

## 통합홍수관리에 의한 유역통합치수계획



**한건연 >>**  
경북대학교 토목공학과 교수  
kshanj@knu.ac.kr



**이창희 >>**  
경북대학교 토목공학과 박사과정  
changheel@gmail.com

### 1. 서언

역사적 자료에서도 알 수 있듯이 중국, 이집트, 인도 등의 홍수는 모든 세대에 걸쳐 발생하여왔다. 최근 10년간 전 세계적으로 홍수에 의한 엄청난 피해가 발생하였다. 다른 어떠한 자연재해 보다 자주 나타났으며, 많은 인간의 삶을 앗아갔으며, 비옥한 땅과 집을 파괴하는 등 큰 경제적 손실을 야기하였다. 또한 지난 10년간 거의 모든 대륙에 큰 홍수가 빠른 속도로 증가됨을 보여주고 있으며, 전 세계적으로 극심한 홍수의 발생 수가 1950년대에는 10년에 7회 발생하던 것이 1990년대에는 34회 이상 발생하였다.

홍수빈도의 이러한 증가와 함께 나타난 경향은 도시화로 인한 홍수 피해의 빠른 증가이다. 도시화는 인구증가와 재산가치의 증가를 수반한다. 일본에서는 홍수로 인한 개인재산의 피해가 1970년 이래로 1 헥타르당 3백만 엔에서 4천7백만 엔으로 증가되었다. 중국에서는 엄청난 규모의 홍수로 인한 피해액이 1950년대에서 1990년대 기간 동안 5배 가까이 증가

하였다. 특히 급속한 성장을 이룩한 거대 도시는 홍수재해에 대해서 큰 주의가 요구된다. 인구, 자산의 축적과, 무분별하게 계획된 개발, 제한된 저류지 및 대피구역, 그리고 지하공간 시설물 등으로 인해 이들 도시를 홍수에 매우 취약하게 만들었다.

최근까지 전 세계적으로 홍수를 포함한 자연재해는 다음과 같이 특징지어진다.

(1) 1985년과 2003년 사이에 평균적으로 매년 120만km<sup>2</sup> 지역에 홍수가 발생하였고 150~800만km<sup>2</sup> 지역이 홍수에 의한 영향을 받았다. 대략적으로 이들 지역의 75%는 아시아에 위치한다. 1986년에서 1995년 사이에 자연재해로 인한 5,370건의 사건 중 홍수로 인한 재해가 32%이다(그림 1).

(2) 1985년과 2003년 사이에 홍수로 인해 전 세계적으로 연간 85억 달러에서 245억 달러의 피해액이 발생하였다. 피해액은 측정하기 어렵고 거의 기록되어지지 않기 때문에 아마도 실제 피해보다 과소평가된 것으로 판단된다. 다른 자연재해와 비교하여 홍수는 전체 경제 손실액의 31%를 차지하는 것과 같이 홍수로 인한 손실이 많은 부분을 차지하는데 그것은 보다 넓은 지역에 영향을 미치고 다른 자연 재해보다 빈번하게 발생하기 때문이다.

(3) 자연 재해는 1985년부터 1995년 사이에 약 367,000정도의 인명을 빼앗았다. 이들 중 절반 이상이 하천의 범람, 돌발 홍수, 태풍의 영향으로 발생한 해일에 의한 희생자였다. 전 세계적으로 1985년에서 2003년 사이에는 홍수로 인해 매년 5,000명에서 15,000명의 사상자가 발생하였고, 매년 1억 5000만명의 이재

