

연구논문

우리나라 사회기반시설의 기후변화 취약성 평가

– 전문가 설문조사를 바탕으로 –

명수정 · 이동규

한국환경정책·평가연구원 기후변화연구실
(2009년 09월 16일 접수, 2009년 12월 17일 승인)

Assessing Vulnerability to Climate Change of the Physical Infrastructure in Korea Through a Survey of Professionals

Soojeong Myeong · Donggyu Yi

Korea Environment Institute, Division of Climate Change, Seoul, Korea
(Manuscript received 16 September 2009; accepted 17 December 2009)

Abstract

This study conducted a vulnerability assessment on Korea's physical infrastructure to provide base data for developing strategies to strengthen Korea's ability to adapt to climate change. The assessment was conducted by surveying professionals in the field of infrastructure and climate change science. A vulnerability assessment was carried out for seven climate change events: average temperature increases, sea level rise, typhoons and storm surges, floods and heavy rain, drought, severe cold, and heat waves. The survey asked respondents questions with respect to the consequences of each climate change event, the urgency of adaptation to climate change, and the scale of investment for adaptation to each climate change event. Thereafter, management priorities for infrastructure were devised and implications for policy development were suggested. The results showed that respondents expected the possibility of "typhoons and storm surges" and "floods and heavy rain" to be the most high. Respondents indicated that infrastructure related to water, transportation, and the built environment were more vulnerable to climate change. The most vulnerable facilities included river related facilities such as dams and riverbanks in the "water" category and seaports and roads in the "transport and communication" category. The results found were consistent with the history of natural disasters in Korea.

Keywords : climate change, vulnerability, adaptation, infrastructure

1. 서론

기후변화는 기온 상승과 해수면 상승 뿐 아니라 자연재해의 빈도 및 강도까지 증가시키는 등 그 영향은 실로 막대하다. 지구 곳곳에서 발생하고 있는 태풍과 허리케인 그리고 홍수나 가뭄과 혹서 등으로 인한 피해는 우리에게 더 이상 생소한 소식이 아니다. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)는 2007년도에 발간한 제4차 기후변화 평가 보고서에서 지구 기후시스템에 있어 기후변화는 명백하며, 21세기에는 이전보다 기후변화가 훨씬 더 빠르게 진행될 것이라고 하였다. 자연친화적 시나리오인 B1시나리오부터 에너지원이 화석연료에 집중된 A1FI시나리오에 의하면 이번 세기 말까지 1.8 - 4℃의 기온상승이 예상된다(IPCC, 2007). 우리나라도 20세기에 기온이 1.5℃ 상승했으며 앞으로 더욱 빠르게 상승할 전망이다(권원태, 2008).

기후변화로 인한 영향은 자연환경과 산업 및 경제 등 사회 전반에 걸쳐 폭넓게 나타나는데, 이 중에서도 인간 정주와 관련된 시설은 기후사상, 특히 호우나 태풍 같은 극한 기후사상의 강도 및 빈도 변화로 인한 영향에 취약하다. 그림 1은 전 세계의 자연재해 유형별 발생분포를 나타내고 있는데 이 중에서도 특히, 폭풍과 홍수 및 가뭄으로 인한 피해가 높음을 알 수 있다.

자연재해 발생은 전 세계적으로 부정적 파급효과를 초래하고 있는데, IPCC도 기후변화로 인해 더 심화될 것으로 예상되는 극한 사상(extreme event)에 대비한 위험관리를 해야 한다고 한 바 있다. 기후변

화의 극한 사상이라고 할 수 있는 자연재해는 우리나라에서도 점차 증가하고 있으며, 특히, 하천시설과 도로 등과 같은 기반시설에 피해가 크게 나타나고 있다. 이러한 피해는 동일지역에서 반복적으로 발생하는 경우가 많은데, 이는 재해로 인해 발생할 수 있는 위험에 대한 대응부족이 주원인이라고 할 수 있으며 이러한 피해가 계속될 경우 궁극적으로 국가발전의 저해요소로 작용할 수 있다.

세계적으로 기후변화 현상의 심화에 대한 우려가 높는데, IPCC는 4차 보고서에서 기후변화를 완화시키는 것만큼이나 이에 적응하는 것이 중요하다고 강조하였다. 현재 많은 국가가 기후변화에 대응하여 온실가스 감축에 대한 노력은 하고 있으나 온실가스의 배출은 여전히 증가하고 있으며 기후변화는 당분간 더욱 심화될 것으로 예상된다. 앞으로 전 세계가 노력하여 온실가스를 상당량 감축한다 하더라도 기후변화는 수세기 이상 계속 진행될 것으로 예측되기 때문에 기후변화 완화를 위한 온실가스 감축을 위한 노력과 더불어 하루 빨리 기후변화에 적응하는 것이 필요하다. 한 국가나 사회가 기후변화에 대한 적응역량을 강화하기 위해서는 먼저 기후변화로 인해 발생할 수 있는 위험요인들에 대한 그 국가나 사회의 대응현황을 파악하여야 하며, 이를 통해 적응전략 구축의 방향을 선정하는 것이 필요하다. 따라서 기후변화에 대한 취약성 평가는 필수적인 과정이 된다.

