

2007年 2月  
博士學位論文

可動堡 設置에 따른 河床變動  
豫測에 關한 研究

朝鮮大學校 大學院

土 木 工 學 科

文 守 會

可動堡 設置에 따른 河床變動  
豫測에 關한 研究

A Study on the Bed Change Prediction Depending on  
Movable Weir Establishment

2007年 2月 23日

朝鮮大學校 大學院

土 木 工 學 科

文 守 會

可動堡 設置에 따른 河床變動  
豫測에 關한 研究

指導教授 金 雲 中

이 論文을 工學博士學位 論文으로 提出함.

2006年 10月 日


朝鮮大學校 大學院

土 木 工 學 科


文 守 會

文守會의 博士學位 論文을 認准함

委員長 朝鮮大學校 教授 吳在和 

委員 瑞江情報大學 教授 鄭南先 

委員 朝鮮大學校 教授 朴吉鎭 

委員 朝鮮大學校 教授 金聖洪 

委員 朝鮮大學校 教授 金雲中 

2006年 12月 日

朝鮮大學校 大學院

# 목 차

표 목 차 .....	iv
그림목차 .....	vi
ABSTRACT .....	viii
제 1 장 서 론 .....	1
1.1 연구 배경 및 목적 .....	1
1.2 연구 내용 및 범위 .....	2
1.3 연구 동향 .....	3
제 2 장 수치해석 모형 .....	7
2.1 SMS 모형의 개요 .....	7
2.2 SMS 모형의 구성 .....	8
2.2.1 RMA 모형 .....	8
2.2.2 SED-2D 모형 .....	9
2.2.3 HVEL-2D 모형 .....	10
2.2.4 FESWMS 모형 .....	10
2.3 모형의 실행 .....	11
2.3.1 RMA-2 모형의 실행과정 .....	11
2.3.2 SED-2D 모형의 실행과정 .....	13
2.3.3 HEC-RAS 모형 .....	14
2.4 침식 및 퇴적량 산정 .....	15

2.4.1 동수역학의 기본방정식 .....	18
2.4.2 유사이송의 기본방정식 .....	19
<b>제 3 장 대상유역 현황 및 특성 .....</b>	<b>25</b>
3.1 대상유역의 선정 .....	25
3.1.1 대상유역의 일반현황 .....	25
3.1.2 유역의 자연현황 .....	26
3.2 기초수문특성의 조사 .....	30
3.3 하상특성 .....	34
3.3.1 하상특성 조사 .....	37
3.3.2 하상변동 관측 .....	38
3.4 계획홍수량의 산정 .....	41
3.4.1 홍수량의 산정 절차 .....	41
3.4.2 확률강우량 산정 .....	43
3.4.3 강우강도식 결정 .....	47
3.4.4 강우유출 분석 .....	52
3.5 홍수량 산정 .....	53
3.5.1 기본홍수량 .....	56
3.5.2 계획홍수량 .....	57
3.6 홍수위 .....	58
3.6.1 기점홍수위 .....	58
3.6.2 빈도별 홍수위 계산 .....	59

제 4 장 수치모형 적용 및 고찰 .....	65
4.1 유한요소 격자망 구성 .....	65
4.2 RMA-2 모형 .....	70
4.2.1 입력조건 .....	70
4.2.2 수리계산 결과 .....	77
4.2.3 동수역학적 해석 .....	82
4.3 SED-2D 모형 .....	86
4.3.1 입력조건 .....	86
4.3.2 SED-2D 모형 모의결과 .....	87
4.3.3 유사이송의 해석 .....	90
제 5 장 결 론 .....	96
참고문헌 .....	99
부    록 .....	106

## 표 목 차

표 3.1	수문학적 토양분류 .....	28
표 3.2	기상관측소 현황 .....	31
표 3.3	전주 관측소 강우지속기간별 기왕 최대강우기록 .....	31
표 3.4	대상유역 최대우량 관측기록 .....	32
표 3.5	대상유역 기상특성 .....	33
표 3.6	하상시료 분석 결과 .....	37
표 3.7	가동보 설치 전후 하상변동 결과(ST1) .....	39
표 3.8	가동보 설치 전후 하상관측 결과(ST2) .....	40
표 3.9	Robustness test .....	46
표 3.10	지속기간별 확률강우량 .....	46
표 3.11	지속기간별 강우강도 .....	49
표 3.12	단기간 강우강도식(360분 이하) .....	49
표 3.12	단기간 강우강도식(360분 이하) 계속 .....	50
표 3.13	장기간 강우강도식(360분 초과) .....	51
표 3.14	하천의 중요도와 계획규모 .....	57
표 3.15	계획홍수량(50년 빈도) .....	57
표 3.16	홍수위 산정 결과 .....	64
표 4.1	수치모형실험 안의 개요 .....	65
표 4.2	ST1 지점에서의 RMA-2 모형의 입력조건 .....	70
표 4.3	ST2 지점에서의 RMA-2 모형의 입력조건 .....	71
표 4.4	Suggested Turbulent Exchange Coefficient .....	72



표 4.5	하천상황에 따른 조도계수 .....	73
표 4.6	HEC-RAS와 RMA-2 모형의 홍수위 및 유속 비교(ST1) .....	79
표 4.7	HEC-RAS와 RMA-2 모형의 홍수위 및 유속 비교(ST2) .....	79
표 4.8	SED-2D 모형의 입력조건 .....	86
표 4.9	측량결과와 실험안 비교(ST1) .....	88
표 4.10	측량결과와 실험안 비교(ST2) .....	89

## 그 립 목 차

그림 2.1	뉴튼-랩슨 반복법 .....	15
그림 2.2	수치모형의 계산 순서도 .....	18
그림 3.1	대상 유역도 .....	27
그림 3.2	연구대상 구간 .....	29
그림 3.3	대상구역의 종단면도 .....	30
그림 3.4	장구 1취입보 전경 .....	35
그림 3.5	장구 2취입보 전경 .....	35
그림 3.6	장구 1취입보 가동보설치 전경 .....	36
그림 3.7	장구 2취입보 가동보설치 전경 .....	36
그림 3.8	가동보 설치 전후 하상변동(ST1) .....	39
그림 3.9	가동보 설치 전후 하상변동(ST2) .....	40
그림 3.10	홍수량 산정 모식도 .....	42
그림 3.11	빈도해석 흐름도 .....	45
그림 3.12	부동류의 수면형 .....	59
그림 4.1	ST1 실험안의 유한요소 이산화망 .....	66
그림 4.2	ST1 실험안의 등수심선도 .....	67
그림 4.3	ST2 실험안의 유한요소 격자망도 .....	68
그림 4.4	ST2 실험안의 등수심선도 .....	69
그림 4.5	ST1 지점에서의 하상재질 특성 .....	75
그림 4.6	ST2 지점에서의 하상재질 특성 .....	76
그림 4.7	홍수위 및 유속 비교 정점(ST1구간) .....	78

그림 4.8	홍수위 및 유속 비교 정점(ST2구간)	78
그림 4.9	홍수위 비교(ST1 구간)	80
그림 4.10	유속 비교(ST1 구간)	80
그림 4.11	홍수위 비교(ST2 구간)	81
그림 4.12	유속 비교(ST2 실험안)	81
그림 4.13	ST1 구간의 유속 백타도	83
그림 4.14	ST2 구간의 유속 백타도	83
그림 4.15	가동보 설치 지점에서의 수위와 유속 비교(ST1)	84
그림 4.16	가동보 설치 지점에서의 수위와 유속 비교(ST2)	85
그림 4.17	가동보 하상변화(ST1)	88
그림 4.18	가동보 하상변화(ST2)	89
그림 4.19	ST1 지점에서의 하상변화(1년 경과)	92
그림 4.20	ST1 지점에서의 하상변화(2년 경과)	93
그림 4.21	ST2 지점에서의 하상변화(1년 경과)	94
그림 4.22	ST2 지점에서의 하상변화(2년 경과)	95

# ABSTRACT

## A Study on the Bed Change Prediction Depending on Movable Weir Establishment

Moon, Soo-Hwoi

Advisor : Prof. Kim, Woon-Joong Ph.D.

Department of Civil Engineering,

Graduate School of Chosun University

To estimate the change of riverbed geography by the operation of movable weir, two-dimensional RMA-2 and SED-2D were used in this study. Hydraulic elements like flowrate or depth were simulated by RMA-2 and the change of riverbed geography according to sediment transport was simulated by SED-2D. Suktop stream was chosen as a project river for the simulation. Under the condition of 50-year rainfall frequency, the estimated flood of Suktop was 123cms. At the points of movable weir the simulation results showed that the difference of high water level from the result of HEC-RAS was less than 0.64m. And the difference of water velocity was less than 0.21m/sec.

Based on the sediment simulation by SED-2D, predicted riverbed elevation was 29.70-30.22m at the point of ST1 and 28.26~28.82m at the point of ST2. Measured riverbed elevation was 29.70~30.16m, 28.28~28.69m, respectively. So, the predicted elevations are closely similar to

the measured elevation. At the point of ST1, sediment transport simulation results showed that erosion of riverbed was predicted by the operation of movable weir. This erosion was ranged up to 200m upstream and the riverbed would be eroded away as much as 0.07m for one year. At the point of ST2, upstream of movable weir would be eroded and the erosion depth was estimated 0.261m. The erosion was higher at the point of movable weir and the erosion depth was estimated 0.310m. But the sediment would be deposit downstream of the movable weir.

SED-2D followed by RMA-2 is well applicable to the stream which has movable weirs and can estimate not only hydraulic parameters such as flowrate or depth but also riverbed elevation change caused by erosion or deposit of fluvial sediment.

# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구 배경 및 목적

과거 농업용수의 수요가 많고 강우가 하절기에 집중되는 기후적 특성을 가진 우리나라는 중·소규모의 하천에 하천의 수위를 유지하거나 각종 용수를 취득할 목적으로 사용되는 취입보를 현재 국내에 약 18,000여개 정도 설치되어 있으며, 대부분 평수기나 갈수기에 수량 확보를 위한 용수 공급시설로 취수용 보가 이용되고 있다.

이러한 다수의 보 설치는 하천 생태 통로의 차단, 보 상류부 수질 악화, 수변 생물 서식처의 변화, 경관 훼손의 문제점이 발생되고 있으며, 또한 상류로부터 유입되는 토사가 취입보 상류에 퇴적되고, 취입보 하류측에서는 유속 증가에 따른 하상 세굴이 발생하여 취입보를 중심으로 상·하류간 표고차가 심하게 발생하여 하천의 연속성을 파괴하는 악영향이 나타나고 있다. 뿐만 아니라 용수 취수 목적으로 설치되어 있는 보는 홍수시 홍수소통에 지장을 초래하여 보 설치지점에서 제방붕괴 등으로 인하여 매년 막대한 재산상의 피해를 주고 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 최근에는 일부 보에 생태 통로로서 설치되는 어도를 설치하여 생태계 복원을 모색하고 있지만, 이것은 근본적인 대책이 될 수 없다. 즉 기존 콘크리트 고정보에 물고기들의 통로 역할을 하는 어도를 설치한다 하더라도 훼손된 하천의 연속성을 복원하는 것은 거의 불가능한 실정이다. 그리고 홍수시 홍수의 원활한 소통 문제 또한 전혀 해결할 수 없다.

이러한 문제점들을 해결하기 위하여 2000년대부터 기존의 고정보를 철거하고 가동보를 설치하고 있다. 가동보는 홍수 발생시 하천수위가 상승하면 가동보 기계실에 설치되어 있는 수위감지 센서에 의하여 보가 자동적으로 가동되어 홍수소통을 원활하게 한다. 뿐만 아니라 토사가 다량 함유되어 있는 홍수류가 보에 의하여 일시적으로 저류되지 않고 바로 하류로 유하하기 때문에 보 상류측에 토사퇴적의 문제점을 해결할 수 있다. 그리고 홍수류가 가동보 구간을 통과하면서 일시적으로 유속이 증가하여 보 상류측에 퇴적되어 있는 토사가 침식되어 하류로 유하하기 때문에 훼손된 하천의 연속성을 복원하여 하천 생태계 복원뿐만 아니라 하천의 경관을 개선하는 효과를 주고 있다.

본 연구에서는 최근 전국 중소하천에서 설치 운영되고 있는 가동보의 효과를 수치모형을 적용하여 검증하고, 홍수시 가동보의 수문을 개방하여 하천수의 소통을 증가시켜 홍수 피해를 최소화할 수 있는지 평가하고, 유속의 증가로 인하여 보 상류부를 침식시켜 전술한 저감방법에 적절성이 있는지를 평가하였다.

수치모형으로는 2차원 모형인 RMA-2 모형을 통하여 동수역학적 흐름 해석을 모의한 후, SED-2D 2차원 유사이송 모형의 연계를 통하여 가동보 설치 후 하상변화를 예측하고, 하상변동의 실제 측정치를 비교 분석하여 가동보에 의한 하상변동을 정량적으로 분석하고자 한다.

## 1.2 연구 내용 및 범위

지금까지 하천에서의 하상변동 모의는 1차원 해석을 이용한 HEC-6의 수치모형으로 장기간 하상변동을 예측해 왔는데, 이 모형은 유사의 횡단분포를 고

려할 수 없을 뿐만 아니라 하상 전체가 균일하게 상승 또는 하강하는 것으로 가정하였기 때문에 흐름의 급 변화 지역의 세밀한 계산에는 적합하지 않다. 이러한 필요성을 인식하고 가동보 설치 후 하상변동 모형에는 2차원 모형인 RMA-2 모형의 흐름을 모의한 후 SED-2D 모형을 통해 하상변화를 예측하였다.

그러나 복잡한 자연현상중의 하나인 수동역학 수치모의는 지배방정식의 도출부터 여러 가지 가정을 전제로 몇 개의 수학적 식에 의하여 전개되어 있으며 이를 제한적인 가정 하에 컴퓨터 수치모형을 통하여 근사적으로 시뮬레이션 하기 때문에 실질적으로 자연현상을 완전하게 재현하지 못하는 제한사항이 존재한다.

따라서 시뮬레이션의 결과를 기존에 검증된 모형인 1차원 모형인 HEC-RAS 결과치와 비교 검토를 통한 객관적인 타당성을 확보한 후에 장래 예측에 이용되어야 한다. 또한 범위의 설정에 있어 RMA-2 모형은 전체의 영역인 경우 시점부와 종점부의 고도차가 발생하고 이러한 고도 차이는 수치적 안정성에 문제가 발생한다. 따라서 하천단면을 국소적으로 나누어 수치적으로 안정성을 확보한 후 적용해야 한다. 즉 가동보가 설치될 구역의 전후방 100m 간격으로 나누어 수치 시뮬레이션을 하였다.

수치 시뮬레이션 후에는 가동보 설치 후 하상변동의 실제 측량치를 이용하여 모형 적용도를 검증한 후 하상변동의 침식과 퇴적을 정량적으로 분석하였다.

### 1.3 연구 동향

유사의 이동에 관한 연구는 영국에서 1950년대 중반부터 시작되었고, 이후



주로 미국과 영국에서 이들에 대한 연구가 진행되어 왔으며, 1980년대 중반부터는 네덜란드와 일본에서도 이들에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다.

유사이동 모형은 적용 가능 영역이나 모형의 차원에 따라 1, 2, 3차원 모형으로 구분된다. 이들 모형 중 하천에 적용되었던 모형을 대부분 1차원 모형이었다. 지난 20여년 동안 하상변동의 모의실험을 위한 1차원 모형의 대표적인 예로는 FLUVIAL-12(Chang and Hill, 1976), HEC-6(Thomas and Parashum, 1977), IALLUVIAL(Karim and Kennedy, 1982), CHARIMA(Holly 등, 1990) 등이 있다.

연안, 하구, 항만, 호수 등과 같은 영역에서는 평면적인 유사 이동문제를 해석 시에는 평면 2차원 또는 3차원 유사이동 모형을 사용한다. 2차원 유사이동 모형은 평면2차원 모형과 연직2차원 모형으로 구분할 수 있는데, 2차원 유사이동 모형과 관련한 연구는 1980년대부터 본격적으로 시작되었고, 특성법(Method of Characteristics)으로 해석하는 것이 개발되어 현재에 이르고 있다. 평면 2차원 모형은 주로 해안, 하구, 항만, 호수 등 하천에 비해 유속이 상대적으로 작은 지역에 주로 적용된다. 따라서 미립부유사를 대상으로 하는 점착성 유사이동 모형이 대부분을 차지한다. 비 점착성 유사를 대상으로 하는 1차원 모형에서는 장기화과정을 중시하는 반면, 점착성 유사를 대상으로 하는 평면 2차원 모형은 바닥의 압밀을 보다 중요한 요소로서 고려한다.

Ariathurai와 Krone(1977)은 세굴 및 침강 항이 포함된 이류확산방정식을 사용한 모형을 개발하여 실험자료와 모형을 비교, 검증하였다. Kato와 Danka(1979)는 혼합입경의 효과를 고려한 모형을 개발하였는데, 이 모형은 조류변화의 예측에 필요한 시간 단위보다 지형변화의 예측에 필요한 시간 단위가 더욱 크기 때문에 유황의 계산과 지형변화의 계산을 별도로 취급하였다.

Lepetit와 Haugel(1978)의 모형은 유사량의 단면 분포로부터 향내 향료 주변  
의 지형변화를 예측하는 모형으로, 흐름과 지형변화의 상호간섭 효과를 고려  
한 것이 특징이다. Pavlovic(1985)은 Rastogi와 Rodi(1978)의  $k-\epsilon$  모형을 사  
용하여 Danube강 댐의 Iron Gate II의 하류에 적용하였고, 브리스번 항구에 적  
용된 Cole와 Miles(1983)의 모형은 침식모형이 없는 것이 특징이다.

한편 타원형 편미분방정식에 의한 격자생성은 격자의 유차성(Smoothness)을 바  
탕으로 한 TOMCAT 모형(Thompson, 1977), WESCOR 모형(Thompson, 1983)  
등이 개발되어 사용되어 왔으나, 격자의 밀집성 및 직교성을 만족하기 위해서는  
적절한 매개변수의 입력 및 경계처리가 필요하다. 개발된 격자생성 모형 중  
Thompson(1985)의 방법이 많이 사용되고 있으나, 단순한 형태의 경우 격자의  
유차성만을 고려하기 때문에 경계격자의 분포가 영역 내부에 전파되지 못하는 단  
점을 가지고 있다. 이런 단점을 보완하기 위해서 Thomas와 Middlecoff(1980)는  
경계에서의 격자분포를 내부영역에서도 유지할 수 있는 방법을 제시하였으나, 직  
교성을 만족하는 격자의 생성은 곤란하다.

Wilders(1988)은 ADI(Alternate Direction implicit)방법의 한계를 극복할 수  
있는 방법의 하나로 2차원 음해법인 CGS(Conjugate Gradient Squared)방법을  
제안하였으나 이는 삼각대가 행렬식을 푸는 ADI방법에 비해 대각요소 주위에  
영이 아닌 항이 많게 되므로 행렬식을 풀 때 많은 시간이 소비된다는 단점이  
있다. Chu(1989)에 의해 평면 2차원 모형과 3차원 모형의 비교를 하였는데,  
이들에 따르면 2차원 모형의 결과가 3차원 모형에 비해 그다지 뒤지지 않고  
있다고 하였다.

2차원 유사이동 모형은 1980년대 이후부터 국내에서 적용되기 시작하여, 주  
로 하구 또는 해안의 부유사 이동문제 해결의 관점에서 연구가 진행되었으나,

Gee와 Wilcox(1985)에 의한 RMA-2 모형의 하천 흐름 적용과 범람 홍수류에 대한 동수역학적 유한요소 모형과 토사이송 모형이 국내 다수의 연구진에 의해 적용된 바 있다(한건연, 1999).

최근에는 수직 성분의 유속을 고려한 Sigma-Coordinate 기법과, 직교 곡면형 선형좌표계(Orthogonal Curvilinear Coordinate system)를 사용하는 3차원 모형인 ECOMSED(hydroQual, inc, 2002) 그리고 유사한 3차원 모델로는 SPEM, SCRUM, SEOM, ROM, TOMS 등이 있으며 현재 활발히 연구 중이며 적용되고 있다.

## 제 2 장 수치해석 모형

### 2.1 SMS 모형의 개요

SMS(Surfacewater Modeling System)는 1차원, 2차원, 3차원 동수역학적 모델링(hydrodynamic modeling)을 할 수 있는 패키지 모형이다. SMS는 미 공병단(U.S. Army Corps of Engineers), 미국 WES(Water Experiment Station)와 미 연방도로국(U.S. Federal Highway Administration, FHWA)협력하에 Brigham Young University의 EMER(Enviromental Modeling Research Laboratory)에서 개발되었다.

SMS는 지표수 모델링(surface water modeling)과 분석을 위한 전후 처리기로 수위, 유속, 오염물 이송확산, 유사이동 및 퇴적, 상류-사류 흐름, 연안파랑 등 2차원 유한요소망, 2차원 유한차분, 3차원 유한요소망, 1차원 배수위 모델에 대한 도구를 제공하며, 사행하천, 만, 하구, 불규칙한 하천 홍수 흐름 해석, 교각 신설에 따른 수리영향 분석, 해석 영역의 수위, 유속, 오염물질 농도, 세굴 및 퇴적 모의, 정상류 및 부정류 모의 등의 분야에 적용할 수 있다.

SMS는 미 공병단의 RMA 2차원 수리 동력학 및 오염원이송 모델, SED-2D 2차원 유사이동 및 퇴적 모델, HIVEL-2D 2차원 수리 동력학적 상류-사류 모델 등과 미 연방도로국의 FESWMS은 2차원 수리 동력학 및 오염원 이송 유한요소 모델을 이용할 수 있으므로 복잡한 2차원 유한요소 흐름 모형을 해석할 수 있다.

따라서 교각 등의 수리영향을 분석시 SMS를 이용하면 보다 정확한 값을 모

의할 수 있으며, 특히 교각신설 및 암거에 따른 수리영향, 수로망, 사행하천 해석, 항구, 만, 하구, 습지 불규칙한 홍수터에서의 흐름, 흐름분리 및 다른 복잡한 흐름에 대한 해석이 가능하다.

한편 SMS는 모의 구간에 대해서 자동으로 유한요소망을 구축하고 임의의 형상에 대한 복잡한 요소망을 구축하는데 최적화 되어 있다. 지형의 형태가 단순할 경우에는 순식간에 유한요소망을 형성할 수 있고, 수작업으로 할 경우 며칠 혹은 몇 주가 걸리는 복잡한 지형일 경우에도, 몇 시간 안에 유한요소망을 구성할 수 있다. 그러므로 SMS 모형은 흐름의 경계 및 유한요소망의 각각의 절점에 대하여 수위, 유속, 오염물질 농도, 세굴 및 퇴적 등을 계산한다. 본 연구에서 적용한 SMS 모형은 다음과 같은 모듈로 구성되어 있다.

## 2.2 SMS 모형의 구성

### 2.2.1 RMA 모형

RMA-2 모형은 2차원 수리 동력학적 해석을 위한 수심평균, 자유수면, 유한요소 모형으로 RMA(Resource Management Associates)의 Norten, King과 Orlob(1973)에 의해 개발된 이후 지속적으로 수정·보완되어 오고 있다.

RMA-2 모형은 2차원 흐름 영역에서 자유표면, 상류흐름의 수평방향 유속 성분과 수위를 계산하며, Navier-Stokes 방정식에 난류의 흐름을 고려한 Reynolds 방정식으로 유한요소의 해를 계산한다. 마찰력은 Manning 방정식의 조도계수나 Chezy 방정식의 평균유속계수로 계산되며 점성계수(Eddy Viscosity Coefficient)는 난류의 특성을 정하는데 사용되며, 정상류뿐만 아니라 부정류에서도

모의 가능하다. RMA-2는 유한요소망으로 표현된 수체(강, 항구, 하구 등)의 각 절점에서 상류흐름일 경우의 수위 및 유속을 계산할 수 있다.

RMA-4는 2차원 오염물 이송확산 해석을 위한, 수심평균, 자유수면, 유한요소 모델로서 RMA-2에서 계산된 수리 동력학적 인자들을 입력자료로 사용한다.

오염물 모델링을 하기 위해서는 필요한 지점에 오염원의 질량이나 농도로 부하를 입력하고 각각의 성분에 대한 감쇠비율도 함께 입력한다. 입력이 끝나면 RMA-4 모델은 지정된 계산시간 동안 오염물 각각의 성분의 이동 및 확산을 계산한다.

### 2.2.2 SED-2D 모형

미 공병단에서 개발한 SED-2D(Sediment 2 Dimension) 2차원 유사이동 및 퇴적을 모의할 수 있는 모형이다. SED-2D는 RMA 해석엔진과 함께 사용되는데 RMA에서 계산된 2차원 요소망에서 물의 흐름에 따라 유사의 이송 및 퇴적을 모의하는 것이다. 따라서 SED-2D 모형을 사용하기 전에 RMA를 먼저 실행하여 모형의 초기 흐름 조건을 결정할 필요가 있다. 그 후 SED-2D 모형을 이용하여 하상세굴이나 유사퇴적 등을 계산하여 요소망 내의 하상고도 및 하상재료의 변화를 관찰할 수 있는 것이다.

SED-2D 해석을 실행하기 위해서는 하상재료가 사질토인지 점성토인지를 결정하여야 한다. 점성토로 결정되면, 최대 10개까지 압밀층을 지정할 수 있다. 하상전단응력, 압밀건조밀도, 침식률, 지층 두께 등의 점성토의 특성들을 지층 전체적으로 입력하거나 각각의 지층별로 따로 입력할 수 있다. 사질토로 선택되었을 경우에는, 입경, 입자형상계수, 비중, 최소 및 최대입경 등의 사질토 특성들을 전체적으로 혹은 국부적으로 따로 입력할 수 있다.

### 2.2.3 HIVEL-2D 모형

HIVEL-2D(high-velocity channel flow simulation program)는 2차원 수리 동력학적 상류-사류 유한요소 해석에 이용되는 모형이다. RMA-2는 2차원 수리 동력학적 해석을 위한 수심평균, 자유수면, 유한요소 모델로서 상류-사류 모두를 모의할 수 있으며, 두 흐름영역 사이의 천이구간 또한 해석 가능하다. HIVEL-2D 모형은 이송 항이 지배적인 유속장에서 수치적으로 안정적인 해를 제공하기 때문에 도수 등도 모의할 수 있다.

### 2.2.4 FESWMS 모형

FESWMS(Finite Element Surface Water Modeling System)는 모델 유한요소망에 경계조건 및 해석 매개변수들을 입력하는데 쓰인다. FESWMS 모형은 2차원 수리 동력학적 수심평균 유한요소 모델이라는 점에서 RMA-2 해석 엔진과 비슷하다. 그러나 FESWMS는 고속도로를 횡단하는 흐름을 해석하기 위하여 개발되었기 때문에 RMA-2에서는 제공하지 않는 특별한 기능들을 갖고 있다. 예를 들어 FESWMS는 교량, 암거, 수문, 여수로를 지나는 흐름과 댐, 보, 고속도로 제방 등의 월류수 등을 모의할 수 있다. 특히 교량, 암거, 고속도로 제방을 통과하는 흐름에 대해서는 1차원이나 2차원으로도 모의할 수 있다. FESWMS는 이전의 모델로는 모의가 어려웠던 하나 혹은 여러 개의 교량 및 암거 등을 지나는 흐름을 모의할 수 있으므로 홍수시 교대 및 교각 주위의 세굴을 모의하는데 특히 적합하다.

## 2.3 모형의 실행

### 2.3.1 RMA-2 모형의 실행과정

SMS 모듈 내의 RMA-2 및 SED-2D의 전체적인 실행과정과 구성요소를 설명하면 다음과 같다.

#### (가) 유한요소망의 구성

수리학적 모의에 이용되는 유한요소망은 격점(node)과 요소(element)로 구성된다. 하나의 유한요소망은 여러개의 삼각형 또는 사각형 요소로 대표되는 대상지역의 표면으로 생각할 수 있다. 여기서 격점들은 망의 지형학적 형태를 정의하는  $x$ ,  $y$ ,  $z$  좌표들이며, 요소는 망의 평면적인 형태를 정의하며 격점들을 연결함으로써 만들어진다. 수리학적 모의의 전체과정에서 유한요소망이 차지하는 비중은 아주 크며, 유한요소망의 정확성에 따라 계산결과의 수렴이나 신뢰도에 결정적인 영향을 미친다. 따라서 유한요소망을 구성시 각별한 주의를 기울여야 한다. 그리고 SMS 모형의 유한요소망은 현재까지 흐름의 불연속(flow discontinuity)이 발생하는 콘크리트 구조물을 모의하지 못하는 단점을 내포하고 있다.

#### (나) 지형파일의 구성

유한요소망의 구성이 끝나면 다음으로 지형파일을 작성하게 된다. 지형파일은 일반 문서 편집기로 작성될 수도 있으나 SMS내의 인터페이스를 통해서도 손쉽게 작성할 수 있다. 지형파일을 구성하는 각 카드에 대한 자세한 설명은



생략하기로 한다.

#### (다) 경계조건(boundary condition)

유한요소망이 구성되면 다음 절차로서 구성된 망에 경계조건을 입력해야 한다. 경계조건과 재료특성계수들(Manning의  $n$ 값, 난류확산계수)은 RMA-2의 입력자료가 되는 ASCII 경계조건파일에 저장되며, 경계조건은 SMS 모형 자체 내에서 주어진다. 일반적인 경계조건의 유형은 유량, 수위, 유속 등이며 유량 및 유속 경계조건은 상류단에 주어지며 수위 경계조건은 하류단에 주어진다.

##### ① BQL 경계조건

BQL은 경계유량선(boundary flow line)을 의미하며 일련의 격점열에 유량을 부여하는데 이용된다. 이렇게 부여된 유량은 RMA-2에 의해 그 열의 격점들에 대해 격점 유량 경계조건으로 내부적으로 변환된다.

##### ② BHL 경계조건

BHL은 경계 수두선을 의미하며 격점열에 수위를 적용하는데 이용되며 그 열에 있는 모든 격점들은 같은 수위를 가지는 것으로 간주한다.

##### ③ GC string

GC string(연속성 확인선)은 그것이 위치한 단면에서의 유량을 확인하거나 BQL/BHL 경계조건을 정의하는데 이용되는 일련의 구석 격점(conner node)들이다. BQL/BHL 경계조건은 GC string 또한 그것이 위치한 단면에서의 유입 및 유출량이 같다는 것을 보장한다.

##### ④ 재료특성(material property)

동수역학 모델을 정의하는데 있어 경계조건과 더불어 일련의 재료특성이

필요하다. 유한요소망에 있는 개개의 요소는 재료 고유번호를 갖게 되며 개개의 재료는 4개의 난류교환계수와 1개의 Manning의 n값을 갖는다.

⑤ 초기조건(initial condition)

경계조건에 포함된 또다른 중요한 변수는 초기조건이며 이는 초기평균수심을 의미하며 뒤따르는 수리학적 모의의 안정성을 결정하는데 있어 중요하다. 만일 BHL 경계조건이 주어졌다면 초기조건은 BHL에 주어진 수위와 동일해야 하며, BHL이 없다면 초기조건은 최대 격점 표고보다 약간 크게 잡아야 한다. 그러나 만약 정상류 상태에서 수심의 망의 어떤 격점보다 작은 경우에는 건조(dry)요소 및 격점을 확인하기 위해 DE 카드를 이용할 수 있다.

### 2.3.2 SED-2D 모형의 실행과정

SED-2D를 실행하기 위해서는 GFGEN(Geometry File Generation) 모델을 적용하여 얻은 지형자료와 RMA-2 모델을 적용하여 얻은 각 격점에서의 수위와 유속자료가 필요하다. 이는 HEC-6에서 배수위를 계산하고 그 결과를 이용해 유사이송량 및 하상변동을 모의하는 과정과 비슷하다.

GFGEN은 ASCII 지형파일을 이진파일(bin file)로 바꾸어 주는 기능이며, 이렇게 전환된 지형파일은 RMA-2, SED-2D의 입력자료로 사용된다. RMA-2는 GFGEN의 결과파일과 경계 조건파일을 입력자료로 하여 유한요소망 각 격점의 수위, 유속 등의 기본적인 수리량을 계산한다. RMA-2 결과파일을 solution파일이라 하며, bin파일, sed파일과 함께 SED-2D의 입력자료가 된다.

GFGEN의 결과파일과 RMA-2의 결과파일 이외에도 SED-2D의 입력자료로 유사자료에 대한 입력파일(sed file)이 필요하다. sed file은 SMS 내에서 구성할

수 있다. 이 세가지 입력자료를 가지고 SED-2D를 실행하면 유사농도파일(cd file), 새로운 지형파일(new geo file)을 얻게 된다. cd파일은 SMS를 통해 볼 수 있으며, 하상변동, 부유사 농도, 전단응력 등의 결과를 볼 수 있다.

SED-2D 입력파일인 sed파일은 유사재료에 대한 특성이 입력되어 있는 SED파일은 두가지가 있는데 그 중 하나는 Coldstart로 유량과 유사량 관계식이 수렴할 수 있도록 하는 sini.sed파일이고 나머지 Hotstart는 Coldstart 실행 결과파일을 이용하여 Dynamic Simulation을 하는 shydro.sed파일이다.

Coldstart SED파일(sinit.sed)과 Hotstart SED파일(shydro.sed)은 Coldstart와 Hotstart을 동역학적으로 계산하는 시간 간격을 구성하는 카드만 다를 뿐 전체적인 구성은 같으며, 각 카드에 대한 자세한 설명은 생략하기로 한다.

### 2.3.3 HEC-RAS

2차원 SMS 모형의 적용시 하류단의 경계조건인 수위를 결정하기 위하여 1차원 HEC-RAS(River Analysis System) 모형을 사용하였으며, 이 절에서는 모형의 구성을 간단히 소개하고 다음장에서 HEC-RAS의 기본방정식 및 적용을 소개하기로 한다.

HEC-RAS는 미 공병단 수문기술센터(Hydrologic Engineering Centers)에서 개발하고 있는 차세대 수문해석 전산 프로그램의 하나이며, HEC-2의 후속모델로 개발되었으며, 정상류 뿐만 아니라 부정류와 유사현상 해석기능까지 포함하는 종합하천 해석 모델이다.

HEC-RAS는 GUI(Graphical User Interface), 수리계산 모듈, 그리고 자료관리 모듈로 구성되어 있다. 사용자의 관리와 자료입력과 계산결과 분석, 시간의 최소화를 목적으로 설계된 최신의 GUI로 Mouse의 위치에 따른 도움말,

on-line 사용자 설명서, 입·출력 자료의 다양한 화상처리, 그리고 자동 오류 검색 등의 기능을 갖추고 있다.

## 2.4 침식 및 퇴적량 산정

본 연구에서 침식량 및 퇴적량을 산정하기 위하여 전절에서 언급한 SMS의 RMA-2 모형과 연계된 SED-2D 모형을 이용하여 해석하였다. RMA-2 모형은 시간 진행형 유한요소 모형으로 대상 영역을 사각형 및 삼각형 요소로 구분하고 Galerkin의 가중 잔차 방정식을 이용한 정리와 적절한 경계조건을 도입하면, 그림 2.1과 같은 뉴턴-랩슨의 반복법을 구할 수 있다.

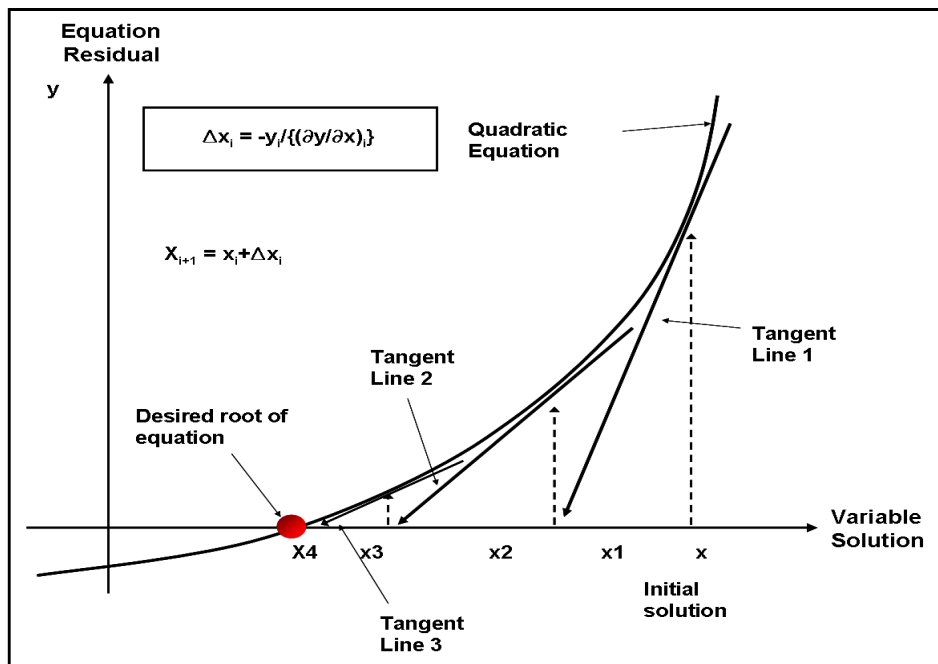


그림 2.1 뉴턴-랩슨 반복법

SED2D-WES는 2차원의 유사이송과 하상변동을 분석하는 프로그램으로서 정상상태(steady-state) 및 동적상태(hydrodynamic)의 모의가 가능하다. SED 2D-WES는 1974년에 처음으로 개발된 이후 1977년에 미 공병단 준설재료 연구 프로그램으로 개발되었으며, 그 후 WES의 재정적 지원 하에 Studh. Dr. Ariathurai에 의해 개발된 STUDH 라고 하는 프로그램으로 발전하였다. STUDH (Version 3.3)는 1983~1993년 동안 대표적인 유사이송 분석 프로그램이었으며 1993~1995년 동안 WES에 의해서 SED2D-WES(Version 1.2)로 대폭 발전하게 되었다. 현재 까지 개발된 SED2D-WES는 점토질 하상에 대한 모의 (Version 2.0), 1차원 요소분석(Version 3.0), 조수흐름에 대한 자동경계기능 (Version 4.0) 등이 강화되어 있다. 본 연구에서 사용한 것은 SMS 8.0내에 내장된 Version 3.2이다.

SED-2D는 점토질 하상과 모래질 하상에 대한 유사이송 분석을 하기 때문에 콘크리트 구조물에 대해서는 모의할 수 없다. 또한 입경별로 모의가 안 되고 한 개의 대표입경에 대해서만 모의가 가능하다. 또한 SED-2D는 수위와 속도를 계산하지 못하기 때문에 RMA-2에서 수위와 속도를 계산하여 이를 사용한다. 즉 SED-2D는 실행 후 변화된 하상에 대해서 GFGEN을 사용하여 지형자료를 새로 구성하고, 이를 RMA-2의 입력자료로 사용하여 수위와 유속을 계산한다. SED-2D는 바로 이 GFGEN의 지형결과와 RMA-2의 수위와 유속 결과를 이용하여 하상변화량을 계산하게 되는데 정상류 흐름 및 부정류 흐름에 대한 분석도 가능하다.

유사량 공식으로는 현재 Ackers-White(1973) 공식만 적용할 수 있고 SED-2D는 SI단위만 사용한다. SED-2D 결과로는 부유사 농도와 하상변동, 전단응력 등을 들 수 있다. SED-2D에서는 다음과 같은 가정이 사용된다.

먼저 유사이송 과정은 기본적으로 침식, 부유, 이송, 퇴적으로 이루어지며, 유수는 유사의 존재여부에 관계없이 침식, 부유, 이송, 퇴적 능력이 있다. 하상에서의 유사는 흐름에너지에 대한 힘이 침식에 대한 한계전단응력보다 작으면 움직이지 않는다. 그러므로 침식과 퇴사는 독립적으로 일어나기 때문에 침식률과 이송률이 같으면 모래입자가 움직일지라도 수위의 변화가 없다. 점착성 유사는 전단응력이 퇴적에 대한 한계력을 초과하는 동안 계속 부유상태로 있다. 따라서 일반적인 점착성 유사의 퇴적과 침식은 동시에 일어나지 않는다. 그리고 점착성 유사로 이루어진 하상의 구조는 시간의 흐름에 따라 변하며, 유사이송의 대부분은 부유물이다.

침식 및 퇴적 수치모형의 계산 순서도는 그림 2.2와 같다. 그 계산 순서는 CAD파일인 DXF파일로부터 경계좌표와 수심을 추출하고, SMS의 TABS 프로그램을 이용하여 GEO 이산화격자망의 파일을 생성하며, 경계조건인 BC파일과 함께 RMA-2로 계산하면 SOL파일이 생성된다.

