

시·공간정보기반 기후변화 취약성 평가

(Climate Change Vulnerability
Assessment Based on
Spatio-Temporal Information)

최 현 아* 이 우 균**
(Hyun-Ah Choi) (Woo-Kyun Lee)

곽 한 빈*** 최 성 호***
(Han-Bin Kwak) (Sung-Ho Choi)

변 재 균*** 유 성 진***
(Jae-Gyun Byun) (Sung-Jin Yoo)

Guishan Cui***
(Guishan Cui)

요약 기후변화는 생태계, 수자원, 재난, 보건 등 다양한 분야에 다양한 형태로 영향을 미치고 있다. 따라서 기후변화에 대응하기 위해서는 그 영향을 부문별로 평가하여 적절한 적응전략을 마련하는 것이 필요하다. 그러나 부문별 평가지표도 다르고, 자료의 형태와 내용도 달라 통일된 형태의 영향평가 및 적응전략이 어려운 실정이다. 이에 본 연구에서는 부문별 기후변화영향평가지표를 마련하고, 이 평가지표를 설명하는 각종 주제를 GIS기반의 시·공간정보로 통합하였다. 이와 같이 통합된 시·공간정보를 부문별 취약성평가 방법에 적용하여 부문별 취약성을 통합한 후 평가할 수는 방법을 제시하였다.

키워드 : 기후변화, 시·공간 정보, 취약성 평가

Abstract Climate change has influenced on various sectors including ecosystem, water resource, natural hazards and health and so on. Thus, it is essential to more accurately assess climate change impact and prepare adaptation strategy. However, it is difficult to assess for

climate change impact on various sectors with integrated form due to various data format by sectors. In this study, we prepared criteria and indicators for assessing climate change impact and integrated GIS based data which in correspond to indicators based on spatio-temporal information using GIS. Finally we suggest a guideline to assess vulnerability of each sectors to climate change based on integrated spatio-temporal information.

Keywords : Climate Change, Spatiotemporal Information, Vulnerability Assessment

1. 서론

최근 발표된 UN 기후변화에 관한 정부간 패널(Inter-governmental Panel on Climate Change: IPCC) 4차 평가보고서에 따르면 '기후변화 현상은 명백히 일어나고 있으며, 이는 인간의 활동에 의한 결과이다'라고 명시함으로써 인간의 무분별한 산업 활동으로 인해 현재 자연 및 인간 시스템이 영향을 받고 있음을 강조하였다[1].

특히, 기후변화로 인해 많은 영향을 받을 수 있는 부문과 지역은 육상 생태계, 해안과 해양생태계, 저위도지역의 농업, 저지대 해안시스템, 건조한 열대지역 내 수자원, 인간보건문제, 북극의 자연생태계, 아프리카 및 작은 섬 지역, 아시아 지역 등이다[2].

기후변화 영향의 심각성은 이미 인지되고 있으며, 예상되는 기후변화에 대한 영향을 사전에 평가하고 적절한 대응방안 및 적응대책수립에 많은 노력을 하고 있다. 급격하고 심각한 기후변화의 정도와 가능성을 줄이기 위하여 완화는 필수 불가결하지만 기후변화로 인한 인간 사회 및 자연시스템의 충격을 줄이고 사회적 적응력을 보호하기 위해서 완화에 대한 보완적인 접근 방법으로 적응(adaptation) 활동과 전략이 요구된다[3, 4]. Easterling 등[5]은 적응 및 완화는 전지구 기후변화 문제에 대처하기 위한 종합적인 조정전략을 위해서 필수·보완적이며, 예방적인 적응을 통해 기후변화에 의한 지역적인 취약성, 노출 및 피해를 줄일 수 있다고 주장하였다. 그러나 국내 적응부문의 정책 및 연구현황은 설명적 연구방법에 의한 수치적 자료에 의거한 취약성평가 및 적응대책 연구가 주가 되어 적응의 개념 및 대상, 적응시기, 적응과정만을 포함하여 공간적 특성이 배제되어 진행되어 왔다[6, 7, 8, 9, 10, 11].

