

댐 및 제방의 홍수배제 수문으로서의 Fusegate의 적용성 검토

A Study on Applicability of Fusegate as a Flood Control Gate of Dam and Levee

강경철¹⁾, 전인옥²⁾, 서일원³⁾, 박성원⁴⁾

Kyong Chul Kang, In Ok Jun, Il Won Seo, Sung Won Park

요 지

본 연구에서는 Fusegate의 방류량 증대효과, Fusegate의 역학적 거동 확인 및 천변저류지의 활용성을 목적으로 수리실험과 수치실험을 병행하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. 우선 Fusegate에 대한 이론적 연구를 바탕으로 Fusegate를 설계 및 제작하여 역학적 거동을 확인 및 이해 할 수 있었으며 방류량 증대효과도 확인하였다. 마지막으로 일반하천과 Fusegate가 설치된 천변저류지가 있는 하천의 극한 홍수 시 비교를 통해 천변저류지가 설치된 하천의 홍수방어능력이 증대됨을 알 수 있었다. 따라서 이번 연구를 통해 Fusegate 및 천변저류지의 활용 필요성을 입증할 수 있었으며, Fusegate의 개선방안을 제시할 수 있었다.

핵심용어 : Fusegate, 홍수방어능력, 수리모형, 수치모의

1. 서 론

우리나라 중·소규모 댐의 경우 대부분 홍수에 취약한 것으로 확인되고 있으며 댐이 붕괴할 경우 그 피해정도는 막대할 것이다. 따라서 이에 대한 현실적인 대책수립과 함께 보강조치가 필요하다. 하지만 시공성, 경제성, 그리고 환경적인 측면에서 현실적으로 어려운 점도 있다. 이러한 점을 고려해 볼 때 여수로 게이트의 개축을 통한 홍수방어능력증대가 치수 및 경제적인 측면에서 현실적인 대안이 될 수 있을 것이다. 이미 여러 선진국에서는 여수로 게이트에 대한 연구 및 개발이 활발한 상황이며, 이 중 Fusegate가 우리나라에서도 소개되면서 주목을 받기 시작하였다.

기존 댐의 홍수배제능력 증대 방안은 크게 나뉘어 보조 여수로 설치, 비상 여수로 및 기존 여수로 확장, 수문설치 등과 같은 구조적 대책과 제한수위 설정, 예비방류, 비상 방류설비 이용 등의 비구조적인 대책이 사용되어 왔다(권오현, 1994; 이원환, 1998). Fusegate의 경우 수문만을 교체하여 원하는 효과를 얻을 수 있으므로 기존 방법들에 비해 경제적, 환경적으로 우수한 방법이라 할 수 있다.

Fusegate의 작동원리의 핵심은 inlet well system이다. 극한 홍수 시에 수위가 첫 번째 Fusegate가 전도되는 수위까지 올라가게 되며, 이 때 물은 유수정(inlet well)으로 들어가 밑에 빙 공간을 채워 위로 작용하는 압력을 만들어 Fusegate가 전도되게 한다. 전도수위(fusegate tipping point)는 각 게이트별로 다르게 설정되어 게이트들이 순차적으로 전도되도록 설계된다. 이러한 순차적인 Fusegate의 전도는 홍수 시 여수로에 점점 넓은 개방 구간을 만들어 댐을 보호한다. 뿐만 아니라 순차적이고 정확하게 통제된 Fusegate의 전도는 하류 하천에 대홍수의 영향을 제한하게 된다. 그럼 1은 평상시의 Fusegate의 모습이며, 그럼 2는 극한 홍수 시 게이트가 전도되는 모습을 개념적으로 나타낸 것이다.

