

구형 수로내 횡월류 흐름의 특성

Flow Characteristics of a Side-Weir in Rectangular Channel

박 태 선
Park, Tae Sun

Abstract

Flow characteristics occurring a side-weir overflow in rectangular channel is investigated in this study. A numerical model based on the two-dimensional shallow-water equations is employed to review the factors influencing on the side-weir overflow discharge and the change of flow depths and velocities. It is found that the discharge coefficient which has the most significant influence on the overflow is affected by geometric characteristics of a side-weir, Froude number of the main channel flow and the flow depth of the main channel at the starting point of a side-weir. And the discharge coefficient applicable to a practical design of a side-weir is proposed by deriving a relationship between Froude number of the main channel flow at the starting point of a side-weir and Froude number of the main channel flow.

keywords : side-weir overflow, shallow-water equations, alternating direction implicit scheme, discharge coefficient

요 지

본 연구에서는 구형 수로 내에서 횡월류가 발생할 때, 그 흐름 특성의 변화를 연구하였다. ADI 기법을 이용한 2차원 천수방정식을 수치해석하여 횡월류웨어 주변의 수심 및 유속변화, 월류량에 영향을 미치는 인자들을 검토하였다. 월류량에 가장 직접적인 영향을 미치는 인자인 유량계수는 웨어의 기하학적 특성 이외에 본류의 후르드수와 웨어부 시작점에서의 본류 수심의 영향을 받는다. 웨어부 시작점에서의 후르드수와 본류의 후르드수 사이의 상관관계 및 웨어부 시작점에서의 수심과 본류 수심의 상관 관계를 알아내어 실제 웨어 설계에 이용할 수 있는 유량계수를 제안하였다.

핵심용어 : 횡월류, 2차원 천수방정식, ADI 기법, 유량계수

* 국토연구원 책임연구원
Senior Researcher(Ph.D), Korea Research Institute for Human Settlements, Anyang, Gyeonggi 431 712, Korea
(e-mail: tspark@krihs.re.kr)

1. 서론

횡월류 웨어(side-weir or lateral weir)는 본류의 수심이 수로의 측면에 설치된 웨어 월류부의 높이보다 높을 경우 웨어를 통해 물을 월류시키는 구조물이다. 횡월류 웨어는 관계배수를 위해 일정한 월류량을 얻거나 홍수조절을 위해 본류의 유량을 경감시킬 목적으로 설치한다. 때문에 횡월류 웨어에서는 관련 구조물의 수리설계에 필요한 수리량인 월류량과 월류수심이 관심의 대상이 된다.

월류량은 본류의 흐름상태, 웨어의 길이와 하상으로부터의 높이 등에 따라 달라진다. 그동안 횡월류량을 산정하기 위한 많은 연구들이 이루어졌으나 아직까지 횡월류 웨어의 월류량에 대한 보편적이고 합리적인 산정방법은 없는 실정이다. 기존의 연구들은 1차원 점변류의 지배방정식과 월류량 관계를 이용한 해석적 연구나 유량계수를 결정하기 위한 실험적 연구들이 대부분이다. 이러한 기존의 연구들은 1차원 흐름에 대한 것이 대부분이어서 웨어부 주변의 흐름특성 변화를 명확히 규명하지 못하였다.

따라서, 본 연구에서는 유한차분기법을 이용하여 2차원 천수방정식을 수치해석함으로써 횡월류 웨어로 인한 본류 수로와 웨어부에서의 흐름특성 변화와 월류량과 관련된 인자들의 영향을 연구한다.

2. 기존의 연구

본류는 하상경사와 단면이 일정한 구형 혹은 원형 수로이며, 구형 예연웨어인 1차원 흐름에 대한 횡월류 웨어의 지배방정식은 다음과 같이 얻을 수 있다. 먼저, 본류 수로로부터 유출이 발생하는 흐름에 대한 변화류의 수면곡선식은 식 (1)과 같다(Henderson, 1966).

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_o - S_f - \frac{\alpha Q}{gA^3} \frac{dQ}{dx}}{1 - \frac{\alpha Q^2 B}{gA^3}} \quad (1)$$

여기서 x 는 흐름방향, y 는 본류의 수심, S_o 는 본류의 하상경사, S_f 는 본류의 에너지 경사, Q 는 본류의 전 유량, A 는 본류의 흐름 단면적, B 는 본류의 수로폭, α 는 에너지 보정계수, g 는 중력가속도이다. 횡월류 웨어 구간에서는 수로연장에 비해 상대적으로 짧기 때문에 횡월류 구간에서는 $S_o = S_f = 0$ 이고, $\alpha = 1$ 이라고 가정할 수 있다. 이러한 가정에 따라 비에너지 관계로부터 본류의 전 유량을 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Q = By\sqrt{2g(E-y)} \quad (2)$$

여기서 E 는 비에너지이다. 또한, 단위폭당 월류량 q 는 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다(Henderson, 1966).

