

하도 합류부의 수리학적 특성을 고려한 RMA2 모형 매개변수의 민감도 분석

안승섭 · 임동희* · 서명준** · 이효정**

경일대학교 건설정보공학과, *한국건설기술연구원 수문연구실, **경일대학교 대학원
(2008년 4월 4일 접수; 2008년 5월 29일 채택)

Sensitivity Analysis of RMA2 Model Parameter Variation with Hydraulic Characteristics of Stream Junction Area

Seung-Seop Ahn, Dong-Hee Yim*, Myung-Joon Seo** and Hyo-Jung Lee**

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

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

***Graduate School, Kyungil University, Gyeongsangbuk-Do 712-701, Korea*

(Manuscript received 4 April, 2008; accepted 29 May, 2008)

Abstract

The purpose of this study is to analyze the sensitivity of the RMA2 model parameters reflecting the flow characteristics of stream junction and thus understand the hydraulic characteristics of the channel confluence flow. This study dealt with the input parameters of the RMA-2 model, a two-dimensional numerical analysis model widely used for researches both at home and abroad. The parameters of the RMA-2 model are roughness coefficient, turbulent diffusion coefficient, Coriolis forces latitude, Density, and mesh size. This study those parameters estimated from actual heavy rainfall, and varied the parameter size by (-)30%~+30% to review the characteristics of the flow characteristics of the channel section. We observed that when the ratio of the channel width was relatively small, the smaller the approaching angle was, the farther from the junctions became the generating place of the maximum flow velocity, however, when the ratio of the channel width was relatively large, the larger the approaching angle was, the farther the generating place of the maximum flow velocity from the junctions became. In particular, the distance between junctions and the place where the maximum flow velocity generated showed an absolute correlation over 90% of the relative channel width, but an inverse relation was found when the distance to the place where the flow velocity generated was shortened as relative the channel width between the main channel and tributary increased.

Key Words : RMA2 model parameter variation, Sensitivity analysis, Hydraulic characteristics, Stream junction

1. 서 론

현재 대부분의 하천관리에서 흐름의 분석은 하천

구간내의 1차원 분석이 주가 되어져 왔으나 1차원 분석은 하천 단면에 다른 수면차, 유속분포를 분석할 수 없다는 단점을 갖고 있다. 특히 유량 및 유속은 급속도로 늘어나는 홍수시에는 평소보다 하상 및 홍수터에 큰 변화가 발생하기 때문에 그 오차가

더욱 커질 수 있다. 특히 SMS-RMA2모형은 2차원 유속벡터와 자유수면의 표고 등을 하천측량자료를 이용해 만들어진 유한요소망의 각 절점에서 계산하므로 지형학적 자료를 쉽게 적용할 수 있고, 시간에 따른 유량, 수위를 값 또는 곡선으로 입력하여 모의할 수 있고, 시간에 따른 Wet/Dry부분도 모의가 가능하다. 또한 하천은 친환경적이면서도 안정적인 하도의 설계를 위해서는 실제유역에서 장기간 관측된 충분한 자료를 기초로 한 다양한 수리학적 검토 결과를 이용하여 하도 형태에 따른 수리학적 영향을 충분히 고려하여야 한다. 그러나 자연하도 만족부나 합류부에서 합류부의 매개변수인 조도계수, 난류교환계수, 격자크기, Coriolis forces latitude, Density 등의 변화에 따른 변화의 고려는 거의 실시하고 있지 않은 실정이다.

본 연구에서는 이차원 수치해석모형인 SMS-RMA2를 이용하여 자연하도구간에 대한 특성인자를 변화하여 수리특성을 파악하여 검토 하고자 하며 수리특성의 범위는 홍수위 유속, 가속 및 정체구간해석 등과 배수영향, 편홍수위 영향 등에 대한 내용을 포함하였으며, 해석결과의 신뢰성 검증은 기존의 연구자들에 의한 연구결과와 비교하였다. 또한 여기서 검증된 모형 매개변수를 이용하여 실제 하도구간의 합류부를 대상으로 하여 매개변수에 따른 수리특성을 검토함으로써, 하도구간의 항구적인 안정성을 확보하기위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

하천 합류부에서 기본적인 지형 형상은 Y혹은 T형상이며, 합류점 하류에서 사주의 발달로 인하여 X자 형태로 발달하기도 하고¹⁾, 이 형상에 의해 합류점과 분류점이 동시에 존재하고, 이것은 망상하천을 형성하는 가장 근본적인 단위체이다. 하천의 합류부에서 하상변동은 분류와 지류가 접하기 직전의 유입구에서 형성되는 흐름의 쇄도면 형성, 하상의 세굴영역 발생, 분류와 지류의 합류 후에 형성된 흐름의 분리구역에서 형성된 사주와 같은 3가지 특징이 있다²⁾.