우리나라의 경우, 지형이 복잡하고 몬순기후대의 영향을 받아 기온과 강수량을 비롯한 대부분의 기상요소의 시공간적 변동이 매우 큰 특징이 있다. 우리나라에서는 국지적 기후특성 및 생태·환경, 해양·수산업, 수자원, 보건 등의 부문별 자료를 정량적으로 확보하여 부문별 취약성을 공간적으로 파악하는 것이 필요하다.

이에, 본 연구에서는 생태계(식생분포, 생태계 기능), 재난(산불, 산사태), 수자원(홍수, 가뭄), 보건(폭염, 대기오염)등 부문별 시·공간자료를 이용한 취약성 평가 방법을 제시하고자 한다.

*이 논문은 2009 GIS 공동추계학술대회에서 '시공간정보기반 기후변화 취약성 적응분석'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임

**본 연구는 산림청 '산림과학기술개발사업(과제번호 : S10107L0201004)'과 환경부 '기후변화특성화대학원' 지원 사업에 의하여 이루어진 것입니다.

* 고려대학교 기후환경학과, sosobut@korea.ac.kr

** 고려대학교 환경생태공학과 교수, leewk@korea.ac.kr(교신저자)

*** 고려대학교 환경생태공학과

논문접수 : 2009.08.07

수정일 : 2009.09.10

심사완료 : 2009.09.25

2. 연구내용 및 방법

2.1 기후변화에 대한 취약성평가 방법

기후변화에 대한 적응대책 수립을 위해서는 기후변화로 인한 취약성 평가 및 영향평가가 요구된다[11]. 이와 함께, 기후변화와 각 부문별 영향 인자 사이의 과학적 예측을 기반으로 변화하는 기후조건에 대한 생태계의 적응대책을 수립해야한다. 이를 위해서는 취약성평가를 위한 지표 선정 후 측정 단위 및 범주가 다른 여러 부문 자료의 통합이 우선적으로 이루어져야 한다.

2.2 부문별 취약성 지표

그간 우리나라의 기후변화 영향평가 및 적응대책은 수자원, 보건, 재난, 생태계등 부문별로 이루어져 왔다[1, 12, 13, 14, 15]. 그러나 국가차원에서 보면, 부문별 영향평가를 바탕으로 부문간 통합 적응전략을 도출하는 것이 필요하다. 이를 위해서는 부문별 자료의 통합이 필요하며, 현재 기후변화 영향평가를 위해 활용되는 자료형태는 부문별로 다양하다(표1). 이로 인해 부문간 통일된 기준 및 지표에 의한 기후변화 영향평가가 어려운 실정이다.

이에 본 연구에서는 각 부문에 통일되게 적용될 수 있는 기준을 정하고, 그 기준을 계량적으로 나타낼 수 있는 지표(indicator) 및 시공간정보를 마련하여 기후변화 취약성 평가 방법을 제시하였다(그림 1).

표 1. 부문별 입력 자료형태 및 분석자료

부문	입력 자료형태	분석 자료 출력
수자원	유역별 분포자료	유역 Polygon
보건	지역별 포인트 자료	시군구 Polygon
재난	발생지역 및 건수별 포인트 자료	Raster
생태계	지역별 포인트 자료	Raster

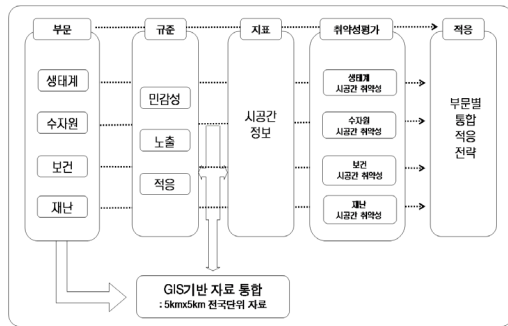


그림 1. 취약성 평가 구조 및 방법

2.2.1 기준(Criteria)

기후변화의 영향을 각 부문별 기후변화에 대한 취약성(vulnerability)으로 평가하였다. 취약성 평가 기준은 민

감성(sensitivity), 노출(exposure), 적응(adaptation)으로 하였다[1, 12, 13, 14, 15]. 민감성이란 시스템이 기후변화에 영향을 받을 수 있는 정도이며, 노출은 민감한 시스템의 요소가 기후와 접촉되어 있는 정도이다. 적응은 외부 자극에 대한 반응으로 일어나는 시스템 행동의 변화이다.

