

하도내 조절수문 방류특성 해석

Analysis of Discharge Characteristics for a Control Gate in a River

손광익*

Son, Kwang Ik

Abstract

Analysis of discharge characteristics through control gates at river crossing structures is important for an effective water level control and water resources management. In recent years, many river control structures in four major rivers are under construction but only few researches on discharge characteristics at control gates could be found in Korea. The discharge characteristics depend on both shape of control gates and the effects of downstream water-depth. In this research, classification index for discharge patterns (free weir, submerged weir, free orifice, submerged orifice) through a control gate were reviewed with h_g/h_1 , h_3/h_g , and h_3/h_1 . Classification criteria of discharge patterns were also suggested. Representative discharge estimation equations for each discharge patterns were adopted and discharge coefficients were developed from a hydraulic model for a specific control gate which will be constructed in Nakdong river. Reliability of the derived discharge equation and coefficients were confirmed by comparisons between the real discharge in a model and the predicted discharge from the results of this research.

Keywords : control gate, discharge patterns, discharge classification index, discharge coefficients

요 지

하류수위의 영향을 받는 하도 내 조절수문의 경우 조절수문의 기하학적 형상은 물론 상·하류 수위에 따라 방류특성이 변화하므로 효율적 수위조절 및 수자원 관리를 위해서는 정확한 개도별 방류능 산정이 요구된다. 최근 4대강 살리기 사업으로 인하여 보의 건설과 함께 조절수문이 많이 설치되고 있으나 국내에서는 조절수문 개도에 따른 방류형태 분류기준 및 방류능 산정에 대한 연구를 찾아보기 힘든 실정이다. 따라서 본 연구에서는 특정 조절수문에 대한 수리모형실험을 통하여 방류형태(자유위어, 수중위어, 자유오리피스, 수중오리피스)를 판단할 수 있는 주요 인자를 찾고 분류기준을 검토하여 조절수문 운영을 위한 기초자료를 제시하였다. 게이트 개도높이와 상류수심의 비(h_g/h_1), 하류수심과 게이트 개도높이의 비(h_3/h_g)와 하류수심과 상류수심의 비(h_3/h_1)를 하도 내 조절수문의 개도 및 상·하류 수위에 따른 방류형태를 판단할 수 있는 주요 인자로 선정하고 방류형태 분류기준 값을 제안하였다. 또한 본 연구에서 유도된 각 방류형태별 유출계수 및 방류능 산정공식으로 예측된 유량과 모형에서의 실측유량을 비교하여 연구결과의 적용성을 검증하였다.

핵심용어 : 조절수문, 방류형태, 방류형태 분류기준, 유출계수

1. 서 론

하도 내에 설치된 조절수문을 통한 방류형태는 상·하류 수위에 따라 자유위어, 수중위어, 자유오리피스, 수중오리피스 등의 다양한 흐름이 발생할 수 있다. 따라서 가동보의 안정적 운영을 위해서는 상·하류 수위에 의한 방류형태 예측과 함께 각 방류형태 별 수문 개도비에 따른 방류능 예측이 가능해야 한다. 이러한 방류형태별 방류능 공식 산정을 위한 노력은 오래전부터 계속되어 왔다. Fisk(1988)는 McHenry 댐의 방류능 산정을 위하여 과거의 많은 연구를 토대로 상·하류 수심과 수문 개도비에 따른 방류형태 발생 범위와 유출계수 산정 식을 정리하였다. Tillis와 Swain(1998)

역시 방류형태에 따른 방류능 산정공식을 제안한 바 있으나 2002년 미국토목학회에서 Wahl(2004)을 중심으로 하는 특별 위원회를 구성하여 방류능 산정기법의 문제점과 개선책을 연구할 만큼 관련분야에 대한 연구가 아직 미진한 실정이다. Lin 등(2002)은 수중흐름과 자유흐름의 경계조건에 대하여, Alminagorta 등(2009)은 오리피스흐름과 위어흐름 간의 천이 구간에 대한 연구결과를 발표하는 등 방류형태가 바뀌는 경계조건에 대한 연구는 최근까지도 계속 진행되고 있다.

