

하도 합류부의 정류 · 부정류해석에 따른 수리학적 변화 특성 분석

안승섭 · 임동희* · 박노삼** · 곽태화***

경일대학교 건설정보공학과, *한국건설기술연구원 수문연구실,
경일대학교 토목공학과, *경일대학교 토목공학과 대학원
(2008년 3월 28일 접수; 2008년 7월 28일 수정; 2008년 7월 28일 채택)

Hydraulic Behavior and Characteristic Analysis by Steady & Unsteady Flow Analysis of Natural Stream

Seung-Seop Ahn, Dong-Hee Yim*, Ro-Sam Park** and Tae-Hwa Kwak***

*Department of Construction and Geoinformatics Engineering, Kyeongil University,
Gyeongsangbuk-Do 712-701, Korea*

**Hydrology Research Division, KICT, Goyang 411-712, Korea*

***Department of Civil Engineering, Kyeongil University, Gyeongsangbuk-Do 712-701, Korea*

****Graduate school of Civil Engineering, Kyeongil University, Gyeongsangbuk-Do 712-701, Korea*
(Manuscript received 28 March, 2008; revised 28 July, 2008; accepted 28 June, 2008)

Abstract

The purpose of this study is to analyze the characteristics of hydraulic behavior of the natural channel flow according to the temporal classification mode, and thus propose the hydraulic analysis method for future channel design. For analysis, the temporal flow characteristics of the channel section was divided into the steady flow and the unsteady flow. For hydraulic analysis, the HEC-RAS model, which is a one-dimensional numerical analysis model, and the SMS-RAM2 model, which is a two-dimensional model, were used and the factors used for analysis of hydraulic characteristics were flood elevation and flow rate. The flow state was analyzed on the basis of the one-dimensional steady flow and unsteady flow for review. In the unsteady flow analysis the flow rate changed by (-)0.16%~(+0.26%, and the flood elevation varied by (-)0.35%~(+0.51% as compared to the values in the steady flow analysis. Given these results, in the one-dimensional flow analysis based on the unsteady flow the flood elevation and flow rate were greater than when the analysis was done on the basis of the steady flow. The flow state was analyzed on the basis of the two-dimensional steady flow and unsteady flow. In the unsteady flow analysis the flow rate varied by (-)0.16%~(+1.08%, and the flood elevation changed by (-) 0.24%~(+0.41% as compared to the values in the steady flow analysis. Given these analysis results, in the two dimensional flow analysis based on the unsteady flow, the flood elevation and flow rate were greater than when the analysis was done on the basis of the steady flow.

Key Words : SMS, HEC-RAS, One-dimensional hydrodynamic model, Two-dimensional hydrodynamic model, Hydraulic characteristics

1. 서론

최근의 극심한 기상이변으로 인하여 발생하는 이상홍수의 예측에 관한 사항은 치수·이수는 물론 친수관점에서 볼 때 자연하천의 관리시에 매우 중요한 관심사로 부각되고 있다. 그 중 치수와 관계되는 부분은 사람들에게 편리함을 주는 것이 목적이 아니라 위협으로부터 생명을 지키고 삶의 공간을 마련한다는 점에서, 그 중요성이 한층 높게 평가되었다. 치수는 오늘날에 와서도 해결해야 할 과제이며, 오히려 그 중요성이 더욱 확대되었다고 할 수 있다. 특히 최근에 들어 예견하기 힘든 태풍 및 집중호우등 이상 홍수로부터 발생하는 급격한 하천수위의 증가는 하천제방을 월류하여 인근 제내지에 큰 피해를 주고 있다.

또한 도시화에 따른 수리·수문순환계의 변화는 지표수흐름(홍수류/저수류)의 왜곡현상과 과잉양수에 의한 지하수 유동과 수자원 부존량의 변화를 초래하였으며, 수환경에 의존하고 있는 생태계에 많은 변화와 더불어 수변경관 등의 변화를 가져왔다. 이러한 자연환경의 변화는 양질의 수자원 확보와 쾌적한 환경에서 생활하고자 하는 인간의 여망을 위협받게 되었으므로 점차 도시하천개념에 대하여 인식의 변화가 고조되고 있는 실정이다.

최근까지 정류·부정류 해석을 통한 수리특성에 관한 연구는 Vriend¹⁾에 의해 유한차분모형을 이용한 홍수범람해석을 실시한 이후로, 1990년대에 들어서면서 수리특성에 대한 연구가 활발하게 진행되다 있다. 국내에서는 한 등²⁾은 도시하천 합류부에서의 수리해석에 대해 연구하였으며, 최근에는 한 등³⁾에 의해 낙동강 주요 합류부에서의 동역학적 수리해석에 대한 연구와 장 등⁴⁾의 금강과 미호천 일대에서의 합류부 흐름 및 하상변동에 대해 수치모의함으로써 하천의 수리특성에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 이 등⁵⁾, 안 등⁶⁾은 사행하천 제방설치에 따른 합류부 일차원 및 이차원 수리특성에 대한 연구를 수행하였고, 박 등⁶⁾, 임 등⁷⁾은 만곡부 하천의 수리모형과 수치해석을 통한 수리학적 특성에 대한 연구가 제안되면서 하천의 수리특성에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 자연하도 합류부에서 일차원해석 모형인 HEC-RAS와 이차원해석 모형인 SMS-RMA2

모형을 이용하여 정류·부정류 해석을 통한 수리학적 특성을 검토하여 수치해석을 실시하였다. 이를 기준으로 하여 도시하천 합류부에 대한 분석을 통해 도심부를 통과하는 중요하천이면서 자연 및 생태경관을 보존하기 위해 1980년 4월 상수원보호구역으로 지정된 경상북도 경산시 하양읍에 위치한 금호3교에서부터 대구광역시 동구에 위치한 아양교 까지를 대상으로 하여 하도의 수리학적특성을 분석을 통하여 하천 설계 시 도움이 되고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 모형의 이론 및 특성

