

GIS를 이용한 낙동강-금호강 합류부의 2차원 유한요소해석*

황재홍¹ · 한건연² · 남기영¹ · 최승용^{3*}

The 2D Finite Element Analysis in Nakdong-Kumho River Junction using GIS*

Jae-Hong HWANG¹ · Kun-Yeun HAN² · Ki-Young NAM¹
Seung-Yong CHOI^{3*}

요 약

홍수 시 흐름은 기본적으로 2차원 흐름으로서 이 때 하천 흐름의 수위와 유속 분포는 1차원 하천 모형으로 적절한 결과를 도출하기 어렵다. 이에 본 연구에서는 GIS를 이용하여 낙동강의 합류점에 대한 2차원 유한요소망을 구축하고 RMA-2모형을 이용하여 모의를 수행하였다. 이를 위해 모형의 매개변수들이 해석결과에 미치는 영향을 검토하였으며, 모형의 적용성을 검토하기 위해 금호강 합류부에 대해 흐름해석을 실시하고 검증하였다. 또한 하천의 단면 변화에 따른 흐름변화를 판단하기 위하여 과거 단면과 최근 단면에 대해 모의를 실시하고 비교·검토하였다. 그 결과 합류부에 대한 2차원 모형의 적용성을 검증하고 단면변화의 영향이 수위에 미치는 영향을 확인하여, 향후 합류부 처리, 하구부 처리, 제방축조 등에 효율적으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

주요어 : 유한요소모형, RMA-2, 낙동강 합류부, GIS

ABSTRACT

Usually in flood flow problems, one-dimensional approach does not provide the required details of complex flow phenomena such as the flow in braided rivers and river junction. In this study, two-dimensional finite element mesh is constructed using DEM and GIS tool, and applied to RMA-2model. The purpose of this study is to investigate the applicability of the two dimensional model in natural rivers and to analyze characteristics of river flow due to the change of cross section. For model calibration, the result of unsteady flow analysis was

2009년 6월 16일 접수 Received on June 16, 2009 / 2009년 8월 20일 수정 Revised on August 20, 2009 / 2009년 8월 30일 심사완료 Accepted on August 30, 2009

* 이 연구는 과학기술부가 출연하고 수자원의 지속적 확보기술개발사업단에서 위탁 시행한 21세기 프론티어 연구개발사업중 "RAM2 모형의 확장개발 및 상용화"(과제번호2-3-3)에 의해 수행되었음.

1 경북대학교 공과대학 건축·토목공학부 석사과정 Master course, School of Archi. & Civil Engineering, Kyungpook National University

2 경북대학교 공과대학 건축·토목공학부 교수 Professor, School of Archi. & Civil Engineering, Kyungpook National University

3 경북대학교 공과대학 건축·토목공학부 박사과정수료 Corresponding author, Ph.D. Candidate, School of Archi. & Civil Engineering, Kyungpook National University

※ 연락처 E-mail : ecofriend@knu.ac.kr

compared with the observed data. Accordingly, the SMS model in this study prove to be very effective and reliable tool for the simulation of hydrodynamic characteristics under the various flow conditions.

KEYWORDS : *Finite Element Model, RMA-2, Nakdong River Junction, GIS*

서 론

최근 이상기후는 태풍 ‘루사’, ‘매미’와 같은 슈퍼 태풍의 발생을 야기하였고 이로 인해 막대한 홍수피해가 발생하였다. 또한 이에 대한 하천흐름의 동수역학적 해석을 위해 여러 가지 수치기법들에 대한 연구가 진행되고 발전되어져 왔다. 현재 국내에서는 측량자료이용과 모형적용의 용이성을 이유로 1차원 점변부정류 해석프로그램인 HEC-RAS 모형을 많이 사용하고 있으며 대부분의 흐름해석에서 1차원 해석모형을 적용하고 있는 실정이다. 그러나 홍수 시 하천의 곡부나 합류부에서의 흐름은 기본적으로 2차원 흐름으로서 이 경우 하천 흐름의 수위와 유속 분포는 1차원 하천 모형으로 적절한 결과를 도출하기 어렵다(건설교통부, 2004). 특히 우리나라와 같이 하천에 하구둑, 보, 기타 하천 구조물이 많은 경우에는 2차원적인 흐름 해석은 경우에 따라 필수적이다. 따라서 이러한 복잡한 하천 흐름 문제를 해결하기 위해서 2차원적인 해석이 필요한 실정이다.

하천에서의 동역학적 흐름해석을 위한 유한요소법의 적용은 다양한 형태로 연구가 진행되어왔다. Malcherek와 Zielke(1994)는 이송-확산방정식에 대하여 다양한 Galerkin기법의 변형형태를 사용하여 오차해석을 실시하였다. 유한요소기법의 실제 유역에 대한 적용 연구의 예로서는 Kawahara 등(1982)이 양해적으로 쌍곡선형 미분방정식을 해석하는 Taylor-Galerkin 기법을 도입하여 해석하였고, Samuels(1985)는 홍수터에서의 부정류 해석을 위해서 유한요소 기법을 이용하였다. Adefw와 Wang(1985)은 감

쇠형 유한요소기법을 이용하여 해석하였으며, DeLong(1985)은 사행하도의 흐름특성 해석을 위하여 collocation 기법을 적용하였다. 또한 Hicks와 Steffler(1992,1994)는 특성선과 감쇠형 유한요소법에 의해서 상류-사류의 천이영역에서의 부정류 해석을 실시하였다.

국내에서의 유한요소기법에 대한 연구로는 한건연 등(1993)은 2차원 천수방정식을 감쇠형 유한요소기법에 의하여 해석하였으며, 또한 한건연 등(1996a, b)이 개수로에서 동수역학 과 동방정식 유한요소해석에 의한 모형개발 및 점변, 급변 부정류등의 다양한 흐름조건에 대한 적용성 검토 등을 실시하였다.

적용모형인 RMA-2모형은 기존에 적용된 결과가 많으나 단면의 형상에 대한 적정성, 그리고 난류교환계수 등의 매개변수가 모의에 미치는 영향검토를 통한 모형의 적정성을 고려하여 모의를 수행하지 못하였다. 이에 본 연구에서는 보다 안정적인 수치모의를 수행하기 위하여 RMA-2 모형에 적용되는 매개변수들이 해석결과에 미치는 영향을 검토하고 모의를 수행하였으며, 2차원 모형의 적용성을 검토하기 위해서 낙동강의 주요합류부인 금호강 합류부에 대해 2차원 흐름해석을 실시하고 실측치와 비교를 통해 검증된 1차원 모형인 HEC-RAS를 이용하여 검증을 실시하였다.

