

GOVP1199802927

631.62
L2934
1.2

최 종
연구보고서

배수개선 홍수분석 시스템 개발

Development of Flood Analysis System
for Drainage Improvement

1997. 12

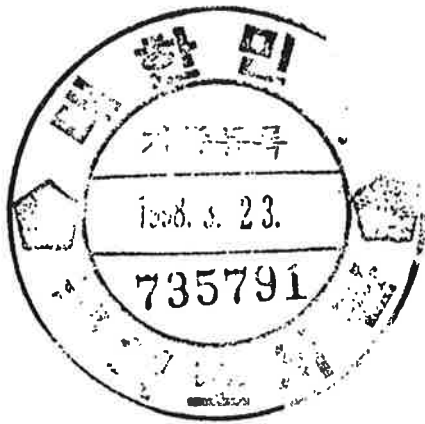
농어촌진흥공사

농 립 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “배수개선 홍수분석시스템 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.



1997. 12

주관연구기관명 : 농어촌진흥공사
총괄연구책임자 : 김 현 영
연 구 원 : 황 철 상
연 구 원 : 이 용 직
연 구 원 : 강 석 만
연 구 원 : 이 광 야
협동연구기관명 : 전북대농업과학
기 술 연 구 소
협동연구책임자 : 최 진 규

요 약 문

I. 제목

배수개선 홍수분석 시스템 개발

II. 연구개발의 목적 및 중요성

농업생산성 향상을 위한 배수개선사업은 농산물 시장개방에 대처하기 위한 수단으로서의 큰 역할을 담당하고 있다. 최근 우리농업은 농산물의 시장개방과 극심한 한, 수해로 인하여 크게 위축되고 있는 실정으로서 농업보호의 노력이 크게 요구된다.

배수개선사업은 수해상습 농경지에 배수장, 배수로, 승수로 등의 배수시설물을 설치하여 외수의 침입을 방지하고, 경지내의 홍수를 신속히 배출하며, 또한 지하수위를 저하시켜 재해의 사전예방과 안전영농을 도모함으로써 생산성 향상을 통해 농업보호에 기여하게 된다.

따라서 배수개선 홍수분석시스템 연구는 배수개선 사업을 위한 홍수량 분석을 합리적으로 수행할 수 있도록 함으로서 배수시설물의 최적규모는 물론이며, 계획, 설계 및 유지관리 등의 효율성을 높이는데 그 목적이 있다.

III. 연구개발 내용 및 범위

배수개선 홍수분석시스템은 첫째, 지구내 눈에서의 유출특성이 고려되어야 하고 둘째, 설계홍수량 산정시 각종 변수 및 자료가 합리적으로 적용되어야 하며 셋째, 각종 수문분석이 일관성 있게 처리될 수 있어야 한다. 따라서 이를 구축하기 위하여 다음의 연구를 수행하였다.

- 가. 배수개선 사업을 위한 수문분석 이론 및 절차의 확립
- 나. 논에서의 유출량 산정 모형의 개발
- 다. 일반유역 홍수량 산정 모형의 보완개발
- 라. 관련자료의 Data Base 구축
- 마. 종합 홍수분석시스템의 개발

IV. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구개발 결과

가. 기존 설계방법의 문제점 분석

지금까지의 사용해 온 홍수분석방법(Complex hydrograph method)의 문제점을 분석하고 이를 개선 보완하여 홍수분석시스템(Flood Analysis System : FAS)의 일반유역 홍수유출량 산정모형으로 구축하였다.

- 논유역의 유출해석
- 단위배수량 산정
- 유역구분
- 유효강우강도
- 수문곡선추정

나. 논에서의 강우-유출 모형

다음과 같이 시험포장을 운영하여 실측 강우-유출자료를 수집하여 논유역 유출 모형을 상세 및 광역모형으로 구분하여 개발하고 실측자료에 의한 모형의 보정과 검정을 통해 적합성을 증명하였다.

- 시험포장운영 및 관측
 - 시험포장의 선정 : 전북 진안군 마령면 평지리
 - 측정시설의 설치 및 운영 : 우량계 1조, 웨어 및 후륜 각 1조, 수위계 4조

- 논 토양 및 수질 분석
- 강우, 유량측정 및 자료분석
 - 강우 및 수위자료 분석
 - 유효우량 분석
- 논유역 유출특성 분석
 - 배수물꼬와 논유출
 - 논웨어 유량공식 : $Q(\text{m}^3/\text{s}) = 0.8943(0.592+0.11H)(H+0.001)^{1.5}$ (H=m)
 - $Q(\text{m}^3/\text{s}) = 0.5317H^{1.4834}$ (H=m)
 - 파살후름유량공식 : $Q(\text{m}^3/\text{s}) = 1.056Ha^{1.538}$ (H=m)
 - 논유역 지체시간 산정
 - 배수로 조도계수 산정
- 논유출 모형의 개발 및 적용성 검토
 - 논유출 기구의 이론적 검토
 - 논유출 해석모형의 알고리즘 연구
 - 논유출 상세모형의 개발 및 적용
 - 논유출 광역모형의 개발 및 적용
 - SCS방법의 적용 및 검토

다. 일반유역의 홍수량 산정모형

홍수량 산정에 필요한 유달시간과 유출곡선지수의 산정 방법을 정립하고, 데이터베이스를 이용하여 홍수분석시스템에서 구동될 수 있는 일반유역의 홍수량 산정모형을 구축하였다. 이 모형은 유역의 특성을 고려하여 유역의 경사도를 5가지로 구분하고 유효강우의 지속시간을 유달시간의 함수가 되도록 보완함으로써 합리적인 홍수분석이 가능하다.

라. 홍수분석시스템(FAS)

합리적인 홍수분석이 가능한 홍수분석시스템을 다음과 같이 개발하고 그 적용성을 실측자료로부터 증명했다.

- 시스템 기본구조 : 데이터베이스를 근간으로하는 통합형 모델
- 개발환경
 - 사용 O/S : Windows95
 - 개발언어 : VisualBASIC, PowerFORTRAN
- 시스템 구성
 - 논유출 모형
 - 일반유역 유출모형
 - 홍수 추적/합성모형
- 개발 프로시저 내역
 - 유역계획 : 강우자료선정, 소유역과 산정지점간의 NetWork작성
 - 홍수량 산정 : 논유역 상세모형, 논광역/일반유역 홍수량 산정모형
 - 홍수 추적/합성 : Network에 따라 홍수량을 추적하여 합성
 - 출력 : 소유역이나 산정지점의 시간별 홍수량을 시트에 출력하거나 홍수 수문곡선으로 출력
- 홍수분석시스템 적용성 검토

FAS의 적용성을 검증하기 위하여 대·중·소규모 유역의 홍수 유출량을 산정하고 실측자료와 비교하였으며, 기존의 홍수량 산정방법의 문제점을 확인하고 FAS의 정확성을 증명하였다.

2. 연구개발 결과의 활용

홍수분석시스템(FAS)의 개발로 다음과 같은 효과가 기대된다.

- 가. 일관된 절차에 따라 계획수립이 가능하므로 설계시간단축

- 나. 설계자의 능력 차이에 따른 설계오차를 최소화하므로서 설계위험성 배제
- 다. 배수시설물의 최적규모결정으로 시설물의 안전성과 경제성을 제고
- 라. 컴퓨터 사용자 지원 시스템의 개발로 시스템 사용과 기술 습득이 용이
- 마. 논유역의 유출기구를 밝히므로서 타분야 홍수유출 해석에 도움
- 바. 관련 자료의 DB구축으로 자료의 일관성이 유지되며 검증 가능한 결과도출
- 사. 타사업의 유사한 설계시스템 개발의 모체가 될수있는 발전 기틀 마련

여 백

Summary

I. Subject

Development of Flood Analysis System for Drainage Improvement

II. Objectives and Importance of Research

Recently Korean farmers have been suffering from the deficient competition since the market-opening for the agricultural products. Drainage improvement project for the increase of the agricultural production plays an important role as one of measures to overcome such difficulties.

Drainage improvement project aims to protect farmland from the inundation and flood invasion by means of the construction of drainage facilities such as pumping stations, canals, gates, etc. These facilities will contribute to the prevention of disasters and the safety of farming by draining the flood from farmland and by lowering the groundwater level.

The drainage facilities should be optimized by peak flood discharges and the flood hydrographs in planning, designing and managing the facilities. The purpose of this study is to develop the system, so called Flood Analysis System(FAS) which engineers can analyze exactly and easily the floods according to the consistent procedures.

III. Content and Scope of Research

For the development of the FAS(Flood Analysis System), it should be considered to reflect the characteristics of runoff from the paddy area, to apply the variables and data reasonably for the calculation of the design flood, and to do a series of hydrological analysis consistently.

The major research items to develop such a system are as follows :

- a. Establishment of the theory and procedure for hydrological analysis for the drainage improvement project
- b. Development of the runoff model for paddy basin
- c. Improvement of the existing runoff model for non-paddy basin
- d. Development of database including the intensity and frequency of design rainfall, the distribution of rainfall with each duration, runoff curve numbers, etc.
- e. Development of comprehensive Flood Analysis System(FAS)

IV. Research Results and Suggestion for Utilization

1. Research results

a. Analysis of problems by the existing flood analysis method

Problems in existing analysis method using the Complex Hydrograph were analyzed and countermeasures were suggested in the following fields. These countermeasures are applied to develop the runoff model for non-paddy basin through the improvement of the Complex Hydrograph Method, which is one of sub-systems of the Flood Analysis System(FAS).

- o Analysis of runoff characteristics from the paddy basin

- o Estimation of drainage discharge per unit area
- o Partition of the basin
- o Effective rainfall intensity
- o Estimation of flood hydrograph

b. Rainfall-runoff model for the paddy basin

- o Establishment of measurement devices and observations
 - One set of Weir with one automatic water level gauge to observe the runoff from one block of the paddy
 - One set of Parshall Flume with two automatic water level gauges to measure the runoff from tertiary drainage canal
 - One set of automatic water level gauge to measure the runoff from secondary drainage canal
 - One set of automatic rainfall gauge to measure rainfall in test plot
 - Measurement Period : July ~ September
- o Measurement and analysis of rainfall and runoff
 - Analysis of rainfall and water level
 - Analysis of effective rainfall
- o Analysis of runoff characteristics from paddy basin
 - Stage-discharge relation (H : m)
 - weir in paddy basin : $Q(\text{m}^3/\text{s}) = 0.8943(0.592+0.11H)(H+0.001)^{1.5}$
 $Q(\text{m}^3/\text{s}) = 0.5317H^{1.4834}$
 - flume : $Q(\text{m}^3/\text{s}) = 1.056Ha^{1.538}$
 - Calculation of the lag time in paddy basin

- Calculation of the roughness coefficient in the canal
- o Development and verification of paddy runoff model
 - Theoretical analysis of paddy runoff mechanism
 - Building of algorithm for paddy runoff model
 - Development and verification of runoff model for detail analysis
 - Development and verification of runoff model for practical application
 - Review on the applicability of the SCS method which was developed by soil conservation services

c. Development of runoff model for non-paddy basin

The runoff model for non-paddy basin was developed to be worked as one of sub-systems of the FAS. The application criteria for the calculation of the concentration time and the curve number was suggested and the database was constructed for the development of the model.

In this model, the watershed can be classified as 5 types according to the slope to reflect the characteristics of the watershed, and the duration time of rainfall can be calculated and applied automatically according to the concentration time in the watershed.

d. Flood Analysis System(FAS)

- o Basic structure of the system : mathematical model based on the relational database
- o Development environment
 - Operating system : Windows95
 - Development language : VisualBASIC, PowerFORTRAN

- Composition of the system
 - Runoff model for paddy basin
 - Runoff model for non-paddy basin
 - Flood routing/synthesis model
- Development procedure
 - Basin plan : selection of rainfall station, networking of sub-basin and control point
 - Calculation of flood discharge : operation of runoff models for paddy basin and non-paddy basin
 - Flood routing/synthesis : calculation of flood hydrograph by routing and synthesis in line with the planned network
 - Output : printing of the output with text and hydrograph
- Verification of system

To verify the applicability of this system, simulation results were compared with the observed data from the large, middle and small basins. These comparison showed that this system could be applied practically for the flood analysis.

2. Utilization of research results

The results could be utilized

- a. To improve the efficiency in design of drainage facilities through the consistent procedures for flood analysis,
- b. To minimize the design error due to the difference of the individual abilities,
- c. To improve the safety and the economical efficiency of facilities by the optimal design

- d. To develop the other runoff models by using the runoff characteristics in the paddy area studied in this research,
- e. To work as one of sub-systems for TC/TM for drainage improvement projects, and
- f. To develop the similar systems by using the programming technique for this system.

content

Chapter I. Introduction	29
1. Background	29
2. Object	30
3. Research plan and results	30
4. Expected effect	33
5. Researchers and their responsibilities	34
Chapter II. Analysis of problems in existing flood analysis	35
Chapter III. Rainfall-runoff model of paddy basin	41
1. Establishment and operation of test plot	44
2. Rainfall and runoff measurement	71
3. Runoff characteristics of paddy basin	103
4. runoff model of paddy area for detail analysis	121
5. runoff model of paddy area for practical application	147
6. Examination of SCS method	166
Chapter IV. Flood runoff model of non-paddy basin	183
1. Estimated flood runoff by SCS	186
2. Time of concentration	194
3. Curve number	199
4. Design rainfall	212

Chapter V. Flood analysis system	223
1. Organization of basic system	225
2. Development database	226
3. Flood runoff module	229
4. Synthetic and route module	231
5. Operation of FAS	236
 Chapter VI. Application of flood analysis system	 247
1. Verification of system	249
2. Application of Design project	269
3. Analysis of system application	275
 Chapter VII. Summary and Conclusions	 277

Reference

<자 례>

제1장 서론	29
제1절 연구배경	29
제2절 연구목적	30
제3절 연구실적	30
제4절 기대효과	33
제5절 연구진과 연구내용	34
제2장 기존의 홍수분석방법의 문제점 분석	35
제3장 논에서의 강우-유출모형	41
제1절 시험포장의 설치 및 운영	44
제2절 강우 및 유량측정	71
제3절 논유역 유출특성	103
제4절 논유출 상세모형	121
제5절 논유출 광역모형	147
제6절 SCS 방법의 검토	166
제4장 일반유역의 홍수량 산정모형	183
제1절 SCS의 유출량 추정방법	186
제2절 유달시간	194
제3절 유출곡선지수	199
제4절 설계강우량	212

제5장 홍수분석시스템 개발	223
제1절 기본시스템 구성	225
제2절 데이터베이스 구축	226
제3절 홍수량 산정모듈	229
제4절 홍수량 합성/추적 모듈	231
제5절 FAS 운영	236
제6장 홍수분석시스템 적용	247
제1절 모형의 검증	249
제2절 계획지구의 적용	269
제3절 적용성 고찰	275
제7장 요약 및 결론	277

참고문헌

표 목 차

<표 2-1> Complex Hydrograph Method의 문제점과 개선방법	40
<표 3-1> 시험포장의 각 필지별 면적(1995)	47
<표 3-2> 제11호 배수지거 종단표고(1996. 4)	50
<표 3-3> 제14호 배수지거 종단표고(1996. 4)	52
<표 3-4> 필지별 취수공 및 배수공 제원(1995)	53
<표 3-5> 시험포장의 측정시설별 지배면적	54
<표 3-6> 표준 파살후름 제원표	57
<표 3-7> 벼길이 측정(1997)	63
<표 3-8> 논토양 입도분석	65
<표 3-9> 논토양의 이화학적 성분	65
<표 3-10-1> 수질분석(1995)	66
<표 3-10-2> 수질분석(1996)	66
<표 3-10-3> 수질분석(1997)	67
<표 3-11> 농업용수 수질환경기준	67
<표 3-12-1> 논바닥 상대표고(1995)	68
<표 3-12-2> 논바닥 상대표고(1996)	69
<표 3-12-3> 논바닥 상대표고(1997)	70
<표 3-13> 논바닥 상대표고의 분포범위(R-9)	71
<표 3-14-1> 1995년 일별 강우량	72
<표 3-14-2> 1996년 일별 강우량	73
<표 3-14-3> 1997년 일별 강우량	74
<표 3-15> 3개년간 월별강우량	75
<표 3-16> 수위측정자료(1997)	76
<표 3-17> 논웨어 수위-유량표	82

<표 3-18> 파살후름 수위-유량표	84
<표 3-19> 잠수흐름시 파살후름(1'6") 보정유량표	87
<표 3-20> 유량산정을 위한 수토경사(1995,1996)	88
<표 3-21> 취수공 유입량 측정자료(1997)	89
<표 3-22> 논웨어 월류량 산정을 위한 측정자료(1997)	93
<표 3-23> Staff-1 지점의 유량산정(1996,1997)	96
<표 3-24> 후름지점의 유량산정(1997)	97
<표 3-25> ST-6과 ST-7구간 유량측정(1997)	100
<표 3-26> Staff-7 지점의 유량산정(1996,1997)	101
<표 3-27> ST-7과 유말공입구 Lining구간 유량산정(1966)	102
<표 3-28> 수심별 논수면적의 관계식	106
<표 3-29> 수심별 논저류용적의 관계식	106
<표 3-30> 웨어 측정자료의 수문특성	107
<표 3-31> 후름 측정자료의 수문특성	108
<표 3-32> 수위탑(ST-7) 측정자료의 수문특성	108
<표 3-33> 필지당 후름에서의 유출특성	109
<표 3-34> 웨어와 후름에서의 관측지체시간(1995,1996)	110
<표 3-35> 후름의 수문곡선 구성(1995,1996)	112
<표 3-36> 웨어와 후름에서의 유출곡선수 추정	115
<표 3-37> 논포장 CNIII의 CNII 값으로의 변환 계산예	116
<표 3-38> 비경작기간의 유출조사자료(일본, 91-92년)	117
<표 3-39> Staff-1 지점 조도계수 추정값(1997)	118
<표 3-40> 후름지점의 조도계수 추정값(1997)	119
<표 3-41> 14호 배수로 ST-6과 ST-7구간 조도계수 추정(1997)	120
<표 3-42> 상세모형의 입출력자료	132
<표 3-43> 모형적용을 위한 기본자료(1995,1996)	138

<표 3-44> 논바닥 측량자료의 적용	139
<표 3-45> 논바닥고 보정을 위한 적용조건(96.6.24)	139
<표 3-46> 논바닥고 보정을 위한 적용조건(96.6.27)	139
<표 3-47> 웨어 유량자료 수문특성(1996)	143
<표 3-48> 웨어의 측정 및 모의발생자료 수문특성	147
<표 3-49> Kerbey 공식의 지체계수 n	150
<표 3-50> 광역모형의 입출력자료	152
<표 3-51> 광역모형 보정자료	153
<표 3-52> 모형의 저류상수비율 적용결과(1995)	154
<표 3-53> 모형의 TC별 적용결과(1995,1996)	156
<표 3-54> 모형의 계산간격별 적용결과(1996)	159
<표 3-55> 모형적용 및 보정결과 검토(1996)	162
<표 3-56> 보정후 SCS 방법과의 모형적용결과 비교(1997)	163
<표 3-57> SCS 모형의 입출력자료	171
<표 3-58> SCS 방법의 적용 및 검토(1995)	180
<표 3-59> SCS 방법의 보정후 수문곡선 검토(1995)	181
<표 4-1> 유역 특성에 따른 단위도의 침투유량과 기저장	189
<표 4-2> 지체계수 N의 값	196
<표 4-3> 토양형의 분류	200
<표 4-4> 분류기준에 따른 토양형별 토양명	201
<표 4-5> 개략토양도에 의한 토양명별 성질	201
<표 4-6> 토양형별 최소침투량	204
<표 4-7> 토양 - 피복형별 유출곡선지수, CN (AMC-2, Ia=0.2S)	207
<표 4-8> 문헌별 임야의 CN 값 (AMC-2, Ia=0.2 S)	209
<표 4-9> 선행 토양함수조건의 분류	211
<표 5-1> 데이터베이스 구성	229

<표 6-1> 반월, 도척유역의 토지이용 상황	252
<표 6-2> 반월, 도척유역의 유출곡선지수	252
<표 6-3> 반월, 도척유역의 유달시간과 유역경사도	253
<표 6-4> 실측 강우-유출 자료(반월, 도척)	253
<표 6-5> 반월, 도척 홍수유출량 비교	255
<표 6-6> 반월, 도척 유역의 FAS 보정 결과	259
<표 6-7> 소유역별 토지이용상황(신태인)	260
<표 6-8> 소유역별 유달시간과 유역경사도(신태인)	260
<표 6-9> 실측 강우-유출자료(신태인)	261
<표 6-10> 신태인지점 홍수량 산정결과 요약	263
<표 6-11> 소유역별 토지이용상황(대천)	265
<표 6-12> 소유역별 유달시간과 유역경사도(대천)	266
<표 6-13> 실측 강우-유출자료(대천)	266
<표 6-14> 대천지점 홍수량 산정결과 요약	268
<표 6-12> 신당지구 홍수량 산정결과 비교	272

그 립 목 차

<그림 3-1> 시험포장 위치도	45
<그림 3-2> 시험포장 필지구분 및 상대표고	46
<그림 3-3> 시험포장 및 제11호 배수지거 종단도	49
<그림 3-4> 제14호 배수지거 종단도	51
<그림 3-5> 시험포장에 설치된 우량계(1997.5)	54
<그림 3-6> 논웨어 구조도	55
<그림 3-7> 논웨어 및 자기수위계(1997.4)	56
<그림 3-8> 배수로 후름 구조도	58
<그림 3-9> 배수로 후름 및 자기수위계(1997.6)	59
<그림 3-10> 수위탑(ST-7) 구조도	60
<그림 3-11> 배수로 수위탑(ST-7) 및 자기수위계(1997.5)	61
<그림 3-12> 논에 설치된 담수심 측정용 간이표척(1997.6)	61
<그림 3-13> 배수로바닥 준설 전경(1997.4)	64
<그림 3-14> 웨어와 논(R-9) 간이표척과의 수위관계	80
<그림 3-15> 취수공을 통한 용수 유입전경(1997.7)	91
<그림 3-16> 논웨어 월류 전경(1997.8)	91
<그림 3-17> 웨어수두와 월류량	95
<그림 3-18> 후름지점에서의 수위-유량관계(1997)	99
<그림 3-19> 수위탑(ST-7) 지점에서의 수위-유량관계	103
<그림 3-20> 논바닥 상대표고별 수면적곡선	104
<그림 3-21> 논바닥 상대표고별 저류용적곡선	105
<그림 3-22> 웨어와 후름에서의 지체시간	111
<그림 3-23> 후름에서의 지체시간과 침투발생시간	113
<그림 3-24> 강우-유출량 관계(진안, 일본자료)	117
<그림 3-25> 후름 하류지점의 조도계수의 변화(1997)	119

<그림 3-25> 수위탑(ST-7) 상류측 배수로지점의 조도계수(1997)	119
<그림 3-26> 논에서의 유출과정	123
<그림 3-27> 논유출모형의 흐름도	125
<그림 3-28> 논구획에서의 유출흐름도	126
<그림 3-29> 배수로 유출모형 흐름도	129
<그림 3-30> 논면적의 크기가 다른 경우 적용예	135
<그림 3-31> 계산시간간격이 다른 경우의 적용예	136
<그림 3-32> 관측 및 모의발생 수문곡선(96.6.24)	137
<그림 3-33> 논바닥고에 따른 수문곡선 비교(96.6.24)	140
<그림 3-34> 논바닥고에 따른 수문곡선 비교(96.6.27)	140
<그림 3-35> 내용적 보정을 위한 유출수문곡선(96.7.4)	142
<그림 3-36> 내용적 보정을 위한 유출수문곡선(96.7.12)	142
<그림 3-37> 모의발생 유출수문곡선 (96.8.2)	144
<그림 3-38> 모의발생 유출수문곡선 (96.8.5)	145
<그림 3-39> 모의발생 유출수문곡선 (96.8.9)	145
<그림 3-40> 모의발생 유출수문곡선 (96.8.27)	146
<그림 3-41> 모의발생 유출수문곡선 (96.8.29)	146
<그림 3-42> 광역유출모형 흐름도	152
<그림 3-43> 저류상수 보정에 대한 유출수문곡선(95.7.23)	155
<그림 3-44> 저류상수 보정에 대한 유출수문곡선(95.8.9)	155
<그림 3-45> 관측 및 TC별 모의발생 유출수문곡선(95.7.23)	157
<그림 3-46> 관측 및 TC별 모의발생 유출수문곡선(95.8.9)	157
<그림 3-47> 관측 및 TC별 모의발생 유출수문곡선(96.6.24)	158
<그림 3-48> 관측 및 TC별 모의발생 유출수문곡선(96.6.27)	158
<그림 3-49> 관측 및 계산간격별 모의발생 유출수문곡선(96.6.24)	159
<그림 3-50> 관측 및 계산간격별 모의발생 유출수문곡선(96.6.27)	160

<그림 3-51> 보정후 관측 및 모의발생 유출수문곡선(96.7.4)	161
<그림 3-52> 보정후 관측 및 모의발생 유출수문곡선(96.7.12)	162
<그림 3-53> 보정후 SCS 방법과의 유출수문곡선 비교(97.5.7)	164
<그림 3-54> 보정후 SCS 방법과의 유출수문곡선 비교(97.7.5)	165
<그림 3-55> 보정후 SCS 방법과의 유출수문곡선 비교(97.7.15)	165
<그림 3-56> 유출수문곡선의 보정(95.7.21) (Type-A, CN = 90)	173
<그림 3-57> 유출수문곡선의 보정(95.7.21) (Type-B, CN = 90)	173
<그림 3-58> 유출수문곡선의 보정(95.7.21) (Type-C, CN = 90)	174
<그림 3-59> 유출수문곡선의 보정(95.7.21) (Type-D, CN = 90)	174
<그림 3-60> 유출수문곡선의 보정(95.7.21) (Type-A, CN = 94)	175
<그림 3-61> 유출수문곡선의 보정(95.7.21) (Type-B, CN = 94)	175
<그림 3-62> 유출수문곡선의 보정(95.7.21) (Type-C, CN = 94)	176
<그림 3-63> 유출수문곡선의 보정(95.7.21) (Type-D, CN = 94)	176
<그림 3-64> 유출수문곡선의 보정(95.7.23) (Type-A, CN = 90)	177
<그림 3-65> 유출수문곡선의 보정(95.7.23) (Type-B, CN = 90)	177
<그림 3-66> 유출수문곡선의 보정(95.7.23) (Type-C, CN = 90)	178
<그림 3-67> 유출수문곡선의 보정(95.7.23) (Type-A, CN = 96)	178
<그림 3-68> 유출수문곡선의 보정(95.7.23) (Type-B, CN = 96)	179
<그림 3-69> 유출수문곡선의 보정(95.7.23) (Type-C, CN = 96)	179
<그림 3-70> 유출수문곡선의 보정(95.8.9) (Type-C, CN = 90)	182
<그림 4-1> SCS 삼각단위도	187
<그림 4-2> 강우, 유출, 손실량과의 관계	190
<그림 4-3> SCS 강우-유출 누가곡선	191
<그림 5-1> 홍수분석시스템(FAS)의 구성	225
<그림 5-2> 홍수분석시스템(FAS)의 데이터베이스 구조	226
<그림 5-3> 홍수분석시스템(FAS)의 파일구조	238

<그림 5-4> 홍수분석시스템(FAS)의 LOGO와 Main Menu	239
<그림 5-5> 유역 계획 Network	240
<그림 5-6> 유역계획 창 : 설계강우량, 유역배치 결정	241
<그림 5-7> 홍수량 산정 창 : 유달시간 계산	242
<그림 5-8> 유출곡선지수 산정(홍수량 산정)	243
<그림 5-9> 홍수 추적/합성창	244
<그림 5-10> FAS의 텍스트 출력	245
<그림 5-11> FAS의 그래프 출력	245
<그림 6-1> 반월 유역도	250
<그림 6-2> 도척 유역도	251
<그림 6-3> 반월유역의 유역계획	254
<그림 6-4> 도척유역의 유역계획	254
<그림 6-5> 반월유역의 홍수수문곡선 비교	256
<그림 6-6> 도척유역의 홍수수문곡선 비교	257
<그림 6-7> 보정 홍수수문곡선(반월)	258
<그림 6-8> 보정 홍수수문곡선(도척)	258
<그림 6-9> 신태인지점의 유역계획	262
<그림 6-10> 신태인 지점의 홍수수문곡선 비교	264
<그림 6-11> 대천지점의 유역계획	267
<그림 6-12> 대천 지점의 홍수수문곡선 비교	269
<그림 6-13> 신당지구 배수개선 기본조사보고서의 유역계획	271
<그림 6-14> 신당지구 홍수수문곡선 비교(Case1)	273
<그림 6-15> 신당지구 홍수수문곡선 비교(Case2)	273

제1장 서론

제1절 연구배경

제2절 연구목적

제3절 연구실적

제4절 기대효과

제5절 연구진과 연구내용

여 백

제1장 서론

제1절 연구배경

농업생산성 향상을 위한 배수개선사업은 농산물 시장개방에 대처하기 위한 수단으로서 큰 역할을 담당하고 있다. 최근 우리농업은 농산물의 시장개방과 극심한 한,수해로 인하여 크게 위축되고 있는 실정으로 농업보호의 노력이 크게 요구된다. 이러한 노력의 한 부분인 배수개선사업은 수해상습 농경지에 배수장, 배수로, 승수로 등의 배수시설물을 설치하여 외수의 침입을 방지하고, 경지내의 홍수를 신속히 배출하며, 또한 지하수위를 저하시켜 재해의 사전예방과 안전영농을 도모하는 것으로서 생산성 향상을 통해 농업보호에 기여하게 된다.

