

가동보의 새로운 Paradigm 연구

A Study on the New Paradigm of Rubber Dam

김필식*, 김선주**, 지용근***
Phil S. Kim, Sun Joo Kim, Yong Keun Jee

요 지

우리나라 농업용수의 주수원공인 저수지는 2004년 말 현재 총 17,732개소에 달하지만 1972년 이후 설치된 저수지는 11%인 2,051개소 정도로서 나머지 89%의 저수지는 노후화 되거나 기능이 저하되어 현재의 설계기준을 충족시키지 못하고 있다. 또한 총 3,328개소의 저수지 중에서 홍수조절용 게이트가 설치된 저수지는 28개소에 불과하여 거의 모든 농업용 저수지는 자연유하식 물넘이를 통하여 홍수량을 배제할 수밖에 없으므로 최근 발생하고 있는 집중호우나 폭우를 감당하기에는 구조적으로 취약한 실정이다. 또한 우리나라 저수지 유역의 특성상 많은 토사가 퇴적되어 저류량이 감소하고 있으며 새로운 수원공의 설치는 어려운 실정이므로 한발과 홍수에 대처하기 위한 유지보수 방안들이 연구 중이다. 본 연구에서는 농업용 저수지의 자연유하식 물넘이에 가동보를 설치하므로 자연재해를 최소화 할 수 있는 방안을 구조적·경제적 측면에서 연구하였다.

핵심용어 : 농업용 댐, 홍수배제량, 고무보

1. 서 론

자연 재해에 민감한 농업용 저수지는 2001~2002년도의 피해 중 52개소의 피해 유형에 의하면 여수로·방수로의 물넘이 관련시설이 피해의 57%로 가장 높고, 제당이 17%, 기타 26%의 피해비율을 보였다. 이러한 홍수 피해와 더불어 가뭄대비 용수확보라는 이중적인 목적을 수행하여야 한다. 2007년 기준 한국농어촌공사가 관리하고 있는 저수지는 3,319개로 1981년 이전에 준공된 것이 약 88%로 2,915개소 이다. 이러한 국내 저수지 대부분이 홍수조절기능이 없어 빈번하게 홍수 피해가 발생하고 있으며, 또한 많은 퇴적량으로 인해 용수확보에도 어려움이 나타나고 있다.

따라서 구조적인 이·치수 대책 방안으로 여수로 확장, 보조여수로 신설 및 댐 증고 등이 대책이 제시되고 있으나 이러한 대책들은 시공성, 경제성 및 환경적인 측면에서 현실적으로 어려운 점이 있으므로 여수로 월류부의 개축을 통한 현실적인 방안이 필요하겠다. 본 연구에서는 이러한 기존 저수지 문제점을 해결하기 위해 댐 여수로에 가동보 설치 방안을 검토하였다. 연구자료 및 사례 조사를 통해 가능성을 검토하였으며, 구조적·경제적 현실성을 제시하므로 가동보 활용의 새로운 Paradigm을 제시하고자 한다.

2. 국내 저수지 현황 조사 결과

2.1 홍수조절기능

2007년 현재 농업기반시설관리시스템에 등록·관리되고 있는 저수지는 3,319개소로서 총저수량은 2,795백만³, 유효저수량 2,448백만³, 유역면적 1,431천ha이고 수혜면적은 392천ha이다. 용수원 중 저수지 유효저수량이 약 93%를 차지하고, 수혜면적은 약 90%이다(한국농촌공사, 2008).

한국농촌공사 관리 저수지중 1,442개소(43.4%)가 1945년 전에 설치된 것이며 내한능력조사가 시작된 1981년 이후에 설치된 것은 404개소(12.2%)에 불과하다(그림 1). 그림 2와 같이 저수지 규

* 정회원 · 건국대학교 생명환경과학대학 연구교수 · (주)유일기연 연구소장 · E-mail : kimps@konkuk.ac.kr
** 정회원 · 건국대학교 생명환경과학대학 사회환경시스템공학전공 교수 · E-mail : sunjoo@konkuk.ac.kr
*** 정회원 · 건국대학교 생명환경과학대학 Post Doc. · E-mail : ykjee77@konkuk.ac.kr

모별 유효저수량은 10만^m미만의 저수지수 1,772개소, 500만^m이상 저수지는 불과 55개소로 대부분 소규모 저수지이다(한국농촌공사, 2007). 따라서 저수량이 작아 규모가 큰 다목적 댐보다 한발과 강우에 따른 저수를 변화폭이 크므로 피해 잠재성도 클 수밖에 없다.

