



Experimental study on the discharge coefficient of slope-type and step-type weirs

Kang, Joon Gu^a · Kim, Jong Tae^{a*}

^aRiver Experiment Center, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

Paper number: 16-075

Received: 30 August 2016; Revised: 25 October 2016 / 2 November 2016; Accepted: 2 November 2016

Abstract

Due to the recent requirement of installing low-head structures considering environmental aspects, various types of fixed weir have been suggested. However, the design guideline of transverse structures for practical application is very limited. The purpose of the present study is to analyze the hydraulic properties of the fixed weirs installed at the small and middle sized rivers of Korea depending on the physical specifications to provide fundamental data that may be reflected to the design of a low-head fixed weir considering the relevant environmental aspects. The basic discharge coefficient of slope-type and step-type weirs depending on change of crest was estimated, and a stage-discharge curve was developed. In addition, the flow properties under free flow and submerged flow conditions were analyzed by varying the hydraulic conditions such as discharge and crest.

Keywords: Weir, Hydraulic Model Experiment, Discharge Coefficient, Free Flow, Submerged Flow

경사형 및 계단형 보의 유량계수 산정을 위한 실험연구

강준구^a · 김종태^{a*}

^a한국건설기술연구원 하천실험센터

요 지

최근 들어 보의 환경적인 측면을 고려한 저낙차형 구조물 설치가 요구되면서 고정보의 형태도 다양하게 제안되고 있다. 그러나 실무에 적용하기 위한 횡단구조물의 설계 가이드라인은 매우 한정적이다. 따라서 본 연구는 국내 중소하천에 설치된 고정보의 물리적 제원 변경에 의한 수리적 특성을 분석함으로써 환경적인 측면을 고려한 저낙차형 고정보의 유량계수 산정을 위한 기초자료를 제공하는데 목적이 있다. 이를 위해 경사형 및 계단형 보에 대해 crest 변화에 따른 기본적인 유량계수를 도출하였으며 수위-유량 관계 곡선을 개발하였다. 또한 유량과 crest 등과 같은 수리학적 조건을 변화시켜 자유 흐름 조건 및 잠긴 흐름 조건의 흐름특성을 분석하였다.

핵심용어: 보, 수리모형실험, 유량계수, 자유흐름, 잠긴흐름

1. 서 론

고정보는 하천에 가장 많이 설치되어 있는 하천구조물 중 하나로써 각종 용수의 취수, 준운 등을 위하여 수위를 높이고 조수의 역류를 방지하기 위하여 하천의 횡단방향으로 설치하며 제방의 기능을 갖지 않는 시설로 정의된다(Korea Water Resources Association, 2005). 그러나 최근 들어 환경적인 측

면을 고려한 저낙차형 구조물 설치가 요구되면서 고정보의 형태도 다양하게 제안되고 있다. 저낙차형보를 제안하고 있는 하천은 대부분 중소하천이며, 중소하천의 경우 유량계측이 이루어 지지않는 경우가 많다. 보는 일반적으로 물을 담는 목적과 수면경사를 조절하는 기능으로 주로 활용되고 있지만 구조물 주변 흐름에서 한계류가 발생하므로 이론적으로 유량을 측정할 수 있는 기능이 추가된다. 본 연구는 중소하천의 설치된 보를 이용한 유량계측의 가능성을 도출하기 위한 목적으로 국내 중소하천에 주로 설치되어 보 형태를 대상으로 진행

*Corresponding Author. Tel: +82-54-843-1803
E-mail: kjt98@kict.re.kr (J. T. Kim)

되었다.

고정보에 대한 기존 연구는 보 주변 흐름특성과 유량계수 산정을 위한 실험적 연구로 진행되었고 주로 흐름특성을 중심으로 수행되었다. 고정보의 연구의 경우 2000년대 초반까지 대부분 보 하류부에 대한 세굴이나 세굴 방지를 위한 목적의 연구가 대부분이다(Bormann and Julien, 1991; Song et al., 1994; Rice et al., 1998; Kim et al., 2003). 유량계수에 대한 연구의 경우 Borghei et al. (1999)이 고정보의 높이, 상류수심 등을 고려한 유량계수식을 산정하고 유량계수 영향인자에 대한 민감도 분석을 실시하였다. 또한 보 형태에 따라 잠긴 흐름 발생 시 수위-유량 관계를 분석한 연구는 과거부터 최근까지 진행되고 있다(Villemonte, 1947; Falvey, 2002; Borghei et al., 2003). 최근에는 다양한 형태에 대한 유량계수 연구가 활발히 진행되었는데 수중 래버린스 보(labyrinth weir)의 수리 모형실험을 통해 수위 유량 관계곡선을 분석한 연구가 수행되었으며(Tullis et al., 2007) 경사형 보에 대한 유량계수 산정식을 제시한 연구가 수행되었다(Zerihun and Fenton, 2007; Hossein and Sara, 2010). Kabiri-Samani and Javaheri (2012)는 PKW (Piano Key Weirs)의 다양한 형태에 대해 수리모형 실험을 수행하여 유량계수를 산정하였다. 국내 연구동향 분석 결과 We (2005)는 계단형 보의 흐름 분석을 통해 폭기 및 에너지 감쇄 효과를 연구하였다. 또한 Yeo et al. (2005)은 하류조건이 보 상류 흐름에 미치는 영향을 수리모형실험을 통해 분석하였으며 Jin (2007)은 고정보에 대한 실험을 통해 유량계수 식을 제안하였다. 최근 Kang et al. (2010)은 계단형 보 하류의 흐름특성에 대해 실험연구를 수행하였다.

