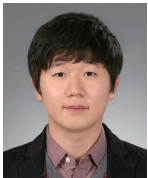


# 중·소하천 홍수위험지구 선정방안



**최 현 일** ▶▶▶  
영남대학교 건설시스템공학과 부교수  
hichoi@ynu.ac.kr



**박 승 용** ▶▶▶  
영남대학교 건설시스템공학과 석사과정  
parksy@ynu.ac.kr

은 대부분 중·소규모의 유역으로, 호우로부터 유출이 일어나기까지 불과 몇 시간이 되지 않는 경우가 많아 본류의 홍수에·경보시스템을 이용하여 신속히 대응하기에는 어려움이 따른다. 또한 대유역에서는 강우의 공간적 분포가 균일하지 않을 뿐 아니라 국지적 호우가 있어도 홍수에 미치는 영향은 제한적인데 반해, 중·소하천에서는 유역의 크기가 호우가 내리는 영역보다 작은 경우가 많고 도달시간이 짧아 단시간의 국지적 집중호우에 의한 피해가 발생하기 쉽다. 따라서 구조적인 홍수방어대책 및 본류중심의 홍수에·경보시스템의 한계점을 극복하여, 중·소하천 유역의 홍수위험관리를 위한 다양한 비구조적인 대책에 대한 연구가 필요한 시점이다.

최근 국지적인 집중호우의 빈발 등과 같은 이상기후 현상과 각종 개발사업으로 인한 불투수면적의 증가 등으로 인하여 극한홍수의 발생빈도가 높아지고 있으나 기존 수방시설물의 홍수배제능력 부족 등으로 매년 많은 피해를 입고 있는 실정이다. 이러한 계획규모를 초과하는 이상홍수에 대응하고 지형, 인문, 사회 등 해당 유역의 다양한 특성에 따라 각기 다른 양상으로 나타나는 홍수위험에 대비하기 위하여, 홍수의 원인 및 취약성 평가가 선행되어야 하고, 그에 따른 적절한 적응대책 수립이 필요하다. 이에 따라 국내·외적으로 수자원 현황을 파악하고 관련 적응대책 수립시 정책의 우선순위 선정을 위해, 비구조적인 홍수방어대책 연구의 일환으로 과거의 홍수발생 원인과 현

## 1. 머리말

주요하천 본류구간의 홍수방어대책은 현재 하천정비사업 등을 통하여 활발히 진행되고 있으나, 중·소하천 유역에 대한 홍수재해 저감대책의 체계적인 수립과 관리는 아직 미흡하다고 판단된다. 상대적으로 적은 예산으로 구조적 방안의 한계를 보완할 수 있는 비구조적 홍수대책중 대표적인 방법인 홍수에·경보의 경우, 현재 대유역인 4대강 유역의 본류하천을 중심으로 각 홍수통제소에서 이루어지고 있으며 홍수에 보지점은 본류하천의 주요 지점 몇 개소에 국한되어 있어, 실질적으로 홍수에 의한 피해가 많이 발생하고 있는 지류구간에서의 홍수발생상황을 예측하고 대비하는데 어려움이 있다. 이러한 지류가 포함된 유역들

상을 종합하여 미래의 홍수위험발생 양상을 정량적인 수치로 나타낼 수 있는 다양한 지수 및 지표가 개발되고 있다. 본 연구에서는 낙동강 수계의 홍수위험지구를 선정하기 위하여 홍수위험도 평가항목들을 홍수의 원인과 결과, 그리고 대책의 인과관계적 방식으로 분류할 수 있는 P-S-R(Pressure-State-Response) 구성체계에 따라 선정하고 수자원단위지도 표준유역별 공간해상도로 자료를 구축하였다. 엄선된 12개의 세부평가지표들을 기준으로 지표평균법과 다기준 의사결정기법의 하나인 PROMETHEE(Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations)를 적용하여 소유역별 홍수위험도를 산정하고, 이를 바탕으로 낙동강 수계의 홍수위험지구를 5등급으로 분류하였다.

