

댐·제방유실 사고사례를 통한 재해경감 대책기술

Disaster reduction technique based on the case study on embankment failures

홍병만¹⁾, Byug-Man Hong, 김현태²⁾, Hyun-Tae Kim, 강병윤³⁾, Byung-Yoon Kang, 류기정, Yoo, Ki-Cheong

¹⁾ 농업기반공사 사업관리처장, Director-General, KARICO

²⁾ 농업기반공사 팀장, Team Leader, Rural Research Institute, KARICO,

³⁾ 농업기반공사 주임연구원, Senior Researcher, Rural Research Institute, KARICO

⁴⁾ 한진중공업 건설부문 상무, Senior Vice President, Hanjin Heavy Industries & Construction Co. Ltd

SYNOPSIS : Korea is affected by typhoon 2-3 times a year, and 50~60 % of annual rainfall is concentrated during summer with heavy daily precipitation. Recently such natural conditions cause many of failures or damages of reservoirs and embankments. Overflow by heavy flood is the main cause that results 54.2 % of total embankment failures with damages of spillway, outlet channel and stilling basin. Since damages by overflow are triggered by scour of soils nearby the structures, use of proper backfill materials with great resistance against erosion should be considered and application of suitable construction method to protect erosion may be adopted. Most failures of levee are caused by piping along the surface of cross-structure underneath levee. Such failures may be protected by deep consideration of piping at the stage of design and good quality control during construction.

Sufficient magnitude of spillway and outlet channel is the ideal way to prevent failures by the flood. For existing structures, remodeling with reinforcement to protect against flood with review of required storage of dam should be considered.

Keywords : Reservoirs, Embankment, Outlet channel, Remodeling

1. 서 론

우리나라는 연 2~3차례이상 태풍의 직접적인 영향을 받으며, 연 강수량의 50~60%가 여름에 집중적으로 내리고, 최대 일강우량도 크기 때문에 홍수 시에 저수지와 하천 제방의 파괴사례가 많다(참고문헌 3 참조). 2002년도 8월 태풍-루사 시 강릉지역에 일 강수량 870.5mm를 기록하는 전국적인 집중호우로 290여개의 농업용 저수지와 다수의 하천제방이 손상되는 홍수피해가 발생하였다(참고문헌 7 참조).

본고에서는 우리나라의 강수특성을 분석하고 일본, 캐나다, 미국의 댐 손상원인 자료와 2002년 태풍-루사와 2000년부터 2003년 사이의 농업용 저수지와 하천 제방의 손상을 원인별로 비교분석하여 재해방지를 위한 가능한 대책방안을 제시코자 하였다. 또한 손상된 저수지의 성토재료에 대한 토질시험과 사면안정해석을 통하여 홍수 시 사면활동 및 유실과피가 발생되기 쉬운 흙의 종류와 그 대책방안을 제시하였다.

2. 우리나라 강수특성

2.1 강수특성

우리나라 년 강수량은 중부지방은 1100~1400mm, 남부지방은 1000~1800mm로 경북지역은 1000~1200mm이며, 경남해안 일부지역은 1800mm정도, 제주도지방은 1450~1850mm이다. 계절적으로는 표1과 같이 년 강수량의 50~60%가 여름에 내린다(20년 이상 연속 관측한 60개 지점 1971~2000년 평년값 기준)(참고문헌 3 참조).

일본, 캐나다, 미국, 중국과 강수특성을 비교해보면 연간평년강수량은 비슷하지만 최대값을 갖는 월의 평년값을 보면 일본(오사카) 206.4mm(6월), 캐나다(벤쿠버) 178.4(12월), 미국(아틀랜타) 146.6(3월), 중국(상하이) 155.5(9월)이지만 서울은 348mm(8월)로 상대적으로 매우 크다.

우리나라 장마는 6월 중순 후반에 제주도 지방으로부터 시작하여 6월 하순 초반에 점차 중부지방에 이르게 되며, 장마기간은 대략 30일 정도이다. 또한 태풍은 북태평양 서부에서 연중 28개 정도가 발생하며, 이중 2~3개가 우리나라에 직·간접적으로 영향을 주며, 이 태풍들은 계절성 강수특성을 가지고 있어 그 피해가 매우 크다.

