

GIS 기반의 하천흐름해석모형 RMA-2와 유역유출모형 HEC-1을 이용한 하천의 수리학적 특성 분석 연구*

— 공도·평택 수위관측소 구간을 대상으로 —

박민지¹·박근애²·김성준^{3*}

A Study on Hydraulic Analysis using GIS-based RMA-2 and HEC-1*

— For Stream Reach between Gongdo and Pyeongtaek Water Level Gauge Stations —

Min-Ji PARK¹·Geun-Ae PARK²·Seong-Joon KIM^{3*}

요 약

본 연구는 SMS의 RMA-2를 이용한 하천흐름 해석에서 WMS HEC-1으로 모의된 하천 분류 및 지류의 수리량을 동적인 경계 입력자료로 하여 다양한 시나리오별로 하천내의 흐름 영향을 파악하고자 하였다. 안성천 유역의 공도와 평택수위관측소 구간(10.5km)에 대하여 WMS로 모의한 50, 100, 500, 1,000년 빈도별 시단위 유량을 분류 및 3개 지류의 유량 경계조건으로 적용하여 하천의 수리학적 특성을 분석하였다. SMS RMA-2의 동적 조건(dynamic type)으로 구동한 결과, 하천 분류구간의 시간별 수위 및 유속분포를 모의할 수 있었다. 빈도를 증가시킬수록 측정별 평균유속과 수위가 증가함을 확인할 수 있었으며, 특히 지류가 유입되는 분류지점의 가까운 하류부에서 하천 폭이 좁으면 유속이 크게 증가하였다.

주요어 : RMA-2, HEC-1, 동적경계조건

ABSTRACT

The purpose of this study is to analyze the hydraulic behavior in a stream reach using SMS RMA-2 model with a series of dynamic boundary conditions of main stream and lateral flows simulated by WMS HEC-1 program. For the stream reach (10.5 km) between Gongdo and Pyeongtaek water level gauge stations of Anseongcheon, the model simulated two dimensional

* 이 논문은 농림부의 「RS 및 GIS를 기반으로 한 안성천지역의 홍수재해 평가 및 예측시스템 개발」 과업의 지원으로 수행되었음.

2007년 1월 22일 접수 Received on January 22, 2007 / 2007년 3월 3일 심사완료 Accepted on March 3, 2007

1 건국대학교 대학원 사회환경시스템공학과 Dept. of Civil & Env. System Eng., Konkuk University

2 건국대학교 대학원 지역건설환경공학과 Dept. of Rural Eng., Konkuk University

3 건국대학교 사회환경시스템공학과 Dept. of Civil & Env. System Eng., Konkuk University

* 연락처 E-mail : kimsj@konkuk.ac.kr

flow characteristics by applying dynamic flow conditions of rainfall frequencies of 50, 100, 500, and 1,000 years for the main stream and three tributaries. The temporal flow behavior successfully simulated and the results showed that the distribution of mean velocity and water level within the stream reach increased according to the increase of flow frequency. Especially, the flow velocity sensibly increased at the near downstream of lateral inflow as the width of main stream is narrower.

KEYWORDS : RMA-2, HEC-1, Dynamic Boundary Condition

서 론

하천 흐름의 동수역학적 해석을 위해 여러 가지 수치기법들에 대한 연구가 진행, 발전되고 있다. 국내에서는 이현구(1999)가 HEC-RAS (River Analysis System) 모형을 이용하여 도시 통과하천에서의 수면곡선을 해석하였고, 박종민(2003)은 GIS와 HEC-RAS를 이용하여 농경지 침수피해 모의시스템을 개발한 바 있다. 김훈(2004)은 지역빈도 강우자료와 HEC-RAS를 이용한 농경지 침수지역을 추정한 바 있으며, 김석규 등(2006)도 HEC-RAS를 이용하여 홍수지역을 예측하였다. 또한, 심순보 등(2003)은 HEC-RAS와 연계한 지리정보시스템(GIS)이 홍수 재해지도의 자동생성 및 홍수터 분석과 같이 HEC-RAS 모형을 이용한 1차원 해석프로그램이 대부분 하천관리에 적용되어 왔다.

그러나 하천 단면내의 변화를 파악할 수 없다는 1차원 해석의 단점을 보완하기 위해 하천의 2차원 흐름해석이 꾸준히 진행되고 있다. 2차원 흐름해석은 지류가 유입하는 합류지점, 교량, 보 등의 다양한 수공구조물이 존재하는 경우 또는 하도형상의 변화에 따른 국부적인 흐름의 변화양상의 해석, 2차원 수질오염 해석 및 하상변동해석과의 연계 등 보다 정교한 흐름 해석 결과를 얻을 수 있는 장점이 있다. 2차원 수치해석 기법들에 대한 연구로는 박준성(2001)이 하천·해안에서의 RMA-2(resource management associate)와 SED2D 모형의 적용성을 검토하였고, 최민하(2001)는 SMS(surface

water modeling system)를 이용하여 장·단기 하상변동을 해석하였다. 또한, 김영복(2003)은 SMS 모형을 이용한 하상변동을 예측하였다. 박성민(2001)은 만곡수로에서 확산계수특성 분석을 위해 RMA-4 모형에 대한 적용을 시도하였으며, 홍성민 등(2004)은 SMS를 이용한 경안천 하류구간의 하천의 흐름을 분석한 바 있다.

