대량 배출을 막고 흡수원을 유지, 증진시키는 효과도 가져온다. 최근 5년간(1997년~2001년) 산불방지 노력에도 불구하고 연평균 539건의 산불로 6,329ha의 산림이 소실되었으며, 특히 2000년 동해안지역 산불로 일시에 23,794ha라는 막대한 산림 피해를 입었다. 산불 발생원인은 대부분 입산자 실화, 논밭두렁 태우기 부주의 등 대부분 사람의 부주의로

인하여 발생되고 있다. 향후 철저한 산불 예방활동 전개로 산불발생을 최소화하고 진화전문인력 및 장비의 확충으로 진화의 효율성을 제고할 계획이다. 구체적인 향후 계획을 보면, 산불방지 경계태세 확립 및 관계부처의 공조체제 강화가 해당된다. 또한 철저한 예방활동과 전국적인 산불홍보 활동을 전개하고 조기감시체계확립과 초동진화 능력을 향상시킬 계획이다.

산림면적유지 및 확대

도시림 및 녹지면적 확대 : 최근 각 지자체 별로 도시민의 생활의 질을 유지, 증진하기 위한 도시림 조성정책이 지자체 단위로 활발히 실시되고 있다. 도시림의 확대는 곧 온실가스 흡수를 증가시키는 결과를 가져온다. 지금까지 많은 지자체에서 도시림을 조성하고 있으며, 서울특별시의 생명의 나무 천만그루심기, 대구광역시의 푸른 대구가꾸기 300만그루심기 등이 그 중 대표적이라고 할 수 있다. 지금까지의 도시림 조성을 ① 도시림 관리모델 개발보급, ② 도시지역 녹지공간확대 및 외곽지역과 녹지고리 구축, ③ 쾌적한 가로환경 조성, ④ 도시림의 삼림욕장, 자연휴양림 등의 휴양학습 공간조성, ⑤ 도시민이 참여하는 녹화운동을 통해 전개되었다. 향후 도시림 증진 정책은 도시지역 녹지공간 확대 및 외곽지역과 녹지고리를 구축하는 정책과 도시민이 참여하는 녹화운동으로 전개될 계획이다. 우선 도시지역 녹지공간 확대 및 외곽지역과 녹지고리를 구축하기 위하여 ① 쓰레기매립장, 공장이전 부지 등을 녹지공원으로 조성하고, ② 단독·공동주택, 주거단지, 학교 등 주위의 짜투리 땅에 나무를 식재하며, ③ 도심녹지→가로수→공원→외곽산림을 나무와 숲으로 연결될 수 있도록 조성할 계획이다. 다음으로 도시민이 참여하는 녹화운동을 전개하기 위하여 ① 지방자치단체별 특색 있는 도시림 가꾸기 사업을 전개하고, ② 나무시장의 확대, 녹화지원센타 및 상담소를 설치하여 운영할 계획이다.

유휴지 및 한계농지 녹화 : 유휴지 및 한계농지에 대한 신규조림을 촉진하기 위하여 지원제도를 운영(산림법 제16조의 4)하고 있다. 유휴토지를 산림으로 전환 시 보조

또는 융자 지원(산림법시행령 제22조의 5)과 같은 경제적 유인책을 두고 있다. 또한 유휴토지의 산림전환 시 조림·육림사업비를 적극 지원하고 있는데, 조림사업비의 경우 국비 70%, 지방비 20%를 지원하고, 육림사업비의 경우에는 국비 40%, 지방비 40%를 지원하고 있다. 이러한 정책은 온실가스 흡수원의 감소를 근본적으로 방지하는 효과를 가져온다. 유휴지에 대한 신규조림의 경우 제4차 산림기본계획기간 동안 연평균 15천 ha를 조림할 계획을 수립하였다. 주요한 정책을 보면, 유휴토지, 한계농지의 산림전환을 적극 추진하여 한계농지에 대하여 식용·약용 등 소득증대용 특용수종을 식재하고 하천부지, 기타 공한지 등에 경관림을 조성할 계획이다.

산지전용억제 : 산림이 무분별하게 다른 용도로 전용되는 것을 막기 위하여 산림법에 전용허가협의제도 및 대체조림비제도를 도입하였다. 또한 「산지관리법」을 2002년에 제정하여 산지전용 허가기준을 정립하고 산리관리위원회의 사전심의제도를 도입하는 등 산림전용 기준을 강화하고 있다. 산지관리법의 주요 골자는 ① 보전과 개발이 조화되는 자연친화적인 개발유도를 위해 산지전용 허가기준 정립 및 산지관리위원회 사전심의제도 도입, ② 산지이용 인·허가체계를 개선하여 국민 불편 해소, ③ 산지보전을 위한 산지전용 제한지역 지정·관리 강화, ④ 토사유출·산사태 방지를 위하여 재해방지 명령제도 도입 등으로 정리할 수 있다. 본 법의 제정으로 자연 친화적인 개발을 제외한 무분별한 산지전용이 줄어들 것으로 예상되며, 그 결과 산지전용으로 인한 온실가스 배출 역시 줄어들 것으로 전망된다.

기타 : 국내에서 이루어지는 산림면적 유지 및 확대정책 이외에도 기후변화에 적극적으로 대응하고 탄소 흡수원을 확보하기 위해 해외조림, 북한 황폐지 복구, 사막화 방지 사업 등이 이루어지고 있다.

목재이용증진

목재는 탄소를 저장하는 중요한 역할을 할 뿐만 아니라 이를 원료로 한 제품제조과정에서 철강, 알루미늄, 플라스틱 등 타 원료보다 상대적으로 적은 온실가스를 배출함

으로써 온실가스 저감효과를 가져온다. 우리나라의 경우에는 목재수요량이 계속하여 증가하는 추세이다. 따라서 소경재를 이용한 파티클보드, 섬유판 제조나 연료에너지 활용을 통해 탄소저장고의 용량을 더욱 증가시키는 정책을 펴고 있다. 즉, 장시간 탄소저장이 가능하고 생산 및 사용 시 환경에 부담을 적게 주는 목제품의 보급 확산과 폐목재 재활용 시스템을 구축하고자 국가는 목재사용을 촉진하고 있으며, 그 대책으로 폐목재 재활용 의무화 및 인센티브제도를 실시하고 있다.

1998년 12월 31일 건축폐목재가 지정부산물로 지정되어 재활용 용도와 목표율이 정해졌다. 이에 따라 건축폐목재의 재활용 목표율, 용도 등과 같은 구체적인 사항을 건축폐재배출사업자의 재활용지침(환경부 고시 제1999-117호) 개정을 통해 명시하였다. 개정의 주요 골자는 ① 중점관리대상건설사업자가 건축폐목재에 대해 매년 재활용계획을 수립하도록 의무화하고(제5조제1항), ② 중점관리대상건설업자가 건축폐목재의 재활용을 촉진하기 위해서 분리시설, 절단시설을 설치·운영할 수 있도록 하며(제6조제2항), ③ 중점관리대상건설업자가 준수해야할 재활용 목표율을 30%로 설정하고(제8조 관련 별표3), ④ 재활용 용도를 파티클보드, 섬유판 제조용, 연료용 및 사료용으로 지정(제7조 관련 별표1) 하는 것 등으로 요약할 수 있다. 국가는 폐목재의 재활용 촉진을 위해 방부처리 목제품 사용 확대 및 비목재 제품의 목재제품 대체를 촉진함과 동시에 폐목재를 사용하는 보드업체에 원자재구입자금을 융자해 주고 있다. 또한 버려지는 소경재를 활용하기 위하여 간벌 소경재 활용장비에 지원을 하고 있다. 향후 간벌 소경재의 활용에 따라 이산화탄소의 저장기간을 늘리고 타 화석연료의 사용을 대체하는 효과를 기대할 수 있다.

통계체계구축

탄소배출권 거래제도와 관련하여 온실가스 흡수에 대한 통계체계가 국제적으로 마련되고 있다. 따라서 온실가스관련 국가평가보고서를 위해서는 산림온실 통계체계구축은 필수적이다. 산림청에서는 2002년과 2003년에 OECD 산림환경통계 대한 연구를 통해 산림환경통계를 위한 기반을 갖추고 있다.

홍보 및 교육

우리나라는 기후변화협약과 지구온난화에 대한 교육과 홍보의 강화를 통해 의무부담 방안의 국민적 합의를 도출하고, 개별 소비주체가 자발적으로 노력을 할 수 있는 여건을 조성하고 있다. 이를 위하여 대상별, 수단별, 단계별로 체계적이고 구체적으로 접근하여 계층별로 차별화된 교육 및 홍보를 실시하고 있다. 대상별로 특성화된 홍보를 추진하기 위해 홍보대상을 여론 주도층과 산업계 종사자, 일반대중으로 구분하여 홍보의 효율성을 높이고 있다. 텔레비전 및 신문 등 미디어를 통한 홍보를 강화하고 있으며, 각종 홍보물을 제작·배포함으로써 에너지절약 및 환경보전 의식을 확산시키는데 노력하고 있다. 또한 민간단체와 같이 각종 협력사업을 확대하고, 각종 행사들을 개최함으로써 범국민 대상 홍보를 강화하고 있다.

기후변화의 피해와 예방방법을 교육하여 지구환경문제에 대한 올바른 가치관을 확립시켜 에너지절약 및 환경보전의 생활화를 유도함으로써 지속적이고 근원적인 온실가스의 저감을 꾀하고 있다. 초·중·고등학교 정규 교과과정에 기후변화협약, 에너지절약 등의 관련 내용을 반영하여 체계적인 환경 및 에너지교육을 실시하고 있으며, 학교재량 활동시간을 통해서도 관련 교육을 실시하고 있다. 또한 기후변화협약과 관련하여 학계의 관심을 제고하고 전문인력을 육성하며 전문연구기반을 확충하고자 특성화한 대학원을 지정하여 정책 대응부문 및 협상 관련 국제전문가 육성, 기업체 기후변화협약 전담인력 육성, 통계분석 등에 관한 관련 연구를 중점적으로 실시하고 있다.

연구활동

기후변화의 직간접적인 영향분석 등의 제반연구와 각종 기술개발 관련 지원을 통하여 국내 기술개발능력을 획기적으로 개선하고, 연구 기술수준이 선진국 수준에 근접하도록 연구 및 기술개발사업을 추진하고 있다. 이러한 사업들이 에너지, 수송, 농축산, 임업, 해양, 대기, 자연생태계 등 사회 전 분야에 걸쳐 광범위하게 수행되고 있으며, 정부 각 부처들은 해당 담당분야와 업무의 특성을 살려 연구기반 구축을 위한 중장기 종합계획을 수립, 추진하고 있다. 또한 정부는 선정된 연구 및 기술개발 과제들을 국책사업으로 수행함으로써 연구재원을 안정적으로 지원하고 있다.

임업부문에서는 온실가스 흡수 및 배출과 관련된 배출통계, 토양탄소 및 지구온난화에 의한 산림생태계의 구조와 기능의 변화에 대한 연구가 수행되고 있다. 한편, 기후변화와 관련된 국내 관측활동은 대기부문, 해양부문 그리고 임업부문을 중심으로 활발히 이루어지고 있다. 또한, 지구환경변화에 따른 산림생태계의 구조와 기능의 변화를 파악하기 위하여 국립산림과학원에서는 대표적인 산림지역에서 조사와 모니터링을 수행하고 있다. 대상지역으로 온대북부지역의 계방산지역, 온대중부지역의 광릉시험림, 온대남부지역의 남해 금산지역, 산불피해지인 삼척지역을 장기생태연구지로 설정하였다. 각 조사지에서 숲의 구조와 종조성, 산림순생산성, 생물다양성, 계류수질과 물순환, 대기오염 및 양분순환, 개엽시기, 산림미기상 등 산림생태계의 구조와 기능적 요소들에 대하여 주기적으로 조사하고 있다. 또한 광릉시험림에서는 플럭스타워와 측정시스템을 구축하여 다양한 육상생태계의 탄소, 에너지 및 수분의 유출입을 모니터링하고 있다.

제6장 결론 및 향후 연구계획

본 연구는 기후변화의 부문별 영향평가를 실시하고, 평가결과를 바탕으로 우리나라에서 기후변화로 인한 취약부문을 확인하며, 취약부문의 적응능력 향상을 위한 통합적이고 효과적인 국가 적응정책 시스템 구축이라는 목표하게 기획되었으며, 2005, 2006, 2007년에 걸쳐 3년 동안 연차적으로 수행된다. 또한 본 연구는 기후변화 영향의 다양성과 복잡성을 고려하여 부문별 전문 연구기관과의 협동연구로 추진되고, 우리나라의 미래 기후변화로 인한 영향의 취약성 확인과 적응조치 마련을 위한 의견수렴의 도구로써 '기후변화적응포럼'을 구성하여 운영하고 있다.

기후변화의 일차적 영향은 자연생태계의 변화로 시작된다고 볼 수 있으나 일차적 영향의 파급효과는 사회·경제적 인간 시스템에 다양하게 나타나므로, 계획된 적응정책은 기후변화 위험관리로 이해될 수 있으며 과학과 정책간의 연계가 매우 중요하다. 특히 적응은 기후변화로 인한 영향, 취약성 평가의 과학적이고 기술적인 사항과 산업, 경제, 사회 등 국가 지속가능발전의 전반적인 측면에서 통합적으로 다루어져야 하므로 관련 연구도 이러한 맥락에서 이루어져야 한다. 적응문제는 두가지 측면에서 중요한 데 하나는 기후변화 영향과 취약성 평가이고 다른 하나는 대응 방안의 개발과 평가부분이다.

본 연구는 기후변화의 과학적 사실은 물론, 기후변화 영향평가를 수자원, 생태계(농업생태계, 산림생태계), 해양/해안, 산업/에너지, 보건/건강부문으로 나누어 진행한다. 이 중 1차년도(2005)에는 기후변화 현상, 영향 및 적응에 대한 개념 소개와 기후변화 영향평가 및 적응에 대한 국내·외 논의동향 파악에 중점을 두는 동시에 농업생태, 산림생태, 산업/에너지, 보건/건강의 4개 부문을 중심으로 영향평가 관련연구에 대한 검토가 이루어진다. 2차년도(2006)에는 수자원, 해양/해안부문의 관련연구 동향 파악과 함께 1차년도의 결과를 바탕으로 기후변화로 인한 미래의 취약부문 확인과 평가를 위한 구체적 기법을 마련하고 한반도에 적용 가능성을 검토한다. 마지막 3차년도(2007)에는 1차, 2차년도 연구결과를 토대로 기후변화 취약부문의 적응능력을 향상시키기 위한 우리나라의 적응정책 프레임워크를 마련한다. 특히 확인된 취약부문

의 피해저감을 위한 부문별 적응 프로그램을 수립하고, 적응대책의 우선순위를 밝혀내며, 적응능력을 제고할 수 있는 방안을 제시한다.

본 연구의 1차년도 주요결과를 요약하면 다음과 같다. 먼저 부문별 영향평가의 다양성과 복잡성을 고려하여 학제적 접근을 원칙으로 하고 부문별로 전문성을 갖는 전문기관을 중심으로 협동연구의 형태로 과제가 추진되었다. 5개 전문기관, 즉 계명대(기후평가), 농업과학기술원(농업), 고려대(산림/임업), 산업연구원(산업/에너지), 보건사회연구원(건강/보건)과의 협동연구를 통한 기후변화 영향평가 결과, 국내에서는 관련통계 구축정도 뿐만 아니라 관련연구가 매우 미미한 것으로 나타났다. 현황에 대한 정확한 파악은 미래를 예측하고 평가하는 2-3차년도 연구에 토대가 되므로 영향평가에 대한 현황파악은 2차년도에도 지속적으로 보완되어야 할 것으로 보인다. 1차년도에 검토・확인된 국내외 주요 부문별 영향평가 및 적응 관련연구는 DB화 하여 홈페이지 (http://k-ccianet.kei.re.kr)를 통해 공개되며 2, 3차 년도에도 관련 자료가 계속 DB화 될 것이다(<부록 3>과 <부록 4> 참조).

자연생태계 영향평가의 일부로 진행된 농업 및 산림생태계 부문은 다른 부문에 비해 비교적 자료축적이 양호한 것으로 나타났다. 먼저 농업생태계 부문의 영향평가 연구 검토결과를 보면, 기후변화가 주요 과수의 만개일, 지역별 서리발생일, 벼의 이앙기 및 출수기 등에 영향을 미치는 것으로 조사되었으며, 작물에 큰 영향을 미치는 호우나 태풍의 빈도수가 증가함에 따라 그 피해액 역시 1980년 이후 급격히 증가한 것으로 보고되었다. 농업기후학적 측면에서 작물재배 가능지역이 대부분 북상할 것으로 예상되며, 기존의 작물별 재배적지에서의 생산성과 안정성이 크게 위협받을 것으로 보인다 (농촌진흥청, 1981; 윤성호와 이정택, 2001; 서형호, 2003; 심교문 외, 2004; 김영국 외, 2005). 현재 농업부문에는 기후변화 관련연구 수행을 위해 농촌진흥청 산하에 '기후변화협약 특별대책단'이 구성되어 연구사업을 기반구축사업, 부문저감사업, 적응기반사업으로 구분하여 진행하고 있다. 이 중 적응기반사업은 농업 기상재해를 포함한 기후변화 영향평가를 중심으로 이루어지고 있다.

기후변화가 산림/임업에 미치는 영향은 국가 및 지역에 따라 그리고 연구 혹은 모니터링의 수준과 기간에 따라 매우 다르다. 그러나 크게 산림생태계, 산림생장 및 생

산성, 산림재해, 임업에의 영향으로 구분지어 생각할 수 있다. 국내 관련연구를 살펴보면 국립산림과학원의 자체연구사업과 과학기술부 연구사업으로 식생대 이동, 산림생산성 변화예측, 생물계절변화, 생물다양성 예측 등이 수행되었으며, 일부 적응전략도 제시된 바 있다(임종환・신준환, 2005). 한국환경정책・평가연구원에서는 한반도 식생대 변화를 예측한 바 있고(전성우, 2002, 2003), 일부 학계에서 특정지역의 생태계에 대해 민감성과 취약성을 평가한 바 있다(공우석, 1999, 2000). 한편 정부차원에서는 산림청이 탄소흡수원 10개년 계획(2005.3)을 마련하여 추진하고 있으며, 동 계획은 기후변화협약대응 제3차 종합대책과 환경부와 기상청이 설립한 한국기후변화협의체(KPCC)와 연계하여 진행될 예정이다. 탄소흡수원 10개년 계획에는 산림의 탄소흡수원으로서의 역할 증대뿐만 아니라 기후변화에 따른 산림생태계 영향평가 및 적응 관련연구와 모니터링 체계구축 강화도 중요한 연구 분야로 포함되어 있다. 특히 지속가능한 산림경영을 통한 적응정책 수립은 산림부문에 있어서 지속가능발전의 틀 안에서 적응을 연계시킬 수 있다는 점에서 시사점이 크다.

기후변화로 인한 건강/보건부문의 영향평가 연구는 국내에서는 아직 제한적이다. 특히 기후변화와 질병발생간의 상관관계를 규명하는 작업은 상당한 기간과 통계학적 분석이 필요하기 때문에 관련연구에 대한 장기적인 로드맵 작성이 필요할 것으로 보인다. 따라서 본 연구에서는 인구집단별 유병(有病) 현황을 중심으로 기후변화가 건강/보건에 미치는 영향을 간접적으로 분석하였다. 기후변화로 인한 대기오염 증가로 호흡기계통의 질환이 취약계층인 노인과 어린이를 중심으로 계속 증가할 것으로 전망되며, 실제로 2000년 이후 천식 및 아토피 환자수가 늘어나고 있는 것으로 파악되었다(국민건강보험공단, 2003). 한편, 일반적으로 열 스트레스로 인한 사망은 최고기온이 나타난 1-2일 후에 가장 많이 발생하는 것으로 알려져 있는 데, 우리나라 서울의 경우 29.9℃에서 1℃ 상승할 때마다 사망률이 3% 증가하고 혹서가 7일 이상 지속될 때 사망률은 9% 이상 증가되는 것으로 발표되었다(김소연, 2004).

산업부문에 있어 기후변화 영향평가와 적응관련 국내 사례연구 역시 매우 제한적인 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 산업부문의 영향평가 및 적응 방법론의 개요를 설명하고 관련연구의 방향에 대한 시사점이 제시되었다. 지금까지 기후변화

로 인해 산업부문이 받는 영향평가는 대부분 농업, 임업, 수산업과 같은 일차산업에 국한되어 왔으며, 제조업이나 서비스업 등에 미치는 영향은 그 방향과 정도가 불명확하고 불확실하기 때문에 예측이 어려운 것이 사실이다. 제조업의 경우 기후변화는 최종 소비재 특히 냉방장치, 청량음료, 여름의류와 같은 여름상품에 대한 소비패턴 변화를 가져올 것으로 보이며, 이러한 소비패턴의 변화는 곧 생산과정의 변화를 초래할 것으로 보인다. 또한 기후변화는 건설업 및 서비스업에도 영향을 미칠 것으로 예상되는 데, 특히 여름철 레크리에이션 산업이 평균기온 상승으로 보다 활기를 띠게 될 것으로 보인다. 산업부문에 있어서는 적응정책 수립보다는 기후변화로 인한 영향이 어디서, 어느 정도, 그리고 어떤 경로로 발생하는지에 대한 이해와 평가기법에 대한 연구가 시급히 요구된다.

2006년도의 2차년도 연구는 1차년도 연구에서 제외된 수자원, 해양/해안부문의 관련연구 동향파악과 함께 1차년도의 결과를 바탕으로 기후변화로 인한 미래의 취약부문 확인과 평가를 위한 구체적 기법을 마련하고 한반도에 적용 가능성을 검토한다. 우선 IPCC와 국내・외 공신력 있는 기관에서 권장하는 취약성 평가방법을 조사하는 동시에, 취약부문 선정을 위한 기준을 검토하고 한반도에 적용할 수 있는 평가방법을 이끌어내는 작업을 수행할 계획이다. 또한 우리나라의 미래 기후변화 현상을 정확히 규명하기 위해 지역기후모델을 활용하여 다양한 시나리오를 구축할 예정이다. 이러한 지역기후모델은 부문별 기후변화 영향평가와 접목될 수 있도록 추진되어야 한다. 특히 자연생태계와 같이 미세지형이나 기후에 민감한 부문은 그 영향이 국지적으로 나타날 가능성이 높으며, 따라서 지역기후모델의 활용이 더욱 중요하다.

또한 기후변화협약 상에서도 온실가스 저감의 기후변화 완화와 함께 적응의 필요성이 쟁점이슈로 부상하고 있으며, 제 11차 당사국총회(COP 11)에서는 기후변화 영향, 적응조치에 대한 전 지구적 차원의 '5개년 작업계획'이 채택되었다. 앞으로 기후변화 대응에 있어 적응이슈는 개발도상국과 선진국의 기후변화 협상방향에도 큰 영향을 미칠 것으로 예상되며, 더욱이 2012년 이후의 교토의정서 체제의 행방과도 연계될 것으로 보여 중요성이 더하다고 보겠다. 따라서 2차년도(2006)에는 '5개년 작업계획'의 전개 동향을 면밀히 분석하여 본 연구와 연계, 추진할 계획이다.

한편, 우리나라 국가 적응관련 대응체제에 있어서는 현재 국무조정실 주관하에 각 부처와의 협력에 의해 마련된 기후변화종합대책상의 '기후변화 적응기반구축'이라는 과제 이행만으로는 크게 부족하다. 이러한 점은 기후변화종합대책상의 적응기반구축 부분의 예산이 전체 예산의 0.1% 수준에 불과하다는 것에서도 단적으로 나타난다. 1차년도 연구에서 밝혀진 바와 같이 우리나라는 아직 기후변화 영향평가와 취약성 평가 등 적응대책 수립에 기초가 되는 연구가 축적되지 못한 상황이고, 적응이슈의 중요성에 대한 사회 전반적인 인식도 부족한 실정이다. 따라서 관련연구의 활성화와 적응이슈에 대한 사회적 인식제고가 시급하며, 이러한 맥락에서 최근 환경부와 기상청 간의 한국기후변화협의체(KPCC) 설립은 시사점이 크며 그 기능이 활성화될 수 있는 방안이 마련되어야 한다.

참 고 문 헌

국내문헌

공우석. 1999. “한라산의 수직적 기온 분포와 고산식물의 온도적 범위”. 「대한지리학회지」34(4): 385-393.

_____. 2000. “지구온난화가 식물의 분포에 미치는 영향”. 「자연보존」111: 26-31.

국무조정실. 「제1차, 2차, 3차 기후변화협약대응종합대책」.

국민건강보험공단. 2003. 「건강보험통계연보」.

권원태 외. 2004. "기후변화협약 대응 지역기후 시나리오 산출기술개발(III)". 「기상연구소 연구보고서」 MR040C03. pp.510.

권원태. 2005. “기후변화의 과학적 현황”. 「한국기상학회지」41(2-1): 325-336.

기후변화협약. 2001-2005. "COP 7 - COP 11 당사국총회 의제"

김경환・김백조・오재호・권원태・백희정. 2004. “한반도 기온변화에 나타난 도시화 효과 검출에 관한 연구”. 「한국기상학회지」36(5): 519-526.

김맹기・강인식・곽종흠. 1999. “최근 40년간 한반도 도시화에 따른 기온 증가율의 추정”. 「한국기상학회지」. pp.5, 118-126

김소연. 2004. 「기후변화로 인한 여름철 혹서현상이 사망률에 미치는 영향」. 아주대학교 의학박사학위 논문.

김영국・신진철・최민규・구본철・김석동. 2005. "CO_2 농도 증가에 따른 벼의 생육 반응". 「한국작물학회지」50: 17-185.

김해동・ 박명희・추현아. 2003. "한반도의 도시규모에 따른 도시건조화 유형에 관한 연구". 「한국지구과학회 추계 학술발표회 논문집」. pp.197-200.

농림부. 「농림통계연보」. 각년호.

농업과학기술원. 2005. 「2005 농업분야 기후변화 적응 및 온실가스 감축 연구 워크숍 발표 자료집」.

농촌진흥청. 1981. 「수도냉해실태분석과 종합기술대책」. pp.192.

산림청. 2001. 「동해안 산불백서 I 」.

_____. 2002. 「산림청 내부자료」.

_____. 각년판. 「임업통계연보」.

서형호. 2002. "고품질 사과생산을 위한 재배적지 세분화". 「원예연구소 2002년도 원예시험연구보고서」. 상록사.

서형호. 2003. “기후변화가 원예작물의 생장과 품질에 미치는 영향(과수를 중심으로)”. 「한국농림기상학회 03년 춘계학술발표논문집」. pp.131-137.

서형호. 2005. “기후변화가 과수 재배에 미치는 영향”. 「기후변화 전문가 워크숍-제3차 기후변화학술대회 및 제2차 기후변화정책 포럼」. pp.33-37.

신준환・임종환. 2003. “기후변화가 한반도 산림생태계에 미치는 영향과 대응방안”. 「2003년 기후변화 포럼 및 학술대회」. pp.82-100.

신진철・이충근・윤영환・강양순. 2000. “기후변화에 따른 작물 생산성반응과 기술적 대응”. 「한국작물학회, 한국농림기상학회, 한국농업정보과학회 공동심포지엄 및 학술발표회 - 기후변화에 대응한 농작물 생산관리」. pp.12-27.

심교문 외. 2003. “20세기 한국의 농업기상재해 특징”. 「한국농림기상학회지」50: 255-260.

_____. 2004. “최근의 기후변화를 고려한 가을보리 안정재배지대 구분”. 「한국농림기상학회지」6: 218-234.

오성남・김연희・현명숙. 2004. "한국의 기후변화 도시화 영향 1973-2002". 「한국기상학회지」40(6): 725-740.

유근춘 외. 2003. “국민의료비 변동요인 분석과 비용효과성 제고방안”. 「한국보건사회연구원(연구보고서 2003-1)」.

윤성호・이양수・이정택. 1996. “농업생태계내 투입에너지 효율 및 탄소 순환 측정”. 「1995년도 시험연구사업보고서(농업과학기술원 농업환경부편)」. pp.625-642.

윤성호・이정택. 2001. “기후변화에 따른 벼 적정 등숙기간의 변동과 대책”. 「한국농림기상학회지」3: 55-70.

이정택・심교문・이양수・김건엽. 2003. “기후변화가 농작물 생육환경과 작물 생산에 미치는 영향”. 「제1차 기후변화 학술대회 - 기후변화, 기후변화와 환경 그리고 우리 사회」. pp.34-40.

임재규. 2003. 「기후변화협약에 의거한 제2차 대한민국 국가보고서」. 기후변화협약대책위원회. pp.123.

임종환. 2002. “태풍 ’루사’에 의한 산사태 발생 및 산림생태계에 대한 영향 - 태풍 ‘루사’ 특별 심포지엄”. 「한국농림기상학회 추계학술발표 논문집」. pp.35-44.

임종환・신준환. 2005. “지구온난화에 따른 산림식생대 이동과 식물계절 변화”. 「자연보존」130: 8-17.

전성우 외. 2001. 「기후변화에 따른 생태계 영향평가 및 대응방안 연구 Ⅱ - 삼림부분을 중심으로」. 한국환경정책・평가연구원 연구보고서. pp.67-101.

_____ . 2002. 「기후변화에 따른 생태계 영향 평가 및 대응방안 연구 III - 삼림부분을 중심으로」. 한국환경정책・평가연구원 연구보고서. pp.225.

정영호. 2002. “질병의 연령별 성별 경제적 비용 추계: 1999년”. 「보건복지포럼」70: 65-72.

조광우・김지혜・정휘철. 2002. 「지구온난화에 따른 한반도 주변의 해수면 변화와 그 영향에 관한 연구 II」. 한국환경정책・평가연구원. pp.220.

최광용 외. 2005. “높은 체감온도가 서울의 여름철 질병사망자 증가에 미치는 영향, 1991-2000”. 「예방의학회지」38(3): 283-290.

최기선・변희룡. 2005. 「한반도 Warm Season의 시종 및 이와 연관된 기후의 장기변동」41(2-1): 301-314.

최영은. 2002. "남부지방의 강수강도와 극값의 변화경향에 관한 연구". 「한국환경영향평가학회」11(3): 189-203.

최영은. 2004. "한국의 기후 중 제 11장 한국 기후의 과거와 현재". 「기상청 기상연구소」. pp.305-316.

통계청. 각년호.「한국통계연감」.

한화진 외. 2003. 「기후변화대응 환경부분 종합계획 수립」. 환경부 용역보고서.

행정자치부 중앙재해대책본부. 2003. 「재해연보」. pp.880.

행정자치부. 각년호. 「지적통계연보」.

외국문헌

Alcamo, J.,A.Bouwman, J.Edmonds, A. Grubler, T. Morita, and A. Sugandhy. 1995. 「Radiative Forcing of Climate Change and An Evaluation of the IPCC IS92 Emission scenarios」. Cambridge University Press, Cambridge.

Atsunobu Ichikawa. 2004. "Global Warming (eds.)- The Research Challenges - A Report of Japan's Global Warming Initiative". Springer. pp.87.

Beebee. 1995. "Amphibian breeding and climate". *Nature* 374: 219-220.

Boer, G. J., G. Flato and D. Ramsden. 2000. "A transient climate change stimulation with greenhouse gas and aerosol forcing: projected climate to the twenty-first century". *Clim. Dyn.* 16: 427-450.

Campbell-Lendrum D. H. et al.. 2003. "How much disease could climate change cause?“ In: McMichael A. J. et al.. ed Climate change and health: risks and responses. WHO.

Canada. 2002. "Climate Change Impacts and Adaptation Directorate Natural Reso urces Canada".

Casimiro, E. & Calheiros, J. M.. 2002. "Human Health. In: Climate Change in Portugal: scenarios, impacts and adaptation measures-SIAM project". Santos, F.D. et al. (eds.). Lisbon, Portugal, Gradiva.

Checkley W. et al.. 2000. "Effect of El Niño and ambient temperature on hospital admissions for diarrhoeal diseases in Peruvian children". Lancet 355: 442-450.

Crick et al.. 1997. "UK birds are laying eggs earlier". *Nature* 388: 526.

Cuculeanu, V., Marica, A., Simota, C.. 1999. "Climate change impact on agricultural crops and adaptation options in Romania". *Climate Research* 12: 153-160.

Curriero F. et al.. 2002. "Temperature and mortality in 11 cities of the eastern United States". *American Journal of Epidemiology* 155: 80-87.

Diaz J. H.. 2004. "The public health impact of global climate change, Fam Community Health" 27(3): 218-29.

Dore Mohammed H.I. and Burton Ian. 2000. 「The Costs of Adaptation to Climate Change in Canada: A Stratified Estimate by Sectors and Region s」. A.I.R.G.. Environment Canada.

Downig, T.E., Butterfield, R.E., Edmonds, B., Knox, J.W., Moss, S., Piper, B.S. and Weatherhead, E.K. (and the CCDeW project team). 2003. 「Climate Change and the Demand for Water」. Research Report, Stockholm Environment Institute Oxford Office, Oxford.

Downing, T.E.. 1991. "Vulnerability to hunger in Africa." *Global Environmental Change* vol 1: 365-380.

El-Zein A. & Tewtel-Salem M.. 2005. "On the Association between high temperature and mortality in warm climates, Science of the Total Environment".

Emori, S., T. Nozawa, A. Ae-Ouchi, A. Numaguti, M. Kimoto and T. Nakajima. 1999. "Coupled ocean-atmosphere model experiments of future climate change with an explicit representation of sulfate aerosol scattering". *J. Met. Soc. Japan* 77: 1299-1307.

Emori, S., T.Nozawa, A.Numaguchi and I.Uno. 2000. "A regional climate change projection over East Asia". Preprint Volume of the 11th Symposium on Global Change Studies. 9-14 January 2000. Long Beach, Cal.. pp.15-18.

Ezzati M. et al.. 「Comparative quantification of health risks: global and regional burden of disease due to selected major risk factors」.

Fujii, Y., and K. Yamaji. 1998. "Assessment of Technological Options in the Global Energy System for Limiting the Atmospheric CO_2 Concentration". *Environmental Economics and Policy Studies* 1(2): 113-139.

Giorgi, F. and R. Francisco. 2000. "Evaluating uncertainties in the prediction of regional climate change". *Geophys. Res. lett.* 27: 1295-1298.

Glantz M. H. et al.. 2002. "Once burned, twice shy? Lessons learned from the 1997-98 El Niño". Tokyo, United Nations University.

Gleick, P.. 2000. 「The World Water 2000-2001」. Island Press.

Hadley Centre. 1999. 「Climate change and its impacts: stabilisation of CO_2 in the atmosphere」.

Harrison, P.A., Berry, P.M., and Dawson, T.P.. 2001. 「Modelling national resource responses to climate change」.

Henderson-Sellers, A., H. Zahng, G, Berz, K. Emanuel, W. Gray, C. Landsea, G. Holland, J. Lighthill, S.-L. Shieh, P. Webster and K. McGuffie. 1998. "Tropical cyclones and global climate change: A post-IPCC assessment". *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 79: 19-38.

Holman, I.P., Loveland, P.J.. 2001. 「Regional climate change impact and response studies in East Anglia and North West England (RegIS)」. Final Report of MAFF Project No. CC0337.

Houghton J. T. et al.. 2001. 「Climate change 2001: the scientific basis. Contribution of Working Group Ⅰ to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change」. Cambridge University Press.

Howden, S.M., Reyenga, P.J. and Meinke, H.. 1999. "Global change impacts on Australian weat cropping". Working Paper Series 99/04, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation. Resource Futures Program, Australia. pp.122.

Hu, Z.-Z., L. Bengtsson and K. Arpe. 2000. "Impact of the global warming on the Asian winter monsoon in a coupled GCM". *J. Geophys. Res.* 105: 4607-4624.

Hulme M. et al.. 2002. 「Climate change scenarios for the United Kingdom: the UKCIP02 scientific report」. University of East Anglia.

IPCC. 1990. 「Climate Change, The IPCC Scientific Assessment」. J.T. Houghton, G.J. Jenkins and J.J. Ephraums (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK. pp.365.

IPCC. 1992. 「Climate Change, 1992: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment」. J.T. Houghton, B.A. Callander and S.K. Varney (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK. pp.198.

IPCC. 1995. 「Climate Change 1995. Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses」. Cambridge University Press, London. pp.878.

_____. 1997. 「IPCC Special Report - The Regional Impacts of Climate Change: An Assessment of Vulnerability - Summary for Policy makers」. pp.27.

_____. 2001a. 「Climate Change 2001: The Scientific Basis」. Houghton et al. (eds.). Cambridge University Press, UK. pp.944.

_____. 2001b. 「Cimate Change 2001: Impacts, Adaptation & Vulnerability」. Third Assessment Report.

_____. 2001c. 「Climate Change 2001: Synthesis Report」. pp.184.

IPCC. 1996. 「Climate Change 1995. The Science of Climate Change」 J. T. Houghton et al. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK. pp.572.

Jacoby, G.C., R.D. D'Arrigo, and T. Davaajamts. 1996. "Mongolian tree rings and 20th-century warming". *Science* 273: 771-773.

Jan Corfee-Morlot, Martin Berg and Georg Caspary. 2003. "Exploring Linkages between Natural Resource Management and Climate Adaptation Strategies," OECD Working Party on Global and Structural Policies on Development Co-operation and Environment.

Jetten T. H., Focks D. A.. 1997. "Potential changes in the distribution of dengue transmission under climate warming". *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 57(3): 285-287.

Jiang, K., T. Morita, T. Masui, and Y. Matsuoka. 2000. "Global Long-term GHG Mitigation Emission Scenarios based on AIM". *Environmental Economics and Policy Studies* 3(2): 239-254.

JPCC. 1997. Nishioka, S. and Harasawa, H.. 「Global warming and Japan (2nd JPCC report)-assessment on its effects to nature and human life」. Kokon Press(in Japanese).

JPCC. 2003. Nishioka, S. and Harasawa, H.. 「Global warming and Japan (3rd JPCC report)-assessment on its effects to nature and human life」. Kokon Press(in Japanese).

Karl, T.R., V.E. Der, D.R. Easterling, C. Folland, D.J. Hofmann, S. Levitus, N. Nicholls. D. Parker and G.W. Withee. 「1995a: Critical issues for long-term climate monitoring」. *Climate. Change* 31: 185-221.

Kato, H., H.Hirakuchi, K. Nishizawa and F.Giorgi. 1999. "Performance of the NCAR RegCM in the simulation of June and January climates over eastern Asia and the high-resolution efect of the model". *J. Geophys. Res.* 104: D6: 6455-6476.

Kato, H.. 1996. "A statistical method for separating urban effect trends from observed temperature data and its application to japanese temperature records". *J. Meteor. Soc. Japan* 74: 639-653.

Kitoh, A., S.Yukimoto, A.Noda and T.Moti. 1997. "Simulated changes in Asian summer monsoon as times of increased atmospheric CO_2". *J. Meteor. Japan* 75: 1019-1031.

Knutson, T., R. E. Tuleya and Y. Kurihara. 1998. "Simulated increase of hurricane intensities in a CO_2-warmed climate". *Science* 279: 1018-1020.

Knutson, T., R. E. Tuleya. 1999 . "Increased hurricane intensities with CO_2 -induced warming as simulated using the GFDL hurricane prediction system". *Climate Dyn.* 15: 503-519.

Kovats RS, Hajat S, Wilkinson P.. 2004. "Contrasting patterns of mortality and hospital admissions during hot weather and heat waves in Greater London, UK". *Occup. Environ. Med.* 61(11): 893-898.

Kovats RS. 2004. "Will climate change really affect our health? Results from a European assessment". *J. Br. Menopause Soc.* 10(4): 139-144.

Körner, C. and J.A. Arnone Ⅲ. 1992. "Responses to elevated carbon dioxide in artificial tropical ecosystems". *Science* 257: 1672-1675.

Kwon et al.. 2002. "Effects of the Asian dust events on daily mortality in Seoul". *Korea. Environ. Res.* 90: 1-5.

Mabuchi, K.,Y. Sato and H. Kida. 2000. "Numerical study of the relationship between climate and the carbon dioxide cycle on a regional scale". *J. Meteor. Soc. Japan* 78: 25-46.

Manabe, S., and R. T. Wetherald. 1967. "Thermal equilibrium of atmosphere with a given distribution of relative humidity". *J. Atmos. Sci* 24: 241-259.

Markham, A., N. Dudley, and S. Stolton. 1993. "Some like it hot: Climate change, biodiversity and the survival of species". 「WWF International CH-1196 Gland. Switzerland」. pp.144.

Martens P. et al.. 1999. "Climate change and future populations at risk from malaria". *Global Environmental Change* 9: S89-S107.

Matsuoka, Y., M. Kainuma. and T. Morita. 1995. "Scenario Analysis of Global Warming Using the Asian Pacific Integrated Model(AIM)". *Energy Policy* 23(4-5): 357-371.

Matsuoka, Y.. 2000. "Development of a Stabilization Scenario Generator for Long-term Climatic Assessment". *Environmental Economics and Policy studies* 3(2): 255-266.

Mattews, R.B., Kropff, M.J., and Bachelet, D.. 1997. "Simulating the impact of climate change on rice production in Asia and evaluating options for adaptation". *Agricultural Systems* 54: 399-425.

McCarthy et al.. 2001. 「Climate change 2001. Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group Ⅱ to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change」. Cambridge University Press.