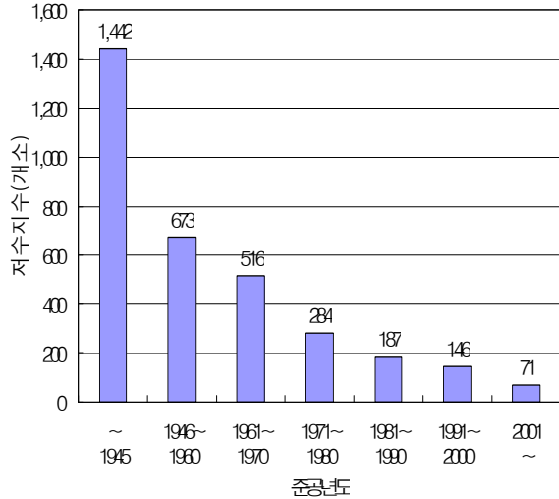


그림 1. 준공년도별 저수지 현황

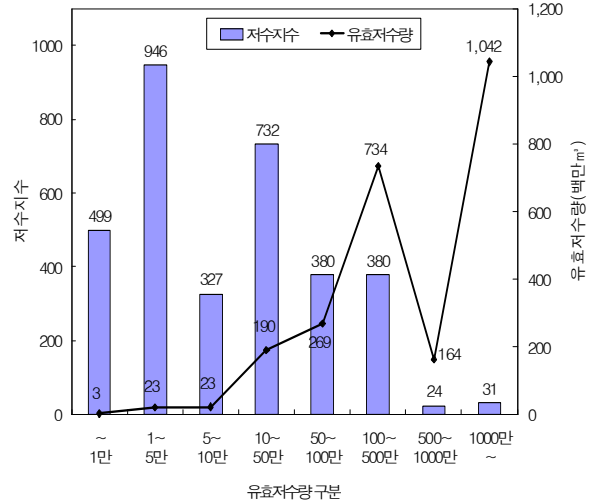


그림 2. 유효저수량별 저수지 현황

이와 같이 국내 주 용수원인 저수지는 대부분 80년대 이전에 완공되어 노후와 되거나 기능이 저하되어 현재의 설계기준을 충족시키지 못하고 있으며 유효저수량도 100만^m 이상의 저수지에서만 확보되고 있는 것으로 나타나고 있다. 또한 2004년 기준 총 3,328개의 저수지 중 홍수조절용 게이트가 설치된 저수지는 28개소로서 대부분 자연유하식 물넘이를 통하여 홍수량을 배제할 수밖에 없어 집중호우나 폭우를 감당하기에는 구조적으로 취약한 실정이다. 따라서 현재 운영 중인 저수지는 가뭄 대비 용수확보의 기능도 홍수시 홍수배제 능력도 부족한 현실이다.

2.2 용수공급능력

저수지 용수공급능력은 2007년 한국농촌공사에서 조사한 결과 저수지중 용수공급능력이 부족한 저수지는 1,213개소(36%)이며 부족량은 61백만^m이다. 이는 건설 당시 설계기준과 현재 기준의 차이와 저수지 노후화 및 토사 퇴적으로 인한 저수량 감소로 판단된다. 표 1은 저수량 규모별 용수부족율을 나타낸 것으로 저수지 규모가 작을수록 용수보족이 심한 것으로 나타났다.

표 1. 저수량 규모별 용수부족률

(단위 : 개소)

저수량	계	10만 ^m 미만	10만 ~ 50만 ^m	50만 ~ 100만 ^m	100만 ~ 1000만 ^m	1000만 ^m 이상
용수부족률						
계	1,211	723	274	113	100	1
10%미만	593	311	141	68	72	1
10 ~ 20%	188	102	52	16	18	
20 ~ 30%	130	73	39	15	3	
30%이상	300	237	42	14	7	

그림 3은 토사 퇴적으로 저수량이 감소된 저수지 1,349개소이며, 총 퇴적량은 약 41백만^m으로 경과년수가 오래될수록 저수지의 퇴적률이 증가하였다. 규모별 퇴적현황의 경우 표 2와 같이 저수량 10만^m 미만의 저수지 평균퇴적률이 18.4%인 반면, 저수량 1,000만^m 이상의 저수지 평균퇴적률은 2.1%인 것으로 나타났다. 저수량 50만^m 미만 저수지 평균퇴적률 12.9%로 저수량 50만^m 이상 저수지 평균퇴적률 4.6%의 2.8배 인 것으로 분석되었다.

