

조위를 고려한 배수문의 유량계수 산정 Discharge coefficient estimation for vertical sluice gate with the consideration of tidal level

고택조¹⁾, 윤병만²⁾, 류권규³⁾

Taekjo Ko¹⁾, Byungman Yoon²⁾ and Kwonkyu Yu³⁾

1. 서 론

하천 유지 유량을 확보하고 홍수 등의 피해를 저감하기 위한 방안으로 하구에 설치되는 배수문이 제 기능을 하기 위해서는 배수문의 통수능을 정확히 파악하는 것이 필요하다. 그러나 여러 가지 현장 조건을 고려하지 않고, 텍스트(Chow, 1959; 우효섭, 2002)나 지침서 등에 제시된 유량계수를 현장에 사용하는 것은 많은 오차를 포함하게 된다. 특히 서해와 같이 조차가 심한 바다와 접해 있는 배수문의 경우는 방류량과 유량계수가 조위의 영향을 크게 받게 된다(김채수와 남선우, 1989). 따라서 본 연구에서는 수리모형실험을 통하여 서해 조위의 영향을 받는 굴포천 방수로 배수문의 유량계수를 산출하고자 한다.

2. 실 험

2.1 수리모형

본 연구 대상은 한강의 지류인 굴포천 유역의 침수 방지를 위한 방수로 사업의 일환으로 방수로 하구인 인천광역시 서구 시천동 간석지에 건설되는 서해 배수문이다(건설교통부, 한국수자원공사, 2005). 서해배수문은 12.5×9.5 m 로 된 4련 수문으로, 총유효폭은 50m 이며, 배수문 바닥 표고는 EL. -3.0 m, 방수로의 하상고는 EL. -3.5 m 이다. 또한, 수문 우안측에 용량 510 만 m³의 홍수 조절지가 직접 맞닿아 있다(그림 1).

대상 구간에 대한 수리모형 실험을 하기 위해 Froude 상사 법칙을 이용하여 축척 1/50로 그림 2

와 같이 제작하였다.

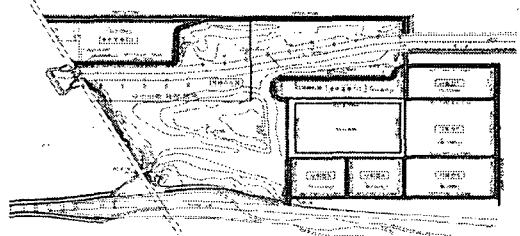


그림 1. 서해 유수지 모형의 제작 범위

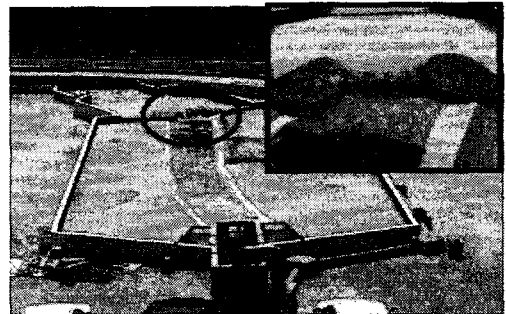


그림 2. 서해 유수지 모형

2.2 실험 조건

배수문의 통수능은 내수위, 수문 개방고, 하류 수위에 밀접한 관계를 가지고 있다. 특히 하구에 시공된 배수문인 경우는 조위가 하류 수위가 되므로 일반 하천과는 달리 수문 유입 유량과 수문 개방고에 완전히 독립적인 인자로 작용한다.

배수문에 유입되는 100년 빈도 홍수량은 1,207 m³/s 이고, 서해의 대조평균 만조위는 EL. 4.63 m 이다.