현재 세계적으로 사용되고 있는 범용 및 상용 2차원 동수역학 모형으로는 미육군공병단의 SMS모형, 미시시피 대학의 CCHE2D 모형, 덴마크 DHI의 MIKE21 모형, 프랑스 EDF의 TELEMAC-2D 모형, 영국 수리연구소의 FLOUT 모형 등이 있다. 2차원 또는 3차원 모형의 경우 연구자의 필요성에 의해서 자체 개발되어 적용되고 있기 때문에, 사용자를 위한 편의성과 범용성을 완벽하게 확보하고 있는 모형은 그리 많지 않은 실정이다. 이 중에서 SMS는 전 세계적으로 널리 적용되고 있고, 많은 사용자를 확보하고 있는 상용프로그램으로서 2차원 흐름해석을 위해서 RMA-2 모형을 이용하고 있다. RMA-2 모형은 경계조건으로 하천의 상류부 유량과 하류부에 수위 그리고 하천구간내의 지류 유입량들을 입력하게 된다. 한편 이러한 경계조건은 실측이 어렵고, 결측 및 자료의 신뢰성을 이유로 실제와는 다르게 단순하게 모의된 것이 지금까지 연구의 대부분이었다.

따라서 본 연구에서는 분석대상 하천구간에서의 유입부, 유출부 하천지점을 대상으로 WMS HEC-1 프로그램을 검정 및 보정 후,

이들 지점 및 지류 유입부에서 모의된 빈도별 유출량을 경계조건으로 다양한 시나리오별로 RMA-2 모형을 이용하여 모의한 결과를 비교 분석하였다.

모형의 기본이론

1. SMS RMA-2 모형

본 연구에서 사용한 수치 모형인 SMS는 1차원, 2차원, 그리고 3차원 동수역학적 모형으로서 미국 육군공병단의 WES(Waterways Experiment Station)와 미연방도로국(U.S. Federal Highway Administration)이 연계하여 Brigham Young University의 EMRL(Environmental Modeling Research Laboratory)에서 개발하였다. SMS는 2차원 수리학적 현상을 모의하기 위한 전처리, 분석, 후처리 과정을 윈도우즈상에서 편리하게 운영할 수 있도록 개발되었다. 전처리는 모형의 실행을 위한 입력자료인 지형파일 및 경계조건파일을 작성하는 것과 ASCII 형태나 dxf 파일을 자료로 불러들여 기본 자료로 구축하는 것을 말하며, 후처리는 실행 결과를 여러가지 형태의 그림으로 나타내는 것을 말한다.

RMA-2 모형은 2차원 동수역학적 모형을 해석하기 위해서 수심평균을 취하여 혼합보간 기법을 적용한 유한요소 프로그램으로서, 미국 RMA의 Norton, King과 Orlob에 의해 개발되어 현재는 WES에 의해서 지속적으로 수정, 보완되고 있다. 수리모형인 RMA-2의 전처리 단계에서는 GFGEN(Geometry File GENERation)이 텍스트 파일로 구성되어진 지형파일을 binary 파일로 전환한다. GFGEN은 유한요소망을 구성한 절점과 요소에 관한 정보를 읽어들이어 사용자가 구성한 유한요소망의 오류 또는 계산 수행시간의 절감을 위한 절점번호의 재정렬을 수행하게 된다. RMA-2는 GFGEN의 출력자료로 수역을 대표하는 유한요소망의 각 격자점에서의 수위 및 유속을 계산한다(U. S. Army,

Engineering Research and Development Center, 2002).

RMA-2의 특징은 다음과 같다. 첫째, 정상류 및 부정류를 모의할 수 있다. 실제 홍수시 대부분의 하천 흐름들은 사실상 부정류이다. 둘째, 격자에 대해서 변화하는 경계에 대해서 변화하는 경계의 마찰과 난류의 특성들이 고려된다. 셋째, 운동량 교환효과를 조합할 수 있다. 따라서, RMA-2는 홍수터로의 물의 전달과 계속해서 수로로 되돌아오는 것을 모의할 수 있다. 또한, 수평으로 움직이는 흐름경계를 모의하고, wet/dry에 대해서 격자유역을 허용하며 이러한 두 가지 상태에서 부드러운 천이영역을 모의 수행할 수 있다.

RMA-2 모형은 2차원 질량 연속방정식과 2차원 Navier-Stokes의 힘-운동량 방정식에 대한 Reynolds 형태로 표시된다. 마찰력은 Manning 방정식의 조도계수나 Chezy 방정식의 평균유속계수로 계산되며, 와점성계수(eddy viscosity coefficient)는 난류의 특성을 정하는데 사용되며, 정상류 뿐만 아니라 부정류에서도 모의 가능하다. 지배 방정식은 수심을 적분한 유체의 연속방정식인 식 (1)과 2차원 운동량 방정식인 식 (2) 및 식 (3)을 사용한다.

여기서 h = 수심, u, v = 직교좌표계에서의 유속, x, y, t = 직교좌표계와 시간, ρ = 유체의 밀도, E = 난류교환계수(xx = x방향 평면의 법선 난류교환계수, yy = y방향 평면의 법선 난류교환계수, xy, yx = x, y방향 평면의 접선 난류교환계수), g = 중력가속도, a = 하상표고, n = Manning's 조도계수, ζ = 바람응력계수, Va = 풍속, ψ = 풍향, ω = 지구자전 각속도, ϕ = 위도이다.

식 (1), (2), (3)은 가중잔차 Galerkin 방법의 유한요소법에 의해 풀리며, 요소는 1차원 또는 2차원 사각형 또는 삼각형이 하천이 될 수 있으며, 곡선이 하천의 한 변으로 사용될 수 있다. 형상함수는 유속에 대해서는 2 차함수이며, 수심에 대해서는 1 차함수이다. 공간에 대

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

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

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

한 적분법은 Gaussian 적분법이 사용되며, 시간에 대한 미분은 비선형 유한차분 근사법에 의해 계산되고, 변수들은 많은 각 초과시간간격에 의해 추정된다. 해는 완전음해법에 의해 계산되고 각 시간단계에서의 방정식은 Newton-Raphson 비선형 반복법에 의해 결정된다.

