

# 1, 2차원 수치모형에 의한 도시하천의 통수능 확보 방안에 관한 연구

A Study of the Conveyance Increase for Urban River using  
1, 2-Dimensional Numerical Model

백 천 우\* / 박 무 종\*\* / 김 석 우\*\*\* / 조 덕 준\*\*\*\* / 김 중 훈\*\*\*\*\*  
Baek, Chun Woo/Park, Moo Jong/Kim, Seok Woo/Jo, Deok Jun/Kim, Joong Hoon

## Abstract

The scheme for the conveyance increase of urban river is presented in this study. For the use of the lower part of the road paralleled to urban river as a conveyance, the 2-dimensional flood flow between main channel and added conveyance section is analyzed by mathematical model SMS(2-D simulation model). The result of the HEC-RAS(1-D simulation model) is used to calibrate the parameters of SMS. New scheme is applied to the Cheonggyecheon Restoration Project. The capacity of flood flow between main channel and added conveyance is simulated for 50, 80, 200 year frequency flood and suitable size of pathway is proposed.

**key words** : conveyance increase, 2-D numerical model, SMS, Cheonggyecheon Restoration Project

## 요 지

본 연구에서는 도시하천의 통수능 확보를 위한 방안이 제시되었다. 하천 좌우안을 따라 형성된 도로 하부를 통수능으로 사용하기 위해, 2차원 분석에 의해 통수단면의 제원에 따른 흐름특성을 검토하여 적합한 통수단면의 제원을 제시하였다. 주수로와 추가되는 통수단면간의 흐름 분석을 위해 2차원 수치 모형인 SMS를 이용하였고, SMS의 모형의 매개변수를 검증하기 위해 1차원 수치 모형인 HEC-RAS의 결과를 이용하였다. 제시된 통수능 확보 방안은 청계천 복원사업에 적용하였다. 50, 80, 200년 빈도 홍수에 대한 통수단면의 내수배제 능력을 검토하였으며, 적합한 통수단면의 제원을 제시하였다.

**핵심용어** : 통수능확보, 2차원 수치모형, SMS, 청계천복원사업

## 1. 서 론

2002년 서울특별시는 안전, 환경, 문화, 경제 등과 같은 복합적인 문제로 청계천 복원사업을 구상하여 2003년 7월 복원사업을 착공하였다. 복원계획에 의하면 복개부 하부 전체를 통수능으로 사용하던 기존의 전체 복개상태와는 달리 복원 후에는 청계천 좌우안 도로 하부의 복개부와 주수로 부분이 차단되어 홍수시

통수능 감소가 예상되었다. 또한, 서울특별시에서는 도심 한가운데를 가로지르는 청계천이 범람할 경우 발생할 문제를 최소화하기 위해 청계천과 유사한 규모의 다른 하천과는 달리 최대 200년 빈도 홍수사상에 대한 대책수립을 요구하였다. 따라서, 통수능 확보를 위해 복개부 하단을 통수단면으로 이용하기 위한 방안이 검토되었으며 이를 위해 주수로 부분과 복개부간의 흐름 소통을 위한 통수단면 설치를 결정하였고, 두 부분의

\* 정희원 · 고려대학교 사회환경시스템공학과 박사과정 (e-mail : chunoo@korea.ac.kr)

\*\* 정희원 · 한서대학교 토목환경공학과 부교수

\*\*\* 하준이엔씨 수자원부 대리

\*\*\*\* 정희원 · 동서대학교 토목공학과 전임강사

\*\*\*\*\* 정희원 · 고려대학교 사회환경시스템공학과 교수

원활한 흐름소통을 위한 통수단면의 위치, 규모 등에 대한 수리 검토가 필요하였다.

흐름의 2차원 해석은 많은 수자원분야에 적용되어 왔다. Gee 등(1985)은 하천지역의 흐름해석을 위해, King 등(1988)은 항만지역의 흐름해석을 위해 RMA모형을 이용하였다. King 등(1988)과 Parmeshwar(1994)는 RMA모형의 wet/dry 처리기법 유용성을 검토하였으며, King(1986)은 범람홍수류에 대한 동수역학적 유한요소모형과 토사이송모형을 수행하였다. 윤용남 등(1995)은 교량에서의 홍수로 인한 최대 세굴심도를 예측하기 위해 TABS-MD모형을 이용하였으며, 이길성 등(1998)은 접근수로의 유황 파악과 안정적인 흐름조건을 만족시키는 여수로 유도벽 설계를 위하여 RMA-2모형을 이용하였다. 윤태훈 등(1998)은 개수로 합류부의 흐름양상을 해석하기 위하여 2차원 수심적분 수치모형을 이용하였으며, 한건연 등(2000)은 홍수터로의 범람현상을 모의하기 위하여 RMA-2모형을 이용하였다. 또한, 안상진 등(2001)은 소하천에서의 유로변경에 의한 수리특성을 분석하기 위하여 RMA-2모형을 이용하였다.

1차원 수치모형은 횡방향 수리특성 분석이 어렵기 때문에 교량과 통수단면설치에 따른 수류의 영향분석 및 각 교각부에서의 정확한 수리특성을 파악하기 위해서는 2차원 수치모형의 적용이 필요하다. 본 연구에서는 1차원 수치해석 모형인 HEC-RAS의 결과를 이용하여 2차원 수치해석모형인 SMS의 매개변수를 산정하였으며, 2차원 수치모형을 이용하여 청계천 복원에 따른 주수로와 복개구간의 필요 통수단면 제원에 대해 검토하였다.

## 2. 2차원 수치모형(Surfacewater Modeling System, SMS)

홍수터 모형에 대한 2차원 해석은 1차원 해석에서 나타난 문제점을 해결하기 위해서 연구되었다. 2차원 해석은 수치계산량이 증가함에 불구하고 1차원 해석이 효과적으로 수행할 수 없는 복잡한 흐름 문제에 대한 많은 과정을 효과적으로 모의할 수 있다. 2차원 해석을 위한 지배방정식의 해석 기법은 유한차분법 또는 유한요소법이 적용될 수 있다. 유한차분법은 주로 2차원 흐름문제에 대해서 널리 사용되고 있지만 대부분의 연구는 하구부와 항만지역 등에 대하여 제한되어 왔다. 2차원 유한요소법은 공학적인 구조물 근처의 상세한 흐름특성의 분석, 하천합류부의 연구, 하구부 연구 및 하천의 수로/홍수터 흐름과 같이 실제적이고 연속적인 형상의 홍수터 지역을 나타내기 위해 필요한 복잡한 지형을 효과적으로 수행하기에 유용하다.