최근 국내에서는 4대강 살리기 사업 등으로 인하여 하도 내에 조절수문이 있는 가동보를 설치하는 사례가 많이 발생하고 있다. 하도 내에 설치된 조절수문을 통한 정확한 방류능 산정을 위해서는 상하류 수위는 물론 수문의 개도비에

*정회원 · 영남대학교 건설시스템공학과 교수 (E-mail : kison@yu.ac.kr)

다른 방류형태의 예측은 물론 각 방류형태에 따른 방류능 산정공식과 유출계수 산정이 요구된다. 그러나 선행 연구에 대한 검토결과에서 나타난 바와 같이 범용적으로 적용할 수 있는 방류능 산정공식 및 유출계수는 찾아보기 힘든 실정이다.

따라서 본 연구에서는 문헌조사 및 현재 낙동강에 건설 중인 특정 보의 슬루스 게이트에 대한 모형실험을 통하여 방류형태(자유위어, 수중위어, 자유오리피스, 수중오리피스)를 판단할 수 있는 지배인자와 방류형태 분류기준을 제안하고자 한다. 또한 방류형태 별 방류능 산정공식 및 유출계수를 제안함으로써 낙동강에 건설 예정인 특정 조절수문에 대한 개도별 방류능 산정은 물론 수문운영을 위한 알고리즘 개발 등에 필요한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 실험대상 제원 및 수리적 특성

본 연구대상 지점의 계획홍수량은 13,200 m³/s로 계획홍수위는 EL. 28.18 m이며 완전 개방 시 보 하류단의 계획홍수량에 대한 예상수위는 26.85 m이다. 상류단 관리수위는 25.5 m, 하류단 관리수위는 19.5 m이며 보 직상류의 하상은 EL. 13.7 m, 가동보의 직하류 하상은 EL. 13.5 m이다. 보는 약 400 m에 걸쳐 수문이 있는 가동보 5기와 관리수위 유지를 위한 수문이 없는 고정보 2기(Fig. 1a 참조) 및 소수력발전소로 구성되어 있다. 가동보는 다시 Fig. 1b-1c와 같이 주수문(길이 40 m, 높이 11.3 m의 슬루스 수문) 3기와 보조수문(길이 40 m, 높이 2.7 m의 플랩 수문) 2기로 구성되어 있다. Fig. 2는 주수문의 월류부 형상 및 기하학적 특성을 보여주고 있다. 각 보의 격벽 두께는 4 m로 고정보의 정부표고(Top EL.)는 EL. 25.5 m, 주 수문 월류부의 정부표고는 EL. 14.7 m, 보조수문 가동보 위어의 정부표고는 EL. 23.7 m이며 보조 수문이 닫혔을 때 월류수위는 EL. 26.0 m이다. 조절수문과 보의 기하학적 특성 및 상·하류의 다양한 수문학적 조건을 고려할 때 홍수조절 기법에 따라 상류수위는 EL. 14.7 m~28.18 m, 하류수위는 EL. 13.5 m~26.85 m 범위에서 변하게 되며 상류수위 EL. 25.5 m 이하에 대해서는 수문조작 방법에 따라 월류 또는 오리피스 형태의 방류특성이 발생하게 된다.

본 연구의 실험범위는 상류수위가 EL. 25.5 m 이하인 경우, 슬루스 수문을 통한 방류에 국한하여 실험을 수행하고 방류 특성을 분석하였다. 수문의 개도높이와 상하류 수심에 따른 방류형태를 판단할 수 있는 기준을 제시하였으며 방류형태 별 방류능을 산정할 수 있는 유출계수의 특성에 대한 연구를 수행하였다. 슬루스 게이트의 개도높이와 상·하류 수위에 따라 발생 가능한 방류형태는 Fig. 3과 같다. Fig. 3에서 FW는 Free Weir 흐름, SW는 Submerged Weir 흐름, FO

