

국내·외 댐 개축사례조사 및 농업용수 댐의 치수능력증대방안



박 세 훈 |

한국시설안전기술공단 진단2본부 팀장
shpark@kistec.or.kr



문 명 일 |

서울시립대학교 토목공학과 교수
ymoon@uos.ac.kr

1. 서론

국내에는 약 18,000개의 댐이 건설된 것으로 추산되는데 대부분 70년 이전에 건설되었고 필댐 형식이어서 최근 빈번히 발생하고 있는 국지성 집중호우에 매우 취약하다. 과거 홍수로 인한 댐 붕괴사례를 보면 대부분 대규모 댐보다는 규모가 작은 농업용수댐들에서 월류에 의한 파괴가 발생한 것으로 나타났다. 이러한 이유로 규모가 작은 저수용량 100만톤 이상의 댐들에 대해서도 비상대처계획(EAP) 수립을 의무화하고 있으나 홍수예방을 위한 적극적인 대책수립 및 예산지원은 아직 미미한 수준이다. 또한 치수능력증대를 위한 구조적인 보강대책으로 댐 증고, 보조여수로 신설, 여수로 확장 및 상류에 홍수조절용 댐 신설 등의 방안이 적용되고 있으나 이러한 대책들은 막대한 예산이 소요되고 환경파괴측면에서도 현실적으로 어려운 점이 있기 때문에 중규모 이하 농업용수 댐에 적용하기에는 무리가 있다.

따라서 본고에서는 국내외 댐 개축사례를 살펴보

고, 치수 및 경제적인 측면에서 농업용수 댐에 적용 가능한 홍수배제능력증대방안을 알아보았다.

2. 농업용수 댐의 현황

‘농업생산기반정비사업통계연보(2003, 농림부)’에 의하면 농업용수 댐은 전국에 모두 17,820개소가 있으며, 이 중에 한국농촌공사 관리시설이 3,323개소로 전체 저수지의 18.6%를 차지하고 있으며, 나머지는 시·군·구 등 지방자치단체에서 관리하고 있다. 준공연도별로 살펴보면 1945년도 이전에 준공된 댐이 9,589개소로 전체의 53.8%가 60년 이상 경과되었으며, 1946~1966년 사이에 준공된 댐도 21.0%에 달하는 등 40년 이상 노후화된 시설이 전체의 74.8%에 이르고 있다(표 1. 참조).

또한 농업용수 댐을 높이별로 구분하면 10m미만이 14,830개소로 전체 댐의 83.2%를 차지하고 있으며, 10m~20m가 13.7%로서 20m미만의 댐이 전체의 96.9%를 차지하고 있고, 높이 30m이상의 댐은 0.9%에 불과하다(표 2. 참조).

한편, 댐의 유효저수량을 기준으로 댐의 규모를 살펴보면 10만^m 미만의 소규모 댐이 전체 댐의 88.7%를 차지하고 있으며, 전체의 95.6%가 100만^m 이하의 댐이다. 1,000만^m 이상의 댐은 40개소로서 전체의 0.2%에 불과하다(표 3. 참조).

농업용수 댐 중에서 한국농촌공사에서 관리하는 댐은 3,323개로, 유효저수량 별로 분류해보면 전체의 87.39%가 100만^m이하의 저수용량을 가지고 있고, 「시설물의 안전관리에 관한 특별법」에서 정한 1000만^m 이상의 1종 시설물은 40개에 불과하다. 댐

표 1. 농업용수 댐 준공연도별 현황

구 분	계	'45년 이전	'46년~ '66년	'67년~ '71년	'72년~ '76년	'77년~ '81년	'82년~ '86년	'87년~ '02년
개소수	17,820	9,589	3,747	2,438	725	572	311	438
비율(%)	100.0	53.8	21.0	13.7	4.1	3.2	1.7	2.5