배수개선사업에서 제반 구조물의 설계를 위한 가장 중요한 변수는 설계홍수량의 산정과 침수분석이다. 이에 대한 합리적인 적용여부가 배수시설물의 최적규모 결정에 가장 큰 영향을 미치게 된다. 지금까지 배수시설물 설계에 주로 사용된 방법으로는 단위배수량 산정을 위해 합리식을, 침수시간의 검토를 위한 홍수량 산정에는 Complex Hydrograph방법을 사용하고 있다. 그러나 배수개선 대상유역중에서 가장 많은 부분을 차지하는 논지역에서의 유출특성이 산지나 밭지역에서의 유출특성과 상당히 다름에도 불구하고 단위배수량 산정 및 홍수량 산정에 정확히 반영되지 못하고 있는 실정이며, 또한 일반유역의 홍수량 산정에 있어서도 설계 강우량 결정, 유달시간(流達時間)결정, 및 유출곡선지수(流出曲線指數 : CN값)결정 등이 확립되어 있지 못하여 설계자에 따라 상이하게 적용되는 문제점을 지니고 있다.

따라서 각종 배수시설물의 규모를 결정하는 데 있어서 각 설계자마다의 편차를 감소시켜 설계업무의 효율을 증대하고 불필요한 업무를 제거하는 것이 필요하며 또한 지구내 논유역에서의 유출특성을 고려하여 홍수량산정 및 침수분석에서의 각종 적용기준을 검토하고, 이들 기초자료의 데이터베이스화를 통해 각종 수리수문모형(水理水文模型)을 통합한 종합 홍수분석 시스템의 개발이 필요하다.

이러한 시스템을 개발, 보급함으로써 배수시설물의 규모를 최적화시키는 설계는 물론이며, 설계의 일관성이 유지되어 그 효율성을 높일 수 있다. 또한 내부 개답지의 배수가 중요한 문제가 되는 간척사업에서도 합리적인 설계가 가능하므로 설계기술의 선진화를 이루는 데 기여하게 될 것이다.

제2절 연구목적

배수개선 홍수분석시스템은 배수시설물의 최적규모를 결정하는데 필요한 홍수량 분석을 합리적으로 수행할 수 있도록 함으로서 배수개선 사업의 효율성을 높이는데 주목적이 있다. 따라서 홍수분석시스템(Flood Analysis System : FAS)은 첫째, 지구내 논에서의 유출특성이 고려되어야 하고 둘째, 설계홍수량 산정시 각종 변수 및 자료가 합리적으로 적용되어야 하며 셋째, 각종 수문분석이 일관성 있게 처리될 수 있어야 한다. 이러한 시스템을 구축하기 위해서는 다음과 같은 연구가 이루어져야 하며 이것이 본 연구의 세부목적이다.

- 가. 배수개선 사업을 위한 수문분석 이론 및 절차의 확립
- 나. 논에서의 홍수량 산정 모형 개발
- 다. 일반유역의 홍수량 산정 모형 보완개발
- 라. 관련자료의 Data Base 구축
- 마. 종합 홍수분석시스템의 개발

제3절 연구실적

1. 연구내용

배수개선 홍수분석시스템의 개발을 위한 연구는 총 3개년에 걸쳐 시행하였으며 각 시행 연도별 연구추진 계획 및 내용은 다음과 같다.

가. 1차년도 (1994~1995)

(1) 연구계획

- 논유역 유출모형 개발을 위한 자료관측
- 논유역 유출 기본모형의 개발

(2) 연구내용

- 강우, 유량 측정시설의 설치 및 운영
- 논유역 유출자료 관측, 수집 및 분석
- 논유역 유출 기본모형의 개발
- 논유역 유출 특성의 분석

나. 2차년도 (1995~1996)

(1) 연구계획

- 논유역 유출모형의 적용성 검토
- 일반유역 홍수량산정 모형의 보완개발

(2) 연구내용

- 유량측정 시설의 추가 설치 및 운영, 관측
- 논유역 유출모형의 보정 및 검증
- 논유역 유출의 유효강우량 분석
- 일반유역 홍수량 산정 및 합성 모형의 개발

다. 3차년도 (1996~1997)

(1) 연구방향

- 논유역 유출 모형의 적용성 검토
- 일반유역 홍수량 산정모형의 적용성 검토
- 홍수분석시스템 개발

(2) 연구내용

- 강우, 유량측정 시설의 운영 및 관측

- 논과 일반유역의 홍수량 합성 모형의 개발
- 홍수분석 시스템 적용성 검토
- 사용자 편의 홍수분석 시스템 개발

2. 연구실적

본 연구는 논지역에서 시험포장을 설치, 운영하여 수집된 강우-유출 자료로부터 논유출 모형을 개발하고, 기존의 일반유역 홍수량 산정 모형을 이론적으로 검토하여 보완, 개발하고, 수문기초자료의 DataBase를 구축하여 종합화한 일괄처리 홍수분석시스템(FAS)을 개발하는 것이 주 목적으로서 주요 실적은 다음과 같다.

가. 기존 배수개선 홍수분석방법 문제점 분석

배수개선사업 배수구조물의 설계를 위해 현재 널리 사용하고 있는 기존의 홍수량 산정방법의 이론적 및 분석 절차상의 문제점을 도출하고, 이러한 문제점을 해결하기 위한 기본방향을 제시하였다.

나. 시험포장의 설치 및 운영

배수개선 대상지역의 대부분을 차지하고 있는 논지역에서의 유출특성을 분석하기 위하여 전북 진안군 마령면 평지리에 시험포장을 설치 운영하였다. 시험포장은 경지정리가 완료된 곳으로서 약 9.6ha의 18개 필지에서의 유출량 측정 및 0.5 ha의 1개 필지에서의 유출량을 측정할 수 있도록 후름(Flume) 및 웨어(Weir)를 자기수위계와 함께 설치하였으며 동시에 우량을 측정할 수 있도록 자기우량계를 설치, 운영하였다. 또한 포장의 지형측량을 실시하여 그 특성을 분석하였고 취수(取水) 및 배수구(排水孔)의 형태에 대해서도 조사하였다.

시험포장의 운영은 '95년부터 '96년까지 3개년 동안 관개기에 시행하였으며, 관측된 강우-유출량자료는 약 20여건(events)으로서 논유출 특성 분석을 통해 논유출 모형을 개발하는데 이용하였다.

다. 논유출 모형의 개발

강우-유출 실측자료로부터 논유역의 유출특성을 분석하여 논유출 모형을 개발하였으며, 모형의 보정과 검정을 통해 그 적합성을 증명하였다.

라. 홍수분석시스템(FAS) 개발

배수개선사업 설계를 위한 홍수량 산정의 전과정을 일관된 통합시스템으로 구축하였으며, 전체 시스템의 구조를 메뉴화하여 구성하였다. 여기에는 논유역과 일반 유역의 홍수량 산정과 합성, 추적을 위한 모듈과 수문기초자료의 DataBase를 통한 강우자료 분석, 유달시간 계산, 유출곡선지수 산정을 위한 모듈 등이 포함된다.

제4절 기대효과

배수개선 홍수분석 시스템이 개발됨에 따라 다음과 같은 효과가 기대된다.

- 가. 일관된 절차에 따라 계획수립이 가능하므로 설계시간단축
- 나. 설계자의 능력 차이에 따른 설계오차를 최소화하므로써 설계위험성 배제
- 다. 배수시설물의 최적설계로 시설물의 안전성과 경제성을 제고
- 라. 컴퓨터 사용자 지원 시스템의 개발로 시스템 사용과 기술 습득이 용이
- 마. 논유역의 유출기구를 밝히므로써 타분야 홍수유출 해석에 도움
- 바. 관련 자료의 DB 구축으로 일관성이 있으며 검증이 가능한 결과 도출
- 사. 타사업의 유사한 설계시스템 개발의 모체가 되므로 발전 기를 마련

제5절 연구진과 연구내용

구 분	성 명	소 속	직급	연 구 내 용
총괄연구책임자	김현영	농어촌진흥공사	2급	배수개선홍수분석연구 총괄
연 구 원	황철상	~	3급	홍수분석시스템 설계 보고서작성
연 구 원	이용직	~	3급	홍수분석시스템 설계 보고서작성
연 구 원	강석만	~	4급	보고서작성
연 구 원	이광야	~	4급	홍수분석시스템 P/G개발 보고서작성
협동연구책임자	최진규	전북대 농업 과학기술연구소	부교수	시험포장운영 총괄 논유출 모형 개발 총괄
연 구 원	이명우	~	부교수	논유출 특성분석
보 조 원	고남영	~	-	논유출 자료수집 및 분석
보 조 원	송중현	~	-	조사분석 보조
보 조 원	박형원	~	-	현장측정 및 자료수집 보조
보 조 원	허형덕	~	-	시설관리 및 자료수집 보조

제2장 기존의 홍수분석방법의 문제점 분석

여 백

제2장 기존 홍수분석 방법의 문제점 분석

배수개선사업의 배수시설물 설계를 위하여 현재 국내에서는 Complex Hydrograph Method와 National method에 의한 홍수분석 방법이 널리 사용되고 있다. 그러나 이 방법은 이론 및 그 적용상의 여러가지 문제점을 가지고 있기 때문에 많은 부분의 보완이 필요하며, 유출량의 산정 대상유역이 논지역일 경우는 과대, 과소한 홍수 유출량을 계산하는 결과를 초래할 수 있다. 따라서 본 장에서는 합리적인 홍수분석시스템을 구축하기 위하여 지금까지의 사용해 온 홍수분석 방법의 문제점과 개선책을 살펴보았다.

1. 논유역의 유출해석

현재 배수개선사업을 위하여 별도의 논유역 유출해석 모형은 없으며, 통상적으로 미계측 일반유역 즉, 유역면적내 논·밭이 혼재하는 유역에서 사용하는 Complex Hydrograph법(미국 내무성 개척국 개발)에 의하여 해석하고 있다.

그러나 Complex Hydrograph법은 미국의 일반유역을 대상으로 개발되었으므로 우리나라 논유역의 유출량 산정에 적용은 부적합하다. 이것은 미국의 벼재배 방법과 우리나라의 벼재배 방법이 다르고 이에 따른 관리양상도 상이하며, 또한 모형의 구조상 논의 초기 답수심의 정도, 논둑에 의한 저류 및 물넘이의 규모 등 논유출의 특성을 잘 반영하지 못하는 단점이 있기 때문이다.

따라서 논유역의 홍수유출량 산정을 위해서는 논유역 특성을 잘 표현할 수 있는 논유출 모형의 개발이 필요하다.

2. 단위배수량 산정

배수개선사업의 배수로나 암거 등의 단면을 결정하기 위한 단위배수량의 계산은 합리식(National Method)을 가장 많이 사용하고 있다. 그러나 합리식은 자연현상을 간단히 표현하기 위하여 다음과 같은 가정에 의거 유도되었다.

- 강우강도는 유달시간내에 변하지 않는다.

- 유달시간은 유역내 가장 먼 지점에서 설계지점까지 물이 유하하는 시간이다.
- 첨두유출량은 유달시간 동안 발생한 평균 강우강도의 직접적인 함수이다.
- 첨두유출량의 생기빈도는 평균 강우강도의 생기빈도와 같다.

이러한 가정 아래 유도된 합리식은 강우의 비균일성과 유역의 비선형성에 따른 문제점을 가지고 있으므로 가능한 작은 유역(1.3~2.5 km²)에서만 사용해야 한다.

또한 그 결과를 적용함에 있어서도 배수지거에서의 침수를 허용하는 정도에 따라 는, 발등의 구분에 의해 배수시간을 정하여 사용하고 있으므로 배수지거의 단면 결정에만 적용하여야 한다.

3. 유역구분

홍수량을 계산하는 과정에서 지금까지는 유역을 집수단위(소유역)으로 구분하지 않고 전체 유역을 하나 또는 임의로 조정한 몇 개의 소유역으로 구분하여 홍수량을 산정하므로 유역에 따라 홍수량이 과대/과소가 되는 모순이 있었다. 따라서 적절한 홍수량 산정을 위해서는 홍수유출 모형을 분포형(Distributed Model)을 사용하던가 아니면 유역을 집수단위별 소유역으로 구분하여 홍수유출량을 산정한 후에 합성하는 총괄형(Lumped Model)을 사용해야 한다. 그러나 분포형을 사용할 경우는 유역규모가 크면 매개변수가 많아져 모형의 경제성이 떨어지므로 사용에 제한이 따른다.

4. 유효강우강도

설계홍수량 산정에 필요한 강우강도의 산정은 物部(Mononobe)식과 Talbot식 및 Sherman식이 가장 많이 사용하고 있다. 이중 物部식은 일단위 강우량을 알고 있을 때 이보다 짧은 기간의 강우량을 알고자 하는 경우에 사용하는 공식으로 강우의 공간적 성향을 잘 표현하지 못하는 단점이 있다. 또한 Talbot 및 Sherman식

등도 마찬가지로 강우의 공간적 성향을 잘 표현하지 못하고 있다. 이를 해결하기 위해서는 우리나라 기상관측소의 실측자료를 이용하여 시간적, 공간적 분포를 고려할 수 있도록 연구된 한국건설기술연구원의 확률강우량도 및 서울대 농업개발연구소의 강우분포율을 이용하거나 또는 직접 실측자료를 분석하여 사용해야 한다.

5. 수문곡선추정

배수개선사업에서 홍수량의 시간별 변화를 나타내는 수문곡선의 추정은 일반적으로 Complex Hydrograph 방법을 가장 많이 사용하고 있다. 그러나 이 방법은 <표 2-1>에서 보는 바와 같이 본래의 개발 의도와는 다르게 유효강우의 지속시간과 유역의 경사도를 충분히 고려하지 못하는 문제점을 가지고 있다. 즉, 유효강우의 지속시간을 0.5hr로 고정하고 유역의 여러가지 경사를 하나의 평균경사로 사용하고 있기 때문에 실제와 다르게 비합리적인 홍수량이 산정되고 있다. 따라서 이 방법은 본래의 개발의도에 맞추어 유역의 경사도를 5가지로 구분하고 유효강우의 지속시간을 유달시간의 함수가 되도록 개선되어야 한다.

또한 유역의 토지이용에 따른 유출곡선지수(CN : Runoff Curve Number) 및 유달시간을 일정한 기준이 없이 산정하여 적용함으로써 홍수량의 과대, 과소 현상이 발생하고 있다. 그러므로 자료의 DataBase화를 통하여 누구나 기준에 맞게 적용할 수 있도록 개선되어야 한다.

<표 2-1> Complex Hydrograph Method의 문제점과 개선방법

모형의 변수	문 제 점	개 선 방 법
유효강우 지속시간	<ul style="list-style-type: none"> ○ 일정시간으로 고정 <ul style="list-style-type: none"> - $t_r=0.5$시간 ○ 홍수량 산정결과 <ul style="list-style-type: none"> - t_c가 클 경우 과대 - t_c가 작은 경우 과소 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 유달시간의 함수 <ul style="list-style-type: none"> - $t_r=0.133t_c$
유역의 경사도에 따른 단위도의 특성 변수(Q_p, t_b) <ul style="list-style-type: none"> - 산악지대1, 2 - 완경사 - 구릉지 - 평탄지 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 평균경사 사용 <ul style="list-style-type: none"> - $Q_p = 0.208QA/t_p$ - $t_b = 2.15t_p$ ○ 홍수량 과대/과소 발생 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 5개 경사로 구분 <ul style="list-style-type: none"> $Q_p = 0.258QA/t_p, t_b = 2.15t_p$ $Q_p = 0.233QA/t_p, t_b = 2.34t_p$ $Q_p = 0.208QA/t_p, t_b = 2.67t_p$ $Q_p = 0.167QA/t_p, t_b = 3.27t_p$ $Q_p = 0.125QA/t_p, t_b = 4.30t_p$

제3장 논에서의 강우-유출모형

제1절 시험포장의 설치 및 운영

제2절 강우 및 유량측정

제3절 논유역 유출특성

제4절 논유출 상세모형

제5절 논유출 광역모형

제6절 SCS 방법의 검토

여 백

제 3 장 논에서의 강우-유출 모형

논유역은 일반 유역과는 달리 논에서 많은 저류가 이루어지며 유출특성이 배수구의 형태에 따라 좌우된다. 즉, 지구내 논유역에서의 유출은 논에서의 배수와 지구내 배수로에서의 지체에 의하여 그 특성이 결정된다고 볼 수 있다.

논으로의 유입량은 용수로에서의 취입수량이 없는 경우 강수량에 의하여 결정되며 유출량은 각 필지의 배수방식에 따라 지배된다. 논에서의 배수방식은 경작자에 따라 다르지만 대부분 소요담수심을 유지할 수 있는 웨어형식의 배수물꼬를 만들거나 배수공을 설치하여 소요담수심이상의 물은 자연적으로 계속 배수되도록 하고 있다. 따라서 각 필지의 논과 배수물꼬는 각각의 논둑을 경계로 하는 저수지와 물넘이의 역할을 하는 것으로 생각할 수 있으며 배수물꼬의 유출특성이 논면에서의 유출특성을 결정짓는 중요한 인자가 된다.

그러나 배수물꼬는 구조물화되거나 균일한 형태로 제작·운영되는 것이 아니라 경작자에 의해 논둑의 일부를 낮추어 유지관리되고 있는 상태로서 개개의 형태 및 수리적 특성이 각기 다르므로 현장조사에 의한 물리적이고 수치적인 표준화가 어려운 형편이다. 이러한 배수물꼬에 따른 논에서의 유출특성을 규명하기 위해서는 논유역에서의 유출량에 대한 실측이 필요하며, 이는 홍수량의 산정 및 배수로의 단면결정을 위한 기본자료가 되는 것이다.

따라서 본 장에서는 논에서의 유출기구(Mechanism)를 규명하여 배수개선사업 설계시 지구내 유역의 홍수량 및 단위 배수량 산정에 이용할 목적으로 시험포장을 선정하여 논유역에서의 유출량을 측정하고 분석하며, 이를 이용하여 논유역에서의 강우-유출모형을 개발하고자 하였다.

제1절 시험포장의 설치 및 운영

1. 시험포장

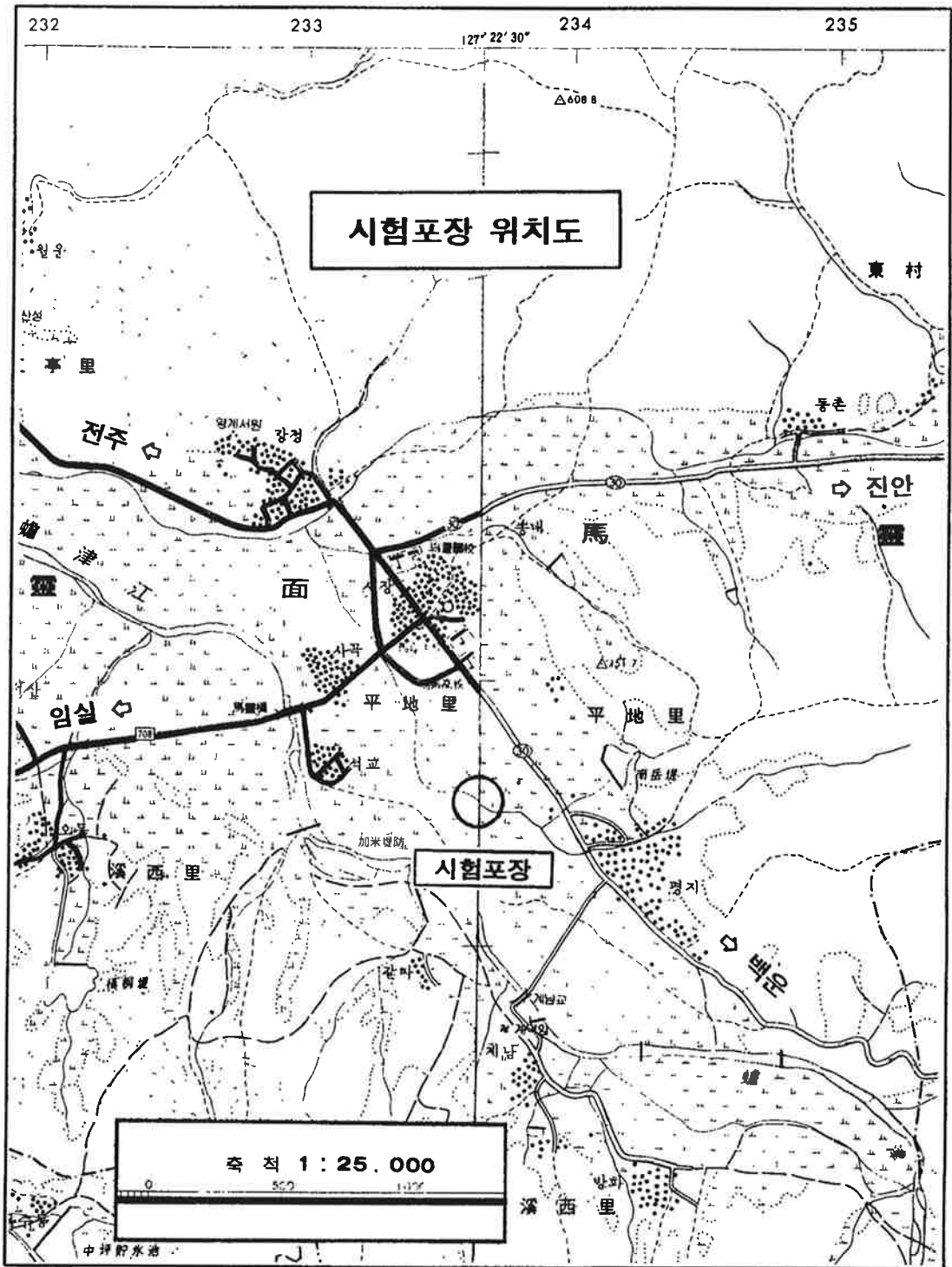
논에서의 유출특성 분석에 사용된 시험포장은 1차년도(1995), 2차년도(1996) 및 3차년도(1997)가 동일한 장소로서 1995년 5월에 경지정리사업이 완료된 전라북도 진안군 마령면 평지리 평지지구내에 있으며, 그 위치는 <그림 3-1>과 같다.

가. 포장구획

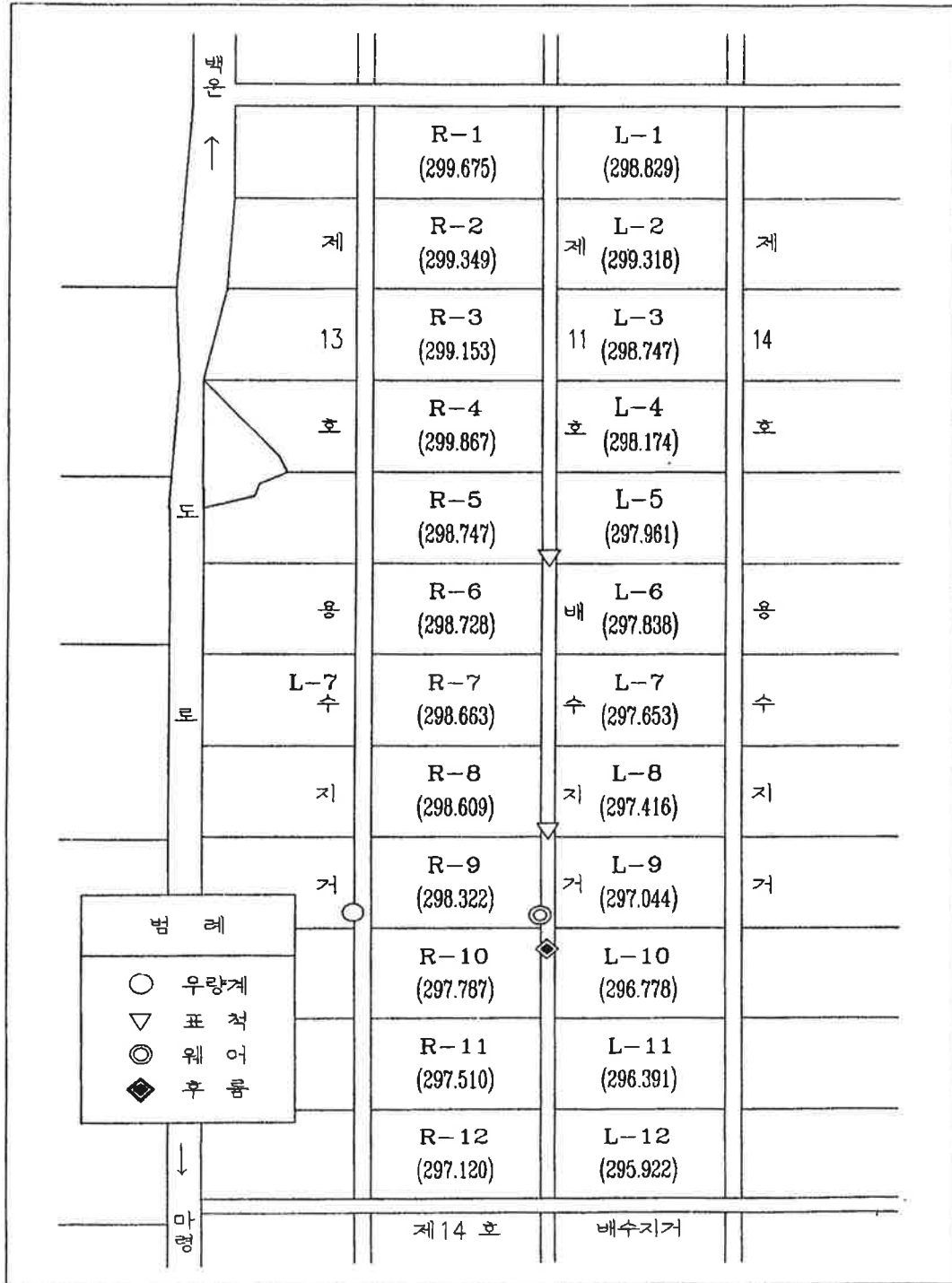
시험포장을 포함한 평지지구내 배수조직은 논에서의 배수지거가 배수지선에 연결되고, 배수지선은 배수하천에 연결되어 배수량이 배제되도록 되어 있다. 또한 일부 구획들은 용배수로 겸용이며, 배수지거 또는 배수지선의 하류 말단부는 유말공으로 되어 있다.

시험포장구획은 <그림 3-2>에서 보는 바와 같이 평지지구내 17,18블록으로 도로, 논둑, 배수로 등을 포함한 전체면적은 127,959 m²이다. 각 블록은 1필지가 장변 100m와 단변 50m인 좌우 12개 필지의 논으로 구성되어 있으며, 이들은 시점부 좌우측 논에서의 표고차가 0.15m에 불과하나 말단부는 1.2m 정도로 상당한 차이가 있다. 또한 시험포장구획내의 최고 및 최저논의 바닥표고차는 3.907m이며, 각 필지별 상대표고는 <그림 3-2>에서 보는 바와 같다.

한편 각 블록별 필지는 일정한 형태와 크기로 구획된 것이지만 실제적으로는 논표고, 도로, 논둑, 배수로 등의 조건에 따라서 약간씩 차이가 있다. <표 3-1>은 24개 필지에 대하여 논바닥면적, 상단면적, 그리고 논둑을 포함한 전체 면적으로 구분하여 정리한 것이다.



<그림 3-1> 시험포장 위치도



<그림 3-2> 시험포장 필지구분 및 상대표고

<표 3-1> 시험포장의 각 필지별 면적(1995)

필지 구분	논평균 상대표고 (m)	논둑 경계 포함			논 상단면적(둑제외)			논 바닥면적		
		장변 (m)	단변 (m)	면적 (m ²)	장변 (m)	단변 (m)	면적 (m ²)	장변 (m)	단변 (m)	면적 (m ²)
L-1	299.829	102.40	54.10	5283.8	102.05	50.60	5163.7	100.60	49.50	4979.7
L-2	299.318	102.40	50.00	5120.0	101.90	49.50	5044.1	101.12	48.70	4924.4
L-3	298.747	102.40	50.00	5120.0	101.80	49.40	5028.9	100.50	48.50	4874.3
L-4	298.174	102.40	50.15	5135.4	101.90	49.55	5049.1	100.45	48.05	4826.6
L-5	297.961	102.40	49.75	5094.4	101.85	49.25	5016.1	100.10	48.75	4879.9
L-6	297.838	102.40	50.30	5150.7	101.95	49.75	5072.0	99.80	49.25	4915.2
L-7	297.653	102.40	50.30	5150.7	102.00	49.75	5074.5	100.90	49.20	4964.3
L-8	297.416	102.40	49.60	5079.0	102.05	49.10	5010.6	99.75	48.60	4847.9
L-9	297.044	102.40	50.15	5135.4	101.95	49.65	5061.8	99.75	49.15	4902.7
L-10	296.778	102.40	49.90	5109.8	102.08	49.40	5042.8	101.53	48.90	4964.8
L-11	296.391	102.40	50.25	5145.6	101.90	49.75	5069.5	100.70	49.15	4949.4
L-12	295.922	102.40	51.15	5237.8	101.90	50.55	5151.0	99.80	49.65	4955.1
R-1	299.675	101.45	50.49	5122.2	100.75	49.95	5003.7	99.60	49.02	4882.4
R-2	299.349	101.40	50.08	5077.6	100.90	49.58	4948.6	99.85	48.52	4844.2
R-3	299.153	101.40	50.04	5074.1	100.95	49.44	4963.2	99.45	48.89	4862.1
R-4	298.867	101.40	50.00	5070.0	101.00	49.40	4989.4	99.35	48.60	4828.4
R-5	298.747	101.40	49.85	5054.8	100.70	49.30	4964.5	99.26	48.70	4834.0
R-6	298.728	101.40	50.15	5085.2	101.05	49.75	5027.2	100.00	49.30	4930.0
R-7	298.663	101.40	50.45	5115.6	101.10	50.00	5055.0	99.59	49.25	4904.8
R-8	298.609	101.40	49.94	5063.9	100.60	49.49	4978.7	98.95	48.74	4822.8
R-9	298.322	101.40	50.02	5072.0	101.00	49.32	4981.3	98.95	48.62	4811.0
R-10	297.787	101.40	50.15	5085.2	101.00	49.60	5009.6	99.55	48.55	4833.2
R-11	297.510	101.40	50.26	5095.9	100.90	49.61	4972.4	99.15	48.96	4853.9
R-12	297.120	101.35	50.43	5110.6	101.00	49.73	5022.2	99.67	48.48	4831.5
평균 (%)	298.150	101.90	50.31	5116.2 (100)	101.43	49.64	5029.2 (98.3)	99.93	48.88	4884.3 (95.5)

(주) L, R = 상류측에서 하류방향으로 좌측논과 우측논을 표시

<표 3-1>에서 논둑을 포함한 면적을 100%로 가정하면 논상단면적은 98.3%, 바다면적은 95.5%이며 논외의 저류공간은 직사각형이 아닌 사다리꼴 프리즘형태로 볼 수 있다.