2.2.2 지표(Indicator) 설정

취약성 평가를 위한 각 부문별 취약성 평가지표는 다음과 같다.

표 2. 수자원 취약성 평가 기준 및 지표

기준	지표	
민감성	홍수	여름철 강수량(mm)
	가뭄	연 강수량(mm)
노출	홍수	유역 평균고도(m), 유역별 단위 면적당 인구(인, km ²)
	가뭄	유역별 단위면적당 용수 수요량(톤/km ²)
적응	홍수	하천개수율(%)
	가뭄	-

표 3. 보건 취약성 평가 기준 및 지표

기준	지표	
민감성	폭염	열 또는 추위 관련 질병 변화
		사망률 변화
	대기오염	인구밀도
노출	폭염	극단적인 온도/폭염(heat wave) 노출
	대기오염	대기오염원에 대한 노출
적응	폭염	지역적 추이
	대기오염	단위면적당 오염원 배출량

표 4. 재난 취약성 평가 기준 및 지표

기준	지표	
민감성	산불	인구밀도
		수종
	산사태	주거지역 및 논, 밭
		주거지역 및 공업, 상업지역
노출	산불	산불 위험 예측모델
	산사태	산사태 위험 예측모델
적응	산불	내륙수 인접지역
	산사태	산림 밀도

생태계의 경우 표 5와 같이 식생 분포의 취약성과 생태계 기능의 취약성의 합으로 취약성 평가를 하였다.

표 5. 생태계 취약성 평가 기준 및 지표

기준	지표	하부 지수	의미
식생 분포 취약성	식생유형의 변화	변화의 횟수	민감성
		변화의 방향	적응성
생태계 기능 취약성	순1차 생산량	변이성	민감성
		변화경향	적응성
	토양탄소 저장량	변이성	민감성
		변화경향	적응성

2.3 시·공간 정보 구축

부분별 취약성의 시·공간변이를 파악하고 종합적 적용 대책을 마련하기 위하여 지표별 시공간 정보가 통합되었다. 부분별 기후변화 취약성을 구성하는 주요 요소 및 통일된 형태의 GIS기반 시·공간자료는 5km x 5km 래스터(raster)자료로서 그림 2와 같다.

취약성 평가를 위한 입력인자 중 기온(°C) 및 강수량(mm) 자료는 과거 30년(1977~2006)의 연별 평균 기온과 강수량을 이용하여 시공간 자료를 구축하였다[16].

2.4 취약성 평가

각 기준별 지표를 활용하여 식1과 같은 과정을 거쳐 부분별 취약성을 평가하였다[1, 15]. 민감도와 노출 지표는 취약성을 높이는 반면 적응지표는 취약성을 낮게하는 원리를 적용한 것이다.

$$\text{취약성} = (\text{민감도} \times \text{노출}) / \text{적응} \quad (1)$$

이때 민감도, 노출정도, 적응력 각 지표는 정규화 및 역정규화 시킨 후 유역별 상대적 취약성 평가하였다[13, 14, 15]. 이 경우, 취약성은 모든 부문에서 0-1사이의 값을 가지게 되어 부문간 상대적 비교 및 통합 평가가 가능하게 된다.

$$\text{정규화 값} = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (2)$$

X: 취약성 지표

X_{min}: 취약성 지표의 최소값

X_{max}: 취약성 지표의 최대값

3. 결과 및 고찰

3.1 부문별 취약성 평가

부분별 취약성 지표에 대한 공간자료를 5km x 5km래스

터(raster)자료로 구축 한 후 취약성 평가 결과 수자원 취약성 지표 중 홍수 취약성의 경우 영산강 서해 대유역, 행정구역상 전라북도 지역이 가장 취약하게 나타났으며, 경기도 지역의 경우, 한강 고양 유역이 높은 취약성을 보이고 시화호가 가장 낮은 취약성을 나타냈다(그림 3(a)). 가뭄 취약성은 안성천 대유역, 행정구역상 경기도 지역이 가장 취약하게 나타났으며, 경기도 지역의 경우, 한강고양 유역이 홍수 취약성과 같이 높은 취약성을 보이며, 한강서해 유역이 낮은 취약성을 나타냈다(그림 3(b)).

