韓國水資源學會論文集
第34卷 第5號 · 2001年 10月
pp. 561~566

# 소하천에서 유로변경에 따른 수리특성 분석

## Analysis of Hydraulic Characteristics for Stream Diversion in Small Stream

안 상 진* / 전 계 원**
Ahn, Sang Jin / Jun, Kye Won

### Abstract

This study is the analysis of hydraulic characteristics for stream diversion reach by numerical model test. Through it we can provide the basis data in flood, and in grasping stream flow characteristics. Analysis of hydraulic characteristics in Seoknam stream were implemented by using computer model HEC-RAS(one-dimensional model) and RMA2(two-dimensional finite element model). As a result we became to know that RMA2 to simulate left, main channel, right in stream is more effective method in analysing flow in channel bends, steep slope, complex bed form effect stream flow characteristics, than HEC-RAS.

*keywords :* Stream Diversion, flood, Hydraulic Characteristics, finite element model

### 요 지

본 연구는 자연하천에서 유로변경 계획구간에 대한 수리특성을 수치모형시험을 통해 분석하는 것이다. 이 연구를 통해 하천공사 특히 홍수시 피해방지와 하천의 흐름특성을 파악하는 기본자료를 제공할 것이다. 본 연구에서는 수리특성분석을 위해 1차원 모형인 HEC-RAS 모형과 2차원 유한요소모형인 RMA2 모형을 석남천에 적용하였다. 그 결과 하천의 좌안, 주수로, 우안을 각각 모의할수 있는 RMA2 모형이 어떻게 유로만곡부의 흐름형태와 급경사면, 복잡한 하상형태 등의 하천 흐름특성에 영향을 미치는가를 분석하는데, HEC-RAS보다 더 효과적임을 알 수 있었다.

**핵심용어 :** 유로변경, 홍수, 수리특성, 유한요소모형

* 충북대학교 토목공학과 교수
Professor., Dept. of Civil Engineering, Chungbuk National University, Cheongju, Chungbuk 361-763, Korea
(E-mail: hydrosys@trut.chungbuk.ac.kr)
** 충북대학교 대학원 토목공학과 박사과정수료
Doctoral Student., Dept. of Civil Engineering, Chungbuk National University, Cheongju, Chungbuk 361 763, Korea

## 1. 서 론

인간의 생활에서 물은 모든 분야에 걸쳐 없어서는 안될 필수적인 것으로 유역이라는 공간을 통해 하천으로 흐르는 천연자원이다. 이러한 하천은 살아 있는 유기체와 같아서 자신에 가해지는 각종 변화에 대응하고 있다. 인간이 하천을 이용하면서 살아가는 동안 하천에 가하는 각종 변화들, 예를 들면 댐의 건설, 하도개수, 하구언 설치, 제방 축조 등은 하천을 불안정한 상태로 만들뿐만 아니라 흐름변화 및 시간변화에 따른 거동을 발생시키며 여러 가지 문제점을 야기 시키고 있다.

최근에는 도시화 산업화에 따라 치수기능과 이수기능에 부가하여 다양한 기능이 도시하천에 요구되고 있다. 또한, 주변환경의 급속한 변화에 따라 하천의 개수, 하상도로 건설, 유로변경 등 도시하천의 변화요인이 발생하고 있다. 본 연구에서는 도시하천의 변화요인 중 하나인 택지개발 사업에 따라 청주시 석남천 유역의 유로변경 계획구간에 대한 제방 및 수공구조물의 안전성을 검토하기 위해 1차원 모형인 HEC-RAS 모형 및 2차원 모형인 RMA2 모형을 석남천 유역에 적용하였다.

하천에서 홍수시의 수위 예측은 하천 치수적인 측면에서 중요한 문제이다. HEC-RAS모형은 미육군 공병단의 수문연구소(Hydrologic Engineering Center, HEC)에서 개발된 상류(subcritical), 사류(supercritical), 혼합흐름영역(mixed flow regime)등의 수면곡선을 계산하는 프로그램으로 수위 변동을 예측할 수 있고, 1997년 국내에 처음소개 되었다.

RMA2 모형은 Norton, King등에 의해 개발된 2차원 수심평균한 유한요소 수치모형으로 King과 Norton (1976)은 동수역학적 흐름해석을 위해 유한요소모형인 RMA를 적용하였고, King(1986)에 의해 범람홍수류에 대한 동수역학적 유한요소모형과 토사이송모형이 수행되었다.