표 1. 주요국가의 월별 평년강수량(mm)분포(기상청 세계기후)

국가(도시)	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	년간
한국 (서울)	27.6	23.6	45.8	77.0	102.2	133.3	327.9	348.0	137.6	49.3	53.0	24.9	1344.2
일본 (오사카)	45.8	60.4	102.0	133.8	139.4	206.4	156.9	94.8	171.5	107.5	65.1	34.4	1318.0
캐나다 (벤쿠버)	149.6	123.4	108.9	75.6	61.7	45.7	36.1	38.0	64.4	115.1	169.7	178.4	1166.6
미국 (아틀랜타)	120.7	122.2	146.6	108.2	108.9	90.6	127.4	92.9	87.0	77.4	97.9	109.9	1289.0
중국 (상하이)	39.4	59.0	81.9	102.4	106.3	152.2	127.9	133.1	155.5	63.3	53.7	35.1	1109.8

*참고문헌 3 참조

2.2 일 최대강수량 특성

1971~2002년 사이에 우리나라 77개 측후소의 년도별 일최대강수량을 보면 그림 1과 같이 200~870.5mm로 년도별 차이가 매우 크고 약간은 점차 증가하는 경향을 보이고 있다. 또한 년도별 일최대강수량 발생 월을 보면 그림 2와 같이 7~9월에 집중적으로 발생하는 특성을 보이고 있다.

2002년도의 각 측후소별 일최대강수량 분포를 보면 그림3과 같이 고산측후소의 64mm부터 강릉의 870.5mm까지 같은 년도에 지역적으로 너무나 큰 차이를 보이고 있다. 32년동안에 각 측후소별 연간 일최대강수량 기록횟수를 보면 3회를 기록한 측후소가 3개소, 2회가 6개소, 1회가 13개소로 지역적으로 약간은 편중된 경향을 보이고 있다.