취약성에 대한 연구는 기후변화 보다는 자연재해나 빈곤과 같은 분야에서 먼저 진행되어 왔으며 기후변화에 대한 취약성은 비교적 최근에 활발히 진행되고 있다. IPCC(2001)는 기후변화 취약성이란 한 시스템이 기후의 변이와 극한사상과 같은 기후변화의 부정적인 효과에 대해 쉽게 영향을 받거나 적절히 대처하지 못하는 정도로서, 그 시스템이 노출되어 있는 기후변화의 특성 및 민감도와 적응능력의 함수라고 정의하고 있다. 즉, 기후변화 취약성은 기후변화로 인해 부정적인 효과가 발생했을 때 이에 영향을 받는 정도 내지 이에 대응할 수 없는 정도로서, 이는 기후변화에 대한 노출과 민감도 및

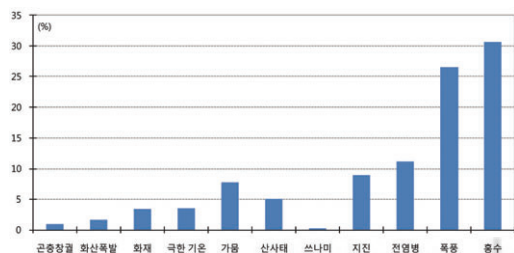


그림 1. 1991년부터 2005에 걸친 전세계 자연재해 유형별 발생분포 (자료: UN ISDR)

적응능력에 대한 함수로 다음처럼 표현될 수 있다.

$$\text{취약성} = f(\text{노출}, \text{민감도}, \text{적응능력})$$

기후변화의 취약성에 대한 이러한 수학적 표현을 활용한 평가는 기후변화 취약성 평가 결과를 바탕으로 한 시스템에 대해 적절한 대응 조치 및 적응 방향을 수립하는데 중요한 기초 자료로 쓰일 수 있기 때문에 그 활용성이 높다고 할 수 있다. 기후변화 취약성 평가에 대한 해외의 선행 연구로는 취약성 평가에 대한 이론과 실제 응용에 초점을 맞춘 연구들 (Arief and Francisco, 2009; Moreno and Becken, 2009; Ibarraran *et al.*, 2008; Eriksen and Kelly, 2007; Kaiser, 2007; Kelly and Adger, 2000; Brooks *et al.*, 2005; Moss, 2001; UNDP, 2005)이 있으며 특히 근래 들어 증가하고 있는 추세이다. 국내의 기후변화 영향평가 및 취약성 관련 선행 연구로는 기후평가를 포함하여 수문학 및 수자원과 생태계, 해안 및 해양, 에너지 및 산업, 보건 및 건강 부문까지 망라하여 기후변화 영향평가를 실시하고 적응시스템을 구축한 (한화진 외, 2005; 2006; 2007)연구가 진행된 바 있으며, 우리나라의 지역별 기후변화 취약성을 평가할 수 있는 지표개발과 그 활용방안에 대한 방향성을 제시한 연구 (유가영과 김인애, 2008)가 진행된 바 있다. 또 일부 학계에서는 특정지역을 대상으로 기후변화에 대한 생태계의 민감성이나 취약성을 평가하기도 하였으며 (공우석, 2000; 신준환과 임종환, 2003) 공중 및 보건에 대한 기후변화 취약성 평가도 실시된 바 있다(박정임, 2005). 그리고 일부 지역을 중심으로 지역단위의 기후변화 취약성평가(제주특별자치도, 2009; 장남정과 안정이, 2009)가 진행되는 등 비교적 근래들어 기후변화 영향 평가 및 취약성 평가에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

이러한 선행연구들은 주로 특정 분야나 지역을 중심으로 한 기후변화 평가가 주류를 이루며, 전국을 대상으로 하였다 하더라도 아직까지는 기후변화의 개별 사상에 대하여 사회기반시설 전반에 걸친 기후변화의 취약성 분석을 실시한 바는 없다. 사회구성원 전체의 공익을 위한 시설물인 사회기반시설

은 온도상승이나 태풍 등 기후변화와 관련된 사상의 발생에 영향을 받기도 하지만, 그 자체로서 기후변화에 대응할 수 있는 적응 수단이 될 수 있기 때문에 기후변화 적응에 있어서 사회기반시설의 역할은 그 중요성이 더욱 높다고 할 수 있다. 이에 본 연구는 관련 전문가들을 대상으로 우리나라 사회기반시설의 기후변화 취약성에 대한 설문조사를 실시하여 기후변화의 여러 사상들의 발생가능성과 이에 따라 예상되는 주요 사회기반시설의 취약성을 평가하고, 우선 조치 기반시설의 선정 등 효율적인 기후변화 적응정책 수립을 위한 방향제시와 기초자료를 제공하고자 한다.

II. 연구 방법 및 내용

1. 기후 사상 및 대상 기반시설 선정

본 연구는 우리나라의 주요 사회기반시설군(群)이 기후변화로 인해 야기될 수 있는 주요 기후사상에 얼마나 취약한지 개괄적으로 평가하였다. 본 연구의 평가 대상이 되는 기후사상은 기후변화 시나리오 및 과거의 기상 및 재해 관련 자료에 입각하여 가장 영향력이 클 것으로 보이는 7가지 기후사상으로 정하였다. 본 연구에서 선정된 기후사상은 평균 기온 상승, 해수면 상승, 태풍·폭풍, 홍수·집중호우, 가뭄, 혹한, 그리고 혹서이다. 이 7가지 기후사상은 엄밀하게 말할 경우 대표적 기후 사상인 평균 기온 상승에 기인하여 나머지 6가지 기후사상이 영향을 받는다고 할 수 있으나, 본 설문조사에서는 평균기온 상승을 다른 기후사상에 영향을 주는 요인이라는 측면보다는 기반시설에 피해를 초래할 수 있는 독립적인 사상으로 다루었다.

