

홍수재난 위험도 평가의 국제 동향 및 전망 보고

– Progress & Prospective on Global Water Disaster Risk Assessment –



이 상 은 |

Research Specialist, International Centre for Water Hazard and Risk Management under the auspices of UNESCO
peregian78@gmail.com



곽 영 주 |

Research Specialist, International Centre for Water Hazard and Risk Management under the auspices of UNESCO
kwak@icharm.org



Toshio OKAZUMI |

Chief Researcher, International Centre for Water Hazard and Risk Management under the auspices of UNESCO
okazumi@pwri.jp

상황이다. 동남아시아나 남부아시아에 발생한 홍수 재난은 영향을 받는 인구에 비해 피해규모가 비정상적으로 높으며, 국가 경제개발이나 가난해소에 사용되어야 할 자원의 상당부분이 구호활동과 재건에 투입되고 있는 실정이다. 기후변화와 가파른 도시화와 관련된 전망치들은 홍수에 대해 더 큰 위험도를 예고하고 있다. 예를 들면, Kwak 등 (2012)은 미래기후변화시나리오를 감안해 아시아 태평양 지역내 대표적인 홍수유해지역에 대한 상세한 공간 분석을 수행한 바 있는데, 금세기 하반기에 이르면 50cm까지 범람수심이 증가할 수 있다는 예측 결과를 보인 바 있다.

국제 재난 관리는 다시 한 번 큰 전환점을 앞두고 있으며, 홍수, 가뭄과 같은 물 문제들이 더욱 중요하게 대두될 전망이다. 작년 하반기부터 IFI (세계홍수위원회)의 운영위와 UNESCO IHP 8차 준비위에는 위험도 목표값을 토대로 재난관리를 추진할 수 있도록 FLAGSHIP 사업들을 본격적으로 검토하고 있다. 이를 지원하기 위해 UN-FAO, WMO, IAHS, ICHARM, 미공병단 등 많은 관측/연구기관들은 위험도 평가의 표준적인 프레임워크의 기본개념이나 형태에 대해 의견을 모으고 있다. 금년 3월 'United Nations Special Thematic Session on Water & Disasters'의 별도 회담에서는 새천년개발목표 후속전략의 한 축으로 정량적인 재난 위험도 관리를 추진할 필요에 대해 참여국

1. 머리말

국제 재난기록 자료서버인 CRED의 EM-DAT를 토대로 2000-2010 홍수 재난 발생 피해를 살펴보면, 아시아는 사상자의 약 70% (연평균 3,949명)와 경제피해의 약 50% (연평균 10억불)가 집중된 홍수취약지역이라는 점을 알 수 있다. 금세기 초부터 많은 국가들이 예경보시스템들을 활발하게 구축하고 있지만 사상자 추세 감소가 아직은 유의한 수준이 아니며, 경제적 피해는 오히려 급증하고 있는