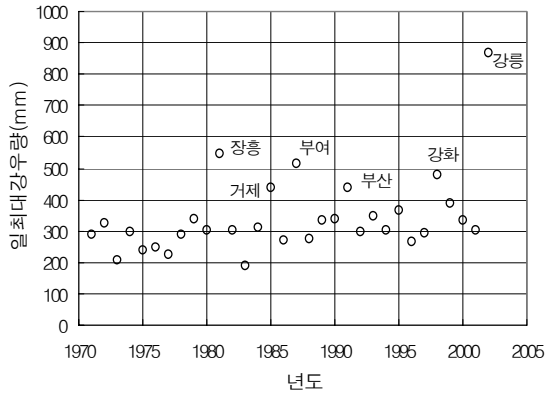


그림 1. 년도별 연간 일최대강수량

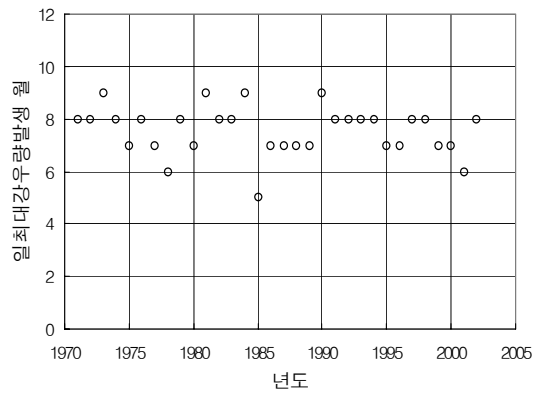


그림 2. 년도별 일최대강수량 발생 월

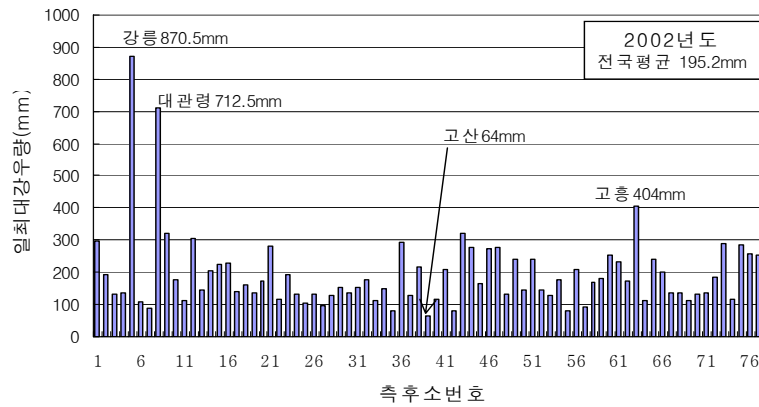


그림 3. 2002년도 각 측후소 일최대강수량 분포

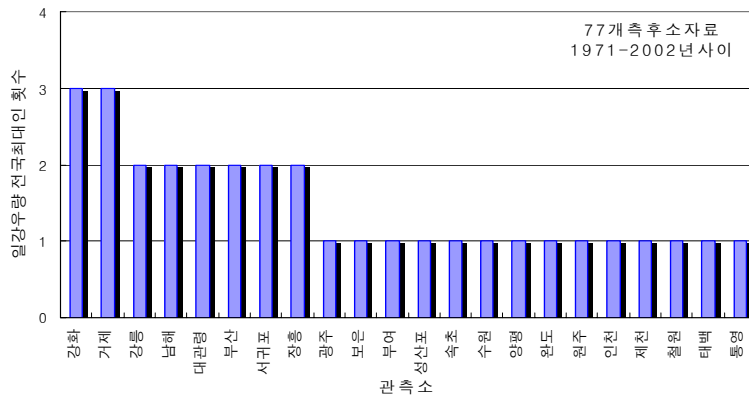


그림 4. 각 측후소별 연간 일최대강수량 기록횟수

3. 제방유실사례분석

3.1 일상적인 필댐의 주요 손상원인 분석

3.1.1 외국 필댐의 손상원인분석

국제 대담회의에서 미국, 캐나다, 일본에서 발생된 댐의 주요 손상에 대한 발생원인을 분석한 결과를 보면 표 2와 같이 월류, 활동, 지진, 누수, 침식, 침투가 주요 손상원인인 것으로 분석되었다. 그러나 여수로 구조물손상에 의한 파괴는 캐나다에서 12.2% 추운지방이라 큰 것으로 판단되나, 합계를 보면 1.7%로 매우 적은 것으로 분석되었다.

월류에 의한 파괴는 일본이 47.4%로 미국 10.4, 캐나다 4.9%에 비해 현저히 큰 것은 월별 평균강수량의 최대값이 크고, 태풍의 영향을 많이 받아 집중호우의 강수특성을 갖고 있기 때문으로 판단된다. 외국 3개 나라의 분석결과로부터 추측해 보면 우리나라의 월별 평균강수량의 최대값이 일본보다 훨씬 크기 때문에 우리나라도 월류에 의한 여수로, 여수로, 방수로 및 필댐 본체의 파괴가 우세할 것으로 판단된다.

표 2. 주요국가별 필댐 손상원인 (단위 : %)

손상원인	미국	캐나다	일본	계
월류	10.4	4.9	47.4	30.8
침투	15.4	14.6	1.7	7.7
누수	22.5	9.8	2.2	10.3
침식	18.3	19.5	-	8.1
활동	13.8	12.2	24.8	19.8
지진	1.3	-	21.7	12.7
여수로 손상(구조물)	1.7	12.2	0.6	1.7
기타	16.6	26.8	1.6	8.9

*계는 총 손상 개소수에 대한 비율

**참고문헌 8 참조

3.1.2 저수지 현황 및 안전진단결과 손상원인분석

우리나라 농업용 댐의 높이별 분포를 보면 그림 5와 같이 10m이하의 댐이 83.4%로 대부분 낮은 댐이며, 30m이상의 높은 댐은 0.8%로 매우 적음을 알 수 있다. 농업용 댐에 대한 1996년부터 2003년까지 총 1,358개의 댐에 대한 안전진단결과 자료를 보면 제체의 결함건수와 결함율은 그림6과 같이 누수 및 파이프(32%), 월류 및 여유고부족(29%), 침식 및 사석이탈(28%), 침하(6%), 사면붕괴(5%) 순서로 외국의 사례와 유사한 결과를 보이고 있다.

이를 댐 높이별로 나누어 비교해보면 그림 7과 같이 여유고와 침투 및 누수의 문제는 댐 높이가 낮은 것일수록 많고, 침식, 활동, 침하 및 사석불안정의 문제는 댐 높이가 높을수록 많은 것으로 나타났다.

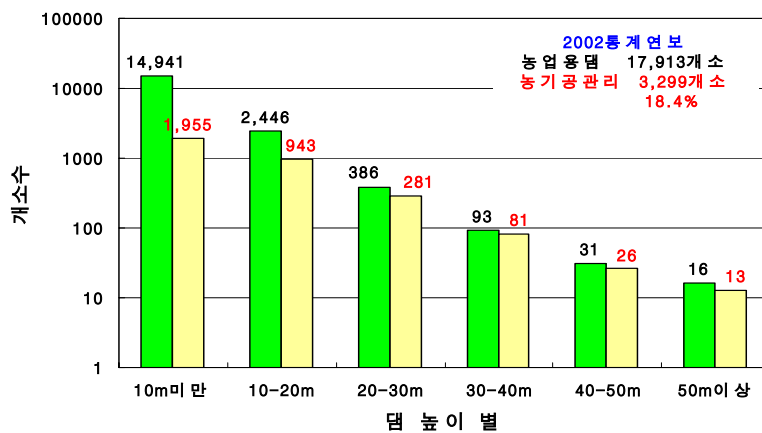


그림 5. 농업용 댐의 높이별 개소수 현황



그림 6. 농업용 댐의 결함원인별 결함율(1996~2003 안전진단)