SMS(Surfacewater Modeling System)는 GUI(Graphical User Interface)를 바탕으로 하는 윈도우용 프로그램으로, 미국 공병단 수리실험국(U.S. Army Cops of Engineering Waterway Experiment Station)과 미국 연방도로국(U.S. Federal Highway Administration, FHWA)의 협력하에 Brigham Young University의 EMRL (Environmental Modeling Research Laboratory)에서 개발된 동수역학 모델링을 위한 2차원 유한요소 수치모형이다. SMS 프로그램은 얇은 흐름의 해석에서 수표면의 표고와 유속을 계산하는 모형으로서 동역학적 모형 적용이 가능하며, 오염물의 이송 해석도 가능하다. SMS모형은 Pre 및 Post Processor기능을 갖는 프로그램이며, GFGEN 모듈, RMA-2 모듈, RMA-4 모듈로 구성되어있다. SMS의 일반적인 적용절차는 그림 1과 같다.

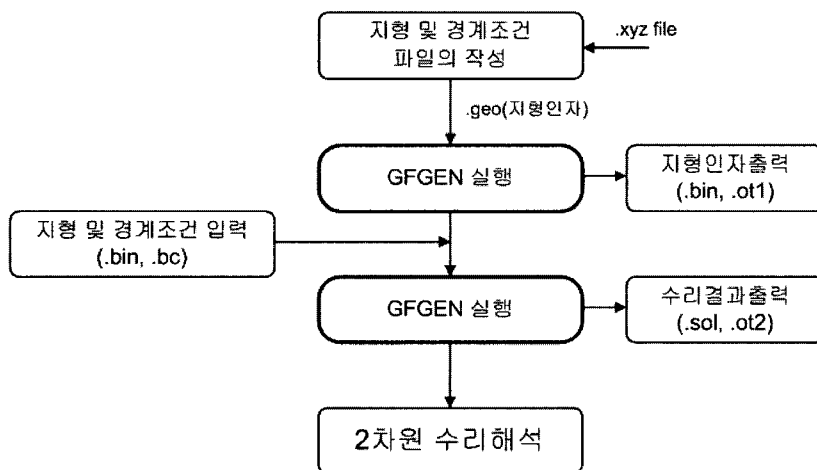


그림 1. 2차원 수리해석을 위한 모형수행 흐름도

### 3. 2차원 수치모형의 적용

#### 3.1 청계천 유역의 수리·수문자료 분석

본 연구에서 청계천 유역의 수리·수문 분석에 사용된 기초자료는 “청계천 복원 타당성조사 및 기본계획 보고서(2003. 2., 서울시정개발연구원)”의 결과를 이용하였으며 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

##### 3.1.1 강우분석 및 확률강우량

확률강우량 산정을 위한 강우분석은 1961~2001년간 41년의 서울시 자료를 이용하여 수행되었으며, 최적분포형으로는 Gumbel(Extreme Type-1)분포형이 선정되었다. 지속기간별 최대확률강우량은 표 1과 같다.

##### 3.1.2 홍수량 산정

청계천 유역은 과거 유량관측자료가 부족하여 빈도별 강우량과 홍수량산정 공식을 이용하여 홍수량을 산정하였다. 산정방법으로는 유역추적법(area-routing method), 中安(Nakayasu)의 종합단위도법, ILLUDAS 모형, 합리식(rational formula), 梶山(Kajiyama)의 극대홍수량 산정공식과 고재웅 식의 6개 방법에 의해, 10년, 50년, 100년, 200년, 500년 빈도 등의 5개 빈도에 적용되었다. 유효강우량은 SCS방법을 사용하였으며, 건교부(한국확률강우량도의 작성, 2000)에서 제안한 면

적감소계수(Areal Reduction Factor, ARF)를 곱하여 점확률강우량을 면적확률강우량으로 변환시켜 적용하였다. 강우의 시간적 분포는 “지역별 설계강우의 시간적 분포(2000, 건교부)에 제시된 Huff의 4분위법 중 제 2구간호우로 결정하였다.

강우의 임계지속기간을 결정하기 위해 유역추적법(Area-Routing Method), 中安(Nakayasu)의 종합단위도법 및 ILLUDAS 모형을 시험모형으로 하여, 각 하천의 하구지점에 대하여 강우지속기간의 변화에 따른 첨두홍수량의 변화를 검토하였다.

홍수량 산정은 유역추적법 등 6가지 방법에 의하여 10, 50, 100, 200, 500년 빈도에 대하여 실시하였으며, 청계천유역에 적합한 유출모형을 검토하기 위하여 기 설치된 수위표지점의 측정수위와 그 결과를 비교 검토하였다. 검토 결과 Nakayasu방법이 가장 근접한 것으로 나타났으나, 기존계획과 서울시 관내 하천의 채택 방법 및 치수 안전을 고려할 때 Clark의 유역추적법을 적용함이 적절한 것으로 판단되어 유역추적법에 의한 결과를 빈도별 홍수량으로 적용하였다. 홍수량 산정지점은 수계의 형상, 홍수상황 등을 고려하고, 지류유입으로 인하여 홍수량이 크게 변화될 것으로 예상되는 지점 또는 이·치수 목적 등의 중요지점 등을 감안하여 선정하였으며, 각 지점별 홍수량은 표 2와 같다.