기후변화에 대해 취약성을 인지하는 정도는 개인차가 있으므로 객관적이고 유효한 설문결과의 도출을 위해서는 선정된 기후사상에 대해 구체적인 기준을 설정해야 할 필요성이 있다. 또 기반시설의 기후변화 적응 조치는 최악의 경우에 대비해야 할 필요가 있다. 그러므로 설문 조사 시 각 기후사상의 기준을 극단적으로 설정하면 최악의 상황에 대비하

여 피해를 최소화하는 적응대책을 마련하는 데에 도움이 될 것이다. 이에 본 연구는 IPCC의 기후 시나리오 중 에너지원이 화석연료에 집중된 소위 최악의 시나리오라고 불리는 A1FI 시나리오에 근거하여 각 기후사상에 대해 2100년경 예상되는 값을 기준으로 사용하였고, 이러한 기준이 없는 경우는 1900년대부터 최근까지의 자료에 입각하여 각 기후사상의 극치에 해당하는 값을 사용하였다. 본 연구에서 제시한 각 기후사상의 기준은 다음과 같다. 평균기온 상승은 2100년까지 평균기온이 현재보다 4℃ 상승; 해수면 상승은 2100년까지 해수면이 현재보다 60cm 이상 상승; 태풍·폭풍은 가장 경제적인 손실이 컸던 태풍 ‘루사’ - 2002년, 발생하여 약 5.8조원의 손실 발생 - 이상의 태풍; 홍수·집중호우는 1일 강우량 880mm 수준의 집중호우; 가뭄은 30만 명 이상이 제한급수를 해야 할 정도의 가뭄; 혹한은 -33℃ 이하의 혹한, 혹서는 40℃ 이상의 혹서로 제시하였다.

사회기반시설은 일반적으로 ‘국가시설물 중 국민들의 일상생활에 깊이 연관되어 있으며 사회의 기반이 되는 시설’로 정의되며 “사회간접자본”이라는 개념과 혼용된다. 또, 사회간접자본에 대한 민간투자법 제2조에 따르면 사회기반시설은 ‘각종 생산활동의 기반이 되는 시설, 당해 시설의 효용을 증진시키거나 이용자의 편익을 도모하는 시설 및 국민생활의 편익을 증진시키는 시설’로 정의된다. 한편, OECD (1991)에 의하면 사회기반시설이란 현대도시의 능률적인 기능수행에 본질적인 것으로서 상수도 및 하수시설의 공급, 고속도로, 교통시설, 에너지 공급망과 정보통신시설 등을 비롯하여, 시민의 적절한 생활수준의 유지와 관련 있는 사회서비스 시설 즉, 교육 및 의료시설, 여가시설, 공원녹지, 공중보건 및 복지, 법, 질서유지, 행정과 관련된 기반시설 등까지 포함한 매우 광범위한 개념이다. 그러나 이 모든 시설을 다 다룰 수는 없으므로 본 연구에서는 관련 전문가들의 자문과 수 차례에 걸친 파일럿 연구를 바탕으로 교통·통신, 에너지, 시설환경, 수자원의 4개 대분류를 먼저 선정하고 각 대분류에 대

표 1. 조사 대상 사회기반시설군

대분류	하 위 분류
교통·통신	도로, 철도, 공항, 항만, 유·무선 통신시설
에너지	발전시설, 저장시설, 전송시설
시설환경	주거시설, 의료·교육시설, 폐기물처리시설, 산업단지, 휴양시설(해수욕장, 스키장), 국립공원
수자원	상수시설, 하수시설, 하천시설, 관개시설

해 총 19개의 하위분류 기반시설을 최종 선정하였다(표 1).

2. 설문 조사

1) 설문지 구성

본 연구에서 개발한 설문지는 상술한 7개 기후사상과 19개 기반시설을 대상으로 하나의 기후사상이 발생할 가능성과 또 각 기후사상이 발생하였을 때 개별 기반시설에 초래할 수 있는 발생결과(피해수준), 그리고 이에 대응하기 위한 적응 조치의 시급한 정도 및 적응 조치에 필요한 투자규모에 대한 문항으로 구성되어 있다. 설문지는 Australian Academy of Technological Sciences and Engineering (2008)의 선행연구를 바탕으로 우리나라 상황에 맞도록 기반시설과 취약성 평가에 필요한 문항요소들을 매트릭스 형태로 구성하였으며, 각 문항요소에 대한 응답방식은 5점 척도(Likert scales) 방법을 사용하였다(그림 2).

본 연구에서 사용된 5점 척도는 ‘매우 낮음’, ‘약간 낮음’, ‘중간’, ‘약간 높음’, ‘매우 높음’과 같이 정성적인 기준을 제시하였는데, 이는 설문의 대상이 되는 기반시설이 특정 개별 시설물을 대상으로 하는 것이 아니라 사회기반시설 전반을 다 다루고 있어서 수치제시와 같은 정량적 기준 제시는 표현상의 한계가 있기 때문이다. 본 설문의 목적은 전문가들이 인지하고 있는 기후변화에 의한 각 시설분류군의 위험성 정도를 정성적으로 일반화하고 체계화하는 것이기 때문에 이러한 접근이 타당한 것으로 판단된다.