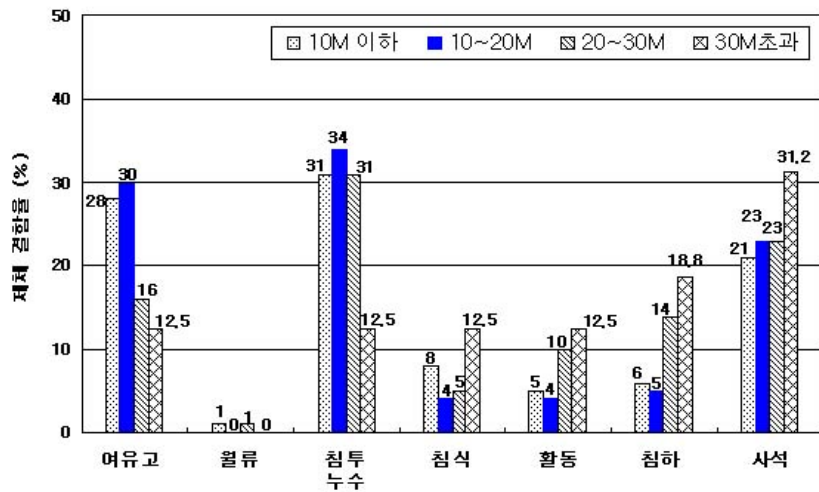


그림 7. 농업용 댐의 높이별 결함율(1996~2003 안전진단)

3.2 홍수 시 저수지 제체손상현황 분석

우리나라 농업용 저수지는 2002년 현재 총 17,913개소로서 농업기반공사가 관리하는 저수지는 3,299개소이며, 2002년도 태풍-루사에 의해 손상된 농업용 저수지는 290개소이며, 농기공이 관리하는 저수지의 수해피해 원인별로 보면 표 3과 같이 손상을 입은 저수지가 83개소로, 방수로와 여수토의 유실이 52.4%로 절반을 차지하며, 제당 유실과 사면붕괴가 26.7%, 유입토사에 의한 매몰이 12.4%, 옹벽파손이 8.6%로 나타났다.

저수지의 손상 중 여수토와 방수로의 파손이 가장 큰 것은 홍수량계산 시 적용한 것보다 더 많은 강수량 탓으로 여수토와 방수로의 규모를 크게 하는 것이 근본적인 대책이지만 2.1절에서 분석한 우리나라 강수특성이 지역적으로나 년도별로 차이가 너무 크고 특히 계절성 강수특성을 보이기 때문에 이들 이상강우를 대비할 경우 공사비가 크게 증가되는 어려움이 있다.

또한 시설 저수지에서는 여수토와 방수로의 규모를 확대하는 것이 쉽지 않기 때문에 기존 여수토와 방수로의 규모를 그대로 유지하면서도 이상홍수에 대처할 수 있는 기법의 도출이 요구된다.

표 3. 농기공관리 저수지의 태풍-루사 피해 현황

피해내용	발생건수	비율(%)	비고
정수지 유실	5	4.8	월류 52.4%
방수로 유실	35	33.3	
여수토 유실	15	14.3	
제당 유실	19	18.1	침식
사면 붕괴	9	8.6	활동
토사 퇴적	13	12.4	
옹벽 파손	9	8.6	
합계	105(83)		

* ()전체 실제파손저수지 개소(중복파손)

** 참고문헌 7 참조

3.3 홍수 시 하천제방 및 방조제 손상현황 분석

1) 하천제방

2000년부터 2003년 사이 하천제방 및 방조제의 홍수에 의한 손상현황 기록을 보면 표 4와 같이 태풍 및 집중강우에 의한 하천제방의 손상은 월류가 2건(40%)이나 나머지 3건(60%)이 월류 전에 파이핑이 발생하여 파손된 것으로 나타났다.

이들 중에 파이핑은 제방통과 구조물과 흙사이 접촉면을 통한 파이핑이 대부분으로 구조물과 접하는 흙은 시공 중 다짐도 어렵고, 기초지반의 침하나 구조물의 진동에 의해 구조물과 흙 사이에 틈이 생겨 파이핑이 발생하는 사례가 적지 않다.

