

최 종
연구보고서

배수개선 농경지의 침수피해 모의시스템 개발

Development of the Paddy Inundation Damage
Simulation System for Drainage Improvement

서 울 대 학 교

농 립 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “배수개선 농경지의 침수피해 모의시스템 개발”에 관한 연구 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2003 년 8 월 9 일

주관연구기관명 : 서울대학교
총괄연구책임자 : 박 승 우
세부연구책임자 : 박 창 언
연 구 원 : 강문성 강민구
 김상민 최자윤
 임재천 성충현
 장태일 김학관
 최라영 황세운
 고재영 최권수
 김중배 박상언
 박근일 이승철

여 백

요 약 문

I. 제 목

배수개선 농경지의 침수피해 모의시스템 개발

II. 연구개발의 목적 및 중요성

우리나라는 해마다 풍수해로 인한 농경지의 침수, 유실피해를 겪고 있다. 기후적 특성상 6월 중하순부터 7월 중하순에 걸친 장마와 8, 9월의 태풍내습, 국지적인 저기압의 발달에 따른 집중호우 등으로 인하여 농경지가 침수되거나 일부지역에서는 농경지가 유실되는 피해를 겪고 있다.

최근 수년간의 기상관측사상 초유의 최대연속 강우량 기록을 보이는 등, 집중호우로 인한 풍수해 피해에 대응하고 농경지의 풍수해 피해를 경감하기 위해서는 상습침수지역에 대한 배수개선사업이 선행되어야 한다. 배수불량에 따른 농경지의 침수피해 유형은 1) 내배수로 배수능력의 부족에 의한 경우, 2) 내배수로와 배수구의 배수능력이 부족한 경우, 3) 하천제방의 월류, 경지내 홍수배제지연의 경우, 4) 하천바닥과 홍수위가 높아 경지내 홍수배제가 어려운 경우, 5) 하천 홍수위 상승 및 장시간 지속으로 경지내 홍수배제가 어려운 경우, 6) 조위의 영향으로 경지내 홍수배제가 어려운 경우 등이다.

우리 나라의 농경지 배수개선사업 기본조사에서 배수계획은 1) 구역의 구분, 2) 토양과 토지이용상태에 따른 유출곡선지수의 산정, 3) 설계강우량의 결정, 4) 홍수량의 산정, 5) 외수위 분석, 6) 침수 분석, 7) 대안설정에 따른 배수개선 효과분석 및 개선방안의 선정 등으로 구성된다.

배수개선사업의 타당성은 홍수량 산정과 침수대책 대안에 따른 침수분석의 정확성과 신뢰성에 의해 좌우된다. 배수개선사업은 계획홍수량을 안전하게 배제할 수 있는 대책을 선정하여 시행하는 것으로, 이를 위해서는 계획홍수량에 따른 침수피해 상황을 정확히 모의하고,

대책에 따른 효과를 검토하여, 적정수준이내의 침수방지 목적을 달성할 수 있도록 하는 일이 필요하다.

배수개선사업의 효과를 극대화하고, 침수피해를 경감하기 위해서는 관행 설계홍수량과 침수분석 방법에서 진일보하여, 대상지구의 농경지에 대한 수문학적 특성을 고려한 계획홍수량의 배수개선대책에 대한 침수피해상황의 모의가 가능하도록 하여, 배수개선사업의 실시 전후의 침수분석에 대한 평가가 가능한 기술개발이 필요하다. 특히, 현실적인 배수개선 대책안을 적용할 때, 사업지구의 침수피해를 모의하고, 피해경감 효과를 계량적으로 비교 평가할 수 있도록 하여, 해당 지구에 적합한 배수방식과 규모를 설정하는 것이 중요하다.

본 연구의 목적을 정리하면 다음과 같다.

- (1) 관행 조사계획방식의 검토와 문제점 도출
- (2) 홍수량 산정기술 개발과 적용성 평가
- (3) 논의 침수상황 모의기법의 개발과 적용성 평가
- (4) 배수개선대책에 따른 침수상황의 비교 및 대안의 선정절차 제시
- (5) 2000년 침수피해지구에 대한 적용성 평가

등을 통하여 배수개선 농경지의 침수피해 모의 시스템을 구축하고 이의 적용을 통하여 적용성을 분석하는 데 목적이 있다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

본 연구는 2001년부터 2003년까지 2개년에 걸쳐서 실시되었으며, 총 연구기간에 걸쳐 지속적으로 시험유역을 운영하여 수문자료를 수집하였고, 관행적으로 이루어지던 홍수량 산정에 대한 검토하고 농경지의 저류특성을 고려하고 GIS를 이용한 침수모의 분석에 대한 연구를 수행하였다.

본 연구의 개발 내용 및 범위는 다음과 같다.

- (1) 관행 조사계획방식의 검토와 문제점 도출

침수피해 유형별로 배수개선사업계획지구를 선정하여 관행적으로 이루어지던 배수개선 사업의 조사계획방식에 대해 검토하고 문제점을 도출한다.

(2) 홍수량 산정기술 개발과 적용성 평가

시험유역을 선정하여 수문모니터링을 통해 수문자료를 구축하고 관행적으로 이용되던 홍수량 산정기술을 시험유역에 적용하여 홍수량 추정모형의 적용성을 평가하고, 논의 저류특성을 고려한 홍수량 추정방법과 GIS를 이용한 홍수량 추정모형을 적용하여 관행 홍수량 추정방법과 비교 분석한다.

(3) 논의 침수상황 모의기법의 개발과 적용성 평가

침수지구에 대한 효율적인 자료 구축과 침수상황의 도시를 위해 GIS를 이용한 전후처리 시스템을 구축하고, 침수상황의 모의를 위한 침수모의 시스템을 구축한다. 시험 지구에 대한 침수모의 시스템의 적용을 통해 시스템의 적용성을 평가하고, 확률강우량에 대한 침수심, 침수면적을 모의하여 결과를 분석한다.

(4) 배수개선대책에 따른 침수상황의 비교 및 대안의 선정절차 제시

피해유형별 배수개선대책안을 수립하고, 배수개선대책 수립절차를 정립하고 이를 농경지 침수모의 시스템을 이용하여 시험지구에 적용하여 각각의 배수개선 대책안에 대한 침수피해 경감효과를 정량적으로 분석한다. 이로부터 적정대안을 선정하고 선정된 대안에 대한 효과를 분석한다.

(5) 2000년 침수피해지구에 대한 적용성 평가

2000년 침수피해지구에 대한 현황을 조사하고 시험지구를 선정하여 시험지구의 2000년 강우, 수문 특성 및 유역 현황을 조사하고, 농경지 침수모의 시스템을 적용하여 2000년 침수상황을 모의 분석한다.

IV. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구결과

본 연구의 최종적인 연구개발 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 관행 조사계획방식의 검토와 문제점 도출

경기도 지역의 배수개선대상지 조사보고서 자료를 참고하여 배수개선사업계획지구를 선정하고 배수개선사업계획 대상지구의 홍수원인과 유형을 분류하고, 관행적으로 이루어지던 배수개선 사업의 조사계획 방법에 대해 검토하였다.

(2) 홍수량 산정기술 개발과 적용성 평가

경기도 화성시 발안면/팔탄면에 소개한 발안 시험유역을 선정하여 수문자료를 구축하고 이로부터 관행적으로 이용되던 홍수량 산정방법의 적용성을 평가하였다. 또한 관행적으로 이용되던 홍수량 추정방법에 농경지의 저류특성을 고려한 홍수량 추정방법을 개발하여 적용성을 평가하였으며 수문모형의 전후처리 과정을 용이하게 하는 GIS를 연계한 홍수량 추정모형을 적용하여 평가하였다.

(3) 논의 침수상황 모의기법의 개발과 적용성 평가

GIS를 이용한 농경지 침수모의 시스템을 구축하고 이의 적용성을 평가하기 위해 시험지구를 대상으로 지형자료를 구축하고 과거 폭우사상에 대해 홍수량을 추정하고 농경지 침수상황을 모의하였다. 또한, 과거 강우량 자료를 이용하여 확률강우량을 추정하고 이로부터 시험지구에 대한 확률홍수량을 추정하고 이에 대한 침수면적과 침수심을 모의하였다.

(4) 배수개선대책에 따른 침수상황의 비교 및 대안의 선정절차 제시

피해유형별 배수개선대책 시나리오를 작성하고 이를 시험지구에 적용하여 배수개선대책을 시행하기 전후의 홍수량과 침수면적 등을 비교하여 배수개선대책안에 따른 침수피해 경감효과를 분석하고, 대상지구에 대한 적절한 대안을 선정하였다.

(5) 2000년 침수피해지구에 대한 적용성 평가

시험지구로 선정된 발안시험유역에 대한 2000년 홍수시 강우, 유출 자료를 수집하여 유출특성을 분석하고 농경지 침수모의 시스템을 이용하여 2000년 홍수 발생 당시 침수상황을 모의, 분석하였다.

2. 활용계획 건의

이상의 결과로부터 활용계획을 요약하면 다음과 같다.

(1) 시험유역을 선정하고 강우, 하천수위, 수위-유량 관계, 유량 등의 자료를 수집하여 홍수량 추정, 침수모의모형 등 수문관련 모형의 적용성을 평가하고 분석하였으며, 이 후 다양한 수문모형의 적용을 위한 기초자료가 될 것으로 기대된다.

(2) 과거 관행적으로 이루어지던 배수개선사업 조사계획에서 이루어지던 홍수량 산정은 농경지의 저류특성을 고려하지 않았으며, 본 연구에서 개발 적용한 논외 저류특성을 고려한 홍수량 추정 모형은 농경지를 포함한 대다수 농업유역에서의 적용성이 있을 것으로 기대된다.

(3) 수문모형의 입력자료 구축을 위해 지형도, 토양도 등의 수치지도와 위성영상 (RS) 등을 이용하였다. 수문모형의 전처리를 위해 GIS와 RS를 이용할 경우 보다 빠르고, 편리하게 수문모형을 적용할 수 있을 것으로 기대되며, 본 연구에서 이용된 수문모형의 전처리 기법을 활용할 경우 보다 효율적인 홍수량 추정이 가능할 것으로 기대된다.

(4) GIS를 이용한 침수모의 시스템의 적용을 통해 다양한 홍수상황의 발생에 따른 침수모의가 가능하고 침수피해를 경감하기 위한 여러 가지 대안에 대한 침수모의가 가능하여 보다 효과적이고 체계적인 침수피해 방지 시스템을 구축할 수 있을 것으로 기대된다.

(5) 침수피해에 따른 농경지 피해를 산정하기 위해 개발된 농경지 침수피해 모의시스템을 적용하여 침수피해에 대비한 배수개선 대책을 보다 효과적으로 수립할 수 있을 것으로 기대되며, 배수개선 사업의 효과를 정량적으로 분석할 수 있을 것으로 기대된다.

여 백

SUMMARY

I . TITLE

Development of the Inundation Damage Simulation System for Drainage Improvement Paddy.

II . OBJECTIVES AND SIGNIFICANCE

Damages by inundation occur every year due to storm and flood in Korea. Most of the inundation damage in paddy field take place by heavy rainfall and typhoon attack in summer rainy season.

Maximum rainfall which exceed past rainfall observation records occurs repeatedly in recent days. As a result, damages from the flooding increased year by year. For this reason, drainage improvement project for habitual inundation area should be promoted to reduce and cope with damage from flooding. The types of paddy inundation damage from poor drainage are : case 1) shortage of drainage capability for an internal drainage canal, case 2) embankment overflow and drainage delay of flood runoff, case 3) difficulty of flood runoff draining by high stream bottom and flood stage, case 4) difficulty of flood runoff draining by flood stage rising and continuance, case 6) difficulty of flood runoff draining by the effect of tidal water level.

Drainage plans in the basic investigation of paddy drainage improvement project in Korea consist of 1) watershed delineation, 2) computation of runoff curve numbers according to the soils and land uses, 3) determination of design storm, 4) computation of flood runoff, 5) analysis of external flood stage, 6) inundation

analysis, 7) selection of analysis of effectiveness by the drainage improvement from suggestion of an alternatives and improvement plans, and so on.

The propriety of drainage improvement project is dominated by accuracy and reliance. The purpose of drainage improvement project is to select proper solution for reducing the risk of the project flood safely. In order to accomplish the objectives of preventing inundation damage, it is necessary to simulate the inundation damages and estimate the effectiveness of drainage improvement project quantitatively.

It is required to develop the technique that can estimate inundation damages of before and after the drainage improvement project considering the hydrologic characteristics of project area, in order to maximize the effect of drainage improvement project and reduce inundation damage. Especially, it is important to determine the proper drainage alternatives for the project area by estimation and comparison of the damage reduction, and the simulation of inundation damage.

The purposes of this study are as follows.

- (1) To research the general method of drainage improvement planning.
- (2) To develop the flood runoff model and estimate the applicability of the developed model.
- (3) To develop the paddy inundation simulation model and estimate the applicability of the developed model.
- (4) To present the selection process for drainage improvement alternatives
- (5) To estimate the applicability of paddy inundation simulation system for inundation damage area in 2000

III. CONTENTS AND SCOPES OF THE STUDY

This study has been carried out for two years from 2001 through 2003. During the two years, the hydrologic data are collected continuously through operating a study watershed. GIS based inundation simulation system considering the characteristics of storage in paddy field was developed and the applicability was tested for the study watershed.

The contents and scopes of the research may be summarized as follows.

(1) To research the general method of drainage improvement planning and detect the problem of the general method

(2) To develop the flood runoff model and estimate the applicability of the developed model.

To test the flood runoff model which has been used for the drainage improvement project in Korea, a study watershed was selected and the hydrologic data was monitored. Flood runoff model considering the storage characteristics in paddy field was developed and tested. GIS integrated flood runoff model was also applied at this study. All these flood runoff models were applied for the study watershed and the results were compared.

(3) To develop the paddy inundation simulation model and estimate the applicability of the developed model.

GIS integrated pre and post processing system was constructed in order to collect topographic data effectively and illustrate inundation area clearly. In addition GIS integrated paddy inundation simulation system was also constructed and applied to the study watershed. This system make it possible to get the quantitative inundation damages through the inundation span, depth and area.

(4) To present the selection process for drainage improvement alternatives.

Establish the drainage improvement alternatives for each damage types. And analyze the inundation reduction effect of each drainage improvement alternatives quantitatively though the application of paddy inundation simulation system to study watershed. From this result, select a proper alternative and analyze the effect of the selected.

(5) To estimate the applicability of paddy inundation simulation system for inundation damage area in 2000

The status of inundated areas in 2000 are investigated and rainfall, hydrologic characteristics of study watershed are also collected. The applicability of paddy inundation simulation system was tested for study watershed in 2000.

IV. RESEARCH RESULTS AND PROPOSED APPLICATIONS

1. Research results

The followings are the summarized results from the research project.

(1) To research the general method of drainage improvement planning.

Several drainage improvement project areas were chosen referring to the investigation report for drainage improvement project in Gyeong-gi province. Also causes and types of flood were classified. The general method of drainage improvement planning process was examined.

(2) To develop the flood runoff model and estimate the applicability of the developed model.

Balhan study watershed located in Gyeong-gi province was selected and the hydrologic data was monitored to test the flood runoff model which has been used for the drainage improvement project in Korea. GIS integrated flood runoff model and paddy effect considered flood runoff model were calibrated and verified. The simulated results for peak runoff and peak time of each flood models were compared for HP#6 sub-watershed in study watershed.

(3) To develop the paddy inundation simulation model and estimate the applicability of the developed model.

Topographic data, land use data, soil data and hydrologic soil group data were built for study watershed. Detail stream cross section and stream profile data were investigated through stream surveying. Using the topographic data and lateral inflow data which was simulated by HEC-HMS, the GIS based paddy inundation simulation system was calibrated and verified for HP#7 sub-watershed. To simulate the inundation situation, probable rainfall was calculated and applied. The inundation span, depth and area were simulated from this system..

(4) To present the selection process for drainage improvement alternatives

The effect of the inundation damage reduction was analyzed through determining the drainage improvement plan for each damage types and comparing flood runoff and inundation area after executing this plan with that before it, and then the proper alternative was chosen.

(5) To estimate the applicability of paddy inundation simulation system for inundation damage area in 2000

The inundation occurred in 2000 was simulated using the paddy inundation simulation system through collecting the runoff and rainfall data of 2000 in study watershed.

2. Applications and recommendations

The probable applications from the research results may be summarized as follows.

(1) The applicability of flood runoff model and inundation simulation model were tested and analyzed through the precipitation, rainfall and stage-discharge relationship data for study watershed. The monitored hydrologic data is expected to be used as a basic data for various hydrologic model.

(2) The flood runoff model considering paddy effect is expected to be applied for many agricultural watershed in Korea.

(3) The topographical map, soil map and RS were used to make input data for hydrologic model. GIS integrated hydrologic model is expected to be used more quickly and conveniently in various situation.

(4) By application of GIS integrated inundation simulation system, it is possible to simulate the various flood and inundation situation. In addition, quantitative analysis for various kind of alternatives to prevent the inundation are possible. It is expected to construct inundation damage reduction system more effectively and systematically using GIS integrated inundation simulation system.

(5) To establish the more effective improvement countermeasure against inundation damage is expected from applying paddy inundation simulation system that was developed to calculate paddy inundation damage.

CONTENTS

Chapter 1. Outlines of Research and Development

Section 1. Introduction	27
Section 2. Necessity of Research and Development	28
1. Technical Aspects	28
2. Economical and Industrial Aspects	33
3. Social and Cultural Aspects	34
Section 3. Goals and Scopes of Research	35
1. Goals and Scopes of Research	35
2. Annual Research Objectives and Scopes	37
Section 4. Implementation Strategies and Methods	39
1. Collection and analysis of data	39
2. Development and Application of Model	39
3. Estimation of Drainage Improvement Countermeasure	40
4. Application for Inundation Area Damaged in 2000	40
Section 5. Implementation System of Research	41
1. Implementation System for Each Stage	41
2. Implementation System for Each Details	42
Section 6. Anticipated Effects	43
1. Technical Aspects	43
2. Economical and Industrial Aspects	44
Section 7. Potential Applicability	44
Section 8. Composition of Researchers	45
Section 9. Summary and Conclusion	46

Chapter 2. General Method of Investigation and Problems

Section 1. Introduction	47
Section 2. Analysis and Fundamental Investigation of Drainage Improvement	

Project	49
1. Inundation Damage Area and Drainage Improvement Project Area	49
a. Situation of Drainage Improvement Project Area In Gyeong-gi province	49
b. Selection and Outlines of Drainage Improvement Project Area	55
c. Analysis of Inundation Cause for Each Project Area	57
d. Investigation of Inundation Instance for Each Project Area	59
2. Sample Investigation Area	60
a. Selection of Sample Investigation Area	60
b. Investigation of Past Inundation Damage Instance through Exploration	61
c. Investigation of Past Inundation Damage Area	62
d. River Stage of Sample Investigation Area	63
Section 3. Examination of Investigation Plan	66
1. General Investigation Plan	66
a. Investigation of Area Status	66
b. Investigation of Hydrologic Analysis	67
2. Examination and Problems	69
a. Items of Area Present Condition Investigation	69
b. Contents of Hydrologic Analysis	70
Section 4. Summary and Conclusions	71

Chapter 3. Computation of Flood Runoff and Application

Section 1. Introduction	73
Section 2. Study Watershed	74
1. Outlines of Study Watershed	74
2. Hydrologic Characteristics	75
3. Land Use and Topographic Data	76
a. Land Use and Topographic Data	76
b. Creating Topographic Data	82
4. Hydrologic Monitoring	87

a. Rainfall Data	87
b. Hydrologic Data	89
Section 3. Development of Technique Computing Flood Runoff	95
1. Estimation of Flood Runoff Using General Computation Technique	95
a. SCS Method of Flood Runoff Estimation	95
b. Flood Analysis System, FAS	97
2. Flood Runoff Considering Paddy Storage	109
3. GIS Integrated Flood Runoff Model	111
a. HEC-GeoHMS Module	111
b. Creating Topographic Data Using HEC-GeoHMS	116
c. HEC-HMS Model	119
Section 4. Estimation of Applicability of Flood Runoff Model	125
1. Hydrologic Data of Study Watershed	125
2. Calibration of Model	126
3. Verification of Model	134
4. Comparison of Computation Model for Flood Runoff	139
Section 5. Summary and Conclusion	146

Chapter 4. Paddy Inundation Simulation System

Section 1. Introduction	149
Section 2. Study Watershed	151
1. Outlines of Study Watershed	151
2. Hydrologic Characteristics	152
3. Land Use and Topographic Data of HP#7	152
a. Land Use	152
b. Soil Map	154
c. Topographic Data	156
d. CN and Time of Concentration	158
e. Surveying of Stream Cross-section	159
Section 3. GIS Integrated Paddy Inundation Simulation System	172
1. Outlines of Simulation System	172

2. HEC-GeoRAS	174
3. HEC-RAS	180
a. Outlines of HEC-RAS Model	180
b. Stream Channel Routing using HEC-RAS	203
Section 4. Application of GIS Integrated Paddy Inundation Simulation System ..	203
1. Application of the HEC-GeoRAS Module	203
2. Application of the HEC-RAS Model	206
a. Creating Input Data	206
b. Calibration of Model	210
c. Verification of Model	215
3. Application of HEC-RAS Model	219
a. Calculation of Probability Rainfall	219
b. Rainfall Distribution	221
c. Inundation Simulation according to Probability Rainfall	222
Section 5. Estimation of Yield Reduction Rate according to Inundation	229
1. Yield Reduction Rate according to Inundation	229
2. Estimation Model of Yield Reduction Damage according to Inundation	236
3. Yield Reduction Rate according to Probability Rainfall	237
4. Estimating of Annual Yield Reduction Rate	240
Section 6. Summary and Conclusion	241

Chapter 5. Comparison of Inundation and Selection of Alternatives according to Drainage Improvement Plan

Section 1. Introduction	243
Section 2. Selection of Alternatives against Inundation Damage	244
Section 3. Simulation and Results Analysis of Selected Alternatives	245
1. Exhibition of Selected Alternative	245
a. On-line Method	245
b. Off-line Method	245
2. Simulation and Results Analysis	246

a. Storage Routing	246
b. Storage Simulation by On-line Method	247
c. Storage Simulation by Off-line Method	249
d. Analysis of Simulation Result for Available Alternatives	251
e. Reduction Effect Analysis	269
Section 4. Summary and Conclusions	271

Chapter 6. Estimation of Applicability for Inundation Damage Area in 2000

Section 1. Introduction	273
Section 2. Investigation of Inundation Damage in 2000	274
1. Inundation Damage Investigation of Southern Gyeonggi Area in 2000	274
2. Analysis of Rainfall Characteristic at Suwon station, in 2000	275
Section 3. Investigation of Inundation Damage in 2002	276
1. Status of National Inundation Damage in 2002	276
2. Investigation of Inundation Damage in 2002 for Drainage Improvement Project Sample Area	278
3. Estimating Status of Inundation Damage for Study Watershed	280
Section 4. Applicability Estimation of Inundation Simulation System for Flood in 2000	283
1. Analysis of Rainfall Characteristics in 2000	283
2. Flood Runoff Estimation in 2000	284
3. Inundation Simulation	289
Section 5. Summary and Conclusion	289

Chapter 7. Goal Achievement and Contribution

Section 1. Research Goal and Estimation	291
1. Goal of Research	291
a. Research the General Method of Drainage Improvement Planning	

.....	291
b. Develop the Flood Runoff Model and Estimate the Applicability of the Developed Model	291
c. Develop the Paddy Inundation Simulation Model and Estimate the Applicability of the Developed Model	291
d. Present the Selection Process for Drainage Improvement Alternatives	292
e. Estimate the Applicability of Paddy Inundation Simulation System for Inundation Damage Area in 2000	292
2. Key Point of Evaluation	292
Section 2. Goal Achievement Rate of Research Development	293
1. Estimation of General Investigation Method and Problems	293
2. Development of Computation Technique for Flood Runoff and Estimating Application	293
3. Development of Paddy Inundation Simulation method and Estimating Application	293
4. Comparing the Situation of Inundation and Exhibiting Selection Process of Alternative Proposal according to Drainage Improvement Plan	293
5. Estimating Application for Inundation Damage Area in 2000	294
Section 3. Contribution Rate of Technique Development for Connected Field	294
1. Contribution Rate of Technique Development	294
a. Development of Flood Runoff Estimation	294
b. Construction of Inundation Simulation System	294
c. Effect Analysis Drainage Improvement Project	294
2. Achievement that Expected in Technical, Economical and Industrial Aspects	294
a. Technical Aspect	294
b. Economical and Industrial Aspect	295

Chapter 8. Utilization Plan for the Results of Reserch

References

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 서 론	27
제 2 절 연구개발의 필요성	28
1. 기술적 측면	28
2. 경제·산업적 측면	33
3. 사회·문화적 측면	34
제 3 절 연구개발 목표 및 내용	35
1. 연구개발 목표와 내용	35
2. 연차별 연구개발목표와 내용	37
제 4 절 추진전략 및 방법	39
1. 관련 자료의 수집 및 분석	39
2. 모형의 개발 및 적용	39
3. 배수개선대책안의 평가	40
4. 2000년 침수피해지구에 대한 적용	40
제 5 절 연구개발 추진 체계	41
1. 단계별 추진 체계	41
2. 세부항목별 추진 체계	42
제 6 절 기대효과	43
1. 기술적 측면	43
2. 경제적·산업적 측면	44
제 7 절 활용방안	44
제 8 절 연구진의 구성	45
제 9 절 요약 및 결론	46

제 2 장 관행 조사계획방식의 검토와 문제점 도출

제 1 절 서 론	47
제 2 절 배수개선사업 기본조사 및 분석	49
1. 침수피해지구 및 배수개선 사업지구의 조사	49
가. 경기도 지역 배수개선 대상 사업지구 현황	49

나. 조사대상 배수개선 사업지구 선정 및 개요	55
다. 조사대상 배수개선사업계획 지구별 침수원인 분석	57
라. 조사대상 배수개선사업계획 지구별 과거 침수사례 조사	59
2. 표본 조사지구의 선정 및 관련 자료의 조사 및 현장 답사	60
가. 표본 조사지구의 선정	60
나. 현장 답사를 통한 과거 침수피해 사례 조사	61
다. 과거 침수피해구역 조사	62
라. 표본 조사지구 인근 남한강 수위측정 자료 조사	63
제 3 절 배수개선사업 조사계획방식의 검토	66
1. 관행 배수개선사업 조사계획방식	66
가. 지구현황 내용 조사	66
나. 수문분석 내용 조사	67
2. 관행 배수개선사업 조사계획방식 검토 및 문제점 도출	69
가. 지구현황 조사 항목 검토	69
나. 수문분석 조사 내용 검토	70
제 4 절 요약 및 결론	71

제 3 장 홍수량 산정기술 개발과 적용성 평가

제 1 절 서 론	73
제 2 절 시험 유역	74
1. 시험유역의 개요	74
2. 유역특성인자	75
3. 시험유역의 토지이용 및 지형 자료의 구축	76
가. 토지이용 및 토양도 구축	76
나. 지형자료 구축	82
4. 수문 모니터링	87
가. 강우자료	87
나. 수문자료	89
제 3 절 홍수량 산정 기술의 개발	95
1. 관행 홍수량 산정 기술을 이용한 홍수량 추정	95
가. SCS 홍수량 추정법	95
나. 농업기반공사 홍수분석시스템 (Flood Analysis System, FAS)	97
2. 논의 저류 기능을 고려한 홍수량 추정 (WFRpaddy)	109
3. GIS를 이용한 홍수량 추정	111
가. HEC-geoHMS 모듈	111

나. HEC-geoHMS를 이용한 지형자료 구축	116
다. HEC-HMS 모형	119
제 4 절 홍수량 산정 기술의 적용성 평가	125
1. 수문 자료	125
2. 모형의 보정	126
3. 모형의 검정	134
4. 홍수량 산정 모형의 비교	139
제 5 절 요약 및 결론	146

제 4 장 논의 침수상황 모의기법의 개발과 적용성 평가

제 1 절 서론	149
제 2 절 시험 구역	151
1. 시험구역의 개요	151
2. 구역특성인자	152
3. HP#7 시험구역의 토지이용 및 지형자료의 구축	152
가. 토지 이용도	152
나. 토양도	154
다. 지형자료 구축	156
라. 유출곡선번호 및 도달시간	158
마. 시험지구 하천 단면 측량	159
제 3 절 GIS를 이용한 농경지 침수모의 시스템	172
1. GIS를 이용한 농경지 침수모의 시스템의 개요	172
2. HEC-GeoRAS	174
3. HEC-RAS	180
가. HEC-RAS 모형의 개요	180
나. 하천 분류구간으로 유입되는 구역 홍수추적	203
제 4 절 GIS를 이용한 농경지 침수모의 시스템의 적용	203
1. HEC-GeoRAS 모듈의 적용	203
2. HEC-RAS 모형의 적용	206
가. 입력자료의 구축	206
나. 모형의 보정	210
다. 모형의 검정	215
3. HEC-RAS 모형의 응용	219
가. 확률강수량 산정	219
나. 강우분포모형	221

다. 확률강수량에 따른 침수모의	222
제 5 절 벼 침수피해 감수량 추정	229
1. 침수에 의한 벼 감수피해율	229
2. 침수에 의한 벼 감수피해 추정모형	236
3. 확률강수량에 따른 감수율	237
4. 연간 벼 침수피해 감수량 추정	240
제 6 절 요약 및 결론	241

제 5 장 배수개선대책에 따른 침수상황의 비교 및 대안의 선정

제 1 절 서 론	243
제 2 절 홍수피해 저감대안의 선정	244
제 3 절 선정된 적정대안의 모의 및 결과분석	245
1. 선정된 대책안의 제시	245
가. On-line 방법	245
나. Off-line 방법	245
2. 적정대안의 모의 및 결과 분석	246
가. 저류지 홍수추적	246
나. On-line형 저류지 모의	247
다. Off-line형 저류지 모의	249
라. 적정대안의 모의결과 분석	251
마. 저감대책 효과분석	269
제 4 절 요약 및 결론	271

제 6 장 2000년 침수피해지구에 대한 적용성 평가

제 1 절 서 론	273
제 2 절 2000년 침수피해 현황 조사	274
1. 2000년 침수피해지구에 대한 기본조사	274
2. 2000년 홍수피해 당시 수원관측소 강우특성 분석	275
제 3 절 2002년 침수피해 현황 조사	276
1. 2002년 전국 홍수 피해 현황	276
2. 표본 배수개선사업계획지구 2002년 침수피해 조사	278
3. 시험유역 2002년 침수피해 현장 조사	280
제 4 절 2000년 홍수시 침수모의 시스템의 적용성 분석	283

1. 2000년 강우특성 분석	283
2. 2000년 홍수량 추정	284
3. 침수모의 분석	289
제 5 절 요약 및 결론	289

제 7 장 목표 달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 연구목표 및 평가착안점	291
1. 연구개발목표	291
가. 관행 조사계획방식의 검토와 문제점 도출	291
나. 홍수량 산정기술의 개발과 적용성 평가	291
다. 논의 침수상황 모의 기법의 개발과 적용성 평가	291
라. 배수개선대책에 따른 침수상황의 비교 및 대안의 선정절차 제시	292
마. 2000년 침수피해지구에 대한 적용성 평가	292
2. 평가착안점	292
제 2 절 연구개발목표 달성도	293
1. 관행 조사계획방식의 검토와 문제점 도출	293
2. 홍수량 산정기술 개발과 적용성 평가	293
3. 논의 침수상황 모의기법의 개발과 적용성 평가	293
4. 배수개선대책에 따른 침수상황의 비교 및 대안의 선정절차 제시	293
5. 2000년 침수피해지구에 대한 적용성 평가	294
제 3 절 관련분야의 기술발전예의 기여도	294
1. 관련분야 기술발전 기여도	294
가. 홍수량 추정기술의 개발	294
나. 침수 모의 시스템 구축	294
다. 배수개선 대책 효과 분석	294
2. 기술·경제·산업적 기대성과	294
가. 기술적 측면	294
나. 경제, 산업적 측면	295

제 8 장 연구개발결과의 활용계획

참고문헌

여 백

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 서 론

‘배수개선 농경지의 침수피해 모의시스템 개발’은 농림수산 특정 연구과제 중 현장 애로 연구과제로서, 2001년 8월 재단법인 농림기술관리센터와 서울대학교간의 연구협정으로 2001년 8월부터 2003년 8월까지 총 2개년에 걸쳐 서울대학교를 주관 연구기관으로 15명의 연구원이 참여하는 학제 간 공동연구로 수행되었다. 본 보고서는 2개년도의 연구 결과를 정리한 최종보고서이다.

현장애로과제는 영농, 영림 현장에서 농민이 피부로 느끼는 애로점을 해결하기 위한 기술개발 분야이다.

본 연구는 현장애로과제 중에서 자원분야로 배수개선 농경지의 침수피해 모의시스템 개발을 위해 관행 조사계획방식의 검토와 문제점 도출, 홍수량 산정기술 개발과 적용성 평가, 논의 침수상황 모의기법의 개발과 적용성 평가, 배수개선대책에 따른 침수상황의 비교 및 대안의 선정절차 제시, 2000년 침수피해지구에 대한 적용성 평가 등의 내용을 포함한다.

본 장에서는 ‘배수개선 농경지의 침수피해 모의시스템 개발’ 사업의 연구 배경과 그 필요성을 기술적, 경제/산업적, 사회/문화적 측면에서 살펴보고, 지금까지의 연구개발 실적과 앞으로의 발전과제를 정리하며, 연구 개발의 목표와 내용, 세부 수행방법, 추진계획 등을 정리하도록 한다. 또한, 본 연구의 기대효과를 기술적, 경제/산업적 측면에서 고찰해보고, 연차별 연구목표와 내용, 연구진의 구성과 역할 등을 정리하도록 한다.

제 2 절 연구개발의 필요성

1. 기술적 측면

우리나라는 해마다 풍수해로 인한 농경지의 침수, 유실피해를 겪고 있다. 기후적 특성상 6월 중하순부터 7월 중하순에 걸친 장마와 8, 9월의 태풍내습, 국지적인 저기압의 발달에 따른 집중호우 등으로 인하여 농경지가 침수되거나 일부지역에서는 농경지가 유실되는 피해를 겪고 있다.

풍수해로 인한 피해는 <표 1-1>에서와 같이 1950년대 이래 연평균 인명피해 299명, 이재민 104천 명에 이르고 있으며, 침수면적은 113천 ha에 달하고 있다. 총 피해액은 1999년 환산가격기준 연평균 2,962억 원이며, 이 중에서 농경지 피해액은 연평균 321억 원, 그리고 농작물의 피해를 감안한 경우의 농업재해 피해액은 연평균 950억 원으로, 이는 전체 피해액의 38~67%에 달하고 있다.

<표 1-1> 연평균 풍수재해 현황

연도별	사망 (인/년)	이재민 (명)	침수면적 (ha)	총피해액 (백만원)	농업재해 피해액 (백만원)			
					농경지	농작물	계	구성비 (%)
'50~'59	471	N/A	223,594	200,402	100,823	33,928	134,751	67
'60~'69	265	162,114	100,519	95,289	24,684	29,097	53,781	56
'70~'79	330	118,420	68,866	155,889	10,366	55,853	66,219	43
'80~'89	285	98,566	111,990	418,379	24,714	132,655	157,369	38
'90~'99	142	37,184	60,475	611,155	41,344	N/A	N/A	N/A
평균	299	104,071	113,089	296,223	32,117	62,883	95,000	32

주: 1) 농작물 풍수해피해는 '91년 이후는 집계되지 않음

2) 구성비는 총 피해액에 대한 농업재해 피해액의 구성백분율임

3) 피해액은 '99년도 환산가격임

농경지의 풍수해 피해를 경감하기 위해서는 상습침수지역에 대한 배수개선사업이 선행되어야 한다. 상습침수 농지면적은 1983년 조사에서는 지표배수 127천 ha로 나타났다, 2000년 전국배수개선사업 대상지 조사 결과 총 180천 ha로 나타났다. 이중에서 1999년말 현재, 지표배수개선사업은 120천 ha가 시행되었으며, 2009년까지 나머지 대상지구에 대한 종합적이고 체계적인 대책을 실시하는 것으로 계획하고 있다.

최근 수년간의 기상관측사상 초유의 최대연속 강우량 기록을 보이는 등, 집중호우로 인한 풍수해 피해에 대응하기 위하여, 정부에서는 1999년 수해방지종합대책을 발표하였다. 수해방지종합대책에서는 단기대책과 중장기대책을 포함하며, 1) 상습침수 농경지에 대한 배수개선종합정비계획의 수립, 2) 농업용 저수지의 홍수조절기능 부여, 3) 수리시설의 합리적인 관리방안 구축, 4) 노후 수리시설의 안전진단과 개보수, 5) 기존 방조제의 안정성 검토와 보강 등의 농업재해대책이 포함되어 있다.

2000년 상습침수 농경지에 대한 일제조사 결과, 배수불량에 따른 농경지의 침수피해 유형은 1) 내배수로 배수능력의 부족에 의한 경우, 2) 내배수로와 배수구의 배수능력이 부족한 경우, 3) 하천제방의 월류, 경지 내 홍수배제지연의 경우, 4) 하천바닥과 홍수위가 높아 경지 내 홍수배제가 어려운 경우, 5) 하천 홍수위 상승 및 장시간 지속으로 경지 내 홍수배제가 어려운 경우, 6) 조위의 영향으로 경지 내 홍수배제가 어려운 경우 등으로 나타났다. 이상의 원인별, 지구별 면적을 정리하면 <표 1-2>에서와 같으며, 하천수위의 상승에 따른 배수불량이 전체 대상면적의 61%, 배수능력 부족이 주요 원인인 경우가 39%를 점유한 것으로 나타났다. 이중에서 기계배제가 필요한 지역은 전체 1,139지구 중에서 863개소로, 대상면적의 75%로 나타났다.

<표 1-2> 지표 배수불량 원인별 농지 면적과 구성비

구 분	배 수 불 량 원 인	대 상 면 적	
		면적 (ha)	구성비 (%)
하천수위의 상승에 따른 배수불량	○ 하천수위의 상승에 따른 저지대 내 배수 처리 지연	74,042	41
	○ 천장하천으로 낮은 빈도의 강우에도 홍수위 상승	32,635	18
	○ 하천정비 불량으로 하천제방의 월류 및 배수처리 지연	3,698	2
배수능력 부족	○ 내배수로 배수능력 및 정비불량	46,533	26
	○ 감조구역으로 조위상승시 배수지연 (남부 해안지대)	17,894	10
	○ 유역면적에 비해 배수로·배수문의 능력부족	5,198	3
계	○ 지표배수개선사업 대상면적	180,000	100

자료 : 농림부·농업기반공사, 2000. 전국배수개선대상지 조사보고서

한편, 풍수해의 피해에 따른 교훈으로 신뢰성 있는 설계홍수량 결정방법의 개발에 대한 필요성이 제기되었다. 농림부·농업기반공사(2000)는 「'98~99년 풍수해의 피해: 교훈과 과제」에서 재해의 원인은 장마나 태풍 내습에 따른 국지적 집중호우에 의한 홍수량이 하천이나 배수문의 처리능력을 초과하여 범람, 침수피해가 발생하며, 이를 극복하기 위해서는 종합적인 재해복구 및 보강이 필요하고, 재해의 과학적인 원인 규명과 지속적인 방재의 필요성을 제기하였다.

우리나라의 농경지 배수개선사업 기본조사에서 배수계획은 <표 1-3>에서와 같이 1) 유역의 구분, 2) 토양과 토지이용상태에 따른 유출곡선지수의 산정, 3) 설계강우량의 결정, 4) 홍수량의 산정, 5) 외수위 분석, 6) 침수 분석, 7) 대안설정에 따른 배수개선 효과분석 및 개선방안의 선정 등으로 구성된다. 여기서, 유역홍수량은 SCS 삼각단위도법, 합리식, 단위배수량법과 배수개선홍수분석시스템(flood analysis system, FAS) 등을 적용하여 홍수량을 산출하여 이 중에서 적합하다고 인정되는 홍수량을 구

하고, 배수로 홍수량은 복합단위도법, 합리식법, 단위배수량법 등을 적용하고, 그 결과로부터 계획홍수량을 정하는 방법을 채택하고 있다.

농업기반공사에서 농림부의 '농특과제'의 일환으로 개발한 배수개선 홍수분석 시스템 FAS (flood analysis system)은 SCS 유출해석법을 기초로 하는 설계홍수량 산정 모형으로, 기존의 농촌용수 데이터베이스와 GIS 자료를 활용하여 농경지 구역의 홍수 유출곡선의 모의가 가능하도록 개발되어, 배수개선사업 조사설계의 도구로 활용되고 있다.

배수개선사업의 타당성은 홍수량 산정과 침수대책 대안에 따른 침수분석의 정확성과 신뢰성에 의해 좌우된다. 배수개선사업은 계획홍수량을 안전하게 배제할 수 있는 대책을 선정하여 시행하는 것으로, 이를 위해서는 계획홍수량에 따른 침수피해 상황을 정확히 모의하고, 대책에 따른 효과를 검토하여, 적정수준이내의 침수방지 목적을 달성할 수 있도록 하는 일이 필요하다.

그러나 관행 방법은 배수개선사업 계획설계기준에 따른 교과서적인 방법을 적용하고 있어, 논의 수문학적 특징을 반영하지 못하는 경우가 많고, 실제 강우사상에 의한 침수상황을 모의할 수 없으므로, 계획의 타당성을 입증하지 못하는 경우가 많다. 농경지의 침수원인은 여러 가지가 있으므로, 각각의 상황에 대하여 침수피해를 최소화할 수 있는 타당성 있는 대책을 모색하는 일이 필요하다.

배수개선사업의 효과를 극대화하고, 침수피해를 경감하기 위해서는 관행 설계홍수량과 침수분석 방법에서 진일보하여, 대상지구의 농경지에 대한 수문학적 특성을 고려한 계획홍수량의 배수개선대책에 대한 침수피해상황의 모의가 가능하도록 하여, 배수개선사업의 실시 전후의 침수분석에 대한 평가가 가능한 기술개발이 필요하다. 특히, 현실적인 배수개선 대책안들을 적용할 때, 사업지구의 침수피해를 모의하고, 피해 경감 효과를 계량적으로 비교 평가할 수 있도록 하여, 해당 지구에 적합한 배수방식과 규모를 설정하는 것이 중요하다.

<표 1-3> 국내와 일본의 배수계획방법의 비교

구 분	국내 배수개선계획	일본 배수개선계획
참고 자료	복용지구 배수개선사업기본계획	토지개량사업계획설계기준 (배수편)
설계강우량	<ul style="list-style-type: none"> · Thiessen 망에 의한 지배유역도 작성 · 확률강우량 추정 (Gumbel Type I 적용) · IDF 곡선 적용 	<ul style="list-style-type: none"> · 확률강우량 결정 · 수종의 호우분포형 선정하여 확률우량과 실제우량의 비를 적용 · 24시간 강우량으로부터 시간 강우강도 추정식 적용 · 우량배분법 적용 $R_t = R_T(t/T)^k$
기준 외수위	· 하류/인접 하천의 계획수위	· 계획대상 하천/호소/하구의 계획수위
유효 강우량	· SCS CN법	<ul style="list-style-type: none"> · 확률유효강우강도 곡선의 적용 · 손실우량과 지속시간관계 · 논의 유효우량
홍수량 산정법	<ul style="list-style-type: none"> · 합리식 · 단위 배수량식 · SCS 삼각단위도법 	<ul style="list-style-type: none"> · 단위도법 - 집중면적도 이용 · 유효우량의 추정 $R_L = R(1 - aR^{\beta-1})$ <ul style="list-style-type: none"> · TANK 모형 · 특성곡선법 등의 방법 적용
홍수도달시간	<ul style="list-style-type: none"> · California 도로국 공식 (산지부) · Rizha 식 (경사지) · 배수로 허용유속식 (평야부 수로) 	<ul style="list-style-type: none"> · 실측유량도에 의한 유효강우강도-도달시간관계 · 계산법: 유역면적-도달시간관계
침수 분석	· 사업시행전후의 내수위 추정결과와의 비교	<ul style="list-style-type: none"> · 계획강우량에 대한 침수위 분석 · 배수능력검토에 따른 수위추정결과와의 비교

2. 경제·산업적 측면

배수개선사업은 집중호우 및 태풍 내습 시 상습적인 침수피해를 입는 농경지에 대한 배수개선을 통하여 침수피해를 예방함으로써, 안전한 영농을 도모하는 데 그 목적이 있다. 풍수해로 인한 재해는 '98~'99년 2개년 동안 무려 2조원에 달하는 피해를 입은 것으로 나타났다. 농경지의 유실·매몰로 인한 재산피해액은 90년대는 연평균 413억 원에 달하고 있으며, 여기에는 농작물의 피해를 감안하지 않은 것이다.

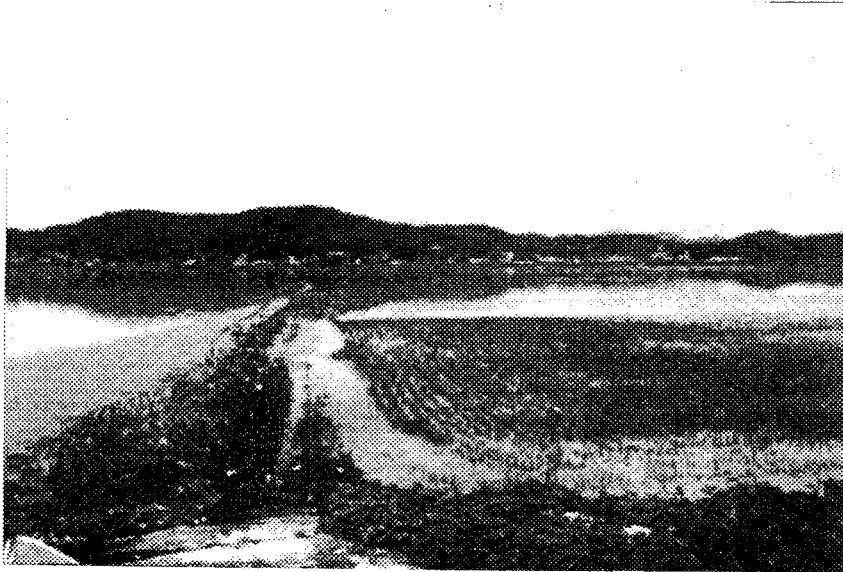
농업수리시설은 대부분 소규모이며, 노후화 되어 제 기능을 다하지 못하는 경우가 많아, 풍수해에 대하여 매우 취약한 특징을 가진다. 특히, 하천을 가로질러 설치한 취입보 등은 홍수 시 유실 파손이 많이 발생하며, 1999년의 제14호 태풍 '사오마이'로 인한 피해 중 수리시설피해는 445개소로서 148억원에 이르는 등 매년 많은 경제적 손실을 받고 있다.

배수개선사업은 풍수해의 피해 경감으로 생산량 82kg/ha의 증수효과, 노동력 14시간/10a 감소효과 등으로 집계되고 있다. 이와 같은 직접적인 효과이외에도 배수개선사업은 효과적인 풍수해 재해방지를 위하여 선결되어야 할 과제이다.

그러나 여타의 농업생산기반조성사업과는 달리, 배수개선사업은 재해방지를 목적으로 하고 있으며, 따라서 사업효과를 단순한 경제적 편익만으로 평가할 수 없다. 국내·외를 막론하고, 치수나 방재사업의 경우, 투자편익비 (B/C ratio)가 1.0이하의 경우도 사업의 타당성을 인정하고 있는 데, 이는 풍수해 재해는 계량적인 피해이외에도 인명과 같은 비계량적인 피해를 수반하므로, 단순한 투자편익만으로 평가할 수 없는 까닭이다.

배수개선사업과 같은 치수, 방재사업의 경우는 계획홍수량에 따른 사업전후의 침수 상황을 모의하고, 이로부터 대책을 모색하는 기법을 적용해야 한다. 경제적 측면에서 투자편익비를 적용할 수 없으므로, 적용가능한 배수방식별 대책에 따른 침수개선효과가 제시되어야 하기 때문이다. 따라서, 농경지의 실시간 침수피해 모의기법을 개발, 사업지구에 적용함으로써, 경제적인 대책안을 평가하는 기술개발이 필요하다. 즉, 적용 가능한 대책안에 따른 농경지 침수정도를 비교 검토하여 투자에 따른 효과를 비교할 수 있도록 함으로써, 예산절감은 물론이고 유지관리에 따른 편의성 등을 극대화하

는 등의 간접적인 효과가 기대된다. 예를 들어, 적정한 규모의 배수로 단면의 설정과 적정규모의 배수펌프의 선택 등을 통한 예산의 절감을 도모하고, 이를 통한 최소의 유지관리비로서 최대의 효과를 얻을 수 있는 소프트적인 기술개발이 필요하다.



(그림 1-1) 농경지 침수 상황

3. 사회·문화적 측면

풍수해 피해경감을 위한 배수개선사업에서 현대적, 과학적 계획기술의 개발은 단순히 계량 가능한 효과 이외에도 비계량적인 측면에서 그 당위성을 찾을 수 있다. 대부분의 경제개발 관련사업은 투자편익비 (B/C ratio)가 1.0 이상의 경우에 타당성이 있다고 할 수 있다. 그러나 방재부문의 사업은 사업효과의 비계량적인 요소를 감안하여, B/C가 1.0이하의 사업에 대해서도 타당성을 인정하고 있는 것이 국제적인 관행이다. 이는 배수개선사업이 단순한 재해경감에 따른 증수 효과이외에도 사회적 평등과 정의를 실현하는 일이기 때문이다.

풍수해로 인하여 일 년의 농사를 망친 예를 주변에서 수없이 겪어왔다. 이와 같은 이재민의 수가 연평균 110천 명에 이르고 있는 것으로 보고가 되고 있으며, 이로 인하

여 우리 국민 중의 일부가 풍수해로 인하여 귀중한 재산을 잃고 좌절과 고통을 경험한다는 점을 상기하면, 방재의 중요성은 경제적 가치 이상으로 사회 평등적, 문화적인 무형적 가치를 가진다고 할 수 있다.

따라서, 풍수해로부터 안전한 농업을 위한 배수개선 기술개발의 필요성은 매우 높다고 할 수 있다.

제 3 절 연구개발 목표 및 내용

1. 연구개발목표와 내용

본 연구의 최종개발목표는 ① 관행 조사계획방식의 검토와 문제점 도출, ② 홍수량 산정기술의 개발과 적용성 평가, ③ GIS를 이용한 농경지의 침수상황 모의기법의 개발과 적용성 평가, ④ 배수개선대책에 따른 침수상황의 비교 및 대안의 선정절차 제시, ⑤ 2000년 침수피해지구의 대한 적용성 평가 등을 통하여, 배수개선계획방식의 현장기술의 개발을 최종목표로 한다.

본 연구의 내용으로는 ① 관행 조사계획방식의 검토와 문제점 도출, ② 홍수량 산정기술의 개발과 적용성 평가, ③ 논의 침수상황 모의기법의 개발과 적용성 평가, ④ 배수개선대책에 따른 침수상황의 비교 및 대안의 선정절차 제시, ⑤ 2000년 침수피해지구의 대한 적용성 평가 등이 있으며 각각의 항목별 세부 내용은 다음과 같다.

① 관행 조사계획방식의 검토와 문제점 도출

- 피해유형별, 배수개선사업계획지구의 선정
- 조사계획방식의 검토
- 조사계획방식의 문제점 도출

② 홍수량 산정기술의 개발과 적용성 평가

- 관행 홍수량 산정기술의 시험유역에의 적용
- 홍수량 추정결과의 적용성 평가
- 다양한 유역특성에 맞는 GIS를 이용한 수문모형 입력자료 추출모형의 개발
- 논의 저류기능을 고려한 홍수량산정기술의 개발 및 적용성 평가

- 현장적용기술의 제시
- ③ 논의 침수상황 모의기법의 개발과 적용성 평가
 - 집중호우에 따른 시간별 침수구역과 침수심의 추정모형의 개발
 - 지형자료 추출을 위해 GIS를 이용한 Pre-processing 모듈의 개발
 - 침수 모의 결과의 비교 및 평가를 위한 Post-processing 모듈의 개발
 - 침수피해지구의 침수상황과 비교 및 적용성 평가
- ④ 배수개선대책에 따른 침수상황의 비교 및 대안의 선정절차 제시
 - 피해유형별 배수개선대책안의 제시
 - 침수상황의 모의 및 결과의 비교
 - 적정 대안의 설정방식의 비교
 - 배수개선대책수립절차의 제시
- ⑤ 2000년 침수피해지구의 대한 적용성 평가
 - 2000년 침수피해지구의 현황조사
 - 연구결과의 적용 및 현황조사결과와의 비교
 - 연구결과의 적용성 평가

2. 연차별 연구개발목표와 내용

연차별	연구개발목표	연구개발내용 및 범위
1차년도 (2001)	관행 조사계획방식의 검토와 문제점 도출	<ul style="list-style-type: none"> ① 피해유형별, 배수개선사업계획지구의 선정 <ul style="list-style-type: none"> ○ 침수피해지구 및 배수개선사업지구의 조사 ○ 표본 조사지구의 선정 및 관련 자료의 조사 및 현장 답사 ② 조사계획방식의 검토 <ul style="list-style-type: none"> ○ 조사지구의 배수계획방법의 비교 ○ 조사계획방식의 타당성 검토
	홍수량 산정기술 개발과 적용성 평가	<ul style="list-style-type: none"> ① 관행 홍수량 산정기술의 시험유역에의 적용 <ul style="list-style-type: none"> ○ 시험지구의 선정 및 수문 모니터링 ○ 강우-유출량 자료의 수집 ○ 토지이용 및 지형자료의 구축 ○ 홍수량 산정 모델의 적용 ○ 홍수량 산정 기술의 정확도 관리 ② 홍수량 추정 결과의 적용성 평가 <ul style="list-style-type: none"> ○ 농경지의 홍수량 추정 및 적용가능성 평가 ○ 홍수량 추정 결과의 분석
	논의 침수상황 모의기법의 개발과 적용성 평가	<ul style="list-style-type: none"> ① 집중호우에 따른 시간별 침수구역과 침수심의 추정모형의 개발 <ul style="list-style-type: none"> ○ 농경지의 침수해석 알고리즘 개발 ○ 침수상황의 모의를 위한 Post-processing 개발 ○ GIS를 이용한 농경지 침수모의 시스템 개발 ② 침수피해지구의 침수상황에 대한 비교 평가 <ul style="list-style-type: none"> ○ 침수피해지구에 대한 침수상황 자료의 수집 ○ 침수피해지구의 지형 및 수문자료 구축
	배수개선대책에 따른 침수상황의 비교 및 대안의 선정 절차 제시	<ul style="list-style-type: none"> ① 피해유형별 배수개선 대책안의 제시 <ul style="list-style-type: none"> ○ 침수피해의 원인 및 유형 분류 ○ 피해유형별 대책안의 선정 및 평가 ② 침수상황의 모의 및 결과의 비교 <ul style="list-style-type: none"> ○ 침수피해상황의 모의 및 결과 분석
	2000년 침수피해지구에 대한 적용성 평가	<ul style="list-style-type: none"> ① 2000년 침수피해지구의 현황조사 <ul style="list-style-type: none"> ○ 침수피해지구에 대한 기본조사 ○ 침수피해지구의 홍수터 및 현장 방문 조사 ○ 침수당시의 강우특성 분석

연차별	연구개발목표	연구개발내용 및 범위
2차년도 (2002)	관행 조사계획방식의 검토와 문제점 도출	① 조사계획방식의 문제점 도출 ○ 국내외 조사계획방식의 비교 ○ 국내외 조사계획방식에 대한 평가 ○ 합리적인 조사계획방식의 제시 및 현장 적용 가능성 검토
	홍수량 산정기술 개발과 적용성 평가	① 논의 저류기능을 고려한 홍수량 산정기술의 개발 및 적용성 평가 ○ 농경지 홍수량 산정방법의 조사 비교 ○ 농경지 홍수량 산정 알고리즘 개발 ○ GIS를 이용한 수문모형 입력자료 추출모형의 개발 ○ 논의 홍수량 산정 프로그램 개발 ○ 홍수량 산정 기술의 적용 및 평가 ② 현장적용 기술의 제시 ○ 홍수량 산정 기술의 적용성 평가 ○ 현장 설계를 위한 실무기술 자료의 제시
	논의 침수상황 모의기법의 개발과 적용성 평가	① 집중호우에 따른 시간별 침수구역과 침수심의 추정모형의 개발 ○ 침수모의 Post-processing 모듈의 보완 ○ 농경지 침수모의시스템의 적용 ○ 시간별 침수구역과 침수심의 추정 ② 침수피해지구의 침수상황과 비교 및 적용성 평가 ○ 침수피해지구에 대한 침수상황의 모의 ○ 침수모의시스템의 현장 적용가능성 평가
	배수개선대책에 따른 침수상황의 비교 및 대안의 선정 절차 제시	① 적정대안의 설정방식의 비교 ○ 적정대안의 선정 및 예상효과 분석 ② 배수개선대책 수립절차의 제시 ○ 배수개선수립 절차 및 작업 흐름도 제시
	2000년 침수피해지구에 대한 적용성 평가	① 2000년 침수피해지구의 현황조사 ○ 연구결과의 적용 및 현황 조사결과와의 비교 ○ 연구결과의 적용성 평가

제 4 절 추진전략 및 방법

본 연구는 배수개선 사업의 계획 및 설계단계에서 발생하는 현장애로 문제를 해결하기 위한 과제로서

- ① 기존의 국내외 배수개선 관련 자료를 수집하고, 배수개선사업의 조사 및 계획에 따른 문제점을 도출하며,
- ② 논의 저류기능을 고려한 홍수량 산정 기술을 개발하여, 현장 적용성을 평가하고,
- ③ 농경지의 침수상황을 모의하기 위한 침수해석 시스템을 개발하며,
- ④ 배수개선대책에 따른 침수상황을 모의 비교하고, 대안의 선정 절차를 제시하며,
- ⑤ 이상의 결과를 2000년 침수피해지구에 적용하여 현장조사 결과와 비교하기 위한 것으로, 성공적인 기술개발을 위하여 자료의 조사 및 분석, 수학적 모형의 개발 및 적용, 대책안의 평가 등으로 구분하여 추진하도록 한다.

1. 관련 자료의 수집 및 분석

- ① 침수피해지구 및 배수개선사업 계획지구를 대상으로 표본 조사지구를 선정하며,
- ② 조사지구의 관련 자료 및 현장 답사를 실시하고,
- ③ 조사지구의 배수계획방법을 비교하여 국내의 배수개선 사업의 계획 및 설계방법을 검토하고,
- ④ 미국, 일본 등의 배수개선 사업의 관련 자료를 수집하여 국내의 기술여건과 비교하며,
- ⑤ 최종적으로 합리적인 조사계획 방식을 제시하도록 한다.

2. 모형의 개발 및 적용

- ① 관행적인 농경지의 홍수량 산정 방법을 조사하고,
- ② 논의 저류기능을 고려할 수 있는 홍수량 산정 알고리즘을 개발하며,
- ③ GIS의 공간분석 기능을 활용하여 집중호우에 대한 농경지의 침수심과 침수구역을 추정하기 위한 알고리즘과 그래픽 모듈을 개발하고,
- ④ 농경지의 홍수량 산정 모형과 침수 모의 시스템을 개발하고,

⑤ 시범지구를 선정하여 관련 자료를 수집하고, 개발된 모형을 적용하여 현장 적용성을 평가하도록 한다.

3. 배수개선대책안의 평가

- ① 침수피해의 원인 및 유형을 분류하고, 피해유형별 대책안을 선정하며,
- ② 홍수량 산정 모형 및 침수모의 시스템을 활용하여 침수상황을 모의하고, 대책안의 효과를 계량화하며,
- ③ 최종적으로 배수개선 대책안의 수립 절차 및 작업흐름도를 제시하도록 한다.

4. 2000년 침수피해지구에 대한 적용

- ① 2000년 침수피해지구에 대한 피해현황을 조사하고, 관련 자료를 수집하며,
- ② 침수모의 시스템을 적용하여 시간별 침수상황을 모의하고 이를 수집된 현장 자료와 비교하며,
- ③ 연구 결과의 현장 적용가능성과 정확도를 평가하도록 한다.

제 5 절 연구개발 추진체계

1. 단계별 추진체계

제1단계

조사자료의 분석 및 침수피해지구 조사

- 배수개선사업지구 및 침수피해지구의 조사
- 조사지구의 배수계획방법의 검토
- 국내외 조사계획방법의 검토 및 문제점 도출
- 2000년 침수피해지구에 대한 현황 조사

제2단계

모델링 및 현장 적용성 평가

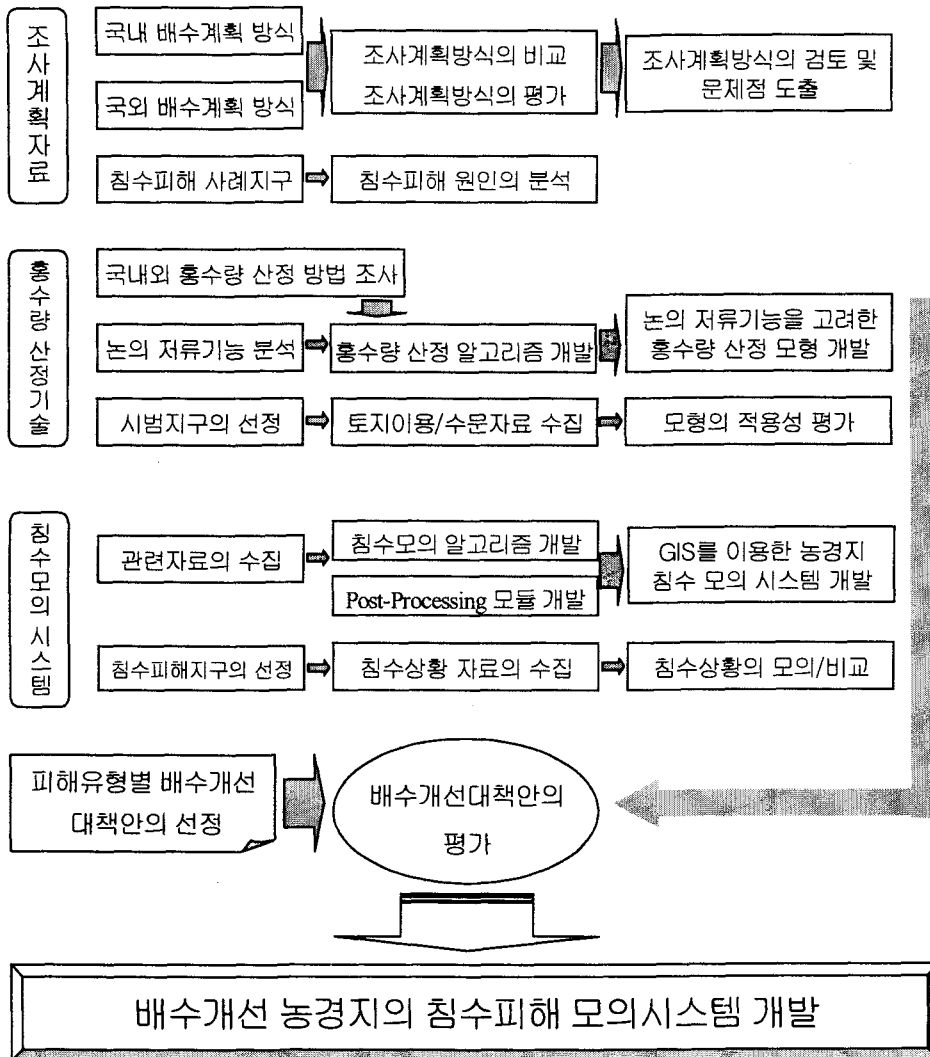
- 논외 홍수량 산정방법의 조사 비교
- 농경지 홍수량 산정 알고리즘 개발
- 농경지 침수해석 알고리즘 개발
- 논외 저류기능을 고려한 홍수량 산정 모형의 개발
- GIS를 이용한 농경지 침수모의 시스템 개발
- 홍수량 산정 모형/침수 모의 시스템의 현장 적용성 평가
- 현장 설계를 위한 실무기술 자료의 제시
- 2000년 침수피해지구에 대한 적용 및 결과의 비교

제3단계

실용화 및 설계기준의 제시

- 침수피해 원인별 대책안의 선정 및 타당성 검토
- 침수피해 상황의 모의 및 비교
- 배수개선 대책안의 비교 및 적정 대안의 선정
- 배수개선 계획의 절차 및 작업흐름도 제시

2. 세부항목별 추진체계



제 6 절 기대효과

1. 기술적 측면

배수개선 농경지의 침수모형은 집중호우로 인한 농경지의 실시간 침수상황의 모형을 통해 침수원인과 피해의 범위를 구명하고, 적절한 배수개선방식에 따른 침수피해의 경감효과를 진단함으로써, 배수개선사업의 조사 및 계획설계의 정확성을 높여, 사업효과를 극대화하는 데 그 목적이 있다.

지금까지의 배수개선사업의 조사설계는 꾸준한 기술발전이 이루어져 왔으며, 최근에는 FAS를 개발 도입함으로써, 선진기술수준을 채택하는 등의 성과가 있었다. 특히, 종래의 유역 홍수량 추정기술에서 간과하여 왔던 논의 저류기능을 감안할 수 있고, 또한 농촌지리정보체계 (Rural Geographic Information System, RGIS)의 DEM 자료기반을 활용함으로써, 계획홍수량 추정의 자동화 체계를 확립할 수 있었다. 그러나 배수개선 대안에 따른 내외수위의 변화를 추정하는 데 그쳐, 실시간 침수상황을 비교 분석할 수 없는 한계가 있고, 그 정확성에 있어서도 충분한 검정이 이루어지지 못하는 등의 한계도 나타나고 있다.

농경지 침수상황의 추정은 기술적으로 가능한 일이다. 다만, 유역의 홍수량 추정과 농경지의 지형자료기반 등의 활용 등 현장적용에 필요한 기술을 정립하는 일과 실시간 모의를 위한 흐름방정식들의 수치해석기법 등을 활용하지 않아 단순한 홍수위 변화를 산정하고, 이를 바탕으로 추정하는 방식을 택하고 있는 것으로 나타났다.

본 연구의 결과는 상습침수피해지역의 농경지의 분포, 지형조건, 토양, 용배수 상황 등의 자료를 활용하여, 집중호우시 침수상황을 실제 상황에서 모의할 수 있을 뿐만 아니라, 배수개선계획안에 대한 침수상황의 변화를 제시하여 다양한 배수개선대안의 정량적인 효과를 제시함으로써, 최적 설계가 가능하도록 할 수 있을 것으로 기대된다. 더욱이 GIS의 공간분석 기능 및 그래픽 기능을 활용하여 침수상황을 도식적으로 나타내며, 이를 통해 홍수에 따른 침수구역을 공간적으로 분석할 수 있을 것이다.

또한, 기존의 FAS를 발전시켜 배수개선사업의 홍수량 추정 정도를 개선함으로써, 조사설계분야의 기술발전에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 경제적·산업적 측면

집중호우로 인한 농경지 침수피해는 해마다 반복되어 나타나고 있으며, 침수와 유실로 인한 농경지의 훼손과 농작물의 피해액도 대규모화되고 증가되고 있는 것이 현실이다. 따라서, 상습침수지역의 해소를 위한 배수개선사업은 경제적, 사회적 측면에서 타당성이 인정되고 있으며, 정부의 수해방지대책에서도 배수개선 대상지의 연차별 사업을 계획하고 있다.

배수개선사업의 투자에 대한 효과를 극대화하기 위해서는 사업지구의 침수피해를 정량적으로 분석할 수 있는 도구가 필요하다. 만약, 그 도구가 정확하지 않거나, 충분한 정도를 갖지 못한다면, 사업의 효과는 상당한 오차를 갖게 되어, 추후 유사한 규모의 집중호우로 인한 피해를 입게 될 가능성이 높다.

따라서 본 연구에서 개발될 예정인 농경지 실시간 침수모의모형은 집중호우로 인한 침수상황의 추정방법을 개발함으로써, 침수원인의 정확한 진단과 피해정도를 정량적으로 평가할 수 있으므로, 해당 사업지구의 배수개선에 따른 피해경감을 진단할 수 있고, 따라서 단위 사업비의 절감과 사업효과의 극대화에 기여할 수 있을 것이다.

제 7 절 활용방안

본 연구에서 개발될 농경지 침수모의시스템 (Paddy Inundation Simulation model, PIS)는 현재 농업기반공사에서 배수개선사업의 기본조사 및 설계에서 적용하고 있는 홍수량 추정모형인 FAS와 호환이 되도록 개발단계부터 현장적용 중심의 연구를 실시할 예정이다. 따라서, 연구결과로 얻어지는 PIS는 침수지역의 침수상황의 모의를 통한 실시간 침수상황을 재현하고, 이를 토대로 침수원인의 정확한 진단과 대책의 수립에 활용될 것이다.

또한, FAS를 적용하여 배수개선 기본계획을 마련할 경우에도, 도출한 배수개선사업내용에 따른 침수피해의 정도를 가시적으로 비교 평가함으로써, 사업효과를 극대화할 수 있도록 하는 조사설계의 자동화에 활용될 수 있을 것이다.

제 8 절 연구진의 구성

구분	성명	소속 및 직위	주요 담당 업무
책임연구원	박승우	서울대학교 교수	연구 총괄
세부연구책임자	박승우	서울대학교 교수	관행조사계획방법의 검토와 문제점 도출
	박승우	서울대학교 교수	논의 침수상황 모의기법의 개발과 적용성 평가
	박승우	서울대학교 교수	배수개선대책에 따른 침수상황의 비교 및 대안의 선정절차 제시
	박승우	서울대학교 교수	2000년 침수피해지구에 대한 적용성 평가
	박창연	신구대학 교수	홍수량 산정 기술의 개발과 적용성 평가
연구원	강문성	서울대학교 대학원	배수개선대책에 따른 침수상황의 비교 및 대안의 선정절차 제시
	김상민	서울대학교 대학원	논의 침수상황 모의기법의 개발과 적용성 평가
	강민구	서울대학교 대학원	관행조사계획방법 검토 및 문제점 도출
	최자윤	서울대학교 대학원	자료처리
연구조원	최권수	서울대학교 대학원	논의 침수상황 모의기법의 개발과 적용성 평가
	서익환	서울대학교 대학원	논의 침수상황 모의기법의 개발과 적용성 평가
	임재천	서울대학교 대학원	자료처리
	최라영	서울대학교 대학원	자료처리
	장태일	서울대학교 대학원	관행조사계획방법 검토 및 문제점 도출
	고재영	서울대학교 대학원	자료처리
	박근일	신구대학	홍수량 산정 및 자료처리
	이승철	신구대학	홍수량 산정 및 자료처리

제 9 절 요약 및 결론

본 장에서는 ‘배수개선 농경지의 침수피해 모의시스템 개발’ 사업의 연구 배경과 그 필요성을 기술적, 경제적/산업적, 사회적/문화적 측면에서 고찰하고, 지금까지의 연구 개발 실적과 앞으로의 발전과제를 정리하며, 연구 개발의 목표와 내용, 세부 수행방법, 추진계획 등을 정리하도록 한다. 또한, 본 연구의 기대효과를 기술적, 경제·산업적 측면에서 고찰해보고, 연차별 연구목표와 내용, 연구진의 구성과 역할 등을 정리하였다.

제 2 장 관행 조사계획방식의 검토와 문제점 도출

제 1 절 서 론

우리나라는 해마다 풍수해로 인한 농경지의 침수, 유실피해를 겪고 있다. 기후적 특성상 6월 중하순부터 7월 중하순에 걸친 장마와 8, 9월의 태풍내습, 국지적인 저기압의 발달에 따른 집중호우 등으로 인하여 농경지가 침수되거나 일부지역에서는 농경지가 유실되는 피해를 겪고 있다.

농경지의 풍수해 피해를 경감하기 위해서는 상습침수지역에 대한 배수개선사업이 선행되어야 한다. 상습침수 농지면적은 1983년 조사에서는 지표배수 127천 ha로 나타났다, 2000년 전국배수개선사업 대상지 조사 결과 총 180천 ha로 나타났다. 이 중에서 1999년 말 현재, 지표배수개선사업은 120천 ha가 시행되었으며, 2009년까지 나머지 대상지구에 대한 종합적이고 체계적인 대책을 실시하는 것으로 계획하고 있다.

최근 수년간의 기상관측사상 초유의 최대연속 강우량 기록을 보이는 등, 집중호우로 인한 풍수해 피해에 대응하기 위하여, 정부에서는 1999년 수해방지종합대책을 발표하였다. 수해방지종합대책에서는 단기대책과 중장기대책을 포함하며, 1) 상습침수 농경지에 대한 배수개선종합정비계획의 수립, 2) 농업용 저수지의 홍수조절기능 부여, 3) 수리시설의 합리적인 관리방안 구축, 4) 노후 수리시설의 안전진단과 개보수, 5) 기존 방조제의 안정성 검토와 보강 등의 농업재해대책이 포함되어 있다.

2000년 상습침수 농경지에 대한 일제조사 결과 (농림부, 농업기반공사, 2000), 배수불량에 따른 농경지의 침수피해 유형은 1) 내배수로 배수능력의 부족에 의한 경우, 2) 내배수로와 배수구의 배수능력이 부족한 경우, 3) 하천제방의 월류, 경지 내 홍수배제 지연의 경우, 4) 하천바닥과 홍수위가 높아 경지 내 홍수배제가 어려운 경우, 5) 하천홍수위 상승 및 장시간 지속으로 경지 내 홍수배제가 어려운 경우, 6) 조위의 영향으로 경지 내 홍수배제가 어려운 경우 등으로 나타났다.

우리나라의 농경지 배수개선사업 기본조사에서 배수계획은 1) 구역의 구분, 2) 토양

과 토지이용상태에 따른 유출곡선지수의 산정, 3) 설계강우량의 결정, 4) 홍수량의 산정, 5) 외수위 분석, 6) 침수 분석, 7) 대안설정에 따른 배수개선 효과분석 및 개선방안의 선정 등으로 구성된다. 여기서, 유역홍수량은 SCS 삼각단위도법, 합리식, 단위배수량법과 배수개선홍수분석시스템 (flood analysis system, FAS) 등을 적용하여 홍수량을 산출하여 이 중에서 적합하다고 인정되는 홍수량을 구하고, 배수로 홍수량은 복합단위도법, 합리식법, 단위배수량법 등을 적용하고, 그 결과로부터 계획홍수량을 정하는 방법을 채택하고 있다.

배수개선사업의 타당성은 홍수량 산정과 침수대책 대안에 따른 침수분석의 정확성과 신뢰성에 의해 좌우된다. 배수개선사업은 계획홍수량을 안전하게 배제할 수 있는 대책을 선정하여 시행하는 것으로, 이를 위해서는 계획홍수량에 따른 침수피해 상황을 정확히 모의하고, 대책에 따른 효과를 검토하여, 적정수준이내의 침수방지 목적을 달성할 수 있도록 하는 일이 필요하다.

그러나 관행 방법은 배수개선사업 계획설계기준에 따른 교과서적인 방법을 적용하고 있어, 논의 수문학적 특징을 반영하지 못하는 경우가 많고, 실제 강우사상에 의한 침수상황을 모의할 수 없으므로, 계획의 타당성을 입증하지 못하는 경우가 많다. 특히, 농경지의 침수원인은 여러 가지가 있으므로, 각각의 상황에 대하여 침수피해를 최소화할 수 있는 타당성 있는 대책을 모색하는 일이 필요하다.

본 연구에서는 배수개선사업의 조사계획의 신뢰성을 제고하고 보다 과학적인 조사계획방식의 도입을 위해 관행 배수개선 계획방식을 검토한다. 이를 위해 경기도 지역의 기존 배수개선 사업계획 지구 현황을 조사하고, 표본 조사지구를 선정하여 기본조사계획의 내용을 조사, 분석하여 관행 조사계획방식을 검토하여 문제점을 도출한다.

제 2 절 배수개선사업 기본조사 및 분석

1. 침수피해지구 및 배수개선 사업지구의 조사

관행 배수개선 계획방식에 대한 검토를 위해 기존의 배수개선 사업계획 현황을 조사하고 표본 조사지구를 선정하여 기본계획의 내용을 조사, 검토하였다. 표본 사업계획지구의 선정을 위해 경기도 배수개선 대상지 조사 보고서 (농업기반공사, 2000) 자료를 참고하였으며, 선정된 시험지구의 자료를 구득하기 위해 농업기반공사 본사와 농업기반공사 지사를 방문하였다.

가. 경기도 지역 배수개선 대상 사업지구 현황

다음의 <표 2-1>에서는 농업기반공사에서 조사한 경기도 지역의 배수개선 대상지구 (지표배수)에 대한 내용을 요약하였으며, <표 2-2>는 <표 2-1>에 수록된 배수개선 사업지구 (지표배수)의 평균, 최대, 최소, 표준편차 등의 자료를 요약한 결과를 보여주고 있다. <표 2-2>에서 보는 바와 같이 경기도 지역의 배수개선 대상 사업지구의 (지표배수)의 경우 평균 수혜면적은 231ha, 평균 예상 사업비는 3,974백만원, 평균 배수장 1개소, 배수문 1개소, 배수로 3,405m인 것으로 조사되었다.

<표 2-1> 경기도 지역 배수개선 대상 사업지구 현황 (지표배수)

지구명	면적		총사업비 (백만원)	배수장 (개소)	배수문 (개소)	배수로 (m)	승수로 (m)	공사기간	
	유역면적 (ha)	수혜면적 (ha)						착공	준공
신리	744	480	790			12,150		1987	1990
신성	1,420	463	1,630						1990
도대	2,455	355	4,930			11,200		1989	1996
문곡	928	267	5,320	2		5,500		1990	1997
삼계	1,645	207	6,520			3,900			1998
내천	1,259	273	9,550	2	1	10,863		1993	
어연	1,151	327	8,420	2		6,400		1993	
안화	1,706	416	5,940			10,800		1995	
평균	1,051	352	8,040	2	1	6,658		1995	
동고	438	200	6,810	2	3	1,700		1998	
해창	1,326	310	8,280	2	4	6,400	1,000		
좌교	540	311	10,500	1		3,000			
길읍	470	150	4,000			3,000			
도곡	1,320	397	6,300			4,100			
신대	570	170	5,800	1		3,800			
유천	301	150	4,419	1	2	100			
신계	650	91	1,580		2	3,000			
회화	846	292	10,000	3		9,000			
야막	1,070	220	6,570	1	1	2,900			
구산	3,847	1,048	4,700	4	1	1,100			
내양	289	140	2,140	1	1	2,600			
당진	900	125	4,760	1	1	1,700	700		
삼합	400	87	3,190	1	3	2,700			
번도	489	98	2,970	1	1	2,000			
신근	353	70	2,700	1	1	3,200			
천남	290	110	2,570	1	3	2,300			
송산	390	47	480		1	1,000	700		1989
어천	727	171	3,350		2	4,162		1995	1998
독지	350	60	740		1	1,100			
사랑	960	200	5,400			4,000			
마정	1,134	307	3,880	1	1	3,900			1983
검산	1,785	287	1,550	2	1	2,750	3,076	1987	1989
내포	662	127	1,092	1	1	3,900			1992
금파1	497	71	1,000	1		1,200		1992	1994
금파2	925	70	1,000	1		1,000		1992	1992
오금	464	311	3,670	1		7,500		1995	1997
교하	993	287	6,810	2	1	4,440	1,620	1995	
봉일천	147	39	876	1	1	1,105			
상지석	504	167	2,499	2	4	2,384			
봉암	258	44	560	1					
내봉	825	178	6,990	2	2	3,900	1,000		
내포1	662	127	3,320	1		3,900			
정지	280	132	1,000	1	1				1993
운천	265	60	850			2,000			

<표 2-1> 경기도 지역 배수개선 대상 사업지구 현황 (지표배수) (계속)

지구명	면적		총사업비 (백만원)	배수장 (개소)	배수문 (개소)	배수로 (m)	승수로 (m)	공사기간	
	유역면적 (ha)	수혜면적 (ha)						착공	준공
노탑	260	65	1,940	1	1	1,600			
성호	600	105	2,840	1		3,000			
행죽	700	75	3,280	1	1	3,100			
분죽	316	75	1,800			2,100			
주미	660	334	7,682		2	5,700			
충북	327	112	2,530	1	1	1,100			
평리	330	300	460			1,000		1988	1989
석탄	1,737	358	3,500	1	1	1,300			1997
운양	1,065	627	5,000	1	1				1997
향산	500	150	3,750	1	1	2,400			
누산	5,554	905	10,130	2	2	3,700		1991	
남산	1,500	150	3,000		1	3,000			
대룡	15,000	200	1,000		1	800			
선두포	2,970	210	2,470		2	1,400			
인산	1,500	140	1,600		1	2,400			

<표 2-2> 경기도 지역 배수개선 대상 사업지구 통계자료 (지표배수)

항 목	면 적		총사업 비 (백만원)	배수장 (개소)	배수문 (개소)	배수로 (m)	승수로 (m)
	유역면적 (ha)	수혜면적 (ha)					
평 균	1,209	231	3974	1	1	3,405	137
최대값	15,000	1,048	10,500	4	4	12,150	3,076
최소값	147	39	460	0	0	0	0
표준편차	2024.86	188.17	2746.73	0.86	1.00	2838.94	486.34

다음의 <표 2-3>에서는 농업기반공사에서 조사한 경기도 지역의 배수개선 대상지구 (지하배수)에 대한 내용을 요약하였으며, <표 2-4>는 <표 2-3>에 수록된 배수개선 사업지구 (지하배수)의 평균, 최대, 최소, 표준편차 등의 자료를 요약한 결과를 보여주고 있다. <표 2-4>에서 보는 바와 같이 경기도 지역의 배수개선 대상 사업지구 (지하배수)의 경우 평균 수혜면적은 195ha, 평균 예상 사업비는 428백만원, 평균 배수로 1,475m, 승수거는 559m인 것으로 조사되었다.

<표 2-3> 경기도 지역 배수개선 대상 사업지구 현황 (지하배수)

지구명 (지하배수)	면적		총사업비 (백만원)	배수로 (m)	승수거 (m)	공사기간	
	유역면적 (ha)	수혜면적 (ha)				착공	준공
울포	500	125	1,110	4,780	680		
심교	292	73	650	2,810	420		
두릉	76	19	170	770	140		
성해	968	242	2,150	9,220	1,280		
현화	24	6	50	270	80		
대반	180	45	400	1,750	270		
죽리	356	89	800	3,420	500		
양교	12	3	20	160	60		
숙성	36	9	70	390	90		
야막	912	228	2,030	8,690	1,210		
고잔	1,680	420	3,730	1,596	2,190		
어소	648	162	1,440	6,180	870		
신호	340	85	760	3,270	480		
대추	1,480	370	3,290	1,407	1,930		
장두	1,484	371	3,290	1,411	1,940		
석정	672	168	1,490	6,410	900		
홍원	884	221	1,960	8,420	1,170		
방림	64	16	140	650	130		
기산	16	4	40	200	70		
운정	148	37	320	1,450	230		
길루	100	25	220	990	170		
반월	7	7	210	0	0		1981
냉정	120	30	260	1,180	200		
백곡	284	71	630	2,740	410		
홍죽	284	71	630	2,740	410		
만송	684	171	1,520	6,530	920		
울정	140	35	310	1,370	220		
율곡	1,166	171	2,120	0	21,000		
후포	1,352	168	2,480	6,000	19,000		
가야	88	22	200	880	160		
능서	360	90	800	3,460	500		
왕대	76	19	170	770	140		
매유	88	22	200	880	160		
천남	432	108	960	4,140	600		
오급	28	7	60	310	80		
계림	68	17	150	690	130		
상구	76	19	170	770	140		
송촌	96	24	210	950	170		
신남	332	83	730	3,190	470		
가정	80	20	170	800	150		
후포	20	5	50	230	70		
매용	24	6	50	270	80		
청안	52	13	110	540	110		

<표 2-3> 경기도 지역 배수개선 대상 사업지구 현황 (지하배수) (계속)

지구명 (지하배수)	면적		총사업비 (백만원)	배수로 (m)	승수거 (m)	공사기간	
	유역면적 (ha)	수혜면적 (ha)				착공	준공
점봉	180	45	400	1,750	270		
장안	160	40	360	1,560	250		
하다	208	52	460	2,020	310		
백곡	88	22	200	880	160		
청궁	32	8	70	350	90		
사환	24	6	50	270	80		
천등	32	8	70	350	90		
큰말	96	24	210	950	170		
요당	152	38	340	1,490	240		
이화	60	15	140	610	120		
원안	96	24	210	950	170		
조암	216	54	480	2,090	320		
귀래	144	36	320	1,410	230		
가재	168	42	370	1,640	260		
방축	312	78	700	3,000	440		
신산	28	7	60	310	80		
분수	194	41	360	1,600	250		
야당	264	66	580	2,550	380		
목동	544	136	1,210	5,200	740		
용상	32	8	70	350	90		
동문	176	44	390	1,710	270		
영태	236	59	520	2,280	350		
점말	236	59	520	2,280	350		
노조	136	34	300	1,330	220		
갈현	60	15	140	610	120		
과주	256	64	570	2,470	370		
지월	32	8	70	350	90		
노곡	52	13	110	540	110		
백석	240	60	530	2,320	350		
광동	392	98	870	3,760	540		
동중	240	60	530	2,320	350		
백학	68	17	150	690	130		
원당	124	31	270	1,220	200		
가산	104	26	240	1,030	180		
마산	56	14	120	580	120		
엄현	24	6	50	270	80		
송우	8	2	10	120	60		
무림	40	10	90	420	100		
계류	16	4	40	200	70		
금동	20	5	50	230	70		
가채	72	18	160	730	140		
거사	8	2	10	120	60		
금주	20	5	50	230	70		

<표 2-3> 경기도 지역 배수개선 대상 사업지구 현황 (지하배수) (계속)

지구명 (지하배수)	면적		총사업비 (백만원)	배수로 (m)	승수거 (m)	공사기간	
	유역면적 (ha)	수혜면적 (ha)				착공	준공
양문	28	7	60	310	80		
지현	32	8	70	350	90		
유동	52	13	110	540	110		
사직	64	16	140	650	130		
수입	8	2	10	120	60		
추동	28	7	60	310	80		
가양	32	8	70	350	90		
자작	4	1	10	80	50		
어용	32	8	70	350	90		
화현	8	2	10	120	60		
불곡	136	34	300	1,330	220		
도안	72	18	160	730	140		
화전	84	21	190	840	150		
송계	48	12	110	500	110		
행죽	200	50	450	1,940	300		
대월	324	81	720	3,110	460		
송라	16	4	40	200	70		
장평	72	18	160	730	140		
단천	20	5	50	230	70		
덕평	48	12	110	500	110		
각평	72	18	160	730	140		
양평	56	14	120	580	120		
소고	128	32	290	1,260	210		
도림	24	6	50	270	80		
신성	40	10	90	420	100		
백우	56	14	120	580	120		
신원	284	71	630	2,740	410		
가좌	20	5	50	230	70		
고척	8	2	10	120	60		
신대	64	16	140	650	130		
북두	68	17	150	690	130		
월포	100	23	220	990	170		
사읍	284	71	630	2,740	410		
율현	16	4	40	200	70		
송산	240	60	530	2,320	350		
대서	16	4	40	200	70		
노탑	100	25	220	990	170		
선읍	240	60	530	2,320	350		
주미	200	50	450	1,940	300		
주백	180	45	400	1,750	270		
서산	200	50	450	1,940	300		
기울	140	35	310	1,370	220		
태정	48	12	110	500	10		

<표 2-3> 경기도 지역 배수개선 대상 사업지구 현황 (지하배수) (계속)

지구명 (지하배수)	면적		총사업비 (백만원)	배수로 (m)	승수거 (m)	공사기간	
	유역면적 (ha)	수혜면적 (ha)				착공	준공
곡촌	8	2	10	120	60		
석모	16	4	40	200	70		
원당	16	4	40	200	70		
능골	148	37	320	1,450	230		
구래동	108	27	240	1,070	180		
마산	220	55	490	2,130	330		
용정	180	45	390	1,750	270		
수원	1	1	30	0	0		

<표 2-4> 경기도 지역 배수개선 대상 사업지구 통계자료 (지하배수)

항 목	면 적		총사업비 (백만원)	배수로 (m)	승수거 (m)
	유역면적(ha)	수혜면적(ha)			
평 균	195	47	428	1,475	559
최대값	1,680	420	3,730	9,220	21,000
최소값	1	1	10	0	0
표준편차	300	69	643	1732	2,386

나. 조사대상 배수개선 사업지구 선정 및 개요

경기도 지역의 배수개선 사업 대상지구중 현재 사업계획이 수립되어 있는 지구를 대상으로 자료를 수집하였고, 농업기반공사 출장소에 대한 현장출장을 통해 얻어진 다음의 6개 사업지구를 선정하여 배수개선 사업에 대한 내용을 검토하였다.

다음의 <표 2-5>는 선정된 대상지구의 개요를 보여주고 있다. 선정된 조사대상 배수개선 사업지구는 길음지구, 대추지구, 해창지구, 귀래지구, 도곡지구, 신호지구이며 유역면적 494~1,621ha, 수혜면적 116~315ha이다. 주요 배수개선 공사 내용으로는 배수장 건설, 배수문 신설, 배수로 확장/정비 등이 포함되어 있다.

<표 2-5> 조사대상 배수개선 사업계획 지구 개요

사업지구	사업구역	유역면적 (ha)	수혜면적 (ha)	주요공사
길음지구	경기도 평택시 오성면, 안중면, 길음리, 대반리, 삼정리	1,621	173	배수문 1개소 신설 배수로 108m 신설 배수로 4,778m 확장/정비
대추지구	경기도 평택시 팽성읍 대추리, 도두리, 내리, 함정리	826	300	배수장 1개소 신설 배수문 1개소 신설 배수로 7,479m 신설 배수로 3,059m 확장/정비
해창지구	경기도 평택시 고덕면 해창리 외 4개리	1,326	309.5	배수장 2개소 신설 배수문 4개소 신설 배수로 6,360m
귀래지구	경기도 화성시 정남면 귀래, 발산리, 향남면 수직리	777	154	배수장 1개소 신설 배수문 5개소 신설 배수로 3,910m 승수로 500m 복토 9.2ha
도곡지구	경기도 평택시 포승면 도곡, 석정, 홍원리7	1,332	315	배수로 8,250m 매립 8.6ha
신호지구	경기도 평택시 팽성읍 신호, 석봉리	494	116	배수장 1개소 신설 배수문 4개소 보강 배수로 2,990m 복토 38.5ha

다음의 <표 2-6>은 조사대상 배수개선사업계획 지구별 토지이용 현황을 보여주고 있다. 모든 조사지구에서 농경지의 이용면적이 높게 나타나고 있다.

<표 2-6> 조사대상 배수개선사업계획 지구별 유역현황

사업지구	유역면적 (ha)	토지이용(ha)		
		농경지	임야	기타
길음지구	1,017	806	92	119
대추지구	828	522	-	304
해창지구	1,326	1,028	167	131
귀래지구	777	378	254	145
도곡지구	1,332	883	296	153
신호지구	494	393	19	82

다. 조사대상 배수개선사업계획 지구별 침수원인 분석

다음의 <표 2-7>은 조사대상 배수개선사업계획 지구별 침수원인을 보여주고 있으며, <표 2-8>은 조사대상 배수개선사업계획 지구별 과거 침수상황을 보여주고 있다.

침수가 발생하는 원인으로서는 ① 외수위가 상승하여 지구내의 홍수배제 지연으로 침수발생, ② 배수로 말단부에 배수문이 없어 역류현상으로 인한 침수발생, ③ 배수로의 통수단면 부족으로 인한 침수발생 ④ 토공 수로의 토사 퇴적 및 수초발생으로 홍수배제 지연 ⑤ 배수로의 구배가 부분적으로 완만하여 홍수시 홍수량이 배수로에 집중되며 배수로 흐름이 상류로 역행 ⑥ 유역 상류의 토지이용 변동으로 인한 홍수량 증대 및 홍수 도달시간 단축 등이 있는 것으로 조사되었다.

