

유량조절이 가능한 사이펀 여수로 수리모형실험

Hydraulic Model Test for Siphon Spillway Capable of Controlling Discharge

정재상*, 장은철**, 이창훈***

Jae-Sang Jung, Eun-Cheol Jang, Changhoon Lee

Abstract

In this study, capability of an air slot in a siphon spillway for controlling outflow discharge is investigated through hydraulic experiments. Arc and rectangular shapes of air slot are considered and the open area of air slot can be varied. Complex air-regulated flow occurs inside the the siphon spillway when the air slot is installed on it. The same discharge is measured at the same water level inside the reservoir when the water level rises or falls. Nondimensional discharge through the siphon spillway increases slowly as nondimensional open area of the air slot increases. The hydraulic experiments show that the control of outflow discharge of siphon spillway is possible by controlling the open area of the air slot.

Key words: Air slot, Control of outflow discharge, Siphon spillway, Hydraulic experiment

요 지

본 연구에서는 수리모형실험을 통해 사이펀 여수로에 장착된 air slot의 방류량 조절 능력을 검토하였다. air slot의 단면 형상으로 원호 및 직사각형 형상을 채택하였으며, 개구부 면적을 조절할 수 있게 하였다. air slot이 장착된 경우 사이펀 관 내부에 공기와 물이 혼합된 복잡한 흐름이 발생하였다. air slot이 장착된 사이펀 여수로에서 저수지 내측 수위가 상승할 때와 하강할 때 동일한 수위에서 동일한 유량이 계속되었다. air slot의 무차원 개구부 면적이 증가할수록 무차원 방류량은 더 서서히 증가하였다. 수리모형실험 결과는 air slot의 면적 조절을 통해 사이펀을 통한 방류량 조절이 가능함을 보여주었다.

핵심용어 : 공기흡입장치, 방류량 조절, 사이펀 여수로, 수리모형실험

1. 서 론

현재 우리나라에는 약 18,000개의 댐이 건설되었으며, 이 중 대부분은 1970년 이전에 건설된 노후화된 댐이다. 최근 기후변화에 따른 이상기후로 국지성 집중호우 및 돌발홍수가 빈번히 발생하고 있으며, 댐의 설계홍수량의 설계기준이 가능최대홍수량으로 변경됨에 따라 과거 건설된 대부분의 댐 및 저수지들이 현재 설계기준을 만족하지 못하고 있는 실정이다. 이에 노후화된 댐 및

* 정회원·한국농어촌공사 농어촌연구원 주임연구원·E-mail : fignon@ekr.or.kr

** 정회원·한국농어촌공사 농어촌연구원 전임주임연구원·E-mail : jec1004@ekr.or.kr

*** 정회원·세종대학교 건설환경공학과 교수·E-mail : clee@sejong.ac.kr

저수지의 치수능력을 증대하고 위한 구조적인 보강대책으로 댐 증고, 보조 여수로 신설, 여수로 확장 및 상류의 홍수 조절용 댐 신설 등의 방안이 적용되고 있다(Yoon, 2010). 특히 여수로 확장이나 보조 여수로 신설이 어려운 지구에서는 사이펀 여수로를 설치하기도 한다. 사이펀 여수로를 기존의 월류형 여수로 상부에 설치하여 비교적 경제적으로 댐 및 저수지의 치수능력을 증대시킬 수 있는 장점이 있다. 하지만 사이펀 여수로는 사이펀 관로가 만관(prime)이 되어 방류하기 시작하면 저수지 내측 수위가 사이펀 입구부의 높이보다 낮아질 때까지 멈추지 않고 계속해서 방류하게 된다. 일단 사이펀이 가동되면 저수지 내측 수위에 관계없이 거의 일정한 양의 물이 방류된다. 이 경우 저수지 하류에 홍수 피해가 크게 발생할 가능성이 크다(Park, 2011).

한편 Ervine(1976)은 공기를 사이펀 내부에 혼입하여 방류량을 조절하는 방안을 최초로 제안하였다. 이후, Babaeyan-Koopae et al. (2002)은 영국 Brent 저수지의 사이펀 여수로를 대상으로 수리모형실험을 통해 사이펀 여수로에 air slot을 설치하여 사이펀 내부에 공기를 혼입함으로써 방류량의 제어가 가능함을 보여주었다. Houichi et al.(2006, 2009)은 수리모형실험을 통해 타원형의 air slot이 장착된 사이펀 여수로의 방류량에 대해 연구하였다. 그들은 air slot의 개구부 전체 면적은 동일하게 하고, slot의 개수를 조절하여 방류량의 변화에 대해 검토하였다. 실험 결과, air slot의 동일한 전체 면적에서 slot의 개수가 적을수록 저수지 내측 수위 변화에 따라 방류량이 비교적 완만하게 변하는 것을 확인하였다.