국내의 경우 모형을 이용한 흐름해석에 관한 연구는 가상만곡수로에서 구조물 위치에 따른 수리특성에 관한 연구³⁾가 수행된바 있으며, 하천합류부에서의 동수역학적 해석에 관한 연구⁴⁾와 하도 합류부의 기하학적 특성과 유량조건에 따른 수리학적 특

성 해석 관한 연구⁵⁾가 수행 되었고, 하도 합류부 형태에 따른 수리학적 거동특성의 연구가 수행된바 있다^{6,7)}. 그러나 합류부의 기하학적 형태와 수문학적 변화양상이 수리학적 특성에 미치는 영향을 구체적으로 정량화한 연구결과는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 최근에 하천의 수리해석에 많이 이용되고 있는 RMA2모형을 이용하여 실제 호우사상을 대상으로 모델 매개변수를 검증한 후 이들 매개변수를 이용하여, 매개변수의 변화가 하천 합류부의 수문 및 기하학적 특성에 미치는 영향을 검토하는데 목적이 있다.

2. 합류부 흐름 해석 모형의 이론

2.1. 기본방정식

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 (1)~(2)와 같이 기술된다.

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

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

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. 여러 가지의 항이 증가된 난류 유체의 내부 전단응력, 또는 Reynolds 때문에, Navier-stokes 방정식의 점성력 항에 첨가된다. 따라서, 이러한 수정들은 Navier-Stokes 방정식의 Reynolds 형태로 나타난다.

Reynold 식을 식 (1)~(2)와 조합하여 정의하면 연속방정식은 식(3)과 같고, 운동방정식은 각각 식 (4)~(6)과 같다. 또한 전단응력항은 식(7)과 같다.

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

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

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

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

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

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 필요로 하게 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 Coriolis력, 바람에 의한 전단력 및 경계마찰을 나타내는 외부 인력 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 수직항(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.

2.2. 매개변수의 특성

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 n값을 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 현상에 근거하지 않은 값이므로 안정성을 위해 필수적으로 필요한 수치점성가치를 포함하며, 모형의 안정성을 저해하지 않는 범위 내의 작은 값을 부여하게 된다. 만일, 난류 교환계수가 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 지정된 값에서 시작하여 계산 값이 수렴할 때까지 값을 변화시켜 가는 것이 일반적이다.

3. 수리특성 분석

3.1. 연구대상지역의 선정

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

본 연구에서는 실제 호우사상을 대상으로 모델 매개변수를 검증한 후 시간적 변화에 따른 흐름특성 분석을 실시하였으며, 연구대상지역의 경계조건으로는 상류부의 유량조건은 금호강 하천정비 기본계획에서 검토된 빈도별 홍수량 및 홍수수문곡선을 결정하였으며, 하류부의 수위조건은 금호강의 배수위 계산을 통하여 검토된 빈도별 홍수위를 이용하였다.

3.2. 매개변수의 추정

본 연구에서는 실측 검증을 통한 모의검증 결과

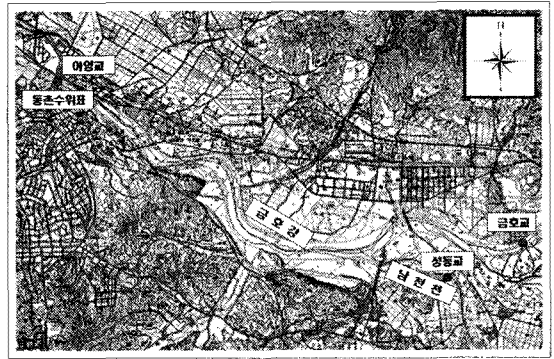
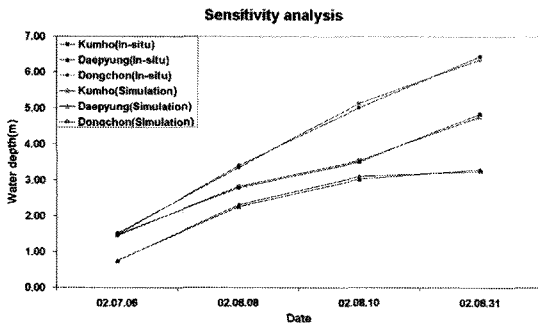


Fig. 1. Study area.

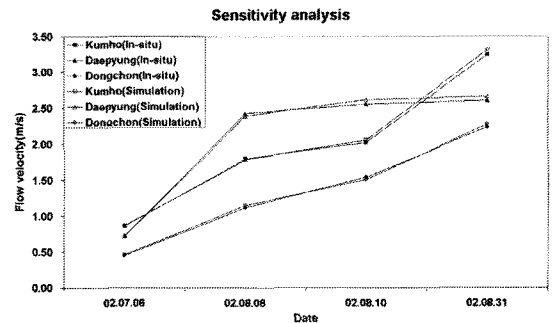
Fig. 2와 같이 적정 매개변수의 추정을 하여 RMA2에 대해 적용하여 수리특성을 파악하기 위하여 분석을 실시하였다.

모형의 매개변수 검증을 위한 초기자료는 조도계수 0.034, 난류교환계수 2000 N-s/m², 격자크기 25 m×30 m, 최대모의시간 40시간, 시간간격 0.5시간, 전향력 0, 밀도 1000 kg/m³으로 적용하였으며, 매개변수 검증을 위한 실측값은 건설교통부 낙동강홍수통제소에서 발행한 낙동강수계(금호강)유량측정조사 보고서(2002.12)의 자료 중 4개의 호우사상에 대해 검증을 실시한 결과 Fig. 2와 같다.

