| KEI | 2002 | RE-08 | 연구보고서

기후변화에 따른 생태계 영향평가 및 대응방안 연구 III

- 삼림부분을 중심으로 -

2002.12

전 성 우
박 용 하
정 휘 철
이 동 근
Yuzuru Matsuoka
Hideo Harasawa
Kiyoshi Takahashi

한국환경정책·평가연구원
Korea Environment Institute

서언

지역차원과 지구차원의 환경문제 해결에 범세계적인 관심이 집중되고 있습니다. 특히 기후변화로 인한 영향은 지난 세기에 많은 부분에서 심각한 악영향을 미치고 있음이 여러 연구와 현장조사결과 밝혀지고 있습니다. 우리나라도 이러한 악영향으로부터 결코 자유로울 수 없으므로, 이에 현명하게 대응하고 적응하기 위한 연구가 시급히 이루어져야 할 시기입니다.

지난 3개년간 수행된 본 연구에서는 전지구차원에서 해양부분을 제외한 지표면중 가장 넓은 면적을 차지하고 있는 삼림부분의 기후변화영향평가모델을 개발하였습니다. 개발된 모델을 이용하여 여러 가지 기후변화 시나리오별로 영향을 예측·검증하고 경제적 손익을 계산하였습니다. 이와 같은 연구는 IPCC의 WG Ⅱ에서 다루고 있는 주제로 국내에서는 처음 시도하는 것으로, 향후 기후변화영향에 대응하는데 필요한 국가정책수립을 위한 기초자료로 활용가능할 것으로 생각됩니다.

끝으로 본 연구를 맡아 성실히 수행하고, 좋은 결과를 도출한 본 연구원의 전성우 박사, 박용하 박사, 정휘철 연구원과 공동연구자로 연구를 지원해 준 상명대학교의 이동근교수, 교토대학교의 Yuzuru Matsuoka 교수, 일본국립환경연구소의 Hideo Harasawa 박사와 Kiyoshi Takahashi에게 감사를 표합니다. 아울러 본 연구의 내용은 본 연구원의 공식견해가 아닌 연구자 개인의 의견임을 밝혀드립니다.

한국환경정책·평가연구원

원 장 윤 서 성

요약

Ⅰ. 연구의 배경 및 필요성

○ 기후변화는 현재 전세계적으로 발생되고 있으며, 이를 감소시키기 위한 대응전략과 발생된 기후변화에 적응하기 위한 적응전략 수립에 많은 노력이 이루어지고 있음.

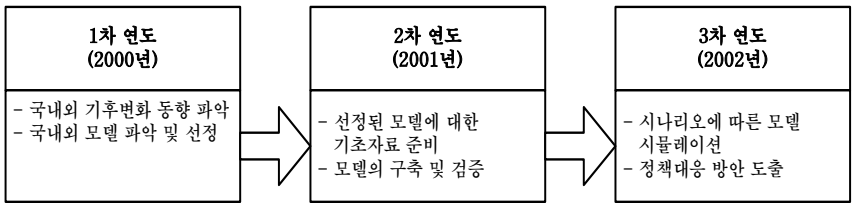
○ 기후변화영향물질들이 배출되어 영향을 미치는 것은 짧게는 10-20년부터 길게 100년까지이므로 장기적인 관점에서 영향을 파악하고 대응계획을 수립하여야 함.

○ 우리나라도 1990년대 초부터 기후변화에 따른 기후변화 예측기술 등에 대해서 연구사업을 추진하여 왔으며, 그 기후변화에 따른 생태계 영향을 평가할 수 있는 평가체계를 구축하기 위한 사업을 추진하고 있으나, 구체적으로 기후변화가 생태계에 미치는 영향을 평가하고 예측할 수 있는 체계가 마련되어 있지 못한 실정임.

○ 삼림부분은 우리나라 전국토의 70%를 차지하고 있어, 기후변화에 의한 영향평가 연구를 수행함에 있어서 가장 시급히 다루어져야 할 부분임.
- 자연림은 지구 유전자와 생물다양성의 저장고이며, 다양한 재원을 제공하는 동시에 기후안정에 중요한 역할을 담당하고 있어 영향연구의 필요성이 매우 높음.

Ⅱ. 연구 목적

○ 본 연구는 지난 2000년부터 3개년간 수행된 연구로, 기후변화 통합영향평가모델이 없는 우리나라에서 삼림부분의 통합영향평가모형의 틀을 개발하고 제시하였다는 점에서 의의가 있음.



< 그림 1 > 3단계 연구추진 계획

○ 2차년도(2001년)에서는 1차년도에 선정된 모델의 기본자료 구축 및 모델링과 모델링 결과의 검증을 연구의 목적으로 설정하였음.

- 대기대순환 모형의 CO_2농도 배증시의 평형실험결과를 이용하여 지구온난화로 인한 한반도 주변의 기후 변화를 추정하였음.
- 변환된 기후자료를 이용하여 Holdridge 방법등 생기후학적 분류결과에 대한 예측을 수행하고, 기존의 연구결과에 따라 기후변화에 대한 삼림의 적응을 추가한 모형을 개발하여, 2100년 시점의 기후변화에 의한 한반도 주변지역의 삼림영향예측을 실시하였음.
- 삼림의 영향예측결과와 삼림이 가지는 다양한 기능을 고려한 생태경제학적인 연구의 성과들을 이용하여 기후변화로 인한 삼림의 적응성에 의한 경제적 가치의 손실액을 추정하였음.

○ 3차년도(2002)에서는 개발된 모형을 이용하여 SRES 시나리오별 영향예측과 이에 따른 정책대응방안 설정을 연구의 목적으로 설정하였음.

Ⅲ. 연구의 주요결과

1. 연구대상지역

○ 연구의 대상지역은 다음과 같은 이유에서 한반도를 포함한 경도 120° ~135°, 위도 30°~ 45°으로 설정하였음.

- 한반도 삼림의 연결성을 고려하여 북한과 만주지역을 포함한 동북아시아 지역을 선정하였음.

○ 영향연구의 지역별 특성 및 영향정도의 파악을 위하여 < 그림 2 >와 같이 지역을 구분하였음.

- 기존의 삼림분포특성 연구에서 나타난 삼림생태계 분포와 기후 패턴을 고려하고 행정구역경계를 이용하여 구분한 것임.
  - · A지역은 남부지역인 경상남북도, 전라남북도
  - · B지역은 중부 서해지역인 충청남북도, 경기도, 황해도
  - · C지역은 중부동해지역으로 강원도와 함경남도 일원
  - · D지역은 북부지역으로 평양남북도와 함경북도 일원

< 그림 2 > 연구대상지역

2. 사용한 자료 및 방법

○ 현재의 기온과 강수량 관측정보와 GCM 결과로부터 나온 기온과 강수량의 변화를 이용하여 연구에서 요구되는 기후 정보로 변환하였음.

- 현재 기후는 UNEP에서 개설한 그리드데이터센터에서 제공하는 지구기후네트워크(Global Historical Climatology Network Data, GHCN)의 동북아지역 기온 197개소, 강수량 119개소 지점의 월평균기온, 강수량자료와 기상청 상시관측소 80개 지점의 1961년~ 1999년까지 일 평균 기온과 강수량을 이용하여 제작하였음.

○ 미래기후자료는 IPCC에서 인정한 CSIROMK2, CCCma, ECHAM4, HADCM2의 4개 SRES 시나리오 자료를 이용하였음.

- 이들 GCM의 공간적 해상도는 영향 연구에 이용될 정도로 충분히 조밀하지 않으므로 "GCM 결과 형성자(organizer)"를 이용하여 각 기후 인자에 적합한 방법에 의해 자료들을 공간적으로 보간하였음.

○ 예측 및 검증에 사용된 현재의 식생정보는 환경부에서 조사하여 제작한 현존식생도의 군락별 분포도를 이용하였음.

3. 기온 및 강수량 변환결과

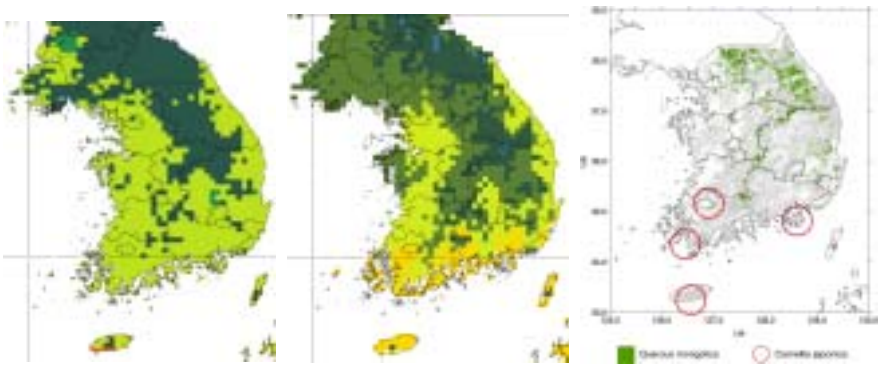
○ 지구 평균 기온이 2℃ 증가함에 따라 우리나라의 추정된 기온증가는 2.5~3℃ 범위였고, 특히 겨울철 북한 지역의 기온이 크게 증가하는 것으로 나타났음.

○ 기온증가가 커질수록 총강수량은 증가하였으며, 특히 중부 이북지역에서 증가의 폭이 크게 나타나고, 계절별로는 겨울철 남부지역에서 강수량 감소가 예측됨

4. 삼림분포변화 검증 및 예측

○ 기후변화에 의한 삼림분포의 변화를 예측·평가하기 위해 Holdridge 모형과 GCM을 이용해 생성된 미래의 기온과 강수량을 이용하였음.

○ 예측된 결과의 검증을 위하여 온량지수를 이용한 분포범위와 모형에서 도출된 분포가능범위를 비교검증하였으며, 수종별 분포특성의 비교를 위하여 신갈나무군락과 동백나무군락의 분포현황과 모형에서 도출된 분포가능범위를 비교·검증하였음.

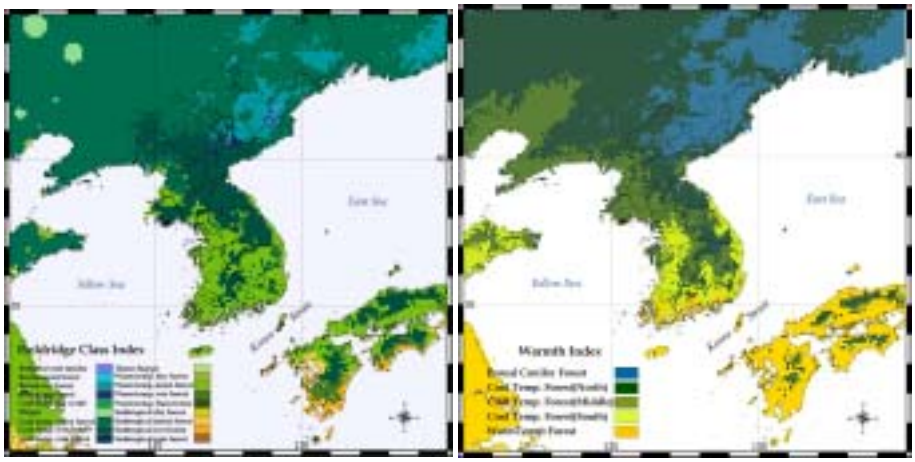


Holdridge 온량지수 신갈나무군락과 동백나무

<그림 3> 신갈나무군락과 동백나무군락의 분포와 각 삼림기후대의 비교

○ Holdridge 구분에 의한 우리나라의 삼림상태는 <그림 4>와 같음.

- 남부지역과 백두대간을 제외한 중부지역 대부분이 난온대림으로 분류됨.
- 백두대간과 북한의 대부분의 지역은 냉온대습윤림으로 분류됨
- 개마고원과 백두산 부근은 아한대습윤림과 아한대강우림으로 분류됨.
- 백두산 정상과 개마고원 중 고도가 매우 높은 지역은 한대툰드라로 분류됨



<그림 4> Holdridge(좌)와 온량지수(우)를 이용한 삼림기후대 분류 비교

○ A2시나리오하에서 온대와 아한대림이 남부지역은 34.99% 감소하며, 중부의 서부지역은 16.18%, 중부의 동부지역은 3.16%, 북부지역은 3.11%가 감소하는 결과를 보였음.

- 한반도 전체적으로 보았을 때, 온대림이 감소하고, 아열대림이 증가하는 경향을 보였으며, 이는 광역영향평가의 결과와 다른 점으로 우리나라의 경우 같은 위도에 속한 나라들과 비교연구를 할 가치가 있는 것으로 판단됨.

<표 1> 2100년 한반도지역의 온대·아한대림 영향분석

지역	온대·아한대림 삼림변화			
	A1	A2	B1	B2
A(남부지역)	-	--*	-	0
B(중부서부)	0	0*	0	0
C(중부동부)	0	0*	0	0
D(북부지역)	0	0*	0	0

기 호	---	--	-	0	+	++	+++	단 위
삼림변화	<-50	-50~-25	-25~-10	-10~10	10~25	25~50	>50	% change

5. 기후변화에 따른 삼림의 적응성

○ A2 시나리오에 의해 영향을 받는 지역이 다른 시나리오에 의해 영향을 받는 지역보다 넓으며, 특히 중부의 동부지역의 영향이 큰 것으로 분석되었음.

- 이를 지역별로 보면, 남부지역의 온대림중 약 3.13% 정도가 고사의 위험이, 3.28%정도의 지역이 삼림소멸의 위험이 있는 것으로 분석되었음.
- 중부서부지역의 온대림중 0.65%의 지역이 삼림고사의 위험이, 3.30%가 삼림소멸의 위험이 있는 것으로 평가되었음.
- 중부동부지역의 온대림중 2.66%의 지역이 삼림고사의 위험이, 0.41%가 삼림소멸의 위험이 있음.
- 북부지역의 온대림중 2.13%가 삼림고사의 위험이, 1.31%가 삼림소멸의 위험이 있는 것으로 분석되었음.

6. 기후변화에 따른 삼림식생변화의 경제성

○ 삼림의 영향예측결과와 세계생태계 경제적 가치모델(NCEAS 모델)의 결과를 조합하여 삼림의 경제적 가치 손실액을 계산하였음.

- 삼림의 이동가능 속도는 수종에 따라 다르므로, 수종별 적응가능성 연구보다는 평균적인 이동가능속도를 이용하여 적응성을 평가하였음.
- 삼림의 이동가능속도가 250m/년일 때, B2 시나리오 경우 최소피해액인 102백만US$가 순손실로 평가되었으며, A2 시나리오의 경우 최대피해액인 700백만US$의 경제적 가치 손실이 발생하는 것으로 평가되었음.
- 삼림의 이동가능속도가 증가할수록 순손실액은 감소하나, 삼림의 이동가능속도가 2.0km/년일 경우에도 최소 29백만US$에서 최대 558백만US$의 순손실이 발생되는 것으로 평가되었음.

Ⅳ. 정책제안 및 대응방안

○ 기후변화적응전략 수립을 위한 영향평가연구를 위한 제언은 다음과 같음.
- 통합영향평가모형구축을 위한 기초자료의 지속적인 확보방안 및 공동활용을 위한 통합구축방안의 수립이 필요함.
- 구축된 자료의 효율적인 배포체계 구축을 위한 국토환경정보센터와 같은 조직의 신설이 필요함.
- 통합영향평가모델 개발을 위한 관련 기관간의 유기적인 연계체계 구축이 필요함
- 우리나라의 실정에 적합한 SRES 시나리오의 설정 및 검토가 필요함
- 기후변화로 인한 영향은 한 부분만 파악해서는 불가능하므로, 통합영향평가연구의 추진이 필요함.

○ 삼림부분의 대응 및 적응전략은 다음과 같은 원칙과 방법에 따라 수립되어야 함.
- 적응과 관련해서는 크게 광역차원과 지역차원을 동시에 고려하는 적응대책을 마련하여야 함.
- 위협받고 있는 종이나, 생태계에 대한 위협을 평가하여야 하며, 국립공원관리공단, 산림청 등과 같은 생태계 조사기관들과 협조하여 지속적인 모니터링체계를 구축하여야 함.
- 삼림의 단절화를 줄이고 연결성을 고려한 완충지역의 설치를 증대시켜야 함.
- 삼림은 기후변화영향물질을 흡수하는 유일한 저감원중의 하나인 삼림제거를 방지해야 함.
- 멸종위기종이나 희귀종 이외에도 다양한 종에 대한 연구가 지속적으로 이루어져야 함

목 차

서언 ····· **1**
요약 ····· **1**

제1장 서론 ····· **1**
1. 연구의 배경 및 필요성 ····· 1
2. 연구의 목적 및 범위 ····· 4
3. 연구의 흐름 ····· 6

제2장 기후변화에 따른 삼림영향평가 선행연구결과 분석 ····· **9**
1. 광역차원의 영향평가 ····· 9
가. 대기대순환모형 ····· 9
나. 삼림영향평가 ····· 10
2. 한반도 차원의 영향평가 ····· 16
가. 대기대순환모형 ····· 16
나. 삼림영향평가모형 ····· 17
3. 연구결과 분석 및 고찰 ····· 19

제3장 기후변화에 따른 삼림영향평가모형 연구동향 분석 ····· **21**
1. 모형 개발 배경 ····· 21
2. 기후변화로 인한 삼림영향평가모형 구분 ····· 22
가. 실험법 ····· 22
나. 유추법 ····· 22

다. 전문가판단 ····· 23
라. 정량적 모형 ····· 23
3. 모형 개발 동향 분석 및 고찰 ····· 27

제4장 삼림영향평가모형 선정 및 적용방법 ····· 31
1. AIM/Imapct(Korea)모형 ····· 31
가. 모형의 선정 ····· 31
나. 모형의 개발 방향 ····· 32
다. AIM/Impact(Korea) 모형의 구조 ····· 34
라. AIM/Impact(Korea) 모형의 세부 개발 내용 ····· 35
2. 기온상승시나리오 ····· 39
가. IPCC IS92 시나리오 ····· 39
나. SRES 시나리오 ····· 42
3. 대기대순환모형과 지역대기순환모형 ····· 50
4. 기온감율을 고려한 기온의 공간내삽방법 ····· 54
가. 일평균 기온감율의 추정 ····· 54
나. 기온감율 기반의 공간내삽모형 ····· 55
5. 삼림영향평가모형 ····· 57
6. 삼림의 적응성 추정 ····· 59
7. 삼림의 경제적 가치평가 ····· 65

제5장 모형의 적용 및 분석 ····· 67
1. 연구대상지역의 선정 ····· 68
2. 미래기후의 추정 ····· 69
가. 기온 ····· 71
나. 강수량 ····· 74
다. 기후예측결과 ····· 75

3. 삼림의 생물기후학적 분류 및 검증 ····· 81
가. 삼림의 생물기후학적 분류 ····· 81
나. 온량지수와 현존식생도를 이용한 모델의 검증 ····· 83
4. 기후변화에 따른 삼림의 영향 평가 ····· 85
가. 영향 분석의 구조 ····· 85
나. 기후변화로 인한 삼림의 분포 변화 평가 ····· 86
다. 기후변화로 인한 삼림의 적응성 평가 ····· 92
5. 삼림의 경제적 가치손실액 추정 ····· 97

제6장 기후변화에 따른 삼림부분 대응방안 ····· 103
1. 기후변화협약 ····· 103
가. IPCC와 UNFCCC ····· 103
나. 당사국 총회 추진현황 및 주요내용 ····· 106
다. 교토의정서 발효 등 향후전망 ····· 111
2. 주요 선진국의 대응방안 사례 ····· 113
가. 유럽연합 ····· 113
나. 미국 ····· 116
다. 캐나다. ····· 119
라. 호주 ····· 124
마. 영국 ····· 126
바. 덴마크 ····· 128
사. 프랑스 ····· 131
아. 멕시코 ····· 134
자. 일본 ····· 136
3. 대응방안 비교 분석 ····· 139

제7장 요약 및 제안 ····· 141

1. 요약 ····· 141
2. 정책제안 ····· 143
3. 연구의 한계 및 향후 연구제안 ····· 149

참고문헌 ····· 151

Abstract ····· 153

부록1 : IPCC SRES 시나리오 ····· 167
부록2 : 일본의 SRES 시나리오 ····· 191
부록3 : 우리나라의 삼림식물대 ····· 207
부록4 : 용어 설명 ····· 213

표 목 차

<표 Ⅱ-1> 현재와 2100년 기후변화로 인한 삼림분포 결과 ····· 10
<표 Ⅲ-1> 삼림부문의 기후변화영향평가의 개요 ····· 28
<표 Ⅲ-2> 삼림영향평가모델 비교 ····· 28
<표 Ⅲ-3> 삼림부문의 기후변화 영향평가기법의 현황 및 문제점 ····· 29
<표 Ⅳ-1> IPCC 1992 시나리오 요약 ····· 40
<표 Ⅳ-2> 온실가스와 오염물질사용에 관한 SRES Storyline 설명 ····· 43
<표 Ⅳ-3> IPCC-DDC에서 제공 가능한 SRES 시나리오를 이용한
GCM Output ····· 49
<표 Ⅳ-4> SRES 시나리오결과의 격자정보 ····· 50
<표 Ⅳ-5> IPCC-DDC에서 공급되는 GCM(IPCC-TGCIA,1999) ····· 53
<표 Ⅳ-6> Holdridge 모형의 삼림기후대 분류표 ····· 59
<표 Ⅳ-7> Holdridge 삼림과 경제적효과추정에 사용된 삼림 대응표 ····· 60
<표 Ⅳ-8> 목본식물의 이동가능속도 ····· 61
<표 Ⅳ-9> 가치 손실액 계산을 위한 열대·온대·아한대림의 구분 ····· 62
<표 Ⅳ-10> 기후대의 변화가 지역 삼림에 미치는 영향 ····· 63
<표 Ⅳ-11 > NCEAS 모델을 이용한 세계 자연삼림의 경제적 가치 평가 ···· 65
<표 Ⅴ-1> 지형보정을 위한 월평균 기온감율 ····· 73
<표 Ⅴ-2> SRES 시나리오의 기온변화량 ····· 77
<표 Ⅴ-3> SRES 시나리오의 강수량변화비 ····· 80
<표 Ⅴ-4> 2100년 한반도지역의 기후영향분석 ····· 81
<표 Ⅴ-5> 생물기후대에 따른 삼림유형별 온량지수 및 한랭지수 범위 ····· 83
<표 Ⅴ-6> 2100년 한반도지역의 온대·아한대림 영향분석 ····· 90
<표 Ⅴ-7> 온대·아한대림의 지역별 평균 감소량 ····· 91
<표 Ⅴ-8> A1 시나리오 영향 구분별 한반도 전체에 대한 피해면적비율 ····· 94
<표 Ⅴ-9> A2 시나리오 영향 구분별 한반도 전체에 대한 피해면적비율 ····· 94
<표 Ⅴ-10> B1 시나리오 영향 구분별 한반도 전체에 대한 면적비율 ····· 95

<표 Ⅴ-11> B2 시나리오 영향 구분별 한반도 전체에 대한 면적비율 ····· 95
<표 Ⅴ-12> A1 시나리오의 경제적 가치손실액 추정 ····· 98
<표 Ⅴ-13> A2 시나리오의 경제적 가치손실액 추정 ····· 99
<표 Ⅴ-14> B1 시나리오의 경제적 가치손실액 추정 ····· 100
<표 Ⅴ-15> B2 시나리오의 경제적 가치손실액 추정 ····· 101
<표 Ⅵ-1> 부속서Ⅰ,Ⅱ국가 목록 ····· 106
<표 Ⅵ-2> 교토의정서 주요내용 ····· 108
<표 Ⅵ-3> 유럽연합의 환경관련 주요 직접규제형태 ····· 114
<표 Ⅵ-4> 기후변화저감을 위한 부문별 주요정책 ····· 118
<표 Ⅵ-5> 분야별 Working Group 및 대응 분야 ····· 120
<표 Ⅵ-6> AGO 부서별 주요 업무 ····· 125
<표 Ⅵ-7> 덴마크의 배출권거래제 ····· 129
<표 Ⅵ-8> 덴마크의 부문별 기후변화협약 대책과 감축목표 ····· 130
<표 Ⅵ-9> 부문별 온실가스 저감을 위한 신규정책 ····· 133
<표 Ⅵ-10> 멕시코 정부의 부문별 정책 및 대응방안 ····· 135
<표 Ⅵ-11> 지구온난화대책추진기본계획 주요내용 ····· 138
<표 Ⅵ-12 >국가별 대응체제 비교 ····· 140
<부표 Ⅰ-1> SRES 시나리오의 정량화 개요 ····· 175
<부표 Ⅰ-2> SRES 시나리오 ····· 180
<부표 Ⅰ-3> SRES 시나리오에 있어서 정량화에 대한 개요 ····· 189
<부표 Ⅱ-1> 일본의 시나리오의 각 STORY LINE 개요 ····· 192
<부표 Ⅱ-2> 시나리오별 의사결정 ····· 205
<부표 Ⅱ-3> 각 시나리오의 사회·경제 지표의 비교 ····· 206

그림목차

<그림 Ⅰ-1> 3단계 연구추진 계획 ····· 4
<그림 Ⅰ-2> 연구의 흐름 ····· 7
<그림 Ⅱ-1> AIM/Impact 모형의 기후변화로 인한 삼림분포 변화 결과물 · 11
<그림 Ⅱ-2> 생태계 모형으로 예측한 현재와 2080년의 지구삼림분포도 ···· 12
<그림 Ⅱ-3> 현재와 2080년의 유형별 삼림면적변화 ····· 13
<그림 Ⅱ-4> 이산화탄소 농도에 따른 식생감소의 변화 ····· 14
<그림 Ⅱ-5> BIOME 3 모형에 의한 삼림부문의 영향 ····· 15
<그림 Ⅲ-1> AIM 통합모형의 개요 ····· 26
<그림 Ⅳ-1> AIM/Impact(Korea) 모형의 구조 ····· 35
<그림 Ⅳ-2> 영향평가 모형을 위한 입력 자료제작 흐름 ····· 36
<그림 Ⅳ-3> AIM/Impact(Korea) 모형의 영향 평가 모델들 ····· 37
<그림 Ⅳ-4> GIS 자료와 결과물의 분석 ····· 38
<그림 Ⅳ-5> AIM/Impact(Korea)의 통합 GUI ····· 39
<그림 Ⅳ-6> 시나리오에 따른 1990년에서 2100년까지의 기온변화 ····· 41
<그림 Ⅳ-7> SRES 시나리오의 모식도. ····· 45
<그림 Ⅳ-8> SRES 시나리오의 개념도 ····· 46
<그림 Ⅳ-9> 1990년에서 2100년까지 40개 SRES 시나리오 ····· 47
<그림 Ⅳ-10> 모든 배출원(에너지, 산업, 토지이용)으로부터 생산되는 지구의 CO_2 연간 총배출량(GtC/yr) ····· 48
<그림 Ⅳ-11> 일본기상연구소의 2중 지역기후모형 개념도 ····· 51
<그림 Ⅳ-12> GCM과 RCM을 이용한 인도몬순지역의 현재기후와 2040년에서 2050년 사이의 겨울철 지표면 온도변화차이(℃) ····· 52
<그림 Ⅳ-13> GCM과 RCM을 이용한 인도몬순지역의 상대적인 강우차이(%) 52
<그림 Ⅳ-14> Holdridge 모형의 개념도 ····· 57
<그림 Ⅳ-15> 기후와 삼림영향예측 모형의 흐름 ····· 58
<그림 Ⅳ-16> 외래 수목종의 침입가능성 ····· 64

<그림 Ⅴ-1> 산림 영향 분석 흐름도 ····· 67
<그림 Ⅴ-2> 연구대상 지역의 위치와 구분 ····· 68
<그림 Ⅴ-3> 분석에 이용된 기상관측 지점(일부) ····· 69
<그림 Ⅴ-4> 현재시기의 한반도 주위의 연평균기온 분포(℃) ····· 71
<그림 Ⅴ-5> 분석에 이용된 수치표고모형(좌) 및 기온보정에 사용된
가상면표고(우) ····· 72
<그림 Ⅴ-6> 기온감율을 고려한 현재시기 연평균 기온분포 ····· 72
<그림 Ⅴ-7> 현재시기 총강수량 분포(mm/년) ····· 74
<그림 Ⅴ-8> SRES A1(좌) A2(우) 시나리오의 시기별 지역평균 온도변화 … 75
<그림 Ⅴ-9> SRES B1(좌), B2(우) 시나리오의 시기별 지역평균 온도변화 … 76
<그림 Ⅴ-10> SRES A1(좌), A2(우) 시나리오의 시기별 지역평균 강수량변화78
<그림 Ⅴ-11> SRES B1(좌), B2(우) 시나리오의 시기별 지역평균 강수량변화 79
<그림 Ⅴ-12> 1990년(좌)과 2100년(우)의 Holdridge 분류 ····· 82
<그림 Ⅴ-13> Holdridge(좌)와 온량지수(우)를 이용한 삼림기후대 분류 비교84
<그림 Ⅴ-14> 냉온대 중부지역의 대표수종인 신갈나무군락과 동백나무군락의
분포와 각 삼림기후대의 비교 ····· 84
<그림 Ⅴ-15> 삼림영향분석 모형 흐름도 ····· 86
<그림 Ⅴ-16> SRES A1(좌), B1(우) 시나리오의 온대·아한대림의 감소경향 87
<그림 Ⅴ-17> CSIRO A1(좌) B1(우)시나리오의 2100년 Holdridge 삼림기후대87
<그림 Ⅴ-18> A2 시나리오의 2100년 Holdridge 삼림기후대 ····· 88
<그림 Ⅴ-19> B2 시나리오의 2100년 Holdridge 삼림기후대 ····· 89
<그림 Ⅴ-20> SRES A2(좌), B2(우) 시나리오의 온대·아한대림의 감소경향 90
<그림 Ⅴ-21> 2100년 삼림 피해 예상면적(식생이동속도=0.25km/yr) ····· 92
<그림 Ⅴ-22> 2100년 식생 이동 속도에 따른 삼림 피해 예상면적 ····· 93
<그림 Ⅴ-23> 2100년의 A1, B1 시나리오별 삼림식생의 영향 ····· 96
<그림 Ⅴ-24> 2100년의 A2, B2 시나리오별 삼림식생의 영향 ····· 96
<그림 Ⅴ-25> SRES 시나리오별 경제적 가치손실액 변화 ····· 97
<그림 Ⅵ-1> IPCC 조직도 ····· 104
<그림 Ⅵ-2> 미국 정부의 기후변화 대응체제 ····· 116

<그림 Ⅵ-3> 캐나다정부의 기후변화 대응체제 ····· 119
<그림 Ⅵ-4> 호주정부의 기후변화 대응체제 ····· 124
<그림 Ⅵ-5> 영국정부의 기후변화 대응체제 ····· 127
<그림 Ⅵ-6> 멕시코 정부의 기후변화 대응체제 ····· 134
<그림 Ⅵ-7> 일본 정부의 기후변화 대응체제 ····· 136
<부그림 Ⅰ-1> 기존 연구에 대한 이산화탄소 배출시나리오 ····· 169
<부그림 Ⅰ-2> 에너지 및 산업에서 표준화된 40개 SRES CO_2 시나리오 ··· 176
<부그림 Ⅰ-3> 표준화된 40개 SRES 이산화황 시나리오 ····· 176
<부그림 Ⅱ-1> 인구 및 자본의 집중·분산의 이미지 ····· 197
<부그림 Ⅲ-1> 우리나라의 온도대 ····· 211

제1장 서론

1. 연구의 배경 및 필요성

기후변화에 대한 원인을 규명하기 위해 1990년에 발표된 기후변화에 관한 정부간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 1차보고서 내용은 "관측자료에서 온실가스 증가효과를 정확히 탐지하는 것은 빠른 시일 내로는 쉽지 않을 것 같다"라는 다소 회의적인 결과였었다. 그러나, 1995년의 IPCC 2차보고서에서는 "인간이 전 지구의 기후변화에 영향을 끼진 증거가 있다"는 방향으로 인간으로 인한 기후변화가능성이 강력히 제기되었다. 이 제기이후 5년간의 보완 및 추가연구를 통해 2001년의 IPCC 3차보고서(Third Assessment Report, TAR)에서는 "인간의 활동이 과거 50년간의 기온상승을 유발했다는 새롭고 강력한 증거가 있다"는 방향으로 기후변화의 주된 원인은 인간이라는 결론이 발표되었다.

이 같은 결론은 기후변화에 대한 논의가 사회전반에 걸쳐 영향을 미치고 있는 현시점에서 볼 때 이에 대응하기 위한 인류차원의 논의가 이루어져야 하며, 이 논의는 크게 세 가지로 요약될 수 있다.

첫째, 미래의 기후는 과연 어느 정도 변화가 이루어질 것인가?

둘째, 미래에 기후변화가 발생한다면 인류에게는 어느 정도의 영향을 미칠 것인가?

셋째, 기후변화에 대처하기 위한 인류차원의 대응방안은 무엇인가?

과거 10년간 약170여 개국에서 3,000명 이상의 과학자가 참여한 IPCC는 위의 세가지 논의에 대해 수년간의 검토를 거쳐 과학적으로 일치된 견해를 보이는 세 권의 보고서를 출판했다.

첫번째 실무그룹(Working Group Ⅰ, WG Ⅰ)에서는 기후변화에 대한 과학적인 이해와 온실가스의 배출 및 흡수 방법론 개발 등 과학적 분석을 수행하였다(IPCC, 1996b).

두번째 실무그룹(Working Group Ⅱ, WG Ⅱ)에서는 기후변화로 인한 긍정적 또는 부정적인 결과 및 취약성을 과학적, 기술적, 환경적, 사회·경제적측면에서 평가하였다(IPCC, 1996c).

세번째 실무그룹(Working Group Ⅲ, WG Ⅲ)에서는 기후변화에 대응 및 적응하기 위한 온실가스감축을 주로 다루고 있다(IPCC, 1996d).

이러한 세권의 보고서를 바탕으로 이에 대한 논의가 더욱 활발해 지게 되었다. 그러나, 기후변화를 논의할 때는 다음과 같은 이유로 인해 커다란 시간차가 있음을 숙지해야 할 것이다. 첫째, 주요 온실기체가 대기에서 머무는 시간은 수십 년에서 수 백년 정도이다. 둘째, 기후계가 온실기체나 에어로졸 변화 등의 강제력 등에 반응하는데 수십 년이 걸린다. 이와 같은 시간차가 의미하는 것은 우리가 인간의 영향에 의한 기후변화를 분명히 탐지할 때까지 기다리거나 혹은 인간이 기후변화에 미칠 잠재적인 가능성을 고려하는 것과 관계없이 적어도 100년간 기후변화가 인류에게 영향을 미침을 시사한다. 즉, 기후변화는 장기간에 걸쳐 진행될 것이며, 서둘러 기후변화에 대처할수록 기후변화의 영향을 줄일 수 있을 것이다.

최근 기후변화영향에 대한 대응방안연구의 핵심개념은 완화(mitigation)와 적응(adaptation)이다. 완화란 기후변화를 유발하는 원인행위를 감소시켜 기후변화가 진행정도를 서서히 되게 하는 것이며, 적응이란 기후변화는 필연적으로 발생하기 때문에 이 속에서 인류가 더불어 공존해야 하는 것을 의미한다.

기후변화의 심각성은 세계 도처에서 이미 인지되고 있다. 최근의 한 예로 호주 근처의 섬나라인 투발루는 지구온난화에 따른 해수면 상승으로 인한 국토 손실에 대한 대처가 불가능해짐에 따라 26km^{2}의 면적과 환초로 구성된 자국의 국토를 포기하기로 결정하였으나 자국 주민을 이주시킬 곳이 없어 호주 및 뉴질랜드에 이민을 요청하고 있는 실정이다. 이러한 현실을 볼 때 전 세계에서는 기후변

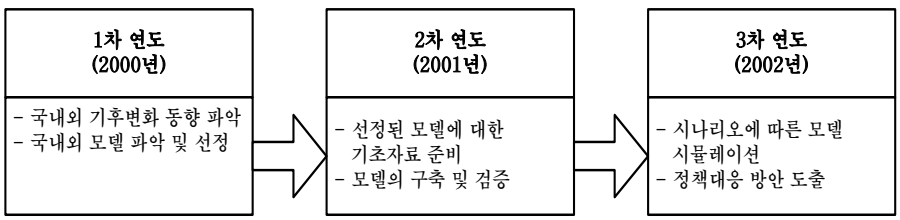
화의 심각성이 점차 확산되고 있다. 2000년 스위스 다보스에서 열린 세계경제포럼에서도 세계가 직면한 가장 긴박한 문제로 기후변화를 선정하였으며 미국 타임지의 2001년 3월 대국민 여론조사 결과 조사대상의 75%가 지구온난화를 심각하게 생각하고 있다고 답하였다. 우리나라도 각 부분에서 일어나고 있는 변화를 종합해 볼 때 기후변화의 안전지대가 아닌 것으로 판단되며, 기후변화로 인한 영향을 정확하게 평가하고 이에 따른 대응방안 및 적응방안을 수립하는 것은 매우 중요한 일이다.

이와 같은 긴박한 문제에 대해 정확한 영향을 예측하기 위하여 영향연구가 진행되었으며, 모형이 개선됨에 따라 영향예측결과의 신뢰성이 높아지며 정확한 결과를 도출하고 있다. 우리나라의 경우 선도기술사업(G7 Project)의 일환으로 1990년대 초부터 기후변화에 따른 기후변화 예측기술 등에 대해서 연구사업을 추진하여 왔으나, 향후 중장기연구계획 및 전략에 대해서만 이루어졌을 뿐 구체적으로 기후변화가 생태계에 미치는 영향을 평가하고 예측할 수 있는 체계가 마련되어 있지 못한 실정이다. 이러한 배경을 볼 때 기후변화로 인한 생태계 부문의 영향을 평가하고 대응방안을 연구하는 것은 시급히 진행되어야 할 과제이다.

삼림부분은 우리나라 전국토의 70%를 차지하고 있어, 영향평가 연구를 수행함에 있어서 가장 시급히 다루어져야 할 부분이다. 또한 자연삼림은 지구의 유전자와 생물다양성의 저장고이며, 다양한 자원을 제공하는 동시에 기후안정에 중요한 역할을 담당한다. 비록 기후변화가 삼림에 미치는 영향에 대해 밝혀지지 않은 부분이 많지만, 현재까지 증명된 과학적인 지식에 기초하여 발생영향과 대책을 수립할 수 있다. 또한 기후변화에 따른 삼림부분의 변화로부터 삼림생태계를 보전하고, 삼림분포변화에 의한 사회·경제적인 악영향을 저감하기 위해서는 기후변화에 따른 삼림생태계의 영향을 여러 가지 시나리오 하에서 깊이 있게 분석하여야 한다. 이를 위해 영향의 범위 및 정도를 예측·평가하는 모델을 구축하고, 이의 신뢰도를 검증하는 연구가 조속히 이루어져야 한다.

2. 연구의 목적 및 범위

본 연구는 <그림 Ⅰ-1>과 같이 3개년 계획으로 연구를 추진하였다. 1차 연도인 2000년도에는 기후변화에 따른 우리나라 생태계의 변화예측모형 연구와 관련된 국제 협약의 동향 파악을 중점적으로 추진하였다. 지구온난화에 따른 우리나라 생태계의 변화예측모형 연구부문에서는 생태계 영향연구의 범위를 삼림부문으로 한정하고 기존에 국내·외에서 연구된 기후 및 기상자료와 시나리오 설정에 관한 연구를 수집하였다. 이러한 기후변화에 따라 영향을 받는 삼림대 변화에 대한 국내외 모형을 검토하였다. 현재까지 우리나라에서는 국외에서 개발되고 있는 생태계 평가·예측에 관한 모형들에 대한 심층 검토가 이루어진 바 없으므로, 이러한 자료의 수집과 검토는 국내에서 생태계 영향평가·예측 모형을 개발하기 위한 중요한 기초단계라 할 수 있었다. 이미 개발된 모형을 검토함에 있어 이들 모형에서 사용하고 있는 모형인자, 연계되어 있는 기후 및 기상 변화에 대한 시나리오 자료 등을 수집 및 분석하였다.



<그림 Ⅰ-1> 3단계 연구추진 계획

2차 연도(2001년)에서는 1차 연도에 선정된 모델의 기본자료 구축 및 모델링과 모델링 결과의 검증에 주안점을 두었다. 기후변화가 자연삼림에 미치는 영향을 조사하기 위해 수치시뮬레이션을 이용하여 한반도 주변의 자연림분포 변화를 예측하고, 기존의 온량지수모형을 이용하여 구축된 모형의 정확도를 비교 검증하였다. 그리고 자연림이 제공하는 자원의 경제적 가치의 변화를 추정하기 위해 다

음과 같은 연구를 수행하였다.

첫째, 대기대순환 모형의 CO_2농도 배증시의 평형실험결과를 이용하여 지구온난화로 인한 한반도 주변의 기후 변화를 추정하였다. 대기대순환 모형은 IPCC에서 권장하는 시나리오별 결과를 이용하여 한반도 주변지역의 미래 기후자료로 변환하고 기후변화로 인한 영향을 분석하였다.

둘째, 변환된 기후자료를 이용하여 Holdridge방법 등 생물·기후학적 분류결과에 대한 예측을 수행하고, 기존의 연구결과에 따라 기후변화에 대한 삼림의 적응을 추가한 모형을 개발하여, 2100년 시점의 기후변화에 의한 한반도 주변지역의 삼림영향예측을 실시하였다.

셋째, 개발된 모형의 정확성을 검증하기 위하여 기존의 온량지수와 한랭지수를 이용한 연구결과와 대표수종에 대하여 비교·검증을 수행하였다.

넷째, 삼림의 영향예측결과와 삼림이 가지는 다양한 기능을 고려한 생태경제학적인 연구의 성과들을 이용하여 기후변화로 인한 삼림의 적응성에 의한 경제적 가치의 손실액을 추정하였다.

3차 연도 연구(2002년)에서는 2000년도부터 제시되기 시작한 SRES 시나리오에 입각한 삼림영향평가모델링 및 결과 분석과 선진각국에서 기후변화대응방안 사례조사 및 분석에 주안점을 두었다. 이를 위해 다음과 같은 연구를 수행하였다.

첫째, SRES 시나리오에 의해 계산된 GCM자료를 획득하여, 한반도 주변의 미래기후자료를 생성하고, 관련된 자료들을 정리하였다.

둘째, 변화된 기후자료를 이용하여 시나리오별 기후변화영향을 평가하였다.

셋째, 시나리오별로 기후변화로 인한 삼림의 경제적 가치 손실액을 추정하였다.

넷째, 기후변화와 관련된 국제협약동향과 대응방안에 대하여 자료를 조사·분석하였다.

다섯째, 향후 기후변화 통합영향평가모형의 구축시 고려해야 될 사항과 연구방향에 대하여 제시하였다.

3. 연구의 흐름

본 연구는 기후변화영향평가와 관련된 문헌조사와 분석을 통해 삼림영향평가 모형을 선정하고, 이를 개발하여 적용 및 분석하는 연구흐름을 가지고 있다. 문헌조사 및 분석은 주로 인터넷을 통한 자료 수집과 유관연구기관과의 교류를 통해 자료를 확보하였다. 모형개발은 일본국립환경연구소의 AIM 모형개발팀과, 국제동향 및 대응방안과 부분은 상명대학교 이동근 교수와 공동으로 연구를 진행하였으며, 연구흐름을 정리하면 다음의 <그림 Ⅰ-2>와 같다.

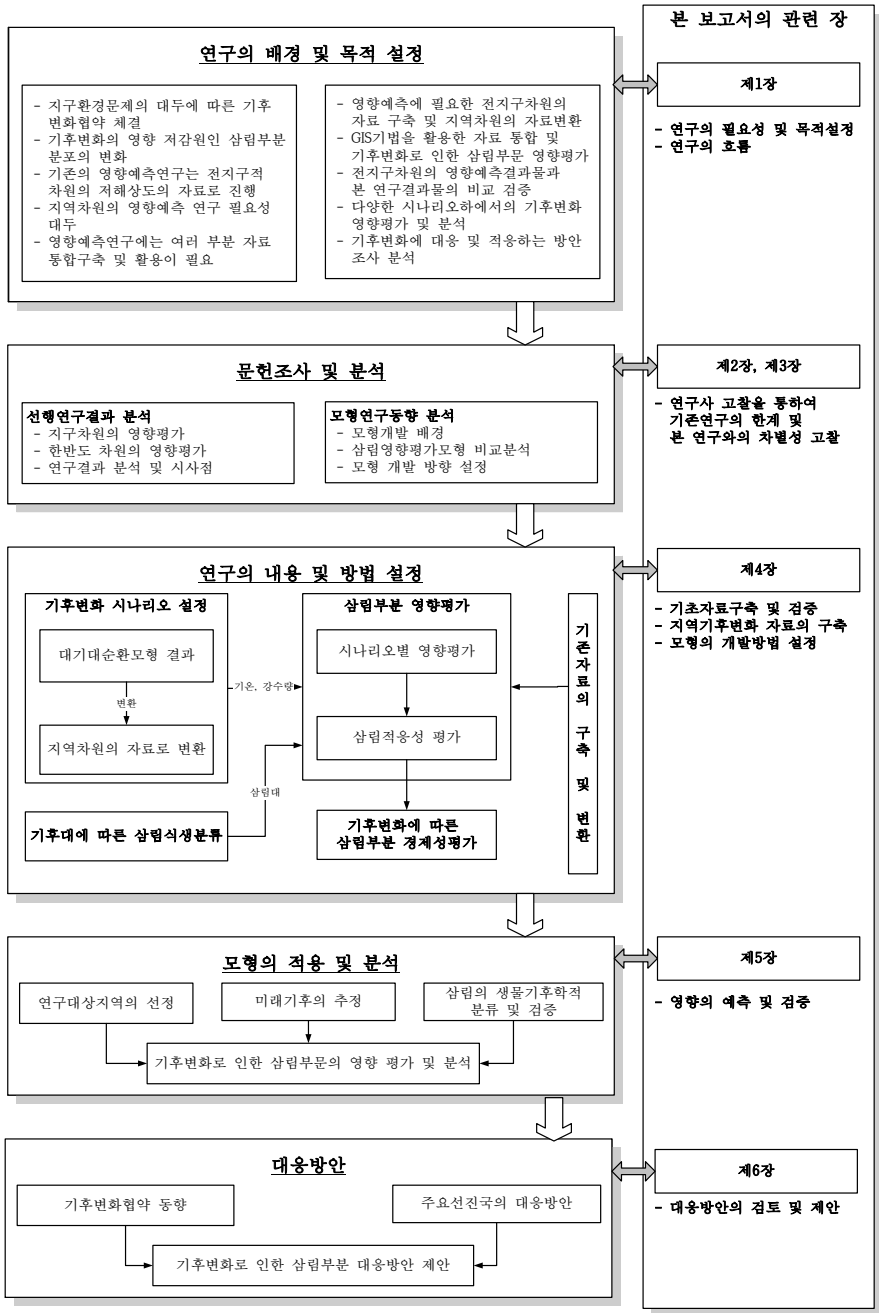
문헌조사 및 분석으로 수행된 제3장에서는 선행연구결과들을 조사하고 분석하여, 광역차원의 기후변화모델의 한계에 대해서 고찰하고, 지역차원영향평가모델의 필요성을 기술하였다. 모형연구동향분석에서는 기후변화영향평가의 종류와 유용성에 대하여 고찰하고, 우리 나라에서 개발하는 모형의 방향과 비교하여 기술하였다.

제4장에서는 본 연구에서 사용하는 기후변화영향평가모형과 기온상승시나리오, 광역차원의 기후자료를 지역차원으로 변환하는 방법, 기후변화로 인한 삼림의 적응성 및 경제성 평가방법을 기술하였다.

제5장에서는 4장에서 제시된 방법론을 사용하여 한반도를 대상으로 삼림부분의 기후변화영향평가를 수행하고, 검증하여 결과를 분석하여 제시하였다.

제6장에서는 삼림부분의 기후변화 대응방안과 관련하여 우선 국제차원에서 논의가 지속적으로 이루어져 온 기후변화협약의 진행상황을 정리하고, 유럽연합, 미국, 캐나다, 호주, 영국, 덴마크, 프랑스, 일본, 중국의 기후변화에 대한 대응사례를 대응체제와 대응대책으로 구분하여 정리하였으며, 이를 제시하였다.

7장 요약 및 제안에서는 본 연구의 결과를 정리하여 제시하고, 향후 기후변화영향평가모형의 개발과 관련하여 통합영향평가모형의 개발방향과 대응방안을 정리하여 정책제언으로 제시하였다.


본 보고서의 관련 장
연구의 배경 및 목적 설정
- 지구환경문제의 대두에 따른 기후변화협약 체결
- 기후변화의 영향 저감원인 삼림부분 분포의 변화
- 기존의 영향예측연구는 전지구적 차원의 저해상도의 자료로 진행
- 지역차원의 영향예측 연구 필요성 대두
- 영향예측연구에는 여러 부분 자료 통합구축 및 활용이 필요
- 영향예측에 필요한 전지구차원의 자료 구축 및 지역차원의 자료변환
- GIS기법을 활용한 자료 통합 및 기후변화로 인한 삼림부문 영향평가
- 전지구차원의 영향예측결과물과 본 연구결과물의 비교 검증
- 다양한 시나리오하에서의 기후변화 영향평가 및 분석
- 기후변화에 대응 및 적응하는 방안 조사 분석
제1장
- 연구의 필요성 및 목적설정
- 연구의 흐름
문헌조사 및 분석
선행연구결과 분석
- 지구차원의 영향평가
- 한반도 차원의 영향평가
- 연구결과 분석 및 시사점
모형연구동향 분석
- 모형개발 배경
- 삼림영향평가모형 비교분석
- 모형 개발 방향 설정
제2장, 제3장
- 연구사 고찰을 통하여 기존연구의 한계 및 본 연구와의 차별성 고찰
연구의 내용 및 방법 설정
기후변화 시나리오 설정
대기대순환모형 결과
변환
지역차원의 자료로 변환
기온, 강수량
삼림부분 영향평가
시나리오별 영향평가
삼림적응성 평가
삼림대
기후대에 따른 삼림식생분류
기후변화에 따른 삼림부분 경제성평가
기존자료의 구축 및 변환
제4장
- 기초자료구축 및 검증
- 지역기후변화 자료의 구축
- 모형의 개발방법 설정
모형의 적용 및 분석
연구대상지역의 선정
미래기후의 추정
삼림의 생물기후학적 분류 및 검증
기후변화로 인한 삼림부문의 영향 평가 및 분석
제5장
- 영향의 예측 및 검증
대응방안
기후변화협약 동향
주요선진국의 대응방안
기후변화로 인한 삼림부분 대응방안 제안
제6장
- 대응방안의 검토 및 제안

<그림 Ⅰ-2> 연구의 흐름

제2장 기후변화에 따른 삼림영향평가 선행연구결과 분석

기후변화에 따른 삼림영향평가와 관련하여 모델의 개발과 관련된 대기대순환모형과 영향평가모형 각 부분별로 연구결과를 광역과 한반도 차원으로 나누어 고찰하였다.

1. 광역차원의 영향평가

가. 대기대순환모형

기후변화에 따른 환경영향을 평가하기 위해서는 기후변화시나리오를 필요로 한다. 따라서 기후변화에 따른 여러 분야의 영향평가에 필요한 입력자료를 제공하기 위해서는 기후모델의 여러 가지 변화시나리오를 설정해야 한다.

1970년대 전후 대기대순환모델(Atmospheric General Circulation Model, GCM)의 태동(Bryan, K., 1969; Arakawa, 1972; Takano, 1974; Semter, 1974)이후 대기대순환모델(Atmospheric General Circulation Model, AGCM)과 해양대순환모델(Oceanic General Circulation Model, OGCM)은 각각 괄목할만한 발전을 보았으나, 대기해양접합대순환모델(Atmosphere-Ocean Coupled General Circulation Model, AOGCM)은 기술 발달 단계로 볼 때 거의 답보 상태에 있었다(김정우, 1997).

기후변화 시나리오는 GCM시나리오로 현재 세계적으로 대기모델상호비교프

로젝트(Atmospheric Model Intercomparison Project, AMIP)에 등록된 GCM은 약 60여개 이나, 대기해양영향을 접합하여 기온 상승에 따른 시나리오를 이용할 수 있는 AOGCM은 약20개로 IPCC는 추천하고 있다(이재훈, 2000).

나. 삼림영향평가

Holdridge 모형을 이용하여 AIM project Team(1997)이 수행한 삼림모형의 결과는 <표 Ⅱ-1>, <그림 Ⅱ-1>과 같으며, 현재와 2100년 사이의 변화를 보여주고 있다.

<표 II-1> 현재와 2100년 기후변화로 인한 삼림분포 결과 (단위 : %)

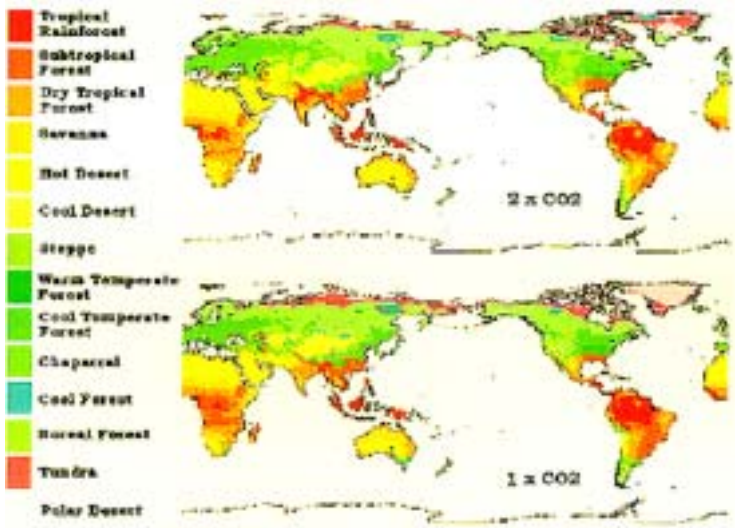
분 류	현재 기후	CCC	GFDL	GFDL Q-Flux	GFDL R30	GISS	OSU	UKMO	평균
열대우림	8.26	9.39	11.69	11.14	17.61	13.18	16.07	10.30	11.93
아열대림	10.87	7.25	8.48	8.23	9.09	7.22	7.44	8.38	8.01
열대건조림	12.31	17.43	14.46	14.95	14.14	14.24	12.21	15.94	14.77
사바나	9.43	12.98	11.38	11.11	10.85	12.35	10.85	11.70	11.60
열대사막	14.48	14.47	14.36	14.57	13.70	12.54	13.67	14.30	13.94
한대사막	2.80	1.26	1.66	1.86	1.60	1.76	1.77	1.41	1.62
스텝(초원)	4.70	4.87	7.01	5.23	5.22	3.85	5.47	4.96	5.23
온대림	2.05	1.76	2.23	2.38	2.41	2.16	2.08	2.44	2.21
한대림	10.01	12.04	12.71	12.73	13.82	12.88	12.15	12.10	12.63
저목수풀지대	3.62	4.28	4.10	3.52	3.83	3.56	3.69	4.20	3.88
냉대림	0.73	0.63	0.60	0.49	0.36	0.46	0.63	0.37	0.51
아한대림	14.13	10.05	7.44	9.48	9.21	11.35	9.74	9.42	9.53
툰드라	3.30	2.43	2.18	2.38	2.34	2.21	2.23	2.29	2.29
극 사막	3.32	1.16	1.70	1.94	1.68	2.25	2.00	2.19	2.85
합 계	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

자료 : AIM Project Team. 1997. 『Asian-Pacific Integrated Model』. NIES, p.68.

여러 가지의 GCM에 의해 예측된 삼림의 영향을 전체 면적으로 볼 때, 열대우

림, 열대건조림, 사바나, 온대림, 한대림 등이 증가하고, 아열대림, 열대사막, 한대사막, 툰드라, 극 사막 등은 감소하는 경향을 보이고 있다.

이를 지역별로 보면, 인도대륙에서는 열대림 및 아열대림의 현저한 증가가 예측된다. 동유럽 지역에는 한대림의 온대림으로의 현저한 변화 잠재성을 보여주고 있다. 북미대륙에서는 온대림이 초원으로 변하는 면적이 증가할 것으로 예측되고 있다. 우리나라의 경우 온대림에서 변화가 없는 것으로 예측되고 있다. 이는 광역영향모형의 공간적 해상도가 300km-400km이기 때문에 우리나라와 같이 위도차이가 적은 나라는 정확하게 예측되기 곤란하기 때문이다.



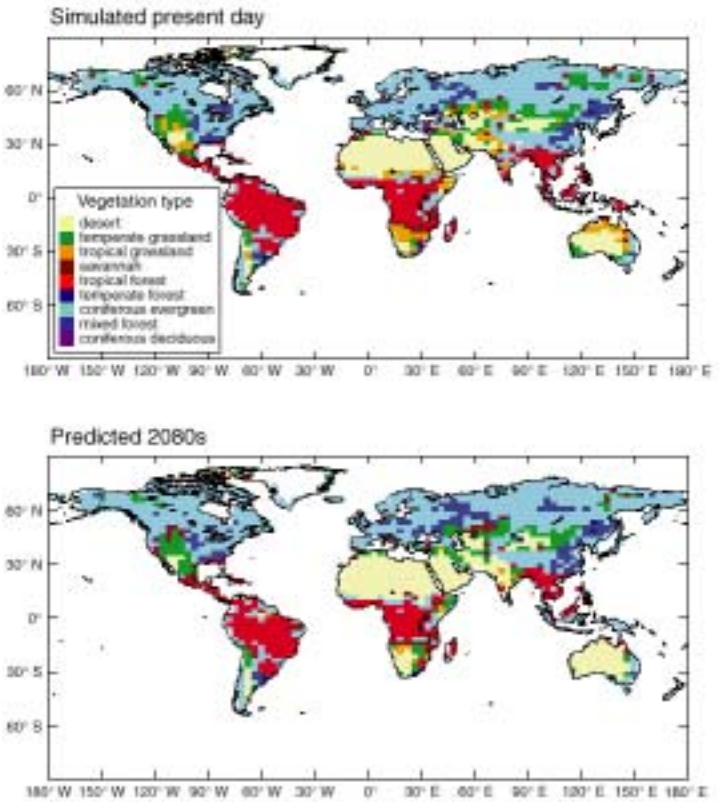
<그림 II-1> AIM/Impact 모형의 기후변화로 인한 삼림분포 변화 결과물

자료 : AIM Project Team. 1997. 『Asian-Pacific Integrated Model』. NIES, p.69.

<그림 II-2>는 현재와 2080년경에 예상되는 사막과 8가지의 삼림유형의 분포를 보여주고 있다. 이 분석에서는 2080년경 혼효림의 면적이 증가하고 열대초원과 열대림의 감소를 예측하였다. 우리나라의 경우 상록침엽수림으로 변화가 없다는 결과를 제시하고 있다. 이 역시 광역영향연구가 가지는 한계에 기인하는 것

으로 판단된다.

<그림 Ⅱ-3>은 현재와 2080년 사이에 발생이 예상되는 사막과 6개 삼림유형('온대림'과 '혼효림'을 하나로 간주하여 '삼림'에 포함시키고 '사바나'를 '초지' 범주에 귀속시킴)에 의하여 점유될 면적의 비율을 보여주고 있다. 2080년에는 대부분의 열대초원이 온대초원 또는 사막으로 변화할 것으로 예측되었고 지구면적의 8%를 차지하고 있는 열대초원은 2080년경에는 지구전체면적의 1%만을 차지하게 될 것으로 예상되고 있다.

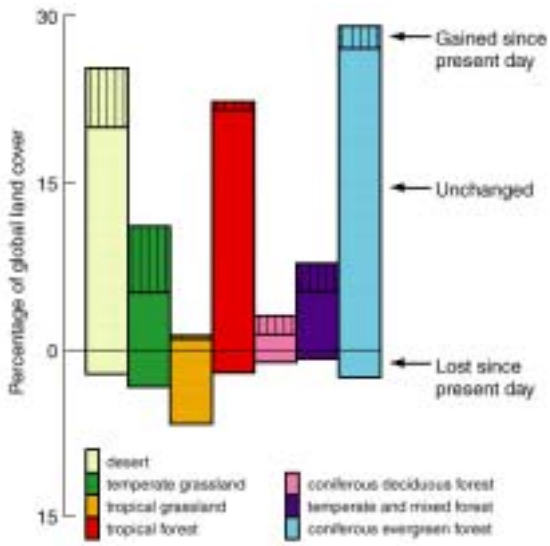


<그림 II-2> 생태계 모형으로 예측한 현재와 2080년의 지구삼림분포도

자료 : Harasawa, H.(2000) "Recent development of Impacts Study in Japan and IPCC". 『기후변화와 생태계보전 심포지엄』. 한국환경정책·평가연구원

현재 열대림으로 분류되고 있는 지역의 일부는 인간의 간섭 없이도 사바나, 초원으로 변화할 것이며 심지어는 사막으로까지 변화할 것으로 예상된다. 이 모형은 이러한 열대지역의 심각하고 급격한 변화는 강수의 감소와 연중평균온도의 증가(남미 및 인도의 일부지역에서는 5℃까지의 상승이 예상됨)로 인하여 2050년경부터 시작될 것으로 예측되고 있다. 모든 열대삼림은 위기를 맞고 있으므로 생물다양성에 막대한 영향이 예상된다.

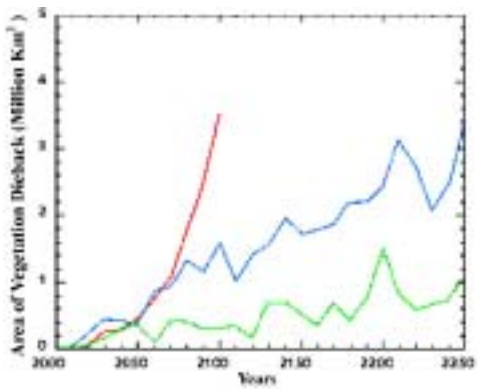
대조적으로 북미와 아시아의 온대림 및 혼효림의 면적은 다소 증가할 것으로 예상되며 대부분의 북반구 침엽수림지역에서는 매우 미약한 변화만이 예측되고 있다. 또 이러한 삼림은 더 알맞은 온도와 적당한 강우, 그리고 생장에 더 알맞은 대기중의 질소농도로 인하여 그 생장속도가 더욱 가속화될 것으로 전망된다. 위도 북위 30도에서 60도 사이의 잠재 바이오매스 생산량은 현재와 2080년 사이에 70% 증가할 것으로 예상된다.



