

급경사 만곡부 하도의 2차원 수리특성 해석

박 기 범 · 임 기 석*

안동과학대학 건설정보과, *경상북도 수질보전과
(2006년 12월 8일 접수; 2007년 6월 23일 채택)

Analysis of Two Dimensions Hydraulic Characteristic in Steep Meandering Channel

Ki-Bum Park and Kee-Seok Lim*

Department of Construction Information Andong Science College, Gyeongbuk 760-820, Korea

*Province of Kyeongsangbukdo, Department of pollution protection, Deagu 702-702, Korea

(Manuscript received 8 December, 2006; accepted 23 June, 2007)

This study analyzed two dimensions hydraulic characteristic for actual flood events in steep meandering channel. It could get analysis results as follows;

A water level difference of downstream more great than one of upstream at inner and outer of meandering channel. It judged that a significance of downstream level could appear more greatly in meandering channel bank, hydraulic structure and flood inundation analysis. As velocity and depth analysis was shown that much amount flow passing fast velocity happened in meandering channel, it could help establishment of meandering channel bank. In this study, the results of two dimension hydraulic analysis results could help a counterpalm establishment for the flood inundation and bank collapse.

Key Words : Meandering channel, Two dimensions hydraulic analysis

1. 서 론

실제 자연하천의 경우 직강하천 보다는 만곡하천으로 존재하고 있다. 이러한 하천의 만곡부에서의 흐름의 특성은 중방향 흐름에 의한 원심력의 작용으로 외측제방 근처에서 수면이 상승하고 수심방향의 깊이에 따라 서로 다른 유속이 발생한다. 수면 근처에서는 원심력에 의한 압력경사와 수심방향의 유속분포의 차이에서 외측제방에서 내측제방으로 2차 흐름이 발생한다. 횡방향으로 2차 흐름과 크고 작은 하상물질로 구성된 하상면과의 상호작용으로 외측제방근처에서 세굴이 발생하고 이송된 하상물질에 의해 내측제방 부근에서는 퇴적된다. 이에 따라 사주가 발생하고 횡방향으로 일정한 하상경사를 유지하게 된다^{1~3)}.

만곡하천의 수리학적 특징을 살펴보면 만곡부 상

류에서는 균일하게 진행되는 유체입자가 만곡부의 영향으로 유체입자는 교란되고, 만곡이 시작되는 곳에서는 최대유속선은 만곡부의 내측방향으로 휘어졌다가 만곡부가 끝나는 부근에서는 외측방향으로 휘어지게 된다. 만곡부를 통과하며 발생된 원심력으로 인하여 수변부근에서 외측방향으로 횡방향 유속이 발생하며 바닥부근에서는 역류(Reverse flow)가 발생한다. 또한 만곡부 내측에서는 나선형의 2차 흐름이 발생된다. 흐름이 사류일 경우 박리현상(Separation)과 도수현상(Hydraulic Jump)이 발생하고, 상류일 경우 만곡부 내의 에너지 감소로 인하여 만곡부를 통과하면서 수위가 하강한다.

만곡하천의 수리학적 특성에 대한 이해는 하천의 유사이송에 대한 하도변화의 예측에 자료가 되며, 홍수시 만곡하천의 외측방향으로의 상대적인 수위 상승으로 인한 범람예측에 자료가 된다⁴⁾. 만곡하천부에 대한 국내연구로는 윤세의 등⁵⁾은 만곡하천의 곡률반경에 따른 수리학적 특성을 수리실험을 통하여 곡률반경에 대한 하폭의 비를 변화시키며 수리

Corresponding Author : Ki-Bum Park, Department of Construction Information Andong Science College, Gyeongbuk 760-820, Korea
Phone: +82-53-326-0726
E-mail: pkb5032@naver.com

학적 특성을 해석하였으며, 차 등⁶⁾은 만곡하천에서 수공구조물에 의한 수위를 2차원적으로 해석하여 범람해석에 적용하였다. 임 등⁷⁾은 가상만곡수로에서 구조물의 위치에 따른 수리학적 특성을 만곡부의 유입각도와 구조물의 각도를 변화시켜가며 수리학적 해석을 실시하였다. 박 등⁸⁾은 낙동강 상류지역의 만곡하천에 의한 홍수피해의 원인을 조사한 바 있다. 여⁹⁾는 가상만곡수로의 단면변화를 통한 1차원 수리해석과 2차원 수리해석을 비교하여 홍수파 해석을 실시하였다.

본 연구에서는 실제 홍수사상인 간무리, 루사, 매미에 대한 만곡하천에 2차원 수리해석모형인 SMS (Surface Water modeling System)모형의 RMA-2를 이용하여 해석을 실시하고 수심과 유속에 따른 만곡부 상하류 단면을 비교하고 소류력을 산정하였으며, 이와같은 결과를 산정하여 제시함으로써 홍수시 편수위에 의한 범람대책과 하천횡단구조물의 설계반영, 하도제어를 하는 데에 중요한 자료를 제시하고자 한다.

2. 대상구역

임하댐 상류구역에 위치한 반변천과 용전천은 산지특성을 나타내는 사행하천으로서 반변천 유역은 수지상 형태로 유역의 평균고도차가 크고 하천경사가 급한 하천이다. 또한 유역의 둘레에 비하여 유역의 평균폭이 좁고 하천폭도 협소하며 만곡이 심해 내수배제의 불량과 침수피해가 빈번하게 발생하는 유역이다. 또한 반변천 본류에 위치한 광덕잠수교와 홍구교, 병옥교, 삼산교 등은 1970년대에 시공된 노후된 구조물로서 경간이 짧고 교각이 낮아 홍수시 부유물이 교량경간 사이에 걸려 상류유역의 침수피해를 유발시키고 있다. 용전천의 하도는 좌안이 대부분 산지로서 중평교 하류 1 km 지점과 황목교 지점에서는 병목현상이 발생하며, 송강 2교 하류에는 만곡부로 인해 홍수위 상승이 발생하는 곳이다. 다음 Table 1은 반변천과 용전천의 하도특성을 나타내었으며, Fig. 1은 본 연구의 분석지점으로 반변천의 B-1, B-2구간은 청송교도소 구간이며, Y-1, Y-2구간은 용전천의 중평교 구간, Y-3, Y-4구간은 황목교 구간, Y-5, Y-6구간은 송강2교 구간이다.