실측값을 통한 모의 검증 결과 Fig. 2와 같이 최적 매개변수를 변화 시켜 추정한 결과 조도계수는 0.035, 난류교환계수 1850 N-s/m², 격자크기 25 m×30 m, 밀도 1000 kg/m³, 전향력 0으로 분석 되었다(단, 조도계수 값은 SMS모형의 특성상 하도 전 구간에 대해 일괄적용 하게 되어 있으므로 하도 전 구간에



(a) Water depth



(b) Flow velocity

Fig. 2. Results of sensitivity analysis.

대해 일괄된 적용 값임).

3.3. 합류부 수리특성인자

하천의 합류부에서의 흐름에 대한 수리학적특성은 2개 하천의 합류형태와 수문조건에 따라서 변화된다고 가정하였다.

분석을 위한 합류형태에 관한 변수로는 Fig. 3에서 나타낸 바와 같이 본류와 지류의 수치해석 결과의 고찰 인자로는 합류점에서부터 최대 유속(V_{max}) 발생지점까지의 거리(L_L, L_x, L_y), 최대 등유속선에 대한 범위(A_{Vmax}), 하류 정체구간의 거리(l_d) 및 상류 정체유속 발생 거리(l_u) 등을 설정하였다.

3.4. 격자망 구성 및 합류부 흐름 해석

본 연구의 대상지역은 금호강 본류하도 중에서 합류부의 지형조건이 비교적 양호하고 수문자료조건이 양호한 동춘홍수위표지점에서 안심교 상류방향 10.678 km까지로 하였으며, 하도구간은 남천천 합류지점에서 상류방향으로는 금호교까지 3.042 km이고 하류방향으로는 아양교 홍수위관측소까지 7.636 km까지이며, 지류의 하도구간은 2.303 km에 대하여 Fig. 4와 같이 격자망을 구성하였다.

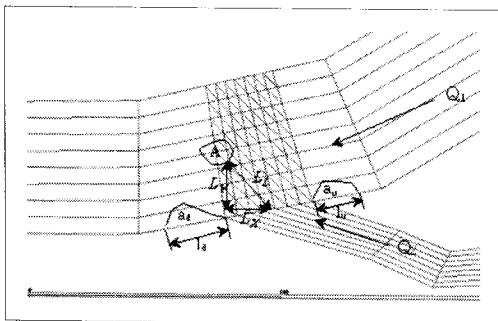


Fig. 3. Analysis condition for flow analysis of stream junction⁷⁾.

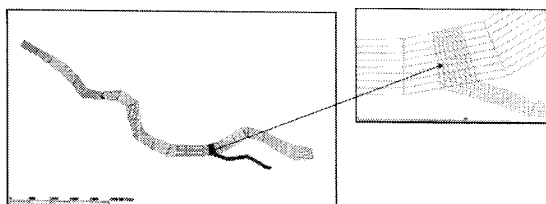


Fig. 4. Mesh composition for study area.

3.4.1. 조도계수 변화에 따른 흐름해석

일반적으로 조도계수를 결정하는 방법으로는 하도상황 및 하상재료의 상태에 따라 추정하는 방법과 홍수흔적 조사나 홍수위-유량 곡선에 의한 추정방법이 있다. 유로내 유속의 결정에 있어서 조도계수는 상당한 비중을 차지하게 된다. 특히, 홍수시에는 홍수터 부분과 주수로 부분간의 조도계수에 차이가 발생하여 유속분포가 확연히 달라지게 된다. 조도계수 산정방법으로는 대부분 실험식에 의한 경험치가 많이 사용되는데, 그 중에서도 대표적으로 Manning의 n값을 많이 이용하고 있다. 본 연구에서는 실측검증으로 검토된 0.035를 기준으로 하여 (+)30%~(-)30%까지를 변화시킨 결과 Fig. 5와 Table 1~Table 2와 같다.

이상의 결과로 볼 때 상·하류 정체구간에서의 유속은 조도계수가 감소할수록 증가하나 증가폭은 미소한 것으로 분석되었으며, 하류정체구간의 거리는 조도계수가 감소할 때 멀어지며, 변화폭이 클수록 정체구간이 커지는 것으로 분석되었다. 또한 합류부의 최대유속은 조도계수가 감소할수록 증가하며, 조도계수가 증가할 때 보다 감소할 때의 최대유속 증가폭이 더 큰 것으로 분석되었다. 특히, 합류부 주변 상·하류 정체구간의 유속은 (-)6.98~(+162.52% 증가하였으며, 합류부 최대유속은 (-)15.63~(+31.56% 증가한 것으로 분석되었다.

3.4.2. 난류교환계수 변화에 따른 흐름해석

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 검증에 매우 중요한 요소이다. 따라서 본 연구에서는 실측검증으로 검토된 1850 N·s/m²를 기준으로 하여 (+)30%~(-)30%까지를 변화시킨 결과 Fig. 6과 Table 3~Table 4와 같다.