2.1.1. 일차원 모형의 기본 이론

본 연구에서 사용된 일차원 수리해석모형인 HEC-RAS 모형은 자연하천이나 인공하천에서의 정상류·비정상류 상태의 점면류 수면 곡선을 계산하기 위해 원도우 환경에서 서로 상호작용 할 수 있도록 설계된 통합시스템이다. 이 모형은 정류 수면형 곡선 계산, 부정류 시뮬레이션, 이동 경계 침전물 운반 계산의 세 개의 일차원 수리학적 구성요소로 이루어진다. 또한 상류(subcritical)와 사류(supercritical) 상태의 수면곡선 계산이 가능하며, 교량이나 암거, 홍수터의 구조물과 같은 여러 하천구조물의 영향을 수면곡선 계산에 반영할 수 있다. 계산절차는 식(1)과 같은 표준축차법(Standard Step Method), 즉 Manning 공식에 의해서 산정된 마찰에 의한 손실을 고려한 일차원 에너지 방정식의 수치해에 근거를 두고 있다.

$$Y_2 + Z_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + h_L \quad (1)$$

여기서, 1과 2 : 미소거리 L , 간격의 두 단면(1은 하류, 2는 상류단면)

Y : 수심

Z : 하상표고

V : Q/A 는 평균유속

α : 에너지 보정계수

h_L : 에너지(수두) 손실

위 근거를 바탕으로 한 두 횡단면간의 에너지 손실 수두 (h_L)는 마찰 손실과 수축 혹은 확장 손실로

구성된다. 에너지 손실 수두 방정식은 다음의 식 (2)와 같다.

$$h_L = L\bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \quad (2)$$

여기서, L : 유량 가중 구간 길이(m)
 \bar{S}_f : 두 횡단면간의 대표 마찰 경사
 C : 단면확장 또는 수축 손실 계수(축소: 0.1, 확대: 0.3)

부정류 수면형의 계산으로는 홍수류 흐름의 수리학적 모형은 흐름이 연속적으로 변화하는 경우에 대한 일차원 부정류 흐름해석의 지배방정식은 다음식(3) 및 식 (4)와 같은 연속방정식 및 운동방정식으로 구성된다.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial y}{\partial x} + gA \frac{Q}{K^2} = 0 \quad (4)$$

여기서, $Q = Q(x, t)$ 및 $y = y(x, t)$: 각 유량과 수위
 A 와 K : 흐름면적과 통수능으로써 각각 y 의 함수
 α : 운동량 보정계수
 g : 중력가속도
 x 와 t : 각각 공간 및 시간좌표

2.1.2. 이차원 모형의 기본 이론

본 연구에서는 합류부 흐름특성에 대한 수치해석을 위하여 RMA-2(Resource Management Associates model 2) 모형을 이용하였다. 이 모형은 2차원 질량 연속방정식과 2차원 Navier-Stokes의 힘-운동량 방정식에 재한 Reynolds 형태로 표시된다. 비압축성, 균질유체에 대한 Navier-stokes식을 tensor형으로 설명하면 연속방정식과 운동방정식은 각각 식 (5)~(6)과 같이 기술된다.

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = g_i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] \quad (6)$$

여기서, x_i : Cartesian 좌표계

u_i : 속도성분

ρ : 유체밀도

t : 시간

P : 압력

μ : 점성계수

g_i : 중력가속도 tensor (0, 0, -g)

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

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} = 0 \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \\ = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} \\ = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{w}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{w}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{w}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} \\ = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial z} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (10)$$

여기서, \bar{u}_i, \bar{p}_i : 시간평균치를 취한 유속 및 압력항

u_i, p_i : 변동속도 및 변동압력성분

이상과 같은 연속방정식과 운동방정식의 해는 전단응력을 고려해서 결정하지만 실제적으로는 이러한 과정은 흐름의 3차원 속도장의 측정을 필요하게 되므로 그 해석이 거의 불가능하게 된다.

따라서, 수치적으로 해석할 수 있는 Reynolds 방정식을 유도하기 위해서 Boussinesq의 접근법을 이

용하였다. Reynolds의 방정식은 요소의 유체질량으로 유도될 수 있으나, 실제 흐름에 대한 적용을 위해서는 물리적 흐름의 제약조건을 반영하는 Coriolis, 바람에 의한 전단력 및 경계마찰을 나타내는 외부인력 항 등이 고려되어야 한다. 즉, 이와 같은 3차원 방정식을 이용한 모형의 지배방정식은 실제흐름해석에 가장 이상적이나 수식의 복잡성이나 경계조건 처리 및 계산시간 등의 문제로 다음과 같은 기본가정을 전제로 하여 3차원 Navier-Stokes방정식을 수직(깊이)으로 적분한 2차원 천수방정식을 이용하게 된다.

- ① 유체는 비압축성이며 일정한 밀도를 가진다.
- ② 하상의 조도에 의한 난류의 혼합으로 인하여 연직(수직)방향의 속도는 균일한 유속분포를 가진다.
- ③ 연직(수직)방향의 가속도는 중력에 비하여 매우 작으므로 무시한다.
- ④ 하천바닥은 시간에 따라 변하지 않는 것으로 하며, 수심의 변화가 적으므로 기본방정식을 깊이에 대한 평균치로 표시할 수 있다.

따라서, 연속 방정식은 Fig. 1에서 나타낸 바와 같이 수심평균치를 취하면 식(11)과 같이 유도된다.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} + h \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) = 0 \quad (11)$$

여기서, h : 수심
 x, y : 흐름방향
 u, v : 유속

또한 식 (8)~(11)과 같은 운동방정식에 수심평균치를 대입하고, Coriolis항, 지류유입량, 바람 응력

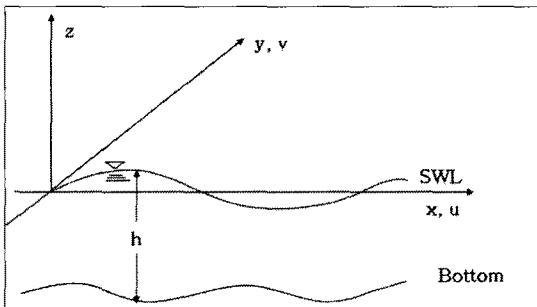


Fig. 1. Coordinate for two dimensional river flow.

