

홍수유입방지를 위한 무동력 지수 게이트

Non-powered Cut-off Gate to Prevent Inundation by Floods



조 병 진
경상대학교 명예교수
bhcho@gnu.ac.kr



류 기 승
(주)태영엔지니어링 고문

1. 머리말

중소하천을 수자원으로 하는 중산간지역의 도수로에서는 홍수시에 하천수위가 올라가면 하천으로부터 많은 물이 유입되기 때문에 월류에 의하여 수로가 붕괴되는 경우가 있으며, 또한 물과 함께 하천 내의 토사가 대량으로 유입된다.

따라서 홍수 후는 붕괴된 수로의 복구와 퇴적된 토사의 준설작업이 필요하게 된다. 일본에서 이 작업은 수익농가에서 하게 되는 경우가 대부분이며, 일부 작업에 지원금이 지불되고 있으나 많은 노력이 필요하다.

따라서 수익농가의 노력을 경감하려면 도수로에 대한 홍수의 유입을 방지하는 것이 가장 효과적이다. 이 기능을 두수공에서 할 수 있도록 취입구를 게이트 조작에 의하여 지수시키는 관리를 해야 한다.

그러나 중산간지역에 있는 취입구에서의 지수는 각각 판 등을 이용하여 인력으로 해야만 한다. 또한 취입구에

서 수익지까지의 수로가 길고 도수로에 접한 관리용 도로는 좁고 포장되지 않은 경우가 많으므로 홍수시의 지수관리는 위험이 따른다.

더욱이 과소화·고령화의 영향으로 게이트 관리자는 감소하고 있다. 그러므로 중산간지역에서 홍수시의 게이트 관리는 실제로 불가능하다. 이 문제를 해결하기 위하여 홍수시에 수로내의 수위가 상승하면 자동적으로 폐쇄되어 유입을 막고, 홍수 후에 수위가 저하되면 자동으로 개방되어 통수를 하는 자동지수 게이트가 개발되었다.

자동지수게이트의 작동 특성은 축척수리모형실험에 의하여 확인되었으며, 실용화에 있어서는 규격과 재질 등을 변경하여 검토할 필요가 있다.

2. 무동력 지수게이트의 개요

가. 게이트의 구조

무동력 지수게이트에서 수익지까지의 개요를 나타내면 그림1과 같다.

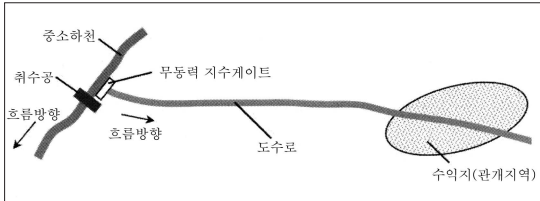


그림 1. 무동력 지수게이트와 수익지의 위치

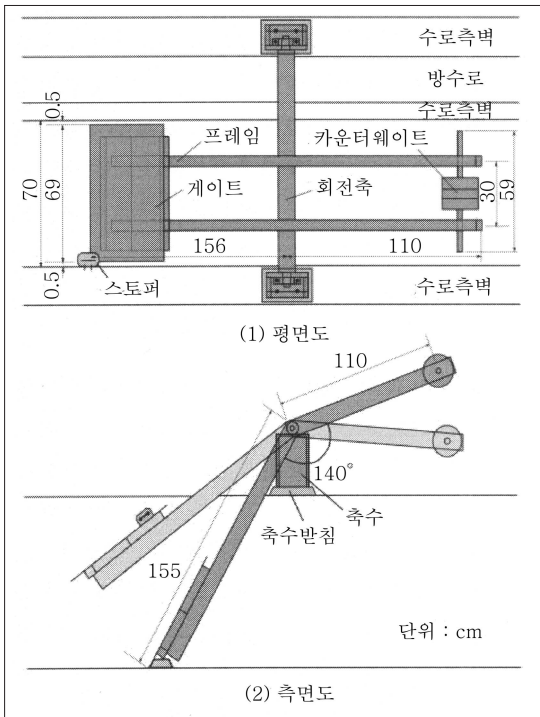


그림 2. 무동력 지수게이트 단면도

게이트의 설계와 제작은 폭 0.7m, 높이 1.0m의 현지 수로에 설치하는 것으로 제작 하였다(그림2 참조). 설계는 강구조물계화설계기술지침(일본농업토목사업협회, 1999)에 따라 하였고, 게이트의 강도는 수로의 월류시에 수압과 토사압에 견디는 재질로 하였다.