폭염에 의한 보건 취약성 지수 평가결과 여름철 기온이 높은 대구광역시, 울산광역시, 광주광역시에서 높게 나타났으며, 경상북도와 경상남도 등 동남권 지역이 다른 지역보다 취약성이 상대적으로 높게 나타났다(그림 4(a)). 대기오염에 대한 보건 취약성의 경우, 대도시를 중심으로 서울 및 경기도와 산업단지가 많은 부산을 포함한 경상남도가 가장 취약한 것으로 나타났으며, 강원도 지역이 상대적으로 다른 지역에 비해 대기오염으로 인한 취약성이 낮은 것으로 나타났다(그림 4(b)).

재난 취약성 지표 중 산불 취약성의 경우 전국적으로 대도시 주변의 인구밀도가 높고 주거지역이 집중된 지역과 논, 밭, 침엽수 밀집지역에 산불 발생 취약성이 높게 나타났다(그림 5(a)). 산사태 취약성지도의 전국적으로 고르게 나타났으며, 경사가 평탄한 서부지역과 대도시 주변은 낮게 나타났다. 휴전선 지역과 강릉 일부 지역은 보안 지역으로 지형데이터의 부족하여 전체적으로 취약성이 낮게 나타났다(그림 5(b)).

생태계 취약성 지표 중 식생분포의 취약성은 식생분포 민감성에서 식생분포 적응성을 감하면서 평가하였으며, 식생분포의 변화 빈도가 높을수록, 식생분포 변화 방향이 음(-)의 값을 갖을수록 식생 분포의 취약성은 높아지는 것으로 평가되었다. 특히, 기후변화에 대한 우리나라 식생분포의 취약성은 경기도, 강원도, 충청도지역 (전체 면적의 약 55%)에서 낮은 것으로 나타났으며, 남부내륙지방과 서해안 및 동해안지역의 취약성이 높게 나타났다. 경상북도 포항지역, 부산광역시 북부지역, 전라남도 여수 지역과 무안군 도서지역에 취약성이 매우 높은 것으로 예측되었다(그림 6(a)). 생태계 기능의 취약성은 생태계 기능의 변이성에서 생태계 기능의 변화경향의 음의 값을 감하면서 평가하였으며, 생태계 기능 변이성이 높을수록, 생태계 기능 변화 경향이 양(+)의 값을 갖을수록 식생 분포의 취약성은 높아지는 것으로 평가되었다. 순일차생산량과 토양탄소저장량의 변이성(민감성)과 변화경향(적응성)을 종합하여 생태계 기능 취약성을 도출하였으며, 남해안지방과 제주도 일부지역, 경상북도와 강원도 내륙 일부지역(전체 면적의 약 19%)에서 생태계 기능 취약성이 낮은 것으로 나타났다. 그러나 경기도 남부지방과 전라북도와 충청남도 일부지역(약 14%)에서 생태계 기능 취약성이 높은 것으로 나타났(그림 6(b)).

