

# FLOW-3D를 이용한 다양한 곡률에 대한 횡월류 위어의 유량계수 산정

정창삼\*

## Discharge Coefficient of Side Weir for Various Curvatures Simulated by FLOW-3D

Chang Sam Jeong\*

접수일자: 2015년 5월 15일/심사완료일: 2015년 6월 9일/게재일자: 2015년 6월 30일

**요약** 본 연구는 수치모형을 이용하여 만곡수로 외측에 설치된 횡월류 위어의 곡률반경에 대한 횡월류 유량계수를 분석한 연구이다. 곡률반경의 변화에 따른 만곡부의 중심각이 180°인 수로모형을 설계하였으며, FLOW-3D모형에 적용하여 유량계수를 산정하고 직선 수로와 비교하는 방법으로 유량계수의 특성을 분석하였다. 모형의 적용성 검증을 위해 기존에 연구되었던 수리실험과 동일한 조건의 수치모의를 수행하였다. 하폭( $b$ )을 고정시키고 곡률반경( $R_c$ )을 변화시킴으로써  $R_c/b$ 의 변화에 따른 유량계수( $C_M$ )의 변화를 분석하고, 만곡수로의 월류량( $Q_{wc}$ )에 대한 직선수로의 월류량( $Q_{ws}$ )의 비를 분석하였다. 분석결과 유량계수는 상류수심, 만곡수로의 곡률반경의 변화에 따라 유량계수는 변화하였으며, 직선과 만곡수로에 대해 분석을 수행하였기 때문에 직선수로의 영향인자를 이용하여 만곡수로에 설치된 횡월류 위어의 월류량과 유량계수를 추정 가능 할 것이라 판단된다.

**핵심용어** 유량계수, 횡월류 위어, 곡률, 만곡수로, FLOW-3D

**ABSTRACT** In this study, the lateral overflow discharge coefficients for the curvatures of side weir on meandering channel were analyzed. The side weir installed in accordance with the variation of the radius of curvature of the central angle bends with 180°. FLOW-3D model is applied to calculate the discharge coefficients of the side-weir on meandering and straight channels and the characteristics of the discharge coefficients are analysed. In order to verify the numerical model, the results from the hydraulic experiment conducted by the former research are compared with the results simulated by FLOW-3D in the same conditions. The discharge coefficients are calculated for the ratio between curvature ( $R_c$ ) and channel width ( $b$ ), and the ratio between over flow discharge of the straight channel ( $Q_{ws}$ ) and the meandering channel ( $Q_{wc}$ ) are compared. As the result, the discharge coefficients depend on the weir depth on upstream, and the radius of curvature, so that the discharge coefficients of side weir on the meandering channel can be estimated by them on the straight channel.

**KEYWORDS** discharge coefficient, side weir, curvature, meandering channel, FLOW-3D

### 1. 서 론

최근의 기상변화에 의한 이상홍수와 유역의 도시화로 인한 불투수면적의 증가는 홍수시 유출량을 증가시켜 기존의 하도의 적정 소통량을 초과하는 홍수를 발생시키고 있다. 토지의 고도 이용으로 하도의 확폭이 제한된 도시유

역에서 초과 홍수에 대비할 수 있는 구조적 홍수관리 방안은 제방 증고, 저류지 설치, 방수로 설치 등이 대표적이다. 저류지는 하천에 유입되는 홍수를 일시 조절하여 하도의 적정한 홍수 소통능력을 초과하는 유출을 억제하는 구조물로 국내외에서 널리 이용되는 구조적 홍수대책의 하나이다. 그러나 이러한 활용도에 비해서 예연위어, 광정위어,

\*인덕대학교 교수(E-mail: csjeong@induk.ac.kr, jeongchangsam@gmail.com)

암거 등의 수리구조물에 비교할 때 횡월류 위어에 대한 연구는 미진한 것이 현실이다.

횡월류 위어(side weir 또는 lateral weir)는 인공수로 또는 자연하천에서 흐름방향에 평행하게 수로측면에 설치된 수공구조물이다. 이는 본류의 수심이 횡월류 위어 월류부의 높이보다 높을 경우 위어를 통하여 물을 월류시켜 에너지 소산, 수위조절, 일정 유량의 취수 및 분배, 초과 홍수량 전환 등의 목적으로 이용된다. 이러한 횡월류 유량의 취수 및 분배, 초과 홍수량 전환 등의 목적으로 이용된다. 이러한 횡월류 위어는 off-line저류지, 관계수로, 하수도 설비, 댐의 여수로 등에서 폭넓게 사용되고 있다.

국내의 경우 개발에 따른 횡월류 위어 구조물의 사용이 증가하는 추세이나, 유입유량 결정이나 적용되는 유량계수에 대한 신뢰할만한 평가가 이루어지지 않아서 설계에 어려움을 겪고 있다. 또한 지금까지 연구된 횡월류 위어는 직선수로에 국한되어있으며, 실험을 통해서 제안된 유량계수식들은 제안자에 따라 편차가 커서 실무적으로 이용되기에는 많은 한계를 가지고 있다.

Cheong(1991)은 횡월류 위어의 단면을 사다리꼴로하여 상류 프루드수와 유량계수와의 관계를 정립하였다. Uyumaz(1997)는 U-모양 단면의 주수로의 횡월류 위어에서 사류와 상류시의 유량계수의 변화를 파악하였으며, Agaccioglu(1998)는 만곡수로의 사각형 단면에서 중심각에 따른 유량계수와 무차원변수와의 관계를 정립하고, 퇴적이 발생하는 지역의 크기는 상류 프루드수에 영향을 받는다는 것을 확인 하였으며, Agaccioglu(2004)는 만곡수로에서 횡월류 위어의 단면을 삼각형으로 하여 중심각에 따른 유량계수와 무차원 변수와의 관계를 정립하였다. 국내에서 윤세의(1990)는 곡률반경에 대한 하폭의 비( $R/b$ )의 변화에 따른 만곡수로에서의 흐름특성을 분석하였고, 이종태(1991)는 곡률반경의 증가, 감소는 만곡부 흐름특성인자에 많은 영향을 끼치는 것을 확인 하였다. 서일원 등(2004)이 실내 실험을 수행하여 다중 만곡수로에서 이차류의 변화양상을 관찰하였고, 이두한 등(2005)은 복단면을 갖는 사행수로에서 만곡부의 저수로와 홍수터에서 회전류가 발생함을 관측하였으며, 홍수심이 증가 할수록 저수로와 고수로간의 유속 차이보다 사행의 영향이 지배적임을 분석하였다.