또한 기존의 2차원 수리해석은 모형을 적용하고 실측치 및 해석해와 비교를 통하여 모형의 적용성을 검증한데 반하여, 본 논문에서는 지형학적인 단면 변화에 따른 흐름의 변화를 판단하기 위하여 과거 단면과 최근 단면에 대해 2차원 모의를 실시하고 비교/검토 하여 횡단면에서의 수위변화와 시간에 따른 수위변화 등과 같은 수리학적 영향을 검토하였다. 이를

통해 향후 합류부 처리, 하구부 처리, 제방축조 등에 효율적으로 활용될 수 있는 것으로 판단된다.

기본 방정식

1. 지배방정식

RMA-2 모형은 2차원 질량 연속방정식과 2차원 Navier-Stokes의 힘-운동량 방정식을 난류영역을 고려하기 위하여 Reynolds 형태로 나타냈으며 지배방정식은 식 (1)~(3)과 같다. 연속방정식;

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

x 방향 운동방정식;

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \\ - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

y 방향 운동방정식;

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} \\ - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

여기서, \bar{u}_i , \bar{p}_i 는 시간평균치를 취한 유속 및 압력항이고, u_i' , p_i' 는 변동속도 및 변동압력성분이다.

위의 방정식들은 물리적 흐름의 제약조건을 반영하는 항들이 도입되어야한다. 이러한 것들은 Coriolis 힘, 바람에 의한 전단력, 그리고 경계마찰을 나타내는 외부 인력항들을 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.

위의 가정에 따라 식 (1)에 대하여 수심평균치를 취하면 식 (4)의 연속방정식이 유도된다.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} + h \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) = 0 \quad (4)$$

또한 식 (2)~(3)에 수심평균치를 취하고, Coriolis항, 지류유입항, 바람응력항을 포함한 후 양변에 ρh 를 곱하여 2차원으로 고려하면 식 (5)~(6)과 같이 정리된다.

$$\begin{aligned} \rho \left(h \frac{\partial u}{\partial t} + hu \frac{\partial u}{\partial x} + hv \frac{\partial u}{\partial y} + gh \left(\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial z_0}{\partial x} \right) \right. \\ \left. + \frac{g}{C^2} u |V| + u q_s - \Omega v h \right) \\ - h \frac{\partial}{\partial x} \left(\epsilon_{xx} \frac{\partial u}{\partial x} \right) - h \frac{\partial}{\partial y} \left(\epsilon_{xy} \frac{\partial u}{\partial y} \right) - W_x = 0 \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \rho \left(h \frac{\partial v}{\partial t} + hu \frac{\partial v}{\partial x} + hv \frac{\partial v}{\partial y} + gh \left(\frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\partial z_0}{\partial y} \right) \right. \\ \left. + \frac{g}{C^2} v |V| + v q_s + \Omega u h \right) - h \frac{\partial}{\partial x} \left(\epsilon_{xy} \frac{\partial v}{\partial x} \right) \\ - h \frac{\partial}{\partial y} \left(\epsilon_{yy} \frac{\partial v}{\partial y} \right) - W_y = 0 \end{aligned} \quad (6)$$

RMA-2 모형 매개변수의 영향 검토

1. 단면형상에 대한 검토

TABLE 1. 하상조건에 따른 조도계수의 변화

하상조건	n 값
하상조건이 양호한 하천	0.025~0.035
수심이 깊은 하천	0.018~0.025
식생이 없는 해안	0.020~0.030
식생피복이 많은 습지	0.050~0.100

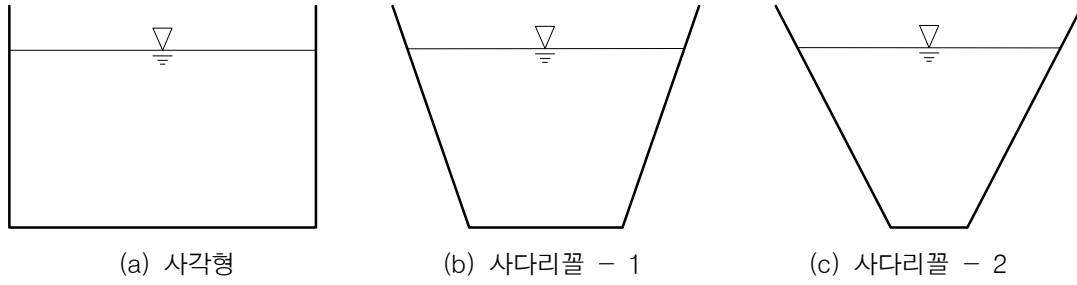


FIGURE 1. 대상 단면의 형상

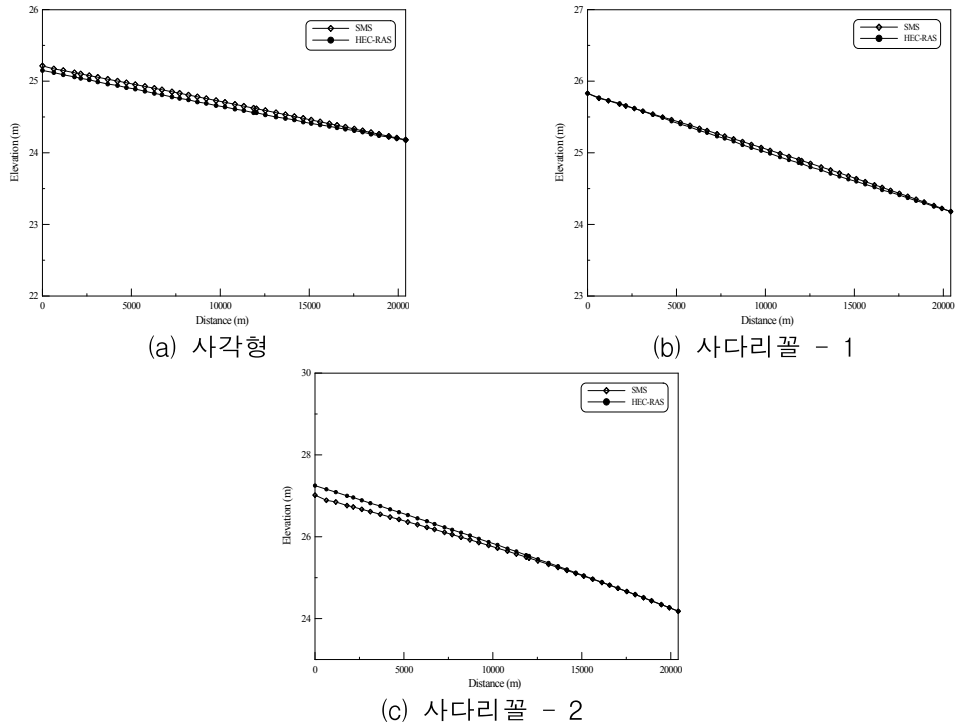


FIGURE 2. 대상단면에서의 모의결과

적용모형의 단면의 형상에 따른 영향을 검토하기 위해 그림 1과 같은 사각형 단면과 두 가지 형태의 사다리꼴 단면에 대해 적용해보았다. 또한 하상의 재료는 Manning의 조도계수인 n 값으로 지형특성에 대해 표 1을 검토하여 0.025를 사용하였다. 결정된 조도계수와 지형에 대하여 상류에 $200m^3/s$ 의 유량경계조건을 부여하