<그림 II-3> 현재와 2080년의 유형별 삼림면적변화

자료 : Harasawa, H.(2000) "Recent development of Impacts Study in Japan and IPCC". 『기후변화와 생태계보전 심포지엄』. 한국환경정책·평가연구원

그러나 <그림 Ⅱ-4>의 그래프는 이산화탄소의 농도에 따라서 기후변화로 인한 식생의 감소[1] 면적이 크게 바뀐다는 것을 보여주고 있다. 적색 선은 이산화탄소의 배출에 아무런 제재를 가하지 않았을 시의 식생의 감소 면적을 보여주고 있으며, 청색선(중앙선)은 대기중 이산화탄소 농도 750 ppm을 유지할 경우를 보여주며, 녹색선(하단의 선)은 550 ppm을 유지할 때의 경우이다. 여기서 의미하는 식생의 사멸이란 바이오매스의 감소가 1990년 수준 대비 10% 이상의 감소를 의미한다. <그림 Ⅱ-4>에서 식생의 사멸은 이산화탄소 농도 550 ppm에서 현격하게 줄어드는 것을 볼 수가 있다.



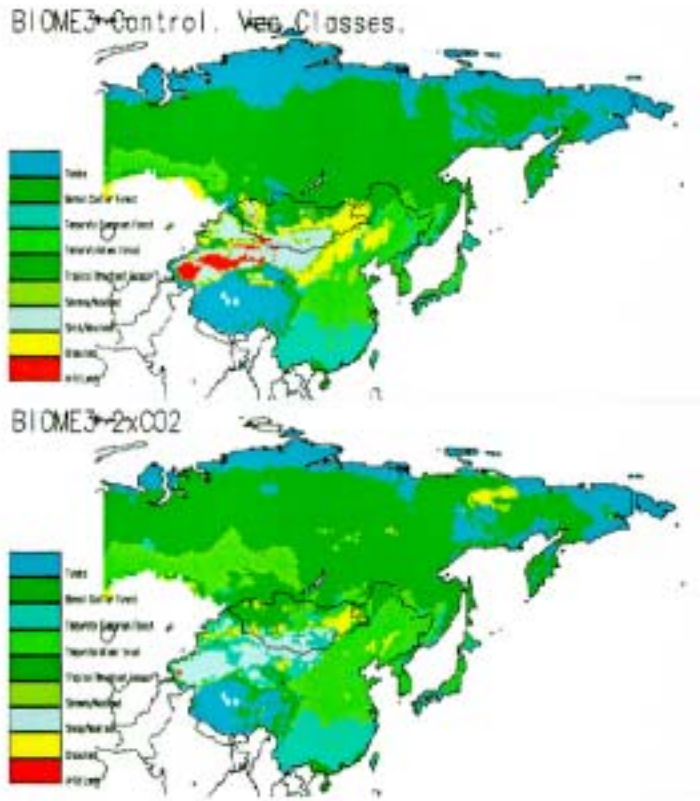
<그림 Ⅱ-4> 이산화탄소 농도에 따른 식생감소의 변화

<그림 Ⅱ-5>는 BIOME3[2] 모형의 결과를 보여주고 있다. 이 역시 우리 나라의 경우는 기후변화 전과 후의 차이가 없어 광역차원의 모형은 우리 나라와 같이 경위도 차가 작은 나라에는 공간해상도의 정밀화를 이루지 않고는 충분한 설명력을 가질 수 없음을 단적으로 보여주고 있다.

---

1) 식생이 차츰 말라 뿌리만 남게 됨

2) BIOME3(Alex Haxe et al., 1996)은 지금까지의 개별적으로 개발이 추진될 수 있는 두 종류의 프로세스모델, ①잠재적인 삼림의 분포를 기후, 토양 등과 연관시켜 예측하는 모델(Biogeography model : 생지리모델)과, ②부여되었던 삼림분포와 생태계 내에서의 물질순환 등을 계산하기 위한 모델(Biogeochemistry model : 생지구과학 모델)을 융합시키는 것을 목적으로 개발된 모델이다.



<그림 II-5> BIOME 3 모형에 의한 삼림부문의 영향

자료 : Harasawa, H.(2000) "Recent development of Impacts Study in Japan and IPCC", 『기후변화와 생태계보전 심포지엄』. 한국환경정책·평가연구원

자연림이 제공하는 경제적 가치에 대하여 Fankhauser(1995)는 대기중 CO_2 농도 배증시점에서 삼림의 경제적 가치 손실액이 OECD 국가에서 년 간 18억 달러, 전 세계적으로 년 간 20억 달러에 달한다고 보고하였다. 미국 삼림에 대한 연구결과에서 Cline(1992), Titus(1992), Callway(1994) 등은 연간 33~440억 달러의 손실이 발생하는 것으로 추정하였다. 이와 같이 특정지역, 특정수종의 기능변화에 대한 예측과 지구규모의 자연림의 다양성을 취급하는 다양한 연구결과가 보고되고 있다.

2. 한반도 차원의 영향평가

우리 나라의 기후변화가 삼림에 미치는 영향에 관한 국내연구사례는 기초자료인 식생관련자료와 예측자료인 지역기후모형(Regional Climate Model : RegCM) 자료를 구축하기 어려워 매우 한정되어있다.

가. 대기대순환모형

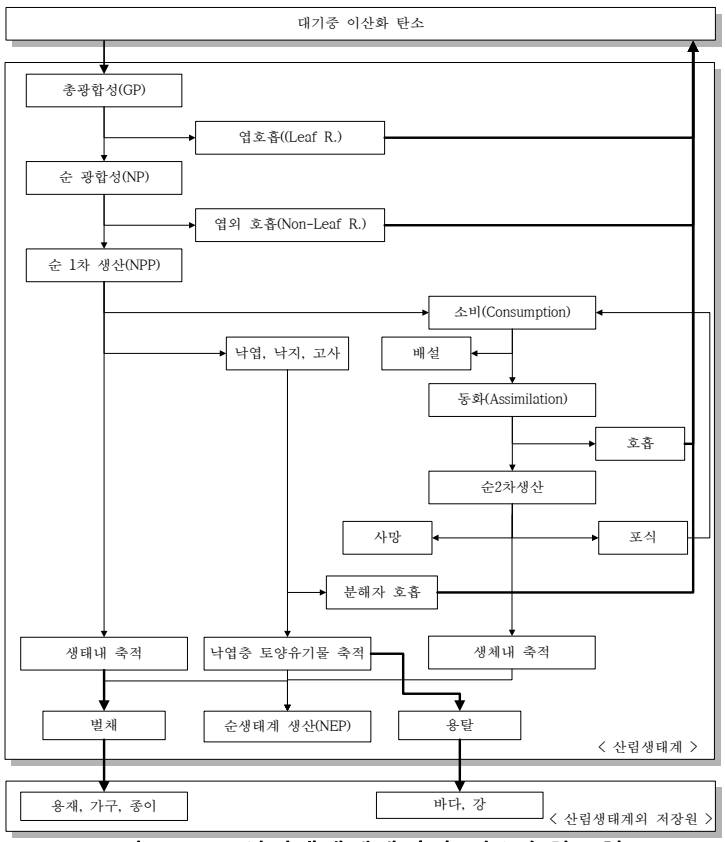
지구규모의 기후변화는 결과적으로 지역기후의 변화로 나타날 것이므로 이를 지역차원에서 예측하는 RegCM이 필요하다. AGCM과 OGCM은 오래전부터 개발되어 왔으나, RegCM은 불과 10년 이내의 짧은 역사를 가짐에 따라 앞으로 개선되어야 할 부분들이 많다(김정우, 1997).

AGCM과 OGCM을 이용하여 RegCM와 같은 해상도의 결과물을 얻기 위해서는 몇 가지 한계성이 있다. AGCM과 OGCM은 복사에너지과정, 구름물리과정, 해면온도의 영향, 육지의 에너지 수지, 물 순환 같은 기후적 과정으로 이루어져 있으나, 각 과정들이 아직 상세하게 파악되어 있지 않아, 지역적 특성을 밝히기 위하여 GCM을 고해상도로 장시간 적분할 경우 엄청난 컴퓨터계산과 저장능력이 필요하다. 또한 이렇게 생성된 결과는 오차가 커서 다른 연구에 활용하는데 제한이 많다.

이를 개선하기 위하여 Dickinson *et al.*(1989), Giorgi(1990; 1991), Giorgi and Mearns(1991), Marinucci and Giorgi(1992), Giorgi *et al.*(1992; 1993a; 1993b; 1994), Kida *et al.*(1991), Liu *et al.*(1994)등에 의해 주로 수행되어온 연구결과들은 RegCM와 OGCM을 연결하여 의미있는 결과를 생성할 수 있다는 많은 시사점을 보여주고 있다.

나. 삼림영향평가모형

한반도 관련 기존의 연구결과로 김태훈(1993)은 "기후변화가 산림생태계에 미치는 영향과 대응방안 연구"를 통하여 이산화탄소 증가가 수목과 삼림생태계에 미치는 영향을 분석하였다.

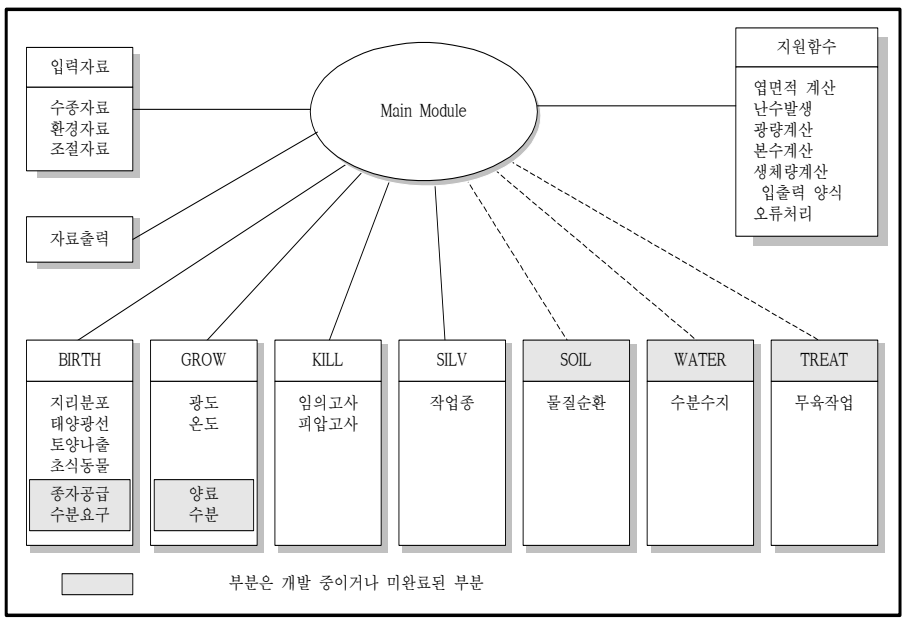


<그림 II-6> 삼림생태계에서의 탄소순환모형

자료 : 김태훈(1995), "기후변화가 산림생태계에 미치는 영향 및 대응방안", 『기후변화가 한반도에 미치는 영향에 관한 심포지움』. 한국과학기술원, p.37.

여기에서 삼림생태계에서는 분포범위가 넓은 수종들은 기후변화에 대하여 큰

피해를 받지 않고 생존할 수 있을 것이나 희귀수종이나 분포가 제한된 수종들은 소멸될 우려가 클 것으로 예상되고 있다. 또한 인간에 의한 토지이용변화가 식생대 이동에 있어서 문제가 될 것으로 예측되었다. 그리고 궁극적으로 대기중 이산화탄소량의 증가는 강수량을 증가시킬 것으로 보이고 복잡한 여러 기작을 통하여 삼림의 생산성이 현재보다 증가할 것으로 예상된다. 그러나 양료 이용효율이 높아지면 토양 중 양료의 양이 줄어들므로 분해량이 감소하고 양료 유용성이 감소하게 되어 탄소저장원을 감소시키는 요인이 될 수도 있을 것으로 예측되고 있다. 기후변화의 삼림에 대한 영향을 예측하는 방안으로 탄소순환체계 및 삼림생태계의 기능을 이용하여 접근하는 방법을 <그림 Ⅱ-6>과 같이 제시하고 있다. 그러나 현재 우리나라에서는 여러 가지 자료의 부족으로 인하여 이와 같은 모형으로 우리나라 전체의 삼림생태계에서의 탄소수지를 알아보기는 어렵다고 밝히고 있다.



<그림 II-7> 삼림생태계 변화예측모형 구조

자료 : 박원훈 외. 1995.『기후변화가 한반도에 미치는 영향과 지구환경관련 대책연구(II)』. 한국과학기술원, p.153

박원훈 등(1995)이 수행한 연구에서는 삼림부문의 지구온난화영향을 다루고 있지는 않으나, 우리나라 주요 수종에 대하여 현재 생육하고 있는 분포범위가 기후변화 시나리오에 따라 생육가능 분포위치가 어떻게 달라질 것인가를 지역적 규모에서 분석하고 보다 적은 임분단위에서 산림의 생산성과 종 구성의 변동 양상을 forest gap모형을 이용하여 분석하였다. 다음의 <그림 Ⅱ-7>은 위의 연구에 사용된 산림생태계 변화예측모형의 구조이다.

3. 연구결과 분석 및 고찰

기후변화에 따른 영향평가연구는 기후변화 연구의 핵심 과제로서 그 현상과 대책을 연결하는데 있어 중요한 핵심적인 내용이다. 특히 본 연구와 관련된 지역차원의 기후변화방지 및 대응방안 수립 연구는 세계적으로 주목받는 대응책이나 보다 자세하고 구체적인 정책 대안을 제시하고 있지 못한 실정이다. 2000년에 발간된 IPCC TAR에서도 지역차원의 영향평가모형개발과 결과는 매우 미약한 수준에서 이루어져 있으며, 2005년에 발간될 정책보고서에서 이를 상세히 다룰 계획을 가지고 있다. 이러한 배경 하에 최근에는 다양한 지역차원의 영향연구를 실시해야 할 연구분야와 구체적인 방법론에 대한 논의가 점점 더 확대되고 있는 추세이다.

우리 나라의 기후변화에 의한 영향평가 연구는 1993년부터 기후변화시나리오, 생태계, 농림업 분야, 해양, 수문학 분야, 경제와 산업 및 에너지 분야에 대하여 영향분석을 진행하여 왔다. 그러나 지금까지 진행된 연구는 우리 나라에 국한되어 분석되어 왔으며, 대기순환 모델의 결과로부터 얻어진 한반도 기후 변화 시나리오에 따라 각 분야의 개략적인 영향의 심각성 파악에 머무르고 있어 구체적인 기후변화에 의한 영향파악이 시급하다고 볼 수 있다. 또한 각 분야의 영향을 예측하는데 필요한 기초자료의 미비로 인해, 예측결과의 신뢰성이 저하되는 문제

점을 가지고 있다.

특히 삼림관련 연구는 매우 미비하여 시급히 연구가 진행되어야 할 필요가 있으며, 삼림과 기후자료가 통합되어 예측되는 생기후모형은 다른 모형과 달리 광역적인 자료를 지역적 자료로 구축하여 단시간 내에 결과를 얻을 수 있다는 점에서 연구의 효율성이 높다. 이러한 배경 속에서 본 연구에서는 삼림정보, 대기대순환정보와 토양특성을 감안한 통합적인 지역차원의 영향평가모형을 구축, 검증하고 이를 이용하여 영향을 평가하는 방향으로 연구를 진행시켰다.

제3장 기후변화에 따른 삼림영향평가모형 연구동향 분석

1. 모형 개발 배경

삼림은 목재의 유일한 생산원으로 건축, 에너지, 종이 등 전세계적으로 가장 수요가 많은 물질의 공급원이다. 이러한 삼림은 산업화 이전에는 가장 중요한 에너지원으로 사용되었으나, 최근 들어서는 생태계와 관련된 서식처와 종다양성의 보고로 다양한 기능과 역할이 알려지고 있다. 기후변화와 관련되어서는 기후변화원인물질을 흡수하는 흡수원으로 기능이 밝혀져, 중요성이 더해지고 있다

삼림은 전세계에서 해양을 제외한 가장 넓은 피복특성을 보이는 지역으로 기후변화로 인한 삼림의 영향은 직·간접적으로 다시 인류에게 영향을 돌려준다. 특히 기후변화로 인한 삼림의 영향은 삼림에 의한 탄소저장량의 변화, 생물종다양성의 변화, 산불발생빈도 및 강도의 변화, 목재생산량의 변화, 생태계기능의 교란 등 매우 다양하고 광범위하게 발생할 수 있다.

이와 같이 기후변화에 따라 삼림이 변화되면, 이것이 원인이 되어 다시 기후변화를 일으키는 환류체계를 가지고 있으므로, 이에 대한 정확한 기작 및 영향을 파악하기 위한 노력이 지난 수십년간 이루어져 왔다. 그러나 이러한 영향의 인과체계는 광범위한 지구차원에서는 어느 정도 진전이 있었으나, 국가차원에서는 연구성과가 미미한 실정이었다. 따라서 선진각국 및 여러 국제연구기관에서는 각부분별 영향의 인과관계에 기인한 통합영향평가모형을 우선적으로 개발하게 되었으며, 최근 들어서는 국가차원의 모형개발을 중점적으로 추진하게 되었다.

2. 기후변화로 인한 삼림영향평가모형 구분

기후변화로 인한 삼림영향평가모형은 실험법, 유추법, 전문가판단, 정량적모형의 4가지로 구분하여 연구동향을 정리하였다.

가. 실험법

변화된 기후의 상황을 재현하는 최적의 방법으로 직접측정법(Landsberg *et al.*, 1995)이 있으며, 기후변화로 인한 강수의 영향을 실험하는 관개실험법(Linder, 1987), 토양의 온난화로 인한 영향을 실험하는 토양온난화실험법(Perter John *et al.*, 1993, 1994)과 산림자원생산성을 추정하는 산림목록을 이용하여 평가하는 사회·경제적 영향평가법(Matya, 1994) 등이 연구되었다.

나. 유추법

유추법에는 역사적 유추법과 지역적 유추법으로 구분된다.

역사적 유추법에는 과거의 꽃가루를 이용하여 미래의 변화를 유추하는 화분학적(palynological) 접근법(Branchu *et al.*, 1993, Servant *et al.*, 1993)과 수목의 나이테를 이용하여 추정하는 연륜연대학적(dendrochronological) 접근법(D'Arrigo *et al.*, 1992)이 있다. 역사적 유추법은 산림의 경계가 얼마동안의 시간동안에 이동되었으며, 변화기동안 어떠한 현상들이 발생하였는가를 참조하는데 유리하다(Scholes and Linder, 1998).

지역적 유추법은 특정지역의 현재의 변수를 이용하여 미래의 변화된 기후하에서의 상황을 추정하는 방법으로 기후변수를 제외한 다른 변수들은 현재와 미래

가 동일하다는 취약점이 있다(Scholes and Linder, 1998).

다. 전문가판단

전문가의 판단에 의한 산림·식생의 영향예측방법은 과학적 방법론으로 사용하기에는 곤란하나, 적합한 대안이 없을 경우에 최적의 추측을 포함한 추정범위를 포함하여, 여러 명의 전문가들 의견을 종합적으로 사용할 경우 대안으로 사용할 수 있는 방법이다.

라. 정량적 모형

정량적모형은 생물물리적모형과, 경제모형, 통합모형의 3가지로 구분하여 볼 수 있다.

1) 생물·물리적 모형

생물·물리적 모형은 강수, 온도, 토양유형, 식물종 등의 구동변수 변화의 결과로 인한 생태계 속성(생물다양성의 생존과 성장 또는 생태계의 생산성) 변화예측을 위한 모형이다(Shugart *et al.*, 1988; Smith *et al.*, 1982; Dale and Rauscher, 1994; Joyce, 1995; Agren *et al.*, 1991; Ryan *et al.* 1996). 이 생물·물리적모형의 대표적인 방법으로는 경험적 통계적 모형과 과정기반모델이 있다.

가) 경험적 통계적 모형

경험적 통계적 모형의 가장 일반적인 형태는 기후변수(강우, 증발산 등)에 따른 특정 종의 존재 또는 부재의 관계를 이용하는 생기후적 모형 (Bioclimatic

models)과 생태계의 에너지와 물질순환을 중심으로 한 생화학적모형(Biochemical Model)이다.

생기후적 모형중 가장 대표적인 모델로는 Holdridge 모델(Holdridge, 1967), BIOME3모델(VEMAP Members, 1995), BOX모델(Box, 1980)이 있다. 이 생기후적 모형은 다양한 기후변화 시나리오 하에서의 미래 평형상태의 삼림분포를 예측하는 용도로 사용할 수 있다.

생화학적모형은 생태계의 에너지 또는 영양물질의 순환과정을 중심으로 시뮬레이션하므로 탄소순환 산정에 더 효율적이라는 장점이 있다. 이 생화학적 모형 중 수관의 복사특성을 시뮬레이션하여 광합성 및 증발산을 산출하는 모형으로는 MAESTRO(Wang and Jorvis, 1990; Jorvis, 1993)과 BIOMASS (McMurtrie *et al.*, 1990)가 있다.

광합성과 증발산을 이용하여 영양물질 생성을 도출하는 모형으로는 CENTURY (Parton *et al.*, 1988)가 있다.

탄소와 수분의 순환을 시뮬레이션한 모형으로는 TEM (Melillo *et al.*, 1993)이 있으며, Forest-BGC (Running and Coughlan, 1988) 모형은 광합성/증발산과 탄소/수분 모형의 중간형태이다.

이러한 생화학적 모형은 이산화탄소 농도의 증가시 각 삼림유형의 생산량 및 탄소보유량을 산정하는 데 유용하게 사용된다.

나) 과정기반모형

과정기반 모형은 입력과 출력의 기계적인 연산에 의해 예측되는 모형이라는 의미에서 기계적인 모형이라고도 알려져 있다. 이 모형은 특정지역의 삼림수목의 생성, 생장, 소멸과정을 수명, 생장률, 요구환경을 이용하여 시뮬레이션하는 GAP 모형이 있다.

이러한 정보들은 연구가 많이 이루어진 국가들에서는 비교적 구하기 쉬우나, 기초연구가 안되어 있는 대부분의 나라에서는 기초정보를 구축하는데 많은 시간

과 노력이 투입되어야 한다는 단점이 있다. 그러나, GAP 모형은 종 구성변화 및 외부적 환경변화에 따른 일시적인 생물량 반응을 예측하는 연구에서는 매우 유용한 방법이다(이재훈, 2000).

2) 경제모형

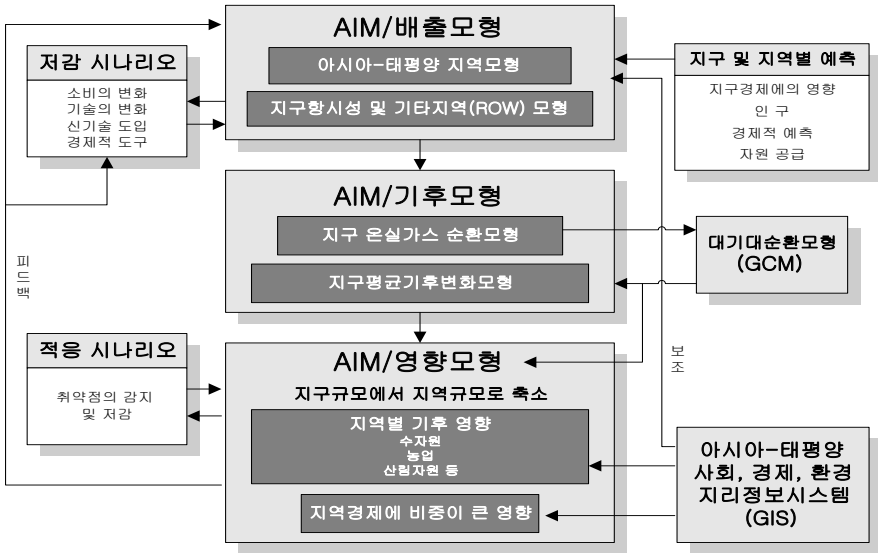
가장 일반적으로 사용되는 경제모형(Economic Model)으로는 입출력모형(Input-Output Model) (Arthur and van Kooten, 1989; Rosenberg, 1993)이 있다. 이 모형은 다른 모형의 결과나 외부의 자료를 참고하여 일정비율의 입력을 적용하여 출력을 산출하며, 일반적으로 입력은 원재료, 자본, 노동력 등이 있으며, 출력으로는 상품, 폐기물 등이 있다.

경제역학모형을 삼림부분에 적용한다면, 특정 삼림생산품의 가격곡선탄력성을 이용하고 수요와 공급의 관계를 활용하여 산림생산품의 가격을 산출할 수 있다. 이 모형의 대표적인 사례로는 TAMM(Joyce et al., 1995)과 GCTM (Peres-Garcia et al., 1995)이 있다.

3) 통합모형

통합모형(Integrated Models)은 생물·물리학적(biophysical) 과정과 사회·경제적 과정을 통합한 모형으로(Rosenburg, 1993), 가장 이상적인 모형이나 그 구조가 매우 복잡하여 현실 세계에 근접한 모형으로 개발하기 매우 어렵다는 단점이 있다.

이 모형의 사례로는 네덜란드 보건환경연구소(Research for Man and Environment : RIVM)에서 개발한 IMAGE2.0(Alcamo, 1994)이 가장 근접한 사례이나 매우 기초적인 모형으로 한계성을 많이 가지고 있다. 일본의 AIM (Asian-Pacific Integrated Model)은 기후변화에 따라 변화하는 생물의 성장·동향 등을 모형화한 것으로 기후 변화가 식생, 삼림생태계, 겨울밀의 생산성 변화 등에 영향을 미치고 있다는 것을 예측하고 있다(AIM Project Team, 1996).



<그림 III-1> AIM 통합모형의 개요

자료 : Yuzuru Matsuoka *et al.* 1994. "An Integrated Model of Global Warming in the Asian-Pacific Region(AIM : Focused on Impact Modelling" Proceedings of The Third Japan-U.S.Workshop on Global Change Modelling and Assessment. October 25-27, Honolulu, U.S.A. p.140

AIM은 크게 온실효과가스 배출모형(AIM/emission), 기후모형(AIM/climate), 영향모형(AIM/impact) 세 가지의 모델로 나뉘어져 있다. 각 모델간의 관계는 다음과 같다.

AIM 모델은 GIS를 이용하여 개발되었고, 각 지역의 중요한 경제와 환경에 관련된 자료가 입력되었다. 지구온난화에 따른 수자원의 변화, 농업생산량, 식물변화, 말라리아 확산 등의 예측을 위한 모델은 이러한 자료를 바탕으로 개발되었다. 실례로 모델에서 인도네시아는 7천 5백만에서 1억 8백만의 사람들이 말라리아에 노출될 위험이 증가할 것이라고 예견했고, 쌀 수확량은 2% 감소추세를 보이고 이 나라의 75%가 가뭄현상을 보일 것이라고 예측했다. 이와 같이 이 모델이 비록 기후변화의 문제점을 위해 개발이 되긴 했으나, 지역적 공기오염, 삼림관리

정책, 에너지, 농업과 수자원 관리 등에도 다양하게 이용될 수 있다는 것이 부가적인 큰 장점이다.

3. 모형 개발 동향 분석 및 고찰

삼림부문의 기후변화 영향평가에서 예상되는 주요 영향은 첫째, 종 구성과 삼림지 규모의 변화에 따른 특정 종의 최적 자생지의 변동이 일어나며 둘째, 목재 및 비목재 삼림자원의 단위면적 당 생산량이 감소하며 병충해 및 산불의 유형, 위치, 강도가 변화하게 된다. 셋째, 삼림생태계에 축적된 탄소량이 증가 또는 감소하게 되며 생태계 기능이 변화하여 영양물 보유와 낙엽 부식율이 증가 또는 감소하고 기후 또는 수분기와 발아기, 개화기, 또는 낙엽기의 부조화가 일어나게 된다. 넷째, 적합하지 않은 기후와 장애요인 또는 병충해의 변화, 공생의 파괴에 기인하여 생태계가 변화하게 된다. 다섯째, 삼림부문 직업의 위치, 유형 및 수가 변화한다. 여섯째, 동계 스포츠 기간과 같은 삼림 쾌적성이 변화하게 된다. 일곱째, 농업과 관련된 토지경쟁으로 인한 조림 또는 벌채가 일어나게 된다. <표 Ⅲ-1>은 삼림부분의 기후변화 영향평가에 관한 전반적인 개요를 보여주고 있다.

우선 생기후모형은 다양한 기후변화 시나리오 하에서의 미래 안정기(steady-state) 삼림분포를 예측하기 위하여 사용하여야 한다. 시간적 유추법과 생물역사학(bio-history)적 정보는 삼림의 경계가 얼마동안의 시간동안 이동되었고 변환기동안 어떠한 현상들이 발생하였는가를 참조하는데 사용할 것을 권고하고 있다. 특정삼림의 생성, 생장, 소멸과정을 수명, 생장률, 생장요구환경을 분석하여 시뮬레이션하는 천이모형은 종 구성변화 및 외부적 환경 변화에 따른 일시적인 생체량 반응을 예측하기 위하여 사용되며, 생태계 에너지 또는 영양물질의 순환과정을 중심으로 시뮬레이션하는 생화학적모형은 이산화탄소 농도의 증가시, 각 삼림유형의 생산량 및 탄소보유량을 추산하는데 효과적이라고 밝히고 있다. 경

제모형은 삼림생산물의 수요와 그 수요를 충족시킬 수 있는 지역을 예측하는데 효과적이다.

<표 III-1> 삼림부문의 기후변화영향평가의 개요

추 세	예 측	대 응	요소기술
• 기후변화에 의한 삼림면적과 분포의 변화 및 토지이용변화 분석	• 기후변화에 따른 삼림면적 및 분포 변화의 예측	• 삼림자원의 효율적 생산과 이용에 대한 정책적 대응 • 삼림구조의 관리 • 수종의 보호 • 삼림서식지의 복원 및 조성	• 원격탐사기법 응용 유추법 • 지리정보시스템을 이용한 분석 • 과정기반모형
• 기후변화에 따른 삼림구조의 변화 분석	• 기후변화에 따른 삼림구조 변화의 예측		• 생장실험 • Forest-gap 모형
• 기후변화에 따른 삼림자원 생산의 변화분석	• 기후변화에 따른 삼림자원 생산량 변화 및 자원경제학적 변화의 예측		• 경제모형 • Demographic모형 • 통합모형 • 통계분석모형
• 기후변화에 따른 삼림 생태계 구조와 기능의 변화분석	• 기후변화로 인한 삼림 생태계의 변화 예측		• Forest-gap 모형

<표 III-2> 삼림영향평가모델 비교

삼림부문의 기후변화 영향평가기법	연구시설 조 건	기술적 요 구	자 료 요구량	국내자료 보유현황	접 근 가능성	적 용 가능성
생물리학 실험	부족	보유	많음	일부보유	중간	중간
시간적 유추법	해당없음	미비	많음	매우낮음	낮음	낮음
공간적 유추법	해당없음	가능	많음	일부보유	중간	중간
전문가 판단	해당없음	보유	중간	일부보유	높음	중간
경험적 생물리학 모형	보유	높음	중간	보유	높음	높음
과정기반 생물리학 모형	보유	높음	매우많음	낮음	높음	중간
경제모형	해당없음	보유	많음	보유	높음	높음

이중 삼림면적의 분포와 변화를 기후변화와 연관하여 예측하는 방법론은 인공위성영상자료를 이용한 원격탐사기법과 지리정보시스템을 이용할 경우 자료 구축 및 활용시 시간을 절약할 수 있으며, 결과의 신뢰성을 높일 수 있다.

삼림영향평가모형을 구동하기 위해서는 여러 가지 자료를 요구한다. 따라서 각 모형별로 필요로 하는 자료량 및 적용가능성에 대하여 < 표 Ⅲ-2>와 같이 비교・분석하였다.

<표 Ⅲ-2>와 같은 비교분석에 기초하여 우리나라에 각 모형을 적용할 경우 현황과 문제점에 대하여 <표 Ⅲ-3>과 같이 정리하였다. 비교분석결과 과정기반 생물리학 모형은 필요로 하는 자료가 많으나, 현재 국내에서 존재하는 자료를 효율적으로 이용한다면 구축이 가능하며, 이의 활용가능성도 높은 것으로 분석되었다.

<표 Ⅲ-3> 삼림부문의 기후변화 영향평가기법의 현황 및 문제점

기 법	현 황 및 문 제 점
생물리학 실험	삼림에의 기후변화를 실험할 수 있는 대규모 시설이 전무한 상태이므로 어려움.
시간적 유추법	국내에는 자료가 매우 부족하고 전문인력이 부족하여 수행이 어려움
공간적 유추법	생물지리학, 원격탐사기법 및 GIS분석으로 접근 가능함
전문가 판단	과학적인 접근이 아니고 다소 주관적일 수 있으나 연구수행 초기방향을 잡는데 유용하므로 Delphi법 등에 의존할 수 있음
경험적 생물리학 모형	생물기상학적으로 접근가능하며 현재 국내에서 보유한 기술과 자료로 접근이 가능함
과정기반 생물리학 모형	수종과 환경에 대한 광범위한 대량의 자료가 요구되므로 현재 국내에 현존하는 자료를 이용하여 구축하는 것은 매우 어려우나 기술적으로 가능함
경제모형	국내 보유자료와 기술로 접근 가능함

제4장 삼림영향평가모형 선정 및 적용방법

1. AIM/Imapct(Korea)모형

가. 모형의 선정

본 연구에서는 기후변화로 인한 삼림의 변화를 예측하고 평가하기 위하여, 1차 년도 연구에서 검토되어 선정된 AIM(Asia-pacific Integrated Model, AIM)/Impact 모형의 일부를 사용하였다. 본 연구를 AIM/Impact 모형에 기초하여 적용한 이유는 다음과 같다.

첫째, 통합성의 고려이다. 현재 전 세계에서 모형으로 인정받고 있는 주요한 모형들은 AIM/Impact 모형과 같이 배출모형, 기후모형, 영향모형간에 유기적인 환류 과정을 가지고 있으며, 각 부분별로 세부 모듈화하여 모듈별로 발전시킬 수 있는 통합모형이다. 따라서 본 연구에서는 향후 여러 영향모형간의 통합성을 고려하고, 각 부문의 특성을 결합시킨 통합모형으로 발전시킬 수 있는 AIM/Impact 모형을 기본 모형으로 선정하였다.

둘째, 적용적정성의 고려이다. AIM/Impact 모형은 전 세계적으로 인정받고 있는 주요한 모형중의 하나이며, 기후, 지형조건이 우리나라와 유사한 일본에서 개발되어 우리나라에의 적용가능성이 높다.

셋째, 신뢰성 및 정확성의 고려이다. 세계적인 흐름으로 볼 때 세계 각국이 지역차원의 영향연구를 진행시키고 있으며, 이 결과를 IPCC와 같은 국제기관에 제출하고 있다. 여기서 연구결과를 인정받고, IPCC 보고서에 인용되기 위해서는 모형의 신뢰성이 인정되어야 한다. 이러한 측면에서 AIM/Impact 모형은 이미 IPCC에서 인정된 모델이다.

본 연구에 이용되는 AIM/Impact 모형의 기본골격은 <그림 Ⅲ-1>과 같다. AIM/배출모형은 저감시나리오, 지구 및 지역별 예측자료가 입력자료로 입력되어, 산출결과가 AIM/기후모형으로 입력된다. 여기에 GCM 결과가 입출력되며 환류하는 과정을 거쳐 목표연도의 기온 및 강수량 자료를 산출한다. 이와 같은 자료가 AIM/Impact 모형으로 입력되어 각 부문별 영향을 예측하는 과정을 거치게 된다. 영향의 예측결과는 다시 AIM/배출모형으로 입력되어 환류하는 과정을 반복적으로 거치게 된다. 이와 같이 AIM 모형은 배출모형, 기후모형, 영향모형이 유기적인 환류과정을 가지도록 설계되어 있어 예측의 신뢰성이 높으며, 적용가능성도 높아 현 시점에서 유용한 모델로 판단된다.

나. 모형의 개발 방향

기후변화 영향평가의 공간적 범위는 매우 광범위하며, 따라서 일본 국립환경연구원의 AIM 프로젝트(AIM/Impact project)의 영향연구는 아시아 및 지구적 차원에서의 광범위한 영향에 초점을 맞추어왔다. AIM 프로젝트의 가장 중요하고도 매력적인 특성 중 하나는 아시아 국가내 연구팀간의 협력이다. AIM/Impact 프로젝트가 지역적인 문제보다는 지구적 영향문제에 더 많은 관심을 기울여왔기 때문에, 프로젝트내의 협력적인 연구팀들의 주요 역할은 국가차원에서 각 국가의 모델을 구축하는 것이라기 보다는 모델 검증을 위한 데이터를 수집하여 지구 모델들을 개량하는 것이었다.

향후 계속적으로 지구적 차원에서의 영향연구(AIM/Impact(Global))를 개량할 필요가 있으며, 영향의 경제성 평가나 대응방안의 고려와 같은 보다 높은 차원의 영향평가가 개발되어지고 향상되어질 것으로 기대된다. 한편, 국가 및 지역차원의 평가에 대한 중요성이 증대되며, 많은 국가들은 기후변화 영향에 대한 효과적인 대응전략을 검토하고 채택하기 시작했다. 기후변화에 대한 대책을 검토하는

데 있어 지구적 차원의 영향평가는 충분한 정보를 제공하지 못하고 있으며, 국가통신과 같은 국제적인 활동들에 대한 영향평가 결과들을 보고해야 하는 각 국가의 역할은 국가차원의 평가에 대한 중요성이 증대되는 이유 중 하나로 보인다. 일반적인 추세와 유사하게, AIM/Impact 프로젝트 내에서도 국가차원의 평가에 더 많은 관심을 기울이자는 협력적 연구팀들로부터의 요구가 증가하고 있다. 이 같은 최근의 경향을 고려하여, AIM/Impact 프로젝트는 AIM/Impact(Global)용으로 개발되어진 모델들을 이용하여 국가차원의 종합적인 영향평가에 유용한 소프트웨어 패키지(AIM/Impact(Country))를 개발하기로 결정하였다. 다행하게도, AIM/Impact(Global) 용으로 개발된 많은 모델들은 모델에 채택된 기본 논리의 대체와 같은 주요한 수정이 없이 국가차원의 영향평가에 적용되어질 수 있다. 이 같은 AIM/Impact(Global)의 이점은 이것의 개발 정책에서 기인한다. AIM/Impact(Global)는 물리적, 지구화학적, 생물학적 과정에 대한 과학적 지식의 서술 및 공간 데이터베이스에 기초한 절차 모델(process model)을 목표로 하고 있다.

국가 차원의 영향분석과 범 아시아 지역의 공동연구를 위해 본 프로젝트의 연구진들은 일본의 AIM/Impact(Country)모형의 개발에 참여하여 한국형 개량형인 AIM/Impact(Korea)의 개발을 위해 공동의 연구를 추진하고 있으며, 이는 본 과제의 연구 범위를 넘어서는 부분들을 포함하고 있다. 그러나 지구 온난화의 영향연구를 위한 마땅한 수단이 부재한 현 시점에서 AIM/Impact(Korea)의 개발 참여는 궁극적으로 향후 연구의 질적 향상과 기후변화에 따른 적응전략으로서 국가정책결정에 활용되도록 정책입안자 및 결정자들에게 중요한 과학적인 자료를 제공 가능할 것으로 기대된다.

본 과제는 AIM/Impact(Korea)의 첫 번째 버전의 삼림부분 영향모델을 이용하여 수행하게 될 것이며, 종합적인 국가 영향평가를 파악하기 위해 모델을 작동시킴으로써 모형의 적합성을 철저히 검토하게 될 것이다. 일본 국립환경연구원의 AIM/Impact 연구진과의 계속적인 공동연구를 통하여 개량되어질 모델의 두 번

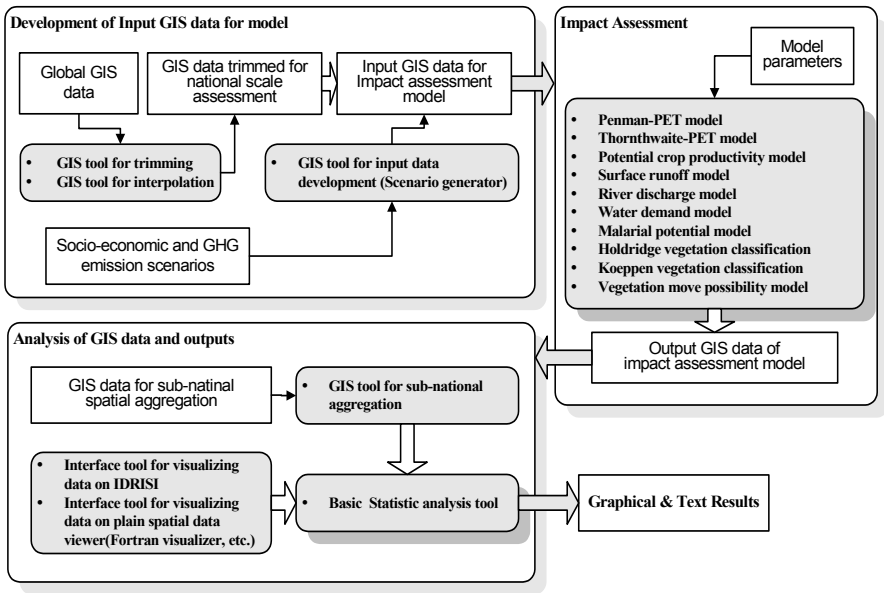
째 버전은 연구자들, 상황에 따라서는 기후변화 영향평가에 관심이 있는 정부 공무원들에게 보다 대중적으로 배포될 것이다. 모델 패키지를 제공하는 대가로, 그들이 성공적으로 모델 패키지를 이용하였을 경우 사용자들은 원천적으로 수집된 국가 데이터와 평가 결과를 제공할 것을 요구받는다. 이같은 모델 패키지의 개발과 배포과정을 통해 유사한 비평적 사고방식을 지닌 연구자들의 국제적 네트워크 구축뿐만 아니라 국가차원의 연구 요구들과 데이터 이용가능성에 대한 파악이 기대된다.

AIM/Impact(Global) 모델은 UNIX 운영체제(Sun-OS 또는 Linux), 특정 GIS 소프트웨어(GRASS), C 그리고 FORTRAN 프로그래밍 언어에 대한 지식과 컴퓨터 환경의 이해를 요구하였다. 이는 새로운 사용자가 모델을 이용한 분석에 착수하기 전에 많은 경제적, 시간적 비용을 지불해야 한다는 것을 의미한다. 이러한 단점을 극복하기 위해 AIM/Impact(Korea) 모델의 개발은 Windows 환경의 개인용 컴퓨터에서 작동되게 될 것이며, 사용자에게 친숙한 인터페이스와 상세한 매뉴얼이 패키지에 포함된다. 또한 기존의 입력데이터와 기본적인 분석에 요구되는 모델 변수들이 함께 포함되어져 있다. 평가결과를 이해하는데 있어 데이터와 결과들의 시각화가 매우 중요하기 때문에, 범용적인 GIS 프로그램 IDRISI에 대한 인터페이스가 포함된다. IDRISI를 구비하지 않은 사용자들을 위해, 평면 공간데이터 뷰어 소프트웨어가 패키지내에서 제공되어질 것이다.

다. AIM/Impact(Korea) 모형의 구조

AIM/Impact(Korea)는 영향 모델, 도구, 데이터베이스, 시각화 모듈 그리고 이같은 요소들을 통합적으로 구동시키는 사용자 인터페이스들의 모음이다. AIM/Impact(Korea)는 국가차원에서 다양한 부문들에 대한 기후변화의 영향을 평가하기 위해 사용된다. <그림 Ⅳ-1>은 패키지 요소들(데이터, 모델, 도구, 변수

등)과 그들의 관계를 나타내는 AIM/Impact(Korea)의 틀을 보여준다. 몇몇 부문의 영향평가 모델들이 패키지에서 가장 중요한 부분이다(<그림 Ⅳ-1>의 오른쪽 위 음영으로 채색된 사각형 부분). 패키지 내에 포함된 도구와 데이터베이스는 영향평가 모델에 대한 입력데이터의 개발(<그림 Ⅳ-2>의 왼쪽 위 점선으로 된 사각형 부분)과 평가 결과물의 공간적, 수치적 분석(<그림 Ⅳ-3>)을 지원한다.



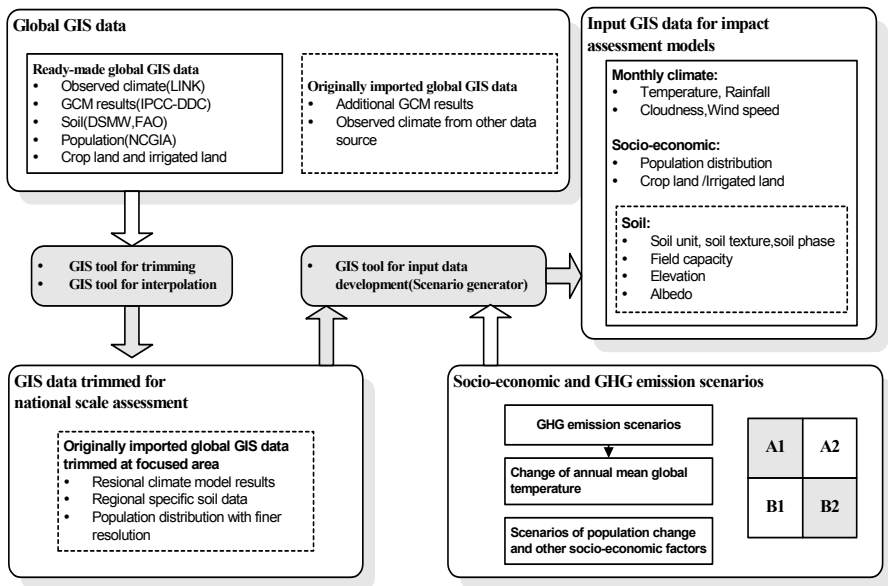
<그림 Ⅳ-1> AIM/Impact(Korea) 모형의 구조

라. AIM/Impact(Korea) 모형의 세부 개발 내용

1) 영향연구를 위한 GIS-Database의 구축

<그림 Ⅳ-2>는 영향평가 모델에 대한 입력 GIS 데이터의 개발과정을 보여준다. 입력 데이터를 개발하기 위해, 패키지 내에 포함된 기존의 지구 GIS 데이터뿐만 아니라 사용자에 의해 개별적으로 수집된 지역 데이터가 사용될 수 있다.

국가차원의 평가를 위해 기존의 지구 GIS 데이터는 비관심 지역을 잘라내는 그리고 공간적 내삽을 허용하는 GIS 도구를 사용하여 잘려진 GIS 데이터로 변환된다. 그리고, 입력데이터 개발을 위한 GIS 도구(시나리오 생성자)를 사용함으로써 미래 개발 시나리오들의 불확실성을 고려하는 영향평가 모델에 대한 입력 GIS 데이터가 생성된다. 패키지내에 포함된 기성 GIS 데이터와 잘라내기, 내삽과 같은 과정을 거쳐 생성된 GIS 데이터는 동일한 데이터 형식을 가지며, 함께 AIM/Impact(Korea) 데이터베이스를 형성한다.

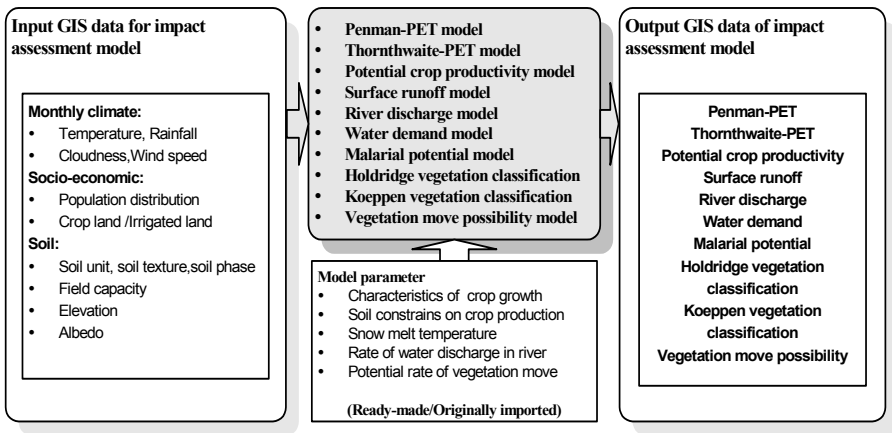


<그림 Ⅳ-2> 영향평가 모형을 위한 입력 자료제작 흐름

2) 기후변화 영향 평가 모형

<그림 Ⅳ-3>은 영향평가 모델과 그들의 데이터 및 변수들을 보여준다. AIM/Impact(Korea)는 Penman-PET, Thornthwaite-PET, 표면유출, 하천유출, 물수요, 잠재적 곡물 생산성, Holdridge 식생분류, Koeppen 식생분류, 식생이동 가능성 및 말라리아 잠재성 등의 영향평가 모델들을 포함한다. 각각의 모델은

MS-Windows 명령 프롬프트로부터 개별적으로 실행되어질 수 있는 하나의 프로그램을 형성한다. 입력데이터와 모델 변수들이 명령라인의 선택 사항으로 상술되어지는 반면, 사용자는 입력데이터 개발에서부터의 연속적인 작동으로서 통합된 사용자 인터페이스를 통해 또한 명령을 실행할 수 있다. 입력 GIS 데이터와 유사하게, 모델의 출력 GIS 데이터가 AIM/Impact(Korea) 데이터베이스에 부착된다.

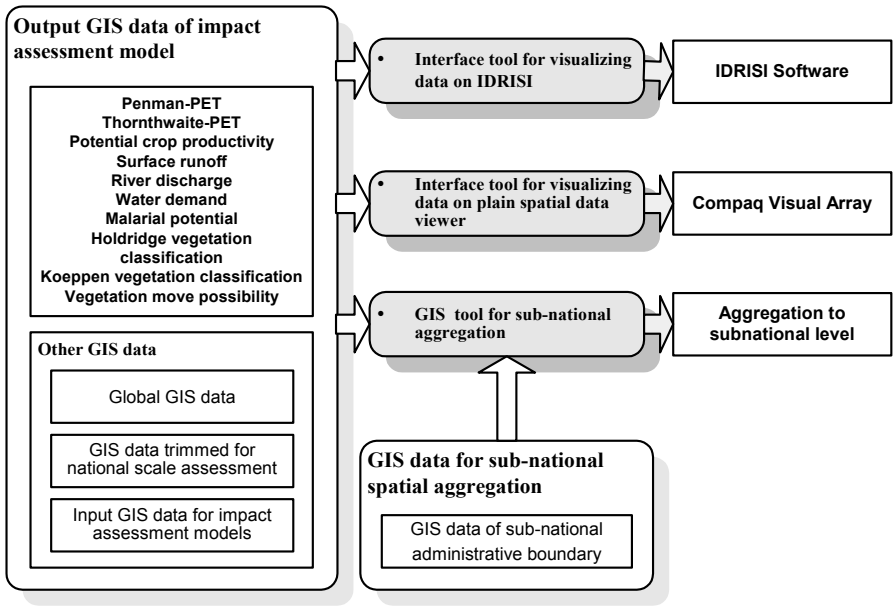


<그림 Ⅳ-3> AIM/Impact(Korea) 모형의 영향 평가 모델들

3) GIS-Data의 분석과 결과물

<그림 Ⅳ-4>는 GIS 데이터의 분석을 위한 모듈과 과정 그리고 결과물을 보여준다. 시각화 모듈은 IDRISI-GIS 또는 평면 공간데이터 뷰어 상에서 AIM/Impact(Korea) 데이터베이스내의 GIS 데이터를 시각화하는 인터페이스를 제공한다. IDRISI 상에서 데이터를 시각화하는 인터페이스 도구는 통합된 사용자 인터페이스로부터 직접 IDRISI-API(Application Program Interface)를 통해 IDRISI 소프트웨어를 제어한다. 평면 공간데이터 뷰어 상에서 데이터를 시각화하는 인터페이스 도구는 GIS 데이터를 그래픽하게 보여주기 위해 COMPAC Visual Array Viewer를 제어한다. 하위-국가 통합용 GIS 도구는 국가의 하위 행

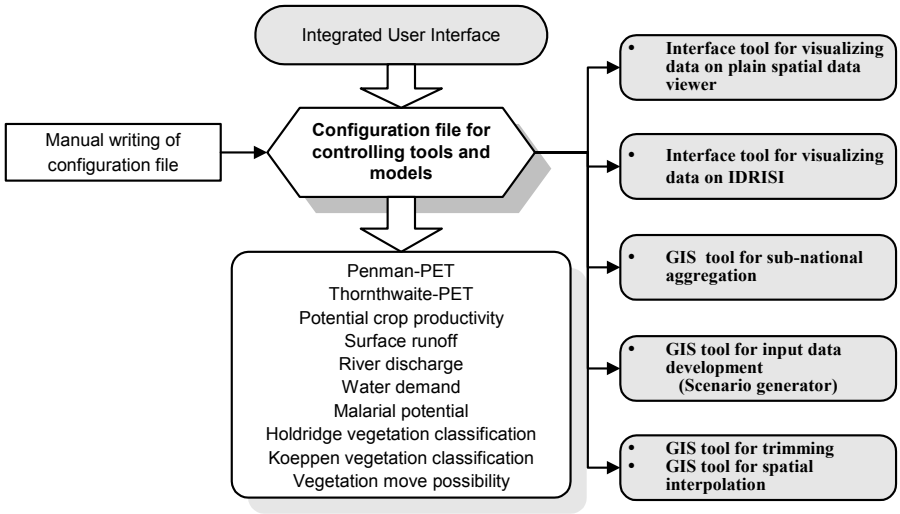
정구역에 대한 평균값 테이블을 작성하기 위해 GIS 데이터의 평균을 낸다.



<그림 Ⅳ-4> GIS 자료와 결과물의 분석

4) 기타(사용자 통합 입출력 환경)

<그림 Ⅳ-5>는 AIM/Impact(Korea) 내에서 도구와 모델들이 어떻게 제어되는지, 특히 통합된 인터페이스가 어떻게 작동되는지를 보여준다. MS Visual Basic 내에서 코딩된 형태인 통합된 사용자 인터페이스는 도구와 모델을 제어하기 위한 구성파일을 생성하는데 사용될 수 있다. 모델을 구동시키기 위한 정보는 ASCII 형태로 쓰여진 구성파일 내에 기록되며, 이 파일은 구동이 시작될 때 읽혀진다. 구성파일이 ASCII 형태로 쓰여졌기 때문에 이는 notepad와 같은 문서편집 소프트웨어에서 생성 또는 수정되어질 수 있다. 구성파일의 직접적인 수정은 통합된 사용자 인터페이스 형태 내에서 채워야 할 귀찮은 과정을 생략함으로써 모델 패키지에 익숙한 사용자들의 시간을 절약할 수 있을 것이다.



<그림 Ⅳ-5> AIM/Impact(Korea)의 통합 GUI

2. 기온상승시나리오

가. IPCC IS92 시나리오

IPCC 시나리오에 의하면 1990년도를 기준으로 2100년에는 CO_2가 35-170%, CH_4는 22-175%, N_2O는 26-40% 증가하는 것으로 나타났다(IPCC, 1995).

지구대기 조성변화에 따른 기후변화예측은 IPCC를 중심으로 이루어지고 있다. IPCC는 6개의 표준이 되는 배출 시나리오(IS92a-f)를 제시하였고, 기준 시나리오인 IS92a에 따르면, 기준년도인 1990년도의 CO_2농도는 약 350 ppmv이고 100년 후인 2090년에는 약 670ppmv가 될 것으로 추정된다. IS92a 시나리오에 따른 기후변화 예측결과, 향후 100년 동안에 전 지구의 평균온도는 2.5℃ 상승할 가능성이 가장 높으며, 1.5-4.5℃ 범위에서 상승할 것으로 예측된다(IPCC, 1992). 에어로졸 효과를 고려하면, 2.0℃ 상승 가능성이 가장 높게 나타난다. 이들 시나

리오의 산출에 사용된 주요내용은 <표 Ⅳ-1>에 정리하였다.

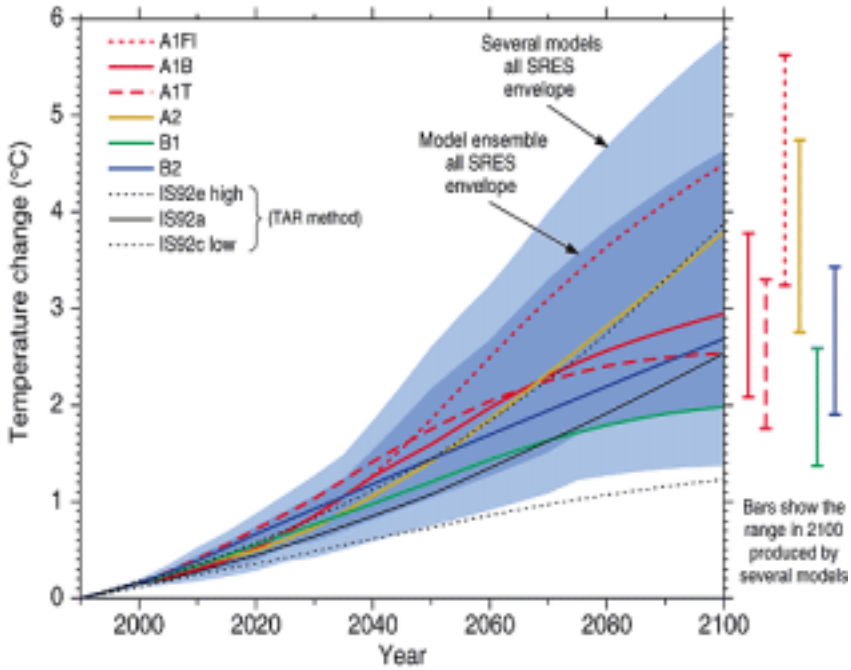
<표 Ⅳ-1> IPCC 1992 시나리오 요약

시나리오	2100년 세계인구	경제 성장률	에너지공급	기타	CFCs
IS92a	세계은행 (1991) 113억	1990-2025: 2.9% 2025-2100: 2.3%	석유 12000EJ 천연가스 13000EJ 태양에너지비용은 0.75$/Kwh로 하며, 연당 191EJ의 바이오매스연료는 70$/배럴(=6GJ)로 산정	SOx, NOx, NMVOC의 배출규제가 입법화되고, 국제적인 합의가 이루어지며, 개발도상국의 SOx, NOx, CO 배출감소노력이 다음세기중반까지 이루어짐	몬트리올 의정서의 부분적 준수, 기술이전의 결과 비협약국도 2075년까지 CFC를 단계적으로 전폐함
IS92b	세계은행 (1991) 113억	1990-2025: 2.9% 2025-2100: 2.3%	IS92a와동일	IS92a와 함께 많은 OECD국가들이 이산화탄소 감소 또는 안정화	범지구적으로 몬트리올 의정서의 일정 준수
IS92c	UN (1991) 중저경우 64억	1990-2025: 2.0% 2025-2100: 1.2%	석유 8000EJ 천연가스 7300EJ 원자력비용은 연간 0.4% 감소	IS92a와동일	IS92a와동일
IS92d	UN (1991) 중저경우 64억	1990-2025: 2.7% 2025-2100: 2.0%	석유와 천연가스는 IS92c와 같으며, 태양에너지비용은 0.065$/Kwh, 바이오매스연료는 50$/배럴	CO, COx, NMVOC와 SOx에 대한 배출규제가 전 세계적으로 확산 삼림벌채 멈춤	공업국은 1997년까지 CFC생산을 전폐하고 HCFC도 전폐
IS92e	세계은행 (1991) 113억	1990-2025: 3.5% 2025-2100: 3.0%	석유 18,400EJ, 천연가스는 IS92a와 같으며, 원자력은 2075년까지 전폐	화석에너지비용을 30% 증가시키는 배출규제	IS92d와동일
IS92f	UN (1991) 중고경우 176억	1990-2025: 2.9% 2025-2100: 2.3%	석유와 천연가스는 IS92e와 같으며, 태양에너지비용은 0.75$/Kwh, 원자력비용은 0.09$/Kwh로 증가	IS92a와동일	IS92a와동일

자료 : IPCC. 1992. *Climate Change 1992 : The supplementary report to the IPCC Scientific Assessment.* J. T. Houghton, B. A. Callander and S. K. Varneyl, Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp.331~339.

IPCC의 WGIII는 2000년 보고서에서 기술의 발달과 에너지 사용과 관련하여 IS92 시나리오의 결점을 보완하는 SRES (Special Report on Emission Scenario)

시나리오를 제안하였다. 이러한 다양한 시나리오는 <그림 Ⅳ-6>과 같이 IPCC에서 제시한 IS92a 시나리오의 기후 변화와 많은 차이를 나타낸다. <그림 Ⅳ-6>은 6가지 SRES 시나리오군의 지구 평균온도변화를 7가지 대기해양결합 대순환모형의 기후결과로 단순기후모형을 이용하여 나타낸 것으로 IS92 시나리오의 결과와 비교한 것이다.



<그림 Ⅳ-6> 시나리오에 따른 1990년에서 2100년까지의 기온변화

자료 : IPCC. 2000. 『Summary for Policymakers : Emission Scenarios』, A Special Report of IPCC Working Group Ⅲ, p.10.

2차 연도인 2001년도에는 대기대순환모형(GCM)의 확보가 용이한 IS92a 시나리오를 이용하여 분석을 수행하였다. IS92a 시나리오에 의한 GCM은 IPCC-DDC(Data Distribution Center)에서 제공되고 있다.

3차 연도인 2002년도에는 SRES에 의한 대기대순환모형 결과를 확보하여 다양

한 시나리오별 영향 연구를 수행하였다.

나. SRES 시나리오

IPCC가 개발한 1990년과 1992년의 시나리오는 지구온난화로 인한 영향연구와 기후변화 완화를 위한 옵션연구에 폭 넓게 사용되어 왔다. 1995년 IPCC 1992시나리오가 평가되었고, 평가단은 배출구동력의 이해와 제안된 방법론들에 대한 중요한 변화들을 제안하였다. IPCC는 1994년 IS92 시나리오들은 지구적 그리고 지역적 토대에서 온실가스와 SO_2의 발생에 대해 혁신적이라 밝혔다. 그러나 6개의 IS92 시나리오에 반영되어 있는 에너지에 대한 CO_2강도(단위 에너지당 CO_2 배출량)가 제한되어 있다는 것과 한 세기가 지났음에도 선진국과 개발도상국간의 수입격차에 중요한 종지부를 짓는 어떠한 시나리오도 없다는 등 많은 결점들도 발견되었다(Parikh, 1992).