본 연구에서는 수리모형실험을 통해 사이펀 여수로에서 air slot의 개구부 면적 변화에 따른 방류량 변화를 검토하였다. air slot의 형상으로 직사각형 및 원호 형상의 2가지 경우를 검토하였다. 저수지 내측 수위 변화에 따른 방류량을 직접 계측하여 제시하였으며, 이를 통해 air slot의 면적을 조절함으로써 사이펀 방류량 조절 가능성에 대해 검토하였다.

2. 수리모형실험 방법

사이펀 실험을 위한 수리모형은 상류 저수지, 댐, 사이펀 모형 및 하류 측으로 구성하여 제작하였다. 사이펀 관로 내경은 100 mm이고 상류 저수지는 폭 2.1 m, 길이 4.5 m, 높이 0.4 m 규모로 제작하였으며, 상류 저수지 유입 관로에는 밸브와 전자기식 유량계를 설치하여 유입유량의 조절 및 계측이 가능하도록 하였다. 상류부 저수지에는 정류판(타공판)을 3열로 설치하여 접근유속을 최소화하고 상류 저수지 내 정온을 유지하였다. 사이펀 모형은 투명 아크릴로 제작하여 내부 흐름을 육안으로 확인할 수 있도록 하였다. 수리모형에 대한 개념도는 Fig. 1과 같다.

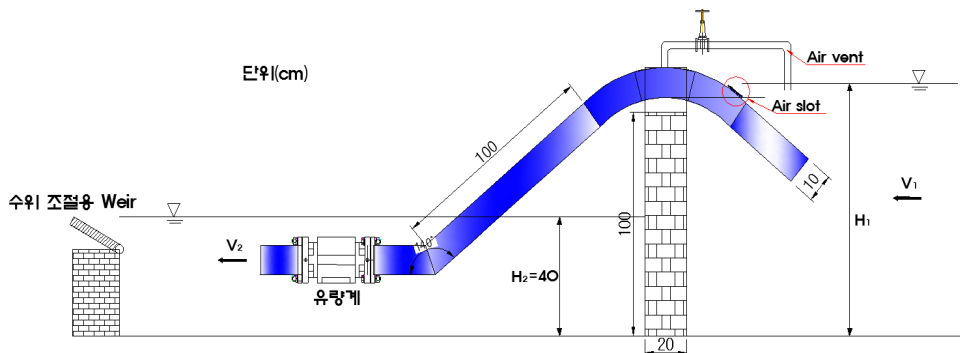


Fig. 1. Definition sketch of the model for hydraulic experiment

수리모형실험은 하류 측에 가동 위어를 설치하여 일정한 수심을 유지하고, 상류 측 공급관로의

밸브를 조절하여 저수지 내측 수위를 조절한 후 정상상태에 도달하였을 때, 상류 측 공급관로에 설치된 유량계를 이용하여 사이펀 통과 유량을 계측하였다. 사이펀에 설치된 air slot 개구부 면적에 따른 방류량 검토를 위해 air slot은 Fig. 2와 같이 원호 및 직사각형 형상을 적용하였다. 그리고 air slot에 문을 설치하여 개구부 면적을 조절할 수 있도록 하였다.

수리모형실험에 적용된 air slot의 공기량 조절 면적은 Table 1과 같다. Aisenbrey(1983)는 사이펀 흐름을 중단시키기 위한 air vent의 최소 단면적이 사이펀 관로 단면적의 1/24 이상이어야 함을 제시하였다. 따라서, 본 연구에서는 air slot에 의해 갑자기 사이펀이 중단되는 것을 막기 위해 air slot을 구성하는 각 개구부의 면적이 사이펀 관로 단면적의 1/24 이하가 되도록 하였다. 원호형상의 air slot 개구부의 면적비는 0.013, 사각형 형상 air slot 개구부의 면적비는 0.009이다.