SOL파일은  $u$ ,  $v$ 방향의 각 노드별 유속 결과이며, 이 생성 파일은 다시 유사이송 모형인 SED-2D의 경계조건 SED파일과 함께 SED-2D 프로그램으로 구동시켜 BED.SOL파일을 생성할 수 있다. BED.SOL파일은 SMS graphic tool을 이용하여 해석한다.

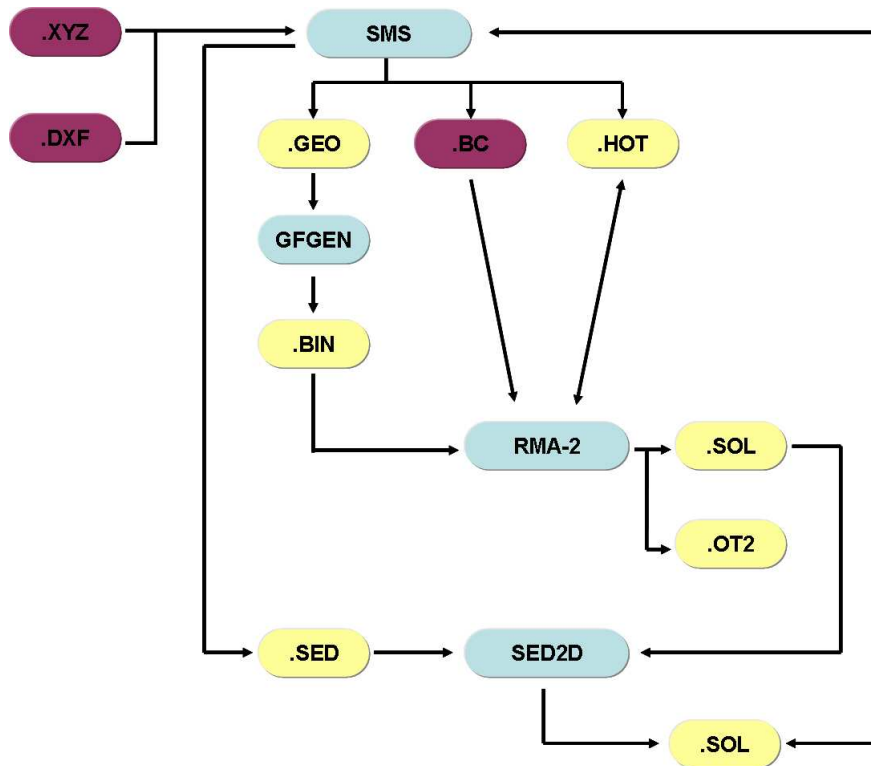


그림 2.2 수치모형의 계산 순서도

### 2.4.1 동수역학의 기본 방정식

본 연구에서 동수역학적 해석은 RMA-2 모형을 통하여 해석하였다. 지배방정식은 2차원 연속방정식과 운동량방정식에 대해서 수심평균치를 취하고 Coriolis항, 지류 유입항, 바람 응력항을 포함한 후 양변에  $\rho h$ 를 곱하면 식 (2.1)~(2.3)과 같이 기술할 수 있다.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} + h \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) = 0 \quad (2.1)$$

$$\begin{aligned} & \rho \left( h \frac{\partial u}{\partial t} + hu \frac{\partial u}{\partial x} + hv \frac{\partial u}{\partial y} + gh \left( \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial z_0}{\partial x} \right) + \frac{g}{C_h^2} u |V| + uq_s - \Omega vh \right) \\ & - h \frac{\partial}{\partial x} \left( \epsilon_{xx} \frac{\partial u}{\partial x} \right) - h \frac{\partial}{\partial y} \left( \epsilon_{xy} \frac{\partial u}{\partial y} \right) - W_x = 0 \end{aligned} \quad (2.2)$$

$$\begin{aligned} & \rho \left( h \frac{\partial v}{\partial t} + hu \frac{\partial v}{\partial x} + hv \frac{\partial v}{\partial y} + gh \left( \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial z_0}{\partial x} \right) + \frac{g}{C_h^2} v |V| + vq_s - \Omega vh \right) \\ & - h \frac{\partial}{\partial x} \left( \epsilon_{xy} \frac{\partial v}{\partial x} \right) - h \frac{\partial}{\partial y} \left( \epsilon_{yy} \frac{\partial v}{\partial y} \right) - W_y = 0 \end{aligned} \quad (2.3)$$

여기서  $u, v$  는 각각  $x, y$  방향의 유속,  $h$ 는 수심,  $z_0$ 는 바닥 표고,  $\epsilon_{xx}, \epsilon_{xy}, \epsilon_{yx}, \epsilon_{yy}$  는 난류확산계수이며,  $C_h$ 는 Chezy계수,  $W_x, W_y$ 는 바람에 의한  $x, y$  방향의 응력을 나타내고 있다.

### 2.4.2 유사이송의 기본방정식

유한요소망에서 SED-2D의 계산은 Ariathurai(1974)과 Arithurai(1977)이 제안한 식에 기초한다. 유사이송 해석을 위한 지배방정식은 토사의 농도는 하상고에 대해 독립적이라는 가정하에 수심 평균을 취해 구할 수 있다. 유사이송을 위한 연속방정식과 이송확산방정식은 식 (2.4) 및 (2.5)와 같다.

$$h \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\partial h}{\partial t} - q_l = 0 \quad (2.4)$$

$$\frac{\partial(hC)}{\partial t} + u \frac{\partial(hC)}{\partial x} + v \frac{\partial(hC)}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x} \left( D_{xx} h \frac{\partial C}{\partial x} + D_{xy} h \frac{\partial C}{\partial y} \right)$$



$$-\frac{\partial}{\partial y}(D_{xy}h\frac{\partial C}{\partial x}+D_{yy}h\frac{\partial C}{\partial y})-KhC-hS=0 \quad (2.5)$$

여기서  $q_l$ 은 단위면적당 유사 유입률,  $C$ 는 유사 농도,  $D_{xx}$ ,  $D_{xy}$ ,  $D_{yy}$ 는 각 방향의 난류확산계수,  $K$ 는 감소계수,  $h$ 는 수심,  $S$ 는 하상토의 침식량(+) 또는 퇴적량(-)이다. 이송확산방정식을 연속방정식에 대입하면 하상 전단응력은 식 (2.6) 및 (2.7)과 같다.

$$\begin{aligned} h(\frac{\partial C}{\partial t}+u\frac{\partial C}{\partial x}+v\frac{\partial C}{\partial y})-\frac{\partial}{\partial x}(D_{xx}h\frac{\partial C}{\partial x}+D_{xy}h\frac{\partial C}{\partial y}) \\ -\frac{\partial}{\partial y}(D_{xy}h\frac{\partial C}{\partial x}+D_{yy}h\frac{\partial C}{\partial y})+(q_l-Kh)C-hS=0 \end{aligned} \quad (2.6)$$

$$\tau_b = \rho(u^*)^2 \quad (2.7)$$

여기서  $\rho$  : 물의 밀도,  $u^*$  : 전단속도

하상에서의 토사의 이송은 토사의 측정치와 흐름매개 변수에 의해 결정되는데 하상유사의 침식량(+) 또는 퇴적량(-)은 식 (2.8)과 같다.

$$S = \frac{C_{eq} - C}{t_c} \quad (2.8)$$

여기서  $S$ 는 하상의 침식률(+) 또는 퇴적률(-),  $C_{eq}$ 는 평행농도(mg/L),

$C$ 는 수중 유사농도(mg/L),  $t_c$ 는 천이상태에 대한 영향이 미치는 특성시간(sec)이다.

모래 크기에 대한  $C_{eq}$ 를 계산하는 많은 이송 관계식이 있으나 이 모델에서는 Ackers-White 공식만을 사용하며 식 (2.8)에서의 sink 및 source 항은 하상 모델의 sink 및 source가 되어 하상의 표고, 구성 기타 특징 등을 알 수 있다. 하상 변화량은 각 시간 간격에 Crank-Nicholson 가중치를 주어 계산한다.

모래 하상은 침식이 안 되는 표면 아래 유한두께의 유사저수지로 구성되며 유사는 전 시간과 현재 시간의 간격에서 sink/source 항의 값에 의해 결정된 비율로 하상에 더해지거나 제거 된다. 점토 하상은 일련의 층으로 구성 된다.

하상전단속도  $u^*$ 는 Manning의 전단응력방정식을 사용해서 식 (2.9)에 의해 계산된다.

$$u^* = \frac{ng^{0.5}V}{d^{1/6}} \quad (2.9)$$

여기서  $n$ 은 Manning의 조도계수,  $d$ 는 수심(m)이다.

### (가) 하상퇴적

평행 유사농도가 수중 유사농도보다 작을 때 퇴적이 발생한다. 따라서 특성 시간은 시간 간격이 유사입자가 전체수심의 일정비를 침강할 때 소요되는 시간을 초과할 경우 침강속도의 함수이며, 식 (2.10)의 형태를 따르게 된다.

$$t_c = C_d \frac{d}{V_s} \text{ 또는 } \Delta t \text{보다 큰 값을 취함} \quad (2.10)$$

여기서  $C_d$ 는 퇴적계수,  $V_s$ 는 침강속도 (m/sec),  $\Delta t$ 는 계산 시간 간격(sec)이다.

### (나) 하상침식

평행 유사농도가 수중 유사농도보다 높을 때 침식이 발생한다. 따라서 측정 시간은 복잡한 함수형을 가지게 되는데 식 (2.11)과 같은 경험식이 적용된다.

$$t_c = C_c \frac{d}{V} \text{ 또는 } \Delta t \text{보다 큰 값을 취함} \quad (2.11)$$

여기서  $C_c$ 는 침식계수,  $V$ 는 하상부근에서의 유속(m/sec)이다.

### (다) 하상의 구조

하상은 초기두께를 가지고 주어지며, 퇴적은 새로운 하상 층을 형성한다는 가정 하에 퇴적으로 인한 두께 증가 또는 침식으로 인한 감소는 식 (2.12)와 같다. 만약 침식 중에 하상두께가 0보다 작은 값으로 감소할 때에는 하상두께가 유입율을 감소시키는데 기인한다.

$$\Delta b = \delta \Delta t / (0.4 \rho_s) \quad (2.12)$$

여기서  $\Delta b$ 는 추가되는 퇴적유사의 두께(m),  $\delta$ 는 유사 유입율(kg/s/m<sup>2</sup>),  $\rho_s$ 는 유사밀도 (kg/m<sup>3</sup>)이다.

**(라) Galerkin 유한요소 형태**

지배방정식을 Galerkin 유한요소 형태를 이용하고 사각형 형상함수 N형태로 전개하면 식 (2.13)과 같다.

$$\sum_{NE=1}^{\neq} \int_{D_{NE}} \int [N_j \left\{ Q + u \frac{\partial \hat{c}}{\partial x} + v \frac{\partial \hat{c}}{\partial y} - \alpha \hat{c} \right\} + \frac{\partial N_j}{\partial x} D_x \frac{\partial \hat{c}}{\partial x} + \frac{\partial N_j}{\partial y} D_y \frac{\partial \hat{c}}{\partial y}] dx dy + \sum_{i=1}^{NL} \int_{\zeta} N_j q_i^s d\zeta = 0 \quad (2.13)$$

여기서  $Q = \left[ \frac{\partial \hat{c}}{\partial t} \right] + \alpha_2$ 이고, NE는 element의 총수, N은 형상함수,  $\hat{c}$ 는 각 절점 농도와 형상함수로부터 얻어진 근사 농도, NL은 경계넘버의 총수,  $\zeta$ 는 지역좌표,  $q_i^s$ 는 경계  $i$ 에서 흐름이다. 이송방정식은 식 (2.14)로 표현된다.

$$[T] \frac{\partial \{C\}}{\partial t} + [K] \{C\} - \{f\} = 0 \quad (2.14)$$

여기서 계산된 각 element를 전체영역으로 중첩시키면 식 (2.15)와 같다.

$$[T] = \int_D \int [N]^T [N] dx dy \quad (2.15)$$

여기서 정상상태 matrix  $[K]$ 계수는 식 (2.16)과 같이 되고

$$\begin{aligned}
 [K] = & \int_D \int [K_j] \left\{ u \frac{\partial \hat{c}}{\partial x} + v \frac{\partial \hat{c}}{\partial y} - \alpha \hat{c} \right\} \\
 & + \frac{\partial N_j}{\partial x} D_x \frac{\partial \hat{c}}{\partial x} + \frac{\partial N_j}{\partial y} D_y \frac{\partial \hat{c}}{\partial y} \Big] dx dy \quad (2.16)
 \end{aligned}$$

경계 이송 벡터  $\{F\}$ 는 식 (2.17)과 같다.

$$\{F\} = - \int_D \int [N]^T \{\alpha_2\} dx dy + \int_{\zeta} [N]^T \{q\} d\zeta \quad (2.17)$$

여기서  $\theta$ 는 음해계수이며,  $n$ 은 현재상태,  $n+1$ 은 time step 후 상태이다.  $\Delta t$ 를 계산 시간 간격으로 놓고 전술한 식 (2.15)에 Crank-Nicholson 기법을 적용하여 전개하면 식 (2.18)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 & \left\{ \frac{[T]}{\Delta t} + \theta [K]^{n+1} \right\} \{C\}^{n+1} \\
 = & \left\{ \frac{[T]}{\Delta t} - (1-\theta)[K]^n \right\} \{C\}^n + \theta \{F\}^{n+1} + (1-\theta)\{F\}^n \quad (2.18)
 \end{aligned}$$

## 제 3 장 대상유역 현황 및 특성

하천의 유출현상은 유역의 수문사상에 따라 크게 영향을 받는다. 특히 홍수량의 경우 지형 및 지질과 같은 유역의 지형학적 특성과 유역면적과 같은 유역의 특성에 크게 좌우 된다. 그러므로 어느 한 유역에서의 홍수량 추정을 위해서는 대상유역의 유역 특성과 지질 및 지형학적 특성을 파악하여야 한다. 여기서, 유역의 특성을 나타내는 인자는 유역면적, 유역형상, 유역평균경사, 유역의 방향성, 유역표고, 유역지질 등 여러 가지 인자들이 있다.

본 장에서는 하천의 홍수량을 적용하고 하천유역의 인자들을 조사하여 최종 실험안의 기초조사로 활용하며, 보다 정확한 입력조건 값의 산출에 적합한 조건을 찾는데 그 목적이 있다.

### 3.1 대상유역의 선정

#### 3.1.1 대상유역의 일반현황

석탑천 유역은 서해로 유입되는 만경강 수계의 제 2지류로 전라북도 완주군 봉동읍 제내리, 장구리, 둔산리, 구암리, 청등리, 석전리 등의 일부를 포함하는 지방 2급 하천으로, 전라북도 완주군 봉동읍 석전리에서 우산천의 우안으로 유입된다.

위치는 동경 126°05'~ 126°08', 북위 35°55'~ 36°01'사이에 위치하고 있으며, 하천의 유역면적은 19.87km<sup>2</sup>, 유로연장 10.26km이며, 유역 평균폭은 1.94km로서 남북으로 길게 형성되어 있으며, 그 형상은 수지형을 이루고 있다.

석탑천의 수원은 완주군 봉동읍 제내리(EL.212m)에서 발원하여 산지하천을 따라 유하한 후 소규모 농업용 저류지인 탑저류지에 유입한 후 봉동읍 장구리에서 지방도 720호선을 관통한 후 둔산리, 구암리, 청등리 등을 지나 석전리에서 우산천에 합류된다.

석탑천의 분수령은 호남고속도로를 경계로 왕궁천과 우산천의 경계인 배매산(EL.123.0m)을 경계로 하고 있으며, 탑제를 기준으로 상류부는 산지하천으로 구성되고 하류부는 농경지가 주를 이루고 있고 석탑천의 하상을 구성하고 있는 물질은 대부분 자갈, 잔자갈, 모래 등으로 구성되어 있다.

한편, 석탑천은 만경강의 제 2지류로서 상류부는 주로 산지와 일부 농경지로 구성되어 있으며, 하상경사가 1/40~1/97 정도로 매우 급한 상태이다. 중류부는 주로 약간의 농경지와 산지가 분포하고 있으며, 하상경사는 1/97~1/240으로 비교적 급한 상태이고, 하류부는 대부분 농경지로 구성되어 있으며 하상경사는 1/338~1/400으로 비교적 완만한 특성을 가지고 있다. 본 연구의 대상하천인 석탑천의 유역도는 그림 3.1에 도시하였다.

### 3.1.2 유역의 자연현황

석탑천에서 교점법에 의해 유역 평균고도를 구한 결과 유역의 평균고도는 EL.101.8m이며, 유역의 평균고도는 석탑천 하구를 기준으로 EL.101.85m이며, 유역 평균경사는 9.5%로 각각 조사되었다. 그리고 석탑천의 하폭은 하류부에서 17~42m로 비교적 넓은 편이며, 중상류 구간은 6~18m, 상류구간은 3~10m 정도로 조사되었다. 본 연구의 대상지점인 가동보 설치 지점은 석탑천의 중상류 구간에 위치하고 있으며, 이 지점의 하폭은 30m 내외이며, 하상경사는 1/180~1/150 사이의 비교적 경사가 급한 상태이다.

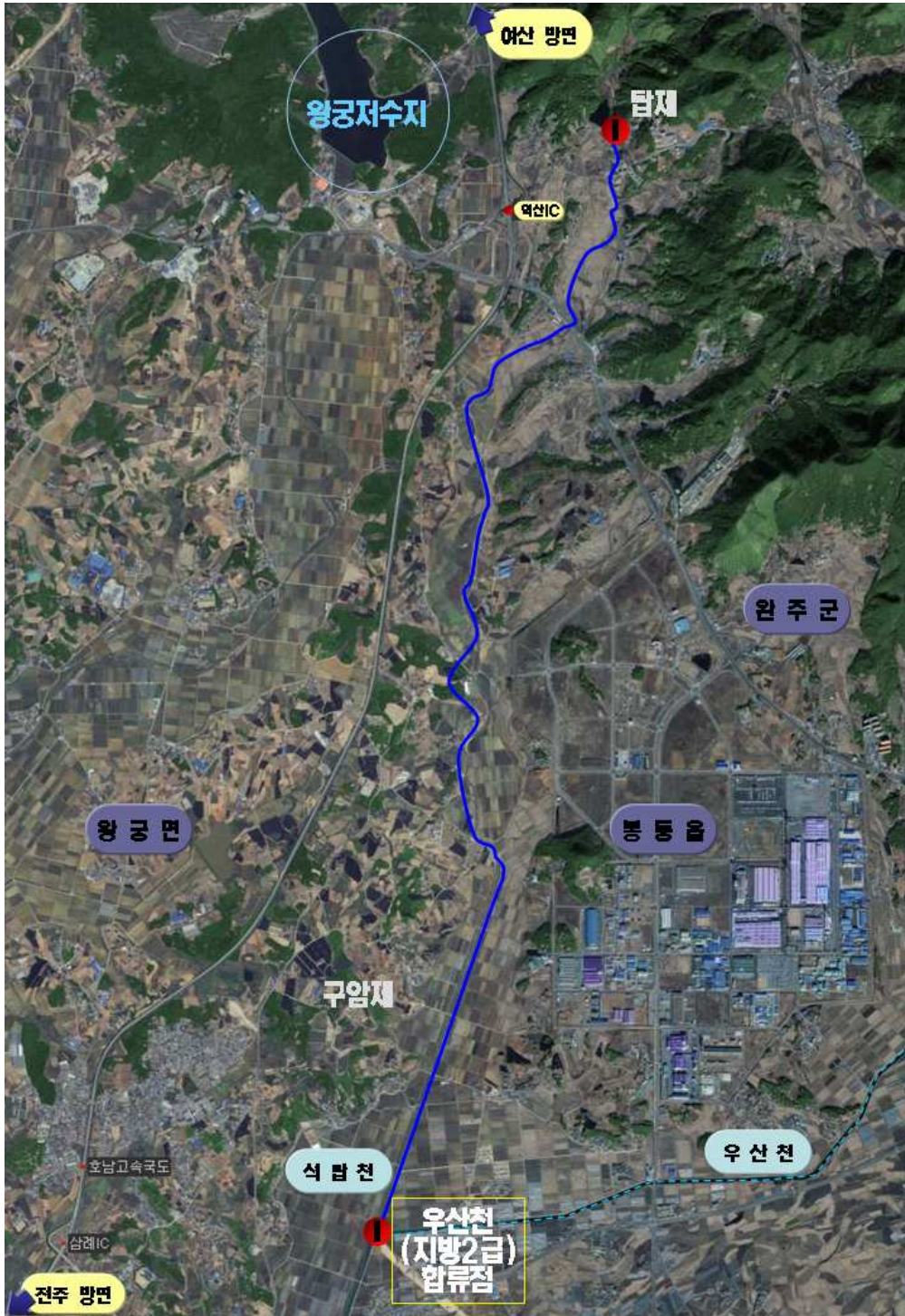


그림 3.1 대상 유역도



한편 석탑천의 지질은 선캠브리아기의 소백산 편마암 복합체를 기저로 고생대의 변성암인 옥천층군이 소규모로 분포하며, 이들은 주라기의 대보조산 운동과 관련된 편마암, 화강암, 대보 화강암이 관입하였다. 또한 백악기의 층적층류인 신라층군과 능주층군이 누층되었으며, 이들 지질층을 백악기의 산성 화강암류와 불국사 화강암이 관입하였고, 신생대 제4기의 층적층이 부정합으로 피복하고 있다. 고생대의 변성암류인 옥천군 층은 만경강의 중상류부근에 광범위하게 분포하며, 하부에 규암과 백운암으로 구성된 부분과 석회암, 점판암, 석판암 등으로 구성된 부분과 녹니 석편암으로 구성된 부분 등으로 이등분한다.

석탑천 유역의 토양분석은 미국 토양보존국(U.S. Soil Conservation Service, SCS)에서 제시한 토양분류표를 이용하였으며 토양종류를 분석한 결과 유역내 토양 유형별 분포도는 석탑천 주위는 B-Type이 주로 구성되어 있고, 중상류부의 유역경계부로 A-Type이 분포하고 있으며, 중·하류부는 C-Type이 하천 주위로 분포하고 있으며, 유역하구인근에 D-Type이 약간 존재하고 있는 것으로 나타났다. SCS 토양분류표는 표 3.1과 같으며, 토양 침투능의 크기는 A > B > C > D 이지만 유출율은 이의 역순이다.

표 3.1 수문학적 토양분류

토 양 형	토 양 성 질
A-Type	낮은 유출율 침투율이 대단히 크며 자갈이 있는 부양질, 배수 매우 양호
B-Type	비교적 낮은 유출율 침투율이 대체로 크고, 돌 및 자갈이 섞인 사질토, 배수 대체로 양호
C-Type	비교적 높은 유출율 침투율이 대체로 작고, 대체로 세사질토양층, 배수 대체로 불량
D-Type	높은 유출율 침투율이 대단히 작고, 점질토 종류의 토양으로 거의 불투수성, 배수 대단히 불량

석탑천 전체유역 중 본 연구에서 수치 모형실험은 가동보가 설치되어 있는 일부구간에서 실시하였다. 석탑천은 유로 연장이 8.9km 정도로 비교적 긴 상태이기 때문에, 석탑천 전체구간을 대상으로 수치실험을 실시한다는 것은 석탑천 하류부와 상류부의 하도경사의 변화가 매우 크기 때문에 경계조건 생성 등에 불합리한 조건으로 작용한다. 그리고 가동보 주위의 상세한 해석에 효율성이 떨어진다고 판단되어 대상 소유역을 가동보가 설치되어 있는 지점을 기준으로 하류측으로 약 100m 상류측으로 약 300m 정도를 대상 소구간으로 설정하였다. 또한 설정된 대상 소유역 중에서도 상·하류의 표고차가 커 경계조건 생성에 어려움이 있는 지역은 연구 대상지역에서 제외하였다.

이러한 조건을 고려하여 석탑천에 현재 설치 운영중에 있는 가동보 설치구간 중 2개 구간을 선정하였다. 본 연구에서 수치실험을 실시하기 위하여 선정된 대상지역의 현황은 그림 3.2에 도시하였으며, 대상지역의 종단면도는 그림 3.3에 도시하였다.

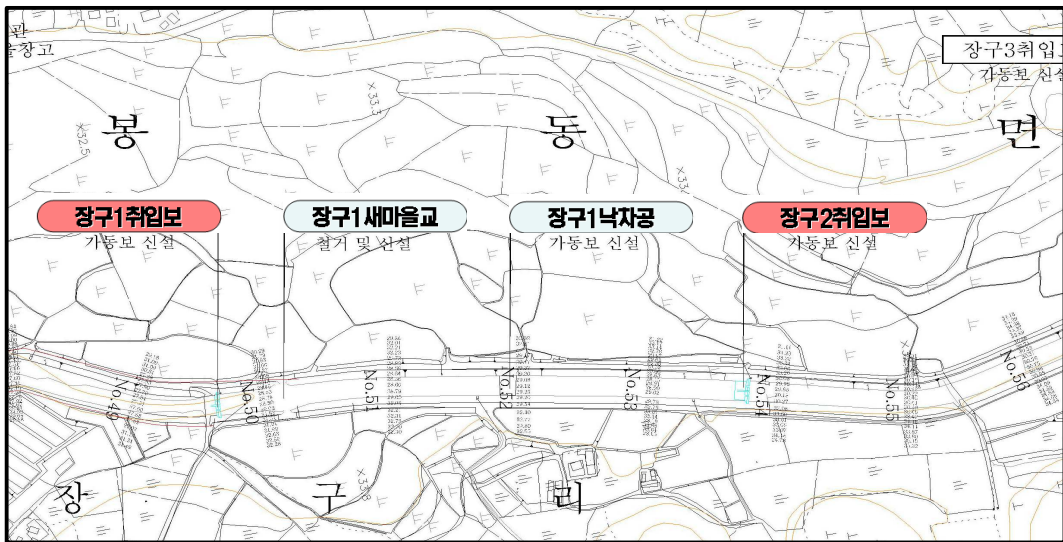


그림 3.2 연구대상 구간

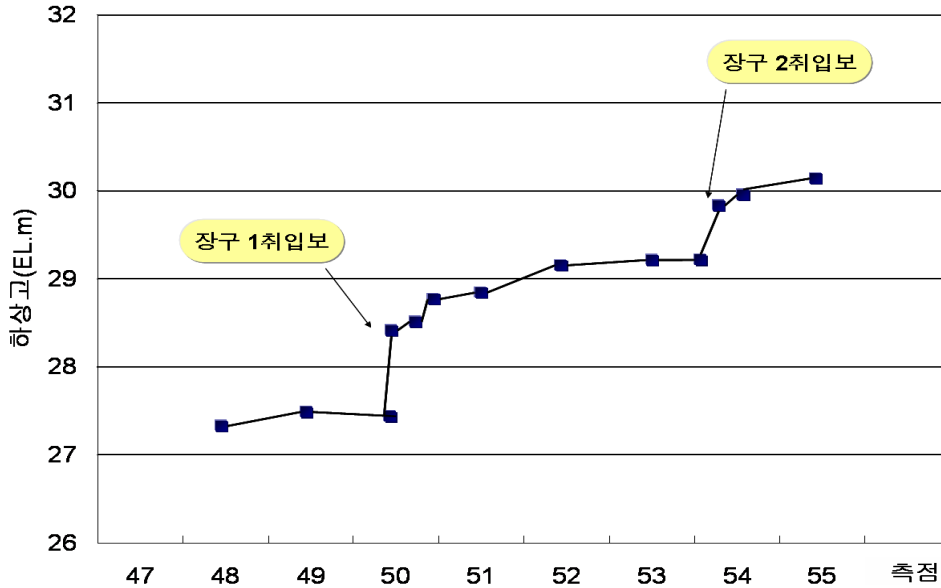


그림 3.3 대상구역의 종단면도

### 3.2 기초수문특성의 조사

석탑천 유역인근에는 전주 우량관측소가 위치하고 있다. 전주 우량관측소는 1918년 5월부터 관측을 개시하였으나 제2차 세계대전과 6.25전쟁 등으로 정상적인 관측이 불가능한 기간(1940~1956년)동안 결측이 있었다. 이후 1957년부터 관측을 재개한 후 1979년 8월 16일 중앙기상대 관할 전주 기상관측소와 통합 개발하여 현재까지 관측을 계속하고 있다.

전주 기상관측소의 최근 1973년부터 2005년의 33년간 강우자료를 사용하여 강우량 현황을 분석한 결과, 연평균 강수량이 648.4mm(1977)~1859.8mm(2003) 범위의 큰 편차를 가지는 것으로 나타났다. 전주 기상관측소의 강우자료(1973~2005년)의 강우사상에 의한 주요호우를 조사하였다. 전주 기상관측소

의 강우지속기간별 기왕 최대강우기록을 1~5위까지 표시하면 다음과 같다.

단일호우사상으로는 1979년에 발생한 호우가 2002년 태풍 ‘매미’와 2003년 태풍 ‘루사’ 때 보다도 치수적인 측면에서 가장 불리한 홍수가 발생한 것으로 조사되었고 최근에는 1979년 호우시 가장 큰 피해를 입었던 것으로 조사되었다.

전주 기상관측소의 현황은 표 3.2와 같으며, 전주 기상관측소의 강우지속기간별 기왕 최대강우기록은 표 3.3에 나타내었다.

표 3.2 기상관측소 현황

관측 소명	위 치			해발고 (EL.m)	관측개 시년월	실보유 년수(개)	관 할 관서명
	소 재 지	동 경	북 위				
전주	전주 완산 남노송 515	127-09	35-49	53.5	1918.5	44	기상청

표 3.3 전주 관측소 강우지속기간별 기왕 최대강우기록

강우 순위	강 우 기 록(mm)					
	10분	1시간	2시간	6시간	12시간	24시간
1	28.0 (1966)	87.0 (2003.7.25)	98.0 (2003.7.25)	178.0 (1976.8.06)	254.5 (2005.8.02)	279.5 (2005.8.02)
2	26.0 (1964)	71.1 (1984.7.04)	97.7 (1961.8.08)	173.1 (1979.8.05)	230.9 (1979.8.05)	234.1 (1979.8.05)
3	24.0 (1984)	69.3 (1964.9.05)	88.0 (1976.8.06)	160.0 (2005.8.02)	187.0 (1976.8.06)	209.4 (1961.8.08)
4	24.0 (1983)	67.6 (1961.8.04)	87.5 (2005.8.02)	147.4 (2000.6.10)	173.9 (1992.7.17)	198.4 (1984.9.03)
5	23.0 (2003)	64.6 (1991.7.27)	81.7 (1979.8.05)	140.3 (2004.8.18)	171.5 (2004.8.18)	196.6 (1976.8.05)

기상관측소에서 관측된 강우기록으로는 최근 44년간(1961~2004년) 평균 강우량이 1,300.2mm로서 수자원 장기 종합계획(2000.12, 건설교통부, 한국수자원공사)에서 분석한 우리나라 연평균 강우량 1,283mm보다 높은 편이며, 월별 강우분포를 살펴보면 하절기인 6, 7, 8, 9월에 년 강우량의 약 59.8%인 777.2mm가 내려서 강우의 계절적인 편기현상을 보이고 있다.

한편 석탑천 유역에서 1일 최대 강우기록은 2005년 8월 2일에 발생한 279.5mm/day로 조사되었으며 표 3.4와 같다. 최근 강우현상은 한반도 주변의 많은 변화로 인하여 강우량이 많이 증가하고 있는 실정으로 국지적 호우가 발생하여 한 지역에 집중적으로 내리는 현상이 자주 일어나고 있다.

표 3.4 대상유역 최대우량 관측기록

유역명	관측소	1일 최대강우량	비고
석탑천	전주	279.5mm/day	2005년8월2일

석탑천은 우리나라 남서부 지방에 위치하며, 겨울철에는 대륙성 계절기후의 영향으로 한냉 건조하고 여름철에는 해양성 기후의 영향으로 고온 다습한 한반도의 전형적인 기후의 특성을 보이고 있다. 석탑천 유역의 기상학적 특성은 전주 기상관측소의 관측기록을 기준으로 분석하였다. 연평균 기온은 13.3℃, 최저기온은 -16.0℃, 최고기온은 38.2℃, 평균상대습도는 70%, 평균풍속은 1.6m/sec로 나타났다. 천기일수 현황은 강우일수 122일, 적설일수 19일, 그리고 결빙일수 102일로 나타났다. 연평균습도는 70%로 분석되었으며, 그 결과 4월이 60%로 가장 낮고, 8월이 77%로 가장 높은 것으로 나타났다.

1973~2005년의 33년간의 평균치로서 석탑천 유역의 기상특성은 표 3.5와 같다.

표 3.5 대상유역의 기상특성

월 별	기 온 (°C)					평균 상대 습도 (%)	평균 풍속 (m/sec)	최대 풍속 (m/sec)	천기일수(일)		
	평 균	평균 최고	평균 최저	최 고	최 저				강수 >0.1 mm	적 설	결 빙
1	-0.3	3.1	-3.1	18.3	-16.0	69	1.6	9.7	10	9	28
2	1.6	4.4	-1.7	21.9	-15.5	67	1.7	11.2	8	4	23
3	6.3	8.2	4.4	24.7	-7.4	64	1.8	14.8	10	1	14
4	12.8	16.3	9.9	30.7	-3.2	60	1.9	13.6	8	0	2
5	18.0	19.5	17.0	33.2	3.7	66	1.8	11.7	10	0	0
6	22.3	23.2	21.0	33.7	8.5	72	1.6	12.3	11	0	0
7	25.9	29.4	23.7	38.2	13.8	78	1.8	1.5	16	0	0
8	26.1	27.7	23.2	33.8	14.9	77	1.6	15.7	15	0	0
9	21.4	23.6	19.6	34.1	6.1	75	1.4	11.0	9	0	0
10	14.9	17.2	13.1	29.2	-1.2	71	1.4	9.5	7	0	1
11	8.3	10.6	5.9	25.4	-8.4	70	1.5	11.9	9	1	9
12	2.5	3.5	-0.7	19.6	-11.3	69	1.5	9.5	9	4	25
전년	13.3	29.4	-3.1	38.2	-16.0	70	1.6	15.7	122	19	102

### 3.3 하상특성

석탑천의 중상류 구간에 위치한 본 연구대상 소구간은 하천을 중심으로 양안에 넓은 농경지가 발달해 있다. 이들 농경지에 농업용수를 공급하기 위하여 2개소의 취입보를 설치하였다. 장구 1, 2취입보의 고정보 설치전경과 가동보 설치전경은 그림 3.4~3.7과 같다.

취입보 중 하류에 위치한 장구 1취입보는 높이가 1.5m, 폭 1.6m, 길이 20m의 콘크리트 고정보이며, 상류측에 설치되어 있는 장구 2취입보는 높이 0.6m, 폭 4.4m, 길이 26.3m의 콘크리트 고정보로 취입보의 규모가 서로 상이하다. 이들 취입보들은 앞에서 언급한 것처럼 인근 농경지에 농업용수를 공급하기 위하여 설치되어 있는 콘크리트 고정보기 때문에 평수기와 갈수기 때는 물론 홍수기에도 수문이 닫혀 있어 취입보를 중심으로 상류측에는 많은 유사가 퇴적되었고, 하류측에는 하상이 세굴 되어 보를 중심으로 단차가 매우 심한 상태이다.

장구 1취입보의 하류측 표고는 EL.27.51m이며, 상류측 표고는 EL.28.38m로 단차는 0.87m정도에 이르며, 장구 2취입보의 하류측 표고는 EL.28.15m, 상류측 표고는 EL.29.82m로 단차는 1.367m 정도이다. 이와 같이 취입보를 중심으로 단차가 1.0m이상 차이가 있기 때문에 상·하류의 하천 생태계가 교란될 뿐만 아니라 하천의 연속성이 훼손되어 효율적인 하천관리가 매우 어려울 것으로 예상된다. 특히 이들 보의 높이는 0.6~1.5m에 이르러 홍수 발생시 홍수소통에 지장을 초래하여 홍수 범람 등의 위험성이 크게 내포되어 있다.



그림 3.4 장구 1취입보 전경



그림 3.5 장구 2취입보 전경





그림 3.6 장구 1취입보 가동보설치 전경



그림 3.7 장구 2취입보 가동보설치 전경

### 3.3.1 하상특성 조사

하상의 특성 조사를 위해 현장에서 채취한 하상재료인 시료의 입경분포를 분석하였는데 모래는 KSF(2504), 자갈은 KSF(2503)에 따랐다. 또한 미립토사에 대해서는 KSF(2308)의 시험법에 따라 측정하며, 현장에서 채취한 하상재료의 침강속도는 입자형성과 비중이 하상재료와 특별히 다른 경우 실험실에서 실측하여 결정하였다. 하상재료 자료는 SED-2D의 입력자료로 활용되며, 경계 조건에서 유입되는 유사량의 농도와 침강속도, 최대입경, 최소입경분포 등의 다양한 입력 값으로 활용된다. 하상재료 조사 결과는 표 3.6과 같다.

표 3.6 하상시료 분석 결과

시료 번호 (측점)	통 과 입 경 (mm)												D <sub>84</sub>	D <sub>75</sub>	D <sub>55</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>25</sub>	D <sub>10</sub>
	76.2	38.1	35.4	19.1	12.7	4.75	2.00	1.18	0.425	0.25	0.15	0.075						
1 (NO.1)	100	90.3	86.9	78.0	67.6	51.7	41.7	31.2	12.8	5.6	3.3	1.3	23.9	17.0	5.8	4.2	0.8	0.34
2 (NO.18)	100	86.7	72.6	60.9	53.4	45.9	34.9	16.6	2.5	1.1	0.7	0.4	36.2	27.2	13.9	8.2	1.5	0.74
3 (NO.35)	100	100	100	100	99.5	97.5	90.3	70.4	16.8	3.9	1.1	0.4	1.6	1.3	0.9	0.8	0.5	0.33
4 (NO.52)	100	61.4	51.3	45.1	39.8	32.4	24.7	17.1	5.2	1.5	0.6	0.2	58.0	48.6	29.5	20.4	2.1	0.65
5 (NO.77)	100	87.7	73.7	68.9	64.7	53.2	46.1	40.3	30.2	23.4	18.2	9.8	35.0	26.4	5.6	3.2	0.3	0.1

### 3.3.2 하상변동 관측

하천의 하상변동을 야기하는 원인은 가장 대표적인 것은 유역내에서 발생하는 홍수량이라할 수 있다. 본 연구에서는 하상변동을 야기하는 여러 가지 원인 중 가장 대표적인 홍수량에 의한 하상변동을 수치모형을 이용하여 모의하고 이의 결과를 현지 측량결과와 비교 검토하여 적용한 SMS 모형의 적합성을 검증하였다. 또한 향후 SMS 모형을 이용한 적절한 하천 관리가 가능한지를 평가하고자 한다.

이를 위하여 석탑천에 설치 운영되고 있는 장구 제 1, 2 취입보 지점에서 가동보 설치 전 하천하상을 하천측량을 통하여 확인하였다. 가동보를 설치하고 1년이 경과한 후 하상변동량을 파악하기 위하여 하천측량을 실시하였으며, 도출된 결과를 이용하여 가동보 설치 전 하상표고와 가동보 설치 후 하상표고를 비교하였다. 하천측량을 가동보 설치로 인하여 하상변동에 영향을 받는 구간을 선정하여 실시하였다. 즉 가동보 설치지점을 기준으로 하류측으로 10m 간격으로 2개 지점, 상류측으로 2개 지점 등 총 5개 지점의 하상표고를 확인측량 하였다.

그 결과 가동보 설치 전 및 가동보 설치 후 1년이 경과한 후 장구 2취입보 지점의 하상표고는 가동보 설치지점에서 0.22m 하상이 저하된 것으로 조사되었고, 10m 떨어진 지점에서는 0.01m, 그리고 20m 떨어진 지점에서는 하상변동이 없는 것으로 조사되었다. 그리고 하류측 하상변동은 가동보 설치지점에서 10m 떨어진 지점에서 0.05m 하상저하가 발생하였고, 20m 떨어진 지점에서는 0.04m 하상저하가 발생하는 것으로 조사되었다. 한편 장구 1취입보 지점에서 하상변동은 가동보 설치지점에서 0.31m 하상저하가 발생하였고, 상류측으로 10m 떨어진 지점에서 0.32m 하상저하가 발생하였다. 그리고 20m 떨어진 지점에서는 0.29m 하상저하가 발생하는 것으로 조사되었다. 가동보 설치지점의 하상변동 현황은 표 3.7 및 3.8에 나타냈으며, 이에 대한 결과를 그림 3.8 및 3.9에 도시하였다.