예를 들어, 1994년 IS92 시나리오 시리즈에 대한 평가(Alcamo et al., 1995)에서는 경제협력개발기구(OECD) 가입국들에서 나온 배출량이 미국에서의 대기조약(Clean Air Act) 개정안이나 2차 유럽유황규약(Second European Sulfur Protocol)과 같은 최근의 법적 변화를 반영하지 못하고 있다는 것이다. 따라서, 기후변화외의 요소들 즉, 지역적·지방적 대기질과 같은 것들은 지구온난화의 관심과는 별도로 향후 SO_2배출 제한을 상당히 고무시키게 될 것이다. 구소련의 신생독립국 및 중·동부 유럽들에 있어서의 체제개편 또한 IS92 시나리오들이 예상하지 못했던 CO_2감축과 경제활동에 막강한 영향력을 끼치고 있다. 또한, 통합평가(IA) 모델의 도입은 에너지사용, 경제, 토지이용변화간에 상호작용을 연관지어 고려할 수 있도록 하는 내부적으로 견실한 배출 시나리오를 가능하게 하였다. 어떤 통합평가는 온실가스와 SO_2 배출량의 추진력과 기후변화의 예상 영향간의 양방향 상호작용을 설명하고 있다. 여러 부문들에서 기술적 변화속도와 같

은 시나리오 특성간 일관성을 반영하는 등의 진보가 이루어졌다.

이러한 발전에 기인하여 1994년 IS92 시나리오들에 대한 IPCC의 검토보고서는 만약 새로운 시나리오가 개발된다면 아래와 같은 점들을 포함시켜야 할 것이라고 결론지었다.

- ○ 배출 기준선 및 향후 non-CO_2배출량(특히 토지이용에서 배출되는)의 예측
- ○ 전 세계에 걸쳐 이루어지고 있는 경제개편에 대한 최신정보 통합
- ○ 개발도상국가와 산업국가들간의 수입격차를 좁히는 일을 포함하여 경제개발의 선로범위를 확장
- ○ 기술변화 속도 및 다양한 기술동향 검토
- ○ 무역 및 시장자유화, 민영화에 따른 예상결과 평가
- ○ UNFCCC(United Nations Framework Convention on Climate Change 1997)와 연계된 현행 배출량에 대한 책임 반영

<표 Ⅳ-2> 온실가스와 오염물질사용에 관한 SRES Storyline 설명

Storyline	설 명
A1	매우 급격한 경제성장; 세기 중간에 인구최고점 도달; 지역간 사회, 문화, 경제의 교류증대; 시장구조가 우세함 ※ A1FI - 화석연료 의존형, A1T-비화석연료 의존형, A1B- 모든 에너지 조화형
A2	독립적 사회; 지역의 특성보존; 꾸준한 인구증가; 지역규모의 경제성장
B1	청정하고 효율적인 기술사용; 물질이용의 감소; 경제, 사회, 환경의 지속을 위한 지구적 해결책에 관심; 개선된 평등성; 세기중간에 인구최고점 도달
B2	지속성에 대한 지역적 해결; A1에 비해 인구증가율은 낮으나 꾸준한 인구증가; B1, A1에 비해 늦은 기술변화

이러한 요구에 의해 SRES 시나리오가 제안되었으며, 각국의 온난화 영향 연구그룹들에 의해 IS92 시나리오들을 대체하여 이용되고 있다. 하지만 이 SERS 시

나리오 역시 기후변화를 감소시키기 위해 특별히 고안된 추가조치, 수단, 정책들을 분명히 배제하고 있는 실정이다. SRES 시나리오들은 다양한 사회적, 경제적, 기술적, 환경적, 그리고 정책적 측면에서의 개발을 보여주는 스토리라인들에 의해 분류된다. 이들은 간단하게 A1, A2, B1, B2로 분류되며 각각의 특징은 <표 Ⅳ-2>와 같다.

○ A1 스토리라인 및 시나리오 군
- 빠른 경제성장, 낮은 인구성장, 그리고 보다 효율적인 신기술의 빠른 도입이 이루어질 경우를 보여주고 있다. 주요 기본주제는 지역간의 수렴성, 수용력의 증대, 개인소득의 지역적 편차가 점진적으로 감소하고 문화적·사회적 교류가 증대하는 것이다.
- A1 시나리오 군은 에너지시스템의 기술적 변화방향의 차이를 설명하는 3가지 그룹으로 발달된다. 3가지 A1 그룹은 기술적으로 화석연료를 강조하는 A1FI 그룹, 비화석 연료원인 A1T 그룹, 모든 에너지원이 조화를 이루는 A1B 그룹으로 구분된다.

○ A2 스토리라인 및 시나리오 군
- 매우 이질적인 세계를 그리고 있다. 기본 주제는 자가신뢰 및 지역 특성의 보존이다. 지역에 걸쳐 나타나는 출생 패턴은 매우 느린 것으로 수렴되며 그 결과 높은 인구성장이 초래되는 경우이다.
- 경제개발은 주로 지역 기반으로 이루어지게 되며 일인당 경제 소득 증대 및 기술변화는 보다 단편화되어 다른 어떤 스토리라인에서보다 더욱 느린 특성을 갖게 된다.

○ B1 스토리라인 및 시나리오 군
- A1 스토리라인과 같이 낮은 인구성장을 보여주지만 경제 구조에서 물질

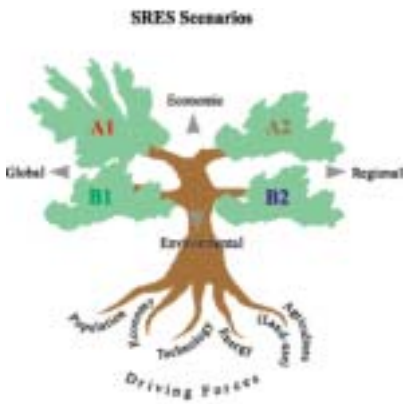
적인 부분은 감소하고 서비스와 정보 경제로 변화하며, 청정하고 자원 효율적 기술들이 사용되는 세계를 묘사하고 있다.

- 이는 향상된 질을 갖추고 있지만 추가의 기후적 조치는 없는 사항들을 포함하면서 경제적, 사회적, 그리고 환경적 지속성에 대한 지구적 해결에 관심을 두고 있다.

○ B2 스토리라인 및 시나리오 군

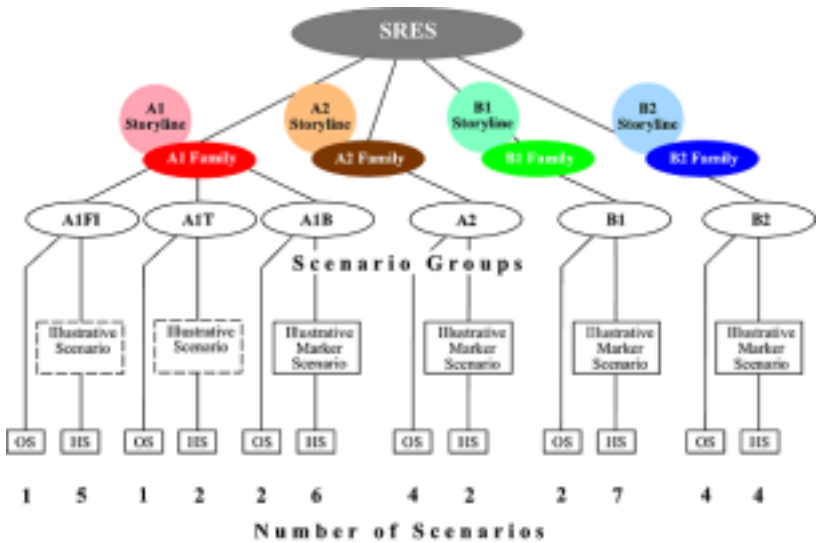
- 경제적, 사회적, 환경적 지속성에 대한 지역적 해결에 관심을 두고 있는 세계를 묘사하고 있다.
- 이는 완만한 인구성장, 중간적인 경제개발, 그리고 B1 및 A1 스토리라인에서 보다는 덜 빠르고 더 다양한 기술변화를 갖춘 세계이다.
- 이 시나리오는 환경보호 및 사회적 평등을 지향하므로 지역적 수준 및 지방적 수준에 초점을 맞추고 있다.

<그림 Ⅳ-7>은 SRES 시나리오를 도식적으로 나타낸 것으로 2차원 나무의 가지가 세부적인 4개의 시나리오 군(families)을 보여주고 있다.



<그림 Ⅳ-7> SRES 시나리오의 모식도.

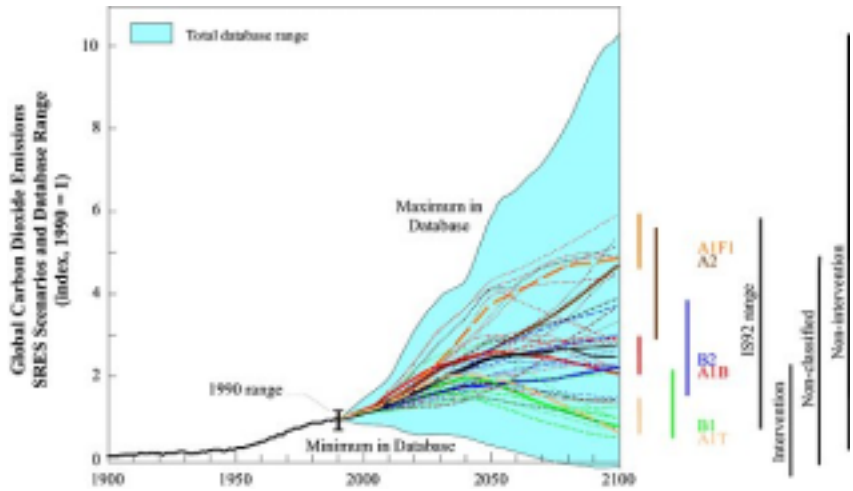
<그림 Ⅳ-8>에서 보는 바와 같이 SERS의 네 개 스토리라인은 각각에 대한 기본 특성 및 추진력에 따라 모델화 및 정량화 되어 40개의 시나리오들이 도출되었으며, 각각은 스토리라인의 대안적 해설 및 정량화를 구성하고 있다.



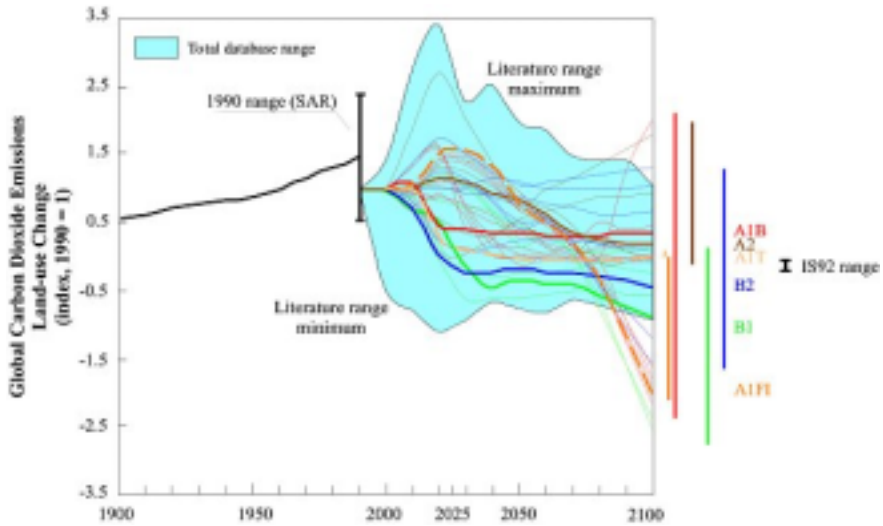
<그림 Ⅳ-8> SRES 시나리오의 개념도

4가지 정량적인 스토리라인은 "군(Family)"이라 불리는 A1, A2, B1, B2의 4가지 그룹을 만든다. 40개 SRES시나리오 모두는 6가지 모형조직에 의해 개발되었다. 시나리오들은 4가지 군에서 나온 6가지 시나리오 그룹으로 이루어진다. A2, B1, B2에 각각 한 개의 그룹이 존재하며, 에너지 기술의 개발 특성에 따라 A1군에 3개의 그룹이 존재한다.[3] <그림 Ⅳ-9>는 4개 시나리오 군의 배출범위와 문헌에서 찾을 수 있는 시나리오의 분포에서 가장 극단적인 시나리오를 제외한 백분위수 5번째에서 95번째까지를 나타내었다.

3) A1FI (화석연료중심), A1B (균형유지), A1T (비화석 연료우세)



(a) 1900년에서 1990년까지 에너지, 산업에 관련한 지구 CO_2 배출(1990년의 상태를 1로 함)

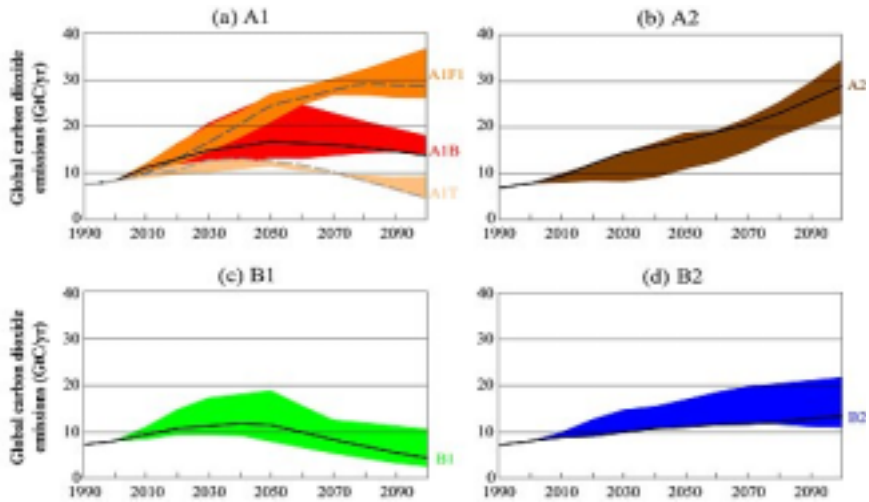


(b) 1900년에서 1990년까지 토지이용 변화와 관련한 CO_2 배출(1990년의 상태를 1로 함)

<그림 Ⅳ-9> 1990년에서 2100년까지 40개 SRES 시나리오

<그림 Ⅳ-9>의 (a) 오른편에 있는 4개의 검은색 막대는 IS92시나리오의 2100년

배출범위를 나타낸 것과 SRES 데이터베이스에서 나타나는 문헌상의 시나리오들의 3가지 범위를 나타낸 것이다. 이 3가지 범위들은 몇 개의 추가적인 기후 시작 조건을 포함하는 경우("intervention" 시나리오)와 그렇지 않는 경우 ("non-intervention"), 어떠한 범주에도 포함되지 않는 경우("non-classified")로 지정된다. 이러한 분류는 데이터베이스 내의 시나리오에 대한 주관적 평가에 기초하며 단지 에너지와 산업의 CO_2 배출만을 대상으로 한 것이다.



<그림 Ⅳ-10> 모든 배출원(에너지, 산업, 토지이용)으로부터 생산되는 지구의 CO_2 연간 총배출량(GtC/yr)

<그림 Ⅳ-10>에서 40개의 SRES 시나리오는 4개 시나리오 군(A1, A2, B1, and B2), 총 6개 시나리오그룹으로 나타난다. 색칠된 지역은 조화된 시나리오와 비조화 시나리오의 범위를 나타내며 6개의 시나리오그룹에 대해 예증 시나리오가 제공된다. 실선은 4개의 예증 표적 시나리오(A1, A2, B1, B2)와 점선은 A1FI 예증 시나리오와 A1T 예증 시나리오를 나타낸다. <표 Ⅳ-3>은 현재 IPCC-DDC에서 이용 가능한 SRES 시나리오에 의한 GCM들을 나타낸 것이며, 음영으로 표시된 것이 본 연구에서 사용한 SRES 시나리오 및 GCM 결과물이다. <표 Ⅳ-4>는

SRES 시나리오에 의해 제공되는 GCM별 상세정보를 나타낸 것이다.

<표 Ⅳ-3> IPCC-DDC에서 제공 가능한 SRES 시나리오를 이용한 GCM Output

센터	약어	모형	SRES 시나리오						모의 기간
Max Planck Institute fur Meteorologie	MPIfM	ECHAM4/OPYC3				A2		B2	1990-2100
Hadley Centre for Climate Prediction and Research	HCCPR	HadCM3				A2		B2	1950-2099
Australia's Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation	CSIRO	CSIRO-Mk2	A1			A2	B1	B2	1961-2100
National Centre for Atmospheric Research	NCAR	NCAR-CSM				A2			2000-2099
		NCAR-PCM				A2		B2	A2:1980-2099, B2:2000-2099
Canadian Center for Climate Modelling and Analysis	CCCma	CGCM2				A2		B2	1900-2100
Center for Climate Research Studies (CCSR) National Institute for Environmental Studies (NIES)	CCSR/NIES	CCSR/NIES AGCM+CCSR OGCM	A1	A1F1	A1T	A2	B1	B2	1890-2100

주 : ▭ : 분석에 사용된 SRES 시나리오 및 GCM모형

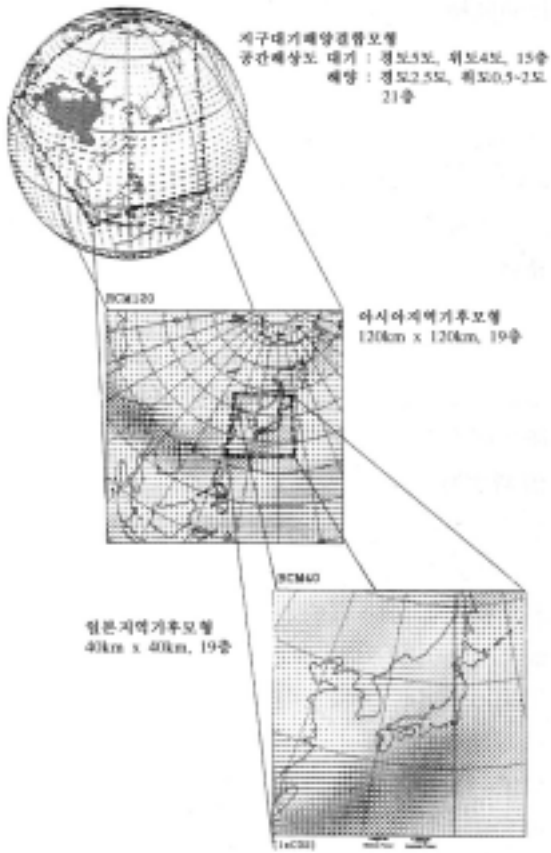
<표 Ⅳ-4> SRES 시나리오결과의 격자정보

SRES ID	Acronym	Model	Dimension	위도 저장 방향	경도 저장 방향
1	MPIfM	ECHAM4/ OPYC3	nlon=128, nlat=64 (8192mesh)	N→S	W→E
2	HCCPR	HADCM3	nlon=96, nlat=73 (7008mesh) nlon=96, nlat=72 (6912mesh,wind)	N→S	W→E
3	CSIRO	CSIRO-Mk2	nlon=64, nlat=56 (3584mesh)	S→N	W→E
4	NCAR	NCAR-CSM	nlon=128, nlat=64 (8192mesh)	S→N	W→E
		NCAR-PCM	nlon=128, nlat=64 (8192mesh)	S→N	W→E
5	CCCma	CGCM2	nlon=96, nlat=48 (4608mesh)	S→N	W→E
6	CCSR/ NIES	CCSR/NIES AGCM+CCSR OGCM	nlon=64, nlat=32 (2048mesh)	N→S	W→E

주 : : 분석에 사용된 SRES 시나리오 및 GCM모형

3. 대기대순환모형과 지역대기순환모형

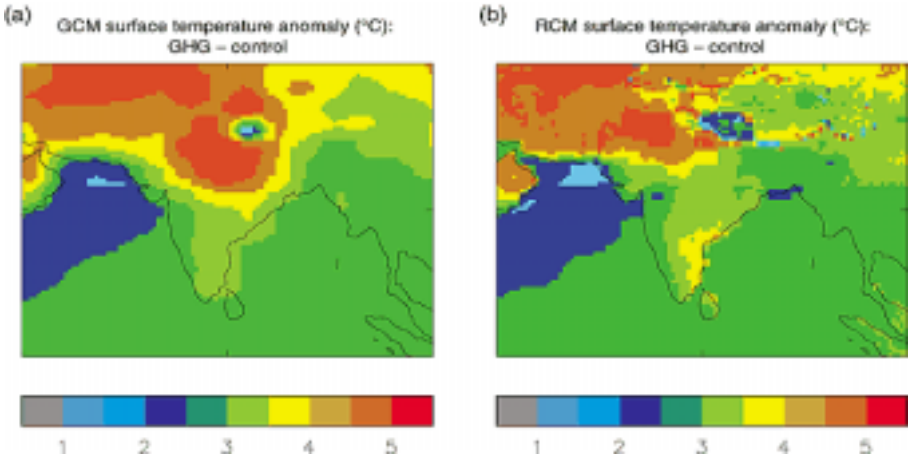
또한 IPCC WG I 은 국가단위와 같은 작은 지역의 기후변화와 영향연구를 위해 GCM의 다운스케일링을 제안하고 있다. 제안하고 있는 다운스케일링의 방법의 한가지인 지역순환모형(Regional Circulation Model, RCM)은 <그림 Ⅳ-11>과 같이 GCM의 결과를 경계부 입력치로 하여 물리적인 모델링을 수행하여 보다 조밀한 공간분해능을 가지는 기후모형결과를 제공하는 것이다.



<그림 Ⅳ-11> 일본기상연구소의 2중 지역기후모형 개념도

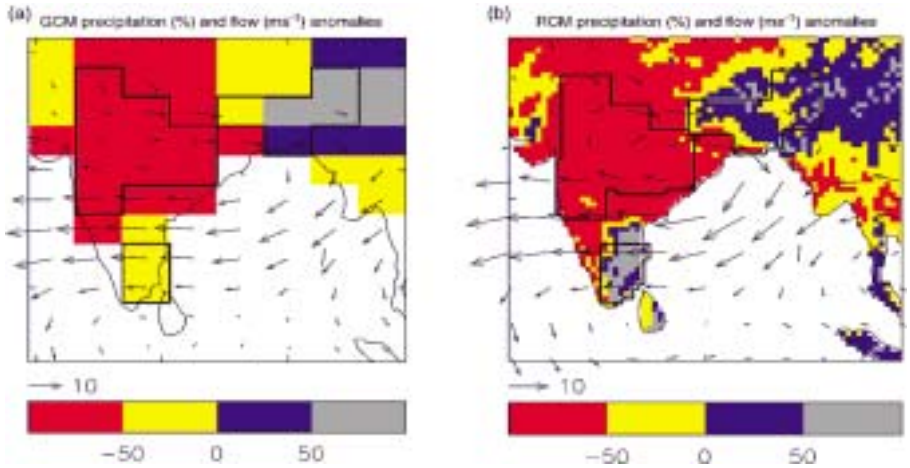
자료 : Sato et al. 1999. "A 2×CO_2 regional climate prediction experiment over Japan in winter with MRI regional climate model" *Abstracts volume of the Workshop on "Development of High Resolution Climate Model*. IUGG 1999, Birmingham, U.K. p.299.

<그림 Ⅳ-12>와 <그림 Ⅳ-13>은 인도몬순지역에 대해 GCM의 결과와 RCM의 결과가 어떻게 달라지는 것인가를 나타낸 것이다. 우리나라와 같이 좁은 지역의 연구시 GCM의 단순한 공간 통계적인 다운 스케일링이 포함할 수 있는 문제점을 알 수 있다. 따라서 다운 스케일링시 지형적인 요건을 감안할 수 있는 방법론의 활용이 필수적으로 고려되어야 한다.



<그림 Ⅳ-12> GCM과 RCM을 이용한 인도몬순지역의 현재기후와 2040년에서 2050년 사이의 겨울철 지표면 온도변화차이(℃)

자료 : Hassell, D. and R.G. Jones. 1999. *Simulating climatic change of the southern Asian monsoon using a nested regional climate model (HadCM2)*. HCTN 8, Hadley Centre for Climate Prediction and Research, London Road, Bracknell, UK.



<그림 Ⅳ-13> GCM과 RCM을 이용한 인도몬순지역의 상대적인 강우차이(%)

자료 : Hassell, D. and R.G. Jones. 1999. *Simulating climatic change of the southern Asian monsoon using a nested regional climate model (HadCM2)*. HCTN 8, Hadley Centre for Climate Prediction and Research, London Road, Bracknell, UK.

그러나 아직 신뢰할 수 있는 RCM 연구 결과들이 공급되지 못하고 있다. 이에 따라 모델의 개발을 위한 다양한 시나리오의 적용한계로 본 연구에서는 미래 기후자료를 IPCC 자료제공센터에서 권장하는 IS92a(중위시나리오)의 GCM들을 공간 통계적인 방법을 통해 변환하였다. <표 Ⅳ-5>는 연구에서 이용된 GCM 자료의 상세 내역이다.

<표 Ⅳ-5> IPCC-DDC에서 공급되는 GCM(IPCC-TGCIA,1999)

	CCSR /NIES	CCCma	CSIRO MK2	GFDL -R15	HadCM2	ECHAM4	NCAR -DOE
연구소명	Toko University National Institute for Environmental Studies, Japan	Canadian Center for Climate Modelling and Analysis	Australia's Common Wealth Scientific and Industrial Research Organization	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, USA	Hadley Centre for Climate Prediction and Research UK	Deutsches Klimarechezentrum, Germany	National for Atmospheric Research, USA
해상도 (A-GCM)	5.625° × 5.625° 20 Layer	3.75° ×3.75° 10 Layer	5.625° ×3.214° 9 Layer	7.5° ×4.5° 9 Layer	3.75° ×2.5° 19 Layer	2.8125° ×2.8125° 19 Layer	7.5° ×4.5° 9 Layer
해상도 (O-GCM)	2.8° ×2.8° 17 Layer	1.8° ×1.8° 29 Layer	5.6° ×3.2° 21 Layer	3.75° ×4.5° 12 Layer	3.75° ×2.5° 20 Layer	5.6° ×5.6° 11 Layer	1.0° ×1.0° 20 Layer
격자수	64×32	96×48	64×56	48×40	96×73	128×64	48×40
CO_2농도 (control run)	345ppmv	295ppmv	330ppmv	300ppmv	323ppmv	354ppmv	330ppmv
CO_2농도 (transient run)	1%/yr	1%/yr	0.9%/yr	1%/yr	1%/yr	1%/yr	1%/yr
모의기간 (control run)	1890-2099 210yr	1900-2100 200yr	1881-2100 219yr	1958-2057 100yr	1860-2099 240yr	1890-2099 240yr	1901-2036 136yr
기후감도 (△T)	3.5℃	3.5℃	4.3℃	3.7℃	2.5℃	2.6℃	4.5℃
참조	Emori *et al.*, 2000	Reader and Boer, 1998	Hirst *et al.*, 2000	Manabe & Stouffer,1996	Johns *et al.*,1997	Roeckner *et al.*, 1996	Meehl, 2000

주 : 기후감도(△T) : CO_2 배증시 평형상태에 도달한 지표면온도,

□ 2차년도 연구에 이용된 GCM

자료 : Takahashi *et al.* 1998. "Development of Climate Change Scenarios for Impact Assessment using results of General Circulation Model simulation" *J. of Global Environmental Engineering* 4:1-8

본 연구에서는 IPCC의 자료 공급 센터에서 공급하고 있는 다양한 GCM 자료들중 2100년을 목표년도로 하여 모의된 5가지 GCM(CCSR/NIES, CCCma, CSIROMK2, HadCM2, ECHAM4)을 이용하여 한반도주변을 포함하는 0.1°간격의 기후자료를 생성하였다. 1단계로 GCM은 일본 국립환경연구소 AIM 팀에서 사용했던 보간 방법과 동일하게 기온에 대해서는 spline 보간, 강수량은 거리자승역산가중 보간법(Inverse Distance Squared Weighting, IDSW)을 이용하여 0.5°간격의 자료를 생성하였다. 보다 세밀한 변화 양상을 표현하기 위해 한반도 지역에 대해, 1단계에서 제작된 결과물을 경위도 0.1°인 약 10km 해상도의 자료로 제작하였다. 이 때 기온은 거리 가중보간방법을 이용하였으며 강수량은 공간통계기법(Kriging)을 이용하였다. 제작된 기온자료는 과다한 공간보간으로 인한 기온 분포의 편차가 줄어드는 현상을 해소하고 지형 고도의 영향으로 인한 기온 감소효과를 고려하기 위해 기온감율과 수치표고모형을 이용하여 보정하였다.

4. 기온감율을 고려한 기온의 공간내삽방법

가. 일평균 기온감율의 추정

한반도와 같은 좁은 지역의 온난화 영향을 추정함에 있어 기온의 국지적 분포는 대단히 중요하다. 기상관측자료의 국지적인 분포는 여러 가지 요인에 의해 결정되지만 그 중에서도 지역의 지리지형특성이 가장 중요하다. 특히 기온은 식물의 대사과정에 직접적인 영향을 미쳐 생장과 발육을 결정하는 중요한 환경요인이다. 이에 따라 몇 개 지점에서 관측된 기온자료를 토대로 넓은 지역의 기온 분포, 즉 국지기온의 공간변이를 추정하는 기법도 활발하게 연구되어 왔다.

국지기온 결정인자 가운데 특히 고도의 영향이 현저하다. 따라서 비관측점과 공간내삽에 사용되는 주변 관측점간 표고편차를 기온감율에 의해 보정해주는 방

법은 매우 단순하지만, 상대적으로 복잡한 다른 기법들에 비해 우수한 결과를 보인다(Nalder and Wein, 1998).

지구대기의 건조단열감율은 -0.0098℃/m로 상수이지만, 수직으로 포화된 대기의 기온감율은 지표 부근의 -0.004℃/m부터 대류권 중간의 -0.007℃/m를 거쳐 권계면 부근에서는 건조단열감율과 거의 같아진다(Wallace and Hobbs, 1977). 그러나 산악지역에서 경사를 따라 이동할 때 관찰되는 기온변화 양상은 표준 대기의 연직 기온감율 양상과 다를 뿐 아니라 계절, 날짜, 일중 시간에 따라 변한다. 따라서, 시공간적인 변화속성을 감안하여 내삽 대상 기온의 시간적 규모에 따라 각기 다른 상수를 적용하거나 경험적인 예측식을 얻는 것이 일반적이다.

윤진일 등(2001)은 한국지역의 일별 기온감율을 추정하기 위해 도서지방을 제외한 전국63개 표준관측소(해발고도 범위 17-840m)에서 1999년 1월 1일부터 12월 31일까지 생산한 일별 기상자료를 수집하여 위도, 경도, 해안거리, 해발고도 등을 회귀 분석하여 일 평균 기온의 모형 기온감율 식을 제공하였다. 연중 날짜에 따른 기온감율 절대값 변화경향을 Fourier fitting에 의한 365일 주기의 함수로 표현하면 <식 Ⅳ-1>과 같다.

$$|\Gamma| = 0.00688 + 0.0015\cos\{0.0172(i-60)\} \qquad \text{<식 Ⅳ-1>}$$

여기서 i는 연중날짜 (1월 1일 = 1, 12월 31일 = 365)를 가리킨다. 관측된 사례들 중 90% 이상이 이 파동을 중심으로 ±0.002℃/m 범위에 포함되는데, 이 식에 의해 추정되는 일 평균기온의 고도 100m 상승에 따른 감율은 9월의 0.56℃부터 3월의 0.84℃로서 평균값은 표준대기의 평균 기온감율과 크게 다르지 않다.

나. 기온감율 기반의 공간내삽모형

관측된 기온은 이미 수평 및 수직 위치효과와 바다효과는 물론 기온역전을 포

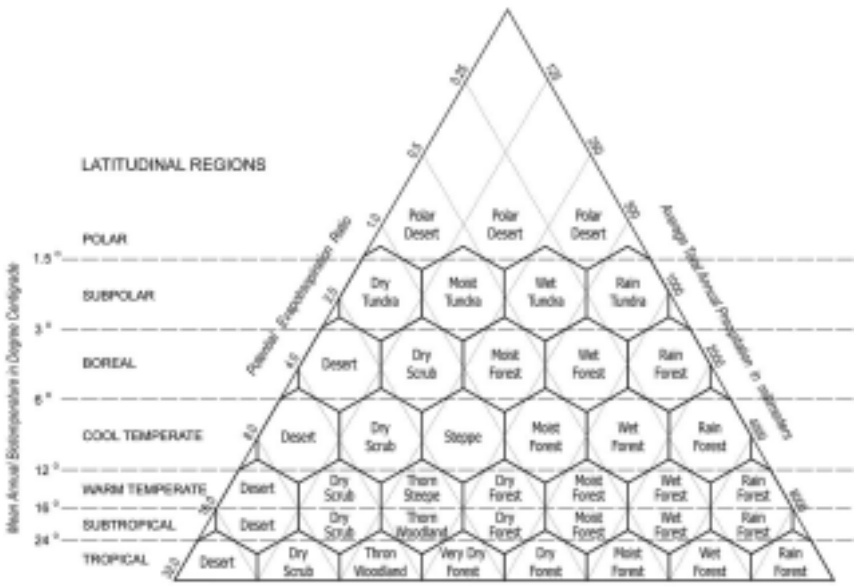
함한 모든 기온결정인자의 영향이 반영되어 있다. 만약 대상지역의 지표상태가 관측점과 동질적이며, 표고변이가 관측점의 표고값에 의해 대표될 수 있다면, 거리역산가중 내삽에 의한 기온의 공간변이 양상은 실제와 거의 일치할 것으로 기대할 수 있다. 우리나와 같이 해안지역에 인구가 밀집하고 산악지형을 이루는 경우는 실제지형이 관측지점의 표고와의 편차를 이용한 기온 추정이 불가능할 정도로 오차가 크게 발생할 수 있다. 산악지대에 설치된 관측소는 그 숫자가 적은 것은 물론 설치위치가 주변 지역을 대표하기 어렵기 때문에 단순한 거리역산가중 기법을 토대로 고도-기온 관계를 결합한 공간내삽모형을 작성한다면 기온의 공간변이를 보다 정확하게 추정할 수 있을 것이다. 지표피복상태 등 표고를 제외한 관측지점의 특징이 동일하다고 가정하면 임의지점의 기온 T는 <식 Ⅳ-2>와 같이 나타날 수 있다.

$$T = \frac{\Sigma \frac{T_i}{d_i^2}}{\Sigma \frac{1}{d_i^2}} + \left[z - \frac{\Sigma \frac{z_i}{d_i^2}}{\Sigma \frac{1}{d_i^2}} \right] \Gamma \qquad \text{<식 Ⅳ-2>}$$

여기서 T_i는 임의지점 주변의 관측소 i에서 실측된 기온 값이다. d_i는 이 관측소와 임의지점간 거리로서 오른쪽 식의 첫째 항은 거리자승역산가중(Inverse Distance Squared Weighting; IDSW) 내삽에 의한 기온 추정 값이 된다. z는 임의지점의 실제표고, 괄호 안의 둘째 항은 IDSW에 의해 추정된 가상지형상의 표고추정 값으로서 괄호 안의 수식은 임의지점의 표고편차를 나타낸다. Γ는 내삽시점의 고도에 따른 기온감율로서 <식 Ⅳ-1>에 의한 일 평균 기온감율에 의한 추정식을 이용한다. 가상지형의 표고 추정 값은 관측지점의 표고들만을 이용하여 IDSW 내삽을 통하여 생성된 가상면 수치표고모형과 실제 수치표고모형의 차를 이용하여 계산가능하다.

5. 삼림영향평가모형

본 연구에서는 기후변화로 인한 삼림분포의 변화를 기후적 요소와 생물학적 요소를 통합하여 예측하기 위해 생물기후학적 Holdridge 모형을 활용하였다. Holdridge 모형의 개념도와 방법론은 각각 <그림 Ⅳ-14> 및 <그림 Ⅳ-15>와 같다.

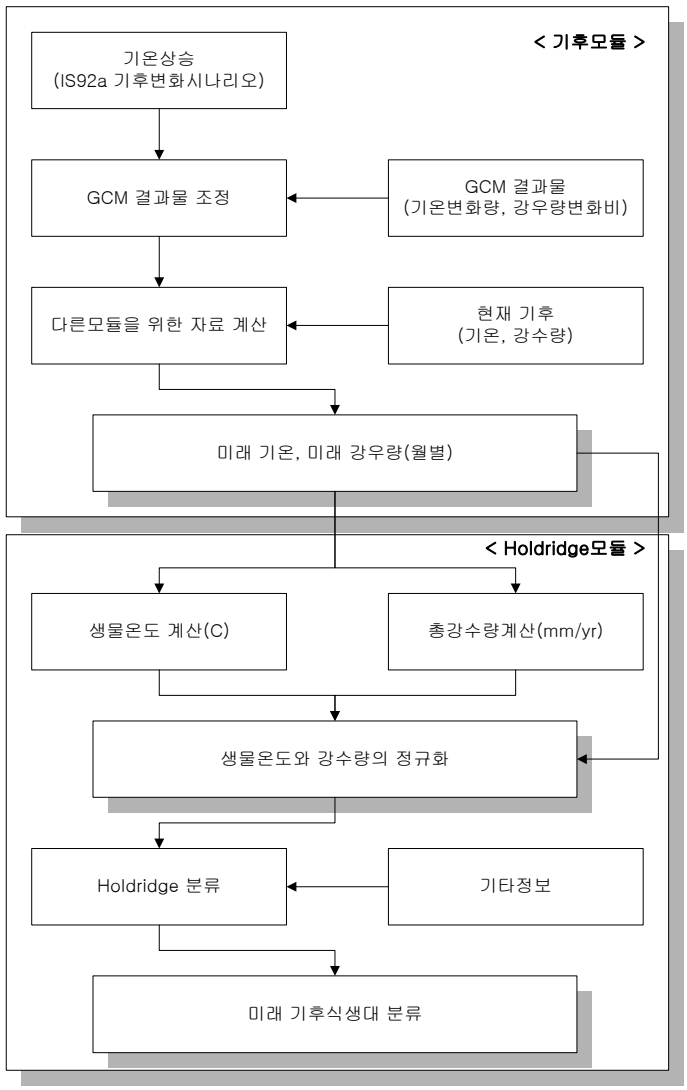


<그림 Ⅳ-14> Holdridge 모형의 개념도

이 모형은 생물온도(bio-temperature), 강수량, 강수량에 대한 PET의 비율과 같은 기후 변수에 생태계 복잡성의 분포를 연관시키는 기후학적 분류 개요이다. 생물온도와 연 강수량은 이 분류 모형에 결정적인 영향을 미치는 두 가지의 주요 인자이다. 생물온도는 <식 Ⅳ-3>으로 계산된다.

$$T_{BIO} = \frac{\sum_{m=1}^{12} \max(T(m), 0)}{12} \qquad \text{<식 Ⅳ-3>}$$

여기서 T_{BIO} [℃]는 생물 온도이고 $T(m)$ [℃]은 월 평균 기온이다. 먼저 기후는 이 생물온도에 의해 7가지로 구분되고, 평균 전체 연 강수량(average total annual precipitation)에 의해 나누어진다. 완결된 분류는 39개 기후 지역을 포함하는 것으로 < 표 Ⅳ-6 >과 같다.



<그림 Ⅳ-15> 기후와 삼림영향예측 모형의 흐름

<표 Ⅳ-6> Holdridge 모형의 삼림기후대 분류표

번호	분 류 명	번호	분 류 명
0	None	20	Warm temperate thorn steppe
1	Ice Polar desert	21	Warm temperate dry forest
2	Polar desert	22	Warm temperate moist forest
3	Subpolar dry tundra	23	Warm temperate wet forest
4	Subpolar moist tundra	24	Warm temperate rain forest
5	Subpolar wet tundra	25	Subtropical desert
6	Subpolar rain tundra	26	Subtropical desert scrub
7	Boreal desert	27	Subtropical thorn woodland
8	Boreal dry scrub	28	Subtropical dry forest
9	Boreal moist forest	29	Subtropical moist forest
10	Boreal wet forest	30	Subtropical wet forest
11	Boreal rainforest	31	Subtropical rain forest
12	Cool temperate desert	32	Tropical desert
13	Cool temperate desert scrub	33	Tropical desert scrub
14	Cool temperate steppe	34	Tropical thorn woodland
15	Cool temperate moist forest	35	Tropical very dry forest
16	Cool temperate wet forest	36	Tropical dry forest
17	Cool temperate rain forest	37	Tropical moist forest
18	Warm temperate desert	38	Tropical wet forest
19	Warm temperate desert scrub	39	Tropical rainforest

자료 : Holdridge, L.R. 1947. "Determination of World Plant Formation from Simple Climatic Data" *Science* 105:367-368

6. 삼림의 적응성 추정

Holdridge 모형에서 분류하고 있는 삼림기후대와 경제적인 효과추정을 위한 삼림기후대의 분류기준이 상이하여 이를 아래의 표와 같이 표준화를 시켰다.

<표 IV-7> Holdridge 삼림과 경제적효과추정에 사용된 삼림 대응표

No.	Holdridge 분류명	No	분 류 명
1	Ice	14	Polar desert
2	Polar desert	14	Polar desert
3	Subpolar dry tundra	11	Cool forest
4	Subpolar moist tundra	13	Tundra
5	Subpolar wet tundra	13	Tundra
6	Subpolar rain tundra	13	Tundra
7	Boreal desert	11	Cool forest
8	Boreal dry scrub	11	Cool forest
9	Boreal moist forest	12	Boreal forest
10	Boreal wet forest	12	Boreal forest
11	Boreal rainforest	12	Boreal forest
12	Cool temperate desert	6	Cool desert
13	Cool temperate desert scrub	6	Cool desert
14	Cool temperate steppe	7	Steppe
15	Cool temperate moist forest	9	Cool temperate forest
16	Cool temperate wet forest	9	Cool temperate forest
17	Cool temperate rain forest	9	Cool temperate forest
18	Warm temperate desert	5	Hot desert
19	Warm temperate desert scrub	5	Hot desert
20	Warm temperate thorn steppe	10	Chaparral
21	Warm temperate dry forest	10	Chaparral
22	Warm temperate moist forest	8	Warm temperate forest
23	Warm temperate wet forest	8	Warm temperate forest
24	Warm temperate rain forest	8	Warm temperate forest
25	Subtropical desert	5	Hot desert
26	Subtropical desert scrub	5	Hot desert
27	Subtropical thorn woodland	4	Savanna
28	Subtropical dry forest	3	Dry tropical forest
29	Subtropical moist forest	2	Subtropical forest
30	Subtropical wet forest	1	Tropical rain forest
31	Subtropical rain forest	1	Tropical rain forest
32	Tropical desert	5	Hot desert
33	Tropical desert scrub	5	Hot desert
34	Tropical thorn woodland	4	Savanna
35	Tropical very dry forest	4	Savanna
36	Tropical dry forest	3	Dry tropical forest
37	Tropical moist forest	1	Tropical rain forest
38	Tropical wet forest	1	Tropical rain forest
39	Tropical rainforest	1	Tropical rain forest

IPCC의 제2차 보고서에 따르면 향후 100년 동안 지구의 평균기온이 1℃에서 3.5℃ 상승할 경우, 각 기후대는 극방향으로 약 150~550㎞이동할 것으로 예측하고 있다. 한편, 과거 기후변동 시기에 관한 연구로부터 목본식물도 기후대와 동시에 이동하는 것으로 알려져 있으나 그 이동속도는 <표 Ⅳ-8>과 같이 100년에 4~200㎞로 추정되기 때문에 이동속도가 빠른 수목종을 제외하고는 기후대의 이동을 따라가지 못하여 기후의 변화에 따라 삼림의 사멸 위험성이 높다고 제시되고 있다.

또한, 완신세(完新世)에 일어났던 기후변동에 관한 연구로부터 삼림의 이동속도는 이동루트가 산악지대와 저지대에 있어서 큰 차이가 나며, 바람에 의한 종자의 산란과 동물에 의한 삼림의 이동속도는 증가하게 된다. 이러한 원인으로 호소나 바다와 같은 지역에서도 삼림의 확산이 방해받지 않는 것으로 알려져 있다. 따라서 삼림의 이동은 이와 같은 종자의 분산력보다도 오히려 생육 가능한 조건을 갖춘 장소의 존재여부의 요인에 큰 영향을 받는다고 볼 수 있다.

<표 Ⅳ-8> 목본식물의 이동가능속도

목본식물	이동가능속도(m/년)
전나무속	40~300
자작나무속	500~2,000
밤나무·너도밤나무속	200~300
호두나무속	400
가문비나무속	80~500
소나무속	1,500
느릅나무속	75~500
기후대의 이동속도	1,500~5,500

자료 : Davis, M. B. 1989. "Lags in vegetation response to green house warming". *Climate Change*, 15:75-82

삼림의 가치평가를 위한 NCEAS 모형에서 제시하고 있는 삼림기후대중 우리

나라에 나타나고 있는 것은 열대림, 온대림, 아한대림과 삼림생육불가능지로 본 연구에서 사용한 Cramer & Leemans의 기후대와 비교하면 아래의 표와 같다.

<표 Ⅳ-9> 가치 손실액 계산을 위한 열대·온대·아한대림의 구분

NCEAS모형의 삼림기후대	본 연구의 기후구분 (Cramer & Leemans 기후대)
열대림	1. Tropical Rain Forest
	2. Subtropical Forest
	3. Dry Tropical Forest
(삼림생육불가능)	4. Savanna
	5. Hot desert
	6. Cool desert
	7 Steppe
온대림	8. Warm Temperate Forest
	9. Cool Temperate Forest
(삼림생육불가능)	10. Chaparral
	11. Cool Forest
아한대림	12. Boreal Forest
(삼림생육불가능)	13. Tundra
	14. Polar desert

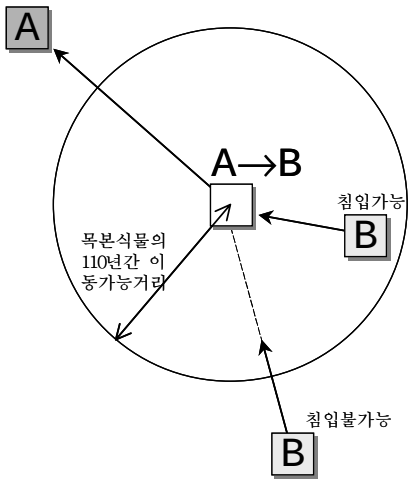
본 연구에서는 위와 같은 연구결과들로부터 기후변동에 의한 지역 삼림의 영향을 삼림이 생육 가능한 기후조건 및 목본식물의 이동속도 두 가지 인자에 의해 <표 Ⅳ-10>과 같이 분류하였다. 기후변화에 의한 지역 삼림의 영향을 1990년 및 2100년 기후대에서 크게 4가지의 변화패턴으로 분류하였고, 삼림형성이 가능한 2100년 기후대는 기후대와 목본식물의 이동속도의 차이에 따라 새로운 기후대가 생성됨과 동시에 외래수종의 침입이 발생할 경우와 그렇지 않은 경우로 분류하였다. 마지막으로 기후대가 변화하지 않을 경우를 덧붙여 a부터 g의 7가지로 분류하였다.

<표 Ⅳ-10> 기후대의 변화가 지역 삼림에 미치는 영향

지역의 기후대 변화 패턴		지역의 삼림에 미치는 영향	GIS표시 구분 (구분 No.)	손실예측을 위한 구분 (구분 No.)
1990년	2100년			
삼림 성립 가능	삼림 성립가능 (기후대 변화 없음)	**a)** 기후대의 변화가 없고 그 지역에 현존하는 삼림이 보호·유지된다.		2100년 열대림(21) 온대림(22) 아한대림(23)
	(기후대 변화 있음)	**b)** 다른 지역으로부터 그 지역에 현존하지 않는 수목종(외래종)이 기후대와 동시에 이동할 수 있는 삼림을 형성한다.(Type B형)		2100년 열대림(24) 온대림(25) 아한대림(26)
		c) 기후대만이 변화하여 타지역으로부터 외래종의 침입이 발생하지 않은 경우, 그 지역에 현존하는 삼림의 종조성이 변화한다. 단계적으로 종조성이 변화하나, 극단적인 경우에는 열 stress, 건조, 화재에 의해 삼림이 고사하여 그 지역이 일시적으로 관목으로 덮여진다.(Type A형)	(16) 현상 2 (분홍색)	1990년 열대림(27) 온대림(28) 아한대림(29)
	삼림성립 불가능	**d)** 삼림이 성립불가능한 기후대로 변화하기 때문에 최종적으로 삼림이 소실된다.	(17) 현상 3 (적색)	1990년 열대림(30) 온대림(31) 아한대림(32)
삼림 성립 불가능	삼림 성립 가능	**e)** 타지역으로부터 그 지역에 현존하지 않는 수목종(외래종)이 기후대와 동시에 이동할 수 있는 삼림을 형성한다.(Type B형)		2100년 열대림(33) 온대림(34) 아한대림(35)
		f) 기후만이 변화하여 타지역으로부터 외래종 침입이 발생하지 않을 경우, 그 지역에 현존하는 삼림에 의해 삼림이 형성된다.(Type A형)	(15) 현상 1	2100년 열대림(36) 온대림(37) 아한대림(38)
	삼림성립 불가능	**g)** 본 연구에서는 사용하지 않는다.		

* Type A형 : 기후변화로 인한, 지역내 종의 유전자 존재량 변화
Type B형 : 기후변화로 인한, 종의 지리적 분포 변화

지금까지, 목본식물의 이동은 기후대의 이동 보다 늦기 때문에 외래수목종의 침입이 일어나지 않은 <표 Ⅳ-10>의 분류 c의 경우는 그 지역에 현존하는 삼림이 최소한의 상태로 살아가거나 단계적으로 다른 종으로 전환되어 간다. 또한 극단적인 경우에는 열 스트레스, 건조나 화재에 의해 그 지역의 식생이 고사하여 일시적으로 관목으로 덮여질 것으로 예측되었다.



A: 원 중심지역의 1990년 기후대
B: 원 중심지역의 2100년 기후대

<그림 Ⅳ-16> 외래 수목종의 침입가능성

자료 : Munesue Y. and Takahashi K. 2000. "Evaluation of Climate Change Impact on Vegetation and its Economic Value". *Japanese Environmental Science* 13(3):329-337.

<그림 Ⅳ-16>은 기후변화에 의한 외래수종의 침입가능성을 나타낸 것으로 원의 반경은 목본식물이 110년 간(1990~2100년)에 이동 가능한 거리를 나타낸다. 원의 중심지역의 기후대가 A에서 B로 변화한 경우, 기후대 B가 1990년의 시점에서 원내에 존재한다면, 그것에서 기후대 B로 적응해 간 수목종이 기후대와 동시에 이동하여 중심지역으로 침입할 수 있다.

7. 삼림의 경제적 가치평가

Robert Costanza 등(1998)은 생태계의 서비스와 이들에서 발생하는 자연자본은 지구의 생명유지에 중요한 역할을 하고, 인간복지에 직간접적으로 기여하므로 생태계 서비스의 경제적 가치에 관한 기존의 연구성과와 평가수법을 제한적으로 수집, 통합한 모델을 제시하였다. 연구의 주된 내용은 환경의 개선에 관한 지급의사액(Willingness to Pay)을 계산하여 생태계의 가치를 도출하는 것이었다.

NCEAS(National Center for Ecological Analysis and Synthesis) 모델에서 세계 생태계는 16개 생물권역으로 나뉘고, 각 권역에 대해 17가지 생태계 서비스의 경제적 가치가 추정되었다. 이 연구결과는 계산된 생태계의 가치정보와 기존의 연구자료들과 결합되어 생태권역별 경제적 가치로 추정된다.

<표 Ⅳ-11>은 NCEAS모형에서 자연삼림의 경제적 가치를 추정한 부분으로 세계 삼림의 경제적 가치는 연간 4.7조 달러(1994년 U.S.$)로 추계 되었다. <표 Ⅳ-11>의 삼림별 경제적 가치는 삼림의 적응성에 대한 영향평가의 결과와 결합되어 2100년 소실되는 삼림지역의 경제적 가치를 추정하는데 이용되었다.

<표 Ⅳ-11> NCEAS 모델을 이용한 세계 자연삼림의 경제적 가치 평가

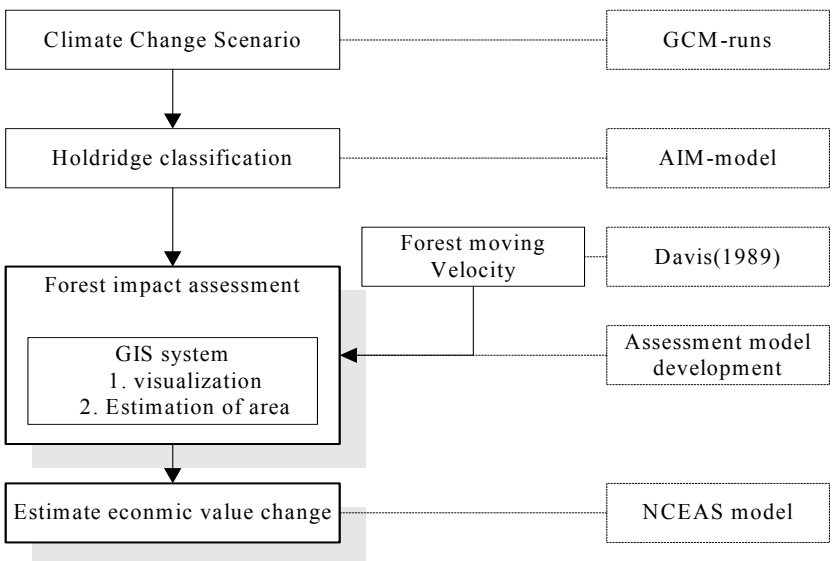
삼림구분	면적(Mha)	경제적 가치(US $/ha · 년)	세계전체(U.S 조$/연)
열대림	1,900	2,007	3,817
온대림 · 아한대림	2,955	302	894
초원, 방목지	3,898	232	906

자료 : Costanza, R. *et al*. 1997. The Value of the world's ecosystem services and natural capital. *NATURE* 387:253-260

제5장 모형의 적용 및 분석

미래의 기후변화의 영향을 추정하기 위해 보고된 많은 결과들은 직접적인 영향 평가 단계에서조차 GCM의 종류와 추정된 기후변화 시나리오에 따라 상당히 다르게 나타난다. 따라서 기후변화 시나리오에 따른 유동성을 줄이고, 유용한 기후변화영향의 일관된 추정결과를 얻기 위하여 여러 개의 GCM을 활용하여 영향평가를 수행하여야 한다.

본 연구에서는 2001년에는 지구 평균 표면 온도 상승의 범위를 가정하여 5개의 GCM 공간 기후변화 패턴을 중첩하였고, AIM/Impact의 하위 모듈을 사용하여 이들의 삼림 적합성에 대한 직접적인 영향을 계산하였다. 2002년도에는 SRES 시나리오를 이용하여 영향을 평가하였다.



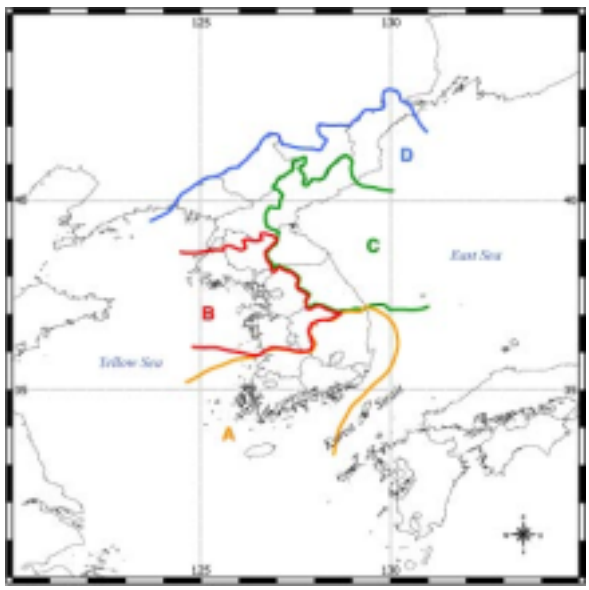
<그림 Ⅴ-1> 삼림 영향 분석 흐름도

구축된 삼림영향평가모형의 정확도를 검증하기 위하여 1970년대부터 사용된 온량지수와 한랭지수를 이용하였다. 삼림의 적응성을 평가하기 위하여 1989년에 Davis가 제시한 연구결과를 이용하였으며, 경제적인 효과를 산출하기 위하여 NCEAS 모델을 이용하였다. 이와 관련된 연구흐름은 <그림Ⅴ-1>과 같다.

이러한 작업은 기후 변화 영향에 대한 완화(mitigation)와 적응(adaptation)에 대한 장래 평가에 유용한 영향 반응 곡선(impact response curves)을 제공할 것이다.

1. 연구대상지역의 선정

연구의 대상지역은 다음과 같은 이유에서 한반도를 포함한 경도 120°~135°, 위도 30°~ 45°으로 하였다.



첫째, GCM을 이용해 제작된 기후자료의 공간 해상도가 지역적 영향을 상세히 모의하기에 상대적으로 크므로, 너무 좁은 지역을 대상으로 할 경우 공간해상도의 한계로 인해 연구결과가 왜곡될 가능성이 있다.

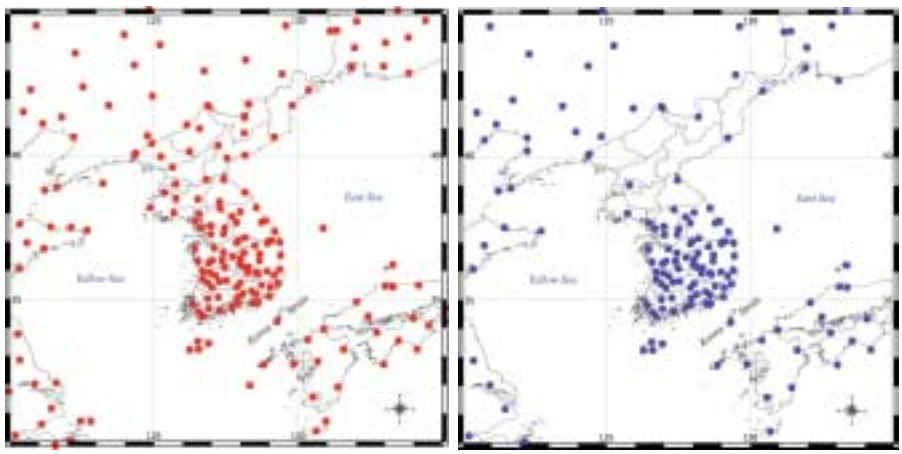
둘째, 한반도 삼림의 연결성을 고려하여 북한과 만주지역을 포함한 동북아시아 지역을 선정하였다.

<그림 Ⅴ-2> 연구대상 지역의 위치와 구분

<그림 Ⅴ-2>는 연구대상지역의 위치를 나타낸 것이다. A지역은 남부지역인 경상남북도와 전라남북도, B지역은 중부 서해지역인 충청남북도, 경기도, 황해도, C지역은 중부동해지역으로 강원도와 함경남도일원, D지역은 북부지역으로 평안남북도와 함경북도 일원으로 구분하였다. 이러한 구분은 기존의 연구에서 나타난 삼림생태계 분포와 기후 패턴을 고려한 것으로 연구자가 행정구역경계를 이용하여 임의적으로 구분한 것이다.

2. 미래기후의 추정

현재의 기온과 강수량 관측정보와 GCM 결과로부터 나온 기온과 강수량의 변화를 이용하여 연구에서 요구되는 기후 정보로 변환하였다. 현재 기후는 UNEP에서 개설한 그리드데이터센터에서 제공하는 지구기후네트워크(Global Historical Climatology Network Data, GHCN)의 동북아지역 기온 197개소, 강수량 119개소 지점의 월평균기온, 강수량자료와 기상청 상시관측소 80개 지점의 1961년~1999년까지 일 평균 기온과 강수량을 이용하여 제작하였다.



기온관측소 강우관측소

<그림 Ⅴ-3> 분석에 이용된 기상관측 지점(일부)

GHCN의 자료는 6,039지점의 기온 관측지점과 7,533 지점의 강수관측지점을 가지고 있으며 모든 관측소는 최소 10년의 관측자료를 가진다. 50년 이상의 관측기록을 갖는 지점은 전체의 40%에 달하며 10%는 100년 이상의 관측기록을 갖고 있다. 또한 전체의 80%이상 관측소는 '80, '90년대까지 관측을 해오고 있다. IPCC에서는 현재기후를 대표하기 위해 30년 이상의 평균치를 이용할 것을 권장하고 있으나 한국 기상청에서 제공하는 상시 관측점 자료는 30년 이상 관측된 관측소가 적은 관계로 인해 최소 10년 이상의 관측지점을 가지는 지점을 포함하여 현재 기후를 나타내었다. <그림 Ⅴ-3>은 연구대상지역의 기온과 강수량 관측지점의 위치를 나타낸 것이다.

기후 자료의 공간적 분배를 위해서 <표 Ⅳ-3>에 열거된 4개의 GCM이 이용되었다. GCM의 공간적 해상도가 영향 연구에 이용될 정도의 충분히 조밀하지 않으므로 "GCM 결과 형성자(organizer)"를 이용하여 각 기후 인자에 적합한 방법에 의해 자료들을 공간적으로 보간하였다. 이들 결과들은 가정된 지구평균기온과 조합되어 미래의 기후 자료를 생성하였다. GCM 결과의 보간 이후, 다음 식들이 월별 각 격자에 대한 미래 기후 자료를 계산하기 위해 사용된다.

기온에 대해서는

$$T(t) = T(present) + (T(2\times CO_2) - T(1\times CO_2)) \qquad \text{<식 Ⅴ-1>}$$

강수량에 대해서는

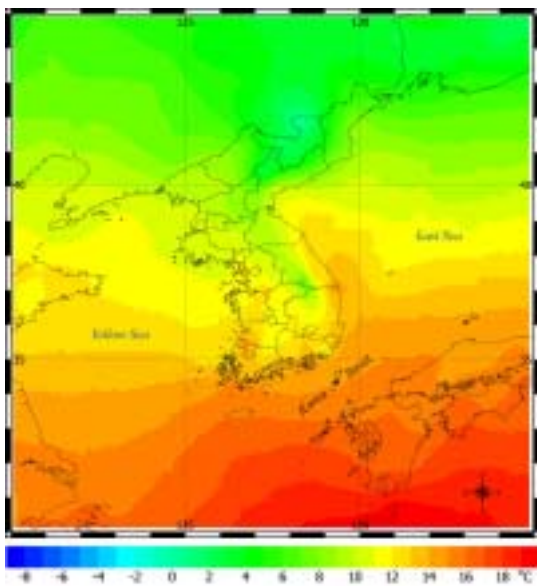
$$P(t) = P(present) + P(present)\times\left\{\frac{P(2\times CO_2)}{P(1\times CO_2)} - 1\right\} \qquad \text{<식 Ⅴ-2>}$$

여기서 $T(t)$ [℃]와 $P(T)$ [mm/month]는 상대적인 t 년에서의 기온과 강수량이다. $T(2\times CO_2) - T(1\times CO_2)$ [℃]와 $P(2\times CO_2)/P(1\times CO_2)$ [-]는 GCM에서 계산된 각 격자에서 $2\times CO_2$와 $1\times CO_2$ 사이의 기온 차와 강수량의 비율이다.