I. 평균기온상승

(기준: 2100년에 평균기온이 현재보다 4°C 상승)

발생 가능성	← 매우 낮음 매우 높음 →					1: 매우 낮음	4: 약간 높음									
	1	2	3	4	5	2: 약간 낮음	5: 매우 높음									
기후 취약성	발생 결과(피해 수준)					적응의 긴급한 정도		적응의 투자규모								
	1: 매우 낮음 2: 약간 낮음 3: 중간 4: 약간 높음 5: 매우 높음(재건설)					1: 50년 이상 2: 30년 내 3: 20년 내 4: 10년 내 5: 5년 내		1: 매우 작은 규모 2: 약간 작은 규모 3: 보통의 규모 4: 약간 큰 규모 5: 매우 큰 규모								
사회기반시설	정 도	← 매우 낮음 매우 높음 →					50년	30년	20년	10년	5년	매우 작음	매우 큼			
		← →					← →					← →				
교통 · 통신	도로	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	철도	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	공항	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	항만	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	유/무선 통신시설	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

그림 2. 본 설문 연구에서 사용된 설문지 예

2) 표본 선정 및 설문 실시

본 기후변화에 따른 사회기반시설의 취약성 평가에는 기반시설 및 기후변화 관련 전문가 140명이 참여하였다. 여기서 말하는 전문가는 '기후변화'와 '기반시설'의 양 분야 내지 최소 이 두 분야 중 한 분야를 자신의 주전공 분야로 하고 있는 박사급 이상의 전문지식 및 실무경험 보유자를 의미한다. 또 지역이나 소속, 분야 별로 의견이 편중되지 않도록 서울과 6개 광역시(부산, 인천, 울산, 대전, 대구, 광주) 및 전국 8도(경기, 강원, 충청남·북, 전라남·북, 경상남·북)와 제주도에 대해 분포를 골고루 안배하였다. 주 대상은 관련 국책연구기관과 각 지자체 발전연구원 및 대학을 중심으로 선정하여 지역 및 소속에 따른 편향을 최대한 줄이고자 하였다.

3. 기후변화 취약성 평가

본 연구에서 다룬 취약성은 IPCC (2001)의 정의를 따른다. 본 연구에서 시도된 기반시설의 기후변화 취약성 평가는 현장조사에 입각한 구조적 분석이 아닌 관련분야 전문가들의 연구경험과 직관력을 바탕으로 하고 있다. 따라서, 전문가들의 의견 반영이 용이한 사회기반시설의 기후변화 취약성 지표를 도출하기 위해 대체변수와 함수를 사용하였다. 취

약성 함수의 독립변수로는 기후사상의 발생가능성(L; likelihood)과, 기후사상 발생시 피해수준(C; consequence), 적응의 시급성(AU; urgency of adaptation)과 적응을 위한 투자규모(AI; investment size of adaptation)를 대체변수로 활용하였다. 또, 취약성 공식으로는 기존에 주로 사용하던 산술평균 방식 (Arief and Herminia, 2009; 유가영과 김인애, 2008)에서 더 나아가 가중치를 반영하였으며 취약성 값의 범위가 입력 변수들과 마찬가지로 5점 범위 내에 분포하도록 고안하였다.

즉, 취약성 지수를 발생가능성과 피해수준, 적응능력의 산술평균으로 구하였으며, 이 중 적응능력은 적응의 시급성과 적응을 위한 투자규모로 항목을 세분화하고 이 두 항목의 상대적 중요도에 대한 전문가들의 인식을 별도로 조사하였다. 이 조사를 토대로 AHP 분석을 한 결과 적응의 시급성에



그림 3. 본 연구의 기후변화 취약성 도출과정

0.63, 적응을 위한 투자규모에 0.37의 가중치를 구하여 이를 적용하였다(식 1).

$$V = \frac{1}{3}(L + C + (0.63AU + 0.37AI)) \quad \text{식 1}$$

- L: 발생가능성
- C: 발생결과
- AU: 적응의 시급성
- AI: 적응을 위한 투자규모

본 연구에서 고안한 식은 5점 방식의 설문과 그 스케일을 맞추었기 때문에 취약성 지수 역시 1과 5 사이의 값을 갖게 되어 결과에 대한 해석이 용이해질 수 있다.

III. 연구 결과 및 토의

1. 취약성 평가 분석 결과

1) 기후사상

각 기후사상의 발생가능성에 대한 전문가들의 의견을 분석한 결과, 7가지 기후사상 중 '평균기온 상승'에 대한 값이 4.16으로 그 발생 가능성을 가장 높게 보는 것으로 나타났다. '홍수·집중호우(4.14)', '태풍·폭풍(4.01)', '해수면 상승(3.92)', '가뭄(3.87)', '혹서(3.63)'에 대해서는 5점 척도의 3점이 넘는 평균값을 기록하고 있어 혹한(2.60)을 제외한 나머지 6가지 기후사상에 대한 발생가능성을 비교적 높게 보고 있으며, 혹한은 비교적 발생가능성이 낮은 것으로 판단하고 있음을 알 수 있다(그림 4).