McGinn et al.. 1999. "Agroclimate and crop response to climate change in Alberta, Canada". *Outlook on Agriculture* 28: 19-28.

McMichael A. et al.. 2003. 「International study of temperature and heat waves on urban mortality in low and middle income countries」. London school of Hygiene and Tropical Medicine.

McMichael, A. J., et al.. 2003. "Climate Change and Human Health: Risks and Responses". WHO. pp.152.

Melillo et al.. 1993. "Global climate changes and terrestrial net primary production". *Nature* 363: 234-240.

Mendelsohn, R. and A. Dinar. 1999. "Climate change, agriculture, and developing countries: does adaptation matter?". *The World Bank Research Observer* 14(2): 277-293.

_____, W. Nordhaus, and D. Shaw. 1996. "Climate impacts on aggregate farm value: accounting for adaptation". *Agricultural and Forest Meteorology* 80(1): 55-66.

Michelozzi P. et al.. 2005. “The impact of the summer 2003 heat waves on mortality in four Italian cities”. *Euro Surveillance* 10(7).

Michelozzi P.. "Evaluation of the Rome heat/health watch/warning system". Workshop on Vulnerability to Thermal Stresses, 5-7 May, Freiburg, Germany.

Millio N.. 1981. 「Promoting Health Through Public Policy. Philadelphia」. F.A. Davis.

Mitchell J. F. B., T.C. Johns, J.M. Gregory and S. F. B. Tett. 1995. "Climate response to increasing levels of greenhouse gases and sulphate aerosols". *Nature* 376: 501-504.

Mori, S., and M. Takahashi. 1998. "An Integrated Assessment Model for New Energy Technologies and food Production An Extension of the MARIA Model". *International Journal of Global Energy Issues* 11(1-4): 1-17.

Mori, S.. 2000. "Effects of Carbon Emission Mitigation Options under Carbon Concentration Stabilization Scenarios". *Environmental Economics and Policy Studies* 3(2): 125-142.

Morita, T., and H. Lee. 1998a. IPCC SRES database, Version 1.0, Emissions Scenario Database prepared for IPCC Special Report on Emission Scenarios(http://www.cger.nies.go.jp/cger-e/db/ipcc.html).

Morita, T., and H. Lee. 1998b. IPCC Emission Scenarios Database. MitiGation and Adaptation Strategies for Global Change 3(2-4): 121-131.

Morita, T., N. Nakicenovic and J. Robinson. 2000a. "Overview of Mitigation Scenarios for Global Climate Stabilization based on New IPCC Emission Scenarios(SRES)". *Environmental Economics and Policy Studies* 3(2): 65-88.

Morita, T., N. Nakicenovic, and J. Robinson. 2000b. 「The Relationship between Technological Development Paths and the Stabilization of Atmospheric Greenhouse Gas Concentrations in Global Emissions Scenarios」. CGER Research Report(CGER-I044-2000)". Center of Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies.

Nakicenovic N, Swart R, (eds.). 2000. 「Emissions scenarios. A special report of Working Group Ⅲ of the Intergovernmental Panel on Climate Change」. Cambridge University Press.

Nicholls, N. and S. Leatherman. 1995. "The implication of accelerated sea-level rise for developing countries: a discussion". *Journal of Coastal Research* 14: 304-323.

NIES. 1993. 「The Potential Effects of Climate Change in Japan」(eds. S. Nishioka). Center for Global Environment Research, National Institutes for Environmental Studies.

Nishioka, S., Harasawa, H.. 1998. "Global Warming - The Potential Impact on Japan". Springer.

Noda et al.(野田 彰·行本誠史·前田修平·内山貴雄·柴田青孝·八牧幸子). 2000. "氣象研究所新大氣海洋結合モデル(MRI-CGCM2)による地球溫暖化實驗". 日本氣象學會2000年春季大會講演予橋集. pp.170.

Noda, A., S. Nakagawa, T. Motoi, S. Yukimoto and T. Tokioka. 1996. "Global warming induced by CO_2 and the Okhotsk Sea". *J. Remote Sensing Soc. Japan* 16: 89-99.

Nomoto, S.. 1995 . "Climatic variation in Yunnan Provienxe, China". *Int. Sympo. Paleoenvironmental change in Tropical-Subtropical Monsoon Asia.* Proc. 24: 21-31.

OECD. 1998. 「Towards Sustainable Development - Environmental Indicators」.

Oh, Jai-Ho, T. Kim, M-K Kim, S-H Lee, S-K Min, and W-T Kwon. 2004. "Regional climate simulation for Korea using dynamic downscaling and statistical adjustment". *J. Meteor. Soc. Japan* 82: 1629-1643.

Pattenden S. et al.. 2003. "Mortality and temperature in Sofia and London". *Journal of Epidemiology and Community Health* 57: 628-633.

Pirard P. et al.. 2005. "Summary of the mortality impact assessment of the 2003 heat wave in France". *Euro Surveillance* vol. 10, No. 7.

Qian, W. and Lin, x.. 2004. "Regional trends in recent temperature indices in China". *Climate Research* 27: 119-134.

Rainham D. G.. 2005. "Ecological complexity and West Nile virus: perspectives on improving public health response". *Can. J. Public Health* 96(1): 37-40.

Rana, A., and T. Morita. 2000. "Scenarios for Greenhouse Gas Emissions Mitigation: A Review of Modeling of Strategies and Policies in Integrated Assessment Models". *Environmental Economics and Policy Studies* 3(2): 267-289.

Reilly, J. N. Hohmann, and S. Kane. 1994. "Climate change and agricultural trade: who benefits, who loses?". *Global Environmental Change* 491: 24-36.

Roeckner, E., L. Bengtsson and J. Feichter. 1999. "Transient climate change simulates with a coupled atmosphere-ocean GCM including the troposphere sulfur cycle". *J. Climate* 12: 3004-3032.

Rose, J. B. et al.. 2001. "Climate variability and change in the United States: potential impacts on water- and foodborne diseases caused by microbiologic agents". *Environmental Health Perspectives* vol. 109. Suppl. 2.

Rosenthal, D., H. Greenspecht, and E. Moran. 1995. "Effects of global warming on energy use for space heating and cooling in the United Stated". *Energy Journal* 16(2): 77-96.

Rosenzweig, C. and M. Parry. 1994. "Potential impacts of climate change on world food supply". *Nature* 367: 133-139.

Sasaki, H., Y. Sato, K.Adachi and H.Kida. 2000. "Performance and evaluation of the MRI regional climate model with the spectral boundary coupling method". *J. Meteor. Soc. Japan* 78: 477-489.

Sasaki, H.,H.Kida, T.Koide and M. Chiba. 1995. "The performance of long term integration of a limited area model with the spectral boundary coupling method". *J. Meteor. Soc. Japan* 73: 165-181.

Sato.(佐藤尙毅· 高橋正明). 2000. "首都圏における夏期の降水特性の経年変化". 天氣. 47: 643-648.

Schwartz J. et al.. 1996. "Methodological issues in studies of air pollution and daily counts of death or hospital admissions". *Journal of Epidemiology and Community Health* 50: S3-S11.

Sear C. et al.. 2001.「The impacts of global climate change on the UK overseas territories. Technical report and stakeholder survey」. Tyndall Centre of Climate Change Research.

Shin et al.. 1998. "Ecosystem classification for biodiversity conservation of Korea". Presentation at 83rd meeting of Ecological Society of America, Baltimore, Maryland, USA.

Singh, B., El Maayar, M., Andre, P., Bryant, C.R. and Thouez, J.P.. 1998. "Impacts of a GHG-induced climate change on crop yields: effects of acceleration in maturation, moisture stress and optimal temperature". *Climatic Change* 38: 51-86.

Smith et al.. 1996. "Adapting to climate change: an international perspective". Springer-Verlag, New York, NY, USA. pp.475.

_____. 1996. "Vulnerability and adaptation to climate change: Interim results from the U.S. country studies program". *J. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands and Boston, MA, USA*. pp.366.

Smith, T.M. and H.H. Shugart. 1993. "The transient response of terrestrial carbon storage to a perturbed climate". *Nature* 361: 523-526.

Smoyer K. E. et al.. 2000. "Heat-stress-related mortality in five cities in Southern Ontario: 1980-1996". *International Journal of Biometeorology* 44(4): 190-197.

Sohngen, B. and R. Mendelsohn. 1998. "Valuing the impact of large-scale ecological change in a market: the effect of climate change on U.S. timber". *The American Economic Review* 88(4): 686-710.

Sparks, T.H. and Carey. 1995. "The responses of species to climate over two centuries: an analysis of the Marsham phenological record 1736-1947". *Journal of Ecology* 83: 321-329.

Stuczyinski, T., G. Demidowicz, T. Deputat, T. Gorski, S. Krazowicz, and J. Kus . 2000. "Adaptation scenarios of agriculture in Poland to future climate change". *Environmental Monitoring and Assessment* 61(1): 133-144.

Tan J. et al.. 2004 "An operational heat/health warning system in Shanghai". *Journal of International Biometeorology* 48(3): 157-62.

Tanita Yasunari(谷田貝亞紀代 · 安成哲三). 1990. 「中國の過去36年間(1951-1986)の氣候変動」. 日本氣象學會講演予稿集. 57: 77-77.

Thornley et al.. 1991. "Terrestrial carbon storage resulting from CO_2 and nitrogen fertilization in temperate grasslands". *Plant, Cell and Environment* 14: 1007-1011.

Tokioka, T., A. Noda, A. Kitoh, Y. Nikaidou, S. Nakagawa, T. Motoi, S. Yukimoto and K. Takata. 1995. "A transient CO_2 experiment with the MRI CGCM - Quick report-". *J. Meteor. Soc. Japan* 73: 817-826.

Tung, C.-P. and Haith, D.A.. 1998. "Climate change, irrigation, and crop response". *Journal of the American Water Resources Association* 34: 1071-1085.

UK DEFRA. 2001. "Climate Change: United Kingdom's Third National Communication. Summary of Climate Change Impacts and Responses".

UK DEFRA. 2004. "DEFRA Climate Change Impacts and Adaptations Research Programme (CC03)". Project summaries report. 1987-2003.

UNDP. 2001. 「An Adaptation Policy Framework: Capacity Building for Stage Ⅱ Adaptation」.

UNDP. 2003. 「User's Guidebook for the Adaptation Policy Framework-Final Draft」. Capacity Development and Adaptation, Global Environment Facility, Energy and Environment Group. Bureau of Development Policy, New York.

UNEP. 1998. 2 [Feenstra, J., Burton, I., Smith, J. and Tol, R. (eds.)]. 「Handbook on methods for climate impact assessment and adaptation strategies」. United Nations Environment Program, Institute for Environmental Studies, Amsterdam, The Netherlands.

USDA FS. 1996. 「Global Change Research Program Highlights: 1991-1995」.

USDA FS. 2000. 「The Impacts of Climate Change on American's Forest」.

Walsh, K. and B. F. Ryan. 2000. "Tropical cyclone intensity increase near Australia as a result of climate change". *J. Climate* 13: 3029-3036.

West, J. and H. Dowlatabai. 1999. "On assessing the economic impacts of sea-level rise on developed coasts". In Climate Change and Risk(Downing, T. A. Olsthoorn, and R. Tol eds.) Routledge, London, UK. 205-220.

WHO. 2003. 「Climate Change and Human Health; risks and responses」.

World Health Organization(Europe). 2003. 「Methods of assessing human health vulnerability and public health adaptation to climate change」.

World Health Organization(Europe). 2004. 「Heat-waves: risks and responses」.

World Health Organization. 1999. 「El Niño and Health」.

World Health Organization. 2005. 「Health and Climate Change: the 'now and how': a policy action guide」.

Yamaguchi et al.,(山口和喜·野田 彰·八牧幸子). 1999. 「自然変動および温暖化予測のモデル相互比較」. 日本氣象學會 1999年秋季大會講演予橋集. A154.

Yamaji, K., J. Fujino, and K. Osada. 2000. "Global Energy System to Keep the Atmospheric CO_2 Concentration at 550 ppm". *Environmental Economics and Policy Studies* 3(2): 159-172.

Yates, D.N. and Strzepek, K.M.. 1998. "An assessment of integrated climate change impacts on the agricultural economy of Egypt". *Climatic Change* 38: 261-287.

Yoshimura, J.,M.Sugi and A.Noda. 1999. "Influence of greenhouse warming on tropical cyclone frequency simulated by a high resolution AGCM. Preprints, 10th Symp. on Global Change Studies". *Amer. Meteor., Dallas, Texas, Soc.* PP.555-558.

Yukimoto, S., A. Noda, A. Kitoh, M. Sugi, Y. Kitamura, M. Hosaka, K. Shibata, S. Maeda and T. Uchiyama. 2001. "The new Meteorological Research Institute coupled GCM(MRI-CGCM2) HVmodel climate and its variability". *Pap. Met. Geophys* 51: 47-88.

국토교통성 a. 2002.「 2002年 世界の洪水 ・ 渴水被害について」 日本 國土交通省.

국토교통성 b. 2002.「 災害列島 2002」. 日本 國土交通省. pp.30-37.

石井柴郎, 大熊健司 2002. 「地球溫暖化研究の最前線(環境の世紀の知と技術 2002)」. 氣候変動研究分野報告書.

日本氣象廳. 1999. 「異常氣象 Report」. 大藏省印刷局. pp.341.

일본하천협회. 2003. 「水害レポート2003」.

日本氣象廳. 2002. 「20世紀の日本の氣候」. pp.116.

林 陽生ら. 2001. 「地球溫暖化による生物圈の脆弱性の評価に關する研究 (4) 農業生態系の脆弱性に關する研究」.

顧衛 ・ 早川誠而 ・ 李寧 ・ 馬楠. 2001. "急激な都市化伴う都市氣候の変化~中國深ヤン市をとして~". 天氣. 48: 523-533.

環境省. 2001. 「地球溫暖化の日本への影響 2001」.

홈페이지 및 기타자료

국립농산물품질관리원. http://www.naqs.go.kr/statisticsInfo/statisticsInfo_01.jsp/

기상연구소. http://crlweb.metri.re.kr/data/oasis_001.pdf/ ("한반도 기후 100년 변화와 미래 전망")

농업기상정보시스템. http://www.wheater.rda.go.kr/

매일신문 HP: http://www12.mainichi.co.jp/news/, 日本 每日新聞.

산업기상정보허브. http://industry.kma.go.kr

중국정보국, 2003 HP: http://news.searchina.ne.jp/topic/030.html

BBC News HP: http://news.bbc.co.uk/1/hi/world/

IFRC: http://www.reliefweb.int/w/rwb.nsf

UNDMT: http://www.reliefweb.int/w/rwb.nsf

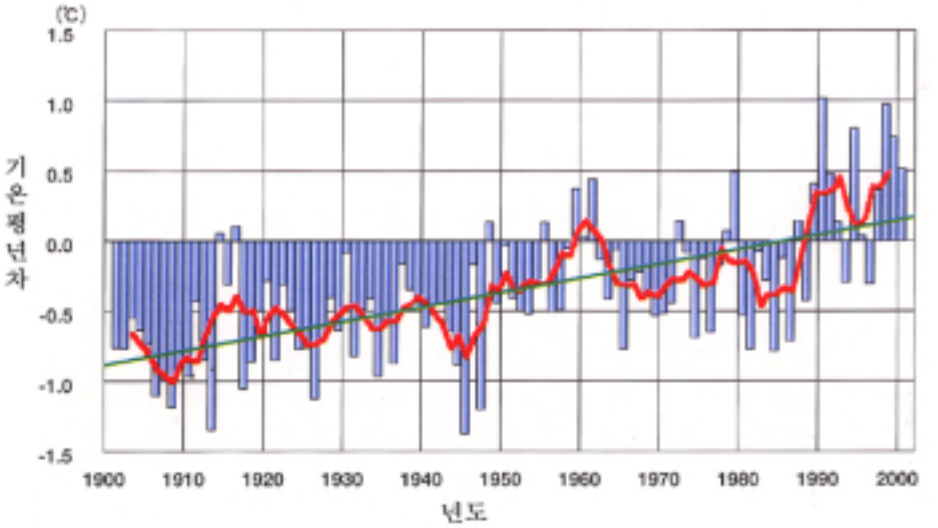
UNOCHA: http://www.reliefweb.int/w/rwb.nsf

〈부록 1〉 동아시아의 기후변화와 자연재해 현황

1. 일본

연평균기온의 변화추이

일본기상청에서는 도시화에 따른 인위적 기온상승이 적은 관측점 17개를 선택하여 1901년 이후 20세기에 발생한 지상기온의 변화를 조사하였으며 아래 그림이 이를 잘 나타내 주고 있다(<부록 그림 1-1>).



<부록 그림 1-1> 일본의 년평균 지상기온의 경년변화 1901~2000년

(막대그래프는 각년도의 평균기온과 평년과의 차, 붉은색은 5년간의 이동평균을 표시, 실선은 장기적경향을 제시한 것이다.)

자료: 일본기상청(氣象廳), 2002

그림에서 볼 수 있듯이 1990년대에 급격한 기온상승이 나타났다. 지난 100년 동안에 약 1℃의 기온상승이 추정되는데, 이것은 전 지구평균온도 상승속도(0.6±0.2/100년)에 비하여 높은 수준이다.

반면에 Kato(1996)는 일본 전역의 51개 지점을 대상으로 도시화효과를 제외한 기온상승 속도를 산출하였으며, 일본의 지난 100년 동안의 기온 상승속도가 0.8℃/100년이어서 전 지구평균의 기온상승 속도보다 높은 수준임을 제시하였다.

일본의 지구온난화에 의한 기온상승 경향은 세계의 대부분의 지역과 마찬가지로 1980년대 후반부터 온도상승이 가속화되어 1990년대에 고온화가 명확하게 나타나고 있다. 일본에서는 지난 100년 동안에 가장 기온이 높았던 상위 10위 가운데 80%가 1990년대에 발생하였는데, 이것도 세계적인 경향과 일치하는 것이다. 도심부에서의 기온상승은 100년 동안에 2.0℃ 이상 상승하였고, 특히 동경에서는 3.0℃/100년에 이르렀다. 도심부에서 이렇게 기온이 많이 상승한 것은 열섬현상 때문인데, 이것은 도시 특유의 현상이다.

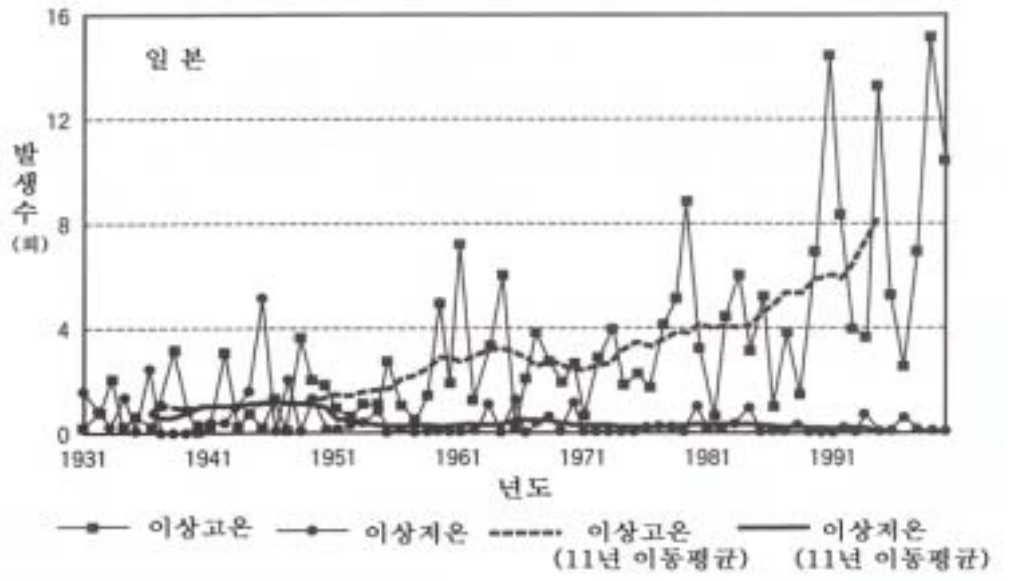
IPCC(2001)에서는 전 지구 평균기온이 1990년에 비하여 2030~2040년에는 0.5~1.5℃, 2050년경에는 0.8~2.6℃정도 상승할 것으로 예측하였다. 그 후 지구온난화의 진행이 점점 가속화되면서 2100년경에는 1990년에 비하여 1.4~5.8℃ 상승할 것으로 예측하고 있다. 일본 부근의 기온은 세계평균보다 더욱 크게 상승할 것으로 예측되는데, 상승 정도는 북으로 갈수록 그리고 대륙에 가까울수록 클 것으로 예상되고 있다.

이상기온의 발생추이변화

월평균기온에 나타난 이상치(異常値)의 발생 수에 대한 변화추이를 살펴보기 위하여 1901~1930년의 기간을 기준으로, 1931년 이후의 이상고온·이상저온을 조사해본 결과 이상고온일은 급속히 증가하였지만, 이상저온 발생일수는 오히려 약간 줄어드는 경향을 보였다(<부록 그림 1-2> 참조). 분석대상이 된 자료는 1901년 이래로 균일한 기상자료가 있는 34개 지점(대도시도 포함)이었다. 34개 지점에 대해서 1901~1930년의 각 월의 기온평균치와 표준편차를 구해서 1931~1999년 각 월의 평년편차가 표준편차의 2배 이상인 경우를 이상고온 혹은 이상저온이라고 정의하였다. 정규분포를

가정하면, 표준편차가 2배 이상인 값이 발생할 확률은 30년마다 약 1회씩 발생할 수 있다.

1901~1930년을 기준으로 한 월평균기온의 이상고온 발생 수는 증가경향이 뚜렷하였다. 1950년대부터 증가하는 추세이며, 특히 1990년대에 급증하였다. 1990년대에는 4년에 1회 정도까지 증가하고 있다. 이와는 반대로 이상저온의 발생 수는 감소하고 있음을 볼 수 있다.



<부록 그림 1-2> 일본의 이상고온·이상저온 발생수의 경년변화

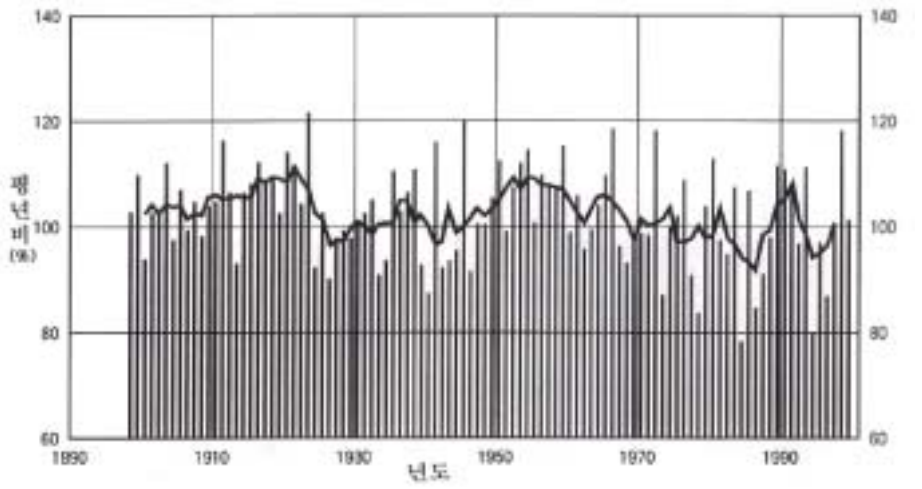
(발생 수는 전국 34개 지점의 각 연도의 이상치 발생수를 자료의 총수로 나누어 30배한 것이므로, 지점당 30년에 몇 차례 발생하는가를 나타낸다. 이상치의 기준이 된 기간은 1901~1930년이다.)

자료: 일본기상청(氣象廳), 1999.

강수량-평년비의 경년변화

일본 전국의 15개 지점을 평균한 연강수량 평년비를 보면(<부록 그림 1-3> 참조), 관측초기에서 1970년대까지는 대체로 다우기였지만, 그 이후로는 소우기로 구분된다. 과거 100년간의 장기적 경향으로는 연강수량이 약 5% 감소한 것으로 평가된다. 다만 최근에는 1990년 전후와 1998년과 같이 다우인 해가 있어서 강수량 평년비가 1970~1980년대 전반과 비교해 증가하고 있기 때문에, 감소경향을 나타내는 장기적 변화경향도 통계적으로는 유의하지 않다고 한다(JPCC, 2003).

계절별·지역별로 강수량의 장기적 변화경향을 살펴보면, 겨울에는 통계적으로 유의한 감소경향을 보이는 지역이 많지만, 그 이외는 연강수량을 제외하고는 통계적으로 유의한 경향이 나타나지 않았다.



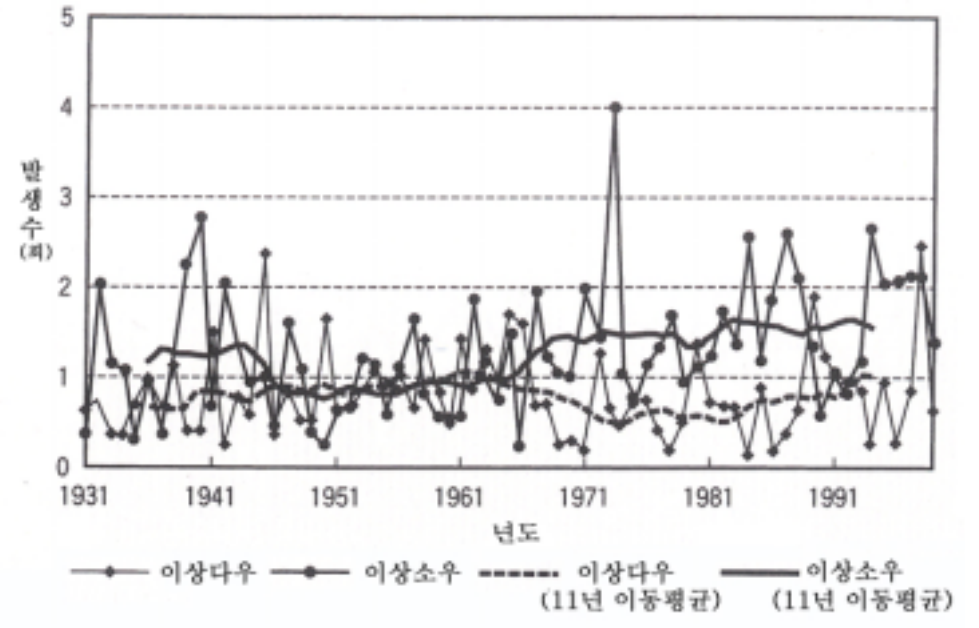
<부록 그림 1-3> 일본의 연강수량에 대한 평년비의 경년변화

(1898~1999년에 있어서 전국 15개 지점의 평균. 막대그래프는 매년의 값, 꺾은선은 5년 이동평균. 평년치의 기간은 1961~1990년의 30년간이다.)

자료: 일본기상청(氣象廳), 1999.

강수량·이상다우·이상소우의 발생 수에 대한 경년변화

1901년 이후로 균일한 강수량 자료가 있는 51개 지점에 대해서 이상다우·이상소우의 발생 수에는, 이상소우에 증가경향이 있지만, 이상다우에는 통계적 유의성을 갖는 경향성은 보이지 않는다. 수십 년 규모를 갖는 변동이 보이는데, 1970년대 이후로는 이상소우가 많고 이상다우가 적은 상태가 이어지고 있다(<부록 그림 1-4> 참조). 이 변동의 특징은 강수량 평년비의 변동에 대체로 대응되고 있다는 것이다.



<부록 그림 1-4> 일본의 이상다우·이상소우의 발생 수에 대한 경년변화

(발생 수는 전국 51개 지점의 각 연도의 이상치 발생수를 자료의 총수로 나누어 30배한 것이므로, 지점 당 30년에 몇 차례 발생하는가를 나타낸다. 이상치의 기준이 된 기간은 1901~1930년이다.)

자료: 일본기상청(氣象廳), 1999

2. 중국

중국의 기후변화에 대해서는 일본 AICHI 대학에서 발간한 "2004년도 AICHI 대학 21세기 CEO프로그램 - 중국의 환경문제 현상"에 소개된 내용을 요약하여 제시한다.

기온변화

Tanita·Yasunari(1990)는 중국내 160개 지점(1951-1986), Qian and Lin(2004)은 484개 지점(1961-2000)을 대상으로 장기적인 기온변화경향을 조사하였다. 2개 연구결과는 공통적으로 기온의 상승과 하강경향이 지역에 따라 다르게 나타나고 있음을 지적하고 있다.

국지적인 사례연구로서는 운남성의 37개 지점(1958-1987)을 대상으로 한 것(Nomoto, 1995)이 있는데, 동쪽에서 변화경향이 크고, 서쪽지역에서는 작은 것으로 나타났다. 옛날부터 이 지역에서는, "이쪽에서 비가 오더라도 저쪽에는 맑다"는 경우가 많을 만큼 기상의 국지적인 차이가 크다고 한다. 또 "西双版納"이라는 지역에서는 현저한 고온화 경향이 보이는데, 이는 삼림의 감소(30년 동안에 피복율이 70%에서 30%로 감소)에 의한 것으로 평가되고 있다.

顧衛 외(2001)는 深川(1979-1997)을 대상으로 한 사례연구에서 흥미 있는 사실을 지적하였다. 深川에서는 이 기간 동안에 인구가 2만 명에서 380만 명으로 증가하여 세계 최고의 성장을 나타내었는데, 이를 "深川 속도"라고 일컫는다. 또 이 시기에 경제특구의 면적은 50배로, 경제규모는 300배로 성장하였다. 기상자료는 1953년부터 존재하는데, 이곳에서 동쪽으로 135km 떨어져 있는 개발이 이루어지지 않은 지역(션웨이)과의 비교로 도출된 도시화로 인한 기온상승효과를 추정해 본 결과, 기온이 1980년에서 1990년에 걸쳐서 급상승하고 있으며 그 속도는 연평균 최저기온의 상승이 년간 0.07℃에 이르렀다.

중국의 토지이용 유형과 지구온난화의 영향

- 삼림이 분포하는 습윤 또는 반습윤(半濕潤)지대는, 중국에서는 동부 평원지대에 분포하고 있다. 이 지역의 자료를 사용하여 1인당 삼림면적과 인구밀도간의 관계를 조사해본 결과, 명확한 역관계가 성립되었다.
- 1960-1990년의 기온자료에 따르면, 온난화의 진행으로 중국 북쪽지역에서는 등온선이 약 700km, 남쪽 연안지역에서는 약 300km 각각 북쪽으로 이동한 것이 확인되었다.
- GCM결과에 따르면, 이산화탄소농도가 2배로 증가한 시나리오에서, 증발량이 15-30% 증가하는 것으로 예측되었다.
- 과거의 기상자료와 대기대순환모델의 이산화탄소 2배증가 실험의 결과 중국에서는 온난화로 다음과 같은 변화가 예측되고 있다.

1) 중국의 삼림면적과 경지면적은, 향후 도시화와 공업화로 인하여 더욱 감소될 것으로 예상된다. 이러한 삼림면적과 경지면적의 급격한 감소는 중국의 자연환경을 급속히 악화시킬 가능성이 높다.
2) 이러한 자연환경의 악화는 중국 국민의 삶의 질을 저하시키고, 또 농업생산력에 악영향을 미칠 가능성이 높다.
3) 중국의 경우에는 지구온난화로 향후 100년간에 3~4℃의 기온상승이 발생할 것으로 예상되어, 중국의 작물재배지대와 자연식생대가 상당한 폭으로 북쪽으로 이동될 가능성이 높다. 그렇지만, 이에 대처하기 위한 기술은 아직 개발되고 있지 못하여 지구온난화는 중국의 농업생산과 식생대에 큰 충격을 가할 것으로 예상된다.
4) 수자원에 있어서는, 지구온난화로 인한 증발손실 양이 15~30% 증가할 것으로 예상되어 미래의 중국에서는 큰 문제로 부각될 가능성이 높다.
5) 지구온난화는 단지 금세기의 문제일 뿐만 아니라, 그 다음까지도 계속될 중요한 과제이다.

이러한 점에서, 중국의 경우에는 경제발전의 지속도 중요하지만 좀 더 긴 시간 단위로 지구환경을 고려한 지속가능한 발전을 고려하여야 할 시점이다.

황하유역의 환경변화

황하는 중국의 대하천이며 중국의 동해로 흘러나와 우리나라 서해의 해양생태계에도 막대한 영향을 미치고 있다. 여기서는 수자원 변화를 중심으로 이 지역의 환경변화 특징을 간략히 제시하였다.

- 황하의 원류(源流)지역은 주요 수원지인데, 수량감소, 호수와 하천의 흐름 중단, 초원의 퇴조, 사막화, 빙하의 축소와 후퇴, 토양침식 등의 문제가 심각하다.
- 중류지역은, 토양침식과 물부족, 삼림의 벌채, 사막화, 수원의 오염, 폭우에 의한 홍수라는 5개 문제가 점점 심각해 지고 있다.
- 황하의 단류(斷流)는, 1972년부터 시작되어 20세기말경 5년에 4회 발생하였다. 더군다나, 토사의 퇴적문제, 홍수에 의한 제방파손의 위험이 증대되고 있다.
- 하류부에서는 지구온난화에 따른 기후변화와 인간 활동의 영향으로, 하류의 유량이 뚜렷하게 감소하고 있다.
- 기후변화와 인간 활동에 따른 수자원에의 취약성은 생태환경에 영향을 미쳐, 그곳의 생태환경은 계속 퇴화하고 있다.
- 기후변화에 수반되어 집중호우와 대갈수기가 불규칙하게 나타나 이 지역의 안정적인 사회발전에 큰 장애요인으로 등장하고 있다.

3. 최근 아시아지역의 자연재해현황

<부록 표 1-1>~<부록 표 1-4>에는 아시아지역에서 발생했던 자연재해 사례를 홍수・집중호우, 한발, 한파, 열파로 구분하여 제시하였다. 아시아지역은 많은 국가가 인프라시설이 취약하여 기후변화 영향에 대한 대응이 전 세계 타 지역보다 상대적으로 취약하다.

<부록 표 1-1> 아시아 지역의 자연재해 현황: 홍수・집중호우

년	월	국명	사망자수	피해자수	관 련 기 사
2003년	11	인도네시아	101명		스마트라섬에서 홍수에 의해 적어도 101명이 사망, 117명이 행방불명. 인도네시아 환경성에 의하면, 지금까지 홍수의 피해는 작았지만, 위법한 삼림벌채에 의해 그 피해가 더욱 커졌다고 한다. 스마트라섬 북서부에 있는 Bukit Lawang마을은 정글과 리히비리센터가 있어 관광객에게 인기가 있다. 이 마을도 홍수의 피해를 입어, 4명의 관광객이 희생되었다(BBC NEWS, 2003/11/16).
	7-10	인도・방글라데시	600명 이상		몬순형 비에 의한 홍수로 600명이상이 사망 (일본하천협회, 2003).
	7	파키스탄	230명 이상		몬순형 비에 의해 홍수가 발생해, Sind주, Balochistan주에서 230명 이상이 사망 (UNOCHA, 2003/8/8).
	5-7	중국	569명	200만명	WHO에 의하면, 홍수에 의해서 범람한 오수가 SARS바이러스가 급증시킬 가능성이 있기 때문에, 하수시스템을 개선하도록 요구했다. 북경에서는 27,700명 이상이 SARS에 감염되어있다(BBC News, 2003/5/21).
					홍수에 의해 569명이 사망, 약 200만명이 피해, 호신주상은 중국 전 국토에 있어서 홍수대책의 강화를 발표 (BBC News, 2003/7/11)
	5	스리랑카	265명		남부에서 강우에 의한 홍수, 산사태가 발생, 265명이 사망(UNOCHA, 2003/5/23)
					홍수에 의해 약 250명이 사망, 녹차, 쌀, 고무재배등이 피해를 있었으나, 경제에의 영향은 적었다 (BBC News, 2003/5/27).