<표 2-7> 조사대상 배수개선사업계획 지구별 침수원인

사업지구	침수원인
길음지구	<p>홍수시 안성천(아산호)의 수위 상승으로 지구내 홍수배제 지연</p> <p>기설 배수로 통수단면 부족 및 부분적인 배수개통(용·배수 겸용) 불합리 배수로 말단부 배수문 없어 역류현상</p> <p>토공 수로의 토사 퇴적 및 수초발생으로 홍수배제 지연</p> <p>배수로의 구배가 부분적으로 완만하여 홍수시 홍수량이 배수로에 집중되며 배수로 흐름이 대반천 상류로 역행</p>
대추지구	<p>홍수시 안성천(아산호)의 수위상승으로 지구내 홍수배제 지연</p> <p>외수위 상승시 역류현상으로 자연배제곤란 및 침수지연</p> <p>기설배수로 통수단면부족 및 노후화로 제기능 상실</p> <p>토공 수로의 토사 퇴적 및 수초발생으로 홍수배제 지연</p> <p>유역 상류의 K-6 기지 면적확장으로 홍수량 증대</p> <p>농경지 표고가 안성천의 20년 홍수위보다 낮아 소량의 강우에도 저지대 농경지 침수 빈번</p>
해창지구	<p>진위천 수위 상승으로 지구내 홍수량 배제 지연</p> <p>기계배수시설이 없으며, 토공 배수로에 토사 퇴적과 잡초발생으로 홍수배제 지연</p> <p>배수 본천인 진위천이 아산호 관리수위로 인하여 평수위가 높아 지구내 홍수량 자연배제가 어려움</p>
귀래지구	<p>홍수시 외수위가 농경지의 내수위 보다 높게 지속되어 자연배제 지연</p> <p>배수계통 불량 및 배수시설 능력부족</p> <p>수로구배가 완만하고 토사퇴적 및 수초군생으로 홍수지체</p> <p>홍수시 배수문 작동 지연 및 관리체계 미흡</p> <p>유역내 공장지대 개발로 홍수도달시간 단축</p>
도곡지구	<p>남양호 관리수위의 영향으로 배수간선내 수초번식과 통수단면 부족등으로 홍수량 지체로 농경지 침수피해</p> <p>지구내 배수간선의 토공 및 횡단구조물 단면이 부족하여 홍수배제가 어려움</p> <p>남양호 주변의 저지대로 구배가 완만하여 배수시간이 길어 침수피해 발생</p>
신호지구	<p>홍수시 내수위보다 외수위가 높게 지속되어 자연배제 지연</p> <p>배수계통 불량, 배수시설 능력부족 및 구배가 완만한 저지대 농지분포</p>

라. 조사대상 배수개선사업계획 지구별 과거 침수사례 조사

선정된 조사대상 배수개선사업계획 지구별 과거 침수사례를 조사하였으며, 다음의 <표 2-8>은 조사결과를 보여주고 있다. 길음지구와 대추지구의 경우 100mm의 강우에 농경지가 상습 침수되었으며, 귀래지구와 신호지구의 경우 200mm 이상의 강우가 발생할 때 농경지가 침수된 것으로 조사되었다. 현재 조사되고 있는 침수피해 사례는 현지 답사를 통한 청문 조사로 정량적인 침수피해 조사가 이루어지고 있지 않은 실정이며, 보다 체계적이고 효과적인 침수피해 방지를 위해서는 침수피해 조사의 과학적인 접근 방법이 필요할 것으로 보인다.

<표 2-8> 조사대상 배수개선사업계획 지구별 과거 주요 침수피해 사례

사업지구	과거 침수피해 사례
길음지구	100mm 정도의 강우시 농경지 상습 침수 대반천 상류구간 하천정비공사로 홍수 도달시간이 빨라져 수위 급상승, 침수피해 빈번
대추지구	100mm 정도의 강우시 상류지역은 K-6기지의 홍수유출량이 크고 배수로 단면이 협소하여 배수로 제방을 월류하여 농경지 침수 하류지역은 안성천 상류구간 하천정비공사로 홍수 도달시간이 빨라져 수위 급상승 및 침수시간과 빈도 증가
해창지구	상습 침수지역으로 매년 침수피해 발생 특히 1990/9/10, 276mm, 1991/7/21, 218mm 호우로 60시간 이상 침수
귀래지구	청문조사 결과 200mm 이상 연속강우시 2-3일간 농경지 침관수 피해로 수확량 감소 1999/8/01, 216mm 강우발생, 120ha 26시간 침수, 감수율 8% 2000/7/22, 332mm 강우발생, 160ha 40시간 침수, 감수율 15%
도곡지구	청문조사 결과 남양호와 접한 평탄한 저지대에서 홍수시 남양호 수위상승과 배수간선 통수능력 부족으로 대부분 농경지가 매년 상습 침수피해를 입고 있음
신호지구	청문조사 결과 1998년부터 3개년간 250mm 이상 강우시 2-3일간 농경지 침관수로 수확량이 감소되는 피해 아산방조제에 접한 서해바다 조위 및 평택호 관리수위 영향으로 외수위 상승시 배수문을 통한 자연배제가 불가능할 경우 침수피해 증대

2. 표본 조사지구의 선정 및 관련 자료의 조사 및 현장 답사

가. 표본 조사지구의 선정

폭우시 실제 농경지의 침수상황 발생을 답사하고 이로부터 대상지구별 침수원인을 분석하기 위하여 배수개선사업계획 지구 중 표본 조사지구를 선정하였다. 표본 조사지구의 선정기준은 과거 침수피해 발생지구, 배수개선사업계획지구, 하천 본류구간의 수문 계측구간, 접근의 편이성, 폭우시 현장출장 도달 시간 등이며, 이러한 기준에 부합하는 남한강 일대 여주, 양평, 목계 수문관측점 인근 6개 지구를 선정하였다.

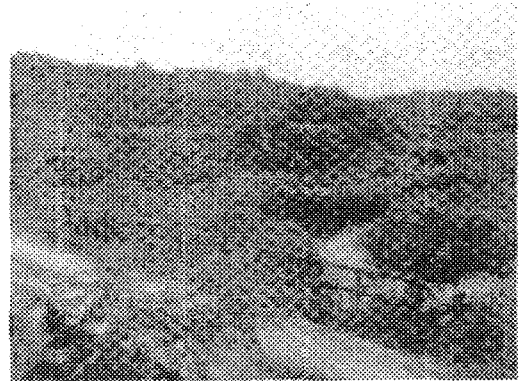
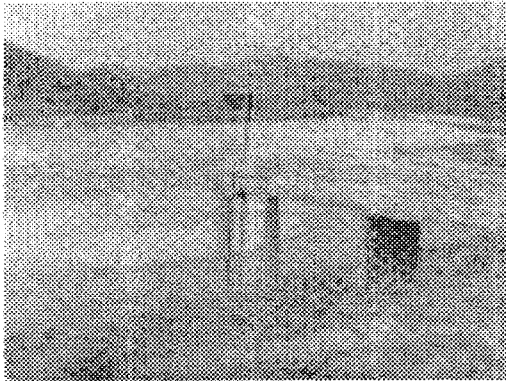
선정된 조사지구는 삼합지구, 당진지구, 천남지구, 내양지구, 번도지구, 신근지구 등이며, 다음의 <표 2-9>는 선정된 조사지구의 현황을 보여주고 있다. 선정된 표본조사지구는 남한강 본류에 인접한 하천 유역에 포함된 지구로 유역면적 289ha~900ha, 수혜면적 70ha~140ha의 배수개선사업계획지구로 주요 배수개선 사업계획 내용으로는 배수장, 배수문, 배수로 정비 등의 내용이 포함되어 있다. 선정된 표본 조사지구 중 내양지구는 1999년 배수개선 기본계획이 수립되었고, 나머지 지구는 아직 기본 계획이 수립되어 있지 않은 상태다.

<표 2-9> 표본 조사지구

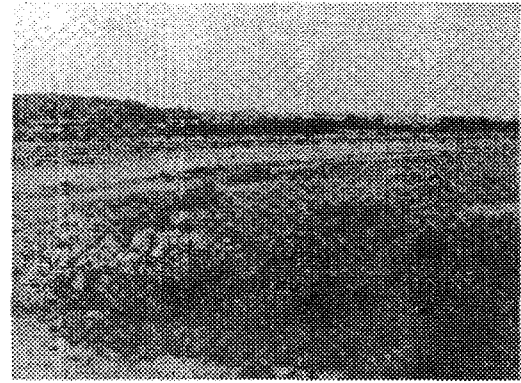
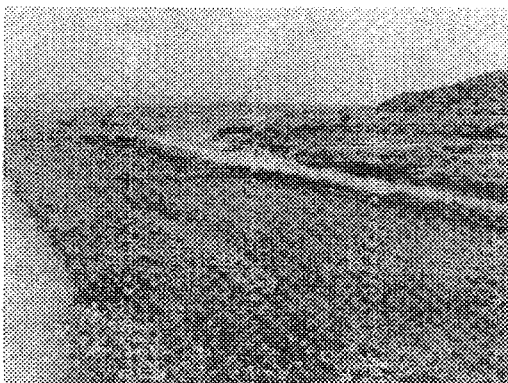
지구명	위치	유역면적(ha)	수혜면적(ha)	인접하천	주요공사계획			비고
					배수장	배수문	배수로	
삼합지구	여주군 점동면 삼합리	400	87	청미천	1	3	2,700	
당진지구	여주군 정동면 당진리	900	125	청미천	1	1	700	
천남지구	여주군 대신면 천남리	290	110	천남천	1	3	2,300	
내양지구	여주군 능서면 내양리	289	140	양화천	1	1	2,600	99년 기본 계획 수립
번도지구	여주군 능서면 번도리	489	98	양화천	1	1	2,000	
신근지구	여주군 흥천면 신근리	353	70	양화천	1	1	3,200	

나. 현장 답사를 통한 과거 침수피해 사례 조사

선정된 표본 조사지구에 침수사례 조사, 침수원인 분석 등을 위해 2002년 6월 현장 답사를 통한 현지 자료를 수집하였다. 다음의 (그림 2-1), (그림 2-2)는 삼합지구와 천남지구의 배수문 전경과 인접 하천을 보여주고 있으며, (그림 2-3)과 (그림 2-4)는 신근지구와 내양지구와 인접한 양화천 전경을 보여주고 있다. 현지 답사에서 만난 지역 주민들과의 청문조사를 통해 과거 침수사례 및 폭우시 침수상황을 조사한 결과 선정된 표본 조사지구의 경우 하천제방이 비교적 견고하게 건설되어 대체로 배수가 양호한 것으로 조사되었으나, 집중호우 발생시 외수위가 증가할 경우 배수문을 닫게 되면 일시적으로 침수가 발생하는 것으로 조사되었다.



(그림 2-1) 삼합지구 배수문, 청미천 전경 (그림 2-2) 천남지구 배수문, 천남천 전경



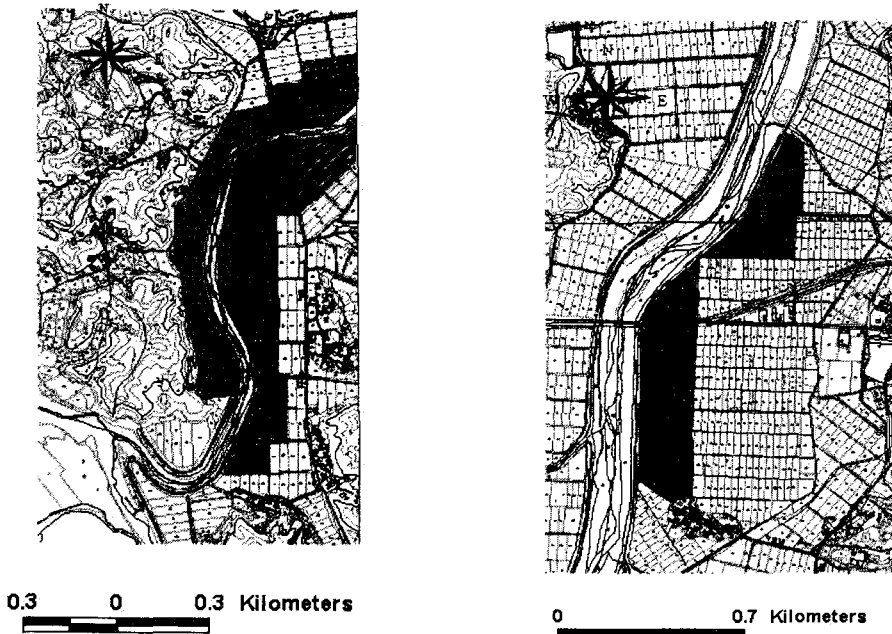
(그림 2-3) 신근지구, 양화천 전경

(그림 2-4) 내양지구, 양화천 전경

다. 과거 침수피해구역 조사

표본 조사지구에서의 과거 침수피해구역은 현장 출장에서 청문 조사를 통해 얻어졌으며 개략적인 침수피해구역의 도시를 위해 표본 조사지구에 대한 1/5000 수치지도를 구입하였다. 1/5000 수치지도는 등고선 간격이 5m로 침수피해 지역을 나타내기에는 비교적 등고선 간격이 크지만 현재 농업유역에 구축되어 있는 수치지도는 1/5000 수치지도가 가장 대축척 지도로 논의 구획이 분리되어 표시되어 있어 개략적인 침수구역을 표시할 수 있다.

다음의 (그림 2-5)~(그림 2-8)은 천남지구, 번도지구, 신근지구, 내양지구에 대한 개략적인 과거 침수피해구역을 보여주고 있다. 보다 정확한 침수피해 지역의 조사를 위해서는 침수피해 발생 연도별 침수면적과 침수시간의 도시가 필요하나 현재 얻을 수 있는 자료의 한계로 인해 개략적인 침수피해 지역을 조사할 수밖에 없으며, 향후 항공사진, 위성영상, 침수측정 수위계 설치 등을 이용하여 보다 과학적이고 체계적인 침수피해 조사가 이루어져야 할 것이다.



(그림 2-5) 천남지구 과거 침수피해구역 (그림 2-6) 번도지구 과거 침수피해구역



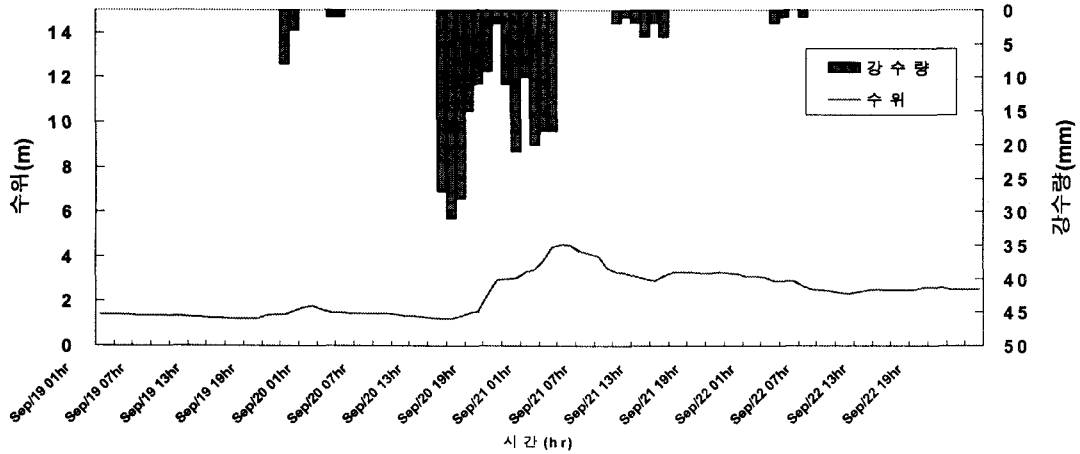
(그림 2-7) 신근지구 과거 침수피해구역 (그림 2-8) 내양지구 과거 침수피해구역

라. 표본 조사지구 인근 남한강 수위측정 자료 조사

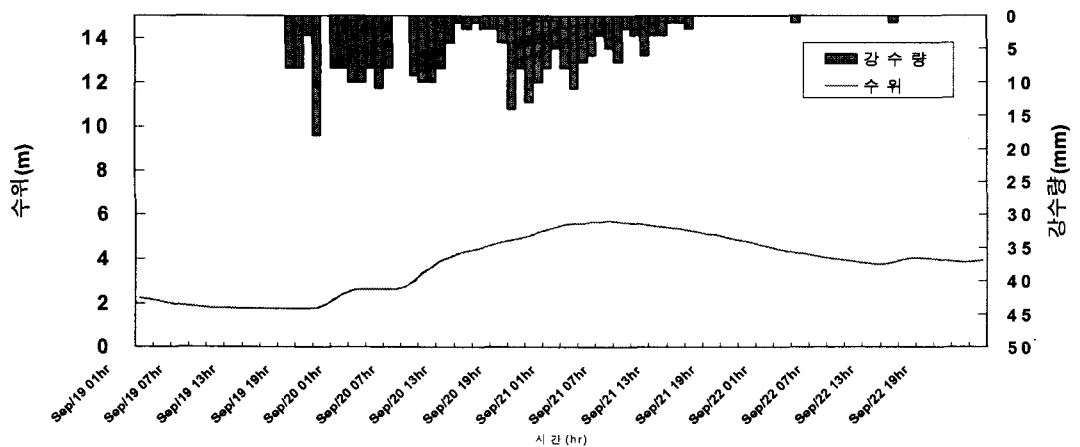
현지 답사를 통해 조사한 결과 표본 조사지구의 경우 침수가 발생하는 원인이 외수위가 증가하여 배수문을 닫으면 배후유역으로부터 흘러들어온 물이 배수되지 못해 배수문 인근의 하류지역에 제방을 따라 침수가 발생하는 것으로 나타났다. 따라서 표본 조사지구의 침수상황은 인접한 남한강 일대 수위측정 지점의 홍수시 수위를 통해 간접적으로 추정해 볼 수 있다. 이를 위해 건설교통부에서 운영하고 있는 수위측정의 수위, 수위-유량 관계를 구득하여 분석하였다. 분석한 수문관측 지점은 남한강 본류 구간의 여주, 문막 지점과 인접한 섬강의 문막 지점, 청미천의 청미 지점이다. 섬강과 청미천은 남한강의 목계지점과 여주지점 사이로 유입되며, 섬강은 지방 1급 하천, 청미천은 지방 2급 하천구간이다.

다음의 (그림 2-9)~(그림 2-12)는 목계, 여주, 청미, 문막 수위관측 지점의 1999년 9월 폭우시 강우-수위 관계를 보여주고 있다. 목계를 제외한 여주, 청미, 문막 지점의 경우 고수위가 24시간 이상 지속되는 것을 보여주고 있으며, 특히 청미지점의 경우

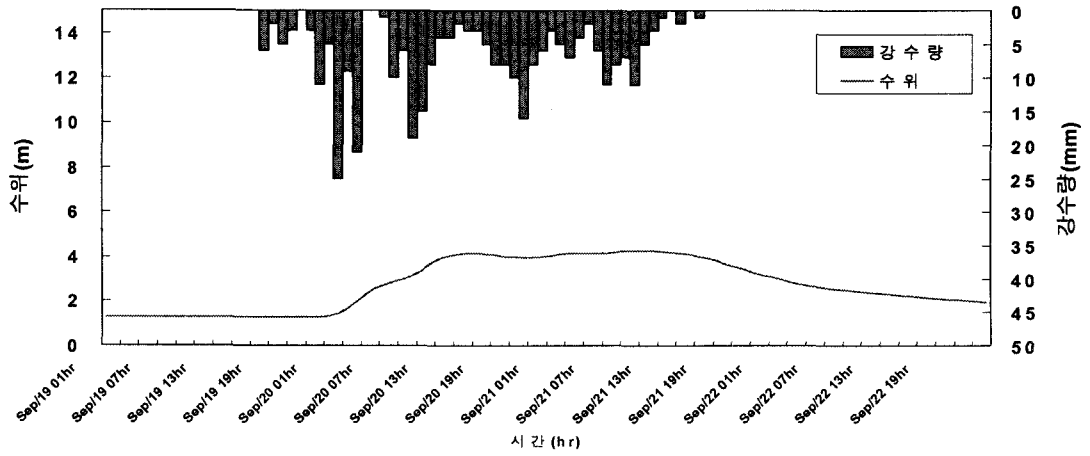
48시간 정도 고수위가 지속되고 있다. 고수위가 지속되는 기간동안 인접한 유역의 농경지는 배수문의 조절로 인해 배수조건이 불리해지며 침수피해에 취약해진다.



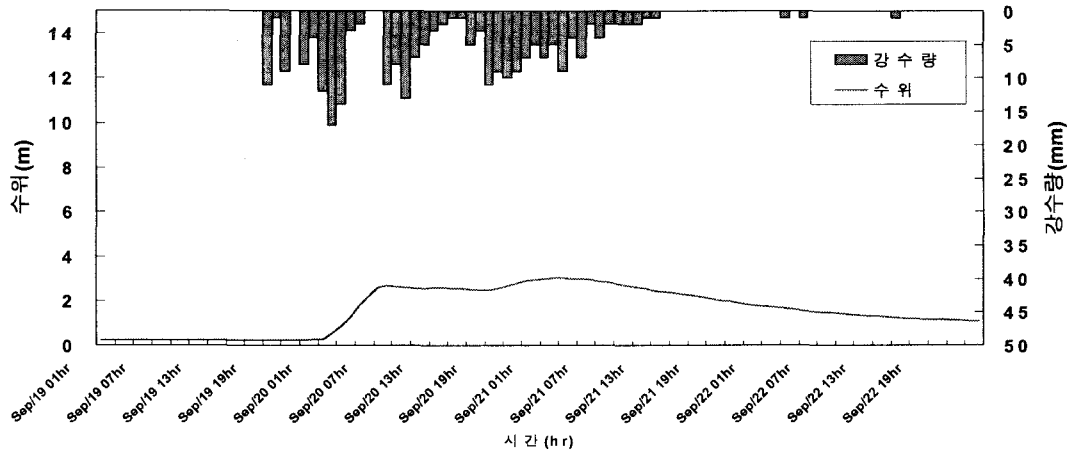
(그림 2-9) 목계지점 강우-수위 시간별 변화(1999/9/19-9/22)



(그림 2-10) 여주지점 강우-수위 시간별 변화 (1999/9/19-9/22)



(그림 2-11) 청미지점 강우-수위 시간별 변화(1999/9/19-9/22)



(그림 2-12) 문막지점 강우-수위 시간별 변화(1999/9/19-9/22)

제 3 절 배수개선사업 조사계획방식의 검토

1. 관행 배수개선사업 조사계획방식

관행적으로 이루어지고 있는 배수개선사업의 조사계획방식의 검토를 위해 길음지구, 대추지구, 해창지구, 귀래지구, 도곡지구, 신호지구 등의 배수개선사업계획지구의 기본계획서를 구독하였다. 배수개선사업의 기본계획은 지구현황, 수문분석, 사업계획, 사업비, 사업효과, 종합의견 등의 내용을 포함하고 있으며 침수모의와 관련되는 지구현황과 수문분석에 대해 검토하였다.

가. 지구현황 내용 조사

지구현황에서는 위치, 지형 및 지세, 기후 및 기상, 인문사회 현황, 시설 수리 현황, 도로 교통, 관계하천 및 수위현황, 배수불량 원인, 침수피해 상황, 토양·토질, 농업, 사업시행 여건 등의 내용을 포함하고 있다. 각각의 항목에 대해서 살펴보면 다음과 같다.

1) 위치

배수개선사업계획지구의 행정구역, 위경도 좌표, 인접한 행정소재지까지의 거리, 인접 도로, 주변 주요 수리시설물 등을 나타내고 있다.

2) 지형 및 지세

배수개선사업계획지구의 경사방향, 경사도, 표고, 유역면적, 경지 비율 등을 나타내고 있다.

3) 기후 및 기상

기상측후소의 지배유역을 결정하기 위해 티센망 (Thissen Network)을 이용하고 기상측후소의 월별 평균기온, 평균강수량, 평균 강수일수, 평균증발량, 평균풍속 등의 자료를 정리하여 보여주고 있다. 강수량 자료를 이용하여 최대시우량, 최대 10분 강우량, 최대일우량, 최대 2일 연속강우량, 강수 계속일수, 무강수 계속일수 등을 정리하여 보여준다.

4) 인문사회 현황

농가호수, 인구현황, 주요 재배 작물 등을 서술하고 있으며, 전국 경지면적 및 농가

인구 변화 추이 등의 자료를 수록하고 있다.

5) 시설 수리 현황

용수현황과 배수현황 자료를 수록하고 있다. 용수현황 자료로는 지구내 농경지의 주수원공의 규모와 제원을 나타내고 있으며 수자원 공급의 정도를 나타내고 있다. 배수현황 자료로는 기존에 설치되어 있는 배수시설과 배수계통도, 배수시설의 규모 등이 수록되어 있다.

6) 도로 교통

배수개선사업계획지구의 인접도로망과 교통 상황 등을 수록하고 있다.

7) 관계하천 및 수위현황

배수 본천의 하천현황과 유역경계, 유역현황 등과 각 소유역별 유역현황 자료를 수록하고 있으며 하천 수위 현황자료에서는 빈도별 홍수위, 계획 홍수량 등의 자료를 수록하고 있다.

8) 배수불량 원인

배수개선사업계획지구의 배수원인을 유형별로 분류하여 서술하고 있으며, 외수위 측면, 배수시설 측면, 지형적인 측면 등으로 나누어 배수불량 원인을 제시하고 있다.

9) 침수피해 상황

관련기관 및 지역주민의 청문조사에 의해 과거 침수피해 상황을 서술하고 있으며, 침수의 정도와 빈도 등을 개략적으로 서술하고 있다.

10) 토양·토질

배수개선사업계획지구의 토양과 유효 토심, 토양의 종류, 토양배수, 지하수위 등의 자료와 토질 관련 자료를 수록하고 있다.

11) 농업, 사업시행 여건

배수개선사업계획지구의 농가호당 경지면적과 주요 농업현황과 작물, 배수개선 후 예상되는 작물 등을 수록하고 있다.

나. 수문분석 내용 조사

배수개선사업계획지구의 수문분석에서는 1) 유역 현황, 2) 설계 강수량, 3) 홍수량

산정, 4) 외수위 분석, 5) 침수 분석, 6) 대안 설정 등을 수록하고 있으며 각각의 내용에 대해서 살펴보면 다음과 같다.

1) 유역 현황

행정구역상 유역 위치, 지세, 유역면적, 유로장, 유로 평균경사, 토지이용, 지형 피복 상태 등과 함께 1/25,000 토지이용도, 토지이용 상태별 유역 면적, 소유역별 유출곡선 번호 등이 수록되어 있다.

2) 설계 강우량

설계 강우량 관련 자료로는 강우관측소 현황, 확률 강우량, 강우분포율 등을 수록하고 있다.

기상관측소 지배유역을 티센망 (Thissen Network)을 이용하여 선정하고, 과거 강우 자료를 이용하여 강우분포의 적합도 검정을 통해 재현기간 2.33년, 10년, 20년, 50년, 100년 및 기왕최대에 대한 4시간, 1일, 2일 확률강우량을 산정한 결과를 수록하고 있다.

강우의 시간적 분포율은 물부(物部)공식을 적용하였으며, 이로부터 빈도별, 시간별 강우분포율을 산정하여 수록하고 있다.

지속시간에 따른 강우강도식은 Talbot, Sherman, Japanese형 등을 적용하여 측후소 별로 적합한 강우강도식을 적용하고 있다.

3) 홍수량 산정

홍수량 산정에는 홍수량 산정모형, 홍수도달 시간 산정, 홍수 수문 곡선 추정, 홍수량 계산 결과 등의 내용이 수록되어 있다.

홍수량 산정모형에서는 홍수량을 산정하기 위해 이용된 SCS, FAS (Flood Analysis System), 합리식 (Rational Method), 단위배수량 등 각각의 방법별 홍수량을 산정하여 비교하였고 대체로 FAS의 홍수량 산정 결과를 이용하고 있다.

홍수도달시간 산정은 Rizha 공식 (산지, 경사부 적용), California 도로국 공식 (산지, 경사지 적용), 배수로 평균 허용 유속 공식 (평야부 수로에 적용) 등을 이용하고 있으며 토지이용 형태에 따라 소유역별로 산정한 홍수도달시간을 이용하고 있는 것으

로 조사되었다.

홍수 수문곡선 추정에서는 전체 유역을 소유역으로 구분하고 각각의 소유역에서의 홍수량을 도달시간을 고려하여 배수 본천에서의 홍수량을 산정하고 이를 홍수량 계산 결과부분에서 소유역별로 정리하여 홍수량과 도달시간을 정리하여 수록하고 있다.

4) 외수위 분석

외수위 분석에서는 배수 본천의 홍수위 및 시간별 수위 곡선을 산정하여 배수 본천 각 지점별로 빈도별 시간별 수위를 수록하고 있다.

5) 침수 분석

침수 분석에서는 각각의 구역별로 배수개선사업 시행 전·후의 침수분석결과를 보여주고 있다. 침수분석결과에는 침수심, 침수시간, 관수시간 등의 결과를 사업 시행 전·후를 비교하여 보여주고 있으며 각각의 구역별로 사업시행 전·후의 내외수위 수문곡선을 도시하여 보여주고 있다. 또한, 농경지 표고별로 사업시행 전·후의 침수시간과 관수시간을 비교하여 보여주고 있다.

6) 대안 설정

침수분석 결과로부터 각각의 구역별로 다양한 배수개선 대안을 수립하고 각각의 대안별로 침투 수위, 침수시간, 관수시간, 사업비, 사업의 장단점 등을 수록하고 있다. 각각의 대안은 배수개선 조사 설계 계획 기준에 따라 관수를 허용하지 않고, 허용 담수심 (30cm)을 고려한 담수시간을 24시간 이내로 할 때 각 안별 배수시설 규모와 비교 내용을 수록하고 있다.

2. 관행 배수개선사업 조사계획방식 검토 및 문제점 도출

가. 지구현황 조사 항목 검토

배수개선사업계획지구의 기본계획에 수록되어 있는 지구현황 분석의 내용을 살펴 보았다. 지형자료, 토지이용도, 토양도 등의 주제도에 대해 수치지도와 위성영상을 이용하여 구축할 경우 이후 수문분석의 자료구축에도 이용될 수 있어 보다 효과적이며, 유역 관련 자료의 경우 수문단위지도 등을 활용하여 자료를 구축한다면 보다 표준화된 자료가 생성될 수 있을 것으로 보이며, 개별 배수개선 사업지구에 대한 수치지도의

제작 등을 통해 사업지구에 대한 표준화된 정보를 제공하는 것이 필요할 것으로 보인다.

나. 수문분석 조사 내용 검토

배수개선사업계획지구의 수문분석에서는 유역 현황, 설계 강수량, 홍수량 산정, 외수위 분석, 침수 분석, 대안 설정 등을 수록하고 있으며 홍수량 산정과 외수위 분석, 침수 분석, 대안 설정 등에 대해 관행 배수개선사업의 조사방법에 대하여 검토하였다.

1) 홍수량 산정에 대한 검토

현재 배수개선사업 조사계획에서는 유역의 홍수량을 추정하기 위해 SCS, FAS를 이용한 홍수량을 추정하고 있다. 우리나라의 경우 농업유역에서 높은 비중을 차지하고 있는 농경지의 저류특성을 고려한 홍수량 추정기법과 최근 많이 이용되고 있는 지리정보시스템 (GIS)과 위성영상 (RS)을 이용한 지형자료의 구축과 홍수량 추정모형의 전후처리 시스템의 구축을 통해 보다 편리하고 적용성이 높은 시스템의 구축이 필요한 것으로 조사되었다.

2) 침수 분석

기존의 침수 분석에서는 각각의 구역별로 배수개선사업 시행 전·후의 침수분석결과를 침수심, 침수시간, 관수시간 등에 대해 각 구역별로 산정하여 보여주고 있다. 보다 정량적인 침수분석을 위해 각각의 대안에 대한 침수피해 저감효과를 분석하여 이를 조합했을 경우의 침수피해 저감효과를 분석하는 연구가 필요하며, 침수피해 저감효과를 지리정보 시스템 등을 이용하여 도시적으로 결과를 보여준다면 보다 효과적인 침수 분석이 될 것으로 조사되었다.

3) 대안 설정

기존의 대안 설정에서는 침수분석 결과로부터 각각의 구역별로 다양한 배수개선 대안을 수립하고 각각의 대안별로 침투 수위, 침수시간, 관수시간, 사업비, 사업의 장단점 등을 분석하고 있다.

보다 정량적인 배수개선 대안의 설정을 위해 배수개선사업대상지구의 침수피해에 대한 분석을 토대로 대안을 수립하고 각각의 대안별로 배수개선구조물의 규모의 위치

등에 따른 침수분석을 통해 적정 배수개선 사업의 규모와 위치 등을 결정하는 연구가 필요한 것으로 조사되었다.

제 4 절 요약 및 결론

본 장에서는 배수개선사업의 관행 조사계획방식을 검토하기 위해 표본 조사지구를 선정하여 기본계획의 내용을 조사, 분석하고 표본 조사지구에 대한 현장 출장을 통해 주요 침수피해 원인과 과거 침수피해 사례 및 침수면적 등을 조사하였다.

본 장의 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

① 관행 배수개선 계획방식의 검토를 위해 경기도 지역의 기존 배수개선 사업계획 지구 현황을 조사하였다. 2000년 현재 경기도 지역의 배수개선 대상 지표배수 사업계획 지구의 경우 평균 수혜면적은 231ha, 평균 예상 사업비는 3,974백만원이며, 사업지구 평균 배수장 1개소, 배수문 1개소, 배수로 3,405m인 것으로 조사되었다.

② 배수개선 사업 기본계획의 내용을 조사하기 위해 경기도 평택시와 화성시에 위치한 길음지구, 대추지구, 해창지구, 귀래지구, 도곡지구, 신호지구를 선정하여 기본계획을 구득하였다.

③ 기본계획의 내용 검토 결과 배수개선 사업계획지구의 주요 침수원인으로는 외수위가 상승하여 지구내의 홍수배제 지연으로 침수발생, 배수로 말단부에 배수문이 없어 역류현상으로 인한 침수발생, 배수로의 통수단면 부족으로 인한 침수발생, 토공 수로의 토사 퇴적 및 수초발생으로 홍수배제 지연, 배수로의 구배가 부분적으로 완만하여 홍수시 홍수량이 배수로에 집중되며 배수로 흐름이 상류로 역행, 유역 상류의 토지이용 변동으로 인한 홍수량 증대 및 홍수 도달시간 단축 등이 있는 것으로 조사되었다.

④ 현재 배수개선사업계획 지구별 과거 침수사례 조사는 주민 청문조사와 관계기관의 자료를 이용하고 있으며 정량적인 침수피해 조사가 이루어지고 있지 않은 실정이다. 보다 체계적이고 효과적인 침수피해 방지를 위해서는 침수피해 조사의 과학적인 접근 방법이 필요한 것으로 조사되었다.

⑤ 표본 조사지구를 선정하여 현장을 방문 조사하여 과거 침수피해 사례, 침수피해 구역, 침수피해원인 조사하였다. 또한, 수치지도를 구득하여 과거 침수구역을 도시하였으며, 주요 침수원인이 되는 외수위 상승의 영향을 분석하기 위해 표본 조사지구 인근 강우, 수위측점의 자료를 구득하여 홍수시 외수위 상승의 영향을 분석하였다.

⑥ 관행 배수개선사업의 조사계획방식을 검토한 결과, 현재 유역의 홍수량을 추정하기 위해 SCS, FAS를 이용한 홍수량을 추정하고 있으며 향후 농경지의 저류특성을 고려한 홍수량 추정과 지리정보시스템 (GIS)과 위성영상 (RS)을 이용한 홍수량 추정모형을 적용할 경우 보다 편리하고 적용성이 높은 홍수량 추정 시스템이 구축될 것으로 분석되었다.

⑦ 관행 배수개선사업의 침수 분석을 검토한 결과, 현재 각각의 구역별로 배수개선사업 시행 전·후의 침수분석결과를 침수심, 침수시간, 관수시간 등에 대해 각 구역별로 산정하여 보여주고 있다. 보다 정량적인 침수분석을 위해 각각의 대안에 대한 침수피해 저감효과를 분석하고, 각각의 대안을 조합했을 경우 침수피해 저감효과를 분석하고, 침수분석 결과를 지리정보 시스템 등을 이용하여 도시한다면 보다 효과적인 침수 분석이 될 것으로 분석되었다.

⑧ 관행 배수개선사업의 침수피해 대안 설정을 검토한 결과, 현재 침수분석 결과로부터 각각의 구역별로 다양한 배수개선 대안을 수립하고 각각의 대안별로 침투 수위, 침수시간, 관수시간, 사업비, 사업의 장단점 등을 분석하고 있다. 보다 정량적인 배수개선 대안의 설정을 위해 배수개선사업대상지구의 침수피해에 대한 분석을 토대로 대안을 수립하고 각각의 대안별로 배수개선구조물의 규모의 위치 등에 따른 침수분석을 통해 적정 배수개선 사업의 규모와 위치 등을 결정하는 연구가 필요한 것으로 분석되었다.

제 3 장 홍수량 산정기술 개발과 적용성 평가

제 1 절 서 론

우리 나라의 농경지 배수개선사업 기본조사에서 배수계획은 대상지구에 대한 유역 특성인자를 추출하고 이로부터 설계강우량과 홍수량을 산정한 후 외수위를 분석하여 침수분석을 하는 것으로 구성되어 있다. 유역 홍수량의 산정은 농경지의 침수분석을 위해 중요한 입력요소가 된다.

현재 관행적으로 이용되고 있는 유역홍수량 추정방법은 SCS 삼각단위도법, 합리식, 단위배수량법과 배수개선홍수분석시스템 (flood analysis system, FAS) 등을 적용하여 홍수량을 산출하여 이 중에서 적합하다고 인정되는 홍수량을 구하고, 배수로 홍수량은 복합단위도법, 합리식법, 단위배수량법 등을 적용하고, 그 결과로부터 계획홍수량을 정하는 방법을 채택하고 있다.

농업기반공사에서 농림부의 '농특과제'의 일환으로 개발한 배수개선 홍수분석 시스템 FAS (flood analysis system)은 SCS 유출해석법을 기초로 하는 설계홍수량 산정 모형으로, 기존의 농촌용수 데이터베이스와 GIS 자료를 활용하여 농경지 유역의 홍수 유출곡선의 모의가 가능하도록 개발되어, 배수개선사업 조사설계의 도구로 활용되고 있다.

한편, 배수개선사업의 대상이 되는 농업유역은 농경지의 비율이 높으며, 논의 경우 홍수시 저류특성을 가지고 있어 일반적인 홍수추적 방법과는 달리 논의 저류특성을 고려한 홍수량 추정모형의 개발이 필요하다. 또한, 위성영상 자료의 구득이 용이해지고 전국단위의 수치지도가 제작되어 수문해석을 위한 다양한 지리정보시스템 모듈이 개발되고 있다. 지리정보시스템을 연계한 수문모형 적용할 경우 입력자료를 구축하기 위한 시간과 노력을 절감할 수 있으며, 기존의 방법에 비해 보다 정밀한 결과를 얻을 수 있다. 이러한 장점 외에 위성영상자료를 이용하여 유역의 지상인자를 추출할 경우 토지이용의 변화나 유역의 지형적 변화를 보다 쉽게 고려하여 수문현상의 시간적 변화를 분석할 수 있다. 이러한 장점으로 인해 다양한 수문해석 분야에 위성영상과 GIS

를 응용한 연구가 이루어지고 있다.

본 연구에서는 홍수량 추정모형의 적용을 위해 시험유역을 선정하고 수문자료를 구축하고, 현재 관행적으로 배수개선 사업의 홍수량 추정에 이용되고 있는 SCS 홍수량 추정 방법과 농업기반공사의 홍수해석시스템 (Flood Analysis System, FAS)을 적용하여 검토하고, 논의 저류 특성을 고려한 홍수유출 모형과 GIS를 이용한 홍수량 추정 모형을 적용하여 관행 홍수량 추정기술과 비교, 평가한다.

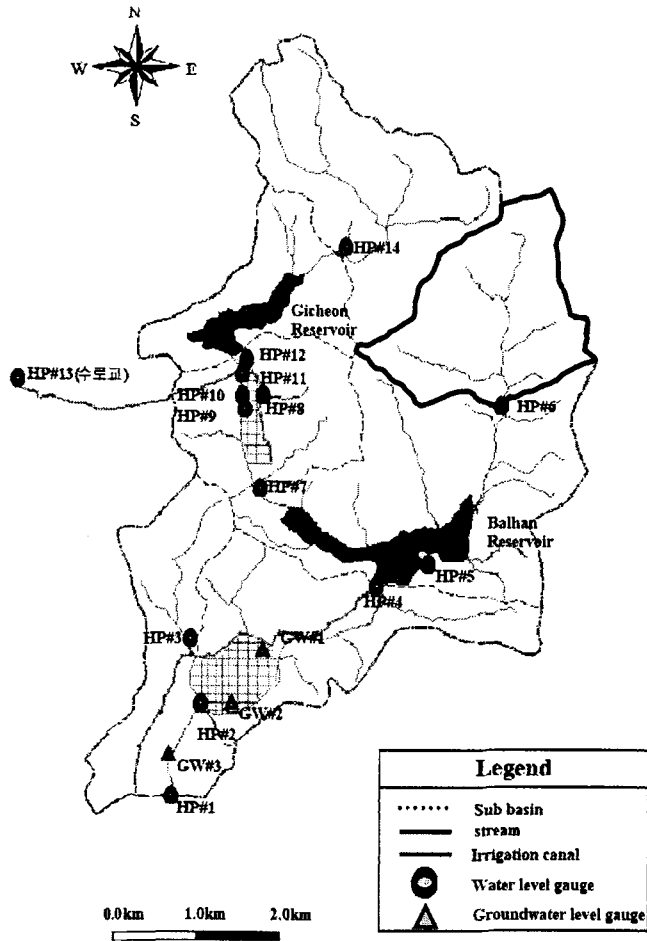
제 2 절 시험유역

1. 시험유역의 개요

본 연구에서는 홍수량 추정모형의 적용을 위해 수문자료의 구축을 위한 시험유역을 선정하였다. 선정된 시험유역은 경기도 화성시 발안면과 팔탄면에 위치하고 있는 발안 유역으로 1996년부터 서울대학교 농공학과에서 수문/수질 모니터링을 실시하고 있다. 발안 시험유역의 유역면적은 29.79km²로 산간지, 중산간지, 평탄지, 취락지 등 다양한 토지이용상태를 보이고 있다.

발안 유역은 유역의 토지이용 특성과 수문특성을 고려하여 7개의 소유역으로 구분하였으며, 소유역 구분과 소유역별 수문관측지점의 위치는 (그림 3-1)에서 보는 바와 같다. 발안 유역에는 현재 하천 수위측점 5개소, 저수지 수위측점 2개소, 관개용수 측정지점 3개소, 강우 측정 2개소, 지하수 측정지점 3개소 등이 운영 중에 있다.

본 연구에서는 홍수유출모형의 적용성 검토를 위해 HP#6 소유역을 홍수유출모형 적용 대상유역으로 선정하였다. 유역면적 384.6ha의 HP#6 소유역은 발안저수지 상류에 위치하고 있으며, 현재 압력식 수위계측 장비를 설치하여 운영하고 있으며, 정기적인 현장 출장을 통해 수위자료를 관리하고 있다. 또한, 홍수시와 평상시 현장 출장을 통해 유량을 측정하여 매년 수위-유량 관계를 작성하고 있으며, 이로부터 10분, 1시간 및 일 유량을 산정하고 있다.



(그림 3-1) 발안 시험유역 개요도

2. 유역특성인자

유역 형상계수는 유역의 형상을 나타내는 무차원수로 유역면적을 본류의 유로장으로 나눈 값으로 정의된다. 유역의 형상계수가 크면 길이에 비하여 폭이 넓은 유역을 의미하고, 형상계수가 작으면 좁고 긴 유역의 형상을 갖는다. 정사각형 유역에서 유역 형상계수는 1.0 정도이며, 원형유역은 0.8 정도, 방사상 유역은 0.1 정도가 된다. HP#6 소유역의 유역형상계수는 <표 3-1>에서와 같이 1.562로 나타났으며, 유역의 최대 기복량은 246m로 나타났다. 유역의 기복량비는 최대기복량과 유로장의 비를 나타내는 것으로 소위 유역평균경사를 나타내는 값의 하나로 0.0895로 나타났다. 하천빈도는 유역내의 하천의 총수를 면적으로 나눈 값으로 정의되며, 0.9697로 조사되었다.

<표 3-1> 소유역별 유역특성인자

소유역	면적 (ha)	형상계수	유로장 (km)	최대 기복량 (m)	기복량비	하천 평균경사 (m/m)	하천빈도 (개/km ²)
HP#6	412.50	1.562	1.63	246	0.0895	0.0178	0.9697

3. 시험유역의 토지이용 및 지형자료의 구축

시험유역의 토지이용도는 최대우도법을 이용한 TM Landsat 영상 분석 결과로부터 추출하였으며, 기본도는 1/5,000 NGIS 및 RGIS 수치지도와 농촌진흥청의 1/50,000 개략도양도를 이용하여 구축하였다.

주제도는 기본도로부터 소유역 경계도, 수계망도, 경사방향도, 경사도 등을 구축하였고, 수문학적 토양군도는 1/50,000 개략도양도로부터 구축하였다.

가. 토지이용 및 토양도 구축

1) 토지이용

유역의 토지피복상태는 시간에 따라 변화하며 이러한 시간적 변화에 따른 유역의 토지이용상태를 보다 정확하게 추정하기 위해 원격탐사 기법을 이용하면 보다 적은 조사기간과 경비 및 인력으로 보다 정도높은 자료를 생성할 수 있다.

본 연구에서는 토지이용도를 구축하기 위해 시험 유역에 대한 Landsat-5 TM 위성영상을 이용하여 최대우도분류법에 의한 무감독분류를 수행하였고 이를 바탕으로 토지이용도를 추출하였다.

가) 위성영상 자료

위성영상의 전처리와 분석은 ERDAS IMAGINE-8.4.0을 사용하였으며, 분류 대상 위성영상은 <표 3-2>에서 보는 바와 같이 Landsat-5의 Thematic Mapper Sensor에 의하여 관측된 Path 116/Row 34의 영상중 남동쪽 사분을 사용하였다. 대상영상은 경기도 일대와 서해지역, 충청북도, 그리고 서울 등의 일부지역이 포함되어 있다.

Landsat-5 위성은 1984년에 발사되었으며, 상공 700~900 km, 회전주기 매 16일,

그리고 분광밴드는 7개이며, 공간해상력은 30m × 30m 이다.

<표 3-2> 위성영상 자료의 특징

영상 번호	Path-Row	촬영 일자	촬영 시간	운량비 (%)	크기 (MB)	비고
1	116-34	98/11/10	01:50:02	0	279.9	TM
2	116-34	96/09/01	01:27:59	1	279.9	TM

나) 기하 보정

Landsat 위성영상의 1개 면적은 185×185 (km²)이고, 6.5 km/sec의 속도로 주사선을 28초 동안 보통 700~900 km의 고도에서 지구를 촬영하므로 촬영 주사선(Scanner)이 1차원인데 비해 위성의 운동은 2차원이다. 따라서 인공위성의 자세, 지구의 회전, 곡률 등에 따른 왜곡이 생기게 된다. 이와 같은 상대적인 변위에서 발생하는 기하학적인 왜곡을 보정하였으며, 영상 반사치의 영향으로 발생하는 요인을 제거하기 위해 방사량 보정을 실시하였다.

기하학적인 보정은 다시기 영상좌표와 지도에서 선정된 34개의 지상통제점인 GCP (Ground Control Point)를 이용하여 최소자승법에 의해 좌표변환식을 도출하였다. 고차다항식의 좌표 변환식은 식(3-1)과 같으며, 본 연구에서는 3차 다항식을 사용하였다.

$$\begin{aligned}
 X &= a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4xy + a_5y^2 + \dots + a_kx^i y^j + \dots + a_l y^t \\
 Y &= b_0 + b_1x + b_2y + b_3x^2 + b_4xy + b_5y^2 + \dots + b_kx^i y^j + \dots + b_l y^t
 \end{aligned}
 \tag{3-1}$$

여기서, X, Y는 변환된 좌표이며, x, y는 영상의 원래의 좌표이다.

<표 3-3>은 좌표변환을 실시하여 최소자승법에 의해 RMSE (Root Mean Square Error)을 계산한 결과를 보여주고 있다. 좌표변환을 위한 지상통제점 (Ground control points, GCPs)은 34개를 선정하였으며 Scene 1은 HP#7에 해당하며, Scene 2는 HP#6

에 해당한다. 각각의 소유역은 전형적인 농업 소유역으로 토지이용상태가 크게 변하지 않는 특성을 보이고 있다.

<표 3-3> 좌표변환 결과

영상 번호	촬영일자	촬영시간	GCP			
			GCP 개수	X 오차	Y 오차	RMSE
1	98/11/10	01:50:02	34	0.1338	0.0848	0.1584
2	96/09/01	01:27:59	34	0.1097	0.1099	0.1553

화상의 화소값을 결정하기 위하여 최근접법 (Nearest Neighbor)을 이용하여 재배열 (Resampling)을 실시하였다. 재배열 방법 중의 하나인 최근접법 (Nearest Neighbor)은 원래 영상과 좌표 변환된 영상을 겹쳤을 때 가장 가까운 화소의 값을 좌표 변환된 영상의 화소값으로 결정하는 방법이다. 다시기 영상의 재배열의 크기는 토지이용특성을 고려하여 분류가 용이하도록 실제 시험유역을 포함한 X (185,000, 200,000), Y (400,000, 430,000) 지역으로서, 500 columns × 1000 rows 영역을 추출하였으며, 해상력은 30m × 30m로 하였다.

방사량 보정은 대기층에 의해 흡수되는 영향을 제거하기 위해 ERDAS에 제공하는 메뉴 중 안개제거 (Dehaze)를 실시하였다. 안개제거 (Dehaze)는 흡수에 의한 변화인 안개 (Haze)를 제거하기 위한 것으로서 Tasseled Cap 변환에 의하여 얻어진 영상으로부터 안개 (Haze) 성분을 분류하고, 다시 본래 영상으로 역산하는 것이다.

다) 밴드의 선정

최대우도법에 의한 토지피복분류를 위해 선정된 밴드는 식생정보를 잘 반영하는 식생지수와 수분과 광물의 특성을 반영하는 지수밴드로 구성하였다.

식생지수는 식물의 활력도와 녹피율에 따른 가시광선 및 근적외선 파장대 광선의 방사량 차이를 이용하여 추출한다. 현재까지 개발된 식생지수 중에서 가장 정교한 것은 Kauth와 Thomas (1976)가 Gram-Schmidt의 연속직교기법을 이용하여 개발한

Tasseled Cap 변환지수이다. 본 연구에서는 토양명도지수 (Soil Brightness Index), 녹색식생지수 (Green Vegetation Index), 그리고 토양수분지수 (Soil Moisture Index) 등의 식생지수를 사용하여 최대우도법에 의한 토지피복분류를 실시하였다. 본 연구에서 사용한 Tasseled Cap 변환계수는 <표 3-4>에서와 같다.

<표 3-4> TM 자료의 Tasseled Cap 변환 계수

Index	TM BAND					
	1	2	3	4	5	7
SBI	0.33138	0.33121	0.55177	0.42514	0.48087	0.25252
GVI	-0.2477	-0.1623	-0.4069	0.85468	0.05493	-0.1179
SMI	0.13929	0.22490	0.40359	0.25178	-0.7013	-0.4572

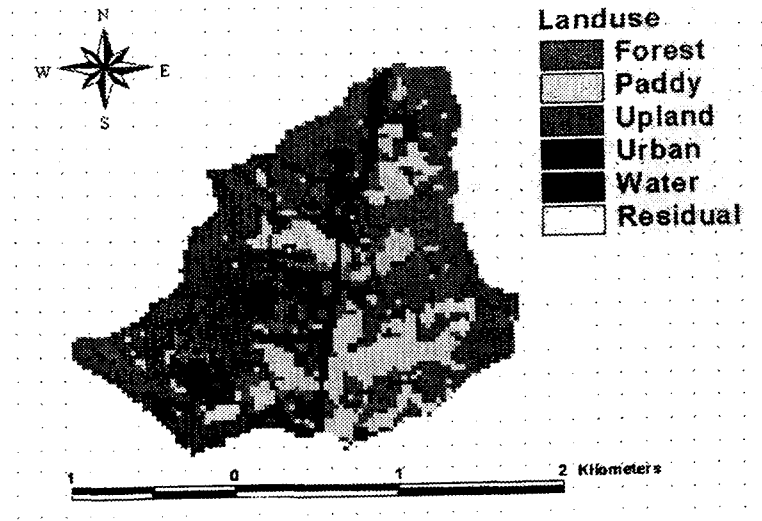
* SBI; 토양명도지수, GVI; 녹색식생지수, SMI; 토양수분지수

출처 : Crist and Cicone(1984)

지수밴드는 반사체의 식생 이외의 정보를 추출하기 위해 물과 광물의 특징을 반영한 것으로서, 본 연구에서의 밴드구성은 물의 경우 TM2/TM1, 광물의 경우는 TM3/TM1, TM5/TM7, 그리고 TM5/TM4로 구성하였다.

라) 토지이용도

토지이용도는 산림 (Forest, Grass 포함), 논 (Paddy), 밭 (Upland), 주거지 (Urban), 물 (Water) 등의 다섯 가지로 분류하였다. 일반적으로 산지의 음영 부분은 저수지 (물)로 분류가 되는 경우가 있는데, 이는 실제 현장 확인 결과 산림지역이 명확한 관계로 산림지역으로 분류하였다. 시험 구역의 토지분류 결과, (그림 3-2)는 시험구역의 토지피복상태를 보여주고 있다. 시험구역인 HP#6 소유역은 산림이 전체 구역 면적의 51%를 차지하고 있으며, 주거지가 21%, 논이 19%로서 비슷한 비율이었고, 밭이 10%인 것으로 나타났으며, <표 3-5>는 HP#6 소유역의 토지이용 현황을 보여주고 있다.



(그림 3-2) HP#6 시험구역의 토지이용도

<표 3-5> 시험구역의 토지 이용 상태

소유역	토지 이용 상태 (%)			
	논	밭	주거지(농장)	산림
HP#6	18.8	9.6	20.6	51.0

2) 토양도

시험구역의 토양도는 농업기반공사의 RGIS 수치지도와 농촌진흥청의 1:50,000 개략 토양도로부터 작성하였다. 벡터로 작성된 폴리곤에 각각의 토양을 구분하여 토양통명, 토성, 토층수 및 그에 해당하는 토심, 비중, 유기물 함유율, 그리고 점토, 실트, 극세사, 샌드, 및 자갈 함유율 등을 속성으로 입력하였다. 본 연구에서는 개략토양도의 배수기준을 사용하지 않고 토성에 따른 투수기준을 사용하여 수문학적 토양군을 분류하였다. 즉, A군은 양토와 식양질토로, B군은 양토와 식양질토로 C군은 식질토로, D군은 세식질토로 분류하였다.

<표 3-6>은 수문학적 토양군의 기준을 나타내고 있으며, (그림 3-3)은 HP#6 구역

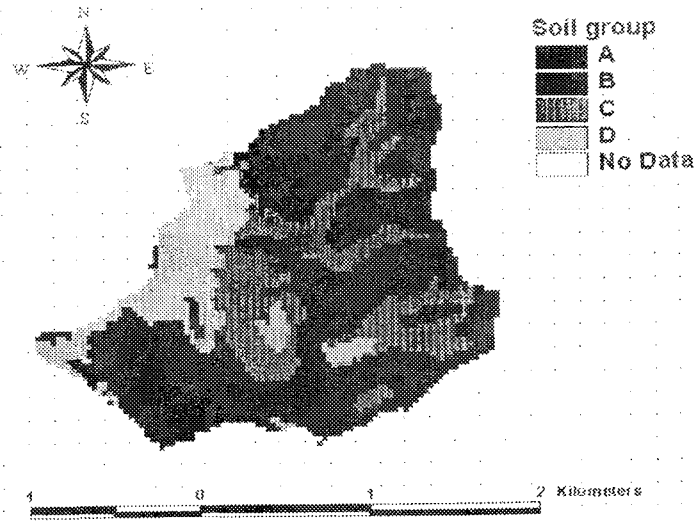
의 수문학적 토양군도를 보여주고 있으며, <표 3-7>은 HP#6 유역의 수문학적 토양군의 비율을 나타내고 있다. HP#6 유역의 토양군의 분포는 B토양군이 41%로 가장 많은 면적을 차지하였으며, C토양군이 9%, A토양군이 9%, D토양군이 14% 순으로 나타났다.

<표 3-6> 수문학적 토양군의 정의 (Chow, 1964)

토양군	설 명	USDA 토양분류기준	침투율 (cm/hr)
A	낮은 유출률, 침투율이 대단히 크며, 자갈이 있는 부양질, 배수 매우 양호	sand, loamy sand, and sandy loam	0.76 -
B	침투율이 대체로 크고, 돌 및 자갈이 섞인 사질토, 배수 대체로 양호	silt loam and loam	0.38 - 0.76
C	침투율이 대체로 작고, 대체로 세사질 토양층, 배수 대체로 불량	sandy clay loam	0.13 - 0.38
D	높은 유출률, 침투율이 대단히 작고, 점토질 종류의 토양으로 거의 불투성, 배수 대단히 불량	clay loam, silty clay loam, sandy clay, silty clay, and clay	0.0 - 0.13

<표 3-7> 시험유역의 수문학적 토양군의 분류

소유역	수문학적 토양군 (%)			
	A	B	C	D
HP#6	9.0	41.1	8.8	14.2

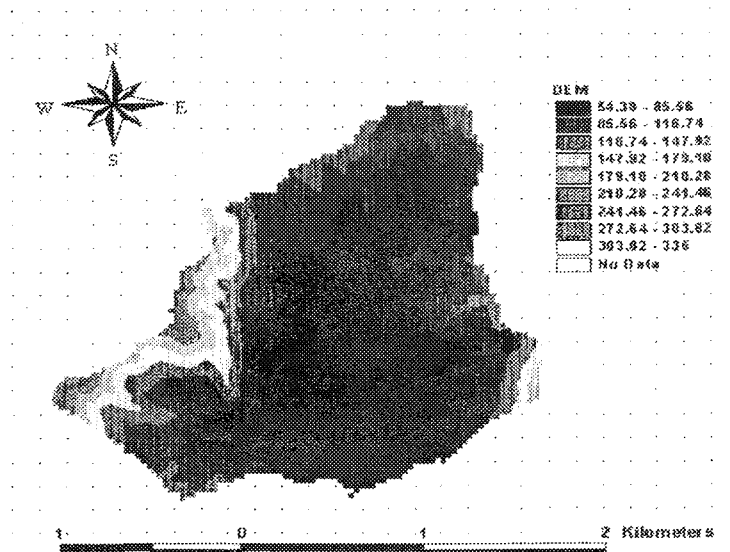


(그림 3-3) HP#6 시험구역의 수문학적 토양군

나. 지형자료 구축

1) 수치표고모델 (DEM)

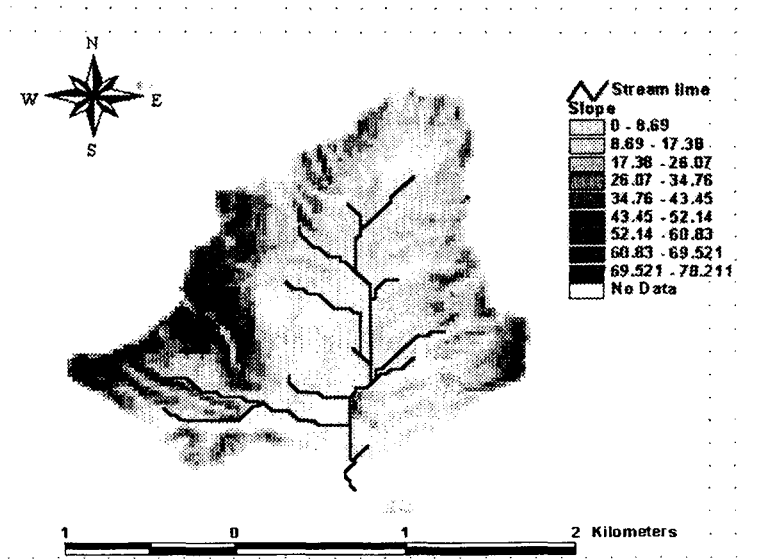
1/5,000 RGIS 수치지도로부터 등고선을 분리하여 등고선도를 구축하고, 이로부터 해상도가 5m인 수치표고모델 (DEM) 자료를 구축하였다. (그림 3-4)는 HP#6 소유역의 DEM을 보여주고 있다.



(그림 3-4) HP#6 시험구역의 DEM 자료

2) 사면경사도

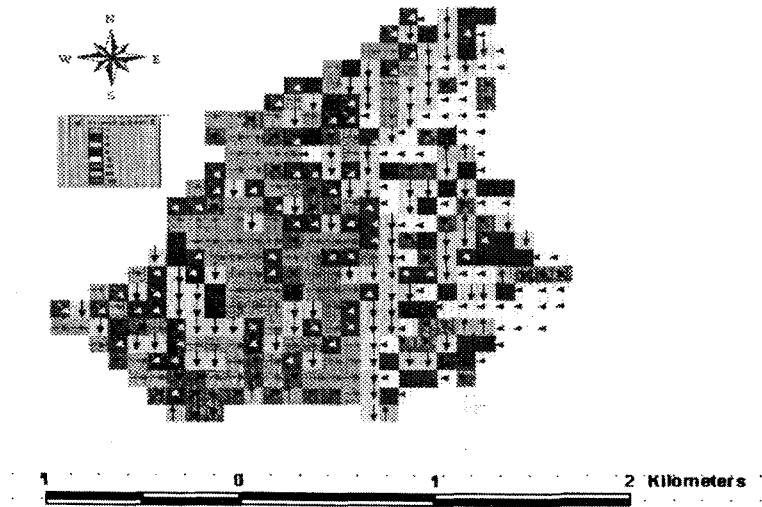
등고선도로부터 구축한 DEM을 이용하여 사면경사도를 구축하였다. 유역의 평균 경사는 18%였으며, 주거지와 농경지가 주로 분포하고 있는 지역은 0~10 %의 낮은 경사도를 보였으며, 임야지역은 30% 이상의 높은 경사도 분포를 보였다. (그림3-5)는 DEM으로부터 추출한 사면경사도를 보여주고 있다.



(그림 3-5) HP#6 시험유역의 사면경사도

3) 경사방향도

경사방향도 (Aspect)는 주위 격자 중에서 가장 낮은 고도값을 갖는 격자의 2진수로 표현하면 최급경사방향으로 설정하여 생성할 수 있다. 본 연구에서는 경사방향도를 8개로 구분하였으며, 1~8까지의 속성을 연속적으로 갖는 도형자료와 이 값의 누승으로 속성이 입력되는 도형자료를 구축하였다. (그림 3-6)은 수치표고모델을 이용하여 경사방향도를 구축한 결과를 보여주고 있으며, 화살표는 각각 8개의 경사방향을 나타낸다.



(그림 3-6) HP#6 지점의 흐름도

4) 유출곡선번호 추정 및 도달 시간

가) 선행토양함수조건

선행토양함수조건 (antecedent moisture condition, AMC)은 우리나라의 관개특성을 고려하여 분류되어 있으며, 1년 중 4~9월을 성수기 (growing season)와 10~3월을 비성수기 (dormant season)로 구분하였다. 각 경우에 대하여 5일 선행강우량의 크기에 따라, <표 3-8>과 같은 기준에 따라 분류하였다.

<표 3-8> AMC 분류방법

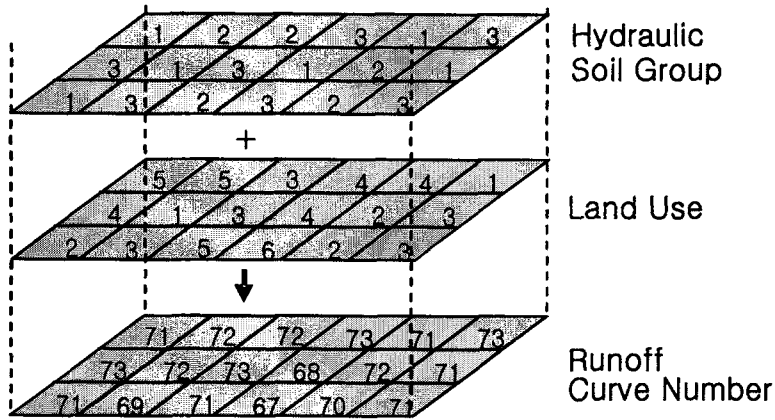
AMC 조건	5일 선행강우량, RF5 (mm)	
	성수기	비성수기
I	RF5 < 35.56	RF5 < 12.70
II	35.56 < RF5 < 53.34	12.70 < RF5 < 27.94
III	RF5 > 53.34	RF5 > 27.94

나) 유출곡선번호

유출곡선지수는 토지이용도와 수문학적 토양군도를 이용하여 산정하였다. 임 등 (1995)은 논에서의 CN은 선행토양함수조건 (Antecedent Soil Moisture Condition, AMC) 결정은 5일 선행강우량보다는 초기담수심과 물꼬높이에 기인한다고 발표한 바 있고, 본 연구에서는 임 등(1995)의 연구결과를 이용하여 CN을 추출하였다. <표 3-9>는 본 연구에서 사용한 유출곡선표이다. 논을 제외한 토지이용의 CN값은 김 (1995), 김 (1997), 조 (1998)등의 연구결과를 참조하여 결정하였다. CN값은 토양도의 배수조건으로부터 얻어진 수문학적 토양군 Coverage와 지형도의 토지이용 Coverage로부터 (그림 3-7)과와 같은 방법으로 구할 수 있다. <표3-10>은 AMC-II를 기준으로 HP#6 유역의 CN값을 나타내었다.

<표 3-9> 토지 이용 상태에 따른 CN값

토지 이용	수문학적 토양군			
	A	B	C	D
논	78	78	78	78
밭	72	81	88	91
산림	56	75	86	91
주거지 (농장)	57	71	86	86
물	100	100	100	100



(그림 3-7) 토지이용과 토양도에 의한 CN값 계산 과정

<표 3-10> 논을 포함한 HP#6 시험구역의 CN값

AMC 조건	HP#6
I	63
II	78
III	89

다) 도달 시간

홍수도달시간은 시험구역인 HP#6에 대하여 Rizha식으로부터 홍수도달시간을 산정하였다. Rizha 공식은 자연하천의 상류부 ($S > 1/200$)에 적용되는 공식으로서 산지와 평야지역이 혼재하는 경우와 지표면의 흐름이 지배적인 지역에서 적용이 가능하다. Rizha 공식은 식(3-2)와 같다.

$$t_c = 0.833 \frac{L}{S^{0.6}} \quad (3-2)$$

여기서, t_c 는 도달시간 (min), L은 유로연장 (km), S는 유역경사 (m/m)이다.

유로장과 유역 경사는 GIS 자료를 이용하여 유역 평균경사와 유역표고 등을 통해 구하였다. <표 3-11>은 HP#6 소유역에 대한 도달시간을 구한 값을 정리하여 보여주고 있다.

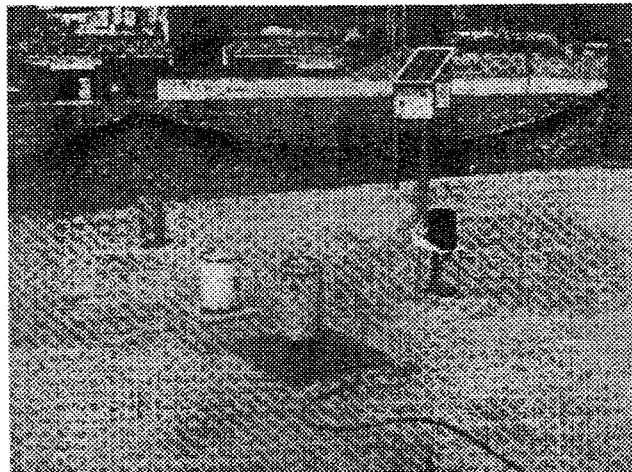
<표 3-11> HP#6 소유역에 대한 도달시간

유역	유로장 (m)	경사 (m/m)	도달시간, T _c (hr)
HP#6	3088.0	0.0149	0.66

4. 수문모니터링

가. 강우자료

발안 시험유역의 강우자료 수집을 위해 시험유역 내 위치하고 있는 팔탄면 사무소 옥상에 티핑버킷형 (tipping bucket) 디지털 강우계를 설치하여 운영하고 있다. (그림 3-8)은 시험유역에 설치되어 운영되고 있는 강우관측지점을 보여주고 있다. 설치된 강우계는 0.2mm 단위로 측정되어 기록되고 있으며, 정기 출장을 통해 기록된 강우자료를 수집하고 있다.



(그림 3-8) 시험유역 내 강우관측 지점 전경

1) 호우사상 분석

1996년부터 2003년 6월까지 8년 동안 발생한 발안 시험구역 강우관측지점 (RP#1 지점)의 호우사상 현황은 <표 3-12>에서 보는 바와 같다. 강우사상은 1998년 130회가 발생하여 가장 많았으며, 100mm 이상 강우는 2001년 4회로 가장 많았으며, 1999년 3회가 발생했던 것으로 조사되었다. 50mm 이상의 강우가 발생한 경우는 1996년 2회로 가장 적었으며 2000년 9회로 가장 많은 것으로 조사되었으며, 8년 동안 50mm이상의 강우발생 확률은 5.6%로 조사되었다.

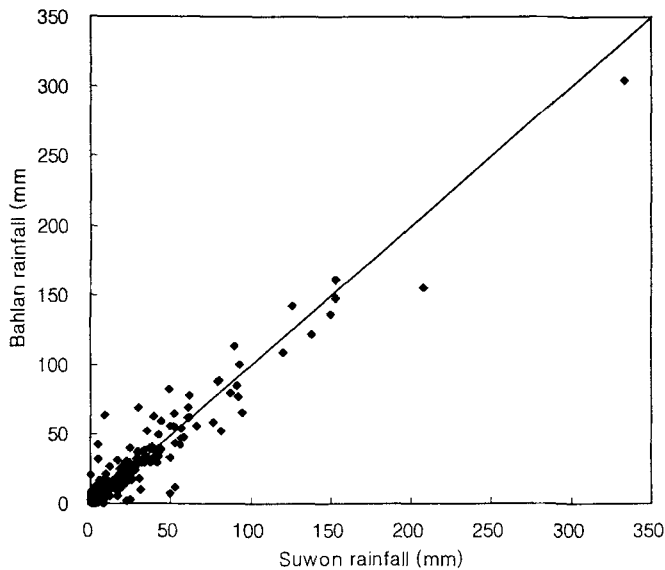
<표 3-12> 시험구역 강우사상 분석 (1996~2003.6)

년도	강우량 (mm)	~0.5	0.5~5	5~10	10~30	30~50	50~100	100~	합계
1996	사상 개수	14	34	17	14	5	1	1	86
	백분율 (%)	16.3	39.5	19.8	16.3	5.8	1.2	1.2	100
	누가 백분율 (%)	16.3	55.8	75.6	91.9	97.7	98.8	100.0	100
1997	사상 개수	12	27	15	19	3	3	3	82
	백분율 (%)	14.6	32.9	18.3	23.2	3.7	3.7	3.7	100
	누가 백분율 (%)	14.6	47.6	65.9	89.0	92.7	96.3	100.0	100
1998	사상 개수	23	45	23	22	10	6	1	130
	백분율 (%)	17.7	34.6	17.7	16.9	7.7	4.6	0.8	100
	누가 백분율 (%)	17.7	52.3	70.0	86.9	94.6	99.2	100.0	100
1999	사상 개수	23	47	10	14	7	5	3	109
	백분율 (%)	21.1	43.1	9.2	12.8	6.4	4.6	2.8	100
	누가 백분율 (%)	21.1	64.2	73.4	86.2	92.7	97.2	100.0	100
2000	사상 개수	22	18	10	8	3	8	1	70
	백분율 (%)	31.4	25.7	14.3	11.4	4.3	11.4	1.4	100
	누가 백분율 (%)	31.4	57.1	71.4	82.9	87.1	98.6	100.0	100
2001	사상 개수	26	37	9	13	6	0	4	95
	백분율 (%)	27.4	38.9	9.5	13.7	6.3	0.0	4.2	100
	누가 백분율 (%)	27.4	66.3	75.8	89.5	95.8	95.8	100.0	100
2002	사상 개수	48	46	12	10	6	4	1	127
	백분율 (%)	37.8	36.2	9.4	7.9	4.7	3.1	0.8	100
	누가 백분율 (%)	37.8	74.0	83.5	91.3	96.1	99.2	100.0	100
2003.6	사상 개수	10	22	8	10	3	1	0	54
	백분율 (%)	18.5	40.7	14.8	18.5	5.6	1.9	0	100
	누가 백분율 (%)	18.5	59.2	74.0	92.5	98.1	100	100.0	100

2) 발안-수원측후소 강우 상관관계

발안 시험구역 내에 설치한 강우관측지점은 1996년부터 설치하여 운영되고 있어 비교적 자료 기간이 짧다. 이로 인해 보다 장기간의 자료를 이용한 수문분석이나 결측자료의 보정 등을 위해 시험구역으로부터 약 10km에 위치한 수원기상대의 자료를 이용하였다. 발안구역과 수원측후소 간의 공간적인 차이가 존재하므로 시험구역에 설치한 강우자료와 수원측후소 강우자료의 상관관계를 분석하였다.

발안구역의 일강수량과 수원측후소의 강수량의 비교 결과는 (그림 3-9)와 같다. 발안구역과 수원측후소의 강우량의 상관계수 (R^2)는 0.9265로 비교적 높은 상관성을 나타냈다.



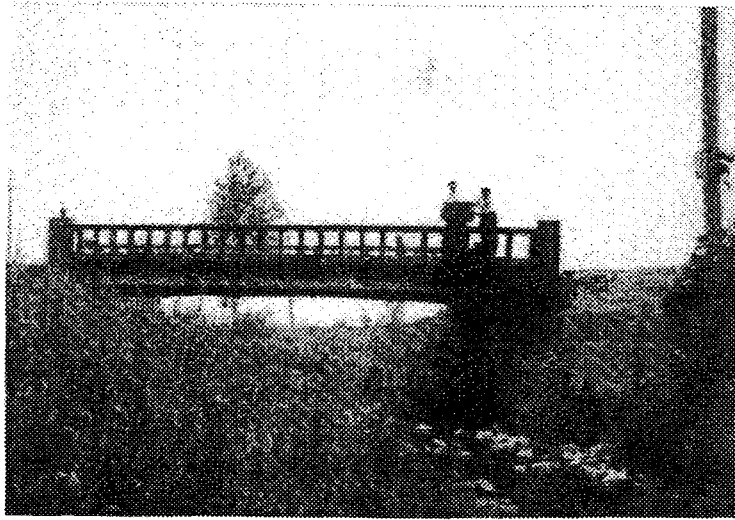
(그림 3-9) 발안구역의 일강수량과 수원측후소의 강수량 비교

나. 수문자료

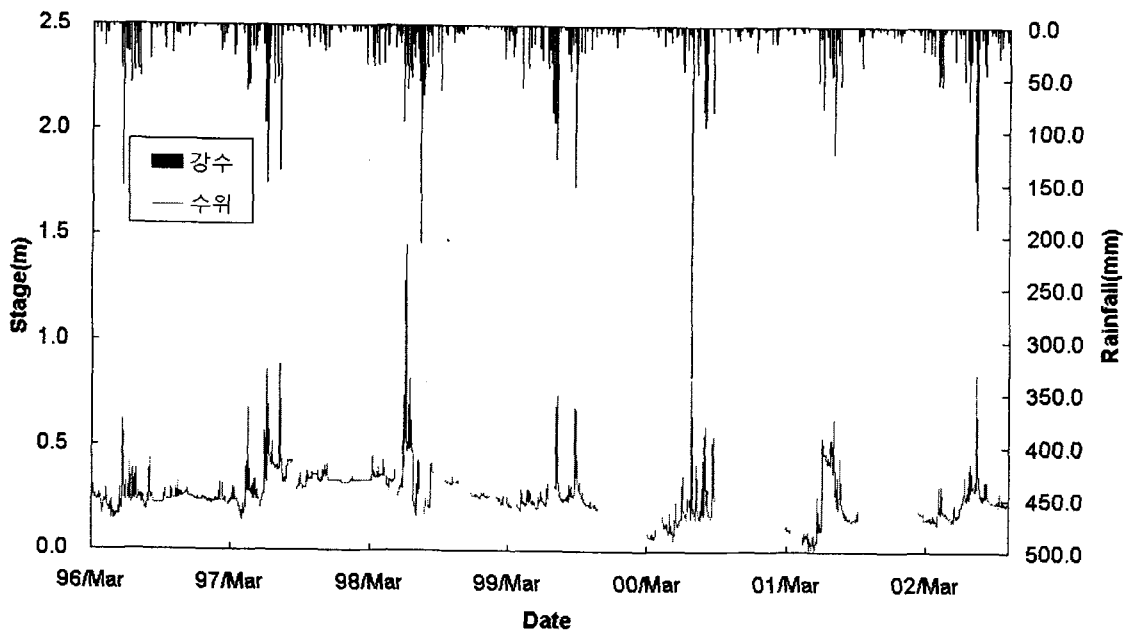
1) 수위측정

구역의 HP#6 지점에서의 하천 수위는 자기 수위계와 압력식 수위계를 설치하여 수위를 관측하였다. 압력식 수위계는 Global Water사에서 만든 WL-14 Global Water Level Logger를 이용하였다. (그림 3-10)은 HP#6 지점에 설치된 수위계 전경을 보여

주고 있다. 1996년부터 2002년까지의 HP#6 지점에 대한 일별 강우 및 수위자료는 (그림 3-11)에서 보는 바와 같다.



(그림 3-10) HP#6 수위측점 전경



(그림 3-11) HP#6 지점의 일별수위

2) 수위-유량관계

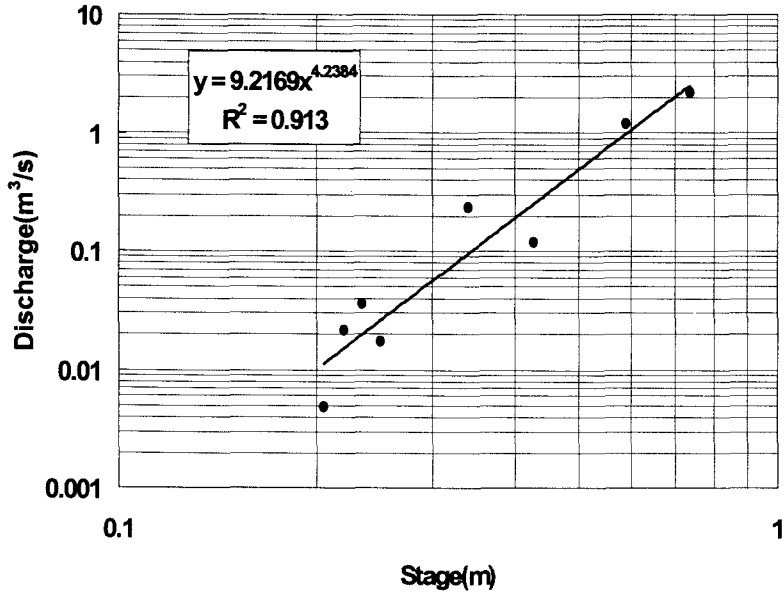
하천 수위측점에 대한 수위-유량관계를 조사하기 위해, 수위별로 유량을 조사하였다. 현장 출장을 통해 폭우시 고수위 유량 측정과 평상시 저수위 유량 측정을 측정하여 수위-유량관계를 구하였다. 일정 수량 이상의 하천 유량은 유속측정과 단면 측량을 실시하여, 단면적에 유속을 곱하여, 이를 단면 구간에 대하여 적분하여 구하였다. 여름철 홍수가 발생하면 하천단면이 변화하므로, 매년 현장 유량 측정을 통해 수위-유량관계를 보완하였다. HP#6 수위측점에서의 연도별 수위-유량 관계는 <표 3-13>에서 보는 바와 같다. 연도별 수위-유량 상관관계식의 결정계수 (R^2)는 0.913~0.979의 범위를 보이고 있다.

(그림 3-12)에서 (그림 3-14)는 HP#6 측점에 대한 수위-유량 관계를 보여주고 있다.

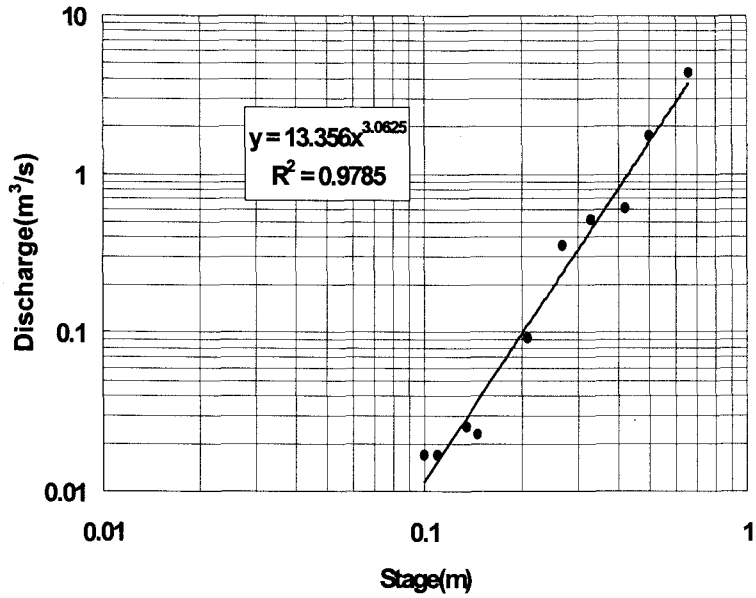
<표 3-13> 측점별 수위-유량관계

측점	수위-유량관계	R^2
HP#6	$Q=9.2169h^{4.2384}$ (1996~1998)	0.913
	$Q=13.356h^{3.0625}$ (1999~2000)	0.979
	$Q=27.649h^{4.5418}$ (2001~2003/6)	0.969

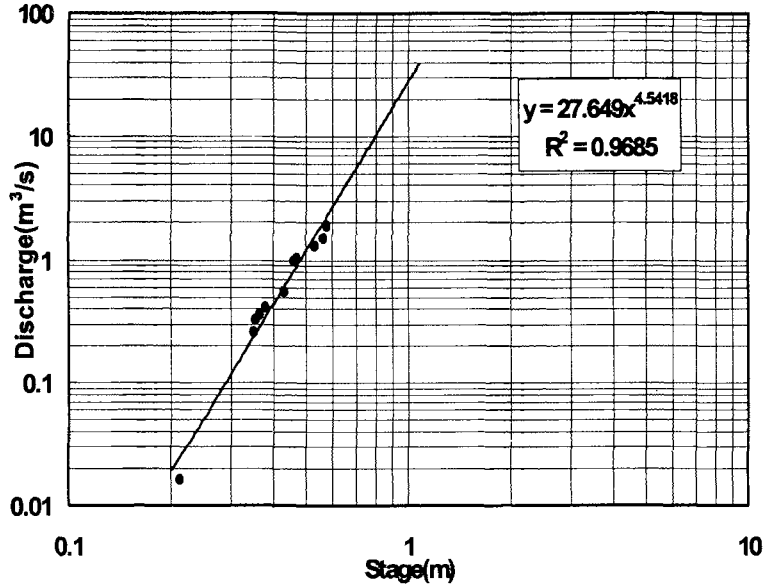
Q : 유량 (m^3/s), h : 수위 (m)



(그림 3-12) HP#6 지점의 수위 유량 관계 (1996~1998)



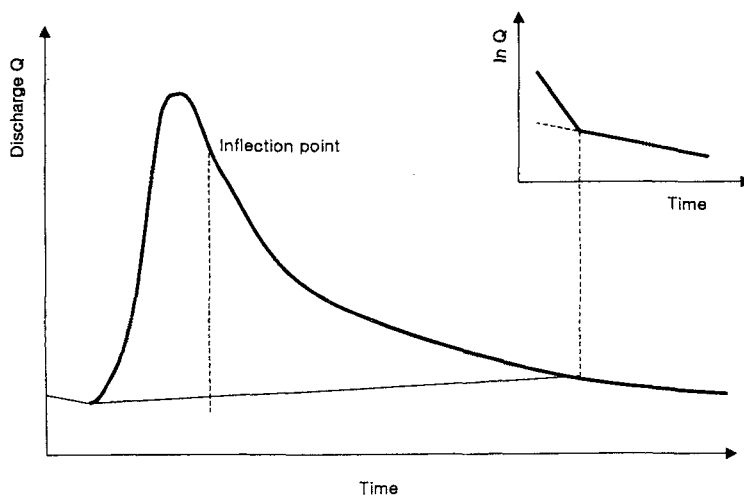
(그림 3-13) HP#6 지점의 수위 유량 관계 (1999~2000)



(그림 3-14) HP#6 지점의 수위 유량 관계 (2001~2003.6)

3) 직접유출량

홍수량 추정모형의 적용을 위해 측정된 유량자료로부터 기저유출량을 분리하여 직접유출량을 산정하였다. 본 연구에서는 경사급변점법을 이용하여 기저유출량을 분리하였다. (그림 3-15)는 경사급변점법에 의한 기저유출량의 분리과정을 보여주고 있다



(그림 3-15) 경사급변점법에 의한 기저유출량 분리

경사급변점법은 Barnes (1939)에 의해 제안된 방법으로 수문곡선의 감수부에서 유량을 반대수지에 그려서 수문곡선의 상승부와 두 번째 변곡점을 연결하여 직접유출을 분리하는 방법이다. 이 방법은 분리방법의 주관성에 의해서 분석자에 따라 변이가 높지만, 홍수수문곡선을 분석하는데 유용한 방법으로 알려져 있다 (조재필, 1998).

경사급변점법에 의하여 1996년부터 2003년까지 주요 강우사상 43개에 대하여 직접유출량을 분리하였다. 최대 강우사상은 2000/07/22 발생하였으며, 강우량은 303mm로 관측되었다. <표 3-14>는 총 43개의 강우 사상별로 산정된 직접 유출량 결과를 보여주고 있다.

<표 3-14> HP#6 소유역 실측 침투유량

강우사상	강우량 (mm)	AMC	침투유량 (m ³ /s)	강우사상	강우량 (mm)	AMC	침투유량 (m ³ /s)
960704	53.5	1	6.759	991031	21.6	1	0.137
960723	46.5	2	3.984	000610	63.2	1	3.482
960727	42.5	2	5.039	000626	44.6	1	1.312
970507	63.5	1	3.843	000629	52.4	2	10.561
970512	102	3	5.977	000722	303.6	1	47.575
970625	99.5	1	21.584	000804	54.8	1	10.963
970630	139	3	45.990	000820	89.0	1	9.233
970704	50.5	3	6.125	000824	66.0	3	6.356
970715	42.5	1	3.830	000826	107.2	3	13.275
970804	230.5	3	70.623	000831	33.8	3	1.618
990503	47.6	1	0.323	000914	37.8	1	0.922
990518	38.0	1	0.535	000915	152.6	2	4.713
990524	22.4	1	0.135	010629	120.2	1	95.760
990616	27.2	1	0.211	010721	32.0	1	23.594
990623	28.8	1	0.407	010722	123.4	2	79.877
990709	64.0	1	2.984	010729	120.2	3	60.754
990801	57.8	3	3.254	010730	129.0	3	55.804
990802	191.0	3	30.217	010813	76.4	1	19.400
990905	49.2	1	1.513	020722	53.6	3	8.224
990919	287.2	1	20.120	020806	138.0	1	115.988
990923	46.0	3	1.391	020827	29.6	1	2.634
991001	20.4	1	0.625				

제 3절 홍수량 산정 기술의 개발

1. 관행 홍수량 산정 기술을 이용한 홍수량 추정

가. SCS 홍수량 추정법

SCS 방법은 미국토양보존국 (U.S. Soil Conservation Service, SCS)에 의해 미국 내 여러 지방의 대소유역으로부터 얻은 결과를 바탕으로 만들어졌으며, 유역의 특성에 관계없이 적용할 수 있는 장점이 있다.

SCS 방법에서 유출량은 총강우량과 보유수량에 의해 결정되며, 강우초기에 발생하는 일정량의 손실량을 고려하여, 다음의 식(3-3)으로 정의된다.

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (3-3)$$

여기서, P : 호우별 총우량 (mm)

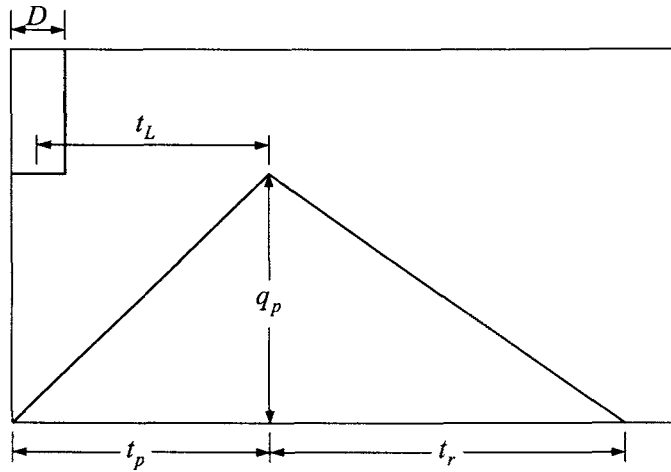
S : 유역의 최대잠재보유수량 (mm)

Q : 직접유출량에 해당하는 유효우량 (mm)

이 때, S는 유역의 토양이나 토지이용 및 처리상태 등의 이른바 수문학적 토양피복 형에 따른 유역의 유출 특성을 나타내는 유출곡선번호 (runoff curver number, CN)를 이용하여 산정되며 다음의 식으로 정의된다.

$$CN = \frac{25400}{S + 254} \quad (3-4)$$

이렇게 계산되어진 유효우량 Q는 SCS 무차원단위도법을 이용한 단위도 합성을 통하여 유출수문곡선을 생성하게 된다. (그림 3-16)에서 보는 바와 같이 유출수문곡선이 삼각형의 형태를 갖게 된다는 가정 하에 단위도의 합성을 다음과 같이 나타낼 수 있다.



(그림 3-16) SCS 삼각형 단위도

$$Q = \frac{1}{2} q_p (t_p + t_r) \quad (3-5)$$

여기서, Q : 직접유출량의 총용적 (mm)

q_p : 첨두유출량 (mm/hr)

t_p : 첨두유출량 도달시간 (hr)

t_r : 감수시간 (hr)

식 (3-5)으로부터 다음식이 유도된다.

$$q_p = \frac{2Q}{t_p + t_r} \quad (3-6)$$

이 때, t_p 는 (그림 3-28)로부터 다음과 같이 나타내어진다.

$$t_p = \frac{1}{2} D + t_L \quad (3-7)$$

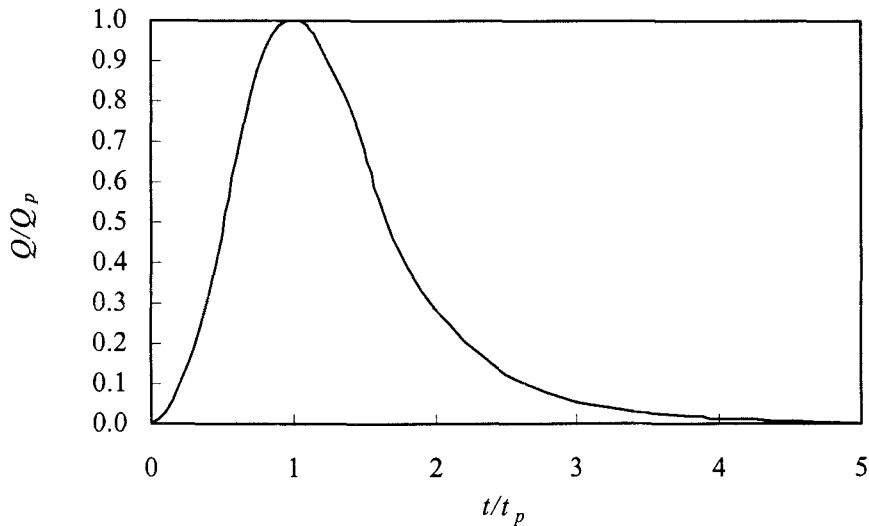
여기서, D : 유효강우의 지속시간 (hr)

t_L : 지체시간 (hr)

그리고 SCS의 실험결과로부터, 유역의 지체시간 t_L 과 홍수도달시간 t_c 와의 관계는 다음의 식(3-8)으로 나타내어진다.

$$t_L = 0.6t_c \quad (3-8)$$

식(3-6)와 (3-7)로부터 q_p 와 t_p 를 구할 수 있고, (그림 3-17)에 주어진 SCS 무차원단위도를 이용하여 최종적으로 단위도의 합성이 가능하며, 각 소유역 출구점에서의 유출수문곡선을 계산할 수 있다.



(그림 3-17) SCS 무차원 단위도 (SCS, 1972)

나. 농업기반공사 홍수분석시스템 (Flood Analysis System, FAS)

1) 기본 개요

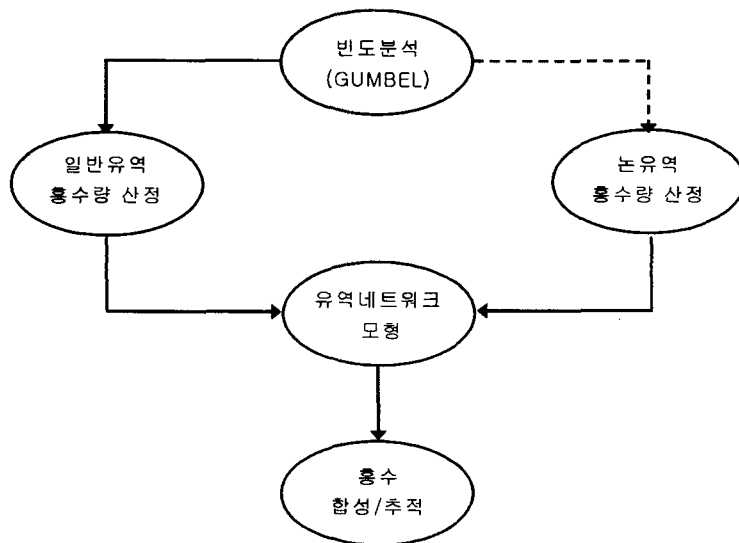
FAS (Flood Analysis System)는 농업기반공사에서 치수계획을 수립하기 위한 유역 내의 홍수량 산정을 일련의 통합된 시스템 내에서 구현되도록 한 홍수량 분석 모

형이다. FAS는 홍수량 산정을 위한 모든 입력 자료를 데이터베이스화하여 관리하며 크게 자료 DB와 수문모형으로 구성된다. FAS는 배수개선 사업에 필요한 수리수문과정을 일관된 체계 하에서 분석하므로 기준화된 설계절차에 따라 배수개선사업을 수행하는 것을 목표로 하고 있으며 홍수량 추정단계를 유역계획, 홍수량산정, 홍수합성/추적, 계산결과 4단계로 구분하였다.