그러나 계단형상의 구조물은 보 형태보다는 주로 급경사 수로인 댐 여수로에서 사류 구간에서의 에너지 감쇄와 수질정화 효과를 목적으로 설치되고 있다(Chanson, 2001; Ohtsu et al., 2001). 또한 경사형 보는 재료에 의한 폭기 효과 및 서식처 효과 등의 환경적 요소를 내포하고 있어 향후 다양한 형태변형을 통해 하천사업에 적용될 수 있지만 경사형 보의 유량조건 및 구조물 형상에 따른 실험 연구와 흐름특성 분석은 제한적이다.

따라서 본 연구는 국내 중소하천에 설치된 유량계측의 가능성을 도출 고정보의 형상조건과 수리적 특성을 다양화하여 실험을 수행하고 저낙차형 고정보의 유량측정 기능 확보를 위한 유량계수 산정을 목적으로 하였다. 이를 위해 친환경구조물 증가장 일반적인 경사형 및 계단형 보에 대해 crest 변화에 따른 기본적인 유량계수를 도출하였으며 수위-유량 관계곡선을 개발하였다. 또한 유량과 crest 등과 같은 수리학적 조건을 변화시켜 자유 흐름 조건 및 잠긴 흐름 조건의 흐름특성

을 분석하였다.

2. 이론적 배경 및 차원해석

차원해석(Dimensional Analysis)은 그 방정식의 차원은 동일하다는 차원 동차성에 기초하는 방법으로 물리현상을 표현하는 변수의 수를 줄이는데 유용한 방법이다. 본 연구에서는 보 형태 및 crest 변화에 대한 자유 흐름과 잠긴 흐름의 수리학적 분석 및 흐름 변화를 이해하기 위해 일반적인 유량공식을 사용하여 차원해석을 실시하였다.

유량계수를 도출하기 위한 기본식은 아래의 Eq. (1)과 같다.

$$Q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} B h^{3/2} \quad (1)$$

여기에서 Q 는 유량(m^3/s), C_d 는 유량계수, g 는 중력가속도(m/s^2), B 는 수로 폭(m), h 는 상류 유효수심(상류수면고와 위어 끝의 차, m)을 나타낸다. 본 연구에서는 경사형 보와 계단형 보를 실험 대상으로 하였으며 이에 대한 기하학적 매개변수에서 H_w 는 보의 높이(m), L 은 crest의 길이(m), h_d 는 잠긴 흐름 하류 유효수심(m)이다. 자유 흐름의 유량을 종속변수로 하여 다음과 같이 나타낼 수 있다(Kabiri-Samani and Javaheri, 2012).

$$Q = f(L, H_w, B, h, g, \sigma, \rho, \mu) \quad (2)$$

여기서, f 는 함수기호이며, σ 는 표면장력(N/m), ρ 는 밀도(kg/m^3), μ 는 동점성계수(m^2/s)이다. Eq. (2)를 유량계수에 영향을 미치는 인자에 대해 정리하면 Eq. (3)이 된다.

$$C_d = \phi\left(\frac{h}{H_w}, \frac{h}{L}, W, R\right) \quad (3)$$

여기서, W 는 Weber number이며 $W = (\rho h / \sigma)^{0.5} Q / [(h + H_w) B]$ 으로 계산될 수 있으며, 실험에서 $h > 30 mm$ 일 경우 표면장력의 유량에 미치는 영향이 매우 작으므로 W 를 무시할 수 있다(Novak and Cabelka, 1981). 또한 R 는 Reynolds number이며 $R = \rho Q h / [(h + H_w) B \mu]$ 이다. Henderson (1966)에 의하면 난류 흐름에서 점성의 영향이 중력의 영향보다 작기 때문에 R 를 제외하면 아래와 같이 정리할 수 있다.

$$C_d = \phi \left(\frac{h}{H_w}, \frac{h}{L} \right) \quad (4)$$

$$C_s = \frac{Q_s}{Q_1} = \psi \left(\frac{h_d}{h} \right) \quad (5)$$

만약 하류수위가 보의 특정 수위를 넘어서면 유량에 영향을 미쳐 상류쪽 수위가 증가하는 현상이 발생한다. Villemonte (1947), Falvey (2002), Borghei et al. (2003), Tullis et al. (2007)의 연구에 의하면 잠긴 흐름에서 유량감소계수 C_s 는 잠긴 흐름에서의 유량과 자유 흐름에서의 유량 비로써 (h_d/h)와 관계 그래프를 그릴 수 있다. 잠긴 흐름에 대한 식은 아래와 같다.

Q_s 와 Q_1 은 잠긴 흐름 및 자유 흐름 시 유량을 나타내며 h_d 와 h 는 잠긴 흐름 시 상·하류 유효수심을 나타낸다. Fig. 1은 잠긴 흐름 시 Villemonte (1947)의 모식도를 나타낸다.

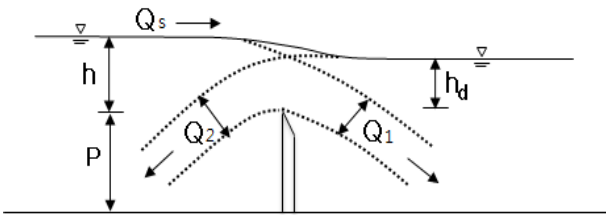


Fig. 1. Illustration of submerged weir flow superposition assumption as described by Villemonte (1947)

3. 실험준비 및 방법

수리모형실험은 폭 0.4 m, 총 길이 10.0 m, 높이 0.5 m인 가변경사 사각형 수로에서 수행하였으며, 고수조를 통해 유량을 조절하였다(Fig. 2). 수로 바닥은 철제이며 좌우 측벽은 강화유리로 제작되어 실험 중 수면 형상이나 공기방울의 거동 등을 육안으로 관찰하기에 용이하도록 하였다. 실험 모형인 경사형 및 계단형 보와 crest는 3D 프린터를 이용해 제작하였다(Fig. 3~5).