<부록 표 1-1> 아시아 지역의 자연재해 현황: 홍수・집중호우 (계속)

년	월	국명	사망자수	피해자수	관 련 기 사
2002년	8-9	한국	180명 이상		태풍에 의해 180명이상이 사망하거나 행방불명. 손해액은 10억달러 이상(BBC News, 2002/9/4)
					8월 초순: 집중호우에 의해 사망・행방불명자 23명, 8월 하순: 태풍에 의한 사망・행방불명자 184명 (국토교통성 b, 2002)
	8	방글라데시	158명	5만명 이상	홍수에 의해 북부에서 158명이 사망, 5만명 이상 피해 (국토교통성 b, 2002)
	7-8	네팔	494명	25만명 이상	집중 몬순형 비에 의해 홍수가 산사태가 발생하고, 422명이 사망, 173명이 행방불명 전체 75지역에서 47지역이 홍수의 피해를 입었다(BBC News, 2002/ 8/13).
					몬순형 강우에 의해 홍수와 산사태로 494명이 사망, 173명이 행방불명, 25만명 이상 피해(국토교통성 a, 2002).
		인도	66명 이상		홍수에 의해 7월은 Assam주에서 41명이상 사망, 8월에는 중부에서 25명 사망, 75명 이상 행방불명 (국토교통성 a, 2002)
					북부의 Uttaranchal 주에서는 집중호우에 의한 산사태로 적어도 28명이 사망. 올해의 몬순은 이상해, 벌써 700명이상이 홍수로 사망했다(BBC News, 2002/8/12).
	6-8	중국	약 1400명		홍수의 피해가 가장 심한 섬서성에서는, 453명이 사망하고, 300명이 행방불명이다. 또 전선이 파괴되어 손해는 수백만달러가 될 전망(BBC News, 2002/6/25)
					집중호우에 의한 홍수로, 호남성과 운남성에서 약 250명이 사망. 중국에서는 약 3개월간에 약 1,000명이 홍수 때문에 사망했다(BBC News, 2002/8/18).
					6월에 섬서성에서 발생한 홍수에 의해 450명이상이 사망・행방불명, 또 6-8월에 각지에서 홍수가 발생했기 때문에 중국전 국토에서 약 1,400명이 사망 (국토교통성 b, 2002)

<부록 표 1-1> 아시아 지역의 자연재해 현황: 홍수・집중호우 (계속)

년	월	국명	사망 자수	피해 자수	관 련 기 사
2001년	11	필리핀	184명		태풍에 의해 184명 사망, 106명 행방불명 (국토교통성 b, 2002)
	10	인도	153명		싸이클론에 의해 Andhra Pradesh주에서 153명 사망, 19명 행방불명(국토교통성b, 2002)
	9	대만	85명		태풍에 의해 85명 사망, 19명 행방불명 (국토교통성 b, 2002)
	8-10	베트남	337명		메콘델타지역에서 337명 사망(국토교통성 b, 2002)
	8-9	인도	148명		Bihar주・Uttar Pradesh주에서 148명 사망 (국토교통성 b, 2002)
	8	타이	170명		타이지역에서 170명 사망, 6명 행방불명 (국토교통성 b, 2002)
		이란	224명		고레스탄주・호라산주에서는 홍수에 의해 224명 사망, 284명 행방불명(국토교통성 b, 2002)
	7	인도	100명		Orissa주에서 100명 사망(국토교통성 b, 2002).
		인도네시아	163명		니아스타섬에서 163명 사망, 60명 행방불명 (국토교통성 b, 2002)
		대만	103명		중국・북동부에서 103명 사망, 111명 행방불명 (국토교통성 b, 2002)
		파키스탄	210명		북부에서 210명 사망(국토교통성 b, 2002)
		한국	57명		집중호우에 의해 57명 사망(국토교통성 b, 2002).
		필리핀	163명		루손섬에서 163명 사망, 60명 행방불명 (국토교통성 b, 2002)
	5-6	중국	139명		광서치완족 자치구에서 66명 사망, 복건성에서 73명 사망, 54명 행방불명(국토교통성 b, 2002)
	2	인도네시아	94명		자와섬 서부 반텐주에서 94명 사망(국토교통성 b, 2002)

<부록 표 1-1> 아시아 지역의 자연재해 현황: 홍수·집중호우 (계속)

년	월	국명	사망자수	피해자수	관 련 기 사
2000년	11	인도네시아	170명		스마트라섬에서 170명 사망(국토교통성 b, 2002)
	9-10	방글라데시	110명		북서부, 남부에서 110명 사망, 150명 행방불명 (국토교통성 b, 2002)
		인도	1,358명		West Bengal 주·Bihar주에서 1,358명 사망, 223명 행방불명(국토교통성 b, 2002)
	8	네팔	106명		몬순에 의한 강수로 홍수가 발생해, 106명 사망 (국토교통성 b, 2002)
	7-11	캄보디아·타이·베트남	약 210명	약 50만명	캄보디아에서 7월말의 몬순형 큰비에 의해 홍수가 발생해 51명이 사망, 약 50만명이 피해를 입었다 (BBC News, 2000/9/8).
					계절에 따른 몬순형 큰비에 의해, 캄보디아, 베트남, 라오스, 타이의 메콘천 유역에서 홍수가 발생해, 약 1만세대가 피난생활을 했다. 사망자는 160명이상 (BBC News, 2000/9/8)
	7-11	캄보디아·타이·베트남	867명		베트남 남부에서 큰비로 인한 홍수로 350명 이상이 사망, 다수가 아이들이였다(BBC News, 2000/10/15).
					새로운 큰비에 의해, 캄보디아와 베트남 남부의 홍수피해는 더욱 확대되어, 적어도 600명이 사망했다. 쌀과 농작물에 피해가 출현(BBC News, 2000/10/16).
					메콘주 유역에서 홍수가 발생. 캄보디아 동남부에서 333명이 사망, 타이에서 53명 사망, 베트남에서 481명 사망(국토교통성 b, 2002).
	5-7	중국	372명		홍수에 의해 372명 사망(국토교통성 b, 2002)
	5	인도네시아	160명		팀루섬에서 160명사망(국토교통성 b, 2002)

<부록 표 1-1> 아시아 지역의 자연재해 현황: 홍수・집중호우 (계속)

년	월	국명	사망 자수	피해 자수	관 련 기 사
1999년	10-12	베트남	742명		중부에서 742명 사망(국토교통성 b, 2002)
	10	인도	10,000명 이상		Orissa주에서 사이클론에 의해 10,000명이상이 사망, 특히 사이클론과 고조 모두 피해를 입은 Ersama지역에서는 약 4,000명이 쓰러진 나무아래 있다고 한다. 또 약 3,000명이 음료수를 매개로 한 병으로 괴로워하고 있다(BBC News, 1999/11/10).
	8	필리핀	152명		마닐라주변에서 152명사망(국토교통성 b, 2002)
	7-8	인도	352명		325명 사망(국토교통성 b, 2002)
	6-9	중국	725명	550만명	중국은 1998년의 홍수(4,100명이상사망)이래, 치수대책에 예산(72억달러)를 소비했다. 그 결과 올해의 홍수는 작년과 같은 규모였음에도, 700명이상 사망, 550만명 피해에 머물렀다 (BBC News, 1999/8/5).
					장강유역에서 725명 사망(국토교통성 b, 2002)
	5	파키스탄	168명		사이클론에 의한 강우로 홍수가 발생해, 남부에서 168명 사망(국토교통성 b, 2002)
1998년	11	베트남	267명		태풍에 의해 중부에서 267명 사망, 16명 행방불명(국토교통성 b, 2002)
		필리핀	280명		태풍에 의해 루손섬에서 117명 사망, 중부에서 163명 사망(국토교통성 b, 2002)
	7	한국	164명		집중호우에 의해 남부에서 164명 사망, 63명 행방불명(국토교통성 b, 2002)
	10	인도	262명		사이클론에 의해 남부에서 262명 사망, 250명 행방불명(국토교통성 b, 2002)
	7-9	방글라데시	1,370명		1,370명 사망(국토교통성 b, 2002)
	6-9	인도	약 3,000명		북부・동부에서 약 3,000명 사망 (국토교통성 b, 2002)
		중국	3,656명		양자강, 송화강 유역에서 3,656명사망 (국토교통성 b, 2002)
	6	인도	약 3,000명		사이클론에 의해 서부에서 약 3,000명사망, 1,745명 행방불명(국토교통성 b, 2002)
	4-8	네팔	156명		전국토에서 156명 사망,4명 행방불명 (국토교통성 b 2002).
	3	파키스탄	1,500명		바르치스탐주에서 1,500명 사망, 3명 행방불명 (국토교통성 b, 2002)

<부록 표 1-2> 아시아 지역의 자연재해 현황: 한발

년	월	국명	사망자수	피해자수	관 련 기 사
2002년	7-8	인도			소로몬・스미스・바니투자은행에 의하면 금년도의 인도의 경제성장율은 당초의 5.5%에서 4.8%로 내려갔다고 한다. 인도에서는 10년이상 심각한 한발의 영향을 받아, 농업에 큰 영향을 미치고 있다 (BBC News, 2002/7/31).
					인도동부・북동부의 주에서는 홍수의 피해가 있는 한편, 다른 주에서는 한발의 피해를 받고 있다. 정부는 전 29개주중에 13주가 한발의 피해를 받고 있다고 발표(UNOCHA, 2002/8/1)
	6-8	캄보디아			7월의 강수량은 1985-2001년까지 가장 작은 89.5mm의 소우를 기록. 한발의 피해가 큰 Kampong Speu주에서는, 41명이 마니오크중독(물부족 때문에 타비오카의 원료가 되는 구근을 충분히 물에 담그지 않았기 때문)이 됐다. 한발에 의해 밭의 63%가 피해를 받았다(UNDMT, 2002/8/23).
	7	스리랑카		40만명	한발이 심한 Hambantota지구에서는 심각한 물부족 때문에 약 40만명이 피해를 입었다 (UNOCHA, 2002/7/19).
2001년	8	스리랑카		100만명	스리랑카정부에 의하면 남부의 202,183세대, 약 100만명이 한발의 피해를 입었다고 발표. 가장 피해가 큰 것은 Hambantota지구(UNOCHA, 2001/8/31)
	3-6	중국		2,200만명	요령성 전체에서 가장 물 부족이 심한 곳은, 5만 ha이상의 논에 모심기에 물이 충분하지 않아 발육상태가 좋지 못하고 20만 ha이상의 밭이 한발에 노출되고 있다(중국정보국, 2003).
					한발의 영향에 의해, 전국의 364개의 현급이상의 도시에서 물부족이 발생해, 1일당 1,300㎥이 부족하다. 특히 심각한 도시는 위해, 천진, 대련, 당산등(중국정보국, 2003)
					심각한 한발에 의해, 농촌인구 2,200만명 및 경작지 2,900만 ha가 영향을 받고 있다. 그 중에서도 소맥과 옥수수가 가장 피해를 입고 있을 것으로 예상된다(중국정보국, 2003)
					한발에 의한 피해자 약 2,200만명(국토교통성 b, 2002)
	3-7	이란		2,500만명	북동부에서 피해자 약 2,500만명(국토교통성 b, 2002)
	4-5	파키스탄	80명		Sind주・바루치스탄주에서 80명 사망 (국토교통성 b, 2002)

<부록 표 1-2> 아시아 지역의 자연재해 현황: 한발 (계속)

년	월	국명	사망 자수	피해 자수	관 련 기 사
2000년	4-6	파키스탄	140명	240 만명	바루치스탄주・Sind주에서 100년간 1도의 한발이 발생. 140명 사망, 약 240만 명이 피해(국토교통성 b, 2002)
	4	아프카니스탄		258 만명	피해자 약 258만명(국토교통성 b, 2002)

<부록 표 1-3> 아시아 지역의 자연재해 현황: 한파

년	월	국명	사망자수	피해자수	관 련 기 사
2003년	12	인도 북부	400명		한파에 의해 약 400명이 사망. 그 대부분이 빈곤자와 고령자였다. Punjab, Haryana, Chandigarh주의 도시에서 1℃를 기록(IFRC, 2004/1/16)
	1	인도・방글라데시	100명 이상		인도 Bihar주의 Patna에서 가장 낮은 2.4℃를 관측. 인도정부는 빈곤자와 노상생활자에 피난소로 공공시설을 제공. 한파에 의한 희생자는 인도에서 약 200명이라고 하지만, 정부는 100명 이하로 발표(UNDMT, 2003/1/13)
2002년	12	방글라데시	300명	5 만명	한파에 의해 약 300명 사망, 5만명 피해 (UNOCHA, 2002/12/9)
2001년	2	아프카니스탄	150명		Heart교외의 난민캠프에서 약 150명이 사망 (UNOCHA 2001/2/5)

<부록 표 1-4> 아시아 지역의 자연재해 현황: 열파

년	월	국명	사망자수	피해자수	관 련 기 사
2003년	5-6	인도	1,401명		인도남부의 Andhra Pradesh주에서는 열파에 의해 사망자수가 637명을 넘고 있다. 인도정부는 전체 주에 물보급소를 설치하는 등, 일사병의 예방에 노력하고 있다(BBC News, 2003/5/30).
					Andhra Pradesh주의 열파에 의해 사망자가 6월 1일까지 884명에 달했다. 같은 주에서는 평년의 5-7℃를 상회하는 50℃이상의 날이 계속되고 있다. 주변국인 방글라데시에서도 열파로 42명이 사망(매일신문, 2003/6/2)
					열파에 의해 894명이 사망. 가장 피해가 큰 남부의 Andhra Pradesh주에서는 5월 20일에 열파가 발생해, 일최고기온이 45℃(평년 +7-10℃)를 상회하는 날이 계속되었다. 5월 22일에 Gannavaran(East Godavari지구)에서 47.5℃를 기록. 주정부는 피해가족에 1만루피(215US$)의 보상을 발표했다(UNOCHA, 2003/6/5).
					평년보다 늦은 몬순비(6월 8일)에 의해 열파의 열이 약해졌지만, 열파에 의한 사망자는 1,401명을 넘었다. 6월7일에 오스트리아 관광객이 열파로 인해 사망했다(BBC News, 2003/6/9).
		파키스탄	250명		도시 쟈코바바트와 시비에서 최고기온이 50℃를 상회하는 날이 계속되고, 열파에 의한 사망자가 약 200명에 달했다(매일신문, 2003/6/9).
					열파에 의한 사망자는 적어도 250명(BBC News, 2003/6/9)
2002년	5	인도	450명		인도남부의 Andhra Pradesh주에서는 열파에 의한 사망자수가 450명을 넘었다. 그 중 다수는 노천상점의 고령자이다. 인도의 기후학자들에 의하면, 금년의 열파는 1주간이상 심하게 계속된다는 점에서 이상하다고 한다(BBC News, 2002/5/16).
1999년	4	인도	100명		동부・남부에서 약 100명 사망(국토교통성 b, 2002)
1998년	5-6	인도	3,028명		전 국토에서 3,208명 사망(국토교통성 b, 2002)

〈부록 2〉 미래의 기후변화 예측

지구온난화는 다른 환경문제와는 달리 과학자의 장래예측과 경고에 기초해서 사회가 반응하기 시작한 문제라는 특성이 있다(石井柴郎, 大熊健司, 2002). 그런 만큼 지구온난화 예측에 관한 과학적 근거를 알아두는 것은 사회적 관점에서 지구온난화를 판단하는 데에 필수적이라 할 수 있다. "지구온난화에 관한 과학"은 인위적 이산화탄소 배출에 관한 연구와 이산화탄소 증가에 따른 기후변화의 연구로 대별할 수 있는데, 여기서는 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 미래예측으로 수행되는 후자의 경우에 대하여 살펴보고자 한다.

1. 지구온난화예측의 발달과정

지구는 태양복사에너지를 흡수함으로써 데워지고, 거기에 부합되는 온도로 결정되는 적외선 복사에너지를 우주공간으로 방출함으로써 에너지 균형을 맞추고 있다. 이 균형관계로부터 얻어지는 지구의 평균온도는 -18℃에 지나지 않는다. 그렇지만 실제 지구의 지상평균기온은 +15℃이어서 복사평형관계로부터 계산하여 얻어지는 온도보다 33℃나 높다.

그 이유는 지구대기가 태양복사에너지는 거의 전부를 통과시키지만, 지상에서 우주공간으로 방출되는 적외 복사에너지는 흡수하여 재방출을 하는데 이때 재방출된 적외 복사에너지의 하향성분이 지표면을 가열시키고 있기 때문이다.

19세기 후반에 이러한 복사균형관계로부터 지표면온도를 구할 수 있다는 사실을 제시한 사람이 수학자로 유명한 Fourier였다. 그 후에 영국의 물리학자인 Tyndall은 수증기와 이산화탄소가 대기의 적외 복사에너지를 흡수하는 기체라는 사실을 알아내었다. 그리고 스웨덴의 Arrhenius는 과거 지구상에서 이산화탄소 농도 변화가 지상기온의 큰 변화(빙하기와 간빙기)를 유발하였을 가능성이 있다고 주장하였으며, 인간활동으로부터 발생하는 이산화탄소가 지구온난화를 가져올 것이라고 예상하였다. 이

후에 이산화탄소 증가에 의한 지상기온의 증가를 정량적으로 구해보고자 하는 시도가 있었지만 이때 이용된 모델은 복사에너지 균형관계만이 고려되었다.

그 후 Manabe and Wetherald(1967)가 복사와 대류효과를 고려한 수치모델을 이용하여 이산화탄소 증가에 의한 온난화효과를 정량적으로 평가하는 기초를 확립하였다. 이들이 이용한 연직 1차원 복사-대류 평형모델이 현재의 대기·해양결합모델(3차원 기후모델)에 의한 지구온난화예측으로까지 발전하였다.

2. 기후모델

기후시스템의 주요 구성요소와 요소들 간의 상호작용의 상태 및 시간변화를 수치적으로 계산할 수 있도록 표현한 것이 기후모델이다(石井柴郎, 大熊健司, 2002). 우선 대기·해양·육지면을 규칙적으로 배열한 격자점으로 배치하고 격자 점간에 에너지, 운동량, 질량 수지를 계산한다. 그때 격자 점 간격보다도 작은 규모의 흐름에 의한 수송효과도 수지에 영향을 주도록 고려하여야 한다. 그러나 이 효과를 격자점에서의 변수로 나타내는 방법(기상학에서는 모수화(parameterization)라 일컬음)은 충분히 확립되어 있지 못하여 다양한 기후과정의 모수화가 이용되고 있다. 이 과정에 대한 차이 때문에 전 세계에는 다양한 기후모델이 존재하고, 모델마다 다른 결과를 만들어 내고 있는 것이다.

특히 구름에 관련된 모수화의 차이가 모델 간에 지구온난화예측에 산포성이 존재하는 최대의 요인이다. 이것을 개선해 가는 것이 기후모델 개발에서 가장 중요한 과제로 자리 잡고 있다. 인류의 다양한 활동에 수반되어 발생하는 이산화탄소의 배출은 지리적으로 편중된 분포를 이루지만 이산화탄소의 수명이 긴 관계로 대기대순환 과정에서 충분히 혼합되기 때문에 전 지구적인 이산화탄소 농도는 거의 균등하다. 그럼에도 불구하고 온실효과는 균질하게 나타나지 않는 것으로 예상되고 있다. 이에 대해서는 IPCC에서 출간한 과거 3차례의 보고서에서도 기후모델에 따라서 정량적으로는 차이가 있지만 정성적으로는 공통적인 경향이 나타남을 제시한 바 있다. 나아가서 기후모델의 계산결과를 분석함으로써 온난화 효과가 공간적으로 불균등하게 나타나는

원인이 규명되어지고 있어, 온난화의 검증과 원인을 규명하는 데에 초석이 되고 있다.

그러나 아직도 현재의 기후모델에서는 충분히 모수화 되어있지 못한 것(구름, 에어로졸, 육상의 식생, 해빙, 탄소순환 등)과 아예 고려되고 있지 못한 것(대륙 빙상에 관한 역학과정)도 있어 이들이 실제 지구온난화와 기후모델에 의한 온난화예측의 차이를 만들고 있을 수도 있기 때문에 기후모델의 고도화와 관측에 의한 검증은 향후에도 계속되어져야 할 것이다.

3. 기후모델로 예측된 온난화의 특징

지구온난화의 진척에 따른 대기온도의 연직방향 변화로는 다음과 같은 점이 예상되고 있다(石井柴郎, 大熊健司, 2002).

- 대류권에서는 온실효과로 인하여 기온이 상승한다. 성층권에서는 태양복사에 의한 가열(오존)과 적외 복사에 의한 냉각(이산화탄소, 오존)의 복사수지관계로 기온이 하강한다. 근래에 성층권의 오존이 감소된 것도 성층권의 온도를 하강시키는 데에 기여한다.
- 해빙의 감소로 겨울철에 해양으로부터 대기로의 복사 전달, 설빙의 감소(알베도 감소)에 의한 태양복사가 증가하는 양의 피드백(positive feedback) 효과로 북극 지역의 대류권 하층에서 온도가 크게 상승한다. 겨울철의 대기는 안정하기 때문에 온난화가 상층으로 전파되지 않는다.
- 적운대류가 활발한 저위도 대에서의 기온감율은 습윤단열 기온감율에 가깝다. 습윤단열 기온감율은 기온이 높을수록 작아지기 때문에, 온난화가 진척될수록 상층의 온도상승이 하층의 온도상승보다 커진다.

지구온난화의 진척에 따른 대기온도의 수평방향 변화로는 다음과 같은 점이 예상되고 있다(石井柴郎, 大熊健司, 2002).

- 고위도의 지상기온의 상승에는 남북반구간의 차이가 현저하다. 북반구 고위도에서 훨씬 크게 승온된다. 남극대륙의 주변에서는 해류가 심층으로 침강하고 있기 때

문에 해수면 부근에 열이 부가되어져도 북반구와 같이 해빙과 설빙의 피드백 효과가 유효하게 나타나지 못하여 해수면온도가 그다지 증가하지 않는다.

- 증발량은 온도가 상승하면 급격히 커지기 때문에 해양에서는 온도변화가 작더라도 큰 증발열(잠열) 증가로 온난화에 따른 지표면에서의 하향 적외 복사에너지의 증가분과 균형을 이룰 수 있다. 또 육지면과 해양의 열용량에는 큰 차가 있으므로 중·저위도의 같은 위도 대에서는 대륙이 해양보다 기온상승이 크다.
- 온난화로 수증기의 극방향 수송량이 증가하여 고위도에서 강수량이 증가한다.
- 적도태평양 지역에서는 하층의 동풍이 해수면온도가 높아 적운대류가 활발한 서쪽에서 상승해서 동쪽으로 향한 후에 해수면온도가 낮은 동쪽에서 하강하는 워커 순환이 탁월해진다. 엘니뇨 시에는 이 순환이 약화되고, 반대로 라니냐 시에는 강화된다. 만약 온난화로 이 순환이 전반적으로 강화되어지면 마치 라니냐 시와 같은 양상의 변화가 나타날 것으로 판단된다.

4. 지구온난화예측연구에 관한 전 세계의 동향

기후변화로 인한 이상기상이 사회·경제활동에 많은 영향을 미치면서, 전 세계적으로 이러한 기후변화에 대응하기 위하여 세계기상기구(WMO)와 유엔환경계획(UNEP)이 공동으로 1988년에 기후변화에 관한 정부간 패널(IPCC)기구를 설립하였으며, 1992년에는 브라질 리우에서 기후변화협약이 제정되었다. 우리나라도 1992년에 기후변화협약에 가입하였다. 여기서는 IPCC가 정리한 온난화예측의 진전과, 이를 지원하는 기후모델개발에 관한 세계적인 동향을 소개한다.

IPCC의 주요 활동

지구온난화 예측에 있어서는, 온실가스와 에어로졸의 배출시나리오를 기후모델에 적용하여 계산하고(이를, 수치실험이라고 부름), 그 결과를 분석하여 영향평가를 수행한다. 이러한 과정과 IPCC의 활동을 <부록 표 2-1>에 정리하여 제시하였다. IPCC의 목적은 기후변화에 관한 유용한 과학 정보에 대한 분석·평가와 함께 기후변화로 인

한 환경 및 사회경제적 측면의 영향을 총체적으로 분석·평가하여 대응 전략을 수립하는 것이다. IPCC에 의해서 제3차 평가보고서(TAR)가 2001년 완성되었으며, TAR에는 지금까지 보고 된 연구 결과들이 체계적으로 정리되어 있다. 최근 10년간에 기후모델은 해양의 열역학적 효과만을 고려한 대기중심의 대기대순환모델(A-GCM)에서 해양대순환도 고려한 대기·해양결합모델(AO-GCM)로 발전하였다. 관측기법에 있어서는 대기 중의 이산화탄소 농도를 2배로 고정하는 "이산화탄소 배증 평형실험"에서 대기 중의 이산화탄소 농도를 서서히 증가시켜가면서 온난화의 시간변화를 보는 "점증실험"으로 발전하였다.

<부록 표 2-1> 배출시나리오-기후모델(GCM)-영향평가연구의 추이

연대	IPCC보고서	GCM실험	영향평가에 이용한 GCM실험	배출시나리오
		(제1작업부)	(제2작업부)	(제3작업부)
1988~1990	제1차 평가보고서 (1990)	-고분해능 A-GCM -이산화탄소 배증실험	저분해능 GCM 이산화탄소 배증실험	시나리오 A-D (A: 시나리오)
1990~1992	보충 보고서 (1992)	-AO-GCM -이산화탄소 점증실험 (IS92a 시나리오)	-저분해능 GCM -이산화탄소 배증 평형실험	IS92a-f (IS92a: 시나리오)
1993~1996	제2차 평가보고서 (1996)	-AO-GCM -이산화탄소 점증실험 (에어로졸 효과 고려)	-저/고분해능 GCM -이산화탄소 배증평형실험	IS92a-f (개량판)
1997~1998	지역영향에 관한 특별보고서 (1998)	-AO-GCM -점증실험 -앙상블/수백년 기준실험	-저/고분해능 GCM -배증평형실험 -Cold/Warm start 점증실험	IS92a-f (개량판)
1999~2001	제3차보고서 (2001)	-AO-GCM -이산화탄소 점증실험 (SRES 시나리오)	-Warm start 점증실험 -앙상블/수백년 기준실험	SRES 시나리오(포스트 SRES)

자료: IPCC(2001b)

기후모델의 개발

기후모델의 개발은 각국의 기후센터에서 이루어지고 있지만, 국제적인 협력은 WCRP(세계기후연구프로그램, World Climate Research Program)를 통해서 이루어지고 있다. WCRP에는 GEWEX(전 지구에너지·물순환연구계획, Global Energy and Water Cycle Experiment), CLIVAR(기후변동성·예측가능성연구계획, Climate variability and Predictability), CLiC(기후와 한랭권, Climate and Cryosphere), SPARC(성층권 프로세스와 그것이 기후에 미치는 역할연구계획, Stratospheric Processes and Its Role in Climate)라고 하는 4개의 부속 프로그램이 존재하는데, 각각에 수치모델의 개발을 수행하는 작업그룹이 있다. 이 중에서 기후모델의 개발에 밀접하게 관계하고 있는 것이 CLIVAR중에 존재하는 결합모델에 관한 작업그룹인 "결합모델 작업부(WGCM)"이다.

한편, 향후 발간될 제4차 IPCC 보고서에서는 탄소순환과 함께 기후모델의 고분해능화가 초점이 되고 있다. 보통 기후모델의 대기에 대한 격자간격은 약 500km 전후이고, IPCC의 제2차와 제3차 보고서에서는 약 250km 정도의 기후모델이 이용되었는데, 지역적인 기후 영향과 이상기상현상에의 영향평가에 관한 요구가 높아져 이보다 높은 해상도의 격자간격을 갖는 기후모델의 개발이 진척되어지고 있다. 이러한 기후모델 개발의 예로, 일본에서는 지구시뮬레이터를 이용한 "사람·자연·지구 공생프로젝트" 중에서 고분해능의 기후모델을 이용한 지구온난화예측을 시도하고 있다. 미국에서는 지금까지 개발된 2개의 기후모델을 합체한 Community Climate System Model(CCSM)이 개발되고 있다. 한편 유럽연합(EU)에서는 다양한 기후요소모델을 결합해서 지구시스템을 시뮬레이터 하고자 하는 PRISM(PRogramme for Integrated earth System Modeling)계획이 시도되고 있다.

우리나라 기상청 기후예측과에서도 유럽연합의 PRISM계획과 유사한 시도를 하고 있다. 기후예측과에서는 기존의 여러 기후모델의 각각은 에너지 수송 항 중에서 transient 항을 제대로 재현해 내는 것은 전무하다는 사실을 밝혔다. 이러한 배경에서, 각각의 기후모델이 가진 이와 같은 한계를 극복할 수 있는 방안으로 기후모델들의 결과 치에 차별화 된 가중치를 주는 다중 앙상블기법을 제안하고 있다.

온실가스 배출시나리오

지구온난화가 얼마나 진행될 것인가는 우리 인간사회가 어떤 방향으로 발전할 것인가에 따라서 크게 좌우된다. 즉 사회의 발전방향을 어떻게 상정하느냐에 따라서 에너지 이용과 토지이용도의 변화에 대한 예상이 크게 달라지며, 온실가스나 황산화물 등의 배출시나리오도 그 모습을 크게 달리한다. 그 결과 온난화의 예측에도 큰 오차가 나오게 되며, 그 완화정책도 달라질 것이다.

따라서 사회 여러 분야의 과학적 자료를 총동원하여 배출시나리오를 상정하는 것이 온난화 완화정책의 기본이 된다. 이 배출시나리오에 관한 연구는, 일본의 연구가 세계를 리드하고 있는 상황에 있다(Fujii et al., 1998; Jiang et al., 2000; Matsuoka, 2000; Matsuoka et al., 1995; Mori, 1998, 2000; Morita et al., 2000a, 2000b; Rana et al., 2000; Yamaji et al., 2000).

1990년대에 실시된 기후변화예측의 대부분은 1992년에 IPCC에 의해 작성된 배출시나리오를 전제로 하였다. 이 시나리오는 IS92a(IPCC에서 작성한 참조시나리오 1992년판의 a 사례라는 의미임)라고 불리는 것인데, 이는 어디까지나 하나의 사회발전방향을 전제로 한 시나리오에 지나지 않는다. 그런데 이 시나리오는 1985년의 자료를 기초로 한 것이기 때문에 당연히 1990년 이후에 생긴 다양한 사회변화를 고려한 것이 아니었다.

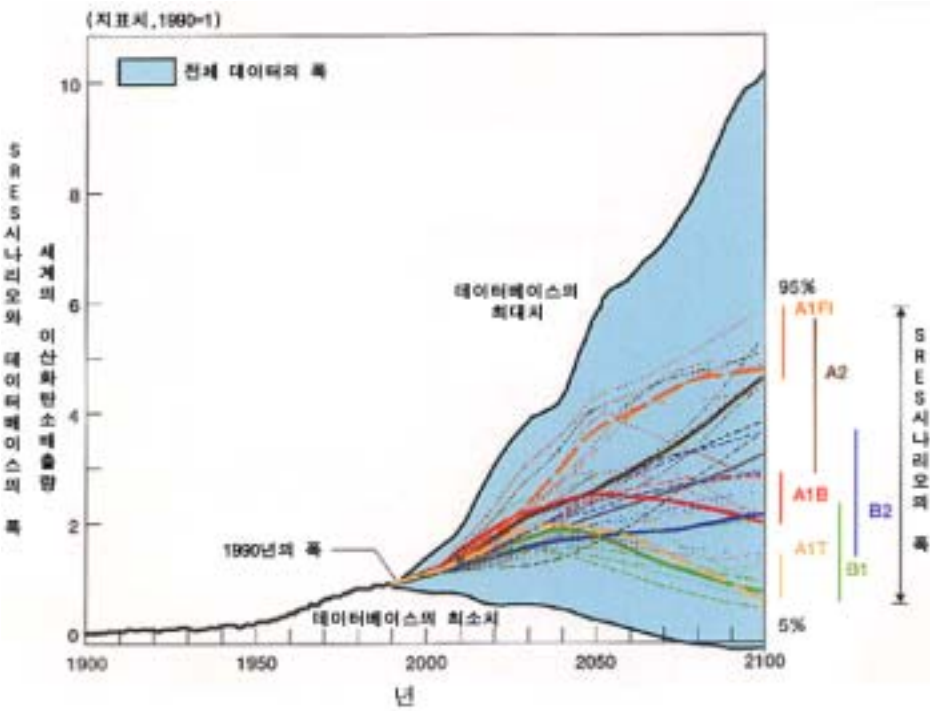
소련의 붕괴, 아시아 개발도상국의 급격한 경제성장과 자유무역체제의 도입 등은 1990년대에 들어와서 세계의 온실가스와 황산화물의 배출량을 크게 바꾸는 요인이 되었다. 또 이 시나리오 자체가 선진국 연구자의 일방적인 생각만을 반영시켰다는 비판이 개발도상국으로부터 크게 제기되었다. 이러한 문제점이 1994년의 IPCC 특별보고서(Alcamo et al., 1995)에서 평가되어, 새로운 온실가스 등의 배출시나리오 작성의 필요성이 제안되었다.

이에 따라 IPCC에서는 특별 프로젝트팀을 구성하여 새로운 배출시나리오 작성에 착수하였다(Nakicenovic et al., 2000). IPCC는 이미 발표된 학술논문의 과학적 평가를 수행하는 기관이기에, 이처럼 독자적으로 연구프로젝트를 조직하는 일은 예외적인 것이다. 특별 프로젝트는 배출시나리오가 지구온난화문제를 과학적으로 규명하기 위한 기본적인 정보이므로, 이러한 기본적인 정보를 IPCC가 제작하도록 요구받은 것에

부응하기 위한 프로젝트였다.

새로운 배출시나리오는 전 세계 6개 연구팀이 대형 컴퓨터모델을 이용해서 3년 반에 걸쳐 작성하였다. 이 가운데 2개는 일본 연구팀으로 구성되었다. 그리고 IPCC 특별보고서 “Special Report on Emission Scenarios"의 머릿글을 따서 SRES 시나리오라고 부르게 되었다.

SRES 시나리오의 최대 특징은 큰 폭을 갖는다는 것이다. 사실은, 지금까지 IPCC 이외에서 작성된 배출시나리오는 400년 이상에 해당되는 것도 있는데, 이들 전부가 일본의 연구팀에 의해 DB화 되고 있다(Morita et al., 1998a, b). 그 폭은 <부록 그림 2-1>에서 볼 수 있는 바와 같이 놀라울 정도로 크다. 21세기말까지 1990년 수준보다 10배나 증가하는 것에서부터 줄어드는 것에 이르기까지 매우 다양하다.



<부록 그림 2-1> 기존 연구에 따른 이산화탄소 배출 시나리오의 폭과 SRES 시나리오의 궤적

SRES 시나리오는 각가의 연구팀이 다양한 발전 시나리오를 기초로 총 40개의 시나리오를 작성하였기 때문에, 그 폭은 <부록 그림 2-1>에서 볼 수 있는 바와 같이 과거에 작성된 시나리오의 약 90%를 커버할 수 있을 만큼이나 넓다. SRES 시나리오가 기초로 삼은 사회경제발전 시나리오는 6개이다. A1B(균형이 취해진 고성장 시나리오), A1FI(화석연료 의존형 고성장 사회 시나리오), A1T(고도기술 지향형 고성장사회 시나리오)의 3개는 "고성장 시나리오군"이라고 불리는데, 전 세계가 더욱 경제적으로 성장을 이루어 교육, 기술 그리고 사회제도에 큰 혁신이 생기는 시나리오이다.

과거 100년간의 평균 경제성장률은 3%인데, 이것이 향후 100년간 지속되어 2050년에 1인당 소득이 세계 평균으로 2만 달러를 넘게 된다. 이러한 높은 경제성장 시나리오 하에서는 기술혁신이 크게 진전하여야 한다. 어떤 방향으로 기술혁신이 진전하는가에 따라서 온실가스의 배출이 크게 달라진다. 이 때문에 석탄의 청정이용기술의 대폭적인 혁신과 석유와 천연가스에 관련된 기술이 현저하게 진전되는 A1FI, 원자력을 포함한 대체에너지에 대한 대폭적인 기술혁신을 고려해 넣은 A1T, 그리고 이러한 기술혁신이 균형을 이루고 있는 A1B의 3개가 준비되었다[33].

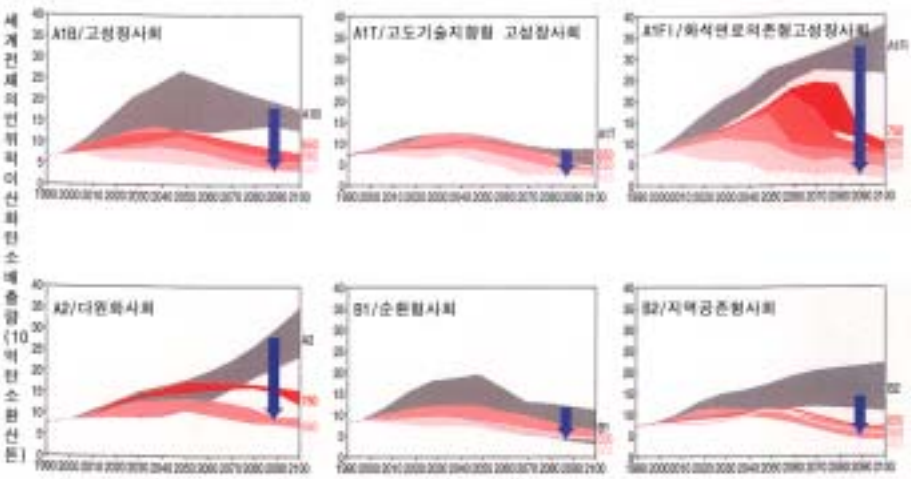
나머지 3개는, 세계 각 지역이 고유의 문화를 중요시하여 다양한 사회구조와 정치구조를 구축해 감으로써 세계의 경제와 정치가 블록화해 가는 A2(다원화사회 시나리오), 환경과 사회에 대한 관심이 높아져서 전 세계가 지구환경의 환경보전과 경제발전을 양립시킬 수 있는 균형 잡힌 사회발전이 이루어지는 B1(순환형 사회 시나리오), 그리고 환경과 사회에 대한 관심이 높아지지만 지구규모의 문제에 대한 관심과 국제협력에 의한 문제해결의 방향으로 나아가지 못하고 지역의 문제와 공평성을 중시하여 bottom-up 방향으로 발전이 이루어지는 B2(지역공존형 사회 시나리오)이다. 각각 사회발전과 기술혁신의 방향이 다르기 때문에 경제성장과 인구증가 그리고 에너지 이용이 서로 크게 달라진다.

33) 참고로 우리나라 표준시나리오의 선정은 향후 IPCC의 활동을 검토하여 결정하는 것이 바람직하며 특히 우리나라의 온실가스 배출, 향후 기후변화, 인구증가 등 사회경제 및 과학기술 발전 수준이 고려된 시나리오 개발이 필요함. 현재 IPCC에서는 A1B 시나리오를 중심으로 2007년 발간을 목표로 하고 있는 제4차 평가보고서를 작성하고 있으므로 이를 고려하는 것도 하나의 방법임.

SRES 시나리오를 전제로 한 기후변화예측은 대단히 중요한 과학적, 정책적인 시사점을 우리에게 주었다. 그것은, 인류의 장래 발전방향은 다양한데, 이러한 방향에 따라서 온난화의 정도와 온난화대책의 의미가 크게 달라진다는 것이다. <부록 그림 2-2>에는 SRES 시나리오와 그것을 기초로 이산화탄소 농도를 안정화하는 데에 필요한 대책 시나리오를 나타낸 것이다. 이 2개의 시나리오 차가 배출삭감 필요량(화살표의 길이)이다. 이 삭감 필요량이 크면 클수록 대책비용이 많아지기 때문에 대책에 어려움이 커진다.

리사이클과 에너지의 효율적 이용을 철저히 하는 순환형 사회(B1)와 폐기물 그 자체를 줄여 자연과 공생하는 지역공존형 사회(B2), 그리고 원자력과 대체에너지 등을 도입해서 고성장을 지속하는 고도기술 지향형 고성장사회(A1T)의 3개 방향으로 나아가면 온난화 대책이 용이해 진다. 물론 어떤 방향으로 나아갈 것인가는 사회의 선택에 달려있는 것이다.

이 검토는 IPCC의 제3차 평가보고서 작업그룹(WG) Ⅱ에서 계속 수행하였다. SRES 시나리오를 바탕으로 한 대책 시나리오에 대한 장(section)이 만들어져서, 사회경제의 발전방향과 온난화대책의 관계가 검토되었다. 시나리오는 "post-SRES 시나리오"라고 불리는데, 전 세계에서 9개 연구팀이 참가하였다. 이 중에서 3개 팀에 일본 전문가가 참여하엿고, 연구프로그램의 조정자역할도 일본 전문가가 맡았다. <부록 그림 2-2>의 농도안정화 시나리오는 이 프로그램에 의해 추정된 것이다.



<부록 그림 2-2> 장래 사회발전 양상의 차이에 따른 이산화탄소 삭감대책의 난이도

(각 그림의 맨 위쪽에 표시된 대는 대책을 세우지 않았을 시의 배출시나리오이고, 그보다 아래에 있는 대(帶)는 대기 중의 이산화탄소농도를 450~750ppm으로 안정화하기 위한 대책 시나리오이며 화살표는 450~550ppm으로 안정화하기 위해서 필요한 배출삭감량을 가리킨다. 각각의 대(帶)는 9개의 모델에 의한 시뮬레이션 결과의 폭을 나타낸다.)

그리고 발전시나리오의 차이가 대책 레벨과 필요한 기술혁신에 어떤 차이를 가져올 것인지, 또한 어떠한 방향으로 발전한다고 할 때 의미를 갖는 확실한 대책과 기술혁신에는 어떠한 것이 있는 가에 대한 현 시점에서의 지식이 IPCC 보고서에 요약되어 제시되었다. 이러한 일련의 연구가 강력히 시사하고자 하는 것은 지구온난화라는 문제에 대처하기 위해서는 좁은 의미에서의 온난화 완화정책의 검토만이 아니라, 다른 사회 경제정책과 어떻게 통합시켜갈 것인가 하는 점과 장래의 발전을 어떤 방향으로 이끌어갈 것인지를 함께 검토하여야 한다는 점이다.

만약 장래발전 방향이 인간생활을 풍요롭게 하면서도 온난화 대책의 방향에도 대체로 일치하는 것이라면 온난화 대책은 세계의 발전을 견인해 가는 길이 되기도 한다. 현재 시나리오 연구는 지구규모에서 지역과 국가 수준으로 옮겨오고 있다. 영국에서는 온난화 추정의 기초가 된 각각의 발전 시나리오를 국가 레벨로 환산해서, 각 지역

의 장래의 변화양상에 따른 영향이 어떻게 변해갈 것인지에 대해서 연구를 진행하고 있다. 또 일본에서도 장래의 발전방향과 온난화 대책과의 관계에 대한 연구가 시작되었다(石井柴郎, 大熊健司, 2003).

5. 전 지구 기후모델에 의한 예측

전 지구 영역의 변화

여러 온실가스와 에어로졸의 배출시나리오에 기초하여 전 지구 평균온도와 전 지구 평균 해수면의 수위변화를 살펴보기 위해서 IPCC 3차 평가보고서(TAR)에서는 간이모델(simple model)에 의한 계산이 수행되었다. 이들 간이모델은 전 지구 평균치가 여러 전 지구 기후모델(전 지구 대기-해양 결합모델)에 의한 응답치와 같아지도록 조정된 것이다. 그래서 간이모델로 얻어지는 전 지구 평균지상기온과 전 지구 평균해수면 수위의 변화에는 어떤 시나리오를 이용하느냐 하는 것과 모델이 안고 있는 불확실성의 문제로부터 파생되는 추정 폭이 존재한다. TAR에 의하면 1990년에서 2100년까지 전 지구 평균지상온도의 상승은 1.4~5.8℃이다. 이 값은 2차 보고서에 의한 1.0~3.5℃보다 훨씬 큰데, 그 이유는 주로 TAR에서 채택한 시나리오에는 냉각효과를 발휘하는 황산화물에 대한 배출량의 예상치가 감소되었고 온실가스가 증가하는 고성장 시나리오가 포함되어진 것에 있다.

전 지구 기후모델(전 지구대기-해양 결합모델)에서 이산화탄소 점증실험과 온실가스 배출 시나리오에 기초한 실험은 전 세계의 10개 이상의 연구기관에서 수행하고 있다. 이들 기후예측에 사용되고 있는 기후모델에는 해수면에서의 열과 물의 플럭스 조정을 수행하는 모델과 조정을 하지 않는 모델이 거의 반반 정도인데, 조정을 행하는 모델은 해수면 온도와 염분이 관측 치와 많이 다르지 않도록 하고 있다.

모델에 의한 기후예측 결과를 판단함에 있어서 이들 모델이 현재의 평균적인 기후상태와 경년 변동 등을 얼마나 재현할 수 있는지를 평가해 두는 것이 중요하다. 그래서 IPCC 보고서에서도 또 하나의 장(chapter)을 기후모델의 평가에 할애하고 있다(IPCC, 1996, 2001). 또 CLIVAR에 의한 CMIP(Coupled Model Inter-comparison

Project, 결합모델 상호비교실험)에서는, 복수의 부(副)프로젝트에서 다양한 관점에서 모델평가를 수행하고 있다.

우리나라 주변의 동아시아의 현재기후의 재현성을 평가한 예로는, Giorgi and Francisco (2000)가 5개의 전 지구 기후모델(CCC, CCSR/NIES, CSIRO, HadCM, MPI)을 이용하여 동아시아 지역의 현재기후의 시뮬레이션 결과를 관측 치와 비교해서 모델 bias(현재기후시뮬레이션과 관측간의 차이)로서, 겨울의 저온 bias와 강수량에 대한 과대평가를 지적한 바 있다. 한편, 일본기상연구소 모델에서는 유라시아대륙에서 고온 bias가 나타나는 등(Yukimoto et al., 2001), 모델간의 차이도 크고 기본상태가 되는 강수량과 육상기온 등의 현재 기후의 재현성은 아직 충분하지 않다. 이러한 모델 bias가 온실가스 증가시의 기후변화 예측에 미치는 영향에 대해서는 알려져 있지 않다.

전 지구 기후모델에 의한 최근의 실험에서는 이산화탄소로 환산해서 연 1% 점증실험 이외에, 복수의 배출시나리오에 기초한 온실가스와 황산에어로졸을 저감시키는 실험 및 장래의 이산화탄소농도를 일정한 값으로 안정화시키는 시나리오에 의한 실험이 이루어지고 있다(IPCC, 2001). 이들 실험결과에서 볼 수 있는 공통적인 특징은, 양은 다르더라도, 전 지구 평균기온이 상승한다는 것, 전 지구 평균 강수량이 증가한다는 것, 육상기온의 상승이 해상보다 크다는 것, 고위도의 기온 상승이 저위도보다 크다는 것, 북반구의 기온상승이 남반구보다 크다는 것을 들 수 있는데 기온·강수량 변화의 지리적 분포에 대해서는 모델 간에 차이가 크다. 이러한 특징은 IPCC 제2차 보고서 및 JPCC(1997) 결과와도 유사하다.