2) 방조제

방조제는 집중강우 시 내측사면 침식유실 1건과 해수면상승으로 월류에 의한 사면유실 1건이 기록되어 있다. 강우에 의한 것은 일반제방과 같이 사면보호공과 유지관리를 잘하면 되지만, 해수면 상승에 의한 월류는 제방고를 높이는 근본적인 대책공이 필요하다.

그러나 방조제의 파손은 홍수 시 파손보다 해일이나 조수간만의 차에 의한 방괴석이나 석축이 이탈되어 외측사면이 파괴되는 사례가 대부분이다.

표 4. 하천제방 및 방조제 손상현황

제방 명	위치	원 인	피해상황
봉산 제방	경북 고령	2000.9 집중강우	제방월류
봉산 제방	경북 고령	2002.8 집중강우	제방상단균열 파이핑발생 함몰
황강 제방	합천 창덕	2002.8 집중강우	구조물접촉부 파이핑 제방유실
미천 제방	의성 구천	2003.9 태풍매미	파이핑
연금천 제방	밀양 상남	2003.9 태풍매미	교각공사접합부 파이핑 제방유실
임천 방조제	강진 강진	2003.8 집중강우	강우 사면유실
가능포 방조제	강화 양도	2004.8 해수상승	월류 내측사면유실

3.4 홍수 시 저수지 파손원인 분석

3.4.1 월류 시 제체 활동파괴원인

1) 원인분석

여수터가 완파된 D저수지와 J저수지를 보면 사진 1과 같이 D저수지 제당은 내·외측 모두 활동파괴가 발생하였으나, J저수지는 활동파괴는 발생되지 않고 월류에 의한 유실 흔적만 있다. 같은 상황에서 D저수지 제당이 활동파괴된 원인을 규명하기 위하여 성토재료에 대한 토질시험을 실시하고 만수 시, 홍수 시 및 수위급강하 시 조건에 대한 사면안정해석을 실시하였다.

토질시험과 사면안정해석결과 표 5와 같이 두 저수지의 포토재료의 입도분포를 보면 J저수지는 입도분포가 양호하지만, D저수지는 입도분포가 불량하기 때문에 시공 시 다짐이 잘 안되고 포화 시 전단강도가 급격히 떨어지는 경향을 보이는 흙이다.

사면안정해석결과 표 5와 같이 이상홍수 전에는 J 및 D 제당 모두 안정한 것으로 해석되었으나 집중호우로 월류 조건에서는 J 제당은 안정하지만 D 제당은 불안한 것으로 해석되었다. 이는 D 제당의 흙이 투수계수가 커서 월류 시 포화도 빨리 진행되고 포화 시 전단강도가 크게 저하하는 흙으로 홍수 시 집중강우와 월류에 의하여 외측사면이 포화되어 발생한 것으로 분석되었다.



(a) 외측사면활동파괴(월류 외측포화)



(b) 내측사면 활동파괴(수위급강하)

사진 1. D저수지 제당 태풍-루사 홍수피해

표 5. 저수지 제체 외측 포토 흙의 특성 및 사면안정해석결과

저수지	Cu	Cg	#200 통과량 (%)	c/φ		외측 S.F.		내측 S.F.
				비포화	포화	비월류	월류	수위급강하
D제당 포토	8	0.9	10	0.24/19	0.12/10	1.377	0.925	0.921
J제당 포토	31	2.5	30	0.19/21	0.25/8	1.305	1.203	1.156

2) 홍수 시 제당의 활동파괴 대책

집중강수와 월류 시 필뎀 하류사면이 포화되면 단위중량이 증가하여 작용력이 증가하고 흙의 전단강도가 감소하여 활동에 대한 저항력이 감소하여 사면활동파괴가 발생한다. 그러므로 포화 시 전단강도가 크게 감소하는 입도분포가 균일한 화강풍화토는 포토재료로 사용하지 않는 것이 매우 중요하다. 또한 이상홍수 시 하류사면으로 침투되지 않도록 중심코어의 표고를 높이는 방법이 유효할 것이다. 이때 제

체의 표층부는 건습이 반복되므로 중심코어로 인장균열이 심한 점성토재료를 사용하면 균열에 의한 누수의 위험이 있다. 그러므로 건습에 의한 인장균열이 심한 점성토재료(CL, CH, ML, MH)는 가능한 사용하지 않아야 하며, 중심코어 재료로 통일분류상 SM, SC, GC, GM의 흙이 추천된다(참고문헌 4 참조).

