

# 수계내 홍수저감시설들의 홍수량 분담을 통한 홍수관리



강 민 구 |

서울대학교 농업생명과학연구원 선임연구원  
kmg901@hanmail.net

## 1. 서론

최근 세계적으로 도시화와 온실효과나 엘니뇨와 같은 기후변화에 의해서 홍수의 발생 횟수와 크기가 증가하고 있다(이재응 등, 2001). 우리나라는 강우의 2/3 이상이 여름철에 집중하고, 하천경사가 급하여 빈번한 홍수가 발생하며 많은 피해가 발생하고 있다. 2002년에 발생한 태풍 루사(Rusa), 2003년에 발생한 매미(Maemi)에 의한 피해가 그 예라고 할 수 있다(Chun, 2004). 또한, 이상기후에 의해 돌발적인 홍수가 발생하고 있으며, 이로 인하여 국지적 홍수 피해가 발생하고 있다.

우리나라의 국토면적 중에서 산지와 농경지의 비율은 1970년에 비해 2000년에 6.8%가 감소하였으며, 이들은 주거지, 도로와 공장부지 등으로 이용되고 있다. 이러한 도시개발로 인하여 유역의 불투수 면적이 증가하여 우수의 침투가 감소함에 따라 폭우시 홍수 발생 위험이 높아지고 있다. 최근에는 이상기후에 의해 홍수가 빈번하게 발생하고 하천 주변의 고도 이용에 따라 홍수 피해액이 증가하는 경향을 보이고 있다. 이러한 홍수 피해를 경감시키기 위해서 기존의 하천에 의존하는 선(Line)적인 개념의 홍수 방어는 하천 통수능력의 부족으로 인해 면(Area)적인 홍수 방어개념으로 전환되고 있다(건설

교통부, 2004).

홍수량을 저감시키는 방법에는 유역 내에서 유출되는 홍수량을 저감시키는 방법(On-site)과 유역 외에 별도의 시설을 설치하여 홍수량을 저감시키는 방법(Off-site)이 있다. 유역 내에서 홍수량을 저감시키는 방법에는 건물 간 저류, 주차장 저류, 공원 저류, 지붕 저류 등과 같은 방법이 있다. 최근 단지 설계에 LID(Low Impact Development) 개념이 적용되고 있으며, 유역 내에 별도의 완화시설을 설치하지 않고 홍수량을 저감시키는 기법들이 적용되고 있다(Puget sound action team, 2005). 유역 외에서 홍수량을 저감하는 방법은 별도의 시설물을 설치하여 홍수량을 저감시키는 방법이다. 이러한 시설물에는 상류에 위치한 다목적댐, 홍수조절지, 홍수저류지, 천변저류지와 방수로 등이 있다. 이와 같은 구조적인 방법 이외에도 홍수 예·경보 시스템이나 홍수지도를 이용하여 홍수피해를 저감시키는 방법들이 있다(김우구, 2005; 강민구와 고덕구, 2005; 강민구 등, 2004).

홍수조절 효과를 극대화시키기 위해서 유역 및 수계 내의 수자원 시설물들의 연계운동을 고려할 수 있다. 최근 한강과 낙동강 수계에서는 수계 내 댐들의 연계운동을 통해서 하류 하천의 홍수위를 저하시키는 효과를 얻은 바가 있다(건설교통부와 한국수자원공사, 2005). 또한, 임진강 수계의 치수대책 중의 하나로 군남홍수조절지, 천변저류지, 한탄강댐을 조합하여 운영하는 방안이 수립되었다. 홍수저감효과를 증대시키기 위해서는 홍수조절시설물들의 시설용량, 현재와 미래 상황을 고려하여 연계운영할 필요가 있다. 따라서 본고에서는 국내·외에서 적용되고 있는 홍수저감 시설물에 대하여 고찰해보고, 이들을 연계운영

하는 방안에 대하여 논하였다.