이상의 결과로 볼 때 상·하류 정체구간에서의 유속은 난류교환계수 값이 감소할수록 유속은 증가하며 변화폭이 클수록 증감폭이 커지는 것으로 분석되었으며, 상류정체구간의 거리는 난류교환계수 값이 증가할수록 멀어지는 것으로 분석되었다. 또한

Table 1. Hydraulic parameter values by roughness coefficient

	l_d (m)	V_d (m/sec)	a_d (m ²)	l_u (m)	V_u (m/sec)	a_u (m ²)	L_X (m)	L_Y (m)	L_L (m)	V_{max} (m/sec)	A_{max} (m ²)
-30%	112.79	0.69	354.90	307.09	0.69	334.12	51.30	96.88	51.53	4.21	12.98
-25%	124.18	0.66	471.54	263.44	0.66	557.71	50.98	93.50	111.47	3.74	317.76
-20%	119.08	0.53	309.52	230.62	0.53	305.82	51.01	97.50	112.83	3.64	152.55
-15%	116.22	0.50	292.14	220.81	0.50	413.34	52.73	92.62	111.73	3.62	7.75
-10%	118.78	0.50	325.88	218.40	0.50	574.84	52.36	100.05	112.92	3.36	162.55
-5%	111.45	0.44	188.26	217.95	0.44	484.42	50.89	94.40	107.16	3.35	7.45
0%	109.21	0.43	135.19	217.57	0.43	532.26	58.10	92.00	112.61	3.20	44.08
+5%	106.43	0.40	94.15	218.65	0.40	492.08	50.96	93.97	110.95	3.14	3.45
+10%	112.01	0.44	259.42	213.28	0.44	668.24	51.50	95.77	216.26	2.96	119.05
+15%	112.07	0.43	291.60	216.28	0.43	699.94	50.42	94.87	110.95	2.95	8.30
+20%	122.11	0.43	422.21	214.60	0.43	273.32	50.59	99.22	115.23	2.76	210.12
+25%	135.17	0.42	516.73	211.29	0.42	449.80	52.88	95.23	113.15	2.75	52.87
+30%	126.25	0.42	634.54	215.55	0.42	252.02	51.33	95.40	111.54	2.70	10.85

Table 2. Hydraulic parameter values variation by roughness coefficient

	l_d (%)	V_d (%)	a_d (%)	l_u (%)	V_u (%)	a_u (%)	L_X (%)	L_Y (%)	L_L (%)	V_{max} (%)	A_{max} (%)
-30%	3.28	60.47	162.52	41.15	60.47	-37.23	-11.70	5.30	-54.24	31.56	-70.55
-25%	13.71	53.49	248.80	21.08	53.49	4.78	-12.25	1.63	-1.01	16.88	620.87
-20%	9.04	23.26	128.95	6.00	23.26	-42.54	-12.20	5.98	0.20	13.75	246.08
-15%	6.42	16.28	116.10	1.49	16.28	-22.34	-9.24	0.67	-0.78	13.13	-82.42
-10%	8.76	16.28	141.05	0.38	16.28	8.00	-9.88	8.75	0.28	5.00	268.76
-5%	2.05	2.33	39.26	0.17	2.33	-8.99	-12.41	2.61	-4.84	4.69	-83.10
0%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5%	-2.55	-6.98	-30.36	0.50	-6.98	-7.55	-12.29	2.14	-1.47	-1.88	-92.17
10%	2.56	2.33	91.89	-1.97	2.33	25.55	-11.36	4.10	92.04	-7.50	170.08
15%	2.62	0.00	115.70	-0.59	0.00	31.50	-13.22	3.12	-1.47	-7.81	-81.17
20%	11.81	0.00	212.31	-1.37	0.00	-48.65	-12.93	7.85	2.33	-13.75	376.68
25%	23.77	-2.33	282.23	-2.89	-2.33	-15.49	-8.98	3.51	0.48	-14.06	19.94
30%	15.60	-2.33	369.37	-0.93	-2.33	-52.65	-11.65	3.70	-0.95	-15.63	-75.39

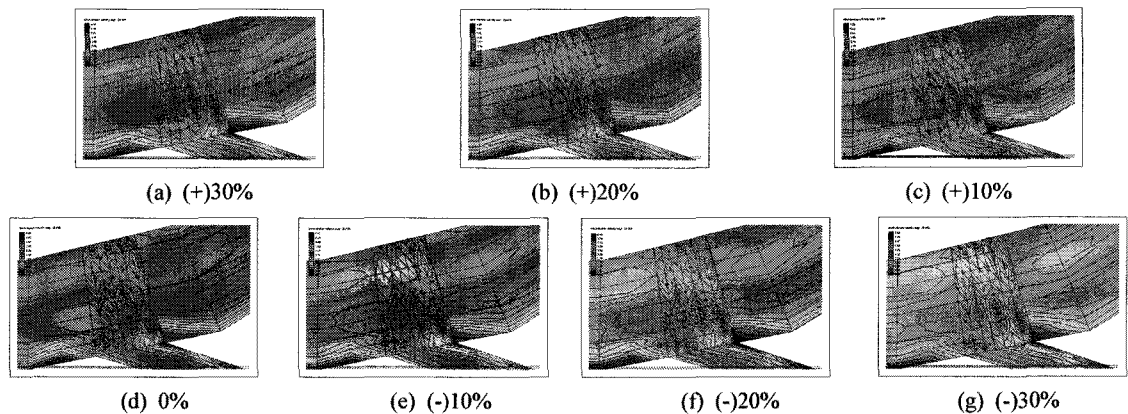
**Fig. 5.** Coefficient of roughness.