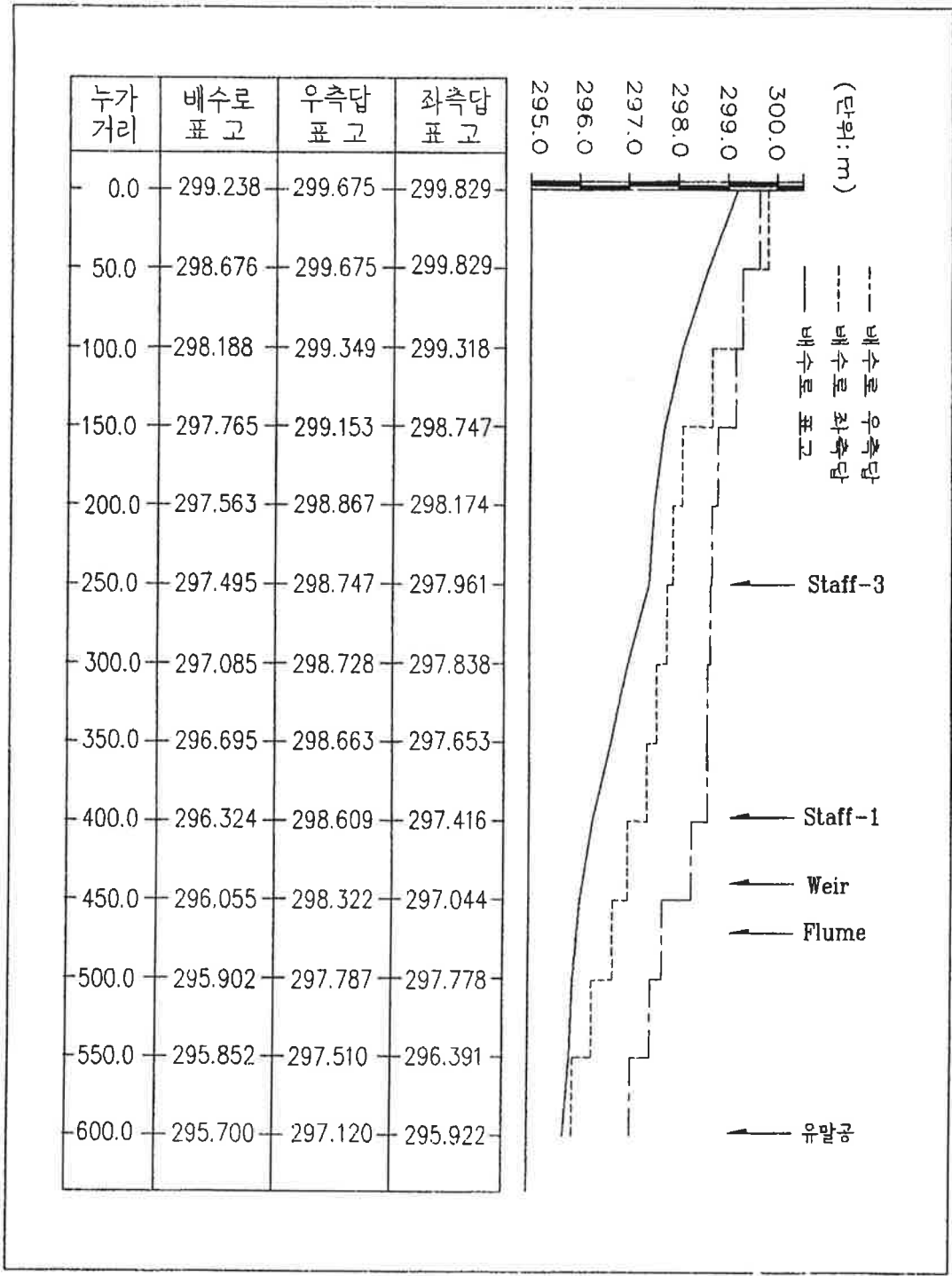
그러나 수심이 낮은 경우 바닥이 편평하지 않고 불규칙한 형태로 인하여 논에서의 수면적 및 내용적은 단순하게 직선형으로 취급할 수는 없으며, 이는 논에서의 유효내용적을 산정하는 데 중요하다.

나. 배수지거

시험포장의 좌우측는 중앙에는 길이 600m의 제11호 배수지거가 있으며 좌우측 논으로부터 배제되는 유입량을 제외하고는 외수유입은 없다. 배수지거의 종단은 <그림 3-3>과 같으며, <표 3-2>는 측정시설과 관련된 상대표고를 나타낸 것이다.

이 배수지거내에는 배수지선에 연결되는 말단부의 유말공을 제외하고는 다른 수리구조물은 없으며 배수지거의 평균경사는 1995년에 0.0059이었고, 1996년에는 0.0058로서 거의 변화가 없는 0.006정도의 수로기울기를 유지하고 있다.

그러나 간이표척 ST-1과 ST-3사이 약 150m구간의 수로바닥 기울기는 1995년에 0.0075, 1996년은 0.0066로서 약간의 변화를 나타내었다. 이 배수지거와 연결된 배수지선의 수위상승과 말단부 유말공의 통수능력부족으로 측정기간중 후륜하류측 배수로에서 지체현상이 발생하고, 또한 무성한 잡초로 인한 배수 불량으로 후륜의 잠수율이 크게 되는 원인이 되기도 하였다.

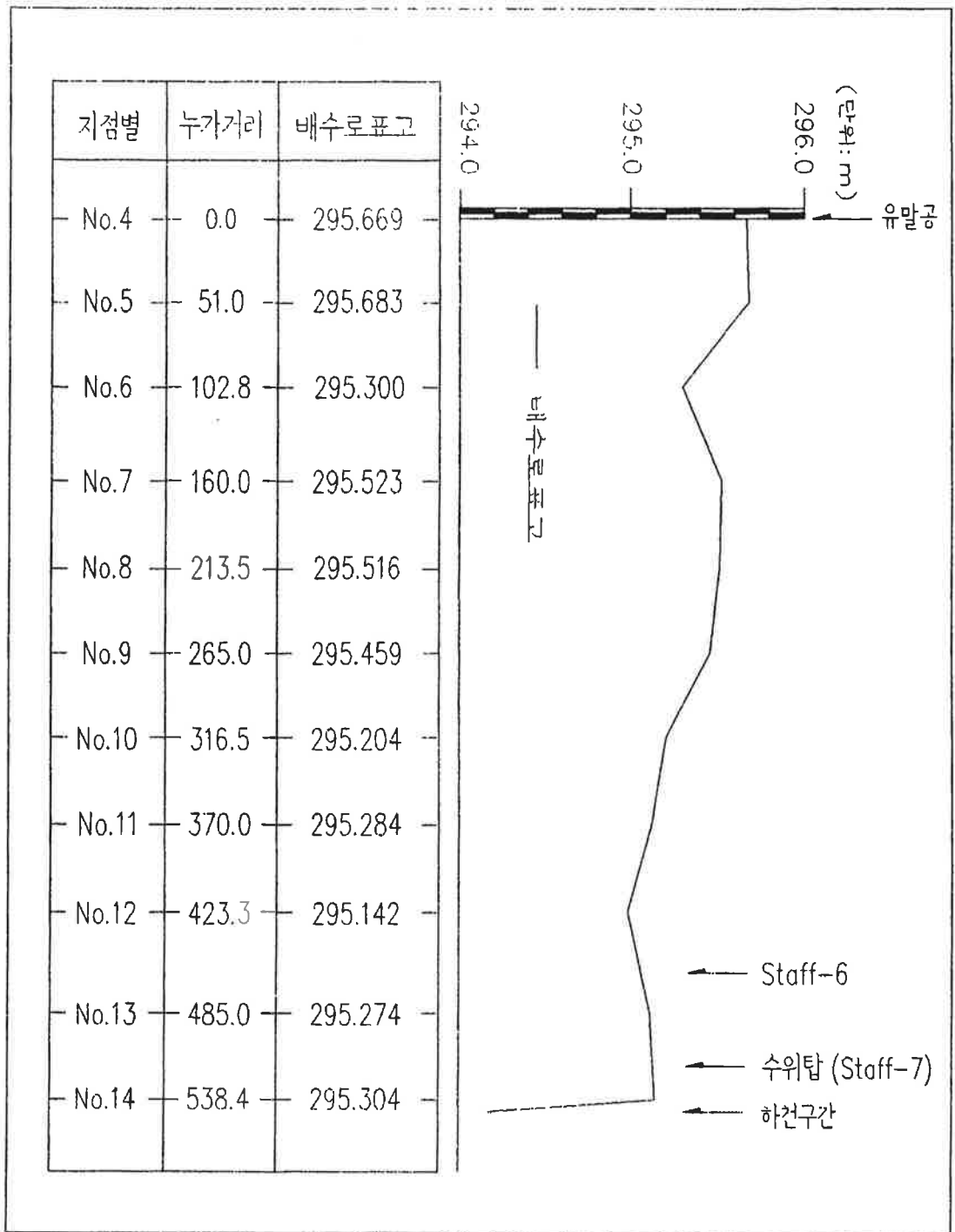


<그림 3-3> 시험포장 및 제11호 배수지거 종단도

<표 3-2> 제11호 배수지거 종단표고(1996. 4)

측 점	누가거리(m)	상대표고(m)	비 고
임시기준점	-7.0	300.000	9호배수지거 유말공상단
No. 0	0.0	299.449	
No. 1	50.0	298.886	
No. 2	100.0	298.218	
No. 3	150.0	297.886	
No. 4	200.0	297.610	
No. 5	250.0	297.517	
+ 3.4	253.4	297.775	표척-3의 +4.0m 표고
No. 6	300.0	297.367	
No. 7	350.0	296.975	
+ 49.5	399.5	297.097	표척-1의 +2.0m 표고
No. 8	400.0	296.526	
+ 49.2	449.2	298.153	Weir 바닥고
No. 9	450.0	296.185	
+ 7.8	457.8	296.193	Flume 바닥고
No. 10	500.0	295.985	
No. 11	550.0	295.858	
No. 12	600.0	295.684	유말공 입구 바닥고
+ 1.0	601.0	295.669	유말공 출구 바닥고
+ 1.0	601.0	296.680	유말공 상단부 (EP)

한편 11호 배수지거가 연결되는 제14호 배수지거의 No.4지점에서부터 말단 부까지 546m의 배수로 평균기울기는 0.001로서 완만하며, 간이표척 ST-6과 수위탑표척 ST-7사이의 기울기는 0.00292, 유말공의 입구와 출구사이의 콘크리트관 기울기는 0.0132이다. <표 3-3>과 <그림 3-4>는 제14호 배수지거의 종단상대표고를 나타낸 것이다.



<그림 3-4> 제14호 배수지거 종단도

<표 3-3> 제14호 배수지거 종단표고(1996. 4)

지점별	누가거리(m)	상대표고(m)	비 고
기준점	0.0	296.680	11호 배수로 유말공상단
No. 4	0.0	295.669	11호 합류점(시점)
No. 5	51.0	295.683	
No. 6	102.8	298.300	암거 입구
+ 7.5	110.3	295.288	암거 출구
No. 7	160.0	295.523	
No. 8	213.5	295.516	
No. 9	265.0	295.459	
No. 10	316.5	295.204	암거 입구
+ 7.5	324.0	295.285	암거 출구
No. 11	370.0	295.284	
No. 12	423.3	295.142	암거 입구
+ 5.0	428.3	295.319	암거 출구
+ 7.8	436.1	296.178	St-6 +1.0m 표고
No. 13	485.0	295.274	
+ 49.1	534.1	295.400	수위탑(St-7) 바닥고
+ 49.1	534.1	296.456	수위탑 표척(+3.0m)
No. 14	538.4	295.304	14호 유말공 입구
+ 8.6	546.0	295.141	14호 유말공 출구
배수지선	546.0	294.334	배수지선 바닥

다. 취·배수공

시험포장구획내 모든 논에는 취수 및 배수를 위하여 웨어형태가 아닌 PVC Pipe를 이용한 1개이상의 취·배수공이 설치되어 있다. 따라서 포장내의 유출특성 분석을 위하여 시험포장구획의 각 필지에 설치된 취수공 및 배수공의 위치 및 제원을 조사하였으며, <표 3-4>는 1995년에 조사된 취배수공의 직경, 길이 및 기울기 등의 제원을 나타낸 것이다.

<표 3-4> 필지별 취수공 및 배수공 제원(1995)

답면 번호	취수공-1			취수공-2			배수공-1			배수공-2		
	직경 (cm)	길이 (m)	기울기	직경 (cm)	길이 (m)	기울기	직경 (cm)	길이 (m)	기울기	직경 (cm)	길이 (m)	기울기
L-1	14.5	1.50	0.200	-	-	-	20.0	2.50	0.024	-	-	-
L-2	14.5	1.80	0.126	14.5	1.30	0.086	20.0	1.50	0.432	19.8	2.70	0.326
L-3	14.5	1.80	0.303	14.5	2.00	0.140	21.5	2.20	0.297	20.0	2.20	0.071
L-4	14.5	2.00	0.385	-	-	-	20.0	2.00	0.163	-	-	-
L-5	14.5	2.10	0.405	14.5	2.50	0.228	20.0	2.20	0.048	19.5	2.20	0.130
L-6	16.5	2.60	0.224	-	-	-	19.5	2.20	0.084	20.0	2.20	0.100
L-7	14.5	2.40	0.298	14.5	2.40	0.281	20.0	2.70	0.067	19.8	2.60	0.058
L-8	14.5	2.40	0.292	-	-	-	18.9	1.80	0.169	-	-	-
L-9	14.5	2.50	0.388	-	-	-	19.0	1.90	0.173	-	-	-
L-10	14.5	1.10	0.191	14.5	0.90	0.178	21.8	2.00	0.143	-	-	-
L-11	16.5	1.50	0.013	16.5	1.90	0.042	19.5	1.80	0.100	19.8	2.60	0.083
L-12	14.5	2.60	0.144	-	-	-	20.0	2.00	0.091	-	-	-
R-1	14.3	5.10	0.024	-	-	-	20.0	2.15	0.216	-	-	-
R-2	14.3	4.90	0.017	-	-	-	20.0	2.30	0.328	-	-	-
R-3	13.5	5.30	0.074	-	-	-	20.1	2.40	0.246	-	-	-
R-4	14.3	4.90	0.081	15.0	6.40	0.061	20.0	1.60	0.279	20.0	2.46	0.337
R-5	14.3	5.40	0.072	-	-	-	19.8	2.00	0.515	20.0	2.60	0.231
R-6	14.3	4.90	0.047	-	-	-	19.8	2.90	0.331	-	-	-
R-7	13.5	5.20	0.023	-	-	-	19.7	2.60	0.375	-	-	-
R-8	14.3	7.10	0.015	-	-	-	19.9	3.70	0.505	-	-	-
R-9	14.3	5.70	0.074	-	-	-	20.0	4.40	0.469	-	-	-
R-10	14.3	5.11	0.108	-	-	-	20.0	3.00	0.320	-	-	-
R-11	14.3	5.50	0.071	14.3	5.35	0.049	19.5	3.30	0.321	-	-	-
R-12	14.3	5.40	0.072	14.3	4.90	0.265	20.0	2.40	0.338	20.0	2.70	0.359

2. 측정시설

시험포장에 설치된 시설로는 강우량관측을 위한 우량계 1조, 1995년도에 설치되었던 논유출량 측정을 위한 웨어시설 1개소 및 11호 배수지거에 파살후 립시설 1개소를 비롯하여 1996년에는 14호 배수지거 말단부에 수위계 1조가 부착된 수위탑 1개를 제작하여 설치하였으며, 각 측정시설의 지배면적은 <표 3-5>와 같다.

<표 3-5> 시험포장의 측정시설별 지배면적

구분	배수지거	필지수	면적(㎡)	면적비율(%)	비고
웨어	11호	1개	5,072	4.0	논둑 포함면적
파살후름	"	18개	95,859	74.9	도로, 논둑, 배수로 포함
전체	"	24개	127,959	100.0	도로, 논둑, 배수로 포함
수위탑	14호	36개	189,000	-	Staff-7

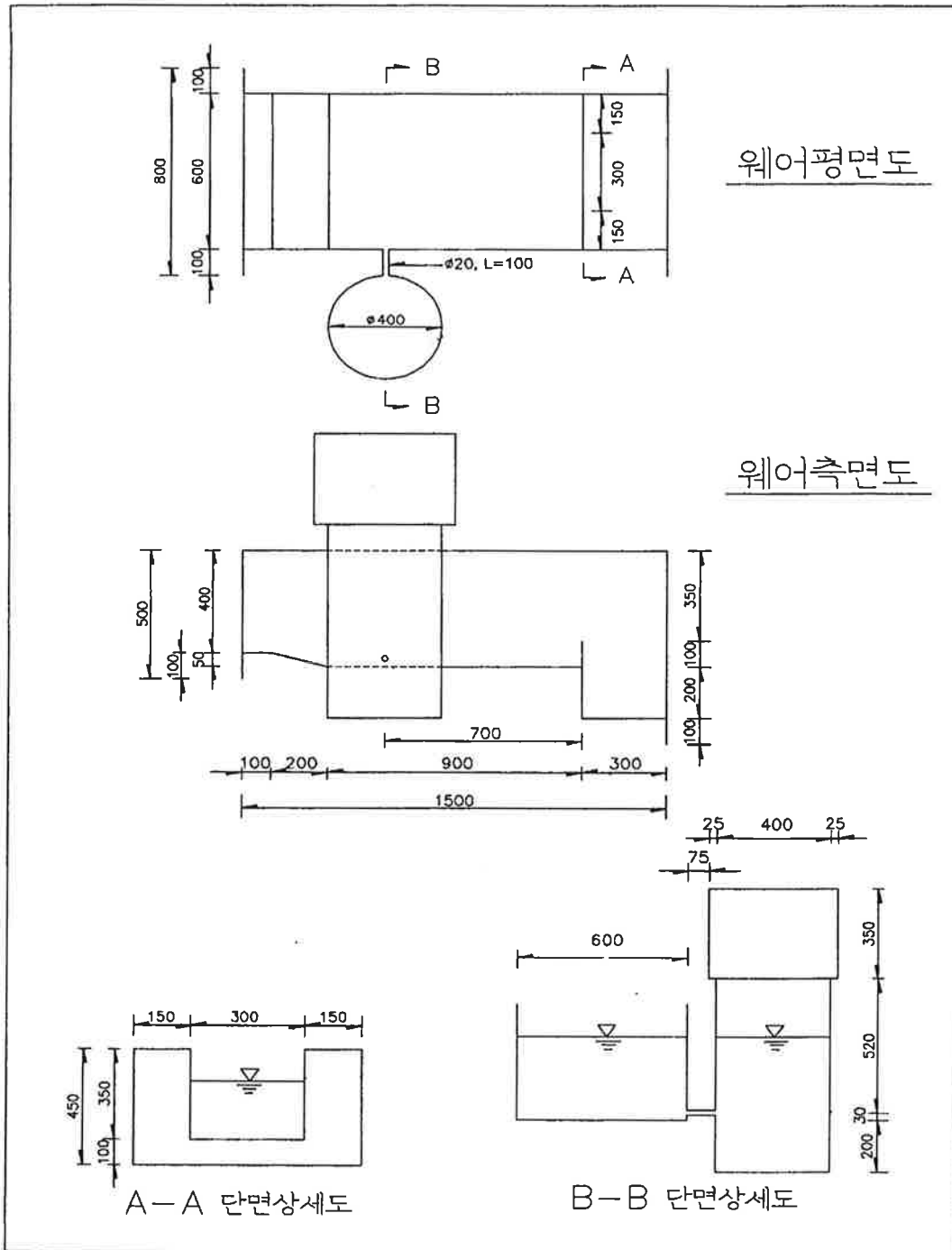
가. 우량계

지구내 시험포장은 작은 면적이므로 지체시간이 짧아 강우강도의 변화에 따른 영향이 유출에 빠르게 나타나게 된다. 이러한 점을 고려하여 보다 정확한 강우량을 측정하기 위하여 시험포장구획내 웨어가 설치된 논(R-9)과 인접한 용수로변에 <그림 3-5>와 같이 일일우량계를 설치하였다.

여기에 사용된 우량계는 Analog식 일일기록 자기우량계로서 1997년 5월부터 측정을 시작하여 10월 중순까지 강우량 자료를 수집하였다.



<그림 3-5> 시험포장에 설치된 우량계(1997.5)



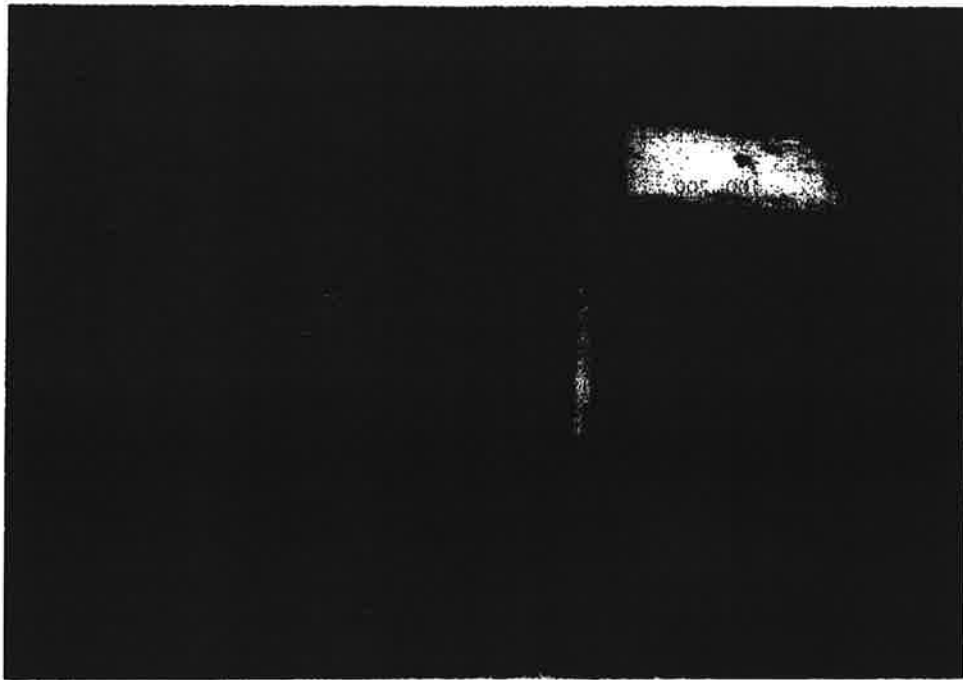
<그림 3-6> 논웨이 구조도

나. 논웨어

웨어는 1개 필지 논에서의 유출량을 측정하기 위한 것으로 <그림 3-2>의 R-9논에 설치하였으며, 그 위치는 배수지거 시점에서 하류측 449m 지점으로 <그림 3-3>에서 나타낸 바와 같다.

웨어는 완전월류의 조건을 만족시키고 배수에 지장을 주지 않도록 <그림 3-6>와 같이 폭 30cm의 구형웨어로 제작하였으며 완전한 배수가 이루어질 수 있도록 평균 논바닥보다 약간 낮게 설치되어 있다. 이 웨어에는 <그림 3-7>과 같이 직경 40cm의 Stilling well을 부착하여 내부에 자기수위계를 설치하였으며, 5월부터 9월까지 수위를 측정하였다.

한편 1995년도의 실험결과 논바닥보다 너무 낮게 설치된 점을 고려하여 1996년도에는 웨어바닥고를 약간 높게 조정하여 다시 설치한 바 있다.



<그림 3-7> 논웨어 및 자기수위계(1997.4)

다. 파살후름

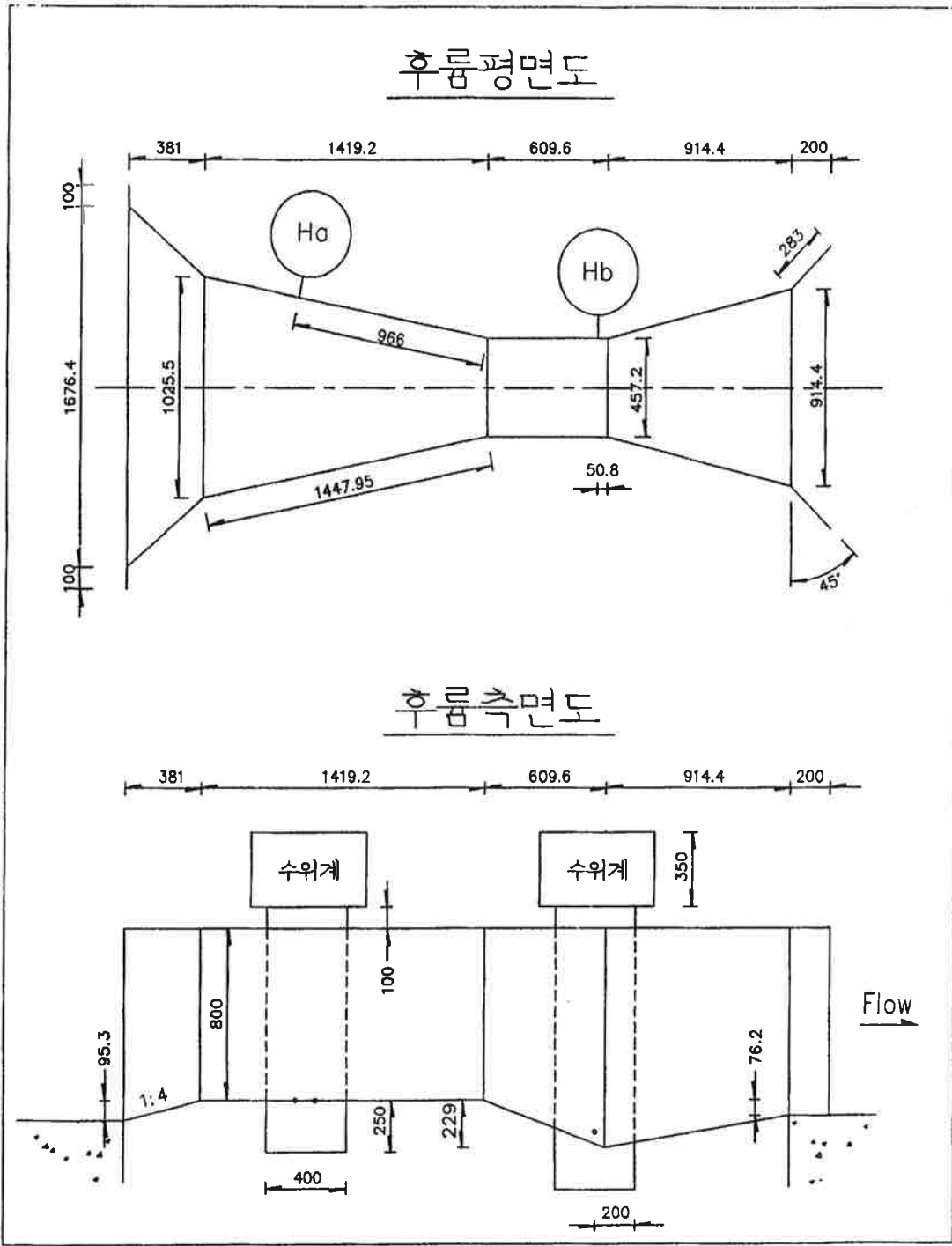
배수로 유량측정을 위한 파살후름은 구획 말단부의 유말공에 의한 배수 영향(Backwater effect)을 받지 않도록 고려하였다. 즉, 좌우 24개 필지 논으로 구성된 시험포장구획중 18개 필지 논에서의 유출을 측정할 수 있도록 상류측으로 이동하여 논웨어의 인접 하류부인 배수지거 458 m 지점에 설치하였으며, 그 위치는 <그림 3-3>에서 나타낸 바와 같다.

파살후름은 시험포장의 배수지거 통수능력과 비슷한 <표 3-6>의 제원중에서 본 시험포장내 배수에 가급적 지장을 주지 않도록 최소폭을 45.7cm(1'6")의 파살후름을 <그림 3-8>과 같이 제작하여 설치하였다. 이 후름은 자유흐름 또는 잠류흐름의 각 경우에 적용할 수 있으며 그 제원과 수위에 따른 유량이 공식화되어 있다.

