

SMS를 이용한 경안천 하류구간의 하천흐름 분석

홍성민¹ · 정인균² · 이준우³ · 김성준^{4*}

Analysis of Hydraulic Characteristics Using SMS RMA2 and SED2D Model in the Downstream of Gyeongang-Cheon

Seong-Min HONG¹ · In-Kyun JUNG² · Joon-Woo LEE³
Seong-Joon KIM^{4*}

요 약

본 연구는 경안천 하류구간(13.8km)을 대상으로 SMS의 RMA2 모형과 SES2D 모형을 이용하여 2002년 경안관측소의 최대홍수위를 기록한 8월 7일의 수리분석을 실시하였다. RMA2 모형을 적용하기 위하여 RIMGIS 데이터의 하천측량자료를 이용하여 입력자료로 활용하였으며, 생성된 지형자료를 2차원 유한요소망으로 변환하여 모형을 수행하였다. 본 연구에서는 부정류 상태의 모의를 적용하였으며, 모형에 민감하게 반응하는 인자에 대해서는 선행 연구에서 실시한 민감도 분석결과를 고려하였고, 기타 입력인자는 통계연보 및 하천정비계획서를 참고하였다. 또한 대상하천에 SED2D 모형을 적용하여 홍수사상에 대한 하천의 하상 변동에 대한 모의를 실시하였으며, 대상 하천의 홍수시 유속은 0.05~3.85m/s의 분포로 상류와 하류의 큰 차이를 보였고, 하상변화는 0.0003~0.0135m가 발생하였다.

주요어: SMS, RMA2, SED2D, RIMGIS, 유한요소모형

ABSTRACT

The purpose of this study is to analyze various hydraulic characteristics using SMS(Surface Water Modeling System) RMA2 model. It is based on 2-D finite element method. River reaches(13.8km) from Gyeongang gauge station to the inlet of Paldang lake was selected. Finite element was made by RIMGIS Data, and the analysis of river-changes was operated by unsteady flow. The sediment concentration and bed change was simulated using SED2D model. This River's velocity was distributed that 0.05~3.85m/s and bed change was changed about 0.0003~0.0135m.

KEYWORDS: SMS, RMA2, SED2D, RIMGIS, Finite Element Method.

2004년 2월 24일 접수 Recieved on February 24, 2004 / 2004년 3월 20일 심사완료 Accepted on March 20, 2004

¹ 건국대학교 대학원 지역건설환경공학과 Department of Rural Engineering, Konkuk University

² (주) 3G CORE 전략사업부 Solution 사업팀 Solution Team of Strategic, 3G CORE Inc.

³ 한국건설기술연구원 GIS 사업단 GIS Enterprising Center, Korea Institute of Construction Technology

⁴ 건국대학교 지역건설환경공학과 Department of Rural Engineering, Konkuk University

* 연락저자 E-mail: kimsj@konkuk.ac.kr

서 론

현재 대부분의 하천관리에서 흐름의 분석은 하천 구간내의 1차원 분석이 주가 되어져 왔으나 1차원 분석은 하천 단면에 따른 수면차, 유속분포를 분석할 수 없다는 단점을 갖고 있다. 특히 유량 및 유속이 급속도로 늘어나는 홍수 시에는 평소보다 하상 및 홍수터에 큰 변화가 발생하기 때문에 그 오차가 더욱 커질 수 있다. 유사이동의 경우도 마찬가지로 홍수 발생 시 하상변화는 단면에서 동일하게 발생하는 것으로 가정하며 분석하기 때문에 많은 오차를 수반한다. 현재 국내에서는 측량자료의 이용과 모형의 용이한 적용을 이유로 1차원 수리해석 모델인 HEC-RAS 모형이 많이 사용되고 있으나 실제 하천은 시간에 따라 흐름 특성이 변하는 부정류이고 이를 효과적으로 모의하기 위해서는 2차원 모델링이 더 유용하게 사용되어질 수 있다. SMS는 2차원 모형으로 사행하천의 흐름 특성과 만곡부에서의 중·횡방향 수면경사 및 양안의 수면차와 합류지점의 횡방향 흐름등의 영향을 고려할 수 있으며 1차원모형과는 달리 전 단면에 걸쳐 유속 및 수위 분포를 나타낼 수 있어 실제흐름에 가까운 수리량을 얻을 수 있다. 특히 SMS RMA2 모형은 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, SED2D 모형을 이용함으로써 하천의 유사퇴적 및 하상변동을 모의하여 홍수발생시 단면변화에 따른 하상변화에 대한 분석이 가능하고, RMA4 모형은 하천의 수질모의가 가능하다.

하천흐름의 동수역학적 해석을 위한 여러 가지 수치해석기법들에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 광준성(2001)은 하천·해안에서의 RMA2와 SED2D 모형의 적용성을 검토하였고,

최민하(2001)는 SMS를 이용하여 장·단기 하상변동을 해석하였다. 또한, 김영복(2003)은 SMS 모형을 이용한 하상변동을 예측하였다. 박성민(2001)은 만곡수로에서 확산계수특성 분석을 위해 RMA4 모형에 대한 적용을 시도하였다.

