

기상재해에 따른 농업생산기반의 재해 취약성 평가



김 상 민
경상대학교 지역환경기반공학과 부교수
smkim@gnu.ac.kr



김 성 민
경상대학교 농공학과 석사과정
kin8945@naver.com

1. 서론

최근 전 세계적으로 이상기후의 발생빈도가 크게 증가하고 있으며 이러한 기후변화의 영향으로 집중호우, 가뭄 등 극치기상의 발생빈도가 증가하고 있다. 특히, 우리나라와 같은 연 강수량의 60~70%가 여름에 집중되는 몬순기후 지역의 경우 강우의 계절적 변동성이 점차 증가하는 추세이며 강수일수는 감소함에도 강우강도는 증가함에 따라 강수량 증가로 인한 인명과 재산 피해가 급증하고 있다. 국내에서 조사된 기상이변의 연간 재산피해액을 살펴보면 1916년부터 통계작성이 시작된 이래 기상이변에 따른 연간 재산피해액이 가장 컸던 10년 중 6년이 2001년 이후에 발생하였다. 이러한 기후변화의 영향에 가장 민감한 분야 중 하나인 농업분야 또한 농산물 시장의 교란이 초래되어 생산량 저하 및 농산물 가격 급등 문제 등이 발생하고 있다.

이러한 피해를 줄이기 위해 기상이변에 따른 기상관

련 상품/서비스인 기상예보업, 기상감정업, 기상장비업, 기상컨설팅업 등 기상산업이 신수익산업으로 급부상하고 있고, 기상이변에 의한 피해 증가로 그 파급효과가 확대되면서 규모가 빠르게 성장하고 있으며 향후 성장 잠재력도 충분한 것으로 평가되고 있는 실정이다. 이렇듯 국내에서도 기상재해로 인한 피해가 급증하고 있으며 지역에 따라 상이하게 나타났음에도 불구하고 지역별 과거 기상재해 자료의 체계적 DB구축은 미흡한 실정이며 기상재해 유형을 분석하고 나아가 취약요소를 평가하여 적응 대안을 수립하는 것이 시급하다. 기후변화 적응대책의 경우 지역특성에 대한 고려가 필수적이고, 이를 위해서는 지역적으로 미래의 기후변화 영향을 예측하는 것이 중요하며 최근 기상자료를 바탕으로 미래 온도, 강수량과 같은 기상에 대한 예측이 필수적이다. 이러한 필요성에 따라 기후변화의 영향을 받는 다양한 분야에서 취약성평가 연구가 이루어지고 있으며 시험 적용 단계로서 농업생산기반을 중심으로 실시된 취약성

평가 방법을 소개하여 지역단위에서의 종합적인 기후변화 대응 대책 수립에 도움이 되고자 한다.

2. 재해 취약성 평가에 대한 연구현황

과거부터 취약성 평가는 지진발생, 홍수구역 등 잦은 자연재해가 발생하는 지역을 대상으로 한 위험분석을 위해 수행되었다. 1998년 WEP (World Food Programme)은 VAM (Vulnerability Analysis and Mapping) 프로젝트를 통하여 식량 수급과 관련한 국가별, 지역별 재해 취약지구를 분석하고 GIS로 맵핑(mapping) 할 수 있는 프레임워크 (framework)를 만들어 전 세계적으로 적용한바 있다. UN IDNDR (International Decade for Natural Disaster Reduction)에서는 IASPEI (International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior)활동을 통하여 지진발생 가능성에 대한 전 지구적인 지도를 작성한 바 있으며, Fetters and Garner (2003)에 따르면 USDA RMA (Risk Management Agency)에서는 작물 보험 운영을 위하여 고도, 경사, 홍수구역, 작물재배에 따른 토양구분 자료 (SRPG: Soil Rating for Plant Growth)등을 이용하여 위험분석을 실시할 수 있는 ArcGIS 기반의 프로토타입을 발표하기도 하였다. 2000년대 후반부터 국내에서도 이상기후가 발생함에 따라 기상재해 피해를 감소시키기 위해 많은 분야에서 연구되고 있다. 2006년에 심교문 등은 과거의 기상재해 유형과 발생현황을 살펴보고 1991~2000년 농작물에 피해를 준 기상재해의 유형별 발생횟수를 시·군단위로 정리/분석 하였으며 김종일 (2007)은 연안지역, 폭풍우, 폭설, 폭염 측면에서