※자료출처 : 농업생산기반정비사업 통계연보, 2003, 농림부·한국농촌공사

표 2. 농업용수 댐 높이별 현황

구 분	계	10m 미만	20m 미만	30m 미만	40m 미만	50m 미만	50m 이상
개소수	17,820	14,830	2,447	392	100	35	16
비율(%)	100.0	83.2	13.7	2.2	0.6	0.2	0.1

표 3. 농업용수 댐 유효저수량별 시설현황

구 분	계	10만 ^{m³} 미만	50만 ^{m³} 미만	100만 ^{m³} 미만	200만 ^{m³} 미만	500만 ^{m³} 미만	1,000만 ^{m³} 미만	1,000만 ^{m³} 이상
개소수	17,820	15,798	1,235	371	230	123	23	40
비율(%)	100.0	88.7	6.9	2.1	1.3	0.7	0.1	0.2

표 4. 한국농촌공사 관리시설의 유효저수량·댐 높이별 분류

유효저수량 \ 높이	합 계	10m 미만	20m 미만	30m 미만	40m 미만	50m 미만	50m 이상
1000만 ^{m³} 이상	40(1.20)	6	12	7	6	1	8
500~1000만 ^{m³}	23(0.69)	4	7	7	1	3	1
200~500만 ^{m³}	125(3.76)	13	56	27	21	6	2
100~200만 ^{m³}	231(6.96)	36	95	58	28	14	-
50~100만 ^{m³}	372(11.20)	73	168	107	19	5	-
10~50만 ^{m³}	797(23.98)	271	432	78	16	-	-
10만 ^{m³} 이하	1,735(52.21)	1,544	179	7	1	-	4
합계(%)	3,323	1,947(58.59)	949(28.56)	291(8.76)	92(2.77)	29(0.87)	15(0.45)

표 5. 한국농촌공사시설 댐의 여수로 형식

구 분	합 계	자연월류형	수문형	Siphon식	모닝글로리
개소수	3,323	3,283	24	14	2
비율(%)	100	98.79	0.73	0.42	0.06

높이별로 살펴보면 10m미만인 댐이 1,947개소 58.59%, 20m 미만의 댐이 87.18%를 차지하고 있다. 50m 이상의 대형 댐은 15개소로서 0.45%를 차지하고 있다.

한국농촌공사 댐의 여수로 형식을 살펴보면 대부

분 자연월류형으로 전체의 98.79%인 3,283개소를 차지하고 있다. 수문형과 복합형(수문형+자연월류형)이 24개소로 0.73%, siphon식이 14개소로 0.42%, 그리고 모닝글로리 형식은 경북 경주시에 있는 방내 저수지 등 2개소로 조사 분류되었다.

3. 국내 · 외 홍수배제능력 증대사례

3.2 외국의 사례

3.1 국내사례

국내 댐들의 홍수배제능력 증대사례를 살펴보면 표 6의 보강방법과 같이 기존에 수문조절식 여수로의 경우는 보조여수로 또는 비상여수로를 설치하고 있고, 자연월류형 여수로의 경우는 수문을 설치하는 방법으로 설계 시공되고 있다.

외국 댐들의 홍수배제능력 증대사례는 표 7과 같다. 보강방법을 살펴보면 국내와 마찬가지로 댐 증축, 보조여수로 신설, 수문설치 등이 있고, 그 외에도 Fuse plug, Parapet wall, Fuse gate와 같이 좀 더 다양한 구조물을 설치하고 있다. 특히 그림 1과 같이 Loerie Dam은 필댐체 중앙부에 보조여수로를 설치한 특이한 경우라 할 수 있다.