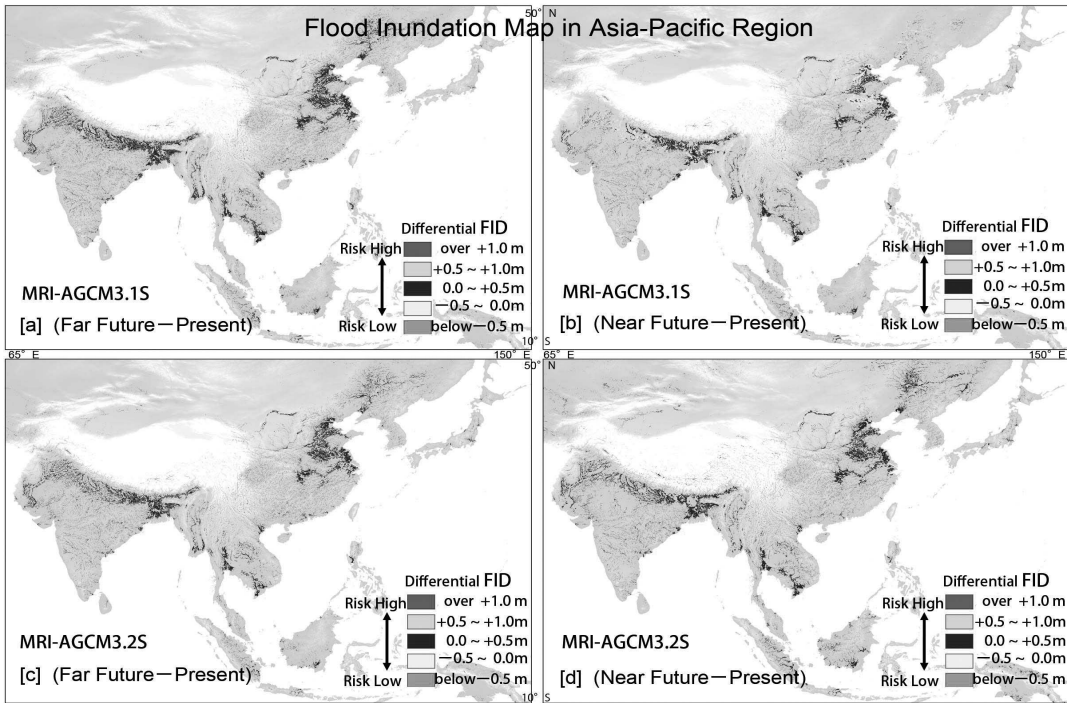


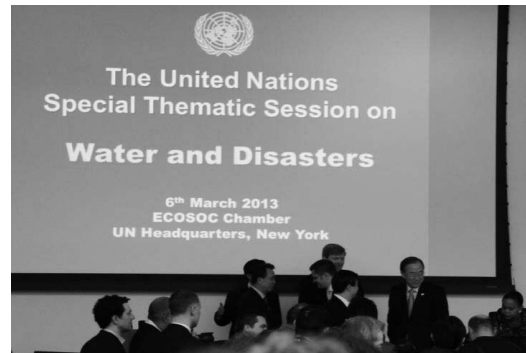
그림 1. 아태평양 기후변화에 따른 범람최대수심 평가결과

들의 공감대를 확인할 수 있었다. 게다가 오는 5월 중순에는 UN-ISDR의 주최로 재난관리 우선분야에 대한 국제 공동이행 합의사항인 HFA (Hyogo Framework for Action)에 대한 각국들의 경험을 나누고 새로운 전략, 즉, HFA2 (UN General Assembly Resolution 67/209, 2013년 3월 12일)에 대한 초안을 그릴 예정이다.

바쁘게 돌아가는 국제정세 속에서 물관리의 목표들이 재차 수정되고 연구기관들은 선형적인 분석사례들을 경쟁적으로 소개하고 있다. 이 흐름들을 지켜보면서, 바람직한 지향점과 원활한 공감대 형성이 인상적이었다. 하지만 정치적으로 주창되고 선언되는 사안들이 충분한 기술역량에 근거하고 있는가에 대해서는 쉽게 답을 얻기 힘들었다. 이 의구심



(a) 사전 별도 회담 (3월 5일)



(b) 본회의 (3월 6일)

그림 2. United Nations Special Thematic Session on Water & Disasters 전경

을 풀기 위해, 본 저자들은 최근 아시아개발은행과 함께 국제적으로 사용되는 위험도 개념을 되짚어 보았고, 현재 활용가능한 수문기술과 관측·영상·통계·패널평가 자료 등을 종합해 실증적인 위험도 지수개발에 대해 타당성 연구를 수행한 바 있다. 해당 연구에서 시급하게 해결되어야 학술주제들이 도출되었고, 본고는 이들을 요약/소개함으로써 많은 전문가들의 관심과 참여를 독려하려는 목적으로 작성되었다.

2. 국제 홍수재난 위험도 평가

2.1 위험도 평가에 사용되는 주요 개념

재난측면에서 위험도는, 순수한 확률의 개념 보다는, “정의된 객체에 대해 특정 위험요인에 의해 예상되는 손실의 크기”로 간주되는 경향이 있다 (UNDRO, 1979).” 이에 홍수로 인한 인명피해에 관심이 있는 경우, 위험도는 흔히 홍수발생에 의해 예상되는 사상자 수로 해석된다. 70년대에 중요한 연구들 이후, 이러한 재난 위험도는 홍수발생 빈도와 관련된 자연적인 위험요인과 함께, 해당 지역의 내부적인 조건, 이른바, 취약성을 가지고 설명되었다. 이들은 다음과 같이 개념이 구체화되고 있다.