3.4.2 월류 시 필댐 여수토 및 방수로 세굴파괴

1) 월류세굴파괴 사례와 특성

이상 홍수 시 여수토와 방수로의 용량이 부족하면 사진 2 (a), (b)와 같이 여수토와 방수로 양안 옹벽 배면부에 세굴파괴가 진행되고 그 결과 사진 2 (c)와 같이 방수로가 파괴된다. 이 상황이 더 진행되면 사진 2 (d)와 같이 여수토가 완파되는 진행과정을 추측해볼 수 있다.



(a) 방수로 세굴파괴 초기



(b) 방수로 세굴 파괴진행



(c) 방수로 완전파괴



(d) 여수토 완전파괴

사진 2. 방수로와 여수토 세굴파괴 진행상황

2) 여수토 및 방수로 월류 시 세굴파괴 대책방안

홍수량을 충분히 배제할 수 있도록 여수토와 방수로의 규모를 크게 하는 것이 근본적인 대책이지만, 기존 댐에서 여수토와 방수로를 그대로 두고 피크홍수량을 소화할 수 있는 대안으로 1) 저수지의 내용적에 여유가 있을 경우 관리만수위를 낮추어 홍수조절기능에 의한 피크홍수량을 낮추는 방법, 2) 옹벽배면부에 돌망태, 라이닝, 사석피복 등의 세굴방지공법을 적용하여 이상홍수 시 어느 정도의 월류를 허용하는 방법, 3) 여수터에 사이폰을 설치하여 피크홍수량을 배제하는 방법, 4) 준설 등에 의한 댐 내용적을 확대하여 계획관리만수위를 낮추어 홍수조절능력을 확보하는 방법, 5) 보조 또는 비상여수로의 추가 건설 등이 있을 수 있다.

기존 댐에서는 관개면적의 축소, 영농환경의 변화 등에 따른 소요내용적이 감소하거나, 농촌생활용수, 공업용수, 하천유지용수 등으로 소요내용적의 증가가 필요한 저수지도 많다. 그러므로 이상홍수에 대비한 여수토의 능력만을 검토할 것이 아니고 기존댐에 대한 소요내용적의 변화를 조사하고 다목적 개념의 기존 댐에 대한 리모델링 사업의 도입이 필요하다.

3.4.3 필댐 사면침식파괴

1) 필댐의 침식파괴 사례

저수지 외측사면의 경사가 급하고 식생이 부실한 경우 세굴되기 쉬운 흙으로 되어 있는 제당은 집중강우에 의한 세굴파괴가 발생된다. 태풍-루사에 의한 필댐의 사면 유실파괴는 18.1%로 적지 않은 저수지의 파손원인이다.

2) 흙의 침식특성

강우침식은 빗방울이 흙의 표면에 떨어질 때 충격력에 의해 입자가 분리됨으로써 시작되고, 표면의 유출수에 의해 세류(rill)라고 하는 작은 규모의 수로가 형성됨으로써 침식이 발전하며, 이것이 더욱 발전하여 더 크고 깊은 규모의 수로인 협곡(gully)이 형성된다. 따라서 침식은 물의 흐름속도가 높고, 흙의 저항성이 낮은 곳에서 발전하는 것으로 결론지을 수 있다. 강우나 바람에 의한 침식은 흙의 종류, 기후, 지형여건, 강우강도와 지속시간, 지표면 거칠기, 사면의 길이와 경사도, 흙 고유의 침식성, 피복의 종류나 정도 등 복합적인 요소에 의해 그 크기, 규모가 달라진다.

물에 의한 흙의 침식형태는 1) 강우의 충격(Raindrop splash), 2) 면상침식(Sheet erosion), 3) 세류침식(Rilling), 4) 협곡침식(Gullying), 5) 수로침식(Stream channel erosion), 6) 파랑(Wave action), 7) 지하수의 파이핑(Groundwater piping) 등이 있다.(참고문헌 9참조)

실트와 같은 흙은 입도가 양호한 모래질 흙이나 자갈질 흙에 비해 침식이 일어나기 쉽다. 여러 연구결과로부터 흙의 침식성을 통일분류법(USCS)에 의한 분류기준으로 정리한 것을 보면 아래와 같다.(참고문헌 9참조)

침식성 높음 ← → 침식성 낮음
ML>SM>SC>MH>OL>CL>CH>GM>GP>GW

4) 침식방지 기법(Erosion control methods)

사면에서 침식을 방지하기 위한 기법으로는 1) 식물활용 기법(Vegetative method), 2) 역학적 기법(Mechanical method), 3) 화학적 기법(Chemical method), 4) 구조물 활용기법(Structural method), 5) 사면 조정법(Slope modification or adjustment) 등이 있다. 이들 기법은 단독적으로 사용하기도하고, 상호 보완적으로 조합하여 활용하기도 한다.