Table 1. Basin Characteristics

Classifications	Area (km ²)	Length (km)	Average Slope	Average Basin Slope
Banbeyunchun	773.54	49.86	0.0039	0.36
Youngjunchun	417.82	112.59	0.0039	0.32

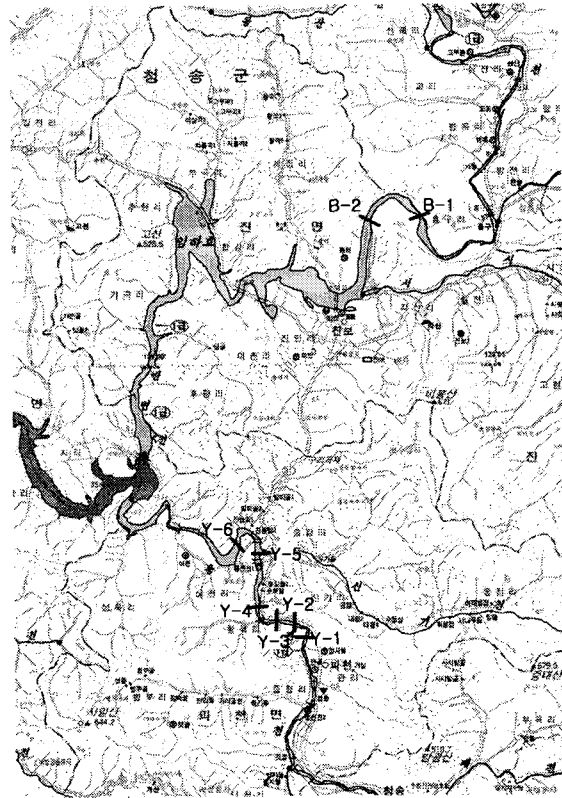


Fig. 1. Study area.

3. 기본이론

RMA-2 모형은 2차원 질량 연속방정식과 2차원 Navier-Stokes의 힘-운동량 방정식에 대한 Reynolds 형태로 표시된다. 비압축성, 균질유체에 대한 Navier-Stokes식을 tensor형으로 기술하면 연속방정식과 운동방정식은 각각 식 (1) ~ 식(2)와 같이 기술된다.

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = g_i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] \tag{2}$$

여기서, x_i = Cartesian 좌표계, u_i = 속도 성분, ρ = 유체밀도, t = 시간, p = 압력, μ = 점성계수, g_i = 중력가속도 tensor (0, 0, -g)이다.

난류 영역에서 속도와 압력은 시간과 공간 모두에 대해서 점진적으로 혹은 급격하게 변한다. 여러가지의 항이 증가된 난류 유체의 내부 전달용력, 또는 Reynolds 때문에 Navier-Stokes 방정식의 점성력 항에 첨가된다. 따라서 이러한 수정들은 Navier-Stokes 방정식의 Reynolds 형태로 나타난다.

Reynolds 식을 식 (1)과 식 (2)를 조합하여 확장

형으로 기술하면 다음 연속방정식과 같다.

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

다음은 기본연속방정식에서 x 방향 운동방정식이다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} = \\ - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

다음은 기본연속방정식에서 y 방향 운동방정식이다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} = \\ - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (5)$$

다음은 기본연속방정식에서 z 방향 운동방정식이다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{w}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{w}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{w}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} = \\ - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial z} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (6)$$

여기서, \bar{u}_i, \bar{p}_i 는 시간평균치를 취한 유속 및 압력항이고 u'_i, p'_i 는 변동속도 및 변동압력성분이며, 전단응력항은 식 (7)과 같다.

$$\begin{aligned} \tau_{xx} &= 2\mu \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} - \overline{\rho u'v'} \\ \tau_{yy} &= 2\mu \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} - \overline{\rho v'v'} \\ \tau_{zz} &= 2\mu \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} - \overline{\rho w'w'} \\ \tau_{xy} &= \mu \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} \right) - \overline{\rho u'v'} \\ \tau_{xz} &= \mu \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial z} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial x} \right) - \overline{\rho u'w'} \\ \tau_{yz} &= \mu \left(\frac{\partial \bar{v}}{\partial z} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial y} \right) - \overline{\rho v'w'} \end{aligned} \quad (7)$$

방정식의 해는 전단응력의 결정을 포함한다. 그리고 실제적으로 이것은 흐름의 3차원 속도장의 측정을 요구하지만 이는 실제로 불가능하다. 그래서 수치적으로 이끌어낼 수 있는 Reynolds 방정식을 만들어내기 위해서 Boussinesq의 접근법이 도입되었다. 실제 평면에서 Reynolds 전단응력은 난류변동계수 ϵ 과 등식을 놓을 수 있다. 이는 차원적으로 점성계수 μ 와 동일하며, 와점성계수의 항으로 둔다. 이

것은 물리적 기준으로부터 측정될 수 있다.

Reynolds의 방정식은 요소의 유체질량으로 유도될 수 있다. 실제 흐름상황의 적용을 허용하기 위해서 물리적 흐름의 제약조건을 반영하는 항들이 도입되어야 한다. 이러한 것들은 Coriolis 힘, 바람에 의한 전단력 그리고 경계마찰을 나타내는 외부 인력항을 구성한다. 이러한 3차원 방정식 시스템들은 2차원 형태의 수심평균치를 이끌어내기 위해서 수직적으로 적분될 수 있다. 이러한 결과의 방정식은 다음 사항들을 가정하게 된다.

- ① 유체는 비압축성이며 일정한 밀도를 가진다.
- ② 수직방향의 속도와 가속도는 무시한다.
- ③ 하천바닥은 시간에 대해 변하지 않는다.