항을 대입한 후 양변에 ρh 를 곱하여 2차원으로 정리하면 식 (12)~(13)와 같이 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned} & \rho \left(h \frac{\partial u}{\partial t} + hu \frac{\partial u}{\partial x} + hv \frac{\partial v}{\partial y} + gh \left(\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial z_0}{\partial x} \right) \right. \\ & \quad \left. + \frac{g}{C^2} u |V| + ug_s - \Omega v h \right) - h \frac{\partial}{\partial x} \left(\epsilon_{xx} \frac{\partial u}{\partial x} \right) \\ & \quad - h \frac{\partial}{\partial y} \left(\epsilon_{xy} \frac{\partial u}{\partial y} \right) - W_x = 0 \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} & \rho \left(h \frac{\partial v}{\partial t} + hu \frac{\partial v}{\partial x} + hv \frac{\partial v}{\partial y} + gh \left(\frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\partial z_0}{\partial y} \right) \right. \\ & \quad \left. + \frac{g}{C^2} v |V| + vg_s - \Omega u h \right) - h \frac{\partial}{\partial x} \left(\epsilon_{xy} \frac{\partial v}{\partial x} \right) \\ & \quad - h \frac{\partial}{\partial y} \left(\epsilon_{yy} \frac{\partial v}{\partial y} \right) - W_y = 0 \end{aligned} \quad (13)$$

여기서, ρ : 유체밀도 x, y : 흐름방향
 u, v : 유속 h : 수심
 V : x, y 방향의 유속
 C : Coriolis 값
 W : 바람응력 g : 중력가속도

동수역학적 모형을 정의하는데 있어서 경계조건과 함께 일련의 재료특성이 매우 중요하다. 유한요소망에 있는 개개의 요소는 재료 고유번호를 가지게 되며, 개개의 재료는 4개의 난류교환계수 (Turbulent Exchange Coefficient)와 1개의 Manning의 n 값을 가지게 된다.

난류교환계수는 x방향으로의 법선 난류교환계수 ϵ_{xx} , x방향으로의 접선 난류교환계수 ϵ_{xy} , y방향으로의 법선 난류교환계수 ϵ_{yy} , y방향으로의 접선 난류교환계수 ϵ_{yx} 가 있다. 난류교환계수는 와점성(eddy viscosity)계수라고도 하며 대부분의 경우 4개의 난류교환계수는 같은 값을 가지게 되며, 적절한 값을 부여하는 것은 모형의 검정에 매우 중요한 요소이다. 난류교환계수는 물리적인 현상에만 근거하지 않으므로 안정성을 위해 필수적으로 필요한 수치점성까지를 포함하며, 모형의 안정성을 저해하지 않는 범위 내의 작은 값을 부여하게 된다. 만일, 난류교환계수가 너무 크게 되면 안정된 해는 얻을 수 있지만 흐름의 분포, 이탈, 와류 등의 적절한 모의가 약해지게 되고, 반대로 난류 교환계수가 너무 작을

경우에는 안정된 해를 얻기가 힘들어 진다. 적절한 난류교환계수를 선정하는 것은 모델을 검증하는데 있어서 가장 중요한 요소 중에 하나이다. 따라서 망의 간격, 예상유속, 문제의 동적 특성 등이 모두 초기 난류교환계수 선정에 반영되어야 하며, 모형의 초기에는 Bridge 에서 제시된 값을 초기치로 하여 계산 값이 수렴할 때까지 값을 변화시켜 가는 것이 일반적이다. 다음으로, Manning의 n값은 하상재료 또는 지형조건을 고려하여 부여하게 되는데, Chow 와 미국 지질조사국에서 제안된 값을 이용하였다.

2.2. 흐름특성 분석

2.2.1. 연구대상지역의 선정 및 적정 경계조건의 설정

본 연구의 대상지역은 금호강 본류하도 중에서 합류부의 지형조건이 비교적 양호하고 수문자료조건이 양호한 동춘수위표지점에서 안심교 상류방향 10.678 km까지로 하였으며, 하도구간은 남천천 합류지점에서 상류방향으로는 금호교까지 3.042 km 이고 하류방향으로는 아양교 수위관측소까지 7.636 km까지이며, 지류의 하도구간은 2.303 km에 대하여 수리학적 특성을 분석하였다.

본 연구에서는 실제 호우사상을 대상으로 모델 매개변수를 검증한 후 시간적 변화에 따른 흐름특

성 분석을 실시하였으며, 연구대상지역의 경계조건으로는 상류부의 유량조건은 금호강 하천정비 기본 계획에서 검토된 빈도별 홍수량 및 홍수수문곡선을 결정하였으며, 하류부의 수위조건은 금호강의 배수위 계산을 통하여 검토된 빈도별 홍수위를 이용하였다.

2.2.2. 모형매개변수의 검증

본 연구에서는 실측 검증을 통한 모의검증 결과 Table 1과 같이 적정 매개변수의 추정을 하여 RMA2 에 대해 적용하여 수리특성을 파악하기 위하여 분석을 실시하였다.

모형의 매개변수 검증을 위한 초기자료는 조도계수 0.034, 난류교환계수 2000N-s/m², 격자크기 25 m×30 m, Computation Maximum Time 40시간, Computation Time-step 0.5시간, Coriolis forces latitude 0, Density 1000 kg/m³으로 적용하였으며, 매개변수 검증을 위한 실측값은 건설교통부 낙동강홍수통제소에서 발행한 낙동강수계(금호강)유량측정조사 보고서(2002.12)의 자료 중 4개의 호우사상에 대해 검증을 실시하였다.

모의 검증을 통한 최적 매개변수의 추정결과 조도계수 0.035, 난류교환계수 1850N-s/m², 격자크기 25 m×30 m, Density 1000 kg/m³, Coriolis forces latitude 0으로 분석 되었다.