였으며 하류단에는 $24.1m$ 의 수위경계조건을 적용하였고 적용결과를 그림 2와 같이 1차원 HEC-RAS모형과 비교하였다. 비교결과 단면형상의 변화에 따른 수위의 변화량은 SMS모형보다 HEC-RAS 모형이 더 큰 것으로 나타났으며, 본 모형은 단면형상과 조도계수를 고려한 적절한 모의가 가능 할 것으로 판단된다.

2. 난류 교환계수

난류교환계수는 와점성계수라고도 한다. 일반적으로 계산과정 중 안정성에만 문제가 발생하지 않는다면 가능한 한 낮은 값을 유지하여야 한다. 난류확산계수가 너무 높으면 안정된 해는 가능하지만 적합한 모형흐름분포는 나타내지 못하는 경우가 있으며, 너무 낮은 경우에는 해가 불안정하여 심각한 동요를 유발할 수 있다(Donnell, 2000).

난류교환계수는 단지 물리적인 현상에만 근거하는 것이 아니며, 이는 안정성을 위해 필수적으로 필요한 수치점성까지 포함한다. 유한요소망의 간격, 예상유속, 동역학적 특성 등이 모두 초기 난류교환계수 선정에 반영되어야 하며, 모형의 초기에는 표 2에서처럼 지정된 값에서 시작하여 계산된 값이 수렴할 때까지 값을 변화시키는 것이 일반적이다(Donnell, 2000).

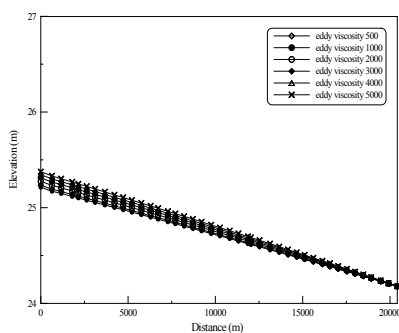
난류교환계수에 대한 영향을 검토하기 위해

서 앞에서 모의된 사각형단면과 사다리꼴 단면-1을 사용하였고, 단면에 대한 영향검토에서 사용된 것과 같은 경계조건을 부여하였다. 그림 3은 각각의 경우에 대한 모의된 난류교환계수의 영향을 비교한 그래프이다.

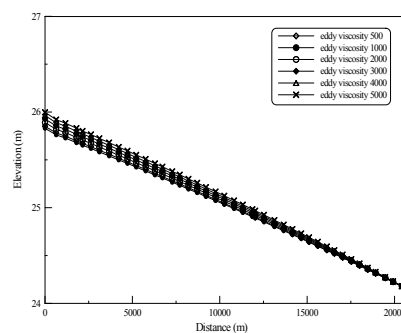
난류교환계수로 사용되는 와점성계수의 값에 따른 수위변화양상을 살펴보면, 첫째, 와점성계수의 값이 증가할수록 수위의 값은 증가한다. 그러나 와점성계수의 값이 커질수록 수위의 증가는 점점 작아짐을 알 수 있다. 둘째, 유량의 값이 감소할수록 와점성계수에 대한 수위의 변화값이 작아짐을 볼 수 있다. 마지막으로 사각형 단면보다 사다리꼴 단면에서 수위의 변화값이 더 큰 값을 가진다. 하지만 와점성계수의 값의 변화에 따라서 수위의 변화가 크게 나타나지 않는 것으로 판단되어 모의수행이 안정할 수 있는 범위 내에서 다소 큰 값을 사용해도 무방하다고 판단된다.

TABLE 2. 흐름조건에 따른 와점성계수의 변화

흐름 조건	ϵ 값 (lb · sec / ft ²)	ϵ 값 (N · sec / m ²)
천수역의 하천 (저유속 흐름)	5~25	240~1200
천수역의 하천 (빠른 유속 흐름)	25~50	1200~2400
깊은 해안 (작은 요소 사용시)	50~100	2400~4800
깊은 해안 (큰 요소 사용시)	200~300	9500~14400
wetting과 drying 선택사양 사용 (조석모형)	100~200	4800~9500
수공구조물 주위 흐름	1~5	50~240



(a) 사각형



(b) 사다리꼴

그림 3. 와점성계수에 따른 수위결과비교

GIS를 이용한 2차원 유한요소망의 구축

1. 1차원 측량자료의 변환

국내에서의 GIS 사업은 95년 5월 정부가 국가지리정보체계 구축 기본계획을 확정, 발표함으로써 기본지형도의 수치지도화 사업, 관련기술 개발, 전문인력의 육성, 자료 입력 및 교환 표준화 등에서 범국가차원의 GIS 구축을 위한 노력이 계속되고 있다. 그러나 하천에서의 종합적인 수자원 및 수질보존대책을 위한 계획 수립 필요성에도 불구하고 입·출력 자료의 구성 및 도시가 산술적으로만 이루어져 하천유량 및 수질관리시스템의 구축에 관한 어려움이 존재하고 있고, 해석결과의 단순제시에만 그치고 있어 대량의 수문자료 관리 및 오염원들에 대한 하천 내에서의 편집 및 가공을 통한 과학적 분석에는 한계가 있었다. 그러므로 지형과 관련된 모든 형태의 정보를 효율적으로 획득, 저장, 갱신, 수정, 분석 및 도시할 수 있는 지형정보시스템은 하천의 흐름 및 수질관리에 매우 유용하게 응용될 수 있다. 이를 위해 본 연구에서는 ArcView GIS를 이용하여 하도구간에 대한 유한요소망을 구축하였다.

하천에 대한 지형자료를 구축하기 위해서 먼저 대상유역에 대한 1:25000의 수치지도를 선정하였다. 일반적으로 하천정비기본계획 수립 시 활용하고 있는 횡단측량성과는 1:1000~1:5000 수준의 성과 수준으로 본 연구에서 선

정한 1:25000 수치지형도는 하천횡단측량 성과와 부합되지 않을 수도 있다. 그러나 본 논문에서 2차원 모의를 위해 구성한 유한요소망은 대부분 하천횡단자료의 측정성과만을 기본적으로 사용하고 있기 때문에 수치지형도와 부합되지 않는 문제는 모형 전체에 중대한 영향은 미치지 않을 것으로 판단된다. 따라서 수치지형도와 하천횡단측량 성과의 부합문제는 향후 논문을 통하여 검토할 예정이다.