수심평균치를 취하면 식 (8)의 연속방정식이 유도된다.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} + h \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) = 0 \quad (8)$$

또한 식 (4) ~ 식 (6)에 수심평균을 취하고 Coriolis항, 지류유입항, 바람응력항을 포함한 후 양변에 ρh 를 곱하여 2차원으로 고려하면 식 (9) ~ 식 (10)과 같이 정리된다.

$$\begin{aligned} \rho \left(h \frac{\partial u}{\partial t} + hu \frac{\partial u}{\partial x} + hv \frac{\partial v}{\partial y} + gh \left(\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial z_0}{\partial x} \right) + \frac{g}{C^2} u |V| + u q_s \right. \\ \left. - \Omega v h \right) - h \frac{\partial}{\partial x} \left(\epsilon_{xx} \frac{\partial u}{\partial x} \right) - h \frac{\partial}{\partial y} \left(\epsilon_{xy} \frac{\partial u}{\partial y} \right) - W_x = 0 \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \rho \left(h \frac{\partial v}{\partial t} + hu \frac{\partial v}{\partial x} + hv \frac{\partial v}{\partial y} + gh \left(\frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\partial z_0}{\partial y} \right) + \frac{g}{C^2} v |V| + v q_s \right. \\ \left. + \Omega u h \right) - h \frac{\partial}{\partial x} \left(\epsilon_{xy} \frac{\partial v}{\partial x} \right) - h \frac{\partial}{\partial y} \left(\epsilon_{yy} \frac{\partial v}{\partial y} \right) - W_y = 0 \end{aligned} \quad (10)$$

4. 결 과

본 연구에서는 만곡부 수리해석을 위하여 유한요소법에 근거한 RMA-2 모형의 상용 프로그램인 SMS(Surface Water modeling System)를 이용하였다. Fig. 3 에서는 수리해석을 위한 하도를 유한요소망으로 구성한 것이다. 대상하도구간의 격자의 구성은 하천정비기본계획의 자료와 주요구조물구간의 측량성과를 이용하여 모형을 구성하였으며, 종단간격은 100 m간격이며, 횡단간격은 10~20 m구간으로 하였다. 모형의 검증은 루사와 메미의 혼적수위를 현장조사한 결과를 이용하여하였으며, 와점성계수는 현장조사한 혼적수위를 이용하여 보정하였다.

분석구간의 만곡의 정도를 파악하기 위하여 곡률

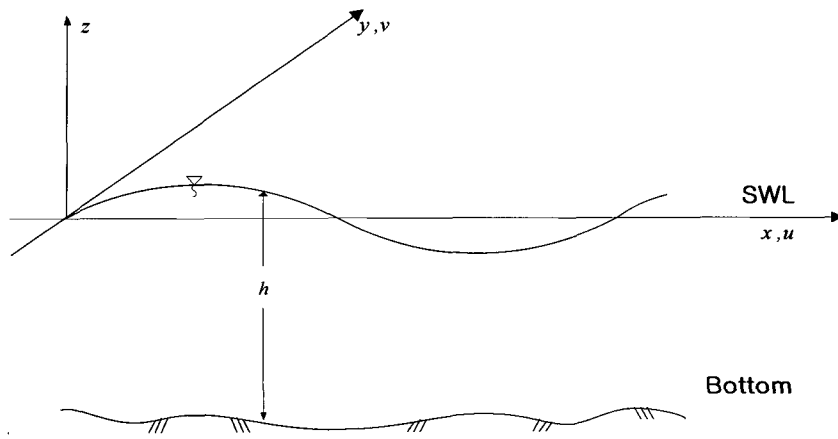


Fig. 2. Coordinates system of 2-dimensions flow.

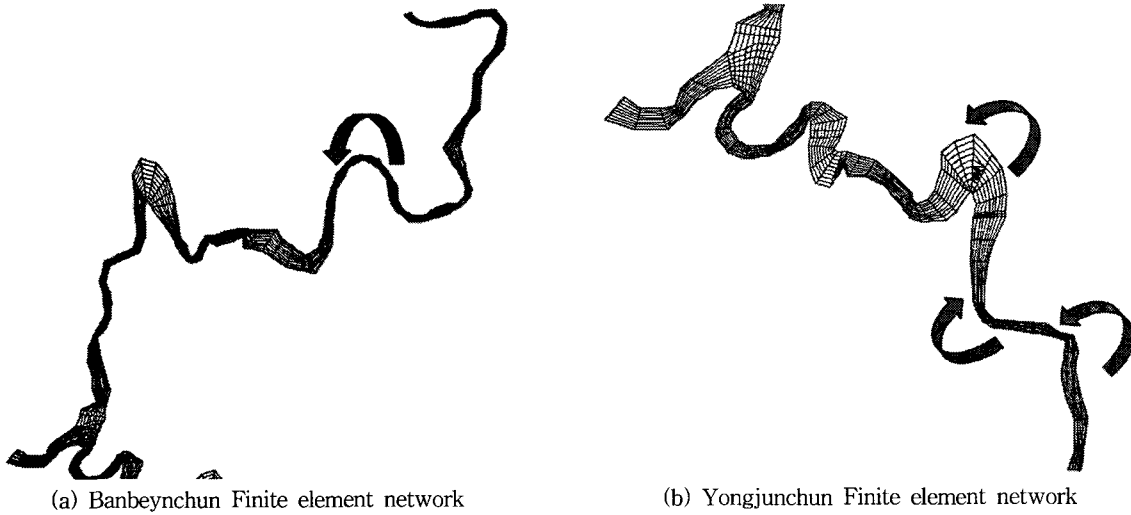


Fig. 3. Finite Element network.

반경과 교각 그리고 만곡도를 조사하였다. 만곡도가 가장 심한곳은 Y-5와 Y-6인 송강2교구간이 1.366 이었으며 각각의 수치는 아래 표와 같다.

RMA-2모형의 적용을 위하여 실제 호우사상인 간무리, 루사, 매미 당시의 홍수량을 적용하였으며 각각 2,618 m³/s, 7,113 m³/s, 6,665 m³/s를 적용하였다.

4.1. 만곡부 수심비교

만곡하천의 수리해석구간은 반변천 B-1, B-2구간과 용전천 Y-1~Y-6구간에 대해서 횡방향 수심을 분석한 결과 간무리, 루사, 매미의 경우 유량이 가장 큰 루사 당시 횡방향의 수심의 차이가 크게 나타났으며, 하천횡단자료와 비교하여 횡단면상에서

Table 2. Analysis of Curve

Classifications	B-1~B-2	Y-1~Y-2	Y-3~Y-4	Y-5~Y-6
Radius(m)	518.67	204.57	303.61	298.70
Diameter(m)	1037.34	409.13	607.21	597.40
Angle(°)	124	92	113	155
Curve	1.226	1.150	1.180	1.366
Turn Direction	Left-handed screw	Left-handed screw	Right-handed screw	Left-handed screw

Table 3. Max Lateral Depth Differences (Unit : cm)