표 1. 지속기간별 최대확률강우량(단위:mm)

관측소	재현기간(년)	지속기간(시간)													비고
		10분	1	2	3	4	5	6	8	10	12	15	18	24	
서울	10	25.1	75.6	109.8	135.9	152.1	164.5	176.8	190.9	204.0	218.4	234.7	251.9	279.5	
	50	32.1	100.6	145.3	181.6	204.1	220.7	235.5	251.8	269.3	290.6	315.3	341.8	384.9	
	80	34.1	107.7	155.5	194.7	219.1	236.8	252.3	269.3	288.1	311.3	338.4	367.6	415.1	
	100	35.1	111.1	160.4	200.9	226.1	244.4	260.3	277.6	297.0	321.1	349.4	379.8	429.4	
	200	38.1	121.6	175.3	220.2	248.1	268.0	285.0	303.3	324.5	351.5	383.3	417.7	473.8	
	500	42.0	135.5	195.1	245.5	277.0	299.2	317.6	337.1	360.8	391.7	428.1	467.6	532.3	

\* 자료 : 청계천 복원 타당성조사 및 기본계획 보고서(2003. 2., 서울시정개발연구원)

표 2. 지점별 빈도별 홍수량

산정지점	유역면적(km <sup>2</sup> )	유로연장(km)	빈도별 홍수량 (m <sup>3</sup> /s)						비고
			10년	50년	80년	100년	200년	500년	
청계천하구	50.96	10.92	482	659	710	734	809	908	
정릉천 합류전	28.92	8.15	312	425	457	472	520	583	
성북천 합류전	21.29	7.30	245	337	364	376	415	466	
청계7가 우안관로 합류전	16.54	6.17	220	301	325	336	370	415	
청계6가 우안관로 합류전	15.19	5.68	207	286	308	319	351	394	
동대문 종합상가 좌안관로 합류전	12.97	5.35	178	245	265	274	302	339	
청계5가 우안관로 합류전	11.44	4.90	164	225	243	251	276	310	
청계3가 좌안관로 합류전	8.54	4.07	130	177	191	197	217	243	
삼각동 우안관로 합류전	5.61	3.48	86	118	127	131	145	162	
광교	5.39	3.18	82	113	122	126	139	156	
태평로 시점	3.09	2.74	48	65	71	73	80	90	

\* 자료 : 청계천 복원 타당성조사 및 기본계획 보고서(2003. 2., 서울시정개발연구원)

### 3.1.3 홍수위 산정

산정된 홍수량에 대한 홍수위 산정은 중랑천 합류점의 빈도별 홍수위를 기점수위로 하여 배수위를 계산하였다. 홍수위 산정을 위해 적용한 하천의 조도계수는 현상태와 복원후로 구분하여 표 3과 같이 적용하였으며, 빈도별 기점홍수위는 표 4와 같다.

“청계천 복원 타당성조사 및 기본계획(2003. 2., 서울시정개발연구원)”에서 제시된 복원의 기본방향은 “① 치수안정을 우선하여 주변지역의 침수피해를 최소화할 수 있도록 계획, ② 기존 상가의 영업활동을 위하여 양안 2차선(12.0m)이상의 도로확보, ③ 제방의 높이는 현재의 도로고 높이로 제한, ④ 적절한 범면경사 확보, ⑤ 현여건상 불가한 계획은 장래계획으로 유보”이다. 또한 예상되는 각종 문제점을 최소화하고 고수부지 이용도, 유지관리를 위한 고수부지 폭, 호안사면계획, 하천의 사행, 여유고 등을 고려한 수정된 최종 보완 안을 제시하였으며, 수정 보완된 단면계획에 따른 개수후의 계획홍수위 검토 결과 여유고는 200년 빈도에서 하천 설계기준 이상으로 계획되었다.

### 3.2 1차원 수치모형(HEC-RAS)에 의한 홍수위 산정

SMS모형의 입력변수들을 검정하기 위해 1차원 수치모형인 HEC-RAS에 의해 50, 80, 200년 빈도에 대하여 정상류해석 및 부정류 해석으로 청계천 복원계획에 따른 홍수위를 계산하였다. 홍수위 산정에 필요한 하류부의 경계조건으로는 표 4와 같은 청계천의 분류인 중랑천 합류점의 빈도별 홍수위를 기점수위로 적용하였다.

#### 3.2.1 정상류해석에 의한 홍수위 산정

청계천의 계획 복원단면에 대한 정상류 해석의 홍수위 검토 결과는 그림 2와 같다. 청계천 구간은 홍수량

이 100~810m<sup>3</sup>/sec로 하천설계기준(한국수자원학회, 2000)에 의하면 80~100cm의 여유고를 유지하여야 한다. 검토 결과 대부분의 경우 여유고를 유지하나, 일부 구간에서 200년 빈도 홍수시 2~15cm가량 여유고가 부족한 것으로 나타났다.

#### 3.2.2 부정류해석에 의한 홍수위 산정

정상류 해석에서는 시간에 관련된 항이 제외된 에너지 방정식을 사용함으로써, 실제 흐름의 시간적인 흐름 변화 특성에 대해서 제대로 모의하는데 한계가 있다. 이러한 한계점을 보완하기 위하여 정상류해석시와 동일빈도인 50, 80, 200년 빈도에 대하여 부정류해석으로 청계천 복원계획에 따른 홍수위를 계산하였다. 부정류해석에 의한 홍수위 산정에 필요한 하류부의 경계조건으로는 수위 수문곡선, 유량 수문곡선, 수위-유량 관계곡선 및 Manning 공식에 의한 등류수심(normal depth)이 적용될 수 있다. 본 연구에서는 청계천의 분류인 중랑천 합류점의 실제 시간에 따른 수위 변화를 적용하여야 하나, 중랑천의 시간에 따른 수위 변화 자료가 없는 관계로, 표 4과 같은 중랑천 합류점의 빈도별 홍수위를 기점수위로 하여 배수위를 계산하였다. 유입 수문곡선이나 유출량-시간의 형태로 적용되는 상류경계조건으로는 기본계획상에서 산정한 지점별 홍수유입량을 적용하였다.

청계천의 계획 복원단면에 대한 부정류 해석의 홍수위 검토 결과는 그림 3과 같다. 그림 3에 나타난 홍수위는 시간에 따라 변하는 단면별 홍수위중 최대 홍수위를 나타내고 있다. 검토 결과 정상류해석의 결과와 마찬가지로 대부분의 경우 여유고를 유지하며, 일부 지점에서 200년 빈도 홍수시 2~20cm가량 여유고가 부족한 것으로 나타났다.