2) 기본 시스템 구성

FAS는 홍수량 사정을 위한 모든 입력 자료를 데이터베이스화하여 관리하며 크게 자료 DB와 수문모형으로 구성된다. FAS는 배수개선사업에 필요한 수리수문과정을 일관된 체계 하에서 분석함으로서 기준화된 설계절차에 따라 배수개선사업을 수행하는 것을 목표로 하며 홍수량 추정단계를 유역계획, 홍수량산정, 홍수합성/추정, 계산 결과의 4단계로 구분하였다.

자료 DB에는 유역특성자료 테이블, 강우자료 테이블, 출력자료 테이블, 출력 테이블이 있으며 수문모형은 논 유역의 홍수유출량 모형과 일반 유역의 홍수유출량 모형으로 구분된다. 아래 (그림 3-18)은 FAS 전체의 프로그램 흐름을 보여주고 있다.



(그림 3-18) FAS의 모형 구성

3) 논 유역의 홍수유출 모형

논 유역의 홍수유출 모형은 SCS 방법에 의한 유효우량을 산정하고 Clark 방법을 기본으로 한 강우-유출을 산정한다. 통상적인 논 유역의 홍수유출량을 산정하기 위해 SCS의 유효우량 산정을 위한 CN III 값인 90으로 보정된 값을 적용하였다. 모형의 입·출력 자료는 강우량, 유역면적, 유달 시간을 입력하면 되므로 매우 간단하게 모형을 운영할 수 있는 장점이 있다.

4) 일반유역의 홍수유출량 모형

FAS에서는 논 유역이 아닌 산지와 밭이 혼재하는 일반유역의 홍수유출량을 산정하기 위하여 미국 농무성 SCS (Soil Conservation Service)에서 개발되어 현재 국내 실무에서 널리 사용 중인 삼각단위도법을 수정 보완하여 FAS의 일반 유역 홍수유출량 모형으로 구축하였다. FAS에 구축된 이 모형은 당초 SCS의 개발 이론에 맞추어 유역 특성에 따른 단위도를 5개로 구분하고, 홍수 유출량의 계산 시간 간격을 유달 시간의 함수가 되도록 함으로서 급격한 산악지대에서부터 완경사 평야지역까지의 다양한 유역을 가지고 있는 우리나라의 유역 특성이 반영될 수 있도록 구성되었다.

5) 유역계획

유역 계획은 유역 Network 및 강우자료를 처리하는 두 개의 모듈로 구성된다. Network 모듈은 소유역의 구분, 홍수유출량의 산전과 합성/추적지점 선정 등 소유역 구성에 따른 분석계획을 수립한다.

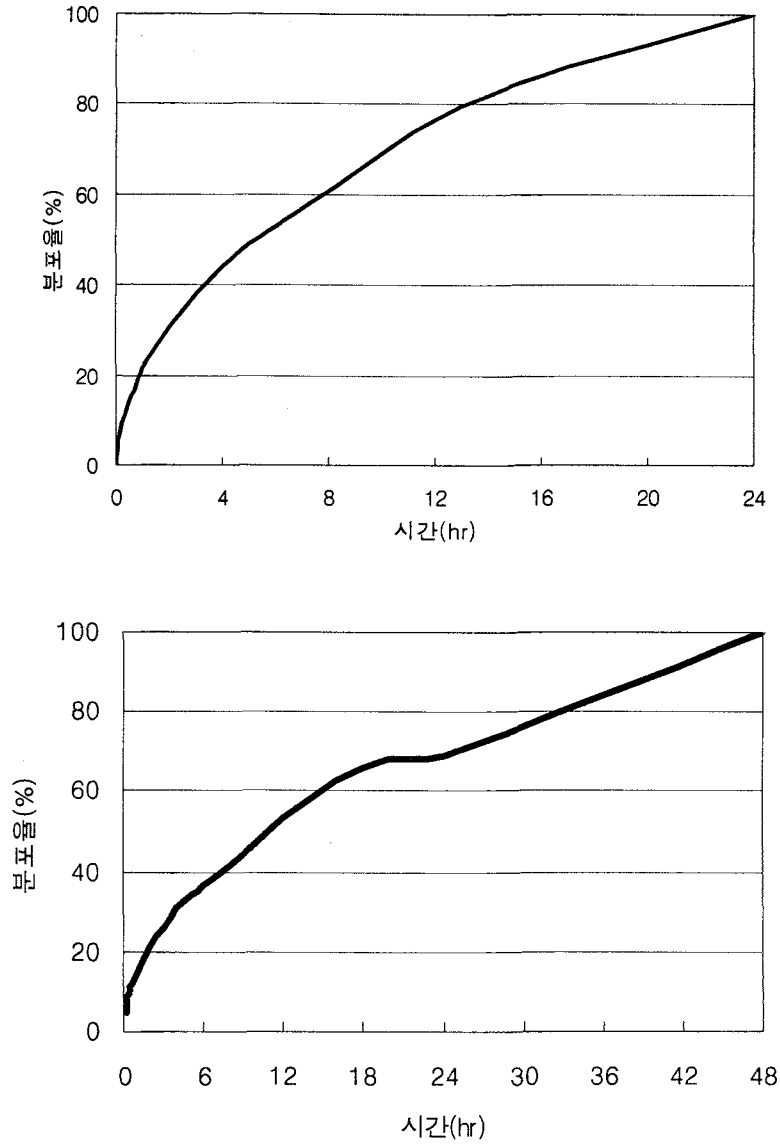
강우자료 모듈은 홍수유출량 산정에 필요한 강우분포율과 설계강우량을 제공하며, 이는 기왕의 연도별 최대 강우량과 IDF곡선 (건설부, 1988)으로 작성된 DB로부터 추출하여 Gumbel 방법으로 설계강우량을 빈도분석하고, 시간적 분포는 FAUST에서 사용된 방법으로 SCS 삼각단위도의 T_p (침투유량 발생시간)을 중심으로 시간분포를 재배치하여 수문모형의 입력 자료로 이용하게 된다.

6) 설계강수량 및 강우분포율

기상자료를 이용하여 적정 확률분포함수를 적용하여 빈도별 확률강수량을 산정하게 되며 “배수개선 홍수분석시스템 개발”에서 추천한 극치 I 분포 (Gumbel 법)를 적용하고 있다. FAS에는 전국의 기상관측서 연최대치 강우자료를 Gumbel 법으로 빈도 분석한 결과가 DB에 수록되어 있다. 강우분포율의 산정은 중소규모의 농촌용수 개발 사업이나 배수개선 사업에서는 “농업용수개발시험연구”에서 관측치를 이용하여 산정한 Mononobe 공식의 지역상수 n 값을 적용하여 시간별 강우분포율을 이용하였다. n 값이 없는 관측소에서는 연 최대치 계열의 1시간 최대 강우자료를 이용하여 n 값을 추정한다. 이 공식은 유달 시간이 1시간 이상인 경우 사용하고 1시간 이하인 경우에는 IDF곡선을 이용한다. 본 연구에서 FAS를 적용한 수원 지역에 대한 강우분포곡선은 <표 3-15>와 (그림 3-19)에 나타내었다.

<표 3-15> 수원지방의 24시간, 48시간 강우분포율

지속 시간 24시간		지속 시간 48시간	
시간(hr)	분포율(%)	시간(hr)	분포율(%)
0.17	6.90	0.17	4.80
0.33	11.30	0.33	7.80
0.50	14.10	0.50	9.80
0.67	16.80	0.67	11.60
0.83	19.40	0.83	13.50
1.00	21.30	1.00	14.80
2.00	30.90	2.00	21.40
3.00	38.20	3.00	26.50
4.00	44.10	4.00	30.60
5.00	49.00	5.00	34.00
6.00	52.90	6.00	36.70
9.00	64.70	9.00	44.40
12.00	76.50	12.00	53.00
16.00	86.30	16.00	62.50
20.00	93.20	20.00	68.00
24.00	100.00	24.00	69.30
		48.00	100.00



(그림 3-19) 수원지방의 24시간(상), 48시간(하) 지속시간 강우분포율 곡선

7) 유역 Network 작성

분석지구가 여러 구간으로 나누어져 있거나 배수계통이 복잡한 경우나 지구 내 두 곳 이상의 홍수량을 구하고자 할 경우에는 각각의 배수계통에 따라 유역을 구분하고 각 소유역별 홍수량을 산정한 뒤 유역 Network에 의하여 홍수량을 산정한다.

8) 홍수량 산정 개요

홍수량 산정은 일반유역과 논유역으로 구분하여 산정된다. 일반유역의 경우 일반 SCS방법의 삼각단위도에 의한 홍수량이 산정되며, 논유역으로 구분된 소유역은 논의 저류효과가 고려되어 홍수유출량이 산정된다.

9) 유달 시간(T_c)

유달 시간은 유역의 최원점에서 출구 또는 설계지점까지 물이 유하하는데 걸리는 시간으로 정의되며, 홍수량의 크기에 많은 영향을 주는 요소이며 다음과 같은 경험식을 사용하여 산정한다.

① Kerby (1959) 방법

지표면의 흐름이 주된 영역에서 유역면적이 0.04 km^2 보다 작고 경사가 1%보다 작으며, 또한 지체계수가 0.8보다 작고 유로의 길이가 0.4 km 이하인 작은 유역에서 유달 시간을 결정하는 방법으로서 다음과 같이 표현된다.

$$T_c = 1.44 \frac{(nL)^{0.467}}{S^{0.234}} \quad (3-9)$$

여기서, T_c : 유달 시간 (min), S : 경사 (무차원)

L : 유역의 최원점에서 하도지점까지의 직선길이 (m)

N : 지표면흐름의 지체계수 <표 3-16> 참조

<표 3-16> 지체계수 N의 값

표 면 상 태	N 값
매끄러운 불투수 표면	0.02
매끄럽고 잘다져진 나지	0.10
불량초지, 줄경작 또는 보통조도의 나지	0.20
목초지 및 보통의 초지	0.40
산림지	0.60
일반적인 산간유역	0.70
산림지 (깊은 낙엽퇴적지), 침엽수림, 조밀한 초지	0.80

② Rizha 방법

Rizha는 산간부에서 평야부($S \geq 1/200$)로 옮겨가는 곳에 적용할 수 있는 방법으로 다음과 같이 표시된다.

$$T_c = L/W1 \quad (3-10)$$

$$W1 = 20 \times (H/L)^{0.6} \quad (3-11)$$

여기서, T_c : 유달시간 (min)

$W1$: 홍수도달속도 (m/sec)

H : 최상류지점과 유역출구까지의 고저차 (m)

L : 최상류지점과 유역출구까지의 수평거리 (m)

위 식 (3-10)은 유역경사 $S \geq 1/200$ 인 곳에서 적용할 수 있으므로 우리나라에서와 같이 산지 하천과 평야부 하천이 혼재할 때 사용 가능하다. 이때 유로의 경사도가 상이한 경우 경사도의 변곡지점을 구분하여 각 구간별로 식을 적용한 후 합산하여 유달 시간을 계산한다.

③ California 도로국 공식

California Culverts Practice(1942)에서 California 산간지역 소유역에서 유도된 공식으로 근본적으로는 Kirpich의 Tennessee지역 공식과 같으며 다음과 같이 표시된다.

$$T_c = \left(\frac{0.869L^3}{H} \right)^{0.385} \quad (3-12)$$

여기서, T_c : 유달 시간 (hr)

L : 가장 긴 유로장 (km)

H : 유역출구와 주유로를 따른 최점원과의 고저차 (m)

위 식 (3-12)는 유역이 비교적 크더라도 경사도는 단순해야만 오차를 줄일 수 있다. 따라서 유로의 경사도가 상이하게 구성되어 있을 경우 각 구간의 경사도를 구간장의 가중평균으로 평균경사를 구한 후 적용되며, 지표의 흐름경로(overland flow path)가 아스팔트나 콘크리트로 되어 있다면 추정된 집중시간에 0.4, 하도가 콘크리트로 되어 있다면 0.2를 곱하여 사용한다. 이 방법은 주로 하로에서 유달 시간 측정에 사용한다.

④ Kraven 방법

평야부 ($S \leq 1/200$) 하천에서 유달 시간을 추정하는 식으로 다음과 같이 표시된다.

$$T_c = 0.444 \frac{L}{S^{0.515}} \quad (3-13)$$

여기서, T_c : 유달 시간 (min)

L : 유로연장 (m)

S : 유역 평균 경사

⑤ SCS 방법 (LAG 법, 1985)

농업지역 소유역에서 개발된 방법으로서 지체시간(lag time)과 유달 시간 관계를 다음과 같이 표시된다.

$$T_c = 1.67 t_L \quad (3-14)$$

$$t_L = \frac{L_w^{0.8} (Max - S + 25.4)^{0.7}}{28.14 S_0^{0.5}} \quad (3-15)$$

$$Max - S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (3-17)$$

여기서, T_c : 유달 시간 (hr)

t_L : 지체시간 (유효우량도 중심에서 직접유출수문곡선의 첨두부분까지의 시간구간)

L_w : 수문학적으로 유역의 가장 먼 지점부터 설계지점까지의 거리 (km)

S_0 : 유역 평균경사 (%),

CN : 유역유출수문곡선지수

위 방법은 소유역으로 유달 거리가 6km 이내이고 유역의 경사도가 유로의 길이에 따라 크게 변하지 않으며 비교적 단순한 유로형태에 사용한다.

이상과 같은 유달 시간 추정 방법들은 흐름영역별 또는 지역에 따라 각각 다르게 개발되었으므로 실무에 사용하기 위하여 추정방법을 선정하고자 할 때는 유역 특성에 알맞은 흐름영역과 지형적 특징을 고려해야만 하므로 이를 위해서 충분한 현장조사를 실시해야 한다.

10) 유출곡선번호 (CN)

SCS 방법은 총강우량으로부터 직접유출량 (혹은 유효우량)에 미치는 복합적 영향을 하나의 지수인 유출곡선번호 (Runoff Curve Number, CN)로 나타내어 유출량 자

료가 없는 미계측 유역의 유효우량을 산정에 사용하고 있으며 홍수량산정에는 유역의 모양이 거의 포화되어 유출율이 높은 AMC III 조건의 CN값을 적용한다.

11) 유역의 경사도

① 일반유역

유역의 경사도는 홍수유출량을 산정하기 위한 단위도의 침투유량과 기저장을 결정하는 값으로서 침투유량 산정식은 미국유역에서 유도된 환경사지의 대표적인 단위도의 특성 변수이며, SCS에서 추천하는 유역의 지형 특성과 경사도에 따라 단위도의 특성 변수를 유도하여 정리하면 <표 3-17>과 같다. 우리나라의 경우 급경사 산악지에서부터 완경사 평야지역까지의 다양한 유역을 가지고 있기 때문에 적절한 홍수량을 산정하기 위해서는 이 표에서와 같이 유역의 지형 경사도에 따라 단위도의 특성 변수를 구분하여 적용하는 것이 합리적이다.

<표 3-17> 유역특성에 따른 단위도의 침투유량과 기저장

구 분	단위도 침투유량	단위도 기저장	비고
산악지대(불투수층)	$q_p = \frac{0.258 A Q}{t_p}$	$t_b = 2.15 t_p$	$q_p : m^3/sec$ $A : km^2$ $Q : 1mm$ $t_b : hr$
산악지대(투수층)	$q_p = \frac{0.233 A Q}{t_p}$	$t_b = 2.34 t_p$	
완경사	$q_p = \frac{0.208 A Q}{t_p}$	$t_b = 2.67 t_p$	
낮은 구릉지	$q_p = \frac{0.167 A Q}{t_p}$	$t_b = 3.27 t_p$	
평탄지 또는 늪지대	$q_p = \frac{0.125 A Q}{t_p}$	$t_b = 4.30 t_p$	

② 논유역의 경우

논유역의 경사도에 따른 계수 및 입력값은 아래의 <표 3-18>과 같다.

<표 3-18> 논유역경사도에 따른 계수 및 입력값

구 분	Ratio의 크기	입력값
경사가 급한 곳	0.6	1
완경사	0.8	2
평탄지	0.9	3
사용자 정의	0.1~0.95	직접입력

12) 홍수량 합성/추적 이론

FAS에서 홍수 합성/추적 과정은 다음의 3가지로 구분된다.

첫 번째 방법은 홍수량 산정지점에서 각 소유역의 홍수가 직접 합성되는 과정이다. 이 경우는 각 소유역에서 홍수유출량 발생 시간의 차이가 없는 경우이며 단위도의 중첩이론에 따라 홍수수문곡선이 합성된다. 이때 사용되는 알고리즘은 강우지속시간별로 홍수수문곡선을 선형으로 가정하고, 유달 시간이 작은 유역의 강우지속시간 간격을 유달 시간이 큰 유역의 강우지속시간 간격으로 보간법에 의해 환산하여 홍수수문곡선을 합성한다.

두 번째 방법은 비교적 하도구간이 짧은 경우에 적용하는 것으로, 홍수가 하류로 전달될 때 하도의 홍수전파 속도만큼 지체되어 합성되는 방법이다. 이 경우는 홍수전파 속도를 직접 산출할 수 없기 때문에 유달 시간 선정법에 의해 시간의 함수인 홍수 전파 시간을 구하여 산정된 시간만큼 홍수수문곡선을 지체시킨 후 유달 시간이 큰 유역을 기준으로 첫 번째 방법과 같이 보간법에 의해 같은 간격마다 홍수량을 산정 후 단위도의 중첩이론을 따라 홍수를 합성하게 된다.

세 번째 방법은 상류에서 하류로 홍수추적을 Muskingum 법에 의하여 수행 후 전 단계의 합성 방법과 같이 소유역 홍수유출량을 합성하게 된다. FAS에서는 저류가 발생할 만큼 하도의 길이가 충분히 긴 경우 Muskingum 방법을 홍수량 합성에 적용할

것을 권장한다.

① Muskingum 홍수 추적

Muskingum 홍수추적 방법의 하도 추적을 위한 기본 방정식은 다음과 같다.

$$I - O = \frac{ds}{dt} \quad (3-17)$$

여기서, I = 유입량, O = 유출량

$$\begin{aligned} S &= kO + k(I - O) \\ &= k[xI + (1 - x)O] \end{aligned} \quad (3-18)$$

K 는 시간차원을 가지는 저류상수이고, x 는 가중계수이며, S 는 저류량이다. K 값은 실측자료가 있는 경우는 시산법이나 매트릭스를 해석하여 구하기도 한다. 간혹 자료가 없는 경우 구간의 상류에서 하류까지 통과하는데 소요되는 시간으로 정의하며 간혹 첨두홍수량의 구간 통과시간을 근사치로 사용하기도 한다. 가중계수 x 는 저류 효과가 없는 경우 0이며 자연하천이 등류일 경우는 0.5, 일반적인 경우 0~0.3의 값을 가지며 흔히 0.2나 0.25를 사용한다. 한 추적구간에 대해 저류량 변화는

$$\frac{1}{2}(I_1 + I_2)\Delta t - \frac{1}{2}(O_1 + O_2)\Delta t = k[x(I_2 - I_1) + (1 - x)(O_1 - O_2)] \quad (3-19)$$

위 식을 정리하여 O_2 에 관하여 풀면

$$O_2 = C_0 I_2 + C_1 I_1 + C_2 O_1 \quad (3-20)$$

$$\text{여기서, } C_0 = \frac{-kx + 0.5\Delta t}{C_3} \quad C_1 = \frac{kx - 0.5\Delta t}{C_3} \quad C_2 = \frac{k - kx - 0.5\Delta t}{C_3}$$

$$C_3 = k - kx + 0.5\Delta t$$

또한 $\Delta t = 2kx$ 로 나타난다.

Cunge (1969)는 위의 계수 Δt 와 k 를 다음과 같이 정의하였다.

$$k = \Delta L/c, \quad x = 0.5 - aQ/(Lc\Delta L) \quad (3-21)$$

Δt 를 결정함에 있어 우선 이 값이 모든 수문곡선도를 완전히 작성할 수 있는 수치 중 최소치여야 하며 두 번째로 구간의 수면 종단구배가 비교적 직선이어야 한다는 것이다. 일반적으로 추적결과 수문곡선에서 K 와 x 의 값을 고정시켰을 때 Δt 의 작은 변화에는 비교적 영향을 받지 않는다.

2. 논 의 저류 기능을 고려한 홍수량 추정

소유역 홍수추적, 저수지 홍수추적, 하도구간 홍수추적에 논에서의 유출특성을 고려한 유출모형을 통합하여 유역 홍수량 추정 모형인 WFRpaddy (Watershed Flood Routing considering paddies)을 구성하였다 (김철겸, 1999). 논 포장에서의 담수심은 유입, 유출량을 고려한 연속방정식에 의하여 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$FD_t = FD_{t-1} + IR_t + P_t - (DR_t + ET_t + F_t) \quad (3-22)$$

여기서, FD_t : t 시간의 담수심 (mm)

FD_{t-1} : $t-1$ 시간의 담수심 (mm)

IR_t : 관개량 (mm)

P_t : 강우량 (mm)

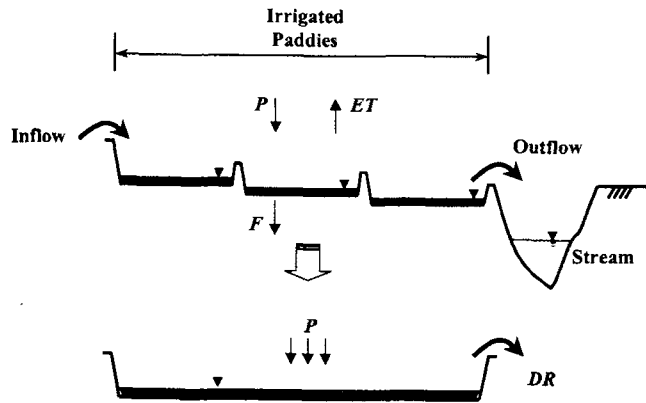
DR_t : 물꼬를 통한 배수심 (mm)

ET_t : 증발산량 (mm)

F_t : 침투량 (mm)

그러나 포장이 아닌 광역의 논 지역에 대한 유출 모의의 경우에는, 이러한 인자들을 모두 고려할 경우 지나치게 모형이 복잡해질 수 있고, 또한 홍수 시에는 대부분의 경

우 관개가 이루어지지 않으며, 증발산량, 침투량 등의 인자들의 영향이 매우 미소하므로 생략할 수 있으며, (그림 3-20)에 나타난 바와 같이 여러 필지로 구성된 논 지역을 단일의 광역필지로 가정하고, 강우에 따른 담수심의 시간적 변화와 논에서의 저류효과를 고려하여 홍수유출 모형을 구성하였다.



(그림 3-20) 강우에 따른 시간적 변화와 논에서의 저류효과를 고려한 홍수유출모형

(그림 3-21)은 논에서의 유출 현상을 나타낸 것으로, H_b 는 두렁 높이를, H_i 는 물꼬 높이, FD 는 담수심을 나타낸다. 즉, 물꼬 높이 이하의 담수심에서는 유출이 없고 저류 현상만 발생하며, 물꼬 높이 이상에서 두렁 높이까지는 폭 W 를 가지는 물꼬를 통하여 배수가 되며, 두렁 높이 이상일 때에는 전면 배수되는 것으로 모형을 구성하였다.

물꼬를 통하여 배수로로 배제되는 유출량은 다음과 같이 위어 (weir)의 자유낙하 유량공식을 적용하였다.

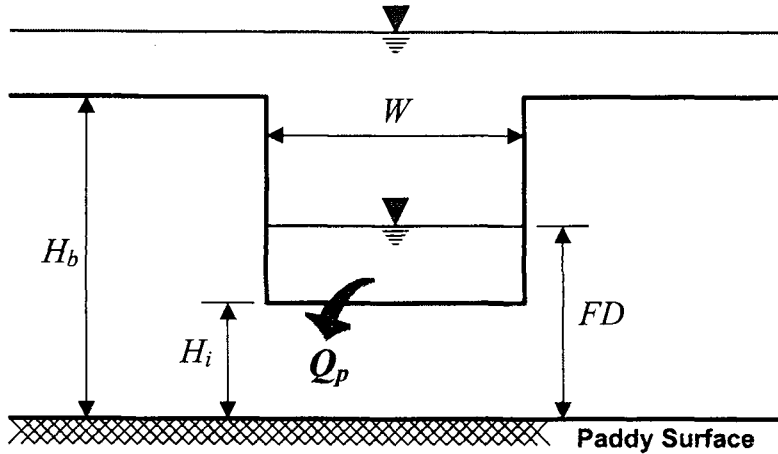
$$Q_p = c_p W H_p^{3/2} \quad (3-23)$$

여기서, Q_p : 배수량 (m^3/sec)

C_p : 유출부의 조건에 따라 달라지는 상수

W : 물꼬의 폭 (m)

H_p : 월류 수두 (m) ($=FD - H_i$)



(그림 3-21) 논에서의 유출 형상

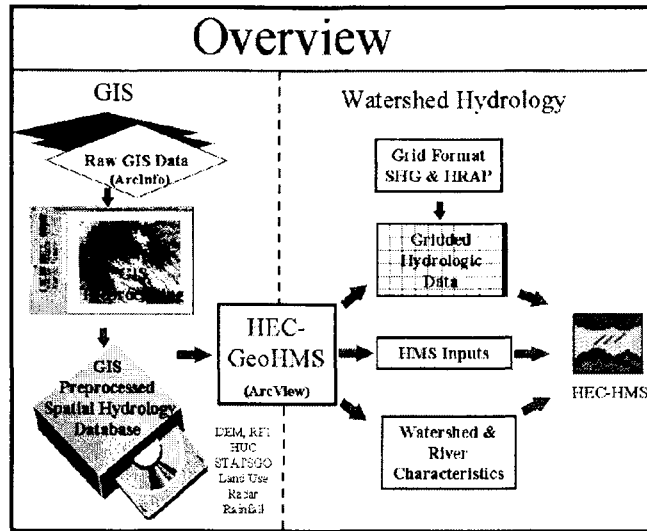
3. GIS를 이용한 홍수량 추정

가. HEC-geoHMS 모듈

HEC-GeoHMS는 ArcView GIS의 확장모듈로써 2000년 미 육군 공병단 (US Army Corps of Engineers)과 환경시스템연구소 (Environmental Systems Research Institute, Inc., ESRI)가 공동으로 개발하였다. 이 모형은 GIS자료 사용경험이 적은 기술자나 수문전문가들이 쉽게 이용할 수 있도록 되어있다.

(그림 3-22)는 GIS, HEC-GeoHMS, HEC-HMS 사이의 관계를 보여주고 있다. 그림에서 점선은 GIS와 유역수문모형을 구분한 것이며, HEC-GeoHMS는 GIS와 HEC-HMS를 연계하는 역할을 한다.

GIS자료는 ARC Grid 형식을 지원하는 표준 GIS 소프트웨어 패키지를 사용하여 자료를 조합 (assembly)한 후, HEC-GeoHMS를 이용하여 여러 가지 수문입력자료 생성을 위한 지형·공간자료를 처리하고, 하천과 유역의 특성, 강우자료, 유량자료를 이용하여 수문변수를 추정한다. 여기에서 만들어진 수문입력자료는 HEC-HMS모형의 초기 입력자료로 이용된다.



(그림 3-22) Overview of GIS와 수문 프로그램의 개요도

GIS는 대량의 자료포맷 지정 및 처리, 좌표변환을 위해서 사용되며, DEM, 토양유형, 토지이용정보, 강우량 등과 같은 공간수문 데이터베이스를 생성한다.

HEC-GeoHMS는 자료의 수집 및 조합, 지형전처리, 유역과 하천 특성을 처리하는 수문처리, 수문변수 추정 과정을 거쳐 HEC-HMS 입력자료를 생성한다. 각 단계별 과정의 주요내용은 다음과 같다.

1) 자료처리

가) 자료수집

자료를 수집하기에 앞서서 프로젝트가 요구하는 사항을 면밀히 검토하고 확인하여야 하며, 프로젝트의 목적과 해상도, 자료의 정확성, 가격 등을 고려하여 수집한다.

나) 자료조합

GIS 자료는 여러 가지 형태로 되어있기 때문에 수집된 자료를 HEC-GeoHMS에 입력하여 이용할 수 있도록 하기 위해서는 자료의 변환 또는 좌표체계의 변환 등을 수행하는 자료의 조합이 필요하다.

2) 지형 전처리

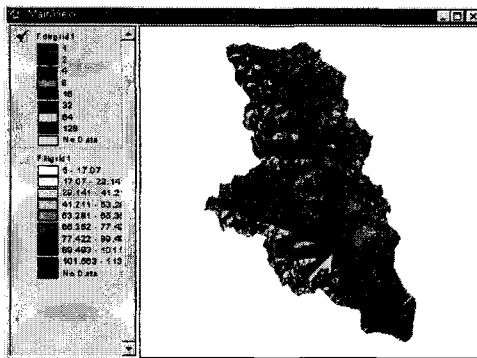
지형 전처리는 지형자료를 입력자료로 사용하기 위하여 배수망 (drainage networks)을 추출하기 위한 일련의 단계이다. 이러한 일련의 단계는 흐름 방향 (flow direction), 흐름합산 (flow accumulation), 하천정의 (stream definition), 유역구분 (watershed delineation), 유역경계추출 (watershed polygon processing), 하천처리 (stream processing) 로 구성된다. 이러한 과정을 거쳐 만들어진 지형 전처리 자료를 이용하여 다음단계인 유역처리 단계에서는 유역을 추출하고 편집하게 된다.

가) 흐름 방향

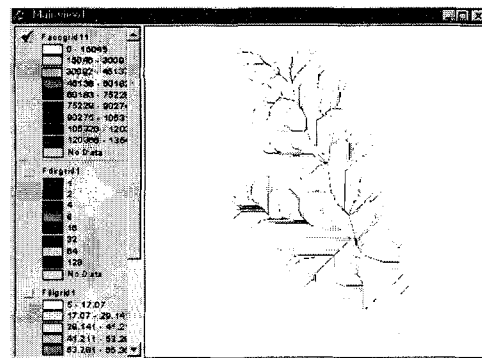
본 모듈에서 흐름은 각 지형 격자 (cell)에서 경사가 가장 급한 방향으로 흐르는 것으로 정의되어 있는데, 흐름의 방향은 8방향으로 되어있다. (그림 3-23)는 흐름방향의 처리 결과를 보여주고 있다.

나) 흐름 합산

이 모듈에서는 주어진 격자 (cell)로 배수되는 상류측 격자의 개수를 결정한다. 주어진 격자로 배수되는 상류측 배수면적은 흐름합산 값에 격자 면적을 곱하여 계산하면 된다. (그림 3-24)은 흐름합산 처리 결과를 보여주고 있다.



(그림 3-23) 흐름 방향 처리 결과

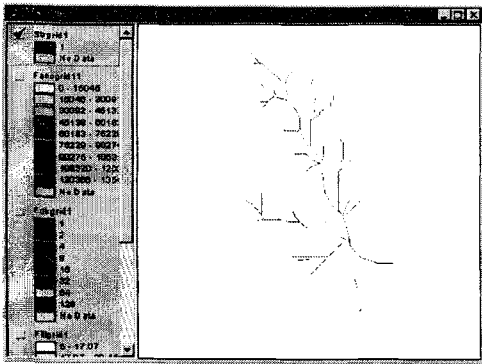


(그림 3-24) 흐름 합산 처리 결과

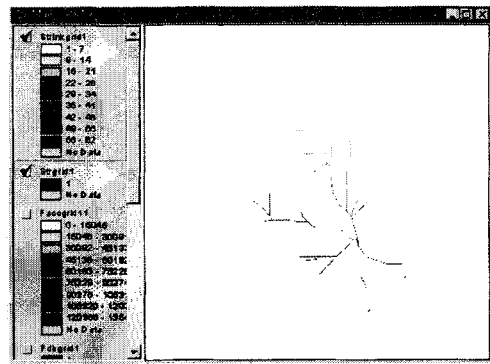
다) 하천 정의

이 모듈에서는 하천망 (stream network)에 포함되어 있는 격자로서 사용자가 정의한 최소값 보다 큰 흐름 합산값을 가진 모든 격자를 분류한다. 전형적으로 사용자가

정의한 최소값보다 큰 흐름합산 값을 가진 격자는 하천망의 한 부분으로 고려되어진다. 사용자가 정의한 최소값은 거리단위가 제공인 면적으로 정의된다. 흐름이 시작되기 위해서는 특정 격자의 흐름 합산값은 사용자가 정의한 최소값보다 더 커야한다. 사용자 정의 초기값은 전체 유역에서 가장 큰 배수면적의 1%로 되어있다. 초기값을 작게 하면 할수록 HEC-GeoHMS에 의해 구분되는 소유역의 개수는 점점 더 많아진다. (그림 3-25)는 하천 정의 처리결과를 보여주고 있다. 하천을 여러 구간으로 분할할 수 있으며, (그림 3-26)은 하천구간 구분 처리결과를 보여주고 있다.



(그림 3-25) 하천 정의 처리 결과



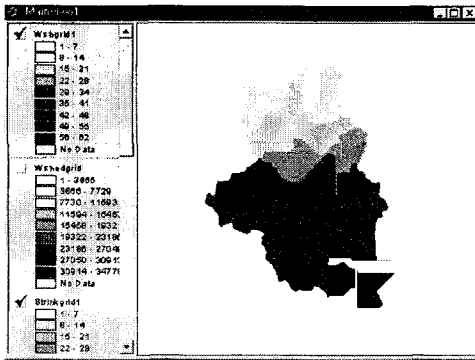
(그림 3-26) 하천구간 구분 처리 결과

라) 유역 구분

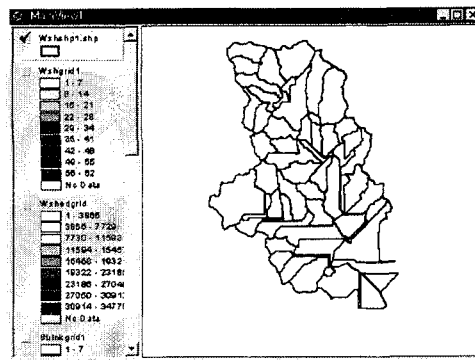
이 모듈에서는 각각의 하천구간에 대한 소유역을 구분하며, 그리드 (grid) 형식의 파일로 출력된다. (그림 3-27)은 이 모듈에서 유역경계를 구분한 결과를 보여준다.

마) 유역경계 추출

이 모듈에서는 유역구분 모듈로부터 계산된 그리드 형식의 유역자료를 벡터 형식으로 변환하여 유역경계를 보여준다. (그림 3-28)은 유역경계를 추출한 결과를 보여준다.



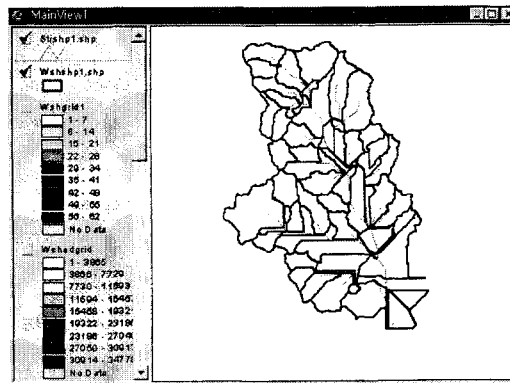
(그림 3-27) 유역경계 구분 결과



(그림 3-28) 유역경계 추출 결과

바) 하천구간 처리

본 모듈은 그리드 형식의 하천자료를 벡터 형식으로 바꾸어 하천도를 생성한다. (그림 3-29)는 하천처리결과를 보여준다.



(그림 3-29) 하천처리결과

3) 수문 처리

지형 전처리가 끝나면 수문처리를 하게 되는데, 수문처리는 유역처리, 하천 및 유역 특성 추출, HMS Model 입력파일 작성의 순서로 구성된다.

가) 유역 처리

유역처리 모듈에서는 지형 전처리 과정의 유역경계추출 단계에서 구분한 소유역을 합병하거나, 큰 유역을 소유역으로 분리하는 기능을 제공한다. 또한 소유역의 분리 또는 합병으로 생성되는 하천 구간을 기존의 하천에 연결하여 주는 기능도 있다. 이 모

들에서는 하천특성도구가 있어서 지형모델로부터 하천을 따라 고도값을 추출함으로써 하천의 경사와 경사급변에 관한 정보를 제공한다. 또한 합류점에서 유역을 분할하는 기능도 있다.

나) 하천 및 유역특성 추출

하천과 소유역 구분이 완료되면 HEC-GeoHMS는 하천과 유역이 지니고 있는 여러 가지 물리적 특성을 지형자료로부터 추출한다. 이러한 특성은 유역의 비교와 수문변수를 추정하는데 유용하게 이용된다. 하천의 물리적 특성으로는 하천길이, 하천 상하류의 고도 및 경사 등이 있으며, 유역의 특성으로는 최장 흐름경로, 중심흐름경로 등이 있다.

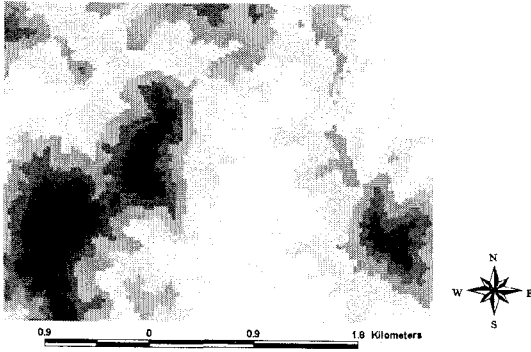
다) HEC-HMS Model 입력 파일 작성

본 모듈에서는 HEC-HMS 구동을 위한 여러 가지 수문 입력자료를 생성한다. 우선, 하천구간과 소유역별 고유이름을 자동적으로 부여하고, HEC-GeoHMS에서 사용했던 단위를 HEC-HMS에서 이용하는 단위로 변환 하는 작업을 수행한다. 유역과 하천의 연결에서 발생하는 데이터의 오류를 검토하고, HEC-HMS의 유역모델에 필요한 관련 파일을 생성한다. 유역모델은 총괄형 유역모델 과 분포형 유역모델의 두가지 형태가 가능하다. 본 연구에서는 총괄형 유역모델을 이용하였으며, 이에 필요한 입력파일을 작성하였다.

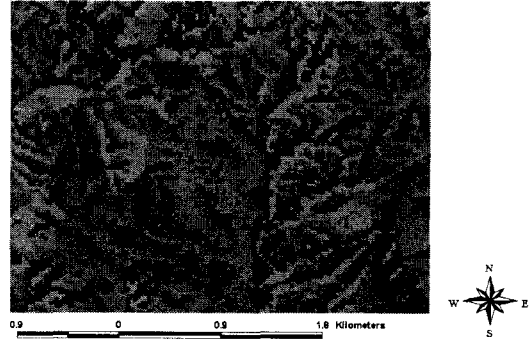
나. HEC-geoHMS를 이용한 지형자료 구축

1) 수치지도 처리

HEC-GeoHMS의 초기 입력자료로 들어가는 DEM자료는 1/5,000 NGIS 수치지도로부터 등고선 자료를 추출하여 불규칙삼각망을 만들고, 이를 토대로 DEM 자료를 구축한다. (그림 3-30)은 생성된 HP#6 지점의 DEM 자료를 보여주고 있다.



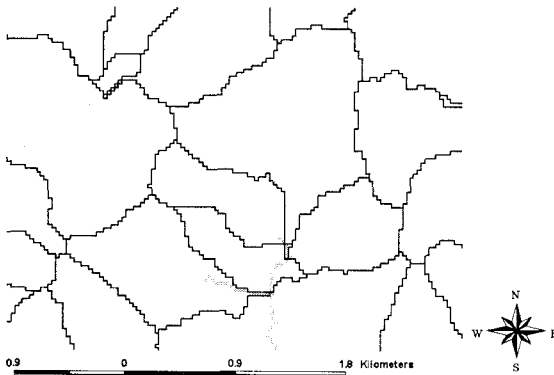
(그림 3-30) HP#6 지점의 DEM 자료



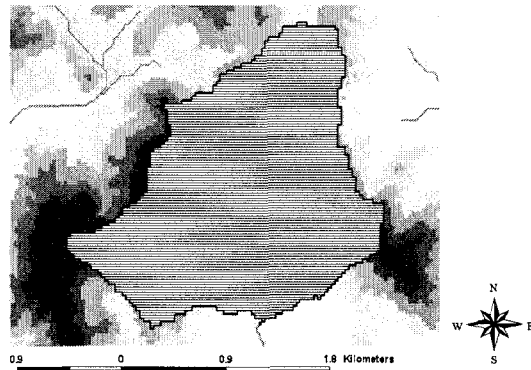
(그림 3-31) 경사방향도

2) 지형자료 처리

HEC-GeoHMS에서 제공하는 지형자료 처리 모듈을 이용하여 경사방향도를 만들고, 이로부터 흐름집적도를 만들어 하천도와 하천구분도, 소유역구분도를 추출한다. (그림 3-31), (그림 3-32)는 HP#6 지점의 경사방향도와 소유역 구분도를 나타내고 있다. (그림 3-33)은 소유역 구분을 한 후 HP#6 지점을 선택하여, HP#6 지점을 출구로 하는 유역경계를 추출해 낸 그림이다.



(그림 3-32) HP#6 유역의 소유역 구분

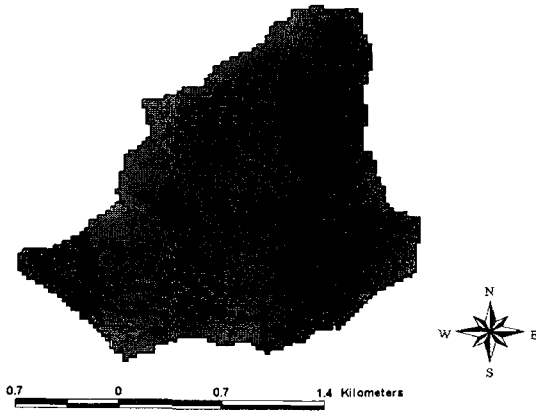


(그림 3-33) HP#6 소유역 경계추출

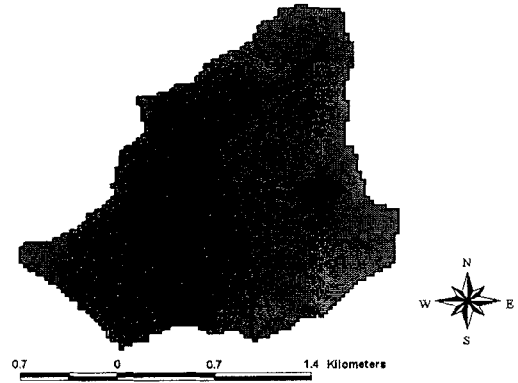
3) 유역자료처리

추출된 유역경계는 몇 개의 소유역들로 구성되어 있으나 HP#6 지점의 경우 유역면적 4.125 km²의 작은 유역인 관계로 하나의 소유역으로 모의하였다. (그림 3-34)는 유

역 합성 전의 그림을 보여주고 있으며, (그림 3-35)는 하나의 유역으로 통합한 후의 유역경계를 보여주고 있다.



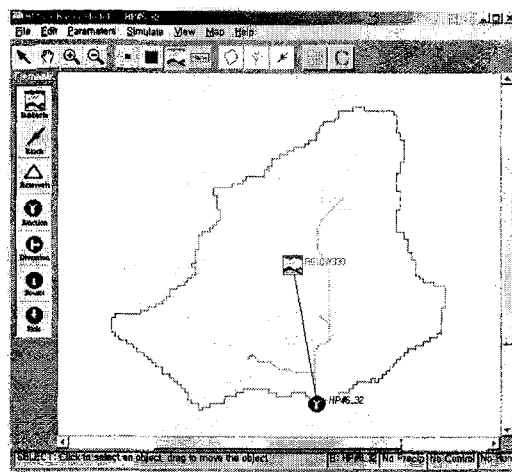
(그림 3-34) 소유역으로 구분된 HP#6 소유역



(그림 3-35) 하나의 유역으로 통합된 HP#6 유역

4) HMS 모형지원

유역자료처리가 완료되면, HMS 모형지원 모듈을 이용하여 HEC-HMS의 유역모형 (basin model) 파일을 만들 수가 있다. (그림 3-36)는 HP#6 지점의 HEC-HMS 유역모형을 보여주고 있다.

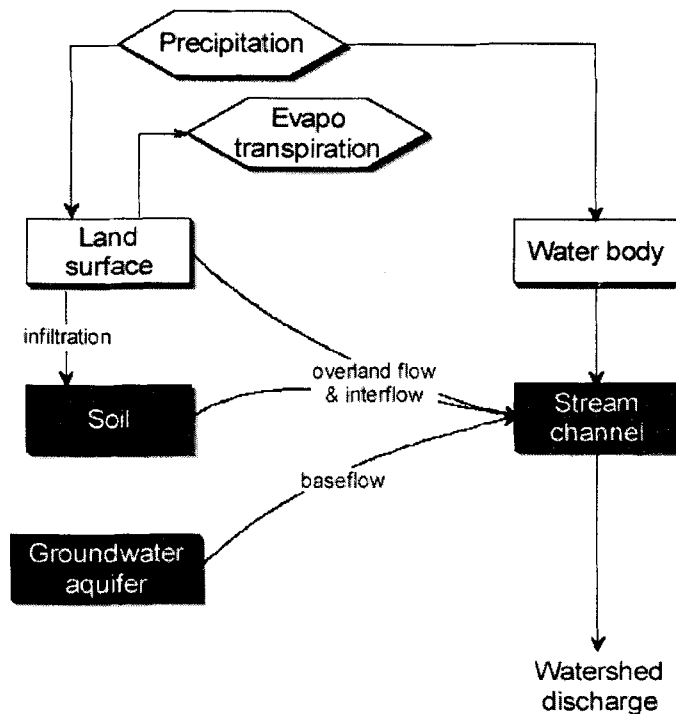


(그림 3-36) HEC-HMS에 도시한 HP#6 유역

다. HEC-HMS 모형

HEC-HMS (Hydrologic Modeling System)은 미 육군 공병단이 개발한 강우-유출과 홍수추적 과정을 모의하는 모형으로, HEC-1 모형을 계승 발전시킨 프로그램으로서 기존의 HEC-1 모형이 가지고 있던 기능이 개선되었고, 분포형 모형과 연속모의 기능이 추가되었다 (USACE, 1998).

(그림 3-37)은 HEC-HMS의 유출모의 과정을 나타낸 단순 모식도이다. HEC-HMS는 유출량, 직접유출량, 기저유출량, 하도구간 흐름 모의 등 유출과정의 각 성분을 모의하는 여러 가지 모듈을 가지고 있으며, <표 3-19>~<표 3-22>는 HEC-HMS에서 제공하는 각 유출성분별 모듈을 보여주고 있다 (USACE, 2000).



(그림 3-37) HEC-HMS를 이용한 논에서의 유출모의 과정

<표 3-19> 유출량 모형

모형	분류
Initial and constant-rate	event, lumped, empirical, fitted parameter
SCS curve number (CN)	event, lumped, empirical, fitted parameter
Gridded SCS CN	event, distributed, empirical, fitted parameter
Green and Ampt	event, distributed, empirical, fitted parameter
Deficit and constant rate	continuous, lumped, empirical, fitted parameter
Soil moisture accounting (SMA)	continuous, lumped, empirical, fitted parameter
Gridded SMA	continuous, distributed, empirical, fitted parameter

<표 3-20> 직접유출량 모형

모형	분류
User-specified unit hydrograph (UH)	event, lumped, empirical, fitted parameter
Clark's UH	event, lumped, empirical, fitted parameter
Snyder's UH	event, lumped, empirical, fitted parameter
SCS UH	event, lumped, empirical, fitted parameter
ModClark	event, distributed, empirical, fitted parameter
Kinematic wave	event, lumped, conceptual, measured parameter

<표 3-21> 기저유출량 모형

모형	분류
Constant monthly	event, lumped, empirical, fitted parameter
Exponential recession	event, lumped, empirical, fitted parameter
Linear reservoir	event, lumped, empirical, fitted parameter

<표 3-22> 하도구간 흐름 모형

모형	분류
Kinematic wave	event, lumped, Conceptual, measured parameter
Lag	event, lumped, empirical, fitted parameter
+Modified Puls	event, lumped, empirical, fitted parameter
Muskingum	event, lumped, empirical, fitted parameter
Muskingum-Cunge Standard Section	event, lumped, quasi-conceptual, measured parameter
Muskingum-Cunge 8-point Section	event, lumped, quasi-conceptual, measured parameter
Confluence	continuous, conceptual, measured parameter
Bifurcation	continuous, conceptual, measured parameter

1) 유출량

유출량은 총강우량에서 지하침투, 식생에 의한 차단 및 증발산, 지표저류 등의 강우 손실량을 차감함으로써 계산된다. HEC-HMS에서 지원하는 유출량 산정모형으로는 Initial and Constant-rate, SCS Curve Number (CN), Green and Ampt, Deficit and Constant-rate, SMA 등이 있다.

본 연구에서 침투는 SCS Curve Number 방법을 이용하여 유출량을 산정하였으며, 총강우량과 초과우량과의 관계는 다음 식(3-24)와 같다.

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (3-24)$$

여기서, P_e : 초과우량

P : 총강우량

I_a : 초기손실량

S : 최대잠재보유수량

SCS는 I_a 와 S 와의 관계를 식(3-25)와 같은 경험식으로 제시하였다.

$$I_a = 0.2S \quad (3-25)$$

식(3-25)를 식(3-24)에 대입하면 다음 식(3-26)을 유도할 수 있다.

$$P_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (3-26)$$

식 (3-26)에서 최대잠재보유수량 S는 식 (3-27)과 같다.

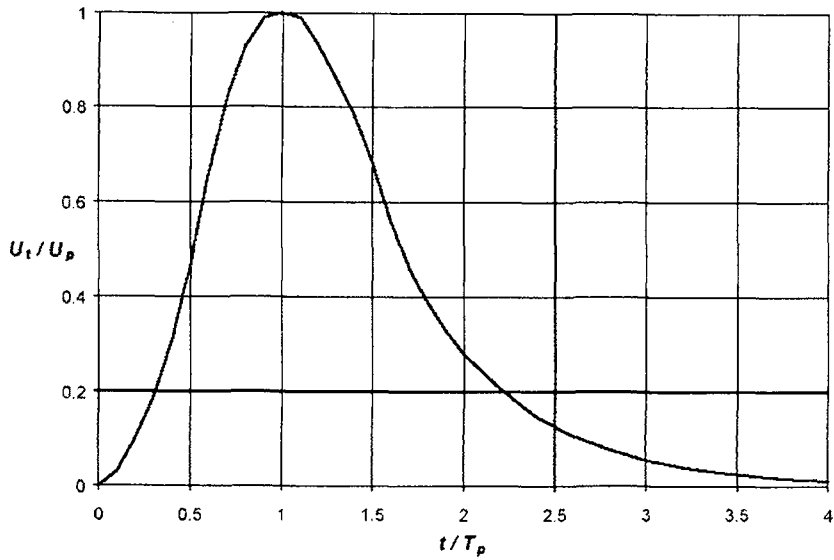
$$S = \begin{cases} \frac{1,000}{CN} - 10 & (\text{foot-pound system}) \\ \frac{25,400}{CN} - 254 & (SI) \end{cases} \quad (3-27)$$

여기서, CN은 유출곡선지수로서 지역의 토지이용, 토양종류, 수문학적 토양군 등에 의한 값으로 0~100의 범위를 갖는다.

2) 직접유출량

HEC-HMS가 지원하는 초과우량에 대한 직접유출모의 모형으로는 크게 경험적 모형과 개념적 모형으로 구분할 수 있다. 경험적 모형으로는 Clark, modClark, Snyder, SCS, User-Specified 등 단위도법에 의한 모형이 있고, 개념적 모형으로는 동수파 (Kinematic Wave) 방법에 의한 모형이 있다.

본 연구에서는 SCS 단위도법을 적용하여 직접유출량을 산정하였다. (그림 3-38)은 SCS의 무차원 단위도를 보여주고 있다.



(그림 3-38) SCS 무차원 단위도

여기서, U_p 는 첨두유량이고, T_p 는 첨두시간이다. SCS는 첨두유량 (U_p)과 첨두시간 (T_p)과의 관계를 다음 식(3-28)과 같이 제시하였다.

$$U_p = C \frac{A}{T_p} \quad (3-28)$$

여기서, A : 유역면적

C : 상수

첨두시간 (T_p)은 다음 식(3-29)와 같이 초과우량의 지속시간과 관계가 있다.

$$T_p = \frac{\Delta T}{2} + t_{lag} \quad (3-29)$$

여기서, Δt : 초과우량의 지속시간

t_{lag} : 지체시간 (첨두시간과 초과우량의 중심시간과의 차이)

SCS는 무계측 유역에서의 지체시간 (t_{lag})을 다음 식 (3-30)과 같이 홍수도달시간 (t_c)과의 관계로 제시하였다.

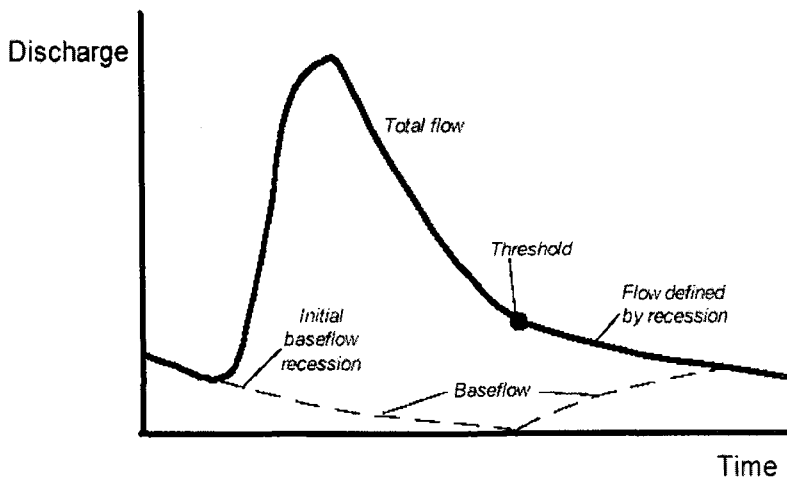
$$t_{lag} = 0.6t_c \quad (3-30)$$

지체시간 (t_{lag})이 결정되면 식(3-29)로부터 첨두시간을, 식(3-28)로부터 첨두유량을 계산할 수 있다. 첨두유량 (U_p)과 첨두시간 (T_p)을 알게 되면 (그림 3-38)의 SCS무차원 단위도로부터 유역의 단위도를 나타낼 수 있다.

3) 기저유량

HEC-HMS에서 지원되는 기저유량 모의모형으로는 월별 일정 기저유량 모형, 지수감수모형, 토양수분량 계산모형과 연계하여 사용되는 선형 저수량 계산모형 등 3가지 모형이 있다.

본 연구에서는 지수감수모형을 사용하였다. (그림 3-39)는 지수감수모형의 개념도를 보여주고 있다. 기저유량은 초기에 지수 함수적으로 감소하다가 강우의 영향을 받게 되면 다시 증가하게 된다.



(그림 3-39) 지수감수모형의 개념도

4) 하도추적

HEC-HMS는 Lag, Muskingum, Modified Puls, Kinematic-wave, Muskinum Cunge와 같은 하도추적모형을 지원하고 있으나, 그 적용이 제한적이다. 본 연구에서는 HEC-RAS 모형을 이용하여 하도추적을 하므로 HEC-HMS를 이용한 하도추적은 이용하지 않았다.

제 4절 홍수량 산정 기술의 적용성 평가

1. 시험유역의 수문자료 구축

홍수량 산정의 적용을 위해 발안 시험유역의 HP#6 소유역을 대상유역으로 선정하였다. 1996년부터 2003년까지 구축된 강우량, 유출량 자료를 정리하여 직접유출량을 산정하고 27개의 주요 강우사상을 선별하여 선정하였다. 모형의 보정을 위해 15개의 강우사상을 선정하였고 모형의 검증을 위해 12개의 강우사상을 선정하여 적용하였다.

다음의 <표 3-23>, <표 3-24>는 모형의 적용에 사용된 주요 강우사상을 모형의 보정과 검정으로 나누어 정리한 결과를 보여주고 있다.

<표 3-23> 홍수량 보정에 이용된 강우사상

강우사상	강우량 (mm)	AMC	첨두유량 (m ³ /s)
960704	53.5	1	6.759
960723	46.5	2	3.984
970630	139.0	3	45.990
970704	50.5	3	6.125
970804	230.5	3	70.623
990709	64.0	1	2.984
990801	57.8	3	3.254
990919	287.2	1	20.120
990923	46.0	3	1.391
000626	44.6	1	1.312
000722	303.6	1	47.575
000820	89.0	1	9.233
000826	107.2	3	13.275
000915	152.6	2	13.275
020722	53.6	3	8.224

<표 3-24> 홍수량 검정에 이용된 강우사상

강우사상	강우량 (mm)	AMC	침투유량 (m ³ /s)
960727	42.5	2	5.039
970625	99.5	1	21.584
990802	191.0	3	30.217
990905	49.2	1	1.513
000629	52.4	2	10.561
000804	54.8	1	10.963
000824	66.0	3	6.356
000831	33.8	3	1.618
000914	37.8	1	0.922
010730	129.0	3	55.804
010813	76.4	1	19.400
020827	29.6	1	2.634

2. 모형의 보정

모형의 보정은 모형의 적용을 위해서 모형의 초기조건과 매개변수를 유역의 조건에 맞도록 일치시키는 과정으로서 계산된 값과 측정된 값이 가장 잘 일치할 때의 초기조건과 매개변수 값을 추정하는 것이다. 모형의 보정은 단순시행착오법과 최적화 기법을 이용하는 방법이 있다 (최진용, 1996).

단순시행착오법은 모형의 초기조건과 매개변수를 변화시켜 가면서 도표의 일치정도 (eye-fitting), RMSE (root mean square error), 상관계수 또는 결정계수 등의 값이 만족할 만한 결과를 얻을 때까지 모형을 반복 실행하여 최적의 매개변수 값을 도출하는 것으로서 안정성이 있는 반면에 시간이 오래 걸리는 단점이 있다. 최적화 기법을 사용하는 방법은 여러 가지 최적화 알고리즘에 따라 최적의 매개변수 값을 찾아내는 방법이다. 이 방법은 단순시행착오법보다 빠르게 매개변수 조합을 찾아낼 수 있지만, 방법에 따라 최적값에 수렴되지 못하고 발산하는 경우가 발생할 수 있고, 수렴하더라도 최적값이 아닌 경우가 있어 수렴 결과가 합리적인지 상식적인 물리적 있는지를 반드시 검토하여야 한다 (노재경, 1991; 최진용, 1996).

본 연구에서는 모형의 보정을 위한 최적화 기법으로 단순시행착오법을 사용하였고, 목적함수로서 RMSE와 RMAE (root mean absolute error), 그리고 모형의 효율지수

를 이용하였다. 매개변수 보정을 위한 RMSE와 RMAE는 각각 다음 식(3-31)과 식(3-32)와 같이 계산한다.

$$\min \quad RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [Q_f(i) - Q_o(i)]^2} \quad (3-31)$$

$$\min \quad RMAE = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [Q_f(i) - Q_o(i)]^2}{M_o} \quad (3-32)$$

여기서, Q_o 는 실측값, Q_f 는 모의값, n 은 자료수이다.

모형의 추정 오차를 평가하기 위한 상대오차 (Relative bias, RB)는 다음 식과 같이 계산한다.

$$RB = \frac{M_f - M_o}{M_o} \quad (3-33)$$

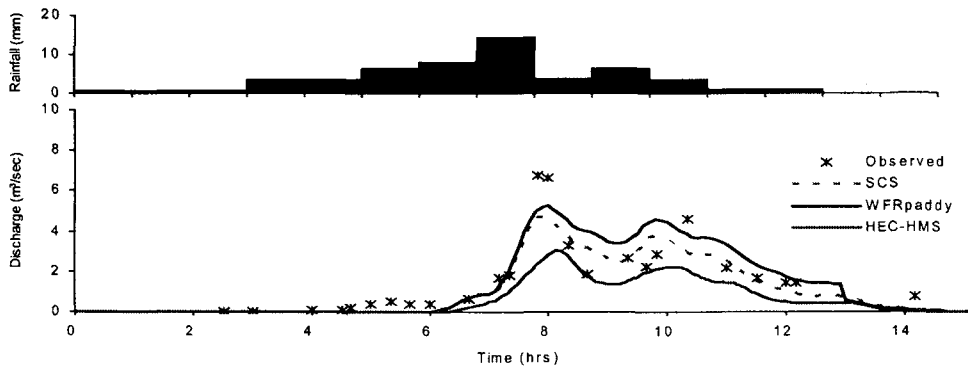
여기서, RB 는 상대오차, M_f 는 추정 유출량의 평균치 (mm), M_o 는 실측 유출량의 평균치 (mm)이다 (강문성, 2002).

모형의 추정 오차를 평가하기 위해서 사용되는 결정계수 (R^2)는 0.0~1.0 범위의 값을 가지며, 1.0에 가까울수록 모의치가 실측치의 경향을 잘 반영한다. 그러나, 결정계수는 단지 무작위 오차만을 평가하는 것으로서 오차의 정도를 나타내지는 못한다. 따라서, 오차의 정도를 나타내기 위해 $RMSE$ 와 $RMAE$ 등을 사용하며, $RMSE$ 가 $RMAE$ 에 비하여 오차의 크기를 더 효율적으로 나타내는 전형적인 지표로 사용된다 (Maidment, 1993).

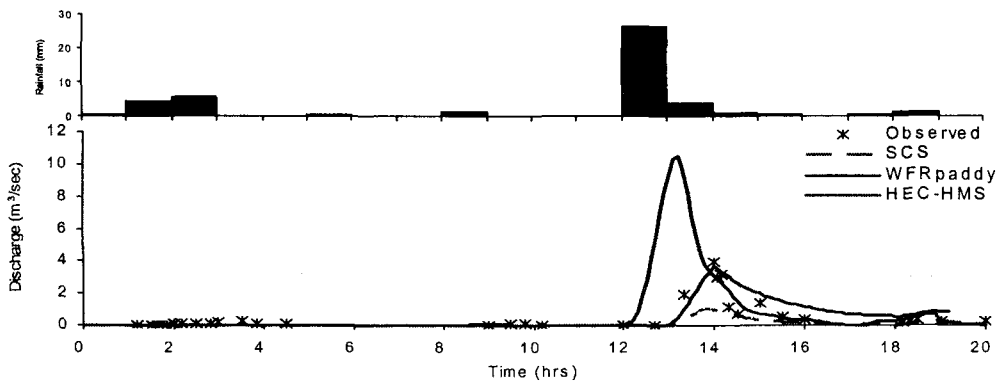
HEC-HMS 모형의 보정은 직접유출량에 대해서 가장 변위가 크게 나타나는 CN값을 대상으로 하였다. SCS에서는 CN값을 선행토양함수조건 (Antecedent soil moisture condition, AMC)에 따라 CN I, CN II, CN III 조건으로 구분하고 있다. 매개변수의 보정을 통해 HP#6 소유역의 평균 CN값은 CN I, CN II, CN III에 대해 각

각 64, 77, 86로 추정되었다.

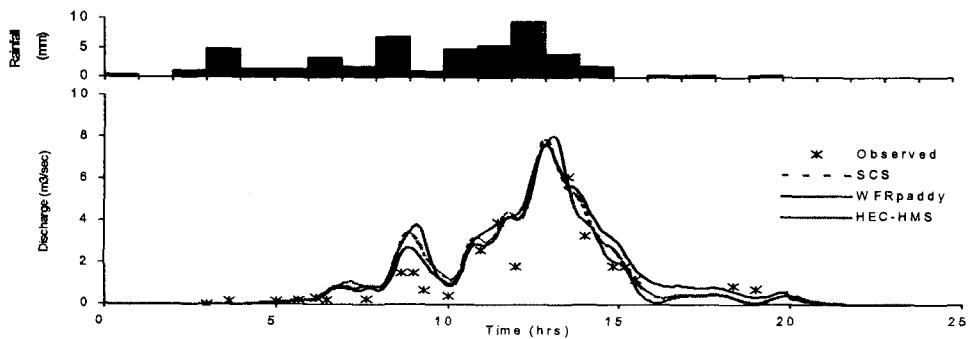
다음의 (그림 3-40)~(그림 3-49)는 보정된 매개변수를 이용해 SCS, WFRpaddy HEC-HMS 모형을 적용한 결과를 실측치와 비교한 결과를 보여주고 있다.



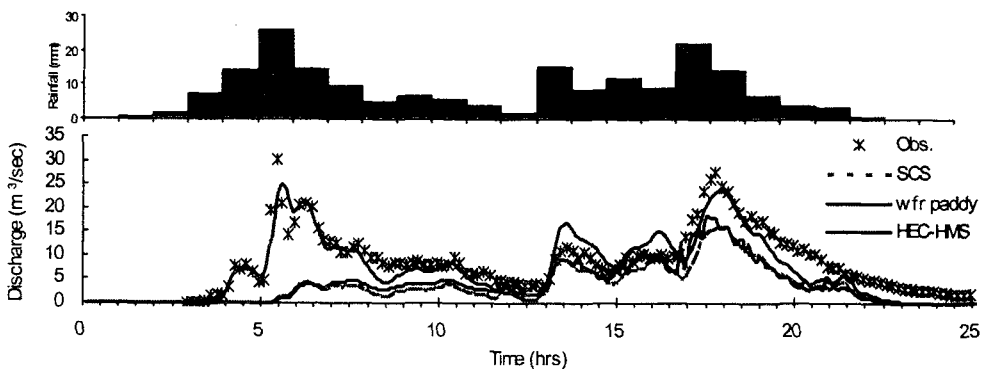
(그림 3-40) 홍수량 추정 방법별 실측치와 모의치의 비교 (960704, HP#6)



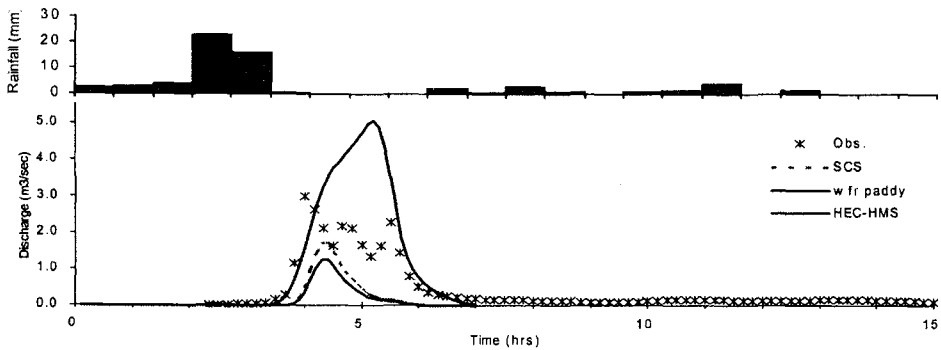
(그림 3-41) 홍수량 추정 방법별 실측치와 모의치의 비교 (960723, HP#6)



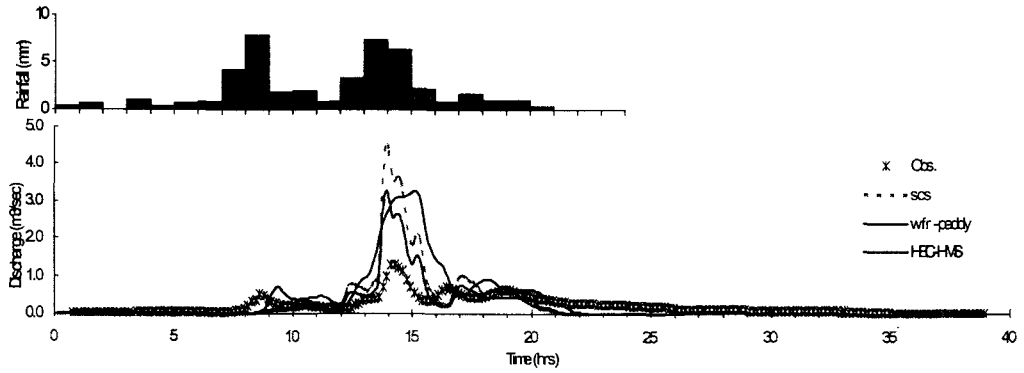
(그림 3-42) 홍수량 추정 방법별 실측치와 모의치의 비교 (970704, HP#6)



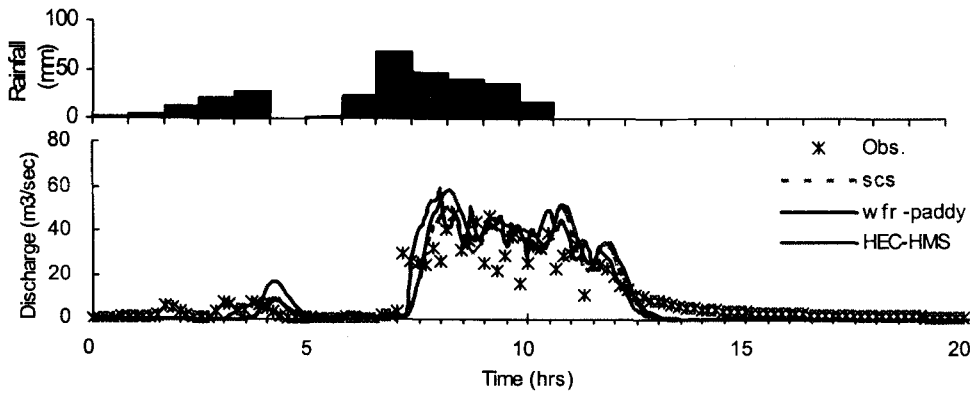
(그림 3-43) 홍수량 추정 방법별 실측치와 모의치의 비교 (990801, HP#6)



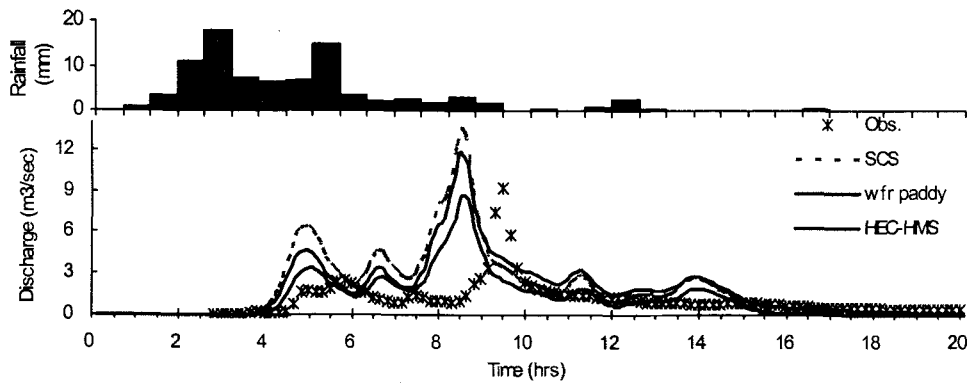
(그림 3-44) 홍수량 추정 방법별 실측치와 모의치의 비교 (990709, HP#6)



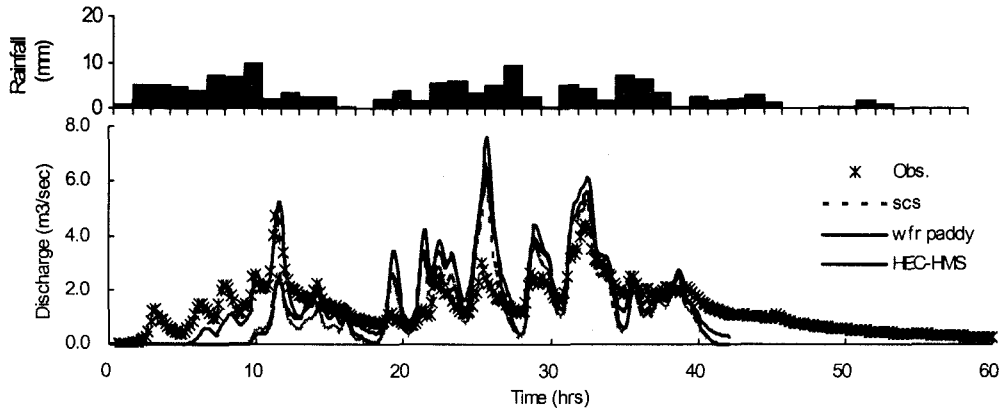
(그림 3-45) 홍수량 추정 방법별 실측치와 모의치의 비교 (000626, HP#6)



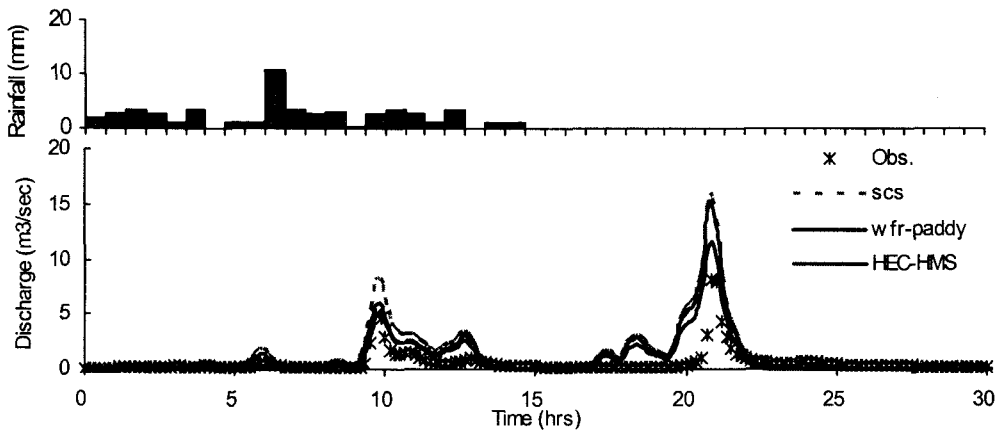
(그림 3-46) 홍수량 추정 방법별 실측치와 모의치의 비교 (000722, HP#6)



(그림 3-47) 홍수량 추정 방법별 실측치와 모의치의 비교 (000820, HP#6)

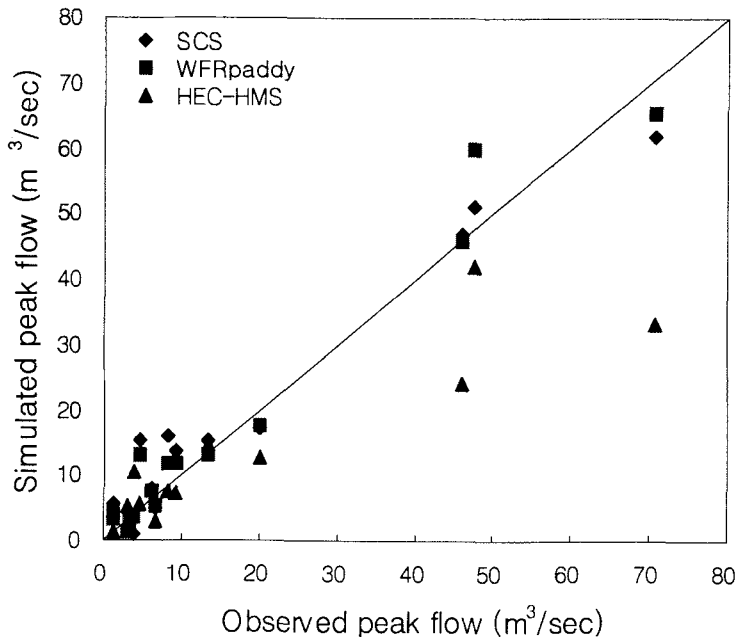


(그림 3-48) 홍수량 추정 방법별 실측치와 모의치의 비교 (000915, HP#6)

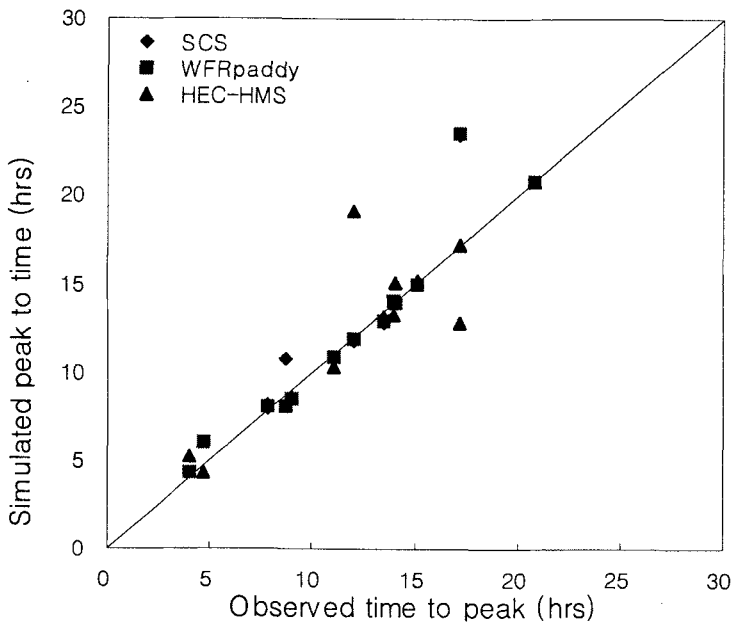


(그림 3-49) 홍수량 추정 방법별 실측치와 모의치의 비교 (020722, HP#6)

주요 강우사상에 대하여 보정된 매개변수를 이용하여 SCS모형, WFRpaddy 모형 HEC-HMS모형을 적용한 모의결과를 침투 유출량과 침투시간에 대하여 실측치와 비교하여 도시하였으며 (그림 3-50)과 (그림 3-51)은 각각의 결과를 보여주고 있다.



(그림 3-50) 모형의 보정기간에 대한 HP#6 지점의 첨두유량 비교



(그림 3-51) 모형의 보정기간에 대한 HP#6 지점의 첨두시간 비교

다음의 <표 3-25>는 각각의 강우사상에 대하여 그 결과를 정리하여 보여주고 있다. 이 때 실측치와의 정확도 분석을 위해 결정계수 R^2 와 평균제곱근오차 RMSE를 사용하였다.

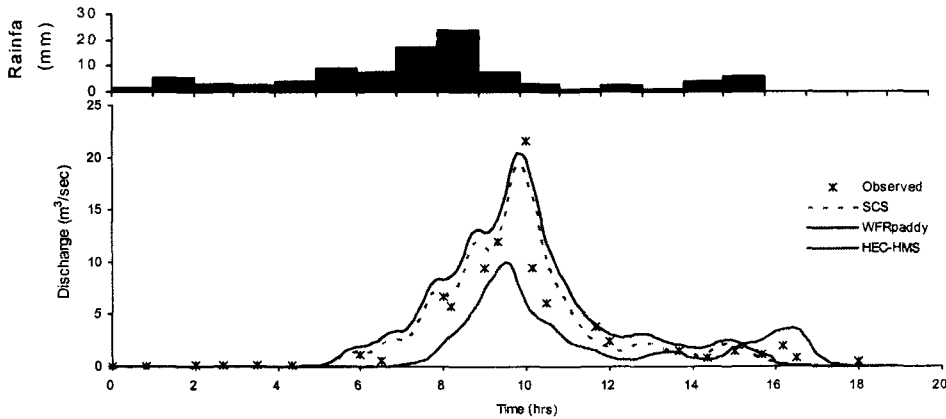
<표 3-25> HP#6 소유역에 대한 홍수량 추정방법별 보정결과

사상	첨두유량 (m ³ /s)				첨두시간 (hrs)			
	관측값	SCS	WFRpaddy	HEC-HMS	관측값	SCS	WFRpaddy	HEC-HMS
960704	6.759	4.746	5.299	3.057	7.83	7.90	8.00	8.20
960723	3.984	1.025	3.677	10.503	14.00	13.90	14.00	13.20
970630	45.990	46.717	46.011	24.134	12.00	11.80	11.90	19.10
970704	6.125	7.913	7.622	7.682	13.50	12.80	12.90	13.10
970804	70.623	61.842	65.365	33.084	11.00	10.80	10.90	10.30
990709	2.984	1.714	1.246	5.055	4.00	4.30	4.30	5.20
990801	3.254	3.880	2.822	3.168	4.70	6.00	6.00	4.30
990919	20.120	17.177	17.644	12.569	45.00	35.30	36.30	36.70
990923	1.391	5.659	4.115	4.645	15.17	15.00	15.00	15.20
000626	1.312	4.512	3.281	1.204	14.10	13.90	13.90	15.10
000722	47.575	51.053	59.842	41.807	8.68	10.80	8.00	8.20
000820	9.233	13.667	11.815	7.159	9.00	8.50	8.50	8.60
000826	13.275	15.167	13.082	14.541	17.17	23.40	23.50	17.20
000915	4.713	15.167	13.082	5.499	17.17	23.40	23.50	12.80
020722	8.224	16.037	11.723	7.624	20.83	20.80	20.80	20.81
R^2	-	0.9537	0.9585	0.8374	-	0.8749	0.8852	0.9122
RMSE	-	4.746	4.414	10.263	-	3.454	3.254	2.482

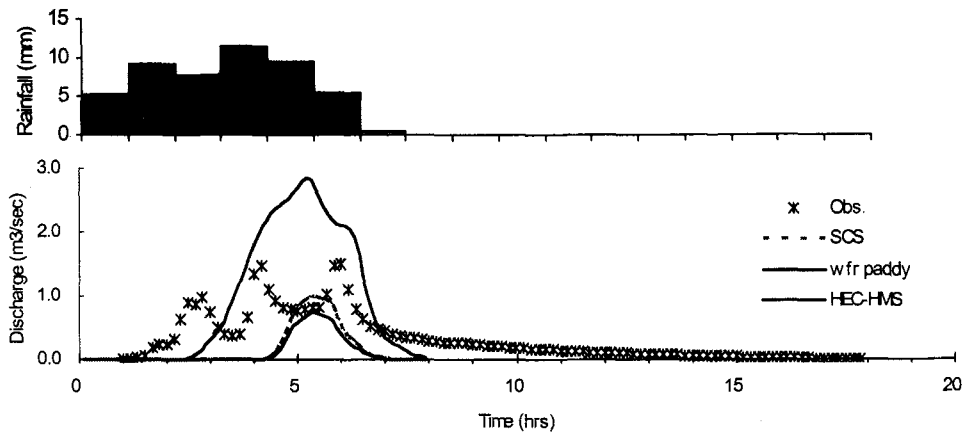
3. 모형의 검증

선정된 강우사상 중 모형 보정에 사용되지 않은 강우사상을 이용하여 HP#6 지점에 대하여 홍수량 추정 모형을 검증하였다.

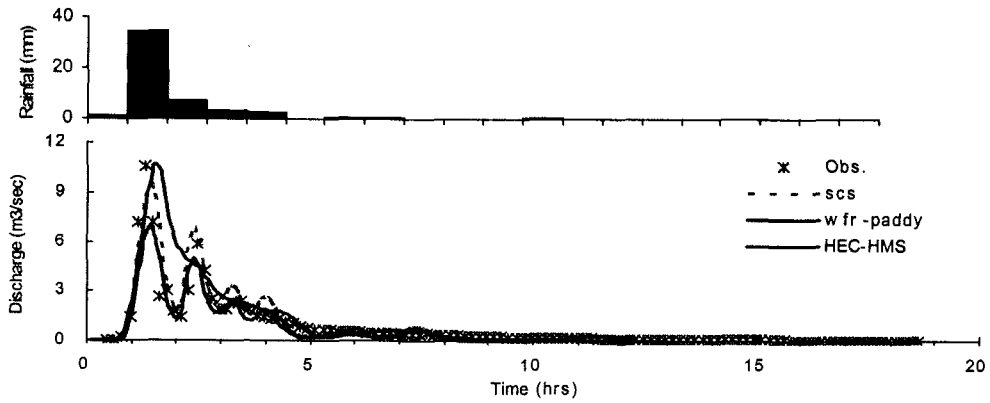
다음의 (그림 3-52)~(그림 3-61)은 모형의 검증을 위해 선정된 강우사상에 대해 SCS, WFRpaddy, HEC-HMS 모형을 적용한 결과를 실측치와 비교한 결과를 보여주고 있다.



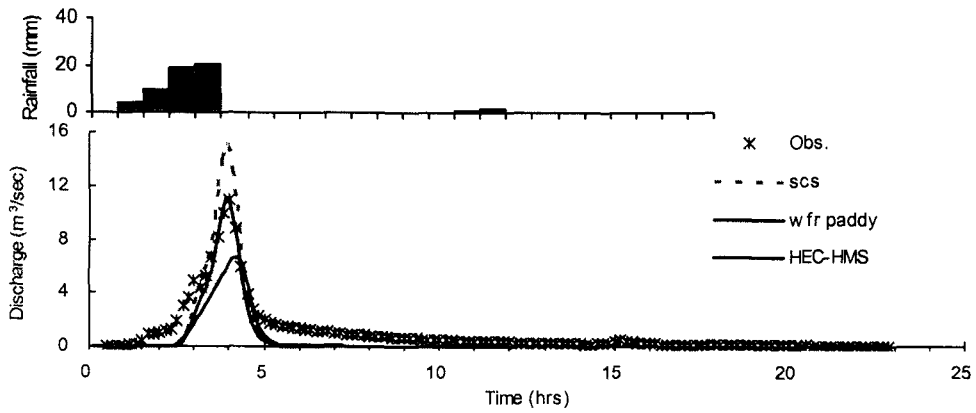
(그림 3-52) 홍수량 추정 방법별 실측치와 모의치의 비교 (970625, HP#6)



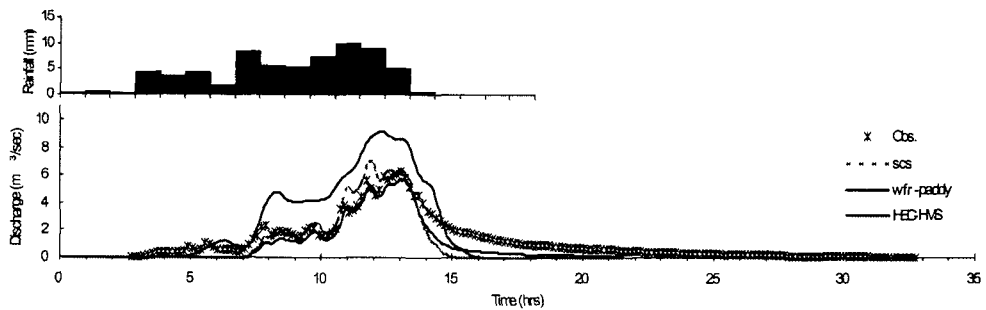
(그림 3-53) 홍수량 추정 방법별 실측치와 모의치의 비교 (990905, HP#6)



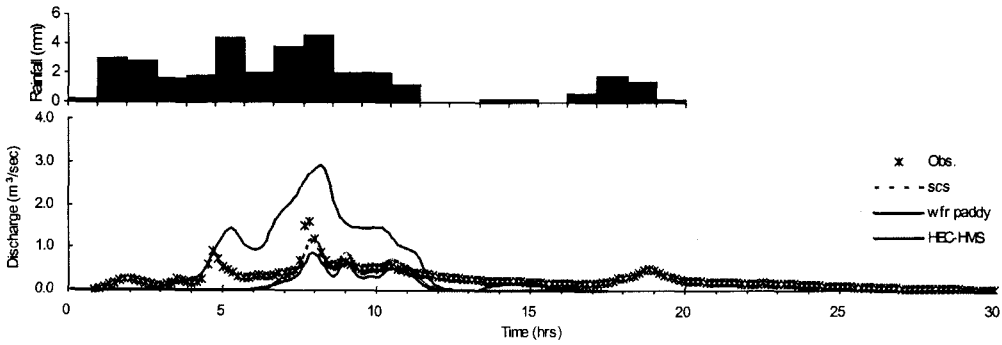
(그림 3-54) 홍수량 추정 방법별 실측치와 모의치의 비교 (000629, HP#6)



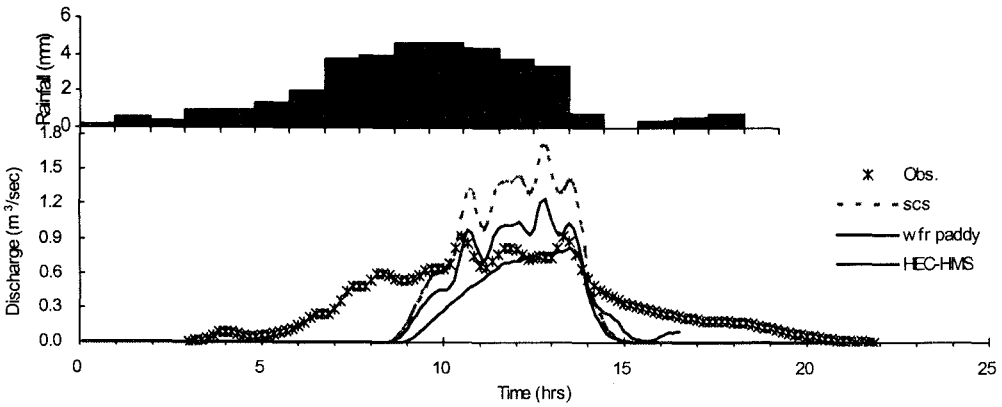
(그림 3-55) 홍수량 추정 방법별 실측치와 모의치의 비교 (000804, HP#6)



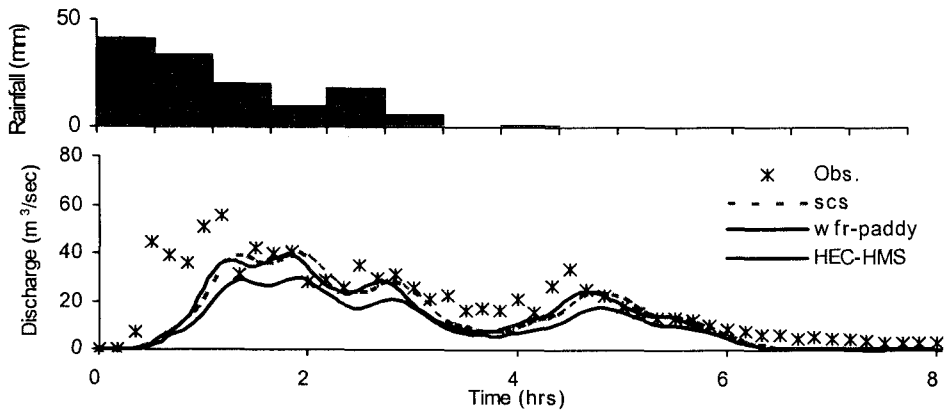
(그림 3-56) 홍수량 추정 방법별 실측치와 모의치의 비교 (000824, HP#6)



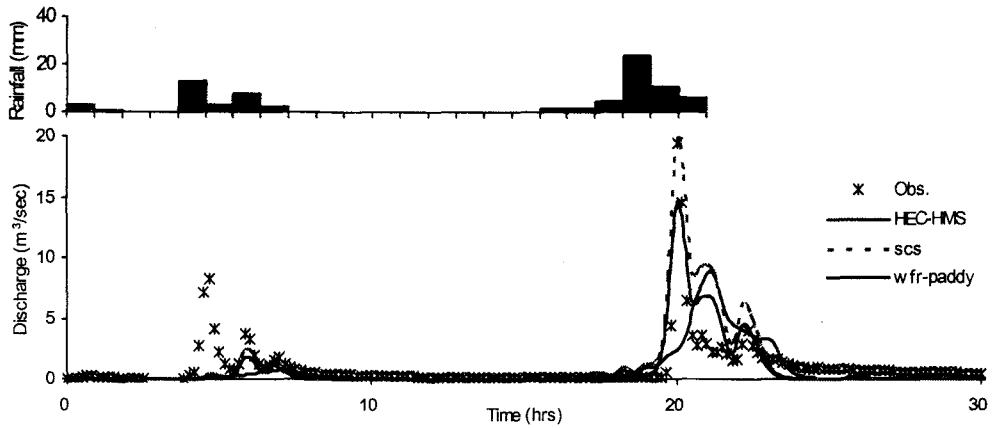
(그림 3-57) 홍수량 추정 방법별 실측치와 모의치의 비교 (000831, HP#6)



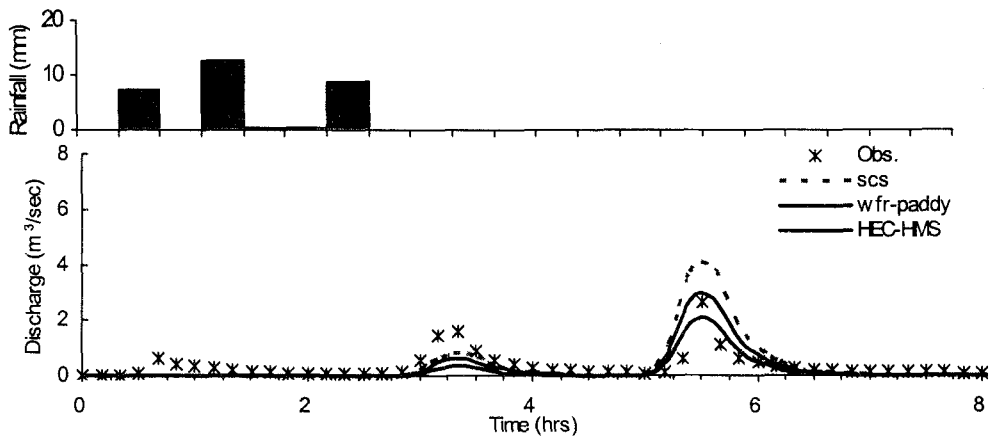
(그림 3-58) 홍수량 추정 방법별 실측치와 모의치의 비교 (000914, HP#6)



(그림 3-59) 홍수량 추정 방법별 실측치와 모의치의 비교 (010730, HP#6)

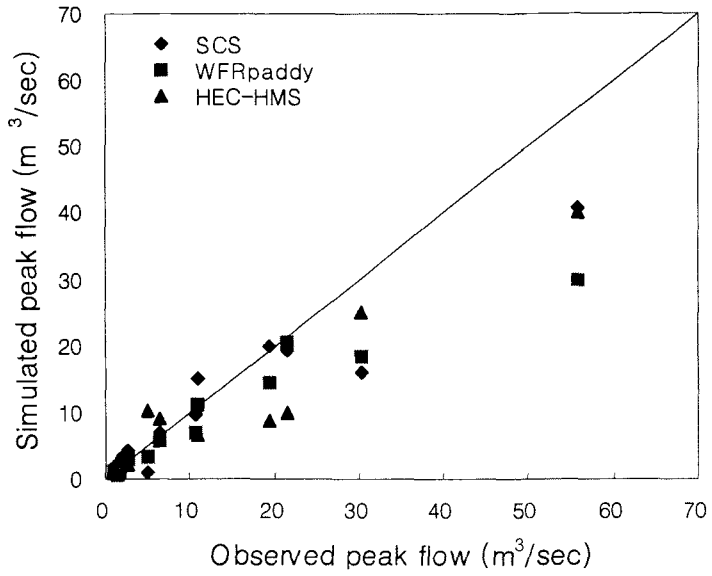


(그림 3-60) 홍수량 추정 방법별 실측치와 모의치의 비교 (010813, HP#6)

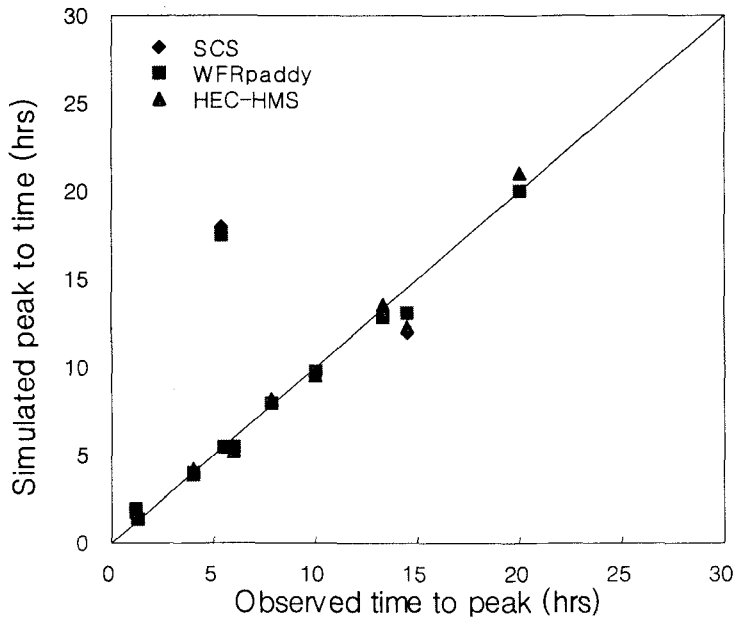


(그림 3-61) 홍수량 추정 방법별 실측치와 모의치의 비교 (020827, HP#6)

주요 강우사상에 SCS모형, WFRpaddy 모형, HEC-HMS모형을 적용한 모의결과를 첨두 유출량과 첨두시간에 대하여 실측치와 비교하여 도시하였으며, (그림 3-50)과 (그림 3-51)은 각각의 결과를 보여주고 있다.