게이트 부재는 일반적으로 구입이 가능한 것으로 하였는데 스킨플레이트(skin plate)와 프레임(frame), 카운터웨이트(counter weight)는 일반구조용 압연강재, 회전축에는 탄소강강관, 축수(軸受)에는 블록형을 사용하였다. 카운터 웨이트는 관리자가 쉽게 탈착을 할 수 있도록 분동(分銅) 형상으로 하여 무게 10kg 2개, 5.5kg 2개, 2.5kg 1개로 제작하였으며 게이트의 중량은 표-1과 같다.

표 1. 게이트의 중량

부 분		중량 (kg)
게이트, W ₁	스킨플레이트	26.0
	뼈 대	8.9
게이트측 프레임, W ₂		23.8
회 전 축		16.1
카운터 웨이트 측 프레임, W ₃		23.8
카운터 웨이트, W ₄		10.0×2
		5.5×3
		2.5×1

그림3은 게이트의 작동을 설명하고 있다.

- 1) 평상시는 회전축을 중심으로 상류측 게이트와 하류측 카운터 웨이트가 평형을 유지하고 게이트는 개방된 상태에서 정지한다.
- 2) 게이트의 개방은 홍수 규모에 알맞게 카운터 웨이트의 무게로 조절된다.
- 3) 홍수시는 수위와 유량의 증가와 함께 게이트에 작용하는 힘이 증가하여 게이트가 폐쇄된다.
- 4) 홍수 후는 유량 감소와 함께 게이트에 작용하는 힘이 감소하여 게이트가 자동적으로 개방된다.

또한 수로 바닥에는 게이트 폐쇄시의 충격을 완화시키는 고무를 부착하고 수로측벽에는 작동위치를 유지하기 위하여 게이트의 평형시의 상태를 고정하는 스토퍼(stoper)를 부착하였다.

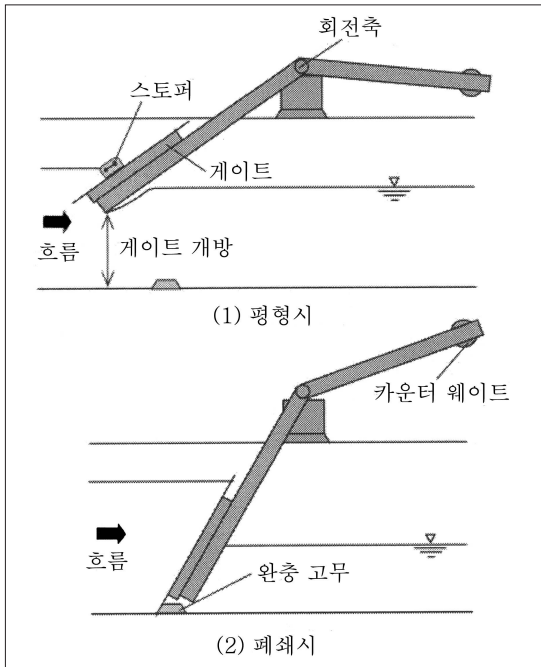


그림 3. 무동력 지수게이트의 작동

나. 게이트의 작동

개방작동은 회전축을 중심으로 하여 상류측의 폐쇄방향 모멘트 [M_c (게이트에 작용하는 힘 F 의 모멘트 M_{gc} + 게이트와 프레임 중량의 모멘트 M_{wc})]가 하류측의 개방방향 모멘트 [M_o (카운터웨이트의 모멘트 + 프레임 중량의 모멘트)]를 초과하면 개방된다(그림4 참조).

