

이상홍수에 대비한 수피제방 활용 방안



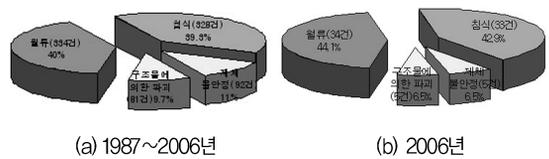
윤 광 석
한국건설기술연구원 수자원 환경연구본부
하천·해안항만연구실 책임연구원
ksyoon@kict.re.kr

1. 서론

최근 이상기후로 인한 홍수피해가 급증하고 있으며, 이에 대한 홍수피해 영향 및 대책 수립이 절실한 실정이다. 2006년 7월에 전국적으로 발생한 홍수가 대표적인 예이며, 월류에 의해 하천제방 붕괴되면서 제내지가 침수되는 피해를 입었다. 거의 매년 반복되는 제방붕괴의 원인 중 대부분이 월류 및 침식에 의해서 발생하고 최근에는 월류에 의한 제방붕괴 피해가 증가하는 추세이다(그림 1 참조). 월류에 의한 제방붕괴는 계획홍수량을 초과하는 홍수에 의해 발생하므로, 수위가 높은 상태에서 제방이 붕괴됨에 따라 침식, 구조물에 의한 파괴, 제체불안정 등에 의한 피해보다 그 위험성이 크다. 따라서, 계획홍수량을 초과하는 이상홍수에 대한 대책의 마련이 시급하며, 도입을 위한 기술적·정책적 준비가 필요하다.

전체 제방붕괴유형 분포
(총 조사 건수: 685건, 기간: 1987~2006)

2006년 홍수에 의한 제방붕괴유형 분포
(총 조사 건수: 77건)



(a) 1987~2006년 (b) 2006년

〈그림 1〉 제방붕괴 원인 분석

2. 이상홍수 대응을 위한 구조물적 대책

2006년에 수립된 수자원장기종합계획에서는 치수계획의 추진전략으로 구조물적 대책의 다양화 및 활성화를 포함하여 선택적 방어 개념의 도입, 유역중심의 치수대책 수립 등을 제시하고 있다. 지금까지 우리나라의 홍수대책이 제방 위주의 선적 대응이었다면, 이상홍수 대처 능력을 보강하기 위해 기존 다목적댐의 이상홍수 대처 능력을 보강

하고, 농업용수 공급을 주목적으로 하는 농업용 저수지를 홍수조절 목적으로 활용함과 동시에 구조물적 대책을 다양화하는 치수정책을 제안하고 있으며, 이중 구조물적 대책은 강변저류지, 지하하천, 방수로, 홍수저류공간 확보 등과 같은 유역종합적 대응 방법을 제시하고 있다. 선택적 방어는 제내지의 특성에 따른 중요도를 변경하여 하천변의 보호 수준을 차별화하는 개념이며, 하천변 침수가능 지역에 대한 경제적 분석을 통해 치수단위구역별로 중요도 특성을 계량적 치수경제성 분석 방법을 활용하여 치수사업 투자비용 효과 분석을 실시하도록 하고 있다. 이와 같이 기후변화에 의한 이상홍수에 대응하기 위한 전략은 치수경제성에 기반한 선택과 집종의 원칙을 기초로 수립되었다.

제방 위주의 홍수대책을 탈피하기 위해서 수자원장기종합계획(2006, 건설교통부)에서는 표 1과 같이 여러 가지 구조물적, 비구조물적 대책을 제시하고 있다. 홍수대책의 다양화를 위해서는 강변저류지, 홍수조절지, 방수로, 지하하천 등 지역의 특성에 적합한 고유의 홍수대책 개발이 필요하고, 제방이 불가피한 지역이라면 제방의 형태를 특정지역만 보호하는 윤중제, 홍수규모에 따라 차별적으로 방어하는 이선제, 월류가 되더라도 붕괴되지 않는 월류 대응제방 등 제방의 다양화도 고려할 수 있도록 하고 있다. 또한 제방을 이용하여 하도에만 부담시키던 홍수량을 유역전반에 고르게 분산시킬 수 있는 홍수량 부담정책에 대해서도 기술하고 있으며, 도시 지역의 경우 불투수 지역을 줄일 수 있는 대책과 운동장, 공원, 소규모 저류지 등을 이용한 홍수저류 공간의 확보 대책도 언급되어 있다. 이러한 대책들은 하도의 집중된 홍수대책을 면적으로 확장시킴으로써, 하도의 홍수 부담을 줄이고 위험성도 감소시키는 방안이 될 수 있으리라 본다.

구조물적 대책중에서 수퍼제방은 월류에 대한 제방의 안정성을 확보하고 부가적으로 부지 조성을 통한 부지활용성을 높인다는 점 때문에 이상홍수에 대응 가능한 적절한 방법중에 하나로 고려되고 있다..