표 3. 조도계수(n) 적용값

구 분	현상태		복원후	
	바닥	벽체	좌우안 Box 구간	개수로구간
조도계수(n)	0.030	0.020	0.020	0.035

\* 자료 : 청계천 복원 타당성조사 및 기본계획 보고서(2003. 2., 서울시정개발연구원)

표 4. 빈도별 기점홍수위

지 점	빈도별 홍수위(EL. m)					비 고
	10년	50년	80년	100년	200년	
청계천하구(No. 0)	12.79	14.65	15.34	15.65	16.79	

\* 중랑천 : 계획 홍수위는 한강 배수위를 감안 17.05m로 계획(중랑천계획빈도 100년)

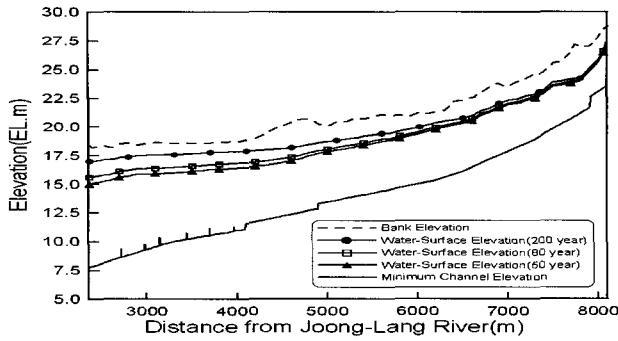


그림 2. HEC-RAS에 의한 계획홍수위(정상류해석)

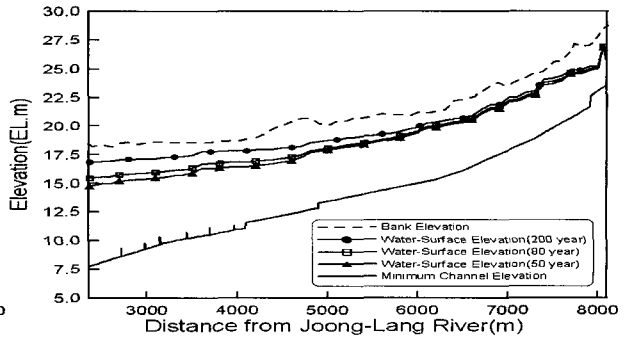


그림 3. HEC-RAS에 의한 계획홍수위(부정류해석)

### 3.3 2차원 수리모형(SMS)에 의한 홍수위 산정

2차원 수치모형을 이용해 통수단면의 제원을 검토하기 위해서는 시간에 따라 변하는 유입유량을 고려한 2차원 부정류해석을 실시하여야 한다. 2차원모형의 경우, 모형을 통한 모의에 사용되는 매개변수가 1차원 모형에 비해 많이 필요하며, 이 때 사용되는 매개변수들의 적합성 검토를 위해 2차원 정상류 해석을 실시, 1차원 모형의 결과와 비교 검토하였다.

#### 3.3.1 유한요소망의 구성

청계천 복원은 총 3개 공구로 나뉘어 실시되며, 청계천 전체 구간을 하나의 유한요소망으로 구성하여 2차원 수치모형에 의해 통수단면의 검토를 하는 것은, 해의 수렴과 계산시간 등에 문제가 있으므로 구간을 여러 구간으로 나누어 2차원 해석을 실시하였다. 본 연구에서는 청계천 복원구간을 총 6개의 소구간으로 나누어 유한요소망을 구성하여 분석하였으며, 그림 4와 그림 5에는 2공구 구간의 유한요소망 구성과 구성된

유한요소망에 의한 하상등고선 분포를 나타내었다.

#### 3.3.2 경계조건의 구성

동수역학 모의에 필요한 입력자료인 경계조건으로는 난류확산계수와 조도계수  $n$ 값 그리고 상하류단수위 및 유량조건이 필요하다. 검토시 이용되는 주요 조정인자로는 Manning의 조도계수  $n$ 값과 난류확산계수 값이 있다. 조도계수  $n$ 값은 표 5에 나타난 값을 이용하여 하천의 수심과 재료의 특성을 고려하여 적용하였다. 즉 기본계획에서 적용한 0.035를 기본으로 하여, 단면의 횡방향 특징을 고려하여 저수로부는 0.035~0.040, 복개부에는 0.02를 적용하였다. 난류교환계수의 경우 대상구간에서의 하천 폭과 수심을 고려할 때 “얕은 하천(급류)”의 경우에 가까울 것으로 판단하고 하천의 재료특성과 수심을 고려하여 2,500~4,000  $N \cdot sec/m^2$  을 각각의 구간에 대해 적용하였다. 적용된 난류확산계수와 Manning의 조도계수 값은 표 5와 같다.

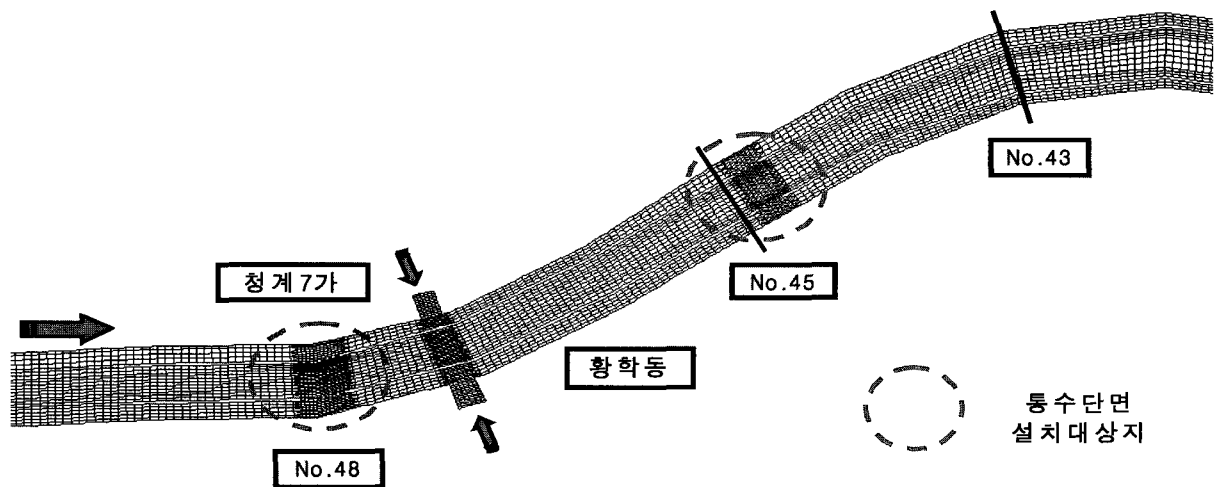


그림 4. 유한요소망의 구성(No. 41~No.45)