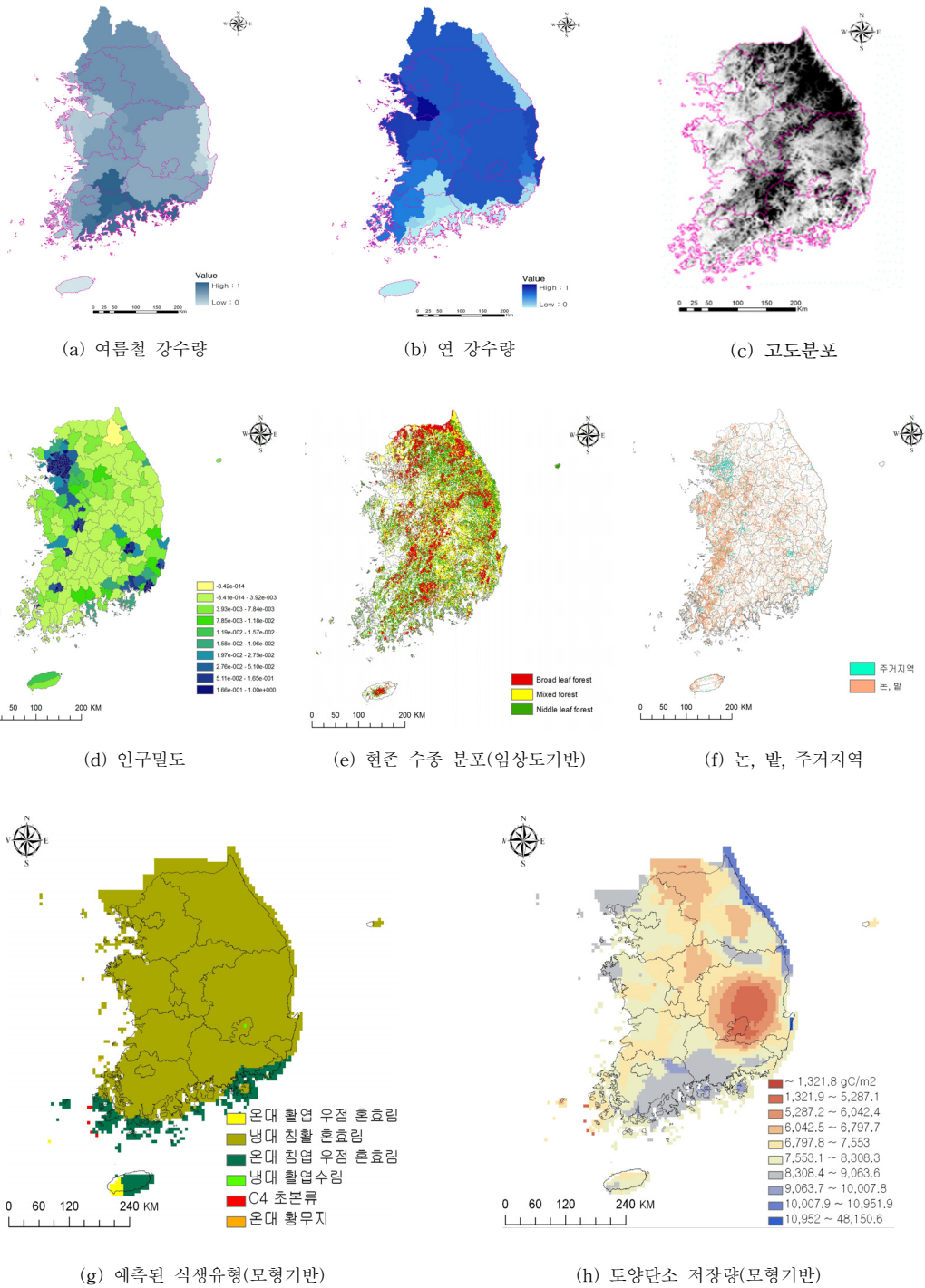


그림 2. 취약성 지표에 대한 공간자료

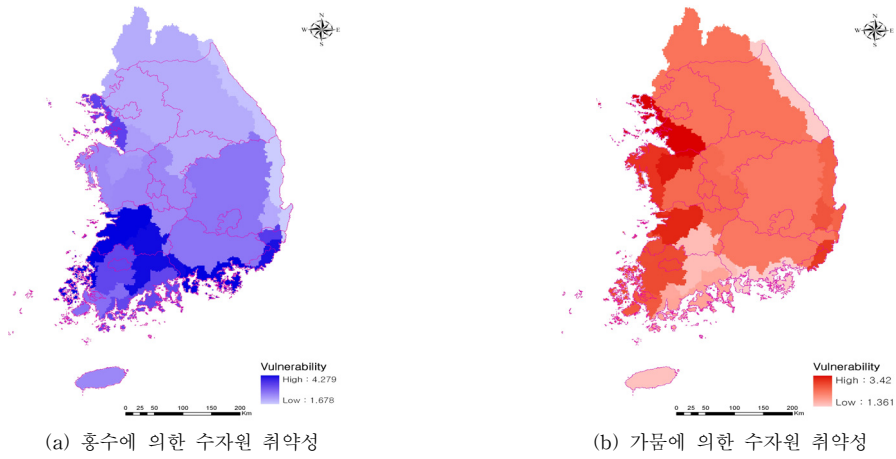


그림 3. 수자원 취약성 공간분포 지도

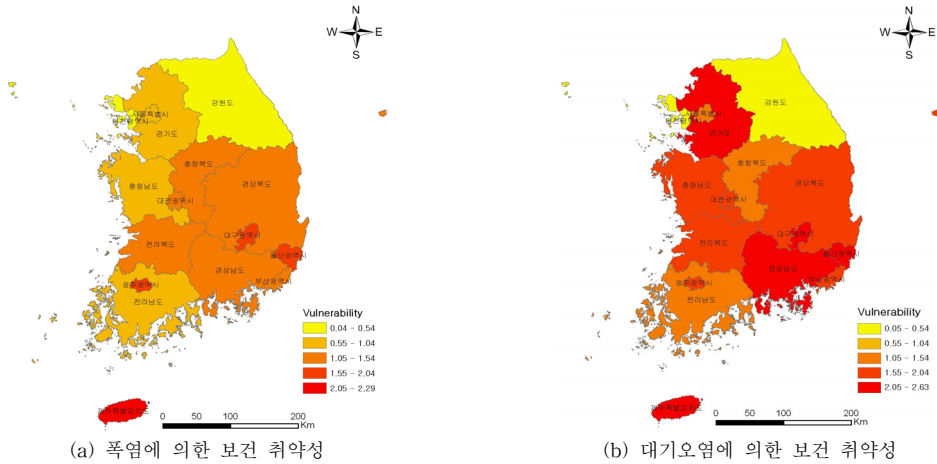


그림 4. 보건 취약성 공간분포 지도

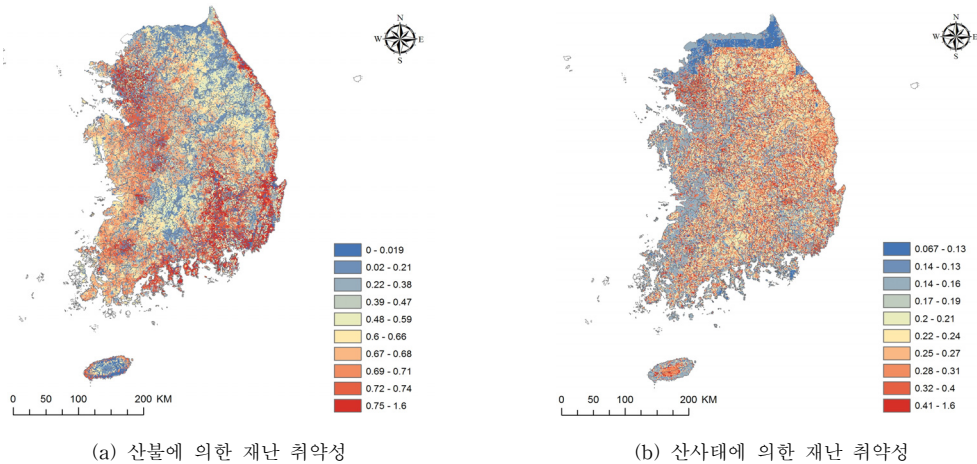


그림 5. 재난 취약성 공간분포 지도

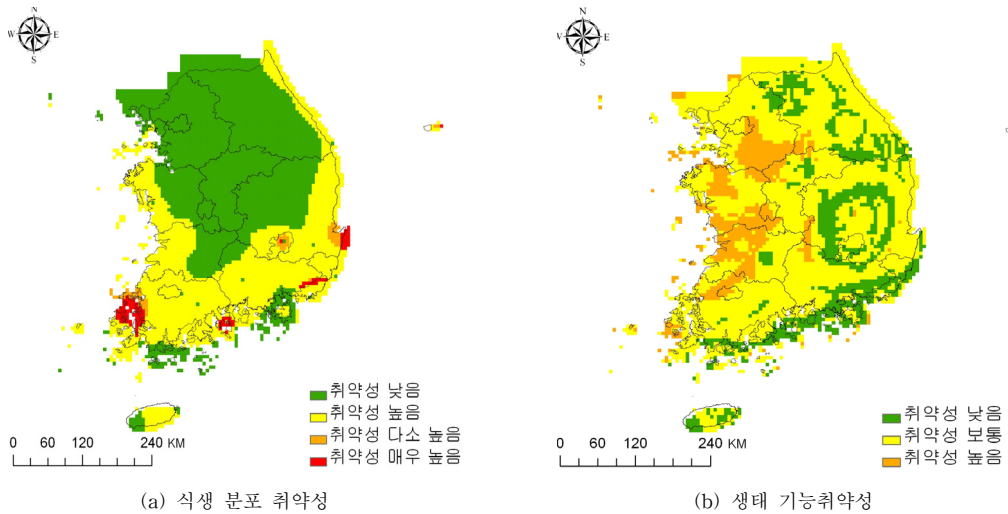


그림 6. 생태계 취약성 공간분포 지도

3.2 적응대책 방향

기후변화에 따른 취약성 평가는 적응대책 필요성을 강조하기에 충분하다. 이는 기후변화 영향 문제와 함께 미래에 다가올 영향을 감소시킬 수 있는 적절한 대책수립이 함께 요구된다.