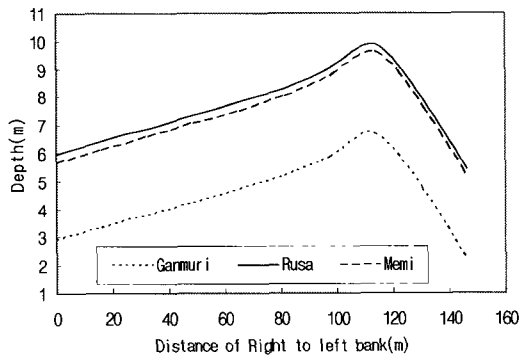
Flood Events	Ganmuri	Rusa	Memi
Discharges(m ³ /s)	2,618	7,113	6,665
B-1	10	31	29
B-2	28	49	49
Y-1	1	4	2
Y-2	14	31	24
Y-3	10	34	23
Y-4	20	52	38
Y-5	20	8	14
Y-6	18	41	29

원심력이 가장 큰 만곡부의 외측에서 수심이 가장 깊게 나타나지는 않았으며 대체로 하천의 중심부 주변이 수심이 깊은 것으로 나타나 유량과 크다고 해서 만곡부의 하상변화가 발생하는 기구가 연관성이 크다고는 본 연구에서 나타난 수심분석의 결과에서는 판단하기가 어려웠으며, 각 호우사상별 최대 횡수심편차를 정리한 것은 Table 3과 같다.

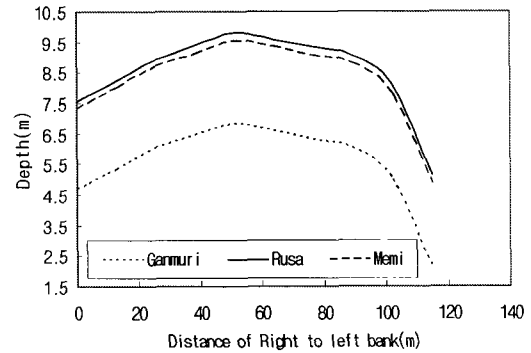
4.2. 만곡부 유속 및 소류력 비교

만곡하천의 횡방향 유속과 유속과 수심의 함수인 소류력의 계산결과에서 대체적으로 수심이 깊은 곳이 소류력이 크게 나타났으며, 유속이 큰 곳이 반드시 수심이 깊은 경우는 아닌 것으로 분석이 되었다. 유속의 횡분포에서는 반변천과 용전천의 구간에서 회전하는 반경의 중심쪽으로 유속이 크게 나타나 만곡부의 내측이 유속이 크게 나타나는 경향을 보여주고 있다. 소류력의 계산결과에서는 대체로 수심의 영향이 횡단면에서는 크게 나타나며, 하상세굴이 만곡부 하천에서의 경우 대체로 하천횡단면의 중심부 주변에서 소류력이 크게 나타나 세굴이 진행되는 것으로 판단되었다. 이는 하천횡단 구조물의 설치시 중요한 참고자료가 될 것으로 판단되며, 하도 관리에 있어 하상경사의 제어에도 중요한 자료가 될 것으로 판단된다.

간무리, 루사, 메미 호우에 대한 각 횡단면의 유속에 대한 비교는 다음 Fig. 7~Fig. 10과 같으며, 각 횡단면에 대한 호우사상별로 수심, 유속, 소류력의 비교분석결과는 Fig. 11~Fig. 14와 같다.

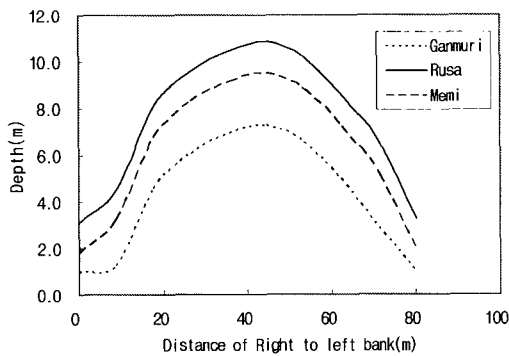


(a) Downstream(B-2)

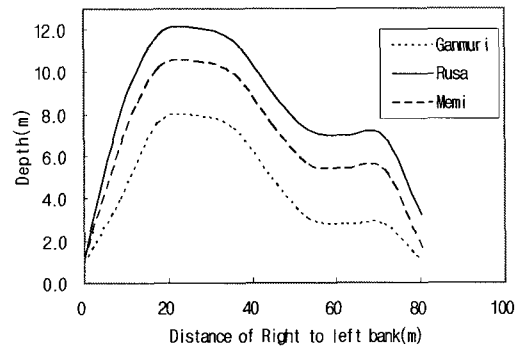


(b) Upstream(B-1)

Fig. 3. Distribution of lateral depth.



(a) Downstream(Y-2)



(b) Upstream(Y-1)

Fig. 4. Distribution of lateral depth.

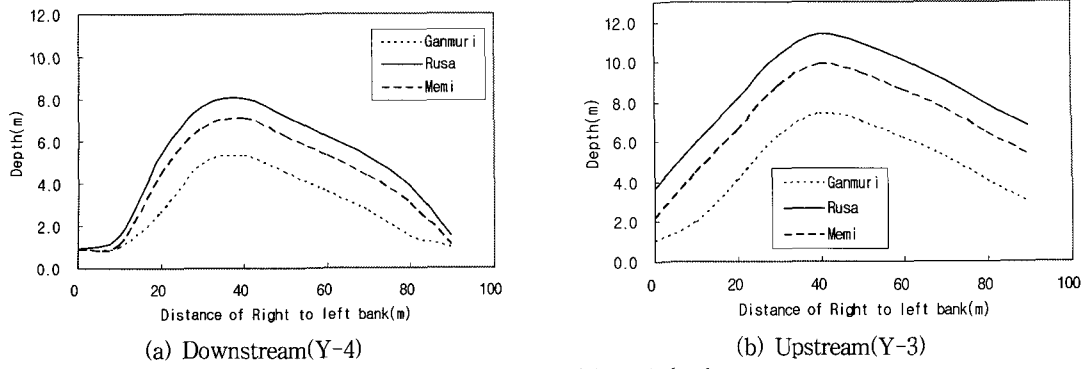


Fig. 5. Distribution of lateral depth.