$$q = -\frac{dQ}{dx} = \frac{2}{3} C_M \sqrt{2g}(y-W)^{3/2} \quad (3)$$

여기서 C_M 은 유량계수, W 는 하상으로부터 월류부까지의 높이이다. 식 (3)의 유량계수 C_M 을 차원해석해보면 식 (4)와 같다.

$$C_M = f\left(Fr_u, \frac{L_w}{B}, \frac{W}{y_u}\right) \quad (4)$$

여기서 Fr_u 는 웨어부 시작점에서의 후르드수, L_w 는 월류부의 길이, y_u 는 웨어부 시작점에서의 본류 수심이다. 차원해석 결과로부터 웨어부 시작점에서의 후르드수와 본류 수심이 유량계수에 영향을 미치는 중요

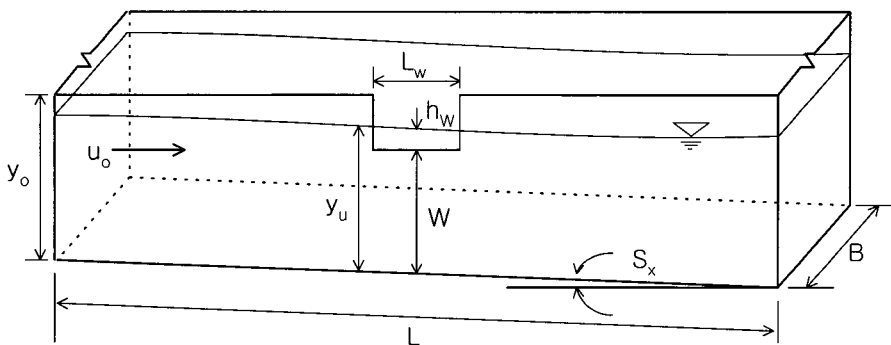


그림 1. 횡월류 흐름의 정의도

한 변수이며, 나머지 변수들은 수로의 기하학적 특징을 나타내는 변수들임을 알 수 있다.

구형수로에 설치된 구형예연 횡월류 웨어의 흐름에 관한 최초의 이론적 연구는 De Marchi(1934)에 의해 이루어졌다고 할 수 있다. 그는 흐름의 에너지가 일정하다는 가정 하에 식 (2)와 식 (3)을 식 (1)에 대입하고 적분한 후 이를 정리하여 유량계수를 식 (5)와 같이 나타냈다(Chow, 1959).

$$C_M = \frac{3}{2} \frac{B}{L_w} (\Phi_d - \Phi_u) \quad (5)$$

여기서 Φ 는 변화류 함수(varied flow function)로서 다음과 같으며, 아랫첨자 u 와 d 는 각각 웨어부의 시작점과 끝점을 나타낸다.

$$\Phi_d = \frac{2E_d - 3W}{E_d - W} \sqrt{\frac{E_d - y_d}{y_d - W}} - 3 \sin^{-1} \sqrt{\frac{E_d - y_d}{E_d - W}} \quad (6a)$$

$$\Phi_u = \frac{2E_u - 3W}{E_u - W} \sqrt{\frac{E_u - y_u}{y_u - W}} - 3 \sin^{-1} \sqrt{\frac{E_u - y_u}{E_u - W}} \quad (6b)$$

그 후 Ackers(1957)는 개략적인 유량계수 값은 상수로 가정할 수 있다고 주장하였으며, Collinge(1957)는 유량계수가 본류의 평균유속에 따라 변한다고 주장

하였다. 유량계수는 실험을 통해 결정할 수 있으며, 몇 가지 제안된 식들은 다음과 같다.

3. 흐름의 지배방정식

본 연구에 사용된 기본 가정들은 다음과 같다. 첫째, 일반적으로 횡월류 웨어는 본류 수로의 길이에 비하여 상대적으로 매우 짧기 때문에 웨어부에서의 에너지 손실을 무시하면 수로 내 흐름의 비에너지는 일정하다고 가정할 수 있다(Robinson과 McGhee, 1993). 웨어부의 시작점과 끝점에서의 평균 비에너지 차이는 El-Khashab와 Smith (1976)가 5%, Ranga Raju 등(1979)이 2%, Borghei 등(1999)이 3.7%를 실험에 의하여 제안하였는데 이 값들은 모두 5% 이내이다. 수로내 흐름의 비에너지가 일정하다는 가정은 웨어부 구간이 짧고 본류 유량에 대한 월류량의 비가 0.75를 초과하지 않을 경우 적용된다(El-Khashab and Smith, 1976; 1978). 둘째, 본류의 수면이 다소의 곡률을 가지고 수심이 불규칙하더라도 수로내 수압은 정수압 분포한다고 가정한다. 셋째, 본류 수로에 비하여 웨어의 길이가 짧고 비에너지가 일정하기 때문에 웨어부에서는 하상경사나 마찰경사의 영향이 작다고 가정할 수 있다(Henderson, 1966). 이러한 가정은 Borghei 등(1999)의 실험에서도 확인할 수 있다. 넷째, 횡월류되는 흐름은 웨어와 직각을 이룬다고 가정한다(Uyumaz, 1997). 다섯째, 이러한 가정들로부터 $\alpha = 1$ 이라고 가