- ▶ **위해도 (hazard):** 홍수 위해도란 대상지역에 대해 특정 수준의 침수 면적 또는 수심을 넘어서는 사상이 발생하는 빈도로 간주되고 있으며, 위성영상관측 결과를 토대로 구축한 재해통계 자료나 침수 모의 결과를 이용해 산정하고 있다.
- ▶ **취약성 중 노출도 (exposure):** 취약성은 해당 지역의 환경, 사회, 경제, 인구 등 다차원적인 속성들로 구성된다. 이 중 인구분포, 자산가치분포, GDP 분포 등 객체의 공간적 밀도와 관련된 속성들은 흔히 노출도로 따로 구분되고 있다. 이는 노출도가, 다른 속성들과는 달

리, 물리적 개념이 명확하므로 전자정보자료를 활용해 수치화하기 쉽기 때문이다. 게다가, 위해도 분석 결과와 결합해 재난관리상의 중요한 지표인 영향인구, 영향자산가치, 영향생산가치 등을 계산할 수 있다.

- ▶ **취약성 중 민감도 (susceptibility 또는 sensitivity):** 노출도를 떼어내고 취약성의 남은 부분은 위험도 평가에서 점점 더 중요해지고 있다. 예를 들어, 저개발국가 (less developed countries)들은 전 세계적으로 영향인구가 불과 11%에 불과하지만, 사상자 위험도는 53%에 달하고 있다 (Peduzzi 등, 2009). 이러한 불균형을 규명하기 위해서는 개념이 모호한 민감도와 대응능력에 대한 면밀한 분석이 필요하다. 민감도는 지역의 위험도를 증가시키는 내부 조건으로 위험도 관리에서 제거 또는 해결해야 할 대상으로 간주된다. 홍수 민감도의 중요한 속성에 대해서는 대륙별, 국가별 사례들로부터 활발하게 규명되고 있는데, 무엇보다 사회적 소외집단, 도시화의 관리실패, 그리고 정치적 부패는 홍수 민감도 원인 규명에 큰 단초를 제공하고 있다.
- ▶ **취약성 중 대응능력 (coping capacity):** 대응능력은 지역의 위험도를 감소시키는 요인으로 재난감소를 위한 관리자의 노력들을 포괄한다. 홍수 대응능력과 관련해서 전통적으로 댐, 제방, 펌프장 등 구조적 대안들의 홍수조절용량이 중시되었다. 하지만 IPCC의 기후변화 아젠다와 HFA가 제창된 이후 고조되는 불확실성으로 인해 사회의 탄력도를 건설하는 것이 더욱 강조되고 있다. 이에 종합적인 관리역량, 즉, 비구조적 대안들이 위험도 평가에서도 반영된다. 재난관리정책, 유해도정보 기술, 조기경보 시스템, 사후 경험공유, 재난 교육, 지역사회 결집, 보험제도 등 많은 메뉴들이 대응능력 평가의 고려사항이다.

2.2 위험도 평가 지수 개발에 대한 논의

2005년 1월에 일본 고베에서 개최된 세계재난감소회의 이후 홍수관리의 핵심은 재난 발생 후에 사후복구와 인도주의적 지원에 의존했던 과거의 방식을 탈피하고, 위험도라는 개념하에 효율적으로 리소스를 투입하는 것이다. 168개국 UN 등록국가들은 재난위험도 감소를 위한 공동이행 합의사항을 선언하였고, 국제적인 재난 플랫폼인 UN-ISDR을 재개하였다. 이로 인해, 위험도를 국가별로 비교하고, 실용적인 투자계획을 강구하며, 합의사항에 대한 각국의 노력을 점검하는 동시에, 2009년부터는 격년씩 UN 세계평가보고서를 발간하고 있다. 또한 '측정할 수 없는 것은 관리할 수 없다'라는 판단하에, 위험도 지수를 개발해 다음과 같이 활용하고자 목표하고 있다.