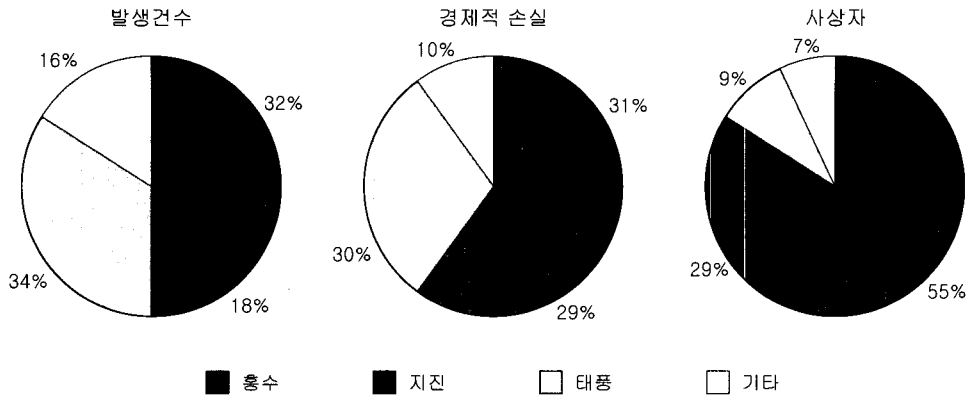


그림 1. 자연 재해 발생 현황(1986-1995), (Munich-Re, 1997)

민이 발생하고, 이중 600만명은 가옥을 잃어 왔다.

홍수가 대규모 재난이 되는지는 그 사회가 피해를 통제하고 스스로 복구할 수 있는 능력이 있는지에 달려있다. 홍수는 한정된 자금 보유를 가진 개발도상국에는 경제 성장을 심각하게 억제하고, 국가 재난으로 발전한다. 1998년 온두라스에서는 허리케인 Mitch로 인해 발생한 홍수로 경제적 피해액은 GDP의 69% 였는 반면 2002년 유럽에서 발생한 홍수피해액은 GDP의 1% 미만이었고, 1990년대 중국의 홍수피해액은 GDP의 1~4% 였다.

## 2. 홍수의 유형

일반적으로, 큰 규모의 지표수 중 일부 지점에서 발생하는 것(1과 2항), 또는 흐름이 없는 수체 혹은 지역적 특성으로 상대적으로 소규모 지역에 해당하는 사상과 연계된 것(3, 4 및 5항)과 같은 5가지의 다른 홍수유형으로 특징을 구분할 수 있다.

- (1) 하천 홍수 : 전 세계에 기록된 홍수의 대부분은 유역의 넓은 범위에 걸쳐 장시간 강우가 발생한 뒤 중단기간에 일어나는 하천 범람에 의한 결과이다. 보통 하천의 범람은 며칠에서 몇 주 동안 지속되

고, 일반적으로 넓은 범위에 영향을 끼친다.

- (2) 해안 홍수 : 해안선 주위의 지역은 tsunami, 태풍, 그리고 일반적이지 않은 높은 파도의 결과로 홍수가 일어나기 쉽다. 게다가 오랜 기간 동안 진행된 침하 그리고 해수면의 상승이 점진적인 바다의 침입을 유발한다.
- (3) 돌발 홍수 : 돌발 홍수는 일반적으로 천둥 번개를 동반한 강렬한 지역적 강우로부터 발생하며, 제한된 지역에 많은 흐름과 엄청난 양의 피해를 불러일으킨다. 돌발 홍수는 예측이 어렵고, 갑자기 발생하며, 모든 것을 없애버릴 정도로 급작스럽게 발생하며, 안전한 곳은 없다. 돌발 홍수로 인한 유량은 수로에서 보통 평균 흐름의 수배에 달한다. 돌발 홍수는 대부분 어떤 곳에서나 일어날 수 있다.
- (4) 도시 홍수 : 지역적 이상강우와 함께 배수가 차단된 경우는 엄청난 범람의 원인이 될 수 있다. 이런 홍수의 타입은 지형, 토양 상태, 배수시설의 유지 확충 여부에 영향을 받고, 주로 매립지와 같은 평평하고 낮은 지대에 일어나며, 때로는 도시지역에서도 발생한다. 지표면이 운동장이나 삼림지대에서 도심지로 바뀌게 되면, 강우 침투가 원활하지 않아 보통 도시화는 자연 지형과 비교했을 때 저류용량을 저감시키며, 유출량을 몇배 증가시킨다.

(5) 호수 및 매립지 범람 : 특별한 강우기간 또는 하천이나 수로로 부터의 긴 시간 지속되는 유입은 충분한 배수시설과 유출구가 부족한 호수의 실제적인 수위상승을 야기한다. 유입수를 저장할 만한 용량이 줄어든 호수에서 만약 침전물이 호수를 채워서 오랜기간 또는 심지어는 영구적인 범람이 발생할 수도 있다. 유사하게 매립지나 간척지에서 배수용량 또는 펌핑용량이 초과될 경우 오래 지속된 강우 또는 폭우에 의해 배수로의 범람이 발생하기도 한다. 하천 홍수와 비교 했을 때, 영향을 받은 지역은 비교적 작으나, 피해는 매우 클 수 있고 특히 인구 밀집지역은 더욱 큰 피해를 야기할 수 있다.