표 3.7 가동보 설치 전후 하상변동 결과(ST1)

거리(m)	가동보 설치전 (EL.m)	가동보 설치후 (EL.m)	하상 변동 (m)
20	29.70	29.70	0
10	29.84	29.83	-0.01
0	30.38	30.16	-0.22
-10	30.10	30.05	-0.05
-20	30.08	30.04	-0.04

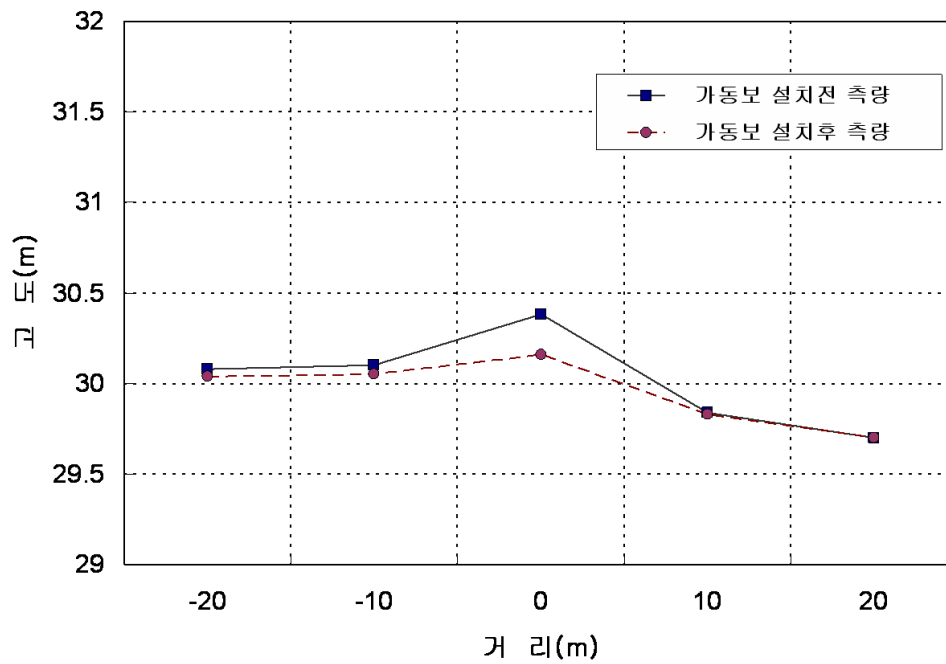


그림 3.8 가동보 설치 전후 하상변동(ST1)

표 3.8 가동보 설치 전후 하상관측 결과(ST2)

거리(m)	가동보 설치전 (EL.m)	가동보 설치후 (EL.m)	하상 변동 (m)
20	28.87	27.58	-0.29
10	28.96	28.64	-0.32
0	29.02	28.69	-0.31
-10	28.36	28.35	-0.01
-20	28.34	28.28	-0.06

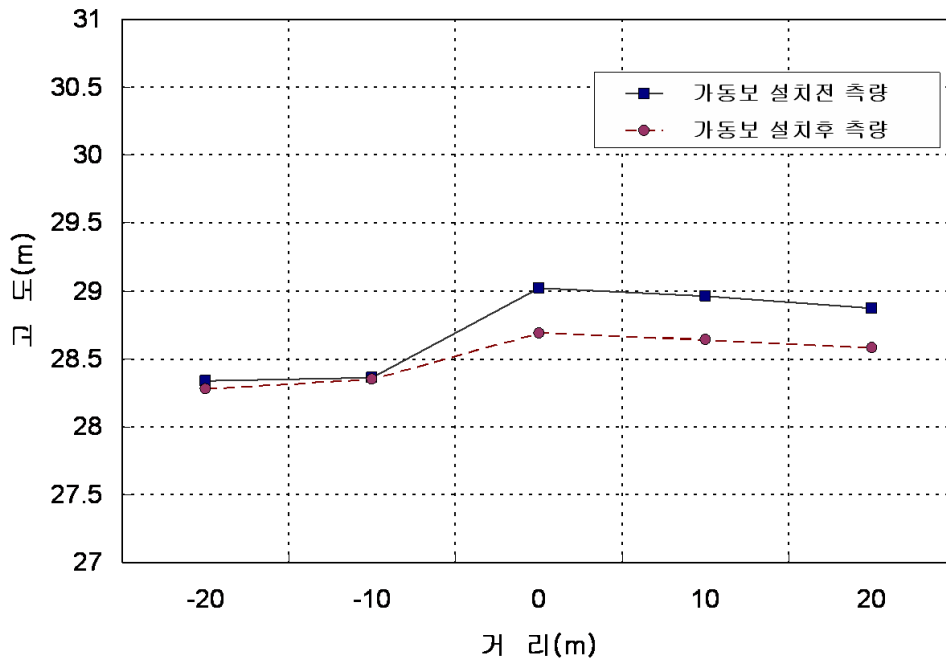


그림 3.9 가동보 설치 전후 하상변동(ST2)

## 3.4 계획홍수량의 산정

### 3.4.1 홍수량 산정 절차

강우현상은 지상 및 지형적인 자연요소 등에 의하여 시시각각 변화하기 때문에 이를 정확하게 예측하거나 파악하기는 매우 어렵다. 따라서 강우로 인해 발생하는 홍수량은 유역 내에 설치된 수위, 유량 관측자료를 분석하고 유출량의 연최대치 계열 혹은 연초과치 계열 등을 추출한 후 빈도해석하여 빈도별 홍수량 및 기본·계획홍수량을 산정하는 방법이 가장 정확한 방법이라할 수 있다. 그러나 본 연구 대상유역에는 수위-유량관측소가 없는 실정으로 강우량의 연최대치 계열을 추출하고 빈도해석한 후 빈도별 강우지속시간별 강우량을 강우의 시간적 분포 방법에 따라 적절히 분포시키고 차단, 침투, 증발산량 등의 손실량을 제외한 유효강우량을 산정한 후 강우-유출 모형에 적용하여 빈도별 홍수량을 산정하는 간접방법을 적용하였다. 강우량의 빈도와 홍수량의 빈도가 꼭 일치한다고 할 수는 없으나, 홍수량의 가장 중요한 입력자료가 강우량인 점과 대상유역에 수위-유량관측소가 없기 때문에 이와 같은 방법으로 산정하였으며 홍수량 산정 모식도는 그림 3.10과 같다.

과거에는 강우량 관측자료의 부족, 시간별 강우량 부족 등에 의해 불가피하게 연최대치 일강우량 자료를 분석하고, 이를 Mononobe 공식 등에 의해서 시간별 강우량을 산정하고 이를 중앙집중형으로 재배치한 후 강우-유출 모형에 입력하여 홍수량을 산정하는 방식을 취해왔으나, 최근에 들어서는 지역적 설계 강우의 시간적 분포(한국건설기술연구원, 2000)와 같은 지역별 설계 강우의 시간적 분포 등의 연구가 지속되어 왔고, 시간별 강우량의 축적에 따라 시간별

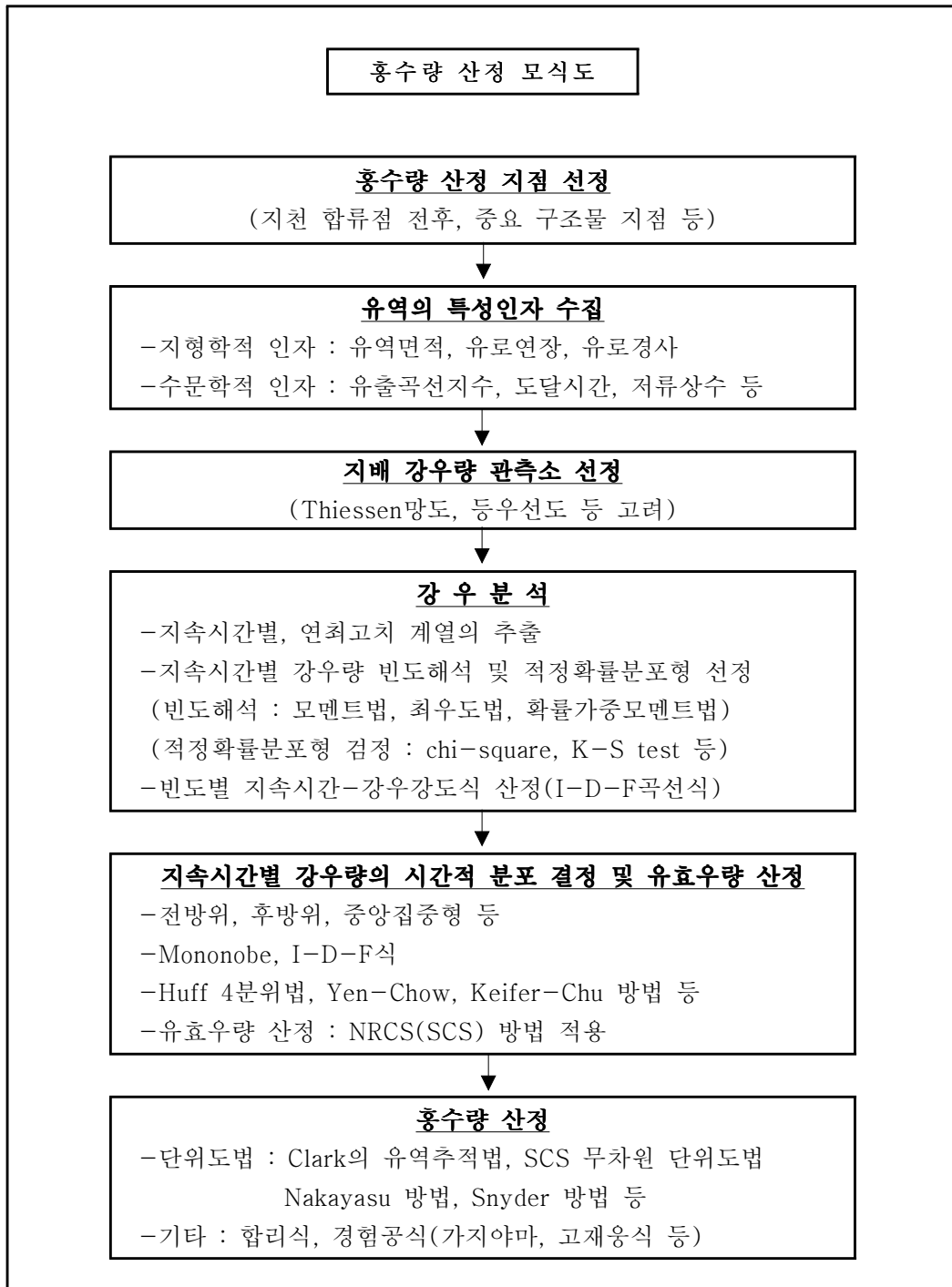


그림 3.10 홍수량 산정 모식도

연최대치계열을 구성하고 빈도해석한 후 강우강도-강우지속시간-재현기간곡선(I-D-F곡선)을 구성하여 중앙집중형으로 재배치하여 적용하거나, Huff 4분위 분포 또는 Yen-Chow의 강우분포 방식에 의해 강우량을 재배치하여 강우-유출 모형에 의해 홍수량을 산정하는 방식이 주로 적용되고 있다.

### 3.4.2 확률강우량 산정

#### (가) 유역인자 결정

본 연구의 대상유역의 1/5,000 지형도를 사용하여 유역의 분수계를 결정하여 지천의 합류 전후의 지점을 선정하여 유역면적을 산출하였으며, 유로의 등고선에 따른 유로경사를 산출하였다. 유로경사에 따른 도달시간의 산정은 Rziha, Kraven-1,2, Kirpich, Kerby의 공식 등이 있지만 하천시설기준(건교부, 1993)에서는 합리식을 적용할 때 Rziha식은 일반적으로 과소한 값을 나타내므로 Kraven식에 의한 값을 취하도록 제시하고 있으므로 본 연구에서도 Kraven-2식을 적용하여 도달시간을 산정하였다. 등시권도 혹은 등거리 분할도는 1/5,000 지형도에서 등고선과 유로거리, 같은 시간대의 유하거리 등을 감안하여 작성하였으며, 유출곡선 지수의 산정은 농촌진흥청 전국 개략토양도를 사용하여 유역 내 홍수량 산정 지점별 대표 CN(Curve Number) 값을 산정하였다.

#### (나) 확률강우량 산정

본 연구에서는 하천설계기준(한국수자원학회, 2000)에 제시한 바와 같이 지속시간별 강우자료를 수집하여 임의의 지속시간으로 변환한 후에 빈도해석을



수행하였다. 연구대상유역 인근에 위치한 전주 기상관측소의 1973년부터 2005년도의 33년간의 고정시간 개념의 연최대치 강우자료(지속시간 10분, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 12, 15, 18, 24시간)를 임의 지속시간 자료로 변환하여 적용하였다. 빈도해석 과정은 그림 3.11에 나타난 흐름도와 같다.

전주 기상관측소의 강우자료를 사용하여 총 12개 지속기간에 대하여 강우를 7개 확률분포형을 적용하여 모멘트법, 최우도법, 확률가중모멘트법에 의하여 지속시간별 계열별로 빈도해석을 실시하고, 각 경우에 대하여 적정확률분포형을 선정하기 위하여 K-S 검정,  $\chi^2$  검정을 실시하였으며, 기각회수가 가장 많은 확률가중모멘트법은 고려 대상에서 제외하였다. 적정 확률분포형을 결정하기 위하여 모멘트법 및 최우도법에 의한 매개변수 추정을 검토한 결과 GM2 및 GEV 분포형이 가장 작은 기각회수를 보였다. 이들 2가지 분포형 중에서 원래 자료의 통계특성을 어느 분포형이 더 잘 유지되고 있는지 판단할 수 있도록 Robustness test 결과 중에서 RMSE(Root Mean Square Error, 제곱근평균제곱오차)를 검토하였으며, 상기한 2가지 분포형에 대한 결과는 다음 표 3.9에 나타내었다.

표 3.9에 나타낸 Robustness 검정 결과 원래의 통계특성을 모멘트법에 의한 GM2(2 Parameter Gamma Distribution)분포형이 원래자료의 통계특성을 가장 잘 유지하고 있는 것으로 판단되었으며, 본 연구에서는 빈도해석을 위한 최종적인 적정 확률분포형으로 GM2 분포형을 매개변수 추정방법으로는 모멘트법을 채택하였다.

상기한 모멘트법에 의해 GM2 분포형에 대한 빈도해석한 결과인 각 지속시간별 재현기간별 확률강우량은 표 3.10과 같으며, 산정한 지속시간별 확률강우량을 I-D-F곡선식을 산정하는데 적용하였다.

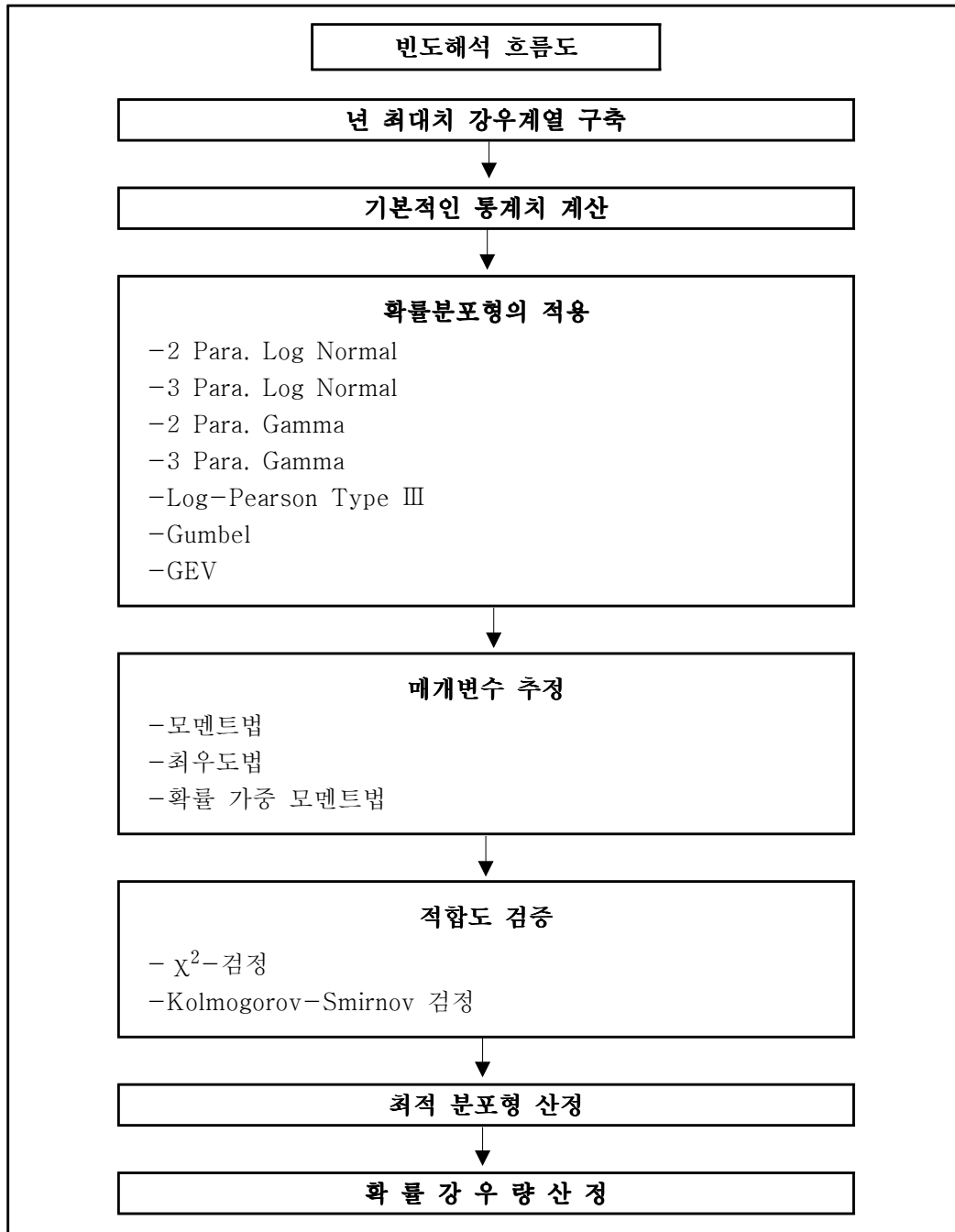


그림 3.11 빈도해석 흐름도

표 3.9 Robustness test

매개변수 추정 방법 및 분포형		지속시간별 분포형별 RMSE												
		10 분	1 시간	2 시간	3 시간	4 시간	5 시간	6 시간	9 시간	12 시간	15 시간	18 시간	24 시간	평균
모멘 트법	GM2	3.4	15.4	2.4	9.7	5.8	7.6	9.1	9.4	2.2	6.8	5.4	9.2	7.11
	GEV	2.0	1.3	0.0	17.8	20.5	24.6	30.4	16.5	5.3	25.4	30.9	35.6	16.3
최우 도법	GM2	4.5	0.3	35.7	0.1	5.6	10.8	27.7	14.3	11.4	9.6	8.7	17.5	11.4
	GEV	0.1	4.5	1.7	14.3	16.5	19.6	24.0	18.5	13.0	8.7	6.5	5.0	10.5

표 3.10 지속시간별 확률강우량 (단위 : mm)

관측 소명	재현 기간 (년)	강우지속시간(분)											
		10	60	120	180	240	300	360	540	720	900	1080	1440
전주	2	164	41.1	53.7	63.1	70.3	77.1	83.0	94.5	103.9	110.4	114.7	123.5
	5	204	55.2	72.3	84.8	94.4	104.9	113.3	128.4	138.5	147.3	153.7	166.1
	10	230	64.6	84.6	99.2	110.4	123.3	133.4	150.9	161.5	171.7	179.4	194.3
	20	25.5	73.5	96.4	112.9	125.6	140.9	152.7	172.4	183.4	195.2	204.2	221.3
	30	27.0	78.7	103.1	120.9	134.4	151.0	163.8	184.8	196.0	208.6	218.4	236.9
	50	28.8	85.1	111.5	130.8	145.4	163.7	177.6	200.4	211.8	225.4	236.1	256.3
	80	30.5	91.0	119.3	139.8	155.5	175.3	190.3	214.5	226.3	240.9	252.4	274.1
	100	31.3	93.8	123.0	144.1	160.3	180.8	196.3	221.3	233.2	248.2	260.2	282.5
	200	33.7	102.4	134.4	157.4	175.0	197.8	215.0	242.1	254.4	270.9	284.1	308.6

### 3.4.3 강우강도식 결정

강우강도는 단위시간에 내리는 강우량의 척도이며 지속기간은 강우가 계속되는 시간장경이다. 강우강도-지속기간 관계는 도회지역의 우수관 설계, 고속도로를 횡단하는 암거의 설계, 비행장의 배수설계 등을 위한 설계유량의 결정에 대단히 유효하게 사용되며, 통상 지역적인 특성을 가지므로 각 지역별로 기왕에 획득한 자기우량 기록지를 사용하여 지속기간별 최대우량을 결정함으로써 얻어진다.

본 연구에서는 설계 빈도 강우량의 분포를 시간별로 배치하기 위하여 표 3.10의 지속시간별, 빈도별, 확률강우량 자료를 이용하여 빈도별로 강우강도-지속시간 관계식을 유도하였다. 확률 강우강도식(I-D-F식)은 강우강도-강우지속시간-재현기간의 관계를 나타내는 식으로 확률강우량을 강우강도로 변환시킨 후 회귀분석 방법 중의 한가지로서 회귀식의 값과 실제 자료간의 편차의 합이 최소가 되도록 하는 최소자승법(Least Squares Method)에 의해서 재현기간별 지속기간-강우강도 관계식을 유도하거나 재현기간-지속기간-강우강도식을 유도하게 된다. 우리나라에서 적용도가 높은 강우강도식의 유형은 식 (3.1)~(3.3)과 같다.

$$I = \frac{a}{t+b} \quad (\text{Talbot 형}) \quad (3.1)$$

$$I = \frac{c}{(t+e)^d} \quad (\text{Sherman 형}) \quad (3.2)$$

$$I = \frac{f}{\sqrt{t+h}} + g \quad (\text{Japanese 형}) \quad (3.3)$$

여기서 I : 강우강도(mm/hr)

t : 강우지속기간(min)

a, b, c, d, e, f, g, h : 각 지방에 따른 상수

전주 관측소의 10분에서 1440분까지 지속기간별 확률강우량을 이용하여 Talbot형, Sherman형, Japanese형 강우강도식을 유도하였다. 강우강도식은 장단기(360분)로 구분하여 산정하였으며, 각 강우강도식에서 표준오차가 가장 적고 상관계수가 가장 높은 Sherman형을 채택하였다. 지속시간별 강우강도와 단기 및 장기의 강우강도식은 표 3.11~3.13에 나타내었다.

표 3.11 지속기간별 강우강도 (단위 : mm/hr)

관측 소명	재현 기간 (년)	강 우 지 속 기 간 (분)											
		10	60	120	180	240	300	360	540	720	900	1080	1440
찬주	2	98.4	41.1	26.9	21.0	17.6	15.4	13.8	10.5	8.7	7.4	6.4	5.1
	5	122.4	55.2	36.1	28.3	23.6	21.0	18.9	14.3	11.5	9.8	8.5	6.9
	10	138.0	64.6	42.3	33.1	27.6	24.7	22.2	16.8	13.5	11.4	10.0	8.1
	20	153.0	73.5	48.2	37.6	31.4	28.2	25.4	19.2	15.3	13.0	11.3	9.2
	30	162.0	78.7	51.6	40.3	33.6	30.2	27.3	20.5	16.3	13.9	12.1	9.9
	50	172.8	85.1	55.8	43.6	36.4	32.7	29.6	22.3	17.7	15.0	13.1	10.7
	80	183.0	91.0	59.7	46.6	38.9	35.1	31.7	23.8	18.9	16.1	14.0	11.4
	100	187.8	93.8	61.5	48.0	40.1	36.2	32.7	24.6	19.4	16.5	14.5	11.8
	200	202.2	102.4	67.2	52.5	43.8	39.6	35.8	26.9	21.2	18.1	15.8	12.9

표 3.12 단기간 강우강도식(360분 이하)

재현기간 (년)	구 분	Talbot형	Sherman형	Japanese형
30	공 식	$\frac{11,605}{t + 88.091}$	$\frac{1,272.0}{(t + 13.5)^{0.65293}}$	$-13.5 + \frac{819.06}{\sqrt{t + 1.4999}}$
	상관계수	0.98878	0.99959	0.99849
	표준편차	7.81	0.68	1.09

표 3.12 단기간 강우강도식(360분 이하) 계속

재현기간 (년)	구 분	Talbot형	Sherman형	Japanese형
50	공 식	$\frac{12,609}{t + 89.190}$	$\frac{1,338.8}{(t + 13.5)^{0.64717}}$	$-13.5 + \frac{862.63}{\sqrt{t + 1.4060}}$
	상관계수	0.98879	0.99956	0.99855
	표준편차	8.24	0.84	1.50
80	공 식	$\frac{13,538}{t + 90.113}$	$\frac{1,404.0}{(t + 13.5)^{0.64339}}$	$-15.3 + \frac{947.79}{\sqrt{t + 1.5768}}$
	상관계수	0.98863	0.99950	0.99837
	표준편차	8.71	1.01	1.53
100	공 식	$\frac{13,976}{t + 90.545}$	$\frac{1,434.8}{(t + 13.5)^{0.64179}}$	$-18.0 + \frac{1,035.4}{\sqrt{t + 1.8984}}$
	상관계수	0.98854	0.99947	0.99809
	표준편차	8.94	1.08	1.59
200	공 식	$\frac{15,334}{t + 91.636}$	$\frac{1,668.8}{(t + 15.3)^{0.65210}}$	$-18.0 + \frac{1,093.8}{\sqrt{t + 1.7659}}$
	상관계수	0.98856	0.99943	0.99819
	표준편차	9.51	1.11	1.77
채택			◎	

표 3.13 장기간 강우강도식(360분 초과)

재현기간 (년)	구 분	Talbot형	Sherman형	Japanese형
30	공 식	$\frac{16,734}{t + 282.14}$	$\frac{2,101.3}{(t)^{0.73753}}$	$\frac{292.48}{\sqrt{t - 8.6957}}$
	상관계수	0.99776	0.99983	0.99901
	표준편차	0.40	0.09	0.33
50	공 식	$\frac{18,023}{t + 276.17}$	$\frac{2,332.6}{(t)^{0.74119}}$	$\frac{315.06}{\sqrt{t - 8.7974}}$
	상관계수	0.99780	0.99978	0.99893
	표준편차	0.43	0.12	0.39
80	공 식	$\frac{19,185}{t + 271.90}$	$\frac{2,524.2}{(t)^{0.74305}}$	$\frac{335.53}{\sqrt{t - 8.8634}}$
	상관계수	0.99812	0.99985	0.99880
	표준편차	0.43	0.10	0.43
100	공 식	$\frac{19,907}{t + 278.44}$	$\frac{2,574.0}{(t)^{0.74136}}$	$\frac{347.87}{\sqrt{t - 8.7651}}$
	상관계수	0.99755	0.99971	0.99906
	표준편차	0.53	0.14	0.40
200	공 식	$\frac{21,727}{t + 276.53}$	$\frac{2,840.6}{(t)^{0.74274}}$	$\frac{379.66}{\sqrt{t - 8.7986}}$
	상관계수	0.99755	0.99972	0.99905
	표준편차	0.56	0.15	0.43
채택			●	



### 3.4.4 강우유출 분석

#### (가) 강우의 시간별 분포방법

과거에는 강우량 관측 자료의 부족, 시간별 강우량 부족 등에 의해 불가피하게 연최대치 일강우량 자료를 분석하고, 이를 Mononobe 공식 등에 의해서 시간별 강우량을 산정하고 이를 중앙집중형으로 재배치한 후 강우-유출 모형에 입력하여 홍수량을 산정하는 방식을 취해왔으나, 최근에 들어서는 지역적 설계 강우의 시간적 분포(한국건설기술연구원, 2000)와 같은 지역별 설계 강우의 시간적 분포 등의 연구가 지속되어 왔고, 시간별 강우량의 축적에 따라 시간별 연최대치계열을 구성하고 빈도해석한 후 강우강도-강우지속시간-재현기간곡선(I-D-F곡선)을 구성하여 중앙집중형으로 재배치하여 적용하거나, Huff 4분위 분포 또는 Yen-Chow의 강우분포 방식에 의해 강우량을 재배치하여 강우-유출 모형에 의해 홍수량을 산정하는 방식이 주로 적용되고 있다.

본 연구에서도 임계지속시간 개념을 이용한 홍수량 산정방법으로 확률강우량의 시간적 분포방법에 Huff 4분위법을 적용하였고 석탑천 유역의 최빈분위인 2분위(50%) 확률분포를 기준으로 확률강우량의 시간적 분포를 결정하였다.

#### (나) 유효우량 산정

지상에 도달한 강우량 중 일부는 지표면으로 침투하고 그 초과분은 지표면을 흘러 유출을 형성하게 되는데 이와 같이 강우량으로부터 침투에 의한 손실량을 제외한 값을 유효우량이라 하며 산정방법으로는 다음과 같다.

- ① 일정비법(Constant fraction method, 유출계수)

- ② 일정손실율법(Constant loss ratio method,  $\phi$ -지수법 등)
- ③ 초기손실-일정손실율법(Initial-constant loss ratio method)
- ④ 침투곡선법(Infiltration curve method, Horton의 침투능곡선 등)
- ⑤ 표준형강우-유출관계곡선법(NRCS의 CN법 등)

본 연구에서는 유역의 지질 및 토양의 상황 등을 고려한 NRCS, 기존의 SCS CN 법을 사용하여 유효우량을 산정하였다.

### 3.5 홍수량 산정

기설 혹은 계획 댐의 홍수조절을 고려하지 않은 상태의 홍수량 산정방법에는 여러 가지가 있으나 대표적으로 유역추적법, NRCS(SCS) 무차원 단위도법, Nakayasu 합성단위도법 및 고재용 공식 등을 주로 사용한다.

일반적으로 하천유역에 있어서 홍수량 산정방법은 첫째, 기지점(수위관측소)에서 수위 및 유량관측이 이루어져 신뢰할 수 있는 수위-유량관계를 확립할 수 있는 경우, 매년 관측되는 최고수위에 의한 연최대 홍수량 자료치 계열을 형성하고 이에 대한 확률분석에 의하여 빈도별 홍수량을 산정하는 방법이 있고 둘째, 미계측 유역에 있어서 단위도법 또는 일반 공식에 의하여 산정하는 방법 등이 있다.

하천 유역의 확률홍수량 산정은 실측 연최대 침투홍수량 계열의 통계처리에 의한 방법과 강우로부터 산정하는 간접적 방법에 의하고 있다. 전자는 과거 홍수시의 유량측정 자료를 보유하고 있어야만 가능하므로, 본 연구에서는 전절에

서 산정한 확률강우량에 의해 홍수유출을 해석하는 간접방법으로 유역추적법, NRCS(SCS) 무차원 단위도법, Nakayasu 합성단위도법 및 고재웅 공식 등을 주로 사용한다. 유역의 홍수량을 산정함에 있어 산정방법별 이론적 합리성 및 국내의 추세 등을 종합적으로 검토하고 대상 하천의 유역특성을 고려하여 유역추적법에 의한 방법을 채택하였다. 홍수량 산정은 각각의 빈도에 대하여 산정하였으며, Clark의 유역추적법(Area Routing Method, Clark Method)을 적용하여 홍수량을 산정하였다.

Clark 방법은 순간단위도 개념을 이용하고 한 유역에 대하여 단 하나의 단위도를 유도한다. Clark 방법의 기본개념은 유역을 대표하는 시간-면적주상도의 추적에 의하여 지속시간이 영인 단위유효강우량을 유출 수문곡선으로 변환하는 것이다. 이와 같이 유도된 수문곡선은 지속시간이 영(0)이고 단위유효강우량에 의한 순간단위도(IUH, Instantaneous Unit Hydrograph)이다.

추적과정을 살펴보면 직렬로 연결된 선형수로가 유역의 출구에 위치하고 유역과 동등한 저류특성을 갖는 선형저수지로 구성되며 선형수로의 출력이 선형저수지의 입력이 되고 선형저수지의 출력이 IUH가 된다. 선형수로의 크기에는 변화 없이 유출의 전이(translation)만을 모의하며, 그 내용은 지체이다. 선형저수지의 유역의 저류와 저항의 영향을 반영하고 내용은 유출의 확산(diffusion) 또는 감쇠(attenuation)이다. 선형저수지의 역할은 유역의 유출구에 가상적인 선형저수지를 위치시켜 저류량이 유출량에 선형으로 비례하도록 한다. 이러한 관계를 식으로 표현하며 식 (3.4)와 같고 이를 저류방정식이라 한다.

$$S_i = K O_i \quad (3.4)$$

여기서  $S_i$ 는 기간  $i$  끝에서 저류량,  $O_i$ 는 기간  $i$  동안의 유출량,  $K$ 는 저류상수로 시간의 차원을 가지며 유입량과 유출량의 차이는 저류량의 변화와 같으므로 식 (3.5)와 같은 차분형 공식으로 표현될 수 있다.

$$\bar{I}_i - \frac{O_{i-1} + O_i}{2} = \frac{S_i - S_{i-1}}{\Delta t} \quad (3.5)$$

여기서  $\bar{I}_i$ 는 기간  $i$  동안의 평균유입량으로 시간-면적주상도로부터 결정되며 식 (3.4), (3.5) 두 식을  $O_i$ 에 관하여 정리하면 식 (3.6)과 같다.

$$O_i = CI_i + (1 - C)O_{i-1}, \quad C = \frac{2\Delta t}{2K + \Delta t} \quad (3.6)$$

식 (3.6)의 수치해는 시간-면적주상도로 정의되는 유입량의 추적으로 IUH의 종거의 평균으로 계산되고  $\Delta t$ 시간의 단위도의 시간  $t$ 에서의 종거는 식 (3.7)과 같다.

$$U_i = \frac{1}{2}(O_i + O_{i-1}) \quad (3.7)$$

Clark의 단위도법은 도달시간 및 저류상수를 매개변수로 가지는 방법으로 이들 매개변수는 계측유역에서는 검정을 통하여 산출하되 미계측유역 또는 검정의 초기치로 도달시간 값을 적용할 수 있으며, 저류상수는 Clark, Linsley 및 Russel 공식 등과 같은 경험공식을 사용 가능하나 본 연구에서는 식 (3.8)과

같은 Sabol 공식을 사용하였다.

$$K = \frac{T_c}{1.46 - 0.0867 \frac{L^2}{A}} \quad (3.8)$$

여기서  $K$ 는 저류상수(hr),  $T_c$ 는 도달시간(hr),  $L$ 은 유로연장(km),  $A$ 는 유역면적(km<sup>2</sup>)을 각각 나타낸다.

### 3.5.1 기본홍수량

기본홍수량이란 어떤 하천이나 유역에서 인위적인 유역개발이나 유량조절 시스템에 의해 조절되지 않고 자연 상태에서 유출되는 홍수 중 홍수조절이나 유역개발의 기본이 되는 홍수량을 말한다.

기본홍수량의 결정 방법으로는 대상 하천의 중요도를 우선 고려하고 장기간에 걸친 과거의 홍수에 관한 기록을 통계학적으로 분석하여 목적에 잘 맞는 적당한 빈도개념을 갖는 홍수량을 채택하는 2가지 방법으로 구분할 수 있고, 홍수량 산정결과의 정확도를 높이기 위해서는 주요 수문 기준점에 대한 유량 관측 자료와 분석자료가 충분하여야 한다.

그러나 본 연구대상지역은 유역 내에 이와 같은 자료가 불충분하여 유역의 홍수 유출상황에 따른 홍수량 산정지점별 기본홍수량은 강우량 발생빈도와 홍수량의 발생빈도가 동일하다는 가정 하에 강우-유출모형을 적용하여 산정하였다. 일반적으로 빈도별 홍수량 개념에서 기본홍수량의 결정은 하천의 중요도에 따라 하천설계기준(한국수자원학회, 2000)에서 제시한 표 3.14와 같은 기준으로 적용된다.

표 3.14 하천의 중요도와 계획 규모

하천 중요도	계획규모(재현기간)	적용 하천 범위	비고
A 급	200년 이상	국가하천의 주요구간	주요도시 관류
B 급	100 ~ 200년	국가하천	주요지류
C 급	80 ~ 200년	지방1급하천, 도시하천	
D 급	50 ~ 200년	지방2급하천	
E 급	30년 이하	기타하천	

### 3.5.2 계획홍수량

계획홍수량이란 기본홍수량이 결정되면 기술적인 면과 경제적인 면을 고려하여 종합적으로 하도 및 홍수조절용 구조물에 배분하여 하도 계획(하천부속물 설치계획)의 기본이 되게 결정한 홍수를 말한다.

본 연구에서는 대상지역에서의 홍수량을 하도가 전량 부담하는 것으로 계획하여 전절에서 산정한 기본홍수량을 계획홍수량으로 결정하였으며, 계획홍수량은 표 3.15와 같다.

표 3.15 계획홍수량(50년 빈도)

산정지점	유역면적 A (km <sup>2</sup> )	유로연장 L (km)	기본홍수량 (m <sup>3</sup> /sec)	계획홍수량 (m <sup>3</sup> /sec)	비고
장구천 합류전	7.54	5.58	123	123	

## 3.6 홍수위

### 3.6.1 기점홍수위

대부분 자연하천의 점변류 수면곡선을 계산하기 전에 지배단면의 위치를 알아야 한다. 상류(subcritical flow)는 평균유속보다 표면의 전파속도가 커서 상류(上流)쪽으로 수면이 상승하게 된다. 따라서 수면곡선의 계산방향은 지배단면에서 시작하여 상류(上流)쪽으로 진행하고, 하류(supercritical flow)는 표면파의 전파속도보다 평균유속이 커서 표면파는 하류(下流)로 따라가게 된다. 따라서 하류에서의 수면곡선은 지배단면에서 시작하여 하류쪽으로 진행한다.

지배단면으로 이용될 수 있는 구조물은 댐, 웨어 및 수문 등으로서, 이들 지배단면에서의 수심은 유량에 의해 확실히 결정되므로 수면곡선의 계산 시점으로 사용될 수 있다. 또한 수로의 한계수심은 유량에만 관계되므로 상류에서 하류로 변할 경우는 수면곡선과 한계수심의 교차점도 지배단면으로 사용될 수 있다. 하천에서의 지배단면 및 기점홍수위의 결정방법은 다음과 같다.

먼저 하구 계획홍수위 또는 배수효과가 있는 지천에서는 본류의 계획홍수위를 기점홍수위로 한다. 또한 수공구조물에 의해 한계수심이 발생할 경우에는 그 점의 한계수심 또는 설계홍수위, 하도가 급확대, 단락, 만곡 또는 교각에 의해 수위변화가 일어나는 곳은 손실수두를 더하여 계산한 수위를 기점홍수위로 한다. 다음으로 사수역이 발생하는 곳은 유수단면적에서 사수역을 빼고 계산한 수위를 기점홍수위로 결정하며, 과거에 발생한 최대 홍수위, 흔적 홍수위 또는 기존 제방이나 방조제의 설계 홍수위, 수리모형 실험에 의해 추정된 수위를 기점홍수위로 적용하는 방법 등이 있다.

### 3.6.2 빈도별 홍수위 계산

빈도별 홍수위 분석에는 미 공병단에서 발표한 HEC-RAS 모형을 이용하였다. HEC-RAS는 자연 또는 인공수로에서의 정상점변류의 수면형을 계산하며 상류 및 하류의 두 경우 수면형을 동시에 계산할 수 있으며 교량, 암거, 웨어 또는 범람지의 구조물 등이 흐름에 미치는 영향을 고려할 수 있다.

계산과정은 마찰손실을 고려한 1차원 에너지방정식의 해에 근거하며 마찰손실은 Manning의 공식을 이용하여 구하게 되며 부등류를 표준축차계산법(Standard Step Method)을 이용하고 있다.

#### (가) 에너지방정식

그림 3.12의 ①, ② 단면흐름의 총에너지를 같게 놓으면 다음 식 (3.9)와 같다.