가. 기온

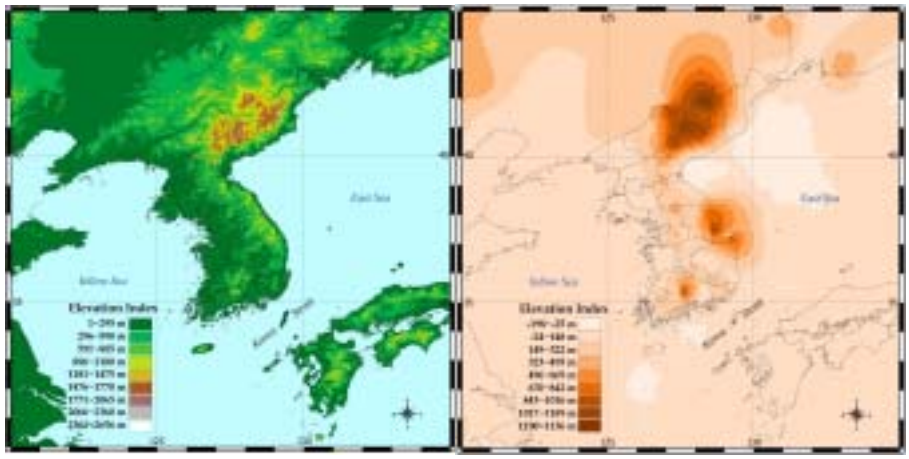
기온자료는 GHCN의 자료와 기상청 자료를 이용하여 제작하였으며, 현재기온과 GCM 결과를 이용한 40개 경우에 대해 각각 월별 기온을 생성하였다. 각 자료의 공간 해상도는 0.1°이며, <그림 Ⅴ-4>은 현재시기 한반도주위의 연평균기온을 나타낸 것이다.

기온 보간으로 인한 격자간의 편차 감소와 지형의 표고변화로 인한 기온감소의 영향을 고려하기 위하여 수치표고모형과 월별 모형 기온감율을 이용하여 수정된 월별 기온자료를 제작하였다. 수치표고모형은 NOAA의 국가지리물리자료센터(National Geophysical Data Center)의 GLOBE(Global Land One-km Base Elevation) 프로젝트의 결과물인 30초 간격의 전 세계 육지지역의 수치표고 모형을 확보하여 한반도 주위지역을 0.1도 간격으로 재생성하였다. 좌표계는 WGS84 타원체의 경위도 좌표계를 이용하였고, <그림 Ⅴ-5>는 제작된 수치표고모형을 나타내고 있다.



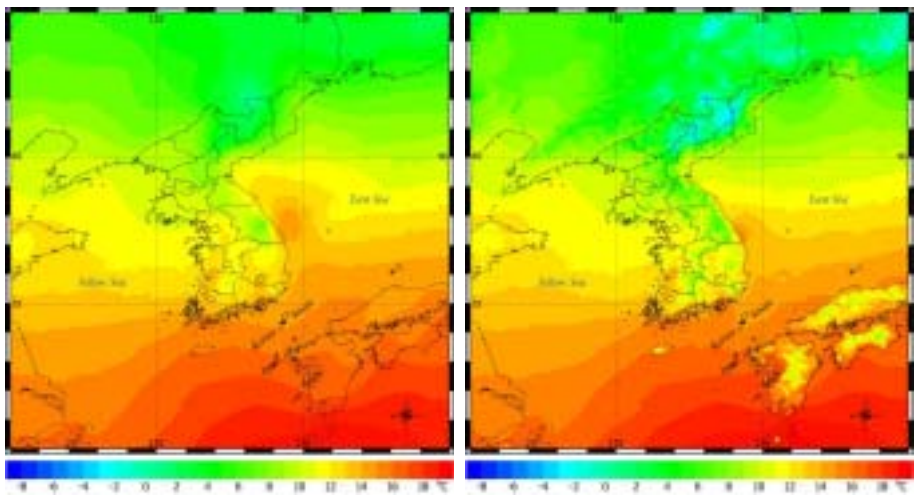
<그림 Ⅴ-4> 현재시기의 한반도 주위의 연평균기온 분포(℃)

<그림 Ⅴ-5>와 같은 3초 간격 수치표고모형에서 기온관측에 이용된 277개 측점의 고도를 추출하여 0.1도 간격의 가상면 수치표고모형을 제작하였다. 각 기온관측소 고도 값은 GLOBE 수치표고모형에서 직접 추출하여 재계산하였다.



<그림 V-5> 분석에 이용된 수치표고모형(좌) 및 기온보정에 사용된 가상면표고(우)

<표 V-1>의 월별 모형 기온감율을 고려하여 제작된 가상면 표고는 <그림 V-5>와 같다.



<그림 V-6> 기온감율을 고려한 현재시기 연평균 기온분포

(좌: 지형보정전, 우: 지형보정후)

<표 Ⅴ-1> 지형보정을 위한 월평균 기온감율

월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
기온 감율 ℃/m	0.0080	0.0083	0.0083	0.0079	0.0073	0.0065	0.0058	0.0054	0.0055	0.0058	0.0065	0.0073

<그림 Ⅴ-6>은 월평균 기온감율을 고려하여 <식 Ⅴ-2>를 이용하여 제작된 현재시기의 수정된 연평균 기온을 나타낸 것이다. 수정된 기온은 백두대간 등 산악지역의 영향을 잘 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 특히 백두산과 개마고원, 소백산맥, 제주도지역의 기온분포에서 산악지역의 영향을 잘 표현하고 있다. 그러나 동해쪽 해안 지역의 기온이 상대적으로 높아지는 경향을 나타내고 있다.

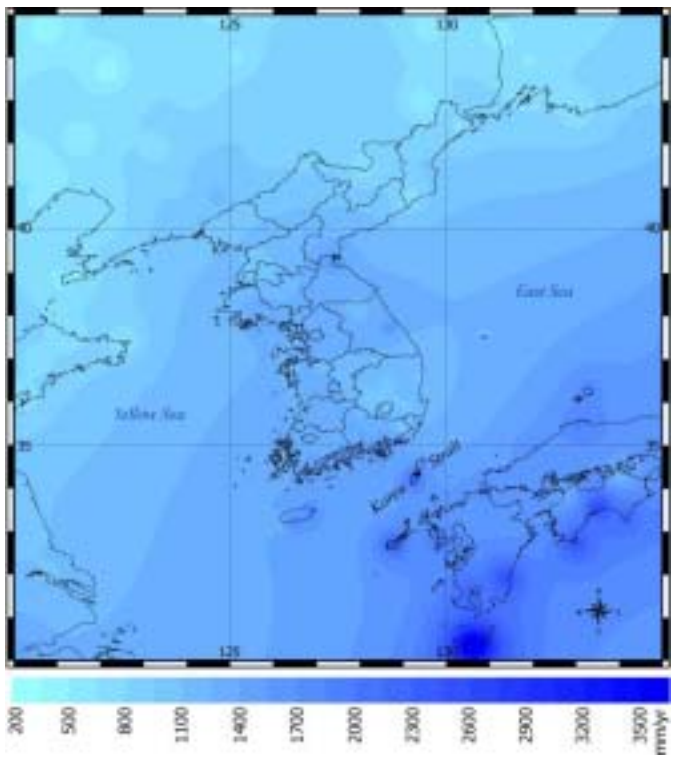
CO_2 농도가 두배로 증가될 때, 세계 기온은 2℃증가될 것으로 예측되고 있으나, 우리 나라의 경우 GCM 모형별로 제작된 미래 기온과 현재기온과의 연평균 기온 차는 이 보다는 0.5~1℃가량 높게 나타났다.

본 연구에 사용한 GCM중 CCCma와 ECHAM4 모형의 경우는 기온증가량이 2.5~5℃까지 가장 큰 변화량과 변동성향을 나타내었다. HadCM2는 중간변화량을 보였고, CSIROMK2와 CCSR/NIES모형에 나온 기온증가량은 비교적 낮은 변화량과 변동성향을 보였다. 그러나 이러한 기온의 변화량은 여러 연구자들이 제안한 기온 변동 치의 범위 내에 들어오므로, 개선된 지역차원의 기후모형 결과자료가 없는 현재시점에서는 이 자료가 제공될 때까지 영향연구에 이용하기로 하였다.

온도변화를 살펴보면 남한의 경우 2~4℃ 범위로 상승되었으며, 북한의 경우는 2~5℃까지 상승하는 것으로 나타났다. 5개 GCM 모형의 결과 남한 쪽보다는 북한 쪽에서의 온도 증가가 좀더 크게 일어났다는 것이 특징이다. 이는 향후 삼림부분의 영향이 남한보다는 북한에서 더 심하게 일어날 가능성을 보여주는 것이라 할 수 있다.

나. 강수량

현재 강수량 분포자료는 199개소의 GHCN 관측소와 기상청 자료를 이용하여 제작되었다. 모의되는 40개 경우에 대해 각각 월별 미래 강수량 자료를 생성하였다. <그림 V-7>은 현재시기의 연간 총강수량을 나타낸 것이다. <그림 V-7>은 CO_2 배증시 GCM에서 계산된 강수량 변화차이를 나타낸 것으로 연구지역의 연간 강수량은 현재와 비슷하거나 증가하는 것으로 예측되었다. 기온증가가 커질수록 총강수량은 증가하였으며, 특히 중부 이북지역에서 증가의 폭이 크게 나타났다. 계절별로는 겨울철 남부지역에서 강수량 감소가 예측되었다. 그 범위는 0.4~3.2%였다.

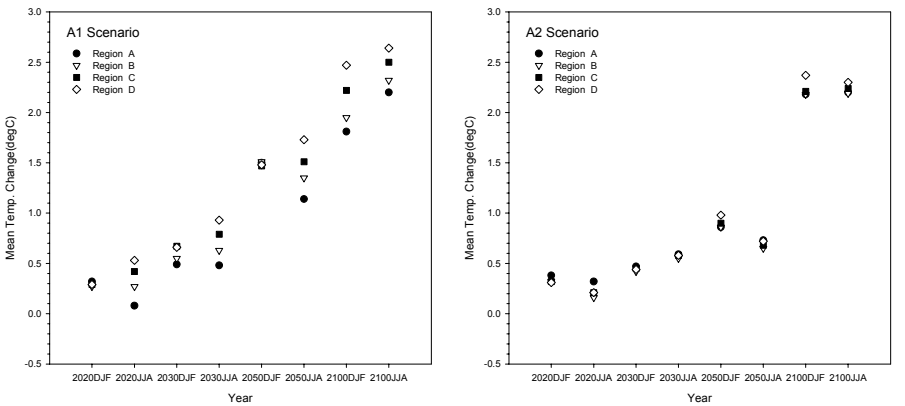


<그림 V-7> 현재시기 총강수량 분포(mm/년)

다. 기후예측결과

기후예측결과 분석을 위해 4개 GCM의 평균을 취하였으며, 지역별로는 기온과 강수량의 평균과 편차를 각각 구하였다.

빠른 경제성장과 낮은 인구성장이 이루어진다는 A1시나리오의 경우 2100년도 여름철 A지역의 평균기온변화량은 2.20℃이며, B지역은 2.32℃, C지역은 2.50℃, D지역은 2.64℃가 상승하는 것으로 예측되었다. 2100년도 겨울철 A지역의 평균기온변화량은 1.81℃이며, B지역은 1.95℃, C지역은 2.22℃, D지역은 2.47℃가 상승하는 것으로 예측되었다. 지역적으로 비교해 보면 남부지방이 북부지역에 비해 기온상승폭이 크며, 계절적으로는 여름철이 겨울철에 비해 기온상승폭이 큰 것으로 나타났다(그림 Ⅴ-8 참조).

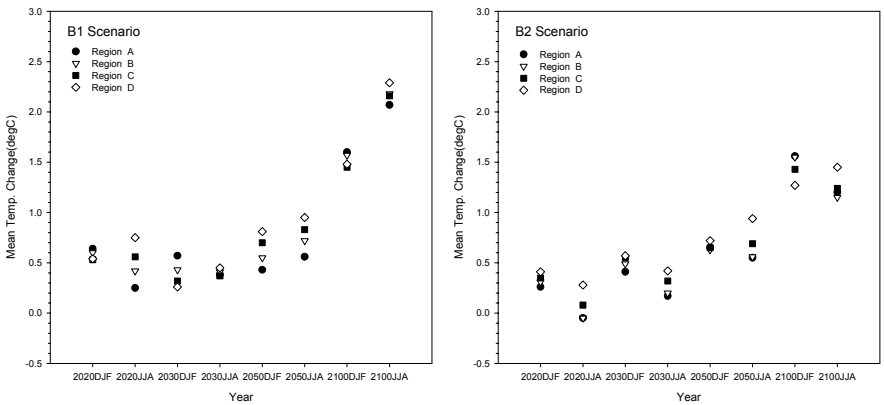


<그림 Ⅴ-8> SRES A1(좌) A2(우) 시나리오의 시기별 지역평균 온도변화

지역적인 차원의 경제성장과 높은 인구성장이 이루어진다는 A2 시나리오의 경우 2100년도 여름철 A지역의 평균기온변화량은 2.20℃이며, B지역은 2.19℃, C지역은 2.24℃, D지역은 2.30℃가 상승하는 것으로 예측되었다. 2100년도 겨울철 A지역의 평균기온변화량은 2.18℃이며, B지역은 2.18℃, C지역은 2.21℃, D지역

은 2.37℃가 상승하는 것으로 예측되었다. 지역적으로 여름철의 기온상승폭은 큰 차이가 없으며, 겨울철에는 북부지역의 기온상승이 남부지역에 비해 큰 것으로 나타났다. 계절적으로는 여름철과 겨울철의 기온상승폭이 유사한 것으로 나타났다(그림 Ⅴ-8 참조).

청정기술에 기반을 둔 경제활동과 낮은 인구성장이 이루어진다는 B1시나리오의 경우 2100년도 여름철 A지역의 평균기온변화량은 2.07℃이며, B지역은 2.18℃, C지역은 2.16℃, D지역은 2.29℃가 상승하는 것으로 예측되었다. 2100년도 겨울철 A지역의 평균기온변화량은 1.60℃이며, B지역은 1.57℃, C지역은 1.45℃, D지역은 1.48℃가 상승하는 것으로 예측되었다. 계절적으로 비교해보면 여름철의 기온상승폭이 겨울철에 비해 큰 것으로 나타났다(그림 Ⅴ-9 참조).



<그림 Ⅴ-9> SRES B1(좌), B2(우) 시나리오의 시기별 지역평균 온도변화

중간정도의 경제성장과 완만한 인구성장이 이루어진다는 B2시나리오의 경우 2100년도 여름철 A지역의 평균기온변화량은 1.20℃이며, B지역은 1.15℃, C지역은 1.24℃, D지역은 1.45℃가 상승하는 것으로 예측되었다. 2100년도 겨울철 A지역의 평균기온변화량은 1.56℃이며, B지역은 1.55℃, C지역은 1.43℃, D지역은 1.27℃가 상승하는 것으로 예측되었다. 지역적으로 겨울철 남부지역의 온도상승폭이 북부지방에 비해 큰 것으로 나타났다(그림 Ⅴ-9 참조).

<표 Ⅴ-2> SRES 시나리오의 기온변화량(℃,지역평균)

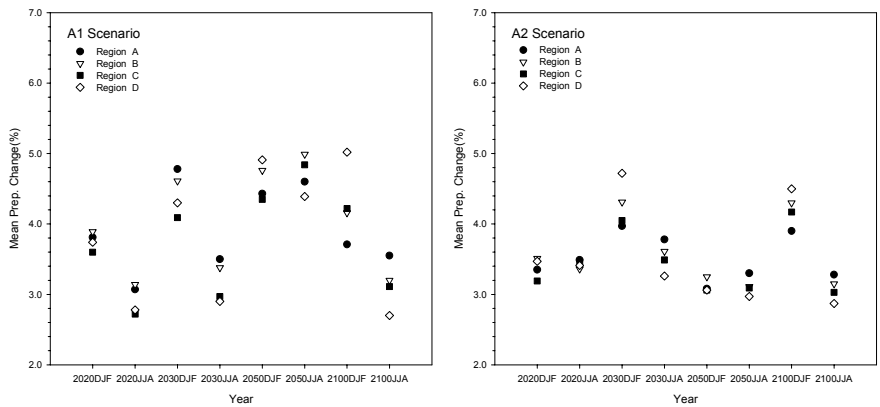
시나리오	지역	항목	2020		2030		2050		2100	
			DJF	JJA	DJF	JJA	DJF	JJA	DJF	JJA
A1	A	평균	0.32	0.08	0.49	0.48	1.50	1.14	1.81	2.20
		최대	0.44	0.31	0.64	0.55	1.73	1.22	2.16	2.23
		최소	0.07	-0.28	0.41	0.40	1.32	1.08	1.43	2.16
	B	평균	0.27	0.27	0.55	0.63	1.51	1.35	1.95	2.32
		최대	0.55	0.39	0.65	0.66	1.71	1.40	2.24	2.36
		최소	0.04	0.12	0.47	0.58	1.37	1.28	1.63	2.29
	C	평균	0.29	0.42	0.67	0.79	1.47	1.51	2.22	2.50
		최대	0.60	0.44	0.73	0.83	1.59	1.63	2.35	2.57
		최소	0.11	0.39	0.55	0.75	1.34	1.39	2.02	2.44
	D	평균	0.29	0.53	0.66	0.93	1.48	1.73	2.47	2.64
		최대	0.71	0.60	0.80	0.95	1.55	1.91	2.59	2.70
		최소	0.02	0.49	0.56	0.92	1.43	1.60	2.40	2.59
A2	A	평균	0.38	0.32	0.47	0.59	0.86	0.73	2.18	2.20
		최대	1.33	0.78	1.50	1.74	1.85	1.52	3.31	3.15
		최소	-1.95	-0.47	-2.46	-0.36	-1.48	-0.42	0.98	1.28
	B	평균	0.32	0.16	0.42	0.55	0.86	0.65	2.18	2.19
		최대	1.09	0.64	1.43	1.67	2.31	1.49	3.09	3.07
		최소	-2.20	-0.60	-2.45	-0.72	-1.50	-0.96	0.26	1.12
	C	평균	0.32	0.21	0.45	0.58	0.90	0.68	2.21	2.24
		최대	1.33	0.73	1.54	1.61	2.65	1.51	2.99	3.06
		최소	-2.30	-0.42	-2.15	-0.61	-1.58	-0.97	0.13	1.27
	D	평균	0.31	0.21	0.44	0.58	0.98	0.72	2.37	2.30
		최대	1.61	1.04	1.68	1.68	2.94	1.60	3.33	3.10
		최소	-2.41	-0.42	-1.54	-0.57	-1.66	-1.07	0.36	1.41
B1	A	평균	0.64	0.25	0.57	0.38	0.43	0.56	1.60	2.07
		최대	0.92	0.30	0.73	0.39	0.68	0.74	1.78	2.40
		최소	0.46	0.20	0.26	0.37	0.09	0.33	1.47	1.58
	B	평균	0.60	0.42	0.43	0.41	0.55	0.72	1.57	2.18
		최대	0.80	0.44	0.52	0.53	0.75	0.76	1.71	2.38
		최소	0.45	0.41	0.28	0.33	0.27	0.67	1.49	1.88
	C	평균	0.53	0.56	0.32	0.37	0.70	0.83	1.45	2.16
		최대	0.66	0.65	0.37	0.57	0.96	0.85	1.50	2.28
		최소	0.35	0.50	0.27	0.23	0.25	0.79	1.42	1.96
	D	평균	0.54	0.75	0.26	0.45	0.81	0.95	1.48	2.29
		최대	0.69	0.92	0.42	0.71	1.16	1.04	1.60	2.37
		최소	0.32	0.65	0.06	0.30	0.25	0.85	1.39	2.22
B2	A	평균	0.26	-0.05	0.41	0.17	0.65	0.55	1.56	1.20
		최대	0.84	0.30	1.22	0.77	1.40	0.94	2.14	1.78
		최소	-1.08	-0.67	-0.69	-0.34	-0.22	0.14	0.21	0.40
	B	평균	0.31	-0.05	0.49	0.20	0.63	0.56	1.55	1.15
		최대	1.15	0.33	1.17	0.94	1.45	1.01	2.25	1.78
		최소	-0.86	-0.71	-0.36	-0.34	-0.13	0.13	0.64	0.43
	C	평균	0.35	0.08	0.55	0.32	0.65	0.69	1.43	1.24
		최대	1.01	0.44	1.53	0.96	1.65	1.17	2.04	1.85
		최소	-0.65	-0.59	-0.22	-0.17	0.20	0.17	0.67	0.48
	D	평균	0.41	0.28	0.57	0.42	0.72	0.94	1.27	1.45
		최대	1.55	0.97	1.98	1.04	1.98	1.42	1.97	1.97
		최소	-1.28	-0.31	-0.38	-0.30	0.00	0.27	0.12	0.56

주 : A1,B1 시나리오는 CSIRO-Mk2 GCM만을 이용한 결과임.

주 : DJF은 12월, 1월, 2월을 의미하며, JJA는 6월, 7월, 8월을 의미함

빠른 경제성장과 낮은 인구성장이 이루어진다는 A1시나리오의 경우 2100년도 여름철 A지역의 평균강수량변화량은 3.55%이며, B지역은 3.20%, C지역은 3.11%, D지역은 2.70%가 증가하는 것으로 예측되었다. 2100년도 겨울철 A지역의 평균강수량변화량은 3.71%이며, B지역은 4.16%, C지역은 4.22%, D지역은 5.02%가 증가하는 것으로 예측되었다. 계절적으로 겨울철의 강수량이 여름철에 비해 큰폭으로 증가하는 것으로 나타났다(그림 Ⅴ-10 참조).

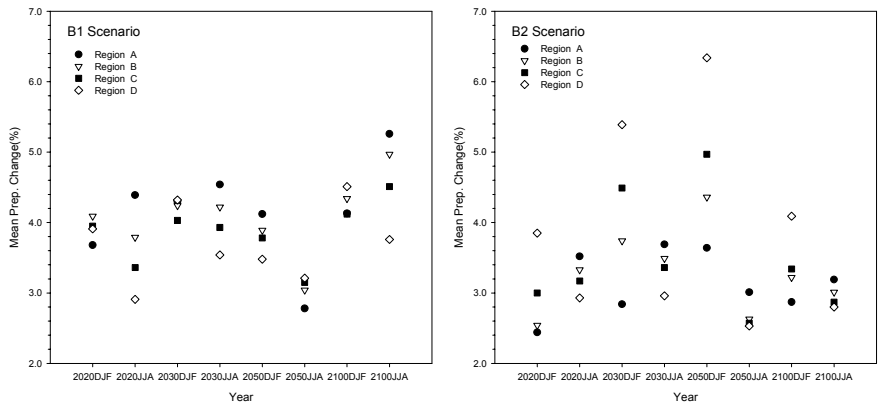
지역적인 차원의 경제성장과 높은 인구성장이 이루어진다는 A2 시나리오의 경우 2100년도 여름철 A지역의 평균강수량변화량은 3.28%이며, B지역은 3.15℃, C지역은 3.03%, D지역은 2.87%가 상승하는 것으로 예측되었다. 2100년도 겨울철의 A지역의 평균강수량변화량은 3.90%이며, B지역은 4.30℃, C지역은 4.17%, D지역은 4.50%가 상승하는 것으로 예측되었다. 계절적으로 겨울철의 강수량이 여름철에 비해 소폭 증가하는 것으로 나타났다(그림 Ⅴ-10 참조).



<그림 Ⅴ-10> SRES A1(좌), A2(우) 시나리오의 시기별 지역평균 강수량변화

청정기술에 기반을 둔 경제활동과 낮은 인구성장이 이루어진다는 B1시나리오의 경우 2100년도 여름철 A지역의 평균강수량변화량은 5.26%이며, B지역은 4.97%, C지역은 4.51%, D지역은 3.76%가 증가하는 것으로 예측되었다. 2100년도

겨울철 A지역의 평균강수량변화량은 4.13%이며, B지역은 4.34%, C지역은 4.12%, D지역은 4.51%가 증가하는 것으로 예측되었다. 지역적으로 여름철 남부지방의 강수량이 북부지방에 비해 크게 증가한 것으로 나타났으며, 계절적으로는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다(그림 Ⅴ-11 참조).



<그림 Ⅴ-11> SRES B1(좌), B2(우) 시나리오의 시기별 지역평균 강수량변화

중간정도의 경제성장과 완만한 인구성장이 이루어진다는 B2시나리오의 경우 2100년도 여름철 A지역의 평균강수량변화량은 3.19%이며, B지역은 3.01%, C지역은 2.87%, D지역은 2.80%가 증가하는 것으로 예측되었다. 2100년도 겨울철 A지역의 평균강수량변화량은 2.87%이며, B지역은 3.22%, C지역은 3.34%, D지역은 4.09%가 증가하는 것으로 예측되었다. 계절적으로 여름철에는 남부지방이 북부지방에 비해 강수량이 소폭 증가하였으며, 겨울철에는 북부지방이 남부지방에 비해 강수량이 소폭 많은 것으로 나타났다(그림 Ⅴ-11 참조).

이를 종합하여 나타내면 <표 Ⅴ-3>과 같으며, 지역별로 기온과 강수량을 범위로 나타낸 것은 <표 Ⅴ-4>와 같다.

<표 V-3> SRES 시나리오의 강수량변화비(%,지역평균)

시나리오	지역	항목	2020		2030		2050		2100	
			DJF	JJA	DJF	JJA	DJF	JJA	DJF	JJA
A1	A	평균	3.81	3.07	4.78	3.50	4.43	4.60	3.71	3.55
		최대	4.41	5.59	6.44	6.13	5.46	7.10	5.06	6.28
		최소	3.49	1.79	3.81	1.92	3.37	3.21	1.57	1.89
	B	평균	3.89	3.14	4.61	3.38	4.76	4.99	4.16	3.20
		최대	4.53	5.67	5.99	5.78	5.86	8.91	5.78	5.95
		최소	3.54	1.78	3.67	1.90	3.39	2.85	2.22	1.29
	C	평균	3.60	2.72	4.09	2.97	4.35	4.84	4.22	3.11
		최대	4.02	4.50	4.42	4.53	5.18	8.94	5.24	5.86
		최소	3.20	1.66	3.63	1.88	3.43	2.50	3.06	1.06
	D	평균	3.74	2.78	4.30	2.90	4.91	4.39	5.02	2.70
		최대	4.22	4.58	4.84	4.31	7.20	8.30	5.94	5.11
		최소	3.32	1.75	3.64	1.73	3.42	1.99	3.25	0.83
A2	A	평균	3.35	3.49	3.97	3.78	3.08	3.30	3.90	3.28
		최대	4.85	5.72	6.64	7.31	6.27	9.91	9.57	10.23
		최소	1.24	2.01	0.77	1.79	0.68	1.50	1.43	1.37
	B	평균	3.51	3.36	4.31	3.61	3.25	3.11	4.30	3.15
		최대	6.61	5.67	8.87	6.96	7.27	9.97	10.72	10.00
		최소	0.98	2.04	0.53	1.74	0.47	1.46	0.98	0.98
	C	평균	3.19	3.46	4.05	3.49	3.06	3.09	4.17	3.03
		최대	6.08	6.48	8.71	6.42	5.57	10.01	8.98	8.62
		최소	1.29	1.78	0.64	1.88	0.61	1.64	0.71	1.36
	D	평균	3.47	3.41	4.72	3.26	3.06	2.97	4.50	2.87
		최대	8.34	6.42	10.97	5.51	6.51	8.14	9.63	7.14
		최소	1.78	1.67	0.88	1.71	0.65	1.55	0.53	1.29
B1	A	평균	3.68	4.39	4.30	4.54	4.12	2.78	4.13	5.26
		최대	6.11	8.07	4.78	9.08	4.60	4.26	4.57	8.97
		최소	1.41	1.93	3.48	1.90	3.84	1.82	3.81	2.03
	B	평균	4.09	3.79	4.24	4.22	3.89	3.04	4.34	4.97
		최대	5.70	7.40	4.31	8.60	4.25	5.21	4.86	9.28
		최소	2.43	1.42	4.14	1.64	3.71	1.90	3.68	1.82
	C	평균	3.95	3.36	4.03	3.93	3.78	3.15	4.12	4.51
		최대	4.91	6.68	4.40	8.33	4.23	5.76	4.79	8.60
		최소	3.03	1.24	3.62	1.36	3.43	1.67	3.64	1.73
	D	평균	3.91	2.91	4.32	3.54	3.48	3.21	4.51	3.76
		최대	4.64	5.73	5.72	7.22	3.66	6.21	6.00	7.19
		최소	2.94	0.99	3.59	1.21	3.35	1.36	3.54	1.65
B2	A	평균	2.44	3.52	2.84	3.69	3.64	3.01	2.87	3.19
		최대	4.72	9.68	4.88	9.26	8.20	8.30	6.29	7.22
		최소	1.03	2.06	1.22	1.05	1.07	1.15	0.89	1.94
	B	평균	2.54	3.33	3.74	3.49	4.36	2.63	3.22	3.01
		최대	4.02	9.54	9.09	8.68	10.13	7.25	6.23	7.33
		최소	1.36	1.87	1.08	1.09	0.89	1.09	0.41	1.26
	C	평균	3.00	3.17	4.49	3.36	4.97	2.57	3.34	2.87
		최대	3.99	8.27	11.57	7.73	13.50	6.36	5.90	6.31
		최소	1.54	1.69	2.67	1.28	2.81	1.18	0.54	1.47
	D	평균	3.85	2.93	5.39	2.96	6.34	2.53	4.09	2.80
		최대	7.92	6.87	14.12	6.51	21.59	5.74	7.80	5.96
		최소	1.68	1.70	2.94	0.89	3.13	1.25	1.32	1.57

주 : A1,B1 시나리오는 CSIRO-Mk2 GCM만을 이용한 결과임.

주 : DJF은 12월, 1월, 2월을 의미하며, JJA는 6월, 7월, 8월을 의미함

<표 Ⅴ-4> 2100년 한반도지역의 기후영향분석

	기 온(DJF)				강수량(DJF)			
	A1	A2	B1	B2	A1	A2	B1	B2
A	0	0	0	0	0	0	0	0
B	0	0	0	0	0	0	0	0
C	0	0	0	0	0	0	0	0
D	+	+	0	0	0	0	0	0
	기 온(JJA)				강수량(JJA)			
A	0	0	0	0	0	0	0	0
B	+	0	0	0	0	0	0	0
C	+	0	0	0	0	0	0	0
D	++	+	+	0	0	0	0	0

기 호	---	--	-	0	+	++	+++	단 위
기온변화				<2.25	2.25 ~2.5	2.5 ~2.75	>2.75	increase, ℃
강수량변화	<-45	-45~-30	-30~-15	-15~15	15~30	30~45	>45	% change

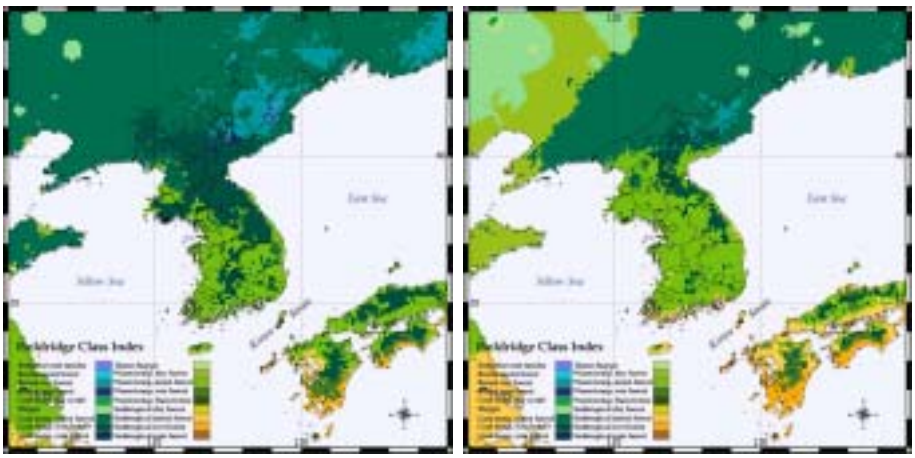
주: DJF은 12월, 1월, 2월을 의미하며, JJA는 6월, 7월, 8월을 의미함

3. 삼림의 생물기후학적 분류 및 검증

가. 삼림의 생물기후학적 분류

기후변화에 의한 삼림분포의 변화를 예측하고 평가하기 위해 Holdridge 모형이 사용되었다. 입력인자로 GCM을 이용해 생성된 미래의 기온과 강수량을 이용하였다. 현재 Holdridge 구분에 의한 우리나라의 삼림상태는 <그림 Ⅴ-12>와 같이 남부지역과 백두대간을 제외한 중부지역의 대부분이 난온대림(Warm Temperate Moist Forest, 이후 '난온대림'이라 함)의 생기후조건을 가지고 있으며, 백두대간과 북한의 대부분 지역은 냉온대습윤림(Cool Temperate Wet Forest, 이후 '냉온대습윤림'이

라 함)의 생기후조건을 가지고 있다. 개마고원과 백두산 부근은 아한대습윤림(Boreal Wet Forest, 이후 '아한대습윤림')과 아한대강우림(Boreal Rainforest, 이후 '아한대 강우림')으로 구성되며 백두산 정상과 개마고원 중 고도가 매우 높은 지역은 한대툰드라(Subpolar Tundra) 지역의 특성을 보이고 있다.



<그림 V-12> 1990년(좌)과 2100년(우)의 Holdridge 분류
(시나리오=A1, GCM=CSIRO)

기후변화로 인한 2100년경의 삼림의 분포는 <그림 V-12>의 오른쪽그림과 같이 보여지고 있다. 시뮬레이션 결과 중부지역의 난온대림의 생기후대는 고도가 높은 산맥의 일부를 제외하고는 북위 40°지역까지 북상하게 되고, 남한에서 냉온대습윤림은 지리산 일원과 태백산 등 일부 산악지역에만 분포하게 되며, 남해안 지역에는 아열대림의 기후대가 형성된다. 개마고원에 위치한 아한대강우림은 거의 사라지게 될 것이며, 아한대습윤림은 존재하게 되나 그 규모가 많이 축소된다. 따라서 중부 이북지역의 삼림기후대의 주된 변화양상은 냉온대습윤림이 난온대림으로 변화하는 경우와 아한대습윤림이 냉온대습윤림으로 변화하는 경우로 나타났다.

나. 온량지수와 현존식생도를 이용한 모델의 검증

기후변화에 의한 삼림분포 영향을 연구함에 있어 기온과 강우만을 입력인자로 하는 Holdridge 모형을 통해 도출된 광역적인 분석결과는 국토 면적이 좁은 우리나라와 같은 지역에 적용하는데 한계가 있다. 따라서 삼림분포를 정확하게 추정하기는 어려우나 한국에서 주로 이용되고 있는 지역규모차원의 연구와 조사를 통해 구축된 수종별 분포 경향에 대한 비교 및 검증이 필요하다.

삼림분포에 영향을 미치는 환경조건 중 지역규모차원에서 가장 중요한 것은 온도이다. 온량지수(Warmth Index)를 이용한 수종별 생육 가능 분포 범위를 추정하였다.[4] 온량지수는 <식 Ⅳ-1>과 같이 월평균기온이 5℃이상 되는 월의 월평균기온에서 5℃를 뺀 값들의 합으로 표현되며, 한랭지수는 월평균기온이 5℃ 이하되는 월의 월평균기온에서 5℃를 뺀 값들에 음의 값을 양수화 한 것으로 산출된다. <표 Ⅴ-5>는 온량지수를 이용한 삼림유형분류를 위해 적용된 지수의 범위를 나타낸 것이다.

온량지수(WI) = $\sum(T_{mean,monthly} - 5)$, 월평균기온 5℃ 이상인 경우 <식 Ⅴ-3>

한랭지수(CI) = $-\sum(T_{mean,monthly} - 5)$, 월평균기온 5℃ 미만인 경우 <식 Ⅴ-4>

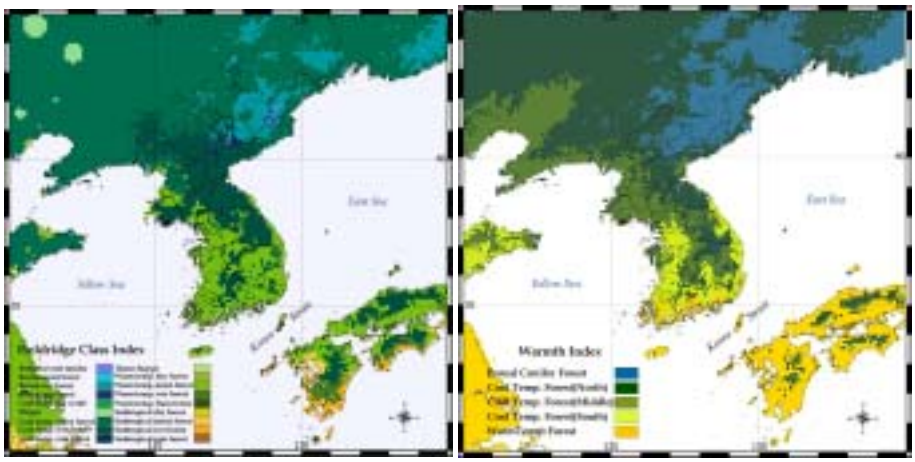
<표 Ⅴ-5> 생물기후대에 따른 삼림유형별 온량지수 및 한랭지수 범위

생기후 삼림유형	지수범위
Boreal Conifer Forest	WI < 55
Cool Temperate Forest Northern Part	55 ~ 85
Cool Temperate Forest Middle Part	85 ~ 110
Cool Temperate Forest Southern Part	WI > 110
Warm Temperate Forest	CI < 10

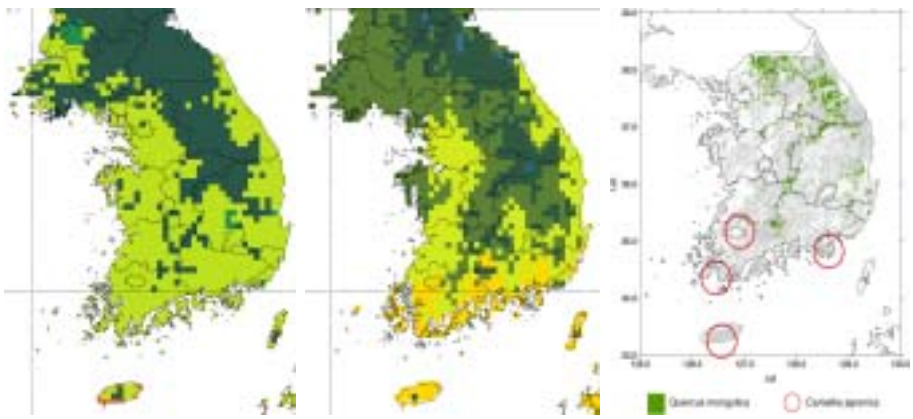
<그림 Ⅴ-13>은 현재 기후조건에서 Holdridge 분류결과와 온량지수를 이용한 분

4) 이 연구는 Yim(1977)이 제시한 온량지수(Warmth Index)와 한랭지수(Coldness Index)를 기준으로 잠재분포역을 제시하였다.

류결과를 비교한 것이다. <그림 V-14>는 환경부에서 구축하고 있는 현존식생도에서 냉온대 중부지역의 대표수종으로 우리나라 전역에 고루 분포하고 있는 신갈나무군락과 동백나무군락을 각 생기후대 결과와 비교한 것이다.



<그림 V-13> Holdridge(좌)와 온량지수(우)를 이용한 삼림기후대 분류 비교



Holdridge 온량지수 신갈나무군락과 동백나무

<그림 V-14> 냉온대 중부지역의 대표수종인 신갈나무군락과 동백나무군락의 분포와 각 삼림기후대의 비교

<그림 Ⅴ-13>에서 각 삼림기후대의 분류방법과 분류항목이 서로 다르므로 직접적인 관계를 연결하는 것은 무리가 있으나 기후대의 분포 패턴을 비교함으로써 Holdridge 분류 방법의 적용 가능성을 알 수 있었다.

<그림 Ⅴ-14>에서 신갈나무의 분포 현존식생도에서 신갈나무가 우세종으로 표현되어 있는 것을 주로 추출한 것으로 주로 강원도 지역에 집중되어 있으며 백두대간을 따라 이동하고 있음을 알 수 있다. 온량지수와 Holdridge 분류의 결과를 비교·분석한 결과, 각각 냉온대 중부지역과 냉온대 습윤림의 분포가 유사하게 나타나고 있다.

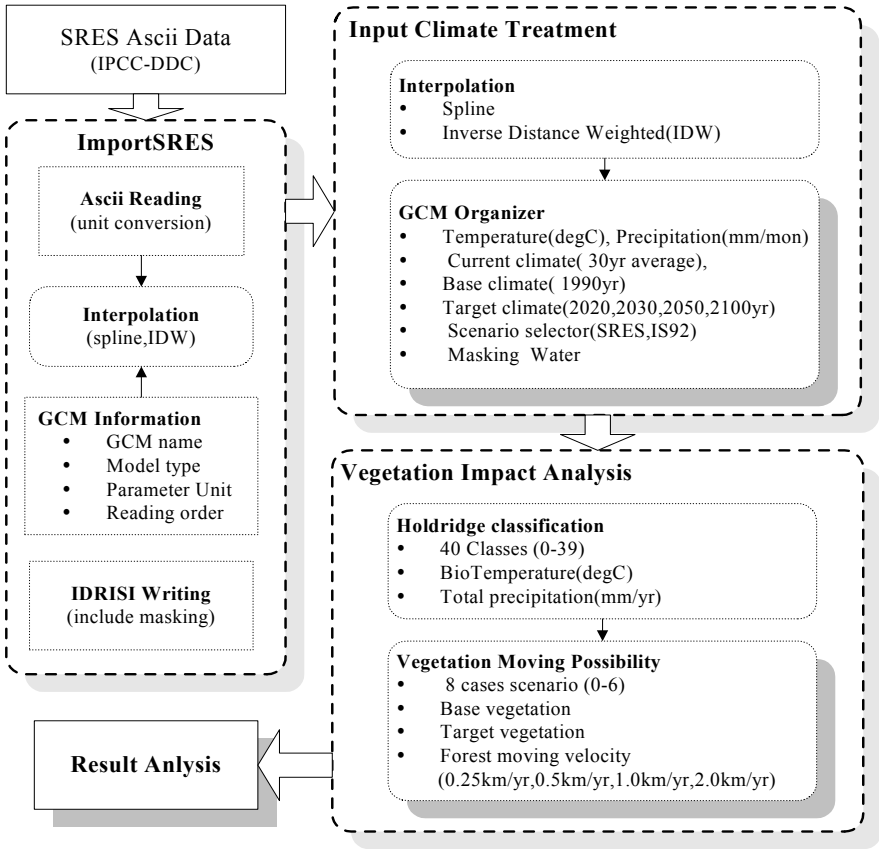
그 외 온대림의 대표수종인 동백나무군락의 현존식생도와 온량지수 분포와 Holdridge 분포를 비교해 보면 온대림의 분포경향을 잘 반영하고 있는 것으로 파악되어 향후 Holdridge 모형을 이용한 삼림 기후대의 분류가 큰 오차 없는 것으로 판단되었다.

이와 같이 현존식생의 분포와 온량지수의 비교 및 온량지수와 Holdridge 분류결과의 비교에서 Holdridge 분류결과가 우리나라 삼림분포의 특성을 비교적 정확히 반영하고 있다.

4. 기후변화에 따른 삼림의 영향 평가

가. 영향 분석의 구조

삼림영향분석을 위한 모형은 아래 그림과 같이 크게 세가지의 부분으로 이루어져있다. 첫째, SRES 시나리오자료를 변환 및 입력하고, 둘째, 삼림영향분석에 사용할 기상자료를 처리하며, 셋째, Holdridge 모형을 이용하여 삼림의 분포의 영향과 적응성을 평가한다.

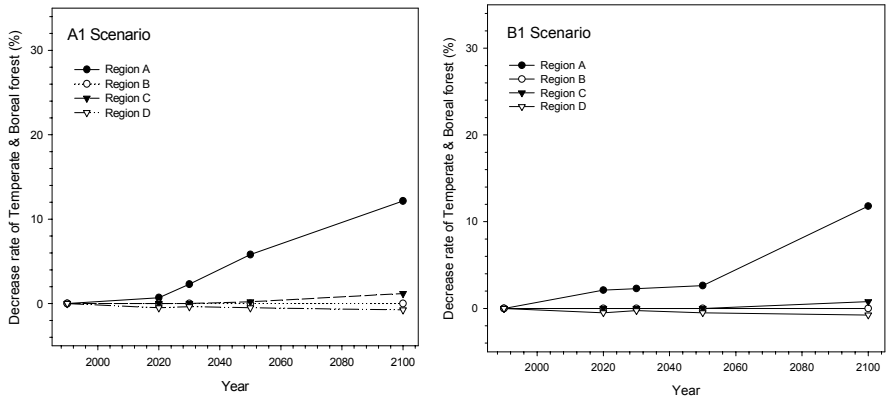


<그림 V-15> 삼림영향분석 모형 흐름도

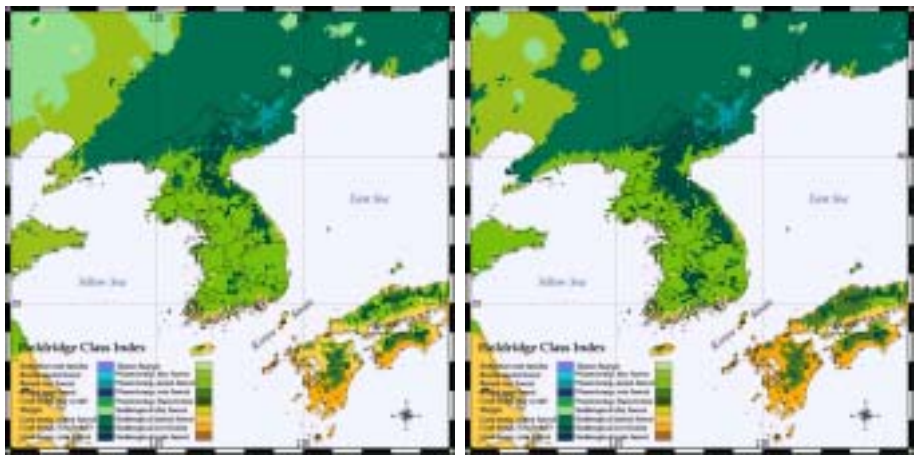
나. 기후변화로 인한 삼림의 분포 변화 평가

빠른 경제성장과 낮은 인구성장이 이루어진다는 A1시나리오의 경우 아한대림과 온대림의 면적은 남부지역에서는 12.15% 감소하나, 나머지 지역에서는 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. 청정기술에 기반을 둔 경제활동과 낮은 인구성장이 이루어진다는 B1시나리오의 경우 아한대림과 온대림의 면적은 남부지역에서 11.80%가 감소하나, 이외의 지역에서는 변화가 미미한 것으로 분석되었다(그림

Ⅴ-16, Ⅴ-17 참조).



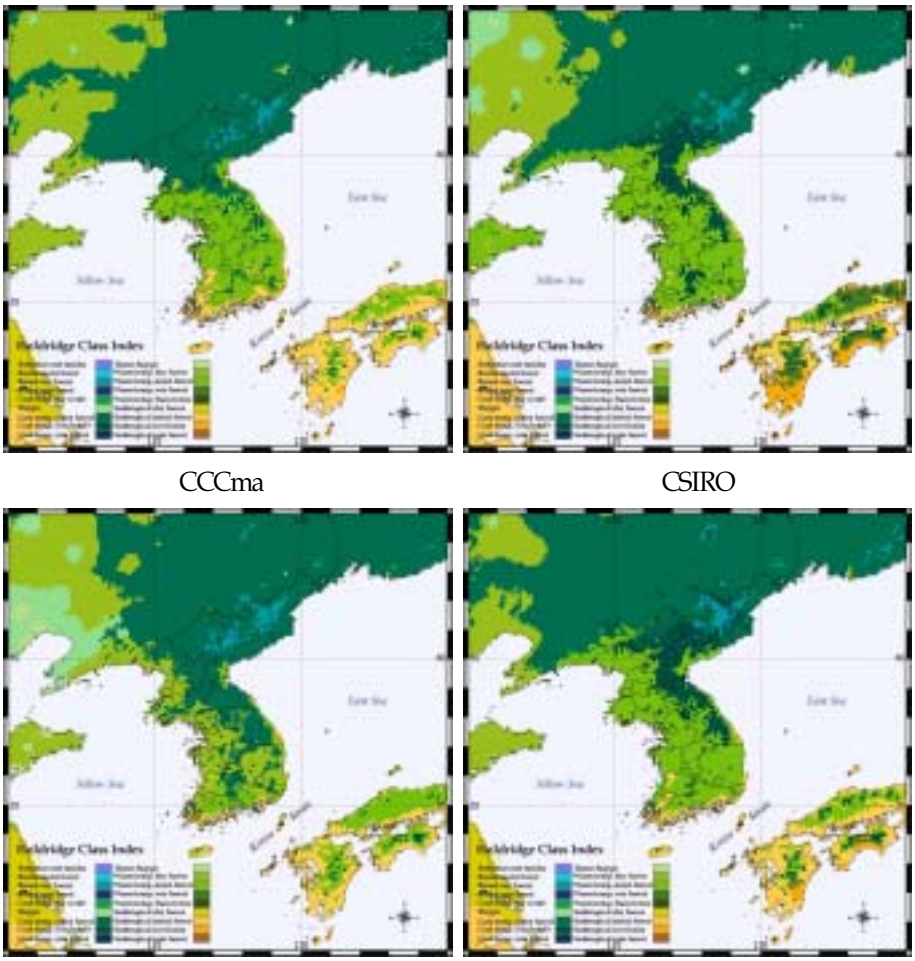
<그림 Ⅴ-16> SRES A1(좌), B1(우) 시나리오의 온대·아한대림의 감소경향



<그림 Ⅴ-17> CSIRO A1(좌) B1(우)시나리오의 2100년 Holdridge 삼림기후대

지역적인 차원의 경제성장과 높은 인구성장이 이루어진다는 A2 시나리오의 경우 아한대림과 온대림의 면적은 남부지방에서 최소 13.91%에서 최대 62.15%까지 면적이 감소하는 것으로 분석되었다. 분석에 사용된 4개 GCM 평균감소율은 34.99%이며, 이외의 지역에서는 면적감소가 미미한 것으로 분석되었다(그림

V-18 V-20 참조).



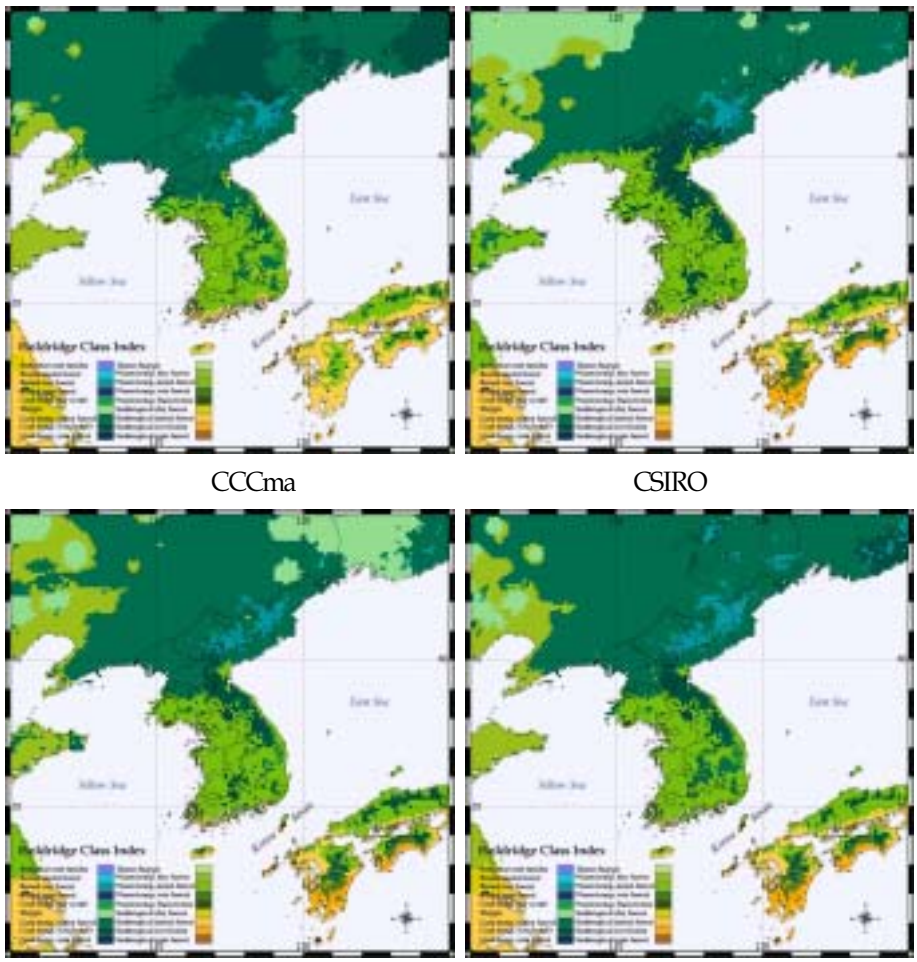
CCCma CSIRO

EH4OPYC HadCM3

<그림 V-18> A2 시나리오의 2100년 Holdridge 삼림기후대

중간정도의 경제성장과 완만한 인구성장이 이루어진다는 B2시나리오의 경우 아한대림과 온대림의 면적은 남부지역에서 최소 4.75%에서 최대 19.19%까지 감소하는 것으로 분석되었으며, 분석에 사용된 4개 GCM의 평균면적감소율은

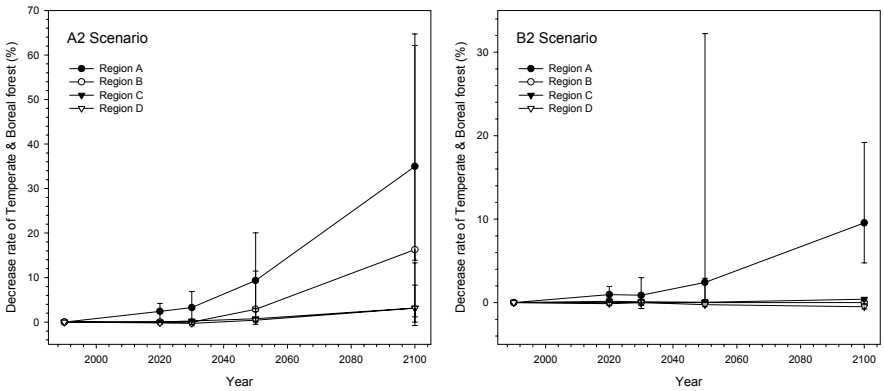
9.55%이고, 이외의 지역에서는 면적감소가 미미한 것으로 분석되었다(그림 Ⅴ-19 Ⅴ-20 참조).



CCCma CSIRO

EH4OPYC HadCM3

<그림 Ⅴ-19> B2 시나리오의 2100년 Holdridge 삼림기후대



<그림 V-20> SRES A2(좌), B2(우) 시나리오의 온대·아한대림의 감소경향

각 시나리오별로 분석해보면, 남부지역에서 A1, A2, B1 시나리오에서 온대림 및 아한대림의 면적이 감소하는 것으로 나타났으며, B2 시나리오에서는 남부지역을 제외한 나머지 지역에서는 면적변화가 거의 없는 것으로 나타났다(표 V-6, V-7 참조).

<표 V-6> 2100년 한반도지역의 온대·아한대림 영향분석

지역	온대·아한대림 삼림변화			
	A1	A2	B1	B2
A(남부지역)	-	--*	-	0
B(중부서부)	0	0*	0	0
C(중부동부)	0	0*	0	0
D(북부지역)	0	0*	0	0

기 호	---	--	-	0	+	++	+++	단 위
삼림변화	<-50	-50~-25	-25~-10	-10~10	10~25	25~50	>50	% change

* ECH4OPYC를 제외한 결과임. (Warm Temperate Dry Forest를 초지로 고려하였으며, 이 결과 ECH4OPYC에서 나타나는 온대림의 변화량이 다른 GCM의 결과에 비해 지나치게 높게 나타남.)

<표 Ⅴ-7> 온대·아한대림의 지역별 평균 감소량(%)

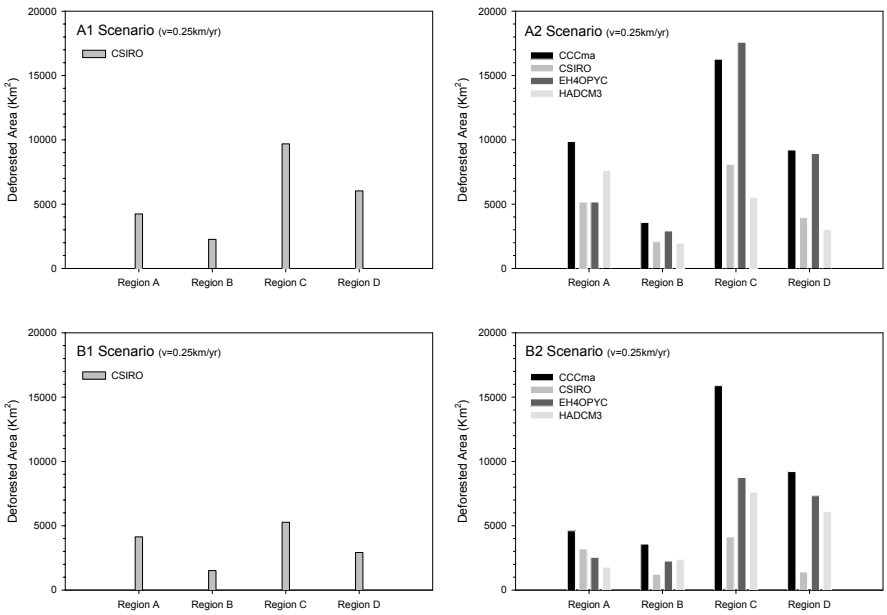
시나리오	지역	GCM명	2020	2030	2050	2100
A1	A	CSIRO	0.70	2.29	5.81	12.15
	B	CSIRO	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	CSIRO	0.00	0.00	0.20	1.19
	D	CSIRO	(+)0.50	(+)0.37	(+)0.50	(+)0.75
A2	A	평균	2.42	3.25	9.33	34.99
		CCCma	4.23	4.40	7.92	40.67
		CSIRO	3.17	2.29	2.99	13.91
		EH4OPYC	2.29	(+)0.53	20.07	62.15
		HADCM3	0.00	6.87	6.34	23.24
	B	평균	0.00	0.00	2.87	16.18
		CCCma	0.00	0.00	0.00	0.00
		CSIRO	0.00	0.00	0.00	0.00
		EH4OPYC	0.00	0.00	11.48	64.72
		HADCM3	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	평균	0.05	0.25	0.74	3.16
		CCCma	0.00	0.20	0.20	1.78
		CSIRO	0.20	0.00	0.20	1.19
		EH4OPYC	0.00	0.59	2.37	8.30
		HADCM3	0.00	0.20	0.20	1.38
	D	평균	(+)0.14	(+)0.28	0.69	3.11
		CCCma	(+)0.37	(+)0.25	(+)0.50	0.62
		CSIRO	(+)0.25	(+)0.37	(+)0.50	(+)0.75
		EH4OPYC	0.12	0.25	3.11	13.31
		HADCM3	(+)0.12	(+)0.75	(+)0.37	(+)0.75
B1	A	CSIRO	2.11	2.29	2.64	11.80
	B	CSIRO	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	CSIRO	0.00	0.00	0.00	0.79
	D	CSIRO	(+)0.50	(+)0.25	(+)0.50	(+)0.75
B2	A	평균	0.97	0.88	10.61	9.55
		CCCma	0.53	2.99	4.05	19.19
		CSIRO	0.70	1.06	2.46	8.45
		EH4OPYC	1.94	(+)0.70	3.17	5.81
		HADCM3	0.70	0.18	32.22	4.75
	B	평균	0.00	0.00	0.73	0.00
		CCCma	0.00	0.00	0.00	0.00
		CSIRO	0.00	0.00	0.00	0.00
		EH4OPYC	0.00	0.00	0.00	0.00
		HADCM3	0.00	0.00	2.92	0.00
	C	평균	0.15	0.10	0.59	0.40
		CCCma	0.20	0.40	0.20	0.59
		CSIRO	0.00	0.00	0.00	0.59
		EH4OPYC	0.00	0.00	0.00	0.20
		HADCM3	0.40	0.00	2.17	0.20
	D	평균	(+)0.13	0.00	(+)0.25	(+)0.50
		CCCma	0.12	0.37	(+)0.50	(+)0.75
		CSIRO	(+)0.25	(+)0.37	(+)0.50	(+)0.62
		EH4OPYC	(+)0.37	0.12	0.37	(+)0.12
		HADCM3	0.00	(+)0.12	(+)0.37	(+)0.50

주 : A(남부지역), B(중부서부지역), C(중부동부지역), D(북부지역)

다. 기후변화로 인한 삼림의 적응성 평가

2100년 시점의 4개의 시나리오별로 삼림의 평균이동가능속도에 따라 삼림의 적응성을 평가하였다. A1과 B1 시나리오의 경우 CSIRO GCM만 이용가능하여 이를 이용하였으며, A2와 B2 시나리오는 CCCma, CSIRO, EH4OPYC, HadCM3의 4개의 GCM 자료를 이용하였다.

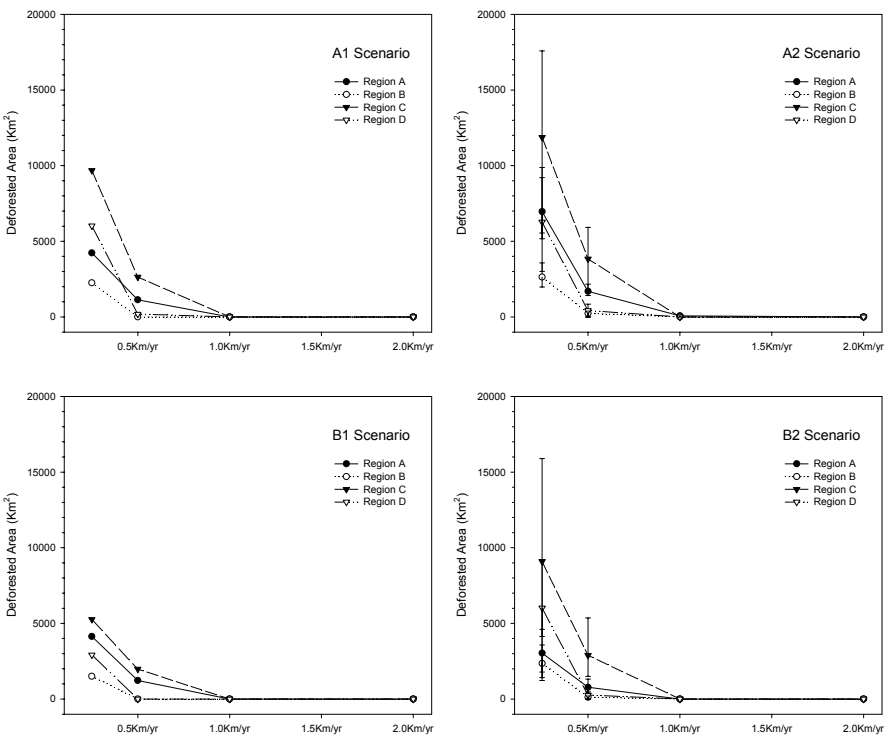
시나리오별로 비교해보면 1개의 GCM 자료만 존재하는 A1과 B1 시나리오의 경우 빠른 경제성장과 낮은 인구성장이 이루어진다는 A1시나리오에 의해 영향을 받는 지역이 청정기술에 기반을 둔 경제활동과 낮은 인구성장이 이루어진다는 B1시나리오의 경우보다 영향을 많이 받는 것으로 나타났으며, 특히 중부의 동부지역의 영향이 큰 것으로 나타났다(그림 V-21, V-22 참조).