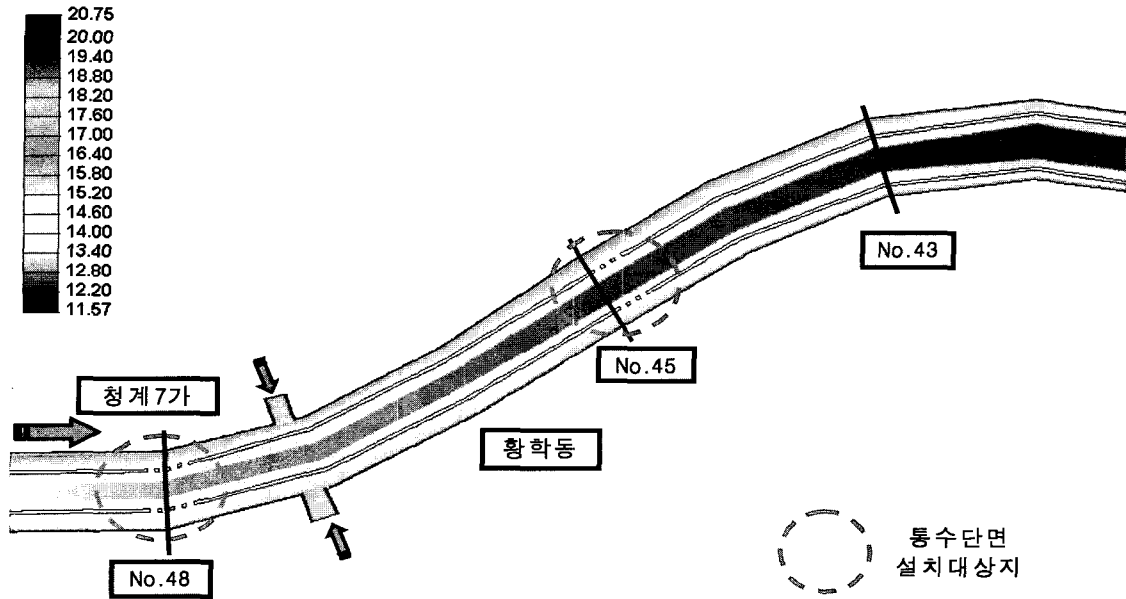


그림 5. 하상등고선 분포(EL. m, No.41~No.52)

표 5. 재료 특성치 산정값

구 분	복원후	
	좌우안 Box 구간	개수로구간
조도계수(n)	0.020	0.035~0.040
난류확산계수	2,500~3,000 $N \cdot \text{sec}/m^2$	3,500~4,000 $N \cdot \text{sec}/m^2$

경계조건으로 상류단에는 유량을, 하류단에는 수위를 부여하는 것이 일반적인 경우이며 본 과업에서는 상류단 유량으로 표 4에 나타나 있는 200년 빈도 계획 홍수량을 6개로 나누어진 각각 유한요소망의 상류지점에 적용하였다. 한편 이에 대응되는 하류단 수심은 “청계천 복원 타당성조사 및 기본계획(2003. 2., 서울시정개발연구원)”에서 산정한 유한요소망의 하부 측점의 홍수위를 적용하였다.

### 3.3.3 정상류해석에 의한 SMS모형의 적용성 검토

2차원 수치모형의 검증을 위해 200년 빈도 계획홍수량에 대한 1차원 수치모형인 HEC-RAS의 배수위 계산결과와 SMS모형의 배수위 계산결과를 비교하였으며, 그림 6에 2공구 구간인 측점 No.42~No.62간의 배수위를 나타내었다. 1차원 및 2차원 수치모형의 배수위 계산 결과는 1차원 모형에 의한 결과가 2차원 모형의 결과보다 다소 높게 계산되고 있으나, 그 차가 0.02~0.11m 정도로 큰 차이가 나타나지 않았다. 따라서 적용된 난류확산계수 값과 조도계수의 범위가 적절한 것으로 판단된다.

### 3.4 통수단면의 제원검토

그림 7은 청계천 복원 전·후의 하천단면을 나타내고 있다. 그림 7과 같이 복개부 전체를 통수능으로 사용하는 복원전과는 달리 복원 후에는 주수로부와 복개부가 차단되어 주수로부만이 통수능으로 사용되어 통수능이 부족한 것으로 예상된다. 따라서 청계천 복원 후 복개상태로 남는 주수로 좌우안의 공간을 통수능으로 사용하기 위해서는 그림 8과 같이 주수로부와 복개부간의 통수단면이 필요하며, 두 부분의 원활한 흐름소통을 위한 통수단면의 위치, 규모 등에 대한 2차원적 검토가 필요하다.