1) 명지대학교 토목환경공학과 석사과정
2) 명지대학교 토목환경공학과 교수
3) 명지대학교 토목환경공학과 BK21 연구교수

실제 배수문의 조작은 일반적으로 외수위가 내수 위보다 높아져 해수가 하천으로 유입 될 때는 폐문 하게 된다. 본 실험 역시 내수위가 외수위보다 높아 내수 배제가 일어나는 경우만을 대상으로, 내수위, 조위, 수문 개방고의 관계에 따라 흐름을 분류하였다. 이 때 배수문을 통과하는 수면형의 형태에 따라 잠긴오리피스(case 1), 수면 오리피스(case 2), 잠긴 위어(case 3), 자유유출 위어(case 4)의 네 가지로 구분하여 각 case별로 실험을 실시하여 유량계수를 산정하였다. 이 때 배수문 4기의 개방고는 동일하다고 가정하였다.

3. 결과의 분석

3.1 잠긴 오리피스(case 1)

조위 수심이 수문 직하류의 공역수심보다 큰 경우로 개구 수문의 흐름이 수중에 잠기게 되어 잠긴 흐름(submerged flow)이 되며, 그림 3의 모식도와 같이 개구 수문에 의한 사류 체트류 위에 와류가 없혀 있는 형태이다. 이 흐름의 유량은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

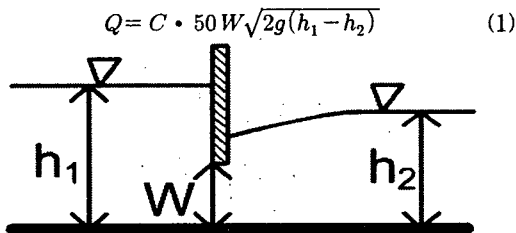


그림 3. 잠긴 오리피스 모식도

위와 같은 잠긴 흐름을 발생시키는 조건을 만들기 위하여, 표 1과 같이 조위를 각각 EL. 3.63, 4.13, 4.63, 5.13 m 인 경우에 대해 유량과 수문 개방고를 변화시켜 실험을 수행하였다.

표 1. 잠긴 오리피스인 경우의 흐름조건

유량 Q (m^3/s)	개방고 W (m)	상류수심 h_1 (m)	조위수심 h_2 (m)
899	3.5	8.60	6.63
899	4.5	7.95	6.63
899	4.5	8.20	7.13
899	5.0	7.90	7.13
899	5.5	7.70	7.13
899	3.5	9.70	7.63
899	4.0	9.30	7.63
899	4.5	8.85	7.63
899	5.0	8.55	7.63

899	5.5	8.35	7.63
1,071	4.5	8.50	7.13
1,071	5.0	8.20	7.13
1,071	5.5	8.00	7.13
1,071	4.5	9.55	7.63
1,071	5.0	8.85	7.63
1,071	5.5	8.45	7.63

유량 계수를 구하기 위해, 이 실험 결과를 무차원 값인 $(h_1 - h_2)/W$ 에 대해 도시하면 그림 5와 같다. 이 그림에서 알 수 있듯이, 유입 유량과 수문개방고가 동일하더라도 조위가 다르면 유량계수가 달라지고 있다.

유량계수의 범위는 0.82 ~ 0.86에 집중되어 있고, 수두차가 클수록 점차 0.82로 수렴해 간다. 이를 통해 $(h_1 - h_2)/W > 0.2$ 이상이면 유량계수는 0.82 ~ 0.83을 사용하는 것이 타당하다고 여겨진다.

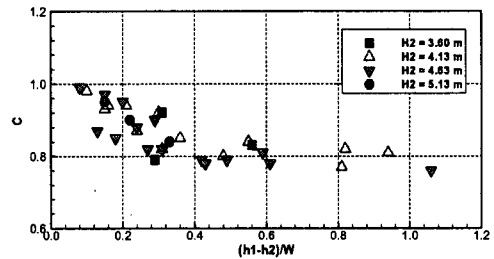


그림 4. 잠긴 오리피스 경우의 유량계수

3.2 수면 오리피스(case 2)

수면 오리피스는 개방고가 주어진 유량에 대한 한계 수심보다 낮고, 조위가 수문까지 완전히 닿지 않는 저조위일 때 발생한다. 수면 오리피스의 수면형은 그림 5와 같이 형성되며, 유량은 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Q = C \cdot 50 W \sqrt{2gh_1} \quad (2)$$

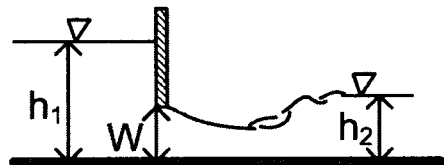


그림 5. 수면 오리피스 모식도

즉, 수면오리피스의 경우 유량은 조위 조건과 관계없이 수심과 수문 개방고에만 의존하게 된다. 식 (2)를 기준으로 흐름을 만들어, 주어진 조건하에서

실험한 결과는 표 2와 같다.