기상재해를 분석하고 방지대책 및 재해위험지도를 작성하여 재해 대응체계를 제시한 바 있다. 국립기상연구소에서도 미래 기후변화 전망연구에 참여하여 모델 분석을 수행하였으며, 온실가스 배출 표준 시나리오에 따라 미래 기후변화를 예측하는데 우리나라는 독일 막스플랑크연구소의 기후모델 ECHO-G를 도입하여 전지구 기후변화 시나리오 생산에 참여하기도 하였다. 또한 명수정 등 (2009)은 전문가 설문 방법으로 미래 기후변화 시나리오에 따라 평균기온 상승, 홍수, 가뭄, 혹한, 혹서, 그리고 태풍에 사회기반시설의 노출정도를 5단계로 구분하여 취약성 평가를 실시하였고, 김연주 등 (2010)은 취약성지수 VRI (Vulnerability-Resilience Index)를 적용하여 인간정주, 식량안보, 생태계, 보건, 수자원, 경제력 등으로부터 취약성 평가를 시행함으로써 기후변화 적응역량 제고 방안을 논의한 바 있으며, 김다운 등 (2011)은 수자원 분야의 전문가들을 대상으로 델파이 기법을 사용하여 우리나라 중·소하천의 기후변화 취약성에 대하여 분석하였는데 수자원 분야의 취약성은 민감도의 분야에서의 다양한 변수들의 영향을 받는 것으로 나타나 추후 수자원 분야의 취약성 평가 진행에 참고할 것이라 밝힌 바 있다.

3. 취약성 평가

가. 취약성 평가 지표

홍수 및 가뭄에 대한 농업생산기반 취약성 평가지표를 산정하기 위해 대리변수의 선정이 필요하며, 과거 발표된 연구 문헌들을 참고하여 선정할 수 있다 (Table 1). 선정된 총 16개의 대리변수를 민감도, 노출 및 적응력에 대한 3가지의 카테고리로 구분하였으며 대리변수의 통

Table 1. 가뭄 및 홍수에 대한 농업생산기반 취약성 평가 지표 산정을 위한 대리변수 선정

구분	홍수	가뭄
민감도	<ul style="list-style-type: none"> ■ 일 강수량이 80 mm 이상인 날 평균 ■ 일 강수량이 80 mm 이상인 날 일수 ■ 1일 동안의 최대강수량 (mm) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 연 강수량 (mm) ■ 연속적인 무 강수일수의 최대값 (day)
노출	<ul style="list-style-type: none"> ■ 경지면적 또는 비율 ■ 시설재배 면적 ■ 농경지 평균고도 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 경지면적 또는 비율 ■ 천수답면적 또는 비율
적응력	<ul style="list-style-type: none"> ■ 배수로 연장 ■ 배수장 용량 ■ 경지정리 면적 ■ 하천 개수율 (%) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 수리안전담 면적 또는 비율 ■ 산림면적 비율 (%)

계자료는 전국 시·군별 통계연보와 한국농어촌공사에서 발간하는 농업생산기반정비사업 통계연보를 이용하여 구축할 수 있다. 강우자료의 경우 전국 81개 기상대의 일자별 강우자료를 이용하고, 농경지의 평균고도의 경우는 2006 환경부 중분류토지피복분류도 (1 : 25,000)와 수치표고모델 (Digital Elevation Model, DEM) 및 전국 시·군·구단위의 행정구역 Shape 파일을 사용하여 추출한다. 경지면적의 경우 홍수와 가뭄에 대한 취약성 평가에 모두 영향을 주며 두 가지 구분 모두에 대리변수로 선정한다.