<표 3-6> 표준 파살후름 제원표

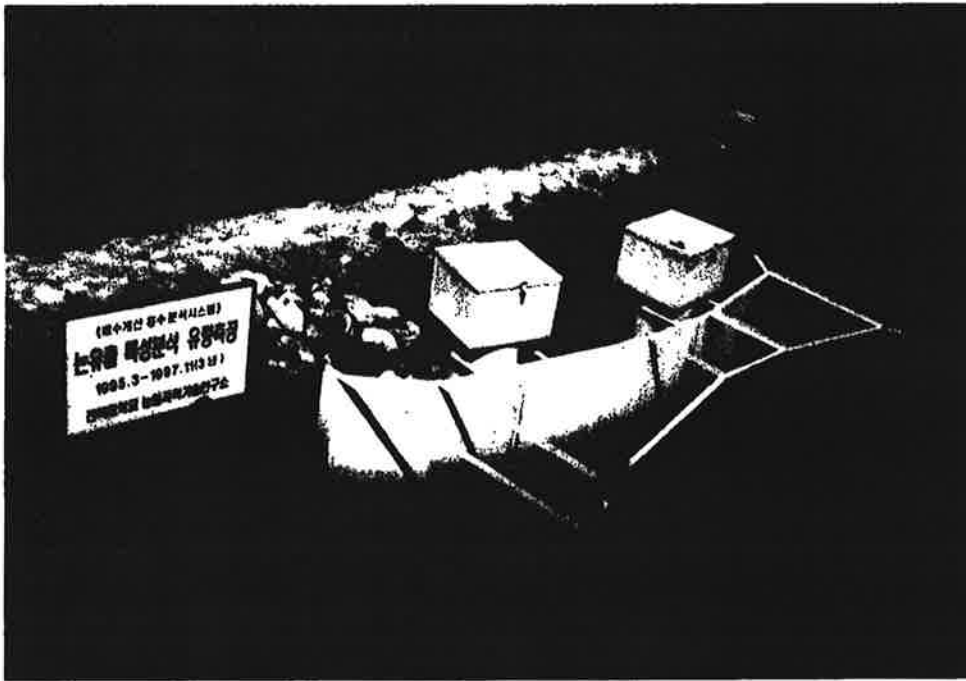
단위 : mm

구분	W = 1' (30.48 cm)	W = 1'6" (45.72 cm)	W = 2' (60.96 cm)	비고
W	304.8	457.2	609.6	W = 1'6" 채택
A	1371.6	1447.8	1524.0	
(2/3)A	914.4	966.0	1016.0	
B	1343.0	1419.2	1495.4	
C	609.6	762.0	914.4	
D	844.6	1025.5	1206.5	
E	914.4	914.4	914.4	
T(L)	609.6	609.6	609.6	
G	914.4	914.4	914.4	
M	381.0	381.0	381.0	
N	228.6	228.6	228.6	
P	1492.3	1676.4	1854.2	
R	508.0	508.0	508.0	
K	76.2	76.2	76.2	
X	50.8	50.8	50.8	
Y	76.2	76.2	76.2	
Min. (m ³ /s)	0.0031	0.0042	0.0119	
Max. (m ³ /s)	0.4559	0.6966	0.9373	"



<그림 3-8> 배수로 후름 구조도

이 파살후름에는 <그림 3-9>과 같이 직경 40cm의 Stilling well을 부착하여 자기수위계 2조를 설치하였으며, 논웨어와 함께 5월부터 수위를 측정하였다.



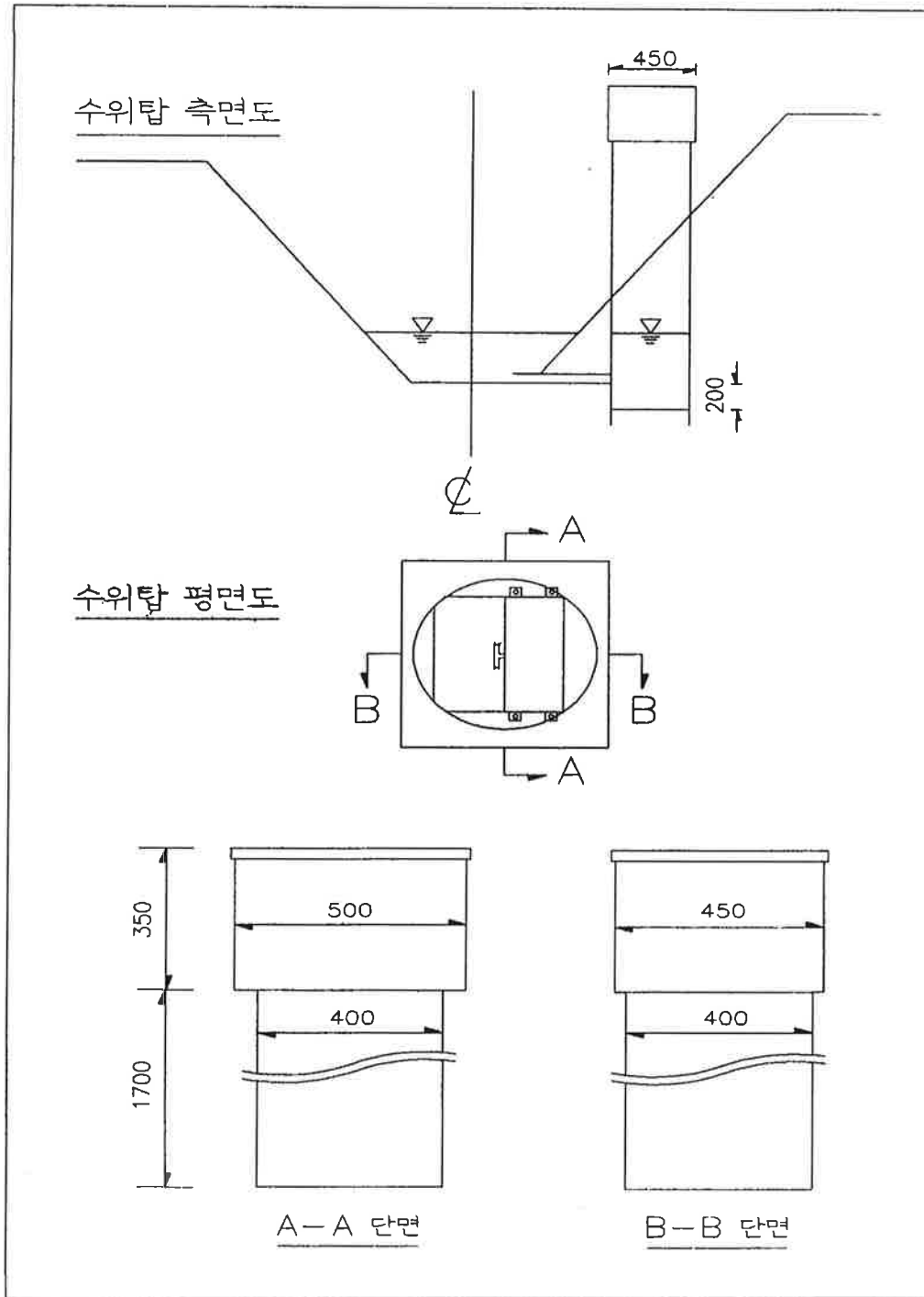
<그림 3-9> 배수로 후름 및 자기수위계(1997.6)

라. 수위탑

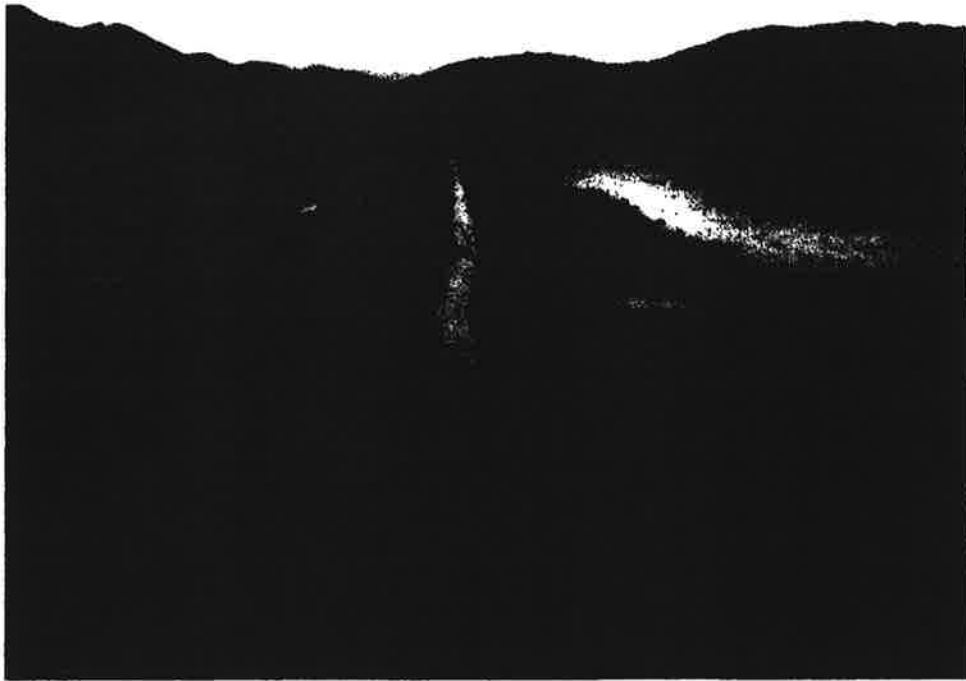
논유역의 유출량분석을 위하여 1996년도에는 <그림 3-10>의 구조도에 나타낸 바와 같은 수위계가 부착된 수위탑 1조를 <그림 3-11>과 같이 14호 배수로 말단부에 설치하였으며, 보조수위표 ST-6과 수위탑에 부착된 ST-7를 논유역에서의 유출량 분석에 이용하도록 계획하였다.

마. 보조수위표

포장시험에 따른 보조자료로 활용하기 위하여 1997년도에 는 R-8 및 R-9에 배수지거측에서 60m 및 20m 지점에 눈금을 부착한 PVC Pipe를 각각 2개



<그림 3-10> 수위탑(ST-7) 구조도



<그림 3-11> 배수로 수위탑(ST-7) 및 자기수위계(1997.5)



<그림 3-12> 눈에 설치된 담수심 측정용 간이표척(1997.6)

씩 설치하고, 또한 배수지거내에 간이수위표 4개와 배수지거가 합류되는 배수지선에 간이 수위표 1개를 설치 운영하였다.

그러나 1996년도의 경우 R-9-2를 제외하고는 R-8 및 R-9에 설치된 논수위측정용 PVC Pipe가 수확, 논갈이 등으로 파손되어 이용할 수가 없었으며, 또한 간이표척 ST-2, ST-4 및 ST-5도 배수로 및 논둑 정비에 따른 파손으로 운영하지 못하였다. 다만 11호 배수지거에 ST-1-1과 14호 배수로에 ST-6 및 ST-7 수위탑을 신규로 설치하여 보조수위표로 사용하였다. <그림 3-12>는 1997년도 논(R-9)에 설치한 담수심 측정용 간이표척(R9-1)이다.

3. 시험포장 운영

가. 영농현황

웨어가 설치된 시험포장논(R-9)은 1997년 5월 13일 논갈이를 하고 담수를 시킨 후 5월 26일에 모내기를 실시하였으며, 벼품종은 화선찰벼로서 4개월 후인 9월 29일 수확하였다.

한편 1995년 및 1996년도에는 시험포장구획내 일부 논에서 다른 작물이 재배되기도 하였으나, 1997년도에는 L-7이 늦게 모내기한 것을 제외하고는 모두 벼농사가 이루어졌다.

다음은 시험포장 R-9 논에 대한 1997년도의 시비 및 농약살포 현황과 벼생장도를 조사한 내용을 정리한 것이다.

(1) 비료 시비현황(R-9)

5월 22일 (기비) 모내기 밀거름으로 요소비료 4포(80kg),

복합비료 4포(80kg)

6월 13일 (추비) 웃거름으로 요소비료 4포(80kg)

7월 28일 (수비) 이삭거름으로 요소비료 2포(40kg)

(2) 농약 살포현황

6월 3일 제초제(손노리입제 1포 3kg, 마무리입제 6포, 노난매 5포)
멸구, 이화명나방약(카보입제 6포)

살충제(큐라텔 5포)

8월 11일 문고병약 500ml 1병

살충제(바리문) 500ml 1병

살충제(밧사) 500ml 1병

잎마리나방약 500ml 1병

(3) 벼생장도 측정

시험포장의 벼 생장상태를 조사하기 위하여 벼길이를 측정하였으며, 그 결과는 다음 <표 3-7>과 같다.

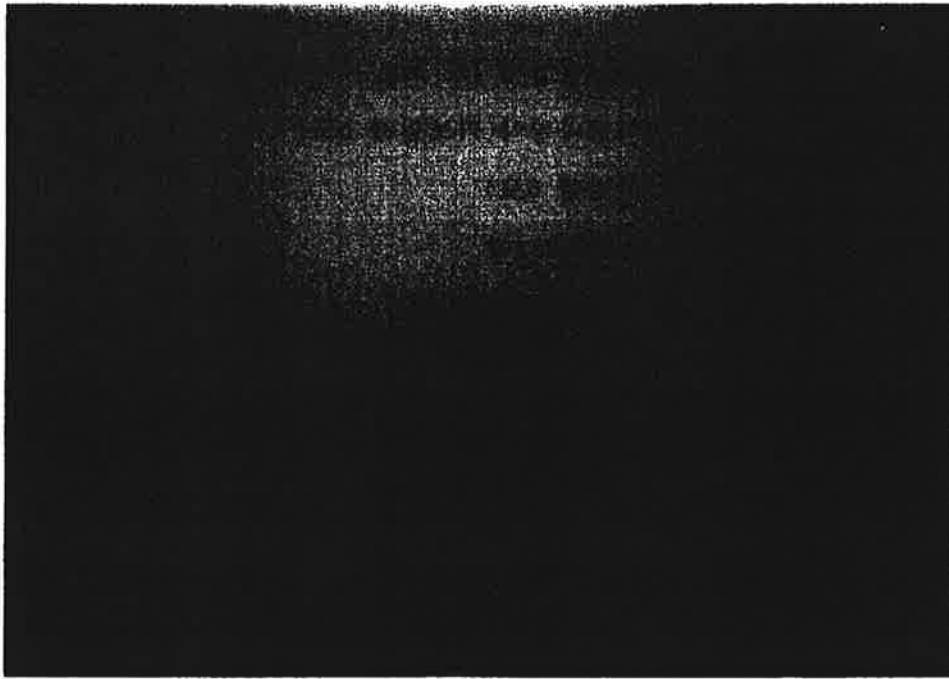
<표 3-7> 벼길이 측정(1997)

측정일	6/13	6/27	7/11	7/14	7/24	8/5	8/15	8/25	9/10	9/20
벼길이(cm)	14.5	32.3	45.7	55.0	65.4	73.3	78.8	80.8	83.2	84.0

나. 시험포장 운영 및 관리

시험포장에 설치된 우량계 및 수위계를 포함한 각 측정시설은 1997년 5월 3일에 설치 완료하고, 5월부터 측정을 시작하여 9월까지 운영하였다. 시험기간중 논웨어 및 Parshall Flume, 배수로 수위측정에 따른 기록지는 5~6일마다 현지 시험포장에 출장하여 교환하고, 웨어, 후름 및 간이수위표의 각 수위를 기록하였다.

한편 배수로의 배수영향 방지 및 유량측정의 정확도를 높이기 위하여 <그림 3-13>과 같이 후름 하류부의 바닥되사를 준설하였으며, 또한 유출을 원활히 하고 배수불량을 방지하기 위하여 후름 및 수위탑 주변 수로바닥 수초제거 및 바닥정비를 수시로 실시하였다.



〈그림 3-13〉 배수로바닥 준설 전경(1997.4)

4. 토양 및 수질조사

가. 토양

1995년 및 1997년도에 시험포장구획내 웨어가 설치된 R-9 논토양의 물리적 및 화학적 성분분석을 실시하였다. 〈표 3-8〉은 토양의 물리적 입도분석 결과로 경지정리가 완료된 1995년 이후 논의 자갈 등이 제거된 것으로 볼 수 있으며 시험포장의 토성은 미사질양토이다.

한편 논토양에 대한 물리화학적 성분분석은 농업기술연구소의 토양화학분석법을 기준으로 시험포장에서 채취하여 풍건시킨후 분석시료로 이용하였으며, 〈표 3-9〉는 토양의 화학적 성분을 분석한 결과이다.

<표 3-8> 논토양 입도분석

채취일	구분	입도분석 (%)				토성	비고
		자갈	모래	실트	점토		
95. 6. 24	R-8	1.5	24.8	53.0	20.7	자갈섞인 실트질흙 " "	
	R-9-1	4.9	27.7	53.1	14.3		
	R-9-2	3.5	20.7	55.5	20.3		
95. 8. 16	R-9	-	22.0	55.0	23.0	실트질 롬(SiL)	
97. 2. 27	R-9-1	-	29.5	55.3	15.2	미사질양토(SiL)	표토층
		-	26.0	58.6	15.4	"	20cm
		-	23.7	58.5	17.8	"	40cm
	R-9-2	-	28.6	56.6	14.8	"	표토층
		-	26.2	60.0	13.8	"	20cm
		-	33.5	51.9	14.6	"	40cm

<표 3-9> 논토양의 이화학적 성분

일 자 항 목	1995			1996	1997			
	5/27	6/25	7/20	2/20	5/27	6/25	7/20	8/20
	R-8	R-9-1	R-9-2	R-9	R-9	R-9	R-9	R-9
유기물(%)	0.31	1.22	1.07	3.40	2.33	2.20	1.85	2.82
CEC(cmol/kg)	5.06	18.34	16.04	11.5	10.33	11.00	10.25	10.36
T-N(mg/kg)	-	33.6	67.4	932.2	888.80	994.72	1256.48	1166.99
T-P(mg/kg)	21.0	147.6	138.8	179.8	303.6	345.20	369.10	375.84
Ca(cmol/kg)	4.90	5.86	5.17	1.777	1.75	1.52	1.38	1.11
Mg(cmol/kg)	3.23	3.15	4.99	1.492	0.75	0.70	0.62	0.42
K(cmol/kg)	1.07	0.90	1.19	0.132	0.35	0.26	0.25	0.09
Na(cmol/kg)	0.51	0.52	0.51	0.499	0.28	0.14	0.16	0.06
Mn(mg/kg)	78.74	75.84	46.23	19.2	201.45	198.23	252.61	181.78
Fe(mg/kg)	864.73	677.19	646.67	62.1	1000.23	989.45	1055.77	891.95
Cu(mg/kg)	2.67	2.18	1.74	2.2	3.68	3.79	4.14	2.47
Zn(mg/kg)	10.14	18.69	16.47	10.8	2.59	2.56	1.45	1.03
Cr(mg/kg)	-	-	-	-	0.40	0.30	0.22	trace
Pb(mg/kg)	-	-	-	-	7.47	7.88	7.23	5.64
pH(1:5H ₂ O)	-	-	-	-	5.89	5.80	5.78	5.81

나. 수질

논에서의 수질분석은 1995년, 1996년 및 1997년도에 실시하였고 주요 측정항목은 pH, EC, COD, T-N, T-P, Na, Mg 등이며, 시험방법은 환경처의 환경오염공정시험법으로 실시하였다. <표 3-10>은 6월, 7월 및 8월에 채수하여 수질을 분석한 자료이며, 여기서 용수는 용수로, 답수는 논 R-9, 배수는 후름지점 배수로에서 채취된 시료를 의미한다.

<표 3-10-1> 수질분석(1995)

측정 항목	95. 6. 24			95. 8. 16		
	용수	답수	배수	용수	답수	배수
pH	7.1	7.0	6.5	6.3	5.5	5.6
EC (μS)	155.0	1150.0	350.0	75.0	1150.0	150.0
DO (mg/l)	4.10	3.34	3.46	3.5	2.0	1.5
탁도(mg/l)	4.0	90.0	89.0	8.0	23.0	11.0
SS (mg/l)	86.8	100.7	8.8	9.6	7.6	8.0
COD (mg/l)	35.5	35.5	7.4	3.1	0.5	0.4
T-N (mg/l)	6.84	5.79	4.08	0.0	0.0	0.0
T-P (mg/l)	0.107	0.188	0.0	0.0	0.0	0.0
Na (me/l)	0.228	1.003	0.196	0.730	0.210	0.329
K (me/l)	0.137	0.188	0.146	0.228	0.086	0.158
Ca (me/l)	0.442	0.298	0.307	0.265	0.276	0.306
Mg (me/l)	0.122	0.198	0.203	0.199	0.158	0.134
Fe (mg/l)	0.085	0.213	0.066	0.060	0.117	0.088

<표 3-10-2> 수질분석(1996)

측정 항목	96. 7. 10			비 고
	용수	답수	배수	
pH	6.17	6.33	5.96	오염공정시험법
EC (μS)	91.0	160.0	140.0	
COD (mg/l)	0.89	1.69	0.75	
T-N (mg/l)	2.45	0.84	4.69	
T-P (mg/l)	0.04	0.10	0.08	

<표 3-10-3> 수질분석(1997)

측정항목	97.6.20			97.7.10		
	용수	답수	배수	용수	답수	배수
pH	7.36	7.83	7.46	7.00	6.92	7.21
EC(μS)	-	243.0	-	-	45.0	100.5
COD(mg/ℓ)	20.30	28.03	34.89	18.25	13.44	10.87
T-N(mg/ℓ)	2.24	6.44	4.20	1.26	1.26	1.54
T-P(mg/ℓ)	2.52	0.42	0.74	0.80	1.42	0.78
Ca(me/ℓ)	0.502	1.056	0.753	0.256	0.153	0.345
Mg(me/ℓ)	0.201	0.446	0.274	0.187	0.165	0.201
Na(me/ℓ)	0.422	0.712	0.444	0.325	0.223	0.178
K(me/ℓ)	0.301	0.659	0.540	0.298	0.088	0.165

한편 우리나라 호소 및 하천의 농업용수 수질환경기준은 다음 <표 3-11>과 같다.

<표 3-11> 농업용수 수질환경기준

구분	등급	기 준						
		pH	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	SS (mg/l)	DO (mg/l)	T-P (mg/l)	T-N (mg/l)
호소	IV	6.0~8.5	8이하	-	15이하	2이상	0.1이하	1.0이하
하천	IV	6.0~8.5	-	8이하	100이하	2이상	-	-

시험포장논에서 채수한 물시료 분석결과를 농업용수 수질환경기준과 비교하면 시기별로 차이가 심하며 pH가 5.5~7.83로서 답수와 배수가 약간 낮은 경우도 있지만 전반적으로 기준범위이며, COD, T-N 및 T-P는 대체적으로 높은 편이다.

5. 논바닥측량

논바닥형태는 작물 재배시기별로 약간씩 다르고, 특히 객토, 논갈이, 바

다정리 등 여러가지 요인에 의하여 변하기 때문에 균일한 수평면으로 볼 수는 없다.

시험포장구획내 는 바닥의 불규칙상태를 조사하기 위하여 웨어가 설치된 는 R-9와 상단논인 R-8의 2개 필지를 대상으로 장단변이 100m×50m인 필지를 10m 간격의 방안망으로 구성하고 그 지점에 대하여 1995년 11월 18일, 1996년 3월 23일 및 1997년 5월 10일에 걸쳐 각각 수준측량을 실시하였으며, 그 결과는 <표 3-12>에 정리된 바와 같다.

<표 3-12-1> 논바닥 상대표고(1995)

필지별	상 대 표 고 (m)	비 고
R-8	298.985 299.013 298.920 298.927 298.987 299.103 299.011 298.880 298.911 298.903 298.923 298.952 298.984 298.875 298.913 298.891 298.887 298.920 298.975 298.910 298.892 298.885 298.877 298.973 298.956 298.873 298.882 298.874 298.903 298.909 298.905 298.927 298.889 298.908 298.930 298.966 298.889 298.902 298.896 298.884 298.902 298.944 298.929 298.914 298.914 298.890 298.925 298.912 298.973 298.916 298.911 298.903 298.903 298.893 298.917 298.894 298.905 298.927 298.903 298.888 298.976 298.874 298.965 298.945 298.941 298.953	m = 298.923 m s = 0.0415 m (m= 298.900m)
R-9	298.438 298.360 298.420 298.529 298.427 298.530 298.371 298.359 298.331 298.187 298.220 298.399 298.365 298.357 298.356 298.373 298.360 298.400 298.359 298.353 298.348 298.375 298.312 298.394 298.372 298.310 298.322 298.356 298.369 298.412 298.334 298.309 298.298 298.334 298.364 298.399 298.345 298.324 298.339 298.324 298.321 298.354 298.346 298.311 298.316 298.335 298.320 298.360 298.369 298.338 298.328 298.331 298.360 298.384 298.269 298.336 298.359 298.311 298.352 298.360 298.247 298.357 298.385 298.390 298.387 298.404	m = 298.354 m s = 0.0535 m (m= 298.331m)

<표 3-12-2> 논바닥 상대표고(1996)

필지별	상 대 표 고 (m)	비 고
R-8	298.664 298.602 298.624 298.588 298.639 298.669 298.674 298.604 298.612 298.607 298.609 298.629 298.680 298.594 298.609 298.641 298.595 298.648 298.684 298.603 298.598 298.609 298.484 298.658 298.672 298.641 298.602 298.578 298.624 298.643 298.634 298.624 298.626 298.582 298.644 298.624 298.616 298.594 298.591 298.590 298.596 298.649 298.618 298.613 298.629 298.604 298.631 298.604 298.650 298.622 298.604 298.640 298.584 298.589 298.592 298.594 298.616 298.632 298.623 298.647 298.642 298.533 298.671 298.637 298.659 298.651	$m = 298.620 \text{ m}$ $s = 0.0335 \text{ m}$
R-9	298.504 298.389 298.394 298.374 298.414 298.414 298.349 298.369 298.374 298.329 298.349 298.419 298.394 298.384 298.369 298.372 298.309 298.399 298.354 298.334 298.341 298.394 298.342 298.374 298.389 298.324 298.322 298.358 298.386 298.393 298.344 298.313 298.311 298.353 298.380 298.406 298.336 298.339 298.349 298.336 298.329 298.369 298.351 298.322 298.338 298.348 298.314 298.350 298.404 298.331 298.314 298.339 298.364 298.395 298.284 298.350 298.378 298.319 298.354 298.358 298.234 298.352 298.389 298.379 298.379 298.394	$m = 298.359 \text{ m}$ $s = 0.0383 \text{ m}$ (m= 298.345m)

(주) m = 평균표고, s = 표준편차

<표 3-12-3> 논바닥 상대표고(1997)

필지별	상 대 표 고 (m)	비 고
R-9 (1차)	298.339 298.335 298.350 298.349 298.327 298.341 298.332 298.320 298.312 298.267 298.240 298.330 298.366 298.334 298.336 298.346 298.306 298.331 298.359 298.356 298.360 298.287 298.291 298.301 298.332 298.273 298.318 298.299 298.309 298.313 298.331 298.307 298.266 298.331 298.331 298.319 298.324 298.314 298.340 298.324 298.307 298.337 298.290 298.294 298.361 298.276 298.267 298.327 298.322 298.286 298.296 298.288 298.291 298.285 298.290 298.296 298.298 298.296 298.296 298.291 298.332 298.359 298.359 298.336 298.341 298.381	m = 298.345 m s = 0.0287 m
R-9 (2차)	298.295 298.305 298.321 298.342 298.321 298.329 298.276 298.286 298.288 298.296 298.170 298.299 298.342 298.247 298.236 298.317 298.258 298.325 298.227 298.243 298.278 298.325 298.330 298.271 298.291 298.202 298.222 298.230 298.237 298.245 298.244 298.253 298.205 298.332 298.318 298.282 298.237 298.209 298.224 298.236 298.241 298.270 298.262 298.215 298.231 298.228 298.303 298.253 298.307 298.256 298.224 298.220 298.301 298.237 298.269 298.244 298.262 298.305 298.246 298.261 298.289 298.324 298.337 298.307 298.315 298.347	m = 298.300 m s = 0.0422 m

1995년의 측량결과 전체 66개지점에 대한 산술적인 평균 바닥표고는 R-8의 경우 298.923m, R-9의 경우 298.354m 이며, 논둑이나 도로에 접한 가장자리의 측점을 제외한 각 필지의 내부측점 36개지점에 대한 바닥표고는 R-8의 경우는 298.900m, R-9의 경우 298.331m이었다.

1996년도에는 66개지점에 대한 평균 바닥표고에서 R-8의 경우 298.620m, R-9의 경우는 298.359m 이며, 표준편차는 각각 0.0335m와 0.0383m이었다.

1997년도에는 R-9의 66개지점에 대한 평균 바닥표고에서 1차에서 298.345m, 2차에는 298.300m이며, 표준편차는 각각 0.0287m와 0.0422m이었다.

는 R-9에 대한 3차례의 측량결과 자료가 정규분포를 한다고 가정하고 90% 및 95% 범위를 산정하면 다음 <표 3-13>과 같다. 1995년, 1996년, 1997년도별 90% 자료범위는 17.6cm, 12.6cm, 9.4cm, 95%범위는 21.0cm, 15.0cm, 11.2cm이다.

<표 3-13> 논바닥 상대표고의 분포범위(R-9)

년도별	평균(m)	표준편차(m)	90% 범위	95% 범위
1995	298.354	0.0535	298.266 ≤ H ≤ 298.442	298.249 ≤ H ≤ 298.459
1996	298.359	0.0383	298.296 ≤ H ≤ 298.422	298.284 ≤ H ≤ 298.434
1997	298.345	0.0287	298.298 ≤ H ≤ 298.392	298.289 ≤ H ≤ 298.401

제2절 강우 및 유량측정

1. 강우량 측정

강우자료는 시험포장내에 설치된 자기우량계로 자기기록지에 누가우량으로 기록된다. 측정기간중의 일별강우량은 <표 3-14>와 같으며 1997년도의 시간별 강우량자료는 <부록 표-1>에 수록하였다.