IPCC는 자료배포센터를 설치하여 이산화탄소 점증실험의 장기적분 결과를 web상에서 공개하고 있다. 이들 결과를 바탕으로 전 지구적인 기후변화예측을 살펴보면 다음과 같다(JPCC, 2003).

<부록 그림 2-3>과 <부록 그림 2-4>에 이산화탄소 연간 1%(복리로 증가) 증가 또는 IS92a 배출시나리오를 이용해서 11개의 기후모델로 계산된 향후 100년간의 연평균 지상기온과 연평균 강수량의 변화경향에 대한 전구분포를 나타내었다. 그림에는 11개 모델의 평균치(모델 앙상블 평균)와 모델간의 산포성(모델에 따라서 달라지는 불확실

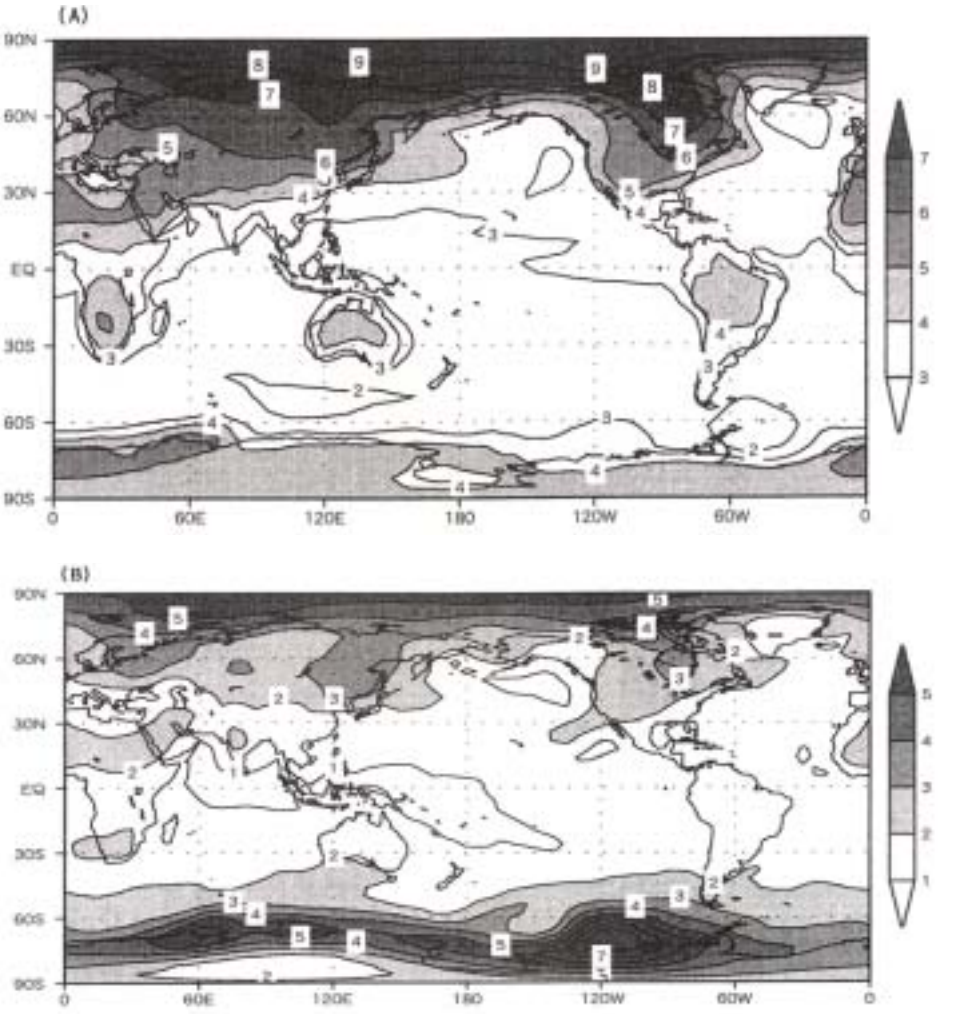
성)을 보기위해서 모델간의 표준편차를 나타내었다.

모델평균의 그림으로부터 지상기온변화의 변화특징을 확실하게 볼 수 있다. 즉, 5℃/100년 이상 되는 지역은 북반구의 육상에만 나타나는데, 특히 북극지역에서 최대 기온상승이 나타남을 알 수 있다. 유라시아대륙에서도 대륙 동부에서의 기온상승이 서부의 유럽대륙보다 크다. 이처럼 대륙의 동서 간에 대조적인 기온상승경향이 나타나는 현상을 북미대륙에서도 볼 수 있다. 이들 대륙의 동부는 정상적(定常的)인 기압곡의 위치에 해당하며, 설선(雪線)이 비교적 저위도에 위치하기 때문에 설빙-알베도 사이의 피드백 효과가 크게 작용하여 기온상승이 크게 나타나는 것으로 판단된다 (Noda et al., 1996). 우리나라와 같은 위도 대에서는 한반도의 바로 서쪽에 위치하고 있는 중국의 동북부에서 러시아의 극동지역에 걸쳐서 기온 상승이 가장 클 것으로 예측되고 있다.

모델간의 표준편차를 보면, 평균치와 마찬가지로 고위도일수록 저위도보다 크고 평균치가 큰 지역에서 모델 간에 예측치가 많이 다르게 산출되고 있다. 남반구는 북반구와는 다른 양상을 보이는데, 평균치와 표준편차 간에 패턴의 유사성이 적고 남극 주변지역에서 모델간에 예측치가 크게 다르게 산출되고 있다는 것이 특징이다.

우리나라 부근에서도 북쪽으로 갈수록 기온의 상승량이 큰 특징을 볼 수 있다. 한반도 남부에서 +4.5℃, 북쪽에서는 +6℃로 나타나 있다. 전 지구 평균 연평균 지상기온의 상승량이 3.6℃이므로 한반도 부근의 기온상승 예측량은 전 지구 평균보다 훨씬 크게 예측되고 있음을 알 수 있다. 한반도 부근에 대한 모델간의 표준편차는 약 2.5℃이다.

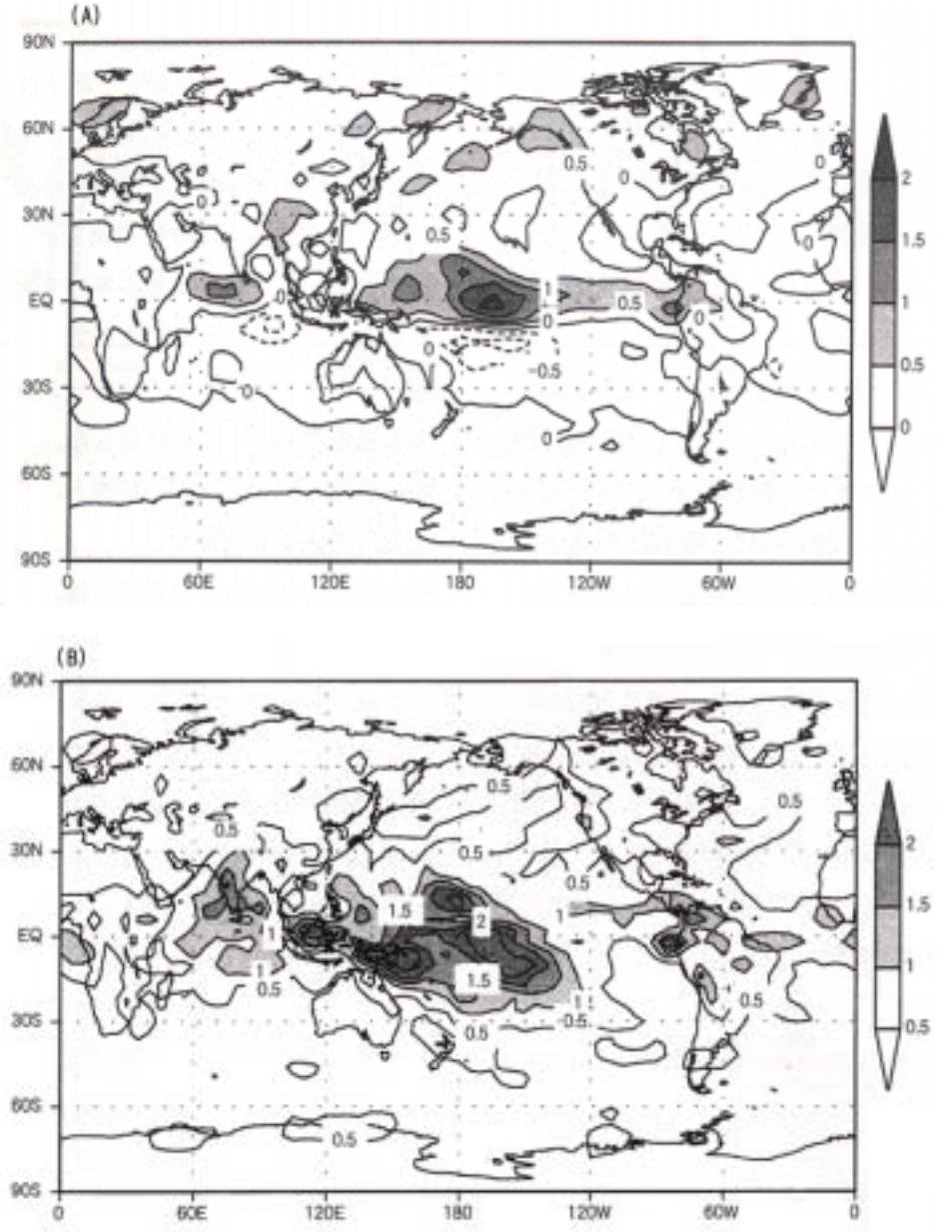
연평균 강수량(<부록 그림 2-4> 참조)은 전 지구 평균으로는 증가할 것으로 예상되고 있다. 증가량이 가장 많을 것으로 예상되는 지역은 열대태평양이다. 태평양과 인도양의 적도부근에서 강수량이 증가하고 남태평양에서 감소하는 양상이 예측되지만, 이들 지역에 대한 모델의 예측치 사이에는 편차가 크다. 한반도 주변의 경우에는 강수량변화가 매우 적을 것으로 예측되고 있음을 볼 수 있다.



<부록 그림 2-3> (a)11개의 기후모델로 계산된 이산화탄소 1%/년(또는 IPCC 시나리오 1992a)을 기초로 산출한 100년간의 연평균 지상기온 변화량(℃/100년)의 평균치, (b)모델간의 표준편차

(사용한 모델은 CCC(캐나다 기후센터), CCSR/NIES(동경대학 기후시스템센터/일본국립환경연구소), CSIRO(호주과학산업연구기구), DKRZ(독일 기후연구센터), CFDL(미국 지구유체역학연구소), HadCM(영국 해들리센터)의 2종류, MPI(독일 막스플랑크기상연구소), MRI(일본 기상연구소)의 2종류, NCAR(미국대기과학연구센터).)

자료: JPCC(2003)



<부록 그림 2-4> (a) 11개의 기후모델로 계산된 연강수량, (b) 모델간의 표준편차

자료: JPCC(2003)

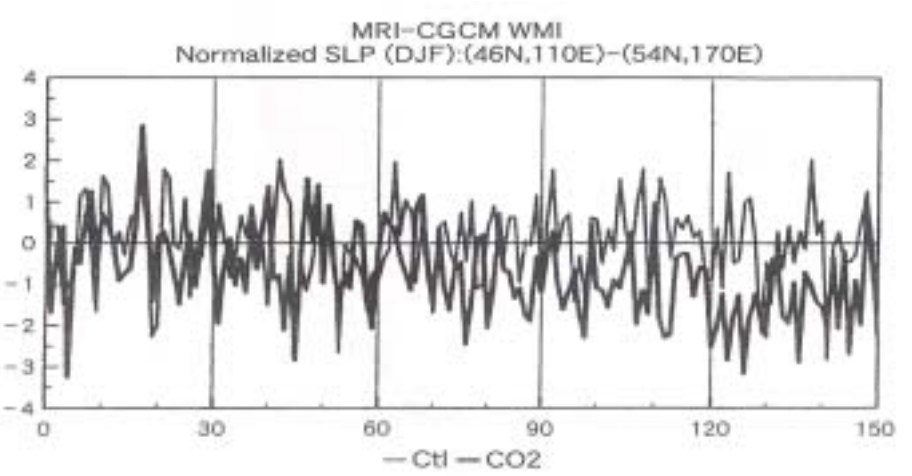
온난화에 따른 기온변화의 지리적 패턴은 해당 모델이 갖는 자연변동패턴과 유사성을 갖는다는 사실이 지적되고 있다(Noda, 2000).

북반구 고위도의 자연변동으로는 북극진동이라고 불리는 패턴이 탁월하다. 온난화에 따른 해수면 기압변화에도 북극진동과의 유사성이 발견된다(Yamaguchi et al., 1999). 한편, 북태평양지역에서의 주요한 자연변동 패턴은 엘니뇨와 관련된 것인데 모델간의 상호비교에 의하면 태평양 해수면온도의 평균적 변화는 엘니뇨시의 그것과 유사한 모델이 많다(Noda, 2000). 즉 <부록 그림 2-3>에도 나타나 있지만 100년 규모의 평균적인 기후변화에 있어서 열대태평양에서는 동부 쪽이 서부보다도 기온상승이 커서, 경년변동 성분에서 엘니뇨 시의 기온변화와 유사하다. 온난화 한 기후상태에 있어서도 엘니뇨 시의 강도와 빈도가 어떻게 변할 것인가에 대해서는 모델에 따라서 상반된 결과가 나오고 있기 때문에 현재 단계에서는 예측의 신뢰도가 낮은 실정이다.

겨울철 몬순

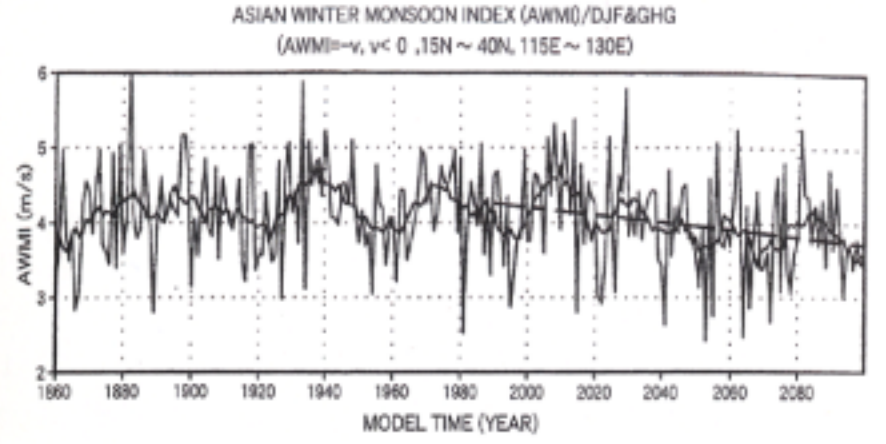
아시아 기후의 특징인 몬순의 변화에 대해서 JPCC(2003)보고서를 바탕으로 정리하면 다음과 같다.

아시아 지역의 겨울철 몬순은 전반적으로 약해질 것이다. 겨울에는 유라시아대륙이 해상에 비해서 기온상승이 높을 것이며 시베리아에서 북태평양 해상으로 부는 북서계절풍이 약화된다. 일본기상연구소모델(Tokioka et al., 1995)을 이용하여 예측한 겨울철 몬순인덱스의 추이는 <부록 그림 2-5>와 같다. 겨울철 몬순인덱스는 12월~2월 평균의 시베리아 고기압과 알류산 저기압의 해수면상의 기압 차로 정의된 값이다. 이 값은 계절평균의 북서계절풍의 지표라고 생각할 수 있다. 그림에서 경년 변동성분이 크기는 하지만, 이산화탄소가 거의 2배로 증가하는 70년 후쯤부터 이산화탄소 점증실험에서 대륙과 해양상의 기압차가 감소하고 있는 것을 알 수 있다(지표가 음으로 나타남). 독일 막스플랑크연구소(MPI)의 결합모델의 결과에서도 아시아대륙과 태평양의 기압차와 온도차가 작아지고, 상부 대류권에서 동아시아에 있는 기압의 곡과 제트기류가 동쪽으로 옮겨지면서 약화되는 것으로 나타났다(Hu et al., 2000).



<부록 그림 2-5> 일본기상연구소모델(MRI-CGCM1)로 평가된 아시아의 겨울철 몬순

(제어실험으로 나타난 시베리아고기압의 중심(46N, 110E)과 알류산저기압(54N, 170E)간의 12월~2월 동안의 평균 지상기압차를 지표화한 것이다. 값이 양이면서 클수록 북서계절풍이 강함을 나타낸다. 가는 실선은 현재기후 재현실험, 굵은 실선은 이산화탄소 점증실험의 결과이다.)



<부록 그림 2-6> 독일의 MPI 모델로 예측된 아시아의 겨울철 몬순

(중국 남해에서의 지상풍의 북풍성분에 대한 강도를 지표화한 것이다.)

자료: Hu et. al.,(2000)

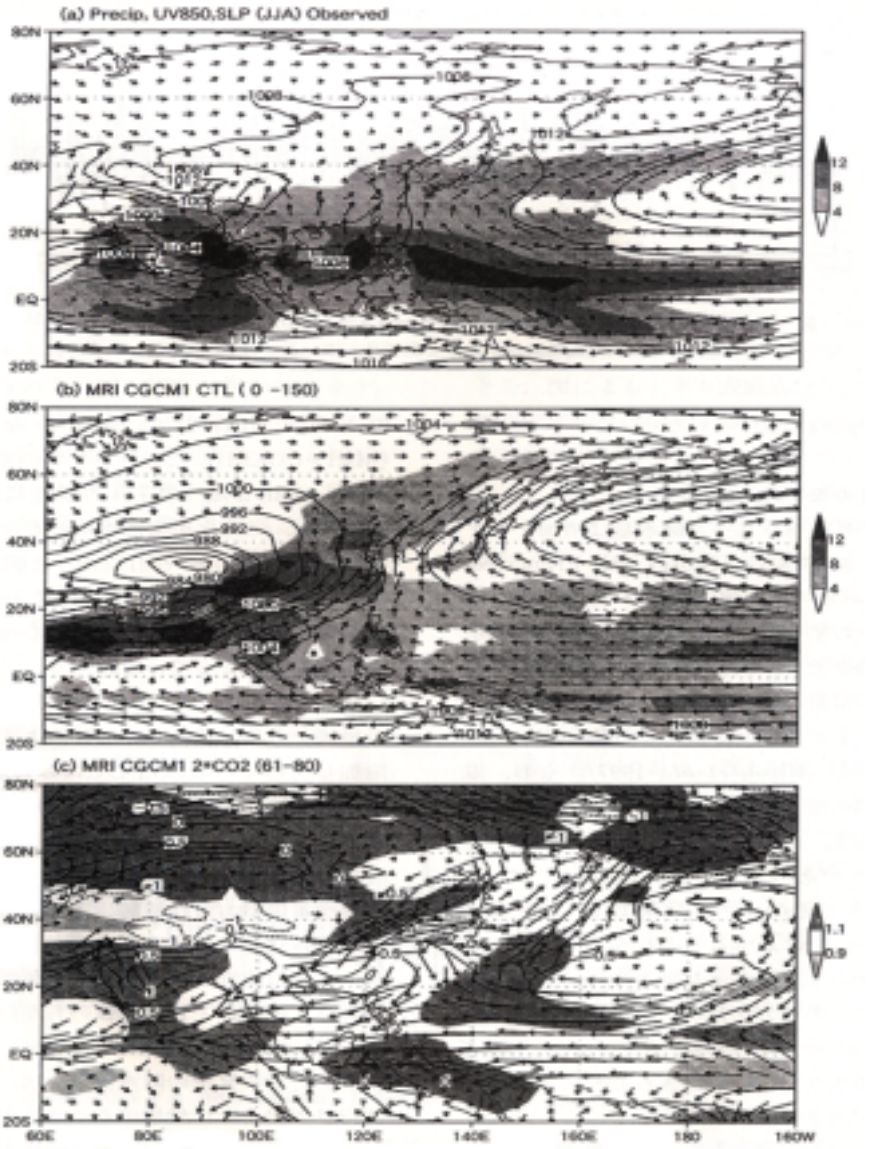
앞의 <부록 그림 2-6>은 독일의 막스플랑크기상연구소(MPI)모델로 평가된 중국남해에서의 북풍의 강도를 지표로 나타낸 것이다. 이 지표에서도 경년변동성분과 10년 규모의 변동이 크지만 장기적인 감소경향이 보인다.

지구온난화에 수반되어 아시아지역의 겨울철 계절풍 강도는 약화될 것으로 예측되지만, 강수량에 대해서는 판단하기가 어렵다. 겨울철 일본과 우리나라 부근의 강수량에 대해서는 증가를 예측하는 모델(Hu et al., 2000)과 감소를 예측하는 모델(e.g. Boer et al., 2000)이 있는데, 부호를 포함해서 모델 간에 차이가 크다(Giorgi and Francisco, 2000). 이 점은 JPCC 1차보고서(1997)와 큰 차이가 없다.

여름철 몬순

인도의 하계몬순 강수량은 증가하는 것으로 예측하는 모델이 많다(Giorgi and Francisco, 2000). 몬순의 풍계는 약간 북상한다. 아라비아해에서 인도로 부는 하층몬순인 서풍이 약화되는 경우에도 기온상승으로 대기 중에 포함되는 수증기량이 증가하기 때문에 수증기 수송량이 증가하고 이로 인해 인도몬순의 강수량이 증가하는 것으로 이해된다(Kitoh et al., 1997). 한편 온실가스의 증가에다 에어로졸 증가효과를 추가하면 인도몬순은 거꾸로 약화된다는 보고가 있었지만(e.g. Mitchell et al., 1995), 보다 최근의 모델결과에 따르면 온실가스 증가효과만 고려하였을 때보다는 약화되지만 본질적으로는 변함없이 현재보다는 몬순강수량이 증가한다는 견해가 우세하다(Roeckner et al., 1999; Emori et al., 1999). 다만 에어로졸 증가에 따른 효과는 완전하게 모델에 반영되고 있지 못하기 때문에 불확실성이 크다.

하계 동아시아 지역의 시뮬레이션에 있어서는, 인도몬순보다도 현재기후의 재현이 곤란하다는 사실이 알려져 있다. 여기서는 한 예로서 <부록 그림 2-7>에 일본기상연구소모델(MRI- CGCM1)에 따른 하계의 강수량, 해수면기압, 850hPa 고도의 바람벡터에 대한 현재기후 재현 실험의 값과 이산화탄소 배증시의 변화량을 나타내었다. 현재기후 재현 실험(<부록 그림 2-7b> 참조)과 관측치(<부록 그림 2-7a> 참조)를 비교하여 보면, 모델에 의한 서태평양의 강수량의 재현이 좋지 못하다. 이점은 많은 모델에서 공통되는 결점이다.



<부록 그림 2-7> (a)관측과 (b)MRI-CGM1에 의한 현재기후 재현실험에서의 하계 강수량(음영으로 표현, mm/day), 해수면기압(등치선, hPa), 850hPa고도의 바람, (c)이산화탄소 배증시와 현재기후 재현 실험간의 차이

(강수량은 현재기후 재현실험과의 비로 나타내었다.)

자료: JPCC(2003)

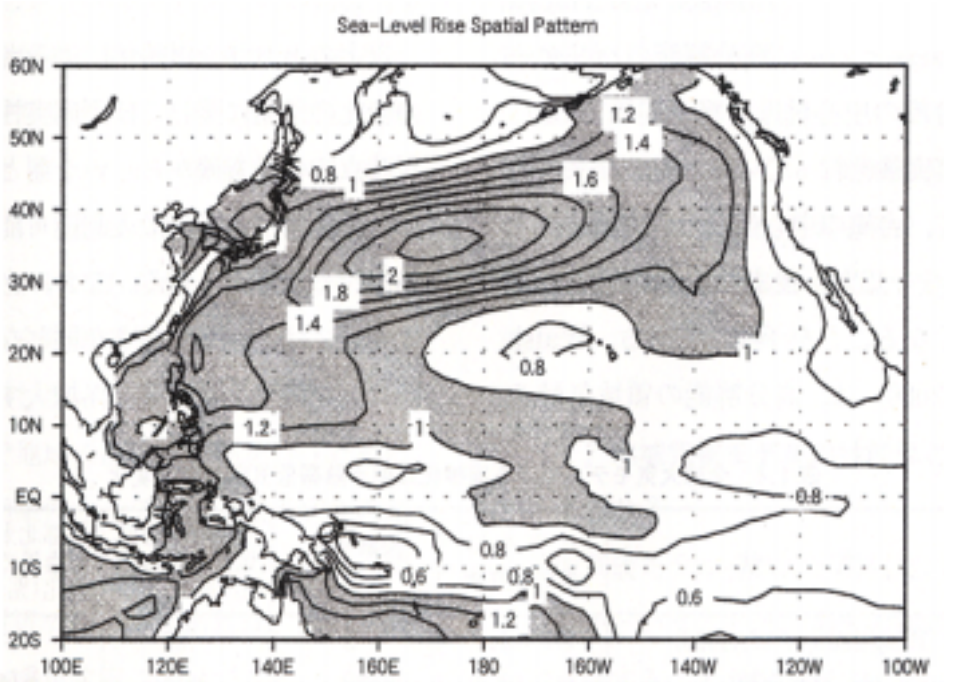
동아시아지역의 강수량은 증가하는 지역과 감소하는 지역이 있다. 인도는 앞에서 기술하였듯이 강수량이 증가하고 있다. 해수면 기압은 대체로 북위 30도 이남에서 기압이 높아지고, 북위 40-50도 영역에서 기압이 하강하고 있다. 이것은 북태평양고기압이 남하하여 강해지고 있다는 것을 나타내는 것이다. 한반도와 일본열도 부근의 강수량은 대체로 증가하고 있지만, 태평양 고기압의 강화라는 측면을 고려하면 태평양쪽에서는 강수량이 감소할 가능성이 있지만, 전 지구 기후모델로는 태평양쪽과 우리나라 동해안쪽의 차이를 구별해 낼 수가 없다.

또 Giorgi and Francisco(2000)에 의하면 동아시아지역에서 하계 강수량변화는 온실가스증가만을 고려한 경우에는 강수량이 증가되는 모델이 많지만 에어로졸효과까지 포함할 경우에는 모델 간에 공통점을 찾을 수 없게 된다.

해수면 수위변화

해수면 수위는 해수의 열팽창과 빙하의 감소로 상승이 나타날 것으로 예상되고 있다. 남극대륙 서부의 빙상이 녹으면 해수면 수위상승에 미치는 영향은 대단히 크지만, 21세기 중에 나타날 가능성은 낮다. TAR에 의하면, 복수의 배출시나리오에 기초하여 간이모델로 예측한 해수면 수위상승량은 1990년에서 2100년 사이에 9~88cm에 이른다.

전 지구 기후모델에서는 해수의 열팽창에 의한 해수면 수위변화량의 공간분포가 예측된다. 공간분포의 한 예를 <부록 그림 2-8>에 제시하였다. 이 모델의 결과에 의하면 한반도 주변의 수위상승량이 전 지구 평균보다 다소 작을 것으로 예상되고 있다. 다만 모델 간에 서로 큰 차이를 보이기 때문에 신뢰성은 낮은 것으로 평가된다(JPCC, 2003).



<부록 그림 2-8> 해수면 수위변화 패턴의 사례. MRI-CGCM2로 IS92a 시나리오에 따른 온실가스와 에어로졸 배출을 고려한 실험결과

(전 지구 평균해수면 수위상승량에 대한 비로 나타내었다. 전 지구 평균해수면 상승량과 공간패턴 모두 모델간에 차이가 크게 나타남.)

자료: JPCC(2003)

태풍

여기서는 온난화에 따른 태풍의 수와 강도변화예측에 관한 그 동안의 연구 성과(JPCC, 2003)를 요약하여 제시한다.

온난화가 동아시아에 미치는 영향을 고려할 경우에 태풍의 수와 강도가 어떻게 변할 것인가 하는 것이 중요한 문제가 된다. 태풍은 중심 부근에 강한 바람과 비가 집중되기 때문에 수 백 km정도의 격자간격을 갖는 전 지구 기후모델로는 현실적인 태풍을 직접 표현하기가 어렵다. 이 때문에 온난화에 따른 태풍의 수와 강도변화를 조사

하기 위해서는 저분해능의 기후모델로 예측된 해수면온도를 이용해서 장래 일정기간(예를 들면, 대기 중의 이산화탄소 농도가 현재의 2배로 되는 60~70년 후)의 기후를 고분해능의 전 지구 대기모델로 예측하는 실험을 수행하고 있다. 이러한 실험으로도 전 지구 모델로는 분해능이 부족하다. 특히 태풍의 최대강도 변화를 예측하기 위해서는 태풍 중심부근의 세세한 구조가 재현 가능할 정도의 분해능이 필요하다. 그래서 보다 고분해능의 태풍(허리케인)모델을 저분해능의 전 지구 기후모델에 결합시켜서 태풍의 최대강도 변화를 조사하는 실험도 이루어지고 있다.

온난화에 따른 열대저기압(태풍, 허리케인, 싸이클론)의 수와 강도변화에 대해 비교적 높은 공간분해능을 갖는 전 지구 대기모델을 이용해서 수행된 최근의 실험결과를 <부록 표 2-2>에 정리하여 제시하였다.

<부록 표 2-2> 전 지구 대기모델에 의한 온난화에 따른 열대저기압 발생 수의 변화

문 헌	모델의 수평분해능	실험 연수(년)	전 지구의 열대저기압 수의 변화(%)	서부 북태평양의 태풍 수 변화(%)
Bengtsson(1995)	1.1°× 1.1°	5	-37	-34
杉 외(1996)	1.1°× 1.1°	10	-34	-66
Yoshimura et al.,(1999)	1.1°× 1.1°	10	-20	-20
筒井 외(1999)	2.8°× 2.8°	8	+3	+11
May and Andersen(1999)	1.1°× 1.1°	30	-23	-30
McDonald(1999)	0.83°× 1.25°	5	+1	-18

자료: JPCC(2003)

표에서 알 수 있듯이 실험결과로는, 지구가 온난화되면 열대저기압 발생수가 감소하는 것으로 예측되는 경우가 많다. 그 이유로는 온난화로 열대대류권 상층의 기온이 높아져 대기층이 안정화하기 때문에 온난화로 대기 중의 수증기량이 증가하여 강수량이 증가하더라도 열대대기의 순환강도는 강화되지 않고 오히려 약화되기 때문으로 설명할 수 있다. 아울러 표에 제시된 바와 같이 열대저기압 수의 변화는 모델에 따라

서 상당히 다르다. 특히 서부 북태평양 등 지역마다의 변화는 모델에 따라서 큰 차이가 난다. 그 이유는 각각의 모델에서 실험에 이용되고 있는 온난화 시의 해수면 수온 상승 값의 크기와 분포가 다르다는 사실에 있는 것으로 판단된다. 이러한 사실로 TAR에서는 열대저기압의 수와 분포변화에 대한 예측은 불확실하다고 기술하고 있다.

온난화에 따른 태풍의 강도변화에 대해서는, Knutson et al.(1998), Knutson and Tuleya(1999)가 기후모델에 고분해능의 허리케인 모델(태풍중심 부근의 격자간격 18km)을 조합해서 실험을 수행하였다. 그 결과 온난화로 태풍의 중심부근의 최대풍속이 3~7m/s(5~12%)정도 강해지고, 중심기압도 7~20hPa정도 낮아지는 것으로 예측되고 있다. Walsh and Ryan(2000)은 고분해능의 영역기후모델 (격자간격 30km)을 이용해서, 온난화 시에 호주 부근의 열대저기압 강도가 어떻게 변할 것인가를 조사하였다. 그 결과 온난화 시에 열대저기압의 강도가 조금 강화되는 경향으로 나타났다. 열대저기압의 강도에 대해서는, 열역학적인 이론적 고찰에 의한 최대 도달가능 강도(Maximum Potential Intensity, MPI)를 이용한 논의도 이루어지고 있다. 그것에 의하면 온난화 시에 열대저기압의 MPI는 10~20% 증가하는 것으로 추정된다(Henderson-Sellers, 1999). 모델에 의한 강도변화의 크기는 그것보다 작은데, 그것은 주로 MPI에는 열대저기압의 강도에 영향을 미치는 역학적 인자가 고려되고 있지 않기 때문인 것으로 판단된다(Henderson-Sellers, 1999). 이러한 논의에 기초하여 TAR에서는 온난화로 인하여 태풍의 강도(최대풍속)가 강해질 가능성이 높다고 기술하고 있다. 그렇지만 전 지구 모델실험에서는 강한 열대저기압의 수가 줄고, 평균적인 열대저기압의 강도는 약해진다는 결과도 제시되고 있다.

이상과 같이 온난화에 따른 태풍의 수와 강도변화의 예측에 관해서는 불확실성이 크지만, 현 시점에서 가장 확실한 것으로 보이는 예측은 태풍의 수는 줄어드는 반면 최대 도달 가능한 강도는 좀더 강해진다는 것이다. 또 태풍에 수반되는 강수량에 대해서는, 태풍의 강도가 같을 경우 온난화 시에 강수량이 10~30% 증가할 가능성이 있다고 지적되고 있다(Yoshimura et al., 1999; Knutson and Tuleya, 1999).

〈부록 3〉 기후변화 영향평가 및 적응 네트워크 웹 사이트

1. 목적 및 필요성

기후변화영향평가 및 적응 시스템 구축 연구 사업 지원

웹을 이용한 온라인 정보 공유 시스템인 Korea Climate Change Impacts and Adaptation Network (K-CCIANET)는 한국환경정책・평가연구원(KEI)이 주관하는 '기후변화영향평가 및 적응 시스템 구축'의 1차년도 연구 중 하나이다. 기후변화 영향 및 적응에 관련된 국내외 연구 결과를 데이터베이스로 구축하기 위한 목적으로 KEI의 주관 하에 웹 사이트(http://k-ccianet.kei.re.kr)로 제작되었다.

K-CCIANET는 기후변화 영향과 적응에 관련된 국내외 연구결과를 데이터베이스로 구축하여 일차적으로 관련 연구기관이 자료를 공유할 수 있게 하였으며, 나아가 국가적 기후변화 적응력을 높이고 지속가능한 발전을 위해 관련기관, 학계, 국민에게 연구 사업 결과물을 제공하는 것을 목적으로 하고 있다.

K-CCIANET은 국내외 기후변화 영향 및 적응과 관련한 기존의 동향을 파악하고 사례를 분석하는데 도움이 될 것이며, 향후 2차년도의 우리나라 기후변화 영향 및 적응의 취약 부분 파악과 3차년도의 적응정책 프레임워크 구축에 발판이 될 것이다.

2. 기능

1) 연구관련 데이터, 정보, 결과물의 체계적인 관리

연구총괄기간인 KEI 와 분야별 참여 연구기관에 의해 자료수집 및 분석이 진행 중이며 데이터베이스화하여 기후변화 영향 및 적응에 관련된 자료를 계속적으로 업데이트할 것이다.

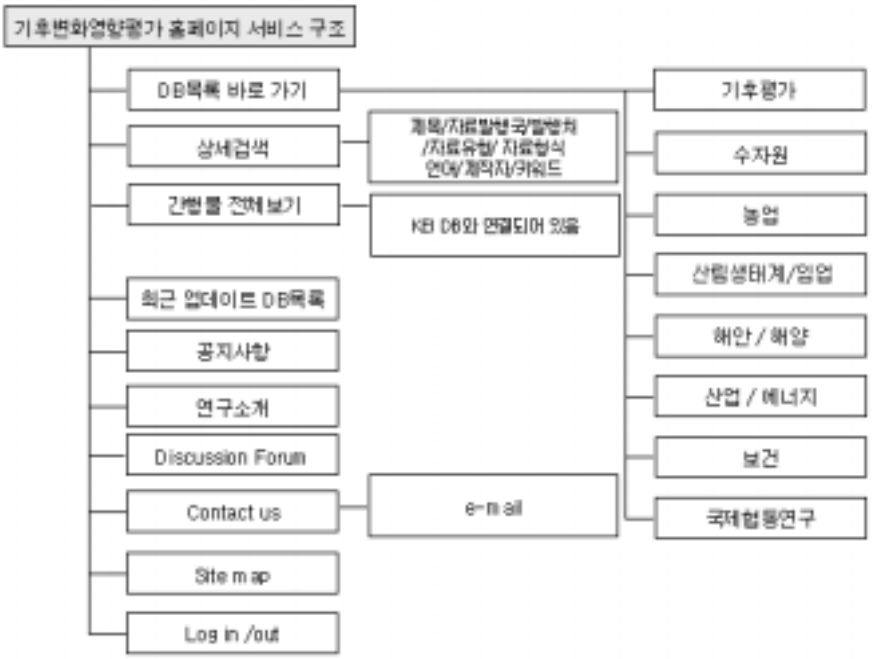
DB목록은 기후평가, 농업, 해안/해양, 건강・보건, 수자원, 산림생태계/임업, 산업

/에너지, 국제협동연구로 8개 부문별로 나누어 제공하고 있다. 또한, 상세검색을 통해 제목, 저자, 발행처, 자료유형, 자료형식, 언어, 자료 발행국, 키워드로 원하는 자료를 검색할 수 있으며, 이용자는 자료 검색 시, 제목, 저자, 발행처, 자료유형, 언어, 국가, 카테고리, 목차유무, 요약유무, 년도, 종류, 키워드, 파일로 분석된 정보를 얻을 수 있다.

최근 업 데이트된 자료들은 따로 게시판 형식으로 볼 수 있기 때문에 기후변화 영향 및 적응에 관한 새로운 정보를 상세 검색 없이 접할 수 있다.

정회원에 한해 저작권 문제가 없는 자료들은 pdf나 html형식으로 파일로 다운로드 받을 수 있으며, 저작권이 설정되어 있는 자료는 자료의 출처를 제공하여 이용자들이 직접 인터넷을 통해 검색할 수 있도록 하였다. 일반회원과 게스트는 자료검색 시 pdf나 html형식의 파일을 제외한 자료의 출처까지만 볼 수 있도록 하여 자료의 전송권 문제를 최소화하였다.

본 웹 사이트는 사용자들로 하여금 다양한 정보를 제공하기 위해 관련기관 및 국내외 기후변화 영향 및 적응에 관한 웹 사이트로 바로 이동할 수 있게 했으며, 기후변화 영향 및 적응과 관련된 KEI 의 간행물도 제공하고 있다. 웹 사이트의 구조는 <부록 그림 3-1>과 같다.



<부록 그림 3-1> K-CCIANET 웹 사이트 구조

2) 원활한 정보교류 및 토론의 활성화

연구소개에 연구총괄기관 연구책임자, 분야별 참여자 및 분야별 참여 연구기관의 참여자들의 연락처를 제공하고 있다.

'Discussion Forum'은 연구 참여자나 일반인들이 의견이나 질문사항을 게시하게 되면 그에 맞는 답변을 하는 방식으로 운영한다.(Question & Answer) Discussion Forum은 시간과 장소에 제약을 받지 않으므로 연구 참여자 간의 원활한 의사소통이 가능하며, 일반인들도 참여하여 다양한 의견을 수렴할 수 있게 되어 있다.

3) 기후변화 관련 정보 및 연구사업 결과물 제공

공지사항을 통해 기후변화의 영향 및 적응과 관련한 각종 포럼, 세미나, 및 워크숍 소식을 제공하여 보다 많은 관련기관과 이해당사자들의 참여를 촉진시킬 것이다.

3개년 연구사업인 '기후변화 영향평가 및 적응 시스템 구축'의 연구 결과를 웹 사이트를 통해 알림으로써 관련 기관과 국민에게 기후변화 영향 및 적응에 대한 올바른 정보를 제공할 것이다.

3. 기대효과

향후 K-CCIANET는 기후평가, 수자원, 농업, 임업 및 산림 생태계, 해안 및 해양, 산업 및 에너지, 건강・보건, 및 국제협동연구 분야에 있어 기후변화로 인한 영향 및 적응과 관련된 국내외 연구 자료를 계속적으로 업데이트할 것이다. 이 자료들은 일정한 규칙 하에 체계적으로 관리될 것이다. 검증된 RDBMS를 이용, 관계형 DB로 자료 관리 체계를 구축하여 각 연구 단계에서 생성된 각종 데이터・정보・결과물을 체계적으로 관리할 수 있다. 자료 생성・저장・버전관리를 위한 일정한 규칙을 정하고 이를 시스템에 탑재시켜 각기 다른 연구기관에서 연도별로 생성된 다양한 데이터・정보・결과물이 동일한 포맷으로 저장・관리될 수 있다.

Discussion Forum을 통해 연구 참여자 간의 원활한 정보공유 및 토론이 활성화될 것이며, 더 나아가 기후변화에 대한 올바른 정보와 지식을 제공함으로써 국민들로 하여금 기후변화 문제를 올바로 인식할 수 있도록 하며 국가적 기후변화 적응력을 높이는 계기가 될 것이다.

