

전지구적인 범람홍수 피해의 양상



한 건 연 |

경북대학교 토목공학과 교수
kshanj@knu.ac.kr

1. 서언

홍수 경감 대책은 사회가 홍수의 위협으로부터의 취약성을 감소시키는 동시에, 홍수에 의한 피해에 대해 빠른 복구가 이루어질 수 있도록 하는 정책이다. 홍수에 대비하는 정책은 홍수의 주기 및 재해특성과 관련이 있고, 인간과 사회에 대한 잠재적인 피해를 줄이기 위해 필요하다. 현재 약 10억 인구가 100년 빈도 홍수의 위험도를 안고 살아가고 있다. 인구밀도의 증가와 함께 생활수준이 향상되었고, 그 결과 더욱 높아진 재산과 사회기반시설의 가치로 인해, 홍수 방어는 더욱 중요해졌다. 대규모 홍수와 그와 관련된 인명 피해와 재산 피해는 후진국, 개발도상국에서 더욱 많고, 미국, 유럽, 일본에서 보여졌던 최근의 대재해처럼 선진국도한 안전지대는 아니다. 1985년과 2003년 사이에 홍수와 범람의 특징을 나타내기 위해 사용된 자료는 다음과 같이 활용하였다.

- ‘Active Archive of Large Floods’ 로부터의 연간개요는 Dartmouth Flood Observatory (DFO)에 의해 개발, 유지되어 왔다. 이 데이터베이스의 정보는 광범위하고 다양한 뉴스, 정부 기관, 관측자료 및 원격탐사 자료로부터 얻어졌다. 그 자료에는 발생한 홍수에 대한 자료, 예를 들면, 구조물이나 농업에 큰 피해를 입혔다거나,

유사한 사건 이후 오랫동안(10년 정도)의 간격이 있거나, 재난 사고가 일어났거나 하는 것들을 포함하고 있다.

‘International Disasters Database’ (EM-DAT)는 Office of U.S Foreign Disaster Assistance(OFDA)와 Center for Research on the Epidemiology of Disaster(CRED)에 의해 작성되었다. 이 데이터베이스는 다음의 기준과 최소한 하나 이상이 일치하는 홍수사건의 기록을 포함하고 있다.

- 10명 또는 그 이상의 사람이 사망한 경우
- 100명 또는 그 이상의 사람이 영향을 받은 경우
- 국제적인 원조를 요청한 경우 또는,
- 비상 상황의 성명서가 발표된 경우 등이다.

‘Münicher Rückversicherungs-Gesellschaft’ (Munich-Re)에서 수집한 자료는 ‘World of Natural Hazards’ CD-ROM(Munich-Re, 2000), ‘Flooding and Insurance’ 라는 문헌과 다양한 연차보고서에서 얻어진 자료이다. 이 데이터베이스는 급격하게 발생된 홍수와 경제적 손실을 포함하고 있다.

2. 하천홍수의 특성(1985~2003년)

(1) 홍수의 발생횟수

1985년과 2003년 사이에 세계에서는 표 1에서와 같이 1700건에서 2500건 사이의 큰 홍수가 발생하였다. 이들 홍수의 50%이상은 개발도상국에서 발생했다. 대륙별 분포로 보면 아시아에서 대략 45%, 아메리카에서 25%가 보고되었다. 아시아에서 발생한

빈번한 홍수의 주요 원인은 이 대륙에서 관측되는 세계에서 가장 높은 평균 강우량과 그에 따른 체적(13,500km³/year)에 기인한 것이다.

(2) 홍수의 지속시간

전 세계 홍수 평균 지속시간은 표 2에서와 같이 1~2주 정도로서 다양하다. 홍수는 특히 아시아, 아프리카, 남아메리카의 후진국에서 가장 오랫동안 지속되었다. 선진국에서의 비교적 짧은 지속시간은 홍수를 일으키는 특별한 기상영향을 포함하여 보다 효과적으로 홍수에 대응하는 능력 때문인 것으로 판단된다. 장마와 열대성 호우는 홍수를 유발하고 많은 양의 강우를 발생시키며, 더욱 빈번하게 긴급 상황을 발생시키게 된다.