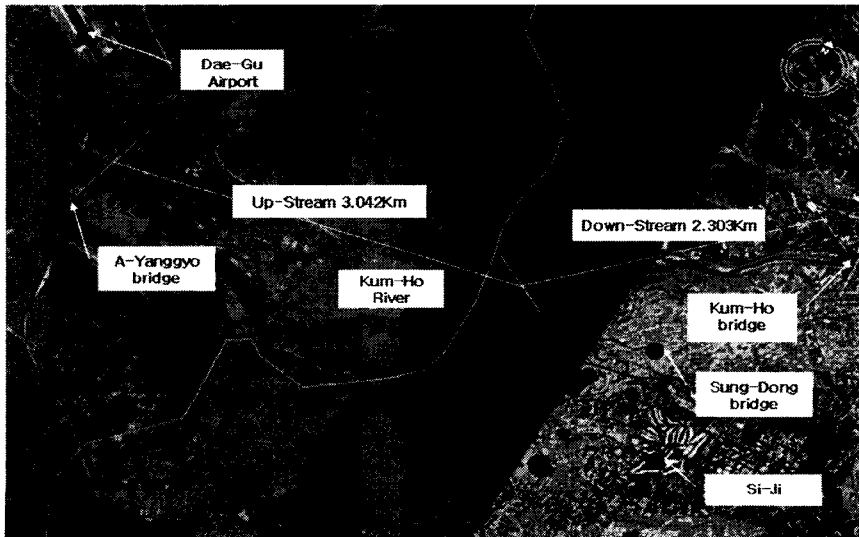


Fig. 2. Study area.

Table 1. Sensitivity analysis

Case	Date	In-situ sampling		Simulation		Variation	
		Water depth(m)	Flow velocity(m/s)	Water depth(m)	Flow velocity(m/s)	Water depth(%)	Flow velocity(%)
Kumho	02.07.06	1.48	0.860	1.46	0.87	1.35	-1.16
	02.08.08	2.78	1.792	2.82	1.78	-1.44	0.67
	02.08.10	3.50	2.016	3.54	2.05	-1.14	-1.69
	02.08.31	4.83	3.238	4.75	3.31	1.66	-2.22
Daepyang	02.07.06	0.76	0.73	0.74	0.72	2.63	1.37
	02.08.08	2.26	2.42	2.31	2.38	-2.21	1.65
	02.08.10	3.03	2.55	3.11	2.61	-2.64	-2.35
	02.08.31	3.30	2.60	3.25	2.66	1.52	-2.31
Dongchon	02.07.06	1.48	0.45	1.52	0.46	-2.70	-2.22
	02.08.08	3.40	1.12	3.35	1.15	1.47	-2.68
	02.08.10	5.00	1.54	5.12	1.51	-2.40	1.95
	02.08.31	6.44	2.23	6.35	2.27	1.40	-1.79

이러한 매개변수의 적용을 통한 검증결과 수위는 (+)2.63%~(-)2.70%의 차이를 보인 것으로 분석되었으며, 유속은 (+)1.95%~(-)2.68%의 차이를 보이는 것으로 분석되었다.

2.2.3. 일차원 흐름특성 분석

일차원 흐름특성을 분석하기 위해 HEC-RAS를 이용한 단면은 Fig. 3과 같이 단면을 구성하였다.

일차원 흐름해석모형인 HEC-RAS를 이용하여 정류·부정류 해석모의를 실시한 결과 연구의 대상지역의 유속 및 홍수위의 변화를 비교한 결과 Fig. 4~

Fig. 5와 Table 2와 같다.

Table 2에서 보는바와 같이 1차원 정류·부정류 분석 방법 변화를 통한 유속 및 홍수위 분석 결과 유속은 (+)10.32~(-)6.81%정도 높게 분석되었으며, 평균 1.65%정도 높게 분석되었다. 홍수위 분석 결과는 (+)0.35%~(-)0.51%까지의 변화가 보인 것으로 분석되었으며, 평균 0.07%정도 높게 분석되었다. 특히, 합류부 주변에서 4.58(m/sec)로 유속이 가장 빠르게 나타났으며, 홍수위 변화폭은 줄어드는 것으로 분석되었다.

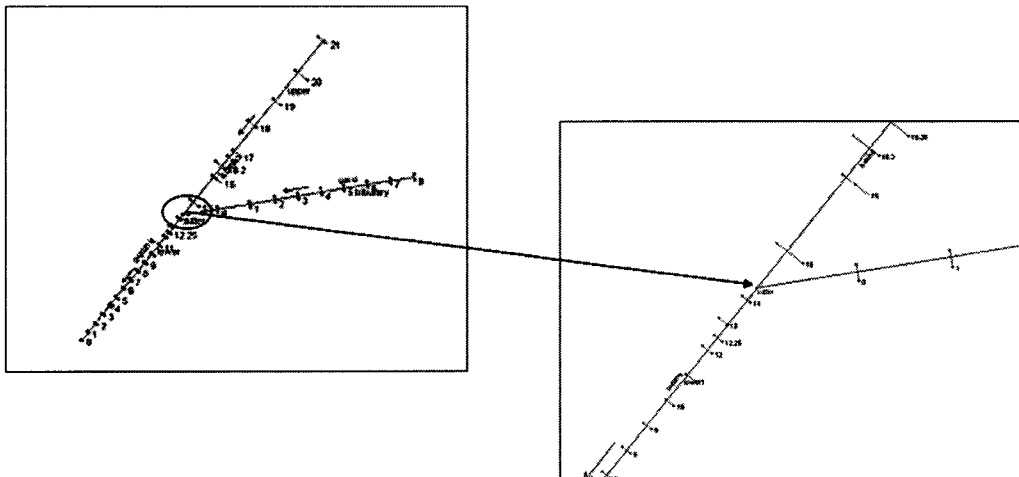


Fig. 3. Section input of HEC-RAS.

