韓國水資源學會論文集
第40卷 第3號 · 2007年 3月
pp. 277~286

3차원 수치모의를 이용한 광정횡월류위어의 흐름특성 해석

Analysis of the Flow over Broad Crested Side Weir by Using Three-Dimensional Numerical Simulation

김 대 근* / 김 용 근**
Kim, Dae Geun / Kim, Yong Geun

Abstract

In this study, we analyzed the flow characteristics in the wide-crested side weir of trapezoidal section by using a three dimensional numerical stimulation. From this study, as the Froude number increases in the main channel, the overflow discharge ratio and the discharge coefficient of lateral overflow tend to decrease. And it was also found that the increase of the lateral overflow reduces the channel discharge area in the downstream, and the size of recirculating zone is increasing in the opposite side of side weir. The stream-wise water surface on the side where the side weir is installed falls down rapidly in the weir starting point, gradually ascending, and rapidly rising at the end point. The reason why the water surface rapidly rises at the weir end point is because the weir end point hinders the flow.

keywords : wide-crested side weir, lateral overflow, recirculating zone, overflow discharge ratio

요 지

사다리꼴단면을 가진 광정횡월류위어에서의 흐름특성을 3차원 수치모의를 통해 분석하였다. 본 연구결과, 본류 수로의 푸르드수가 증가함에 따라 월류유량비와 횡월류 유량계수는 감소하는 경향을 보였다. 그리고 횡월류 유량이 증가하면서 월류부 하류 수로의 주흐름구간은 축소되며, 횡월류위어의 대안 측에 형성되는 재순환영역의 크기는 증가하는 양상을 보였다. 횡월류위어 측에서의 주흐름방향 수위분포는 위어 시점부에서 급격히 하강하여 점차 증가하다 위어 종점부에서 급격히 상승했다 하강하는 양상을 보이는데, 위어 종점부에서 수위가 급히 상승하는 원인은 위어의 종점부가 흐름의 장애물로 작용하기 때문이다.

핵심용어 : 광정횡월류위어, 횡월류, 재순환영역, 월류유량비

1. 서 론

횡월류위어(side weir)는 본류의 수위가 한계수위 이상으로 상승할 경우 본류로부터 저류지(detention basin)나 분수로(distributary channel)로 흐름을 전환하기 위하여 사용하는 수공구조물이다. 최근 들어 치수와 관련된 계획에서 본류의 홍수량 중 일부를 저류지나 홍수 우회수로로 전환시키는 시설에 대한 관심이 높아

* 목포대학교 건설공학부 토목공학전공 전임강사
Instructor, Dept. of Civil Engrg., Division of Construction Engrg., Mokpo National Univ., Jeonnam, 534-729, Korea
(e-mail: kdg05@mokpo.ac.kr)
** 목포대학교 건설공학부 토목공학전공 박사과정
Ph.D Candidate, Dept. of Civil Engrg., Division of Construction Engrg., Mokpo National Univ., Jeonnam, 534-729, Korea

지고 있다. 이에 횡월류위어의 수리학적인 흐름특성에 관한 연구가 국내에서도 점차 관심의 대상이 되고 있다(김지호 등, 2004; 이두한, 2005).

횡월류위어에 관한 초창기 연구는 1차원 에너지방정식 또는 운동량방정식에 바탕을 두고 수위-유량관계를 산정하는 것이었다(Chow, 1959; Henderson, 1966). 또한 주로 수리실험을 통한 연구가 이루어져 왔다(El-Khashab and Smith, 1976; Hager, 1987; Jalili and Borghei, 1996; Lee and Holley, 2002; Ranga Raju et al., 1979; Singh et al., 1994; Subramanya and Awasthy, 1972; Swame et al., 1994). 또한 기존 연구는 대부분 사각형 단면의 예연횡월류위어의 수위-유량관계의 도출에 집중되어 있는데, 최근에는 예연횡월류위어에서의 흐름특성 규명과 관련된 수치모의 연구가 일부 수행되고 있다(이두한, 2005; 박종표 등, 2005).

그러나 실험실이 아닌 하천에서 본류의 흐름을 저류지로 유도하기 위한 횡월류위어는 사다리꼴의 광정위어 형태가 일반적으로 사용될 것으로 판단되나, 이에 관한 연구는 Lee and Holley(2002)의 수리실험을 제외하면 찾아보기 어려운 실정이다. 본 연구에서는 3차원 수치모형인 Flow-3D를 이용하여 사다리꼴단면의 광정횡월류위어에서의 유량계수와 흐름특성을 해석하였다. 횡월류위어를 통해 분기되는 유량으로 인해 본류흐름은 통수단면이 점차 확대되는 효과가 발생하여 수위가 점차 상승하고, 흐름은 3차원적으로 변하게 된다. 또한 횡월류위어가 설치되는 곳의 대안에서는 흐름의 재순환영역이 발생하는 것으로 알려져 있다(El-Khashab and Smith, 1976; Lee and Holley, 2002). 흐름의 재순환영역과 관련된 연구는 재순환영역의 발생여부에 관한 정성적인 관측수준에 머무르고 있는데, 본 연구에서는 횡월류위어를 통해 분기되는 유량의 규모에 따른 재순환영역의 크기 양상 등 3차원적인 흐름특성을 해석하였다.

2. 연구방법

2.1 횡월류위어

Fig. 1과 같이 일정한 폭 B를 갖는 직선수로의 측면에 위어를 설치하게 되면 유량의 일부는 횡월류위어를 통해 월류하고 남은 유량만이 계속해서 하류로 유하한다. 일반적으로 월류의 방향은 본류의 관성력에 의해 횡월류위어와 경사를 이루며 월류하게 된다. 폭이 일정한 수로에 횡월류위어가 설치되는 경우, 본류에서는 월류되는 유량만큼 유량의 감소가 일어나며, 이 때 본류의 하류에서는 하폭이 점차 증가하는 것과 같은 흐름현