본 연구에서는 crest 길이에 따라 자유 흐름 조건의 수위를 측정하고, 하류게이트를 이용해 잠긴 흐름을 발생 시킨 후 수

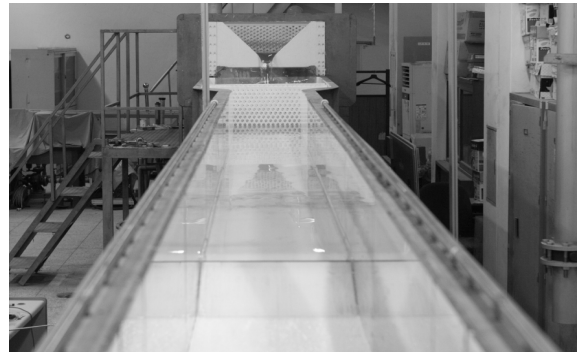
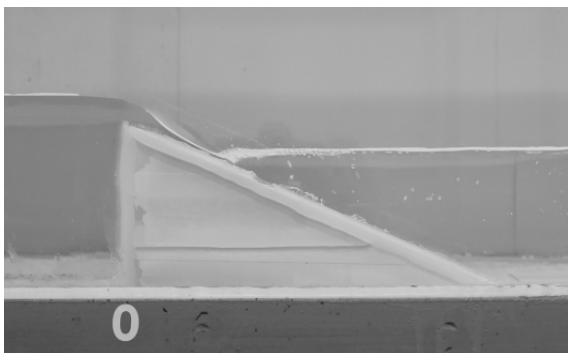
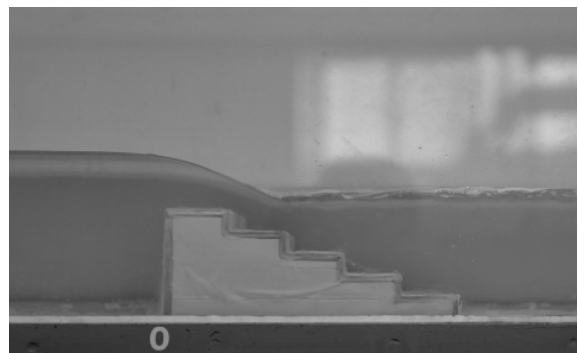


Fig. 2. Experimental flume



(a) Slope type weir



(b) Step type weir

Fig. 3. Installation of weir model (case 1)

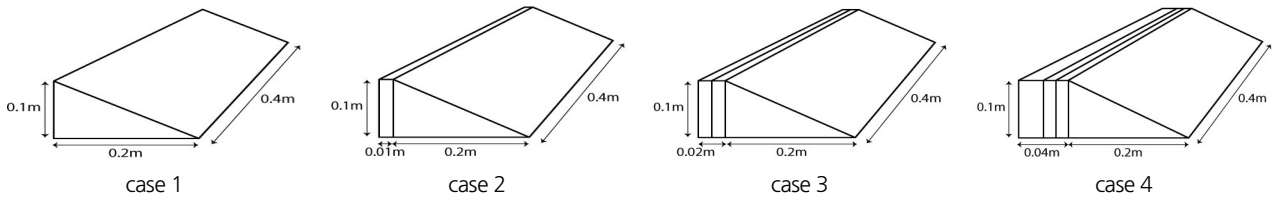


Fig. 4. Case of slope type weir

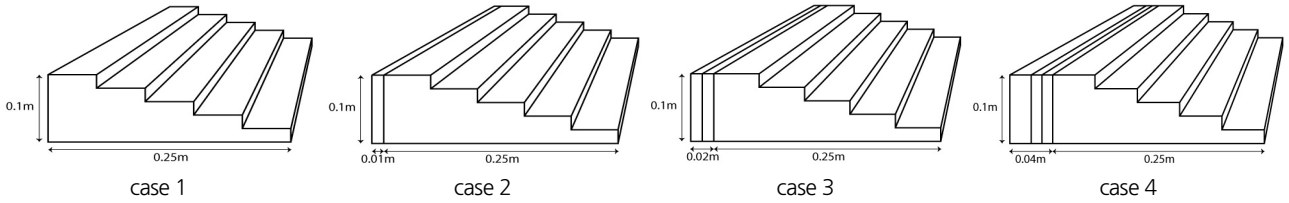


Fig. 5. Case of step type weir

Table 1. Experimental cases

Type	Case	L (m)	L_W (m)	Q (m ³ /s)	B (m)	H_W (m)
Slope	1	0.00	0.20	1.83×10^{-3} \sim 10.14×10^{-3}	0.40	0.10
	2	0.01				
	3	0.02				
	4	0.04				
Step	1	0.05	0.25			
	2	0.06				
	3	0.07				
	4	0.09				

위를 측정하는 방법으로 실험을 수행하였다. 예비실험을 통해 보 모형의 부착에 대한 안전성 및 유량별 월류수심을 확인한 후 본 실험을 수행하였다.

실험은 crest 길이(L)에 따라 총 4개의 case로 나누어 수행하였다. 각 case 별 총 8개 유량조건에 대해 각각 자유흐름과 잠긴 흐름에서의 수위를 측정하였으며 정확한 흐름 및 수위 계측을 위해 디지털 카메라와 캠코더를 활용하였다. 실험 case 및 실험 조건은 Table 1과 같다.