표 6. 국내 댐들의 홍수배제능력 증대사례

댐 명	건설연도	보강연도	보강사유	보강방법
소양강댐	1973	시공중	PMF 배제능력 부족	터널식 보조여수로 설치(12,391m³/s → 20,175m³/s)
영천댐	1980	시공중	PMF 배제능력 부족	보조여수로 설치(1,639m³/s → 3,703m³/s)
수어댐	1978	시공중	PMF 배제능력 부족	터널식 보조여수로 설치(687m³/s → 1,652m³/s)
광동댐	1989	시공중	PMF 배제능력 부족	여수로에 수문설치(1,430m³/s → 2,190m³/s)
달방댐	1990	시공중	PMF 배제능력 부족	기존여수로 보강(수문설치)(1,256m³/s → 1,140m³/s)
섬진강댐	1965	시공중	PMF 배제능력 부족	비상여수로(9,116m³/s) 설치
운문댐	1995	2004	PMF 배제능력 부족	제한수위 설정 및 보조수문 설치(4,039m³/s → 7,253m³/s)
덕동댐	1977	2004	PMF 배제능력 부족	보조여수로 설치
회야댐	1986	2004	저수량 추가확보, 방류능력부족	월류웨어 확장 및 위치변경
고삼지	1963	1991	홍수배제능력 부족	수문 설치
기흥	1964	1993	홍수배제능력 부족	수문 설치
상판	1979	2004	홍수배제능력 부족	수문 설치
달창	1972	1982	홍수배제능력 부족	수문 설치
대동	1949	1983	저수량 추가 확보	Rubber dam 설치

표 7. 외국 댐들의 홍수배제능력 증대사례

댐 명	준공연도	보강연도	보강사유	보강방법
Bartlett Dam	1939	1996	홍수배제능력 부족	댐 증고 및 Fuse plug 설치(175,000 ft³/s → 546,400 ft³/s)
Horseshoe Dam	1946	1994	PMF 배제능력 부족	댐 증고 및 Fuse plug 설치(250,000 ft³/s → 553,000 ft³/s)
Theodore Roosevelt Dam	1911	1996	PMF 배제능력 부족	댐 증고 및 여수로 신설
Fish Lake Dam	1909	1997	관개능력증진 및 추가 용수확보	parapet wall 설치 및 여수로 개축(방류능력 500 ft³/s 증가)
Fourmile Lake Dam	1922	1956	홍수배제능력 부족	기존여수로 보강(수문설치)(475 ft³/s → 5,600 ft³/s)
Stewart Mountain Dam	1930	1992	PMF 배제능력 부족	보조여수로 신설(87,000 ft³/s)
El Vado Dam	1935	1966	추가용수 및 홍수조절용량 확보	방류구 신설(6,850 ft³/s)
Ochoco Dam	1920	1998	홍수조절용량 확보	댐 증축 및 여수로 신설(11,200 ft³/s)
Horse Mesa Dam	1927	1937	홍수배제능력 부족	보조 수로터널 설치(직경 30ft, 길이 400ft)
Buffalo Bill Dam	1910	1980	PMF 배제능력 부족	댐 증고(76ft) 및 여수로에 수문설치
Loerie Dam	1971	1981이후	PMF 배제능력 부족	댐체 중앙부에 보조여수로 설치(방류량 900m³/s 추가확보)
Terminus Dam	1962	2003	추가용수확보 및 홍수방어능력 향상	Fuse gate(6련) 설치
Warragamba Dam	1960	2002	PMF 배제능력 부족	보조여수로 신설

