연구보고서 2014-19

기후변화 폭염 대응을 위한 중장기적 적응대책 수립 연구

A Study on Establishment and Management of a Long-term Heatwave Plan Addressing Climate Change

하종식 | 정휘철 | 이정호 | 김동현 | 최지혜

KEI 한국환경정책·평가연구원
Korea Environment Institute

연구진
연구책임자 하종식 (한국환경정책·평가연구원 부연구위원)
정휘철 (한국환경정책·평가연구원 부연구위원)
참여연구원 이정호 (한국환경정책·평가연구원 연구위원)
김동현 (한국환경정책·평가연구원 부연구위원)
최지혜 (한국환경정책·평가연구원 연구원)

산학연정 연구자문위원
권호장 (단국대학교 교수)
김 호 (서울대학교 교수)
김효식 (환경부 기후변화협력과 사무관)
전상일 (한국환경건강연구소 소장)
송영일 (한국환경정책·평가연구원 선임연구위원)
신용승 (한국환경정책·평가연구원 연구위원)
배현주 (한국환경정책·평가연구원 부연구위원)

ⓒ 2014 한국환경정책·평가연구원

발행인 **박광국**
발행처 한국환경정책·평가연구원
서울특별시 은평구 진흥로 215 (우편번호) 122-706
전화 02)380-7777 팩스 02)380-7799
http://www.kei.re.kr
인쇄 2014년 10월 26일
발행 2014년 10월 31일
출판등록 제17-254호
ISBN 978-89-8464-890-6 93530

이 보고서를 인용 및 활용 시 아래와 같이 출처 표시해 주십시오.
하종식, 정휘철 외. 2014.「기후변화 폭염 대응을 위한 중장기적 적응대책 수립 연구」. 한국환경정책·평가연구원.

값 7,000원

서 언

하절기 폭염은 과거에도 있었던 현상이지만, 최근 기후변화의 진행에 따라 그 발생시기가 불확실해지고 발생빈도나 강도 등이 심화되고 있는 추세입니다. 우리나라에서는 폭염대응 종합대책과 국가기후변화적응대책 및 부문별 세부시행계획을 수립·시행함으로써 이 같은 기상재해의 영향을 최소화하려는 노력이 진행되고 있습니다. 그러나 지금까지의 폭염 대응은 주로 단기대책 위주이고 건강 부문에 집중되어 있어 폭염 취약성 및 피해를 줄이는 데 필요한 다양한 분야의 대책들이 산발적으로 운영되고 있는 것은 아쉬운 점이라 할 수 있습니다.

이에 본 연구원에서는 기후변화로 인해 심화될 것이라 전망되는 폭염 현상에 보다 적절히 대응할 수 있도록 국가 단위에서의 '중장기적 적응대책' 수립 및 관리 방안을 연구함으로써 그 결과를 제시하게 되었습니다. 무엇보다도 앞으로 폭염의 영향 및 피해에 관련된 분야의 대책들을 통합적으로 관리할 수 있는 체계를 구축하고, 지속적인 개선을 통해 대책의 실효성을 확보하는 것이 중요한 일일 것입니다. 본 연구결과가 향후 기후변화를 고려한 폭염 대응에 있어 중앙정부 및 지자체의 정책수립을 위한 실용적인 토대가 될 수 있기를 기대해 봅니다.

끝으로 연구를 맡아 수행해주신 본 연구원의 하종식 박사, 정휘철 박사, 연구진으로 참여한 이정호 박사, 김동현 박사, 최지혜 연구원의 노고에 감사를 드립니다. 그리고 바쁘신 가운데도 자문과 조언을 해주신 단국대학교 권호장 교수, 서울대학교 김 호 교수, 환경부 김효식 사무관, 한국환경건강연구소 전상일 소장, 그리고 본원의 송영일 박사, 신용승 박사, 배현주 박사에게도 진심으로 감사의 말씀을 전합니다.

2014년 10월

한국환경정책·평가연구원

원장 박 광 국

국문 요약

최근 기후변화와 연계하여 지역사회 주민의 여름철 핵심 이슈는 폭염, 태풍, 집중호우 등 이상기상 현상의 영향 및 대응이다. 특히 폭염은 과거 하절기에도 있어 왔던 현상이나, 최근 기후변화로 인하여 발생빈도 및 강도가 심화되고 발생시기의 불확실성이 가중됨에 따라 그 피해는 더욱 커지고 있다. 이에 폭염 대응은 폭염 발생 후 대응뿐 아니라 사전에 그 피해를 예방할 수 있도록 중장기적 차원의 접근이 요구된다고 볼 수 있다. 현재 국내 폭염 대응은 크게 중앙재난안전대책본부의 '폭염대응종합정책'과 환경부 총괄의 '국가기후변화적응대책(2011~15)'으로 이원화되어 있으며, 부처 간 사업의 중복 및 산발적 운영과 단기대책 위주 등이 주요 문제점으로 지적된 바 있다.

본 연구의 목적은 폭염 영향 및 피해에 대한 고찰을 바탕으로 국내 폭염 대응의 현 주소를 살피고, 기후변화로 인해 심화될 것이라 전망되는 폭염 현상에 보다 적절히 대응하기 위한 중장기적 적응대책의 수립 및 관리 방안을 제안하는 데 있다. 이를 위해 기후변화 폭염 및 중장기적 적응대책(adapting plan)에 대한 개념 정리를 통해 폭염 대책 수립의 수준을 구체화하고, 정책통합, 사회적 학습 및 적응관리의 프레임워크를 적용하여 수립·관리 방법론을 제시하였다. 또한 다양한 분야에 걸쳐 나타나는 폭염의 영향 및 피해, 국내외 폭염 대책 현황 조사·분석에 기반하여 방법론을 적용하는 한편, 중장기 적응대책의 적응관리모델 적용사례로서 국내 폭염특보제의 건강효과성 평가를 수행하였다.

본 연구에 적용된 중장기적 적응대책의 수립·관리 방법론은 중장기적인 시간적 측면을 고려함과 동시에, 폭염의 영향 및 피해가 나타나는 제반 분야를 포괄하는 사전예방적 접근을 강조하였다. 이는 폭염이 건강뿐 아니라 환경, 사회기반시설, 주요 산업 등 제반 분야에 걸쳐 영향을 미치고 그 피해가 타 분야로 파급·전이되는 범분야적(cross-sectoral) 이슈이기 때문이다. 본 연구에서의 방법론 적용은 4단계로서 첫째 중장기적 적응대책 목표 설정, 둘째 폭염 피해 및 영향 경로를 통한 대책 분야 설정, 셋째 중장기적 적응대책 전략 마련, 마지막으로 국내 폭염대책 조사·정리 및 개선(안) 도출로 수행하였다.

본 연구에서는 기후변화 폭염 대응을 위한 중장기적 적응대책의 수립 및 관리 방안으로서 첫째 폭염 관련 분야별/범분야 피해경로 조사·분석을 통한 대책 근거 마련, 분야별/통합 영향 및 취약성 평가 강화를 제안하였다. 둘째 한정된 예산 내에서 지자체의 우선순위화를 도울 수 있는 취약성 지도 작성, 지자체 폭염 대책 수립 가이드라인 개발 및 제공을 제안하였으며, 셋째 단기 대책에 대한 이행도구 개발과 중장기 대책의 이행을 도모할 수 있도록 시범사업 추진 및 법제도적 조치 마련을 제안하였다. 마지막으로 지속적인 수정·보완을 통한 중장기적인 관리를 위해 폭염 관련 분야별 모니터링 지표 개발 및 DB 구축, 지자체 수준의 M&E 가이드라인 개발 및 제공과 관계부처 간 그리고 중앙-지자체 담당자 간 원활한 협력을 도모할 수 있는 소통채널로서 폭염대책위원회(가칭) 운영 등을 제안하였다.

주제어: 기후변화 폭염, 정책통합, 적응관리, 중장기 대책, 적응(adapting)대책

ㅣ차 례 ㅣ

제1장 · 서 론 ····· **1**

1. 연구 배경 및 필요성 ····· 1
2. 연구 목적 ····· 3
3. 연구 절차 ····· 4

제2장 · 중장기적 적응대책 수립·관리 방법론 ····· **6**

1. 연구의 수준 ····· 6
   가. 중장기적 적응대책 수립 범위 ····· 6
   나. 연구 수준의 구체화 ····· 10
2. 중장기적 적응대책 수립·관리 방법론 ····· 10
   가. 대책 통합(policy integration) 방법론 ····· 10
   나. 중장기적 관리 방법론 ····· 13
   다. 적용 ····· 17

제3장 · 폭염 피해 및 대책 현황 ····· **19**

1. 폭염 정의 및 영향 ····· 19
   가. 폭염 정의 ····· 19
   나. 폭염 영향 ····· 21
   다. 시사점 ····· 32
2. 국내·외 폭염 대책 현황 ····· 34
   가. 우리나라 ····· 34
   나. 영국 ····· 39
   다. 호주 ····· 42

라. 캐나다 ····· 45
마. 프랑스 ····· 49
바. 주요 특징 및 시사점 ····· 53

제4장 · 중장기적 적응대책(안) ····· 57
1. 중장기적 적응대책 수립·관리 ····· 58
가. 중장기적 적응대책 목표 설정 ····· 58
나. 폭염 피해 및 영향 경로를 통한 대책 분야 설정 ····· 58
다. 적응관리 모델을 적용한 중장기적 적응대책 전략 마련 ····· 62
라. 현 폭염 대책의 조사 및 정리, 개선 방향(안) ····· 63
마. 기후변화 폭염 대응 중장기적 적응대책(안) ····· 73
2. 정량적 분석 사례: 폭염특보제 이행/효과 평가 ····· 75
가. 서울지역 폭염특보 발령 현황 ····· 77
나. 폭염특보의 사망발생 방지효과 평가 ····· 84
다. 시사점 및 평가 결과에 대한 한계 ····· 89

제5장 · 요약 및 제언 ····· 90

참고문헌 ····· 93

Abstract ····· 105

ㅣ표 차 례ㅣ

〈표 2-1〉 국가 및 지자체 단위별 역할구분 ····· 9
〈표 3-1〉 기상청 폭염특보 기준 ····· 20
〈표 3-2〉 2013년 폭염대응종합대책 부처별 주요 추진사항 ····· 35
〈표 3-3〉 국가기후변화적응대책(2011~15) 건강 분야 폭염 관련 적응대책 37
〈표 3-4〉 국가기후변화적응대책(2011~15) 폭염 관련 포괄적 대책 ····· 38
〈표 3-5〉 영국의 열-건강경보시스템 지역별 폭염특보 발령 기준 ····· 39
〈표 3-6〉 열-건강경보서비스의 이해관계자 그룹별 주요 지침사항 ····· 40
〈표 3-7〉 호주의 폭염 대응 계획 수립 시 국가 프레임워크 주요 원칙 42
〈표 3-8〉 호주의 주정부별 폭염 대응계획 ····· 43
〈표 3-9〉 폭염 대응 주요 저감 분야 및 우선 분야 ····· 44
〈표 3-10〉 호주 국가기후변화적응체계의 건강 부문 대책(안) ····· 45
〈표 3-11〉 캐나다의 폭염 대응 단기 및 장기 전략 ····· 47
〈표 3-12〉 프랑스의 고온건강경보체계(HHWWS) 발령 기준 및 단계별 대응방안 ····· 50
〈표 3-13〉 국내·외 폭염 대책 특징 ····· 54
〈표 4-1〉 폭염의 주요 영향(2차적 영향 포함) ····· 59
〈표 4-2〉 기후변화 폭염 중장기적 적응대책의 주요 대책 분야 ····· 62
〈표 4-3〉 중장기적 적응대책의 적응관리 단계별 전략(세부목표 및 수행 내용) ····· 63
〈표 4-4〉 위험요인 측정 관련 국내 대책/사업 조사, 정리 및 평가 ····· 64
〈표 4-5〉 계획/정책 수립 관련 국내 대책/사업 조사, 정리 및 평가 ···· 66
〈표 4-6〉 이행 관련 국내 대책/사업 조사, 정리 및 평가 ····· 69

〈표 4-7〉 모니터링, 이행/효과평가, 조정/보완 관련 국내 대책/사업 조사, 정리 및 평가 ····· 71
〈표 4-8〉 기후변화 폭염 대응 중장기적 적응대책(안) ····· 74
〈표 4-9〉 해외 폭염특보 운영효과 관련 주요 선행연구 ····· 76
〈표 4-10〉 2008~12년 하절기(6월1일~8월 31일) 서울지역 폭염특보 발령 현황 ····· 77
〈표 4-11〉 서울 폭염특보 발령일의 역치기준(일별 평균기온 28.1℃ 이상)별 일별 CVD 사망자수 특성 ····· 79
〈표 4-12〉 서울 폭염특보 발령일의 역치기준(일별 최고기온 33℃ 이상)별 일별 CVD 사망자수 특성 ····· 82
〈표 4-13〉 서울 2008~12년 하절기 사망 및 폭염 발생 특성 ····· 85
〈표 4-14〉 서울 2008~12년 하절기 역치기온 이상에서 폭염특보 사망방지 추정 결과 ····· 88

ㅣ그림 차례ㅣ

〈그림 1-1〉 본 연구의 목적 ····· 4
〈그림 1-2〉 주요 연구 내용 및 절차 ····· 4
〈그림 2-1〉 기후변화적응대책 수립의 상·하향식 접근법 ····· 8
〈그림 2-2〉 정책통합과 유사개념의 구분 ····· 12
〈그림 2-3〉 사회적 학습 모델 ····· 14
〈그림 2-4〉 적응관리 사이클(Adaptive Management Cycle) 단계별 내용 16
〈그림 2-5〉 중장기적 적응대책 수립·관리 절차 ····· 18
〈그림 3-1〉 폭염으로 인한 사회적 파급 사례 ····· 22
〈그림 3-2〉 폭염의 건강영향 메커니즘 ····· 23
〈그림 3-3〉 대규모 정전으로 인한 교통혼잡 사례 ····· 26
〈그림 3-4〉 폭염으로 인한 도로(좌) 및 철로(우) 손상 사례 ····· 27
〈그림 3-5〉 작물의 발육속도와 온도의 관계 ····· 28
〈그림 3-6〉 폭염으로 인한 병해충 피해 사례 ····· 29
〈그림 3-7〉 2013년 폭염으로 인한 가축 폐사 사례 ····· 30
〈그림 3-8〉 2014년 고온으로 인한 적조 확산 및 양식장 피해 사례 ····· 31
〈그림 3-9〉 폭염으로 인한 국내 가로수 고사(좌) 및 호주 산불 피해(우) 사례 ··· 31
〈그림 3-10〉 기후변화로 인한 미래 일별 기온 값의 분포 변화 ····· 33
〈그림 3-11〉 영국의 국가적응프로그램(National Adaptation Programme) 41
〈그림 3-12〉 캐나다 연방적응정책프레임워크 ····· 48
〈그림 3-13〉 폭염 발생 시 행동 요령 ····· 51
〈그림 3-14〉 프랑스 국가기후변화적응계획(2011~15) ····· 52
〈그림 4-1〉 폭염의 영향 및 피해 경로 ····· 60

〈그림 4-2〉 2008~12년 서울 폭염특보, 일별 최고기온 및 일별 CVD 사망 현황 ····· 78
〈그림 4-3〉 지연일별 특보, 역치(일평균기온 28.1℃ 이상), 특보 및 역치의 일별 CVD 사망발생 효과 ····· 81
〈그림 4-4〉 지연일별 특보, 역치(일최고기온 33℃ 이상), 특보 및 역치의 일별 CVD 사망발생 효과 ····· 83
〈그림 4-5〉 서울지역 2008~12년 하절기 역치수준 이상 및 폭염특보 발생의 상호작용 회귀계수 ····· 87

Ⅰ 제1장 · 서 론 Ⅰ

1. 연구 배경 및 필요성

최근 기후변화와 연계하여 지역사회 주민의 여름철 핵심 이슈는 이상기상, 특히 폭염의 건강영향 및 대응이다. 사실 우리나라의 기상재해로 인한 영향은 폭염을 포함하여 태풍, 집중호우 등으로 인명뿐만 아니라 재산상의 피해로 나타난다. 이 중 폭염의 피해가 가장 치명적이라고 할 수 있는데, 이는 태풍이나 집중호우 등은 매년 주기적으로 발생하지 않지만 폭염은 매년 주기적으로 발생하고 있으며 그 피해 정도가 늘어나는 추세이기 때문이다.

특히 폭염의 건강영향은 전 세계 대도시에서 발생하고 있는데, 1995년 미국 시카고에서는 폭염으로 697명이 초과사망(Kaiser et al., 2007), 2003년 프랑스에서는 폭염으로 14,802명이 초과사망(Fouillet et al., 2006), 그리고 2010년 러시아에서는 55,730명이 초과사망한 것으로 보고되었다(Guha-Sapir et al., 2011). 우리나라의 경우에도 보건복지부에 따르면, 2013년 6월 초부터 9월 초까지 폭염으로 인한 온열질환자 수는 총 1,195명, 이 중 사망자는 14명인 것으로 보고하고 있다(보건복지부, 질병관리본부, 2013). 이는 2012년 기간의 온열질환자 984명에 약 1.2배에 달하는 수치이다.

더불어 폭염의 건강영향은 저평가되는 경향이 있는데(Keatinge et al, 1986; Mirchandani et al, 1996), 폭염으로 인한 건강영향의 위험인식 부족 및 임상학적 진단 어려움으로 환자 및 사망자는 실제 발생 건수 이하로 보고될 수 있기 때문이다. 실제로 열사병(heat stroke)은 신체가 더 이상 덥지 않거나 더운 환경 아래 놓여 있지 않다면 관상동맥(coronary) 질환이나 뇌혈전증(cerebral thrombosis) 증상과 매우 유사한 것으로 나타난다(WHO, 2003).

이러한 폭염의 건강영향은 기후변화로 인해 그 발생빈도가 증가하고 강도가 높아진다는 것에 심각성이 있다. 국립기상연구소에 따르면, 온실가스 시나리오 RCP8.5 및 RCP4.5에 의하면 21세기 말(2070~99)에 한반도 평균기온은 각각 6.0℃ 및 3.4℃ 상승할 것으로

보고하고 있으며, 이로 인해서 2050년 폭염은 현재보다 약 3배, 열대야는 약 6배 증가할 것이라고 전망했다(국립기상연구소, 2011). 더불어 이러한 온실가스 시나리오를 활용한 미래 기후변화로 인한 사망자를 추정하면, 서울에서 더위로 인한 사망자는 2001~10년 인구 10만 명당 약 0.7명에서 2036~40년에는 기후변화에 적절히 적응하는 것을 가정해도 인구 10만 명당 약 1.5명으로 약 2배 이상 늘어나는 것으로 전망되었다(신용승 외, 2012). 이는 현재의 폭염에 대응하는 대책뿐만 아니라 중장기적인 측면에서 기후변화로 인한 폭염 발생의 영향을 저감시킬 수 있는 대책이 요구됨을 시사한다고 할 수 있다.

현재 우리나라의 폭염 대책을 정리해보면, 크게 중앙재난안전대책본부의 '폭염대응종합대책'과 환경부 총괄의 '국가기후변화적응대책(2011~15)'을 살펴볼 수 있다.

첫째, 중앙재난안전대책본부는 매년 5월 '폭염대응종합대책'을 발표해 중앙부처, 시·도 및 시·군·구 지자체에서 주요 대응책을 운영하고 있다. 주요 대응책으로는 무더위 쉼터, 노인보호대책 및 취약계층 방문건강 관리 프로그램, 취약계층에 대한 도우미, 폭염경보 전달체계 구축, 무더위 휴식시간제 등이 있다. 하지만 이는 각 시·군·구별 지자체의 일괄적인 폭염대응 대책으로 지자체 특성(취약계층의 지리적인 분포 및 거주지의 환경 등)을 고려한 대책으로 발전하지 못하고, 폭염특보 발령에 대응한 사후관리 차원에서 운영되고 있다.

둘째, 국가기후변화적응대책(2011~15)은 앞서 언급한 '폭염대응종합대책'의 세부 사업 내용을 포함한 각종 대책을 제시하고 있다. 하지만 국가기후변화적응대책은 각 분야별로 개별적인 대책들을 수립·이행하는 경향이 있어 폭염에 대응한 대책으로 체계화시킬 필요성이 있다.

사실 기후변화와 관련한 적응대책 및 이와 관련된 각종 프로그램의 최종적인 목적은 지역사회 주민들의 건강과 복지향상이라고 할 수 있다. 이는 기후변화에 대응한 자연환경의 가치보전은 그 자체로서만이 아니라 인간사회를 지지해주는 상품과 서비스로서의 가치를 가지며, 경제발전은 그 자체로서만이 목적이 아니라 인간 삶을 향상시키는 도구로서의 가치를 가지기 때문이다.

정리해보면, 현재 폭염의 인명 및 재산상의 피해는 향후 기후변화로 인해 그 정도가 더 커질 것으로 예상할 수 있다. 특히 지금까지의 온실가스 배출 및 향후 추세로 보면 지금 나타나는 폭염은 이미 기후변화의 한 현상이라고 할 수 있다. 이에 폭염 대응은 폭염 발생 후 사후 대응에서뿐만 아니라 사전에 대응할 수 있도록 중장기적인 차원에서 접근할 필요가 있겠다. 기후변화로 인한 폭염 발생 및 영향에의 대응책(단기 및 중장기)들이 지역사회 건강과 복지 향상 목적으로 통합되고 체계적으로 관리될 때 지역사회 폭염 피해 저감 및 적응 역량 강화에 효과적일 것이다.

사실상 적지 않은 선행연구들이 국내 폭염대응 현황의 문제점으로 사업의 중복 및 부처 간 산발적 운영, 단기 대책 위주 등을 지적한 바 있다(배민기, 2013; 국립재난안전연구원, 2013). 그러나 구체적으로 대책통합 메커니즘/방법론이 제안된 바 없었으며, 전통적으로 존재해 온 여름철 폭염이 아니라 기후변화로 인해 그 규모나 빈도가 증가하고 발생시기의 불확실성이 증대될 미래의 폭염 양상에 대비한 중장기적 적응대책 개념은 제시된 바 없으므로, 본 연구의 필요성이 강조된다고 볼 수 있다.

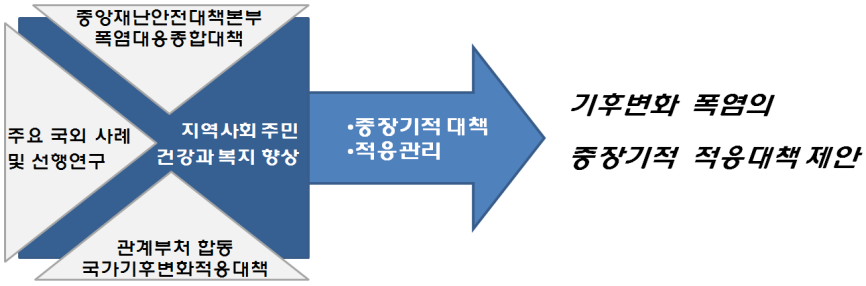
2. 연구 목적

본 연구의 목적은 폭염 영향 및 피해에 대한 고찰을 바탕으로 국내 폭염 대응의 현 주소를 살피고, 앞으로 기후변화로 인해 심화될 것이라 전망되는 폭염 현상에 보다 적절히 대응하기 위해 중장기적 적응대책[1]을 제안하는 데 있다. 먼저, 폭염 대책 수립의 수준을 구체화함으로써 기존 대책의 개선 방향을 명확히 하고자 하였다(다음 절 참조). 구체적으로는 국내 대표적인 국가 폭염 계획인 '폭염대응종합대책'뿐 아니라 국가기후변화적응대책을 검토함으로써 폭염의 직접적인 영향을 다루고 있지는 않으나 폭염 취약성 및 피해 저감에 필요한 대책들을 통합하고자 한다. 이러한 대책들의 통합은 지역사회 주민 건강과 복지 향상이라는 관점에서 진행될 것이다.

---

1) 본 연구에서 제시하는 중장기적 '적응'대책의 개념은 일반적인 적응대책(*adaptation* plan to climate change)이 아닌, 지속적인 대책의 개선 및 보완의 개념을 포함하는 '적응하는' 대책으로서의 순환적 의미를 가짐(*adapting* plan to changes caused by actions)(다음 절 참조).

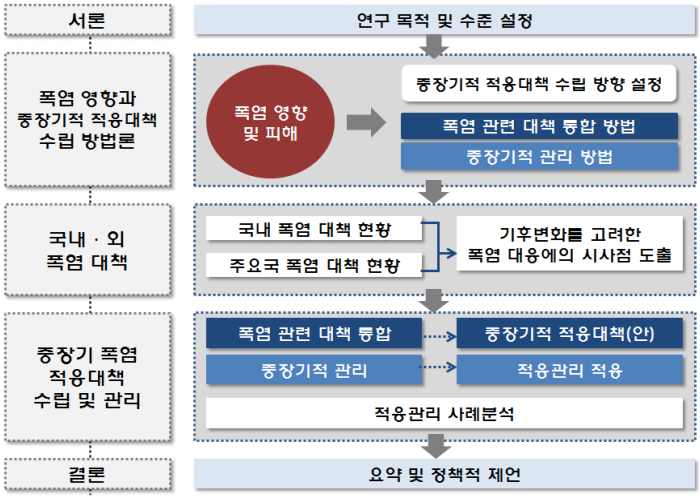
본 연구에서 제안하는 중장기적 적응대책은 그 정의상 수립된 대책의 체계적인 관리를 통한 지속적인 개선과 신규 대책 발굴의 과정을 포함한다(다음 절 참조). 따라서 제시된 통합 폭염대책의 관리 방안을 제안하는 것 역시 본 연구 목적의 일부이다.



〈그림 1-1〉 본 연구의 목적

3. 연구 절차

〈그림 1-2〉는 본 연구의 주요 내용과 절차를 도식화한 것이다.



〈그림 1-2〉 주요 연구 내용 및 절차

본 연구는 기후변화를 고려한 폭염 중장기 적응대책(안)을 제시하기 위해 크게 3개 부문으로 나누어 연구를 진행하였다. 첫째, 폭염의 영향 및 피해, 기후변화에 대한 적응 개념 고찰을 통해 기후변화 폭염의 중장기적 적응대책 수립 방향을 설정하고자 하였다. 폭염 관련한 중장기적 적응대책 수립의 핵심으로서, 이를 위해 정책통합(policy integration), 사회적 학습(social learning) 및 적응관리(adaptive management)의 프레임워크를 적용하였다. 둘째, 국내 폭염대책 현황 분석을 통해 한계점 및 시사점을 도출하는 한편, 해외 주요국의 폭염대책 비교·분석을 통하여 기후변화를 고려한 폭염대책의 시사점을 도출하고자 하였다. 마지막으로 위의 연구 결과를 바탕으로 중장기적 적응대책(안)과 관리 방안을 제시하고자 하였다. 특히 중장기 적응대책의 적응관리모델 적용 사례로서 국내에서 현재 운영 중인 폭염특보제의 건강 효과성을 정량적으로 평가하였다.

본 연구의 수행은 국내·외 문헌조사 및 관련 자료 수집과 분석, 해외 방문 사례조사, 외부 전문가 초청 세미나 등을 통해 추진하고자 한다. 국내·외 문헌조사 및 관련 자료 수집과 분석에서는 폭염의 영향 및 그 피해, 국내·외 폭염 대책을 비롯하여 중장기적 적응대책 수립 방법론을 정리하고자 하였다. 해외 방문 사례조사에서는 해외 선진국으로서 지역사회 미시적 기온분포를 통한 쉼터대책, 실내 기온특성을 고려한 주거문화 지원, 도시 녹지공간의 적용효과 평가 등 중장기적인 폭염 적응대책에 대한 정보교류 및 연구협력에 대한 방안을 논하고자 하였다. 마지막으로 외부 전문가 초청 세미나에서는 폭염의 영향 및 피해 관련 분야(건강, 환경, 도시계획 및 사회기반시설 등)의 전문가를 초청하여 현 국내 폭염 대책의 한계점을 고찰하고 개선방향을 논의하고자 하였다.

| 제2장 · 중장기적 적응대책 수립·관리 방법론 |

1. 연구의 수준

폭염 대책 수립에 있어 대책의 시간적 범위와 수직적 범위를 살펴봄으로써 본 연구에서 제안하려는 '기후변화 폭염 중장기적 적응대책'의 수립 범위를 설정하고자 한다.

첫째, 대책의 시간적 범위와 관련하여 단기적 대책과 중장기적 대책으로 나누고, 나아가 중장기적 대책에 '적응'의 개념을 포함시켜 '중장기적 적응대책'이라는 개념을 만들어 본 연구에서의 기후변화 폭염 대책의 특수성을 부각시키고자 한다.

둘째, 대책의 수직적 범위와 관련하여 국가 수준과 지자체 수준의 역할 및 관계를 살펴봄으로써 본 연구에서 제시하고자 하는 대책의 범위를 구체화하였다.

가. 중장기적 적응대책 수립 범위

1) 시간적 범위(time scales): 단기적 대책과 중장기적 적응대책

일반적으로 대책은 목표의 시간 프레임에 따라 단기적 대책과 중장기적 대책으로 구분할 수 있다. 이는 계획기간과 관련된 것으로 구체적으로는 목표를 달성하는 데 소요되는 기간을 어떻게 설정하느냐를 말한다(Dessai and Hulme, 2004). 폭염 대응을 위한 대책의 경우 단기적 대책의 목표는 폭염 발생 전후를 다루며, 위험 발생 시의 대처와 사후 수습 등이 주된 내용이다. 반면 중장기적 대책은 사전예방의 성격을 가지며, 가까운 미래뿐 아니라 먼 미래에 다가올 위험에 대비해 폭염 취약성을 줄여나가는 것을 목표로 한다. 따라서 중장기적 대책은 위험과 직접적으로 연관된 한 분야만 다루지 않고 작간접적으로 영향을 줄 수 있는 관련 분야를 포괄적으로 다루는 것이 일반적이라 할 수 있다.

폭염 발생 전후에 실시되는 단기적 대책도 중요하지만, 기후변화와 연계하여 장차

중장기적 대책의 중요성 및 역할이 커질 전망이다. 최근 국내외에서 발생한 폭염 현상은 전통적으로 매년 있어 왔던 한여름 무더위와는 다른 양상을 보이고 있으며, 많은 연구들이 향후 폭염과 기후변화의 연결고리가 점차 강화될 것이라는 전망을 내놓고 있다(IPCC, 2014; 2장 참조). 따라서 폭염 대응에 있어 기후변화를 고려하는 것은 핵심적이며, 기후변화 적응이 중장기적 이슈임을 감안할 때(OECD, 2009) 중장기적 폭염 취약성을 저감시키고 적응역량을 강화할 수 있는 관련 분야를 포괄적으로 다루는 중장기적 대책 수립이 요구된다고 볼 수 있다.

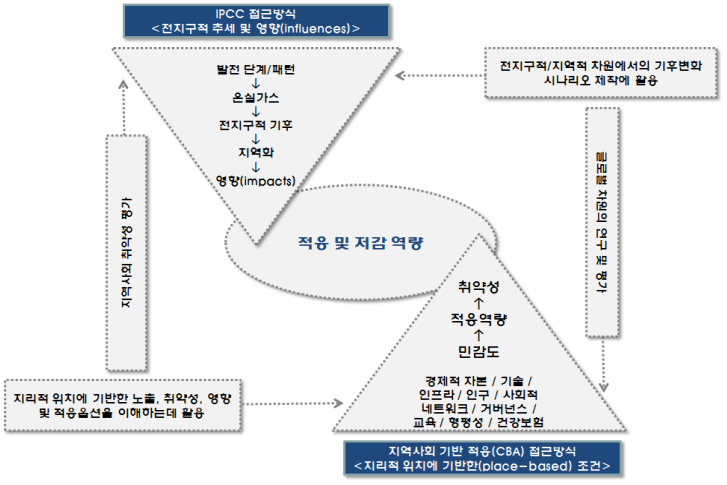
덧붙여 미래지향적인 측면뿐 아니라 기존 대책의 수정·보완 측면에서 '적응'대책의 개념이 제시될 수 있다. 본 연구에서 제시하고자 하는 '중장기 적응대책'이란, 적응을 위한 대책(plan for adaptation)이 아니라, 기존 대책 이행의 영향 또는 결과를 반영하여 대책을 지속적으로 수정·보완함으로써 개선해 나가는 것(adapting plan to changes caused by actions from existing plans)으로 정의하고자 한다. 일반적으로 중장기 대책에 수정·보완이 전제되어 있다고는 하나, 이를 위한 구체적인 메커니즘이 대책 수립 단계에서부터 구축되어 있는 경우는 드물다. 이에 본 연구에서는 대책의 실질적 효과 평가에 기반하여 지속적으로 수정·보완해 나갈 수 있는 관리체계를 강조하고자 한다. 이러한 '중장기 적응대책'에는 단기적 대책 및 중장기적 대책 모두가 포함될 수 있으며, 이들 대책을 중장기적으로 관리함으로써 대책의 지속가능성을 확보한다는 점에서 중요하다.

2) 수직적 범위: 국가 수준과 지자체 수준

폭염 대책(대응)의 수직적 범위와 관련하여 국가 수준과 지자체 수준에서의 대책수립에 대해 고찰하였다. 일반적으로 기후변화적응대책은 기후변화가 전 지구적인 변화임에도 불구하고 특성상 지역의 특성과 현실 등을 고려한 대책으로 개발되어야 한다. 더불어 우리나라 지방자치단체는 국가 단위의 방향성과 대책의 일관성을 고려하여 지역특성 및 현실에 적합한 행정 운영을 하고 있다. 이에 기후변화적응대책 역시 국가 차원의 목표와 방향성을 고려할 뿐만 아니라, 해당 지역사회와의 긴밀한 협력과 더불어 지역사회의 특성이 고려된 대책이 이루어질 필요가 있다.

실제로 많은 연구들에서 기후변화적응대책 수립 및 이행에 중앙정부와 지방정부와의 연계 중요성을 제시하고 있다. Adger et al.(2005)은 기후변화 적응대책은 적응을 이행하는 주체에 따라 대책의 내용과 수준이 결정된다고 하여 관련 주체 간의 상호작용의 중요성을 언급하였으며, Corfee-Morlot et al.(2009)은 중앙정부 차원에서의 기후변화 적응대책 추진에서 지방정부의 역할 및 그 특징을 제시하면서 중앙정부 차원에서 수행할 수 없는 것들에 대한 지방정부의 중요성, 그리고 이들의 연계가 매우 중요함을 제안하였다.

이와 관련하여 Dessai and Hulme(2004)는 기후변화적응대책 계획 수립방법으로 시간적·공간적 스케일과 취약성의 취급에 따라 크게 물리적 취약성(즉 영향평가)에 중점을 두는 하향식(top-down) 접근과 사회적 취약성(즉 적응역량)에 중점을 두는 상향식(bottom-up) 접근 두 가지로 나누어 설명하였다(Dessai and Hulme, 2004). 하향식 접근은 전 지구적 관점에서 시작하여 지역적 측면을 바라보는 것으로서 개발전략, 온실가스 배출, 지구적 기후, 지역적 기후, 그리고 이로 인한 영향을 근거로 기후변화 적응 및 저감을 다루게 된다. 반면에 상향식 접근은 지역사회의 정보, 기술, 형평성 등을 고려하여 지역사회의 기후변화에 대한 민감도, 적응능력, 나아가 지역사회의 취약성을 바탕으로 적응 및 저감을 다루게 된다(그림 2-1).



자료: Wiseman et al.(2011)에서 재구성.

〈그림 2-1〉 기후변화적응대책 수립의 상·하향식 접근법

상·하향식 방법의 연계에서 중요한 것은 국가와 지자체 단위별 역할의 구분과 이의 이행이다(Mukheibir et al., 2013; Kreft et al., 2011; Funfgeld, 2010). Mukheibir et al.(2013)은 국가단위 정책수립의 중요한 역할로서 지자체단위 적응계획 수립 및 이행 과정에서 발생되는 문제를 조율하는 것을 꼽았다. 여기에는 상하조직(국가와 지자체 정부), 수평적 조직(같은 단위의 정부조직 내 분야별 구성조직 등) 간 거버넌스 구조의 불일치 조율, 정보교류 및 소통 활성화, 주요 어젠다 설정 및 문제에 대한 정의(규명), 그리고 기후변화 적응 프레임워크의 설정(지자체가 적응계획을 수립할 수 있는 기본틀 제공) 등이 포함된다(Mukheibir et al., 2013; Moser and Ekstrom, 2010; Biesbroek et al., 2010).