<부록 4> 국내·외 기후변화 영향 및 적응 관련 연구 사례 DB

건강·보건과 산림부문에 대한 기후변화 영향 및 적응연구 사례 DB를 예시로 제시하였다. 건강·보건부문은 외국의 사례에 국한하고 산림은 국내·외 연구사례를 모두 제시하였다.

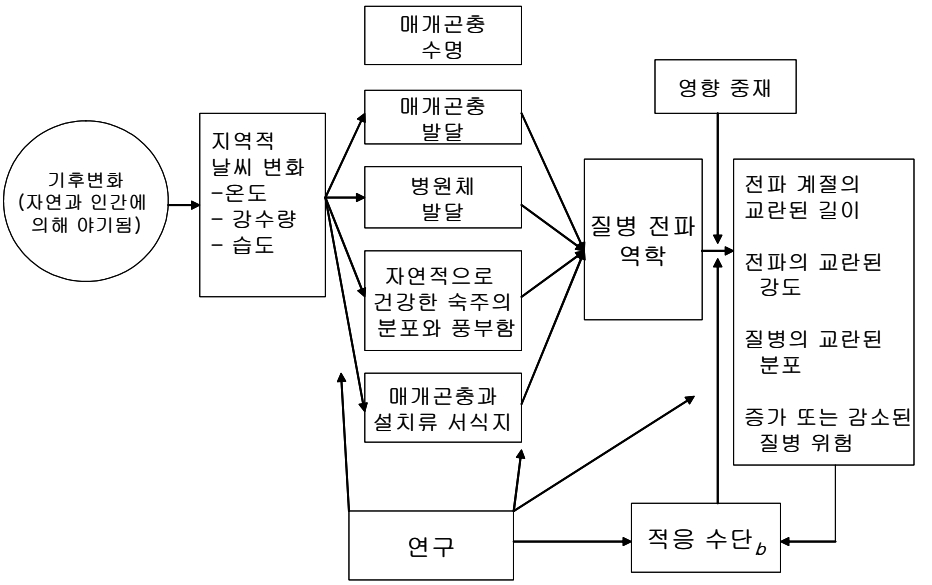
1. 건강·보건 부문

기후변화 및 기후변동이 전영병과 질병에 미치는 영향, 건강과 사망률에 미치는 영향. 그리고 혹서, 열파 등 열 노출에 따른 건강 영향을 중심으로 제시하였다.

분 야	climate change+infectious disease (1)
제 목	Climate Variability and Change in the United States: Potential Impacts on Vector-and Rodent-Borne Disease(미국의 기후변동과 변화: 매개전염병과 설치류에 의한 질병에 미치는 영향)
저 자	Duane J. Gubler, et al
저자소속	Division of Vectorborne Infectious Disease, U.S. Centers for Disease Control and Prevention
출 처	Environmental Health Perspectives, Vol. 109, 2001, pp.223-233

흡혈 절지동물에 의해 사람 간에 전파되는 페스트, 발진티푸스, 황열, 뎅기열과 같은 질병은 미국에서 한때 유행했었다. 이들 질병 중 다수는 현재 출현하지 않는데, 이는 주로 토지 이용, 농업방식, 거주 형태, 인간의 행동, 매개물질 통제 등에 변화가 있었기 때문이다. 그러나 야생 조류나 포유류에 의해 인간에게로 전파되는 질병(동물원성(原性)감염증)은 여전히 미국의 여러 지역에서 발생하고 있다. 대부분의 매개전염병은 날씨에 민감하여 뚜렷한 계절적 패턴을 보이면서 유행한다. 강수량, 온도 그리

고 기타 날씨 변인들은 매개곤충과 병원체가 전파되는데 여러모로 영향을 미친다. 예를 들어, 고온은 매개물질(vector), 행동, 생태 그리고 기타 많은 요인들의 작용에 의해서 생존율을 증가 또는 감소시킬 수 있다. 그래서 전파가능성은 온도가 높아지면서 높아지기도 하고 낮아지기도 한다. 해외여행의 급속한 성장으로 인해 매개전염병의 유입 위험성이 높아지고 있지만, 인구학적·사회학적 요인들도 질병발생에 중요한 역할을 하므로 만약 공중보건의 인프라가 관리 및 향상된다면 미국의 주요 전염병 발생은 일어나지 않을 것이다.



<부록 그림 4-1> 잠재적 매개곤충 및 설치류 전염병

분 야	climate change+infectious disease (2)
제 목	Potential effect of population and climate changes on global distribution of dengue fever: an empirical model(인구 및 기후변화가 뎅기열의 분포에 미치는 잠재적 영향: 경험적 모델)
저 자	Simon Hales, et al.
저자소속	Dept. of Public Health, Wellington School of Medicine and Health Science, New Zealand
출 처	The Lancet, Vol. 360, 2002, pp. 830-834

배경: 매개전염병에 대한 기후변화의 잠재적 영향에 대해 존재하는 이론적 모델들은 인구증가 또는 기후변인들 간의 상호작용과 같은 사회적 요인들을 설명하지 않는다. 본 연구의 목적은 지구차원의 기후변화가 사람의 건강에 미치는 영향, 특히 매개전염병의 전파로 인한 잠재적 영향을 조사하는데 있다.

연구방법: 습도의 측정단위인 증기압에 기초하여 뎅기열의 세계적 분포에 대한 보고자료를 검토하였다. 뎅기열 전파의 지리학적 한계의 변화와 미래 기후변화로 인해서 발생될 뎅기열 때문에 위험에 처하게 될 사람 수의 변화를 평가하였다.

연구결과: 최근의 뎅기열 전파의 지리학적 한계는 장기간의 평균 증기압에 기초할 때, 89% 정확성을 갖는 것으로 나타났다. 1990년 전 세계 인구의 약 30%인 15억 명의 사람들이 뎅기열 전파의 위험이 50% 이상인 지역에 거주하였다. 2085년, 기후변화가 발생하지 않을 경우 35억 명(2085년 예상인구의 35%에 해당)이 뎅기열 전파로 인해 위험에 처할 것이라고 예측되는 것과 비교해서, 인구와 기후변화를 가정한다면 50~60억 명의 사람들(2085년 예상 인구의 50~60%에 해당)이 뎅기열 전파로 위험에 처할 것으로 예측된다.

결론: 기후변화는 뎅기열 전파에 적합한 기후를 가진 지역의 증가를 초래하며, 이에 대한 어떠한 기여 요인도 변하지 않는다면 다수의 사람들이 위험에 처하게 될 것이다.

분 야	climate change+infectious disease (3)
제 목	Climate variability and Ross River virus transmission in Townsville Region, Australia, 1985-1996(1985-1996년 사이 호주 타운스빌 지역의 기후변동과 Ross River virus전파)
저 자	Shilu Tong[1], Wenbiao Hu[1], and A. J. McMichael[2]
저자소속	[1]School of Public Health, Queensland University of Technology, [2]National Centre for Epidemiology and Population Health, Australian National University
출 처	Tropical Medicine and International Health, Vol. 9, No. 2, 2004, pp. 298-304

배경: 기후 변동이 어떻게 지역수준의 전염병 전파에 영향을 미치는지에 대해서는 명확히 밝혀지지 않았다. 본 연구는 기후 변동이 호주 북동부 Queensland, Townsville 지역의 Ross River virus(RRv)의 전파에 미치는 영향을 평가하였다.

연구방법: 1985년~1996년 사이의 RRv 사례 월별 변동에 대한 자료, 기후적인 요소, 해수면, 인구성장에 대한 자료 등을 수집하였다. cross-correlation이 기후 변인(강수량, 최고온도, 최저온도, 상대습도, 만조 등)과 RRv 질병의 월별 발생에 대한 일련의 관련성을 산출하기 위해 사용되었다. 기후변동이 RRv 전파에 미치는 영향을 Seasonal Auto-Rregressive Integrated Moving Average(SARIMA) 모델을 사용하여 평가하였다.

연구결과: 월별 RRv 발생과 강수량, 최고온도, 최저온도, 상대습도, 만조 간에는 유의한 상관관계를 보였다. SARIMA 모델의 결과 월별 평균 강수량(β=0.0007, p=0.01)과 만조(β=0.0089, p=0.04)는 RRv 전파와 유의한 상관성을 갖고, 최고온도 또한 RRv의 월별발생(β=0.0412, p=0.07)과 최소한의 유의성을 갖는 것으로 나타났으나, 상대습도는 Townsville 지역에 중요한 영향을 미치지 않은 것으로 나타났다.

결론: 강수량, 만조, 최고온도는 Townsville 지역에서 RRv 전파의 핵심 결정인자라고 할 수 있다.

분 야	climate change+infectious disease (4)
제 목	Climate and Infectious Disease: Use of Remote Sensing for Detection of Vibrio Cholerae by Indirect Measurement(기후와 전염성 질환: 간접측정에 의한 Vibrio Cholerae 감시를 위한 원거리 센서의 사용)
저 자	Brad Lobitz, et al.
저자소속	Johnson Controls World Services.
출 처	Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America, Vol. 97, No. 4, 2000, pp. 1439-1443

콜레라를 유발하는 박테리아인 Vibrio cholerae가 전염병을 일으키기에 충분한 용량으로 식수에 들어있고, 그 식수를 사람이 마신다면 콜레라가 발생될 수 있음은 이미 알려진 사실이다. 정화되지 않은 강물이나 염수를 마시거나 그 물로 목욕을 하는 것과 관련된 콜레라의 창궐은 박테리아의 성장과 번식에 좋은 조건인 수온, 영양분 농축, 플랑크톤 생산과 같은 조건에 직접 또는 간접적으로 영향을 받아서 일어난다. 비록 정기적으로 연구선(船)에 의해 채취되는 물 표본으로 환경적 모수가 측정되지만 사용가능한 자료는 드물고, 게다가 선상에서의 자료 수집은 비용과 시간이 많이 든다. 비록 Vibrio cholerae 박테리아가 직접적으로 감지될 수는 없지만 원거리에서 감지된 자료는 박테리아의 존재여부를 추정하는데 사용될 수 있다. 이 연구에서는 위성자료가 콜레라의 시기와 전파정도를 감시하는데 사용되었다. Bengal만(灣)의 공적 영역 원거리 감시 자료는 1992년~1995년 사이 방글라데시에서 수집된 콜레라 사례 자료와 직접 비교되었다. 원거리 감지 자료는 해수면 온도와 해수면 높이를 포함하였는데, 매년 해수면 온도 변화양상은 콜레라 사례 자료와 유사함이 발견되었다. 해수면 높이는 콜레라 창궐과 상관관계를 보이는 플랑크톤을 함유한 물의 육지로의 유입을 알아보는 지표가 될 수 있다. 위성자료 분석 결과와 함께, Vibrio cholerae가 해양 환경과 관련성을 갖고 copepod 같은 동물성 플랑크톤과 공생적이라는 가설을 확인해준 지난 25년간의 광범위한 연구 자료들은 콜레라의 전파는 기후와 관련되었음을 강력히 뒷받침해준다.

분 야	climate change+infectious disease (5)
제 목	Climate and infectious disease in the southwestern United States(미국 남서부 지역의 기후와 전염성 질환)
저 자	Korine N. Kolivras and Andrew C. Comrie
저자소속	Dept. of Geography, Virginia Polytechnic Institute and State University
출 처	Progress in Physical Geography Vol. 28, No. 3, 2004, pp. 387-398

연구결과: 세계의 여러 지역과 마찬가지로, 기후 변동은 미국 남서부지역의 전염성 질환에 큰 영향을 미쳤다. 습도와 온도 조건은 동물 숙주 또는 병원소의 성장을 유발하는 환경을 제공함으로서 간접적으로 질병에 영향을 미치거나, 전염성 병원체의 생존 또는 분포를 통해 직접적으로 영향을 미칠 수 있다. 또한 기후변화는 전염성 질환의 사례수와 장소적 분포에 영향을 미칠 것으로 기대된다. 질병에 미치는 기후변화의 영향이 규명되기 전에, 발생과 기후변동의 기본적 관계에 대한 이해가 전제되어야 한다. 최근에 미국 남서부에서 발견된 네 가지 전염성 질환(한타바이러스, 페스트, 뎅기열, 콕시디오이에스 진균증)에 미치는 기후의 영향 검토를 통해, 기후변동/변화와 질병 사이의 관계에 대한 이해를 넓히기 위한 후속연구가 필요함이 드러났다.

분 야	climate change+infectious disease (6)
제 목	Sensitivity of Malaria, Schistosomiasis and Dengue to Global Warming (지구온난화에 대한 말라리아, 주혈흡충, 뎅기열의 민감도)
저 자	Willem J. M. Martens, et al.
저자소속	Maastricht University, Dept. of Mathematics, the Netherlands
출 처	Climate Change, Vol. 35, 1997, pp. 145-156

인류 발생적으로 유도된 기후변화가 매개 전염병에 미치는 잠재적 영향에 대한 평가는 말라리아를 유발하는 Plasmodium 기생충, 뎅기열을 유발하는 Flavivirus, 주혈흡충 등이 전파되기 쉬운 지리학적 지역의 범위 증가를 암시한다. 연구된 세 개의 매개 전염병과 관련된 전파 잠재성은 최근의 전염병 전파 지역의 주변부나 그 지역 중 고도가 높은 지역의 기후변화에 매우 민감하다. 최근의 전염병 유행지역에 대한 연구결과에 의하면, 말라리아와 뎅기열 전파의 역학적 잠재성은 각각 12-27%, 31-47%가량 증가할 것으로 예측된 반면, 주혈흡충의 전파 잠재성은 11-17% 정도 감소할 것으로 예측되었다.

분 야	climate change+infectious disease (7)
제 목	Climate Change and Mosquito-Borne Disease(기후변화와 모기매개 질환)
저 자	Paul Reiter
저자소속	Dengue Branch, Division of Vector-Borne Infectious Disease, CDC
출 처	Environmental Health Perspectives, Vol. 109, 2001, pp. 141-161

지구의 대기온도는 250~300년 전부터 현재까지 점점 더워지고 있는 추세이다. 계속되는 온난화가 인간의 건강에 미치는 잠재적 영향에 대한 전망은 때때로 모기매개 질환에 초점을 맞추고 있다. 기초적인 모형에 의하면, 높아진 지구의 기온은 매개모기 전파 비율을 증가시키고 지리학적 분포 범위를 확대시킬 것으로 예상된다. 그러나 말라리아, 황열, 뎅기열의 세 가지 질병력을 보면, 기후는 이들 질병의 출현이나 유행범위를 결정하는 주요요소가 아니라, 대체적으로 인간의 활동과 인간이 지역생태계에 미치는 영향이 이들을 결정하는 유의한 요인인 것으로 밝혀졌다. 그러므로 기후에 기초한 모델을 미래의 질병출현을 예측하는데 사용하는 것은 부적절하다는 것이다.

분 야	climate change+infectious disease (8)
제 목	Vulnerability of Waterborne diseases to Climate Change in Canada: a review(기후변화에 대한 수인성전염병의 취약성: 캐나다)
저 자	Charron D. et al.
저자소속	Division of Foodborne, Waterborne and Zoonotic Disease, Centre for Infectious Disease Prevention and Control, Health Canada
출 처	Journal of Toxicological Environment Health, 2004, 67(20-22); pp. 1667-1677

이 프로젝트는 캐나다의 수인성 전염병의 위험과 지구기후변화가 건강에 미치는 영향을 파악하고자 실시되었다. 최근에 E. coli O157:H7과 크립토스포리디움에 의해 유도되어 대규모로 발생하고 있는 결과들은 캐나다인들에게 경각심을 불러일으켜 주었고 정치적 조치의 필요성을 강조하였다. 지구기후변화가 건강에 미치는 영향에 대한 이해와 이들에 대한 예방 또는 준비 전략의 개발이 동시에 요구되고 있다. 기후가 수인성 전염병 발생의 촉매제 역할을 한다는 사실에 대한 근거들이 계속 발견되고 있다.

분 야	flood+infectious disease (9)
제 목	Flooding and Communicable Disease Fact Steet A.(홍수와 전염성 질병)
발행기관	World Health Organization
출 처	Weekly Epidemiological Record, Vol. 80, No. 3, 2005, pp. 21-28

연구결과:

위험 평가: 홍수는 수인성 질병(콜레라, A형 간염, 랩토스피라증, 장티푸스 등)과 매개전염성 질병(뎅기열, 말라리아, 웨스트나일 열과 황열 등)의 전파력을 잠재적으로 향상시킬 수 있다.

수인성 질병: 홍수는 감염위험 증가와 관련성을 갖지만, 이런 위험은 인구의 이동과 수자원 환경에 의해 결과가 달라질 수 있다(1970~1994년 사이 발생했던 대규모의 홍수 14건 중, 수단에서 발생했던 홍수만 대규모의 설사병 유행을 초래했음). 홍수와 관련된 질병 발생의 주요 위험인자는 식수시설의 오염이지만, 이러한 위험인자를 파악하고 깨끗한 수질관리를 우선 재난대책으로 둔다면 질병의 발생위험은 줄어든다.

매개전염성 질병: 홍수는 매개곤충의 수를 증가시키고 매개곤충 서식지를 확장시킴으로서 매개전염성 질병의 증가를 간접적으로 유도한다. 폭우나 강의 범람으로 유발된 물은 모기의 산란지로서 역할을 하게 되므로 뎅기열, 말라리아, 웨스트나일 열과 같은 감염에 대한 노출 잠재성이 높아진다. 홍수가 시작될 무렵 말라리아가 유행한다. 그리고 ENSO와 연관된 주기적인 홍수는 건조한 해안지역의 말라리아 유행이나 뎅기열의 재출현과 관련이 있다. 웨스트나일 열은 폭우와 홍수에 뒤이어 나타난다.

홍수로 인한 기타 건강 위험: 익사, 부상, 외상성 장애 등이 나타난다. 파상풍은 홍수로 인한 부상에 의해 흔히 유발되지는 않지만, 파상풍에 대한 능동면역이 형성되지 않은 사람들에 대한 백신접종프로그램이 필요하다. 저체온증(hypothermia)은 물속에 장기간 갇혀있을 때 문제가 될 수 있는데, 특히 어린이의 경우 위험성이 커진다. 홍수

로 인한 정전(power cut)은 물 관리와 공급에 차질을 주고, 냉장시설 등의 적절한 기능을 방해하여 건강에 위협을 준다.

예방: 단기적 예방 조치로는 물의 염소처리, 면역강화(예방주사), 조기 경보 및 적응 네트워크(EWARN) 또는 감시 시스템, 매개곤충(vector) 통제, 말라리아 예방, 보건교육, 그리고 사체 처리 등을 고려할 수 있다. 장기적 예방 조치로는 법적/행정적 측면에 있어 재난대비프로그램과 조기경보시스템 도입, 각 지자체 및 국가수준의 감시수준 향상, 수질 규제 및 감시 강화, 위생기준 강화와 기술적 측면에서의 물 관리와 위생수준 향상, 전염성 질환 통제 프로그램의 효율성 유지 등을 고려할 수 있다.

분 야	climate change+infectious disease (10)
제 목	Climate blamed for upsurge in disease(기후로 인한 질병의 급증)
저 자	James Randerson
출 처	New Scientist, Vol. 182, Issue 2452, 2004, pp. 8-9

과거에 한 때 통제가 가능했던 뎅기열, 일본뇌염, 황열과 기타 전염성 질환 등이 현재 다시 출현하고 있고, 웨스트나일 바이러스나 리프트밸리열(Rift Valley fever) 같은 질병도 그 세력을 확장해 나가고 있다. 사비아 바이러스(sabia virus) 같은 질병도 처음 인간에게서 발견되기도 한다. 이러한 변화의 주요원인은 기후변화라고 추정된다. 300개 이상의 인간 질병을 분석한 결과, 병원체의 전 세계적 분포가 기후와 강한 연관성을 갖고, 기후변화가 대규모 매개전염병의 증가를 유발할 수 있음이 밝혀졌다.

미국 전역에 걸친 웨스트나일 바이러스 전파는 기후변화와 강한 관련성을 보였는데, 이 바이러스의 매개곤충인 Culex pipiens 모기는 건조한 환경이 번식과 생존에 이상적이므로, 1999년 뉴욕에서 발생한 3주간의 가뭄은 웨스트나일 바이러스의 발생을 초래하였다. 수많은 다른 전염병들이 기후와 관련되어 있는데, 미국과 남미의 한타바이러스 출현은 가뭄에 뒤이은 폭우 때문인 것으로 나타났다. 건기에는 올빼미나 뱀 같은 포식동물이 많이 죽기 때문에 비가 내리면 한타바이러스를 옮기는 설치류의 개체수가 폭발적으로 증가하게 된다.

분 야	Global Warming (11)
제 목	The Impact of Global Warming on Health and Mortality(지구온난화가 건강과 사망률에 미치는 영향)
저 자	W. R. Keatinge and G. C. Donaldson.
저자소속	Queen Mary College, London
출 처	Southern Medical Journal. 2004, 97(11); pp. 1093-1099

개요: 지구온난화가 감염에 영향을 미칠 수 있다는 초기의 걱정은 열대성 질병의 확산이 제한적이고 통제가능하다는 점이 밝혀지면서 감소되었다. 그러나 지구온난화는 열에 취약한 인구집단에서 상당수 사람들을 사망에 이르게 하였는데, 이를 예방하는 조치는 지구 기온상승에 의해 초래된 가장 명백한 의학적 도전이 된다. 사망 감소를 위한 전략은 어느 정도 수립되어 있는데, 미국과 유럽의 전략에는 차이가 있다. 미국에서는 에어컨 사용이 사망률을 감소시켰고, 유럽에서는 선풍기, 그늘(차양), 서늘함을 유지할 수 있도록 설계된 건물 등과 같은 고전적 기법이 사용되었다. 에어컨을 사용하는데 필요한 에너지가 지구온난화를 가속화시키므로 고전적 기법과 에어컨 사용을 적절히 조합하는 것이 이상적 해결책이 될 수 있다. 이러한 기법의 사용가능성에도 불구하고 기후가 따뜻해지면서 가끔씩 발생하는 기록적인 고온으로 인해서 열 관련 사망자수가 급증한다. 열파에 직면하면 찬물목욕과 같이 즉각적인 cooling 조치를 취해야 하는데, 가정에서의 이러한 조치는 환자를 병원으로 이송하는 것 보다 더욱 효과적이다. 여기서, 기억해야 할 것은 겨울철 추운 날씨는 여름철 더운 날씨보다 더 많은 사망자수를 초래하므로 추위관련 사망 통제를 위한 조치가 지속적으로 필요하다는 점이다.

연구결과

- 열 스트레스는 여름에 노인계층의 사망을 유발함.
- 추위는 겨울에 동맥혈전, 호흡기질환 등으로 인한 사망자수 증가에 기여하고, 추위로부터 보호하기 위한 노력은 지구온난화기간에도 지속적으로 이루어져야 함.

- 열 또는 추위에 어느 정도 익숙한(적응된) 인구집단이라도, 지구온난화기간에 나타나는 기록적인 고온으로 인해 사망률이 높아질 수 있음.
- 열 스트레스를 예방하기 위한 수단은 전례없던 열파가 발생하기 이전에 마련되어야 함.

추위 및 열 관련 사망의 원인: 미국, 유럽을 비롯한 대부분의 국가에서 추위관련 사망이 수적인 측면에서 열 관련 사망보다 훨씬 앞선다. 추위관련 사망의 원인은 관상동맥 및 뇌의 혈전이 50%, 호흡기 질환이 25%정도 차지하는데, 추위로 인한 혈전호발 요인(thrombogenic factors)의 축적은 어린이와 노인의 사망률을 증가시킨다. 열 관련 사망은 신체 컨디션을 악화시키는 열 스트레스로 인해 초래되는데 특히 노인들이 이에 취약하다. 공기순환이 잘 안되거나 단순한 이상고열 및 체내 단백질을 변성시킬 수 있는 체온보다 높은 기온이 장기간 지속되는 지역에서는 단순한 이상고열 및 체내 단백질을 변성시킬 수 있는 체온보다 높은 기온 때문에 상당수의 열 관련 사망이 발생한다.

분 야	heat wave (12)
제 목	Heat-Related Mortality During a 1999 Heat Wave in Chicago(1999년 혹서기간 동안의 시카고 열 관련 사망률)
저 자	Mary P. Naughton, et al.
저자소속	Epidemic Intelligence Service, Epidemiology Program Office, Center for the Disease Control and Prevention
출 처	American Journal of Preventive Medicine, 22(4), 2002, pp. 221-227

배경: 1999년 여름동안 시카고에서는 10년 만에 찾아온 두 번째로 강한 혹서로 인해 적어도 80명이 사망하였다. 1995년 혹서때 보다 높게 나타난 사망률은 열 관련 사망과 관련된 위험을 조사하고 대상중심의 열 완화 중재의 효과성을 검토해 볼 수 있는 기회를 제공해주었다.

연구방법: 열 관련 사망의 위험인자를 결정하기 위해 case-control 연구를 시행하였다. 사례군에 63명의 환자를 배치하고, 실험군과 비슷한 연령분포를 보이는 77명을 대조군에 배치하여 이들의 인구학적 특징, 건강, 행동에 관한 정보를 수집하였다. 잠재적 위험인자 각각에 대하여 교차비(Odds ratios)를 산출하였다.

연구결과: 사례군의 53%가 65세 미만이었고, 연령이 낮은 집단보다 연령이 높은 집단의 정신과적 질환이 두배 가량 높게 나타났다. 다변량 분석에서 열 관련 사망의 가장 강한 위험인자는 혼자사는 것(OR=8.1; 95% 신뢰구간, 1.4-48.1)과 매일 집 밖으로 나가지 않는 것(OR=5.8; 95% CI, 1.5-22.0)이었다. 가장 강한 예방인자는 에어컨을 사용하는 것(OR=0.2; 95% CI, 0.1-0.7)이었다. 80명의 사망자 중 53%가 그들의 사망 당일 또는 그 전날 조사대상이 되었다.

결론: 에어컨 가동은 열 관련 사망을 예방하는 가장 강력한 요인이다. 1999년 연구에서 사례군의 연령은 상대적으로 낮았는데, 이는 시카고의 노년층에 초점을 맞추어 연구한 1995년 혹서관련 연구 후의 경향이라고 할 수 있다. 그러나 사회적 고립과 고령은 여전히 중요한 위험인자로 남아있다. 혹서기간동안 위험에 처한 사람들을 대상으로 한 개인적인 사회적 접촉과 교육적 메시지는 사망자 수를 감소시킬 것이다.

분 야	heat wave (13)
제 목	Heat stress and mortality in Lisbon Part Ⅱ. An assessment of the potential impacts of climate change(리스본의 열 스트레스와 사망률. 기후변화의 잠재적 영향 평가)
저 자	Suraje Dessai
저자소속	Tyndall Centre for Climate Change Research and School of Environmental Sciences, University of East Anglia
출 처	International Journal of Biometeorology, Vol. 48, 2003, pp. 37-44

배경: 지구환경 변화, 특히 기후변화는 공중보건에 역효과를 가져올 것이다. 혹서의 빈도와 강도의 증가는 열 관련 사망률과 질병을 증가시킬 것으로 예측된다. 리스본의 열 관련 사망률에 대한 기후적 위험을 수치로서 파악하기 위해서 Part Ⅰ에서는 1980-1998년 사이 여름의 기후와 사망률간의 관계에 근거한 경험-통계적 모델이 개발되었다. Part Ⅱ에서는 2020년대와 2050년대의 공중보건에 미칠 기후 및 인구 변화 시나리오의 잠재적 영향을 평가하는 모델로서 적용된다.

연구방법: 두개의 지역기후모델(RCMs)이 사용되었고 계절성, 순응, 초과 사망 추정 등에 대한 가정들이 불특정성을 나타내기 위해 만들어졌다. 가정을 충족시키기 위해 결과의 민감성을 조사하는데 Bayesian 분석이 사용되었다.

연구결과: 1980-1998년 동안 연간 인구 100,000명당 5.4-6명 사이를 기록하던 열 관련 사망률은 2020년대가 되면 5.8-15.1명 사이를 기록할 것으로 추정되고, 2050년대에 이르면 잠재적 증가 범위가 7.3-35.6명 사이일 것으로 예상된다. 만약 열에 대한 순응이 이루어진다면 사망의 부담은 줄어들 것이다, Bayesian 분석을 통해 검증된 변수들에 대해서는 미래의 열 관련 사망률은 RCM선택에 의해 가장 민감한 영향을 받고, 초과사망을 계산하는 방법에는 영향을 받지 않을 것으로 나타났다.

분 야	heat wave (14)
제 목	Heat Wave Morbidity and Mortality, Milwaukee, Wis, 1999 vs 1995: An Improved Response?(Milwaukee의 혹서로 인한 질병률 및 사망률 수준은 1995년에 비해서 1999년에 향상되었는가?)
저 자	Marc G. Weisskopf, et al.
저자소속	Epidemic Intelligence Service, Epidemiology Program Office, Center for the Disease Control and Prevention
출 처	American Journal of Public Health, Vol. 92, No. 5, 2002, pp. 830-833

배경: 본 연구는 1995~1999년 사이 2번의 혹서가 발생했던 Milwaukee의 열 관련 사망의 감소와 준 의료적 응급의료서비스(EMS) 운영의 축소가 오직 열의 차이에 의한 것인지, 아니면 공중보건학적 중재나 다른 요인에 의한 것인지를 조사하기 위하여 실시되었다.

연구방법: 1995년 경험에 근거하여 1999년의 열과 관련된 기대 질병률 및 사망률, 관찰 질병률 및 사망률을 산출하기 위한 두개의 모델이 채택되었다.

연구결과: 두 모델 모두 1999년의 열 관련 사망과 응급의료서비스 운영이 1995년에 예측된 수준보다 적어도 49%정도 낮았음을 보여주었다.

결론: 1999년 열 관련 질병률과 사망률의 감소는 단지 열 수준의 차이 때문에 야기된 것은 아니다. 공중보건의 준비와 대응에 있어서의 변화로 인해 이 같은 감소가 나타났다고 볼 수 있다.

분 야	heat wave (15)
제 목	Heat wave 2003 and mortality in Switzerland(스위스의 2003년 혹서와 사망률)
저 자	Leticia Grize1, et al.
저자소속	Institute of Social and Preventive Medicine, University of Basel
출 처	Swiss Med Weekly, Vol. 135, 2005, pp. 200-205

배경: 2003년 6월~8월 동안 스위스를 포함한 유럽에서 고온이 발생하였다. 많은 유럽국가들, 특히 프랑스에서의 혹서는 사망률 증가와 관련성을 보였다. 본 연구는 2003년 여름 스위스에서 발생한 고온이 사망률에 측정가능한 수준의 영향을 미쳤는지 여부를 조사하는 첫 연구이다.

연구방법: 1990년 6월부터 2003년 12월 사이의 모든 사망원인에 대한 일일 자료와 같은 기간동안의 20개 관측소에서의 기상자료를 분석하였다. 서로 다른 연령집단, 성별, 지역별 초과사망률이 산출되었다. 일일 사망률과 2003년의 온도는 온도변화 7일째의 사망률이 비슷한 경향을 보이는 상관관계를 보였다.

연구결과: 2003년 6월~8월 사이에 모든 원인의 사망률이 약 7%정도 상승하였다. 초과사망률은 알프스 북쪽지역, 도시와 교외지역 거주자들로 한정되었고, Basel, Geneva, Lausanne 거주자들과 노년층에서는 더 현저히 나타났다. 북쪽 알프스 지방의 일일 사망률 편차는 일일 최고온도와 밤기온 편차와 유의한 상관관계를 보였다. 평균 낮 기온 35°C 이상, 평균 밤기온 20°C 이상인 날씨가 Basel, Geneva에서 뚜렷하게 나타났고, 초과사망률에 있어서는 부분적으로 지역적 차이가 존재하였다.

결론: 스위스의 노인인구 수가 계속 증가추세를 보이고 지구온난화의 결과로서 혹서의 발생이 예측되고 있으므로, 혹서에 영향을 받기 쉬운 집단을 대상으로 한 예방프로그램이 마련되어야 한다.

분 야	heat wave (16)
제 목	Heat related mortality in warm and cold regions of Europe: Observational study(유럽의 열 관련 사망률: 관찰연구)
저 자	W R Keatinge, et al.,
저자소속	Queen Mary and Westfield College
출 처	British Medical Journal, Vol. 321, 2000, pp. 670-673

목적: 유럽지역에서 기후와 열 관련 사망의 관련성 평가를 위한 것이다.

연구범위: 핀란드 북부와 남부, Baden-Württemberg, 네덜란드, 런던, 이탈리아 북부, 아테네, 65-74세

연구방법: 최소 사망률을 보이는 각 지역의 온도 범위를 기준으로 그 범위 초과, 포함, 미만일 때의 사망률 고려

연구결과: 핀란드 북부에서는 14.3-17.3°C일 때 사망률이 가장 낮았으나 아테네에서는 22.5-25.7°C일 때가 가장 낮았다. 여름평균기온이 낮은 지역보다 높은 지역에서 최소사망온도 범위가 유의하게 높은 것으로 나타났다(p=0.027). 이는 풍속, 습도, 강수의 지역적 차이 때문에 발생한 것은 아니다. 결과적으로 여름이 더운 지역은 이 온도 범위 이상을 가진 추운지역보다 유의하게 높은 연간 열 관련 사망률을 보이는 것은 아니다. 평균 연간 열 관련 사망자수는 북부 핀란드 304명(95% 신뢰구간에서 126~482명), 아테네 445명(95% 신뢰구간에서 59~831명), 런던에서 40명(95% 신뢰구간에서 13~26명)이었다. 추위와 관련된 사망자수는 이상의 각 지역에서 2457명(1130~3786명), 2533명(965~4101명), 3129명(2319~3939명)이었다.

결론: 유럽인들은 13.5~24.1°C의 범위를 가진 평균 여름온도에 성공적으로 적응해 왔고, 향후 반세기동안 예측된 지구온난화에도 약간의 열 관련 사망률 증가를 수반하겠지만, 적응할 수 있을 것으로 전망된다.

분 야	heat wave (17)
제 목	Health impact of 2003 heat wave at Hospital de Riveira(A Coruna) (Riveira 병원에의 2003년 혹서의 영향)
저 자	Villamil Cajoto I. et al.
저자소속	Fundacion Publica Hospital de Barbanza, Riveira, A Coruna
출 처	An Med Interna., Vol. 22, No. 1, 2005, pp. 15-20

배경: 지난 2003년 여름에는 혹서로 간주되는 대기 상황이 발생하였다. 만성질환에 있어서 환경적 요인의 중요성은 잘 알려져 있으나, 본 연구와 같은 고온에 대한 분석 연구는 거의 없는 실정이다.

연구방법: 2003년 7월 15일부터 8월 15일 동안 고온이 스페인 Riveira 지역의 입원자수와 사망자수에 미친 영향을 조사하였다.

연구결과: 이 기간의 평균 최고기온은 섭씨 26.1도였다. 137명의 환자가 입원했는데, 환자의 연령범위는 16-93세로 나타났으며, 16명이 사망하였다. 입원환자 중 54명(38.7%)이 열과 관련된 질환으로 입원하였고, 그 중 8명이 사망하였다. 일사병 사례는 확인되지 않았다. 열과 관련해서 입원한 환자들의 주요 위험인자는 과거 폐질환 병력과 과체중이었다.

결론: 열 관련 병인은 중요함에도 불구하고 평가하기가 쉽지 않다. 일상에서 고위험 환자가 흔히 발생될 수 있으므로, 위험에 처한 사람들을 구별하기 위한 조치를 취해야 하고, 이러한 환경과 관련된 영향을 감소시킬 필요가 있겠다.

분 야	heat wave (18)
제 목	Near-Fatal Heat Stroke during the 1995 Heat Wave in Chicago(시카고 1995년 혹서기의 치명적인 일사병)
저 자	Jane E. Dematte et al.
저자소속	Michael Reese Hospital and Medical Center, Chicago
출 처	Ann Intern Med, 1998, 129(3); pp. 173-181.

배경: 1995년 7월 시카고에서는 혹서가 지속되어 600명이상이 초과 사망하였고, 평소보다 3300명을 초과한 사람들이 응급실을 방문하였으며 상당수의 사람들이 치명적인 일사병으로 중환자실에 입원하였다.

연구목적: 치명적인 일사병으로 중환자실에 이송된 환자들의 임상적 특징을 파악하고자 실시되었다. 환자들의 지연된 기능적 결과와 사망률을 사정하기 위해서 1년간의 추적연구를 실시하였다.

연구방법: 관찰연구로서 시카고 지역의 중환자실을 대상으로 하고 있다. 1995년 7월 12일~20일 사이에 병원에 입원한 환자 중 고전적인 일사병의 정의에 부합하는 사례를 보이는 58명의 환자들을 대상으로 관찰되었다.

측정도구: 인구학적 자료와 생존 자료를 통합적으로 측정하고 신체검사결과, 심전도와 심초음파검사 결과, 체액소생(fluid resuscitation) 결과, X선 촬영결과, 실험결과 등에서 추출된 장기의 기능에 대해서 분석 가능하도록 측정도구를 설계하였다. 연구 시작 시와 그로부터 1년 후에 측정한 기능상태에 대한 자료들이 수정된 Stanford Health Assessment Questionnaire를 사용함으로서 수집되었다.

연구결과: 환자들은 신경적 손상(100%), 중등도부터 심각한 수준까지의 신장기능부전(53%), 파종성의 혈관내 응고물(disseminated intravascular coagulation: 45%), 급성호흡장애증후군(10%) 등을 동반한 여러 장기의 기능장애를 경험하였다. 57%의

환자들이 입원시에 감염의 증거를 갖고 있었다. 병원에서 사망한 비율이 21%였다. 대부분의 생존자들의 신장/혈액/호흡기 수준은 거의 정상으로 회복되었지만 병원 퇴원시에 약 33%의 환자들이 기능적 손상으로 인하여 장애를 갖게 되었다. 1년 후에 모든 환자들이 기능적 수준의 향상을 보이지 않았고, 추가적으로 28%의 환자들이 사망하였다.

결론: 치명적 일사병은 여러 장기의 기능장애와 관련성을 갖는다. 많은 비율의 환자들이 감염을 보고하였고, 급성 병원성기와 1년 후에 높은 사망률이 관찰되었다. 퇴원시의 상당한 기능적 손상이 1년간 지속되었다. 기능적 장애정도는 1년 후의 생존과 높은 상관관계를 보였다.

분 야	heat related mortality (19)
제 목	A time-series analysis of mortality and air temperature in Greater Beriut (Greater Beriut의 사망률과 대기온도의 시계열 분석)
저 자	Abbas El-Zeina[1], Mylene Tewtel-Salemb[2], Gebran Nehme[1]
저자소속	[1]Dept. of Environmental Health, American University of Beirut, [2]Dept of Epidemiology and Population Health, American University of Beirut
출 처	Science of the Total Environment, Vol. 330, 2004, pp. 71-80

배경: 동부 지중해의 도시들에 대한 건강과 날씨의 관련성 연구문헌은 드문 실정이다. 온도와 일일 사망률의 관련성을 수치화한 자료는 열 경보 시스템과 같은 정책 중재방안을 개발하는데 유용할 수 있다.

연구방법: Beirut의 도시들에 대한 전체 일일 사망률과 날씨 자료에 대한 시계열 분석이 수행되었다. 연구는 1997년에서 1999년 사이의 기간을 다루고 있다.

연구결과: 상대적으로 고온이면서 최소사망률을 보이는 온도(a relatively high minimum-mortality temperature: T_{MM})는 27.5°C로 산출되었다. T_{MM} 이상의 온도에서는 온도가 1°C 상승할 때마다 사망률이 12.3% 증가(95% 신뢰구간: 5.7-19.4%)하는 반면, T_{MM} 이하의 온도에서는 온도가 1°C 상승할 때마다 사망률이 2.9% 감소(95% 신뢰구간: 2-3.7%)하는 것으로 나타났다. 95% 신뢰구간 내에서는 온도변화가 0.5°C 미만인 곳은 연간 T_{MM} 이상일 때의 손실은 T_{MM} 이하에서 상쇄된다.

결론: 따뜻한 기후를 가진 국가에서는 평균적으로 높은 기온에서의 열 관련 사망률은 공중보건의 중요한 쟁점이 될 수 있다. 향후 50년의 기후변화를 추정해보면, 열 관련 손실은 추위 관련 이득으로서 상쇄되지 않을 것으로 전망되므로 열에 대한 대비책을 마련해야 할 것이다.

분 야	heat related mortality (20)
제 목	Socioeconomic differentials in the temperature-mortality relationship in São Paulo, Brazil(브라질 상파울로의 온도-사망 관계의 사회경제적 차이)
저 자	Nelson Gouveia[1], Shakoor Hajat[2] and Ben Armstrong[2]
저자소속	[1]Dept. of Preventive Medicine, University of São Paulo [2]London School of Hygiene and Tropical Medicine, London
출 처	International Journal of Epidemiology, Vol. 32, 2003, pp. 390-397

배경: 환경적 온도가 브라질 상파울로 시의 사망률에 미치는 영향을 조사하였고, 온도-사망률 관계에 있어서 원인, 연령집단, 사회경제적 위치(SEP)의 차이를 연구하였다.

연구방법: 온도와 무관한 계절적 요인(대기오염 포함)에 대해서 보정된 generalized additive Poisson regression이 채택된 원인에 대한 1991년~1994년 사이 일일 사망자수를 분석하는데 사용되었다. 개인들은 그들이 거주하는 지역의 사회경제적 수준에

의해 분류되었다.