2. WMS(watershed modeling system)

HEC-1 모형

WMS는 미 육군공병단의 수문연구센터(U. S. Army Corps of Engineers)와 Brigham Young 대학의 ECGL(Engineering Computer Graphics Laboratory)에서 공동으로 개발한 수문모델링을 위한 프로그램으로서 윈도우즈상에서 구동이 가능하다. WMS는 비교적 자료의 호환성이 좋으며 공간해석을 위한 여러 방법을 제시하고 있으며, 포괄적인 그래픽 사용자 환경(graphical user environment)을 제공한다. 유역의 위상관계를 자동으로 나타내주고 강우-유출 모형의 매개변수(parameter)는 사용하기 편리한 대화형 박스(dialog box)를 통해 입력 가능하며 제공된 모든 강우-유출 모형은 WMS 안에서 직접 실행할 수 있고 결과 값 및 수문곡선 또한 같은 환경 안에서 출력된다.

WMS는 유역의 공간해석을 위하여 DEM(digital elevation model)을 기본 자료로 TIN(triangulated irregular networks)해석과 Grid

해석이 가능하며, 수문모델에 필요한 유역의 지형인자를 포함한 수문인자들을 자동으로 계산한다. 계산된 매개변수들은 WMS에서 제공하는 유출모형인 HEC-1, TR-20, 합리식(rational method), NFF(National flood frequency)에 자동으로 입력되며 GIS에 구축되어 있는 또는 저장되어 있는 유역의 지형자료를 수문해석에 최대한 활용할 수 있도록 GIS와 수문모델링이 연계되어 있는 대표적인 프로그램이다.

GIS를 이용하여 지형 및 수문자료를 계산하며, 유출 모형에서 필요로 하는 여러 가지 매개변수를 구하게 된다. 유출해석을 위한 모형으로는 HEC-1을 사용하였다. HEC-1은 미 공군 공병단의 수문연구소(Hydrologic Engineering Center, HEC)에서 다년간의 연구로 개발된 Model로 1967년 Leo. R. Beard를 비롯한 HEC의 많은 programmer들에 의하여 최초로 개발되었으며 1968년 첫 번째 판이 발간되었고 현재는 1981년에 나온 것으로 어떤 하천 유역에서 홍수를 유발시키는 호우사상이 발생하였을 때 강우-유출 과정을 모의하는 단일사상 유출 모형이다.

대상 하천의 개요

대상 하천구간은 안성천의 공도와 평택 수위관측소 사이 구간으로서 하천의 길이는 10.5

km, 측점은 No. 50(평택수위관측소)에서 No. 71(공도수위관측소)까지 30개로 이루어져 있다. RIMGIS(River Information Management Geographic Information System)의 중형단 측량성과를 이용하였다(그림 1). 대상 하천구간에서의 주요 지점은 본류의 유입부(RP1; 공도), 유천의 지류유입부(RP2), 입장천의 지류유입부(RP3), 성환천의 지류유입부(RP4), 본류의 유출부(RP5; 평택)로 명명하였다. 지류인 RP2, RP3, RP4가 본류로 유입되는 각은 각각 100°, 70° 및 20°이다. 각 지류별 유역 면적은 공도수위관측소 상류유역(WS1)이 374.97km²이며 유천(WS2)이 31.76km², 입장천(WS3)이 82.03km²이고, 성환천(WS4)이 83.46km², 전체 유역(WS5)인 평택수위관측소 상류유역이 595.91km²이다.

재료 및 방법

1. 하천구간 유한요소망 구성

대상하천구간 내에 유한요소망의 형성을 위해 Korea TM 좌표를 갖는 RIMGIS의 횡단측량성과에서 GIS 분석 소프트웨어인 ArcView Extension 중 CRWR(Center for Research in

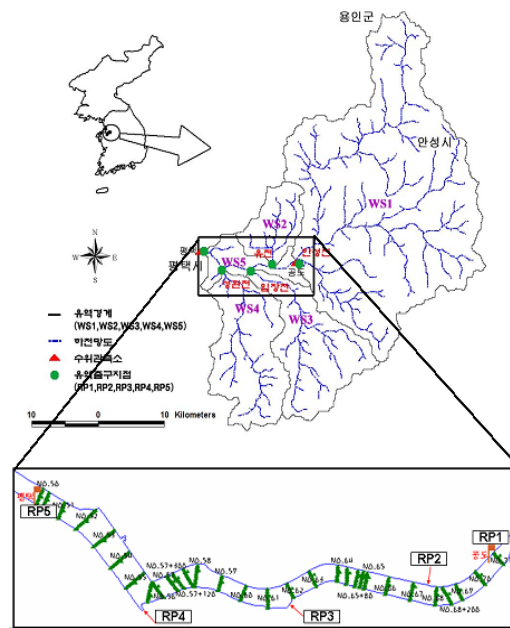


FIGURE 1. Location of the study area

Water Resources) Vector를 이용하여 XY좌표를 ASCII 형식으로 추출하였다. ASCII 형식으로 추출된 정보를 SMS에 직접 입력하여 20,026개의 Node와 6,525개의 Element의 유한요소망을 구축하였다(그림 2).

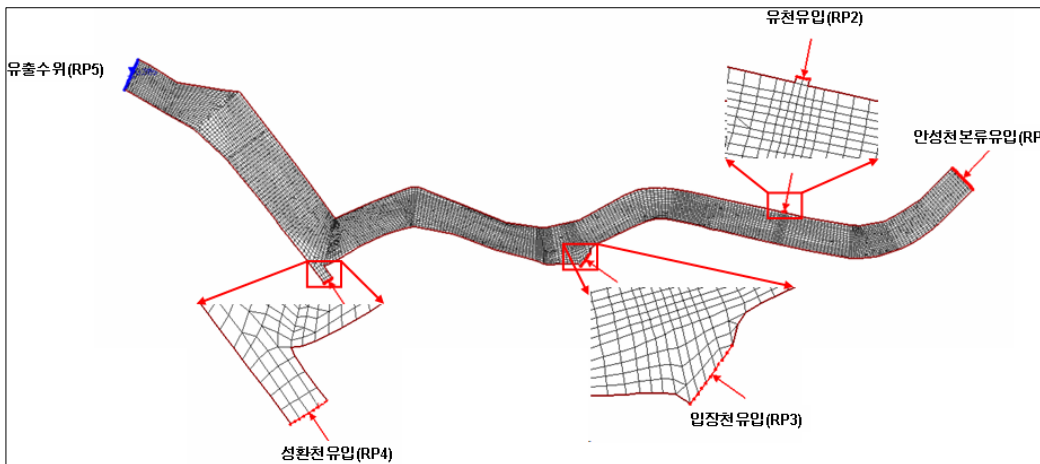


FIGURE 2. Finite element network of stream reach between Gongdo and Pyeongtaek waterlevel gauge stations