이러한 결과는 IPCC (2007)의 기후변화 전망과도 상당히 일치하고 있으며, 최근에 나타나는 기후

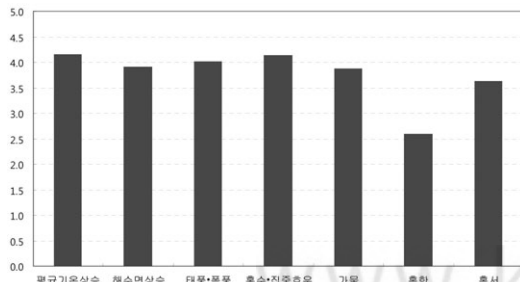


그림 4. 전문가 설문에 의한 각 기후사상별 발생가능성

변화 현상과도 비교적 일치한다고 할 수 있다. 통계적 유의성의 한계로 인해 단정적인 결론을 내리기는 어려우나 본 결과를 통해 간접적으로 기후변화 사상 중에서도 특히 평균기온상승, 태풍·폭풍, 홍수·집중호우와 같은 사상에 대비할 필요성이 높다는 것을 알 수 있다.

2) 기반시설의 기후변화 취약성

다음으로 각 기후사상이 사회기반시설에 미치는 영향을 알아보기 위해 사회기반시설의 기후사상 별 취약성 지수의 전체 평균값을 구하였다. 즉, 각 기후사상에 대하여 전체 선정 기반시설이 가지는 취약성 지수의 평균값을 구함으로써 특정 기반시설이 아닌 기반시설 전반에 걸쳐 평균적인 취약성 수준을 살펴본 것이다. 이렇게 함으로써 세부 기반시설에 대해 상세히 살피기에 앞서 전체적으로 기반시설이 어떤 기후사상에 대해 취약한가를 파악할 수 있다. 이러한 분석은 정책입안에 있어 의사결정시 어떤 기후사상에 대한 적응대책을 우선적으로 마련해야 하는지에 대한 방향 설정에도 도움이 될 것이다. 그 결과 '태풍·폭풍', '홍수·집중호우'에 대한 취약성이 가장 우려되고 있음을 알 수 있다(그림 5). 이 결과는 기후사상 별 발생가능성과 다소간의 차이를 보이는데 이는 전문가들이 비록 발생가능성으로는 기온상승이 가장 유력하다 할지라도 그 기후사상이 기반시설에 미치는 영향에 대해서는 '태풍·폭풍', '홍수·집중호우'라는 기후사상에 의한 것이 더 크다고 생각하기 때문인 것으로 사료된다.

하위분류 상의 19개 기반시설 각각에 대해 모든 기후사상에 대한 취약성 평가 결과를 살펴보면 각

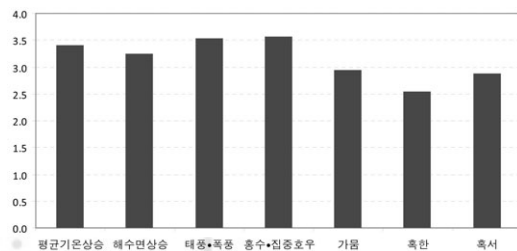


그림 5. 전문가 설문에 의한 기반시설의 각 기후사상 별 평균 취약성

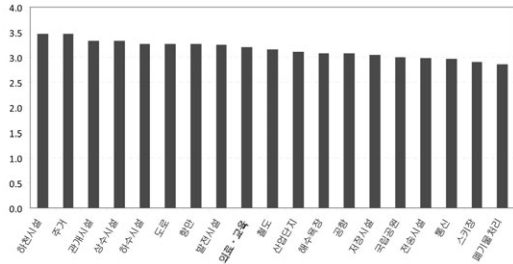


그림 6. 하위분류상의 각 기반시설 별 평균 취약성 지수

개별 기반시설이 전반적으로 기후변화에 얼마나 취약한지를 알 수 있다. 개별 기반시설의 기후변화 취약성은 ‘하천시설’, ‘주거’, ‘관개시설’의 순으로 취약한 것으로 평가되었다(그림 6). 특히, 대분류 상으로 볼 때 수자원 관련시설이 상대적으로 취약성이 높은 것으로 나타났다.

다음으로 개별 기후사상에 대하여 기반시설 별 취약성을 파악하였다. 그 결과, ‘홍수·집중호우’에서 ‘하천시설’, ‘태풍·폭풍’에서의 ‘항만’, ‘해수면 상승’시의 ‘항만’, ‘홍수·집중호우’ 발생시 ‘도로’ 등의 순서로 취약한 것으로 나타났다. 표 2는 기후 사상 별 상위 10개에 해당하는 기반시설이다.

3. 정책적 함의

기후변화에 대한 적응대책을 모든 관련 분야에 대해 동시에 수립하고 실행하는 것은 현실적으로 불가능하다. 따라서 정책수립의 우선 순위를 정함

이 중요한데 본 연구의 취약성 평가 결과는 사회기반시설의 기후변화 적응대책의 우선 순위를 정함에 있어 방향을 제공해 줄 수 있을 것으로 사료된다. 본 연구의 결과에 의하면 기후변화로 인해 가능한 여러 가지 기후사상 중에서도 태풍을 위시한 강풍과 호우에 대한 대비가 무엇보다 우선시 되어야 함이 나타났다. 이는 과거 우리나라의 자연재해 피해의 대부분이 태풍과 호우에 의한 것이라는 재해연보의 기록과도 일치하는 결과이다. UN ISDR (United Nations International Strategy for Disaster Reduction)에 따르면 1991년부터 2005년까지 15년간 그 발생분포를 조사한 결과, 여러 자연재해 중에도 홍수(30.7%)와 폭풍(26.6%)이 세계 자연재해의 절반이 넘는 비중을 차지하고 있다고 한다(ISDR, 2009).