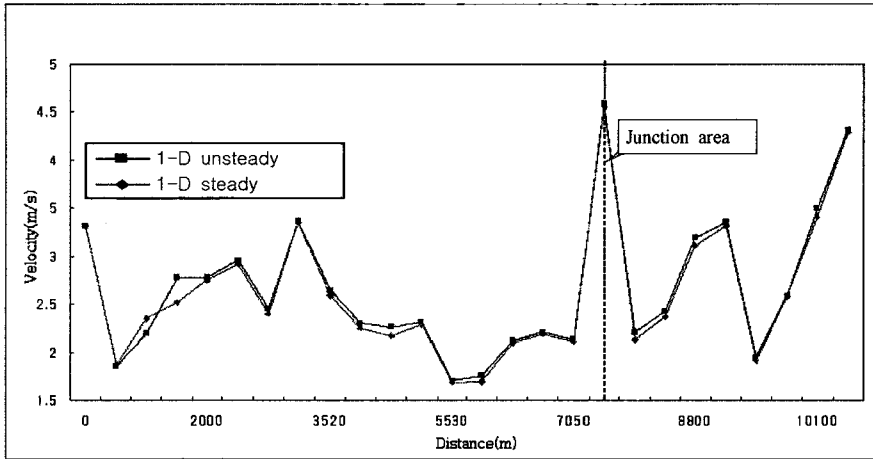


Fig. 4. Current velocities by 1-D steady & unsteady flow changes.

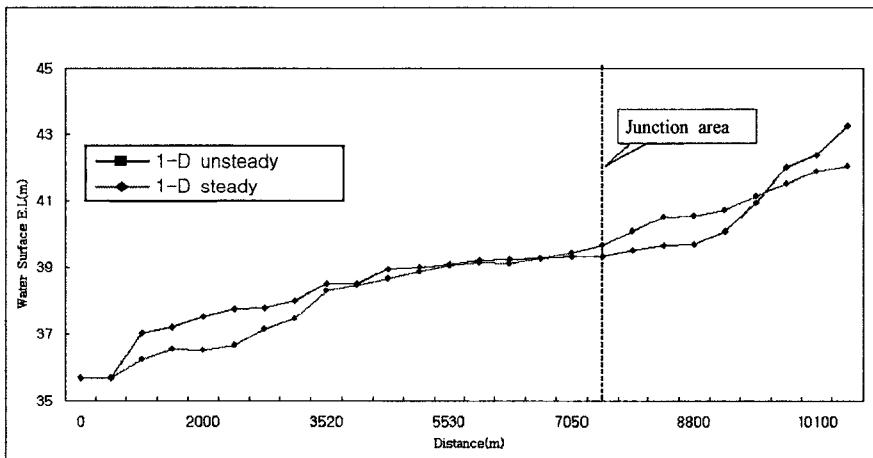


Fig. 5. Flood levels by 1-D steady & unsteady flow changes.

특히, 대체적으로 정류흐름에 비해 유량변화 특성 고려가 가능한 부정류의 흐름에서 유속이 더 빠르게 나타났으며, 홍수위 또한 더 높게 나타난 것으로 분석되었다.

2.2.4. 이차원 흐름특성 분석

본 연구의 대상지역은 금호강 본류하도 중에서 합류부의 지형조건이 비교적 양호하고 수문자료조건이 양호한 동촌수위표지점에서 안심교 상류방향 10.678 km까지로 하였으며, 하도구간은 남천천 합류지점에서 상류방향으로는 금호교까지 3.042 km 이고 하류방향으로는 아양교 수위관측소까지 7.636 km까지이며, 지류의 하도구간은 2.303 km에 대하여

수리학적 특성을 분석하였으며, Fig. 6과 같이 SMS-RMA2 모형을 이용하여 연구대상지역의 격자망을 구성하였다.

이차원 흐름해석모형인 SMS-RMA2를 이용하여 정류·부정류 해석모의를 실시한 결과 연구의 대상지역의 유속 및 홍수위의 변화를 비교한 결과 Fig. 7~Fig. 12와 Table 3과 같다.

유속분포 분석 결과 정류해석인 Fig. 7에 비해 유량변화 특성 고려가 가능한 부정류 해석인 Fig. 8에서의 유속분포가 대체적으로 평균 0.05 m/sec 정도 높게 분포됨을 알 수 있었다. 각 구간별 유속분석결과는 Table 3과 같다.

Table 2. Current velocity & flood level changes by 1-D steady and unsteady flows

Distance(m)	Flow velocity			Water surface elevation		
	Flow steady(m/s)	Flow unsteady(m/s)	Variation(%)	Flow steady(m)	Flow unsteady(m)	Variation(%)
0	3.31	3.31	-	35.7	35.70	-
500	1.87	1.86	-0.53	35.7	35.70	0.00
1,000	2.35	2.19	-6.81	36.25	37.03	0.29
1,500	2.52	2.78	10.32	36.57	37.22	0.24
2,000	2.75	2.78	1.09	36.52	37.52	0.38
2,090	2.92	2.96	1.37	36.68	37.74	0.40
2,590	2.40	2.45	2.08	37.14	37.77	0.24
3,020	3.35	3.36	0.30	37.46	38.01	0.21
3,520	2.59	2.65	2.32	38.28	38.51	0.09
4,020	2.25	2.30	2.22	38.47	38.51	0.02
4,530	2.17	2.26	4.15	38.65	38.95	0.12
5,030	2.29	2.31	0.87	38.84	39.00	0.06
5,530	1.69	1.71	1.18	39.04	39.08	0.02
6,030	1.70	1.76	3.53	39.13	39.20	0.03
6,530	2.09	2.12	1.44	39.11	39.21	0.04
6,790	2.19	2.21	0.91	39.24	39.25	0.00
7,050	2.11	2.13	0.95	39.43	39.32	-0.04
7,550	4.54	4.58	0.88	39.66	39.32	-0.13
8,080	2.13	2.21	3.76	40.09	39.51	-0.23
8,600	2.37	2.43	2.53	40.53	39.66	-0.35
8,800	3.12	3.20	2.56	40.56	39.67	-0.35
8,980	3.31	3.35	1.21	40.72	40.11	-0.24
9,100	1.92	1.95	1.56	41.16	40.96	-0.08
9,600	2.58	2.59	0.39	41.51	42.02	0.21
10,100	3.41	3.49	2.35	41.87	42.37	0.21
10,678	4.29	4.32	0.70	42.05	43.23	0.51

