GIS 기반의 하천의 수리학적 안정성 분석 연구

A Study on Hydraulic Stability of Stream Reach using GIS

박민지*, 박근애, 김성준
Min-Ji Park*, Geun-Ae Park, Seong-Joon Kim
건국대학교 지역건설환경공학과
{iamg, dolpin2000, kimsj}@konkuk.ac.kr

요 약 현재까지 국내에서 2차원 흐름 해석을 위한 SMS의 RMA-2는 합류지점이나 만곡수로 내의 유속분포, 수위변동 등에 관한 연구가 대부분이었다. 그러나 경계조건으로 입력되어지는 하천의 유입량과 유출수위는 실측이 어려우며 자료의 특성상 결측값도 많아 실제와는 다르게 대부분의 연구에서 정상류로 모의되었다. 본 연구에서는 WMS의 HEC-1 프로그램을 이용하여 RMA를 부정상류로 모의하였다. 모의결과 실제 하천은 빈도별 지류의 영향을 받아 유속이 0.05에서 0.46까지 변화하였다.

1. 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 홍수시에는 평소보다 하상 및 홍수터에 큰 변화가 발생하기 때문에 그 오차가 더욱 커질 수 있다. 유사이동의 경우도 마찬가지로 홍수 발생시 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 종·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 따른하상변화에 대한 분석이 가능하고, RMA4 모형은 하천의 수질모의가 가능하다.

하천흐름의 동수역학적 해석을 위한 여러 가지 수치해석기법들에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 곽준성 (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. 홍성민(2004)은 SMS를 이용하여 경안천 유역의 하천 흐름을 분석한 바 있다.

본 연구에서는 이러한 기존 연구들을 바탕으로, 안성천 중류 구간의 국가하천관리지리정보시스템(RIMGIS) 데이터를 이용하여, SMS의 적용을 시도하였다. 또한, GIS자료를 이용하여 유출량을 구하는 수문학적 모형인 WMS를 이용하여 실제와 가까운 부정상류의 경계조건을 생성하였다. SMS를 이용한 2차원 하천 흐름 특성 분석을 통하여, 보다 유용한 하천관리가 가능하도록 하고자 한다.

2. 모형의 기본이론

2.1. SMS 모형 개요

본 연구에서 적용한 SMS는 미국 Brigham Young 대학의 환경모형연구실(Environmental Modeling Reasearch Lap.)과 미공병단(USACE) 내의 수로실험국(Water-way Experimental Station ; WES), 그리고 미연방고속철도청(Federal Highways Administration, FHWA) 등에서 개발한 프로그램으로서 지속적인 개발을 통해 현재 8.1 버젼이 상용화되고 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 부여한다(renumbering). RMA2모형은 RMA (Resource Management Associates)에 의해 개발된 2차원 유한요소 모형으로써 모형의 지배방정식은 수심을 적분한 유체의 연속방정식과 2차원운동량방정식을 사용한다.

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

2.2. WMS 모형 개요

WMS는 유역의 공간해석을 위하여 DEM을 기본자료로 TIN(Triangulated Irregular Networks)해석과 Grid해석이 가능하며, 수문모델에 필요한 유역의 지형인자를 포함한 수문인자들을 자동으로 계산한다. 계산된 매개변수들은 WMS에서 제공하는 유출모델인 HEC-1, TR-20, 합리식(Ration method), NFF(Nation
-al Flood Frequency)에 자동으로 입력되며 GIS에 구축되어 있는 또는 저장되어 있는 유역의 지형자료를 수문해석에 최대한 활용할 수 있도록 GIS와 수문모델링이 연계되어 있는 대표적인 프로그램이다.6가지 기본 모듈을 가지고 있다.

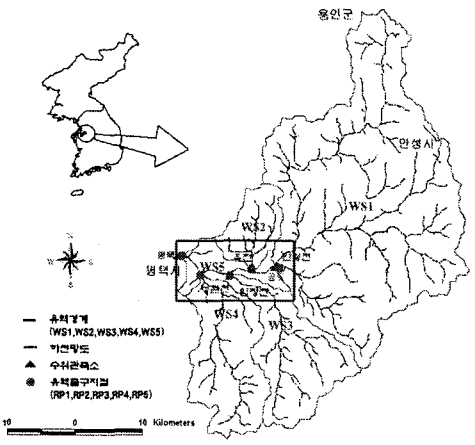
$$\frac{\partial h}{\partial t}+h(\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y})+u\frac{\partial h}{\partial x}+v\frac{\partial h}{\partial y}=0 \quad (1)$$

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

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

3. 재료 및 방법

본 연구의 대상이 되는 지역은 안성천으로서, 유역면적은 1,669.6 ㎢이며, 총 유로연장은 66.4 ㎞이다(그림 1). 수위 및 유량의 자료를 얻을 수 있는 공도수위관측소에서 시작하여 평택수위관측소까지의 구간(10.3 ㎞)을 선택하였다. 이 구간에 존재하는 안성천교, 안성철교, 안성고속도로교를 모의에 적용하였다. 대상구간의 평균 하상경사는 1/938이다. 본 연구의 기초가 되는 하천측량자료는 국가하천전산화작업의 일환인 RIMGIS자료, 수자원단위지도를 이용하여 구축하였으며, 모델에 입력되는 여러 가지 인자는 한강수자원공사에서 발행한 한강유역조사성과(2002), 홍수지도제작(안성천지역), SMS RMA2 WES Version 4.5을 기초로 하였다.