한편, 국내에서는 김형일 등(1996)이 홍수위 산정을 위해 1차원 모형과 2차원 모형을 비교하였고, 이종태와 전형준(2000)은 여의도 샛강 및 밤섬이 한강 홍수에 미치는 영향 분석에 RMA2 모형을 적용하였으며, 안상진 등(2000)은 소하천 수계의 수리특성 분석을 위해 1차원 모형과 RMA2 모형을 적용하고 그 결과를 비교 분석하였다.

본 연구의 목적은 금강유역 미호천 지류인 석남천의 유로변경에 따른 수치모형시험(2000)에 HEC-RAS 모형과 RMA-2 모형을 적용하여 하천 개수전·후의 수위, 유속 등의 제반 수리사항을 도출하고 수공구조물의 신계 및 유지관리 등의 하천공사 실시를 위한 기초자료로 활용될 수 있도록 하며, 수치모형 시험결과를 토대로 당해 하천구간의 하천시설물 및 부속물에 대한 안전성을 검토하고 홍수소통의 문제해결에 도움이 되는 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

## 2. 기본이론

### 2.1 HEC-RAS모형

HEC-RAS모형은 일반적으로 자연이나 인공수로에서 정류상태의 점변류에 대하여 1차원 수면의 계산을 실행할 수 있다. 식(1)은 표준축차법의 기본이 되는 에너지 방정식을 나타내고 있다. 여기서, 최초 단면의 값은 그 다음 단면을 계산해 나가는데 사용된다.

$$Z_2 + WS_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} = Z_1 + WS_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + h_e \quad (1)$$

여기서 $WS_1$, $WS_2$는 구간 양단에서의 수위이고, $V_1$, $V_2$는 구간 양단에서의 평균유속이며, $\alpha_1$, $\alpha_2$는 구간양단에서의 에너지 보정계수, $g$는 중력가속도, $h_e$는 에너지 손실수두 이다.

식 (1)에서 사용된 $h_e$는 식 (2)에 의해서 구해진다.

$$h_e = L_0 \overline{S_f} + C \left| \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} - \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} \right| \quad (2)$$

여기서 $L_0$는 검사 단면간의 수로 구간길이, $\overline{S_f}$는 구간에서의 대표 마찰평균경사이고 $C$는 단면의 확확대 또는 축소에 따른 손실계수이다. 그리고, 수로구간 길이 $L_0$는 식 (3)으로 계산 할 수 있다.

$$L_0 = \frac{L_{lob}\overline{Q_{lob}} + L_{ch}\overline{Q_{ch}} + L_{rob}\overline{Q_{rob}}}{\overline{Q_{lob}} + \overline{Q_{ch}} + \overline{Q_{rob}}} \quad (3)$$

여기서 $L_{lob}$, $L_{ch}$, $L_{rob}$는 좌측제방, 수로중앙, 우측제방에서의 구간 양단의 수로 구간 길이, $\overline{Q_{lob}}$, $\overline{Q_{ch}}$, $\overline{Q_{rob}}$는 좌측제방, 수로 중앙, 우측제방에 대한 구간양단에서의 평균유량이다.

### 2.2 RMA2 모형

2차원 유한요소모형인 RMA2 모형은 비교적 수심이 얕은 흐름에서 수심방향으로는 적분 평균유속을 사용하여 천수흐름에서 상류, 자유수면에 대해 수위와 수

평방향의 유속성분을 계산한다. 유한요소모형은 복잡한 지형에 대해 적용하기가 유리하며 특히 만곡부에서 유한차분모형 보다 유한요소모형이 흐름의 양상을 보다 정확히 재현하는 것으로 알려져 있다(황연상, 1992).