(표-1) 구조물적 비구조물적 치수대책(수자원장기종합 계획 2006)

구분	형태	세부내용
구조물적 대책	홍수흐름 조절	제방, 방수로, 지하하천
	홍수흐름 저류	댐, 저류지
	제방 개선	수퍼제방, 월류대응제방
	월류흐름 조절	이선제, 방수림
	월류흐름 유도	유도하천, 하도망, 펌프장/수문
	부분 보호	윤중제, 방수대책
	유출 억제	산림보존, 저류시설, 침투시설
비구조물적 대책	토지이용 규제	토지이용 규제, 영구 이주
	재해예보	홍수예보, 홍수모의, 위험지도
	비상대책	홍수대응, 홍수대피, 홍수복구
	피해 구제	홍수보험

3. 수퍼제방 개요

홍수에 의한 피해가 크고, 통상 규모의 제방이 설치되어 있는 지역에서는 월류에 의한 홍수방어에 있어서 항상 불안요소를 가지고 있다. 또한, 제내지 표고가 홍수위보다 낮은 지역은, 제방이 붕괴된 경우에 내수피해가 장기화될 수도 있다. 이에 대한 대응 방법으로 제방을 거대화하고 하천을 굴입하도와 같은 조건으로 함으로써, 제방 위에도 도시 시설을 건설한 제방을 수퍼제방(고규격 제방) 또는 다목적 대형 제방이라 한다. 이와 같은 제방은 19세기 중기에 독일의 Bremen시를 관류하는 Weser강의 Osterdeich에 최초로 적용되었다. 일본에서는 1988년부터 수퍼제방이 건설되었는데, 도시부에서의 계획홍수위를 상회하는 초과확률홍수에 대한 대책의 일환으로 시작되었다.

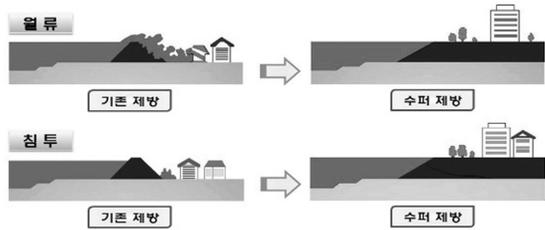
일본에서는 메이지(明治) 시대에 이르러서 최초의 하천법이 1896(메이지29)년에 제정되었으며, 국토보존에 관한 최초의 치수법으로 요도강, 도네강, 기소강, 지쿠고강 등의 치수공사를 국고로 부담하기 위해 제정된 법률이었다. 고규격 제방과 관련된 조항이 일본 하천법에 포함된 것은 1991년이며, 고규격 제방 특별구역제도에 관한 조항이다.

일본에서 사용하는 수퍼제방의 정식 명칭은 고규격 제방이며, 일반 제방에 비해 제체단면이 크다. 제내지측으로 제방 높이의 약 30배의 폭을 가진 제방부지로 되어 있

고, 홍수가 제방을 월류한다고 해도 제방붕괴가 쉽게 발생하지 않는 구조로 되어 있다. 뒷비탈경사 1:30은 월류심 15cm 정도의 월류수에 의해서도 세굴과괴가 발생하지 않는다는 연구결과에 따르고 있다. 산지부에서 평지부로 나오는 출구, 큰 지류의 합류부 등의 구간에서는 월류심이 클 수도 있으나, 이런 구간을 제외하면 월류심은 15cm 정도로 본다. 또한, 제방단면이 크기 때문에 월류에 강할 뿐만 아니라 침투피해도 방지할 수 있으므로 제방부지를 주택과 공원으로 이용하거나 토지 구획정리사업을 통해 활용도를 높일 수 있다. 수퍼제방의 정비대상 하천은 배후지에 인구, 자산이 고밀도로 집적된 대도시를 관류하는 도네강, 에도강, 아라강, 다마강, 요도강, 야마토강의 5수계 6 하천으로, 1985년에 특정지역 고규격 제방 정비사업(보조사업)이 시작되었고, 1987년부터 특정지역 고규격 제방 정비사업(직할사업)이 시작되었다. 1988년부터 시작된 오사카후 히라카타시 데구치 구역의 수퍼제방 성토가 완성된 것이 일본에서는 최초의 수퍼제방이다.

수퍼제방은 그림 2에 보인 바와 같이 제방 월류와 침투에 대한 안정성 확보를 주목적으로 한다. 부가적으로 그림 3과 같이 수퍼제방 성토부를 다용도로 활용하여 부지의 활용도를 높이는 효과도 기대할 수 있으며, 수퍼제방의 조성효과를 정리하면 다음과 같다.