1) 서울대학교 지구환경시스템공학부 학부과정 E-mail : whity85@gmail.com

2) 서울대학교 지구환경시스템공학부 학부과정 E-mail : jioda@naver.com

3) 정회원·서울대학교 지구환경시스템공학부 교수 E-mail : seoilwon@snu.ac.kr

4) 서울대학교 지구환경시스템공학부 석사과정 E-mail : billy@snu.ac.kr

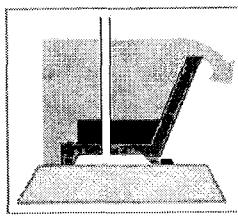


그림 1 평상시의 Fusegate의 개념도

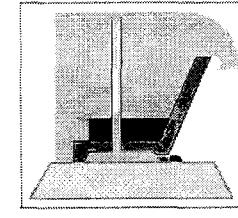
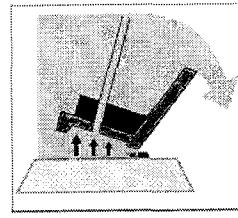
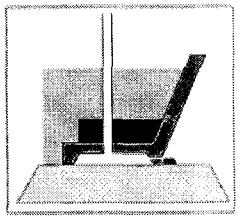


그림 2 극한 홍수 시의 Fusegate의 개념도

Fusegate에 관한 연구가 시작된 것은 10여 년 남짓으로 연구사례가 충분치 않은 상황이다. 또한 현재까지 이루어진 Fusegate에 대한 연구는 대부분 외국사례 뿐이다. 따라서 아직까지 Fusegate에 대해 연구를 한 국내사례는 찾아볼 수 없고, 다만 Fusegate와 동일한 목적에 다른 원리를 이용한 게이트 연구사례로는 유동훈 등(2005)이 수량을 우회 또는 통과시킬 목적으로 초과 유량을 방출할 수 있는 완충회전 수문실험모형을 제작하여 한계수심 및 충격량을 이론적으로 산정한 연구 등이 있다. 본 연구에서는 국내 중·소규모 댐의 저수능력 및 홍수배제능력 증대를 위해 Fusegate의 적용성을 검토하고자 한다. Fusegate에 대한 수리모형실험과 수치실험을 통해 현장 적용성 및 적합성을 검토하고 나아가서 천변저류지에서의 Fusegate 적용성을 확인해 보았다.

2. 수리모형실험

2.1. Fusegate 작동원리

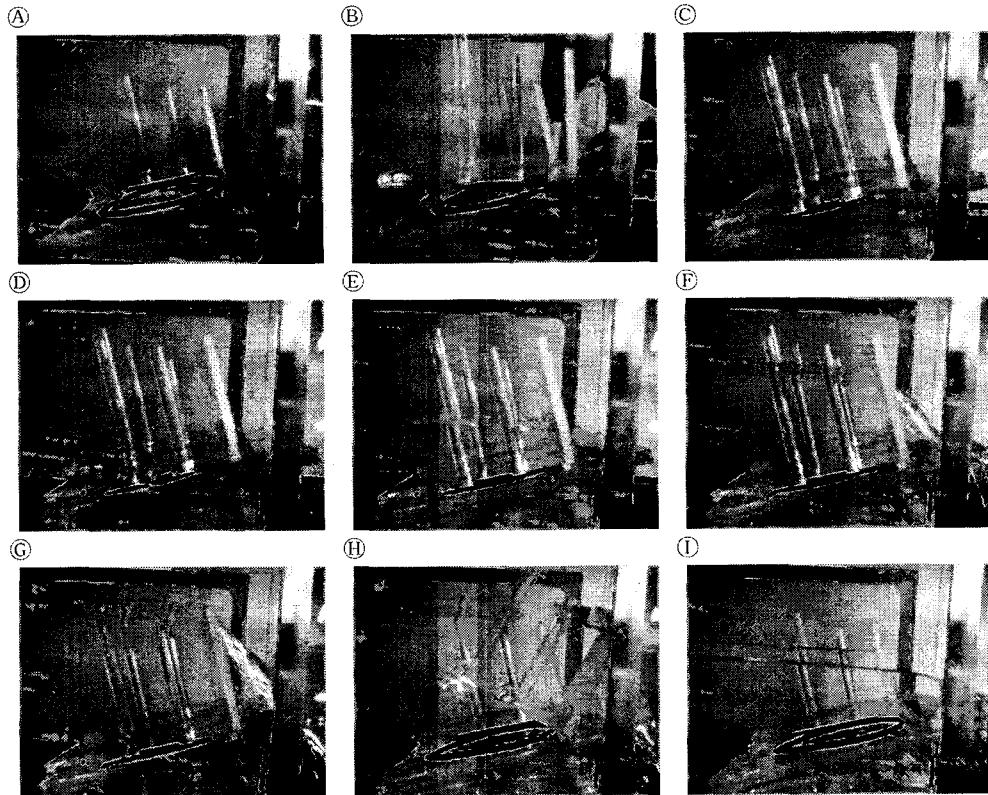


그림 3 Fusegate의 작동 모습

수리모형 실험은 크게 두 가지로 나누어 진행하였다. 첫 번째로 직접 설계 및 제작된 구조물을 통해 Fusegate의 작동원리를 살펴보았다. 그림 3이 바로 완성된 Fusegate가 실제로 작동하는 모습을 시간대 별로