COAG(2007)는 기후변화로 인한 직접적인 피해의 복구나 예방 및 피해저감사업 등이 지자체 수준에서 이루어지는 반면, 국가 단위에서는 보다 장기적인 시각을 가지고 적응대책을 수립할 것을 제안한 바 있다(표 2-1 참조).

〈표 2-1〉 국가 및 지자체 단위별 역할구분

단위	주요 역할
국가 단위 (National level)	• 장기적인 관점에서의 기후변화 적응을 위한 국가 어젠다 설정(COAG, 2007) • 법·제도적 근거 제공(COAG, 2007; Brooks et al., 2009) • 공공재의 기후변화 리스크 관리(COAG, 2007) • 민간의 적응(private adaptation)을 지원하기 위한 제도 및 시장환경 조성(COAG, 2007) • 지역사회 복원력(resilience) 및 적응역량 강화를 위한 지자체 정부 지원(COAG, 2007) • 기후변화 감시 및 예측 강화(UNDP, 2004)
지자체 단위 (Local level)	• 지역사회 주민에 실질적이고 다양한 서비스 제공 • 지역사회 내 직접적인 기후변화 영향 관리(COAG, 2007)

자료: Mukheibir et al.(2013); EU Committee of the Regions(2013); Moser and Ekstrom(2010); Biesbroek et al.(2010); Funfgeld(2010); UNDP(2004)를 바탕으로 작성.

나. 연구 수준의 구체화

폭염 대책 수립의 시간적 범위 및 수직적 범위를 살펴본 바를 바탕으로 본 연구에서는 기후변화를 고려한 폭염 '중장기적 적응대책' 수립 연구의 범위를 다음과 같이 정리하였다.

첫째, 기후변화 폭염 대책은 중장기적인 측면의 적응대책으로 다루고자 한다. 이는 1) 현재 수준의 폭염에 대응하는 단기적인 대책에 미래 기후변화를 고려하여 사전 예방 차원에서 관련 분야를 포괄적으로 다루는 중장기적 대책과, 2) 이러한 중장기적 대책을 체계적으로 관리함으로써 수정·보완해 나가는 적응대책으로 구체화된다. 여기에서 기후변화 폭염의 중장기적 대책은 지역사회 주민 건강과 복지 향상이라는 관점에서 그 위험과 직접적으로 연관된 한 분야만 다루지 않고 직·간접적으로 영향을 줄 수 있는 관련 분야 대책들을 포괄적으로 통합함으로써 제시하고자 하였다.

둘째, 국가 수준에서의 기후변화 폭염 대책을 다루고자 한다. 앞서 언급하였지만 국가기후변화적응대책하의 기후변화와 연계된 폭염 대책들은 국가 수준의 대책 수립 및 이행, 지자체 수준의 대책 수립 및 이행, 그리고 이들 대책들 간 연계성에 있어 다양한 문제점이 있으며, 이를 위한 해결방안들이 요구되고 있다. 그러나 이번 연구에서는 기후변화를 고려한 국가 단위 역할 측면에 한정하여 폭염 대책 현황 분석 및 향후 개선 방향을 제시하고자 하였다. 무엇보다도 정책 수립 및 이행에 있어 중요한 조직 간의 조율에서는 상하조직(국가와 지자체정부)보다는 수평적 조직(같은 단위의 정부조직 내 분야별 구성 조직 등)에서의 거버넌스 구조 불일치 조율, 정보 교류 및 소통 측면을 다루고자 하였다.

2. 중장기적 적응대책 수립·관리 방법론

본 절에서는 기후변화 폭염에 대응하는 중장기적 적응대책 수립 방법론을 중장기적 대책 수립과 적응대책 수립의 두 가지 방향에서 제시하고자 한다.

가. 대책 통합(policy integration) 방법론

먼저 제 1장의 연구 수준에서 중장기적 대책은 중장기적인 시간적 측면을 고려함과

동시에 폭염 관련한 분야를 포괄하여 사전 예방적 차원의 대책들을 통합하는 것으로 제시할 것이라고 언급하였다. 이와 더불어 앞 절에서 폭염은 그 피해가 건강, 환경, 사회기반시설 및 산업 등 다양한 분야에 걸쳐 나타나기 때문에 범분야적(cross-cutting) 이슈라고 볼 수 있다(PHE, 2014; HM Government, 2013).

1) 대책 통합의 필요성 및 배경

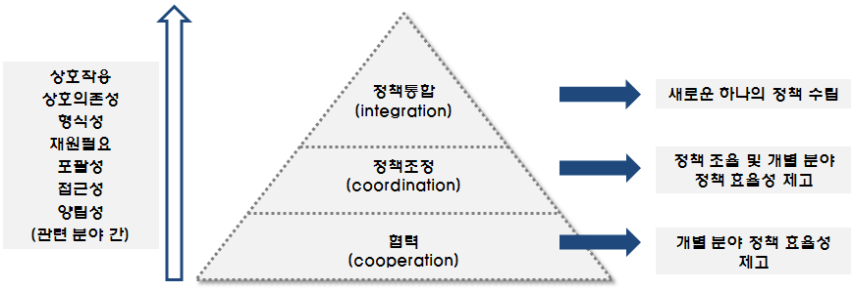
Berger and Steurer(2009)는 과거 1970, 80년대에는 대개 이슈별 분야 구분이 확실한 편이었으나, 1990년대 이후 지속가능한 발전이나 기후변화와 같은 전 지구적 환경문제가 대두되면서 새로운 접근방식이 요구되었음을 지적하였다. 특히 기후변화의 경우 단순히 환경 분야만의 문제(sectoral environmental challenges)가 아니라, 경제, 교통, 에너지 등 다양한 분야에서 고려해야 하는 범분야적 이슈이며, 이러한 이슈의 해결을 위해 개발된 개념으로서 환경정책통합(Environmental Policy Integration, EPI)과 지속가능한 개발을 소개한 바 있다.

폭염 대응은 현 수준의 폭염뿐 아니라 미래 기후변화로 인한 폭염의 심화를 고려해야 하며, 그 영향 및 피해 역시 다양한 분야에서 나타나고 있다. 따라서 기후변화와 연계된 폭염 대책 수립은 범분야적 이슈로서의 정책 통합이 요구된다. 실제로 국내 폭염 관련 대책은 현재 중앙재난안전대책본부의 폭염대응종합대책과 국가기후변화적응대책의 이원적 구조로 진행되고 있고, 대책이행의 주체(관계부처 등) 역시 분야별로 다양하기 때문에 사업의 유사중복의 가능성이 있고, 다분야에 걸치는 포괄적 정책의제의 효과적인 해결 및 잠재적 시너지 효과를 방해할 수 있다. 이에 본 연구에서는 '폭염 관련 대책 통합'을 본 연구의 기후변화 폭염에 대응한 중장기적 적응대책 수립의 초기 기본 방향으로 설정하였다.

2) 대책 통합의 정의 및 특징

대책 통합은 관련 분야 간 적극적인 상호작용을 통해 형성된 공유된 비전에 기반한 장기적인 관점에서의 대책조율 과정으로 정의될 수 있다(성지은, 송위진, 2008; Meijers and Stead, 2004; OECD, 1996).

OECD(1996)은 정책통합(policy integration)의 유사개념인 정책조정(policy coordination) 및 협력(cooperation)과 비교함으로써 그 특징을 제시하였다(그림 2-2). 정책조정이 각 부문 정책이 일관적, 상호적으로 집행될 수 있도록 정책을 조율/조정하는 데 목적을 둔다면, 정책통합은 다양한 분야가 개입된 새로운 하나의 정책(one joint policy)을 만들어내는 것을 목표하고 있다. 이 때문에 정책통합은 범분야적 목표(a cross-cutting objective)를 설정하며, 이는 개별 분야의 정책목표를 그대로 둔 채로 진행하는 정책조정의 접근방식과는 다른 점이라고 할 수 있다. 정책통합을 위해서는 제도적 여건 마련 등으로 인해 재원(resources)이 더 소요될 수 있으나, 시공간적으로 포괄적이고, 보다 다양한 이해당사자를 정책과정에 참여시킬 수 있는 장점이 있다(Meijers and Stead, 2004, p.6).



자료: Meijers and Stead(2004)에서 재구성.

〈그림 2-2〉 정책통합과 유사개념의 구분

Briassoulis(2004)에 따르면, 다양한 주체들이 자율성을 지니면서도 공통의 이해에 기반한 정책을 형성하는 정책통합의 과정은 문제해결 및 학습의 기회를 제공한다. 정책요소나 정책 영역 간 서로 분리되어 모순 혹은 갈등 상태에 있던 것들을 시스템적으로

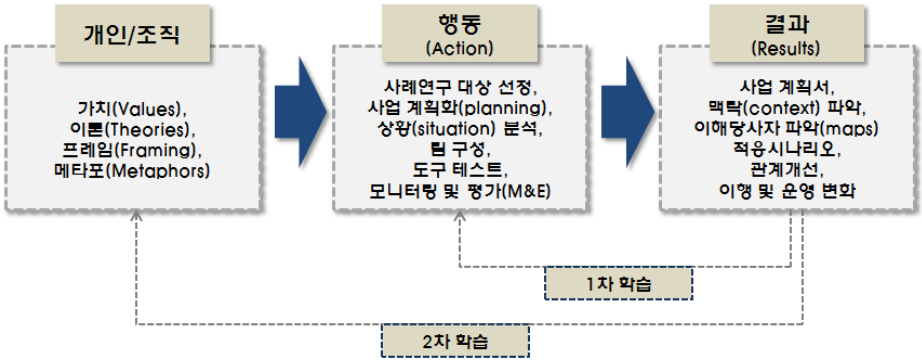
통합함으로써 정책시스템의 가외성(중복성 및 중첩성)이나 빈틈(누락) 등을 고려할 수 있게 되며, 이는 결과적으로 정책의 실효성을 제고하는 기회로 활용될 수 있다(성지은, 송위진, 2008에서 재인용).

나. 중장기적 관리 방법론

기후변화에 따라 점차 심화되는 폭염에 적절하게 대응하기 위해서는 장기적인 관점이 필요하다. 이는 단순히 대책 목표의 달성 시기를 단기·장기로 구분하고 장기적인 목표를 세우는 대책을 수립하는 것을 의미하기보다는, 대책 안에 사업을 중장기적으로 '관리'하는 대안을 포함시킴으로써 사업의 지속성을 보장하는 것을 의미한다. 이처럼 일회적 혹은 즉각적인 단기 사업의 이행에 그치지 않고 중장기적으로 관리하는 데 적절한 방법론에는 적응관리(adaptive management)가 있으며, 이를 뒷받침하는 이론적 틀(conceptual framework)로서 사회적 학습(social learning)의 중요성을 강조하고자 한다.

1) 사회적 학습(social learning)

사회적 학습이란 '사회구성원 간 경험, 사고 및 환경을 공유하는 반복적 논의 과정'으로 정의될 수 있다(Keen et al., 2005). 구체적으로는 계획 수립 및 실행(Action)을 계속적인 과정(on-going planning)으로 보고, 결과(Results)를 개선하기 위해 다양한 사회구성원 간의 경험과 환경을 공유하고(1차 학습), 나아가 개인 및 조직의 가치, 이론, 프레임 등을 성찰하는(2차 학습) 과정이다(Funfgeld et al., 2013) (그림 2-3).



자료: Funfgeld et al.(2013)에서 재구성.

〈그림 2-3〉 사회적 학습 모델

최근 국가 및 제도 차원의 기후변화 적응 방법론(혹은 접근방식)으로써 사회적 학습을 강조한 연구가 많이 있으며, 이는 '기후변화'의 내재적 속성과 '적응'의 개념과 관련지어 생각해볼 수 있다.

먼저, 기후변화란 기본적으로 불확실성이 내재되어 있고, 다양한 영향요인과 실질적인 영향의 다변성을 갖는다(Armitage et al., 2008). 또한 사회구성원이나 조직, 사회에 따라 영향의 규모 및 범위가 달라지기 때문에 이해당사자들의 참여와 상호 협력이 중요하다. 이미 사회적 학습을 통한 구성원(개인, 조직 및 사회)의 역량강화를 기본적인 접근방식으로 채택해 온 환경자원관리 분야 및 지속가능 과학 분야의 경험을 근거로 기후변화 적응에서의 사회적 학습을 강조하는 추세이다(Folke et al., 2005; Lee, 1993; Bouwen and Taillieu, 2004; Diduck, 2004; Keen et al., 2005). 같은 맥락에서 Yohe and Tol(2002, p.83)은 IPCC AR4에서 기후변화와 같은 복잡한 사안에 대응한 사회적 학습의 필요성이 강조되었다고 지적하며, 이는 과학적 담론과 정책 모두에 적용되어야 한다고 주장한 바 있다(Collins and Ison, 2009, p.354에서 재인용).

다음으로 사회적 학습은 기후변화 '적응'의 개념과도 깊은 관계를 갖고 있다. 개념상 학습의 반복 및 수준을 '고리(loop)'로 표현하는 사회적 학습은 지속적인 학습 과정('a process of continuous learning')이 핵심이다(Keen et al., 2005). 이와 마찬가지로

‘적응’의 개념 역시 근본적으로 ‘완료’한 상태 또는 어떤 시스템이 완전히 ‘적응이 된(adapted)’ 상태에 이르기란 어렵기 때문에 지속성이 필수이며, 여기에는 사회적 학습의 과정이 효과적이라는 시각이다(Adger et al., 2005; Berkhout et al., 2006; Collins and Ison, 2009; Funfgeld and McEvoy, 2011; Wallis et al., 2013).

특히 Baas and Ramasamy(2008)는 기후적응(climate adaptation) 자체가 사회적 학습의 과정이라고 보았다. 미래 기후변화의 영향이 예측불가능하고 불확실하기 때문에 적응 과정이 필히 지역사회 전체의 적응역량 강화를 수반해야 한다고 강조하였다. 이 같은 적응 과정의 구체적인 내용으로 정보의 공유, 기술전파(technology transfers), 혁신 및 개발 등을 지원하는 의사결정 및 역량 강화(capacity-building) 과정을 제시하였다.

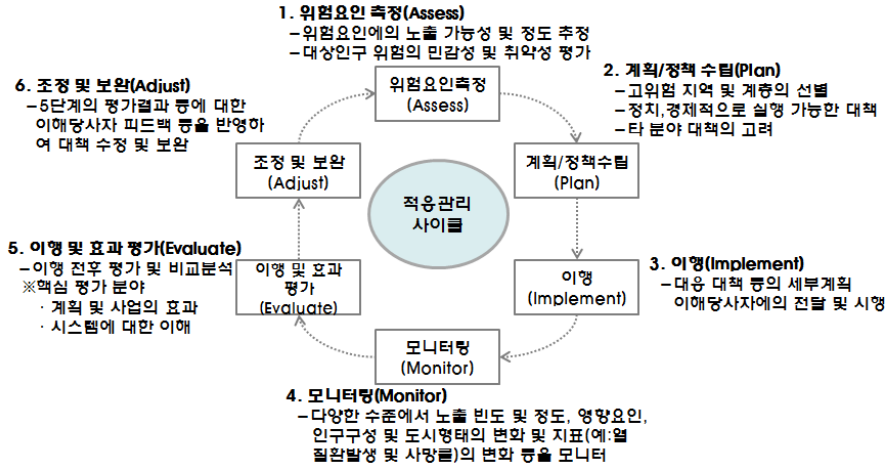
최근 갈수록 증가하는 기후변화의 불확실성 및 복잡성(complexity)으로 인해 적응정책 수립 시 지속적인 학습과 적응을 강화해 나갈 수 있는 거버넌스 구조를 강조하는 추세이며(Folke et al., 2005; Fussel and Klein, 2006), 적응력 있는 거버넌스의 핵심은 ‘지속적인 학습’에 있다고 볼 수 있다(Nilsson and Swartling, 2009, p.2).

거버넌스 메커니즘(governance mechanism)으로서 사회적 학습은 불확실성, 복잡성 및 상호의존성 등을 특징으로 하는 기후변화 환경을 변화(transformation)시키는 과정이다(Tabara and Pahl-Wostl, 2007; Blackmore et al., 2007; Ison et al., 2011; Steyaert and Oliview, 2007). 구체적인 사회적 학습의 기대효과는 사회구성원 간의 교류(정보공유 등)를 통한 집단적 지식의 축적과 그 지식을 정책 및 계획 등의 관리에 반영하여 변화를 이끌어 내는 데 있다(Berkhout et al., 2006; Pahl-Wostl, 2009).

요컨대 기후변화 폭염 대응에서 사회적 학습은 정책결정자 및 수혜자를 포함한 다양한 이해관계자들 간 정보, 경험 및 인식 공유를 통한 정책 개선의 과정으로 수행될 수 있으며(Armitage et al., 2008; Nilsson and Swartling, 2009; Reed et al., 2010; Rodela, 2011; Funfgeld et al., 2013), 대책의 지속적인 수정·보완에 있어 주요한 개념 틀이라고 볼 수 있다.

2) 적응관리(adaptive management)

사회적 학습의 이론적 틀을 구체화하여 적용가능하게 하는 방법론이 적응관리라고 할 수 있다. 적응관리란 정책 및 계획 수립의 기반이 되는 위험요인 측정(Assess), 계획/정책 수립(Plan), 이행(Implement), 모니터링(Monitor), 이행 및 효과 평가(Evaluate), 조정 및 보완(Adjust)을 통해 대응 대책을 지속적으로 관리 및 발전시키는 과정으로 정의된다(Whicker et al., 2008; Hess et al., 2012). 폭염 대응과 관련해서는 영향평가, 수립, 이행, 모니터링, 평가, 개선을 통해 적응대책들을 지속적으로 유지 및 관리하는 과정으로 볼 수 있다(그림 2-4).



자료: Hess et al.(2012)에서 재구성.

〈그림 2-4〉 적응관리 사이클(Adaptive Management Cycle) 단계별 내용

적응관리 방법론은 기후변화와 같이 불확실성을 수반하고, 사회경제적 환경이 변동성을 가질 때 유용한 접근방식이다(Armitage et al., 2008; Stringer et al., 2006; Cundill and Fabricius, 2009; Hess et al., 2012).

특히 Hess et al.(2012)은 적응관리의 필요성을 대책의 사공간적 범위와 사회의 복잡성

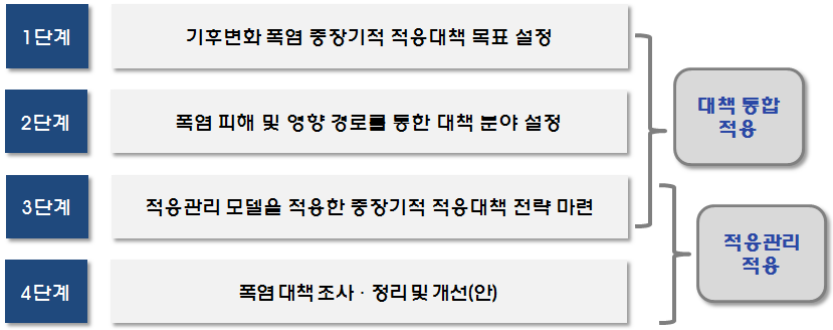
및 역동성으로 구체화시켜 설명하였다. 먼저, 기후변화 적응이 장기적인 접근을 요구하기 때문에 시간적으로 단기계획과 장기계획의 조화를 위해서 적응관리가 필요하다. 또한 지리적으로 기후변화 위험요인이 다르게 분포되고, 지역간 사회적 자본을 포함한 재원이 불균등하게 분포되고 이것이 적응역량의 차이로도 환원되기 때문에, 공간적인 범위를 고려하기 위해 적응관리가 필요하다.

다음으로 Hess et al.(2012)은 사회의 복잡성/역동성(complexity)에 기후변화 영향요인이 더해지면 불확실성이 가중되므로, 시스템에 대한 이해 및 관리의 필요성이 강조될 수밖에 없다고 설명하였다. 기후변화가 사회에 미치는 영향을 전체적인 그림으로 파악하고 정책 및 사업 이행에 따른 결과를 모니터링하고 그 내용을 반영하여 지속적으로 개선시키는 접근법이 필요한 것도 이러한 이유 때문이다(Grabs et al., 2007; Howden et al., 2007).

요컨대, 기후변화로 인한 미래 폭염 현상의 심화 및 불확실성 가중 등을 고려할 때 이 같은 적응관리 메커니즘이 중요하며, 기존 폭염 대책은 모니터링, 이행 및 효과 평가 등을 통해 지속적으로 개선해 나가는 한편, 신규 대책들은 수립 단계에서부터 수정·보완 메커니즘을 구축하는 과정으로서 적응관리가 수행될 수 있다.

다. 적용

기후변화 폭염에 대응한 중장기적 대책 마련에 있어 중장기적인 '시간성'과 폭염 관련한 분야를 포괄함으로써 사전 예방적 차원을 보강할 수 있는 '포괄성'이 핵심이라고 볼 수 있다. 따라서 대책 통합의 접근방식이 필요하고 또한 수립된 대책들을 지속적으로 관리해 나가는 적응관리모델을 적용하여 본 연구의 중장기적 적응대책 수립·관리 절차를 정리하면 〈그림 2-5〉와 같다.



〈그림 2-5〉 중장기적 적응대책 수립·관리 절차

첫째, '기후변화 폭염'에 대응한 중장기적 대책 마련을 위해서는 먼저 공통의 이해에 기반한 새로운 비전 및 범분야적 목표의 설정이 필요하다. 본 연구에서는 제 분야에 걸쳐 드러나는 폭염 영향 및 피해가 결과적으로는 지역사회 주민의 건강과 복지에 영향을 준다는 것에 기반하여 공통의 목표(joint new objective)를 '지역사회 주민의 건강 및 복지 향상'으로 제시하고자 한다.

둘째, 폭염 영향 및 피해경로(pathway) 파악을 통하여 관련 분야를 선별할 것이다. 제3장에서 다루게 될 건강, 환경, 사회기반시설 및 기타 산업 등 분야별 폭염 영향을 바탕으로 범분야적 폭염 영향을 구체화하게 된다. 한 분야에서의 영향이 다른 분야로 전이·파급되는 현상을 도식화함으로써, 제 분야에 걸쳐 드러나는 폭염 영향 및 피해가 결과적으로는 지역사회 주민의 건강 및 복지에 영향을 미친다는 것을 확인할 수 있을 것이다. 피해경로 파악을 통해 선별된 관련 분야는 다음 단계인 적응관리 사이클에 적용시키게 된다.

셋째, 2단계에서 선별된 중장기적 대책 분야를 적응관리사이클(adaptive management cycle)에 적용시켜, 적응관리 단계별 세부목표 및 주요 수행내용을 골자로 기후변화 폭염 중장기적 적응대책 수립·관리 전략을 마련할 것이다.

넷째, 3단계에서 설정된 세부목표 및 전략을 바탕으로 현 국내 대책 사업을 조사 및 정리하고 개선방안을 제시할 것이다.

Ⅰ제3장 · 폭염 피해 및 대책 현황Ⅰ

본 장에서는 먼저 폭염의 정의 및 국내 폭염으로 인한 영향 및 피해를 살펴보고, 국내 폭염 대책 현황을 살펴보는 한편, 현재 대책의 특징을 파악하고 앞으로의 개선 방향을 모색하고자 한다. 개선 방향의 타당성을 확보하기 위해 영국, 호주, 캐나다, 프랑스를 포함한 해외 주요국의 폭염 대책 현황을 비교·분석하였다.

1. 폭염 정의 및 영향

가. 폭염 정의

폭염은 극한더위(extreme heat) 또는 열파(heat wave)라고 부르며, 일반적으로 갑작스럽게 찾아오는 심한 더위로서 일정 온도 이상의 기온이 수일 동안 지속되는 기상현상을 의미한다. 하지만 이러한 폭염은 지역 및 사회적 특성에 따라 상이하게 정의되는데, 이는 여름철 급격한 기온상승의 기상현상에 대한 적절히 대처하기 위한 기준으로의 활용 차원에서 사용되기 때문이다. 김진욱(2005)의 경우에는 인간이 처해 있는 환경에 따라 기온 환경에 대한 적응력 및 범위가 다르기 때문이라고 언급한 바 있는데, 이 또한 같은 맥락이라고 할 수 있겠다.

실제로 해외를 대상으로 폭염의 정의를 조사·정리해 보면, 세계기상기구(WMO)는 폭염을 일 최고기온이 1961~90년 기준의 평균 최고기온을 5℃ 상회하는 일수가 연속 5일 이상인 기상현상으로 정의한 바 있으며, 미국의 기상청에서는 일별 기온이 32.3℃ 초과하는 날이 연속하여 3일 이상 지속되는 현상, 미국 연방재난관리청에서는 특정 지역의 기온이 평년보다 10°F 또는 그 이상인 상태가 몇 주 동안 지속되는 현상으로 정의한 바 있다. 하지만 미국의 기상청 폭염 경보는 열지수(heat index)를 활용하여 인체에 미치는 위험 정도를 고려하여 4단계로 설정하였다. 이처럼 폭염에 대한 정의는 폭염에 대응하기 위한 실제적인 목적에 따라서 그 정의가 달라진다고 할 수 있다(소방방재청,

2009에서 재인용).

우리나라의 경우에도 폭염은 다양하게 정의될 수 있다. 먼저, 김지영 외(2006)에서는 폭염에 대한 표준화된 정의는 없다고 하면서 일반적으로 특정 역치기온(threshold temperature)을 넘는 한정된 기간으로 말하고 있다. 이와 더불어서 이러한 역치기온은 지역에 따라서 달라진다고 언급하였다. 실제로 폭염에 대한 인간의 취약성(건강을 포함하여 다양한 영향을 포함한 취약성을 의미함)은 국지적인 기후에 따라서 달라질 수 있는데, 온대 및 한대 지역에 사는 사람들의 취약성은 지속적인 고온에의 노출경험을 가진 열대지역에 사는 사람들보다 더 취약하다. 우리나라의 경우에 역치기온과 관련하여 환경부(2009)는 초과사망이 급격히 발생하기 시작하는 기온을 역치기온으로 정의한 바 있으며, 서울지역의 경우 28.1℃로 제시한 바 있다. 이 수치는 통계적인 방법론을 활용하여 과거 약 20여 년간의 기상자료와 사망자료를 바탕으로 일별 사망자 수의 급격한 상승이 나타나는 일별 평균 또는 최고기온을 확인한 결과로서 분석에 사용된 자료 업데이트 및 통계적 분석 방법론에 의해 다소 변경될 수 있음을 내포하고 있는 것으로 사료된다.

다양한 연구들에서 국내 폭염에 대한 정의를 내리고 있지만(소방방재청, 2009), 현재 국내 폭염의 정의는 기상청에서 건강영향에 기반을 두어 발표하는 폭염특보에서 그 정의를 찾아볼 수 있다. 기상청에서는 2007년 시험운영을 거쳐 2008년 6월부터 본격적으로 폭염특보제를 운영하고 있는데, 시·공간적으로는 시·군·구를 대상으로 매년 6월 1일부터 9월 30일까지 발령한다. 〈표 3-1〉은 기상청의 폭염특보 발령기준을 정리한 것이다.

〈표 3-1〉 기상청 폭염특보 기준

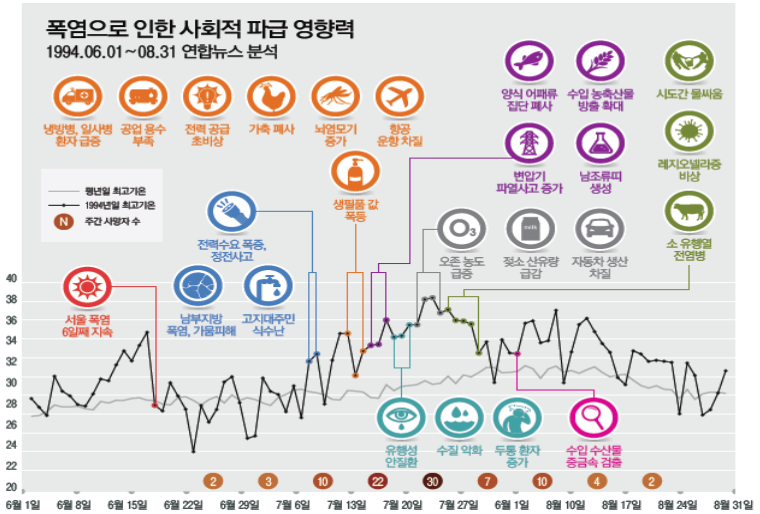
구분	발령기준
폭염주의보	일 최고기온이 33℃ 이상 2일 연속 지속될 것으로 예측될 때
폭염경보	일 최고기온이 35℃ 이상 2일 연속 지속될 것으로 예측될 때

자료: 기상청(2007).

이러한 폭염특보 기준의 설정 과정을 보면, 먼저 서울 1994년부터 2004년의 자료를 바탕으로 첫째 열대야 기준(일 최저기온 25도 이상), 둘째 일 평균기온 기준의 95% 수준, 셋째 일 최고기온의 95% 수준, 이 세 가지 중에서 1994년 서울 여름철을 대상으로 일별 사망자수와 비교하여 민감도 및 정확도가 가장 높은 일 최고기온의 95% 수준으로 설정하였다. 그리고 이를 활용한 폭염특보는 일 최고기온의 95% 수준 이상에서 평균적인 일 사망자수가 50% 이상 증가하는 기온수준을 폭염주의보로, 일 사망자수가 100% 이상 증가하는 기온 수준을 폭염경보 기준으로 설정한 것으로 설명하고 있다(기상청, 2007).

나. 폭염 영향

폭염이 미치는 영향은 개인의 건강뿐 아니라 다양한 산업에 영향을 미치고, 이는 사회·경제적 영향 및 피해로 이어질 수 있다. 실제로 폭염 발생으로 인한 일반적인 영향 사례는 여름철 더위로 인한 에어컨 보급 증가와 이로 인한 전력위기로 공공기관의 냉방 제한, 해역 주변의 수온 증가로 인한 연안 양식생물의 대량 폐사, 새로운 아열대 생물(검은말벌 등)의 확산, 폭염으로 인한 가축 폐사, 온열 질환자의 발생 등 다양하게 언급될 수 있다. 〈그림 3-1〉은 1994년 여름(6.1~8.31)에 보도되었던 뉴스기사를 분석, 폭염 발생 시의 사회적 파급효과를 보여주고 있다. 온열환자 등 인명피해, 노동력 및 효율저하를 유발하는 간접적 건강영향, 전력수요 폭증에 따른 정전사고, 가축 폐사 및 농식품 수확 급감 등의 농축산물 직접적 피해 급증 등 그 피해가 사회 전반으로 확산되었고, 이로 인한 경제적 파급효과 역시 컸다는 것을 알 수 있다(국립재난안전연구원, 2014).



자료: 국립재난안전연구원(2014).

〈그림 3-1〉 폭염으로 인한 사회적 파급 사례

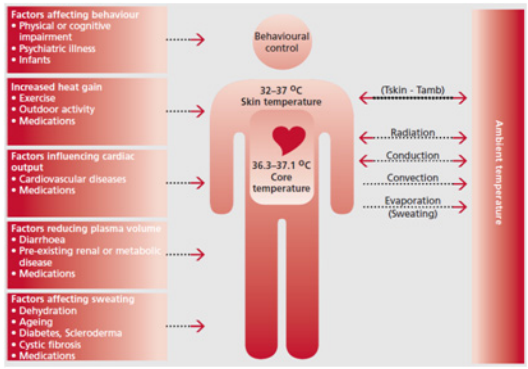
본 연구에서는 폭염이 미치는 영향을 폭염에의 노출로 인한 직접적 건강영향, 환경질의 변화, 사회기반시설 및 기타 산업에의 영향으로 구분하여 살펴보고자 한다. 이처럼 제 분야에 걸쳐 나타나는 폭염 영향을 고찰하는 것은 건강영향을 중심으로 수립된 현재의 폭염 대책을 보완하는 데 있어 필수적인 과정이며, 보다 포괄적으로 폭염 취약성(또는 피해)을 정의함으로써 제 분야의 국가기후변화적응대책 중 폭염과 관련된 대책을 선별하고, 나아가 중장기적으로 사전예방적 차원의 다양한 분야 대책을 포괄(또는 통합)해 나가기 위함이다.

1) 인체 건강 영향

폭염으로 인한 영향으로 가장 많이 언급될 수 있는 사항은 폭염 노출로 인한 인체의 건강영향이 될 수 있다.

일차적으로는 햇볕에 의한 피부 화상 및 자외선에 의한 피부 노화 촉진, 열경련, 일사병, 열에 의한 피로, 뇌일혈, 냉방병 등 보통 습도에서 25℃ 이상이면 무더위를 느끼고

이로 인한 병이 발생할 가능성이 있는 것으로 보고되고 있다(왕순주, 2004). 실제로 질병관리본부(2012)에서는 폭염이 지속되면 우리 몸의 항상성 유지를 위한 체열조절 능력이 감소하여 열경련, 열부종, 열실신, 열탈진, 열사병, 일사병 등과 같은 고온 관련 질병이 발생할 수도 있다고 언급하고 있다(그림 3-2).



자료: WHO(2008).

〈그림 3-2〉 폭염의 건강영향 메커니즘

이러한 폭염의 건강영향은 IPCC 제3차 평가보고서 승인 이후 관련 연구가 활발히 진행되었다. 북아메리카, 유럽 및 동아시아에서 폭염과 사망률의 양의 상관관계에 대한 연구가 보고되었다(IPCC, 2007에서 재인용).

우리나라의 경우를 보면, 2003년 환경부 보고서에서 기온이 30~32℃일 때 사망자가 급격히 증가하며, 36℃가 되면 30℃일 때 보다 50%가 증가한다고 한다. 특히 고령자, 노약자 및 어린이 등은 체력적으로 적응이 힘들기 때문에 상대적으로 피해가 더 크며 사망률이 증가하게 된다. 또한 불면증, 불쾌감, 피로감 증대 및 탈진 등의 증상이 발생하여 실제 보고되는 피해보다 시민의 불편이 커질 수 있다고 보고하고 있다(환경부, 2003).

더불어 김소연(2004)은 기상청 국립기상연구소의 보고서를 인용하여 1901~2008년 우리나라에서 발생한 기상재해로 인한 인명피해를 분석한 결과, 1994년 폭염 당시 사망자(3,384명)가 가장 많았고 모든 기상재해 중 폭염이 가장 큰 사망피해를 양산하는 것으로

조사되었음을 언급하였다. 특히 1994년 여름철 서울에서는 약 889명의 초과사망자가 발생하였고, 내분비 및 영양대사 질환으로 인한 사망자수가 43%, 순환기계통의 질환으로 인한 사망자가 30.5%, 호흡기계통 질환으로 인한 사망자수가 43.8% 증가한 것을 강조하였다.

하지만 여름철 더위로 인한 건강영향은 저평가되는 경향이 있다. 이는 폭염으로 인하여 기존 질환이 악화되거나 사망을 초래하더라도 진료 시 폭염 영향을 진단에 포함시키지 않아 사례확인에 어려움이 있으며(질병관리본부, 2012), 실제로 열사병(heat stroke)은 관상동맥 및 뇌혈전증 증상과 매우 유사한 것으로 보고되고 있다(WHO, 2003). 이러한 이유뿐 아니라 폭염으로 인한 건강영향의 인식부족 등은 실제로 발생하는 폭염 건강영향 정도를 과소 산출하게 하는 원인으로 언급되고 있다(Keatinge et al., 1986; Mirchandani et al., 1996).

폭염의 직접적인 건강영향뿐 아니라 이로 인한 간접적인 영향도 간과할 수 없다. Climate Council of Australia(2013)는 폭염으로 인한 노동생산성 및 효율 감소로 인한 경제적 손실을 폭염의 간접영향으로 정의하고, 이것이 앞으로 지역경제에 중요한 영향을 미칠 것이라 강조한 바 있다. 또한 Kjellstrom and McMichael(2013)은 2030년까지 폭염의 간접적 건강 영향으로 인한 경제적 손실이 전 세계적으로 1조 달러에 달할 것으로 전망하였다. 이 같은 폭염의 건강영향과 노동의 상관관계는 폭염 대책 수립 시 노동 및 고용 관련 이해당사자(주무부처)의 역할이 필요하다는 것을 시사한다.