본 연구에서는 이러한 기존 연구들을 바탕으로, 아직까지 유한요소모형이 적용된바 없는 경안천 하류구간에 국가하천관리지리정보시스템(RIMGIS) 데이터를 이용하여, SMS의 적용을 시도하였다. SMS를 이용한 2차원 하천 흐름 특성 분석을 통하여 보다 유용한 하천관리가 가능하도록 하고자 한다.

모형의 기본 이론

본 연구에서 적용한 SMS는 미국 Brigham Young 대학의 환경모형연구실(Environmental Modeling Research Lab.)과 미공병단(USACE) 내의 수로실험국(Water-way Experimental Station, WES), 그리고 미연방고속철도청(Federal Highways Administration, FHWA) 등에서 개발한 프로그램으로서 지속적인 개발을 통해 현재 8.0버전이 상용화 되고 있으며, GFGEN 모형, RMA2 모형, RMA4 모형, SED2D 모형 등으로 구성되어, 하천의 흐름을 분석하는데 전후 처리가 가능하게 하는 GUI (graphical user interface) 형식으로 개발된 수리모형이다. GFGEN 모형은 ASCII 지형파일을 RMA2 모형에서 사용가능한 2진파일(binary file)의 형태로 전환시켜주는 일종의 전처리기로써 유한요소망을 구성하는 격점(node) 및 요소(element)에 관한 정보를 읽어 들여 오류 확인 및 계산 소요시간단축을 위해 격점번호를 다시 부여(renumbering)한다.

RMA2모형은 RMA (Resource Management Associates)에 의해 개발된 2차원 유한요소 모형으로써 모형의 지배방정식은 수심을 적분한 유체의 연속방정식과 2차원운동량방정식을 사용한다.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + h\left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}\right) + u\frac{\partial h}{\partial x} + v\frac{\partial h}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & h\frac{\partial u}{\partial t} + hu\frac{\partial u}{\partial x} + hv\frac{\partial u}{\partial y} \\ & - \frac{h}{\rho}\left(E_{xx}\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + E_{xy}\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right) \\ & + gh\left(\frac{\partial a}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x}\right) + \frac{gun^2}{h^{1/3}}(u^2 + v^2)^{1/2} \\ & - \zeta V_a^2 \cos \Psi - 2h\omega \sin \Phi = 0 \quad (2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & h\frac{\partial v}{\partial t} + hu\frac{\partial v}{\partial x} + hv\frac{\partial v}{\partial y} \\ & - \frac{h}{\rho}\left(E_{yx}\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + E_{yy}\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right) \\ & + gh\left(\frac{\partial a}{\partial y} + \frac{\partial h}{\partial y}\right) + \frac{gun^2}{h^{1/3}}(u^2 + v^2)^{1/2} \\ & - \zeta V_a^2 \sin \Psi - 2h\omega \sin \Phi = 0 \quad (3) \end{aligned}$$

여기서, h 는 수심, u , v 는 직교좌표계에서의 유속, x , y , t 는 직교좌표계와 시간, ρ 는 유체의 밀도, E 는 난류교환계수(for, xx 는 x 방향 평면의 법선 난류교환계수, yy 는 y 방향 평면의 법선 난류교환계수, xy and yx 는 x , y 방향 평면의 접선 난류교환계수), g 는 중력가속도, a 는 하상표고, n 은 Manning's 조도계수, ζ 는 바람 응력계수, V_a 는 풍속, Ψ 는 풍향, ω 는 지구자전각속도, Φ 는 위도이다.

식 (1), (2), (3)은 가중잔차 Galerkin 방법의 유한요소법에 의해 풀렸으며, 요소는 1차원 또는 2차원 사각형, 삼각형이 하천이 될 수 있으며, 곡선이 하천의 한 변으로 사용될 수 있다. 형상함수는 유속에 대해서는 2차함수이며, 수심에 대해서는 1차함수이다. 공간에 대한 적분법은 Gaussian 적분법이 사용되었으며, 시간에 대한 미분은 비선형 유한 차분 근사법에 의해 계산되었고, 변수들은 많은 각 초과시간간격에 의해 추정되었다. 해는 완전음해법에 의해 계산되고 각 시간단계에서의 방정식은 Newton-

Raphson 비선형 반복법에 의해 결정된다.

SED2D 모형은 WES의 Ariathurai(1974)에 의해 STUD-H라는 프로그램으로 처음 개발되어, 현재의 SED-2D로 발전되었다. SED-2D 모형은 모래 및 점토질 하상의 모의는 가능하지만, 한가지의 대표유효입경만을 고려 할 수 있으므로 여러 가지의 입경을 갖는 경우에는 여러 입경에 따라 각각 모의를 수행하여야 한다. 또한, SED2D 모형은 자체에서 유속을 계산하지 못하므로 RMA2와 연계하여 유사이동 모의를 하여야 한다. 하상변동으로 인한 오차는 모의 후 생성되는 최종 지형을 이용하여 재모의 함으로써 최소화 할 수 있다.