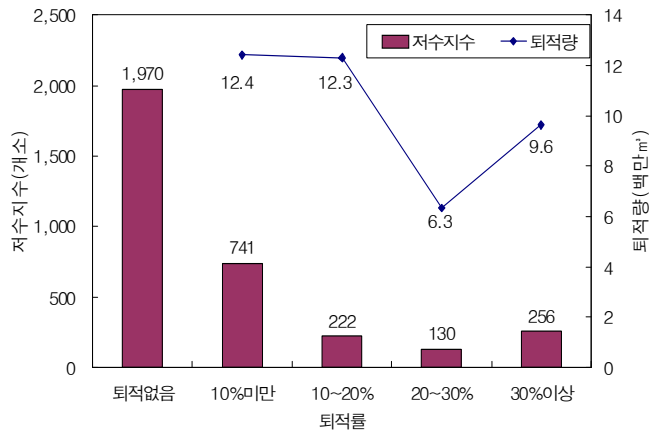


그림 3. 저수지 개소수 및 퇴적량

표 2. 저수지 규모별 퇴적현황(단위:천 m³)

구분(만m ³)	저수량	퇴적량	퇴적률
10 미만	10,953	2,212	20.2%
10 ~ 50	65,474	7,352	11.2%
50 ~ 100	93,611	7,877	8.4%
100 ~ 1000	328,446	14,991	4.6%
1000 이상	145,758	3,287	2.3%

3. 저수지 여수로에 가동보 활용 방안

농업용 저수지는 농업용수를 공급하기 위해 충분한 저류가 필요하며 홍수시 홍수 피해를 최소화 하기 위한 홍수조절기능 및 홍수를 신속히 배제하기위한 여수로의 구조가 필요하다. 그러나 앞서 언급한 바와 같이 국내 농업용 저수지의 경우 대부분이 홍수조절능력이 없으며, 2004년 기준 자연 월류형이 3,283개소로 전체의 약 98%에 해당한다(한국시설안전기술공단, 2005). 따라서 홍수 조절 기능이 없는 이상홍수에 대비하여 구조적 및 비구조적 대책을 수립해야 한다(박세훈, 2005). 저수지 물넘이 시설의 홍수배제 능력을 위해 물넘이 시설확장, 저수지 승상, 비상방수문 설치 등의 방재기능 강화 방안이 조속한 추진이 요망되고 있다(변양식, 2006; 김중규, 2006). 또한 가뭄시 용수 확보를 위해 일부 농업용 저수지에서는 마대쌓기를 통해 저수량을 확보하고자 하고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 여러 방안들이 제시되고 있으며 이 중 저수지 여수로에 Rubber Dam 활용 방안을 연구하였다. Rubber Dam은 고무로 만들어진 가동보로서 뛰어난 경관성과 신속한 기도복 및 수위조절이 가능하다(유일기연; 국토개발기술연구센터, 2000). 중소규모 댐의 여수로 상단에 고무보를 설치할 경우 저수용량을 증대할 수 있어 수자원의 추가적인 확보에 도움을 줄 수 있으며 홍수시에는 신속한 기도복으로 수위상승이나 배수영향의 위험은 없다. 여수로에 수문이 없는 기존의 용수전용 댐이나 농업용 저수지의 경우에 저수용량의 증대방안의 하나가 될 수 있다.