Table 3. Hydraulic parameter values by turbulent coefficient

	l_d (m)	V_d (m/sec)	a_d (m ²)	l_u (m)	V_u (m/sec)	a_u (m ²)	L_X (m)	L_Y (m)	L_L (m)	V_{max} (m/sec)	A_{max} (m ²)
-30%	110.39	0.47	119.58	221.39	0.47	764.85	52.13	95.02	111.29	3.33	2.20
-25%	109.86	0.47	129.91	220.18	0.47	833.00	51.01	92.94	110.62	3.33	0.99
-20%	108.07	0.43	71.36	218.71	0.43	629.78	51.14	96.60	111.14	3.31	2.85
-15%	110.35	0.45	166.65	217.60	0.45	730.31	51.67	96.87	111.85	3.25	26.31
-10%	112.46	0.44	136.91	214.24	0.44	523.76	52.17	96.14	113.16	3.24	29.86
-5%	110.97	0.42	99.58	216.67	0.42	528.60	50.77	97.54	113.54	3.22	31.42
0%	109.21	0.43	135.19	217.57	0.43	532.26	58.10	92.00	112.61	3.20	44.08
+5%	109.34	0.43	372.82	215.84	0.43	475.32	54.54	91.07	113.02	3.20	32.89
+10%	112.04	0.43	219.46	214.32	0.43	452.43	52.35	89.26	113.20	3.20	14.97
+15%	116.37	0.43	183.68	218.04	0.43	439.30	54.90	89.25	112.29	3.20	7.11
+20%	116.43	0.43	280.85	215.09	0.43	391.28	50.83	93.56	110.64	3.20	2.23
+25%	115.39	0.42	185.01	214.19	0.42	363.01	52.49	91.53	112.07	3.19	1.63
+30%	114.36	0.40	141.30	212.54	0.40	271.98	52.85	90.87	111.80	3.17	2.56

Table 4. Hydraulic parameter values variation by turbulent coefficient

	l_d (%)	V_d (%)	a_d (%)	l_u (%)	V_u (%)	a_u (%)	L_X (%)	L_Y (%)	L_L (%)	V_{max} (%)	A_{max} (%)
-30%	1.08	9.30	-11.55	1.76	9.30	43.70	-10.28	3.28	-1.17	4.06	-95.01
-25%	0.60	9.30	-3.91	1.20	9.30	56.50	-12.20	1.02	-1.77	4.06	-97.75
-20%	-1.04	0.00	-47.22	0.52	0.00	18.32	-11.98	5.00	-1.31	3.44	-93.53
-15%	1.04	4.65	23.27	0.01	4.65	37.21	-11.07	5.29	-0.67	1.56	-40.31
-10%	2.98	2.33	1.27	-1.53	2.33	-1.60	-10.21	4.50	0.49	1.25	-32.26
-5%	1.61	-2.33	-26.34	-0.41	-2.33	-0.69	-12.62	6.02	0.83	0.63	-28.72
0%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5%	0.12	0.00	175.77	-0.80	0.00	-10.70	-6.13	-1.01	0.36	0.00	-25.39
10%	2.59	0.00	62.33	-1.49	0.00	-15.00	-9.90	-2.98	0.52	0.00	-66.04
15%	6.56	0.00	35.87	0.22	0.00	-17.47	-5.51	-2.99	-0.28	0.00	-83.87
20%	6.61	0.00	107.74	-1.14	0.00	-26.49	-12.51	1.70	-1.75	0.00	-94.94
25%	5.66	-2.33	36.85	-1.55	-2.33	-31.80	-9.66	-0.51	-0.48	-0.31	-96.30
30%	4.72	-6.98	4.52	-2.31	-6.98	-48.90	-9.04	-1.23	-0.72	-0.94	-94.19

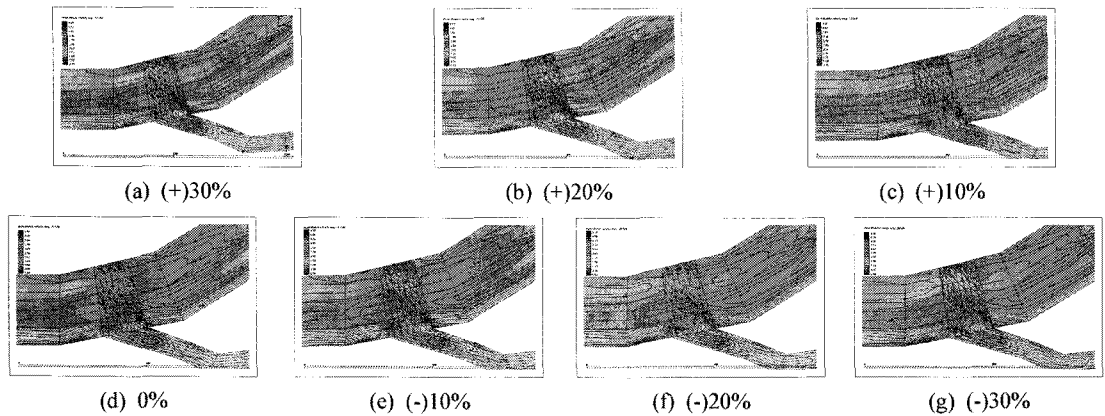


Fig. 6. Turbulent coefficient.