RMA2 모형에서는 Navier-Stokes 방정식에 난류외 흐름을 고려한 Reynolds 방정식으로 유한요소의 해를 계산한다. 마찰력은 Manning의 조도계수나 Chezy 계수로서 계산하고, 와점성계수(eddy viscosity)는 난류의 특성을 정하는데 사용된다. 식 (4)~식 (6)은 RMA2 모형의 연속방정식과 2차원 천수방정식을 나타내고 있다.

$$\frac{\partial z}{\partial t} + u\frac{\partial (hU)}{\partial x} + \frac{\partial (hV)}{\partial y} = 0 \qquad (4)$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U\frac{\partial U}{\partial x} + V\frac{\partial U}{\partial y} = -\left(\frac{1}{\rho}\frac{\partial p_a}{\partial x} + g\frac{\partial z}{\partial x}\right) + \frac{\tau_{sx} - \tau_{bx}}{\rho h} + F_{Bx} + \nu\left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2}\right) \qquad (5)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U\frac{\partial V}{\partial x} + V\frac{\partial V}{\partial y} = -\left(\frac{1}{\rho}\frac{\partial p_a}{\partial y} + g\frac{\partial z}{\partial y}\right) + \frac{\tau_{sy} - \tau_{by}}{\rho h} + F_{By} + \nu\left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2}\right) \qquad (6)$$

여기서 $p_a$는 수면에서의 대기압, $\tau_{sx}$는 수면에서 바람응력 성분, $\tau_{bx}$는 바닥마찰 $x$ 성분, $U, V$는 $x, y$방향에서 수심평균유속, $F_B$는 단위 질량당 체적력이다.

## 3. 모형의 구성 및 경계조건

### 3.1 대상구간

모형의 적용구간인 석남천 유역은 금강 하구로부터 약 130km 상류지점에 위치한 금강수계의 제2지류로서, 동으로 칭주시 중심부를 흐르는 무심천 유역, 서쪽은 금강 제1지류 직할하천인 미호천 유역으로 분수계를 이루고 있으며 유역면적은 49.70km$^2$, 총유로연장은 12.89km이며 총유로연장 중 택지개발에 따른 유로변경 구간의 길이는 1.515km이고 유로변경전 기존수로의 길이는 1.615km이다. 하상경사는 유역의 상류부에서는 1/80로 경사가 급한편이며 유로변경구간 이후로는 하상경사가 1/580까지 낮아진다. 유역특성은 표 1과 같으며 석남천 유역의 유로변경 전·후 구간의 위치도는 그림 1에 나타내었다.

**표 1. 석남천의 유역특성**

| 구간 | 하폭 | 하상경사 | 유로길이 | 유역평균고도 |
|---|---|---|---|---|
| 유로변경전 | 13m ~ 27m | 1/250 | 1.615km | 102.04 |
| 유로변경후 | 25m ~ 30m | 1/250 | 1.515km | 102.04 |

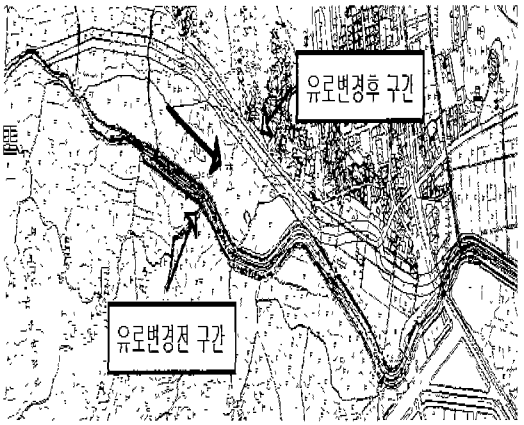


**그림 1. 석남천 유역의 유로변경 전 - 후 구간 위치도**

### 3.2 유한요소망의 구성

SMS모형 중 RMA2 모듈을 모의하기 위한 유한 요소망은 하폭이 좁은 점을 고려하여 사각형 2차요소를

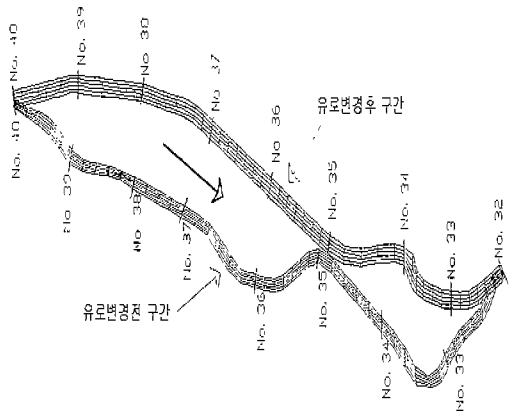


**그림 2. RMA2 모형의 격자망 구성도**

이용하여 유로변경전 구간에 대해서는 225개 요소(element)와 776개의 격자점(node)으로 구성하였고, 유로변경후 구간은 275개의 요소와 946개의 격자점으로 구성하였다. 요소망 구성시 사용된 와점성계수와 조도계수는 RMA-2 메뉴얼에서 권장하는 1,000~50,000 Pascal-sec사이의 값과 0.020~0.035사이의 값을 사용하였으며, 하상표고는 석남천 하천정비 기본계획(1996, 1999)과 갈수기에 실측한 자료를 이용하여 구성하였다. 구성된 유한 요소망은 그림 2에 나타내었다.