우리나라의 재해이력을 살펴 보아도 태풍과 호우로 인한 피해가 주로 일어났음을 알 수 있다. 2003년 우리나라에서 발생했던 태풍 매미의 경우 서울과 인천을 제외한 전국에 피해를 초래하여 131명의 인명피해와 4조 2,225억원의 재산피해를 발생시켰다(국립방재연구소, 2008a). 2002년 발생한 태풍 루사의 경우 전국적으로 246명의 인명피해와 5조 이상의 재산피해를 발생시켰는데, 특히 심한 피해를 입은 강원도의 경우, 인명피해 143명과 재산피해 2조 5,351억원이 발생하였다(국립방재연구소, 2008b). 이처럼 우리나라의 경우도 지금까지 기록

표 2. 기후사상 별 상위 10개 취약 기반시설

기후사상 순위	평균기온 상승	해수면 상승	태풍·폭풍	홍수· 집중호우	가 목	혹 한	혹 서
1	스키장	항만	항만	하천시설	상수시설	상수시설	주거시설
2	하천시설	해수욕장	하천시설	도로	관개시설	하수시설	의료·교육
3	주거시설	하천시설	도로	주거시설	하천시설	주거시설	철도
4	항만	발전시설	철도	철도	주거시설	관개시설	도로
5	발전시설	주거시설	주거시설	하수시설	발전시설	의료·교육	저장시설
6	관개시설	하수시설	전송시설	관개시설	의료·교육	발전시설	발전시설
7	저장시설	도로	공항	항만	국립공원	하천시설	상수시설
8	산업단지	관개시설	유·무선 통신	공항	하수시설	공항	산업단지
9	의료·교육	산업단지	해수욕장	상수시설	산업단지	도로	공항
10	상수시설	저장시설	발전시설	유·무선 통신	스키장	저장시설	관개시설

된 자연재해 피해액의 90% 이상이 태풍과 호우에 의한 것임을 감안할 때 특히 이러한 기후사상에 대하여 우선 순위 기반시설을 정해 기후변화 적응정책을 시행한다면 그 효과를 보다 효율적으로 이끌어 낼 수 있을 것으로 사료된다. 여기에 평균기온 상승은 기반시설물 전반에 걸쳐 영향을 미칠 것으로 우려되므로 이에 대한 대비도 함께 준비해야 할 것이다. 그리고 혹한은 그로 인한 기반시설의 피해가 가장 작을 것으로 전망되므로 이에 관한 조치는 다른 기후사상의 적응대책보다 후순위로 둘 수 있을 것으로 보인다.

기반시설 별 기후변화 취약성을 살펴보면 수자원 관련 시설의 취약성이 가장 두드러지므로 이에 대한 적응대책이 다른 기반시설보다 우선시 되어야 할 것이다. 그 뒤를 이어 항만을 위시한 교통시설과 주거, 의료·교육시설로 대표되는 시설물의 취약성 또한 높으므로 그에 대한 구체적인 적응대책의 수립도 필요하다.

이러한 결과는 과거 자연재해로 인한 우리나라 공공시설의 피해액과도 상당히 일치함을 알 수 있어(그림 7), 전문가를 대상으로 한 설문을 활용한 본 연구 결과가 유의미하다고 할 수 있을 것이다. 다음으로 설문항목에서 예상피해 (=기후사상의 발생가능성 × 피해수준)가 크며 동시에 적응의 시급성 또한 높은 것으로 응답된 기반시설을 살펴보았다. 먼저, 예상피해 점수가 9점을 초과 (10~25점)하며 동시에 적응의 시급성 점수도 3점을 초과 (4~5점)하는 답변을 한 응답자가 전체 140명 중 얼마나 되는지 각 기반시설 별로 알아보았다. 본 분석의 임계치를 예상피해 점수 10으로 정한 이유는 발생가능성

과 피해수준이 모두 중간일 경우 예상피해 점수가 9점 (3×3 = 9)이 되므로 발생가능성과 피해수준이 중간을 넘는 것을 기준으로 하였기 때문이다. 분석 결과, 전체 140명 중 90명이 (전체 응답자 중 64.3%) '홍수·집중호우'에 대한 하천시설에 대하여 예상피해와 적응의 시급성 점수를 각각 10점 이상, 4점 이상으로 답변하였다. 그 뒤를 이어 '태풍·폭풍'에 대한 항만과 '홍수·집중호우'에서의 도로 등이 예상되는 피해가 크며 적응도 시급하다고 답변한 전문가가 많았다(표 3). 그리고 예상피해도 크면서 적응이 시급하다고 판단되는 상위 5개 조합에 대한 응답률 (=해당 조합에 대한 예상피해와 시급성을 모두 높게 답한 응답자 수와 전체 설문 표본 크기 (140))이 모두 50%를 상회하고 있어 상위 조합에 대한 전문가들의 의견이 상당히 일치되는 것으로 보인다. 따라서 이러한 시설물에 대한 적응 조치가 우선시되어야 할 것으로 판단된다.