표 2. 수면 오리피스인 경우의 흐름조건

유량 Q (m^3/s)	개방고 W (m)	상류수심 h_1 (m)
1,097	3.00	6.50
1,097	3.50	5.00
1,097	4.00	3.70
1,162	3.50	5.70
1,162	4.00	4.40
1,214	3.50	6.20
1,214	3.50	5.65
1,214	4.00	5.15
1,214	4.00	4.65
1,214	5.00	4.05
1,214	5.00	4.15
1,280	4.00	5.40
1,280	4.50	4.50

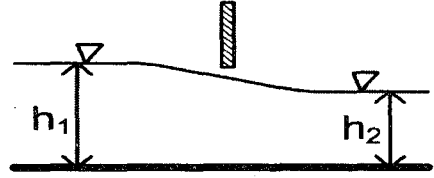


그림 7. 잠긴 위어 모식도

표 3. 잠긴위어인 경우의 흐름조건

유량 Q (m^3/s)	상류수심 h_1 (m)	조위수심 h_2 (m)
1,478	7.63	6.63
1,332	7.31	6.38
1,207	8.35	7.88
1,071	6.40	5.33
899	5.90	5.13
600	4.85	4.28

이 결과를 h_1/W 와 유량계수의 관계로 도시하면 그림 6과 같다. 그림 6에 보인 것과 같이, 유량계수는 h_1/W 에 대해 비선형적이거나 점진적으로 0.55로 수렴하고 있다. $1.8 < h_1/W < 3.0$ 에서 유량계수는 0.52를 취하는 것이 바람직한 것으로 보인다.

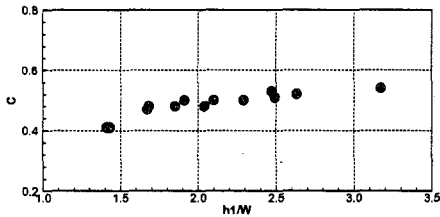


그림 6. 수면 오리피스 흐름의 유량계수

3.3 잠긴 위어 (case 3)

잠긴 위어 흐름은 수문의 개방고의 영향을 받지 않는 흐름이다. 또한, 하루의 수심이 상류의 유효수두의 83~85% 이상이 되는 상류(常流)로서 도수가 발생하지 않는다.

잠긴위어의 수면형은 그림 7과 같다. 잠긴위어 6개의 case를 선정하여 표 3과 같이 실험을 수행하였다.

$$Q = C \cdot 50h_2 \sqrt{2g(h_1 - h_2)}, \quad (h_2 \geq 0.83h_1) \quad (3)$$

잠긴 위어(case 3)과 다음의 자유 유출 위어(case 4)의 경우는 앞의 잠긴 오리피스(case 1)과 수면 오리피스(case 2)의 경우와 달리 h_1/W 의 관계로 나타낼 수 없다. 따라서, 그 결과를 실험에서 공급한 유량과 유량공식으로 산정된 유량의 비(유량계수에 해당)로 나타낸다. 잠긴 위어의 경우 그림 8에서 볼 수 있듯이, 유량계수를 나타내는 기울기는 약 1.0이며, 거의 모든 경우에 대해 대체로 일정한 값을 유지하는 것으로 나타났다.