3개년간의 측정이 이루어진 7월, 8월, 9월의 3개월간 강수량은 1995년, 1996년 및 1997년도에 각각 684.5mm, 353.3mm, 687.7mm이었고, 년도별 최대 월강우량은 1995년 8월에 445.1mm, 1996년 6월에 374.5mm, 1997년 7월에 374.0mm로 관측되었다.

한편 1997년 측정기간중 우량계 고장으로 인한 결측기간을 제외한 5월에서 9월까지 5개월간 729.8 mm의 강우량이 기록되었고, 최대 시우량은 7월 15일의 31.9 mm이었다.

<표 3-14-1> 1995년 일별 강우량

일별	7 월		8 월		9 월	
	일우량 (mm)	최대시우량 (mm)	일우량 (mm)	최대시우량 (mm)	일우량 (mm)	최대시우량 (mm)
1	-	-	23.4	12.5	-	-
2	1.0	0.9	1.0	1.0	62.4	26.9
3	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-
7	5.0	1.0	-	-	1.3	0.2
8	23.1	10.1	0.9	0.9	0.9	0.2
9	-	-	29.0	19.0	3.3	1.5
10	2.1	0.4	-	-	2.1	2.1
11	-	-	-	-	-	-
12	3.5	1.3	1.1	1.1	-	-
13	0.6	0.3	-	-	3.0	1.0
14	-	-	-	-	-	-
15	13.0	13.0	5.2	3.3	-	-
16	0.8	0.8	41.0	33.0	-	-
17	-	-	12.0	11.0	-	-
18	0.2	0.1	-	-	-	-
19	-	-	36.2	12.5	-	-
20	-	-	49.9	36.0	-	-
21	8.9	8.7	-	-	-	-
22	32.3	21.1	-	-	-	-
23	26.7	8.5	4.2	3.9	4.6	2.9
24	36.2	19.1	73.4	17.4	1.0	0.6
25	1.0	0.6	32.5	11.2	-	-
26	-	-	14.8	7.9	5.3	4.7
27	-	-	12.2	6.8	0.7	0.7
28	-	-	0.8	0.8	-	-
29	-	-	-	-	-	-
30	-	-	46.3	9.3	-	-
31	-	-	61.6	52.4	-	-
계	154.4		445.5		84.6	

<표 3-14-2> 1996년 일별 강우량

일별	6 월		7 월		8 월		9 월		10 월	
	일우량 (mm)	최대 시우량 (mm)	일우량 (mm)	최대 시우량 (mm)	일우량 (mm)	최대 시우량 (mm)	일우량 (mm)	최대 시우량 (mm)	일우량 (mm)	최대 시우량 (mm)
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	25.5	24.7	-	-	-	-
3	19.5	5.6	-	-	-	-	-	-	22.9	9.6
4	-	-	74.2	14.5	-	-	-	-	-	-
5	-	-	2.8	1.0	30.6	29.6	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	29.7	7.3
7	18.5	2.8	-	-	-	-	-	-	0.9	0.7
8	-	-	-	-	-	-	2.8	1.0	-	-
9	13.2	9.7	-	-	23.3	20.8	16.7	6.3	-	-
10	31.0	10.6	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	1.0	0.4	-	-	-	-	-	-
12	-	-	10.0	2.6	8.6	8.6	-	-	-	-
13	-	-	41.1	28.3	0.2	0.2	-	-	-	-
14	-	-	0.4	0.4	-	-	-	-	-	-
15	-	-	0.5	0.4	-	-	-	-	-	-
16	-	-	6.1	5.2	-	-	-	-	-	-
17	115.0	23.1	-	-	-	-	-	-	-	-
18	13.6	4.8	-	-	-	-	-	-	0.0	0.0
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	4.2	1.8	-	-	0.4	0.1	-	-	-	-
21	-	-	23.0	11.9	16.8	12.6	-	-	-	-
22	-	-	5.0	3.1	0.5	0.1	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	87.1	11.5	-	-	-	-	-	-	0.0	0.0
25	36.2	7.2	-	-	-	-	-	-	13.9	5.2
26	0.4	0.4	10.5	6.6	8.5	2.8	-	-	-	-
27	27.7	6.9	-	-	15.4	7.7	-	-	-	-
28	-	-	0.1	0.05	8.8	4.0	-	-	-	-
29	8.1	7.3	-	-	15.1	9.1	-	-	-	-
30	-	-	-	-	2.9	0.9	-	-	-	-
31	-	-	-	-	2.5	0.8	-	-	-	-
계	374.5		174.7		159.1		19.5		67.4	

<표 3-14-3> 1997년 일별 강우량

일별	5 월		6 월		7 월		8 월		9 월	
	일우량 (mm)	최대 시우량 (mm)	일우량 (mm)	최대 시우량 (mm)	일우량 (mm)	최대 시우량 (mm)	일우량 (mm)	최대 시우량 (mm)	일우량 (mm)	최대 시우량 (mm)
1	-	-	27.2	8.0	55.1	13.8	-	-	-	-
2	-	-	결측	-	0.6	0.4	1.5	0.9	4.9	4.8
3	-	-	결측	-	0.5	0.5	50.9	25.4	-	-
4	1.8	1.0	결측	-	4.0	2.0	129.8	24.2	-	-
5	12.8	10.1	결측	-	69.6	14.5	3.7	2.6	-	-
6	0.3	0.3	결측	-	89.6	29.8	-	-	-	-
7	68.1	13.3	결측	-	-	-	2.8	1.2	-	-
8	18.9	13.2	결측	-	-	-	1.6	1.6	-	-
9	-	-	-	-	-	-	3.0	2.4	-	-
10	-	-	-	-	-	-	50.0	14.2	-	-
11	-	-	16.7	16.7	24.3	10.2	25.0	7.3	-	-
12	6.3	3.5	-	-	4.1	1.2	-	-	6.0	6.0
13	29.6	12.6	-	-	9.2	3.0	-	-	-	-
14	-	-	3.2	3.2	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	58.3	31.9	-	-	-	-
16	-	-	-	-	40.5	26.6	-	-	6.9	3.4
17	-	-	-	-	결측	-	-	-	-	-
18	-	-	2.4	2.4	결측	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	-	27.6	22.5	-	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	분실	-	5.7	3.6	-	-
22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	12.6	7.0	0.8	0.8	10.9	10.9	-	-	-	-
24	9.2	3.9	-	-	3.5	3.5	-	-	-	-
25	-	-	52.0	8.4	-	-	-	-	-	-
26	2.4	1.9	21.2	5.6	-	-	-	-	12.6	10.0
27	-	-	8.6	2.9	-	-	-	-	3.3	2.6
28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	0.2	0.2	-	-	-	-	5.3	2.9	-	-
30	12.6	8.2	15.4	8.3	3.9	3.7	-	-	-	-
31	-	-	-	-	0.6	0.6	-	-	-	-
계	174.8		175.1		374.7		279.3		33.7	

(주) 1997.5.3 우량계 설치 및 10.27 폐쇄

6.2 18:08~6.8 16:48 우량계 고장으로 결측

7.16 18:08~7.18 16:48 결측(강우량은 20.4mm로 추정됨)

<표 3-15> 3개년간 월별강우량

년도별	5 월	6 월	7 월	8 월	9 월	10 월
1995	-	-	154.4	445.5	84.6	-
1996	-	374.5	174.7	159.1	19.5	67.4
1997	174.8	175.1	374.7	279.3	33.7	2.4
평균	174.8	274.8	234.6	294.6	45.9	34.9

2. 수위측정

웨어, 후름 및 수위탑에서의 수위는 자기수위계로 기록된 것으로 6월부터 10월까지 측정이 이루어졌으며, 측정된 수위자료와 유량공식에 의하여 환산된 유량자료는 강우량자료와 함께 <부록 표-2>에 수록하였다.

논웨어, 파살후름, 수위탑 및 보조수위측정시설인 논에서의 PVC Pipe와 배수로에서의 간이표척에 의한 각 수위자료는 <표 3-16>과 같다.

<표 3-16> 수위측정자료(1997)

일자	논(R-9)			제11호 배수지거	
	웨어 (cm)	R-9-1 (cm)	R-9-2 (cm)	후름 Ha(cm)	후름 Hb(cm)
5.3	10:45 71.5	-	-	11:00 2.5	11:00 121.5
5.7	16:47 77.8	-	-	16:30 4.9	16:30 223.5
5.9	15:55 78.5	-	-	16:00 5.8	16:00 123.5
5.10	16:10 78.2	-	-	16:10 5.0	16:10 123.4
5.12	17:30 78.8	-	-	17:36 5.0	17:36 123.0
5.14	12:30 87.5	-	-	12:35 6.5	12:35 124.0
5.15	19:08 91.0	-	-	19:13 5.8	19:16 123.7
5.16	16:00 91.7	-	-	16:00 6.0	16:00 124.0
5.19	18:23 90.2	-	-	18:25 7.5	18:25 124.3
5.21	16:45 90.2	-	-	16:45 8.0	16:50 124.3
5.24	15:05 92.2	-	-	15:07 12.7 15:25 13.5	15:07 124.8
5.27	15:45 88.9	16:25 48.4	16:25 111.4	15:40 4.9	15:50 123.0
5.29	16:02 88.9	16:00 48.4	16:00 111.4	16:00 6.2	-
6.1	14:59 89.5	14:55 49.1	14:55 112.1	15:05 6.7	15:05 124.0
6.2	14:30 89.7	14:28 49.3	14:28 112.3	14:20 7.4	14:20 124.0
6.7	18:45 91.3	18:32 50.9	18:33 113.9	18:36 4.9	18:40 123.2
6.8	13:50 91.2	13:50 50.8	13:50 113.8	13:56 4.9	13:56 123.0
6.14	16:07 90.8	16:06 50.2	16:06 113.4	16:16 4.0	16:16 122.7
6.16	16:25 90.4	16:20 50.1	16:20 113.1	16:21 4.1	16:21 122.5
6.19	09:45 93.0	09:40 52.5	09:40 115.5	09:42 6.7	09:42 124.5
6.20	15:40 93.1	15:40 53.3	15:30 116.0	15:50 11.2	15:50 111.2
6.22	13:22 91.7	13:25 51.3	13:25 114.3	-	-
6.23	16:17 91.2	16:15 50.7	16:15 113.6	16:20 4.9	16:25 123.1
6.24	21:00 93.5	-	-	-	-
6.25	12:21 95.2	12:20 54.8	12:20 117.5	12:25 21.4	12:25 143.9
6.25	09:20 96.0 10:20 96.0 11:20 95.5 12:20 95.0 13:20 95.0 14:20 95.0	-	-	-	-

<표 3-16> 수위측정자료(1997) (계속)

일자	논(R-9)			제11호 배수지거	
	웨어 (cm)	R-9-1 (cm)	R-9-2 (cm)	후름 Ha(cm)	후름 Hb(cm)
6.26	11:45 93.9			11:50 16.2	11:50 131.6
	12:00 94.0			12:00 14.2	12:00 131.4
	12:15 93.9			12:15 14.2	12:15 131.4
	12:30 94.1			12:30 14.0	12:30 131.0
	12:45 93.9			12:45 13.7	12:45 130.7
	13:00 93.8	-	-	13:00 13.6	13:00 130.3
	13:15 93.8			13:15 13.4	13:15 130.5
	13:30 93.8			13:30 13.2	13:30 129.9
	15:00 93.9			15:00 13.6	15:00 130.1
	15:15 93.9			15:15 13.4	15:15 129.9
	6.28	15:37 92.3	15:32 51.7	15:32 114.8	16:15 6.3
6.30	09:44 91.3	09:42 50.7	09:42 113.7	-	-
7.1	10:40 94.5				
	11:40 94.5				
	12:40 94.5	-	-	-	-
	13:40 96.0				
	14:40 94.8				
15:40 94.5					
7.2	17:15 90.6	17:09 49.9	17:09 113.1	17:10 12.0	17:15 128.5
7.2	10:50 91.8				
	11:50 91.8				
	12:50 91.6	-	-	-	-
	13:50 91.5				
14:30 91.4					
7.5	13:05 91.5	13:00 49.0	13:00 112.0	-	-
7.5	13:15 81.5	-	-	13:15 17.8	13:15 140.5
	13:30 81.5	-	-	13:30 17.6	13:30 140.5
	13:45 81.6	-	-	13:45 17.5	13:45 140.3
	14:00 81.5	13:50 49.1	13:50 112.1	14:00 17.4	14:00 140.3
	14:15 81.4	-	-	14:15 16.8	14:15 140.0
	14:30 81.5	-	-	14:30 16.8	14:30 140.0
	14:45 81.4	-	-	14:45 16.7	14:45 140.0
	15:00 81.7	-	-	15:00 16.9	15:00 140.0
	15:15 81.7	15:05 49.0	15:05 112.0	15:15 17.5	15:15 140.2
	15:30 81.6	-	-	15:30 17.7	15:30 140.7
	15:45 81.4	-	-	15:45 18.0	15:45 141.0
	16:00 81.7	-	-	16:00 19.1	16:00 142.0
	16:15 82.0	-	-	16:15 20.5	16:15 143.5
	16:30 82.2	-	-	16:30 22.6	16:30 146.2
	16:45 83.4	-	-	16:45 26.9	16:45 154.4
	17:00 83.8	17:10 50.0	17:10 113.0	17:00 30.4	17:00 154.5

<표 3-16> 수위측정자료(1997) (계속)

일자	논(R-9)			제11호 배수지거	
	웨어 (cm)	R-9-1 (cm)	R-9-2 (cm)	후름 Ha(cm)	후름 Hb(cm)
7.6	11:00 81.5 12:00 83.0 13:00 83.5 14:00 83.5	-	-	-	-
7.8	16:40 78.4	-	-	16:45 6.4	16:45 124.3
7.14	16:32 78.4	-	-	16:38 6.1	16:38 124.0
7.16	10:05 81.4	10:00 48.5	10:02 111.6	10:08 45.0	10:08 169.7
7.16	- 18:10 80.0 18:15 79.9 18:30 80.0 18:45 80.0 19:00 80.0 19:15 80.0	-	-	- 18:10 19.8 18:15 19.8 18:30 19.8 18:45 19.5 19:00 18.8 19:15 17.9	- 18:10 144.0 18:15 144.0 18:30 144.0 18:45 143.8 19:00 142.8 19:15 142.0
7.18	16:50 78.9	-	-	-	-
7.19	15:30 78.2	-	-	15:35 6.4	15:35 124.0
7.25	15:18 75.2	-	-	15:25 9.9	15:25 130.7
7.29	09:44 80.9	-	-	09:45 12.6	09:45 137.6
7.30	14:41 80.0	-	-	14:46 8.5	14:46 131.8
8.1	16:50 91.0 17:20 91.1	-	-	16:30 17.7	16:30 142.6
8.3	14:30 94.4 15:30 95.5 16:30 96.2 17:30 97.2	-	-	-	-
8.4	13:00 97.7	14:15 55.7	14:15 118.5	12:51 57.5	12:51 182.4
8.4	- 13:15 97.9 13:30 97.9 13:35 95.1 13:40 94.9	-	-	13:00 57.5 13:15 58.1 13:30 58.2 13:35 59.7 13:40 60.2	13:00 82.4 13:15 82.6 13:30 82.8 13:35 84.2 13:40 84.4

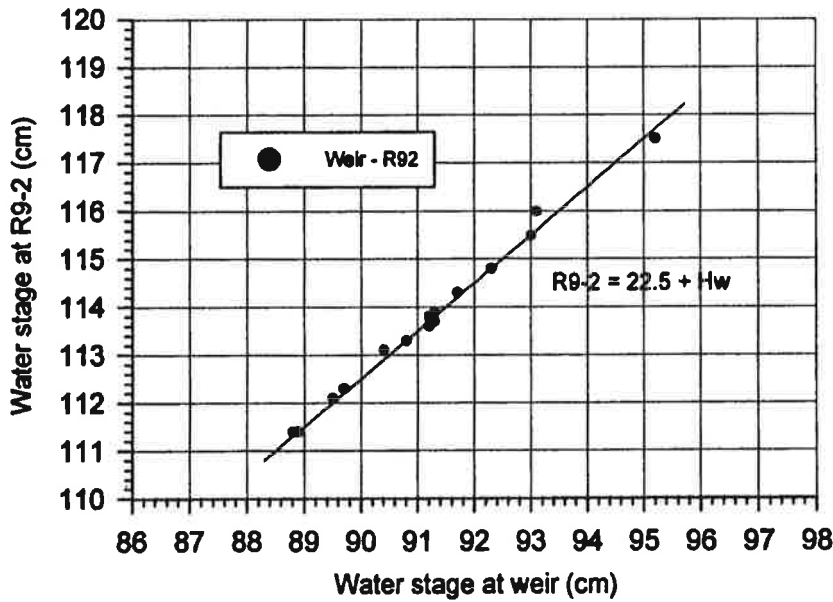
<표 3-16> 수위측정자료(1997) (계속)

일자	논(R-9)			제11호 배수지거	
	웨어 (cm)	R-9-1 (cm)	R-9-2 (cm)	후름 Ha(cm)	후름 Hb(cm)
8.4	-			13:45 60.2	13:45 84.4
	13:50 94.6			13:50 60.3	13:50 84.4
	13:55 94.2			13:55 60.4	13:55 84.6
	14:00 94.2	-	-	14:00 60.8	14:00 85.0
	14:05 94.1			14:05 60.8	14:05 85.0
	14:10 94.0			14:10 61.0	14:10 85.4
	14:15 93.7			14:15 61.0	14:15 85.4
8.5	16:14 87.5	-	-	16:27 25.8	16:27 150.6
8.7	15:36 87.9	-	-	15:39 13.1	15:39 138.0
8.10	12:07 92.3	-	-	12:05 45.5	12:05 170.3
8.11	15:18 92.9	-	-	15:24 18.5	15:24 143.9
8.13	09:50 92.9	-	-	-	-
8.16	13:06 90.5	13:25 50.0	13:25 113.1	13:15 6.5	13:15 130.8
8.19	16:22 89.1	-	-	16:25 14.5	16:25 139.9
8.22	14:41 88.8	-	-	14:44 20.0	14:44 145.2
8.26	16:20 85.9	-	-	16:25 8.6	16:25 133.9
8.28	18:10 86.4	-	-	18:15 13.0	18:15 138.2
8.30	17:20 89.4	-	-	17:20 21.0	17:20 146.3
9.3	17:46 89.3	-	-	17:50 17.9	17:45 143.0
9.6	09:00 90.2	-	-	09:00 9.0	09:00 134.0
9.8	14:57 88.8	-	-	15:05 4.2	15:03 125.2
9.13	11:15 79.2	-	-	11:15 18.7	11:11 144.0
9.19	15:18 75.2	-	-	15:26 3.6	15:29 123.5
9.24	17:45 73.4	-	-	17:50 3.2	17:50 121.8
9.30	17:20 74.0	-	-	17:15 2.4	17:15 120.5
10.6	15:00 72.8	-	-	14:43 2.2	14:43 120.8
10.11	10:50 72.2	-	-	10:50 2.2	10:50 121.0
10.16	11:23 70.6	-	-	11:27 0.0	11:27 120.5
10.27	14:54 70.0	-	-	-	-

(주) 바닥표고 : Weir = 70.0 cm, Flume-Ha = 0.0 m,
Flume-Hb = 110.0 m (125.7cm)

영점표고 : ST-1 = 150.0 m, ST-3 = 380.0 m,

한편 논 R9-2 수위와 웨어수위와의 관계는 <그림 3-14>와 같으며, 이를 논에서의 수위저하와 배제량에 따른 보조자료로서 이용하기 위하여 직선식으로 나타내면 Weir의 수위 $R_{92}(cm) = 22.5 + H_w$ 이며 결정계수 R^2 은 0.996이었다.



<그림 3-14> 웨어와 논(R-9) 간이표척과의 수위관계

3. 수위-유량공식

가. 논웨어

일반적으로 구형웨어에서의 기본 유량공식은 $Q = CLH^{3/2}$ 으로 표시된다. 본 시험포장에 설치한 웨어의 유량공식은 웨어접근수심(높이) $p = 0.1$ m, 웨어전폭 $B = 0.6$ m, 웨어 윗류폭 $b = 0.3$ m 즉, $b/B = 0.5$ 인 경우를 고려하면

유량공식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q(\text{m}^3/\text{s}) = 0.8943(0.592+0.11*h)(h+0.001)^{1.5} \quad (0 \leq h \leq 0.25\text{m}) \quad (3.1)$$

여기서 월류량 Q 는 접근유속을 고려하지 않은 경우이며, $0.05\text{m} \leq h \leq 0.2\text{m}$ 의 제한 조건을 필요로 한다. 이 식에서 월류수두의 단위를 $h(\text{m})$ 에서 $H(\text{cm})$ 로 바꾸면 다음 식과 같이 된다.

$$Q(\text{l/s}) = 894.3*(0.592 + 0.0011 H) * (0.01 H + 0.001)^{1.5} \quad (3.2)$$

본 측정자료의 논웨어 유량환산은 식(3.2)를 이용하였으며, 측정된 수위를 간편하게 웨어유량으로 환산할 수 있도록 <표 3-17>과 같이 도표로 정리하였다.

한편 월류수심에 대한 유출량을 $Q = aH^b$ 형태의 지수식으로 나타내면 식(3.3)과 같으며, 모형의 적용에서는 유량계수 $C = 1.772$ 값을 사용하였다.

$$\begin{aligned} Q(\text{m}^3/\text{s}) &= 0.5317h^{1.4834} \quad (0 \leq h \leq 0.25\text{m}) \\ \text{또는 } Q(\text{l/sec}) &= 0.57394H^{1.4834} \quad (0 \leq H \leq 25\text{cm}) \end{aligned} \quad (3.3)$$

<표 3-17> 논웨어 수위-유량표

Head (cm)	월류량 (l/sec)	Head (cm)	월류량 (l/sec)	Head (cm)	월류량 (l/sec)	Head (cm)	월류량 (l/sec)
0.1	0.05	5.1	6.3	10.1	17.6	15.1	32.3
0.2	0.09	5.2	6.5	10.2	17.8	15.2	32.6
0.3	0.1	5.3	6.7	10.3	18.1	15.3	32.9
0.4	0.2	5.4	6.9	10.4	18.4	15.4	33.2
0.5	0.25	5.5	7.1	10.5	18.6	15.5	33.6
0.6	0.3	5.6	7.3	10.6	18.9	15.6	33.9
0.7	0.4	5.7	7.5	10.7	19.2	15.7	34.2
0.8	0.45	5.8	7.7	10.8	19.4	15.8	34.6
0.9	0.5	5.9	7.9	10.9	19.7	15.9	34.9
1.0	0.6	6.0	8.1	11.0	20.0	16.0	35.2
1.1	0.7	6.1	8.3	11.1	20.3	16.1	35.6
1.2	0.8	6.2	8.5	11.2	20.5	16.2	35.9
1.3	0.9	6.3	8.7	11.3	20.8	16.3	36.2
1.4	1.0	6.4	8.9	11.4	21.1	16.4	36.6
1.5	1.1	6.5	9.1	11.5	21.4	16.5	36.9
1.6	1.2	6.6	9.3	11.6	21.6	16.6	37.2
1.7	1.3	6.7	9.5	11.7	21.9	16.7	37.6
1.8	1.4	6.8	9.7	11.8	22.2	16.8	37.9
1.9	1.5	6.9	9.9	11.9	22.5	16.9	38.3
2.0	1.6	7.0	10.1	12.0	22.8	17.0	38.6
2.1	1.7	7.1	10.4	12.1	23.1	17.1	39.0
2.2	1.85	7.2	10.6	12.2	23.4	17.2	39.3
2.3	2.0	7.3	10.8	12.3	23.6	17.3	39.7
2.4	2.1	7.4	11.0	12.4	23.9	17.4	40.0
2.5	2.2	7.5	11.2	12.5	24.2	17.5	40.4
2.6	2.4	7.6	11.5	12.6	24.5	17.6	40.7
2.7	2.5	7.7	11.7	12.7	24.8	17.7	41.1
2.8	2.6	7.8	11.9	12.8	25.1	17.8	41.4
2.9	2.8	7.9	12.2	12.9	25.4	17.9	41.8
3.0	2.9	8.0	12.4	13.0	25.7	18.0	42.1
3.1	3.05	8.1	12.6	13.1	26.0	18.1	42.5
3.2	3.2	8.2	12.9	13.2	26.3	18.2	42.8
3.3	3.3	8.3	13.1	13.3	26.6	18.3	43.2
3.4	3.5	8.4	13.3	13.4	26.9	18.4	43.6
3.5	3.6	8.5	13.6	13.5	27.2	18.5	43.9
3.6	3.8	8.6	13.8	13.6	27.5	18.6	44.3
3.7	3.9	8.7	14.0	13.7	27.8	18.7	44.7
3.8	4.1	8.8	14.3	13.8	28.1	18.8	45.0
3.9	4.3	8.9	14.5	13.9	28.4	18.9	45.4
4.0	4.4	9.0	14.8	14.0	28.8	19.0	45.8
4.1	4.6	9.1	15.0	14.1	29.1	19.1	46.1
4.2	4.8	9.2	15.3	14.2	29.4	19.2	46.5
4.3	4.9	9.3	15.5	14.3	29.7	19.3	46.9
4.4	5.1	9.4	15.8	14.4	30.0	19.4	47.2
4.5	5.3	9.5	16.0	14.5	30.3	19.5	47.6
4.6	5.4	9.6	16.3	14.6	30.6	19.6	48.0
4.7	5.6	9.7	16.5	14.7	31.0	19.7	48.4
4.8	5.8	9.8	16.8	14.8	31.3	19.8	48.7
4.9	6.0	9.9	17.0	14.9	31.6	19.9	49.1
5.0	6.2	10.0	17.3	15.0	31.9	20.0	49.5

나. 파살후름

시험포장의 배수지거에 설치된 파살후름의 자유흐름시 유량공식은 후름 폭 $b = 45.72\text{cm}(1'6")$ 인 경우 다음과 같다.

$$Q(\text{m}^3/\text{sec}) = 1.056 \text{ Ha}^{1.538} \quad \text{또는} \quad Q(\text{l}/\text{sec}) = 1056 \text{ Ha}^{1.538} \quad (3.4)$$

여기서 $Q =$ 유량, $\text{Ha} =$ 파살후름의 상류측 수심(m)이다.

그러나 상하류측 수심의 비, 즉 잠수율이 70% 이상인 잠수흐름(Submergence flow)의 경우에는 다음과 같이 잠수율과 수위차에 의한 보정유량(Q_s)을 사용하여야 한다.

$$Q_s = Q - Q_E \quad (3.5)$$

식에서 $Q_s =$ 보정한 후의 유량, $Q =$ 보정전의 유량으로 식(3.4)의 계산값, $Q_E =$ 보정유량으로 그림이나 표에서의 값을 보간하여 사용한다.

여기서는 측정된 상류측 수위 Ha 에 따라 파살후름의 유량으로 간편하게 변환할 수 있도록 식(3.4)을 이용하여 <표 3-18>과 같이 환산표를 작성하였으며, <표 3-19>는 후름의 폭이 1'6"(45cm)인 경우의 보정치 Q_E 값을 도표화한 것으로 후름폭 1'의 보정값을 1.4배한 것이다.

따라서 파살후름의 수위를 유량으로 변환하는 경우 식(3.4) 또는 <표 3-18>과 보정유량인 <표 3-19>을 이용하였다.