또한, 유사한 방식으로 피해수준과 적응의 시급성은 높으면서 투자규모는 작을 것으로 응답한 기후사상과 기반시설의 조합도 분석하였다. 즉, 응답자가 피해수준에 4~5점을 부여하고 동시에 적응의 시급성에도 4~5점을 부여하여 두 기준 모두 높게 평가하면서 적응을 위해 필요한 투자규모는 작을 것 (1~2점)으로 평가한 기후사상과 기반시설의 조합이 어떤 것이 있는지 조사하였다. 분석 결과, '평균기온 상승'에 대한 스키장, '혹서'에서의 스키장, '태풍·폭풍' 시의 해수욕장 순으로 조사되었다(표 4). 이를 보면 휴양시설이 기후변화에 대해 피해를 입기도 쉽고 그에 따른 적응 대책도 시급하나, 동시에 시설의 설치나 보수에 있어서 상대적으로 비용이 크지 않을 것으로 평가되고 있음을 알 수 있다.

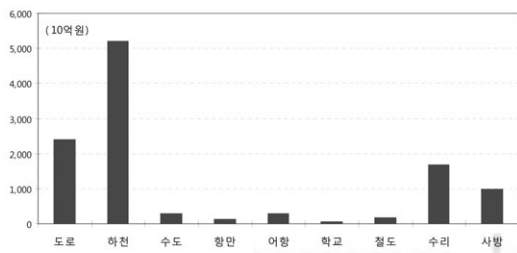


그림 7. 소방방재청 (2008) 자료에 따른 20년 누적 자연재해로 인한 우리나라 공공시설 피해액(1988-2007)

표 3. 예상피해가 크며 적응이 시급한 기후사상과 기반시설의 조합 상위5

순 위	해당 기후사상 및 기반시설	응답률
1	'홍수·집중호우'에서의 하천시설	64.3%
2	'태풍·폭풍'에서의 항만	55.0%
3	'홍수·집중호우'에서의 도로	52.9%
4	'태풍·폭풍'에서의 하천시설	52.1%
5	'가뭄'에서의 상수시설	51.4%

표 4. 피해수준, 적응 시급성은 높고 투자규모는 작은 기후 사상과 기반시설의 조합 상위 5순위

순 위	해당 기후사상 및 기반시설	응답률
1	'평균기온 상승' 시의 스키장	10.0%
2	'혹서' 에서의 스키장	6.4%
3	'해수면 상승' 시의 해수욕장, '태풍·폭풍' 에서의 해수욕장	5.7%
4	'평균기온 상승' 시의 해수욕장, '태풍·폭풍' 에서의 주거, '홍수·집중호우' 에서의 하수시설, '가뭄' 시의 스키장	3.6%

즉, 적은 예산 투입으로도 비교적 실효를 거두기 쉬운 시설이라고 할 수 있다. 그러나 이에 대한 응답률 (전체 응답자 중 해당 기후사상과 기반시설의 조합이 피해수준과 적응 시급성이 높고 투자규모는 작다고 답한 응답자의 비율)은 1순위인 '평균기온 상승' 시의 스키장 조합 전체 참여 전문가의 10%에 불과하다. 위에서 언급된 상대적으로 높은 의견의 일치율을 보이고 있는 예상피해와 적응의 시급성이 모두 높은 기반시설과 기후사상의 조합들에 비해 상대적으로 그 응답 일치율의 정도가 현저히 낮아 그 유의성은 크지 않은 것으로 판단된다.

본 연구는 우리나라 사회기반시설의 기후변화에 대한 취약성을 진단하고 미래 예측되는 기후변화에 따른 위기관리의 정책적 추진방향 설정을 위하여 우선 조치 기반시설의 순위를 제시하고자 하였다. 기후변화의 취약성에 대해 이러한 수치적인 표현을 활용한 평가는 이를 바탕으로 특정 시스템에 대해 기후변화로 인해 발생할 수 있는 위기상황을 대비한 적절한 대응 조치 및 적응방향을 수립하는데 중요한 기초 자료로 활용될 수 있다. 따라서 본 연구의 사회기반시설의 기후변화 취약성 평가 결과는 기후변화 적응전략 수립에 있어 도움이 될 것으로 사료된다. 특히, 도로와 항만, 댐 및 발전시설과 같은 사회기반시설은 장기적 관점에서 설계 및 투자되어야 하므로 기후변화 취약성 평가를 바탕으로 그 계획단계에서부터 기후변화로 인한 장래의 위험요소를 고려하는 것이 필요하다. 일본 국립환경연구소의 연구에 의하면 건축물의 경우 설계 시에 적절한 대응하는 것만으로도 충분한 피해예방이 가능

하여 그 적응 가능성과 대책의 효과가 높다고 한다 (環境省, 2003). 향후 기후변화에 대한 구체적 적응 대책 마련 시 각 사회기반시설물에 대해 개별적으로 기후변화 취약성을 파악할 수 있도록 구조적인 취약성 평가가 따라야 할 것이며, 이러한 취약성 평가 결과를 토대로 개별 기반시설의 설계부터 관리 전반에 걸쳐 기후변화에 대한 고려가 반영되어 국가 차원에서의 기후변화 적응강화 정책이 마련되어야 할 것이다.