본 연구에서는 기존에 연구된 만곡수로에 설치된 횡월류 위어를 상용 3차원 CFD모형인 FLOW-3D를 이용하여 횡월류 위어의 흐름을 모의하여 그 적용성을 검증하고, 곡률 변화에 따른 만곡부 횡월류 위어에서의 유량계수와 여러 변수들과의 관계를 정립하고 특성을 분석하는데 목적이 있다. 또한 만곡수로에 횡월류 위어를 설치하였을 때, 그

흐름 특성의 변화를 분석하여, 횡월류 위어 주변의 수심 및 유속변화, 월류량에 영향을 미치는 인자들을 관찰하고, 월류량에 가장 직접적인 영향을 미치는 인자인 유량계수를 산정하여 영향인자들과의 관계를 무차원하여 분석하여 만곡부에 설치된 횡월류 위어의 실용적인 기준으로 활용할 수 있는 자료를 제시하고자 한다.

## 2. 연구방법

본 연구에서는 기존 연구자에 의해 연구된 만곡수로에서 횡월류 위어의 유량계수와 주요 영향 변수와의 관계를 FLOW-3D를 이용하여 수치모의를 수행하였으며, 수리모형 실험으로 제시된 유량계수와 변수들과의 관계를 본 연구에서 제시된 유량계수와 변수들과의 관계를 비교 분석하고 그 적용성을 검토하여, 만곡부에 설치된 횡월류 위어의 유량계수를 산정하고 여러 변수와의 관계를 분석 하였다.

수치모형의 주요 검증 방법은 실험결과를 이용하여 월류량  $Q_w = Q_1 - Q_2$ , 상류수위( $v_1$ ), 하류수위( $v_2$ ) 등이다. 검증에 이용된 실험자료는 Agaccioglu(1998)의 자료를 이용하였다. 수로의 제원은 180°로 만곡 되었으며, 수로 폭( $b$ ) = 0.4 m, 위어 높이( $w$ ) = 0.12 m, 위어 폭( $L$ ) = 0.25~0.5 m 등이다. 기존의 연구 결과에 의하면 횡월류 계산에 있어 직접적인 영향을 미치는 유량계수는 본류의 Froude수, 만곡부의 곡률반경, 위어의 폭, 위어상류지점의 본류 수심 등에 영향을 받으므로, 위의 변수들을 무차원하여 기존의 실험 연구와 비교분석하여 모형의 적용성을 검토하였다. 그리고 곡률을 변화시키며 실험수로를 설계하였으며, Froude수 및 기하학적 인자들을 변화시켜가며 횡월류 위어의 상·하류에서의 수심과 월류량을 측정하고 유량계수를 산정하였다.

## 3. 수치모형의 검증

### 3.1 Flow-3D 모형

본 연구에서는 미국의 Flow Science, Inc에서 개발한 범용 유체역학 코드인 Flow-3D를 사용하여 수치모의를 수행하였다. FLOW-3D 모형은  $x, y, z$  방향의 유속을 모두 고려하여 수치모의를 수행하는 완전한 3차원 난류 모형으로서 자유수면을 가지는 개수로 흐름, 정상·비정상 유동해석, 층류 및 난류 해석, 뉴턴 유체 및 비뉴턴 유체에서의 계산, 압축성 유체 및 비압축성 유체에서의 계산, 그리고 열전달 해석이 가능하다. 또한 사용자의 편의를 위해 GUI 입력체계를 채택하였고, 간단한 입력 자료만을 사용하여 3차원 수치모

의를 수행할 수 있다.

FLOW-3D 모형은 난류 완결문제를 해결하기 위하여 혼합거리 모형, 난류 에너지 모형,  $k-\epsilon$  모형, RNG  $k-\epsilon$  모형, LES의 5개의 모형을 사용한다. FLOW-3D에서는 모의 대상 내에 존재하는 여러 구조물을 격자 내에서 표현하기 위해 FAVOR(Fractional Area/Volume Obstacle Representation) 방법을 사용한다. FLOW-3D 모형은 FAVOR 방법을 사용함으로써 격자망과 구조물의 형태를 서로 분리하여 처리할 수 있으므로, 격자의 개수와 격자 구성 방법 등의 모든 면에서 비직교 격자구성법, 다중격자법, 다각형 격자구성법 등과 같은 격자구성법보다 편리하고 간단하면서도 충분히 정확한 수치모의를 수행할 수 있다. 또한 자유수면 및 밀도차가 큰 흐름을 고려하기 위하여 VOF(Volume of Fluid) 방법을 사용하기 때문에 개수로 흐름에서의 자유수면과 같은 밀도차가 매우 큰 두 종류 이상의 유체가 동시에 존재하는 상태도 수치모의를 할 수 있다. 이러한 점을 고려하여, 본 연구에서는 자유수면을 갖는 횡류 위어에서의 3차원 흐름을 수치모의하기 위해 CFD 모형 중 FLOW-3D 모형을 적용하였다.

### 3.2 실험 결과를 이용한 수치모형의 검증

본 연구는 수치모형의 검증을 위해 Agaccioglu(1998)의 실험 결과를 이용하였으며, 수로의 제원은 주수로가 14 m 이고 수로의 단면은 직사각형 단면으로 수로 폭은 0.4 m, 만곡 수로는 180°의 만곡을 갖으며 두 직선 수로 사이에 설치되어있다. 위어의 위치를 30°, 60°, 90°, 120°, 150°로 변화시키며 곡률반경( $R_c$ ) = 2.95 m에 대하여 실험을 수행하였다.