2) 환경적 영향

기후변화는 사회 전반에 영향을 끼치는 것으로 보고되고 있는데, 장기적인 관점에서의 기온상승은 인간이 생활하고 있는 환경 전체를 변화시킬 수 있다(IPCC, 2007). 이 중 단기적인 관점에서의 폭염 발생은 대기 질의 변화를 가져온다. 대기 질은 대기 중 오염 정도에 따라 정의되기 때문에 대기온도와는 직접적인 관계가 없는 것처럼 보일 수 있다. 그러나 대기온도와 관련된 기상학적 조건들은 오염원의 농축, 용해 및 광화학적 반응에 영향을 주어 결과적으로 대기 질에 영향을 미치게 된다(Klinenberg, 2002; Fiore et

al., 2012). 문난경 외(2010)에서 기후변화에 따른 대기질의 영향을 분석한 결과, 지표면 기상변수 중 지표층에서의 일최고 평균기온, 일최저 평균기온, 평균기온 등이 대기 질에 큰 영향을 미치는 것으로 평가되어, 폭염 발생 시에는 대기 질에 미치는 영향이 적지 않을 것임을 알 수 있다. 특히 대기 질의 변화 중 건강에 미치는 영향이 큰 것은 오존 농도의 변화이다.

앞서서 OECD 2030 환경전망보고서(2008)에서는 대기오염이 건강에 미치는 영향에 관하여, 지표면 오존과 관련된 초과사망은 현재 대비 4배, 미세먼지 관련 초과사망은 2배 이상 증가할 것으로 전망한 바 있는데, 오존농도 증가가 건강에 미치는 영향이 크다는 것을 시사했다. 특히 일 최고 8시간 평균 오존농도는 건강에 큰 영향을 미치며, 높은 오존농도에서 장시간 노출될 경우 인체의 호흡기관과 면역기능이 약화되고 피부염이 발생할 수 있다.

덧붙여 이러한 오존농도 증가는 기온상승과 밀접한 관련이 있으며(Weaver et al., 2009; Ren et al., 2008; Filleul et al., 2006), 폭염 발생 시 대기 정체, 즉 배출된 오염원을 대기 중에 가두는 효과로 인해 지표 오존의 증가를 낳게 된다(Peterson et al., 2014). Emberson et al.(2013)은 2006년 폭염 발생 당시 영국 전역을 대상으로 폭염과 오존농도, 그리고 사망률의 관계를 분석한 결과, 일 최고 8시간 평균 오존농도가 10$\mu g/m^3$ 증가할 때마다 사망률이 0.3% 증가하는 것으로 나타났으며, 오존에의 노출로 인해 2/3 이상 건강위험(human health risks)이 증가했다고 평가하였다. 국내의 한 연구에서도 마찬가지로 기후변화로 인한 기온상승은 대기오염 물질의 광화학 반응에 기여하며, 대기 오염물질의 농도 증가는 여름철 초과사망에 기여할 수 있다는 평가를 한 바 있다(아주대학교, 2008). 결국 폭염의 발생은 대기 중 오존농도 증가를 야기하고 이는 기존 오존으로 인한 건강영향을 더 악화시킬 수도 있음을 시사한다.

3) 사회기반시설 영향

폭염 발생은 개인의 건강뿐 아니라 사회적으로도 영향을 미치는데, 폭염의 사회적 영향은 크게 전력수급에의 영향과 도로, 항만, 빌딩 등 각종 사회기반시설에의 영향으로 구분할 수 있다(UK Environment Agency, 2007).

먼저, 폭염일수의 증가로 냉방용 전력수요가 급증하여 일부 지역에서 대규모 정전사태를 초래할 수 있다. 이의 피해는 교통, 수송시설 운행 지연 및 사고로 이어질 수 있으며, 대형 사업장에는 막대한 손실을 안길 수 있다. 뿐만 아니라 이는 다시 폭염으로 인한 온열질환자의 발생 증가와 응급대처 지연으로 인한 사망률의 증가를 야기하는 등 건강 영향으로 환원될 수도 있다. 우리나라에서는 통상적으로 6월 말~9월 초를 하절기 전력수급 기간으로 지정하여 여름철 초과전력 수요에 대비한 전력공급의 관리가 이루어지고 있다. 하지만 최근 2011년과 같이 9월 중순 이후에 늦더위가 찾아오는 경우에는 예비 전력이 충분하지 못한 상태에서 전력수요가 한꺼번에 몰려 서울 시내, 수도권 등 기타 지역 도심과 농촌 지역 곳곳에서 정전 사태가 발생할 수 있다(그림 3-3).

자료: 뉴데일리(2011.09.15).

〈그림 3-3〉 대규모 정전으로 인한 교통혼잡 사례

당시 대규모 정전사태가 일어나면서부터 블랙아웃(black out)이라는 용어가 널리 사용되기 시작했는데, 단순히 몇 시간 혹은 며칠 동안의 정전사태는 사회 전반적인 시스템의 작동을 방해함으로써 그 파급효과가 막대하며, 특히 전력소비 비율이 높은 우리나라는 그 피해규모가 클 수 있다(박민규, 박무종, 2012).

다음으로 폭염 발생(강수량 및 기온의 변동폭 증가)은 사회·경제 활동의 근간이 되는 도로, 항만, 빌딩 등 주요 사회기반시설에 영향을 준다. 현재까지 폭염이 사회기반시설에 미치는 기능적·환경적·경제적 영향평가의 기준이나 실제적인 방법론이 미흡한 것은 사실이나, 이미 호주 등 폭염으로 인한 피해가 빈번한 국가에서는 사회기반시설에 미치는 영향과 이것이 다시 건강영향으로 환원되는 것에 관한 사례들을 많이 찾아볼 수 있다(Government of Victoria, 2009; NCCARF, 2010). 특히 도로 표면의 손상과 열차 철로의 버클링 현상 및 지중선로 고장 등과 이에 따른 수송 지연 등은 폭염 피해의 대표적인 사례로 꼽힌다(그림 3-4). 이로 인해 유지 및 보수비용이 증가할 뿐 아니라(UK Defra, 2012), 철로 및 도로의 손상이 응급처치의 지연이나 비즈니스 생산성 저하를 초래할 수 있다(Maunsell Australia, 2008).

자료: 경상일보(2013.08.08).

자료: 에코타임스(2012.08.08).

〈그림 3-4〉 폭염으로 인한 도로(좌) 및 철로(우) 손상 사례

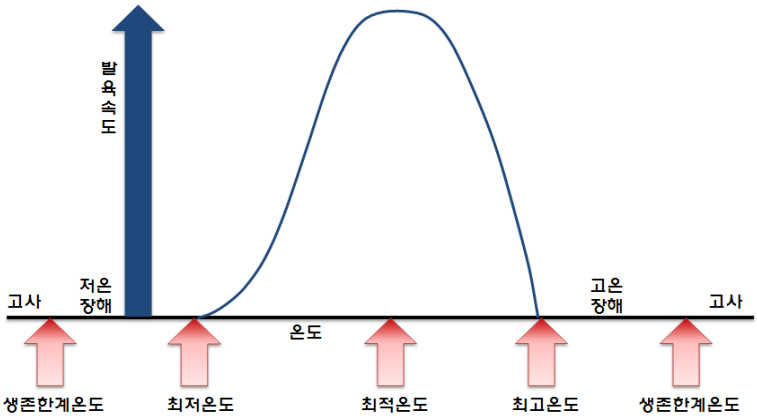
또한 반복적·지속적 혹한이나 폭염, 이상기온 등은 구조물 재료의 열화 현상을 가속시켜 이상반응을 유도한다. 이는 건물에 균열을 만들고 주요 시설의 오작동 또는 시스템 손상 등을 초래하여 건설관련 안전사고 및 건설품질 등에 있어 위협이 되고 있다(GIT4CC, 2014).

4) 기타(산업) 영향

폭염 발생은 국내 농업, 축산업 및 수산업 등 1차 산업에 영향을 미치며 산림 및 임업 생산량에도 영향을 준다.

가) 농업

먼저, 농업의 경우 작물의 생존한계온도를 넘어선 고온이 지속될 때 작물생산성에 영향을 미친다. 〈그림 3-5〉는 작물의 발육속도와 온도의 관계를 나타낸 것으로, 극단적인 저온이나 고온과 같이 생존한계온도를 넘게 되면 작물이 고사할 위험이 있으며, 역치온도를 넘는 경우 수량급감 및 품질저하 우려가 있다(김창길 외, 2012; USDA, 2012).



자료: 이수재 외(2013)에서 재구성.

〈그림 3-5〉 작물의 발육속도와 온도의 관계

또한 고온이 지속되는 환경에서는 병해충 발생, 감수분열 및 개화수정 불량 등으로 인해 수량감소나 품질저하로 이어지며, 이는 고스란히 농가 피해로 이어질 수 있다. 실제로 2004년 8월 상순 35℃ 이상 지속된 고온으로 경북 영양청송 지역 및 북제주군 등에서 병해충(역병, 탄저병, 덩굴마름병, 벼 도열병 등) 발생으로 일부 농가가 재파종을 하는 등 피해사례가 있었으며(소방방재청, 2009), 〈그림 3-6〉에서처럼 폭염 뒤 병해충 확산으로 인한 농가피해 사례는 매년 계속해서 이슈가 되어 왔다.

자료: KBS뉴스(2014.06.26).

자료: KBS뉴스(2012.07.20).

주: 1) 강원도, 고온 건조한 날씨가 지속되면서 병해충(밤나무 산누에나방)이 급속하게 번짐
2) "가뭄, 장마, 고온현상… 고추 병해충 확산 비상"

〈그림 3-6〉 폭염으로 인한 병해충 피해 사례

나) 축산업

축산업의 경우 가축이 생리적으로 허용할 수 있는 역치온도를 넘어선 고온이 지속되면 고온 스트레스를 겪게 되고, 이는 번식률, 증체량, 우유량 등 가축생산성의 저하로 이어지게 된다(UK Met Office Hadley Centre, 2010; Henry et al., 2012; USDA, 2012). 사육시설의 온도조절 능력의 정도에 따라 피해규모의 차이가 있을 수 있겠지만, 한계온도 이상의 고온 환경에서는 열사병, 일사병 등 각종 가축질병뿐 아니라 아열대성 질병 및 병해충의 발생 확률이 증가하여 가축폐사나 발육부진 및 번식장애 등을 초래할 수 있다(김진욱, 2005). 2013년 여름철 폭염으로 인해 경기, 인천, 충남, 전북, 경북 등 705개 농가에서 가축 약 200만 수가 폐사한 사례가 있었다(관계부처 합동, 2014)(그

림 3-7). 또한 폭염 및 열대야가 며칠 지속되는 가운데 과부하에 의한 정전으로 사육시설 내 에어쿨 가동이 중단되어 고온 스트레스를 받은 돼지가 폐사한 사례(2004년 7월 경남 함양군)를 통해 폭염으로 인한 에너지 및 수자원 공급 이상이 1차 산업에 피해를 가져다 줄 수 있음을 확인할 수 있다(소방방재청, 2009).

자료: 뉴시스(2013.08.12).

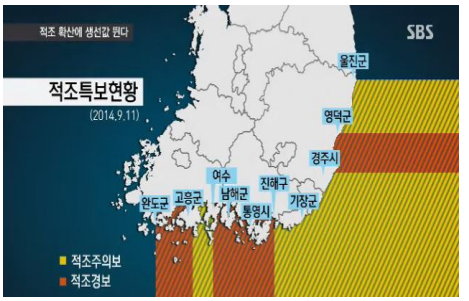
자료: 연합뉴스(2013.08.19).

주: 1) 전남, 닭·오리 폐사 처분
2) 전북 정읍의 어느 양계장. 내부 온도를 떨어뜨리기 위해 환풍기 및 안개 분무기 가동 중

〈그림 3-7〉 2013년 폭염으로 인한 가축 폐사 사례

다) 수산업

또한 수온상승이나 해류의 변화로 인한 염분량 급증, 양식장 적조발생 및 유해생물 증가 등은 수산업에 영향을 준다(정명생 외, 2007; FAO, 2008; Garcia and Rosenberg, 2010). 〈그림 3-8〉은 최근 2014년 9월 남해안 적조현상으로 인한 양식장 피해 사례를 보여준다. 국립수산과학원의 분석에 따르면, 이 같은 피해는 8월 말부터 비가 오지 않은 채 일사량이 급격히 증가했기 때문이며, 양식어류 폐사 증가로 생선가격에 영향이 있을 것이라는 전망도 제기된 바 있다(SBS 뉴스, 2014.09.11).



자료: SBS뉴스(2014.09.11).

〈그림 3-8〉 2014년 고온으로 인한 적조 확산 및 양식장 피해 사례

라) 임업

한편, 폭염 발생 시 수목의 스트레스 증가로 인해 개체목 고사율이 증가하거나 임업생산성이 감소하는 피해가 발생할 수 있다(NCADAC, 2013). 국내 산림의 피해규모는 비록 적지만 가로수조림수 등이 산림이 고사하는 사례가 있었다(연합뉴스, 2012.08.21, 그림 3-9 참조). 국외에서는 특히 호주미국에서 폭염 발생 시 고온건조한 기후로 인해 산불이 발생하는 경우가 적지 않았으며(Williams et al., 2010; Westerling et al., 2011), 특히 2014년 1월 호주 주요 지역에서는 40℃를 넘는 이른바 '살인폭염'이 일주일 가까이 지속되면서 100건 이상의 산불이 발생하는 피해가 있었다(그림 3-9).

자료: 연합뉴스(2012.08.21).

자료: 연합뉴스(2014.01.17).

〈그림 3-9〉 폭염으로 인한 국내 가로수 고사(좌) 및 호주 산불 피해(우) 사례

정리하면, 폭염과 같이 고온 환경이 지속되는 경우 1차 산업의 생산량 감소를 초래하며, 이는 해당 산업 종사자에게 경제적인 피해를 가져다 줄 수 있다. 나아가 농축산물 등의 생산성 저하로 인한 수급차질은 가격인상이나 지역사회 주민의 생활에 불편을 초래할 수 있어 1차 산업의 폭염 대응을 강화할 필요가 있음을 시사한다.

다. 시사점

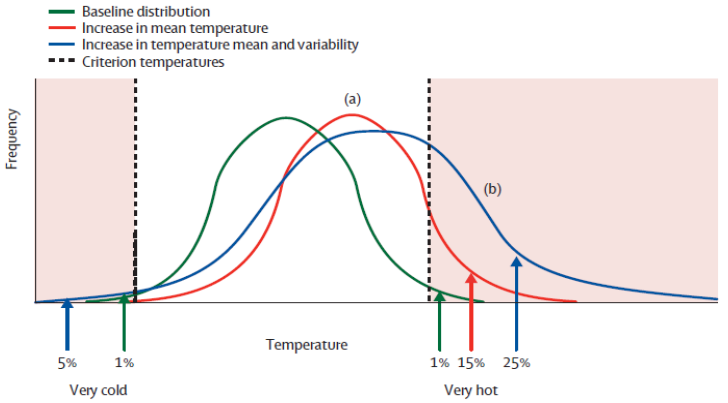
지금까지의 내용을 보면, 폭염은 개인의 건강상 위협뿐 아니라 대기 질 등의 환경적 변화를 가져오고 주요 사회기반시설에 손상을 주는 등 그 사회·경제적 파급효과가 크다고 볼 수 있다. 정리하면, 폭염은 직접적으로 건강에 악영향을 끼칠 뿐만 아니라, 폭염으로 인해 오존과 같은 대기오염물질의 광화학 반응에 기여하고, 나아가 대기오염물질로 인해 개인의 건강위험을 높이는 결과로 이어진다. 또한 주요 사회기반시설 손상으로 인한 피해는 에너지, 산업 부문으로 광범위하게 이전되며, 응급처치 지연 등으로 인해 개인의 건강 영향으로도 환원된다. 마지막으로 농업, 축산업, 수산업, 임업 등 주요 1차 산업의 피해로 인한 경제적 손실 등 사회·경제적 악영향을 끼친다.

다른 측면에서 본 연구의 목적과 연관시켜 지금까지 폭염의 개념 및 영향에 대한 것을 기후변화 폭염과 비교해 보고자 한다. 사실 본 연구는 기후변화 폭염에 대응하는 중장기적 적응대책을 수립하는 것이 목적이다. 따라서 기후변화 폭염에 대한 개념이 앞서 언급한 현재 수준의 폭염의 정의와 차이를 갖는다면, 기후변화 폭염의 영향, 나아가 그에 대응하는 대책수립에 있어서도 다른 접근이 필요할 수 있겠다.

본 연구에서는 기후변화와 폭염의 관계를 확인하는 것에서부터 기후변화 폭염의 개념을 정리하고자 한다.

먼저 하절기 폭염은 과거에도 있어 왔던 기상 현상으로, 하절기 이상고온 또는 열대야의 피해는 새로운 현상이 아니다. 그러나 최근 몇 년간 기후변화로 인해 폭염의 빈도 및 강도가 증가함에 따라 그 피해 또한 다양한 부문에 걸쳐 복합적으로 나타나고 있다는 것에 주목할 필요가 있다. IPCC(2007) WGII의 4차 평가보고서에서는 기후변화로 인해 미래 극한 기상현상의 강도 및 빈도는 증가할 것이라고 언급하였다. 일반적으로 기후변화는

해당 지역의 기상변화를 가져오는데, 대부분이 기온상승을 야기해 해당 지역의 일별 기온분포의 평균적인 증가 또는 평균 및 분산의 증가를 가져오게 된다. 그리고 이러한 일별 기온 분포의 변화는 폭염 발생 빈도의 증가를 가져올 수 있다(그림 3-10).



자료: McMichael et al.(2006).

〈그림 3-10〉 기후변화로 인한 미래 일별 기온 값의 분포 변화

특히 기상청(2012)은 기후변화로 인한 폭염 현상의 심화를 제기하고 있다. 신(新) 기후변화 시나리오(RCP)에 의하면, 기후변화 속도가 이전 예상보다 빠를 것으로 전망됨에 따라 2050년 폭염은 현재보다 약 3배, 열대야는 약 6배[2] 증가할 것으로 예측하였으며, 지속적으로 고온현상이 증가할 것이라고 언급한 바 있다. 더불어 폭염 현상은 통상적으로 찾아오던 하절기를 한 달가량 앞당겨 나타날 수 있으며, 이로 인해 그 피해는 더욱 커질 수도 있다.

위의 내용을 근거로 본 연구에서의 기후변화 폭염은 현재의 폭염 기준에 기후변화로 인한 폭염의 발생 빈도 및 강도가 증가하는 것 또는 현상으로 정의하고자 한다. 이러한 기후변화 폭염에 대한 개념적 접근에서는 현재 발생하는 폭염의 피해와 규모를 고려해 함을 시사하며, 단기적 대책보다는 미래 중장기적 대책, 나아가 다양한 부문에 걸쳐 나타나는 폭염 피해에 대응해 포괄적인 접근이 요구된다고 볼 수 있다.

요약 정리하면, 기후변화 폭염 대응 중장기적 적응대책의 수립은 현재 발생하는 폭염의

2) 21세기 후반 폭염 일수는 연간 10.1일에서 22.1~40.4일, 열대야 일수는 3.8일에서 22.1~52.1일로 크게 증가하고, 아열대기후에 속하게 될 것이라 전망함(기상청, 2012)

피해를 근거로 지역사회 주민의 건강과 복지라는 궁극적인 목표를 두고 중장기적 측면의 범분야적(cross-sectoral) 접근방식이 필요하며, 지속적으로 수정·보완해 나아가야 함을 시사한다.

2. 국내·외 폭염 대책 현황

우리나라의 국가 수준 폭염대책은 중앙재난안전대책본부 폭염대응종합대책의 단기대책과 기후변화를 고려한 국가기후변화적응대책 내의 폭염 관련 대책들로 구분해 정리할 수 있다.

해외 주요국에서도 폭염으로 인한 영향에 주목하고 있으며, 이에 국가적인 차원에서 대책을 수립·시행하고 있다. 많은 경우에 폭염경보시스템을 개발하고 있으며, 이러한 폭염경보시스템에 근거하여 단계별 중앙부처 및 관계기관의 행동요령을 정하고 있다. 무엇보다도 최근 기후변화의 중요성이 인식되면서 기후변화적응대책에서 폭염에 대한 대책을 마련하고 있다. 여기에서는 영국, 호주, 캐나다 및 프랑스에서의 폭염대책 및 기후변화적응대책 내의 폭염 관련 대책 현황을 조사·정리하였다.

가. 우리나라

1) 폭염대응종합대책

중앙재난안전대책본부는 소방방재청을 중심으로 폭염상황관리체계를 확립하고 폭염피해 예방 및 신속한 대응을 위해 2005년 이후 매년 5월에 1년 단위로 폭염대응종합대책을 수립·추진하고 있다. 하지만 폭염대응종합대책은 폭염이 발생하는 매년 6월 1일부터 9월 30일까지 4개월간 운영하면서 폭염특보가 발령되는 시기에 운영되고 있는 것이 특징이다. 덧붙여서 이러한 폭염특보는 최고기온을 사용하여 국민건강 등에 미치는 영향 정도에 근거해서 폭염경보와 폭염주의보가 발령되는 특징이 있다.

기상청의 폭염특보에 따라 폭염대응종합대책은 각 기관별로 담당업무에 따라 수립·운영되는데, 매년 관계부처별 주요 추진사항들을 명시하고 있다. 폭염 대비 관계부처의 중점추진사항을 수행하는 부서는 교육부, 산업통상자원부, 보건복지부, 국토교통부, 환경부 등이다. 주로 보건복지부가 노약자, 홀로 사는 노인 등 응급환자 발생대비 응급진료체계를 구축하며, 독거노인 생활실태 파악 및 보호관리 시스템 구축, 폭염 예견 시 도우미 활용,

외출자제 등 행동요령 설명 및 건강상태 점검, 영유아 보호를 위해 보육시설 안전관리 매뉴얼 보급 및 보육시설 종사자 중심의 행동요령 교육 실시 등 고령자, 독거노인 등 취약계층 보호대책 실시를 중점적으로 진행하고 있다. 〈표 3-2〉는 2013년 폭염대응종합대책 부처별 주요 추진사항을 정리한 것이다.

〈표 3-2〉 2013년 폭염대응종합대책 부처별 주요 추진사항

구분	임무/역할
소방방재청	• 폭염종합대책 수립 총괄 및 폭염상황관리체계 운영 • 휴대폰 재난문자서비스 등 행동요령 홍보 • 폭염 대비 현장밀착형 응급구급체계 구축
방송통신위원회 미래창조과학부	• 폭염특보에 따른 지상파, 종합편성채널, 케이블 등 방송사 대국민 홍보방송 • 폭염으로 인한 전력수요 급증 및 정전사태 대비 절전 홍보
교육부	• 유치원, 초·중·고등학교 학생 폭염피해 예방 – 폭염특보 시 수업단축 및 휴교조치 방안 마련 등
국방부	• 폭염 대비 훈련지침 마련 등 군인 폭염피해 예방 – 시설물 저온대책 강구, 집단 식중독 사고 예방, 응급처치 교육 실시 등
문화체육관광부	• 폭염 대응 대국민 행동요령 홍보 • 폭염특보 시 대국민 행동요령 전광판 안내 및 홍보영상 상영
농림축산식품부 해양수산부	• 농·축·수산분야 피해예방 및 관리대책 강구 – 농작물 병해충 방제대책 및 양계장 등 폐사 예방대책 마련 – 육상양식장 등 피해 최소화 대책 수립·추진
산업통상자원부	• 하계 전력수급 안정대책 수립 • 폭염에 따른 안전사고 예방대책 마련 – 가스·정유시설 등 폭발 가능성이 있는 주요 시설 특별 점검
보건복지부	• 거동불편자, 노인 등 취약계층 보호대책 수립 • 폭염피해 감시체계 운영(전국 응급의료기관) • 폭염 취약계층 방문건강관리 프로그램 운영
환경부	• 여름철 음식물류 폐기물 위생관리 대책 수립
고용노동부	• 폭염취약사업장(건설, 옥외작업장 등) 근로자에 대한 건강관리대책 마련
국토교통부	• 폭염에 따른 시설물 안전대책 마련 – 기차·지하철·고속철 등 안전운행 수칙 등 • 폭염에 따른 물 사용량 증가 대비 안정적 수돗물 공급대책 마련
기상청	• 폭염특보 발표 및 기상감시·분석·상황 등 정보 전파 – 관계부처·지자체 담당자 폭염특보 문자서비스 등 • 폭염 관련 생활기상지수 등 대국민 기상정보 서비스
경찰청	• 폭염환자 응급처치요령 등 교육·홍보 • 우발적 범죄 예방을 위한 치안대책 추진

자료: 중앙재난안전대책본부(2013)에서 재구성.

폭염대응종합대책은 대책의 효율적·체계적 추진을 위한 공동대응협력체제가 구축되고 취약계층 관리 및 특별보호대책의 부처 간 연계 및 운영 강화를 목적으로 하고 있다. 이에 폭염업무 특성상 다수의 부처가 관련됨에 따라 수평적 연계·협조 강화를 위해 보건복지부 등 핵심 관계부처와 합동지침을 마련, 매년 폭염대응종합대책에 따른 부처별 주요 대책을 마련, 역할을 수행하는 것으로 명시하고 있다. 특히 지방으로는 지역재난안전대책본부에서 총괄하되, 지역 관련기관과 협조체제를 유지하는 것으로 되어 있다.

이러한 폭염대응종합대책의 평가와 관련하여 폭염예보제, 건강관리 지원체계 등을 포함한 폭염위기대응체계 구축은 상당부분 예방이 가능하다는 결과가 나타나고 있다. 그러나 이러한 결과는 해외사례를 바탕으로 하여 제시되고 있는 실정이며, 현재 우리나라의 경우 폭염피해에 대한 공식적인 통계는 발표되고 있지는 않는 실정이다. 또한 매년 발행되는 폭염대응종합대책에서는 전년도와 달라지는 기준·제도를 나타냄으로써 개선사항을 포함하고 있지만, 연간 내용에 있어서는 뚜렷한 차이점이 나타나고 있지는 않으며, 단기대책에 대한 집중 및 강화 정도로만 나타나고 있다. 이렇듯 폭염대응종합대책은 단기적 관점의 대책에 집중하고 있으며, 지역 특이성을 고려한 대책 수립에도 한계를 보이는 것으로 평가된다.

2) 국가기후변화적응대책(2011~15)

기후변화 적응을 통한 안전사회 구축 및 녹색성장 지원을 위한 국가기후변화적응대책은 「저탄소녹색성장기본법」 제48조 제4항 및 동법 시행령 제38조에 의해 관계부처와 협의하여 5년 단위 적응대책 수립·시행이 명시되어 있다. 이에 2011년 국가기후변화적응대책에 따라 중앙부처 세부시행계획(2011~15)이 마련되었으며, 폭염 관련 대책의 경우 주로 건강 부문에 집중되어 있으며 영향 부문별로도 세부과제가 제시되어 있다(표 3-3).

〈표 3-3〉 국가기후변화적응대책(2011~15) 건강 분야 폭염 관련 적응대책

분야	추진과제	세부과제	적응사업
건강	폭염 및 자외선 적응	폭염 및 자외선 건강영향 평가 및 감시체계 구축	• 폭염의 건강영향 감시 및 취약성 평가체계 구축
			• 고온건강경보시스템에 따른 질병감시체계 구축
			• 자외선의 건강영향평가 실시
		폭염 및 자외선 피해 저감대책 마련	• 노인 등 취약계층 집중 보호대책 수립 및 추진
			• 폭염 취약군 건강관리지침 및 폭염대응 매뉴얼 개발 보급
			• 폭염의 취약성을 고려한 건축물과 도시계획 모델 수립 연구
			• 폭염저감을 위한 도시생태 네트워크 개선 등 시범사업 추진
			• 자외선 피해 저감대책 마련

자료: 관계부처 합동(2011).

앞서 제2장에서 폭염 피해가 개인의 건강, 사회문제 야기 및 경제와 산업까지 악영향을 미칠 수 있음을 살펴보았으며, 이에 대한 사례로서 주된 영향인 건강영향, 환경 질의 변화, 그리고 사회기반시설의 영향에 대해서 정리하였다. 더불어 폭염으로 인한 취약계층은 건강영향 측면, 나아가 지역사회 주민의 복지 측면에서 생리적인 특성뿐만 아니라 거주환경, 지역사회 특성 등에 의해서도 나타날 수 있음을 언급하였다(Hess et al., 2012).

국내 국가기후변화적응대책의 폭염 관련한 대책에 대해 건강 분야를 포함한 재난/재해, 농업, 산림, 물관리, 기후변화 감시 및 예측, 적응산업/에너지, 그리고 교육·홍보 및 국제협력과 관련한 추진과제를 정리하면 〈표 3-4〉와 같다. 〈표 3-4〉의 분야 및 추진과제는 적응사업 및 적응 세부과제에 대한 폭염 관련성을 정성적으로 평가하여 폭염 관련 대책으로 포괄할 수 있는 분야로 선정한 것이다.

〈표 3-4〉 국가기후변화적응대책(2011~15) 폭염 관련 포괄적 대책

분야별	추진과제
Ⅰ. 건강	Ⅰ-1. 폭염 및 자외선 적응
	Ⅰ-2. 기상재해 적응
	Ⅰ-4. 대기오염 및 화학물질 적응
Ⅱ. 재난/재해	Ⅱ-1. 방재체계
	Ⅱ-3. 사회기반시설
Ⅲ. 농업	Ⅲ-1. 기후친화형 농축산업 육성
	Ⅲ-2. 농축산업 피해방지대책
Ⅳ. 산림	Ⅳ-3. 산림피해방지 대책
Ⅵ. 물관리	Ⅵ-1. 영향 및 취약성 평가
	Ⅵ-2. 홍수 및 가뭄 대책
	Ⅵ-3. 수질 및 수 생태관리 대책
Ⅷ. 기후변화 감시 및 예측	Ⅷ-1. 기후변화 현상 감시
	Ⅷ-2. 예측자료 생산
	Ⅷ-3. 한국형 예측모델 개발
	Ⅷ-4. 감시예측정보활용체계 구축
Ⅸ. 적응산업/에너지	Ⅸ-1. 영향 및 취약성 평가
	Ⅸ-2. 기후변화 위기관리 및 기회 활용
Ⅹ. 교육·홍보 및 국제협력	Ⅹ-1. 교육·홍보 및 기반구축

자료: 관계부처 합동(2011).

중앙재난안전대책본부에서 매년 발표하는 폭염대응종합대책은 국가 주도의 폭염대책으로 폭염특보가 발령되는 시점에 운영되는 단기적인 대응책임을 확인할 수 있다. 더불어 국가가 주도함으로써 지방자치단체에서는 그 지역 특성을 살리지 못하고 있는 단점도 확인할 수 있다. 반면에 이번에 정리한 국가기후변화적응대책(2011~15) 중에서 폭염을 직접적으로 명시한 것은 건강 분야에 한정되어 있고, 폭염 피해 및 폭염으로 인한 취약계층의 발생요인을 고려하는 경우 다른 분야에도 포괄적 의미의 폭염대책이 포함되어 있지만 각 분야별로 개별적으로 관리되고 있음을 확인할 수 있다.

나. 영국

1) 국가폭염계획

영국의 폭염 대책은 2003년 유럽을 강타한 폭염을 계기로 이듬해 보건부(Department of Health, DoH)와 국민건강보험공단(National Health Service, NHS)에서 발간한 '폭염 및 이상고온으로부터의 건강보호(Protecting health and Reducing harm from extreme heat and heatwaves)'라는 보고서를 토대로 이루어져 왔다.

2004년에는 기상청(UK Met Office), 보건보호청(Health Protection Agency, HPA), 국민건강보험공단(NHS)이 공동으로 '영국의 폭염계획(Heatwave Plan for England)'을 발표하였으며, 이후 매년 폭염계획을 발표하고 있다. 주요 내용에는 폭염특보제(열-건강경보서비스, Heat-Health Alert Service, HHAS)의 운영이 있다.

열-건강경보서비스(HHAS)는 기상청에서 설정한 지역별 역치온도(threshold temperature)를 사용해 경보의 기준을 마련하고 있다(표 3-5). 2004년 이후 매년 6월 1일부터 9월 15일까지 운영되며, 현재 다섯 가지 단계(단계 0~4)로 구분하고 있다.

〈표 3-5〉 영국의 열-건강경보시스템 지역별 폭염특보 발령 기준

NSWWS 지역	낮(Day)	밤(Night)
London	32	18
South East	31	16
South West	30	15
Eastern	30	15
West Midlands	30	15
East Midlands	30	15
North West	30	15
Yorkshire and Humber	29	15
North East	28	15

자료: 영국 기상청 홈페이지(2013, http://www.metoffice.gov.uk/learning/learn-about-the-weather/weather-phenomena/heatwave [2014.6.1]).

2013년 폭염 계획에 수록된 열-건강경보서비스(HHAS)의 주요 특징 중 한 가지는 이해관계자를 세 그룹으로 구분하여 폭염경보 단계마다 행동요령을 제시하였다는 점이다. 이해관계자 그룹은 ① 보건의료위원회(Health Care Commission) 및 지자체 보건담당자, ② 병원, 양로원 등 지역사회 복지서비스 제공자, ③ 지역사회 내 자발적 그룹 및 개인으로 구분되며, 주요 지침사항은 〈표 3-6〉과 같다.

〈표 3-6〉 열-건강경보서비스의 이해관계자 그룹별 주요 지침사항

구분	성격	주요 지침사항
보건의료위원회 및 지자체 보건담당자	정책결정자	• 지역 상황을 적절하게 고려한 적응 계획 수립 • 파트너 기관과의 협력 • 미디어를 활용한 홍보
지역사회 사회복지서비스 제공자	실무자	• 건강위험이 높은 사람을 파악하여 사전예방 및 방문 서비스 제공 • 병원, 양로원 등의 실내온도 조절 및 방문객 관리
지역사회 내 자발적 그룹 및 개인	개인	• 지역사회 규모의 응급처치계획 수립 및 숙지 • 뉴스를 통한 기상정보 확인

자료: PHE(2013)에서 재구성.

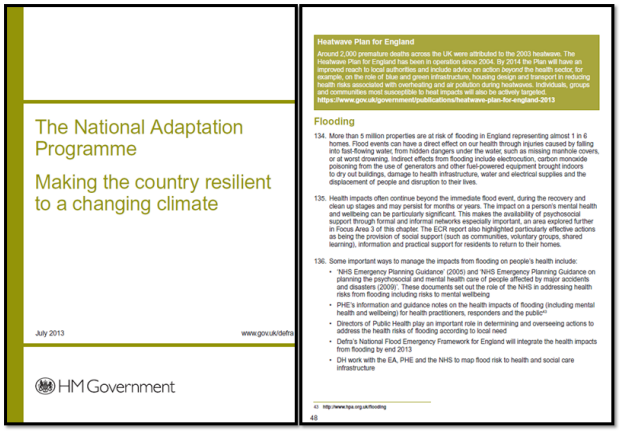
또한 최근 영국 폭염계획(PHE, 2013)에서는 2012년 기후변화 리스크평가(UK Climate Change Risk Assessment, CCRA) 결과를 인용하면서 미래 폭염 증가에 따른 리스크 증가로 인해 중장기 전략의 수립이 필수적이라고 밝히고 있다. 중장기 전략 수립을 위해서는 단순히 건강 부문뿐 아니라 폭염에의 노출로부터 주요 사회기반시설 및 국민을 보호하기 위해 도시계획, 에너지, 교통정책 등 관련 제 분야의 기관들 간 협조가 필요하다고 제안한 바 있다(PHE, 2013).

2) 국가적응프로그램

영국에서는 2008년 11월 세계 최초로 기후변화법(Climate Change Bill)을 제정하였다. 이 법은 기후변화 관련 정책의 효과적 수행 및 관리를 위한 법적 체계로서, 세계 최초로 완화와 적응을 포괄하는 기본법으로서의 의의를 갖는 것으로 평가받고 있다. 기후변화위험

평가(CCRA) 및 적응프로그램의 수립, 민간 부문의 이행 및 정기적인 보고를 의무화하고 있으며, 이 법안을 기초로 2013년 8월 국가적응프로그램(National Adaptation Programme, NAP)이 개발되었다.

영국의 국가적응프로그램은 총괄부서인 환경식품농무부(Defra)를 중심으로 분야별 기후변화 적응 목표, 정책 및 실천전략을 그 내용으로 하며, 2013년 최초 수립 이후 매 5년마다 갱신하는 것으로 계획되어 있다. 국가적응프로그램은 미래 기후변화가 가져올 리스크를 다루고 기회를 만들기 위한 정책 및 전략을 담고 있다(그림 3-11).