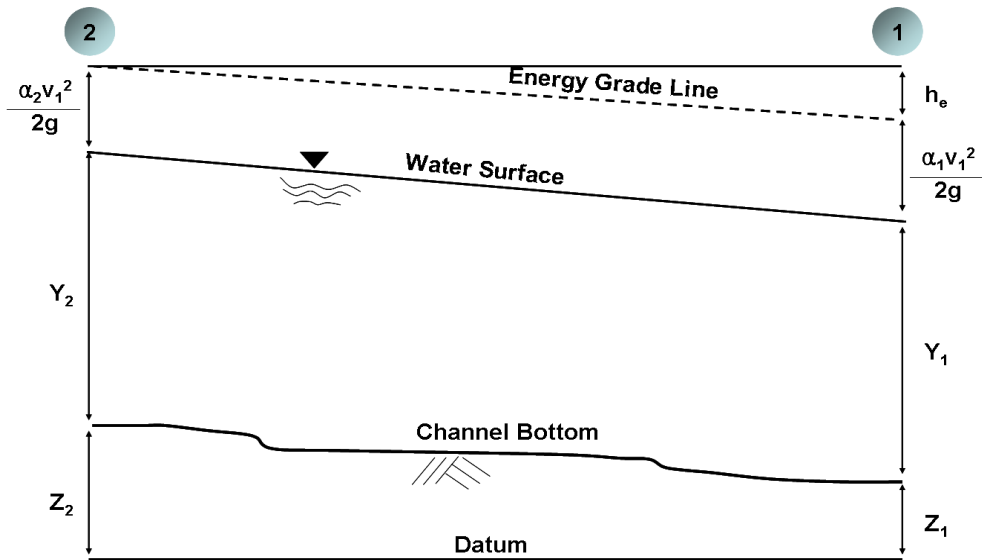


그림 3.12 부등류의 수면형



$$Y_2 + Z_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + h_e \quad (3.9)$$

여기서  $Y_1, Y_2$  : 단면 1, 2에서의 수심(m)  
 $Z_1, Z_2$  : 단면 1, 2에서의 하상표고(EL.m)  
 $V_1, V_2$  : 단면 1, 2에서의 평균유속(m/sec)  
 $\alpha_1, \alpha_2$  : 단면 1, 2에서의 에너지 보정계수  
 $g$  : 중력 가속도 ( $m / sec^2$ )  
 $h_e$  : 에너지 손실수두(m)

에너지 손실수두에 대한 방정식은 다음 식 (3.10)과 같다.

$$h_e = L \cdot \overline{S_f} + \left[ \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right] \cdot C \quad (3.10)$$

여기서  $h_e$  : 에너지 손실수두(m)  
 $L$  : 단면간 거리(m)  
 $\overline{S_f}$  : 단면간의 평균마찰경사  
 $C$  : 단면 확대 및 수축에 의한 손실계수

단면 간 가중거리  $L$ 은 식 (3.11)과 같다.

$$L = \frac{L_{lob} \overline{Q_{lob}} + L_{ch} \overline{Q_{ch}} + L_{rob} \overline{Q_{rob}}}{\overline{Q_{lob}} + \overline{Q_{ch}} + \overline{Q_{rob}}} \quad (3.11)$$

여기서  $L_{lob}$ ,  $L_{ch}$ ,  $L_{rob}$  : 좌안측 고수부지, 저수로 및 우안측 고수부지 각  
각의 유수 도달거리(m)

$\overline{Q}_{lob}$ ,  $\overline{Q}_{ch}$ ,  $\overline{Q}_{rob}$  : 좌안측 고수부지, 저수로 및 우안측 고수부지 각  
각의 단면에 흐르는 평균유량(m<sup>3</sup>/sec)

#### (나) 표준축차계산법의 적용 절차

수위는 HEC-RAS의 기본방정식을 반복하여 해를 계산하여 얻을 수 있으며,  
계산 과정은 다음과 같다.

먼저 상류단면의 수위  $WS_2$ 를 가정한다. 가정에 있어 상류(常流)구간에 있어  
서는 상류(上流)에 위치한 단면의 수심을 가정하고 사류(射流)구간에서는 하류  
(下流) 단면수심을 가정한다. 상류단면 수심이 가정되면 식 (3.12)에 의해 가  
정된 에너지를 산정한다.

$$H_2 = WS_2 + \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2g} \quad (3.12)$$

가정된 에너지가 산정되면 에너지경사( $S_f$ )와 평균에너지경사( $\overline{S_f}$ )를 평균통  
수능법(Default)을 적용하여 식 (3.13), (3.14)를 이용하여 계산한다.

$$\overline{S_f} = \left( \frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2 \quad (3.13)$$

$$K = \frac{1}{n} AR^{2/3} \quad (3.14)$$

여기서 K : 통수능(m<sup>3</sup>/sec), A : 통수 단면적(m<sup>2</sup>)

식 (3.10)에서 구한 에너지 손실수두를 계산하고, ② 단면의 수심( $H_2$ )를 식 (3.15)에 의해 구한다.

$$H_2 = WS_1 + \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2g} + h_e \quad (3.15)$$

마지막으로 식 (3.9)에 의한  $WS_2$ 의 수위와 가장먼저 상류단면에서 가정한 수위가 0.003m 이내로 수렴할 때까지 축차적으로 반복 계산한다.

#### (다) 홍수위 계산 시 고려사항

홍수위 계산에 있어 고려사항은 보 및 낙차공 지점 하천횡단 구조물로 인하여 지배단면이 발생할 수 있는 지점은 한계수심을 계산하여 구조물 하단지점의 계획홍수위가 그 구조물의 한계수심 보다 낮을 경우에는 그 구조물의 각 빈도별 한계수심을 기준수위로 취하여 상류부로 배수위 계산을 해야 한다. 하단부 계산홍수위가 그 구조물의 한계수심보다 높을 경우에는 그대로 배수위 계산을 진행한다. 배수위 계산구간 중 하천정비 교량에 의한 수위상승은 Yarnell공식을 사용하여 전산으로 분석된 홍수위로 하여 계산한다. 개수 후 빈도별 홍수위는 개수 전과 동일한 단면으로 산정하되 개수 계획구간은 상·하류를 감안한 횡단 계획을 수립하여 배수위 계산을 시행한다. 전산으로 처리한 빈도별 홍수위 계산 결과 자연적인 지형 및 하상급변 지점에서 발생한 요철 수위는 상·하류 지점의 홍수위를 감안하여 조정 결정하여야 한다.

### (라) 교량의 수리계산 방법

교량의 수리계산은 수면이 교량의 상판보다 낮은 개수로 흐름(Low Flow)과 수면이 교량의 상판의 저면과 같거나 높은 관수로 흐름(High Flow)으로 구분하여 계산하며, 흐름상태에 따라 적용 가능한 방법은 다음과 같다.

먼저 Low Flow흐름은 상류흐름(Class A)과 혼합흐름(Class B), 사류흐름(Class C)으로 나누어 생각할 수 있으며, 상류흐름에서 적용할 수 있는 방법에는 에너지방법, 운동량방법, Yarnell방정식, FHWA(미연방고속도로국) WSPRO 방법 등이 있다. 혼합흐름의 경우에는 운동량방법을 적용하고 사류의 경우에는 에너지 방법과 운동량방법을 적용할 수 있다.

다음으로 High Flow흐름은 압력흐름(Press Flow)과 웨어흐름(Weir Flow)으로 나눌 수 있으며 압력흐름의 경우에는 식 (3.16)의 오리피스 공식을 적용하여 유량을 산정하고 웨어 흐름의 경우에는 식 (3.17)의 자유웨어의 공식을 이용하여 유량을 산정한다.

$$Q = CA\sqrt{2gH} \quad (3.16)$$

여기서  $C$  : 유량계수,  $A$  : 단면적,  $H$  : 상·하류간의 에너지차(m)

$$Q = CLH^{1.5} \quad (3.17)$$

여기서  $L$  : 웨어 상단 폭,  $H$  : 전수두차(m) 이다.

**(마) 홍수위 계산 결과**

위와 같이 HEC-RAS를 이용하여 대상지역에서 각 빈도별로 산정한 홍수위는 표 3.16과 같다.

표 3.16 홍수위 산정 결과

측 점 (No.)	빈도별 홍수위 (EL.m)						비 고
	20년	30년	50년	80년	100년	200년	
48	29.44	29.56	29.69	29.82	29.88	30.06	
49	29.67	29.78	29.90	30.02	30.08	30.25	
+64	30.44	30.52	30.61	30.70	30.73	30.85	장구1취입보
50	31.03	31.13	31.24	31.34	31.39	31.54	
+17	31.13	31.24	31.35	31.47	31.52	31.67	장구1새마을교
51	31.17	31.27	31.39	31.50	31.55	31.71	
+.96	31.37	31.48	31.60	31.72	31.77	31.93	장구1낙차공
52	31.37	31.47	31.60	31.72	31.77	31.93	
53	31.67	31.77	31.89	32.01	32.06	32.22	
+75	32.00	32.07	32.17	32.25	32.29	32.41	장구2취입보
54	32.53	32.62	32.73	32.83	32.88	33.02	
55	32.70	32.80	32.92	33.03	33.07	33.22	
56	32.97	33.07	33.19	33.31	33.36	33.51	
+74	33.83	33.91	34.00	34.08	34.13	34.25	장구3취입보
57	34.38	34.48	34.59	34.70	34.74	34.89	

## 제 4 장 수치모형 적용 및 고찰

### 4.1 유한요소 격자망 구성

연구대상 구간인 석탑천 주변에 대한 동수역학적 흐름 특성과 유사이송 특성을 규명하기 위해 장구 제2취입보가 가동보로 채 신설된 ST1(NO.53 ~ NO.55) 지점과 장구 제1취입보가 가동보로 신설된 ST2(NO.49 ~ NO.51)의 2구간으로 나누어 유한요소 격자망을 구성하였다. ST1 구간에서 유한요소 격자망은 절점 1,727개, 요소 540개로 구성되고, ST2 구간에서 유한요소 격자망은 절점 1,727개 요소 552개로 구성하였으며, 수치모형실험의 개요는 표 4.1과 같다.

표 4.1 수치모형실험 안의 개요

항 목	내 용	
실 험 안	ST1(NO.53~NO.55)	ST2(NO.49~NO.51)
사용모델	RMA-2, SED-2D	
계산영역	장구리 일대(장구 제2취입보)	장구리 일대(장구 제1취입보)
격자체계	절점 : 1727개, 요소 : 540개	절점 : 1727개, 요소 : 552개
구 조 물	가동보 신설지역	가동보 신설지역

유한요소 이산화망은 사각형 요소와 삼각형 요소가 있으며, 해당 하천의 지형에 적합하게 작성하여야 하고, 홍수시 상황을 고려하기 위하여 유한요소 격자망의 경계는 충분히 넓게 구성하여야 한다. 본 연구에서 ST1 및 ST2 지점에서 구성한 유한요소 격자망도는 그림 4.1과 4.3에 도시하였으며, 등수심도는 그림 4.2와 4.4에 도시하였다.

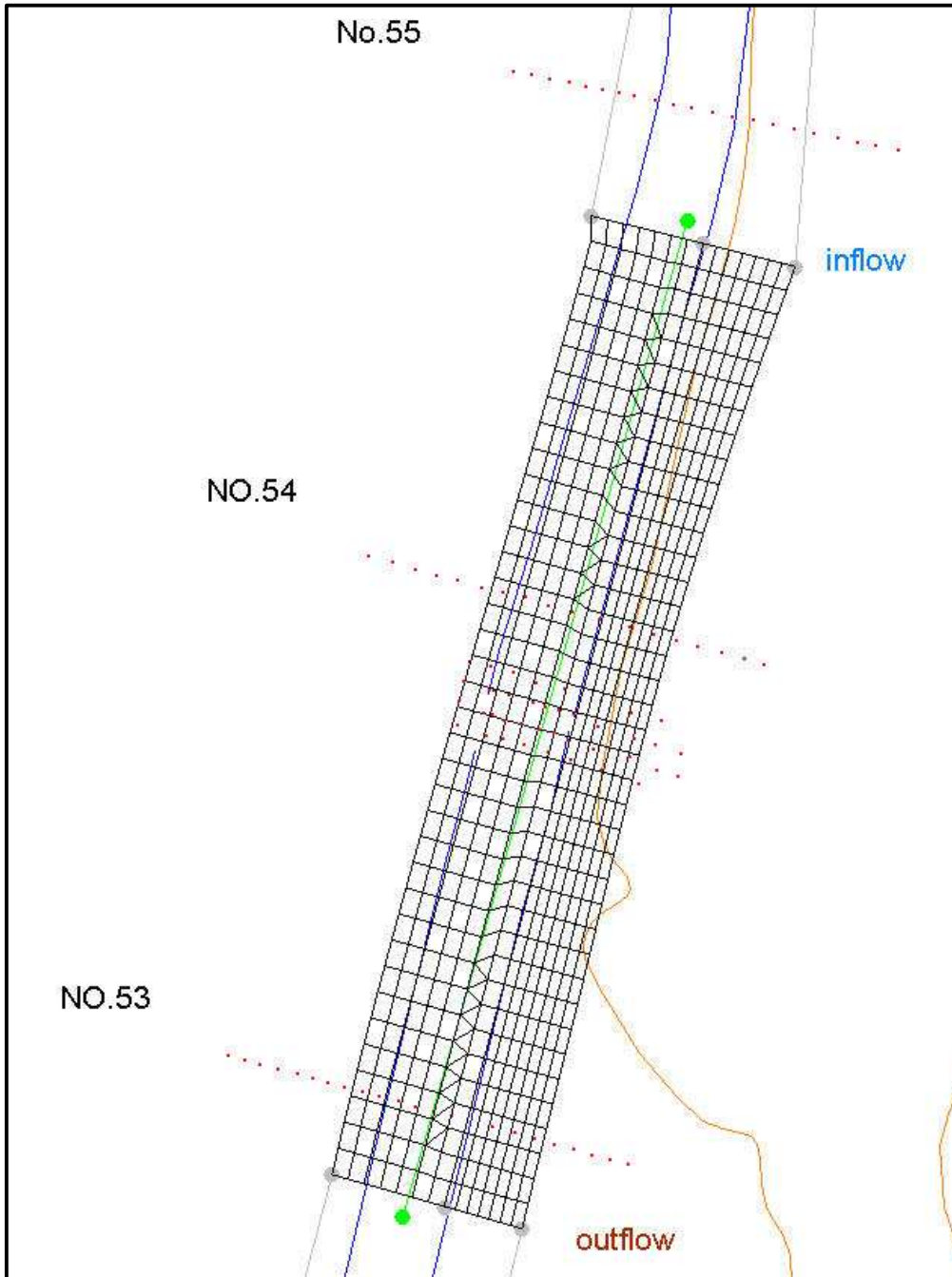


그림 4.1 ST1 실험안의 유한요소 이산화망

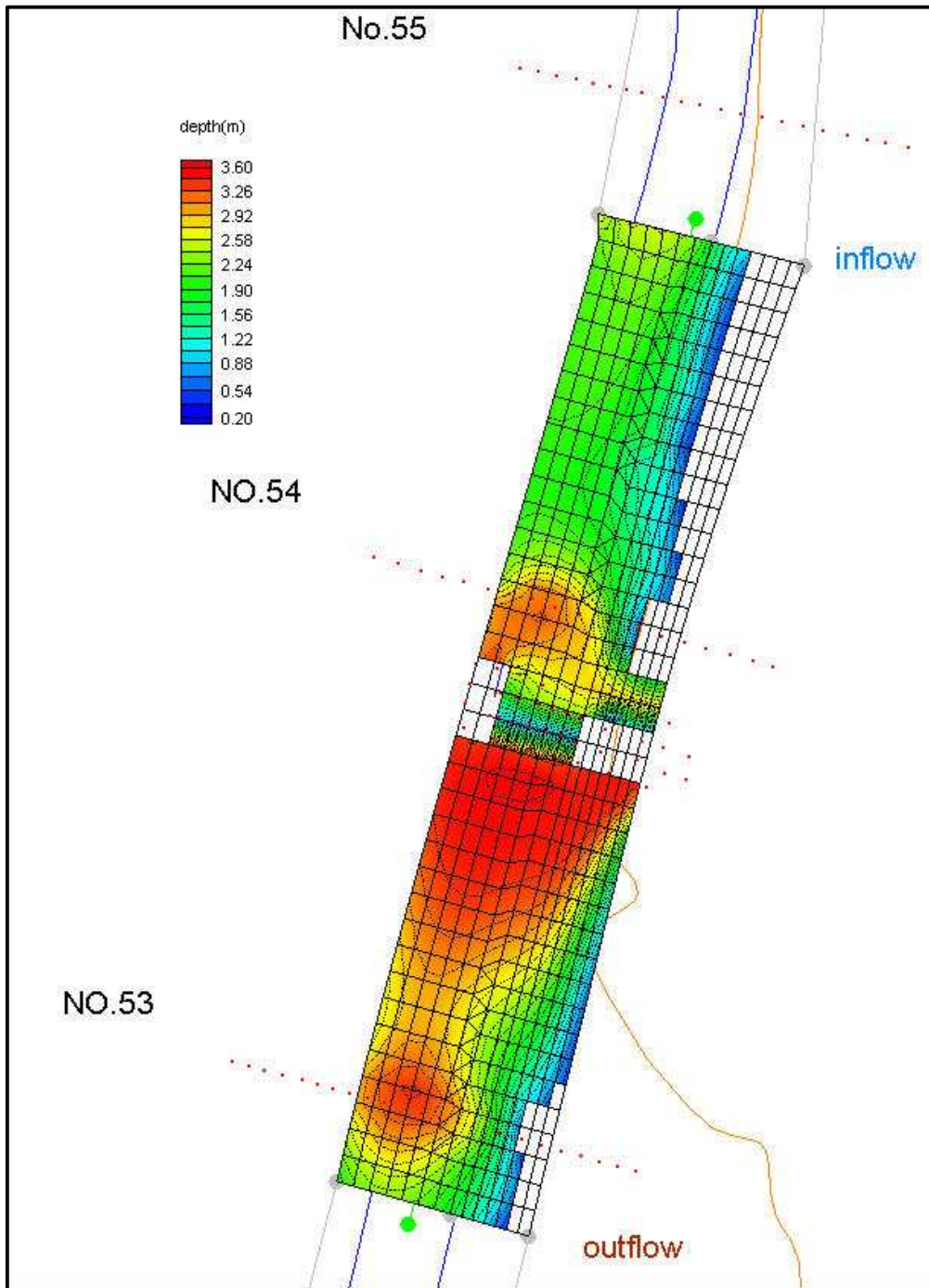


그림 4.2 ST1 실험안의 등수심선도



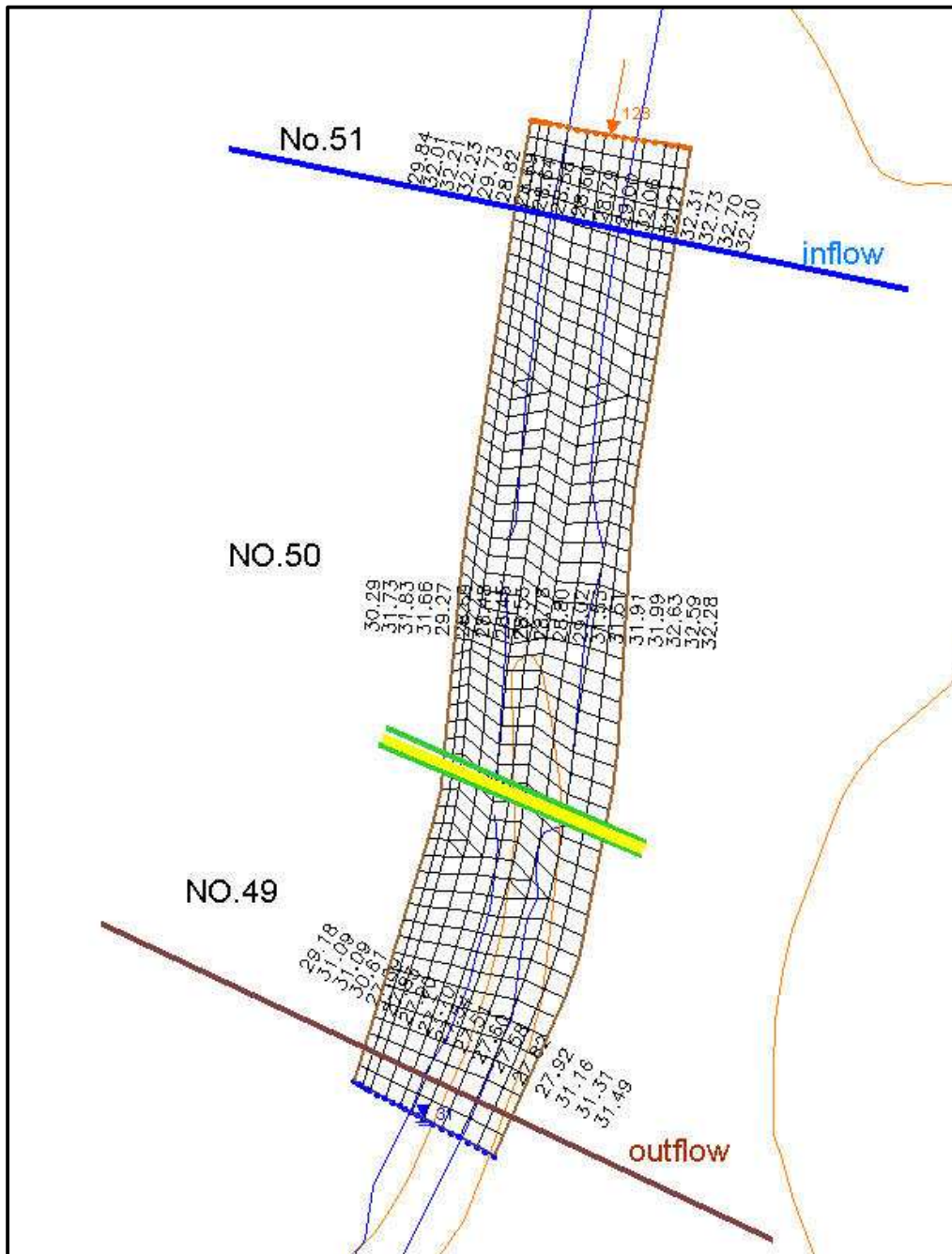


그림 4.3 ST2 실험안의 유한요소 격자망도

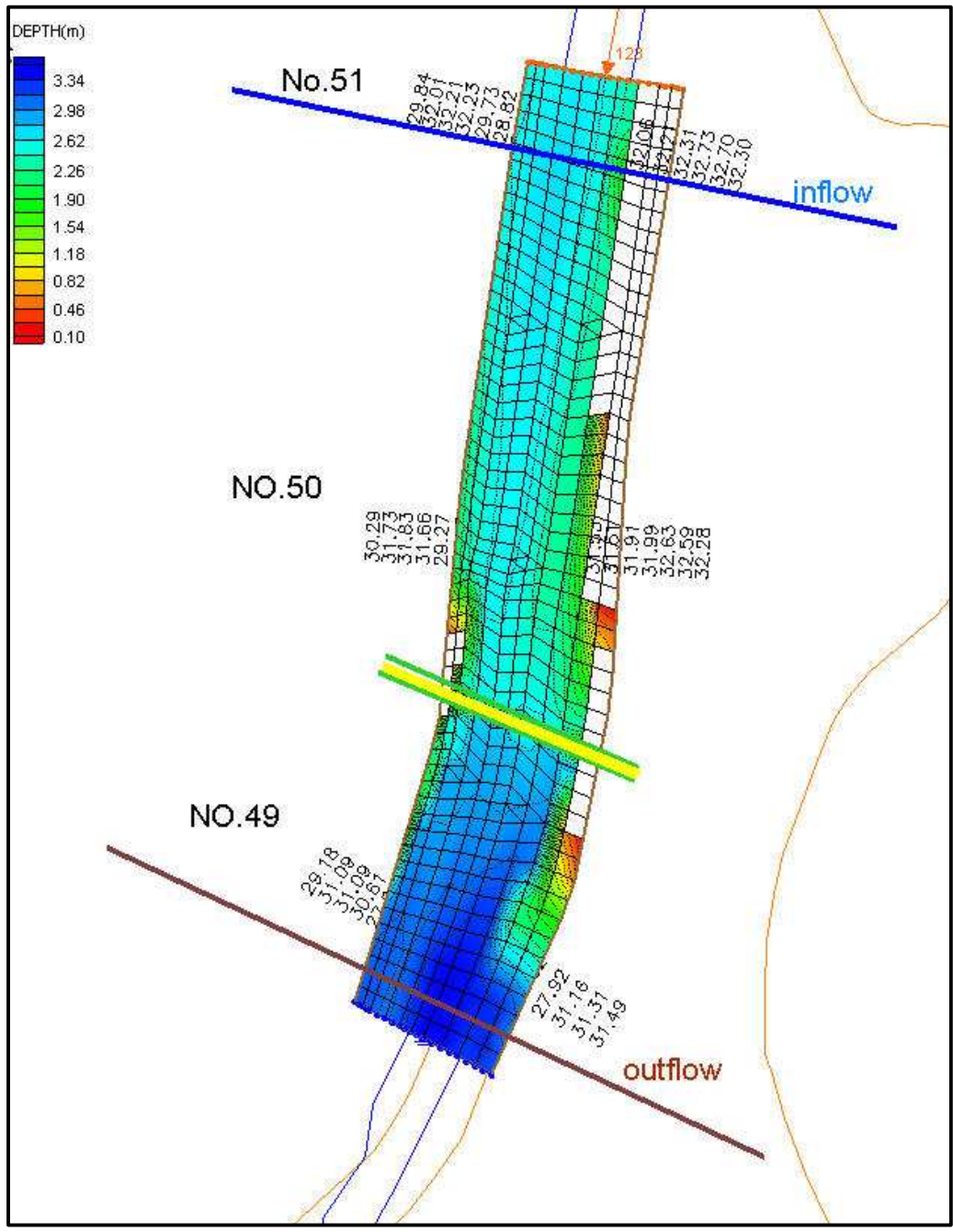


그림 4.4 ST2 실험안의 등수심선도

## 4.2 RMA-2 모형

### 4.2.1 입력조건

본 연구 대상구간 중 ST1구간에서 RMA-2 모형의 입력조건은 상류 경계조건으로 홍수량은 전장에서 언급한 바와 같이 계획홍수량 123m<sup>3</sup>/sec을 적용하였으며, 하류 경계조건으로 홍수위는 계획홍수위 EL. 32.5m를 적용하였다.

그리고 하천구간에서 조도계수는 하천설계기준(2005, 한국수자원학회)에서 제시한 값을 토대로 Material 1구간에서 0.0035, Material 2구간에서 0.045 값을 적용하였고, 난류의 운동량은 Material 1구간에서 4,500, Material 2구간에서 2,500 값을 적용하였다. 반복법은 10회를 실시하였고, 수온은 15℃ 값을 가정하였다.

표 4.2 ST1 지점에서의 RMA-2 모형의 입력조건

항 목	입 력 조 건	
상류 경계조건	홍수량: 123m <sup>3</sup> /sec	
하류 경계조건	홍수위: 32.5m	
하상 조도계수	(Material 2)	0.045
	(Material 1)	0.035
난류 운동량	(Material 2)	2,500
	(Material 1)	4,500
수 온	15 ℃	
반 복 법	10 회	
wet/dry 처리	dry depth(0.184)	
	Active depth(0.283)	

ST2 구간에서 입력조건은 상류 경계조건으로 홍수량은 ST1 구간에서와 마찬가지로 123m<sup>3</sup>/sec을 입력조건으로 적용하였다. 하류 경계조건으로 홍수위는 계획홍수위 EL. 31.0m를 적용하였다.

표 4.3 ST2 지점에서의 RMA-2 모형의 입력조건

항 목	입 력 조 건	
상류 경계조건	홍수량: 123m <sup>3</sup> /sec	
하류 경계조건	홍수위: 31m	
하상 조도계수	외측(Material 2)	0.047
	중앙(Material 1)	0.035
난류 운동량	외측(Material 2)	500
	중앙(Material 1)	3,500
수 온	15 °C	
반 복 법	10 회	
wet/dry 처리	dry depth(0.184)	
	Active depth(0.283)	

하상의 조도계수는 Material 1구간에서 0.035, Material 2구간에서 0.047 값을 사용하였고, 난류의 운동량은 Material 1구간에서 3,500, Material 2구간에서 500을 적용하였다. 반복법은 10회를 실시하였으며, 수온은 15°C를 가정 하였다. ST1 및 ST2 구간에서 RMA-2 모형의 입력조건은 표 4.2 및 4.3에 나타내었다.

### (가) 난류 확산계수

RMA-2 모형의 난류 확산계수 값은 표 4.4와 같이 미국의 BYU(Brigham Young University)의 Engineering Computer Graphics Lab에서 제시한 범위 내에서 그 값을 선택하여 사용하였고, Shallow River(Fast Currents)에서 난류 확산계수 값은 1,200~4,500 값을 사용하는 것이 보편적이다. 본 연구에서도 이들 값을 적용하여 RMA-2 모형의 수치실험을 수행하였다.

표 4.4 Suggested Turbulent Exchange Coefficient

Condition	$\varepsilon$ Value (N sec/m <sup>2</sup> )
Shallow River (Slow Currents)	240-1,200
Shallow River (Fast Currents)	1,200-4,500
Deep Estuary (Small Elements)	2,400-4,800
Deep Estuary (Large Elements)	9,500-14,400
Wetland with Tidal Wetting and Drying	4,800-9,500
Flow Separation around Structures	50-240

Source: 「Fast TABS」 (BYU-Engineering Computer Graphics Lab, 1994)

### (나) 조도계수

조도계수는 수로 내를 흐르는 물에 대한 마찰저항을 나타내는 수리학적인 계수로서 일반적으로 Manning의 조도계수를 의미한다. Manning의 조도계수에 영향을 주는 요소들로서는 수로의 표면조도, 수로내의 식물, 수로의 부정, 수로 범선, 침전 및 장애물, 수로의 크기와 형상, 수위 및 유량, 계절적 변화

등 영향인자가 다양하여 동일하천, 동일구간은 물론 경년적으로 변화하고 있으므로 정도가 높은 값을 얻기는 상당히 어려우나 일반적인 결정방법은 다음 사항들을 고려하여야 한다. 먼저 하도상황 및 하도재료를 조사하여 추정, 다음은 수위-유량자료를 이용한 추정, 마지막으로 홍수흔적을 조사하여 부등류 계산에 의한 추정 등이 있다.

본 연구에서는 홍수흔적에 의한 값과 하상물질 구성 재료와 하상상태별 개략적인 조도계수 값을 이용하여 조도계수를 추정하였다. 한편 하천설계기준(2005, 한국수자원학회)에서 제시하고 있는 자연하천에서의 조도계수 값을 표 4.5에 나타내었다.

표 4.5 하천상황에 따른 조도계수

하 천 상 황 (자연하천)	조도계수(n)의 범위
평야의 소류로, 잡초 없음	0.025 ~ 0.033
평야의 소류로, 잡초, 관목 있음	0.030 ~ 0.040
평야의 소류로, 잡초 많음, 잔자갈 하상	0.040 ~ 0.055
산지유로, 사리, 호박돌	0.030 ~ 0.050
산지유로, 호박돌, 큰 호박돌	0.040 이상
대유로, 점토, 사질하상, 사행이 적은 하천	0.018 ~ 0.035
대유로, 자갈 하상	0.025 ~ 0.040

자료: 하천설계기준(2005, 한국수자원학회)

### (다) 하상재질 특성

실제 하천의 경우 갈수기시에는 수생식물이 외측으로 번식하고, 홍수시에는 상류로부터 각종 쓰레기 및 나뭇가지, 모래 그리고 큰 돌덩어리 등이 떠내려 오다가 유속이 저하되는 지점에는 퇴적이 되고 홍수시마다 반복되어 하상의 하상재질의 특성이 구분된다. 하천에서 홍수류의 흐름은 중앙과 좌우 외측으로 구분할 수 있고, 하상재료의 입도 분포 또한 하천단면 위치에 따라 그 특성이 달라진다. 하상재질의 특성은 수치모형 결과 유속과 흐름의 와류현상과 밀접한 관련이 있고, 이는 침식량과 퇴적량의 해석과도 밀접한 관계를 가지고 있기 때문에 하상재료의 특성을 면밀히 검토하여 모형에 적용하여야 한다.

본 연구에서는 앞에서 계산의 효율성 및 적합성을 증대시키고 계산 정도를 높일 수 있도록 하기 위하여, 하천의 외측면과 중앙의 조도계수와 난류 운동량의 값을 달리 설정하기 위한 과정으로 유한요소망 생성시 2개의 하상재질 특성으로 설정하였다. 즉 ST1 구간에서 우측은 수변식물이 서식하고 있고, 하상토가 퇴적되는 구간이기 때문에 2-Type로 구성하였으며, 좌측은 유수가 유하하는 구간이기 때문에 1-Type로 구성하였다. ST2 구간에서는 하천 중앙을 중심으로 양 제방측은 하상토가 퇴적되어 식생이 서식하는 구간이기 때문에 2-Type으로 구성하였고, 하천 중심부는 유로가 형성되어 평상시와 갈수기에도 유수가 흐르기 때문에 1-Type으로 구성하였다.

ST1 구간 및 ST2 구간에서 하상재질 특성 구성망도는 그림 4.5 및 4.6에 나타내었다.

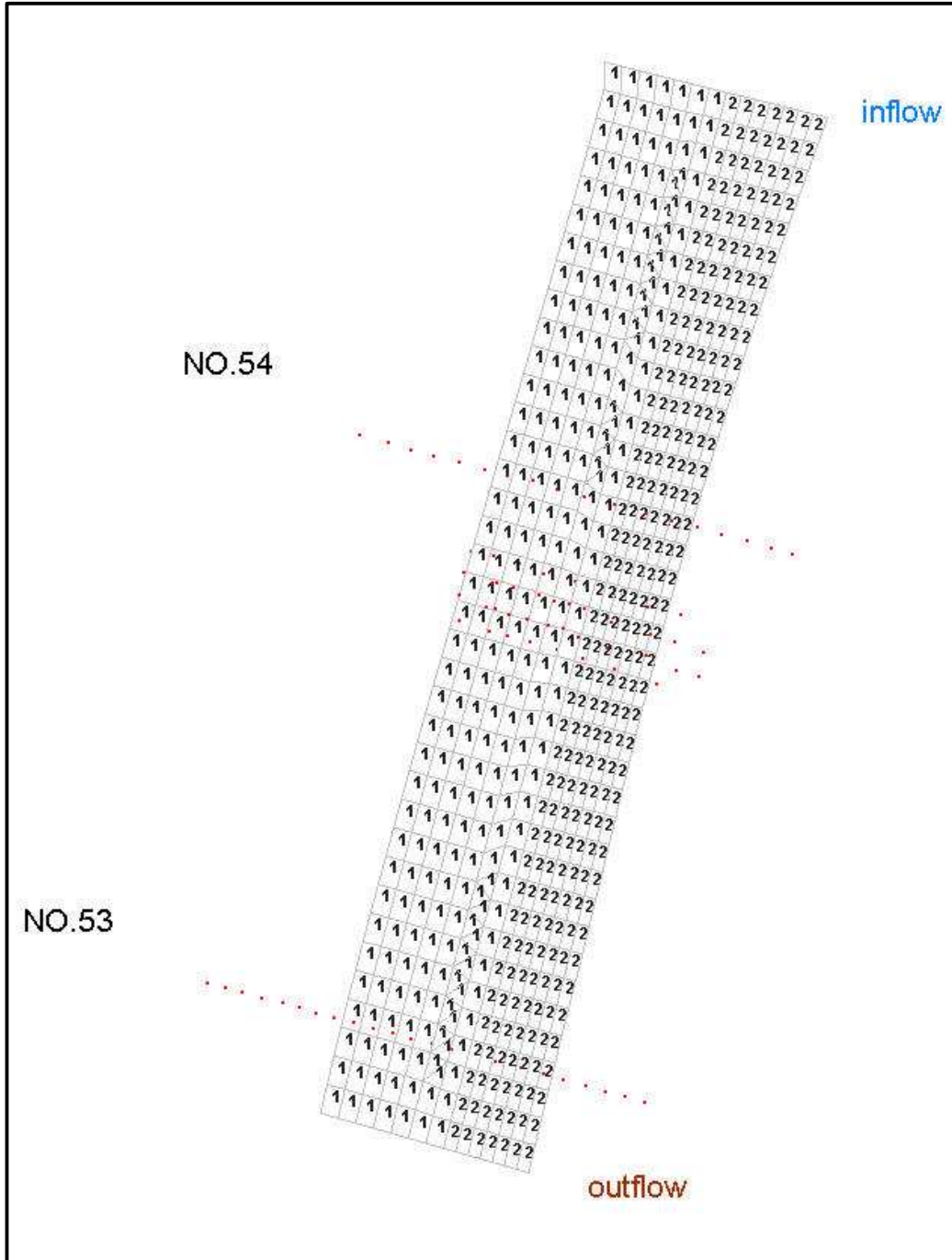


그림 4.5 ST1 지점에서의 하상재질 특성



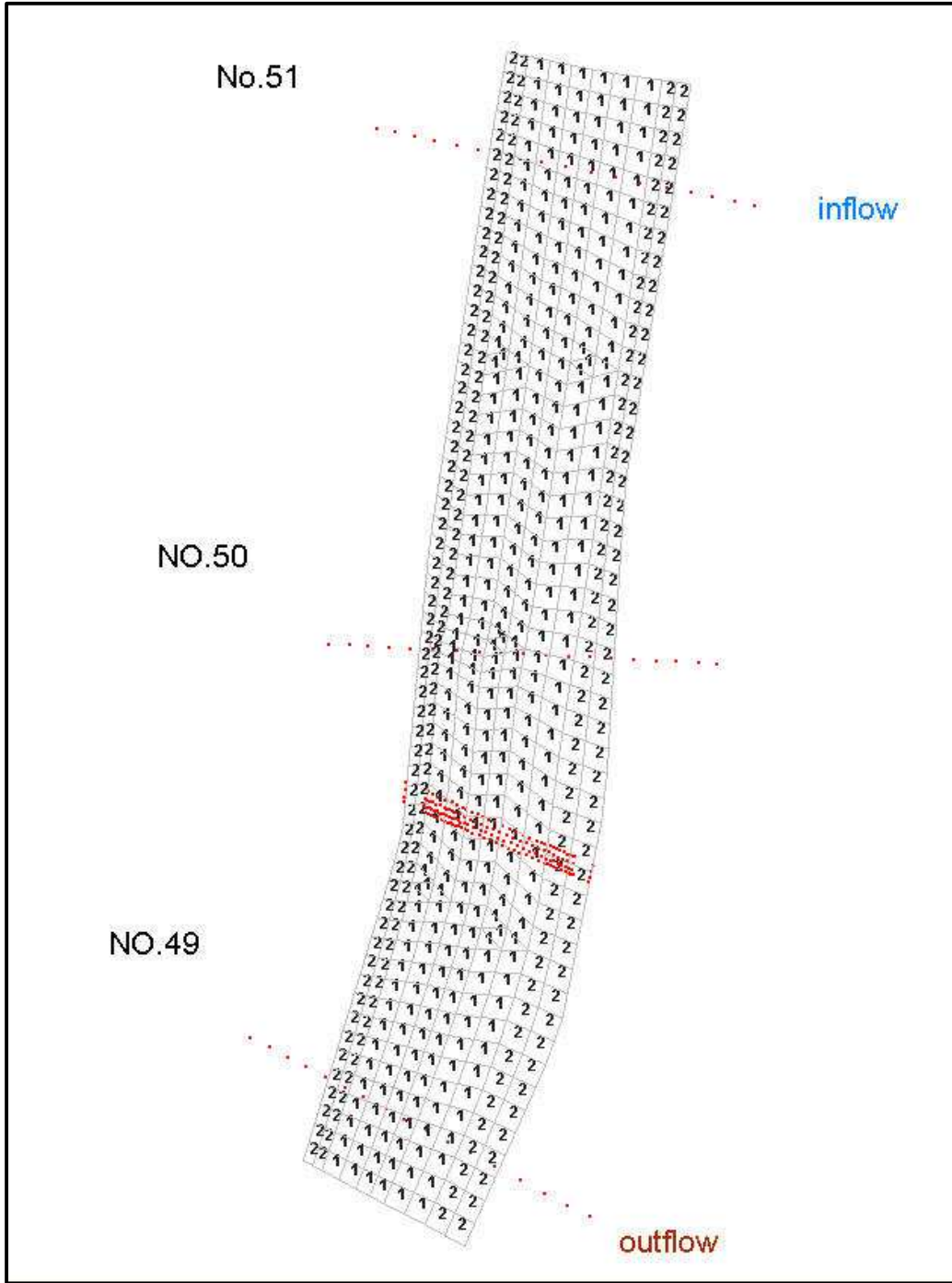


그림 4.6 ST2 지점에서의 하상재질 특성

#### 4.2.2 수리계산 결과

RMA-2 모형의 모의 결과의 검증을 위해서 50년 빈도의 홍수량  $123\text{m}^3/\text{sec}$  유량을 조건으로 HEC-RAS 모델을 사용하여 수리계산한 결과와 비교 검토 하였다. 2차원 모형의 중단홍수위와 계획홍수위의 계산홍수위와 유속을 비교하여 기술하였고, 비교내용을 그림 4.7~4.10에 도시하였다.