## 2. 홍수위험도 평가지표 수집 및 구축

OECD(1991)에서 개발하여 국제기구나 각국의 지표설정에 주로 활용되고 있는 P-S-R 구조는 현 치수 특성 평가문제를 인과관계로 분석할 수 있으며, 사회, 경제 및 여타 쟁점사항간의 상호 연관된 관점에서의 파악이 가능하다. P-S-R 구조를 바탕으로 한 압력지표(PF), 현상지표(SF), 대책지표(RF) 등 3개 지표의

평가를 위한 세부평가항목의 선정에 있어서 홍수위험도를 대표할 수 있는 평가기준을 선정하는 것이 중요하지만, 대상유역에서 분석 및 적용이 가능한 자료를 수집하기는 쉽지 않다. 낙동강 수계내 중·소하천에서 발생하는 홍수의 위험성 및 취약성을 파악하고 이를 활용한 홍수방어대책 수립 우선순위 지역을 예측하고자, “중·소하천 홍수·예정보 체계구축”과제의 시범유역인 수영강 수계 온천천 유역을 포함한 192개 수자원단위지도 표준유역별 홍수위험도 산정에 필요한 평가항목들을 조사하여 수집하였다. 세부평가지표 자료구축을 위해 정기 측정성, 계량 가능성, 예측 가능성, 자료구축 용이성 등의 인자선정기준과 기존의 연구들을 바탕으로, 낙동강 수계 표준유역별 자료의 수집이 가능하고 홍수위험도 산정에 중요하다고 판단되는 총 12개의 세부평가지표를 표 1과 같이 선정하였다.

압력지표(PF)는 유역의 홍수피해에 대한 물리·환경적 압력을 평가하기 위한 수단으로, 수문자료를 대표하여 1일 최대강수량(mm/day), 자연하천의 유역 특성을 대표하여 평균경사도(degree), 도시하천의 유역특성을 대표하여 시가화율(%), 그리고 인문사회특성을 대표하여 인구밀도(명/km<sup>2</sup>) 등 총 4개의 세부평가지표(PF<sub>1</sub>~PF<sub>4</sub>)로 선정되었다. 압력지표값이 높을수록 해당 지역의 홍수재해 발생 시 홍수위험이 높은 것

표 1. 홍수위험도 평가지표 선정결과

유형	구분	세부평가지표		
압력지표(PF)	수문유역사회특성	PF <sub>1</sub>	일최대강수량(mm/day)	5년평균 일최대강수량
		PF <sub>2</sub>	유역평균경사(degree)	DEM격차별 경사의 유역 산술평균
		PF <sub>3</sub>	시가화율(%)	도시지역면적 비율
		PF <sub>4</sub>	인구밀도(명/km <sup>2</sup> )	면적당 인구수
현상지표(SF)	홍수피해위험지역	SF <sub>1</sub>	홍수피해액(천원/km <sup>2</sup> )	5개년 평균 면적당 홍수피해액
		SF <sub>2</sub>	침수면적비율(%)	5개년 평균 침수면적 비율
		SF <sub>3</sub>	인명피해자비율(%)	5개년 평균 사망자 및 이재민수 비율
		SF <sub>4</sub>	홍수발생빈도(회)	5개년 평균 홍수발생회수
대책지표(RF)	치수대책	RF <sub>1</sub>	하천개수율(%)	하천 요개수연장 대비 기계수연장 비율
		RF <sub>2</sub>	우수관로연장(km/천명)	인구당 우수관로시설 연장
		RF <sub>3</sub>	중요시설물수(개소/천명)	인구당 병원, 관공서, 소방서 개소수
		RF <sub>4</sub>	치수사업투자비(천원/명)	인구당 치수사업 투자비