연구결과: 혼란변수를 보정한 후, 노년층에서는 20°C 이상의 온도에서 매 1°C상승할 때마다 모든 원인으로 인한 사망률이 2.6% 증가하는 것으로 관찰되었고, 20°C 미만의 온도에서는 매 1°C 감소할 때마다 사망률이 5.5% 증가하는 것으로 관찰되었다. 이러한 관계는 어린이에게서도 비슷하게 나타나지만, 어른보다는 관련성이 약하다. 추위의 영향은 심혈관 질환, 호흡기 질환, 기타 원인으로 인한 사망에서 나타났는데, 그 중 호흡기질환 그룹에서 가장 크게 나타났다. 열의 영향은 성인의 심혈관 질환으로 인한 사망에서는 나타나지 않았다. 사회경제적 지위에 의한 추위 또는 열로 인한 사망에 대한 증거는 거의 없었다.

분 야	heat related mortality (21)
제 목	Changes in summer temperature and heat related mortality since 1971 in North Carolina, South Finland, and Southeast England(노스캐롤라이나, 핀란드 남부, 잉글랜드 남동부의 1971년 이후 여름 기온과 열 관련 사망률의 변화)
저 자	G. C. Donaldson[1], W. R. Keatinge[1], and S. Näyhä[2]
저자소속	[1] St. Bartholomew's and the Royal London School of Medicine and Dentistry, University of London, [2]Oulun Aluetyöterveyslaitos, Finland
출 처	Environmental Research, Vol. 91, 2003, pp. 1-7

1971년~1997년 사이의 온도 변화가 열 관련 사망률에 미치는 영향을 파악하기 위해서 기후적으로 다양성을 보이는 세 지역(노스캐롤라이나, 핀란드 남부, 잉글랜드 남동부)을 조사하였다. 중회귀분석을 통해 노스캐롤라이나의 5-8월 기온은 23.5°C에서 1°C만큼 상승(95% 신뢰구간: 0.0-2.0°C)했으나, 핀란드 남부 기온은 13.5°C로 기온상승을 보이지 않았으며, 잉글랜드 남동부에서는 14.9°C에서 2.1°C가 상승(95% 신뢰구간: 0.3-4.0°C)하였다. 각 지역에서 사망률이 가장 낮을 때의 일일 기온을 고려하면, 연간 열 관련 사망률은 이 온도 이상일 때 백만 명 당 초과사망률로서 집계된다. 55세

이상 위험군에 속한 사람들의 백만 명 당 연간 열 관련 사망자 수는 노스캐롤라이나의 경우 228명에서 212명으로 단지 16명 감소하였고, 핀란드 남부에서는 382명에서 282명으로 99명이 감소하였으며, 잉글랜드 남동부에서는 111명에서 108명으로 2.4명 감소하였다. 노스캐롤라이나와 핀란드 남부의 감소는 연령, 성, 기초사망률의 보정 후에 유의한 것으로 나타났다. 노스캐롤라이나의 더욱 더워진 여름날씨에도 불구하고, 가장 더운 지역의 열 관련 사망률이 실질적으로 감소한 것은 에어컨 사용의 증가 때문인 것으로 판단된다. 경제적으로 부유해짐에 따른 생활양식의 변화로 인해 특정 지역이 더욱 시원해지는 경향을 보일 것으로 전망된다.

분 야	heat related mortality (22)
제 목	An Exposure Assessment Study of Ambient Heart Exposure in an Elderly Population in Baltimore, Maryland(Baltimore 노인인구의 열노출에 대한 노출평가연구)
저 자	Rupa Basu and Jonathan M. Samet
저자소속	Dept. of Epidemiology, Bloomberg School of Public Health, Johns Hopkins University
출 처	Environmental Health Perspectives, Vol. 110, No. 12, 2002, pp. 1219-1224

배경: 취약인구집단, 특히 노인들의 열 관련 사망 위험 때문에 개인들의 열에 대한 노출 평가를 위한 실질적인 역학방법들이 요구된다.

연구방법: 체온, 주위온도, 심박률, 활동수준을 측정하기 위해 2000년 여름, Baltimore에 거주하는 42명의 노인을 대상으로 개별적인 모니터링을 하였다. 주위온도와 체온의 관계를 조사하기 위해 각 연구 참가자별로 약 48시간동안 모니터링을 실시하였는데, 이때 개인별로 높은 상관성을 보이는 자료들을 설명해주는 회귀방법을 사용하였다. 또한 Baltimore의 온도 자료와 개인적 주위온도(personal ambient temperature)와 체온의 관련성을 조사하였다.

연구결과: 주위 중위온도가 1°F씩 증가할 때마다 중위 체온은 평균 0.15°F 증가(95% 신뢰구간, 0.05~0.25)하는 것으로 나타났다. 심박률이 활동수준과는 관련성을 갖지만, 심박률과 활동수준이 체온이나 주위온도와는 관련성을 갖지 않는 것으로 밝혀졌다. 중위 활동수준의 단위가 증가할 때마다 중위 심박률은 평균적으로 1분당 0.17회(95% 신뢰구간, 0.13-0.21) 증가하였다. 체온과 Baltimore의 온도간의 관련성은 발견되지 않았으나, 개인적 주위온도는 Baltimore의 온도보다 약간 낮았다.

결론: 열 노출 평가를 위한 이 연구에서 수립된 프로토콜은 더 큰 규모의 연구에서도 적용 가능할 것이다.

분 야	heat related mortality (23)
제 목	Impact of hot temperatures on death in London: a time series approach(런던의 고온이 사망에 미치는 영향: 시계열 접근)
저 자	S Hajat, et al.
저자소속	Dept. of Epidemiology and Population Health, London School of Hygiene and Tropical Medicine
출 처	Journal of Epidemiology Community Health, Vol. 56, 2002, pp. 367-372

연구목적: 이 연구는 사망률이 증가하는 온도 한계치를 파악하고, 극단적인 온도가 사망률에 미치는 영향을 수치화하기 위하여, 영국 런던의 열과 사망률 관계를 조사하였다.

연구방법: 그래프와 비모수적 시계열 분석방법을 사용하여 1976년~1996년 사이 21년간 영국 런던의 모든 원인으로 인한 사망과 온도에 관한 일일자료, 사망률과 온도의 관계 등을 조사하였다.

연구결과: 기초적인 사망-온도 관계추세를 살펴보면, 열 관련 사망의 증가는 19°C

에서 나타나기 시작했다. 평균온도가 21.5°C의 97percentile 이상일 때(1976년 혹서기간 15일은 제외) 평균온도가 1°C 증가할 때마다 사망률이 3.34%(95%신뢰구간: 2.47%~4.23%)증가하였다. 1976년 혹서는 다른 무더운 기간과 비교했을 때 특히 많은 수의 사망자를 초래했음이 밝혀졌다.

결론: 런던의 열 관련 사망은 상대적으로 낮은 온도에서 시작됨을 알 수 있었다. 더운 날씨가 일찍 시작되는 해가 늦게 시작되는 해보다 많은 사망자수를 기록했고, 각 혹서기간의 분석을 통해 무더운 기간이 길수록, 온도가 높을수록 사망률은 더욱 높아짐을 알 수 있었다.

분 야	heat related mortality (24)
제 목	A Community-Based Assessment of Heat-Related Morbidity in North Philadelphia(필라델피아 북부의 열 관련 이환율의 지역사회 기반 평가)
저 자	Joseph Mattern*, Shannon Garrigan*, and Stephen B. Kennedy Ⅳ+
저자소속	*MCP-Hahnemann University School of Medicine, +School of Public Health, MCP-Hahnemann University of the Health Sciences
출 처	Environmental Research Section A, Vol. 83, 2000, pp. 338-342

배경: 6개월에 걸친 지역사회기반 연구는 첫째, 65세 이상의 고립된 생활을 하는 노인들의 전반적인 삶의 질에 영향을 미치는 요인들을 파악하고 둘째, 열 관련 조건에 대한 그들의 감수성과 관련된 태도와 믿음, 위험요인을 평가하며 셋째, 특정연령을 대상으로 하는 혁신적인 중재 프로그램(특별히 고안된 시계처럼 생긴 온도계, 기타 창의적인 교육 자료들로 구성됨)의 효과성을 평가하고자 설계되었다.

연구방법: 본 연구는 필라델피아 북부에서 1997년 봄, 여름에 34명을 대상으로 실시되었다. 연구 목표는 중재 전과 8주 후에 24문항의 자기기입식 사전-사후조사로서 측정되었다.

연구결과: 본 연구에서 적용된 중재는 단기적인 효과를 보였고, 위험에 처한 노인들을 대상으로 한 혁신적인 전략을 위해서는 문화적 측면을 고려해야하고 연령집단의 수준에 적합해야 함을 입증하였다. 본 연구결과를 신뢰할 수 있도록 더욱 효과적인 연구방법을 사용하여 추가연구를 할 것이 제안된다.

분 야	heat related mortality (25)
제 목	Climate Change, Thermal Stress and Mortality Changes(기후변화, 열 스트레스, 그리고 사망률 변화)
저 자	W. J. M. Martens
저자소속	Maastricht University, Dept. of Mathematics, The Netherlands
출 처	Social Science Medicine, Vol. 46, No. 3, 1998, pp. 331-344

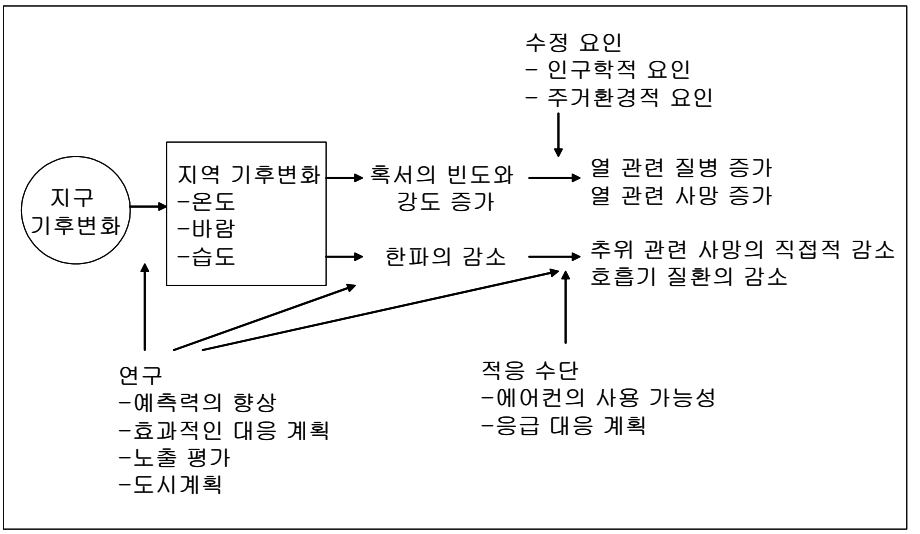
배경: 인위개변(人爲改變)적으로 유도된 기후변화의 잠재적 영향 중 하나는 열 스트레스(thermal stress)와 관련된 사망률의 변화라고 할 수 있다.

연구방법: 본 연구에서는 평균온도와 사망률의 관련성에 관한 기존 문헌들이 평가되었다. 간단한 메타분석에 의해, 온도변화가 사망률에 미치는 축적된 영향은 전체 사망률, 심혈관 질환으로 인한 사망률, 호흡기질환으로 인한 사망률 등에 대해 추정되었다. 세 개의 대기대순환모델(GCMs)이라는 기후변화 시나리오에 의하면 이러한 영향 추정은 20개 도시의 기준이 되는 기후조건의 변화를 반영하고 있다.

연구결과: 포함된 도시 중 대부분에서 겨울철 사망률의 감소로 인해서 지구 기후변화로 이한 사망률은 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 영향은 도시지역 노인층의 심혈관 질환으로 인한 사망률의 경우에 추운기후로 인한 사망률이 감소함을 나타내 준다. 생리학적 및 사회경제적 적응의 결과에 대한 민감성이 검토되었다. 그러나 더 많은 연구에서 광범위한 인구집단에서 추출된 자료를 포함하는 방향으로 확대되어야 한다.

분 야	heat related mortality (26)
제 목	The Potential Impacts of Climate Variability and Change on Temperature-Related Morbidity and Mortality In the United States(기후변동과 변화가 미국의 온도관련 질병 이환율과 사망률에 미치는 잠재적 영향)
저 자	Michael A. McGreehin, Maria Mirabelli
저자소속	Division of Environmental Hazards and Health Effects, National Center for Environmental Health, CDC
출 처	Environmental Health Perspectives, Vol. 109, No. 2, 2001, pp. 185-189

지구의 평균기온이 상승하면서 열과 혹서(열파)의 강도와 빈도가 증가하였다. 도시지역의 연구에서는 사망률의 증가와 열의 증가 간에 관련성이 나타났는데, 이는 최고 및 최저온도, 열 지표, 기타 날씨조건에 의해 측정되었다. 극단적이고 연장된 열에의 노출과 관련된 건강 영향은 인구집단이 현재까지 적응되어온 환경적 온도 이상일 때와 관련되어 나타난다. 날씨-사망 관련 모델은 미국의 북동부와 중서부 도시의 사람들이 여름 기온의 변화로 인해서 질병을 얻거나 사망하는 수가 많음을 보여주었다. 생리학적 및 행동적 적응은 질병 이환율과 사망률을 감소시킬 수 있다. 열에 민감한 지역 내에서는 도시 거주자들이 열 관련 건강결과에 대해 가장 취약한 집단이 된다. 노인, 어린이, 빈곤층, 병상에 있거나 특정 약을 복용하는 사람들은 열과 관련하여 위험에 처하게 된다. 열 관련 질병과 사망은 에어컨의 사용이나 수분섭취 증가를 포함하는 행동적 적응을 통해서 광범위하게 예방할 수 있다. 전반적인 사망률은 여름보다 겨울에 높고 겨울의 추위가 약하면 겨울철 사망률을 줄일 수 있을 것이다. 그러나 겨울 날씨와 사망의 관계는 해석하기가 쉽지 않다. 다른 적응 수단은 열 응급 계획, 경보 시스템, 질병관리 계획을 포함한다. 중요한 날씨 모수(parameters), 열과 치명적이지 않은 질병의 관련성, 실행된 열 대응 계획의 평가, 열 보유 감소를 위한 도시계획의 효과성 등을 파악하기 위한 연구가 필요하다.



<부록 그림 4-2> 날씨와 기후변화가 온도 관련 질병에 미치는 영향

분 야	heat related mortality (27)
제 목	An Analysis of Factors Contributing to a Series of Deaths Caused by Exposure to High Environmental Temperatures(고온에 노출되어 발생한 일련의 사망들에 기여한 요인들에 관한 분석)
저 자	Helen Green, et al.
출 처	The American Journal of Forensic Medicine and Pathology, Vol. 22, No. 2, 2001, pp. 196-1999

호주 애들레이드(Adelaide)에 있는 Forensic Science Centre의 1991년~1998년 사이 8년간의 부검보고서를 검토하였는데, 특히 환경적으로 높은 온도에 노출되어 사망한 것으로 추정되는 특이한 사례들을 중심으로 이루어졌다. 암페타민과 관련된 초고열로 인한 사망(hyperpyrexial deaths), 악성 초고열로 인한 무감각적 사망(anesthetic deaths), 혹서기간 동안 건강상태가 약화된 노인들의 사망, 어린이의 차 뒷자석에서의 사망 사례 등은 본 연구에서 제외되었다. 9개의 사례는 모두 열과 관련하여 사망이 발생했던 것으로, 연령범위는 21~77세였고, 남녀비율은 8:1이었다. 사망에 이르게 하

는 경향요인(predisposing factors)에는 호주의 환경조건에 대한 익숙함 결핍, 과도한 의상(옷을 많이 겹쳐 입는 등), 태양에의 장기간 노출, 급성 알코올 중독, 비만, 벤조트로핀(benztropine)과 트리플루오페라진(trifluoperazine)의 복용, 잠재적 치매, 알코올성 지방간, 간질 잠재성 등이 포함된다.

다른 악화요인의 존재여부와 상관없이 검토된 모든 사례에서는 사망이 고온에의 노출때문인 것으로 밝혀졌다. 어떤 특정한 부상이나 장기의 질병도 발견되지 않았다.

2. 산림부문

1차년 도에 수행된 산림부문의 기후변화 영향 및 적응과 관련된 연구자료 DB는 총 394편으로 국내자료 23편, 국외자료 371편으로 구성되었다. 국내외 기후변화와 관련된 자료에서 산림분야를 중심으로 조사하였다. 구축된 DB의 세부구성은 다음과 같다(<부록 표 4-1>참조).

<부록 표 4-1> 기후변화 영향 및 적응 연구관련 국내외 DB구축 현황 (산림부문)

분야	국내	국외	비고
기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문의 연구결과	23편	371편	2차년도에 계속 추가 예정
총	394편		

문헌조사결과 선별된 연구 자료는 제목, 저자, 발행년도, 출처, 발행처, 원문보기 가능여부 등의 항목을 조사하여 MS Access 프로그램을 이용하여 구축하였다. 구축된 DB에서 제공되는 국내·외 기후변화 관련 연구 자료는 다음과 같다(국내 DB는 <부록 표 4-2>, 국외 DB는 <부록 표 4-3> 참조).

<부록 표 4-2> 기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문 연구결과 DB 목록 (국내)

No.	제목	저자	년도	출처	페이지	발행처	원문
1	기후변화협약과 국토정책3-산림감소방지를 위한 산림관리정책	최영국	1998	국토	p23-31	국토연구원	가능
2	기후변화에 따른 인도 서 히말라야 지역 소나무의 생육고도 상승	Ram Ratan Yadav, Won Kyu Park	2004	학술발표회 논문집	p35-37	한국임학회	가능
3	한라산 구상나무의 연륜 연대학적 연구-기후변화에 따른 생장변동분석	구경아, 박원규, 공우석	2001	한국생태학회지	24(5): 281-288	한국생태학회	가능
4	삼림의 이동속도를 고려한 한반도 자연식생의 기후변화 적응성 평가	정휘철, 전성우, 이동근, 송강양	2003	환경영향평가	12(5): 383-393	한국환경영향평가학회	가능
5	기후변화 하에서 잠재삼림면적의 변화예측	차경수	1998	한국임학회지	87(3): 358-365	한국임학회	가능
6	지구온난화와 생태계의 변화	김성덕	2005	제13회 심포지엄		한국수자원학회	가능
7	생물다양성 보전과 기후변화 완화를 위한 산림관리	임종환	2004	산림정보 6월호	p78-80	산림조합중앙회	가능
8	기후변화에 따른 생태계 영향 평가 및 대응방안1-산림생태계부문을 중심으로	박용하, 전성우, 최재용, 정휘철, 김정원	2000	KEI 연구보고서		한국환경정책평가연구원	가능
9	기후변화에 따른 생태계 영향평가 및 대응방안 연구2-삼림부문의 생 기후 모형개발을 중심으로	전성우, 박용하, 정휘철, hideo Harasawa, Kiyoshi Takahashi	2001	KEI 연구보고서		한국환경정책평가연구원	가능
10	기후변화에 따른 생태계 영향평가 및 대응방안 연구3-삼림부분을 중심으로	전성우, 박용하, 정휘철, 이동근, Yuzuru Matsuoka, Hideo Harasawa, Kiyoshi Takahashi	2002	KEI 연구보고서		한국환경정책평가연구원	가능
11	예보기술 분과: 예보기술4 :식물계절에 나타난 한반도 기후변화 영향	이승법,신경섭, 조영순, 손승희	2003	대기 (한국기상학회보)	13(1): 468-471	한국기상학회	가능
12	경기도 광릉 숲의 이산화탄소 흡수 효과 추정 : 인공위성 영상과 현장 측정 자료를 이용한 생태계 모형 분석	황태희, 이도원	2003	기후변화 포럼 및 학술대회	p169-180	환경부, 기상청, 기상연구소	가능

<부록 표 4-2> 기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문 연구결과 DB 목록 (국내, 계속)

No.	제목	저자	년도	출처	페이지	발행처	원문
13	한반도 서해안에서의 식생변화에 따른 화분기록과 기후변화 모델링	이명석, 김정무, 김정우, 오재호	1996	고생물학회지	12(1): 105-114	한국고생물학회	가능
14	포스터발표: 한국산 침엽수류 연륜내 가도관폭 변동을 이용한 기후변화 모델링	Engene Vaganov, 박원규, 오교영	1994	학술발표회 논문집	p82-84	한국임학회	가능
15	세계목재시장이 지구온난화에 미치는 영향에 관한 연구동향	이덕만	2002	자원환경경제연구	11(4): 557-580	한국환경경제학회, 한국자원경제학회	가능
16	지구온난화로 인한 한반도 산림의 영향평가	정휘철,전성우, 이동근	2002	한국환경복원 녹화기술학회지	5(5):1-10	한국환경복원, 녹화기술학회	가능
17	기후변화와 산림의 미래	이호섭	1996	임업정보지	p2-7	임업연구원	가능
18	지구기후변화의 최근 연구결과 및 산림에서의 대응방안	이경학	1996	임업정보지	p32-35	임업연구원	가능
19	대기오염 및 기후변화가 산림에 미치는 영향에 관한 연구동향	김춘식, 서호석	1996	임업정보지	p12-14	임업연구원	가능
20	기후변화가 한반도 산림생태계에 미치는 영향과 대응방안	신준환, 임종환	2003	기후변화 포럼 및 학술대회	p181-187	환경부, 기상청, 기상연구소	가능
21	지구온난화가 수목 생장에 미치는 영향: 구상나무 연륜 생장 모델링을 이용한 예측	박원규	2003	기후변화 포럼 및 학술대회	p136-139	환경부, 기상청, 기상연구소	가능
22	[기획/지구온난화 한반도에 직격탄] 02. 동백 고향을 떠나다 - 고산식물은 멸종위기에 처해	신준환	2004	과학 동아 1월호	p136-139	동아 사이언스	가능
23	극동지역에서의 지구온난화에 관한 수목 연륜 학적 연구 : 한국 설악산 잣나무의 연륜 폭 , 밀도 및 δ13C 분석	박원규, 최원실, 강전직기, 등원건, 안원영, 태전정명	1995	임산에너지	15(1):1-6	한국임산에너지 학회	가능

<부록 표 4-3> 기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문 연구결과 DB 목록 (국외)

No.	제목	저자	년도	출처	페이지	발행처	원문
1	Tree diversity change in remaining mixed-broad leaved Korean pine forest under climate change and human activities	Xiongwen Chen, Bai-Lian Li	2004	Biodiversity and Conservation	13: 563-577	Kluwer Academic Publishers	가능
2	Impacts of present and future climate variability on agriculture and forestry in the humid and sub-humid tropics	Yanxia Zhao, Chunyi wang, Shili Wang, Lourdes V. Tibig	2005	Climatic Change	70: 73-116	Springer	가능
3	Impacts of present and future climate variability on agriculture and forestry in the temperate regions-Europe	Gianpiero Maracchi, Oleg Sirotenko, Marco Bindi	2005	Climatic Change	70: 117-135	Springer	가능
4	Assessing the consequences of climate change for food and forest resources-a view from IPCC	William Easterling, Michael Apps	2005	Climatic Change	70: 165-189	Springer	가능
5	Tomorrow's forest-adapting to a changing climate	Don C. Maciver, Elaine Wheaton	2005	Climatic Change	70: 273-282	Springer	가능
6	Global climate change and tropical forest genetic resources	Kamaljit S. Bawa, Dayanandan	1998	Climatic Change	39: 473-485	Kluwer Academic Publishers	가능
7	Impacts of forest and future climate variability and change on agriculture and forestry in the arid and semi-arid tropics	M. V. K. Sivakumar, H. P. Das, O. Brunini	2005	Climatic Change	70: 31-72	Springer	가능
8	Agrometeorological research and applications needed to prepare agriculture and forestry to 21st century climate change	Victorine Perarnaud, Bernard Seguin, Eric Malezieux, Michel Deque, Denis Loustau	2005	Climatic Change	70: 319-340	Springer	가능
9	Assessing the consequences of global change for forest disturbance from herbivores and pathogens	Matthew P. Ayres, Maria J. Lombardero	2000	The Science of the Total Environment	262: 263-286	Elsevier	가능

<부록 표 4-3> 기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문 연구결과 DB 목록 (국외, 계속)

No.	제목	저자	년도	출처	페이지	발행처	원문
10	Climate change and site-relevant mechanisms and modeling techniques	Christopher R. Schwalm, Alan R. E k	2001	Forest Ecology and Management	150: 241-257	Elsevier	
11	Reducing vulnerability of agriculture and forestry to climate variability and change-workshop summary and recommendations	M. J. Salinger, M. V. K. Sivakumar, R. Motha	2005	Climatic Change	70: 341-362	Springer	
12	Regional impact analysis of climate change on natural and managed forests in the Federal State of Brandenburg, Germany	P. Lasch, M. Lindner, B. Ebert, M. Flechsig, F.-W. Gerstengarbe, F. Suckow, P. C. Werner	1999	Environmental Modeling and Assessment	4: 273-286	Baltzer Science Publishers BV	
13	Sustainable development, climate change and tropical rain forest landscape	P. S. Ramakrishnan	1998	Climatic Change	39: 583-600	Kluwer Academic Publishers	가능
14	Terrestrial carbon storage resulting from CO_2 and nitrogen fertilization in temperate grasslands	Thornley, J. H. M., D. Fowler, M. G. R. Cannell	1991	Plant, Cell and Environment	14: 1007-1011		
15	48,000 years of climate and forest change in a biodiversity hot spot	Mark B. Bush, Miles R. Silman, Dunia H. Urrego	2004	Science	303: 827-829	Science	가능
16	A climate change scenario for carbon dioxide and dissolved organic carbon fluxes from a temperate forest soil	W. Borken, Y. -J. Xu, R. Brumme, N. Lamersdorf	1999	Soil Science Society of America	63: 1848-1855	Soil Science Society of America	가능
17	Impacts of climate change on the tree line	John Grace, Frank Berninger, Laszlo Nagy	2002	Annals of Botany	90: 537-544	Annals of Botany Company	가능
18	Climate change and the future for broad leaved tree species in Britain	M. S. J. Broadmeadow, D. Ray, C. J. A. Samuel	2005	Forestry	78(2): 145-161	Oxford University Press	가능

<부록 표 4-3> 기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문 연구결과 DB 목록 (국외, 계속)

No.	제목	저자	년도	출처	페이지	발행처	원문
19	Changes in the carbon balance of tropical forests	Oliver L. Phillips, Yadvinder Malhi, Niro Higuchi, William F. Laurance, Percy V. Nunez, Rodolfo M. Vasquez, Susan G. Laurance, Leandro V. Ferreira	1998	Science	282: 439-442	Science	가능
20	Effects of CO_2 enrichment on trees and forests : Lessons to be learned in view of future ecosystem studies	R. Ceulemans, I. A. Janssens, M. E. Jach	1999	Annals of Botany	84: 577-590	Annals of Botany Company	가능
21	Assessing the consequences of global change for forest disturbance from herbivores and pathogens	Matthew P. Ayres, Maria J. Lombardero	2000	The Science of the Total Environment	262: 263-286	Elsevier	가능
22	Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998	Jingyun Fang, Anping Chen, Changhui Peng, Shuqing Zhao, Longjun Ci	2001	Science	297: 292-1296	Science	가능
23	Climate change as the dominant control on glacial-interglacial variations in C_3 and C_4 plant abundance	Y. Huang, F. A. Street-Perrott, S. E. Metcalfe, M. Brenner, M. Moreland, K. H. Freeman	2001	Science	293: 1647-1651	Science	가능
24	Net primary production of a forest ecosystem with experimental CO_2 enrichment	Evan H. DeLucia, Jason G. Hamilton, Shawna L. Naidu, Richard B. Thomas, Jeffrey A. Andrews, Adrien Finzi, Michael Lavine, Roser Matamala, Jacqueline E. Mohan	1999	Science	284: 1177-1179	Science	가능

<부록 표 4-3> 기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문 연구결과 DB 목록 (국외, 계속)

No.	제목	저자	년도	출처	페이지	발행처	원문
25	Phenological changes reflect climate change in Wisconsin	Nina L. Bradley, A. Carl Leopold, John Ross, Wellington Huffaker	1999	Proceedings of the National Academy of Sciences of the U. S. A.	96: 9701-9704		가능
26	Physiological ecology of natural regeneration of harvested and disturbed forest stands: Implications for forest management	T. T. Kozlowski	2002	Forest Ecology and Management	158: 195-221	Elsevier	가능
27	Reconciling change in Oi-horizon carbon-14 with mass loss for an oak forest	P. J. Hanson, C. W. Swanston, C. T. Garten, Jr., D. E. Todd, S. E. Trumbore	2005	Soil Science Society of America	69: 1492-1502	Soil Science Society of America	가능
28	Rising CO_2 levels and their fecundity of forest trees	Shannon L. LaDeau, James S. Clark	2001	Science	292: 95-98	Science	가능
29	Assessing climate change effects on long-term forest development : adjusting growth, phenology, and seed production in a gap model	P. J. van der Meer; I. T. M. Jorritsma; K. Kramer	2002	Forest Ecology and Management	162:39-52	Elsevier	가능
30	Biodiversity in US forests under global climate change	Andrew Hamsen; Virginia Dale	2001	Ecosystems	4:161-163	Springer-Verlag	가능
31	The impact of climate change on wildfire severity : a regional forecast for Northern California	Jeremy S. Fried; Margaret S. Torn; Evan Mills	2004	Climatic Change	64: 169-191	Kluwer Academic Publishers	가능
32	Climate change and forest fire potential in Russian and Canadian boreal forest	B. J. Stocks; M. A. Fosberg; T. J. Lynham; L. Mearns; B. M. Wotton; Q. Yang; J-Z. Jin; K. Lawrence; G. R. Hartley; J. A. Mason; D. W. McKenney	1998	Climatic Change	38:1-13	Kluwer Academic Publishers	가능

<부록 표 4-3> 기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문 연구결과 DB 목록 (국외, 계속)

No.	제목	저자	년도	출처	페이지	발행처	원문
33	A method for estimating vulnerability of Douglas-fir growth to climate change in the northwestern U. S.	Littell, J. S.; Peterson, D. L.	2005	Forestry Chronicle	81(3): 369-374	Canadian Institute of Forestry	
34	A structured decision-making approach to climate change adaptation in the forest sector	Ohlson, D. W.; McKinnon, G. A.; Hirsch, K. G.	2005	Forestry Chronicle	81(1): 97-103	Canadian Institute of Forestry	
35	Climate change and forest genetic : Summary of the 29th biennial meeting of the Canadian tree improvement association and the western forest genetics association; July 27-29,2004, Kelowna, BC	O'Neill, G.; Yanchuk, A.	2005	Forestry Chronicle	81(1): 18-19	Canadian Institute of Forestry	
36	Forests, trees, and climate change - Recent experiences in Asia	Roper, J.; Martins, P.	2004	Forestry Chronicle	80(6): 666-669	Canadian Institute of Forestry	
37	Information on forests and climate change		2004	Forestry Chronicle	80(6):671	Canadian Institute of Forestry	
38	Western forests, fire risk, and climate change		2004	Forestry Chronicle	80(3):326	Canadian Institute of Forestry	
39	Climate change research at the Canadian Forest Service		2001	Forestry Chronicle	77(5):798	Canadian Institute of Forestry	
40	Third millennium forestry: What climate change might mean to forests and forest management in Ontario	Parker, W. C.; Colombo, S. J.; Cherry, M. L.; Flannigan, M. D.; Greifenhagen, S.; McAlpine, R. S.; Papadopol, C.; Scarr, T.	2000	Forestry Chronicle	76(3): 445-463	Canadian Institute of Forestry	
41	Impacts of climate warming on forests in Ontario: Options for adaptation and mitigation	Papadopol, C. S.	2000	Forestry Chronicle	76(1): 139-149	Canadian Institute of Forestry	
42	Forests and climate change	Duchesne, L. C.	1998	Forestry Chronicle	74(1): 119-120	Canadian Institute of Forestry	
43	Breeding strategies in a changing climate and implications for biodiversity	Fowler, D. P.; Loo-Dinkins, J. A.	1992	Forestry Chronicle	68(4): 472-475	Canadian Institute of Forestry	

<부록 표 4-3> 기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문 연구결과 DB 목록 (국외, 계속)

No.	제목	저자	년도	출처	페이지	발행처	원문
44	Climatic warming and its effect on bud burst and risk of frost damage to white spruce in Canada	Colombo, S. J.	1998	Forestry Chronicle	74(4): 567-577	Canadian Institute of Forestry	
45	Potential effects of global climate change on the biodiversity of plants	Schwartz, M. W.	1992	Forestry Chronicle	68(4): 462-471	Canadian Institute of Forestry	
46	Modeling climate change effects on the potential production of French plains forests at the sub-regional level	Loustau, D.; Bosc, A.; Colin, A.; Ogee, J.; Davi, H.; Francois, C.; Dufrene, E.; Deque, M.; Cloppet, E.; Arrouays, D.; Le Bas, C.; Saby, N.; Pignard, G.; Hamza, N. Granier, A.; Breda, N.; Ciais, P.; Viovy, N.; Delage, F.	2005	Tree Physiology	25(7): 813-823	Heron Publishing-Victoria, Canada	
47	A modeling analysis of the interaction between forest age and forest responsiveness to increasing CO_2 concentration	Kirschbau, M. U. F.	2005	Tree Physiology	25(7): 953-963	Heron Publishing-Victoria, Canada	
48	Partitioning interannual variability in net ecosystem exchange between climatic variability and functional change	Hui, D.; Luo, Y.; Katul, G.	2003	Tree Physiology	23(7): 433-442	Heron Publishing-Victoria, Canada	
49	Leaf senescence and late-season net photosynthesis of sun and shade leaves of overstory sweet gum(Liquidambar styraciflua) grown in elevated and ambient carbon dioxide concentrations	Herrick, J. D.; Thomas, R. B.	2003	Tree Physiology	23(2): 109-118	Heron Publishing-Victoria, Canada	
50	Plant ecophysiology and forest response to global change	Buchmann, N.	2002	Tree Physiology	22(15-16): 1177-1184	Heron Publishing-Victoria, Canada	

<부록 표 4-3> 기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문 연구결과 DB 목록 (국외, 계속)

No.	제목	저자	년도	출처	페이지	발행처	원문
51	Diameter growth of Scots pine(Pinus sylvestris) trees grown at elevated temperature and carbon dioxide concentration under boreal conditions	Peltola, H.; Kilpelainen, A.; Kellomaki, S.	2002	Tree Physiology	22(14): 963-972	Heron Publishing-Victoria, Canada	
52	Forest growth and species distribution in a changing climate	Kirschbaum, M. U. F.	2000	Tree Physiology	20(5-6): 309-322	Heron Publishing-Victoria, Canada	
53	Predicting spring phenology and frost damage risk of Betula spp. Under climatic warming : A comparison of two models	Linkosalo, T.; Carter, T. R.; Hakkinen, R.; Hari, P.	2000	Tree Physiology	20(17): 1175-1182	Heron Publishing-Victoria, Canada	
54	Long-term effects of elevated carbon dioxide concentration and provenance on four clones of Sitka spruce(Picea sitchensis); 1. Plant growth, allocation and ontogeny	Centritto, M.; Lee, H. S. J.; Jarvis, P. G.	1999	Tree Physiology	19(12): 799-806	Heron Publishing-Victoria, Canada	
55	Photosynthetic adjustment in field-grown ponderosa pine trees after six years of exposure to elevated CO_2	Tissue, D. T.; Griffin, K. L.; Ball, J. T.	1999	Tree Physiology	19(4-5): 221-228	Heron Publishing-Victoria, Canada	
56	Elevated CO_2 concentration, fertilization and their interaction: Growth stimulation in a short-rotation poplar coppice(EUROFACE)	Liberloo, M.; Dillen, S. Y.; Calfapietra, C.; Marinari, S.; Zhi, B. L.; De Angelis, P.; Ceulemans, R.	2005	Tree Physiology	25(2): 179-189	Heron Publishing-Victoria, Canada	
57	Sudden increase in atmospheric CO_2 concentration reveals strong coupling between shoot carbon uptake and root nutrient uptake in young walnut trees	Delaire, M.; Frak, E.; Sigogne, M.; Adam, B.; Beaujard, F.; Le Roux, X.	2005	Tree Physiology	25(2): 229-235	Heron Publishing-Victoria, Canada	

<부록 표 4-3> 기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문 연구결과 DB 목록 (국외, 계속)

No.	제목	저자	년도	출처	페이지	발행처	원문
58	Scots pine responses to elevated temperature and carbon dioxide concentration: Growth and wood properties	Kilpelainen, A.; Peltola, H.; Ryyppo, A.; Kellomaki, S.	2005	Tree Physiology	25(1): 75-83	Heron Publishing-Victoria, Canada	
59	Silver birch and climate change: Variable growth and carbon allocation responses to elevated concentrations of carbon dioxide and ozone	Riikonen, J.; Lindsberg, M. -M.; Holopainen, T.; Oksanen, E.; Lappi, J.; Peltonen, P.; Vapaavuori, E.	2004	Tree Physiology	24(11): 1227-1237	Heron Publishing-Victoria, Canada	
60	Effects of elevated concentrations of ozone and carbon dioxide on the electrical impedance of leaves of silver birch(Betula pendula) clones	Repo, T.; Oksanen, E.; Vapaavuori, E.	2004	Tree Physiology	24(7): 833-843	Heron Publishing-Victoria, Canada	
61	Wood properties of Scots pines(Pinus sylvestris) grown at elevated temperature and carbon dioxide concentration	Kilpelainen, A.; Peltola, H.; Ryyppo, A.; Sauvala, K.; Laitinen, K.; Kellomaki, S.	2003	Tree Physiology	23(13): 889-897	Heron Publishing-Victoria, Canada	
62	High autumn temperature delays spring bud burst in boreal trees, counterbalancing the effect of climate warming	Heide, O. M.	2003	Tree Physiology	23(13): 931-936	Heron Publishing-Victoria, Canada	
63	Gas exchange, biomass, whole-plant water-use efficiency and water uptake of peach(Prunus persica) seedlings in response to elevated carbon dioxide concentration and water availability	Centritto, M.; Lucas, M. E.; Jarvis, P. G.	2002	Tree Physiology	22(10): 699-706	Heron Publishing-Victoria, Canada	
64	Lignification in beech(Fagus sylvatica) grown at elevated CO_2 concentrations: Interaction with nutrient availability and leaf maturation	Blaschke, L.; Forstreuter, M.; Sheppard, L. J.; Leith, I. K.; Murray, M. B.; Polle, A.	2002	Tree Physiology	22(7): 469-477	Heron Publishing-Victoria, Canada	

<부록 표 4-3> 기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문 연구결과 DB 목록 (국외, 계속)

No.	제목	저자	년도	출처	페이지	발행처	원문
65	Selection of white spruce families in the context of climate change: Heat tolerance	Bigras, F. J.	2000	Tree Physiology	20(18): 1227-1234	Heron Publishing-Victoria, Canada	
66	Effects of elevated CO_2 and temperature on cold hardiness and spring bud burst and growth in Douglas-fir(Pseudotsuga menziesii)	Guak, S.; Olsyzk, D. M.; Fuchigami, L. H.; Tingey, D. T.	1998	Tree Physiology	18(10): 671-679	Heron Publishing-Victoria, Canada	
67	Acclimation of photosynthesis and respiration to simulated climatic warming in northern and southern populations of Acer saccharum: Laboratory and field evidence	Gunderson, C. A.; Norby, R. J.; Wullschlegar, S. D.	2000	Tree Physiology	20(2): 87-96	Heron Publishing-Victoria, Canada	
68	Effects of soil temperature and elevated atmospheric CO_2 concentration on gas exchange, in vivo carboxylation and chlorophyll fluorescence in jack pine and white birch seedlings	Zhang, S.; Dang, Q. -L.	2005	Tree Physiology	25(5): 523-531	Heron Publishing-Victoria, Canada	
69	Timing of GA4/7 application and the flowering of Pinus sylvestris grafts in the greenhouse	Almqvist, C.	2003	Tree Physiology	23(6): 413-418	Heron Publishing-Victoria, Canada	
70	Effects of UV-B radiation on Olea europaea: Comparisons between a greenhouse and a field experiment	Liakoura, V.; Stavrianakou, S.; Liakopoulos, G.; Karabourniotis, G.; Manetas, Y.	1999	Tree Physiology	19(13): 905-908	Heron Publishing-Victoria, Canada	
71	Effects of elevated CO_2 on chloroplast components, gas exchange and growth of oak and cherry	Atkinson, C. J.; Taylor, J. M.; Wilkins, D.; Besford, R. T.	1997	Tree Physiology	17(5): 319-325	Heron Publishing-Victoria, Canada	

<부록 표 4-3> 기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문 연구결과 DB 목록 (국외, 계속)