홍수위 비교 결과 No.54~NO.53+65구간에서  $0.03\sim 0.31\text{m}$ 의 차이가 있는 것으로 나타났다. 이는 계획홍수위 산정시 HEC-RAS 모형에 의하여 산정된 홍수위는 석탑천 전구간을 대상으로 산정하였으나, RMA-2 모형의 경우 연구 대상구간에서만 홍수위를 산정하였기 때문에 하천구간에 설치되어 있는 수리구조물이나 하천 만곡 등에 의한 홍수위 영향을 고려하지 않기 때문인 것으로 여겨진다.

한편, 유속 역시  $0.02\text{m}/\text{sec}\sim 0.19\text{m}/\text{sec}$  정도 차이가 있는 것으로 나타났는데 그 원인 또한 홍수위의 차이가 발생하는 원인과 같을 것으로 여겨진다. RMA-2 모형의 결과와 석탑천 하천정비 기본계획에서 제시한 계획홍수위 및 유속이 서로 일치하지는 않았으나 그 오차가 그다지 크지 않으므로 RMA-2 모형에 의하여 산정된 홍수위 및 유속의 결과는 신뢰성이 있다고 판단되며, SED-2D모형의 입력 값으로 적절할 것으로 여겨진다. 홍수위 및 유속 비교지점도는 그림 4.7 및 4.8에 나타내었으며, HEC-RAS 모형과 RMA-2 모형의 홍수위 및 유속 비교는 표 4.6 및 4.7에 나타내었다. 그리고 홍수위 및 유속의 비교는 그림 4.9~4.12에 도시하였다.

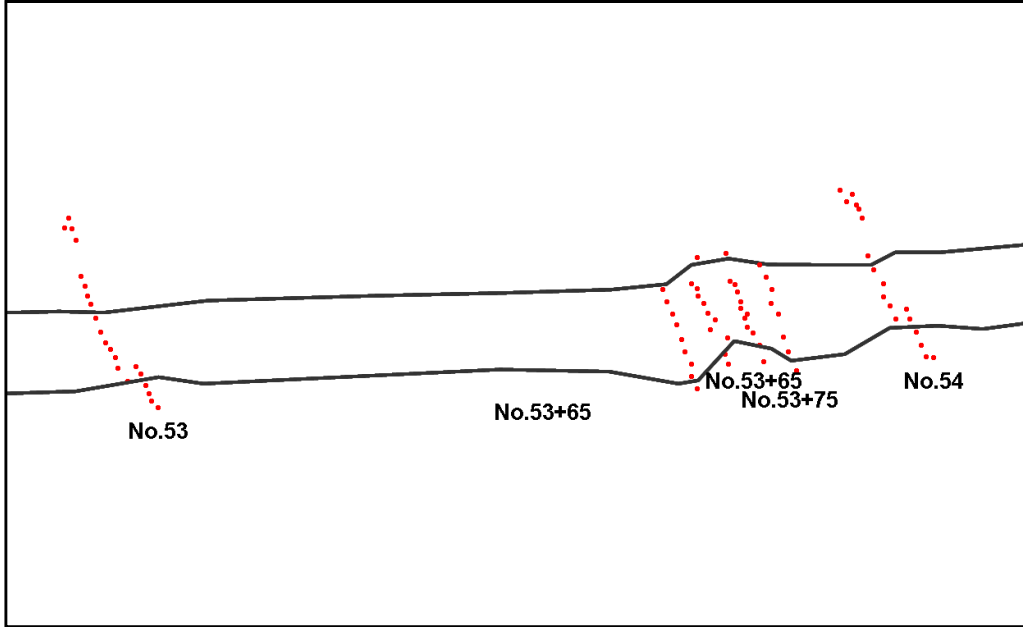


그림 4.7 홍수위 및 유속 비교 정점 (ST1구간)

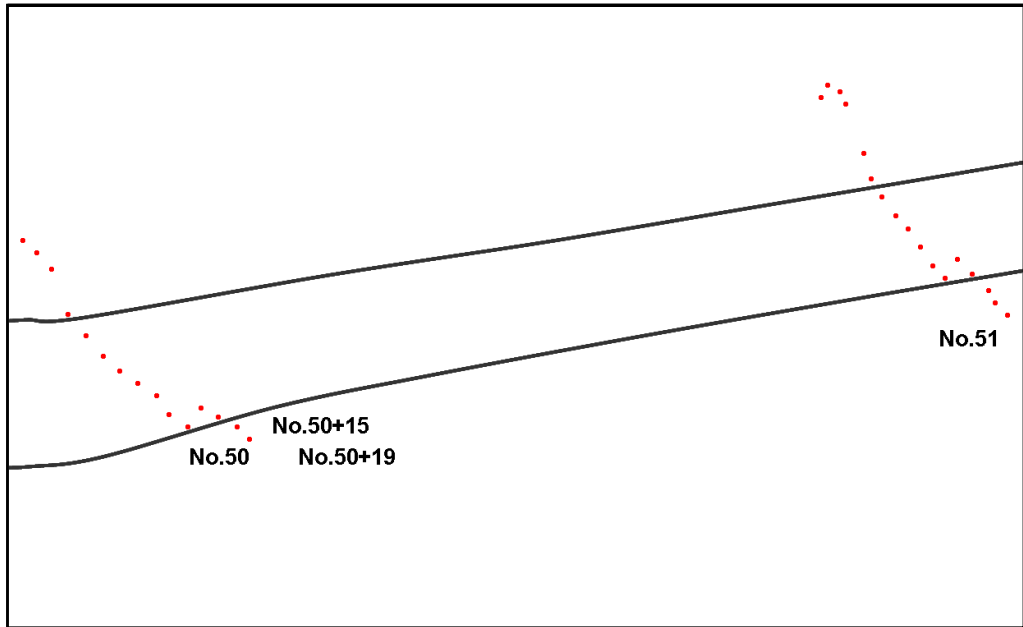


그림 4.8 홍수위 및 유속 비교 정점 (ST2구간)

표 4.6 HEC-RAS와 RMA-2 모형의 홍수위 및 유속 비교(ST1 구간)

측 점	홍 수 위 (EL.m)			유 속 (m/sec)		
	HEC-RAS	RMA-2	절대오차	HEC-RAS	RMA-2	절대오차
NO.51	31.81	31.4	0.41	1.86	1.71	0.15
NO.50+19	31.79	31.15	0.64	1.45	1.59	0.14
NO.50+15	31.78	31.14	0.64	1.45	1.66	0.21
NO.50	31.71	31.13	0.58	1.72	1.68	0.04

표 4.7 HEC-RAS와 RMA-2 모형의 홍수위 및 유속 비교(ST2 구간)

측 점	홍 수 위 (EL.m)			유 속 (m/sec)		
	HEC-RAS	RMA-2	절대오차	HEC-RAS	RMA-2	절대오차
NO.54	33.25	33.18	0.07	1.8	1.95	0.15
NO.53+75	32.64	32.91	0.27	3.59	3.72	0.13
NO.53+73	32.51	32.82	0.31	2.68	2.7	0.02
NO.53+65	32.21	32.24	0.03	2.53	2.55	0.02
NO.53	31.16	31.14	0.02	2.05	1.86	0.19

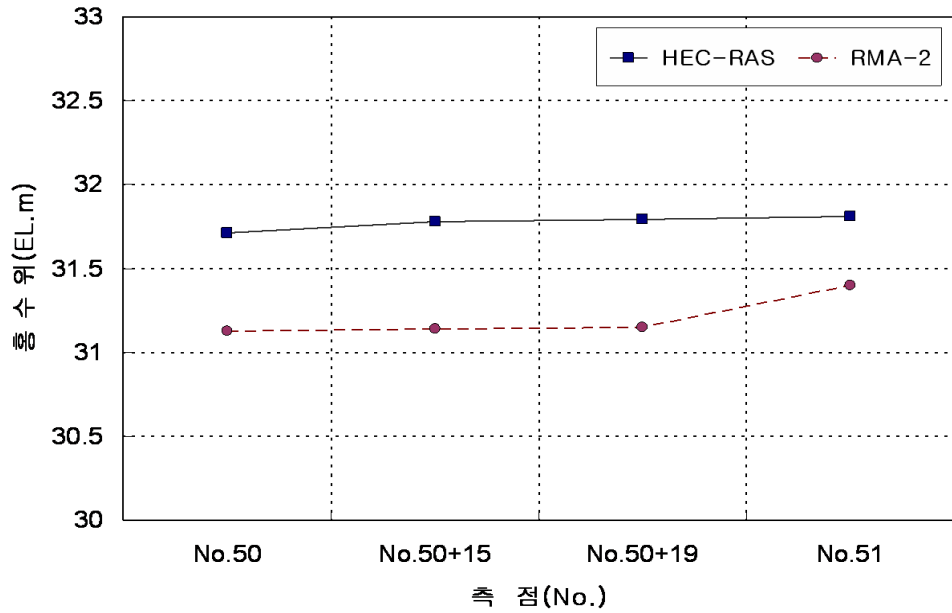


그림 4.9 홍수위 비교(ST1 구간)

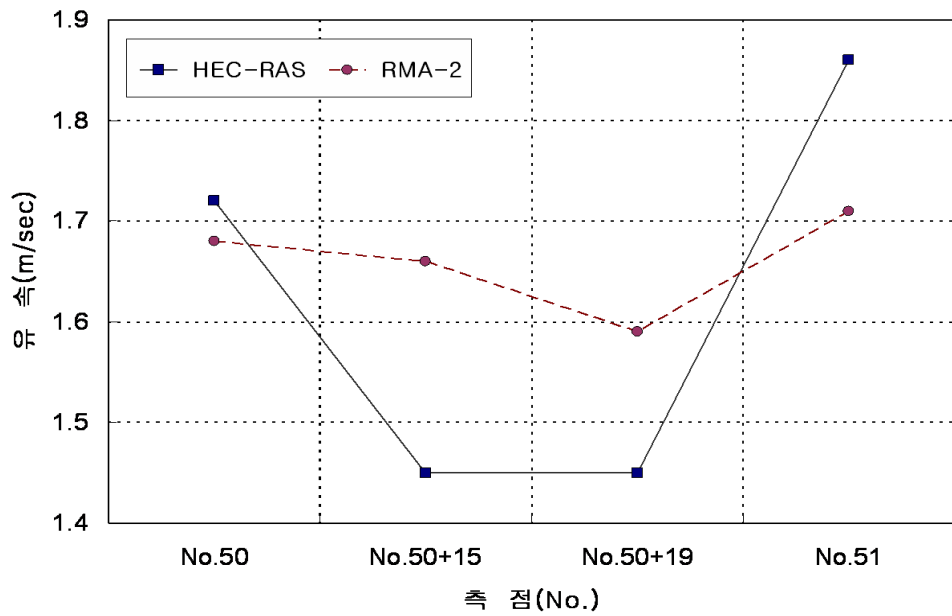


그림 4.10 유속 비교(ST1 구간)

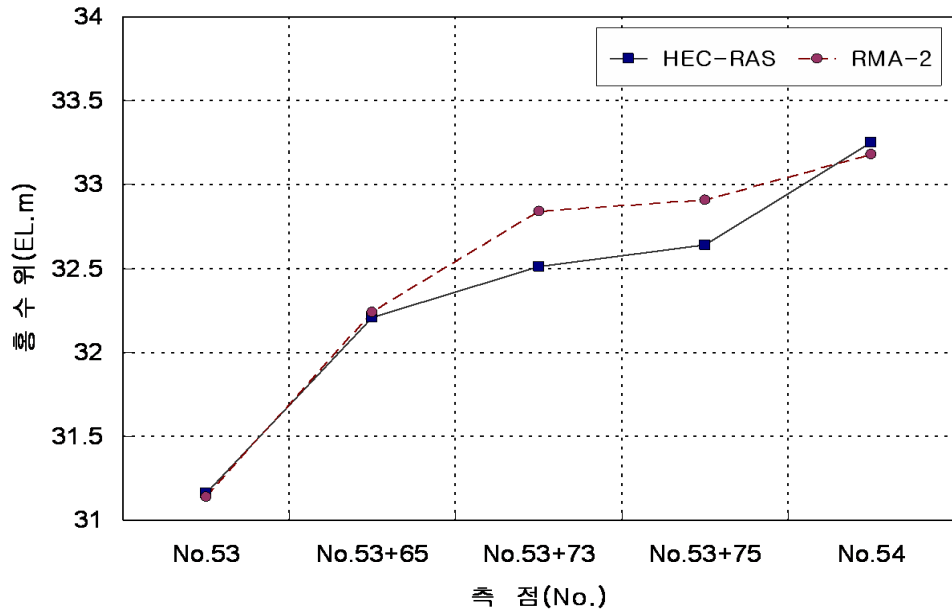


그림 4.11 홍수위 비교(ST2 구간)

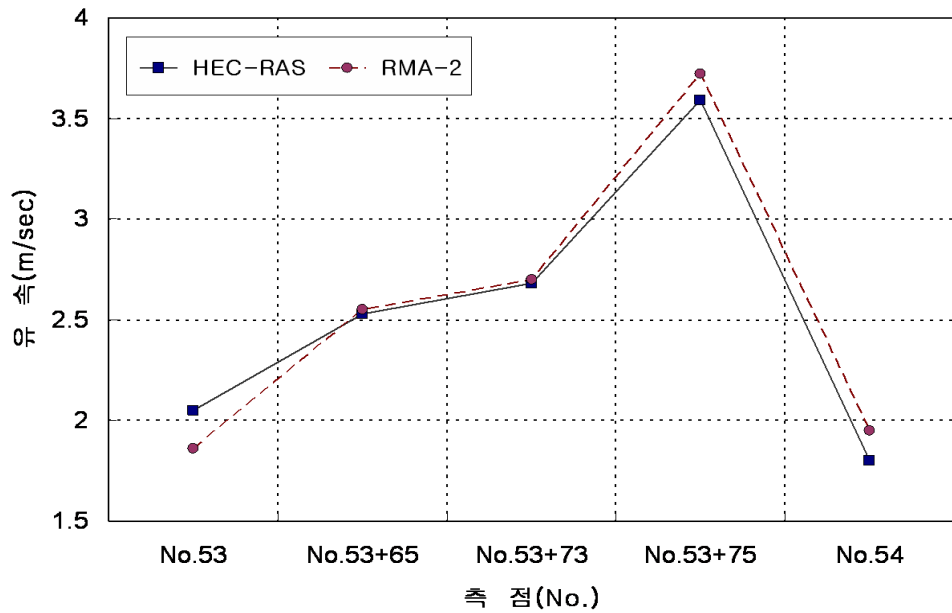


그림 4.12 유속 비교(ST2 구간)

### 4.2.3 동수역학적 해석

RMA-2 모형을 이용하여 계산한 ST1, ST2의 구간에서 전체적인 유속 백타도는 그림 4.13 및 4.14와 같이 도시하였다. ST1 구간은 그림 4.15와 같이 가동보 상류의 B구간에서는 홍수위가 EL. 33.0m에서 EL.33.1m정도로 상승되며, 유속은 2m/sec로 진행하다 1.5m/sec로 감소하였다. 가동보 구간인 A지점에서는 수위가 EL.33.0m에서 EL.31.5m로 하강하고 유속은 2m/sec에서 5m/sec까지 증가 하였다. 즉 가동보의 수문개방으로 통수단면적이 증가하고 사류 발생의 전형적인 특성으로 수위의 감소와 유속의 증가현상이 발생함을 알 수 있었다.

ST2 구간은 그림 4.16과 같이 B구간의 수위는 하강하고 있으나 그 정도가 점차 완만해지며, 가동보 전면에서의 수위는 EL.31.10m로 산정되었고, 유속은 하강하여 유속 변화는 1.9~1.65m/sec까지 감소되는 결과를 얻을 수 있었다. A구간은 수위하강 후 수위 상승지역으로 EL.31.05m의 수위로 계산되었으며 순간적으로 유속이 증가하나 하류의 흐름방향으로 점차 감소한다. 유속의 변화는 1~1.8m/sec의 변화로 나타났다. 실험영역의 유속 백타도는 ST1 구간 상류부의 유속은 2.82m/sec 중류부의 유속은 최대 5m/sec 하류부의 유속은 1.82m/sec이며, ST2 구간의 상류부는 1.57m/sec, 중류부는 1.78m/sec, 하류부는 1.19m/sec로 나타났다.

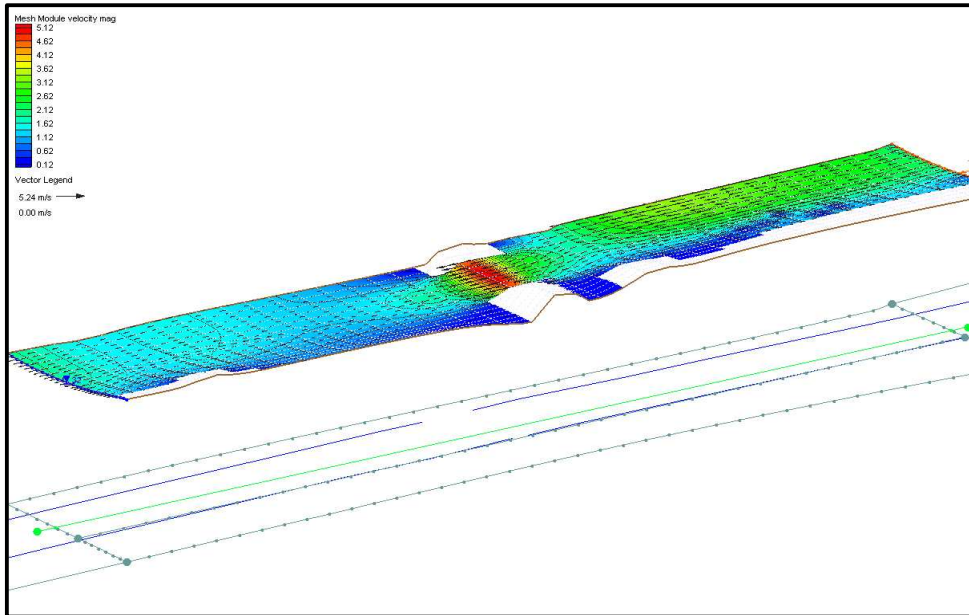


그림 4.13 ST1 구간의 유속 벡터도

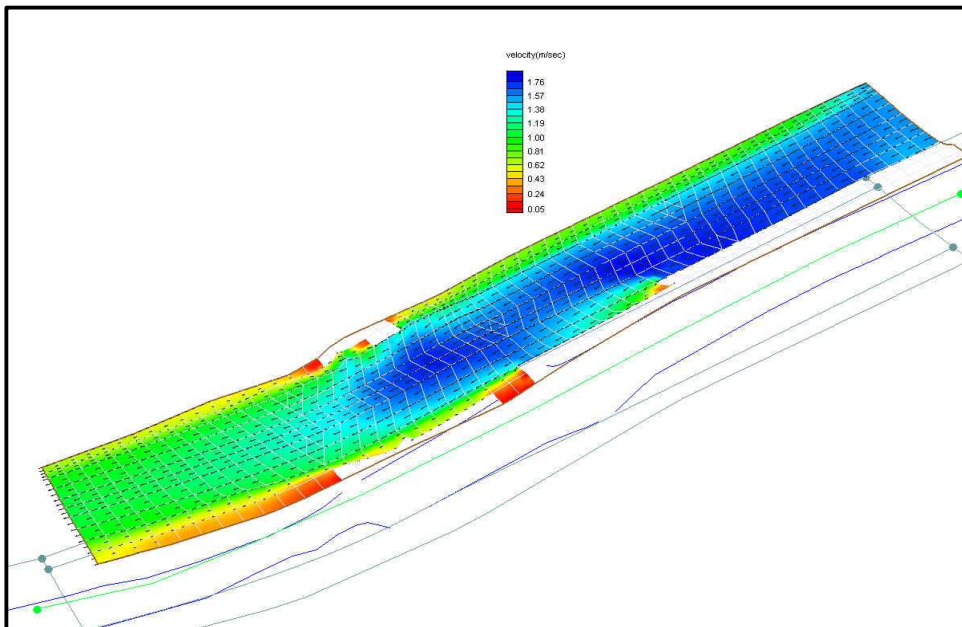


그림 4.14 ST2 구간의 유속 벡터도



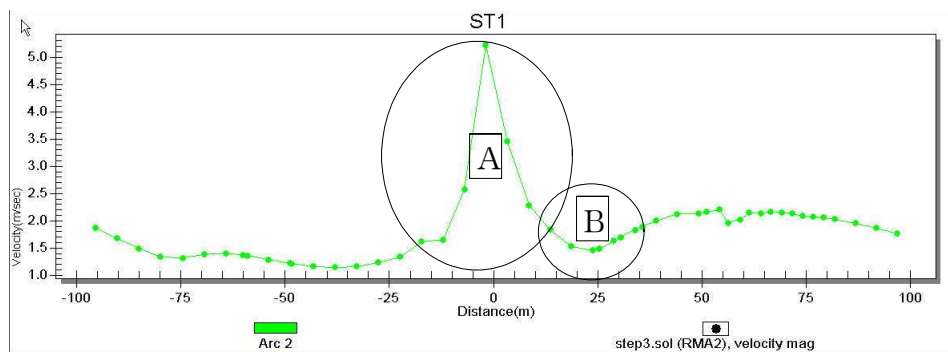
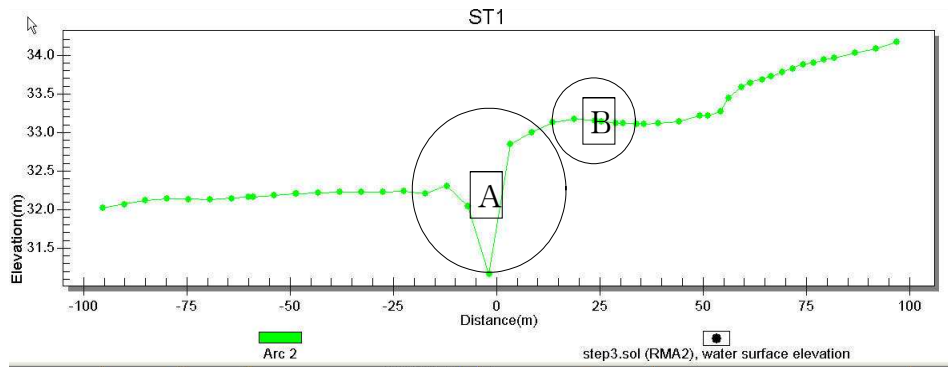
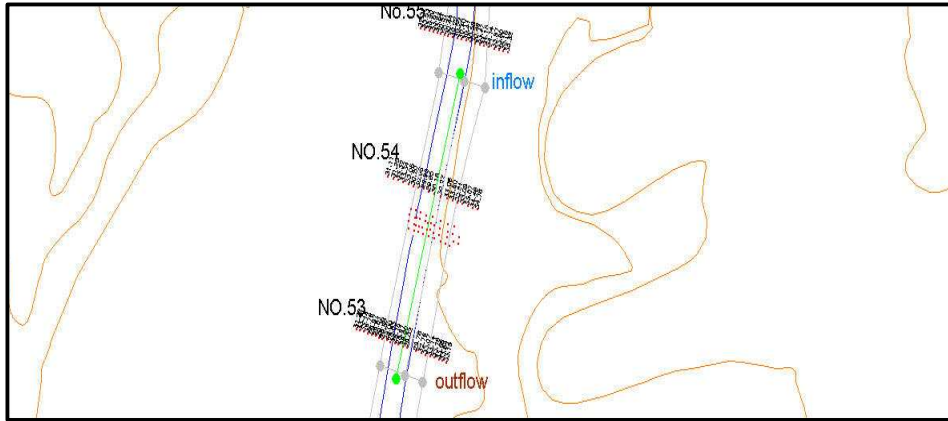


그림 4.15 가동보 설치 지점에서의 수위와 유속 비교(ST1)

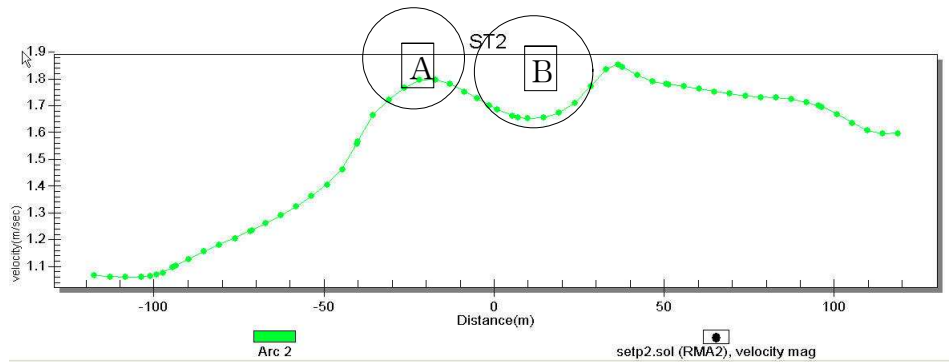
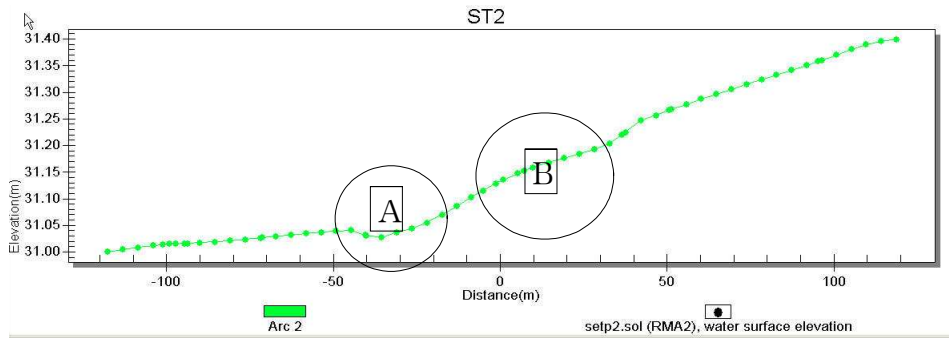
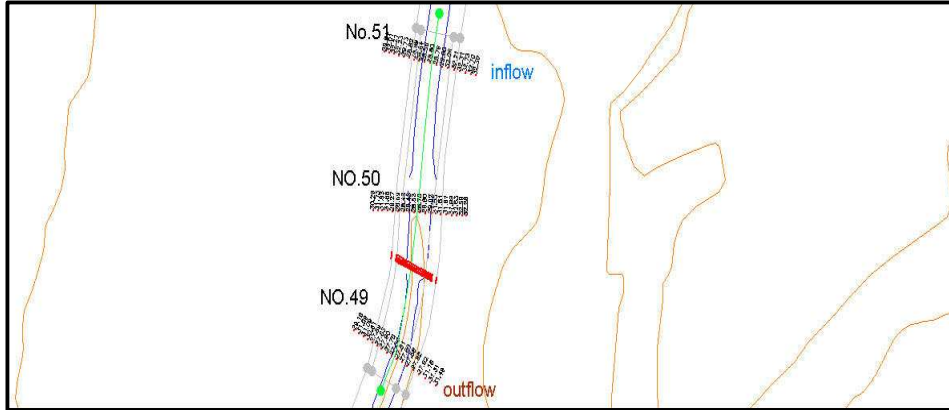


그림 4.16 가동보 설치 지점에서의 수위와 유속 비교(ST2)

## 4.3 SED-2D 모형

### 4.3.1 입력 조건

SED-2D 모형의 경계조건은 부유사의 농도 및 하상재료의 자료가 적용된다. 하상재료는 석탑천 하천정비기본계획(전라북도, 2005)에서 제시한 하상재료 조사 결과를 토대로 적용하였다. SED-2D 모형에서는 점토하상과 모래하상에 대해서만 모의가 가능하다. 본 연구 대상구간에서 하상재료 조사결과 대부분의 구간에서 하상재료는 주로 모래로 구성되어 있어 본 연구에서는 하상을 모래하상으로 가정하여 수치모형을 수행하였으며, SED-2D 모형의 입력조건은 표 4.8과 같다.

표 4.8 SED-2D 모형의 입력조건

항 목	입 력 조 건
하상 전단응력	Manning equation
Crank-Nicholson $\theta$ 값	0.67
유사 확산계수	$100 \text{ m}^2 / \text{sec}$
침강속도	$0.136 \text{ m} / \text{sec}$
골재 형상계수	0.67
특성 퇴적길이 요소	1.0
특성 침식길이 요소	10.0
모래층의 두께	1m
조도	0.0m
이송 가능한 모래입경	1.0mm
대표입경	$D_{25}=2.1\text{mm}$ , $D_{55}=29.5\text{mm}$ , $D_{75}=48.6\text{mm}$

SED-2D 모형 하상 전단응력 계산은 Manning equation을 이용하였는데, Crank-Nicholson  $\theta$ 의 가중치 값은 0.67, 유사 확산계수는  $100 \text{ m}^2/\text{sec}$ , 침강 속도는  $0.136 \text{ m}/\text{sec}$ , 골재 형상계수는 0.67, 특성 퇴적길이 요소는 1.0, 특성 침식길이 요소는 10.0, 모래층의 두께는 1.0m, 조도계수는 0.04, 이송 가능한 모래입경은 1.0mm, 대표입경으로는  $D_{25}=2.1\text{mm}$ ,  $D_{55}=29.5\text{mm}$ ,  $D_{75}=48.6 \text{ mm}$  를 입력하였고, ST1 구간 및 ST2 구간 모두 동일하게 적용하였다.

### 4.3.2 SED-2D 모형 모의결과

SED-2D 모형의 검증을 위해서 ST1 및 ST2 구간의 가동보를 기준으로 10m 간격으로 상류 20m, 하류 20m 구간에서 실측한 자료와 수치모형 결과 자료와 비교를 실시하였다. 그 결과 ST1 구간에서 하상표고는 표 4.9에서와 같이 최대 6cm 오차가 나타났으며, 전체적인 오차 범위는 1~6cm로 비교적 양호한 결과를 보였다. ST2 지점에서 하상표고는 표 4.10에서와 같이 최대 오차 범위가 13cm이며, 오차의 범위는 1~13cm로 적절한 결과를 얻을 수 있었다.

ST1 수치실험과 실제측량의 1년과 2년 변화의 비교는 그림 4.17에 도시하였고, 상류에서부터 가동보까지 불균형 하게 퇴적되었던 구간은 가동보 신설로 인하여 침식 되는 양상이 수치실험과 관측값과 유사하게 비교 되었다. ST2 수치실험과 실제측량 비교는 그림 4.18에 도시하였고, 전체적인 침식이 되는 양상이 관측치와 유사한 수치모형의 결과를 얻었다.

표 4.9 측량결과와 실험안 비교(ST1)

거리(m)	수치 실험 (EL.m)	측량 (EL.m)	오차 (cm)
20	29.70	29.70	0.00
10	29.84	29.83	0.01
0	30.22	30.16	0.06
-10	30.09	30.05	0.04
-20	30.07	30.04	0.03

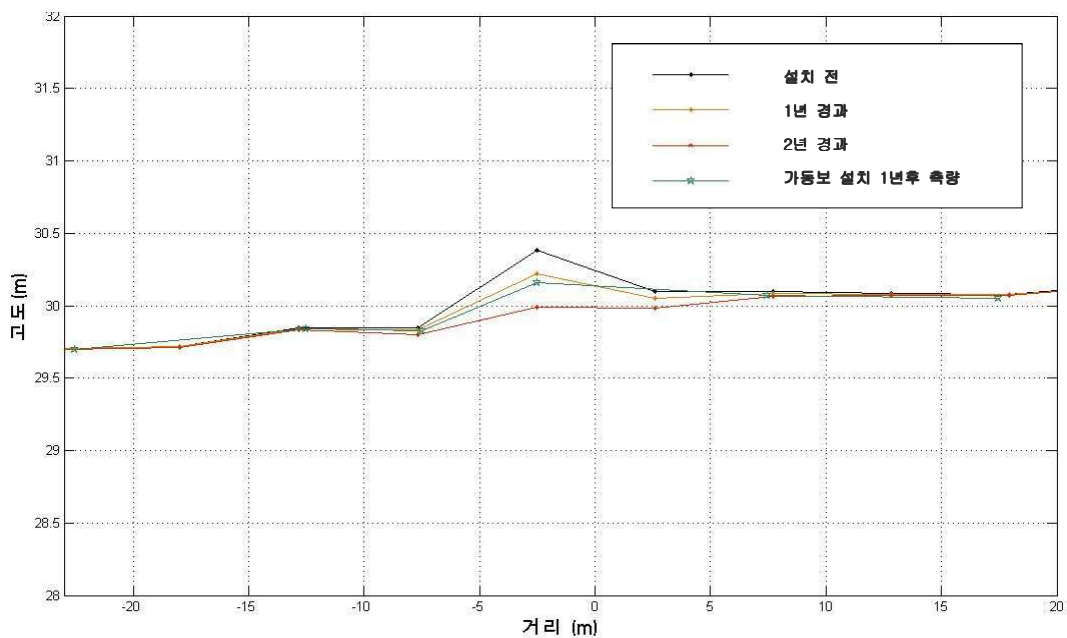


그림 4.17 가동보 하상변화(ST1)

표 4.10 측량결과와 실험안 비교(ST2)

거리(m)	수치 실험 (EL.m)	측량 (EL.m)	오차 (m)
20	28.60	28.58	0.02
10	28.68	28.64	0.04
0	28.82	28.69	0.13
-10	28.26	28.35	0.09
-20	28.27	28.28	0.01

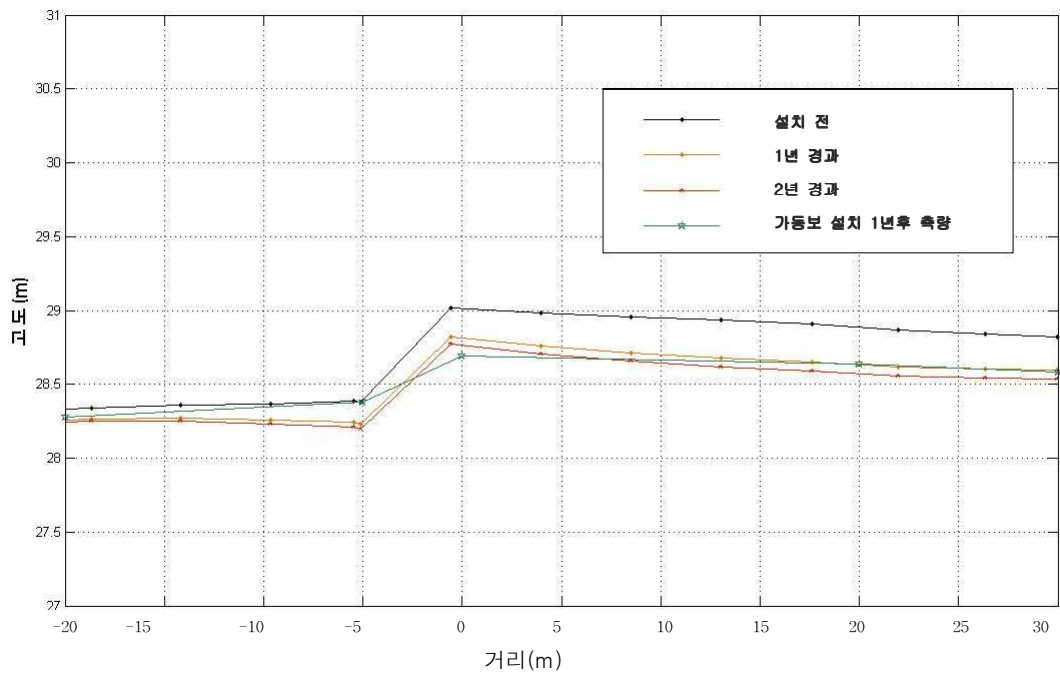


그림 4.18 가동보 하상변화(ST2)

### 4.3.3 유사이송의 해석

50년 빈도홍수 발생 조건하에 유사의 이송에 따른 침식 및 퇴적의 변화를 실험하였으며, 1년 변화율과 2년 변화율로 실험하였다. 그 결과 ST1 구간에서 가동보 설치 후 1년이 경과된 후 침식 및 퇴적 변화량은 그림 4.19와 같이 도시하였다.

그림 4.19에서 알 수 있듯이, ST1 지점의 1년경과 후의 하상변화량은 연구 대상구간 총 200m 구간 중, 상류쪽으로 60m 구간까지 침식이 발생하고, 최대 침식량은  $-0.07\text{m}$ 으로 나타났다. 그리고 20m 구간은 평형 혹은 퇴적이 발생하는 구간이며, 가동보가 설치된 지점에서 20m 하류 구간에서는 최대  $-0.30\text{m}$  침식이 발생하는 것으로 나타났다. 그리고 가동보가 설치된 지점에서 70m 하류구간은 평형 혹은 퇴적이 발생하였다.

ST1 지점의 2년경과 후 하상변화량은 그림 4.20과 같으며, 연구 대상구간 총 200m 구간 중 상류쪽으로 60m 구간까지 침식이 발생하고 최대 침식량은  $-0.075\text{m}$ 인 것으로 나타났으며, 그 후 20m 구간은 평형 혹은 퇴적이 발생하는 구간이다. 그리고 가동보가 설치된 지점에서 20m 하류 구간은 최대  $-0.39\text{m}$  침식이 발생하였으며, 가동보 설치지점에서 70m 하류구간은 평형 혹은 퇴적이 발생하였다.

ST2 지점에서 가동보 설치 후 1년이 경과된 후 침식 및 퇴적 변화량은 그림 4.21과 같이 도시하였다. 연구대상구간 총 200m 구간 중 상류쪽으로 50m 구간에서는 침식이 발생하며, 최대 침식량은  $-0.261\text{m}$ 로 나타났으며, 가동보 설치구간이 포함된 50m 구간에서는  $-0.31\text{m}$ 의 침식이 발생하고, 이후 50m 구간에서는 평형상태 혹은 퇴적 상태이며, 퇴적량은  $0.021\text{m}$ 정도 퇴적 되는 것으로 실험되었다.

ST2 지점에서의 2년 경과 후 침식 및 퇴적 변화량은 그림 4.22와 같고, 총 200m 구간중 상류쪽으로 50m 구간에서는 침식이 발생하며, 최대 침식량은  $-0.276\text{m}$  이고, 가동보 설치구간이 포함된 50m 구간에서는  $-0.41\text{m}$ 의 침식이 발생하고, 이후 50m 구간에서는 평형상태 혹은 퇴적 상태이며, 퇴적량은  $0.031\text{m}$ 정도 퇴적 되는 것으로 나타났다. 그림 4.19~4.22에서 흰색으로 표현된 부분은 dry zone을 나타낸 구간으로 흐름이 발생하지 않는 구간을 나타낸 것이다.

이를 종합적으로 평가해 볼 때 가동보의 그 효과적인 측면에서 살펴보면 기존의 보의 한정된 통수면적에 의한 홍수위 상승구간을 가동보의 보 개방으로 통수면적을 확대하여 안정된 홍수위를 유지할 것으로 보이며, 기존의 보 축조로 인하여 발생된 보 상류측의 불균형 퇴적물을 효과적으로 침식시켜 하천의 연속성에서도 유리할 것으로 본다.