자료: HM Government(2013).

〈그림 3-11〉 영국의 국가적응프로그램(National Adaptation Programme)

구체적으로 국가적응프로그램의 제4장 '건강하고 회복력 있는 지역사회'에서 영국의 기후변화 적응 차원에서의 폭염에 관한 내용을 담고 있다. 이 장에서는 극단적 고온현상으로 인한 건강 피해를 강조하는 동시에, '영국의 폭염계획(Heatwave Plan for England)'을 보다 장기적인 시각에서 수립할 필요성을 제안하고 있다. 특히 2014년부터는 폭염 계획에 인프라, 주택설계, 수송, 대기오염, 특정 취약계층 등에 대한 고려를 포함하여 포괄적인 대응전략을 수립할 계획을 밝혔다.

다. 호주

1) 주정부별 폭염계획

호주는 연방정부 차원의 국가 폭염대응계획은 없으며, 5개 주정부에서 자체적으로 폭염계획을 수립하고 있다. 2011년 국가 차원의 프레임워크를 마련하였으며, 이 프레임워크는 기존 주정부 및 지역 측면에서의 시스템을 바탕으로 주정부와 사회단체 사이의 협력 촉진을 통한 모범사례 공유와 식별된 격차를 고려하도록 제시하고 있다. 더불어 주정부별 폭염대응계획 수립 시 활용토록 하기 위해 심각하고 극단적인 폭염에 대한 국가적 프레임의 주요 원칙 다섯 가지(표 3-7)를 제시하고, 계획, 예방, 대비, 대응 및 복구를 통한 주정부와 지역사회를 위한 지침을 제시하고 있다.

〈표 3-7〉 호주의 폭염 대응 계획 수립 시 국가 프레임워크 주요 원칙

원칙	주요 내용
1	Prioritise individuals, communities and locations most at risk(위험 우선순위)
2	Recognise regional differences and circumstances, and harness the actual and latent capacity of social networks and local institutions (지역적 차이와 상황 인식, 사회적 네트워크와 지역 기관의 실제적 그리고 잠재적 능력 협조)
3	Recognise interdependencies between planning, prevention, preparedness, response and recovery (계획, 예방, 대비, 대응 및 복구 사이의 상호의존성 인식)
4	Enable a response that is integrated (using appropriate segments of the community and levels of government) and scalable (recognising that the impacts of heat can be severe and extreme) (통합 및 확장 대응 가능)
5	Be affordable and achievable (실현 가능성)

자료: PwC(2011)에서 재구성.

더불어 폭염으로 인한 영향은 건강, 경제, 사회적 측면뿐만 아니라 직·간접적으로 파괴적 영향의 범위를 갖는다고 제시하고 있으며, 이에 대한 가장 취약한 계층은 나이, 성별, 기존의 동반 질환 등 개인의 생리적 요인으로 인한 범위와 지리적 위치, 에어컨의 유무, 실외 노출과 밀폐공간 등 상황요인에 따라 나눌 수 있다고 제안하고 있다.

호주의 주정부별 폭염대응계획을 살펴보면, 폭염 경고단계 및 예보기간의 경우 관할권에 따라 다르게 설정되어 있으며, 대응의 대부분은 재난관리 차원에서 단기적인 폭염 대응에

초점을 맞추고 있다(표 3-8). 현재 중장기적 대응 계획에 대해서는 그 필요성에 대해서 언급하고 있는 실정이다(PwC, 2011).

〈표 3-8〉 호주의 주정부별 폭염 대응계획

관할권 (Jurisdiction)	계획 (Name of plan)	범위 (Broader context)	담당기관 (Responsible agency)
뉴사우스웨일tm New South Wales	Heatwave sub-plan (under development)	뉴사우스웨일스 주 재난계획의 하위계획	해당 없음
퀸즈랜드 Queensland	Heatwave Response Plan	퀸즈랜드 주 재난계획의 하위계획	• 퀸즈랜드 보건부 • 관련 기관의 개별적인 폭염 대응책 마련 및 운영 촉구
남호주 South Australia	Extreme Heat Plan	남호주 주 응급관리계획의 하위계획	• 남호주 응급의료서비스센터 • 관련 기관의 개별적인 폭염 대응책 마련 및 운영 촉구
빅토리아 Victoria	Heatwave Plan for Victoria	빅토리아 주 응급관리 매뉴얼 보완계획	• 빅토리아 보건부 • 관련 기관의 개별적인 폭염 대응책 마련 및 운영 촉구
서호주 Western Australia	Operational Directive on heatwave policy	해당 없음	• 서호주 보건국

자료: PwC(2011)에서 재구성.

특히 2011년에 연방정부에서 발간한 보고서 '폭염 발생 시 건강 및 안전의 보장: 국가 프레임워크(Protecting human health and safety during severe and extreme heat events: A national framework)'에서는 심각한 폭염 발생으로 인한 미래 위험관리 기반으로 '고온 노출의 감소'와 '고온의 영향 관리'에 대한 우선분야를 제시하고 있다(표 3-9). 이 보고서에서는 폭염으로 인해 나타날 수 있는 영향 분야에 대해 개인과 사회의 위험 노출을 감소하기 위한 측면을 설명하고 있는데, 그린루프, 건물의 단열, 녹지공간 개발과

조경 등을 통한 도시열섬 효과 감소 등 중장기적 관점에서 환경적· 개인적으로 이점이 발생되는 부분이 특징적인 것으로 확인되었다.

〈표 3-9〉 폭염 대응 주요 저감 분야 및 우선 분야

주요 저감 분야 (Key mitigation areas)	우선 분야 (Priority areas)
고온에의 노출 감소 (Decrease exposure to high temperatures)	• 건축물(Buildings) • 도시생태 및 계획(Urban ecology and planning) • 교통체계(Transport) • 쿨링 센터로의 접근도 향상(Improving access to cooling) • 전기에너지 지원(Electricity)
고온에의 영향 관리 (Manage the impacts of high temperatures)	• 교육(Education) • 대응능력의 배양(Maintaining responder capacity) • 지역사회에서의 대응(Community response)

자료: PwC(2011)에서 재구성.

2) 국가기후변화적응체계

호주의 주요 기후영향은 강수량의 감소와 증발량의 증가, 해수면 상승 및 해안범람, 폭염, 가뭄, 홍수 등이 보고되고 있으며, 이에 따른 문제로는 수자원 스트레스, 생물다양성 감소, 기반시설 위험이 증가되는 현상 등이 보고되고 있다(Commonwealth of Australia, 2007). 이러한 사회 전반적인 문제로 인해 부문 및 지역별 취약성 감소를 위한 적응방안 수립을 위해 노력을 하고 있는 것으로 평가된다.

호주는 국가면적이 상대적으로 크고 이로 인해 기후변화로 인한 영향이 각 지역에 따라 다르게 나타나는 것으로 보고되고 있다. 이에 연계하여 기후변화 및 에너지 효율부(Department of Climate Change and Energy Efficiency, 이하 DCCEF)는 2010년 “호주의 기후변화 적응(Adapting to climate change in Australia)”이라는 보고서를 통해 국가기후변화 적응대책 프레임을 제안하였으며, 나아가 각 지자체는 이러한 프레임을 참고하여 지역의 조건에 맞는 적응대책을 수립하고 있다(AUS DCCEF, 2010).

호주의 국가기후변화적응체계는 기후변화 영향을 감소시키고 기회로 실현하기 위해

장기적인 목표를 제시하며, 나아가 중기적(5~7년)적으로 기후변화의 영향을 다루면서, 주요 부문 및 지역사회의 취약성을 줄이기 위한 능력 구축에 세부 목표를 세우고 있다(Commonwealth of Australia, 2007). 국가기후변화적응체계의 주요 부문을 살펴보면, 수자원, 해안지역, 생물다양성, 농림수산업, 건강, 관광, 인간정주·사회기반시설 및 계획, 자연재해관리 8개 핵심으로 구성되어 있다.

국가기후변화적응체계에서 폭염에 따른 대책은 주로 건강 분야를 다루고 있다(Commonwealth of Australia, 2007). 이 체계에서는 기후변화로 인한 폭염 건강 위험 증가 추세를 명시하고, 건강영향 지역 및 계층적(사회경제적) 차이를 고려한 폭염 경보 및 대응시스템 이행과 발전을 강조하고 있다. 호주의 국가기후변화적응체계 내 건강 분야 주요 대책과 대책기간은 〈표 3-10〉과 같다.

〈표 3-10〉 호주 국가기후변화적응체계의 건강 부문 대책(안)

건강 부문 대책(안)	대책기간
• 국가기후변화건강계획(National Action Plan on Climate Change and Health) 수립 예정(호주 보건부 장관급 회의에서 결정), 주요 내용은 다음과 같음 – 신체적·정신적 건강에 대한 기후변화 영향 연구 및 주요 취약성 파악 – 응급의료서비스, 건강재해 관리정책 등을 포함한 보건시스템의 역량 파악 – 지역사회 및 보건교육 프로그램에 기후변화의 건강영향 반영	3년
• 폭염 경보 및 대응 시스템 개발 및 구현	3년
• 기후변화와 건강에 대한 연구 초점을 증가하기 위한 국민 건강과 의학연구위원회	5년 이상

자료: Commonwealth of Australia(2007)에서 재구성.

라. 캐나다

1) 연방정부 차원의 폭염 대응 현황

캐나다는 연방정부 차원에서 세부적인 사업을 추진하고 도시별 고온경보 및 대응시스템(Heat Alert and Response Systems to Protect Health, 이하 HARS)의 개발과 점진적인 확대를 추진하고 있는 것으로 확인되었다. 현재 8개 대도시에서 고온경보 및 대응시스템을

수립·운영하고 있으며, 2011년에는 폭염으로 인한 건강위험 관리 툴킷 제작 및 배포 사업을 통해 폭염에 대응하는 단기 및 중장기 전략을 제시하고 있다(Health Canada, 2011).

캐나다 보건부(Health Canada)에서는 폭염대응 프로그램(Extreme Heat Events Program)을 마련하고 있는데, 이는 극단적 열 위험에 대한 공공 및 의료인을 위해 브로셔, 정보, 도구, 관련 자료 제공을 목적으로 한다. 수행한 세부사업의 결과물로서 기후변화와 건강영향에 대한 폭염 관련 적응도구(또는 가이드라인)로 '고온건강 설명서(Heat-Health Brochures)' 및 '이상고온에 대한 가이드라인(Extreme Heat Events Guidelines)' 등이 있다. 고온건강 설명서는 폭염의 위험, 폭염 취약계층으로서 영유아 및 어린이 대상의 응급상황 대처와 예방법, 그리고 폭염기간 동안 활동의 위험성에 대한 내용을 담고 있으며, 이상고온에 대한 가이드라인은 의료인 및 보건관리자가 폭염에 대한 인식과 예방법에 대한 교육 및 홍보활동 시 필요한 정보를 담고 있다.

캐나다 보건부(Health Canada)의 또 다른 세부사업 결과물인 고온경보 및 대응 시스템(HARS)은 고온의 건강영향에 대해 고온현상의 기간과 강도, 더운 계절에 고온현상이 발생할 때 집단의 민감성, 고온현상에 대응하는 지역사회의 능력, 위험을 관리하기 위한 행정가와 개인, 특히 취약계층의 행동 등에 대한 사항을 다루고 있다. 세부적으로 살펴보면, 여름철 고온현상 동안 웹사이트를 통해 건강보호 권고사항을 전파하는 것에서부터 열-취약계층을 돕기 위한 지역사회 전체의 지원 및 대응활동, 캐나다의 지역별 폭염현상의 차이를 고려한 고온현상에 대응하기 위한 지역사회 시스템 구축·시행·평가에 대한 우수사례에 대해 제시하고 있다(Health Canada, 2012). 특히 이 시스템은 고온현상으로부터 장기적이고 지속적인 보호 예방책과 함께 운영될 때에 가장 효과적임을 강조하고 있다.

마지막으로 2011년의 진행된 폭염으로 인한 건강위험 관리 툴킷 제작 및 배포 사업에서는 온열 질환 발생률 및 사망률 저감을 위한 단기 및 장기 전략을 제시하고 폭염 취약계층 및 지역적 특성을 고려한 대책을 마련을 제안하고 있다(Health Canada, 2012).

폭염 대응과 관련하여 캐나다 보건부에서 제시하는 단기 및 장기 전략은 〈표 3-11〉과 같다.

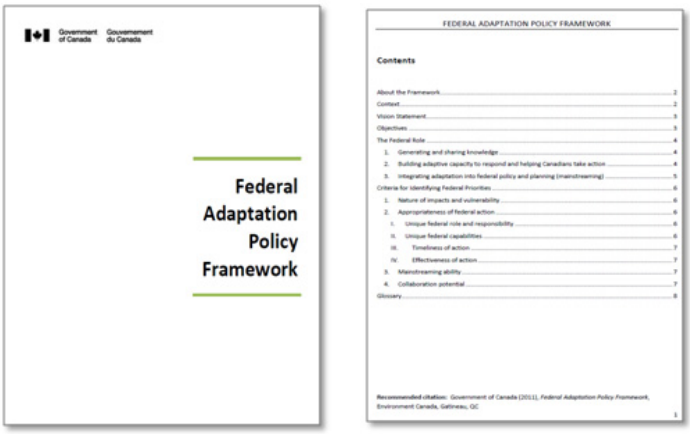
〈표 3-11〉 캐나다의 폭염 대응 단기 및 장기 전략

전략 구분	주요 내용
단기 전략	- 건강 위험 최소화를 위해 정확한 정보 제공 (예: 물 섭취, 쿨링 대피소로 이동 등) - 고온 경보 및 대응시스템(HARS)의 네 가지 요소 ① 경고 프로토콜(Alert Protocol) ② 커뮤니티 대응 계획(Community Response Plan) ③ 의사소통 계획(Communication Plan) ④ 평가 계획(Evaluation Plan)
장기 전략	- 폭염의 노출을 줄이고 효과적 적응 목표 ① 도시 열섬 효과의 최소화 ② 식수와 구호 장소의 접근성을 고려한 지역사회 설계 ③ 전략 수립 및 이행에의 국민 참여 도모 ④ 인식 캠페인과 경고 시스템 부문의 적응

자료: Health Canada(2012)에서 재구성.

2) 연방적응정책 프레임워크

캐나다의 기후변화적응대책은 연방정부 차원에서 진행되고 있는데, 2011년 발표된 연방적응정책 프레임워크(Federal Adaptation Policy Framework)에서 그 내용을 찾아볼 수 있다. 연방적응정책 프레임워크는 캐나다의 적응 비전을 설정하고, 목표, 연방정부의 역할과 이행을 위한 우선순위 설정을 위한 기준을 제공하고 있으며, 이것은 중기 전략을 대상으로 한다(그림 3-12). 이처럼 연방정부 차원의 캐나다 환경부는 적응계획, 의사결정 및 대응과 관계된 기초적 기후과학, 정보 그리고 서비스를 제공한다(Government of Canada, 2011).



자료: Government of Canada(2011).

〈그림 3-12〉 캐나다 연방적응정책프레임워크

그리고 이보다 앞서 2007년 캐나다 환경부는 "영향부터 적응까지: 캐나다의 기후변화(From Impacts To Adaptation: Canada in a Changing Climate 2007)" 보고서를 마련했다. 이 보고서에서는 Northern Canada, Atlantic Canada, Quebec, Ontario, Prairies, British Columbia 주정부 차원의 현재와 미래 기후변화 영향 및 적응 방안을 제시하고 있다. 폭염의 경우 온타리오 주의 주요 영향의 하나로서 토론토 시의 사례를 담고 있다(Govermment of Canada, 2011). 또한 2010년 캐나다 환경부는 캐나다 지방자치단체(Canadian Municipalities)를 위한 기후변화 적응 보고서("Adapting to Climate Change: An Introduction for Canadian municipalities")를 마련하였다. 이 보고서는 캐나다 지방자치단체가 기후변화에 인식하는 것을 돕기 위해 여러 가이드를 참조하고, 전국 각지의 다양한 사례를 나타내고 있다. 이 보고서에서도 폭염은 토론토의 열 건강 경보시스템(Heat Health Alert System)을 대표적으로 설명한다. 이 시스템은 노인, 어린이, 의학적으로 취약한 사람 그리고 노숙자 등 도시에서 가장 취약한 인구를 보호하기 위해 디자인되었다고 밝히고 있다(Government of Canada, 2010). 또한 도시의 열섬 효과로 인한 영향 감소를 위해 장기적 도시 쿨링을 목표로 도구 마련을

위한 다양한 프로그램이 마련되고 있음을 나타내고 있다.

캐나다의 경우에 지역적 차원의 적응대책이 마련되고 이에 따라 주정부 차원에서도 기후변화 적응전략을 수립·이행하고 있는데, 대표적인 예로서 온타리오 주의 적응전략 및 이행 계획(Ontario's Adaptation Strategy & Action Plan)을 들 수 있다(Ministry of the Environment Ontario, 2011). 온타리오 주의 적응전략 및 이행계획에서는 폭염에 대한 대응으로서 건강위험을 강조하며, 이에 대한 선결과제로서 지역별 폭염발생 지역(heat intensity areas)과 폭염 취약계층 파악을 선결과제로 제시하고 있다. 이러한 점은 Action 24와 35를 통해 위험인구 식별을 위한 열 취약성 도구개발 지원을 통해 나타난다. 또한 도구 개발을 위해 토론토 보건국(Toronto Public Health)과의 파트너십을 마련하고 있다. 그러나 본 계획(Ontario's Adaptation Strategy & Action Plan)에서는 폭염과 관련한 지역 파악이나 폭염 취약계층에 대한 정의 및 관련 대책을 직접적으로 확인할 수 없었다.

마. 프랑스

1) 국가폭염계획

프랑스의 폭염 대응은 2003년 8월 유럽 전역에서 발생한 폭염이 그 출발점이라고 볼 수 있다. 이미 전 세계적으로 치명적인 폭염 영향을 언급할 때 빠지지 않는 사례로서 2003년 폭염은, 발생 당시 유럽 전역에서 약 4만 명, 그리고 파리 지역에서만 1만 5천 명이 사망한 것으로 기록되고 있다.

이처럼 프랑스에서의 인명피해가 두드러진 원인으로 도시 내 기본시설 및 기초자료 준비 미흡이 꼽히고 있으며, 특히 당시 프랑스에서는 에어컨을 거의 사용하지 않아 대부분의 주민들이 쉽게 더위를 피할 수 없었다는 분석도 있다(송교욱 외, 2013; Bretin et al., 2006). 결과적으로 전례 없는 폭염으로 인해 폭염 위험에 대한 인지도가 낮았고, 위기 시 대처요령 등에 대한 정보교류가 적었기 때문에 지역사회 주민이 받는 영향이 컸다고 볼 수 있다(Lagadec, 2004; WHO, 2008).

이러한 피해 경험을 바탕으로 2004년 이후 프랑스 당국은 국가폭염계획(Plan National Canicule)을 매년 수립·이행하였으며, 주무부처로서 사회복지부, 고용노동부 및 내무부가 관여하고 있다. 주요 내용에는 고온건강경보체계(Heat Health Watch Warning System, HHWWS) 강화, 응급의료서비스의 확대 및 노년층 관리, 그리고 정보공유 및 커뮤니케이션 강화 등이 포함된다.

먼저, 고온건강경보체계(HHWWS)의 경우 〈표 3-12〉의 기준에 따라 4단계로 구분되어 발표된다. 프랑스에서는 30℃ 이상 최대 36℃까지 기온이 4일 이상 지속되는 경우를 폭염으로 정의하고 있는 가운데(절대적인 정의), 기상학적인 기온에 초과사망률을 측정하는 지표 값을 반영하여 역치온도를 산출, 이를 2단계 경보에 적용시키고 있다. 주요 내용으로 여름철 기간(6월 1일~9월 30일) 동안 기초적인 기상 모니터링과 대중홍보를 통해 건강피해를 예방하고, 역치온도를 넘어선 2단계 이후부터는 지자체 단위에서부터 국가 단위에 이르기까지 대국민 서비스 체계를 강화하도록 하고 있다.

〈표 3-12〉 프랑스의 고온건강경보체계(HHWWS) 발령 기준 및 단계별 대응방안

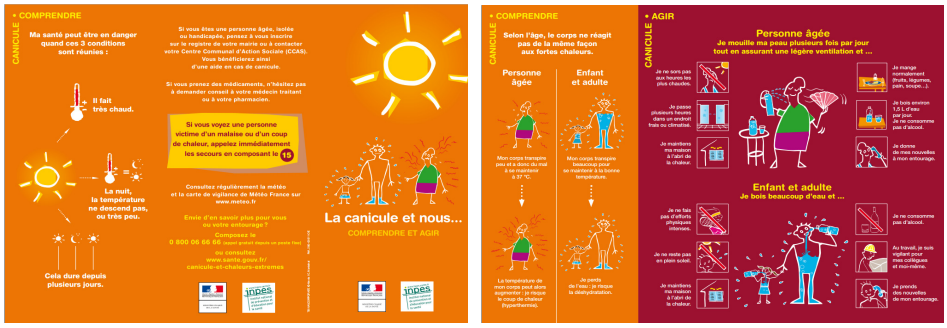
단계	발령 기준	단계별 대응 방안
1단계 감시 (Vigilance)	6월 1일부터 9월 30일까지 예방을 위한 기상학적 조사	여름철 기간 동안 예방을 위한 대중홍보 및 기상 모니터링 수행
2단계 주의 (Alert)	3일 예보에서 역치온도를 1곳의 지자체에서 3일 연속 초과	지역단위에서부터 국가 규모의 대국민 서비스 체계 가동
3단계 조치 (Intervention)	역치온도 초과 지역에서 2단계가 다음 2일 동안 지속	의학적·사회적 조치 실시
4단계 비상 (Requisition)	24시간 예보에서 역치온도 초과가 여러 지역에서 지속되는 경우	폭염이 연장되거나 지속되는 경우 특별한 조치 수행 (3일 예보체계로서 위생감시원 및 기상청에서 발령)

자료: 소방방재청(2009)에서 재구성.

또한 국가폭염계획에서는 응급의료서비스의 확대와 특히 노년층을 대상으로 서비스 강화를 강조한 바 있다. 특히 파리 시의 경우 시민들의 사회복지국(Social Services

Agency) 등록을 장려하여 폭염 발생 시 응급의료서비스를 받을 수 있도록 하였다. 2006년 6월경에는 약 13,000명이 사회복지국에 등록하였으며, 특히 65세 이상의 고령자의 등록률이 높았다. 그 결과 같은 해 7월 폭염경보가 발령되었을 때 고령자 등 취약계층 대상으로 응급처치가 활발히 이루어져 인명피해가 약 1,400명으로 감소되었다(WHO, 2008).

동 계획에서는 폭염의 건강 위험 및 무더위 행동요령에 대한 홍보 강화를 강조하였으며, 이에 따라 〈그림 3-13〉과 같이 무더위 행동요령을 브로셔로 발간 및 배포한 바 있다(소방방재청, 2009).



자료: 프랑스 법무부
(http://www.justice.gouv.fr/art_pix/Depliant_la_canicule_et_nous-FR.pdf [2014.9.30]).

〈그림 3-13〉 폭염 발생 시 행동 요령

2) 국가기후변화적응계획

프랑스는 2006년 국가기후변화적응전략(National Strategy for Adaptation to Climate Change) 보고서를 시작으로, 국가기후변화 영향 조사 및 적응대책 개발 연구를 활발히 하였으며, 2011년 국가기후변화적응계획(National Climate Change Adaptation Plan)을 수립하였다. 동 계획에서는 다양한 부문에 걸쳐 230개의 구체적인 적응대책을 제시하였으며, 이의 이행을 위해 171백만 유로의 예산을 배정한 바 있다(Mullan et al., 2013)(그림 3-14).

자료: French Ministry of Ecology, Sustainable Development, Transport and Housing(2011).

〈그림 3-14〉 프랑스 국가기후변화적응계획(2011~15)

국가기후변화적응계획에서는 관계기관 그룹(The Interministerial Group)의 2009년 보고서 “기후변화 영향의 경제적 비용과 적응전략”을 인용하여 2050년과 2100년의 기후변화 영향을 전망한 가운데, 폭염과 가뭄으로 인한 농업 분야의 경제적 손실을 언급하였다. 또한 장기적으로 폭염, 홍수, (가뭄으로 인한) 화재 등 기상현상에 대한 전망을 강화하는 한편, 과거의 경험으로부터 배울 수 있는 메커니즘 및 적응도구를 개발할 필요성을 강조하였다.

국가기후변화적응계획은 건강, 수자원, 생물다양성, 자연재해, 농업, 임업, 수산양식업, 에너지·산업, 기반시설 및 수송시스템, 도시계획 및 건축환경, 관광, 정보, 교육·훈련, 연구, 펀딩·보험, 해안지역, 산림지역, 거버넌스 등 19개 분야별 계획(action sheet)으로 구성되어 있다. 이 중 폭염 대응과 관련해서는 건강 분야뿐 아니라 수산양식업, 에너지·산업, 도시계획 및 건축환경 분야 등 다양한 분야에서 폭염 대응 전략을 수립한 것이 주목할 만하다. 여기에는 폭염 및 이상고온의 지속으로 인한 양식업 피해, 에너지 공급 불균형 및 관련 산업 피해 경감을 위한 대책 마련을 촉구하는 한편, 재생에너지를 활용한 쿨링 프로젝트(cooling projects)와 이를 경제적으로 뒷받침할 재단(Heating Fund) 운영 계획이 포함되어 있다. 또한 도시계획 및 건축환경 분야에서는 도시열섬 효과를 경감시키도록 중장기적으로 ‘지속가능한 도시계획(sustainable cities plan)’을 수립하는 가이드라인 제작을 명시한 바 있다.

바. 주요 특징 및 시사점

본 연구는 기후변화 폭염 대응을 위한 중장기적 적응대책 수립 연구로서, 단기적인 대응만이 아닌 중장기적인 대응에서 지속적으로 수정·보완해 나갈 수 있는 대책을 제시하고자 한다. 특히 중장기적 차원의 대책으로서 폭염으로 인한 직접적인 피해뿐만 아니라, 간접적 차원에서의 사전예방적 측면에서 폭염에 대응한 지역사회 주민의 건강과 복지향상 측면에서 폭염과 관련한 분야를 통합하여 대책을 제시하고자 한다.

이에 우리나라, 영국, 호주, 캐나다, 프랑스의 폭염 대책과 관련하여 중장기적 대책으로서 시간적인 특성과 사전예방적 차원의 관련 분야 포함 여부, 기후변화에 대한 적응으로서 수정·보완의 절차 여부, 나아가 국가 차원의 폭염 대책에 대한 역할을 설정 여부 등에 대해 정성적으로 평가해 보았다(표 3-13).

〈표 3-13〉 국내·외 폭염 대책 특징

구분		우리나라		영국		호주		캐나다		프랑스	
주요 대책		폭염대응 종합대책	국가기후변화 적응대책	폭염계획	국가적응 프로그램	연방정부 및 주정부의 폭염계획	국가기후변 화적응체계	폭염 대응 현황	연방적응 정책체계	국가폭염 계획	국가기후변화 적응계획
중장기적 대책	시간적 측면	단기	단기 및 중장기	단기	단기 및 중장기	단기	중장기	단기 및 중장기	단기 및 중장기	단기 및 중장기	단기 및 중장기
	사전예방적 차원의 포괄성	주로 건강분야	다양한 분야	다양한 분야로의 확대 강조	다양한 분야로의 확대 강조	주로 건강분야에 한정	주로 건강분야에 한정	주로 건강분야에 한정	다양한 분야로의 확대 강조	주로 건강분야에 한정	다양한 분야
기후변화 적응으로서 수정·보완 절차 여부		매년 발표되나 동일한 수준	매 5년	매년	매 5년	-	-	-	추후 구체적 적응계획 수립 예정	매년	매 5년
국가 차원의 폭염 대책에 대한 역할 명시		지역단위 동일한 대책	지역단위 동일한 대책	지역단위 동일한 대책	전략 제시 (지역별 대책)	전략 제시 (지역별 대책)	전략 제시 (지역별 대책)	전략 제시 (지역별 대책)	-	지역단위 동일한 대책	국가단위 제시 (지역단위 적응 담당기관 별도)

자료: 저자 작성.

첫째, 중장기적 대책으로서 시간적 측면을 살펴보면, 초기 단기적 측면의 대응을 강조하는 것에서 폭염 대책을 기후변화와 연계하여 중장기적 측면을 강조하는 것으로 나타나고 있다. 그 예로서 영국의 폭염계획을 보다 장기적인 시각에서 수립해야 할 필요성 강조, 캐나다의 폭염 대응을 위한 장기 전략을 들 수 있겠다.

더불어 시간적 측면과 유사하게 사전예방적 차원의 관련 분야 포괄성을 살펴보면, 초기에는 건강 분야에 한정하여 대책이 수립되었으나 사회적 인프라에 영향을 미칠 수 있는 것에 대한 대책을 강조하는 것으로 나타났다. 그 예로서 영국에서는 폭염 대책과 도시계획, 에너지, 교통 정책과의 연계, 호주에서는 건축물, 교통체계 관련 대책, 캐나다에서는 지역사회 설계, 프랑스에서는 에너지, 도시계획, 수산업 등과의 연계를 강조한 바 있다.

둘째, 기후변화 적응대책으로서 지속적인 수정·보완의 대책 여부를 살펴보면, 매년 폭염 대책 또는 계획을 제시함으로써 일부분 수정될 수 있는 형태, 또는 매 5년마다 기후변화 적응대책을 보완함으로써 자연스럽게 보완하도록 제시되었지만, 이와 관련하여 일정한 절차를 제시했는지 여부는 확인되지 않고 있다.

셋째, 국가 차원의 폭염 대책에 대한 역할 명시 여부를 살펴보면, 우리나라를 제외한 해외에서는 폭염 대책에 대한 국가 단위의 역할로서 대략적인 전략을 제시하고 이에 대한 세부적인 대책은 지자체가 수립하도록 하고 있다. 구체적인 예로는 영국의 국가 차원의 폭염대응계획 수립 전략, 호주의 폭염대응계획 수립 시 국가 프레임워크 주요 원칙, 캐나다의 폭염 대응 단기 및 장기 전략, 그리고 프랑스의 국가폭염계획 등을 들 수 있다.

정리해 보면, 우리나라의 경우에 기후변화의 영향을 고려한 중장기적 대책들을 일부 포함하는 것으로 평가할 수 있지만, 국가 주도의 기후변화 폭염 대책 측면에서는 현재 단기적 대책에 집중하는 경향이 있으며, 중장기적인 대책들은 분야별로 나누어져 있어 장기적인 비전 제시 및 체계적인 통합·관리에는 다소 미흡한 것으로 평가되었다. 반면폭염 대책에 대한 선진사례를 보면, 기존 폭염 대책을 기후변화 적응대책에 적극적으로 이용하고 중장기적인 차원에서 건강분야 뿐만 아니라 다양한 분야인 도시계획, 에너지, 교통, 교육 및 홍보 등의 분야도 포괄하고 있었다. 또한 기후변화 적응대책은 국가단위에서

전체적인 전략을 제시하고 있으며, 지자체 단위의 대책 개발 역량강화를 위한 가이드라인의 개발 및 배포가 활발히 이루어진 것을 확인할 수 있었다.

Ⅰ 제4장 · 중장기적 적응대책(안) Ⅰ

이번 장에서는 제2장에서 언급한 중장기적 적응대책 수립·관리 방법론에 근거하여 국내 기후변화 폭염에 대응한 중장기적 적응대책을 제시하고자 한다.

현재 국내 폭염 대책은 노약자, 어린이 등 취약계층 건강보호와 에너지 절약 캠페인을 중심으로 여름철에 집중되어 있다. 그러나 점차 기후변화로 인해 폭염 발생시기 및 지속일수 등의 불확실성이 증가하고 이에 따른 영향도 건강뿐 아니라 산업, 에너지, 기반시설 등 시민의 삶의 질과 경제활동 전반에 걸쳐 영향을 미치기 때문에, 폭염 대책은 일시적 재난 대응이 아니라 중장기적인 관점에서 조명해야 할 것이다. 더불어 기후변화에의 적응 측면에서 수립된 대책은 지속적으로 수정·보완되어야 할 것이다.

앞서 언급한 대책 통합과 적응 관리 방법론을 다음과 같은 단계로 적용하여 국내에 적합한 기후변화 폭염 대응 중장기적 적응대책을 수립·제안하고자 한다.

단계 1 : 중장기적 적응대책 목표 설정
단계 2 : 폭염 피해 및 영향 경로를 통한 대책 분야 설정
단계 3 : 적응관리 모델을 적용한 중장기적 적응대책 전략 마련
단계 4 : 폭염 대책 조사 및 정리, 개선(안)

1. 중장기적 적응대책 수립 · 관리

가. 중장기적 적응대책 목표 설정

본 연구에서 기후변화 폭염에 대응한 정책적 목표는 지역사회 주민의 건강과 복지향상으로 하였다. 먼저, 기후변화는 인류사회 전반에 걸쳐 피해와 영향을 미칠 것으로 예상되고 있다. 하지만 최종적인 피해는 사람의 사망과 질병 등의 건강 영향, 넓게는 인간의 복지에 영향을 끼친다고 볼 수 있다. 이는 기후변화에 대응한 자연환경의 가치보전은 그 자체로서만이 아니라 인간사회를 지지해주는 상품과 서비스로서의 가치를 가지며, 경제발전은 그 자체로서만이 목적이 아니라 인간 삶을 향상시키는 도구로서의 가치를 가지기 때문이다.

나. 폭염 피해 및 영향 경로를 통한 대책 분야 설정

본 연구에서 제시하고자 하는 기후변화 폭염에 대응한 폭염 대책 분야는 현재 발생하는 폭염 영향 분야 및 각각의 영향에 대한 경로(pathway)를 통해 설정하고자 하였다.

1) 폭염의 주요 영향

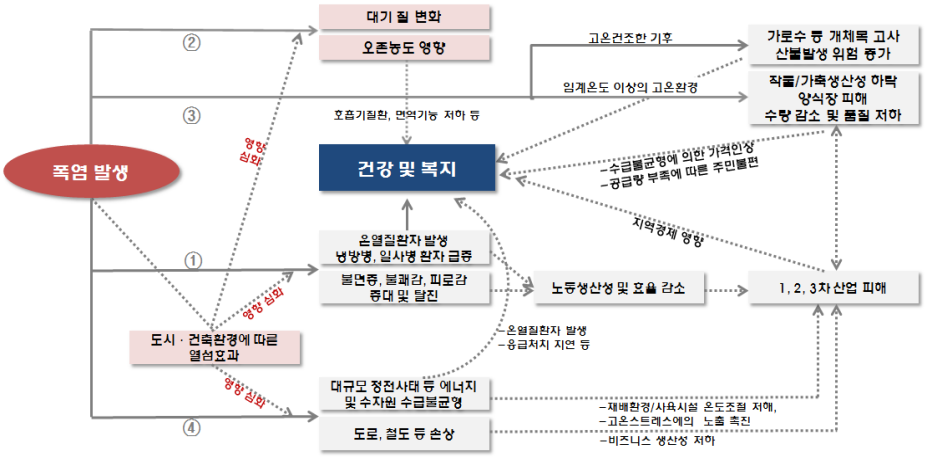
기후변화로 인한 폭염의 영향은 장기성이라는 특수성으로 인해 그 정도를 명확히 파악하기 어려우나, 앞서 제2장에서 기후변화 폭염을 '현재의 폭염 기준에서 기후변화로 인해 폭염의 발생 빈도 및 강도가 증가하는 것 또는 현상'으로 정의한 바 있다. 따라서 기후변화로 인한 폭염의 영향은 현재 발생하는 폭염의 영향으로 그 정도를 가정할 수 있다. 이에 제3장에서 정리한 폭염의 영향을 재정리하여 〈표 4-1〉를 작성하였다.