표 1. 횡월류 흐름의 유량계수 제안식

발표자	발표년도	제안식	비고
Subramanya와 Awasthy	1972	$C_M = 0.864 \sqrt{\frac{1 - Fr_u^2}{2 + Fr_d^2}}$	
Ranga Raju 등	1979	$C_M = 0.81 - 0.60 Fr_u$	
Hager	1987	$C_M = 0.485 \sqrt{\frac{2 + Fr_u^2}{2 + 3Fr_u^3}}$	$W = 0$ 일때
Singh 등	1994	$C_M = 0.33 - 0.18 Fr_u + 0.49 \left(\frac{W}{y_u} \right)$	
Jalili와 Borghei	1996	$C_M = 0.71 - 0.41 Fr_u - 0.22 \left(\frac{W}{y_u} \right)$	
Borghei	1999	$C_M = 0.7 - 0.48 Fr_u - 0.3 \frac{W}{y_u} + 0.06 \frac{L_w}{B}$	常流일 때

정할 수 있다.

이러한 기본가정들은 점변류의 조건을 만족시키기 때문에 2차원 천수방정식을 이용한 흐름해석이 가능하다. 본류 수로내 흐름은 상류(常流)와 사류(射流) 두 가지가 있을 수 있다. 사류의 경우에는 흐름상태가 변하면 웨어부 부근에서 도수가 발생할 수 있으나 설계목적 고려할 때 바람직하지 못하며, 도수가 발생하는 경우에는 많은 에너지가 손실되기 때문에 2차원 천수방정식을 적용한 흐름 해석도 어렵다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 경우를 제외한다. 본 연구에서 적용한 2차원 천수방정식은 다음과 같다.

○ 연속방정식

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial(d+\eta)u}{\partial x} + \frac{\partial(d+\eta)v}{\partial y} = 0 \quad (7a)$$

○ x 방향 운동방정식

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} \\ = g S_x - \frac{gn^2}{(d+\eta)^{4/3}} u \sqrt{u^2 + v^2} \end{aligned} \quad (7b)$$

○ y 방향 운동방정식

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial y} \\ = g S_y - \frac{gn^2}{(d+\eta)^{4/3}} v \sqrt{u^2 + v^2} \end{aligned} \quad (7c)$$

여기서 d 는 평균수심, η 는 수위 변화, S_x 와 S_y 는 각각 x 방향과 y 방향의 하상경사, g 는 중력가속도, n 은 Manning의 조도계수, u 와 v 는 각각 x 방향과 y 방향의 수심평균 유속이다.

4. 수치모형

본 연구에서는 지배방정식을 수치해석하기 위하여 유한차분기법의 하나인 ADI 기법을 이용하였다. 이 방법은 양해법과 음해법의 장점을 조합시킨 방법으로써 비교적 정확한 해를 얻을 수 있다. 차분과정에서 시간미분은 전방차분, 공간미분은 중앙차분을 적용함으로써 질량과 에너지를 보존할 수 있도록 하였다(Weiyan, 1992). 단계별 차분과정은 다음과 같다.

(1) 1단계 : $n \Delta t \rightarrow (n+1/2)\Delta t$

○ 연속방정식(음해법)

$$\begin{aligned} -\frac{1}{4} \frac{\Delta t}{\Delta x} (d_{i-1,j} + \eta_{i-1,j}^n) u_{i-1,j}^* + \eta_{i,j}^* \\ + \frac{1}{4} \frac{\Delta t}{\Delta x} (d_{i+1,j} + \eta_{i+1,j}^n) u_{i+1,j}^* \\ = \eta_{i,j}^n - \frac{1}{4} \frac{\Delta t}{\Delta y} [(d_{i,j+1} + \eta_{i,j+1}^n) v_{i,j+1}^* \\ - (d_{i,j-1} + \eta_{i,j-1}^n) v_{i,j-1}^*] \end{aligned} \quad (8)$$

윗 식을 정리하면 다음과 같다.