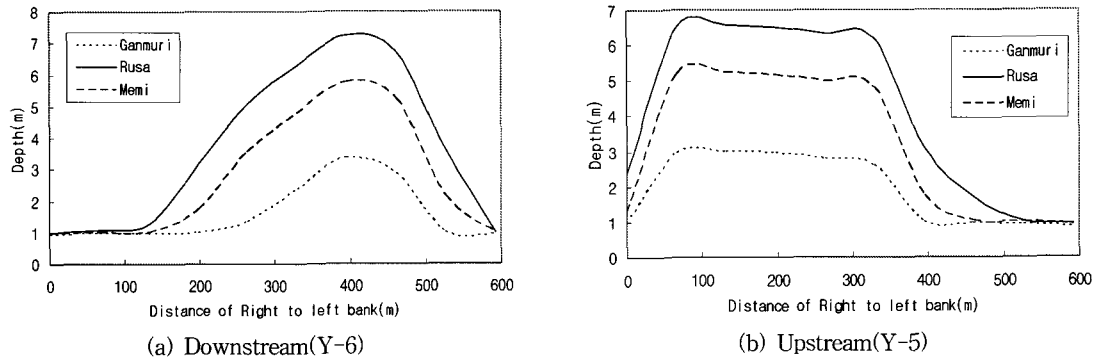


Fig. 6. Distribution of lateral depth.

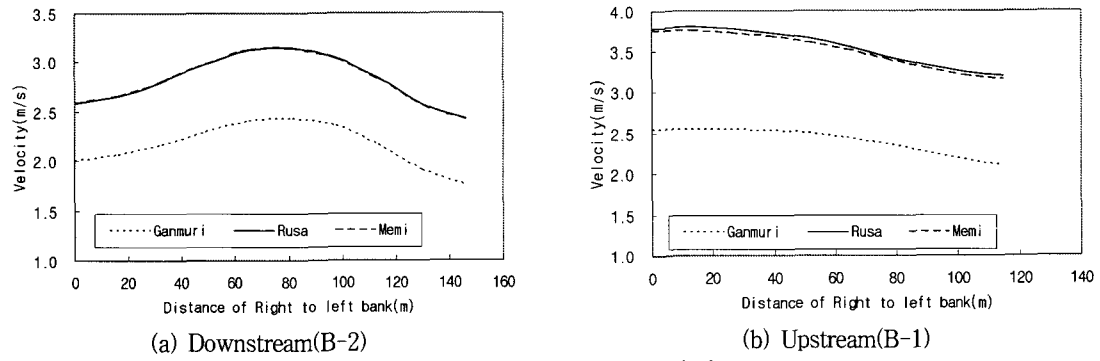


Fig. 7. Distribution of lateral velocity.

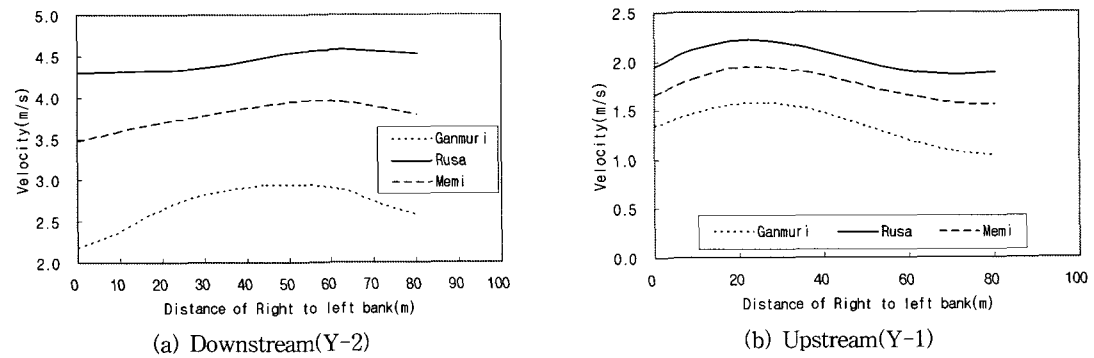


Fig. 8. Distribution of lateral velocity.

급경사 만곡부 하도의 2차원 수리특성 해석

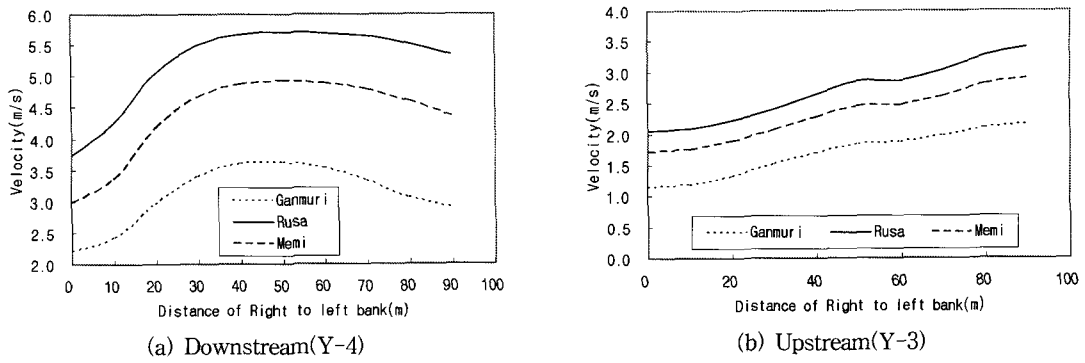


Fig. 9. Distribution of lateral velocity.

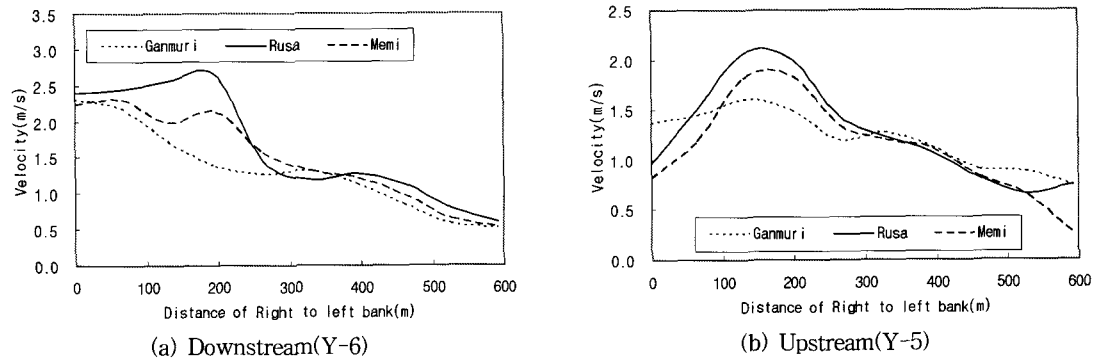


Fig. 10. Distribution of lateral velocity.