〈표 4-1〉 폭염의 주요 영향(2차적 영향 포함)

구분	주요 영향
인체 건강 영향	- 열경련, 열사병, 일사병 등 온열질환 - 불면증, 불쾌감, 피로감 증대 및 탈진 - 노동생산성 및 효율 감소
환경적 영향	- 대기 질 변화 - 오존농도 증가
사회기반시설 영향	- 에너지 및 수자원 수급불균형(대규모 정전사태 등) - 도로 및 철도 손상 등으로 인한 수송 지연, 유지·보수 비용 증가 - 비즈니스 생산성 저하 - 응급처치 지연
기타 산업 영향	- 작물생산성 저하(고사, 수량급감 및 품질저하) - 가축생산성 저하(집단폐사, 고온 스트레스로 인한 번식률, 증체량, 우유량 감소) - 양식장 적조 발생 및 유해생물 증가 - 수목 스트레스로 인한 개체목 고사율 증가 - 고온건조한 기후로 인한 산불발생 확률 증가

2) 현 폭염의 영향 및 피해 경로

앞서 제3장에서는 기후변화 폭염의 영향 및 피해를 분야별로 구분하여 제시하였으나, 여기에서는 지역사회 주민의 건강 및 복지 향상이라는 본 연구의 중장기적 적응대책 목표를 기본으로 다양한 분야에 걸쳐 전이 또는 파급되는 폭염 피해 및 영향을 파악하기 위해 그 영향 경로를 정리하였다. 과거 폭염의 피해에 대한 조사와 더불어 과거 문헌조사를 바탕으로 그 경로를 작성하였다(그림 4-1).



〈그림 4-1〉 폭염의 영향 및 피해 경로

〈그림 4-1〉의 주요 영향별 경로를 살펴보면, 먼저 폭염에의 직접적인 노출은 온열질환자 및 냉방병 환자의 발생과 불면증, 불쾌감, 피로감 증대 및 탈진의 원인이 된다. 이러한 건강영향은 노동생산성 및 효율의 감소로 이어질 수 있으며, 이는 산업의 피해로 전이될 수 있다.

또한 지속되는 고온은 대기오염물질 및 오존농도의 증가를 초래할 수 있으며, 이는 호흡기 질환의 발생이나 면역기능 저하의 원인이 됨으로써 건강영향으로 환원될 수 있다.

다음으로 역치온도 이상의 고온 환경은 농축수산업 등 1차 산업에 피해를 줄 수 있다. 기온이 생존한계온도 이상으로 상승하는 경우 농작물은 고사하게 되며, 역치온도 이상의 고온 환경에서는 고온장해 또는 작물생산성 하락으로 인해 농작물 수량 감소나 품질 저하로 이어지게 된다. 축산업 역시 고온 스트레스를 받은 가축의 생산성 저하나 심한 경우 집단 폐사의 피해를 입을 수 있으며, 일사량 증가로 인한 적조 발생은 양식장에 피해를 줄 수 있다. 이 같은 1차 산업의 피해는 수급불균형으로 인한 농축수산물 가격 인상의 원인이 되며, 공급량 부족에 따른 주민불편 역시 주민의 복지에 영향을 주게 된다. 또한 고온건조한 기후가 지속되는 경우 가로수 등 개체목의 고사율이 증가하게 되고 산불발생의 위험도 증가하는데, 이 역시 지역사회 주민의 건강 및 복지에 부정적인

영향을 끼칠 수 있다.

다음으로 폭염의 발생은 에너지 및 수자원 수요의 급증으로 이어져 대규모 정전사태 등 수급불균형을 일으킬 수 있다. 이로 인해 온열질환자 발생이나 응급처치 지연 등 지역사회 주민의 건강에 악영향을 끼칠 수 있다. 또한 그 파급효과는 산업으로도 확산되는데, 먼저 1차 산업의 경우 재배환경이나 사육시설의 온도조절 기능을 저해함으로써 농축산물이 받는 고온 스트레스가 높아지게 되고, 이는 작물 및 가축생산성의 저하와 심한 경우 집단 고사 및 폐사 등의 피해를 줄 수 있다. 또한 폭염이 지속되는 경우 도로나 철도 등 사회기반시설에 손상을 줄 수 있는데, 응급환자 이송이 지연되는 경우 건강 피해로 전이되며, 수송의 지연으로 인한 비즈니스 생산성 저하 등 산업에의 영향은 지역경제에 영향을 줌으로써 주민복지 영향으로 환원될 수 있다.

마지막으로 이러한 폭염의 영향은 도시환경 또는 건축환경 등에 따라 심화되거나 저감될 수 있다. 이는 도시지역일수록 포장도로 면적 증가나 지표면 개발 등으로 인해 열이나 빛을 가두어두는 효과로 인해 알베도(albedo)가 낮고 인공적으로 방출되는 열이 크기 때문으로, 폭염 발생 시 그 영향 및 피해가 더 심해질 수 있다.

이상의 폭염 영향 및 피해 경로를 통해 인체 건강 영향, 환경적 영향, 사회기반시설 및 산업 영향 등이 상호 연결되어 결과적으로 지역사회 주민의 건강 및 복지에 영향을 준다는 것을 확인할 수 있다.

3) 기후변화 폭염에 대응한 중장기 적응대책 주요 대책 분야

기후변화 폭염의 영향과 주민 건강 및 복지 측면의 영향경로를 바탕으로 본 연구에서 제안할 중장기적 적응대책의 주요 대책 분야를 선정하였다. 〈그림 4- 1〉과 같이 한 분야에 미치는 영향이 이차적으로는 다른 분야로 전이 및 파급되기 때문에 그 영향 및 피해를 명확히 분야별로 구분하는 데는 한계가 있다. 따라서 기후변화 폭염에 대한 중장기적 적응대책의 목표이자 관련 대책들의 최종 귀결점인 지역사회 주민의 건강 및 복지 향상에 근거하여 〈표 4-2〉와 같이 분야를 선정하였다.

〈표 4-2〉 기후변화 폭염 중장기적 적응대책의 주요 대책 분야

구분	주요 대책 분야
건강 대응	건강/보건 환경 (대기환경, 산림)
복지 대응	사회기반시설 (에너지, 물관리, 구조물) 사회기반시설 (도시계획, 도로·교통) 산업 (농·축·수산업 및 임업)

다. 적응관리 모델을 적용한 중장기적 적응대책 전략 마련

본 연구에서 제안하는 중장기적 적응대책(adapting plan)은 그 정의상 수립된 대책의 체계적인 관리를 통한 지속적인 개선과 신규 대책 발굴의 과정을 포함한다. 따라서 중장기적 관리 방안이 제시되어야 하며, 그 방법론으로서 적응관리(adaptive management) 모델을 활용할 수 있다.

본 연구에서는 구체적으로 적응관리를 수행하기 위해 적응관리 사이클(adaptive management cycle)의 6단계별 목적 및 주요 수행 내용을 정리하였다. 캐나다 온타리오주에서는 미래지향적 관점에서 불확실한 상황까지 고려한 관리체계의 개발을 목표로 적응관리 접근방식을 채택한 바 있으며, 이 적응관리 사이클(AMC) 적용 사례에 기반하여 〈표 4-3〉과 같이 단계별 목적 및 주요 수행 내용을 정리하였다.

〈표 4-3〉 중장기적 적응대책의 적응관리 단계별 전략(세부목표 및 수행 내용)

최종 목표	지역사회 주민의 건강 및 복지 향상
위험요인 측정	- 목표: 폭염에의 노출 및 그에 대한 반응(response)에 영향을 주는 다양한 요소들 간의 상호관계 파악 - 수행 내용: 위험집단 파악, 영향 및 취약성 평가
계획/정책 수립	- 목표: 정차경제적으로 수행 가능한 계획, 고위험 계층 및 지역 대응 우선순위화, 다양한 분야의 대응 수요 평가 - 수행 내용: 사전예방적, 범분야적 대책 수립 및 개선·보완 메커니즘 확립
이행	- 목표: 대책 등에 있어 이해당사자와의 전달체계 확립 - 수행 내용: 이행체계 확립
모니터링	- 목표: 대책 이행을 통한 영향 정도의 확인 - 수행 내용: 주요 지표의 변화 추이 등 조사
이행·효과 평가	- 목표: 대책 이행의 효과(관리목표), 취약성 및 영향 경로에 대한 이해 제고(목표달성도) 평가 - 수행 내용: M&E(Monitoring and Evaluation) 가이드라인 제공, 대책의 이행평가 및 효과성 평가(정량적 사례분석) 및 모니터링을 통한 개선방향 모색
조정 및 보완	- 목표: 5단계 평가 결과를 바탕으로 대책 개선 및 보완 - 수행 내용: 평가 결과의 반영, 다양한 이해당사자 간 경험 및 정보 교류를 통한 개선

자료: OCCIAR(2012); Hess et al.(2012)을 바탕으로 작성.

라. 현 폭염 대책의 조사 및 정리, 개선 방향(안)

기후변화 폭염의 중장기적 적응대책 마련을 위한 국내 폭염 관련 대책들의 조사·정리 및 평가는 제3장에서 언급한 중앙재난안전대책본부의 2013년 폭염대응종합대책의 부처별 추진사업(표 3-2)과 국가기후변화적응대책(2011~15)의 폭염 관련 포괄적 적응대책(표 3-4)을 기본으로 하였다.

중앙재난안전대책본부의 2013년 폭염대응종합대책의 부처별 추진사업은 11개 부처, 3개 청에서 운영하는 42개 주요 사업으로 구성되어 있다. 국가기후변화적응대책(2011~15)의 경우 10개 분야, 29개 추진과제, 87개 세부과제, 261개 적응사업, 그리고 626개 적응세부사업으로 구성되어 있는데, 본 분석에서는 626개 적응세부사업 중 일차적으로는 폭염과 관련되는 용어로서 '폭염, 고온, 재해, 온난화, 이상기상'에 대해서 검색하고, 다음으로 세부사업에 대한 배경 및 필요성, 내용 등을 정성적으로 검토함으로써 폭염 피해 및 영향과 관련한 건강, 환경, 사회기반시설(도시, 구조물, 수자원 및 에너지), 기타 산업(농업,

수산업 및 임업)의 9개 분야에 관련한 적응세부사업 34개를 선정하였다.

이로써 폭염대응종합대책의 42개 주요 사업과 국가기후변화적응대책의 34개 관련 적응세부사업, 총 76개 사업이 기후변화 폭염 중장기적 적응대책 마련을 위한 평가 대상이 되며, 앞서 살펴본 적응관리 사이클(AMC) 단계별 목표 및 주요 수행 내용에 근거하여 이 76개 대책을 평가하고 개선방안을 모색하고자 한다.

1) 위험요인 측정

〈표 4-4〉 위험요인 측정 관련 국내 대책/사업 조사, 정리 및 평가

구분		국내 대책 또는 사업	개선 방향
건강		- 폭염 예·경보 시스템 구축 및 기후변화 취약성 평가(중복) - 폭염 관련 주요 질병별 건강영향 분석 및 모니터링(중복)	- 폭염으로 인한 다양한 분야의 피해경로 조사 분석, 향후 대책 수립의 근거 마련 · 사회경제적 요인(사회 안전망, 에너지 접근성, 지역사회 환경 등) 고려
환경		- 기후변화에 따른 인체 건강영향 평가를 위한 대기오염자료 제공	
사회기반시설 (에너지, 물관리, 구조물)		-	
사회기반시설 (도시 및 도로·교통)		- 기후변화 재해 영향에 따른 도시의 취약성을 분석하고, 도시의 적응능력 제고를 위한 다양한 사업 발굴·시행방안 마련 및 제도개선(중복)	
산업	농업	- 온난화에 따른 생육기간 단축, 고온 등숙, 고온장해 등 벼 생산 영향평가 및 예측 - 이상기상에 따른 식량작물 및 사료작물 피해 해석 및 경감기술 개발(중복) - 이상기상 현상과 채소작물의 작황 분석 - 농업부문 취약성 평가 시스템 개발 및 재해유형별 취약지역 구분 - 장기적인 투자전략 수립에 필요한 농업생산기반에 대한 취약성 평가	- 폭염 피해 관련 분야별 영향 및 취약성 분석 강화 · 분야별 국가 및 지자체 역할 구분한 취약성 평가 · 지자체 수준의 폭염 취약성 평가 가이드라인 개발 및 보급
	축산	-	
	수산	-	
	임업	- 산불 및 산지토사재해 변화 예측 및 지도 보완보급	

적응관리 사이클의 첫 번째 단계로서 위험요인 측정(assess)은 취약성 평가나 영향 평가를 주된 내용으로 한다. 본 연구에서 선정한 중장기적 적응대책 주요 대책 분야 중 에너지 및 물관리 분야를 제외하고는 대부분의 분야에서 이 단계에 해당하는 대책들을 찾아볼 수 있었다. 폭염이나 대기환경의 변화로 인한 건강영향 조사·분석이나 작물생산에의 영향 평가 등이 그것이다. 건강영향 및 1차 산업에의 영향 조사 결과는 대책 수립의 근거로서 필요한 정보를 제공한다는 점에서 중요하다. 하지만 취약성 평가의 경우 그 내용을 찾아보기 힘들다. 물론 건강 분야에서 기후변화 취약성 평가를, 그리고 사회기반시설(도시 및 도로·교통) 분야에 도시의 취약성을 분석한다는 내용이 있지만, 이는 '기후변화 재해 영향에 따른 취약성'으로 그 뜻이 제한적이다.

중장기적 적응대책 수립을 위한 취약성 평가란 위험(hazard) 즉, 폭염 발생 빈도 및 규모를 변인으로 하는 외부적·물리적 의미의 취약성(physical vulnerability)에서 나아가 사회·경제적 요인으로 확장된 취약성(social vulnerability)을 다루는 포괄적인 의미의 취약성을 평가하는 작업이어야 한다(Hess et al., 2012; Sullivan and Meigh, 2005). 구체적으로는 나이, 질병유무 등의 신체적 민감도뿐만 아니라 소득수준에 따른 사회적 안전망 및 에너지 접근성, 지역사회 환경 등의 사회·경제적 요인을 함께 고려할 필요가 있다(Hess et al., 2012; Sullivan and Meigh, 2005).

이처럼 포괄적으로 취약성 평가를 하기 위해서는 국가 차원에서의 취약성 평가 가이드라인 또는 프레임워크의 개발 및 제공이 필요하다. 이는 폭염 취약성 평가 지표(heat vulnerability index)의 설정이나 실질적인 평가도구를 개발하는 데 필요한 예산 및 기술 등 재원마련이 쉽지 않거나 우선순위에서 밀려 있는 지자체가 취약성 평가를 할 수 있도록 도울 수 있고, 지자체가 개별적으로 대책을 마련하고 이행하는 근거로도 활용될 수 있다.

UNFCCC와 WHO에서 공동으로 집필한 "건강분야 취약성 평가 가이드라인"이나 (Kovats et al., 2003) 영국 기후영향 프로그램(UKCIP)에서 2003년 작성한 "기후적응: 리스크, 불확실성 및 정책결정"이라는 기술보고서는 취약성 평가 수행 및 그 결과를 정책결정 과정에 반영하는 전략 등을 제공하고 있으며, 기후변화 폭염의 취약성 평가 가이드라인 수립에 참고할 수 있다.

2) 계획/정책 수립

〈표 4-5〉 계획/정책 수립 관련 국내 대책/사업 조사, 정리 및 평가

구분	국내 대책 또는 사업	개선 방향
건강	- 노인 등 취약계층 집중 보호대책 수립 및 추진 - 복지시설과 민간시설에 대한 시설 지원 등 추진 - 유치원, 보육시설, 초·중·고등학교 폭염대비 대책 추진 - 여름철 음식물류 폐기물 위생관리 대책 수립·시행 - 하절기 폭염대비 근로자 건강관리 대책 수립·시달 - 작업자 안전관리 대책 마련·시행 - 우발적 범죄 예방을 위한 치안대책 - 여름철 폭염대비 지침 마련, 각 군에 시달, 예방대책 추진 - 무더위 휴식시간제 운영 및 무더위 쉼터 제공 - 폭염 취약군 건강관리지침 및 폭염대응 매뉴얼 개발 - 폭염 취약계층에 대한 재난도우미 운영 및 간담회 개최 - 폭염대비 취약계층 방문건강관리 프로그램 운영 - 폭염대비 현장밀착형 응급구급체계 구축	- 분야별 다양한 적응 옵션 및 기술개발(국가 및 지자체 수준별) · 기존 국가 및 기존 사업과의 연계 방안 · 우수 적응 옵션에 대한 정리 및 정책 담당자 대상의 홍보/교육 - 분야별 폭염 취약성 지도 작성 및 보급 - 지자체 대책 수립 가이드라인 (개선 및 보완 메커니즘 포함) 개발/제공 · 지자체 수준 분야별 대책 우선순위화 방법론 · 취약성 지도 작성 방법론
환경	-	
사회기반시설 (에너지, 물관리, 구조물)	- 물 사용량 증가에 대비 안정적 수돗물 공급 대책 마련 - 고지대 및 급수 불량지역에 대한 비상급수 지원 대책 강구 - 지하수 발굴 및 지자체 지하수개발 지원 대책 마련 - 기후변화로 인한 에너지 공급 안정성 확보 - 하계 전력수급 대책 마련 · 시행 - 폭염에 따른 안전사고 가능성 차단 - 환경기초시설 설비 및 약품 관리 - 구조물 분야 안전관리 대책 마련·시행 - 전기설비 안전관리 대책 마련·시행 - 기계설비 안전관리 다책 마련·시행 - 폭염대비 비상근무 실시	
사회기반시설 (도시 및 도로·교통)	- 폭염의 취약성을 고려한 건축물과 도시 공간환경계획을 통하여 폭염 피해 최소화 - 도시계획을 지원하기 위한 기후분석 정보 개발 - 도시숲 조성으로 폭염피해 저감 및 도시민들의 삶의 질 향상	

〈표 4-5〉 계획/정책 수립 관련 국내 대책/사업 조사, 정리 및 평가 (계속)

구분		국내 대책 또는 사업	개선 방향
사회기반시설 (도시 및 도로·교통) (계속)		- 기후변화 재해 영향에 따른 도시의 취약성 분석, 도시의 적응능력 제고 위한 다양한 사업 발굴, 시행방안 마련 및 제도개선(중복) - 도시 및 재해 특성을 고려한 기후변화적응 방재도시 모델을 개발하고 관련제도 개선 - 선로분야 안전관리 대책 마련·시행	(동일) - 분야별 다양한 적응 옵션 및 기술개발(국가 및 지자체 수준별) ·기존 국가 및 기존 사업과의 연계 방안 ·우수 적응 옵션에 대한 정리 및 정책 담당자 대상의 홍보/교육 - 분야별 폭염 취약성 지도 작성 및 보급 - 지자체 대책 수립 가이드라인 (개선 및 보완 메커니즘 포함) 개발/제공 ·지자체 수준 분야별 대책 우선순위화 방법론 ·취약성 지도 작성 방법론
산업	농업	- 이상기상에 따른 식량작물 및 사료작물 피해 해석 및 경감기술 개발(중복) - 고온, 저온, 홍수, 태풍 및 가뭄 등 기상재해에 대응 유용 유전자원의 수집평가 및 검정체계 확립 - 기후변화 및 이상기상에 따른 농업생산에 관련한 취약한 요인 도물에 의한 효율적인 적응대책 수립 및 지원 - 폭염대비 농업분야 및 농작물, 가축 관리대책 수립, 시달 - 폭염에 따른 농작물 및 가축 피해예방 현장기술지원단 운영	
	축산	- 가축의 고온 적응성 향상을 위한 내서성 종축 선발 - 고온기 가축 사양관리기술 및 환경관리기술 개발 - 고온 적응성 등 내재해 한지형 목초 육종 및 난지형 목초 도입 - 폭염에 따른 농작물 및 가축 피해예방 현장기술지원단 운영	
	수산	- 고수온에 적합한 양식 도입 가능종 탐색 및 양식기술 개발 - 지역별 양식 적합품종 신규개발 및 양식지도 작성 - 폭염 대비 육상양식장 관리대책	
	임업	- 산불 및 산지토사재해 변화 예측 및 지도 보완, 보급(중복) - 산불취약지 인화물질 사전제거 및 산불방지 이격공간 조성 - 산불진화 헬기 확충 - 산불 전문 예방 진화대 육성	

적응관리 사이클의 두 번째 단계로서 계획/정책 수립(plan)은 기후변화 폭염의 특수성을 고려할 때 시간성과 포괄성을 고려하는 중장기적 대책과 개선 과정을 포함하는 적응대책(adapting plan)의 수립을 목표한다. 또한 제한적인 예산 내에서 대책의 실행가능성 제고를 위해 취약계층 및 취약지역에 대한 우선순위 설정과 다양한 적응 옵션 및 정책 지원 도구의 확보를 주된 내용으로 한다(Hess et al., 2012).

현 국내 폭염 관련 대책들 중 이 단계에 해당하는 대책들이 가장 많으며, 분야별로도 환경 분야를 제외한 모든 분야에 마련되어 있는 것을 확인할 수 있다. 보호대책, 예방대책, 관리대책 등뿐만 아니라 정책결정 지원도구로서 기술개발 및 도입에 관한 대책 등이 그것이다. 또한 에너지 공급 안정성 확보나 폭염 취약성을 고려한 건축물 및 도시 계획을 통한 폭염 피해의 최소화, 도시숲 조성 등 사전예방적인 대책들이 있다는 것은 긍정적으로 평가할 수 있다. 하지만 이러한 대책들은 '~구축, ~대책 추진, ~강구' 등에서 알 수 있듯이, 아직까지는 대책을 마련하겠다는 목표를 제시한 수준에 지나지 않아, 이들이 얼마나 구체화되었는지 확인해볼 필요가 있다.

또한 지자체가 보유하고 있는 제한적인 예산을 고려해볼 때, 사업 시행 대상 인구 및 세부지역의 선별은 민감한 이슈라고 볼 수 있다. 따라서 개별 지자체의 인구통계학, 소득경제 및 산업 측면의 특징을 바탕으로 우선순위 설정을 할 수 있도록 취약성 지도 작성 방법론의 개발 및 보급이 요구된다. 또한 분야별 다양한 적응 옵션 및 기술을 개발하고, 신규 사업과 기존 사업과의 연계 방안을 강구하는 한편, 우수 적응 옵션에 대한 정보교류를 활성화하고 지자체 정책 담당자를 대상으로 교육 및 훈련의 장을 마련한다면 관련 사업들의 지속가능성 확보에 도움이 될 것이다.

마지막으로 개선 과정을 포함하는 적응대책의 수립이라는 본 단계의 목표에 견주어 볼 때, 현재 개선 및 보완의 메커니즘이 대책수립 단계에 포함되어 있는 경우는 거의 없는 것으로 보인다. 이와 관련하여 미국의 사례를 참고할 수 있다. Climate Impact Group 등이 2007년 발간한 "지자체 및 주정부를 위한 기후변화 적응 가이드북"에서는 지자체 및 주정부의 기후변화 적응 대책 수립에 필요한 과정을 '취약성 평가, 리스크 평가, 대책 목표 설정 및 대책 수립, 이행, 이행평가 및 개선'의 단계로 구분하고, 각

단계별로 이해하기 쉬운 설명, 전략 및 예시를 통해 지자체의 효과적인 대책수립 및 수행을 도모한 바 있다. 이 보고서에서 선정한 대책 수립 과정은 본 연구에서 적용하고 있는 적응관리의 단계와 유사하며, 이행평가 및 개선의 과정을 대책 수립에서부터 고려하여 대책의 지속가능성을 확보했다는 점에서 시사하는 바가 크다고 할 수 있다.

3) 이행

〈표 4-6〉 이행 관련 국내 대책/사업 조사, 정리 및 평가

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th>국내 대책 또는 사업</th><th>개선 방향</th></tr>
<tr><td colspan="2">건강</td><td>- 폭염의 예·경보시스템 구축 및 기후변화 취약성 평가(중복)
- 폭염대비 맞춤형(대국민행동요령, 건강장해 예방) 홍보 및 교육활동 강화
- 폭염 관련 피해자 응급처치 요령 등 교육 추진
- 폭염 정보 전달 체계 구축
- 폭염특보 및 절전홍보 재난방송 실시
- 폭염 피해 예방을 위한 폭염정보 문자서비스
- 폭염상황관리체제 구축 · 운영</td><td rowspan="7">- 단기 폭염 대책에 대한 이행도구 개발(기 개발됨)
·폭염특보제 개발 및 운영
·중앙상황 관리반 구축 및 운영
·단기 대책에 대한 대국민 홍보/교육
- 중장기 대책에 대한 이행 도모
·국가 시범사업 개발 및 지원
·지자체 관련 분야 폭염 대책 고려토록 하는 법적 근거 (조례) 제공 추진</td></tr>
<tr><td colspan="2">환경</td><td>- 미세먼지와 오존 등 고농도 대기오염 예·경보시스템 개선</td></tr>
<tr><td colspan="2">사회기반시설 (에너지, 물관리, 구조물)</td><td>-</td></tr>
<tr><td colspan="2">사회기반시설 (도시 및 도로·교통)</td><td>-</td></tr>
<tr><td rowspan="4">산업</td><td>농업</td><td>- 폭염에 따른 농업피해 최소화를 위한 SMS 송부</td></tr>
<tr><td>축산</td><td>-</td></tr>
<tr><td>수산</td><td>-</td></tr>
<tr><td>임업</td><td>- 산불위치과제시스템 등 산불의 조기발견체계 구축 대응력 강화 등</td></tr>
</table>

세 번째 이행(implement) 단계는 다양한 이해당사자 간 합의된 목표 및 비전을 바탕으로 효율적인 대책 이행을 목표하며, 이를 위해 이행체계 및 정보전달체계 등의 확립이 필요하다.

현재 건강, 환경 및 농축산업과 임업(산림) 분야에서 정보전달 및 리스크 커뮤니케이션 수단으로서의 대책들을 찾아볼 수 있었다. 폭염 예·경보시스템 및 폭염 정보전달 체계 구축이 대표적인 예이며, 건강관리지침 및 폭염대응 매뉴얼 개발, 홍보 및 교육활동 등 역시 취약계층이나 1차 산업 종사자를 포함한 일반국민이 폭염에 보다 적절히 대응할 수 있도록 하는 정보제공의 측면에서 이번 단계에 해당된다. 또한 응급구급체계나 현장 기술지원단 등은 사후 대응능력을 제고한다는 측면에서 필요한 대책이라고 볼 수 있다.

하지만 이러한 대책들이 대부분 지자체 수준에서 이행되어야 하는 데 비해 이행 체계의 구체화 등은 다소 미흡한 것으로 보인다. 구체적인 이행시기, 예산확보 방안 등의 사항을 국가계획 등에 명시하거나, 대책 이행을 위한 가이드라인 및 전략 제시 등을 통해 보강할 수 있다.

또한 단기 대책뿐 아니라 중장기 대책에 대한 이행을 도모하기 위해 국가 단위의 시범사업 개발 및 지원, 지자체 내 관련 분야 폭염 대책을 수립 및 이행하도록 하는 법적 근거(예: 조례) 마련 등은 지자체의 실질 이행률 제고에 도움이 될 것이다.

4) 모니터링, 이행 및 효과 평가, 조정 및 보완

〈표 4-7〉 모니터링, 이행/효과평가, 조정/보완 관련 국내 대책/사업 조사, 정리 및 평가

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th>국내 대책 또는 사업</th><th>개선 방향</th></tr>
<tr><td colspan="2">건강</td><td>– 폭염 관련 주요 질병별 건강영향 분석 및 모니터링(중복)
– 응급실 기반 폭염 관련 노인환자 및 심혈관 환자 발생 감시체계 운영
– 기상청 도시고온건강지수를 활용한 질병 및 환자 발생 감시
– 폭염피해 감시체계 운영</td><td rowspan="6">– 분야별 모니터링 지표 및 DB 구축
·모니터링에 대한 체계 확립
– 지자체 수준의 M&E (Monitoring & Evaluation) 가이드라인 개발 및 제공
– 폭염대책위원회(가칭) 운영을 통한 중장기적 적응대책 수정보완 체계 확립
– M&E 결과 및 이해당사자 피드백 반영을 위한 소통채널 구축(지자체 담당자 지원)
·실질적인 피해사례, 세부 대책 시행과정에서의 불편사항 및 시행착오 등 정보교류</td></tr>
<tr><td colspan="2">환경</td><td>– 미세먼지와 오존 등 고농도 대기오염 예·경보시스템 개선</td></tr>
<tr><td colspan="2">사회기반시설 (에너지, 물관리, 구조물)</td><td>– 비상연계시설 및 급수 지원시설 점검</td></tr>
<tr><td colspan="2">사회기반시설 (도시 및 도로·교통)</td><td>– 기후변화 재해 영향에 따른 도시의 취약성을 분석하고 도시의 적응능력 제고를 위한 다양한 사업 발굴, 시행방안 마련 및 제도개선(중복)
– 도시 및 재해특성을 고려한 기후변화적응 방재도시 모델을 개발하고 관련 제도 개선(중복)</td></tr>
<tr><td rowspan="4">산업</td><td>농업</td><td rowspan="4">–</td></tr>
<tr><td>축산</td></tr>
<tr><td>수산</td></tr>
<tr><td>임업</td></tr>
</table>

네 번째로 모니터링(monitor)의 단계는 적응관리를 통한 대책의 지속적인 개선 및 학습의 과정에 가장 기본이 되는 단계로서(Holling, 1978) 적응관리 사이클의 초기단계부터 고려되어야 한다(Hess et al., 2012). 주요 지표를 설정하여 대책 및 세부사업 이행 전후의 변화 정도를 비교분석함으로써 대책의 효과성을 평가하는 데 필요한 정보를 제공하는 것이 주된 내용이다.

현 국내 폭염 관련 대책들을 살펴본 결과, 모니터링의 성격을 갖는 대책에는 폭염의 인체건강 영향 모니터링 및 응급실 기반 폭염 관련 질환 감시체계가 있으며, 폭염 발생 시 수자원의 대응역량에 대한 주기적인 점검 측면에서 사회기반시설 분야의 비상연계시설 및 급수지원시설 점검 사업도 해당된다고 볼 수 있다.

반면 환경, 도시 및 도로·교통이나 산업 분야에서는 모니터링을 위한 대책이 없어 이들 분야의 주요 지표 설정과 모니터링 체계의 확보가 요구된다. 예를 들어, 오존농도, 폭염 노출 빈도 및 규모(기상학적 정보), 예비(유효)전력량, 녹지공간 내 지표온도 등을 모니터링한다면 기존 대책들의 효과성을 평가하는 데 유용한 자료가 될 뿐만 아니라, 신규 대책 수립의 근거로도 활용될 수 있을 것이다.

적응관리 사이클의 다섯 번째 단계로서 이행 및 효과 평가(evaluate)는 대책 및 세부사업의 이행현황에 대한 평가와 실질적인 효과성에 대한 평가를 말한다. 일회적인 대책 수립 및 이행에 그치지 않고 지속적으로 수정·보완해 나가는 데 반드시 필요한 단계라고 볼 수 있다(Satterstrom et al., 2007).

대책의 효과 평가 시 기준조건(baseline conditions)이 계속해서 변하고 또한 대책들이 동시에 진행되는 경우가 많기 때문에 세부대책 각각의 효과성 평가가 어려울 수 있으나(Fouillet et al., 2008), 대책의 실효성 제고를 위해서는 모니터링 및 평가(M&E) 과정이 필수적이라고 볼 수 있다(UNFCCC, 2010).

현 국내 폭염 관련 대책들을 살펴본 결과, 이행 및 효과 평가 단계에 해당되는 대책은 없는 것으로 나타났다. 따라서 세부대책별, 혹은 분야별 대책의 실효성 제고를 위해서는 국가수준에서 모니터링 및 평가(M&E) 가이드라인 개발 및 제공이 요구된다고 볼 수 있다.

적응관리 사이클의 마지막 단계로서 조정 및 보완(adjust)은 이전 단계의 평가 결과를 바탕으로 대책을 보완 및 개선하는 것을 목표한다. 개선방안 도출에는 정량적 평가 결과뿐 아니라 이해당사자들의 실질적인 경험 및 정보 역시 중요한 근거로 사용될 수 있다. 실질적인 피해사례, 세부대책 시행 과정에서의 불편사항 및 시행착오 등을 통해 보다 구체적인 개선방안을 제시할 수 있기 때문이다.

현 국내 폭염 관련 대책 중에서는 '~(제도)개선'의 내용을 포함하고 있는 세 가지 대책(대기환경 관련 1개 대책, 도시계획 관련 2개 대책)이 조정 및 보완 단계에 해당되는 것으로 파악되었다. 전반적으로 제도 및 사업의 개선을 다루는 대책이 부족한 실정이다.

단기적 대책, 사후대응적 대책의 경우 대부분이 조정 및 보완의 과정을 거치기 힘든 구조이기 때문에 대책의 지속가능성이 떨어진다고 볼 수 있다. 따라서 중장기적 적응대책 마련을 위해서는 현재의 단기 대책 위주의 편성에서 점차 사전예방적 차원 및 중장기적인 목표의 대책들을 보강해 나가야 할 것이다.

또한 명목상의 개선이 아닌 실질적인 수정·보완이 이루어질 수 있는 메커니즘의 구축이 중요한데, 모니터링 및 평가 결과를 반영할 수 있는 환류시스템의 구성과 관계부처, 지자체 담당자 등 이해당사자들의 의견을 수렴하고 이해를 조율할 수 있는 논의의 장 마련이 필요하다. 특히 관계부처 간 소통채널을 확보하는 것은 폭염과 같은 범분야적 이슈의 정책통합에 있어 가장 기본적인 개선(안)이 될 것이며, 이를 위해 폭염대책위원회(가칭) 등 조직화도 한 방법이 될 수 있다.

마. 기후변화 폭염 대응 중장기적 적응대책(안)

현 국내 폭염 대책의 조사정리 및 평가를 통해 중장기적 적응대책(안)을 도출한 결과는 〈표 4-8〉과 같다.

〈표 4-8〉 기후변화 폭염 대응 중장기적 적응대책(안)

목표		지역사회 주민의 건강 및 복지 향상	
		세부 목표	주요 중장기적 적응대책(안)
적응 관리 6단계	위험요인 측정	폭염에의 노출 및 그에 대한 반응(response)에 영향을 주는 다양한 요소들 간의 상호관계 파악	- 폭염 관련 분야별(및 범분야) 피해경로 조사·분석을 통한 관련 대책 근거 마련 - 폭염 피해 분야별(및 통합) 영향 및 취약성 평가 강화
	계획/정책 수립	정치·경제적으로 수행 가능한 계획, 고위험 계층 및 지역 대응 우선순위화, 다양한 분야의 대응 수요 평가	- 분야별 다양한 적응 옵션 및 기술 개발 및 보급 - 분야별 폭염 취약성 지도 작성/제공 - 지자체 대책 수립 가이드라인 개발/제공
	이행	대책 등에 있어 이해당사자와의 전달 체계 확립	- 단기 대책에 대한 이행도구 개발 - 중장기 대책에 대한 이행 도모(시범사업 추진 및 법제도적 조치)
	모니터링	대책 이행을 통한 영향 정도의 확인	- 폭염 관련 분야별 모니터링 지표 개발 및 DB 구축 - 지자체 수준의 M&E 가이드라인 개발 및 제공 - 폭염대책위원회(가칭) 운영 - 지자체 담당자의 폭염 대책 피드백을 위한 소통채널 구축, 운영
	이행·효과 평가	대책이행의 효과(관리목표), 취약성 및 영향 경로에 대한 이해 제고(목표 달성도) 평가	
	조정 및 보완	5단계 평가 결과를 바탕으로 대책 개선 및 보완	

2. 정량적 분석 사례: 폭염특보제 이행/효과 평가

본 절에서는 중장기적 적응대책 관리 방안으로 제시된 적응관리 사이클의 이행 및 효과 평가(evaluate) 단계에 대한 사례로서 폭염특보의 건강효과를 정량적으로 분석하고자 하였다. 폭염특보제는 주요국 폭염대책 현황 조사 결과 많은 국가에서 운영되고 있으며, 단기적인 폭염대책 수립 및 운영에 있어 가장 기초적인 대책이라고 볼 수 있다. 국내 폭염특보의 운영 효과 평가를 통해 취약계층의 건강에 미치는 효과를 확인하고 지리적지역적 특성의 반영 필요성 등 향후 개선방향을 제시하는 데 활용할 수 있다. 이번 정량적 분석은 서울 지역을 대상으로 기상청에서 제공한 2008년부터 2012년까지의 폭염특보 발령 현황과 기상청의 기상 측정자료(일별 최고기온 및 일별 평균기온), 통계청의 사망발생 원시자료를 연계[3]하여 특보 발령에 따른 사망발생 방지효과 정도를 평가하는 것으로 수행하였다.