<그림 V-21> 2100년 삼림 피해 예상면적(식생이동속도=0.25km/yr)

지역적인 차원의 경제성장과 높은 인구성장이 이루어진다는 A2 시나리오에 의해 영향을 받는 지역은 중간정도의 경제성장과 완만한 인구성장이 이루어진다는 B2시나리오 보다 넓은 것으로 산출되었다(그림 Ⅴ-21, Ⅴ-22 참조).

이를 지역별로 보면, 남부지역의 온대림중 약 3.13% 정도가 고사의 위험이, 3.28%정도의 지역이 삼림소멸의 위험이 있는 것으로 분석되었으며, 중부서부지역의 온대림중 0.65%의 지역이 삼림고사의 위험이, 3.30%가 삼림소멸의 위험이 있는 것으로 평가되었다. 중부동부지역의 온대림중 2.66%의 지역이 삼림고사의 위험이, 0.41%가 삼림소멸의 위험이 있으며, 북부지역의 온대림중 2.13%가 삼림고사의 위험이, 1.31%가 삼림소멸의 위험이 있는 것으로 분석되었다(표 Ⅴ-8~11 참조).



<그림 Ⅴ-22> 2100년 식생 이동 속도에 따른 삼림 피해 예상면적

<표 V-8> A1 시나리오 영향 구분별 한반도 전체에 대한 피해면적비율(%)

지역	영향구분	삼림의 이동속도(km/yr)				
		0.25	0.5	1	1.5	2
A	(28)온대림	1.90	0.51	0.00	0.00	0.00
	(29)아한대림	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	(31)온대림	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	(32)아한대림	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
B	(28)온대림	1.01	0.00	0.00	0.00	0.00
	(29)아한대림	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	(31)온대림	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	(32)아한대림	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C	(28)온대림	4.44	1.44	0.00	0.00	0.00
	(29)아한대림	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
	(31)온대림	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	(32)아한대림	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
D	(28)온대림	1.90	0.13	0.00	0.00	0.00
	(29)아한대림	0.68	0.00	0.00	0.00	0.00
	(31)온대림	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	(32)아한대림	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

주 : 영향구분중 (28), (29)는 2100년에 고사의 위험이 있으며, 일시적으로 초지로 변경되는 지역이며, (31), (32)는 삼림소멸지역임.

<표 V-9> A2 시나리오 영향 구분별 한반도 전체에 대한 피해면적비율(%)

지역	영향구분	삼림의 이동속도(km/yr)				
		0.25	0.5	1	1.5	2
A	(28)온대림	3.13	0.76	0.03	0.00	0.00
	(29)아한대림	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	(31)온대림	3.28	3.28	3.28	3.28	3.28
	(32)아한대림	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
B	(28)온대림	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00
	(29)아한대림	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	(31)온대림	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30
	(32)아한대림	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C	(28)온대림	2.66	0.95	0.00	0.00	0.00
	(29)아한대림	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00
	(31)온대림	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41
	(32)아한대림	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
D	(28)온대림	2.13	0.45	0.00	0.00	0.00
	(29)아한대림	0.53	0.00	0.00	0.00	0.00
	(31)온대림	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31
	(32)아한대림	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

주 : 영향구분중 (28), (29)는 2100년에 고사의 위험이 있으며, 일시적으로 초지로 변경되는 지역이며, (31), (32)는 삼림소멸지역임.

<표 V-10> B1 시나리오 영향 구분별 한반도 전체에 대한 면적비율(%)

지역	영향구분	삼림의 이동속도(km/yr)				
		0.25	0.5	1	1.5	2
A	(28)온대림	1.86	0.55	0.00	0.00	0.00
	(29)아한대림	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	(31)온대림	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	(32)아한대림	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
B	(28)온대림	0.68	0.00	0.00	0.00	0.00
	(29)아한대림	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	(31)온대림	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	(32)아한대림	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C	(28)온대림	2.66	1.14	0.00	0.00	0.00
	(29)아한대림	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
	(31)온대림	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	(32)아한대림	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
D	(28)온대림	3.38	0.46	0.00	0.00	0.00
	(29)아한대림	0.51	0.00	0.00	0.00	0.00
	(31)온대림	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	(32)아한대림	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

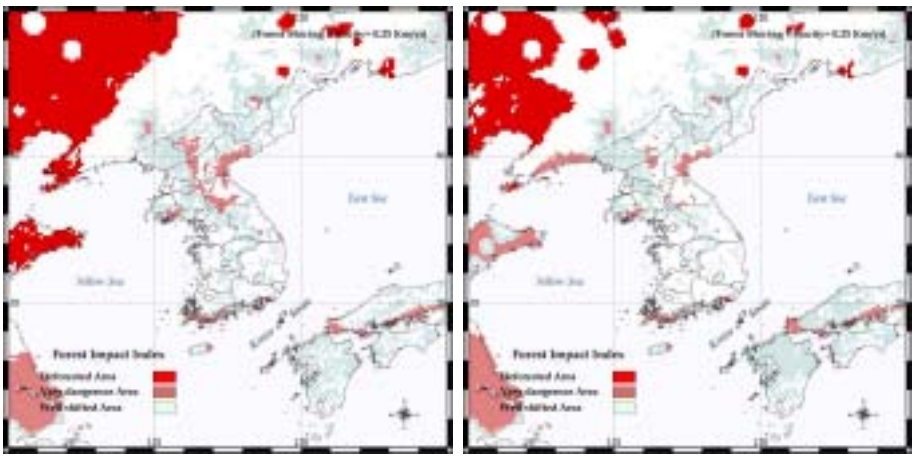
주 : 영향구분중 (28), (29)는 2100년에 고사의 위험이 있으며, 일시적으로 초지로 변경되는 지역이며, (31), (32)는 삼림소멸지역임.

<표 V-11> B2 시나리오 영향 구분별 한반도 전체에 대한 면적비율(%)

지역	영향구분	삼림의 이동속도(km/yr)				
		0.25	0.5	1	1.5	2
A	(28)온대림	1.36	0.35	0.00	0.00	0.00
	(29)아한대림	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	(31)온대림	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39
	(32)아한대림	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
B	(28)온대림	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00
	(29)아한대림	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	(31)온대림	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	(32)아한대림	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C	(28)온대림	1.57	0.60	0.00	0.00	0.00
	(29)아한대림	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	(31)온대림	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	(32)아한대림	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
D	(28)온대림	0.79	0.12	0.00	0.00	0.00
	(29)아한대림	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00
	(31)온대림	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	(32)아한대림	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

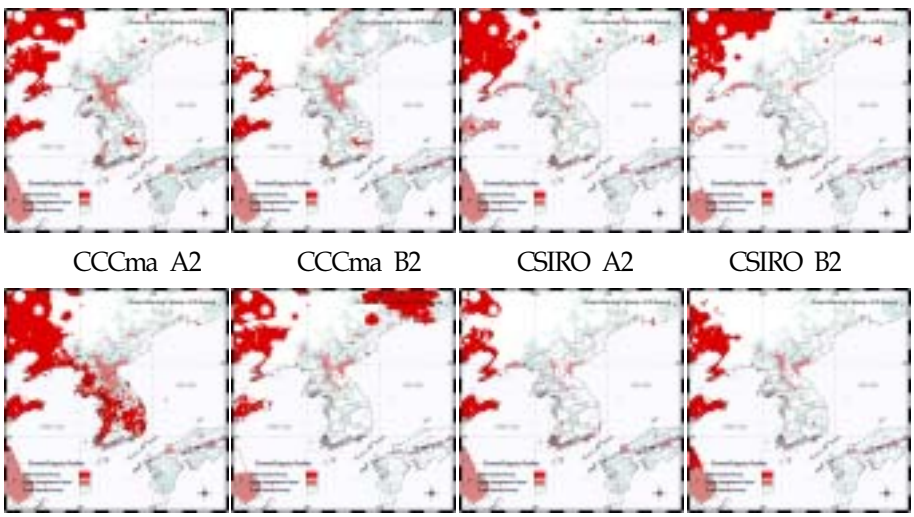
주 : 영향구분중 (28), (29)는 2100년에 고사의 위험이 있으며, 일시적으로 초지로 변경되는 지역이며, (31), (32)는 삼림소멸지역임.

A1, B1 시나리오에 의한 삼림고사위험지역은 함경도의 동해안지역과 북부의 내륙지방인 것으로 분석되었다(그림 V-23 참조).



CSIRO A1 CSIRO B1

<그림 V-23> 2100년의 A1, B1 시나리오별 삼림식생의 영향



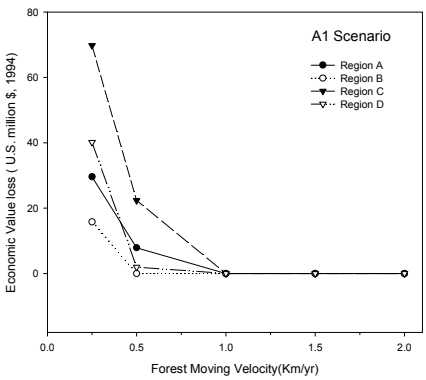
CCCma A2 CCCma B2 CSIRO A2 CSIRO B2

EH4OPYC A2 EH4OPYC B2 HadCM3 A2 HadCM3 B2

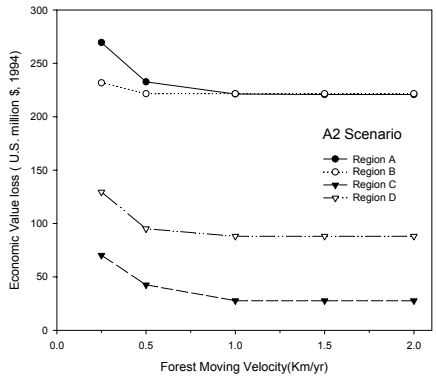
<그림 V-24> 2100년의 A2, B2 시나리오별 삼림식생의 영향

5. 삼림의 경제적 가치손실액 추정

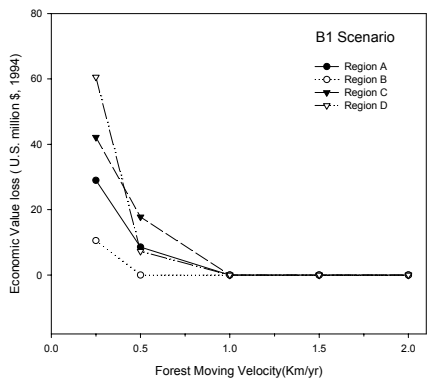
빠른 경제성장과 낮은 인구성장이 이루어진다는 A1시나리오의 경우 경제적 가치손실액 평가결과 삼림의 이동속도가 평균 0.25km/년 일 경우 한반도에서 155백만달러의 손실이 발생하는 것으로 산출되었다. 삼림의 이동속도가 0.5km/년 일 경우 30백만달러의 손실이 발생하며, 삼림의 이동속도가 1.0km/년 이상일 경우 손실이 발생하지 않는 것으로 분석되었다(그림 Ⅴ-25, 표 Ⅴ-12 참조).



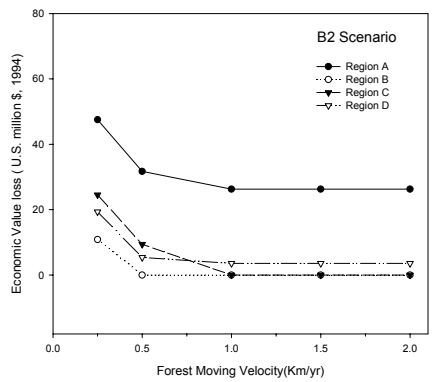
A1 시나리오



A2 시나리오



B1 시나리오



B2 시나리오

<그림 Ⅴ-25> SRES 시나리오별 경제적 가치손실액 변화

<표 V-12> A1 시나리오의 경제적 가치손실액 추정

지역	평가항목	삼림의 이동속도(km/yr)				
		0.25	0.5	1.0	1.5	2.0
한반도 삼림순손실액		**155.34**	**32.25**	**0.00**	**0.00**	**0.00**
A (남부 지역)	c면적비(%)	1.90	0.51	0.00	0.00	0.00
	d면적비(%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	손실액	127.78	34.08	0.00	0.00	0.00
	초지증가가치	98.16	26.18	0.00	0.00	0.00
	순손실액	29.62	7.90	0.00	0.00	0.00
B (중부 서부 지역)	c면적비	1.01	0.00	0.00	0.00	0.00
	d면적비	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	손실액	68.15	0.00	0.00	0.00	0.00
	초지증가가치	52.35	0.00	0.00	0.00	0.00
	순손실액	15.80	0.00	0.00	0.00	0.00
C (중부 동부 지역)	c면적비	4.48	1.44	0.00	0.00	0.00
	d면적비	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	손실액	301.00	96.55	0.00	0.00	0.00
	초지증가가치	231.23	74.17	0.00	0.00	0.00
	순손실액	69.77	22.38	0.00	0.00	0.00
D (북부 지역)	c면적비	2.58	0.13	0.00	0.00	0.00
	d면적비	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	손실액	173.22	8.52	0.00	0.00	0.00
	초지증가가치	133.07	6.54	0.00	0.00	0.00
	순손실액	40.15	1.97	0.00	0.00	0.00

단위 : 면적비(%), 가치(1994 U.S. 백만$/년)

지역적인 차원의 경제성장과 높은 인구성장이 이루어진다는 A2 시나리오의 경우 경제적 가치손실액 평가결과 삼림의 이동속도가 평균 0.25km/년 일 경우 한반도에서 700백만달러의 손실이 발생하는 것을 산출되었다. 삼림의 이동속도가 0.5km/년 이상이 되더라도 557백만달러에서 591백만달러의 손실이 발생하는 것으로 평가되었다(그림 V-25, 표 V-13 참조).

<표 Ⅴ-13> A2 시나리오의 경제적 가치손실액 추정

지역	평가항목	삼림의 이동속도(km/yr)				
		0.25	0.5	1.0	1.5	2.0
한반도 삼림순손실액		**700.97**	**591.72**	**558.48**	**557.99**	**557.99**
A (남부 지역)	c면적비	3.13	0.76	0.03	0.00	0.00
	d면적비	3.28	3.28	3.28	3.28	3.28
	손실액	430.91	271.89	222.91	220.78	220.78
	초지증가가치	161.43	39.27	1.64	0.00	0.00
	순손실액	269.49	232.63	221.27	220.78	220.78
B (중부 서부 지역)	c면적비	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00
	d면적비	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30
	손실액	265.50	221.49	221.49	221.49	221.49
	초지증가가치	33.81	0.00	0.00	0.00	0.00
	순손실액	231.69	221.49	221.49	221.49	221.49
C (중부 동부 지역)	c면적비	2.74	0.95	0.00	0.00	0.00
	d면적비	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41
	손실액	211.55	91.58	27.69	27.69	27.69
	초지증가가치	141.25	49.08	0.00	0.00	0.00
	순손실액	70.30	42.50	27.69	27.69	27.69
D (북부 지역)	c면적비	2.66	0.45	0.00	0.00	0.00
	d면적비	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31
	손실액	266.92	118.55	88.03	88.03	88.03
	초지증가가치	137.43	23.45	0.00	0.00	0.00
	순손실액	129.49	95.10	88.03	88.03	88.03

단위 : 면적비(%), 가치(1994 U.S. 백만$/년)

청정기술에 기반을 둔 경제활동과 낮은 인구성장이 이루어진다는 B1시나리오의 경우 경제적 가치손실액 평가결과 삼림의 이동속도가 평균 0.25km/년 일 경우 한반도에서 142백만달러의 손실이 발생하는 것으로 산출되었다. 삼림의 이동속도가 0.5km/년 일 경우 33백만달러의 손실이 발생하며, 삼림의 이동속도가 1.0km/년 이상일 경우 손실이 발생하지 않는 것으로 분석되었다.(그림 Ⅴ-25, 표

V-14 참조).

<표 V-14> B1 시나리오의 경제적 가치손실액 추정

지역	평가항목	삼림의 이동속도(km/yr)				
		0.25	0.5	1.0	1.5	2.0
한반도 삼림순손실액		**142.16**	**33.57**	**0.00**	**0.00**	**0.00**
A (남부 지역)	c면적비	1.86	0.55	0.00	0.00	0.00
	d면적비	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	손실액	124.94	36.92	0.00	0.00	0.00
	초지증가가치	95.98	28.36	0.00	0.00	0.00
	순손실액	28.96	8.56	0.00	0.00	0.00
B (중부 서부 지역)	c면적비	0.68	0.00	0.00	0.00	0.00
	d면적비	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	손실액	45.43	0.00	0.00	0.00	0.00
	초지증가가치	34.90	0.00	0.00	0.00	0.00
	순손실액	10.53	0.00	0.00	0.00	0.00
C (중부 동부 지역)	c면적비	2.70	1.14	0.00	0.00	0.00
	d면적비	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	손실액	181.74	76.67	0.00	0.00	0.00
	초지증가가치	139.61	58.90	0.00	0.00	0.00
	순손실액	42.12	17.77	0.00	0.00	0.00
D (북부 지역)	c면적비	3.89	0.46	0.00	0.00	0.00
	d면적비	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	손실액	261.24	31.24	0.00	0.00	0.00
	초지증가가치	200.69	24.00	0.00	0.00	0.00
	순손실액	60.55	7.24	0.00	0.00	0.00

단위 : 면적비(%), 가치(1994 U.S. 백만$/년)

중간정도의 경제성장과 완만한 인구성장이 이루어진다는 B2시나리오의 경우 경제적 가치손실액 평가결과 삼림의 이동속도가 평균 0.25km/년 일 경우 한반도에서 102백만달러의 손실이 발생하는 것을 산출되었다. 삼림의 이동속도가

0.5km/년 이상이 되더라도 최소 26백만달러에서 46백만달러의 손실이 발생하는 것으로 평가되었다(그림 Ⅴ-25, 표 Ⅴ-15 참조).

<표 Ⅴ-15> B2 시나리오의 경제적 가치손실액 추정

지역	평가항목	삼림의 이동속도(km/yr)				
		0.25	0.5	1.0	1.5	2.0
한반도 삼림순손실액		**102.22**	**46.44**	**29.82**	**29.82**	**29.82**
A (남부 지역)	c면적비	1.36	0.35	0.00	0.00	0.00
	d면적비	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39
	손실액	117.84	49.69	26.27	26.27	26.27
	초지증가가치	70.35	18.00	0.00	0.00	0.00
	순손실액	47.49	31.70	26.27	26.27	26.27
B (중부 서부 지역)	c면적비	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00
	d면적비	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	손실액	46.85	0.00	0.00	0.00	0.00
	초지증가가치	35.99	0.00	0.00	0.00	0.00
	순손실액	10.86	0.00	0.00	0.00	0.00
C (중부 동부 지역)	c면적비	1.57	0.60	0.00	0.00	0.00
	d면적비	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	손실액	105.78	40.46	0.00	0.00	0.00
	초지증가가치	81.26	31.09	0.00	0.00	0.00
	순손실액	24.52	9.38	0.00	0.00	0.00
D (북부 지역)	c면적비	1.01	0.12	0.00	0.00	0.00
	d면적비	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	손실액	71.70	11.36	3.55	3.55	3.55
	초지증가가치	52.35	6.00	0.00	0.00	0.00
	순손실액	19.35	5.36	3.55	3.55	3.55

단위 : 면적비(%), 가치(1994 U.S. 백만$/년)

제6장 기후변화에 따른 삼림부분 대응방안

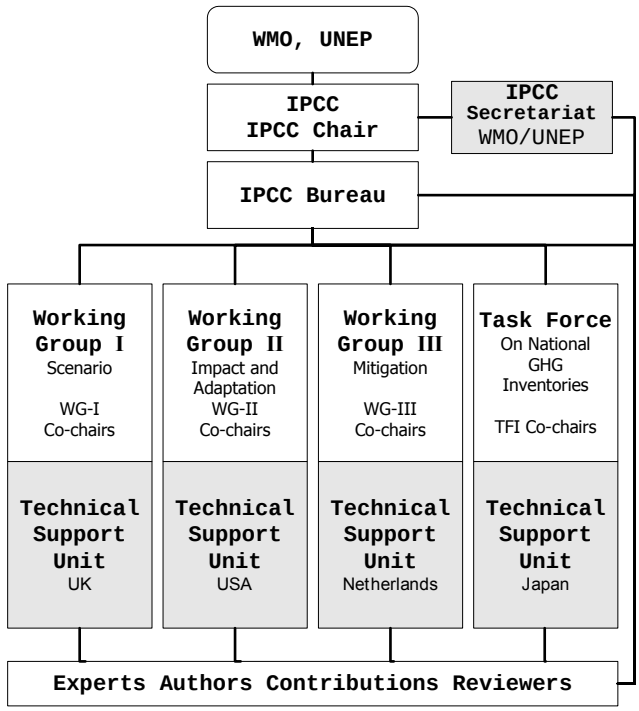
1. 기후변화협약

가. IPCC와 UNFCCC

1979년 제1차 세계기후회의가 개최되어 인간 활동에 의한 기후변화의 가능성과 그 대책의 필요성이 처음으로 제기되었다. 그 후 1988년 6월 캐나다 토론토에서 개최된「대기변화에 관한 세계회의」에서는 기후변화방지를 위한 대책마련이 촉구되었고, 그 해 11월 유엔환경프로그램(UNEP)와 세계기상기구(WMO)의 공동주관으로 기후변화에 관한 정부간 패널(IPCC)이 설립되어 1990년에 기후변화에 관한 제1차 평가보고서를 제출하였다. 1990년 11월 스위스 제네바에서 열린 제2차 세계기후회의에서는 이 평가보고서를 기초로 기후변화방지협약을 제정키로 합의하였고, 같은 해 12월 유엔총회에서는 1992년 6월을 기한으로 기후변화협약을 제정키로 결의하고 정부간 협상위원회(INC)를 구성하였다.

IPCC는 <그림 Ⅵ-1>과 같이 3개의 실무그룹(working group)과 국가온실가스 목록에 대한 한 개의 태스크포스 팀으로 구성된다. 이 네 그룹은 모두 두 명의 공동의장(선진국과 개발도상국으로부터 각각 한 명)과 하나의 기술지원기구로 이루어진다. 실무그룹Ⅰ(WGⅠ)은 과학적 측면에서 기후시스템과 기후변화를 평가한다. 실무그룹Ⅱ(WGⅡ)는 기후변화에 대한 인간과 자연계의 취약성, 기후변화의 부정적이고 긍정적인 결과들, 그리고 그들에 적응하기 위한 선택사항들을 다룬다. 실무그룹Ⅲ(WGⅢ)은 경제적 이슈들뿐만 아니라 온실가스의 배출을 제한하거나 다른 방법으로 기후변화를 완화시키는 방법들을 평가한다. 120여 국가들에서 약 400명의 전문가들이 IPCC 평가보고서의 초안작성, 교정 그리고 완성

하는 일에 직접적으로 참여하며, 2,500명의 전문가들이 검토과정에 참여한다. 이 평가보고서의 저자들은 정부와 비정부기구들(NGOs)을 포함한 국제기구들에 의해 임명된다.



<그림 VI-1> IPCC 조직도

자료: http://www.ipcc.ch/about/chart.htm

위에서 언급한 유엔총회(1990.12)의 결의에 따라, 유엔기후변화협약(United Nation Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)이 지구 온난화에 대응하기 위한 세계적인 실천 전략의 일환으로 설립되었다. 1992년 6월 브라질 리우데자네이루에서 개최된 유엔환경개발회의(United Nation Conference on Environment and Development, UNCED)에서 설립의 합의가 처음으로 도출되었는데, 그 궁극적인 목적은 "위험한 인위적 기후시스템 교란을 방지하는 수준에서 대기중 온실가스 농도를 안정화시키는 것"이다. 이 같은 목적에 따라 UNFCCC는 모든 국가들에게 온실가스배출 감축을 위한 노력을 촉구하고, 특히 선진국들에 대해서는 2000년까지 온실가스배출량을 1990년 수준으로 감축할 것을 규정하였다. UNFCCC의 최고 의사결정기구는 당사국 총회(Conference of the Parties, COP)로서 합의서에 비준 또는 서명한 186개 회원국(2001년 9월 현재)으로 구성되어 있다. 우리 나라는 1993년 12월에 가입함으로써 UNFCCC에

참여하게 되었다. COP의 올바른 의사결정을 돕기 위한 부속기구로서 과학기술 자문기구(Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice, SBSTA)와 이행기구(Subsidiary Body for Implementation, SBI)를 두고 있다. SBSTA는 협약과 관련된 과학기술 문제들에 대해 시기 적절한 정보 및 자문을 COP에 제공하며, SBI는 협약 이행의 평가와 검토를 돕는다.

기후변화협약에서는 현재 진행되고 있는 기후변화에 대한 과학적 확실성의 부족이 지구 온난화 방지조치를 연기해야 할 이유가 될 수 없음을 강조하고, 기후변화의 예측 및 방지를 위한 예방적 조치의 시행과 모든 국가의 지속가능한 성장의 보장 등을 기본원칙으로 하고 있다(협약 제3조). 또한 UNFCCC는 과거에 대기로 배출된 인위적 온실가스에 대해 그 역사적 책임이 큰 선진국들에게는 협약 이행의 선도적 역할을 맡기고, 개발도상국에게는 현재의 개발상황에 대한 특수사정을 배려하며 아울러 공동의 차별화된 책임과 능력에 입각한 의무 부담을 지우고 있다(협약 제4조).

공동의무사항은 선진국과 개발도상국에 공통으로 적용되는 의무로서 모든 회원국은 온실가스배출량 통계 및 국가 이행사항을 COP에 제출(협약 발효 후 선진국은 6개월, 개발도상국은 3년 이내)해야 하며, 기후변화 방지에 기여하는 국가정책을 수립·시행해야 하고 이를 COP에 보고하여야 한다. 특별의무사항은 차별화 원칙에 따른 의무로서, 협약 당사국들을 부속서Ⅰ(AnnexⅠ), 부속서Ⅱ(AnnexⅡ) 그리고 비부속서Ⅰ(Non-AnnexⅠ) 국가 등으로 구분하여 각기 다른 의무를 규정하고 있다. 부속서Ⅰ국가들은 온실가스배출량을 1990년 수준으로 감축하기 위해 노력하도록 규정되어 있으며, 부속서Ⅱ국가들은 감축노력과 함께 온실가스 저감을 위한 재정 및 기술이전의 의무를 지닌다. < 표 Ⅵ-1 >에 제시된 바와 같이, 부속서Ⅰ국가는 협약체결 당시 OECD 24개 회원국과 유럽연합(EU) 및 동구권 국가들로서 총 41개국으로 구성되어 있으며, 부속서Ⅱ국가는 부속서Ⅰ에서 동구권 국가들을 제외한 25개 국가들로 구성되어 있다.

<표 Ⅵ-1> 부속서Ⅰ,Ⅱ국가 목록

부속서Ⅰ국가	부속서Ⅱ국가
Australia, Austria, Belarus, Belgium, Bulgaria, Canada, Croatia, Czech Republic, Denmark, European Union, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Japan, Latvia, Liechtenstein, Lithuania, Luxembourg, Monaco, Netherlands, New Zealand, Norway, Poland, Portugal, Romania, Russian Federation, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland, Turkey, Ukraine, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland, United States of America	Australia, Austria, Belgium, Canada, Denmark, European Union, Finland, France, Germany, Greece, Iceland, Ireland, Italy, Japan, Luxembourg, Netherlands, New Zealand, Norway, Portugal, Spain, Sweden, Switzerland, Turkey, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland, United States of America

자료: http://unfccc.int/resource/conv/annex1(annex2).html

요컨대, IPCC는 기후변화에 관한 가장 권위 있는 과학적, 기술적 목소리로 인식되고 있으며, UNFCCC는 IPCC의 평가에 근거하여 기후변화에 관한 국제협약을 유도하며 이행하는 역할을 한다. 실제로 그동안 발간된 IPCC 평가보고서는 UNFCCC와 교토의정서의 협상자들에게 막대한 영향을 끼쳤다. 또한 IPCC는 지구 기후변화의 위험성 평가와 대응방안 개발에 관한 과학적, 기술적, 사회·경제적 정보를 당사국에게 지속적으로 제공하고 있다(정일웅, 2002).

나. 당사국 총회 추진현황 및 주요내용

기후변화협약의 채결 이후 협약의 최고 의결기구인 당사국 총회(COP)는 특별한 사안이 없는 한 일년에 한번씩 개최되었다. 1995년 3월 독일 베를린에서 개최된 제1차 총회로부터 2001년 11월 모로코 마라케쉬에서 개최된 제7차 총회에 이

르기까지의 주요 의결사안들은 다음과 같다(환경부, 2002a).

1) 제1차 당사국 총회(1995.3, 독일 베를린)

베를린 위임(Berlin Mandate)에 따라 특별기구(Ad-hoc Group on the Berlin Mandate, AGBM)를 설치하여 선진국의 온실가스 감축목표 및 실현방안을 수립하도록 하였다. 공동의무사항의 경우, 비부속서 I 국가들의 경우도 자발적으로 참여할 수 있으나 부속서 I 국가와 비부속서 I 국가들간의 공동이행실적은 부속서 I 국가의 배출감축에 대한 의무이행으로 보지 않고 기술이전에 관한 특별의무사항으로 간주하기로 하였다.

2) 제2차 당사국 총회(1996.7, 스위스 제네바)

IPCC 제2차 평가보고서의 내용을 인정하였으며, 선진국들에 대한 법적 구속력을 갖는 감축목표에 관한 의정서를 제3차 당사국 총회에서 채택하기로 결정하였다. 미국은 비용 효과적인 온실가스 저감수단으로서 국제 배출권거래제 도입을 전제로 한 구속력 있는 감축목표 설정에 동의하였고 일본도 국제 배출권거래제 도입을 주장하였다.

3) 제3차 당사국 총회(1997.12, 일본 교토)

CO_2, CH_2, N_2O, PFC, HFC, SF_6의 6가지 가스를 지정하여 선진국의 구속력 있는 감축목표를 설정한 교토의정서(Kyoto Protocol)를 채택하였다. 미국, 일본, 유럽연합 등 38개국은 2008년~2012년까지 온실가스의 전체 배출량을 1990년 대비 평균 5.2% 감축키로 하였으며, 배출권거래제[5], 공동이행제도[6], 청정개발체제[7]

5) 배출권거래제(Emission Trading, ET)란 선진국들이 온실가스 감축의무에 따른 배출쿼터를 국제시장에서 거래할 수 있게하는 제도(감축의무 초과 달성국은 배출권을 판매, 미달성국은 매입할 수 있음)이다.

6) 공동이행제도(Joint Implementation, JI)란 선진국 A가 다른 선진국에 투자하여 얻게되는 온실가스 감축분의 일정분을 A국의 온실가스 감축분으로 인정하는 제도이다.

7) 청정개발체제(Clean Development Mechanism, CDM)란 선진국들이 개발도상국에 투자하여 얻

등의 유연성 체제(Flexibility Mechanism) 도입과, 1990년 이후 조림된 삼림에 대한 온실가스 흡수원 인정 등 온실가스 감축비용을 최소화하기 위한 조치들을 마련하였다.

교토의정서 발효조건은 협약 당사국 중 55개국 이상이 가입하고, 의정서에 가입한 부속서 I 국가의 총 CO_2 배출량이 전체 부속서 I 국가의 1990년 CO_2 배출량의 55% 이상이 된 후 90일이 경과되어야 한다. 유럽연합(EU) 전체의 평균 저감율은 8%이지만, 국가간 조정이 가능하도록 하였으며, 1998년 6월 룩셈부르크에서 개최된 EU 환경각료회담에서 각 국가의 분담내용이 최종 합의되었다(표 VI-2 참조).

<표 VI-2> 교토의정서 주요내용

목표년도	2008년~2012년	
감축대상 및 기준년도	CO_2, CH_4, N_2O : 1990년 기준 PFC, HFC, SF_6 : 1995년 기준 가능	
감축목표	총 38개 국가 평균 5.2%	
	-8%	유럽연합(EU) 15개국, 불가리아, 체코공화국, 에스토니아, 슬로베니아, 라트비아, 리히텐슈타인, 리투아니아, 루마니아, 슬로바키아, 스위스
	-7%	미국
	-6%	캐나다, 헝가리, 일본, 폴란드
	-5%	크로아티아
	0%	뉴질랜드, 러시아, 우크라이나
	+1%	노르웨이
	+8%	호주
	+10%	아이슬란드

자료: 기후변화협약에 대한 산업계 대응방안(환경부, 2002)

4) 제4차 당사국 총회(1998.11, 아르헨티나 부에노스아이레스)

교토메커니즘의 세부 운영방안에 대한 합의도출이 실패한 가운데, 교토의정서

게되는 온실가스 감축분을 선진국의 감축실적으로 인정받는 제도이다.

메커니즘, 개발도상국에 대한 보상 및 기술이전, 협약의 재정체계, 기술개발 및 이전, 온실가스저감 시범사업, 의정서 제차 당사국 총회준비 등 6개 사안을 일괄 타결하기 위한 행동계획(Buenos Aires Plan of Action)을 채택하고 사안별 이행은 개별 결정에 포함된 일정에 따라 추진토록 하였다.

5) 제5차 당사국 총회(1999.11, 독일 본)

선진국들은 교토메커니즘에 대한 논의의 진전을 추구한 반면, 개발도상국들은 개발도상국 보상과 능력형성 문제를 주의제로 부각시켰다. 개발도상국의 자발적 참여문제는 개발도상국들의 강력한 반대로 공식적인 논의는 배제되었으나 아르헨티나가 자발적인 온실가스 감축목표를 발표하였으며, 미국은 양자회의를 통해 한국의 자발적 의무부담 문제를 제기하기도 하였다.

6) 제6차 당사국 총회(2000.11, 네덜란드 헤이그)

6차 회의에서 미국, 일본, 캐나다, 호주 등 Umbrella 그룹 국가들이 흡수원 포함, 보조성 거부 등 교토의정서의 환경적 건전성을 약화시키는 입장을 취했다. 유럽연합(EU)은 이들 입장을 반영하여 상당부분 양보적인 입장을 취하였으나 Umbrella 그룹의 지나친 요구로 협상이 결렬되어 특별한 성과는 없었으며, 회의의 조속한 결정을 위해 속개회의를 개최하기로 결정하였다. 개발도상국들의 재정 및 기술에 대한 요구는 Pronk 의장 안에 잘 반영되어 있는 편이며, 청정개발체제(CDM) 대상사업으로서 재생에너지(소규모 수력포함), 에너지효율향상사업 등에 우선권을 주도록 하였고, CDM에 원자력을 포함하는 문제에 대해서는 선진국과 개발도상국을 떠나 국가별로 입장이 달랐다. 우리나라가 제안한 Unilateral CDM(개발도상국이 자국 또는 다른 개발도상국에서 CDM 사업을 할 수 있도록 하는 방안)은 콜롬비아 등 중남미 12개국과 일본의 지지를 얻었으나 중국, 사우디아라비아, 인도, 그리고 일부 유럽연합국이 반대 입장을 표명하였다.

7) 제6차 당사국 총회 속개회의(2001.7, 독일 본)

교토메커니즘 운영절차 및 방식 등 교토의정서의 주요 이행골격이 COP6 속개회의 표제회의에서 합의되었다(Bonn Agreement). 이로써 미국의 반대 선언 등으로 전망이 불투명하였던 교토의정서가 2002년에 발효될 수 있는 토대가 마련되었으며, 개발도상국의 능력형성, 기술지원 및 기금조성 방안 등은 타결되었다.

청정개발체제(CDM) 운영기구의 역할과 관련하여, CDM의 지적재산권 또는 비밀자료 공개는 당사국 총회가 아닌 각 국의 규정에 따르기로 하였다. 운영기구가 온실가스 저감분(Certified Emission Reductions, CERs)을 과다 발급할 경우 운영기구의 자격취소 및 정지뿐만 아니라, 초과 발급된 CER을 취소하거나 AAU, ERU로 상환할 수 있는 내용에 합의하였다. 기술이전을 위한 재정지원은 지구환경기금(Global Environment Facility, GEF)을 통해 관할하기로 하였으며, 기금은 기본적으로는 기후변화특별기금(Special Climate Change Fund) 및 기타 국가의 자발적 재원으로 조달하기로 하였다.

8) 제7차 당사국 총회(2001.11, 모로코 마라케쉬)

제7차 당사국 총회에서는 1997년 교토의정서 채택 후 주요 쟁점이었던 온실가스감축 조치결과의 보고 및 평가방법, 온실가스감축 의무불이행에 대한 제재방안, 교토메커니즘의 구체적 이행절차, 의무불이행 국가의 참가자격 문제, 그리고 삼림의 온실가스 흡수원 인정범위 확대문제 등에 대한 완전 타결의 명문화를 위해 마라케쉬 합의문(Marrakesh Accords)을 발표하였다. 이로 인해 배출권거래제(ED), 공동이행제도(JI), 청정개발체제(CDM)[8] 등 교토메커니즘 관련 사업의 추진을 위한 기반이 마련되었다.

9) 제8차 당사국 총회(2002. 10, 인도 뉴델리)

제8차 당사국 총회에서는 2013년 이후의 온실가스 감축방안 등을 논의하고, 「

8) 선진국이 개도국에 투자하여 얻게 되는 온실가스 감축분을 선진국 감축실적으로 인정받는 제도

교토의정서』 비준 촉구 및 온실가스 배출량 감축노력 강화 등을 주요 내용으로 하는 델리선언을 채택하였다.

델리선언의 주요내용으로는 첫째, 경제·사회발전과 빈곤퇴치가 개도국의 최우선 과제임을 재확인하며, 모든 기후변화협약 가입국이 온실가스 배출량 억제 노력에 최우선순위를 부여할 것을 강조하였다. 둘째, 「교토의정서」 미비준국들의 조속한 비준과 함께 선진· 개도국간 차별화 된 책임을 고려하여 각국이 협약상의 약속을 이행할 것을 촉구하였다. 셋째, 개도국이 지구온난화 등에 대처할 수 있도록 선진국이 재정 지원·기술 이전을 확대하고, 온실가스 감축기술 개발과 관련한 국제협력을 강화하며, 온실가스 배출억제 대책을 위한 정보교환과 재생가능에너지의 사용비율 확대 등을 요청하였다.

최대 온실가스 배출국가인 미국이 「교토의정서」를 탈퇴한 상황에서 동 의정서의 발효요건충족을 위해서는 전체배출량의 17.4%를 점유하는 러시아의 참여가 반드시 필요하나, 「교토의정서」발효에 핵심국가인 러시아가 당초 입장을 유보하고, 2003년 상반기중 동 의정서의 발표 가능성이 불투명해진 데다 선진·개도국간의 대립으로 개도국의 온실가스 감축의무 이행문제에 대한 구체적 합의점 도출에는 실패했다. 향후 「교토의정서」를 조기 발효시키기 위한 각국의 역할 확대 및 대개도국 온실가스 감축의무 부과문제 등이 핵심쟁점으로 부상할 것으로 전망된다.

다. 교토의정서 발효 등 향후전망

교토의정서는 미국의 불참과 러시아의 유보속에 2003년 상반기중 동의정서의 발효가 의문시되고 있다. 또한 OECD 내에서의 교토의정서에 대한 강한 입장도 중요한 변수가 될 것이다. 즉 2001년 5월 각료 이사회에서 채택된 지속가능한 발전을 위한 정책보고서에서 OECD는 정치적 의지와 함께 경제활동 전반에 걸친

전 세계적 협력이 필요하다는 기본입장 하에 생산·소비패턴의 전환, 청정기술에 대한 투자촉진 및 정책입안 단계에서부터 경제적 효율성과 환경적 효과성 및 사회개발문제를 동시에 고려해야 한다는 정책 권고를 작성한 바 있다.

단기적으로는 기존 온실가스 배출원으로부터 배출량을 저감하는 정책을 추진하고, 장기적 차원에서 교통, 에너지 구조를 온실가스 저배출형 구조로 전환한다는 것이다. 이같은 변환을 위해서는 탄소세, 국내 배출권거래제 등 시장기반 수단과 보조금 개혁(Market-based Instrument and Subsidy Reform)이 필요하며, 농업, 에너지, 교통 등에 대한 보조금 제도의 개혁이 있어야 한다. 동시에 경제적 수단의 보완조치로 원료, 건물, 상품 등에 대한 규제조치, 녹색구매제도, 연구 및 공공 인식제고 프로그램을 개발할 필요가 있으며, 이는 청정기술의 개발 및 보급, 에너지 절약형 재화의 소비 등을 촉진할 것이다.

우리 나라는 OECD 국가이면서 감축의무는 없지만 2018년 이전에 어떠한 형태로든지 감축의무를 부담할 수도 있는 상황이고, 멕시코가 이미 비준을 한 점을 미루어 볼 때 한국을 위시한 개발도상국에 대한 감축의무 압력은 더욱 강화될 것이다.

특히 미국의 새로운 안을 보면 개발도상국의 참여를 명확히 주장하고 있다. 자발적 감축안을 제시한 것도 새로운 형태의 안을 유도하려는 의도라고 보여진다. 한국은 의무부담의 시기, 형태, 그리고 구속력 등이 선진국과는 차별적이어야 한다. 그러나 확실한 것은 COP8 이후 개발도상국의 의무부담에 대한 협상이 본격적으로 시작될 것으로 보인다는 것이다.

따라서 개발도상국의 의무부담 형식에 대한 국제 동향을 파악하고 비용 효과적인 의무부담 방식에 대해서 연구하고, 통계데이터 구축의 정비, 청정개발체제(CDM) 관련 사업의 본격적이고 지속적인 사업추진, 의정서의 비준 여부 등 국내적으로 입장을 정립해 놓을 필요가 있다(환경부, 2002a).

2. 주요 선진국의 대응방안 사례[9)]

국가마다 정도의 차이는 있으나 온실가스배출 및 흡수원에 대한 부문별(주로 산업, 전력, 가정・산업, 수송, 농림 등) 저감과 흡수대책을 추진하고 있으며 이를 위해 국가차원의 대응체제를 구축하고 있다. 특히 선진국에서는 온실가스배출 저감대책 이외에 기후변화 시스템을 이해하고 평가, 분석하여 미래의 기후변화로 인한 자국내의 영향을 예측하여 이에 대비하는 전략도 함께 추진하고 있다(한화진, 2002).

가. 유럽연합

1) 기후변화 대응체제

OECD 국가를 중심으로 한 선진국의 에너지 저감정책은 에너지 절약에 초점을 맞추면서 기후변화협약에 대비하는 정책의 틀을 짜고 있다는 것이 특징이며, 특히 청정에너지(풍력, 태양열 에너지, 천연가스) 저변 확대 등에 많은 투자를 하고 있다. 우선 유럽은「에너지 2020」계획을 수립해 놓았으며, 일본은 2001년부터「특정가정용 용기 기자재 상품화법」을 마련하여 가전제품의 재활용을 의무화하여 에너지 절약을 위한 소비패턴 변화를 유도하고 있다. 또한 선진국들은 기후변화협약에도 대응하고 새로운 대체 에너지를 개발하기 위한 '그린에너지 시장' 선점을 위해 치열한 쟁탈전을 시작했다.

유럽연합(EU)은 제5차 공동연구계획(1998~2002년) 기간동안 태양광, 식물을 연료로 사용하는 바이오매스 그리고 청정에너지 이용기술 개발에 전력을 다하고 있으며, 전체 에너지 공급원 중에서 신・재생에너지의 공급비중을 현재의 6%에

9) 한화진. 2002. 선진 주요국가의 기후변화대책 및 우리나라의 과제, 대책 보고서의 내용을 정리하였음

서 2010년까지 12%로 증가시키기로 합의하였다. 즉, 2010년까지 풍력에서 40GW, 태양광(PV)에서 3GW, 바이오매스에서 1억5,300만 TOE에 준하는 에너지를 공급할 계획이며, 이로 인해서 5만~9만개의 직업이 창출될 수 있다고 전망하고 있다.

2) 기후변화 대응 주요대책

현재 EU가 시행하는 경제적 유인수단으로는 배출권거래제도, 폐기물예치금제도, 부과금제도 등이 있으며 직접규제방식 보다는 자발적 협력 등의 경제적 유인수단을 더 선호하고 있다. 그러나 경제적 유인수단은 비규제적 방식으로 강제성이 미흡하여 제품요건과 제조 및 생산공정(Process and Production Methods, PPMs)이나 환경마크제도 등의 경제적 유인수단을 보완적으로 사용하고 있다(표 VI-3 참조).

<표 VI-3> 유럽연합의 환경관련 주요 직접규제형태

형태	내용
상품과 성분사용 규제 및 금지	환경오염을 유발할 수 있는 특정제품 및 물질의 생산, 사용, 유통을 제한하거나 금지시킴
공정의 규제 및 금지	환경오염을 유발하는 생산 공정에 대한 규제 및 금지조치
강제규범(기술규정, 표준, 배출기준 등)	제품, 공정, 배출 및 환경기준 등 광범위한 부분에 대해 규제 기관이 설정하는 기술적 규정과 표준

자료 : 김정인, 홍건수. 2001.『유럽연합의 환경규제 정책이 수출산업에 미치는 영향과 대응방안』

EU는 기후변화문제를 '주요지구환경문제'로 분류하고 범 국가적으로 에너지 문제를 다루고 있다. 2010년까지 지역내 신・재생에너지 비율을 2배로 증가(6%→12%)시키고 전력산업은 시장자유화를 기조로 적극 민영화하겠다는 것이다. 또

한 열병합발전은 2010년까지 현재의 2배로 증가(9%→18%)시키고 SAVE 프로그램을 통한 에너지효율 향상 및 이를 위한 전략수단도 모색중이다. 특히 에너지공급회사가 소비자의 에너지 절약 투자를 지원하고 있으며, 효율적인 에너지장비를 도입하고 소비자에 대한 정보제공과 자문 서비스, 제품 제조공정상의 에너지 투입량과 환경문제를 감안한 환경표시제도를 시행하고 있다. 에너지 라벨제도의 도입 또한 매우 활성화되어 있다. 1992년 9월 EU는 각 회원국이 자율적으로 실시하고 있는 가전제품에 대한 에너지 표시제도를 통합하고, 에너지의 합리적인 사용을 위해 에너지 라벨링 제도를 시행하고 있다. 대상품목은 냉장고, 냉동고, 세탁기, 식기세척기에서 점차 조명기기, 오븐, 냉방기 등으로 대상품목을 확대하고자 하는데, 에너지 라벨링 표시 대상품목으로서 라벨이 부착되지 않은 제품은 EU내에서 판매가 금지된다.

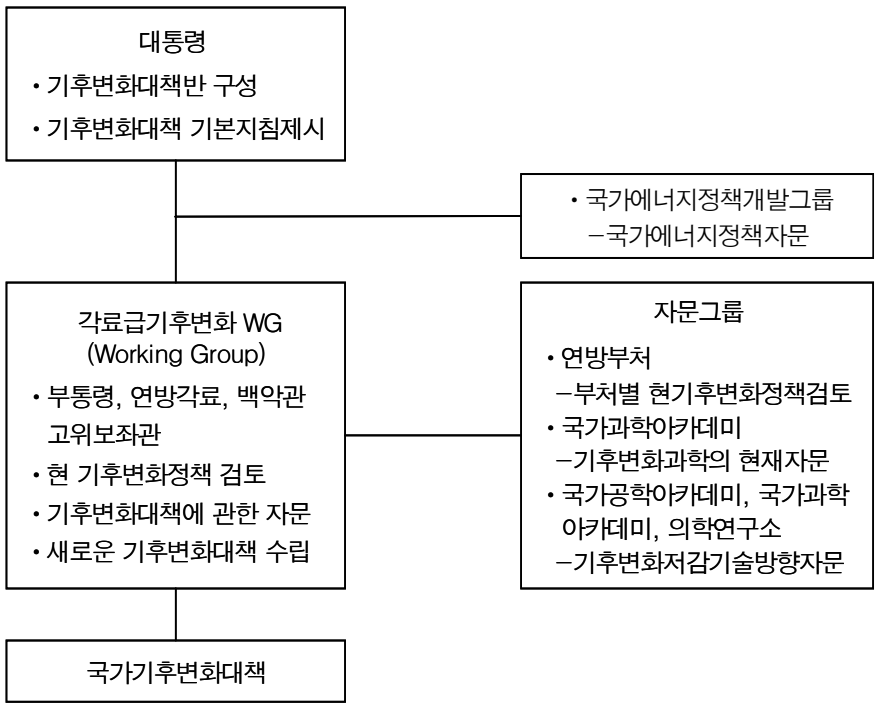
EU는 2000년 3월에 「Green Paper on greenhouse gas emissions trading within the European Union」이라는 보고서에서 온실가스 감축의무 이행을 위한 정책수단으로서 EU내 배출권거래제의 도입방안을 제시하였다. EU는 배출권거래제가 에너지세, 탄소세와 같이 현재 EU 회원국들이 각각 시행하고 있는 다른 정책 및 조치들과 서로 보완적인 관계가 될 수 있도록 하여야 한다고 주장하고 있으며, 전력 및 열생산, 철강, 석유정제, 화학, 유리, 건축자재, 종이 및 출판 등의 산업이 참여할 경우 EU 온실가스 총 배출량의 40%를 관리할 수 있을 것으로 예측하고 있다.

대기오염물질과 관련하여 향후 EU에서 입법 추진중인 환경관련 법규로는 가전제품의 폐기물처리 및 유해물질 사용금지와 관련하여 오염자 부담원칙에 따라 소비자가 처리비용을 부담하도록 하며, 재활용율 목표치를 향상하여 현재 10%에서 2006년 1월에는 50~80%까지 높이고, 2008년 1월부터 Pb, Hg, Cd, Cr^{+6} 물질의 사용을 금지하고자 한다. 동시에 가솔린 엔진, 소형 기계류의 오염물질 배출량 측정을 강화하고, 2010년까지 대기중 오염물질 방출억제기준을 마련하고 SO_2, NOx, HC, NH_3, VOC 등을 대상으로 총량규제를 실시하고자 한다.

나. 미국

1) 기후변화 대응체제

2002년 2월 미국 부시 대통령은 지구기후변화에 대해 능동적으로 대처하기 위해 기후변화정책에의 시장(market)체제 도입과 기술혁신을 골자로 하는 새로운 기후변화정책을 발표하였다(그림 Ⅵ-2 참조).



<그림 Ⅵ-2> 미국 정부의 기후변화 대응체제

자료: 한화진. 2002. 선진 주요국가의 기후변화대책 및 우리나라의 과제, 대책

미국의 기후변화대책 추진체계는 행정부에 따라 다르다. 클린턴 행정부 시기에는 국가 차원의 체계는 존재하지 않았으나 부시 행정부가 들어서고 기후변화

협약에 대한 국제적인 이행 압력이 가중됨에 따라 전 행정부를 중심으로 적극적으로 대처하고 있다. 이에 따라 부시 행정부는 각료급 기후변화 실무그룹(Cabinet-level climate change working group)을 중심으로 하는 새로운 기후변화 대응체제를 구성하였다.

미국의 기후변화협약 관련 기존정책은 자발적 프로그램에 의한 온실가스를 감축하는 방향에서 시도되었으나 큰 실효를 거두지 못한 것으로 평가된다. 이에 부시 행정부가 새롭게 내놓은 프로그램은 시장체제 도입과 기후변화 관련 기술혁신을 중심으로 향후 10년간 온실가스 18% 감축을 목표로 하고 있다. 부시 행정부에서 새롭게 시작된 기후변화협약 대응체제는 대통령이 직접 각료급 실무그룹(WG)의 신설과 대응조치에 대한 구체적 지침을 제공하는 등 적극적으로 참여하고 있는 것이 특징이다.

2) 기후변화 대응 주요대책

<표 Ⅵ-4>에서 제시한 부문별 저감정책 이외에 미국에서는「기후변화연구 프로그램」을 추진하여 광범위한 시·공간 규모에서 지구환경시스템의 자연적·인위적 변화상태와 추이를 관찰, 예측, 평가하고 있다. 또한「국가 평가프로그램」을 운영하면서 지난 수년간에 걸쳐 기후변화연구 프로그램을 통해 얻어진 기후변화가 미국에 미치는 생태적, 사회·경제적인 영향들을 평가하고, 그러한 영향에 취약한 지역과 원인에 대해 조사해 오고 있다. 특히 기후변화대응기술촉진정책(Climate Change Technology Initiative, CCTI)을 통해 에너지효율이 높은 주택, 주택과 건물의 에너지효율 설비, 옥상형 태양에너지 시스템, 전기 및 연료전지 자동차, 전기하이브리드 자동차, 바이오매스, 풍력, 매립지가스 등의 재생에너지 발전에 대한 세제지원을 추진하고 있다.

<표 VI-4> 기후변화저감을 위한 부문별 주요정책

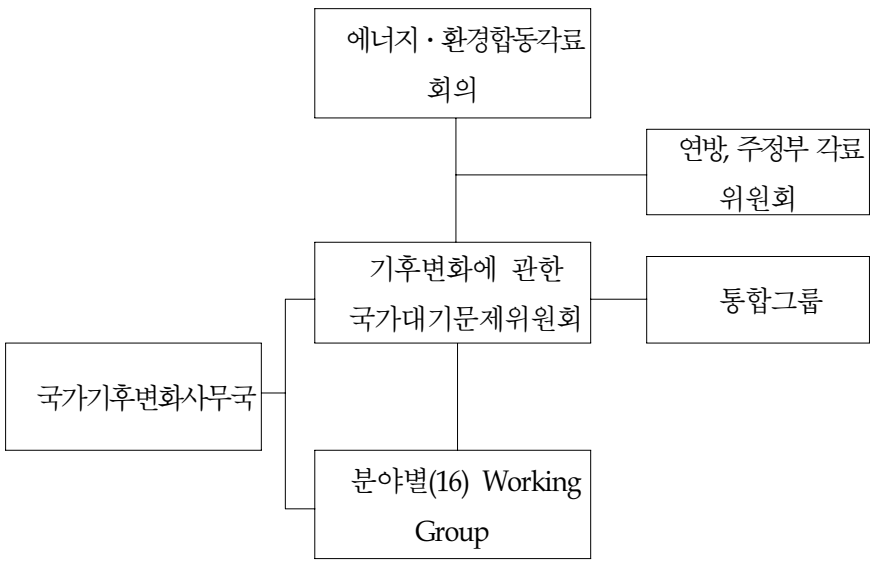
부문	주요정책	대표적 프로그램
전력 부문	· 전력산업 구조개편 · 바이오에너지 개발, 지원노력 · 분산형 에너지원 확대 · 열병합발전, 태양광, 풍력, 지열, 원자력 수력발전 확대 · 고온초전도체 기술개발 · SF6 배출저감 · 주, 지방정부 자체프로그램 활성화추진	· 통합열/전력 도전 프로그램 · 태양 및 재생에너지 개발 · Distributed Energy Resources 프로그램 · Superconductor Partnership Initiative 프로그램 · SF6 Emission Reduction Partnership for Electric Power Systems
수송 부문	· 효율이 높은 차량 및 청정연료개발 · 청정자동차 보급확산 · 통근시스템 서비스 향상 · 교통체증 감소	· 차세대 차량 파트너 쉽
산업 부문	· 산업체와 파트너 쉽을 통하여 온실가스 감축, 에너지 절약, 재생, 증진을 추진 · 산업공정 에너지효율 · 메탄가스자원 회수, 폐기물 감소 · 지구온난화 기여도가 높은 온실가스 저감	· 자발적 알루미늄산업 파트너 쉽 · Waste Wise 프로그램 · 공공·민간부문 환경관리 협력 프로그램
상업 및 주거 건물	· 에너지효율이 높은 건물지향(에너지 효율 라벨링 및 기술지원) · 학교에서의 에너지 절약	· 에너지스타 프로그램(민간·공공부문 프로그램) · Rebuild America 프로그램 · 주택건축업체 협력 프로그램 · 저소득층 에너지 절약지원(Weatherization Assistance Program, WAP)
농업 및 삼림 부문	· 농업부문의 메탄 및 아산화질소 배출 감출 방안연구, 토양 및 삼림의 이산화탄소 흡수, 프로그램 실행 · 바이오매스 제품과 바이오매스 에너지 활용 · 농가를 위한 기후예보	· Conservation Reserve Program · Bioproducts and Bioenergy 프로그램

자료: 한화진. 2002. 선진 주요국가의 기후변화대책 및 우리나라의 과제

다. 캐나다.

1) 기후변화 대응체제

캐나다는 교토의정서 이행협상이 타결된 후 국가의 온실가스 감축목표 (6%) 달성, 기후변화영향에 대한 적응 방안, 교토의정서의 비용편익 분석 및 기후변화 협상의 의무 이행 등 기후변화에 관한 종합 대책을 마련키 위하여, 1997년 12월 연방, 주 및 준주정부의 장 (First Minister)들이 국가기후변화과정 (National Climate Change Process: NCCP)을 창설하였다. NCCP는 캐나다의 각 정부를 중심으로 산업계, 환경단체, 전문가 등이 참여하는 기후변화에 관한 포괄적인 정책결정과정으로 NCCP 활동 결과 2001년 10월 캐나다 기후변화 국가전략인 "기후변화에관한국가이행전략 (National Implementation Strategy on Climate Change)" 및 "제1차기후변화업무계획 (First National Climate Change Business Plan)을 수립 발표하였다. 캐나다의 NCCP에 관련 주요체제는 다음 <그림 Ⅵ-3>과 같다.



<그림 Ⅵ-3> 캐나다정부의 기후변화 대응체제

자료: 한화진. 2002. 선진 주요국가의 기후변화대책 및 우리나라의 과제, 대책

2) 기후변화 대응 주요대책

캐나다 국가전략 수립을 위한 Working Group은 정부, 산업계, 학계 및 NGO를 망라한 450여명의 전문가들로 구성되어 기후변화에 대한 분야별 영향 및 대응방안 비용편익 등에 관하여 종합적인 검토 분석을 실시하는 역할을 하고 있다. 16개 분야별 Working Group 및 그 업무 내용은 아래 <표 VI-5>와 같다. 동 WG은 먼저 분야별/이슈별 작업을 통하여 기초보고서를 작성하며 전체회의를 통하여 온실감축 및 기후변화 적응에 관한 분야별 조정 작업을 수행한다.