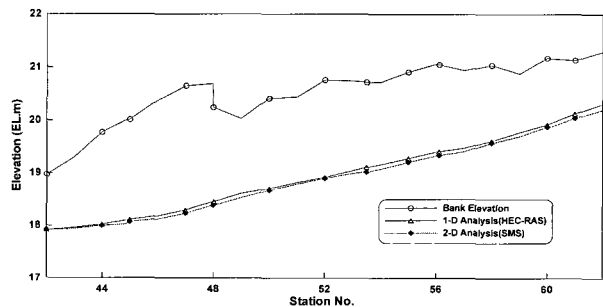


그림 6. HEC-RAS와 SMS모형에 의한 홍수위 산정결과의 비교

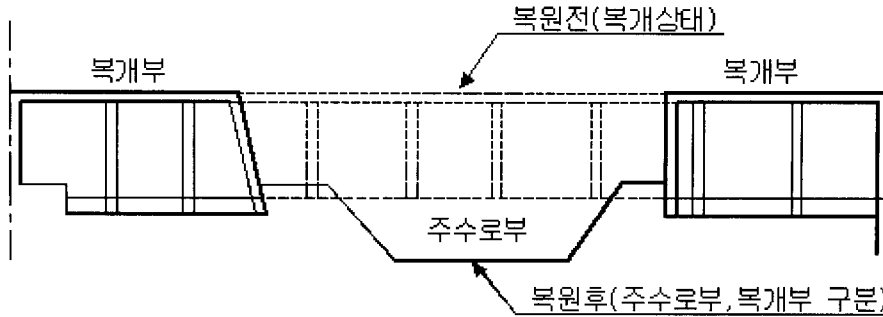


그림 7. 복원 전·후 하천단면

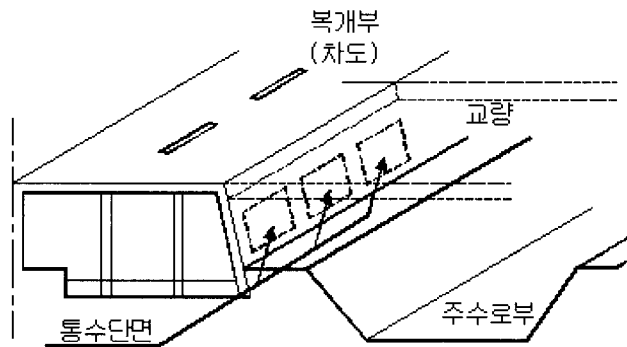


그림 8. 통수단면

또한, 청계천 구간에서 교량과 통수단면설치에 따른 흐름 특성을 분석하고, 시간에 따른 홍수유입량 변화에 의한 통수단면에서의 내수배제 능력을 검토하기 위하여 정상류 해석에 의한 수리특성만으로는 정확한 분석이 어렵기 때문에 시간에 따라 유량이 변하는 부정류해석을 실시하였다. 부정류 해석에 사용된 2차원 모형의 난류확산계수 값과 조도계수  $n$  값은 정상류 해석시의 값을 적용하였으며, 상류단의 유량조건으로는 기본계획상에서 산정한 200년, 80년, 50년 빈도 홍수에 대한 지점별 유입수문곡선을 적용하였다.

측방유입수의 변화에 따른 통수단면의 내수 배제 능력을 검토하기 위해 총 5시간동안 3분의 간격을 유지하며 부정류 해석을 실시하였으며, 통수단면이 설치되는 지점의 단면에 대하여 좌우안 수위 변화를 검토하였다.

한편, 서울시에서는 설치되는 통수단면의 위치를 하천 경관을 고려하여 그림 8과 같이 교량 하부에 설치하는 것으로 제한하였다. 그 결과 청계천 복원구간에 설치되는 보도교를 제외한 차량교 12개 지점에 통수단면을 설치하는 것으로 하였으며, 통수단면의 폭은 1.5m와 2.5m의 두 가지로 하여 해석을 실시하였다. 지점별로 설치되는 통수단면의 개수는 교각의 안정성을 위하여 교각 폭의 50%를 넘지 않도록 통수단면의 개

수를 제한하였다. 즉 교각 폭의 50%를 넘지 않은 한도에서 1.5m와 2.5m폭의 통수단면을 최대한 설치되도록 하여 분석을 실시하였다.

분석 결과를 살펴보면, 부정류해석에 의한 홍수위는 정상류에 의한 홍수위보다 낮게 산정되었으며 측방에서 유입되는 지천의 홍수량이 매우 작아서 가정된 1.5m와 2.5m의 통수단면 폭 모두 측방유입에 의한 양안에서의 수위는 여유고를 확보할 수 있었다.

그림 9~그림 11은 통수단면 설치 지점인 측점 No.45의 좌우안에 대하여 통수단면의 폭이 1.5m와 2.5m일 때의 시간에 따른 단면의 수위 변화를 나타내고 있다. 그림 9~그림 11을 살펴보면 통수단면의 폭이 2.5m인 경우가 1.5m인 경우보다 단면에서의 수위가 낮게 나타나고 있으며 통수단면이 설치되는 모든 지점에서 유사한 결과는 나타내고 있다. 이는 폭이 2.5m인 경우가 1.5m인 경우보다 복개부와 주수로간의 통수가 원활하게 이루어지고 있기 때문이다.

따라서, 토구 혹은 통수단면의 규모에 따른 수위 변화는 미소하지만 통수단면의 폭은 수위가 더 낮게 산정되는 2.5m로 하는 것이 보다 안전한 것으로 판단되었다. 결정된 통수단면의 크기 2.5m에 대한, 200, 80, 50년 빈도홍수량에 의한 대상구간의 수위, 유속 등의 수리적 특성은 그림 12~그림 19와 같다.

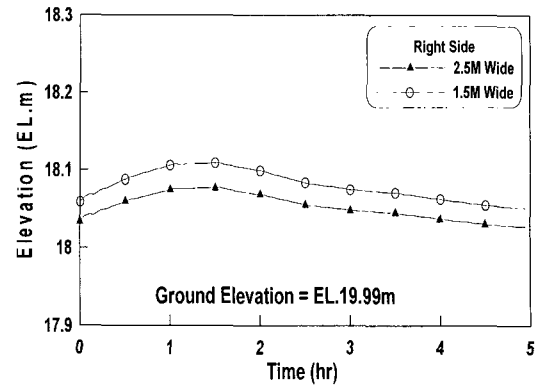
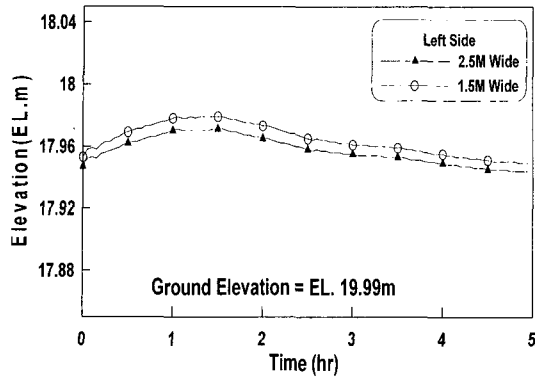


그림 9. 복개부의 통수단면 이후 수위변화 비교(No.45, 200년 빈도)

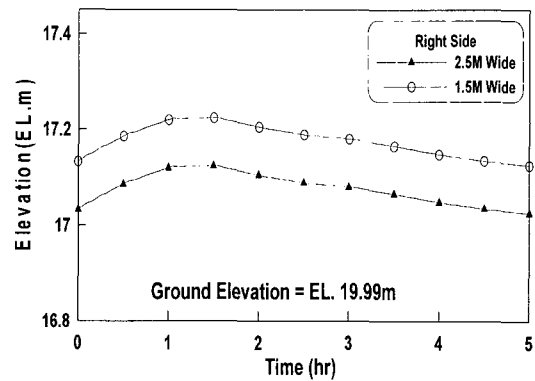
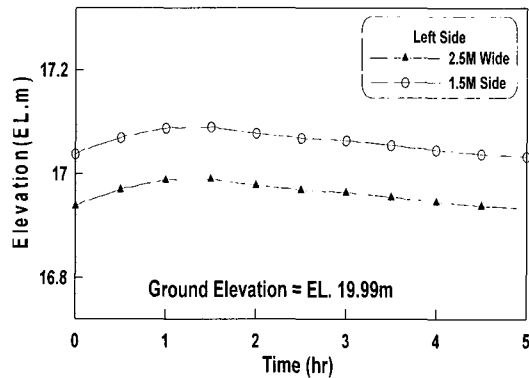