횡류 위어는 세 종류(0.25 m, 0.5 m, 0.75 m)의 길이로 변화시켰으며, 위어의 높이는 0.12 m, 0.16 m, 0.20 m로 변화시키며 실험을 수행하였으며, 실험수로는 그림 1과 같다. 수치모형의 주요 검증방법은 FLOW-3D를 이용하여 실험 결과를 토대로 월류량, 접근수위, 하류수위 등을 분석하여 무차원화 된 변수들과의 관계를 비교하였다. 검증에 이용된 실험수로의 제원은 Agaccioglu(1998)의 자료로 표 1과 같다.

Agaccioglu(1998)는 Curve 1, 2, 3으로 나누어 실험을 실시하였으며, 실험 결과는 다음 그림 2와 같다. 그림 2는 만곡부 횡류 위어의 유량계수 산정에 관한 실험은 횡류 위어

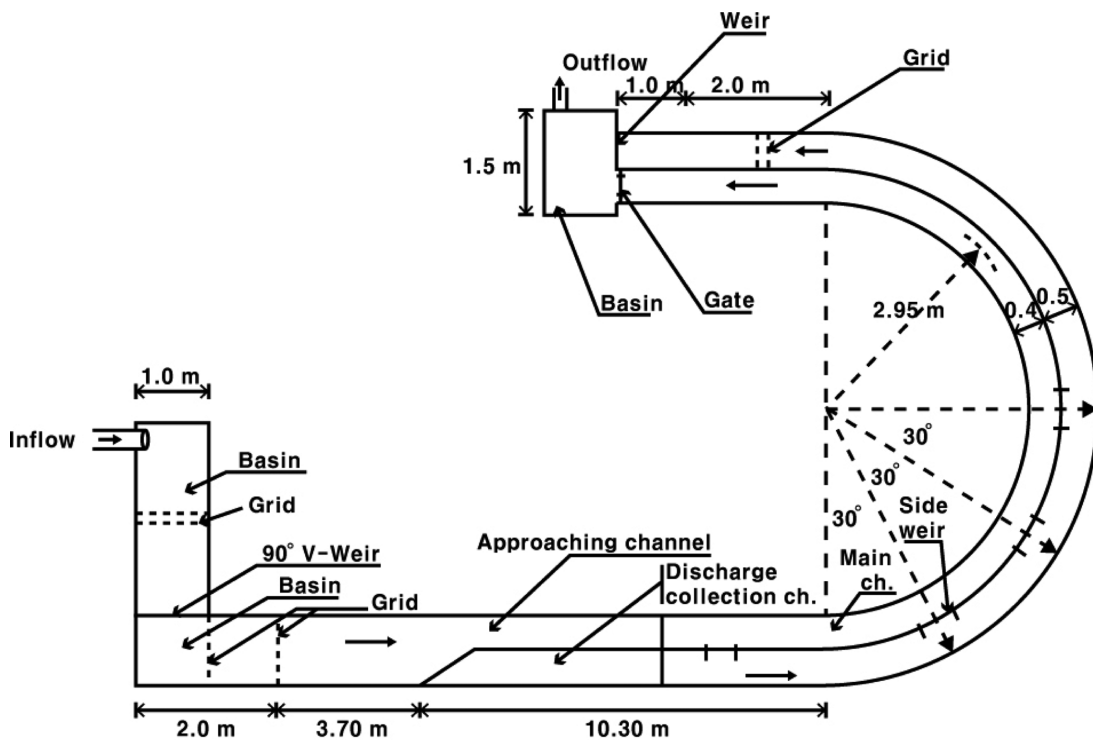


그림 1. 실험수로 평면도(Agaccioglu, 1998)

표 1. 실험수로의 제원

주수로의 길이 × 폭 × 높이(m)	횡류어 폭(m)	횡류어 높이(m)	바닥경사(%)	각도(°)
14 × 0.4 × 1	0.25 - 0.75	0.12 - 0.2	0	180

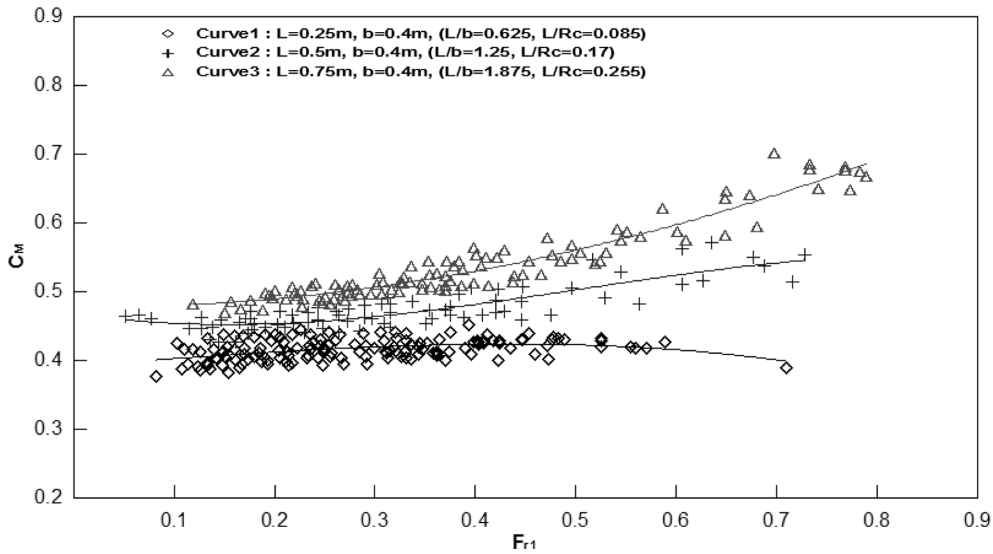


그림 2.  $F_{r1}$ 에 따른 유량계수(Agaccioglu, 1998)

위어의 상류 프루드수( $F_{r1}$ )와 유량계수( $C_M$ )에 대한 경향성을 분석하여 나타내었다. Curve 1은  $F_{r1}$ 이 커지면서 점차 감소함을 볼 수 있다. 그러나 Curve 2는  $F_{r1}$ 이 커지면서 유량계수가 서서히 증가하는 경향을 나타내고 Curve 3은  $F_{r1}$ 이 커지면서 Curve 2보다 더 큰 유량계수를 갖으며, 상승하는 기울기 또한 큰 것으로 나타났다. 그리고 횡위어 폭(L) 대 수로 폭(b)의 비(L/b)가 1보다 큰 경우에는  $F_{r1}$ 이 증가하면 유량계수가 감소하는 경향을 보이며, L/b가 1보다 작은 경우에는  $F_{r1}$ 이 증가하면 유량계수가 증가하는 경향을 나타낸다.