정리한 사진이다. 여기서 ①에서 ⑤까지의 사진은 유수정에 물이 들어가기 전의 모습으로 Fusegate가 매우 안정적인 상태임을 볼 수 있다. 또한 Fusegate를 댐이나 월류부에 설치할 경우 저수용량을 증가시키는 효과가 있음을 알 수 있다.

⑥에서 ①까지의 부분이 바로 Fusegate가 실제로 전복되는 모습이다. ⑥에서 물이 점차 차오름에 따라 유수정의 길이가 더 낮게 설계된 유닛에 물이 들어감을 볼 수 있다. 흘러들어간 물이 빈 공간을 모두 채우게 되면 Fusegate는 ⑩와 같은 형태로 전복되게 된다. Fusegate가 전복되고 나면 ①과 같이 순간적으로 흘러나가는 유량이 증가함에 따라 수위는 급속도로 줄어들어 점차 안정화 된다. 하지만 유수정의 높이가 더 높게 설계된 뒤편의 유닛은 넘어가지 않았음을 볼 수 있다. 이와 같이 유수정의 길이 조절을 통한 순차적인 전복으로 유량 변화에 유연하게 대처할 수 있다.

2.2 Fusegate 효과분석

두 번째로 수리모형 실험은 실제로 직선형 위어와 Fusegate의 홍수 배제 능력을 비교해보는 것이다. 따라서 실험 계획 시 하나의 수로에서 직선형 위어와 Fusegate의 실험이 가능하도록 설계하였다. 최종적으로 설계, 제작된 장치는 아래 그림과 같다.

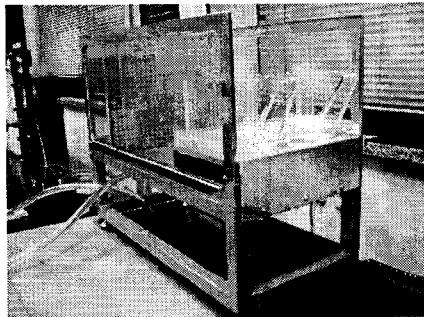


그림 4 완성된 Fusegate 및 수로

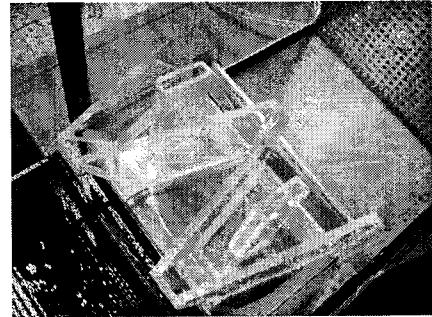


그림 5 위에서 바라본 Fusegate

위 실험 장치를 이용하여 직선형 위어와 Fusegate의 효과를 비교하기 위해 동일유량에 대한 두 게이트의 월류 수심을 비교해보았다. 동일유량에 대한 검정과정은 SPSS 프로그램을 통해 수행되었다. 분석결과 직선형 위어와 Fusegate 실험에 사용된 유량은 동일하다고 할 수 있다. 이렇게 동일하다고 검증된 유량 값에 대한 직선형 위어와 Fusegate의 월류 수심은 각각 아래 표 1과 같이 측정되었다. 표를 통해서 알 수 있듯이 같은 유량에 대해 두 위어의 월류 수심 값이 거의 두 배 이상 나는 것을 볼 수 있다. 특히 유량이 더 커질수록 그 차이는 점차 더 커진다. 따라서 이를 통해 유량이 커짐에 따라 Fusegate 가 직선위어에 비해 더욱 효과적이라는 것을 알 수 있다. 아래 표에서의 비교는 Fusegate가 전복되기 전 레버린스 위어 형태로 인한 방류량 증대 효과이고, 월류 수심이 점점 높아져 Fusegate가 전복된 후에는 방류량이 급속도로 증가하면서 수심이 낮아지는 것을 확인할 수 있었다.