<표 VI-5> 분야별 Working Group 및 대응 분야

Working Group	대응분야	관련전문가부서
농업 농산품	· 분야별 방출 저감을 위한 이행 옵션개발 · 국가 후-교토기후변화 전략의 분야별 배분을 제안 · 농업전망 환경상태변화 지표들 중의 부분으로서 국가 토양생태계 온실가스 균형 지표 개발	· 캐나다 농업농산품부 · 캐나다 농업연방 · 토양, 수질보호협회 · 캐나다 토양과학협회 · 캐나다 동부토양, 수질보호센터 · 캐나다 화학비료제단 · 국가 농업환경위원회 · 지속가능발전국제제단 · 국가 기후변화사무국
분석 및 모델링 그룹	· 대응방법과 이행옵션평가에 이용되는 기초데이터의 일관성, 조화 검증 · 대응방법과 옵션평가의 접근방법, 호환성, 일관성검증을 위한 뼈대제공. · 대응방법과 옵션의 조합으로 이뤄진 이행시나리오의 roll-up분석과 모델링을 감독	· 캐나다 천연자원부 · 캐나다 환경부 · 브리티시 콜럼비아 환경부 · 매니토바 통계청 · 온타리오 에너지, 과학, 기술부 · 온타리오 재경부 · 국가 기후변화 사무국
초기 활동 크레딧	· 초기 credit 체제에 대한 이행 계획과 프로그램작성의 추천, 옵션평가업무 · 국내배출권거래의 역할까지 담당업무 확장	· 캐나다 환경부 · 브리티시 콜럼비아 환경부 · 국가의제사업위원회 · 풍력발전전망 탐사위원회 · 캐나다 재경부 · 국가기후변화사무국

<표 Ⅵ-5> 분야별 Working Group 및 대응 분야(계속)

Working Group	대응분야	관련전문가부서
건축물	· 에너지소스조사와 특성이용, 경향분석 · 초기활동 대응방법 추천 · 온실가스배출저감을 위한 정책/프로그램/옵션분석, 평가 · 주주, 정부, 에너지사용자들에게 이행조치방법추천	· 캐나다 천연자원부 · 캐나다 임업위원회 · 캐나다 지구에너지협회 · 캐나다 건축협회 · 건축연구원 국가연구위원회 · 세네카 대학 · 캘거리 대학교 · 그랜트 맥이완 대학 · 캐나다 주택건축가협회 · 캐나다 에너지서비스사협회 · 캐나다 태양산업협회 · 국가기후변화사무국
전력	· 온실가스저감을 위한 재생에너지, 전력산업의 발전, 전송, 분배요소들을 연구	· 캐나다 천연자원부 · 캐나다 전력협회 · 온타리오 수력발전 · 뉴만 에너지 전략 · 국가기후변화사무국
자발적 활동 촉진	· 온실가스저감프로그램의 자발적 참여유도 · 참여구성원에 대한 격려금 및 제약극복 방법제공	· 앨버타 자원개발부 · 캐나다 펄프,제지협회 · 캐나다 천연자원부 · 캐나다 산업부 · 오염탐사/새 접근방법 제시그룹 · 캐나다 환경부 · 책임환경연합 · 국가기후변화사무국
삼림 분야	· 삼림분야의 기후변화대응방법, 영향을 분석, 평가 · 삼림분야에 대한 기후변화대응 통합메커니즘을 제공	· 캐나다 임업서비스 · 라발 대학교 · 캐나다 산업부 · 캐나다 원시림협회 · 브리티시 콜럼비아대학교 · 임업환경연구센터 · 국가기후변화사무국

<표 VI-5> 분야별 Working Group 및 대응 분야(계속)

Working Group	대응분야	관련전문가부서
산업	· 기존 대응방법을 포함한 온실가스저감 대응법과 옵션들의 광범위한 평가	· 캐나다 산업부 · 퀘벡 상업부 · 캐나다 국가연구위원회 · 항공운송협회 · 국가의제사업위원회 · 캐나다 천연자원부 · 캐나다 석유생산자협회 · 국가기후변화사무국
자치 단체	· 온실가스저감의 이행옵션 분석과 개발 협력 · 자치정부, 단체의 관할내 건축물, 자동차, 상하수 설비, 교통신호등의 광범위한 에너지사용 설비에 대한 온실가스 저감 대응을 위한 구체적 운영방안마련, 관리.	· 토론토시 · 캐나다 재생에너지 · 캐나다 천연자원부 · 캐나다 환경부 · 브리티시 콜럼비아 자치부 · 펨비나 제단 · 레지나시 · 캐나다 자치정부연방 · 국가기후변화사무국
대중 교육 및 전파	· 국가기후변화전략의 일환으로 올바른 연구에 근거한 장기적인 대중접근전략 개발 · 대중전파에 대해 다른 WG에 전략적, 실용적 자문제공	· 캐나다 환경부 · 캐나다 천연자원 · 레지나 대학교 · 캐나다 자치정부연방 · 국가환경경제원탁회의 · 세인트 토마스 대학교 · 국가기후변화사무국
과학, 영향, 대응	· 기후 변화, 그 영향 그리고 잠재적 대응 옵션들의 과학적 연구 및 그 결과를 통합하는 업무	· 캐나다 환경부 · 캐나다 자연과학 공학연구위원회 · 캐나다 세계변화프로그램 · 캐나다 천연자원부 토양과학국 · 캐나다 농업, 농산품부 연구과 · 토론토대학 물리학부 · 지속가능발전연구원 · 구엘프대학 지리학부 · 국가기후변화사무국

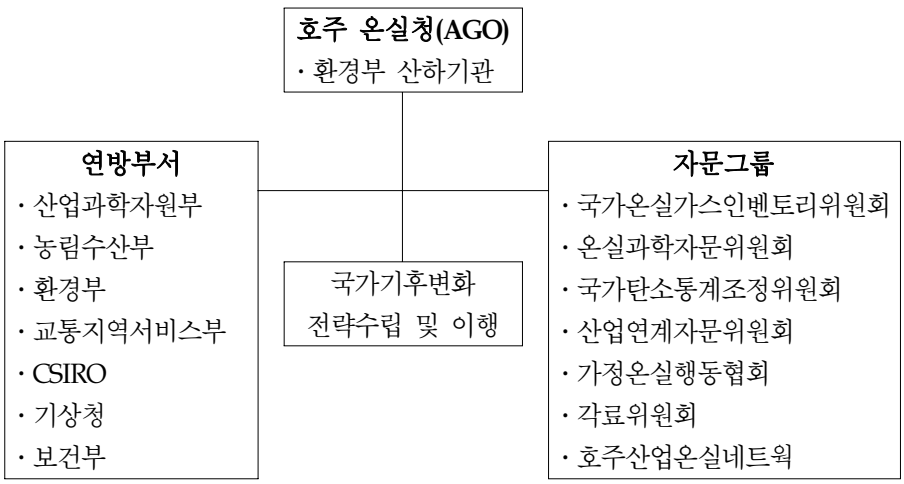
<표 Ⅵ-5> 분야별 Working Group 및 대응 분야(계속)

Working Group	대응분야	관련전문가부서
탄소 제거 (Sinks)	· 탄소제거(분리)와 관련이 있는 기술적 의견제공 및 교토의정서의 이행, 승인을 위한 활용가능한 필요정보와 분석, 자문을 정부에 제공	· 캐나다 환경부 · 캐나다 농업, 농산품부 · Saskatchewan 대학교 · 캐나다 자치단체연맹 · 국가농업환경위원회 · 앨버타 대학교 · 임업 위원회 · 국가기후변화사무국
교토메커니즘	· 국제배출권거래제, 청정개발메커니즘, 협력이행등에서 캐나다의 협상담당	
기술	· 온실가스 배출저감을 위한 혁신적인 기술개발, 상용화의 방안 담당. · 캐나다 기업의 능력과 기회증대를 위한 국내, 국제 시장에서 환경-반응적인 기술들의 제공.	· 캐나다 천연자원부 · 혁신자문, 혁신시스템 자문위원회 · 빅토리아 대학교 · 캐나다 전력기술위원회 · 캐나다 환경부 · 캐나다 교통부 · 브리티시 콜럼비아 정보, 과학, 기술국 · 캐나다 산업부 · 캐나다 원자력협회 · 국가 연구원 · 국가기후변화사무국
거래 승인 담당 그룹	· 온실가스의 근원들에 대한 의무적 승인 요구를 포함한 옵션의 관리업무 · 최소 가능한 경제적 비용으로 온실가스 방출저감목표를 캐나다가 이행, 달성할 수 있도록 보조적역할을 담당하는 지역방출권거래제도(DET system)에 대한 업무.	· 캐나다 재경부 · 앨버타 대학교 · 펨비나 재단 · 캐나다 산업부 · 캐나다 천연자원부 · 국가기후변화사무국
교통	· 캐나다 교통부문의 온실가스 배출저감을 위한 특별조치방법을 담당. · 온실가스 배출 저감을 위해 잠재가능한 조치방법의 분석, 입증.	· 캐나다 교통부 · 캐나다 천연자원부 · 캐나다 도시이동협회 · 캐나다 철도협회 · 국제 자동제조업자협회 · 국가환경.경제원탁회의 · 캐나다 대체운송연료협회 · 캐나다 수송협회 · 국가기후변화사무국

라. 호주

1) 기후변화 대응체제

호주 정부는 1997년 기후변화에 관한 정부종합대책 (Safeguarding the Future: Australia's Response to Climate Change)을 발표하고 기후변화협약에 의한 자국의 온실가스 감축의무이행을 체계적으로 전담할 수 있는 독립 정부기관인 호주 온실청 (Australian Greenhouse Office, AGO)을 설치하였다. AGO는 환경부 산하의 연방정부기관으로서 국내 기후변화 정책을 총괄적으로 조정하는 책임을 갖고 있다. 호주의 기후변화협약 관련 정책수립 및 이행은 AGO를 중심으로 관련 부처 및 자문 그룹의 도움을 받아 수행하는 체제를 갖고 있다. 호주 정부의 기후변화 대응체제는 아래 <그림 VI-4>와 같다.



<그림 VI-4> 호주정부의 기후변화 대응체제

자료: 한화진. 2002. 선진 주요국가의 기후변화대책 및 우리나라의 과제, 대책

2) 기후변화 대응 주요 대책

AGO 부서별 주요 업무현황은 아래 <표 VI-6>과 같다.

<표 Ⅵ-6> AGO 부서별 주요 업무

AGO 그룹	AGO그룹 부서	주요업무
지속가능 에너지 그룹	재생에너지팀	고갈되지 않는 주 에너지원의 전력발전, 운송연료, 진행열, 최종소비형태 등을 담당 · 태양 광전지 개발 · 태양열개발 · 풍력개발 · 조력, 파력, 해류개발 · 선택적 지열개발 · 선택적 생태개발 · 재생가능에너지의 발전 분배체계개발 · 사용가능 기술개발
	대체연료팀	· 압축천연가스(CNG), 액화석유가스(LPG)등의 대체연료사용 증진을 위한 대체연료프로그램 담당
	에너지효율팀	· 정보제공, 파트너쉽 개발, 암호 및 기준의 이행을 통해 기구, 설비, 건축물에 대한 에너지 효율개선업무 담당
	에너지시장팀	· 발전기 효율 기준마련 · 전력공급에 있어 재생가능에너지의 흡수량 의무목표 수립 · 에너지시장개선의 가속화
온실가스 정책그룹	온실가스 인벤토리팀	· 1990년부터 매년 인벤토리 산정 · 산정 인벤토리는 호주정부의 온실가스 배출감시, 대응 조치, 재검토, 예측개발의 기본 틀을 제공
	온실가스 과학팀	· 기후체계와 그 영향인자들, 기후변화 원인에서 인간활동의 역할, 기후변화가 자연에 미칠 영향, 어떻게 환경에 대한 인간의 영향을 감소시키고 그에 대응할 것인가에 대한 폭 넓은 정보제공
	국제팀	· 교토의정서, COP등과 같은 국제관계 업무 및 그에 대한 호주의 관계업무
	국가탄소회계팀	· 온실가스의 탄소흡수와 인간활동으로 유발된 원인에 대한 예측능력과 완벽한 회계를 제공

<표 VI-6> AGO 부서별 주요 업무(계속)

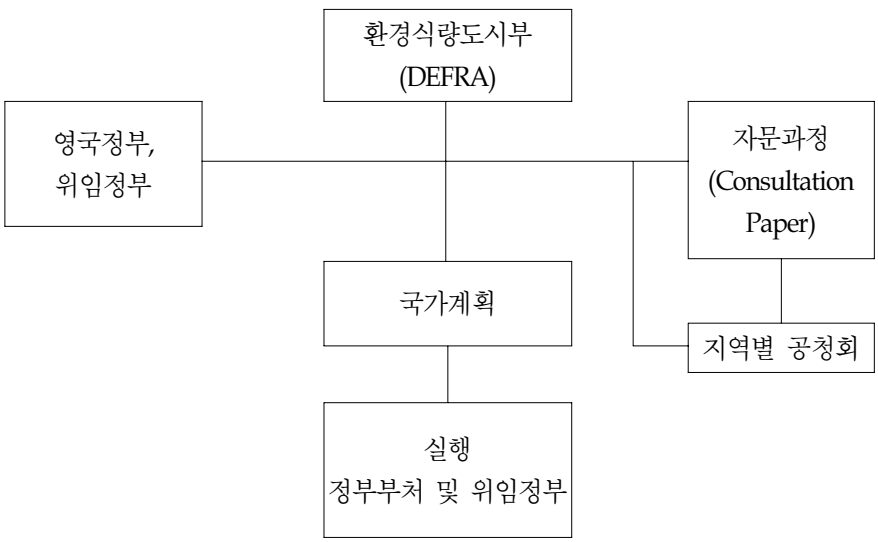
AGO 그룹	AGO그룹 부서	주요업무
온실가스 정책그룹	예측 및 분석팀	· 정책접근방법의 전략평가를 위한 경제예측 및 기술분석을 통합. · 호주의 온실가스배출 예측방법개선과 의정서에 의거한 호주의 목표량 달성 진행평가.
파트너쉽 및 시장정책 그룹	온실가스 감축프로그램팀	· 실질적 배출저감을 야기할 만한 활동을 지원함으로써 호주 총 온실가스배출을 감소시키는 것이 목적.
	배출거래팀	· 산업, 환경그룹, 연방, 주정부, 정부, 광범위한 지역사회에 대해 최소비용으로 교토의정서에서 정한 감축량을 달성하기 위한 국가배출 거래체계 개발.
	온실가스도전팀	· 국가정부와 산업간의 온실가스 방출경감을 위한 자발적 협력방안으로, 참여 구성원들에게 정부가 배출경감 활동보고, 조치 등에 대한 틀을 제공.
	가계온실가스대응팀	· 가계온실가스저감 달성을 위해 지역사회가 쉽고 실용적인 행동을 취할 수 있도록 정보제공, 후원, 제정지원을 담당.
	정부운영팀	· 온실가스배출목표와 에너지효율달성을 위해 정부기관을 도움 · APS agencies의 협의환경의제들과 에너지관리를 위한 효율적인 틀 개발 · 상업, 산업, 주거부문의 에너지사용 효율적, 효과적인 사용에 기여.

마. 영국

1) 기후변화 대응체제

영국은 1994년 1월 처음으로 영국기후변화프로그램 (UK's Climate Change

Programme)을 수립하였으며 이를 통하여 영국의 온실가스 감축목표 (12.5%)를 이미 달성하였다. 영국은 영국 정부의 주관 및 3개 위임정부 (스코틀랜드의회, 웨일스의회, 북아일랜의회) 협조하에 2000년 11월 영국 자체의 감축목표 (20%)를 설정하는 새로운 UK's Climate Change Programme을 발표하였다. 영국의 기후변화 관련 국가 계획은 영국정부의 총괄적 주관 하에 지속적인 재검토와 정책이행 평가가 이루어지고 있다. 영국정부의 기후변화 대응체제는 환경식량도시부(Department for Environment, Food and Rural Affairs, DEFRA)의 책임 하에 영국정부와 위임정부가 국가기후변화프로그램을 수립하는 체제를 가지고 있다. 영국 기후계획의 수립은 DEFRA 중심으로 초안을 작성하고 다양한 이해당사자들로부터 광범위한 의견 수렴과정을 거치는 것이 큰 특징이라 하겠다. 최종 수립된 국가계획은 DEFRA를 포함한 정부의 관련 부처들을 중심으로 이행되는 과정을 거치고 있다(그림 Ⅵ-5 참조).



<그림 Ⅵ-5> 영국정부의 기후변화 대응체제

자료: 한화진. 2002. 선진 주요국가의 기후변화대책 및 우리나라의 과제, 대책

바. 덴마크

1) 기후변화 대응체제

덴마크는 1990~1997년의 의회결정과 두 차례의 에너지 실행계획(2000, 2001)을 거친 후「Energy 21」계획 하에 2005년까지 1988년 대비 20% 삭감을 목표로 설정하여 추진하고 있다. 온실가스 저감을 위한 정책의 주목표는 덴마크내의 에너지 절약 노력과 CHP(기존 열발전의 대체) 도입확대, 대체에너지(천연가스, 폐기물 에너지) 이용의 증대, 최종 에너지 사용자의 에너지 절약 등이다. 이같은 노력 하에 21%(EU 할당 목표 중) 달성은 가능했으나 스웨덴과 노르웨이의 강우량 부족으로 인한 전력부족으로 전력수출이 증대하게 되어 CO2 발생도 동시에 증가하는 현상을 보이고 있다. 1976~1999년 동안 덴마크 정부는 다음과 같은 에너지 절약 프로그램을 수행하고 동시에 발전업자의 연료사용 규제를 강화하였다.

- A 450MW small-scale CHP programme(1986)
- A 100MW wind power programme(1985)
- A new 100MW wind power programme(1990)
- A new small-scale CHP programme(1990)
- A biomass-for-power programme(1993)
- A 200MW wind power programme(1996)
- A 750MW off-shore wind power programme(1998)

1999년에 전력시장의 민영화가 적극 추진되었으며 향후의 주요 내용은 다음과 같다.

- 2003년까지 단계적 민영화 추진
- 생산, 송전, 배전의 분리
- 송·배전 회사에 대한 새로운 가격제도 도입

· 설비(utility)에 대한 소비자의 영향력 확보
· 대체에너지에 대한 새로운 보조금제도 도입
· 녹색전력시장의 확보 및 인증 후 전력거래허용
· 2000~2003년 동안 다른 전력 생산자와 할당량(allowance) 도입

2) 기후변화 대응 주요대책

1999년 덴마크는 이산화탄소 배출권거래제도를 시행하였다. 이는 전력생산으로부터 발생하는 CO_2량에 쿼터(quota)를 할당하는 것으로, 개별 전력회사에게 할당량(allowance)과 저축(banking)을 허용하는 시스템이다(표 Ⅵ-7 참조).

<표 Ⅵ-7> 덴마크의 배출권거래제

Cap	· 1997년 대비 23~30% 매년 감축 목표
교환단위	· CO_2톤
entity	· 할당받은 회사 또는 지사
allowance	· 1994~1998년 동안의 기록에 의해 매년 쿼터(quota)를 정하고 있으나 거래 및 저축에 따라서 조정
Monitoring Reporting Verification	· 의무 보고사항(전력, 열 사용), CO_2 · 공식적인 등록(registry) 기능은 아직 없음
강제조항	· 벌과금, 소송
시장규모	· 전력 시장의 40% 차지, 최소 10만 탄소톤으로 시작 · CHP 제외, 탄소세는 다른 부문에서 CO_2 배출량 감소유도 · 국경간 이동에 관한 원칙 논의 중
시장지배력	· 소수의 회사가 실질적으로 지배
정치적 여건	· EU 정책을 기다리고 있으며 OECD의 경우 탄소세 도입유보 권고
진행사항	· 2001년에 저축액(banking) 초과, 전력교류 진행(Nord Pool Exchange 이용)
위험의 통제	· 아직 모름

자료: The Danish Emissions Trading System(Sigurd, 2000)

1999년에 입법안이 제안되어 2001년에 국회에서 통과된 Quota법(The CO_2 Quota Act)은 2000년 기준으로 전력생산회사에 대해 2,300만 톤의 CO_2 쿼터를 책정하고 매년 100만 톤씩 감축하여 2003년에는 2,000만 톤의 배출량을 목표로 하고 있다. 할당량(allowance)은 회사단위로 발급되며 대체에너지 생산을 제외한 모든 전력회사에 해당되며, 독일과 스위스 소유의 전력회사에게도 발급된다. 소규모 생산자이면서 CHP 생산자는 제외되며, 미준수시 벌과금을 내지 않아도 된다(표 VI-8 참조).

<표 VI-8> 덴마크의 부문별 기후변화협약 대책과 감축목표

부문	목표	내용
산업부문	3.4백만TC 감축	· 자발적 협약에 의한 배출 규제 · 탄소세(CO_2 및 N_2O) · N_2O, PFC 규제 등
수송부문	4.0백만TC 감축	· 전기 및 대체연료 자동차 보급확대 · 자동차 속도제한 및 교통신호제어 개선 · 휘발유-경유간 가격격차 축소 (경유가격의 점진적 인상) · 도시간 교통 인프라 구축
건물부문	2.7백만TC 감축	· 단열강화 · 신 · 재생에너지 사용확대
농업 및 폐기물	1.8백만TC 감축	· Action Plan on the A벰샃 EnvironmentⅡ Waste 21 계획
에너지부문	2.6백만TC 감축	· 에너지 절약기기 도입(EU 기준) · 에너지 절약제품 부가가치세 감면 · 가스 열병합발전 확대
HFC, PFC, SF_6	1.5백만TC 감축	· 자동차 검사항목에 에어컨 검사 포함 · 폐기 가전제품 냉매회수

자료: 환경부. 2002.『기후변화협약에 대한 산업계 대응방안』

한편 덴마크는 녹색전력시장(Green electricity market) 제도를 도입하여 신·재생에너지의 발전비율을 10%로 의무화하고 신·재생에너지 발전쿼터인 Green certificate를 거래할 계획이다. 향후에는 신·재생에너지의 발전비율을 상향조정할 예정이다. 이외에도 탄소세를 도입하여 국내 에너지 부문의 온실가스 저감대책을 위한 목적세로 사용하고 있다. 산업부문으로부터 거두어들인 탄소세 수입은 저소득자의 사회보장 부담분의 감액, 에너지효율 향상을 위한 투자장려금, 소규모 사업자를 위한 기금조성 등으로 환원되고 있다.

또한 산업부문의 경쟁력 확보를 위해 동 부문에 에너지/탄소세를 환불해주고 있다. 에너지진단에 대해서는 보조금이 지급되며, 에너지효율 향상이 이행되었을 경우 보조금 지급을 통해 세수환원이 이루어지고 있다. 전력산업은 거래상의 이유로 탄소세가 면제되는데 세금을 면제받는 석탄의 소비증가를 억제하는 대신 천연가스 소비를 촉진하기 위한 보조금을 도입하고 있다(에너지경제연구원, 2001).

사. 프랑스

1) 기후변화 대응체제

프랑스는 국무총리실 산하에 '온실효과 대응 범정부 위원회'를 설치하고(2000.1) '기후변화 대응 국가프로그램'을 마련하여 탄소세 도입과 부문별 96가지 저감시책 및 이에 따른 계획을 수립하면서 기후변화협약에 구체적이고 실질적으로 대응하기 시작하였다. 2001년 1억7천만 탄소톤으로 온실가스 증대가 심화될 것을 예상하고 있는 가운데 유럽연합(EU) Bubble 협약에 따라 2012년까지 1천6백만톤의 온실가스를 저감해야 하는 과제를 안고 있다. 이러한 저감 목표의 달성을 위해 프랑스는 기존 정책의 확대 및 강화, 에너지세 확대, 장기적 구조·제도 개선이라는 정책의 축을 기본으로 온실가스 감축에 대한 해결책을 모색하고 있

다. 프랑스 정책의 특징은 기본적으로 국내 정책수단만으로 온실가스 감축목표를 달성하고자 노력하는 것이며, 저감정책을 부문별 정책, 경제적 수단, 장기정책으로 구분하여 총 1,600만 TC(BaU 대비 약 10%)를 저감목표로 설정하고 2010년 배출량을 1990년 수준으로 안정화하려고 한다.

2) 기후변화 대응 주요대책

기존의 배출저감 규제, 건축・전기 수요에서의 에너지 관리, 수송시스템 기능 등에 대한 정책을 개선, 발전시키기 위해 환경에너지관리청(ADEME)에 추가 예산을 할당하였다. 프랑스는 이를 통해 목표 저감량의 절반 가까이를 달성할 수 있을 것으로 전망하고 있다. 또한 에너지 시장의 가격 향상을 도모함으로써 소비행태의 변화와 생산과정에서의 에너지 소비를 억제하는 방안을 강구중이다. 이를 위해 기존 오염물질 배출세를 중간단계 에너지 소비에 확대 부과키로 결정하는 등 과감한 정책을 구사하고 있다. 세금 측면에서는 세율 한도를 탄소 1톤당 150~200프랑에서 2010년 500프랑까지 지속적으로 증대시켜 2010년 추가적으로 6백만 탄소톤의 온실가스 배출량 저감을 계획하고 있다.

부문별로 살펴보면, 우선 산업부문에서 차지하는 온실가스 배출량은 프랑스 전체 배출량 대비 23%를 차지하고 있으며 이 중 이산화탄소가 76%로 가장 많다. 산업부문의 오염물질 저감을 위해서 보조금 지원, 자발적 온실가스 배출감축, 단순 규제 등의 정책강화를 도모하고 있고, 최근 기후변화협약에 대응하기 위해 여러 신규시책을 발표하였다. 수송부문에서 CO_2 발생량은 해마다 3~4% 수준의 증가추세를 보이고 있는데 이에 대응하기 위해 정부는 기존 대책의 강화와 더불어 수송수단 대체개발 분야에 역점을 두고 있다. 주거 및 상업건물의 난방과 온수 사용에서 발생하는 건물부문의 온실가스 배출은 전체의 17.5%에 해당하며 열사용 규제, 건물의 첨단화, 재생에너지 이용 등의 시책을 마련하였다(표 VI-9 참조).

<표 Ⅵ-9> 부문별 온실가스 저감을 위한 신규정책

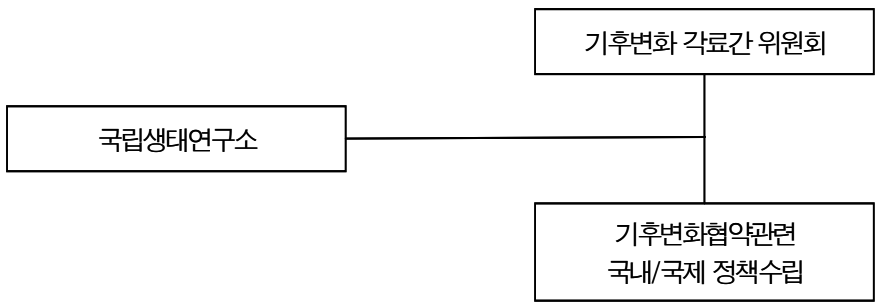
부문	주요정책	내용
산업부문	산업체지원시책	· 산업체 의사결정지원을 위한 연간 기금조성 · 기술 및 공정 개선을 위한 기술개발자금 지원 · 시범사업지원 · ADEME와 금융부문 연계에 의한 신규자금 조달방법 강구
	CO_2 외의 온실가스 규제조치	· CO_2외 N_2O, SF_6, PFC 등의 온실가스 저감을 위한 세부 제도 수립
	에너지 소비에 대한 세제강화	· 오염물질배출 세금을 기업의 중간단계 에너지 소비에 대해 부과 · 기후변화대응을 강화하는 동시에 에너지 소비를 억제
	등급표시제, 정보보급 및 교육강화	· 에너지효율마크(NF) 정보의 가치를 증가시켜 효율적 선택의 잣대마련 · 신규 투자로부터 발생 가능한 오염원에 대한 정보를 제공함으로서 배출저감활동 보조
수송부문	자동차부문 개선	· 경차에 대한 인센티브 도입과 촉매수단의 개발을 도모
	운영측면 개선	· 비효율 에너지 사요에 대한 규제 강화
	수요부문 개선	· 면밀히 검토된 교통상황과 연계된 토지이용계획수립 추진 · 도시지역 자동차 및 대중교통에 대한 부과금 징수와 활용
	공급부문 개선	· 토지이용계획연구를 통해 친환경적 공간이용 방안 수립 · 철도화물수송 촉진을 위한 수송 인프라 개선, 도시교통 대체수단의 이용 가속화
	교육 및 정보제공	· 각 운행 당사자에 대한 교육, 자발적 협약 참여유도 교육 실시
건물부문	열사용 규제시책	· 상업용·가정용 건물에 대한 규제를 동등화하려는 계획 · 신규건물의 지역난방 사용 의무화와 공공건물의 에너지 절약 프로그램, 노후 주택 재개발 사업유도
	건물 첨단화를 통한 규제	· 장기적으로 건물의 열사용 효율화를 통한 온실가스 배출 저감을 유도 · 건축자제 및 설비에 대한 기술 표준화 및 규제실시
	자발적 협약	· 건축업체들의 저배출가스, 고효율 에너지 자재 및 설비의 이용 촉진
	재생에너지 이용	· 난방용 목재 사용을 줄이고 태양열 에너지 이용을 확대
	재정조치	· 오염물질배출 세금을 기업 중간단계 에너지 소비에 확대 부과하기로 결정

자료: 환경부. 2002. 기후변화협약에 대한 산업계 대응방안

아. 멕시코

1) 기후변화 대응체제

멕시코는 우리나라와 같이 비부속서 I (Non-Annex I) 국가로 분류되어 있으며, 기후변화협약에 의해 두 차례의 국가보고서를 제출한 상태이다. 멕시코 정부는 1993년 기후변화 활동을 제도화하였으며, 이에 따라 제1차 국가환경프로그램(1995~2000년)을 시행하였고 현재는 제2차 국가환경프로그램일 수행 중이다. 1994년 기후변화협약에 가입한 후 기후변화 문제에 효율적으로 대응하기 위해 1997년에 기후변화에 대한 각료간 위원회(Mexico's Inter-Secretarial Committee on Climate Change)를 설립하였다. 그리고 환경천연자원부 소속인 국립생태연구소가 위원회의 기술적인 자문에 대해 책임을 지는 부서로 선정되었다. 멕시코 정부의 대응체제는 기후변화 각료위원회의 기초정책 초안수립 과정을 거쳐 환경천연자원부의 중심축 아래 각 관련부처에서 해당정책을 수행하는 구조이다(그림 VI-6 참조).



<그림 VI-6> 멕시코 정부의 기후변화 대응체제

자료: 한화진. 2002,『선진 주요국가의 기후변화대책 및 우리나라의 과제, 대책』

2) 기후변화 대응 주요대책

멕시코 정부는 자국내 경제구조와 에너지구조를 고려하여 삼림부문, 생물다양

성보호, 숲·다우림의 지속적 관리, 생물연료의 대체, 농업부문, 에너지부문의 6개 부문별 기후변화 대응전략을 수립하여 수행하고 있다(표 Ⅵ-10 참조).

<표 Ⅵ-10> 멕시코 정부의 부문별 정책 및 대응방안

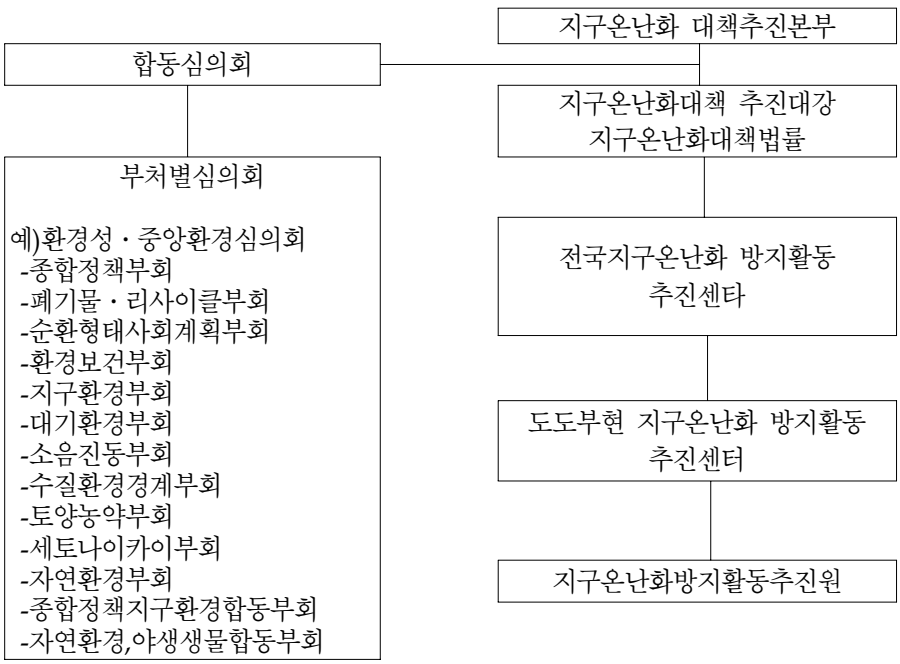
부문	대응방안
삼림부문	· 흡수원의 생성이나 증가에 의한 탄소의 누적비율 증가 · 이미 존재하는 흡수원에서 고정된 탄소 해방의 비율 감소 · 화석연료 사용감소와 재생 가능한 생산물의 강화
생물다양성 보호	· 풍부한 생물다양성을 보호하기 위한 전략수립 · 넓은 국토의 생물다양성 보호를 위해 보호자연구역(NAP)과 야생생물의 지속개발 및 관리(UMAS)에의 가입 촉진
숲, 다우림의 지속적 관리	· 삼림개발 프로그램에 의한 생산력 있는 야생동물 연쇄의 효율적인 통합을 지원 · 삼림자원의 보존과 지속가능한 관리 프로젝트의 운영
생물연료의 대체	· 전통적 생물연료(장작사용 인구: 1990년 전체인구의 31.4%)의 대체를 위한 농촌 프로그램 개발과 운영 · 장기적인 탄소격리 프로그램과 전략을 세워 4억1,600만 톤의 탄소격리 효과를 기대
농업부문	· 지속적인 자연자원의 이용을 위해 농업 및 지역발전 프로그램 개발 · 농업시스템 개선, 자연생태계를 위한 불모농지 이용, 곡식잔재이용개선, 농업삼림을 포함하는 다년생 곡식 장려 · 환경천연자원부와 농업, 가축사육, 지역개발부의 공동운영 및 관리
에너지부문	· 지속적인 에너지사용 프로그램 수행(국가에너지보존위원회, 전기에너지보존위원회에서 관리, 운영) · 가정의 단열, 고효율 에어컨디셔닝 장비 도입, 주거용 백열광 조명 50만개 대체, 가전기구와 다른 생산물에 대한 에너지 절약 공식표준 20개항 발표 · 에너지 최종소비 효율성 증대를 위한 프로그램을 통해 에너지 절약

자료: 한화진. 2002.『선진 주요국가의 기후변화대책 및 우리나라의 과제, 대책』

자. 일본

1) 기후변화 대응체제

일본은 교토의정서에 의해 온실가스 배출량을 2008~2012년까지 1990년 수준에서 6% 감축하여야 한다. 기준시나리오(BaU)에 따르면 일본의 2010년 온실가스 배출량은 1990년에 비해 약 21% 증가할 것으로 예상되어, 이를 1990년 수준으로 낮추기 위해서는 약 5,600만㎘의 에너지 소비를 감소하여야 한다. 일본 정부는 에너지효율이 세계 최고수준에 도달하고 있어 향후 추가적인 저감목표 달성이 용이하지 않다는 인식 하에 지구온난화 문제를 해결하기 위해 순환형 경제체제를 건설하고, 국민의 이해와 각계각층의 참여와 협력 및 모든 정책수단을 동원하여 실질적인 목표가 달성되도록 기본방향을 설정하였다(그림 VI-7 참조).



<그림 VI-7> 일본 정부의 기후변화 대응체제

자료: 한화진. 2002.『선진 주요국가의 기후변화대책 및 우리나라의 과제, 대책』

일본 정부의 대응체제는 부처별로 전문가와 다양한 이해당사자들로 구성된 다수의 자문심의회를 거쳐 부처별 기후변화협약 대응정책을 수립하고, 각료급 부처별 협의체인 지구온난화대책추진본부에서 기후변화협약 대응과 관련한 국가기본방향과 주요정책을 결정한다. 각 부처별 위원회로 구성된 합동심의회는 기후변화협약 대응과 관련한 국가기본방향 설정 및 주요정책 결정에 자문역할을 담당한다. 그리고 대책추진본부 및 법률에서 수립된 기본방향과 정책에 따라 부처별로 세부계획을 수립·시행하고 있다.

2) 기후변화 대응 주요대책

일본 정부는 민간사업자, 지방자치단체, 국민 등 각계각층의 이해와 협력을 얻어 모든 정책수단을 동원하여 착실히 온실가스배출을 감축하기 위해 노력하고 있다. 1998년 6월, 2010년을 목표로 하는 '지구온난화대책추진기본계획'을 수립하였으며 '지구온난화대책추진법'을 제정하고, 에너지효율 향상을 통한 이산화탄소 감축을 추진하기 위해 에너지이용합리화 관련법을 일부 개정하였다. 2010년의 배출량을 1990년 수준에서 6% 감축하기 위해, 1단계 목표로서 우선 산업, 가정·상업, 수송부문의 에너지 이용효율 향상을 통해 2010년 배출량을 1990년 수준으로 낮춘다. 2단계에서는 6% 감축을 위해 기술개발 및 사회시스템 변화를 통해 2%, CH_4, N_2O 감축대책을 통해 0.5%, 조림 등의 흡수원 확대를 통해 0.3~3.7%, 배출권거래제(ET), 공동이행제도(JI), 청정개발체제(CDM) 등의 교토메커니즘을 통해 1.8~5.2%, 그리고 불소화합물의 사용 증가를 2%로 억제함으로써 달성한다는 계획을 수립하였다(표 Ⅵ-11 참조).

<표 VI-11> 지구온난화대책추진기본계획 주요내용

구분	중분류	세부감축내용
에너지수요 측면에서 CO_2 감축대책 추진	개정된 에너지효율법에 따라 에너지효율 개선	
	에너지효율기준 강화	· 자동차 연비기준 강화 · 가전 · OA기기 에너지효율기준 강화 · 주택 · 건물 에너지효율기준 강화 · 공장 · 사업장 에너지이용 합리화 · 철도, 선박, 항공기의 에너지이용효율
	인프라 정비 등에 따라 CO_2 배출억제형 사회형성	· CO_2 저배출 도시 및 지역구조형성 · 물류 효율화 · 대중교통 이용촉진 · 교통지체 완화
	산업계의 행동계획 사후 검토	
	새로운 에너지효율기술 개발 및 보급	· 청정에너지 자동차, 저공해차, 저연비차량보급 촉진
에너지공급 측면에서 CO_2 감축대책 추진	원자력 입지확보 추진	
	신재생에너지 도입 확대	
	전력부하 관리대책 추진	
	기타 CO_2 배출저감대책 추진	· 공정에서의 CO_2 배출저감대책 · 폐기물에서의 CO_2 배출저감대책 · 목재자원 유효이용 추진
CO_2 이외 온실가스배출 저감대책 추진	불소화합물(HFC, PFC, SF6) 배출저감대책 추진	· 산업계 대응조치 촉진 · 대체물질 개발
	메탄 배출저감대책 추진	
	N_2O 배출저감대책 추진	
조림 등 CO_2 흡수원대책 추진	삼림정비 추진	
	도시녹화 추진	
환경 · 에너지 기술혁신		
지구관측 시스템 강화		
국제협력 추진	교토의정서에 제시된 과제해결 교토 이니시어티브 구체화 기후변화기술전략 추진 관련국과의 합의를 통한 협력사안 발굴	

자료: 한화진. 2002. 선진 주요국가의 기후변화대책 및 우리나라의 과제, 대책

차. 중국

중국 정부는 기후변화협약 대응을 위하여 국가위원회 (State Council) 산하에 국가기후변화조정위원회 (National Coordination Committee for Climate Change)를 설립하였다. 동 위원회는 기후변화에 관한 정책 및 수단들을 조정 및 수립하는 책임을 맡고 있다. 동 위원회의 국가개발계획위원회 (State Development Planning Commission)를 의장으로 13개 정부부처가 회원으로 참여하고 있다. 동 위원회에 참여하는 13개 부처는 Ministry of Foreign Affairs, Ministry of Science and Technology, State Economic and Trade Commission, China Meteorological Administration, Ministry of Finance, State Environmental Protection Administration, Ministry of Water Resources, Ministry of Construction, State Forestry Administration, State Oceanic Administration and Chinese Academy of Science이다. 동 위원회는 기후변화의 과학적 평가, 영향 평가 및 대응 전략, 경제 분석, 국제협정의 4개의 그룹으로 나누어져 있으며 각 그룹은 각 분야에 대한 대책 수립에 책임을 지고 있다. 중국 자체적으로 동 위원회는 설립 후 그 기능을 성공적으로 수행하고 있는 것으로 평가하고 있다.

3. 대응방안 비교 분석

대응방안과 관련하여 외국의 주요국가에서 수립한 대응체제와 대응대책에 대하여 정리하였다. 대응체제란 "기후변화에 대하여 국가차원에서 어떻게 조직을 정비하여 준비할 것인가?"라는 부분으로 모든 국가에서 다루고 있었다. 이를 정리하면 <표 Ⅵ-12>와 같다.

<표 VI-12 >국가별 대응체제 비교

	유럽연합	미국	캐나다	호주	영국	덴마크	프랑스	멕시코	일본	중국
독립기관				○						
기존핵심부처중심					○					
종합협의체	○	○	○			○	○	○	○	○

대부분의 국가들의 기후변화와 관련된 부서들을 중심으로 종합협의체를 구성하고, 각각의 역할 분담을 통해 대응하고 있는 것을 알 수 있었다. 우리나라도 다른 주요국가와 같이 종합협의체에 의한 방법을 활용하고 있다.

대응대책으로는 모든 국가들이 기후변화원인물질에 대한 저감방안을 주로 다루고 있었으며, 현재 IPCC 3차보고서에서 다루어지고 있는 적응에 대한 대응대책은 전무한 실정이었다. 이는 지금까지 국제적인 연구동향이 기후변화에 대한 영향의 유무를 파악하는 수준에서 머무르고 있었다는 것을 의미하며, 향후 영향의 범위와 정도를 파악하게 된다면 이에 따른 대응대책도 달라져야 할 것이다.

제7장 요약 및 제안

1. 요약

기후변화는 현재 전세계적으로 발생되고 있으며, 이를 감소시키기 위한 대응전략과 발생된 기후변화에 적응하기 위한 적응전략 수립에 전세계가 많은 노력을 기울이고 있다. 기후변화영향물질들이 배출되어 영향을 미치는 것은 짧게는 10-20년부터 길게100년까지이다. 따라서 장기적인 관점에서 영향을 파악하고 대응계획을 수립하여야 한다.

본 연구는 지난 2000년부터 3개년간 수행된 연구로, 기후변화 통합영향평가모델이 없는 우리나라에서 삼림부분의 통합영향평가모형의 틀을 개발하고 제시하였다는 점에서 의의가 있다.

본 연구의 제2장에서는 기후변화에 따른 삼림부문 영향평가 결과들을 광역차원과 한반도 차원으로 정리하고 시사점을 고찰하였다. 분석결과 광역차원의 영향평가에서는 한반도에 영향이 없는 것으로 발표되었으나, 공간해상도가 수백 km이므로 우리나라와 같은 좁은 국토환경에서는 그 영향을 파악할 수 없었다. 따라서 우리나라와 같이 작은 나라의 경우 지역차원의 모델을 구축하고 평가하는 것이 적합한 것으로 분석되었다.

제3장에서는 삼림부분 영향평가모형의 개발배경 및 모형의 이론적 고찰을 통해 실험법, 유추법, 전문가판단, 정량적 모형의 4가지로 구분하여 정리하였다. 분류결과 우리나라에서는 정량적 모형중 통합영향평가모형으로 개발하는 것이 적합하며, 삼림부분의 경우 과정기반 생물리모델인 Holdridge 모형의 적용이 타당한 것으로 분석되었다.

제4장에서는 우선 선정한 AIM/IMPACT(Korea) 모형의 구조와 세부개발내용

을 정리하였다. 또한 본 연구에서 사용할 기온상승시나리오, 대기대순환모형과 지역대기순환모형, 기온감율을 고려한 기온의 공간해상도 개선, 삼림영향평가모형과 삼림의 적응성평가방법론에 대하여 제시하였다.

제5장에서는 제4장에서 선정된 모형과 방법론을 활용하여 기후변화에 따른 삼림부분의 영향을 평가하였다. 평가결과 지금과 같은 추세대로 경제, 인구 및 기술이 이용된다는 대표 시나리오(A2시나리오)하에서 온대와 아한대림이 남부지역은 34.99% 감소하며, 중부의 서부지역은 16.18%, 중부의 동부지역은 3.16%, 북부지역은 3.11%가 감소하는 결과를 보였다. 한반도 전체적으로 보았을 때 온대림이 감소하고 아열대림이 증가하는 경향을 보였으며, 이는 광역영향평가의 결과와 다른 점으로 우리나라의 경우 같은 위도에 속한 나라들과 비교연구를 할 가치가 있는 것으로 판단되었다. 삼림의 이동가능 속도는 수종에 따라 다르므로, 수종별 적응가능성 연구보다는 평균적인 이동가능속도를 이용하여 적응성을 평가하였다. 삼림의 이동가능속도가 250m/년일 때, B2 시나리오 경우 최소피해액인 102백만US$가 순손실로 평가되었으며, A2 시나리오의 경우 최대피해액인 700백만US$의 경제적 가치 손실이 발생하는 것으로 평가되었다. 삼림의 이동가능속도가 증가할수록 순손실액은 감소하나, 삼림의 이동가능속도가 2.0km/년일 경우에도 최소 29백만US$에서 최대 558백만US$의 순손실이 발생되는 것으로 평가되었다.

제6장에서는 기후변화협약과 관련된 회의 결과와 의의에 대하여 정리하였으며, 대응방안과 관련해서는 선진국과 아시아 국가를 포함하여 8개 사례에 대하여 정부차원의 대응조직 및 대응사례를 중심으로 정리하였다. 정리한 결과 아직까지는 기후변화원인물질들의 감축을 통한 기후변화발생시기를 늦추는 쪽에 많은 연구가 이루어졌을 뿐, 삼림부분의 영향을 줄이기 위한 대응방안과 이의 적응방안에 대해서는 연구가 거의 없는 실정이었다.

7장에서는 지난 3년 간의 연구내용 및 범위를 요약·정리하고, 기후변화영향평가모델구축과 대응 및 적응을 위한 정책제언을 작성하였다.

2. 정책제안

기후변화는 기본적으로 대외적 협상문제와 맞물려 있어 국내 조치의 선행을 통해 내부적으로 국내 산업체질개선을 유도하고, 새로운 시대적 변화를 국익 차원으로 연결하여야 할 필요성이 제기되고 있다. 특히, 우리나라의 경우 선진국간의 입장변화를 고려해 볼 때 좀더 강화된 기후변화협약의 규정이 마련되고 강제력을 지닐 경우 국내에 미치는 사회·경제적 영향은 상당히 클 것으로 예상되어 적응정책을 수립하기 위한 모델의 구축 및 평가에 많은 투자가 필요하다.

지구온난화를 비롯한 기후변화는 다루어야 할 분야가 매우 방대할 뿐만 아니라 환경문제의 속성상 이들 문제는 환경, 보건, 농업, 과학 등 여러 분야와 연관되어 있어 이들 문제들을 효과적으로 다루기가 매우 어렵다. 그러나, 국제환경문제의 특성상 확실한 분석과 자료에 의하지 않고서는 진취적이고 적극적인 환경정책을 수립하기는 매우 어려운 실정이다. 따라서, 종합적인 대책의 마련이 절대적으로 필요한 현 상황에서 볼 때, 국제현실에 맞는 우리가 나아가야 할 기본원칙이나 방향설정이 요구된다. 이러한 환경에 발맞추어 기후변화적응전략수립을 위한 영향평가연구를 위한 제언, 대응 및 적응의 전략수립을 위한 기본 방향을 아래와 같이 제안하고자 한다.

가. 통합영향평가모형 구축을 위한 기초자료의 지속적인 확보방안 구축

자료의 활용성 제고를 위하여 국가차원에서 기초자료를 생성하는데 많은 지원이 반드시 이루어져야 한다. 일례로 GCM 자료의 경우, 현재 국제적 수준의 GCM 자료를 생성하는 국내연구기관을 찾을 수 없었다. 이 결과 다른 국제기관에서 생성된 GCM 자료를 구득하여 사용한 결과, 우리나라의 지역특성을 정확히 반영하지 못하여, 본 연구에서 구축한 모델의 시뮬레이션 결과에 불확실성을 높

이는 측면이 있었다. 따라서 영향연구의 신뢰성을 높일 수 있는 기초자료의 생산을 위해 국가차원의 지원이 필요하다. 특히 지역 미기후를 반영한 지역기후모델 개발 및 신뢰성 높은 결과물 생산에 많은 노력과 지원이 필요하다.

전문분야별로 수행한 기초 연구를 분석하여 장기적인 자료의 축적을 위한 통합적인 자료구축체계의 수립이 필요하다. 기후변화 영향평가연구는 짧게는 10-20년 동안의 자료에서부터 길게 100년 정도의 기초자료를 요구한다. 또한 광역차원의 영향과 지역차원 영향연구의 공간적 해상도가 다르므로, 자료의 구축에 세심한 주의가 필요하다. 따라서, 각 분야별로 필요한 자료의 명세를 정리한 후 이를 비교하여 공통적으로 필요한 자료와 부분별로 필요한 자료로 구분한 후 자료구축의 우선순위를 고려하여 통합적으로 구축하여야 한다.

나. 구축된 자료의 효율적인 배포체계 구축

구축된 자료의 공개와 연구를 위한 자료의 배포 체계가 필요하다. 이와 같은 기능은 연구의 중복을 피하고, 효율적인 연구수행을 위해 반드시 필요한 것으로 우리나라의 지역차원 기후변화영향평가모형을 개발하는데 있어서 이 같은 역할을 수행할 체계가 필요하다. 이를 위해 현재 광역차원의 자료를 제공하고 있는 UNEP의 지구자원정보자료센터(Global Resource Information Database, GRID)[10]나, IPCC의 정보제공센터(Data Distribution Center, DDC)와 같은 조직의 기능 및 역할을 비교·분석하여 국내에서도 이와 같은 역할을 할 수 있는 국토환경정보센터와 같은 조직의 신설이 필요하다.

---

10) UNEP GRID 센터는 1985년에 정책입안자들에게 새로운 정보를 제공하기 위해 지구환경감시시스템(GEMS : Global Environment Monitoring System)내에서 시작되었으며, 환경연구 및 지속적인 모니터링 활동으로 생성된 정보를 관리하고 제공하는 역할을 수행하고 있다.

다. 통합영향평가모델 개발을 위한 관련 기관간의 유기적인 연계

연구수행 초기부터 유기적인 연관성을 고려한 연구 분야별 전문화 및 통합화 원칙 수립이 필요하다. 기후변화에 따른 영향은 하나의 분야에만 국한된 것이 아니라 여러 분야가 연계되어 발생되므로 이를 적절히 반영할 수 있는 통합영향평가모형 개발로 방향을 설정해야 한다.

기후변화에 따른 삼림부분의 영향평가는 현실 세계에 미치는 영향을 모형적으로 평가하는 것으로 이에 대한 검증이 필수적이다. 이를 위해 주기적으로 현장조사를 실시하는 국립공원관리공단이나, 산림청 등과 함께 검증지역을 선정하고, 이를 지속적으로 모니터링하는 연계체제 구축이 필요하다.

라. 여러 시나리오의 검토 및 설정

IPCC의 SRES 시나리오와 같이 일본에서도 자국에 적합한 기후변화 시나리오를 설정하고 이에 따른 영향연구를 진행하고 있다. 이는 지역차원의 연구를 진행하는데, 반드시 필요한 것이다. 따라서 우리나라의 현실과 미래를 반영한 시나리오를 개발하여야 하며, 이를 검토 및 설정하기 위한 연구가 이루어져야 한다.

마. 통합영향평가연구의 추진

위의 정책제언을 토대로 향후 통합영향평가모형의 구축과 이를 이용한 국가대응방안의 마련을 위해서는 다음과 같은 분야별 연구계획의 추진이 필요하다. 1, 2단계 연구를 통하여 도출되는 결과들을 이용하여 1차 의무이행기간이 시작되는 2008년에 활용하며, 3단계 연구결과를 이용하여 2차 의무이행기간에 활용한다.

○ 1단계(2000-2002) : 국제동향 파악 및 기초자료의 정비

- 기후변화 영향예측 및 대응방안에 관한 국제동향 조사 및 분석

- 영향예측에 필요한 기초자료의 수집 및 DB 구축
  · GCM 수집 및 구축
  · 지리지형정보 수집 및 구축
  · 삼림식생정보 수집 및 구축

- 기후변화 영향예측을 위한 모델의 비교 분석
  · 삼림식생 및 해수면상승 영향예측 모형 구축 및 검증
  · 기후변화 시나리오별 삼림식생 및 해수면상승 영향예측 및 평가

○ 2단계(2003-2007) : 분야별 영향평가모형의 구축 및 검증

- 수자원부분 영향예측 모형 구축 및 검증
  · 영향예측 모형 구축 및 검증
  · GCM별 기후변화 시나리오별 영향예측 및 평가

- 농업 및 식량부분 영향예측 모형 구축 및 검증
  · 영향예측 모형 구축 및 검증
  · GCM별 기후변화 시나리오별 영향예측 및 평가

- 연안 및 해양생태계 영향예측 모형 구축 및 검증
  · 영향예측 모형 구축 및 검증
  · GCM별 기후변화 시나리오별 영향예측 및 평가

- 인간정주권, 에너지 및 산업부문 영향예측 모형 구축 및 평가

· 영향예측 모형 구축 및 검증
· GCM별 기후변화 시나리오별 영향예측 및 평가

- 보건부분 영향예측 모형 구축 및 검증
· 영향예측 모형 구축 및 검증
· GCM별 기후변화 시나리오별 영향예측 및 평가

○ 3단계(2008-2011) : 통합영향평가모형을 활용한 국가대응방안 수립
- 통합영향예측 모형의 구축 및 검증
- 영향에 대한 대응방안 수립

바. 삼림부문의 대응 및 적응전략

대응대책과 관련해서 지금까지는 기후변화영향물질을 줄이는 방향에서 접근하는 것이 대세였으나, 최근 기후변화는 인류가 아무리 원인물질을 줄인다고 할지라도 지금까지 배출된 물질들에 의해 영향이 지속적으로 발생할 것이라는 연구결과가 주종을 이루고 있다. 따라서 앞으로의 대응대책은 원인물질을 줄이는 방향과 함께, 어떤 부분에 큰 영향이 발생하고, 영향의 정도와 이에 적응하기 위해서는 무엇을 해야 하는지를 연구하는 방향을 포함하여야 한다.

삼림부분의 영향평가결과 남부지역의 온대림이 아열대림으로의 변화가 가장 심하게 나타나는 것으로 분석되었다. 따라서 이에 대응하기 위하여 다음과 같은 전략에 따라 대응하여야 한다.

적응과 관련해서는 크게 광역차원과 지역차원을 동시에 고려하는 적응대책을 마련해야 한다. 광역차원의 적응은 급격한 개발이 이루어진다라는 가정하에 시작된다. 급격한 개발은 소득의 증가, 교육의 증대, 기술의 발달, 공공재의 분배개

선, 재난의 예측과 관리기술 발달에 기여하여, 기후변화로 인한 영향의 취약성을 줄이는데 기여할 수 있다는 것이다. 광역차원의 적응전략의 부족한 점을 보완하는 것은 지역차원의 적응전략으로 이는 기후변화에 가장 취약한 부분의 관리방법을 개선해야 한다는 점에 기초한다. 따라서 기후변화의 영향을 받기 쉬운 사회의 하부구조를 개선하며, 장기적인 관점에서 기후변화의 영향을 관리해야 한다는 것이다.

이와 같은 관점에서 삼림부분의 적응전략 수립 및 시행은 다음과 같은 원칙과 방법에 따라 이루어져야 한다.

첫째, 위협받고 있는 종이나 생태계에 대한 위험을 평가해야 한다. 본 연구에서도 삼림부분의 영향을 평가하며, 특정수종의 영향을 분석하였다. 이 종의 생육가능범위와 향후 기후변화가 올 경우의 생육가능범위를 평가하여, 위험지역과 새로운 기회지역을 분석하였다. 이와 같이 특정 수종이나 생태계전반에 대한 위험을 평가하고, 현장실사조사자료를 이용해 검증하는 것이 지속적으로 이루어져야 한다.

둘째, 삼림의 단절화를 줄이고 연결성을 고려한 완충지역의 설치를 증대시켜야 한다. 삼림의 경우 단절화되어 작은 섬들이 흩어져 있는 것과 같이 단편화된다면, 삼림의 생육기능은 현저하게 위협을 받으며 종래에는 인간의 개발에 의해서 또는 자연적인 도태에 의해 사라지게 될 것이다. 따라서 인간의 활동으로 인한 삼림지역의 단절화를 줄이는데 많은 고려가 따라야 한다.

셋째, 삼림제거를 방지해야 한다. 광역차원의 영향연구에서 삼림은 기후변화 영향물질을 흡수하는 유일한 저감원 중의 하나로, 삼림의 제거는 기후변화속도를 가중시키는 결과를 초래하게 되며 기상이변을 일으키는 주요한 원인이 된다.

넷째, 멸종위기종이나 희귀종 이외의 다양한 생물종에 대해서도 연구가 지속적으로 이루어져야 한다. 기후변화가 오고 있는 것을 일반국민이 알 수 있도록 일반인들이 친숙한 일반적인 종에 대한 영향연구결과를 홍보하고, 이를 통해 국민의 생활패턴변화를 유도하야 한다.

이러한 지역차원의 영향연구를 토대로 대응방안과 적응방안이 도출되어야 하며, 최근 들어 적응방안 도출을 위한 지역차원의 영향연구가 시작되었다. 2007년에 발간될 IPCC WGⅡ의 FAR(Forth Assessment Report)에는 지역차원의 영향연구 결과 및 대응전략이 많이 발표되게 될 것이다.

3. 연구의 한계 및 향후 연구제안

본 연구는 일본에서 개발한 광역차원의 통합영향평가모형인 AIM모형을 우리나라에 맞도록 수정·개발한 것으로 광역차원과 지역차원의 공간적인 해상도가 다름에 따라 광역차원의 결과와 여러 가지 점에서 다른 것을 발견할 수 있었다. 따라서 본 연구의 한계와 향후 연구를 위한 제언을 정리하면 다음과 같다.

첫째, 현재 사용되고 있는 광역영향예측모형은 지역차원에서 적용할 경우 공간해상도에 따른 한계를 가지고 있으므로, 이를 보완하기 위하여 각 부분별 영향평가모델의 지속적인 평가 및 개발이 필요하다. 우리나라의 경우도 각 부분에서 영향평가모형개발을 단편적으로 진행시켜 왔으나, 부분별 연구의 연속성 및 부분간 연구의 연계가 미흡하였다. 따라서 향후 연구를 진행함에 있어서 각 부분별 연구의 신뢰성 확보 측면과 연계측면을 고려한 통합영향예측연구가 진행되어야 할 것이다.

둘째, 광역차원의 연구는 전 지구차원에서 이루어져 범위가 작은 국가의 경우 영향의 정도를 파악하는 것이 어려웠으며, 파악된 영향의 신뢰성을 검증하는 것이 곤란하였다. 그러나 지역차원의 연구는 현실세계와 직접적으로 연계되어, 연구결과를 검증하는 것이 가능하다. 따라서 향후 연구를 진행할 때, 현장조사와 병행하여 연구결과의 정확성을 좀더 면밀히 비교·분석하는 것이 필요하다.

셋째, 광역차원의 연구는 지난 수십년간 연구가 진행됨에 따라 연구자 그룹간 및 연구자간 연구의 방향 및 진행정도를 서로 공유하고 있었으나, 지역차원의 영

향연구는 전 세계적으로 시작단계에 있으므로, 초기단계에서부터 적극적인 참여와 지속적인 연대가 필요하다. 이를 위해 각종 국제학술회의 및 국제회의에 적극적인 참여와 함께 연구결과의 발표를 통한 연구협력이 이루어져야 한다.

참고문헌

국내문헌

1. 과학기술처. 1995.「기후변화가 한반도에 미치는 영향과 지구 환경관련 대책 연구(Ⅱ)」, pp. 132-157.
2. 기상연구소. 1990.「한반도 기후변화 감시 및 이상기상에 관한 연구(Ⅰ)」, 과학기술처, 기상연구소 연구보고서.
3. _____. 1991.「한반도 기후변화 감시 및 이상기상에 관한 연구(Ⅱ)」, 과학기술처, 기상연구소 연구보고서.
4. _____. 1992a.「한국-태평양 기후시스템(Ⅰ)」, 과학기술처, 기상연구소 연구보고서.
5. _____. 1992b.「한반도 기후변화 감시 및 이상기상에 관한 연구(Ⅲ)」, 과학기술처, 기상연구소 연구보고서.
6. _____. 1993.「한국-태평양 기후시스템(Ⅱ)」, 과학기술처, 기상연구소 연구보고서.
7. _____. 1994.「한국-태평양 기후시스템(Ⅲ)」, 과학기술처, 기상연구소 연구보고서.
8. _____. 1999.「대기조성변화에 따른 지역기후변화 연구」, 기상연구소 연구보고서.
9. 김정인 홍건수. 2001. “유럽연합의 환경규제 정책이 수출산업에 미치는 영향과 대응방안”.「응용경제학회지 발표논문」
10. 김태훈. 1993. "기후변화가 산림생태계에 미치는 영향 및 대응방안".「기후변화가 한반도에 미치는 영향에 관한 심포지엄 논문집」. 한국과학기술연

구원, pp. 31~59.
11. 박원훈. 1995.「기후변화가 한반도에 미치는 영향과 지구환경관련 대책연구(II)」. 한국과학기술원
12. 임재규. 2001.「기후변화협약이 세계 및 우리경제에 미치는 파급효과」. 에너지경제연구원
13. 정일웅. 2002. "기후변화협약 종합대책 및 자치단체의 역할".「기후변화대책 지방순회설명회자료」. 환경부・환경관리공단・지방의제21전국협의회
14. 조광우. 2002.「기후변화협약 대응체제 연구」. 환경부
15. 한화진. 2002. "선진 주요국가의 기후변화대책 및 우리나라의 과제, 대책".「기후변화대책 지방순회설명회자료」. 환경부・환경관리공단・지방의제21전국협의회
16. 환경부. 2002a. "기후변화협약에 대한 산업계 대응방안".
17. _____. 2002b. "국제환경동향과 우리의 대응".
18. Harasawa, H.(2000) "Recent development of Impacts Study in Japan and IPCC".「기후변화와 생태계보전 심포지엄」. 한국환경정책・평가연구원

일본문헌

1. 棟居 洋介, 高橋 潔. 2000. "地球溫暖化が世界の自然植生に及ぼす影響およびその經濟的價値".『環境科學會誌』 13(3):329~337.
2. 松岡 讓. 1996.「アシア太平洋地域における溫暖化對策分析モデル(AIM)の開發に關する開途國等共同研究」, 地球環境綜合推進費成果報告.
3. 野田 彰. 2000. "地球溫暖化に伴う全球的な氣候變化豫測".『日本氣象學會2000年 春季學術大會 論文集』. pp.702~708.
4. 吉野正敏. 1996.「植物生態系の影響豫測に關する研究」. 國立環境研究所

5. 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.

6. Mori, S. 2000. "The development of greenhouse gas emissions scenarios using an extension of the MARIA model for the assessment of resource and energy technologies". *Technological Forecasting & Social Change*, 63(2-3).

7. Mori, S., and M. Takahashi. 1999. "An integrated assessment model for the evaluation of new energy technologies and food productivity". *International Journal of Global Energy Issues* 11(1-4):1-18.

8. Morita, T., Y. Matsuoka, I. Penna, and M. Kainuma. 1994. *Global Carbon Dioxide Emission Scenarios and Their Basic Assumptions: 1994 Survey.* CGER-1011-94. Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies, Tsukuba, Japan.

9. Munesue Y. and Takahashi K. 2000. "Evaluation of Climate Change Impact on Vegetation and its Economic Value". *Japanese Environmental Science* 13(3):329-337.

10. Takahashi, K., *et al.* 1998. "Impacts of Climate Change on Water Resources, Crop Production and Natural Ecosystem in the Asia and Pacific Region". *Journal of Global Environmental Engineering* 1:91-103.

11. Takahashi, K., *et al.* 1998. "Development of Climate Change Scenarios for Impact Assessment using results of general circulation model simulations". *Journal of Global Environmental Engineering* 4:1-8.

12. Yoshino, M. and H. P. Ono. 1996. "Variation on the Plant Phenology Affected by Global Warming". In K. Omasa et al.,(eds), *Climate Change and Plants in East Asia*, Springer.

13. Yim, Y. J. 1977. "Distribution of Forest Vegetation and Climate in the Korean Peninsula III, Distribution of tree species along the thermal gradient". *Japan Journal of Ecology* 27:177-189.

외국문헌

1. Agren, G. I., R. E. Mcmurtrie, W. J. Parton, J. Pastor, and H. H. Shugart 1991. "State of The Art Models of Production Decomposition Linkages in Conifer and Grassland Ecosystems". *Ecological Applications* 1:118-138.
2. AIM Project Team. 1996. 「Technical Structure of AIM/Impact model」, AIM Interim Paper. IP-95-06 National Institute for Environmental Studies
3. _____. 1997. [Asian-Pacific Integrated model], National Institute for Environmental Studies, Japan, pp.67-69.
4. Alcamo, J. (Ed). 1994. *Image 2.0: Integrated Modelling of Global Climate Change*. Kluwer, Dordrecht, The Netherlands.
5. Alcamo, J., A. Bouwman, J. Edmonds, A. Grubler, T. Morita, and A. Sugandhy. 1995. *An evaluation of the IPCC IS92 emission scenarios. In Climate Change 1994, Radiative Forcing of Climate Change and An Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios*. J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, J. Bruce, Hoesung Lee, B.A. Callander, E. Haites, N. Harris and K. Maskell (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, pp.233-304.
6. Alcamo, J., R. Leemans, and E. Kreileman (eds.). 1998. *Global Change Scenarios of the 21 st Century. Results from the IMAGE 2.1 model*.

Elsevier Science, London.