각각의 모멘트를 수식으로 나타내면 식(1), (2), (3), (4)과 같다.

$$M_c = M_{gc} + M_{wc} \quad (1)$$

$$M_{gc} = \rho B \sin \theta [h_1 v_1 (v_1 - v_2) + \frac{1}{2} g (h_1 - h_2)] [L - \frac{1}{2} \frac{(h_1 - a)}{\sin \theta}] \quad (2)$$

$$M_{wc} = w_1 g l_1 \cos \theta + w_2 g l_2 \cos \theta \quad (3)$$

$$M_o = w_3 g l_3 \cos(\theta + 140^\circ - 180^\circ) + w_4 g l_4 \cos(\theta - 140^\circ - 180^\circ) \quad (4)$$

여기서, ρ : 물의 밀도, B : 수로 폭,

θ : 게이트와 수로바닥과의 각도

h_1 : 상류수심, v_1 : 상류 유속, h_2 : 하류수심

v_2 : 하류 유속, g : 중력가속도

L : 회전축에서 게이트 선단까지의 거리

a : 게이트의 개방, w_1 : 게이트의 중량

w_2 : 게이트측 프레임의 중량

w_3 : 카운터웨이트측 프레임의 중량

w_4 : 카운터웨이트의 중량

l_1 : 회전축에서 w_1 까지의 거리,

l_2 : 회전축에서 w_2 까지의 거리

l_3 : 회전축에서 w_3 까지의 거리

l_4 : 회전축에서 w_4 까지의 거리

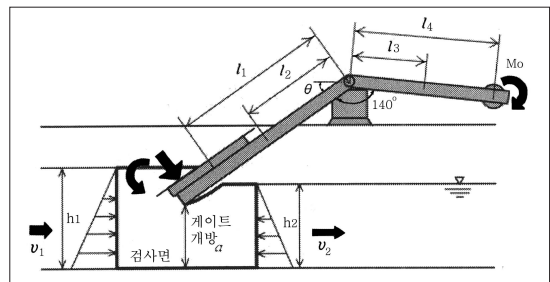


그림 4. 게이트 폐쇄시의 작용력

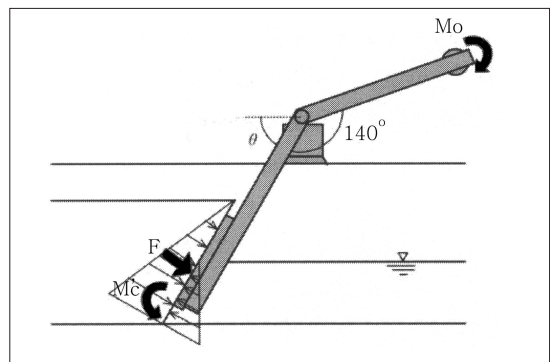


그림 5. 게이트 개방시의 작용력

개방시 작동은 개방방향의 모멘트[M_o (카운터웨이트의 모멘트 + 프레임 중량의 모멘트)]가 폐쇄방향의 모멘트[M_c (게이트에 작용하는 정수압 F 의 모멘트 M_{gc} + 게이트와 프레임 중량의 모멘트 M_{wc})]를 초과하면 개방된다(그림5 참조).

각각의 모멘트를 수식으로 나타내면 식(5), (6)와 같다.

$$M_c' = M_{gc}' + M_{wc} \quad (5)$$

$$M_{gc}' = P[L - \frac{p_1 h_1' - p_2 h_2'}{3P \sin \theta}] + M_{wc} \quad (6)$$

여기서, P : 게이트에 작용하는 전체 수압,

p_1 : 게이트 상류의 전체 수압

p_2 : 게이트 하류의 전체 수압

h_1' : 상류수심, h_2' : 하류수심,

3. 무동력 지수게이트의 작동실험

가. 실험장치

실험에 사용된 수로[그림6 참조]는 “농공연 수로공 실험동”에 있는 폭 1m, 높이 1m, 길이 65m의 콘크리트 수로이다. 상류에서 25~45m 사이는 수로 내를 폭 10cm의 격벽으로 분할하고, 폭 70cm측을 주수로[도수로], 폭 20cm측을 측수로[게이트 폐쇄시에 생기는 잉여수를 방류한다]로 하였다. 주수로에 게이트와 격벽에 여수토를 접속시켰다.