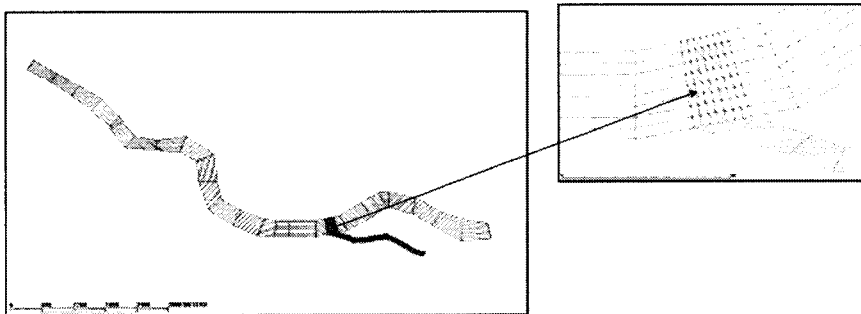


Fig. 6. Mesh composition for the river reach.

홍수위 분포 분석 결과 Fig. 9에서 보는바와 같이 정류해석에 비해 유량변화 특성 고려가 가능한 부정류 해석인 Fig. 10에서의 홍수위분포가 대체적으

로 평균 0.22 m정도 높게 분포됨을 알 수 있었다. 각 구간별 홍수위분석결과는 Table 3과 같다.

Fig. 11~Fig. 12는 위에서 분석한 결과를 그래프

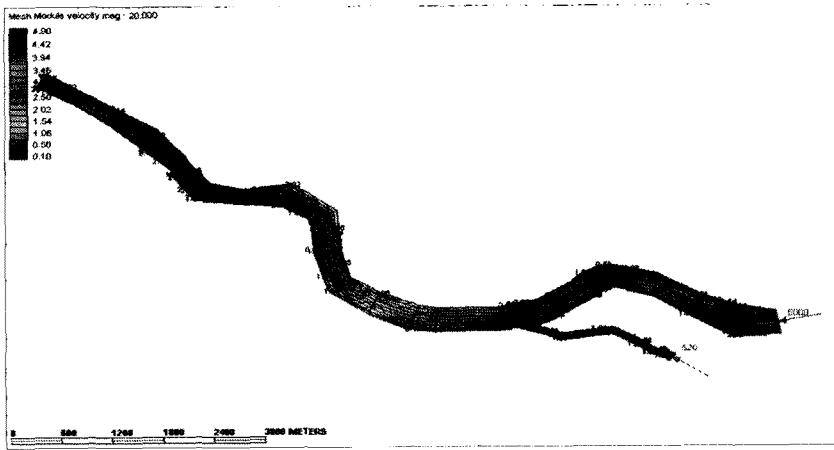


Fig. 7. Two dimensional flow Steady flow it followed in velocity gradient.

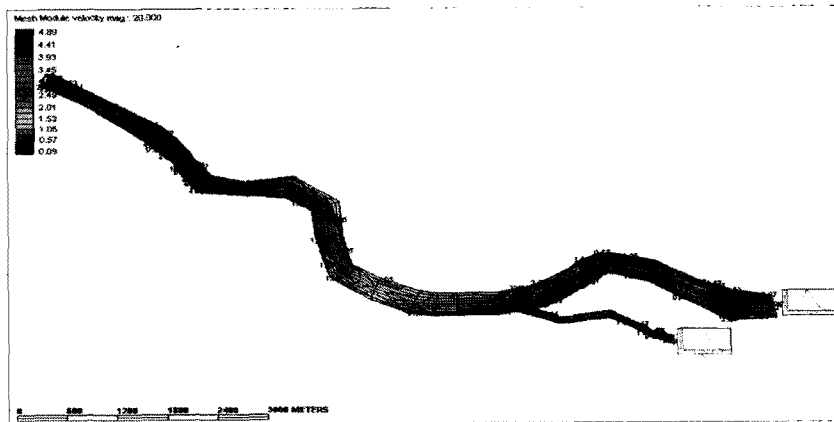


Fig. 8. Two dimensional flow unsteady flow it followed in velocity gradient.

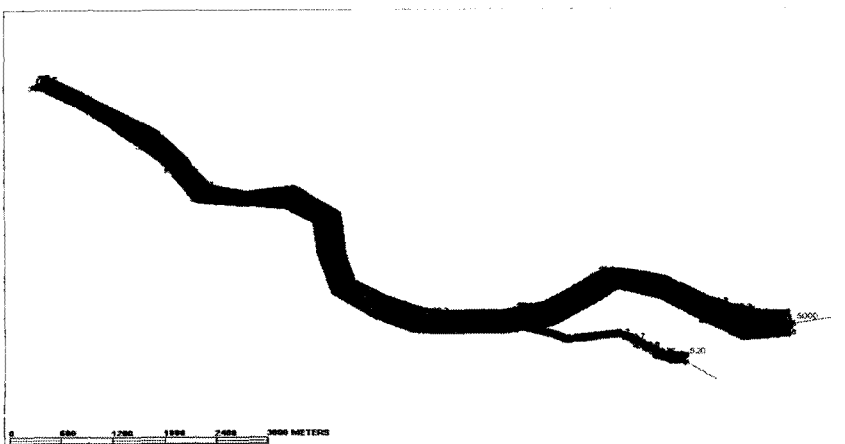


Fig. 9. Two dimensional flow Steady flow it followed in flood elevation change.