(3) 홍수의 원인

전 세계적으로 홍수는 주로 오랫동안 지속되는 집

중호우(65%), 단기간에 매우 강렬한 폭우(15%), 열대성 호우(10%), 그리고 장마기간의 강우(5%)에 의해 발생한다. 표 3은 홍수의 원인이 다양한 국가별, 그리고 대륙별로 백분율로 구분되어있는 개요이다. 팔호안의 숫자는 각 원인에 대한 총 피해의 백분율을 나타내고 있다.

전 세계적으로 홍수의 원인과 피해 사이에는 눈에 띄는 연관성은 없고 집중호우가 피해의 주요한 원인이기는 하나, 지역적 차이로 인해 구분하는 것이 가능하다. 아프리카와 남아메리카에서 홍수의 원인으로서는 집중호우의 빈번한 발생은 전 세계 평균치를 웃돌고 있다. 주로 돌발홍수의 원인이 되는 단기간의 강한 폭우는 남아메리카와 오세아니아에서 높은 피해가 발생할 수 있는 잠재력을 가지고 있다. 남아메리카의 경우 80%~90% 정도의 인구가 도시지역에 밀집되어 있고, 도시가 많은 것과 관계가 있다.

열대성 호우는 특히 아시아 대륙과 같은 개발도상

표 1. 홍수 발생횟수(1985~2003년)

	국가별				대륙별				
	전세계	선진국	개발도상국	후진국	아프리카	아메리카	아시아	유럽	오세아니아
DFO	2,493	672	1,434	387	320	649	1,186	251	87
CRED	1,734	381	956	397	339	443	668	229	55

표 2. 홍수 평균 지속시간(days)

	국가별				대륙별				
	전세계	선진국	개발도상국	후진국	아프리카	아메리카	아시아	유럽	오세아니아
DFO	9.1	6.3	9.6	12.7	11.7	8.4	9.5	7.1	7.2
CRED	10.9	6.4	10.9	15.1	12.9	9.3	12.1	8.6	5.5

표 3. 홍수의 원인과 피해상황 비율(%)

	국가별				대륙별				
	전세계	선진국	개발도상국	후진국	아프리카	아메리카	아시아	유럽	오세아니아
집중 호우	65(87.5)	65(85)	65(90)	65(55)	85(90)	65(75)	55(90)	75(90)	60(42.5)
돌발 호우	15(5)	15(2.5)	15(5)	10(2.5)	10(5)	15(2.5)	15(5)	15(5)	10(12.5)
열대성 호우	10(5)	10(10)	10(2.5)	5(10)	3(5)	10(20)	10(2.5)	-(1)	20(20)
장마	5(2.5)	-	5(1)	10(30)	-(1)	-(1)	15(2.5)	-(1)	5(22.5)
댐/제방 붕괴	1(1)	-	1(1)	2(1)	2(1)	1(1)	2(1)	1(1)	-(1)
강우와 응설	3(1)	5(2.5)	2(1)	1(1)	-(1)	3(2.5)	-(1)	5(2.5)	-(1)
기타	1(1)	5(1)	2(1)	7(1)	-(1)	6(1)	3(1)	4(1)	5(1)

국에서 상대적으로 적은 피해의 원인이고, 아메리카 대륙과 오세아니아 대륙에서의 상대적으로 큰 피해의 원인이 된다. 비록 장마기간 강우의 빈도는 아시아에서 높기는 하나 이로 인한 피해는 상대적으로 적고, 오세아니아와 후진국에서 정반대의 현상이 나타난다. 아마도 이러한 유형의 재해에 대한 준비태세와 경계 심은 아시아 대륙에서 더욱 높을 것으로 사료된다.

(4) 홍수 등급과 홍수의 크기

DFO 데이터베이스에서의 ‘홍수 등급’은 1~3까지의 크기로 나누어 홍수 크기의 척도를 피해액 기준으로 나타내고 있다.

- 홍수등급 I : 농경지와 건축물 피해 및 인명 피해를 주는 큰 규모의 홍수, 10년~20년 빈도의 도시지역 홍수 ;
- 홍수등급 II : 매우 큰 홍수가 20년~100년 빈도로 발생한 경우, 국지적으로는 10년~20년 빈도로 나타나고, 5,000km² 이상의 범위에 영향을 끼치는 경우;
- 홍수등급 III : 100년 빈도 이상의 극한 홍수.