취약성-탄력성 지표 (VRI)를 구하기 위해서는 이를 구성하는 민감도 지수, 노출 지수, 적응능력 지수 간의 연산을 수행해야 한다. 만약 각 지수들의 가중치가 서로 다를 경우에는 정확한 결과 해석에 어려움이 생길 수 있으며 이는 잠재영향이 적응능력과 합쳐져 VRI가 계산되기 때문에 기후노출과 시스템의 민감도가 합쳐져 잠재영향을 가져오게 된다. 계산된 VRI의 값은 클수록 탄력성을 구성하는 양수가 많다는 의미이고 취약성은 작

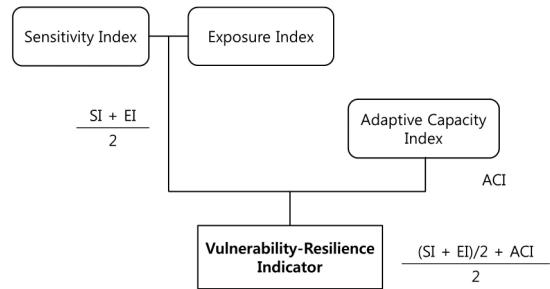


Fig. 1. 취약성 평가지표의 계산 (유가영 등., 2008)

아지게 된다. 일반적으로 취약성은 부정적인 의미를 가진 용어로 이를 양수로 표시할 경우 크면 클수록 부정적 요인이 커진다는 의미이다. 민감도, 노출 및 적응력 지수의 계산은 각각을 구성하는 세부 요소 내의 변수들을 표준화한 후 표준화된 변수들을 산술평균하였고, 세 지수의 연산을 통해 VRI를 계산한다 (Fig. 1).

나. 주성분 분석

취약성 평가방법은 자료의 표준화 과정이 이루어지기 때문에 다양한 방법을 통해 이루어질 수 있다. 이 중 가장 간단하고 보편적인 방법인 Z-스코어 방법을 적용한 후, 적용된 주성분 분석 (Principal Component Analysis, PCA)은 서로 상관관계가 높은 여러 개의 변수들을 조합하여 그 변수들의 정보를 함축하고 있는 새로운 인위적 변수를 만들어내기 위한 다변량 통계 분석 기법이다. 이는 다변량 통계 분석 기법 중에서 가장 오래되고 폭넓게 사용되는 기법으로 분석자체로 어떤 결론에 도달하기 위한 분석이 아닌 차후의 분석을 위한 수단을 제공하여 주는 단계이며, 변수들의 전체 분산 대부분을 소수의 주성분을 통해 설명하는 것으로 처음 발생한 주성분은 변수들의 전체 분산 중 가장 큰 부분을 설

명하도록 유도되고, 이후 발생한 주성분은 먼저 발생한 주성분과 독립적 관계를 가지면서 앞에서 설명되지 않은 나머지 분산 부분을 최대한 설명되도록 한다. 주성분 분석은 변수들 간의 측정단위의 상이함으로 인해 가장 큰 분산을 가지는 변수가 중요한 변수로 해석 될 수 있으므로 이러한 오류를 방지하기 위해 모든 데이터를 표준정규분포로 표준화한 뒤 적용하는 것이 중요하다. 주성분 분석에 적용되는 성분 점수는 각 주성분의 지역별 취약성 정도를 비교하는데 적용 가능하며, 성분 점수를 이용해 각 지표들의 점수를 합하는 과정은 각 지표의 원 점수를 표준 점수로 변환하고, 인자분석방법을 실행하여 각 지표의 인자점수를 구하여 표준 점수와 곱한 후 지표를 더한다. 식 (1)은 선형 결합을 수행하여 성분 점수를 구하는 과정을 나타낸다.

$$F_{jk} = \sum_{i=1}^p W_{ji} Z_{ik} \quad (1)$$

여기서, p 는 지표의 개수, Z_{ik} 는 표준화된 지표, W_{ji} 는 각 지표에 주어지는 가중치, F_{jk} 은 개별 원지표의 요인점수이다. 주성분 분석을 적용하기 위해서는 선정된 평가지표를 표준화하고 지표간의 상관관계분석을 수행해야 한다. 이는 지표 간의 상관관계가 존재하지 않으면 분석결과가 무의미하기 때문이다. 또한 지표들의 설명 정도 (communality)를 추정하여 주성분분석을 적용하는 것이 가능한지를 판단해야하며 주성분의 수 결정은 요인간의 고유값 차, 각 요인의 분산에 대한 설명적도를 산정하고 가뭄 및 홍수 구분에 대한 요인 수에 대한 변화를 Scree plot을 작성하여 쉽게 구분하도록 하였다. 선택된 요인은 요인적재값 (factor loading)을 나타내는 행렬인 성분행렬 (Factor pattern matrix)을 통해 성분 부하량을 산정하게 되는데 요인과 변수 간의 구분이 명