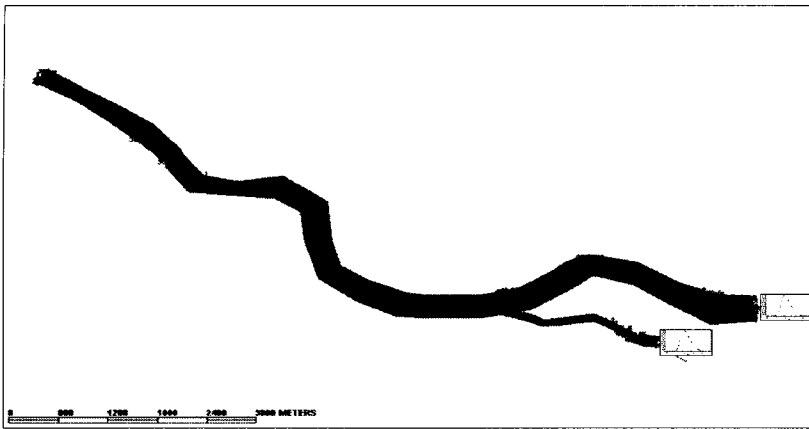


Fig. 10. Two dimensional flow unsteady flow it followed in flood elevation change.

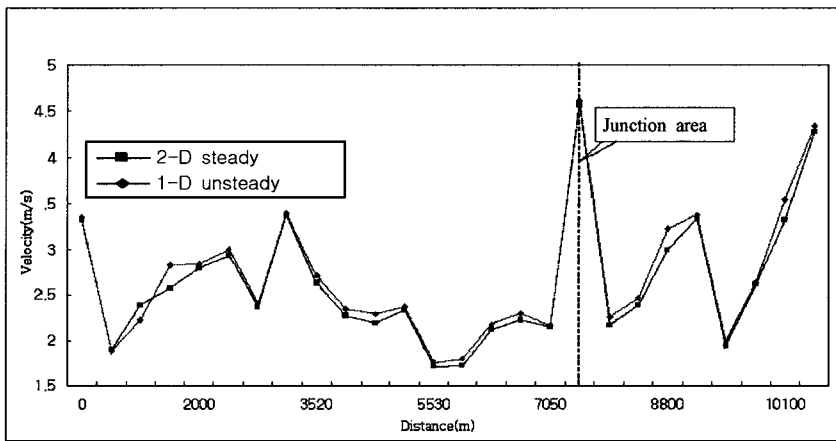


Fig. 11. Two dimensional flow Steady flow & unsteady flow change it followed in velocity gradient.

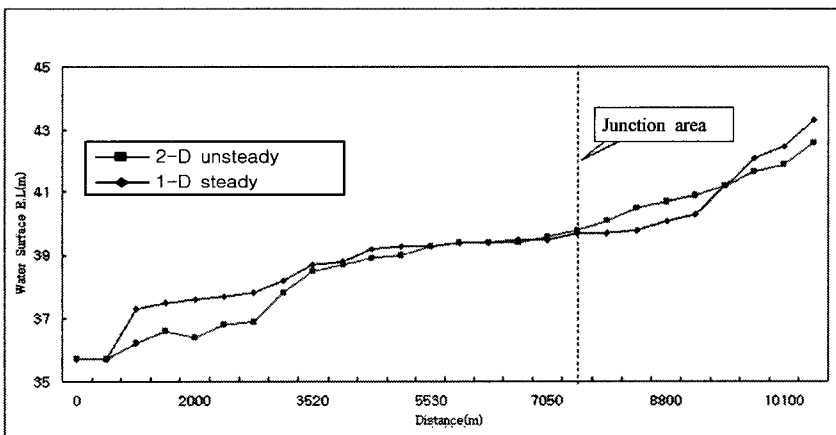


Fig. 12. Two dimensional flow Steady flow & unsteady flow change it followed in flood elevation change.

로 표현한 것으로 하도 전 구간에 걸쳐 대체적으로 정류해석에 비해 유량변화 특성 고려가 가능한 부정류 해석이 높게 나타나는 경향 보이는 것으로 분석되었다.

Table 3에서 보는바와 같이 2차원 정류·부정류 분석 방법 변화를 통한 유속 및 홍수위 분석 결과 유속은 (+)10.12%~(-)6.72%까지의 변화를 보인 것으로 분석되었으며, 평균 2.01%정도 높게 분석되었다. 홍수위 분석 결과는 (+)0.24%~(-)0.45%까지의 변화를 보인 것으로 분석되었으며, 0.09%정도 높게 분석되었다. 또한 1차원해석과 동일하게 합류부 주변에서 4.62 m/sec의 최대 유속이 나타나는 것으로 분석되었으며, 홍수위 변화폭 또한 줄어드는 것으로 분석되었다.

3. 결과 및 고찰

연구대상지역의 1차원 및 2차원 정류·부정류 분석 방법 변화를 통한 유속 및 홍수위 분석 결과는 다음과 같다.

① 1차원 정류해석 시 연구대상지역 내의 유속은 1.69(m/sec)~4.54(m/sec), 홍수위는 35.70(m)~42.05(m)로 분석되었고, 하도 전 구간의 평균유속은 2.62(m/sec), 평균홍수위는 38.86(m)로 분석되었다.

② 1차원 부정류해석 시 유속은 1.71(m/sec)~4.58(m/sec), 홍수위는 35.70(m)~43.23(m)로 분석되었고, 하도 전 구간의 평균유속은 2.66(m/sec), 평균홍수위는 39.02(m)로 분석되었다.