- ▶ 개별국가의 또는 전지구의 위험도에 대한 기준 설정 및 지속적 전략 논의
- ▶ 특정국가의 인명과 자산을 보호할 필요에 대한 정치중립적 판단
- ▶ 개별국가에 아젠다를 제공으로, 정책 수립, 예산 편성, 역량강화, 엔지니어링 발주 등의 활동 촉진

표 1과 같이 UN과 직간접적인 관련이 있는 기관들을 중심으로 국가별 위험도를 지수화하려는 다양한 연구들이 수행된 바 있다. 전체적으로 보면, 지

수산정에는 규범적 방법과 매개변수 방법으로 구분된다. 규범적 방법은 위험도가 유해도와 취약성으로 구성된다는 인식에서 출발해 위험도에 대한 세부적인 범주들을 만든 뒤, 해당 범주에 어울리는 지표들을 선택하고, 주관적인 판단 또는 전문가 의견을 감안해 지표들의 값을 산술조합하여 위험도의 값을 산정하는 방식을 따르고 있다. 이 방법의 기원은 Winsner 등 (1994)에서 제시한 '재난영향방출모형'이며, 사회학에 바탕을 둔 연구자들이 이 방법을 많이 따르고 있다. 분명히, 취약성과 관련된 다양한 속성들을 포괄할 수 있으며, 산정된 지수를 가지고 손쉽게 국가간의 비교를 할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 해당 지수가 갖는 물리적인 의미가 모호해 산정결과를 엄밀하게 검증할 수 없을 뿐만 아니라 지수값을 전달하기도 쉽지 않다. 매개변수 방법은 위험도의 원인 (영향인구 및 취약성 대응변수들)과 결과 (사상자)를 설명할 수 있는 가설적인 매개변수식을 정의한 뒤 시뮬레이션 값, 재난 통계자료, 사회경제 자료를 활용해 대응변수들의 매개변수값을 통계적으로 검증하는 방법이다. 이러한 방법은 UNDP-BCPR (2004)에서 처음 시도한 뒤 지수의 검증, 투명성, 명확성, 소통능력 등의 장점으로 국제기관들의 평가시 많이 활용되고 있다. 하지만 여전히 활용가능한 자료 문제와 통계 분석 방법과 관련된 문제에 대해 상당한 개선의 여지가 있다.

표 1. 국제 재난 위험도 지수 개발의 대표적인 사례

발표년도	개발기관	지표명 (지표산정방식)	고려한 위해요인
2004	UNDP-BCPR	Disaster Risk Index (매개변수 방법)	지진, 사이클론, 홍수, 가뭄
2006	세계은행, 컬럼비아대학	Natural Disaster Risk Hotspots (매개변수 방법)	지진, 사이클론, 홍수, 가뭄, 산사태, 화산
2011	UNU 환경인간안보연구소	World Risk Report 2011 (규범적 방법)	지진, 폭풍해일, 홍수, 가뭄, 해수면상승
2013	아시아개발은행, 아태평양물포럼, ICHARM	Asian Water Development Outlook 2013 - Key Dimension 5 (규범적 방법)	홍수, 가뭄, 폭풍해일
2013	아시아개발은행, ICHARM	Water-Related Disaster Risk Index (매개변수 방법)	홍수, 가뭄, 폭풍해일

3. 자료 개발에 대한 해결과제

홍수 위험도 평가를 위해 많은 노력이 진행되고 있지만, 현재의 지수들에 대해서는 충분한 공감을 받지 못하고 있으며, 지수 개발을 위해서 많은 학술적인 연구를 필요로 하고 있다. 무엇보다, 이 작업에 가장 필요한 것은 사람이 거주하는 모든 지역을 포괄할 수 있는 자료 개발의 표준적인 방법(Takeuchi와 Chavoshian, 2013)이다. 이 표준화는 다음과 같은 방향으로 진행되어야 한다고 사료된다.