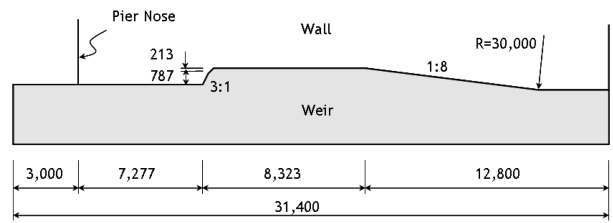


Fig. 2 Geometrical forms of Main Floodgate Weir

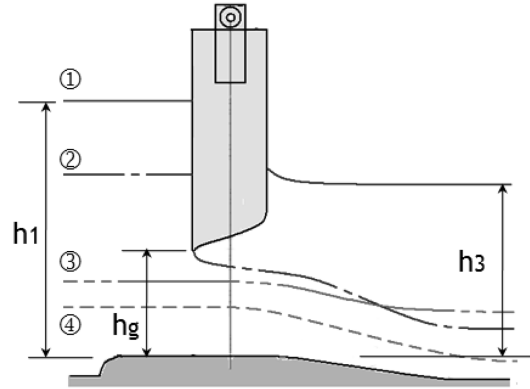


Fig. 3 Surface pattern for each discharge patterns (① SO, ②FO, ③SW, ④FW)

는 Free Orifice 흐름, SO는 Submerged Orifice 흐름을 의미한다.

3. 방류특성 분류기준 및 방류능 산정기법

수문을 통한 네 가지 방류형태에 해당하는 방류특성 분류기준은 연구자마다 다소 차이를 보이고 있으나 문헌검토 결과(Ansar와 Gonzalez-Castro: 2003, Brater 등:1996, Collins: 1976, Fisk:1988) 일반적으로 수문개도 높이(h_g)와 월류부 정점으로부터 산정한 상류수심(h_1)의 비(h_g/h_1)와 월류부 정점으로부터 산정한 하류수심(h_3)과 수문개도 높이의 비(h_3/h_g) 또는 하류수심과 상류수심의 비(h_3/h_1)를 기준으로 분류하고 있음을 확인하였다. 따라서 본 실험에서의 방류특성 분류기준은 Collins(1976)와 Fisk(1988)의 무차원 인자를 이용하였다. Table 1에 나타나는 바와 같이 Collins의 경우 $h_g/h_1=0.67$ 을 기준으로 오리피스와 위어형태로 분류하였으며 Fisk의 경우 $h_g/h_1=0.73$ 을 기준으로 분류하였다. 자유방류 또는 수중방류의 구분은 오리피스의 경우 h_3/h_g 값이 기준이 되며 위어의 경우 h_3/h_1 값에 따라 구분된다. 방류형태의 분류기준 선정을 위하여 본 연구에서는 Collins와 Fisk가 제안한 두 기준과 두 연구자 기준의 중간 값을 적용한 본 연구의 분류기준 등 세 가지 분류 기준을 설정하였다. 설정된 분류기준에 따라 산정된 방류능 예측결과와 실제유량을 비교하여 상관관

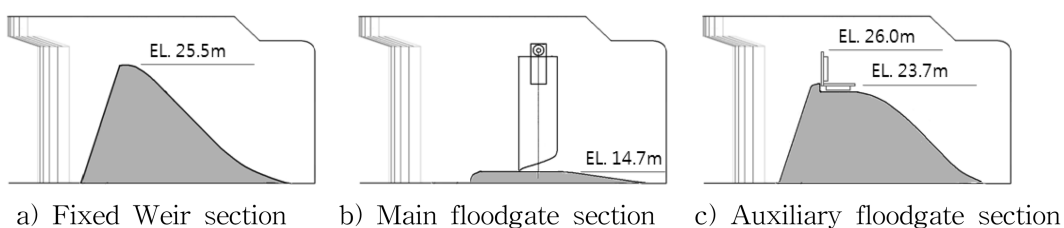


Fig. 1 Geometrical forms of Movable Weir & Fixed Weir

Table 1. Discharge characteristics for Water level & Gate operation

Discharge type	Index	Collins (1976)	Fisk (1988)	This Research
Submerged orifice	h_g/h_1	< 0.67	< 0.73	< 0.7
	h_3/h_g	≥ 1.0	≥ 1.3	≥ 1.1 & ≥ 1.2
Free orifice	h_g/h_1	< 0.67	< 0.73	< 0.7
	h_3/h_g	< 1.0	< 1.3	≥ 1.1 & ≥ 1.2
Submerged weir	h_g/h_1	≥ 0.67	≥ 0.73	≥ 0.7
	h_3/h_1	≥ 0.6	≥ 0.75	≥ 0.65 & ≥ 0.7
Free weir	h_g/h_1	≥ 0.67	≥ 0.73	≥ 0.7
	h_3/h_1	< 0.6	< 0.75	≥ 0.65 & ≥ 0.7

계가 가장 우수한 분류기준을 선정, 분류기준으로 제안하였다(4.3절 참조).