③ 2차원 정류해석 시 연구대상지역 내의 유속은

Table 3. Two dimensional flow Steady flow & unsteady flow change it followed in change

Distance(m)	Flow velocity			Water surface elevation		
	Flow steady(m/s)	Flow unsteady(m/s)	Variation(%)	Flow steady(m)	Flow unsteady(m)	Variation(%)
0	3.33	3.35	-	35.70	35.70	-
500	1.90	1.88	-1.05	35.70	35.70	0.00
1,000	2.38	2.22	-6.72	36.20	37.30	0.41
1,500	2.57	2.83	10.12	36.60	37.50	0.34
2,000	2.79	2.84	1.79	36.40	37.60	0.45
2,090	2.94	3.01	2.38	36.80	37.70	0.34
2,590	2.36	2.40	1.69	36.90	37.80	0.34
3,020	3.38	3.40	0.59	37.80	38.20	0.15
3,520	2.63	2.71	3.04	38.50	38.70	0.08
4,020	2.26	2.34	3.54	38.70	38.80	0.04
4,530	2.18	2.28	4.59	38.90	39.20	0.12
5,030	2.33	2.36	1.29	39.00	39.30	0.12
5,530	1.71	1.75	2.34	39.30	39.30	0.00
6,030	1.72	1.80	4.65	39.40	39.40	0.00
6,530	2.11	2.17	2.84	39.40	39.40	0.00
6,790	2.22	2.29	3.15	39.40	39.50	0.04
7,050	2.14	2.15	0.47	39.60	39.50	-0.04
7,550	2.16	2.19	1.39	39.80	39.70	-0.04
8,080	4.57	4.62	1.09	40.10	39.70	-0.16
8,600	2.38	2.46	3.36	40.50	39.80	-0.28
8,800	3.16	3.24	2.53	40.70	40.10	-0.24
8,980	3.34	3.38	1.20	40.90	40.30	-0.24
9,100	1.94	1.99	2.58	41.20	41.20	0.00
9,600	2.61	2.63	0.77	41.70	42.10	0.17
10,100	3.42	3.55	3.80	41.90	42.50	0.26
10,678	4.30	4.35	1.16	42.60	43.30	0.30

1.71(m/sec)~4.57(m/sec), 홍수위는 35.70(m)~42.60(m)로 분석되었고, 하도 전 구간의 평균유속은 2.65(m/sec), 평균홍수위는 38.99(m)로 분석되었다.

④ 2차원 부정류해석 시 유속은 1.75(m/sec)~4.62(m/sec), 홍수위는 35.70(m)~43.30(m)로 분석되었고, 하도 전 구간의 평균유속은 2.70(m/sec), 평균홍수위는 39.02(m)로 분석되었다.

이상의 결과로 볼 때 정류해석에 비해 유량변화 특성 고려가 가능한 부정류 해석 시 대체적으로 값들이 크게 분석되었으며, 1차원적 해석에 비해 하천 단면 특성고려가 가능한 2차원 해석이 좀 더 크게 분석됨을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 일차원 수리해석모형인 HEC-RAS와 이차원 수리해석모형인 SMS-RMA2를 이용한 자연하도 합류부에서 수리학적 거동특성을 분석을 실시하였다.

1차원 및 2차원 정류·부정류 해석을 위해 실측값을 이용한 최적 매개변수의 추정 결과 조도계수 0.035, 난류교환계수 1850 N-s/m², 격자크기 25 m×30 m, Density 1000 kg/m³, Coriolis forces latitude 0으로 분석 되었다.

선행된 최적매개변수의 추정을 토대로 HEC-RAS와 SMS-RMA2 모형의 정류해석 및 부정류 해석을 실시하여 그 결과를 비교분석한 결과 흐름 상태를 1차원 정류 및 부정류 흐름으로 고려하여 검토한 결과, 정류 해석에 비해 유량변화 특성 고려가 가능한 부정류 해석시 유속은 (+)10.32~(-)6.81%의 증감을 보인 것으로 나타났으며 홍수위는 (+)0.35%~(-)0.51%의 증감변화가 나타났다. 이러한 분석결과로 볼 때 1차원 흐름에서는 대체적으로 유량변화 특성 고려가 가능한 부정류로 해석할 경우가 정류로 해석할 경우에 비하여 홍수위와 유속이 크게 나타난 것으로 분석되었으며, 흐름 상태를 2차원 정류

및 부정류 흐름으로 고려하여 검토한 결과, 정류 해석에 비해 부정류 해석시 유속은 (+)10.12%~(-)6.72%의 증감을 보인 것으로 나타났으며 홍수위는 (+)0.24%~(-)0.45%의 증감변화가 나타났다. 이러한 분석결과로 볼 때 2차원 흐름에서는 대체적으로 유량변화 특성 고려가 가능한 부정류로 해석할 경우가 정류로 해석할 경우에 비하여 홍수위와 유속이 크게 나타난 것으로 분석되었다.

따라서, 하도설계 및 수리학적특성 분석을 위해서는 홍수시 흐름 특성을 충분히 반영할 수 있는 2차원 부정류로 검토하는 것이 적합할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 1) De V., Geldof H. J., 1983, Main Flow Velocity in Short River Bends, J. of Hydraulics Div., ASCE, 7(109), 991-1011.
- 2) 한건연, 이종태, 이을래, 이재영, 1998, 도시하천 합류부에서의 수리해석, 한국수자원학회 1998년 학술발표회 논문집, 309-314.
- 3) 한건연, 김지성, 양승호, 2004, 낙동강 주요 합류부에서의 동역학적 수리해석, 한국수자원학회 2004년 학술발표회 논문집, 908-911.
- 4) 장창래, 김정근, 고익환, 이배성, 2006, 합류부에서 흐름 및 하상변동 수치모의(금강과 미호천), 한국수자원학회 2006년 학술발표회 논문집, 1621-1625.
- 5) 이인아, 최홍식, 2007, 사행하천 제방설치에 따른 합류부 1차원 및 2차원 수리특성, 한국수자원학회 2007년 학술발표회 논문집, 1277-1281.
- 6) 박수진, 서동일, 이진태, 최한규, 2007, 만곡부 하천의 수리모형과 수치해석을 통한 수리학적 특성 연구, 한국수자원학회 2007년 학술발표회 논문집, 1297-1301.
- 7) 임동희, 안승섭, 문상철, 김동필, 2008, 해석방법에 따른 산지소하천과 도시하천의 수리학적 변화 특성 비교 분석, 한국수자원학회 2008년 학술발표회 논문집, 1698-1702.
- 8) 안승섭, 임동희, 서명준, 이효정, 2008, 하도 합류부의 수리학적 특성을 고려한 RMA2 모형 매개변수의 민감도 분석, 한국환경과학회지, 17(7), 783-793.