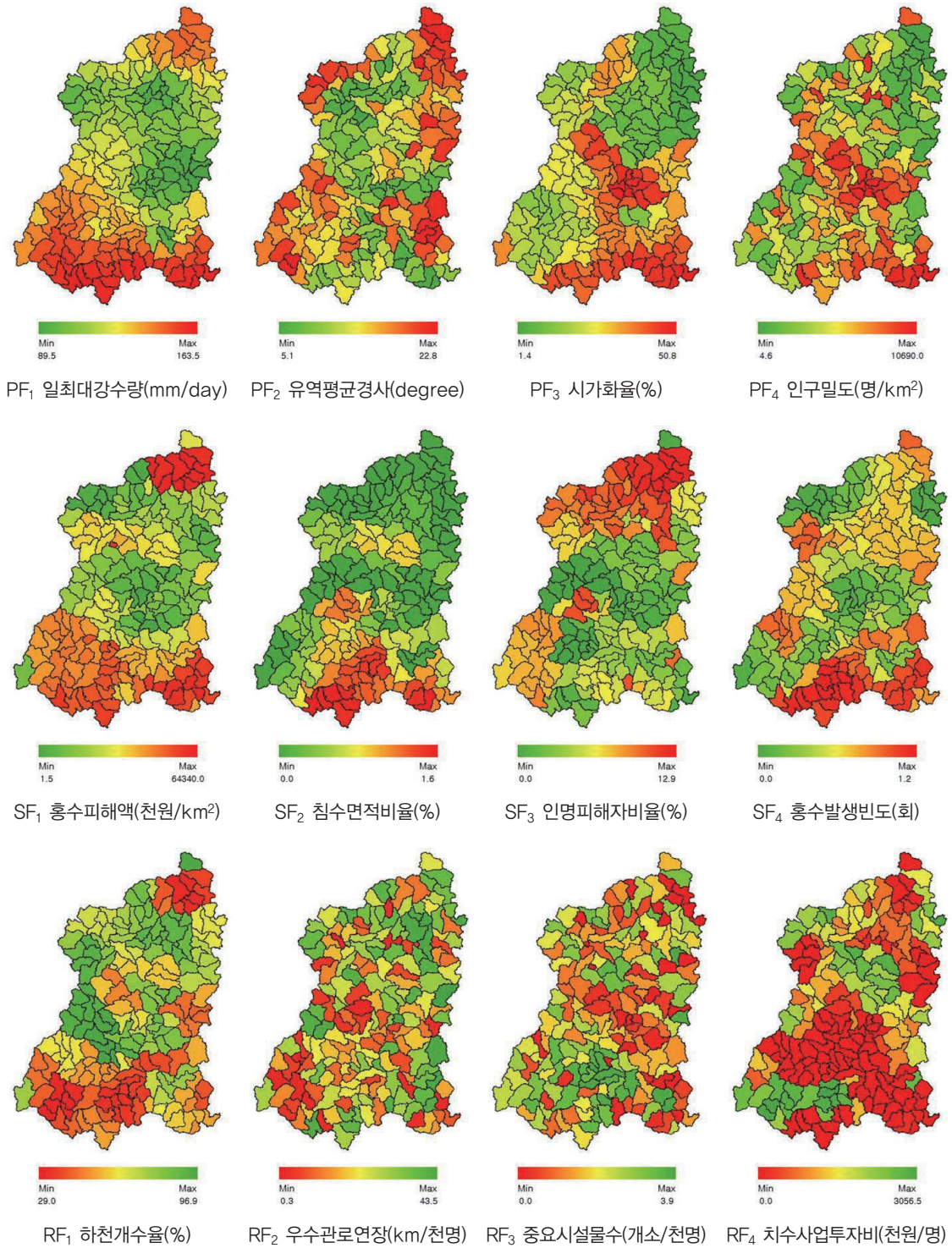


그림 1. 낙동강 수계 홍수위험도 산정 세부평가지표 구축결과



으로 판단할 수 있다. 홍수 현상지표(SF)는 유역이 홍수에 노출되어 있는 수준 판단 및 홍수피해 현황을 파악할 수 있는 지표로서 단위면적당 홍수피해액(천원/km<sup>2</sup>), 침수면적비율(%), 인명피해자비율(%), 홍수발생 빈도(회) 등 4개의 세부평가지표(SF<sub>1</sub>~SF<sub>4</sub>)로 구성되었다. 현상지표를 비교하면 각 지역의 홍수피해에 대한 수준 파악이 용이하다. 대책지표(RF)는 홍수재해 발생 시, 이에 대응할 수 있는 능력을 판단하기 위한 기준으로서, 자연하천유역에서의 치수대책을 대표하는 하천개수율(%), 도시하천유역에서의 치수대책을 대표하는 우수관로연장(km/천명), 그리고 중요시설 물수(개소/천명) 및 치수사업투자비(천원/명) 등 4개의 세부평가지표(RF<sub>1</sub>~RF<sub>4</sub>)를 선별하였다. 이러한 대책지표값이 높다는 것은 해당 지역이 홍수 및 각종 재해에 높은 방어 수준을 나타내고 있다고 판단할 수 있으므로, 압력지표 및 현상지표 특성과의 일관성을 위해 홍수위험도 분석 시, 각 대책지표 최대값과의 차에 대한 절대값을 취하여 지표값을 변환하였다. 