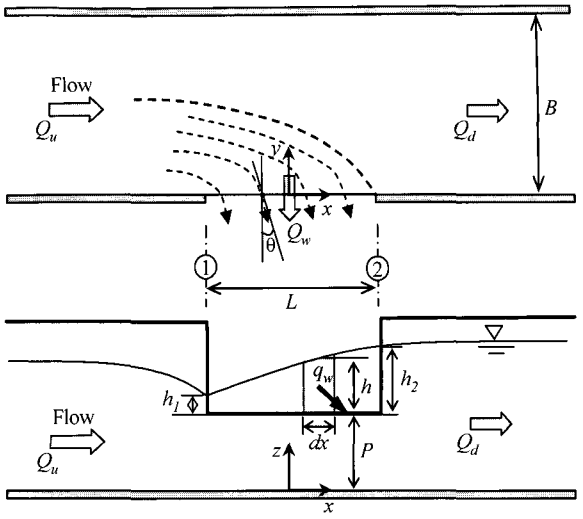


Fig. 1. Schematic Diagram of Sharp-Crested Side Weir

상을 보인다. 즉, 본류 흐름이 상류($Fr<1$)인 경우 수위는 상류단 ①에서 하류단 ②로 진행하면서 점차 상승하는 형태를 보이게 된다. 흐름이 사류($Fr>1$)인 경우에는 하류로 진행하면서 수위가 점차 하강하는 형태를 보이게 되나, 자연하천에서는 일반적으로 상류흐름이 형성되므로 본 연구에서는 Fig. 1과 같은 상류조건에 한정하여 연구를 수행하였다. 본류 흐름이 상류인 경우 횡월류위어가 설치된 구간에서 에너지손실을 무시할 수 있다면, 횡월류로 인해 본류 유량이 점차 감소하게 되면 에너지관계식에 의해 횡월류위어의 월류수두는 하류로 갈수록 상승하게 된다. 따라서 위어를 따라 하류방향으로 점차 방류강도(discharge intensity)가 증가하게 된다(Chow, 1959). 상류단 ①과 하류단 ② 사이에 1차원 공간점변류의 이론을 적용할 수 있으며, 횡월류 흐름으로 인한 편수위와 3차원적인 유속분포 특성을 무시할 수 있으며 횡월류위어가 설치된 구간에서 에너지손실을 무시할 수 있으며 에너지보정계수가 1.0인 경우에 사각단면의 예연횡월류위어를 통한 횡월류 유량은 다음과 같이 산정할 수 있다(Chow, 1959).

$$q_w = -\frac{dQ}{dx} = \frac{dQ_w}{dx} = \frac{2}{3} C_M \sqrt{2g}\, h^{1.5} \tag{1}$$

위에서 q_w는 횡월류위어의 단위폭당월류량, Q_w는 횡월류위어의 월류량, Q는 본류의 유량, C_M은 유량계수, g는 중력가속도, h는 횡월류위어마루에서 측정한 수위이다. Eq. (1)에서 h는 일정한 상수가 아니라 위치별로 변하기 때문에 본류의 수면곡선을 추적한 후에 월류유량을 산정할 수 있다. Eq. (1)의 유량계수에 관한 연구

Table 1. Discharge Coefficient of Sharp-Crested Side Weir Installed on Prismatic Open Channel (adapted after Borghei et al., 1999)

Researcher	Year	Proposed discharge coefficient	Remarks
Subramanya and Awasthy	1972	$C_M = 0.864\sqrt{\frac{1-Fr_1^2}{2+Fr_1^2}}$	
Ranga Raju et al.	1979	$C_M = 0.81 - 0.6Fr_1$	
Hager	1987	$C_M = 0.485\sqrt{\frac{2+Fr_1^2}{2+3Fr_1^3}}$	for P=0
Singh et al.	1994	$C_M = 0.33 - 0.18Fr_1 + 0.49\left(\frac{P}{H_1}\right)$	$H_1 = P + h_1$
Jalili and Borghei	1996	$C_M = 0.71 - 0.41Fr_1 + 0.22\left(\frac{P}{H_1}\right)$	$H_1 = P + h_1$
Borghei et al.	1999	$C_M = 0.7 - 0.48Fr_1 + 0.3\left(\frac{P}{H_1}\right) + 0.06\left(\frac{L}{B}\right)$	$H_1 = P + h_1$

는 최근까지도 실험에 바탕을 둔 연구가 진행되고 있으며 이를 정리하면 Table 1과 같다. 초기연구에서는 유량계수가 주로 상류흐름의 영향만을 받는 것으로 제안하고 있으나, 최근 들어 수로와 횡월류위어의 위치와 형상에 따라 유량계수가 변하고 있음을 제안하고 있다. 최근 국내에서도 예연횡월류위어에 대한 연구(송재우 등, 2007)를 수행하고 있으며, 이들 연구에 의하면 유량계수는 Fr_1, P/H_1, L/B의 선형다중회귀식 형태가 가장 좋은 결과를 보인다. 아울러 기존 외국 연구자의 유량계수와 비교할 때 실험조건에 따라 약 46%까지 오차가 발생하는 것으로 분석하고 있다. Eq. (1)은 횡월류위어의 마루를 따라 방류강도가 변하게 되므로 월류유량을 산정하기 위해서는 위어마루를 따라 수위를 구하고 Eq. (1)을 적분하는 과정이 포함되므로 적용하는 것이 쉽지 않다.

Lee and Holley(2002)는 사다리꼴 수로에 설치된 사다리꼴 광정횡월류위어에 대한 실험을 통해 다음과 같은 월류유량을 산정할 수 있는 공식을 제안하였다(Fig. 2 참조).

$$Q_w = C_{BM}(L + z \cdot h_2)h_2^{1.5} \tag{2}$$

위에서 C_{BM}은 전유량계수(bulk discharge coefficient)이며 L과 z는 각각 사다리꼴 횡월류위어의 저면폭과 측면경사이며 h_1, h_2와 h_d는 각각 횡월류위어 시점, 말단과 횡월류위어 하류부 본류 하도에서의 수위로 횡월류위어마루가 기준면이다. 전유량계수는 본류의 푸르드수, 수로의 폭, 위어 길이의 함수이다.

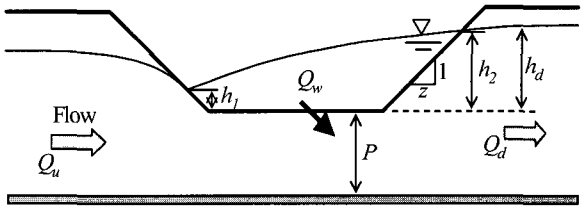


Fig. 2. Schematic Diagram of Trapezoidal Wide-Crested Side Weir

2.2 수치모형

비압축성 유체의 흐름을 해석하기 위하여 FLOW-3D에서 사용하는 지배방정식은 직교좌표계(x, y, z)에서의 다음과 같은 RANS(Reynolds-Averaged Navier-Stokes Equation)이다(Flow Science, 2003).