### 3. 유역종합지수계획의 중요성

홍수는 여러 가지 원인에 의해 발생한다. 가장 빈번하게 발생하는 원인의 대략 50%정도는 인간이 만든 시설물(인간이 일으킨 홍수)과 관련이 있다. 배수 시스템은 홍수를 막기 위해 개발 되어 왔으나, 때로는 역효과가 발생하여 실제로 상·하류 지역에서 홍수 원인을 더욱 강화 시킬 수도 있다. 홍수로부터 도시 지역을 보호하기 위한 구조물들도 홍수의 위협과 수반되는 잠재적 피해를 증가시키기도 한다. 홍수 발생에서 인위적인 요소를 지닌 영향에 관한 특징은 직접적 또는 간접적 원인 사이에서 발생할 수 있다. 직접적인 원인은 설계조건을 초과한 경우 또는 부적절한 설계, 건설, 유지관리 및 운용 결과에 따른 홍수 방어 구조물의 기능마비와 관련이 있다. 간접적인 원인은 다음과 같은 다양한 부분에서 나타난다.

- 물리적, 공간적 계획과정
- 하천 정비
- 하천의 유역 관리
- 홍수 위험지역의 도시화 및 정착
- 기후 변화

### 3.1 자연적인 원인

지구기후의 변화양상은 지역의 위치 및 특성에 따라 결정된다. 어떠한 정해진 지역에서도 강우가 발생한 시간과 지역은 일정하지 않다. 어느 지역으로 유입되는 물의 양이 하천 시스템의 한계를 초과할 때, 그 결과는 일반적으로 범람으로 나타난다. 장기간의 폭우 후에 포화된 토양은 침투능의 감소로, 강우는 지표면 유출이 되고 빠르게 하천이나 흐름으로 유입된다.

산악지역에서 유출되는 흐름이 평평한 계곡에 들어올 때, 갑자기 경사도와 유속이 감소하여, 이동하던 침전물은 계곡의 벽을 따라서 축적층으로 퇴적된다. 산에서 나오는 지류는 침전물로 인해 막히게 되고, 이러한 침전물과 협잡물들의 방해는 강한 폭우 기간이 지난 뒤에 돌발 홍수가 일어나게 되는 원인이 된다. 흘러 내려오는 토사와 잡물은 자연적인 원인보다 인간의 행동에 따른 결과로 많이 발생된다. 경사의 기울기 및 형태의 변화, 광물의 채취, 자연 식생의 변화 또는 수자원 관리의 변화 등이 산사태의 많은 원인이 되었다. 수중에 크고 단단한 물질이 쌓여 하천이 막히고, 이상강우 후에 제방이 붕괴 되었을 때 침전물이 가득 담긴 물의 흐름은 하천을 완전히 침식시켜버린다. 이러한 제방은 또한 하천의 수위를 상승시키는 원인이 되고, 그 결과로 물의 역류로 인한 홍수가 발생할 수 있다.

일반적으로 역류로 인한 홍수는 격렬한 폭우와 돌발 홍수가 연계되어 발생하는데 그것은 지역적인 배수 시스템은 짧은 시간에 축적된 많은 양의 물을 제대로 처리할 수 없기 때문이다.

### 3.2 인위적인 원인

이것은 모순처럼 보이나 많은 하천 기술자들이 불투수성의 홍수 방어벽을 사용하여 홍수터로 물이 유입되는 것을 막거나, 제방 뒤편에 물이 저류되지 않게 하여 자연 저류량을 줄이고 있다. 이것은 하천공

학의 역효과로 발생되며 홍수의 잠재적 원인은 다음과 같다.