선정된 12개 세부평가지표들은 관련 정부기관 및 지자체에서 제공하는 각종 최신 통계자료를 바탕으로 GIS를 통하여 그림 1과 같이 낙동강 수계의 수자원단위지도 표준유역별 자료로 데이터베이스화하였으며, 태풍이 많고 피해가 컸던 연도와 가뭄이 들었던 연도 등 비교적 연차별 변화가 많은 홍수의 특성을 나타내는 세부평가지표들의 경우, 큰 맥락에서 각 지표별 유역에 미치는 영향을 평가하기 위해 5년간(2005년~2009년) 자료를 평균하여 세부평가지표 속성값을 산정하였다.

### 3. 홍수위험도 평가

#### 3.1 홍수위험도 분석기법 적용

P-S-R 구조를 바탕으로 선정된 12개의 세부평가지표들을 더하거나 빼거나 곱하거나 나누는 과정을 통하여 하나의 지수로 결과를 도출할 수 있으며, 이때 각 세부평가지표의 가중치를 고려할 수 있다. 수집된

각 세부평가항목에 대한 가중치를 설문조사를 통해 적용하는 것은 설문자의 주관적인 생각과 사상의 개입으로 인해 자료의 왜곡이 이루어질 수 있고, 정보이론에 근거한 엔트로피(Entropy) 가중치 추정방법의 경우 지표의 속성정보 특성에 따라 특정 평가항목에 국한되어 가중계수가 집중되는 경향이 있다. 따라서 잘못된 가중치 산정은 선정된 평가지표의 값을 왜곡하고 분석결과에 영향을 미쳐 최종 의사결정에 있어 부적절한 선택을 유발하는 요인이 되므로, 본 연구에서는 선정된 12개 세부평가지표들에 대하여 동일한 가중치를 적용하였다. 선정된 P-S-R 구조의 12개 세부평가지표들에 대하여 지표평균법 및 PROMETHEE를 적용한 홍수위험도 분석기법의 적용절차는 그림 2와 같다.