본 연구에서는 Curve 1, 2에 대해 만곡부 90°위치에 횡월

류를 설치하여 기존 연구와 경향성을 검토하여 FLOW-3D의 적용성을 검증하였다. 적용성을 검증한 결과는 다음 그림 3과 같다. 기존의 연구 결과인 Curve 1과 수치모의를 이용한 데이터 Case 1은 상당부분 일치하는 경향을 갖고 있는 것으로 나타났다.  $F_{r1}$ 이 증가함에 따라  $C_M$ 은 감소하는 경향을 확인하였다. Curve 2와 Case 2 또한  $F_{r1}$ 이 증가함에 따라  $C_M$ 이 증가하여 Curve 2의 추세선에 근접하게 나타나는 것으로 확인 되었다.

모의 결과는 횡월류 위어의 유량계수 산정의 중요 인자인  $F_{r1}$  및 위어 폭과의 관계를 Agaccioglu(1998)의 연구와 비교 분석하였으며, 본 연구에서 수행한 수치모의 결과 기

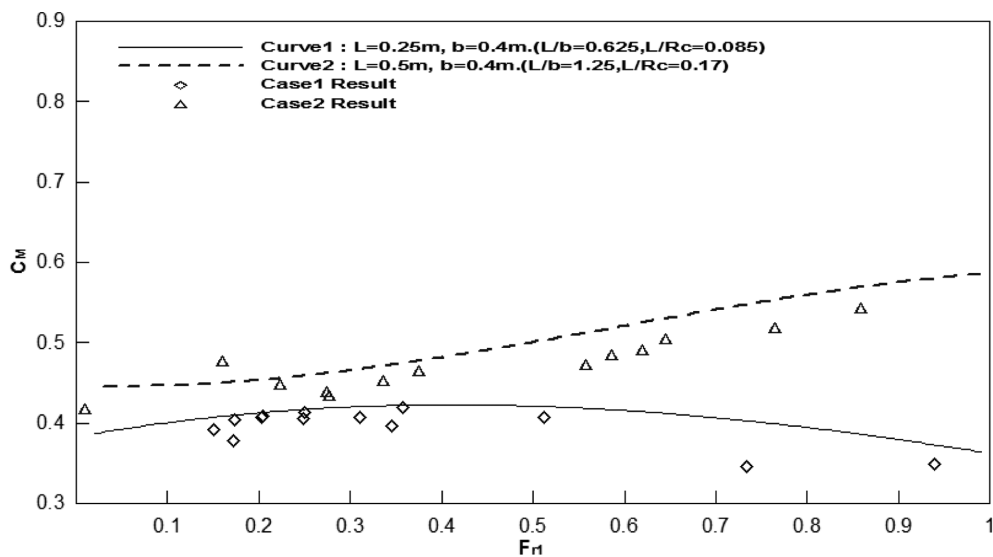


그림 3.  $F_{r1}$ 에 따른 유량계수(3D 수치모의)

존의 연구와 유사한 경향을 나타내었다. 따라서 횡월류 위어에 대한 3차원 수치모의는 기존의 실험결과와 비교를 통해 신뢰성이 있는 것으로 판단된다.

#### 4. 곡률변화에 따른 수치모의

본 연구는 만곡부 횡월류 위어의 유량계수 산정의 중요인자( $b, L, w$ )를 고정시키고, 곡률반경의 영향에 따른 유량계수의 변화와 중요인자와의 관계를 분석하였다. 따라서 곡률반경을 변화시키며 중요인자를 무차원하여 횡월류 위어의 유량계수의 특성을 분석을 분석하였다.

##### 4.1 대상 수로 설계

수로의 제원은 직선수로가 1 m이고 수로의 단면은 직사각형 단면으로  $b$ 는 0.4 m, 만곡 수로는 180°를 갖으며 두 직선 수로 사이에 설치되어있다. 위어는 만곡수로의 중심각이 90°인 위치에 고정시켰으며,  $b$ 를 고정시키고  $R_c$ 를 10, 5, 2.95, 2.5, 2, 1.5, 1, 0.5, 0.2 m로 변화시키며 실험을 수행하였다.  $L$ 은 0.25 m,  $w$ 는 0.12 m로 고정하여 수치모의를 수행하였다. 그리고 직선 수로와 만곡수로의 흐름 특성을 분석하기 위해 주수로 10 m를 제외한 만곡수로와 동일 조건의 직선수로를 설계하였다.

수치모형의 주요 검정방법은 FLOW-3D를 이용하여 월류량, 횡월류 위어의 상류수위와 하류수위 등을 분석하여 무차원화 된 변수들과의 관계를 비교하였다. 설계수로의 제원은 표 2와 같다.

Case 1은 곡률반경을 변화시키며 유량을 0.04 m<sup>3</sup>/sec로 고정시킨 후 0.5 m의 높이의 수로를 설계하였다. Case 2, Case 3도 유량을 0.06 m<sup>3</sup>/sec, 0.1 m<sup>3</sup>/sec로 적용하였으며 곡률만 변화시켰다. 그리고 직선수로에 대한 경우는 본류길이 10 m, 본류 폭 0.4 m, 위어 높이 0.12 m, 위어 폭 0.25 m로 곡률을 제외한 나머지 조건은 Case 1, 2, 3과 동일하게 설계하였다.