해당하는 수치지도를 TM좌표계를 가진 Shape file로 변환하였으며 변환한 결과는 그림 4(a)와 같다. 그림 4(a)와 같이 수치지도를 변환하여 하천의 지형자료를 구축하는 경우 수치지도상에 하천 내부 측정자료가 충분하지 않기 때문에 본 논문에서는 하천의 지형자료 추출을 위하여 1차원으로 측량되어있는 하천정비기본계획의 HEC단면을 사용하고자한다.

1차원 지형자료를 변환하기 위해서는 먼저 1차원 지형자료에 대하여 2차원 TM좌표를 입력하여야 한다. 본 연구에서는 해당하는 수치지형도에 대하여 낙동강과 금호강에 대한 하천정비 기본계획을 참고하여 선정된 1:25000 수치지형도상에 지형자료를 구축하고자하는 HEC단면의 좌/우안의 제방지점에 대하여 그림 4(b)와 같이 입력하였다. ArcView GIS상의 좌/우안의 입력된 좌표를 이용하여 1차원 지형자료를 2차원 GUI상에서 표출하기위하여 제방의 양안좌표를 입력 한 후 HEC-geoRAS를



FIGURE 4. 1차원 지형자료 변환과정

이용하여 1차원 지형자료를 TM좌표가 입력된 2차원 자료로써 ArcView GIS 상에 그림 4(c)와 같이 도출하였다.

2. 2차원 유한요소망의 구성

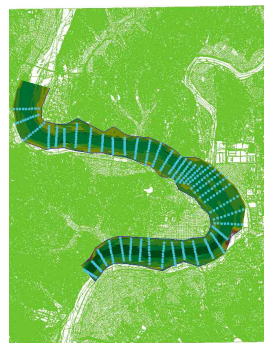
2차원 수치해석을 위해서는 정확한 계수를 선정하고, 실제지형과 거의 일치하는 지형자료 구축을 통하여 모의를 수행하는 것이 가장 정확한 방법이다. 그러나 2차원해석의 안정성에 영향을 주는 가장 큰 요인중하나가 유한요소망의 적정성이며 대부분의 2차원모형은 정방형에 가까울수록 안정적인 모의를 수행한다. 따라서 그림 4(c)와 같이 불규칙간격으로 2차원 상에 도출된 단면자료를 직접적으로 이용하여 유한요소망을 구성하는 방법보다는 적절한 형태의 유한요소망을 구축할수 있도록 수정이 필요하다고 여겨진다. 또한 본 연구의 대상구간은 하천과 제대지를 포함구간이 아닌 하천내부만을 대상으로 모의를 수행하고자 하므로 그림 4(c)와 같이 불규칙간격으로 2차원 상에 도출된 단면자료를 통하여 모의대상 하천구간에 대하여 그림 5(a)과 같이 불규칙삼각망(TIN)을 구축하였고, 각 단면에 대하여 등간격 혹은 모형을 안정성에 영향을 미치지 않고 지형을 반영할 수 있는 간격으로 그림 5(b)와 같이 필요한 node를 생성하였다. 그림 5(b)

에서 생성된 node들은 지형의 표고를 가지지 않고 TM좌표의 값만 입력된 자료이므로 불규칙삼각망(TIN)의 위에 생성된 node에 올려 지형표고정보를 추출하였다. TM좌표가 입력된 node들은 SMS의 전처리 기능을 이용하여 유한 요소망을 구축하였고 구축된 유한 요소망과 지형에 대한 contour는 그림 5(c)와 같다. 위에서 언급된 GIS를 이용한 2차원 유한요소망 구축순서는 다음과 같다.

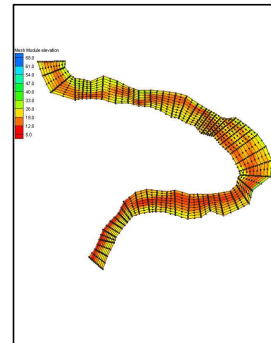
- ① 대상단면의 수치지도 선정.
- ② 수치지도상에 하천정비기본계획의 Hec단면의 양안제방좌표 입력.
- ③ 양안제방의 좌표에 대한 정보를 HEC-RAS 상에 입력하고, HEC-geoRAS를 이용하여 1차원 HEC단면을 2차원 수치지형도상에 표출.
- ④ 모의안정성을 위하여 불규칙간격의 point로 구성된 대상구간내에서 모형을 안정성에 영향을 미치지 않고 지형을 반영할 수 있는 간격으로 node 생성.
- ⑤ 대상구간내의 불규칙간격의 point를 이용하여 불규칙삼각망(TIN)을 구축
- ⑥ 생성된 node에 TIN의 지형표고정보를 추출
- ⑦ 범용 프로그램의 전처리 기능을 이용 2차원 유한요소망 구축