정량적 분석에 앞서 제3장에서도 언급하였지만 국내 폭염특보에 대해 간략히 정리해 보면, 폭염특보는 기상청을 통해 2007년 시범운영을 거쳐 2008년부터 본격적으로 시행되어 매년 6월 1일부터 9월 31일까지 운영된다. 폭염특보를 통해서 현재 수립되어 있는 중앙재난안전대책본부의 폭염대응종합계획 내의 대책들이 시달·운영된다고 할 수 있다. 유럽지역 33개국을 대상으로 조사한 결과에서도 현재 12개국에서 폭염경보(특보)시스템을 운영하고 있다. 이 중 폭염경보시스템 발령기준을 전국단위 외 별도의 지역기준을 마련하여 운영하는 국가는 프랑스, 스페인, 이탈리아, 영국을 포함한 8개국인 것으로 나타났다(Lowe et al., 2011).

폭염특보의 운영 효과와 관련한 연구는 국내에서는 아직 전무한 상태이며, 국외의 경우에는 폭염경보시스템의 효과를 평가한 사례가 있다. 〈표 4-9〉는 폭염특보의 운영과 사망률 및 질병발생률의 상관관계에 대해 평가한 주요 선행연구를 정리한 것이다. 〈표 4-9〉의 4개 선행연구 결과를 종합해보면, 폭염특보제의 운영은 응급서비스 신고건수, 빈혈 및 뇌졸중 관련 사망자수 감소를 제시하고 있다. 특히 Fouillet et al.(2008)의 연구에서는

3) 기상청 기상자료(기후자료관리시스템-기상특보, 2014.05.30) 및 통계청 사망원인통계 원시자료

프랑스의 2003년 폭염으로 인한 사망자수와 2006년 폭염특보제 등을 고려한 사망자수 비교에서 약 4,400명의 감소를 제시하였다. 더불어 Ebi et al.(2004)에서는 미국 필라델피아에서의 고온건강경보시스템(Heat Watch/Warning System, 이하 HWWS) 운영으로 인한 비용/편익 분석을 통해 HWWS의 운영효과를 매우 높게 평가하였으며, 더불어 HWWS의 운영으로 1995년부터 1998년까지 117명의 초과사망을 방지한 것으로 제시하였다.

〈표 4-9〉 해외 폭염특보 운영효과 관련 주요 선행연구

연구문헌	주요 결과	분석방법	비고
Weisskopf et al.(2002)	• 미국 위스콘신 주 밀워키: 폭염특보를 시행한 1999년과 이전 1995년을 비교한 결과, 폭염기간의 응급서비스 신고건수 49~73% 감소	1995년과 1999년 폭염기간의 기대 사망자수 및 관찰 사망자수의 비교	폭염 기간 단위 분석
Chau et al.(2009)	• 홍콩: 1997~2005, 65세 이상 고령자 집단의 빈혈/뇌졸증 관련 일일사망률 조사 결과, 폭염특보제 미운영 시 사망자수가 증가하는 것으로 나타남(빈혈 관련 1.23배; 뇌졸중 관련 0.97배)	특정 역치수준 이상에서의 폭염특보제 운영 여부에 따른 건강영향 정도 평가(다중선형회귀모델 적용)	일단위 분석
Fouillet et al.(2008)	• 프랑스: 2006년 폭염특보를 시행한 결과 약 4,400명의 초과사망을 예방한 것으로 평가(2003년 폭염기간과 비교)	비선형 포아송 회귀모형	일단위 분석
Ebi et al.(2004)	• 미국 필라델피아 주: 고온건강경보시스템(Heat Watch/Warning System) 운영의 비용/편익(CB)분석 결과, 운영비용 21만 달러와 편익비용 468백만 달러를 제시하고 1995년부터 1998년까지 117명의 초과사망을 방지한 것으로 평가	다중선형회귀모형	일단위 분석

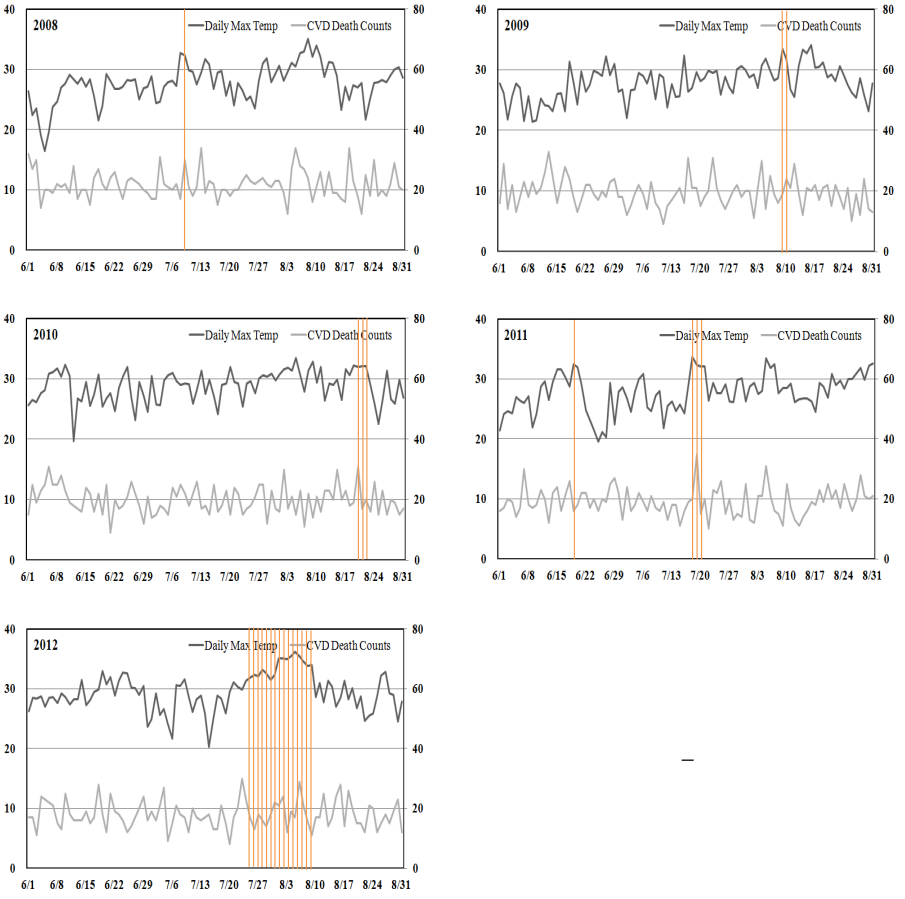
가. 서울지역 폭염특보 발령 현황

서울지역 폭염특보(주의보 및 경보)는 2008년부터 2012년까지 총 8회 발령되었으며, 이를 발효시점의 낮 시간(아침 9시부터 저녁 6시까지)이 포함된 일수(days)로 환산하면 전체 26일 동안 발령되었다. 전체 5년, 하절기의 460일 중 약 5.7% 일수가 폭염특보 기간이었으며, 연간 약 5.2일이 폭염특보 기간으로 나타났다. 폭염특보는 는 초여름(6월초부터 7월 중순까지)보다는 늦여름(7월 중순 이후부터 8월 말까지)에 대부분이 발령되었으며, 특히 이 중 2012년에는 7월 25일부터 8월 10일까지 16일간 장기간 폭염특보가 발령된 것으로 확인되었다.

〈표 4-10〉 2008~12년 하절기(6월1일~8월 31일) 서울지역 폭염특보 발령 현황

기상특보	발표		해제		일수	비고
	발표	발효	발표	발효		
폭염주의보	2008-07-09 05:00	2008-07-09 05:00	2008-07-09 17:00	2008-07-09 17:00	1	
폭염주의보	2009-08-09 17:00	2009-08-09 17:00	2009-08-10 16:50	2009-08-10 16:50	2	
폭염주의보	2010-08-20 10:00	2010-08-20 10:00	2010-08-23 04:30	2010-08-23 04:30	3	낮 시간 1일 제외
폭염주의보	2011-06-20 04:00	2011-06-20 12:00	2011-06-20 18:00	2011-06-20 18:00	1	
폭염주의보	2011-07-19 05:00	2011-07-19 12:00	2011-07-21 17:00	2011-07-21 19:00	3	
폭염주의보	2012-07-25 04:00	2012-07-25 11:00	2012-08-01 11:00	2012-08-01 11:00	7	폭염경보로 대체
폭염경보	2012-08-01 11:00	2012-08-01 11:00	2012-08-08 16:00	2012-08-08 16:00	7	폭염주의보로 대체
폭염주의보	2012-08-08 16:00	2012-08-08 16:00	2012-08-10 04:00	2012-08-10 04:00	2	낮 시간 1일 제외
합계					26	

폭염특보 발령 현황을 연도별로 일별 최고기온과 일별 심혈관계 관련 질환(Cardiovascular disease, 이하 CVD, ICD10 code: I00~I99) 사망자수와 연계하여 시계열로 표현해 보면(그림 4-2), 대부분의 시계열 그림에서 폭염특보가 발령된 날에 일별 최고기온이 높은 것으로 확인되며, 일별 CVD 사망자수는 폭염특보가 발령된 날 이후 점차 감소하는 경향을 보인다(2008년, 2009년, 2010년, 2011년). 하지만 2012년의 경우에는 장기간의 폭염특보가 발령되었고, 초기에는 일별 CVD 사망자수가 감소하는 경향을 보이다가 점차 지속적으로 증가하는 특성을 보이고 있다.



〈그림 4-2〉 2008~12년 서울 폭염특보, 일별 최고기온 및 일별 CVD 사망 현황

〈표 4-11〉 서울 폭염특보 발령일의 역치기준(일별 평균기온 28.1℃ 이상)별 일별 CVD 사망자수 특성

구분		일수	변수	발령 당일		발령 1일 후		발령 2일 후		발령 3일 후	
				평균	표준편차	평균	표준편차	평균	표준편차	평균	표준편차
폭염특보	평상시	434	일평균기온(℃)	24.36	2.42	24.39	2.45	24.42	2.47	24.45	2.48
			심혈관계 사망(N)	19.63	4.73	19.73	4.82	19.68	4.80	19.68	4.79
	폭염특보	**26**	일평균기온(℃)	29.07	1.48	28.48	2.26	28.00	2.76	27.52	3.14
			심혈관계 사망(N)	**19.88**	5.98	**18.23**	4.39	**19.12**	4.83	**19.12**	5.04
역치(일별 평균기온 28.1도 이상)	역치 미만	426	일평균기온(℃)	24.25	2.33	24.31	2.41	24.35	2.46	24.40	2.47
			심혈관계 사망(N)	19.61	4.73	19.65	4.75	19.73	4.82	19.66	4.78
	역치 이상	**34**	일평균기온(℃)	29.28	1.11	28.49	1.96	28.02	2.15	27.41	2.80
			심혈관계 사망(N)	**20.12**	5.71	**19.62**	5.43	**18.56**	4.48	**19.44**	5.08
역치수준과 폭염특보	역치 미만과 평상시	418	일평균기온(℃)	24.19	2.30	24.27	2.40	24.31	2.44	24.36	2.46
			심혈관계 사망(N)	19.60	4.73	19.68	4.76	19.74	4.81	19.66	4.81
	역치 미만과 폭염특보	8	일평균기온(℃)	27.59	0.45	26.41	2.10	26.31	2.88	26.29	2.74
			심혈관계 사망(N)	20.00	4.81	18.13	4.58	19.38	5.80	20.00	2.93
	역치 이상과 평상시	**16**	일평균기온(℃)	28.76	0.56	27.46	1.78	27.21	1.48	26.67	2.10
			심혈관계 사망(N)	**20.44**	4.79	**21.13**	6.16	**18.06**	4.54	**20.25**	4.22
	역치 이상과 폭염특보	**18**	일평균기온(℃)	29.73	1.29	29.40	1.66	28.75	2.41	28.06	3.22
			심혈관계 사망(N)	**19.83**	6.56	**18.28**	4.44	**19.00**	4.51	**18.72**	5.77

〈표 4-11〉은 서울의 폭염특보 발령일과 서울의 기상특성(일별 평균기온) 역치수준(일별 평균기온 28.1℃) 이상인 날에 따른 일별평균기온 및 일별 CVD 사망자수의 평균과 표준편차를 지연(lag)별로 산출한 결과이다. 먼저 서울에서 폭염특보 발령일은 전체 2008년부터 2012년 여름(6~8월) 460일 중에서 26일 발령되었으며, 폭염특보 발령 당일 일별 평균기온은 29.07℃로서 발령되지 않은 날들의 일별 평균기온 24.36℃보다 더 높은 것으로 나타났다. 더불어 폭염특보 발령당일의 일별 CVD 사망자수 평균은 19.88명이며 발령되지 않은 날들의 일별 CVD 사망자수는 19.63명으로 나타났다.

서울의 역치수준 이상의 날들은 전체 460일 중에서 34일로 확인되었으며, 역치 이상인 날들의 일별 CVD 사망자수 평균은 20.12명으로 그렇지 않은 날들의 평균 19.61명보다 높은 것으로 나타났다.

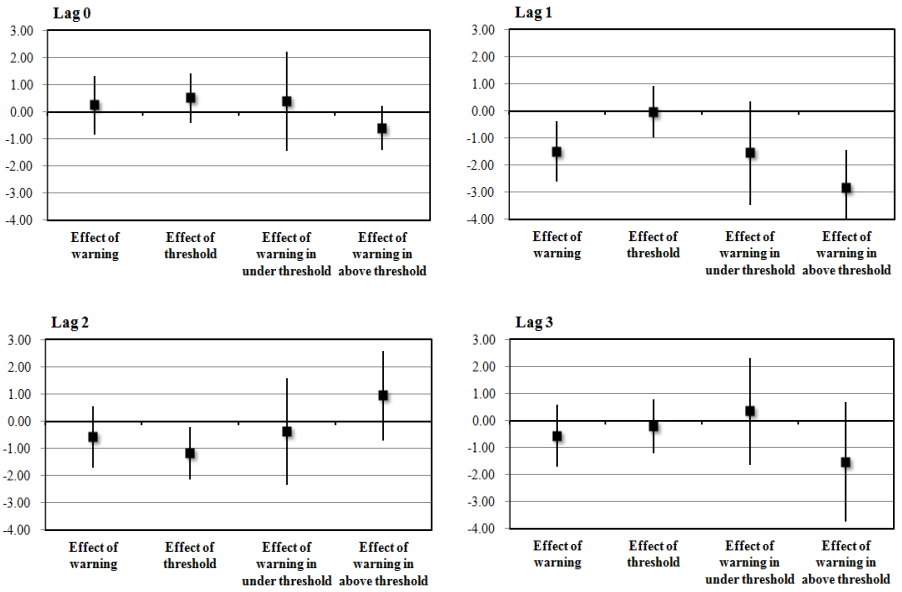
역치수준에 따른 폭염특보 발령 여부의 일별 CVD 사망자수를 비교하기 위해서 역치수준 미만과 이상의 날들에 대한 폭염특보 발령 여부를 확인하였다. 먼저, 역치 미만인 날 426일 중에서 폭염특보가 발령된 날은 8일로서 이때의 일별 CVD 사망자수 평균은 20.00명으로 나타났다. 이는 426일 중에서 폭염특보가 발령되지 않은 날 418일의 일별 CVD 사망자수 평균 19.60명보다 높은 수치이다. 반면에 역치수준 이상인 날 34일 중에서 폭염특보가 발령된 날은 18일로서, 이때의 일별 CVD 사망자수 평균은 19.83명으로 폭염특보가 발령되지 않은 날 16일의 일별 CVD 사망자수 평균 20.44명보다 낮은 수치이다.

폭염특보 및 역치수준의 고려한 폭염특보 발령의 일별 CVD 사망자수는 폭염특보가 발령되지 않은 일별 CVD 사망자수가 다소 낮은 경향을 보이는 것으로 사료된다. 추가적인 분석을 위해서 폭염특보 발령일 및 역치수준 이상 해당일의 지연에 따른 일별 CVD 사망자수 평균을 비교하였다. 본 분석에서는 당일(lag 0)부터 최대 지연일 3일까지를 분석하였다(표 4-11).

〈표 4-11〉의 분석 결과를 바탕으로 폭염특보 발령일, 역치수준 이상인 날의 여부, 그리고 폭염특보 및 역치수준 이상 해당일의 여부에 따른 일별 CVD 사망자수 평균을

산출하였다. 나아가 이를 해당일의 일별 CVD 사망자수 분포가 정규분포(normal distribution)임을 가정하여, 각각의 해당 여부에 따른 일별 CVD 사망자수 변화를 각각의 효과(effect)로 정의하여 이에 대한 95% 신뢰수준을 지연일별로 표현하였다(그림 4-3). 다음 공식은 두 집단의 평균 차에 대한 분포 공식이다.

$$\overline{X_1}-\overline{X_2} \sim T(\overline{x_1}-\overline{x_2}, \frac{S_p^2}{n_1}+\frac{S_p^2}{n_2}, df=n_1+n_2-2), \quad where \quad S_p^2=\frac{(n_1-1)s_1^2+(n_2-1)s_2^2}{(n_1+n_2-2)}$$



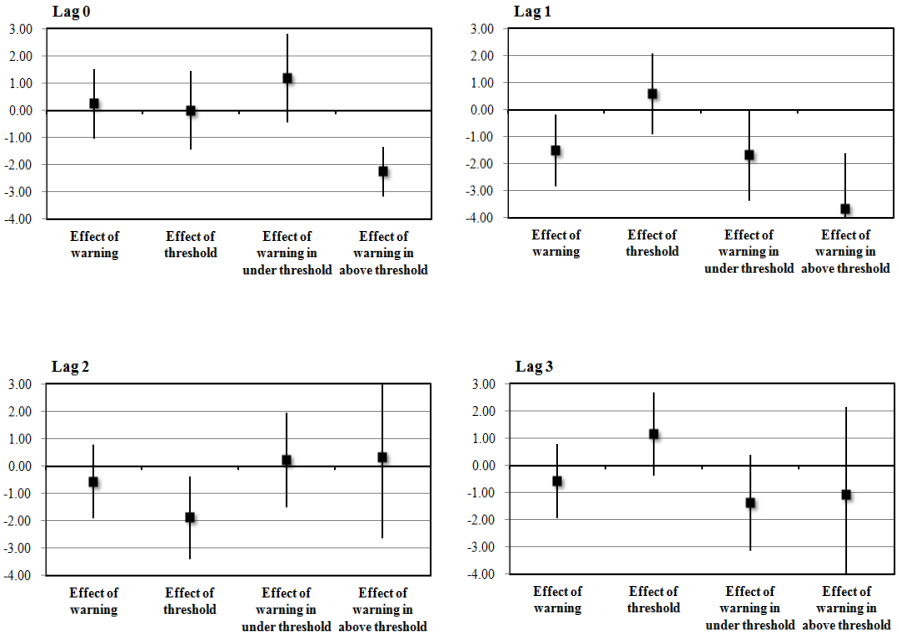
〈그림 4-3〉 지연일별 특보, 역치(일평균기온 28.1℃ 이상), 특보 및 역치의 일별 CVD 사망발생 효과

폭염특보 발령일의 일별 CVD 사망자수는 그렇지 않은 날들의 사망자수보다 다소 낮게 나타나는 것을 확인할 수 있다(발령일 1~3일 이후). 더불어 이러한 경향은 역치수준 이상의 해당 일에 더 크게 나타나고 있다. 하지만 지연일별로 다소 일관성에 차이를 보이는데, 이는 다른 요인(예를 들어, 누적효과 등)의 영향인 것으로 사료된다.

〈표 4-12〉 서울 폭염특보 발령일의 역치기준(일별 최고기온 33℃ 이상)별 일별 CVD 사망자수 특성

구분		일수	변수	발령 당일		발령 1일 이후		발령 2일 이후		발령 3일 이후	
				평균	표준편차	평균	표준편차	평균	표준편차	평균	표준편차
폭염특보	평상시	434	일최고기온(℃)	28.01	2.89	28.06	2.93	28.11	2.94	28.15	2.94
			심혈관계 사망(N)	19.63	4.73	19.73	4.82	19.68	4.80	19.68	4.79
	폭염특보	**26**	일최고기온(℃)	33.19	1.44	32.25	2.67	31.44	3.48	30.74	4.05
			심혈관계 사망(N)	**19.88**	5.98	**18.23**	4.39	**19.12**	4.83	**19.12**	5.04
역치수준 (일최고기온 33도 이상)	역치미만	440	일최고기온(℃)	28.03	2.85	28.09	2.93	28.12	2.96	28.15	2.99
			심혈관계 사망(N)	19.65	4.78	19.62	4.74	19.73	4.81	19.60	4.81
	역치이상	**20**	일최고기온(℃)	34.22	0.96	33.02	2.08	32.31	2.72	31.67	2.93
			심혈관계 사망(N)	**19.65**	5.45	**20.20**	6.07	**17.85**	4.36	**20.75**	4.67
역치수준과 폭염특보	역치미만과 평상시	425	일최고기온(℃)	27.89	2.79	27.98	2.89	28.04	2.91	28.09	2.93
			심혈관계 사망(N)	19.61	4.71	19.68	4.77	19.72	4.81	19.64	4.81
	역치미만과 폭염특보	15	일최고기온(℃)	32.11	0.28	31.07	2.40	30.34	3.43	29.64	4.15
			심혈관계 사망(N)	20.80	6.53	18.00	3.53	19.93	4.83	18.27	4.57
	역치이상과 평상시	**9**	일최고기온(℃)	33.66	0.66	31.98	1.45	31.54	2.11	30.97	1.85
			심혈관계 사망(N)	**20.89**	5.84	**22.22**	6.40	**17.67**	4.00	**21.33**	3.39
	역치이상과 폭염특보	**11**	일최고기온(℃)	34.67	0.94	33.86	2.19	32.94	3.09	32.25	3.57
			심혈관계 사망(N)	**18.64**	5.16	**18.55**	5.54	**18.00**	4.82	**20.27**	5.62

〈표 4-12〉는 서울의 폭염특보 발령일과 서울의 기상특성(일별 최고기온) 역치수준(일별 최고기온 33℃) 이상인 날에 따른 일별 최고기온 및 일별 CVD 사망자수의 평균과 표준편차를 지연(lag)별로 산출한 결과이다. 더불어 〈그림 4-4〉는 각각의 해당 여부에 따른 일별 CVD 사망자수 변화를 각각의 효과(effect)로 정의하여 이에 대한 95% 신뢰수준을 지연일별로 표현하였다.



〈그림 4-4〉 지연일별 특보, 역치(일최고기온 33℃ 이상), 특보 및 역치의 일별 CVD 사망발생 효과

〈표 4-12〉의 역치수준을 일별 최고기온으로 할 경우 역치수준을 일별 평균기온으로 할 때보다 폭염특보 발령일의 일별 CVD 사망자수가 더 많이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 나아가 지연일별로 그 효과를 표현한 〈그림 4-4〉에서도 이러한 경향이 더 확연히 나타나고 있음을 확인할 수 있었다.

나. 폭염특보의 사망발생 방지효과 평가

1) 평가 목적 및 범위

폭염특보에 따른 사망발생 방지효과에 대한 평가는 서울지역을 대상으로 하였다. 폭염특보가 운영된 2008년부터 2012년까지 하절기(6~8월)를 분석하였으며, 전체 연령의 심혈관계 관련 질환(CVD) 사망을 분석하였다. 이 분석을 통해서 폭염특보 발령일에는 일별 사망자수 감소가 나타날 것으로 가설을 세웠는데, 이를 정량적으로 평가하기 위해 해당 지역 및 기간의 일별 사망자수에 대해 시간 변화, 요일 변화, 계절 변화, 일별 기상특성 변화로 통제하고 일별 폭염특보의 발령 여부 효과를 평가하였다. 더불어 이에 대한 폭염 발생으로 인한 건강영향의 지연일을 통제하기 위해 일별 사망자수를 당일부터 지연일 3일까지 고려하여 평가하였다.

2) 통계 모형

폭염특보에 따른 사망발생 방지효과는 비선형 포아송 회귀모형(Nonlinear Poisson Regression)을 적용하여 평가하였다. 다음은 본 연구에서 적용한 비선형 포아송 회귀모형의 공식을 기술한 것이다(de Boor, 1978; Kim, Ha and Park, 2006).

$$\begin{aligned}\ln(E(M_t)) = {} & DOW_t + YEAR_t + ns(NUM, df_t) \\ & + ns(Temp_t, df_{Temp}) + ns(Humi_t, df_{Humi}) \\ & + threshold_t + heatwave_t \\ & + threshold_t \times heatwave_t\end{aligned}$$

여기에서 M_t는 t날의 일별 사망자수, NUM은 1일부터 92일까지의 날수,

DOW_t는 t날의 요일, $YEAR_t$는 t날의 연도,

$Temp_t$는 t날의 일별 평균기온, $Humi_t$는 t날의 일별 평균상대습도

$threshold_t$는 t날의 역치기온 이상 여부, $heatwave_t$는 t날의 폭염특보

3) 분석 결과

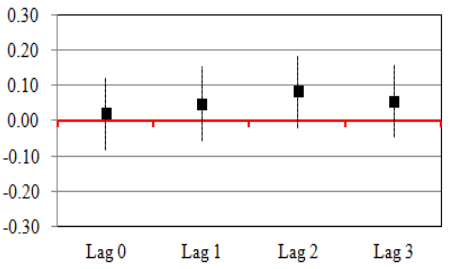
비선형 포아송 회귀모형에 분석할 서울지역 2008년부터 2012년까지의 하절기(6~8월)의 일별 자료값에 대한 특성은 〈표 4-13〉과 같다.

〈표 4-13〉 서울 2008~12년 하절기 사망 및 폭염 발생 특성

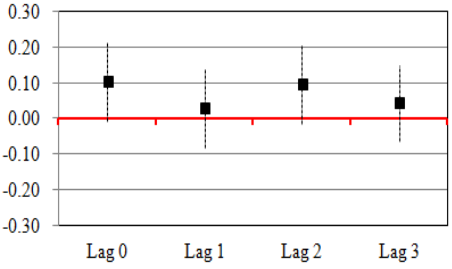
연도	일수	사망특성			기상특성		
		전체 연령 총 사망자수 일평균	65세 이상 총 사망자수 일평균	전체 연령 CVD 사망자수 일평균	폭염특보 발령일수	일평균 기온 28.1℃ 이상 일수	일최고 기온 33.0℃ 이상 일수
2008	92	86.22	59.63	21.87	1	5	3
2009	92	86.28	60.36	19.36	2	2	3
2010	92	91.58	65.71	19.96	3	8	1
2011	92	91.10	64.83	19.08	4	5	2
2012	92	95.70	69.61	17.98	16	14	11
전체	460	90.17	64.03	19.65	26	34	20

서울지역의 2008년부터 2012년까지 하절기 동안 일평균 전체 연령 사망자수는 90.17명으로 매년 증가하는 것으로 나타났으며, 이 중 65세 이상이 전체의 약 30% 이상을 차지하며, CVD 사망자수는 전체의 약 25% 수준으로 나타났다. 반면 시계열적인 증감경향은 전체 연령 및 65세 이상이 계속 증가하는 것으로 나타났지만, CVD 사망은 계속 감소하는 것으로 나타났다. 해당 기간 동안 폭염특보 발령은 모두 26일 이었으며, 2012년에 가장 많은 폭염특보를 보였다. 유사하게 일 평균기온이 28.1℃ 이상인 날은 34일, 일 최고기온이 33℃ 이상인 날은 20일로서 모두 2012년에 가장 많은 빈도를 보였다. 사망자 발생 특성과는 달리 기상 특성의 경우에 시계열적인 증감경향을 확인하기는 어려웠다.

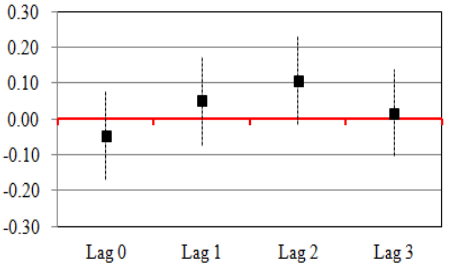
비선형 포아송 회귀모형을 적용하여 서울지역의 역치기온 특성별·지연일별·연령집단별로 역치수준 이상 여부와 폭염특보 발령 여부의 상호작용에 대한 회귀계수를 도식화한 것이 〈그림 4-5〉이다.



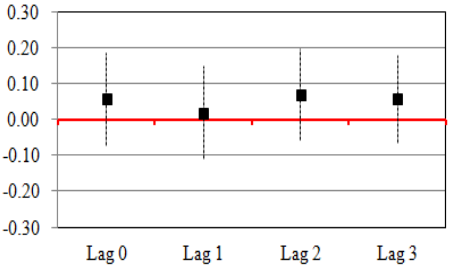
〈전체 연령 사망자, 역치수준(일평균기온 28.1℃ 이상)과 폭염특보 여부의 상호작용 회귀계수〉



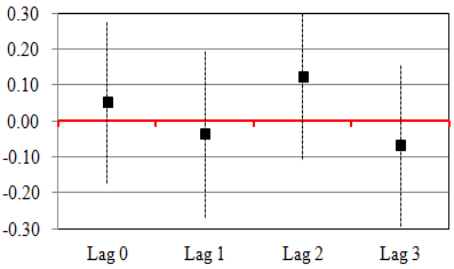
〈전체 연령 사망자, 역치수준(일최고기온 33.0℃ 이상)과 폭염특보 여부의 상호작용 회귀계수〉



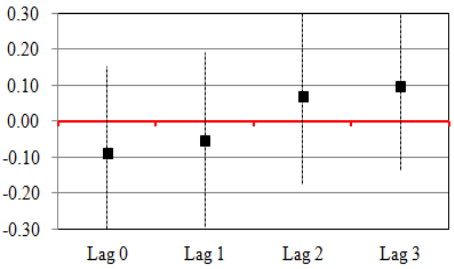
〈65세 이상 연령 사망자, 역치수준(일평균기온 28.1℃ 이상)과 폭염특보 여부의 상호작용 회귀계수〉



〈65세 이상 연령 사망자, 역치수준(일최고기온 33.0℃ 이상)과 폭염특보 여부의 상호작용 회귀계수〉



〈전체 연령 CVD 사망자, 역치수준(일평균기온 28.1℃ 이상)과 폭염특보 여부의 상호작용 회귀계수〉



〈전체 연령 CVD 사망자, 역치수준(일최고기온 33.0℃ 이상)과 폭염특보 여부의 상호작용 회귀계수〉

〈그림 4-5〉 서울지역 2008~12년 하절기 역치수준 이상 및 폭염특보 발생의 상호작용 회귀계수

본 연구에서는 폭염특보의 사망 방지효과에 대해 분석하였다. 전체 연령의 총 사망자, 65세 이상 연령의 총 사망자, 그리고 전체 연령의 CVD 사망자에 대한 분석에서 사망에 대한 방지효과를 보이는 것은 전체 연령의 CVD 사망에 대한 것이다. 본 연구에서 전체 연령의 CVD 사망에 대해서만 역치수준 이상에서 폭염특보 발령이 역치수준 이상에서 폭염특보 발령이 되지 않는 경우보다 다소 적은 사망자수를 가져오는 효과를 확인할 수 있었으나, 이에 대한 해석은 다양한 조건을 감안해서 이루어져 할 것으로 사료된다.

폭염특보의 효과는 건강영향이 나타나기 시작하는 기온, 즉 역치수준 이상에서 확인될 수 있다. 앞서 언급한 통계모형은 역치수준 이상 여부와 폭염특보 발령 여부를 교호작용(interaction-term)으로 처리하였다. 이에 역치수준 이상에서의 폭염특보 발령 여부의 사망발생 효과는 폭염특보 발령 여부 회귀계수와 역치수준 이상 여부 및 폭염특보 발령 여부의 교호작용의 회귀계수 합으로 추정하였으며, 이에 대한 표준오차는 공분산 공식[4]을 적용하여 산출하였다. 〈표 4-14〉는 서울지역 2008년부터 2012년까지 전체 연령의 심혈관계 사망자에 대하여 역치기온 특성별, 지연일별 역치기온 이상에서의 폭염특보 발령에 따른 사망발생 방지효과 추정 결과이다.

〈표 4-14〉 서울 2008~12년 하절기 역치기온 이상에서 폭염특보 사망방지 추정 결과

역치기온	역치기온 이상에서 폭역특보 발령에 따른 일별 사망자수 평균의 백분율 변화 (증가율(%) (95% 신뢰구간))			
	폭염특보 당일	폭염특보 1일 후	폭염특보 2일 후	폭염특보 3일 후
일평균기온 28.1℃ 이상	6.46 (-9.72~25.54)	-10.56 (-24.41~5.81)	12.69 (-5.01~33.69)	-0.63 (-15.84~17.34)
일최고기온 33.0℃ 이상	-4.32 (-23.75~20.06)	-13.10 (-30.31~8.36)	9.00 (-13.14~36.79)	7.21 (-12.98~32.07)

4) 공분산 공식: $Var(X+Y) = Var(X) + Var(Y) + 2Cov(X,Y)$

다. 시사점 및 평가 결과에 대한 한계

본 연구의 정량적 분석은 적응관리 사이클의 이행 및 효과 평가에 해당되는 것으로 폭염특보에 관한 것이다. 사실 폭염특보는 단기적인 폭염대책의 가장 기본이 되는 것으로 다양한 분야의 단기적인 대책들은 폭염특보의 발령에 기초하여 이행된다. 현재 국내의 단기적인 폭염대책들은 폭염특보의 발령 여부에 의해서 대책이 이행된다고 하여도 무방하다. 따라서 폭염특보 발령에 따른 건강영향에의 효과를 파악하는 것은 폭염특보 발령과 함께 이루어지는 폭염대책들의 효과를 파악하는 초기단계라고 할 수 있다.

본 분석에서는 시각적 방법, 단변량 분석, 그리고 다변량 분석을 적용하여 그 효과 정도를 확인하고자 하였다. 특히 다변량 분석에서는 비선형 포아송 회귀모형을 적용하여 건강영향이 나타나기 시작하는 역치기온 이상에서의 폭염특보 발령 여부에 따른 효과를 평가하였다. 전체 원인사망에 대한 전체 연령 및 65세 이상 연령 사망자에 대해서는 그 효과를 확인할 수 없었지만, 심혈관계 관련질환 사망자에 대해서는 폭염특보에 대한 사망발생 방지효과를 일부 확인할 수 있었다(표 4-14). 하지만 서울지역 폭염특보 발령일수, 역치기온 이상에서의 폭염특보 발령 및 비(非)발령 일수의 제한 등으로 통계적인 유의성은 확보할 수 없었다.

이번 분석은 폭염대책의 효과에 대한 첫 번째 정량평가라는 것에 의의를 둘 수 있다. 우리나라 폭염특보제의 운영은 2008년부터 본격적으로 시행되어, 현재 여섯 번째 해를 맞이하고 있다. 결국 매년 평균적으로 5회의 폭염특보 발령일에 대해서 발령 여부에 대한 정량적인 분석을 한다는 것은 본질적 한계를 가질 수밖에 없다. 하지만 추가적인 자료가 확보되었을 때 본 연구에서 수행된 방법론은 정량적인 효과 분석에 유용할 것이다.

덧붙여 폭염특보에 대한 정량적인 분석은 효과에 대한 모니터링 지표를 다양하게 함으로서 그 활용성을 더 높일 수 있을 것이다. 본 분석에서 사용된 효과의 지표로서 사망자수뿐만 아니라 온열 질환자수 및 응급 환자수 발생 등으로 다양하게 평가할 수 있으며, 폭염특보 관련 대책에 대한 모니터링 지표들을 개발 및 구축한다면 해당 대책에 대한 실질적 효과 평가에 활용할 수 있을 것이다.

| 제5장 · 요약 및 제언 |

하절기 폭염은 과거에도 있었던 현상이다. 하지만 최근의 폭염은 과거에 비해 발생 빈도, 지속일수 등이 증가하고 있으며, 발생 시기를 예측하기 어렵다는 특징을 갖고 있다. 더불어 이러한 폭염 현상에 대해 기후변화와의 연관성을 언급하는 연구들이 늘고 있다. 이에 본 연구는 기후변화와 연계하여 폭염에 대한 중장기적인 적응대책을 수립하는 데 목적을 두고 수행하였다.