2. WMS HEC-1 모형을 이용한 경계조건 자료생성

본 연구의 WMS HEC-1 모형 입력 매개변수는 김성준(2003)등이 실시한 대상 하천 구간인 공도, 평택에 대한 WMS HEC-1 모형의 검·보정 결과를 이용하였다. GIS자료는 DEM과 1:50,000 개략도양도가 입력되었으며, 1999년 토지피복도를 이용하여 구한 AMC-II 조건에서의 SCS-CN값은 공도수위관측소 상류 유역(WS1)이 57.9, 공도와 평택관측소 사이의 유역은 68.0, 유역전체의 CN값은 61.7을 적용하였다. 지체시간은 유역 상류단에서 공도까지 구간(21,417m)은 평균 8.3 hr, 공도에서 평택까지의 구간(8,038m)에서는 평균 4.4hr, 저류상수 K는 1.3, 가중계수 x는 0.4로 추정되었다. 강우의 시간적 분포를 나타내기 위해 수문기상관측소의 무차원 누가확률곡선을 이용하여 Huff 4분위법에 적용하였다. 분위의 선택은 안정천수계 하천정비기본계획서(2002)에서 분석된 결과를 인용하여 12시간 이상의 경우 발생빈도가 가장 높은 2분위를 채택하였다.

WMS HEC-1으로 모의한 유출량 결과에 따라 RMA-2에 입력된 경계조건 유량과 입력 강우량은 그림 3, 표 1과 같다.

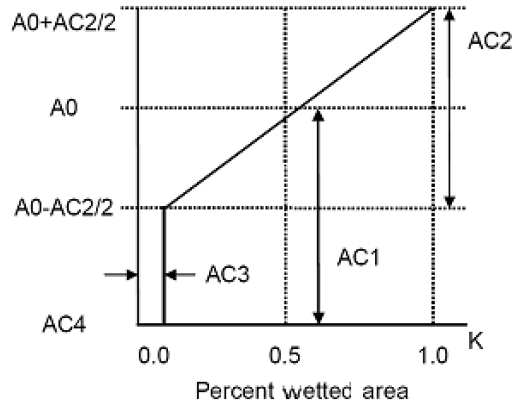


FIGURE 3. Schematized nodal wetted area curve obtained by approximation

SMS RMA-2 모형에서 가장 대표적인 매개변수는 하상의 조도계수를 나타내는 Manning's n 값과 유체의 밀도, 속도구배,

TABLE 1. Summary of flow characteristics for 4 case of rainfall frequency

Input-output point	50year			100year		
	Rainfall (mm)	Runoff (m ³)	Peak runoff (m ³ /s)	Rainfall (mm)	Runoff (m ³)	Peak runoff (m ³ /s)
RP1	360.0	20,533.0	1301.4	399.0	24,048.8	1,523.9
RP2		2,122.9	181.0		2,443.1	207.7
RP3		4,934.3	387.0		5,731.7	447.8
RP4		5,401.1	389.9		6,233.5	448.7
RP5		34,799.3	2,236.8		40,513.2	2,603.2
Input-output point	500year			1,000year		
	Rainfall (mm)	Runoff (m ³)	Peak runoff (m ³ /s)	Rainfall (mm)	Runoff (m ³)	Peak runoff (m ³ /s)
RP1	489.0	32,425.2	2,050.8	528.0	36,145.7	2,282.7
RP2		3,195.1	269.9		3,525.5	296.8
RP3		7,618.4	590.5		8,451.9	652.8
RP4		8,192.6	585.9		9,054.9	646.8
RP5		54,065.3	3,467.7		60,064.3	3771.7

$$\begin{aligned}
 0.67 \leq h \leq 1.42 & \quad Q = 27.084(h - 0.29)^{3.8694} \\
 1.42 \leq h \leq 7.51 & \quad Q = 19.695(h - 0.018)^{2.3470}
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

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. Manning's n값은 하상의 물리적인 특성과 특정한 지형에 대한 고려에 근거하여 선정하여야 한다. Chow (1959)와 미국 지질조사국은 하천의 여러 가지 n값을 제시하였다. SMS는 유한요소망별로 Material생성을 통한 구간별 조도계수 및 와점성계수의 입력이 가능하다. 그러나 각 Material에 대한 경계측량자료가 없고 경계가 모호하여, 본 연구대상지역의 조도계

수는 하천설계기준을 적용하여 안정천 수계 하천정비기본계획서(2002)에서 제시한 실측자료인 0.027을 일괄적으로 적용하였다. 난류교환계수(turbulent exchange coefficient)는 와점성계수(eddy viscosity)라고도 하며 xy 각 방향에 대한 점선 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 흐름 분포를 나타내지 못하는