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0 \tag{3}$$

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_j\frac{\partial U_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x_i} + F_i \tag{4}$$

여기서 t는 시간, U_i는 x_i방향의 속도, ρ는 물의 밀도, P는 압력, F_i는 중력, 점성력 등과 같은 외력이다. 물과 공기의 경계인 자유수면을 모델링하기 위하여 VOF(volume of fluid)함수를 정의하는데, 함수의 값이 1인 경우는 검사체적에 물이 가득한 상태를 의미하고 함수의 값이 0인 경우는 검사체적에 물이 없는 경우를 의미하고 자유수면에서는 함수의 값이 0과 1사이의 값

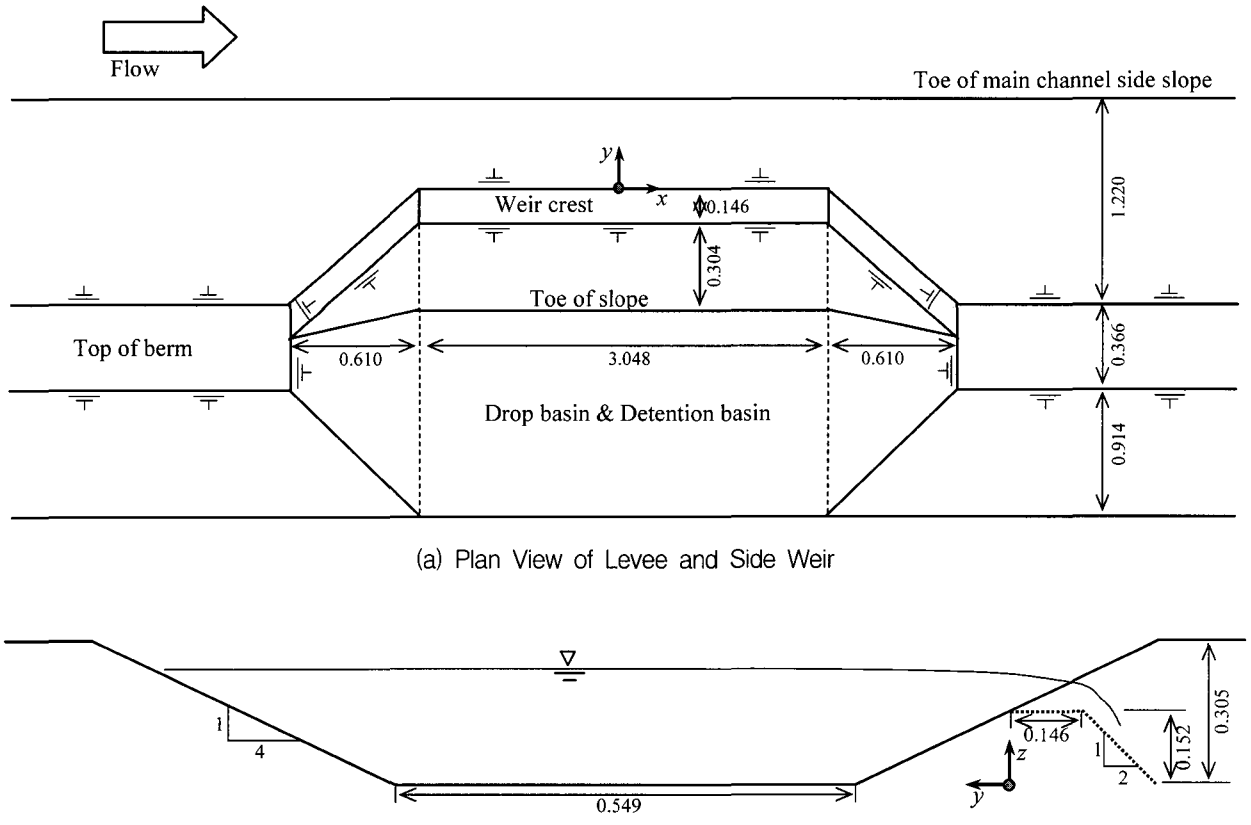
을 가진다. 난류모형은 $k-\epsilon$난류모델을 사용하였다. 지배방정식은 유한차분법을 이용하여 이산화되며, 격자계의 구성시 격자망과 지형은 독립적으로 입력되며 특히, FAVOR(fractional area and volume obstacle representation)기법을 사용함으로써 유한체적법의 접근방법으로 해석된다.

2.3 격자구성 및 모의조건

Fig. 3은 모의에 사용된 광정횡월류위어의 평면과 단면도이다. 이는 Lee and Holley(2002)의 수리실험에서 사용한 수로의 제원과 동일하다. 모의를 위한 좌표체계는 위어마루(weir crest)의 중앙부를 평면좌표계의 원점으로, 하천의 바닥을 연직좌표의 원점으로 선정하였다. 수로의 전체길이는 25m이며, 그 중앙부에 Fig. 3과 같은 광정횡월류위어가 위치하고 있다. 본류 제방의 제외지측 경사는 1:4의 완경사이다. 횡월류위어는 본류의 흐름을 방해하지 않도록 제외지측 경사는 제방의 경사와 동일하며 저류지로 연결되는 곳의 경사는 1:2이다. 광정횡월류위어는 Fig. 2와 같고, L과 z는 각각 3.048m와 4이다. 격자망은 위어 부근의 흐름이 급변하는 곳에서는 격자크기를 작게, 흐름의 변화가 완만한 곳에서는 격자크기를 크게 구성하였다. 격자망은 70,720개의 격자로 구성하였다.

Lee and Holley(2002)의 실험은 공급유량이 0.091~0.260m^3/s이며 하류에서 수위를 조정하여 본류 하도흐름의 푸르드수가 0.14~0.75 사이의 값을 가지는 경우에 대한 것이다. Lee and Holley(2002)가 산정한 푸르드수는 Fig. 2의 h_2를 기준으로 통수단면적과 평균유속을 산정하여 계산한 결과이다. 수리실험에서 본류 하도에 공급하는 유량은 벤튜리미터를 이용하여 측정하였으며 횡월류유량은 귀환수로 전면에서 삼각위어를 이용하여 측정하였다. 상기 실험에서는 본류 흐름의 푸르드수에 따른 횡월류 유량과 횡월류 유량의 규모에 따른 본류 흐름의 교란에 대해 분석하였다.