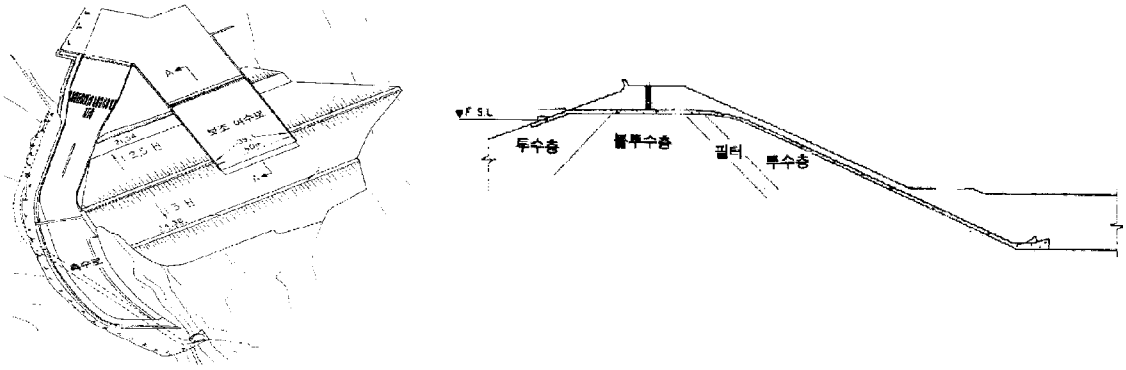


그림 1. Loerie Dam의 평면도 및 보조여수로 종단면도

4. 구조적인 홍수배제능력증대방안

4.1. 보조여수로(auxiliary spillway) 설치

일반적인 보조여수로는 상용여수로(service spillway)와 결합하여 사용하는 것이 유리할 경우에 계획하며, 이런 경우 상용여수로는 자주 발생하는 홍수를 소통시키게 설계하고 보조여수로는 설계홍수를 초과하는 홍수가 발생하였을 때 작동하도록 한다. 장 점으로는 기존 댐의 제원 및 운영조건을 만족시키고 수문조작을 통한 예비방류가 가능하며, 기존 댐체에 영향을 주지 않고 항구적인 댐 안전성을 확보할 수 있다는 것이다. 단점으로는 과다한 공사비와 시공 후 유지관리 비용이 소요되며 공사시행에 따른 자연경관이 훼손되고, 하류하천 영향에 대한 평가를 시행하여야 한다.

4.2 비상여수로(emergency spillway) 설치

비상여수는 상용여수의 어떤 부분에 파괴가 발생하여 여수를 우회시킬 필요성이나 수문의 고장, 방류부의 폐쇄 등과 같은 비상상태가 발생하였을 때의 댐 안전성을 증대시키기 위해 설치하는 것이다. 비상상태는 홍수조절용량이 유입홍수량으로 채워진

뒤 그 홍수량이 상용여수로로 방류되기 전에 후속 홍수가 유입될 때에도 일어나며, 비상여수로는 설계홍수보다 더 큰 홍수가 발생하면 보조여수처럼 작동을 하게 된다. 미국 토목학회에서는 특별위원회를 구성하여 과거에 빈도 홍수로 설계된 기존 댐의 여수로 방류능력을 재평가하여 용량이 부족한 경우에는 비상여수를 갖추도록 권고하고 있다. 이 방안의 장·단점은 보조여수로 신설안과 같다.

4.3 기존여수로 확장

댐 계획 시 여수로는 경제성, 시공성 등을 검토하여 형식 및 위치를 선정하게 되므로 기존여수로와 별도로 보조 및 비상여수로 계획 시는 위치선정에 있어 적지가 없는 경우가 발생할 수 있다. 이때 기존여수를 확장하여 여수로 방류능력을 키우는 방법을 선택할 수 있으며 공사비 면에서 유리한 장점이 있다. 단, 공사 중 유수처리에 유의하여야 한다.

4.4 수문설치

자연월류형 여수로의 경우 일반적으로 웨어마루를 상시만수위와 일치시키므로 수문식 여수로 보다 대부분 웨어 단위 폭 당 방류능력이 떨어진다. 이때 기존

여수로 웨어에 수문을 계획하고 수문 하단부를 웨어 마루보다 아래에 두면 웨어 단위 폭 당 방류능력을 높일 수 있다.

4.5 Labyrinth Spillway

홍수배제능력증대를 위해 웨어 길이를 증가시키는 방안 중 하나인 Labyrinth를 설치한 사례는 국내에는 적용된 적이 없고 외국에서 여러 댐에서 적용한 예가 있다.