- 설계조건을 초과하거나 많은 피해를 야기하지 않는 범람지역에 부적절한 댐, 저수지, 홍수조절 저수지의 설계
- 하천 정비로 홍수와 전달을 증가시켜 하류지점에 집중적인 문제를 야기
- 과도한 제방과 수로의 건설로 침투유량을 가속시키고, 홍수파를 더욱 크고 빠르게 함
- 제방 설계조건을 초과한 경우, 잘못된 설계와 건설상의 오류, 그리고 부적절한 건축재료 사용
- 홍수방어구조물에 대한 체계적인 관리의 소홀
- 하상 관리 소홀로 인한 위험 지역의 퇴적 또는 침식작용
- 제방이나 방수로 같은 안전장치 운영중 기술적 결함이나 인간의 오류
- 저류지 관리에서 설계조건을 초과한 경우 및 부적절한 운영

#### 4. 통합홍수관리와 유역종합지수계획

홍수를 통제하기 위하여 여러가지 방법이 있을 수 있다. 우선 홍수를 받아들이고 기동설치나 산 등 높은 집을 짓는 것과 같이 삶과 행동에 그것들에 적응하며 살아가는 것이다. 그러던 중 부와 재산의 증가로 대부분의 사회는 하천을 따라 제방과 둑을 건설하여 자기 자신들을 보호하기 시작하였다. 그 결과, 범람된 지역과 사상자의 수가 감소하였다. 예를 들어, 일본에서는 범람된 지역이 1970년과 2001년 사이에 200,000 ha에서 50,000 ha로 감소하였다. 중국에서는 홍수로 인한 사상자수가 1931년 145,000명이던 것이 1954년에는 33,000명으로 감소했고, 1998년에는 마침내 1,320명 되었다. 네덜란드에서는 비록 1995년에 한계 상황에 도달하였지만 라인강으로부터의 마지막 실제 홍수가 1926년에 발생하였다.

이들 기술적 혹은 소위 구조적 조치의 결과로 홍수

발생 빈도가 감소될 수 있으나, 하천 제방간의 유사의 퇴적으로 수위가 점차 상승하게 된다. 지역내에서의 인구가 증가하고 사회투자가 늘면서 홍수에 대해 보다 잘 방어 할 수 있는 유사 퇴적으로 인해 수위가 상승된 지역에 더 높은 제방을 요구하는 악순환을 가져오기 시작한다. 현재, 많은 지점에서 설계홍수위를 지표면보다 10m 높게 둘 수도 있다. 이렇게 함으로써 연간 홍수발생빈도를 1/100 혹은 1/1,000 아니면 1/10,000까지 줄일 수는 있으나, PMF 등 엄청난 규모의 극한홍수가 발생할 경우에는 피해가 만대하게 된다. 도시를 포함하여 한 국가의 주요 중심지역에서의 이러한 홍수는 많은 사상자와 수조원 이상의 피해를 불러와 나라를 폐허로 만들게 될 것이다.

이러한 악순환을 피하기 위해서는 그림 2에서와 같이 통합홍수관리에 의한 유역종합지수대책이 필요하다. 첫 번째 단계는 유역의 수문학적 배경을 통한 홍수원인을 규명하는 것이다. 실제로 홍수는 너무 많은 양의 물이 어떤 시간동안 특정 지점에 있는 상태를 말하므로 상류지점에서 유량에 영향을 주는 조치를 취하게 된다. 많은 나라에서 1) 상류지점에서 물을 보유하도록 산림을 조성하거나 2) 일시적 초과유량을 호수, 저수지 혹은 저류지애다 저장하는 것 3) 홍수터를 낮추거나, 제방의 재배열과 같은 하천 하류지점의 유량 소통능력을 증가시키는 것과 같은 여러 조치들을 조합하게 된다. 이러한 접근은 하천 홍수의 빈도와 크기에 영향을 주게 된다.

이들 기술적 조치의 수행은 공간 계획 및 토지이용 뿐만 아니라 하천 연변에 살거나, 홍수터의 자연적 가치를 이용하거나, 주운 및 경작을 하는 등의 사회경제적 이익에 많은 영향을 주게 된다. 그러므로, 이러한 조치는 되도록이면 도시개발, 자연보호, 수로 혹은 농지개발, 물의 공급과 수력발전과 같은 계획들과 통합되어 진다. 이러한 차원에서 홍수 방어는 통합 물관리의 한 부분이 된다.