(그림 3-63) 모형의 검정기간에 대한 HP#6 지점의 첨두유량 비교



(그림 3-64) 모형의 검정기간에 대한 HP#6 지점의 첨두시간 비교

다음의 <표 3-26>은 각각의 강우사상에 대하여 검증 결과를 정리하여 보여주고 있다. 이 때 실측치와의 정확도 분석을 위해 결정계수 R^2 와 평균제곱근오차 RMSE를 사용하였다.

<표 3-26> HP#6 소유역에 대한 홍수량 추정방법별 검증결과

사상	침투유량(m ³ /s)				침투시간(hrs)			
	관측값	SCS	WFRpaddy	HEC-HMS	관측값	SCS	WFRpaddy	HEC-HMS
960727	5.039	0.812	3.301	10.343	4.00	3.90	4.00	4.10
970625	21.584	19.381	20.367	9.984	10.00	9.80	9.80	9.50
990802	30.217	16.085	18.523	25.144	5.43	17.90	17.50	17.90
990905	1.513	0.998	0.726	2.834	6.00	5.40	5.40	5.20
000629	10.561	9.514	6.918	10.687	1.29	1.40	1.40	1.50
000804	10.963	15.090	11.059	6.703	4.00	3.90	3.90	4.20
000824	6.356	7.072	5.731	9.190	14.50	11.90	13.10	12.30
000831	1.618	1.208	0.878	2.921	7.83	7.90	7.90	8.20
000914	0.922	1.710	1.243	0.815	13.33	12.80	12.80	13.50
010730	55.804	40.881	29.884	40.176	1.17	1.90	1.90	1.80
010813	19.400	19.966	14.595	8.877	20.00	20.00	20.00	21.00
020827	2.634	4.133	3.021	2.101	5.50	5.50	5.50	5.50
R^2	-	0.9127	0.9210	0.9036	-	0.6360	0.6706	0.6612
RMSE	-	6.241	8.423	6.912	-	3.691	3.522	3.684

4. 홍수량 산정 모형의 비교

모형의 보정과 검정에 대한 평가는 모형의 보정에 사용된 목적함수인 평균 제곱근 오차 (Root mean square error, RMSE), 상대평균절대오차 (Relative mean absolute error, RMAE), 그리고 상대오차 (Relative bias, RB) 등의 통계 변량을 사용하였다.

<표 3-27>은 침투시간과 침투유량에 대한 보정과 검정 후의 통계변량을 나타내고 있다. HEC-HMS 모형의 경우, 침투시간은 보정과 검정에 대하여 각각 상대오차가

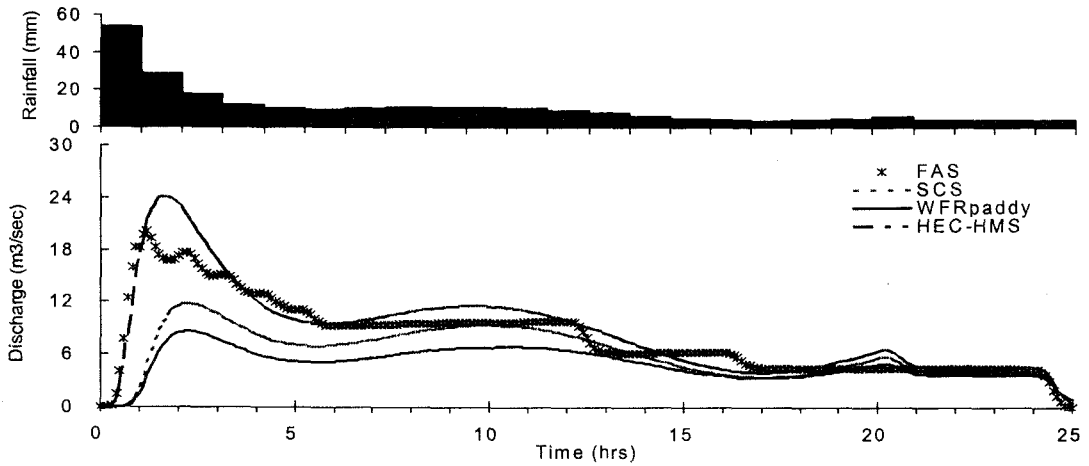
0.0159와 0.2373, RMSE가 2.4827과 3.6843, RMAE가 0.6668과 1.7505, 그리고 R²가 0.9122와 0.6612로 나타나 실측치를 잘 반영하는 것으로 나타났다. 한편, 침투유량은 상대오차가 0.1819와 0.0796, RMSE가 10.2638과 6.9121, RMAE가 8.3789와 3.4411 그리고 R²가 0.0159와 0.2373으로 나타나 침투유량도 실측치를 잘 반영하는 것으로 나타났다.

<표 3-27> 침투시간과 침투유량에 대한 보정과 검증 후의 통계변량 비교

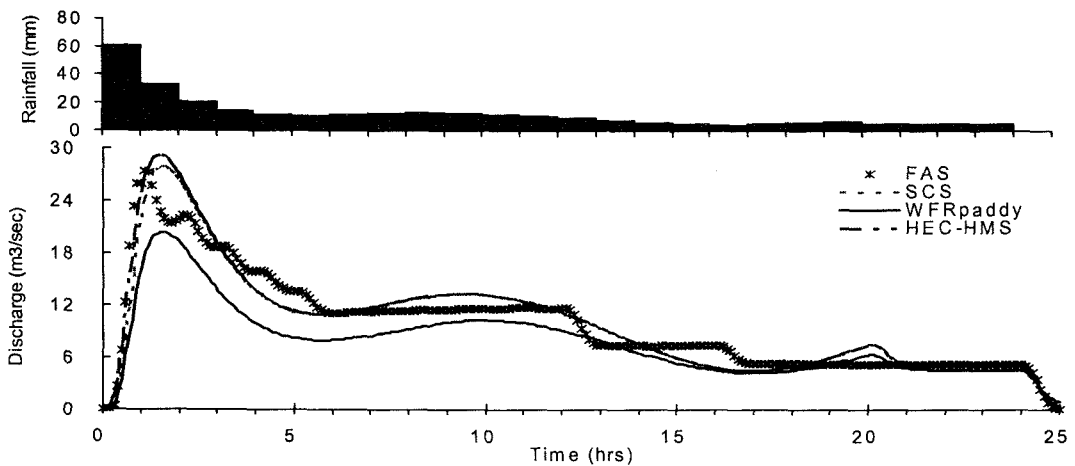
모형	구분	침투유량 (m ³ /sec)				침투시간 (hrs)			
		RB	RMSE	RMAE	R ²	RB	RMSE	RMAE	R ²
SCS	보정	0.5422	4.7462	1.3782	0.9537	0.0626	3.4548	0.8357	0.8749
	검증	0.0355	6.2411	2.8054	0.9127	0.2188	3.6913	1.7572	0.6360
WFR paddy	보정	0.3481	4.4147	1.1700	0.9585	0.0463	3.2544	0.7419	0.8852
	검증	0.2014	8.4237	5.1095	0.9210	0.2216	3.5224	1.6001	0.6706
HEC- HMS	보정	0.1819	10.2638	8.3789	0.8374	0.0159	2.4827	0.6668	0.9122
	검증	0.0796	6.9121	3.4411	0.9036	0.2373	3.6843	1.7505	0.6612

관행 홍수량 추정방법에 대한 평가를 위해 관행적으로 이용하고 있는 홍수량 산정 모형인 FAS와 본 연구에서 적용한 모형을 비교 평가하였다. (그림 3-64)~(그림 3-73)는 FAS를 이용하여 홍수량을 산정한 결과를 SCS 방법, WFRpaddy 방법, 그리고 HEC-HMS 방법과 비교한 결과를 도시하고 있다. 홍수량 산정시 FAS는 CN III값을 이용하고 있으나, 본 연구에서는 CN II값을 넣어 동일한 조건에서 비교하였다. 적용 대상 지역은 HP#6 소유역이며, 강우량은 지속시간 24시간과 48시간에 대한 10년, 20년, 50년, 100년, 200년 빈도에 해당하는 설계 강우량을 적용하여 홍수량을 모의 하였다. 설계 강우량은 FAS의 DB에 수록되어 있는, 전국 기상관측소의 연최대치 강우 자료를 Gumbel 법으로 빈도 분석한 결과를 이용한 확률강우량과 Mononobe 공식의 지역상수 n값을 사용한 시간별 강우분포율을 이용하여 구한 값이다. 홍수량 비교 결과는 <표 3-28>에 정리하였다.

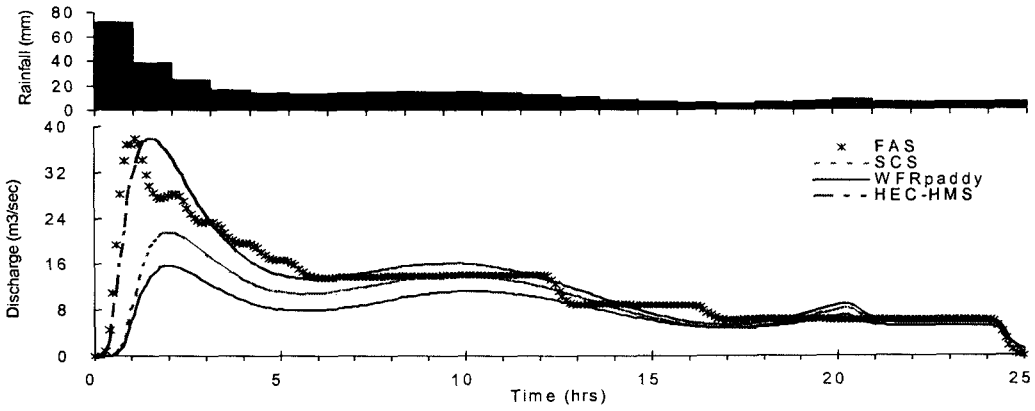
WFRpaddy 모형의 경우는 논 특성 잘 반영하고 있어 첨두량은 다른 모형들에 비하여 작게 나왔으면 첨두시간 또한 논 특성 고려하여 상대적으로 길게 나타나고 있다. HEC-HMS의 경우는 재현기간이 짧은 경우 첨두량이 FAS의 값과 비슷하게 나왔지만 재현기간이 클수록 첨두량이 작게 나왔다.



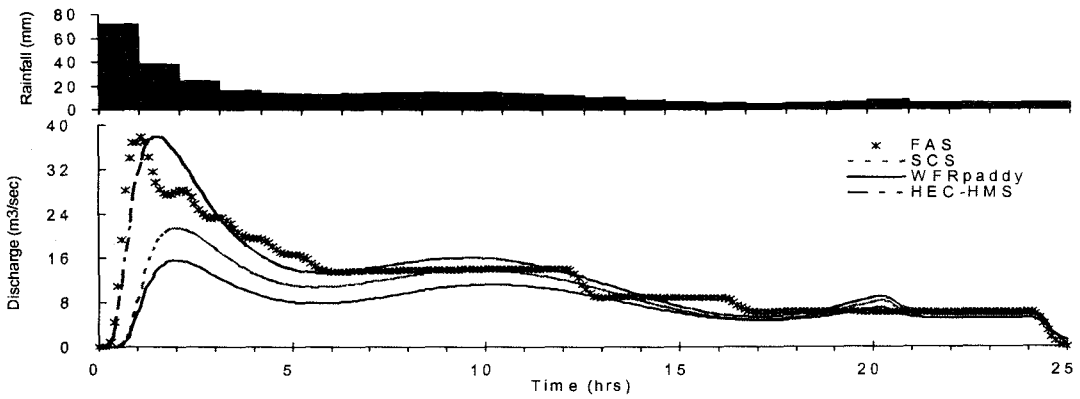
(그림 3-64) 지속시간 24시간, 10년 빈도 설계강우량에 대한 홍수 유출 곡선 비교



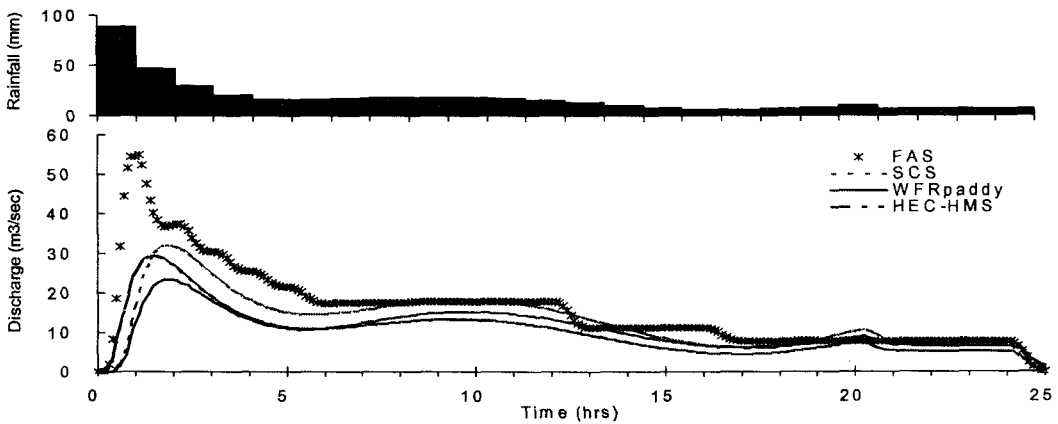
(그림 3-65) 지속시간 24시간, 20년 빈도 설계강우량에 대한 홍수 유출 곡선 비교



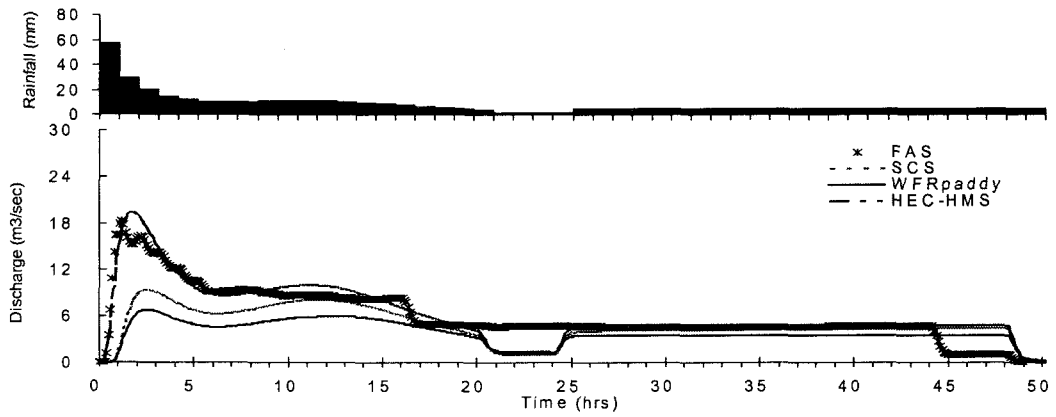
(그림 3-66) 지속시간 24시간, 50년 빈도 설계강우량에 대한 홍수 유출 곡선 비교



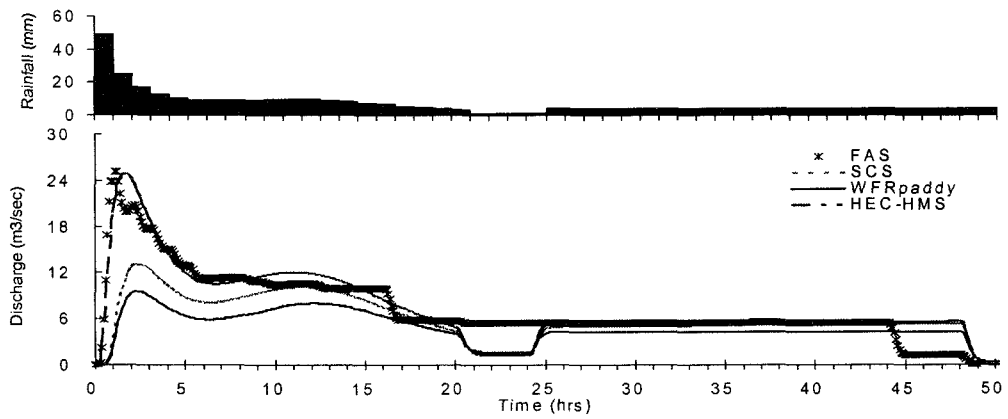
(그림 3-67) 지속시간 24시간, 100년 빈도 설계강우량에 대한 홍수 유출 곡선 비교



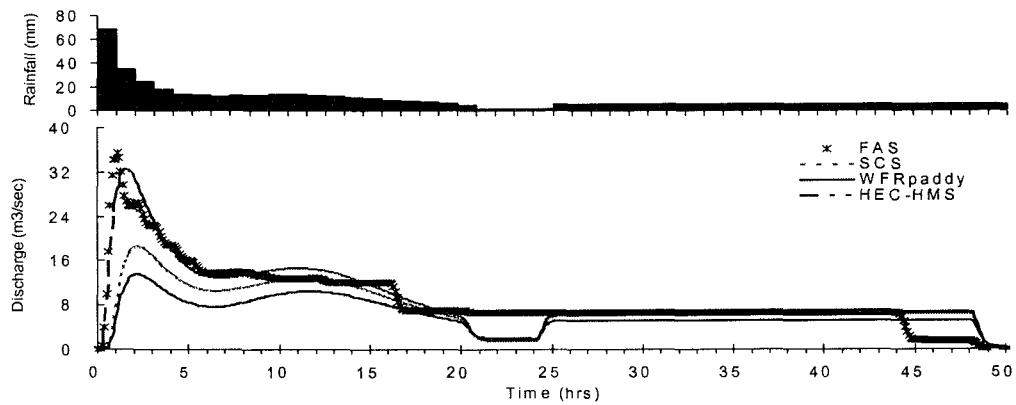
(그림 3-68) 지속시간 24시간, 200년 빈도 설계강우량에 대한 홍수 유출 곡선 비교



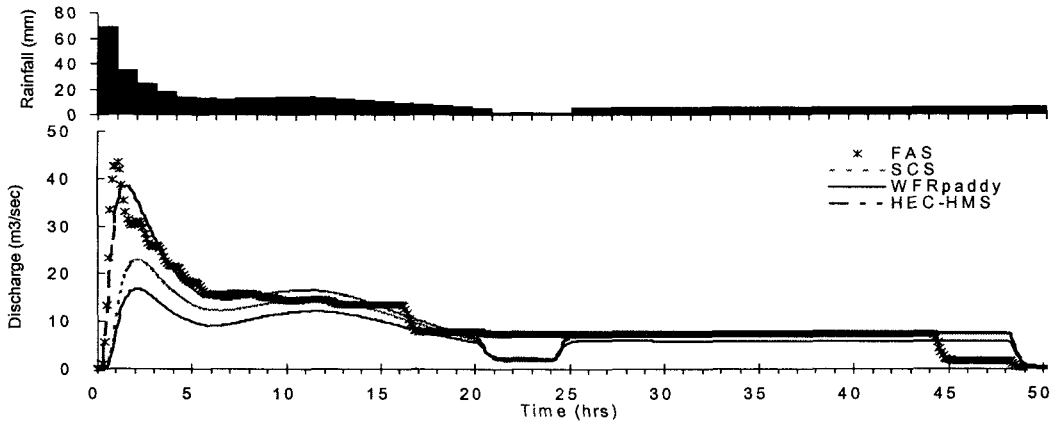
(그림 3-69) 지속시간 48시간, 10년 빈도 설계강우량에 대한 홍수 유출 곡선 비교



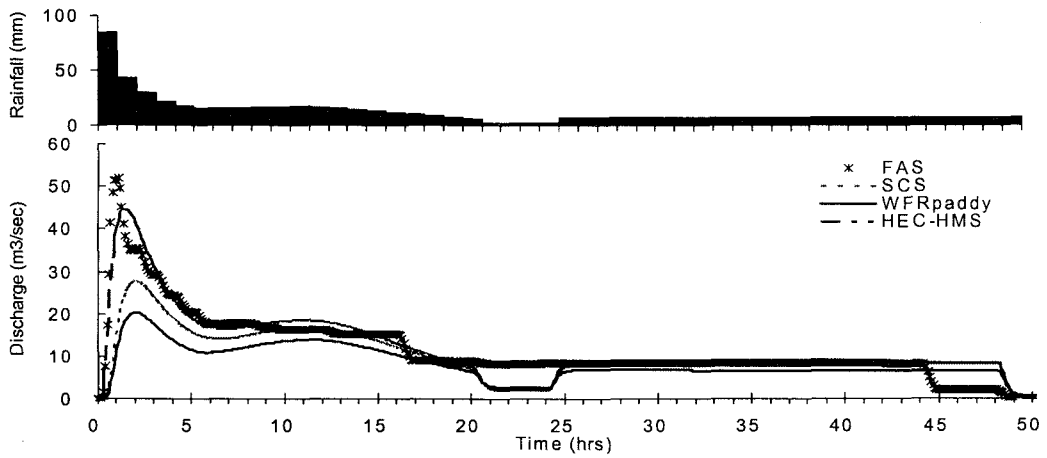
(그림 3-70) 지속시간 48시간, 20년 빈도 설계강우량에 대한 홍수 유출 곡선 비교



(그림 3-71) 지속시간 48시간, 50년 빈도 설계강우량에 대한 홍수 유출 곡선 비교



(그림 3-72) 지속시간 48시간, 100년 빈도 설계강우량에 대한 홍수 유출 곡선 비교



(그림 3-73) 지속시간 48시간, 200년 빈도 설계강우량에 대한 홍수 유출 곡선 비교

<표 3-28> 홍수 유출 곡선 비교 결과 값

재현 기간	구분	FAS	SCS	WFRpaddy	HEC-HMS
지속시간 24hr	첨두량 (m ³ /s)	20.130	11.818	8.639	24.163
	빈도 10yr	첨두 시간 (hr)	1.2	2.3	2.3
지속시간 24hr	첨두량 (m ³ /s)	27.36	27.864	20.369	29.222
	빈도 20yr	첨두 시간 (hr)	1.1	1.6	1.6
지속시간 24hr	첨두량 (m ³ /s)	37.960	21.524	15.734	37.960
	빈도 50yr	첨두 시간 (hr)	1.1	1.9	1.9
지속시간 24hr	첨두량 (m ³ /s)	46.320	26.610	19.452	44.749
	빈도 100yr	첨두 시간 (hr)	1.1	1.9	1.9
지속시간 24hr	첨두량 (m ³ /s)	54.930	31.954	23.359	29.222
	빈도 200yr	첨두 시간 (hr)	1.1	1.9	1.9
지속시간 48hr	첨두량 (m ³ /s)	18.360	9.386	6.861	19.342
	빈도 10yr	첨두 시간 (hr)	1.2	1.6	1.6
지속시간 48hr	첨두량 (m ³ /s)	25.210	13.159	9.619	24.917
	빈도 20yr	첨두 시간 (hr)	1.2	2.4	2.4
지속시간 48hr	첨두량 (m ³ /s)	35.390	18.603	13.599	32.517
	빈도 50yr	첨두 시간 (hr)	1.1	2.2	2.2
지속시간 48hr	첨두량 (m ³ /s)	43.460	23.026	16.832	38.464
	빈도 100yr	첨두 시간 (hr)	1.1	2.1	2.1
지속시간 48hr	첨두량 (m ³ /s)	51.800	27.682	20.236	44.521
	빈도 200yr	첨두 시간 (hr)	1.1	1.6	1.6

제 5절 요약 및 결론

본 연구에서는 배수개선 사업에서 관행적으로 이용되고 있는 홍수량 추정방법을 검토하고 논의 저류특성을 고려한 홍수량 추정 모형, GIS를 이용한 홍수량 추정모형을 적용하여 비교 검토하였다. 본 연구에서 적용된 홍수량 추정모형으로는 FAS 모형, SCS 홍수량 추정법, WFRpaddy 모형, HEC-HMS 모형으로 각각 발안 시험유역에 대하여 적용하였다.

본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

① 홍수량 추정모형의 적용성을 검토하기 위하여 경기도 화성시에 위치한 발안 유역의 HP#6 소유역을 시험유역으로 선정하였다. 유역면적 29.79km^2 의 발안 시험유역은 1996년부터 서울대학교 농공학과에서 수문 모니터링을 실시하고 있으며, 강우관측지점 1개소 하천 수위관측지점 5개 등을 운영하고 있다.

② 시험유역의 NGIS 수치지도, RGIS 수치지도, 개략토양도, Landsat TM 영상자료를 구득하여 지형도, 토지이용도, 토양도 등의 주제도를 구축하였고, 이로부터 시험유역의 유출곡선번호 CN값을 추출하였다.

③ 시험유역의 수문자료를 이용하여 기존의 홍수량 추정에 이용되고 있는 SCS 홍수량 추정법, HEC-HMS 모형 및 논의 저류기능을 고려한 홍수량 추정 모형인 WFRpaddy 모형을 보정하였으며, 모형의 보정결과 침투유량의 경우 SCS, WFRpaddy, HEC-HMS 모형의 RMSE는 각각 4.746 , 4.414 , $10.263\text{m}^3/\text{s}$ 으로 나타났으며, 침투시간의 경우 각각 3.454 , 3.254 , 2.482 시간으로 분석되었다.

④ 1996년부터 2002년까지 모형의 보정에 이용되지 않은 강우사상을 이용하여 홍수 유출 모형을 검정한 결과 침투유량의 경우 SCS, WFRpaddy, HEC-HMS 모형의 RMSE는 각각 6.241 , 8.423 , $6.912\text{m}^3/\text{s}$ 으로 나타났으며, 침투시간의 경우 각각 3.691 , 3.522 , 3.684 시간으로 분석되었다.

⑤ 관행홍수량 추정 모형의 검토를 위해 FAS 모형과 SCS, WFRpaddy, HEC-HMS와 비교하였다. FAS 모형의 경우 확률홍수량을 입력하면 이에 따른 강우 분포를 모형 내에서 산정하게 된다. 재현기간별 확률홍수량을 적용하여 비교한 결과

재현기간이 짧은 경우 HEC-HMS 경우가 침투유량이 크고 재현기간이 길어질수록 FAS 모형의 침투유량이 큰 것으로 분석되었다. 논의 저류기능을 고려한 WFRpaddy 모형의 경우 침투유량이 가장 작은 것으로 분석되었다. 침투 시간은 FAS에 비해 SCS 모형과 WFRpaddy 모형이 크게 나타났다.

여 백

제 4 장 논의 침수상황 모의기법의 개발과 적용성 평가

제 1 절 서론

농림부 (2000)에서 실시한 배수개선대상지 조사결과 농경지 침수피해발생 원인은 크게 하천수위의 상승에 따른 배수불량과 유역내 배수시설의 배수능력부족으로 구분할 수 있으며, 하천수위의 상승에 따른 배수불량이 전체 대상면적의 61%, 배수시설의 배수능력 부족이 39%를 점유하는 것으로 나타났다.

한편, 우리나라의 농경지 배수개선을 위한 설계기준 강우량은 20년 빈도 2일 연속 강우량을 적용하고 있으며, 배수개선사업 기본조사 단계에서 추진하는 배수계획수립 과정은 ① 유역의 구분, ② 토양과 토지이용상태에 따른 유출곡선지수의 산정, ③ 설계 강우량의 결정, ④ 홍수량의 산정, ⑤ 외수위 분석, ⑥ 침수분석, ⑦ 대안설정에 따른 배수개선 효과분석 및 개선방안의 선정 등으로 구성된다.

홍수범람을 모의하기 위해 이용되는 주요 모형으로는 1차원 모형인 MIKE11, ISIS, ONDA, HEC-RAS와 2차원 모형인 RMA-2, TELEMAC-2D, MIKE21 등이 있으며, 최근 지리정보 시스템을 이용한 수리모형의 개발이 활발히 이루어지고 있다. Klaus (1999)는 Texas주에 위치한 Mill하천을 대상으로 HEC-GeoRAS를 이용하여 침수상황을 모의한 바 있으며, Ackerman (2000)은 Arizona 주 Salt강을 대상으로 홍수경감 대책과 생태계 복원과의 관계를 평가하기 위하여 HEC-GeoRAS를 이용한 바 있다. 국내에서는 도시배수계통에서의 침수상황을 모의하고 침수흔적과 비교하여 적용성을 평가하였으며 (이영대, 1988), 흐름기본방정식과 SCS 삼각단위도법을 사용한 수위에 측 수치모형을 개발하여 해남 간척농지의 침수상황을 모의한 바 있다 (박창언 등, 2000). HEC-GeoRAS를 이용하여 금강수계의 보청천 유역을 대상으로 홍수범람지역을 분석한 바 있고 (안상진 등, 2001), 임진강 유역을 대상으로 ARC/Info의 GRID 모

들을 이용하여 침수모의 분석을 실시하였으며 (김 등, 2001), FLDWAV 모형과 HEC-RAS 모형을 적용하여 영산강 중류지역에 대한 GIS 홍수범람도를 작성하였다 (정수은 등 (2001).

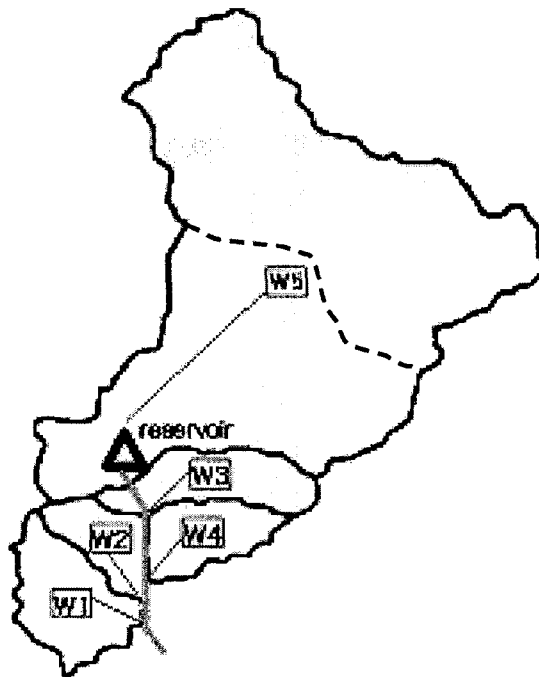
홍수범람으로 인해 발생하는 침관수 피해에 대한 지금까지 우리나라에서 조사·연구된 벼 연구결과는 대부분 조사결과를 단편적으로 분석한 것이 많으며, 김천환 등 (1982), 손양 등 (1987) 일부 연구자가 기존의 자료를 종합하여 분석한 실적이 있지만, 김천환 등 (1982)의 연구결과는 일본 자료를 일부 활용하였기 때문에 우리나라 벼의 침수피해 특성을 반영한다고 보기 어려우며, 손양 등 (1987)의 연구결과는 활용한 자료의 수가 적고, 청수에 의한 침수피해 관계를 도출한 것으로 홍수시 농경지가 대부분 탁수 또는 반탁수에 의하여 침수됨을 감안하면 현실적으로 적용하기 어려우며, 이러한 연구결과를 실무에 적용한 사례는 거의 없는 실정이다. 농업기반공사 (2002)는 1970년대 중반에 작성한 것으로 알려진 벼 침수시간별 피해율 조건표를 만들어서 배수개선 사업의 경제성 분석에 활용하고 있으나, 작성한 지 오랜 기간이 지났고, 벼의 생육시기에 대한 고려는 없는 문제가 있다. 이를 토대로 우리나라에서 1960년대 중반부터 2000년까지 조사, 연구한 바 있는 벼 침수피해 관련 시험성적을 이용하여 벼의 생육단계를 분얼기, 유수형성기, 감수분열기, 출수기 등 5개로 구분하여 생육시기별로 침수 지속시간과 벼 감수피해율과의 관계를 도출한 바 있다 (박종민, 2003).

본 연구의 목적은 GIS기반의 수문모형과 수리모형을 연계한 농경지 침수모의 시스템을 구성하고, 침수로 인한 벼의 감수피해 추정모형을 개발하여 농경지 침수피해 모의시스템을 개발하고, 시험유역을 대상으로 개발된 침수모의모형의 적용성을 평가를 통해 침수지역의 벼 감수피해를 추정하는 데 있다.

제 2 절 시험 구역

1. 시험구역의 개요

침수모의 시스템의 적용성 평가를 위해 본 연구에서는 경기도 화성시 발안면과 팔탄면에 위치한 발안 구역을 시험구역으로 선정하였다. 발안 시험구역은 1996년부터 서울대학교 농공학과에서 수문/수질 모니터링을 실시하고 있으며 구역면적 29.79km²로서, 이 구역은 산간지, 중산간지, 평탄지, 취락지 등 다양한 토지이용상태를 보이고 있다. 발안 시험구역은 토지이용, 구역특성 등에 따라 7개의 소유역으로 구분하여 수문/수질 모니터링을 실시하고 있으며, 침수모의 시스템의 적용을 위해 HP#7 소유역을 시험구역으로 선정하였으며, (그림 4-1)은 선정된 HP#7 소유역의 구역경계와 소유역 구분을 보여주고 있다. HP#7 시험구역은 기천저수지를 포함하고 있으며, 기천저수지 상단을 W5-1, W5-2 소유역으로 구분하였고, 기천저수지 하단을 W1, W2, W3, W4 소유역으로 구분하였다.



(그림 4-1) HP#7 소유역 구분도

2. 유역특성인자

유역 형상계수는 유역의 형상을 나타내는 무차원수로 유역면적을 본류의 유로장에 나눈 값으로 정의된다. 유역의 형상계수가 크면 길이에 비하여 폭이 넓은 유역을 의미하고, 형상계수가 작으면 좁고 긴 유역의 형상을 갖는다. 정사각형 유역에서 유역 형상계수는 1.0 정도이며, 원형유역은 0.8 정도이고, 방사상 유역은 0.1 정도가 된다. 유역형상계수는 <표 4-1>에서와 같이 2.272로 나타났으며, 유역의 최대 기복량은 246m로 나타났다. 유역의 기복량비는 최대기복량과 유로장의 비를 나타내는 것으로 소위 유역평균경사를 나타내는 값으로 0.0354로 조사되었다. 하천빈도는 유역내의 하천의 총수를 면적으로 나눈 값으로 정의되며, 2.3392로 조사되었다.

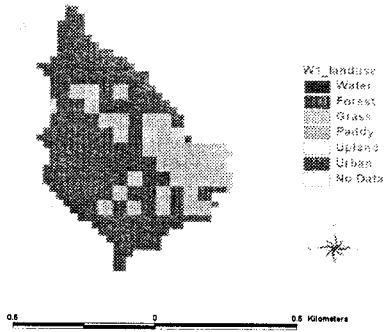
<표 4-1> 유역특성인자

소유역	면적 (ha)	형상계수	유로장 (km)	최대 기복량 (m)	기복량비	하천 평균경사 (m/m)	하천빈도 (개/km ²)
HP#7	1068.75	2.272	6.95	246	0.0354	0.0127	2.3392

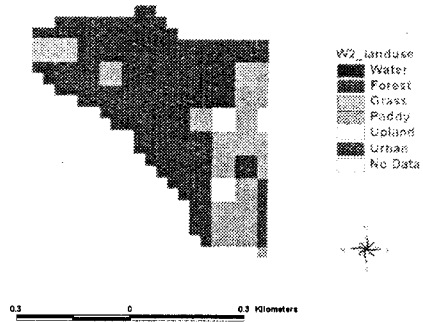
3. HP#7 시험유역의 토지이용 및 지형자료의 구축

가. 토지 이용도

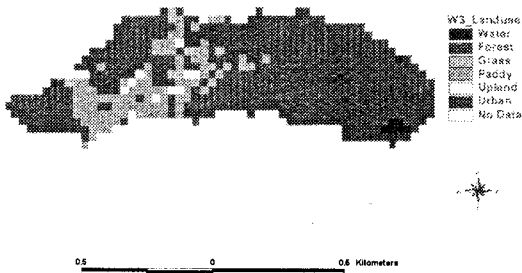
토지이용도는 산림 (Forest, Grass 포함), 논 (Paddy), 밭 (Upland), 주거지 (Urban), 물 (Water) 등의 다섯 가지의 대분류로 구분하였다. 일반적으로 산지의 음영 부분은 같은 반사치를 보이기 때문에 저수지 (물)로 분류가 되는 경우가 있다. 이러한 경우는 현장 확인 결과 후 마스킹 (masking) 과정을 통하여 토지이용도에서 산림지역으로 분류하였다. (그림 4-2)는 위성영상을 이용하여 분류한 시험유역의 토지피복상태를 보여주고 있다.



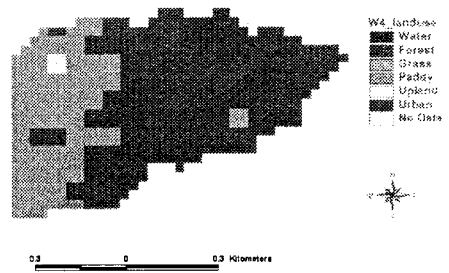
W1 토지이용



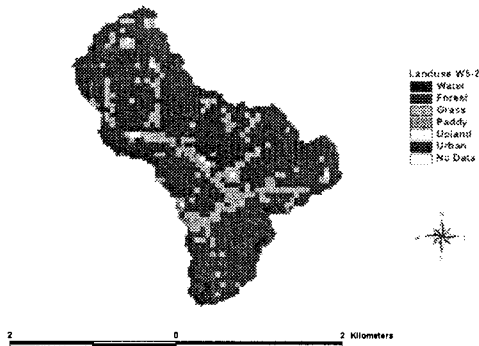
W2 토지이용



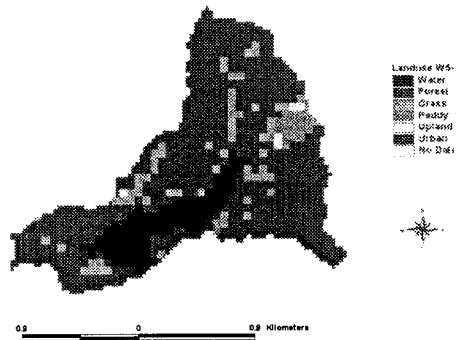
W3 토지이용



W4 토지이용



W5-1 토지이용



W5-2 토지이용

(그림 4-2) HP#7 소유역의 토지이용도

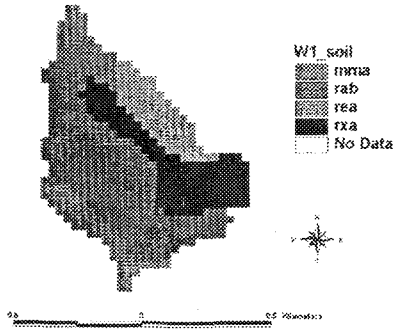
시험 구역의 토지분류 결과 HP#7 소유역의 전체 산림은 73.5%, 주거지는 0.7%, 밭은 5%, 논은 15.2%로 나타났으며 <표 4-2>는 각 소유역별 토지이용 상태를 보여주고 있다.

<표 4-2> HP#7 시험구역의 소유역별 토지이용 상태

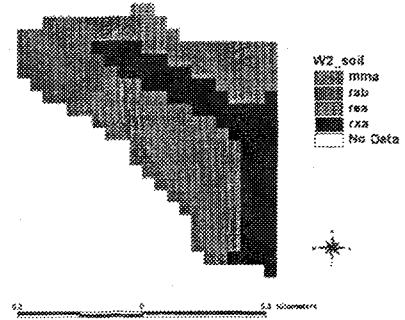
소유역	토지이용 상태 (%)				
	논	밭	주거지 (농장)	산림	물
W1	22.2	0.7	1.1	76.0	0.0
W2	19.1	1.1	1.6	78.1	0.0
W3	15.4	1.8	2.9	79.9	0.0
W4	18.0	0.7	2.1	69.0	0.0
W5-1	9.5	6.7	0.4	66.7	16.7
W5-2	18.0	4.2	0.9	76.9	0.0
전체	15.2	5.0	0.7	73.5	5.5

나. 토양도

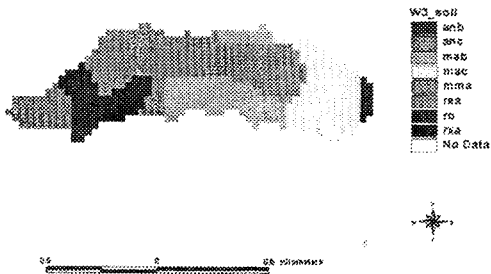
시험구역의 토양도는 농업기반공사의 RGIS 수치지도와 농촌진흥청 (1973)의 1:50,000 개략토양도를 이용하여 작성하였다. 벡터로 작성된 개략토양도의 폴리곤 (polygon) 에 각각의 토양을 구분하여 토양통명, 토성, 토층수 및 그에 해당하는 토심, 비중, 유기물 함유율, 그리고 점토, 실트, 극세사, 샌드, 및 자갈 함유율 등을 속성으로 입력하였다. 다음의 (그림 4-3)은 HP#7 시험구역의 소유역별 토양도를 보여주고 있다.



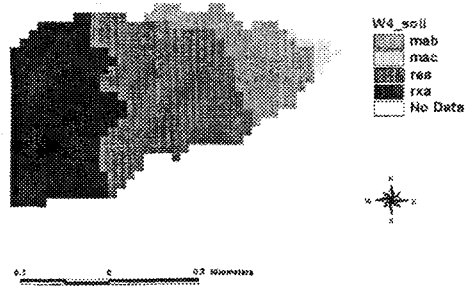
W1 토양도



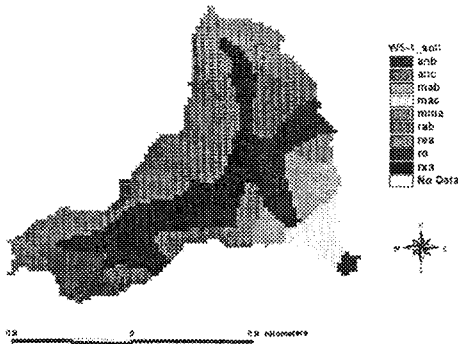
W2 토양도



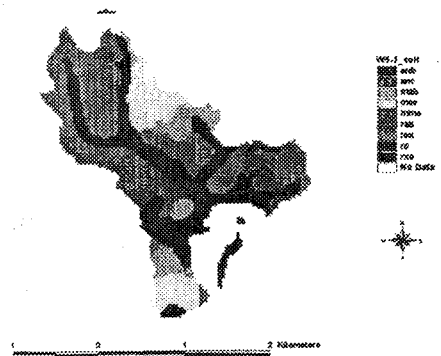
W3 토양도



W4 토양도



W5-1 토양도



W5-2 토양도

(그림 4-3) 소유역별 토양도

본 연구에서는 개략토양도의 배수기준을 사용하지 않고 토성에 따른 투수기준을 사용하여 수문학적 토양군을 분류하였다. 즉, A군은 양토와 식양질토로 B군은 양토와 식양질토로, C군은 식질토로, D군은 세식질토로 분류하였다.

HP#7 구역의 수문학적 토양군의 분포는 B토양군이 50%로 가장 많은 면적을 차지하였으며, C토양군이 3%, A토양군이 4%, D토양군이 12% 순으로 나타났다. HP#7 시험구역의 소유역별 수문학적 토양군은 <표 4-3>에 정리하였다.

<표 4-3> 시험구역의 수문학적 토양군의 분류 (HP#7)

소유역	수문학적 토양군 (%)			
	A	B	C	D
W1	23.6	76.4	0.0	0.0
W2	51.0	49.0	0.0	0.0
W3	62.4	30.2	4.3	3.0
W4	61.7	38.3	0.0	0.0
W5-1	2.1	56.5	8.7	6.5
W5-2	5.7	60.9	4.6	10.8
전체	4.3	49.8	2.7	11.5

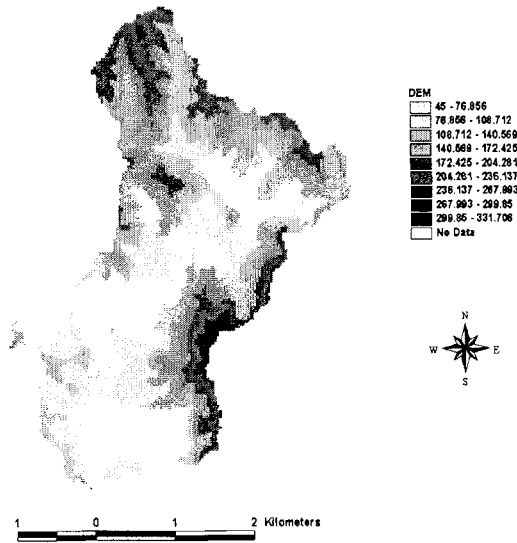
다. 지형자료 구축

토지이용도, 토양도, 수문학적 토양군도 이 외에 시험구역에 대해 수치표고모델 (DEM), 사면 경사도 등을 구축하였다.

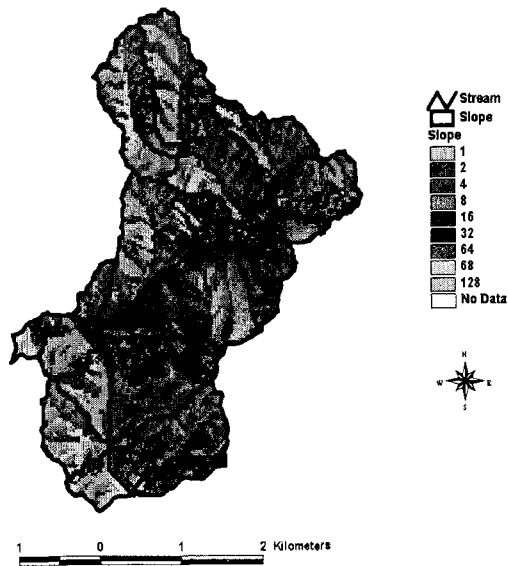
먼저 시험구역에 대한 경사방향도, 경사도, 수치표고모델 등의 주제도를 작성하기 위해 국립지리원에서 발행한 1/5,000 NGIS 수치지도를 구득하였다. 수치지도의 등고선 레이어 (layer)를 분리하여 등고선 벡터지도를 구축하고, 이로부터 해상도가 5m인 그리드 형식의 수치표고모델 (DEM)자료를 구축하였다. 다음의 (그림 4-4)는 이러한 과정을 거쳐 구축한 HP#7 시험구역의 수치표고모델 (DEM)을 보여주고 있다.

등고선도로부터 구축한 수치표고모델 (DEM)을 이용하여 사면경사도를 구축하였다. 구역의 평균 경사는 18%였으며, 주거지와 농경지가 주로 분포하고 있는 지역은

0~10 % 의 낮은 경사도를 보였으며, 임야지역은 30% 이상의 높은 경사도 분포를 보였다. (그림 4-5)는 DEM으로부터 추출한 HP#7 소유역의 사면경사도를 보여주고 있다.



(그림 4-4) HP#7 시험구역의 수치표고모델 (DEM)



(그림 4-5) HP#7 시험구역의 사면경사도

라. 유출곡선번호 및 도달시간

유출곡선지수는 토지이용도와 수문학적 토양군도를 이용하여 산정하였다. 논문에서의 CN은 선행토양함수조건 (Antecedent Soil Moisture Condition, AMC) 결정은 5일 선행강우량보다는 초기담수심과 물꼬높이에 기인한다고 발표한 바 있고 (임상준 등, 1995), 본 연구에서는 이러한 연구결과를 이용하여 CN 값을 추출하였다. 다음의 <표 4-4>는 HP#7 시험유역에 대한 소유역별 CN 값을 정리한 결과를 보여주고 있다.

<표 4-4> 논을 포함한 HP#7 시험유역의 CN 값

AMC 조건	HP#7					
	평균	W1	W2	W3	W4	W5
I	62	52	56	56	52	65
II	78	75	72	72	75	79
III	89	87	86	86	87	90

시험유역에 대한 홍수도달시간은 Rizha식을 이용하여 산정하였으며, 다음의 <표 4-5>는 각 소유역별로 산정된 도달시간을 정리하여 보여주고 있다.

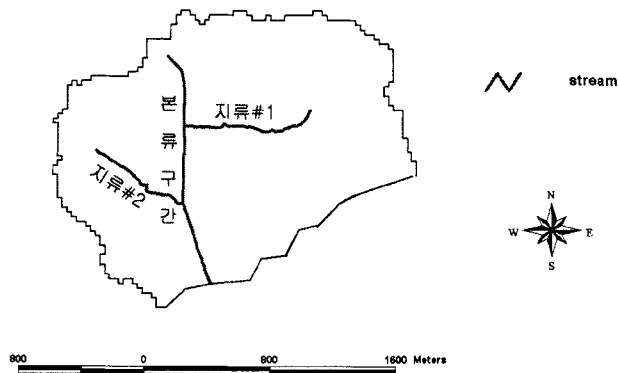
<표 4-5> 시험유역에 대한 도달시간

	유로장 (m)	경사 (m/m)	도달시간, Tc (hr)
HP#7	W1	977.5	0.1074
	W2	897.7	0.1069
	W3	1426.4	0.1944
	W4	1240.6	0.1673
	W5-1	5740.0	0.0230
	W5-2	3640.0	0.0707

마. 시험지구 하천 단면 측량

침수모의 시스템의 적용을 위해 선정된 HP#7 시험유역에 대한 지형도, 토지이용도, 토양도 등의 기본도와 주제도를 구축하였다. 구축된 1/5,000 지형도의 등고선 간격은 5m로 실제 하천의 홍수량과 침수모의 분석을 위해서는 하천 구간에 대한 측량을 통해 보다 정밀한 하천자료를 수집하여 입력할 필요가 있다.

다음의 (그림 4-6)은 HP#7 유역의 기천저수지 하단 유역에 대한 하천도를 보여주고 있으며 이 구간을 대상으로 하천측량을 실시하여 하천의 종단면도를 작성하였다. 하천측량을 위해 전자파 측거기 (EDM)를 이용하였으며, (그림 4-7)은 현장 하천측량 전경을 보여주고 있다. <표 4-6>~<표 4-8>은 HP#7 유역 하천 측량 성과를 보여주고 있다.



(그림 4-6) HP#7 유역의 하천도



(그림 4-7) HP#7 지점의 하천단면측량 전경

<표 4-6> HP#7 유역 본류구간의 각 측정별 하천측량 결과 (단위 : m)

주하천	V.D		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ST #1	0.00	El.	43.48	43.43	40.31	39.74	40.04	40.64	41.02	43.70	43.76		
		H.D	0.00	3.45	9.49	12.96	16.88	20.11	24.07	29.55	34.18		
ST #2	171.60	El.	45.17	45.18	41.70	41.33	41.12	41.14	41.07	45.21	45.19		
		H.D	0.00	3.04	10.23	12.82	13.93	19.62	22.99	32.09	33.22		
ST #3	332.62	El.	45.32	45.37	41.86	41.26	41.59	42.01	42.10	45.29	45.26		
		H.D	0.00	2.90	9.96	11.36	17.33	18.80	22.52	30.37	32.51		
ST #4	467.58	El.	45.63	45.54	42.51	42.51	41.93	42.39	42.44	45.61	45.63		
		H.D	0.00	2.76	9.25	19.68	21.28	22.26	23.48	29.81	32.77		
ST #5	499.77	El.	45.70	45.73	42.76	42.25	42.04	42.47	45.69	45.82			
		H.D	0.00	2.94	9.37	10.46	14.05	20.80	27.96	31.50			
ST #6	670.76	El.	46.42	46.49	43.61	42.32	42.08	42.41	42.87	42.95	46.49	46.46	
		H.D	0.00	3.94	7.85	11.42	13.10	13.74	16.78	23.35	29.87	32.92	
ST #7	817.86	El.	46.75	46.72	43.77	43.36	42.98	43.54	43.77	47.57	47.57		
		H.D	0.00	3.80	9.08	16.11	18.22	19.65	23.23	30.32	33.15		
ST #8	994.64	El.	48.12	48.14	45.26	44.67	44.60	43.95	44.60	45.35	45.77	48.67	48.87
		H.D	0.00	4.76	10.37	14.97	16.71	18.45	20.19	21.92	24.71	30.04	32.80
ST #9	1,036.19	El.	49.18	49.15	45.49	45.31	45.00	45.24	45.60	49.12	49.15		
		H.D	0.00	2.79	9.14	13.01	15.85	18.46	24.38	30.16	32.76		
ST #10	1,047.62	El.	49.49	49.54	46.80	46.67	46.21	46.72	46.79	49.56	49.49		
		H.D	0.00	3.40	9.12	12.49	16.73	20.76	23.17	29.08	32.40		
ST #11	1,197.76	El.	50.09	50.11	47.14	47.14	46.19	47.01	47.37	50.07	50.12		
		H.D	0.00	3.56	9.27	14.90	17.71	20.60	23.26	28.21	29.85		
ST #12	1,231.76	El.	50.74	50.62	48.26	48.06	47.82	48.03	48.29	50.57	50.56		
		H.D	0.00	4.02	9.24	10.59	12.93	17.16	23.19	28.89	30.70		
ST #13	1,268.60	El.	51.07	51.10	48.63	48.07	47.78	48.05	48.26	50.99	51.79		
		H.D	0.00	3.90	8.20	11.34	13.77	17.69	22.19	27.18	31.07		
ST #14	1,346.22	El.	51.34	51.40	48.44	47.92	48.31	51.05	51.15				
		H.D	0.00	4.25	10.63	16.46	22.24	28.85	32.00				
ST #15	1,357.15	El.	51.27	48.07	48.07	51.27							
		H.D	0.00	0.10	7.12	7.22							

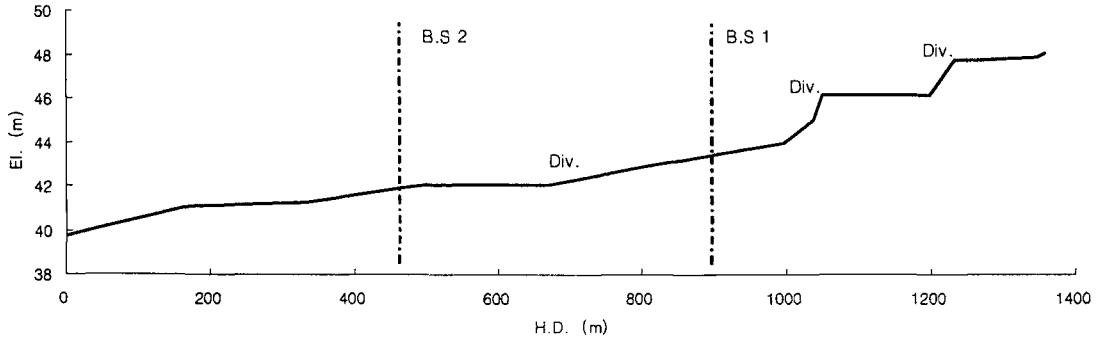
<표 4-7> 지류#1 구간의 각 측정점별 하천측량 결과 (단위 : m)

지류#1	V.D		1	2	3	4	5	6	7	8
ST #0	0.00	El. H.D								
ST #1	13.19	El. H.D	45.49 0.00	45.32 0.81	43.76 2.47	43.59 3.84	43.86 4.59	44.16 5.65	55.00 5.95	
ST #2	25.62	El. H.D	45.41 0.00	45.30 0.85	44.15 2.71	43.94 4.75	44.18 5.63	55.00 5.93	48.49 10.14	
ST #3	105.07	El. H.D	47.42 0.00	47.38 0.45	45.59 2.75	45.39 3.52	45.58 5.16	45.86 6.23	55.00 6.53	
ST #4	186.69	El. H.D	50.55 0.00	50.47 0.85	48.10 4.49	47.48 5.04	47.36 6.04	47.71 7.01	48.63 10.34	55.00 10.84
ST #5	503.58	El. H.D	51.59 0.00	51.59 0.30	50.48 0.40	50.19 2.14	50.50 4.31	51.67 4.66	51.84 5.66	
ST #6	518.96	El. H.D	51.62 0.00	50.65 0.21	50.44 2.40	50.45 4.43	51.61 4.94	52.18 5.86	52.29 6.77	
ST #7	561.76	El. H.D	53.02 0.00	52.00 1.50	51.72 3.38	51.78 4.41	52.88 4.59	52.88 4.89		
ST #8	581.98	El. H.D	53.42 0.00	53.37 1.93	52.46 3.21	52.31 4.32	52.37 5.23	53.25 6.56	53.35 7.25	

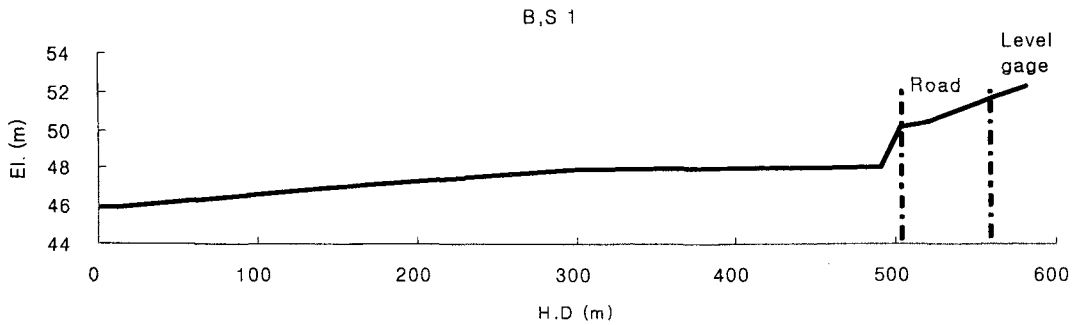
<표 4-8> 지류#2 구간의 각 측정점별 하천측량 결과 (단위 : m)

지류#2	V.D (m)		1	2	3	4	5	6	7
ST #0	0.00	El. H.D							
ST #1	11.97	El. H.D	47.90 0.00	47.81 1.51	46.34 3.83	45.94 5.36	46.34 6.47	47.65 8.62	47.72 9.43
ST #2	142.20	El. H.D	48.84 0.00	48.84 1.69	47.31 3.85	46.96 6.58	47.31 8.81	48.41 9.46	48.49 10.14
ST #3	301.09	El. H.D	49.66 0.00	49.32 1.03	48.10 2.79	47.90 3.97	48.11 5.00	49.20 7.07	49.05 8.68
ST #4	490.18	El. H.D	49.69 0.00	49.60 0.75	49.55 0.99	48.22 3.08	48.03 4.04	49.41 6.90	49.47 8.14

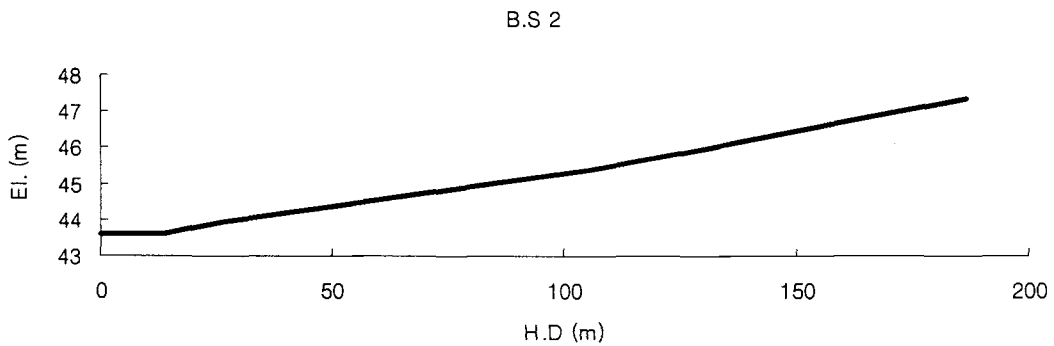
다음의 (그림 4-8)~(그림 4-37)은 측정된 하천구간에 대한 종단면도를 보여주고 있다.



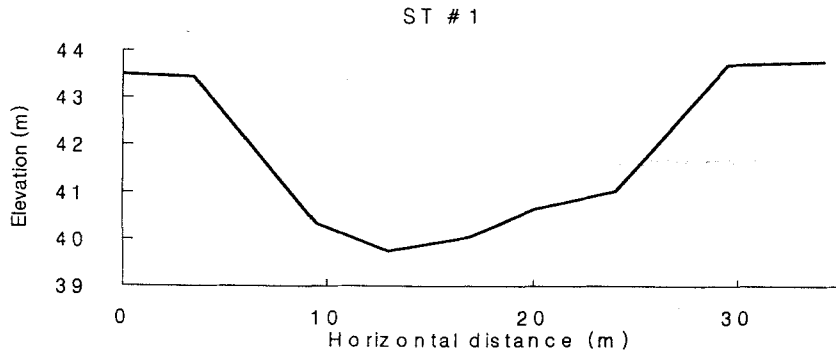
(그림 4-8) 본류구간 종단면도



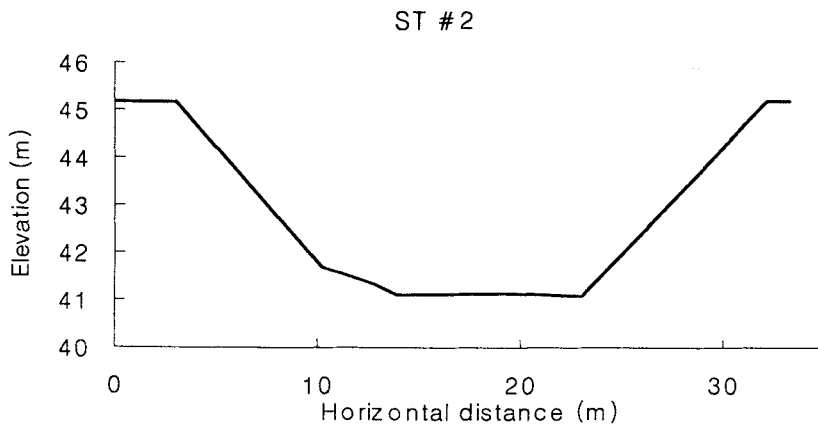
(그림 4-9) 지류#1 구간 종단면도



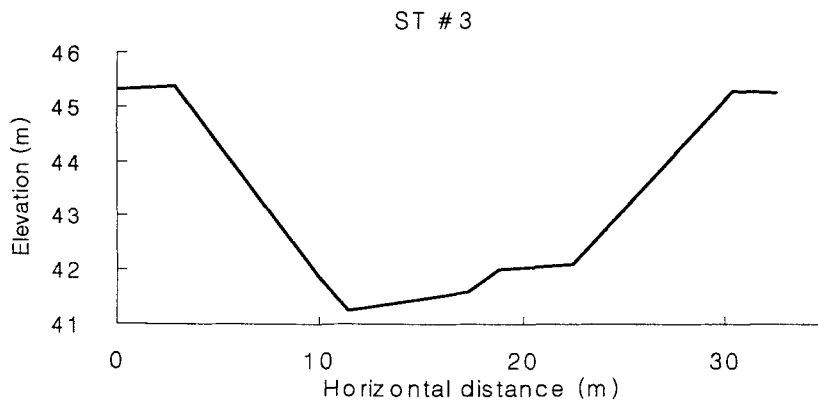
(그림 4-10) 지류#2 구간 종단면도



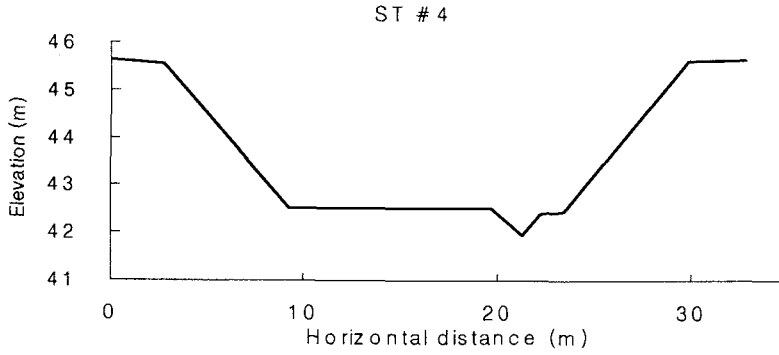
(그림 4-11) 본류구간 횡단면도 (ST#1)



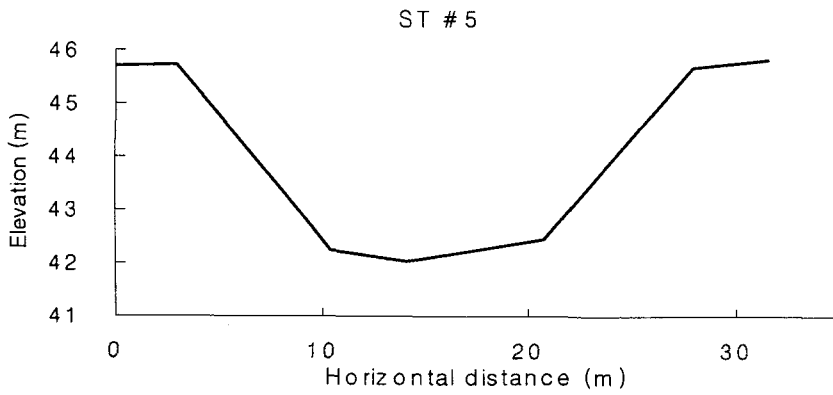
(그림 4-12) 본류구간 횡단면도 (ST#2)



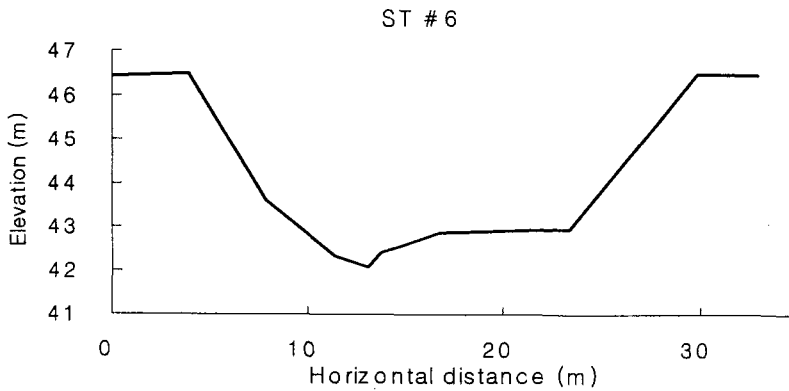
(그림 4-13) 본류구간 횡단면도 (ST#3)



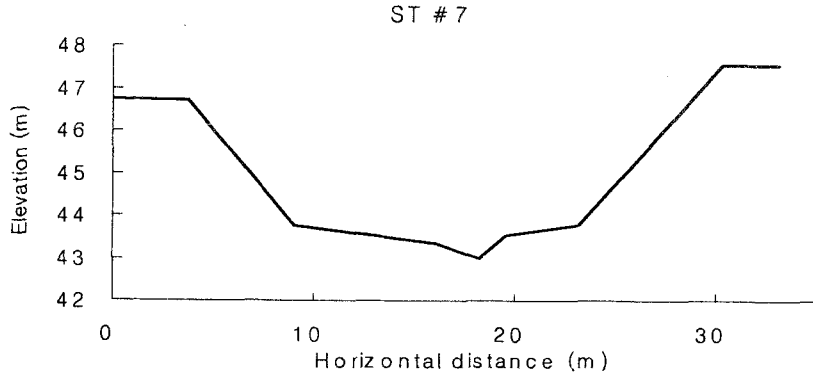
(그림 4-14) 본류구간 횡단면도 (ST#4)



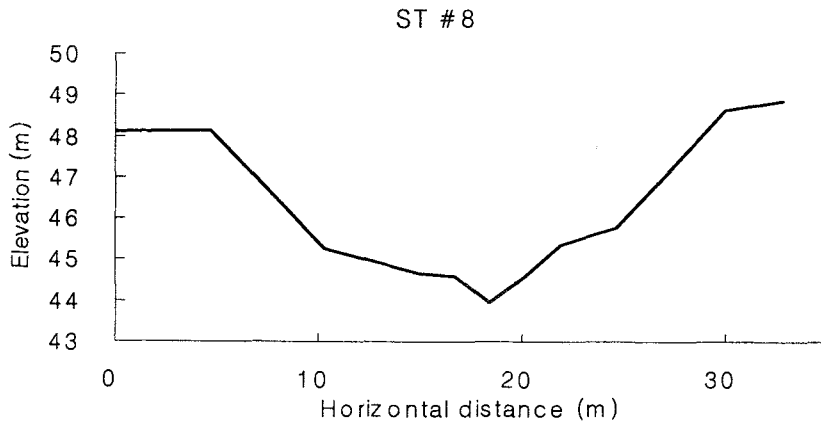
(그림 4-15) 본류구간 횡단면도 (ST#5)



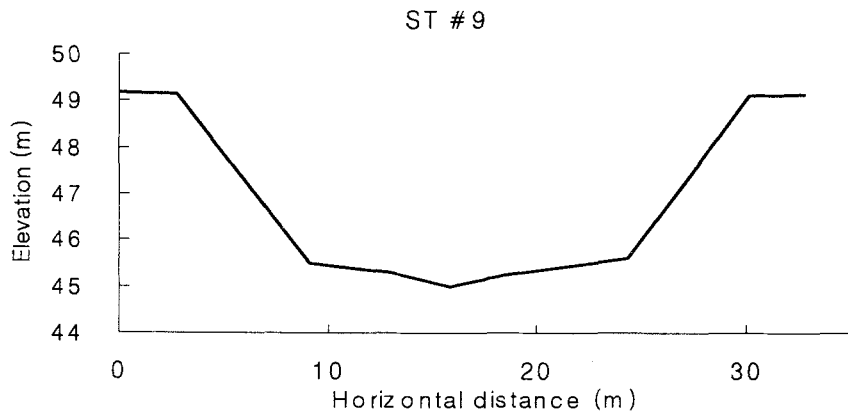
(그림 4-16) 본류구간 횡단면도 (ST#6)



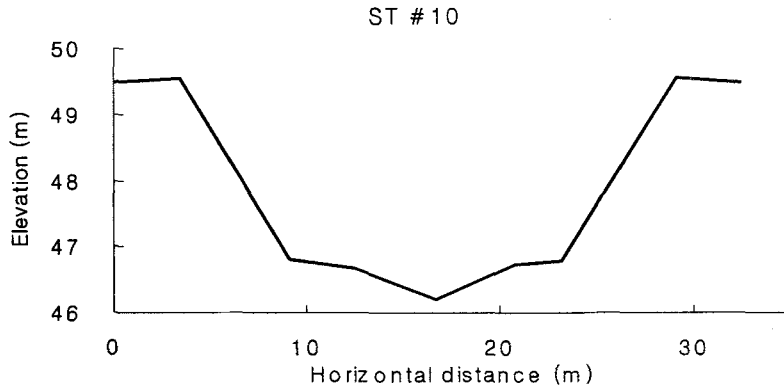
(그림 4-17) 본류구간 횡단면도 (ST#7)



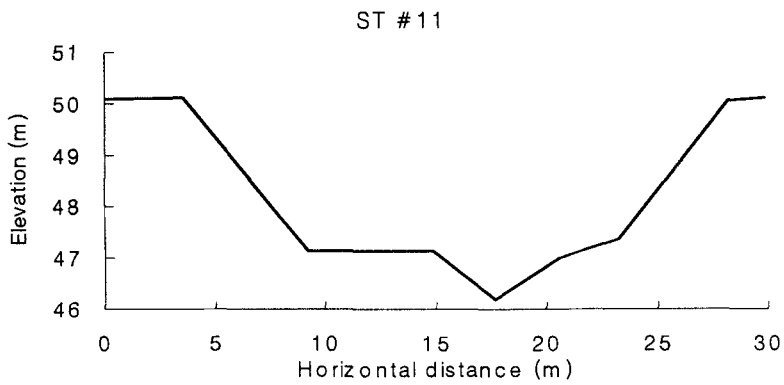
(그림 4-18) 본류구간 횡단면도 (ST#8)



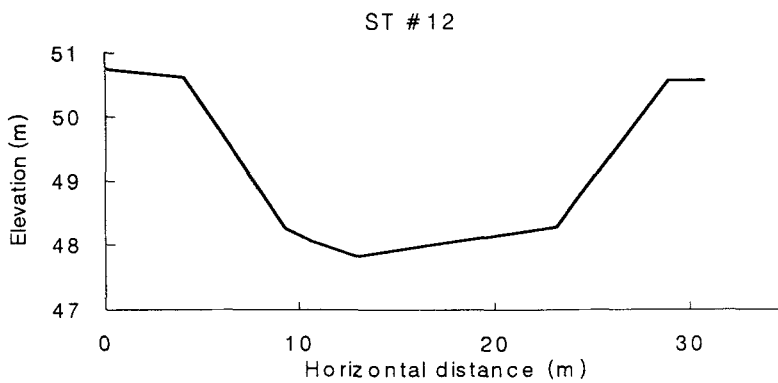
(그림 4-19) 본류구간 횡단면도 (ST#9)



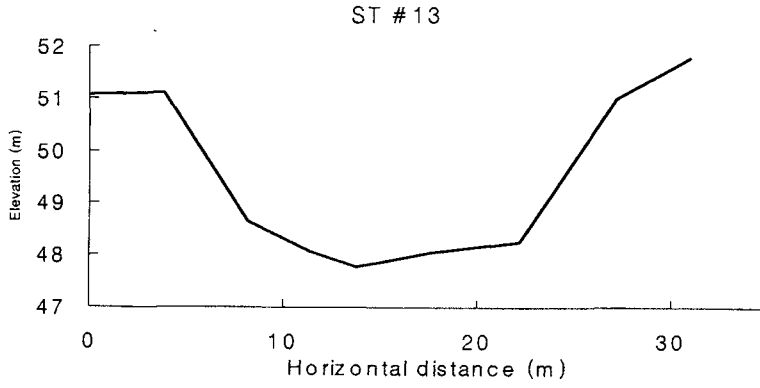
(그림 4-20) 본류구간 횡단면도 (ST#10)



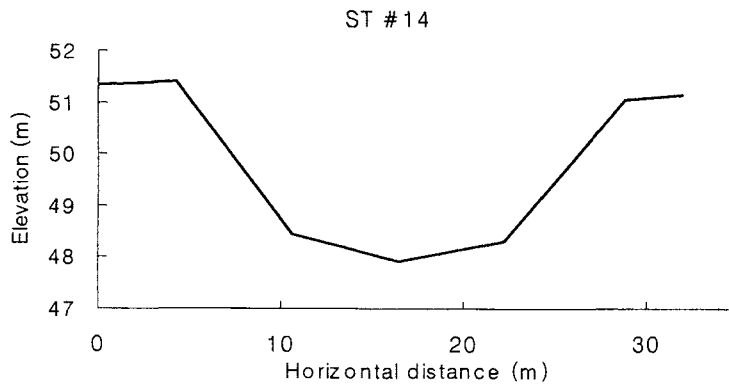
(그림 4-21) 본류구간 횡단면도 (ST#11)



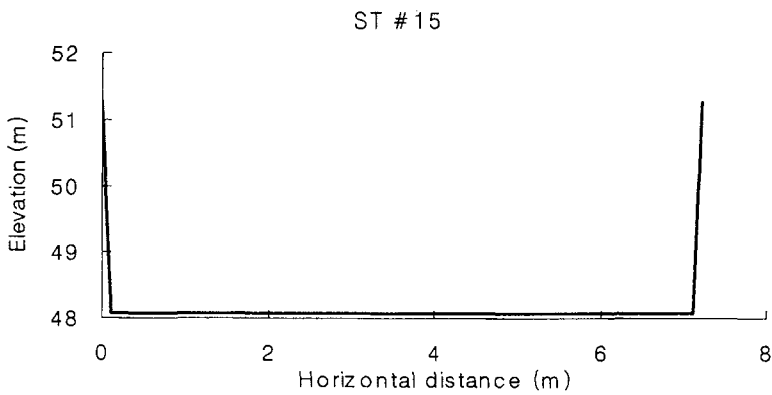
(그림 4-22) 본류구간 횡단면도 (ST#12)



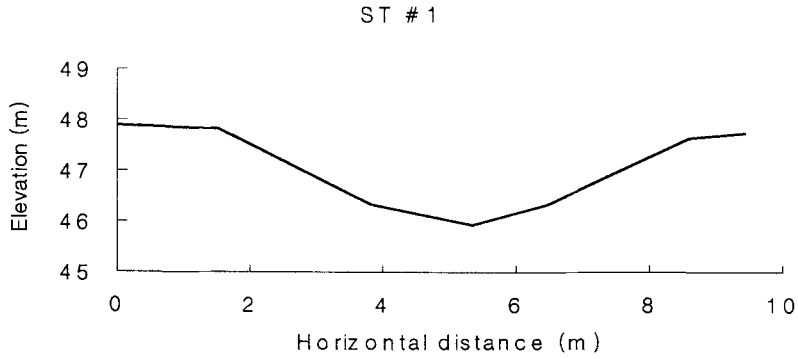
(그림 4-23) 본류구간 횡단면도 (ST#13)



(그림 4-24) 본류구간 횡단면도 (ST#14)



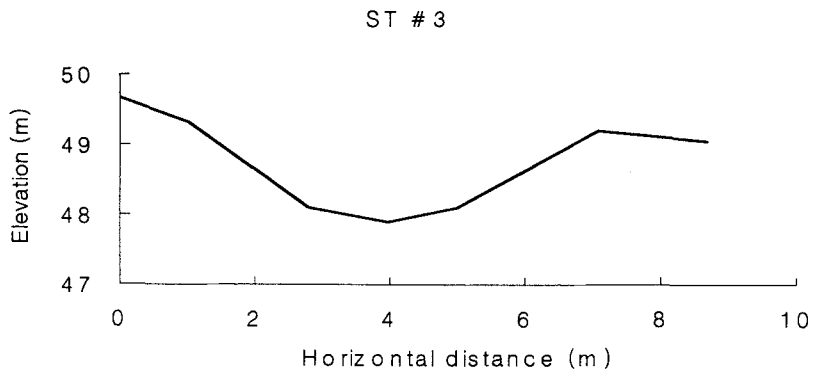
(그림 4-25) 본류구간 횡단면도 (ST#15)



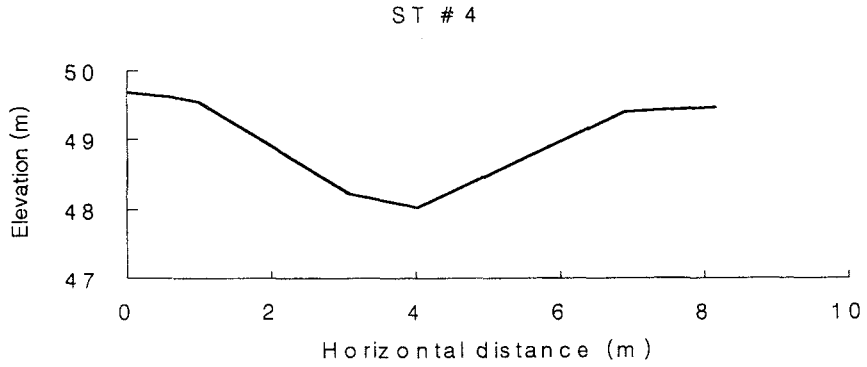
(그림 4-26) 지류#1 구간의 횡단면도 (ST#1)



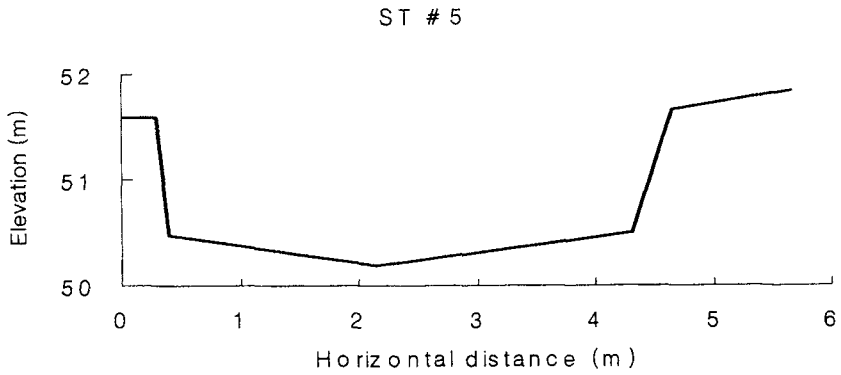
(그림 4-27) 지류#1 구간의 횡단면도 (ST#2)



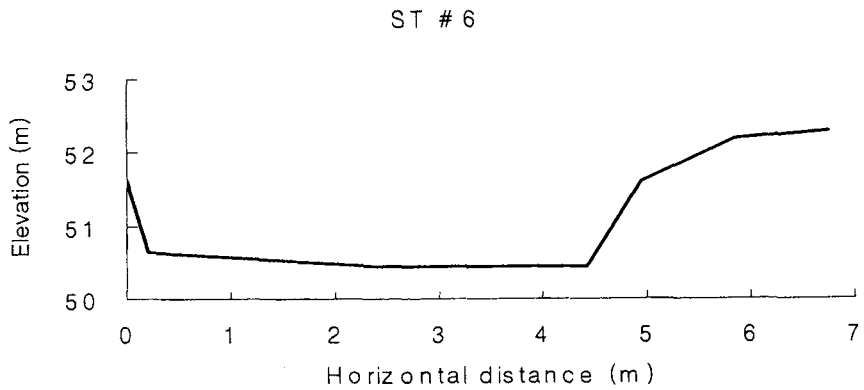
(그림 4-28) 지류#1 구간의 횡단면도 (ST#3)



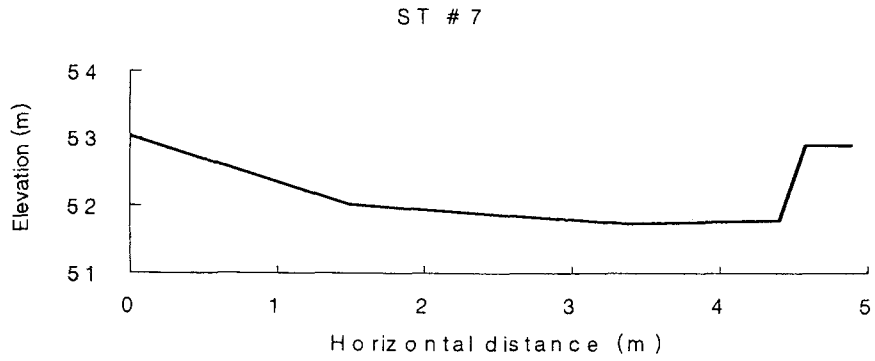
(그림 4-29) 지류#1 구간의 횡단면도 (ST#4)



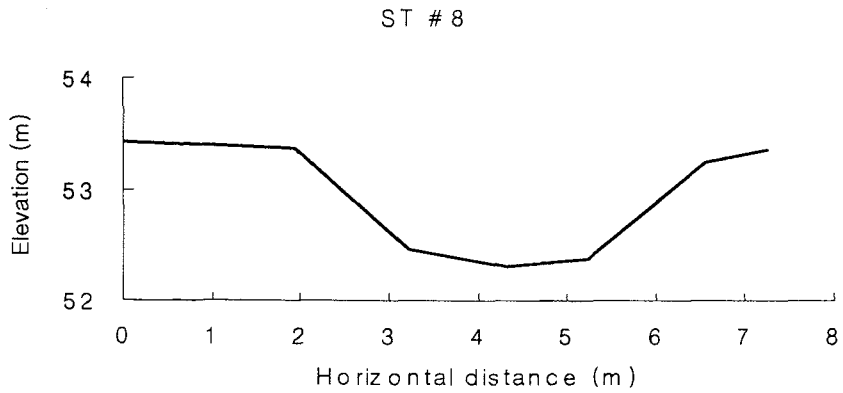
(그림 4-30) 지류#1 구간의 횡단면도 (ST#5)



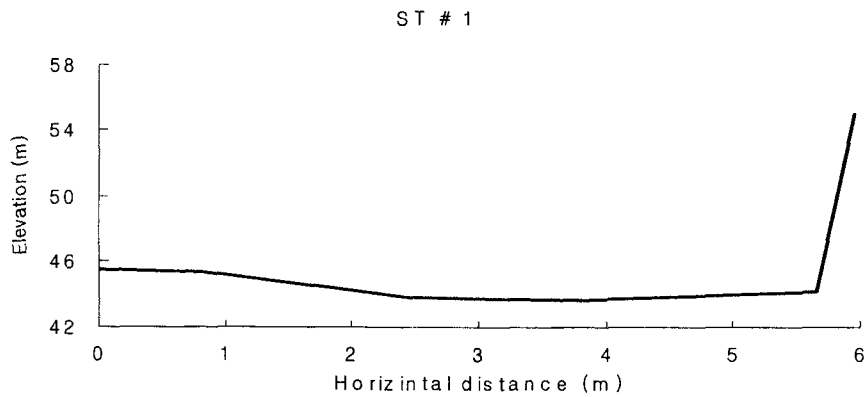
(그림 4-31) 지류#1 구간의 횡단면도 (ST#6)



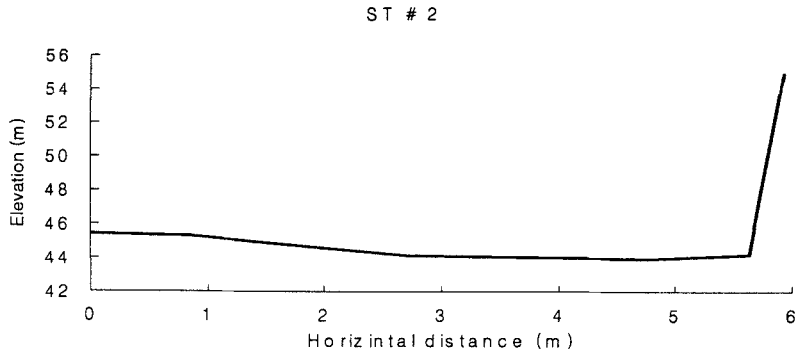
(그림 4-32) 지류#1 구간의 횡단면도 (ST#7)



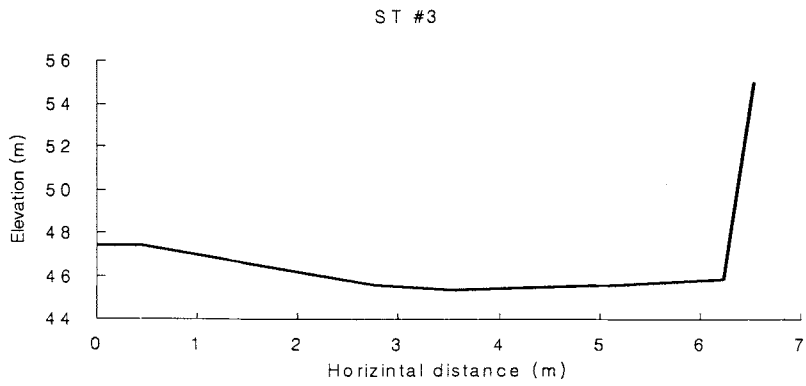
(그림 4-33) 지류#1 구간의 횡단면도 (ST#8)



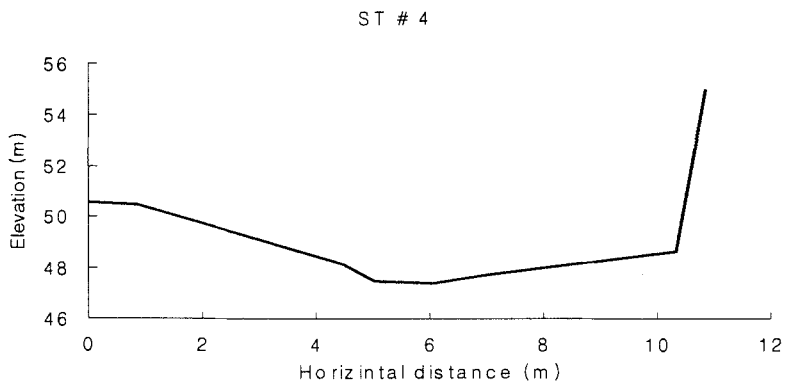
(그림 4-34) 지류#2 구간의 횡단면도 (ST#1)



(그림 4-35) 지류#2 구간의 횡단면도 (ST#2)



(그림 4-36) 지류#2 구간의 횡단면도 (ST#3)



(그림 4-37) 지류#2 구간의 횡단면도 (ST#4)

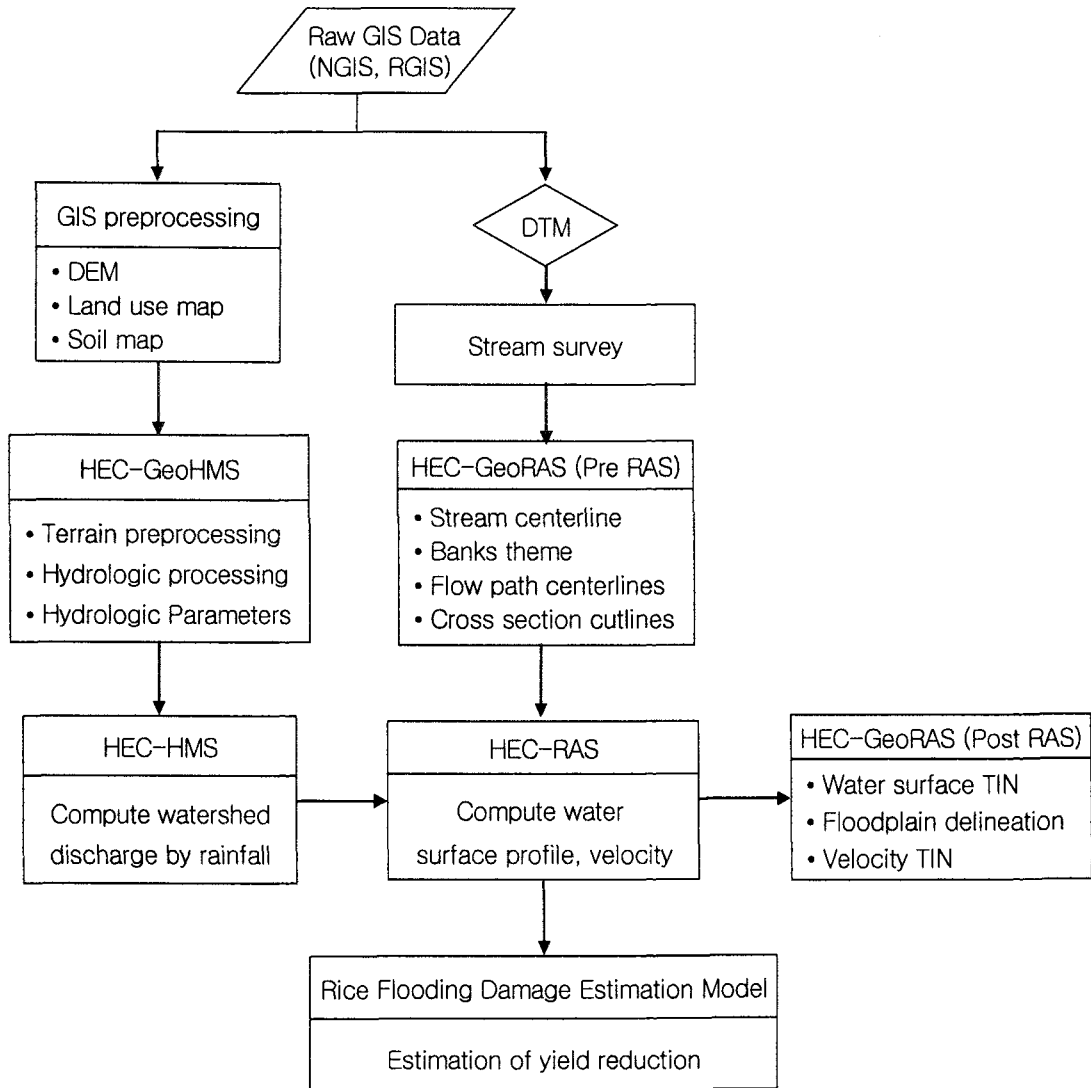
제 3 절 GIS를 이용한 농경지 침수모의 시스템

1. GIS를 이용한 농경지 침수모의 시스템의 개요

GIS를 이용한 농경지 침수모의를 위한 시스템의 구성은 홍수량 추정모형, 하천구간 홍수추적 모형을 연계하여 구성된다. 본 연구에서 유역 홍수량을 추정하기 위한 방법으로 SCS, WFRpaddy, HEC-HMS 등을 적용하였으며, GIS를 이용한 홍수량 추정모형으로 HEC-GeoHMS와 연계한 HEC-HMS 모형을 적용하였다. 하천구간 홍수추적과 농경지 침수모의를 위한 수리모형으로는 HEC-RAS를 선정하였다. HEC-RAS 모형을 GIS와 연계하여 구동하기 위해 HEC-GeoRAS 모듈을 적용하였다.