4. 재해경감대책기술

4.1 저수지 재해경감방안

4.1.1 기존저수지 제체의 재해경감방안

1) 홍수조절기능부여

기존 저수지를 보면 당초설계 시 보다 수해면적이 50%이상 감소한 저수지도 25개소로 특히 대도시 근교의 저수지가 많다. 이러한 저수지는 하류에 주택지 등이 많아 피해가 크지만 홍수전에 관리수위를 낮출 수 있으므로 이 낮은 수위만큼 홍수조절기능을 부여할 수 있다.

2) 게이트 설치

여수터 외에 게이트를 설치하므로 홍수 시 홍수배제 기능을 크게 향상시켜 홍수량을 신속하게 배제하므로 재해를 경감시킬 수 있다. 게이트 설치로 홍수조절이 가능한 농업용 저수지는 54개소 정도인 것으로 조사되었다.

3) 안전진단 및 유지관리 강화

수리시설물에 대한 안전진단을 정기적으로 실시하여 보수보강을 적기에 하므로 재해를 사전에 경감시킬 수 있다. 매년 100개 정도의 농업용 저수지에 대하여 안전진단을 실시하여 약 30% 정도가 보수보강을 실시하고 있다. 보수보강율이 30%로 높은 것은 안전진단이 초창기로 안전진단 대상지 선정에서 대부분은 문제가 있는 저수지가 우선 선정되기 때문이다.

4) 체계적인 재해대책에 의한 재해경감

연초에 수해에 대한 재해대책계획을 구체적으로 수립하므로 유사 시 신속하게 대처할 수 있어 재해를 사전에 방지한 우수 사례가 매년 발표되고 있다. 이와 같이 재해 중 인재라고 할 있는 유형의 재해는 재해대책계획을 수립하므로써 크게 경감시킬 수 있다.

4.1.2 신설저수지 설계기준 강화

댐의 설계기준을 이상홍수에 대비할 수 있도록 건설을 하면 재해를 크게 경감시킬 수 있다. 우리나라의 댐설계기준은 1968년 제정 발행된 토지개발사업계획설계기준 필댐편(농림부)이 최초이며, 1982년 농지개발 사업계획설계기준(댐편)이 개정 발간되었다. 2002년에 농업생산기반정비사업계획설계기준(필댐편)으로 다시 개정 발간하면서 이상홍수에 대처할 수 있도록 표 6과 같이 설계기준이 강화되었다.

표 6. 농업용 필댐의 설계기준(홍수대비관련) 변화

	1968	1982	2002
1) 유입설계 홍수량빈도	<ul style="list-style-type: none"> • 100년빈도 확률강우량의 1.2배와 • 기왕최대 강우량이 100년빈도 확률강우량 보다 클 때는 기왕최대 강우량의 1.2배 	<ul style="list-style-type: none"> • 200년빈도 확률홍수량의 1.2배 	<ul style="list-style-type: none"> • 200년 확률홍수량, 기왕의 최대 홍수량, 지역최대 홍수량 중 큰 값을 설계홍수량으로 하고 필댐에서는 20% 가산 • 피해가 크게 예상되는 지구는 가능최대홍수량
물넘이방수로 • 선형	<ul style="list-style-type: none"> • 만곡이적은 평면형으로 하고 부득이 만곡을 줄 수 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> • 이상 흐름이 발생되지 않도록 배치 	<ul style="list-style-type: none"> • 가급적 직선형으로 하고 부득이 만곡시는 수리모형시험에 의한다.
• 기초지반	<ul style="list-style-type: none"> • 기초지반에 대한 언급이 없음 	<ul style="list-style-type: none"> • '68과 동일 	<ul style="list-style-type: none"> • 반드시 경고한 암반지반에 계획하며 부득이한 경우 콘크리트 등으로 치환하여 세굴 및 이완이 없도록 한다.

4.2 하천제방 및 방조제 재해경감방안

1) 하천제방 월류붕괴

제방 월류에 의한 붕괴는 근본적으로 제방고를 기준설계 제방고 이상으로 높이는 것이 필요하다.

2) 하천제방통과 구조물을 통한 붕괴

하천제방 붕괴원인중 주요인인 하천제방 통과구조물과 흙의 접촉면 사이를 통한 파이프는 접촉면에 틈이 발생되지 않도록 설계와 시공을 하는 것이 필요하다. 이를 위한 배수장 설계기준이 개정되었으며 주요내용은 표 7과 같다.