본 연구는 기후변화 폭염에 대응한 중장기적 적응대책을 수립함에 있어 기후변화 폭염, 중장기적 대책, 적응대책에 대한 개념 정리를 통해 대책수립 범위를 명확히 하고자 하였다. 첫째, 기후변화 폭염은 현재의 폭염 기준에 기후변화로 인한 발생 빈도 및 강도가 증가하는 것 또는 그 현상으로 정의하여, 현재의 폭염으로 인한 피해를 예방하는 것에 대책수립의 목적을 구체화하도록 하였다. 둘째, 중장기적 대책은 시간적 차원에서 사전 예방적 성격을 가지는 대책으로 정의하여, 폭염 피해에 직접적인 연관관계를 가진 분야뿐만 아니라 간접적으로 영향을 줄 수 있는 관련 분야를 포괄적으로 다루도록 하였다. 셋째, 적응대책은 지속적으로 수정·보완해 가는 대책으로 정의하여 중장기적 대책을 체계적으로 관리해 나갈 수 있도록 하였다. 이러한 개념 정립과 함께 중장기적 적응대책은 국가 수준에서의 역할 측면에서 현 상황 및 향후 방향을 제시하고자 하였다.

본 연구에 적용된 중장기적 적응대책의 수립·관리 방법론은 중장기적인 시간적 측면을 고려함과 동시에 폭염과 관련한 분야를 포괄하여 사전 예방적 차원의 대책들을 통합하는 대책 통합(policy integration)과, 사회적 학습이론을 구체화하여 적용가능하게 하는 적응 관리(adaptive management)를 활용하였다. 실제 본 연구에서의 방법론 적용은 4단계로서 중장기적 적응대책 목표 설정, 폭염 피해 및 영향 경로를 통한 대책 분야 설정, 중장기적 적응대책 전략 마련, 그리고 폭염대책 조사 및 정리, 개선(안) 도출로 진행하였다.

이번 연구에서는 과거 국내 폭염으로 인한 피해 조사·정리 및 국내외 폭염 대책의

현황 정리를 통해 기후변화 폭염에 대응한 중장기적 적응대책의 목표 및 관련 대책 분야, 그리고 중장기적 적응대책의 방향을 제시하였다. 먼저 단계 1의 중장기적 적응대책 최종 목표는 지역사회 주민의 건강 및 복지 향상으로 하였다. 단계 2의 폭염 피해 및 영향 경로를 통한 대책 분야는 건강, 환경, 사회기반시설, 산업으로 선정하였다. 단계 3의 중장기적 적응대책 전략 마련은 적응관리 모델에 근거하여 지역사회 주민의 건강 및 복지 향상이라는 목적하에 위험요인 측정, 계획/정책 수립, 이행, 모니터링, 이행/효과 평가, 그리고 조정 및 보완의 단계로 세부목표와 수행내용을 제시하였다. 마지막으로 단계 4의 폭염대책 조사 및 정리, 개선(안) 도출은 단계 3의 세부목표 및 수행 내용에 근거하여 현 국내 폭염 대책에 대한 평가와 그에 대한 개선 방향을 제시하였다.

본 연구를 통해 제안하는 기후변화 폭염 대응한 중장기적 적응대책(안)은, 첫째, 폭염에의 노출 및 그에 대한 반응에 영향을 주는 다양한 요소들 간의 상호관계 파악을 위한 위험요인 측정 단계로서 폭염 관련 분야별(및 범 분야) 피해경로 조사·분석을 통한 대책 근거 마련, 폭염 피해 분야별(및 통합) 영향 및 취약성 평가 강화를 제안하였다. 둘째, 정치·경제적으로 수행 가능한 계획, 고위험 계층 및 지역 대응 우선순위화, 다양한 분야의 대응 수요 평가를 위한 계획/정책 수립 단계로서 분야별 다양한 적응 옵션 및 기술 개발보급, 분야별 폭염 취약성 지도 작성/제공, 지자체 대책 수립 가이드라인 개발/제공을 제안하였다. 셋째, 대책 등에 있어 이해당사자와의 전달체계 확립을 위한 이행 단계에서는 단기 대책에 대한 이행도구 개발, 중장기 대책에 대한 이행 도모(시범사업 추진 및 법제도적 조치)를 제안하였다. 마지막으로 대책 이행을 통한 영향 정도의 확인을 위한 모니터링 단계, 대책 이행의 효과, 취약성 및 영향 경로에 대한 이해 제고 평가를 위한 이행/효과 평가 단계, 그리고 평가 결과를 바탕으로 대책 개선 및 보완을 수행하는 조정 및 보완 단계에서는 폭염 관련 분야별 모니터링 지표 개발 및 DB 구축, 지자체 수준의 M&E 가이드라인 개발 및 제공, 폭염대책위원회(가칭) 운영, 지자체 담당자의 폭염 대책 피드백을 위한 소통채널 구축 및 운영을 제안하였다.

마지막으로 이번 연구에서는 적응관리 모델의 이행 및 효과 평가 단계에 대한 사례 분석으로 폭염특보의 효과성에 대해 수행하였다. 이론적으로 폭염특보 효과성 평가 결과는

현재 이행 중인 단기적인 폭염 대책(사업)들의 운영 효과성 및 이를 통해 관련 대책(사업)들을 개선해 나갈 수 있는 근거로 활용될 수 있는데, 본 연구에서는 분석 자료의 한계 등으로 인해 최초로 정량적인 분석을 시도했다는 것에 만족해야만 했다.

이번 기후변화 폭염에 대응한 중장기적 적응대책 수립 연구는 기존의 폭염대책 수립과 관련한 연구들에 비해 세 가지 측면의 장점을 가지고 있다. 첫째, 기존의 단기적인 폭염 대책을 수립하는 것에 비해 기후변화를 고려한 중장기적이면서도 지속적으로 개선·보완해가는 적응대책들을 제시했다는 것이다. 둘째, 기존 대책이 건강 분야만을 대응하는 대책이었던 것에 비해 폭염 피해가 발생하는 건강, 환경, 사회기반시설, 그리고 산업까지도 고려한 대책을 제시하고 있다는 것이다. 마지막으로 본 연구는 중장기적인 적응대책의 수립뿐만 아니라 현행 대책들에 대한 이행/효과 평가로서 정량적인 분석을 시도했다는 것이다.

이와 더불어 본 연구는 다음의 두 가지 측면에서 한계점과 이와 연계한 향후 연구 방향을 제시할 수 있다. 첫째, 이번 연구에서는 기후변화 폭염에 대응한 중장기적 적응대책으로서 전체적인 방향 및 그 내용을 제시하였다. 하지만 본 연구에서 제안하는 중장기적 적응대책은 폭염 피해에 대응하는 다양한 분야의 대책들을 통합하여 제시하는 것이 핵심이므로 관련된 대책 및 내용에 대해 운영 기관, 예산, 세부적인 대책의 수립 기간(또는 일정)에 대한 것이 추가로 다루어져야 할 것이다. 더불어 국가 수준에서 지원해야 할 폭염 대책과 관련하여 세부적인 사업을 개발하는 것도 뒤따라야 할 것이다.

둘째, 기후변화 폭염에 대한 실질적인 대책의 실효성은 폭염특보와 같이 국가 단위에서 지원하는 것도 일부 존재하지만, 대부분이 지자체에서의 실질적 사업을 통해 나타날 수 있다. 이번 연구는 국가 단위에서의 대책을 제시하는 것이므로 실제로 지자체에서의 기후변화 폭염에 대응하는 대책 또는 사업에 대해서는 새로운 연구로 진행되어야 할 필요가 있다.

| 참고문헌 |

〈국문 자료〉

관계부처 합동. 2011.「국가기후변화적응대책 2011~2015」.

_____. 2014.「이상기후보고서 2013」.

국립기상연구소. 2011.「기후변화 시나리오 보고서 2011」.

국립재난안전연구원. 2013.「이상기온에 의한 재난 대응체계 구축방안」.

_____. 2014.「Future Safety Issue: 한 달간의 폭염지옥」.

기상청. 2007.06.27. “여름철 무더위에 대비한 폭염특보제 시행”. 보도자료.

_____. 2012.「한반도 기후변화 전망보고서」.

김소연. 2004.「기후변화로 인한 여름철 혹서현상이 사망률에 미치는 영향」. 아주대학교 의학박사 학위논문.

김지영 외. 2006. “한반도에서 여름철 폭염이 일 사망률에 미치는 영향”.「한국기상학회」16(4): 269-278.

김진욱. 2005. “폭염에 대응하는 지역사회 비상대처 계획 수립 기반 연구”.「지역사회발전학회」30(3): 11-22.

김창길 외. 2012.「기후변화가 식량공급에 미치는 영향분석과 대응방안」. 한국농촌경제연구원 연구보고서 R663.

문난경 외. 2010.「지구온난화에 따른 지역규모 대기질 영향평가 II」. 한국환경정책·평가연구원 연구보고서 2010-20.

박민규, 박무종, 2012. “블랙아웃 사례와 시사점”.「방재저널」14(5): 56-63.

배민기. 2013.「소리없는 살인자 폭염, 충청북도 폭염대책 강화가 필요하다」. 충북FOCUS No.77(2013-7호).

보건복지부, 질병관리본부. 2013.08.13. “빨리 찾아온 무더위, 건강관리 이렇게 하세요!”. 보도참고자료.

성지은, 송위진. 2008.「정책 조정의 새로운 접근: 정책 통합」. STEPI WP 2008-01.

소방방재청. 2009.「피해액 산정기준 마련 등 제도화 방안 연구: 폭염 분야」.

송교욱 외. 2013.「이상고온현상 적응을 위한 부산시 폭염대책」. 부산발전연구원 현안연구 2013-10-502.

신용승 외. 2012.「국가 환경보건지표로서 환경성질병부담 도입방안」. 한국환경정책·평가연구원 연구보고서 2012-06.

아주대학교. 2008.「기후변화에 따른 건강피해 모니터링 및 위험인구 감소전략 개발 연구」.

왕순주. 2004.“폭염 재해의 현황 및 대처”.「한국방재학회지」4(3): 104-115.

이수재 외. 2013.「국가별 기후변화 적응전략에 따른 우리나라의 리스크 대응방안 연구」. 한국환경정책·평가연구원 사업보고서 2013-03-01.

정명생 외. 2007.「기후변화가 수산업에 미치는 영향」. KMI 2007-08.

중앙재난안전대책본부. 2013.「2013년 폭염대응종합대책」.

질병관리본부. 2012.「2012년 폭염 건강피해 백서」.

환경부. 2003.「한반도 기후변화와 영향평가 및 적응프로그램 마련: 기후변화로 인한 건강피해 가능성 조사 및 피해 저감정책 방향에 관한 연구」.

_____. 2009.「우리나라 기후변화의 경제학적 분석(I)」.

〈영문 자료〉

Adger, N. et al. 2005. "Successful adaptation to climate change across scales". *Global Environmental Change*, 15: 77-86.

Armitage, D. et al. 2008. "Adaptive co-management and the paradox of learning". *Global Environmental Change*, 18(1): 86-98.

AUS DCCEF. 2010. *Adapting to Climate Change in Australia: An Australian Government Position Paper*.

Baas, S. and S. Ramasamy. 2008. *Community Based Adaptation in Action: A Aase Study from Bangladesh*. Rome: FAO.

Berger, G. and R. Steurer. 2009. *Horizontal Policy Integration and Sustainable Development: Conceptual Remarks and Governance Examples*. ESDN Quarterly Report June 2009.

Berkhout, F. et al. 2006. "Learning to adapt: organisational adaptation to climate change impacts". *Climate Change*, 78: 135-156.

Biesbroek, G. R. et al. 2010. "Europe adapts to climate change: comparing national adaptation strategies". *Global Environmental Change*, 20: 440-450.

Blackmore, C. et al. 2007. "Social learning: An alternative policy instrument for managing the context of Europe's water". *Environmental Science and Policy*, 10(6): 493-498.

Bouwen, R. and T. Taillieu. 2004. "Multi-party collaboration as social learning for interdependence: developing ralational knowing for sustainable natural resource management". *Journal of Community & Applied Social Psychology*, 14: 137-153.

Bretin, P. et al. 2006. "August 2003 Heat wave in France: Risk factors for death of elderly people living at home". *European Journal of Public Health*, 16(6): 583-591.

Briassoulis, H. 2004. "Policy integration for complex policy problems: What, why, and how". *Berlin Conference 'Greening of Policies: Interlinkages and Policy Integration'.* Berlin.

Brooks, M. et al. 2009. "Prioritizing Climate Change Risks and Actions on Adaptation: A Review of Selected Institutions, Tools and Approaches". *Discussion Paper.* Policy Research Instiative.

Chau, P. H. et al. 2009. "Hot weather warning might help to reduce elderly mortality in Hong Kong". *International Journal of Biometeorology*, 53: 461-468.

Climate Council of Australia. 2013. *Heatwaves: Hotter, Longer, More Often.*

Climate Impact Group et al. 2007. *Preparing for climate change: A Guidebook for Local, Regional, and State Governments.*

Collins, K. and R. Ison. 2009. "Jumping off Arnstein's ladder: Social learning as a new policy paradigm for climate change adaptation". *Environmental Policy and Governance*, 19: 358-373.

Commonwealth of Australia. 2007. *National Climate Change Adaptation Framework.*

Corfee-Morlot, J. et al. 2009. *Cities, Climate Change and Multilevel Governance.*

OECD Environmental Working Papers No. 14.

COAG. 2007. *National Climate Change Adaptation Framework*.

Cundill, G. and C. Fabricius. 2009. "Monitoring in adaptive co-management: Toward a learning based approach". *Journal of Environmental Management*, 90: 3205-3211.

de Boor, C. 1978. *A Practical Guide to Splines.* Wisconsin: Springer.

Dessai, S. and M. Hulme. 2004. "Does climate adaptation policy need probabilities?". *Climate Policy*, 4: 1-22.

Diduck, A. 2004. "Incorporating participatory approaches and social learning". *Resource and Environmental Management in Canada*, 497-527. Mitchell, B.(3rd ed.). Ontario: Oxford University Press.

Ebi, K. et al. 2004. "Heat Watch/Warning Systems save lives: Estimated costs and benefits for Philadelphia 1995-98". *Bulletin of the American Meteorological Society*, 85(8): 1067-1073.

Emberson, L. D. et al. 2013. "Scorched earth: How will changes in the strength of the vegetation sink to ozone deposition affect human health and ecosystems?". *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13(14): 6747-6755.

EU Committee of the Regions. 2013. *Climate Change Adaptation: Empowerment of Local and Regional Authorities, with a Focus on Their Involvement in Monitoring and Policy Design*.

FAO. 2008. "Climate change for fisheries and aquaculture". *High-level Conference on Food Security: The Challenges of Climate Change and Bioenergy*. Rome.

Filleul, L. et al. 2006. "The relation between temperature, ozone and mortality in nine French cities during the Heat Wave of 2003". *Environmental Health Perspectives*, 114: 1344-1347.

Fiore, A. M. et al. 2012. "Global air quality and climate". *Chemical Society Reviews*, 41: 6663-6683.

Folke, C. et al. 2005. "Adaptive governance of social-ecological systems". *Annual*

Review of Environment and Resources, 30: 441-473.

Fouillet, A. et al. 2006. "Excess mortality related to the August 2003 heatwave in France". *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 80: 16-24.

Fouillet, A. et al. 2008. "Has the impact of heat waves on mortality changed in France since the European heat wave of summer 2003?: A study of the 2006 heat wave". *International Journal of Epidemiology*, 37(2): 309-317.

French Ministry of Ecology, Sustainable Development, Transport and Housing. 2011. *National Climate Change Adaptation Plan*.

Funfgeld, H. 2010. "Institutional challenges to climate risk management in cities". *Current Opinion in Environmental Sustainability,* 2: 156-160.

Funfgeld, H. and D. McEvoy. 2011. *Framing Climate Change Adaptation in Policy and Practice*. Melbourne: VCCCAR.

Funfgeld, H. et al. 2013. *Climate Change Adaptation in the Primary Health and Community Welfare Sector in Victoria*. VCCCAR Project Report 1.

Fussel, H-M. and R. Klein. 2006. "Climate change vulnerability assessments: An evolution of conceptual thinking". *Climatic Change,* 75(3): 301-329.

Garcia, S. M. and A. A. Rosenberg. 2010. "Food security and marine capture fisheries: characteristics, trends, drivers and future perspectives". *Philosophical Transactions of the Royal Society Biological Sciences*, 365: 2869-2880.

Government of Canada. 2010. *Adapting to climate change: An introduction for Canadian municipalities*.

_____. 2011. *Federal Adaptation Policy Framework*.

Government of Victoria. 2009. *Port Futures: New Priorities and Directions for Victoria's Ports System*. Department of Transport, Melbourne.

Grabs, W., A.C. Tyagi, and M. Hyodo. 2007. "Integrated flood management". *Water Science and Technology*, 56(4): 97-103.

Guha-Sapir, D. et al. 2011. *Annual Disaster Statistical Review 2010: The Numbers*

and Trends. Brussels: Center for Research on the Epidemiology of Disasters.

Health Canada. 2011. *Communicating the Health Risks of Extreme Heat Events: Toolkit for Public Health and Emergency Management Officials*.

_____. 2012. *Heat Alert and Response Systems to Protect Health: Best Practices Guidebook*.

Henry, B. et al. 2012. "Livestock production in a changing climate: adaptation and mitigation research in Australia". *Crop & Pasture Science*, 63: 191-202.

Hess, J. et al. 2012. "Integrating climate change adaptation into public health practice: Using adaptive management to increase adaptive capacity and build resilience". *Environmental Health Perspectives*, 120(2): 171-179.

HM Government. 2013. *The National Adpatation Programme: Making the Country Resilient to a Changing Climate*.

Holling, C. S. 1978. *Adaptive Environmental Assessment and Management*. New York: Wiley.

Howden, S. M. et al. 2007. "Adapting agriculture to climate change". *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(50): 19691-19696.

IPCC. 2007. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability, in Working Group II Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report*.

_____. 2014. *Climate Change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability, in Working Group II Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fifth Assessment Report*.

Ison, R. et al. 2011. "Sustainable catchment managing in a climate changing world: new integrative modalities for connecting policy makers, scientists and other stakeholders". *Water Resources Management*, 25(15): 3977-3992.

Kaiser, R. et al. 2007. "The effect of the 1995 heat wave in Chicago on all-cause and cause-specific mortality". *American Journal of Public Health*, 97(Supplement 1): S158-S162.

Keatinge, W. R. et al. 1986. "Increased platelet and red cell counts, blood viscosity, and plasma cholesterol levels during heat stress, and mortality from coronary and cerebral thrombosis". *American Journal of Medicine*, 81: 795-800.

Keen, M. et al. 2005. *Social Learning in Environmental Management*. London: Earthscan.

Kim, H., J. Ha and J. Park. 2006 "High temperature, heat index, and mortality in 6 major cities in South Korea". *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 61(6): 265-270.

Kjellstrom, T. and A. J. McMichael. 2013. "Climate change threats to population health and well-being: the imperative of protective solutions that will last". *Global Health Action*, 6.

Klinenberg, E. 2002. *Heat Wave: A Social Autopsy of Disaster in Chicago*. Chicago: University of Chicago Press.

Kovats, R. S. et al. 2003. "National assessments of health impacts of climate change: a review". *Climate Change and Health: Risks and Response.* McMichael, A.J. et al. eds. Geneva: World Health Organization.

Kreft, S., A. Kaloga and S. Harmeling. 2011. *National Adaptation Plans: Towards Effective Guidelines and Modalities*. Germanwatch and WWF Discussion Paper.

Lagadec, P. 2004. "Understanding the French 2003 heat wave experience". *Journal of Contingencies and Crisis Management*, 12: 160-169.

Lee, K. N. 1993. *Compass and Gyroscope: Integrating Science and Politics for the Environment*. Washington, D.C.: Island Press.

Lowe, D., K. Ebi and B. Forsberg. 2011. "Heatwave early warning systems and adaptation advice to reduce human health consequences of heatwaves". *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8: 4623-4648.

Maunsell Australia. 2008. *Impacts of Climate Change on Infrastructure in Australia and CGE Model Inputs for the Garnaut Climate Change Review*.

McMichael, A.J. et al. 2006. "Climate change and human health: present and future risks". *Lancet*, 367: 859-869.

Meijers, E. and D. Stead. 2004. "Policy integration: What does it mean and how can it be achieved?". *A Multi-disciplinary Review*.

Ministry of the Environment Ontario. 2011. *Climate Ready: Ontario's Adaptation Strategy and Action Plan 2011~2014*.

Mirchandani, H. G. et al. 1996. "Heat-related deaths in Philadelphia - 1993". *American Journal of Forensic Medicine and Pathology*, 17: 106-108.

Moser, S. and J. Ekstrom. 2010. "A framework to diagnose barriers to climate change adaptation". *Proceedings of the National Academy of Sciences of the U.S.A.*, 107: 1-6.

Mukheibir, P. et al. 2013. *Cross-scale Barriers to Climate Change Adaptation in Local Government, Australia*. Gold Coast: National Climate Change Adaptation Research Facility.

Mullan, M. et al. 2013. *National Adaptation Planning: Lessons from OECD Countries*. OECD Environment Working Papers No.54.

NCADAC. 2013. *National Climate Assessment*.

NCCARF. 2010. *Impacts and Adaptation Responses of Infrastructure and Communities to Heatwaves*.

Nilsson, A. and A.G. Swartling. 2009. "Social learning about climate adaptation: Global and local perspectives". *SEI Working Paper 2009*.

OCCIAR. 2012. *Adaptive Management in Climate Change Adaptation*.

OECD. 1996. *Building Policy Coherence, Tools and Tensions*. Public Management Occasional Papers No.12.

_____. 2008. *OECD Environmental Outlook to 2030*.

_____. 2009. *Integrating Climate Change Adpatation into Development Co-operation*.

Pahl-Wostl, C. 2009. "A conceptual framework for analysing adaptive capacity and multi-level learning processes in resource governance regimes". *Global*

Environmental Change, 19(3): 354-365.

Peterson, T. C. et al. 2014. "Changes in weather and climate extremes: State of knowledge relevant to air and water quality". *Journal of Air and Waste Management*. 64: 184-187.

PHE. 2013. *Heatwave Plan for England 2013: Protecting Health and Reducing Harm from Severe Heat and Heatwaves*.

_____. 2014. *Heatwave Plan for England 2014: Protecting Health and Reducing Harm from Severe Heat and Heatwaves*.

PwC. 2011. *Protecting Human Health and Safety During Severe and Extreme Heat Events: A National Framework*.

Reed, M. et al. 2010. "What is social learning?". *Ecology and Society*, 15(4).

Ren, C. et al. 2008. "Does temperature modify short-term effects of ozone on total mortality in 60 large eastern U.S. communities?: An assessment using the NMMAPS data". *Environmental International*, 34: 451-458

Rodela, R. 2011. "Social learning and natural resource management: The emergence of three research perspectives". *Ecology and Society*, 16(4).

Satterstrom, F. K. et al. 2007. "Adaptive management: A review and framework for integration with multi-criteria decision analysis". *Reclaiming the Land: Rethinking Superfund Institutions, Methods and Practices*, 89-117. Macey, J. and J. Cannon. New York: Springer.

Steyaert, P. and G. Olivier. 2007. "The European Water Framework Directive: how ecological assumptions frame technical and social change". *Ecology and Society*, 12(1): 25.

Stringer, L. et al. 2006. "Unpacking "Participation" in the adaptive management of social-ecological systems: A critical review". *Ecology and Society*, 11(2): 39-50.

Sullivan, C. and J. Meigh. 2005. "Targeting attention on local vulnerabilities using an integrated index approach: the example of the climate vulnerability index". *Water Science and Technology*, 51(5): 69-78.

Tabara, J.D. and C. Pahl-Wostl. 2007. "Sustainability learning in natural resource use and management". *Ecology and Society*, 12(2): 3.

UK Defra. 2012. Adaptation Reporting Power: Received reports.

UK Environment Agency. 2007. *Using Science to Create a Better Place: The Social Impacts of Heat Waves*.

UK Met Office Hadley Centre. 2010. *Physical Resources and Commodities and Climate Change*.

UNDP. 2004. *Adaptation Policy Frameworks for Climate Change: Developing Strategies, Policies and Measures*.

UNFCCC. 2010. *Synthesis Report on Efforts Undertaken to Monitor and Evaluate the Implementation of Adaptation Projects, Policies and Programmes [...] and Needs*.

USDA. 2012. *Climate Change and Agriculture in the United States: Effects and Adaptation*.

Wallis, P. et al. 2013. "Identifying the conditions for social learning in water governance in regional Australia". *Land Use Policy*, 31: 412-421.

Weaver, C. P. et al. 2009. "A preliminary synthesis of modeled climate change impacts on U.S. regional ozone concentrations". *Bulletin of the American Meteorological Society*, 90: 1842-1863.

Weisskopf, M. et al. 2002. "Heat wave morbidity and mortality, Milwaukee, Wis, 1999 vs. 1995: An improved response?". *American Journal of Public Health*, 92(5): 830-833.

Westerling, A. L. et al. 2011. "Continued warming could transform Greater Yellowstone fire regimes by mid-21st century". *Proceedings of the National Academy of Sciences*.

Whicker, J. et al. 2008. "Adaptive management: a paradigm for remediation of public facilities following a terrorist attack". *Risk Analysis*, 28(5): 1445-1456.

WHO. 2003. *Climate Change and Human Health: Risks and Eesponses*.

_____. 2008. *Improving Public Health Responses to Extreme Weather/Heat-waves:*

EuroHEAT.

Williams, A. P. et al. 2010. "Forest responses to increasing aridity and warmth in the southwestern United States". *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107: 20289-20294.

Wiseman, J. et al. 2011. *Scenarios for Climate Adaptation*. Melbourne: VCCCAR Publication.

Yohe, G. and R. Tol. 2002. "Indicators for social and economic coping capacity - moving toward a working definition of adaptive capacity". *Global Environmental Change*, 12(1): 25-40.

〈온라인 자료〉

기후변화 적응형 사회기반시설 연구센터(GIT4CC).
http://git4cc.com/korean/viewtopic.php?t=476&sid=3dc18dc616ec7967c6c657b790de15e6 [2014.6.1].

영국 기상청(UK MetOffice)
http://www.metoffice.gov.uk/learning/learn-about-the-weather/weather-phenomena/heatwave [2014.6.1].

프랑스 법무부.
http://www.justice.gouv.fr/art_pix/Depliant_la_canicule_et_nous-FR.pdf [2014.9.30].

〈신문기사〉

경상일보. 2013.08.08. “연일 찌는 폭염에 도로도 주름살”.
http://www.ksilbo.co.kr/news/articleView.html?idxno=421130

뉴데일리. 2011.09.15. “사상 초유의 정전사태...안이한 수요예측 탓”.
http://www.newdaily.co.kr/mobile/mnewdaily/newsview.php?id=91658

뉴시스. 2013.08.12. “가마솥 폭염에 전남 닭, 오리 폐사 잇따라”.
http://www.newsis.com/ar_detail/view.html?ar_id=NISX20130812_0012284049&cI

D=10809&pID=10800

연합뉴스. 2012.08.21. “폭염에 가로수, 조림수도 줄줄이 고사”.
http://news.naver.com/main/read.nhn?mode=LSD&mid=sec&sid1=102&oid=001&aid=0005769434

_____. 2013.08.19. “최악 폭염에 가축 118만 마리 폐사”.
http://news.naver.com/main/read.nhn?mode=LSD&mid=sec&sid1=101&oid=001&aid=0006434521

_____. 2014.01.17. “호주, 44도 ‘살인폭염’에 산불 100여건 활활”.
http://news.naver.com/main/read.nhn?mode=LSD&mid=sec&sid1=104&oid=001&aid=0006705711

에코타임스. 2012.08.08. “레일온도 55℃, 지친 철도를 보호하라”.
http://www.ecotiger.co.kr/news/articleView.html?idxno=3085

KBS뉴스. 2012.07.20. “가뭄, 장마, 고온현상… 고추 병해충 확산 비상”.
http://news.kbs.co.kr/news/NewsView.do?SEARCH_NEWS_CODE=2506929&retRef=Y&source=http://m.blog.daum.net/keh3372/11314550

KBS뉴스. 2014.06.26. “밤나무 애벌레 기승… 피해 확산”.
http://news.kbs.co.kr/news/NewsView.do?SEARCH_NEWS_CODE=2882730&ref=A

SBS 뉴스. 2014.09.11. “완도~울진 적조 확산… 양식장 물고기 떼죽음”.
http://news.sbs.co.kr/news/endPage.do?news_id=N1002578085

Abstract

A Study on Establishment and Management of a Long-term Heatwave Plan addressing climate change

Heatwaves have become one of the critical issues that have adverse impacts on local community in terms of health and well-being in a changing climate. The need to tackle heatwaves in a more comprehensive and precautionary manner increases as heatwaves are projected to become more intense due to climate change. In South Korea, the central government bodies have taken actions such as 'An annual national plan for heatwave' and various sectoral plans under the 'National Adaptation Plan to Climate Change'. While this progress is welcome, there is still more to be done - particularly through focusing on longer-term measures and greater cross-sectoral collaboration and engagement.

The purpose of this study is first to diagnose the current national actions relevant to the effects of heatwaves. The selected actions include a range of sectors from public health to environment, social infrastructure, urban planning and primary industries. Secondly, this study aims to make suggestions for the establishment and management of a long-term *adapting* plan to tackle heatwaves and climate change. The suggestions are made at national level, not local level. In doing so, it adopts conceptual frameworks including 'policy integration', 'social learning' and 'adaptive management'; draws policy implications according to the examination of the current actions at national level; and conduct a case study of health impact assessment of heat alert and warning system as an application of adaptive management cycle.

The study confirms that heatwave is a cross-sectoral issue and accordingly, the long-term *adapting* plan suggested here lays emphasis on the comprehensiveness and precautionary approach as well as long term scale dynamics. To apply such an approach, this study introduces four steps: firstly to set an overarching goal; secondly select relevant sectors and stakeholders; thirdly initiate strategies to establish and manage the long-term adapting plan in a sustainable manner; and lastly conduct comparative analysis and draw institutional implications for improvement.

The study concludes with the following suggestions: first, it is essential to investigate potential pathways of transmitting and/or multiplying adverse impacts of heatwaves across sectors. Also impact and vulnerability assessments of heatwaves need to be reinforced. Secondly, vulnerability mapping and guidelines for policy making can be helpful for local governments to prioritize the most vulnerable regions and populations and therefore to establish their own feasible plans. Thirdly, it is important to develop long-term pilot projects and create institutional arrangements for locals to develop and implement their own. Lastly, it is critical to develop indicators for monitoring and evaluating the progress made by the actions in order to continuously adjust the plans. The indicators and specific M&E methods should be modified according to local context and they can be facilitated by the national guidelines for local governments. Furthermore, it is proposed to institutionalize 'National Committee for Heatwaves and Climate Change (*provisional*)' to promote communication and collaboration among government bodies (horizontal) and between central government and local governments (vertical).

Keywords: Heatwaves and Climate Change, Policy Integration, Adaptive Management, Long-term *Adapting* Plan

| 저자 약력 |

하종식

서울대학교 보건학 박사

한국환경정책·평가연구원 부연구위원(현)

E-mail : jsha@kei.re.kr

주요 논문 및 보고서

"Applying policy and health effects of air pollution in South Korea: focus on ambient air quality standards" (2014, Environmental Health and Toxicology)

「기후변화적응 홍보정책 전략 마련 연구」(2013, 한국환경정책·평가연구원)

정휘철

일본 교토대학교 지구환경학 박사

한국환경정책·평가연구원 부연구위원(현)

E-mail : hchjung@kei.re.kr

이정호

서울대학교 환경지구화학 박사

한국환경정책·평가연구원 연구위원(현)

E-mail : sr87sr86@kei.re.kr

김동현

연세대학교 도시 및 지역계획학 박사

한국환경정책·평가연구원 부연구위원(현)

E-mail : donghyunkim@kei.re.kr

최지혜

영국 Univ. of Sussex 개발학 석사

한국환경정책·평가연구원 연구원(현)

E-mail : jhchoi@kei.re.kr

| KEI 연구보고서 목록 | 2009~2014

연구보고서/기본연구

2014년 2014-01 빅데이터를 활용한 환경분야 정책수요 분석 (이미숙, 이창훈)
2014-02 도시하천의 물환경서비스 제고를 위한 물인프라 자산관리 방안 연구 (강형식)
2014-03 폐금속자원 재활용산업의 글로벌 경쟁력 강화를 위한 대-중소기업 상생 방안 (이희선)
2014-04 위해성 평가의 정책 활용도 제고를 위한 화학물질 Action Plan 수립 연구 (Ⅱ) (서양원, 박정규)
2014-05 전략환경평가제도의 실효적 운용 방안 연구 (Ⅱ) - 정책계획의 평가 실무가이드라인을 중심으로 (이영준)
2014-06 기후변화 적응형 공간계획방법의 개발과 모의적용 연구 (Ⅱ) (김동현)
2014-07 동북아 환경재난대응 지역협력 방안 연구 (추장민)
2014-08 환경복지 지표 및 기준 개발에 관한 연구 (김종호, 추장민)
2014-09 사업장배출허용기준 강화가 환경기술 개발 및 배출량 저감에 미친 영향 (공성용)
2014-10 ICT를 통한 녹색 라이프스타일로의 전환 촉진 정책 연구 (장기복)
2014-11 비점오염원 관리 실효성 제고를 위한 토지 소유·이용자의 합리적 책임부여 방안 연구 (김호정)
2014-12 물환경 및 기후변화를 고려한 유해녹조 대응체계 및 정책 개선방안 연구 (한혜진)
2014-13 지속가능한 상하수도 재정체계구축 및 운용방안 연구 (Ⅱ) (문현주)
2014-14 지속가능한 지표수-지하수 혼합대 관리방안 (현윤정)
2014-15 자원순환형 사회를 위한 법체계 정비 방안 연구 (한상운)
2014-16 코호트 자료를 이용한 대기오염의 만성건강영향 평가체계 구축 (배현주)
2014-17 층간소음 분쟁 완화를 위한 관리방안 연구 (박영민)
2014-18 저영향개발(LID) 기법의 환경영향평가 적용 방안 (이진희)
2014-19 기후변화 폭염 대응을 위한 중장기적 적응대책 수립 연구 (하종식, 정휘철)
2014-20 지표 기반 접근법을 이용한 기후변화의 사회경제적 영향 분석 및 전망 (Ⅰ) (채여라)
2014-21 SDGs 관점의 물인권 지원을 위한 한국의 ODA 전략방향 연구 (조을생)
2014-22 전력수급기본계획에 따른 미래 대기질 영향과 대응을 위한 국제공동연구 (Ⅰ) (심창섭)
2014-23 **[협동]** 생물자원에 대한 접근과 이익공유 실행을 위한 지역모델 개발 Ⅱ (이현우)

2013년 2013-01 환경재정 DB 및 성과분석모형 구축 (장기복)
2013-02 미래지향적 물환경 목표와 관리체계 연구 (이병국)
2013-03 위해성 평가의 정책 활용도 제고를 위한 화학물질 Action Plan 수립 연구(Ⅰ) (서양원)
2013-04 전략환경평가제도의 실효적 운용방안 연구(Ⅰ) - 정책계획의 수립절차 및 특성을 중심으로 (유헌석)
2013-05 기후변화 적응형 공간계획방법의 개발과 모의적용 연구(Ⅰ) (김동현)

2013-06 해외 개발사업의 지속가능성 강화에 관한 연구 (정우현)
2013-07 생태계서비스지불제 이행 및 평가를 위한 지수체계 개발 (안소은)
2013-08 자원·환경위기 시대에 대비한 에너지가격 개편 추진전략 연구(Ⅱ) (강만옥)
2013-09 초미세먼지(PM2.5)의 건강영향평가 및 관리정책 연구(Ⅱ) (공성용)
2013-10 물환경 관리여건 변화를 고려한 수질오염 총량제도의 개선방안 연구 (김호정)
2013-11 지속가능한 상하수도 재정체계 구축 및 운용방안 연구 (문현주)
2013-12 지표수-지하수 혼합대의 환경측면 및 관리범주 연구 (현윤정)
2013-13 희토류자석의 자원순환 활성화를 위한 폐자원흐름의 분석 (조지혜)
2013-14 종량제 생활폐기물 처리의 배출자부담원칙 확대 적용 방안 (이희선)
2013-15 환경보건 감시체계를 활용한 지역 특성별 환경정책수립 연구 (배현주)
2013-16 산업단지 환경영향평가의 건강 사회분야 평가강화 방안 (이영수)
2013-17 대규모 개발사업의 지속가능성 확보를 위한 예비타당성조사 제도 개선방안 (조공장)
2013-18 기후변화 적응정책 이행의 효과성 제고 방안 (명수정)
2013-19 가뭄 유형별 기후변화 적응정책 연구 (김연주)
2013-20 해외 생물자원 전통지식의 지속가능한 활용전략 연구 (오일찬)
2013-21 **[협동]** 한반도 기후변화 대응을 위한 남북협력기반 구축 연구(Ⅲ) (명수정)
2013-22 **[협동]** 국가 해수면 상승 사회·경제적 영향평가(Ⅲ) (조광우)
2013-23 **[협동]** 생물자원에 대한 접근과 이익공유 실행을 위한 지역모델 개발 (이현우)