1) 수중오리피스 방류능 공식

수중 오리피스형태의 방류량에 대한 이론적 예측공식은 식 (1)과 같다.

$$Q = C_{gs} A \sqrt{2g\Delta h} \quad (1)$$

한편 Collins(1976)와 Fisk(1988)는 식 (2)와 같은 예측공식을 제안하였다.

$$Q = C_{gs} h_3 L \sqrt{2g\Delta h} \quad (2)$$

여기서 C_{gs} 는 수중오리피스 유출계수, Δh 는 상하류 수심차 (h_1-h_3), L 은 오리피스의 폭을 나타낸다.

Collins(1976)와 Fisk(1988)에 의하면 수중오리피스 유출계수 C_{gs} 는 일반적으로 하류수심과 게이트 개도높이의 비(h_3/h_g)와 역비례 관계로 알려져 있다.

$$C_{gs} = 0.75(h_3/h_g)^{-1.0} \text{ for Markland Lock and Dam (Collins, 1976)}$$

$$C_{gs} = 0.865(h_3/h_g)^{-0.892} \text{ for Coffeeville Lock and Dam (Collins, 1976)}$$

$$G_{gs} = 0.89(h_3/h_g)^{-1.0} \text{ (Fisk, 1988)}$$

2) 자유오리피스 방류능 공식

Brater 등(1996)은 기존의 연구결과를 인용하여 자유오리피스형태의 방류량 예측공식을 식 (3)과 같이 제안하였다.

$$Q = C_g A \sqrt{2gh} \quad (3)$$

한편, Otero(1994)와 Collins(1976) 등은 하도내 조절수문에 의한 자유오리피스에 대한 방류량 산정공식은 수문의 개도높이를 활용한 공식과 위어 정점으로부터의 수심을 이용하여 식 (4) 및 식 (5)와 같은 공식을 제안하였다.

$$Q = C_g h_g L \sqrt{2g(h_1 - 0.5h_g)} \quad (4)$$

$$Q = C \cdot h_g L \sqrt{2gh_1} \quad (5)$$

또한 AnsarAnsar와 Gonzalez-Castro(2003)은 식 (4)에 대한 자유오리피스 유출계수 C_g 를 상수로 제안하였으며 Fisk(1988)는 식 (5)에 대한 자유오리피스 유출계수 C 가 h_g

의 함수임을 제안하였다.

$$C_g = 0.75$$

$$C = 0.57h_g^{-0.084}$$

3) 수중위어 방류능 공식

Brater 등(1996)은 수중예연위어형태의 방류량 예측공식을 식 (6)과 같이 제안하였다.

$$Q_s/Q_f = [1 - (h_3/h_1)^n]^m \quad (6)$$

한편, Ansar와 Gonzalez-Castro(2003)와 Collins(1976)는 광정위어 형태를 가진 조절수문에 대한 수중위어 방류능 공식과 유출계수를 식 (7)과 같이 제안하였다.

$$Q = C_{ws} h_3 L \sqrt{2g\Delta h} = C_s C_w L h_1^{3/2} \quad (7)$$

여기서 C_{ws} 는 수중위어 유출계수이며 C_s 는 수중계수, C_w 는 위어 유출계수이다.