(a) 해당지역에 대한 TIN



(b) 필요간격으로 배분된 node

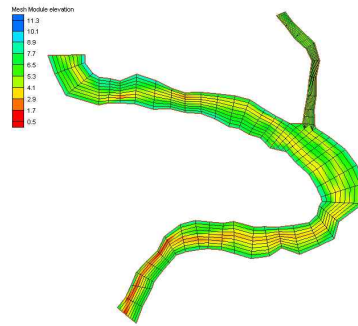


(c) 구축된 유한요소망

FIGURE 5. 2차원 유한요소망의 구성 절차

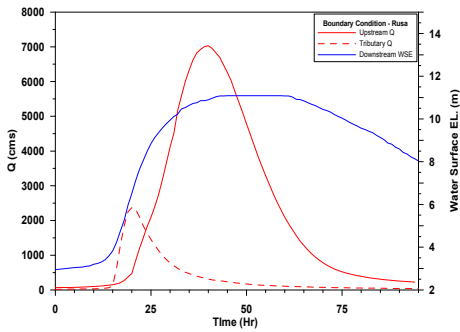


(a) 대상구간

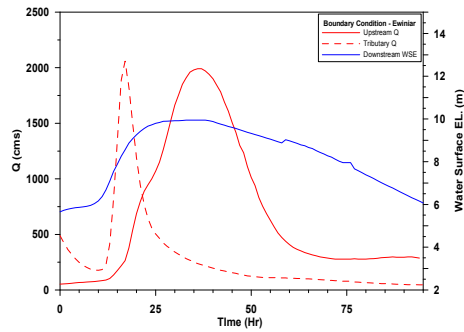


(b) 대상유역에 대한 유한 요소망

FIGURE 6. 모형 적용구간

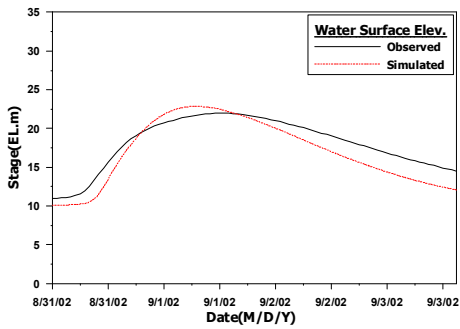


(a) 태풍 '루사' 사상

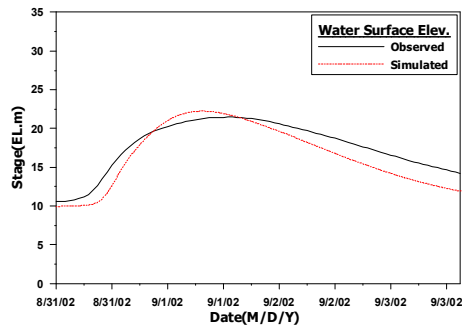


(b) 태풍 '에위니아' 사상

FIGURE 7. 1차원 모형의 경계조건



(a) 고령수위표



(b) 현풍수위표

FIGURE 8. 태풍 '루사' 사상에 대한 1차원 모형 검증결과

모형의 적용 및 검증

본 연구에서는 금호강합류부에 대하여 실제 홍수사상인 태풍‘루사’사상을 바탕으로 1차원 모형의 검증을 수행한 후, 1차원 모형의 결과와 검증을 통하여 RMA-2모형의 타당성을 검증하고자한다. 또한 검증된 모형을 바탕으로 확률홍수에 대하여 적용하여 확률 홍수시의 흐름을 파악하고 과거단면과 최근단면의 단면에 적용을 통해 최근 낙동강단면의 변화가 홍수위에 미치는 영향을 검토하였다.

1. 대상구역의 선정

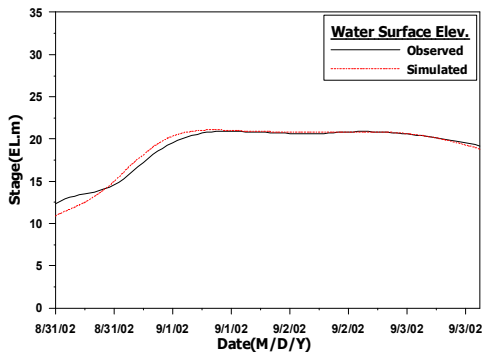
본 연구의 대상구역은 그림 6(a)와 같이 위천공단지역을 중심으로 낙동강은 금호강 합류점으로부터 상류와 하류로 각각 약 10km를 대상구간으로 설정하였으며, 금호강은 낙동강 합류부에서부터 상류로 4km지점까지의 구간을 대상구간으로 선정하였다. 대상구간을 선정한 다음 앞서 언급된 지형자료 구축방법을 이용하여 금호강 합류부에 대한 그림 6(b)와 같이 대상구간에 대하여 1,641개의 절점과 506개의 요소로 구성된 유한요소망을 구축하였으며, 해석구간 내의 하도는 홍수터가 넓게 존재하는 복잡단면의 양상을 띠고있다.

2. 경계조건 추출을 위한 1차원 모형의 검증

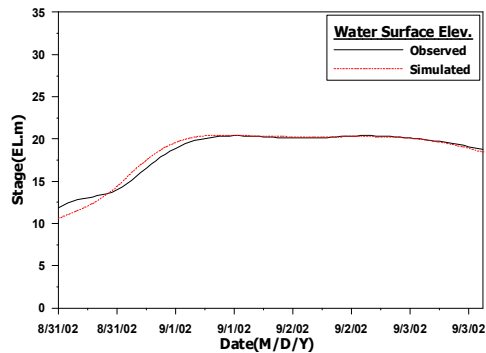
금호강 합류부의 경계조건 추출을 위해서는 경계면에 수위/유량 관측치가 존재하여 실측된 자료를 사용하는 것이 타당하나 대상구간 내에 적절한 관측소가 존재하지 않으며, 관측소를 경계로하여 지형자료를 구축한다면 계산의 효율성과 정확성에 대하여 신뢰할 수 없는 결과를 도출할 가능성이 높다. 이에 본 연구에서는 2차원모형의 경계조건 추출을 위하여 대상유역을 포함한 낙동강유역에 대하여 1차원 모형인 HEC-RAS모의를 수행하여 실측치와 비교/검증한 후 경계단면에서의 유량/수위조건으로 입력하고자한다.

1차원 모형의 대상구간은 낙동강의 경우 상류경계 왜관수위표에서 하류경계 임해진까지이며, 금호강의 경우 동촌수위표를 상류경계로 사용하여, 하천정비기본계획의 249개의 단면자료를 사용하였으며, 본 모의에 사용된 ‘루사’와 ‘에위니아’사상에 대한 경계조건은 그림 7과 같다. 또한 조도계수는 이전 홍수조건으로부터 검증된 하천정비기본계획에서 제시된 값을 사용하였다.

경계 조건으로는 2002년 태풍 ‘루사’에 의한 홍수조건을 부정류로 고려하여 각각의 대상유역에 대한 검증을 실시하였다. 각각의 지점에서 상류경계는 경계지점 수위표의 유입유량수



(a) 고령수위표



(b) 현풍수위표

FIGURE 9. 태풍 ‘에위니아’ 사상에 대한 1차원 모형 검증결과

문곡선을 사용하였고, 하류경계는 경계지점 수위표의 실측수위수문곡선을 사용하였으며, 그림 8은 태풍 '루사'때의 모의 결과로 고령수위표, 현풍수위표에서의 실측수위와 계산결과의 비교를 보여주고 있다.

당초 본 연구에서는 태풍 '루사'사상에 대해서 1차원 모형의 검증을 완료할 예정이었으나 모의사상이 2002년에 발생하였으나 2007년 실측된 하상에 대하여 모의가 수행되었으므로 홍수파로 인한 침식·퇴적, 준설, 골재채취 등의 영향으로 하상단면의 변화가 많이 진행되어 실측수위와 정성 및 정량적인 면에서 차이가 나타났다. 그러므로 본 연구에서는 1차원 모형의 검증이 완료되지 못했다고 판단하여 최근에 발생한 2006년 태풍 '에위니아'에 의한 홍수조건을 부정류로 고려하여 각각의 대상유역에 대한 검증을 실시하였다. 그림 9는 태풍 '에위니아'때의 모의 결과로 고령수위표, 현풍수위표에서의 실측수위와 계산결과의 비교를 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 태풍 '에위니아'시의 모의 결과가 태풍 '루사'시에 비해 모의된 수위수문곡선이 실측수위와 정성 및 정량적인 면에서 잘 일치되고 있음을 보여준다. 이를 통하여 측량단면의 차이가 태풍 '루사'사상 모의시의 오차를 유발한 것으로 판단하고 본 연구에서는 하상단면의 변화로 인한 수위의 비교에 대하여 검토하고자한다.