표 1 직선위어와 Labyrinth 위어의 유량별 월류 수심

	직선형 위어	Labyrinth 위어
$Q_1 = 0.7 \text{ l/sec}$	$h = 13 \text{ mm}$	$h = 5 \text{ mm}$
$Q_2 = 0.5 \text{ l/sec}$	$h = 10 \text{ mm}$	$h = 4 \text{ mm}$
$Q_3 = 0.3 \text{ l/sec}$	$h = 7 \text{ mm}$	$h = 3 \text{ mm}$

3. 수치모의

3.1 수치모의 조건

그림 6에서 볼 수 있듯 Fusegate는 방출 유량을 단계적으로 증대 시킬 수 있다는 장점을 가지고 있으므로 이를 통해 천변저류지의 활용성을 보다 극대화시키고 극한 홍수 시에 주변 지역의 피해를 최소화하는 것이 가능하다. 하지만 이와 같은 Fusegate를 이용한 천변저류지의 효과는 직접적인 실험을 통해 분석하는 것에는 현실적으로 불가능하므로 수치모의 과정을 통해 진행시키고자 한다. 따라서 본 연구에서는 FLOW-3D 프로그램을 이용한 3차원 수치모의를 통해 가상의 하천에 대해서 Fusegate가 설치된 천변저류지의 효과를 분석하고자 한다.

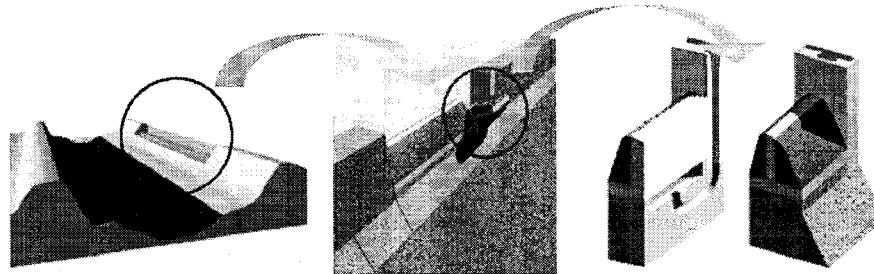


그림 6 천변저류지에 활용되는 Fusegate의 개념도¹⁾

3.2 수치모의 결과

이러한 수치모의 과정은 동일한 형태의 하천에 같은 양에 천변저류지가 설치된 경우와 그렇지 않은 경우에 대해 동일한 수량을 흘려보냈을 경우 하천 주변지역의 피해상황은 어떻게 달라지는지를 통해 분석하였다.

수치모의 분석 결과를 보면 천변저류지가 설치되어 있는 경우가 그렇지 않은 경우에 비해 하천 주변지역에 미치는 피해가 매우 작다는 것을 시각적으로 확인할 수 있다. 같은 형태의 하천에 동일한 유량을 흘려주었음에도 천변저류지의 경우 모든 월류가 저류지로 유도되면서 주변지역의 피해를 최소화시킨다. 그에 반해 일반 하천의 경우에는 모든 제방에 걸쳐 월류 현상이 일어나기 때문에 홍수 피해지역이 광범위하다. 또한 단계적으로 방출유량을 증대 시키는 Fusegate는 일반적인 Labyrinth 위어에 비해 효과적으로 홍수피해를 절감시킨다는 사실을 간접적으로 확인 할 수 있다. 이러한 Fusegate의 장점은 천변저류지의 활용성을 보다 극대화시키고 극한 홍수 시에 주변지역의 피해를 최소화하는 것이 가능하다.