수로 하류단에는 수심을 조절하기 위한 언(堰)을 설치하였다. 게이트로부터 상류 2m를 계측단면①, 하류 3m를 계측단면②로 하였다. 계측단면①에서는 예비실험[유량 70, 100, 150l/s 하류언고 10, 15, 20cm]에 의하여 평균유속이 계측된 $x=35\text{cm}$, $y=10\text{cm}$ 의 위치에

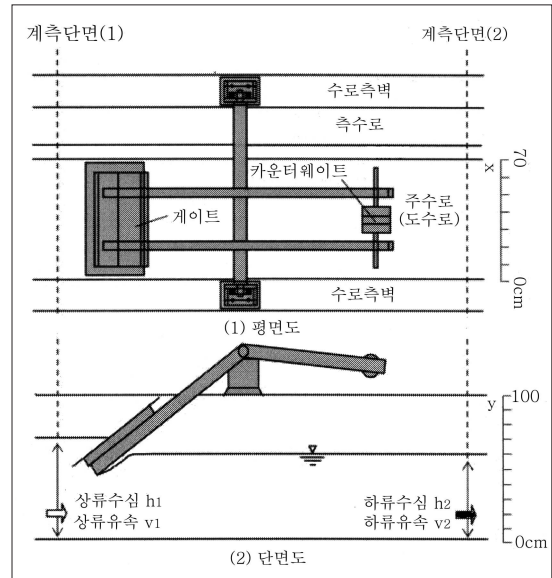


그림 6. 실험장치 일반도

전자류속계, $x=35\text{cm}$ 의 위치에 수위계를 설치하였다.

단면②에서는 같은 예비실험에 의하여 평균유속이 계측된 $x=40\text{cm}$, $y=14\text{cm}$ 위치에 전자류속계, $x=40\text{cm}$ 의 위치에 수위계를 설치하였다.

나. 실험방법 및 실험조건

게이트의 폐쇄작동을 확인하는 실험은 카운터웨이트의 증감에 의하여 게이트의 개방을 20, 30, 40, 50cm로 고정하고, 상류의 유량을 60l/s에서 5분마다 30초간에 5l/s를 증가시키면서 실시하였다. 게이트의 폐쇄작동이 개시될 때의 단면①, ②의 수심[h_1' , h_2']과 유속[v_1 , v_2]을 계측하였다.

게이트의 개방작동을 확인하는 실험은 폐쇄상태에 있는 게이트의 상류수심(h_1')을 여수토에서의 유출과 펌프에 의한 흡출에 따라서 하강시키면서 하였다. 게이트의 개방작동이 개시될 때 단면①, ②의 수심(h_1' , h_2')을 계측하였다.

다. 실험결과

1) 게이트의 폐쇄작동특성

게이트의 폐쇄작동은 유량 증가와 함께 게이트에 걸리는 수심(h_1-a) 또는 게이트에 작용하는 상류유속(v_1)과 하류유속(v_2)이 커지면서 폐쇄되었다. 케이스1~15의 h_1-a 와 v_1 을 그래프에 플로트하여 작동특성마다 영역을 나누었다(그림7 참조). 또한 h_1-a 와 v_2 에 대해서도 같은 방법으로 정리하였다(그림8 참조).