##### 4.2 모의 조건

3차원 수치해석을 위해서는 지형 및 구조물의 형상을 3차원으로 입력해야하며, 이를 위하여 STL(Stereolithography) 형식으로 파일을 구축해야한다.

표 2. Case별 설계 수로의 제원

Case	$L$ (m)	$w$ (m)	$b$ (m)	$R_c$ (m)	$Q$ (m <sup>3</sup> /sec)	경사	중심각(°)
Case 1	0.25	0.12	0.4	0.2 ~ 10	0.04	0	180
Case 2	0.25	0.12	0.4	0.2 ~ 10	0.06	0	180
Case 3	0.25	0.12	0.4	0.2 ~ 10	0.1	0	180

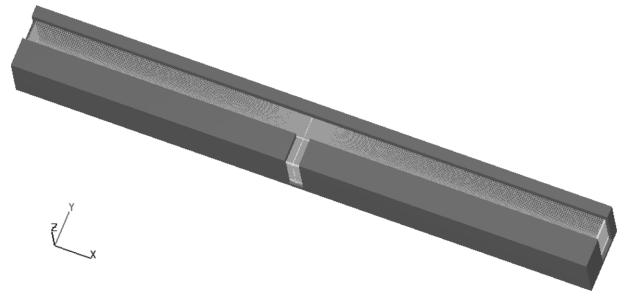


그림 4. 직선수로의 지오메트리와 mesh block

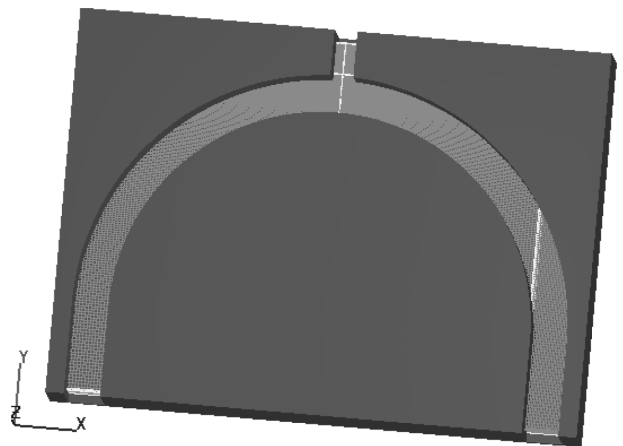


그림 5. 만곡 수로( $R_c = 2.5$  m)의 지오메트리와 mesh block

본 연구에서는 실험수로의 제원을 동일축척, 동일형상으로 설계하였다. 직선수로의 mesh는 그림 4에 보이는바와 같이 수로 전체 흐름분석에 2 cm × 2 cm × 2 cm로 설계하였으며, 주요단면에 대해서는 0.5 cm로 격자를 조정하여 설계하였다. 그림 5는 만곡 수로의 지오메트리와 mesh block이다.

본 연구에서는 음해법(Implicit method)을 사용하였으며, 난류 모형은 계산시간이 비교적 오래 걸리지만 정확도가 높은 RNG  $k-\epsilon$  모형을 사용하였다. 유입부 경계는 수위 및 유속을 동시에 고정하여 설정하였다. 횡월류 유출부와 본류 유출부의 경계는 고정 압력 경계로 설정하였다.

##### 4.3 수치모의 분석

$b$ 를 고정시키고  $R_c$ 를 변화시킴으로써  $R_c/b$ 의 변화에 따른 유량계수의 변화를 분석하고, 만곡수로의 월류량( $Q_{wc}$ )에 대한 직선수로의 월류량( $Q_{ws}$ )의 비인  $Q_{wc}/Q_{ws}$ 와 유량계

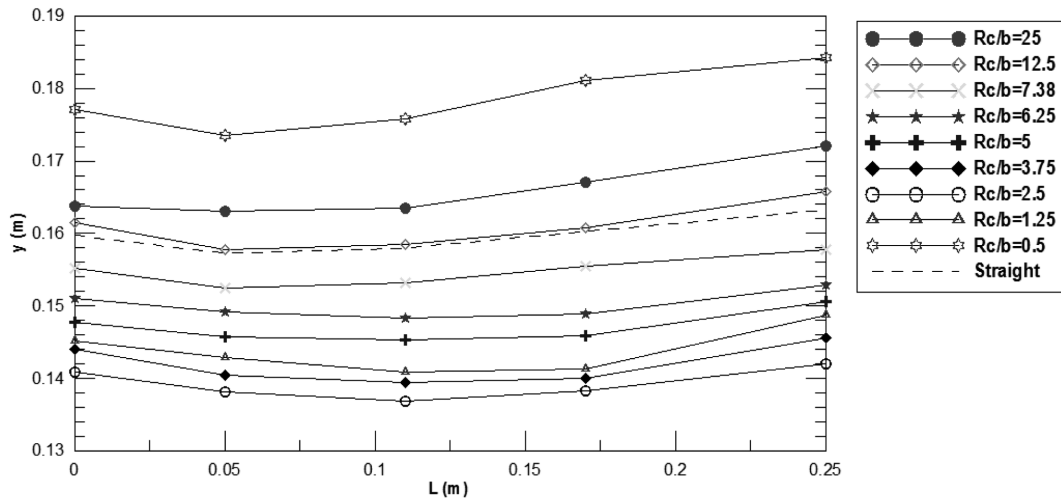


그림 6. 횡월류 위어에서의 수면형(0.04 m³/sec)

수와의 관계를 분석하였다.

4.3.1 Case 1

본류 유량이 0.04 m³/sec가 유입되는 경우, 횡월류 위어의 곡률반경의 변화에 대해 FLOW-3D를 이용하여 수치모의를 수행한 결과 곡률반경이 작아짐에 따라 횡월류 위어를 통해 월류되는 유량도 감소하는 것을 확인하였다. 곡률반경이 작아짐에 따라  $Q_{wc}$ 이 감소하며 유량계수 또한 작아짐을 확인하였다. 그러나 일정 수준에서 월류량과 유량계수가 증가함을 확인하였다.