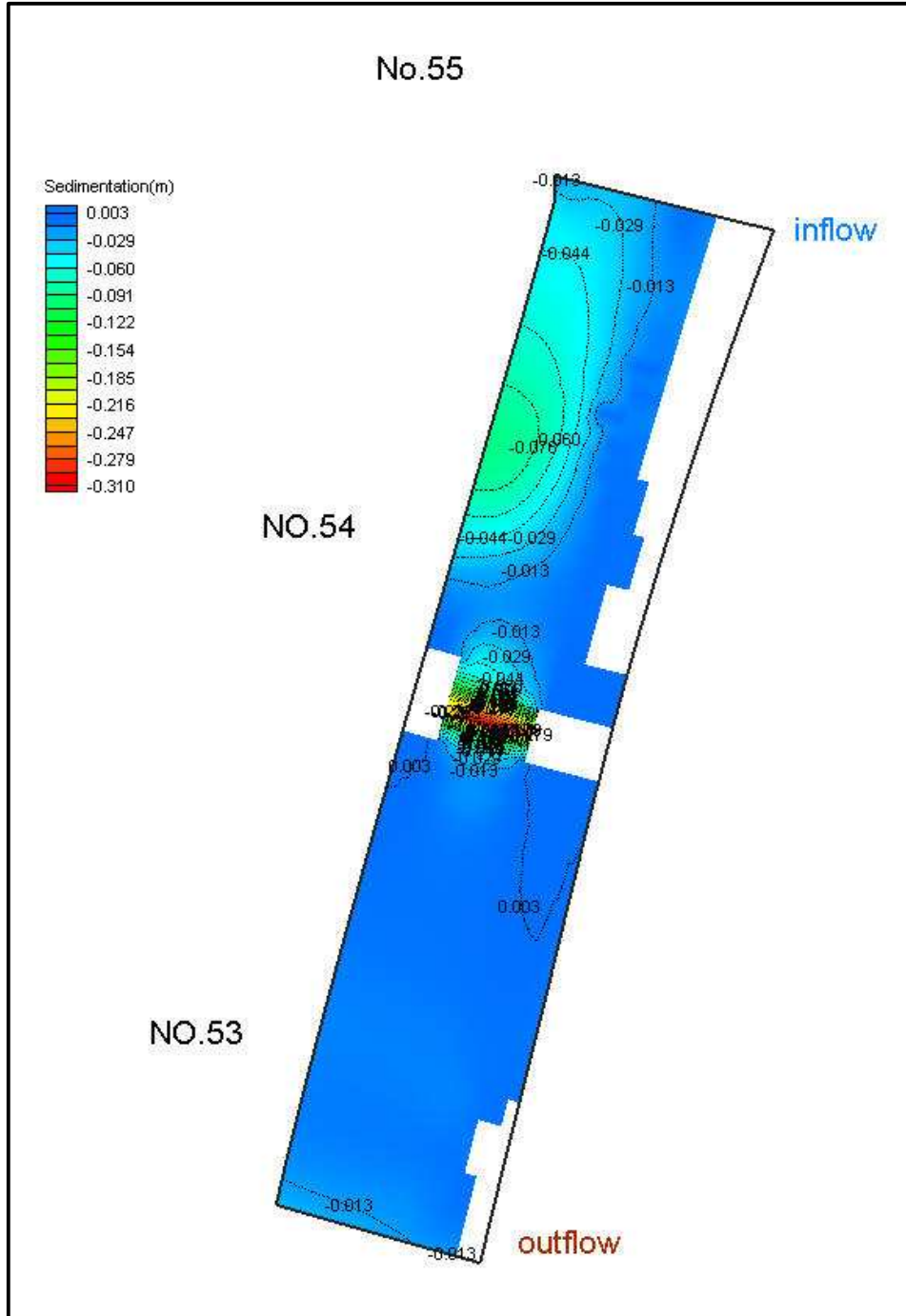


그림 4.19 ST1 지점에서의 하상변화(1년 경과)

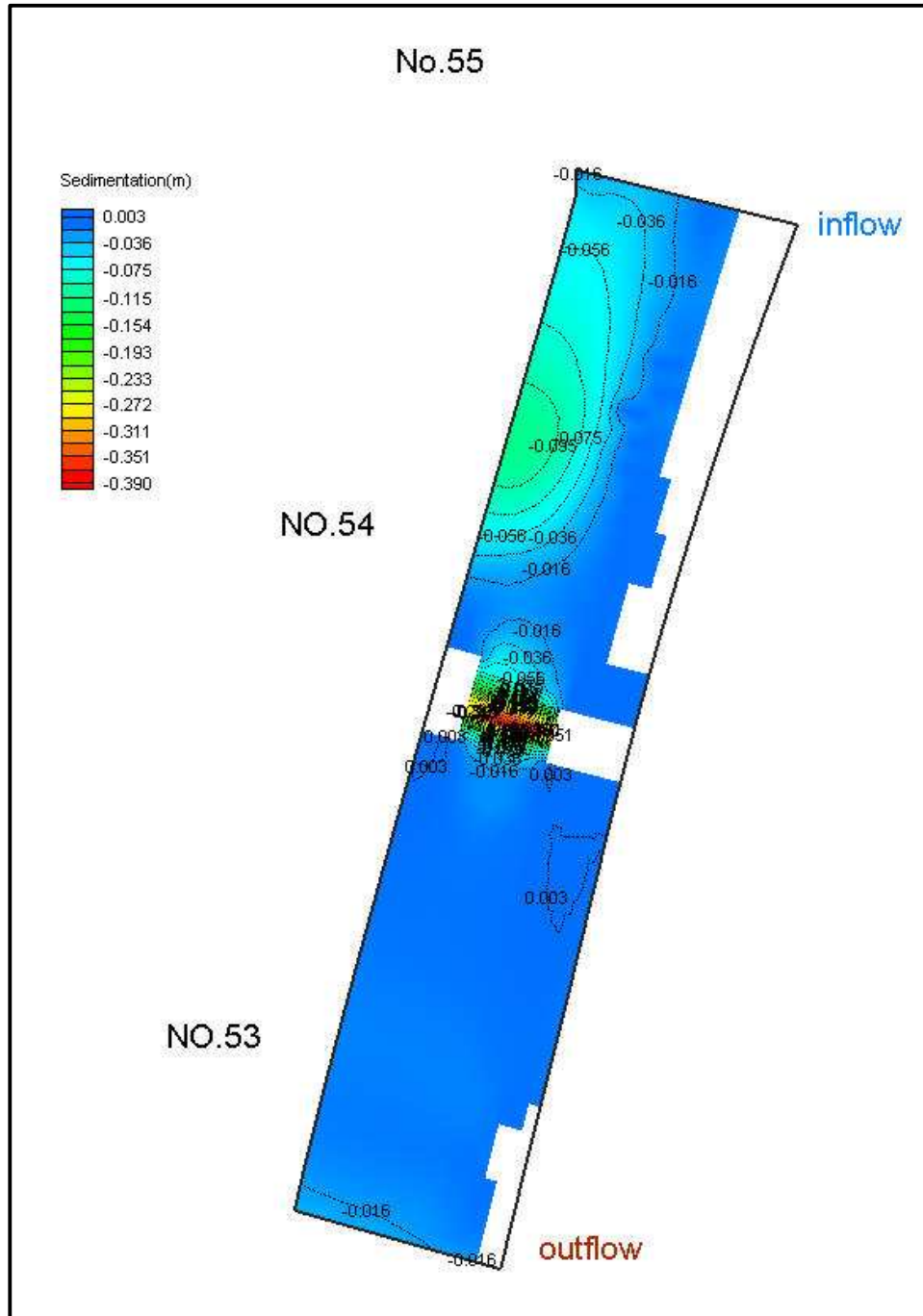


그림 4.20 ST1 지점의 하상변화(2년 경과)



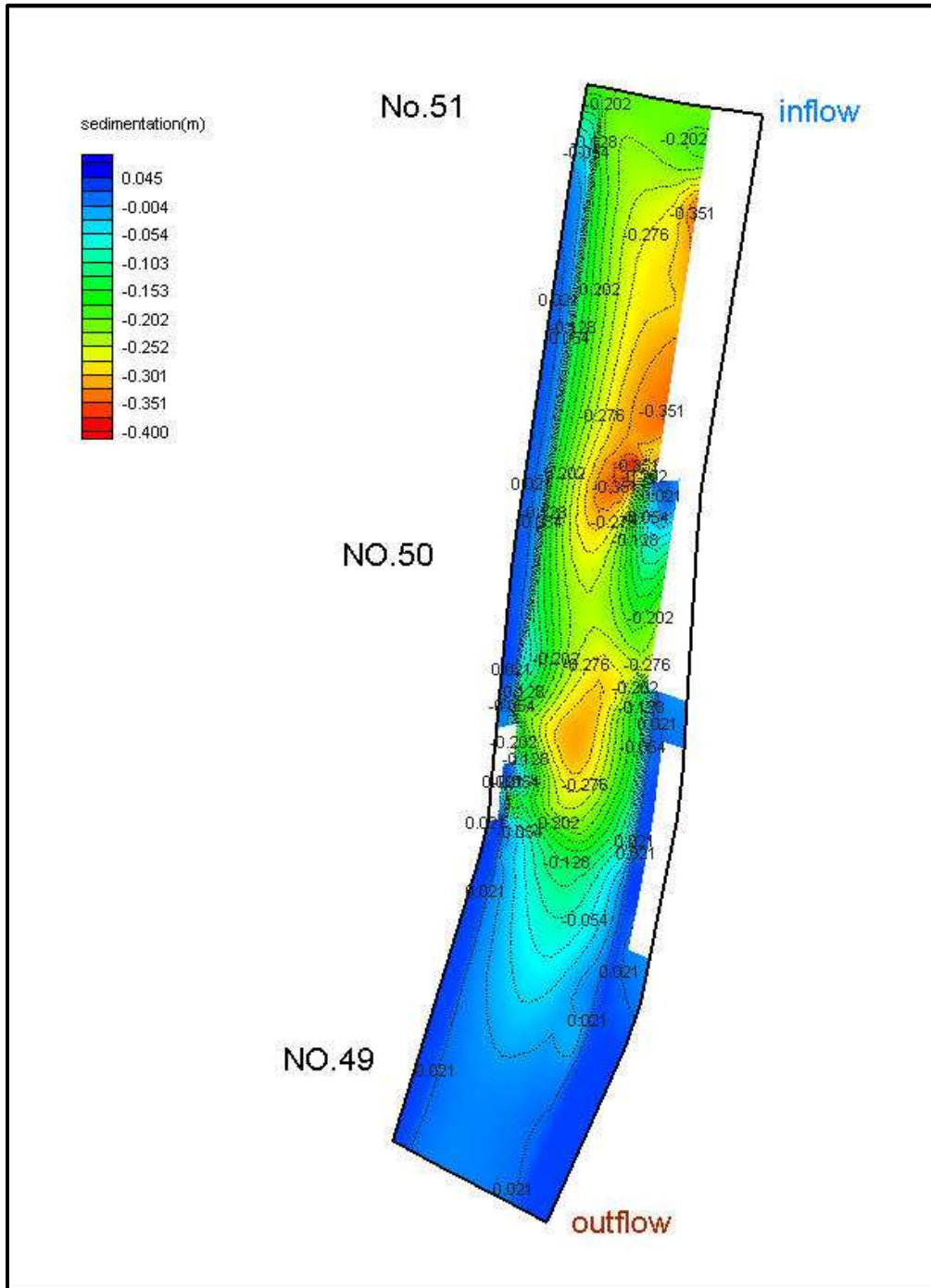


그림 4.22 ST2 지점의 하상변화(2년 경과)

## 제 5 장 결 론

본 연구를 통한 RMA-2 모형 및 SED-2D 모형은 하천의 유속 및 홍수위 산정 그리고 하상변동 예측에 적절한 모형으로 보다 신뢰성 있고 정확하게 모의할 수 있었다. 석탑천을 대상으로 수리·수문 및 유사이동에 대한 수치모형 실험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 가동보 설치 구간에서 RMA-2 모형을 이용하여 산정한 홍수위와 HEC-RAS를 이용하여 계산한 홍수위를 비교 검토한 결과 ST1 구간에서 홍수위 차는 0.41~0.64m, ST2 구간에서 0.02~0.31m이었으며, 유속의 차는 ST1 구간에서 0.04~0.21m/sec, ST2 구간에서 0.02~0.19m/sec 발생하였다. ST1 구간에서 홍수위 차는 RMA-2 모형의 경우 연구 대상구간에서만 홍수위를 산정하였기 때문에 하천구간에 설치되어 있는 수리구조물이나 하천 만곡 등에 의한 홍수위 영향을 고려하지 않았기 때문인 것으로 여겨진다. 따라서 RMA-2 모형에 의하여 산정된 홍수위 및 유속의 결과는 신뢰성이 있다고 본다.
2. SED-2D 모형 수치실험 결과 ST1 구간에서 하상고는 각 구간에서 EL.29.70~EL.30.22m로 산정되었고, 이를 검증하기 위하여 하천측량을 실시한 결과 하상고는 EL.29.70~EL.30.16m로 그 차이는 최대 0.06m에서

일반적으로는 0.01~0.04m의 범위로 나타났으며, ST2 구간에서 모형 수치실험 결과 하상고는 각 구간에서 EL.28.26~EL.28.82m이었으며, 하천 측량결과 하상고는 EL.28.28~EL.28.69m로 그 차이는 최대 0.13m이며 일반적으로는 0.1m 미만으로 나타나 가동보 신설로 인하여 침식되는 양상이 수치실험과 관측값이 비교적 양호하게 모의되어 하상변동 예측에 적절한 모형으로 원활한 홍수소통과 재해 위험을 예방할 수 있을 것으로 판단된다.

3. 유사의 이송에 따른 침식 및 퇴적을 산정한 결과 ST1, ST2 지점 모두 상류쪽 및 가동보 설치구간에서는 침식이 발생하고 하류쪽은 평형상태 및 퇴적이 일어났다. ST1 지점의 1년경과 최대 침식량은 -0.30m, 2년경과 최대 침식량은 -0.39m로 나타났으며, ST2 지점의 1년경과 최대 침식량은 -0.31m, 2년경과 최대 침식량은 -0.41m로 나타났다. 또한 ST2 지점의 1년경과 퇴적량은 0.021m, 2년경과 퇴적량은 0.031m 정도로 나타나 향후 하천의 적절한 계획 및 관리에 유용하게 활용할 수 있을 것이다.
4. 이를 종합적으로 평가해 볼 때 RMA-2 모형 및 SED-2D 모형은 가동보가 있는 하천의 유속 및 홍수위 산정에 적절한 모형이며, 신뢰할 수 있는 결과를 도출할 수 있어 하천관리에 필요한 수공구조물 설계와 하천의 연속성 회복을 통한 하천 생태계 복원에 기여할 것이다.

가동보는 용수 취수를 위한 하천수 저류가 기본 목적이기 때문에 평상시 및

갈수시에는 수문을 닫아 용수를 확보하여야 한다. 따라서 평상시 및 갈수시 어류들의 자유로운 이동을 확보하기 위해서는 어도의 설치 또한 병행하여야 할 것이다.

## 참고문헌

1. 강주환(1995) 음해조석 모형의 목조항 인근해역에의 적용, 한국해양·해양 공학회지, Vol 7 No.4, pp. 321~328.
2. 강시환, 가알지글러, 윌버트릭(1987) 하구인접 내항의 퇴적물 수송에 대한 수치모델 해석, 한국해양공학회지, 제 22권 제1호, pp. 25~33.
3. 건설교통부(2000) 하천설계기준.
4. 건설교통부·한국수자원공사(2000.12) 수자원 장기종합계획 보고서
5. 김현석, 노영신, 이진수, 윤병만(2004) 금강하구 장항수로의 퇴적변화추이, 대한토목학회 정기학술대회
6. 서승원, 박원경(1996) 조간대 모의를 위한 2차원 유한요소 모형, 한국해양, 해안공학회지, 제 8권 제 1호, pp. 321~113.
7. 박재홍, 한건연, 조홍제(1994) 사행도를 가진 복합단면 하도에서의 홍수전 파특성, 한속수문학회지, 수문학회, 제 27권 제 4호, pp. 95~104.
8. 염기대(1988) 광양만 퇴적물 이동 수치모델, 공양공업단지 조성에 관한 토목학회 심포지움, 과학기술처
9. 염기대(1991) 부산 인공섬 건설에 따른 퇴적물 이동연구(III), 한국해양 연구소, 과학기술처
10. 오남선, 강주환(1998) 목포해역에서의 조석모형적용, 한국항만학회지, 제 12권 제1호, pp. 105~111.
11. 우효섭(2001) 하천수리학, 청문각.
12. 이길성, 이남주, 오성택(1994) 유사이동 모형을 이용한 잠실수중보 주변 하상변동의 수치모의, 수공학연구실, 서울대학교.



13. 이상화(1990) 하구의 점착성 부유사 이동에 관한 수치모형, 서울대학교 박사학위논문.
14. 이정규, 안수한(1984) 조류에 의한 부유사의 확산에 대한 수치모형, 대한토목학회 논문집, 제 4권 제 4호, pp. 13~23.
15. 이정규(1985) 조류에 의한 부유사농도의 확산 거동에 관한 연구, 서울대학교 박사학위논문.
16. 인천지방 해양수산청, 인천항만건설 사무소(1997) 아산항 수리현상 조사 보고서.
17. 전라북도(2005) 석탑천 하천정비 기본계획 보고서.
18. 한건연, 이을래, 송광익, 임창수(1999) 부여취수장 부근에서의 하상변동에 대한 2차원 수치모의 한국수자원 학회논문, 제32권 제6호, pp. 697~709.
19. 한건연, 정재학, 이을래(2000) 홍수터에서의 범람 홍수류에 의한 2차원 수치모의, 한국수자원 학회논문, 제33권 제4호, pp. 438~493.
20. 한국건설기술 연구원(2000) 지역적 설계강우의 시간적 분포.
21. Ackers, P., and White, W. R.(1973)(Nov) Sediment Transport : New Approach and Analysis, Journal of the Hydraulics Division, American Society of Civil Engineers, No HY II.
22. Anathurai, R., and Krone, R. B.(1976) finit Element Mode for cohesive Soils, J. of Hyd. Div., Asce, Vol. 104, HY2, pp.279~283.
23. Ariathurai, R.(1974)(Aug) A Finite Element Model for Sediment Transport in Estuaries, Ph. D. Thesis, Department of Civil Engineering, University of California, Davis.
24. Ariathurai, R., MacArthur, R.C, and Korne, R, B.(1977)(Oct)

- Mathematical Model of Estuarial Sediment Transport, Technical Report D-77-12, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss.
25. Bowen, K. F.(1967) Circulation and Diffusion Estuaries, G H , Lauf No. 83 American Association for the Advancement of Science.
  26. Brigham Young University(1996) Engineering Computer Graphics Laboratory, Surface Water Modeling System: User's Manual.
  27. Brownlie, W. R.(1981) Prediction of flow depth and sediment discharge in open channels. California Institute of Technology – W. M. Keck Laboratory of Hydraulics and Water Resources.
  28. Brownlie, W. R.(1981) Alluvial channels : Compilation of alluvial channel data : Laboratory and field. California Institute of Technology – W. M. Keck Laboratory of Hydraulics and Water Resources.
  29. Chu, W.S., j.Y. Liou and K. D. Flenniken(1989) Numerical Modeling of Tide and Current in Central Puget Sound: Comparison of a Three-Dimensional and a Depth-Averaged Model:, WRR, Vol. 25, No.4.
  30. Chow. V. T.(1959) Open –Channel Hydraulics, Mc Graw–Hill Kogakusha, LTD, pp. 99~109.
  31. Chang, H. H.,Hill, J. C.(1976) Computer modelling of erodible flood channels and deltas , in J. of the Hyd. Div., ASCE. 102(HY10).
  32. Environmental Modeling Research Laboratory(2005) SMS(SurfaceWater Modeling System) SED-2D-WES version 8.0 User's Manual.

33. Fischer, H. B., List, E. J, Koh, R. C. Y., Imberger, J, and Brooks N.H. (1979) *Mixing in Inland and Coastal Waters*, Academic Press, New York, NY, pp. 483.
34. Fread, D. L.(1989) *The NWS DAMBRK Model: Theoretical Background /User Documentation*. National Weather Service, NOAA Silver Spring, Maryland.
35. George, L. B. et al(1985) *Rates, Constants and Kinetics Formulations in Surface Water Quality Modeling*, 2nd Edition, Report EPA/600/3-85/040 , U.S. EPA, Athens, GA.
36. Gee, D. M., and Wilcox. D.B.(1985) Use of a two dimensional flow model to quantify aquatic habitat. *Water Resources Planning and Management Division Speciality Conference on Computing Applications in Water Resources*, Buffalo, USA.
37. Hidetaka Takeoka(1984) *Fundamental Concepts of Exchange and Transport Time Scale in Coastal Sea*, *Continental Shelf Research*, Vol .3, No.3, pp. 311~326.
38. Holly, F. M., Yang, J. C., Schovarz, P., Scheefer, J., Hsu, S. H., Einhellig, R., CHARIMA(1990) *Numerical simulation of unsteady water and sediment movements in multiply connected networks of mobile-bed channels*. Iowa City, Iowa : The Univ. of Iowa.
39. Karim, M. F., Kennedy, J. F.(1982) *IALLUVIAL : A computer based flow and sediment routing for alluvial streams and its application to the Missouri River*. Iowa City, Iowa:The Univ. of Iowa.

40. Krone, R. B.(1962)(Jun) Flume Studies of the Transport of Sediment in Estuarial Shoaling Processes, Final Report, Hydraulic Engineering Laboratory and Sanitary Engineering Research Laboratory, University of California, Berkeley.
41. King, I. P.(1996) Update Documentation RMA2 A Two Dimensional Finite Element Model for Flow in Estuaries and Streams.Dept. of Civil eng. Univ. of California Davis.
42. King, I. P.(1996) Documentation RMA11 A Three Dimensional Finite Element Model for Water Quality in Estuaries and Streams.Dept. of Civil eng. Univ. of California Davis.
43. King, I. P.(1980) Finite element models for unsaturated groundwater zones, Finite Elements in Water Resources, Proceedings of the 3rd International Conference. Mississippi, U.S.A.
44. King, I. P.(1977) Finite Element in Water Resources. London, Pentech Press.
45. King, I. P.,Norton, W. R.,Iceman, K. R.(1975) A finite element solution for two-dimension stratified flow problems , in Finite Element in Fluids. London:John Wiley and Sons.
46. Macpherson, B. (1985) Flow and Sediment Transport over Steep Ripples, Ph. D. Thesis, The Universty of Cambridge, U.K.
47. Mollinas, A.,Yang, C. T.(1986) Computer program user's manual for GSTARS.Denver, Colo. : U.S. Dept. of Interior Bureau of Reclamation Engrg. and Res. Ctr.

48. McAnally, W. H., and Thomas, W. A.(1980)(Aug) Shear Stress Computations in a Numerical Model for Estuarine Sediment Transport, Memorandum for Record, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss.
49. Pavlovic , R. N., Varga, S. and Misic, B. (1985) Two-Dimensional Depth-Averaged Model for the Calculation of Sediment Transport and River Bed Dformation, Int. Symposium on Refined Modeling and Turbulence Measurements, Iowa, Session D2, pp.1~10.
50. Rubey, W. W.(1933) Settling velocities of gravel, sand, and silt particles , in American Journal of Science.
51. Sato, S. (1970) Oscillatory Boundary Layer Flow and Sand Movement over Ripples, Ph. D. Thesis, The Univesity of Tokyo, Tokyo, Japan.
52. Spasojevic, M., Holly, F. M.(1988) Numerical simulation of two dimensional deposition and erosion patterns in alluvial water bodies. Iowa City, Iowa:The Univ. of Iowa.
53. Swart, D. H.(1976)(Sep) Coastal Sediment Transport, Computation of Longshore Transport, R968, Part 1, Delft Hydraulics Laboratory, The Netherlands.
54. Thomas, W. A., McAnally Jr., W. H.(1990) User's manual for the generalized computer program system open channel flow and sedimentation TABS-2.Vicksburg, Mississippi:Waterways Experiment Station;US Army Corps of Engineers.
55. Thomas, W. A.,Parashum, A. L.(1977) Mathematical model of scour and

- deposition , in J. of the Hyd. Div. 110(HY11). ASCE.
56. Tomas, P. D. and Middlecoff, J.F.(1980) : Direct Control of the Grid Point Distribution in Meshes Generated by Elliptic Equations, ALAA J., Vol. 18, No. 6, pp.652~656.
  57. US Army Corps of Engineers(1990) Generalized Computer Program System for Open-Channel Flow and Sedimentation TABS System : Volume1, Genera.
  58. White, W. R., Milli, H., and Crabbe, A.D.(1975) Sediment Transport Theories: An Appraisal of Available Methods, Report Int. 119(Vols. 1 and 2), Hydraulics Research Station, Wallingford, England.
  59. Wilder, P., L. van Stun, G. s. Steling, and G. A. Fokekma.(1988). A Fully Implicit Splitting Methods for Accurate Tidal Computations, Int. J. for Numerical Methods in Engineering , Vol. 26.

## 부 록

SED2D 실험후 지점별 노드, x좌표, y좌표, 하상고도 (ELm.).							
1) ST1지점의 결과				2) ST2지점의 결과			
1	210034.06	274658.34	31.8364	1	209948.17	274313.94	28.7626
3	210037.14	274657.59	31.6881	3	209950.31	274313.56	28.7126
5	210040.22	274656.81	31.5987	4	209951.38	274313.38	28.6939
7	210043.30	274656.06	31.5561	5	209952.44	274313.16	28.6744
9	210046.38	274655.31	31.5777	7	209956.92	274312.22	28.5925
11	210049.47	274654.53	31.6796	8	209959.16	274311.75	28.5615
13	210052.55	274653.78	31.8538	9	209961.41	274311.25	28.5306
15	210055.63	274653.00	32.1585	11	209965.64	274310.44	28.5688
17	210058.17	274652.38	32.5104	12	209967.75	274310.06	28.6379
19	210060.70	274651.75	32.9397	13	209969.88	274309.66	28.7070
21	210063.25	274651.13	33.4283	15	209974.84	274308.97	28.8642
23	210065.78	274650.50	33.8900	16	209977.33	274308.63	30.2400
25	210068.33	274649.84	34.3000	17	209979.81	274308.28	31.4400
27	210070.86	274649.22	34.6300	19	209982.75	274307.84	31.5900
29	210073.41	274648.59	34.8600	20	209984.22	274307.63	31.8650
31	210036.86	274652.72	31.7138	21	209985.70	274307.41	32.1400
32	210035.41	274653.13	31.7573	23	209949.66	274309.56	28.6912
33	210033.95	274653.50	31.8015	25	209947.44	274310.00	28.7521
34	210034.00	274655.94	31.8159	26	209947.81	274311.97	28.7534
36	210039.77	274651.94	31.6535	27	209952.16	274311.13	28.6519
37	210038.31	274652.31	31.6837	28	209951.88	274309.09	28.6301
39	210042.66	274651.13	31.6341	31	209956.33	274307.97	28.5600
40	210041.20	274651.53	31.6436	33	209961.09	274309.06	28.5210
42	210045.56	274650.34	31.6754	34	209960.78	274306.88	28.5091
43	210044.11	274650.75	31.6546	37	209964.98	274306.00	28.5609
45	210048.47	274649.56	31.7886	39	209969.55	274307.38	28.7068
46	210047.02	274649.97	31.7317	40	209969.20	274305.13	28.7046
48	210051.44	274649.03	31.9929	43	209974.13	274304.22	28.8782
49	210049.95	274649.31	31.8905	45	209979.44	274305.81	31.5600
51	210054.34	274648.25	32.3172	46	209979.06	274303.34	31.6800
52	210052.89	274648.63	32.1553	49	209981.97	274302.88	31.7300
54	210056.83	274647.63	32.6898	52	209984.88	274302.41	32.2300
55	210055.58	274647.94	32.5038	55	209949.00	274305.56	28.7097
57	210059.30	274647.03	33.1088	56	209947.84	274305.81	28.7442
58	210058.06	274647.31	32.8996	57	209946.70	274306.09	28.7742
60	210061.78	274646.41	33.5568	59	209951.59	274307.06	28.6101
61	210060.53	274646.72	33.3325	60	209951.31	274305.03	28.5928
63	210064.25	274645.78	33.9900	61	209950.16	274305.31	28.6723
64	210063.02	274646.09	33.7750	63	209955.73	274303.75	28.5200
66	210066.73	274645.19	34.3500	64	209953.52	274304.41	28.5505
67	210065.50	274645.50	34.1700	65	209960.47	274304.69	28.4964
69	210069.20	274644.56	34.6300	66	209960.16	274302.50	28.4818
70	210067.97	274644.88	34.4900	67	209957.94	274303.13	28.4991
71	210072.53	274646.28	34.8500	69	209964.33	274301.53	28.5473
72	210071.67	274643.97	34.8400	70	209962.25	274302.00	28.5136

SED2D 실험후 지점별 노드, x좌표, y좌표, 하상고도 (ELm.).							
1) ST1지점의 결과				2) ST2지점의 결과			
73	210070.44	274644.25	34.7350	71	209968.86	274302.84	28.7073
75	210035.52	274647.69	31.7283	72	209968.52	274300.56	28.7055
76	210034.06	274648.09	31.7633	73	209966.42	274301.06	28.6250
77	210032.61	274648.50	31.7982	75	209973.42	274299.50	28.8946
78	210033.28	274651.00	31.7998	76	209970.97	274300.03	28.8028
80	210038.42	274646.91	31.6792	77	209978.69	274300.88	31.7500
81	210036.97	274647.31	31.7036	78	209978.33	274298.41	31.8200
83	210041.31	274646.13	31.6706	79	209975.88	274298.94	30.4350
84	210039.86	274646.53	31.6748	81	209981.19	274297.91	31.8700
86	210044.22	274645.34	31.7230	82	209979.75	274298.16	31.8450
87	210042.77	274645.72	31.6967	83	209984.47	274299.88	32.2300
89	210047.13	274644.53	31.8567	84	209984.06	274297.38	32.2300
90	210045.67	274644.94	31.7897	85	209982.63	274297.66	32.0500
92	210050.16	274644.28	32.0816	87	209948.36	274301.56	28.7080
93	210048.64	274644.41	31.9692	89	209945.98	274302.19	28.7744
95	210053.06	274643.47	32.4350	90	209946.34	274304.13	28.7748
96	210051.61	274643.88	32.2586	91	209951.03	274303.00	28.5783
98	210055.48	274642.88	32.8072	92	209950.73	274300.94	28.5638
99	210054.27	274643.19	32.6214	95	209955.14	274299.53	28.4772
101	210057.89	274642.28	33.2174	97	209959.84	274300.31	28.4663
102	210056.69	274642.59	33.0125	98	209959.53	274298.13	28.4527
104	210060.31	274641.69	33.6365	101	209963.69	274297.06	28.5263
105	210059.09	274642.00	33.4271	103	209968.19	274298.31	28.6941
107	210062.73	274641.09	34.0200	104	209967.84	274296.03	28.6800
108	210061.53	274641.38	33.8300	107	209972.72	274294.75	29.1080
110	210065.14	274640.50	34.3500	109	209977.95	274295.94	31.8850
111	210063.94	274640.81	34.1850	110	209977.58	274293.47	31.9500
113	210067.56	274639.91	34.6100	113	209980.41	274292.94	32.0000
114	210066.34	274640.19	34.4800	116	209983.23	274292.38	32.2300
115	210070.83	274641.63	34.8250	119	209947.72	274297.56	28.7055
116	210069.98	274639.31	34.8100	120	209946.50	274297.94	28.7446
117	210068.78	274639.63	34.7100	121	209945.27	274298.28	28.7765
119	210034.14	274642.69	31.7071	123	209950.45	274298.91	28.5502
120	210032.69	274643.09	31.7322	124	209950.17	274296.88	28.5357
121	210031.23	274643.47	31.7573	125	209948.94	274297.22	28.6489
122	210031.92	274646.00	31.7782	127	209954.53	274295.31	28.4500
124	210037.05	274641.91	31.6673	128	209952.36	274296.09	28.4874
125	210035.59	274642.28	31.6871	129	209959.22	274295.94	28.4340
127	210039.95	274641.09	31.6686	130	209958.91	274293.75	28.4154
128	210038.50	274641.50	31.6677	131	209956.72	274294.53	28.4299
130	210042.86	274640.31	31.7312	133	209963.03	274292.63	28.5017
131	210041.41	274640.72	31.6997	134	209960.97	274293.19	28.4576
133	210045.77	274639.53	31.8851	135	209967.50	274293.75	28.6612
134	210044.31	274639.91	31.8079	136	209967.16	274291.50	28.6443
136	210048.88	274639.50	32.1401	137	209965.09	274292.06	28.5739
139	210051.78	274638.72	32.5035	139	209972.00	274290.00	29.3711
140	210050.33	274639.13	32.3221	140	209969.58	274290.75	29.0096
142	210054.14	274638.13	32.8758	141	209977.22	274291.00	32.0200
143	210052.97	274638.44	32.6898	142	209976.84	274288.53	32.0900



SED2D 실험후 지점별 노드, x좌표, y좌표, 하상고도 (ELm.).							
1) ST1지점의 결과				2) ST2지점의 결과			
145	210056.50	274637.56	33.2665	143	209974.42	274289.25	30.8600
146	210055.33	274637.84	33.0714	145	209979.63	274287.94	32.1400
148	210058.86	274636.97	33.6559	146	209978.23	274288.25	32.1150
149	210057.69	274637.25	33.4615	147	209982.81	274289.88	32.2250
151	210061.22	274636.41	34.0200	148	209982.41	274287.38	32.2200
152	210060.03	274636.69	33.8400	149	209981.02	274287.66	32.1800
154	210063.58	274635.81	34.3300	151	209947.11	274293.56	28.6801
155	210062.41	274636.13	34.1750	153	209944.63	274294.34	28.7611
157	210065.94	274635.22	34.5700	154	209944.94	274296.31	28.7697
158	210064.75	274635.50	34.4500	155	209949.88	274294.84	28.5221
159	210069.14	274637.00	34.7850	156	209949.59	274292.81	28.5067
160	210068.30	274634.66	34.7600	159	209953.94	274291.09	28.4236
161	210067.13	274634.94	34.6650	161	209958.59	274291.56	28.4076
163	210032.77	274637.69	31.6542	162	209958.28	274289.38	28.3990
164	210031.31	274638.09	31.6740	165	209962.38	274288.16	28.4780
165	210029.84	274638.47	31.6939	167	209966.81	274289.22	28.6274
166	210030.53	274640.97	31.7255	168	209966.47	274286.94	28.6151
168	210035.67	274636.91	31.6349	171	209971.28	274285.25	29.3563
169	210034.22	274637.28	31.6445	173	209976.47	274286.06	32.0900
171	210038.58	274636.09	31.6466	174	209976.09	274283.59	32.0900
172	210037.13	274636.50	31.6406	177	209978.84	274282.97	32.1400
174	210041.50	274635.31	31.7197	180	209981.59	274282.38	32.1900
175	210040.03	274635.69	31.6829	183	209946.50	274289.56	28.6902
177	210044.41	274634.50	31.8841	184	209945.23	274290.00	28.7275
178	210042.95	274634.91	31.8016	185	209943.97	274290.41	28.7584
180	210047.59	274634.75	32.1596	187	209949.31	274290.78	28.5103
184	210050.50	274633.97	32.5335	188	209949.03	274288.72	28.5122
185	210049.05	274634.34	32.3468	189	209947.77	274289.13	28.6309
187	210052.81	274633.38	32.8859	191	209953.34	274286.84	28.4155
188	210051.66	274633.66	32.7104	192	209951.19	274287.78	28.4602
190	210055.11	274632.81	33.2669	193	209957.97	274287.19	28.3921
191	210053.95	274633.09	33.0767	194	209957.66	274285.00	28.3844
193	210057.42	274632.25	33.6365	195	209955.50	274285.94	28.3972
194	210056.27	274632.53	33.4518	197	209961.72	274283.69	28.4697
196	210059.72	274631.69	33.9800	198	209959.69	274284.34	28.4261
197	210058.56	274631.97	33.8100	199	209966.13	274284.69	28.6074
199	210062.03	274631.13	34.2800	200	209965.80	274282.41	28.6006
200	210060.88	274631.41	34.1300	201	209963.75	274283.06	28.5351
202	210064.33	274630.56	34.5200	203	209970.58	274280.53	29.2265
203	210063.19	274630.84	34.4000	204	209968.19	274281.47	28.9149
204	210067.47	274632.31	34.7300	205	209975.72	274281.13	32.0700
205	210066.64	274629.97	34.7000	206	209975.36	274278.63	32.0500
206	210065.48	274630.25	34.6100	207	209972.97	274279.56	30.7700
208	210031.36	274632.69	31.5814	209	209978.06	274278.00	32.1000
209	210029.89	274633.09	31.5961	210	209976.72	274278.31	32.0750
210	210028.44	274633.47	31.6110	211	209981.19	274279.88	32.1700
211	210029.14	274635.97	31.6523	212	209980.77	274277.38	32.1500
213	210034.28	274631.88	31.5724	213	209979.42	274277.69	32.1250
214	210032.81	274632.28	31.5767	215	209945.92	274285.56	28.6938

SED2D 실험후 지점별 노드, x좌표, y좌표, 하상고도 (ELm.).							
1) ST1지점의 결과				2) ST2지점의 결과			
216	210037.19	274631.09	31.6043	217	209943.38	274286.47	28.7721
217	210035.73	274631.50	31.5882	218	209943.67	274288.44	28.7652
219	210040.11	274630.28	31.6878	219	209948.75	274286.69	28.5140
220	210038.66	274630.69	31.6459	220	209948.47	274284.66	28.5158
222	210043.03	274629.50	31.8526	223	209952.75	274282.63	28.4164
223	210041.58	274629.91	31.7700	225	209957.34	274282.81	28.3835
225	210046.30	274630.00	32.1393	226	209957.02	274280.59	28.3816
229	210049.22	274629.19	32.5145	229	209961.06	274279.25	28.4652
230	210047.77	274629.59	32.3274	231	209965.45	274280.13	28.5987
232	210051.47	274628.63	32.8580	232	209965.11	274277.88	28.5960
233	210050.34	274628.91	32.6856	235	209969.86	274275.78	29.0721
235	210053.73	274628.09	33.2182	237	209975.00	274276.16	32.0350
236	210052.61	274628.34	33.0380	238	209974.63	274273.69	32.0200
238	210055.98	274627.53	33.5768	241	209977.28	274273.03	32.0600
239	210054.86	274627.81	33.3979	244	209979.95	274272.38	32.1100
241	210058.23	274626.97	33.9100	247	209945.34	274281.56	28.6957
242	210057.11	274627.25	33.7450	248	209944.06	274282.06	28.7380
244	210060.50	274626.41	34.2000	249	209942.80	274282.56	28.7748
245	210059.38	274626.69	34.0550	251	209948.19	274282.63	28.5177
247	210062.75	274625.88	34.4400	252	209947.89	274280.59	28.5195
248	210061.63	274626.13	34.3200	253	209946.63	274281.06	28.6391
249	210065.81	274627.63	34.6650	255	209952.14	274278.41	28.4182
250	210065.00	274625.31	34.6300	256	209950.02	274279.50	28.4657
251	210063.88	274625.59	34.5350	257	209956.70	274278.41	28.3807
253	210029.94	274627.69	31.4985	258	209956.39	274276.22	28.3807
254	210028.47	274628.09	31.5033	259	209954.27	274277.31	28.3963
255	210027.00	274628.50	31.5082	261	209960.41	274274.78	28.4615
256	210027.72	274631.00	31.5597	262	209958.41	274275.50	28.4197
258	210032.88	274626.88	31.4997	263	209964.77	274275.59	28.5892
259	210031.41	274627.28	31.4990	264	209964.42	274273.31	28.5832
261	210035.80	274626.09	31.5420	265	209962.41	274274.06	28.5210
262	210034.33	274626.50	31.5207	267	209969.16	274271.03	28.9276
264	210038.73	274625.28	31.6262	268	209966.78	274272.19	28.7559
265	210037.27	274625.69	31.5838	269	209974.25	274271.22	32.0000
267	210041.66	274624.50	31.7919	270	209973.88	274268.75	31.9800
268	210040.20	274624.88	31.7089	271	209971.52	274269.88	30.5800
270	210045.02	274625.22	32.0893	273	209976.50	274268.06	32.0200
274	210047.94	274624.44	32.4594	274	209975.19	274268.41	32.0000
275	210046.47	274624.81	32.2749	275	209979.53	274269.88	32.0900
277	210050.14	274623.88	32.7808	276	209979.13	274267.34	32.0700
278	210049.05	274624.16	32.6208	277	209977.81	274267.72	32.0450
280	210052.36	274623.34	33.1305	279	209944.75	274277.56	28.7084
281	210051.25	274623.63	32.9556	281	209942.20	274278.63	28.7767
283	210054.56	274622.81	33.4875	282	209942.50	274280.59	28.7757
284	210053.47	274623.06	33.3093	283	209947.59	274278.56	28.5222
286	210056.77	274622.25	33.8200	284	209947.31	274276.50	28.5232
287	210055.66	274622.53	33.6550	287	209951.55	274274.19	28.4119
289	210058.97	274621.72	34.1100	289	209956.08	274274.03	28.3766
290	210057.88	274622.00	33.9650	290	209955.77	274271.84	28.3716