- ▶ 자산피해나 생산액 저하에 대한 위험도 자료: 세계은행과 컬럼비아대학의 공동연구에서 생산액의 저하를 기초로 한 위험도 평가를 시도한 바 있으나, 아직 사상자를 제외하고는 의미있는 지수를 개발하기 힘든 실정이다. 가장 핵심적인 문제는 국제적으로 활용가능한 유일한 재난기록 자료원인 EM-DAT는 경제적 손실과 관련되어서 일관성이나 신뢰성에 큰 문제를 가지고 있다. 홍수로 인한 경제적인 피해가 빠르게 상승하는 상황을 감안할 때 자산과 생산액 저하와 관련된 자료 구축의 필요성은 매우 높다고 하겠다.
- ▶ 위험도 평가 해상도 향상: 취약성 자료가 발표되는 단위와 재해관리 의사결정의 주체를 고려할 때 분명히 국가단위 평가가 갖는 의미가 크다. 하지만 인도나 카자흐스탄처럼 광활한 국가를 하나의 값으로 평가하는 것은 내부적인 변동성을 너무 많이 감추게 된다. 세분화된 공간에 대한 이해를 갖기 위해, 특히, 위험도 지수의 해상도가 취약성 자료에 의해 제약된다는 점을 고려할 때, 위성영상관측 자료, GIS 기반 정보, 사회경제 모의결과 등을 종합하여 취약성 지표들의 상세화가 매우 필요하다. 저자들은 국제적으로 활용가능한 수문모형과 전자정보지도들을 위주로 필리핀 북부지역과 네팔에 대한 홍수 위험도 지수 개발

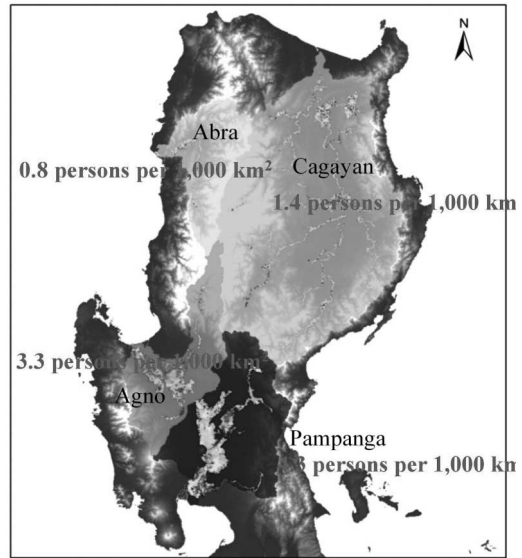


그림 3. 매개변수 방법론을 통한 필리핀 북부지역 유역 단위 홍수 위험도 평가 결과: 1,000km² 당 사망자

의 타당성 연구를 수행하였고, 그림 3과 같은 결과를 얻은 바 있다. 아시아 7개국 유역물관리담당자, ADB 컨설턴트 등이 모여 논의한 결과, 위험도 지수는 기술적으로 유역단위까지는 상세화할 수 있다는 점을 확인하였다.

- ▶ 효율적인 침수영향평가 모형의 개발: 관측자료나 수문모형을 통해 특정 지역이 침수되는 빈도를 산정하는 데에는 학술적으로 다양한 방법이 개발되어 있다. 하지만 많은 개도국들이 보유하고 있는 자료는 수문모형을 보정하는 것조차 부적절한 수준이다. 전지구 영역을 포괄해서 분석하기 위해서는 국제 기상관측 자료와 함께 최소한의 보정 노력으로 믿을 만한 결과를 얻을 수 있는 ‘자료 효율적인 침수영향평가모형’의 개발이 중요한 상황이다.
- ▶ 노출도 자료 개발: 노출도 계산을 위해 1km² 수준의 해상도를 갖는 인구분포지도와 해상도가 다소 낮은 생산액분포지도만이 활용가능하다. 여전히 홍수로 인한 중요한 유형자산에 대한 노출을 파악하기 힘들며, 생산액분포지도도 산업별로 더욱 세분화되어야 한다.