합류부의 최대유속도 난류교환계수 값이 감소할수록 증가하며, 증가할수록 미소하게 감소하는 것으로 분석되었다. 특히, 합류부 주변 상·하류 정체구간의 유속은 (-)6.98~(+)9.30% 증가하였으며, 합류부 최대유속은 (-)0.94~(+)4.06% 증가한 것으로 분석되었다.

3.4.3. 전향력 변화에 따른 흐름해석

전향력은 실제 흐름에 대한 물리적 흐름의 제약 조건을 반영하는 힘을 말하며 허용범위를 하도구간이 짧은 경우 보통 0을 적용한다. 따라서 전향력 허용범위 기준을 0으로 하여 (+)30%~(-)30%까지를

변화시킨 결과 Fig. 7과 Table 5~Table 6과 같다.

이상의 결과로 볼 때 상·하류 정체구간에서의 유속은 전향력이 감소할수록 증가하나 미소한 증가폭을 보이는 것으로 분석되었으며, 상류정체구간의 거리는 전향력이 증·감할수록 멀어지며, 변화폭이 클수록 정체구간이 커지는 것으로 분석되었다. 또한 합류부의 최대유속은 전향력이 감소할수록 증가하나 미소한 증가폭을 보이는 것으로 분석되었다. 특히, 합류부 주변 상·하류 정체구간의 유속은 0.00~(+)2.33% 증가하였으며, 합류부 최대유속은 0.00~(+)0.31% 증가한 것으로 분석되었다.

Table 5. Hydraulic parameter values by coriolis forces latitude coefficient

	l_d (m)	V_d (m/sec)	a_d (m')	l_u (m)	V_u (m/sec)	a_u (m')	L_x (m)	L_y (m)	L_L (m)	V_{max} (m/sec)	A_{max} (m')
-30%	114.08	0.44	187.62	218.73	0.44	525.70	96.87	49.66	111.31	3.21	29.80
-25%	113.12	0.43	159.95	214.83	0.43	505.56	96.20	50.52	112.30	3.20	40.84
-20%	111.97	0.43	156.44	215.07	0.43	502.05	99.53	50.95	112.74	3.20	40.76
-15%	114.90	0.43	157.10	217.69	0.43	499.04	96.90	51.74	112.47	3.20	40.21
-10%	113.98	0.43	155.66	217.37	0.43	505.28	98.58	50.65	111.91	3.20	39.36
-5%	112.61	0.43	157.37	217.19	0.43	510.78	97.58	50.64	112.26	3.20	39.71
0%	109.21	0.43	135.19	217.57	0.43	532.26	58.10	92.00	112.61	3.20	44.08
+5%	113.41	0.43	153.30	219.98	0.43	513.07	95.23	50.79	112.23	3.20	39.72
+10%	111.39	0.43	157.03	218.03	0.43	506.34	97.40	51.24	112.49	3.20	38.44
+15%	113.64	0.43	150.78	218.17	0.43	510.47	99.61	52.45	111.97	3.20	37.82
+20%	114.73	0.43	155.30	217.28	0.43	517.77	98.82	51.89	112.63	3.20	37.59
+25%	114.19	0.43	152.62	217.31	0.43	528.78	98.68	51.34	112.37	3.20	37.70
+30%	114.42	0.43	154.50	217.69	0.43	531.23	97.89	51.46	111.50	3.20	37.74

Table 6. Hydraulic parameter values variation by coriolis forces latitude coefficient

	l_d (%)	V_d (%)	a_d (%)	l_u (%)	V_u (%)	a_u (%)	L_x (%)	L_y (%)	L_L (%)	V_{max} (%)	A_{max} (%)
-30%	4.46	2.33	38.78	0.53	2.33	-1.23	66.73	-46.02	-1.15	0.31	-32.40
-25%	3.58	0.00	18.31	-1.26	0.00	-5.02	65.58	-45.09	-0.28	0.00	-7.35
-20%	2.53	0.00	15.72	-1.15	0.00	-5.68	71.31	-44.62	0.12	0.00	-7.53
-15%	5.21	0.00	16.21	0.06	0.00	-6.24	66.78	-43.76	-0.12	0.00	-8.78
-10%	4.37	0.00	15.14	-0.09	0.00	-5.07	69.67	-44.95	-0.62	0.00	-10.71
-5%	3.11	0.00	16.41	-0.17	0.00	-4.04	67.95	-44.96	-0.31	0.00	-9.91
0%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5%	3.85	0.00	13.40	1.11	0.00	-3.61	63.91	-44.79	-0.34	0.00	-9.89
10%	2.00	0.00	16.16	0.21	0.00	-4.87	67.64	-44.30	-0.11	0.00	-12.79
15%	4.06	0.00	11.53	0.28	0.00	-4.09	71.45	-42.99	-0.57	0.00	-14.20
20%	5.05	0.00	14.88	-0.13	0.00	-2.72	70.09	-43.60	0.02	0.00	-14.72
25%	4.56	0.00	12.89	-0.12	0.00	-0.65	69.85	-44.20	-0.21	0.00	-14.47
30%	4.77	0.00	14.28	0.06	0.00	-0.19	68.49	-44.07	-0.99	0.00	-14.38