Table 2. 취약성 평가 기준 5단계

Value	Level	Classification
1.0 ~ 0.8	1	Most vulnerable
0.8 ~ 0.6	2	More vulnerable
0.6 ~ 0.4	3	Vulnerable
0.4 ~ 0.2	4	Less vulnerable
0.2 ~ 0.0	5	Least vulnerable

확하지 않을 경우 어느 변수가 어느 요인을 설명하는 가를 파악할 수 없기 때문에 요인회전 (factor rotation) 방법을 적용한다. 각 주성분을 대표하는 변수들을 선형 결합하여 성분점수 (component score)를 산정하고 각 주성분의 성분점수의 표준 정규 누적 분포 함수값을 계산하여 취약성 평가 지수를 산정한다. 취약성 구분은 농업생산기반의 재해 취약성에 대한 정성적 평가 기준의 마련을 위해 5단계 기준을 인용하였다 (Table 2).

4. 시험적용 결과의 시사점

가. 주성분별 취약성 평가

다음의 Fig. 2와 Fig. 3은 강원도, 전라남도, 경상남도에 대한 주성분별 취약성을 평가한 사례를 보여주고 있다. 전국 시·군·구의 가뭄 및 홍수에 대한 주성분별 취약성 평가를 실시한 결과, 홍수에 대해 강원도의 시·군 중 강릉시, 고성군, 동해시, 삼척시와 경기도 화성시, 평택시, 오산시 등은 제 1주성분인 농업생산기반인자에 대해 가장 높은 취약성을 보였고, 강원도 철원군은 지형적 요인으로 구성된 제 3주성분에 대해 높은 취약성을 나타냈다. 전라남도 해남군, 함평군, 진도군, 영암군, 영광군, 무안군, 나주시, 고흥군이 제 1주성분으로 높은 취약성을 보였고, 보성군, 해남군이 제 3주성분, 광양시,

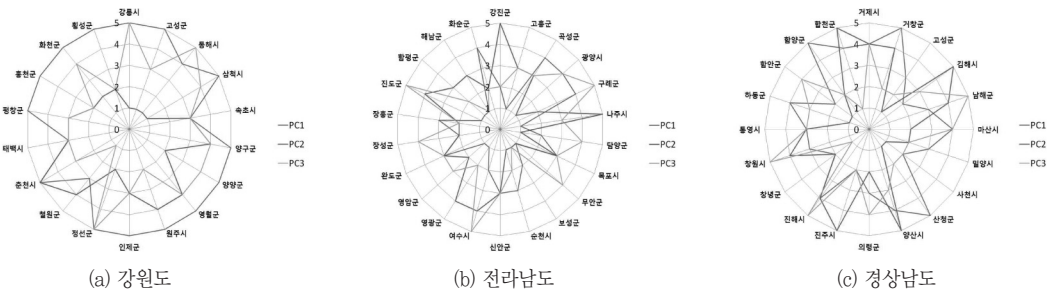


Fig. 2. 홍수에 대한 주성분별 취약성 평가

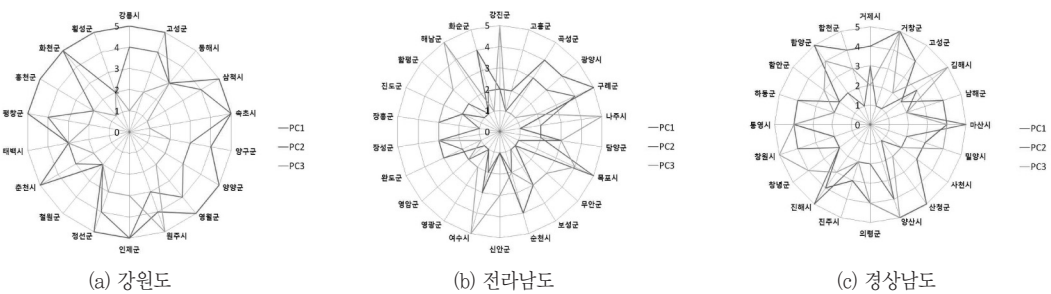


Fig. 3. 가뭄에 대한 주성분별 취약성 평가

나주시, 담양군, 무안군, 보성군, 순천시가 제 2주성분으로 높은 취약성을 보였다. 강원도의 경우, 가뭄 역시 제 1주성분에 대해 대부분의 시·군에서 취약성이 낮은 것으로 나타났으나 경상북도, 경상남도, 전라북도, 전라남도, 충청북도, 충청남도 등의 시·군에서는 제 1, 2, 3주성분에 대하여 각기 다른 양향을 나타내어 국가나 시·도 단위뿐만 아니라 시·군·구 단위의 취약성 평가 또한 필요하다고 생각된다.