$$A1_i u_{i-1,j}^* + B1_i \eta_{i,j}^* + C1_i u_{i+1,j}^* = D1_i \quad (9)$$

○ x 방향 운동방정식(음해법)

$$\begin{aligned} -\frac{g}{4} \frac{\Delta t}{\Delta x} \eta_{i-1,j}^* + \left[1 + \frac{1}{4} \frac{\Delta t}{\Delta x} (u_{i+1,j}^n - u_{i-1,j}^n) \right. \\ \left. + \frac{gn^2}{(d_{i,j} + \eta_{i,j}^n)^{4/3}} \frac{1}{2} \Delta t u_{i,j}^* \right. \\ \left. \sqrt{(u_{i,j}^n)^2 + \left[\frac{1}{4} (v_{i+1,j}^n + v_{i-1,j}^n + v_{i,j+1}^n + v_{i,j-1}^n) \right]^2} \right] \\ + \frac{g}{4} \frac{\Delta t}{\Delta x} \eta_{i+1,j}^* = u_{i,j}^n - \frac{1}{16} \frac{\Delta t}{\Delta y} \\ (v_{i+1,j}^n + v_{i-1,j}^n + v_{i,j+1}^n + v_{i,j-1}^n) (u_{i,j+1}^n - u_{i,j-1}^n) \\ + \frac{1}{2} \Delta t g S_x \end{aligned} \quad (10)$$

윗 식을 정리하면 다음과 같다.

$$A2_i \eta_{i-1,j}^* + B2_i u_{i,j}^* + C2_i \eta_{i+1,j}^* = D2_i \quad (11)$$

○ y 방향 운동방정식(양해법)

$$\begin{aligned} \left[1 + \frac{1}{4} \frac{\Delta t}{\Delta y} (v_{i,j+1}^n - v_{i,j-1}^n) + \frac{gn^2}{(d_{i,j} + \eta_{i,j}^n)^{4/3}} \right. \\ \left. \sqrt{\left[\frac{1}{4} (u_{i+1,j}^n + u_{i-1,j}^n + u_{i,j+1}^n + u_{i,j-1}^n) \right]^2 + (v_{i,j}^n)^2} \right. \\ \left. \frac{1}{2} \Delta t \right] v_{i,j}^* = v_{i,j}^n - \frac{1}{16} \frac{\Delta t}{\Delta x} \\ (u_{i+1,j}^n + u_{i-1,j}^n + u_{i,j+1}^n + u_{i,j-1}^n) (v_{i+1,j}^n - v_{i-1,j}^n) \\ - \frac{g}{4} \frac{\Delta t}{\Delta y} (\eta_{i,j+1}^* - \eta_{i,j-1}^*) + \frac{1}{2} g \Delta t S_y \end{aligned} \quad (12)$$

윗 식을 정리하면 다음과 같다.

$$v_{i,j}^* = V2_i / V1_i \quad (13)$$

(2) 2단계 : $(n+1/2)\Delta t \rightarrow (n+1)\Delta t$

○ 연속방정식(음해법)

$$\begin{aligned}
& -\frac{1}{4} \frac{\Delta t}{\Delta y} (d_{i,j-1} + \eta_{i,j-1}^*) v_{i,j-1}^{n+1} + \eta_{i,j}^{n+1} \\
& + \frac{1}{4} \frac{\Delta t}{\Delta y} (d_{i,j+1} + \eta_{i,j+1}^*) v_{i,j+1}^{n+1} \\
& = \eta_{i,j}^* - \frac{1}{4} \frac{\Delta t}{\Delta x} [(d_{i+1,j} + \eta_{i+1,j}^*) u_{i+1,j}^* \\
& - (d_{i-1,j} + \eta_{i-1,j}^*) u_{i-1,j}^*] \quad (14)
\end{aligned}$$

윗 식을 정리하면 다음과 같다.

$$A3_j v_{i,j-1}^{n+1} + B3_j \eta_{i,j}^{n+1} + C3_j v_{i,j+1}^{n+1} = D3_j \quad (15)$$

o y 방향 운동방정식(음해법)

$$\begin{aligned}
& -\frac{g}{4} \frac{\Delta t}{\Delta y} \eta_{i,j-1}^{n+1} + \left[1 + \frac{1}{4} \frac{\Delta t}{\Delta y} (v_{i,j+1}^* - v_{i,j-1}^*) \right. \\
& + \left. \frac{gn^2}{(d_{i,j} + \eta_{i,j}^*)^{4/3}} \frac{1}{2} \Delta t \sqrt{\left[\frac{1}{4} (u_{i+1,j}^* + u_{i-1,j}^* + u_{i,j+1}^* + u_{i,j-1}^*) \right]^2 + (v_{i,j}^*)^2} \right] \\
& v_{i,j}^{n+1} + \frac{g}{4} \frac{\Delta t}{\Delta y} \eta_{i,j+1}^* = v_{i,j}^* - \frac{1}{16} \frac{\Delta t}{\Delta x} \\
& (u_{i+1,j}^* + u_{i-1,j}^* + u_{i,j+1}^* + u_{i,j-1}^*) (v_{i,j+1}^* - v_{i,j-1}^*) \\
& + \frac{1}{2} \Delta t g S_y \quad (16)
\end{aligned}$$

윗 식을 정리하면 다음과 같다.