수자원의 효율적인 물 관리를 위해서는 기존 댐의 최적연계운영시스템 구축, 댐 관리 체제의 강화 및 댐 관리의 종합체계, 그리고 저수관리 시스템의 정비가 이루어져야한다. 물 관리를 유역적인 규모면에서 인접 유역을 연계하는 다목적으로 전환하는 것 또한 필요하다. 기존하천이나 기존수로를 통한 물 순환 시스템의 계획뿐 아니라 지하수와 같은 대체 수자원의 개발과 빗물저수지의 증설 및 재정용을 위한 처리시설의 확충을 통한 가뭄에 대한 대비가 필요하다. 특히, 가뭄취약성이 높게 나타난 전라북도의 경우 농업환경위주로 농지용수가 확보가 필요하며, 새만금사업을 통한 대규모 간척사업을 통한 효율적인 물 관리를 가능하게 하는 수리사업이 병행되어야 할 것이다.

보건 분야의 영향을 줄이기 위한 적응대책으로는 폭염 지수개발 및 피해예측, 경보발령, 다단계 적응대책 수립, 피해발생 교육 프로그램 개발 등을 들 수 있으며, 향후 발생할 것으로 예측되는 국지적, 돌발적 상황에 대비할 수 있는 효과적인 예측 모델링과 예·경보 시스템 구축을 통한 대비가 마련되어야 한다. 