No.	제목	저자	년도	출처	페이지	발행처	원문
72	Growth of Eucalyptus marginata(Jarrah) seedlings in a greenhouse in response to shade and soil temperature	Stoneman, G. L.; Dell, B.	1993	Tree Physiology	13(3): 239-252	Heron Publishing-Victoria, Canada	
73	Simulating the dynamics of linear forests in Great Plains agroecosystem under changing climates	Guo, Q.; Brandle, J.; Schoeneberger, M.; Buettner, D.	2004	Canadian Journal of research	34(12): 2564-2572	National Research Council of Canada	
74	Fire disturbance during climate change: Failure of postfire forest recovery on a boreal floodplain	Bouchon, E.; Arseneault, D.	2004	Canadian Journal of research	34(11): 2294-2305	National Research Council of Canada	
75	Population variation in growth and 15-year-old shoot elongation along geographic and climatic gradients in black spruce in Alberta	Wei, R. -P.; Sang, D. H.; Dhir, N. K.; Yeh, F. C.	2004	Canadian Journal of research	34(8): 1691-1702	National Research Council of Canada	
76	Aboveground growth and competition in forest gap models: An analysis for studies of clmatic change	Richard J. Norby; Kiona Ogle; Peter S. Curtis; Frnaz-W. Badeck; Andreas Huth; George C. Hurtt; Takashi Kohyama; Josep Penuelas	2001	Climatic Change	51:415-447	Kluwer Academic Publishers	가능
77	Assessing possible impacts of climate change on species important for forestry in Vietnam	Trevor H. Booth; Nguyen Hoang Nghia; Miko U. F. Kirschbaum; Clive Hackett; Tom Jovanovic	1999	Climatic Change	41:109-126	Kluwer Academic Publishers	가능

<부록 표 4-3> 기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문 연구결과 DB 목록 (국외, 계속)

No.	제목	저자	년도	출처	페이지	발행처	원문
78	Below-ground processes in gap models for simulating forest response to global change	Stan D. Wullschleger; Robert B. Jackson; William S. Currie; Andrew D. Friend; Yiqi Luo; Florent Mouillot; Yude Pan; Guofan Shao	2001	Climatic Change	51:449-473	Kluwer Academic Publishers	가능
79	Challenges in the application of existing process-based models to predict the effect of climate change on C pools in forest ecosystems	Nancy Luckai; Guy R. Larocque	2002	Climatic Change	55:39-60	Kluwer Academic Publishers	가능
80	Climate change and people-caused forest fire occurrence in Ontario	B. M. Wotton; D. L. Martell; K. A. Logan	2003	Climatic Change	60:275-295	Kluwer Academic Publishers	가능
81	Climate change and tropical forests in India	N. H. Ravindranath; R. Sukumar	1998	Climatic Change	39:563-581	Kluwer Academic Publishers	가능
82	Decline in length of the summer season on the Kola Peninsula, Russia	Mikhail V. Kozlov; Natalia G. Berlina	2002	Climatic Change	54:387-398	Kluwer Academic Publishers	가능
83	Ecological implications of changes in drought patterns: Shifts in forest composition in Panama	Richard Condit	1998	Climatic Change	39:413-427	Kluwer Academic Publishers	가능
84	Effects of climate change on carbon storage in boreal forests of China: A local perspective	Jian Ni	2002	Climatic Change	55:61-75	Kluwer Academic Publishers	가능
85	Elicitation of expert judgements of climate change impacts on forest ecosystems	M. Granger Morgan; Louis F. Pitelka; Elena Shevliakova	2001	Climatic Change	49:279-307	Kluwer Academic Publishers	가능
86	European tree rings and climate in the 16th century	K. R. Briffa; P. D. Jones; R. B. Vogel; F. H. Schweingruber; M. G. L. Baillie; S. G. Shiyatov; E. A. Vaganov	1999	Climatic Change	43:151-168	Kluwer Academic Publishers	가능

<부록 표 4-3> 기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문 연구결과 DB 목록 (국외, 계속)

No.	제목	저자	년도	출처	페이지	발행처	원문
87	Frequency-dependent climate signal in upper and lower forest border tree rings in the mountains of The great basin	Malcolm K. Hughes; Gary Funkhouser	2003	Climatic Change	59:233-244	Kluwer Academic Publishers	가능
88	Future climate change of the subtropical North Atlantic : Implications for the cloud forests of Tenerife	Frank N. Sperling; Richard Washington; Robert J. Whittaker	2004	Climatic Change	65:103-123	Kluwer Academic Publishers	가능
89	Global climate change adaptation: Examples from Russian boreal forests	O. N. Krankina; R. K. Dixon; A. P. Kirilenko; K. I. Kobak	1997	Climatic Change	36:197-216	Kluwer Academic Publishers	가능
90	Global warming and tropical land-use change : Greenhouse gas emissions from biomass burning, decomposition and soils in forest conversion, shifting cultivation and secondary vegetation	Philip M. Fearnside	2000	Climatic Change	46:115-158	Kluwer Academic Publishers	가능
91	Greenhouse gas emissions and costs over the life cycle of wood and alternative flooring materials	Ann Kristin Petersen; Birger Solberg	2004	Climatic Change	64:143-167	Kluwer Academic Publishers	가능
92	Greenhouse gases from deforestation in Brazilian Amazonia: Net committed emissions	Philip M. Fearnside	1997	Climatic Change	35:321-360	Kluwer Academic Publishers	가능
93	Herbivory-mediated responses of selected boreal forests to climatic change	Pekka Niemela; F. Stuart Chapin III; Kjell Danell; John P. Bryant	2001	Climatic Change	48:427-440	Kluwer Academic Publishers	가능
94	How much physiology is needed in forest gap models for simulating long-term vegetation response to global change? Challenges, limitations, and potentials	James F. Reynolds; Harald Bugmann; Louis F. Pitelka	2001	Climatic Change	51:541-557	Kluwer Academic Publishers	가능
95	How much physiology is needed in forest gap models for simulating long-term vegetation response to global change? Introduction	Louis F. Pitelka; Harald Bugmann; James F. Reynolds	2001	Climatic Change	51:251-257	Kluwer Academic Publishers	가능

<부록 표 4-3> 기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문 연구결과 DB 목록 (국외, 계속)

No.	제목	저자	년도	출처	페이지	발행처	원문
96	How much physiology is needed in forest gap models for simulating long-term vegetation response to global change?	Guest Editorial	2001	Climatic Change	51:249-250	Kluwer Academic Publishers	가능
97	Impacts of climate change on the global forest sector	John Perez-garcia; Linda A. Joyce; A. David McGuore; Xiangming Xiao	2002	Climatic Change	54:439-461	Kluwer Academic Publishers	가능
98	Impacts of present and future climate change and climate variability on agriculture in the temperate regions: North America	Raymond P. Motha; Wolfgang Baier	2005	Climatic Change	70:137-164	Springer	가능
99	Investigating the balance between timber harvest and productivity of global coniferous forests under global change	Galina Churkina; Steven Running	2000	Climatic Change	47:167-191	Kluwer Academic Publishers	가능
100	Model computations of the climatic change on the windthrow risk of trees	Heli Peltola; Seppo Kellomaki; Hannu Vaisanen	1999	Climatic Change	41:17-36	Kluwer Academic Publishers	가능
101	Modeling global climate-vegetation interactions in a doubled CO_2 world	Jon C. Bergengren; Starley L. Thompson; David Pollard; Robert M. Deconto	2001	Climatic Change	50:31-75	Kluwer Academic Publishers	가능
102	Modeling the effects of global climatic change at the ecotone of boreal larch forest and temperate forest in Northeast China	Xiongwen Chen	2002	Climatic Change	55:77-97	Kluwer Academic Publishers	가능
103	Modelling carbon dynamics of boreal forest ecosystems using the Canadian land surface scheme	Shusen Wang; Robert F. Grant; Diana L.Verseghy; T .Andrew Black	2002	Climatic Change	55:451-477	Kluwer Academic Publishers	가능

<부록 표 4-3> 기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문 연구결과 DB 목록 (국외, 계속)

No.	제목	저자	년도	출처	페이지	발행처	원문
104	Northern Hemisphere temperature variability for the past three centuries: Tree-ring and model estimates	Rosanne D'Arrigo; Gordon Jacoby; Melissa Free; Alan Robock	1999	Climatic Change	42:663-675	Kluwer Academic Publishers	가능
105	Pace and pattern of recent tree line dynamics: Response of ecotone to climatic variability in the Spanich Pyrenees	J. Julio Camarero; Emilia Gutierrez	2004	Climatic Change	63:181-200	Kluwer Academic Publishers	가능
106	Physiologic plasticity, evolution, and impacts of a changing climate on Pinus contorta	Gerald E. Rehfeldt; William R. Wykoff; Cheng C. Ying	2001	Climatic Change	50:355-376	Kluwer Academic Publishers	가능
107	Possible effects of climate change on plant/herbivore interactions in moist tropical forests	Phyllis D. Coley	1998	Climatic Change	39:455-472	Kluwer Academic Publishers	가능
108	Possible impacts of climate variability and change on tropical forest hydrology	M. Bonell	1998	Climatic Change	39:215-272	Kluwer Academic Publishers	가능
109	Potential impact of climatic change on tropical rain forest seedlings and forest regeneration	T. C. Whitmore	1998	Climatic Change	39:429-438	Kluwer Academic Publishers	가능
110	Potential impacts of climate change on tropical Asian forests through an influence on phenology	Richard T. Corlett; James V. Lafrankie, Jr.	1998	Climatic Change	39:439-453	Kluwer Academic Publishers	가능
111	Potential impacts of climate change on tropical forest ecosystems	Guest Editorial	1998	Climatic Change	39:141-143	Kluwer Academic Publishers	가능
112	Predicted effects of climatic change on distribution of ecologically important native tree and shrub species in Florida	Elgene O. Box; David W. Crumpacker; Dennis Hardin	1999	Climatic Change	41:213-248	Kluwer Academic Publishers	가능
113	Predicting effects of temperature increase on the water balance of beech forest - An application of the 'KAUSHA' model	Mathias Herbst; Georg Hormann	1998	Climatic Change	40:683-698	Kluwer Academic Publishers	가능

<부록 표 4-3> 기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문 연구결과 DB 목록 (국외, 계속)

No.	제목	저자	년도	출처	페이지	발행처	원문
114	Preparing for climatic change : The water, salmon, and forests of the Pacific Northwest	Philip W. Mote; Edward A. Parson; Alan F. Hamlet; William S. Keeton; Dennis Lettenmaier; Nathan Mantua; Edward L. Miles; David W. Peterson; David L. Peterson; Richard Slaughter; Amy K. Snover	2003	Climatic Change	61:45-88	Kluwer Academic Publishers	가능
115	Reconstructed temperature and precipitation an a millennial timescale from tree-rings in the Southern Colorado Plateau, U. S. A.	Matthew W. Salzer; Kurt F. Kipfmueller	2005	Climatic Change	70:465-487	Springer	가능
116	Reconstruction of summer temperatures in interior Alaska from tree-ring proxies: Evidence for changing synoptic climate regimes	Valerie A. Barber; Glenn Patrick Juday; Bruce P. Finney; Martin Wilmking	2004	Climatic Change	63:91-120	Kluwer Academic Publishers	가능
117	Regeneration in gap models: Priority issues for studying forest responses to climate change	David T. Price; Niklaus E. Zimmermann; Peter J. Van Der Meer; Manfred J. Lexer; Paul Leadley; Irma T. M. Jorritsma; Jorg Schaber; Donald F. Clark; Peter Lasch; Steve McNulty; Jianguo Wu; Benjamin Smith	2001	Climatic Change	51:475-508	Kluwer Academic Publishers	가능

<부록 표 4-3> 기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문 연구결과 DB 목록 (국외, 계속)

No.	제목	저자	년도	출처	페이지	발행처	원문
118	Relating tree physiology to past and future changes in tropical rainforest tree communities	Thomas A. Kursar	1998	Climatic Change	39:363-379	Kluwer Academic Publishers	가능
119	Responses of tropical trees to rainfall seasonality and its long-term changes	Rolf Borchert	1998	Climatic Change	39:381-393	Kluwer Academic Publishers	가능
120	Spatial and temporal variability in the growth and climate response of treeline trees in Alaska	Andrea H. Lloyd; Christopher L. Fastie	2002	Climatic Change	52:481-509	Kluwer Academic Publishers	가능
121	Taking the pulse of mountains: Ecosystem responses to climatic variability	Daniel B. Fagre; David L. Peterson; Amy E. Hessl	2003	Climatic Change	59:263-282	Kluwer Academic Publishers	가능
122	The potential effects of elevated CO_2 and climate change on tropical forest soils and biogeochemical cycling	Whendee L. Silver	1998	Climatic Change	39:337-361	Kluwer Academic Publishers	가능
123	To what exetent can oxygen isotopes in tree rings and precipitation be used to reconstruct past atmospheric temperature? A case study	Martine Rebetez; Matthias Saurer; Paolo Cherubini	2003	Climatic Change	61:237-248	Kluwer Academic Publishers	가능
125	Tropical forests in a future climate: Changes in biological diversity and impact on the global carbon cycle	F. A. Bazzaz	1998	Climatic Change	39:317-336	Kluwer Academic Publishers	가능
126	Tropical forests under the climates of the last 30,000 years	J. R. Flenley	1998	Climatic Change	39:177-197	Kluwer Academic Publishers	가능
127	Upscaling tropical deforestation: Implications for climate change	Karen L. O'Brien	2000	Climatic Change	44:311-329	Kluwer Academic Publishers	가능
128	Vulnerabilities of tropical forests to climate change: The significance of resident epiphytes	David H. Benzing	1998	Climatic Change	39:519-540	Kluwer Academic Publishers	가능

<부록 표 4-3> 기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문 연구결과 DB 목록 (국외, 계속)

No.	제목	저자	년도	출처	페이지	발행처	원문
129	Vulnerability of Island tropical montate cloud forests to climate change, with special reference to east Maui, Hawaii	Lloyd L. Loope; Thomas W. Giambelluca	1998	Climatic Change	39:503-517	Kluwer Academic Publishers	가능
130	Vulnerability of Russian forests to climate changes. Model estimation of CO_2 fluxes	Alexander L. Lelyakin; Alexey O. Kokorin; Igor M. Nazarov	1997	Climatic Change	36:123-133	Kluwer Academic Publishers	가능
131	Warm-season annual to decadal temperature variability for Hokkaido, Japan, inferred from maximum latewood density(AD 1557-1990) and ring width data(AD 1532-1990)	Nicole Davi; Rosanne D'Arrigo; Gordon Jacoby; Brendan Buckley; Osamu Kobayashi	2002	Climatic Change	52:201-217	Kluwer Academic Publishers	가능
132	Wavelet analysis of solar-enso imprints in tree ring data from Southern Brazil in the last century	N. R. Rigozo; L. E. A. Vieira; E. Echer; D. J. R. Nordemann	2003	Climatic Change	60:329-340	Kluwer Academic Publishers	가능
133	Understanding climate change risk and vulnerability in northern forest-based communities	Davidson, D. J.; Williamson, T.; Parkins, J. R.	2003	Canadian Journal of research	33(11): 2252-2261	National Research Council of Canada	
134	Whole-seedling biomass allocation, leaf area, and tissue chemistry for douglas-fir exposed to elevated CO_2 and temperature for 4 years	Olszyk, D. M.; Johnson, M. G.; Tingey, D. T.; Rygiewicz, P. T.; Wise, C.; VanEss, E.; Benson, A.; Storm, M. J.; King, R.	2003	Canadian Journal of research	33(2): 269-278	National Research Council of Canada	
135	Climate, canopy disturbance, and radical growth averaging in a second-growth mixed- oak forest in West Virginia, U. S. A.	Rentch, J. S.; Desta, F.; Miller, G. W.	2002	Canadian Journal of research	32(6): 915-927	National Research Council of Canada	

<부록 표 4-3> 기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문 연구결과 DB 목록 (국외, 계속)

No.	제목	저자	년도	출처	페이지	발행처	원문
136	Growth responses of subalpine fir to climatic variability in the Pacific Northwest	Peterson, D. W.; Peterson, D. L.; Ettl, G. J.	2002	Canadian Journal of research	32(9): 1503-1517	National Research Council of Canada	
137	Climate change and tree-ring relationships of Nothofagus menziesii tree-line forests	Cullen, L. E.; Palmer, J. G.; Duncan, R. P.; Stewart, G. H.	2001	Canadian Journal of research	31(11): 1981-1991	National Research Council of Canada	
138	The effects of climate change on the distribution and management of Picea abies in southern Scandinavia	Bradshaw, R. H. W.; Holmqvist, B. H.; Cowling, S. A.; Sykes, M. T.	2000	Canadian Journal of research	30(12): 1992-1998	National Research Council of Canada	
139	Forest ecotone response to climate change: Sensitivity to temperature response functional forms	Loehle, C.	2000	Canadian Journal of research	30(10): 1632-1645	National Research Council of Canada	
140	Response of high-elevation forests in the Olympic Mountains to climatic change	Zolbrod, A. N.; Peterson, D. L.	1999	Canadian Journal of research	29(12): 1966-1978	National Research Council of Canada	
141	Effects of climate change and nitrogen deposition on the carbon sequestration of a forest ecosystem in the boreal zone	Makopaa, R.; Karjalainen, T.; Pussinen, A.; Kellomaki, S.	1999	Canadian Journal of research	29(10): 1490-1501	National Research Council of Canada	
142	Responses of boreal conifers to climate fluctuations: Indications from tree-ring widths and carbon isotope analyses	Brooks, J. R.; Flanagan, L. B.; Ehleringer, J. R.	1998	Canadian Journal of research	28(4): 524-533	National Research Council of Canada	
143	Tree-ring width and maximum density of Picea glehnii as indicators of climatic changes in northern Hokkaido, Japan	Yasue, K.; Funada, R.; Fukazawa, K.; Ohtanl, J.	1997	Canadian Journal of research	27(12): 1962-1970	National Research Council of Canada	

<부록 표 4-3> 기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문 연구결과 DB 목록 (국외, 계속)

No.	제목	저자	년도	출처	페이지	발행처	원문
144	Response of tree-line populations of foxtail pine(Pinus balfouriana) to climate variation over the last 1000 years	Lloyd, A. H.	1997	Canadian Journal of research	27(6): 936-942	National Research Council of Canada	
145	The effect of climatic factors on the radial growth of Japanese ash northern Hokkaido, Japan	Yasue, K.; Funada, R.; Kondo, T.; Kobayashi, Q.; Fukazawa, K.	1996	Canadian Journal of research	26(11): 2052-2055	National Research Council of Canada	
146	Assessment of the impact of climate change on the growth of sitka spruce in scotland	Proe, M. F.; Allison, S. M.; Matthews, K. B.	1996	Canadian Journal of research	26(11): 1914-1921	National Research Council of Canada	
147	Climatic change effects on the physiology and growth of Pinus ponderosa: Expectations from simulation modeling	Constable, J.V.H.; Taylor G.E., Jr.; Laurence, J.A.; Weber, J.A.	1996	Canadian Journal of research	26(8): 1315-1325	National Research Council of Canada	
148	Provenance tests as indicators of growth response to climate change in 10 north temperate tree species	Carter, K. K.	1996	Canadian Journal of research	26(6): 1089-1095	National Research Council of Canada	
149	Predicting growth of plantation conifers in the Adirondack Mountains in response to climate change	Pan, Y.; Raynal, D. J.	1995	Canadian Journal of research	25(1):48-56	National Research Council of Canada	
150	Model computations on the impact of changing climate on natural regeneration of Scots pine in Finland	Kellomaki, S.; Vaisanen, H.	1995	Canadian Journal of research	25(6): 929-942	National Research Council of Canada	
151	Past and future climate change: response by mixed deciduous- coniferous forest ecosystems in northern Michigan	Solomon, A. M.; Bartlein, P. J.	1992	Canadian Journal of research	22(11): 1727-1738	National Research Council of Canada	
152	Tree-ring width and maximum latewood density at the North American tree line: parameters of climatic change	D'Arrigo, R. D.; Jacoby, G. C.; Free, R. M.	1992	Canadian Journal of research	22(9): 1290-1296	National Research Council of Canada	
153	Twentieth-century climate change, fire suppression, and forest production and decomposition in northwestern Minnesota	Clark, J. S.	1990	Canadian Journal of research	20(2): 219-232	National Research Council of Canada	
154	Potential effects of climate change on stand development in the Pacific Northwest	Dale, V. H.; Franklin, J. F.	1989	Canadian Journal of research	19(12): 1581-1590	National Research Council of Canada	

<부록 표 4-3> 기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문 연구결과 DB 목록 (국외, 계속)

No.	제목	저자	년도	출처	페이지	발행처	원문
155	Nonsymbiotic nitrogen fixation in 3-year-old Jeffrey pines and the role of elevated CO_2	Verburg, P. S. J.; Cheng, W.; Johnson, D. W.; Schorran, D. E.	2004	Canadian Journal of research	34(9): 1979-1984	National Research Council of Canada	
156	Impact studies on Nordic forests: Effects of elevated CO_2 and fertilization on gas exchange	Sigurdsson, B. D.; Roberntz, P.; Freeman, M.; N?ss, M.; Saxe, H.; Thorgeirsson, H.; Linder, S. Ess, M., Saxe, H., Thorgeirsson, H., Linder, S.	2002	Canadian Journal of research	32(5): 779-788	National Research Council of Canada	
157	Elevated temperature but not elevated CO_2 affects long-term patterns of stem diameter and height of Douglas-fir seedlings	Olszyk, D.; Wise, C.; VanEss, E.; Tingey, D.	1998	Canadian Journal of research	28(7): 1046-1054	National Research Council of Canada	
158	Reproductive capacity of the grey pine aphid and allocation response of Scots pine seedlings across temperature gradients: A test of hypotheses predicting outcomes of global warming	Holopainen, J. K.; Kainulainen, P.	2004	Canadian Journal of research	34(1): 94-102	National Research Council of Canada	
159	Interaction of nutrient-loaded spruce seedlings with neighbouring vegetation in greenhouse environments	Malik, V.; Timmer, V. R.	1995	Canadian Journal of research	25(6): 1017-1023	National Research Council of Canada	
160	Red pine abundance - Current climatic control and responses to future warming	Flannigan, M. D.; Woodward, F. I.	1994	Canadian Journal of research	24(6): 1166-1175	National Research Council of Canada	
161	Atmospheric CO_2 enrichment and the development of frost hardiness in containerized black spruce seedlings	Margolis, H. A.; Vezina, L. -P.	1990	Canadian Journal of research	20(9): 1392-1398	National Research Council of Canada	
162	A 28000-7600 cal yr BP pollen record of vegetation and climate change from Pukaki Crater, northern New Zealand	Anna Sandiford; Rewi Newnham; Brent Alloway; John Ogden	2003	Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology	201: 235-247	Elsevier	가능

<부록 표 4-3> 기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문 연구결과 DB 목록 (국외, 계속)

No.	제목	저자	년도	출처	페이지	발행처	원문
163	Pollen-based vegetation changes in southern Tanzania during the last 4200 years: climate change and/or human impact	Annie Vincens; David Williamson; Florian Thevenon; Maurice Taieb; Guillaume Buchet; Michel Decobert; Nicolas Thouveny	2003	Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology	198: 321-334	Elsevier	가능
164	Sensitivity of tree growth to a high CO_2 environment : consequences for interpreting the characteristics of fossil woods from ancient 'greenhouse' worlds	Colin P. Osborne; David J. Beerling	2002	Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology	182:15-29	Elsevier	가능
165	Exploring interactions between pollutant emissions and climatic variability in growth of red spruce in the Great Smoky Mountains National Park	K. L. Webster; I. F. Creed; N. S. Nicholas; H. Van Miegroet	2004	Water, Air, and Soil Pollution	159: 225-248	Kluwer Academic Publishers	가능
166	Land use, land use change and forestry related GHG emissions in lebanon: Economic valuation and policy options	M. El-Fadel; D. Jamali; D. Khorbotly	2002	Water, Air, and Soil Pollution	137: 287-303	Kluwer Academic Publishers	가능
167	Soil organic matter fractions in experimental forested watersheds	Jennifer L. Parker; Ivan J. Fernandez; Lindsey E. Rustad; Stephen A. Norton	2002	Water, Air, and Soil Pollution	138: 101-121	Kluwer Academic Publishers	가능
168	Vegetation response to global warming: The role of hysteresis effect	Mikhail A. Vedyushkin	1997	Water, Air, and Soil Pollution	95:1-12	Kluwer Academic Publishers	가능
169	A Danish example of optimal thinning strategies in mixed-species forest under changing growth conditions caused by climate change	Jette Bredahl Jacobsen; Bo Jellesmark Thorsen	2003	Forest Ecology and Management	180: 375-388	Elsevier	가능
170	A model for regional analysis of carbon sequestration and timber production	Sofia Backeus; Peder Wikstrom; Tomas Lamas	2005	Forest Ecology and Management	216:28-40	Elsevier	가능

<부록 표 4-3> 기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문 연구결과 DB 목록 (국외, 계속)

No.	제목	저자	년도	출처	페이지	발행처	원문
171	Amazonian deforestation and global warming: carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon forest	Philip M. Fearnside	1996	Forest Ecology and Management	80:21-34	Elsevier	가능
172	An approach towards an estimate of the impact of forest management and climate change on the European forest sector carbon budget: Germany as a case study	Timo Karjalainen; Ari Pussinen; Jari Liski; Gert-Jan Nabuurs; Markus Erhard; Thies Eggers; Michael Sonntag; G. M. J. Mohren	2002	Forest Ecology and Management	162:87-103	Elsevier	가능
173	An intergrated decision support framework for the prediction and evaluation of efficiency, environmental impact and total social cost of domestic and international forestry projects for greenhouse gas mitigation: description and case studies	Juan F. Garcia-Quijano; Gaby Deckmyn; Ellen Moons; Stef Proost; Reinhart Ceulemans; Bart Muys	2005	Forest Ecology and Management	207: 245-262	Elsevier	가능
174	An integrated GIS and modeling approach for assessing the transient response of forests of the southern Great Lakes region to a doubled CO_2 climate	J. L. Ehman; Weihong Fan; J. C. Randolph; Jane Southworth; Nicole Turrill Welch	2002	Forest Ecology and Management	155: 237-255	Elsevier	가능
175	Assessing potential climate change effects on loblolly pine growth: A probabilistic regional modeling approach	Peter B. Woodbury; James E. Smith; David A. Weinstein; John A. Laurence	1998	Forest Ecology and Management	107:99-116	Elsevier	가능
176	Development and assessment of a gap-type model to predict the effects of climate change on forests based on spatial forest data	Ari Talkkari; Harri Hypen	1996	Forest Ecology and Management	83:217-228	Elsevier	가능
177	Dynamics and potentials of carbon sequestration in managed stands and wood products in Finland under changing climatic conditions	Timo Karjalainen	1996	Forest Ecology and Management	80:113-132	Elsevier	가능

<부록 표 4-3> 기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문 연구결과 DB 목록 (국외, 계속)

No.	제목	저자	년도	출처	페이지	발행처	원문
178	Experimental manipulations of old pine forest ecosystems to predict the potential tree growth effects of increased CO_2 and temperature in a future climate	L. Rasmussen; C. Beier; A. Bergstedt	2002	Forest Ecology and Management	158: 179-188	Elsevier	가능
179	Forest carbon sequestration and harvests in Scots pine stand under different climate and nitrogen deposition scenarios	Ari Pussinen; Timo Karjalainen; Raisa Makipaa; Lauri Valsta; Seppo Kellomaki	2002	Forest Ecology and Management	158: 103-115	Elsevier	가능
180	Forest growth response to changing climate between 1961 and 1990 in Austria	Hubert Hasenauer; Ramakrishna R. Nemani; Klemens Schadauer; Steven W. Running	1999	Forest Ecology and Management	122: 209-219	Elsevier	가능
181	Genetic consequences of forest population dynamics influenced by historic climatic variability in the western USA	Robert D. Westfall; Constance I. Millar	2004	Forest Ecology and Management	197: 159-170	Elsevier	가능
182	Genetic variation in cessation of growth and frost hardiness and consequences for adaptation of Pinus sylvestris to climatic changes	Outi Savolainen; Folmer Bokma; Rosario Garcia-Gil; Paivi Komulainen; Tapani Repo	2004	Forest Ecology and Management	197:79-89	Elsevier	가능
183	Growth patterns and carbon balance of Pinus radiata and Pseudotsuga menziesii plantations under climate change scenarios in Italy	F. Magnani; L. Consiglio; M. Erhard; A. Nole; F. Ripullone; M. Borghetti	2004	Forest Ecology and Management	202:93-105	Elsevier	가능
184	Integrated forestry assessments for climate change impacts	Marcus Lindner; Brent Sohngen; Linda A. Joyce; David T. Price; Pierre Y. Bernier; Timo Karjalainen	2002	Forest Ecology and Management	162: 117-136	Elsevier	가능

<부록 표 4-3> 기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문 연구결과 DB 목록 (국외, 계속)

No.	제목	저자	년도	출처	페이지	발행처	원문
185	Leaf water relations in six provenances of Eucalyptus microtheca: a greenhouse experiment	Kari Tuomela	1997	Forest Ecology and Management	92:1-10	Elsevier	가능
186	Likely effects of climate change on growth of Quercus ilex, Pinus halepensis, Pinus pinaster, Pinus sylvestris and Fagus sylvatica forests in the Mediterranean region	Santiago Sabate; Carlos A. Gracia; Anabel Sanchez	2002	Forest Ecology and Management	162:23-37	Elsevier	가능
187	Long-term adaptation potential of Central European mountain forests to climate change: a GIS-assisted sensitivity assessment	Felix Kienast; Bogdan Brzeziecki; Otto Wildi	1996	Forest Ecology and Management	80:133-153	Elsevier	가능
188	Modelling the short-term effects of climate change on the productivity of selected tree species in Nordic countries	Johan Bergh; Michael Freeman; Bjarni Sigurdsson; Seppo Kellomaki; Kaisa Laitinen; Sini Niinisto; Heli Peltola; Sune Linder	2003	Forest Ecology and Management	183:327-340	Elsevier	가능
189	Modeling the spatial and temporal variability in climate and primary productivity across the Luquillo Mountains, Puerto Rico	Hongqing Wang; Charles A. S. Hall; Frederick N. Scatena; Ned Fetcher; Wei Wu	2003	Forest Ecology and Management	179:69-94	Elsevier	가능
190	More timber from boreal forests under changing climate?	Seppo Kellomaki; Timo Karjalainen; Hannu Vaisanen	1997	Forest Ecology and Management	94:195-208	Elsevier	가능
191	Potential impacts of climatic change on natural forests and forestry in Brazilian Amazonia	Philip M. Fearnside	1995	Forest Ecology and Management	78:51-70	Elsevier	가능
192	Potential redistribution of tree species habitat under five climate change scenarios in the eastern US	Louis R. Iverson; Anantha M. Prasad	2002	Forest Ecology and Management	155: 205-222	Elsevier	가능
193	Projecting impacts of global climate change on the US forest and agriculture sectors and carbon budgets	Ralph J. Alig; Darius M. Adams; Bruce A. McCarl	2002	Forest Ecology and Management	169:3-14	Elsevier	가능

<부록 표 4-3> 기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문 연구결과 DB 목록 (국외, 계속)

No.	제목	저자	년도	출처	페이지	발행처	원문
194	Quantitative changes in twig growth pattern of young woodland beech(Fagus sylvatica L.) in relation to climate and ozone pollution over 10 years	G. H. Stribley; M. R. Ashmore	2002	Forest Ecology and Management	157: 191-204	Elsevier	가능
195	Regional impact assessment on forest structure and functions under climate change-the Brandenburg case study	P. Lasch; M. Lindner; M. Erhard; F. Suckow; A. Wenzel	2002	Forest Ecology and Management	162:73-86	Elsevier	가능
196	Risk and damage of southern pine beetle outbreaks under global climate change	Jianbang Gan	2004	Forest Ecology and Management	191:61-71	Elsevier	가능
197	Site and weather effects in allometries: A simple approach to climate change effect on pines	F. R. Lopez-Serrano; A. Garcia-Morote; M. Andres-Abellan; A. Tendero; A. del Cerro	2005	Forest Ecology and Management	215: 251-270	Elsevier	가능
198	Study of landscape change under forest harvesting and climate warming-induced fire disturbance	Hong S. He; David J. Mladenoff; Eric J. Gustafson	2002	Forest Ecology and Management	155: 257-270	Elsevier	가능
199	The development of forest resources and potential wood yield in Finland under changing climatic conditions	Ari Talkkari	1998	Forest Ecology and Management	106:97-106	Elsevier	가능
200	The impact of climate change on growth of local white spruce populations in Quebec, Canada	Christophe Andalo; Jean Beaulieu; Jean Bousquet	2005	Forest Ecology and Management	205: 169-182	Elsevier	가능
201	The role of climate and vegetation change in shaping past and future fire regimes in the northwestern US and the implications for ecosystem management	Cathy Whitlock; Sarah L. Shafer; Jennifer Marlon	2003	Forest Ecology and Management	178:5-21	Elsevier	가능

<부록 표 4-3> 기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문 연구결과 DB 목록 (국외, 계속)

No.	제목	저자	년도	출처	페이지	발행처	원문
202	The sensitivity of Austrian forests to scenarios of climatic change: a large-scale risk assessment based on a modified gap model and forest inventory data	M. J. Lexer; K. Honnnger; H. Scheifinger; Ch. Matulla; N. Groll; H. Kromp-Kolb; K. Schadauer; F. Starlinger; M. Englisch	2002	Forest Ecology and Management	162:53-72	Elsevier	가능
203	Tropical forest fragmentation and greenhouse gas emissions	William F. Laurance; Susan G. Laurance; Patricia Delamonica	1998	Forest Ecology and Management	110: 173-180	Elsevier	가능
204	Will forest preserves protect temperate and boreal biodiversity from climate change?	Philippe H. Martin	1996	Forest Ecology and Management	85:335-341	Elsevier	가능
205	The influence of climate change on the productivity of Scots pine, Norway spruce, Pendula birch and Pubescent birch in southern and northern Finland	Kellomaki, S.; Kolstrom, M.	1994	Forest Ecology and Management	65(2-3): 201-217	Elsevier	
206	Tropical forests and climate	Florencia Montagnini	1994	Forest Ecology and Management	65(2-3): 294-295	Elsevier	
207	Genetic strategies for reforestation in the face of global climate change	F. Thomas Ledig; J. H. Kitzmiller	1992	Forest Ecology and Management	50(1-2): 153-169	Elsevier	
208	Effects of global warming on forests	Robert L. Peters	1990	Forest Ecology and Management	35(1-2): 13-33	Elsevier	
209	Scalping and burning of Kalmia angustifolia (Ericaceae) litter: effects on Picea mariana establishment and ion leaching in a greenhouse experiment	Marcel Préost	1994	Forest Ecology and Management	63(2-3): 199-218	Elsevier	
210	Postglacial palaeoecology of the subalpine forest - grassland ecotone of southwestern Alberta: New insights on vegetation and climate change in the Canadian rocky mountains and adjacent foothills	G. M. Macdonald	1989	Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology	73(3-4): 155-173	Elsevier	

<부록 표 4-3> 기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문 연구결과 DB 목록 (국외, 계속)

No.	제목	저자	년도	출처	페이지	발행처	원문
211	Is an unprecedented dothistroma needle blight epidemic related to climate change?	Woods, Alex; Coates, K. David; Hamann, Andreas	2005	BioScience	55(9): 761-769	American Institute of Biological Sciences	
212	US national climate change assessment on forest ecosystems: An introduction	McNulty S. G.; Aber J. D.	2001	BioScience	51(9): 720-722	American Institute of Biological Sciences	가능
213	Forest processes and global environmental change: Predicting the effects of individual and multiple stressors	John Aber; Ronald P. Neilson; Steve McNulty; James M. Lenihan; Dominique Bachelet; Raymond J. Drapek	2001	BioScience	51(9): 735-751	American Institute of Biological Sciences	가능
214	Climate change and forest disturbances	Dale, V. H.; Joyce, L. A.; McNulty, S.; Neilson, R. P.; Ayres, M. P.; Flannigan, M. D.; Hanson, P. J.; Irland, L. C.; Lugo, A. E.; Peterson, C. J.; Simberloff, D.; Swanson, F. J.; Stocks, B. J.; Wotton, B. M.	2001	BioScience	51(9): 723-734	American Institute of Biological Sciences	
215	Assessing socioeconomic impacts of climate change on US forests, wood-product markets, and forest recreation	Irland, L. C.; Adams, D.; Alig, R.; Betz, C. J.; Chen, C. -C.; Hutchins, M.; McCarl, B. A.; Skog, K.; Sohngen, B. L.	2001	BioScience	51(9): 753-764	American Institute of Biological Sciences	
216	Forecasting regional to global plant migration in response to climate change	Neilson, R. P.; Pitelka, L. F.; Solomon, A. M; Nathan, R.; Midgley, G. F.; Fragoso, J. M. V.; Lischke, H .; Thompson, K.	2005	BioScience	55(9): 749-759	American Institute of Biological Sciences	
217	Trophic interaction cycles in tundra ecosystems and the impact of climate change	Ims, R. A.; Fuglei, E.	2005	BioScience	55(4): 311-322	American Institute of Biological Sciences	

<부록 표 4-3> 기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문 연구결과 DB 목록 (국외, 계속)

No.	제목	저자	년도	출처	페이지	발행처	원문
218	Nitrogen cycling and the spread of shrubs control changes in the carbon balance of Arctic tundra ecosystems	Weintraub, Michael N.; Schimel, Joshua P.	2005	BioScience	55(5): 408-415	American Institute of Biological Sciences	가능
219	Winter biological processes could help convert Arctic tundra to shrubland	Sturm, Matthew; Schimel, Josh; Michaelson, Gary; Welker, Jeffrey M.; Oberbauer, Steven F.; Liston, Len E.; Fahnestock, Jace; Romanovsky, Vladimir E.	2005	BioScience	55(1):17-26	American Institute of Biological Sciences	가능
220	A burning interest in boreal forests: Researchers in Alaska link fires with climate change	Senkowsky, S.	2001	BioScience	51(11): 916-921	American Institute of Biological Sciences	
221	Global warming and terrestrial ecosystems	Price, M.V.; Waser, N.M.; Shaver, G.R.; Harte, J.	2001	BioScience	51(5): 332-333	American Institute of Biological Sciences	
222	Global warming and terrestrial ecosystems: A conceptual framework for analysis	Shaver, G.R.; Canadell, J.; Chapin III, F.S.; Gurevitch, J.; Harte, J.; Henry, G.; Ineson, P.; Jonasson, S.; Melillo, J.; Pitelka, L.; Rustad, L.	2000	BioScience	50(10): 871-882	American Institute of Biological Sciences	
223	The subarctic forest-tundra: The structure of a biome in a changing climate	Payette, S.; Fortin, M.-J.; Gamache, I.	2001	BioScience	51(9): 709-718	American Institute of Biological Sciences	
224	Molecular indicators of tree migration capacity under rapid climate change	McLachlan, J. S.; Clark, J. S.; Manos, P. S.	2005	Ecology	86(8): 2088-2098	Ecological Society of America	가능
225	Ecological histories from Alaskan tree lines provide insight into future change	Lloyd, A. H.	2005	Ecology	86(7): 1687-1695	Ecological Society of America	가능

<부록 표 4-3> 기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문 연구결과 DB 목록 (국외, 계속)

No.	제목	저자	년도	출처	페이지	발행처	원문
226	Effects of climate and stand age on annual tree dynamics in tropical second-growth rain forests	Chazdon, R. L.; Brenes, A. R.; Alvarado, B. V.	2005	Ecology	86(7): 1808-1815	Ecological Society of America	가능
227	A test of the treeline carbon limitation hypothesis by in situ CO2 enrichment and defoliation	Handa, I.T.; Körner, C.; Hättenschwiler, S.	2005	Ecology	86(5): 1288-1300	Ecological Society of America	가능
228	Climate forcing and density dependence in a mountain ungulate population	Jacobson, A. R.; Provenzale, A.; Von Hardenberg, A.; Bassano, B.; Festa-Bianchet, M.	2004	Ecology	85(6): 1598-1610	Ecological Society of America	가능
229	Climatic and human influences on fire regimes of the southern San Juan Mountains, Colorado, USA	Grissino-Mayer, H. D.; Romme, W. H.; Floyd, M. L.; Hanna, D. D.	2004	Ecology	85(6): 1708-1724	Ecological Society of America	가능
230	Spatiotemporal influences of climate on altitudinal treeline in northern Patagonia	Daniels, L. D.; Veblen, T. T.	2004	Ecology	85(5): 1284-1296	Ecological Society of America	가능
231	Evidence for the close climatic control of new England vegetation history	Shuman, B; Newby, P; Huang, Y; Webb III, T.	2004	Ecology	85(5): 1297-1310	Ecological Society of America	가능
232	Mountain hemlock growth responds to climatic variability at annual and decadal time scales	Peterson, D. W.; Peterson, D. L.	2001	Ecology	82(12): 3330-3345	Ecological Society of America	가능
233	Effects of Holocene climate change on the C4 grassland/woodland boundary in the Northern Plains, USA	Clark, J. S.; Grimm, E. C.; Lynch, J.; Mueller, P. G.	2001	Ecology	82(3): 620-636	Ecological Society of America	가능
234	Effects of climatic variability on facilitation of tree establishment in northern Patagonia	Kitzberger, T.; Steinaker, D. F.; Veblen, T. T.	2000	Ecology	81(7): 1914-1924	Ecological Society of America	가능
235	Climatic variability, plant phenology, and northern ungulates	Post, E.; Stenseth, N. C.	1999	Ecology	80(4): 1322-1339	Ecological Society of America	가능

<부록 표 4-3> 기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문 연구결과 DB 목록 (국외, 계속)