- 치수안전도 향상
- 택지, 산업, 관광용지 등 공급
- 건설 잔토 대책
- 사회·경제적 효율이 높은 사업
- 토지 이용의 고도화
- 윤택하고 풍요로운 수변환경 조성
- 방재공간의 확보
- 하천연안 주민의 공감대 형성 용이
- 수해에 강한 지반의 형성



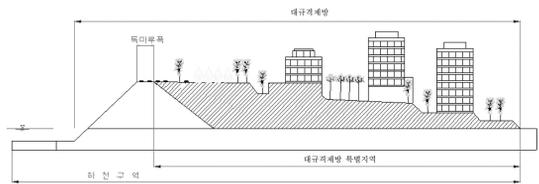
<그림 2> 수퍼제방의 안정성 향상 효과



<그림 3> 수퍼제방 부지의 활용 개념도

4. 이상홍수 대응을 위한 수퍼제방의 국내 도입 방안

국내에 수퍼제방과 관련된 기준은 <하천설계기준·해설(2005)>에 대규모 제방으로 소개되어 있다. 주로 도시권 하천의 특정 구간에서 폭이 넓은 특별한 제방으로 정의하고 있으며, 계획홍수량을 넘는 홍수규모에 대해서도 제방이 붕괴되지 않도록 월류, 침투, 사면붕괴, 세굴과괴 등 수리공학적인 모든 검토사항들과 지진에 대해서 안전하도록 하고 있다. 또한, 제내측 비탈경사는 1/30 이내로 한다는 일본의 일반적 형태에 대해서 제시하고 있으며, 그림 4에 보인 바와 같이 제내지측 비탈머리부터 수퍼제방의 경사가 끝나는 구간을 대규모제방 특별지역으로 규정하고 있다.



<그림 4> 대규모제방의 형태(하천설계기준·해설, 2005)

하천설계기준·해설(2005)에서는 수퍼제방 설계에 대한 구체적인 내용이 제시되어 있지 않아 실제 부지를 조성

할 때는 일본의 고규격 제방에 관한 기준을 준용하되 우리나라 실정에 맞추어 그 기능과 목적이 유지되도록 하는 것이 중요하며, 설계시 주요 고려사항을 정리하면 다음과 같다.

(1) 비탈경사

수퍼제방은 기존 제방의 뒷비탈머리부터 성토하여 1:30 이하의 경사가 되도록 한다. 전술한 바와 같이 뒷비탈경사 1:30은 월류에 대응하기 위한 최소 경사로 보는 것이 타당하다. 즉, 월류발생시 뒷비탈이 흐름에 의해 세굴되어서는 않된다는 공학적 조건을 만족시켜야 한다. 제방 폭을 넓힌다고 해도 월류에 대한 세굴 저항 기능이 없다면 수퍼제방이라 할 수 없다는 것을 의미한다. 만약, 수퍼제방의 뒷비탈경사가 1:30보다 급한 경우에는 월류에 의한 세굴가능성에 대해서 충분히 검토하고, 안정성을 확보하도록 하는 것이 바람직하다.

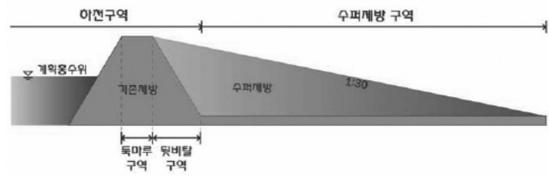
(2) 수퍼제방 구역

현행 하천법(2008. 4)에서는 완성제방이 있는 곳은 그 완성제방의 부지 및 그 완성제방으로부터 하심측(河心側)의 토지로 정하고 있다. 즉, 완성제방이 있는 경우에는 통상적으로 양안의 뒷비탈기슭을 하천구역으로 볼 수 있다. 이와는 달리 일본에서는 뒷비탈머리부터 수퍼제방 성토부를 고규격제방특별구역으로 정의하고 있다(그림 4 참조). 일본의 하천관리시설등구조령(1999)에 따르면 고규격제방특별구역을 규정하고 있는 이유는 고규격제방 특별구역의 토지가 어떠한 이용 상황이 되더라도 충분한 기능이 발휘되는 구조이어야 하기 때문에 장래 예상되는 토지 이용과는 별도로 제방 봉고에 있어서 가장 엄격한 토지 이용을 상정하여 설계하기 위한 공학적 구역으로 볼 수 있다. 따라서, 조성된 부지의 활용상태나 활용주체에 관계없이 제방의 안정성을 확보하기 위해 구분해 놓은 구역이므로 이러한 취지를 고려하여 수퍼제방의 구역을 우리나라의 실정에 맞게 구분할 필요가 있다. 우리나라의 경우, 제방의 안정성을 확보하기 위해 하천구역으로 정하고 있

는 구간이 제방 뒷비탈기슭까지이므로 수퍼제방을 조성할 때도 법정 구역을 준수하여 제방의 안정성을 확보하는 것이 바람직하다. 수퍼제방 및 하천구역에 대한 기본 구상은 다음과 같이 정리할 수 있으며, 구역 구분 개념은 그림 5와 같다.