4. 실험결과

4.1 자유흐름 조건

자유 흐름 조건에서 각 case 별 수위-유량 관계 분석 및 유량 계수를 산정하였다(Tables 2 and 3). Fig. 6은 자유흐름조건을 나타내며 Fig. 7은 경사형 보와 계단형 보의 수위-유량 관계 그래프이다. 그래프 분석결과 같은 유량조건에서는 crest가 증

가할수록 수위(h)도 증가하였으며 유량별 수위 범위는 경사형 보가 계단형 보 보다 넓게 나타났다. 또한 보 형태와 관계없이 유량이 증가할수록 수위(h)의 범위도 증가 하였다.

자유 흐름 조건에서의 유량계수(C_d)는 식 (1)을 이용하여 산정하였다. Fig. 8은 경사형 보와 계단형 보의 $C_d - (h/H_W)$ 관계 그래프이다. 분석결과 C_d 의 범위는 경사형과 계단형에서 각각 $34.95 \times 10^{-2} \sim 56.20 \times 10^{-2}$, $28.14 \times 10^{-2} \sim 39.25 \times 10^{-2}$ 이며 C_d 와 (h/H_W) 관계는 비례하는 것으로 나타났다. Crest 변화에 대한 분석결과 crest가 증가할수록 h/H_W 대비 C_d 는 감소하는 경향을 보였다. 또한 계단형 보에 비해 경사형 보의 유량계수가 크고 넓은 범위로 나타났다. Fig. 9는 보 형태 별 모든 case에 대한 C_d 와 h/L 의 관계 그래프를 나타내는 그림이다. 경사형 보의 case 1은 crest 길이(L)가 0 이므로 표시하지 않았다. 분석결과 h/L 의 증가는 C_d 에 크게 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 경사형 보에서 h/L 값의 범위는 $51.50 \times 10^{-2} \sim 519.00 \times 10^{-2}$ 이며 계단형 보에서 h/L 값의 범위는 $26.44 \times 10^{-2} \sim 119.40 \times 10^{-2}$ 으로 나타났다. 그래프 분석결과

Table 2. Experimental result on free flow condition (slope type)

Q ($m^3/s, 10^{-3}$)	Case 1 (10^{-2})				Case 2 (10^{-2})				Case 3 (10^{-2})				Case 4 (10^{-2})			
	h (m)	C_d	h/H_w	h/L	h (m)	C_d	h/H_w	h/L	h (m)	C_d	h/H_w	h/L	h (m)	C_d	h/H_w	h/L
1.83	1.68	47.46	16.80	-	1.75	44.64	17.50	175.00	1.90	39.46	19.00	95.00	2.06	34.95	20.60	51.50
2.54	2.02	49.96	20.20	-	2.16	45.18	21.60	216.00	2.35	39.81	23.50	117.50	2.51	36.07	25.10	62.75
3.40	2.45	50.07	24.50	-	2.56	46.87	25.60	256.00	2.85	39.90	28.50	142.50	2.98	37.32	29.80	74.50
4.41	2.91	50.23	29.08	-	3.02	47.45	30.20	302.00	3.33	40.98	33.30	166.50	3.51	37.87	35.10	87.75
5.58	3.30	52.61	32.98	-	3.58	46.52	35.80	358.00	3.80	42.54	38.00	190.00	4.10	37.96	41.00	102.50
6.92	3.76	53.62	37.59	-	4.11	46.90	41.10	411.00	4.40	42.34	44.00	220.00	4.62	39.35	46.20	115.50
8.44	4.22	54.98	42.20	-	4.65	47.53	46.50	465.00	5.00	42.63	50.00	250.00	5.28	39.28	52.80	132.00
10.14	4.70	56.20	47.00	-	5.19	48.43	51.90	519.00	5.40	45.63	54.00	270.00	5.89	40.06	58.90	147.25

Table 3. Experimental result on free flow condition (step type)

Q ($m^3/s, 10^{-3}$)	Case 1 (10^{-2})				Case 2 (10^{-2})				Case 3 (10^{-2})				Case 4 (10^{-2})			
	h (m)	C_d	h/H_w	h/L	h (m)	C_d	h/H_w	h/L	h (m)	C_d	h/H_w	h/L	h (m)	C_d	h/H_w	h/L
1.83	2.22	31.24	22.20	44.40	2.25	30.62	22.50	37.50	2.30	29.63	23.00	32.86	2.38	28.14	23.80	26.44
2.54	2.74	31.62	27.40	54.80	2.79	30.78	27.90	46.50	2.86	29.65	28.60	40.86	2.87	29.50	28.70	31.89
3.40	3.26	32.62	32.60	65.20	3.30	32.03	33.00	55.00	3.39	30.76	33.90	48.43	3.40	30.62	34.00	37.78
4.41	3.76	34.16	37.60	75.20	3.82	33.35	38.20	63.67	3.92	32.09	39.20	56.00	4.03	30.78	40.30	44.78
5.58	4.26	35.84	42.60	85.20	4.39	34.26	43.90	73.17	4.49	33.12	44.90	64.14	4.64	31.53	46.40	51.56
6.92	4.92	35.81	49.20	98.40	4.99	35.06	49.90	83.17	5.02	34.74	50.20	71.71	5.23	32.67	52.30	58.11
8.44	5.43	37.67	54.30	108.60	5.60	35.96	56.00	93.33	5.71	34.93	57.10	81.57	5.82	33.94	58.20	64.67
10.14	5.97	39.25	59.70	119.40	6.17	37.36	61.70	102.83	6.24	36.73	62.40	89.14	6.41	35.28	64.10	71.22