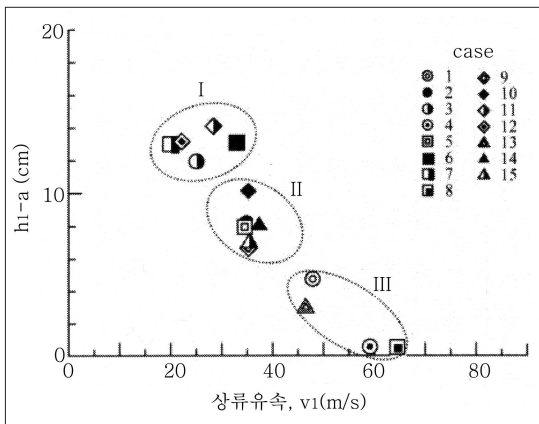


그림 7. 폐쇄작동시 h_1-a 와 상류유속

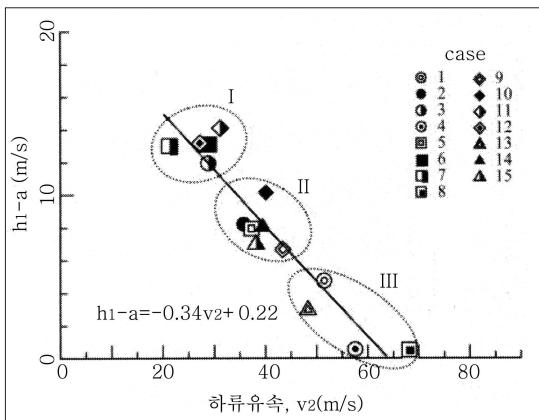


그림 8. 폐쇄작동시 h_1-a 와 하류유속

가) 영역 I의 작동 특성

초기 수심이 크므로 상류유속(v_1)과 하류유속(v_2)은 20~30cm/s로 되었으며, 유량 증가에 따라 h_1-a 이 12~14cm까지 증가되면 폐쇄작동이 시작되었다. 폐쇄작동이 시작되기 까지 게이트에 미소한 진동이 나타났으며, 이 때 게이트 하부의 흐름은 자유유출상태로 되었다. 또 폐쇄작동 시작부터 폐쇄까지의 소요시간은 8~12 sec 걸렸다.

나) 영역 II의 작동특성

상류유속(v_1)과 하류유속(v_2)은 30~40cm/s, h_1-a 는 8~10cm로 되어 영역 I과 영역III의 중간 측정치이다. 이 영역에서는 게이트의 진동이 커지는 현상이 발견되어 이 때 게이트 하부의 흐름은 천이(遷移)유출상태로 되었다. 또한 폐쇄작동 시작부터 폐쇄까지의 소요시간은 4~5 sec 걸렸다.

다) 영역 III의 작동특성

초기수심이 작으므로 상류유속(v_1)과 하류유속(v_2)은 50~60cm/s로 빠르고 h_1-a 는 4cm이하이며, 게이크 하부에 접수되는 사이도 없이 폐쇄작동이 시작되었다. 따라서 게이트의 진동이 생기지 않았다. 또 폐쇄작동시작부터 폐쇄까지의 시간은 2~4 sec로 짧았다.

2) 게이트의 개방작동특성

게이트의 개방작동은 유량감소와 함께 상류수심(h_1')이 자아지면 시작되었다. 케이스1~15에서 h_1' 과 하류수심(h_2')의 차가 +2~4cm일 때 개방작동이 시작되었다. 또 h_2' 는 하류언이 높을수록 같아졌다.

라. 게이트의 작동계수

게이트의 폐쇄작동과 개방작동이 시작되기 위한 조건을 나타내면, 작동계수는 개방작동에서는 $a=M_o/M_c$, 폐쇄작동에서는 $\beta=M_o/M_c$ 로 하여 실험결과로부터 산정(算定)하였다.

개방작동이 시작되기 위한 조건 $a=M_o/M_c$ 는 1.02~1.09로 되었다. 따라서 a 가 이 값 이하이면 게이트는 폐쇄된다. 폐쇄작동이 시작되기 위한 조건 $\beta=M_o/M_c$ 는 1.02~1.14로 되었다. 따라서 β 가 이 값 이상이면 게이트는 개방된다.