Collins(1976)는 C_s 는 일반적으로 하류수심과 상류수심의 비(h_3/h_1)와 선형관계라고 발표하였으며 Ansar와 Gonzalez-Castro(2003)는 C_{ws} 를 상수로 제안하였다.

$$C_s = 3.403 - 3.051(h_3/h_1)$$

$$C_{ws} = 0.9$$

4) 자유위어 방류능 공식

이론적인 자유위어형태의 방류량 예측공식은 식 (8)과 같다.

$$Q = C_w L h_1^{3/2} \quad (8)$$

Fisk(1988)는 식 (8)의 자유위어 유출계수 C_w 를 상수로, Ansar와 Gonzalez-Castro(2003)는 h_1 의 함수라는 연구결과를 발표하였다.

$$C_w = 3.17$$

$$C_w = 2.94h_1^{0.087}$$

4. 모형실험 및 유출계수 산정

본 연구를 위한 실험은 유량 조절이 가능한 실내 수리모형실험실에서 수행되었으며 모형 하류단에 수위조절이 가능한 플립게이트가 설치된 1/75의 정상모형을 사용하였다. 유량은 정수두 고수조를 통해 공급되며 이 유량이 모형 보를 통과한 후 저류조로 회귀하는 순환방식으로 펌프는 50 kw 2기, 15 kw 2기, 10 kw 2기를 사용하여 실내에서 수행되었다. 유입유량은 고수조 통과 후 삼각위어를 설치하여 위어에서의 월류수심을 이용하여 계측하였으며 삼각위어의 월류수심-유량관계곡선은 유량 체적법을 이용하여 산정하였다.

본 실험은 Table 2에 나타나는 마와 같이 상·하류 수심 및 수문 개도높이에 따라 방류특성이 달라지므로 실험 전에

Table 2. Experimental range for each discharge patterns

	FW	SW	FO	SO
$Q(m^3/s)$	247-2304	638-2304	558-2396	325-2000
$h_1(m)$	1.9-9.1	4.6-9.3	7.3-10.4	8.8-10.6
$h_3(m)$	0.1-4.5	3.5-7.4	1.4-7.8	4.4-7.63
$h_g(m)$		4-10	2-7	1-2

기존의 연구문헌 결과를 활용하여 유량과 하류수심에 따라 예상되는 방류특성 및 상류수심을 예측하였다. 이러한 예측을 통하여 유량 및 수위 등의 실험범위를 계획함으로써 동일 방류특성이나 지배인자 값이 유사한 실험범위에 집중되지 않도록 실험계획을 수립하였다. 상류수심(h_1)의 측정위치는 접근유속을 무시할 수 있을 만큼 수면이 안정적인 곳으로 게이트로부터 수심의 3배 이상 떨어져 있는 곳에서 측정하였다. 하류수심(h_3)의 경우 게이트를 통과한 이후 하도 횡단면 수면이 안정상태를 이루는 지점에서 수심을 측정하였다.

4.1 방류특성별 유출계수 산정 실험

실험방법은 특정 공급유량과 수문 개도높이 및 하류수위에 따라 형성되는 상류수위를 측정하여 Table 1에 제시된 기준에 따라 방류형태를 분류하였다. 동일한 방류형태에 포함되는 실험결과를 해당 방류능 공식에 적용하여 유출계수를 산정하였다. 또한 각 방류형태 별 유출계수 지배인자와 유출계수와의 상관관계를 그림으로 제시하고 분석결과는 식으로 제시하였다. 수중오리피스 형태의 방류조건에 대한 실험결과 산정한 유출계수는 식 (9) 또는 Fig. 4와 같다.

$$C_{gs} = 1.475(h_3/h_g)^{-0.9421} \quad (9)$$

자유오리피스 형태의 방류조건에 대한 실험을 실시하여 산정한 유출계수는 Fig. 5와 같다. Otero(1994)의 C 와 Collins(1976)의 유출계수 C_g 를 식 (10) 또는 Fig. 5와 산정하였으며 두 식의 적용 우수성은 다음 절에서 검토하였다.

$$C_g = 0.0118h_g + 0.6447 \quad (10a)$$

$$C = -0.0054h_g + 0.6295 \quad (10b)$$

수중위어 형태의 방류조건에 대한 실험을 실시하여 산정한

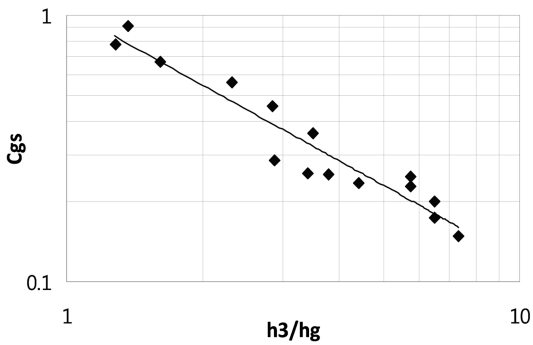


Fig. 4 Discharge coefficients of submerged orifice (h : meter, Q : m^3/s)