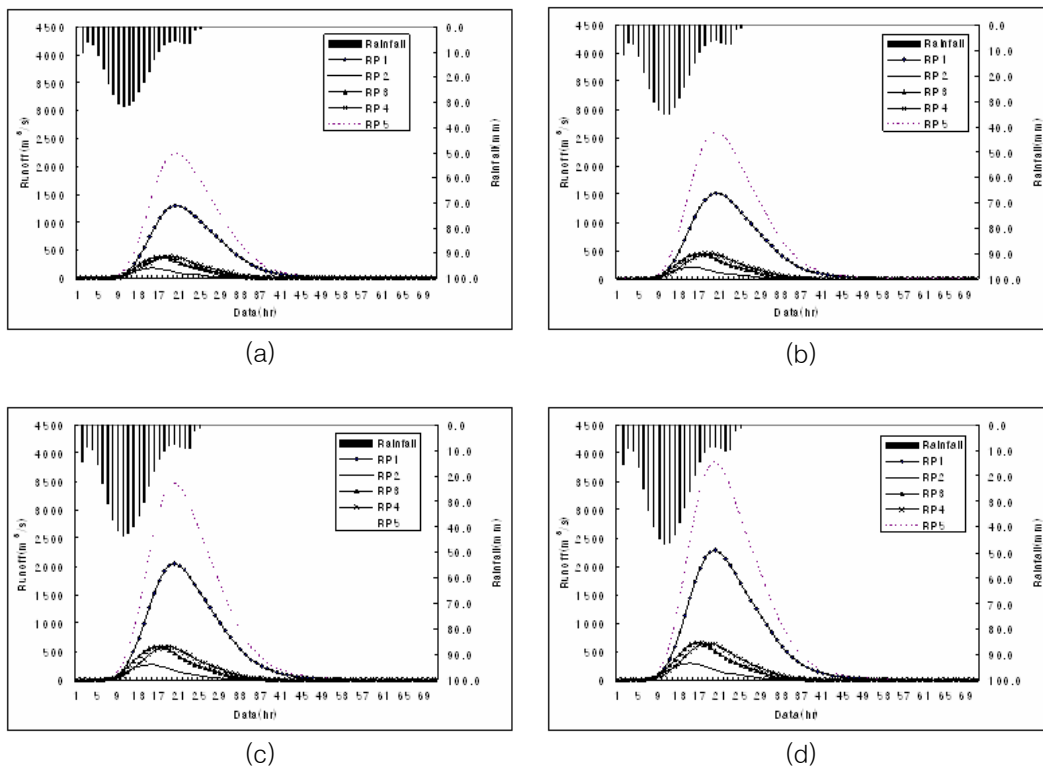


FIGURE 4. Hydrographs of year rainfall frequency (a)50yr, (b)100yr, (c)500yr, and (d)1000yr

경향이 있고 너무 낮은 경우에는 계산이 불안정해진다. 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. 또한 동적인 흐름 특성을 파악하기 위해서 wet/dry 처리 과정을 거쳐야 하므로 자동으로 MP(marsh porosity) 기법을 적용하여 주는 DA카드를 입력하였다. RMA-2 메뉴얼에 따라 근사기법에 의한 절점의 wet/dry 곡선을 그리게 된다. 이 때, 지형자료(GFGEN)로부터 계산된 표고의 평균값(A0)은 8.1m, 분포 변화에 대한 기울기(AC2)는 1.037m, 최소 표면 흐름인자(AC3)는 모델에서 제공되는 0.02m, 표고의 최소값(AC4)은 0m을 적용하였다(그림 4). 총 계산 시간은 65시간이고 0.5시간 단위로 계산하였으며, 각 모의시간마다 4회의 반복연산을 통해 흐름 특성을 파악하였다.

RP1, RP2, RP3, RP4의 유출량 결과를 유입량으로 입력하였으며, 평택수위관측소의 수위 유량관계식을 이용하여 RP5의 유출량을 수위로 환산하여 65시간까지 연속적으로 입력하였다. 평택수위관측소의 수위유량곡선식은 식(4)와 같다.

결과 및 고찰

1. 상류경계조건에 따른 모형의 거동

본류인 RP1과 지류인 RP2, RP3, RP4의 모든 유입량을 동일한 빈도로 구동한 결과, 전체 65시간의 연속 모의 기간 중의 본류인 RP1에 빈도별 (50년, 100년, 500년, 1,000년) 침투유량인 $1,301.40\text{m}^3/\text{s}$, $1,523.9\text{m}^3/\text{s}$, $2,050.8\text{m}^3/\text{s}$, $2,282.7\text{m}^3/\text{s}$ 이 유입되는 18시간째의 유속분포도는 FIGURE 5와 같다.

50년 빈도일 때 유속 분포는 성환천 유입구인 RP4에 $389.9\text{m}^3/\text{s}$ 의 유량 유입에 따라 유속 증가와 사수구역 형성으로 $0.116\sim 3.289\text{m}/\text{s}$ 의 유속 분포를 나타냈으며 전체적 평균 유속은 $1.250\text{m}/\text{s}$ 이며, 100년 빈도일 때는 RP4의 유입 유량은 $448.7\text{m}^3/\text{s}$ 이고 $0.113\sim 3.679\text{m}/\text{s}$ 의 유속 분포와 평균 유속 $1.342\text{m}/\text{s}$ 을 나타냈다. RP4의 유입 유량이 $585.8\text{m}^3/\text{s}$ 인 500년 빈도일 때 유속 분포는 $0.102\sim 4.347\text{m}/\text{s}$ 이며, 평균 유속은 $1.501\text{m}/\text{s}$ 이며, 1000년 빈도일 때 유량은 $645.6\text{m}^3/\text{s}$ 이고, $0.097\sim 4.682\text{m}/\text{s}$ 의 분포와 $1.579\text{m}/\text{s}$ 의 평균 유속을 나타냈다. 빈도가 높아짐에 따라 본류 및 지류의 유입 유량이 증가하여 평균 유속과 최대 유속은 비례하여 증가하지만 지류 유입량의 증가에 따른 사수구간의 생성으로 최소 유속이 감소함을 확인할 수 있다. 그림 1에서 보여주는 30개의 측정점 중 5개의