- 하천구역 : 하천법에서의 정의에 따라 기존 제방의 뒷비탈기슭까지 구간
- 수퍼제방 구역 : 뒷비탈기슭부터 성토가 끝나는 구역까지로 함
- 뒷비탈 구역 : 뒷비탈머리부터 뒷비탈기슭까지의 하천구역으로, 제방의 안정성이 침해되지 않는 범위에서 타용도 활용 가능
- 독마루 구역 : 기존제방의 독마루에 해당하는 구간으로 하천 유지관리, 긴급 방재 등을 위하여 타용도 활용이 엄격히 제한되는 구역

수퍼제방 구역은 월류에 대한 안정성을 확보할 수 있는 경사로 조성하여 부지를 활용하되, 뒷비탈 구역에서는 구조물 기초나 식재의 뿌리가 기존 제방의 제체에 닿지 않도록 설계하여 제체 안정성을 저해되지 않도록 하는 것이 중요하다.



◁ 그림 5 ▷ 수퍼제방의 구조 및 구역 구분

(3) 성토재료

수퍼제방 조성시 성토재료는 제방 구간(뒷비탈기슭~앞비탈기슭)까지는 하천설계기준·해설(2005)에 규정되어 있는 기준에 따른다. 그 외 하천구역 외부 구간(수퍼제방 구역)은 부지의 활용목적에 따라 성토재료 결정할 수 있으며, 안정성이 저해되지 않는 범위 내에서 하상토의 사용도 가능할 것으로 판단된다.

(4) 다짐 기준

그림 5에서 제방 구간(뒷비탈기슭~앞비탈기슭)은 완성 제방의 본 기능을 충족시킬 수 있도록 하천설계기준·해설(2005)에 규정되어 있는 상대다짐도 90%를 적용하여야 할 것이고, 부가적인 안정성이 확보된 수퍼제방 구역은 상대다짐도가 85% 이상으로 규정하여 최소 다짐도를 유지할 수 있도록 하는 것이 부지 활용 측면에서 합리적일 것으로 판단된다.

(5) 상재하중

상재하중은 성토구역에 축조되는 구조물 등의 하중으로서, 수퍼제방 구역의 활용방법에 상재하중을 정한다. 상재하중은 수퍼제방 부지의 어떻게 활용하느냐에 따라 달라지므로 해당 기준에 따르되, 안정성에 문제가 없도록 검토할 필요가 있다.

(6) 허용침하량

허용침하량은 수퍼제방 완성후에 발생하는 침하량이며, 수퍼제방 특별구역의 허용잔류 침하량은 20cm 이하로 규정하는 일본 기준을 준용할 수 있으며, 건설될 시설물의 중요도에 따라 세부 규정을 마련하여 침하에 의한 피해가 없도록 조치할 필요가 있다.

5. 결론

기후변화에 따른 이상홍수 위험성이 증대되는 실정에서 적절한 치수대책의 수립과 시행이 필요할 때이다. 이상홍수에 대응하기 위해서는 구조물적 대책뿐만 아니라 비

구조물적 대책도 적절히 강구되어야 하며, 제내지 상황과 투자비용에 따른 효과를 분석하여 우선순위를 정하는 것도 선택적 홍수방어 차원에서 중요하다. 이러한 측면에서 수퍼제방은 홍수에 대한 취약성이 큰 지역에 적용될 수 있는 구조물적 대책의 하나이며, 근본적으로 치수안전도와 부지 활용도를 높인다는 관점에서 적극적으로 고려해 볼 수 있는 대책이 될 수 있다. 따라서, 수퍼제방의 도입 목적과 기능을 명확히 정의하고, 제방 안정성을 확보될 수 있도록 충분한 검토가 이루어지는 것이 바람직하다. 또한, 수퍼제방 도입에 따른 시행착오를 최소화하기 위해 관련 정책, 제도, 기준 등에 대한 면밀한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 건설기술혁신사업(08기술혁신F01)에 의한 차세대홍수방어기술개발연구단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 末次忠司, 2004, 河川の減災マニュアル, 山海堂
- 社團法人 日本河川協會, 1999, 改定解説・河川管理施設等構造令, 財團法人 國土技術研究センター編, 山海堂
- 한국건설기술연구원, 2004, 하천제방 관련 선진기술 개발, 건설교통부/한국건설교통기술평가원
- 한국건설기술연구원, 2009, 수퍼제방 및 방수로 첨단 설계 기술, 국토해양부/한국건설교통기술평가원
- 한국수자원학회, 2005, 하천설계기준·해설