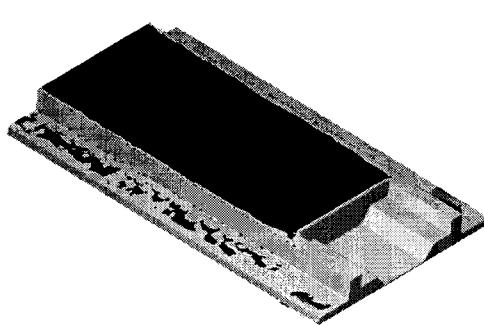


그림 7 천변저류지가 없는 하천 모의결과

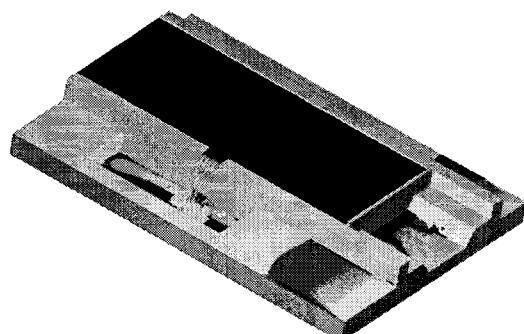


그림 8 천변저류지가 있는 하천 모의결과

1) Hydroplus 홈페이지

4. 결 론

본 연구에서는 Fusegate의 방류량 증대 효과, Fusegate의 역학적 거동 확인, 천변저류지의 활용성을 목적으로 수리실험과 수치실험을 병행하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

우선 Labyrinth 위어형태의 Fusegate와 직선형 위어의 방류량 비교 수리 실험을 통해 Fusegate의 방류량 증대효과를 확인 할 수 있었다. 세 가지 방류량에 대해 실험을 수행한 결과 Fusegate가 직선형 위어에 비해 월류 수심을 월등히 낮추는 효과가 있음을 확인 할 수 있었다. 또한 월류 수심 증가로 인해 Fusegate 유닛이 전복된 후에는 방류량의 급속한 증가와 함께 수심이 낮아지는 것을 확인하였다.

다음으로 Fusegate에 대한 이론적 연구를 바탕으로 Fusegate를 설계 및 제작하여 역학적 거동을 확인 및 이해 할 수 있었다. Fusegate 실험과정에서 Fusegate의 오작동으로 가장 크게 우려되는 부분이 수위가 유수정 높이에 이르기 전에 강수로 인해 유수정에 물이 들어가는 문제와 방수 문제이었다. 이 문제는 유수정에 2 차적인 보호막을 설치함으로써 해결이 가능하리라 생각되며 향후 연구를 통해 해결하고자 한다. Fusegate 설계 및 실험과정에서 Fusegate의 역학적 원리 및 문제점을 파악할 수 있었으며 이를 통해 향후 개선방안을 도출해 볼 수 있었다.

마지막으로 일반하천과 천변저류지가 설치된 하천의 극한 홍수 시 비교를 통해 천변저류지가 설치된 하천의 홍수방어능력이 증대됨을 알 수 있었다. 수치모의 결과, 일반하천의 경우 광범위한 지역에 홍수가 발생한 반면, 천변 저류지가 있는 하천은 천변저류지로 물이 유도됨으로써 다른 지역의 홍수를 최소화함을 확인 할 수 있었다. 하지만 Flow-3D의 특성상 수치모의 도중에 구조물 변경이 불가능하여 Fusegate의 작동에 따른 수치모의는 불가능하였다. 향후 연구에서 Fusegate의 단계적 작동에 따른 수치모의 방안을 연구해본다면 천변저류지에 Fusegate가 장착되었을 때의 효과 증명이 가능하리라 기대된다.

참 고 문 헌

1. 김우철, 김재주, 박병욱, 박성현, 송문섭, 이상열, 이영조, 전종우, 조신섭 (1996) 일반통계학, 영지문화사
2. 건설교통부 (2004). 낙동강 유역종합 치수계획
3. 권오현 (1994) 수자원공학, 새론.
4. 한국시설안전기술공단 (2005) 댐의 홍수배제능력증대를 위한 여수로 최적설계방안 연구(1)
5. Falvey, H.T. (2002) *Hydraulic design of labyrinth weirs*, ASCE Journal of Engineering Mechanics Division.
6. Gribbin, J.E. (2002) *Introduction to Hydraulics and Hydrology* 2nd, DELMAR.
7. Hwang, N.H.C. and Houghtalen, R.J. (1996) *Hydraulic Engineering Systems* 3rd, Prentice HALL.
8. 환경수리학 연구실 <http://ehlab.re.kr/>
9. Hydroplus 홈페이지 <http://www.hydroplus.com/>