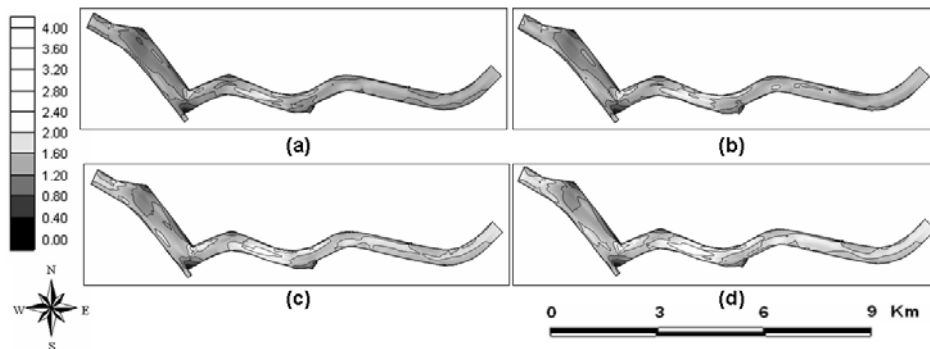


FIGURE 5. Velocity distribution for rainfall frequency (m/s) (a)50yr, (b)100yr, (c)500yr, and (d)1000yr

TABLE 2. Velocity comparison of 4 case of rainfall frequency

Frequency	50year	100year	500year	1,000year	
Runoff(m ³) [%]	32,992.40	(38,459.38; 16.57)	(51,411.76; 55.92)	(57,178.82; 73.31)	
Velocity (m/sec) [%]	No. 70	1.31	(1.41; 7.32)	(1.61; 23.21)	(1.68; 28.56)
	No. 65	1.36	(1.45; 6.54)	(1.62; 18.96)	(1.70; 25.31)
	No. 60	1.61	(1.74; 8.38)	(1.95; 21.18)	(2.05; 27.60)
	No. 55	1.10	(1.19; 8.21)	(1.31; 19.28)	(1.37; 24.94)
	No. 50	1.35	(1.46; 8.18)	(1.65; 22.21)	(1.75; 29.49)

측점(No. 70, No. 65, No. 60, No. 55, No. 50)을 선정하여 빈도별 평균 유속 변화를 분석하였다(표 2).

RP1-RP4에 대하여 50년 빈도 및 1000년 빈도 유입량 조건에서, RMA-2로 모의한 30개 측정점(그림 1)에 대한 유속범위는 각각 0.87(No. 52)-1.61(No. 60)m/s, 1.31-2.05m/s(No. 60)로 모의되었다. 즉, 두 빈도에 대한 측정점별 평균 유속의 차이는 0.20(No. 52)~0.46(No. 60)m/s의 범위를 보였다. No. 60의 유속차이가 가장 크게 나타난 이유는 RP3의 유입과 더불어 No. 60의 하천에 비해 폭이 0.35km로 좁기 때문으로 생각된다. 한편 No. 52 유속차이가 가장 작게 나타난 이유는 RP4의 유입부와 거리가 1.95km가량 떨어져 있고 하천 폭이 0.66km로 넓기 때문으로 판단된다.

입장천 유입 후인 No. 61의 유속을 비교한 결과 50년과 1000년 빈도일 때 0.1~0.7m/s, 성환천의 지류 유입 후인 No. 55의 유속을 횡단면으로 비교한 결과 0.1~1.0m/s의 차이를 보였다. 전체적인 평균에 비해 지류 유입 후 동일 횡단면의 유속의 차이가 큰 것으로 모의되었으며, 빈도가 높을수록 동일 횡단면 사이에 유속의 증감 차가 커짐을 확인할 수 있다.

2차원 동수역학적 수리 모형인 RMA-2는 동일 횡단면에 따른 유속을 구할 수 있으므로 평균 유속과 횡단면에 각 점의 유속차를 확인

해 본 결과 그림 6과 같다. No. 66에서 0.13~0.19m/s로 가장 작은 차이를 보였으며, 만곡부 부근이며, 성환천의 유입에 따라 사수구역이 형성되어지는 No. 67에서 1.04~1.44m/s로 가장 큰 차이를 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

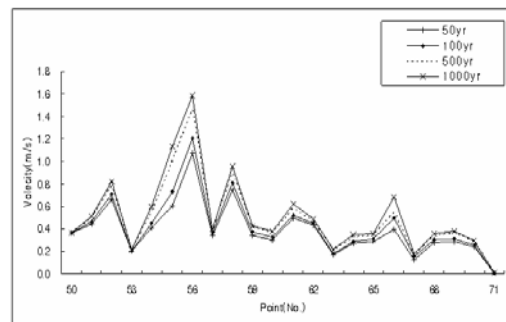


FIGURE 6. Comparison of average and maximum velocity for 4 case of rainfall frequency along the cross section point of stream

하폭과 유속의 상관관계를 알아본 결과 하폭이 넓을수록 유속이 감소하지만 만곡부인 No. 56에서는 540.7m로 비교적 넓은 하폭을 가짐에도 불구하고 유속이 100년 빈도를 기준으로 1.27m/sec의 분포를 나타냈다. 하지만, 541.3m로 비슷한 하폭을 가진 No. 55의 경우 유속이 1.19m/sec로 0.08m/sec의 차이를 보였다.

시간에 따른 유속분포도는 그림 7과 같다.