$$A4_j \eta_{i,j-1}^{n+1} + B4_j v_{i,j}^{n+1} + C4_j \eta_{i,j+1}^{n+1} = D4_j \quad (17)$$

o x 방향 운동방정식(양해법)

$$\begin{aligned}
& \left[1 + \frac{1}{4} \frac{\Delta t}{\Delta x} (u_{i+1,j}^* - u_{i-1,j}^*) + \frac{gn^2}{(d_{i,j} + \eta_{i,j}^*)^{4/3}} \right. \\
& \left. \sqrt{(u_{i,j}^*)^2 + \left[\frac{1}{4} (v_{i+1,j}^* + v_{i-1,j}^* + v_{i,j+1}^* + v_{i,j-1}^*) \right]^2} \right] \\
& \frac{1}{2} \Delta t u_{i,j}^{n+1} = u_{i,j}^* - \frac{1}{16} \frac{\Delta t}{\Delta y} (v_{i+1,j}^* + v_{i-1,j}^* \\
& + v_{i,j+1}^* + v_{i,j-1}^*) (u_{i,j+1}^* - u_{i,j-1}^*) \\
& - \frac{g}{4} \frac{\Delta t}{\Delta x} (\eta_{i+1,j}^* - \eta_{i-1,j}^*) + \frac{1}{2} \Delta t g S_x \quad (18)
\end{aligned}$$

윗 식을 정리하면 다음과 같다.

$$u_{i,j}^{n+1} = U2_j / U1_j \quad (19)$$

식 (9), (11), (15), 그리고 식 (17)은 삼중대각행렬(tridiagonal matrix)로서 Thomas Algorithm으로 풀 수 있다. 또한, 수치계산의 안정성을 개선시키기 위하여 각 계산단계마다 유속과 수심에 대하여 다음과 같

은 5점 공간연화(space smoothing)를 적용하였다.

$$f_{i,j} = \beta f_{i,j} + (1-\beta) \frac{1}{4} (f_{i-1,j} + f_{i+1,j} + f_{i,j+1} + f_{i,j-1}) \quad (20)$$

여기서 가중계수 β 는 0.5를 적용하였다.

수치모의를 위해 본류 상류단에서의 유량과 수심을 주고, 본류 상류단의 수심을 초기 수심으로 설정하고, 유량을 흐름단면적으로 나누어 구한 평균유속을 초기유속으로 설정하였다. 수로벽면에서의 유속은 perfect slip 조건으로 설정하였으며, Robinson 등(1993)의 연구에서의와 같이 웨어부 부근에서는 웨어와 나란한 방향의 유속을 영으로 가정하였다. 월류수심 h_w 는 이러한 가정 하에 월류부와 월류 이전 지점에 베르누이 방정식을 적용함으로써 다음과 같이 구하였다.

$$h_w = \frac{(y-W) + v_w^2/2g}{1 + \frac{4}{9} C_M^2} \quad (21)$$

여기서 y 는 월류 이전의 본류 수심, v_w 는 월류 유속이다.

5. 분석결과

5.1 유량계수

전술한 바와 같이 유량계수는 월류량을 결정짓는 중요한 변수이다. 유량계수는 식 (4)에서 고찰한 바와 같이 웨어부 시작점의 후르드수나 본류 수심의 영향을 받는다. 본 연구에서는 유량계수에 영향을 미치는 다양한 인자들을 포함하고 있는 Borghei(1999)의 유량계수 산정식을 이용하였다.

$$C_M = 0.7 - 0.48 Fr_u - 0.3 \frac{W}{y_u} + 0.06 \frac{L_w}{B} \quad (22)$$

그러나 이 식은 웨어를 설치한 후 유량계수를 측정 한 결과이므로 웨어를 설치하기 이전에는 흐름상태와 수로 조건에 따라 변하는 웨어부 시작점에서의 후르드수 Fr_u 나 수심 y_u 를 알 수 없다. 따라서, 본 연구에서는 실측이나 계산이 가능한 본류 상류단에서의 후르드수 Fr_o 및 수심 y_o 와 웨어부 시작점에서의 후르드수 및 수심과의 상관관계를 고찰하였다. 수치모의 결과 y_u 는 상류단의 수심 y_o 와 큰 차이가 없기 때문에 y_u 대신 y_o 를 적용할 수 있으나 Fr_o 와 Fr_u 사이에는 식 (23)과 같은 근사적인 관계가 성립함을 알 수 있

었다.

$$Fr_u \approx \frac{Fr_o}{3.62 \frac{W}{y_o} + 6.38 Fr_o - 0.43} \quad (23)$$

따라서, 식 (22)에 y_u 대신 y_o 를, Fr_u 대신 식 (23)을 대입하면 상류단의 주어진 자료를 이용하여 유량계수를 구할 수 있다.

5.2 본류의 흐름특성 변화

본류의 흐름이 상류일 때와 사류일 때에 대하여 횡렬류 웨어로 인한 흐름특성 변화를 모의하였다. 이때, 현 시간단계와 다음 시간단계와의 비에너지 차이의 절대값이 10^{-3} 보다 작은 경우를 정상상태(steady state)로 판단하였다. 모의에 사용된 자료는 다음과 같다.