<그림 1> 대상하천 구간

3.1. RMA2 모형의 입력자료 구축

수리학적 모의에 이용되는 유한 요소망은 절점과 요소로 구성된다. 측량성과를 절점으로 입력하여, 유한요소망을 만드는 기초 자료로써 사용된다.

입력된 지형자료는 TIN (Triangle Irregular Network)을 생성한 후 계산의 안정성과 시간을 단축하기 위해 사각망으로 변형시켜 유한요소망을 생성하였다. 대상구역내의 유한요소망은 5,150개의 절점과 5,137개의 요소로 구성되며, 요소는 6,525개의 삼각형요소와 20,026개의 사각형요소로 구성된다. 절점은 RIMGIS 25번 레이어의 횡단측량성과를 하천경계에 맞춰 필요한 것만 선택하였으며, 각 절점의 xy좌표는 Korea TM 중부원점으로 GIS 분석 소프트웨어인 ArcView Extention중 CRWR Vector기능을 이용해 생성하였고, 하천경계에 맞춘 보간 작업은 AutoCAD를 이용하였다. SMS는 CAD 파일을 입력할 수 있으므로 DXF파일을 Scatter로 바꾼 후 Scatter 자료를 다시 Mesh로 바꾸는 과정을 거쳤다. 수작업을 통해 교각에 따른 흐름을 제거하였고 불안정적인 삼각망이나 사각망을 흐름에 수정하였다.(그림 2)

3.2. WMS 유출량에 의한 경계조건 입력 및 매개변수 결정

생성된 유한요소망은 BFL (Boundary condition Flow Line), BHL (Boundary

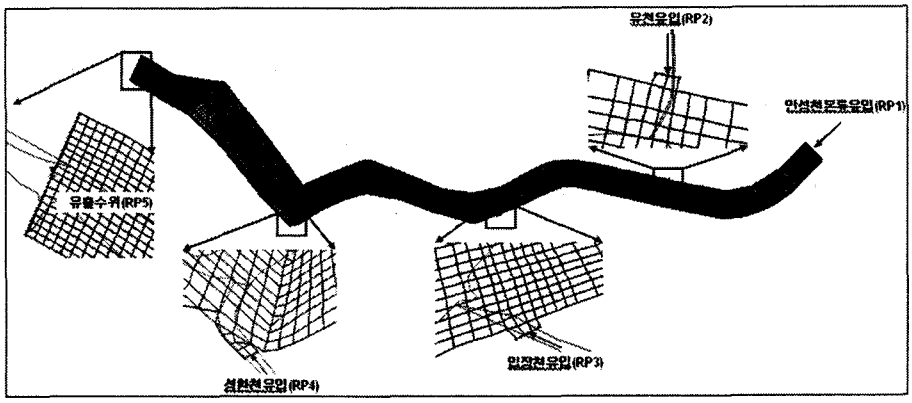
condition Head Line)을 이용하여 상류경계부의 유입유량과 하류경계부의 유출수위를 정의하게 된다. 본류의 유입유량과 유출수위는 공도와 평택 경계하여 구간을 나누었기 때문에 자료가 있으나, 각 지점의 유입유량은 쉽게 구할 수 없다. 따라서, 수원기상청의 빈도별 강수량을 이용하여 50, 100, 500, 1000년 빈도의 유출량을 수문 모형인 WMS의 HEC-1 자료를 이용하여 모의한 결과 값을 0.5시간 간격으로 65시간을 각 빈도별로 모의하였다.

대상하천에 적용된 부정상류 해석은 4번의 반복계산을 실시하였으며, 유량의 변화에 따라 생성되는 Wet/Dry 구간의 처리는 SMS 8.1부터 제공되는 DA 카드를 이용하여 각 변수의 값을 구하여 입력하였다. 지반고와 평균 표고를 구하고 Wet 지역의 구간 범위를 정한 뒤 값을 계산하였다.

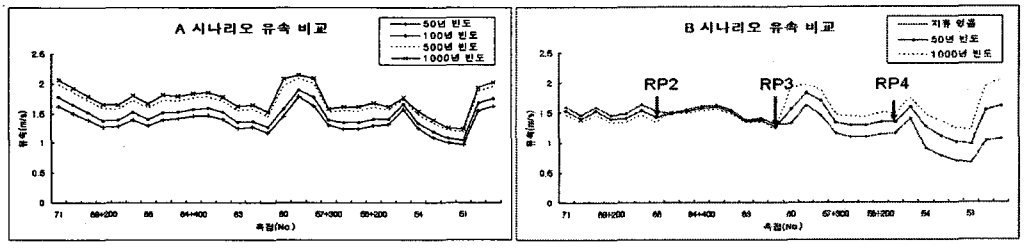
SMS RMA2 모형의 매개변수는 하상의 조도계수를 나타내는 Manning's n 값과 유체의 밀도, 속도구배, 구조 등 여러 가지의 유체조건에 따라 변하는 성질인 난류교환계수로 요약할 수 있다 (김영한 등, 2003). 이 두 가지 매개변수는 유한요소망 분석시 경계조건과 함께 하상재료특성의 정의로 모형에 입력된다. 두가지의 매개변수는 모두 SMS에서 제공하는 값을 사용하였다.