<표 3-18> 파살후름 수위-유량표 (b = 1'6")

단위 : l/sec

Ha(cm)	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8
1.0	0.9	1.0	1.2	1.3	1.5	1.7	1.8	2.0	2.2	2.4
2.0	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.9	4.1	4.3	4.6
3.0	4.8	5.1	5.3	5.6	5.8	6.1	6.4	6.6	6.9	7.2
4.0	7.5	7.8	8.1	8.4	8.7	9.0	9.3	9.6	9.9	10.2
5.0	10.5	10.9	11.2	11.5	11.9	12.2	12.5	12.9	13.2	13.6
6.0	13.9	14.3	14.7	15.0	15.4	15.8	16.1	16.5	16.9	17.3
7.0	17.7	18.1	18.5	18.9	19.3	19.7	20.1	20.5	20.9	21.3
8.0	21.7	22.1	22.5	23.0	23.4	23.8	24.3	24.7	25.1	25.6
9.0	26.0	26.5	26.9	27.4	27.8	28.3	28.7	29.2	29.7	30.1
10.0	30.6	31.1	31.5	32.0	32.5	33.0	33.5	34.0	34.4	34.9
11.0	35.4	35.9	36.4	36.9	37.4	37.9	38.4	38.9	39.5	40.0
12.0	40.5	41.0	41.5	42.1	42.6	43.1	43.7	44.2	44.7	45.3
13.0	45.8	46.3	46.9	47.4	48.0	48.5	49.1	49.6	50.2	50.8
14.0	51.3	51.9	52.5	53.0	53.6	54.2	54.7	55.3	55.9	56.5
15.0	57.1	57.7	58.3	58.8	59.4	60.0	60.6	61.2	61.8	62.4
16.0	63.0	63.6	64.3	64.9	65.5	66.1	66.7	67.3	68.0	68.6
17.0	69.2	69.8	70.5	71.1	71.7	72.4	73.0	73.6	74.3	74.9
18.0	75.6	76.2	76.9	77.5	78.2	78.8	79.5	80.1	80.8	81.4
19.0	82.1	82.8	83.4	84.1	84.8	85.5	86.1	86.8	87.5	88.2
20.0	88.8	89.5	90.2	90.9	91.6	92.3	93.0	93.7	94.4	95.1
21.0	95.8	96.5	97.2	97.9	98.6	99.3	100.0	100.7	101.4	102.2
22.0	102.9	103.6	104.3	105.0	105.8	106.5	107.2	107.9	108.7	109.4
23.0	110.2	110.9	111.6	112.4	113.1	113.9	114.6	115.4	116.1	116.9
24.0	117.6	118.4	119.1	119.9	120.6	121.4	122.2	123.0	123.7	124.5
25.0	125.2	126.0	126.8	127.5	128.3	129.1	129.9	130.7	131.4	132.2
26.0	133.0	133.8	134.6	135.4	136.2	137.0	137.8	138.6	139.4	140.2
27.0	141.0	141.8	142.6	143.4	144.2	145.0	145.8	146.6	147.4	148.3
28.0	149.1	149.9	150.7	151.5	152.4	153.2	154.0	154.8	155.7	156.5
29.0	157.3	158.2	159.0	159.8	160.7	161.5	162.4	163.2	164.1	164.9
30.0	165.8	166.6	167.5	168.3	169.2	170.0	170.9	171.7	172.6	173.5
31.0	174.3	175.2	176.1	176.9	177.8	178.7	179.5	180.4	181.3	182.2
32.0	183.1	183.9	184.8	185.7	186.6	187.5	188.4	189.3	190.1	191.0
33.0	191.9	192.8	193.7	194.6	195.5	196.4	197.3	198.2	199.1	200.0
34.0	200.9	201.9	202.8	203.7	204.6	205.5	206.4	207.3	208.3	209.2
35.0	210.1	211.0	212.0	212.9	213.8	214.7	215.7	216.6	217.5	218.5

<표 3-18> 파살후름 수위-유량표 (b = 1'6")(계속)

단위 : l/sec

Ha(cm)	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
36.0	219.4	220.3	221.3	222.2	223.2	224.1	225.1	226.0	227.0	227.9
37.0	228.9	229.8	230.8	231.7	232.7	233.6	234.6	235.5	236.5	237.5
38.0	238.4	239.4	240.4	241.4	242.3	243.3	244.3	245.2	246.2	247.2
39.0	248.2	249.1	250.1	251.1	252.1	253.1	254.0	255.0	256.0	257.0
40.0	258.0	259.0	260.0	261.0	262.0	263.0	264.0	265.0	266.0	267.0
41.0	268.0	269.0	270.0	271.0	272.0	273.0	274.0	275.1	276.1	277.1
42.0	278.1	279.1	280.1	281.2	282.2	283.2	284.2	285.3	286.3	287.3
43.0	288.4	289.4	290.4	291.5	292.5	293.5	294.6	295.6	296.7	297.7
44.0	298.7	299.8	300.8	301.9	302.9	304.0	305.0	306.1	307.1	308.2
45.0	309.2	310.3	311.4	312.4	313.5	314.5	315.6	316.7	317.7	318.8
46.0	319.9	320.9	322.0	323.1	324.2	325.2	326.3	327.4	328.5	329.6
47.0	330.6	331.7	332.8	333.9	335.0	336.1	337.2	338.2	339.3	340.4
48.0	341.5	342.6	343.7	344.8	345.9	347.0	348.1	349.2	350.3	351.4
49.0	352.5	353.6	354.7	355.8	357.0	358.1	359.2	360.3	361.4	362.5
50.0	363.6	364.8	365.9	367.0	368.1	369.3	370.4	371.5	372.6	373.8
51.0	374.9	376.0	377.2	378.3	379.4	380.6	381.7	382.8	384.0	385.1
52.0	386.3	387.4	388.5	389.7	390.8	392.0	393.1	394.3	395.4	396.6
53.0	397.7	398.9	400.1	401.2	402.4	403.5	404.7	405.8	407.0	408.2
54.0	409.3	410.5	411.7	412.8	414.0	415.2	416.4	417.5	418.7	419.9
55.0	421.1	422.2	423.4	424.6	425.8	427.0	428.1	429.3	430.5	431.7
56.0	432.9	434.1	435.3	436.5	437.7	438.8	440.0	441.2	442.4	443.6
57.0	444.8	446.0	447.2	448.4	449.6	450.9	452.1	453.3	454.5	456.7
58.0	456.9	458.1	459.3	460.5	461.7	463.0	464.2	465.4	466.6	467.8
59.0	469.1	470.3	471.5	472.7	474.0	475.2	476.4	477.7	478.9	480.1
60.0	481.3	482.6	483.8	485.1	486.3	487.5	488.8	490.0	491.3	492.5
61.0	493.7	495.0	496.2	497.5	498.7	500.0	501.2	502.5	503.7	505.0
62.0	506.2	507.5	508.8	510.0	511.3	512.5	513.8	515.1	516.3	517.6
63.0	518.9	520.1	521.4	522.7	523.9	525.2	526.5	527.8	529.0	530.3
64.0	531.6	532.9	534.1	535.4	536.7	538.0	539.3	540.5	541.8	543.1
65.0	544.4	545.7	547.0	548.3	549.6	550.9	552.2	553.5	554.7	556.0
66.0	557.3	558.6	559.9	561.2	562.5	563.9	565.2	566.5	567.8	569.1
67.0	570.4	571.7	573.0	574.3	575.6	576.9	578.3	579.6	580.9	582.2
68.0	583.5	584.8	586.2	587.5	588.8	590.1	591.5	592.8	594.1	595.4
69.0	596.8	598.1	599.4	600.8	601.1	603.4	604.8	606.1	607.5	608.8
70.0	610.1	611.4	612.8	614.2	615.5	616.8	618.2	619.5	620.9	622.2

<표 3-19> 잠수흐름시 파살후름(1'6") 보정유량표 단위 : $Q_E(\ell/\text{sec})$

Ha (cm)	잠수율 (%)													
	70	72	74	76	78	80	82	84	86	88	90	92	94	96
10.0	2.6	2.8	3.1	3.4	3.6	3.9	4.5	5.0	5.9	7.0	8.5	10.6	12.9	16.8
11.0	2.7	2.9	3.2	3.5	3.8	4.2	4.8	5.6	6.6	7.8	9.7	12.2	14.8	19.0
12.0	2.8	3.0	3.2	3.6	4.1	4.5	5.0	6.0	7.1	8.7	10.8	13.7	16.7	21.3
13.0	2.8	3.1	3.4	3.8	4.2	4.9	5.5	6.6	7.8	9.5	11.8	15.1	18.6	23.5
14.0	2.9	3.2	3.5	3.9	4.5	5.2	5.9	7.0	8.4	10.4	12.9	16.7	20.4	25.8
15.0	3.0	3.2	3.6	4.1	4.8	5.5	6.3	7.4	9.1	11.2	14.0	18.2	22.4	28.0
16.0	3.1	3.4	3.8	4.2	5.0	5.7	6.7	8.1	9.9	12.3	15.4	19.9	24.6	30.8
17.0	3.1	3.5	3.9	4.5	5.3	6.2	7.3	8.8	10.8	13.4	16.8	21.6	26.9	33.6
18.0	3.2	3.6	4.1	4.7	5.6	6.6	7.8	9.7	11.8	14.6	18.2	23.2	29.1	36.4
19.0	3.3	3.7	4.2	4.9	5.9	7.0	8.4	10.4	12.6	15.7	19.6	24.9	31.4	39.2
20.0	3.4	3.8	4.3	5.2	6.2	7.4	8.8	11.2	13.4	16.8	21.0	26.6	33.6	42.0
21.0	3.5	4.1	4.6	5.5	6.6	7.8	9.5	12.0	14.7	18.2	22.7	28.6	36.1	45.1
22.0	3.6	4.2	4.9	5.7	7.0	8.4	10.2	12.9	16.0	19.6	24.4	30.5	38.6	48.2
23.0	3.8	4.4	5.2	6.0	7.4	9.0	11.1	13.7	17.1	21.0	26.0	32.5	41.2	51.2
24.0	3.9	4.6	5.5	6.4	7.8	9.5	11.8	14.6	18.3	22.4	27.7	34.4	43.7	54.3
25.0	4.1	4.9	5.6	6.7	8.3	10.1	12.6	15.4	19.6	23.8	29.4	36.4	46.2	57.4
26.0	4.3	5.0	6.0	7.1	8.8	10.8	13.4	16.5	20.7	25.5	31.4	38.9	51.0	61.6
27.0	4.5	5.3	6.3	7.4	9.2	11.5	14.3	17.6	21.8	27.2	33.3	41.4	54.3	65.8
28.0	4.6	5.6	6.7	7.8	9.8	12.0	15.1	18.8	23.0	28.8	35.3	44.0	57.7	70.0
29.0	4.9	5.7	7.0	8.1	10.2	12.7	16.0	19.9	24.1	30.5	37.2	46.5	61.0	74.2
30.0	5.0	6.0	7.1	8.5	10.8	13.4	16.8	21.0	25.2	32.2	39.2	49.0	63.0	78.4
31.0	5.3	6.4	7.6	9.1	11.5	14.4	17.9	22.1	26.6	33.9	41.4	51.8	66.1	82.3
32.0	5.6	6.7	8.0	9.7	12.0	15.4	19.0	23.2	28.0	35.6	43.7	54.6	69.2	86.2
33.0	5.9	7.0	8.5	10.1	12.7	16.2	20.2	24.4	29.4	37.2	45.9	57.4	72.2	90.2
34.0	6.2	7.2	9.0	10.6	13.3	17.2	21.3	25.5	30.8	38.9	48.2	60.2	75.3	94.3
35.0	6.3	7.3	9.4	11.2	14.0	18.2	22.4	26.6	32.2	40.6	50.4	63.0	78.4	98.0
36.0	6.6	7.8	9.8	12.0	14.8	19.0	23.2	28.0	34.2	42.8	52.9	66.1	82.3	103.0
37.0	6.8	8.3	10.2	12.9	15.7	19.9	24.1	29.4	36.1	45.1	55.4	69.2	86.2	108.1
38.0	7.0	8.8	10.6	13.7	16.5	20.7	24.9	30.8	38.1	47.3	58.0	72.2	90.2	113.1
39.0	7.1	9.2	11.1	14.6	17.4	21.6	25.8	32.2	40.0	49.6	60.5	75.3	94.1	118.2
40.0	7.4	9.8	11.5	15.4	18.2	22.4	26.6	33.6	42.0	51.8	63.0	78.4	98.0	123.2

<표 3-19> 잠수흐름시 파살후름(1'6") 보정유량표(계속) 단위: Q_E(l/sec)

Ha (cm)	잠수율 (%)													
	70	72	74	76	78	80	82	84	86	88	90	92	94	96
40.0	7.4	9.8	11.5	15.4	18.2	22.4	26.6	33.6	42.0	51.8	63.0	78.4	98.0	123.2
41.0	7.8	10.2	12.3	16.0	19.0	23.5	28.0	35.3	43.7	54.0	65.5	81.8	101.4	128.8
42.0	8.4	10.6	13.0	16.5	19.9	24.6	29.4	37.0	45.4	56.3	68.0	85.1	104.7	134.4
43.0	8.8	11.2	13.9	17.1	20.7	25.8	30.8	38.6	47.0	58.5	70.6	88.5	108.1	140.0
44.0	9.4	11.6	14.6	17.6	21.6	26.9	32.2	40.3	48.7	60.8	73.1	91.8	111.4	145.6
45.0	9.8	12.0	15.4	18.2	22.4	28.0	33.6	42.0	50.4	63.0	75.6	95.2	114.8	151.2
46.0	10.2	12.7	16.0	19.0	23.2	29.1	35.0	43.7	52.9	65.2	79.0	98.6	119.8	154.6
47.0	10.6	13.4	16.5	19.9	24.1	30.2	36.4	45.4	55.4	67.5	82.3	101.9	124.9	157.9
48.0	11.1	14.0	17.1	20.7	24.9	31.4	37.8	47.0	58.0	69.7	85.6	105.3	129.9	161.3
49.0	11.5	14.7	17.6	21.6	25.8	32.5	39.2	48.7	60.5	72.0	89.0	108.6	135.0	164.6
50.0	11.9	15.4	18.2	22.4	26.6	33.6	40.6	50.4	63.0	74.2	92.4	112.0	140.0	168.0
51.0	12.5	16.0	18.9	23.2	27.6	35.0	42.3	52.4	65.1	77.0	95.8	116.2	144.2	173.6
52.0	12.9	16.5	19.6	24.1	28.8	36.4	44.0	54.3	67.2	79.8	99.1	120.4	148.4	179.2
53.0	13.4	17.1	20.3	24.9	30.0	37.8	45.6	56.3	69.3	82.6	102.5	124.6	152.6	184.8
54.0	13.9	17.6	21.0	25.8	31.1	39.2	47.3	58.2	71.4	85.4	105.8	128.8	156.8	190.4
55.0	14.4	18.2	21.7	26.6	32.2	40.6	49.0	60.2	73.5	88.2	109.2	133.0	161.0	196.0
56.0	14.8	18.8	22.4	27.4	33.3	42.0	50.7	62.2	75.6	91.0	112.6	137.2	165.2	201.6
57.0	15.4	19.3	23.1	28.3	34.4	43.4	52.4	64.1	77.7	93.8	115.9	141.4	169.4	207.2
58.0	15.8	19.9	23.8	29.1	35.6	44.8	54.0	66.1	79.8	96.6	119.3	145.6	173.6	212.8
59.0	16.4	20.4	24.5	30.0	36.7	46.2	55.7	68.0	81.9	99.4	122.6	149.8	177.8	218.4
60.0	16.8	21.0	25.2	30.8	37.8	47.6	57.4	70.0	84.0	102.2	126.0	154.0	182.0	224.0
61.0	17.4	21.7	26.2	31.9	39.1	49.1	59.5	72.5	86.8	105.4	130.0	158.2	186.2	231.0
62.0	17.9	22.4	27.2	33.0	40.3	50.7	61.6	75.0	89.6	108.6	134.4	162.4	190.4	238.0
63.0	18.5	23.1	28.1	34.2	41.6	52.2	63.7	77.6	92.4	111.9	138.6	166.6	193.2	245.0
64.0	19.0	23.8	29.1	35.3	42.8	53.8	65.8	80.1	95.2	115.1	142.8	170.8	198.8	252.0
65.0	19.6	24.5	30.1	36.4	44.1	55.3	67.9	82.6	98.0	118.3	147.0	175.0	203.0	259.0
66.0	20.2	25.2	31.1	37.5	45.4	56.8	70.0	85.1	100.8	121.5	151.2	179.2	207.2	266.0
67.0	20.7	25.9	32.1	38.6	46.6	58.4	72.1	87.6	103.6	124.7	155.4	183.4	211.4	273.0
68.0	21.3	26.6	33.0	39.8	47.9	59.9	74.2	90.2	106.4	128.0	159.6	187.6	215.6	280.0
69.0	21.8	27.3	34.0	40.9	43.1	61.5	76.3	92.7	109.2	131.2	163.8	191.8	219.8	287.0
70.0	22.4	28.0	35.0	42.0	50.4	63.0	78.4	95.2	112.0	134.4	168.0	196.0	224.0	294.0

(주) 파살후름 b = 1'의 보정유량 × 1.4

4. 유량측정

수로단면중 11호 배수로 후륜지점과 14호 배수로 수위탑 부근에서 유속측정을 실시하여 수위-유량공식을 유도하고 배수로의 조도계수를 추정하고자 하였으며, 이때 사용된 수로의 수면 및 바닥기울기의 기본자료는 다음 <표 3-20>과 같다.

<표 3-20> 유량산정을 위한 수로경사(1995,1996)

지점별	측정일	계산자료	경사(So)	비고
ST-1 지점	95.6.5	$0.269/50.0 = 0.005380^*$	0.0053 (1/189)	4개자료 평균값
	96.4.27	$0.333/57.8 = 0.005761^*$		
	96.7.25	$0.303/57.8 = 0.005242^*$		
	96.7.28	$0.277/57.8 = 0.004792^*$		
후륜 하류지점	95.6.5	$0.235/125 = 0.00188^*$	0.00188 (1/532)	
ST-6 ~ ST-7 중간지점	96.7.25	$0.043/98 = 0.0004388$	0.00292 (1/342)	1개자료 (수면경사)
	96.7.28	$0.046/98 = 0.0004694$		
	"	$0.286/98 = 0.0029184^*$		
ST-7(수위탑) ~유말공 입구	96.4.27	$0.096/4.3 = 0.022326$	0.0386 (1/26)	2개자료 평균값
	96.7.25	$0.168/4.3 = 0.03907^*$		
	96.7.28	$0.164/4.3 = 0.03814^*$		
유말공 입구 ~출구	96.4.27	$0.163/7.6 = 0.021447$	0.01322 (1/76)	2개자료 평균값
	96.7.25	$0.113/7.6 = 0.014868^*$		
	96.7.28	$0.088/7.6 = 0.011579^*$		

가. 취수공

용수로에서 는 R-9의 취수공을 통한 유입 현황은 다음 <표 3-21>과 같다. <그림 3-15>는 용수로에서 취수공을 통하여 논으로 유입되는 전경이다.

<표 3-21> 취수공 유입량 측정자료(1997)

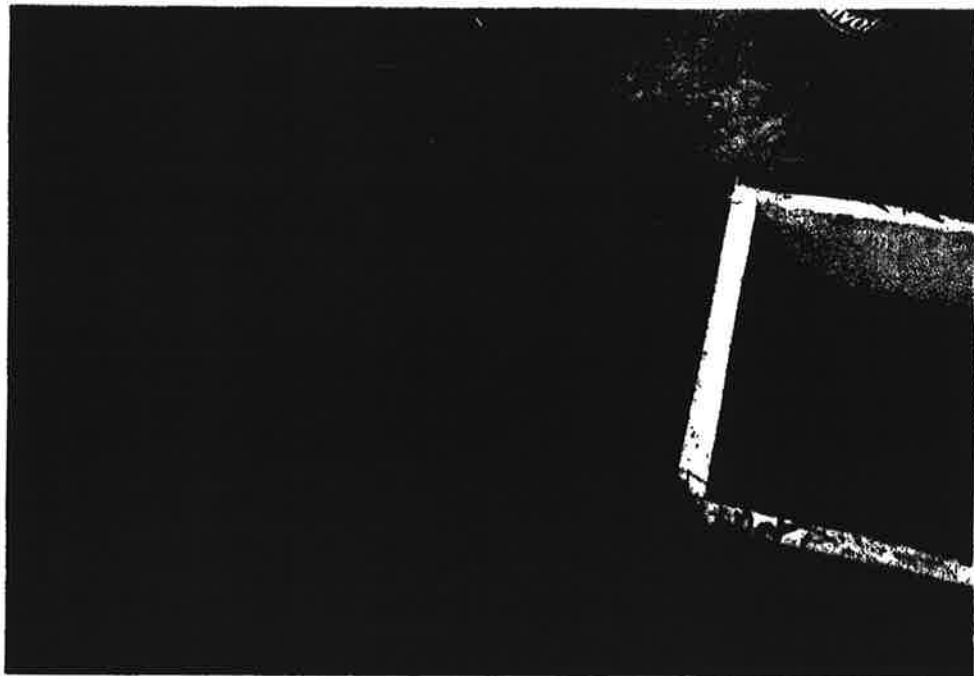
측정일시	버켓측정 (cm/sec)	계산유량 (l/sec)	평균유입량 (l/sec)	유입유무	비 고
5/26	-	-	-	(△)	
5/27~5/29	-	-	-	×	
5/30	-	-	-	×	
5/31	-	-	-	(△)	
6/1 13:00 16:00	-	0.800/20 0.400/20	0.040 0.020	○	
6/2	-	-	-	(△)	
6/4	-	1.000/15	0.067	○	
6/5	-	1.000/15	0.067	○	
6/6~6/7	-	1.000/15	0.067	(△)	
6/8 00:00 12:20 14:19 "	-	1.000/15 0.100/5 0.380/30 0.400/30	0.067 0.020 0.013 "	○	
6/9~6/12	-	0.100/5	0.020	○	
6/11 17:00	-	-	-	○	급수증가
6/13	-	0.100/5	0.020	○	
6/14 16:10	-	-	-	×	
6/14~6/19	-	0.650/5	0.130	(△)	
6/19 09:50	-	-	-	○	
6/20	-	0.650/5	0.130	○	
6/20 16:15	2.7/10 5.9/20 5.8/20	0.149 0.162 0.160	0.157	○	
6/21~6/23	-	-	-	(×)	
6/22 13:25	-	-	-	×	미량
6/23 17:10	6.0/5 5.8/5	0.661 0.638	0.650	○	
6/24~6/30	-	-	-	×	
6/30 09:45	-	-	-	×	

<표 3-21> 취수공 유입량 측정자료(1997) (계속)

측정일시	버켓측정 (cm/sec)	계산유량 (l/sec)	평균유입량 (l/sec)	유입유무	비 고
7/2 17:12	-	-	-	×	
7/5 17:00	-	-	-	×	
7/7 09:43	-	-	-	×	
7/8 16:50	-	-	-	×	
7/11 09:30	-	-	-	×	
7/13 11:00	-	-	-	×	
7/14 16:32	-	-	-	×	
7/18 16:50	-	-	-	×	
7/19 15:30	-	-	-	×	
7/28 04:50	-	-	-	○	급수
7/29 09:45	-	-	-	○	
7/30 14:55	12.6/5 12.2/5 12.6/5	1.407 1.361 1.407	1.392	○	
8/1 16:55	10.8/5 10.4/5 10.7/5	1.201 1.155 1.189	1.182	○	
8/2	-	-	-	×	
8/3 16:00	-	1.00/5	0.200	○	
8/3 16:30	-	-	-	×	차단
8/4 14:00	-	-	-	×	
8/5 16:00	-	-	-	×	
8/7 15:30	-	-	-	×	
8/11 15:10	-	-	-	×	
8/13 09:50	-	-	-	×	극미량
8/16 13:10	-	-	-	×	
8/19 16:25	2.9/60	-	0.027	○	
8/22 14:45	2.0/60	-	0.019	○	
8/30 17:20	-	-	-	×	극미량
9/2 09:00	-	-	-	×	극미량
9/3 17:50	6.8/10	-	0.375	○	
9/6 09:00	-	-	-	×	
9/8 15:00	-	-	-	×	



<그림 3-15> 취수공을 통한 용수 유입전경(1997.7)



<그림 3-16> 논웨어 월류 전경(1997.8)

나. 논웨어

웨어는 시기에 따른 일정한 담수심을 유지하기 위하여 20cm 및 25cm의 각각판을 사용하였으며, 수위 및 월류량 측정자료는 <표 3-22>와 같다. 또한 <그림 3-16>은 논에서의 웨어를 통한 월류 전경이다.

<표 3-22> 논웨어 월류량 산정을 위한 측정자료(1997)

측정일시	수위 Hw(cm)	각각판	판위치	월류유무 높이(cm)	계산 h(cm)	월류량 (l/sec)	비고 R91-R92	누수 (l/s)
5/3 10:45	71.5	없음	-	×(78.2)	0.0	0.0	설치	-
5/7 16:47	77.8	"	-	×(78.2)	0.0	0.0	-	-
5/9 15:55	78.5	"	-	○(78.2)	0.3	-	-	-
5/10 16:10	78.2	"	-	×(78.2)	0.0	0.0	-	-
5/12 17:30	78.8	"	-	△(78.2)	0.6	-	-	-
5/13 14:20	-	합판	?	×(88.8)	-	-	-	유
5/14 12:30	87.5	합판	?	×(?)	0.0	0.0	-	유
5/15 19:08	91.0	합판	?	×(?)	0.0	0.0	-	유
5/16 16:00	91.7	25	바닥	×(93.2)	0.0	0.0	-	-
5/19 18:23	90.2	25	"	△(93.2)	-	-	-	-
5/21 16:45	90.2	25	"	△(93.2)	-	-	-	-
5/24 15:05	92.2	25	"	△(93.2)	-	-	-	-
5/27 15:45	88.9	25	"	×(93.2)	0.0	0.0	-	-
" 16:10	88.8	20	바닥	×(88.8)	0.0	0.0	48.4 111.4	-
5/29 16:02	88.9	20	높게	×(92.4)	0.0	0.0	48.4 111.4	-
6/1 14:59	89.5	20	바닥	○(88.2)	1.3	-	49.1 112.1	유
6/2 14:30	89.7	20	높게	○(88.8)	0.9	-	49.3 112.3	-
6/5 11:30	-	20	"	○(90.7)	-	-	-	-
6/7 18:45	91.3	20	"	○(90.7)	0.6	-	50.9 113.9	-
6/8 13:50	91.2	20	"	×(91.5)	0.0	0.0	50.8 113.8	-
6/14 16:07	90.8	20	"	×(91.5)	0.0	0.0	50.2 113.3	-
6/16 16:25	90.4	20	"	×(91.9)	0.0	0.0	50.1 113.1	-
6/19 09:45	93.0	20	"	○(92.0)	1.0	-	52.5 115.5	-
6/20 15:40	93.1	20	높게	○(92.0)	1.1	1,119	53.3 116.0	유

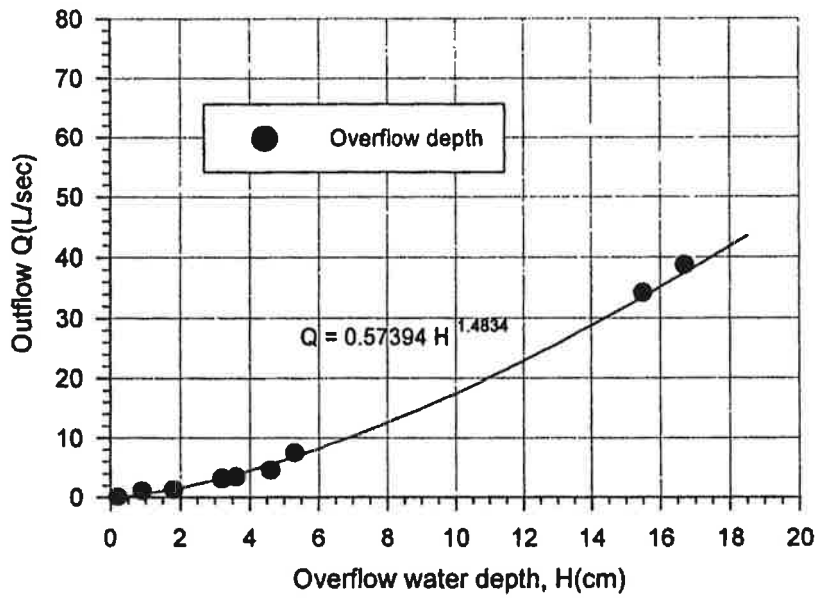
<표 3-22> 논웨어 월류량 산정을 위한 측정자료(1997) (계속)

측정일시	수위 Hw(cm)	각라판	판위치	월류유무 높이(cm)	계산 h(cm)	월류량 (l/sec)	비고 R91-R92	누수 (l/s)
6/22 13:22	91.7	20	높게	×(91.7)	0.0	0.0	51.3 114.3	-
6/23 16:17	91.2	20	"	×(91.6)	0.0	0.0	50.7 113.6	-
6/24 21:00	92.5	20	"	×(?)	-	0.0	-	-
6/25 12:50	95.2	20	"	○(91.6)	3.6	3.479	54.8 117.5	유
6/26 12:00	94.0	20	"	○(91.6)	2.4	-	-	-
6/28 15:37	92.3	20	높게	○(91.6)	0.7	-	51.7 114.8	-
" 16:10	92.3	20	"	○(91.0)	1.3	-	51.7 114.8	-
6/30 09:44	91.3	20	"	×(91.0)	0.0	0.0	50.7 113.7	-
7/2 17:15	90.6	20	바닥	○(88.5)	2.1	-	49.9 113.1	-
7/4 06:20	-	제거	-	-	-	-	-	-
7/5 15:44	81.4	없음	-	○(78.2)	3.2	3.285	-	-
" 16:50	83.5	"	-	○(78.2)	5.3	7.574	50.0 113.0	-
7/7 09:43	79.7	"	-	○(78.2)	1.5	-	47.5 110.5	-
7/8 16:40	78.4	"	-	○(78.2)	0.2	-	-	-
7/13 11:00	79.6	"	-	○(78.2)	1.4	-	-	-
7/14 16:35	78.0	"	-	○(78.2)	0.0	-	-	-
7/16 10:05	81.4	"	-	○(78.2)	3.2	3.173	48.5 111.6	-
" 18:38	80.0	"	-	○(78.2)	1.8	1.304	-	-
7/18 16:50	78.9	"	-	○(78.2)	0.7	-	-	-
7/19 15:30	78.2	"	-	○(78.2)	0.0	-	-	-
7/25 15:18	75.2	"	-	×(78.2)	0.0	-	-	-
7/29 09:44	80.9	"	-	○(78.2)	2.7	-	-	-
7/30 14:41	80.0	"	-	○(78.2)	1.8	-	-	-
7/31 05:30	-	25	높게	×(93.2)	-	-	-	-
8/1 16:50	91.0	25	높게	×(94.6)	-	-	-	0.208
" 17:20	91.1	"	바닥	×(93.2)	-	-	-	미량
8/4 13:10	97.8	25	-	○(93.2)	4.6	4.601	-	-
" 13:40	94.9	제거	-	○(78.2)	16.7	38.786	-	-
" 14:15	93.7	없음	-	○(78.2)	15.5	34.194	55.7 118.5	-
8/5 06:00	-	25	바닥	×(93.2)	-	-	-	-
" 16:35	87.5	"	-	×(93.2)	-	-	-	0.026
" 16:42	87.6	20	-	×(88.2)	-	-	-	미량

<표 3-22> 논웨어 월류량 산정을 위한 측정자료(1997) (계속)

측정일시	수위 Hw(cm)	각라판	판위치	월류유무 높이(cm)	계산 h(cm)	월류량 (l/sec)	비고 R91-R92	누수 (l/s)
8/7 15:36	87.9	20	바닥	×(88.2)	-	-	-	미량
" "	"	25	"	×(93.2)	-	-	-	"
8/10 12:07	92.3	"	"	×(93.2)	-	-	-	P미량
8/11 15:18	92.9	"	"	×(93.2)	-	-	-	"
8/13 09:50	92.9	"	"	×(93.2)	-	-	-	없음
8/16 13:06	90.5	"	"	×(93.2)	-	-	-	P미량
8/19 16:22	89.1	"	"	×(93.2)	-	-	-	없음
8/22 14:41	88.8	"	"	×(93.2)	-	-	-	"
8/26 16:20	85.9	"	"	×(93.2)	-	-	-	"
8/28 18:10	86.4	"	"	×(93.2)	-	-	-	"
8/30 17:20	89.4	"	"	×(93.2)	-	-	-	"
9/2 09:00	-	25	바닥	×(93.2)	-	-	-	없음
9/3 17:46	89.3	"	"	×(93.2)	-	-	-	"
9/6 09:00	90.2	"	"	×(93.2)	-	-	-	"
9/8 14:57	88.8	"	"	×(93.2)	-	-	-	"
9/12 16:30	-	제거	"	○(78.2)	1.0	-	-	"
9/13 11:15	79.2	없음	"	○(78.2)	-	-	-	"
9/19 15:18	75.2	"	"	×(78.2)	-	-	-	"
9/24 17:45	73.4	"	"	×(78.2)	-	-	-	"
9/30 17:20	74.0	"	"	×(78.2)	-	-	-	"
10/6 15:00	72.8	없음	바닥	×(78.2)	-	-	-	없음
10/11 10:50	72.2	"	"	"	-	-	-	"
10/16 11:23	70.6	"	"	"	-	-	-	"
10/22 14:54	70.0	"	"	"	-	-	-	"
10/27 14:10	70.0	"	"	"	-	-	-	"

한편 웨어의 월류수두에 따른 유출량 측정 자료를 도시하면 <그림 3-17>과 같으며, 이는 웨어의 기본공식 (3.2)와 접근하는 것으로 보여진다.