그림 6은 유입유량이 0.04 m³/sec일 때 횡월류 위어의 수위변화를 나타낸 것으로 곡률반경이 감소함에 따라 수위가 낮아짐을 볼 수 있다. 그리고 횡월류 위어의 상류 지점

인 0.05 m에서 미소한 수위 감소가 나타나며 위어의 하류 지점으로 갈수록 서서히 상승하는 경향을 나타낸다.

위어의 상류부에서 직선 수로의 수심은 0.1597 m로  $R_c/b$ 가 25일 경우의 수심은 0.16376 m로 직선수로 보다 높게 나타났다.  $R_c/b$ 가 0.5일 경우 횡월류 위어의 상류수심이 0.177137 m로 수심이 가장 높게 나타났다. 월류량은 직선 수로가 0.00321 m³/sec로 계산되었으며  $R_c/b$ 가 25일 경우에 0.005018 m³/sec를 나타내었고  $R_c/b=0.5$ 일 경우의 유량이 0.00868 m³/sec로 월류량이 가장 많은 것으로 확인 되었다.  $R_c/b$ 가 12.5일 때에는 0.00382 m³/sec로 직선수로의 월류량 보다 많게 계산되었다. 또한  $R_c/b$ 가 1.25에서부터 수심이 상승하였으며 월류량도 증가하였다. 그리고 그림 6의 직선 수로보다 낮은 상류수심을 갖는 경우는 직선수로보다 월

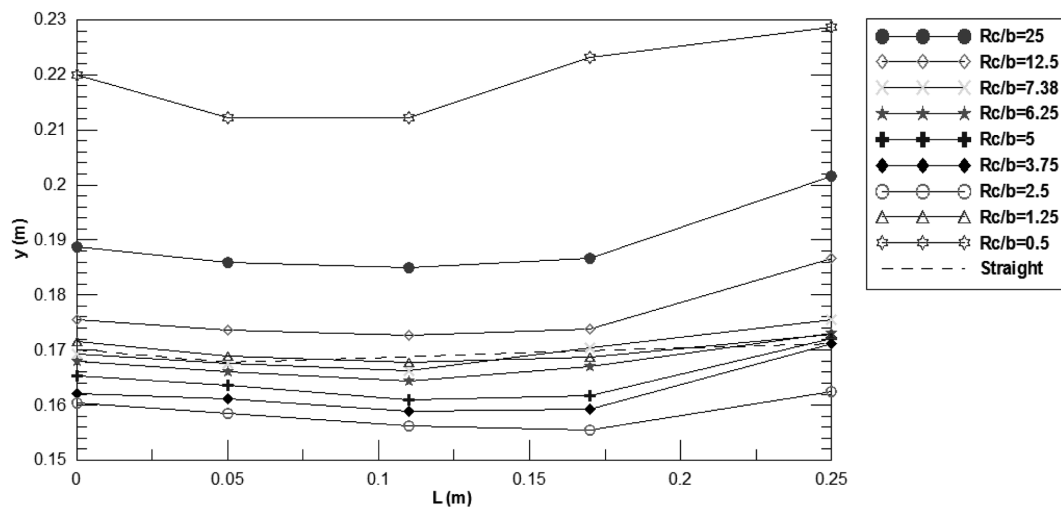


그림 7. 횡월류 위어에서의 수면형(0.06 m³/sec)

류량이 적은 것으로 나타났다. 따라서 초기수심과 월류량의 관계는 비례하는 것으로 판단된다.

4.3.2 Case 2

본류 유량이 0.06 m<sup>3</sup>/sec가 유입되는 경우, 횡월류 위어의 곡률반경의 변화에 대해 FLOW-3D를 이용하여 수치모의를 수행한 결과 곡률반경이 작아짐에 따라 0.04 m<sup>3</sup>/sec의 유량을 유입했을 때보다 만곡수로 내·외측의 수심의 차이가 크음을 알 수 있었다.

Case 2는 최소 수심의 위치가 0.05 m부근에서 발생하였다. 하지만 유입유량이 0.06 m<sup>3</sup>/sec 일 경우에는 0.11 m 지점 부근에서 발생하며 R<sub>c</sub>/b가 작아짐에 따라 최소 수심의 위치도 횡월류 위어의 하류로 옮겨가는 것을 확인하였다. 하지만 R<sub>c</sub>/b가 0.5의 경우는 최소 수심의 위치가 0.11부근으로 다시 옮겨졌고 하류부근의 수심이 높게 나타났는데 이는 곡률 반경이 가장 작은 경우로 만곡부의 정점을 빠져나간 유량과 빠져나가는 흐름이 겹치면서 흐름이 매우 복잡하여 발생한 것으로 사료된다.

횡월류 위어의 상류 수심은 R<sub>c</sub>/b가 25, 12.5, 1.25, 0.5가 직선수로의 수심(0.17079 m)보다 높게 나타났고, 유량 또한 직선수로의 0.004891 m<sup>3</sup>/sec, R<sub>c</sub>/b=0.2일 경우 0.018289 m<sup>3</sup>/sec, R<sub>c</sub>/b=25일 경우 0.008252 m<sup>3</sup>/sec, R<sub>c</sub>/b=12.5의 경우는 0.005914 m<sup>3</sup>/sec, R<sub>c</sub>/b=1.25는 0.00589 m<sup>3</sup>/sec, 직선 수로의 횡월류부 상류수심 보다 낮지만 수심의 차이가 가장 작은 R<sub>c</sub>/b=7.38의 경우는 0.004755 m<sup>3</sup>/sec로 직선수로의 월류량보다 작으며 가장 근접한 월류량이 계산되었다.