Labyrinth Spillway는 주기적인 반복으로 이루어진 다각형 평면을 갖는 것이 특징이다. 그러므로 이 여수로는 같은 여수로의 폭에 대하여 직선형 여수로보다 더 긴 웨어 길이를 제공한다. 즉 Labyrinth 여수로는 직선형 여수로와 같은 여수로 폭에 대하여 더 큰 홍수배제능력을 가지거나 작은 일류수심으로도

더 큰 홍수배제능력을 가지는 장점을 가지고 있는 것이다. 후자에 의하면 Labyrinth 여수로는 댐 높이를 감소시키거나 저수지 수위를 올릴 수 있다는 것이다. Labyrinth 여수로는 자유낙하식 수리특성을 주는 얇은 벽으로 되며 평면상으로 여러 가지 형태가 있는데 그 중 대칭을 이루는 사다리꼴이 가장 많이 사용되고 있다.

4.6 Fuse Plug, Fuse Gate 설치

Fuse plug는 비상 시 방류능력을 증대시켜 댐의 안전을 확보할 목적으로 설치되며 일반적으로 상용여수로의 방류량과 Fuse plug의 방류량을 합쳐도 댐 하류에 큰 영향을 미치지 않는 광활한 지역에 적합하다. Fuse plug는 월류 시에 항상 자동적으로 파괴되도록 설계하며, 설치비가 싸고 유지관리가 쉽다.



그림 2. Labyrinth-crested fuse gate(Terminus Dam, California)

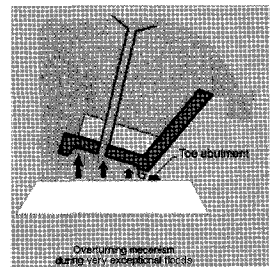
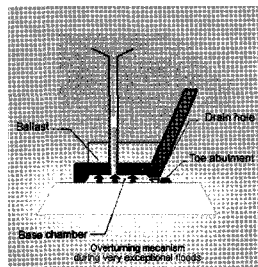
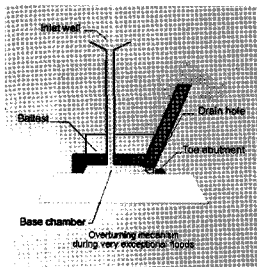
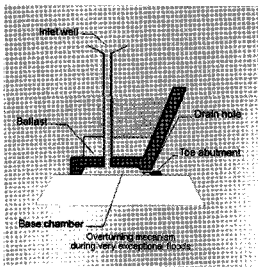


그림 3. Fuse gate 작동 모식도 (Hydroplus, 2006)

여러 구간으로 나누어 높이를 다르게 하여 설치하면 구간간이 동시에 월류되지 않을 것이기 때문에 적은 양의 홍수는 한 구간이나 혹은 몇 개의 구간만을 붕괴시키고, PMF 시에만 전 구간을 붕괴시킬 것이다. 한 구간씩 붕괴가 되면 Fuse plug의 급작스런 전면파괴로 인한 홍수파를 최소화 하게 될 것이다.

Fuse gate는 일반적으로 블록단위의 자립형 구조물을 수밀이 되도록 연속하여 설치하고 일정수위 이상이 되었을 때 구조물 하부로 연결된 유입구로 물이 유입되도록 하여 구조물 하부에 수압을 발생시켜 구조물을 전도시키는 원리이다.

4.7 가동웨어(Movable Weir)

가동웨어(movable weir)는 저류기능을 쉽게 발휘하거나 또는 없앨 수 있는 보를 말하며 고무보와 전도게이트가 근래 널리 쓰이는 가동웨어의 한 형식이다.

고무보는 속이 빈 원형, 타원형의 고무통으로 하천이나 저수지를 가로막아 저수용량을 크게 할 수 있는 것으로 고무통에 공기나 물 또는 혼합물을 주입시켜 수위를 높이고 반대의 경우에는 주입한 유체를 방출시켜서 고무보 위로 물이 흐르도록 한다.

전도게이트는 철판 하부에 설치된 유압실린더를 이용하여 상단부의 철판 각도를 조정하고 전도시킴으로서 저수용량을 조절하는 형식이다.