SED2D 실험후 지점별 노드, x좌표, y좌표, 하상고도 (ELm.).							
1) ST1지점의 결과				2) ST2지점의 결과			
292	210061.19	274621.16	34.3500	293	209959.75	274270.31	28.4606
293	210060.08	274621.44	34.2300	295	209964.08	274271.06	28.5782
294	210064.19	274622.97	34.5900	296	209963.73	274268.78	28.5723
295	210063.39	274620.63	34.5500	299	209968.44	274266.31	28.7768
296	210062.28	274620.88	34.4500	301	209973.50	274266.28	31.9650
298	210028.52	274622.69	31.4148	302	209973.13	274263.81	31.9500
299	210027.05	274623.09	31.4145	305	209975.72	274263.09	31.9800
300	210025.58	274623.50	31.4144	308	209978.30	274262.34	32.0300
301	210026.28	274626.00	31.4614	311	209944.17	274273.56	28.7102
303	210031.45	274621.88	31.4262	312	209942.88	274274.13	28.7467
304	210029.98	274622.28	31.4203	313	209941.59	274274.69	28.7785
306	210034.41	274621.09	31.4690	315	209947.03	274274.47	28.5300
307	210032.92	274621.50	31.4473	316	209946.75	274272.44	28.5359
309	210037.34	274620.28	31.5540	317	209945.47	274273.00	28.6555
310	210035.88	274620.69	31.5112	319	209950.94	274269.97	28.4137
312	210040.28	274619.47	31.7209	320	209948.84	274271.19	28.4721
313	210038.81	274619.88	31.6370	321	209955.45	274269.66	28.3725
315	210043.72	274620.47	32.0002	322	209955.14	274267.47	28.3716
319	210046.66	274619.66	32.3557	323	209953.03	274268.72	28.3899
320	210045.19	274620.06	32.1768	325	209959.09	274265.88	28.4578
322	210048.81	274619.13	32.6706	326	209957.13	274266.66	28.4129
323	210047.73	274619.41	32.5137	327	209963.39	274266.53	28.5655
325	210050.98	274618.59	33.0104	328	209963.06	274264.25	28.5577
326	210049.91	274618.88	32.8406	329	209961.08	274265.06	28.5064
328	210053.14	274618.06	33.3603	331	209967.72	274261.56	28.7349
329	210052.06	274618.31	33.1853	332	209965.39	274262.91	28.6472
331	210055.31	274617.53	33.6900	333	209972.75	274261.34	31.9350
332	210054.22	274617.81	33.5250	334	209972.39	274258.88	31.9200
334	210057.47	274617.00	33.9900	335	209970.06	274260.22	30.4550
335	210056.39	274617.25	33.8400	337	209974.94	274258.13	31.9400
337	210059.63	274616.47	34.2500	338	209973.66	274258.50	31.9300
338	210058.55	274616.75	34.1200	339	209977.89	274259.84	32.0100
339	210062.59	274618.28	34.5000	340	209977.48	274257.34	31.9900
340	210061.80	274615.94	34.4500	341	209976.22	274257.75	31.9650
341	210060.72	274616.19	34.3500	343	209943.59	274269.56	28.7121
343	210027.09	274617.72	31.3207	345	209941.00	274270.75	28.7803
344	210025.61	274618.09	31.3204	346	209941.30	274272.72	28.7794
345	210024.13	274618.50	31.3203	347	209946.47	274270.41	28.5368
346	210024.84	274621.00	31.3673	348	209946.17	274268.38	28.5386
348	210030.05	274616.91	31.3421	351	209950.34	274265.75	28.4064
349	210028.56	274617.31	31.3312	353	209954.83	274265.28	28.3666
351	210033.00	274616.09	31.3949	354	209954.52	274263.09	28.3616
352	210031.52	274616.50	31.3682	357	209958.44	274261.41	28.4533
354	210035.95	274615.28	31.4806	359	209962.72	274262.00	28.5532
355	210034.47	274615.69	31.4372	360	209962.38	274259.72	28.5486
357	210038.91	274614.47	31.6195	363	209967.00	274256.81	28.7121
358	210037.44	274614.88	31.5495	365	209972.02	274256.41	31.8500
360	210042.42	274615.72	31.9103	366	209971.64	274253.94	31.7800
364	210045.38	274614.91	32.2309	369	209974.16	274253.13	31.9000

SED2D 실험후 지점별 노드, x좌표, y좌표, 하상고도 (ELm.).							
1) ST1지점의 결과				2) ST2지점의 결과			
365	210043.91	274615.31	32.0710	372	209976.66	274252.34	31.9500
367	210047.50	274614.38	32.5183	375	209943.00	274265.56	28.7130
368	210046.44	274614.63	32.3745	376	209941.70	274266.19	28.7494
370	210049.63	274613.84	32.8473	377	209940.41	274266.81	28.7812
371	210048.56	274614.13	32.6827	379	209945.88	274266.34	28.5396
373	210051.73	274613.34	33.1966	380	209945.59	274264.31	28.5405
374	210050.67	274613.59	33.0218	381	209944.30	274264.94	28.6601
376	210053.86	274612.81	33.5300	383	209949.73	274261.50	28.4074
377	210052.80	274613.06	33.3650	384	209947.67	274262.91	28.4716
379	210055.98	274612.28	33.8500	385	209954.19	274260.91	28.3607
380	210054.92	274612.56	33.6900	386	209953.88	274258.72	28.3598
382	210058.11	274611.75	34.1200	387	209951.81	274260.13	28.3808
383	210057.05	274612.00	33.9850	389	209957.78	274256.94	28.4396
384	210061.00	274613.59	34.3950	390	209955.83	274257.84	28.3983
385	210060.22	274611.25	34.3400	391	209962.03	274257.44	28.5440
386	210059.16	274611.50	34.2300	392	209961.69	274255.16	28.5413
388	210025.66	274612.72	31.2378	393	209959.73	274256.06	28.4886
389	210024.17	274613.13	31.2374	395	209966.30	274252.09	28.6957
390	210022.69	274613.53	31.2373	397	209971.28	274251.47	31.6950
391	210023.41	274616.03	31.2786	398	209970.91	274249.00	31.6100
393	210028.63	274611.91	31.2594	399	209968.59	274250.53	30.2900
394	210027.14	274612.31	31.2484	401	209973.38	274248.16	31.8600
396	210031.59	274611.09	31.3131	402	209972.14	274248.56	31.7350
397	210030.11	274611.50	31.2859	403	209976.25	274249.84	31.9300
399	210034.56	274610.25	31.3898	404	209975.83	274247.34	31.9100
400	210033.08	274610.69	31.3509	405	209974.59	274247.75	31.8850
402	210037.53	274609.44	31.5206	407	209942.41	274261.56	28.7139
403	210036.05	274609.84	31.4549	409	209939.80	274262.88	28.7921
405	210041.13	274610.94	31.7687	410	209940.09	274264.84	28.7862
409	210044.09	274610.13	32.0707	411	209945.31	274262.25	28.5405
410	210042.61	274610.53	31.9205	412	209945.03	274260.22	28.5405
412	210046.17	274609.63	32.3408	415	209949.14	274257.28	28.4064
413	210045.14	274609.88	32.2058	417	209953.56	274256.53	28.3539
415	210048.27	274609.09	32.6496	418	209953.25	274254.34	28.3480
416	210047.22	274609.38	32.4955	421	209957.13	274252.50	28.4350
418	210050.34	274608.59	32.9890	423	209961.34	274252.88	28.5376
419	210049.30	274608.84	32.8195	424	209961.00	274250.63	28.5349
421	210052.42	274608.09	33.3400	428	209965.61	274247.53	28.6802
422	210051.38	274608.34	33.1650	431	209970.53	274246.53	31.5300
424	210054.52	274607.56	33.6700	432	209970.16	274244.06	31.4500
425	210053.47	274607.81	33.5050	434	209964.89	274242.81	28.6684
427	210056.59	274607.06	33.9600	437	209972.58	274243.19	31.8300
428	210055.56	274607.31	33.8150	440	209975.02	274242.34	31.8700
429	210059.44	274608.88	34.2800	443	209941.83	274257.53	28.7139
430	210058.67	274606.53	34.2200	444	209940.52	274258.25	28.7553
431	210057.63	274606.81	34.0900	445	209939.20	274258.94	28.7921
433	210024.22	274607.72	31.1473	447	209944.75	274258.19	28.5405
434	210022.73	274608.13	31.1517	448	209944.45	274256.16	28.5405
435	210021.23	274608.53	31.1565	449	209943.14	274256.84	28.6620

SED2D 실험후 지점별 노드, x좌표, y좌표, 하상고도 (ELm.).							
1) ST1지점의 결과				2) ST2지점의 결과			
436	210021.97	274611.03	31.1963	451	209948.53	274253.06	28.3964
438	210027.20	274606.91	31.1697	453	209952.94	274252.16	28.3471
439	210025.72	274607.31	31.1582	454	209952.61	274249.97	28.3452
441	210030.19	274606.09	31.2243	455	209950.56	274251.50	28.3681
442	210028.70	274606.50	31.1966	457	209956.45	274248.03	28.4314
444	210033.17	274605.25	31.3018	458	209954.53	274249.00	28.3860
445	210031.69	274605.66	31.2628	460	209960.30	274246.09	28.5312
447	210036.16	274604.44	31.4115	461	209958.38	274247.06	28.4795
448	210034.66	274604.84	31.3564	462	209962.95	274246.81	28.6048
449	210038.69	274607.81	31.5813	464	209959.61	274241.53	28.5294
450	210039.84	274606.19	31.6409	465	209959.95	274243.81	28.5303
452	210038.55	274601.44	31.5014	466	209969.78	274241.59	31.3700
453	210037.34	274602.94	31.4568	467	209969.41	274239.13	31.2900
456	210042.81	274605.38	31.9005	468	209966.78	274238.59	30.1150
457	210041.33	274605.78	31.7723	469	209964.17	274238.06	28.6831
459	210044.86	274604.88	32.1308	472	209971.80	274238.22	31.8000
460	210043.84	274605.13	32.0158	473	209970.59	274238.69	31.5450
462	210046.91	274604.38	32.4207	474	209961.55	274237.53	28.6049
463	210045.89	274604.63	32.2757	475	209958.92	274237.00	28.5385
465	210048.95	274603.84	32.7504	476	209959.27	274239.25	28.5349
466	210047.94	274604.09	32.5855	477	209974.59	274239.81	31.8500
468	210051.00	274603.34	33.1001	478	209974.19	274237.31	31.8300
469	210049.98	274603.59	32.9253	479	209973.00	274237.78	31.8150
471	210053.05	274602.84	33.4500	481	209941.23	274253.53	28.7148
472	210052.03	274603.09	33.2750	483	209938.61	274255.00	28.8222
474	210055.09	274602.34	33.7700	484	209938.91	274256.97	28.8071
475	210054.06	274602.59	33.6100	485	209944.16	274254.13	28.5405
476	210057.91	274604.19	34.1400	486	209943.88	274252.09	28.5396
477	210057.14	274601.81	34.0600	490	209947.95	274249.00	28.3937
478	210056.13	274602.06	33.9150	493	209952.30	274247.78	28.3384
480	210022.78	274602.72	31.0610	494	209951.98	274245.59	28.3325
481	210021.30	274603.16	31.0705	496	209947.34	274244.78	28.3810
482	210019.80	274603.56	31.0803	499	209955.80	274243.56	28.4177
483	210020.52	274606.06	31.1179	502	209957.03	274238.06	28.4667
485	210025.78	274601.91	31.0635	503	209955.14	274239.13	28.4050
486	210024.28	274602.31	31.0620	505	209969.03	274236.66	31.2100
488	210028.78	274601.09	31.0985	506	209968.66	274234.19	31.1300
489	210027.28	274601.50	31.0807	508	209963.44	274233.31	28.6649
491	210031.78	274600.25	31.1759	511	209971.02	274233.25	31.7600
492	210030.28	274600.66	31.1369	514	209958.23	274232.47	28.4891
494	210034.78	274599.44	31.2846	515	209958.58	274234.75	28.5257
495	210033.28	274599.84	31.2302	517	209973.38	274232.31	31.7800
497	210037.25	274596.69	31.3734	520	209954.47	274234.66	28.3840
500	210041.53	274600.63	31.7170	523	209940.66	274249.53	28.7148
501	210040.03	274601.03	31.6097	524	209939.33	274250.31	28.7862
503	210040.25	274595.84	31.5581	525	209938.02	274251.06	28.8522
504	210038.75	274596.25	31.4661	528	209943.30	274248.00	28.5377
506	210043.55	274600.13	31.9108	529	209941.97	274248.75	28.6620
507	210042.55	274600.38	31.8148	530	209945.63	274248.50	28.4639

SED2D 실험후 지점별 노드, x좌표, y좌표, 하상고도 (ELm.).							
1) ST1지점의 결과				2) ST2지점의 결과			
509	210045.56	274599.63	32.1607	532	209942.72	274243.94	28.5259
510	210044.55	274599.88	32.0357	533	209943.00	274245.97	28.5327
512	210047.58	274599.09	32.4606	534	209951.66	274243.41	28.3307
513	210046.56	274599.34	32.3106	535	209951.34	274241.22	28.3279
515	210049.59	274598.59	32.8103	536	209949.03	274240.88	28.3489
516	210048.58	274598.84	32.6354	537	209946.73	274240.53	28.3755
518	210051.61	274598.09	33.1700	539	209953.23	274240.16	28.3628
519	210050.59	274598.34	32.9900	540	209944.44	274240.22	28.4466
521	210053.63	274597.59	33.5300	541	209942.13	274239.88	28.5222
522	210052.63	274597.84	33.3500	542	209942.42	274241.91	28.5241
523	210056.39	274599.44	33.9600	544	209950.70	274236.84	28.3178
524	210055.64	274597.09	33.8600	545	209951.03	274239.03	28.3224
525	210054.63	274597.34	33.6950	546	209968.28	274231.72	31.0450
527	210021.36	274597.75	30.9286	547	209967.91	274229.25	30.9618
528	210019.84	274598.16	30.9681	548	209965.31	274228.91	29.9603
529	210018.34	274598.56	31.0078	549	209962.72	274228.56	28.9367
530	210019.06	274601.06	31.0436	552	209970.23	274228.28	31.7300
532	210024.36	274596.91	30.9010	553	209969.06	274228.75	31.3450
533	210022.86	274597.31	30.9145	554	209960.13	274228.25	28.7156
535	210027.38	274596.06	30.9156	555	209957.53	274227.91	28.5220
536	210025.88	274596.50	30.9080	556	209957.88	274230.19	28.5385
538	210030.39	274595.25	30.9819	557	209972.97	274229.81	31.7600
539	210028.88	274595.66	30.9485	558	209972.55	274227.31	31.7400
541	210033.39	274594.41	31.0988	559	209971.39	274227.78	31.7350
542	210031.89	274594.84	31.0403	560	209955.66	274229.06	28.4238
545	210035.95	274591.91	31.2053	561	209953.80	274230.19	28.3594
548	210038.97	274591.09	31.4486	563	209951.94	274231.34	28.3222
549	210037.47	274591.50	31.3272	564	209950.08	274232.47	28.2941
551	210042.23	274595.34	31.7304	565	209950.39	274234.66	28.3083
552	210041.25	274595.59	31.6447	567	209940.06	274245.53	28.7239
554	210040.92	274590.59	31.6306	569	209937.41	274247.13	28.8722
555	210039.95	274590.84	31.5398	570	209937.72	274249.09	28.8622
557	210044.22	274594.84	31.9308	572	209940.80	274240.69	28.6601
558	210043.23	274595.09	31.8308	573	209939.47	274241.53	28.7239
560	210046.20	274594.38	32.1906	576	209946.13	274236.31	28.3591
561	210045.22	274594.63	32.0607	579	209941.55	274235.81	28.5177
563	210048.19	274593.88	32.5004	580	209941.84	274237.84	28.5195
564	210047.20	274594.13	32.3456	582	209938.88	274237.53	28.7239
566	210050.19	274593.38	32.8602	584	209947.80	274232.28	28.3197
567	210049.19	274593.63	32.6803	585	209945.52	274232.09	28.3508
569	210052.17	274592.88	33.2300	587	209967.53	274226.75	30.8846
570	210051.17	274593.13	33.0450	588	209967.16	274224.28	30.8064
571	210054.91	274594.75	33.7300	590	209962.00	274223.84	28.8846
572	210054.16	274592.38	33.6000	593	209969.64	274223.28	31.7000
573	210053.16	274592.63	33.4150	596	209956.84	274223.38	28.5833
575	210019.92	274592.75	30.7489	597	209957.19	274225.63	28.5687
576	210018.41	274593.16	30.8532	599	209972.13	274222.25	31.7100
577	210016.89	274593.59	30.9578	602	209953.14	274225.75	28.3630
578	210017.61	274596.06	30.9828	605	209949.44	274228.09	28.2831

SED2D 실험후 지점별 노드, x좌표, y좌표, 하상고도 (ELm.).							
1) ST1지점의 결과				2) ST2지점의 결과			
580	210022.94	274591.91	30.6211	606	209949.75	274230.28	28.2886
581	210021.42	274592.34	30.6848	608	209944.91	274227.88	28.3435
583	210025.97	274591.06	30.5847	610	209938.14	274242.38	28.8162
584	210024.45	274591.50	30.6027	611	209936.81	274243.19	28.9022
586	210029.00	274590.25	30.6389	614	209936.22	274239.25	28.9222
587	210027.48	274590.66	30.6117	615	209936.52	274241.22	28.9122
589	210032.02	274589.41	30.8131	616	209943.23	274231.91	28.4297
590	210030.50	274589.81	30.7260	617	209940.97	274231.72	28.5113
593	210034.66	274587.16	31.0071	618	209941.25	274233.75	28.5149
596	210037.69	274586.31	31.3792	619	209939.63	274232.63	28.6574
597	210036.17	274586.75	31.1933	620	209938.30	274233.53	28.7230
599	210039.63	274585.84	31.6406	622	209936.95	274234.44	28.8403
600	210038.66	274586.06	31.5101	623	209935.61	274235.34	28.9522
602	210042.89	274590.09	31.8209	626	209940.38	274227.66	28.5076
603	210041.91	274590.34	31.7259	627	209940.67	274229.69	28.5094
605	210041.56	274585.34	31.9208	628	209966.78	274221.81	30.7041
606	210040.59	274585.59	31.7809	629	209966.41	274219.34	30.5980
608	210044.84	274589.63	32.0507	630	209963.84	274219.22	29.7459
609	210043.88	274589.84	31.9358	631	209961.28	274219.09	28.8654
611	210046.81	274589.13	32.3006	634	209969.06	274218.28	31.6700
612	210045.83	274589.38	32.1756	635	209967.73	274218.81	31.1500
614	210048.77	274588.63	32.6004	636	209958.70	274218.97	28.7504
615	210047.80	274588.88	32.4505	637	209956.14	274218.84	28.6282
617	210050.73	274588.16	32.9400	638	209956.50	274221.13	28.6135
618	210049.75	274588.38	32.7700	639	209971.91	274219.75	31.6950
619	210053.42	274590.00	33.4450	640	209971.70	274217.22	31.6800
620	210052.69	274587.66	33.2900	641	209970.38	274217.75	31.6750
621	210051.72	274587.91	33.1150	642	209954.31	274220.06	28.4947
623	210018.48	274587.75	30.3900	643	209952.47	274221.28	28.3786
624	210016.95	274588.19	30.6089	645	209950.63	274222.50	28.3186
625	210015.44	274588.59	30.8283	646	209948.80	274223.72	28.2777
626	210016.16	274591.09	30.8931	647	209949.13	274225.91	28.2791
628	210021.52	274586.91	30.0915	648	209946.53	274223.69	28.3015
629	210020.00	274587.34	30.2405	649	209944.28	274223.66	28.3326
631	210024.56	274586.06	30.0329	651	209942.03	274223.63	28.4183
632	210023.05	274586.50	30.0621	652	209939.78	274223.59	28.5076
634	210027.59	274585.25	30.0847	653	209940.08	274225.63	28.5076
635	210026.08	274585.66	30.0587	655	209937.70	274229.53	28.7230
637	210030.64	274584.41	30.3066	658	209935.02	274231.41	28.9812
638	210029.13	274584.81	30.1956	659	209935.31	274233.38	28.9662
641	210033.36	274582.41	30.4087	660	209938.44	274224.56	28.6574
642	210032.00	274583.41	30.3577	661	209937.11	274225.53	28.7230
644	210036.41	274581.56	31.1397	663	209966.03	274216.88	30.4942
645	210034.89	274581.97	30.7743	664	209965.66	274214.41	30.3913
647	210038.33	274581.06	31.5905	666	209960.55	274214.34	28.8206
648	210037.38	274581.31	31.3652	669	209968.53	274213.28	31.6400
650	210040.23	274580.59	32.0206	672	209955.44	274214.31	28.6346
651	210039.28	274580.84	31.8056	673	209955.78	274216.56	28.6328
653	210043.50	274584.88	32.1806	675	209971.39	274212.16	31.6500

SED2D 실험후 지점별 노드, x좌표, y좌표, 하상고도 (ELm.).							
1) ST1지점의 결과				2) ST2지점의 결과			
654	210042.53	274585.13	32.0507	678	209951.80	274216.81	28.3942
656	210042.16	274580.09	32.4704	681	209948.14	274219.34	28.2906
657	210041.20	274580.34	32.2455	682	209948.47	274221.53	28.2832
659	210045.44	274584.38	32.4005	684	209943.67	274219.44	28.3372
660	210044.47	274584.63	32.2906	687	209939.19	274219.53	28.5113
662	210047.38	274583.88	32.5904	688	209939.48	274221.56	28.5085
663	210046.41	274584.13	32.4954	690	209936.50	274221.53	28.7239
665	210049.31	274583.41	32.7900	692	209935.77	274226.50	28.8653
666	210048.34	274583.66	32.6900	693	209934.42	274227.47	29.0012
667	210051.97	274585.28	33.1500	696	209933.81	274223.53	29.0322
668	210051.25	274582.91	33.0100	697	209934.13	274225.50	29.0162
669	210050.28	274583.16	32.9000	698	209965.28	274211.94	30.2853
671	210017.05	274582.78	30.0864	699	209964.91	274209.47	30.1829
672	210015.52	274583.19	30.1568	700	209962.36	274209.56	29.4918
673	210013.98	274583.63	30.2269	701	209959.83	274209.63	28.7769
674	210014.72	274586.09	30.5285	704	209968.00	274208.28	31.6100
676	210020.09	274581.91	30.0254	705	209966.45	274208.88	30.9550
677	210018.56	274582.34	30.0563	706	209957.28	274209.69	28.7071
679	210023.16	274581.06	29.9547	707	209954.73	274209.75	28.6337
680	210021.63	274581.50	29.9900	708	209955.09	274212.03	28.6355
682	210026.20	274580.22	30.0049	709	209971.23	274209.63	31.6350
683	210024.67	274580.66	29.9796	710	209971.08	274207.09	31.6200
685	210029.27	274579.38	30.1464	711	209969.53	274207.69	31.6150
686	210027.73	274579.81	30.0755	712	209952.94	274211.06	28.5149
688	210032.06	274577.63	30.2382	713	209951.13	274212.38	28.4007
689	210030.66	274578.50	30.1922	715	209949.31	274213.66	28.3429
691	210035.13	274576.78	30.5999	716	209947.50	274214.97	28.2970
692	210033.59	274577.22	30.4191	717	209947.81	274217.16	28.2938
694	210037.03	274576.31	31.2307	718	209945.28	274215.09	28.3107
695	210036.08	274576.56	30.9153	719	209943.05	274215.22	28.3363
697	210038.92	274575.84	31.8908	721	209940.83	274215.34	28.4183
698	210037.98	274576.06	31.5609	722	209938.59	274215.44	28.5077
700	210040.83	274575.34	32.5704	723	209938.89	274217.50	28.5090
701	210039.88	274575.59	32.2306	724	209937.25	274216.50	28.6629
703	210044.08	274579.63	32.9500	725	209935.89	274217.53	28.7357
704	210043.13	274579.88	32.7100	727	209934.55	274218.56	28.9022
706	210042.73	274574.88	32.9600	728	209933.20	274219.59	29.0631
707	210041.78	274575.13	32.7650	730	209964.53	274207.00	30.0823
709	210046.00	274579.13	33.2700	731	209964.16	274204.53	29.9827
710	210045.03	274579.38	33.1100	733	209959.09	274204.88	28.7422
712	210047.91	274578.66	33.3900	736	209967.45	274203.28	31.5800
713	210046.95	274578.88	33.3300	739	209954.03	274205.22	28.6263
714	210050.53	274580.53	33.2150	740	209954.38	274207.50	28.6300
715	210049.83	274578.16	33.4200	742	209970.77	274202.00	31.5800
716	210048.88	274578.41	33.4050	745	209950.44	274207.91	28.3989
718	210015.61	274577.78	30.1604	748	209946.84	274210.59	28.3098
719	210014.08	274578.19	30.2507	749	209947.17	274212.78	28.3034
720	210012.55	274578.63	30.3407	751	209942.42	274211.00	28.3473
721	210013.27	274581.13	30.2842	754	209938.00	274211.38	28.5150



SED2D 실험후 지점별 노드, x좌표, y좌표, 하상고도 (ELm.).							
1) ST1지점의 결과				2) ST2지점의 결과			
723	210018.67	274576.94	30.1358	755	209938.30	274213.41	28.5113
724	210017.14	274577.38	30.1477	757	209935.33	274213.53	28.7367
726	210021.75	274576.06	30.1001	760	209932.66	274215.66	29.0840
727	210020.22	274576.50	30.1176	761	209932.94	274217.63	29.0731
729	210024.81	274575.22	30.1099	762	209963.78	274202.06	29.8849
730	210023.28	274575.66	30.1044	763	209963.39	274199.59	29.7853
732	210027.88	274574.38	30.1724	764	209960.88	274199.88	29.2550
733	210026.34	274574.81	30.1409	765	209958.36	274200.13	28.7074
735	210030.78	274572.88	30.2156	768	209966.92	274198.28	31.5500
736	210029.33	274573.63	30.1939	769	209965.16	274198.94	30.7550
738	210033.84	274572.03	30.3790	770	209955.83	274200.41	28.6614
739	210032.31	274572.47	30.2974	771	209953.31	274200.69	28.6154
741	210035.73	274571.56	30.6009	772	209953.67	274202.94	28.6218
742	210034.80	274571.78	30.4905	773	209970.61	274199.47	31.5650
744	210037.63	274571.06	30.8312	774	209970.45	274196.94	31.5500
745	210036.69	274571.31	30.7162	775	209968.69	274197.63	31.5500
747	210039.52	274570.59	31.0812	776	209951.53	274202.06	28.5031
748	210038.56	274570.81	30.9562	777	209949.75	274203.44	28.3926
750	210041.41	274570.09	31.2912	779	209947.97	274204.84	28.3489
751	210040.47	274570.34	31.1862	780	209946.19	274206.22	28.3117
753	210044.64	274574.38	33.1300	781	209946.52	274208.41	28.3112
754	210043.69	274574.63	33.0450	782	209944.00	274206.50	28.3245
756	210043.30	274569.63	31.4612	783	209941.80	274206.78	28.3483
757	210042.34	274569.88	31.3762	785	209939.59	274207.03	28.4325
759	210046.53	274573.91	33.2100	786	209937.39	274207.31	28.5232
760	210045.59	274574.13	33.1700	787	209937.69	274209.34	28.5196
761	210049.13	274575.78	33.2850	788	209936.06	274208.41	28.6702
762	210048.44	274573.41	33.1500	789	209934.75	274209.50	28.7385
763	210047.48	274573.66	33.1800	791	209933.44	274210.63	28.9190
765	210014.17	274572.78	30.2010	792	209932.13	274211.72	29.0949
766	210012.64	274573.22	30.2062	794	209963.00	274197.13	29.6834
767	210011.09	274573.63	30.2112	795	209962.61	274194.66	29.5925
768	210011.81	274576.13	30.2762	797	209957.59	274195.53	28.6727
770	210017.27	274571.94	30.1935	800	209966.38	274193.28	31.5200
771	210015.72	274572.38	30.1992	803	209952.56	274196.38	28.6007
773	210020.34	274571.06	30.1785	804	209952.94	274198.53	28.6090
774	210018.81	274571.50	30.1837	806	209970.14	274191.88	31.5500
776	210023.42	274570.22	30.1794	809	209949.05	274199.13	28.3808
777	210021.88	274570.66	30.1782	812	209945.53	274201.84	28.3190
779	210026.50	274569.38	30.1841	813	209945.86	274204.03	28.3163
780	210024.97	274569.81	30.1814	815	209941.16	274202.56	28.3593
782	210029.48	274568.13	30.1901	818	209936.78	274203.25	28.5324
783	210028.00	274568.75	30.1868	819	209937.09	274205.28	28.5278
785	210032.56	274567.28	30.1977	821	209934.25	274205.50	28.7494
786	210031.02	274567.69	30.1943	824	209931.72	274207.75	29.1049
788	210034.45	274566.78	30.2112	825	209931.92	274209.75	29.0999
789	210033.50	274567.03	30.2050	826	209962.22	274192.19	29.4942
791	210036.33	274566.31	30.2312	827	209961.83	274189.72	29.3759
792	210035.39	274566.53	30.2212	828	209959.33	274190.31	29.0198

SED2D 실험후 지점별 노드, x좌표, y좌표, 하상고도 (ELm.).							
1) ST1지점의 결과				2) ST2지점의 결과			
861	210008.20	274563.66	32.4000	906	209969.20	274176.69	30.6574
862	210008.94	274566.16	32.4150	907	209966.95	274177.50	30.5992
864	210014.42	274561.94	30.2360	908	209948.38	274184.38	28.3755
865	210012.88	274562.38	31.3850	909	209946.38	274184.34	28.2797
867	210017.53	274561.06	30.2433	911	209945.42	274190.88	28.3208
868	210015.97	274561.50	30.2486	912	209943.30	274190.47	28.3200
870	210020.64	274560.22	30.2223	915	209942.83	274187.38	28.3045
871	210019.09	274560.63	30.2315	916	209943.06	274188.94	28.3122
873	210023.75	274559.34	30.2233	917	209944.38	274184.31	28.2784
874	210022.19	274559.78	30.2212	918	209942.36	274184.28	28.2826
876	210026.89	274558.59	30.2169	919	209942.59	274185.81	28.2940
877	210025.31	274558.97	30.2180	920	209941.13	274191.22	28.3502
879	210030.00	274557.75	30.2791	921	209938.94	274191.97	28.3877
880	210028.44	274558.19	30.2615	923	209936.77	274192.72	28.5011
882	210031.89	274557.25	31.2300	924	209934.59	274193.47	28.6127
883	210030.94	274557.50	30.8250	925	209934.98	274194.88	28.5985
885	210033.78	274556.75	32.7100	926	209933.58	274194.06	28.7467
886	210032.84	274557.00	31.9700	927	209932.58	274194.66	28.8367
888	210035.67	274556.28	32.9900	929	209931.56	274195.25	28.9686
889	210034.72	274556.50	32.8500	930	209930.56	274195.88	29.0995
891	210037.56	274555.78	32.8300	932	209959.81	274177.41	29.0572
892	210036.63	274556.03	32.9100	933	209959.44	274174.94	28.9877
894	210039.44	274555.28	32.8900	935	209954.63	274177.53	28.4699
895	210038.50	274555.53	32.8600	938	209964.16	274173.28	30.1566
897	210041.33	274554.78	33.0000	941	209949.81	274180.13	28.4195
898	210040.38	274555.03	32.9450	942	209950.09	274182.25	28.4445
899	210043.84	274556.69	32.7400	944	209968.89	274171.63	30.5401
900	210043.22	274554.31	32.9900	947	209945.89	274180.00	28.2532
901	210042.28	274554.56	32.9950	950	209941.98	274179.88	28.2361
903	210009.89	274557.81	28.6313	951	209942.17	274182.06	28.2598
904	210008.33	274558.25	28.6513	953	209938.55	274189.38	28.3786
905	210006.77	274558.69	28.6713	955	209940.27	274185.53	28.3183
906	210007.48	274561.16	30.5350	956	209938.16	274186.81	28.3604
908	210013.02	274556.94	28.6292	959	209937.83	274182.53	28.3229
909	210011.45	274557.38	28.6313	962	209934.27	274191.41	28.6954
911	210016.13	274556.06	28.6155	963	209934.42	274192.44	28.6554
912	210014.56	274556.50	28.6223	965	209932.23	274191.66	28.8986
914	210019.25	274555.19	28.6112	968	209930.20	274191.91	29.1413
915	210017.69	274555.63	28.6129	969	209930.39	274193.88	29.1204
917	210022.38	274554.34	28.6108	970	209959.06	274172.47	28.9094
918	210020.81	274554.75	28.6103	971	209958.70	274170.00	28.8367
920	210025.59	274553.84	28.6145	972	209956.33	274171.47	28.6242
921	210023.98	274554.09	28.6117	973	209953.97	274172.94	28.4163
923	210028.72	274552.97	28.6294	976	209963.64	274168.28	29.7803
924	210027.16	274553.41	28.6222	977	209961.17	274169.13	29.3707
926	210030.61	274552.47	28.6313	978	209951.61	274174.41	28.3838
927	210029.66	274552.72	28.6313	979	209949.25	274175.88	28.3604
929	210032.52	274552.00	28.6313	980	209949.53	274178.00	28.3904
930	210031.56	274552.25	28.6313	981	209968.73	274169.09	30.8200

SED2D 실험후 지점별 노드, x좌표, y좌표, 하상고도 (ELm.).							
1) ST1지점의 결과				2) ST2지점의 결과			
932	210034.41	274551.50	28.6313	982	209968.58	274166.56	31.1100
933	210033.47	274551.75	28.6313	983	209966.11	274167.44	30.4350
935	210036.30	274551.00	28.6313	984	209947.34	274175.78	28.2972
936	210035.34	274551.25	28.6313	985	209945.42	274175.69	28.2404
938	210038.19	274550.50	28.6313	987	209943.50	274175.56	28.2209
939	210037.25	274550.75	28.6313	988	209941.59	274175.47	28.2069
941	210040.09	274550.00	28.6313	989	209941.78	274177.69	28.2173
942	210039.14	274550.25	28.6313	990	209939.56	274176.88	28.2261
943	210042.59	274551.91	30.8100	991	209937.52	274178.28	28.2590
944	210041.98	274549.50	28.6313	993	209936.05	274188.06	28.6497
945	210041.03	274549.75	28.6313	994	209933.94	274189.31	28.9363
947	210008.47	274552.81	28.6413	995	209934.09	274190.38	28.8177
948	210006.91	274553.25	28.6613	997	209933.69	274185.22	29.3724
949	210005.33	274553.69	28.6813	998	209933.81	274187.25	29.1539
950	210006.05	274556.19	28.6763	999	209935.48	274179.69	29.0254
952	210011.59	274551.94	28.6308	1000	209933.45	274181.09	29.7910
953	210010.03	274552.38	28.6362	1001	209933.56	274183.16	29.5913
955	210014.73	274551.06	28.6279	1002	209932.91	274188.97	29.1021
956	210013.17	274551.50	28.6298	1003	209931.88	274188.63	29.2267
958	210017.86	274550.19	28.6260	1005	209930.84	274188.28	29.3995
959	210016.30	274550.63	28.6265	1006	209929.83	274187.94	29.5676
961	210021.00	274549.31	28.6262	1008	209958.39	274167.50	28.8113
962	210019.44	274549.75	28.6258	1009	209958.08	274165.03	28.7868
964	210024.31	274549.09	28.6382	1011	209953.41	274168.19	28.3691
965	210022.66	274549.19	28.6320	1014	209963.03	274163.28	29.4086
967	210027.44	274548.22	28.6407	1017	209948.73	274171.31	28.3150
968	210025.88	274548.66	28.6399	1018	209949.00	274173.59	28.3373
970	210029.34	274547.72	28.6413	1020	209967.98	274161.53	31.4500
971	210028.39	274547.97	28.6411	1023	209944.95	274171.19	28.2322
973	210031.25	274547.22	28.6413	1026	209941.17	274171.06	28.1978
974	210030.30	274547.47	28.6413	1027	209941.38	274173.28	28.1969
976	210033.16	274546.72	28.6413	1029	209937.16	274174.03	28.2545
977	210032.20	274546.97	28.6413	1032	209933.14	274177.00	29.6904
979	210035.05	274546.22	28.6413	1033	209933.30	274179.06	29.7160
980	210034.09	274546.47	28.6413	1035	209931.58	274184.59	29.6475
982	210036.95	274545.72	28.6513	1037	209932.36	274180.81	29.9836
983	210036.00	274545.97	28.6463	1038	209931.27	274180.56	30.1075
985	210038.86	274545.22	28.7913	1041	209930.92	274176.53	30.5701
986	210037.91	274545.47	28.7213	1044	209929.45	274183.97	29.9784
987	210041.38	274547.13	28.9363	1045	209929.64	274185.94	29.7730
988	210040.77	274544.72	29.2413	1046	209957.78	274162.56	28.7614
989	210039.81	274544.97	29.0163	1047	209957.47	274160.09	28.7387
991	210007.05	274547.81	28.6612	1048	209955.16	274161.75	28.5325
992	210005.48	274548.25	28.6963	1049	209952.84	274163.41	28.3310
993	210003.91	274548.69	28.7313	1052	209962.44	274158.28	29.0404
994	210004.63	274551.19	28.7063	1053	209959.95	274159.19	28.9431
996	210010.19	274546.94	28.6406	1054	209950.53	274165.06	28.2994
997	210008.63	274547.38	28.6510	1055	209948.23	274166.75	28.2760
999	210013.34	274546.06	28.6386	1056	209948.48	274169.03	28.2946

SED2D 실험후 지점별 노드, x좌표, y좌표, 하상고도 (ELm.).							
1) ST1지점의 결과				2) ST2지점의 결과			
1000	210011.77	274546.50	28.6399	1057	209967.69	274159.00	31.6050
1002	210016.48	274545.19	28.6365	1058	209967.41	274156.50	31.7600
1003	210014.91	274545.63	28.6373	1059	209964.92	274157.41	30.3850
1005	210019.63	274544.31	28.6465	1060	209946.36	274166.75	28.2578
1006	210018.05	274544.75	28.6412	1061	209944.48	274166.72	28.2478
1008	210023.02	274544.31	28.6581	1063	209942.63	274166.69	28.2247
1009	210021.31	274544.31	28.6521	1064	209940.75	274166.69	28.2153
1011	210026.16	274543.44	28.6604	1065	209940.97	274168.88	28.2047
1012	210024.59	274543.88	28.6595	1066	209938.77	274168.22	28.2505
1014	210028.08	274542.94	28.6712	1067	209936.80	274169.78	28.2866
1015	210027.13	274543.19	28.6659	1069	209934.81	274171.34	28.7621
1017	210029.98	274542.44	28.6713	1070	209932.84	274172.91	29.1881
1018	210029.03	274542.69	28.6713	1071	209933.00	274174.94	29.4351
1020	210031.91	274541.94	28.6713	1072	209931.72	274172.69	30.1700
1021	210030.94	274542.19	28.6713	1073	209930.59	274172.50	30.9900
1023	210033.81	274541.44	28.7513	1075	209930.17	274180.28	30.2557
1024	210032.86	274541.69	28.7113	1076	209929.08	274180.03	30.4029
1026	210035.73	274540.91	28.9813	1079	209928.72	274176.06	30.8255
1027	210034.78	274541.16	28.8663	1080	209928.91	274178.06	30.6142
1029	210037.66	274540.41	29.4413	1081	209929.47	274172.28	31.1200
1030	210036.69	274540.66	29.2113	1082	209928.34	274172.09	31.2500
1031	210040.16	274542.31	29.6763	1084	209957.13	274157.63	28.6515
1032	210039.56	274539.91	30.1113	1085	209956.80	274155.13	28.5607
1033	210038.61	274540.16	29.7763	1087	209952.23	274158.66	28.3002
1035	210005.64	274542.81	28.7010	1090	209961.61	274153.31	28.6613
1036	210004.06	274543.25	28.7511	1093	209947.67	274162.19	28.2461
1037	210002.48	274543.69	28.8011	1094	209947.95	274164.47	28.2602
1038	210003.20	274546.19	28.7662	1096	209966.41	274151.53	31.7400
1040	210008.80	274541.94	28.6706	1099	209943.95	274162.25	28.2306
1041	210007.22	274542.38	28.6858	1102	209940.25	274162.28	28.2245
1043	210011.95	274541.06	28.6600	1103	209940.50	274164.50	28.2231
1044	210010.38	274541.50	28.6654	1105	209936.33	274165.56	28.3086
1046	210015.09	274540.19	28.6592	1108	209932.42	274168.81	28.9982
1047	210013.53	274540.63	28.6595	1109	209932.63	274170.88	29.0909
1049	210018.25	274539.28	28.6792	1111	209930.19	274168.47	30.6474
1050	210016.67	274539.72	28.6691	1114	209927.97	274168.13	31.6700
1052	210021.72	274539.56	28.6899	1115	209928.16	274170.13	31.4600
1053	210019.98	274539.44	28.6845	1116	209956.47	274152.66	28.4761
1055	210024.88	274538.69	28.7006	1117	209956.14	274150.19	28.3980
1056	210023.30	274539.13	28.6953	1118	209953.88	274152.06	28.3346
1058	210026.80	274538.19	28.7111	1119	209951.63	274153.91	28.2721
1059	210025.84	274538.44	28.7059	1122	209960.78	274148.38	30.2092
1061	210028.73	274537.66	28.7313	1123	209958.47	274149.28	29.3435
1062	210027.77	274537.91	28.7212	1124	209949.36	274155.78	28.2433
1064	210030.66	274537.16	28.8213	1125	209947.11	274157.66	28.2218
1065	210029.70	274537.41	28.7763	1126	209947.39	274159.94	28.2349
1067	210032.59	274536.63	29.0413	1127	209965.92	274149.03	31.7300
1068	210031.63	274536.91	28.9313	1128	209965.42	274146.56	31.7200
1070	210034.52	274536.13	29.4213	1129	209963.09	274147.47	30.9600