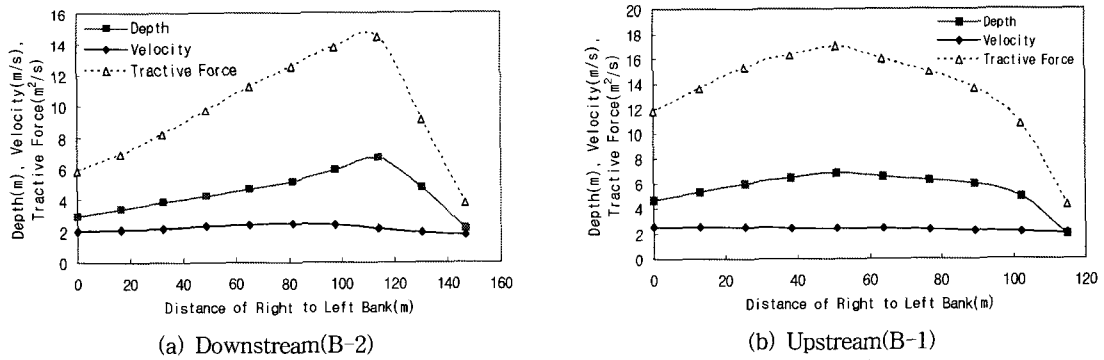


Fig. 11(a). Results of lateral hydraulics characteristics(Ganmuri).

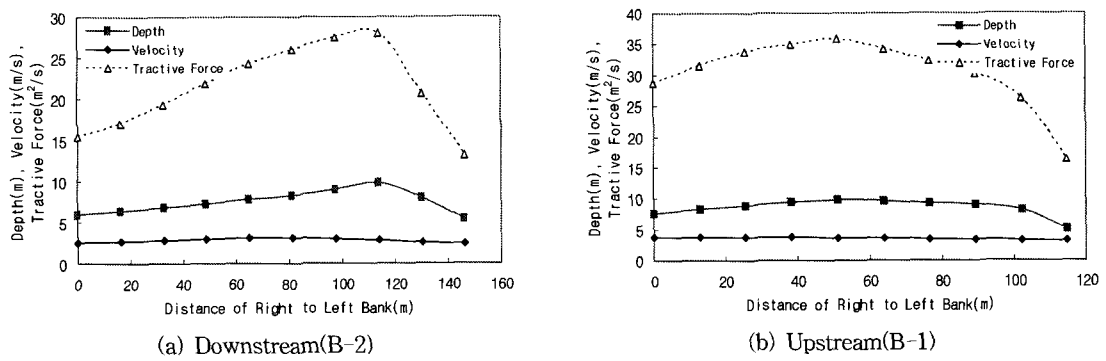
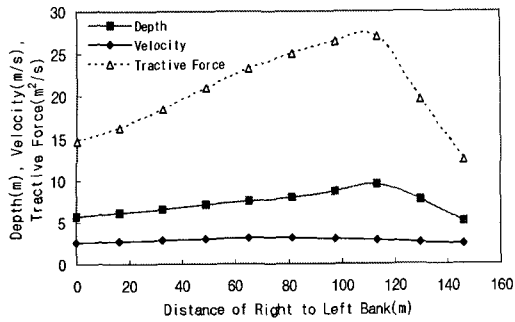
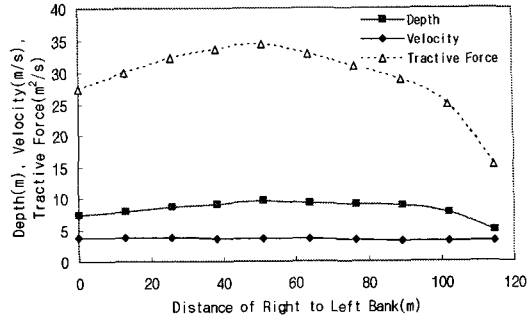


Fig. 11(b). Results of lateral hydraulics characteristics(Rusa).

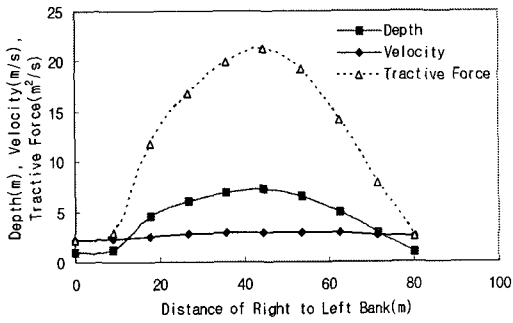


(a) Downstream(B-2)

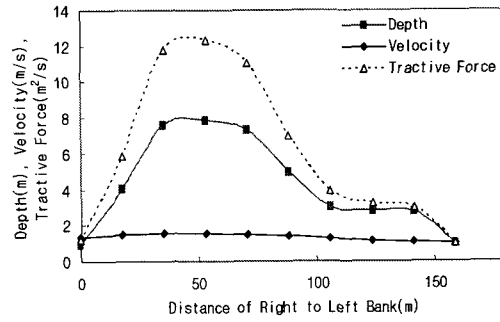


(b) Upstream(B-1)

Fig. 11(c). Results of lateral hydraulics characteristics(Memi).

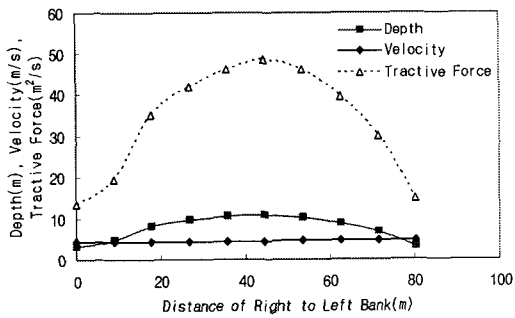


(a) Downstream(Y-2)

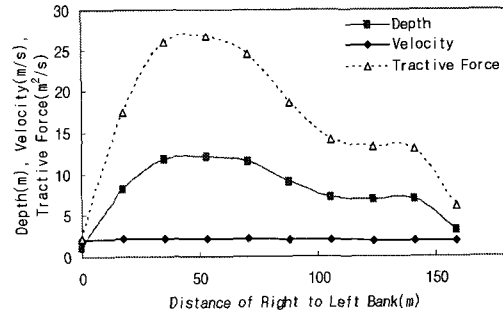


(b) Upstream(Y-1)

Fig. 12(a). Results of lateral hydraulics characteristics(Ganmuri).