본 연구의 경계조건으로 상류는 유량조건, 하류는 수위조건을 부여하였다. 상류에서 유입하는 유량을 일정하게 고정하고 수위를 변화시키며 수면경사로 인해 흐름조건이 변동되도록 하였다. 상류경계조건으로 높이 0.25m의 사다리꼴단면(본류 하도의 단면)의 암거를 통해 일정유량이 계산영역으로 유입되도록 하였다. 즉,



(a) Plan View of Levee and Side Weir

(b) Sectional View of Channel and Side Weir

Fig. 3. Schematic Diagram of Wide-Crested Side Weir for Numerical Simulation (unit: m, no scale)

일정한 유량에 대해 하류 수위조건에 따라 다양한 푸르드수를 가진 본류 흐름이 발생하도록 하였다. 상류경계에서의 수위는 일정한 유량을 공급하기 위하여 경계에서만 고정하였으며, 상류경계를 통과한 흐름은 유량과 하류경계에 의해 모의조건별로 모형에서 계산되어 진다. 횡월류위어를 통과한 유량은 반사(reflection) 없이 유출되도록 하였다. 수로의 바닥 등 벽면은 무활(no-slip) 경계조건을 부여하였다. 벽면에서의 난류경계치를 산정하기 위해서는 벽함수를 사용하였다. 윤용남(2002)에 의하면 콘크리트 표면의 상당조도는 표면처리 여부에 따라 0.305~3.05 mm의 값을 가지는데, 본 연구에서는 중간정도의 거칠기를 가지는 콘크리트의 상당조도에 해당하는 1.0 mm를 사용하였다. 상기 범위 내에서 콘크리트 표면에 대한 상당조도의 값을 선택하면 상당조도는 수치모의 결과에 큰 영향을 미치지 않는다(Kim and Park, 2005). 모의구간의 상부면은 대칭경계조건을 부여하였으나, 경계면과 물 사이에는 대기압의 공기층이 존재하고 있어, 물의 흐름은 경계조건의 영향을 받지 않는다. 본 연구에서는 Table 2와 같이 하도의 상류에서 유입하는 유량을 고정하고 하류수위를 변화시키며 모의결과를 검토하였다. 하류경계의 수위가 낮을수록 수면경사가 급해지면서 본류의 푸르드수는 증가할 것으로 추정된다.

Table 2. Boundary Conditions for Numerical Simulation

Case No.	Upstream Flowrate (m^3/s)	Downstream water depth (m)
U25D18	0.193	0.180
U25D19		0.190
U25D20		0.200
U25D21		0.210
U25D22		0.220
U25D23		0.230
U25D235		0.235
U25D24		0.240

초기조건으로는 전 구간에 걸쳐 상류의 수위와 동일한 수위조건을 부여하였다. 3방향 유속과 난류특성 등 나머지 조건은 모두 0으로 놓았다. Fig. 4는 초기조건을 도시한 것이다. 계산결과의 수렴여부는 흐름의 운동에너지, 난류운동에너지, 유입 및 유출유량의 수렴여부를 이용하여 판단하였다. 본 연구에서는 이상의 수렴조건을 만족하도록 200초 동안 계산한 결과를 이용하여 분석하였다.

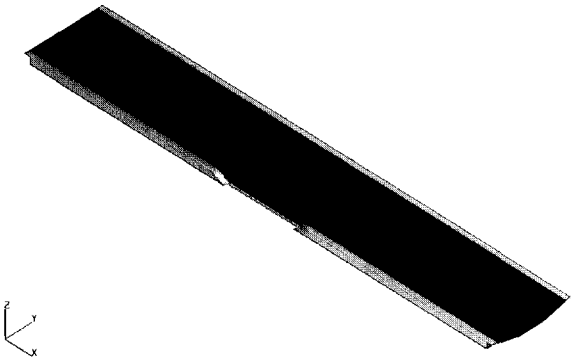


Fig. 4. Initial Condition (Case No. U25D23)

3. 모의결과

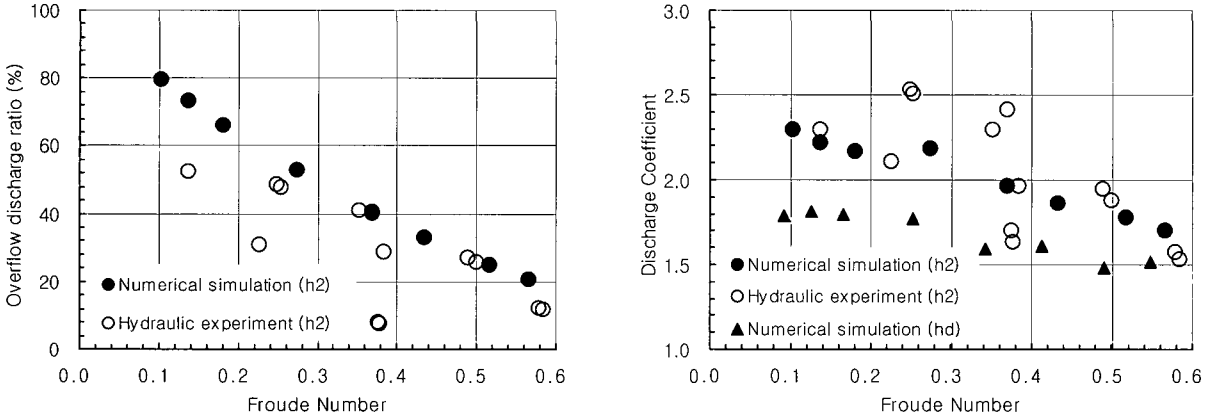
3.1 횡월류유량

Table 3은 Table 2의 모의조건에 대한 수치모의 결과를 요약, 정리한 것이다. Table 3에서 h_1, h_2와 h_d는 Fig. 2에서 정의한 위치에서의 수위다. h_d는 횡월류위어의 하류(x = 4m 지점)에서 측정한 수위며, 수로단면의 중앙부에서 측정한 결과이다. h_d의 하류방향 측정위치는 횡월류로 인한 단면의 편수위 영향이 소멸되는 곳을 선정하였다(Fig. 8 참조). 통수단면적, 푸르드수와 유량계수는 상기 수위를 기준으로 각각 산정하였다. 월류유량비(overflow discharge ratio)는 본류의 유량 중 횡월류위어를 월류하는 유량의 비율이다. 유량계수는 수치모의 결과에서 횡월류유량과 하류 수위를 산정하면 Eq. (2)에 의해 산정할 수 있다.