한편, 침수발생에 따른 농경지 벼 침수피해량 추정을 위해 HEC-RAS에서 계산된 침수심, 침수지속시간, 침수면적 자료를 이용하여 벼의 침수피해량 추정모형을 개발하여 연계 운영하여 침수 발생에 따른 벼 감수피해를 추정하도록 침수모의 시스템을 구성하였다.

침수모의 분석의 효과적인 운영을 위해 GIS를 연계하여 운영하도록 시스템을 구성하였으며, 수문모형인 HEC-HMS, 수리모형인 HEC-RAS, 벼의 침수피해량 추정모형이 연계된 농경지 침수피해 모의시스템의 전체적인 구성도는 다음의 (그림 4-38)과 같다. (그림 4-38)에서 보는 바와 같이 침수모의를 위한 기본적인 GIS의 자료구축은 NGIS 수치지도와 RS 자료 등을 이용하여 구축하게 되며, 본 연구에서는 HEC-GeoHMS, HEC-GeoRAS 모듈을 이용하여 수문, 수리 모형의 전처리 지형정보를 분석하게 된다. 수문자료를 입력하여 HEC-HMS 모형을 구동하고 이 결과를 HEC-RAS 모형의 구동을 위한 횡유입량 자료로 입력하게 된다. HEC-RAS 모형의 적용결과는 HEC-GeoRAS 모듈을 이용한 GIS 후처리 모듈을 이용하여 침수심, 침수면적 등을 도출하게 된다. HEC-RAS와 HEC-GeoRAS의 적용결과로부터 얻어진 침수심, 침수면적, 침수시간 등의 결과를 논 침수피해 모의 시스템의 입력자료로 이용하여 침수피해를 추정하게 된다.



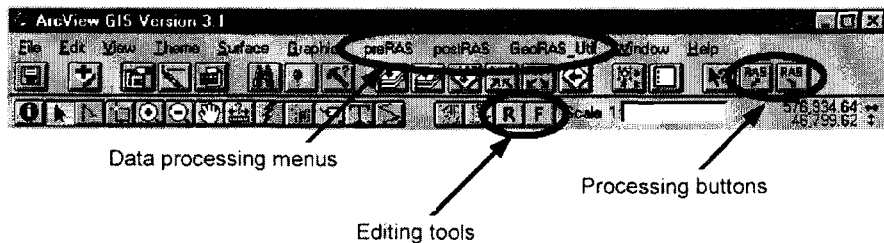
(그림 4-38) GIS 기반의 농경지 침수피해 모의시스템 구성도

2. HEC-GeoRAS 모듈의 개요

HEC-GeoRAS는 HEC-RAS 모형의 지형자료를 처리하기 위해 미국의 GIS 솔루션 개발업체인 ESRI (Environmental Systems Research Institute)에서 개발한 ArcView 확장모듈이다. 미 공병단 (U.S. Army Corps of Engineers)의 수공학센터 (Hydrologic Engineering Center)와 ESRI사에서 개발하였으며, 2000년 4월에 3.0 버전이 발표되었다. HEC-GeoRAS 확장모듈은 HEC-RAS 모형의 GIS 전후처리 시스템으로 ArcView를 이용해 HEC-RAS모형의 지형 관련 입력자료를 생성하고, HEC-RAS에서 계산된 결과를 ArcView를 이용해 시각적으로 보여준다.

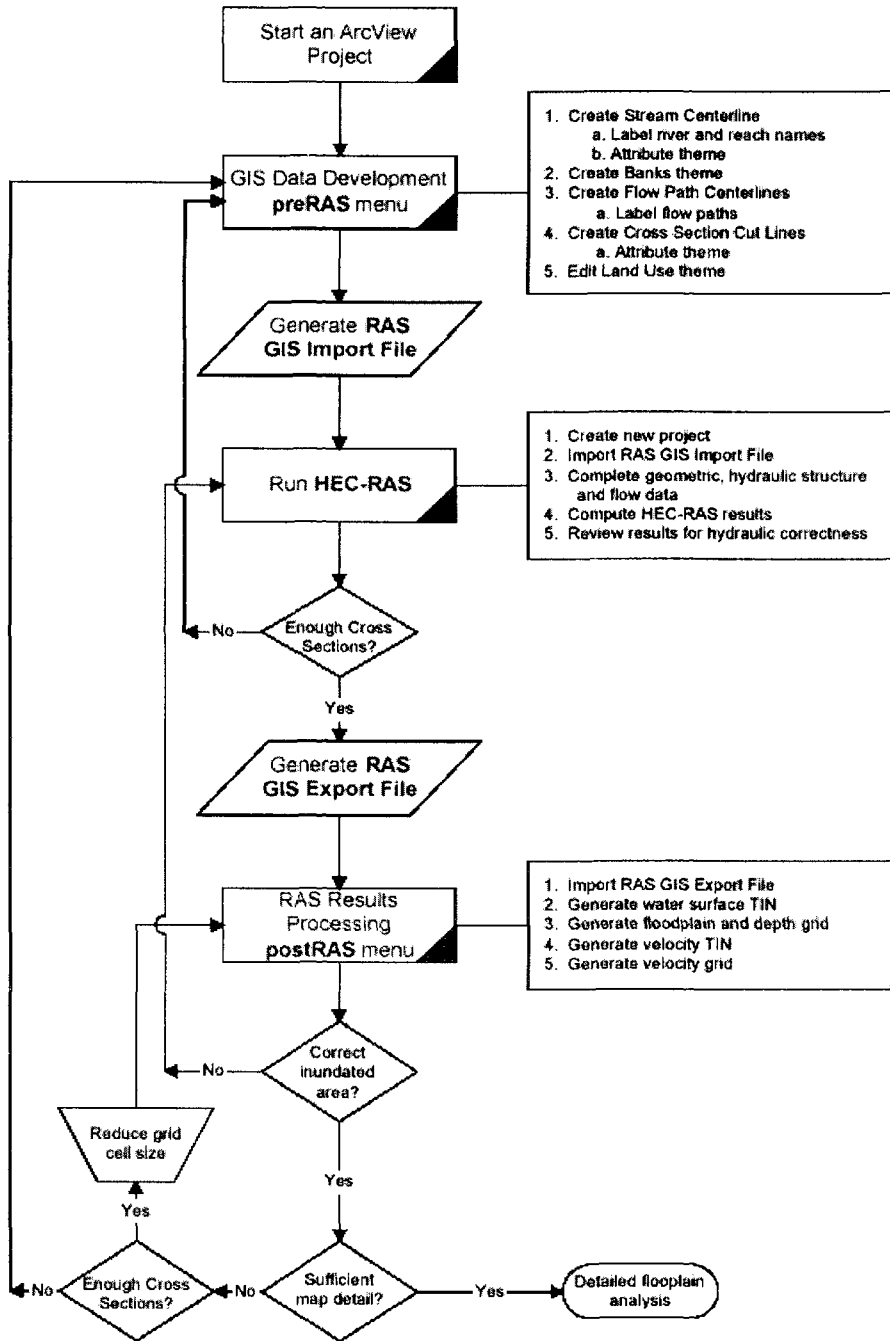
현재 개발된 HEC-GeoRAS 확장 모듈은 하천, 횡단면 지점, 단면, 제방, 횡단면간 거리, 횡단면 조도계수 등의 자료를 생성하여 HEC-RAS의 지형관련 입력자료로 이용되며, HEC-RAS에서 계산된 수면곡선, 유속 등의 결과는 HEC-GeoRAS를 통해 시각적으로 도시된다.

HEC-GeoRAS는 ArcView의 확장모듈 (Extension)에서 추가하여 사용할 수 있으며, HEC-GeoRAS를 추가할 경우 아래의 (그림 4-39)와 같은 메뉴와 도구가 추가된다.



(그림 4-39) ArcView에 추가된 HEC-GeoRAS 인터페이스

다음의 (그림 4-40)은 HEC-GeoRAS의 흐름도를 보여주고 있다.



(그림 4-40) HEC-GeoRAS 흐름도

1) HEC-RAS GIS 입력자료 구축

가) 수치지형모델

HEC-GeoRAS는 불규칙삼각망 (triangulated irregular network, TIN) 형태의 DTM 자료를 필요로 하며, 불규칙삼각망은 하천바닥 지표면과 인접한 홍수터를 나타내고 된다. 횡단면의 지형정보가 DTM 자료로부터 추출된다.

나) 등고선 자료

HEC-GeoRAS를 이용한 지형자료 구축을 위해 먼저 불규칙삼각망으로부터 등고선 자료를 생성한다. 이는 불규칙 삼각망도는 하천망과 홍수터 등에 대한 보다 자세한 시각적인 지형정보를 제공하지만, 자료의 확대, 이동, 도시 등에 많은 시간이 소요되므로 빠른 화면의 제공을 위해 등고선 자료를 이용하게 된다. 등고선 자료는 실제 지형정보를 추출하는 데는 이용되지 않는다.

다) 흐름중심도

하천망은 흐름중심도로 표현되며, 하천망은 하천과 하천의 연결로 이루어지며, 각각의 하천은 오직 합류점에서만 연결되며 흐름중심선은 상류에서 하류방향으로 향하며 합류점이 아닌 곳에서는 교차하지 않는다.

라) 주흐름 제방도

주흐름과 홍수터는 제방으로 구분되며, 제방은 하천의 좌우 양쪽으로 생성되며 횡단면 지점에서 횡단면선과 한번씩만 교차한다.

마) 흐름방향 중심선도

흐름방향 중심선도는 좌측 홍수터, 주하천, 우측 홍수터에서의 수리적인 흐름방향을 구분하기 위해 이용되며, 서로 교차하지 않으며, 각각의 흐름방향 중심선은 횡단면선과 한번씩만 교차한다.

바) 횡단면 절단선도

횡단면의 위치는 횡단면 절단선도에 의해 표시되며, 흐름방향에 직각이며, 횡단면 절단선은 좌측 제방에서 우측 제방을 향하며, 3개의 흐름방향선과 2개의 제방선과 한번씩 교차하며, 서로 교차하지 않는다.

아) 토지이용도

토지이용도는 모든 횡단면을 포함하는 다각형 자료로 Manning의 조도계수 n 을 포함하는 데이터 필드를 가지며, 사용자가 토지이용에 따라 원하는 조도계수를 입력할 수 있다.

2) HEC-RAS GIS 입력자료 생성

HEC-GeoRAS 모듈을 이용해 입력된 수치지형모델, 등고선 자료, 흐름중심도, 주하천 제방도, 흐름방향 중심선도, 횡단면 절단선도, 토지이용도로부터 HEC-RAS의 구동을 위한 GIS 입력자료를 생성하게 된다. HEC-RAS의 GIS 입력자료 생성절차는 중심선 완성, 횡단면 속성 부여, 횡단면 표고 추출 등의 세 과정으로 진행된다.

가) 중심선 완성

중심선 완성 단계에서는 길이/지점 추출, 중심선 지형 추출, 중심선 표고추출 등의 세 가지 절차를 수행하여 수로의 길이, 방향, 연결, 표고 등의 자료를 추출하게 된다.

길이/지점 추출 과정에서는 구간별 수로의 길이를 계산하고 중심선 지형 추출 과정에서는 하천망의 연결과 방향을 결정하게 되며, 중심선 표고추출 과정에서는 흐름중심도로부터 3차원 벡터파일을 생성하게 된다.

나) 횡단면 속성부여

횡단면 속성부여 단계에서는 횡단면 절단선도에 흐름/수로명, 횡단면선과 흐름중심도 교차점에 대한 지점화, Manning의 조도계, 제방 지점, 지천 길이 등의 속성을 부여하게 된다. 각각의 속성 값은 다음과 같이 산정된다.

(1) 하천/수로명

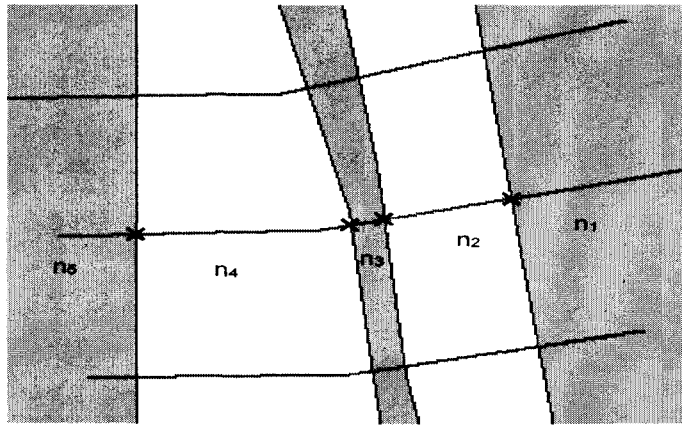
횡단면 절단선과 흐름중심도의 교차점을 기반으로 하여 횡단면 절단선도에 흐름과 수로의 이름을 부여한다.

(2) 지점화

횡단면 절단선과 흐름중심도의 교차점을 기반으로 하여 횡단면 절단선도에 지점을 부여한다.

(3) Manning의 조도계수

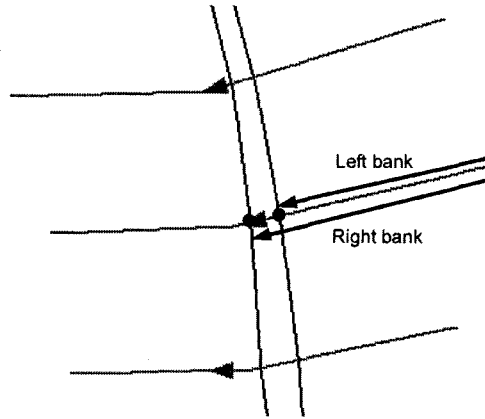
Manning의 조도계수는 토지이용도로부터 추출된다. 토지이용도는 Manning의 조도계수를 포함하고 있으며, 모든 횡단면선을 포함하고 있다. Manning의 조도계수는 토지이용에 변화함에 따라 변화된 값이 횡단면을 따라 입력된다. 조도계수의 추출과정은 아래의 (그림 4-41)에서 보는 바와 같다.



(그림 4-41)조도계수 추출 과정

(4) 제방지점

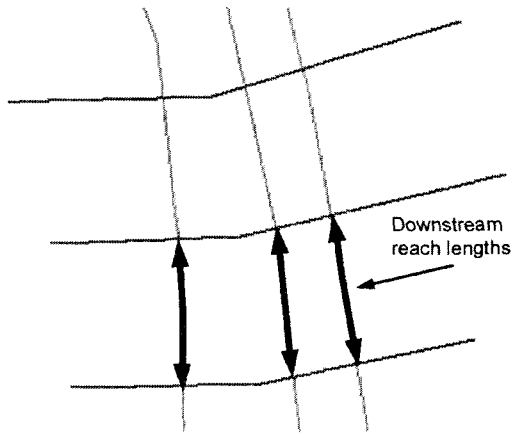
각 횡단면의 제방지점의 위치는 횡단면선과 제방선이 만나는 지점으로부터 계산되며, 제방 지점의 위치는 횡단면선의 좌측 홍수터로부터 계산된다. 다음의 (그림 4-42)는 제방지점을 산정하는 방법을 보여주고 있다.



(그림 4-42) 제방선과 횡단면선으로부터 제방지점을 산정하는 방법

(5) 수로길이

각각의 횡단면 절단선에 흐름방향 중심도와 횡단면 절단선의 교점간의 거리를 계산하여 중앙과 좌우측 하류구간 길이를 계산한다. 하류구간 길이를 계산하는 방법은 아래의 (그림 4-43)과 같다.

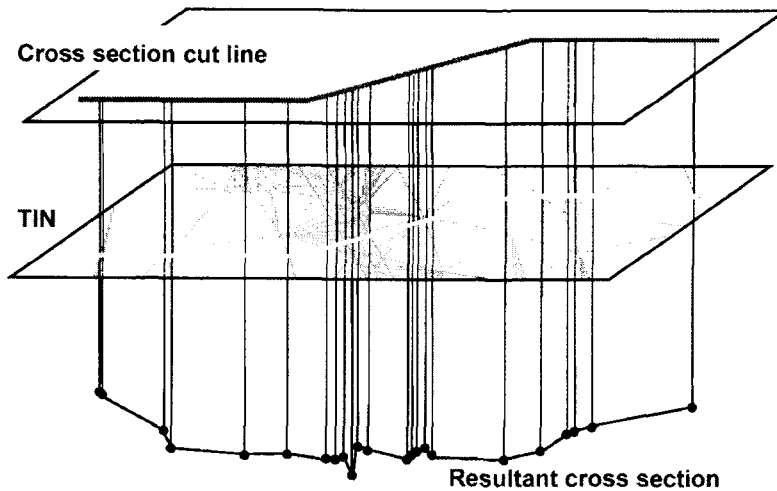


(그림 4-43) 하류구간 길이를 계산하는 방법

다) 횡단면 표고

횡단면 표고 추출 단계에서는 횡단면 절단선도로부터 3차원 벡터화일을 생성하게 된다. 지점-표고 자료는 불규칙삼각망 (TIN)자료의 횡단면 절단선을 따라 각각의 삼각형 모서리에서 추출하게 된다. 다음의 (그림 4-44)는 TIN 자료로부터 횡단면 표고

를 추출하는 과정을 보여주고 있다.



(그림 4-44) TIN 자료로부터 횡단면 표고 추출

3. HEC-RAS

가. HEC-RAS 모형의 개요

HEC-RAS (River Analysis System)는 1차원 정상류와 부정류 해석을 위해 개발된 모형으로 HEC-2 모형을 발전시켜 2001년 1월에 3.0 버전이 발표되었으며, 미 공병단 (Army Corps of Engineers) 수공학센터 (Hydrologic Engineering Center)에서 개발되었다. HEC-RAS는 사용자편의시스템 (Graphical User Interface, GUI), 수리해석 모듈, 자료 저장 및 처리 모듈 등으로 구성되어 있다.

1) 정상류 수면곡선

HEC-RAS는 자연수로 또는 인공수로에서 점변류의 1차원 수면곡선을 계산하며 상류, 사류, 혼합류 구간에서의 수면곡선 계산이 가능하다.

가) 수면곡선 계산 기본방정식

하나의 단면으로부터 다음 단면까지의 수면곡선은 에너지 방정식을 표준 축차법 (standard step method)을 이용하여 반복적인 과정을 통해서 계산한다. 에너지 방정

식은 다음과 같다.

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (4-1)$$

여기서 $Y_1, Y_2 =$ 횡단면의 수심

$Z_1, Z_2 =$ 주하천 저층부의 표고

$V_1, V_2 =$ 평균 유속 (총 유량/총 흐름면적)

$\alpha_1, \alpha_2 =$ 유속 가중 계수

$g =$ 중력 가속도

$h_e =$ 에너지 손실수두

두 단면 사이의 에너지 수두 손실 (h_e)은 마찰 손실과 확장, 수축 손실을 포함하고 있으며, 에너지 수두 손실에 대한 방정식은 다음과 같다.

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \quad (4-2)$$

여기서, $L =$ 유량 가중 수로 길이

$\bar{S}_f =$ 두 지점간의 대표 마찰 경사

$C =$ 확장, 수축 손실 계수

유량 가중 수로 길이 L 은 다음과 같이 계산된다.

$$L = \frac{L_{lob}\bar{Q}_{lob} + L_{ch}\bar{Q}_{ch} + L_{rob}\bar{Q}_{rob}}{\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}} \quad (4-3)$$

여기서, $L_{lob} + L_{ch} + L_{rob}$ 는 좌측 홍수터, 주 수로, 우측 홍수터 각각에서의 횡단면 구간 길이

$\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}$ 는 좌측 홍수터, 주 수로, 우측 홍수터 각각에서의 횡단면간의 산술평균 유량

나) 통수능 계산을 위한 횡단면 분할

횡단면에 대한 총 통수능 (conveyance)과 유속계수를 결정하기 위해서는 유속이 균등하게 분포되는 구역으로 나눌 필요가 있다. HEC-RAS에서 사용되는 구역분할방법은 n 값이 변하는 지점을 근거로 하여 홍수터 면적내의 흐름을 나누는 것이다 (그림 4-44). 각 분할구간에서의 통수능은 다음의 Manning 공식으로부터 계산된다.

$$Q = KS_f^{1/2} \tag{4-4}$$

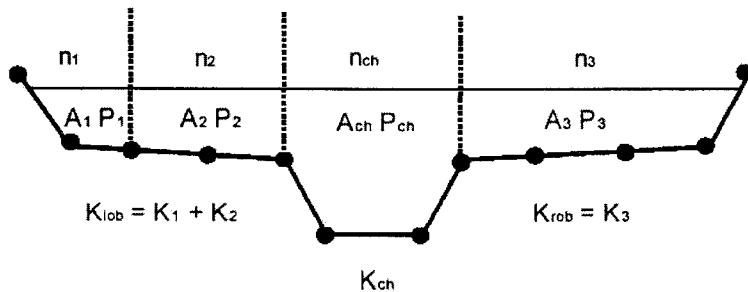
$$K = \frac{1.486}{n} AR^{2/3} \tag{4-5}$$

여기서, K = 개별분할구역의 통수능

n = 개별분할구역의 Manning의 조도계수

A = 개별분할구역의 흐름면적

R = 개별분할구역의 동수반경(면적/윤변)이다.

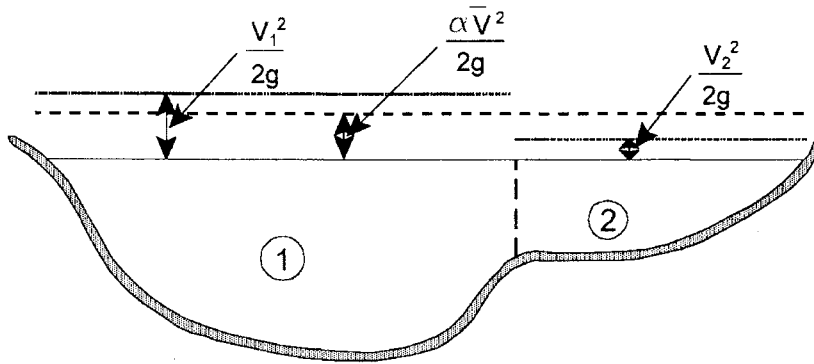


(그림 4-45) HEC-RAS에서 사용되는 구역분할 방법

다) 평균 운동에너지 수두의 계산

HEC-RAS는 1차원 수면곡선을 계산하는 프로그램으로 각 단면에서 오직 하나의 수면곡선과 하나의 평균 에너지만이 계산된다.

주어진 수면의 표고로부터 횡단면의 세부분 (좌측 홍수터, 주 수로, 우측 홍수터)에 대한 흐름가중 에너지를 계산하여 평균에너지를 산정한다 (그림 4-46).



(그림 4-46) 평균에너지 산정 예

평균 운동에너지 수두는 유량가중 속도 수두와 같으므로 다음의 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\alpha \frac{\bar{V}^2}{2g} = \frac{Q_1 \frac{V_1^2}{2g} + Q_2 \frac{V_2^2}{2g}}{Q_1 + Q_2} \quad (4-6)$$

라) 마찰 손실 계산

HEC-RAS에서 마찰손실은 식(4-2)에서와 같이 \bar{S}_f 와 L 의 곱으로 구해지며, 이때 \bar{S}_f 는 수로에서의 마찰 경사이고, L 은 식(4-3)에서와 같이 정의된다. 각 횡단면에서의 마찰경사는 다음의 Manning의 공식으로부터 다음과 같이 구해진다.

$$S_f = \left(\frac{Q}{K}\right)^2 \quad (4-7)$$

마) 수축 및 확장 손실 공식

HEC-RAS에서 수축 및 확장 손실은 다음 식으로 계산된다.

$$h_{ce} = C \left| \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} \right| \quad (4-8)$$

여기서, C는 수축 및 확장 계수

바) 계산절차

횡단면에서 미지의 수면 표고는 식(4-1)과 식(4-2)에 대한 반복해로 구해지며 계산절차는 다음과 같다.

- ① 상류측 횡단면에서의 수면 표고 (사류 계산일 경우 하류측 횡단면)를 가정한다.
- ② 가정한 수면 표고에 따라 해당하는 총 통수능과 유속수두를 결정한다.
- ③ 2단계에서 계산된 값을 이용해 \bar{S}_f 를 계산하고 식(4-2)에서 h_e 를 구한다.
- ④ 2단계와 3단계에서 계산된 값을 이용해 식(4-1)에서 단면 2의 수면 표고 (WS_2)를 계산한다.
- ⑤ 계산된 WS_2 와 가정한 값을 비교하여 오차가 0.003m 이하이거나 사용자가 정의한 한계에 들 때까지 ①-⑤의 과정을 반복한다.

반복계산 과정에서 수면 표고를 가정하기 위해 사용된 기준은 매시도 때마다 변한다. 첫 번째 시산된 수면은 이전 단면의 수심을 현재의 단면으로 추정된 것에 바탕을 두고 있다. 두 번째 시산된 수면 표고는 첫 번째 시산된 수면곡선에 가정된 수면 표고에 첫 번째 시산치 오차 (계산된 WS-가정된 WS)의 70%를 더한 값으로 정해지며 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$WS_{\text{new}} = WS_{\text{assumed}} + 0.70 \times (WS_{\text{computed}} - WS_{\text{assumed}}) \quad (4-9)$$

세 번째 이후의 시산은 일반적으로 앞의 두 시산 결과에 대한 가정치와 계산치의 차이의 변화율을 고려하는 "Secant" 방법에 바탕을 둔다. Secant 방법의 계산식은 다음과 같다.

$$WS_I = WS_{I-2} - Err_{I-2} \times Err_{Assum} / Err_{Dif} \quad (4-10)$$

여기서, WS_I = 새로 가정된 수면 표고

WS_{I-1} = 이전의 시산에 가정된 수면 표고

WS_{I-2} = 두 단계 전의 시산에서 가정된 수면 표고

Err_{I-2} = 두 단계 전의 시산에서 얻어진 오차

$Err_{Assum} = WS_{I-2} - WS_{I-1}$ = 두단계 전과 전단계의 수면 표고차

$Err_{Dif} = WS_{I-1} - WS_{calcI-1} + Err_{I-2}$ = 가정된 수면 표고 - 전 단계에서 계산된 수면 표고+두 단계 전의 오차

사) 한계수심 계산

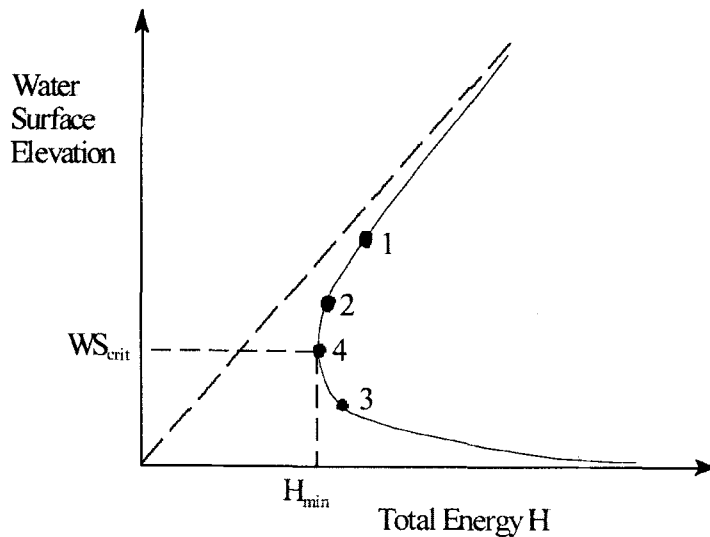
아래 조건 중 하나라도 만족되면 횡단면에 대한 한계수심이 결정될 것이다.

- ① 사류 흐름 형상이 지정된 경우
- ② 사용자에게 의해 한계수심의 계산이 요구된 경우
- ③ 사용자가 입력한 경계조건이 올바른 흐름 형상 내에 있다는 것을 확인하기 위해 횡단면의 외부 경계조건과 한계수심이 결정되어야 하는 경우
- ④ 상류 종단면에 대한 Froude 수의 확인이 균형 표고와 연관된 흐름 형상을 확인하기 위해서 한계수심이 결정되어야 한다는 것을 나타낼 경우
- ⑤ 프로그램의 최대 반복횟수에 도달하기 전에 제시된 허용오차 안에서 에너지 방정식의 평형을 맞출 수 없을 경우 횡단면의 총에너지 수두는 다음과 같이 정의된다.

$$H = WS + \frac{\alpha V^2}{2g} \quad (4-11)$$

여기서, H 는 총에너지 수두, WS 는 수면 표고, 그리고 $\frac{\alpha V^2}{2g}$ 는 유속 수두이다.

한계 수면 표고는 총에너지 수두가 최소일 때의 표고이다. 한계표고는 반복적인 절차로 계산되며 이로부터 수면 표고를 가정하고 이에 상응하는 수심(H)이 최소값에 도달할 때까지 식(4-11)을 이용해 수심(H)를 결정한다.



(그림 4-47) 에너지와 수면표고와의 관계도

HEC-RAS 프로그램은 한계수심을 결정하기 위해 포물선 방법과 "Secant" 방법을 이용한다. 포물선 방법은 계산이 빠른 반면, 하나의 최소에너지 위치만을 찾을 수 있다. 대부분의 횡단면에서는 오직 하나의 총에너지 곡선이 존재하기 때문에 포물선 방법은 초기치로 설정되어 있다. 만약 포물선 방법이 시도되어 수렴되지 않을 경우, 프로그램은 자동으로 Secant 방법을 시도한다.

어떤 경우에는 총 에너지곡선이 하나 이상의 최소값을 가지는 경우가 가능하다. 다중 최소치는 때때로 총 에너지곡선에서 변환점을 가지는 단면과 연관이 있다. 이 변환점들은 제방이나 무효 흐름 면적을 가진 횡단면뿐만 아니라 매우 넓고 평평한 홍수터로 인해 야기될 수 있다. 포물선 방법이 총 에너지 곡선 상에서 다중 최소치를 가지는

횡단면에 사용될 때, 이 방법은 처음의 최소치에 수렴할 것이다. 이 접근은 잘못된 한계수심을 야기할 수 있으며, 만약 사용자가 프로그램이 한계 깊이의 위치를 잘못 계산했다고 생각한다면 Secant 방법으로 다시 모의하여야 한다.

포물선 방법은 등간격 ΔWS 로 배치된 3개의 수면 표고 (WS) 값에 대한 H 의 값을 결정하는 것을 포함한다. 수면 표고 (WS)에 대한 수심(H)의 그래프에서 세 점을 통과하는 포물선에 의해 정의된 최소 H 에 대한 WS 는 다음 WS 값을 가정하는 기초로 쓰인다. 한 시산에서 다음 시산까지의 수심변화가 0.003m 변화보다 작고 에너지 수두가 0.003m 이상 증가하거나 감소되지 않는다고 할 때 한계수심이 계산된다고 가정한다.

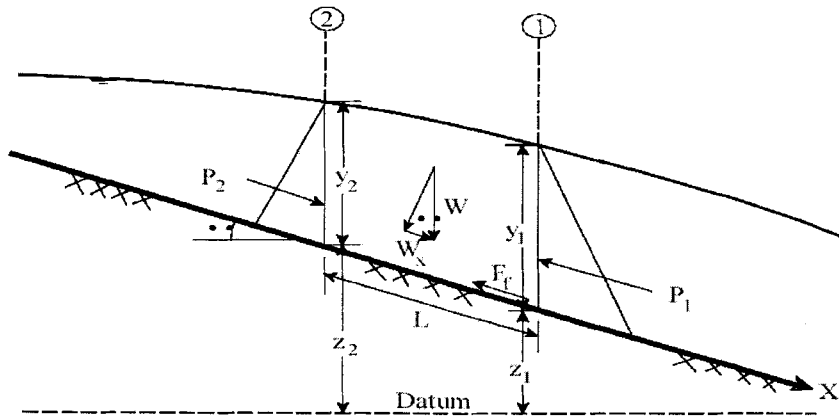
Secant 방법은 먼저 횡단면을 30개의 간격으로 에너지에 대한 수면을 나타내는 표를 생성한다. 만약 횡단면의 최대 높이 (최대점에서 최소점까지)가 주수로의 최대 높이 (최대 주수로 제방점에서 저부까지)의 1.5배가 아니면 프로그램은 전체 횡단면을 30개의 등간격으로 분할한다. 이런 경우가 아니면 프로그램은 저부에서 최고 주수로 제방점까지 25개의 등간격을, 주수로에서 횡단면의 상부까지 5개의 등간격을 사용한다. 그 다음, 프로그램은 국부 최소치의 위치를 표에서 찾는다. 표에서 수면 바로 위아래에 대한 에너지가 주어진 수면에 대한 에너지보다 큰 점이 나타날 때 일반적인 국부 최소치가 구해진다. 그 다음, 프로그램은 Secant 경사투영방법을 이용해 국부 최소치를 결정하게 된다. 프로그램은 30회 혹은 한계수심이 한계 허용오차에 의해 제한될 때까지 국부 최소치에 대해 반복 연산을 수행하게 된다. 국부최소치가 좀 더 정밀하게 결정된 후 프로그램은 다른 국부최소치가 없는 지 계속해서 표를 검색하게 된다. 프로그램은 에너지 곡선에서 국부 최소치의 위치를 3개까지 알아낼 수 있다. 만약 하나 이상의 국부 최소치가 발견되면 프로그램은 한계 수심을 최소 에너지를 가지는 수심과 같게 설정한다. 만약 이 국부 최소치가 제방이나 무효 흐름 면적을 능가함으로써 야기된 에너지 곡선상의 변환점 때문이라면, 프로그램은 에너지곡선에서 그 다음 작은 최소치를 선택하게 된다. 만약 모든 국부 최소치가 에너지 곡선의 변환점에서 생기면 프로그램은 한계깊이를 최소 에너지를 가진 수심으로 잡게 된다. 만약 국부 최소치가 없으면 프로그램은 가장 적은 에너지를 가진 수면 표고를 사용하게 된다. 만약 구

해진 한계 수심이 단면의 상부에 있으면 실제의 한계수심이 아닐 것이므로 프로그램은 단면의 높이를 두 배로 하여 다시 계산할 것이다. 단면의 높이를 두 배로 하는 것은 처음과 끝점에서 수직 벽을 확장함으로써 구해진다. 단면의 높이는 프로그램의 탐색이 끝날 때까지 5회까지 두 배로 확장될 수 있다.

아) 운동량 방정식의 적용

수면이 한계 수심을 통과할 때 에너지 방정식은 적용할 수 없다. 에너지 방정식은 오직 점변류 상태 하에서만 적용이 가능한데, 상류에서 사류로의 천이, 혹은 사류에서 상류로의 천이는 급변류 상태이다. 하도경사의 급격한 변화, 교량 건설, 낙차공, 위어, 하천 합류점 등에서는 사류에서 상류, 상류에서 사류로의 천이가 발생한다. 이럴 경우 해를 구하기 위해 운동량 방정식을 적용하는 것이 필요하다. 운동량 방정식은 Newton의 제 2법칙으로부터 유도된다.

다음의 (그림 4-48)로부터 식(4-12)가 유도된다.



(그림 4-48) 운동량법칙의 적용

$$\frac{Q_2 \beta_2}{g A_2} + A_2 \bar{Y}_2 + \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) L S_0 - \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) L \bar{S}_f = \frac{Q_1 \beta_1}{g A_1} + A_1 \bar{Y}_1 \quad (4-12)$$

여기서, Q = 유량

$A_1 =$ 횡단면 1, 2에서의 통수 면적

$\bar{Y}_i =$ 횡단면 1, 2의 수면에서 단면적 무게 중심까지 측정된 깊이

$L =$ 횡단면 1, 2 사이의 X방향 거리

$S_0 =$ 수로경사

$S_i =$ 에너지 경사(마찰 경사)

$\beta =$ 불규칙한 수로에서 가변 속도 분포를 고려한 운동량 계수

2) 부정류 흐름 추적 (Unsteady flow routing)

하천에서의 물의 흐름을 지배하는 물리적인 법칙은 (1) 질량 보존의 법칙, (2) 운동량 보존의 법칙이다. 이 법칙들은 수학적으로 편미분 방정식의 형태로 표시된다.

가) 연속방정식 (Continuity equation)

기본적인 검사체적 (control volume)은 (그림 4-49)에서 보는 바와 같으며, 검사체적에서의 질량 보존은 검사체적으로 들어가는 순 유입량과 체적내 저류량의 변화율과 같다. 이때, Δx 가 작다고 가정하면, 검사체적에서의 질량의 변화는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

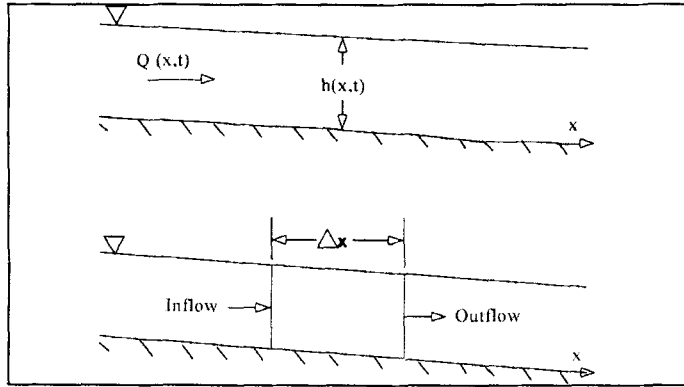
$$\rho \frac{\partial A_T}{\partial t} \Delta x = \rho \left[\left(Q - \frac{\partial Q}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} \right) - \left(Q + \frac{\partial Q}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} \right) + Q_1 \right] \quad (4-13)$$

여기서, $x =$ 수로 거리, Q 유량, $A_T =$ 총 흐름 단면, $Q_1 =$ 검사체적으로 들어가는 측방유입량, $\rho =$ 유체 밀도를 나타낸다.

식(4-13)의 양변을 $\rho \Delta x$ 로 나누면 다음과 같은 연속 방정식이 유도된다.

$$\frac{\partial A_T}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_1 = 0 \quad (4-14)$$

여기서, q_1 은 단위 길이당 측방 유입량을 나타낸다.



(그림 4-49) 연속방정식과 운동량방정식을 이끌어내기 위한 기본적인 검사체적

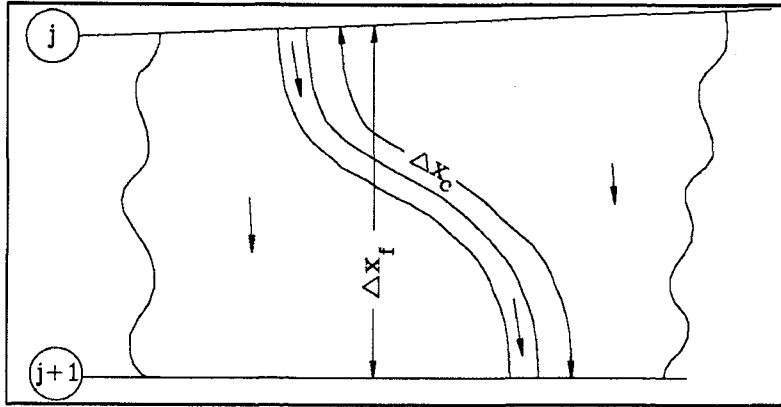
나) 운동량 방정식 (Momentum equation)

운동량의 보존은 Newton의 제 2법칙으로 나타낼 수 있으며, 검사체적 (control volume)에서의 운동량 보존은 체적으로 유입되는 운동량의 순변화율 (net rate)과 체적에 가해지는 외력의 합을 더한 것이 축적된 운동량과 같다. 운동량 방정식은 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} + gA\left(\frac{\partial Z}{\partial x} + S_f\right) = 0 \quad (4-15)$$

다) HEC-RAS 내에서의 부정류 방정식의 적용

다음의 (그림 4-50)은 하천과 홍수터 흐름이 상호 작용하는 2차원적인 특성을 보여주고 있다. 하천 수위가 올라갈 때 물은 수로를 벗어나 측방으로 흘러가게 되며, 홍수터와 저류지역으로 범람한다. 범람수위가 높아지면 홍수터는 하류방향으로 물을 이동시키게 되며, 하천수위가 떨어지게 되면 물은 홍수터에서 수로로 흘러들어 주 수로 (main channel)의 흐름을 증가시키게 된다.



(그림 4-50) 하천과 홍수터의 흐름

흐름의 주된 방향이 수로를 따라 형성되므로, 2차원 흐름을 1차원으로 근사해서 나타낼 수 있다. 수로가 아닌 저류 지역은 수로와 물을 교환하는 저류지로 모형화 할 수 있으며, 홍수터에서의 흐름은 별개의 수로를 통한 흐름으로 근사할 수 있다.

이러한 수로/홍수터 문제는 다양한 방법으로 소개되었으며, 일반적인 접근법은 홍수터에서의 통수능을 완전히 무시하고 홍수터는 오직 저류지로만 사용된다고 가정하는 것이다. Fread (1976)와 Smith (1978)는 이런 문제를 두개의 별개의 수로로 구분하여 연속방정식과 운동량 방정식을 적용하였다. 문제를 단순화하기 위해 이들은 각각의 횡단면에서의 수평 수면은 흐름 방향에 직각이라고 가정하였고, 이로부터 수로와 홍수터 상호간의 운동량 교환은 무시할 수 있으며, 유량은 통수능에 따라 분포되는 것으로 하였다. 즉,

$$Q_c = \phi Q \quad (4-16)$$

여기서, Q_c = 수로에서의 유량, Q = 총유량, $\phi = K_c / (K_c + K_f)$, K_c = 수로에서의 통수량, K_f = 홍수터에서의 통수량이다.

이러한 가정으로부터 운동에 대한 1차원 방정식은 하나의 세트에 결합된다.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial(\phi Q)}{\partial x_c} + \frac{\partial[(1-\phi)Q]}{\partial x_f} = 0 \quad (4-17)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\phi^2 Q^2/A_c)}{\partial x_c} + \frac{\partial((1-\phi)^2 Q^2/A_f)}{\partial x_f} + gA_c \left[\frac{\partial Z}{\partial x_c} + S_{fc} \right] + gA_f \left[\frac{\partial Z}{\partial x_f} + S_{ff} \right] = 0 \quad (4-18)$$

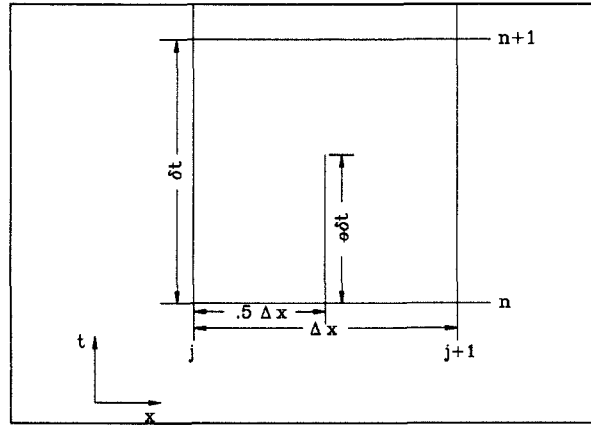
여기서, 첨자 c와 f는 각각 수로(channel)과 홍수터(floodplain)를 나타낸다. 이들 방정식은 음함수 차분(implicit finite differences)으로 근사되며, 뉴턴-랩슨(Newton-Raphson) 반복법을 이용하여 수치해를 구한다.

라) 음함수 차분법

1차원 부정류 방정식을 푸는 가정 성공적이고 널리 쓰이고 있는 방법은 박스법(box scheme)으로 알려져 있는 4점 음해법이다(그림 4-50). 이 방법에서 공간 도함수와 함수값은 내부점 $(n + \theta)\Delta t$ 에서 계산되며, $(n + 1)\Delta t$ 에서의 값이 이 방정식의 모든 항에 대입된다. 하나의 하천 구간에 대해 동시에 방정식의 해가 얻어지며, 이처럼 동시해가 구해지는 것은 전체 구간에서 얻어진 정보로부터 임의의 하나의 지점에 대한 해의 유도가 가능하므로 음함수법의 중요한 특성이다. 따라서, 시간 간격은 양함수법에 비해 훨씬 더 클 수 있다. Fread (1974), Liggett과 Cunge (1975)에 의해 수행된 Von Neumann의 안정성 분석에서 음함수법은 $0.5 < \theta \leq 1.0$ 일 때 이론적으로는 무조건 안정적이며, $\theta = 0.5$ 에서 조건적으로 안정적이며, $\theta < 0.5$ 일 때 불안정하다. 또한 수렴성 분석에서는 $\lambda/\Delta x$ 의 비율이 감소할수록 수치적인 진동이 증가하는 것으로 나타났으며, 여기서 λ 는 수리시스템에서의 파의 길이를 나타낸다. 공간적 길이에 비해 파의 길이가 긴 하천흐름 추적의 문제에서는 수렴은 심각한 문제가 아니다.

실제로는 다른 요소들 또한 해의 불안정성에 영향을 미치며, 이러한 요소들로는 수로 횡단면 특성의 급격한 변화, 수로경사의 급격한 변화, 홍수파 자체의 특성, 제방, 웨어, 교량, 암거, 여수로 등 복합적인 수리 구조물 등이 있다. 실제로는 이런 요소들은 종종 θ 와 관련된 안정성을 능가하기도 한다. 이러한 요소들로 인해 어떠한 모형의

적용시에도 다양한 시간과 거리 간격에 대한 해의 정확도와 안정성에 대한 예민도 분석이 이루어져야 한다.



(그림 4-51) 유한 차분 격자

일반적인 음함수 유한차분은 다음과 같은 형태로 나타낸다.

① 시간 도함수 (time derivative)

$$\frac{\partial f}{\partial t} \approx \frac{\Delta f}{\Delta t} = \frac{0.5(\Delta f_{j+1} + \Delta f_j)}{\Delta t} \quad (4-19)$$

② 공간 도함수 (space derivative)

$$\frac{\partial f}{\partial x} \approx \frac{\Delta f}{\Delta x} = \frac{(f_{j+1} - f_j) + \theta(\Delta f_{j+1} - \Delta f_j)}{\Delta x} \quad (4-20)$$

③ 함수값 (function value)

$$f \approx \bar{f} = 0.5(f_{j+1} + f_j) + 0.5\theta(\Delta f_j + \Delta f_{j+1}) \quad (4-21)$$

(1) 연속방정식

앞의 식(4-14)에서 살펴본 바와 같이 1차원 시스템에서의 연속방정식에 저류항 S를 더하면 연속방정식은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_l = 0 \quad (4-22)$$

여기서, x = 수로구간 거리, t = 시간, Q = 유량, A = 횡단면적, S = 횡단면의 비통수구간에 대한 저류량, q_l = 단위 거리당 측방 유입량이다.

위의 식은 수로와 홍수터 구간에서 각각 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial Q_c}{\partial x_c} + \frac{\partial A_c}{\partial t} = q_f \quad (4-23)$$

$$\frac{\partial Q_f}{\partial x_f} + \frac{\partial A_f}{\partial t} + \frac{\partial S}{\partial t} = q_c + q_l \quad (4-24)$$

여기서, 첨자 c와 f는 각각 수로 (channel)과 홍수터 (floodplain)를 나타내며, q_l 은 홍수터의 단위 길이당 측방 유입량이며 q_c 와 q_l 은 각각 수로와 홍수터 사이에 교환되는 물의 양을 나타낸다.

식(4-23)과 식(4-24)를 식(4-19)~식(4-21)의 음함수 차분식에 적용하면

$$\frac{\Delta Q_c}{\Delta x_c} + \frac{\Delta A_c}{\Delta t} = \overline{q_f} \quad (4-25)$$

$$\frac{\Delta Q_f}{\Delta x_c} + \frac{\Delta A_f}{\Delta t} + \frac{\Delta S}{\Delta t} = \overline{q_c} + \overline{q_l} \quad (4-26)$$

질량의 교환량은 같으나 부호가 반대가 된다. 즉 $\Delta x_c q_c = -q_f \Delta x_f$. 위의 두식을 더하여 정리하면 다음 식과 같다.

$$\Delta Q + \frac{\Delta A_c}{\Delta t} \Delta x_c + \frac{\Delta A_f}{\Delta t} \Delta x_f + \frac{\Delta S}{\Delta t} \Delta x_f - \overline{Q}_l = 0 \quad (4-27)$$

여기서 \overline{Q}_l 은 평균 측방 유입량을 나타낸다.

(2) 운동량 방정식

운동량 방정식은 운동량의 변화율은 시스템에 작용하는 외력의 합과 같다는 것을 나타내며 식(4-15)와 같이 정리된다. 식(4-15)는 수로와 홍수터에 대해 각각 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial Q_c}{\partial t} + \frac{\partial (V_c Q_c)}{\partial x_c} + g A_c \left(\frac{\partial z}{\partial x_c} + S_{fc} \right) = M_f \quad (4-28)$$

$$\frac{\partial Q_f}{\partial t} + \frac{\partial (V_f Q_f)}{\partial x_f} + g A_c \left(\frac{\partial z}{\partial x_c} + S_{ff} \right) = M_c \quad (4-29)$$

여기서, M_c 와 M_f 는 각각 수로와 홍수터 사이에 교환된 단위 거리에 대한 운동량 플럭스를 나타낸다. 식(4-28)과 식(4-29)에서 수면의 표고는 표기되지 않았으며, 이 식의 가정은 수면은 흐름의 방향에 수직하는 어떠한 횡단면도 수평이라는 것이다 따라서, 수면의 표고는 주어진 횡단면에서 수로와 홍수터에서 동일하다.

$$\frac{\Delta Q_c}{\Delta t} + \frac{\Delta (V_c Q_c)}{\Delta x_c} + g \overline{A}_c \left(\frac{\Delta z}{\Delta x_c} + \overline{S}_{fc} \right) = M_f \quad (4-30)$$

$$\frac{\Delta Q_f}{\Delta t} + \frac{\Delta (V_f Q_f)}{\Delta x_f} + g \overline{A}_f \left(\frac{\Delta z}{\Delta x_f} + \overline{S}_{ff} \right) = M_c \quad (4-31)$$

여기서, $\Delta x_c M_c = -\Delta x_f M_f$ 의 관계가 성립한다.

위 두 식을 더해서 정리하면 다음 식과 같다.

$$\frac{\Delta(Q_c \Delta x_c + Q_f \Delta x_f)}{\Delta t} + \Delta(V_c Q_c) + \Delta(V_f Q_f) + g(A_c + A_f)\Delta z + g\overline{A}_c \overline{S}_{fc} \Delta x_c + g\overline{A}_f \overline{S}_{ff} \Delta x_f = 0 \quad (4-32)$$

마지막 두 항은 제방에서 유체로 작용하는 마찰력을 정의하며, 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$g\overline{A} \overline{S}_f \Delta x_e = g\overline{A}_c \overline{S}_{fc} \Delta x_c + g\overline{A}_f \overline{S}_{ff} \Delta x_f \quad (4-33)$$

여기서, Δx_e = 동치 수로 흐름 (equivalent flow path),

S_f = 전체 횡단면에 대한 마찰경사

$$A = \overline{A}_c + \overline{A}_f$$

이송항은 유속 분포 계수를 정의하여 다시 정리할 수 있다.

$$\beta = \frac{(V_c^2 A_c + V_f^2 A_f)}{V^2 A} = \frac{(V_c Q_c + V_f Q_f)}{QV} \quad (4-34)$$

$$\Delta(\beta V Q) = \Delta(V_c Q_c) + \Delta(V_f Q_f) \quad (4-35)$$

운동량 방정식의 최종 형태는 다음의 식(4-36)과 같이 나타나고, 양변을 Δx_e 로 나누면 식(4-37)이 얻어진다.

$$\frac{\Delta(Q_c \Delta x_c + Q_f \Delta x_f)}{\Delta t} + \Delta(\beta V Q) + g\overline{A}\Delta z + g\overline{A} \overline{S}_f \Delta x_e = 0 \quad (4-36)$$

$$\frac{\Delta(Q_c \Delta x_c + Q_f \Delta x_f)}{\Delta t \Delta x_e} + \frac{\Delta(\beta V Q)}{\Delta x_e} + g\overline{A} \left(\frac{\Delta z}{\Delta x_e} + \overline{S}_f \right) = 0 \quad (4-37)$$

마) 부정류 방정식의 차분법

연속방정식과 모멘텀방정식은 비선형이며 Amain과 Fang (1970), Fread (1974, 1976) 등은 뉴턴-랩슨 (Newton-Raphson) 반복법을 이용하여 비선형 방정식을 풀었다. 비선형의 경우 상대적으로 느린 속도를 제외하더라도 하천지형이 불연속인 곳에서 수렴의 문제가 있다. Preissmann과 Chen(1973)은 비선형의 문제를 극복하기 위해 방정식을 선형화하는 기법을 개발했으며, 다음 절에서는 HEC-RAS에서 차분방정식을 선형화한 방법을 서술한다.

(1) 선형화된 음함수 차분방정식

다음의 가정들이 적용되었다.

① 만약 $f \cdot f \gg \Delta f \cdot \Delta f$ 이라면, $\Delta f \cdot \Delta f = 0$ 이다. (Preissmann)

② 만약 $g = g(Q, z)$ 이면, Δg 는 테일러 전개(Taylor series)의 1차항으로 근사화된다. 즉,

$$\Delta g_j = \left(\frac{\partial g}{\partial Q}\right)_j \Delta Q_j + \left(\frac{\partial g}{\partial z}\right)_j \Delta z_j \quad (4-38)$$

③ 만약 시간간격 Δt 가 작다면, 어떤 변수들은 명시적으로 처리된다. 따라서, $h_j^{n+1} \approx h_j^n$, $\Delta h_j \approx 0$.

<표 4-9>와 <표 4-10>은 연속방정식과 운동량 방정식에 대한 유한차분법의 각 항별로 정리하여 보여주고 있으며 <표 4-11>과 <표 4-12>는 각 계수를 정의하여 보여주고 있다. 좌측에 미지항을 정리하여 놓은 선형 방정식은 다음의 식(4-39)와 식(4-40)과 같다.

$$CQ1_j \Delta Q_j + CZ1_j \Delta z_j + CQ2_j \Delta Q_{j+1} + CZ2_j \Delta z_{j+1} = CB_j \quad (4-39)$$

$$MQ1_j \Delta Q_j + MZ1_j \Delta z_j + MQ2_j \Delta Q_{j+1} + MZ2_j \Delta z_{j+1} = MB_j \quad (4-40)$$

<표 4-9> 연속 방정식에서 각 항들의 유한 차분법

항	유한 차분법
ΔQ	$(Q_{j+1} - Q_j) + \theta(\Delta Q_{j+1} - \Delta Q_j)$
$\frac{\partial A_c}{\partial t} \Delta x_c$	$0.5 \Delta x_{cj} \frac{(\frac{dA_c}{dz})_j \Delta z_j + (\frac{dA_c}{dz})_{j+1} \Delta z_{j+1}}{\Delta t}$
$\frac{\partial A_f}{\partial t} \Delta x_f$	$0.5 \Delta x_{fj} \frac{(\frac{dA_f}{dz})_j \Delta z_j + (\frac{dA_f}{dz})_{j+1} \Delta z_{j+1}}{\Delta t}$
$\frac{\partial S}{\partial t} \Delta x_f$	$0.5 \Delta x_{cj} \frac{(\frac{dS}{dz})_j \Delta z_j + (\frac{dS}{dz})_{j+1} \Delta z_{j+1}}{\Delta t}$

<표 4-10> 운동량 방정식에서 각 항의 유한 차분법

항	유한 차분법
$\frac{\partial(Q_c \Delta x_c + Q_f \Delta x_f)}{\partial t \Delta x_e}$	$\frac{0.5}{\Delta x_e \partial t} (\partial Q_{cj} \Delta x_{cj} + \partial Q_{fj} \Delta x_{fj} + \partial Q_{cj+1} \Delta x_{cj} + \partial Q_{fj+1} \Delta x_{fj})$
$\frac{\Delta BVQ}{\Delta x_{ej}}$	$\frac{1}{\Delta x_{ej}} [(BVQ)_{j+1} - (BVQ)_j] + \frac{\theta}{\Delta x_{ej}} [(BVQ)_{j+1} - (BVQ)_j]$
$g \bar{A} \frac{\Delta z}{\Delta x_e}$	$g \bar{A} [\frac{z_{j+1} - z_j}{\Delta x_{ej}} + \frac{\theta}{\Delta x_{ej}} (\Delta z_{j+1} - \Delta z_j)] + \theta g \Delta \bar{A} \frac{(z_{j+1} - z_j)}{\Delta x_{ej}}$
$g \bar{A} (\bar{S}_f + \bar{S}_h)$	$g \bar{A} (\bar{S}_f + \bar{S}_h) + 0.5 \theta g \bar{A} [(\Delta S_{fj+1} + \Delta S_{fj}) + (\Delta S_{hj+1} + \Delta S_{hj})] + 0.5 \theta g (\bar{S}_f + \bar{S}_h) (\Delta A_j + \Delta A_{j+1})$
\bar{A}	$0.5(A_{j+1} + A_j)$
\bar{S}_f	$0.5(S_{fj+1} + S_{fj})$
∂A_j	$(\frac{dA}{dz})_j \Delta z_j$
∂S_{fj}	$(\frac{-2S_f}{K} \frac{dK}{dz})_j \Delta z_j + (\frac{2S_f}{Q})_j \Delta Q_j$
$\partial \bar{A}$	$0.5(\Delta A_j + \Delta A_{j+1})$

<표 4-11> 연속방정식의 계수

계수	값
$CQ1_j$	$\frac{-\theta}{\Delta x_{ej}}$
$CZ1_j$	$\frac{0.5}{\Delta t \Delta x_{ej}} \left[\left(\frac{dA_c}{dz} \right)_j \Delta x_{cj} + \left(\frac{dA_f}{dz} + \frac{dS}{dz} \right)_j \Delta x_{fj} \right]$
$CQ2_j$	$\frac{\theta}{\Delta x_{ej}}$
$CZ2_j$	$\frac{0.5}{\Delta t \Delta x_{ej}} \left[\left(\frac{dA_c}{dz} \right)_{j+1} \Delta x_{cj} + \left(\frac{dA_f}{dz} + \frac{dS}{dz} \right)_{j+1} \Delta x_{fj} \right]$
CB_j	$-\frac{Q_{j+1} - Q_j}{\Delta x_{ej}} + \frac{Q_1}{\Delta x_{ej}}$

<표 4-12> 운동량 방정식의 계수

항	값
$MQ1_j$	$0.5 \frac{\Delta x_{cj} \Phi_j + \Delta x_{fj} (1 - \Phi_j)}{\Delta x_{ej} \Delta t} - \frac{\beta_j V_j \theta}{\Delta x_{ej}} + \theta g \bar{A} \frac{(S_{fj} + S_{hj})}{Q_j}$
$MZ1_j$	$\frac{-gA\theta}{\Delta x_{ej}} + 0.5g(z_{j+1} - z_j) \left(\frac{dA}{dz} \right)_j \left(\frac{\theta}{\Delta x_{ej}} \right) - g\theta \bar{A} \left[\left(\frac{dK}{dz} \right)_j \left(\frac{S_{fj}}{K_j} \right) + \left(\frac{dA}{dz} \right)_j + \left(\frac{S_{hj}}{A_j} \right) \right] + 0.5\theta g \left(\frac{dA}{dz} \right)_j (\bar{S}_f + \bar{S}_h)$
$MQ2_j$	$0.5[\Delta x_{cj} \Phi_{j+1} + \Delta x_{fj} (1 - \Phi_{j+1})] \left(\frac{1}{\Delta x_{ej} \Delta t} \right) + \beta_{j+1} V_{j+1} \left(\frac{\theta}{\Delta x_{ej}} \right) + \theta g \frac{A}{Q_{j+1}} (S_{fj+1} + S_{hj+1})$
$MZ2_j$	$\frac{-gA\theta}{\Delta x_{ej}} + 0.5g(z_{j+1} - z_j) \left(\frac{dA}{dz} \right)_{j+1} \left(\frac{\theta}{\Delta x_{ej}} \right) - \theta g \bar{A} \left[\left(\frac{dK}{dz} \right)_j + 1 \left(\frac{S_{fj+1}}{K_{j+1}} \right) + \left(\frac{dA}{dz} \right)_{j+1} + \left(\frac{S_{hj+1}}{A_{j+1}} \right) \right] + 0.5\theta g \left(\frac{dA}{dz} \right)_{j+1} (\bar{S}_f + \bar{S}_h)$
MB_j	$-[(\beta_{j+1} V_{j+1} Q_{j+1} - \beta_j V_j Q_j) \left(\frac{1}{\Delta x_{ej}} \right) + \left(\frac{gA}{\Delta x_{ej}} \right) (z_{j+1} - z_j) + g\bar{A}(\bar{S}_f + \bar{S}_h)]$

(2) 경계조건

하천구간에는 N-1개의 유한차분 격자를 둘러싼 N개의 계산 절점이 있다. 이 격자들로부터 2N-2개의 유한 차분식이 얻어지며, 2N개의 미지값 (각각의 절점에서의 ΔQ , Δz)이 있으므로 두개의 추가적인 방정식이 필요하며 각각의 수로구간에 대한 경계조건으로부터 주어진다. 상류의 경우 상·하류 경계조건이 필요하며, 사류일 경우 하류 경계조건이 필요하다.

(가) 내부 경계조건

하천망은 M개의 수로구간 세트로 이루어져 있으며, 내부 경계조건식은 수로구간 사이의 연결을 정해주어야 한다. 수로구간 합류점의 형태에 따라 다음의 두 식 가운데 하나를 이용한다.

①유량의 연속

$$\sum_{i=1}^l S_{gi} Q_i = 0 \tag{4-41}$$

여기서, l = 합류점에 연결된 수로구간의 수

S_{gi} = 만약 i 가 상류구간에 연결된 점이라면 -1, 만약 i 가 하류구간에 연결된 점이라면 1

Q_i = i 수로구간의 유량

위 식의 유한 차분 형태는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\sum_{i=1}^l MU_{mi} \Delta Q_i + MUQ_m \Delta Q_K = MUB_m \tag{4-42}$$

여기서, $MU_{mi} = \theta S_{gi}$, $MUQ_m = \theta S_{gK}$, $MUB_m = - \sum_{i=1}^l S_{gi} Q_i$.

② 수위의 연속

$$z_k = z_c \quad (4-43)$$

여기서, z_k 는 수로구간 k 경계에서의 수위이며, z_c 는 대상 합류점에서 공통의 모든 수위경계조건에서의 수위를 나타낸다.

위 식의 유한 차분식은 다음과 같다.

$$MUZ_m \Delta z_K - MU_m \Delta z_c = MUB_m \quad (4-44)$$

여기서, $MUZ_m = 0$, $MU_m = 0$, $MUB_m = z_c - z_K$.

(나) 상류 경계조건

다른 수로구간이나 저류지에 연결되지 않은 모든 수로구간의 상류 끝에서 상류 경계조건이 필요하며, 상류 경계조건은 시간에 따른 유량 수문곡선이 적용된다. 수로구간 m에서의 유량 수문곡선 식은 다음과 같다.

$$\Delta Q_k^{n+1} = Q_k^n - Q_k \quad (4-45)$$

여기서, k는 구간 m의 상류측 절점이다. 위 식의 유한차분식은 다음과 같다.

$$MUQ_m \Delta dQ_K = MUB_m \quad (4-46)$$

여기서, $MUQ_m = 1$, $MUB_m = Q_1^{n+1} - Q_1^n$.

(다) 하류 경계조건

다른 수로구간이나 저류지에 연결되지 않은 모든 수로구간의 하류 끝에서 상류 경계조건이 필요하며, ① 수위 수문곡선, ② 유량 수문곡선, ③ 단일 수위-유량 관계, ④ Manning 공식의 등류 수심 등의 4가지 형태의 하류 경계조건이 적용된다.

① 수위 수문곡선

시간간격 $(n + 1)\Delta t$ 에서의 수위 경계조건은 다음과 같다.

$$\Delta Z_N = Z_N^{n+1} - Z_N^n \quad (4-47)$$

이를 유한차분식으로 나타내면 다음과 같다.

$$CDZ_m \Delta z_N = CDB_m \quad (4-48)$$

여기서, $CDZ_m = 1$, $CDB_m = z_N^{n+1} - z_N^n$.

② 유량 수문곡선

시간간격 $(n + 1)\Delta t$ 에서의 유량 경계조건을 유한차분식으로 나타내면 다음과 같다.

$$CDQ_m \Delta Q_N = CDB_m \quad (4-49)$$

여기서, $CDQ_m = 1$, $CDB_m = Q_N^{n+1} - Q_N^n$.

③ 단일 수위-유량 관계

시간간격 $(n + 1)\Delta t$ 에서의 경계조건은 다음과 같다.

$$Q_N + \theta \Delta Q_N = D_{k-1} + \frac{D_k - D_{k-1}}{S_k - S_{k-1}} (z_N + \Delta z_N - S_{k-1}) \quad (4-50)$$

여기서, $D_k = K^{th}$ 유량 좌표, $S_k = K^{th}$ 수위 좌표

미지항을 좌변으로 놓고 유한차분식으로 나타내면 다음과 같다.

$$CDQ_m \Delta Q_N + CDZ_m \Delta z_N = CDB_m \quad (4-51)$$

$$\text{여기서, } CDQ_m = \theta, \quad CDZ_m = \frac{D_k - D_{k-1}}{S_k - S_{k-1}},$$

$$MUB_m = Q_N + D_{k-1} + \frac{D_k - D_{k-1}}{S_k - S_{k-1}} (z_N - S_{k-1}).$$

④ Manning 공식의 등류 수심

$$Q = K(S_f)^{0.5} \quad (4-52)$$

여기서, K 통수능을 나타내며, S_f 는 마찰경사이다.

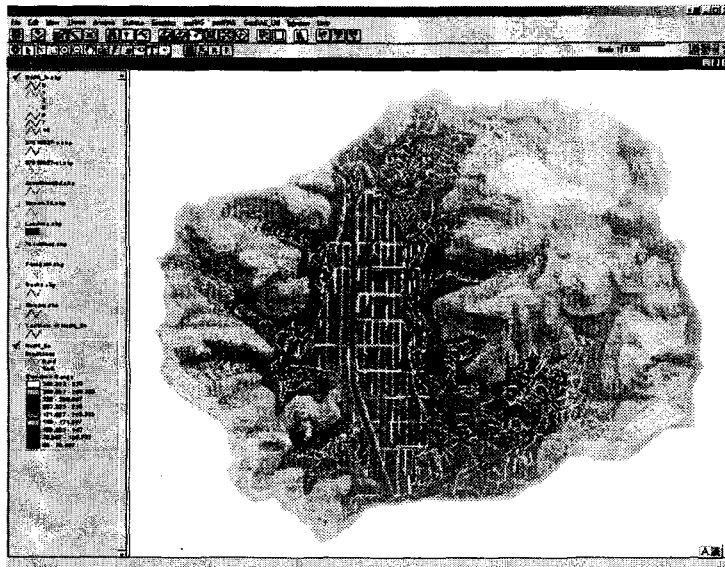
나. 하천 본류구간으로 유입되는 유역 홍수추적

하천의 본류구간으로 유입되는 홍수량 추적을 위하여 이미 3장에서 그 적용성을 확인하였고, 농경지를 포함한 유역에서 적용가능한 HEC-HMS 모형 이용한다.

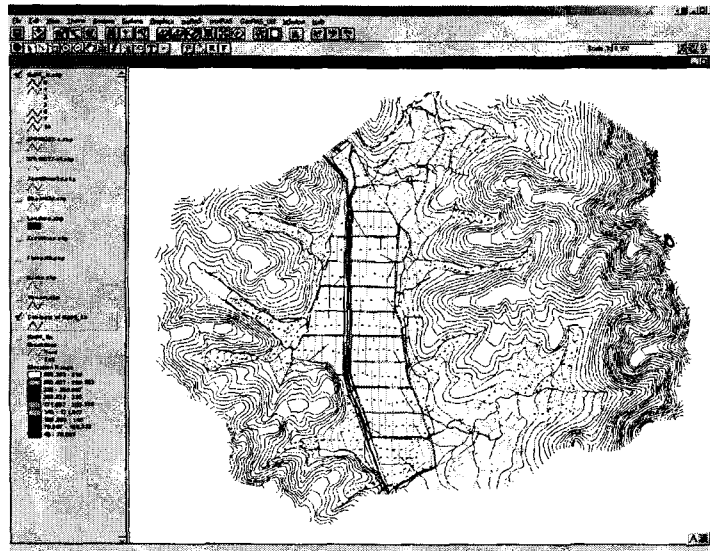
제 4 절 GIS를 이용한 농경지 침수모의 시스템의 적용

1. HEC-GeoRAS 모듈의 적용

대상유역의 1/5000 NGIS 수치자료와 HEC-GeoRAS를 이용하여 발안 시험유역의 HP#7 소유역에 대한 지형자료를 구축하였다. HEC-GeoRAS에서 지형자료를 구축하기 위해 TIN 자료와 등고선 자료 구축이 필요하며, NGIS의 등고선 레이어를 추출하여 대상유역의 유역경계를 추출하고, 등고선과 유역경계를 이용하여 HP#7 소유역의 TIN 자료를 생성하였으며 (그림 4-52), 생성된 TIN 자료를 이용하여 5m 간격의 등고선 자료를 추출하였다 (그림 4-53).



(그림 4-52) HP#7 소유역의 불규칙 삼각망

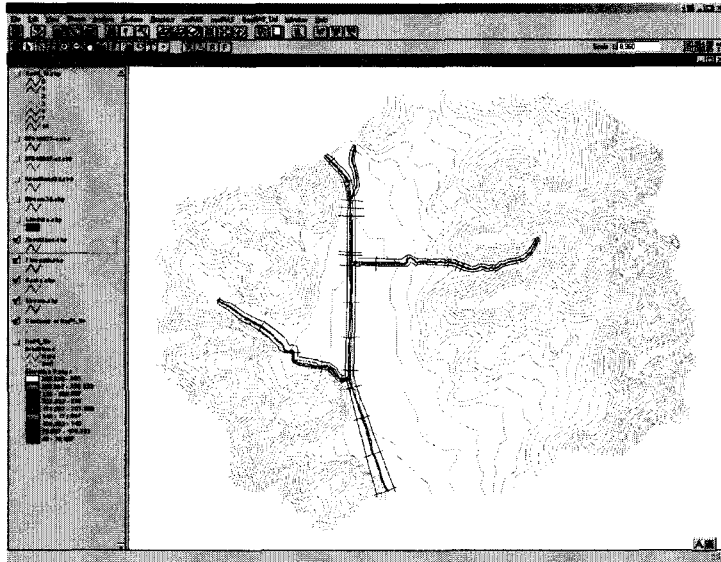


(그림 4-53) HP#7 소유역의 등고선

HEC-GeoRAS 모듈을 이용하여 대상유역에 대한 흐름 중심도, 주수로 제방도, 흐름 방향 중심선도, 횡단면 절단선도 등을 구축하였다 (그림 4-54).

1/5000 NGIS 수치지도를 이용할 경우 등고선 간격이 5m이므로 실제 하천의 횡단면의 표고를 제대로 추출할 수 없으므로, 현장 측량을 통해 각 횡단면간의 거리와 횡

단면의 표고 자료를 입력하였다.



(그림 4-54) HP#7 소유역의 하천, 제방, 유로 중심선과 횡단면절단선

HEC-GeoRAS를 이용해 구축한 지형자료로부터 중심선 완성, 횡단면 속성 부여, 횡단면 표고 추출 등의 HEC-RAS의 구동을 위한 지형관련 입력 자료를 생성하였다. (그림 4-55)는 생성된 하천도의 속성 값을 보여주고 있으며 하천명, 지천명, 시작/끝 노드, 구간길이, 구간 누적길이 등의 정보를 나타내고 있다. (그림 4-56)은 생성된 횡단면 절단도의 속성 값을 보여주고 있으며, 횡단면 고유번호, 다음 횡단면까지의 좌우 측 및 중앙 하천길이 등의 정보를 보여주고 있다.

Shape	Segment ID	Reach ID	to Node	from Node	to ST	ArcLength	from ST
PolyLineZ	HP#7	upper1	2	1	1485.849	227.455	1258.394
PolyLineZ	irrigation	canal	2	3	245.085	245.085	0.000
PolyLineZ	HP#7	upper2	4	2	1258.394	261.301	997.093
PolyLineZ	Tributary#1	forest#1	4	5	885.289	885.289	0.000
PolyLineZ	HP#7	middle	6	4	997.093	488.850	508.243
PolyLineZ	Tributary#2	forest#2	6	7	706.725	706.725	0.000
PolyLineZ	HP#7	lower	8	6	508.243	508.243	0.000

(그림 4-55) HP#7 소유역 하천의 특성

Shape	ID	Reach ID	XS ID	Stream ID	Station	R_Bank	L_Bank	R_Fraoch	M_Fraoch	L_Fraoch
PolyLineZ	0	lower	0	HP#7	4.1467	0.44500	0.35470	12.405	4.147	14.873
PolyLineZ	0	lower	1	HP#7	171.4147	0.53509	0.45556	164.247	167.268	166.054
PolyLineZ	0	lower	2	HP#7	332.0863	0.50628	0.38125	163.047	160.672	158.755
PolyLineZ	0	lower	3	HP#7	467.1346	0.55732	0.45893	135.128	135.048	133.901
PolyLineZ	0	middle	4	HP#7	680.6276	0.57463	0.43600	139.404	140.234	141.080
PolyLineZ	0	middle	5	HP#7	828.7325	0.56307	0.43575	148.220	148.105	147.813
PolyLineZ	0	middle	6	HP#7	983.8154	0.49409	0.36306	155.476	155.083	154.149
PolyLineZ	0	upper2	7	HP#7	1026.1040	0.51361	0.39992	41.921	42.289	43.279
PolyLineZ	0	upper2	8	HP#7	1038.6729	0.51818	0.39297	12.398	12.569	12.430
PolyLineZ	0	upper2	9	HP#7	1189.1816	0.54204	0.43159	150.697	150.608	150.826
PolyLineZ	0	upper2	10	HP#7	1224.0378	0.58356	0.46577	35.276	34.856	34.259
PolyLineZ	0	upper2	11	HP#7	1256.6418	0.60440	0.47937	32.914	32.604	32.221
PolyLineZ	0	upper1	12	HP#7	1338.3399	0.54407	0.28821	77.871	81.698	85.959
PolyLineZ	0	forest#1	13	Tributary#1	104.7901	0.56720	0.41384	76.218	104.790	72.047
PolyLineZ	0	forest#1	14	Tributary#1	421.1356	0.60428	0.52944	301.979	316.346	304.454
PolyLineZ	0	forest#1	15	Tributary#1	435.9103	0.66479	0.58631	15.462	14.775	13.785
PolyLineZ	0	forest#1	16	Tributary#1	477.7878	0.62382	0.53087	45.981	41.878	38.293
PolyLineZ	0	forest#1	17	Tributary#1	498.2157	0.56232	0.47644	21.242	20.428	19.765
PolyLineZ	0	forest#2	18	Tributary#2	142.2346	0.55077	0.40768	103.268	108.417	111.175
PolyLineZ	0	forest#2	19	Tributary#2	296.6396	0.62988	0.49202	166.130	154.405	125.310
PolyLineZ	0	forest#2	20	Tributary#2	486.4725	0.60200	0.50152	177.152	189.833	208.228
PolyLineZ	0	upper1	21	HP#7	1450.4319	0.62187	0.48124	105.849	112.092	120.979
PolyLineZ	0	canal	22	irrigation	217.3612	0.57206	0.36981	124.005	117.054	113.789
PolyLineZ	0	canal	23	irrigation	100.3070	0.48855	0.37422	40.970	100.307	81.685
PolyLineZ	0	middle	24	HP#7	540.3933	0.62843	0.46386	78.142	73.259	68.019
PolyLineZ	0	forest#2	25	Tributary#2	33.8180	0.70172	0.45227	19.648	33.818	11.347

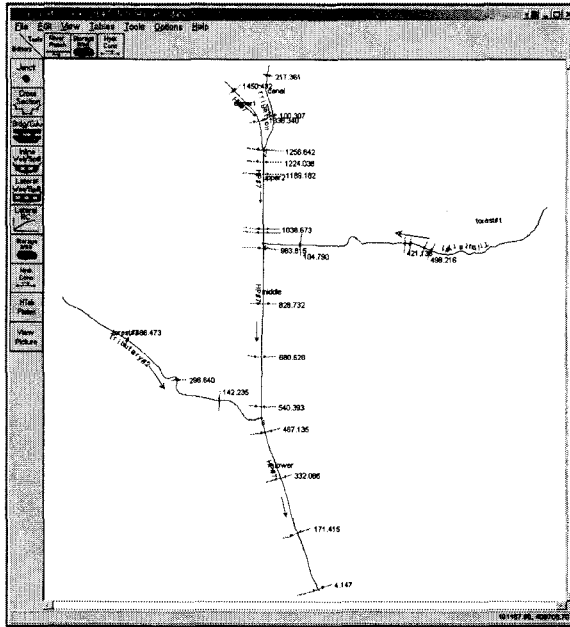
(그림 4-56) HP#7 소유역 횡단면절단선의 특성

2. HEC-RAS 모형의 적용

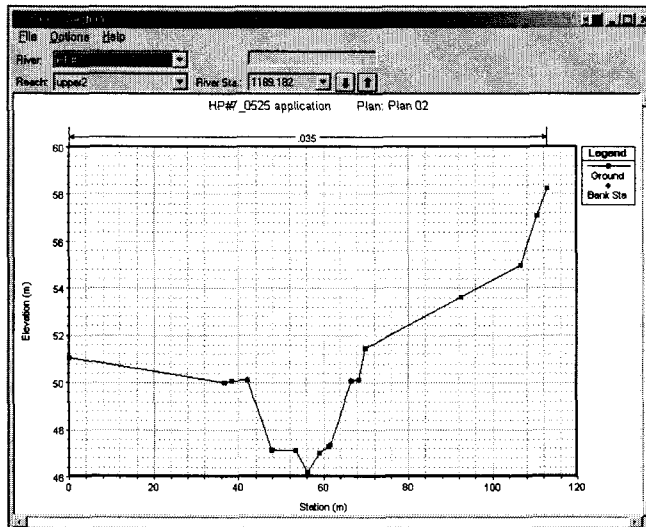
가. 입력자료의 구축

1) 지형자료의 구축

HEC-GeoRAS에서 생성된 지형자료를 HEC-RAS에서 불러들여 지형자료를 입력한다. HEC-GeoRAS에서 구축한 지형자료를 수정, 편집, 저장할 수 있으며 다음의 (그림 4-57)은 HP#7 소유역에 대한 지형자료를 구축한 결과를 보여주고 있으며, (그림 4-58)은 한 지점에서의 횡단면도를 보여주고 있다. 지형자료의 입력모듈에서는 횡단면 입력자료의 수정, 조도계수의 수정, 합류점 수정 등의 기능이 제공된다.



(그림 4-57) HP#7 소유역에 대한 지형자료 구축 결과



(그림 4-58) 한 지점에서의 횡단면도

2) 경계조건

본 연구에서는 부정류 해석을 통하여 하천홍수추적 및 농경지 침수를 모의하였다. HEC-RAS에서 제공되는 부정류해석은 UNET (Unsteady NETWORK model) (Barkau, 1992)을 수정한 프로그램을 이용한다.

부정류 해석을 위해서는 경계조건과 초기조건을 입력하여야 한다. 경계조건으로는 유량 수문곡선, 수위 수문곡선, 수위 및 유량 수문곡선, 수위-유량 관계, 등류 수심 등을 선택하여 입력하게 된다. 초기조건은 부정류 모의가 시작될 때의 수위나 유량을 각 횡단면별로 입력한다.

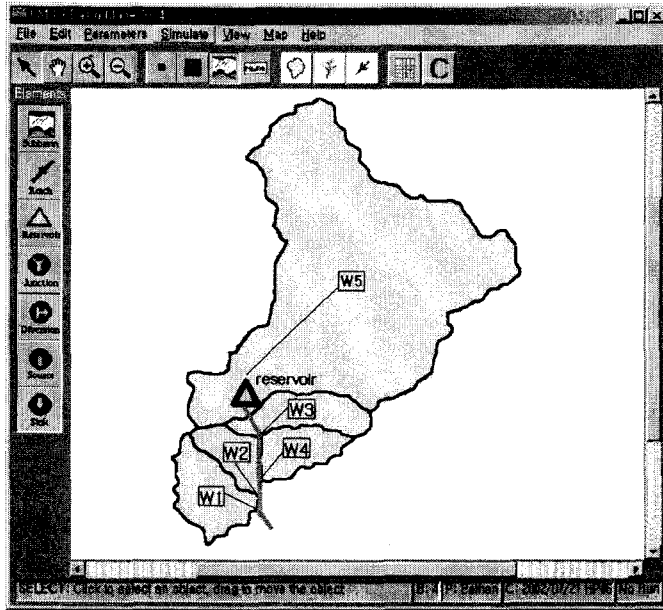
경계조건은 상류 경계조건과 하류 경계조건으로 나누어지며 수위-유량 관계와 등류 수심은 하류 경계조건으로만 입력될 수 있다.

본 연구에서는 HEC-HMS 모형을 이용해 상류 경계조건에서의 유량 수문곡선을 산정하여 입력하였고, 대상유역에 대한 장기간의 수문관측을 통해 유역말단에서의 하류 경계조건을 수위-유량 곡선으로 입력하였다. 또한, 초기조건은 과거 수문관측 자료를 이용해 각 횡단면에서의 초기조건을 입력하였다.

3) 횡유입량 산정

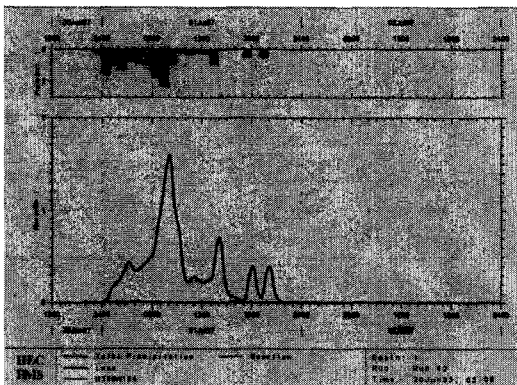
HEC-RAS 모형의 구동을 위해 각 지천별 횡유입량을 산정하여 입력자료로 이용하게 된다. 본 연구에서는 각 지천별 횡유입량은 HP#6 소유역에 대하여 적용성을 검증한 바 있는 HEC-HMS 모형을 이용하여 산정하였다.

(그림 4-59)는 시험유역으로 선정된 HP#7 유역의 각 지천별 소유역 모식도를 보여주고 있다. 소유역 W1, W2, W3, W4는 기천저수지 하류에 위치하고 있으며, W5 소유역은 기천저수지 상류에 위치하고 있다. HP#7 유역의 하천 본류구간에서의 홍수추적은 기천저수지 방류량과 횡유입량 W1, W2, W3, W4를 산정하여 모의하게 된다. 이때 기천저수지에서의 방류량은 HEC-HMS 내의 저수지 홍수추적 모듈을 이용하여 산정한다.

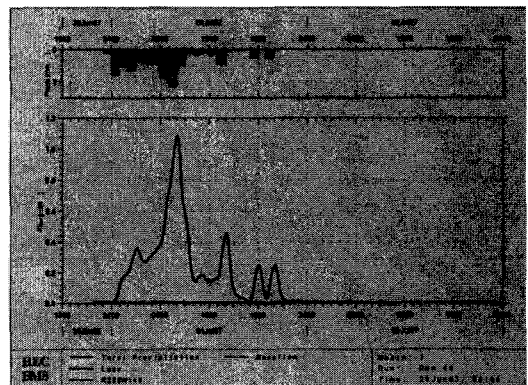


(그림 4-59) HP#7 소유역

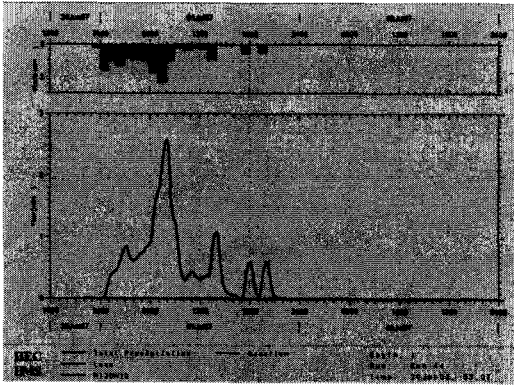
다음의 (그림 4-60)~(그림 4-64)는 1997년 6월30일 139.5mm의 강우사상에 의해 발생된 지천 유입량을 산정한 결과를 도시하고 있다. 각각의 소유역으로부터의 지천 유입량과 기천저수지로부터의 유입량을 HEC-HMS를 이용하여 산정한 결과를 보여 주고 있다.



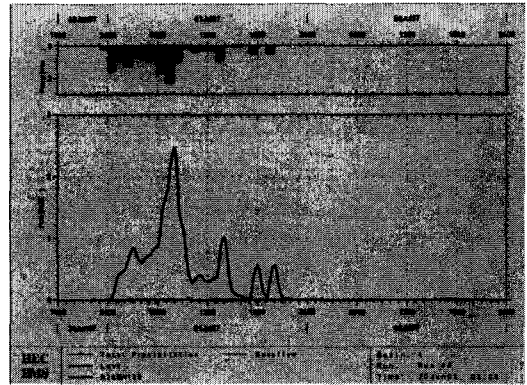
(그림 4-60) W1 소유역에서의 지천 유입량



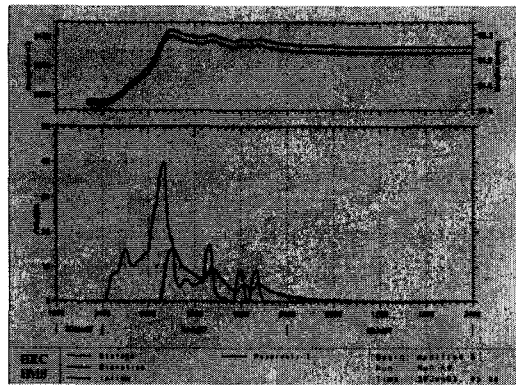
(그림 4-61) W2 소유역에서의 지천 유입량



(그림 4-62) W3 소유역에서의 지천 유입량



(그림 4-63) W4 소유역에서의 지천 유입량



(그림 4-64) 기천 저수지로부터의 유입량 (W5)

나. 모형의 보정

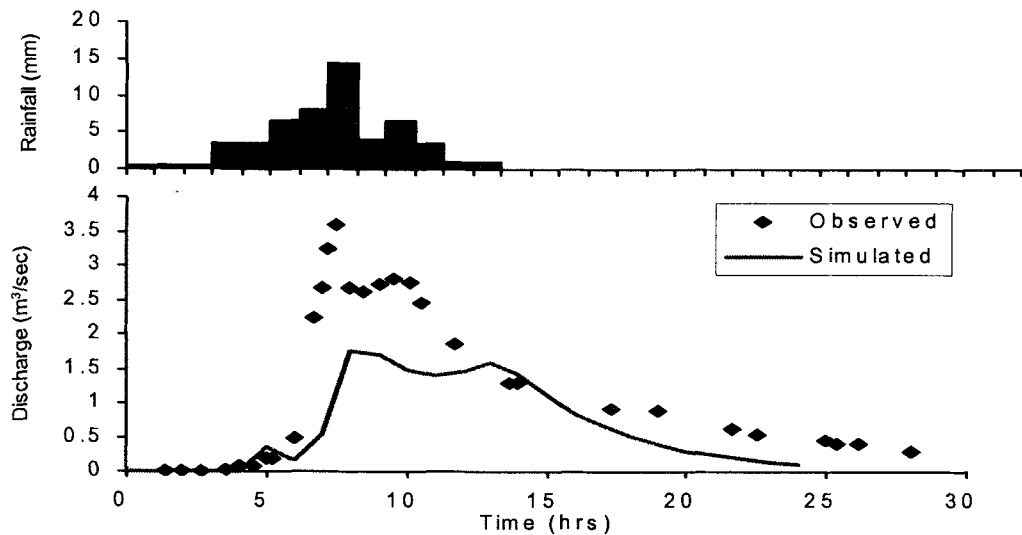
HEC-RAS 모형의 보정을 위해 HP#7 시험유역에 대하여 1996년 자료를 이용하였다. 을 위해 1996년의 강우사상을 이용하였으며, 다음의 <표 4-13>은 모형의 보정을 위해 이용된 강우자료를 보여주고 있다. HEC-RAS 모형의 보정은 RMSE를 이용하여 최적 매개변수를 추출하였다.

<표 4-13> HEC-RAS 모형의 보정에 사용된 강우사상

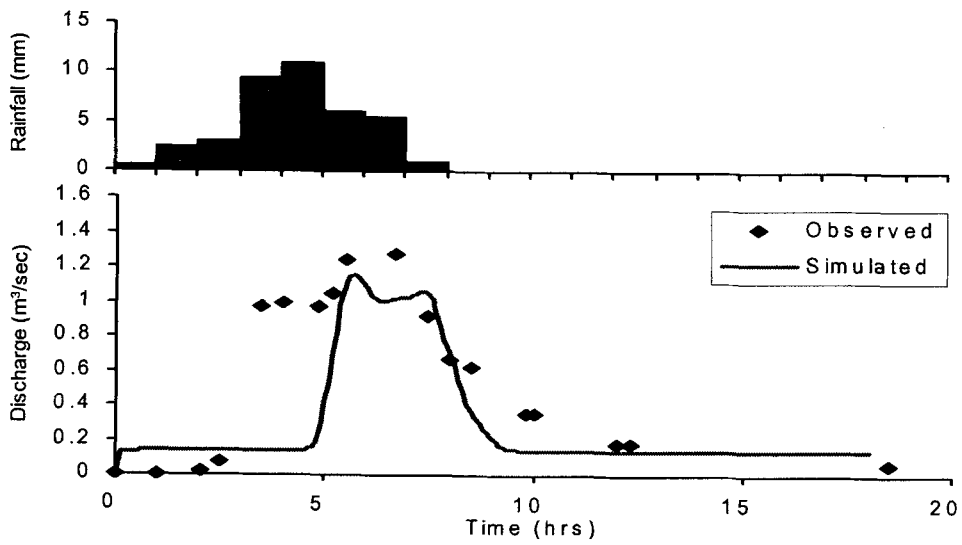
강우사상	날짜 및 기간	강우량 (mm)	AMC	첨두유량
960704	'96/07/04 11:00 ~ "96/07/04 23:00	53.5	II	3.587
960715	'96/07/15 06:00 ~ "96/07/15 13:00	39.0	I	1.277
960721	'96/07/21 02:00 ~ "96/07/22 06:00	46.5	I	1.908
960727	'96/07/27 23:00 ~ "96/07/28 09:00	33.5	I	1.900

다음의 (그림 4-65)~(그림 4-68)은 모형의 보정을 위해 이용된 1996년의 강우사상에 대한 모형의 적용결과를 실측치와 비교하여 시간별로 보여주고 있다. (그림 4-69)와 (그림 4-70)은 모형의 보정을 위해 이용된 자료기간에 대한 첨두유량과 첨두시간의 실측치와 모의치를 비교하여 보여주고 있다.