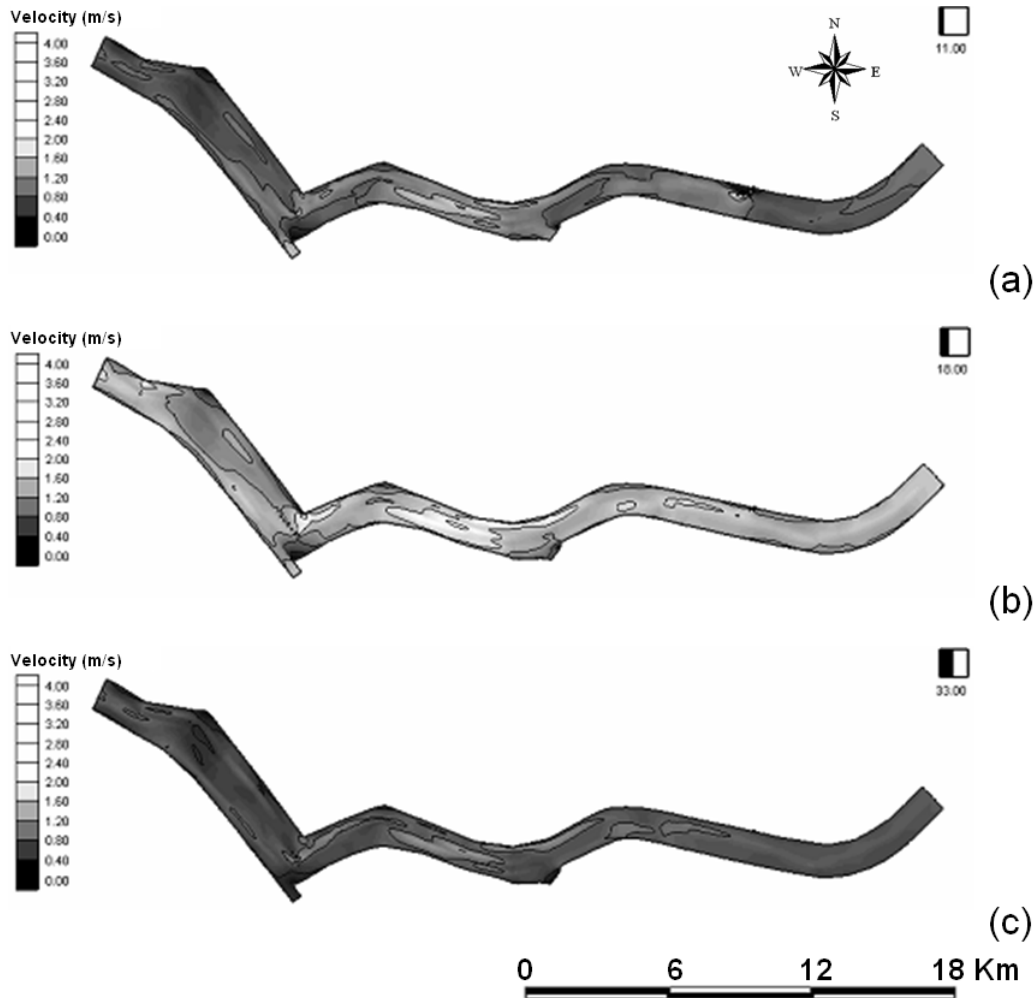


FIGURE 7. Velocity distribution of (a) 11hr, (b) 18hr, (c) 33hr after rainfall start for 100yr rainfall frequency

유량이 점차적으로 증가하는 11시(a), 첨두유량이 유입되는 18시(b), 점차적으로 감소하는 33시간(c)의 유속분포도이다.

2. 지류의 유입량 변화에 따른 모형의 거동

본류인 RP1와 RP5는 100년 빈도의 유량으로 고정된 상태에서 지류인 RP2, RP3, RP4의 유입량이 없을 때, RP2, RP3, RP4 지류에서 한 지류씩 1000년 빈도 유입이 발생

할 때의 구동 결과를 그림 8과 표 3에 나타내었다.

지류가 없을 때는 0~2.534m/s의 유속 분포와 1.163m/s의 평균 유속을 나타냈으며, 지류의 유입량 빈도가 50년일 때는 0.004~3.447m/s의 유속 분포와 평균 유속 1.305m/s, RP2 지류에만 1000년 빈도 지류 유입 시에는 0.115~3.742m/s의 유속 분포와 1.277m/s의 평균 유속을 나타냈다. RP3 지류에만 1000년 빈도 지류 유입 시에는 0.116~3.819m/s의 유속 분포

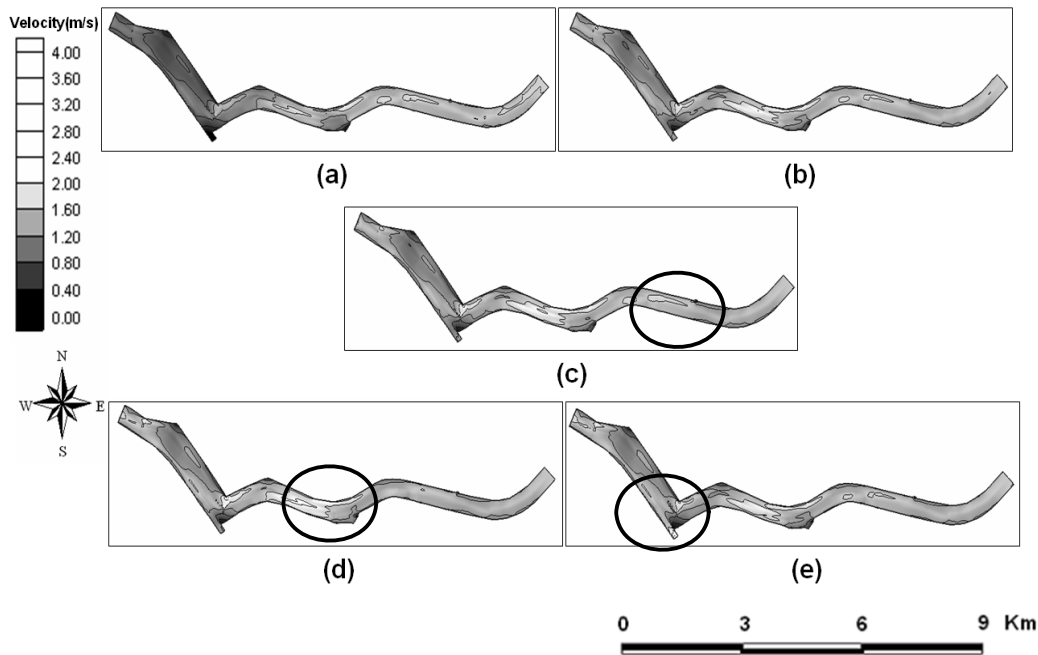


FIGURE 8. Velocity distribution in case of 100 year frequency main stream (m/sec) (a)no tributary flow, (b)tributary flow for 50 year rainfall frequency at RP2, RP3 and RP4, (c)tributary flow for 1000 year rainfall frequency at RP2, (d)tributary flow for 1000 year rainfall frequency at RP3, (e)tributary flow for 1000 year rainfall frequency at RP4 1000 year