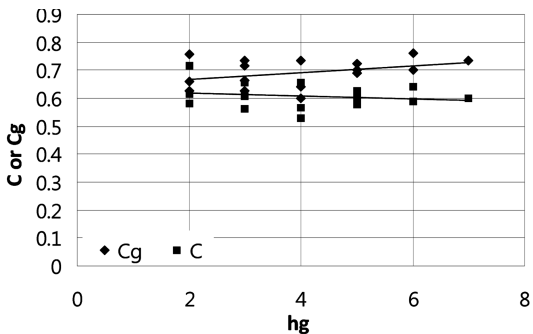


Fig. 5 Discharge coefficients of Free Orifice (h : meter, Q : m^3/s)

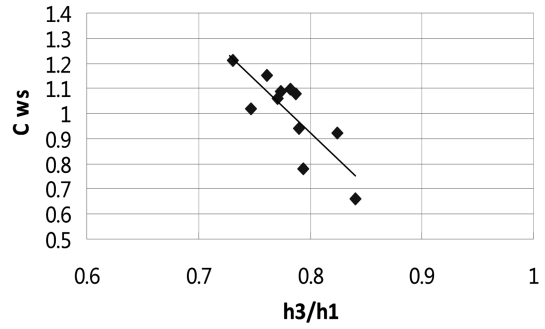


Fig. 6 Discharge coefficients of Submerged Weir (h : meter, Q : m^3/s)

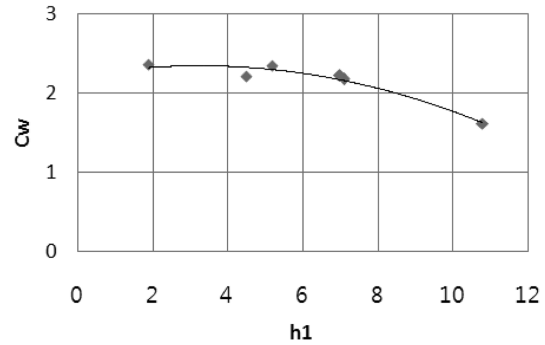


Fig. 7 Discharge coefficients of Free Weir (h : meter, Q : m^3/s)

유출계수는 식 (11) 또는 Fig. 6과 같다.

$$h_3/h_1 = -0.156C_{ws} + 0.9384$$

$$\text{또는 } C_{ws} = -6.398(h_3/h_1) + 6.004 \quad (11)$$

자유위어 형태의 방류조건에 대한 실험을 실시하여 산정한 유출계수는 식 (12) 또는 Fig. 7과 같다.

$$C_w = -0.0126h_1^2 + 0.0826h_1 + 2.2149 \quad (12)$$

4.2 방류특성별 유출계수 검증

Table 1에 나타난 바와 같이 방류형태를 판단하는 기준에 따라 모든 모형실험 계측결과는 각 방법에 따라 방류형태를 분류하고 4.1절에서 개발된 유출계수 산정공식을 이용하여 예측한 방류량과 모형실험에서 실측된 방류량을 비교하였다.