3. 2차원 모형의 검증

대상구간 내에 수위를 실측하는 지점이 없기 때문에 본 연구에서는 계획홍수량에 대한 2차원 모형의 경계조건을 선정하기 위해서 앞서 모의된 태풍 '루사'에 대한 1차원 모형의 결과를 이용하여 2차원 모형의 경계조건을 설정하고 모의를 수행하여 비교·검증하였다. 조도계수는 1차원 모의에 사용된 값과 동일하게 입력하였으며, 난류교환계수로 사용된 와점성계수는 천수역의 하천으로 가정하고 2000 $N \cdot sec/m^2$ 의 값을 사용하였다.

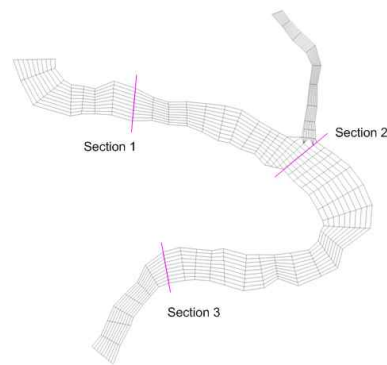


FIGURE 10. 모형검증을 위한 지점 선정

1차원과 2차원의 비교를 위하여 그림 10와 같이 금호강 합류부를 포함한 3개의 지점에서 단면수위를 비교 검증하였다. 그림 11은 각 단면에서의 1차원과 2차원 모의결과를 도시하여

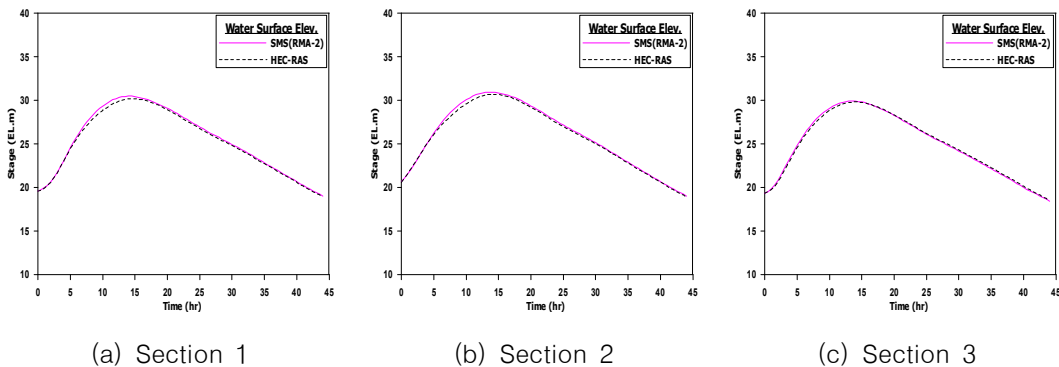


FIGURE 11. 태풍 '루사' 사상에 대한 1차원 모형과 2차원 모형의 수위 비교

비교한 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 1차원 모의결과와 2차원 모의결과가 거의 일치함을 파악할 수 있으며 계획홍수발생시 흐름에 대하여 적절한 모의결과 도출이 가능할 것으로 판단된다.

4. 계획홍수량에 대한 모형의 검증

앞서 검증된 결과를 토대로 하여 계획홍수량에 대하여 RMA-2모형을 적용하였다. 본 연구에서는 하천정비기본계획의 계획홍수위와 계획홍수량에 대하여 부등류 모의를 수행하는 것은 홍수파의 전달과 감쇠효과를 전혀 고려하지 못한다고 판단하고, 유출분석을 통해 나타난 계획홍수사상에 대하여 부정류모의를 수행하고자 한다. 그러므로 HEC-HMS모형을 사용하여 계획홍수에 대한 사상을 도출하고, 계산된 결과에 대하여 1차원 모의를 수행하여 2차원 모형의 경계조건을 설정하였다. 모의에 사용된 경계조건은 그림 12와 같으며, 조도계수와 와점

성계수와 같은 입력값은 2차원 모형의 검증과 동일하게 사용하였다. 낙동강본류와 금호강의 상류부는 유량경계조건에 대하여 고려하였고 낙동강 본류의 하류단에 대해서는 수위경계조건을 고려하였다. 또한 본 연구에서는 하천 단면의 지형학적 변화에 따른 흐름 특성을 파악하기 위하여 과거의 측량단면과 최근 측량 단면을 사용하여 2차원 흐름해석을 실시하였다.