전 세계적으로 기록된 홍수에서 홍수등급 I은 85%, 홍수등급 II와 홍수등급 III은 13%와 3%정도를 각각 나타내고 있다. 이는 홍수등급 I의 약 75%를 차지하고, 홍수등급 II의 약 20%를 차지하고 있는 선진국과 오세아니아를 제외한 대륙과 국가에서 비슷한 분포가 나타난다. 유럽에서는 좀 더 낮은 백분율이 홍수등급 I(77%)에서 나타나고, 홍수등급 II와 홍수등급 III(각각 16%와 17%)에서는 좀 더 높은 백분율이 나타난다. 이것은 주로 높은 홍수 방어 계획(20년 빈도 이상)과 관련이 있고, 제방붕괴의 경우 넓은 범위에 영향을 받는 것과도 관련이 있다.

직접적으로나 간접적으로 대기에 의해 영향을 받는 지역은 일반적으로 범람 지역보다 훨씬 크고, 또한 개략 분류의 상승을 유발한다. 큰 증가폭은 홍수등급 II와 홍수등급 III에서 발견되고, 세계적으로 볼 때 유럽과 아시아 그리고, 신흥국가에서 발견된다.

홍수 크기의 척도(FM)는 홍수에 의한 피해액과는 다른 방법으로, 지속시간(D), 홍수등급(SV), 그리고 영향을 받는 지역(AR)과 같은 매개변수를 포함한다.

$$FM = \frac{\ln(D) \times S \times \sqrt{AR}}{100} \quad [\text{day} \times \text{km}]$$

(5) 홍수발생시기

세계적으로 홍수발생시기는 1년 중 7월과 8월 사이에 집중되어 있는데, 그 분석 결과는 다음과 같다.

- 11월에서 4월 6개월 동안은 상대적으로 빈도가 낮다.
- 5월에서 6월 2개월 동안은 빈도가 증가한다.
- 7월에서 8월 2개월 동안은 상대적으로 빈도가 높다.
- 9월에서 10월 2개월 동안은 빈도가 감소한다.

3. 범람홍수의 특성(1985~2003년)

(1) 인명 피해

평균적으로 연간 지구상에서 범람홍수에 의한 사망자는 5,000명에서 15,000명으로 다양하다. 그러나 국가나 대륙단위에서 홍수에 의한 피해자의 평균적인 수는 상당히 다르게 나타난다(표 4). 평균적인 피해자의 수가 가장 큰 곳은 아시아와 남아메리카의 후진국이다. 전 세계적인 규모에서 상대적으로 높은 평균치는 이들 국가나 대륙의 특성과 관계가 있다. 가장 낮은 평균 사망률은 유럽이나 오세아니아, 그리고 선진국에서 나타난다.

그림 1에서와 같이 1985년에서 2003년 사이의 범람의 결과로 300,000 명가량의 사람들이 목숨을 잃었다. 그러나 홍수에 의한 연간 피해자 수의 변동은 좀 더 크게 나타났다. 범람에 의해 가장 많은 피해자가 생길 수 있는 곳은 총 피해자의 대략 70%가 기록된 아시아와 개발도상국이다. 1998년 허리케인 Mitch와 1999년에 베네수엘라에 발생한 큰 홍수와 관련이 있는 아메리카 대륙은 전체의 20%, 유럽과

표 4. 범람홍수 발생건당 평균 인명피해(인)

	국가별				대륙별				
	전세계	선진국	개발도상국	후진국	아프리카	아메리카	아시아	유럽	오세아니아
DFO	156	13	110	603	77	87	244	12	7
CRED	80	12	116	58	36	89	128	8	2
Munich-Re	540	46	697	1,297	844	675	664	36	9