### 3.3 경계조건

HEC-RAS 모형과 RMA-2 모형의 입력자료로 사용한 하도의 지형자료는 석남천 하천정비 기본계획(1996, 1999)과 1/5,000 수치지형도와 1/5,000 지형도 및 실측에 의해 분석된 자료를 근거로 하여 구성하였다. 상류부 경계조건은 석남천 (No.40~No.32지점)의 계획홍수량인 157㎥/sec로 산정하였고, 하류부 경계조건은 유로변경 구간과 기존수로가 합류되는 강서교의 계획 홍수위로 유로변경전은 43.21m, 유로변경후는 42.66m로 산정하였다.

## 4. 모형의 적용

본 연구의 대상유역인 석남천 유역은 소하천이며 특히 유로변경 구간의 경우 도심지를 관통하여 하천이 흐르고 있어 1차원 모형인 HEC-RAS 모형과 2차원 모형인 RMA-2 모형을 이용하여 수위, 유속등의 흐름변동 특성을 분석하였다.

### 4.1 1차원 모형에 의한 흐름특성 분석

유로변경 전·후 구간(No.40~No.32)에 빈도별 기본홍수량(30년 : 123 $m^3$/sec, 50년 : 138 m3/sec, 80년 : 151 $m^3$/sec, 100년 : 157 $m^3$/sec)을 적용하였으며 조도계수는 0.020~0.035의 값을 사용하여 HEC-RAS 프로그램을 모의하였다. 그 결과 계획 홍수량에 따른 여유고 0.6m(하천시설기준)를 유지하며 모든 빈도별 홍수량을 소통시키는데 무리가 없었으며, 유로변경 구간 합류점에서의 홍수위(E.L)는 42.63m로 유로변경전 홍수위 43.37m 보다 낮아졌다. 또한 유속은 유로변경 구간 시점부에서 증가하다가 종점부로 향할수록 수로의 형태가 안정됨에 따라 점차 감소하는 경향을 나타내었다.

### 4.2 2차원 모형에 의한 흐름특성 분석

RMA2 모형에 의해 모의된 주요지점의 유속분포를 살펴보면 유로변경전 구간에서는 평균유속이 1.53~2.95m/sec의 분포로 모의되었으며 홍수위는 하류부 계획홍수위인 43.21m와 거의 일치하는 43.29m로 모의되었다. 유로변경후 구간에서는 평균유속이 1.79m/sec~3.33m/sec의 분포를 나타냈으며 유로변경 종점부의 홍수위는 42.67m를 나타냈다. 특히 유로변경구간의 시점부(No.39~no.38)에서는 유로변경에 따른 영향으로 유속이 증가하였으나 종점부로 향할수록 안정된 분포를 나타내었다. 그림 3은 유로변경전·후 구간의 속도분포도를 나타내고 있다.

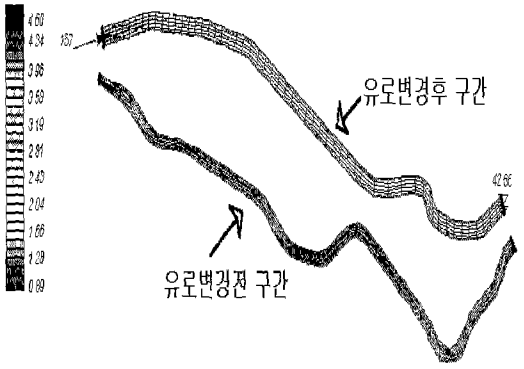


그림 3. 유로변경전 · 후 구간의 속도분포도

### 4.3 흐름특성 비교검토

유로변경전·후 구간의 흐름특성을 비교하기 위해 1차원 모형인 HEC-RAS 모형과 2차원 모형인 RMA2 모형을 모의한 결과 표 2 에서 알 수 있듯이 유로변경전 구간의 경우 1, 2차원 모형 모두 계획 홍수위와 비교적 일치되는 홍수위의 결과를 얻을 수 있었다. 유속의 경우 그림 4 에서 알 수 있듯이 1차원 모형의 경우 2.0m/sec~3.54m/sec의 유속분포를 나타냈으며, 2차원 모형의 경우는 좌안, 주수로, 우안의 유속분포가 4.19m/sec~2.09m/sec를 나타내었다.