Fig. 5는 본 모의결과와 광정횡월류위어에 대한 수리실험(Lee and Holley, 2002) 결과를 비교한 것이다. (a)는 본류 하천의 푸르드수에 따른 월류유량비이며, (b)는 횡월류유량에 대한 유량계수이다. 푸르드수가 증가함에 따라 월류유량비와 유량계수는 전반적으로 감소하는 경향을 보이는데, 모의결과는 이러한 경향을 잘 재현하고 있다. Fig. 5에서 h_2는 Lee and Holley(2002)의 수리실험에서 푸르드수와 유량계수를 산정할 때 사용한 수위로 동일한 위치에서의 모의결과인 수위를 사용한 경우에 월류유량비와 유량계수는 실험결과와 모의결과가 대체로 잘 일치하고 있다. 하지만 Fig. 5(b)에서 유량계수와 푸르드수의 수치모의 결과를 산정하기 위하여 편수위의 영향이 거의 사라진 h_d를 사용한 경우에는 h_2를 사용한 결과와 다소 차이가 발생하고 있다. 횡월류위어의 수위-유량관계에서 h_d를 사용한 경우에는 h_2를 사

Table 3. Summary of Numerical Simulation Results

Case No.	Flowrate (m^3/s)		Overflow discharge rate (%)	Water stage (m)			Flow area (m^2)		Froude number		Discharge coefficient	
	Upstream	Lateral		h_1	h_2	h_d	A_2	A_d	Fr_2	Fr_d	C_{BM2}	C_{BMd}
U25D18	0.193	0.040	20.9	0.028	0.038	0.041	0.249	0.255	0.565	0.549	1.700	1.519
U25D19	0.193	0.048	25.1	0.031	0.042	0.047	0.256	0.267	0.517	0.490	1.776	1.486
U25D20	0.193	0.064	32.9	0.035	0.048	0.053	0.270	0.280	0.433	0.413	1.860	1.609
U25D21	0.193	0.078	40.1	0.041	0.053	0.060	0.280	0.297	0.369	0.343	1.964	1.591
U25D22	0.193	0.102	52.8	0.048	0.059	0.067	0.293	0.312	0.274	0.253	2.190	1.772
U25D23	0.193	0.128	66.2	0.058	0.068	0.077	0.314	0.335	0.180	0.166	2.173	1.795
U25D235	0.193	0.142	73.3	0.061	0.071	0.081	0.322	0.346	0.137	0.126	2.224	1.812



(a) Over Flow Discharge Ratio (b) Discharge Coefficient

Fig. 5. Lateral Overflow Characteristics with Channel Froude Number

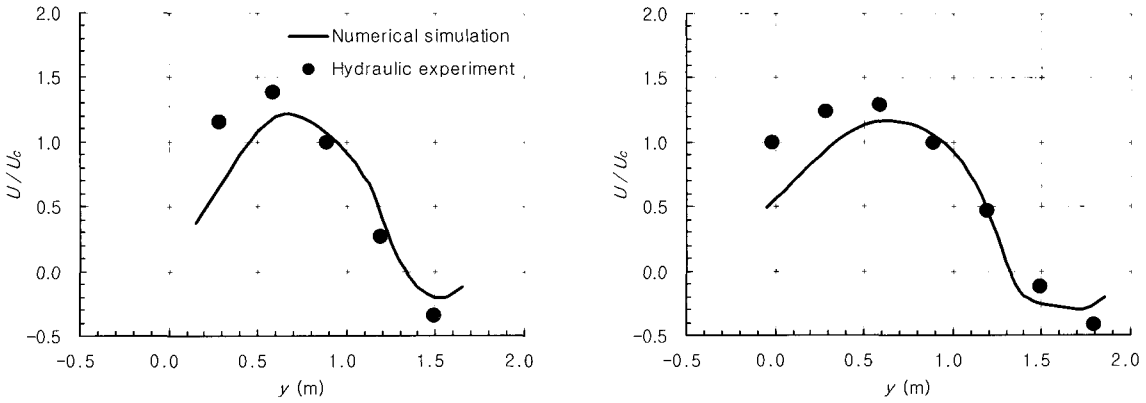
용하는 경우보다 작은 값의 그리고 푸르드수에 대한 기울기가 다소 완만한 형태를 가지는 유량계수의 패턴을 보이고 있어 유량계산시 보다 안정한 값을 얻을 수 있을 것으로 사료된다. 유량계수는 특히 수위의 영향이 크므로, 향후 횡월류 관련 연구시 수위측정 위치 및 측정 정확도에 관심을 가져야 할 것으로 사료된다.

3.2 유황

Fig. 6은 횡월류위어 직하류(x=2.0m 지점)에서 주흐름방향 유속의 분포를 실험결과(Lee and Holley, 2002)와 비교, 도시한 것이다. 유속은 횡단면 중심에서의 유속으로 무차원화 하였다. 모의결과는 유속의 전체적인 분포, 특히 단면에서의 최대유속이 횡월류위어측으로 편향되는 경향과 횡월류위어 대안측의 재순환영역을 잘 재현하고 있다. 비교는 실험에서의 상류 유입유량인 $0.173m^3/s$와 월류유량비인 54%와 가장 가까운 조건인 Case U25D22의 모의결과를 이용하였다. Fig. 6(a)는 전체 수심의 중층부(z=11cm)에서의 결과이며, Fig. 6(b)는 표층부(z=16cm, 수면 하 6cm)에서의 결과를 비교한 것이다. 유량과 월류유량 등 모의조건이 정확히 일치하지 않기 때문에 정량적인 분석은 어렵지만, 최대유속의 발생위치 및 재순환영역의 재현 등 전체적인 유황분포의 형태는 잘 재현하고 있음을 알 수 있다.