4.3.3 Case 3

본류 유량이 0.1 m<sup>3</sup>/sec가 유입되는 경우로 Case 1, 2의

경향성을 분석한 결과 최저 수심의 위치가 횡월류 위어의 상류인 0.05 m에서 하류 쪽으로 이동하는 것을 확인하였으며, 그림 8에서 보는 바와 같이 Case 3에서는 최소수심이 0.17 m 부근에 위치하며, 직선수로 횡월류 위어의 상류 수심은 0.1956 m로 R<sub>c</sub>/b의 모든 경우가 직선 수로의 상류 수심보다 높게 나타났다. 최소 수심은 0.17 m 부근에서 발생하며 R<sub>c</sub>/b가 작아짐에 따라 초기 수심과 최소 수심이 작아지다가 R<sub>c</sub>/b가 1.25부터 상류 수심과 최소 수심이 증가하여 Case 1, 2, 3 모두 R<sub>c</sub>/b가 0.5인 경우의 상류 수심과 월류량이 최대가 됨을 확인하였다. 또한 직선수로의 월류량이 0.008698 m<sup>3</sup>/sec로 계산 되었지만 만곡수로의 모든 경우에 대한 월류량은 직선 수로보다 더 크게 나타났다.

Case 1, 2, 3을 분석한 결과 유량이 증가할 수록 초기 수심이 증가하였으며 직선 수로의 월류량 증가 보다 만곡수로의 월류량 증가가 더 크게 나타남을 확인하였다. 이는 곡률반경이 작아짐에 따라 최대 유속이 만곡부 입구부 내측에 위치하며 만곡수로에서 질량이동에 의한 2차 흐름이 만곡부 입구부에서 곡률반경이 급격히 변화되는 구간에 존재하다가 흐름이 하류로 진행되면서 그 크기는 급격히 감소하기 때문이라 사료된다. 또한 수면형도 Case 1, 2보다 수면경사가 급하게 감소 또는 증가하는 것으로 나타났다.

4.4 비교 · 검토 및 고찰

그림 9는 R<sub>c</sub>/b에 따른 만곡수로의 유량계수에 대한 직선 수로의 유량계수의 비(C<sub>MC</sub>/C<sub>MS</sub>)의 변화를 나타내었다. 월류량, 횡월류 위어의 상류수심 그리고 평균수심과 R<sub>c</sub>/b의 관계를 분석한 결과 R<sub>c</sub>/b가 2.5일 경우를 기준으로 상반되게 증가하는 경향을 확인하였다. 그러나 C<sub>MC</sub>/C<sub>MS</sub>는 R<sub>c</sub>/b가 7.38인 경우를 기준으로 상반되게 증가하는 경향을 나타낸

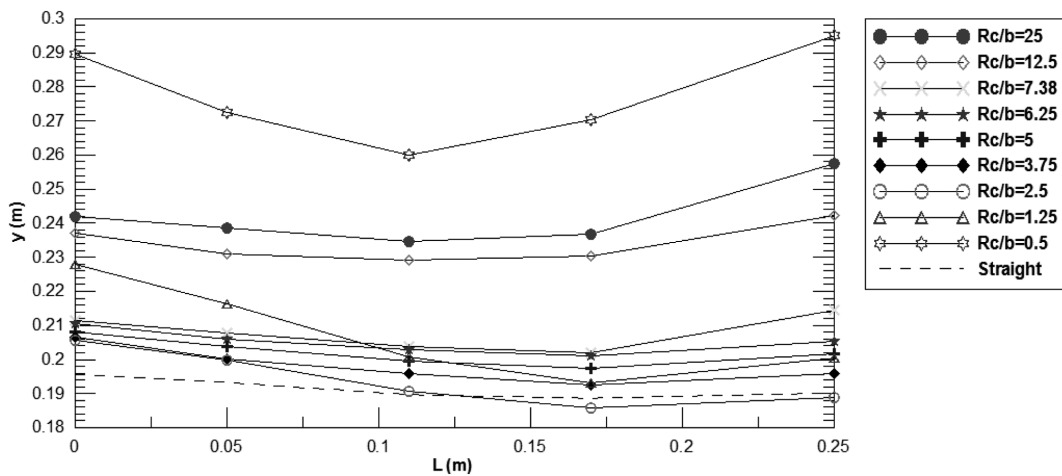


그림 8. 횡월류 위어에서의 수면형(0.1 m<sup>3</sup>/sec)