## 2. 홍수저감 시설

### 2.1 유역내 저류

유역이 도시화되면 불투수면이 증가하여 홍수량이 증가하게 된다. 이를 고려하여 하천관리를 하지 않으면 유출량이 하천의 통수능력을 초과하여 하류 지역에 홍수피해를 일으킬 수 있다. 따라서 상류유역의 도시화와 하천의 통수능력 개선은 병행되어야 한다.

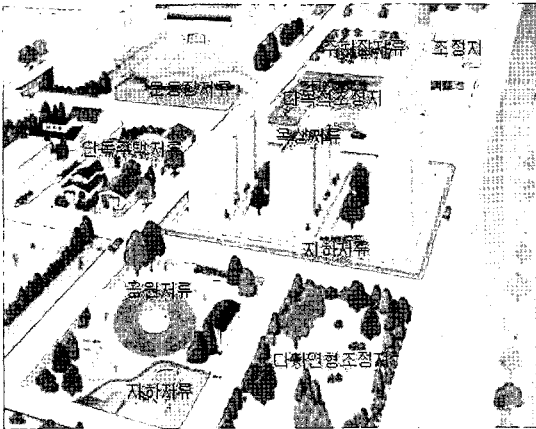


그림 1. 유역 내 저류 시설



그림 2. 투수성 포장재를 사용한 주차장

그러나 하천에만 의존하는 것에서 벗어나 유역 내에서 도시화에 따라 증가된 유량을 저감할 수 있는 방안을 강구해야 한다. 최근에는 개발에 따른 영향을 저감시켜 홍수를 관리하는 LID 전략이 적용되고 있다. 그림 1은 LID 전략에 포함되는 유역 내의 저류시설을 나타낸 것이다. 그림 1에서와 같이 유역 내 저류로는 건물 간 저류, 옥상 저류, 운동장 저류, 공원 저류, 주차장 저류 등이 있다. 그림 2는 유역 내의 저류시설 중의 하나인 투수성재료를 사용한 주차장을 나타낸 것이다. 이와 같이 유역 내 저류는 별도의 홍수저감 시설물을 설치하지 않고 홍수를 저감하는 방법이다.

### 2.2 홍수조절지

홍수조절지는 하류의 홍수조절 능력을 확보하기 위하여 홍수시 상류로부터 유입하는 홍수량을 조절하기 위해 설치하는 홍수저감 시설이다. 홍수조절지는 홍수기에 홍수조절을 하며 갈수기에는 저류되었던 수량을 방류하여 하류의 유황을 개선하도록 운영된다. 그림 3은 임진강 본류에 건설 계획 중인 군남 홍수조절지의 조감도이다. 군남 홍수조절지의 유역면적은 임진강 유역면적의 56.6 %인 4,191 km<sup>2</sup>으로 홍수조절 용량은 70.6 백만 m<sup>3</sup>이다. 군남 홍수조절지는 임진강 본류의 홍수조절능력을 확충하고 북한의 댐운영에 따른 불규칙한 유황을 개선하는 것을 목적으로 하고 있다. 그림 4는 일본의 와타라세 홍수조절지의 평면도이다. 이 조절지는 그림 4와 같이 3개의 조절지로 구성되어 있으며, 와타라세가와강, 유주마가와강, 시가와강의 홍수량 9,400 m<sup>3</sup>/s를 조절하는 역할을 하고 있다. 이 홍수조절지는 홍수조절뿐만 아니라 관개용수와 생활용수를 공급하며, 친수활동과 습지 제공하고 있다. 와타라세 홍수조절지는 3개의 조절지로 구성되어 있으며, 그림 5와 같은 월류제를 통하여 홍수가 조절지내로 유입된다.