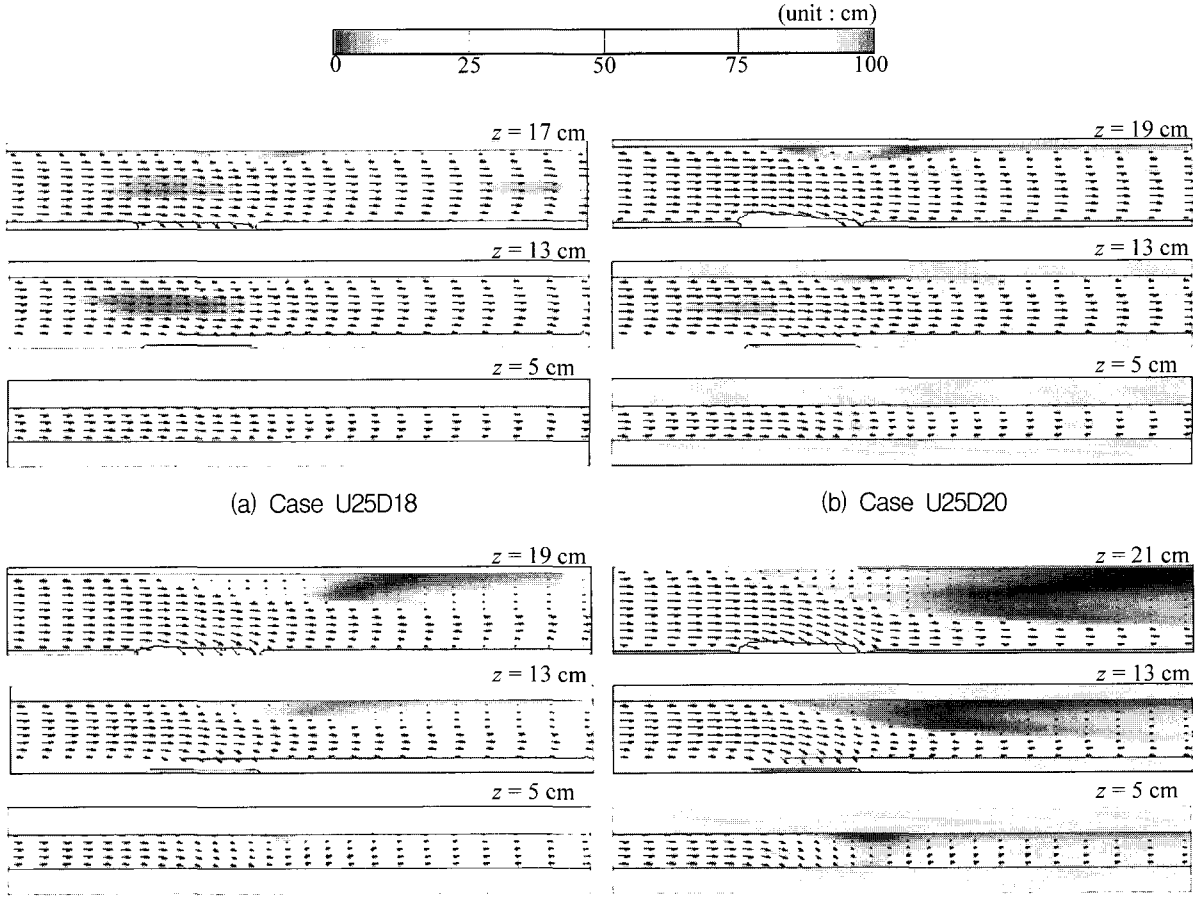
Fig. 7은 모의조건별 표층, 중층, 하층에서의 유황을 도시한 것으로, 컬러는 유속의 크기이다. 푸르드수가 큰 값일 경우에는 본류의 흐름이 횡월류에 의해 영향을 크게 받지 않는다. 즉, 횡월류위어 대안측에 형성되는 재순환영역의 크기가 작고 본류 흐름의 축소가 미미하게 나타나며, 중층부와 하층부에 흐름의 교란도 미미하다. 푸르드수가 감소함에 따라 월류유량비가 증가하면서 본류 흐름의 표층부에 형성되는 재순환영역의 크기가 증가하며, 본류 흐름이 크게 축소되고 있다. 이는 흐름의 중층부와 하층부까지 영향을 미치고 있다. 따라서 본류 흐름의 푸르드수가 작을수록 횡월류위어 대안측에 형성되는 재순환영역으로 인해 토사의 퇴적과 같은 하천지형의 변화가 크게 발생할 가능성이 있다.

Fig. 8은 월류유량비(또는 월류수심)에 따른 단면에서 이차류의 재순환구조를 나타내고 있다. Fig. 8에서



(a) at Center (z=11 cm) (b) at Top (z=16 cm)

Fig. 6. Lateral Distribution of Stream-wise Velocity (Case U25D22)



(a) Case U25D18 (b) Case U25D20

(c) Case U25D22 (d) Case U25D235

Fig. 7. x-y Plane Flow Fields with Channel Froude Number

효과적인 도시를 위하여 연직방향으로 2배만큼 스케일을 왜곡하였으며, 컬러는 y방향 유속의 크기이다. 횡월류유량이 증가함에 따라 횡월류위어 직하류(x=200 cm 지점)에서 횡월류위어측으로 유도되는 흐름이 강하게 발생하고 있으며 하류로 진행하면서 제방으로 인한 흐름차단으로 인해 이차류가 발생하고 있음을 알 수 있다. 월류유량과 수심에 따라 와류의 발생위치, 크기 및 방향에 차이가 발생하고 있는데 이의 정량적인 분석은 향후 수리실험과 함께 지속적인 연구가 이루어 져야 할 것으로 사료된다. 다만 공통적인 현상으로 횡월류유량이 증가할수록 횡월류위어의 대안측으로 강한 저층류가 발생하는데, 이는 제방의 안정성과 하천생태·환경 문