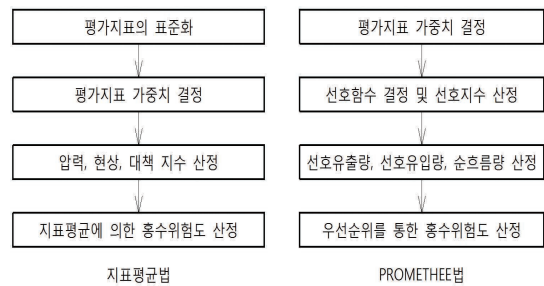


그림 2. 홍수위험도 산정절차

지표평균법에 의한 홍수위험도 산정을 위하여, 본 연구에서는 P-S-R 구성 체계에 따른 압력지표(PF<sub>1</sub>~PF<sub>4</sub>), 현상지표(SF<sub>1</sub>~SF<sub>4</sub>), 대책지표(RF<sub>1</sub>~RF<sub>4</sub>)를 최소값 10 및 최대값 100사이의 값으로 각각 표준화한 후, 각 세부평가지표가 홍수위험도에 미치는 영향이 동일하다고 가정하여 산술평균값으로 산정된 압력지수  $PI = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 PF_i$ , 현상지수  $SI = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 SF_i$ , 대책지수  $RI = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 RF_i$ 를 먼저 산정하고, HDI(UNDP, 2007), FVI(Conner 등, 2005), PFD(국토해양부, 2006) 등 국내·외에서 널리 통용되고 있는 다음 식 (1)을 이용하여 홍수위험지수(Flood Risk Index; FRI)를 최종 산정하였다. 이와 같이 산정된 FRI값에 따라 낙동강 수계 192개 유역의 홍수위험도를 상대평가하였다.

$$FRI = PI^{1/3} \times SI^{1/3} \times RI^{1/3} \quad (1)$$

PROMETHEE는 평가기준별 선호함수와 선호유출량 및 선호유입량, 그리고 순흐름량을 이용하여 대안들의 순위선호를 도출하는 방법으로 Brans와 Vincke (1985)에 의해 구체화되었다. 낙동강 수계의 홍수위험도 평가를 위해 12개 평가기준별 선호함수의 형태를 6개의 유형중 하나인 TYPE-III인 V형 선형함수로 결정하고, 각 세부평가항목의 범위(최대값과 최소값의 차)를 사용하여 선호함수의 임계치를 부여하였다. 선정된 12개 세부평가항목이 홍수위험도에 미치는 영향이 동일하다고 가정하고, 대상 유역 a와 b사이의 세부평가항목별 평가점수차에 대한 선호함수  $P_j(a, b)$ 의 평균으로 선호지수  $\pi(a, b)$ 가 식 (2)와 같이 산정된다.

$$\pi(a, b) = \frac{1}{12} \sum_{j=1}^{12} P_j(a, b) \quad (2)$$

PROMETHEE에서 대안들의 순위선호 관계는 총 12개 세부평가항목 기준들에 대한 선호지수의 합으로 나타내며, 총 192개의 평가대상 유역들의 선호 또는 지배 정도를 나타내는 선호유출량  $\phi^+(a) = \sum_{x \in 192} \pi(a, x)$  과, 이와 상반되는 선호유입량  $\phi^-(a) = \sum_{x \in 192} \pi(x, a)$ , 그리고 이 두 값의 차이를 나타내는 순흐름량  $\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a)$  으로 평가대상 유역의 순위선호 관계를 도출하여 전체 192개 유역의 우선순위를 선정하였다.

### 3.2 홍수위험도 분석 결과

홍수위험도 세부평가지표의 가중치를 동일하게 가정하여 지표평균법 및 PROMETHEE를 적용한 결과를 Jenks 등(1971)의 자연적 구분법에 의해 'H-MH-M-ML-L'의 5등급으로 분류한 낙동강 수계의 홍수위험도 산정결과를 그림 3과 같다. 지표평균법 및 PROMETHEE에 의한 홍수위험도 평가결과, 두 방법에서 모두 낙동강 수계 북부 내륙지역과 남강 및 낙동강 하류의 연안유역에서의 홍수위험도가 높은 것