SED2D는 정류(steady flow) 뿐만 아니라 부정류(unsteady flow)의 모의가 가능하며, 다음과 같은 가정에 기초한다.

- 침전의 기초적인 과정은 침식, 부유사, 이동, 퇴적으로 이뤄진다.
- 흐르는 물은 침전물의 유무에 관계없이 침식, 운반, 유사이동의 가능성이 있다.
- 하상의 침전물은 침식에 대한 한계전단력보다 작으면 움직이지 않는다.
- 모래입자가 이동할지라도 하상의 표고에는 변화가 없다. 변화는 침식률(the rate of erosion)과 침전률(the rate of deposition)의 차이에 의해서만 결과 지어진다.
- 점토질유사는 하상전단응력이 침전의 한계값을 초과하는 동안에 유사형태 그대로 남아 있다. 일반적으로, 점토질 유사의 침전과 침식은 동시에 발생하지 않는다.
- 점토질유사의 하상변동의 구조는 시간과 무거운 하중에 의한다.
- 부유사 이동의 대부분은 부유사의 형태로 이뤄진다.

SED2D 모형에 중 이송-확산 방정식은 Ariathurai와 Kron(1974)에 의해 제안되었으며, 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial V}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} (D_x \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (D_y \frac{\partial C}{\partial y}) + \alpha_1 C + \alpha_2 \quad (4)$$

여기서, C 는 농도(kg/m^3), t 는 시간(s), u 는 x 방향 유속(m/s), v 는 y 방향 유속(m/s), x 는 주 흐름방향(m), D_x 는 x 방향의 유효확산계수(m^2/s), D_y 는 y 방향의 유효확산계수(m^2/s), α_1 은 하상제원에 대한 계수(1/s), α_2 는 하상제원에 대한 평형농도($\text{kg/m}^3/\text{s}$)이다.

하상전단응력공식은 다음과 같이 표현되고 여기서 전단속도(u^*)를 구하는 공식은 log-속도공식, Manning의 전단응력공식, Jonsson-type 방정식, Bijker-type 방정식 등이 널리 사용되는데 SMS에서는 이들을 모두 지원하고 있다.

$$\tau_b = \rho (u^*)^2 \quad (5)$$

대상하천의 하상이 모래가 지배적인 경우, 하상으로부터의 유사의 공급은 흐름의 잠재 이송능력과 하상에서의 물질의 활용도에 의해 제어되며 그 식은 다음과 같다.

$$S = \frac{C_{eq} - C}{t_c} \quad (6)$$

여기서, S 는 하상제원, C_{eq} 는 평형농도, C 는 유사농도, t_c 는 이송에 영향을 미치는 특성시간이다.

이러한 두 모형을 이용한 본 연구의 전체적인 모의 흐름도는 그림 1과 같다.

재료 및 방법

본 연구의 대상이 되는 지역은 경안천 하류로서, 유역면적은 558.2km^2 이며, 총 유로연장은 49.5km 이다(그림 2). 수위 및 유량의 자료를 얻을 수 있는 경안수위관측소에서 시작하여 팔당호와 합류하는 구간(13.8 km)을 선택하였다. 이