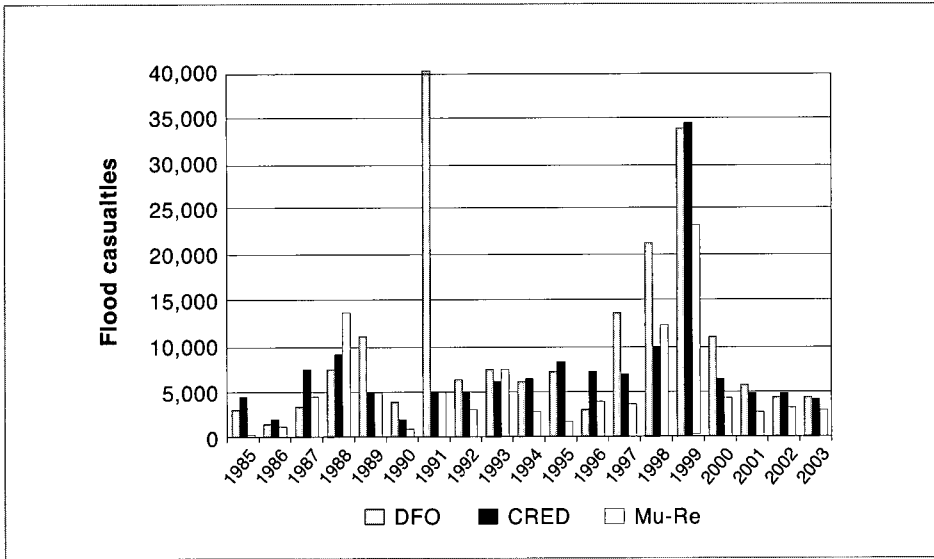


그림 1. 전세계적 범람홍수에 의한 인명피해

오세아니아는 1% 이하를 기록하였다.

(2) 홍수에 영향을 받는 인구

약 25억명의 인구가 홍수에 의해 재산과 인명피해를 입는 직접적인 영향을 받아왔다. 평균적으로 1억 2,500만 인구가 매년 피해를 입으며, 그 중 97%가 아시아에 거주한다. 이는 선진국이 11%밖에 되지 않는 매우 낮은 홍수피해 인구비율을 가지는 반면, 개발도상국가는 88%에 이르는 높은 홍수피해 인구비율을 가지는 현상을 설명한다. 아시아에서 일어난 가장 많은 이재민 발생 사례는 다음과 같다:

- 1988년 방글라데시에서의 홍수 시, 2800만 명의 이재민 발생
- 1995년 중국의 Xiangjiang강과 Yangtse강 홍수 시, 700만 명의 이재민 발생

- 1998년 방글라데시와 인도에서의 홍수 시, 2500만 명의 이재민 발생
- 2000년 동남아시아에서의 태풍을 동반한 홍수 시, 4500만 명의 이재민 발생

가옥을 잃어버린 인구의 총 합계는 1억1500만 명, 연간 평균 600만 명에 이르며, 그 중 94%가 아시아에서 발생하였다.

(3) 홍수 피해와 경제적 손실

직·간접적인 홍수피해와 경제적 손실의 정확한 정보를 구하기는 쉽지 않다. 비교적 정확한 자료는 상대적으로 보험에 가입한 건수가 많은 미국과 유럽에 많이 있다. 전 세계적으로 연간 평균 홍수 피해액은 미화 85억~245억 달러 사이이다. 그러나 DFO와

표 5. 홍수 피해의 양상

전세계	국가별			대륙별				
	선진국	개발도상국	후진국	아프리카	아메리카	아시아	유럽	오세아니아
전체 [%]	35-40	50-60	5-10	0.5-1	15-20	55-60	15-25	0.5-1
홍수 발생건당 평균 [billion US\$]	1-1.1	0.9-1.7	0.4-0.6	0.09-0.2	0.8-1.2	1.1-2	1.1-1.3	0.08-0.4
년간 평균 [billion US\$]	3-8.5	5-14.5	1-2.5	0.07-0.2	1.5-4.5	5-15	2-2.5	0.03-0.2