7. Arthur, L. M., and G. C. Van Kooten. 1989. “Assessing Economic Benefits of Climate Change on Canada’s Boreal Forest”. *Canadian Journal of Forest Research* 19:463-470.
8. Box, E. O. 1980. *Macroclimate and Plant Forms: An Introduction To Predictive Modeling in Phytogeography. Junk.* The Hague, The Netherlands.
9. Branchu, P., H. Faure, J. P. Ambrosi, E. M. Van Zinderen-Bakker, and L. Faure-Denard. 1993. “Africa as Source and Sink For Atmospheric Carbon Dioxide”. *Global and Planetary Change* 7:41-49.
10. Costanza, R. et al. 1997. “The Value of the World’s Ecosystem Services and Natural Capital”. *NATURE* 387:253-260.
11. Cramer, W. P. and Leemans, R. 1993. *Assessing impacts of climate change on vegetation using climate classification system. Vegetation Dynamics & Global Change.* Chapman & Hall, USA.
12. D’Arrigo, R. D., G. C. Jacoby, and R. M. Free. 1992. "Tree-Ring Width and Maximum Latewood Density at The North American Tree Line: Parameters of Climatic Change". *Canadian Journal of Forest Research* 22:1290-1296.
13. Dale, V. H. and H. M. Rauscher. 1994. "Assessing Impacts of Climate Change on Forests: The State of Biological Modeling". *Climatic Change* 28:65-90.
14. Davis, M. B. 1989. "Lags in Vegetation Response to Greenhouse Warming". *Climate Change* 15:75-82.
15. De Vries, B., J. Bollen, L. Bouwman, M. den Elzen, M. Janssen, and E. Kreileman. 2000. "Greenhouse gas emissions in an equity-, environment-and service-oriented world: An IMAGE-based scenario

for the next century". *Technological Forecasting & Social Change*, 63(2-3).

16. De Vries, B., M. Janssen, and A. Beusen. 1999. "Perspectives on global energy futures - simulations with the TIME model". *Energy Policy*, 27:477-494.
17. De Vries, H.J.M., J.G.J. Olivier, R.A. van den Wijngaart, G.J.J. Kreileman, and A.M.C. Toet. 1994. "Model for calculating regional energy use, industrial production and greenhouse gas emissions for evaluating global climate scenarios". *Water, Air and Soil Pollution* 76:79-131.
18. Dickinson, R. E. *et al.* 1989. "A Regional Climate Model for the Western U.S." *Climate Change* 15:383-422.
19. Eatwell, J., M. Murray, and P. Newman (eds.). 1998. *The New Palgrave, A Dictionary of Economics*, p.3.
20. Edmonds, J., M. Wise, and C. MacCracken. 1994. *Advanced energy technologies and climate change. An Analysis Using the Global Change Assessment Model (GCAM)*. PNL-9798, UC-402, Pacific Northwest Laboratory, Richland, WA, USA.
21. Edmonds, J., M. Wise, H. Pitcher, R. Richels, T. Wigley, and C. MacCracken. 1996a. "An integrated assessment of climate change and the accelerated introduction of advanced energy technologies: An application of MiniCAM 1.0". *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 1(4):311- 339.
22. Edmonds, J., M. Wise, R. Sands, R. Brown, and H. Kheshgi. 1996b. *Agriculture, land-use, and commercial biomass energy. A Preliminary integrated analysis of the potential role of Biomass Energy for Reducing Future Greenhouse Related Emissions.* PNNL-11155, Pacific Northwest National Laboratories, Washington, DC.

23. Giorgi, F. 1990. "Simulation of Regional Climate Using a Limited Area Model Nested on a Genral Circulation Model" *Journal of Climate* 3:941-963.

24. _____ 1991. "Sensitivity of Wintertime Precipitation and Soil Hydrology Simulation over the Western U.S. to Lower Boundary Specification" *Atmos. Ocean* 28:1-23.

25. Giorgi, F. and L. O. Mearns. 1991. "Approaches to the Simulation of Regional Climate change : A Review" *Rev. Geophys* 29(2):191-216.

26. Giorgi, F. *et al*. 1992. "A 2XCO_2 Climate Change Scenario over Europe Generated using a Limited Area Model Nested in a General Circulation Model Part Ⅱ Climate Change Scenario" *J. Geophys. Res*. 97:10011-10028.

27. Giorgi, F. *et al*. 1993a. "Development of the Second Generation Region Climate Model(RegCM2) Part Ⅰ, Boundary-layer and Radiative Transfer process" *Mon. Wea. Rev*. 121:2794-2813.

28. _____ 1993b. "Development of the Second Generation Regional Climate Model(RegCM2) Part Ⅱ, Convective Process and Assimilation of Lateral Boundary Condition" *Mon. Wea. Rev*. 121:2814-2832.

29. _____ 1994, "Regional Climate Change Scenarios over the United State Produced with a Nested Regional Climete Model" *Journal of Climate* 7:375-399.

30. Hassell, D. and R.G. Jones. 1999. *Simulating climatic change of the southern Asian monsoon using a nested regional climate model (HadRM2)*, HCTN 8, Hadley Centre for Climate Prediction and Research, London Road, Bracknell, UK.

31. Holdridge, L. R. 1947. "Determination of world plant formations from simple climate data". *Science*, 105:367-368.

32. _____. 1967. *Life Zone Ecology*. Tropical Science Centre, San Jose, California.

33. IGBP. 1997. "The terrestrial biosphere and global change: Implications for natural and managed ecosystem". *IGBP SCIENCE*, 1:10-14.

35. IPCC. 1990. *Climate Change, The IPCC Scientific Assessment.* Cambridge University Press, Cambridge, UK.

36. _____. 1992. *Climate Change 1992 : The supplementary report to the IPCC Scientific Assessment.* J. T. Houghton, B. A. Callander and S. K. Varneyl(eds). Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp.331-339.

37. ____. 1994. *IPCC Technical guidelines for assessing climate change impacts and adaptations.*

38. ____. 1996a. *Climate Change 1995, Economic and social dimensions of climate change.* Cambridge University Press, pp.192-193.

39. ____. 1996b., *Climate Change 1995: The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*

40. _____. 1996c. *Climate Change 1995: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*

41. ____. 1996d. *Climate Change 1995: Economic and Social Dimensions of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*

42. ____. 1996e. *Climate Change 1995, Impacts, adaptations and mitigation of climate change*, Cambridge University Press, p.111.

43. ____. 1998. *The regional impacts of climate change, an assessment of vulnerability*, A special report of IPCC WG-II.

44. ____. 2000. *Summary for Policymakers : Emission Scenarios*, A Special Report of IPCC Working Group Ⅲ.

45. IPCC_TGCIA. 1999. *Guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment, version 1*, Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Scenarios for Climate Impact Assessment, p.69

46. Jarvis, P. G. 1993. *Maestro: A Model of CO_2 and Water Vapour Exchange By Forests in Globally Changing World. In Design and Execution of Experiments on CO_2-Enrichment*, Ecosystem Research Report No. 6, The Commission of the European Community.

47. Joyce, L.A. *et al.* 1995. "Forest Sector Impacts From Changes in Forest Productivity under Climate Change" *Journal of Biogeography* 22:703-713.

48. Kida, H. T. *et al.* 1991. "A New Approach for Coupling a Limited Area Model to a GCM for Regional Climate Simulation" *J. Meteor. Soc. Japan* 68:687-703

49. Kirilenko, E. P. and A. M. Solomon. 1998. "Modeling dynamic vegetation response to rapid climate change using bioclimatic classification". *Climate Change*, 38:15-49.

50. Landsberg, J. J., S. Linder, and R. E. Mcmurtrie. 1995. *Effects of Global Change on Managed Forests: A Strategic Plan For Research on Managed Forest Ecosystem in a Globally Changing Environment.* Gcte Report No

4.

51. Lashof, D., and Tirpak, D.A. 1990. *Policy Options for Stabilizing Global Climate*. 21P-2003. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.

52. Legates, D. R. and C. J. Willmott. 1990a. "Mean Seasonal and Spatial Variability in Global Surface Air Temperature", *Theor. Appl. Climatol.* 41:11-21.

53. Legates, D. R. and C. J. Willmott. 1990b. "Mean Seasonal and Spatial Variability in Gauge Corrected, Global Precipitation". *Int. J. Climatol.* 10:111-127.

54. Linder, S. 1987, *Responses to Water and Nutrition in Coniferous Ecosystems. in Potentials and Limitations of Ecosystem Analysis.* E. D. Schulze and H. Zwölfer (Eds). Ecological Studies 61. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York.

55. Liu, Y. F. *et al.* 1994. "Simulation of Summer Monsoon Climate Over East Asia with an NCAR Regional Climate Model" *Mon. Wea. Rev.* 122:2331-2348

56. Matyas, C. 1994. "Modeling Climate Change Effects with Provenance Test Data". *Tree Physiology* 14:797-804.

57. McMurtrie, R. E. et al. 1990. "Modelling the Yield of Pinus Radiata on a Site Limited by Water and Nitrogen". *Forest Ecology and Management* 20:381-413.

58. Melillo, J. M., A. D. Mcguire, D. W. Kicklighter, B. Moore, Iii, C. J. Vorosmarty, and A. L. Schloss. 1993. "Global Climate Change and Terrestrial Net Primary Production". *Nature* 363:234-240.

59. Messner, S., and M. Strubegger. 1995. *User's Guide for MESSAGE III.*

WP-95-69, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria, p.155.

60. Nalder, I. A. and R. W. Wein. 1998. "Spatial Interpolation of Climatic Normals : Test of a New Method in the Canadian Boreal Forest". *Agricultural and Forest Meteorology* 92:211-225.
61. Nishioka, S. and Harasawa, H. (Eds). 1998. *Global Warming: The Potential Impact on Japan*, Springer-Verlag, Tokyo.
62. Ohikita, Y. 1995. "Climate Change Impact on Natural Environment", *Master's thesis at Kyoto University*, Japan.
63. Parton, W. J., J. W. B. Stewart, and C. V. Cole. 1988. "Dynamics of C, N, P and S in Grassland Soils: A Model". *Biogeochemistry* 5:109-113.
64. Pepper, W.J., J. Leggett, R. Swart, J. Wasson, J. Edmonds, and I. Mintzer. 1992. "Emissions scenarios for the IPCC. An update: Assumptions, methodology, and results. Support document for Chapter A3". *In Climate Change 1992: Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment.* J.T. Houghton, B.A. Callandar, S.K. Varney (eds.), Cambridge University Press, Cambridge.
65. Peres-Garcia, J., L. A. Joyce, C. S. Binkley, and A. D. Mcguire. 1995. "Economic Impacts of Climate Change on The Global Forest Sector: An Integrated Ecological/Economic Assessment". *Proceedings of A Meeting on Economics of Carbon Sequestration in Forestry*, Bezendal, May pp.15-19.
66. Peterjohn, W. T., J. M. Melillo, F. P. Bowles, and P. A. Steudler. 1993. "Soil Warming and Trace Gas Fluxes: Experimental Design and Preliminary Flux Results". *Oecologia* 93:18-24.
67. Peterjohn, W. T., J. M. Melillo, P. A. Steudler, K. M. Newkirk, F. P. Bowles,

and J. D. Aber. 1994. "Responses of Trace Gas Fluxes and N Availability to Experimentally Elevated Soil Temperatures". *Ecological Applications* 4:617-625.

68. Prentice, I. C., W. P. Cramer, Harrison, R. Leemans, R. A. Monserud and A. M. Solomon. 1992. "A global biome model based on plant physiology and dominance, soil properties and climate". *Journal of biogeography* 19:117-134.
69. Riahi, K., and R.A. Roehrl. 2000. "Greenhouse gas emissions in a dynamics-as- usual scenario of economic and energy development". *Technological Forecasting & Social Change* 63(2-3)
70. Robert J. Scholes and Sune Linder. 1998. *Forest, Handbook on Method for Climactic Change Impact Assessment and Adaptation Strategies*. UNEP.
71. Rosenberg, N. J. (Ed). 1993. "Towards An Integrated Impact Assessment of Climate Change: The Mink Study". *Climatic Change (Special Issue)* 24:1-173.
72. Running, S. W. and J. C. Coughlan. 1988. "A General Model of Forest Ecosystem Processes For Regional Application. I. Hydrological Balance, Canopy Gas Exchange and Primary Production Process". *Ecological Modelling* 42:125-154.
73. Ryan, M. G., E. R. Hunt, R. E. Mcmurtrie, G. I. Agren, J. D. Aber, A. D. Friend, E. B.Rastetter, W. M. Puliam, R. J. Raison, and S. Linder. 1996. *Comparing Models of Ecosystem Function For Temperate Conifer Forests: I. Model Description and Validation, In Global Change: Effects on Coniferous Forests and Grasslands*. A. I. Breymeyer, D. O. Hall, J. M. Melillo, and G. I. Agren (Eds). Scope (Scientific Committee on Problems of The Environment) 56. John Wiley, Chichester, United

Kingdom.

74. Sankovski, A., W. Barbour, and W. Pepper. 2000. "Quantification of the IS99 emission scenario storylines using the atmospheric stabilization framework (ASF)". *Technological Forecasting & Social Change* 63(2-3).

75. Sato, Y., H. Sasaki, K. Adachi, A. Noda and S. Yukimoto. 1999. "A 2×CO_2 regional climate prediction experiment over Japan in winter with an MRI regional climate model". *Abstracts volume of the Workshop on "Development of High Resolution Climate Models"*, IUGG 1999, Birmingham, U. K., B.299.

76. Servant, M., J. Maley, B. Turcq, M. L. Absy, P. Brenac, M. Fournier, and M.P. Ledru. 1993. "Tropical Forest Changes During The Late Quaternary in African and South American Lowlands". *Global and Planetary Change* 7:25-40.

77. Shugart, H. H., P. J. Michaels, T. M. Smith, D. A. Weinstein, and E. B. Rastetter. 1988. *Simulation Models of Forest Succession. In Scales and Global Change: Spatial and Temporal Variability in Biospheric and Geospheric Processes*, T. Rosswall, R. G. Woodmansee, P. G. Risser (Eds). Scope (Scientific Committee on Problems of The Environment) 35. John Wiley, Chichester, United Kingdom.

78. Smith, T. M., H. H. Shugart, G. B. Bonan, J. B. Smith, and F. I. Woodward. 1992. "Modeling The Potential Response of Vegetation to Global Climate Change: The Ecological Consequences of Global Climate Change". *Advances in Ecological Research* 22:93-116.

79. Street R. B. and S. M. Semenov. 1990. *Natural Terrestrial Ecosystems in Tegart*, W.J. McG., G.W. Sheldon and D.C. Griffiths(eds) Climate Change : The IPCC Impacts Assessment, Australia Government

Publish Service, Canberra.

80. UNEP/IVM. 1998. *Handbook on Methods for Climate Change Impact Assessment and Adaptation Strategies*, chap. 12.

81. UNFCCC(United Nations Framework Convention on Climate Change). 1992. *Convention Text*, IUCC, Geneva.

82. UNFCCC(United Nations Framework Convention on Climate Change). 1997. *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. FCCC/CP/L7/Add.1, 10 December 1997, UN, New York, NY.

83. VEMAP members. 1995. "Vegetation/Ecosystem Modeling and Analysis Project (VEMAP): Comparing Biogeography and Biogeochemistry Models in a Continental-scale Study of Terrestrial Ecosystem Responses to Climate Change and CO_2 Doubling". *Global Biogeophysical Cycles* 9:407-437.

84. Wallace, J. M., and P. V. Hobbs. 1977. *Atmospheric Science - an Introductory Survey*, Academic Press, New York, USA.

85. Wigley, T. M. L. 1993. "Balancing the carbon budget: Implications for projections of future carbon dioxide concentration change". *Tellus* 45B:409-425.

86. Woodward, F. I. 1987. *Climate and Plant Distribution*. Cambridge Studies in Ecology. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.

분석에 이용된 자료 제공 website

GCM

- The IPCC Data Distribution Centre
  http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/

환경/생태, 지자기, 중력, DEM 등

- NESDIS National Geophysical Data Center
  http://www.ngdc.noaa.gov/seg/
- The Global Land One-km Base Elevation (GLOBE) Project
  http://www.ngdc.noaa.gov/seg/topo/gltiles.shtml

Holdridge분류정보 및 문헌정보

- International Institute for Applied Systems Analysis
  http://www.iiasa.ac.at/

종합적인 정보(기상, 토양, 삼림 자료 등)

- Global Ecosystems Database

http://www.ngdc.noaa.gov/seg/eco/cdroms/ged_iia/html/database.htm

- United Nations Environment Programme Global Resource Information Database
  http://www-cger.nies.go.jp/grid-e/index.html
- UNEP/DEWA/GRID-Geneva
  http://www.grid.unep.ch/
- EROS Data Center

http://edcsnw3.cr.usgs.gov/ip/data.html

농업,경작

- FAO Guides / Resources Databases

  http://www.fao.org/ag/guides/resource/data.htm

해안선 등 해양정보

- Rich Signell's Professional Page

  http://woodshole.er.usgs.gov/staffpages/rsignell/rsignell.html

부록1 : IPCC SRES 시나리오

1. 작성 경위와 개요

2000년 3월 15일 심야, 네팔의 Katmandu에서 IPCC(기후 변동에 관한 정부간 패널)의 새로운 배출 시나리오가 정식으로 승인되었다. 1990년과 1992년에 IPCC 공인시나리오가 작성된 이래 8년만의 갱신이다.

지구 온난화가 어느 정도 진행되는지는 자연의 불확실한 현상을 별도로 하면, 우리 인간사회가 어떠한 방향으로 발전하는지에 의해 크게 좌우된다. 장래의 사회의 발전 방향에 따라 에너지이용이나 토지이용 변화 예상이 크게 변하고, 온실효과가스나 유황산화물 등의 배출 시나리오가 크게 다르게 된다. 그 결과, 온난화의 예측에 큰 차가 나타나며 또한 어떤 정도의 온난화 대책을 필요로 하는지도 크게 달라진다.

지금까지의 지구온난화 예측의 대부분은 IPCC에 의해 1992년에 작성된 배출 시나리오(Houghon *et al*, 1992)를 전제로 했다. 이 시나리오는 IS92a(「IPCC에 작성한 참조시나리오 1992년 판의 a케이스」의 의미)라고 불리며, 만들어진 6개 중 하나로 사회의 발전 방향을 반영한 것에 1개의 사례에 불과하다. 이 시나리오는 1985년도 데이터에 기초하여 작성되었기 때문에 1990년 이후에 생긴 여러 가지 사회 변화는 고려되지 못했다. 소련 붕괴, 아시아 개발도상국의 경제의 급격한 성장, 자유무역체제의 도입 등은 1990년대에 접어들어 세계의 온실효과가스나 유황산화물의 배출량을 크게 변화시킨 요인이 되었다. 또한 1992년의 시나리오에는 선진국의 연구자의 일방적인 사고에 의해 작성되어 개발도상국으로부터 큰 비판을 받았다. 이와 같은 문제점은 1994년의 IPCC특별 보고서(AIcamo *et al*, 1994)에 의해 검토되고, 새로운 온실효과가스 등의 배출 시나리오의 작성이 권고

되었다.

따라서 IPCC에서는 1996년부터 특별한 프로젝트 팀을 조직하여 새로운 배출 시나리오의 작성 작업을 진행시켜 왔다. IPCC는 본래, 이미 발표된 학술논문의 과학적 검토를 행하는 기관이므로 이와 같은 독자의 연구 프로젝트를 조직하는 것은 예외적이었다. 그러나, 배출 시나리오는 지구온난화 문제를 과학적으로 해명하기 위한 기본정보로 이 기본 정보의 제공이 IPCC에 요구됨에 따라 거기에 적합한 프로젝트였다. 이 프로젝트는 3년 동안 진행되었으며, IPCC의 작업으로서는 예외적으로 장기 프로젝트였다. 특히, 경제 모델을 포함시켰던 대규모 컴퓨터・모델에 의한 시뮬레이션작업에 많은 시간이 소비되었다.

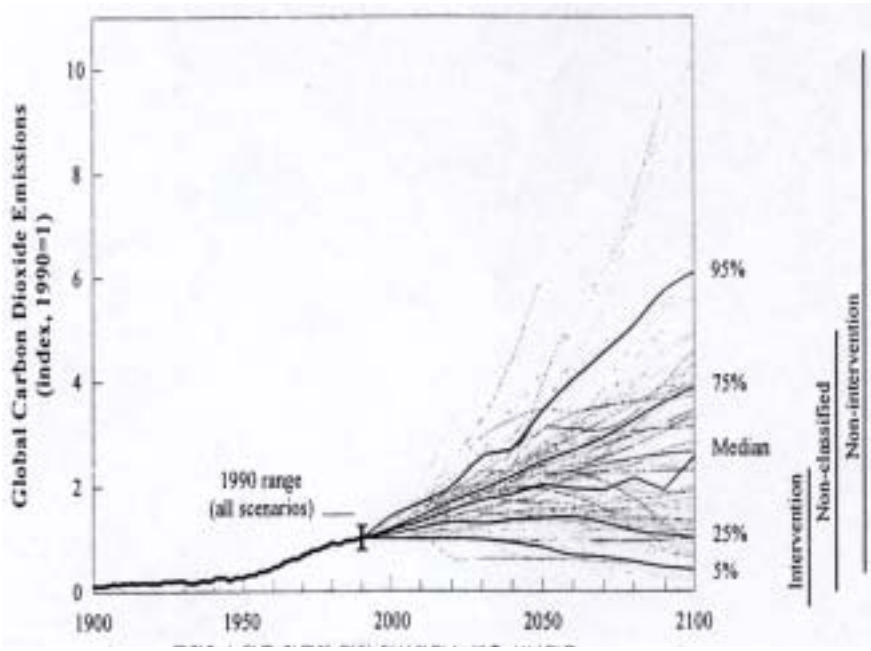
그리고, 일련의 성과를 「배출시나리오에 관한 특별 보고서」로 정리하여 2001년 3월에 각국 정부의 승인을 얻어, 2002년 여름에 정식의 IPCC보고서로서 간행되었다. 이 보고서의 영문 명은 "Special Report on Emission Scenario"이며, 이것에 기초하여 새로운 배출시나리오는 「SRES 시나리오」로 불리고 있다.

2. SRES 시나리오 작성과정

SRES 시나리오는 기존의 배출시나리오의 검토, 서술적 시나리오 작성, 정량적 시나리오 작성, 인터넷에 의한 공표와 의견 청취, 정량적 시나리오의 개량 등 5개 과정을 통해 작성되었다.

우선, 기존의 연구에 의해 배출시나리오 검토는 일본 국립환경연구소에서 데이터베이스를 작성하는 것으로부터 시작하였다(Morita and Lee, 1997). 약 170개의 source에서 400개 이상의 배출시나리오를 수집하여, 이 중 2100년까지 추계기간으로 한 190개의 시나리오를 분석하였다. <부그림 Ⅰ-1>은 이들 시나리오 전부에 대해 이산화탄소 시나리오를 나타낸 것이다. 다양한 사회・경제 발전의 가정하에 매우 큰 폭의 시나리오가 그려진 것을 알 수 있다. 이들 다양한 가정과

큰 추계 폭은 다음의 SRES 시나리오 작성과정에 반영되어 이와 같은 폭을 망라하는 시나리오의 작성이 시도되었다.



<부그림 Ⅰ-1> 기존 연구에 대한 이산화탄소 배출시나리오

주 : 에너지 및 산업에 의한 이산화탄소 배출)

다음 과정으로는 장래사회 발전에 대해 서술적(Storyline) 시나리오를 작성했다. 이것은 시나리오의 일관성을 갖는 인구 통계적 · 사회적 · 경제적 · 기술적 · 환경적 · 정치적 장래를 양적이 아닌 질적으로 기술한 것이다. 정량적 시나리오 작성 앞에 이와 같은 서술적 시나리오를 작성한 이유는 첫째, 연구 프로젝트의 각 멤버가 복잡한 전제조건을 일관성을 갖고 생각하기 쉽게 하기 위한 것이며, 둘째, 시나리오를 다양한 사용자들에게 설명하기 쉽도록 하고, 셋째, 향후 분석이나 기후변화의 영향분석에 다양하게 가정을 추가하는데 지침이 되기 때문이다.

이렇게 작성한 서술적 시나리오는 뒤에 설명하는 것과 같이 4개이다. 각각 구

체적인 사회적, 경제적・기술적・환경적 패러다임을 전개한 것으로 장래의 발전 가능성을 전부 포함하는 것은 불가능하나 넓은 범위를 포함하였으며, 모델에서는 정량화가 어렵고, 발생 가능성이 극단적으로 낮게 평가되는「서프라이즈」시나리오,「대참사」시나리오는 제외했다. 1998년에 접어들어 4개의 서술적 시나리오의 정량화가 시작되었다. 이 작업은 다음 6개의 모델링・팀이 실시했다.

・일본의 국립환경연구소의 아시아태평양통합모델(AIM)팀
・미국의 ICF Consulting의 대기 안정화 모델(ASF)팀
・네델란드 MVM의 온실 효과 가스 영향 평가 통합 모델(IMAGE)팀・
・일본의 토교 이과대학의 다지역 자원 산업 배분 모델(MARIA)팀
・오스트리아 IIASA의 에너지 공급 전략・환경 영향 모델(MESSAGE)팀
・아메리카의 PNNL의 간략 기후 평가 모델(MiniCAM)팀

각 팀이 각각 다른 모델을 사용해 여러 서술적 시나리오를 작성했다. 이들은 4개의 서술적 시나리오에 대응하여,「Marker・시나리오」라고 불리는 배출 시나리오를 선정하였다. Marker・시나리오는 정량화의 초기 단계에서 서술적 시나리오를 가장 잘 반영하고 있었던 것으로 4개의 서술적 시나리오마다 각각 다른 모델로 추계된 것이 선정되었다. 이러한 시나리오는 다른 시나리오에 비해 보다 중심적이다고 할 수 없으며 단지 보다 많은 체크를 받는데 지나지 않는다. 다른 시나리오에서는 Marker・시나리오의 인구, GDP, 최종 에너지량과 조화되도록 각각의 시나리오를 작성하였다.

4개의 Marker・시나리오 샘플버젼은 1998년 6월에 홈페이지에 게재하고, 많은 의견을 수렴하여 일부가 개정되었다. 4개의 시나리오에서 각각에 대해 추가 시나리오가 모델팀에 의해 작성되어 그 결과 고쳐진 4개의 Marker・시나리오와 다른 36개의 대체 시나리오를 합해 40개의 배출 시나리오가 작성되었다.

3. 4개의 서술적 시나리오

4개의 서술적 시나리오는 어느 것이나 지구온난화 저감을 위한 정책을 포함하지 않는다. 4개의 다른 발전 방향을 가리키고, 지금보다 일반적으로 풍요로운 장래세계를 그린 것이다. 이러한 시나리오는, 단순하게「Al」,「A2」,「Bl」,「B2」라는 기호로 간단히 불린다. 각 시나리오의 개요는 다음과 같다.

우선, Al시나리오는「고성장 사회 시나리오」라고 하는 이미지와 거의 비슷하다. 시장의 이점을 활용하고, 전세계가 경제성장을 이루고 교육, 기술, 그리고 사회제도에 큰 혁신이 생기는 시나리오이다. 과거 100년 간의 평균 경제성장률 약 3%가 향후 100년 간도 계속한다고 가정하며, 2050년의 일인당 소득은 세계 평균에서 2만 달러를 초월한다. 개발도상국의 성장이 눈부시고, 남북의 격차가 급속하게 줄어든다. 따라서 개발도상국의 출생비율은 낮아지고, 세계인구는 2050년의 90억인에서 2100년에는 70억인으로 낮아진다. 평균수명은 향상되고 핵가족화가 진행된다. 급속한 경제의 확대는 대량의 에너지 자원을 필요로 하고, 자원개발이나 신에너지 개발에의 투자가 가속된다. 개발도상국의 식생활이 육식 기호로 급속하게 바뀌며 집약적 농업으로 이행한다.

선진국에서 개발도상국에의 기술 이전도 진행되며, 개발도상국의 기술혁신이나 자동차 보유가 높아진다. 환경문제의 해결은 시장에 의해 크게 영향을 받아 환경 보전의 관점보다 환경관리나 창조의 관점에서 이루어진다.

이 A1시나리오는 에너지・시스템에서의 기술혁신의 선택이 다른 4개의 그룹에 의해 더욱더 갈라진다. 석탄의 클린 이용 기술의 대폭적인 혁신을 가정한 시나리오(AIC), 석유와 천연 가스관련의 기술혁신이 현저한 시나리오(AIG), 신에너지의 대폭적인 기술혁신을 기대한 시나리오(AIT), 그리고 이러한 기술혁신이 균형 있게 도입되는 시나리오(AIB)이다. A1에 이러한 다양한 시나리오를 작성한 이유는 높은 경제성장의 시나리오에서는 기술혁신의 정도도 크게 기대되고, 기술혁신의 몇몇 방향이 온실효과가스 등의 배출에 미치는 영향이 감도를 분석하

는 것에 적합하기 때문이다. 또한, 통상 A1시나리오라고 불리는 경우는 마지막 AIB를 나타내고 있다.

다음으로 A2시나리오는 「다원화 사회 시나리오」로 부를 수 있는 것이다. 세계의 각 지역의 고유의 문화를 존중하고, 다양한 사회구조나 정치 구조를 구축해 나가는 것에 따라, 세계의 경제나 정치가 Block화 해 나가는 것을 가정하고 있다. 이와 같은 사회에서는 나라나 지역의 사이에 항상 긴장 관계가 생기고, 국제적인 무역이나 사람의 이동, 기술의 이전이 제한된다. 따라서 경제발전의 지연, 일인당 소득도 2050년에 7천달러에 불과하다. 세계인구는 개발도상국의 출생률이 낮아지지 않아 2100년에는 150억인에게 달한다. 지역간의 자연 자원이나 자산의 격차는 지역간의 소득 격차를 더욱 더 확대시킨다. 자원이 적은 지역에서는 기술 개발에의 투자가 가속되지만, 경제성장이 낮기 때문에 일반적으로 기술혁신은 지연된다. 환경에의 관심은 상대적으로 낮고, 지역적인 환경문제의 심각화만이 환경 대책 동기가 된다.

B1은 「지속 발전형 사회 시나리오」라고 부를 수 있다. 환경이나 사회에의 높은 관심에 따라 지구공공재로서의 환경의 보전과 경제의 발전을 지구규모에서 양립하고 균형 잡힌 경제 발전을 꾀하는 시나리오이다. 자원이용 효율화(탈물질화) 사회제도, 환경보호에 집중적으로 투자가 일어난다. 자원이용 효율화는 자원의 공급 측면을 중시하는 고성장 사회시나리오와 다르며 자원의 수요면에 집중한다. 또한 폐기물의 감량화나 리사이클이 발달되고, 자원이용 효율화나 리사이클의 활성화에 의해 환경 산업의 시장이 급속하게 확대되고, 이것이 경제성장에 지속으로 공헌한다. 경제성장율은 고성장 시나리오보다는 낮지만, 2050년의 일인당 평균 소득은 1만 3천달러에 달한다. 개발도상국에서는, 선진국에서의 첨단기술의 이전이 진행되고, 클린기술이 보급되며 이것에 의해 교육이나 능력도 크게 진전한다. 공공 교통 시스템이 정비되고, 도시 구조는 콤팩트화 하고, 저투입・저부하형 농업이 보급된다. 자연보호를 추진하는 것에 의해 농산물 가격은 상대적으로 비싸지만, 육식으로 식생활 패턴이 바뀌는 것은 억제된다.

마지막으로 B2는 「지역 공존형 사회 시나리오」라고 부를 수 있다. 환경이나 사회에의 높은 관심에 기초하지만, 지구 규모 문제에의 관심이나 국제적인 문제 해결이라고 하는 방향이 아닌 지역의 문제와 공평성을 중시하고, 하부에 기초를 둔 상향식 발전을 꾀하는 시나리오이다. 시장에 맡기지 않고 지방정부의 정책이 발전을 견인한다. 교육과 복지 향상 정책에 의해 개발도상국의 사망률, 출생율이 낮아지기 때문에, 세계인구는 2100년에 100억인 정도가 된다. 국제 시장보다는 지역의 공존을 중시하기 때문에, 경제성장은 약간 낮게 되고 2050년에 일인당 소득이 1만 2천달러가 된다. 개개인 및 남북간의 소득 격차는 축소된다. 기술 이전 등의 개발도상국 지원은 국제적인 통일된 방식이 아니라 두 나라간에 진행된다. 지역적인 독립성이 높아지고 지역마다의 경제권이나 정치 시스템이 발달해 나간다. 이것에 의해 에너지, 식량, 환경 등의 문제는 각 지역 안에서 주체적으로 해결한다.

4. 배출 시나리오

이러한 4개의 시나리오를 전제로 온실 효과 가스의 예측의 정량화를 세계의 6개의 팀이 시행하였다. 어느 것이나 세계 경제모델을 중심으로 하고 에너지 모델이나 토지이용 모델을 편성하여 앞에서 말한 4개의 서술적 시나리오를 전제로 에너지 이용이나 토지이용변화 또한 공업의 장래를 시뮬레이션 하여 그 결과 배출되는 이산화탄소, 메탄가스, 이산화질소, 이산화황을 종합적으로 추계했다. <부그림 Ⅰ-2>는 에너지 및 공업 기원의 이산화탄소 배출 시나리오에 계산된 40개 전부의 시나리오와 각 시나리오군의 Marker가 나타나 있다.

예상대로, 환경을 중시했던 B1시나리오가 CO_2배출량이 가장 적다. 이와 같은 사회를 만들면 특별한 온난화 대책을 하지 않아도 온난화는 억제할 수 있다. 전통적인 환경보호론자의 이상향에 가까운 B2시나리오는 경제발전 지상주의에 가

까운 A1시나리오와 비교해 보면 2100년의 CO_2배출량은 거의 같게 된다. 지역을 중시해 환경문제를 해결하는 방향의 요인과, 경제 발전에 의해 기술효율이 향상하는 요인이, CO_2의 배출 억제에 있어서 같은 의미의 효과를 발휘했다. 가장 온난화 대책에 어울리지 않는 사회는 A1시나리오가 아닌 「다원화 사회」를 지향했던 A2시나리오였다. 이와 같은 사회로 발전해 가면 온난화 대책에는 믿어지지 않을 정도로 비용이 소요될 가능성을 시사하고 있다.

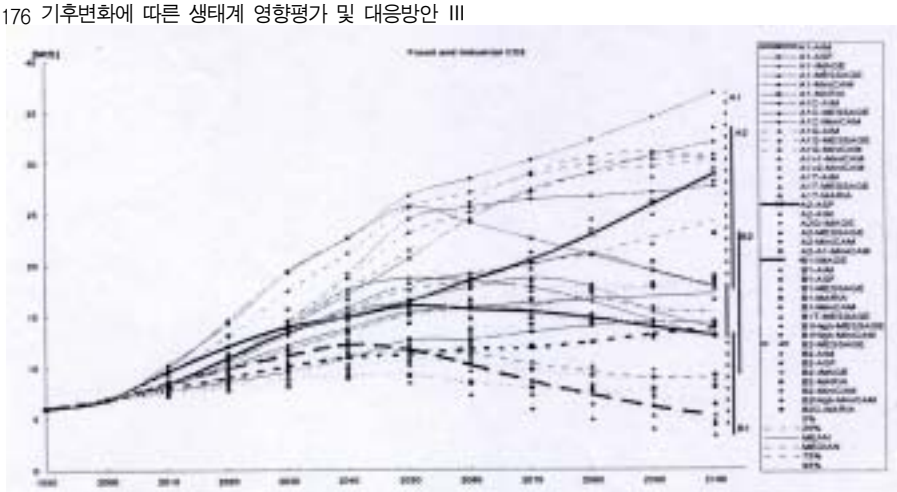
이 새로운 시나리오 작성을 통하여 다른 하나가 명백하게 되었다. 그것은 <부그림 Ⅰ-3>에 나타낸 이산화황 산화물(SOx)의 배출 시뮬레이션에 관계된 것으로 이전에 IPCC가 작성했던 IS92a등 지금까지의 많은 SOx 배출 시나리오는 다음 세기의 배출량이 느는 것이 계속된다는 것이지만, 이번의 시나리오 시뮬레이션에서는 일본을 비롯한 선진국의 공해대책 역사를 감안해 이러한 경험을 모델 속에 넣은 결과 모든 시나리오에 SOx배출량이 크게 감소하는 결과가 얻어졌다. 개발도상국의 경제발전에 동반하여 일인당 GDP가 3천달러에서 5천달러에 달하면, 공해 피해에의 인식이 높아져 단숨에 공해 대책이 진행된다고 하는 역사적 사실이 모델에 반영된 결과이다. 이것에 의해 SOx배출량은 감소하는 것이 계속되는지, 혹은 역U자의 형태로 다음세기에 들어가 감소하는 지의 어느 쪽이 된다. 이 SOx배출량의 감소는 대기중의 황산 aerosol을 감소시키고, 황산 aerosol이 갖는 「냉각 효과」를 낮추어, 지구 온난화를 가속시키는 것으로 추정된다.

<부표 Ⅰ-1>에 모든 가스의 배출 시나리오에 관한 정량화의 결과를 marker와 전 시나리오의 추계폭을 정리하였다. 이러한 SRES시나리오는 앞에 나타낸 최근의 문헌에서 보아도 배출 시나리오 폭의 대부분을 커버하는 것이 된다.

<부표 Ⅰ-1> SRES 시나리오의 정량화 개요

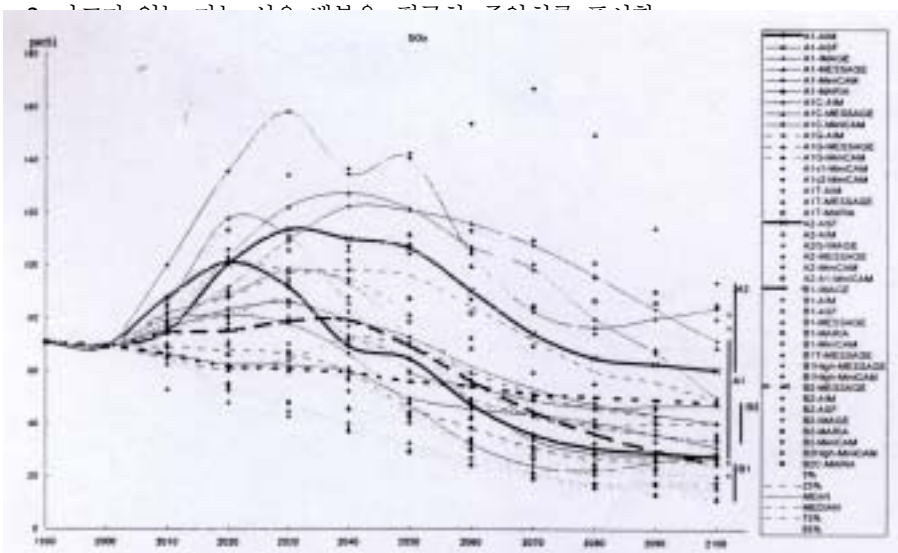
	A1				A2	B1	B2
		A1C	A1G	A1T			
CO_2 (GtC)	Median 13.5 (13.5-17.9) by2100	High (25.9-36.7)	High (28.2-30.8)	Low (4.3-9.1)	High 29.1 (19.6-34.5) by2100	Low 4.2 (2.7-10.4) by2100	Median 13.3 (10.8-21.8) by 2100
CH_4 ($MtCH_4$)	Low 289 (289-640) by2100	Median (392-693)	Median (289-735)	Low (274-291)	High 889 (549-1069) by2100	Low 236 (236-579) by2100	Median 597 (465-613) by2100
N_2O (MtN)	7.0 (5.8-17.2) by2100	(6.1-16.2)	(5.9-16.6)	Low (4.8-5.4)	16.5 (8.1-19.3) by2100	5.7 (5.3-20.2) by2100	6.9 (6.9-18.1) by2100
HFC (MtC equiv.)	Median Total of 824 by 2100	A1과 동일	A1과 동일	A1과 동일	High Total of 1096 by2100	Low Total of 386 by2100	Moderate high Total of 839 by2100
CO (MtCO)	Median 1663(1080 -2532) by 2100	High (2298-3766)	High (3260-3666)	Median (1520-2077)	High 2325(776-2646)	Low 363(363-1871)	Median 2002(661-2002) by 2100
$NMVOC_3$ (Mt)	Median 193(133-552) by 2100	Median (163-373)	Median (192-484)	Median (114-128)	Median 342(169-342) by 2100	Low 87(58-349) by 2100	Median 170(130-304) by 2100
NOx (MtN)	Median 40.2(40.2-77.0) by2100	High (63.3-151.4)	High (39.9-132.7)	Low (28.1-39.9)	Very High 109.2(70.9 -110.0) by2100	Low 18.7(16.0-35.0) by 2100	High 61.2(34.5-76.5) by 2100
SOx (MtS)	Low 27.6(27.6-71.2)by 2100	High (26.9-83.3)	Low (27.4-40.5)	Very Low (20.2-27.4)	High 60.3(60.3-92.9) by 2100	Very Low 24.9(11.4-24.9) by 2100	Low-Median 47.9(33.3-47.9)

주 : Maker 시나리오와 전 시나리오의 추계폭



<부그림 Ⅰ-2> 에너지 및 산업에서 표준화된 40개 SRES CO_2 시나리오

주 : 1. 마크시나리오는 굵은 선으로 기타 36개 시나리오는 가는 선으로 표시함



<부그림 Ⅰ-3> 표준화된 40개 SRES 이산화황 시나리오

주 : 1. 마크시나리오는 굵은 선으로 기타 36개 시나리오는 가는 선으로 표시함

2. 마크가 없는 가는 선은 백분율, 평균치, 중앙치를 표시함

5. 맺음말

2001년 3월 13일부터 15일에 걸쳐 네팔의 카트만두에서 IPCC가 개최되어 SRES 특별보고서가 승인되었다. 여기에는 각국 정부 대표에 의한 심의 과정에서 정책 담당자용 요약문이 수정되었다. 주요한 관점은 두 가지 이다.

첫째, 4개의 marker에 덧붙어 2개의 준marker가 추가되었다. 이것은 미국 정부 대표단의 강력한 요청에 의한 것이었다. 이는 B1시나리오의 온실 효과 가스 배출량이 과소 평가되었다는 정책담당자의 직관에 기초하여 전체의 균형을 잡은 높은 배출량 시나리오를 첨부할 필요성이 제기된 것이다. A1시나리오군의 석유와 천연가스 관련 기술혁신이 현저한 A1G에 기초하여 새로운 에너지의 대표적 기술혁신을 고려한 시나리오 A1T부터 각각 하나의 배출시나리오가 준marker로 선정되었다. 또 하나의 수정은 사우디아라비아와 중국의 견해를 따라 SRES 시나리오에 기초한 방사강제력 부분의 제거이다. 이들의 수정은 SRES 시나리오 본질을 변화시키는 것이 아니라 정책담당자에게 설명하기 쉬운 방향으로 부분적인 수정을 한 것에 불과하다.

한편 SRES 시나리오를 사용한 새로운 연구도 시작되고 있다. SRES 시나리오는 어디까지나 온난화 저감을 위한 대책을 포함하지 않는 시나리오이지만, IPCC의 제3차 평가보고서(TAR)에 있어서는 SRES 시나리오를 베이스로 한 대책 시나리오의 장이 만들어져, 이를 위한 분석 작업이 진행되고 있다. 이 대책시나리오는 「Post SRES시나리오」라고 불리며 세계 9개의 모델링팀이 참가하고 있다. 이 중에서 SRES 시나리오에 그려진 장래의 발전방향을 전제로 온실효과가스의 대기중 농도를 목표 레벨로 유지하기 위한 배출저감을 시뮬레이션하며, 대책차원에서 필요로 하는 기술혁신은 어떠한 차이가 있는지를 분석하고 있다. 그리고 어떠한 발전 방향으로 진행시켜도 의미가 있는 대책이나 기술혁신이란 무엇인가를 명백히 하는 것이 온난화대책연구에 있어서 중요한 연구영역이 되고 있다.

SRES시나리오는 IPCC에 의해 준비된 새로운 배출시나리오 일뿐 아니라, 많은

과학적 혹은 정책적인 시사점을 주고 있다. 이 시나리오가 시사하는 것은 인류의 장래 발전 방향은 다양하고, 이러한 발전 방향에 의해 온난화의 정도나 온난화 대책 의미는 크게 다르다는 것이다. 지금, 세계의 온난화 대책 논의에서 가장 부족한 점은 "세계가 향해 있는 방향이 어떠한 사회인 것인가"라는 것으로 이를 우선 논의할 필요가 있다.

가. 주요 특징

1) 시나리오에 대해

- 장래의 온실 효과 가스 배출량은 인구 변화, 경제 발전, 기술 변화 등의 구동요인(driving forces)에 의해 정해지지만, 이 결정은 불확실성이 높다. 시나리오는 장래의 배출량이 어떻게 될 지에 관한 선택적 이미지를 나타내는 것이고, 구동요인이 장래의 배출량에 어떻게 영향을 주는지를 분석하고, 불확실성을 평가하기 위한 도구가 된다.
- 4개의 시나리오에 대해서는 각각의 온실 효과 가스 배출 요인과 그 변화관계에 대해서 일관성을 가져 설명하는 서술적 시나리오가 작성되어 있다. 서술적 시나리오는 「장래의 역사」를 나타내는 여러 가지 문헌(예를 들면, Huntington의 「문명의 충돌」)을 토대로, SRES의 집필팀이 작성했다.
- SRES에는 A1, A2, B1, B2의 4개 시나리오가 설정되어 있다. A, B는 경제 지향인지 환경 지향인가를, 1, 2는 지구주의 지향인지 지역주의 지향인가를 나타내고 있고, 이것들에 의해 4개의 서술적 시나리오로 정리된다.

2) 배출 시나리오의 작성 작업에 대해

- 일본, 미국, 유럽에 의해 2개의 모델씩, 합계 6개 모델이 배출 시나리오 작성 작업에 참가하였다. 이들 6개의 모델에 대해서 기본적인 구동요인들(인구,

GDP, 최종 에너지 수요, CO_2배출)을 우선 조화되게 한 다음, 기술 진보나 에너지 이용 비용 등의 변수를 바꾸고, 변형 사례를 계산하고 있다. 이들 사례의 총수는 40개에 달한다.

<표식시나리오(marker scenarios)>

- 합계 40개의 SRES 시나리오는 4개의 다른 서술적 시나리오를 따라 이것에 각각 대응하는 4개의 시나리오 그룹으로 분류된다.
- 수가 많은 시나리오를 다루기 쉽게 하기 위해 SRES 작성 팀의 합의에 의해 각 서술적 시나리오(A1, A2, B1, B2)에 대해서 이 특징을 가장 잘 반영한 것을 대표적 사례로서 골라내어 『표식 시나리오』라고 했다. 따라서, 표식 시나리오는 각 서술적 시나리오별로 4개씩 있다. 표식 시나리오는 다른 시나리오에 비해 현실성이 높고 낮은 것이 아니라 어디까지나 각 서술적 시나리오를 예증(例証)하고 있다고 SRES 작성팀이 생각한 시나리오이다.

<조화된 시나리오(Harmonized Scenarios)>

- 결과로서 산출된 온실 효과 가스 배출량의 비교를 가능으로 하기 위해 인구, 경제성장률, 최종에너지수요의 어느 쪽이든 또는 전부에 대해서 공통 가정을 사용하였다. 이 중에서, 완전히 조화된 시나리오(Fully Harmonized Scenarios)는 인구, 경제성장률, 최종 에너지 수요의 전부에 대해서 공통의 가정을 쓰고 있고, 11개의 시나리오가 이것에 해당한다. 각 서술적 시나리오를 예증하고 있는 4개의 표식 시나리오는 이 11개의 시나리오 속에 포함된다. 또한 전지구적으로 조화된 시나리오(Globally Harmonized Scenarios)는 세계 전체인 인구와 국내 총 생산 합계에 대해서 공통 가정을 쓰고 있으며 26개의 시나리오가 해당된다(물론 앞의 11개도 포함된다). 남은 14개는 부조화된 시나리오(Non Harmonized Scenarios)가 된다.

<부표 Ⅰ-2> SRES 시나리오

A1	A1				A2	B1	B2	合計
	AIC	AIG	AIB	AIT				
Global Harmonized Scenarios Other Scenarios	2	3	6	2	2	7	4	26
Other Scenarios	1	0	2	1	4	2	4	14
合　計	3	3	8	3	6	9	8	40

<지역구분>

- OECD90 :1990년 시점에서 OECD가입국, 부속서Ⅱ체결국에 해당
- NAM(북미), WEU(유럽), PAO(태평양 OECD가입국)
- REF : 동, 중유럽, 구소련, 부속Ⅰ체결국에 해당. EEU(동유럽), FSU(구소련)
- ASIA : 아시아(중동제외)의 발전도상국(비부속Ⅰ체결국), CPS(아시아 사회주의국가), SAS(남아시아), PAS(기타 태평양국가)
- ALH : 앞에 포함이 안된 국가, 아프리카, 남미, 중동의 개발도상국(비부속국가Ⅰ체결국), LAM(중남미), MEA(중동 및 북아프리카), AFR(사하라지역)

나. 각 서술적 시나리오의 개요

1) A1

■ 개관

저인구 성장에 기초한 고도 경제성장 시나리오로 높은 기술 개발이 계속된다. 세계 지역간의 벽은 축소되고, 지역간의 사회구조, 1인당 소득도 점차 어느 방향으로 수렴된다. 또한, 세계 에너지 회의(WEC)의 배출 시나리오와 같이 에너지에서의 기술 변화 방향성에 의해 AIB(밸런스가 떨어진 에너지 소비), AIC(석탄 주도형), AIC(가스 주도형), AIT(고효율 에너지 기술 주도형)라고 하는 4종류의 세

분류가 있다.

■ 인구

· 경제성장의 결과, 사망률 및 출생율 저하.

■ 경제

· 고도 경제성장이 계속되고, 2100년까지의 년 평균 경제 성장율은 3%.
· GDP의 총계는 2100년의 시점에 550조 US달러.
· 1인당 국민소득의 세계 평균은, 2050년의 시점에 21,000 US달러.

■ 에너지시스템

· 급속한 기술혁신에 따라 에너지 자원은 풍부하다.
· 최종 에너지 수요의 GDP탄성치는 년 평균1.3%의 비율로 감소한다.

■ 기타

· 소득의 급속한 증가에 따라 최초는 고기나 유제품의 소비가 늘지만, 그 후 고령화 사회를 맞이해 건강에의 배려가 강조되는 것에 따라 이들 소비는 감소한다.
· 고소득에 의해 비싼 자동차 보유율, 교외 주택지의 확대, 교통 네트워크의 발전(국내 및 국제적으로)이 계획된다.

2) A2

■ 개관

지역주의가 높은 시나리오로 각 지역은 블록화하고, 독자의 전통적 문화 틀이 계속 유지된다. 또한 자유무역에 기초한 경제적 효율성에 높은 가치를 두지 않는다. 이 결과 세계인구는 가장 증대하여 약 150억인에 달한다. 에너지도 지역내의

자원에 의존하는 비례 합계가 높고, 기술 진보도 상대적으로 낮다. 따라서, 아시아 등 석탄이 풍부한 지역에서는 석탄의존도가 저하하지 않아 온난화 가스 배출도 고수준이 된다.

■ 인구

· 가족이나 커뮤니티에 중점을 두기 때문에, 출생률의 저하 속도는 완만하고, 다른 시나리오와 비교해 인구가 가장 많다(2100년의 시점에 150억인).

■ 경제

· 1인당 국민소득의 세계 평균은 다른 시나리오에 비해 낮고, 2050년 시점에 7,200 US달러, 2100년 시점에 16,000 US달러.
· GDP의 총계가 2100년 시점에 250조 US달러.

■ 기술 및 에너지 시스템

· 기술 변화는 A1시나리오보다도 불균등하다.
· 산업은 지역의 에너지부존량, 문화, 교육 레벨에 의존하기 때문에 기술 변화 속도는 지역에 따라 다르게 된다.
· 에너지 자원이 풍부한 지역은 자원 집약형 경제를 추진해 나가지만, 반대로 자원이 궁핍한 지역에서는 에너지 효율을 높이는 기술이나 대체 에너지의 개발에 의해 수입 의존도를 가능한 한 줄이는 것을 노력한다.
· 에너지 혼합은 그 지역에서의 에너지 이용 가능성에 의해 정해진다. 그리고 GDP는 크지만 자원이 부족한 지역에서는 탈화석연료 기술(재생 가능 에너지 또는 원자력에너지)로 이동하고, GDP는 작지만 자원이 풍부한 지역에서는 기존의 화석 연료 기술에의 의존이 계속된다.
· 최종 에너지 수요 탄성치는 1년에 0.6~0.7%의 비율로 감소한다.

■ 기타

- 사회제도나 정치제도가 다양화하고, 어느 지역에서는 고복지 사회를 추구해 소득 격차가 감소하지만, 어느 지역에서는 「작은 정부」를 지향해 소득 격차는 커진다.
- 식량 공급 관점에서는 농업 생산성 및 환경 문제, 기술혁신, 연구 개발이 주요한 대상이 된다.
- 당초의 토양 유실이나 수질 오염은 보다 지속적인 농업에의 지역적인 노력에 의해 해결된다. 잠재적인 지역적 환경 오염에 대해서는 해결 노력을 하지만 지역간에 균일적으로 행하여지지 않는다. 지역적인 오염에 대한 대처나 쾌적성의 유지에 관해서는 열심이지만, 지구 환경 문제에 대한 관심은 비교적 약하다.
- 다른 스토리 라인과 같이 A2의 스토리 라인은 A2시나리오의 기본적 변동에 따른 좋고 나쁨을 말하는 것은 아니다. 문헌은 A2의 스토리 라인이 그리는 세계에 대해서 다양하게 해석을 하고 있다. 예를 들면, A2에 관해서는 다양성이나 근본적 차이를 서로 받아들이는 것에 의한 문화 다원주의 경향의 증대라고 해석하고 있다.

3) B1

■ 개관

낮은 인구성장, 고도경제성장은 A1시나리오와 같이 동일하지만, 저자원소비, Green에너지의 개발 및 이용 등 지속 가능성에 중점을 둔 형태로 기술 선택이 행해진다. 따라서 경제 수준 자체는 A1시나리오보다도 낮다. 지역주의보다 지구주의의 가치가 주도하며, 그 결과로 온난화 가스 배출량은 2100년에 1990년 수준을 밑돈다.

온난화 대책을 일부러 하지 않아도 사회 전체로서 환경을 중시하기 때문에 온난화 대책 추가 비용은 적어진다. 단, 그와 같은 사회의 실현에는 현재부터 큰

변화가 필요하다.

■ 경제

- A1시나리오에서의 스토리 라인과 같이 급속하게 변화하는 세계를 그리지만, 우선 순위가 다르다. A1시나리오의 세계에서는 생산성의 향상이나 노하우에 의한 이윤을, 우선적으로 경제성장에 투자하는 것에 비해, B1시나리오의 세계에서는 이윤의 대부분을 자원 이용 효율성의 개선(탈물질화), 공평성, 사회제도, Green 환경보호에 투자를 한다.
- 경제성장은 밸런스를 갖추며, 공평한 소득 배분이 행해진다.
- 강력한 사회복지 정책은 빈곤을 시작으로 하는 사회적 소외 발생을 억제하지만, 반대의 영향이 생길 가능성도 있다. 강력한 소득의 재배분나 비싼 세율은 반대로 경제 효율이나 세계시장의 역할에 영향을 줄 가능성이 있다.
- 경제 수준은 높게(GDP의 총계가 2100년의 시점에 3조 US달러), 소득의 평준화는 국제적으로나 국내적으로도 착실하게 진행된다.
- 1인당 국민소득의 세계 평균은 2050년의 시점에 13,000 US달러(A1시나리오의 약 1/3).
- 물적인 재산에는 관심이 두지 않아 환경제약에 의해 자원 가격이 상승하기 때문에, 서비스의 양보다는 질에 의해 소비된다.

■ 기술 및 에너지 시스템

- 자원 효율성의 향상을 위해 특별한 노력이 실시된다. 국제적 제도화에서 알 수 있듯이 인센티브 시스템에 의한 청정기술(Clean Technology)이 급속하게 확산 가능하며, 이러한 목적을 위해서 연구 개발이 활발히 행해지고 동시에 깨끗하며 공평한 발전을 지향한 교육이나 능력 개발이 행해진다. 또 조직화를 꾀하는 것(organization measures)에 의해 재사용 및 리사이클이 최대한 행해지고, 폐기물이 감소된다. 이러한 기술 및 제도의 변화에 의해 고도

의 자원절약·에너지절약이 달성되고, 동시에 환경 오염도 감소된다. 이러한 노력의 결과, 부차적으로 노동 생산성도 향상된다.

- 석유자원 및 천연가스 자원이 감소하는 것에 의해, 비교적 자연스럽게 에너지 체계의 전환이 행해진다. 전환 과정에서는 가장 깨끗한 화석 연료로서 천연 가스가 광범위하게 사용되지만, 환경에의 배려에 의해 탈화석 연료화가 진행된다.

■ 인구

- 낮은 사망률 및 출생률에의 이행은 A1시나리오와 같은 스피드로 진행되지만 그 요인도 다르며 사회·환경적 요인에 의해 이행된다
- 2050년 시점의 인구는 90억인에게 달하지만, 그 후 감소하여 2100년의 시점에 70억인이 된다.

■ 기타

- 급속한 경제 발전 결과 발생되는 잠재적 환경 마이너스 요인에 대해서는 충분한 환경에의 배려 및 제도적인 효과에 의해 미리 여러 가지 차원(지역/국가/국제)에서 대응이 계획되기 때문에 환경 상태는 양호하다(산성비의 예).
- 특별한 온난화 대책을 시행하지 않아도 여러 가지 차원에 의한 적극적인 환경 정책에 의해 온실 효과 가스의 배출은 낮게 억제된다.

4) B2

■ 개관

비교적 지역주의가 강하고, 그 내에서 경제·사회·환경의 지속 가능성이 추구되므로 세계는 다양성을 가진다. 단, 환경 보전에 대한 의식이 기초를 이루고 있기 때문에 A2시나리오와 같은 극단적인 모습은 아니다. 인구는 국제연합의 중위추계에 따르므로, 약간 보수적이지만 중용 시나리오라고 할 수 있다.

■ 인구

· 교육 및 사회복지 프로그램이 널리 실시되기 때문에 사망률 및 출생율은 감소된다.
· 2100년 시점의 세계인구는 100억인이 된다.

■ 경제

· 1인당 국민소득의 세계 평균은 2050년의 시점에 12,000 US달러.
· GDP의 총계는 2100년의 시점에 250조 US달러.
· 국제적인 소득 격차는 축소된다.
· 지역적인 격차는 강력한 커뮤니티 지원 네트워크의 진전에 의해 감소된다.

■ 기술 및 에너지 시스템

· 높은 교육 수준에 의해 커뮤니티 전략 및 사회혁신에 부분에 기후 변동에의 배려가 고려된다.
· 기술혁신은 AI 및 BI시나리오만큼은 빠르지는 않지만 진전되고 지역별로 격차는 있다.
· 국제적으로는 에너지의 연구개발에 대한 투자는 현재보다 감소하여 기술 및 노하우의 국제적 확산 메카니즘은 AI 및 BI시나리오보다 약하다(A2 시나리오보다는 강하다).
· 경제 발전이 빠르나 천연 자원이 제한되어 있는 지역에서는 기술 개발 및 양자간 협력이 중시된다. 따라서, 기술 변화는 불균등하게 발생된다.
· 에너지 수요의 GDP탄성치는 년 평균 약1%의 비율로 감소한다.
· 에너지 시스템은 천연 자원의 이용가능성에 따라 다르기 때문에, 지역에 따라 다르다.
· 에너지 및 다른 자원을 보다 효율적으로 이용하는 필요성에 의해 비화석 연료기술의 개발이 진행된다.

- 농업 생산에서는 지역 자립성을 유지하기 때문에 지역간 환경정책 협력 결과 산성비와 같은 월경적 환경 문제는 어느 정도 그 대응에 성공한다. 또 질소산화물이나 휘발성 유기화합물의 배출도 낮게 억제되기 때문에 오존 농도의 상승도 감소된다.
- 지구 전체에서는 2100년까지 화석 연료가 대부분이지만 세계 에너지 공급에 있어서는 현재의 화석 연료 비율이 서서히 감소되어 탄소 배출량이 감소된다.

■ 기타

- 토지이용관리는 지역 차원에서 진행된다. 도시부 하부기반시설 및 교통 기반시설은 커뮤니케이션의 발전을 중심으로 정비되고, 자동차 의존 비율을 억제해 도시의 확대를 억제하고 있다.
- 식량 자급을 중요시하기 때문에 식생활 패턴은 지역 생산품에 의존하여, 그 인구밀도가 높은 나라에서는 상대적으로 고기의 소비가 억제된다.

다. 시나리오에 있어서 표식시나리오의 정량화

각 시나리오의 표식 시나리오에서의 스토리 라인의 정량화는 다음과 같은 가정에 기초하여 행해진다.

1) A1 스토리 라인

- 급속하게 인구 동태가 변화(사망률 및 출생률의 저하)하고, 국제적으로 발전의 공평성 정도가 높아지는 것에 의해 풍요로운 세계가 된다.
- 개발도상국의 눈부신 발전에 따라, 모든 지역에 있어서 매우 높은 생산성과 경제성장이 달성된다.
- 생산성의 현저한 개선과 높은 투자 회수율에 의해 계속적인 구조 변화 및

효율적인 기술의 확산이 이루어지며, 이에 따라 다소 완화되지만 상대적으로 높은 에너지 수요, 원재료 수요가 발생한다.

(에너지 구조 및 기술 변화 방향성의 세분류)

- AIB(밸런스형) : 에너지 공급부터 최종수요까지 에너지 및 기술의 밸런스를 잘 반영한다. AI 스토리 라인의 표식시나리오가 된다.
- AIC(석탄 주도형) : 온실 효과 가스를 제외하고는 환경으로 적합한 「clean coal」기술이 주류가 된다
- AIG(가스 주도형) : 종래의 에너지로부터 지금까지 잘 이용되지 않았던 에너지로 전환하는 것에 의해 석유 및 가스가 주류가 된다.
- AIT(고효율 에너지 기술 주도형) : 공급 차원에서는 태양광발전기술이나 원자력발전기술이, 최종 수요차원에서는 Micro turbine 및 연료전지의 급속한 발전에 의해 비화석 에너지가 주류가 된다.

2) A2 스토리라인

- 상대적으로 인구 동태의 변화는 완만하고, 상대적으로 지역적 출생 패턴도 완화된다.
- 1인당 GDP의 지역간 차이가 상대적으로 완만하다.
- 다른 스토리 라인에 비해 최종 수요 및 공급 차원에서의 에너지 효율 개선은 상대적으로 완만하다.
- 재생가능에너지 개발이 늦다.
- 원자력 에너지를 사용함에 있어 장해는 없다.