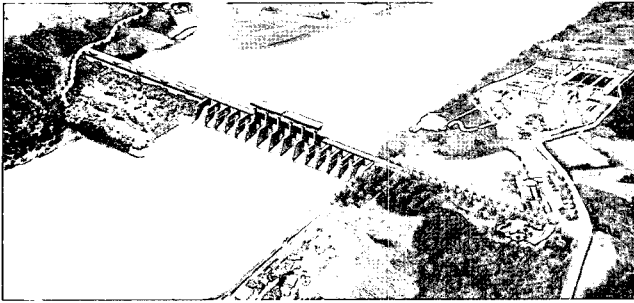


그림 3. 군남 홍수조절지 조감도



그림 5. 제 1 조절지의 월류제

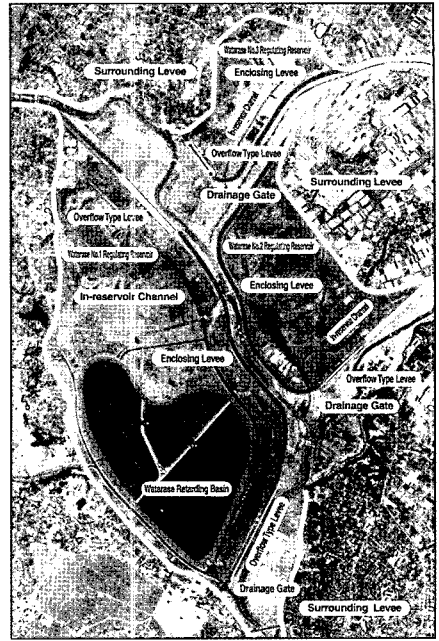


그림 4. 와타라세 홍수조절지 평면도

### 2.3 방수로

방수로는 홍수량을 유역의 하천에서 배제할 수 없을 경우에 다른 유역의 하천이나 해안/호소로 방류하는 시설이다. 방수로는 그림 6과 같이 방류장소에 따라 3가지로 구분할 수 있다. 본 유역 방류는 하천에 우회수로를 만들어 홍수량을 저류하고 침투홍수를 지체시킨 후에 다시 본 유역에 방류하는 방식이다. 타하천 방류는 자체 유역의 홍수량을 유출량이 작은 유역

의 하천으로 방류하는 방식이다. 해역 또는 호소 방류는 유역의 홍수량을 방수로로 통해 해안이나 인접한 호소로 방류하는 방식이다(김창완과 이동섭, 2005). 국내에서도 방수로를 사용하여 홍수량을 배제하는 시설을 도입하고 있다. 한강의 지류인 굴포천은 그림 7과 같이 유역의 표고가 낮아 상습적인 홍수피해를 받아 왔다. 이를 해결하기 위하여 그림 8과 같은 방수로를 건설하여 서해로 홍수량을 배제하고 있다.