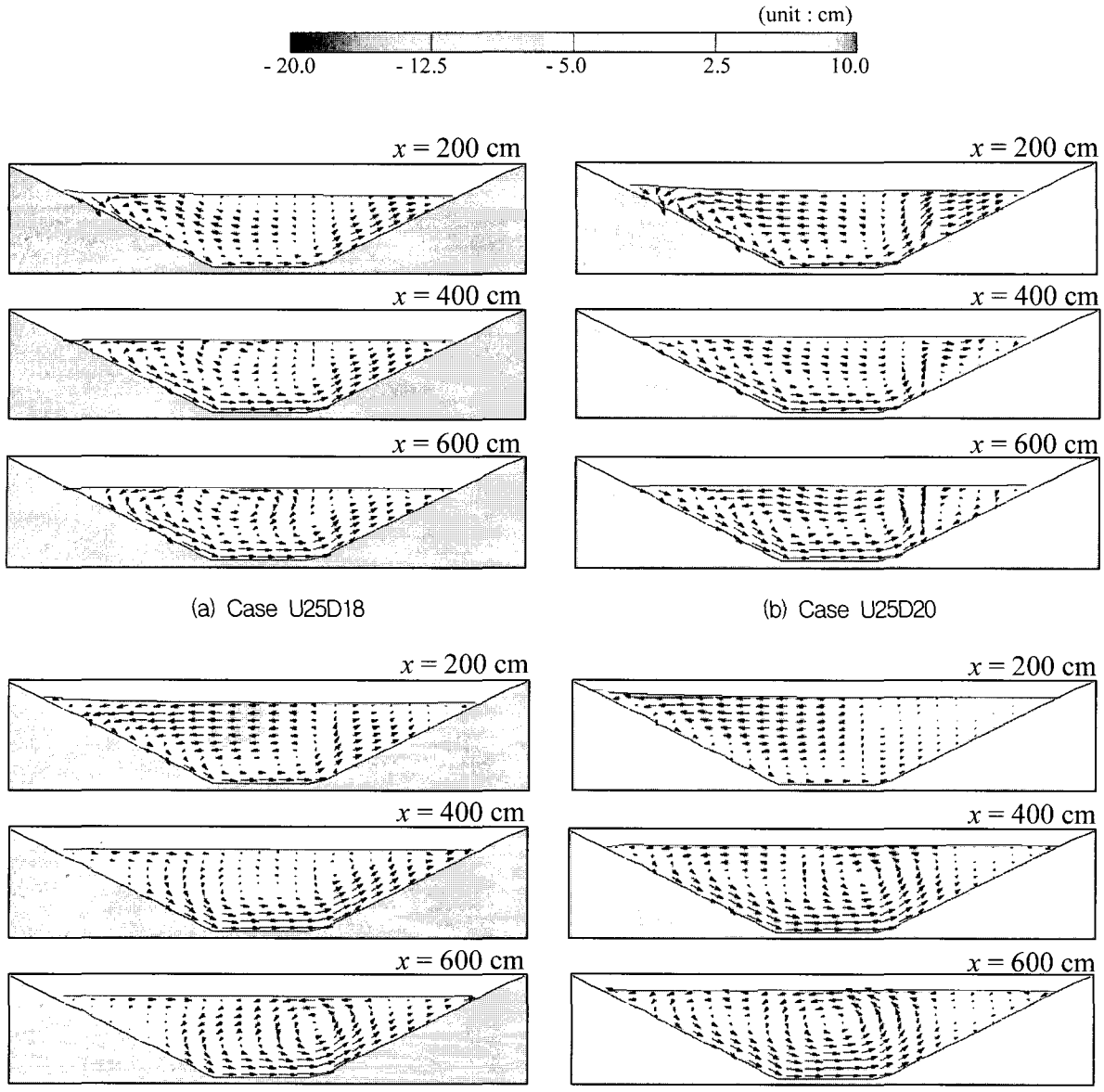


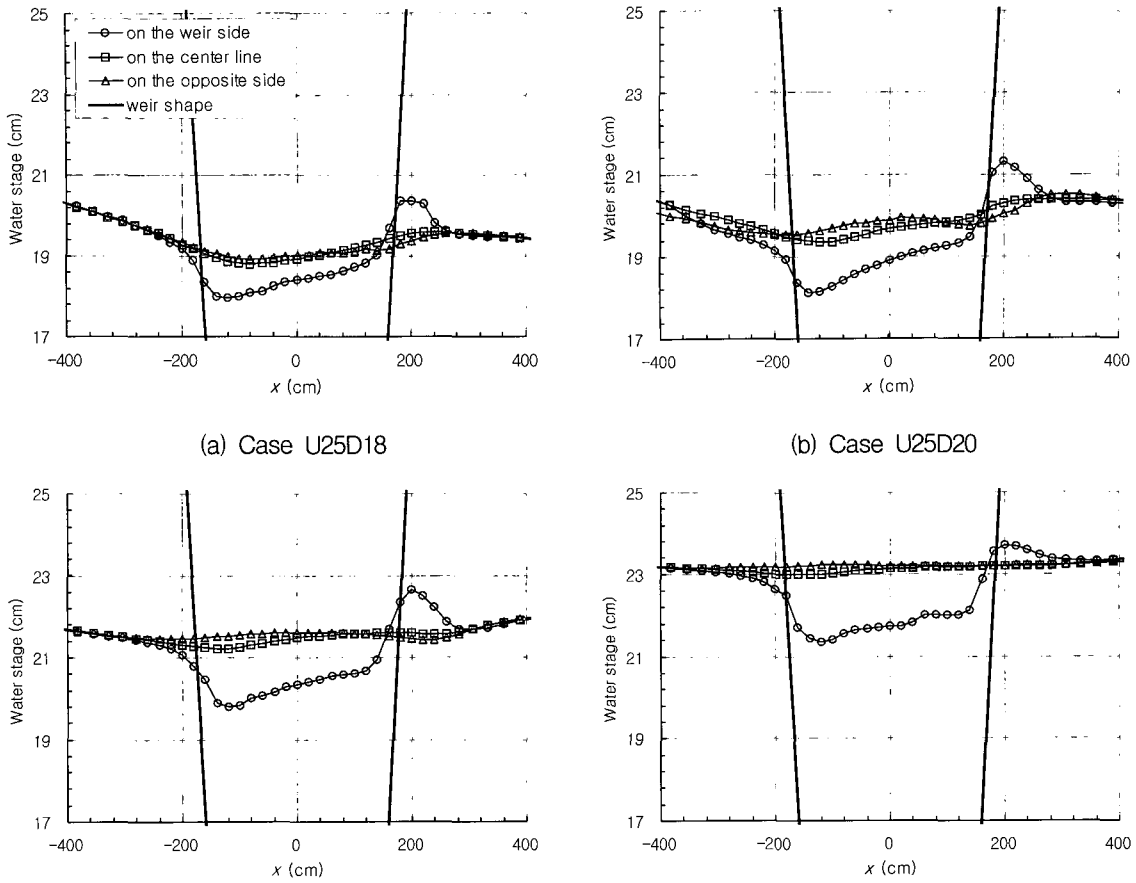
Fig. 8. Sectional Flow Fields with Channel Froude Number

제와 연결된 중요한 문제라 사료된다. 향후 저류지를 활용하는 치수계획이 일반화 될 것으로 기대되는바, 이에 대한 실험과 모델링 연구를 바탕으로 흐름구조의 정량적인 분석 및 하천생태·환경에 미치는 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다.

Fig. 9는 주흐름방향을 따른 수위분포이다. Fig. 9에서 횡월류위어측은 횡월류위어가 설치되어 있는 위치(y=0 cm 지점)에서의 수위분포이다. 수로단면 중앙과 횡월류위어 대안측의 좌표는 각각 y=88.3 cm, y=176.5 cm 지점에서의 수위분포이다. 횡월류위어측에서의 수위는 위어 시점부에서 급격히 하강하여 점차 증가하다 위어 종점부에서 급격히 상승했다 하강하는 형상을 보이는데, 위어 종점부에서 수위가 급히 상승하는 원인은 위어의 종점부가 흐름의 장애물로 작용하기 때문이다. 향후 수위상승의 정량적인 평가 및 수위상승을 억제하는 구조 형식에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다. 수로단면 중앙과 횡월류위어 대안측에서의 수위는 상대적으로 큰 변동양상을 보이지 않는다.