그림 10. 복개부의 통수단면 이후 수위변화 비교(No.45, 80년 빈도)

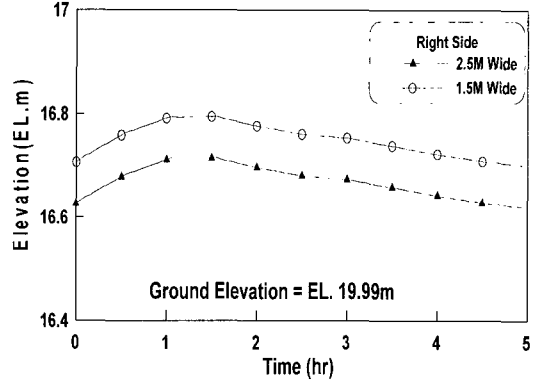
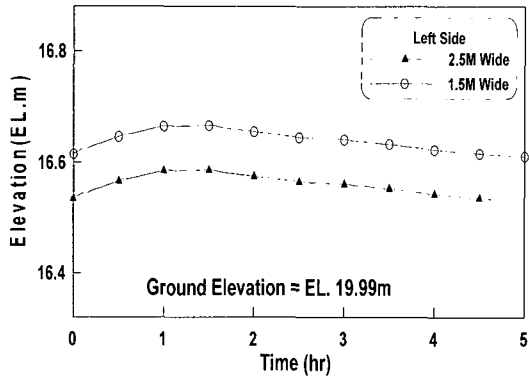


그림 11. 복개부의 통수단면 이후 수위변화 비교(No.45, 50년 빈도)

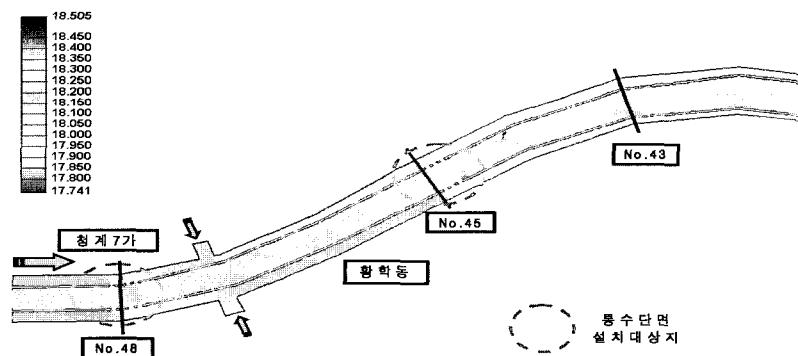


그림 12. 2차원 부정류 해석에 의한 수위등고선(No.41~No.51, 200년빈도)



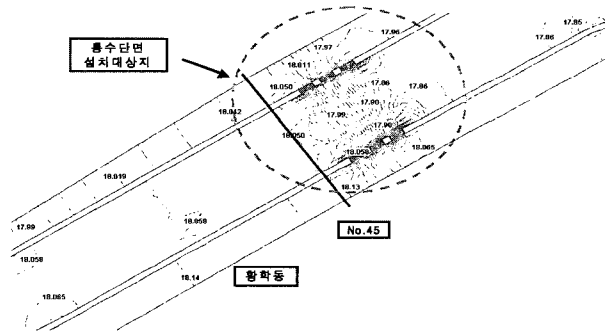


그림 13. 수위등고선(No.45, 200년 빈도)

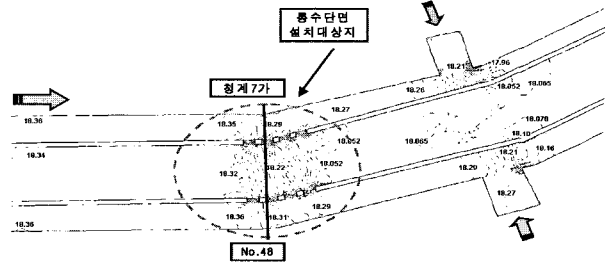


그림 14. 수위등고선(No.48, 200년 빈도)

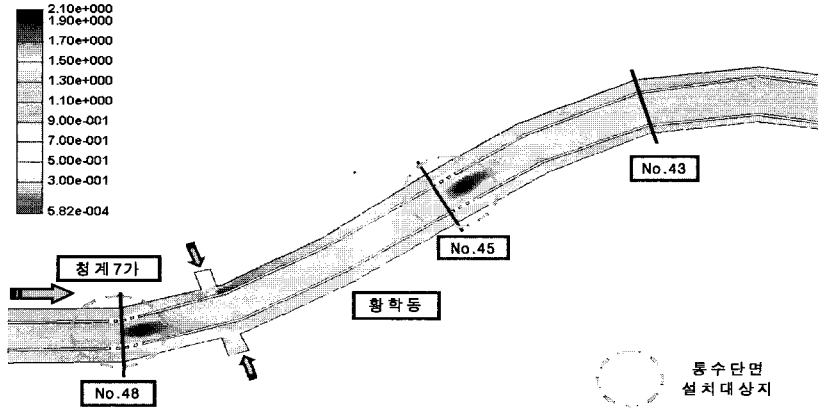


그림 15. 2차원 부정류 해석에 의한 유속등고선(No.41~No.51, 200년빈도)

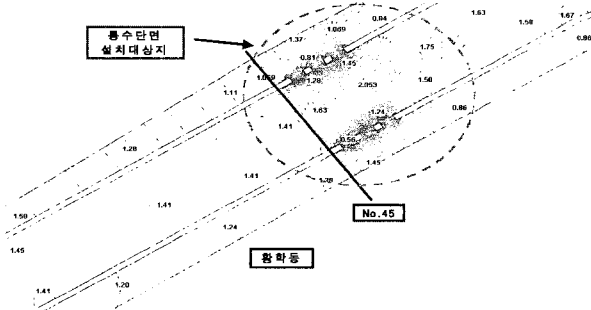


그림 16. 유속등고선(No.45, 200년 빈도)

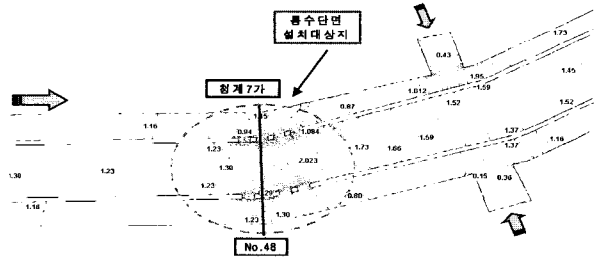


그림 17. 유속등고선(No.48, 200년 빈도)