TABLE 3. Summary of flow characteristics in case of tributary flow change to main stream

Frequency	no tributary flow	RP2, RP3, RP4 tributary flow for 50 year rainfall frequency	RP2 tributary flow for 1000 year rainfall frequency	RP3 tributary flow for 1000 year rainfall frequency	RP4 tributary flow for 1000 year rainfall frequency
Runoff(m ³) [%]	(22,168.60; -35.98)	34,626.84(기준)	(38,459.38; 16.57)	(51,411.76; 55.92)	(57,178.82; 73.31)
No. 70	(1.65; 15.04)	1.43	(1.40; -1.78)	(1.40; -2.10)	(1.42; -0.62)
No. 65	(1.48; 2.06)	1.45	(1.49; 3.10)	(1.40; -3.45)	(1.44; -0.51)
No. 60	(1.46; -12.88)	1.68	(1.73; 3.21)	(1.82; 8.33)	(1.66; -1.32)
No. 55	(0.78; -29.89)	1.11	(1.15; 3.60)	(1.21; 9.01)	(1.21; 9.45)
No. 50	(0.89; -39.29)	1.46	(1.40; -4.11)	(1.49; 2.05)	(1.50; 2.79)

와 1.296m/s의 평균 유속을 나타냈으며, RP4 지류에만 1000년 빈도 지류 유입 시에는 0.018~3.030m/s의 유속 분포와 1.254m/s의 평균 유속으로 모의되었다. 따라서 하천 전체적으로 보았을 때 공도·평택 수위관측소 구간에서 가장 영향을 많이 끼치는 지류는 RP3인 입장천의 유입임을 확인할 수 있었다.

결 론

본 연구는 안성천의 공도와 평택 수위관측소 하천구간을 대상으로 2차원 동수역학적 흐름을 RMA-2로 분석하기 위하여 하천 본류의 유량 및 지류의 유입량을 WMS HEC-1 모형으로 모의한 빈도별 동적인 유량 경계조건을 적용하여 하천구간내의 유속 및 수위를 비교 분석하였다.

1. 기존에 결측이 많고 실측이 힘들어 단순하게 입력하였던 경계조건을 HEC-1 모형을 이용하여 65시간동안 연속적으로 입력함으로써 기존에 연구와는 다르게 연속적인 수리 이동을 도출하여 시간에 따른 유속 및 수위의 공간적 분포를 모의하였다.
2. 유입량의 증가로 빈도가 커질수록 유속은 50년과 1000년을 비교하였을 때 평균적으로 0.33m/s의 차이를 보이며 전체적으로 0.2m/s에서 0.46m/s의 차이를 보였다. 73%의 유량 증가는 29.5%의 유속 증가를 가져왔다.
3. 하폭은 유속에 영향을 끼치지만 만곡부나 지류의 유입에 따라 그 값이 증감되어 모의되었다.
4. 각 측점에 대한 평균값과 횡단면상에 유속의 차이가 지류 유입과 사수구간 형성에 의해 크기는 1.44m/s까지 나타나므로 2차원 수리 해석이 필요함을 확인하였다.
5. 본류는 100년 빈도로 고정된 상태에서 각 지류의 유입량을 1000년 빈도로 하여 모의한 결과 RP3인 입장천의 1000년 빈도 유입 시에 하천 내에서 가장 큰 유속 차이를 보이는 것을 확인할 수 있다.

참고 문헌

- 건설교통부, 서울지방국토관리청, 2002, 안성천 수계 하천정비기본계획(안성천, 진위천, 황구지천, 오산천), 332쪽.
- 곽준성, 2001, 하천·해안에서의 RMA-2와 SED2모형의 적용성 검토, 석사학위논문, 명지대학교. 117쪽.
- 김석규, 송인호, 김철, 2006, GIS와 수리모형을 이용한 홍수지역예측 비교, 한국지리정보학회지 9(3):183-192.
- 김성준, 박근애, 정인균, 권형중, 2003, WMS HEC-1을 이용한 안성천 평택수위관측소 상류 유역의 수문 경년변화 분석, 한국수자원학회지 36(4):609-621.
- 김영복, 2003, SMS모형을 이용한 하상변동예측, 석사학위논문, 충북대학교. 54쪽.
- 김훈, 2004, 지역빈도 강우자료와 HEC-RAS를 이용한 농지침수지역 추정, 박사학위논문, 서울대학교. 130쪽.
- 박성민, 2001, 만곡수로에서 확산계수특성 분석을 위한 RMA-4모형 적용, 석사학위논문, 경기대학교. 40-43쪽.
- 박종민, 2003, GIS를 이용한 농경지 침수피해 모의 시스템 개발, 박사학위논문, 서울대학교. 205쪽.
- 심순보, 김주훈, 임광섭, 오덕조, 2003, GIS를 이용한 홍수범람분석, 한국지리정보학회지 6(1): 132-142.
- 이현구, 1999, HEC-RAS 모형에 의한 도시통과 하천에서의 수면곡선 해석, 석사학위논문, 대전산업대학교. 1-2쪽.
- 최민하, 2001, SMS를 이용한 장·단기 하상변동 해석, 석사학위논문, 고려대학교. 24-97쪽.
- 홍성민, 정인균, 이준우, 김성준, 2004, SMS를 이용한 경안천 하류구간의 하천흐름 분석, 한국지리정보학회지 7(1):1-9.
- 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.
- U. S. Army, Engineering Research and Development Center - Waterways Experiment Station Coastal and Hydraulic Laboratory. 2002. RMA-2 WES Version 4.5 Users Tour Guide. pp.1-265. 