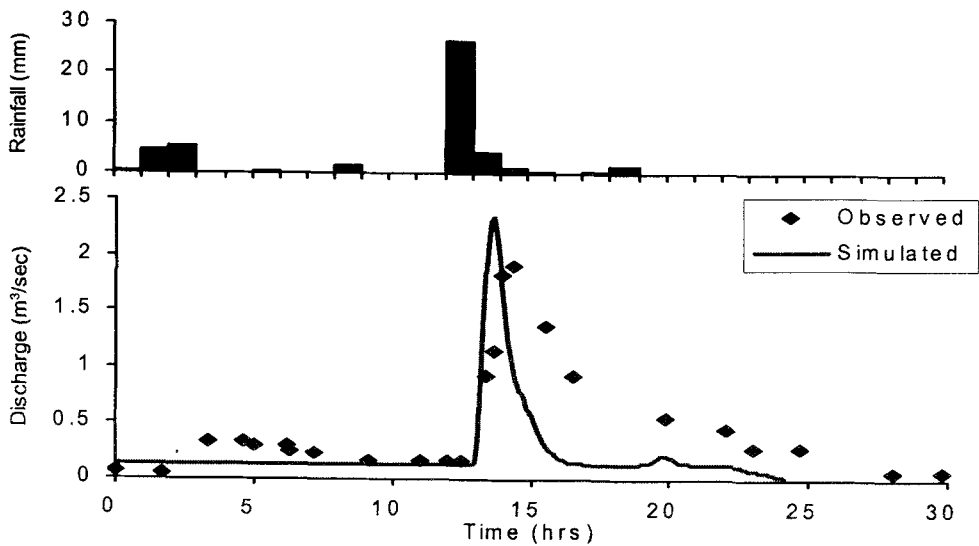
<표 4-14>는 모형의 보정에 이용된 자료와 모의결과를 첨두유량과 첨두시간에 대해 나타내고 있다. 첨두유량의 경우 RMSE가 $1.002\text{m}^3/\text{s}$, 첨두시간의 경우 RMSE가 0.678 시간으로 분석되었다.



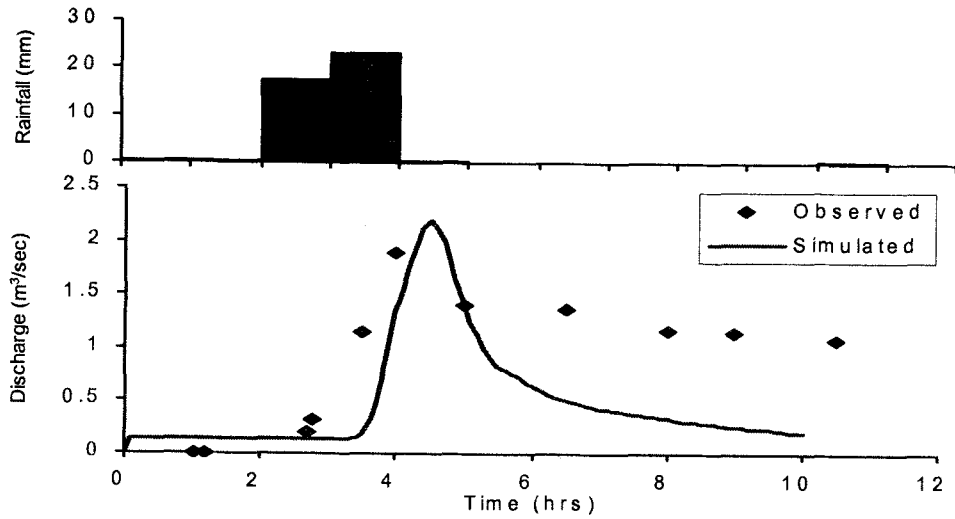
(그림 4-65) HP#7 지점의 실측치와 모의치의 비교 (1996/7/4)



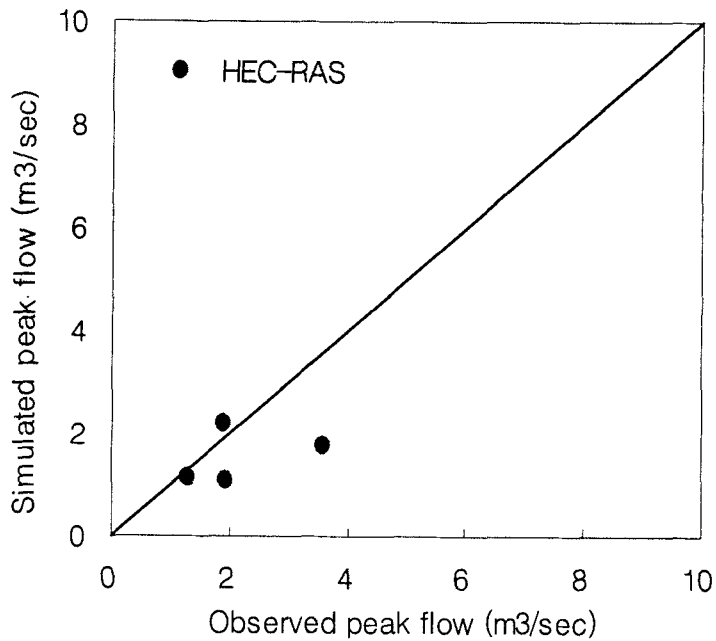
(그림 4-66) HP#7 지점의 실측치와 모의치의 비교 (1996/7/15)



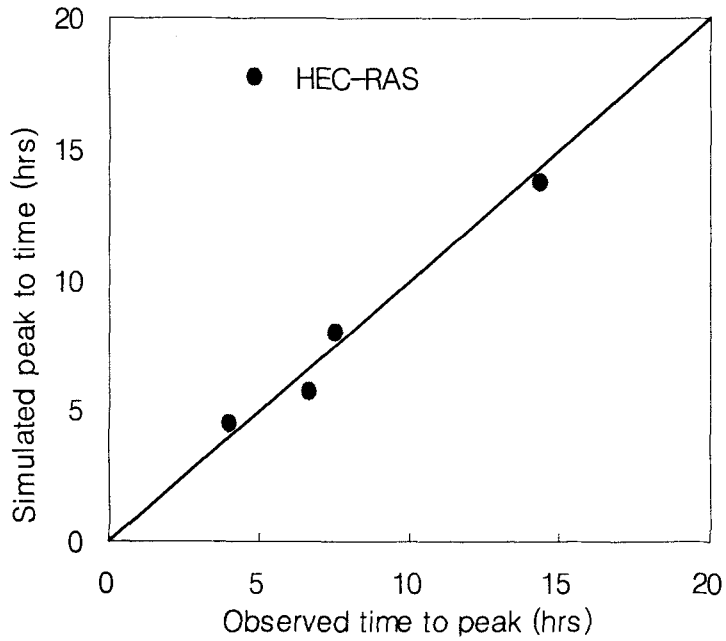
(그림 4-67) HP#7 지점의 실측치와 모의치의 비교 (1996/7/21)



(그림 4-68) HP#7 지점의 실측치와 모의치의 비교 (1996/7/27)



(그림 4-69) 모형의 보정기간에 대한 HP#7 지점의 첨두유량 비교



(그림 4-70) 모형의 보정기간에 대한 HP#7 지점의 첨두시간 비교

<표 4-14> HP#7 지점에 대한 HEC-RAS 모형의 보정결과

강우사상	첨두유량 (m ³ /sec)		첨두시간 (hrs)	
	관측값	HEC-RAS	관측값	HEC-RAS
960704	3.587	1.770	7.50	8.00
960715	1.277	1.160	6.67	5.70
960721	1.908	1.122	14.33	13.70
960727	1.900	2.190	4.00	4.50
R ²	-	0.1538	-	0.9732
RMSE	-	1.002	-	0.678

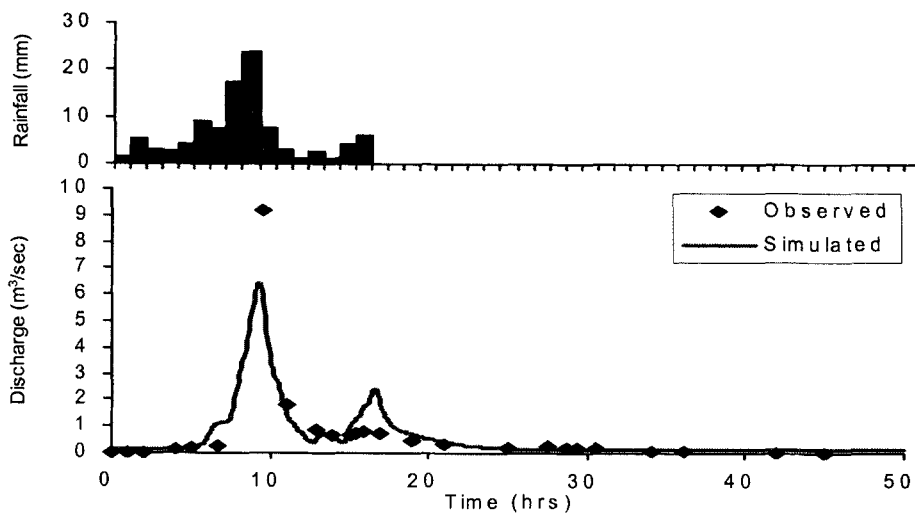
다. 모형의 검정

HEC-RAS 모형의 검정을 위해 HP#7 시험유역에 대하여 1997년부터 2001년까지의 자료를 이용하였다. 다음의 <표 4-15>는 모형의 보정을 위해 이용된 강우자료를 보여주고 있다.

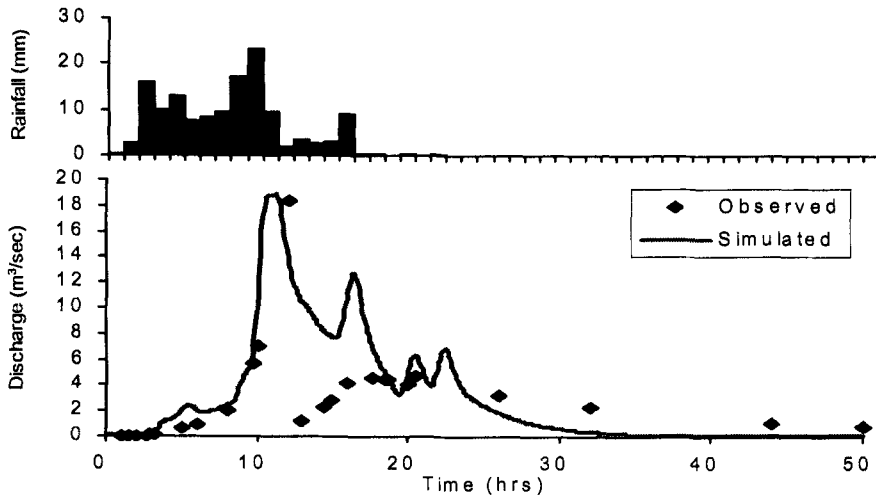
<표 4-15> HEC-RAS 모형의 검정에 사용된 강우사상

강우사상	날짜 및 기간	강우량 (mm)	AMC	침투유량
970625	'97/06/25 12:00 ~ '97/06/27 14:00	113.0	I	9.20
970630	'97/06/30 22:00 ~ '97/07/02 24:00	139.5	I	18.32
000722	'00/07/22 11:00 ~ '00/07/23 06:00	303.6	I	132.20
010730	'01/07/30 08:00 ~ '01/07/30 19:00	132.4	III	13.603

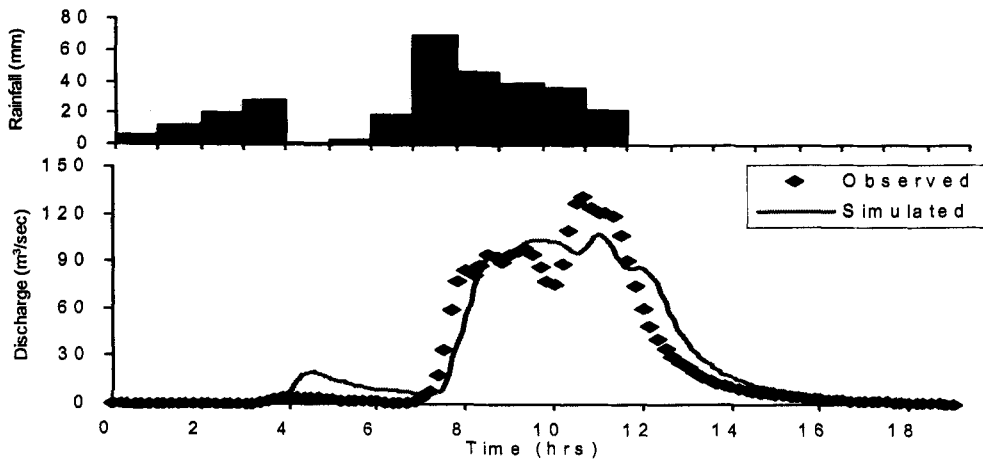
다음의 (그림 4-71)~(그림 4-74)는 모형의 검정을 위해 이용된 강우사상에 대한 모형의 적용결과를 실측치와 비교하여 시간별로 보여주고 있다. (그림 4-75)와 (그림 4-76)은 모형의 검정을 위해 이용된 자료기간에 대한 침투유량과 침투시간의 실측치와 모의치를 비교하여 보여주고 있다.



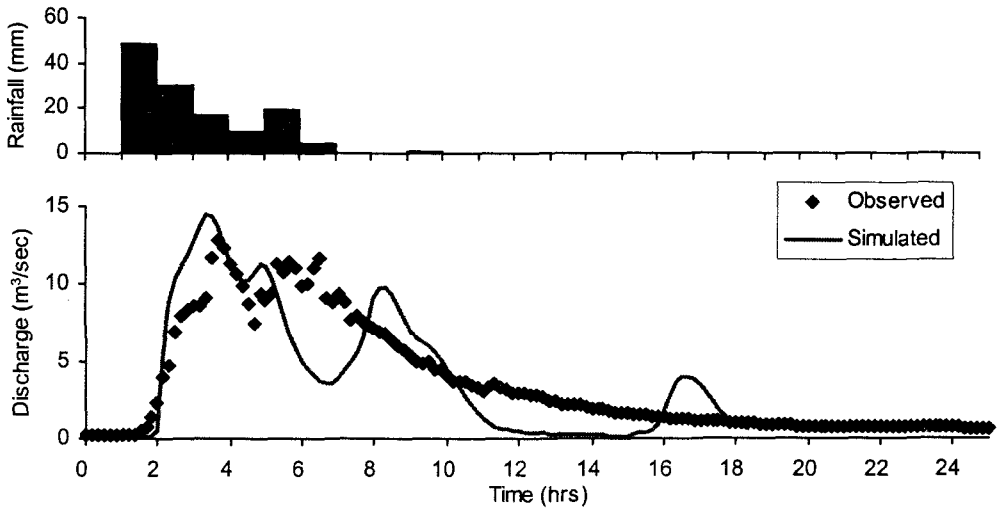
(그림 4-71) HP#7 지점의 실측치와 모의치의 비교 (1997/6/25)



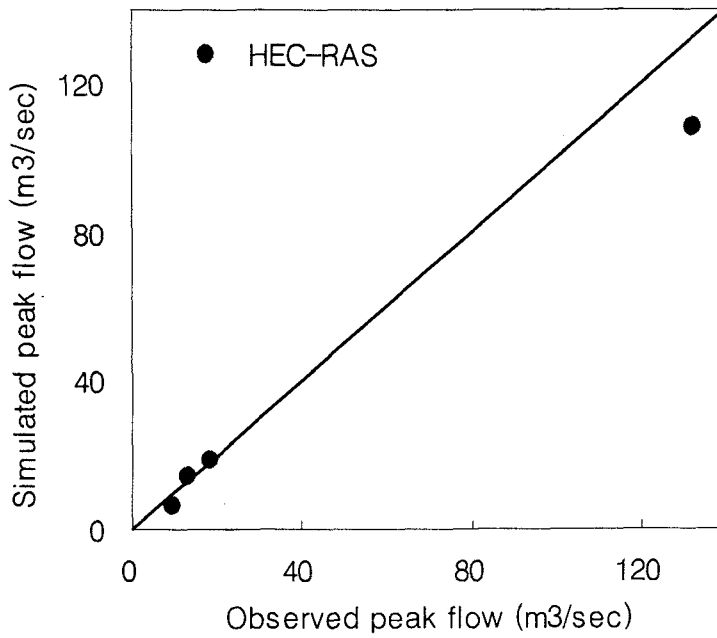
(그림 4-72) HP#7 지점의 실측치와 모의치의 비교 (1997/6/30)



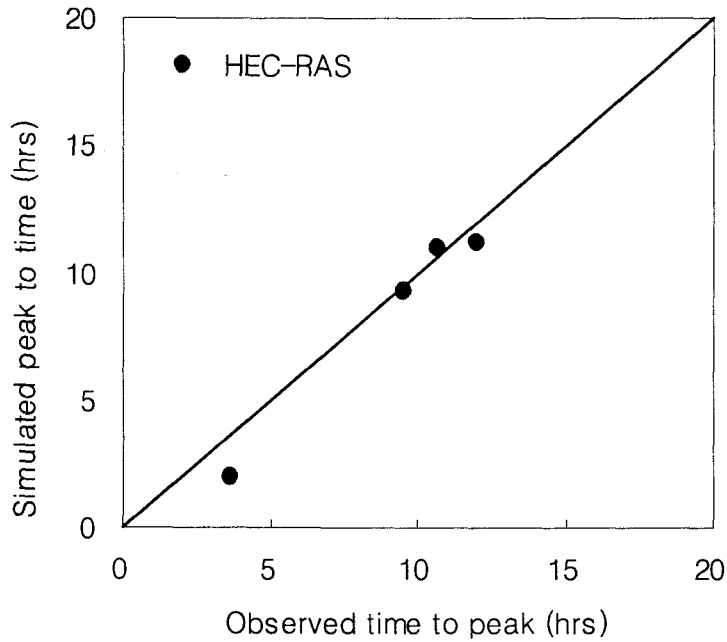
(그림 4-73) HP#7 지점의 실측치와 모의치의 비교 (2000/7/22)



(그림 4-74) HP#7 지점의 실측치와 모의치의 비교 (2001/7/30)



(그림 4-75) 모형의 검정기간에 대한 HP#7 지점의 첨두유량 비교



(그림 4-76) 모형의 검정기간에 대한 HP#7 지점의 첨두시간 비교

<표 4-16>은 모형의 검정에 이용된 자료와 모의결과를 첨두유량과 첨두시간에 대해 나타내고 있다. 첨두유량의 경우 RMSE가 11.969m³/s, 첨두시간의 경우 RMSE가 0.947 시간으로 분석되었다.

<표 4-16> HP#7 지점에 대한 HEC-RAS 모형의 검정 결과

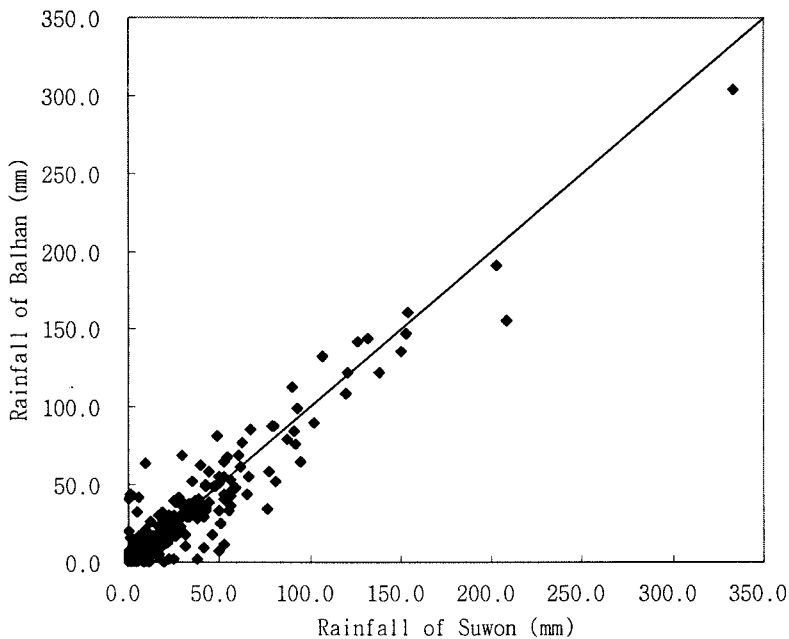
사상	첨두유량 (m ³ /sec)		첨두시간 (hrs)	
	관측값	HEC-RAS	관측값	HEC-RAS
970625	9.200	6.410	9.50	9.30
970630	19.320	18.870	10.66	13.00
000722	132.196	107.560	10.66	11.00
010730	12.871	14.450	3.67	2.00
R ²	-	0.9975	-	0.9812
RMSE	-	11.969	-	0.947

3. HEC-RAS 모형의 응용

발안 시험유역을 대상으로 검정된 침수모의 시스템에 대한 침수분석을 위해 시험유역에 대한 확률강우량을 산정하고 이를 시험유역에 적용하여 확률강우 발생에 따른 침수모의 상황을 분석한다. 또한, 침수모의 발생에 따른 벼 침수피해를 모의하여 벼 감수피해량을 추정한다.

가. 확률강수량 산정

시험유역의 확률강수량 산정을 위해 수원측후소의 강수량 자료를 이용하였다. 수원측후소는 발안유역으로부터 약 10km에 위치하고 있으며, 발안유역과 수원측후소의 강수량 비교결과 상관계수 (R^2)가 0.9166으로서 높은 상관성을 보이고 있다. 발안유역과 수원측후소 강수량 비교 결과는 (그림 4-77)에 보는 바와 같다.



(그림 4-77) 발안유역의 일강수량과 수원측후소 일강수량 상관관계

시험구역의 확률강수량은 한국건설기술연구원 (2001)에서 제시하고 있는 수원 지점의 확률강수량을 이용하였으며, 수원측후소의 지속시간별 재현기간에 따른 확률강수량은 <표 4-17>과 같다.

<표 4-17> 수원지점의 확률강수량 (mm)

지속시간 (시간)	재현기간 (년)					
	2	10	20	50	100	200
24	160.7	275.9	319.9	376.9	419.5	462.1
48	179.7	306.4	354.7	417.4	464.3	511.0

출처 : 한국건설기술연구원 (2001)

시험구역의 재현기간별 강우강도-지속시간은 한국건설기술연구원(2001)에서 제시하고 있는 강우강도식을 이용하였다. 지속시간과 재현기간에 따른 강우강도의 관계는 다음식과 같다.

$$I(t, T) = \frac{a + b \ln \frac{T}{t^n}}{c + d \ln \frac{\sqrt{T}}{t} + \sqrt{t}} \quad (4-53)$$

여기서, $I(t, T)$ 는 강우강도 (mm/hr), t 는 강우 지속시간 (min), T 는 재현기간 (year), a, b, c, d, n 은 각 지점의 회귀상수이다.

건설교통부에서 제시하는 수원지점의 회귀계수는 <표 4-18>과 같다.

<표 4-18> 수원지점 강우강도식의 회귀계수

지점	기간	계수					R ²
		a	b	c	d	n	
수원	0~30 분	79.1287	78.0319	-0.2551	0.1088	-0.6026	0.999
	30 분~	828.3783	144.8427	4.9127	0.1139	0.6580	0.995

나. 강우분포모형

강우분포모형은 Huff 방법을 이용하였다. Huff는 강우의 누가곡선을 이용하여, 전 지속기간을 4등분 하였을 때 각 분류된 구간 우량의 최대부위가 어느 부분에서 나타나는지 조사하였다. 즉, 강우지속기간을 4등분하였을 때, 강우초기에 해당하는 처음 1/4구간을 제1구간호우 (first-quartile storm), 다음 2/4구간에 있으면 제 2구간호우 (second-quartile storm), 다음 3/4구간에 있으면, 제 3구간호우 (third-quartile storm), 마지막 구간일 경우는 제 4구간호우 (fourth-quartile storm)로 분류하였다. 이와 같이 4개 그룹으로 분류된 강우를 시간적으로 무차원화 시키기 위하여 개개 강우의 누가지속 기간과 이에 따른 강수량을 각각 백분율로 표시하고 이를 다음 식(4-54), (4-55)와 같이 나타낸다.

$$PT(i) = \frac{T(i)}{T_o} \times 100\% \quad (4-54)$$

$$PR(i) = \frac{R(i)}{R_o} \times 100\% \quad (4-55)$$

여기서, $PT(i)$ 는 임의시간 $T(i)$ 에서의 강우지속기간 비, $T(i)$ 는 강우시간후 i 번째 시각의 경과시간, T_o 는 총강우지속기간, i 는 단위증분회수, $PR(i)$ 는 임의시간 $T(i)$ 에서의 강수량 비, $R(i)$ 는 임의시간 $T(i)$ 까지의 누가우량, R_o 는 지속기간 T_o 의 총우량이다.

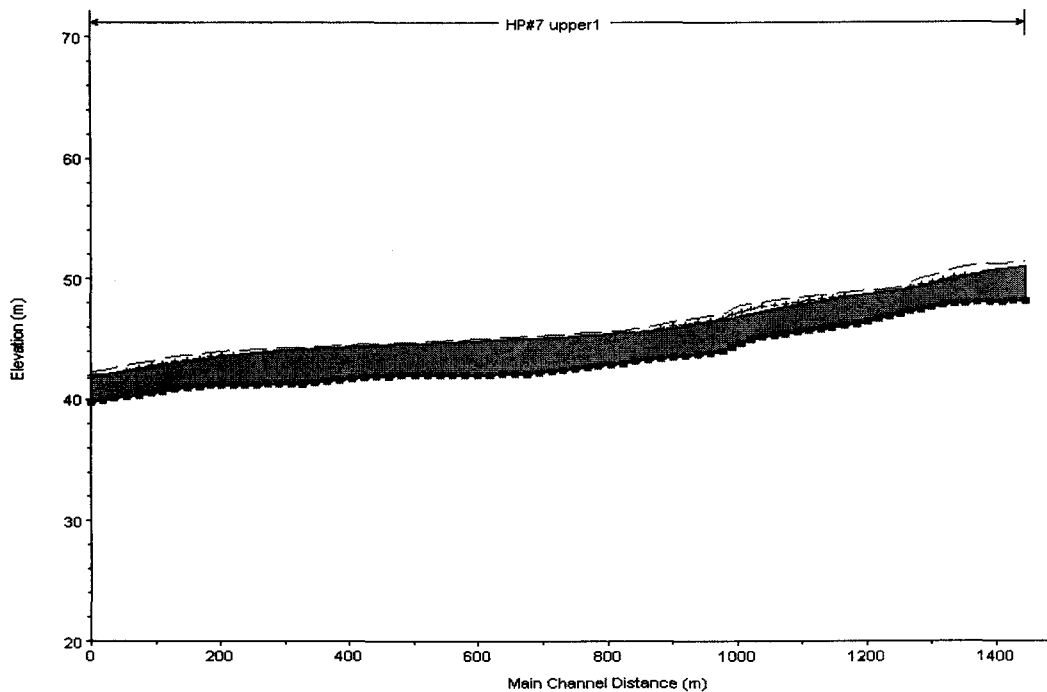
본 연구에서는 국내의 강우에 대하여 한국건설기술연구원에서 기분석한 결과에 따라 제 2구간 호우로 계산하여 적용하였다.

다. 확률강수량에 따른 침수모의

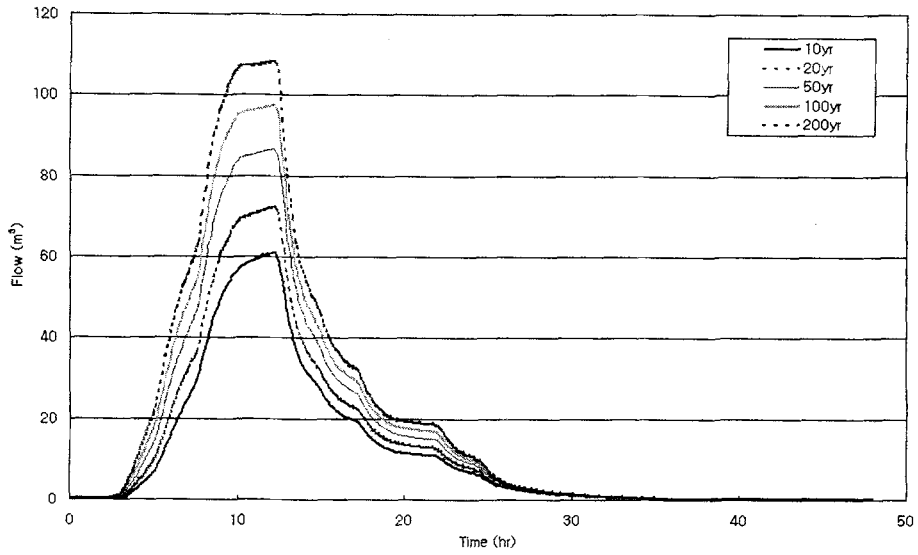
1) 하천 홍수추적

HEC-GeoRAS를 이용해 구축한 지형자료와 HEC-HMS를 이용해 산정된 황유입량 자료 및 확률강수량 자료를 이용하여 HEC-RAS 모형의 입력자료를 구축하고 HEC-RAS 모형을 적용하여 발안 HP#7 유역에 대한 하천 홍수추적과 침수상황을 모의하였다.

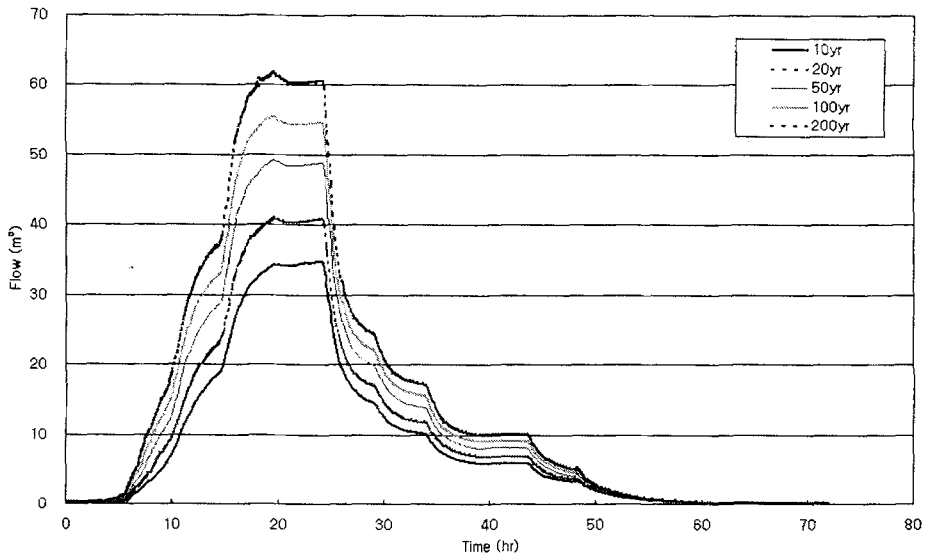
다음의 (그림 4-78)은 확률강우량을 이용하여 추정한 HP#7 하천구간에 대한 수면곡선을 보여주고 있다. (그림 4-79)와 (그림 4-80)은 24시간, 48시간 강우지속기간에 대한 재현기간별 확률강우량을 적용하여 HP#7 유역 말단에서의 침수모의 모형의 적용결과를 유량 수문곡선으로 보여주고 있다.



(그림 4-78) HP#7 소유역 주하천의 수면형



(그림 4-79) HP#7지점에서의 24시간 확률강우량에 따른 유출량

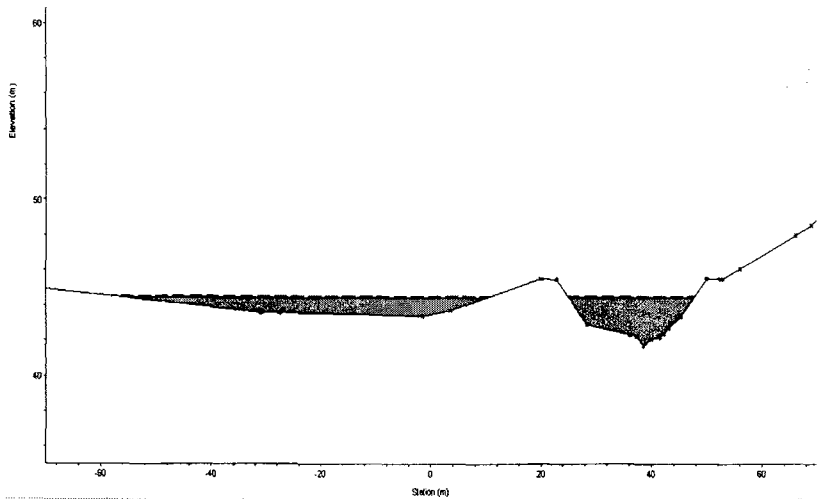


(그림 4-80) HP#7지점에서의 48시간 확률강우량에 따른 유출량

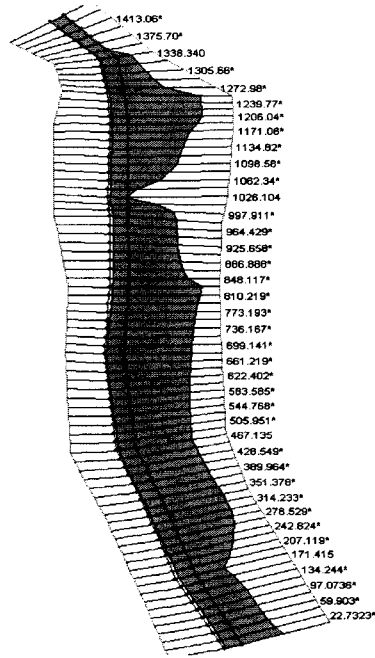
2) 농경지 침수모의

확률강수량에 대한 확률 홍수량을 산정하고, HEC-RAS 모형을 이용하여 하도 구간에 대한 부정류 해석을 통해 대상지구에 대한 시간별 침수면적, 침수시간을 모의하였다. (그림 4-81)은 주하천의 한 하천단면 지점에서 침수발생시의 횡단면도를 보여주고 있다. (그림 4-82)는 확률강우량을 이용하여 시험유역에 대한 침수모의 결과 침수가 발생시 HEC-GeoRAS를 이용하여 침수면적을 도시하여 보여주고 있다.

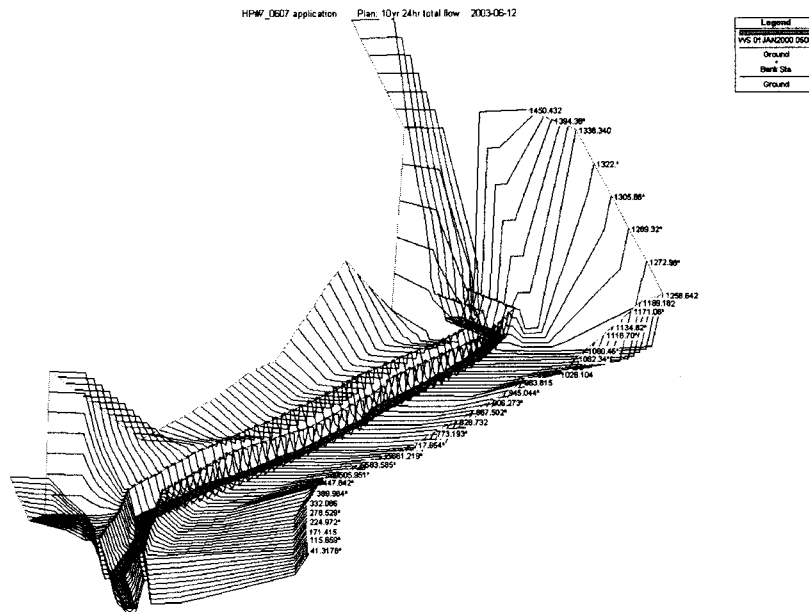
HEC-RAS를 이용한 침수모의 결과를 시간에 따른 침수면적의 변화를 추정할 수 있으며 다음의 (그림 4-82)~(그림 4-88)은 지속시간 24시간, 재현빈도 10년인 확률강우량 발생시 시간별 침수면적의 변화를 3차원으로 도시한 침수모의결과를 보여주고 있다.



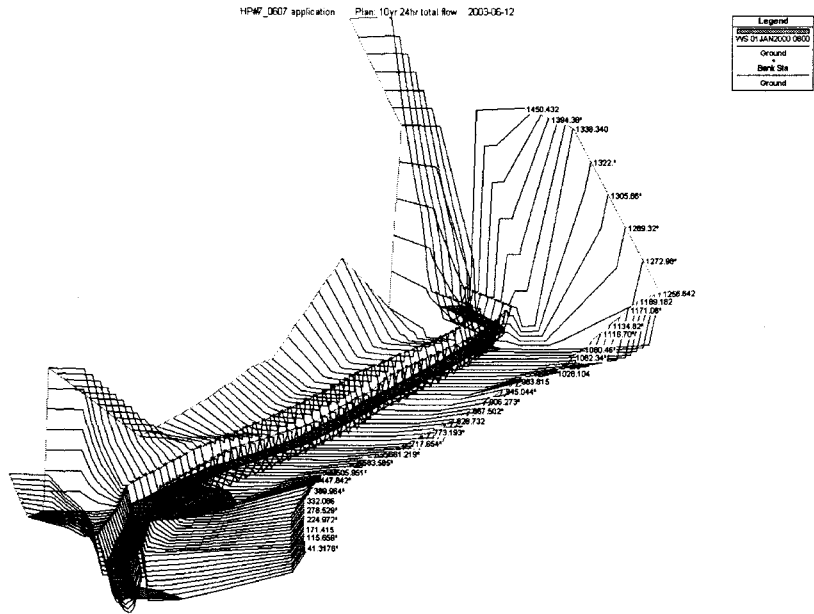
(그림 4-81) 침수발생시 하천 단면 지점에서의 횡단면도



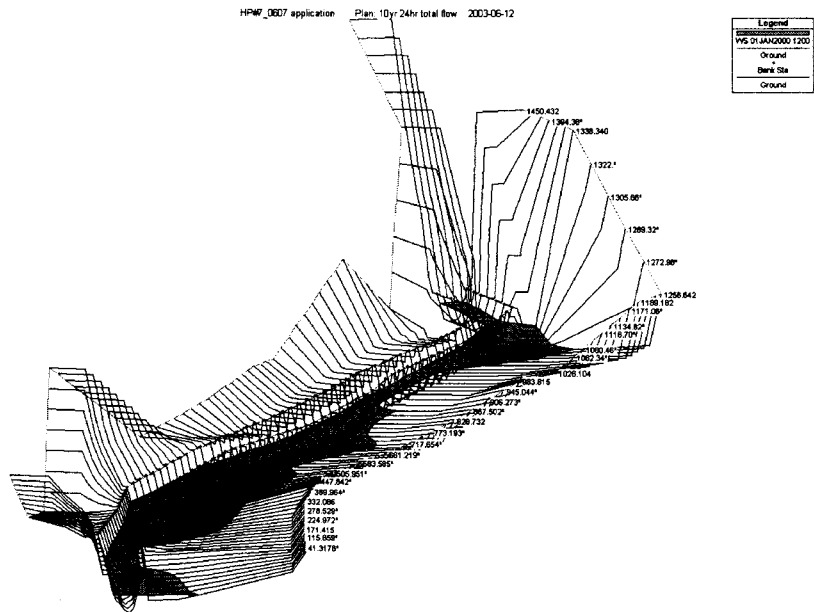
(그림 4-82) 침수발생시 침수면적 도시



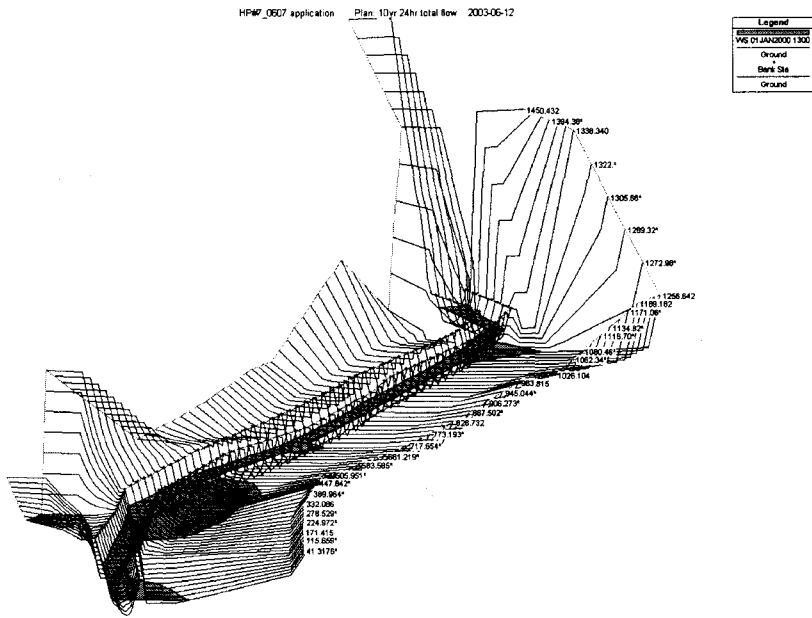
(그림 4-83) 지속시간 24시간인 10년 빈도 강수량에 의한 5시간 경과 후의 3차원 침수모의결과



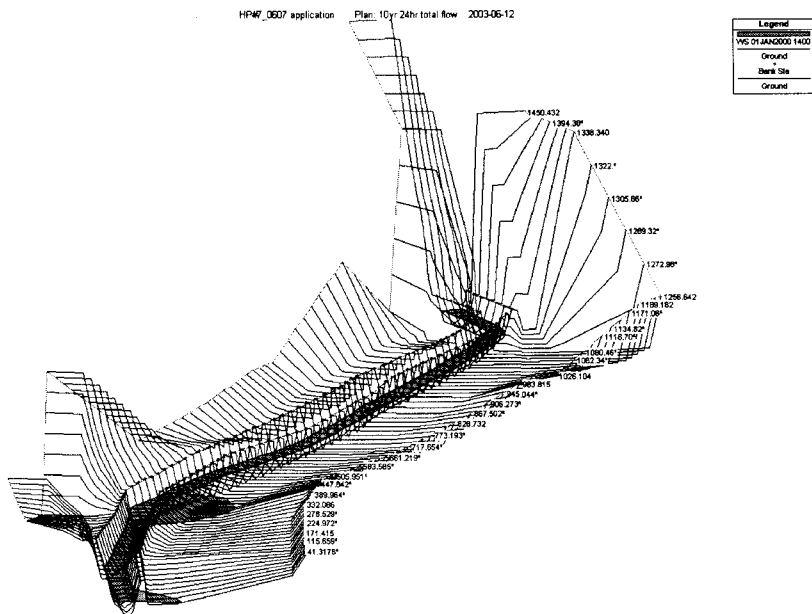
(그림 4-84) 지속시간 24시간인 10년 빈도 강수량에 의한 8시간 경과 후의 3차원 침수모의결과



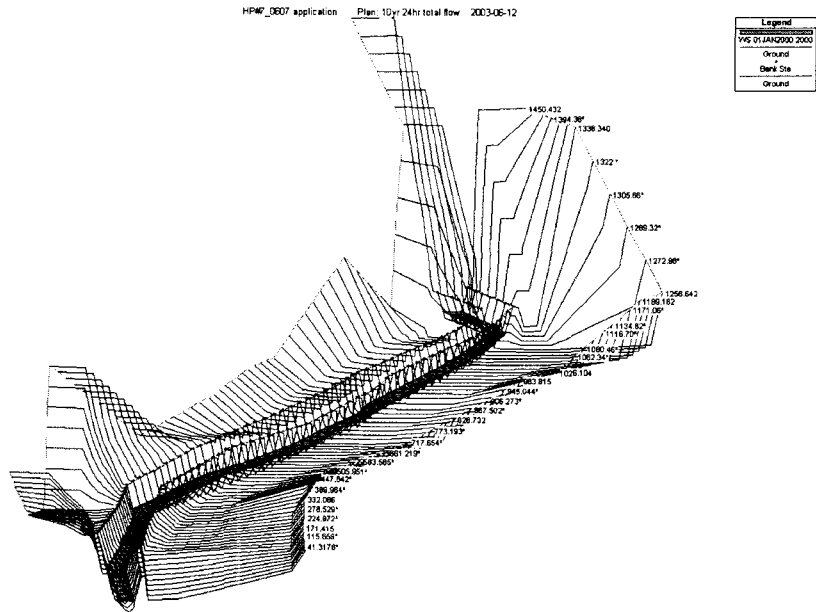
(그림 4-85) 지속시간 24시간인 10년 빈도 강수량에 의한 12시간 경과 후의 3차원 침수모의결과



(그림 4-86) 지속시간 24시간인 10년 빈도 강수량에 의한
13시간 경과 후의 3차원 침수모의결과



(그림 4-87) 지속시간 24시간인 10년 빈도 강수량에 의한
14시간 경과 후의 3차원 침수모의결과



(그림 4-88) 지속시간 24시간인 10년 빈도 강수량에 의한 20시간 경과 후의 3차원 침수모의결과

이러한 침수모의결과로부터 <표 4-19>와 같이 벼 생육단계별로 강우 재현기간에 따른 침관수면적을 계산하였다.

<표 4-19> 벼 생육단계별 강우 재현기간에 따른 침관수면적

생육 단계	강우지속시간 (hr)	침관수 면적 (ha)				
		10 년	20 년	50 년	100 년	200 년
TS	24	8.15	8.97	9.88	10.47	10.99
	48	5.79	6.39	7.19	7.73	8.21
PS	24	6.90	7.73	8.65	9.24	9.77
	48	4.55	5.18	5.94	6.42	6.96
RS	24	5.64	6.48	7.40	8.00	8.53
	48	3.26	3.91	4.67	5.21	5.70
HS	24	5.51	6.36	7.28	7.88	8.41
	48	3.14	3.78	4.55	5.09	5.57
RPS	24	5.51	6.36	7.28	7.88	8.41
	48	3.14	3.78	4.55	5.09	5.57

* TS : 분얼기; PS : 유수형성기; RS : 감수분열기; HS : 출수기; RPS : 등숙기

제 5 절 벼 침수피해 감수량 추정

1. 침수에 의한 벼 감수피해율

우리나라에서는 1960년대 중반부터 벼의 관수피해에 관한 조사연구를 추진하여 왔으며, 지금까지 비교적 많은 시험성적자료가 확보되어 있다. 김천환 등(1982)은 배수 설계를 위한 벼의 관수심 및 관수피해율에 관한 연구에서 농촌진흥청의 시험연구보고서, 일본 농림수산성의 夏作減收推定尺度 및 관련 연구문헌 자료를 이용하여 벼의 생육시기별로 관수시간과 감수율과의 관계를 <표 4-20>과 같이 유도하였으며, 관수피해는 출수기>수잉기>유수형성기>분얼기>이앙직후 순으로 크다고 하였다.

<표 4-20> 벼 생육시기별 관수시간과 감수율과의 관계

생육단계	관계식	R
이앙직후	$y^* = 6.97 x^{**0.926}$	0.866
분얼기	$y = 11.12x^{0.908}$	0.814
유수형성기	$y = 9.58x + 10.01$	0.808
수잉기	$y = 39.66x^{0.558}$	0.839
출수기	$y = 41.94x^{0.589}$	0.723

*y : 감수율 (%), **x : 관수시간 (일)

손양 등 (1987)은 낙동벼와 삼강벼를 대상으로 하여 생육시기별로 청수(淸水)에 의한 관수 지속시간과 감수율과의 관계를 <표 4-21>과 같이 유도한 바 있다.

<표 4-21> 생육시기별로 청수(淸水)에 의한 관수 지속시간과 감수율과의 관계

Cultivar	생육단계	관계식
낙동벼	분얼기	$Y^{**} = -7.34x^{**} + 100.92$
	유수형성기	$Y = -4.76x + 83.88$
	감수분열기	$Y = -8.92x + 86.4$
	출수기	$Y = -13.03x + 81.65$
	등숙기	$Y = -3.53x + 87.65$
삼강벼	분얼기	$Y = -1.92x + 85.84$
	유수형성기	$Y = -3.96x + 92.26$
	감수분열기	$Y = -3.98x + 85.5$
	출수기	$Y = -7.52x + 72.36$
	등숙기	$Y = -3.85x + 79.09$

*Y : 수확량 (g/pot), **x : 관수 지속시간 (일)

농업기반공사 (2002)는 벼 침관수 시간별 피해율 조건표를 만들어서 배수개선 사업의 경제성 분석에 활용하고 있다.

그러나 김천환 등 (1982)의 연구결과는 일본 자료를 일부 활용하였기 때문에 우리나라 벼의 침수피해 특성을 반영한다고 보기 어려우며, 손양 등 (1987)의 연구결과는 활용한 자료의 수가 적고, 청수에 의한 침수피해 관계를 도출한 것으로 홍수시 농경지가 대부분 탁수 또는 반탁수에 의하여 침수됨을 감안하면 현실적으로 적용하기 어려우며, 농업기반공사 (2002)의 조건표는 1970년대 중반에 만들어진 것으로 알려져 있으나, 작성한지 오랜 기간이 경과하였으며, 벼의 생육시기가 고려되지 않은 문제점이 있다.

본 연구에서는 침수에 의한 벼 감수피해율을 구하기 위하여 우리나라에서 1960년대 중반부터 2000년까지 조사·연구한 바 있는 벼 침수피해 관련 126개의 시험성적을 이용하여 벼의 생육단계를 분얼기, 유수형성기, 감수분열기, 출수기 등 5개로 구분하여 생육단계별 침수에 의한 벼 감수피해율과 침수 지속시간과의 관계를 도출하였다.

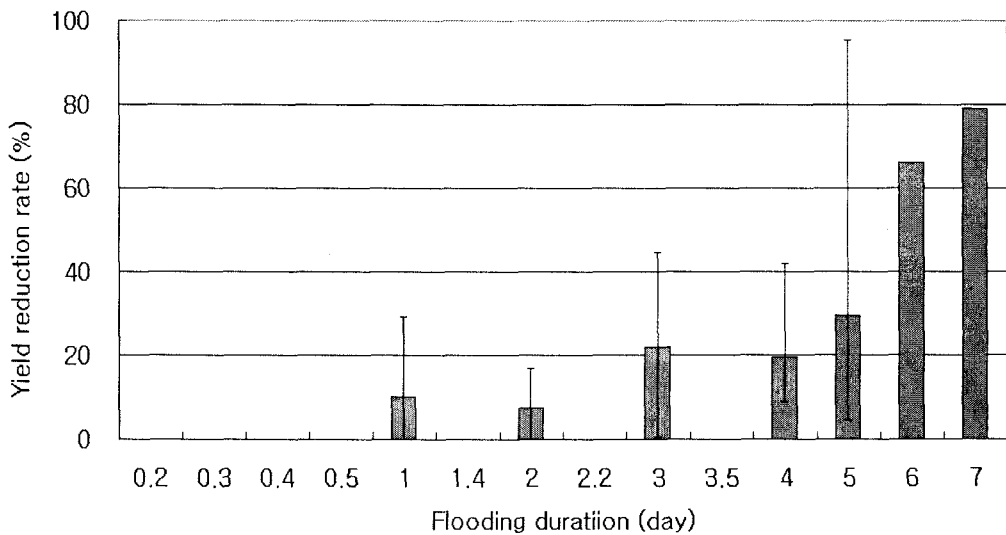
<표 4-22>은 벼의 생육단계별 침수피해 특성을 도출하기 위하여 이용된 자료의 수

를 보여주고 있다.

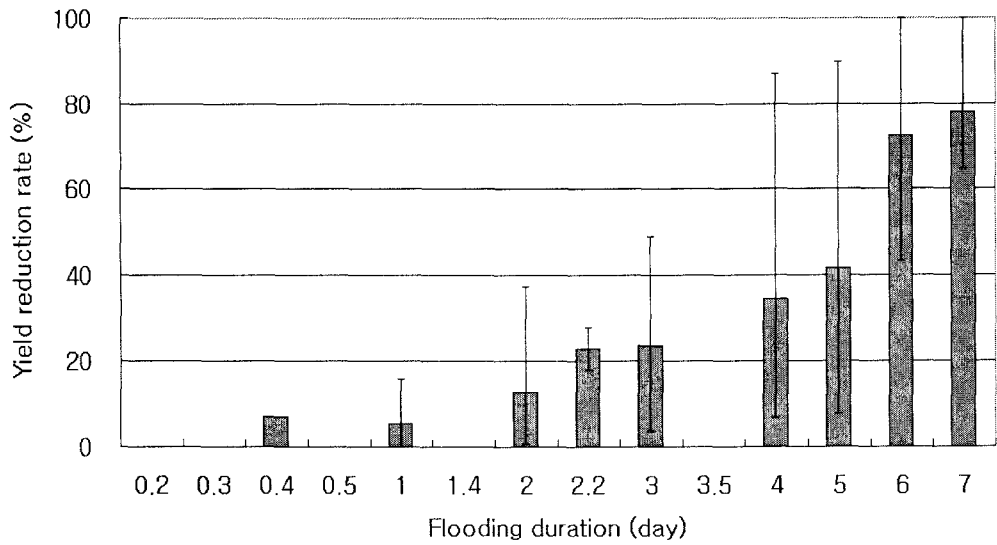
<표 4-22> 벼의 생육단계별 침수피해 특성을 도출하기 위해 이용된 자료의 수

총계	분얼기	유수형성기	감수분열기	출수기	등숙기
126	22	29	24	28	23

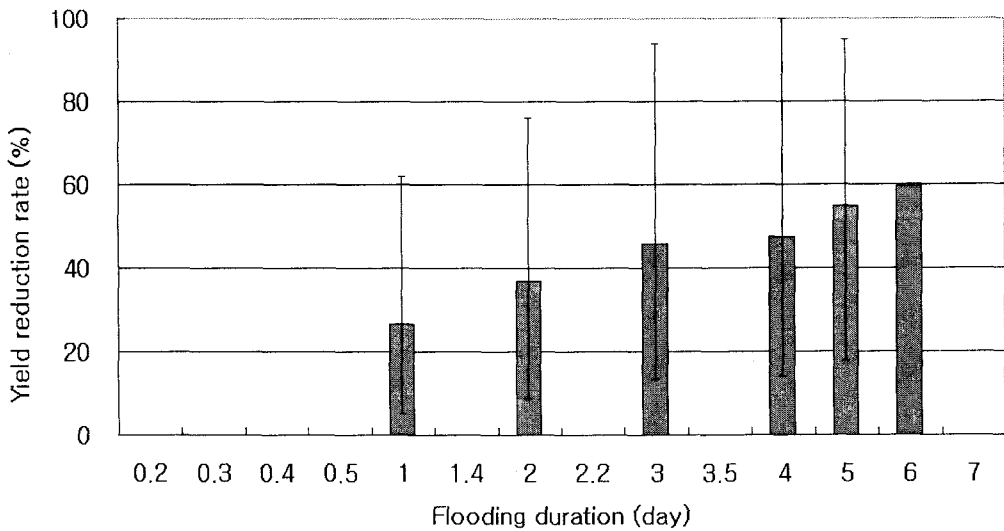
(그림 4-89)~(그림 4-93)은 우리나라에서 조사된 벼 생육시기별 침수 피해율을 보여주고 있다. 생육시기별 침관수에 의한 감수율의 변화는 품종과 조사자 등에 따라 벼 감수율의 차이가 크게 나타나고 있다. 이는 벼 침관수 피해의 정도가 조사자, 조사시기, 벼의 생육시기, 품종, 침수시간, 물의 청탁, 수온, 재배방법, 비배관리, 퇴수후의 일기 등에 따라 큰 차이가 있기 때문이다.



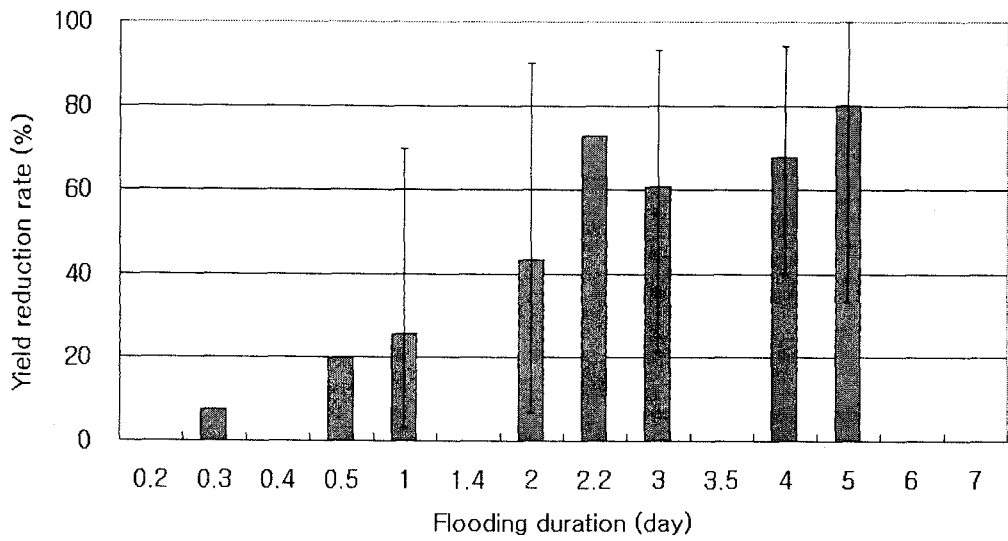
(그림 4-89) 분얼기의 침관수에 의한 감수율



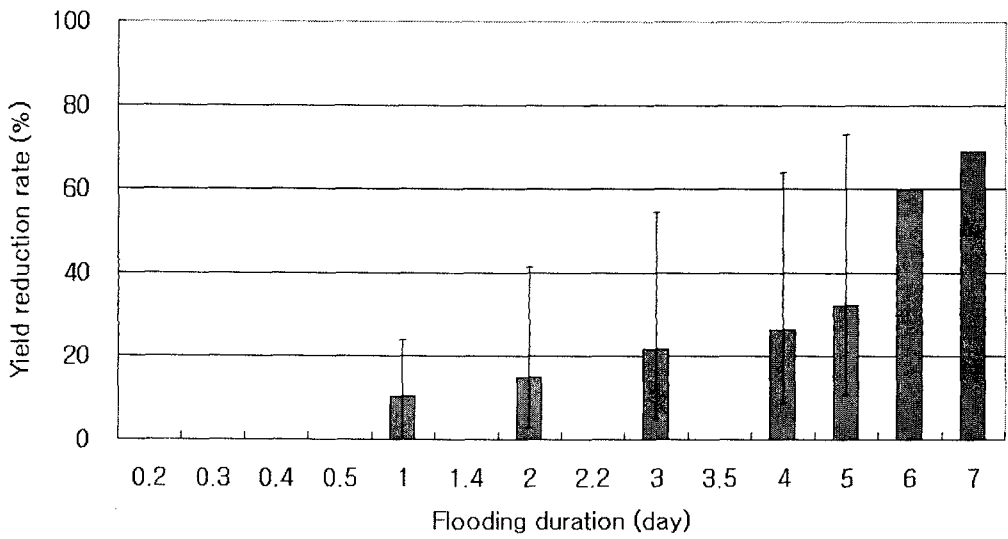
(그림 4-90) 유수형성기의 침관수에 의한 감수율



(그림 4-91) 감수분열기의 침관수에 의한 감수율



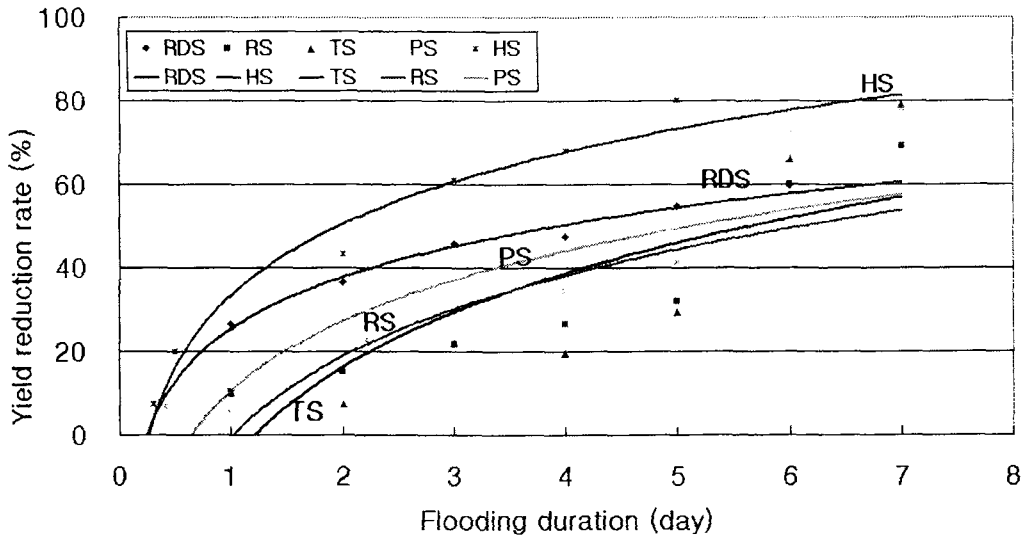
(그림 4-92) 출수기의 침관수에 의한 감수율



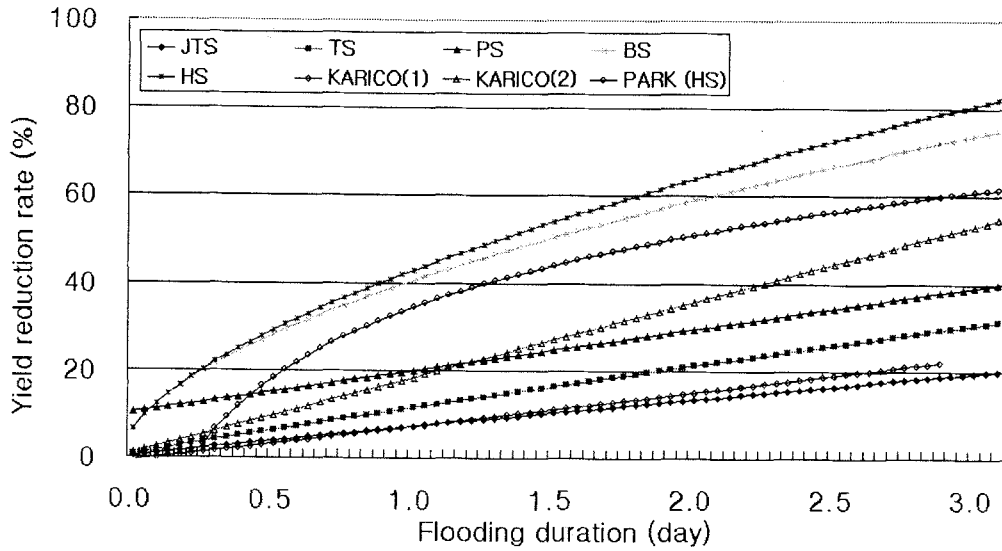
(그림 4-93) 등숙기의 침관수에 의한 감수율

(그림 4-94)는 본 연구에서 조사된 벼 생육단계별 침수 지속시간에 따른 감수율을 보여주고 있다. 감수율은 침수 지속시간이 증가할수록 높게 나타났으며, 출수기 (HS)와 감수분열기 (RDS)가 분얼기 (TS)나 등숙기 (RS)에 비하여 감수피해가 큰 것으로 나타났다.

(그림 4-95)는 생육단계에 따른 침수지속시간별 감수율에 대하여 선행 연구자인 김천환 등의 연구결과 및 농업기반공사의 조건표와 본 연구에서 추정된 출수기 (HS)의 결과를 비교하여 보여주고 있다. 본 연구에서 제시하고 있는 출수기의 침수지속시간별 감수율은 농업기반공사의 조건표보다는 높게 나타나고 있으며, 김천환 등의 출수기, 수잉기의 연구결과보다는 작게 나타났다. 본 연구의 출수기 침수 지속시간별 감수율의 변화는 수렴현상이 뚜렷하게 나타나고 있으나, 김천환 등과 농업기반공사의 감수율 변화는 선형에 가까운 형태를 보이고 있는 것이 특징적이다.



(그림 4-94) 생육단계에 따른 침수지속시간별 감수율



(그림 4-95) 조사자에 따른 감수율 비교

<표 4-23>은 본 연구에서 추정된 생육단계에 따른 침관수 지속시간과 감수율의 관계식을 나타내고 있다. 생육단계별로 상관계수 (R^2)는 0.795~0.999의 범위를 보였으며, 분얼기 (TS)가 가장 작은 값을 보였고 등숙기가 가장 큰 값을 나타냈다.

<표 4-24>는 농업기반공사에서 제시한 침수와 관수에 대한 조건표로부터 추정된 침관수 지속시간과 그에 따른 감수율 관계식을 보여주고 있다. 침수와 관수의 상관계수는 모두 0.999로서 상당히 높은 상관관계를 보여주고 있으나, 수렴하지 않고 발산하는 선형방정식으로서 침관수 지속시간이 증가하더라도 수렴하지 않는다는 한계가 있다.

<표 4-23> 생육단계에 따른 침관수 지속시간과 감수율의 관계식

생육단계	관계식	R
분얼기 (TS)	$y^* = 32.472 \ln(x^{**}) - 6.1805$	0.795
유수형성기 (PS)	$y = 24.139 \ln(x) + 10.654$	0.835
감수분열기 (RS)	$y = 27.889 \ln(x) - 0.4072$	0.851
출수기 (HS)	$y = 24.654 \ln(x) + 33.459$	0.978
등숙기 (RDS)	$y = 17.991 \ln(x) + 25.457$	0.999

* y : 감수율 (%), ** x : 침관수 지속시간 (일)

<표 4-24> 생육단계에 따른 침관수 지속시간과 감수율의 관계식 (농업기반공사)

항목	관계식	R
관수	$y = 0.328x - 0.9606$	0.999
침수	$y = 0.7243x + 0.3372$	0.999

*y : 감수율 (%), **x : 침관수 지속시간 (일)

2. 침수에 의한 벼 감수피해 추정모형

벼 침수피해량은 수리해석 모형을 이용하여 계산된 수위를 이용하여 논외 표고별 침수지속시간을 계산하고, <표 4-23>의 침수지속시간에 따른 침수피해율을 구한 후, 논외 표고별 면적, 침수피해율, 정상상태에서의 벼 생산량을 곱하여 합산하면 침수피해량(Yield Reduction)을 계산할 수 있다.

식(4-56)은 <표 4-23>의 침수지속시간에 따른 침수피해율 관계식을 간단하게 표현한 식이며, 식(4-57)은 침수에 의한 벼 감수량을 구하는 식이다.

$$DR = f(sd) \quad (4-56)$$

여기서 DR은 벼 침수피해율, sd는 침수지속시간이다.

$$\text{감수량 (YR)} = \text{정상상태 생산량} \times \sum(\text{논면적} \times DR) \quad (4-57)$$

벼 침수피해량 추정 모형의 기본적인 계산 과정은 (그림 4-96)과 같으며, 아래와 같은 과정에 따라 산정한다.

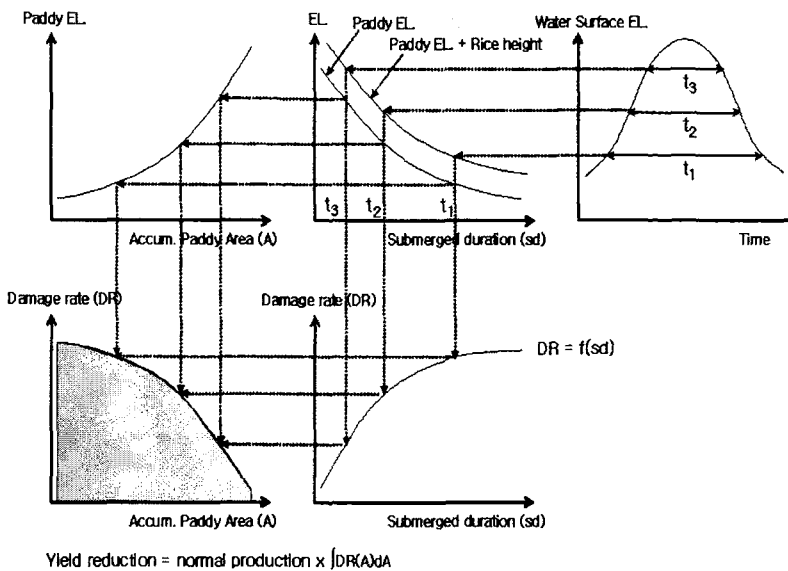
- ① 논외 표고별 면적을 구한다((그림 4-96)의 윗부분의 왼쪽).
- ② 수리해석 모형을 이용하여 시간별 침수위를 구하고, 침수위 곡선에서 논외 표고를 감안한 수위별 침수 지속시간을 구한다((그림 4-96)의 윗부분의 오른쪽).
- ③ 침수위 지속시간과 표고(침수위)와의 관계 그래프를 만드는데, 이 그래프는 침수지속시간에 해당하는 벼 끝의 표고이다. 따라서 이 그래프에서 벼의 크기를 차감하

면 논 의 표 고 가 된 다 ((그림 4-96) 윗부분의 가운데).

④ ③의 논 의 표 고 를 (그림 4-96)의 윗부분의 왼쪽에 위치하고 있는 논 의 표 고-면 적 관계로부터 논 면적 을 구 하고, ③의 침수 지속시간을 이용하여 (그림 4-96)의 아래 오른쪽에 위치하고 있는 침수 지속시간-침수 피해율 관계로부터 침수 피해율 을 구 한다.

⑤ ④에서 구한 논 면적 과 침수 피해율 을 이용하여 (그림 4-96)의 아래 왼쪽에 위치 한 그래프와 같이 논 면적-침수 피해율 관계를 구 한다.

⑥ (그림 4-96)의 아래 왼쪽에 위치하고 있는 논 면적-침수 피해율 관계 그래프를 적 분한 후 정상상태에서의 생산량을 곱하면 식(4-57)의 침수 피해량 이 된다.



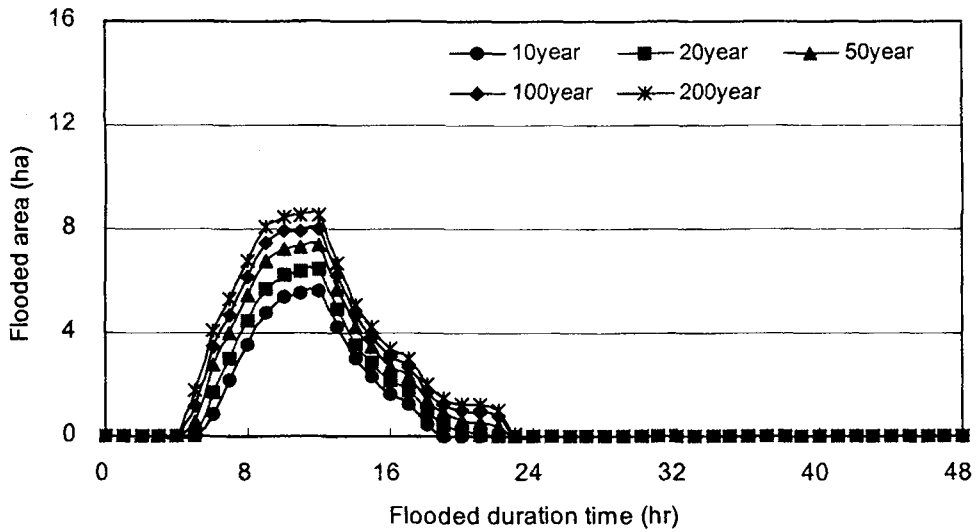
(그림 4-95) 벼 침수 피해량 추정 모형의 기본적인 계산 과정

3. 확률강수량에 따른 감수율

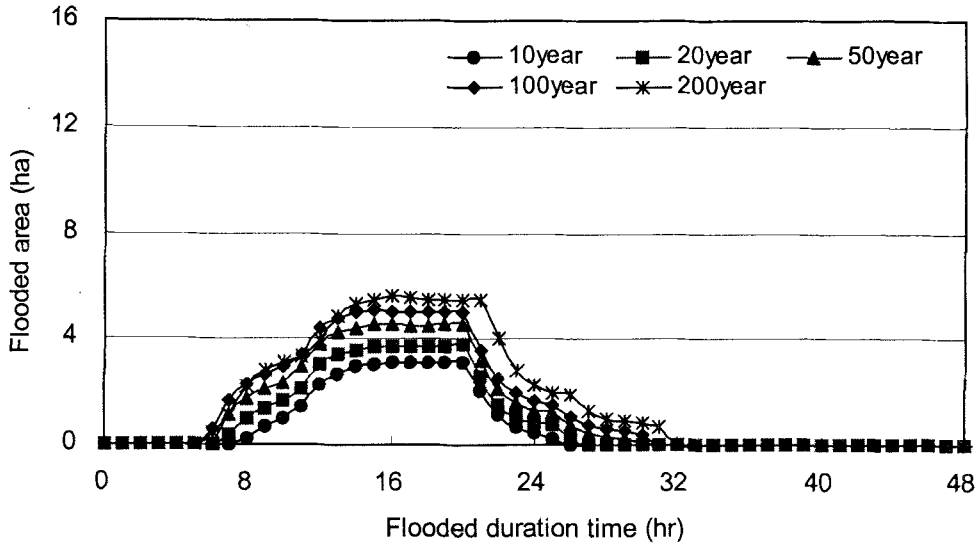
벼의 생육단계에 따른 관수시간과 관수피해 정도를 규명하기 위하여 확률강수량에 따른 벼의 침관수 감수율을 추정하였다. <표 4-25>는 감수율 산정모형의 작물관련 입력자료인 벼 품종에 따른 생육시기별 이양후 일수와 초장의 크기를 나타내고 있다. 지속시간 빈도별 확률강수량에 따른 침관수 지속시간 변화는 HEC-RAS에서 추정된 값을 사용하였으며, 그 결과는 (그림 4-97)~(그림 4-98)에서와 같다.

<표 4-25> 벼 품종에 따른 생육시기별 이앙후 일수와 초장크기

생육단계	이앙 후 일수 (일)			초장 (cm)
	조생	중생	만생	
분얼기 (TS)	40	51	61	26
유수형성기 (PS)	50	61	71	47
감수분열기 (RS)	58	69	79	68
출수기 (HS)	73	84	94	70
등숙기 (RPS)	114	125	135	70

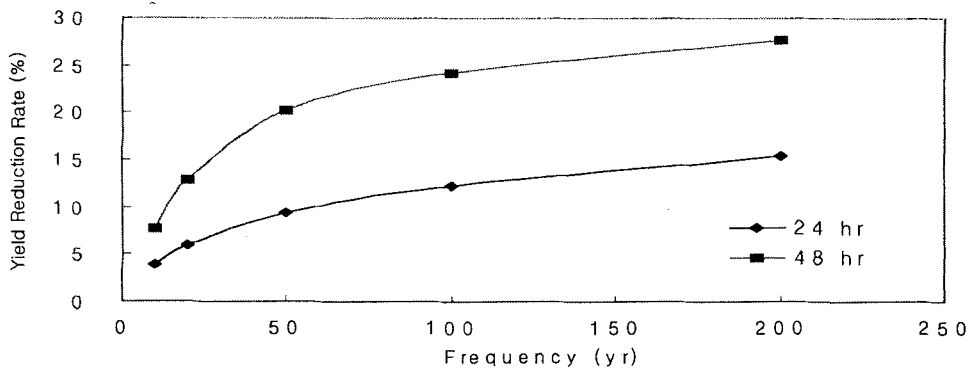


(그림 4-97) 지속시간 24시간에 대한 빈도별 확률강수량에 따른 침수시간에 대한 침수면적 변화 (조생종, 출수기 (HS))



(그림 4-98) 지속시간 48시간에 대한 빈도별 확률강수량에 따른 침수시간에 대한 침수면적 변화 (조생중, 출수기 (HS))

(그림 4-99)와 <표 4-26>은 비 출수기에서의 확률강수량에 따른 침관수에 의한 감수율을 보여주고 있으며, 나머지 이양직후, 분얼기, 유수형성기, 수잉기에 대한 침관수 감수율 결과는 부록에 수록하였다. 출수기에서의 비의 침관수에 의한 감수율은 침관수 지속시간을 고려하여 가중 침수면적으로 산정하였으며, 확률강수량에 대하여 침관수 면적에 대한 비의 감수율은 3.91%~27.76%의 범위를 보였다.



(그림 4-99) 재현기간에 따른 감수율 (조생, 출수기 (HS))

<표 4-26> 출수기에서의 감수율 (단위: %)

	지속시간	재현기간 (년)				
		10	20	50	100	200
감수율	24시간	3.91	5.98	9.41	12.33	15.42
	48시간	7.64	12.79	20.15	24.18	27.76

4. 연간 벼 침수피해 감수량 추정

침수에 의한 벼의 연평균 감수피해량은 연평균 강수량의 초과확률을 계산하고, 각각의 예상 피해량을 산정하여 그 결과로부터 추정하였다. 즉, 빈도별 강수량을 추정 한 후, 본 연구에서 구성한 모형을 이용하여 논의 침수면적, 침수시간, 침수심을 모의하여 벼 침관수 감수율 추정식으로부터 계산하였다.

벼 생산량 기준은 화성시의 연평균 쌀 생산량을 적용하여 산정하였다. <표 4-27>은 화성시의 최근 5년간 쌀 생산량을 나타내고 있으며, 연평균 ha당 쌀 생산량은 4,834 kg/ha였다.

<표 4-27> 화성시의 연평균 쌀 생산량 (1998~2002)

	1998	1999	2000	2001	2002	평균
논 면적 (ha)	16,888	16,988	16,939	16,581	16,084	16,716
단위면적당 쌀 생산량 (kg/ha)	5,090	4,980	4,580	4,910	4,610	4,834
합계 (M/T)	85,958	84,602	77,582	81,411	74,145	80,805

자료 : 국립 농산물 품질 관리원

<표 4-28>은 지속시간 48시간에 대한 확률강수량에 따른 출수기에 대한 벼의 연평균 감수피해 예상량을 나타내고 있다. 이 지역의 48시간 지속시간 200년 빈도 강우발생시 침수로 인하여 피해가 예상되는 연간 감수피해량은 <표 4-28>에서 보는 바와 같이 797kg이다. 이는 48시간 지속시간 200년 빈도의 강우 발생시 침수가 예상된 지역에서의 연평균 생산량 26,949kg의 3%에 해당하는 값이다. 이는 이 지역이 배수로가

잘 정비되어 있고, 유역의 상류부에 위치하고 있어 배수가 잘 되기 때문에 침수에 의해 예상되는 연간 피해는 크지 않는 지역으로 추정된다.

<표 4-28> 재현기간에 따른 예상 피해량 (단위 : kg)

재현기간 (년)	연초과 확률	연발생 확률	예상 침수피해	평균예상 침수피해	연간 피해 예상치	실제 피해량
0	1		0			
10	0.1	0.9	1,160	580	522	522
20	0.05	0.05	2,341	1,750	88	610
50	0.02	0.03	4,427	3,384	102	711
100	0.01	0.01	5,952	5,190	52	763
200	0.005	0.005	7,482	6,717	34	797

제 6 절 요약 및 결론

본 연구에서는 HEC-GeoHMS, HEC-HMS, HEC-GeoRAS, HEC-RAS 모형을 이용하여 침수모의 시스템을 구축하고, 벼 감수피해 추정모듈을 추가하여 침수발생에 따른 피해량 추정 시스템을 구성하였다. 침수모의 시스템의 적용성을 검토하기 위한 시험유역으로 발안 유역의 HP#7 소유역을 선정하고 지형자료의 구축과 수문자료를 이용하여 침수모의 시스템을 적용하고, 확률강우량에 따른 침수모의를 수행하였다.

본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

① 농경지에서의 침수피해를 모의하기 위해 유역 홍수추적 모형과 하천 홍수추적모형, 벼 감수피해 추정 모형을 연계하여 GIS 기반의 농경지 침수모의 시스템을 구성하였다.

② 농경지 침수모의 시스템의 적용성을 평가하기 위하여 서울대학교에서 1996년부터 수문자료를 구축하고 있는 경기도 화성시에 위치한 발안 시험의 HP#7 유역을 선정하였고, 시험유역을 대상으로 NGIS 수치지도, 위성영상자료, 개략토양도 등을 이용하여 지형자료를 구축하였다.

③ 침수모의 시스템의 적용을 위해 구축한 지형자료는 1/5000 수치지도의 등고선 간격은 5m로 하천 홍수추적과 침수모의를 위해 하천 측량을 통해 정밀한 하천 종단면 자료를 구축하였다.

④ HEC-HMS 모형을 이용하여 황유입량을 산정하여 HEC-RAS 모형의 입력자료로 이용하였으며, HEC-RAS 모형의 보정을 위해 1996년 수문자료를 이용하였다. 모형의 보정결과 침투유량의 R^2 는 0.1538, RMSE는 1.002이며, 침투시간의 R^2 는 0.9732, RMSE는 0.678로 나타났다.

⑤ 1997년부터 2001년까지의 수문자료를 이용하여 HEC-RAS 모형을 검정하였고, 침투유량과 침투시간에 대한 검정결과 침투유량의 경우 RMSE가 $11.969\text{m}^3/\text{s}$, 침투시간의 경우 RMSE가 0.947 시간으로 분석되었다.

⑥ 침수모의 시스템의 침수분석을 위해 시험유역에 대한 확률강수량을 산정하고 이를 적용하여 시험유역에 대한 침수상황을 모의하였다. 농경지 침수상황을 모의한 결과, 침관수 면적은 강우 지속시간이 짧고 재현기간이 클수록, 그리고 생육 초기에 큰 값을 보였다.

⑦ 벼의 생육단계별로 침관수 시간에 따른 침관수 피해를 규명하기 위하여 문헌조사를 통해 생육단계별 침관수 시간에 따른 감수율을 정리하여 침수지속시간과 감수율의 상관관계를 분석하였다.

⑧ 침관수 지속시간을 고려한 확률강우량에 따른 시험유역의 벼 침관수 감수율을 추정된 결과, 지속시간 24시간, 48시간에 대한 재현빈도 10년, 20년, 50년, 100년, 200년 확률강우량 발생시 출수기의 침수면적은 3.1ha~8.4ha의 범위를 보였고, 벼 감수율은 3.9%~27.8%의 범위를 보였다.

⑨ 48시간 지속시간에 재현빈도 200년 확률강우량 발생시 시험유역에서 출수기에서의 침수에 의한 벼의 연간 감수피해량은 797kg인 것으로 추정되었다.

제 5 장 배수개선대책에 따른 침수상황의 비교 및 대안의 선정

제 1 절 서론

우리나라의 기후특성상 6월 하순부터 7월 중하순까지의 장마와 8, 9월의 태풍 및 국지적인 저기압의 발달에 따른 집중호우 등으로 해마다 농경지의 침수 및 유실의 피해를 입고 있다. 특히, 지구온난화, 엘니뇨, 라니냐현상 등으로 인한 최근 몇 년간의 이상강우로 인하여 농경지의 침수 및 유실 피해가 증가하고 있는 추세이다.

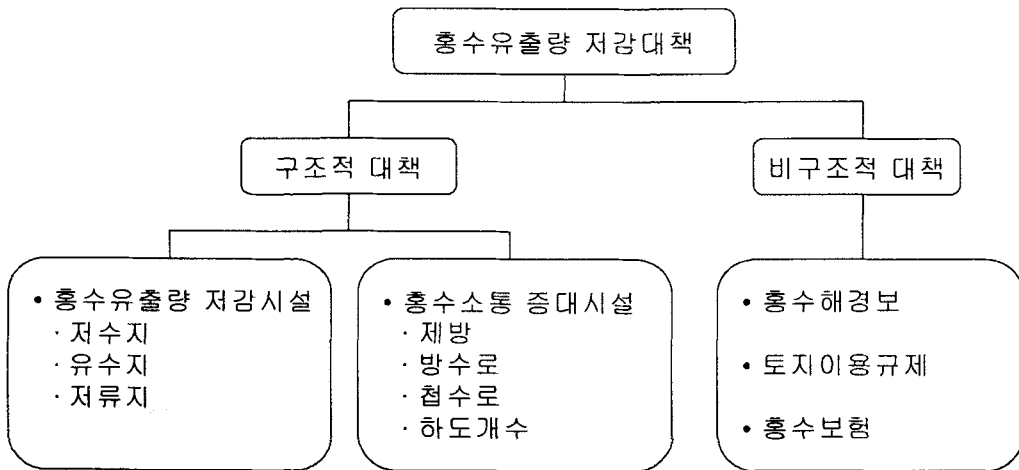
농경지의 풍수해 피해를 경감하기 위해서는 상습침수지역에 대한 배수개선사업이 선행되어야 한다. 배수개선사업은 홍수량 산정과 침수대책 대안에 따른 침수분석의 정확성과 신뢰성에 의해 좌우된다. 배수개선사업은 계획홍수량을 안전하게 배제할 수 있는 대책을 선정하여 시행하는 것으로, 이를 위해서 계획홍수량에 따른 침수피해 상황을 정량적으로 모의하고, 저감대책에 따른 효과를 검토하여, 적정수준이내의 침수방지 목적을 달성할 수 있도록 하는 일이 필요하다.

침수피해를 줄이기 위한 대책으로 홍수유출량을 줄이는 방법과 홍수소통을 증대시키는 방법이 많이 이용되고 있으며, 전자는 홍수시 일시적으로 홍수유량을 저류하여 침투유량의 크기를 줄이고 천천히 유출되도록 하는 방법이며, 후자는 하천제방의 정비, 방수로, 배수로 등을 정비하여 홍수유량이 신속하게 배제되도록 하는 방법이다.

본 장에서는 홍수로 인한 침수피해를 최소화하기 위한 배수개선 대책으로 침수피해 저감시설에 대하여 조사하고, 각각의 장단점을 알아보며, 기술적·경제적으로 실현가능성이 있는 저감대책을 선정한다. 선정된 저감대책을 수문 모형에 적용하여 모의한 후, 모의 결과로부터 저감시설의 효과를 제시한다. 이 결과를 바탕으로 저감대안을 계획하고 설계함으로써, 사전에 재해로부터 피해를 최소화 할 수 있는 가장 적합한 대책 방안을 선정한다.

제 2 절 침수피해 저감대안의 선정

침수피해를 감소시키기 위한 홍수유출량 경감대책은 크게 구조적 대책과 비구조적 대책으로 구분할 수 있다. 우선 구조물을 이용한 대책은 홍수유출량을 저감시키는 시설과 홍수유량의 소통을 증대시키는 시설로 나누어진다. 홍수유출량을 저감시키는 시설로는 저수지, 유수지, 저류지, 우수침투시설 등이 있으며, 홍수소통을 증대시키기 위한 시설로는 제방, 방수로, 첩수로, 하도개수 등의 시설로 구분할 수 있다. 한편, 비구조적 대책으로는 홍수해경보제도, 토지이용규제, 홍수보험제도 등을 들 수 있다. (그림 5-1)은 홍수피해를 줄이기 위한 홍수량 저감대책 방안을 보여주고 있다.



(그림 5-1) 홍수량 저감대책 분류

일반적으로 홍수유출량 저감시설인 저류지 및 유수지를 설치하였을 때의 장점은 저수지에 비하여 비용면에서 유리하고, 넓은 면적과 강우종료 시 신속하게 배수로의 토사 및 잡물을 제거하는 기능을 하여 유지관리가 용이하며, 다목적으로 이용이 가능하다는 것이다. 그러나 비교적 넓은 면적이 요구되어 토지이용성 저하될 우려가 있고, 적절한 침전물제거와 출수후 철저한 환경정비가 요구되며, 다목적으로 이용 시 홍수 조절기능의 저하가 우려되는 단점이 있다.

본 연구에서는 기존에 많이 시행되고 있고 여러 장점이 있는, 침수피해 저감방안 중 홍수유출 저감대책으로, 저류지를 설치하는 방안을 선택하였다.

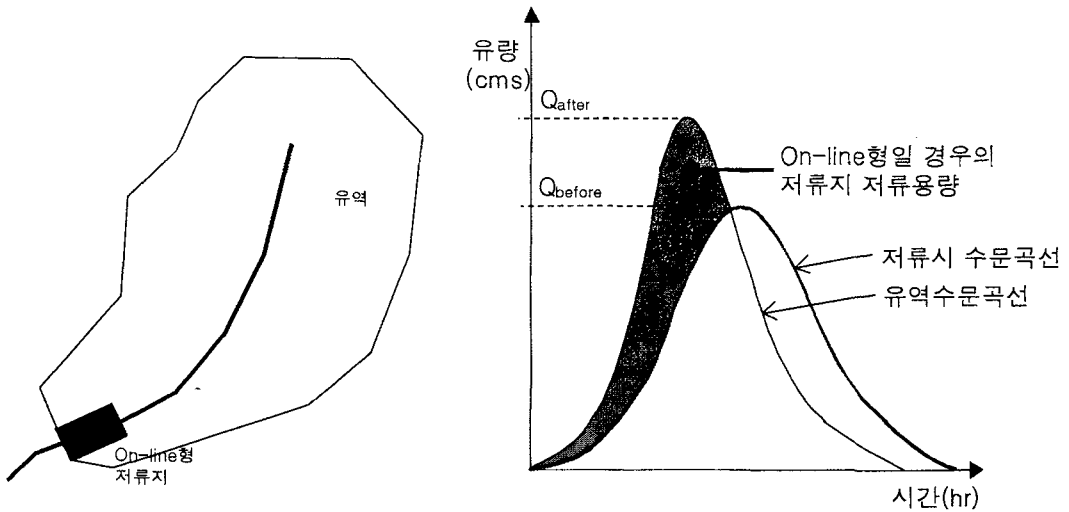
제 3 절 선정된 적정대안의 모의 및 결과분석

1. 선정된 대책안의 제시

본 연구에서는 홍수유출량을 경감시키는 방법으로 저류지를 설치하는 방법을 선정하였다. 저류지는 홍수조절방식에 따라 On-line (자연유입유출방법) 형식의 저류지와 Off-line (일정유량이상 조절방법)형식의 저류지의 두 가지 방법으로 구분할 수 있고, 본 연구에서는 이 두 가지 방법을 HP#7 유역에 적용하였다.

가. On-line 방법

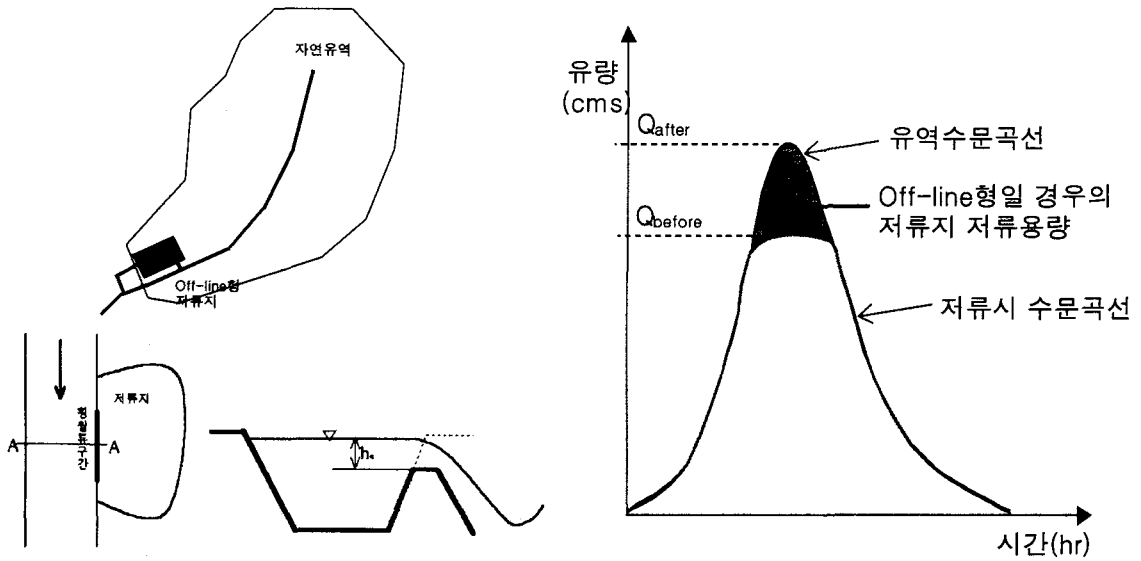
이 방법은 유역 내 발생한 유출량이 전량 저류지에 유입되고 방류시설을 통하여 방류되는 형태이다. (그림 5-2)는 On-line 방법을 적용한 저류지의 모식도를 보여주고 있다.



(그림 5-2) 자연유입유출방법

나. Off-line 방법

이 방법은 홍수유출량의 첨두부분이 월류제에 의해 분류되어 저류지로 유입되어 첨두홍수량의 크기가 감소되는 형태이다. (그림 5-3)은 Off-line형 저류지의 모식도를 나타내고 있다.