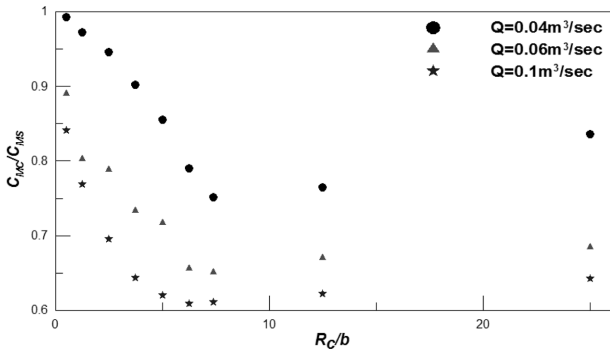


그림 9.  $R_c/b$ 에 따른  $C_{MC}/C_{MS}$ 의 변화

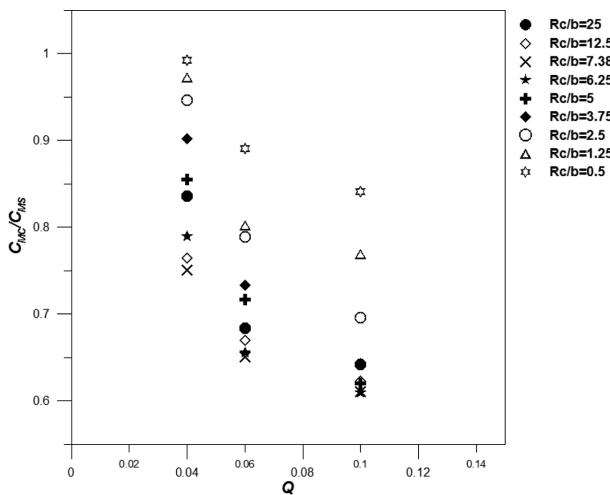


그림 10. 유량에 대한  $C_{MC}/C_{MS}$ 의 변화

다. 그림 10은 유량에 따른  $C_{MC}/C_{MS}$ 의 증가 또는 감소 양상을 나타낸 그림으로  $R_c/b$ 가 7.38인 경우가 각 유량에 따른 최소값을 갖는 것으로 나타났다. 그러나  $R_c/b$ 가 0.5인 경우는 앞에서 살펴본 수심과 월류량의 관계와 같이 최대값을 나타내었다. 이는 횡월류 위어의 월류량이 증가함에 따라 횡월류 위어의 상류수심과 평균수심이 증가하여 월류수심이 증가한다. 하지만 곡률반경이 작아짐에 따라 이차류가 증가하며 와류의 성향이 나타남에 따라 2차 흐름은 만곡부의 입구부에서와 곡률반경이 급격히 변화되는 구간에서 존재하다가 흐름이 하류로 진행되면서 그 크기는 감소하기 때문에 증가한 월류 수심에 상응하는 월류량이 발생하지 못하여 유량계수와 월류량 그리고 상류수심의 관계가 일치하지 않는 것으로 판단된다. 따라서 만곡부 횡월류 위어의 유량계수 산정 시 횡월류 위어의 상류수심과 월류량이 유량계수 산정 시 관련성은 있지만 그것이 절대적이지 않다는 것을 유추할 수 있다.

$R_c/b$ 에 대하여 만곡수로에 대한 직선수로의 비로 횡월류 위어의 월류량, 상류수심, 평균수심, 유량계수에 대해 분석

한 결과 직선 또는 만곡수로의 월류량 또는 수심에 관한 자료를 구비할 경우 본 연구에서 분석한 자료를 바탕으로 원하는 자료를 정리할 수 있을 것이라 판단된다. 또한 본 연구에서 수행한 영향인자들 외의 다른 영향인자와 만곡부 횡월류 위어의 위치 변화에 따른 유량계수의 변화에 대한 장기적인 연구가 필요하다고 판단된다.

### 5. 결 론

본 연구는 Flow-3D를 이용하여 곡률반경의 변화에 따른 만곡부 외측에 설치된 횡월류 위어의 유량계수 특성을 분석하였다. 수치모형의 적용성을 검증하기 위해 기존의 만곡수로에 대해 연구된 실험자료를 바탕으로 수로를 설계하여 수치모의를 수행하였으며, 적용성 판단 후 곡률반경의 변화에 따른 유량계수의 특징을 직선수로와 비교분석하였다. 만곡수로에 설치된 횡월류 위어의  $R_c/b$ 는 무차원한 주요 영향 변수( $Q_{wc}/Q_{ms}$ ,  $C_{MC}/C_{MS}$ )와 관련하여 변화하는 것을 확인하였으며 연구 결과는 다음과 같다.

(1)  $R_c/b$ 가 작아짐에 따라 횡월류 위어의 월류량 또한 줄어드는 것으로 나타났다. 하지만  $R_c/b$ 가 1.25부터 월류량이 증가함을 확인하였다. 월류량의 최대값은  $R_c/b$ 가 0.5인 경우에 나타났다. 이는 만곡수로의 곡률반경이 작아짐에 따라 2차 흐름의 강도가 커지면서 흐름이 불규칙해지며 최대유속은 만곡부 90°부분을 지난 하류에 위치하기 때문이라 판단된다.

(2) 횡월류 위어의 수면형은 유량의 증가와 곡률반경의 감소로 인하여 상류부 수심과 하류부 수심의 차이가 크게 나타나며, 최소 수심의 위치는 상류부에서 하류부 쪽으로 이동하는 것으로 나타났다. 횡월류 위어의 상류 수심의 크기가 클수록 월류량 또한 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 횡월류 위어의 월류량은 상류수심과 곡률반경의 크기와 밀접한 관련이 있는 것으로 판단된다.

(3) 만곡 수로의 월류량과 수심이  $R_c/b$ 가 2.5에서 최소값으로 나타났지만 유량계수는  $R_c/b$ 가 7.38에서 최소값을 나타내었다. 따라서 만곡부 횡월류 위어의 유량계수 산정 시 횡월류 위어의 상류수심과 월류량이 유량계수 산정 시 관련성은 있지만 만곡수로의 원심력과 유속분포에 따라 일정수심에 해당되는 월류량의 차이가 발생하여 유량계수가 증가 또는 감소하는 것으로 판단된다.

본 연구에서 만곡수로의  $R_c/b$ 의 변화에 따른 횡월류량, 상류수심, 평균수심, 유량계수의 특성을 직선수로와 비교하여 분석하였지만, 만곡부 횡월류 위어의 위치 변화에 따른 주요영향 변수와의 관련성에 대한 연구가 필요하다고 판단된다.



## 감사의 글

본 연구는 인덕대학 연구비에 의해 수행되었음.

## 참고문헌

1. 서일원, 성기훈, 백경오, 정성진(2004) 사행수로에서 흐름특성에 관한 실험적 연구, **한국수자원학회논문집**, 37(7), pp.527~540.
2. 이두한, 이찬주, 김명환(2005) 복단면 사행 하도의 흐름 특성에 대한 실험 연구, **대한토목학회 논문집**, 25(3B), pp.197~206.
3. 이종태, 윤세의(1991) 만곡부 곡률의 연속적 변화와 흐름특성, **대한토목학회 학술발표회 개요집**, pp.394~397.
4. 윤세의, 이종태(1990) 만곡수로에서의 곡률반경 변화에 따른 흐름특성, **한국수문학회지**, 23(4), pp.435~444.
5. Agaccioglu, H., Yalcin, Y. (1998) Side-Weir Flow in Curved Channels, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 124(3), pp.163~175.
6. Agaccioglu, H., Ali, C. (2004) Discharge Coefficient of a Triangular Side-Weir Located on a Curved Channels, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 130(5), pp.410~423.
7. Cheong, H. F. (1991) Discharge coefficient of lateral diversion from trapezoidal channel, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 117(4), pp.461~475.
8. Uyumaz, A. (1997) Side Weir in U-Shaped Channels *Journal of Hydraulics Engineering*. 123(7), pp.639~646.