2012년
2012-01 부문별 기후변화 적응대책 우선순위 평가 연구 (채여라 외)
2012-02 온실가스 목표관리제와의 연계를 고려한 국내 배출권거래제 세부운영방안 연구 (이상엽 외)
2012-03 초미세먼지($PM_{2.5}$)의 건강영향평가 및 관리정책 연구Ⅰ(공성용 외)
2012-04 4대강 물환경 개선 중심의 수량 및 수질 통합관리 정책 연구 (이병국 외)
2012-05 Rio+20 녹색경제 논의 대응 국가비전 및 발전방안 연구 (강상인 외)
2012-06 국가 환경보건지표로서 환경성질병부담 도입방안 (신용승 외)
2012-07 국제환경협력사업 내실화를 위한 국가전략 개발 (이 윤 외)
2012-08 기후변화 적응 정보 통합지원 체계구축에 관한 연구 (전성우 외)
2012-09 기후변화를 고려한 지류하천 관리 및 수생태 복원 방향 (강형식 외)
2012-10 기후변화에 따른 화학물질 위해성 관리방안 Ⅱ (박정규, 서양원)
2012-11 기후변화 적응형 도시구현을 위한 그린인프라 전략 연구 (강정은 외)
2012-12 물발자국 개념의 정책적 도입과 활용방안 (노태호 외)
2012-13 상하수도시스템의 기후변화 적응전략 및 적응비용 추정 연구 (안종호 외)
2012-14 자원·환경위기 시대에 대비한 에너지가격 개편 추진전략 연구 (강만옥 외)
2012-15 자발적 협약의 현황 진단 및 효과적 활용방안 (정우현 외)
2012-16 환경정책 파급효과 분석을 위한 일반균형 모형 개발 (강성원 외)
2012-17 중장기 생물다양성 전략 추진체계 연구 (이현우 외)
2012-18 **[협동]** 한반도 기후변화 대응을 위한 남북협력 기반 구축 연구 Ⅱ (명수정 외)
2012-19 **[협동]** 국가 해수면 상승 사회·경제적 영향평가 Ⅱ (조광우 외)

2011년 2011-01 기후변화 통합영향평가모형 체계 개발: 정책연계모형개발을 중심으로 Ⅱ (전성우 외)
2011-02 지역성장과 연계한 수변지역의 친환경적 개발 방향 (김익재, 최희선 외)
2011-03 탄소세와 배출권거래제 연계를 통한 효율적 기후변화 대응 방안 (신상철, 박현주)
2011-04 국가적색목록 생물종의 보호를 위한 관리정책 연구 (이현우 외)
2011-05 기후변화 시나리오를 고려한 토지이용예측 모델 개발 Ⅰ (한혜진)
2011-06 기후변화 적응대책 우선순위 평가 방법론 분석 (채여라, 조현주)
2011-07 기후변화 적응형 도시 리뉴얼 전략 수립: 그린인프라의 방재효과 및 적용방안 (강정은 외)
2011-08 기후변화에 따른 화학물질 위해성 관리방안 Ⅰ (박정규, 신용승)
2011-09 기후변화와 대기오염으로 인한 건강영향 연구: 사회경제적 변수에 따른 사망영향 (배현주 외)
2011-10 나노 물질의 안전관리를 위한 제도화방안 (홍용석 외)
2011-11 녹색기술 적용촉진을 위한 제도개선방안: 하수슬러지 및 고농도 액상폐기물을 중심으로 (최지용, 김창덕)
2011-12 물 재이용을 통한 도시하천 물순환개선 정책방안 (안종호 외)
2011-13 사회영향평가 지표 개발 및 운영 가이드라인 마련 연구 (조공장 외)
2011-14 산업단지 공급계획의 대기분야 전략환경평가 기반구축 (문난경 외)
2011-15 저소득계층의 기후변화 적응역량 강화를 위한 정책방안 연구 Ⅱ (추장민 외)
2011-16 특정대기유해물질 관리체계 정비방안 (공성용 외)
2011-17 폐금속자원 희유금속 자원순환 활성화를 위한 기술적·제도적 지원 방안 (이희선 외)
2011-18 하수처리장의 에너지 효율성 개선 방안 연구 (조을생 외)
2011-19 하천 정비사업의 수질 및 수생태계 분야 사후모니터링 방안에 관한 연구 (전동준 외)
2011-20 환경책임과 환경피해보험의 제도화 방안에 관한 연구 Ⅱ (한상운 외)
2011-21 **[협동]** 해양 유류유출사고의 중장기적 영향분석 및 제도개선 방안 Ⅲ (신용승 외)
2011-22 **[협동]** 한반도 기후변화 대응을 위한 남북협력 기반 구축 연구Ⅰ(명수정 외)
2011-23 **[협동]** 국가 해수면 상승 사회·경제적 영향평가Ⅰ(조광우 외)
2011-24 개발사업의 종합환경영향평가지수 산정에 관한 연구 Ⅱ (유헌석 외)

2010년 2010-01 기후변화 대응을 위한 물산업 육성 정책방안 (김종호 외)
2010-02 기후변화 통합영향평가모형 체계 개발 : 정책연계모형개발을 중심으로 (전성우 외)
2010-03 녹색 생활양식 확산을 통한 온실가스 감축방안 연구 (명수정 외)
2010-04 택지 및 산업단지 개발사업의 환경평가 단계별 성과분석 (신경희 외)
2010-05 온실가스 감축을 위한 폐기물 관리방안 연구 – 폐기물 부문의 온실가스 전과정 평가 (주현수 외)
2010-06 기후변화와 대기오염이 환경 관련 질환에 미치는 영향 – 기온상승과 오존농도 증가의 상호작용을 중심으로 (배현주 외)
2010-07 공유하천 물안보 체계 구축을 위한 협력방안 (김익재 외)
2010-08 도서지역의 친환경적 용수공급계획 수립방안 (문유리 외)
2010-09 도시기본계획의 전략환경평가 방법론 연구 (조공장 외)
2010-10 폐금속자원 재활용 촉진을 위한 제도·기술적 방안 : 폐전자제품을 중심으로 (김광임 외)
2010-11 미래 녹색도시 구현을 위한 복합기능 도시습지의 복원 및 조성 방안 연구Ⅱ (방상원 외)

2010-12 물환경 거버넌스를 위한 의사결정체제 구축Ⅰ (이진희 외)
2010-13 법정보호 야생조류의 서식환경 평가방안 (노백호 외)
2010-14 식생과 토양의 역할을 고려한 저탄소 토지이용계획 수립 방안 Ⅱ (황상일 외)
2010-15 세대간 생체전이성 화학물질 현황 및 관리방향 (박정규)
2010-16 수변지역 도시재생에 있어 저영향개발기법(LID) 의 적용 방안 및 효과 (최희선 외)
2010-17 대기 중 이산화탄소 분포에 대한 이해 : 위성관측과 GEOS-Chem 결과를 중심으로 (심창섭)
2010-18 온실가스 배출권 초기할당 방식에 관한 연구 (김용건 외)
2010-19 저소득계층의 기후변화 적응역량 강화를 위한 정책방안 연구Ⅰ (추장민 외)
2010-20 지구온난화에 따른 지역규모 대기질 영향평가 Ⅱ (문난경 외)
2010-21 환경가치를 고려한 통합정책평가연구 Ⅱ (안소은 외)
2010-22 환경책임과 환경피해보험제도의 제도화방안에 관한 연구 (한상운, 박시원)
2010-23 **[협동]** 해양유류유출사고의 중장기적 영향분석 및 제도개선 방안 Ⅱ (신용승 외)
2010-24 개발사업의 종합환경영향 평가지수 산정에 관한 연구 (유헌석 외)

2009년
2009-01 **[협동]** 도시지역 저소득계층 보호를 위한 환경정책연구 Ⅲ (추장민 외)
2009-02 **[협동]** 해양 유류유출사고의 중장기적 영향분석 및 제도개선 방안 (신용승 외)
2009-03 환경가치를 고려한 통합정책평가 연구 Ⅰ (안소은)
2009-04 수질오염총량관리를 위한 배출권거래제 적용방안 연구 (문현주)
2009-05 하천 건전성 평가모델 LOCOPEM을 적용한 환경평가 예측기법 (노태호 외)
2009-06 환경평가를 활용한 토지이용계획 수립방안에 관한 연구 – 도시 및 택지개발을 중심으로 (정주철 외)
2009-07 관광개발 다양화에 따른 친환경적 계획수립 및 평가방안에 관한 연구 (사공희 외)
2009-08 Noise map을 활용한 환경소음의 관리방안 마련 (선효성 외)
2009-09 제품분류에 따른 대기오염물질 직·간접 배출량 추정과 변화요인 분석 (공성용 외)
2009-10 기후변화 대응 온실가스 감축을 위한 국가할당방안 연구 Ⅱ (이상엽 외)
2009-11 식생과 토양의 역할을 고려한 저탄소 토지이용계획 수립방안 Ⅰ (황상일 외)
2009-12 북한의 가뭄재해 취약지 분석 및 대응에 관한 연구 (명수정 외)
2009-13 기후변화 대응을 위한 물환경 관리 전략 및 정책방향 Ⅰ (김익재 외)
2009-14 지구온난화에 따른 지역규모 대기질 영향평가 Ⅰ (문난경 외)
2009-15 미래 녹색도시 구현을 위한 복합기능 도시습지의 복원 및 조성 방안 연구 Ⅰ (방상원 외)
2009-16 국토연안생태네트워크 구축과 계획적 관리방안 Ⅱ (박창석 외)
2009-17 환경시장의 구조 변화와 정책 과제 (김종호 외)
2009-18 그린화학제도 활성화 및 산업체 지원방안 (박정규)

정책보고서/수시연구

2014년 2014-01 국내 살생물제(Biocide) 관리법 제정 방안 연구 (박정규)
2014-02 인구센서스를 활용한 사회적 약자 배려 환경영향평가방법론 개발 연구 (이상윤)
2014-03 기존시설 활용을 통한 효율적 도시 비점관리방안 연구: 산업단지, 공업지역 및 개별사업장을 중심으로 (한혜진)
2014-04 국가지질탐방로 도입 방안 연구 (이수재)
2014-05 오염정화토양의 재활용 촉진 및 반출정화 관리체계 개선 방안 연구 (황상일)
2014-06 자연환경보전 기본방침 수립을 위한 연구 (이현우)
2014-07 폐전기.전자제품 및 폐자동차의 자원순환 고도화 방안 마련 (신상철)
2014-08 육상풍력 개발사업 지형변화지수 연구 (김지영)
2014-09 초미세먼지로 인한 어린이 환경성 질환 영향 연구 (배현주)
2014-10 정책계획 전략환경영향평가를 위한 지표개발 (권영한)
2014-11 한반도 통합철도네트워크 구축을 위한 (전략)환경영향평가 방안 (전동준)
2014-12 라돈의 실내 공기질 규제에 따른 위해저감 효과 및 건강편익 산정 (신용승)
2014-13 가뭄재난 관리를 위한 용수공급 피해 분석 및 대응 연구 (김연주)
2014-14 법정관리 생태계교란식물의 피해 확산 방지를 위한 환경영향평가 방안 (방상원)

2013년 2013-01 화학물질 사고대응을 위한 제도개선 연구 (박정규)
2013-02 국가환경지리정보의 환경영향평가 활용현황 및 개선방안 (이상범)
2013-03 환경감리제도 도입에 대한 타당성 분석 (전동준)
2013-04 제도 홍보 및 성과확산을 위한 '환경영향평가 연차보고서' 발간 기획 연구 (박하늘)
2013-05 기후변화적응 홍보정책 전략 마련 연구 (하종식, 김동현)
2013-06 기후변화의 사회·경제적 영향 평가 체계 및 자료 구축 방안 연구 (채여라)
2013-07 환경교육 활성화를 위한 법제도 개선방안 (이미숙)
2013-08 자원순환정책 실효성 제고를 위한 중장기 과제 (한상운)
2013-09 수변지역 소규모 개발사업의 친환경적 관리방안 연구 (주용준)
2013-10 개도국 물인권 확립을 위한 Green ODA 활성화 방안 (이 윤)
2013-11 한-아세안 환경협력 전략 마련을 위한 사전연구 (강택구)
2013-12 석산개발지 입지유형별 복구 및 활용방안 (사공희)
2013-13 개도국 지속가능발전 역량강화사업의 발전방향 (조을생)
2013-14 동북아 대기오염 전망을 고려한 국내 석탄화력 발전 증설의 대기질 영향 분석 (심창섭)
2013-15 기후변화협약의 적응부문 논의동향과 우리나라의 대응방향 (명수정)
2013-16 도심지역 대심도 지하공간 개발의 환경영향과 정책 제언 (현윤정)
2013-17 온실가스 감축 관련 국가 계획 현황 및 개선방향 연구 (김이진)
2013-18 새만금 수질개선 방안 연구 – 용담댐 방류량을 중심으로 (김연주)
2013-19 한반도「그린 데탕트」추진방안에 관한 연구 (추장민)
2013-20 국내 환경기술 수준과 EU BREFs 비교 및 BAT 도입시 비용사례분석 (공성용)

2012년 2012-01 Cities and Green Economy : Comparative Study of Korea, China and Japan (정우현 외)
2012-02 생물자원의 유용성 판단을 위한 기준 연구 (이현우, 김동욱)
2012-03 환경영향평가에 적용되는 3차원 소음예측모델의 가이드라인 마련 (선효성 외)
2012-04 환경갈등 예방을 위한 환경평가제도 개선 연구 – 환경영향평가 관련 소송 사례 분석을 통한 접근 (이영수 외)
2012-05 민간 부문의 기후변화 적응을 위한 정책 기본 방향 (명수정 외)
2012-06 내륙 유도선 운항에 따른 수질관리 제도개선 방안 연구 (안종호 외)
2012-07 영흥화력 7,8호기 증설 환경영향 및 경제성 분석 (강광규. 김종원)
2012-08 오염지하수 관리 강화를 위한 제도적 지원방안 (현윤정 외)
2012-09 간접방류 산업폐수 관리 개선방안 연구 (조을생 외)
2012-10 토양생태계의 지속성 관리를 위한 토양환경보전정책 방향 (박용하, 최현아)
2012-11 백두대간 기맥에 대한 환경성평가 방안 연구 (이수재 외)
2012-12 기후변화 적응 정책 연구 로드맵 및 추진 전략 (권영한 외)
2012-13 중국의 對아세안 환경협력 현황 분석 (강택구 외)
2012-14 국토개발정책 변화와 공간환경정책의 발전방향 (최희선 외)

2011년 2011-01 기후변화에 따른 건강영향 평가·적응 정책 방향 (신용승 외)
2011-02 ODA사업의 환경평가 관리방안 연구 (조공장 외)
2011-03 풍력발전단지 환경평가 방안 연구: Ⅰ. 육상, Ⅱ. 해상 (권영한, 이상범 외)
2011-04 자연재해 발생 시 환경부문의 대응체계 개선방안 연구 (명수정 외)
2011-05 교통환경 소음관리를 위한 소음측정망 system 개선 (박영민)
2011-06 지속가능 발전교육(ESD) 강화방안 (김호석 외)
2011-07 개발사업 환경평가의 중장기 모니터링 방안 (신경희 외)
2011-08 재난성 원전사고에 따른 방사성오염의 토양·지하수관리 방향 마련 (황상일 외)
2011-09 선보전 후개발 원칙의 실현방안 연구: 제주특별자치도 사례 중심 (권영한 외)

2010년 2010-01 기후변화에 대한 생물종의 민감성 평가방안 연구 (이현우)
2010-02 Integrated Water Management Model on the Selenge River Basin Phase Ⅲ (추장민 외)
2010-03 녹색생활 지표 개발 및 활용방안 (명수정, 강민수)
2010-04 지하수자원의 합리적 이용·관리를 위한 비용 분담체계 및 지하수재정 운영방안 연구 (문현주)
2010-05 낙동강 조류발생 특성분석 및 관리 정책방안 (정유진 외)
2010-06 지자체 기후변화 적응능력 평가를 위한 지표체계 개발 및 시범적용 (이정호 외)
2010-07 수용성 향상을 위한 조력발전의 환경친화적 건설방안 (이희선 외)
2010-08 환경성평가에 있어서 서식지 조사 및 보전방안 (노백호, 이현우)
2010-09 기후변화와 사회통합에 관한 정책과제 개발 연구 (추장민 외)
2010-10 하천·호소 퇴적물 관리 및 준설물질 활용방안 (김익재 외)

2010-11 국가 온실가스 배출정보 작성 및 관리체계 개선방안 (김호석)
2010-12 외국의 배출권거래제 시행에 따른 법적 쟁점 분석 (한상운, 박시원)
2010-13 상수원지역의 친환경 토지관리방안 (최지용)
2010-14 기후변화 취약성 지수분석을 통한 국가적응역량 제고방안 모색 (김연주 외)
2010-15 도시농업의 온실가스 저감효과 및 정책방안 (이현우 외)
2010-16 물자원 이용과 관리를 위한 비용분담체계와 가격정책 연구 (문현주)
2010-17 대기질개선 특별대책 추진 경험 및 성과 평가 (강광규 외)

2009년 2009-01 저탄소·자원순환형 사회 구축을 위한 환경정책 (장기복 외)
2009-02 Integrated Water Management Model on the Selenge River Basin Ⅱ (추장민 외)
2009-03 4대강 살리기 사업지역의 하천 환경현황 분석 방안 연구 (이수재)
2009-04 합리적인 수리권 및 수자원에의 기여와 보상체계 연구 (문현주)
2009-05 지속가능발전 관점에서의 녹색성장 의미와 평가방안에 관한 연구 (김호석 외)
2009-06 남·북한 공유하천의 관리 현황과 물안보 확보방향 (김익재 외)
2009-07 미세먼지의 농도 변화를 이용한 다중 이용시설의 흡연으로 인한 실내공기질 관리 정책 평가 (김성렬 외)
2009-08 유네스코 지질공원의 특성과 시사점 연구 (이수재 외)
2009-09 4대강 살리기 사업을 위한 필요 전문기술인력 추정 (안종호 외)

Working Paper

2014년 2014-01 국내 지하수의 자원·환경적 가치 확립을 위한 기초연구 (현윤정)
2014-02 층간소음의 건강영향에 대한 기초연구 (박영민)
2014-03 소음원 종류에 따른 3차원 소음예측모델 적용방안 마련 (선효성)
2014-04 개발사업 입지 및 계획기준의 조사·분석에 관한 연구 (주용준)
2014-05 기후변화 취약 근로 직종 파악을 위한 기초 연구 (김동현)
2014-06 불확실성을 고려한 수질오염총량관리 안전율 산정 기초연구 (정선희)
2014-07 기후변화 적응을 위한 공간계획 수립 시 도시/환경/방재분야 공간정보 연계·활용방안 연구 (김태현)
2014-08 기후변화를 반영한 내수침수 리스크 평가 방법론 고찰 (류재나)
2014-09 SEA 사후관리를 위한 해외 사례연구 (조한나)
2014-10 농어촌 관련 정책 및 계획에서의 기후변화 적응 고려 방안 (임영신)
2014-11 소음·진동 사후관리를 위한 기초연구 (선효성)
2014-12 2014 국민환경의식조사 연구 (이미숙)

2013년 2013-01 토양자원 유실 최소화를 위한 국내외 환경영향평가 사례 연구 (신경희)
2013-02 PM-2.5 환경영향평가 방안 연구 (이영수)

2013-03 지자체 적응대책 수립지원을 위한 기후변화 시나리오 자료 활용 방안 (정휘철)
2013-04 기후변화에 따른 도심지역 지질재해 리스크 체계 마련 (이명진)
2013-05 비전통가스 개발의 환경영향평가 가이드라인 마련을 위한 기초연구 (조한나)
2013-06 모니터링을 통한 친환경 계획기법의 적절성 검증 기초연구 – 도시공간에서의 Stepping Stone을 중심으로 (최희선)
2013-07 국가와 지자체의 기후변화 적응대책 실효성 제고를 위한 연계강화 방안 (임영신)
2013-08 KEI 환경정보체계 발전방안 (전성우)
2013-09 도시하천 유역의 환경평가 방법 마련을 위한 기초 연구 (홍현정)
2013-10 제조업 환경비용의 국제비교 (조일현)
2013-11 바이오가스의 재생연료의무혼합제도에 관한 해외사례 분석 (조지혜)
2013-12 자연경관심의제도의 현황분석 및 제도 개선방안 (주용준)
2013-13 층간소음 관리를 위한 기초연구 (박영민)
2013-14 지속가능성 관점에서의 산업구조 변화 분석 (이미숙)
2013-15 KEI 중국환경 중장기 연구계획 수립을 위한 기획연구 (추장민)
2013-16 기후변화 적응관련 취약계층 지원 대책 현황조사 및 분석 연구 (신지영)
2013-17 한국 ODA사업의 환경평가 모니터링 현황과 해외사례 비교 연구 – 사업 종료 후 모니터링 사례를 중심으로 (김태형)
2013-18 국내 전략환경평가의 사회·경제성 부문 기능 확립을 위한 기초연구 (이상윤)
2013-19 환경영향평가시의 시설별 유해대기오염물질 배출량 산정을 위한 기초연구 (주현수)
2013-20 지형장애물 분석을 통한 환경현황 자료 작성방안 (김지영)
2013-21 상수원보호구역 상·하류의 수변지역 관리방안 연구 – 잠실상수원보호구역과 팔당상수원보호구역 구간 중심으로 (김태윤)
2013-22 2013 국민환경의식조사 연구 (이미숙)

2012년
2012-01 기후변화를 고려한 농업 가뭄지수 활용 및 적용 기초 연구 (이진영)
2012-02 산림경영 기반시설의 주요 환경영향 – 선형사업(임도) 중심으로 (천영진 외)
2012-03 방조제 건설에 따른 연안환경의 중장기 변화 평가 연구 – 아산만 수치모델링 중심으로 (김태윤)
2012-04 지속가능한 지하수자원 확보를 위한 지하수보전구역 지정 연구 – 외국의 지하수보전구역 사례 분석 (현윤정)
2012-05 공공부문의 지역별 환경보호지출 및 수입(EPER) 통계 추계 (조일현, 김종호)
2012-06 누적영향평가 적용의 사례 분석 및 시사점 연구 (김진오)
2012-07 유해성에 따른 「폐기물 종료기준」의 해외 현황 및 정책적 시사점 (조지혜 외)
2012-08 도시 지하공간 조성에 따른 환경영향 관리 방향 연구 (김윤승)
2012-09 폐기물 처리관련 업종의 여건변화가 여타 산업에 미치는 영향 분석 (신상철)
2012-10 미래 건강부담 추정의 영향요인 고찰 – 기후변화에 따른 폭염 증가를 중심으로 (하종식, 신용승)
2012-11 셰일가스 국내 도입에 따른 에너지·환경 정책 수립을 위한 기초연구 (주현수, 조한나)

2011년 2011-01 수자원 현황 및 영향요인: 기후변화를 중심으로 (김연주, 정은성)
2011-02 도시계획의 전략환경평가를 위한 기후요소 평가기법의 해외사례 분석 (엄정희, 유승헌)
2011-03 임진강 유역의 저수지 지리정보 구축과 수질평가 기초연구 (홍현정, 김익재)
2011-04 방사능 재해에 따른 환경 및 인체 영향 분석 (심창섭, 홍지연)
2011-05 해조류를 이용한 바이오연료의 환경 친화적 적용을 위한 기초연구 (조지혜, 이희선)
2011-06 토양·지하수 오염부지의 종합적위해성평가를 위한 생태위해성평가체계 구축 (김윤승, 이주연)
2011-07 기후변화협약 당사국총회 의장(국)의 역할 기초연구 (김이진)
2011-08 환경영향평가 협의내용의 효율적 이행방안을 위한 제도적 고찰 (최상기 외)
2011-09 지하수오염의 평가 및 정화 규제 정책 방향 제시를 위한 연구: 염소계유기용제 오염 중심으로 (김호정 외)
2011-10 조력발전소 건설사업에 의한 해양 생물상 영향 사례 고찰 (천영진 외)

2010년 2010-01 주요 교역국의 화학물질 규제동향 분석 (박정규, 김용성)
2010-02 국내 자원순환지표 변화 추이 (김광임 외)
2010-03 나노물질의 안전한 사용을 위한 환경·사회안전망 구축방안 연구 (홍용석)
2010-04 수문·식생 모사를 위한 지표모델의 동아시아 적용 타당성 분석 (김연주)
2010-05 어류의 물리서식처 적합도 지수 산정 방안 고찰 (강형식 외)
2010-06 북한의 탄소시장 잠재력 추정 연구 – 에너지부문을 중심으로 (강광규, 이우평)
2010-07 야간조명으로 인한 생태계 영향 평가 방안에 관한 연구 : 해외사례를 중심으로 (이상범)
2010-08 고령화 사회의 생활패턴 변화 및 환경이슈 조사 연구 (공성용)
2010-09 고온으로 인한 사망 누적효과 분석 방법론 연구 (하종식, 신용승)
2010-10 CMAQ을 적용한 환경영향평가서 작성에 대한 매뉴얼 (문난경)
2010-11 해안개발사업 환경평가 영향예측 결과에 근거한 해양동·식물상 조사정점 선정방안 (맹준호, 조범준)
2010-12 산업단지 사업에서의 수질오염 영향범위 설정방안 (조한나, 송영일)
2010-13 개발사업 생태계훼손사고 대응 매뉴얼 구축 (박하늘, 전동준)
2010-14 지형 특성을 고려한 지형변화의 적정량 평가방안 (사공희, 정재현)
2010-15 소음지도를 활용한 소음평가 개선 방안 연구 : 택지개발사업을 중심으로 (선효성)
2010-16 CCS 관련 해외 환경관리 제도 및 연구동향 분석 (신경희)

기초연구

2009년 2009-01 다목적댐 상류 폐광산 등 비점오염원 관리방안 (최지용 외)
2009-02 도서지역 용수공급체계에 관한 고찰 (문유리 외)
2009-03 폐기물 재활용 규제 선진화 방안 – 포장 및 가전폐기물을 중심으로 (김광임)

2009-04 유해물질 관리를 위한 SFA(물질흐름분석) 방법론 적용 연구 (주현수)
2009-05 녹색정화(Green Remediation) 최적관리기법 도입을 위한 기초연구 (황상일, 조한나)
2009-06 물환경 기준의 통합적 관리방안에 관한 연구 (한대호, 최지용)
2009-07 기후변화가 생태계에 미치는 영향 고찰 – 습지식물상을 중심으로 (권영한, 최홍근)
2009-08 도시지역의 기후변화 적응을 위한 열섬효과 완화방안 연구 (명수정)
2009-09 4대강 관련 법률 및 제도의 현황분석과 효율적 개선방안 (김태형 외)
2009-10 지역단위 하수재이용 활성화를 위한 기초연구 (조을생)
2009-11 기후변화 관련 환경보건 통합 데이터베이스 구축 (김성렬)
2009-12 환경책임과 환경피해보험제도의 제도화방안에 관한 기초 연구 (한상운)
2009-13 실시간 수질 모니터링 및 모델링 체계에 관한 고찰 (정유진)
2009-14 수질보전을 위한 새만금호 배수갑문 운영 대안에 관한 연구 (이진희)
2009-15 식물생태계가 대기 중 오존농도에 미치는 영향 – 기후변화와 관련하여 (심창섭)
2009-16 풍력발전시설에서 발생하는 환경소음 및 저주파음의 영향 (박영민, 정태량)
2009-17 신도시의 물순환 건전화를 위한 그린인프라 조성 기준에 대한 연구 (장수환)
2009-18 저탄소 생태관광지표 개발 및 평가 (배민기, 박창석)
2009-19 기후변화에 따른 연안역의 해역-육역 통합 범람 예측 방안에 관한 기초 연구 – 해석 모형 비교·분석을 중심으로 (김경준 외)
2009-20 기업 환경보호지출과 오염배출량의 상관관계 분석 – 대기분야를 중심으로 (하종식 외)

기후환경정책연구

2014년 2014-01 중장기 환경전망 및 대응전략-KEI 통합환경모형(Integrated Assessment Model) 연구 (강성원)
2014-02 생태계서비스 측정체계 기반구축(1): 하천생태계를 중심으로 (안소은)
2014-03 화석연료 대체에너지원의 환경경제성평가(Ⅱ) – 재생에너지 발전원을 중심으로 (이창훈)
2014-04 폐자원 및 바이오에너지의 용도별 적정 배분방안 (Ⅰ) – 바이오가스를 중심으로 (조지혜)
2014-05 온실가스 감축정책 현황 및 개선방안연구(Ⅱ) (이상엽)
2014-06 국제기후변화 협상동향과 대응전략 (Ⅰ) (이상윤, 이승준)
2014-07 기후변화에 대응하는 생태계 환경안보 강화 방안(Ⅱ) : 기후변화 취약생태계 분석 및 전망을 중심으로 (권영한)
2014-08 **[협동]** 지속가능한 물이용을 위한 지표 개발 및 적용 방안 연구 (Ⅰ) (김연주)

2013년 2013-01 중장기 환경전망 연구 (강성원)
2013-02 환경가치 DB 구축 및 원단위 추정(Ⅳ) (안소은)
2013-03 유기성 폐자원의 효율적 에너지화를 위한 관리체계 구축 방안 연구 (한상운)
2013-04 기후환경 취약계층의 환경복지 정책연구(Ⅰ) (박정규)
2013-05 온실가스감축정책현황 및 개선방안 연구(Ⅰ) – 감축목표달성을 위한 비용효과적 정책혼합 (강희찬)

2013-06 화석연료 대체에너지원의 환경경제성 평가(Ⅰ) (이창훈 외)
2013-07 기후변화에 대응하기 위한 생태계 환경안보 강화 방안(Ⅰ) (이수재)
2013-08 국토환경관리정책 변화와 개발제한구역의 지속가능한 관리 방안 (전성우)
2013-09 국가 물안보 체계 구축을 위한 중장기 정책방안 연구 (강형식)

녹색성장정책연구

2012년 2012-01 중장기 환경전망 및 대응전략(Ⅰ) (강성원 외)
2012-02 보호지역의 지속가능한 이용 및 관리 – 지역의 생태·경제·사회적 특이성을 기반으로한 접근 (박용하 외)
2012-03 산업계 유기성폐기물의 자원화 촉진방안 연구 (신상철 외)
2012-04 도서지역 친환경 관광계획 수립방안에 관한 연구 (이상범 외)
2012-05 온실가스 감축의무 협상동향 및 대응방향 연구(Ⅳ) (이정석 외)
2012-06 주요국 온실가스 감축정책 동향 및 시사점 (김용건 외)
2012-07 지열에너지의 환경성 평가 및 환경친화적 이용 방안 (이희선 외)
2012-08 기후변화 대응 물안보 위기관리 정책 연구 (김호정 외)
2012-09 미래 성장동력 확보를 위한 상하수도 선진화 방안 (조을생 외)

2011년 2011-01 환경가치 DB 구축 및 원단위 추정 Ⅲ (안소은 외)
2011-02 국토자연자원의 현명한 이용전략 수립 Ⅲ (박창석 외)
2011-03 공간환경계획에 기반한 광역계획의 전략환경평가 방안 (최희선 외)
2011-04 고령사회 진입에 따른 환경문제 및 정책과제 (이정석, 손원익)
2011-05 온실가스 감축의무 협상동향 및 대응방향 연구 Ⅲ (이정석 외)
2011-06 한·중·일 탄소시장 연계의 파급효과 분석 (김용건, 공현숙)
2011-07 탄소세 도입 및 에너지세제 개편방안 연구 (강만옥 외)
2011-08 해양에너지의 환경성 평가 및 환경친화적 국토이용방안 (이희선 외)
2011-09 물관리 취약성과 물안보 전략 Ⅲ (김익재 외)
2011-10 물자원의 가치 변화와 물산업 선진화 전략 (문현주)
2011-11 기후변화 대응을 위한 적정 하천공간 확보방안 Ⅲ: 극한홍수 대응책을 중심으로 (강형식 외)
2011-12 기후변화 대응을 위한 수자원 네트워크 구축방안 연구 Ⅱ (이진희 외)
2011-13 기후변화 대응을 위한 수질제어 및 관리방안 Ⅱ (안종호 외)

2010년 2010-01 녹색성장 촉진을 위한 환경규제 선진화 방안 (김종호 외)
2010-02 녹색성장 평가를 위한 지표체계 개발 및 활용방안 연구 (김종호 외)
2010-03 환경정보체계에 기반한 공간환경계획 수립 가이드라인 마련 Ⅱ (최희선 외)
2010-04 연접개발에 대한 사전환경성검토 개선 방안 (선효성 외)

2010-05 환경가치 DB 구축 및 원단위 추정 Ⅱ (안소은 외)
2010-06 국토자연자원의 현명한 이용전략 수립 Ⅱ (박창석 외)
2010-07 환경문제를 둘러싼 지역갈등 해소 및 거버넌스 강화 방안 (이정석 외)
2010-08 온실가스 감축의무 협상동향 및 대응방향 연구 Ⅱ (박시원 외)
2010-09 국제 탄소시장 동향 및 전망 (이윤, 손원익)
2010-10 국내 에너지 시장구조를 고려한 온실가스 배출권 거래제 설계 방안-발전부문 참여방안을 중심으로 (신상철 외)
2010-11 기후변화 대응을 위한 탄소세 도입방안 (신상철 외)
2010-12 재생에너지의 환경성 평가 및 활성화 방안 - 폐자원을 중심으로 (이희선 외)
2010-13 기후변화 적응 강화를 위한 사회기반시설의 취약성 분석 및 대응방안 연구(Ⅱ) (명수정 외)
2010-14 물관리 취약성과 물안보 전략 Ⅱ (김익재 외)
2010-15 해수면 상승에 따른 취약성 분석 및 효과적인 대응정책 수립 Ⅱ : 연안역 범람평가 및 대응방향 (조광우 외)
2010-16 기후변화 대응을 위한 적정 하천공간 확보방안 Ⅱ (강형식 외)
2010-17 기후변화 대응을 위한 수자원 네트워크 구축 방안Ⅰ (이진희 외)
2010-18 기후변화 연동 4대강 유역 지하수 함양량 예측 및 이용 가능량 산정 Ⅱ (이정호 외)
2010-19 기후변화 대응을 위한 수질 제어 및 관리방안Ⅰ (안종호 외)

2009년
2009-01 국내 대기오염규제의 온실가스 저감효과 제고방안 (김호석 외)
2009-02 환경정보와 가이드라인 제공에 의한 자율적 환경평가 지원 (이영준 외)
2009-03 환경정보체계에 기반한 공간환경계획 수립 가이드라인 마련 (최희선 외)
2009-04 환경평가 절차 효율화를 위한 스크리닝의 단계별 도입방안 (신경희 외)
2009-05 환경가치 DB 구축 및 원단위 추정 Ⅰ (안소은 외)
2009-06 국토자연자원의 현명한 이용전략 수립 Ⅰ (박창석 외)
2009-07 온실가스 감축의무 협상동향 및 대응방향 연구 Ⅰ(김용건 외)
2009-08 온실가스 저감잠재성 분석 및 감축정책 연구 - 수송 및 건물부문 (강만옥 외)
2009-09 재생에너지의 환경성 평가 및 환경친화적 개발 Ⅰ - 태양광 및 풍력에너지를 중심으로 (이희선 외)
2009-10 기후변화 적응 강화를 위한 사회기반시설의 취약성 분석 및 대응방안 연구 Ⅰ (명수정 외)
2009-11 물관리 취약성과 물안보 전략 Ⅰ (안종호 외)
2009-12 해수면 상승에 따른 취약성 분석 및 효과적인 대응정책 수립 Ⅰ - 해안침식 영향평가 (조광우 외)
2009-13 기후변화 대응을 위한 적정 하천공간 확보방안 연구 (정주철 외)
2009-14 기후변화 연동 4대강 유역 지하수 함양 및 이용가능량 산정 기법 개발 Ⅰ (이정호 외)

※ KEI 설립 이후 현재까지의 보고서 원문은 KEI 홈페이지(www.kei.re.kr)에서 보실 수 있습니다.