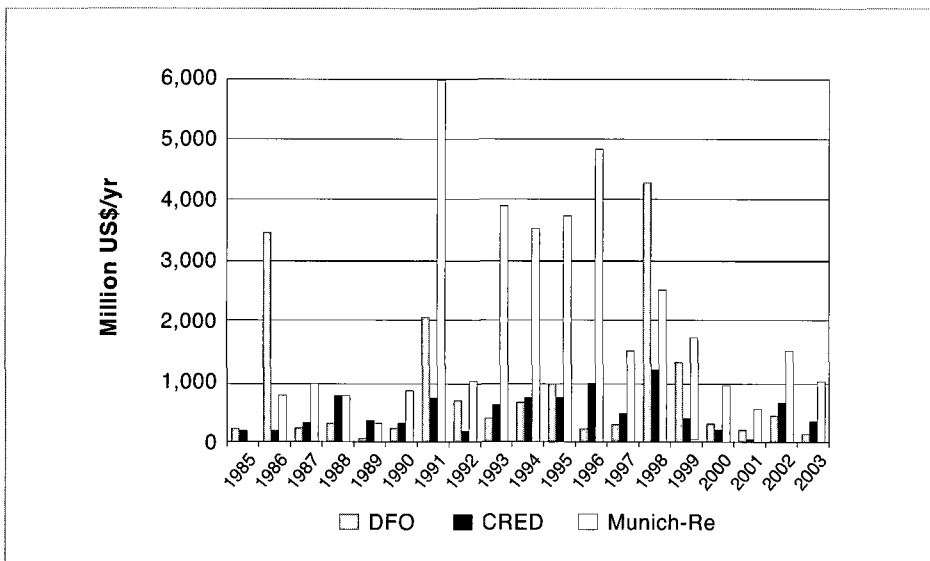


그림 2. 전세계적 연간 홍수피해액

CRED 데이터베이스에서 단지 30%의 홍수기록만이 홍수 피해액에 대한 정보를 담고 있다. 표 5는 여러 대륙과 국가범주에 따른 총 홍수 피해액의 대략적인 퍼센트 비율과 연간 평균 피해액 그리고, 홍수 사상당 평균 피해액을 보여준다.

홍수 피해액의 대부분은 개발도상국가와 선진국에 피해를 입혔으며, 특히 아시아, 유럽, 북미에서 더욱 심하다. 연간 평균 피해액과 홍수 사상당 평균 피해액은 매년 변화가 심하다. 중국, 미국, 유럽에서 두드러졌던 1993년과 1998년, 그리고 2002년의 특별한 홍수에 대한 피해액은 다음과 같다:

- 1993년 미시시피 강에서의 피해액은 미화 200억 달러

- 1998년 양쯔 강에서의 피해액은 미화 300억 달러
- 2002년 중유럽 여러 강에서의 피해액은 미화 200억 달러

전 세계의 연간 평균 홍수 피해액은 그림 2와 같이 나타나 있고, 총 홍수 피해액과 평균 홍수 피해액으로 비교한 내용은 다음과 같다.

- 후진국에서의 연간 평균 홍수 피해액은 감소
- 전 세계적으로 유럽에서의 총 홍수 피해액의 증가
- 개발도상국가와 아시아, 아프리카, 아메리카, 오세아니아 대륙의 총 피해액과 연간 평균 피해액의 증가

평균적으로 홍수 피해액이 홍수피해 지역의 넓은 범위에서 증가하는 것이 나타나 있고, 상대적으로 좁은 지역에 많은 피해를 준 사례가 보고된 바 있다. 이와 같은 현상은 아시아, 유럽, 북미의 선진국에서 일반적으로 나타나며, 주로 돌발홍수와 연관이 있다.

(4) 홍수 발생지역

그림 3은 1985년 이래 홍수 발생 지역을 나타내고 있고, 평균적으로는 연간 남아프리카의 면적에 해당하는 약 120만km²의 면적이 홍수가 일어나는데, 그 중 74%에 해당하는 90만km²는 아시아, 약 12%는 남미와 오세아니아지역이다.

유럽과 북미에서는 연간 1만km² 보다 적은 면적이 홍수가 일어난다. 또한 홍수 면적은 개발도상국가가 85%, 선진국이 14%, 후진국이 2%에 채 못 미치는 비율로 불균형을 이룬다. 데이터베이스의 정확성은 후진국의 홍수 면적의 과소평가를 야기할 수 있다.

(5) 홍수 영향지역

연간 평균적으로 150만~800만km²의 범위가 홍수에 의해 피해를 입는다. 이 범위는 이란과 브라질의 면적 크기에 해당된다. 평균적으로 홍수가 한번 일어났을 때 피해를 입는 범위는 6만4천km²으로 스페인 크기의 크기와 비슷하다. 홍수에 의해 피해를 입는

면적과 홍수가 일어나는 면적 간의 비율은 취약성의 정도를 나타내는 것으로 볼 수 있다. 높은 비율이면 그 지역이 홍수에 대해 더욱 취약하다는 것이다. 전 세계의 평균 비율은 약 2이고, 그것은 실제 홍수가 일어나는 면적의 두 배가 피해를 입는다는 의미를 내포한다.