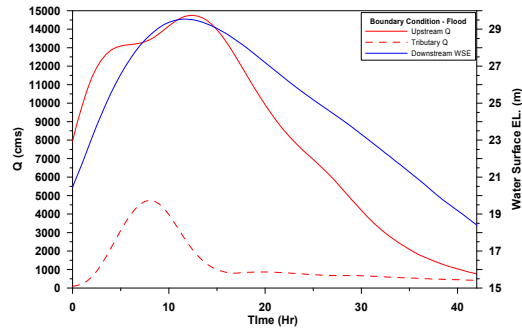


FIGURE 12. 계획홍수 사상에 대한 경계조건

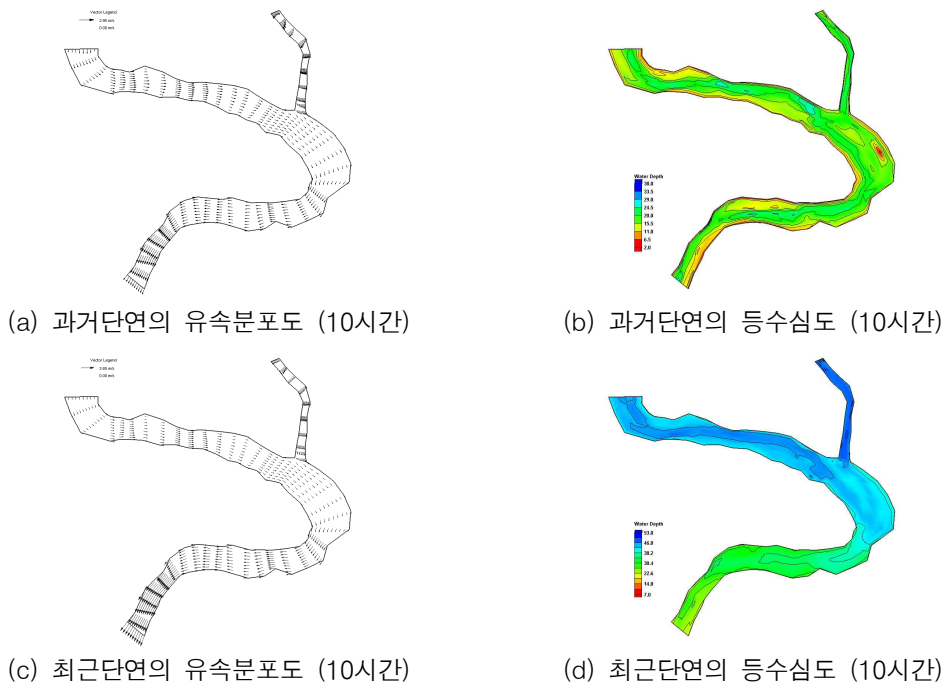


FIGURE 13. 계획홍수사상에 대한 유속분포도와 등수심도

4. 1 최근단면과 과거단면에 대한 모의

그림 11~그림 12는 과거의 과거단면 단면에 대한 수리분석에 의하여 계산된 유속분포와 등수심도를 주요 시간대별로 나타낸 것이며, 그림 13은 최근단면과 과거단면에 대한 수리분석에 의하여 계산된 유속분포와 등수심도를 나타낸 것이다. 그림 13의 경향을 살펴보면 대상구역의 만곡부에서 내·외측 유속에 차이가 나타나며, 이는 본 모형이 만곡부에서의 흐름 특성을 잘 반영하는 것을 알 수 있다. 단면의 확대/축소부분에서는 흐름에서는 단면의 축소부에서 유속의 흐름이 빠르게 나타나고 있음을 확인할 수 있다. 이를 통해 RMA-2 모형이 하천의 합류점에 대하여 적절한 모의결과를 도출함을 확인할 수 있다.

4.2 과거 단면과 최근 단면의 모의결과 비교

과거 단면과 최근 단면의 모의 결과를 비교·검토하기 위하여 합류부를 포함한 그림 10와 같은 3개의 지점을 선택하였다. 그림 14는 각각의 지점에 대한 과거 단면과 최근 단면에 대해 모의된 수위결과를 비교하여 나타낸 것이며, 그림 15은 각각의 지점에 대하여 단면의 변화와 수위의 변화를 단면의 좌안에서 우안방향으로 도시한 것이다. 그림 14과 그림 15에서 보는 바와 같이 각각의 지점에 대해 과거 단면에 대해 모의한 수위결과에 비해 최근 단면에 대해 모의한 수위 결과가 시간대별로 20cm~50cm 정도 작게 나타나는 것을 알 수 있다.

그림 15의 결과를 확인하면 수위결과에서

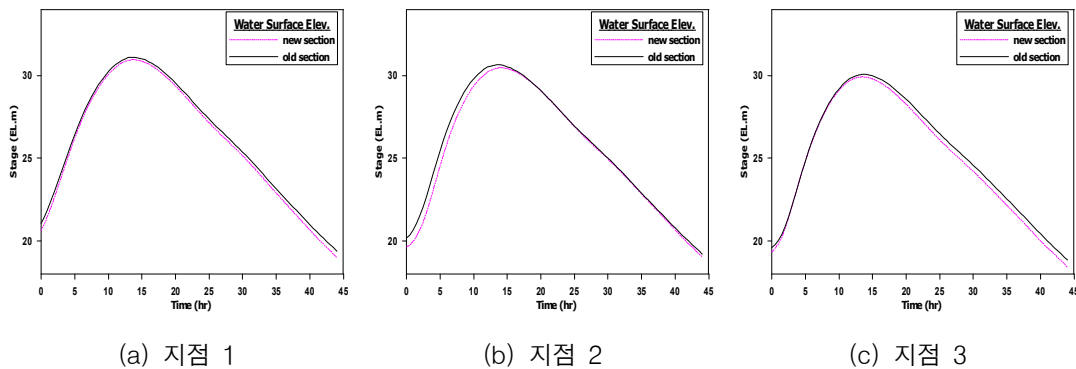


FIGURE 14. 과거 단면과 최근 단면에 대한 수위 결과비교

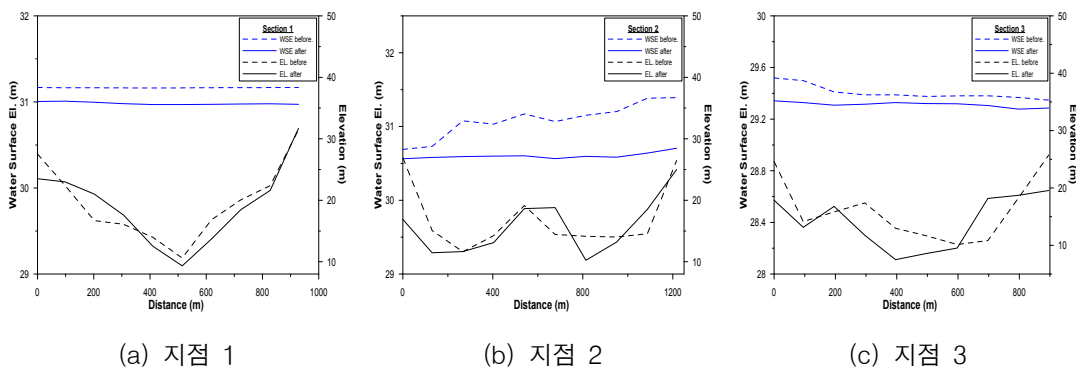


FIGURE 15. 지점별 과거단면과 최근 단면의 수위 및 하상변동 비교

만곡부와 합류부의 수위가 적절하게 모의되었으며, 이는 RMA-2모형이 만곡부와 합류부에 대하여 합리적인 모의결과를 도출함을 확인할 수 있다. 또한 그림 15에서 전체구간에 대하여 태풍 '루사'로 인한 극한 홍수파의 영향과 하천개수의 영향으로 하천단면의 변화에 대하여 침식이 우세하게 나타났으며, 하천의 최심하상고가 1m~2m 가까이 감소되어 하천의 통수단면적이 증가하였으며 이로 인한 횡단면에서 수위 감소효과를 확인할 수 있다. 그 결과 태풍 '루사' 이후 하천단면 변화가 홍수위를 약간 감소시키는 역할을 하였음을 확인할 수 있다.