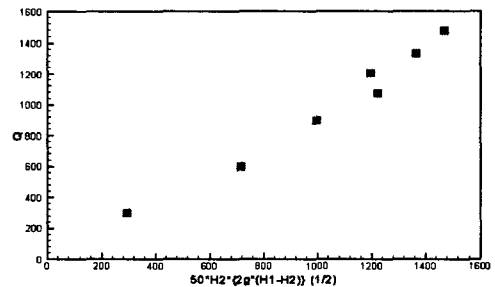


그림 8. 잠긴 위어 흐름의 유량

3.4 자유유출 위어 (case 4)

하류수심이 상류의 유효 수두의 80~83% 이하에서 발생하는 자유유출은 광정위어의 자유 월류형으로 볼 수 있다. 자유 유출의 유량은 식 (4)와 같이 나타낼 수 있으며, 이 흐름을 모식적으로 나타내면 그림 9와 같다. 자유유출위어의 수면은 수문에 접하

지 않고, 하류에서 도수가 일어난다.

4. 요약 및 결론

$$Q = C \cdot 50 \frac{2}{3} h_1 \sqrt{2g \frac{1}{3} h_1}, \quad (h_2 \leq 0.8h_1)$$

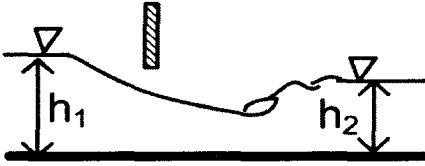


그림 9. 자유유출 위어 모식도

자유 유출 위어 실험의 흐름 조건은 표 4와 같으며, 유량계수가 0.85일 때 수위별 유량을 보이던 그림 10과 같다.

표 4. 자유유출 위어 경우의 흐름조건

유량 Q (m^3/s)	상류수심 h_1 (m)	조위 수심 h_2 (m)
1332	7.08	4.33
1207	6.60	3.66
1071	6.05	3.18
899	5.70	3.73
724	4.70	4.01

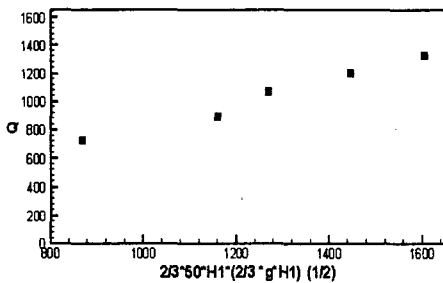


그림 10. 자유유출 경우의 유량

(4) 굴포천 방수로 배수문의 유량계수는 조위와 내수위, 수문 개방고의 관계에 따라 크게 4가지의 경우로 나타낼 수 있다.

우선, 수면이 수문에 접하여 유량계수가 변하는 잠긴 오리피스와 수면 오리피스로 나눌 수 있다. 도수가 발생하지 않는 잠긴 오리피스의 경우는 $(h_1 - h_2)/W > 0.2$ 이상이면, 유량계수는 대략 0.82이다. 반면, 도수가 발생하는 수면 오리피스는 $1.8 < h_1/W < 3.0$ 이면 0.52이다. 만일 이 범위를 벗어나면 수위와 조위, 수문 개방고를 고려하여 적절한 유량계수를 취해야 할 것이다.

다음으로는 수면이 수문에 접하지 않아 단일한 유량계수를 가지는 잠긴 위어형과 자유유출 위어형이 있다. 도수가 발생하지 않는 잠긴 위어형은 유량계수가 0.1이고, 도수가 발생하는 자유유출 위어형은 0.85이다.

실제 배수문에서 수문은 완전한 개폐를 기준으로 조작될 것이다. 그러나 수문을 인양할 때 오리피스 형태의 배수가 생기기 때문에 본 연구에서는 현실적으로 생길 수 있는 4가지 case 모두에 대해 유량계수를 산정하였다.

감사의 글

본 연구는 굴포천 방수로 2단계 건설사업의 연구비지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 건설교통부, 한국수자원 공사 (2005). 굴포천 방수로 2단계 건설사업 제 3공구 시설 공사 실시설계 보고서.
- 김채수, 남선우 (1989). 수문을 통한 흐름의 유량계수 분석, 한국수문학회지, 제22권 제1호, pp. 91-98.
- 우효섭 (2001). 하천수리학, 청문각
- Chow, V. T. (1988). Open-channel hydraulics, McGraw-Hill.