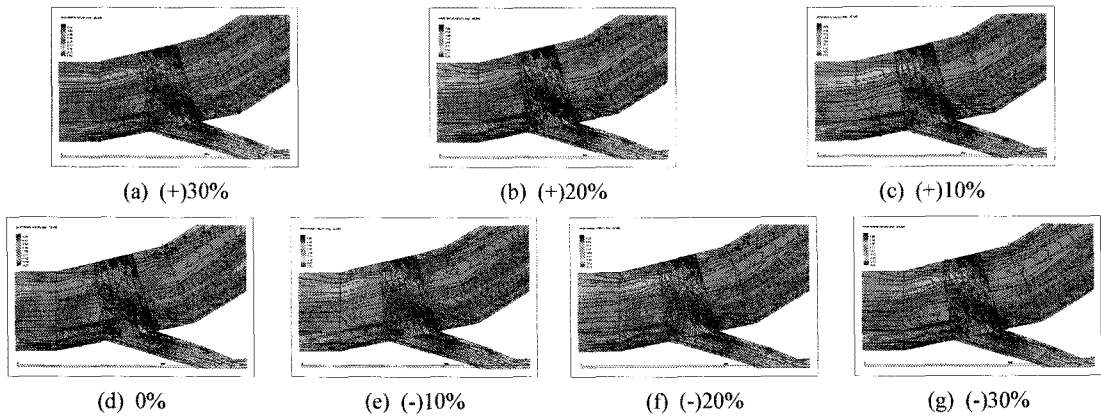


Fig. 7. Coriolis forces latitude coefficient.

3.4.4. 격자크기 변화에 따른 흐름해석

본 연구에서는 격자망 구성시 사용된 단면자료는 1997년 금호강 하천정비 기본계획에서 조사 측량된 단면자료를 기준으로 하여 합류부 부분 격자 간격을 25 m×30 m을 기준으로 하여 15 m×20 m, 5 m×10 m로 줄여 가면서 분석한 결과 Fig. 8과 Table 7~Table 8과 같다.

이상의 결과로 볼 때 상·하류 정체구간에서의 유속은 격자크기가 작아질수록 빨라지는 것으로 분석되었으며, 상·하류 정체구간의 거리는 격자크기가 작아질수록 멀어지는 것으로 분석되었다. 또한 하류 정체구간의 면적은 격자크기가 작아질수록 면적이 커지는 것으로 분석되었고, 합류부의 최대유속은 격자크기가 작아질수록 증가하는 것으로 분석

Table 7. Hydraulic parameter values by mesh size

	l_d (m)	V_d (m/sec)	a_d (m ²)	l_u (m)	V_u (m/sec)	a_u (m ²)	L_X (m)	L_Y (m)	L_L (m)	V_{max} (m/sec)	A_{max} (m ²)
25 m×30 m	109.21	0.43	135.19	217.57	0.43	532.26	58.1	92.00	112.61	3.20	44.08
15 m×20 m	192.90	0.43	90.97	201.30	0.43	1009.34	23.03	21.33	13.70	3.58	47.80
5 m×10 m	262.13	0.53	402.47	228.65	0.53	4216.45	2.006	10.45	10.48	5.94	0.59

Table 8. Hydraulic parameter values variation by mesh size

	l_d (%)	V_d (%)	a_d (%)	l_u (%)	V_u (%)	a_u (%)	L_X (%)	L_Y (%)	L_L (%)	V_{max} (%)	A_{max} (%)
25 m×30 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15 m×20 m	76.63	0.00	-32.71	-7.48	0.00	89.63	-60.36	-76.82	-87.83	11.88	8.44
5 m×10 m	140.02	23.26	197.71	5.09	23.26	692.18	-96.55	-88.64	-90.69	85.63	-98.66

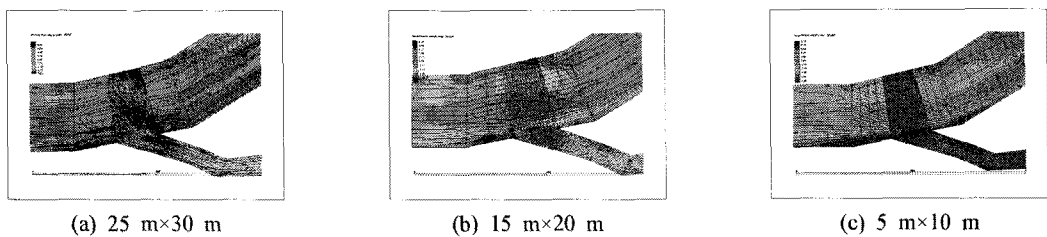


Fig. 8. Mesh size.

되었다. 특히, 합류부 주변 상·하류 정체구간의 유속은 (+)0.00~(+)23.26% 증가하였으며, 합류부 최대유속은 (+)11.88~(+)85.63% 증가한 것으로 분석되었다. 또한 격자 크기에 따른 민감도 분석은 다른 매개변수 변화에 따른 분석에 비해 전체적인 변화 크기가 큰 것으로 분석되었다.

4. 결과 및 고찰

4.1. 조도계수 변화에 따른 민감도 분석

조도계수의 변화가 흐름현상에 미치는 영향은 다음과 같다.