따라서 여수로에 활용을 위해 가동보의 구조적 안전성을 검토하였다. 측수로식 여수로에서는 공간적으로 변화하는 점변부등류의 기본방정식을 사용하며 Rubber Dam의 경우도 같은 이론으로 설계가 이루어진다. 설계를 위한 기본방정식은 그림 5 에서 측수로 모식도에서 단위시간당 단면 1 과 2를 통과하는 운동량은 여기서 ω 는 물의 단위중량, Q 는 유량, V 는 유속이고, dQ 와 dV 는 각각 단면 1과 2사이에서 물넘이를 통해 증가되는 유량과 유속 변화량이다.

$$\frac{\omega}{g} QV \quad (1) \qquad \frac{\omega}{g} (Q+dQ)(V+dV) \quad (2)$$

단면 1과 2사이 통제체적(control volume) 내에서 운동량 변화량(momentum change)과 Manning 공식을 적용한 후 마찰력 F_f 를 에너지경사 S 와 단면적 A 로 표시하면 다음과 같다.

$$F_f = \omega \left(A + \frac{1}{2} dA \right) S_f dx = \omega A S_f dx \quad (3)$$

흐름방향으로 단면 1과 단면 2에 에 작용하는 외력 P_1 , P_2 와 운동량 변화량의 합력은 같으므로,

$$\frac{\omega}{g} [QdV + (V+dV)dQ] = P_1 - P_2 + W \sin \theta - F_f \quad (4) \text{ 와 같다.}$$



그림 4. 여수로에 설치된 가동보

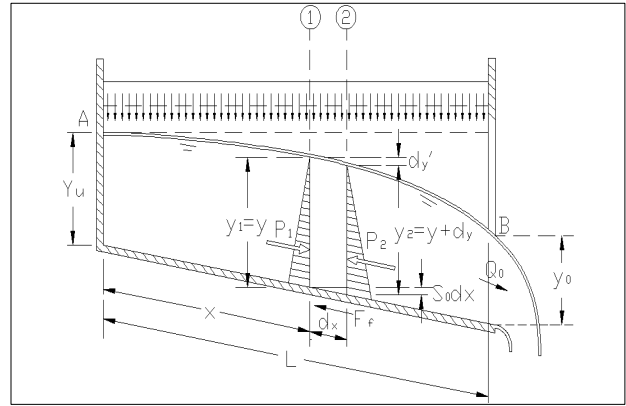


그림 5. 측수로식 여수로 흐름의 모식도

$V=Q/A$ 및 $V+dV=(Q+dQ)/(A+dA)$ 의 관계로 정리한 후 미소거리 dx 로 정리하면 다음과 같고 S_0 는 측수로 바닥경사 D 는 수리수심이다.

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - S_f - 2\alpha Qq_* / gA^2}{1 - \alpha Q^2 / gA^2 D} \quad (5)$$

식 (5)는 공간적으로 변화하는 점변부등류 방정식으로 측수로를 따라 점차 유량이 증가하는 경우의 여수로 수리계산에 적용할 수 있다. 기존 Rubber Dam은 이와 같은 방식으로 설계가 이루어지며 일본 기술기준서(건설성, 2000)에 제시된 식(6)과 같은 안전율을 고려하여 설계되고 있다.

$$F_s = f_1 \times f_2 \quad (6) \quad f_1: \text{크리프 특성을 고려한 계수}, \quad f_2: \text{장기적 강도저하를 고려한 계수}$$

따라서, 여수로의 Rubber Dam 설치시 여수로 설계방식과 같은 기본이론을 사용하며 고무의 특성을 고려한 안전율을 사용하므로 구조적 문제가 없다고 판단할 수 있다. 변양석(2006)은 농업용 저수지의 저수면적에 1m 높이의 홍수조절 기능을 보강하면 686.6백만 m^3 의 홍수조절 용량이 확보되며, 이 용량은 다목적 댐 총 홍수조절용량 2,187.8백만 m^3 의 30%이상에 해당되는 용량이라고 발표하였다. 기존 설계된 여수로에 Rubber Dam 설치하여 홍수조절용량을 확보 할 수 있으나 이는 제고의 승상 및 댐 제체 안전에 대한 문제가 발생할 수 있으므로 세부적인 수문분석 후에 설계되어야 할 것이다. 그러나 여수로 개축 후 Rubber Dam의 설치시 구조적 문제 및 댐 제체에 문제를 야기 하지 않으며 홍수조절용량을 확보 할 수 있는 방법이라고 판단된다.