- ▶ 민감도에 대한 직접적인 지표 및 자료 개발: 홍수 위험도 산정시 민감도는 단순히 가난(즉, 1인당 GDP이나 세계은행의 국가 부지수)으로 간주되는 경향이 있다. 가난과 홍수 위험도간의 높은 상관관계에도 불구하고, 가난을 민감도와 동일시하는 것은 위험도 평가의 의미를 퇴색시키게 된다. 개도국에서 가난은 모든 이슈들의 근원적인 배경이자 가장 해결하기 힘든 목표이다. 가난이 중시될 경우 재난감소를 위한 어떤 방향의 투자가 필요한지에 대한 기초정보조차 제공하지 못한다. 도시화, 소외집단, 정치적 부패 등에 대해 직접적인 지표를 선정할 후, 홍수 위험도와와의 관련성을 엄밀하게 분석하는 학술연구가 요구된다.
- ▶ 구조적 대응능력에 대한 직접적인 지표 및 자료 개발: 20세기 이후 홍수로부터 사람을 보호하기 위해 댐, 제방, 둑, 펌프장과 같은 구조적 대안들의 홍수조절능력에 절대적으로 의존해왔다. 이 구조적 대응능력을 고려하지 않고서는 위험도 산정결과에 신뢰를 얻기 힘들다. 현재로서는 UN-Water, FAO 등과 같은 기관들의 물정보 사업에서 많은 자료가 구축되기를 바라고 있는 상황이다.
- ▶ 비구조적 대응능력에 대한 직접적인 지표 및 자료 개발: 재해에 대한 정부의 비구조적인 노력을 측정하기 위해서도 활용가능한 자료가 많지 않다. 그나마 2009년 이후 UN-ISDR이 발간하는 UN 세계평가보고서가 홍수 리스크를 평가하는 데 가능성이 있어 보였다. 이 보고서는 각 국가들이 재난관리 우선분야 이행에 대한 보고서를 제출하면, UN-ISDR 산하의 HFA Monitor에서 2년간 평가한 뒤 20가지 항목별로 이행점수들을 매기게 된다. 이 점수들이 정부의 비구조적인 대응능력을 추정하는 데에 의미가 있는 지를 확인하기 위해 홍수 사상자 자료를 통해 유의성 분석을 실시하였다. 그 결과 조기경보시스템, 지역사회

역량, 재난훈련 및 교육, 재난대비예산 등의 점수들은 중요한 지표로 활용가능하다는 점을 확인할 수 있었다. 그럼에도 불구하고 홍수 대응능력의 지표로 사용하기 위해서는 재난 종류별로 세분화되어야 하고, 관련당국의 전반적인 의견을 잘 수렴해 국가의 공식적인 자료로 제출되어야 할 것이다.

4. 한국의 UNESCO 카테고리 II 국제센터 건립을 촉구하고

물과 관련된 국제 위험도 평가에 대해, 한국 전문가들은 더 많은 공헌을 하게 될 것으로 예상된다. 국토교통부는 '물안보 및 지속가능한 물관리'를 테마로 하는 국제센터 건립을 UNESCO에 제안하였으며, 안건의 통과가 4월 중에 공식적으로 통보되었다. 저자들이 근무하고 있는 ICHARM과 동일한 형태인, UNESCO 카테고리 II의 국내 최초의 물연구센터인 것이다. 이에, 우리보다 조금 먼저 시도했던 일본의 전략에 대해 느낀 점들을 가지고, 센터의 성공을 염원하면서, 두 가지 제언으로 본고를 마무리 하고자 한다.

ICHARM은 물과 관련된 재난 위험도 평가 및 전략 개발을 위해 2005년 10월에 승인받아 설립된 기관으로, 일본국토건설성 산하 토목연구소에 소재하고 있다. 그리 긴 역사를 가지고 있지 않고, 외부연구비 마련에 시간과 노력을 그다지 할애하지 않으며, 각 팀에 연구위원들을 최소한의 수준으로만 배치해놓고 있다. 그럼에도 불구하고 왕성한 국제 활동과 기술적으로 큰 두각을 드러낼 수 있는 데에는, 무엇보다 일본 정부가 구상한 두 가지 전략이 결정적이라고 사료된다.