결론

본 연구에서는 2차원 유한요소모형인 SMS 모형의 RMA-2를 적용하고 관련 매개변수에 대한 2차원 모형의 적용성을 검토하였다. 또한 낙동강 주요 합류부인 금호강합류부에 대한 흐름해석을 위해서 범용 GIS프로그램인 ArcView GIS를 이용하여 하천의 유한요소망을 구축하였으며, 2차원 모형의 적용성을 검증하고 계획홍수위에 대하여 하상단면 변화의 영향을 검토하였다.

- (1) 2차원 모형의 적용성을 검토하기 위해서 단면의 형상, 난류교환계수에 대한 영향을 검토한 결과, RMA-2모형은 적절한 단면의 형상이 고려가능한 것으로 판단되었고, 난류교환계수에 의한 영향은 비교적 크지 않음을 확인하였다. 따라서 수치해의 발산을 피하고 안정성을 유지하는 한도내에서 적절한 값의 선정이 요구되는 것으로 판단된다.
- (2) 본 연구에서는 낙동강 주요 합류부인 금호강합류부에 대하여 범용 GIS프로그램인 ArcView GIS를 이용하여 불규칙삼각망(TIN)을 구축하고 사용자가 필요로 하는 절점에서의 표고를 입력하여 흐름해석을 위한 2차원 유한요소망을

구축하였다. 이를 통해 지형관련 정보를 효율적으로 활용할 수 있는 GIS를 활용한 효율적인 2차원지형자료 구축방법에 대한 가이드라인을 제시하였다.

- (3) 본 연구에서는 낙동강 유역의 최근 단면에 대해 태풍 '루사'와 '에위니아'를 이용하여 1차원 모형인 HEC-RAS의 결과를 고령수위표, 현풍수위표의 실측 수위값과 비교하여 적용성을 검증하였다. 그 결과 태풍 '에위니아'시의 모의 결과가 태풍 '루사'시에 비해 모의된 수위수문곡선이 실측수위와 정성 및 정량적인 면에서 잘 일치되고 있음을 나타냈다. 이는 모의에 사용된 하천 단면이 최근에 측량된 단면으로 태풍 '루사'때의 단면과는 차이가 나는 것에 기인한 것으로 판단된다.
- (4) 2차원 모형의 검증을 위하여 1차원 모형인 HEC-RAS와 본 연구에서 적용한 RMA-2모형을 금호강 합류부에 적용하였고, 합류부를 포함한 3개의 주요 지점에 대해 수위를 비교하여 1차원 모형과 거의 일치함을 확인하여 모형의 적용성을 검증하였다.
- (5) 본 연구에서는 하상변화에 따른 흐름특성을 파악하기 위하여 금호강 합류부에 대해 과거 측량 단면과 최근 측량 단면에 대해 2차원 모의를 실시하여, 과거 단면과 최근 단면의 모의 결과를 비교한 결과 각각의 지점에 대해 과거 단면에 대해 모의한 수위결과에 비해 최근 단면에 대해 모의한 수위 결과가 시간대별로 20cm~50cm 정도 작게 나타나는 것을 알 수 있었다. 또한 이는 하천 단면의 변화에 기인한 것으로 판단되며 이는 최근의 단면 변화가 홍수위에 대하여 약간 감소시키는 역할을 하였음을 확인할 수 있다.
- (6) 본 연구의 결과를 토대로 하천에서의 2차원 흐름특성을 파악하는데 RMA-2모형이 적절한 결과를 도출함을 확인하였고, 본 연구결과는 2차원모형은 통한

합류부 처리, 하구부 처리, 제방축조 등에 효율적으로 활용될 수 있는 것으로 판단된다. 

참고 문헌

- 김상호, 김원. 2002. 한강 하류부 흐름해석을 위한 수리학적 모형의 구축. 한국수자원학회논문집 35(5):485-500.
- 김원. 1999. 고정확도 수치기법을 이용한 하천 천이류 해석모형의 개발. 경북대학교 공학박사 학위논문. 139쪽.
- 박재홍. 1997. 유한요소법에 의한 오염물의 동수역학적 확산해석. 경북대학교 공학박사 학위논문. 128쪽.
- 한건연, 박재홍, 이을래. 1996b. 개수로내의 점변 및 급변 부정류에 대한 유한요소해석 II: 적용예. 한국수자원학회지 30(1):35-44.
- 한건연, 이종태, 김홍태. 1993. 하천에서의 동수역학적 유동해석을 위한 유한요소모형의 개발. 한국수문학회지 26(3):87-101.
- 건설교통부. 2004. 하천정비기본계획수립 및 하천대장작성 지침. 18-20쪽.
- 한건연, 이종태. 1996a. 개수로내의 점변 및 급변 부정류에 대한 유한요소해석 I: 이론 및 수치안정성 해석. 한국수자원학회지 29(6): 155-166.
- Adeff, S.E. and S.S.Y. Wang. 1985. Hydrodynamic model for river flow in a microcomputer. Hydraulics and Hydrology in Small Computer Age., ASCE, pp. 1017-1023.
- Donnell, B. P. 2000. Users Guide To RMA2 WES Version 4.5 US Army, Engineering Research and Development Center, pp.21-25, pp.46-49.
- Brigham Young University Engineering Computer Graphics Laboratory. 2000. SMS(Surface Water Modeling System) : Reference Manual.
- DeLong, L. L. 1985. Extension of the unsteady one-dimensional open channel flow equations for flow simulation in meandering channel with floodplains. Hydrologic Sciences, USGS, Water-Supply Paper 2220 , pp.101-105.
- Gee, D.M. and R.C. MacArthur. 1981. Evaluation and Application of the Generalized Finite Element Hydrodynamics Model, RMA-2, Two-Dimensional Modeling, Hydrologic Engineering Center, pp. 97-113.
- Hicks, F.E. and P.M. Steffler. 1992. Characteristic dissipative Galerkin scheme for open channel flow. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 118, No. 2, pp. 337-352.
- Kawahara, M. and T. Umetsu. 1986. Finite element method for moving boundary problems in river flow. International Journal for Numerical Methods in Fluids, Vol. 6, pp. 365- 386.
- Keuning, D.H. 1976. Application of finite element method to open channel flow. Journal of Hydraulic Division, ASCE, Vol. 102, No. HY4, pp. 459-468.
- King, I.P. and W.R. Norton. 1978. Recent Application of RMA's Finite Element Models for Two-Dimensional Hydrodynamics and Water Quality, Finite Element in Water Resources, Pentech Press, pp. 2.81-2.99.
- Malcherek, A. and W. Zielke. 1994. Upwinding and characteristics in FD and FE methods. Computer Modeling of Free-Surface and Pressurized Flow, Kluwer Academic Publishers, pp. 173-204.
- Samuels, P. G. 1985. Modeling of river and floodplain flow using the finite element method Research Report No. SR 61 , pp.1-198. 