유로변경후 구간은 1차원 모형의 경우 표 3에서 알 수 있듯이 유로변경구간 시점부에 유속이 4.27m/sec~4.28m/sec로 과대 추정되었다. 이는 변경부 시점의 급격한 수위하강에 의한 결과인 것으로 판단된다. 2차원 모형의 경우는 그림 5 에서와 같이 유로변경부 시점부에 대당하는 No. 39~No. 38지점의 좌안 쪽에 유속이 크게 증가하는 것을 알 수 있다. 따라서 향후 하천공사 계획시 No. 39~No. 38지점의 좌안에 홍수량에 의한 침식에 대비하여 돌망태나 호안 등의 방지시설을 설치해야할 것으로 판단된다.

표 2. 유로변경전 구간의 계획홍수위 비교

| 위치(No) | 누가거리 (m) | 계획 홍수위 (E.L) | 1차원모형(m) | | 2차원 모형(m) | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | HEC-RAS | 수위차 | RMA-2 | 수위차 | |
| 40 | 0 | 49.02 | 49.03 | -0.01 | 49.05 | -0.03 | 유로변경 시점 |
| 39 | 200 | 48.20 | 48.22 | -0.02 | 48.15 | 0.05 | |
| 38 | 400 | 47.32 | 47.36 | -0.04 | 47.35 | -0.03 | |
| 37 | 600 | 46.88 | 46.86 | 0.02 | 46.83 | 0.05 | |
| 36 | 800 | 45.55 | 45.42 | 0.13 | 45.70 | -0.15 | |
| 35 | 1000 | 45.32 | 45.28 | 0.04 | 45.29 | 0.03 | |
| 34 | 1200 | 44.54 | 44.40 | 0.14 | 44.60 | 0.06 | |
| 33 | 1400 | 44.15 | 43.83 | 0.32 | 44.32 | -0.17 | |
| 32 | 1600 | 43.21 | 43.37 | -0.16 | 43.29 | 0.08 | 유로변경종점 |