첫째, 설립 이후 정부가 오랜 기간 독자적으로 확보한 지적 재산들을 아낌없이 공급해야 한다: 토목연구소나 타 기관으로부터 지적 재산들(즉, 기상, 수문과 관련된 위성영상 자료관리시스템, 수문

분석모형, 재난영향평가모형, 그리고 연구인력)이 견내어지게 되면, ICHARM의 연구원들은 국제 연구에 대한 적용가능성을 내부 예산 (인건비와 출장비를 제외하고, 연구에 소요되는 많은 비용이 기관 협정을 통해 지원받기 때문에 예산의 규모는 크게 중요하지 않다!)을 통해 검보정한 뒤, 그 결과를 정보네트워크를 통해 빠르게 확산시키고 있다. 예를 들어, 금년에는 일본 JAXA의 위성에서 실시간으로 공급받는 기상자료, 토목연구소의 분포형 강우 유출모형, 내부적인 홍수침수면적 평가모형인 RRI model, 신청국가들의 홍수예경보시설 등을 엮어 IFAS (integrated flood analysis system)를 구축하였으며, 아시아 많은 곳에 대해 검보정을 마친 상황이다. 세계 각 지역의 홍수, 토사재해, 가뭄, 폭풍해일 등의 재난에 대해 위험도와 적절한 전략을 상시적으로 분석하는 데에 자체기술이용을 우선시 하고 있으며, UN-ISDR의 활동이나 UNESCO의 세계물평가프로그램의 지원으로 이어지고 있다.

둘째, 임무와 역할만 명시할 것이 아니라 물관련 국제 네트워크에 있어서 센터가 큰 기능을 담당할 수 있도록 정부의 정치적인 지원이 수반되어야 한다. 주어진 역할을 수행하는 내부 인력들의 노력도

당연하겠지만, 현재 운영되는 많은 국제 네트워크가 정부간의 협정을 배경으로 하고 있다. 국제 네트워크상에서 국가의 리더십을 갖추기 위해 국제기관에서 활동하는 일본의 많은 정부관료들과 ICHARM 인력들은 상시적으로 전략을 공조하고 있다. 그 결과, 설립 이후 빠른 시일내에 UNESCO와 WMO에서 조직한 세계홍수위원회 (IFI)의 사무국을 맡아 다양한 기관들의 의견을 수렴하는 창구로서의 역할을 맡게 되었다. 2008년 이후에는 아태평양물포럼이나 ADB와의 파트너십 계약하에 여러 개도국들의 공무원, 연구원, 대학원생 등을 대상으로 다양한 종류의 교육/실습 프로그램을 운영하고 있다.

ICHARM의 현 운영진들 (Dr. Shigenobu TANAKA와 Mr. Toshio OKAZUMI)은 일본 정부의 대의원으로 2012년 6월 파리에 열린 UNESCO 총회에서 참석하여, 한국의 센터건립에 대해 환영과 찬성의 의견을 적극적으로 개진한 바 있다. 향후 두 기관간의 가깝고도 활발한 교류활동을 기대하고, 본 저자들은 자국의, 그리고 공동의 발전을 위해 소임을 다할 것을 약속드린다. ☞

참고문헌

1. CRED (the Centre for Research on the Epidemiology of Disasters), Emergency Events Database (EM-DAT) [http://www.emdat.be/]
2. ICHARM, 2013, *Technical Assistance for Supporting Investments in Water-Related Disaster Management: Main Volume*, Asian Development Bank
3. International Hydrological Programme (IHP), 2012, Final Report: 20th Session of the Intergovernmental Council, UNESCO, Paris
4. Kwak, Y., Takeuchi, K., Fukami, K., Magome, J., 2012, A new approach to flood risk assessment in Asia-Pacific region based on MRI-AGCM outputs, *Hydrological Research Letters* 6:70-75

5. Peduzzi, P., Dao, H., Herold, C., & Mouton, F., 2009, Assessing global exposure and vulnerability towards natural hazards: the Disaster Risk Index, *Natural Hazards and Earth System Science* 9: 1149-1159
6. Takeuchi, K., & Chavoshian, A., 2013, Editorial, in Chavoshian, A., and Techeuchi, K., *Floods: from Risk to Opportunity*, IAHS Publication 357
7. UNDP-BCPR (Bureau for Crisis Prevention and Recovery in United Nations Development Programme), 2004, *Reducing Disaster Risk: a Challenge for Development*, UNDP Global Report, UNDP
8. Wisner, B., Blaikie, P., Cannon, T., & Davis, I., 1994, *At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters*, Routledge, London