4. 각국의 홍수정책 추진

주요국가에서 수행된 홍수관리 정책의 개요는 표 6에 나타나 있다. 많은 나라들은 홍수 방어를 위해 저수지와 같은 저류 대책과 보유 대책에 의존한다. 그러나 네덜란드, 방글라데시와 같은 나라들은 이런 대책을 수행하는 데 특별한 지형적, 지리적 제한을 가진다.

후진국들은 비교적 높은 투자비용 때문에 이와 같은 접근을 쉽게 채택하지 못하는 모습을 보여준다. 하도개수는 폭넓게 적용되나 안전하지 못한 경우가 될 수 있고, 홍수에 노출된 지역에 있어서는 더욱 큰 피해를 입힐 수 있다. 건설이 모두 금지되도록 결정된 지역이 상업과 공업지구로 개발되었다면, 홍수가 날 경우 홍수 방어 구조물이 처음 장소에 지어지지 않았을 때 보다 손실이 더 커질 것이다. 우회로, 홍수로와

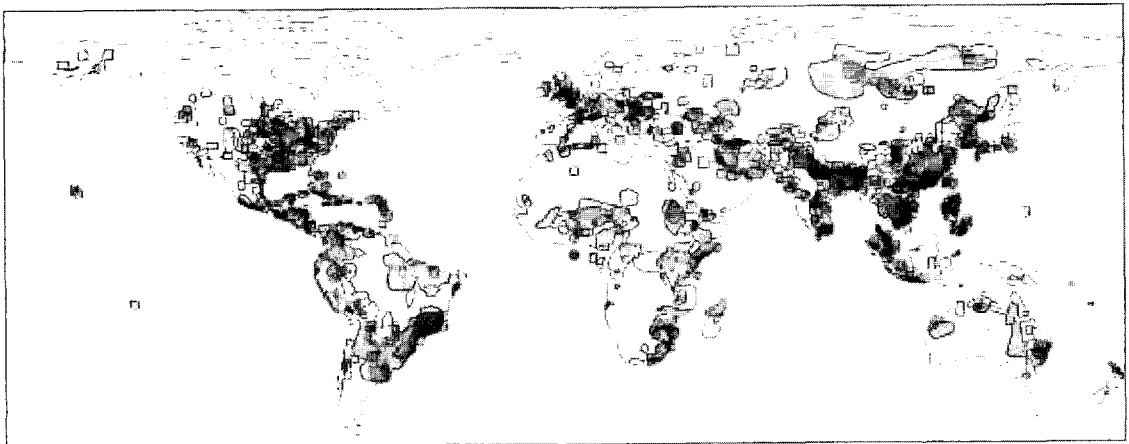


그림 3. 전지구적 홍수발생지역

표 6. 각국의 범람홍수 대책

	선진국							개발도상국					후진국		
	Japan(Asia)	Hungary(Europe)	Netherlands(Europe)	USA(N America)	Australia(Oceania)	Argentina(S America)	South Africa(Africa)	Egypt(Africa)	China(Asia)	India(Asia)	Romania(Europe)	Venezuela(S Africa)	Mozambique(Africa)	Bangladesh(Asia)	Haiti(N America)
(주) ++ : 적극 적용 + : 일반 적용 0 : 적용 미비															
구조적 대책															
저류지	++	++	+	++	++	++	++	++	++	++	++	+	+	0	0
하도개수	++	++	++	++	0	++	0	++	++	++	++	+	+	+	0
分流	+	+	++	+	0	+	+	++	+	+	0	0	0	0	0
비 구조적 대책															
홍수예경보	++	++	++	++	++	++	+	++	++	++	+	0	+	++	0
유역관리	++	+	++	++	++	++	0	0	+	+	0	0	+	0	0
홍수보험	+	+	0	++	++	+	0	0	+	+	0	+	0	0	0
배수정책	+	0	+	++	++	0	0	0	+	+	0	0	+	++	0

같은 전환 대책은 선진국과 개발도상국가에 매우 널리 보급되어 있으나, 후진국에서는 거의 보급이 되어 있지 않다. 이러한 대책은 투자와 유지비용이 비교적 높기 때문에 이와 같은 현상은 계속되는 실정이다.