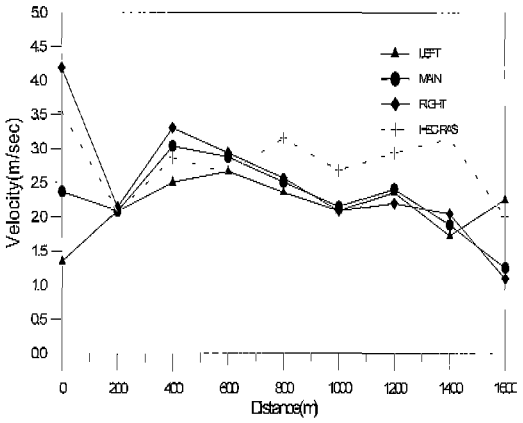


그림 4. 유로변경전 구간의 HEC-RAS 모형과 RMA2 모형의 유속비교

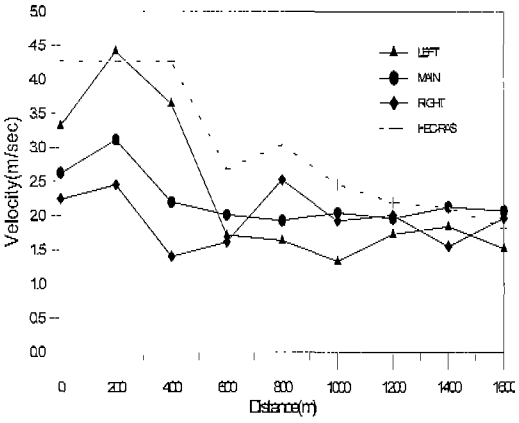


그림 5. 유로변경후 구간의 HEC-RAS 모형과 RMA2 모형의 유속비교

표 3. 유로변경 구간의 홍수위 및 평균유속 비교

| 위치(No) | 누가거리 (m) | 홍수위(E.L) | | 평균유속 | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | HEC-RAS | RMA2 | HEC RAS | RMA2 | |
| 40 | 0 | 48.09 | 48.45 | 4.28 | 2.73 | 유로변경시점 |
| 39 | 200 | 46.85 | 47.51 | 4.28 | 3.33 | |
| 38 | 400 | 45.33 | 46.12 | 4.27 | 2.42 | |
| 37 | 600 | 44.81 | 45.42 | 2.69 | 1.79 | |
| 36 | 800 | 44.14 | 44.60 | 3.04 | 2.03 | |
| 35 | 1000 | 43.38 | 43.37 | 2.47 | 1.77 | |
| 34 | 1200 | 42.85 | 43.60 | 2.20 | 1.90 | |
| 33 | 1400 | 42.83 | 43.52 | 2.12 | 1.84 | |
| 32 | 1600 | 42.63 | 42.67 | 1.82 | 1.85 | 유로변경종점 |

## 5. 결 론

본 연구는 석남천 유역의 유로변경전 구간과 유로변경 계획구간에 대해 수치모형 시험을 통해 수리특성을 분석하고 홍수시 피해경감과 하천공사시에 기초자료를 제공하고자 1차원 모형인 HEC-RAS 모형과 2차원 모형인 RMA2 모형을 적용하고 그 특성을 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 1차원 모형인 HEC-RAS 모형을 이용한 유로변경전 구간과 유로변경후 구간의 각 구간별 통수능 분석에서는 유로변경 전·후 구간 내에서 빈도별 홍수량 전체를 원활히 소통시켰다.

(2) 2차원 모형에 의해 산정된 유속과 수위는 좌·우안 및 유심부에서 많은 차이를 나타냈으며, 1차원 모형에 의해 산정된 단면 평균유속과는 유로변경 시점부에서 상당한 차이가 나타났다.

(3) 2차원 모형인 RMA2 모형의 모의결과 유로변경의 영향으로 유로변경 시점부인 No. 39~No. 38 좌안의 유속이 크게 증가하였다. 따라서 홍수시 침식에 대비해 No. 39~No. 38의 좌안에는 유속의 감소를 위한 대책이 필요함을 알 수 있었다.

(4) 1, 2차원 모형의 적용결과 유로변경전 구간에 비해 유로변경후 구간의 상류부에서는 유로변경의 영향을 받아 유속이 증가하는 경향을 보였으나, 유로변경 종점부로 향할수록 수로의 형태가 안정됨에 따라 유속도 감소하였다.

## 참 고 문 헌


김형일, 이종설, 허준행, 조원철 (1996). "자연하천에서의 홍수위 산정을 위한 1차원 모형과 2차원 모형의 비교," 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp. 111-116.

안상진, 전계원, 백남대, 김기석 (2000). "수치모형을 이용한 소하천 수계의 수리특성 분석," 충북대학교 산업과학기술연구소 논문집, 제14권 제2호, pp. 55~63.

이종태, 전형준 (2000). "여의도 샛강 및 밤섬이 한강 홍수에 미치는 영향 분석," 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp. 622~627.

청주시 (2000). 청주시 강서(Ⅰ)지구 택지개발사업에 따른 수치모형 시험 기술용역 보고서.

황연상 (1992). 여의도 샛강 매립에 의한 홍수위 변동 분석, 석사학위논문, 연세대학교.

Brigham Young University (1994). RMA2/RMA4 User's Manual. Engineering Commputer Graphics Laboratory, pp. 1.1~5.5.

Donnell, B.P. (1997). *Users Guide To RMA2 WES Version 4.3*, WexTech Systems, Inc., New York, N.Y.

Davis (1997). HEC-RAS River Analysis System: User's Manual, Hydrologic Engineering Center.

EMS-I (1999). SMS Reference Manual, Environmental Modeling Research Laborory, pp. 1.1~5.5.

Eric B. Becker, Gtaham F. Carey. and J. Einsley Oden (1981). Finite Elements An Introduction Volume, Prentice-Hall. INC.

King, I.P., and Norton, W.R. (1976). Recent Application of RMA's Finite Element Models for Two-Dimensional Hydrodynamics and Water Resources, Pentech Press pp. 2.81~2.99.

King, I.P. (1986). "An inundation algorithm for finite element hydrodynamic and sediment transport modeling." Third International Symposium on River Sedimentation, The Univ. of Mississippi, pp. 1583~1593.

Chow, V.T. (1959). Open-channel hydraulics. Mcgraw-Hill, pp. 101~125.


(논문번호:01-038/접수:2001.05.02/심사완료:2001.08.27)