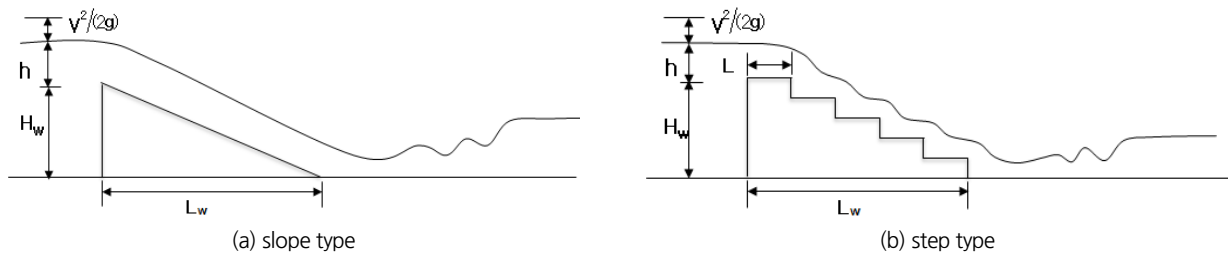


Fig. 6. Free flow parameters for weir type

로 도출된 실험식은 아래의 Table 4에 정리하였다.

4.2 잠긴흐름 조건

보의 형태 및 crest 길이에 따른 잠긴 흐름의 수위를 측정하여 자유 흐름 유량과 잠긴 흐름 유량 비교값인 유량감소계수 (C_s)와 잠긴 흐름조건상 하류 수심비 (h_d/h)의 관계를 분석하였다(Tables 5 and 6). 아래의 Fig. 10은 잠긴흐름 조건을 나타내며 Fig. 11은 경사형 및 계단형 보의 C_s 와 h_d/h 의 관계를 나타내는 그래프이다. 분석결과 h_d/h 가 증가할수록 C_s 는

감소하며, h_d/h 가 경사형에서는 60.29×10^{-2} 이상, 계단형에서는 77.24×10^{-2} 이상 시에 잠긴 흐름이 발생하였다. 유량감소계수 (C_s)의 범위는 경사형 보와 계단형 보에서 각각 $22.80 \times 10^{-2} \sim 72.86 \times 10^{-2}$, $19.97 \times 10^{-2} \sim 54.91 \times 10^{-2}$ 로 나타났다. 아래의 식은 그래프 분석 결과인 유량감소계수 산정식에 대해 정리하였다. 경사형 보는 Eq. (6)에 나타냈으며 h_d/h 의 범위는 $60.29 \times 10^{-2} \leq (h_d/h) \leq 94.75 \times 10^{-2}$ 이다. 또한 계단형 보는 Eq. (7)에 나타냈으며 h_d/h 범위는 $77.24 \times 10^{-2} \leq (h_d/h) \leq 95.92 \times 10^{-2}$ 이다. Fig. 12는 잠긴 흐름 상태에서의 실험결

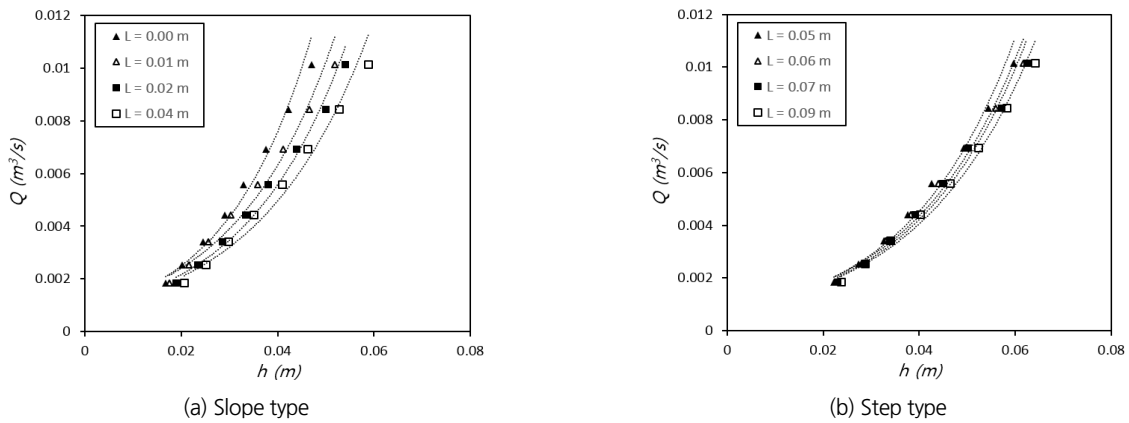


Fig. 7. $Q-h$ rating curves for various crest length

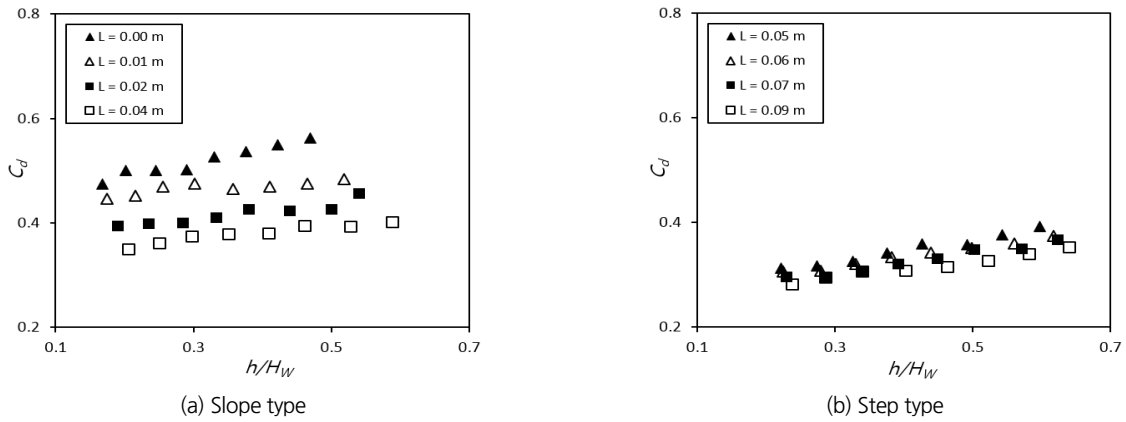


Fig. 8. Variation of free overflow discharge coefficient versus h/H_w for various crest length