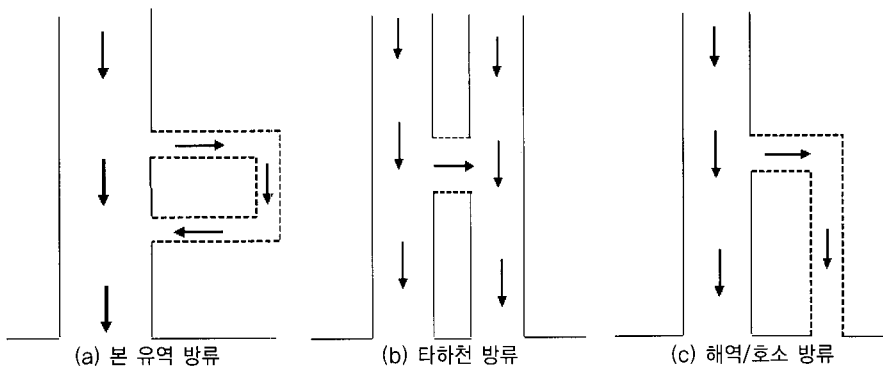


그림 6. 방류 장소에 따른 방수로의 분류

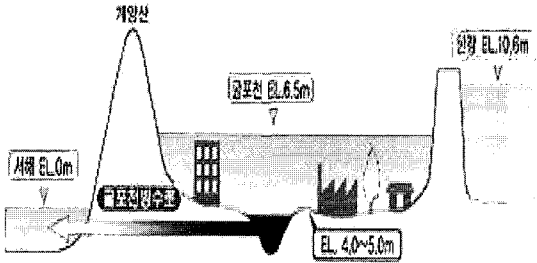


그림 7. 굴포천 홍수피해 원인



그림 8. 굴포천 방수로

## 2.4 지하방수로

지하방수로는 유역이 도시화됨에 따라 증가한 홍수량을 지하에 설치한 수로를 통해 배제하는 시설물이다. 유역이 도시화되면 홍수조절 시설물을 설치하기 위한 토지이용이 어렵기 때문에 지하방수로를 계획하고 운영하고 있다. 일본의 간다강(神田川) 지하방수로는 시즈구시를 관류하는 지하방수로이다. 유역이 도시화로 도시의 대부분이 불투수층으로 변화하고, 간다강은 개수가 완료되어 더 이상의 하천개수는 치수대책이 곤란한 상황이어서 1988년부터 1999

년 사이에 그림 9와 같은 지하방수로를 건설하였다. 이 밖에도 그림 10과 같은 네야강(寢屋川) 방수로와 오오즈(大津) 방수로 등이 건설되어 있거나 건설 중에 있다. 미국의 시카고에는 그림 11과 그림 12와 같이 지하 40 m에 지하터널을 굴착하고 이를 저류시설과 연결하여 홍수조절을 하는 TARP(Tunnel and Reservoir Plan)을 운영하고 있다(박창근과 박재현, 2001). 우리나라에서는 홍수조절을 위해 지하방수로를 사용하고 있지는 않으나, 안양천 유역 종합치수계획의 일환으로 도림천의 홍수를 한강으로 배제하는 지하방수로 개념의 시설물이 계획 중에 있다.