4. 경제성 분석

중·소규모 댐에 적용 가능한 개축모형 중에서 홍수배제능력증대효과 분석도 중요하지만 시공비용을 배제할 수 없으므로 공사비측면에서 어떤 개축모형이 유리한지 검토하였다. 검토 내용은 한국시설안전기술공단(2006)연구 발표한 내용을 토대로 본 논문에서 제안하고 있는 Rubber Dam의 내용을 추가하였다. 경제성분석은 파일럿 댐 5개 지구에 대하여 상대비교가 가능한 Labrinth weir, 전도게이트, Rubber Dam 에 대하여 비교하였다. Labyrinth weir의 경우 콘크리트깨기 및 타설, 철근가공조립, 전도게이트와 Rubber Dam의 경우는 각 게이트와 Rubber Dam설치가 순공사비의 약 70% 가량을 차지하였으며, 여수로 길이 및 댐의 특성에 따라 공사비용에 다소 차이가 있었다. 그러나 곡선형 Labyrinth weir과 전도게이트의 공사비는 유사하고 Rubber Dam의 공사비용이 가장 적은 것으로 분석되었다. 한국시설안전기술공단(2006)연구에서도 전도게이트를 SR가동보가 아닌 Rubber Dam이나 Fuse gate형으로 바꾼다면 공사비 절감이 가능하다고 제안하였다.

표 3. 개축모형별 공사비산출조건

구 분	곡선형 Labyrinth weir	전도게이트	Rubber Dam
산출조건	-월류부만 제거후 설치	-월류부만 제거후 설치	-월류부만 제거후 설치
1. 기존구조물 철거	-콘크리트 깨기 -토공굴착 -부대공사	-콘크리트 깨기 -토공굴착 -부대공사	-콘크리트 깨기 -토공굴착 -부대공사
2. 구조물설치	-콘크리트타설 -거푸집, 비계 -철근가공조립, 뒷채움 -부대공사	-전도게이트(SR가동보) -부대공사	-Rubber Dam -부대공사

표 4. 개축모형별 공사비

(단위 : 백만원)

과일렛 댐	곡선형 Labyrinth weir	전도게이트	Rubber Dam
광주호	1,130	1,140	912
월남지	3,644	2,641	2,112
용연지	2,591	3,174	2,539
마복지	983	957	767
대수호지	757	929	744

5. 결론

국내 저수지 대부분이 홍수조절기능이 없어 빈번하게 홍수 피해가 발생하고 있으며, 또한 많은 퇴적량으로 인해 용수공급능력에도 문제가 발생하고 있다. 따라서 여수로 개축모형으로 가동보의 새로운 활용방안을 제시하고자 한다.

1. 국내 저수지 대부분이 80년대 이전에 완공되어 노후화 되어있으며 총 3,328개의 저수지 중 홍수조절용 게이트가 설치된 저수지는 28개소에 불과하다. 대부분 자연유하식 물넘이로 홍수량을 배제하므로 홍수피해가 빈번히 발생한다.
2. 2007년 기준 용수공급능력이 부족한 저수지는 1,213개소이며, 그 부족량은 61백만^m이다. 토사 퇴적으로 저수량이 감소된 저수지 1,349개소이며, 퇴적량은 약 41백만^m으로 나타났다.
3. 저수지의 재해방지를 위해 물넘이 시설의 구조적 방안이 요구되고 있으며 이에 Rubber dam은 구조적 문제없이 홍수조절용량을 확보하고 가뭄시 용수확보에 도움이 될 것으로 분석되었다.
4. Labyrinth weir, 전도게이트와 Rubber Dam의 경제성을 분석한 결과 Labyrinth weir과 전도게이트의 공사비는 유사하고 Rubber Dam의 공사비용이 가장 적은 것으로 분석되었다.

참고문헌

1. 김중규, 2006. 농업용 저수지 재해대비 보강 시공사례-고삼 저수지를 중심으로-농어촌과 환경, No90(3) pp. 80-87.
2. 농어촌연구원, 2005. 효율적인 농업용 저수지 용수확보 및 이용방안연구.
3. 박세훈, 문영일, 서일원, 이대홍, 2005. 중소규모 댐에 대한 홍수배제능력 증대방안에 대한 연구, 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp. 735-739.
4. 변양석, 2006. 농업방재시설의 피해특성과 효율적인 조성방안, 농어촌과 환경, No90(3) pp. 30-38.
5. (주)유일기연, <http://www.고무보.kr>
6. 한국시설안전기술공단, 2006. 댐의 홍수배제능력증대를 위한 여수로 최적설계방안 연구.
7. 한국농촌공사, 2008. 농업기반시설관리시스템.
8. 國土開發 技術 研究センター, 2000. ゴム引布製起伏堰技術基準(案).