(그림 5-3) 일정유량이상 조절방법

2. 적정대안의 모의 및 결과 분석

가. 저류지 홍수추적

저류지 홍수추적은 기지의 수문곡선으로부터 저류지의 저류량에 의하여 임의의 시간을 통과하는 동안에 하류지점의 유출수문곡선을 결정하는 과정이며, 저류방정식을 이용한다. 저류방정식은 식(5-1)과 같고, 식(5-2), 식(5-3) 전개할 수 있다.

$$I - O = ds/dt \quad (5-1)$$

$$\frac{I_1 + I_2}{2} \cdot \Delta t - \frac{O_1 + O_2}{2} \cdot \Delta t = S_2 - S_1 \quad (5-2)$$

$$\frac{I_1 + I_2}{2} \cdot \Delta t = (S_2 + \frac{O_2}{2} \cdot \Delta t) - (S_1 + \frac{O_1}{2} \cdot \Delta t) \quad (5-3)$$

여기서 I_1 : 시간 Δt 의 시점에 있어서의 유입량 (m^3/s)

I_2 : 시간 Δt 의 종점에 있어서의 유입량 (m^3/s)

O_1 : 시간 Δt 의 시점에 있어서의 유출량 (m^3/s)

O_2 : 시간 Δt 의 종점에 있어서의 유출량 (m^3/s)

Δt : 홍수추적시간 (s)

S_1 : 시간 Δt 의 시점에 있어서의 저수지 저류량 (m^3)

S_2 : 시간 Δt 의 종점에 있어서의 저수지 저류량 (m^3)

저류지로 유출되는 유출부는 예연웨어를 이용하였으며, Off-line형 저류지의 유입부는 HEC-HMS에서 지원하는 측면웨어 (diversion)을 이용하였으며, 식(5-4), 식(5-5)는 웨어공식을 나타낸다.

$$Q = CLH^{3/2} \quad (5-4)$$

$$Q = \frac{2}{3} C_e \sqrt{2g} L_e H_e^{3/2} \quad (5-5)$$

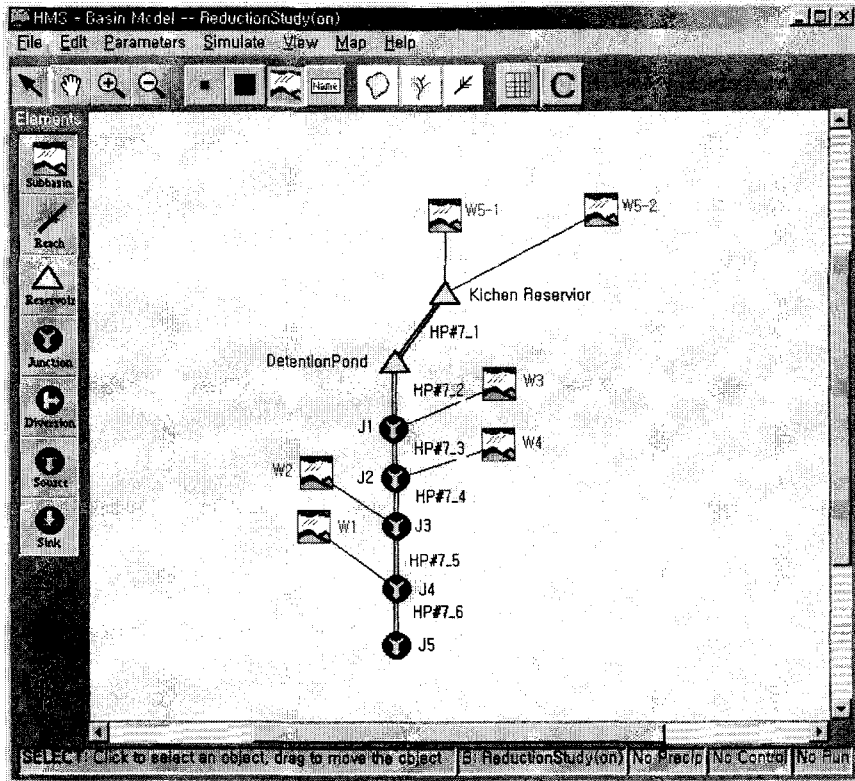
여기서, C_e = 유효유량계수

L_e = 유효폭

H_e = 유효수두

나. On-line형 저류지 모의

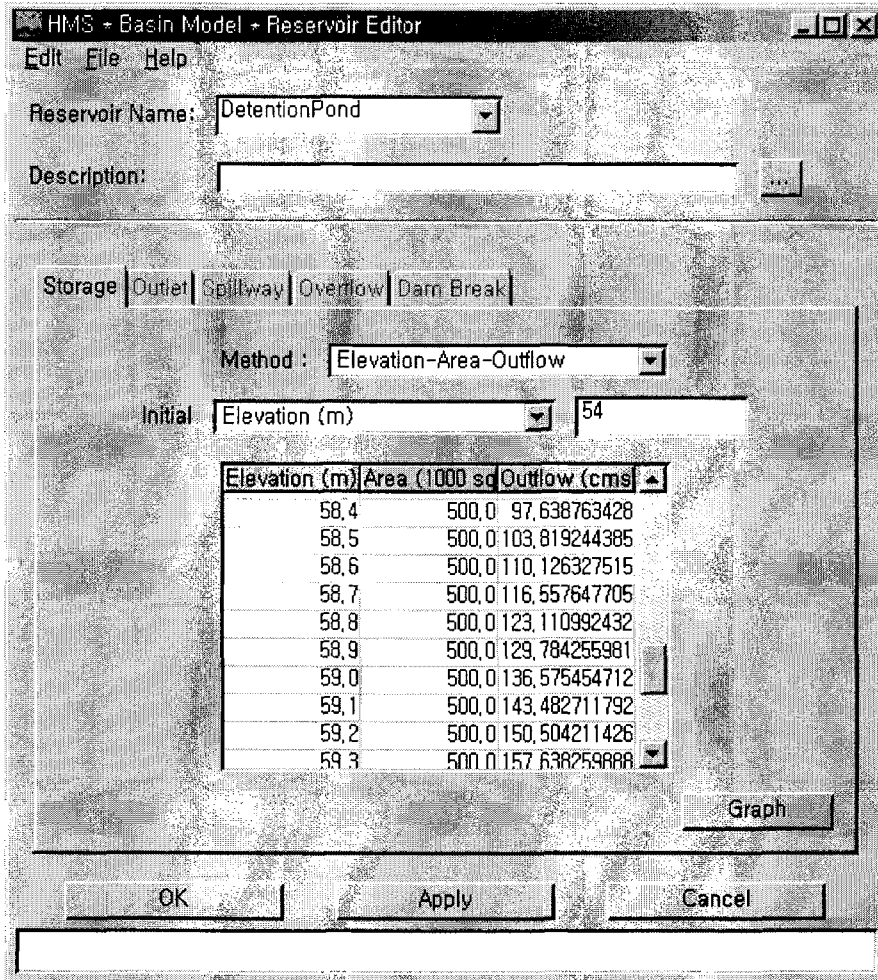
(그림 5-4)는 HEC-HMS의 유역모델에 On-line방식의 저류지를 설치하는 대안을 보여주고 있다. HP#7 유역의 홍수량은 저수지의 방류량에 의해 많은 영향을 받고 있기 때문에 저수지 바로 밑에 저류지를 설치하여 모의하였다.



(그림 5-4) On-line 방법의 저류지를 설치한 HP#7 유역의 HEC-HMS 유역모델

HEC-HMS의 유역모델에 적용된 On-line 방법의 저류지는 정상시는 오리피스를 통하여 유출되다가 홍수시에 저류지가 일정 수위 (2m)에 다다르면 웨어로 월류되는 방식으로 모의하였다.

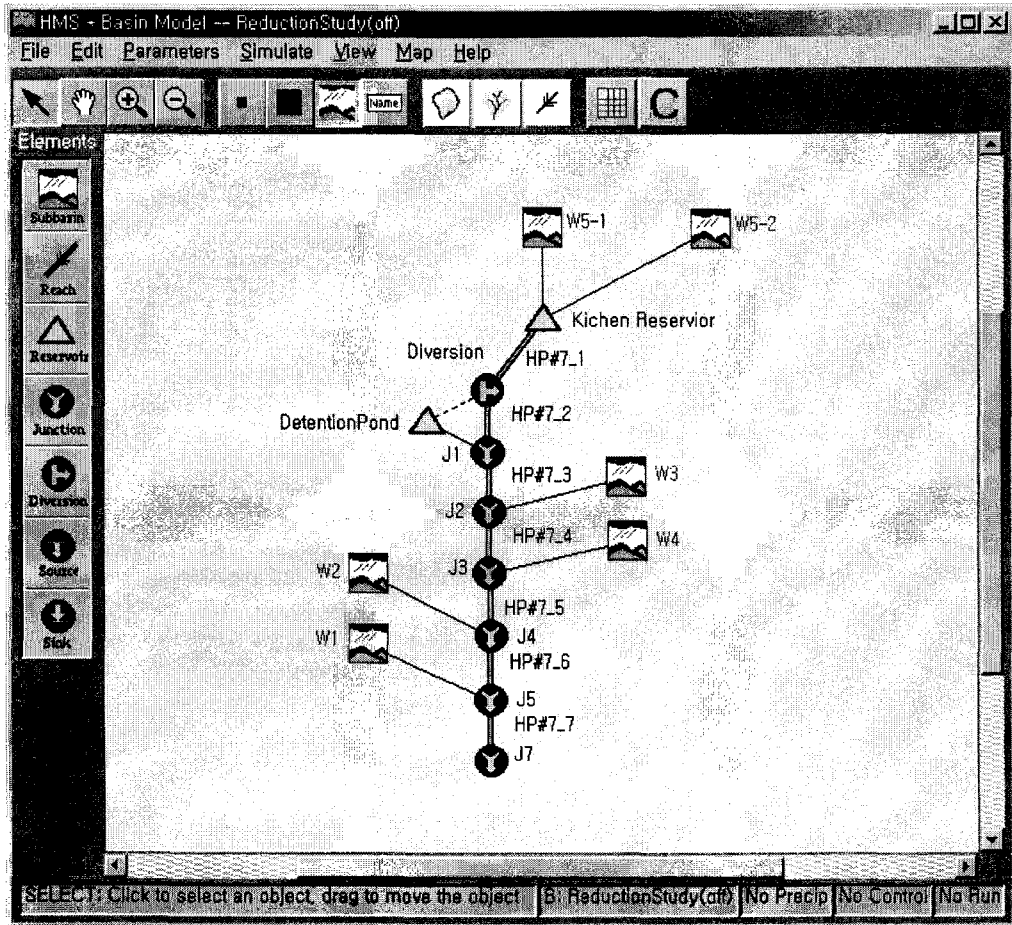
(그림 5-5)는 저류지의 수위-면적-유출량 관계를 보여주고 있으며, 홍수유출량 모의시 초기 수위는 저류지에 물이 없는 상태인 54m로 가정하였고, 웨어의 폭은 HP#7 유역의 하도구간의 폭 길이인 15m로 가정하였고, 저류지의 면적은 1ha~50ha 까지 변화를 주어가며 모의하였다.



(그림 5-5) 저류지의 수위-면적-유출량 관계

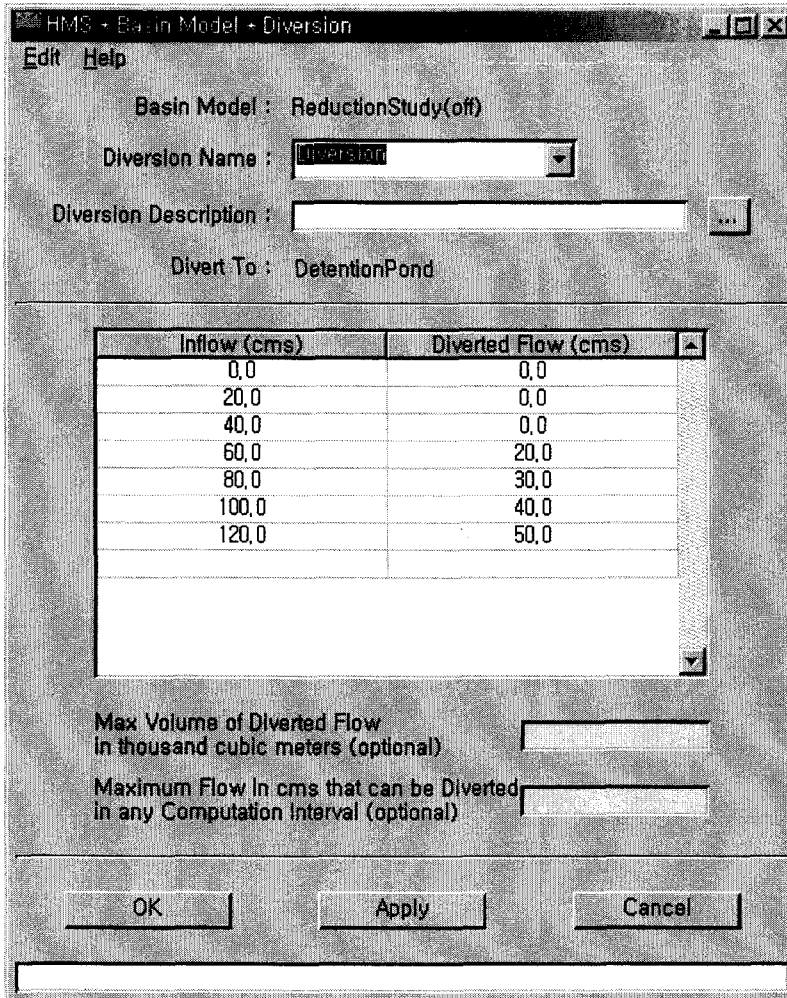
다. Off-line형 저류지 모의

(그림 5-6)에서는 HEC-HMS의 유역모델에 Off-line방식의 저류지를 설치하는 대안을 보여주고 있다. 한편, HP#7 유역의 홍수량은 On-line형 저류지와 마찬가지로 저수지의 방류량에 의해 많은 영향을 받고 있기 때문에 저수지 바로 밑에 저류지를 설치하여 모의하였다.



(그림 5-6) Off-line 방법의 저류지를 설치한 HP#7 유역의 HEC-HMS 유역모델

모의시 사용된 Off-line형 저류지의 용량 및 유출량은 On-line형 저류지 모의시의 저류지와 동일하게 적용하였다. 단, Off-line형 저류지의 유입부분은 하도구간의 측면에 웨어로 설치되어 있으며, HEC-HMS에 입력되는 자료는 (그림 5-7)에 나타나 있으며, 하도구간의 유량이 $40\text{m}^3/\text{s}$ 이상이 되면 월류하도록 설정하였다.



(그림 5-7) Off-line형 저류지의 유입부 유량

라. 적정대안의 모의결과 분석

본 연구에서는 On-line형 저류지 및 Off-line형 저류지를 모의하였으며, 강우는 수원지방의 10년, 20년, 50년, 100년, 200년 빈도 확률강우량을 적용하여 홍수유출을 모의하였다. <표 5-1> 와 <표 5-2>, (그림 5-8)~(그림 5-17)는 빈도별 확률강우량 모의시 저류지의 면적에 따른 침투유량을 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이, On-line형 저류지보다 Off-line형 저류지가 저류지의 면적이 작을 때 침투유량을 줄이는데 기여를 하였고, On-line형 저류지는 저류지의 면적이 늘어날수록 침투유량이

줄어드는데 반해, Off-line형 저류지는 저류지의 면적이 일정한 수준에 다다르면 침투 유량은 변하지 않았다. 이는 Off-line형 저류지가 침투부분의 유량만을 저류시키기 때문에 발생한 결과이다. 한편 (그림 5-18) ~ (그림 5-37)는 지속시간별 확률강우량에 의한 On-line형 및 Off-line형 저류지의 시간에 따른 면적별 직접유출곡선을 나타내고 있다.

<표 5-1> 24시간 지속시간 확률빈도별 강우량에 의한 저류지 방식별 침투유량

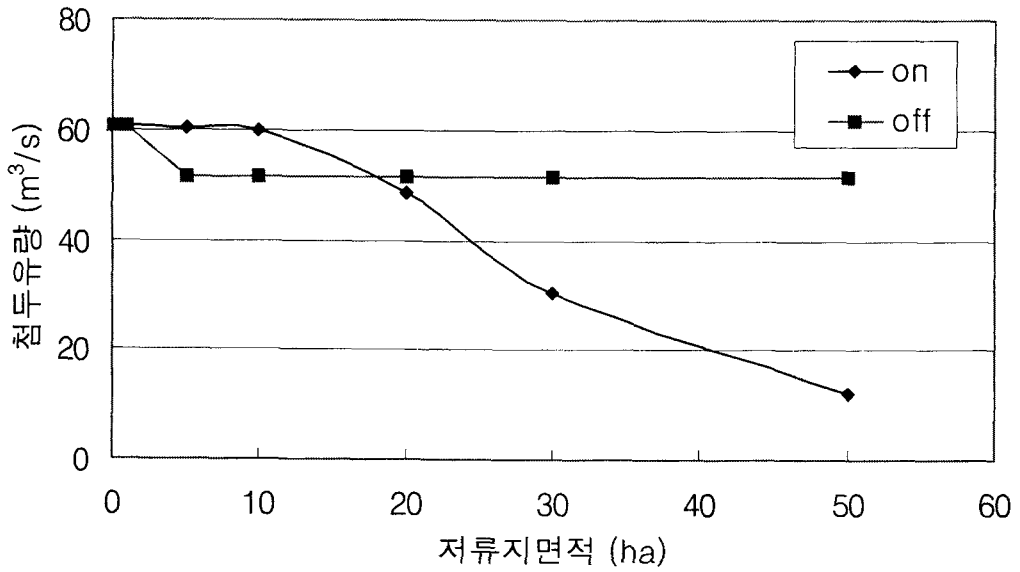
면적 (ha)	방식	빈도 (년)				
		10	20	50	100	200
0	On-line	60.769	72.073	86.531	97.437	108.200
	Off-line	60.769	72.073	86.531	97.437	108.200
1	On-line	60.739	72.051	86.516	97.426	108.190
	Off-line	60.686	72.022	86.529	97.437	108.200
5	On-line	60.455	71.799	86.326	97.266	108.070
	Off-line	51.616	70.428	86.327	97.310	108.110
10	On-line	59.793	71.315	85.970	96.990	107.870
	Off-line	51.616	53.764	79.128	93.839	106.350
20	On-line	48.588	63.563	80.296	92.902	104.740
	Off-line	51.616	53.764	61.546	68.168	82.520
30	On-line	30.308	43.404	64.067	78.252	91.711
	Off-line	51.616	53.764	61.546	68.044	74.456
50	On-line	11.903	20.650	32.805	43.040	53.349
	Off-line	51.616	53.764	61.546	68.044	74.456

단위 : m³/s

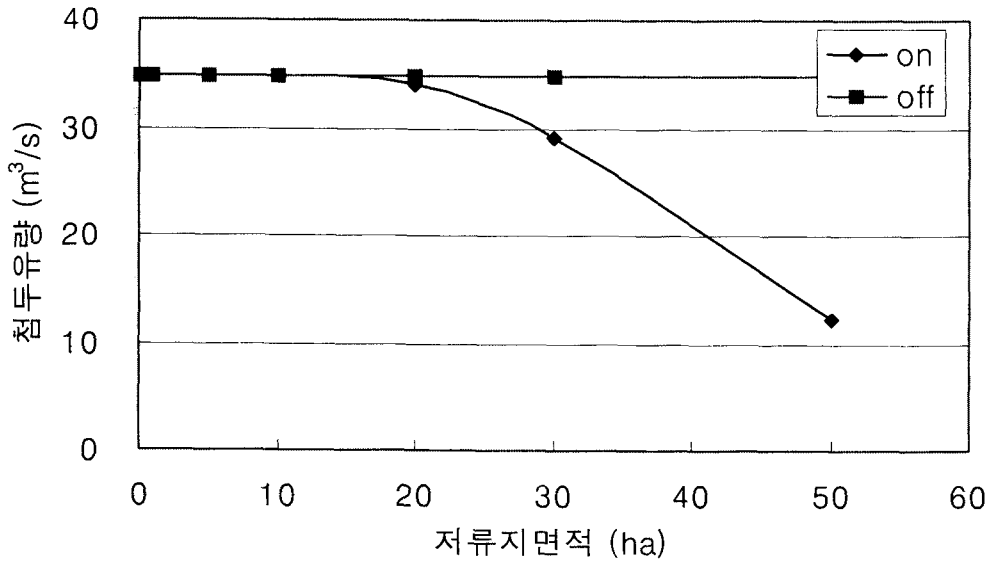
<표 5-2> 48시간 지속시간 확률빈도별 강우량에 의한 저류지 방식별 침투유량

면적 (ha)	방식	빈도 (년)				
		10	20	50	100	200
0	On-line	34.819	40.780	49.104	55.396	61.596
	Off-line	34.819	40.780	49.104	55.396	61.596
1	On-line	34.805	40.768	49.062	55.384	61.586
	Off-line	34.819	40.780	49.091	55.331	61.562
5	On-line	34.747	40.720	48.875	55.214	61.418
	Off-line	34.819	40.780	49.091	50.635	60.380
10	On-line	34.674	40.666	48.724	54.866	61.086
	Off-line	34.819	40.780	49.091	50.588	56.154
20	On-line	34.062	40.386	48.576	54.454	60.337
	Off-line	34.819	40.780	49.091	50.588	51.790
30	On-line	29.068	37.474	46.952	53.392	59.615
	Off-line	34.819	40.780	49.091	50.588	51.790
50	On-line	12.302	19.171	32.429	41.484	49.798
	Off-line	34.819	40.780	49.091	50.588	51.790

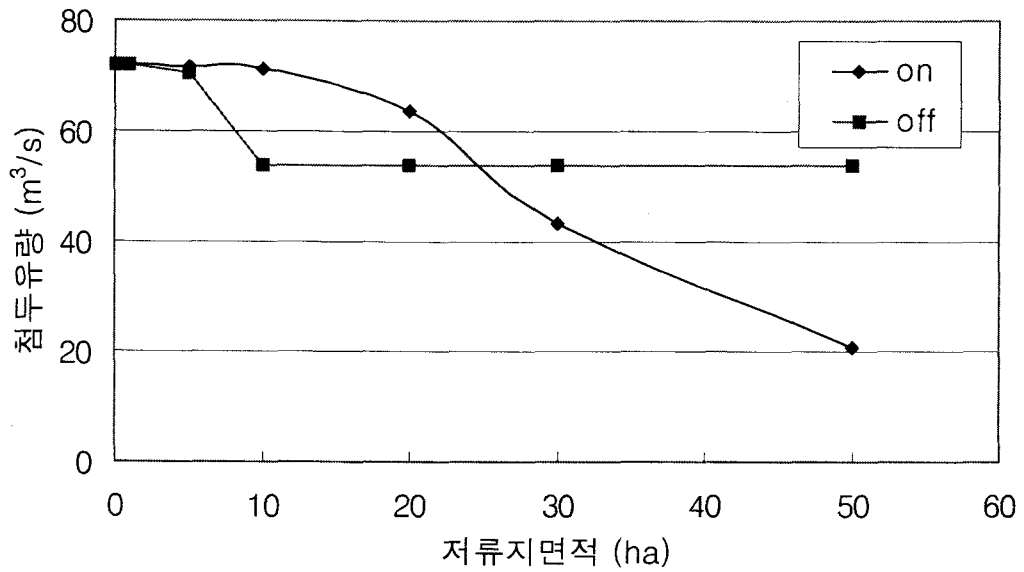
단위 : m³/s



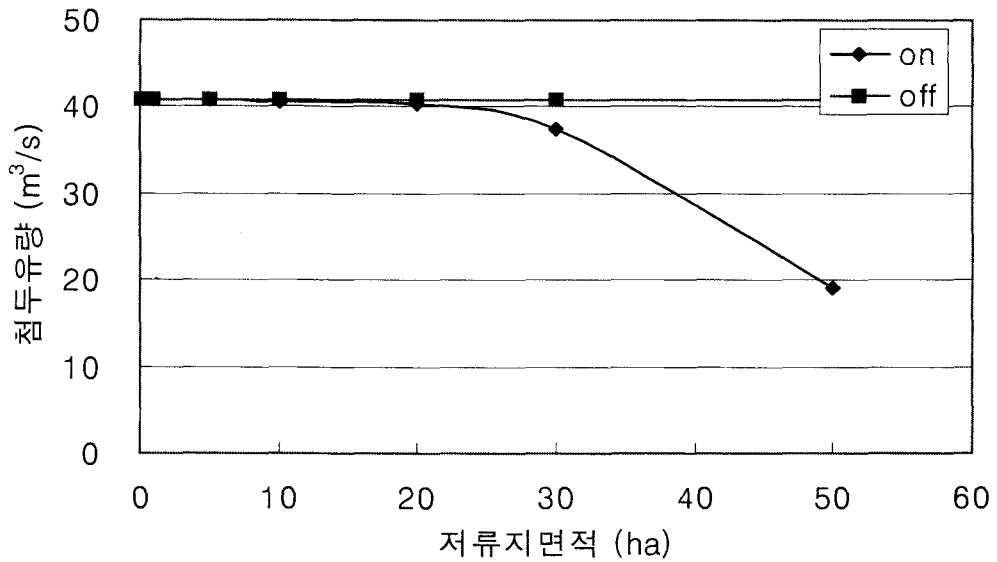
(그림 5-8) 24시간 지속시간 10년 빈도 확률강우량에 의한 저류지 면적별 침투유량



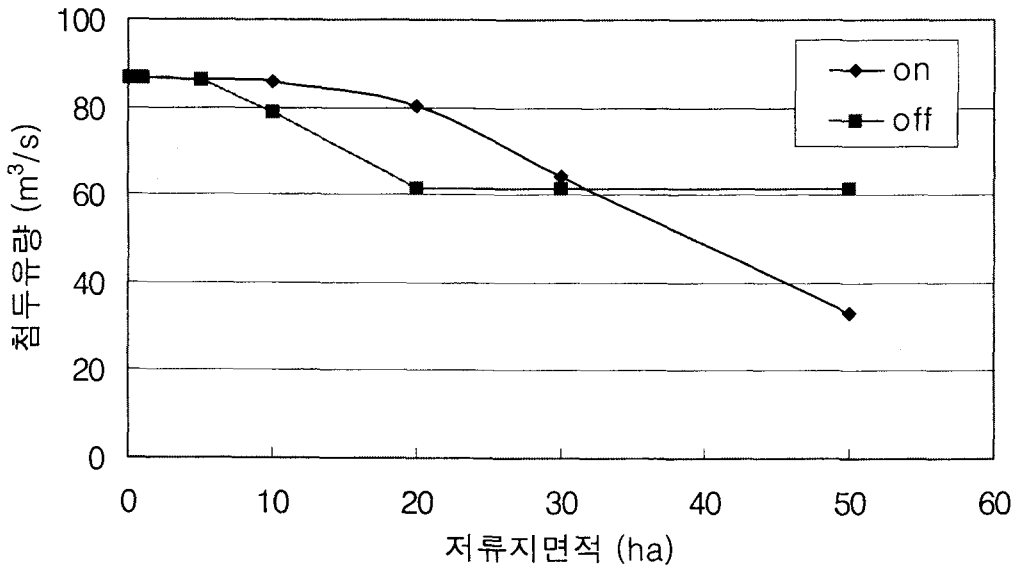
(그림 5-9) 48시간 지속시간 10년 빈도 확률강우량에 의한 저류지 면적별 침투유량



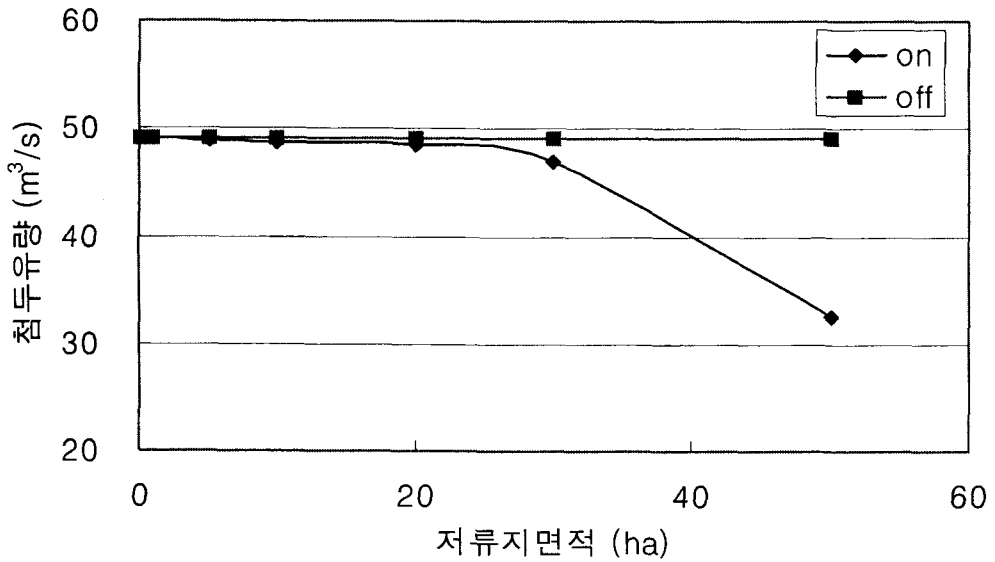
(그림 5-10) 24시간 지속시간 20년 빈도 확률강우량에 의한 저류지 면적별 첨두유량



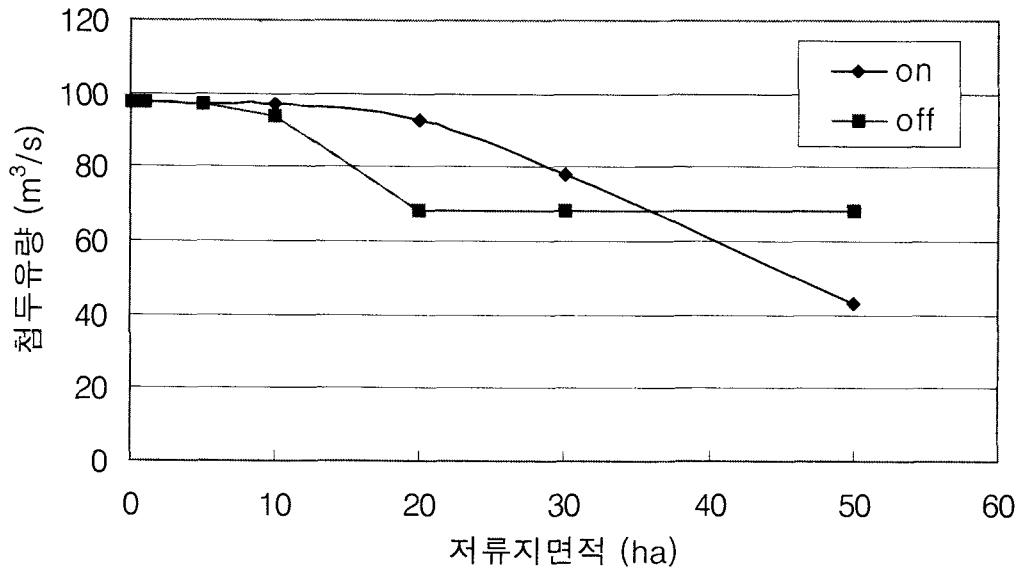
(그림 5-11) 48시간 지속시간 20년 빈도 확률강우량에 의한 저류지 면적별 첨두유량



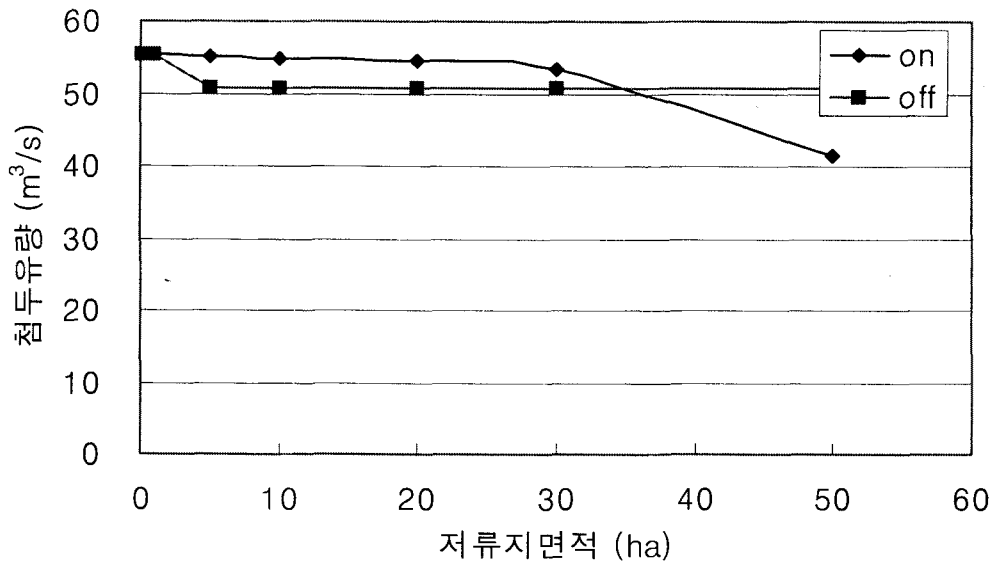
(그림 5-12) 24시간 지속시간 50년 빈도 확률강우량에 의한
저류지 면적별 침투유량



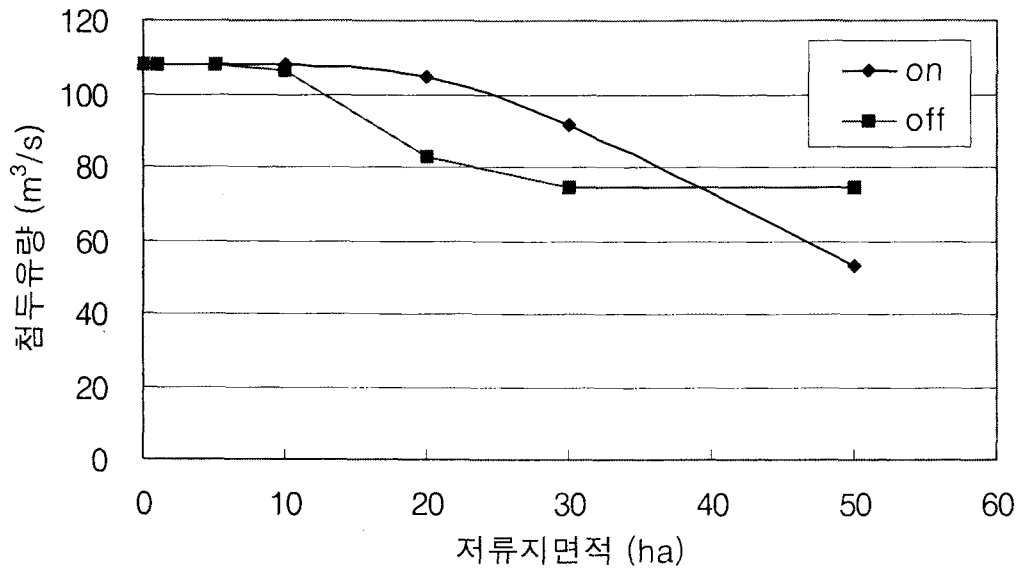
(그림 5-13) 48시간 지속시간 50년 빈도 확률강우량에 의한
저류지 면적별 침투유량



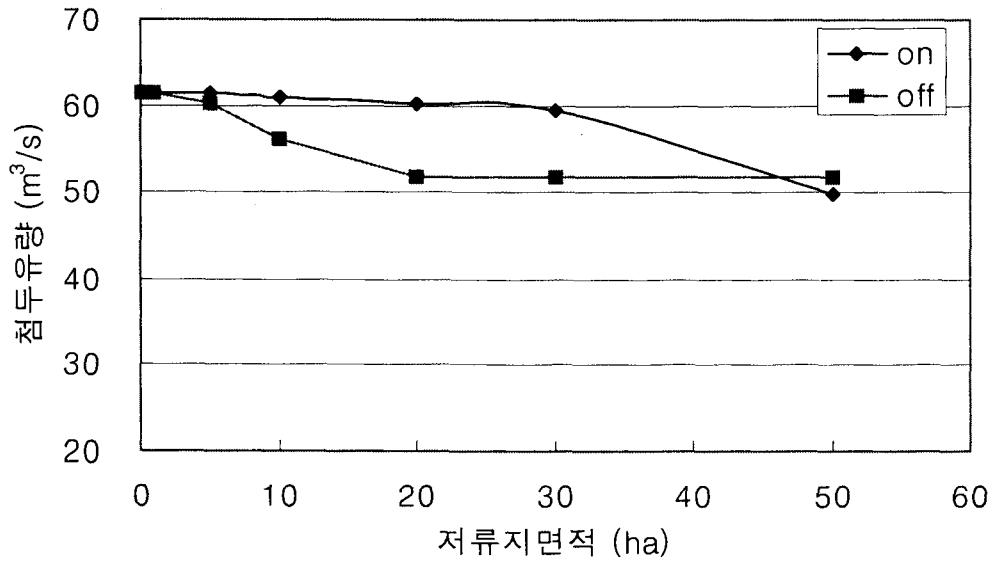
(그림 5-14) 24시간 지속시간 100년 빈도 확률강우량에 의한 저류지 면적별 침투유량



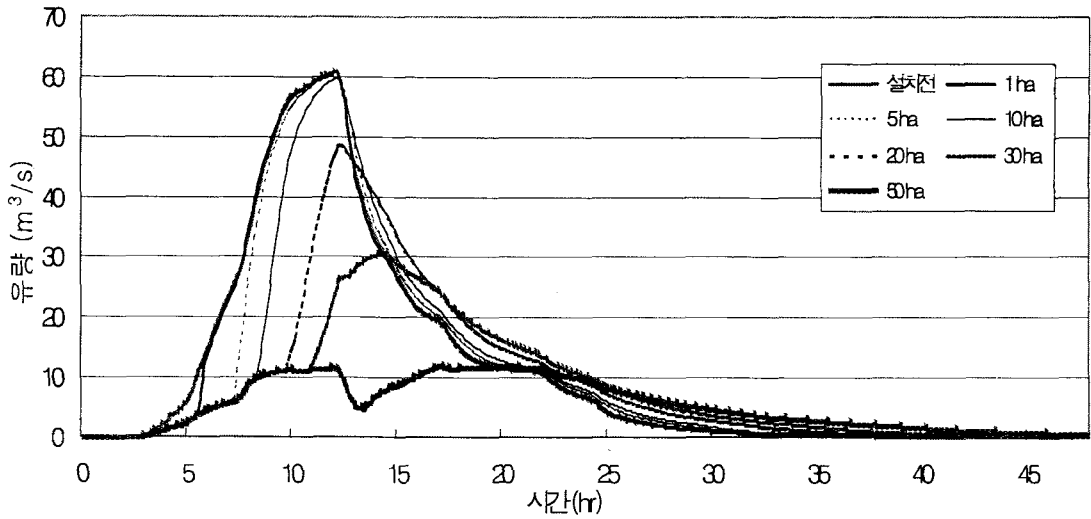
(그림 5-15) 48시간 지속시간 100년 빈도 확률강우량에 의한 저류지 면적별 침투유량



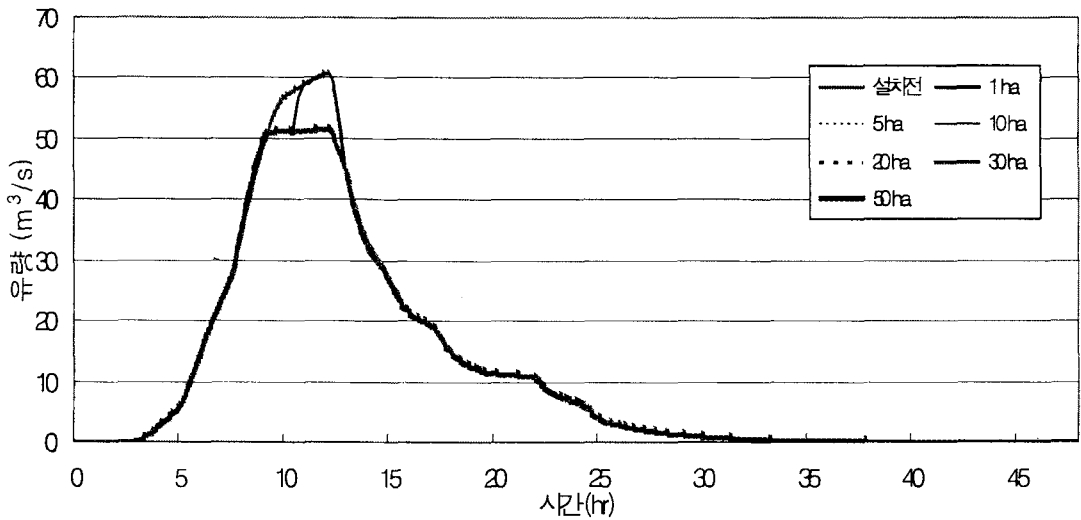
(그림 5-16) 24시간 지속시간 200년 빈도 확률강우량에 의한 저류지 면적별 침투유량



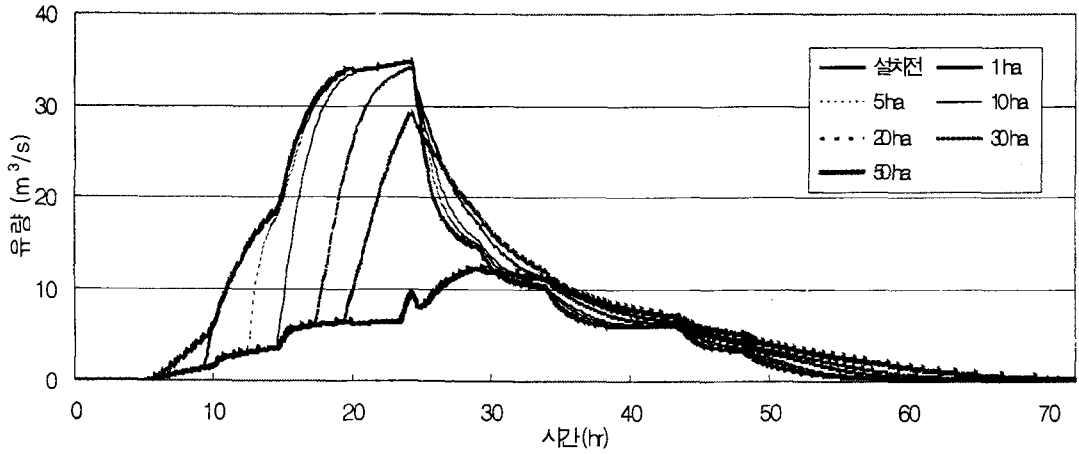
(그림 5-17) 48시간 지속시간 200년 빈도 확률강우량에 의한 저류지 면적별 침투유량



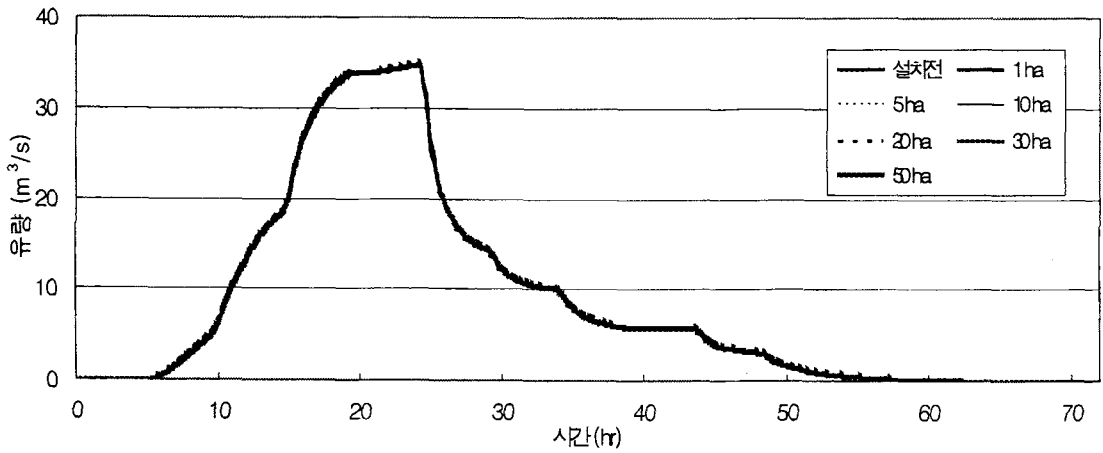
(그림 5-18) 48시간 지속시간 10년 빈도 확률강우량에 의한 On-line형 저류지의 면적별 직접유출곡선



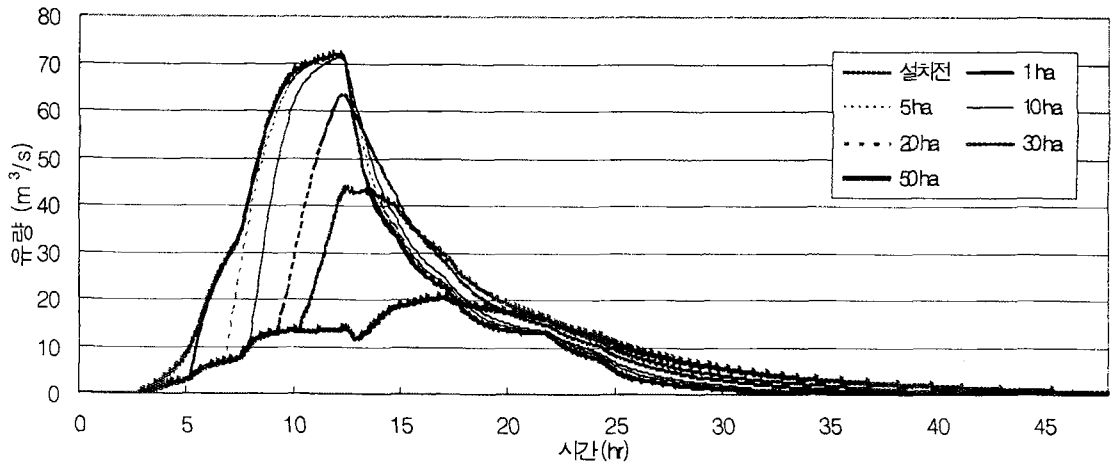
(그림 5-19) 48시간 지속시간 10년 빈도 확률강우량에 의한 Off-line형 저류지의 면적별 직접유출곡선



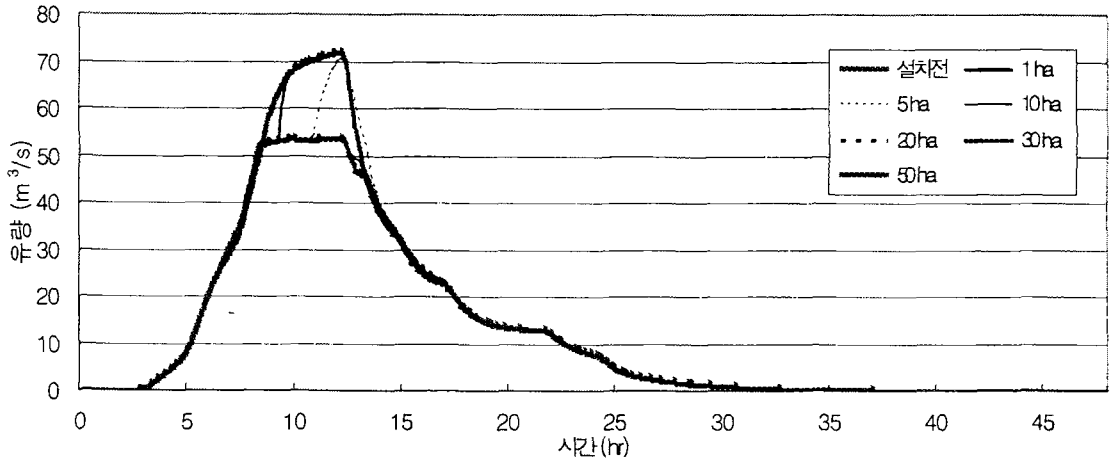
(그림 5-20) 72시간 지속시간 10년 빈도 확률강우량에 의한 On-line형 저류지의 면적별 직접유출곡선



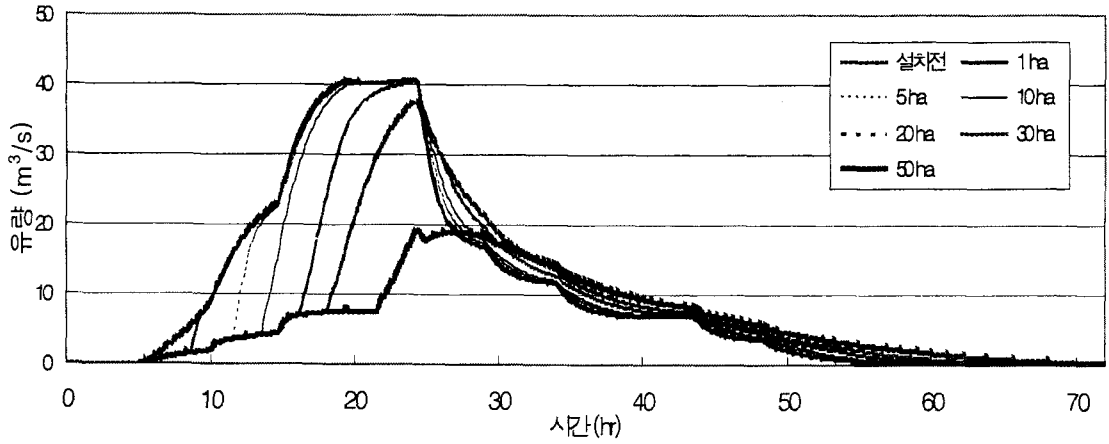
(그림 5-21) 72시간 지속시간 10년 빈도 확률강우량에 의한 Off-line형 저류지의 면적별 직접유출곡선



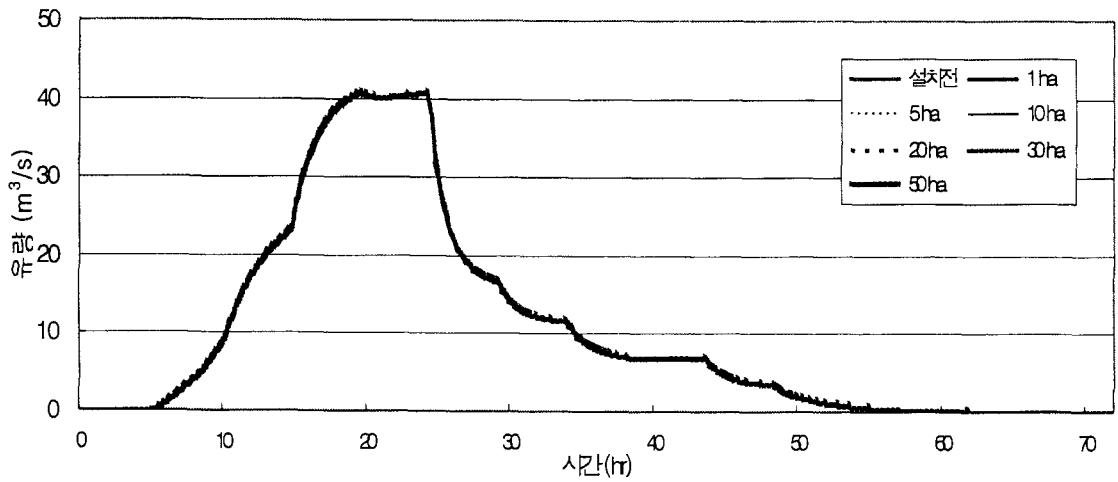
(그림 5-22) 48시간 지속시간 20년 빈도 확률강우량에 의한 On-line형 저류지의 면적별 직접 유출곡선



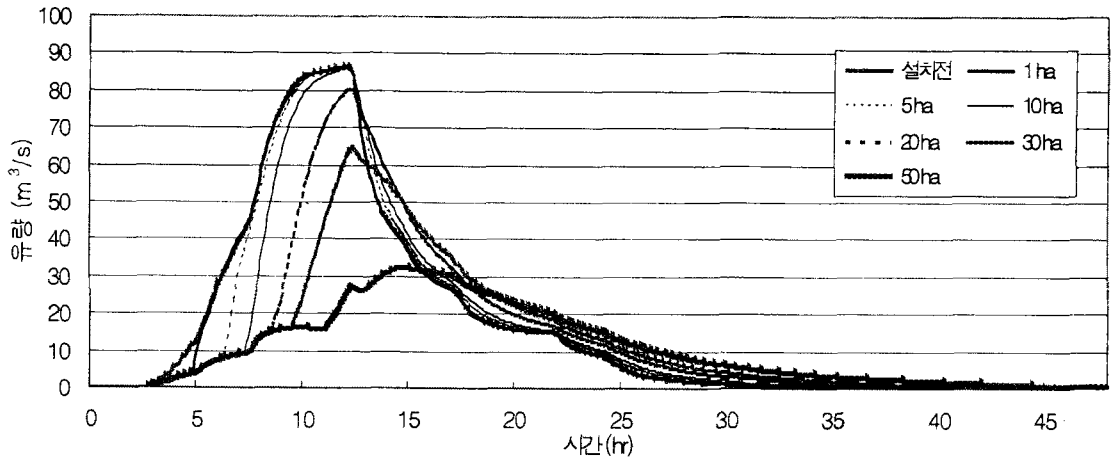
(그림 5-23) 48시간 지속시간 20년 빈도 확률강우량에 의한 Off-line형 저류지의 면적별 직접유출곡선



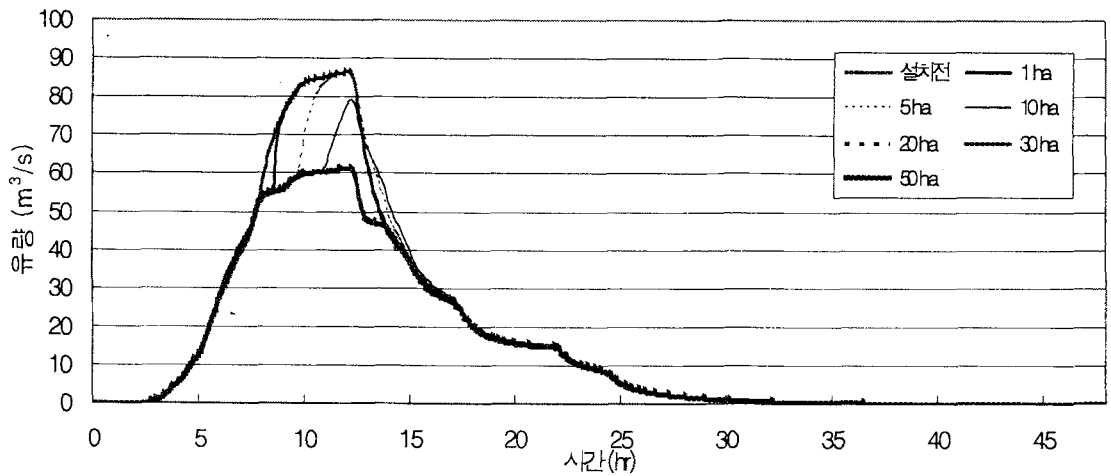
(그림 5-24) 72시간 지속시간 20년 빈도 확률강우량에 의한 On-line형 저류지의 면적별 직접유출곡선



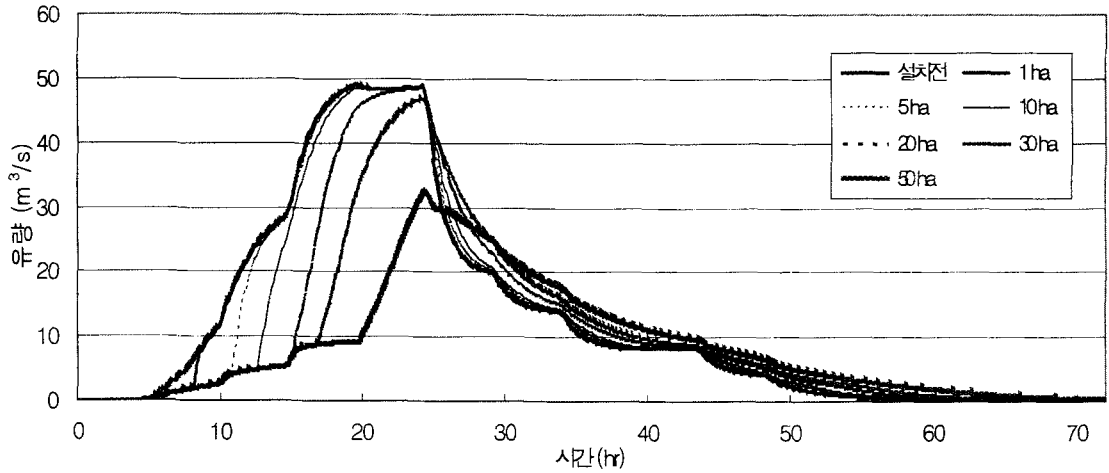
(그림 5-25) 72시간 지속시간 20년 빈도 확률강우량에 의한 Off-line형 저류지의 면적별 직접유출곡선



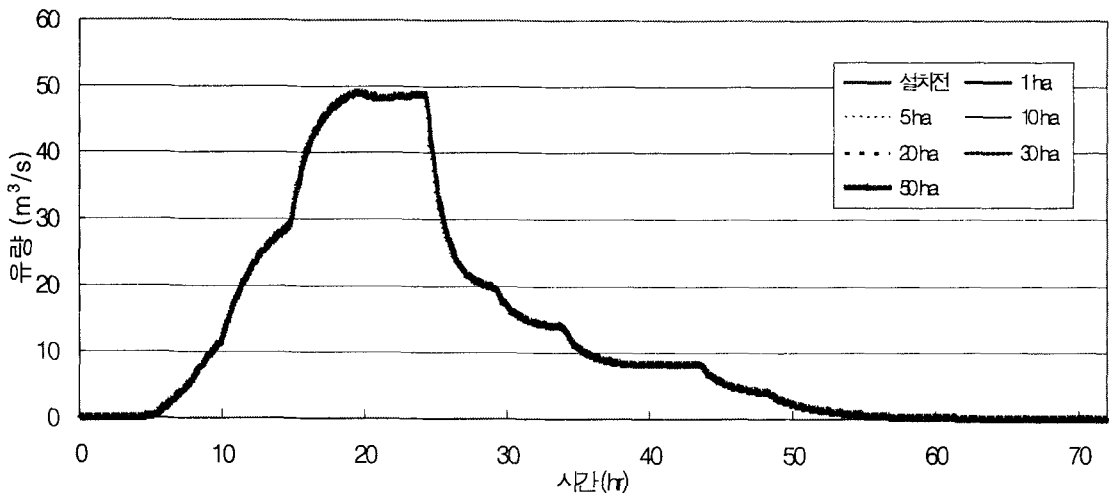
(그림 5-26) 48시간 지속시간 50년 빈도 확률강우량에 의한 On-line형 저류지의 면적별 직접유출곡선



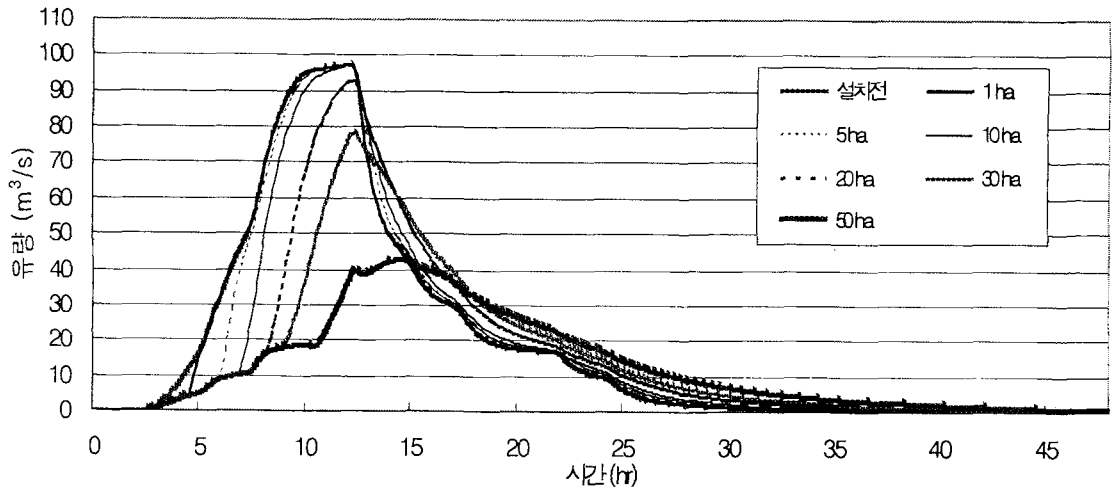
(그림 5-27) 48시간 지속시간 50년 빈도 확률강우량에 의한 Off-line형 저류지의 면적별 직접유출곡선



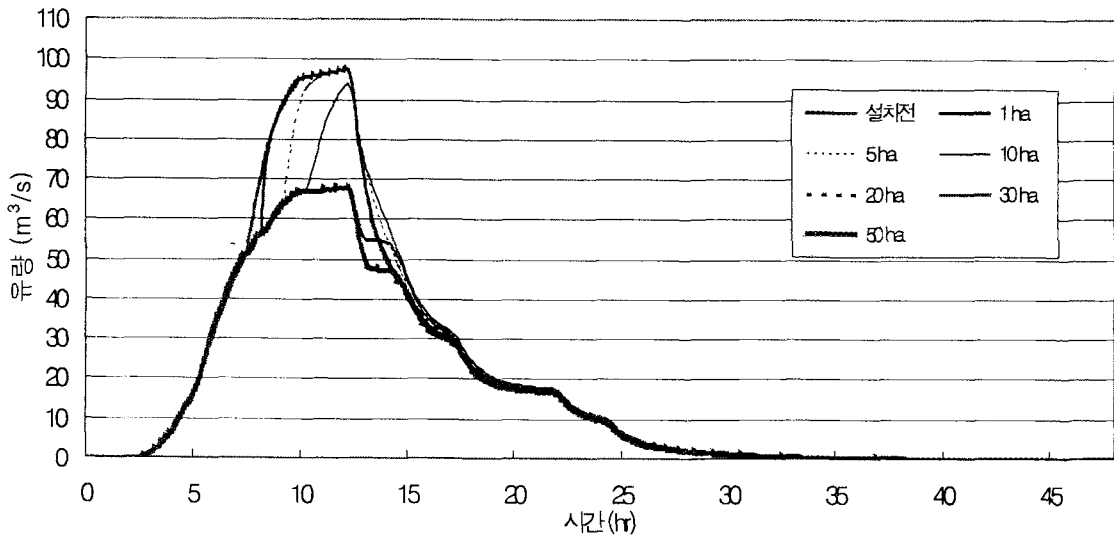
(그림 5-28) 72시간 지속시간 50년 빈도 확률강우량에 의한 On-line형 저류지의 면적별 직접유출곡선



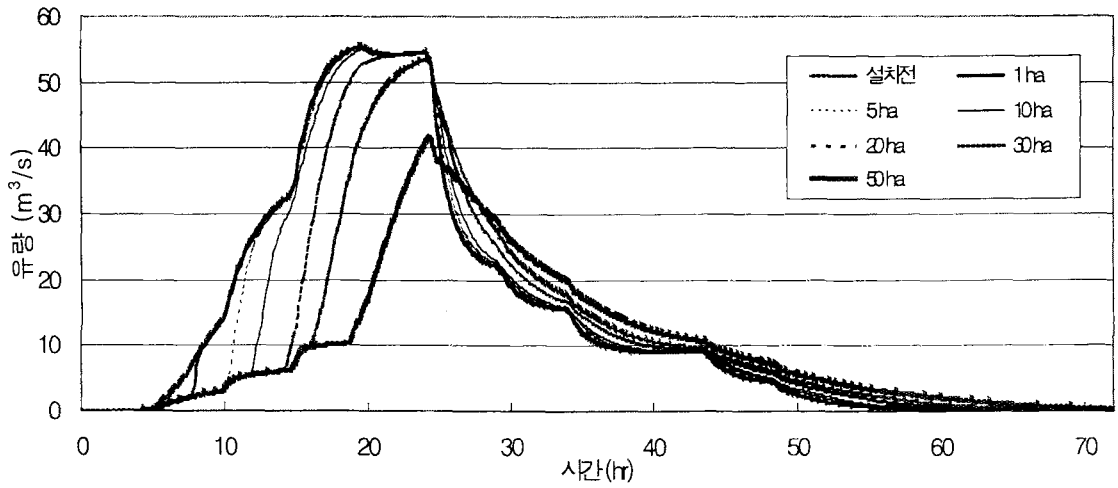
(그림 5-29) 72시간 지속시간 50년 빈도 확률강우량에 의한 Off-line형 저류지의 면적별 직접유출곡선



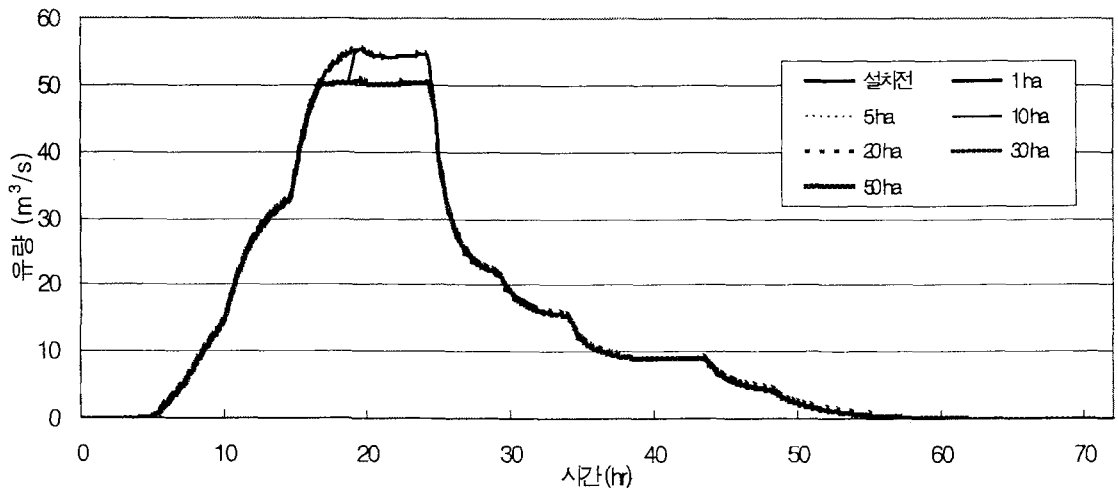
(그림 5-30) 48시간 지속시간 100년 빈도 확률강우량에 의한 On-line형 저류지의 면적별 직접유출곡선



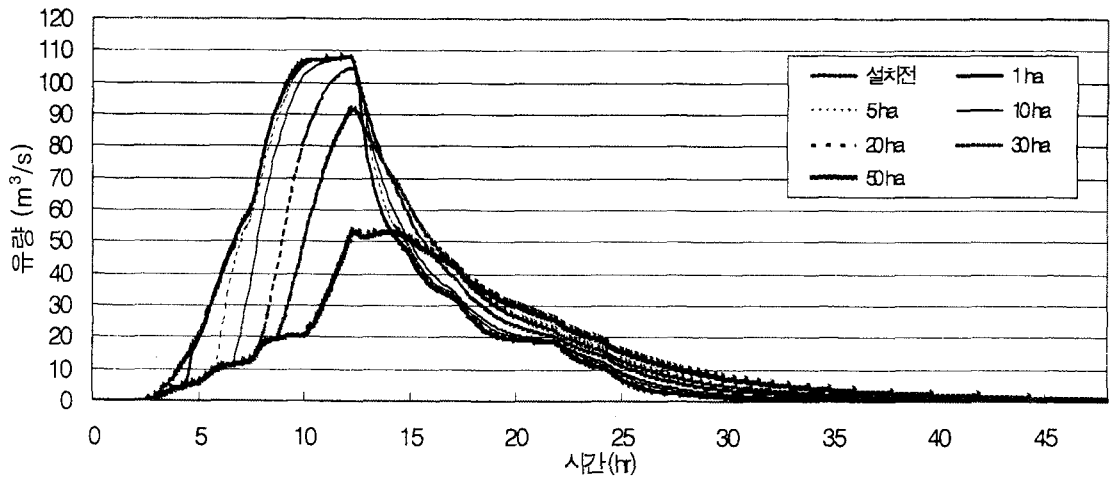
(그림 5-31) 48시간 지속시간 100년 빈도 확률강우량에 의한 Off-line형 저류지의 면적별 직접유출곡선



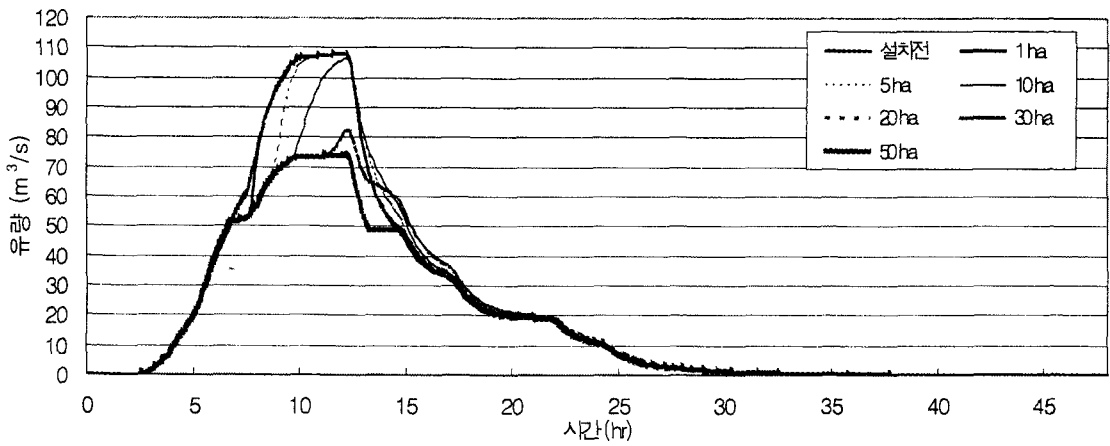
(그림 5-32) 72시간 지속시간 100년 빈도 확률강우량에 의한 On-line형 저류지의 면적별 직접유출곡선



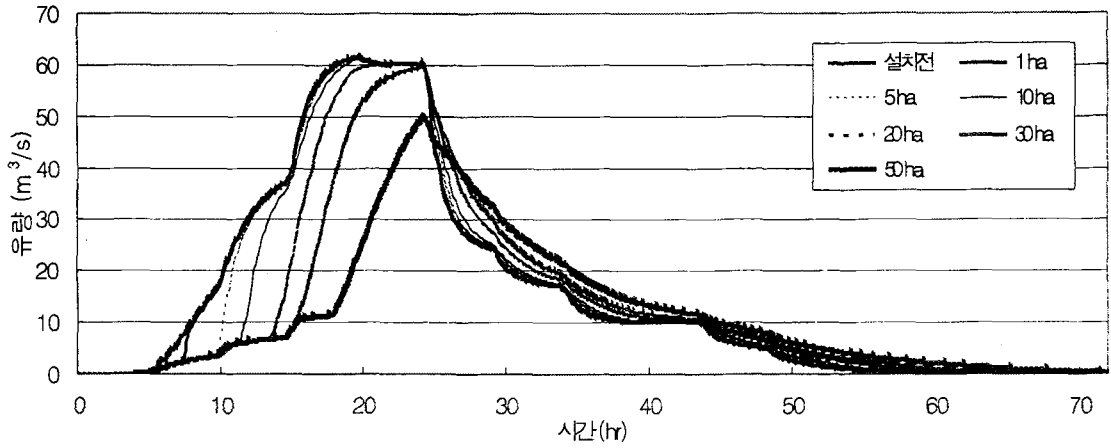
(그림 5-33) 72시간 지속시간 100년 빈도 확률강우량에 의한 Off-line형 저류지의 면적별 직접유출곡선



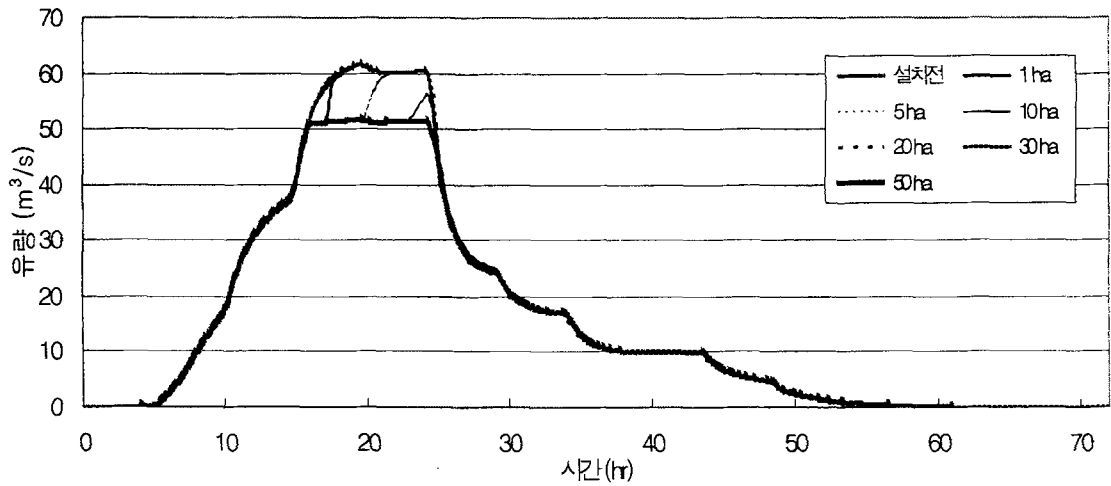
(그림 5-34) 48시간 지속시간 200년 빈도 확률강우량에 의한 On-line형 저류지의 면적별 직접유출곡선



(그림 5-35) 48시간 지속시간 200년 빈도 확률강우량에 의한 Off-line형 저류지의 면적별 직접유출곡선



(그림 5-36) 72시간 지속시간 200년 빈도 확률강우량에 의한 On-line형 저류지의 면적별 직접유출곡선



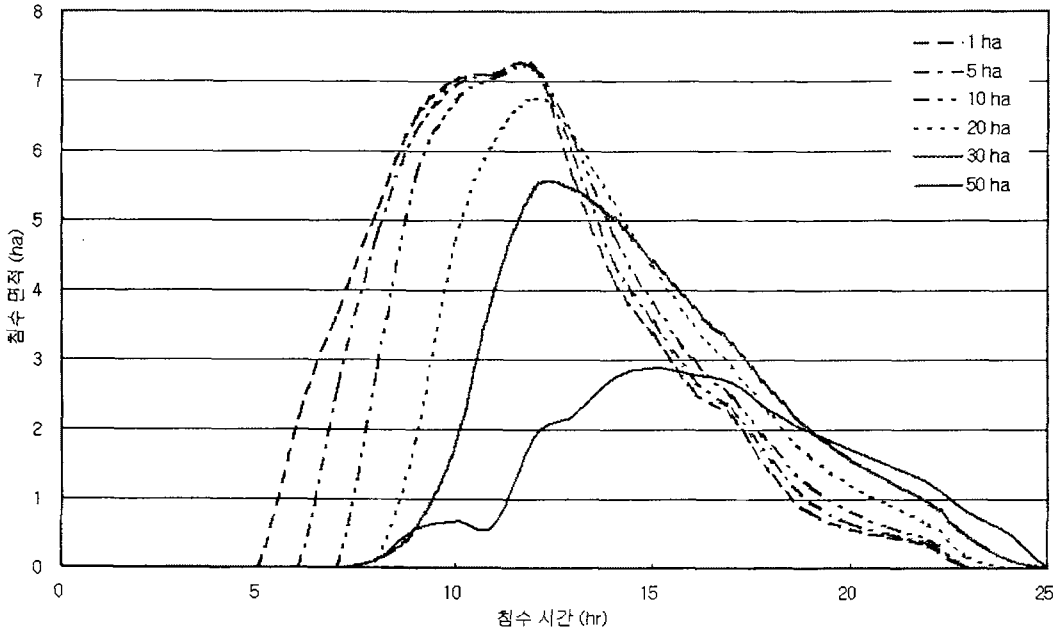
(그림 5-37) 72시간 지속시간 200년 빈도 확률강우량에 의한 Off-line형 저류지의 면적별 직접유출곡선

마. 저감대책 효과분석

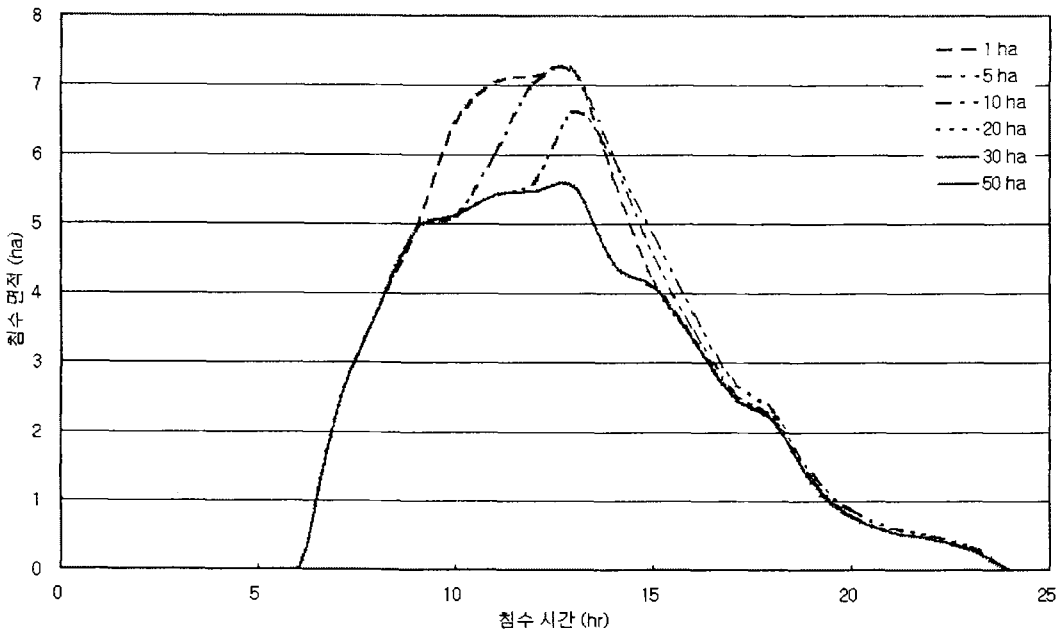
본 연구에서는 홍수피해 저감대책으로 저류지를 설치하여 홍수유출모의를 수행하였다. 이 결과로부터 저류지를 설치한 후의 침수피해면적을 계산하기 위하여 HEC-RAS 모형을 이용하였고, HP#7 유역을 대상으로 50년 빈도 홍수량에 대하여 모의를 수행하였다. <표 5-3>은 저류지 면적별 최대침수면적 및 저류지 설치후의 침수면적의 저감량을 보여주고 있다. On-line형 20ha 면적의 저류지를 설치하였을 경우, 설치하지 않았을 경우보다 침수면적이 0.46ha 감소하였으며, Off-line형 20ha 면적의 저류지의 경우는 1.7ha가 감소하였다. (그림 5-38)~(그림 5-39)는 On-line형 저류지 및 Off-line형 저류지를 설치하였을 때의, 50년 빈도 확률강우량에 의한 증생종 벼의 출수기 (Heading Stage) 시기의 시간별 침수면적을 나타내고 있다.

<표 5-3> 저류지 면적에 따른 최대침수면적 및 저류지 설치후의 침수면적 저감량

저류지 면적	최대침수면적		설치전 - 설치후	
	On-line 형	Off-line 형	On-line 형	Off-line 형
0	7.22	7.22	-	-
1	7.20	7.20	0.02	0.02
5	7.19	7.19	0.04	0.04
10	7.17	6.63	0.06	0.60
20	6.76	5.53	0.46	1.70
30	5.47	5.53	1.75	1.70
50	2.89	5.53	4.34	1.70



(그림 5-38) On-line형 저류지의 면적별 지속시간 24시간 50년 빈도
 확률강우량에 대한 중생종 벼의 출수기 침수면적



(그림 5-39) Off-line형 저류지의 면적별 지속시간 24시간 50년 빈도
 확률강우량에 대한 중생종 벼의 출수기 침수면적

제 4 절 요약 및 결론

본 연구에서는 HP#7 소유역에 침수피해저감대책에 대하여 조사하고, 저류지를 설치하는 방안을 선정하여, 저류지 면적에 따른 홍수량저감에 대하여 모의하였다. 여기서 얻은 저류지 모의에 따른 홍수량 자료를 바탕으로 수리모형을 이용하여 침수모의를 수행하였다. 이 결과를 바탕으로 저류지 설계 등의 침수피해저감대책을 현실에 적용성하는데 있어 기초자료로 제공하고자 한다.

본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

- ① 침수피해저감대책을 구조적, 비구조적 대책으로 구분하였고, 구체적인 대책들에 대하여 각각의 장단점을 비교하였다.
- ② HP#7 소유역에 침수피해저감대책으로 저류지를 설치하는 대안을 선정하였고, 저류지는 On-line형 저류지 및 Off-line형 저류지의 두가지 형태로 모의하였다.
- ③ HEC-HMS 모형을 이용하여 확률강우량에 대한 저류지의 면적별, 형태별로 홍수유출 모의를 수행하였고, On-line형 저류지의 침투유량은 저류지 면적이 늘어날수록 감소하였고, Off-line형 저류지의 침투유량은 저류지 면적이 일정수준이 되면 침투유량도 일정수준을 유지하였다.
- ④ 또한, Off-line형 저류지가 On-line형 저류지에 비하여 저류지의 면적이 작을 때, 침투유량을 감소시키는데 효과가 있었다.
- ⑤ 10년, 20년, 50년, 100년, 200년 확률빈도별 강우량 및 지속시간 24시간, 48시간 그리고 저류지의 면적별로 홍수유출수문곡선을 모의하였다.
- ⑥ HEC-RAS 모형을 이용하여 50년 빈도 24시간 지속시간 확률강우량으로부터 얻은 홍수유출곡선으로부터 저류지의 형태 및 면적에 대한 중생종 벼의 출수기 시기의 침수피해 면적을 계산하였다.
- ⑦ On-line형 20ha 면적의 저류지를 설치하였을 경우, 설치하지 않았을 경우보다 침수면적이 0.46ha 감소하였으며, Off-line형 20ha 면적의 저류지의 경우는 1.7ha가 감소하였다.

여 백

제 6 장 2000년 침수피해지구에 대한 적용성 평가

제 1 절 서 론

2000년 7월 22일 집중호우가 발생하여 막대한 수해피해가 발생했다. 수원관측소의 경우 기왕의 최대 1일 강수량 및 최대 1시간 강수량이 각각 316mm, 80mm (기상청 보유자료)였으나, 2000년 7월 22일 강우는 각각 324.8mm, 125mm로 관측사상 최대치를 기록했으며, 용인시의 경우 이 날 발생한 총강우량이 310.5mm인데 반하여 최대강우강도가 151mm/hr로 총강우량의 48%가 1시간에 내렸다. 수원관측소와 용인관측소의 연평균강수량이 각각 1227mm, 1275mm임을 감안할 때 이날 내린 1일 강우량이 연평균강수량의 26%, 24%에 해당하는 엄청난 집중호우가 발생한 것이다. 지역에 따라 100년 빈도 이상의 집중호우가 발생함으로 인해 경기도 남부지역에 막대한 홍수피해가 발생하였다.

또한, 연구수행 기간 중인 2002년 여름 예년에 비해 많은 홍수피해가 있었으며, 특히 태풍 “루사” 로 인해 기록적인 홍수피해가 발생했다. 2002년 발생한 주요 홍수피해로는 7월5일~7월6일 발생한 태풍 “라마순”, 8월4일~8월11일 발생한 집중호우, 8월30일~9월1일 발생한 태풍 “루사” 등으로 인명피해 270명, 재산피해 6조 1,038억원이 발생하였다. 이는 최근 10년간 발생한 연평균 인명피해 106명, 재산피해 6,811억원에 비해 재산피해가 10배가 넘는 엄청난 피해가 발생하였다.

이처럼 최근 몇 년간 해마다 막대한 홍수피해가 발생하고 있으며, 이러한 홍수피해에 대처하기 위해 농경지에 대한 배수개선사업 등이 진행되고 있다. 그러나 침수피해 발생시 침수심, 침수시간, 침수면적 등 침수피해에 대한 과학적인 자료가 부족하여 침수피해 상황을 모의하는 것은 어려운 실정이다. 이에 본 연구에서는 장기간 수문 자료가 구축되고 있는 발안 시험유역을 대상으로 2000년 홍수 발생 당시의 홍수 유출량을 모의하여 실측치와 비교함으로써 침수모의 시스템의 적용성을 평가하도록 한다.

본 연구의 목적은 침수모의 시스템의 적용성을 평가하기 위하여 시험유역에 대한

2000년 수문자료를 구축하고 주요 호우사상에 대하여 침수모의 시스템을 적용하고 결과를 분석하였다.

제 2 절 2000년 침수피해 현황 조사

1. 경기 남부 지역 2000년 침수피해지구 조사

경기 남부지역에서는 2000년 7월 22일 집중호우로 수원시, 용인시, 오산시, 평택시, 화성군 등 안성천 일대 수해가 발생하였다. 이 당시 발생한 강우현황을 살펴보면 다음의 <표 6-1>과 같다. <표 6-1>은 용인시, 수원시, 오산시의 2000년 7월 22일 강우량과 최대강우강도를 보여주고 있으며, 오산시의 경우 총강우량이 417mm, 용인시의 경우 1시간 최대강우강도가 151mm/hr로 기록적인 강우를 기록하였다.

<표 6-1> 홍수피해 주요지역 강우발생 현황

발생기간	용인시		수원시		오산시	
	총강우량 (mm)	최대강우강도 (mm/hr)	총강우량 (mm)	최대강우강도 (mm/hr)	총강우량 (mm)	최대강우강도 (mm/hr)
2000.7.22	310.5	151.0	324.8	125.0	417.0	80.0
관측소	남사(20시)		상광교동(18시)		오산시청(15시)	

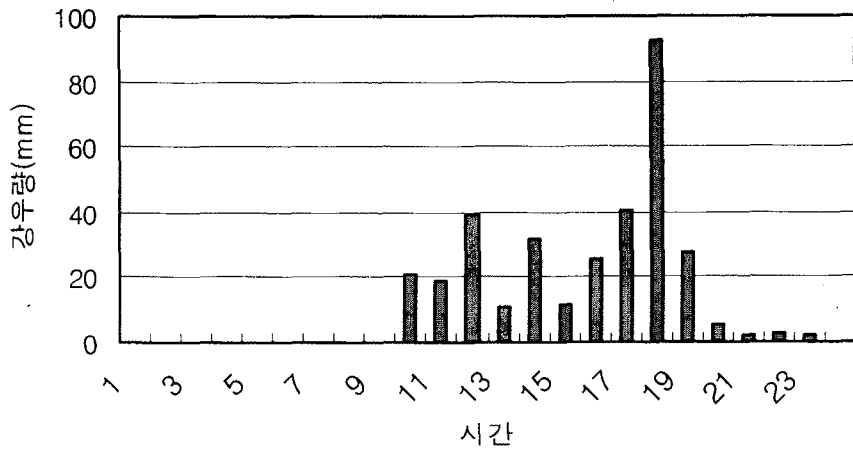
2000년 7월 22일 발생한 강우로 인한 경기남부 일대의 농경지 침수 피해 현황은 다음의 <표 6-2>와 같다. 경기도 전체에서 발생한 농경지 침수피해는 930ha로 오산시 294ha, 화성군에서 128ha의 농경지 침수피해가 발생한 것으로 조사되었다.

<표 6-2> 경기남부 지역 농경지 침수피해 현황

구분	경기도	오산시	수원시	평택시	화성군
농경지침수(ha)	930.67	294.4	12	147.01	128.41

2. 2000년 홍수피해 당시 수원관측소 강우특성 분석

2000년 홍수피해 발생 당시의 강우특성 분석을 위해 수원측후소 강우자료를 구득하여 통계분석을 실시하였다. 2000년 최대 일강우는 7월 22일 발생한 333.2mm이며, 2위 일강우는 8월 25일 발생한 94.6mm이다. 다음의 (그림 6-1)은 2000년 최대강우에 대한 시간별 강우분포를 보여주고 있다.



(그림 6-1) 2000년 최대 일강우시 시간별 분포 (2000/7/22)

1964년부터 2000년까지의 수원지방 일강우를 이용하여 확률분포의 적합도를 검정하였으며, <표 6-3>은 적합도 검정결과를 보여주고 있다. 적합도 검정결과 K-S 검정의 경우 Gumbel Type 1 분포가 가장 적합한 것으로 조사되었다.

<표 6-3> 수원지방 일강우 확률분포 적합도 검정

분포형태	Chi-square 검정	K-S 검정
Gaussian	4.444	0.121
Log Gaussian	5.222	0.083
Beta	1.339	0.081
Gamma	4.056	0.075
Log Pearson type 3	5.222	0.085
Gumbel(extreme value type 1)	4.056	0.073
Frechet	2.889	0.152

수원기상관측소의 적합도 검정결과를 이용하여 수원지방의 빈도별 확률강우량을 산정하였으며, 다음의 <표 6-4>는 그 결과를 보여주고 있다. 빈도별 수원지방 확률강우량 산정결과 100년 빈도 확률강우량 352.7mm로 기왕최대 강우량 333.2mm 보다 큰 것으로 조사되었다.

<표 6-4> 수원지방 빈도별 확률강우량

확률빈도	10년	20년	50년	100년	기왕최대 (2000/7/22)
확률강우량(mm)	233.3	269.9	317.2	352.7	333.2

제 3 절 2002년 침수피해지구 현황 조사

1. 2002년 전국 홍수 피해 현황

연구수행 기간 중인 2002년 여름 예년에 비해 많은 홍수피해가 있었으며, 특히 태풍 “루사” 로 인해 기록적인 홍수피해가 발생했다. 2002년 발생한 주요 홍수피해로는 7월 5일~7월6일 발생한 태풍 “라마순”, 8월4일~8월11일 발생한 집중호우, 8월30일~9월 1일 발생한 태풍 “루사” 등으로 인명피해 270명, 재산피해 6조 1,038억원이 발생하였다. 이는 최근 10년간 발생한 년평균 인명피해 106명, 재산피해 6,811억원에 비해 재산피해가 10배가 넘는 엄청난 피해가 발생하였다. 다음의 <표 6-5>는 2002년 주요 홍

수피해 발생에 대한 농경지 피해 상황을 보여주고 있다. 총 19,890ha의 전·답이 유실 내지는 매몰되는 피해를 입었으며 피해액은 436,873,154천원이 발생했다.

<표 6-5> 2002년 전국 농경지 홍수피해 상황

구분 \ 기간별		총계	7.5~7.6	8.4~8.11	8.30~9.1
			태풍 “라마순”	호우	태풍 “루사”
농 경 지	전(유실,매몰) (ha)	7,112	3	582	6,527
	답(유실,매몰) (ha)	12,778	10	1,546	11,222
	계 (ha)	19,890	12.92	212,772	1,774,941
	피해액 (천원)	436,873,154	113,016	14,628,426	422,131,712

2. 표본 배수개선사업계획지구 2002년 침수피해 조사

연구수행 기간 중 발생한 2002년 8월 집중 호우시 표본 배수개선사업계획지구로 선정된 경기도 여주군 일대 배수개선사업계획지구에 대한 현장 조사를 통해 홍수 피해 현황을 조사하고 침수피해 특성, 배수 상태 등을 조사하였다. 현장 방문을 통해 자료를 수집한 지구는 경기도 여주군 대신면 천남리에 위치한 유역면적 290ha의 천남지구로 2002년 호우 발생시 침수피해가 발생하였다.

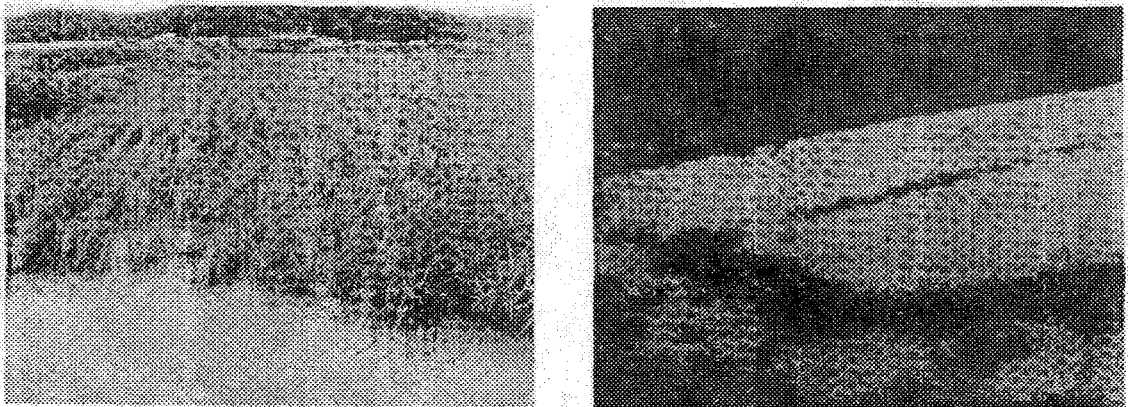
다음의 (그림 6-2)~(그림 6-6)은 천남지구의 침수피해시 현장 전경을 보여주고 있다. (그림 6-2)는 농경지 침수피해 전경을 보여주고 있으며, (그림 6-3)은 배수로가 침수된 전경을 보여주고 있다. (그림 6-4)는 최대 침수 피해가 발생한 흔적을 보여주고 있는 것으로 도로변에 있는 발작물에 흙입자가 남아있는 것으로 보아 최소한 발작물이 관수되는 이상의 최대 침수심이 있었음을 추정할 수 있다.