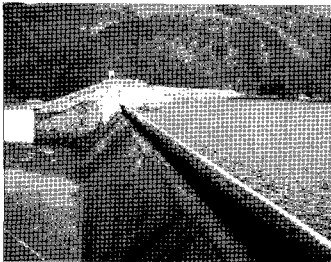


그림 4. 고무 댐(rubber dam)

기존 여수로의 상단에 가동웨어를 설치할 경우 저수용량을 증대시킬 수 있어 수자원의 추가적인 확보에 도움을 줄 수 있으나 방류능력을 증대시키기 위해서는 웨어마루 표고를 낮추고 가동웨어를 설치하는 것도 하나의 개축방안이 될 수 있을 것이다.

4.8 사이펀 여수로(Siphon spillway)

사이펀 여수로는 여수로 설치 공간에 제한을 받는 경우에 제체 안에 설치할 수 있으므로 기존 댐의 여수로 확장의 대안으로 적합하다.

관로에 출구로부터 공기가 거꾸로 유입되는 것을 막기 위하여 관로 끝은 물웅덩이(barrel)에 유입시키거나 U자형으로 구부려야 하며, 흡입된 공기는 사이펀 마루(crown)에서 방출 시키도록 설계해야 사이펀 기능이 유지된다. 장점은 저수지 수위가 자동적으로 일정 범위 내에서 유지되는 것이나 관로 끝에 물웅덩이를 만드는데 공사비가 많이 들고 유지관리가 어려운 단점이 있다.

5. 결론

최근 강우사상의 증가와 이상기후로 인한 국지성 집중호우가 빈번하게 발생하여 홍수로 인한 인적·물적 피해가 늘어가고 있다. 이제라도 시설물의 중요도 및 예산형편 등을 이유로 안전의 사각지대에 놓여있

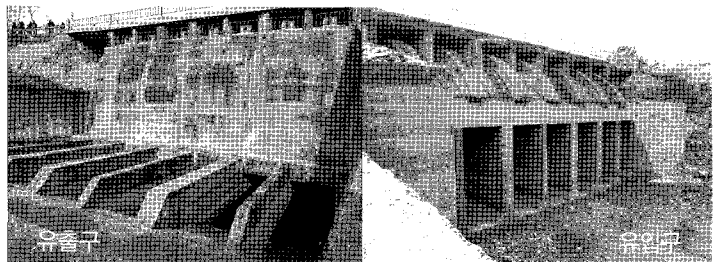


그림 5. 사이펀 여수로(고풍저수지)

는 중·소규모 댐들에 대한 홍수재해 예방을 위해서는 필요충분하지는 않더라도 최소의 비용으로 최대한의 효과를 거둘 수 있는 현실적인 대책을 마련해야 하겠다.

그러기 위해서는 여수로를 신설하는 무리한 방법보다는 기존 수리구조물을 최대한 활용하는 방법으로 자연월류형 여수로에 가동웨어를 설치하는 방안을 생각해 볼 수 있다. 또한 외국의 댐 개축사례 중에서 Terminus Dam과 같이 Labyrinth weir와 Fuse gate를 접목한 여수로 형식, 또 다른 방법으로 Loerie Dam과 같이 보조여수로를 양안부가 아닌 필댐체 상부에 설치하는 방법도 대안이 될 수 있을 것이다. 매년 겪고 있는 홍수재해를 극복하기 위하여 치수능력증대방안에 관한 다양한 연구가 활발히 이루어지길 기대해 본다.

참고문헌

- 건설교통부(2004), 댐의 수문학적 안정성 검토 및 치수능력 기본계획수립 보고서
- 한국농촌공사(2004, 20025), 기존 저수지 수문조사 지원사업 조사보고서
- 박준기(1990), 기설 댐의 재개발에 관한 연구
- 문영일, 이창해, 신희범, 박래건(2003), 저수용량을 기준으로 한 댐 재개발의 경제성분석
- William J. Rahmeyer and Charles S. Mifkovic(2000), The design of a fusegate system for increasing the reservoir capacity of Terminus dam aided by a fully function physical model study, ICOLD Congress Beijing