별로 모형실험에서 계측된 각종 유량 및 상·하류 수위와

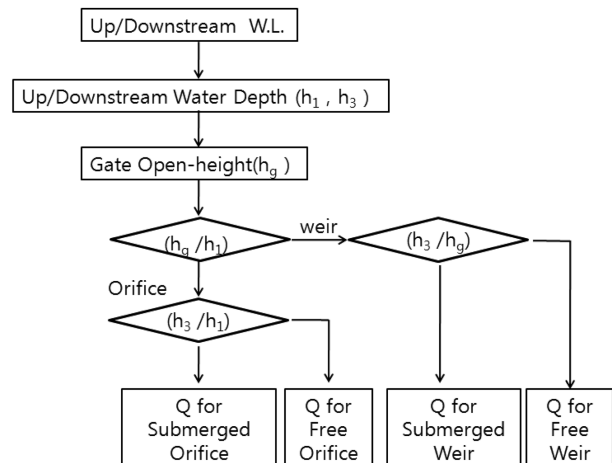


Fig. 8 Discharge rate estimation procedure

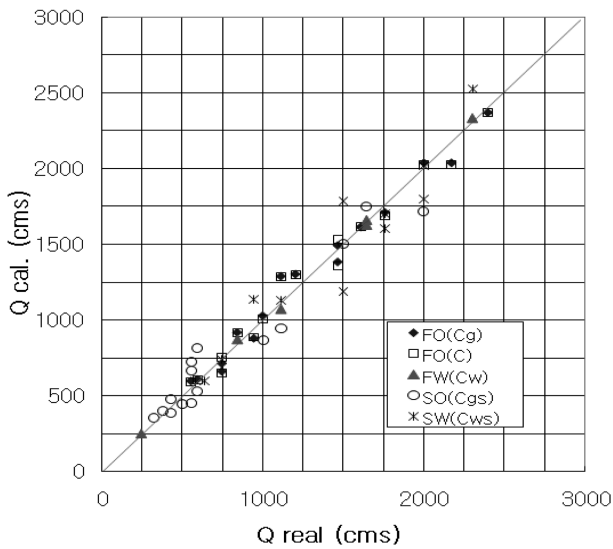


Fig. 9 Comparisons between the Real discharge & Predicted discharge

수문 개도에 해당되는 방류특성을 선정하고 방류량 산정공식으로부터 예측된 방류량과 모형에서의 실측된 실제 방류량을 비교하였다. 방류량 산정과정은 Fig. 8과 같다.

Fig. 9는 모형에서의 실제유량과 예측유량간의 관계를 나타내고 있다. 자유오리피스와 위어 Otero(1994)와 Collins (1976)가 제안한 식에 대한 적용성은 두 식 모두 유사한 결과를 보이고 있으나 식 (4)~(5)에서 나타나는 바와 같이 식의 적용성에 있어 Collins공식이 간편한 것으로 판단된다.

위 그림 범례에서 FO는 Free Orifice 흐름, FW는 Free Weir 흐름, SO는 Submerged Orifice 흐름, SW는 Submerged Weir 흐름을 의미하며 괄호 안은 식 (2), (4), (5), (7), (8)의 유출계수이다.

4.3 방류특성 분류기준

Table 1에 나타난 바와 같이 방류특성을 구분하는 지표는 Collins(1976)와 Fisk(1988) 모두 동일하나 분류기준 h_g/h_1 값은 연구자에 따라 조금씩 상이하다. 오리피스와 위어 방류형태는 h_3/h_g 값을 기준으로 구별하고 있다. 또한 오리피스의 경우 값을 기준으로 자유방류와 수중방류 형태를 구별하며 위어의 경우 h_3/h_1 을 기준으로 방류형태를 분류하고 있다. 본 절에서는 Table 1에 나타난 분류기준에 따라 각 실험에 대하여 방류형태를 분류하고 Fig. 4~7과 같이 유출계수를 산정하였다. 모형실험의 수위(h_1, h_3, h_g) 및 Fig. 4~7을 이용하여 산정한 이론적 방류량(Q_{cal})과 모형실험에서 방류된 실제 방류량(Q_{real})을 Fig. 9와 같이 비교하였다. 두 방류량의 관계를 나타내는 회귀직선은 원점을 통과하고 기울기가 1이며 결정계수가 1.0에 가까울수록 예측방류량은 실제방류량과 잘 일치한다는 것을 의미한다. 본 연구에서는 Table 1에서 제시한 세 가지 기준(Collins와 Fisk 그리고 본 연구)에 따라 방류형태를 분류하고 유출계수를 산정하여 예측된 Q_{cal} 과 Q_{real} 간의 회귀분석을 실시하여 Table 4~6과 같이 제시하였다. 이상의 검토결과 오리피스와 위어형태의 방류형태 분류기준은 $h_g/h_1=0.73$, 오리피스의 자유방류와 수중방류형태 분류기준은 $h_3/h_g=1.2$, 위어의 자유방류와 수중방류형태 분류기준은 $h_3/h_1=0.70$ 이 가장 우수한 예측결과를 나타내고 있다.