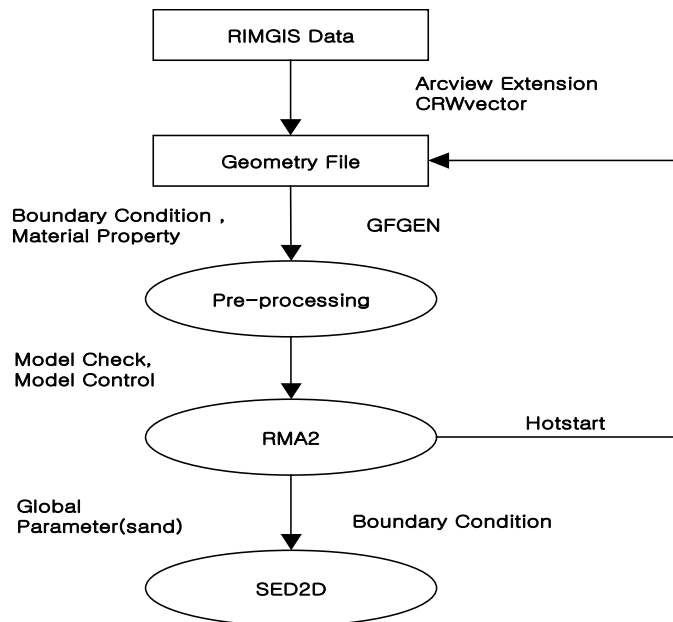


FIGURE 1. Flowchart of this study

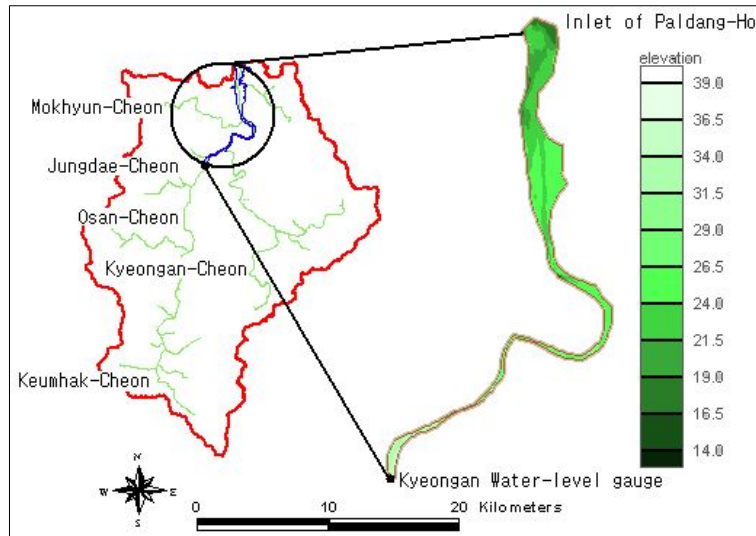


FIGURE 2. Location of the study area

구간은 교각 및 보 등이 다수 존재하고, 지류의 유입으로 인한 하천흐름의 영향도 있으나, 관련 데이터의 부재로 인해 하천구조물 및 지류유입을 고려한 모의는 불가능하여, 순수하게 하천에 대한 모의만 수행하였다. 경안천의 평균하천경사는 1/720 정도이며, 대상구간의 평균 하상경사는 1/833이다. 수질은 II~III등급을 나타내고 하상은 주로 자갈섞인 모래로 구성되어 있다(경기도, 2001). 본 연구의 기초가 되는 하천측량자료는 국가하천진산화작업의 일환인 RIMGIS 자료, 1:25,000 수치지도, 수자원 단위지도를 이용하여 구축하였으며, 모델에 입력되는 여러 가지 인자는 경안천수계 하천정비 기본계획서, 한강홍수통제소 통계연보, 환경부 통계연보, SMS RMA2 WES Version 4.5, SED2D-WES Version 4.3을 기초로 하였다.

1. RMA2 모형의 유한요소망 구성

수리학적 모의에 이용되는 유한 요소망은 절점과 요소로 구성된다. 측량성과를 절점으로 입력하여 유한요소망을 만드는 기초 자료로 사용된다. 입력된 지형자료는 TIN(triangle irregular

network)을 생성한 후 계산의 안정성과 시간을 단축하기 위해 사각망으로 변형시키고, 절점수의 차이로 인한 부득이한 삼각망은 흐름방향과 인접절점의 고도를 고려하여 처리하였다. 대상구역내의 유한요소망은 2,339개의 절점과 794개의 요소로 구성되며, 요소는 179개의 삼각형 요소와 615개의 사각형요소로 구성된다. 유한요소망의 생성은 절점자료의 입력시 자동으로 생성시켜주지만 분석자의 수작업에 의한 편집이 불가피 하므로 정확도를 더하기 위해서는 모의과정에서 여러 번의 수정 및 보완이 필요하다. 절점은 RIMGIS 25번 레이어의 횡단측량성과를 하천경계에 맞춰 필요한 것만 선택하였으며, 각 절점의 xy 좌표는 Korea TM 중부원점으로 GIS 분석 소프트웨어인 ArcView Extension 중 CRWR Vector기능을 이용해 생성하였다. 이로 인해 생성된 테이블은 mesh를 만드는 기본 측량자료로 사용하였다. 그림 3과 그림 4는 대상지역의 절점 입력자료와 이를 이용해 생성한 유한요소망을 나타낸다.

XYZ		
223227.08178	433852.30533	45
225973.67178	442841.06533	27.0
226551.26178	441934.16533	36.0
226223.89178	439318.76533	26.1
225142.71178	435462.03533	36.5
223462.23824	434480.97674	34.00
223449.00447	434494.37836	35.30
223435.01758	434509.79119	36.30
223422.32037	434522.97693	32.40
223407.53939	434537.65843	32.40
223394.26548	434551.87278	32.40
223379.90449	434566.23354	32.50
223364.61853	434582.25561	32.70
223351.41962	434595.83305	32.50
:	:	:

FIGURE 3. Input data of the study area

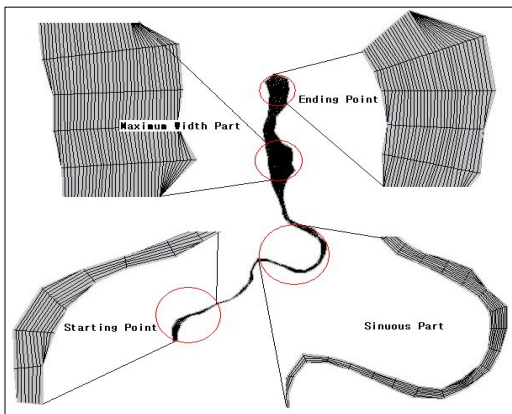


FIGURE 4. Finite element network of the study area

2. 경계조건

생성된 유한요소망은 BFL(boundary condition flow line), BHL(boundary condition head line), GC(geometry continuity) string을 이용하여 상류경계부의 입력유량과 하류경계부의 유출수위를 정의하게 된다. 모의한 기간은 2002년 경안천 최대홍수위를 기록한 8월7일 09:10부터 15:45까지 총 6시간 35분이며 이 때의 상류BC에 적용된 유량은 표 1과 같고, 하류측 BC는 SMS의 특성상 대상하천의 최대하상고보다 높은 39.2m를 적용하였다. 유량입력은 SMS의 Define Curve(Transient)의 기능을 이용하여 하천유량이 표 1과 같이 시간에 따라 변하는 것으로 입력하였고, 사용된 유량은 건설교통부 산하 한강홍수통제소에서 발행한 한강유역 유량측정보고서(2002)의 봉부자로 실측한 자료를 사용하였다.

대상하천에 적용된 정상류해석은 4번의 반복계산을 실시하였으며, 정확한 값을 얻기 위하여 여러 차례의 수정을 통한 'hot-start'를 구하여 정확한 해를 도출해 내었다. 유량의 변화에 따라 생성되는 wet/dry 구간의 처리는 SMS에서 제공하는 기본 값을 사용해도 무방하므로 이를 그대로 사용하였다.

TABLE 1. Water depth and discharge

No.	Date	Depth(m)			Discharge area(m ²)	Average velocity(m/s)	Discharge (m ³ /s)
	Time	Start	End	Mean			
1	2002. 8. 7 (09:10~09:50)	4.56	4.55	4.56	683.41	2.43	1,660.81
2	2002. 8. 7 (11:15~11:50)	4.23	4.18	4.21	617.96	2.225	1,374.76
3	2002. 8. 7 (13:00~13:40)	4.75	4.84	4.80	728.11	2.491	1,813.96
4	2002. 8. 7 (15:05~15:45)	4.38	4.07	4.23	622.34	2.200	1,368.89

3. 매개변수의 결정

SMS RMA2 모형에서 가장 대표적인 매개변수는 하상의 조도계수를 나타내는 Manning의 n 값과 유체의 밀도, 속도구배, 구조 등 여러 가지의 유체조건에 따라 변하는 성질인 난류교환계수로 요약할 수 있다(김영한 등, 2003). 이 두 가지 매개변수는 유한요소망 분석시 경계조건과 함께 하상재료특성의 정의로 모형에 입력된다.

난류교환계수(turbulent exchange coefficient)는 와점성계수(eddy viscosity)라고도 하며 xy 각 방향에 대한 접선 및 법선인 4개의 난류교환계수는 일반적으로 같은 값을 갖으며, 모형에서 난류교환계수가 갖는 의미는 매우 크다. 난류교환계수는 일반적으로 계산과정 중 안정성에 문제가 생기지 않는 범위 내에서 낮은 값을 취해야 하는데 그 이유는 난류교환계수가 너무 높으면 안정된 계산이 가능하지만 적합한 흐름분포를 나타내지 못하는 경향이 있고 너무 낮은 경우에는 계산이 불안정해진다. 난류교환계수는 식 (7)과 같이 Peclet의 수를 이용하여 매 단계마다 적용하는 방법과 표를 이용하는 방법으로 나눌 수 있다.

$$P = \frac{\rho V \Delta x}{E_{ij}} \quad (7)$$

여기서, ρ 는 유체의 밀도(g/cm^3), V 는 격자의

평균유속(m/s), Δx 는 흐름방향의 격자크기(m), E_{ij} 는 난류교환계수($\text{Pascal} \cdot \text{sec}$)이다.

SMS에서는 Peclet의 수를 15~40의 범위를 권장하지만, 본 연구대상지역의 난류교환계수는 유속변화의 단계마다 적용하는 Peclet의 수를 적용하지 않고, 흐름이 안정될 때까지 값을 변화시켜 적용한 결과 $1000 \text{ N} \cdot \text{sec}/\text{m}^2$ 으로 결정하였다.

Manning의 n 값은 하상의 물리적인 특성과 특정한 지형에 대한 고려에 근거하여 선정하여야 한다. Chow(1959)와 미국 지질조사국은 하천의 여러 가지 n 값을 제시하였다. SMS는 유한요소망별로 material 생성을 통한 구간별 조도계수 및 와점성계수의 입력이 가능하다. 그러나 각 material에 대한 경계측량자료가 없고 경계가 모호하여, 본 연구대상지역의 조도계수는 하천설계기준을 적용하여 경안천수계 하천정비기본계획서에서 제시한 실측자료인 0.030을 일괄적으로 적용하였다. 수온은 환경부 물환경 정보시스템을 기초로 하여 2002년 8월 평균 수온인 21°C 를 적용하였다.