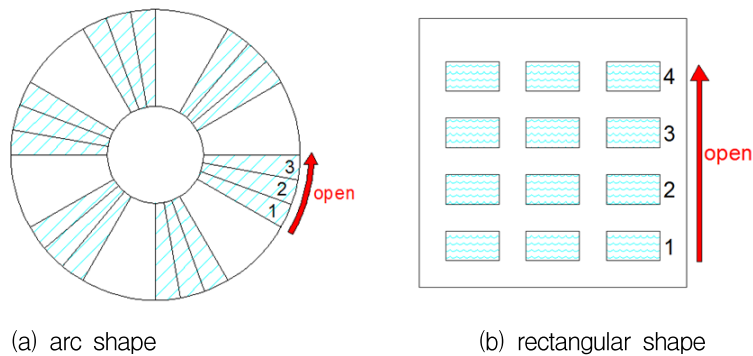


Fig. 2. Shape of conceptual air slots in hydraulic experiment

Table 1. Conditions of open area of air slots in hydraulic experiment

arc shape			rectangular shape		
cross-sectional area of siphon (cm ²)		78.5	cross-sectional area of siphon (cm ²)		78.5
open area (cm ²)	1 step open	2.052	open area (cm ²)	1st row open	2.102
	2 step open	4.104		2nd row open	4.204
	fully open	6.156		3rd row open	6.306
		fully open		8.408	

3. 사이펀을 통한 방류량 무차원 변수의 유도

수리모형실험 결과의 합리적인 분석을 위해 본 실험을 위한 무차원 변수를 유도하였다. 무차원 변수는 Buckingham의 Π 정리로부터 도출하였다. 사이펀을 통한 유량(Q)에 영향을 미치는 주된 변수로는 상·하류 수위차(ΔH), air slot의 면적(a), 사이펀의 내경(D), 중력가속도(g), 물의 밀도(ρ), 점성계수(μ)가 있으며, 이는 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q = Q(\Delta H, a, D, g, \rho, \mu) \tag{1}$$

여기서 반복 변수로 사이펀의 내경(D), 중력가속도(g), 물의 밀도(ρ)를 선정한 후 무차원 변수를 유도하면 식 (2) ~ (5)와 같은 4개의 독립적인 무차원 변수를 유도할 수 있다.

$$\Pi_1 = \frac{Q}{\sqrt{gD}} \tag{2}$$

$$\Pi_2 = \frac{\Delta H}{D} \tag{3}$$

$$\Pi_3 = \frac{a}{A} \tag{4}$$

$$\Pi_4 = \frac{\mu}{D^{3/2}g^{1/2}\rho} \tag{5}$$

위 식에서, 식 (2)는 Froude 수 형태의 무차원화 된 유량이며, 식 (3)은 무차원화 된 상·하류 수위차, 식 (4)는 무차원화 된 air slot의 면적을 뜻한다. 그리고 식 (5)는 Reynolds 수를 나타낸다.

4. 수리모형실험 결과

사이펀에 원호(arc shape) 형상의 air slot이 설치된 경우 무차원 개구부 면적(a/A)에 따른 유량을 계측하였다. 무차원 수두차($\Delta H/D$)에 따른 계측된 무차원 유량($Q/(\sqrt{gD})$)을 Fig. 3 (a)에 나타내었다. air slot이 없는 경우의 실험결과와 해석하는 거의 일치하는 결과를 보였다. air slot을 적용하였을 경우 무차원 수두차가 증가할 때 무차원 유량이 급격히 증가하지 않고 연속적으로 증가하였다. 그리고, 무차원 수두차가 하강할 때와 상승할 때 동일한 수두차에서는 거의 동일한 무차원 유량이 계측되었다. air slot의 무차원화 된 개구부 면적(a/A)이 증가할수록 높은 무차원 수두차에서 무차원 유량 증가율이 상승하는 경향을 보였다. 직사각형 air slot이 설치된 경우의 수리모형실험 결과를 Fig. 3 (b)에 나타내었다. 실험결과는 원형 air slot의 경우와 유사하게 나타났다. 즉, air slot이 적용된 경우 무차원 수두차($\Delta H/D$)가 증가할 때 무차원 유량($Q/(\sqrt{gD})$)이 연속적으로 상승하였으며, 저수지 내측의 수위가 하강할 때와 상승할 때 동일한 수두차에서 거의 동일한 유량이 계측되었다. 원형 air slot과 마찬가지로 무차원 개구부 면적(a/A)이 증가할수록 높은 무차원 수두차에서 유량 증가율이 상승하는 경향을 보였다.