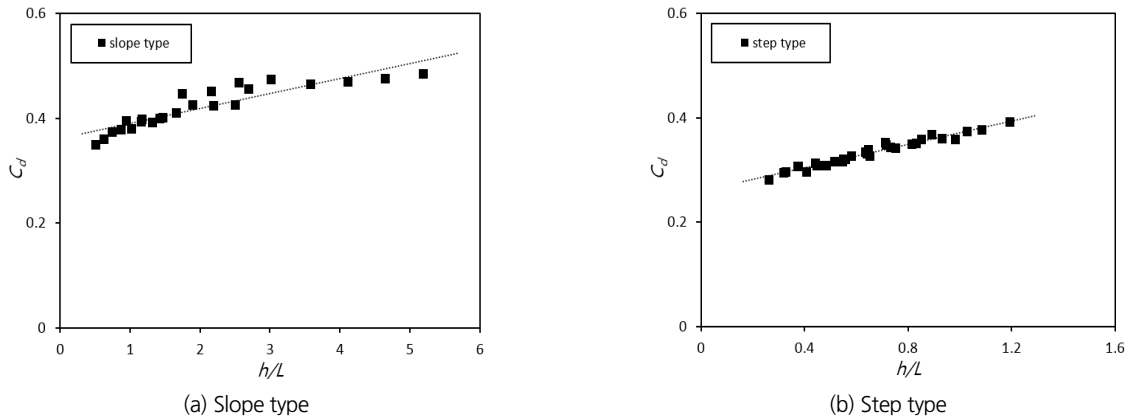


Fig. 9. Variation of free overflow discharge coefficient versus h/L for weir type

과와 Villemonte (1947)의 제안식을 비교한 그래프이다. 비교결과 경사형 보와 계단형 보는 전반적으로 비슷한 유형을 보였으나 예연위어를 대상으로 한 기존 제안식과 비교 시 유량감소계수(C_d)는 평균 0.11(최대 0.17, 최소 0.04) 차이가 있

는 것으로 나타났다. Eq. (8)은 Villemonte (1947)의 제안식이며 Eq. (9)는 본 연구에서 수행한 경사형 보와 계단형 보 전체에 대한 잠긴 흐름상태 산정식을 나타낸다.

Table 4. Experimental equations for free flow condition

Type	Case	L (m)	Estimation Equation	
			$C_d - (h/H_w)$	$C_d - (h/L)$ $0.0 \leq h/H_w \leq 1.0$
Slope	1	0.00	$C_d = 0.2715\left(\frac{h}{H_w}\right) + 0.4339$	$C_d = 0.0285\left(\frac{h}{L}\right) + 0.3623$
	2	0.01	$C_d = 0.0873\left(\frac{h}{H_w}\right) + 0.4374$	
	3	0.02	$C_d = 0.1530\left(\frac{h}{H_w}\right) + 0.3611$	
	4	0.04	$C_d = 0.1238\left(\frac{h}{H_w}\right) + 0.3307$	
Step	1	0.05	$C_d = 0.2153\left(\frac{h}{H_w}\right) + 0.2601$	$C_d = 0.1121\left(\frac{h}{L}\right) + 0.2590$
	2	0.06	$C_d = 0.1762\left(\frac{h}{H_w}\right) + 0.2634$	
	3	0.07	$C_d = 0.1880\left(\frac{h}{H_w}\right) + 0.2473$	
	4	0.09	$C_d = 0.1608\left(\frac{h}{H_w}\right) + 0.2457$	

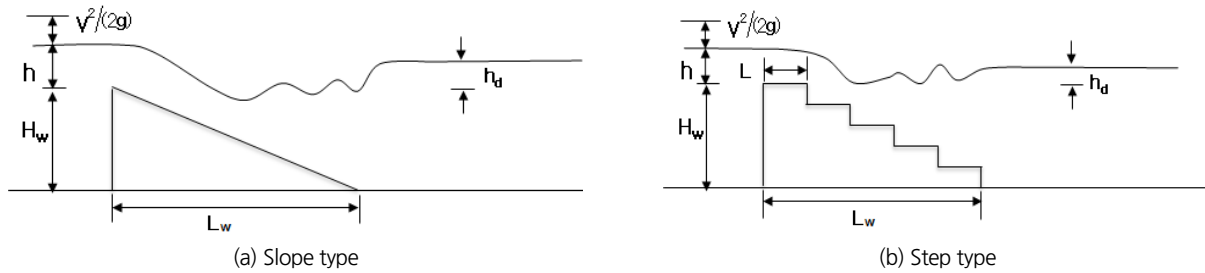


Fig. 10. Submerged flow parameters for weir type

Table 5. Experimental result on submerged flow condition (slope type)