4. SED2D 분석

대상하천의 하상변화를 알아보기 위해 SMS SED2D 모형을 적용하였다. SED2D 모형은 RMA2 출력파일을 이용하여 모의를 수행하였으며, 유사이동모의를 위한 주요 입력자료는 다음과 같이 적용하였다. 부유사의 최대·최소

TABLE 2. Range of the turbulent exchange coefficient

Type of problem	ε value($\text{lb} \cdot \text{sec}/\text{ft}^2$)	ε value($\text{N} \cdot \text{sec}/\text{m}^2$)
Shallow stream (low velocity)	5~25	240~1200
Shallow stream (high velocity)	25~50	1200~2400
Deep estuary (small element)	50~100	2400~4800
Deep estuary (large element)	200~300	9500~14400
Wetting and drying of tidal	100~200	4800~9500
Flow of structure	1~5	20~240

크기는 0.067mm(한국건설기술연구원, 1990), 비중 2.65, 이송가능한 입자의 조도와 크기 0.032, 0.25mm(경안천수계 하천정비기본계획, 2001), 골재형상계수 0.67, 특성퇴적길이 요소 1, 특성침식길이요소 10, 모래층의 두께 1m(기본값)로 입력하였고, 부유사에 대한 침강속도는 Rubey의 실험식에 의해 산정한 0.155m/s으로 적용하였다. 부유사 농도는 상류 경계조건의 부유사농도는 대상하천의 유량-부유사농도 관계식이 없으므로 대상하천과 하상재료의 형태가 유사한 금강유역의 '금강 시험조사 유역에서의 유사량 실측' 조사서(한국건설기술연구원, 1992)를 활용하였다. diffusion coefficient는 현재유속과 element size, 표 3을 고려하여 x, y 모두 100으로 하였다(SED2D-WES Version 4.3, 1998).

하상전단응력 공식은 log-velocity 공식을 이용하였고 Crank-Nicholson의 theta는 기본값인 0.67을 사용하였다. 모의시간은 홍수가 유입되는 6시간 36분으로 하였고, 반복계산은 RMA2와 동일하게 4회 실시하였다.

결과 및 고찰

대상하천의 RMA2 모형을 이용한 흐름추적도는 그림 5와 같다. 이는 SMS의 film loof 기능을 이용한 것으로 정류 상태의 흐름을 잘 반영하고 있다. 만곡부의 급한 흐름과 최대 하폭부에서의 완만한 흐름을 보여준다. 이는 경안천에서 팔당호로 유입함에 있어서 단면 급확대에 의한 유속과 경사의 감소가 원인으로 사료

된다. 만곡부의 흐름은 3m/s 이상의 급한유속을 보였으며, 흐름 추적도도 이와 유사한 거동을 보였다. 경안관측소의 모의 유속은 2.10 m/s으로 경안관측소에서 봉부자를 이용한 유속관측치인 2.43m/s보다 0.3m/s의 오차를 보였다. 대상 하천의 홍수시 유속은 0.05~3.85m/s의 분포로 상류와 하류의 큰 차이를 보였는데 이는 상·하류의 큰 하상고 차이에 의한 것으로 판단되며, 특히 단면이 감소하는 부분에서 최대유속을 보였고 하천의 만곡으로 인한 원심력의 영향과 더불어 급격한 하폭감소가 원인으로 사료된다. 하류로 갈수록 유속의 감소를 보였으며, 이는 하천단면의 증가와 하천경사의 감소가 원인으로 판단된다. SED2D의 결과인 유사농도는 0.05~1.05ppt로 홍수 유입부에서 최대를 보였으며, 시간이 경과할수록 하류측도 증가하는 것을 볼 수 있다. 하류측은 지체시간의 원인으로 상류보다 늦게 증가현상이 나타나는 것을 알 수 있었다. 하상변화는 0.0003~0.0135m로 유속과 단면이 작은 상류부분에서 크게 나타났고, 시간이 지날수록 하류의 변동도 증가 하는 경향을 보였다. 홍수 발생시 대상하천의 시점부에서 가장 큰 부유사량을 보였으며, 이는 시간이 흐름에 따라 하류로 전달되었다. 상류의 부유사 농도가 만곡부까지 전파되는데 약 2시간의 시간이 걸리고, 그 이후의 최대단면부 이후로는 유속의 감소로 인해 부유사량의 이동시간이 현저히 감소되었다. 홍수시에는 크기가 작은 부유사보다는 상대적으로 직경이 큰 모래로 인한 하상변동이 심하게 일어난다. 모래의 비중이 큰 경안천은 모래는 유속