- 상류조건

- $S_x = 0.0001$, $W = 2.0$ m, $L_w = 8.0$ m, $B = 8.0$ m, $n = 0.014$,

- $L = 100.0$ m, $y_o = 4.0$ m, $u_o = 1.25$ m/s, $Fr_o = 0.2$,

• C_M : Borghei(1999)식 적용

- 사류조건

- $S_x = 0.0001$, $W = 0.2$ m, $L_w = 8.0$ m,

$B = 8.0$ m, $n = 0.014$,

- $L = 100.0$ m, $y_o = 0.4$ m, $u_o = 4.0$ m/s,

$Fr_o = 2.02$

• C_M : Subramanya와 Awasthy(1972) 식 적용
공간간격 $\Delta x = \Delta y = 1.0$ m, 시간간격 $\Delta t = 0.001$ sec를 이용하여 상류와 사류의 수면 및 유속변화를 수치모의한 결과를 그림 2에서 그림 5까지 나타내었다.

다음 그림들에서 알 수 있는 바와 같이 상류에서는 웨어부 구간 내에서 웨어부 하류의 수심이 상승하고, 사류에서는 웨어부 하류의 수심이 하강한다. 이러한 결과는 Chow(1959)나 Henderson(1966)이 제시한 수면형 변화 양상을 잘 따른다는 것을 알 수 있다.