3) B1 스토리라인

- 교육을 포함한 급속한 사회 발전에 의해 급속한 인구 동태의 변화가 생긴다.
- 발전이 늦은 지역의 현저한 변화에 의해 현재의 소득 격차는 대폭적으로 감

소되고 모든 지역에 있어서 높은 경제성장이 달성된다.

- 경제 활동의 탈물질화나 물질 집약적 및 에너지 집약적 활동 포화상태(예를 들면 자동차 보유), 에너지 효율 개선책의 실행에 의해 에너지 수요의 증가는 상대적으로 작다.
- 지역 환경에의 배려 및 석유, 가스가 점진적으로 고갈됨에 따라 비화석 연료 개발이 행해진다.

4) B2 스토리라인

- 지정학, 인구동태, 생산성의 향상, 기술변화 등의 모든 점에 있어서, 다른 스토리 라인(Al, Bl)과 비교하면 극단적이지 않으며 점진적인 변화를 나타낸다.
- 정량화에 관해서는, 교통정체나 지역대기오염, 산성비의 영향이라고 했던 지역적인 문제의 해결을 위한 효과적인 정책을 가정하고 있다.

<부표 Ⅰ-3> SRES 시나리오에 있어서 정량화에 대한 개요

	A1				A2	B1	B2
	AIB	AIC (석탄)	AIC (석유)	AIT			
인구 증가	낮음	낮음	낮음	낮음	높음	낮음	중간
경제 성장	매우 높음	매우 높음	매우 높음	높음	중간	높음	중간
에너지 수요	낮음~ 중간	낮음~ 중간	낮음	낮음	높음	낮음	중간
토지 이용 변화	높음	높음	중간	중간	중/소	높음	중간
기술 변화 속도	빠름	빠름	빠름	빠름	늦음	중간	중간
기술 변화의 방향성	석탄	석유 및 가스	균형	비화석 연료	지역적	효율성 및 탈물질	보통의 Dynamic

부록2 : 일본의 SRES 시나리오

1. 시나리오 분류

SRES에서는 「A1」, 「A2」, 「B1」, 「B2」의 4가지 시나리오가 실현되고 있다. 앞에서도 기술한 바와 같이 4개의 시나리오는 모두 현재보다도 풍요로운 세계를 그리고 있지만 각각의 발전방향성이 다르다. A, B는 경제지향인가, 환경지향인가를 1, 2는 지구주의지향인지, 지역주의지향인가를 나타내고 있다. 이들의 조합에 의해 4개의 시나리오가 나타난다.

- o A-B축 : 경제(Economic)지향 - 환경(Environmental)지향
  - ・경제발전에 대해 상대적인 방향성으로서 경제성장을 중시하는가, 환경을 중시하는가를 나타내는 축이다. 단, 일본에서는 환경지향은 환경지향과 더불어 복지도 중시하는 것으로 하였다.

- o 1-2축 : 지구주의(Global)지향 - 지역주의(Regional)지향
  - ・경제발전에 대해 상대적인 방향성으로서 지구주의적 경제발전을 지향하는지, 지역주의적인 경제발전을 지향하는지를 나타내는 축이다. 지구주의에도 시장메카니즘을 중시하는 개념도 포함된다.

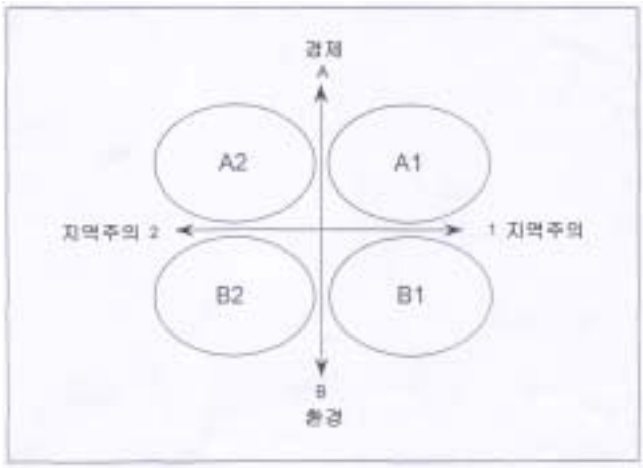
일본의 시나리오는 미래의 상황을 그리는 것이지만, 세계의 상황과 분리되어 존재하는 것은 아니기 때문에, 각각의 일본 시나리오에 결합되어 세계의 시나리오가 각각 존재한다 가정하고, 작성하였다. 4개의 일본 시나리오의 스토리 라인 개요는 <부표 Ⅱ-1>에 정리하였다.

<부표 II-1> 일본의 시나리오의 각 STORY LINE 개요

	A1	A2	B1	B2
중요한 테마	· 일본이 Global 경제에 놓여져 경쟁에서 살아남기 위해 경제적 합리성을 중시한 시장중심의 경제 시스템을 이행함.	· 종래의 사회 및 경제의 체계를 급속히 변화시키지않고, 종래의 연장선상에서 경제발전을 지향함.	· 기술혁신에 의해 탈물질화와 경제발전의 양립을 지향함.	· 개개의 지역이 지속가능하여 자립적인 생활권을 보유해 개개의 지역이 공존함.
인구·세대·노동	· 출생율이 낮음(국립사회 보장 · 인구문제 연구소에 의한 인구추계의 저위추계와 동일) · 2030년 평균세대인원은 2.32인 · 성별, 연령, 국적 등에 관계없이 능력있는 사람을 채용함.	· 출생율이 낮음 (국립사회보장 · 인구문제연구소에 의한 인구추계의 저위추계와 동일) · 2030년 평균세대인원은 2.32인 · 종래의 일본적 경영시스템이 유지되고 있어 경제는 밝지 않지만 고용은 유지됨.	· 출생율의 저하가 조금씩 완화됨(국립사회보장 · 인구문제 연구소에 의한 인구추계의 중위추계와 동일) · 2030년의 평균세대 인원은 2.42인 · 고령자 및 여성의 사회 진출이 진행됨.	· 출생률의 저하가 조금씩 완화됨(국립사회보장 · 인구문제 연구소에 의한 인구추계의 중위 추계와 동일) · 2030년의 평균세대수은 2.47인 · Work Sharing이 진행되어 노동시간이 단축되고 여성 및 노령자의 사회진출이 진행됨.
경제·산업	· 다른 시나리오와 비교해 가장 높은 경제성장률이 달성됨. · Global 경제 속에서 제조업이 비교적 우위성이 없어지는 반면, 산업서비스화가 진행되어 제3차산업의 비율이 확대됨.	· 경제성장율은 낮음 · 산업구조가 현재로부터 크게 변함 없음.	· 후자는 환경보전을 목적으로 하는 것이 우선되며, 환경관련산업이 성장함. · 경제구조의 핵에 환경보전을 놓는 형태에 경제 발전도 중시하므로 A1 정도는 아니지만 높은 경제성장률이 달성됨.	· 경제성장율은 서서히 높아지며, 2015년까지 가장 경제성장률이 낮지만 2015년부터 이루는 A2를 넘어섬. 내수주도형 산업구조로 바뀜. 지역내 동맥산업과 정맥산업이 연대하므로, 건설업, 광업은 부가가치액에 정하는 비율이 낮아짐.
생활양식	· 높은 구매력을 배경으로 활발한 소비활동이 일어남.	· 현재와 동일한 수준에서 소비활동이 계속됨.	· 기술개발에 의해 자원효율을 향상시키는 것에 의해, 서비스 수요를 낮추지 않으면서 환경조화형 생활양식으로 바꾸어 나감.	· 가치관이 변화에 의해 생활양식이 환경조화형으로 바뀜.
국토·교통	· 인구나 자본의 집중이 진행되어 소수의 거대 도시권에 집약됨. · 도시의 중심지역은 철도와 자동차를 중심으로 한 교통네트워크, 주변부에는 자동화중심의 교통네트워크화 됨.	· 인구나 자본은 복수의 중핵도시권에 분산됨. · 자동차 중심의 교통네트워크로 됨.	· 도시는 Compact화하여 직주근접하도록 함. · 도시내 교통 LRT 및 도 시모노레일에 의해 분담함.	· 매우 Compact한 도시가다수 존재하며, 이 지역이 지속가능하며 자립적인 생활권을 보유함. · 자동차이용을 피하며, 공공 교통기관, 자동차이용, 도보를 중시함.
에너지 시스템	· 에너지 산업의 규제완화가 진행되어, 전력가격이 저하됨. · 가격결정의 결과, 석탄, 석유가 선택됨.	· 종래의 에너지 정책의 연장으로 원자력발전의 건설이 계속됨.	· 연료전지의 보급이 진행됨. · 천연가스화력발전, 연료전지의 보급에 의해 천연가스 중심의 에너지구성이 됨.	· 원자력발전소의 신설을하지 않고 천연가스 열병합 발전소 설치. · 바이오매스에너지 등 지역 에너지를 이용한 연료전지가 보급됨.

2. 각 스토리 라인의 개요

가. 개관



■ AI : 세계 시장주의 시나리오

AI시나리오는 일본이 글로벌 경제하에서 경쟁에 이기기 위해 경제적 합리성을 중시한 시장 중심의 경제 시스템으로 이행하는 시나리오이다. 투자에 관해서는 생산성 향상이 중시되고, 그 결과 높은 경제성장이 달성된다. 또 고령자, 여성, 외국인의 고용이 증대하지만 워크셰어링과는 다른 발상이고, 노동 기회의 평준화보다는 경쟁 사회안에서 성별, 연령에 구애받지 않고 능력있는 사람이 고용된다.

생활패턴으로는 높은 구매력을 배경으로 활발한 소비 활동이 행해진다. 가정에서도 경제 효율성이 중시되어 가사의 외부화가 진행되고, 이것에 의해 얻어진 여가시간은 레저나 교육으로 소비된다.

또한, 이 시나리오에서는 효율성을 중시하는 것에 의해 소수의 거대도시권에

인구, 자본이 집중된다. 도시의 중심역에서는 철도와 자동차 중심의 교통 네트워크가 구성되며, 주변부에서는 자동차중심의 교통 네트워크가 형성된다.

에너지 산업에 관해서는 규제 완화가 진행되기 때문에 전력 가격이 저하되고, 가격 경쟁이 심화된다. 이 때문에 화석 연료에 의한 발전 비율이 증가된다.

■ A2 : 지역・전통 중시 시나리오

A2시나리오는 국제 경쟁을 위해서 종래의 사회나 경제의 틀을 급격하게 변화시키지 않으면서 종래의 연장선상에서 경제 발전을 지향하는 시나리오이다. 따라서 경제는 저위로 추이되지만 사회의 구조 변혁이 없고 내부가 안정된 사회가 된다. 또한 이것과 동일하게 지방에의 공공 투자가 활발히 행해진다.

고용에 관해서는 종래의 일본적 경영 시스템이 유지되기 때문에 경제는 저위로 추이되지만 대부분 고용은 유지된다. 그러나 고령자, 여성, 외국인의 고용은 진행되지 않는다. 또한 현저한 노동 생산성의 향상을 보이지 않으므로 일인당 노동 시간이 가장 길다.

생활패턴으로는 현재와 같은 수준에서의 소비 활동이 계속된다. 또한 도시 구조에서는 인구나 자본은 여러 중핵 도시권에 분산되고 지방에의 공공 투자가 활발히 행하여져 이들을 잇는 도로 교통 네트워크가 정비되고 사람, 물류 모두 자동차 중심의 사회가 된다.

에너지에 관해서는 종래 에너지정책을 포함하여 원자력발전에 크게 의존한 구성이 된다.

■ B1 : 환경 기술 견인 시나리오

B1시나리오는 기술 지향의 시나리오이고, 기술혁신에 의해 탈물질화와 경제발전 양립을 지향하는 것이다.

A1시나리오와는 달리 투자는 환경보전을 목적으로 하는 것이 우선되고 환경관련 산업이 신장된다. 예를 들면, 폐기물을 이용한 소재 제품의 개발 등이 행해

진다. 신문이나 서적, 잡지 등 종이중심의 매체부터 전자 매체가 대신하여 종이의 생산량이 감소하는 것과 같은 탈물질화가 진행된다. 이와 같이 경제 구조의 핵에 환경보전이 가능한 형태로의 경제발전을 중시하기 때문에 A1시나리오 정도에는 미치지 못하지만 높은 경제성장률이 달성된다.

고용에 관하여는 여성, 고령자의 고용이 진행된다. 이 시나리오에서는 환경보전 뿐만 아니라 복지도 중시되기 때문에 고령화 사회에 대응한 복지 산업이 발달하고 여성의 고용이 높아진다.

주택이나 교통은 기술 개발에 의한 자원 효율을 향상시켜 서비스 수요를 내리는 일 없이 환경 조화형의 사회가 실현된다. 주택에서는 기술 개발에 의한 장수명화, 고단열화가 진행됨과 동시에 슈퍼 열 펌프, 연료 전지 등의 보급이 진행된다. 또 도시는 메가시티가 되지 않고 콤팩트로 정리되어 전국에 분산되기 때문에, 도시내 교통은 LRT(Light Rail Transit)나 도시 모노레일에 의해 분담된다. 또한 주택과 같이 자동차에도 연료전지의 보급이 진행된다. 이와 같은 결과 도시의 환경은 개선된다. 에너지는 천연 가스 화력발전소나 연료 전지의 보급에 의해 천연 가스 중심의 에너지 구성이 된다.

■ B2 : 신지역 자립 시나리오

B2시나리오는 개개의 지역이 지속 가능하고 자립적인 생산권을 보유하고, 개개의 지역이 공존하는 시나리오이다. 도시구조는 대단히 콤팩트하고, 또 사회 경제 시스템의 의사결정이라고 하는 의미에서는 커뮤니케이션에 기대하는 역할이 크다. 커뮤니케이션을 포함한 비정부, 비영리 조직이 사회 경제 시스템에 있어서 큰 역할을 완수한다.

B2시나리오에서는 자립적인 생산권 중 동맥산업과 정맥산업이 제휴를 꾀하고, 순환형 경제가 구축된다. 또 B2시나리오는 B1시나리오와 같이, 경제와 환경의 조화를 지향하는 시나리오이지만, B1시나리오와 다른 것은 기술로 전부를 해결하는 것은 아니고 가치관의 변화에 의해 사람들의 생활패턴을 환경 조화형으로 변

화시켜 환경조화형 사회를 실현한다. 예를 들면, 사람들의 주택, 가구, 가전 제품, 구매주기는 장기화되고 소비재의 구입량은 감소하는 반면, 고비용이지만 장수명인 제품의 구입이 증가된다. 이러한 장수명화를 지원하기 위해 개선이나 수리를 담당하는 서비스 산업이 신장된다. 또한 메이커는 상품을 만들어 파는 회사에서 서비스를 빌려주는(엘리베이터나 공기조절기기를 제조, 판매하는 것은 아니고, 수송이나 쾌적성과 같은 서비스를 빌려주는)회사로 전환해 가고, 그 결과 메이커는 제조, 사용, 폐기 모든 단계에 대해 환경조화를 지향하게 된다.

또한 교통은 생활권, 경제권이 소규모로 진행되어 자동차의 이용을 피하고 공공 교통기관, 자전거가 이용된다.

고용에 관해서는 다양한 주민의 참가를 촉구하기 때문에 워크셰어링이 실시되어, 여성, 고령자의 고용이 증대된다. 이것을 지원하기 위한 복지제도가 충실히 되고, 지역커뮤니케이션이 복지제도에 대한 역할이 커진다.

워크셰어링의 결과 취업자 1인당 노동 시간은 단축되고, 이것에 의해 생긴 여가는 지역 커뮤니케이션에서의 여러 가지 활동으로 소비된다.

에너지에 관해서는 사람들이 환경 조화형 생활패턴을 이행하여, 에너지 서비스에 대한 수요는 다른 케이스와 비교하여 가장 낮다. 또한 환경 문제에 대한 의식이 높고 지역 커뮤니케이션에서의 의사결정이 중시되기 때문에, 가격이 비싸도 환경리스크가 적은 에너지 시스템이 선택된다. 따라서 원자력 발전소, 화력발전소의 신설은 이루어지지 않으며 biomass 에너지 등 지역의 에너지를 이용한 연료전지의 보급, 생활패턴의 변화에 의한 전력 수요의 축소 등에 의해 대규모 발전에 대한 수요는 저감되어 천연가스열병합발전소 등의 건설이 최소가 된다.

나. 국토이용

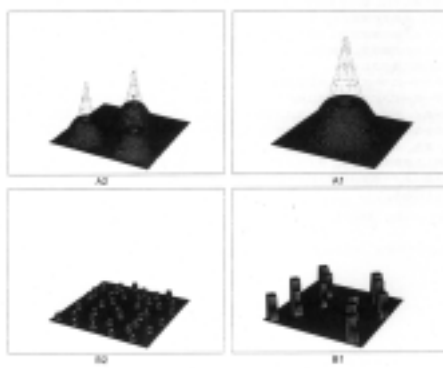
■ A1 : 거대도시권 집중

・인구나 자본의 집중이 진행되어 소수의 거대도시에 집약화 된다.
・인구분포의 혼잡화가 자동차 이용을 촉진시키며, 직장과 주거의 분리에 의해 통근의 원거리화 등과 더불어 여객운송량은 증가된다.

■ A2 : 복수도시권
・인구나 자본은 복수의 중핵도시권에 분산된다.
・인구분포의 혼잡화가 자동차 이용을 촉진시키며, 직장과 주거의 분리에 의해 통근의 원거리화 등과 더불어 여객운송량은 증가된다.

■ B1 : 도시의 Compact화
・도시는 Compact화되며 직장과 주거가 근접한다.
・환경조화형 인프라정비(LRT(Light Rail Transit) 등)가 된다.

■ B2 : 전원도시로의 다극화
・매우 Compact화된 도시가 다수 존재한다.
・개개의 지역이 지속가능한 자립적인 생활권을 보유한다.



<부그림 II-1> 인구 및 자본의 집중・분산의 이미지

다. 산업부문

■ Al : 국제 경쟁에 강한 산업으로 변화

- 지구 규모의 자유경쟁에서 승리하는 것을 목적으로 하여 비교 우위를 가지지 않는 업종자들은 비교 우위를 가진 업종으로 전환한다. 또 비교 우위성을 획득하기 위해, 투자시 생산성 향상이 중시된다.
- 높은 경제성장 및 높은 구매력을 배경으로 한 활발한 소비 활동에 의해 국내 수요는 높다.
- 그러나 철, 에틸렌 등의 소재 산업은 동아시아 지역에 각국의 자본이 투자되어 대규모적이며 에너지 효율이 뛰어난 철강 plant나 석유화학 콤비나아트가 건설되기 때문에 일본 국내에서의 철이나 석유화학 제품의 생산은 고부가가치인 것을 제외하고, 해외생산품에 의지하게 된다. 가공 조립업도 해외생산이 중심이 되며, 다만 하이테크 가공 조립업이 일본 제조업의 중핵이 된다.
- 규제 완화에 의해 새로운 시장이 창출된 서비스 산업은 정보 통신 기술의 활용으로 보다 생산 효율을 향상시키고, 그 규모를 확대한다.

■ A2 : 종래 산업 의존 시나리오

- 국제 경쟁을 위해서 국내 정세를 급격하게 변화시키는 것을 좋아하지 않아 종래의 산업 구조를 유지한다.
- 소재 산업은 답보형태로 조금씩 하향된다.
- 제3차 산업의 확대 경향은 계속되지만, 그 속도는 다른 사례와 비교하면 완만하다.

■ Bl : 환경 조화형 산업으로의 전환

- 기술혁신에 의해 탈물질화와 경제 발전 양립을 지향한다.
- 투자는 생산성 향상만을 위해 행해지는 것은 아니고, 탈물질화를 함께 고려

한다. 그 결과 환경 기술 산업이나 환경 서비스 산업 등의 규모가 대단히 커진다.

- 폐기물을 이용한 소재 제품이 개발되고 보급이 진행된다.
- 정보통신기술도 탈물질화를 위해서 활용된다. 예를 들면, 신문이나 서적·잡지 등은 종이중심의 매체로부터 전자 기기의 매체로 전환되어 종이소비량이 감소된다.
- 또한 복지를 충실히 하는 것에 따라 복지 산업도 새로운 시장으로 창출된다.

■ B2 : 내발적(內發的) 발전 산업에의 이행

- 내수주도형의 산업 구조로 이행하고 블록화된 지역 내에 있어서 동맥산업과 정맥산업이 연계된다.
- 메이커는 상품을 만들어 파는 회사에서 서비스를 빌려주는 회사로 전환된다. 그 결과, 메이커는 제조 단계, 운용 단계, 폐기 단계 전부에 대해 환경조화를 지향하게 된다. 또 사람들은 주택, 가구, 자동차, 가전 제품 등에 대한 구매주기를 장기화하게 하기 때문에, 장수명화를 지원하기 위한 개선이나 수리를 담당한 서비스 산업이 신장된다.

라. 민생부문

■ A1 : 대량소비, 대량 폐기형 생활패턴 시나리오

- 높은 구매력을 배경으로 활발한 소비 활동이 행해진다.
- 구매 의욕을 자아내는 상품이 개발되고, 그 결과 정보가전 등의 소비가 촉진된다. 또 구매주기는 짧고, 폐기물의 발생량도 많다.
- 인터넷에 의한 상품 구입이 증가하는 것에 의해 백화점·슈퍼, 소매업의 판매장 면적이 감소한다.

- 소수의 거대도시권에 인구나 자본의 집중이 진행되기 때문에 집합 주택의 비율이 높다.
- 도시가 거대화되어 직장과 주거가 떨어져 있기 때문에 통근 시간이 길다.
- 경제 효율성을 중시하는 것에 의해 가사의 외부화(특히 취사)가 진행된다.
- 효율화에 의해 획득한 여가 시간은 레져나 교육을 위해서 소비된다. 레져산업(여관・호텔, 오락시설)이나 교육 산업이 신장된다.

■ A2 : 종래형 생활패턴 시나리오

- 생활패턴은 현재와 같은 수준에서 소비 활동이 계속된다.
- AI정도는 아니지만, 직장과 주거가 떨어져 있기 때문에 통근 시간이 길다.
- 종래의 일본적 경영 시스템이 유지되는 것으로부터 경제는 저위로 추이되지만 고용은 유지된다.
- 현저한 노동 생산성의 향상도 보이지 않으며 시나리오중 1인당 노동 시간이 가장 길다. 따라서 여가 수요는 작다.

■ Bl : 시장선도 환경복지조화형 시나리오

- 기술 개발 및 자원 효율을 향상시키는 것에 의해 서비스 수요는 하향하는 일 없이 환경조화형 생활패턴으로 전환된다.
- 육아 환경이 정비된다.
- 도시의 콤팩트화가 진행되어, 일하는 장소, 생활하는 장소, 사는 장소가 근접하고 있기 때문에 이동에 걸리는 시간은 짧다.
- 여성, 고령자의 취업률이 높고, 재택 시간이 감소한다.
- 고령화사회에 대응한 복지 산업이 성장하기 때문에 육아, 간호 외부화가 진행된다.
- 가사나 복지의 외부화가 진행됨으로 복지 서비스업이나 식품 서비스업이 성장한다.

・긴수명・고단열 주택의 보급이 진행된다.
・기술혁신의 진전에 의해 슈퍼 열펌프, 연료전지 등의 보급이 진행된다.

■ B2 : 여유있는 환경 조화형 생활패턴 시나리오
・가치관의 변화에 의해 사람들의 생활패턴이 환경 조화형으로 변하는 시나리오
・환경 문제에 대한 의식이 높기 때문에 자원을 소비하는 서비스에 대해서는 그 수요가 억제되고 가능한 한 폐기물이 발생하지 않도록 행동한다.
・지역 커뮤니케이션을 기초로 한 복지 환경이 충실해진다.
・소규모의 생활・경제권에 일하는 장소, 생활하는 곳, 사는 장소가 근접하고 있기 때문에 이동에 걸리는 시간은 짧아진다.
・다양한 사람들의 사회참여를 촉진하기 위해 워크세어링이 실시되고 여성, 고령자의 취업률이 상승한다. 이를 위한 재택 시간이 감소한다.
・워크세어링의 결과, 취업자 1인당 노동시간이 단축되며, 이로 인한 여가는 지역커뮤니티에 의한 다양한 활동에 의해 지불된다.
・긴수명・고단열 주택보급이 진행된다.

마. 운송부문

■ 공통 시나리오
・대도시는 철도 + 자동차
・소도시는 자동차

■ A1 : 전국규모의 교통네트워크 강화 시나리오
(사람)
・중심지는 철도와 자동차를 중심으로 한 교통네트워크로 구성되며, 주변지는

자동차 중심의 교통네트워크로 구성된다.

- 도시지역의 체증은 계속되며 인구감소 경향도 완화된다.
- 자동차는 1인 1대, 각각 세대에 맞도록 바뀐다. 세대내의 자동차중 1대는 대형차, 2대는 경·소형차로 바뀐다.

(화물)

- 전국규모의 거점배송이 행해지며, 지역내를 다빈도 소량운송이 진행된다.
- 인터넷 구매의 증가에 의해 택배가 증가한다.

■ A2 : 지방 국토네트워크 강화 시나리오

(사람)

- 자동차 중심의 교통네트워크로 체증완화는 해결이 안된다.
- A1, B1과 비교해 중핵도시비율(중도시는 대도시와 비교해 자동차 보급률이 높다)이 높기 때문에 자동차 보유대수가 증가한다.
- 자동차는 1인 1대, 각각 세대에 맞도록 바뀐다. 세대내의 자동차중 1대는 대형화, 2대는 경·소형차로 바뀐다.

(화물)

- 전국이 도로네트워크로 정비되며, 지역 내외부를 다빈도 소량운송이 진행된다.

■ Bl : 운송확률 시나리오

(사람)

- 도시가 콤팩트하기 때문에 도시내 교통은 LRT나 도시 모노레일에 의해 분담된다.
- 공공 교통기관의 충실화에 의해 자동차 사용은 감소하고, 교통 정체는 완화된다.
- 자동차는 1인당 1대. 각각의 세대에 맞도록 바뀐다. 세대내의 자동차중 1대는 대형차, 2대는 대형· 소형차를 지향한다.
- 하이브리드 자동차 및 연료전지 자동차의 보급이 진행된다.

(화물)

・전국 규모의 거점 배송이 행해지고, 지역내 다빈도 소량 수송이지만, 정보통신기술의 활용 등에 의해 수송량은 감소한다.

・소도시에서는 모두가 개별적으로 점포까지 자동차로 구매하러 오는 것은 아니라, 인터넷 구매에 의해 전문업자가 소량 배송한다.

■ B2 : 교통수요 서비스 억제 시나리오

(사람)

・자동차 이용을 피해 공공교통기관, 자전거 이용, 도보를 한다.

・자동차 이용저하에 의해 정체는 완화된다.

・자동차는 경・소형을 지향한다.

・하이브리드 자동차 및 연료전지 자동차의 보급이 진행된다.

(화물)

・각 지역이 자립적 경제권이 되어 있기 때문에 지역간 수송량은 적다.

바. 에너지 산업

■ A1 : 석탄 시나리오

・에너지 산업의 규제 완화가 진행되고, 전력가격이 저하된다.

・가격 경쟁 결과 석탄, 석유가 선택된다.

■ A2 : 원자력 시나리오

・종래 에너지정책의 연장으로 인해 원자력발전의 건설이 계속된다.

■ Bl : 천연 가스+재생 가능 에너지 시나리오

· 연료전지의 보급이 진행된다.

· 천연가스화력발전소나 연료전지의 보급에 의해 천연가스 중심의 에너지로 구성된다.

■ B2 : 에너지 서비스 수요 억제 시나리오

· 원자력발전소 신설은 하지 않으며 천연가스열병합발전소를 설치한다.

· biomass 에너지 등 지역의 에너지를 이용한 연료전지가 보급된다.

사. 의사결정의 주체

■ A1

· 모든 분야에서 규제완화가 실시되면서 정부의 역할은 축소되며, 시장중심의 사회 경제시스템으로 전환된다.

■ A2

· 종래의 사회나 경제체계로부터 급격한 변화를 희망하지 않으므로 관주도의 경제운영이 진행된다. 구체적으로는 지방에의 공공투자가 활발하게 일어난다.

· 시장에서는 종래의 산업구조가 유지되며, 관주도의 경제운영 체계속에서 기업은 경제활동을 한다. 따라서 의사결정의 핵심은 중앙정부이다.

■ B1

· 국민(소비자)은 복지나 환경에 대해 스스로 행동을 촉진하지는 않지만, 시장의 움직임에 의해 기술 개발이 진행되며 복지산업, 환경산업이 발전된다.

■ B2

· 개개의 지역이 지속가능한 자립적인 생활권을 갖고 있으며, 사회경제시스템에 있어서 커뮤니티의 역할이 증대된다. 또한 커뮤니티를 포함한 비정부, 비영리의 조직이 사회경제시스템에 큰 역할을 한다.

· 소비자는 커뮤니티라 속에서 시장과 지방정부를 협조하여 복지와 환경을 충실케 한다.

<부표 II-2> 시나리오별 의사결정

	정부		시장	(소비자)	NGO NPO 커뮤니티
	중앙 정부	지방 정부			
A1 시나리오			◎	소비자는 시장에 대해, 낮은 가격을 추구함.	
A2 시나리오	◎		○		
B1 시나리오	△	△	◎	소비자는 복지, 환경에 대해 스스로 이행을 하지 않으며, 시장(市場)이 작용하는 것에 의해 복지산업, 환경산업이 발전함.	
B2 시나리오		○	○	소비자는 커뮤니티에 의해 시장(市場)이나 지방정부와 서로 작용하는 것에 의해 복지나 환경의 충실을 실현함.	○

<부표 II-3> 각 시나리오의 사회·경제 지표의 비교

		A1	A2	B1	B2
인구	인구증가율	low	low	medium	medium
	출생율	low	low	medium	medium
	세대인구감소율	low	medium -low	medium	medium -high
	세대수	high	low	high	low
경제	GDP성장율	high	medium -low	medium	low
	아시아경제	high	low	medium	low
노동	노동시간(1인당)	medium	high	medium	low
	취업자수	medium	low	medium -high	high
	여성의 사회진출	medium	low	medium -high	high
	고령노동자	medium	low	medium -high	high
	외국인 노동자	high	low	high	low
여가	여가시간	medium	low	medium	high
	레져 빈도	high	medium	medium	medium
에너지 시스템	에너지 가격	low	high	medium	high
	원자력	medium	high	medium -low	low
	천연가스	low	medium	high	high
	연료전기	low	low	high	medium
	바이오매스	low	low	low	high
주택	집합주택비율	high	medium	medium -high	low
	주택수명	medium	medium	long	long
	주택의 단열	medium	medium	high	high
교통	중도시역의 교통시스템	자동차	자동차	LRT	자전거 도보
	자동차 차량의 소호	대형차	대형차	대형차	경·소형차
환경 의식	리사이클	medium	medium	high	high

부록3 : 우리나라의 삼림식물대[11)]

우리나라는 동경 131°52′ 22″에서 124°11′ 0″, 북위 33°06′ 40″에서 43° 0′39″ 사이에 위치한 반도로서 편마암과 화강암으로 되어 있지만 결정편암 및 고생층이 그 사이에 있고 곳에 따라 현무암·제3기층 중생층이 산재하고 있다. 화강암지대의 지면은 흰빛이 돌고 편마암지대의 지면은 갈색이 돈다.

북쪽에는 장백산맥이 동북에서 서남으로 향하고, 그 한쪽은 동해안을 따라 남하하면서 함경산맥과 태백산맥으로 되었다. 낭림산맥이 북부지역을 동서로 갈라놓고 여기에서 강남산맥과 묘향산맥이 서남으로 향한다. 마식령산맥이 태백산맥을 가로막고 서남으로 비스듬히 향하면서 한반도를 남북으로 갈라놓으며 광주산맥과의 사이에 추가령 지지대를 형성한다. 광주산맥과 나란히 차령산맥·소백산맥이 서남으로 향하고 서쪽 끝에 노령산맥이 남쪽으로 흐른다.

강우량은 700~1,300mm이고 남쪽으로 갈수록 많아지며, 연평균기온은 남부 14℃, 중부 10℃, 북부 3~4℃이며 난대에서 한 대에 걸친 식물대가 형성된다

1. 난 대

난대(warm temperate zone)는 연평균기온이 14℃이상 되는 지역으로서 동쪽의 북위 35°30′과 서쪽의 35°를 연결하는 선의 남쪽이 이에 속하는데, 제주도의 경우 500m 이하지역, 울릉도의 경우 600m 이하지역이 이에 속한다. 이 지역은 한랭지수가 -10℃이하이고, 온량지수가 85~180℃이다.

이 지역에서는 가시나무, 까마귀쪽나무, 감탕나무, 개가시, 개산초나무, 검은재

11) 이 자료는 "이창복(1988), 신고 수목학, 향문사"에서 발췌한 내용임

나무, 겨울딸기, 광나무, 둥근광나무, 구실잣밤나무, 좀꽝꽝나무, 나도은조롱, 남오미자, 녹나무, 녹보리똥, 다정큼나무, 둥근잎다정큼, 긴잎다정큼, 담팔수, 돈나무, 동백나무, 흰동백, 동백나무겨우살이, 마삭줄, 민마삭줄, 털마삭줄, 만년콩, 먼나무, 멀꿀, 모람, 왕모람, 모새나무, 무자나무, 백량금, 왕백량금, 백서향, 백화등, 보리밥나무, 보리장나무, 붉가시나무, 개붉가시나무, 붓순마무, 비쭈기나무, 사철나무, 무룬나무, 사스레피나무, 떡사스레피, 섬사스레피, 산유자나무, 새덕이, 산호수, 생달나무, 센달나무, 소귀나무, 송악, 수정목, 순비기나무, 식나무, 아왜나무, 영주치자, 왕볼레나무, 우묵사스레피, 육박나무, 자금우, 제주광나무, 조록나무, 넓은잎조록나무, 종가시나무, 민종가시, 죽절초, 죽사철나무, 참가시나무, 넓은잎참가시나무, 차나무, 참나무겨우살이, 참식나무, 초령목, 큰보리장나무, 팔손이, 함박이, 호랑가시나무, 호자나무, 황칠나무, 회양목, 섬회양목, 후박나무, 왕후박나무, 후추등, 후피향나무 등의 상록활엽수가 자라고 있다. 인위적인 파괴로 인하여 자연식생은 대부분 파괴되고 이차식생으로 구성되며, 소나무와 곰솔이 주체를 이루고 있다. 주도, 가막섬, 미조리 및 진도의 일부에 상록활엽수림이 보존되어 있지만, 미조리와 진도의 것은 이미 파괴되어 대표적인 온대낙엽수림으로 변하였다. 그밖에 일반지역에 있어서는 상록수가 군데군데 자랄 뿐이고, 온대수종이 남하하여 대부분을 차지하고 있다.

초본류로는 솔잎란과 파초일엽 및 한란이 제주도 남쪽에서 자라고 있으며, 문주란이 제주도 북쪽 해안에서 자라고 있다.

2. 온대(낙엽활엽수대, 참나무대)

가. 남부(개서어나무대)

이 지대는 동쪽의 영일만과 서쪽의 태안반도를 연결하는 선의 이남에서 난대

북부까지로서 동쪽에서 해안을 따라 강릉까지, 그리고 태백산맥과 소백산맥을 따라 북쪽 계통이 깊숙이 남쪽의 지리산과 무등산까지 내려온다. 온량지수는 100℃이상이다.

이 지역에서는 대나무가 자라며, 조계산의 털조장나무, 변산지역의 팥꽃나무, 호랑가시나무 및 꽝꽝나무, 미선나무(괴산), 망개나무, 이팝나무, 개서어나무, 푸조나무, 감태나무, 이나무, 굴거리나무, 산철쭉, 꽃싸리, 나도밤나무, 합다리나무, 정금나무 등이 자라고, 해안에서는 곰솔이 자라고 있다.

초본류로는 금털고사리, 진도의 금새우난, 애기장대, 백양산의 백양꽃 등이 있다.

나. 중부(서어나무대, 졸참나무대)

이 지대는 평해와 신의주를 연결하는 선의 서쪽에서 남부까지로서 광주산맥과 차령산맥 사이에서 동쪽으로 들어가고, 국경지대에서는 서쪽으로 밀려 내려오며, 온대 남부에 깊숙이 침투한 지리산, 가야산, 무등산 등의 높은 산악지대가 이에 포함된다. 온량지수는 85~100℃이다.

동쪽에는 태백산맥이 남북으로 향하므로 해안식물이 자라고 있는 곳이 적지만, 서쪽에는 넓은 갯벌이 있어 남쪽에서부터 북쪽에 이르기까지 해안식물이 많이 자라고 있다. 순비기나무, 해당화, 곰솔, 소사나무 등의 목본류와 통보리사초, 도깨비사초, 갯완두, 호비수리, 왕잔디, 갯잔디, 나문재, 칠면초, 퉁퉁마디 등의 초본류가 이 지역에서 자라고 있다.

북쪽에는 왕느릅나무, 돌뽕나무, 서어나무, 때죽나무, 참나무류 등이 자라고, 남쪽에는 왕버들, 서어나무, 개수양버들, 산초나무, 개산초나무 등이 자라는데, 전체적으로는 측백나무, 참나무류, 버드나무, 고로쇠나무, 꼬리조팝나무, 장구밥나무, 몽고뽕나무, 나도국수나무, 돌단풍, 깽깽이풀, 산딸나무, 비술나무, 개나리 등이 자라고, 북쪽으로 갈수록 만리화, 비술나무 등이 많이 자란다.

초본류로는 춘란, 골무꽃, 마타리, 큰구절초, 분취, 싸리나무, 큰엉겅퀴, 광릉갈퀴, 억새류, 진퍼리잔대, 송이풀류, 지모 등이 있다.

다. 북부(비술나무대)

이 지대는 평해와 신의주를 연결하는 선의 동북부 쪽에서 북부 산악지대를 제외한 곳으로 태백산맥과 여기에서 서남방으로 갈라지는 산맥을 걸쳐 남쪽으로 내려오며, 함경산맥의 동남부 해안지대와 마식령산맥과 낭림산맥 서쪽의 산맥을 타고 서쪽으로 뻗어 있다. 온량지수는 90℃ 이하이다.

특산식물에는 금강초롱류, 개느삼, 금강조팝나무, 부전반디 등이 알려져 있고, 눈잣나무, 잎갈나무, 젓나무, 잣나무, 분비나무, *Taxus*, 가문비나무, 눈측백, 채양버들, 박달나무, 피나무, 거제수나무, 개박달나무, 참조팝나무, 다릅나무, 찰피나무, 염주나무, 개벚지나무, 산겨릅나무, 부게꽃나무, 신이대, 황철나무, 빈추나무, 댕강나무, 수수꽃다리, 함박꽃나무, 비술나무, 시무나무, 왕팽나무, 갈기조팝나무, 개버무리 등이 있으며, 이와 더불어 초본류에는 돌부채손, 당분취, 자주꽃방망이, 국화방망이, 말나리, 솔나리 등이 있다.

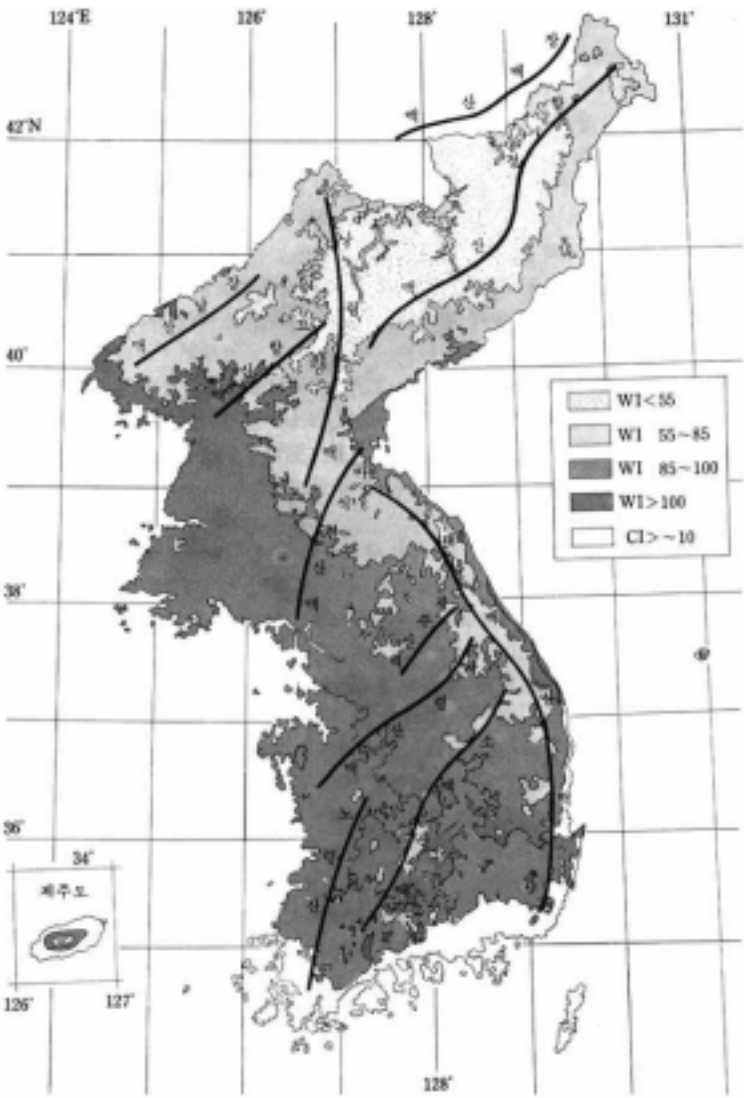
3. 한 대

한대는 평안도의 동부(126°36′)와 함경도에서 함경산맥의 북서부까지의 높은 지대로서 백두산을 비롯하여 표고 2,000m가 넘는 산악들이 많이 있다.

Abies, Picea, Larix 등과 더불어 잣나무의 숲이 우거져 있다. 주요 수종으로는 잎갈나무, 가문비나무, 분비나무, 종비나무, 풍산가문비 등의 침엽수와 *Betula*가 나타나고, 지대가 높아짐에 따라 들쭉나무, 좀참꽃, 곱향나무, 단천향나무, 설령

오리나무 및 키가 작은 *Salix* 등이 있다.

초본류로는 병풍쌈, 장군풀, 검산초롱꽃, 솔나리, 깽깽이풀, 덩굴현호색 등이 있다.



<부그림 III-1> 우리나라의 온도대

부록4 : 용어 설명

1. SRES 시나리오 관련 용어설명

○ 모델(Model)

- 관련된 시스템 변수들을 정량화 할 수 있는 시스템의 정형화 된 표현

○ 스토리라인(Storyline)

- 주된 시나리오 특성과 주요한 추진력과 시나리오 역학과의 관계에 초점을 맞추어 시나리오(군)을 서술적으로 묘사하는 것

○ 시나리오(Scenario)

- 명확한 논리와 정량화된 스토리라인에 기초한 잠재적인 미래상황 설명

○ 군(Family)

- 유사한 인구통계와 사회적, 경제적, 기술적 변화 스토리라인을 가지는 시나리오들. A1, A2, B1, B2의 4 종류의 시나리오 군으로 이루어 짐

○ 그룹(Group)

- 스토리라인의 변동을 반영하는 한 개의 시나리오군 내의 시나리오들 A1 시나리오 군은 미래 에너지시스템의 구조에 따라 A1T, A1C, A1G, A1B로 분류됨.
- 정책 입안자를 위한 요약에서 A1C와 A1G는 화석연료에 집중한 시나리오로 합쳐져 A1FI 시나리오 그룹으로 표시되며 A1 시나리오군의 그룹 수를 3가지로 줄여 표현함.

- 나머지 3가지 시나리오 군들은 각각 한 개의 시나리오 그룹을 가짐.

○ 범주(Category)

- 시나리오들은 1990년에서 2100년까지의 누적 CO_2 배출량에 따라 저위(low), 중저위(medium-low), 중고위(medium-high), 고위(high) 배출의 4가지 범주로 분류되고, 각 범주는 유사한 누적 배출량을 가지지만 다른 추진력으로 이루어지는 시나리오들을 포함함.

○ 표적(Marker)

- 주어진 시나리오 군을 대표하기 위해 SRES 웹사이트에 공포된 처음의 시나리오, 표적(marker)은 시나리오들의 중간이나 평균을 의미하는 것은 아님.

○ 예증(Illustrative)

- 정책입안자들을 위한 요약보고서에서, 6개의 시나리오 그룹에서 각 그룹의 실례가 되는 시나리오(A1G와 A1C를 A1FI 그룹으로 합함). 이들은 4개의 개정된 "시나리오 표적(scenario markers)"(시나리오 그룹: A1B, A2, B1, B2)과 2개의 추가적인 예증 시나리오를 가짐.(시나리오그룹: A1FI, AIT)

○ 조화된(Harmonized)

- 시나리오군내에서 조화된(harmonized) 시나리오란, 「표적 시나리오의 최종에너지 소비량의 10%이내, GDP의 10%내에 있으며 표적 시나리오를 위해 특화된 인구 추정치의 5%내에 있다」는 세계인구 및 GDP에 대한 일반적 가정을 공유하고 있음.

○ 표준화된(Standardized)

- 1990년과 2000년의 배출량이 동일한 값을 가지도록 지수화됨.

○ 그 외 시나리오(Other scenarios)
- 조화되지 않은 시나리오들

2. 기후변화협약 관련 용어 설명

○ 감축목표(Quantified Emission Limitation and Reduction Objectives, QELROs)
- 기준 년도의 온실가스 배출량과 대비, 양적으로 설정된 배출 목표. 현행 교토의정서의 경우 각국의 사정에 따라 '90년 배출량 대비 8%감축에서부터 10%증가까지 허용

○ 공동이행제도(Joint Implementation, JI)
- 교토의정서 제6조에 규정된 것으로 선진국인 A국이 선진국인 B국에 투자하여 발생된 온실가스 감축분의 일정분을 A국의 배출저감실적으로 인정하는 제도

○ 과학기술자문 부속기구(Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice, SBSTA)
- 온실가스배출통계 방법론, 국가보고서 작성지침 등 협약의 과학, 기술적 측면에 대한 권고안을 만들어 당사국총회 또는 요청이 있을 경우 다른 부속기구에 제출하는 역할을 수행함

○ 기준년도(Historical Base Year)
- 감축목표 설정시 이용되는 특정 연도를 지칭하며, 선진국의 경우 '90년을 기준년도로 사용하고 있음

○ 기후변화에 관한 정부간협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)
- '88년에 세계기상기구(WMO)와 유엔환경계획(UNEP)에 의해 설립되었으며, 기후변화에 관련된 과학적, 기술적 사실에 대한 평가를 제공함

○ 당사국(Party)
- 기후변화협약에 가입한 국가(또는 지역경제통합기구)로서 규정에 의하여 법적인 의무를 지게됨

○ 당사국총회(Conference of the Parties, COP)
- 기후변화협약 관련 최종 의사결정기구로서 대체로 협약의 진행을 전반적으로 검토하기 위해 일년에 한번 모임을 가짐.
- 제1차 총회는 '95년 베를린에서, 제2차 총회는 '96년 제네바에서 제3차 총회는 '97년 교토에서, 제4차 총회는 '97년 아르헨티나에서 그리고 제5차 총회는 '99년 본에서, 제6차 총회는 2000년 헤이그에서, 제6차 총회 속개회의는 2001년 본에서 그리고 제7차 총회는 2001년 모로코 마라케쉬에서, 8차 총회는 2002년 뉴델리에서 개최됨

○ 배출권거래제(Emission Trading, ET)
- 교토의정서 제17조에 규정된 것으로 온실가스 감축의무가 있는 국가에 배출쿼터를 부여한 후, 동 국가간 배출쿼터의 거래를 허용하는 제도

○ 베를린위임사항(Berlin Mandate)
- 제1차 당사국총회시 결정사항으로 협약상 2000년까지 온실가스 배출을 1990년 수준으로 감축시킬 것을 목표로 정책 조치를 취한다는 선진국의 공약(commitment)이 부적절하다고 결론짓고 '97년말까지 2000년 이후 구

속력 있는 감축의무를 정하도록 함

○ 부속기구(Subsidiary Body)
- 당사국총회를 보조하기 위한 위원회를 말함. 협약에 의해 규정된 2개의 영구적인 부속기구인 이행자문 부속기구(SBI)와 과학기술자문 부속기구(SBSTA)가 있음.

○ 비당사국(Non-Party)
- 협약을 비준하지 아니한 국가로서 옵서버 자격으로 회의에 참가할 수 있음

○ 비준(Ratification)
- 협약/의정서의 채택사항을 확인하는 절차에 불과한 서명과 달리 협약/의정서에 따른 법적 의무를 부담하겠다는 선언

○ 서명(Signature)
- 협약/의정서의 채택사항을 단순히 확인하는 절차

○ 수락(Accession)
- 국제 조약 및 협약에 대한 수락 또는 가입으로 비준과 동일한 법적 효력을 가짐

○ 시장경제 전환 국가(Economies in Transition, EIT)
- 중부 및 동유럽과 구 소비에트연방 소속국가들로서 시장경제로 전환 중에 있는 국가로서 Annex Ⅰ 국가중 벨라루스, 불가리아, 에스토니아, 라트비아, 리투아니아, 루마니아, 러시아, 우크라이나, 크로아티아, 슬로바키아, 슬로비니아 등 11개국임

○ 신축성체제(Flexibility Mechanism)

- 선진국의 의무이행에 신축성을 제공하기 위해 교토의정서에 새로이 도입된 의무이행 수단으로 공동이행제도, 청정개발체제, 배출권거래제 등을 말함. 제4차 당사국총회에서부터 교토메카니즘이라 함

○ Annex Ⅰ 국가

- 기후변화협약상 구속력 있는 감축의무를 부담하는 국가로, 협약채택 당시에는 35개국이었으나, '97년 제3차 당사국총회에서 채택된 결정문 4/CP.3에 의거 크로아티아, 체코, 슬로바키아, 슬로베니아, 모나코, 리히텐슈타인 등 6개국이 추가로 가입하여 현재 40개국과 EU임

○ Annex Ⅱ 국가

- Annex I 국가에서 동구권국가가 제외된 국가군으로 OECD 24개국과 EU임

○ IEA(international Energy Agency)

- 국제에너지기구, '74년 11월 OECD 이사회에서 설립을 결의, '76년 1월에 발족하였으며, 회원국은 미국, 영국, 일본, 호주 등 선진국 중심의 26개국이며, 우리나라는 2001년 가입

○ Umbrella Group

- 교토의정서가 채택되면서 형성된 비-EU 선진국들의 개방형 연합체. 공식적인 연합체 구성국가 리스트는 없으나 통상적으로 호주, 캐나다, 아이슬란드, 일본, 뉴질랜드, 노르웨이, 러시아, 우크라이나, 미국 등으로 구성됨

○ 에너지원단위

- 어떤 재화나 서비스의 생산 물량 단위 또는 부가가치 단위에 대한 에너지

투입량 비율

○ 에너지탄소집약도
- 에너지소비량에 대한 탄소배출량 비율

○ SF_6(육불화황)
- 상온에서 무색, 무취, 무독의 기체로 500℃ 이상의 열에서도 안전하나 불순물이 들어가면 분해되어 유독하며, 반도체 생산공정과 가스절연개폐기 및 가스절연변압기에 사용됨.

○ ESCO(Energy Service Companies)
- 에너지절약전문기업. 에너지사용자를 대신해 에너지절약 시설에 투자하고 이에 따른 에너지 절감액으로 투자비를 회수하는 기업

○ HFCs(수소불화탄소)
- 불연성 무독성 가스로 취급이 용이하며, 화학적으로 안전하여 냉장고 및 에어컨의 냉매, 발포, 세정, 반도체 에칭가스 등으로 다양하게 사용되는 것으로서 몬트리올의정서에 의해 사용이 규제된 CFCs, HCFCs의 대체물질임.
- 국내에서 소비되는 HFCs의 99%는 냉매인 HFC-134a 임.

○ OECD 국가
- OECD국가는 호주, 오스트리아, 벨기에, 캐나다, 체코, 덴마크, 핀란드, 프랑스, 독일, 그리스, 헝가리, 아일랜드, 아이슬란드, 이태리, 일본, 한국, 룩셈부르크, 멕시코, 네덜란드, 뉴질랜드, 노르웨이, 포르투갈, 폴란드, 슬로바키아, 스페인, 스웨덴, 스위스, 터키, 영국, 미국 등 30개국이며, 이 가운데 28개국은 Annex Ⅰ 국가에 포함됨.

○ 유럽연합(European Union, EU)
- 지역경제통합기구로서 EU는 협약 당사국의 하나가 될 수 있고 실제 당사국의 하나임. 그러나, 회원국으로부터 독립된 투표권을 행사할 수는 없음. 현재 15개국으로 구성되어 있음

○ 의무이행기간(Commitment Period)
- 감축목표를 달성하는 기간. 현행 교토의정서의 경우 5년 단위로 의무이행기간을 설정, 2008~2012년을 1차 의무이행기간으로 규정하고 있음
- 1차 의무이행기간은 2008년부터 2012년까지이고, 2차 의무이행기간은 2013년부터 2017년까지이며, 3차 의무이행기간은 2018년부터 2022년까지임

○ 의정서(Protocol)
- 법률과 시행령의 관계와 마찬가지로 협약을 구체적으로 이행하기 위한 내용을 담은 문서를 말함

○ 이행부속기구(Subsidiary Body for Implementation, SBI)
- 국가보고서 제출, 재정, 기술지원방안 등 협약의 이행과 관련한 문제에 관한 권고안을 만들어 당사국총회 또는 요청이 있을 경우 다른 부속기구에 제출하는 역할을 수행함

○ 정부간협상위원회(Intergovernmental Negotiating Committee, INC)
- 적절한 의무사항을 포함하는 기후변화협약 제정을 위해 1990년 12월 제 45차 유엔총회에서 기후변화협약 제정을 위한 정부간협상위원회를 설립.
- INC는 1991년 2월 1차 회의를 필두로 1992년 5월까지 6차에 걸쳐 협상이 진행되었으며, 제6차 회의 협상 최종회의에서 기후변화협약 최종안을 결정.
- INC협상은 협약체결 이후에도 제 1 차 당사국총회(COP 1) 개최까지 6차

례 더 진행.

○ 증가목표(Growth Target)
- 기준년도 배출량 대비 증가를 허용토록 감축목표를 설정하는 것을 말함

○ G-77그룹과 중국(Group of 77 and China)
- 유엔무역개발회의(the United Nations Conference for Trade and Development, UNCTAD)의 원조로 '67년에 세워짐. 개발도상국 132개 회원국가의 입장을 조화시키기 위하여 노력하고 있음

○ 자발적협약(Voluntary Agreement, VA)
- 에너지를 생산, 공급, 소비하는 기업과 정부가 상호신뢰를 바탕으로 에너지절약 및 온실가스배출 감축목표를 달성하기 위한 협약으로서 기업은 실정에 맞는 목표를 설정하여 이를 이행하고 정부는 기업의 목표 이행을 위하여 자금, 세제지원 등 인센티브를 제공하여 기업의 노력을 적극 지원하는 비규제적 제도

○ 지구온난화지수(Global Warming Potential, GWP)
- 지구온난화지수는 각각의 기체들을 기준이 되는 기체들과 비교했을 때 대기하층에서 성층권까지의 상대적 가열정도의 척도로서 나타내어진 것임.
- 이산화탄소 1㎏과 비교하였을 때 어떤 온실기체가 대기중에 방출된 후 특정기간 동안 그 기체 1㎏의 가열효과가 어느 정도인가를 평가하는 척도임.
- 100년을 기준으로 CO_2를 1로 볼 때 CH_4가 21, N_2O가 310, HFCs가 1,300, PFCs가 7,000, SF_6가 23,900 임

○ 지구환경기금(Global Environment Facility, GEF)

- 수십억달러를 보유하고 있는 GEF는 세계은행(World Bank), 유엔개발계획(UNDP) 및 유엔환경계획(UNEP)에 의해 '90년에 설립되었음.
- 잠정적으로 협약의 재정메커니즘을 운영하고 있으며 전세계 기후변화방지를 위한 개발도상국의 프로젝트에 기금을 출연하고 있음

○ 청정개발체제(Clean Development Mechanism, CDM)
- 교토의정서 제12조에 규정된 것으로 선진국인 A국이 개발도상국인 B국에 투자하여 발생된 온실가스 배출 감축분을 자국의 감축 실적에 반영할 수 있도록 하는 제도

○ 탄소집약도(TC/TOE)
- 탄소집약도란 소비한 에너지로 인해 배출된 CO_2 량을 에너지 총 에너지소비량으로 나눈 값으로서 탄소집약도가 높다는 의미는 상대적으로 탄소함유량이 높은 에너지(고탄소 에너지) 사용 비율이 높다는 것임.
- 동일한 열량의 에너지를 얻기 위해 전체를 석탄으로 소비하는 경우와 전체를 천연가스로 소비하는 경우를 비교하면 전자의 경우가 후자에 비해 탄소집약도가 높게됨

○ PFCs(과불화탄소)
- 탄소와 불소의 화합물로 우리나라의 경우 반도체제조 공정시 주로 사용됨.

○ 흡수원(Sink)
- 대기중 온실가스를 흡수하여 지구온난화현상을 줄이는 것으로 교토의정서에서는 신규 조림, 수종갱신 등으로 규정

Abstract

Climate change has now become more and more evident all over the world; consequently, the world has strived to work out strategies to mitigate the climate change processes and to adapt to the change.

For it has only been a few decades or centuries since climate change triggered by greenhouse gas emissions, the potential impacts by climate change should be assessed in a long term to establish appropriate and effective counter measures.

This study has been conducted for 3 years since year 2000 to suggest a framework approach to an integrated climate change impact assessment model for forest sector for Korea, where no integrated climate change impact model has not yet been developed.

Chapter 2 of this study attempted to review various climate change impact assessment results on forest to predict the national-level and macro-level impacts. The macro- level assessment results show significant impact due to climate change on the Korean peninsula is unlikely; however, the national-level impact on the environment was not able to be predicted due to the dense spatial resolution of the model. Therefore, it is concluded that a regional model at an appropriate spatial resolution is required to assess the climate change impact in Korea.

In chapter 3, the structures and theoretical frameworks of various climate change impact models on forest sector were reviewed. These models were classified into 4 different approach techniques: experiment, analogy, expert

opinion, and quantitative modeling. The results show that an integrated impact assessment model based on quantitative modeling techniques is most appropriate in case of Korea. To quantify the impact on forest, the Holdridge bio-climate model, which is a process-based bio-physical model, were considered to be compatible.

Chapter 4 covers the structure and detailed development focuses of AIM/IMPACT (Korea) model employed for this study. Issues related to global warming scenarios, GCMs (General Circulation Models) and RCMs (Regional Circulation Models), temperature resolution considering the lapse rate, impact assessment model on forest sector, and adaptation assessment methods are discussed.

In chapter 5, the actual impact assessment on forest sector using the developed AIM/IMPACT(Korea) model was attempted. The assessment results predict that the warm-temperate and boreal wet forests in the southern region are likely to decline by 34.99% under the A2 scenario. Moreover, the warm-temperate and boreal wet forests in the western part of the mid latitude areas are likely to decline by 16.18%. In the eastern part of the mid latitude areas, a 3.16% decline was predicted. 3.11% decline was expected in the northern part of the peninsula. Throughout the whole Korean peninsula, it is predicted to be that warm-temperate forest will decline and be replaced by sub-tropical forest. This results contrast to the macro-level impact assessment results; therefore, a further comparative study is urged with similar climate change impact assessment study cases of similar latitude countries.

Since the adaptation patterns of forest to climate change are all different by constituent tree types, the adaptation pattern was predicted by the mean velocity of forests migrating to more suitable bio-climate conditions in this

study. Under the B2 scenario, the net economic loss 1 million US dollars

If the mean velocity of forest reaches 250 meter/year, the net economic loss is predicted to be over 1 million US dollars under the B2 scenario. Moreover, it was also predicted that the economic loss will be as much as 7 million US dollars under the A2 scenario. In general, the faster the forest velocity gets, the more the net economic loss decreases; however, the minimum net economic loss is predicted to be 29 million US dollars and the maximum net loss will be 558 million US dollars if the mean velocity of forest is 2.0km/year.

In chapter 6, the significant issues raised in multi-lateral meetings related to the United Nations Convention of Climate Change and the consequences are reviewed. For adaptation measures, 8 case studies are reviewed including cases of developed countries and Asian countries focusing on the government level adaptation structures and actual implementation cases. The case studies showed that most effort has been made to alleviate the climate change by the reduction of greenhouse gas emissions; however, no practical effort to mitigate the impact on forest and the adaptation measures has not been made.

In chapter 7, the limitation of this study and policy suggestions are discussed:

- Develop a continuous data acquisition scheme for the development of integrated impact assessment model
- Establish an efficient data distribution system
- Establish an organic cooperation scheme between related institutions
- Review of multiple scenarios
- Support studies on integrated impact assessment
- Develop the concrete climate change mitigation and adaptation strategies on forest sector

집필자 약력

全性禹
서울대학교 공학박사
한국환경정책·평가연구원 책임연구원
(현, E-mail : swjeon@kei.re.kr)

朴龍河
미국 텍사스 A&M대학교 농학박사
한국환경정책·평가연구원 연구위원
(현, E-mail : yhpark@kei.re.kr)

鄭輝喆
부산대학교 공학석사
한국환경정책·평가연구원 연구원
(현, E-mail : hchjung@kei.re.kr)

李東根
동경대학교 농학박사
상명대학교 교수
(현, E-mail : dklee@smuc.ac.kr)

Yuzuru Matsuoka
교토대학교 교수
(현, E-mail : matsuoka@envhost.env.kyoto-u.ac.jp)

Hideo Harasawa
일본국립환경연구소 환경계획연구실장
(현, E-mail : harasawa@nies.go.jp)

Kiyoshi Takahashi
일본 국립환경연구소 연구원
(현, E-mail : ktakaha@nies.go.jp)

연구진

연구책임자 전성우
(한국환경정책·평가연구원 정보화추진팀장)
참여연구원 박용하
(한국환경정책·평가연구원 환경관리팀장)
정휘철(한국환경정책·평가연구원 연구원)
이동근(상명대학교 환경조경학과 교수)
Yuzuru Matsuoka
(교토대학교 환경공학과 교수)
Hideo Harasawa
Kiyoshi Takahashi
(일본 국립환경연구소)

산·학·연·정 연구자문위원

성현찬 (경기개발연구원 선임연구위원)
손요환 (고려대학교 산림자원학과 교수)
정금희 (환경부 지구환경과장)

ⓒ 2002 한국환경정책·평가연구원

발행인 윤서성
발행처 한국환경정책·평가연구원
서울시 은평구 불광동 613-2
우편번호 122-706
전화 380-7777 팩스 380-7722
http://www.kei.re.kr
인쇄 2002년 12월
발행 2002년 12월
출판등록 제17-254호
ISBN 89-8464-016-6

값 5,000원