TABLE 3. Diffusion coefficient

Typical location	Current speed (m/s)	Typical element size (km)	Diffusion coefficient (m ² /sec)
Medium-size	1.0~1.5	0.1~0.5	100
Open bay	0.5~1.0	0.75	100
Tidal river	0.2~1.0	0.1~0.3	5~10

이 클 때는 이동하지만 비중이 크기 때문에 이는 홍수시에는 유사의 이송형태가 전동(rolling) 혹은 활동(sliding)하는 것을 보여준다. 또한 유사 농도는 최대유량발생시 가장 큰 값을 나타냈으며, 하상변동은 최대유량이 발생한 후 6시간 후에 최대로 나타났고, 하천 제방보다는 하천의 중앙에서 유속의 증가 추세를 보였다. 그러나 대상하천은 하상변화에 민감한 반응을 보이는 인자 중 부유사-농도곡선의 부재로 인해 그와 유사한 입도분포를 갖고 있는 금강유역의 자료를 사용하여 이에 대한 오차가 있으나, 보정 데이터 또한 없어 이를 보정할 수 없었다.

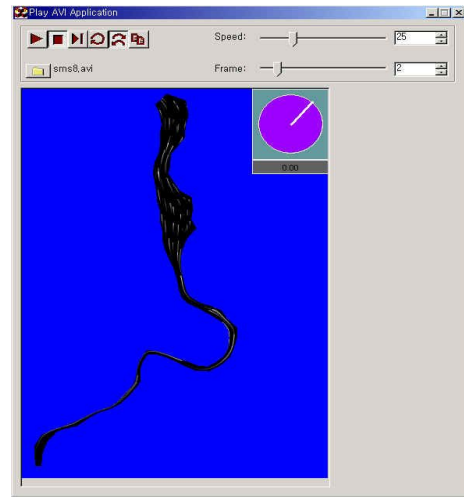


FIGURE 5. Flow trace

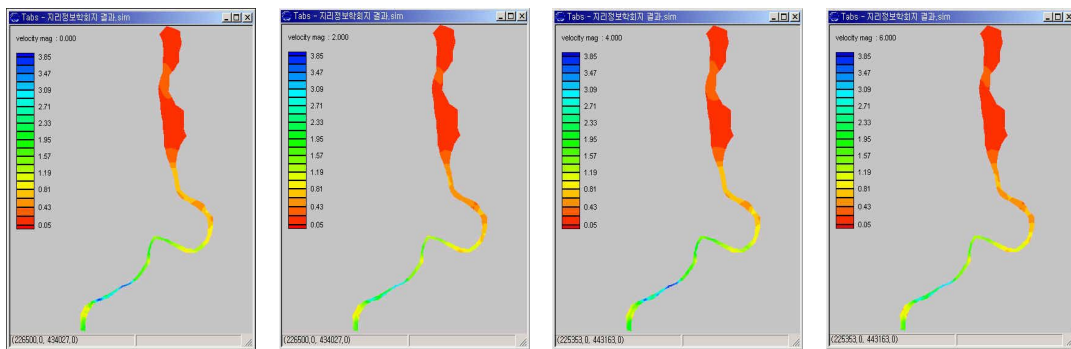


FIGURE 6. Velocity magnitude(0, 2, 4, 6 hour)

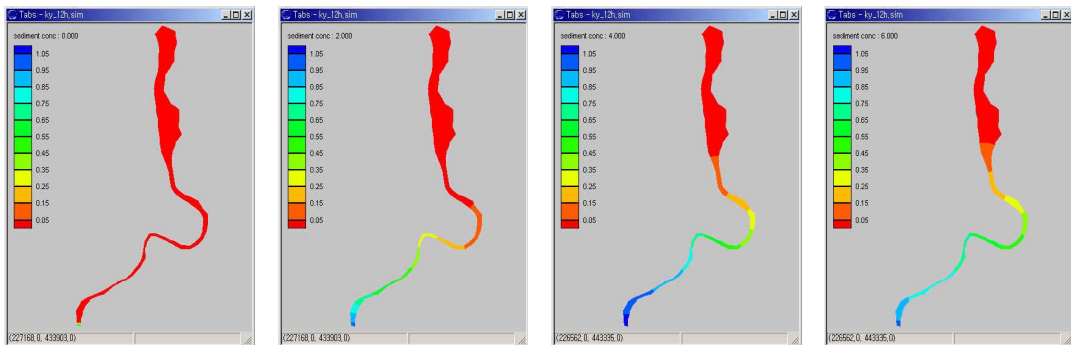


FIGURE 7. Sediment concentration(0, 2, 4, 6 hour)