<그림 3-17> 웨어수두와 월류량

다. 표척-1 지점

1996년 Staff-1 지점의 유량산정에서는 Manning공식에 의한 조도계수 $n = 0.030$ 과 수로경사 $S_o = 0.0053$ 를 사용하고, St-1과 St-1-1의 기록이 없는 경우 측정수위차는 측량자료에 의하여 1.310m로 가정하였으며, 표척-1 지점에서의 수위 및 유량측정 자료는 <표 3-23>과 같다. (표척눈금차 = 1.443m)

<표 3-23> Staff-1 지점의 유량산정(1996,1997)

측정일	St-1 H(cm)	St-1-1 H(cm)	수심 (cm)	단면적 A(m ²)	유속 (m/sec)	평균유속 (m/sec)	유량 (m ³ /s)	n 추정값
96.5/23 11:30	160.0	(29.0)	-	0.0263	-	(0.224)	0.0059	-
97.5/7 16:38	152.0	(23.5)	8.0	0.0398	0.324 0.288	0.306	0.0122	0.0428
5/24 16:50	173.2	(42.1)	14.0 25.0 15.0	0.0309 0.0582 0.0325	0.098 0.262 0.239	(0.228)	0.0277	0.0857
5/27 15:50	-	(39.8)	13.0	0.0437	0.192	-	0.0084	0.0586
6/2 14:25	164.5	-	17.0	0.0400	0.310	-	0.0124	0.0391
6/20 16:00	170.1	-	12.0	0.0660	0.310	-	0.0205	0.0377
6/25 12:37	176.3	(46.0)	26.5	0.3286	0.366 0.421	0.394	0.1294	0.0718
8/1 16:40	175.0	44.2	21.0	0.051 0.075 0.054	0.113 0.422 0.051	(0.223)	0.0402	0.0848

(주) n값 계산에서 <표 3-20>의 수로경사 $S_o = 0.0053$ 사용

라. 후륜지점

후륜에서의 유량산정을 위한 보조자료로서 후륜의 하류부 지점에서 유속을 측정하여 유량을 산정하였으며, 후륜하류측 n값 계산시 <표 3-20>의 수로경사 $S_o = 0.00188$ 을 적용하였다.

11호 배수로의 파살후륜 지점에서의 수위 및 유량측정 자료와 이를 이용한 조도계수 추정값은 다음 <표 3-24>와 같다. <그림 3-18> 후륜지점에서의 수위-유량관계를 도시한 것이다.

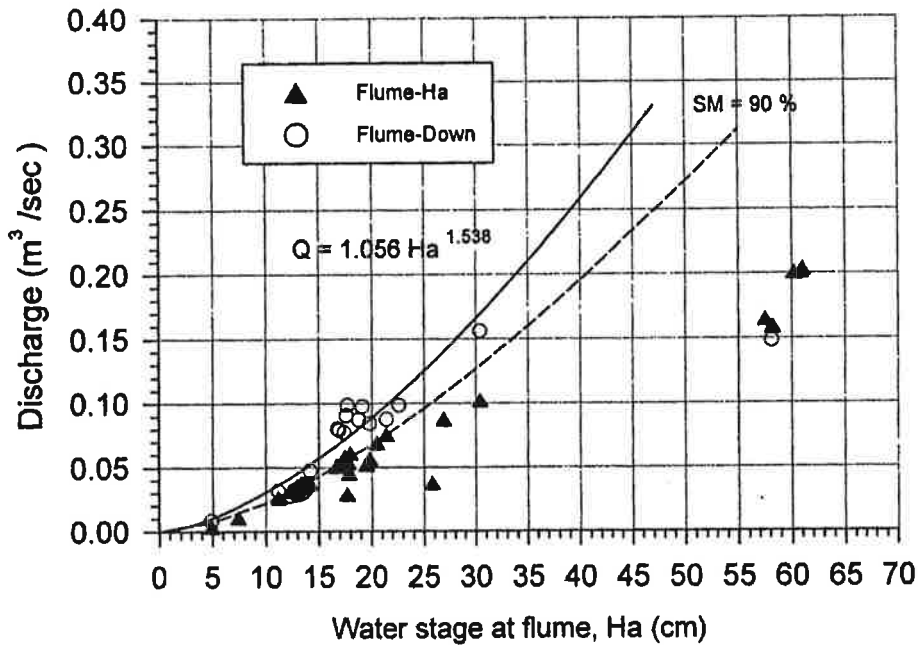
<표 3-24> 후륜지점의 유량산정(1997)

측정일시	후륜 Ha(cm)	후륜 Hb(cm)	후륜 HA			후륜하류측			n 추정값
			단면적 A(m ²)	유속 (m/s)	유량 (m ³ /s)	단면적 A(m ²)	유속 (m/s)	유량 (m ³ /s)	
5/7 16:32	4.9	123.5	0.0410	0.088	0.0036	-	-	-	-
5/24 15:07	12.7	124.8	0.1062	0.300	0.0319	-	-	-	-
15:25	13.5	-	0.1129	0.316	0.0357	-	-	-	-
6/2 14:32	7.4	124.0	0.0619	0.178	0.0110	-	-	-	-
6/20 16:00	11.2 (11.7)	117.2	0.0979	0.277 0.266	0.0266	0.1242	0.266 0.244	0.0317	0.0380
6/23 16:44	4.9	123.1	-	-	-	0.0600	0.145	0.0087	0.0167
6/25 12:25	21.4 (21.9)	143.9	0.1832	0.410 0.421	0.0761	0.3611	0.255 0.233	0.0881	0.0657
6/26 12:00	14.2	131.4	0.1188	0.321	0.0381	0.2096	0.228	0.0478	0.0528
" 12:30	14.0	131.0	0.1171	0.321	0.0376	0.1827	0.194	0.0354	0.0579
" 13:00	13.6 (13.3)	130.3	0.1113	0.343	0.0382	0.1674	0.211	0.0353	0.0510
" 15:00	13.6	130.1	0.1138	0.332	0.0378	0.1587	0.194	0.0308	0.0536
" 15:30	13.4	129.8	0.1121	0.343	0.0385	0.1503	0.200	0.0301	0.0514
" 16:00	13.0	129.0	0.1087	0.332	0.0361	0.1446	0.200	0.0289	0.0503
" 16:30	12.8	128.4	0.1071	0.310	0.0332	0.1421	0.233	0.0331	0.0434
" 17:00	12.3	127.5	0.1029	0.314	0.0323	0.1323	0.211	0.0279	0.0463
7/5 13:15	17.8 (19.5)	140.5	0.1631	0.332	0.0541	-	-	-	-
" 13:30	17.6	140.5	-	-	-	0.3736	0.244	0.0912	0.0643
" 13:45	17.5 (18.0)	140.3	0.1506	0.388	0.0584	-	-	-	-
" 14:00	17.4	140.3	-	-	-	0.3515	0.222	0.0780	0.0686
" 14:15	16.8 (17.8)	140.0	0.1489	0.343	0.0511	-	-	-	-
" 14:30	16.8	140.0	-	-	-	0.3317	0.244	0.0809	0.0657
" 14:45	16.7 (17.3)	140.0	0.1447	0.355	0.0514	-	-	-	-
" 15:00	16.9	140.0	-	-	-	0.3275	0.244	0.0799	0.0597
" 15:15	17.5 (18.2)	140.2	0.1522	0.377	0.0574	-	-	-	-
" 15:30	17.7	140.7	-	-	-	0.4053	0.244	0.0989	0.0669
" 15:45	18.0 (19.4)	141.0	0.1623	0.377	0.0612	-	-	-	-

<표 3-24> 후륜지점의 유량산정(1997) <계속>

측정일시	후륜 Ha(cm)	후륜 Hb(cm)	후륜 Ha			후륜하류측			n 추정값
			단면적 A(m ²)	유속 (m/s)	유량 (m ³ /s)	단면적 A(m ²)	유속 (m/s)	유량 (m ³ /s)	
7/15 16:00	19.1	142.0	-	-	-	0.4370	0.224	0.0979	0.0751
" 16:15	20.5 (22.0)	143.5	0.1840	0.377	0.0694	-	-	-	-
" 16:30	22.6	146.2	-	-	-	0.4838	0.204	0.0987	0.0839
" 16:45	26.9 (27.9)	154.4	0.2334	0.377	0.0880	-	-	-	-
" 17:00	30.4	154.5	-	-	-	0.6705	0.233	0.1562	0.0824
" 17:03	30.4	154.5	0.2719	0.377	0.1025	-	-	-	-
7/16 18:15	19.8 (21.0)	144.0	0.1757	0.324	0.0569	-	-	-	-
" 18:30	19.8	144.0	-	-	-	0.4480	0.189	0.0847	0.0874
" 18:45	19.5 (20.3)	143.8	0.1698	0.310	0.0526	-	-	-	-
" 19:00	18.8	142.8	-	-	-	0.4480	0.196	0.0878	0.0843
" 19:15	17.9 (19.0)	142.0	0.1589	0.288	0.0458	-	-	-	-
8/1 16:50	17.7 (18.5)	142.6	0.1548	0.189	0.0292	0.4283	0.117	0.0501	0.1389
8/4 13:00	57.5	182.4	0.4810	0.343	0.1650	-	-	-	-
" 13:15	58.1	182.6	-	-	-	0.2616 0.8464 0.2145	0.277 0.078 0.047	0.1486	0.2145
" 13:30	58.2	182.8	0.4868	0.327	0.1592	-	-	-	-
" 13:45	60.2	184.4	0.5036	0.399	0.2009	-	-	-	-
" 14:00	60.8	185.0	0.5052	0.399	0.2016	-	-	-	-
" 14:15	61.0	185.4	0.5103	0.399	0.2036	-	-	-	-
8/5 16:23	25.8	150.6	0.2158	0.177	0.0382	-	-	-	-

(주) 후륜하류측 n값 계산시 <표 3-20>의 수로경사(So) = 0.00188 적용



<그림 3-18> 후름지점에서의 수위-유량관계(1997)

마. 수위탑(ST-7)

1996년 Staff-7 수위탑 지점에서의 유량산정을 위한 보조자료로 사용하기 위하여 14호 배수로 Staff-6 지점에서 Staff-7 수위탑지 점까지의 유량산정에서는 Manning공식에 의한 조도계수 n 값을 7월 0.030~0.0857, 8월 0.080~0.100, 9월 0.110~0.120 및 수로경사 $S_o = 0.00292$ 를 사용하였다.

1997년도에는 유량측정자료를 보완하였으며, <표 3-25>는 ST-6과 ST-7구간 중간지점에서 유속계로 측정한 유량자료, <표 3-26>은 Staff-7 지점의 유속계 측정에 의한 유량자료, <표 3-27>은 1996년도에 Staff-7과 수위탑하류 유말공 입구사이의 급류부인 콘크리트 Lining구간에 Manning공식을 적용하여 계산한 유량자료이며, <그림 3-19>는 <표 3-25>에서 <표 3-27>까지의 유량자료를 도시한 것이다.

<표 3-25> ST-6과 ST-7구간 유량측정(1997)

측정일시	St-6 수위(cm)	St-7 수위(cm)	수심 (cm)	단면적 A(m ²)	유속 (m/sec)	평균유속 (m/sec)	유량 (m ³ /s)	n 추정값
5/7 16:10	49.8	203.3	30.0	0.2033	0.069 0.321 0.338 0.107	0.207	0.0421	0.0775
5/12 18:05	46.5	200.2	21.0	0.1135	0.265 0.266	0.266	0.0302	0.0449
5/24 15:43	62.8	212.1	34.0 38.0 25.0	0.1040 0.1435 0.0815	0.310 0.504 0.186	(0.364)	0.1197	0.0535
5/27 15:30	46.2	201.6	17.5 24.5 20.4	0.0263 0.1029 0.0306	0.200 0.288 0.064	(0.231)	0.0369	0.0629
6/2 14:05	53.1	205.5	30.0	0.2098	0.299 0.288 0.332	0.306	0.0642	0.0516
6/25 12:10	71.3	213.3	49.0	0.4413	0.564 0.574	0.569	0.2511	0.0383
7/16 17:45	72.4	211.8	50.0	0.4750	0.487 0.465 0.443	0.465	0.2209	0.0473
8/4 12:31	91.8	215.5	66.0	0.0695 0.6087 0.0964	0.123 0.585 0.044	(0.476)	0.3688	0.0543

(주) 수로경사(So) = 0.00292 적용

<표 3-26> Staff-7 지점의 유량산정(1996,1997)

년도	측정일시	St-6 수위(cm)	St-7 수위(cm)	수심 (cm)	단면적 A(m ²)	유속 (m/sec)	평균유속 (m/sec)	유량 (m ³ /s)
1996	5/23 11:40	48.0	199.8	-	0.040	-	(0.263)	0.0105
1997	5/7 15:49	49.8	203.3	12.0	0.0962	0.515 0.520 0.425	0.487	0.0468
	5/12 18:05	46.5	200.2	8.0	0.0588	0.343 0.370	0.357	0.0210
	5/24 15:52	62.8	212.1	15.0 21.0 13.0	0.0516 0.0828 0.0462	0.553 0.751 0.644	(0.667)	0.1205
	5/27 15:20	46.2	201.6	10.2 9.8 9.0	0.0168 0.0421 0.0135	0.355 0.410 0.366	(0.390)	0.0282
	5/29 15:34	47.2	202.2	11.5 10.0	0.0351 0.0365	0.266 0.520	(0.395)	0.0283
	6/2 13:50	53.1	205.5	14.0 14.0 12.9	0.0280 0.0476 0.0258	0.399 0.498 0.388	(0.443)	0.0449
	6/25 12:05	71.3	213.3	20.0	0.1905	1.018 0.991	1.005	0.1914
	7/16 17:45	72.4	211.8	19.2	0.1581	0.885 0.874 0.842	0.867	0.1371
	8/4 12:24	91.8	215.5	23.5	0.0510 0.0520 0.1350	0.399 0.596 1.335	(0.973)	0.2315
	8/5 16:04	70.5	210.1	18.5	0.0425 0.0720 0.0479	0.443 0.960 0.671	(0.739)	0.1200

<표 3-27> ST-7과 유말공입구 Lining구간 유량산정(1966)

측정일시	St-7 H(cm)	수심 d(cm)	단면적 A(m ²)	윤변 P(m)	경심 R(m)	유속 V (m/sec)	유량 Q (m ³ /sec)
7/22 16:04	202.1	2.7	0.0166	0.6725	0.0246	1.1091	0.01837
7/25 13:04	202.0	3.5	0.0219	0.7029	0.0312	1.2981	0.02840
8/9 10:38	203.4	4.7	0.0304	0.7329	0.0415	1.5698	0.04773
8/14 15:25	203.1	5.5	0.0360	0.7556	0.0477	1.7225	0.06207
8/20 13:00	201.6	4.0	0.0256	0.7131	0.0359	1.4253	0.03649
8/26 15:55	203.5	6.0	0.0397	0.7697	0.0516	1.8154	0.07210
8/27 17:20	204.6	7.0	0.0469	0.7980	0.0588	1.9799	0.09285
8/31 16:25	203.5	5.8	0.0382	0.7640	0.0499	1.7762	0.06779
9/6 15:45	202.8	5.2	0.0339	0.7471	0.0454	1.6664	0.05649
9/12 14:35	201.0	4.6	0.0297	0.7301	0.0407	1.5498	0.04605
9/18 14:41	199.7	3.4	0.0197	0.6593	0.0299	1.2618	0.0249
9/30 17:45	196.7	1.6	0.0124	0.6120	0.0203	0.9747	0.0121

(주) 수로경사 $S_o = 0.0386$, 조도계수 $n = 0.0150$ 을 적용

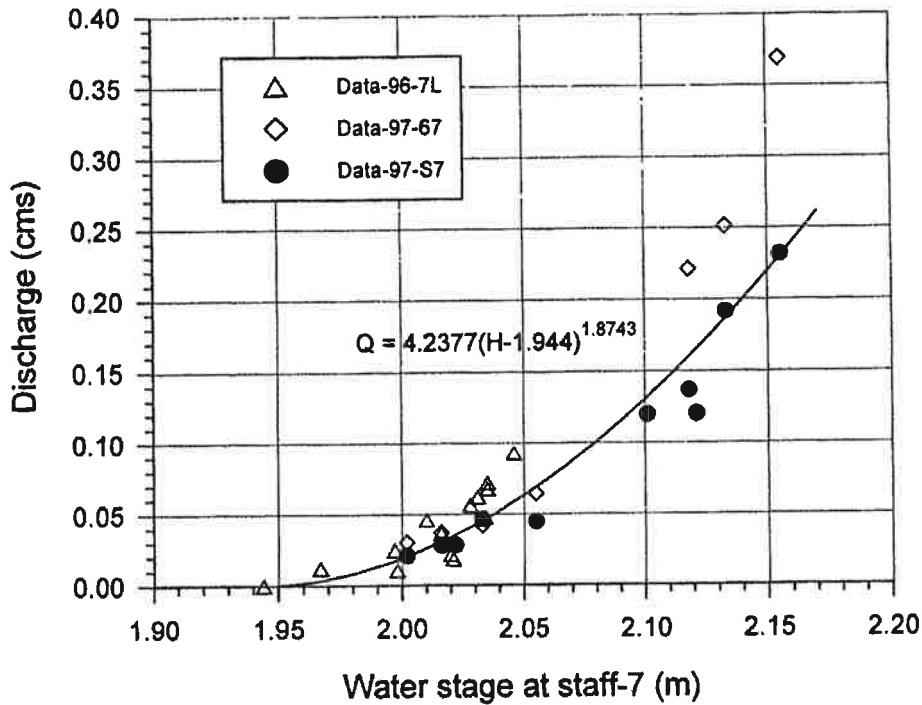
한편 ST-7 수위탐지점에서의 수위-유량공식을 유도하기 위하여 Staff-7 지점에서의 수로바닥고를 표척 하단표고인 1.944m로 하여 다음과 같이 2차 다항식과 멱급수식의 수위-유량공식을 유도하였다.

2차 다항식 (3.6)은 1996년 및 1997년 7월 16일까지의 <표 3-25>, <표 3-26> 및 <표 3-27>을 이용하였고, 멱급수식 (3.7)은 <표 3-25> 및 <표 3-26>의 1997년 자료중 8월 5일까지 측정된 자료를 기본으로 사용하였다.

$$Q = 0.004632 + 0.0594h + 4.92576h^2 \quad (R^2 = 0.8520) \quad (3.6)$$

$$Q = 4.23769(H-1.944)^{1.87427} \quad (R^2 = 0.9213) \quad (3.7)$$

식(3.6)에서 $h(m) = H - 1.944$ 이며, H 는 Staff-7에서의 수위이다. <그림 3-19>에서 Data-96-7L은 <표 3-27>의 유량자료, Data-97-67은 1997년에 측정된 <표 3-25>의 유량자료, Data-97-S7은 <표 3-26>의 수위탐지점에서 유속계로 측정된 유량자료이다.



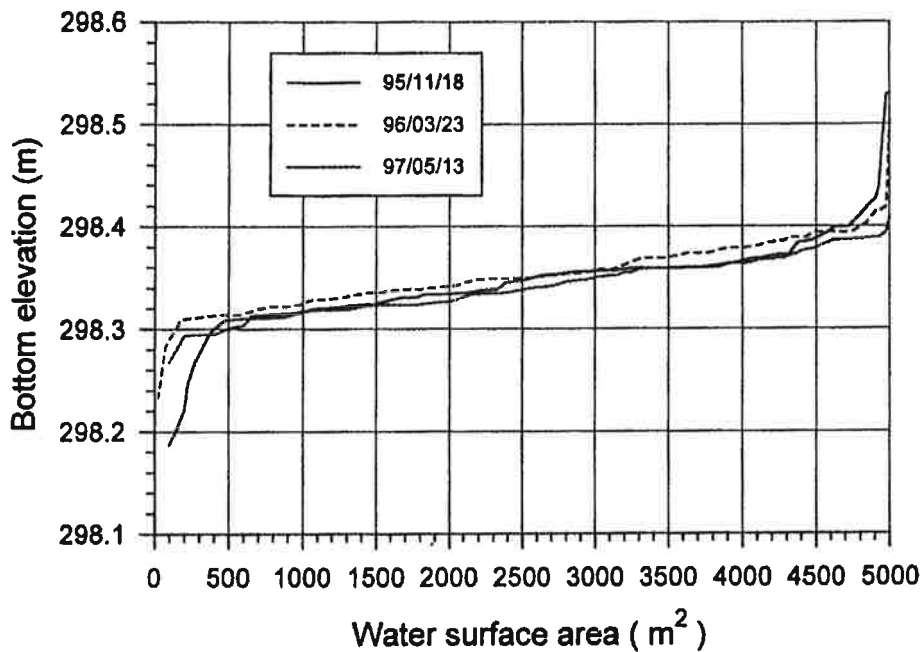
<그림 3-19> 수위탑(ST-7) 지점에서의 수위-유량관계

제3절 논유역 유출특성

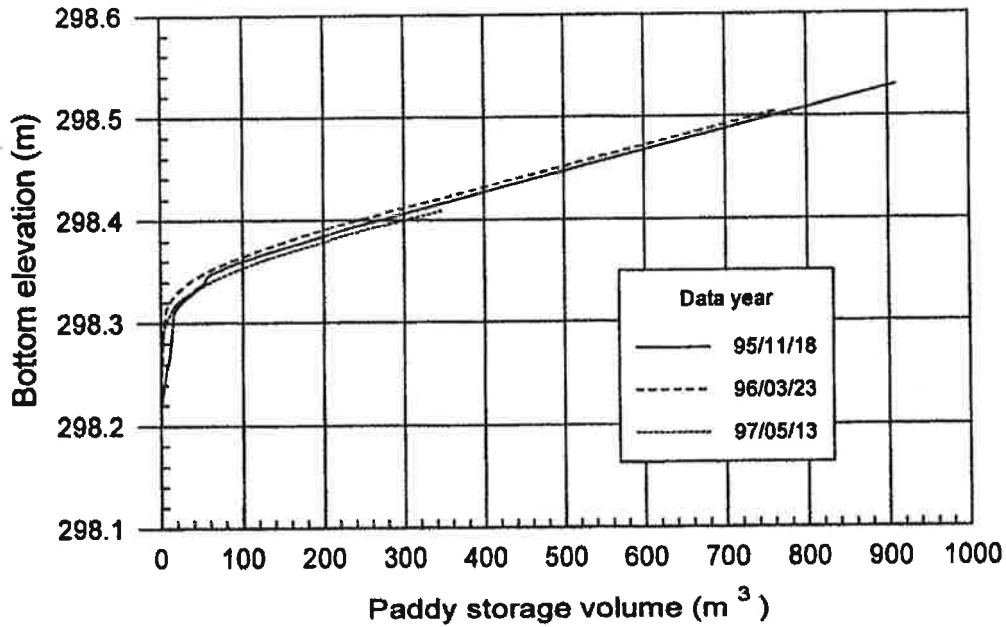
1. 논수심과 저류용적

논바닥측량 자료는 바다표고별 또는 논수심별 수면적과 저류용적 산정을 위한 기본자료로서 평균값과 확률분포를 이용하여 무작위자료를 발생시킨후 이 자료의 특성에 따라 추정하는 방법, 그리고 각 지점이 점유하는 면적을 Grid로 가정하여 표고별 수면적으로 논의 저류내용적을 산정하는 방법 등을 고려할 수 있을 것이다.

여기서는 개략인 검토를 위하여 1995년, 1996년 및 1997년도에 실시한 논바닥고 측량결과인 <표 3-12>를 이용하여 바닥고에 따른 논수면적 및 논저류용적을 추정하고자 하였다. 즉, 웨어가 설치된 5,000m²의 논(R-9) 측량자료를 가지고 1개 측점의 지배면적을 10m×10m = 100 m²의 Grid로 가정하여 검토하였다. 그 결과 1995년, 1996년 및 1997년 자료의 논바닥 상대표고별 수면적과 내용적관계를 나타낸 것이 <그림 3-20> 및 <그림 3-21>로서 논바닥고 10cm 구간이 논면적의 약 10%, 중간에 일정변화를 나타내는 구간 10cm가 90% 정도의 면적을 차지하는 점을 고려하면 불규칙한 논바닥의 수심변화구간은 10~20cm 정도로 추정되었다.



<그림 3-20> 논바닥 상대표고별 수면적곡선



〈그림 3-21〉 논바닥 상대표고별 저류용적곡선

한편 논에서의 수심별 내용적 관계식을 유도하기 위하여 R-9논의 웨어유티류 부에 해당하는 상대표고 298.296m를 기준으로 논유티류를 계산하고, 회귀분석에 의한 결과는 <표 3-28>과 <표 3-29>와 같다. 여기서 유도된 수심-저류량의 관계식은 바닥에서 최대 30cm를 기준으로 구분하여 CASE-1, CASE-2, CASE-3 및 CASE-4는 1995년자료, CASE-5는 1996년자료를 사용하였고, 1997년에는 95년, 96년 및 97년자료를 재검토하여 수심구간별로 관계식을 구하였다.

1996년 자료는 논수심 8.0cm(500m²), 1997년자료는 4.5cm(950m²) 전후로 약간 변화되는 경향을 보이나 수면적 및 내용적 계산을 위한 떡금수와 다항식간에는 큰 차이가 없는 것으로 보이며 논유출모형의 보정에 이용하였다.

<표 3-28> 수심별 논수면적의 관계식

구분	함수	관계식	적용 범위	자료	비고
CASE-1	1차식	$A = 372.11 + 28348.52H$	0.0 ≤ H < 0.125	1995	95.10
CASE-2	떡급수	$A = 8951.24 H^{0.546}$			
CASE-3	지수식	$A = 669.477 e^{14.692H}$			
CASE-4	수심별 수정식 적용	$A = 4746.23 H^{0.4327}$ $A = 675.632 e^{14.6H}$ $A = 449.09 e^{18.7H}$	0.0 ≤ H < 0.03 0.03 ≤ H < 0.10 0.10 ≤ H < 0.125	"	95.10
CASE-6	떡급수 다항식	$A = 178307.9 H^{2.57395}$ $A = -4459.87 + 57880.8H - 83083.8H^2$	0.0 ≤ H < 0.20	1995	97.7
CSAE-7	떡급수 다항식	$A = 3875094.25 H^{3.51077}$ $A = -3959.83 + 60519.8H - 44994.3H^2$	0.0 ≤ H < 0.15	1996	"
CASE-8	떡급수 다항식	$A = 299540.1 H^{1.84761}$ $A = -1879.02 + 67647.6H - 87683.7H^2$	0.0 ≤ H < 0.10	1997	"

(주) A = 수면적(m²), H = 논수심(m)

<표 3-29> 수심별 논저류용적의 관계식

구분	수위-저류량 관계식	적용 범위	R ²	자료	비고
CASE-1	$S = 372.11H + 14174.26H^2$	0.0 ≤ H < 0.125	0.8275	1995	95.10
CASE-2	$S = 5789.9 H^{0.546}$		0.6324		
CASE-3	$S = 45.567 e^{14.692H}$		0.7057		
CASE-4	수정식	0.0 ≤ H < 0.03 0.03 ≤ H < 0.10 0.10 ≤ H < 0.125	0.9841 0.9988 0.9739	"	95.10
CASE-5	$S = 4835.23H - 358.272$ $S = 62688.9H^{2.69941}$	0.0 ≤ H ≤ 0.10 0.10 < H ≤ 0.30	0.9220 0.9994	1996	96.10
CASE-6	$S = 49891 H^{3.57395}$ $S = 161.88 - 4459.87H + 28940.4H^2 - 27694.6H^3$	0.0 ≤ H < 0.20	0.9406 0.9923	1995	97.10
CASE-7	$S = 859076 H^{4.51077}$ $S = 134.55 - 3959.83H + 30259.9H^2 - 14998.1H^3$	0.0 ≤ H < 0.15	0.9828 ² 0.9994	1996	"
CASE-8	$S = 105190 H^{2.84761}$ $S = 31.59 - 1879.02H + 33823.8H^2 - 29227.9H^3$	0.0 ≤ H ≤ 0.10	0.9964 0.9999	1997	"

(주) S = 저류량(m³), H = 논수심(m)

2. 측정자료의 유출특성

가. 유출률

본 시험포장에 설치된 웨어, 파살후름 및 수위탑에서 측정된 수위는 앞에서 설명한 유량공식 또는 도표를 이용하여 유량으로 환산하고 강우량 측정자료와 함께 <부록 표-2>에 수록하였다.