Q (m ³ /s, 10 ⁻³)	Case 1 (10 ⁻²)		Case 2 (10 ⁻²)		Case 3 (10 ⁻²)		Case 4 (10 ⁻²)	
	$C_s(Q_s/Q_1)$	h_d/h	$C_s(Q_s/Q_1)$	h_d/h	$C_s(Q_s/Q_1)$	h_d/h	$C_s(Q_s/Q_1)$	h_d/h
1.83	44.44	82.61	22.80	94.75	47.50	81.82	69.93	60.29
2.54	45.92	85.00	28.89	91.13	42.68	82.99	70.11	61.56
3.40	55.42	75.00	31.33	91.48	51.03	78.15	72.86	62.00
4.41	50.43	78.95	34.47	90.50	50.43	78.45	65.26	69.38
5.58	43.58	84.69	35.70	89.67	55.41	76.65	59.08	73.00
6.92	39.88	86.67	43.07	86.07	54.04	77.55	64.79	69.10
8.44	44.54	84.57	41.59	85.59	59.29	71.20	67.98	64.58
10.14	32.21	93.42	41.84	86.71	60.50	73.34	63.11	70.18

$$C_s = -1.5873\left(\frac{h_d}{h}\right)^2 + 1.1268\left(\frac{h_d}{h}\right) + 0.6158$$

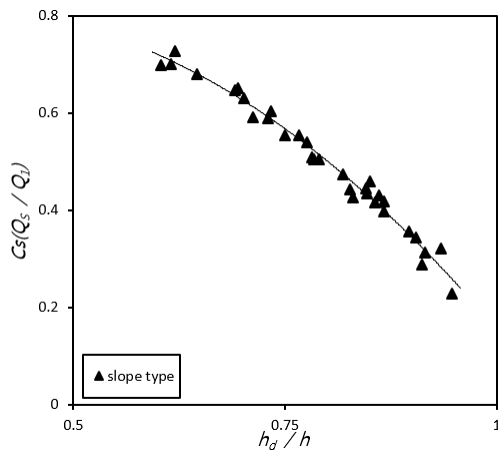
$$60.29 \times 10^{-2} \leq \left(\frac{h_d}{h}\right) \leq 94.72 \times 10^{-2} \quad (6)$$

$$C_s = -4.4644\left(\frac{h_d}{h}\right)^2 + 5.9924\left(\frac{h_d}{h}\right) - 1.4283$$

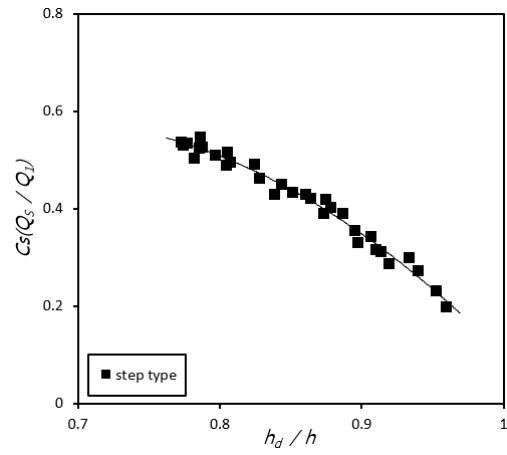
$$77.24 \times 10^{-2} \leq \left(\frac{h_d}{h}\right) \leq 95.92 \times 10^{-2} \quad (7)$$

Table 6. Experimental result on submerged flow condition (step type)

Q ($m^3/s, 10^{-3}$)	Case 1 (10^{-2})		Case 2 (10^{-2})		Case 3 (10^{-2})		Case 4 (10^{-2})	
	$C_s(Q_s/Q_1)$	h_d/h	$C_s(Q_s/Q_1)$	h_d/h	$C_s(Q_s/Q_1)$	h_d/h	$C_s(Q_s/Q_1)$	h_d/h
1.83	31.72	90.97	43.03	83.83	23.27	95.20	19.97	95.92
2.54	43.52	85.11	49.31	82.40	28.93	91.86	33.14	89.66
3.40	45.14	84.30	52.76	78.71	31.31	91.34	27.39	93.96
4.41	53.13	77.38	49.64	80.73	34.44	90.61	30.10	93.28
5.58	52.46	78.52	54.91	78.57	35.67	89.46	39.07	88.61
6.92	50.59	78.13	53.71	77.24	39.19	87.31	41.96	87.41
8.44	51.18	79.66	49.01	80.40	42.16	86.36	43.04	86.02
10.14	51.71	80.49	53.68	77.64	40.36	87.76	46.28	82.74



(a) Slope type



(b) Step type

Fig. 11. Variation of submerged overflow discharge coefficient C_s versus h_d/h for weir type

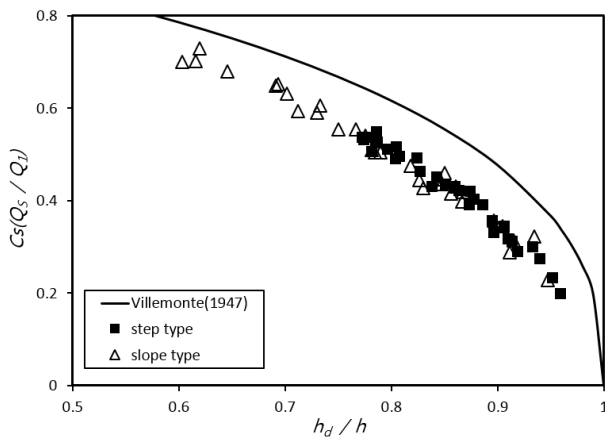


Fig. 12. Comparison of experimental submerged weir data to Villemonte (1947)

$$C_s = \left(1 - \frac{h_d^{3/2}}{h^{3/2}}\right)^{0.385} \quad (8)$$

$$C_s = -1.9359 \left(\frac{h_d}{h}\right)^2 + 1.6716 \left(\frac{h_d}{h}\right) + 0.4077$$

$$60.29 \times 10^{-2} \leq \left(\frac{h_d}{h}\right) \leq 95.29 \times 10^{-2} \quad (9)$$

5. 결론

본 연구에서는 실내실험을 통해 경사형 및 계단형 보의 crest 변화에 따른 유량계수(C_d)를 도출하였으며 자유 흐름 및 잠긴 흐름 조건의 흐름특성을 분석하였다. 실험은 각 보의 형태별 crest 길이에 따라 총 4개의 case로 나누어 수행하였다. 실험 결과 자유 흐름 조건에서 crest가 증가할수록 h/H_w 대비 C_d 는 감소하는 경향을 보였다. 또한 계단형 보에 비해 경사형 보의 C_d 가 크고 넓은 범위로 나타났으며 경사형 보는 crest 길이에 따라 C_d 의 변화가 계단형 보 보다 큰 것으로 나타났다.