홍수방어조치는 정책의 질과 정책을 받아들이는 경우를 증가시켜 홍수의 빈도와 크기를 감소시킬 수 있지만, 홍수량이 설계조건보다 더 클 때 나타나는

피해에 대한 문제를 의미하지는 않는다. 특정 방어 단계를 넘어서서 피해가 발생하거나 이 단계를 유지하기 위해 소요되는 비용은 위험을 대피함으로써 생긴 이익을 넘어서게 될 수도 있다. 더우기, 홍수에 대한 위험이 완화되면 홍수가능지역에 사는 사람들의 홍수에 대한 인식이 줄어들고, 새로운 조치를 수용하는 경우가 줄어들게 된다. 낮아진 인식은 무제한적인

경제개발을 불러 오고, 공공 및 개인 재산에 대한 홍수 피해의 잠재가능성이 증가하게 된다.

홍수를 통제하기 위한 조치에도 불구하고, 홍수는 여전히 피할 수 없는 자연재해로 남아있다. 사상자 및 여러 피해를 가져오는 홍수 위험을 줄이기 위한 행동이 이루어져야 하며, 그러기 위해서는 홍수방어단계로부터 통합홍수관리의 단계로 이동해야 한다. 통합홍수

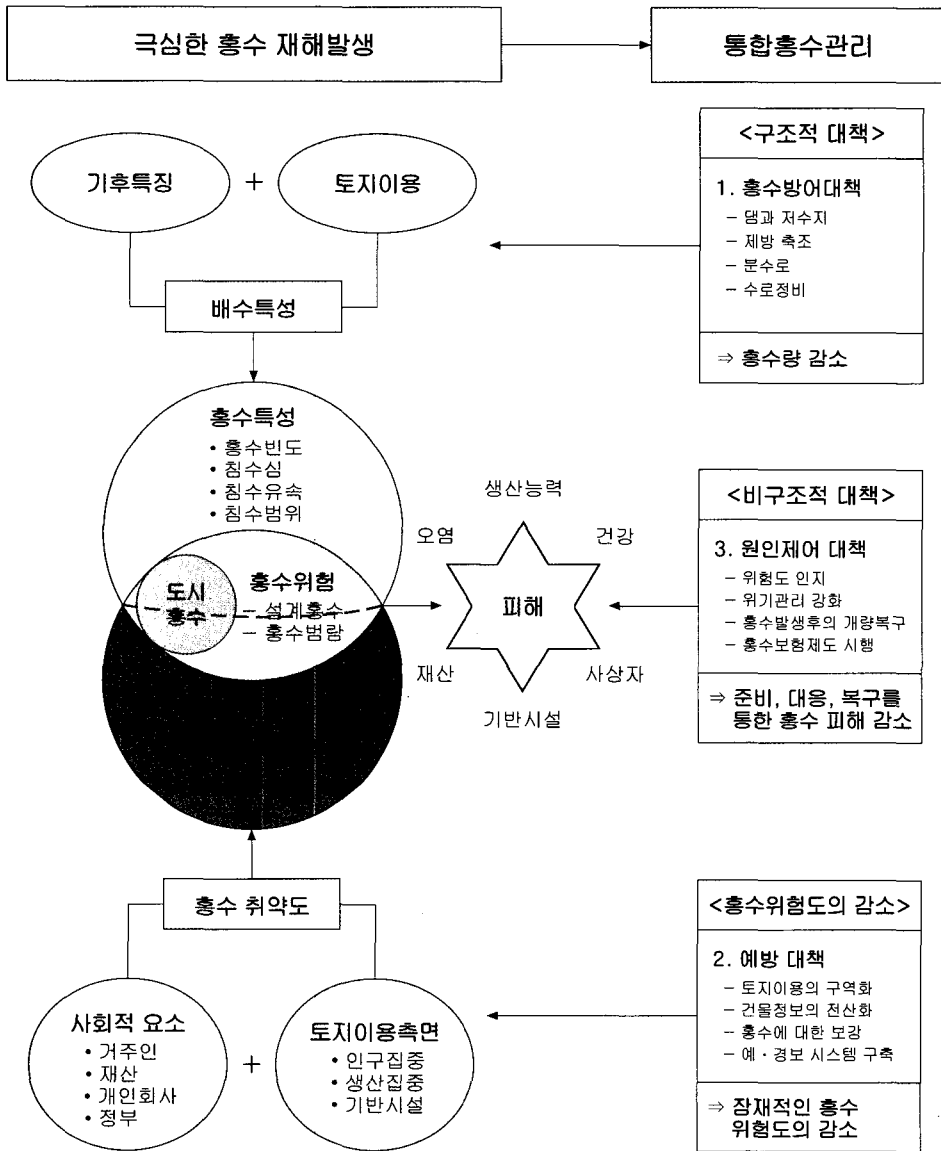


그림 2. 통합홍수관리 시스템의 구조도

관리는 극한 사상에 수행되는 위험관리원칙들과 연계되어야 한다. 이러한 관점으로부터 홍수 빈도와 크기를 줄이기 위한 조치는 극한홍수 발생시의 홍수에 대한 노출과 취약함을 줄이기 위한 조치와 보조를 맞추어야 한다. 이러한 조치들을 계획하기 위해서 홍수 위험관리는 다음과 같은 여러 상황에 따라 구분된다.

- (1) 홍수와 특성의 변형을 통한 홍수 방어 : 수원의 제어, 저류지, 제방건설, 수로확대
- (2) 홍수에 대한 위험도 노출 억제를 통한 피해 방지 : 위험지구에서의 홍수에 안전한 건물 및 통제된 토지이용, 조기 홍수예경보시스템 구축
- (3) 홍수 사상에 대한 준비 : 홍수에 대한 인식강화, 비상계획 수립, 홍수보험제도
- (4) 홍수기간 동안의 대응 강화 및 피해 완화 : 손상된 제방의 복구를 위한 적절한 지역간 협조체제, 구조작업 및 대피 계획 마련