최근 많은 선진국과 개발도상국가에서는 신속한 홍수 예경보 체계를 확립하였다. 더욱이 후진국도 가까운 미래에 이런 종류의 시스템을 구축하고 수행할 계획 중에 있다. 유역과 토지이용 계획 프로그램은 많은 선진국에서 성공적으로 수행되었다. 그러나 유사한 계획이 대부분의 개발도상국가와 후진국에서는 부족한 실정이다. 홍수 보험은 많은 선진국과 개발도상국가에서 이용되고 화재, 지진 등과 같은 다른 위험과 함께 홍수 피해의 적용 범위를 결합시킨 하나의 시스템으로 제공되었다. 또한 빈곤한 사회에 맞는 대안이 되는 대책 프로그램은 현재 몇몇 신생국과 미개발국에서 확립되었다. 홍수에 대비한 보강과 대책의 수준은 홍수가 지속적으로 일어나는 국가의 경제적 능력과 밀접히 관련이 있다. 그러므로 다른 경제 상

황의 국가들에 대한 홍수 보강 대책에 있어 큰 변화는 쉽게 결정되어질 수 없다.

5. 결론

원칙적으로 홍수 문제를 다루는 데 있어 세 가지 다른 접근 방법이 있으며, 그것은 주로 정치, 사회-경제적 고려에 기반을 둔다.

- 구조적 대책에 의한 홍수 방어(‘홍수를 사람들로 부터 멀리하도록 하는 정책’)
- 홍수는 허락하나, 시설물 보강 또는 홍수 대처 계획에 의해 피해가 최소화되도록 하는 정책
- 홍수가 발생하기 쉬운 지역에 어떠한 개발이나 활동을 금지(‘사람을 홍수로부터 멀리하는 정책’)

앞에서 대륙간, 그리고 경제적 범주의 국가 간에 홍수의 빈도와 피해가 매우 다른 것을 확인하였다.

이것은 지역마다 생명과 재산이 다른 위험수준에 있다는 것을 의미한다. 전 세계적으로, 국가들은 홍수에 대응하고 수용할 수 있는 수준까지 피해를 줄이도록 다양한 정책을 채택하고 있다. 적용된 정책은 홍수의 특성과 사회·경제적 배경, 이용할 만한 기술, 환경적 측면, 그리고 홍수관리 업무의 과거 경험에 의존하게 된다. 우리나라의 홍수방어 대책도 국내의 기상, 유역, 하천특성을 고려하여 전문가와 국민들이 머리를 맞대고 많은 현안들을 논의할 때, 좀더 진일 보된 현실성있는 구조적 및 비구조적 홍수대응 전략이 체계적으로 마련될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 원고는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 2003년도 건설핵심기술연구개발사업(03산학연C03-01)에 의한 도시홍수재해관리기술연구사업단의 지원으로 작성된 것입니다. 지원에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

OFDA/CRED(2005). EM-DAT: the OFDA/CRED International Disasters Database. Office of

U.S. Foreign Disaster Assistance(OFDA) and the Center for Research on the Epidemiology of Disasters(CRED). Universit Catholique de Louvain. Brussels, Belgium.

Munich-Re(1997). Flooding and Insurance. Müicher Rückversicherungs-Gesellschaft. Munich, Germany.

Munich-Re(2000). World of Natural Hazards. CD-ROM. Müicher Rückversicherung-Gesellschaft. Central Division Research and Development. Geoscience Research Group. Munich, Germany.

United Nations International Strategy for Disaster Reduction(2001). Natural Disasters and Sustainable development: Understanding the Links Between Development, Environment and Natural Disasters. Background Paper No. 5(DESA/DSD/PC2/BP5). Geneva, Switzerland.

United States Department of Agriculture(1976). Flood Hazard Analyses, Milford, NH, (Souhegan River, Purgatory Brook, Tucker Brook and Great Brook). Soil Conservation Service. Morris, MN, USA.

World Bank(2003). World Bank Atlas(35th edition).