- ① 상·하류 정체구간에서의 유속은 조도계수가 감소할수록 증가하며, 그 변화폭은 (-)2.33~(+)60.47%의 증·감을 보였다.
- ② 하류정체구간의 거리는 조도계수가 감소할 때 멀어지며, 변화폭은 (-)2.89~(+)41.15%의 증·감을 보였다.
- ③ 합류부의 최대유속은 조도계수가 감소할수록 증가하며, 조도계수가 증가할 때 보다 감소할 때의 최대유속 증·감폭은 (-)15.63~(+)31.56으로 분석되었다.

4.2. 난류교환계수 변화에 따른 민감도 분석

- ① 상·하류 정체구간에서의 유속은 난류교환계수 값이 감소할수록 유속은 증가하며, 변화폭이 클수록 증·감폭이 커지는 것으로 분석되었으며, 그 변화폭은 (-)6.98~(+)9.30%의 증·감을 보였다.
- ② 상류정체구간의 거리는 난류교환계수 값이 증가할수록 멀어지며, 그 변화폭은 (-)1.04~(+)6.61%의 증·감을 보였다.
- ③ 합류부의 최대유속은 난류교환계수 값이 감소할수록 증가하며, 증가할수록 미소하게 감소하였으며, 그 변화폭은 (-)0.94~(+)4.06%의 증·감을 보였다.

4.3. 전향력 변화에 따른 민감도 분석

- ① 상·하류 정체구간에서의 유속은 전향력이 감소할수록 증가하나 미소한 증가폭을 보였으며, 그 변화폭은 0.00~(+)2.33%의 증·감을 보였다.
- ② 합류부의 최대유속은 전향력이 감소할수록 증

가하나 미소한 증가폭을 보였으며, 그 변화폭은 0.00~(+)0.31%의 증·감을 보이는 것으로 분석되었다.

4.4. 격자크기 변화에 따른 민감도 분석

- ① 상·하류 정체구간에서의 유속은 격자크기가 작을수록 빨라지는 것으로 분석되었으며, 그 변화폭은 0.00~(+)23.26%의 변화를 보였다.
- ② 상·하류 정체구간의 거리는 격자크기가 작아질수록 멀어지는 것으로 분석되었으며, 상류 정체구간의 경우 (+)76.63~(+)140.02%, 하류 정체구간의 경우 (-)7.48~(+)5.09%의 증·감을 보였다.
- ③ 하류 정체구간의 면적은 격자크기가 작아질수록 면적이 커지며, (+)89.63~(+)692.18%의 변화를 보였다.
- ④ 합류부 최대유속은 격자크기가 작아질수록 증가하였으며, (+)11.88~(+)85.63%의 변화를 보이는 것으로 분석되었다.

5. 결론

본 연구에서는 하천 합류부의 흐름특성을 반영하는 매개변수의 민감도분석을 실시함으로써 하도 합류부 흐름에 대한 수리학적 특성을 규명하는데 목적을 두었다. 연구를 위하여 국내외에서 널리 이용되고 있는 이차원 수리해석모형인 RMA-2모형의 입력 매개변수를 대상으로 하였다. RMA-2모형의 매개변수는 조도계수, 난류교환계수, 전향력, 격자크기 등이 있다. 본 연구에서는 실제 호우로부터 추정된 매개변수를 이용하여 매개변수의 크기를 (-)30%~+30%까지 변화시키면서 하도구간의 흐름에 대한 변동특성을 검토한 결과 하천 흐름의 이차원해석에 사용되는 모형 매개변수는 조도계수, 난류교환계수, 격자크기, 전향력 순으로 민감도가 높음을 알 수 있었다. 따라서 향후 이차원 수리해석 모형을 이용할 경우 조도계수, 난류교환계수, 격자크기에 따라 매개변수의 선정을 신중하게 판단할 필요가 있는 것으로 판단된다.

참고 문헌

- 1) Ashworth P. J., 1996, Mid-channel bar growth and its

- relationship to local flow strength and direction, *Earth Surf, Processes Landforms*, 21, 103-123.
- 2) Best J. L., 1988, Sediment transport and bed morphology at river channel confluences, *Sedimentology*, 35, 481-498.
 - 3) 임동희, 송인렬, 안승섭, 이증석, 2005, 가상만곡수로에서 구조물 위치에 따른 수리특성에 관한 연구 -실제하도를 대상-, *한국환경과학회 학술발표회논문집*, 한국환경과학회, 142-147.
 - 4) 정제룡, 2003, 하천합류부에서의 동수역학적 해석, 석사학위논문, 토목공학과, 경북대학교, 대구.
 - 5) 안승섭, 최수철, 임동희, 2007, 하도합류부의 기하학적 특성과 유량조건에 따른 수리학적 특성 해석, *한국환경과학회지*, 16(4), 495-503.
 - 6) 박용섭, 2003, 합류부에서 유량 및 접근각도 변화에 따른 수리학적 특성분석, 인천대학교 박사학위논문, 163pp.
 - 7) 임동희, 최수철, 안승섭, 박노삼, 2006, 하도합류부에서 수리학적 거동 특성, *한국환경과학회 학술대회논문집*, 한국환경과학회, 183-186.