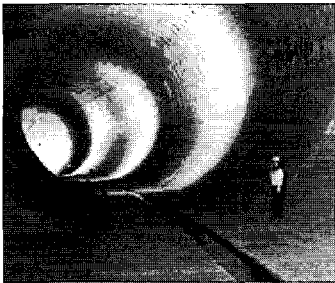


그림 9. 간다강(神田川) 지하방수로

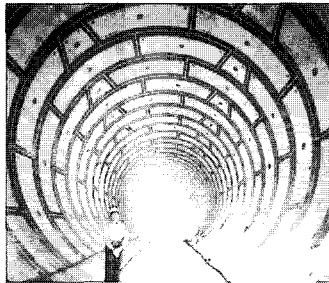


그림 10. 네야강(寢屋川) 지하방수로



그림 12. TARP의 터널

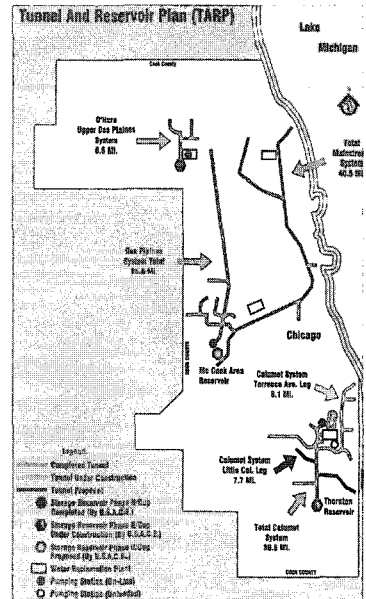


그림 11. 시카고의 TARP 모식도



### 3. 홍수저감 시설들의 연계운영

수자원 시설물의 연계운영은 수계 내에 있는 시설물들의 용량, 현재 및 미래 상황을 고려하면서 운영 효과를 높이는 것이다. 최근 적용되고 있는 수자원 시설물의 연계운영에 의한 홍수조절은 다목적댐들을 통합운영하여 하류의 홍수피해를 저감시키는 것이다. 수계 내에 있는 댐들을 연계 운영하여 홍수조절 효과를 얻은 사례는 1998년부터 2003년 까지 대형 태풍과 폭우에 의한 홍수 피해를 저감시킨 것에서 찾을 수 있다. 2003년에 한반도를 통과한 태풍 매미는 4조 2,225 억 원의 가장 큰 피해를 가져왔다. 이 태풍에 의한 홍수피해를 한강 수계에서는 소양강댐과 충주댐을 연계 운영하여 저감시켰다. 두 댐의 연계 운영에 의한 구체적인 효과는 인도교 지점의 수위를 1.90 m 하강시켰다는 것이다. 이 기간 동안에 낙동강 수계에서는 수계 내에 위치한 댐들을 연계 운영하여 진동지점의 수위를 4.60 m 하강시키는 효과를 얻었다. 한강 수계에서 소양강댐과 충주댐을 연계 운영하여 홍수조절 효과를 얻은 다른 사례로는 2002년 태풍 루사에 의한 홍수가 발생했을 때, 1999년 5호 태풍 닐과 7호 태풍 올가에 의한 홍수가 발생했을 때, 1998년 게릴라성 폭우에 의해 홍수가 발생했을 때, 인도교의 수위를 각각 3.70 m, 1.84 m, 2.60 m 하강시킨 바가 있다. 이러한 홍수조절 효과를 얻기 위하여 1999년부터 한강 수계에서는 홍수기에 수계 내에 있는 댐들을 통합운영하고 있다(건설교통부, 한국수자원공사, 2005).

그림 17은 수계 내에 설치가 가능한 홍수저감시설물들을 나타낸 것이다. 수계의 상류에는 대용량의 다목적댐이나 홍수조절용댐에 의해서 홍수가 조절된다. 유역에서는 유역내 저류시설이나 홍수저류지는 도시화됨에 따라 늘어나는 홍수량을 저감시킨다. 홍수조절지는 하천의 하류에 위치하여 홍수량을 조절하여 본류 구간에서 방류하여 본류의 통수능력과 하류 수자원시설물의 운영의 효율성을 도모한다. 천변저류지는 하천의 홍수 중 일부를 일시 저류하여 방류함으로써

하천의 홍수량을 저감시킨다. 담수호는 외해의 침입을 방지하고 홍수량을 담수호에 저류하여 외수위가 내수위 보다 낮을 때 방류하여 홍수조절을 하게 된다. 방수로는 하천의 홍수량이 증가하여 하천이나 하류의 담수호에서 처리가 어려운 경우에 홍수량을 외해로 방류하여 홍수량을 저감시킨다(강민구 등, 2005). 이와 같이 수계 내에 있는 홍수저감시설물들은 각각의 역할이 있으며, 용량이 제한되어 있다. 그러나 이들 시설물들을 연계운영하면 댐군의 연계운영과 같이 상승이득(Synergistic Gain)을 얻을 수 있다. 이는 수계 내에 있는 홍수조절시설물들은 하천에 의해서 연결되어 있어 상호 운영에 영향을 미치기 때문이다. 따라서 수계 내에서 홍수피해를 저감시키기 위해서는 이들 시설물들의 상황을 고려하면서 연계운영할 필요가 있다.