나. 종합적 취약성 평가

종합적인 취약성 평가방법은 홍수에 대한 취약성 평

가, 가뭄에 대한 취약성 평가, 홍수와 가뭄 모두를 고려한 취약성 평가 등 3방법으로 나누어 적용한 결과, 홍수의 경우 제 1주성분의 가중치가 가장 크기 때문에 대체로 제 1주성분에서 높은 취약성을 나타낸 지역이 포괄적인 취약성 평가에서도 취약성이 높은 지역으로 나타났으나 제 2주성분이 고려되어 내륙 지역의 경우 상주시를 제외한 다수 시·군·구의 홍수에 대한 취약성이 높은 것으로 나타났다. 가뭄의 종합적 취약성 평가 결과에서도 가중치가 큰 제 1주성분과 제 2주성분의 영향으로 충청남도의 대다수 시·군과 서해안 지역이 가뭄 구분

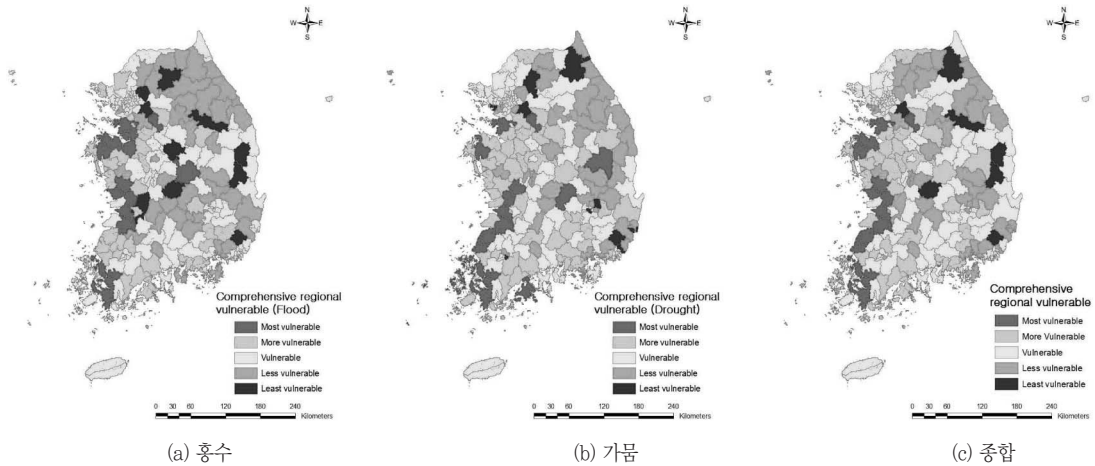


Fig. 4. 홍수 및 가뭄에 대한 농업생산기반의 종합적 재해 취약성 평가

으로 농업생산기반 조성이 미흡하고 경지면적 면적이 넓은 것으로 나타났다. 최종적으로 홍수와 가뭄을 모두 고려한 농업생산기반의 종합적인 재해 취약성 평가 결과, 국내 주요 농업지역들의 경우 체계적인 물 관리와 경지정리 등으로 홍수 및 가뭄에 대한 대비가 잘 이루어져 온 것으로 알려져 있으나, 도시한 바와 같이 국내의 많은 시·군에서 농업생산기반의 홍수 및 가뭄으로 인한 재해 취약성이 높은 것으로 나타났고 특히 충청남도의 대다수 시·군과 서해안 및 남해안 주변에 위치한 시·군·구에서 취약성이 높은 것으로 나타났다.