Table 4. Correlation coefficients for each criteria of discharge classification

	Collins (1976)	This Research	Fisk (1988)
h_g/h_1	0.67	0.7	0.73
Correlation coef. for orifice	0.928	0.942	0.942
Correlation coef. for weir	0.904	0.923	0.960

Table 5. Correlation coefficients for each criteria of orifice submergence

	Collins (1976)	This Research	This Research	Fisk (1988)
h_3/h_g	1.0	1.1	1.2	1.3
Correlation coef.	0.905	0.931	0.942	0.936

Table 6. Correlation coefficients for each criteria of weir submergence

	Collins (1976)	This Research	This Research	Fisk (1988)
h_3/h_1	0.6	0.65	0.7	0.75
Correlation coef.	0.938	0.958	0.960	0.933

5. 결 론

본 연구에서는 하도 내 가동보에 대하여 발생할 수 있는 방류형태와 각 방류형태별 대표적 방류능 산정공식을 검토하였으며 낙동강에 설치예정인 특정 가동보 대한 개도별 방류능 산정을 위한 실내 모형실험을 수행하여 해당 수문에 대한 방류특성별 유출계수를 산정, 제시하였다.

방류형태는 수중오리피스와 자유오리피스, 수중위어와 자유위어 방류형태로 분류할 수 있었으며 방류형태 별 적용 가능한 방류량 산정공식과 함께 유출계수를 제안하였다. 수중오리피스 유출계수의 지배인자로는 h_3/h_g 를, 자유오리피스 유출계수 지배인자로는 h_g 를, 수중위어 유출지배인자로는 h_3/h_1 을, 그리고 자유위어 유출계수 지배인자로는 h_1 을 제안하였다.

오리피스와 위어방류형태 분류기준은 $h_g/h_1=0.73$, 오리피스의 자유방류와 수중방류형태 분류기준은 $h_3/h_g=1.2$, 위어의 자유방류와 수중방류형태 분류기준은 $h_3/h_1=0.70$ 으로 제안하였다. 모형에서의 실측유량과 방류량 예측공식을 활용한 예측유량을 비교 검토한 결과 결정계수 0.94 이상의 우수한 상관관계를 얻음으로써 연구결과를 검증하였다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 건설기술혁신사업(08기술혁신F01)에 의한 차세대홍수방어기술개발연구단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

Alminagorta, O. and Merkley, G.P. (2009) Transitional flow between orifice and nonorifice regimes at a rectangular sluice gate.

- Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE*, MAY/JUNE, pp. 382-387.
- Ansar, M. and Gonzalez-Castro, J.A. (2003) Submerged weir flow at prototype gated spillways. *World Water & Environmental Resources Congress 2003 and Related Symposia*, Proceedings of the Congress, June 23-26, 2003, Philadelphia, Pennsylvania
- Brater, E.F., King, H.W., Lindell, J.E., and Wei, C.Y. (1996) *Handbook of Hydraulics*, 7th Edition, McGraw-Hill.
- Collins, D.L. (1976). Discharge computations at river control structures. *Journal of Hydraulics*, HY7, pp. 845-863.
- Fisk, G.G. (1988). *Discharge rating for control structures at McHenry dam on the Fox river*, Report 87-4226, USGS, Water Resource Investigations, Illinois.
- Lin, C.H., Yen, J.F., and Tsai, C.T. (2002) Influence of sluice gate contraction coefficient on distinguishing condition. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE*, Vol. 124, No. 4, pp. 249-252.
- Tillis, G.M. and Swain, E.D. (1998) *Determining Discharge-Coefficient Ratings for Selected Coastal Control Structures in Broward and Palm Beach Counties*, Report 98-4007, USGS, Water-Resources Investigations, Florida.
- Wahl, T.L. (2004) Issues and problems with calibration of canal gates. *Proc., World Water & Environmental Resources Congress*, Salt Lake City.

(접수일: 2010.6.22/심사일: 2010.7.30/심사완료일: 2011.1.7)