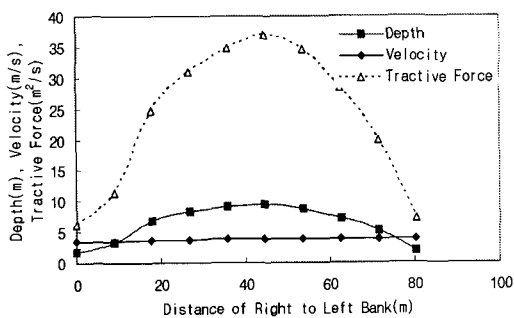


(a) Downstream(Y-2)

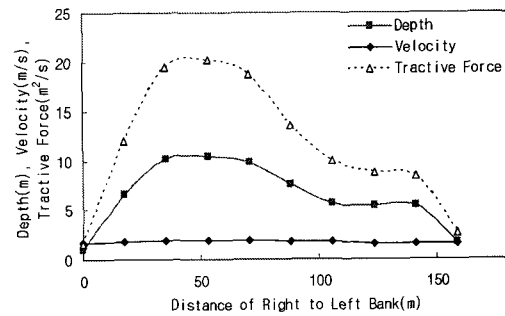


(b) Upstream(Y-1)

Fig. 12(b). Results of lateral hydraulics characteristics(Rusa).



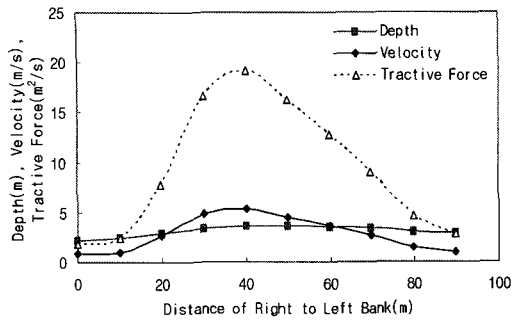
(a) Downstream(Y-2)



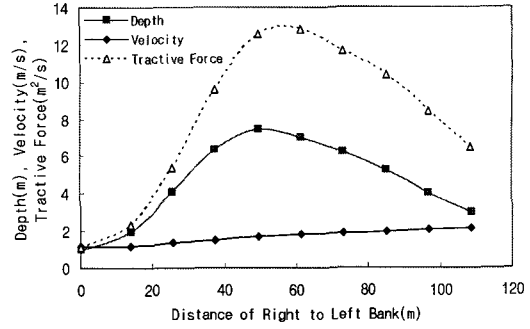
(b) Upstream(Y-1)

Fig. 12(c). Results of lateral hydraulics characteristics(Memi).

급경사 만곡부 하도의 2차원 수리특성 해석

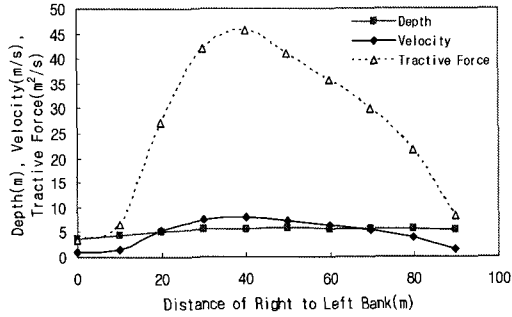


(a) Downstream(Y-4)

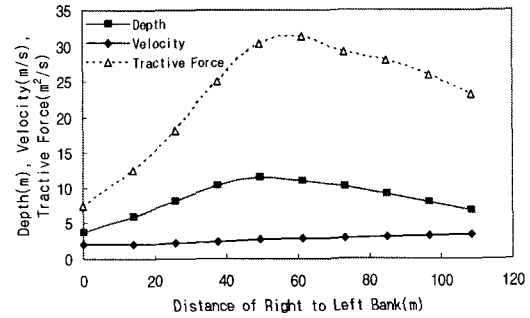


(b) Upstream(Y-3)

Fig. 13(a). Results of lateral hydraulics characteristics(Ganmuri).

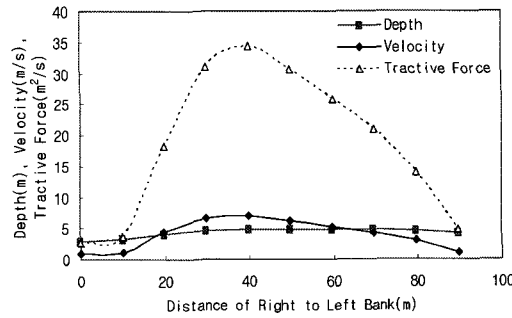


(a) Downstream(Y-4)

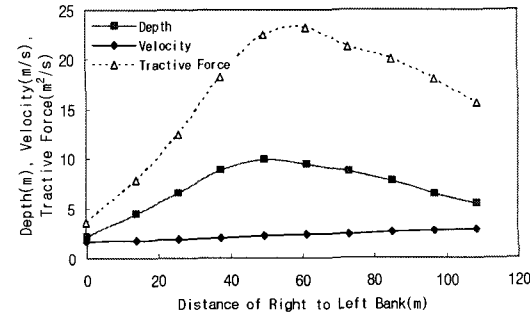


(b) Upstream(Y-3)

Fig. 13(b). Results of lateral hydraulics characteristics(Rusa).

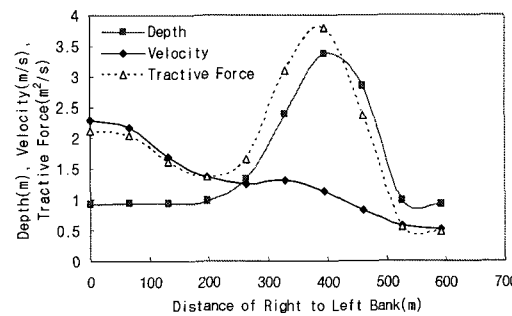


(a) Downstream(Y-4)

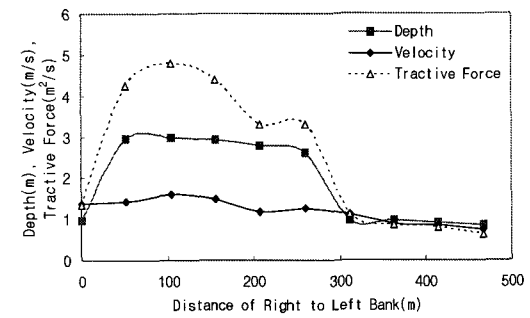


(b) Upstream(Y-3)

Fig. 13(c). Results of lateral hydraulics characteristics(Memi).