특히, 대도시를 중심으로 발생하는 대기오염에 대한 적응대책으로 다양한 배출원에 대한 정확한 배출량 조사와 기상특성 파악, 실시간/예측 대기확산 모델링 시스템을 운영하여 광역시민의 건강을 유지하기 위한 효과적인 방안 연구가 필요하다. 대기오염으로 인한 건강영향의 경우, 기온, 강수량, 구름, 수증기, 풍속, 풍향 등과 같은 기상학적 요인에 의한 오

염물질의 이동 및 도시에서 외부로 방출되는 비율 등을 변화시킨다. 이는 수도권을 중심으로 대기오염으로 인한 취약성이 높게 나타난 대도시 위주의 적응대책이 필요함을 알 수 있다.

재난 취약지역 평가 결과에 따른 산사태, 산불, 지진 우발 지역 및 위험지에 대한 사전 점검과 산사태 방지를 위한 사방공사 및 토양 유실을 방지하기 위한 대책이 마련되어야 한다.

산림 생태계의 경우, 지속가능한 산림경영 기반 구축(산림기본계획 수립, 경제림 육성단지 관리, 공사유림 산림경영계획 제도 운영 등)을 통한 기후변화 적응 전략 대책 수립이 필요하다.

이와함께, 공간정보를 바탕으로 지역별 대책 수립을 통한 취약분야별 적응대책이 수립되어야 할 것이다.