4. 결과 및 고찰

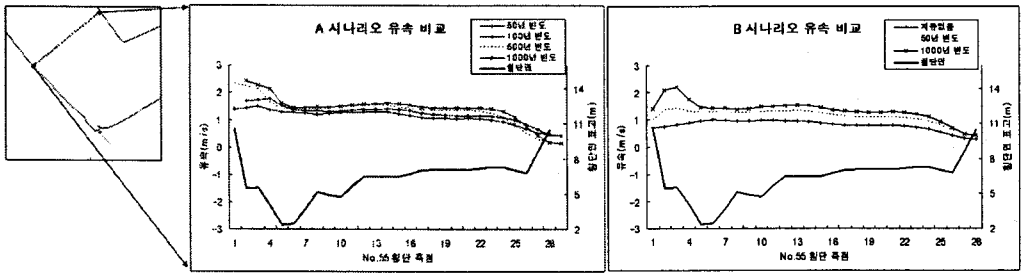
빈도별로 본류와 지류에 같은 유입량을 입력하는 방법을 A 시나리오, 본류의 유량은 100년 빈도로 고정하고 지류에 유입이 없거나 50년, 1000년 빈도를 입력하는 것을 B시나리오로 하여 모형을 구동하였다. 그리고 후처리 과정으로 하천 중심선을 연결 그 값을 출력하여 그래프로 도식화한 결과 그림 3.과 같았다. A 시나리오의 경우 빈도가 증가할수록 유속도 증가하며 그 증가 범위는 0.2~0.46m/s 이다. B 시나리오의 경우 지류의 유입 전에는 유입이 없을 경우가 0.05~0.1m/s 정도 높게 나오지만 유입 후에는 1000년 빈도의 유속이 0.9m/s까지 높게 나타났다. 그림4.는 하천의 횡단면에 따른 변화를 나타내며, A와 B 시나리오 모두 빈도가 높을수록 증감폭이 크게 나타났다.



<그림 2> 유한요소망 및 지류



<그림 3> 하천 종단면 시나리오별 유속 변화 비교



<그림 4> 하천 횡단면 시나리오별 유속 변화 비교

5. 결 론

본 연구는 안성천을 대상으로 SMS를 이용하여 하천의 동수역학적 흐름해석을 실시하여 대상하천의 각 단면에 대한 유속분포를 알아보았다. 유입량 자료를 WMS를 이용하여 시간별로 구함으로서 실제와 가까운 부정상류 해석을 실시하였으며 그 모의값을 시나리오 별로 구성하여 비교 분석하였다. 1차원 해석의 단점이라 할 수 있는 횡단면의 값을 비교할 수 있으며, 연속적으로 구성할 경우 흐름의 크기와 방향을 애니메이션화 할 수 있어 실무 적용에 효과적이라고 판단된다.

<참 고 문 헌>

[1] 곽준성. (2001) 하천·해안에서의 RMA2와 SED2D 모형의 적용성 검토. 명지대학교 석사학위논문.

[2] 건설교통부. (2002) 안성천 수계 하천정비기본계획서.

[3] 건설교통부. (2002) 한강유역 유량측정 보고서. 한강홍수통제소.

[4] 김영복. (2003) SMS모형을 이용한 하상변동예측. 충북대학교 석사학위논문.

[5] 김영한, 오정선, 서일원. (2003) 수치모형을 이용한 댐 상류 및 여수로 수리현상 해석. 한국수자원학회논문집 36(5), pp. 761-776.

[6] 박성민. (2001) 만곡수로에서 확산계수 특성 분석을 위한 RMA-4모형 적용. 경기대학교 석사학위논문.

[7] 최민하. (2001) SMS를 이용한 장·단기 하상변동해석. 고려대학교 석사학위논문.

[8] 한건연, 이을래 등. (2002) 2차원지표수 흐름 해석(SMS를 중심으로). 제10회 수공학 워크샵 교재 1-125쪽.

[9] 홍성민. (2004) SMS를 이용한 경안천 하류구간의 하천흐름 분석. 한국지리정보학회 7(1), pp. 94-104.

[10] Brigham Young University - Environmental Modeling Research Laboratory. (2002) SMS 8.0 Tutorial Manual. pp. 1.1-9.12.

[11] Brigham Young University - Environmental Modeling Research Laboratory. (2000) SMS GFGEN Version 4.27 User's Manual. pp.

1-121.
[12] U. S. Army, Engineering Reasearch and Development Center - Watweways Experiment Station Coastal and Hydraurics Laboltory. (2002) RMA2 WES Version 4.5 Users Tour Guide. pp. 1-265.