IV. 결론

본 연구는 기후변화의 적응강화 대책수립의 일환으로 사회기반시설의 기후변화 취약성에 대해 전문가들을 대상으로 설문조사를 실시하였으며, 설문을 통해 수집한 정성적인 의견을 취약성 지수로 수치화하고, 그 결과를 통해 우선 적응조치 기반시설의 선정 등 정책적 함의를 살펴 보았다. 그 결과, 앞으로 예상되는 다양한 기후사상들 중 특히 '태풍·폭풍', '홍수·집중호우'에 대한 발생가능성이 높게 나타났고, 기반시설 중에는 수자원 관련시설과 교통, 그리고 주거시설물 등이 기후변화 취약성이 높은 것으로 평가되었다. 특히, 수자원 관련시설 중에서도 하천시설 (댐, 제방 등), 교통시설에서는 항만과 도로가 가장 취약성이 큰 기반시설로 조사되었다. 또, 휴양시설의 경우 그 예상되는 피해는 크나 적은 투자비용으로도 적응 대책마련이 가능할 것으로 나타났다. 이러한 결과들은 우리나라의 과거 자연재해로 인한 피해사례와도 일치하며, 해외의 연구사례와도 맥을 같이 한다. 사회기반시설에 해당하는 시설물에 대해 기후변화 사상이 미칠 영향을 사전에 예측하고 대비하는 노력은 기후변화로 인한 부정적 영향에 대비하고 사회의 안정과 발전을 위해 반드시 필요한 조치이다. 따라서 기후변화 취약성에 대한 이러한 수치화된 평가는 특정한 사회나 국가를 대상으로 기후변화에 대한 적절한 대응 조치 및 적응방향을 수립하는데 중요한 기초 자료로 활용될 수 있기 때문에 지속적으로 이루어져야 할

것이다. 본 연구는 우리나라의 기후변화 취약성 분석 중 처음으로 설문문을 통한 분석을 시도한 연구로서 정성적 의견의 정량화와 답변의 객관성 확보 등 구체적인 기반시설의 취약성평가에 대한 한계가 있었으나, 우리나라 사회기반시설 전반에 걸쳐 취약한 기반시설을 파악하고 우선 조치 사회기반시설을 선정하는 등 유의미한 정책적 함의를 도출하였다. 향후 보다 더 구체적이고 심화된 연구를 통해 보완된 기후변화 취약성의 평가 체계가 이루어져야 할 것이다.

사 사

본 연구는 한국환경정책·평가연구원의 녹색성장 정책연구 과제의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 공우석, 2000, 지구온난화가 식물의 분포에 미치는 영향, 자연보존, 111, 26-31.
- 권원태, 2008, 국제적 기후변화 현황, 국제평화 5(1), 37-65.
- 박정임, 2005, 기후변화가 건강에 미치는 영향 및 적응대책 마련. 한국환경정책·평가연구원. 사회기반시설에 대한 민간투자법, 2009.9.10시행.
- 소방방재청, 2005, 기후변화에 대한 자연재난 대처 방안 연구.
- 국립방재연구소, 2008a, 태풍 루사.
- 국립방재연구소, 2008b, 태풍 매미.
- 신준환, 임종환, 2003, 기후변화가 한반도 신라생태계에 미치는 영향과 대응방안, 2003년 기후변화 포럼 및 학술대회, pp. 82 - 100.
- 유가영, 김인애, 2008, 기후변화 취약성 평가지표의 개발 및 도입방안, 한국환경·정책평가연구원.
- 장남정, 안정이, 2009, 기후변화 적응대책 수립을 위한 전라북도 기후변화 취약성 연구. 2009. 전북발전연구원.
- 제주특별자치도, 2009, 기후변화 영향평가 및 적응 모델 개발.
- 環境省, 2003, 地球温暖化の市民生活への影響調査(成果報告書), 國際環境研究協會.
- Alberini, A., A. Chiabai, and L., Muehlenbachs. 2005. Using expert judgement to assess adaptive capacity to climate change: evidence from a conjoint choice survey. Fondazione Eni Enrico Mattei.
- Arief, A. Y. and F. Herminia, 2009, Climate Change Vulnerability Mapping for Southeast Asia, Economy and Environment Program for Southeast Asia.
- Australian Academy of Technological Sciences and Engineering, 2008, Assessment of impacts of climate change on Australia's physical infrastructure.
- Brooks, N., Adger, W. N., and Kelly, P. M., 2005, The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. Global Environmental Change, 15, 151-163.
- Eriksen, S. H. and Kelly, P. M., 2007, Developing credible vulnerability indicators for climate adaptation policy assessment. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 12, 495-524.
- IPCC, 2001, Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Cambridge University Press.
- IPCC, 2007, Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability - Summary for Policymakers, Cambridge University Press.
- Kaiser, G., 2007, Coastal vulnerability to climate change and natural hazards.

- Forum DKKV/CEDIM: Disaster reduction in climate change.
- Moreno, A. and Becken, S., 2009, A climate change vulnerability assessment methodology for coastal tourism. *Journal of sustainable tourism*, 17(4), 473-488.
- Moss, R. H., E.L., Brenkert, and A. L., Malone. 2001, Vulnerability to climate change: a quantitative approach. Prepared for the US Department of energy.
- Organization for Economic Cooperation and Development, 1991, *Urban Infrastructure: Finance and Management*: OECD.
- UNDP, 2005, *Adaptation policy frameworks for climate change: Developing strategies, policies, and measures*, Cambridge University Press.
- ISDR, 2009, *International Strategy for Disaster Reduction*. <http://www.unisdr.org/>

최종원고채택 09. 12. 21