SED2D 실험후 지점별 노드, x좌표, y좌표, 하상고도 (ELm.).							
1) ST1지점의 결과				2) ST2지점의 결과			
1071	210033.56	274536.38	29.2313	1130	209945.27	274157.72	28.2144
1073	210036.45	274535.63	29.9713	1131	209943.42	274157.78	28.2153
1074	210035.48	274535.88	29.6963	1133	209941.58	274157.81	28.2445
1075	210038.97	274537.50	30.3763	1134	209939.73	274157.88	28.2810
1076	210038.38	274535.09	30.6411	1135	209940.00	274160.09	28.2454
1077	210037.42	274535.34	30.3063	1136	209937.80	274159.59	28.3247
1079	210004.23	274537.81	28.7607	1137	209935.86	274161.31	28.3885
1080	210002.66	274538.25	28.8208	1139	209933.92	274163.03	28.5325
1081	210001.08	274538.72	28.8808	1140	209931.98	274164.72	28.6847
1082	210001.78	274541.19	28.8409	1141	209932.20	274166.75	28.8634
1084	210007.41	274536.94	28.7105	1142	209930.89	274164.56	29.5190
1085	210005.81	274537.38	28.7356	1143	209929.80	274164.44	30.3138
1087	210010.56	274536.06	28.6902	1145	209928.70	274164.31	31.1500
1088	210008.98	274536.50	28.7004	1146	209927.61	274164.16	32.0000
1090	210013.72	274535.16	28.6999	1148	209955.73	274147.72	28.2704
1091	210012.14	274535.59	28.6950	1149	209955.33	274145.25	28.1410
1093	210016.89	274534.28	28.7300	1151	209950.89	274149.19	28.1387
1094	210015.31	274534.72	28.7149	1154	209959.88	274143.41	28.2013
1096	210020.44	274534.81	28.7403	1157	209946.45	274153.09	28.2892
1097	210018.66	274534.56	28.7351	1158	209946.78	274155.38	28.2518
1099	210023.59	274533.94	28.7607	1160	209964.44	274141.56	31.5800
1100	210022.02	274534.38	28.7505	1163	209942.78	274153.31	28.0666
1102	210025.53	274533.41	28.7911	1166	209939.11	274153.50	28.0777
1103	210024.56	274533.66	28.7759	1167	209939.42	274155.69	28.1802
1105	210027.48	274532.88	28.8713	1169	209935.33	274157.06	28.1060
1106	210026.52	274533.16	28.8312	1172	209931.55	274160.63	30.0426
1108	210029.42	274532.38	29.0313	1173	209931.77	274162.69	29.3554
1109	210028.45	274532.63	28.9513	1175	209929.41	274160.41	30.8191
1111	210031.38	274531.84	29.3313	1178	209927.28	274160.19	31.6600
1112	210030.39	274532.09	29.1813	1179	209927.44	274162.19	31.8300
1114	210033.31	274531.31	29.7713	1180	209954.91	274142.78	28.1211
1115	210032.34	274531.59	29.5513	1181	209954.50	274140.31	28.0947
1117	210035.25	274530.81	30.3413	1182	209952.33	274142.38	28.1114
1118	210034.28	274531.06	30.0563	1183	209950.16	274144.44	28.1262
1119	210037.78	274532.69	30.8060	1186	209958.97	274138.47	29.1413
1120	210037.20	274530.28	30.9709	1187	209956.73	274139.41	28.6363
1121	210036.23	274530.53	30.6561	1188	209947.98	274146.50	28.0996
1123	210002.84	274532.81	28.8405	1189	209945.81	274148.56	28.0786
1124	210001.27	274533.25	28.9105	1190	209946.13	274150.84	28.1848
1125	209999.67	274533.72	28.9805	1191	209963.94	274139.06	31.4700
1126	210000.38	274536.22	28.9307	1192	209963.44	274136.59	31.3600
1128	210006.02	274531.94	28.7704	1193	209961.20	274137.53	30.2350
1129	210004.44	274532.38	28.8055	1194	209943.97	274148.69	28.0686
1131	210009.19	274531.03	28.7503	1195	209942.14	274148.84	28.0641
1132	210007.59	274531.47	28.7604	1197	209940.31	274149.00	28.0642
1134	210012.36	274530.16	28.7602	1198	209938.47	274149.16	28.0688
1135	210010.77	274530.59	28.7553	1199	209938.78	274151.31	28.0787
1137	210015.52	274529.25	28.8103	1200	209936.64	274151.00	28.0975
1138	210013.94	274529.72	28.7852	1201	209934.80	274152.84	28.1290

SED2D 실험후 지점별 노드, x좌표, y좌표, 하상고도 (ELm.).							
1) ST1지점의 결과				2) ST2지점의 결과			
1140	210019.14	274530.06	28.8204	1203	209932.95	274154.69	28.1977
1141	210017.33	274529.66	28.8154	1204	209931.11	274156.56	28.2582
1143	210022.31	274529.16	28.8607	1205	209931.33	274158.59	29.1546
1144	210020.73	274529.59	28.8406	1206	209930.08	274156.47	28.4590
1146	210024.27	274528.63	28.9210	1207	209929.03	274156.41	28.6113
1147	210023.30	274528.91	28.8909	1209	209928.00	274156.31	29.4776
1149	210026.23	274528.09	29.0412	1210	209926.95	274156.25	30.3320
1150	210025.25	274528.38	28.9811	1212	209953.97	274137.88	28.0679
1152	210028.19	274527.59	29.2513	1213	209953.42	274135.44	28.0429
1153	210027.22	274527.84	29.1463	1215	209949.16	274139.75	28.0962
1155	210030.16	274527.06	29.5813	1218	209957.94	274133.53	30.0257
1156	210029.17	274527.31	29.4163	1221	209944.91	274144.06	28.0633
1158	210032.11	274526.53	30.0413	1222	209945.36	274146.31	28.0742
1159	210031.13	274526.78	29.8113	1224	209962.45	274131.63	31.1500
1161	210034.08	274526.00	30.5912	1227	209941.23	274144.44	28.0433
1162	210033.09	274526.25	30.3163	1230	209937.56	274144.81	28.0425
1163	210036.63	274527.88	31.0808	1231	209938.02	274147.00	28.0543
1164	210036.03	274525.47	31.1908	1233	209933.97	274148.66	28.1145
1165	210035.05	274525.75	30.8910	1236	209930.38	274152.50	28.4648
1167	210001.47	274527.81	28.9303	1237	209930.75	274154.53	28.3761
1168	209999.88	274528.25	29.0103	1239	209928.19	274152.44	28.5613
1169	209998.30	274528.69	29.0902	1242	209926.02	274152.38	29.5658
1170	209998.98	274531.19	29.0354	1243	209926.48	274154.31	29.9493
1172	210004.64	274526.91	28.8403	1244	209952.88	274133.00	28.0156
1173	210003.06	274527.38	28.8853	1245	209952.34	274130.56	27.9884
1175	210007.81	274526.03	28.8202	1246	209950.25	274132.81	28.0024
1176	210006.23	274526.47	28.8302	1247	209948.17	274135.06	28.0172
1178	210010.98	274525.13	28.8502	1250	209956.91	274128.63	30.5092
1179	210009.41	274525.59	28.8352	1251	209954.63	274129.59	29.2745
1181	210014.16	274524.25	28.9103	1253	209944.00	274139.56	28.0452
1182	210012.58	274524.69	28.8803	1254	209944.45	274141.81	28.0538
1184	210017.86	274525.28	28.9205	1255	209961.95	274129.13	31.0400
1185	210016.00	274524.75	28.9154	1256	209961.45	274126.66	30.9318
1187	210021.03	274524.41	29.0007	1257	209959.19	274127.63	30.7205
1188	210019.44	274524.84	28.9606	1258	209942.16	274139.81	28.0343
1190	210023.00	274523.88	29.0809	1259	209940.31	274140.03	28.0279
1191	210022.02	274524.13	29.0408	1261	209938.47	274140.25	28.0262
1193	210024.98	274523.34	29.2211	1262	209936.64	274140.50	28.0262
1194	210024.00	274523.59	29.1510	1263	209937.09	274142.66	28.0357
1196	210026.95	274522.78	29.4612	1264	209934.89	274142.50	28.0531
1197	210025.97	274523.06	29.3412	1265	209933.14	274144.47	28.0819
1199	210028.94	274522.25	29.8013	1268	209929.64	274148.47	28.4047
1200	210027.95	274522.53	29.6313	1269	209930.00	274150.50	28.4306
1202	210030.91	274521.72	30.2613	1270	209928.50	274148.47	28.5631
1203	210029.92	274522.00	30.0313	1271	209927.36	274148.47	28.7013
1205	210032.89	274521.19	30.7911	1273	209926.22	274148.50	28.7763
1206	210031.91	274521.47	30.5263	1274	209925.08	274148.50	28.8513
1207	210035.44	274523.06	31.2707	1277	209947.02	274130.63	27.9655
1208	210034.86	274520.66	31.3506	1279	209951.66	274128.16	27.9702

SED2D 실험후 지점별 노드, x좌표, y좌표, 하상고도 (ELm.).							
1) ST1지점의 결과				2) ST2지점의 결과			
1209	210033.88	274520.94	31.0709	1280	209950.97	274125.75	27.9530
1211	210000.09	274522.81	29.0299	1282	209945.66	274126.03	27.8965
1212	209998.52	274523.25	29.1198	1285	209955.72	274123.72	30.1757
1213	209996.92	274523.69	29.2098	1288	209942.84	274135.13	28.0180
1214	209997.61	274526.19	29.1500	1289	209943.42	274137.34	28.0316
1216	210003.28	274521.91	28.9399	1292	209960.47	274121.69	30.7255
1217	210001.69	274522.34	28.9849	1295	209939.17	274135.66	28.0007
1219	210006.45	274521.00	28.9200	1298	209935.50	274136.22	27.9954
1220	210004.86	274521.47	28.9300	1299	209936.06	274138.38	28.0108
1222	210009.63	274520.13	28.9700	1301	209932.16	274140.50	28.0692
1223	210008.05	274520.56	28.9450	1304	209931.03	274136.38	28.0528
1225	210012.81	274519.22	29.0502	1307	209928.66	274144.47	28.1366
1226	210011.22	274519.69	29.0101	1308	209929.16	274146.47	28.2730
1228	210016.58	274520.53	29.0704	1311	209926.28	274144.59	28.8613
1229	210014.69	274519.88	29.0603	1314	209923.92	274144.69	29.0013
1231	210019.75	274519.63	29.1706	1315	209924.50	274146.59	28.9263
1232	210018.16	274520.09	29.1205	1316	209944.34	274130.66	27.9745
1234	210021.73	274519.09	29.2708	1317	209941.69	274130.66	27.9890
1235	210020.75	274519.38	29.2207	1320	209940.36	274126.28	27.9590
1237	210023.73	274518.56	29.4210	1321	209941.03	274128.47	27.9736
1238	210022.73	274518.81	29.3459	1322	209950.28	274123.38	27.9416
1240	210025.73	274518.00	29.6611	1323	209949.59	274120.97	27.9285
1241	210024.73	274518.28	29.5410	1324	209946.95	274121.19	27.8852
1243	210027.72	274517.47	30.0111	1325	209944.31	274121.41	27.8374
1244	210026.72	274517.75	29.8361	1328	209954.53	274118.84	29.8703
1246	210029.72	274516.94	30.4412	1329	209952.06	274119.91	28.9163
1247	210028.72	274517.19	30.2262	1330	209941.67	274121.66	27.8605
1249	210031.70	274516.38	30.9508	1331	209939.03	274121.88	27.8891
1250	210030.70	274516.66	30.6960	1332	209939.69	274124.06	27.9237
1251	210034.28	274518.25	31.4105	1333	209959.97	274119.19	30.6174
1252	210033.70	274515.84	31.4704	1334	209959.48	274116.72	30.5092
1253	210032.70	274516.13	31.2106	1335	209957.02	274117.78	30.1897
1255	209998.73	274517.78	29.1293	1336	209939.86	274131.00	27.9781
1256	209997.14	274518.25	29.2292	1337	209938.03	274131.31	27.9708
1257	209995.55	274518.69	29.3291	1339	209936.20	274131.63	27.9663
1258	209996.23	274521.19	29.2695	1340	209934.38	274131.94	27.9645
1260	210001.91	274516.91	29.0394	1341	209934.94	274134.06	27.9809
1261	210000.33	274517.34	29.0843	1342	209932.14	274132.09	28.0046
1263	210005.09	274516.00	29.0295	1343	209929.91	274132.25	28.0465
1264	210003.50	274516.44	29.0344	1345	209929.91	274140.50	28.0897
1266	210008.27	274515.09	29.0995	1346	209927.67	274140.47	28.1048
1267	210006.69	274515.56	29.0645	1349	209926.56	274136.50	28.0857
1269	210011.45	274514.22	29.2097	1350	209927.13	274138.50	28.0948
1270	210009.86	274514.66	29.1546	1351	209927.67	274132.41	28.0584
1272	210015.28	274515.75	29.2402	1352	209925.45	274132.56	28.0666
1275	210018.47	274514.88	29.3703	1353	209926.00	274134.53	28.0766
1276	210016.88	274515.31	29.3053	1354	209926.44	274140.59	28.5481
1278	210020.47	274514.31	29.4805	1355	209925.22	274140.69	28.9795
1279	210019.47	274514.59	29.4254	1357	209924.00	274140.78	29.0413

SED2D 실험후 지점별 노드, x좌표, y좌표, 하상고도 (ELm.).							
1) ST1지점의 결과				2) ST2지점의 결과			
1281	210022.48	274513.78	29.6407	1358	209922.77	274140.88	29.1013
1282	210021.48	274514.06	29.5606	1361	209936.73	274127.00	27.9400
1284	210024.50	274513.22	29.8708	1363	209937.23	274122.28	27.9023
1285	210023.48	274513.50	29.7558	1364	209935.44	274122.69	27.9182
1287	210026.50	274512.69	30.2009	1366	209948.81	274118.59	28.1266
1288	210025.50	274512.94	30.0359	1367	209948.05	274116.22	28.3239
1290	210028.52	274512.13	30.6108	1369	209942.81	274116.88	27.7920
1291	210027.52	274512.41	30.4059	1372	209952.91	274114.06	29.5558
1293	210030.52	274511.59	31.0905	1375	209937.59	274117.50	27.8074
1294	210029.52	274511.84	30.8506	1376	209938.31	274119.69	27.8487
1295	210033.13	274513.44	31.5252	1378	209957.77	274111.94	29.8312
1296	210032.53	274511.03	31.5800	1381	209934.05	274118.38	27.8855
1297	210031.53	274511.31	31.3352	1384	209933.11	274127.72	27.9410
1299	209997.38	274512.78	29.2187	1385	209933.75	274129.81	27.9532
1300	209995.78	274513.22	29.3235	1387	209928.69	274128.16	28.0301
1301	209994.19	274513.69	29.4284	1390	209924.28	274128.63	28.0285
1302	209994.88	274516.19	29.3788	1391	209924.88	274130.59	28.0475
1304	210000.56	274511.88	29.1287	1393	209924.08	274136.81	28.6395
1305	209998.97	274512.34	29.1737	1395	209924.20	274132.75	28.1899
1307	210003.73	274511.00	29.1288	1396	209922.94	274132.91	28.3004
1308	210002.14	274511.44	29.1288	1399	209921.78	274129.03	28.0704
1310	210006.92	274510.09	29.2089	1402	209921.61	274137.09	29.2313
1311	210005.33	274510.53	29.1688	1403	209922.19	274139.00	29.1663
1313	210010.09	274509.19	29.3390	1404	209933.66	274123.06	27.9119
1314	210008.50	274509.66	29.2739	1405	209931.86	274123.47	27.9074
1316	210014.00	274511.00	29.4196	1406	209932.48	274125.59	27.9246
1320	210017.19	274510.09	29.5799	1408	209930.52	274119.25	27.8738
1321	210015.59	274510.56	29.4997	1409	209931.19	274121.38	27.8910
1323	210019.20	274509.56	29.7002	1410	209947.27	274113.84	28.5375
1324	210018.20	274509.84	29.6400	1411	209946.48	274111.47	28.7511
1326	210021.23	274509.00	29.8504	1412	209943.91	274111.88	28.2411
1327	210020.22	274509.28	29.7753	1413	209941.33	274112.31	27.7347
1329	210023.25	274508.44	30.0705	1416	209951.27	274109.31	29.2313
1330	210022.25	274508.72	29.9605	1417	209948.88	274110.38	29.0077
1332	210025.28	274507.88	30.3806	1418	209938.75	274112.75	27.7283
1333	210024.27	274508.16	30.2256	1419	209936.16	274113.16	27.7247
1335	210027.30	274507.34	30.7604	1420	209936.88	274115.31	27.7660
1336	210026.30	274507.63	30.5705	1421	209956.91	274109.56	29.6049
1338	210029.33	274506.78	31.2002	1422	209956.05	274107.16	29.3795
1339	210028.31	274507.06	30.9803	1423	209953.66	274108.25	29.3054
1340	210031.94	274508.63	31.6248	1424	209934.41	274113.63	27.7878
1341	210031.34	274506.22	31.6696	1425	209932.66	274114.09	27.8519
1342	210030.34	274506.50	31.4349	1427	209930.91	274114.56	27.8456
1344	209996.03	274507.75	29.2681	1428	209929.17	274115.06	27.8402
1345	209994.44	274508.22	29.3780	1429	209929.84	274117.16	27.8574
1346	209992.84	274508.66	29.4878	1430	209929.67	274123.78	27.9647
1347	209993.52	274511.19	29.4581	1431	209927.48	274124.06	28.0238
1349	209999.20	274506.88	29.1682	1433	209925.30	274124.38	28.0130
1350	209997.63	274507.31	29.2181	1434	209923.11	274124.66	27.9994



SED2D 실험후 지점별 노드, x좌표, y좌표, 하상고도 (ELm.).							
1) ST1지점의 결과				2) ST2지점의 결과			
1352	210002.39	274505.97	29.1682	1435	209923.69	274126.63	28.0135
1353	210000.80	274506.41	29.1682	1436	209921.86	274124.91	28.0299
1355	210005.56	274505.06	29.2483	1437	209920.61	274125.16	28.0504
1356	210003.98	274505.53	29.2082	1439	209921.69	274133.09	28.8513
1358	210008.75	274504.19	29.4083	1440	209920.44	274133.28	29.3995
1359	210007.16	274504.63	29.3283	1443	209919.27	274129.47	29.5067
1361	210012.72	274506.25	29.5689	1444	209919.84	274131.38	29.4526
1365	210015.91	274505.34	29.7691	1445	209919.36	274125.41	28.6313
1366	210014.31	274505.81	29.6690	1446	209918.11	274125.66	29.2113
1368	210017.94	274504.78	29.9095	1449	209926.20	274120.00	27.9975
1369	210016.92	274505.06	29.8393	1451	209927.05	274115.50	27.9056
1371	210019.97	274504.22	30.0699	1452	209924.92	274115.94	27.9711
1372	210018.95	274504.50	29.9897	1454	209945.64	274109.13	28.7651
1374	210022.02	274503.66	30.2702	1455	209944.80	274106.78	28.7820
1375	210021.00	274503.94	30.1701	1457	209939.70	274107.78	27.6902
1377	210024.05	274503.09	30.5403	1460	209949.39	274104.66	28.9013
1378	210023.03	274503.38	30.4053	1463	209934.61	274108.81	27.6720
1380	210026.08	274502.53	30.8903	1464	209935.38	274110.97	27.6983
1381	210025.06	274502.81	30.7153	1466	209953.98	274102.53	29.0513
1383	210028.13	274501.97	31.3000	1469	209931.19	274109.84	27.7892
1384	210027.09	274502.25	31.0952	1472	209927.77	274110.88	27.8156
1385	210030.75	274503.81	31.6995	1473	209928.47	274112.97	27.8279
1386	210030.16	274501.41	31.7296	1475	209923.59	274111.88	27.9439
1387	210029.14	274501.69	31.5149	1478	209921.89	274120.75	27.9612
1389	209994.69	274502.75	29.2478	1479	209922.50	274122.69	27.9803
1390	209993.11	274503.19	29.3627	1481	209919.42	274121.31	28.0304
1391	209991.52	274503.63	29.4776	1484	209916.95	274121.88	28.9013
1392	209992.19	274506.13	29.4826	1485	209917.53	274123.75	29.0563
1394	209997.88	274501.84	29.1080	1486	209922.80	274116.38	27.9466
1395	209996.28	274502.28	29.1779	1487	209920.67	274116.81	27.9221
1397	210001.05	274500.94	29.0881	1488	209921.28	274118.78	27.9412
1398	209999.45	274501.41	29.0980	1490	209919.42	274112.91	27.8939
1400	210004.22	274500.06	29.1880	1491	209920.05	274114.84	27.9080
1401	210002.64	274500.50	29.1380	1492	209943.94	274104.44	28.6211
1403	210007.41	274499.16	29.3780	1493	209943.09	274102.06	28.4557
1404	210005.81	274499.59	29.2830	1494	209940.59	274102.66	28.0539
1406	210011.44	274501.47	29.6482	1495	209938.09	274103.28	27.6539
1410	210014.63	274500.59	29.9083	1498	209947.50	274100.00	28.5613
1411	210013.03	274501.03	29.7782	1499	209945.30	274101.03	28.5204
1413	210016.67	274500.00	30.0788	1500	209935.58	274103.88	27.6411
1414	210015.66	274500.31	29.9935	1501	209933.08	274104.47	27.6293
1416	210018.72	274499.44	30.2593	1502	209933.84	274106.63	27.6506
1417	210017.69	274499.72	30.1690	1503	209952.94	274100.22	28.8813
1419	210020.77	274498.88	30.4598	1504	209951.91	274097.91	28.7113
1420	210019.73	274499.16	30.3595	1505	209949.70	274098.94	28.6363
1422	210022.81	274498.31	30.7101	1506	209931.39	274105.03	27.6725
1423	210021.78	274498.59	30.5850	1507	209929.72	274105.56	27.7175
1425	210024.86	274497.75	31.0104	1509	209928.03	274106.13	27.7484
1426	210023.83	274498.03	30.8603	1510	209926.36	274106.69	27.7802

SED2D 실험후 지점별 노드, x좌표, y좌표, 하상고도 (ELm.).							
1) ST1지점의 결과				2) ST2지점의 결과			
1428	210026.91	274497.19	31.3804	1511	209927.06	274108.78	27.7984
1429	210025.88	274497.47	31.1954	1512	209924.31	274107.25	27.8480
1430	210029.56	274499.00	31.7548	1513	209922.27	274107.81	27.9157
1431	210028.95	274496.63	31.7803	1515	209920.22	274108.38	27.8903
1432	210027.92	274496.91	31.5803	1516	209918.16	274108.97	27.8649
1434	209993.38	274497.72	29.0983	1517	209918.78	274110.94	27.8798
1435	209991.78	274498.16	29.2481	1518	209919.45	274117.13	27.9608
1436	209990.20	274498.63	29.3980	1519	209918.23	274117.44	27.9904
1437	209990.86	274501.13	29.4377	1521	209917.02	274117.75	28.2963
1439	209996.55	274496.81	28.9385	1522	209915.78	274118.06	28.6013
1440	209994.95	274497.28	29.0184	1525	209917.02	274113.56	27.9604
1442	209999.72	274495.94	28.9086	1527	209916.98	274109.34	27.8967
1443	209998.13	274496.38	28.9235	1528	209915.81	274109.72	27.9204
1445	210002.89	274495.03	29.0085	1530	209942.17	274099.75	28.2903
1446	210001.30	274495.47	28.9585	1531	209941.25	274097.44	28.1230
1448	210006.06	274494.13	29.2183	1533	209936.36	274098.81	27.6075
1449	210004.47	274494.59	29.1134	1536	209945.55	274095.34	28.2213
1451	210010.17	274496.72	29.6078	1539	209931.45	274100.19	27.5739
1455	210013.34	274495.81	29.9377	1540	209932.27	274102.31	27.6020
1456	210011.75	274496.25	29.7727	1542	209949.83	274093.28	28.3713
1458	210015.41	274495.25	30.1679	1545	209928.17	274101.34	27.6420
1459	210014.38	274495.53	30.0528	1548	209924.89	274102.50	27.7439
1461	210017.45	274494.69	30.4084	1549	209925.63	274104.59	27.7620
1462	210016.42	274494.97	30.2881	1551	209920.88	274103.78	27.8975
1464	210019.52	274494.09	30.6491	1554	209916.88	274105.06	27.8558
1465	210018.48	274494.38	30.5287	1555	209917.52	274107.00	27.8608
1467	210021.56	274493.53	30.9002	1557	209914.59	274105.84	27.8804
1468	210020.55	274493.81	30.7747	1560	209914.63	274114.25	28.2913
1470	210023.63	274492.97	31.1707	1561	209915.20	274116.16	28.4463
1471	210022.59	274493.25	31.0354	1562	209914.64	274110.06	27.9513
1473	210025.69	274492.38	31.4905	1563	209913.47	274110.44	27.9813
1474	210024.66	274492.66	31.3306	1566	209912.31	274106.63	27.9313
1475	210028.34	274494.22	31.8103	1567	209912.89	274108.53	27.9563
1476	210027.73	274491.81	31.8403	1568	209940.34	274095.13	27.9558
1477	210026.72	274492.09	31.6654	1569	209939.42	274092.78	27.7876
1479	209992.06	274492.69	28.8790	1570	209937.02	274093.56	27.6789
1480	209990.48	274493.16	29.0039	1571	209934.63	274094.31	27.5712
1481	209988.91	274493.59	29.1288	1574	209943.58	274090.72	27.8813
1482	209989.56	274496.13	29.2634	1575	209941.50	274091.75	27.8413
1484	209995.23	274491.81	28.7291	1576	209932.23	274095.09	27.5435
1485	209993.66	274492.25	28.8041	1577	209929.84	274095.88	27.5166
1487	209998.39	274490.91	28.6792	1578	209930.66	274098.03	27.5457
1488	209996.81	274491.34	28.7042	1579	209948.78	274090.97	28.2013
1490	210001.56	274490.00	28.7292	1580	209947.75	274088.66	28.0313
1491	209999.98	274490.47	28.7042	1581	209945.66	274089.69	27.9563
1493	210004.72	274489.13	28.9092	1582	209928.23	274096.50	27.5357
1494	210003.14	274489.56	28.8192	1583	209926.63	274097.09	27.5557
1496	210008.89	274491.94	29.4582	1585	209925.03	274097.72	27.6307
1500	210012.06	274491.06	29.8479	1586	209923.42	274098.34	27.7057

SED2D 실험후 지점별 노드, x좌표, y좌표, 하상고도 (ELm.).							
1) ST1지점의 결과				2) ST2지점의 결과			
1501	210010.47	274491.50	29.6530	1587	209924.16	274100.44	27.7248
1503	210014.13	274490.47	30.1379	1588	209921.47	274099.06	27.7925
1504	210013.09	274490.75	29.9928	1589	209919.50	274099.75	27.8794
1506	210016.20	274489.91	30.4484	1591	209917.55	274100.44	27.8580
1507	210015.16	274490.19	30.2930	1592	209915.59	274101.16	27.8367
1509	210018.27	274489.31	30.7792	1593	209916.23	274103.13	27.8467
1510	210017.23	274489.59	30.6137	1594	209914.48	274101.59	27.8467
1512	210020.33	274488.75	31.1006	1595	209913.38	274102.00	27.8495
1513	210019.30	274489.03	30.9400	1597	209912.25	274102.41	27.8813
1515	210022.41	274488.16	31.4306	1598	209911.14	274102.81	27.9113
1516	210021.38	274488.47	31.2657	1600	209938.44	274090.47	27.7085
1518	210024.47	274487.59	31.7603	1601	209937.45	274088.19	27.6285
1519	210023.44	274487.88	31.5955	1603	209932.80	274089.91	27.5521
1520	210027.14	274489.41	31.9750	1606	209941.56	274086.09	27.6913
1521	210026.55	274487.00	32.1100	1609	209928.14	274091.59	27.5075
1522	210025.50	274487.31	31.9350	1610	209928.98	274093.75	27.5125
1524	209990.78	274487.66	28.9587	1612	209945.69	274084.03	27.9013
1525	209989.20	274488.13	29.0536	1615	209925.02	274092.91	27.5566
1526	209987.63	274488.56	29.1486	1618	209921.91	274094.19	27.7066
1527	209988.27	274491.06	29.1388	1619	209922.66	274096.25	27.7066
1529	209993.94	274486.78	28.8187	1621	209918.09	274095.72	27.8794
1530	209992.36	274487.22	28.8887	1624	209914.28	274097.28	27.8267
1532	209997.09	274485.88	28.7788	1625	209914.94	274099.22	27.8317
1533	209995.52	274486.31	28.7988	1627	209912.13	274098.16	27.8295
1535	210000.25	274484.97	28.8289	1630	209909.98	274099.03	27.8913
1536	209998.67	274485.44	28.8038	1631	209910.56	274100.94	27.9013
1538	210003.39	274484.09	28.9590	1632	209936.47	274085.88	27.6335
1539	210001.83	274484.53	28.8939	1633	209935.48	274083.59	27.6376
1541	210007.61	274487.19	29.1393	1634	209933.22	274084.53	27.5898
1545	210010.78	274486.28	29.5392	1635	209930.97	274085.47	27.5412
1546	210009.20	274486.75	29.3392	1638	209939.55	274081.50	27.6713
1548	210012.86	274485.72	29.8893	1639	209937.52	274082.53	27.6604
1549	210011.81	274486.00	29.7142	1640	209928.70	274086.41	27.5194
1551	210014.94	274485.13	30.3195	1641	209926.45	274087.34	27.4985
1552	210013.91	274485.41	30.1044	1642	209927.30	274089.47	27.5025
1554	210017.02	274484.53	30.8293	1643	209944.66	274081.69	27.9563
1555	210015.98	274484.84	30.5745	1644	209943.61	274079.38	28.0113
1557	210019.11	274483.97	31.4287	1645	209941.58	274080.44	27.8413
1558	210018.06	274484.25	31.1293	1646	209924.92	274088.00	27.5325
1560	210021.19	274483.38	31.9700	1647	209923.41	274088.69	27.5666
1561	210020.16	274483.69	31.7000	1649	209921.89	274089.38	27.6416
1563	210023.27	274482.78	32.4700	1650	209920.38	274090.03	27.7166
1564	210022.22	274483.06	32.2200	1651	209921.14	274092.13	27.7116
1565	210025.94	274484.59	32.5100	1652	209918.53	274090.88	27.7975
1566	210025.34	274482.22	32.9100	1653	209916.67	274091.72	27.8794
1567	210024.31	274482.50	32.6900	1655	209914.81	274092.56	27.8530
1569	209989.52	274482.63	29.2570	1656	209912.97	274093.38	27.8267
1570	209987.95	274483.06	29.4118	1657	209913.63	274095.31	27.8267
1571	209986.39	274483.53	29.5666	1658	209911.94	274093.84	27.8208

SED2D 실험후 지점별 노드, x좌표, y좌표, 하상고도 (ELm.).							
1) ST1지점의 결과				2) ST2지점의 결과			
1572	209987.00	274486.03	29.3577	1659	209910.89	274094.28	27.8095
1574	209992.66	274481.72	29.0871	1661	209909.86	274094.75	27.8354
1575	209991.09	274482.19	29.1720	1662	209908.83	274095.22	27.8604
1577	209995.80	274480.84	29.0671	1664	209934.45	274081.31	27.6467
1578	209994.23	274481.28	29.0771	1665	209933.42	274079.03	27.6567
1580	209998.94	274479.94	29.1571	1667	209929.05	274081.06	27.5212
1581	209997.38	274480.41	29.1121	1670	209937.47	274076.91	27.6513
1583	210002.08	274479.06	29.3472	1673	209924.69	274083.09	27.4975
1584	210000.50	274479.50	29.2521	1674	209925.56	274085.22	27.4976
1586	210006.34	274482.41	29.2589	1676	209941.53	274074.75	27.8113
1590	210009.50	274481.53	29.6290	1679	209921.75	274084.50	27.5766
1591	210007.92	274481.97	29.4440	1682	209918.81	274085.91	27.7266
1593	210011.59	274480.94	29.9693	1683	209919.59	274087.97	27.7216
1594	210010.55	274481.22	29.7992	1685	209915.23	274087.69	27.8894
1596	210013.69	274480.34	30.3597	1688	209911.64	274089.47	27.8167
1597	210012.64	274480.66	30.1645	1689	209912.31	274091.44	27.8217
1599	210015.78	274479.75	30.7801	1691	209909.66	274090.44	27.7986
1600	210014.73	274480.06	30.5699	1694	209907.66	274091.41	27.8404
1602	210017.88	274479.16	31.2206	1695	209908.25	274093.31	27.8504
1603	210016.83	274479.47	31.0004	1696	209932.38	274076.75	27.6658
1605	210019.97	274478.56	31.6602	1697	209931.34	274074.50	27.6748
1606	210018.92	274478.88	31.4404	1699	209927.13	274076.69	27.5103
1608	210022.06	274478.00	32.1100	1702	209935.41	274072.31	27.6913
1609	210021.02	274478.28	31.8850	1703	209933.38	274073.41	27.6877
1610	210024.75	274479.81	32.7200	1704	209925.03	274077.75	27.4985
1611	210024.16	274477.41	32.5300	1705	209922.92	274078.84	27.4875
1612	210023.11	274477.69	32.3200	1706	209923.81	274080.97	27.4925
1614	209988.30	274477.59	29.5741	1707	209940.50	274072.44	27.8013
1615	209986.73	274478.03	29.6989	1708	209939.47	274070.13	27.7913
1616	209985.17	274478.47	29.8237	1711	209920.08	274080.31	27.5866
1617	209985.78	274481.00	29.6953	1713	209918.67	274081.06	27.6616
1619	209991.41	274476.69	29.4343	1714	209917.25	274081.78	27.7366
1620	209989.86	274477.13	29.5042	1715	209918.03	274083.84	27.7316
1622	209994.53	274475.81	29.3944	1717	209913.78	274083.69	27.8894
1623	209992.97	274476.25	29.4144	1719	209912.05	274084.63	27.8471
1625	209997.66	274474.91	29.4645	1720	209910.31	274085.59	27.8058
1626	209996.09	274475.38	29.4295	1721	209910.97	274087.53	27.8108
1628	210000.77	274474.03	29.6247	1723	209908.41	274086.59	27.7777
1629	209999.20	274474.47	29.5446	1725	209907.45	274087.09	27.7995
1630	210003.58	274478.34	29.5021	1726	209906.50	274087.59	27.8195
1631	210005.08	274477.66	29.6570				
1633	210003.81	274472.88	29.8548				
1634	210002.30	274473.47	29.7397				
1637	210008.22	274476.75	29.9872				
1638	210006.64	274477.22	29.8221				
1640	210010.33	274476.16	30.2377				
1641	210009.27	274476.47	30.1124				
1643	210012.44	274475.56	30.4985				
1644	210011.38	274475.88	30.3681				

SED2D 실험후 지점별 노드, x좌표, y좌표, 하상고도 (ELm.).			
1) ST1지점의 결과		2) ST2지점의 결과	
1646	210014.55	274474.97	30.7794
1647	210013.48	274475.28	30.6389
1649	210016.66	274474.38	31.0801
1650	210015.59	274474.69	30.9298
1652	210018.77	274473.78	31.4003
1653	210017.70	274474.06	31.2402
1655	210020.88	274473.19	31.7500
1656	210019.81	274473.47	31.5750
1657	210023.56	274475.00	32.3200
1658	210022.98	274472.59	32.1100
1659	210021.92	274472.88	31.9300
1661	209987.11	274472.53	29.8198
1662	209985.58	274472.97	29.9395
1663	209984.03	274473.41	30.0592
1664	209984.59	274475.94	29.9419
1666	209990.20	274471.66	29.6902
1667	209988.66	274472.09	29.7550
1669	209993.30	274470.75	29.6606
1670	209991.75	274471.19	29.6754
1672	209996.39	274469.88	29.7110
1673	209994.84	274470.31	29.6858
1675	209999.47	274469.00	29.8216
1676	209997.92	274469.44	29.7663
1678	210002.56	274468.13	29.9923
1679	210001.02	274468.56	29.9069
1681	210006.94	274472.00	30.1351
1682	210005.38	274472.44	29.9949
1684	210005.66	274467.25	30.2327
1685	210004.11	274467.69	30.1125
1687	210009.06	274471.41	30.3460
1688	210008.00	274471.69	30.2405
1690	210011.19	274470.78	30.5771
1691	210010.13	274471.09	30.4616
1693	210013.31	274470.19	30.8382
1694	210012.25	274470.50	30.7077
1696	210015.44	274469.59	31.1487
1697	210014.38	274469.88	30.9935
1699	210017.56	274468.97	31.4884
1700	210016.50	274469.28	31.3187
1702	210019.69	274468.38	31.8600
1703	210018.63	274468.69	31.6750
1704	210022.41	274470.19	32.1650
1705	210021.81	274467.78	32.2200
1706	210020.75	274468.06	32.0400
1708	210007.80	274466.63	30.4432
1709	210006.72	274466.94	30.3379
1711	210009.95	274466.00	30.6940
1712	210008.88	274466.31	30.5686
1714	210012.09	274465.41	30.9944

SED2D 실험후 지점별 노드, x좌표, y좌표, 하상고도 (ELm.).			
1) ST1지점의 결과		2) ST2지점의 결과	
1715	210011.02	274465.72	30.8442
1717	210014.23	274464.78	31.3342
1718	210013.17	274465.09	31.1644
1720	210016.39	274464.19	31.6925
1721	210015.31	274464.47	31.5136
1723	210018.53	274463.56	32.0600
1724	210017.47	274463.88	31.8800
1725	210021.25	274465.38	32.3050
1726	210020.69	274462.94	32.3900
1727	210019.61	274463.25	32.2250

## 감 사 의 글

긴시간 인내와 싸워왔던 학도의 길이 큰 기쁨으로 다가와 내가 사랑하는 사람들...

존경하는 한분 한분께 감사와 기쁨을 전해드리고 싶습니다.

먼저 본 논문의 결실을 맺기까지 큰 격려와 세심한 배려로 저에게 많은 힘이 되어주신 김운중 지도교수님께 깊은 감사를 드립니다. 그리고 보다 알찬 논문이 될 수 있도록 열과 성의를 다해 지도해 주신 오재화교수님, 박길현 학장님, 정남선교수님, 김성홍교수님께 뜨거운 감사를 드리며 언제나 큰 관심과 사랑으로 보살펴 주신 정영동교수님, 심태섭교수님, 안종필교수님, 박정웅교수님께 감사를 드립니다.

바쁘신 가운데 논문 작성에 많은 정성과 노력을 모아주신 조기태박사님, 김우혁박사님, 김영균선생과 격려와 성원을 보내주신 여러 선·후배 여러분 그리고 (주)신화산업 임직원 여러분께도 고마움을 전합니다.

논문의 결실이 있기까지 따뜻한 사랑으로 많은 시간들을 배려해준 사랑하는 아내와 아들 도운, 동운에게 미안함과 고마움을 전합니다.

지금의 나를 있게 하고 화목한 가정이 되도록 항상 베푸심을 아끼지 않으신 부모님을 비롯한 형제들과 오늘이 있기까지 사랑과 관심으로 따뜻한 조언과 도움을 주신 모든 분께 고마운 마음을 드립니다.

2006 년 12 월

文 守 會