4. 무동력 지수게이트의 설계

게이트의 설계에 있어서는 먼저 수로 제원으로부터 게이트의 형상을 가정하고 게이트의 폐쇄작동이 시작되는 수심 등을 설정한다. 다음에 이를 이용하여 폐쇄작동 시작시의 폐쇄방향·개방방향의 모멘트를 산출한다.

모멘트가 (폐쇄방향>개방방향)으로 되지 않을 경우는 게이트 중량 수정과 게이트형상 수정을 한다. 이와 같이 설정된 수심에서 게이트의 폐쇄작동이 시작되기까지 시산(試算)을 반복 한다.

가. 게이트의 위치 선정

게이트의 설치위치는 취수공의 취입구에 가까운 곳이 좋다. 이것은 게이트 폐쇄시에 생기는 잉여수를 하천으로 배수할 수 있기 때문이다. 설치위치가 취입구에서 멀리 떨어져 있을 경우는 방수로 등의 부대시설을 설치하여 잉여수를 하천까지 배수시켜야 한다. 또한 설치위치의 수로는 게이트 형상에 따라 구형단면으로 한다. 게이

트가 적용 가능한 수로폭은 중산간지역의 수로폭과 같은 정도로 보며, 0.5~1.5m정도로 한다.

나. 설계조건인 설정

1) 수로제원

게이트 설치위치의 수로폭, 수로고, 사면기울기를 정리한다.

2) 수로의 설계류량, 수심, 유속

평상시에 흐르는 설계유량과 게이트 설치위치의 설계수심, 유속을 정리한다. 평상시에 흐름을 방해하지 않도록 게이트의 개방은 설계수심 이상으로 하면 좋다.

3) 폐쇄작동시작시의 수심, 유속

게이트의 폐쇄작동이 시작되는 수심을 설정하고 이를 계획폐쇄작동수심(H_p)으로 한다. H_p 는 수로고, 수로의 유하능력, 하류측 수로구조물 등을 감안하여 결정한다. 또한 H_p 는 설계수심(정상시)보다 5cm이상 크게 한다. 이것은 폐쇄작동이 쉽게 시작되기 위함이다. 5cm미만의 경우는 게이트 설치위치의 수로형상을 재검토해야 한다. 폐쇄작동 시작시의 유속은 등류계산으로 산출한다.

4) 게이트의 설계최대수심

게이트 폐쇄시의 최대수심을 설정한다. 이 수심은 게이트 상류부 여수토의 언정(堰頂) 월류수심을 고려한 것이다. 설계최대수심은 게이트 높이의 결정, 게이트 부재의 구조계산에 사용한다.

다. 게이트의 형상 가정

게이트의 폭은 수로폭에 알맞게 하며, 마찰을 피하기 위하여 벽면 사이에 0.5cm 정도의 간격을 두도록 한다. 게이트의 높이는 게이트 폐쇄시에 게이트의 상부가 설계최대수위가 되도록 설정한다. 실제의 게이트 치수는 폐쇄시의 수로바닥과의 각도를 바탕으로 결정한다.

게이트와 카운터웨이트를 접속하는 프레임의 각도는 플로트형 게이트와 같이 140° 정도로 한다. 이것은 카운터웨이트가 수로 천단 부근에 위치하는 각도이며, 카운터웨이트의 탈착을 쉽게 할 수 있도록 설정한 것이다. 폐쇄시의 수로바닥과 게이트의 각도는 플로트형 게이트와 같이 60° 정도로 한다.

게이트의 개방은 평상시의 수심이상으로 한다. 또한 폐쇄작동 시작시에 게이트에 걸리는 수위가 10cm~15cm로 되도록 설정하면 좋다. 게이트의 중량은 부재의 재질을 구조계산에 의하여 결정하고 각부재의 중량을 각각 계산한다.

카운터웨이트의 중량은 게이트의 개방을 유지하며, 회전축을 중심으로 하는 게이트 좌우의 모멘트가 평형상태가 되는 중량으로 한다.