- (5) 홍수 후의 복구 : Life Line 서비스의 복구, 질병 예방, 방어개선여부에 대한 평가, 장래 사상에 대한 준비 및 대응, 친환경적인 복구방안 강구

(1)항은 홍수 빈도와 크기를 감소시키고, (2)항은 홍수사상에 대한 노출을 줄임으로써 잠재적 피해를 줄이는 것이고, (3), (4), (5)항은 홍수 발생시에 피해를 완화시키는 것이다.

## 5. 결론

유역종합치수계획 실행에 필요한 통합홍수관리로의 접근을 위해서는 관계기관과 시민들이 홍수에 대

한 절대적 안전이 존재하지 않고 그들은 홍수 경감을 위해 협력해야 한다는 사실을 받아들여야 한다. 이 경우 중요한 것은 정부, 관계기관, 시민 및 관련 기관들은 오랫동안 홍수가 발생하지 않는 기간에도 기존의 홍수 위험에 대한 인식을 유지해야 하며, 또한 미래에 있을 수 있는 극한홍수에 대해 효율적인 장기간의 정책들을 개발하여야 하는데 이 경우 고려되어야 할 중요사항은 다음과 같다.

- (1) 각 홍수 방어조치들의 기능의 효율성은 장기간 동안 지역별로 평가되어야 한다. 즉, 경우에 따라서는 유지관리의 우선순위를 바꿈으로써 상황이 악화될 수도 있고, 저류 기능이 토지이용의 변화에 의해 장애를 받을 수도 있는 것을 고려해야 한다. 만약 적절한 홍수 방어를 보장할 수 없다면, 준비와 대응을 높이기 위한 조치에 보다 많은 노력을 기울여야 한다.
- (2) 홍수방어를 담당하는 관계기관은 낮은 행정 순위에 따른 예산 제한으로 인해 때로는 필요한 유지관리를 이행하거나 조치를 수행하는데 있어서 어려움을 겪는다. 그렇지만, 홍수재난이 발생했을 때 수행해야할 준비된 계획을 가지고 있어야 하며, 그렇게 함으로써 어떤 정치사회적인 요구와 함께 정책이 기꺼이 마련될 수 있어야 하겠다.
- (3) 정부는 재정계획 시나리오와 경제 성장율에서 홍수재난의 영향을 포함해야 하며, 홍수에 대한 부적절한 조치들은 거대한 경제적 사회적 충격을 불러온다는 것을 인지하고 유역종합치수계획 수립시 통합홍수관리시스템을 도입하여야 하겠다.