4. 맺음말

최근 발생하는 기후변화의 대응방안의 기초자료로서 농업생산기반을 중심으로 한 홍수 및 가뭄에 대한 재해 취약성 평가방법을 시험 적용한 결과, 홍수는 가중치가 가장 크게 나타난 농업 규모를 나타내는 인자가 취약성

에 큰 영향을 주는 것으로 나타났으며 가뭄의 경우, 경작지 면적이 넓은 지역이 취약성이 높은 것으로 나타내는데 이는 수리안전답 면적, 천수답 면적, 경지 면적 등 경지의 실질적인 면적과 관련이 있는 요소가 제 1 주성분에 속하기 때문인 것으로 생각된다. 비록 농업생산기반만을 고려한 대리변수를 이용하여 홍수와 가뭄이라는 기상재해에 대한 취약성 평가를 실시하였으나 향후 기후변화가 영향을 미치는 다양한 분야의 취약성 평가 연구가 이루어질 때 시험 적용 결과를 기초로 하여 수정 및 보완을 통해 좀 더 완벽한 취약성 평가 기법이 개발될 것을 바라며 기상재해로 인한 국내의 많은 피해를 사전에 예방할 수 있는 위험 관리 프로그램의 개발이 이루어졌으면 하는 바람이다. 더불어 기후변화에 대응하기 위해 선행되어야 할 농촌지역 특성에 맞는 방재정책을 또한 마련되어 토지, 기후 등 지역의 여건 변화를 반영할 수 있는 지자체별 취약성 진단 사업 및 연구가 하루 속히 이루어지기를 기대해 본다.

참고문헌

1. 고재경. 2009. 경기도 기후변화 취약성 평가 연구. 경기도 발연구원. 정책연구 2009-37.
2. 국립기상연구소. 2009. 기후변화 이해하기 II - 한반도 기후변화: 현재와 미래.
3. 김다은, 정용, 박무중, 윤재영, 김상단, 최민하. 2011. 기후변화를 고려한 수자원 분야의 취약성 분석. 한국습지학회지 13(1): 25-33.
4. 김성재, 박태양, 김성민, 김상민. 2011. 기후변화에 따른 농업생산기반 재해 취약성 평가를 위한 대리변수 선정. 한국관개배수논문집. 18(2): 33-42.
5. 김연주, 전성우, 채여라, 최현아. 2010. 기후변화 취약성 지수분석을 통한 국가적응역량 제고방안 모색. 한국환경정책평가연구원.
6. 김종일. 2007. 기후변화와 기상재해 대응과제. 리전인포 통권 제 105호. 광주전남발전연구원.
7. 명수정, 김지영, 신상희, 안병욱. 2010. 기후변화 적응 강화를 위한 사회기반시설의 취약성 분석 및 대응 방안 연구 II. 한국환경정책·평가연구원.
8. 박기욱, 김진택, 이종남. 2006. 지역별 농업가뭄 평가를 위한 농업가뭄지표의 적용성 분석. 한국수자원학회 2006년도 학술발표회 논문집: 214-220.
9. 심교문 외 3인. 2006. 기후변화 시나리오에 따른 벼 생육 및 생산성 평가. 제 4차 기후변화 학술대회 발표자료.
10. 유가영, 김인애. 2008. 기후변화 취약성 평가지표의 개발 및 도입방안. 한국환경정책·평가연구원.
11. 장민원. 2006. 주성분분석법을 이용한 시군단위별 농업가뭄에 대한 취약성 분석에 관한 연구 -경기도를 중심으로-. 농촌계획 12(1): 37-48.
12. 전현직. 2011. 기후변화 영향에 따른 산업별 취약성 분석과 적응방안. 건국대학교 대학원 산업공학과. 석사학위논문.
13. Brooks, N., W. N. Adger, and P. M. Kelly, 2005. The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. *Global Environmental Change* 15: 151-163.
14. Fetters R. and J. Garner. 2003. Using GIS in the Risk Management Agency's Federal Crop Insurance Program.
15. Füssel, H. M. and R. J. T. Klein, 2006. Climatic change vulnerability assessments: An evolution of conceptual thinking. *Climatic Change* 75: 301-329.
16. Gbetibouo, G. A. and C. Ringler, 2009. Mapping South African farming sector vulnerability to climate change and variability. IFPRI Discussion Paper 00885.
17. Moss, R. H., E. L. Brenkert, and A. L. Malone, 2001. Vulnerability to climate change: a quantitative approach. Prepared for the U. S. Department of Energy.
18. UNDP, 2005. Adaptation policy frameworks for climate change: Developing strategies, policies, and measures. Cambridge University Press.

기획: 강문성(mskang@snu.ac.kr)