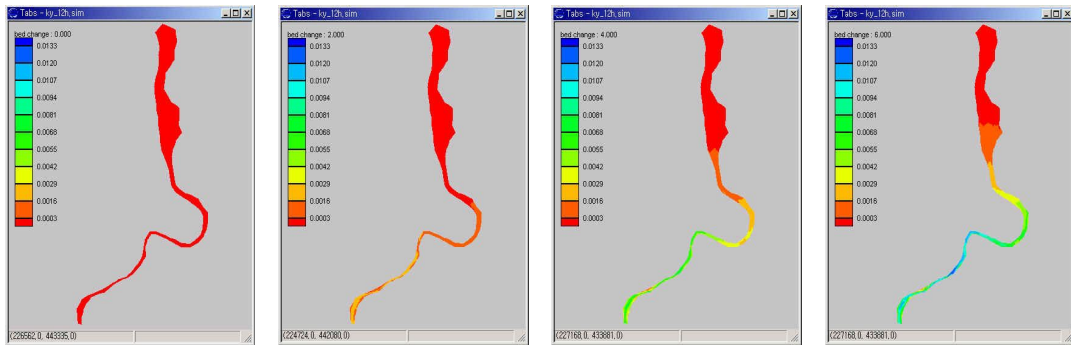


FIGURE 8. Bed change(0, 2, 4, 6 hour)

결 론

본 연구는 경안천 유역을 대상으로 SMS를 이용하여 하천의 동수역학적 흐름해석을 실시하여 대상하천의 각 단면에 대한 유속분포, 부유사농도, 하상변화를 알아보았다. 모델을 수행하는데 있어서 유한요소 개념을 도입하였으며 유한요소망 생성시 필요한 입력인자로 사용되는 지형자료를 RIMGIS로 사용함으로써 국가 하천 전산화 시스템의 효용성을 확인하였다. 홍수 발생시 하천 유속에 대한 분석은 약 86% 이상의 정확도로 비교적 양호한 것으로 나타났다. 특히 최대유속이 발생한 만곡부에 대해서는 홍수시 발생할 수 있는 범람에 대한 대비가 필요하다고 사료된다. 하상변동은 하상재료에 크게 영향을 받는데 이에 대한 자료가 극히 미비한 실정이므로, 정확한 하상변동을 모의하기 위해서는 하상재료에 대한 실측 데이터 확보가 필요하다. 본 연구는 구축자료의 부족으로 합류지점 및 교각에 대한 분석이 이루어지지 않았으며, 향후에는 하천 수리구조물의 영향을 고려한 분석으로 좀더 현실적인 결과의 도출이 필요하다고 사료된다. 또한 RMA4 모형의 분석을 통하여 서울시의 상수원인 팔당호에 직접 유입하는 경안천의 오염부하량을 제시할 수 있을 것으로 생각된다. **KAGIS**

참고문헌

- 곽준성. 2001. 하천·해안에서의 RMA2와 SED2D 모형의 적용성 검토. 명지대학교 석사학위논문. 117쪽.
- 건설교통부. 2002. 한강유역 유량측정보고서. 한강홍수통제소. 57쪽.
- 건설교통부. 2002. 국가하천대장전산화 세부작업지침서. 한국수자원공사. 83-141쪽.
- 경기도. 2001. 경안천수계 하천정비기본계획서. 47쪽, 272-289쪽, 325-361쪽, 446쪽, 515-587쪽.
- 김영복. 2003. SMS모형을 이용한 하상변동예측. 충북대학교 석사학위논문. 54쪽.
- 김영한, 오정선, 서일원. 2003. 수치모형을 이용한 댐 상류 및 여수로 수리현상 해석. 한국수자원학회논문집 36(5):761-776.
- 박성민. 2001. 만곡수로에서 확산계수특성 분석을 위한 RMA-4모형 적용. 경기대학교 석사학위논문. 40-43쪽.
- 최민하. 2001. SMS를 이용한 장·단기 하상변동해석. 고려대학교 석사학위논문. 24-97쪽.
- 한건연, 이을래 등. 2002. 2차원지표수 흐름 해석(SMS를 중심으로). 제10회 수공학 워크샵 교재 1-125쪽.
- 한국건설기술연구원. 1990. 금강 시험조사 유

- 역에서의 유사량 실측. 110-120쪽.
- Ariathurai, R. and R.B. Kron. 1974. Finite element mode for cohesive soils. Journal of the Hydraulics Division 104(2):279-283.
- Brigham Young University - Environmental Modeling Research Laboratory. 2000. SMS GFGEN Version 4.27 User's Manual. pp.1-121.
- Brigham Young University - Environmental Modeling Research Laboratory. 2002. SMS 8.0 Tutorial Manual. pp.1.1-9.12.
- Chow, V.T. 1959. Open-Channel Hydraulics. Mcgraw-Hill, pp.101-114.
- Letter, Jr., J.V., L.C. Roig, B.P. Donnell, W.A. Thomas, W.H. McAnally and S.A. Adamec, Jr. 1998. SED2D - WES Version 4.3 Beta. pp.1-81.
- U.S. Army, Engineering Research and Development Center - WatweWAYS Experiment Station Coastal and Hydraulics Laboratory. 2002. RMA2 WES Version 4.5 Users Tour Guide. pp.1-265. **KAGIS**