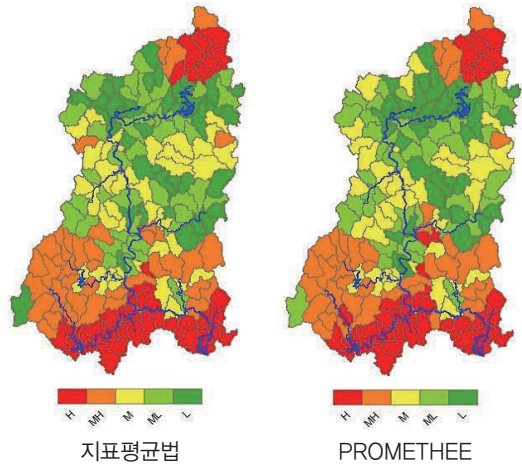


그림 3. 낙동강 수계 홍수위험도 산정결과

으로 평가되었다. 두 방법에 의한 낙동강 수계 홍수위험도 산정결과를 비교해 보면, 홍수위험도 'H' 등급 38개 및 'MH' 등급 39개 유역 등 상위 77개 유역중 67개의 유역이 두 방법에서 공통적으로 선정되는 유사한 결과를 보이고 있다. 향후 낙동강 수계의 홍수위험지구는 본 연구에서 산정된 홍수위험도 평가결과를 바탕으로 기존 연구에서의 홍수위험도 평가결과 및 자연재해위험지구 현황 등을 종합적으로 비교분석하여 최종 선정될 예정이다. 이와 같이 수립된 낙동강 수계 홍수위험지구 선정방안을 바탕으로, 4대강 유역을 중심으로 한 전국 중·소하천 유역을 대상으로 홍수위험지구가 선정될 예정이다.

### 4. 맺음말

본 연구에서는 통합홍수위험관리 측면에서 중·소하천 유역에 대한 홍수에·경보 체계 구축을 비롯한 지역별 홍수방어대책의 우선순위 선정을 위해, 홍수위험이 상대적으로 높은 지역과 낮은 지역을 평가할 수 있는 유역별 홍수위험도 산정과 그 적용방법에 대해 고찰하고자 하였다. 유역의 홍수위험도를 평가하기 위하여, 홍수위험도 세부평가지표의 분류 및 선정이 중요하며, 이를 종합하여 하나의 지수로 나타낼 수

있는 홍수위험도 산정방법이 필요하다. 본 연구에서 이용한 P-S-R 구조에 따른 홍수위험도 세부평가지표를 바탕으로 지표평균법 및 PROMETHEE를 적용한 홍수위험도 평가방법은 전 유역을 절대적으로 평가하는 다른 획일화된 분석방법보다 유연하고 합리적인 방법일 수 있으나, 비교 대상유역의 개수와 평가기준, 그리고 가중치 산정결과에 따라 홍수위험등급이 다르게 나타날 수 있다. 따라서 향후 연구에서는 중·소하천 유역의 특성을 충분히 반영하는 보다 고해상도의 홍수위험도 세부평가지표 자료를 구축할 필요가 있으며, 본 연구에서 동일가중치로 가정한 세부평가 지표들에 대한 객관적인 가중계수 적용방안과 지표의 표준화 및 가중치 적용 방법에 따라 홍수위험도 평가결과에 미치는 영향에 대한 정량적인 분석이 요구된다.

다. 본 연구에서 제시한 홍수위험도 평가방법은 홍수의 원인, 피해 및 대응에 관한 역학관계의 결과로서, 공간적으로 분석된 홍수위험 관련 정보는 정부 및 지자체의 홍수방재 관련 정책수립 등의 업무수행을 위한 보다 효과적인 의사결정에 도움을 줄 것으로 기대한다.

### 감사의 글

이 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발사업 [NEMA-자연-2011-45] 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다. 🙏

### 참고문헌

1. 국토해양부(2006), 수자원장기종합계획(2006~2030) 보고서.
2. Brans, J.P. and Vincke, Ph. (1985). "A preference ranking organisation method." Management Science, Vol. 31, No. 6, pp. 647~656.
3. Connor, R.F. and Hiroki, K. (2005). "Development of a method for assessing flood vulnerability." Water Service & Technology, Vol. 51, No5, pp. 61~67.
4. Jenks, GF. and Caspell, F.G. (1971). "Error in choropleth maps: Definitions, measurement and reduction." Annals of the Association of American Geographers, Vol. 61, No. 2, pp. 271~244.
5. OECD(Organization for Economic Cooperation and Development) (1991). "Environmental indicators." A preliminary set. Paris, France.
6. UNDP(United Nations Development Programme) (2004). "Reducing disaster risk : A challenge for development". New York, NY, USA.
7. UNDP(United Nations Development Programme) (2008). "Fighting climate change; Human solidarity in a divided world." Human Development Report 2007/2008.