라. 폐쇄작동수심의 산출

“나. 3)”에서 정해진 조건과 “3. 나)”에 나타낸 작동식, “4. 다)”에 나타낸 작동계수[여기서는 $a=1.05$, $\beta=1.08$ 로 한다]를 이용하여 폐쇄작동 시작시의 수심(H_c)을 산출한다. 또한 h_2 의 산출은 같은 방법이 고려되나 여기서는 실험결과에 따라 ($h_1-0.4$)cm로 한다. 또한 u_2 는 h_2 를 이용하여 평균유속공식으로 산출한 값과 그림 8로 구한 값을 비교 검토하여 결정한다.

마. 폐쇄작동수심과 계획폐쇄작동수심의 비교

“라”에서 산출된 폐쇄작동시작시의 수심(H_c)과 “나”에서 설정한 계획폐쇄작동수심(H_p)의 차이를 비교한다. 수심차이가 있을 경우는 다음과 같이 조건 변경을 하여 시산을 반복한다.

- ① $H_p=H_c$ 일 때는 게이트의 형상을 확정한다.
- ② $H_p>H_c$ 일 때는 카운터웨이트 중량을 증가시켜 H_p 를 크게 하여 “라”에 따라 재계산을 한다.
- ③ $H_p>H_c$ 또한 $H_c-H_p<50$ cm일 때 즉, 수심차가 적을 때(게이트 높이의 1/2정도 50cm미만)는 카운터웨이트의 중량, 게이트와 수로바닥의 각도, 게이트 개방에 대한 재검토를 하고 “라”에 따라 재계산을 한다.
- ④ $H_p>H_c$ 또한 $H_c-H_p>50$ cm일 때 즉, 수심차가 클 경우는 “다”에 따라 다시 게이트의 형상을 검토한다.

바. 게이트의 상세설계

게이트의 형상 확정 후 게이트마다 스톱퍼(stoper), 완충고무의 형상, 제원을 확정하고 또한 부대시설로서 방수로, 방호울타리 등을 검토한다.

5. 맺음말

플로트형 무동력 지수게이트에 대하여 작동특성을 소개하고 또한 작동식과 실험에 의하여 구한 작동계수를 이용하여 게이트형식을 설계하는 순서를 나타내었다. 플로트형 게이트의 작동특성은 실내실험에서 확인한 것이므로 게이트를 현장에 설치할 경우는 각종 문제가 생길 것으로 예상된다.

예를 들면 유목(流木) 등의 표류물이 게이트의 폐쇄작동에 장애로 될 가능성이 있고 또한 게이트의 개방작동은 게이트 상류수심이 저하하여 하류수심과의 차이가 2~4cm일 때 시작되므로 게이트 폐쇄 후에 하류수심이 정상시로 유지되지 않으면 게이트는 무동력으로 개방되지 않을 것으로 예상된다. 따라서 현장의 상황을 확인하여 하류수심이 낮은 경우는 이를 확보하는 방법을 고려해야 한다.

기타 설하중과 강풍의 영향으로 게이트의 폐쇄작동이 예상외로 작동되는 경우도 고려한다. 따라서 현장에서 생기는 여러 문제는 앞으로 검토할 필요가 있으며, 이 게이트는 “지수게이트의 개폐구조”라는 이름으로 일본의 농촌공학연구소, 일본하공영주식회사 및 풍국공업주식회사에서 공동으로 특허출원 중에 있다.

참고문헌

1. 向井章惠 · 川井 明 · 村上文明 · 江田保正 · 佐竹正文 · 中達雄 : “洪水流入防止のための 無動力止水ゲート”, 農村工学研究所技報 第206号, 2007, pp.267~274.
2. 向井章惠 · 川井 明 · 村上文明 · 江田保正 · 佐竹正文 · 中達雄 : 洪水流入防止のための 無動力止水ゲート, 農村計画学会誌, 22(1), p.17-25
- 3) 島 武男 · 田中良和 · 中 達雄 · 川尻裕一郎 · 片山秀策 (2002) : 中山間地水路の維持管理 実態と自動止水ゲートの開発, 農業土木学会誌, 70(2), p.121-125

기획: 홍성구 편집부위원장 bb9@hknu.ac.kr