4. 결론

본 연구에서는 기후변화 취약성의 개념을 UNDP(2006)와 IPCC(2001)의 개념 틀에 따라 기후에 대한 노출, 시스템의 민감도 정도, 시스템이 이에 대응할 수 있는 적응능력의 함수로 확장하였다. 이 틀에 맞추어 기후에 민감한 시스템의 요소의 기후노출, 민감도, 적응능력에 해당하는 인자들을 이용하여 부문별 공간자료 구축 및 취약성평가를 하였다.

또한, 본 연구에서는 GIS기반의 공간정보를 통합 활용하여 다양한 분야별 적응대책을 수립할 수 있는 접근방법을 제시 하였다. 생태계, 재난, 수자원, 보건 등의 공간자료를 활용하여 부문별 취약성 지표 및 평가방법을 제시하였고, 이를 바탕으로 부문별 취약성 평가를 하였다. 이는 기후변화 취약성의 정량적 연구에 있어 지역별·분야별 공간적 평가를 바탕으로 우리나라의 지역별 취약성

을 평가 및 적응전략 수립방안을 제시함은 물론 정량적 기후변화 취약성 평가 연구의 틀을 마련한 것이다. 본 연구를 통해 기존의 설명적 방법에 의한 취약성 평가의 한계를 극복하고 공간정보기반 기후변화 취약성 평가방법의 틀을 제시하였다.

환, 박용하, 조광우, 윤정호, 이은애, 김승만, “기후변화 영향평가 및 적응시스템 구축 III”, 한국환경정책평가연구원, 2007

[16]이민아, 이우균, 송철철, 이준학, 최현아, 김태민, “기온 및 강수량의 시공간 변화예측 및 변이성”, 한국GIS학회지, 제15권 제3호, 2007, pp267-278.

참 고 문 헌

[1] 유가영, 김인애, “기후변화 취약성 평가 지표의 개발 및 도입방안”, 한국환경정책평가연구원 연구보고서, 2008.

[2] 최은진, “기후변화에 대한 보건부문의 적응대책,” 보건복지포럼, 제135호, 2008, pp45-56.

[3] IPCC, “Climate Change 2001 : Impacts, Adaptation and Vulnerability”, Cambridge Univ. Press. 2001a, pp1032.

[4] IPCC, “Climate Change 2001 : Mitigation”, Cambridge Univ. Press, 2001b, pp1032.

[5] Easterling, W., Hurd, B., Smith, J., “Coping with global climate change: the role of adaptation in the United States”, Pew Center on Global Climate Change, 2004, pp121.

[6] 기상연구소, “기후변화 협약 대응을 위한 적응부문 시책 수립방안 연구.” 국무조정실 용역보고서, 2004.

[7] 조광우, 맹준호, 김해동, 오영민, 김동선, 김무찬, 윤종휘, “기후변화 적응방안 연구 - 해수면 상승을 중심으로”, 해양환경안전학회, 제10권 제2호, 2004, pp81-88.

[8] 기후변화협약대책위원회, “기후변화협약 대응 제3차 종합대책”, 국무조정실, 2005.

[9] 권원태, 백희정, 강성대, “기후변화 대응을 위한 적응부문 시책 수립방안 연구”, 한국기상학회 학술대회, 2005.

[10] 환경부, “국가 기후변화 적응 종합계획”, 2008

[11] 최광호, “기후변화 영향과 향후 적응대책방향에 대한 소고”, 환경영향평가, 제17권 제3호, 2008, pp.201-212.

[12] 권원태, 백희정, 최경철, 정효상, “국가 기후변화 적응 전략 수립 방안에 관한 연구”, 한국기상학회, 제15권 제4호, 2005, pp213-227.

[13]한화진, 아노은, 최은진, 한기주, 이정택, 김해동, 손요환, 박용하, 조광우, 윤정호, 이은애, 김승만, “기후변화 영향평가 및 적응시스템 구축”I, 한국환경정책평가연구원, 2005

[14]한화진, 아노은, 최은진, 한기주, 이정택, 김해동, 손요환, 박용하, 조광우, 윤정호, 이은애, 김승만, “기후변화 영향평가 및 적응시스템 구축 II”, 한국환경정책평가연구원, 2006

[15]한화진, 아노은, 최은진, 한기주, 이정택, 김해동, 손요