(그림 6-5)는 천남지구 농경지의 주요 배수 본천인 천남천의 홍수위 전경을 보여주고 있으며, (그림 6-6)은 천남천이 합류하는 남한강 본류의 홍수위 전경을 보여주고 있다. 천남지구의 주요 침수피해 원인으로서는 남한강 본류의 수위 상승으로 천남천으로 유입된 홍수량이 배제되지 못해 수위가 홍수위를 유지하게 되고 이로 인해 천남천

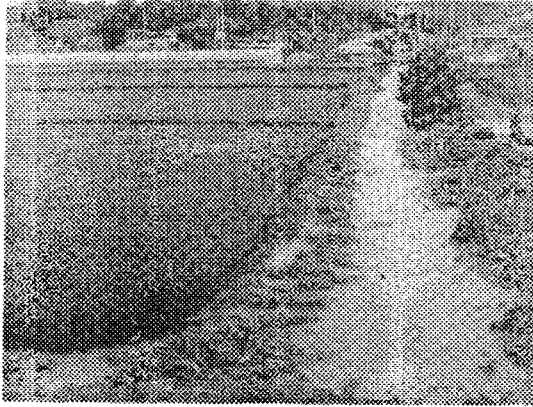
의 배수문을 닫고 농경지로부터 배수되는 배수량이 배제되지 못한 상태가 지속되자 천남천의 배수문과 배수로 일대 농경지가 침수피해를 입게 된 것으로 조사되었다.

이 외에 현장 청문조사를 통해 천남천 일대의 개략적인 침수면적 등을 조사할 수 있었으며, 논·밭작물에 붙어 있는 흙입자를 통해 간접적으로 최대 침수심 등을 추정할 수 있었으나, 침수심과 침수면적 등을 조사하기 위해 현장에 설치된 계측기기가 없어 보다 상세한 침수현황을 조사할 수는 없었다. 또한, 침수피해 발생시 침수면적, 침수심, 침수시간 등과 관련되는 자료를 구축하고 있는 기관이 없어 침수피해 상황에 대한 수문학적 정보를 얻는 것이 불가능한 실정이다.

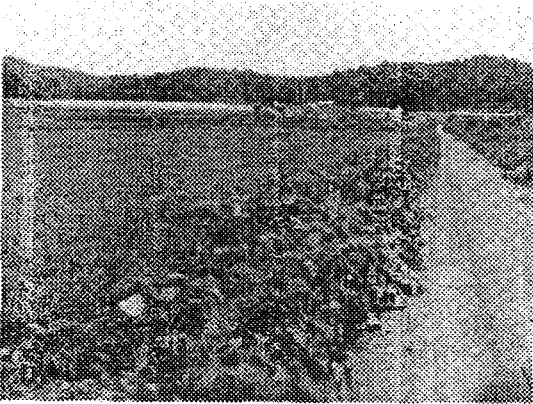
향후 보다 체계적인 침수모의와 침수피해모의를 위해서는 침수면적, 침수심과 침수시간 등을 조사할 수 있는 기술이 구축되어 보다 정량적인 침수모의 분석이 이루어져야 할 것이다.



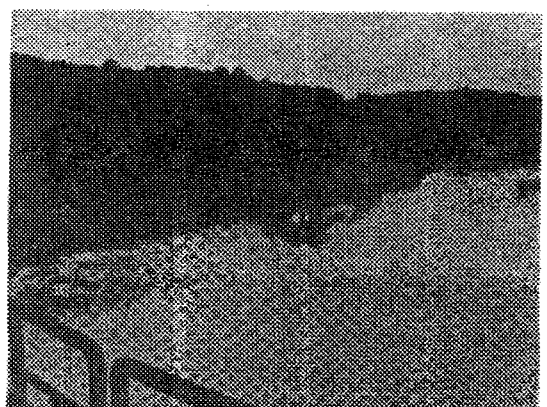
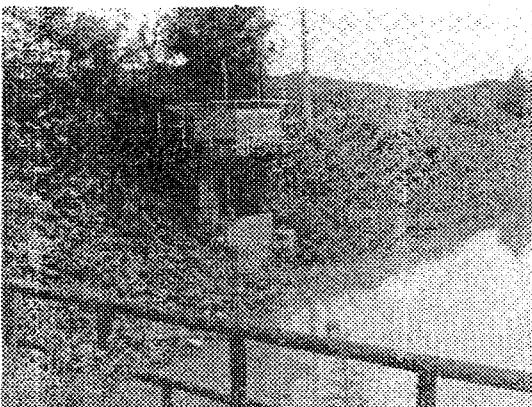
(그림 6-2) 천남지구 농경지 침수피해 전경 (2002/8/8)



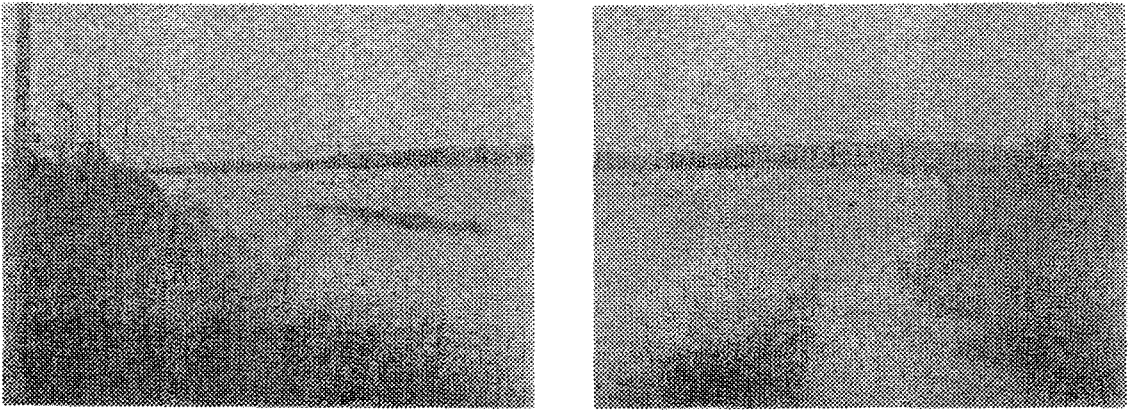
(그림 6-3) 천남지구 침수발생시 배수로 전경 (2002/8/8)



(그림 6-4) 천남지구 침수발생 후 침수흔적 전경 (2002/8/8)



(그림 6-5) 천남지구 천남천 홍수위 전경 (2002/8/8)

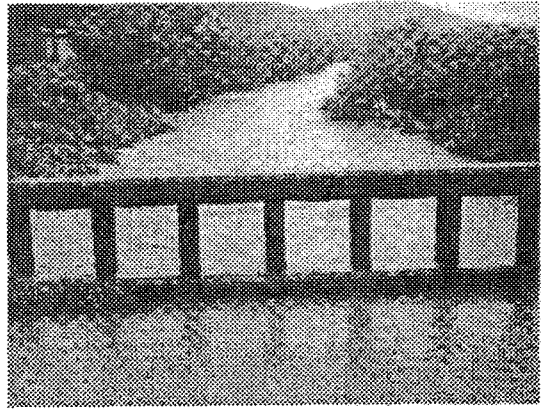
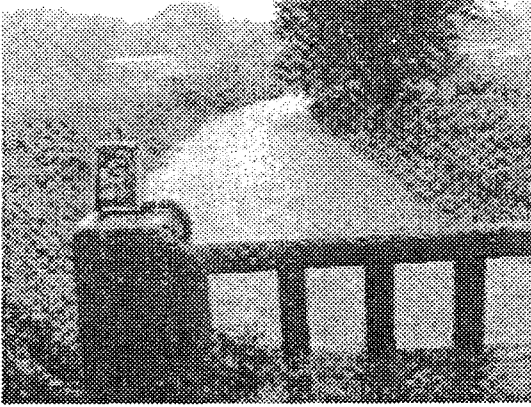


(그림 6-6) 전남지구 침수발생시 남한강 홍수위 전경 (2002/8/8)

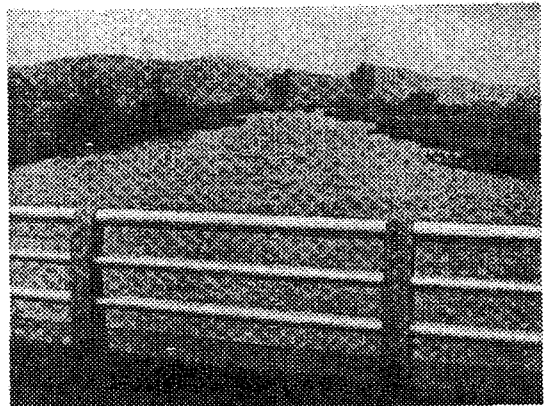
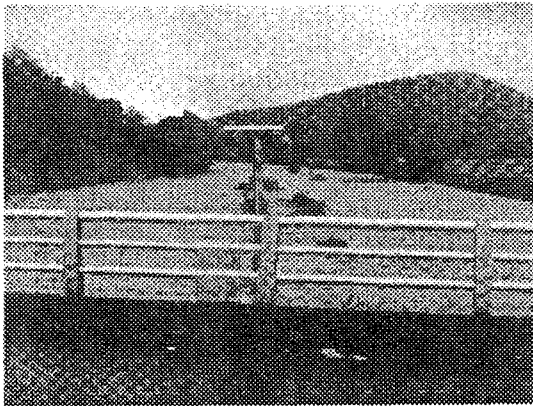
3. 시험유역 2002년 침수피해 현장 조사

연구수행 기간 중 발생한 2002년 8월 집중 호우시 경기도 화성시 발안면과 팔탄면에 위치한 시험유역 일대에 대한 홍수량 조사와 침수피해 현황, 침수피해 특성과 배수 상태 등을 조사하였다.

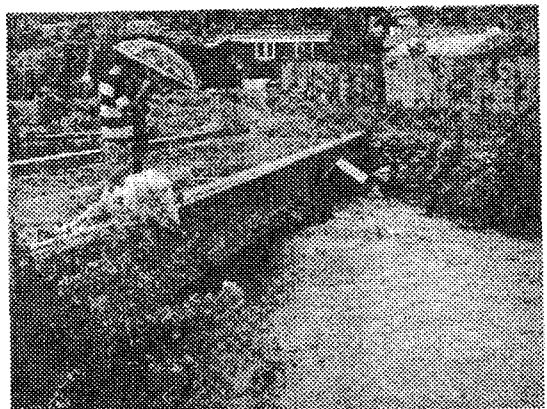
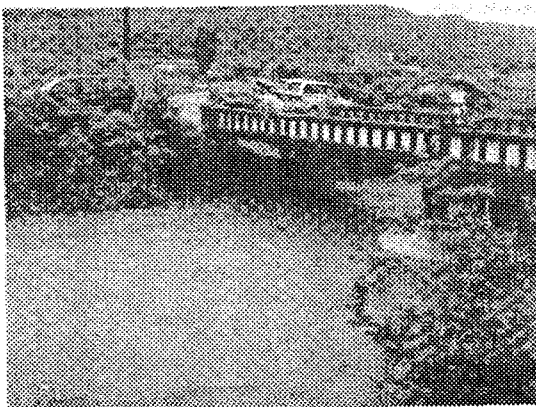
다음의 (그림 6-7)~(그림 6-13)은 발안 시험유역 일대의 홍수량과 침수피해 전경을 보여주고 있다. (그림 6-7)과 (그림 6-8)은 발안 시험유역에 설치된 수위 측정 지점에서의 홍수량 전경을 보여주고 있다. (그림 6-9)는 홍수 발생시 수위 측정 지점에 대한 유량 측정 광경을 보여주고 있다. (그림 6-10)은 발안 저수지 하류에 위치한 농경지의 침수피해 전경을 보여주고 있다. (그림 6-11)~(그림 6-13)은 발안 시험유역 인근에 위치한 발안천과 황구지천에서 발생한 농경지 침수피해 전경을 보여주고 있다. (그림 6-11)은 발안천 유역에 접한 배수로 일부가 유실되면서 배수로로 유입되던 홍수량이 인근 농경지로 흘러들어 침수가 발생한 전경을 보여주고 있으며 (그림 6-12)는 이로 인해 발생한 농경지 침수피해 전경을 보여주고 있으며 일부 농경지에서는 관수피해가 발생하였다. (그림 6-13)은 황구지천에 인접한 농경지의 침수피해 전경을 보여주고 있는 것으로 황구지천의 수위가 높아져 배수로를 통해 홍수량이 배제되지 못해 침수가 발생하고 있는 전경을 보여주고 있다.



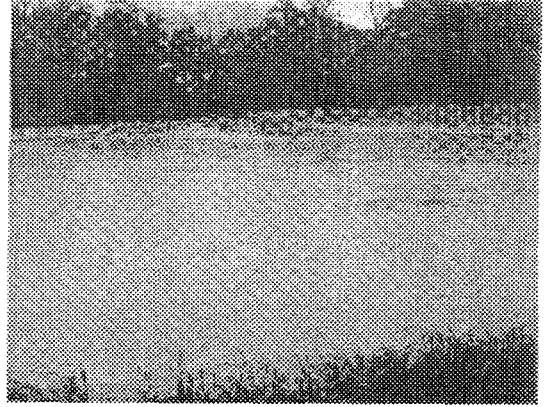
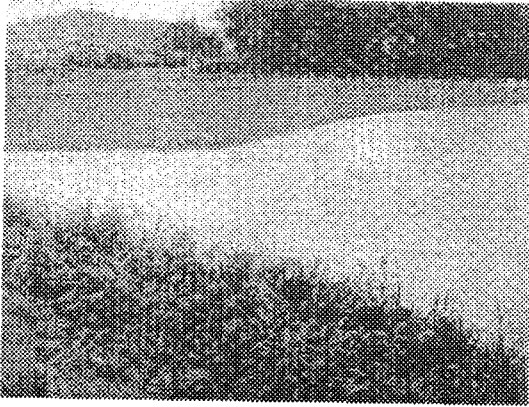
(그림 6-7) 발안 시험구역 HP#6, HP#7 지점 홍수위 전경 (2002/8/7)



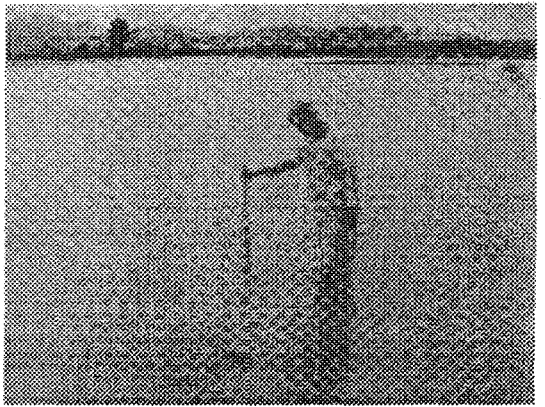
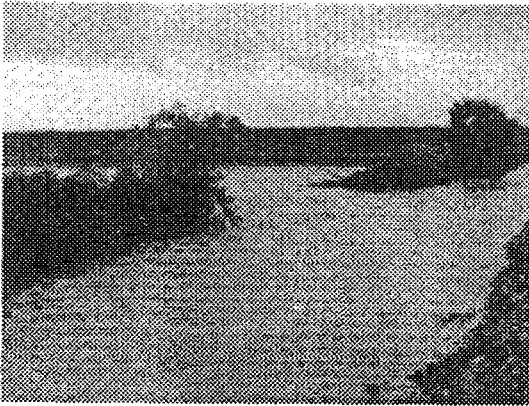
(그림 6-8) 발안 시험구역 HP#1지점 홍수위 전경 (2002/8/7)



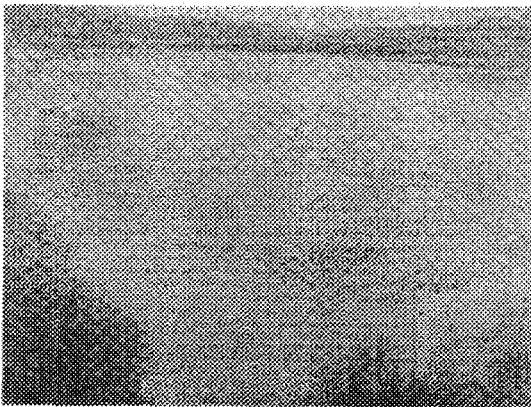
(그림 6-9) 홍수시 발안 시험구역 유량측정 전경 (HP#7, HP#14)



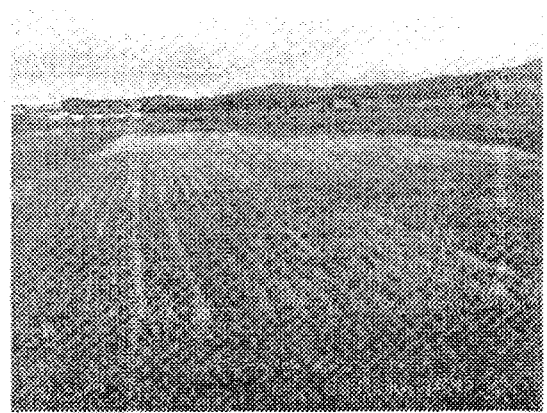
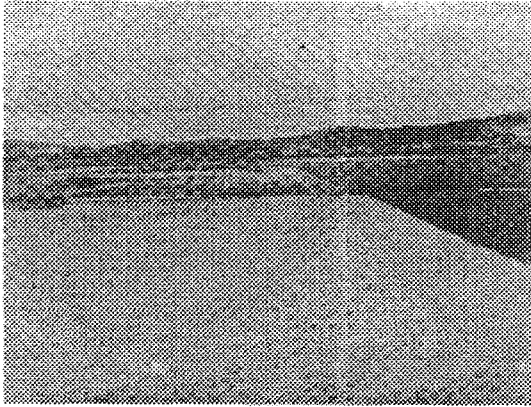
(그림 6-10) 발안유역 내 농경지 침수 전경 (2002/8/7)



(그림 6-11) 발안천 유역 인근 배수로 붕괴로 인한 침수피해 전경 (2002/8/7)



(그림 6-12) 발안천 유역 인근 배수로 붕괴로 인한 농경지 침수 전경 (2002/8/7)



(그림 6-13) 황지구천 인접 농경지 침수 전경 (2002/8/7)

제 4 절 2000년 홍수시 침수모의 시스템의 적용성 분석

1. 2000년 강우특성 분석

본 연구에서는 2000년 홍수 발생시 경기도 화성시 발안면과 팔탄면에 위치한 발안 시험유역을 대상으로 침수모의 시스템의 적용성을 평가하였다.

2000년 홍수 발생시 침수모의를 위해 시험유역의 지배 기상 관측소인 수원 관측소의 강우 특성을 분석하였다. 다음의 <표 6-6>은 2000년 수원 강우 관측지점의 호우 사상을 분석한 결과를 보여주고 있다. 2000년 발생한 총 강우사상의 수는 70개로 100mm 이상의 강우는 1회 발생하였으며, 전체 강우사상 중 0.5mm 이하 강우가 31.4%, 0.5~5mm의 강우가 25.7%로 5mm 이하의 강우가 전체의 57.1%를 차지하고 있으며, 50mm 이상의 강우는 12.9%인 것으로 분석되었다.

<표 6-6> 2000년 수원 지점 호우 사상 분석

년도	강우량(mm)	~0.5	0.5~5	5~10	10~30	30~50	50~100	100~	계
	강우사상 수	22	18	10	8	3	8	1	70
2000	비율(%)	31.4	25.7	14.3	11.4	4.3	11.4	1.4	100
	누계(%)	31.4	57.1	71.4	82.9	87.1	98.6	100	100

발안 시험구역의 홍수량 추정과 침수모의 분석을 위해 발안 시험구역 내에 위치한 강우자료를 분석하였다. 다음의 <표 6-7>은 시험구역의 2000년 주요 강우사상에 대한 강우지속 기간, 강우량, 재현빈도 등을 보여주고 있다. 10개의 주요 강우 사상의 강우량은 29.40mm에서 303.6mm으로 나타났다. 2000/07/22 강우사상의 경우 지속시간 18시간에 재현기간이 30년 빈도에 해당하는 것으로 분석되었다.

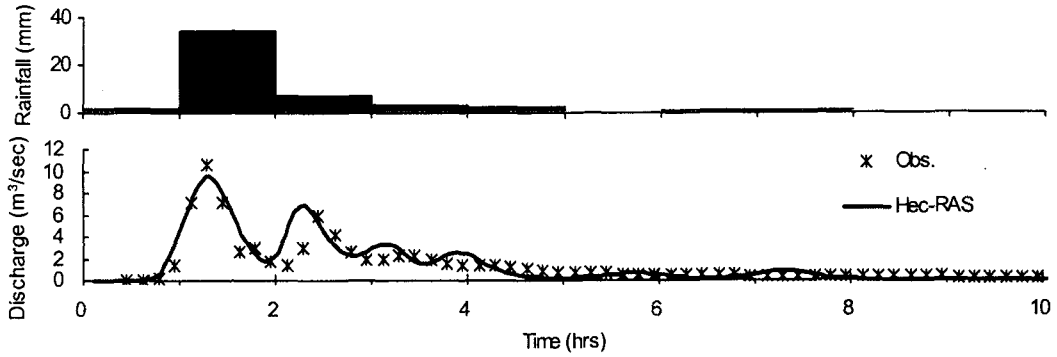
<표 6-7> 발안 시험구역 2000년 강우 분석

강우사상	강우지속 기간	강우량 (mm)	빈도(지속시간)
2000/06/29	6월 26일 15:35 - 6월 27일 11:59	44.60	-
2000/07/22	7월 22일 10:50 - 7월 22일 23:51	303.60	30년 빈도(18시간)
2000/08/04	8월 04일 14:59 - 8월 04일 18:59	52.60	-
2000/08/20	8월 20일 03:32 - 8월 20일 16:48	84.00	-
2000/08/23	8월 23일 22:18 - 8월 24일 13:02	43.80	-
2000/08/24	8월 24일 21:28 - 8월 25일 11:23	66.00	-
2000/08/26	8월 26일 05:39 - 8월 27일 08:41	107.40	-
2000/08/31	8월 31일 11:57 - 8월 31일 22:54	29.40	-
2000/09/14	9월 14일 03:51 - 9월 14일 17:41	36.00	-
2000/09/15	9월 15일 01:26 - 9월 26일 17:32	148.80	-

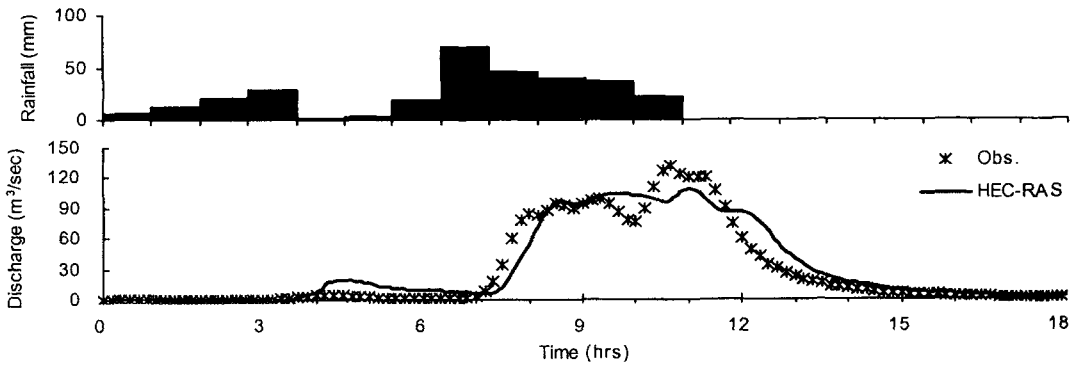
2. 2000년 홍수량 추정

침수모의 시스템의 2000년 적용성 평가를 위해 시험구역으로 선정된 발안 시험구역의 강우자료, 유량자료 등을 분석하고, 침수모의 시스템을 적용하였다. 침수모의 시스템의 적용을 위해 HP#7 소유역을 대상으로 HEC-GeoHMS, HEC-GeoRAS 등을 이용하여 지형자료를 구축하고 HP#7 유역으로 유입되는 횡유입량을 HEC-HMS 모형을 이용하여 추정하고 이로부터 HEC-RAS 모형을 이용하여 홍수량을 추정하고 침수모의 분석을 수행하였다.

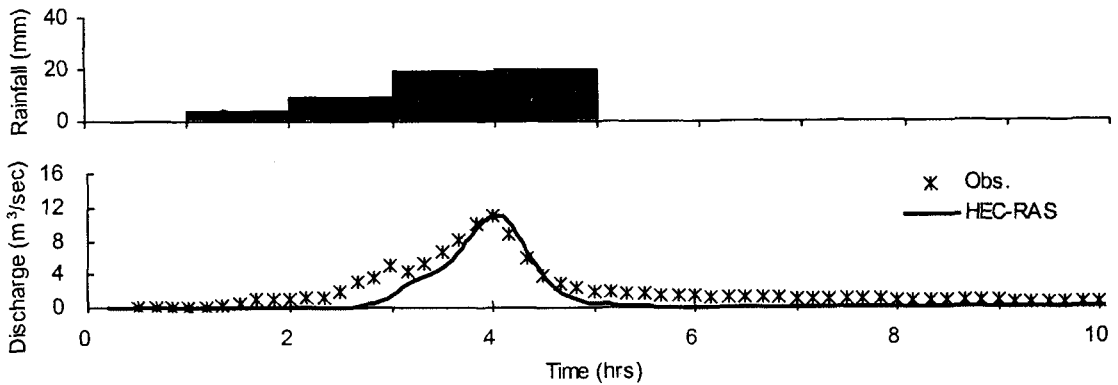
다음의 (그림 6-14)~(그림 6-20)은 침수모의 시스템을 적용하여 2000년 주요 강우사상에 대한 홍수량 추정 결과를 보여주고 있다.



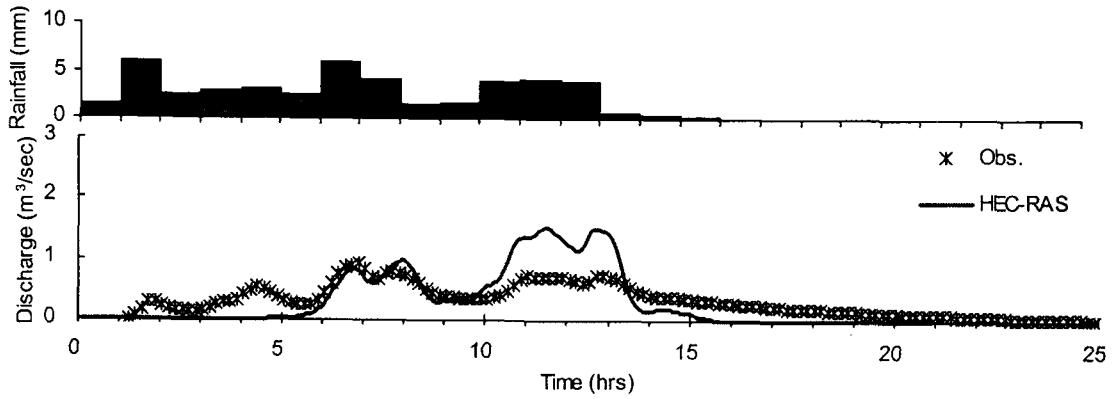
(그림 6-14) 2000년 시험유역 홍수량 추정결과 (2000/06/29)



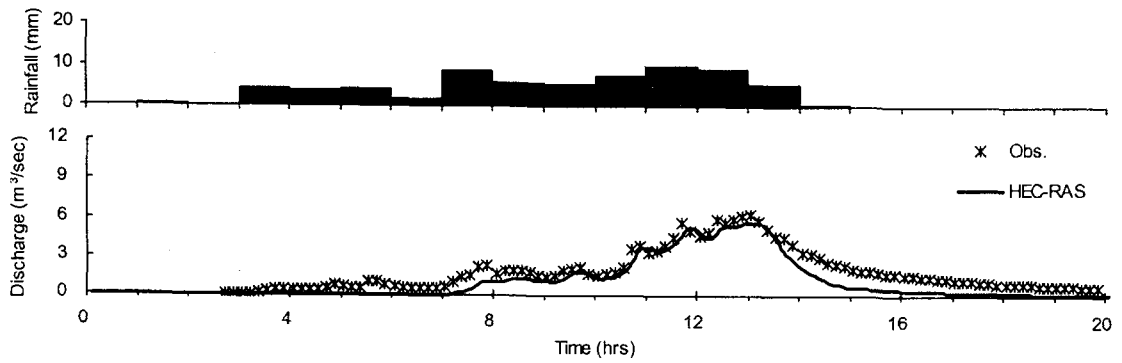
(그림 6-15) 2000년 시험유역 홍수량 추정결과 (2000/07/22)



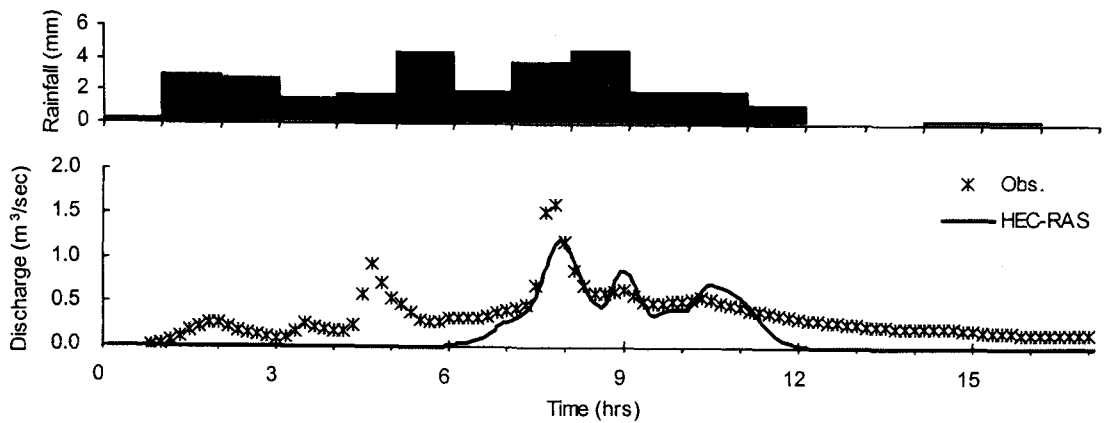
(그림 6-16) 2000년 시험유역 홍수량 추정결과 (2000/08/04)



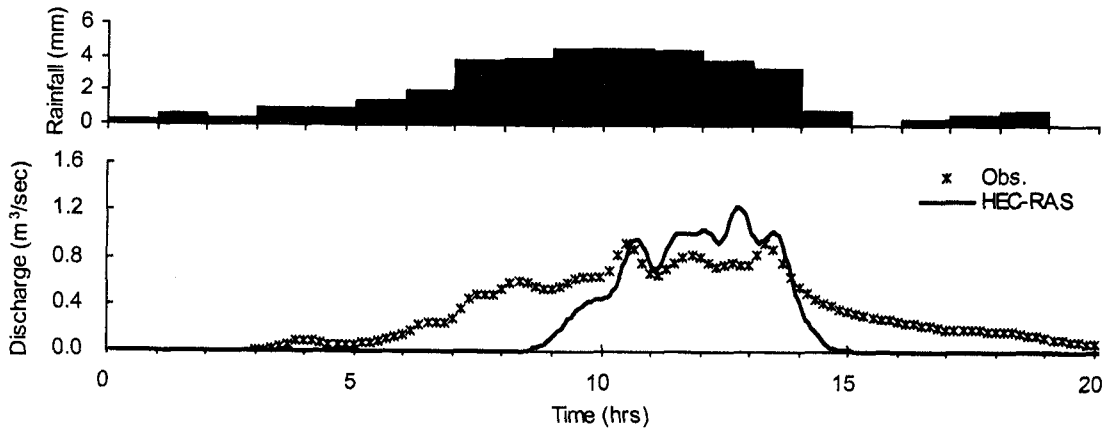
(그림 6-17) 2000년 시험유역 홍수량 추정결과 (2000/08/23)



(그림 6-18) 2000년 시험유역 홍수량 추정결과 (2000/08/24)

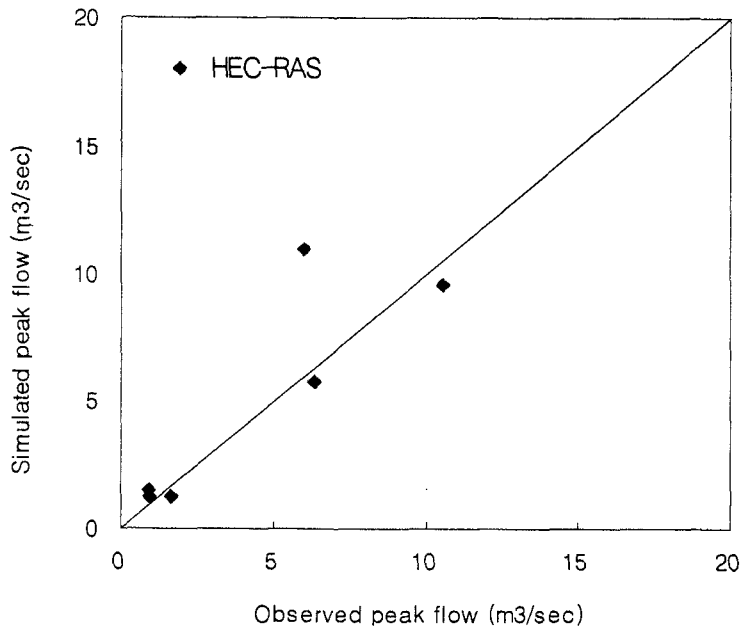


(그림 6-19) 2000년 시험유역 홍수량 추정결과 (2000/08/31)

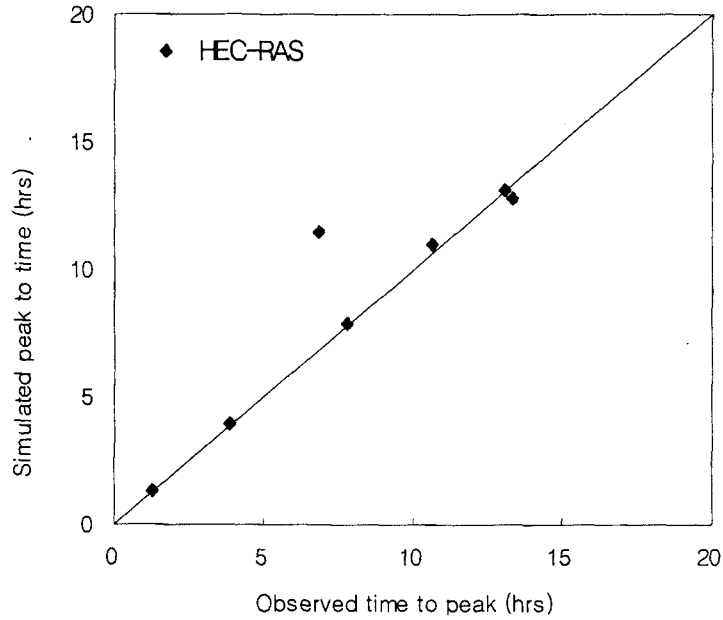


(그림 6-20) 2000년 시험유역 홍수량 추정결과 (2000/09/14)

이상의 적용결과로부터 첨두유량과 첨두시간에 대하여 실측치와 비교하였으며, (그림 6-21), (그림 6-22)와 같다. <표 6-8>은 첨두유량과 첨두시간에 대한 결과를 정리하여 보여주고 있으며, 첨두유량은 RMSE 오차가 $9.516\text{m}^3/\text{s}$, 첨두시간은 1.763 시간으로 분석되었다.



(그림 6-21) 2000년 시험유역 침투 유량 비교



(그림 6-22) 2000년 시험유역 침투 시간 비교

<표 6-8> 침수모의 시스템을 이용함 홍수량 적용 결과 분석

사상	침투유량 (m ³ /s)		침투 시간 (hr)	
	실측치	침수모의 시스템	실측치	침수모의 시스템
000629	10.561	9.514	1.29	1.30
000722	132.196	107.560	10.66	11.00
000804	5.977	10.963	3.90	3.90
000823	0.925	1.516	6.88	11.50
000824	6.356	5.731	13.05	13.10
000831	1.618	1.208	7.83	7.90
000914	0.922	1.243	13.33	12.80
R ²	-	0.9971	-	0.8565
RMSE	-	9.516	-	1.763

3. 침수도의 분석

최근 행정구역별로 침수면적 등이 조사되고 있으나 구역별, 배수개선 사업지구별 침수면적, 침수심, 침수시간 등의 정량적인 침수도의 분석을 위한 자료구축이 부족한 실정이다. 침수피해 발생 지역에 대한 침수도의 시스템의 분석은 이러한 침수관련 관측자료의 부족으로 적용성을 평가하기 어려운 실정이다. 또한, 침수피해 지구를 선정하여 지형자료 등 관련 자료를 구축하더라도 대상지구에 대한 수문자료 구축은 장기간에 걸친 모니터링이 필요한 작업이다. 이에 본 연구에서는 1996년부터 서울대학교에서 수문자료를 구축하고 있는 발안 시험유역을 대상으로 침수도의 시스템의 적용성을 분석하였고, 2000년 주요 강우 사상에 대해 시스템을 적용하였다.

발안 시험유역을 대상으로 2000년 주요 강우사상에 대해 침수도의 시스템을 적용하여 홍수량을 추정한 결과, 2000년 강우 발생시 침수는 발생하지 않은 것으로 모의되었으나 홍수량 추정결과 침투유량, 침투시간의 경우 비교적 실측치와 유사한 경향을 보여 적용성이 있는 것으로 평가되었다. 2000년 7월 22일 기록적인 강우가 발생하였음에도 불구하고 HP#7 발안 시험유역에 침수피해가 발생하지 않은 것은 시험유역 상단에 위치한 기천저수지의 홍수조절 효과 때문인 것으로 분석되었다.

제 5 절 요약 및 결론

본 연구에서 구축된 침수도의 시스템의 적용성을 평가하기 위하여 2000년 시험유역에 대해 침수피해 모의 시스템을 적용하였다. 이를 위해 시험유역에 대해 수문자료를 구축하고 2000년 주요 강우 사상에 대해 침수도의 시스템을 적용하고 결과를 분석하였다.

이상의 결과를 요약하면 다음과 같다.

① 2000년 경기 남부 지역에 대한 침수피해 현황을 조사한 결과, 7월 22일 호우 발생시 오산시의 경우 총강우량이 417mm, 용인시의 경우 1시간 최대강우강도가 151mm/hr로 기록적인 강우를 기록하였으며, 경기도 전체에서 발생한 농경지 침수피해는 930ha로 화성군에서는 128ha의 농경지 침수피해가 발생한 것으로 조사되었다.

② 수원지방의 일강우에 대한 적합도 Gumbel Type 1 분포가 가장 적합한 것으로

조사되었으며, 빈도별 확률강우량 산정결과 100년 빈도 확률강우량 352.7mm로 2000년 7월 22일 발생한 기왕최대 강우량 333.2mm 보다 큰 것으로 조사되었다.

③ 연구기간 중에 발생한 2002년 집중 호우시 표본 배수개선사업계획지구로 선정된 천남지구에 대해 침수피해를 조사한 결과, 주요 침수피해 원인으로서는 외수위 상승으로 인해 배수문을 닫고 농경지로부터 배수되는 배수량이 배제되지 못해 침수피해를 입게 된 것으로 조사되었다.

④ 침수모의 시스템의 적용성을 평가하기 위해 발안 시험유역을 대상으로 2000년 강우, 수문 자료를 구축하였고, 7개 주요 폭우 사상에 대해 홍수량을 추정하였다.

⑤ 침수모의 시스템을 이용하여 홍수량 추정결과 첨두유량과 첨두시간에 대하여 실측치와 비교하였으며, 첨두유량은 RMSE 오차가 $9.516\text{m}^3/\text{s}$, 첨두시간은 1.763 시간으로 분석되었다.

⑥ 정량적인 침수모의 분석을 위한 침수면적, 침수심, 침수시간 등의 자료구축이 부족한 실정이며, 이에 본 연구에서는 발안 시험유역을 대상으로 2000년 주요 강우 사상에 대해 침수모의 시스템을 적용하였으나, 2000년 강우 발생시 침수는 발생하지 않은 것으로 모의되었으나 홍수량 추정결과 첨두유량, 첨두시간의 경우 비교적 실측치와 유사한 경향을 보여 적용성이 있는 것으로 평가되었다.

제 7 장 목표 달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 연구목표 및 평가착안점

1. 연구개발목표

본 연구는 배수개선 농경지의 침수피해 모의시스템을 개발하는 과제로 관행 조사계획방식의 검토와 문제점 도출, 홍수량 산정기술의 개발과 적용성 평가, GIS를 이용한 농경지의 침수상황 모의기법의 개발과 적용성 평가, 배수개선대책에 따른 침수상황의 비교 및 대안의 선정절차 제시, 2000년 침수피해지구의 대한 적용성 평가 등을 통하여, 배수개선계획방식의 현장기술의 개발을 최종목표로 한다. 각 주제별 연구목적은 다음과 같다.

가. 관행 조사계획방식의 검토와 문제점 도출

배수개선 농경지의 침수피해 모의시스템의 개발을 위해 먼저 관행적으로 이루어지던 배수개선사업계획지구 조사계획방식의 내용을 검토하고 문제점을 도출한다. 이를 위해 시범 조사지구를 선정하여 기본계획서를 검토하고 현장 조사를 병행하여 관행 조사계획방식을 검토하도록 한다.

나. 홍수량 산정기술의 개발과 적용성 평가

홍수량 산정기술의 개발을 위해 관해 홍수량 산정기술을 검토하고 농경지의 저류특성을 고려한 홍수량 추정기술과 GIS를 이용한 홍수량 추정기술을 개발, 적용한다. 이를 위해 시험유역의 운영을 통해 수문자료를 구축하고 관행 홍수량 추정기술과 개발된 홍수량 추정기술을 비교, 검토하여 적용성을 분석하도록 한다.

다. 논의 침수상황 모의기법의 개발과 적용성 평가

효과적인 침수모의 분석을 위해 GIS를 이용한 논의 침수상황 모의 시스템을 구축한

다. 이를 위해 시험지구를 선정하여 수문, 지형자료 등을 구축하고 침수모의 시스템의 적용을 통해 침수모의 분석을 실시한다. 또한, 침수발생시 논의 침수피해를 추정하는 모형을 개발, 적용하도록 한다.

라. 배수개선대책에 따른 침수상황의 비교 및 대안의 선정절차 제시

GIS를 이용한 침수모의 시스템을 이용해 시험지구에 대한 침수상황을 모의하고 배수개선대책안에 따른 침수피해 저감효과를 분석한다. 각 배수개선대책안에 따른 침수피해 저감효과 분석을 통해 적정 배수개선대책안을 제시하도록 한다.

마. 2000년 침수피해지구에 대한 적용성 평가

2000년 침수피해지구에 대한 적용성 평가를 위해 시험지구를 선정하고 2000년 강우, 수문자료를 구축하여 홍수량 추정 모형, 침수모의 모형을 적용하여 적용성을 평가하도록 한다.

2. 평가착안점

본 연구의 연구계획서에 있는 최종 연구평가 착안점은 다음의 <표 7-1>과 같다.

<표 7-1> 평가의 착안점

구 분	평가의 착안점 및 척도	
	착 안 사 항	척도(점수)
최종평가	○ 연구의 추진은 적절하였는가?	10
	○ 국내외 관련자료와 문헌에 대한 조사 및 검토는 이루어졌는가?	15
	○ 홍수량 계산 및 침수모의 알고리즘 개발 및 모형의 개발은 이루어졌는가?	20
	○ 배수개선대책안의 평가와 대안에 대한 검토는 이루어졌는가?	15
	○ 침수피해지구에 대한 조사와 개발된 모형의 적용은 이루어졌는가?	15
	○ 개발된 기술의 실용화는 가능한가?	10
	○ 연구결과에 대한 보고서는 충실하게 작성되었는가?	15

제 2 절 연구개발목표 달성도

배수개선 농경지의 침수피해 모의시스템 개발과제를 통해 최종적으로 달성된 내용은 다음과 같다.

1. 관행 조사계획방식의 검토와 문제점 도출

경기도 지역의 배수개선대상지 조사보고서 자료를 참고하여 배수개선사업계획지구를 선정하고 배수개선사업계획 대상지구의 홍수원인과 유형을 분류하고, 관행적으로 이루어지던 배수개선 사업의 조사계획 방법에 대해 검토하였다.

2. 홍수량 산정기술 개발과 적용성 평가

경기도 화성시 발안면/팔탄면에 소재한 발안 시험유역을 선정하여 수문자료를 구축하고 이로부터 관행적으로 이용되던 홍수량 산정방법의 적용성을 평가하였다. 또한 관행적으로 이용되던 홍수량 추정방법에 농경지의 저류특성을 고려한 홍수량 추정방법을 개발하여 적용성을 평가하였으며 수문모형의 전후처리 과정을 용이하게 하는 GIS를 연계한 홍수량 추정모형을 적용하여 평가하였다.

3. 논의 침수상황 모의기법의 개발과 적용성 평가

GIS를 이용한 농경지 침수모의 시스템을 구축하고 이의 적용성을 평가하기 위해 시험지구를 대상으로 지형자료를 구축하고 과거 폭우사상에 대해 홍수량을 추정하고 농경지 침수상황을 모의하였다. 또한, 과거 강우량 자료를 이용하여 확률강우량을 추정하고 이로부터 시험지구에 대한 확률홍수량을 추정하고 이에 대한 침수면적과 침수심을 모의하였다.

4. 배수개선대책에 따른 침수상황의 비교 및 대안의 선정절차 제시

피해유형별 배수개선대책 시나리오를 작성하고 이를 시험지구에 적용하여 배수개선대책을 시행하기 전후의 홍수량과 침수면적 등을 비교하여 배수개선대책안에 따른 침수피해 경감효과를 분석하고, 대상지구에 대한 적절한 대안을 선정하였다.

5. 2000년 침수피해지구에 대한 적용성 평가

시험지구로 선정된 발안시험유역에 대한 2000년 홍수시 경우, 유출 자료를 수집하여 유출특성을 분석하고 농경지 침수모의 시스템을 이용하여 2000년 홍수 발생 당시 침수상황을 모의, 분석하였다.

제 3 절 관련분야의 기술발전예의 기여도

1. 관련분야 기술발전 기여도

가. 홍수량 추정기술의 개발

본 연구에서는 관행적으로 이용하던 홍수량 산정기술의 단점을 보완하여 논외 저류 특성을 고려한 홍수량 추정기술을 개발하고, 지리정보시스템을 이용한 홍수량 추정기술을 적용하여 홍수량 추정과 관련되는 기술을 개발, 적용하였다.

나. 침수 모의 시스템 구축

본 연구에서는 지리정보 시스템을 이용한 침수모의 시스템과 농경지 침수피해 모의 시스템을 구축하여 보다 편리하고 효과적인 침수분석과 침수피해 분석을 실행할 수 있도록 하였으며, 향후 침수 및 침수 피해 분석에 있어 보다 정량적이고 시각적인 결과를 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

다. 배수개선 대책 효과 분석

본 연구에서는 침수피해에 대비한 배수개선 대책안에 대한 침수피해 저감효과를 분석하고 적정 배수개선 대책수립을 위한 침수모의 시스템을 적용, 분석하여 보다 체계적이고 합리적인 배수개선 대책수립안을 제시하였다.

2. 기술·경제·산업적 기대성과

가. 기술적 측면

배수개선 농경지의 침수모형은 집중호우로 인한 농경지의 실시간 침수상황의 모의

를 통해 침수원인과 피해의 범위를 구명하고, 적절한 배수개선방식에 따른 침수피해의 경감효과를 진단함으로써, 배수개선사업의 조사 및 계획설계의 정확성을 높여, 사업효과를 극대화하는 데 그 목적이 있다.

지금까지의 배수개선사업의 조사설계는 꾸준한 기술발전이 이루어져 왔으며, 최근에는 FAS를 개발 도입함으로써, 선진기술수준을 채택하는 등의 성과가 있었다. 특히, 종래의 유역 홍수량 추정기술에서 간과하여 왔던 논의 저류기능을 감안할 수 있고, 또한 농촌지리정보체계 (Rural Geographic Information System, RGIS)의 DEM 자료기반을 활용함으로써, 계획홍수량 추정의 자동화 체계를 확립할 수 있었다. 그러나 배수개선 대안에 따른 내외수위의 변화를 추정하는 데 그쳐, 실시간 침수상황을 비교 분석할 수 없는 한계가 있고, 그 정확성에 있어서도 충분한 검정이 이루어지지 못하는 등의 한계도 나타나고 있다.

농경지 침수상황의 추정은 기술적으로 가능한 일이다. 다만, 유역의 홍수량 추정과 농경지의 지형자료기반 등의 활용 등 현장적용에 필요한 기술을 정립하는 일과 실시간 모의를 위한 흐름방정식들의 수치해석기법 등을 활용하지 않아 단순한 홍수위 변화를 산정하고, 이를 바탕으로 추정하는 방식을 택하고 있는 것으로 나타났다.

본 연구의 결과는 상습침수피해지역의 농경지의 분포, 지형조건, 토양, 용배수 상황 등의 자료를 활용하여, 집중호우 시 침수상황을 실제 상황에서 모의할 수 있을 뿐만 아니라, 배수개선계획안에 대한 침수상황의 변화를 제시하여 다양한 배수개선대안의 정량적인 효과를 제시함으로써, 최적 설계가 가능하도록 할 수 있을 것으로 기대된다. 더욱이 GIS의 공간분석 기능 및 그래픽 기능을 활용하여 침수상황을 도식적으로 나타내며, 이를 통해 홍수에 따른 침수구역을 공간적으로 분석할 수 있을 것이다.

나. 경제, 산업적 측면

집중호우로 인한 농경지 침수피해는 해마다 반복되어 나타나고 있으며, 침수와 유실로 인한 농경지의 훼손과 농작물의 피해액도 대규모화되고 증가되고 있는 것이 현실이다. 따라서 상습침수지역의 해소를 위한 배수개선사업은 경제적, 사회적 측면에서 타당성이 인정되고 있으며, 정부의 수해방지대책에서도 배수개선 대상지의 연차별 사

업을 계획하고 있다.

배수개선사업의 투자에 대한 효과를 극대화하기 위해서는 사업지구의 침수피해를 정량적으로 분석할 수 있는 도구가 필요하다. 만약, 그 도구가 정확하지 않거나, 충분한 정도를 갖지 못한다면, 사업의 효과는 상당한 오차를 갖게 되어, 추후 유사한 규모의 집중호우로 인한 피해를 입게 될 가능성이 높다.

따라서 본 연구에서 개발될 예정인 농경지 실시간 침수모의모형은 집중호우로 인한 침수상황의 추정방법을 개발함으로써, 침수원인의 정확한 진단과 피해정도를 정량적으로 평가할 수 있으므로, 해당 사업지구의 배수개선에 따른 피해경감을 진단할 수 있고, 따라서 단위 사업비의 절감과 사업효과의 극대화에 기여할 수 있을 것이다.

제 8 장 연구개발결과의 활용계획

본 연구 결과에 따른 활용 방안을 요약하면 다음과 같다.

(1) 시험유역을 선정하고 강우, 하천수위, 수위-유량 관계, 유량 등의 자료를 수집하여 홍수량 추정, 침수모의모형 등 수문관련 모형의 적용성을 평가하고 분석하였으며, 이 후 다양한 수문모형의 적용을 위한 기초자료가 될 것으로 기대된다.

(2) 과거 관행적으로 이루어지던 배수개선사업 조사계획에서 이루어지던 홍수량 산정은 농경지의 저류특성을 고려하지 않았으며, 본 연구에서 개발 적용한 논의 저류특성을 고려한 홍수량 추정 모형은 농경지를 포함한 대다수 농업유역에서의 적용성이 있을 것으로 기대된다.

(3) 수문모형의 입력자료 구축을 위해 지형도, 토양도 등의 수치지도와 위성영상(RS) 등을 이용하였다. 수문모형의 전처리를 위해 GIS와 RS를 이용할 경우 보다 빠르고, 편리하게 수문모형을 적용할 수 있을 것으로 기대되며, 본 연구에서 이용된 수문모형의 전처리 기법을 활용할 경우 보다 효율적인 홍수량 추정이 가능할 것으로 기대된다.

(4) GIS를 이용한 침수모의 시스템의 적용을 통해 다양한 홍수상황의 발생에 따른 침수모의가 가능하고 침수피해를 경감하기 위한 여러 가지 대안에 대한 침수모의가 가능하여 보다 효과적이고 체계적인 침수피해 방지 시스템을 구축할 수 있을 것으로 기대된다.

(5) 침수피해에 따른 농경지 피해를 산정하기 위해 개발된 농경지 침수피해 모의시스템을 적용하여 침수피해에 대비한 배수개선 대책을 보다 효과적으로 수립할 수 있을 것으로 기대되며, 배수개선 사업의 효과를 정량적으로 분석할 수 있을 것으로 기대된다.

여 백

참고문헌

1. 강문성, 1995. 우리나라 일별 기상인자의 추계학적 모의발생에 관한 연구, 서울대학교 석사학위 논문
2. 강문성, 2002. 인공신경망 원격탐사기법과 비점오염모델을 이용한 오염총량모의시스템 개발, 서울대학교 박사학위 논문.
3. 강문성, 박승우, 1995. 일별 기상자료의 추계학적 모의모형의 개발과 응용, 서울대농학연구지, 20(2), pp.123-132.
4. 강문성, 박승우, 2000. 다시기 위성영상을 이용한 소유역의 토지피복변화평가, 한국농촌계획학회지, 6(2), pp.50-58.
5. 강민구, 박승우, 허용구, 박창언, 강문성, 2002. 영산강 하구둑 시간 홍수예보 및 관리시스템 개발, 한국농공학회 학술발표회 논문집, pp.285-288.
6. 강양순, 양의석, 남민희, 1987. 농가포장 벼 침관수 피해실태 조사, 영남작물시험장, pp.569-573.
7. 강양순, 양의석, 이성환, 1988. 벼 관수에 따른 생육단계별 피해 및 고위절 분얼 이삭에 의한 수량 보상력, 한작지 vol.33(2), pp.195-200.
8. 강양순, 양의석, 정연태, 정근식, 1988. 수도 관수처리에 의한 생리적 특성의 품종간 차이, 한작지 vol.33(2), pp.189-194.
9. 강주환, 김남일, 이길성, 황만하, 1997. SSARR-8 모형을 이용한 낙동강 수계의 저수유출 해석, 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp.262-267.
10. 건설교통부, 2001a. 유역종합치수계획수립지침작성.
11. 건설교통부, 2001b. 치수사업 경제성 분석 개선방안 연구.
12. 건설교통부, 2002. 하천시설물 설계시 신뢰도 분석 개념도입에 관한 연구.
13. 건설부, 1989. 영산강수계 종합정비계획.
14. 건설부, 1993. 하천시설기준.
15. 건설부, 1998. 한국확률강우량도의 작성, 수자원관리기법개발연구조사보고서, 제2권.

16. 고덕구, 1989. 소유역 장기유출 예측을 위한 모의발생 수문모형의 개발, 서울대학교 박사학위논문.
17. 구지희, 2001. GIS를 이용한 도로배수설계 통합시스템의 개발, 서울대학교 박사학위논문.
18. 국무총리 국무조정실 수해방지대책기획단, 2003. 범정부적 수해방지대책.
19. 권순국, 고덕구, 1987. 산지유역에 대한 USDAHL-74 유역수문모형의 장기유출해석적용, 한국농공학회지, 29(2), pp.53-63.
20. 권순국, 고덕구, 1988. 산지 소유역의 홍수유출예측을 위한 모의발생 수문모형의 개발, 한국농공학회지, 30(3), pp.58-68.
21. 김경탁, 1998. GIS 적용에 따른 유출응답에 관한 연구, 인하대학교 박사학위논문.
22. 김계현, 윤천주, 이상일, 2002. GIS를 이용한 홍수위험지도 관리시스템 프로토타입 개발에 관한 연구, 한국수자원학회 논문집 제35권 제4호, pp.359-366.
23. 김대식, 1995. 지표배수량 산정을 위한 지리정보시스템의 응용모형 개발, 서울대학교 석사학위논문.
24. 김대식, 정하우, 김성준, 최진용, 1995. 소유역 지표유출의 공간적해석을 위한 지리정보시스템의 응용모형(II) - 격자 물수지 모형을 위한 GIS 응용 모형 개발 -, 한국농공학회지, 37(5), pp.35-42.
25. 김문희, 김제규, 김영효, 신진철, 오윤진, 1991. 벼 침관수처리가 미질에 미치는 영향, 작물시험장, pp.419-427.
26. 김병진, 1987. 수문모형 ANSWERS의 반월 유역에의 적용, 서울대학교 석사학위논문.
27. 김병진, 박승우, 1988. 수문모형 ANSWERS의 반월 유역에의 적용, 한국농공학회지, 30(1), pp.81-90.
28. 김상경, 이승필, 이광석, 최대웅, 박두오, 1989. 수도생식생장기 이삭제거 및 관수처리가 상위절분얼 발생에 미치는 영향, 농시논문집(수도편), 31(1), pp.28-35.
29. 김상민, 박승우, 2001. GIS를 이용한 침수모의모형의 적용, 한국농공학회 학술발표회 논문집, pp.314-318.
30. 김상현, 손광익, 한진연, 1996. Tile Drain의 영향과 GIS를 연계한 농경지 유역에 대한

수문학적 모의, 한국수자원학회 논문집 제29권 제6호, pp.203-215.

31. 김선민, 박상현, 김정엽, 정관수, 2001. 영산강 유역 중류부의 홍수위 산정연구, 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp.507-512.
32. 김선주, 지용근, 2002. HEC-RAS를 이용한 성주댐 하류부의 홍수영향 분석, 한국농공학회 학술발표회 논문집, pp.105-108
33. 김성준, 1998a. 격자기반의 운동과 강우유출모형개발(I) -이론과 모형-, 한국수자원학회 논문집, 31(3), pp.303-308.
34. 김성준, 1998b. 격자기반의 운동과 강우유출모형 개발(II) - 적용예(연천댐 유역을 대상으로), 한국수자원학회논문집, 31(3), pp.309-315.
35. 김순철, 손양, 이수관, 1983. 수도 주요 생육시기별 침관수가 생육 및 수량에 미치는 영향, 영남작물시험장, pp.692-697.
36. 김순철, 이수관, 1981. 벼 등숙기 침수가 수도생육 및 수량에 미치는 영향, 영남작물시험장, pp.698-723.
37. 김원우, 김병현, 김성범, 김삼포, 1987. 벼 관수피해조사, 경기도 농촌진흥원, pp.88-92.
38. 김유섭, 1966. 관수의 정도가 수도생육 및 수량에 미치는 영향에 관한 시험, 전남 농진 시험연구보고서, pp.103-126.
39. 김유섭, 유도중, 1970. 관수의 정도가 벼 생육 및 수량에 미치는 영향, 농사시험연구보고 제13집(작물편), pp.23-30.
40. 김종덕, 1990. SCS법에 의한 소유역의 홍수 유출 추정, 서울대학원 농공학과 석사학위논문, pp.5-13.
41. 김지훈, 1998. 지리정보시스템을 이용한 SWAT/GRASS 모형의 적용, 서울대학교 석사학위논문.
42. 김진택, 1995. 농업 비점원 오염 모형을 위한 지리정보 시스템 호환모형의 개발 및 적용, 서울대학교 박사학위논문.
43. 김채수, 1982. 관개기간 중 논유역에서의 강우유출량 추정에 관한 연구, 한국농공학회지, 24(4), pp.99-108.
44. 김천환, 김시원, 1982. 배수설계를 위한 벼의 관수심 및 관수피해율에 관한 연구, 한국농

공학회지 vol. 24(4), pp.69-79

45. 김철, 김석규, 김계호, 2001. GIS를 이용한 침수지역 분석, 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp.1026-1031.
46. 김철겸, 1999. 논에서의 유출특성을 고려한 농업 소유역의 홍수유출 추정, 서울대학교 석사학위 논문.
47. 김철겸, 박승우, 임상준, 2000. 논 의 수문특성을 고려한 소유역의 유출곡선 합성, 한국농공학회지 제42권 제6호, pp.56-62.
48. 김철기, 박명근, 1983. 통일계벼의 침수피해 요인에 관한 실험적 연구(II) -침수가 벼 수량에 끼치는 영향을 중심으로 -, 한국농공학회지, vol.25(2), pp.35-41
49. 김철기, 박명근, 1983. 통일계벼의 침수피해 요인에 관한 실험적연구 -침수가 벼 성장에 끼치는 영향을 중심으로 -, 한국농공학회지, vol.25(1), pp.27-38.
50. 김태환, 1997. 인공신경망과 유전자 알고리즘을 이용한 하이브리드형 예측 시스템의 개발, 아주대학교 석사학위논문.
51. 김현영, 1988. 관개용 저수지의 일별 유입량과 방류량의 모의 발생, 서울대학교 박사학위 논문.
52. 김현영, 황철상, 김석만, 이광야, 1998. 논 유출 특성을 고려한 홍수분석시스템 개발, 한국관개배수, 5(10), pp.8-19.
53. 김희동, 성문석, 김영호, 최영진, 이동우, 노영덕, 1995. 생육초기 관수처리가 벼 생육 및 수량에 미치는 영향, 농업논문집, 37(2), pp.32-39.
54. 김희동, 조영철, 서광기, 조양훈, 박경열, 1996. 벼 관수기간에 따른 피해양상 조사, 경기도 농촌진흥원, pp.322-327.
55. 내무부, 1995. 재해극복 30년사(1963-1993).
56. 노재경, 1991. 土壤 水分 貯留에 의한 日 流出量 流域 模型, 서울대학교 박사학위논문.
57. 농림부 농촌개발국, 2003. 업무자료.
58. 농림부, 1999a. '98~'99년 풍수해의 피해 : 교훈과 과제.
59. 농림부, 1999b. 농업기반시설관리지침(저수지편).
60. 농림부, 2000. 전국 배수개선 종합정비계획.

61. 농림부, 2001. 농업생산기반정비사업 계획설계기준(배수편).
62. 농림수산부, 1991. 농업토목핸드북, 농어촌진흥공사, pp.264-266.
63. 농업기반공사, 2000a. 농업생산기반정비사업 조사설계 실무요령(제2·3편 배수개선/경지정리).
64. 농업기반공사, 2000b. 농업생산기반정비사업 조사설계 실무요령(제2·3편 수문, 공사비적산, 설계도서).
65. 농업기반공사, 2002. 농업경제조사·분석 기준.
66. 농촌진흥청 작물시험장, 1993. 농작물재해피해를 산정기준 조사에 관한 연구 제1차년도 보고서.
67. 농촌진흥청, 2002. 2002 주요농작물 품종해설.
68. 농촌진흥청, 2002. 2002년도 농작물 생육상황.
69. 대통령비서실 수해방지대책기획단, 1999. 수해방지종합대책백서.
70. 문영일, 신은우, 김동권, 권현한, 2002. 비매개변수적 Monte carlo Simulation에 의한 댐 위험도 분석, 한국수자원학회 학술발표회 논문집(Ⅱ), pp.886-891.
71. 문창식, 이주열, 1983. 침수조건이 수도생육에 미치는 영향, 충청남도 농촌진흥원, pp.133-142.
72. 문창식, 이주찬, 인무성, 박문희, 1981. 침수조건이 수도생육에 미치는 영향, 충청남도 농촌진흥원, pp.110-120.
73. 박래경, 이수관, 김순철, 서정노, 1982. 수도작답 침관수의 시기 및 양상이 벼 생육 및 수량에 미치는 영향, 농시보고 24(작물), pp.75-86.
74. 박선호, 이화수, 채재석, 1979. 침수정도가 수도생육에 미치는 영향, 전라북도 농촌진흥원, pp.514-518.
75. 박성태, 김순철, 이수관, 1980. 상습침수지대의 벼 피해조사, 영남작물시험장, pp.535-543.
76. 박성태, 신상욱, 기상열, 손양, 이희우, 김호영, 2000. 벼 침관수, 도복, 오존가스, 위조피해실태 조사분석, pp.184-192.
77. 박성태, 황동용, 문병철, 손양, 류길립, 이기영, 김순철, 1998. 벼 침관수, 도복, 알마름 피해실태 조사 분석, 영남농업시험장, pp.473-485.

78. 박성태, 황동용, 신동경, 최해춘, 1999. 호우에 의한 벼 침관수 및 도복피해 조사 분석, 영남농업시험장, pp.248-254.
79. 박승우, 유경학, 김진택, 1992. 수문분석을 위한 지리정보시스템의 적용기법 조사, 한국건설기술연구원.
80. 박진구, 권순목, 1972. 이앙직후 침수정도가 벼 생육 및 수량에 미치는 영향 조사, 영남작물시험장, pp.288-291.
81. 박홍구, 양원하, 최원영, 김상수, 1998. 벼 출수 후 생육단계별 침관수 피해조사, 호남농업시험장, pp.393-395.
82. 박희성, 1998. 위성영상을 이용한 토지이용분류 및 유출곡선번호의 추정, 서울대학교 석사학위 논문.
83. 성문석, 김희동, 주영철, 김영호, 1991. 벼 생육초기의 관수피해 연구. 경기도 농촌진흥원, pp.55-63.
84. 손양, 김순철, 이수관, 1984. 수도 주요 생육시기별 관수가 생육 및 수량에 미치는 영향, 영남작물시험장, pp.321-331.
85. 손양, 김순철, 이수관, 정근식, 1987. 벼 관수저항성의 품종간 차이와 피해경감에 관한 연구, 농시농문집(작물), 29(1), pp.81-91.
86. 신현석, 이재혁, 박무중, 2001. 소하천 홍수해석과 GIS범람모형기법 연구, 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp.513-517.
87. 신현석, 전성우, 서봉철, 2000. HEC-HMS/HEC-RAS를 이용한 소양강 홍수영향분석 연구, 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp.281-287.
88. 안상진, 안창진, 조국희, 곽현구, 2000. HEC-HMS모형을 이용한 금강유역의 홍수수문곡선 해석, 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp.89-94.
89. 안상진, 이용수, 1989. SSARR 모형에 의한 유역유출해석, 한국수문학회지, Vol.22(1), pp.109-116.
90. 안상진, 이종형, 1990. 토지이용의 변화와 홍수유출 model, 한국수문학회지, 23(1), pp.24-31.
91. 안상진, 전계원, 곽현구, 최병만, 2001. HEC-GeoHMS와 HEC-HMS를 연계한 유출해석,

- 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp.257-262.
92. 안상진, 함창학, 1995. 지형정보시스템을 이용한 하천유역의 형태학적 특성인자의 추출
한국수자원학회논문지 28(2), pp.115-124.
 93. 안상진, 함창학, 김종섭, 김기석, 2001. GIS를 이용한 홍수범람지역 분석, 한국수자원학회
학술발표회 논문집, pp.1062-1067.
 94. 안재현, 유철상, 윤용남, 2002. 확률강우량의 상승 및 감소와 관련하여 홍수량과 홍수위
에 대한 영향분석, 한국수자원학회 학술발표대회논문집(II), pp.1274-1279.
 95. 엄무섭, 1991. 지형정보시스템을 원용한 Kinematic 모형의 적용, 서울대학교 석사학위논
문.
 96. 영남작물시험장, 1965. 침수정도가 수도생육 및 수량에 미치는 영향 조사시험, 영남작시
보고서, pp.145-159.
 97. 영남작물시험장, 1968. 침수일수가 수도생육 및 수량에 미치는 영향 조사시험, 영남작시
보고서, pp.526-530.
 98. 영남작물시험장, 1979. 벼 등숙초기의 침수정도가 벼 생육 및 수량에 미치는 영향, 영남
작시보고서, pp.499-502.
 99. 영남작물시험장, 1980. 상습침수지대의 벼 피해조사, 영남작시보고서, p.543.
 100. 오남기, 김규태, 황창주, 소재돈, 1987. 배 생육단계별 관수피해 해석 시험, 전라북도 농
촌진흥원, pp.119-125.
 101. 오세현, 김창영, 이춘우, 김소연, 1987. 벼 침관수 피해양상 조사, 충청남도 농촌진흥원,
pp.99-106.
 102. 오세현, 김현호, 김창영, 최병준, 문창식, 노태홍, 1991. 벼 생식생장기 관수피해와 재생
양상 연구, 농시논문집(수도편) vol.33(1), pp.51-61.
 103. 윤용남, 1994. 공업수문학, 청문각.
 104. 이기춘, 박승우, 최진규, 1989. 도시 소유역의 유출변화 분석, 한국농공학회지, 31(1),
pp.45-57.
 105. 이동진, 이문희, 안종국, 박석홍, 1988. 관수처리가 수도의 생육 및 수량에 미치는 영향,
작물시험장, pp.638-644.

106. 이문희 김제규, 임무상, 1990. 벼 침관수 피해경감 재배기술 연구. 작물시험장 pp.738-746.
107. 이문희, 이동진, 박석홍, 박래경, 1990. 관수처리가 벼의 생육 및 수량에 미치는 영향 농시논문집, 32(3), pp.23-30.
108. 이범희, 1998. 지리정보체계 및 전문가시스템을 이용한 도시유출 및 수질모형의 개발, 서울대학교 박사학위논문.
109. 이상각, 강병화, 2001. 벼의 관수기간 및 수질이 광합성과 생육에 미치는 영향, 한작지 46(3), pp.209-214.
110. 이영대, 박승우, 1990. 도시소유역의 유출해석을 위한 수문모형의 개발과 응용, 한국수문학회지 23(3), pp.329-340.
111. 이은웅, 1994. 水稻作, 향문사.
112. 이정식, 이재준, 손광익, 1997. 중소 하천유역에서 강우-유출관계의 개념적 모형 비교 연구 -위천유역을 중심으로-, 한국수자원학회논문집 30(30), pp.279-291.
113. 이정형, 김동수, 김동균, 1965. 침수일수가 수도생육 및 수량에 미치는 영향조사, 영남작물시험장, pp.526-530.
114. 이종석, 한건연, 2002. 댐 안전성 평가를 위한 위험도 기법의 적용, 한국수자원학회 학술발표회 논문집(II), pp.904-909.
115. 이종태, 윤용남, 박상식, 임현택, 2001. 임진강의 홍수범람과 홍수특성, 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp.435-440.
116. 이주열, 문창식, 박은희, 이동욱, 1982. 침수조건이 수도생육에 미치는 영향, 충청남도 농촌진흥원, pp.115-122.
117. 임상준, 2000. 농업유역의 논 관개회귀수량 추정모형의 개발, 서울대학교 박사학위논문.
118. 임상준, 박승우, 1995. 논역 유출곡선번호의 선정과 그 적용에 관한 연구, 한국농공학회 학술발표회 논문집, pp.81-86.
119. 임상준, 박승우, 1997. 논역 유출곡선번호 추정, 한국수자원학회지 30(4), pp.379-387.
120. 임상준, 박승우, 강문성, 2002. 관개논과 산림유역의 홍수유출특성 비교, 한국농공학회지 44(3), pp.65-72.

121. 임상준, 서춘석, 박승우, 2000. 토지이용에 따른 강우-유출 특성 변화, 한국농공학회 학술발표회 논문집, pp.72-77.
122. 전종안, 2001. GIS-AGNPS 호환모형을 이용한 소유역에서의 직접유출에 의한 오염부하량 추정, 서울대학교 석사학위논문.
123. 정수은, 조호섭, 양동윤, 정관수, 2001. GIS를 이용한 영산강 중류의 홍수범람도 작성 연구, 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp.1044-1049.
124. 정인균, 김성준, 2001. 효과적인 유역자료 추출을 위한 DEM 전처리 방법의 비교, 한국농공학회 학술발표회 논문집, pp.273-276.
125. 정태성, 고태진, 2001. 홍수범람의 동적가시화 프로그램 개발, 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp.1050-1055.
126. 조민신, 김원식, 전호석, 이진구, 1972. 수도의 관수피해에 관한 조사연구, 한국 작물학회지 제12호, pp.63-69.
127. 조재필, 1998. 복합토지이용 특성의 농촌유역에 대한 농업비점원 오염모형의 적용, 서울대학교 석사학위논문
128. 조홍제, 김정식, 1997. TIN을 이용한 SCS법에 대한 유효강우량산정에 관한 연구, 한국수자원학회논문집 30(4), pp.357-366.
129. 조홍제, 조인률, 김정식, 1997. TOPMODEL을 이용한 강우-유출해석에 관한 연구, 한국수자원학회논문집, 30(5), pp.515-526.
130. 주영철, 임갑준, 한상욱, 박중수, 조영철, 김순재, 2000. 1999년에 발생한 기상재해 유형별 비 수량반응조사 연구, 한국농림기상학회지 vol. 2(1) pp.1-8
131. 중앙재해대책본부, 2002. 자연재해조사 및 복구계획수립 지침.
132. 채재학, 유정, 박건호, 1980. 수도 관수피해에 관한 연구, 전라북도 농촌진흥원, pp.443-450.
133. 최상진, 1983. 침수처리가 수도의 생육 및 임실장애에 미치는 영향, 한작지 28(1), pp.100-106.
134. 최원영, 박홍규, 김상수, 최민규, 백남현, 양원하, 신현탁, 조수현, 1997. 비 침관수 정도가 생육 및 수량에 미치는 영향, 호남농업시험장, pp.341-345.

135. 최장수, 안덕중, 최충돈, 이승필, 최부슬, 2000. 벼 성숙기 침관수 피해양상, 한국농림기상학회지 vol. 2(4), pp.148-155
136. 최진규, 김현영, 손재권, 1997. 논외 배수물꼬의 유량에 관한 기초연구, 한국농공학회지 39(2), pp.134-142.
137. 최진용, 1996. 지리정보시스템을 이용한 장기유출모형의 개발에 관한 연구, 서울대학교 박사학위 논문.
138. 최현옥, 박종경, 김동수, 박진구, 1965. 침수정도가 수도생육 및 수량에 미치는 영향 조사시험, 영남작물시험장, pp.145-159.
139. 한건연, 최규현, 백창현, 2002. 제내지에서 홍수위험지도의 작성, 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp.805-810.
140. 한국건설기술연구원, 1996. 도시유역 강우-유출모형의 적용 및 비교분석.
141. 한상욱, 정중수, 1976. 영산강의 장기 유출량에 관한 고찰, 한국농공학회지 18(3), pp.22-32.
142. 함영수, 이종훈, 오윤진, 윤성호, 1979. 벼 생육후반기 관수에 의한 피해조사, 작물시험장, pp.484-502.
143. 함창학, 1996. 지리정보시스템(GIS)을 이용한 수문지형정보 추출에 관한 기초적 연구, 충북대학교 박사학위논문.
144. 호남작물시험장, 1980. 관수저항성에 관한 시험, 1980년도 시험연구보고서, pp.170-171.
145. 황창주, 김상수, 김규태, 오남기, 박노풍, 1989. 호남지역 품수해 발생실태와 방재대책 - 전북중심-, '89농진청 심포지엄 10, pp.44-62.
146. Abbott, M. B., Bathurst, J. C., Cunge, J. A., O'Connell, P. E., and Rasmussen, J. 1986a. An introduction to the European Hydrologic System-Systeme Hydrologique Europeen, SHE, 1: History and philosophy of a physically-based, distributed modeling system. Journal of Hydrology 87, pp.45-59.
147. Abbott, M. B., Bathurst, J. C., Cunge, J. A., O'Connell, P. E., and Rasmussen, J. 1986b. An introduction to the European Hydrologic System-Systeme Hydrologique Europeen, SHE, 2: Structure of a physically-based, distributed modeling system.

- Journal of Hydrology 87, pp.61-77.
148. Ackerman, C. T., 2000. Hydraulic Modeling of the Salt River, Arizona Using HEC-GeoRAS, 2000 ESRI International User Conference - June 26-30, 2000
 149. Allen S.J., 1987. Digital hydrologic modeling methods for water resources engineering with application to the Board Brook Watershed(Connecticut), Ph.D. Thesis, The University of Connecticut.
 150. Analysing flood control alternatives for the Clear Creek Watershed : A GIS-Based approach, 2001. http://www.ruf.rice.edu/~heyjude/case_study.htm
 151. Bates, P. D and A. P. J. De Roo, 2000. A simple raster-based model for flood inundation simulation, Journal of Hydrology, 236, pp.54-77.
 152. Beasley, D. B., Huggins, L. F., 1980. ANSWERS: User's Manual, agr. Eng. Dept. Purdue Univ., West Lafayette, Indiana.
 153. Beasley, D. B., Huggins, L. F., and Monke, E. J., 1980. ANSWERS: a modeling for watershed planning, Purdue Agricultural Experimental Station paper No. 7038, Purdue Univ., West Lafayette, Ind., ASAE 23(4), pp.938-944.
 154. Bedient Philip B. and Wayne C. Huber, 1992. Hydology and floodplain analysis, 2nd ed, Addison-Wesley Publishing Company, USA.
 155. Bedient Philip B. and Wayne C. Huber, 1992. Hydology and floodplain analysis, 3rd ed, Prentice Hall, USA.
 156. Besley, D. B., L. F. Huggins and E. J. Monke, 1980. ANSWERS : A model for watershed modeling, ASAE, 23(4), pp.938-944.
 157. Beven, K. J. and M. J. Kirkby, 1979. A physically based variable contributing area model of basin hydrology, Hydrol. Sci. Bull., 24(1), pp.43-69.
 158. Beven, K. J., 1989. Changing Ideas in Hydrology-The Case of Physically-Based Model, J. Hydrology, Vol. 105, pp.157-172.
 159. Beven, K. J., M. J. Kirkby, N. Schofield and A. F. Tagg, 1984. Testing a

- Physically-Based Flood Forecasting Model(TOPMODEL) for Three U. K. Catchment, *J. Hydrology*. Vol. 69, pp.119-143.
160. Beven, K.J. and E. F. Wood, 1983. Catchment Geomorphology and the dynamics of runoff contributing areas, *J. Hydrol.*, 65, pp.139-158.
161. Bouillon, M. C., 1999. Flood Risk and Its Evolution on the Chateauguay River, *Canadian J. of Civil Engineering*, 26(2), pp. 186-196.
162. Boyle, S. J., I. K. Tsanis and P.S. Kanaroglou, 1998. Developing geographic information systems for land use impact assessment in flooding conditions, *Journal of water resources planning and management*, pp.89-98.
163. Bruneau P., C. Gascuel-Oudoux, P. Robin, Ph. Merot and K. Beven, Sensitivity to space and time solution of a hydrological model using digital elevation data, 1995. *Hydrological Processes*, 9(1), pp.69-81.
164. Burnash, R. J. C., Ferral, R. L., and McGuire, R. A., 1973. A generalized streamflow simulation system-conceptual modeling for digital computers, Rep., U.S. Dept. of Commerce, National Weather service, Silver Springs, Md., and State of California, Dept. of Water Resources, Sacramento, Calif.
165. Cabral, M. C., Bras, R. L., Tarboton, D., and Entekabhi, D., 1990. A distributed physically based rainfall runoff model incorporating topography for real time flood forecasting, R. M. Parsons Laboratory Rep. No. 332, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Mass.
166. Chow. V. T., R. D. Maidment. and L. W. Mays., 1998. *Applied hydrology*, McGRAW-HILL, pp.201-302.
167. Cordey, I., 1971. Estimation of Design Hydrologys for Small Rural Catchment, *J. of Hydrology*, 13, pp.263-277.
168. Crawford, N. H. and R. K. Linsley, 1966. Digital Simulation in Hydrology, Stanford Watershed Model IV, Technical Report No. 39, Stanford Calif, Dept of Civil Engineering, Stanford University.

169. Crist, E. P. and R. C. Cione, 1984. Comparisons of the Dimensionality and Features of Simulated Landsat-4 MSS and TM Data, *Remote Sensing of Environment* 14.
170. De Vantier, Bruce A. and Arlen D. Feldman, 1993. Review of GIS applications in hydrologic modeling, *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol.119, No.2, American Society of Civil Engineers, New York, pp.246-261.
171. Feldman, Arlen D., 1981. HEC models for water resources system simulation : Theory and experience, in *Advances in Hydroscience*, edited by Ven Te Chow, Vol.12, Academic Press, New York, pp.297-423.
172. Feldman, Arlen D., 1995. "Chap 4. HEC-1 Flood hydrograph package", *Computer models of watershed hydrology*, ed. Vijay P. Singh, Water Resources Publications.
173. Foroud, N., and R. S. Broughton, 1981. Flood Hydrograph Simulation Model, *J. of Hydrology*, 49, pp.139-172.
174. Fortin, Jean-Pierre, R. Turcotte, S. Massicotte, R. Moussa, J. Fitzback and Jean-Pierre Villeneuve, 2001. Distributed watershed model compatible with remote sensing and GIS data. II : Application to Chaudière watershed, *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol.6. No.2, ASAE, pp.100-108.
175. Fortin, Jean-Pierre, R. Turcotte, S. Massicotte, R. Moussa, J. Fitzback and Jean-Pierre Villeneuve, 2001. Distributed watershed model compatible with remote sensing and GIS data. I : Description of model, *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol.6. No.2, ASAE, pp.91-99.
176. Garbrech, Jurgen and Gary Brunner, 1991. Hydrologic channel-flow routing for compound sections, *Journal of Hyraulic Engineering*, Vol.117, No.5, ASCE, New York, pp.629-642.
177. Grayson, R. B., Bloschl, G., and Moore, I. D., 1995. Chapter 19: Distributed

parameter hydrologic modeling using vector elevation data: THALES and TAPEC-C. Computer models of watershed hydrology, V. P. Singh, ed., Water Resources Publications, Littleton Colo.

178. Helmiö, T., 2002. Unsteady 1D flow model of compound channel with vegetated floodplains, *Journal of Hydrology* 269, pp.89-99.
179. Hoggan, D.H., 1989. Computer assisted floodplain hydrology & hydraulics, McGraw-Hill.
180. Holtan, H. N., G. J. Stiltner, W. H. Hensen, N. C. Lopez, 1975, USDAHL-74 Revised Model of Watershed Hydrology, USDA ARS Technical Bulletin No. 1518, ARS, USDA, Washington D.C.
181. Holton, H.N., G.J. Stiltner, W.H. Hensen, N.C. Lopez, 1975. USDAHL-74 Revised model of watershed hydrology, USDA ARS Technical Bulletin, No. 1518, ARS, USDA, Washington D.C.
182. Horritt, M.S. and P.D. Bates, 2001. Predicting floodplain inundation : raster-based modelling versus the finite-element approach, *Hydrological Processes*, 15, pp.825-842.
183. Horritt, M.S. and P.D. Bates, 2002. Evaluation of 1D and 2D numerical models for predicting river flood inundation, *Journal of Hydrology* 268, pp.87-99.
184. Hsu, M.H., S.H. Chen, T.J. Chang, 2000. Inundation simulation for urban drainage basin with storm sewer system, *Journal of Hydrology* 234, pp.21-37.
185. Huber, W.C. and R.E. Dickinson, 1988. Storm water management model. Ver.4, Park A, User's Manual, EPA-600/3-88/001a, U.S. EPA.
186. Huggins, L. F., and Monke, E. J., 1970. Mathematical model for simulating the hydrologic response of a watershed, *Water Resour. Res.*, 4(3), pp.529-539.
187. Jain, S. K., R. D. Singh and S. M. Seth, 2000. Design flood estimation using GIS

- supported GIUH approach, *Water Resources Management* 14, pp.369-376.
188. Jensen, S.K. and J.O. Dominique, 1998. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol.54, pp.1593-1600.
 189. Klaus, R. A., 1999. Flood Plain Determination using ArcView and HEC-RAS, 1999 ESRI international User Conference - July 26-30.
 190. Layrenson, E. M., and Mein, R. G., 1993. RORB version 4 runoff routing program: User's manual, Monash Univ., Dept. of Civil Engineering, Monash, Victoria, Australia
 191. Maidment, D. R. and D. Djokic, 2000. Hydrologic and Hydraulic modeling support with geographic information systems, ESRI prss
 192. Maidment, D. R., 1993. *Handbook of Hydrology*, McGraw-Hill, Inc.
 193. Metcalf and Eddy, Inc., Univ. of Florida, and Water Resources Engineers, Inc., 1971. Storm water management model, Vol. 1-Final report, EPA Rep. No. 11024DOC07/71(NITS PB-203289), EPA, Washington, D.C.
 194. Mizanur Rashid R.S.M. and M. Hanif Chaudhry, 1995. Flood routing in channels with floodplains, *Journal of Hydrology*, 171, pp.75-91.
 195. Mizutani, M., et. al, 1999. *Advanced Paddy Field Engineering*, JSIDRE, p. 388, Tokyo.
 196. Moglen Glenn E. and Ginger L. Hartman, 2001. Resolution effects on hydrologic modeling parameters and peak discharge, *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol.6, No.6, ASCE, pp.490-497.
 197. Molnár, D.K. and P. Y. Julien, 2000. Grid-size effects on surface runoff modeling, *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol.5. No.1, ASCE, pp.8-16.
 198. Moore, I. D., O'Loughlin, E. M., and Burch, G. J., 1988. A contourbased

- tographic model for hydrological and ecological applications, *Earth Surf. Processes Landforms*, 13, pp.305-320.
199. Morris E. M. 1980. Forecasting flood flows in grassy and forested basins using a deterministic distributed mathematical model, IAHS Publication No. 129(Hydrological Forecasting), International Association of Hydrological Sciences, Wallingford, U. K., pp.247-255.
 200. Olivera, Francisco and David Maidment, 1999. Geographic information systems (GIS)-based spatially distributed model for runoff routing, *Water resources research*, VOL. 35, NO. 4, pp. 1155-1164.
 201. Olsen, J. Rolf, Peter A. Beling, and James H. Lambert, 2000, Dynamic models for floodplain management, *Journal of water resources planning and management*, ASCE, pp.167-175.
 202. Park C. E., K. H. Yoo, S. W. Park, 2000. A mathematical model to forecast flood-stages of reclaimed tidal flat, Presented at ASAE Annual International Meeting, Paper No. 002134.
 203. Pistocchi, A., P. Mazzoli. P., Use of HEC-RAS and HEC-HMS models with Arcview for hydrologic risk management.
 204. Plate, Erich J., 2000. Flood risk and flood management, *Journal of Hydrology* 267, pp.2-11.
 205. Quinn, P.E., K.J. Beven, P. Chevallier and O. Planchon, 1991. The prediction of hillslope flowpaths for distributed modeling using digital terrain models, *Hydrological Process*, Vol.5, pp.59-80.
 206. Refsgaard, J. C. and B. Storm, 1995. MIKE SHE, Computer Models of Watershed Hydrology, ed. Singh, V. P., Water Resources Publications, pp.809-846.
 207. Rockwood, D. M., 1982. Theory and practice of the SSARR model as related to

- analyzing and forecasting the response of hydrologic systems, Applied modeling in catchment hydrology, V. P. Singh, ed., Water Resources Publications, Littleton, Colo., pp.87-106.
208. Schumann, A.H., R. Funke, G.A. Schultz, 2000. Application of a geographic information system for conceptual rainfall-runoff modeling, Journal of Hydrology 240, pp.45-61.
 209. Shamsi, U.M. and A.A. Schneider, 1993. "Chapter 19. GIS based hydraulic model pictures the interceptor future." New techniques for modeling the management of stormwater quality impacts, Lewis Publishers, pp. 415-442.
 210. Singh, V. P. 1995a. Chapter 1: Watershed modeling, Computer models of watershed hydrology, V. P. Singh, ed., Water Resources Publications, Littleton, Colo., 1-22.
 211. Singh, V. P. ed., 1995b, Computer models of watershed hydrology, Water Resources Publications, Littleton, Colo.
 212. Singh, V. P., 1989. Hydrologic System, Watershed Modeling, Prentice Hall.
 213. Singh, Vijay P. and David A. Woolhiser, 2002. Mathematical modeling of watershed hydrology, Journal of Hydrologic Engineering, Vol.7, No.4, American Society of Civil Engineers, pp.270-292.
 214. Snead, D., 2000. Floodplain Visualization Using HEC-GeoRAS, <http://www.ce.utexas.edu/stu/sneadb/Research/exercise.htm>
 215. Soil Conservation Service (SCS), 1965. Computer model for project formulation hydrology, Tech. Release No. 20, USDA, Washington, D.C.
 216. Soil Conservation Service, 1972. SCS National Engineering Handbook, Sec. 4: Hydrology, USDA, Washington D.C.
 217. Soil Conservation Service, 1986, Urban Hydrology for Small Watersheds, Technical

Release 55, USDA.

218. Soil Conservation Service, 1992, TR-20 : Computer Program User Manual, Technical Release 20, USDA.
219. Sugawara, M., 1967. The flood forecasting by a series storage type model, Int. Symposium Floods and their Computation, International Association of Hydrologic sciences, 1-6.
220. Sugawara, M., et al., 1974. Tank model and its application to Bird Creek, Wollombi Brook, Bikin River, Kitsuriver, Sanga River and Nam Mune, Research Note, National Research Center for Disaster Prevention, No. 11, Kyoto, Japan, 1-64.
221. Sugawara, M., I. Watansbe, E. Ozaki, and Y. Katsuyama, 1984. Tank model with snow component, Research Note of the National Research Center for Disaster Prevention No. 65, Sci. and Tech. Agency, Ibaraki-Ken, Japan.
222. Takken, Ingrid, Gerard Govers, An Steegen, Jeroen Nachtergaele, Jérôme Guérif, 2001. The prediction of runoff flow directions on tilled fields, Journal of Hydrology 248, pp.1-13.
223. Tate Eric C, David R. Maidment, Francisco Olivera and David J. Anderson, 2002. Creating a terrain model for floodplain mapping, Journal of Hydrologic Engineering, Vol.7, No.7, ASCE, pp.100-108.
224. Thielen, Annegret H., Andreas Lücke, Bernd Diekkrüger and Otto Richter, 1999. Scaling input data by GIS for hydrological modeling, Hydrol. Process. 13, pp.611-630.
225. Thomas, D.L., and D.B. Beasley, 1986. A physically-based forest hydrology model, I : Development and sensitivity of components, II : Evaluation under natural conditions, ASAE, 29(4), pp.962-981.
226. U.S. Army Corps of Engineering, 1998. HEC-1 flood hydrograph package user's

- manual, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA.
227. U.S. Army Corps of Engineering, 2000. HEC-GeoHMS(version 1.0): Geospatial Hydrologic Modeling Extension, User's Manual, Hydrologic center, Davis, CA.
228. U.S. Army Corps of Engineering, 2000. HEC-GeoHMS(version 3.0): An Extension for support of HEC-RAS using ArcView, User's Manual, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA.
229. U.S. Army Corps of Engineering, 2000. HEC-GeoRAS(version 3.0) User's Manual, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA.
230. U.S. Army Corps of Engineering, 2000. HEC-GeoRAS(Version 3.0): An Extension for support of HEC-RAS using ArcView, User's Manual, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA.
231. U.S. Army Corps of Engineering, 2000. HEC-HMS(version 1.0): Hydrologic Modeling System, Technical Reference Manual, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA.
232. U.S. Army Corps of Engineering, 2000. HEC-HMS(Version 2.1): Hydrologic Modeling System, Technical Reference Manual, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA.
233. U.S. Army Corps of Engineering, 2001. HEC-GeoHMS(version 3.0): River Analysis System, User's Manual, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA.
234. U.S. Army Corps of Engineering, 2001. HEC-HMS(version 2.1): Hydrologic Modeling System, User's Manual, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA.
235. U.S. Army Corps of Engineering, 2001. HEC-RAS(version 3.0): River Analysis System, Hydraulic Reference Manual, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA.
236. U.S. Army Corps of Engineering, 2001. HEC-RAS(version 3.0): River Analysis System, User's Manual, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA.
237. U.S. Army Corps of Engineers (USACE), 1987. SSARR user's manual, North Pacific Division, Portland, Ore.

238. Vieux, B. E., 1993. DEM aggregation and smoothing effects on surface runoff modeling, *J. Comput. Civ. Eng.*, 7(3), pp.310-338.
239. Williams, J. R., M. ASCE, A. D. Nicks, M. ASCE, and J. G. Arnold, 1985. Simulation for water resources in rural basins, *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 111, No. 6, pp.970-976.
240. Woolhiser, D.A. and J.A. Liggett, 1967. Unsteady one-dimensional flow over a plane the rising hydrology, *Water Resources Research*, 3(3), pp.753-771.
241. Yoshio Hayase, 1994. Evaluation of Paddy Field's Functions for Flood Control and a Proposal of Their Enhancing Project. *Trans. of JSIDRE* 62(10), pp.943-947.
242. Zhang, Weihua and David R. Montgomery, 1994. Digital elevation model grid size, landscape representation, and hydrologic simulations, *Water Resources Research*, Vol.30, No.4, pp.1019-1028.
243. 早瀬吉雄, 1994. 水田地帯の洪水防止・軽減機能の評価と機能向上事業の提案, *農業土木學會誌*, 62(10), pp. 943-947.
244. 佐藤晃一, 1996. 中山間地域における過疎の進行と資源管理機能の低下, *農業土木學會論文集*, 182, pp. 57-64.
245. 中村好男, 雨尺英治, 寺田義久, 佐藤俊郎, 小貝川下流部での排水特性と水田の流出緩和機能, *農業土木學會誌*, 62(10), pp. 949-954.
246. 千家正照, 西出 勤, 足立忠司, 1987, 水田轉換の流出モデルと計画ピーク流出係數, *農土論集*, 131, pp. 43-50.