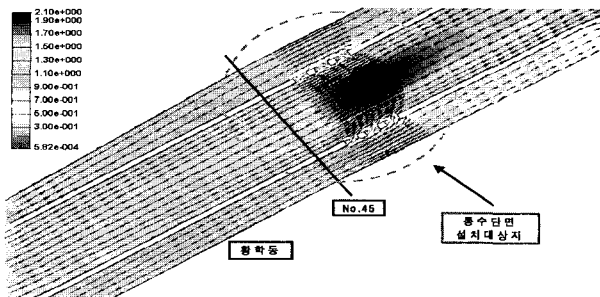


그림 18. 속도벡터(No.45, 200년 빈도)

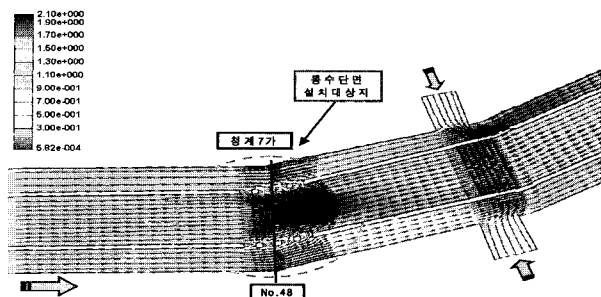


그림 19. 속도벡터(No.48, 200년 빈도)

4. 결 론

청계천 복원계획에 따른 홍수위를 1차원 수리모형인

HEC-RAS를 이용하여 50, 80, 200년 빈도에 대하여 계산하였다. 홍수위 계산결과 대부분의 경우 여유고 기준을 유지하며, 일부 구간에서 200년빈도 홍수시 2

~15cm가량 여유고가 부족한 것으로 나타났다.

실제 흐름의 시간적인 흐름 변화 특성에 대해서 적절히 모의하는데 한계가 있는 정상류 해석의 단점을 보완하기 위하여 HEC-RAS모형을 이용하여, 50, 80, 200년 빈도에 대하여 부정류 해석으로 청계천 복원계획에 따른 홍수위를 계산하였다. 청계천의 계획 복원 단면에 대한 부정류 해석의 홍수위 검토 결과 정상류 해석과 마찬가지로 대부분의 경우 여유고를 유지하며, 일부 구간에서 200년빈도 홍수시 2~20cm가량 여유고가 부족한 것으로 나타났다.

연구 대상지역인 청계천에서 교량과 통수단면설치에 따른 흐름 특성을 분석하고, 시간에 따른 홍수유입량 변화에 의한 통수단면에서의 내수배제 능력을 검토하기 위하여 2차원 수치모형을 이용하여 50, 80, 200년 빈도 홍수에 대한 부정류해석을 실시하였다. 과업구간에 설치되는 통수단면의 위치는 하천 경관을 고려하여 교량 하부에 설치하는 것을 기준으로 하였으며, 통수단면의 폭은 1.5m와 2.5m의 두 가지로 하여 해석을 실시하였다.

분석 결과를 살펴보면, 부정류해석에 의한 홍수위는 정상류에 의한 홍수위보다 낮게 산정되었으며 지천의 홍수량이 매우 작아서 가정된 1.5m와 2.5m의 통수단면 폭 모두 측방유입에 의한 양안에서의 수위는 여유고를 확보할 수 있었다. 그러나, 폭이 2.5m인 경우가 1.5m인 경우보다 복개부와 주수로간의 통수가 원활하게 이루어지는 것으로 나타났다. 따라서, 토구 혹은 통수단면의 규모에 따른 수위 변화는 미소하며 안전을 고려하여 통수단면의 폭을 2.5m으로 결정하였다.

도시를 관통하는 도시하천의 경우 대부분 하천 좌우안을 따라 도로가 형성되어 있으며, 도로에 근접하여 많은 시설이 설치되어 통수능 부족 시에 좌우안으로는 하천 확장이 어려운 현실이다. 본 연구에서 제시된 통수단면의 규모를 적용함으로써, 복원된 청계천에서의 용수소통 능력을 충분히 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 2003년도 건설핵심기술연구개발사업 (03산학연C03-01)에 의한 도시홍수재해관리기술연구사업단의 연구성과입니다.

### 참 고 문 헌

서울시정개발연구원 (2003) 청계천복원 타당성조사

및 기본계획 보고서.

안상진, 전계원 (2001) 소하천에서 유로변경에 따른 수리특성분석. 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제 34권, 제 5호, pp. 561-566

윤용남, 윤재영, 이재수, 김중훈 (1995) 2차원 수치모형을 이용한 교량에서의 홍수로 인한 최대세굴심도 예측. 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp. 42-47

윤태훈, 정의택, 박종석 (1998) 2차원 수치모형에 의한 합류흐름 해석. 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제 31권, 제 5호, pp. 529-538

이길성, 김남일 (1998) 여수로 유도벽 설계를 위한 접근수로의 2차원 흐름해석. 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제 31권, 제 4호, pp. 491-501

한건연, 정재학, 이을래 (2000) 홍수터에서의 범람 홍수류에 의한 2차원 수치모의. 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제 33권, 제4호, pp. 483-493

한국수자원학회(2000) 하천설계기준

Brigham Young University (2000). SMS (Surface-Water Modeling System) User's manual.

Gee, D.M., and Wilcox, D.B. (1985) Use of a two dimensional flow model to quantify aquatic habitation. *Water Resources Planning and Management Division Speciality Conference on Computing Applications in Water Resources*, Buffalo, USA.

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, March 31~April 1, pp. 1583-1593.

King, I.P. and Roig, L.C. (1988) Two Dimensional Finite Element Models for Floodplains and Tidal Flats. *Proceedings of the International Conference on Computational Methods in Flow Analysis*, Okayama, Japan, pp. 711-718.

Parmeshwar, L.S. (1994) Hydrodynamic Modeling of San Diego Bay. *Hydraulic Engineering '94*, pp. 140-144.

© 논문접수일 : 2005년 07월 20일

© 심사의뢰일 : 2005년 07월 23일

© 심사완료일 : 2005년 09월 24일