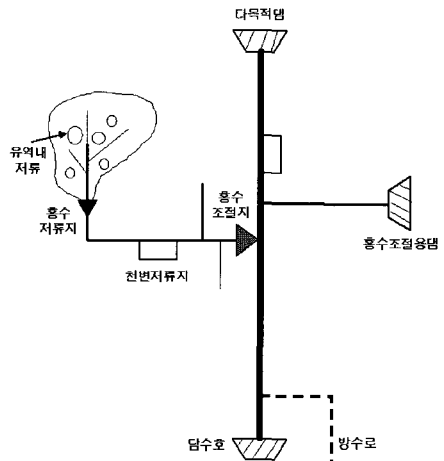


그림 17. 수계 내 홍수조절 시설의 연계운영

### 4. 요약 및 결론

최근 기상이변과 집중호우에 의한 강우량 증가와 하천 주변 용지의 고도 이용에 따라 홍수가 발생할 경우 피해액이 증가하고 있으나, 댐건설에 대한 부정적인 시각 때문에 댐건설을 통한 유역의 홍수피해 저감을 기대하기 어려운 실정이다. 또한, 치수 정책은

과거 유역의 홍수량 배제를 하천의 통수능에 의존하는 선개념에서 유역과 유역 내 수자원시설물들에 대하여 적절한 홍수량을 할당하여 침투유량과 유출시간을 조절하는 면개념으로 전환되고 있다. 그리고 도시확장이나 신규 도시개발에 의하여 불투수면적이 증가함에 따라 홍수유출량이 증가하고 하류 하천에서 부담해야할 유량이 증가하므로 기존 하천의 통수능을 고려하여 상류의 유출량을 조절할 필요가 있다. 이러한 이유 때문에 새로운 홍수조절 시설물들의 도입의 필요성이 제기되고 있으며, 국내에서 홍수량 분담을 위해 적용이 되고 있다. 최근 국내의 치수정책은 과거 댐과 하천에만 의존하는 홍수조절에서 유역이나 수계 전체에서 홍수량을 분담하여 홍수피해를 감소하는 방향으로 전환되고 있다. 그러나 이들 홍수조절시설물들의 운영에 관련된 연구는 미흡한 실정이며, 체계적인 연구가 요구되고 있다. 또한, 수계에서 이들의 운영효과를 향상시키기 위해서는 수계의 홍수조절 시설물들을 연계운영하여 홍수 피해를 저감시키는 방안의 수립이 필요하다고 사료된다.

### 참고문헌

1. 강민구, 박승우, 강문성, 2006. 담수호 홍수관리를 위한 상류 유입량 실시간 예측, 한국수자원학회 논문집, 제 38권 제 12호, pp. 1061-1072.
2. 강민구, 고덕구, 2005. 실시간 유입 홍수량 예측을 통한 홍수 피해 저감, 한국수자원학회지, 제 38권 제 6권, pp. 56-62.
3. 강민구, 박승우, 고익환, 나유진, 2004. Grey 시스템 이론과 전역최적화기법을 이용한 실시간 홍수량 예측, 대한토목학회 정기 학술발표회 논문집.
4. 건설교통부, 한국수자원공사, 2005. 물과 미래.
5. 건설교통부, 2004. 치수사업개선방안.
6. 김우구, 2005. 홍수에 강한 국토관리를 위한 홍수지도의 역할, 대한토목학회지, 제 35권, 제 5호, pp. 101-106.
7. 김창완, 이동섭, 2005. 도시지역의 홍수피해 경감을 위한 방수로의 필요성, 대한토목학회지, 제 53권 제 9호, pp. 43-49.
8. 박창근, 박재현, 2001. 효율적 수자원관리를 위한 TARP(Tunnel and Reservoir Plan)의 국내적용에 관한 검토, 한국수자원학회지, 제 34권 제 2호, pp. 57-63.
9. 이재웅, 정재욱, 윤세의, 2001. 영산강 유역의 홍수피해 분석, 대한토목학회 정기 학술발표회 논문집.
10. 한국수자원공사, 2005. 홍수조절지 개발 및 운영 사례 조사 -국외사례를 중심으로.
11. Chun B. H., 2004. Evaluation of disaster risk of storms and measures to present them, International symposium on living with risk: Dealing with typhoon-related disaster as part of integrated water resources management, pp. 10-23.
12. Puget sound action team, 2005, Low impact development: Technical guidance manual for Puget Sound. 