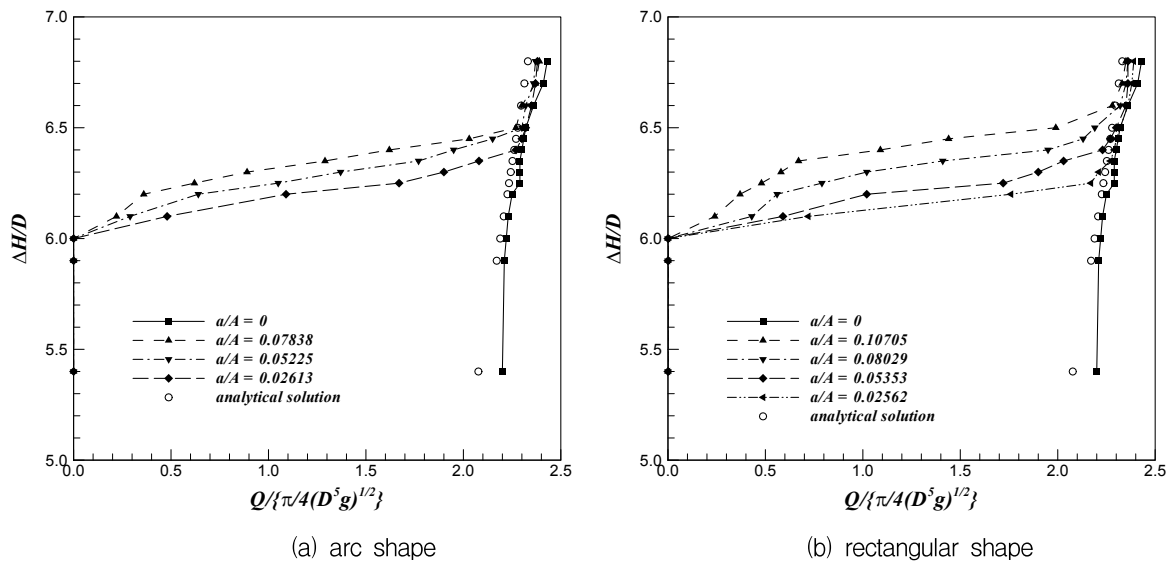


Fig. 3. Nondimensional discharge through the siphon

5. 결 론

본 연구에서는 일련의 수리모형실험을 통해 air slot이 장착된 사이펀 여수로의 방류량을 검토하였다. air slot의 형상은 원형과 사각형형상을 적용하였다. 그리고, Buckingham의 Π 정리를 이용하여 4개의 무차원 변수(무차원 유량, 무차원 air slot 개구부 면적, 무차원 상·하류 수위차, Reynolds 수)를 유도하였으며, 이를 이용하여 수리모형실험 결과를 정리하였다. 수리모형실험 결과, air slot을 적용한 경우 무차원 수위차($\Delta H/D$)가 상승할 때와 하강할 때 동일한 수위-유량 곡선이 산출되었다. 즉, 기존의 일반 사이펀 여수로의 경우 수위가 하강할 때에도 사이펀 입구부보다 수위가 낮지 않으면, 계속 사이펀이 가동되는 현상을 방지할 수 있음이 확인되었다. 무차원 air slot 개구부 면적(a/A)이 증가할수록 무차원 유량($Q/(\sqrt{gD})$)은 보다 높은 무차원 수위차($\Delta H/D$)에서 유량 증가율이 상승하는 것으로 나타났다. 이를 통해 air slot 개구부 면적 조절을 통해 사이펀 내부로 혼입되는 공기량을 조절할 수 있고, 방류량 또한 일부 제어가 가능하였다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비지원(16CTAP-C115126-01)에 의해 수행되었다.

References

- Aisenbrey, A. J. (1983). *Design of small canal structures*, U.S. Bureau of Reclamation.
- Babaeyan-Koopae, K., Valentine, E. M., and Ervine, D. A. (2002). "Case study on hydraulic performance of Brent Reservoir siphon spillway." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 128, No. 6, pp. 562-567.
- Houichi, L., Ibrahim, G., and Achour, B. (2006). "Experiments for the discharge capacity of the siphon spillway having the creager - ofitserov profile." *International Journal of Fluid Mechanics Research*, Vol. 33, No. 5, pp. 395-406.
- Houich, L., Ibrahim, G. and Achour, B. (2009). "Experimental comparative study of siphon spillway and over-flow spillway." *Courrer du Savoir*, No. 9, pp. 95-100.
- Park, H. C. (2011). "Prevention methods for disaster of downstream and dam using siphon spillway." *Water for Future*, Korea Water Resources Association, Vol. 44, No. 1, pp. 63-66 (in Korean).
- Yoon, D. K. (2010). "Investigation of the methods for increasing flood control capacity of reservoir." *Journal of Korean National Committee on Irrigation and Drainage*, pp. 37-42 (in Korean).