No.	제목	저자	년도	출처	페이지	발행처	원문
236	Eddy covariance measurements of CO_2 and energy fluxes of an Alaskan tussock tundra ecosystem	Vourlitis, G. L.; Oechel, W. C.	1999	Ecology	80(2): 686-701	Ecological Society of America	가능
237	Influences of large-scale climatic variability on episodic tree mortality in northern Patagonia	Villalba, R.; Veblen, T. T.	1998	Ecology	79(8): 2624-2640	Ecological Society of America	가능
238	The role of fire during climate change in an eastern deciduous forest at Devil's Bathtub, New York	Clark, J. S.; Daniel Royall, P.; Chumbley, C.	1996	Ecology	77(7): 2148-2166	Ecological Society of America	
239	Response of plant pathogens and herbivores to a warming experiment	Roy, B. A.; Gusewell, S.; Harte, J.	2004	Ecology	85(9): 2570-2581	Ecological Society of America	가능
240	Plant responses to experimental warming in a montane meadow	De Valpine, P.; Harte, J.	2001	Ecology	82(3): 637-648	Ecological Society of America	가능
241	Effects of experimental warming on plant reproductive phenology in a subalpine meadow	Price, M. V.; Waser, N. M.	1998	Ecology	79(4): 1261-1271	Ecological Society of America	가능
242	The response of tundra plant biomass, aboveground production, nitrogen, and CO_2 flux to experimental warming	Hobbie, S. E.; Chaimn III, F. S.	1998	Ecology	79(5): 1526-1544	Ecological Society of America	가능
243	Beyond global warming: Ecology and global change	Vitousek, P. M.	1994	Ecology	75(7): 1861-1876	Ecological Society of America	
244	Climatic effects on tundra carbon storage inferred from experimental data and a model	McKane, R. B.; Rastetter, E. B.; Shaver, G. R.; Nadelhoffer, K. J.; Giblin, A. E.; Laundre, J. A.; Chapin III, F. S.	1997	Ecology	78(4): 1170-1187	Ecological Society of America	가능
245	Responses of Arctic tundra to experimental and observed changes in climate	Chapin, F. S.; Shaver, G. R.; Giblin, A. E.; Nadelhoffer, K. J.; Laundre, J. A.	1995	Ecology	76(3): 694-711	Ecological Society of America	

<부록 표 4-3> 기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문 연구결과 DB 목록 (국외, 계속)

No.	제목	저자	년도	출처	페이지	발행처	원문
246	A simplified forest model to study species composition along climate gradients	Bugmann, H. K. M.	1996	Ecology	77(7): 2055-2074	Ecological Society of America	
247	Effects of interannual climate variation on aboveground phytomass in alpine vegetation	Walker, M. D.; Webber, P. J.; Arnold, E. H.; Ebert-May, D.	1994	Ecology	75(2): 393-408	Ecological Society of America	
248	Biomass allocation of montane and desert ponderosa pine: An analog for response to climate change	Callaway, R. M.; DeLucia, E. H.	1994	Ecology	75(5): 1474-1481	Ecological Society of America	
249	The responses of a forest model to serial correlations of global warming	Yosef Cohen; John Pastor	1991	Ecology	72(3): 1161-1165	Ecological Society of America	
250	Variability of mediterranean stone pine cone production: Yield loss as response to climate change	Sven Mutkea; Javier Gordob; Luis Gil	2005	Agricultural and Forest Meteorology	132(3-4): 263-272	Elsevier	가능
251	Response of tree phenology to climate change across Europe	Frank-M. Chmielewski; Thomas Rotzer	2001	Agricultural and Forest Meteorology	108(2): 101-112	Elsevier	가능
252	Fire, climate change, and carbon cycling in the boreal forest	Brian D. Amiro	2001	Agricultural and Forest Meteorology	106(3): 249-251	Elsevier	가능
253	Effects of climate variability on the carbon dioxide, water, and sensible heat fluxes above a ponderosa pine plantation in the Sierra Nevada (CA)	A. H. Goldstein; N. E. Hultmana; J. M. Fracheboudа; M. R. Bauera; J. A. Paneka; M. Xua, Y. Qia; A. B. Guentherb; W. Baugh	2000	Agricultural and Forest Meteorology	101(2-3): 113-129	Elsevier	가능
254	Regional impacts of climatic change on forests in the state of Brandenburg, Germany	Marcus Lindner; Harald Bugmann; Petra Lasch; Michael Flechsig; Wolfgang Cramer	1997	Agricultural and Forest Meteorology	84(1-2): 123-135	Elsevier	가능
255	Boreal forest carbon stocks and wood supply: past, present and future responses to changing climate, agriculture and species availability	Allen M. Solomona; Rik Leemans	1997	Agricultural and Forest Meteorology	84(1-2): 137-151	Elsevier	가능

<부록 표 4-3> 기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문 연구결과 DB 목록 (국외, 계속)

No.	제목	저자	년도	출처	페이지	발행처	원문
256	Ecological implications of projected climate change scenarios in forest ecosystems of central North America	Elizabeth A. Jones; David D. Reed; Paul V. Desanker	1994	Agricultural and Forest Meteorology	72(1-2): 31-46	Elsevier	
257	Assessment of climate change effects on productivity of beech stand in Slovenia using simulation methods	L. Kajfez-Bogataj; A. Hocevar	1994	Agricultural and Forest Meteorology	72(1-2): 47-56	Elsevier	
258	The solar radiation environment of greenhouse-grown douglas-fir seedlings	Stanton E. Tuller; Michael J. Peterson	1988	Agricultural and Forest Meteorology	44(1):49-65	Elsevier	
259	A Transient, nutrient-based model of arctic plant community response to climate warming	Howard E. Epstein, Marilyn D. Walker, F. Stuart Chapin III, Anthony M. Starfield	2000	Ecological Applications	10(3): 824-841	The Ecological Society of America	가능
260	A 200-year tree-ring chronology of pine from a raised bong in Sweden: Implication for climate change ?	Bjorn E. Gunnarson	1999	Series A, Physical Geography	81(3): 421-430	Geografiska Annaler	가능
261	A bioclimatic model for the potential distributions of north european tree species under present and future climates	Martin T. Sykes, I. Colin Prentice, Wolfgang Cramer	1996	Journal of Biogeography	23(2): 203-233	Blackwell Science Ltd.	가능
262	A comparative ecological study of norwegian mountain plants in relation to possible future climatic change	Magne Saetersdal, H. J. B. Birks	1997	Journal of Biogeography	24(2): 127-152	Blackwell Science Ltd.	가능
263	A global biome model based on plant physiology and dominance, soil properties and climate	I. Colin Prentice, Wolfgang Cramer, Sandy P. Harrison, Rik Leemans, Robert A. Monserud, Allen M. Solomon	1992	Journal of Biogeography	19(2): 117-134	Blackwell Science Ltd.	가능

<부록 표 4-3> 기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문 연구결과 DB 목록 (국외, 계속)

No.	제목	저자	년도	출처	페이지	발행처	원문
264	A Global vegetation model based on the climatological approach of Budyko	Nadja M. Tchebakova, Robert A. Monserud, Rik Leemans, Sergei Golovanov	1993	Journal of Biogeography	20(2): 129-144	Blackwell Science Ltd.	가능
265	A Large terrestrial carbon sink in North America implied by atmospheric and oceanic carbon dioxide data and models	S. Fan, M. Gloor, J. Mahlman, S. Pacala, J. Sarmiento, T. Takahashi, P. Tans	1998	Science	282(5388): 442-446	AmeicanAssociation for the Adnvancement of Science	가능
266	A moderate increase in the annual CH_4 efflux by raised CO_2 or NH_4NO_3 supply in a boreal oligotrophic mire	Sanna Saarnio, Timo Saarinen, Harri Vasander, Jouko Silvola	2000	Global Change Biology	6:137-144	Blackwell Science Ltd	가능
267	A new assessment of European forests carbon exchanges by eddy fluxes and artificial neural network spatialization	Dario papale, Riccardo Valentini	2003	Global Change Biology	9:525-535	Blackwell Science Ltd	가능
268	A Simplified forest model to study species composition along climate gradients	Harald K. M. Bugmann	1996	Ecology	77(7): 2055-2074		가능
269	A spatially interactive simulation of climate change, harvesting, wind, and tree species migration and projected changes to forest composition and biomass in northern Wisconsin, USA	Robert M.Scheller, David J. Mladenoff	2005	Global Change Biology	11:307-321	Blackwell Science Ltd.	가능
270	A Tale of two forests: reforestation discourse in Japan and Beyond	John Knight	1997	The Journal of the Royal Anthropological Institute	3(4): 711-730	Royal Anthropological Institute of U.K.	가능

<부록 표 4-3> 기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문 연구결과 DB 목록 (국외, 계속)

No.	제목	저자	년도	출처	페이지	발행처	원문
271	Abrupt vegetation an climate changes during the last glacial maximum and last termination in the Chilean lake district: a case study from Canal de la Puntilla (41 degrees S)	Patricio I. Moreno, Thomas V. Lowell, George L. Jacobson Jr., George H. Denton	1999	Series A, Physical Geography	81(2): 285-311	Swedish Society for Anthropology and Geography	가능
272	Adapting a patch model to simulate the sensitivity of Central-Canadian Boreal ecosystems to climate variability	D. T. Price, D. H. Halliwell, M. J. Apps, C. H. Peng	1999	Journal of Biogeography	26(5): 1101-1113	Blackwell Science Ltd.	가능
273	Agricultural impacts of global warming: discussion	Robert Innes, Sally Kane	1995	American Journal of Agricultural Economics	77(3): 745-750	America agriculatural Economics Association	가능
274	An initial intercomparison of micro meteorological and ecological inventory estimates of carbon exchange in a mid-latitude deciduous forest	J.L. Ehman, H.P. Schmid, C.S.B. Grimmond, J.C. Randolph, p.J. Hanson, C.A. Wayson, F.D. Cropley	2002	Global Change Biology	8:575-589	Blackwell Science Ltd	가능
275	An intergrated model for assessment of the effects of climate change on the New Zealand environment	G. J. Kenny, R. A. Warrick, N. D. Mitchell, A. B. Mullan, M. J. Salinger	1995	Journal of Biogeography	22(4): 883-895	Blackwell Science Ltd.	가능
276	Analyzing the ecosystem carbon and hydrologic characteristics of forested wetland using a biogeochemical process model	Jianbo Cui, Chang Sheng Li. Carlt Rettin	2005	Global Change Biology	11:278-289	Blackwell Science Ltd	가능
277	Application of two forest succession models at sites in North East Germany	Pertra Lasch, Marcus Lindner	1995	Journal of Biogeography	22(2): 485-492	Blackwell Science Ltd.	가능

<부록 표 4-3> 기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문 연구결과 DB 목록 (국외, 계속)

No.	제목	저자	년도	출처	페이지	발행처	ㄴ문
278	Assessing forest growth across southwestern Oregon under a range of current and future global change scenarios using a process model, 3-PG	N. C. Coops, R. H. Waring	2001	Global Change Biology	7:15-29	Blackwell Science Ltd	가능
279	Assessing impacts of climatic change on forests in the Alps	Andreas Fischlin, Dimitrios Gyalistras	1997	Global Ecology and Biogeography Letters	6(1):19-37	Blackwell Science Ltd.	가능
280	Beyond global warming: ecology and global change	Peter M. Vitous	1994	Ecological Applications	7(3): 802-827	The Ecological Society of America	가능
281	Beyond Kyoto: forest management in a time of rapid climate change	Reed F. Noss	2001	Conservation Biology	15(3): 578-590		가능
282	Biodiversity conservation under global climatic changes: the insect drosophila as biological indicator?	Peter A. Parsons	1991	Global Ecology and Biogeography Letters	1(3):77-83		가능
283	Biogenic VOC emissions from forested Amazonian landscapes	James P. Greenberg, Alex B. Guenther, Gabrielle Petron, Christine Wiedinmyer, Oscar Vega, Luciana V. Gatti, Julio Tota, Gilverto Fisch	2004	Global Change Biology	10:651-662	Blackwell Science Ltd	가능
284	Biomass and carbon budget of European forests, 1971 to 1990	Pekka E. Kauppi, Kari Mielikainen, Kullervo Kuusela	1992	Science	256(5053): 70-74	American Association for the Advancement of Science	가능
285	Biosphere responses to CO_2 enrichment	Christian Korner	2000	Ecological Applications	10(6): 1590-1617	The Ecological Society of America	가능
286	Can disturbance determine vegetation distribution during climate warming? a boreal test	Roger Suffling	1995	Journal of Biogeography	22(2): 501-508	Blackwell Science Ltd.	가능

<부록 표 4-3> 기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문 연구결과 DB 목록 (국외, 계속)

No.	제목	저자	년도	출처	페이지	발행처	원문
287	Canopy recovery after drought dieback in holm-oak Mediterranean forests of Catalonia (NE Spain)	Francisco Lloret, Daniel Siscart, Careles Dalmases	2004	Global Change Biology	10: 2092-2099	Blackwell Science Ltd	가능
288	Carbon cycling and storage in world forests: biome patterns related to forest age	Kurt S. Preghitzer, Eugenie S. Euskirchen	2004	Global Change Biology	10: 2052-2077	Blackwell Science Ltd	가능
289	Carbon dioxide exchange of a Russian boreal forest after disturbance by wind throw	Alexander knohl, Olafkolle, Tatiana Y. Minayeva, Irina M. Milyukova, Nataljan. Vygodskaya, Thomas Foken, Ernst-detef	2002	Global Change Biology	8:232-246	Blackwell Science Ltd	가능
290	Carbon distribution of a well - and poorly-drained black spruce fire chronosequence	Chuankuan Wang, Ben Bond-Lanberty, Stith T. Gower	2003	Global Change Biology	9: 1066-1079	Blackwell Science Ltd	가능
291	Carbon pools and flux of global forest ecosystems	R. K. Dixon, S. Brown, R. A. Houghton, A. M. Solomon, M. C. Trexler, J. Wisniewski	1994	Science	263(5144): 185-190	AmeicanAssociation for the Adnvancement of Science	가능
292	Carbon pools in a boreal mixedwood logging chronosequence	Jennifer L. Martin, Stith T. Gower. Jennifer Plaut, Bruce Holmes	2005	Global Change Biology	11:1-12	Blackwell Science Ltd	가능
293	Carbon sequestration and ecosystem respiration for 4 years in a Scots pine forest	Tianshan Zha, Seppo Kellomaki, Kai-yun Wang, Ismo Ruvvinen	2004	Global Change Biology	10: 1482-1503	Blackwell Science Ltd	가능
294	Carbon sequestration in arid-land forest	J.M. Grunzweig, T. Lin, E. Rotenberg, A. Schwartz, D. Yakir	2003	Global Change Biology	9:791-799	Blackwell Science Ltd	가능
295	Carbon storage and fluxes in ponderosa pine forests at different developmental stages	B.E. Law, P.E. Thornton, J. Irvine, P.M. Anthoni, S. Vantuyl	2001	Global Change Biology	7:755-777	Blackwell Science Ltd	가능

<부록 표 4-3> 기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문 연구결과 DB 목록 (국외, 계속)

No.	제목	저자	년도	출처	페이지	발행처	원문
296	Changes in terrestrial carbon storage in the United States. 1: the roles of agriculture and forestry	R. A. Houghton, J. L. Hackler	2000	Global Ecology and Biogeography	9(2): 125-144		가능
297	Changes in the carbon balance of tropical forests: evidence from long-term plots	Oliver L. Phillips, Yadvinder Malhi, Niro Higuchi, William F. Laurance, Percy V. Nunez, Rodolfo M. Vasquez, Susan G. Laurance, Leandro V. Ferreira, Margaret Stern, Sandra Brown, John Grace	1998	Science	282(5388): 439-442	American Association for the Advancement of Science	가능
298	Changes in tree species abundance in a neotropical forest: impact of climate change	Richard Condit, Stephen P. Hubbell, Robin B. Foster	1996	Journal of Tropical Ecology	12(2): 231-256		가능
299	Changes over twenty-one years in the Kolombangara rain forests	T. C. Whitmore	1989	The Journal of Ecology	77(2): 469-483	British Ecological Society	가능
300	Climate and forests	Roger A. Sedjo	1989	Science	244(4905): 631	American Association for the Advancement of Science	가능
301	Climate change and its impact on tropical montane ecosystems in Southern India	R. Sukumar, H. S. Suresh, R. Ramesh	1995	Journal of Biogeography	22(2): 533-536	Blackwell Science Ltd.	가능
302	Climate change and terrestrial biomass: what if trees do not migrate?	Allen M. Solomon, Andrew P. Kirilenko	1997	Global Ecology and Biogeography Letters	6(2): 139-148		가능
303	Climate change effects on net carbon exchange of a boreal aspen-hazelnuts forest: estimates from the ecosystems	R.F.Grant A. Nalder	2002	Global Change Biology	6:183-200	Blackwell Science Ltd.	가능

<부록 표 4-3> 기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문 연구결과 DB 목록 (국외, 계속)

No.	제목	저자	년도	출처	페이지	발행처	원문
304	Climate change in the mountains and forests of Europe	John Gerrard	1992	The Geographical Jounral	158(3):336	The Royal Geographical Society	가능
305	Climate-driven change in biomass allocation in pines	Evan H. Delucia, Hafiz Maherali, Eileen V. Carey	2000	Global Change Biology	6:584-593	Blackwell Science Ltd	가능
306	Climate-induced annual variation in canopy tree growth in a Costa Rican tropical rain forest	Deborah A. Clark, David B. Clark	1994	The journal of Ecology	82(4): 865-872	British Ecological Society	가능
307	Climatic change and forests	Cleark S. Binkley	1989	Science	243(4894): 991	American Association for the Advancement of Science	가능
308	Climatic change, human influence and disturbance regime in the control of vegetation dynamics within Fiby forest, Sweden	Richard Bradshaw, Gina Hannon	1992	The Journal of Ecology	80(4): 625-632		가능
309	Climatic range sizes of eucalyptus species in relation to future climate change	Lesley Hughes, E. M. Cawsey, Mark Westoby	1996	Global Ecology and Biogeography Letters	5(1):23-29		가능
310	Climatic warming, spring budburst and forest damage on trees	M. G. R. Cannell, R. I. Smith	1996	The Journal of Applied Ecology	23(1): 177-191	British Ecological Society	가능
311	Coarse woody debris in undisturbed and logged forests in the eastern Brazilian Amazon	Michael Keller, Michael Palace, Geegory P. Asner, Rodrigo Pereira Jr., Jose Natalino M. Silva	2004	Global Change Biology	10:784-795	Blackwell Science Ltd	가능

<부록 표 4-3> 기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문 연구결과 DB 목록 (국외, 계속)

No.	제목	저자	년도	출처	페이지	발행처	원문
312	Comparing and evaluating process-based ecosystem model predictions of carbon and water fluxes in major European forest biomass	Pamblo Morales, Martin T. Sykes, I. Colin Prentice, Pete Smith, Benjamin Smith, Harald Bugmann, Barbel Zierl, Pierre Friedlingstein, Nicolas viovy, Santi Sabate, Anavel Sanchez, Eduard Pla, Carlos A. Gracia, Stphen Sitch, Almut Arneth, Jerome Ogee	2005	Global Change Biology	11:1-23	Blackwell Science Ltd	가능
313	Comparing soil organic carbon dynamics in plantation and secondary forest in wet tropics in Puerto Rico	Yiqing L I, Ming Xu, Xiaomi NG Zou, Peijun Shi, Yaqqi ZhangEduardo Jacusiel Miranda, Pedro Correto Priante, Clovis Lasta Fritzen, Moacir Lacerda, Luiz Carlos Pereira, Marcelo Sacardi Biudesm George Sanches Suli, Shozo shiraiwa	2005	Global Change Biology	11:239-248	Blackwell Science Ltd	가능
314	Comparison of the mass and energy exchange of a pasture and a mature transitional tropical forest of the southern Amazon Basin during a seasonal transition	Nicolau Priante-Filho, George L. Vourlitis, Mauro Massao Shiota Hayashi, Jose De Souza Nogueira, Jose Holanda Campelo Jr., Paulo Cesar Nunes, Luciana Sanches E Souza, Eduardo Guimaraes Couto, Wander Hoeger, Fernando Raiter, Jansen Luiz Trienweiler	2004	Global Change Biology	10:863-876	Blackwell Science Ltd	가능

<부록 표 4-3> 기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문 연구결과 DB 목록 (국외, 계속)

No.	제목	저자	년도	출처	페이지	발행처	원문
315	Computations on frost damage to scots pine under climatic warming in boreal conditions	Seppo Kellomaki, Heikki Hanninen, Marja Kolstrom	1995	Ecological Applications	5(1):42-52	The Ecological Society of America	가능
316	Critical issues for understanding global change effects on terrestrial ecosystems	D. S. Ojima, T. G. F. Kittel, T. Rosswall, B. H. Walker	1991	Ecological Applications	1(3): 316-325	The Ecological Society of America	가능
317	Decomposition of secondary compounds from needle litter of Scots pine grown under elevated CO_2 and O_3	Pirjo Kainulainen, Toini Holopaninen, Jarmo K. holopaninen	2003	Global Change Biology	9:295-304	Blackwell Science Ltd	가능
318	Dynamics of carbon stocks in soils and detritus across chronosequence of different forest types in the Pacific Northwest, USA	Osbert J. sun, John Campbell, Beverly E. law, Vernon Wolf	2004	Global Change Biology	10: 1470-1481	Blackwell Science Ltd	가능
319	Effect of carbon taxes and subsides on optimal forest rotation age and supply of carbon services	G. Cornelis van Kooten, Clark S. Binkley, Gregg Delcourt	1995	American Journal of Agricultural Economics	77(2): 965-374	America agriculatural Economics Association	가능
320	Effects of climatic variability on the annual carbon sequestration by a boreal aspen forest	W. J chen, T.A. black, P.C.yang, A.G.barr, H.H.neumann, Z.nesic, P.D.blanken, M.D.novak, J.eley, R.J.ketler, R.cuenca	1999	Global Change Biology	5:41-53	Blackwell Science Ltd	가능
321	Elevated CO_2 and temperature alter nitrogen allocation in Douglas-fir	David T. Tingey, Robert B. Mckane, David M. Olszyk, Mark G.Johnson, Paul T. Rygiewictz, E. Henry Lee	2003	Global Change Biology	9: 1038-1050	Blackwell Science Ltd	가능
322	Emissions of carbon from forestry and land-use change in tropical Asia	R.A.Hougton, J.L.Hackler	1999	Global Change Biology	5:481-492	Blackwell Science Ltd	가능

<부록 표 4-3> 기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문 연구결과 DB 목록 (국외, 계속)

No.	제목	저자	년도	출처	페이지	발행처	원문
323	Environmental control of fine root dynamics in a northern hardwood forest	Geraldine L. Tierney, Timothy J. fahey, Peter M. Groffman, Janet P. Hardy, Rossm D. Fitzhughm, Charles T. Driscoll, Oseph B, Yavitt	2002	Global Change Biology	9:670-679	Blackwell Science Ltd	가능
324	Environmental controls on net ecosystem-level carbon exchange and productivity in a Central American tropical wet forest	H.W. Loescher, S.F. Oberbauer, H.L. Gholz, D.B. Clark	2003	Global Change Biology	9:396-412	Blackwell Science Ltd	가능
325	Estimating the beginning day of japanese cedar pollen release under global climate change	Satoshi inouem, Shigeto kawashima, Yuichi takahashi	2002	Global Change Biology	8: 1165-1168	Blackwell Science Ltd	가능
326	Evaluation of six process-based forest growth models using eddy-covariance measurements of CO_2 and H_2O fluxes at six forest sites in Europe	K. Kramer, I. Leinonen, H.H. Bartelink, P. Berbigier, M. Borghetti, Ch Bernhofer, E. Cienciala, A.J. Dolman, O. Froer, C.A. Gracia, A. Granier, T. Grunwald, P. Hari, W. Jans, S. Kellomanki, D. Loustau, F. Magnani, T. Markkanen, G. MAtteucci, G.M.J. Mohren, E. Moors, A. Nissinen, H. Peltola, S. Sabate, A. Sanchez, M. Sontag, R. valentini, T. Vesala	2002	Global Change Biology	8:213-230	Blackwell Science Ltd	가능
327	Growth and carbon stock change in eucalypt woodlands in northeast Australia	W.H. Burrows, B.K. Henry, P.V. Back, M.B. Hoffmann, L.J. Tait, E.R. Anderson, N. Menke, T. Danaher, J.O. Carter, G.M. Mckeon	2002	Global Change Biology	8:769-784	Blackwell Science Ltd	가능

<부록 표 4-3> 기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문 연구결과 DB 목록 (국외, 계속)

No.	제목	저자	년도	출처	페이지	발행처	원문
328	Growth enhancement due to global atmospheric change as predicted by terrestrial ecosystem models: consistent with US forest inventory data	Fortunat Joos, I. Colin prentice, Joanna I. House	2002	Global Change Biology	8:299-303	Blackwell Science Ltd	가능
329	Gypsy moth feeding in the canopy of a CO_2-enriched mature forest	Stephan Hantenschwiler, Christa Schafellner	2004	Global Change Biology	10: 1899-1908	Blackwell Science Ltd	가능
330	Human-induced changes in US biogenic volatile organic compound emissions: evidence from long-term forest inventory data	Drew W. Purves, John P. Caspersen, Paul R. Moorcroft, Geogge C. Hurtt, Stephenm W. pacala	2004	Global Change Biology	10: 1737-1755	Blackwell Science Ltd	가능
331	Impact of global warming on the tree species composition of boreal forests in Finland and effects on emissions of isoprenoids	Seppo Kellomaki, Ismo Rouvinen, Heli peltola, Harri Strandman, Rainer Steinbrecher	2001	Global Change Biology	7:481-544	Blackwell Science Ltd	가능
332	Implications of climate change for North American wood warblers (Parulidae)	Paul K. Strode	2003	Global Change Biology	9: 1137-1144	Blackwell Science Ltd	가능
333	Importance of changing CO_2, temperature, precipitation, and ozone on carbon and water cycles of an upland-oak forest: incorporating experimental results into model simulations	Paul J. Hanson, Stan D. Wullschleger, Richard J. Norny, Timothy J. Tschaplinski, Carla A. Gunderson	2005	Global Change Biology	11: 1402-1423	Blackwell Science Ltd	가능
334	Interactive effects of nitrogen deposition, tropospheric ozone, elevated CO_2 and land use history on the carbon dynamics of northern hardwood forests	Scott v. ollinger, John D. aber, Peter B. Reich, Rita J. freuder	2002	Global Change Biology	8:545-562	Blackwell Science Ltd	가능

<부록 표 4-3> 기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문 연구결과 DB 목록 (국외, 계속)

No.	제목	저자	년도	출처	페이지	발행처	원문
335	Intraspecific responses to climate in Pinus sylvestris	Gerald e. rehfeldt, nadejda m. tchebakova, Yelena i. parfenova, William r. wykoff, Nina a. kuzmina, Leonid i. milyutin	2002	Global Change Biology	8:912-929	Blackwell Science Ltd	가능
336	Land-atmosphere energy exchange in Arctic tundra and boreal forest: available data and feedbacks to climate	Werner Ereugster, Wayne R. Rouse, Roger A. Pielksr, Joseph P. Mcfanden, Dennis D. Baldocchi, Timothy G. F. Kittel, F. Stuart Chapinii, Glen E. Liston, Pier Luigi Vidale, Eugene Vaganov, Scott Camber	2000	Global Change Biology	6(suppl.1): 84-115	Blackwell Science Ltd	가능
337	Long-term potential ecosystem responses to greenhouse gas-induced thermohaline circulation collapse	Paul A.T. Higgins, Stephen H. Schneide	2005	Global Change Biology	11:699-709	Blackwell Science Ltd	가능
338	Long-term records of strontium isotopic composition in tree rings suggest changes in forest calcium sources in the early 20th century	Thomas Drouet, Jacque Herbauts, Daniel Demaiffe	2005	Global Change Biology	11:1515	Blackwell Science Ltd	가능
339	Modelling the recent historical impacts of atmospheric $C0_2$ and climate change on Mediterranean vegetation	C.P.csborne, P.L.Mitchell, J.E.Sheehy, F.I.Woodward	2000	Global Change Biology	6:445-458	Blackwell Science Ltd	가능
340	Monoterpene emission from coniferous trees in response to elevated CO_2 concentration and climate warming	John v. H. constable, Marcy E. Litvak, James P. Greenberg, Russell K. Monson	1999	Global Change Biology	5:255-267	Blackwell Science Ltd	가능

<부록 표 4-3> 기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문 연구결과 DB 목록 (국외, 계속)

No.	제목	저자	년도	출처	페이지	발행처	원문
341	Natural disturbances in the European forests in the 19th and 20th centuries	Mart-Jan Schelhaas, Gert-Jan Nabuuts, Andreas Schuck	2003	Global Change Biology	9: 1620-1633	Blackwell Science Ltd	가능
342	Nitrogen deposition and atmospheric CO_2 interactions on fine root dynamics in temperate forests	Daniel P. Rasse	2002	Global Change Biology	8:486-503	Blackwell Science Ltd	가능
343	Paired-tower measurements of carbon and energy fluxes following disturbance in the boreal forest	Briand Amiro	2001	Global Change Biology	7:253-268	Blackwell Science Ltd	가능
344	Partitioning direct and indirect human-induced effects on carbon sequestration of managed coniferous forests using model simulations and forest inventories	Mova Vetter, Christian Wirth, Hannes Bo Ttcher, Galina Chrkina, Ernst-Det Lef Schulze, Thomas Wutzler, Georg Weber	2005	Global Change Biology	11:810-827	Blackwell Science Ltd	가능
345	Potential effects of global climate change on the biodiversity of plants	Schwartz, M. W.	1992	Forestry Chronicle	68(4): 462-471	Canadian Institute of Forestry	
346	Productivity of forests in the Eurosiberian boreal region and their potential to act as a carbon sink - a synthesis	E.D. Schulze, J.Lloyd, F,M. kelliher, C. Wirth, C. Rebmann, B.Luhker, M.mund, A. Knohl, I.M.Milyukova, W.Schulze, W.Ziegler, A.B.Varlagin, A.F.sogachev, R.Valentini, S.Dore, S.Grigoriev, O.Kolle, M.I.Panfyorov, N.Tchebakova, NN Vygodskaya	1999	Global Change Biology	7:703-722	Blackwell Science Ltd	가능

<부록 표 4-3> 기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문 연구결과 DB 목록 (국외, 계속)

No.	제목	저자	년도	출처	페이지	발행처	원문
347	Recent climate warming forces contrasting growth responses of white spruce at treeline in Alaska through temperature thresholds	Martin Wilmking, Glenn P. Juday, Valerie A. Barber, Harold S. Zald	2004	Global Change Biology	10: 1724-1736	Blackwell Science Ltd	가능
348	Responses of gas exchange and growth in Merkus pine seedlings to expected climatic changes in Thailand	Jarkko Koskela	2001	Global Change Biology	7:641-656	Blackwell Science Ltd	가능
349	Sensitivity analysis of the tree distribution model PHENOFIT to climatic input characteristics : implications for climate impact assessment	Xavier morin, Isabelle chuine	2005	Global Change Biology	11: 1493-1503	Blackwell Science Ltd	가능
350	Sensitivity of a dynamic global vegetation model to climate and atmospheric CO_2	Stefan Gerber, Fortunat Joos, I. Colin Prentice	2004	Global Change Biology	10: 1223-1239	Blackwell Science Ltd	가능
351	Simulating the effects of climate change on the carbon balance of North American high-latitude forests	A. R. Keyser, J. S. Kimball, R. R. Nemani, S. W. Running	2000	Global Change Biology	6(suppl.1): 185-195	Blackwell Science Ltd	가능
352	Simulation and scaling of temporal variation in gross primary production for coniferous and deciduous temperate forests	Q. Wang, J. Tenhunen, E. Falge, Ch. Bernhoger, A. Granier, T. Vesala	2003	Global Change Biology	10:34-51	Blackwell Science Ltd	가능
353	Soil organic matter biochemistry and potential susceptibility to climatic change across the forest-tundra ecotone in the Fennoscandian mountains	Sofie sjogersten, Benhanmin L. turner, Nathalie Mahieu, Leo m. condron, Philip A. wookey	2003	Global Change Biology	9:759-772	Blackwell Science Ltd	가능
354	Spatial and temporal variability in forest atmosphere CO_2 exchange	D.Y. Hollinger, J. Aber, B. Dail, E.A. Davidson, S.M. Goltz, H. Hughes, M.U. Leclerc, J.T. Lee, A.D. Richardson	2004	Global Change Biology	10: 1689-1706	Blackwell Science Ltd	가능

<부록 표 4-3> 기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문 연구결과 DB 목록 (국외, 계속)

No.	제목	저자	년도	출처	페이지	발행처	원문
355	Spatial and temporal variation of Phenological growing season and climate change impacts in temperate eastern China	Xiaoqiu Chen, Bing Hu, Rong Yu	2005	Global Change Biology	11: 1118-1130	Blackwell Science Ltd	가능
356	Spatial distribution of phytomass carbon in indian forests	Abha chhabra, S.palaria, V.K.Dadhwal	2002	Global Change Biology	8: 1230-1239	Blackwell Science Ltd	가능
357	Spatio-temporal variability and environmental controls of methane fluxes at the forest-tundra ecotone in the Fennoscandian mountains	Sofie Sjogersten, Philip A. Wookey	2002	Global Change Biology	8:885-594	Blackwell Science Ltd	가능
358	Stemwood volume increment changes in european forests due to climate change-a simulation study with the EFISCEN model	Gert-jan nabuurs, Ari pussinen, timo karjalainen, markus erhard, koen kramer	2002	Global Change Biology	8:304-316	Blackwell Science Ltd.	가능
359	Strategies to estimate national forest carbon stocks from inventory data: the 1990 New Zealand baseline	Grame M. J, Hall, Susan K. Wiser, Roberts B. Allen, Peter N. beets, Chris J. Goulding	2001	Global Change Biology	7:389-403	Blackwell Science Ltd	가능
360	Substantial labile carbon stocks and microbial activity in deeply weathered soils below a tropical wet forest	Edzo Veldkamp, Anja Becker, Luitgard Schwendenmann, Deborah A. Clark, Hubert Schulte Bisping	2003	Global Change Biology	9: 1171-1184	Blackwell Science Ltd	가능
361	Temporal evolution of the European forest sector carbon sink from 1950 to 1999	Gert-jan nabuurs, Mart-jan schelhaas, Godefrids, M.J.Mohren, Christopher B. field	2003	Global Change Biology	9:152-160	Blackwell Science Ltd	가능
362	The annual carbon budget of a French pine forest(Pinus pinaster) following harvest	S. Kowalski, M. Sartore, R. Burlett, P. Berbigier, D. Loustau	2003	Global Change Biology	9: 1051-1065	Blackwell Science Ltd	가능

<부록 표 4-3> 기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문 연구결과 DB 목록 (국외, 계속)

No.	제목	저자	년도	출처	페이지	발행처	원문
363	The annual cycles of CO_2 and H_2O exchange over a northern mixed forest as observed from a very tall tower	Kenneth J. Davis, Peter S. Bakwin, Chuixiang Yi, Bradford W. Berger, Conglong Zhao, Ronald M. Teclaw, J. G. Isebrands	2003	Global Change Biology	9: 1278-1293	Blackwell Science Ltd	가능
364	The contribution of bryophytes to the carbon exchange for a temperate rainforest	Evan H. Delucia, Matthew H. Turnbull, Adrian S. Walcroft, Kevin L. Grffin, David T. Tissue, David Glenny, Tony M. Mcseveny, David Whitehead	2003	Global Change Biology	9: 1158-1170	Blackwell Science Ltd	가능
365	The high-latitude terrestrial carbon sink : a model analysis	A. white, M.H.R.Cannell. A.D. Friend	2000	Global Change Biology	6:227-245	Blackwell Science Ltd	가능
366	The net carbon flux due to deforestation and forest re-growth in the Brazilian Amazon: analysis using a process-based model	Adam I. Hirsch, Willam S. Little, Richard A. Houghton, Neal A. Scott, Joseph D. White	2004	Global Change Biology	10:908-924	Blackwell Science Ltd	가능
367	Topographic and climatic controls on soil respiration in six temperate mixed-hardwood forest slopes, Korea	Sinkyu kang, Sueyoung Doh, Dongsun Lee, Dowon, Lee, Virginia L. Jin, John S. Kimball	2003	Global Change Biology	7: 1427-1437	Blackwell Science Ltd	가능
368	Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian forest biomass	Timothy R. baker, Oliver L. Phillips, Yadbinder Malhi, Samuel Almeida, Luzmila Arroyo, Anthony di fiore, Terry Erwin, Timothy. J. Killeen, Susan G. Laurance, William F. Laurnace, Simon, l. lewis, Jon lloyd,	2004	Global Change Biology	10:545-562	Blackwell Science Ltd	가능

<부록 표 4-3> 기후변화 영향 및 적응 관련 산림부문 연구결과 DB 목록 (국외, 계속)

No.	제목	저자	년도	출처	페이지	발행처	원문
369	Changes in carbon storage and fluxes in a chronosequence of ponderosa pine	B. E. Law; O. J. Sun; J. Campbell; S. Vantuyl; P. E. Thornton	2003	Global Change Biology	9:510-524	Blackwell Science Ltd	가능
370	First-year growth response of trees in an intact forest exposed to elevated CO_2	Shawnal L. Naidu; Evan H. Delucia	1999	Global Change Biology	5:609-613	Blackwell Science Ltd	가능
371	Non-equilibrium succession dynamics indicate continued northern migration of lodgepole pine	Jill F. Johnstone; F. Stuart Chapin	2003	Global Change Biology	9: 1401-1409	Blackwell Science Ltd	가능

Abstract

Climate Change Impact Assessment and Development of Adaptation Strategies in Korea

In recent years, parties of the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) have recognized the importance of reducing vulnerability to climate change and establishing adaptation policies in addition to the mitigation of greenhouse gases in the atmosphere. At the eleventh Conference of Parties (COP-11; Montreal 2005), the five-year work program on adaptation has been adopted, and the main discussion theme of the COP is being shifting from mitigation to adaptation.

Adaptation is a process by which individuals, communities, and countries seek to cope with the consequences of climate change and climate variability (UNDP, 2005). For developing countries, reducing vulnerability to climate change can be an urgent issue because these countries tend to lack the tools to deal with consequent climate risks. Although the need for the development of adaptation strategies is widely acknowledged and practical guidelines to adaptation policy-making is provided by international organizations such as the UNDP and OECD, the issue of adaptation is relatively new in Korea.

The purpose of this study is to assess the impacts of climate change in sectoral levels, to identify climate vulnerability, and to develop an integrated and effective nationwide adaptation strategic framework for Korea. The project is set for three-year (2005-2007), and this report presents the results of the first year's effort.

In the first year, the concepts of vulnerability and adaptation of climate change and the related negotiation process under the Convention were reviewed. In addition, we examined studies conducted in Korea in relation to impact assessments of and adaptations to climate change in agriculture, forest, health, and industry/energy sectors. In the second year, the sectoral assessment will be continued for water and coastal zones. Further, the development of techniques to evaluate the vulnerability will be followed by the outcomes from the sector-level impact assessments. In the third year, we will develop integrated and effective adaptation strategies at the national level in order to enhance adaptive capacity for identified vulnerable sectors based on the results from the first and second year.

The major findings from this year can be summarized as follows. In agriculture and forest sectors, related statistics and case studies are relatively well established in Korea. In the agricultural sector, it is expected that the boundaries with the potential for cultivation will move toward the north for major crops. The rice yield is reported to increase when CO_2 concentration increases in the atmosphere, while decreasing wit the fall of average air temperature (Shin, 2000). However, the effects of crop productivity are largely subject to local conditions other than climate. Agricultural systems are vulnerable to climate extremes such as floods and drought, and the resulting financial damages have substantially increased after 1980 in Korea.

Forest ecosystems and industries can be significantly affected by climate change, including forest biodiversity, nutrition cycles and productivity, and natural disasters such as fire or drought. Jeon *et al.* (2002) predicted that warm-temperate forests will decline to be replaced by sub-tropical forests in the Korean peninsula. The study conducted by the Korea Forest Research Institute (KFRI, forthcoming) reports similar results, supporting that broad-leaved tree species such as the *Quercus serrata*, *Carpinus laxiflora*, *Carpinus tschonoskii* will increase while the *Pinus*

koraiensis and *Quercus mongolica* Fisch. will decrease when the temperature increase by 1°C in the next 100 years.

Heat and heat waves are likely to increase in severity and frequency with increasing average temperatures. In Seoul, an additional 1°C increase from 29.9°C during the summers is estimated to cause a 3% increase in deaths (Kim, 2004). In addition, incidences of diseases related to air pollution such as asthma are increasing among children and elderly people. The development of adaptation strategies is important. Because heat-related illnesses and deaths are largely preventable through behavioral adaptations including use of air conditioning and increased fluid intake. Assessing the impacts of climate change on human health is complicated task. It requires significant time to identify clear relationship between diseases and climate variables. In Korea, research on the impact on human health due to climate change is in its infancy. More research is definitely warranted.

In the industry sector, research efforts are largely ignored except for the agricultural, forestry, and fishery product industries. Because these industries are directly influenced by climate change, the reasons to undertake impact assessments are relatively straightforward. However, assessments of the manufacturing and service industries are a different story because the impacts due to climate change are not clearly defined. It is likely that climate change modifies the behavioral patterns of consumers and producers. However, the direction and the extent of influence is uncertain. Presumably, there will be behavioral changes in the consumption of summer products such as air-conditioning and cold drinks. In addition, the summer recreational industry will conceivably expand. Nevertheless, little empirical research is found in Korea as far as this study is concerned. In the industry sector, impact assessments will be an urgent research agenda.