표 7. 하천제방 통과구조물 설계기준

개선항목	설계기준
체체 누수방지	○ 하천제방복구시 성토재료 및 다짐을 저수지 체체설계·시공수준으로 강화 ○ 하천제방횡단 토출BOX 다짐율 기준 설정 다짐두께 20~30cm, 다짐율 95%이상
사면보호대책	○ 외제측 : 사면보호 호안공 설치 ○ 내제측 : 식생매트(거적, 코이어넷 등) 설치
체체단면 보강	○ 단면 보강(압성토구간) 및 비탈면돌쌓기
토출암거 주변 누수	○ 제방중앙부 불투수 점토층 설치 ○ 토출암거 중앙부 콘크리트지수벽 설치 ○ 콘크리트중앙부 Sheet Pile 설치
토출암거 내부누수	○ 이음부 설계개선
기초지반 누수방지	○ 제방외제측 Sheet pile 설치 ○ 연약지반 처리대책 수립

5. 결 론

- 1) 우리나라 일최대강수량은 200~870.5mm로 년도별 및 지역적으로도 차이가 매우 크고, 7~9월에 집중적으로 발생하며, 서울의 최대 월평균값이 348mm(8월)로 다른 나라(200mm이하)보다 훨씬 큰 집중강우 특성으로 홍수관리가 매우 어려운 기후조건이다.
- 2) 2002년 태풍-루사 시 290여개의 농업용 저수지가 손상되었으며, 월류에 의한 손상이 52.4%, 침식손상 18.1%, 토사퇴적 12.4%, 사면붕괴 8.6%, 옹벽파손 8.6%이며, 월류에 의한 손상은 여수터, 방수로 및 정수지의 손상이 대부분이다.
- 3) 필댐의 사면침식손상은 18.1%로 적지 않으며, 여수터 파손도 월류 시 주위 흙이 먼저 세굴되어 구조물이 파손되는 것으로 그 대책은 침식저항성이 큰 흙을 가능한 필댐의 포토재료와 구조물 되채움재로 사용하고, 필요시 적극적인 침식방지 공법의 도입이 필요하다.
- 4) 근년에 태풍 및 집중강우에 의한 하천제방의 손상기록 5건중 월류가 2건(40%)이고 3건(60%)은 월류 전에 제방통과 구조물과 흙사이 접촉면을 통한 파이핑이다. 이는 구조물과 접하는 흙은 다짐도 어렵고, 기초지반의 침하나 구조물의 진동에 의해 구조물과 흙 사이에 틈이 생겨 발생하는 것으로 이에 대한 설계기준이 이미 강화되었고 이 기준에 따라 철저한 설계 및 시공관리가 필요하다.
- 5) 이상홍수 대책으로 여수토와 방수로의 규모를 크게 하는 것이 근본적인 대책이지만, 규모확대가 어려운 기존 저수지는 i) 홍수조절기능을 추가하여 피크홍수량을 감소시키는 방법, ii) 여수토 옹벽배면부에 세굴방지공법을 적용하여 이상홍수 시 어느 정도의 월류를 허용하는 방법, iii) 사이폰식 여수터 보강방법, iv) 준설 등에 의한 홍수조절기능을 확대하는 방법, v) 보조 또는 비상여수로 추가 건설 등의 대책방안이 있을 수 있다.

기존 저수지는 설계 시와 다르게 물리면적 및 기타 환경이 많이 변화되었으므로 현재 및 앞으로 이들 댐의 소요저수량을 재평가하고 이수는 물론 치수를 겸한 다목적 개념의 기존 저수지에 대한 리모델링 사업의 도입이 필요하다.

참고문헌

1. 건설교통부(2001) “댐설계기준” pp.382~384
2. 건설교통부(2005) “하천설계기준·해설”
3. 기상청 홈페이지 기후자료(<http://www.kma.go.kr/>)
4. 농림부(1982) “농지개량사업계획설계기준(댐편)”
5. 농림부(1982) “농지개량사업계획설계기준(배수편)”
6. 농림부(2002) “농지개량사업계획설계기준(필댐편)”
7. 농업기반공사(2003) “2002년 가뭄·풍수해 극복 사례집”
8. 시설안전관리공단(1999) “사력댐의 안정성 평가기법 개발” pp.23~27
9. Donald H. G. & Andrew T. L.(1989) “Biotechnical slope protection and erosion control”, Krieger Publishing Company Malabar, Florida pp.10~17