4. 결 론

본 연구에서는 3차원 수치모의를 통해 사다리꼴단면의 광정횡월류위어에서의 흐름특성을 해석하였다. 횡월류위어를 통해 분기되는 유량으로 인해 본류흐름은



(a) Case U25D18

(b) Case U25D20

(c) Case U25D22

(d) Case U25D235

Fig. 9. Water Surface Profiles along the Stream-wise Direction

통수단면이 급확되는 효과와 비슷하게 상류흐름에서는 점차 수위가 상승하고, 흐름은 3차원적으로 변하게 된다. 또한 횡월류위어가 설치되는 곳의 대안에서는 횡월류 유량의 규모에 따라 흐름의 재순환영역이 발생함을 확인하였다. 본 연구결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 3차원 수치모의 결과, 광정횡월류위어에서의 흐름특성 즉, 월류유량비, 유량계수, 재순환영역, 단면에서의 이차류, 수위분포를 대체로 잘 재현할 수 있는 것으로 나타났다.

2. 하천 본류의 푸르드수가 증가함에 따라 월류유량비와 횡월류 유량계수가 감소하는 경향을 보인다. 그리고 유량계수는 월류수두의 영향이 크므로 수위측정 위치 및 측정의 정확도에 각별히 주의해야 할 것으로 사료된다.

3. 수치모의 결과는 단면에서 최대유속이 횡월류위어 측으로 편향되는 경향과 횡월류위어 대안측의 재순환영역을 잘 재현하고 있으며, 횡월류 유량이 증가하면서 월류부 하류의 주흐름구간은 축소되며 횡월류위어의 대안측에 형성되는 재순환영역의 크기가 증가하는 양상을 보인다.

4. 횡월류유량이 증가함에 따라 횡월류위어 직하류에서 횡월류위어측으로 유도되는 흐름이 강하게 발생하며 하류로 진행하면서 제방으로 인한 흐름차단으로 인해 이차류가 발생하는데, 특히 횡월류유량이 증가할수록 횡월류위어의 대안측으로 강한 저층류가 발생하고 있다.

5. 횡월류위어측에서의 주흐름방향 수위분포는 위어 시점부에서 급격히 하강하여 점차 증가하다 위어 종점부에서 급격히 상승했다 하강하는 양상을 보인다. 위어 종점부에서 수위가 급히 상승하는 원인은 위어의 종점부가 흐름의 장애물로 작용하기 때문이다. 수로단면 중앙과 횡월류위어 대안측에서의 수위분포는 상대적으로 큰 변동양상을 보이지 않는다.

본 연구는 천변저류지나 분기수로 계획시 참조할 수 있을 것이며, 향후 수리실험 연구와 병행하여 본류흐름 조건에 따른 평면과 단면에서의 재순환영역의 정량적인 크기, 제방의 안정성 및 하천생태·환경 변화에 관한 연구가 수행되어야 할 것이다. 또한 광정횡월류위어는 위어의 종점부가 흐름의 장애물로 작용하면서 국부적인 수위상승과 흐름교란을 야기하므로 이의 정량적인 평가 및 수위상승과 흐름교란을 최소화하는 구조 형식에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 2003년도 건설핵심기술연구개발사업 (03산학연C01-01)에 의한 도시홍수재해관리기술연구사업단의 연구성과입니다.

참 고 문 헌

김지호, 이호열, 김윤태, 송재우 (2004). "Off-line 저류지 횡월류위어의 적정유량계수 제안." **2004대한토목학회 정기학술대회 논문집**, 대한토목학회, pp. 946-951.

박종표, 김대근, 박창근, 김남일 (2005). "예연측면웨어의 종방향 흐름특성 해석." **2005년도 한국수자원학회 학술발표회 논문집**, 한국수자원학회, pp. 207 (전문은 CD에 수록)

송재우, 박성식, 김지호 (2007). "횡월류위어의 형상에 따른 유량계수 추정." **한국수자원학회논문집**, 제40권, 제1호, 한국수자원학회, pp. 51-62.

윤용남 (2002). 수리학 (기초와 응용). 청문각.

이두한 (2005). "Flow-3D 모형을 이용한 횡월류 위어 흐름 특성 검토." **2005 대한토목학회 정기학술대회 논문집**, 대한토목학회, pp. 245-248.

Borghei, S.M., Jalili, M.R., and Ghodsian, M. (1999). "Discharge coefficient for sharp-crested side weir in subcritical flow." *J. Hydr. Engrg.*, ASCE, Vol. 125, No. 10, pp. 1051-1056.

Chow, V.T. (1959). *Open channel hydraulics*, McGraw-Hill, New York.

El-Khashab, A., and Smith, K.V.H. (1976). "Experimental investigation of flow over side weirs." *J. Hydr. Engrg.*, ASCE, Vol. 102, No. 9, pp. 1255-1268.

Flow Science (2003). *FLOW-3D (Theory Manual)*, Los Alamos, NM.

Hager, W.H. (1987). "Lateral outflow over side weirs." *J. Hydr. Engrg.*, ASCE, Vol. 113, No. 4, pp. 491-504.

Henderson, F.M. (1966). *Open channel flow*, Macmillan Publishing Co., Inc., New York.

Jalili, M.R., and Borghei, S.M. (1996). "Discussion of discharge coefficient of rectangular side weir,' by R. Singh, D. Manivannan and T. Satyanarayana." *J. Irrig. and Drain. Engrg.*, ASCE, Vol. 122, No. 2, pp. 132.

Lee, K.L, and Holley, E.R. (2002). *Physical modeling for side-channel weirs.*, CRWR Online Report 02-2, Houston, TX, USA.

Kim, D.G., and Park, J.H. (2005). "Analysis of flow structure over ogee-spillway in consideration of scale and roughness effects by using CFD model." *J. of Civil Engrg.*, KSCE, Vol. 9, No. 2, pp. 161-169.

Ranga Raju, K.G., Prasad, B., and Gupta, S.K. (1979). "Side weir in rectangular channel." *J. Hydr. Div.*, ASCE, Vol. 105, No. 5, pp. 547-554.

Singh, R., Manivannan, D., and Satyanarayana, T. (1994). "Discharge coefficient of rectangular side weirs." *J. Irrig. and Drain. Engrg.*, ASCE, Vol. 122, No. 2, pp. 132.

Subramanya, K. and Awasthy, S.C. (1972). "Spatially varied flow over side-weirs." *J. Hydr. Div.*, ASCE, Vol. 98, No. HY1, pp. 1-10.

Swame, P.K., Pathak, S.K., Mohan, M., Agrawal, S.K., and Ali, M.S. (1994). "Subcritical flow over rectangular side weir." *J. Hydr. Engrg.*, ASCE, Vol. 120, No. 1, pp. 212-217.

(논문번호:06-38/접수:2006.03.13/심사완료:2007.02.26)