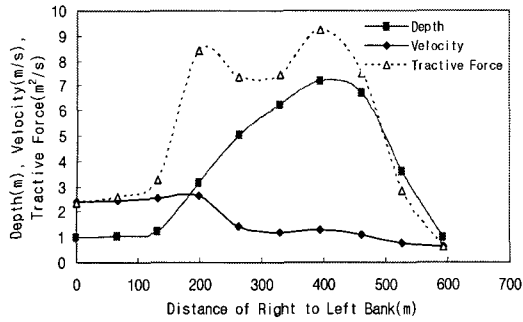


(a) Downstream(Y-6)

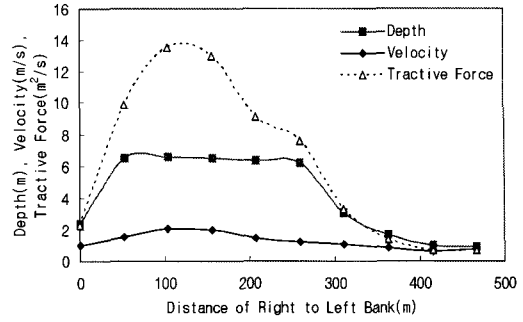


(b) Upstream(Y-5)

Fig. 14(a). Results of lateral hydraulics characteristics(Ganmuri).

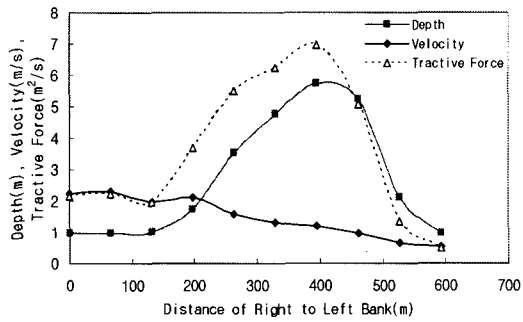


(a) Downstream(Y-6)

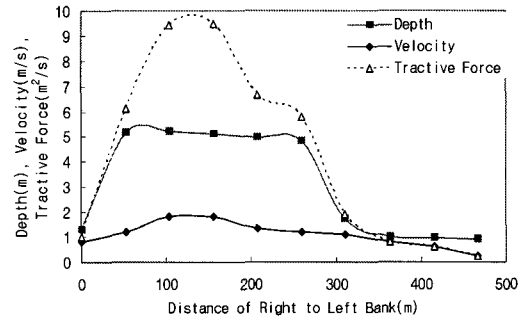


(b) Upstream(Y-5)

Fig. 14(b). Results of lateral hydraulics characteristics(Rusa).



(a) Downstream(Y-6)



(b) Upstream(Y-5)

Fig. 14(c). Results of lateral hydraulics characteristics(Memi).

5. 결 론

본 연구에서 실제호수를 대상으로 만곡부 하도의 횡단면에 대하여 상·하류구간을 중심으로 2차원 수리해석을 실시하였으며 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

만곡부 내·외측의 수위차이에서 대체로 만곡부의 상류부보다 하류부의 수위차이가 크게 나타나는 것으로 분석되었다. 이는 만곡부의 제방이나 수리구조물 해석 혹은 범람 해석에서 만곡부의 경우 하류부의 위험도가 더 크게 나타날 수 있는 것으로 판단되었다. 만곡부의 유속과 수심의 해석결과에서는 대체로 만곡부의 내측이 빠른 유속으로 하도를 통과하는 것으로 분석이 되었다. 이는 만곡부 외측의 수층부 보강문제와 함께 만곡부내측의 빠른 유속에 대한수립에 참고 자료로 활용이 가능한 것으로 판단된다.

유속과 소류력의 분석결과에서 하천횡단의 중심부 주변이 세굴의 위험이 많이 노출이 되어있음을 알 수 있으며, 하천횡단 구조물의 설계에서 중요한 참고자료로 이용될 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구의 만곡부 2차원 수리해석을 통하여 만곡부의 상·하류와 내·외측의 수리특성을 분석함으로써 홍수시 만곡부의 범람 및 하천횡단 구조물의 설계

와 하상제어의 측면의 대책수립에 도움이 될 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 1) 최종인, 2002, 자연하천 만곡부의 횡방향 안정화상을 위한 한계속도, 한국수자원학회논문집, 35(2), 195-201.
- 2) Zimmermann C., Kennedy J. F., 1978, Transverse bed slope in curved alluvial streams, Journal of Hydraulics Div., 104, HY1, 33-48.
- 3) Falcon M. A., Kennedy J. F., 1983, Flow in alluvial-river curves, Journal of Fluid Mech, 133, 1-16.
- 4) 박재현, 윤성용, 선우중호, 1992, 축방향흐름이 있는 만곡부 흐름의 해석, 한국수문학회지, 25(3), 87-96.
- 5) 윤세의, 이종태, 1990, 만곡수로에서의 곡률반경 변화에 따른 흐름특성, 한국수문학회지, 23(3), 435-444.
- 6) 차영기, 김이현, 2002, 만곡하천에서 수공구조물에 의한 하천범람 예방, 대한토목학회논문집, 22(3-B), 341-351.
- 7) 임동희, 송인렬, 안승섭, 이증석, 2005, 가상만곡

급경사 만곡부 하도의 2차원 수리특성 해석

- 수로에서 구조물 위치에 따른 수리특성에 관한 연구, 한국환경과학회 봄학술발표회 논문집, 142-147.
- 8) 박종권, 박기범, 지홍기, 2005, 임하댐 하류유역의 지형학적 홍수피해 원인분석, 한국환경과학회 가을학술발표회 논문집, 400-404.
- 9) 여운기, 2004, 자연하도의 홍수와 부정류해석, 석사학위논문, 공학부, 영남대학교, 경북.