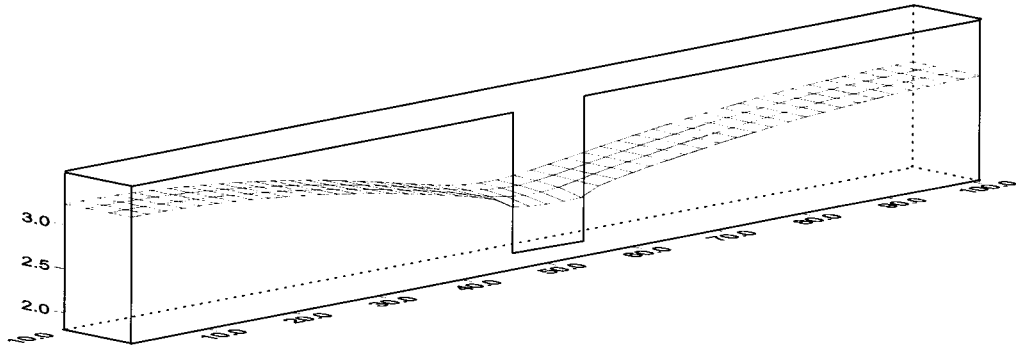


그림 2. 상류에서의 수면 변화

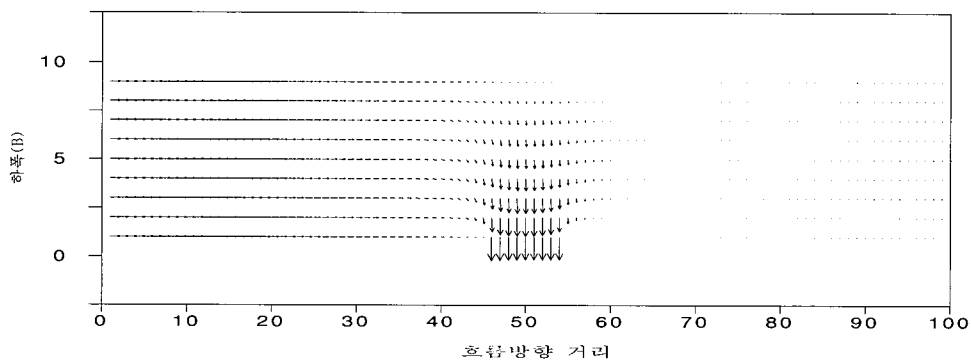


그림 3. 상류에서의 유속 분포

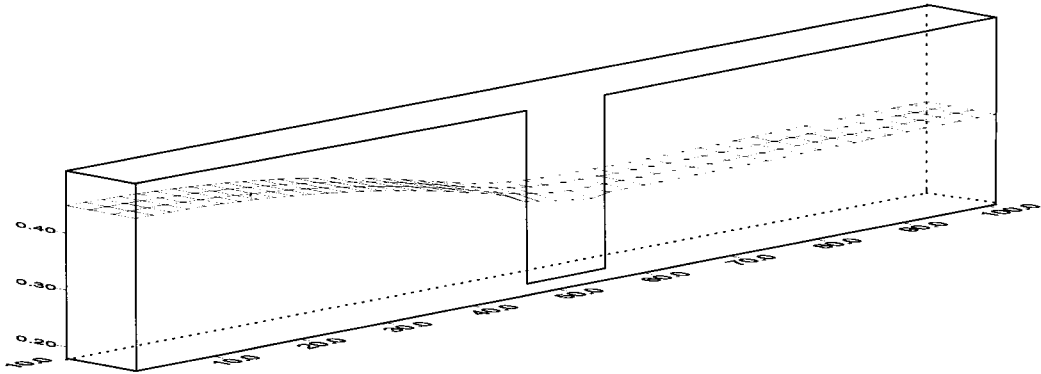


그림 4. 사류에서의 수면 변화

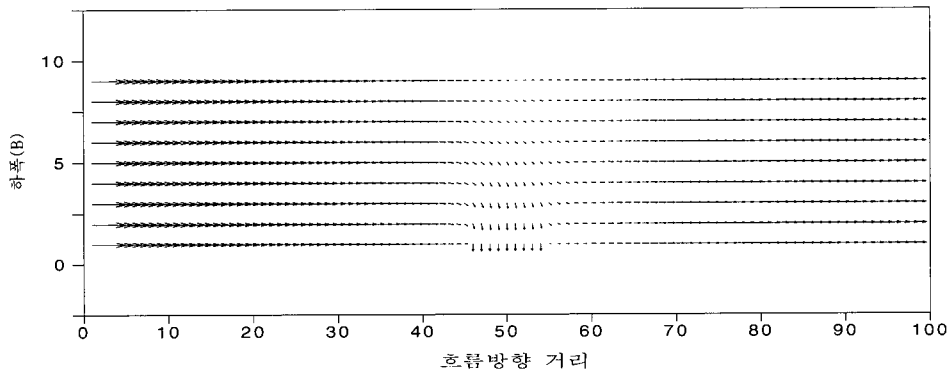


그림 5. 사류에서의 유속 분포

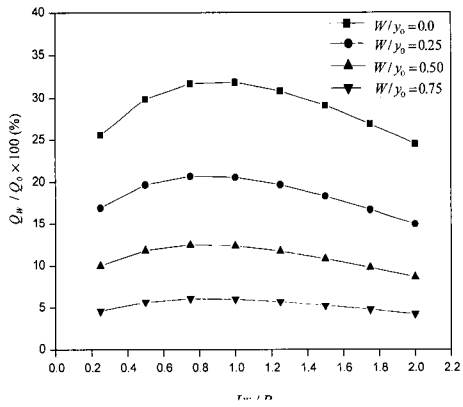


그림 6. 웨어 길이에 따른 월류량 변화
($Fr_0=0.2$)

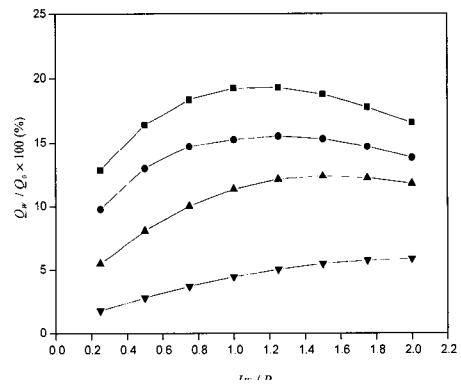


그림 7. 웨어 길이에 따른 월류량 변화
($Fr_0=0.5$)

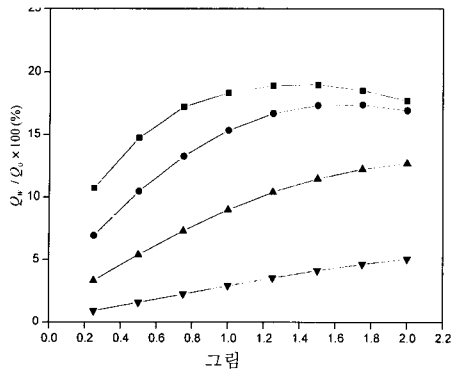


그림 8. 웨어 길이에 따른 월류량 변화
($Fr_o = 0.7$)

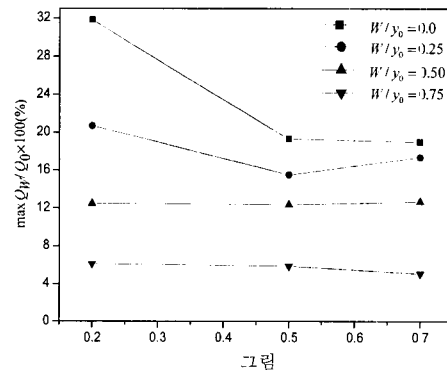


그림 9. 후르드수에 따른 최대월류량 변화

5.3 본류의 유량과 월류량과의 관계

그림 6에서 그림 8은 수로 폭 B 에 대한 월류부의 길이 L_w 의 비와 본류의 유량 Q_o 에 대한 전 횡월류량 Q_w 의 비의 관계를 나타낸 것이다. 그림 6과 같이 본류의 후르드수가 작고 W/y_o 의 값이 작은 경우 즉, 월류부의 높이가 낮을수록 월류량이 커진다는 것을 알 수 있다. 또한, 최대월류량은 $W/y_o = 0$ 인 경우 본류 유량의 약 32%이고, $W/y_o = 0.75$ 인 경우에는 본류 유량의 약 6%였다. 월류부의 길이가 증가하더라도 최대월류량이 발생하는 L_w/B 관계는 약 0.75 정도로 일정하였다.