잠긴 흐름에서는 상·하류 수심비(h_d/h)인 증가할수록 유량감소계수(C_s)는 감소하는 것으로 나타났다. 또한 잠긴 흐름 발생시의 C_s 와 h_d/h 그래프를 확인한 결과, 경사형은 h_d/h 가 60.29×10^{-2} 이상, 계단형은 77.24×10^{-2} 이상 시 잠긴 흐름이 발생하는 것으로 나타났다. h_d/h 의 경우 경사형 보는 $60.29 \times 10^{-2} \leq (h_d/h) \leq 94.75 \times 10^{-2}$ 이며 계단형 보는 $77.24 \times 10^{-2} \leq (h_d/h) \leq 95.92 \times 10^{-2}$ 으로 나타났다. 향후 본 연구 결과는 중소하천 내 보를 월류하는 흐름구조에서 유량 측정을 위한 기초 자료가 될 것으로 판단되며 추가적으로 계단 형태 및 계단 수에 따른 흐름패턴 연구가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원(12 기술혁신 C02)에 의해 수행되었습니다.

References

- Borghai, S. M., Jalili, M. R., and Ghodsian, M. (1999). "Discharge coefficient for shape-crested side weir in subcritical flow." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 125, No. 10, pp. 1051-1056.
- Borghai, S. M., Vatannia, Z., Ghodsian, M., and Jalili, M. R. (2003). "Oblique rectangular sharp-crested weir." *Water and Maritime Engineering*, Vol. 156, No. 2, pp. 185-191.
- Bormann, N. E. and Julien, P. Y. (1991). "Scour downstream of grade-control structures." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 117, No. 5, pp. 579-594.
- Chanson, H. (2001). "Teaching hydraulic design in an Australian undergraduate civil engineering curriculum." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 127, No. 12, pp. 1002-1008.
- Falvey, H. T. (2002). *Hydraulic design of labyrinth weirs*. ASCE, Reston, Virginia, pp. 31-68.
- Henderson, F. M. (1966). *Open Channel Flow*. The Macmillan Company, New York, pp. 48-85.
- Hosseini, A. and Sara, B. (2010). "Discharge coefficient of sharp-crested weirs using potential flow." *Journal of hydraulic Research*, Vol. 47, No. 6, pp. 820-823.
- Jin, S. W. (2007). *Experimental study on discharge coefficient of diagonal weirs*. M.S. dissertation, University of Hongik, Korea, pp. 19-60.
- Kabiri-Samani, A. R. and Javaheri, A. (2012). "Discharge coefficient for free and submerged flow over piano key weirs." *Journal of hydraulic Research*, Vol. 50, No. 1, pp. 114-120.
- Kang, J. G., Yeo, H. K., Lee, K. C., and Choi, N. J. (2010). "Experimental study on flow characteristic and wave type flow at downstream of stepped weir." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 43, No. 1, pp. 41-49.
- Kim, H. J., Kim, C. W., and Woo, H. S. (2003). "The effect that stream of river-cross structure for ecological development its alternative." *Journal of Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, Vol. 51, No. 3, pp. 42-58.
- Korea Water Resources Association (2005). *River design standards and explanation*. *Journal of Korea Water Resources Association*, pp. 411-420.
- Novak, P. and Cabelka, J. (1981). *Models in hydraulic engineering*. Pitman, London, UK, pp. 185-187.
- Ohtsu, I., Yasuda, Y., and Gotoh, H. (2001). "Hydraulic condition for undular-jump formations." *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 39, No. 2, pp. 203-209.
- Rice, C. E., Kadavy, K. C., and Robinson, K. M. (1998). "Roughness of loose rock riprap on steep slopes." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 124, No. 2, pp. 179-185.
- Song, J. W., Park, Y. J., and Lee, Y. H. (1994). "Characteristics of channel bend reach and shape of cross-section." *Journal of Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, Vol. 14, No. 5, pp. 1191-1197.
- Tullis, B. P., Young, J. C., and Chandler, M. A. (2007). "Head-discharge relationships for submerged labyrinth weirs." *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 133, No. 3, pp. 248-254.
- Villemonte, J. R. (1947). "Submerged weir discharge studies." *Engineering News-Record*, Vol. 139, No. 26, pp. 54-57.
- We, Y. M. (2005). *Aeration & Energy dissipation efficiency by overflow of stepped weir*. Ph. D. dissertation, University of Chung-Ang, pp. 34-97.
- Yeo, H. G., Kang, J. G., Cheong, S. H., and Yoon, B. M. (2005). "Experimental study on establishment of downstream critical depth in round-crested weir." *Proceedings Korea Water Resources Association*, KWRA, pp. 1113-1117.
- Zerihun, Y. T. and Fenton, J. D. (2007). "A Boussinesq-type model for flow over trapezoidal profile weirs." *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 45, No. 4, pp. 519-528.