그러나 그림 7 및 그림 8에서 보는 바와 같이 후르드수가 증가하면 월류량은 감소되며, 최대월류량이 발생하는 L_w/B 의 비도 증가함을 알 수 있다. $W/y_o = 0$ 인 경우 $Fr_o = 0.2$ 일 때는 최대월류량이 발생하는 L_w/B 가 0.75였으나 $Fr_o = 0.5$ 일때는 L_w/B 가 1.25, $Fr_o = 0.7$ 일때는 L_w/B 가 1.50으로 각각 증가하였다. 최대월류량도 각각 본류 유량의 32%에서 19.3%, 19% 정도로 감소되었다.

이러한 결과로부터 후르드수가 증가할수록 동일한 월류량을 얻기 위해 월류부의 길이를 길게 해야 함을 알 수 있다. 그림 9는 후르드수 변화에 따른 최대월류량비의 변화를 도시한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 후르드수가 약 0.5 이상이 되면 후르드수가 월류량에 미치는 영향이 일정해짐을 알 수 있다.

6. 결론

횡월류 웨어는 본류 수로로부터 일정한 취수량을 얻거나 본류의 유량을 경감시킬 목적으로 설치한다. ADI 기법을 이용하여 2차원 천수방정식을 수치해석함으로써 횡월류 웨어 주변의 수심 및 유속변화, 월류량에 영향을 미치는 인자들을 검토하였다. 검토결과 얻어진 결론들은 다음과 같다.

첫째, 월류량에 가장 직접적인 영향을 미치는 유량계수는 웨어의 기하학적 특성 이외에 웨어부 시작점에서의 본류 수심과 본류의 후르드수에 영향을 받는다. 수치모의 결과, 웨어부 시작점에서의 본류 수심은 본류의 초기수심과 근사하며, 웨어부 시작점에서의 후르드수와 본류의 후르드수 사이에는 일정한 함수 관계가 성립함을 알 수 있었다.

둘째, 본류의 후르드수가 증가할수록 월류량이 작아진다. 그러나 후르드수가 약 0.5 정도 이상되면 후르드수가 월류량에 미치는 영향이 일정해진다.

셋째, 본류의 후르드수가 작고, 월류부의 높이가 낮을수록 월류량이 커진다.

넷째, 후르드수가 증가할수록 동일한 월류량을 얻기 위해 월류부의 길이를 길게 해야 한다.

참고 문헌

- Ackers, P., 1957. "A theoretical considerations of side-weirs as storm water outflows." *Proceedings of the Institute of Civil Engineers, London*, Vol. 6.

- Borghai, S.M. and Jalili, M.R., 1999. "Discharge coefficient for sharp-crested side weir in subcritical flow." *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 125, pp. 1051-1056.
- Chow, V.T., 1959. *Open channel hydraulics*, McGraw-Hill.
- Collinge, V.K., 1957. "The discharge capacity of side-weirs." *Proceedings of the Institute of Civil Engineers, London*, Vol. 6.
- El-Khashb, A. and Smith, K.V.H., 1976. "Experimental investigation of flow over side weirs." *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 102, pp. 1255-1268.
- El-Khashb, A. and Smith, K.V.H., 1978. "Closure to experimental investigation of flow over side weirs." *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 104, pp. 126-128.
- Hager, W.H., 1987. "Lateral outflow over side weirs." *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 113, pp. 491-504.
- Henderson, F.M., 1966. *Open channel flow*, Macmillan Company, New York.
- Jalili, M.R. and Borghai, S.M., 1996. "Discussion of 'Discharge coefficient of rectangular side weir.' by Singh, R., Maninannan, D. and Satyanarayana, T." *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 122, p. 132.
- Ranga Raju, K.C., Prasad, B. and Gupta, S.M., 1979. "Side weir in rectangular channel." *Journal of the Hydraulics Division*, Vol. 105, pp. 547-554.
- Robinson, D.I. and McGhee, T.J., 1993. "Computer modeling of side-flow weirs." *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 119, pp. 989-1005.
- Singh, R., Manivannan, D. and Satyanarayan, T., 1994. "Discharge coefficient of rectangular side weirs." *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 120, pp. 814-819.
- Subramanya, K. and Awasthy, S.C., 1972. "Spatially varied flow over side-weirs." *Journal of Hydraulic Division*, Vol. 98, pp. 1-11.
- Uyumaz, A., 1997. "Side weir in U-shaped channel." *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 123, pp. 639-646.
- Weiyan, T., 1992. *Shallow water hydrodynamics*, Water & Power Press, Beijing.

(논문번호:01-075;접수:2001.10.30/심사완료:2002.04.15)