한편 침투유량, 침투발생시간, 유출률 등의 유출특성에 대한 논웨어, 후름 및 수위탑에서 측정된 관측자료에 대한 수문곡선 분석결과는 <표 3-30>, <표 3-31> 및 <표 3-32>와 같다.

<표 3-30> 웨어 측정자료의 수문특성

일 자	강우량 (mm)	총유출수문곡선			직접 유출			
		기저유량 (l/sec)	유출용적 (m ³)	기저용적 (m ³)	침투유량 (l/sec)	유출용적 (m ³)	유출심 (mm)	유출율 (%)
95.7.21	8.9	0.0	36.7	8.1	3.9	28.6	5.7	64.0
7.23	62.9	0.1	285.04	8.64	10.8	276.4	55.3	87.9
8.9	29.0	0.5	126.2	43.2	3.3	83.0	16.6	57.2
8.19	84.9	1.1	353.72	39.6	14.8	314.12	62.82	74.0
9.2	62.4	0.5	369.76	61.2	16.3	308.56	61.71	98.9
96.6.24	123.3	0.00	534.492	-	6.70	534.492	105.38	85.47
6.27	27.7	-	-	-	-	-	-	-
7.4	77.0	0.00	259.614	-	13.30	259.614	51.19	66.48
7.12	44.7	1.00	233.820	102.780	11.70	131.040	25.84	57.81
8.2	25.5	0.00	70.236	-	4.40	72.236	13.85	54.31
8.5	30.6	0.10	121.950	9.720	6.50	112.230	22.13	72.32
8.9	23.3	0.30	73.602	19.782	4.40	53.820	10.61	45.54
8.27	15.7	1.40	76.770	52.380	3.30	24.390	4.81	30.64
8.29	15.1	0.00	32.274	-	2.10	32.274	6.35	42.12
97.5.7	87.0	0.00	216.5	0.0	6.25	216.5	43.2	49.7
7.5	157.6	0.49	813.8	95.9	16.70	717.9	144.0	91.4
7.15	98.6	0.95	407.4	118.8	10.73	288.6	57.7	58.5
평균								64.8

<표 3-31> 후륜 측정자료의 수문특성

일 자	강우량 (mm)	총 유출수문곡선			직접 유출			
		기저유량 (l/sec)	유출용적 (m ³)	기저용적 (m ³)	첨두유량 (l/sec)	유출용적 (m ³)	유출심 (mm)	유출율 (%)
95. 7. 21	8. 9	6. 1	-	-	28. 5	454. 35	5. 0	56. 2
7. 23	62. 9	14. 7	-	-	209. 8	5540. 58	61. 6	97. 9
8. 9	23. 3	15. 0	-	-	71. 7	1082. 97	12. 0	41. 4
8. 19	84. 9	20. 1	-	-	169. 5	-	-	-
9. 2	62. 4	16. 9	-	-	400. 0	-	-	-
96. 6. 24	123. 3	10. 5	10014. 30	2051. 10	118. 4	7963. 20	83. 07	67. 37
6. 27	27. 7	4. 1	2170. 44	487. 08	62. 8	1683. 36	17. 56	63. 39
7. 4	77. 0	15. 8	7030. 44	2566. 80	96. 0	4463. 64	46. 56	60. 47
7. 12	44. 7	9. 1	4451. 40	2341. 26	129. 9	2110. 14	22. 01	49. 24
8. 2	25. 5	45. 9	5846. 76	3424. 14	163. 0	2422. 62	25. 27	99. 10
8. 5	30. 6	-	-	-	-	-	-	-
8. 9	23. 3	53. 6	5968. 2	3988. 2	179. 4	1980. 0	22. 0	94. 4
8. 27	15. 7	84. 6	4866. 66	3807. 00	125. 2	1059. 66	11. 05	70. 38
8. 29	15. 1	-	-	-	-	-	-	-
97. 5. 7	87. 0	4. 3	5184. 5	650. 2	153. 2	4534. 3	56. 7	65. 2
7. 5	157. 6	18. 1	17678. 1	5379. 5	233. 1	12298. 6	153. 7	97. 5
7. 15	98. 6	11. 5	9977. 8	2948. 4	156. 5	7029. 4	87. 9	89. 1
평 균								73. 2

<표 3-32> 수위탑(ST-7) 측정자료의 수문특성

일 자	강우량 (mm)	총유출수문곡선			직접 유출			
		기저유량 (m ³ /s)	유출용적 (m ³)	기저용적 (m ³)	첨두유량 (m ³ /s)	유출용적 (m ³)	유출심 (mm)	유출율 (%)
96. 6. 24	123. 3	0. 0166	30018. 96	11264. 58	0. 3600	18754. 38	99. 23	80. 48
6. 27	27. 7	0. 0428	13081. 14	7860. 24	0. 2304	5220. 90	27. 62	99. 71
7. 4	77. 0	0. 0454	27130. 14	13104. 00	0. 3709	14026. 14	74. 21	96. 38
7. 12	44. 7	0. 0729	15964. 02	9561. 78	0. 2948	6402. 24	33. 87	75. 77
8. 5	30. 6	0. 0506	8334. 00	4918. 32	0. 1069	3415. 68	18. 07	59. 05
8. 9	23. 3	0. 0762	8585. 46	6262. 20	0. 1253	2323. 26	12. 29	52. 75
평 균								77. 4

<표 3-30>, <표 3-31> 및 <표 3-32>에서 유출률을 보면 웨어의 경우 30.6

~98.9%, 후름에서는 41.4~99.1%, 수위탑-7에서는 52.7~99.7%로서 비교적 강우량이 많은 경우가 유출률이 높은 경향을 보이지만 선행강수량 및 초기조건에 크게 영향을 받는다고 볼 수 있다.

한편 <표 3-31>의 자료에서 첨두유량과 유출용적에 대한 유출특성값을 필지당으로 계산해 보면 다음 <표 3-33>과 같다.

<표 3-33> 필지당 후름에서의 유출특성

일자	강우량 (mm)	첨두유량(l/sec)		유출용적(m ³)	
		후름	1필지당*	후름	1필지당*
95.7.21	8.9	28.5	1.58	454.35	25.24
7.23	62.9	209.8	11.66	5540.58	307.81
8.9	23.3	71.7	3.98	1082.97	60.17
96.6.24	123.3	118.4	6.58	7963.20	442.40
6.27	27.7	62.8	3.49	1683.36	93.52
7.4	77.0	96.0	5.33	4463.64	247.98
7.12	44.7	129.9	7.22	2110.14	117.23
8.2	25.5	163.0	9.06	2422.62	134.59
97.5.7	87.0	153.2	9.58	4534.3	283.39
7.5	157.6	233.1	14.57	12298.6	768.66
7.15	98.6	156.5	9.78	7029.4	439.34

<표 3-31>에서 1필지당 첨두유량 및 유출용적은 1995년 및 1996년도에는 18개 필지, 1997년도에는 직접 배수하천으로 배수되는 상류측 L-1 및 R-1을 제외한 16개 필지로 계산된 것으로 <표 3-33>에서의 결과를 보면 1필지 는(R-9)과 비교해 보면 첨두유량과 유출율에 차이가 발생하였다. 이는 본 포장답면에서의 시험이 실제적으로는 모든 논에서 배수공으로 설치되어 있는 것과는 달리 구형웨어에 의한 측정이 이루어졌고, 또한 평상시 일정 수위상태로 유지되고 있는 배수공에서의 개폐상태와 유지수심이 각각 다르기 때문에 나타나는 결과로 볼 수 있다.

또한 후름에서의 값이 일정하게 나타나지 않은 이유는 1995년 및 1996년도

에 상류측 논의 경우 본 배수지거로 배수가 이루어지지 않고 직접 배수하천으로 유출되는 배수물꼬를 가지고 있는 필지가 있으며, 배수로에서의 수초조건에 따라 배수가 지연되는 현상이 부분적으로 나타나기 때문인 것으로 판단된다.

특히 수위탑-7의 경우 14호 배수지선을 횡단하는 용수지선에서 파손된 부분을 통한 누수로 상당량이 유출에 영향을 주었고, 또한 배수로의 잡초로 인한 배수불량으로 정확한 유량이 산정되지 못하였다.

나. 논유역 지체시간

(1) 논과 논유역 지체시간의 관계

본 시험유역의 1995년 및 1996년 관측자료중 비교적 수문곡선의 형태가 단순하고 웨어와 후름에서 동시에 얻어진 6개의 자료를 선택하여 우량중심에서 첨두유량까지의 지체시간(T_L)을 개략적으로 조사하였으며 <표 3-34>는 이를 정리한 자료이다. 이들 자료를 이용하여 논(Weir)과 논유역(Flume) 지체시간의 관계를 1차 회귀식으로 검토하였다.

<표 3-34> 웨어와 후름에서의 관측지체시간(1995, 1996)

Event No.	일 자	강우량 (mm)	지체시간 (hr)			비 고
			Weir	Flume	TLW-TLF	
1	95.8.9	29.0	1.500	1.750	0.250	-
2	96.8.27	15.7	1.114	1.405	0.291	-
3	96.8.29	15.1	0.768	1.083	0.315	(4)
4	95.7.21	8.9	0.485	0.485	0.000	(3)
5	96.7.12	44.7	0.400	1.133	0.733	(2)
6	96.8.2	25.5	0.151	1.461	1.310	(1)
	Mean		0.736	1.220	0.483	

여기서 N = 자료수, TLW 및 TLF는 각각 웨어와 후름에서의 지체시간으로 표시하면 관계식은 다음과 같다.

$$TLF = 0.89842 + 0.43605 * TLW \quad (N = 6, R^2 = 0.252) \quad (3.8-a)$$

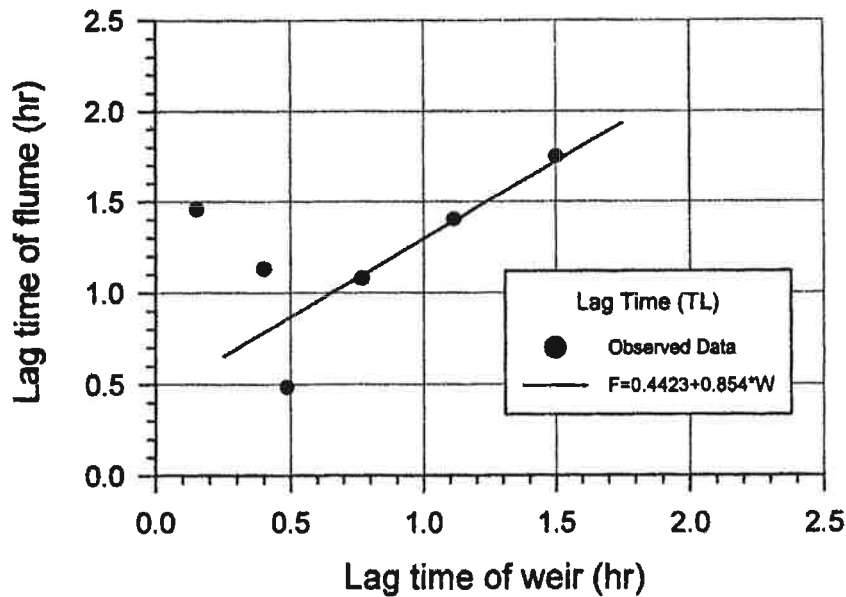
$$TLF = 0.44230 + 0.85411 * TLW \quad (N = 5, R^2 = 0.700) \quad (3.8-b)$$

$$TLF = 0.02394 + 1.19659 * TLW \quad (N = 4, R^2 = 0.953) \quad (3.8-c)$$

$$TLF = 0.38581 + 0.91087 * TLW \quad (N = 3, R^2 = 0.999) \quad (3.8-d)$$

위식에서 (3.8-a)은 1~6까지의 자료, (3.8-b)는 1~5까지의 자료, (3.8-c)는 1~4까지의 자료, (3.8-d)는 1~3까지의 자료를 사용한 것이다.

<표 3-34>의 자료와 관계식 (5.4)에서 보면 후륜에서의 지체시간은 웨어, 즉 눈에서의 지체시간의 영향을 받는다고 보여지며, <그림 3-22>에 도시한 직선식은 96.8.2의 자료를 제외한 것으로 웨어보다 평균 20~25분정도 낮은 것으로 판단된다.



<그림 3-22> 웨어와 후륜에서의 지체시간

(2) 지체시간과 침투시간

1995년 5개 및 1996년 5개 자료 수문곡선의 상승부와 하강부의 면적비율, 그리고 지체시간과 침투유량발생시간과의 관계를 개략적으로 조사하였으며 <표 3-35>는 그 결과를 요약한 것이다.

<표 3-35>에서 보면 수문곡선의 경우 평균적으로 상승부와 하강부의 면적비율은 13%와 87%이었고, 수문곡선의 기저시간이 침투시간의 15배정도로 나타나고 있다.

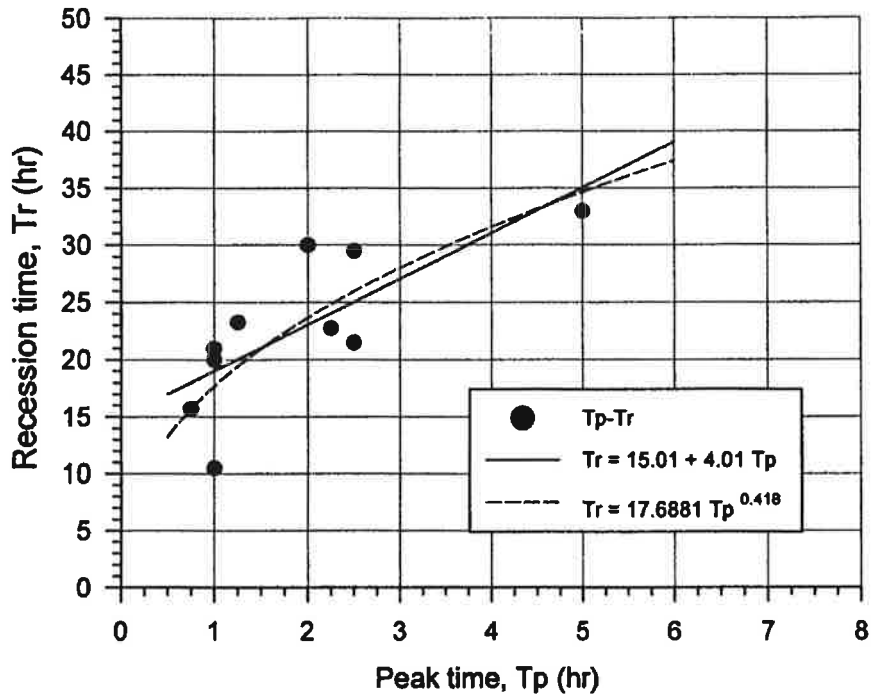
<표 3-35> 후룸의 수문곡선 구성(1995, 1996)

사용자료	침투시간	면적비율(%)		시간 (hr)		
		상승부	하강부	Tp	Tr	Tb/Tp
95. 7/21 06:30~18:00	7/21 07:30	13.0	87.0	1.0	10.5	11.5
7/22 17:30~7/23 10:00	7/22 18:15	11.1	88.9	0.75	15.75	22.0
8/9 14:00~8/10 15:00	8/9 16:15	14.6	85.4	2.25	22.75	11.1
8/20 06:00~8/21 06:00	8/20 08:30	26.3	73.7	2.5	21.5	9.6
9/2 10:00~9/3 24:00	9/2 15:00	31.2	68.8	5.0	33.0	7.6
96. 7/13 00:00~7/14 08:00	7/13 02:30	5.9	94.1	2.5	29.5	12.8
8/2 17:30~8/3 18:00	8/2 18:45	4.7	95.3	1.25	23.25	19.6
8/5 16:00~8/6 14:00	8/5 17:00	7.0	93.0	1.0	21.0	22.0
8/9 19:00~8/10 16:00	8/9 20:00	7.3	92.7	1.0	20.0	21.0
8/29 22:00~8/31 06:00	8/29 23:50	5.4	94.6	2.0	30.0	16.0
평균		12.65	87.35	1.93	22.73	15.3

한편 <그림 3-23>은 침투발생시간과 지체시간 관계를 1차식과 멱함수식으로 유도하고 이를 도시한 것으로 높은 상관성을 얻지는 못하였다.

• 선형함수식 $Tr = 15.01 + 4.01Tp$ ($R^2 = 0.5661$) (3.9-a)

• 멱함수식 $Tr = 17.6881Tp^{0.418}$ ($R^2 = 0.5412$) (3.9-b)



<그림 3-23> 우름에서의 지체시간과 침투발생시간

3. 유효우량과 유출곡선수

논에서의 홍수유출시 직접유출량에 기여하는 유효강우량은 크게 2가지 요소의 손실에 의하여 강우량보다 감소한다. 첫째는 담수심이 물꼬높이보다 낮은 경우 월류가 시작될 때까지의 강우량이 직접 유출되지 못하고 저류되는 경우이며, 둘째는 엽면에 의한 차단 및 논의 토양 균열층에서의 저류, 증발, 삼투 등이다.

그러므로 논에서의 유효우량을 파악하는 방법은 배수물꼬를 통한 총유출량을 산정하여 이를 유효우량으로 하는 것으로, 총유출량의 산정을 위해서는 연속적인 유출수문곡선자료가 필요하다.

한편 눈유출모형을 이용하여 유효우량을 산정하는 경우에는 먼저 눈에서의 저류량을 알 수 있도록 눈의 표고별 저류내용적을 파악하여야 한다. 보통 눈의 경우 동일 필지내에서는 편평한 것으로 간주되고 있지만 실제로는 출해기의 건담관리시 배수의 용이성을 기하기 위해 상당한 경사를 지니고 있는 경우가 많고 또한 이앙 및 농약살포 등의 영농관리를 위한 경작자 및 영농기계의 작업에 의하여 국부적으로 높고 낮은 경우가 발생되고 있다. 따라서 동일 필지의 눈에서도 상당부분은 배수물꼬보다도 높은 표고를 가질 수 있으며 그중 일부에서는 국부적인 토양의 균열을 보이는 경우도 있으므로 눈에서의 저류내용적을 측량에 의하여 산정하기는 쉽지 않다.

여기서는 유출수문곡선에 의한 직접유출과 이를 이용한 SCS 방법의 초과우량을 간접적으로 산정하고 유효우량으로 개념으로 파악하였다.

가. 유출곡선수

유출곡선수 CN값은 토양, 토지이용, 처리방법(Treatment), 수문조건 등을 고려하여 결정되며, 측정된 기록자료로부터 CN 값을 추정하는 과정은 일반적으로 다음과 같다.

- (1) 각 강우 - 유출자료에 대하여 총강우량 P를 결정한다.
- (2) 총강우량 P로 인한 총유출수문곡선에서 직접유출과 기저유출을 분리하여 직접유출수문곡선을 구하고 이를 적분하여 총유출용적을 구한다.
- (3) 총유출용적을 유역면적으로 나누어 직접유출심 Q를 구한다.
- (4) 이들 P, Q를 식에 대입하여 CN을 계산한다.
- (5) 이를 5일 선행강수량 P₅에 따라 위에서 구한 CN에 AMC가 부여된다.

한편 표에서의 CN 값은 CNII을 기본으로 하므로 선행토양수분조건(AMC) 및 선행강수량(P₅)에 따라 AMC를 고려한 CN값으로 변환하여 사용하며, CNII와 CNIII 상호간의 관계식은 다음식에서 구할 수 있다.

$$CNII = 0.427 * CNIII / (1 - 0.00573 * CNIII) \quad (3.10)$$

나. 시험포장의 CN 계산

다음 <표 3-36>은 본 시험포장에서의 유출량자료를 이용하여 CN값을 산정한 것으로 선행강수량과는 거의 관련없이 논의 담수심과 물꼬조건에 따라 논에서 담수상태를 유지하고 있는 조건에서 월류되어 상대적으로 높은 유출율과 CN값을 나타내고 있으며, <표 3-37>은 5일 선행강수량 조건에 관계없이 CN III을 CN II로 바꾼 결과를 비교하여 나타낸 것이다.

<표 3-36> 웨어와 후름에서의 유출곡선수 추정

일자	Rain (mm)	P ₅ (mm)	AMC	Weir			Flume		
				Obs. Q (mm)	Runoff ratio(%)	Cal. CN	Obs. Q (mm)	Runoff ratio(%)	Cal. CN
95. 7. 21	8.9	1.0	AMC I	5.7	64.0	98.6	5.0	56.2	98.2
7. 23	62.9	41.4	AMC II	55.3	87.9	97.3	61.6	97.9	99.6
8. 9	29.0	0.9	AMC I	16.6	57.2	94.5	12.0	41.4	91.2
8. 19	84.9	58.2	AMC III	62.8	74.0	91.9	-	-	-
9. 2	62.4	108.7	AMC III	61.7	98.9	99.8	-	-	-
96. 6. 24	123.3	4.2	AMC I	105.38	85.47	93.9	83.1	67.4	85.4
6. 27	27.7	123.7	AMC III	-	-	-	17.6	63.4	95.7
7. 4	77.0	0.0	AMC I	51.19	66.48	90.0	46.6	60.5	87.9
7. 12	44.7	6.4	AMC I	25.84	57.81	91.9	22.0	49.2	89.6
8. 2	25.5	0.1	AMC I	13.85	54.31	94.7	25.3	99.1	99.7
8. 5	30.6	25.5	AMC I	22.13	72.32	96.7	-	-	-
8. 9	23.3	30.6	AMC II	10.61	45.54	93.6	22.0	94.4	99.6
8. 27	15.7	9.0	AMC I	4.81	30.64	93.3	11.1	70.4	98.1
8. 29	15.1	32.7	AMC I	6.35	42.05	95.3	-	-	-
97. 5. 7	87.0	14.9	AMC I	43.2	49.7	81.7	56.7	65.2	88.4
7. 5	157.6	77.2	AMC III	144.0	91.4	95.4	153.7	97.5	98.7
7. 15	98.6	37.6	AMC II	57.7	58.5	84.1	87.9	89.1	96.4
Mean					64.8	93.3		73.2	94.5

(주) P₅ = Rainfall before 5 days

<표 3-37> 논포장 CNIII의 CNII 값으로의 변환 계산에

Date	P(mm)	Q(mm)	R(%)	S(mm)	CNIII	CNII
95. 7. 21	8.9	5.7	64.0	3.6	98.6	96.8
7. 23	62.9	55.3	87.9	6.9	97.3	93.9
8. 9	29.0	16.6	57.2	14.8	94.5	88.0
8. 19	84.9	62.8	74.0	22.5	91.9	82.9
9. 2	62.4	61.7	98.9	0.6	99.8	99.5
96. 6. 24	123.3	105.38	85.47	16.6	93.9	86.8
6. 27	27.7	-	-	-	-	-
7. 4	77.0	51.19	66.48	28.1	90.0	79.4
7. 12	44.7	25.84	57.81	22.4	91.9	82.9
8. 2	25.5	13.85	54.31	14.3	94.7	88.4
8. 5	30.6	22.13	72.32	8.8	96.7	92.6
8. 9	23.3	10.61	45.54	17.3	93.6	86.2
8. 27	15.7	4.81	30.64	18.2	93.3	85.6
8. 29	15.1	6.35	42.05	12.4	95.3	89.6
97. 5. 7	87.0	43.2	49.7	56.8	81.7	65.6
7. 5	157.6	144.0	91.4	12.1	95.4	89.9
7. 15	98.6	57.7	58.5	48.2	84.1	69.3
Mean					93.3	86.1

한편 <표 3-38>은 일본 시험포장에서의 비경작기간동안의 유출량자료를 이용하여 CN값을 산정한 결과를 나타낸 것이며, <그림 3-24>는 <표 3-36>과 <표 3-38>의 강우와 유출량 관계를 나타낸 것이다. 본 시험포장의 경우 CN값은 일본 자료에서 강우사상-11(92.5.8)의 경우를 제외한 평균치와는 비슷한 결과로 볼 수 있지만, 수평직선분리법에 의한 유출량에 의한 것으로 약간 크게 산정된 것으로 보여진다.

한편 <표 3-36>과 <표 3-37>에서의 강우량과 유출량의 자료로부터 유출곡선 수 CN의 추정은 다음 관계식을 이용하였다.

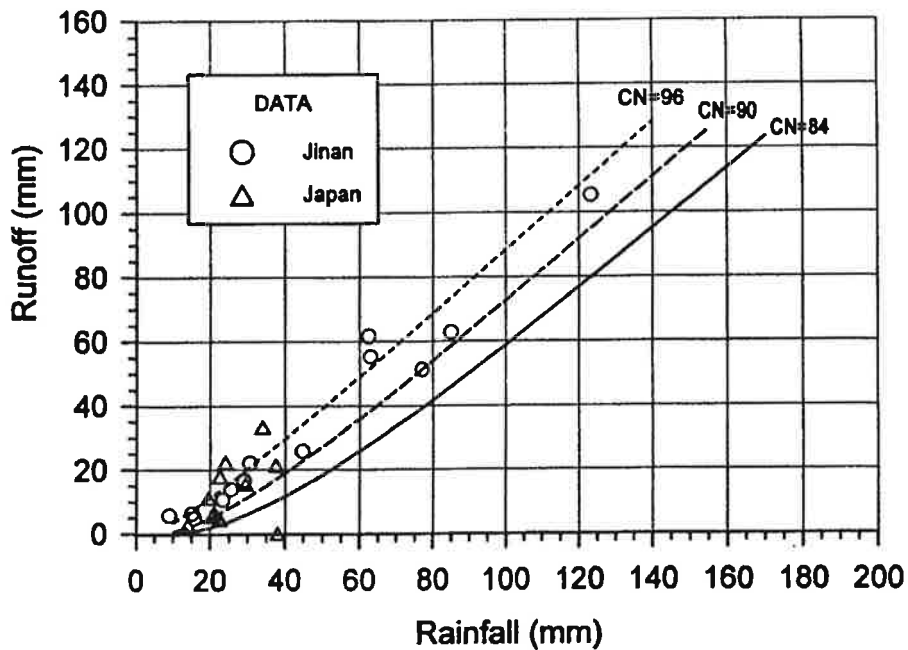
$$S = 5[P + 2Q - (4Q^2 + 5PQ)^{0.5}] \quad (3.11)$$

$$CN = 25,400 / (S + 254) \quad (3.12)$$

<표 3-38> 비경작기간의 유출조사자료(일본, 91-92년)

Event No	Date	Rain (mm)	Previous rainfall (mm)	무강우 일수	Paddy field		
					Runoff ratio	Obs. Q* (mm)	Cal. CN
1	91.10.6	21.0	35.0	4	0.31	6.5	91.3
2	10.10	37.5	21.0	2	0.57	21.4	93.0
3	10.17	29.5	37.5	4	0.53	15.6	93.6
4	10.24	20.5	29.5	7	0.27	5.5	90.5
5	12.27	22.5	7.0	1	0.20	4.5	87.5
6	92.2.3	22.5	9.5	1	0.80	18.0	98.3
7	3.17	24.0	16.5	1	0.93	22.3	99.4
8	3.20	34.0	24.5	1	0.98	33.3	99.8
9	4.16	14.0	33.5	4	0.21	2.9	92.0
10	4.22	19.5	14.0	5	0.58	11.3	96.3
11	5.8	38.0	29.5	7	0.003	0.1	60.0
	Mean	25.7			0.49	12.9	91.1

(주) 10개 자료 941.7 / 10 = 94.2 (Event.11 제외)



<그림 3-24> 강우-유출량 관계(진안, 일본자료)

한편 서울대 연구자료(86, 87년)에서는 68~93 범위로서 $CN_{III} = 89$ 를 제안하였고, 일본 논문자료(91, 92년)에서는 비경작기간자료에서 추정된 것으로 60~99 범위로 평균 91, 진안 시험포장(95, 96, 97년)은 82~99로 평균 94를 나타내었다.

4. 배수로 조도계수

수로단면중 11호 배수로 간이표척-1 지점 및 후림지점과 14호 배수로 수위탑 부근에서 유속측정을 실시하여 수위-유량공식을 유도하고 배수로의 조도계수를 추정하였다. 이때 사용된 수로의 수면 및 바닥기울기의 기본자료는 <표 3-20>에 나타낸 바와 같다.

가. 표척-1 지점

표척-1 지점에서의 수위 및 유량측정 자료인 <표 3-23>에서 조도계수 추정값은 다음과 같다.

<표 3-39> Staff-1 지점 조도계수 추정값(1997)

일자	5.7	5.24	5.27	6.2	6.20	6.25	8.1
조도계수(n)	0.0428	0.0857	0.0586	0.0391	0.0377	0.0718	0.0848

(주) n값 계산에서 <표 3-20>의 수로경사 $S_o = 0.0053$ 사용

1996년 Staff-1 지점의 유량산정에서는 Manning공식에 의한 조도계수 n값 0.030과 수로경사 $S_o = 0.0053$ 를 사용하였는데 <표 3-39>에서 보는 바와같이 1997년도 유속계 측정에 의한 유량자료에서 n값을 추정한 바 1996년도에 가정하였던 조도계수보다 큰 값인 0.0377~0.0857 범위로서 평균 0.0601이었다.

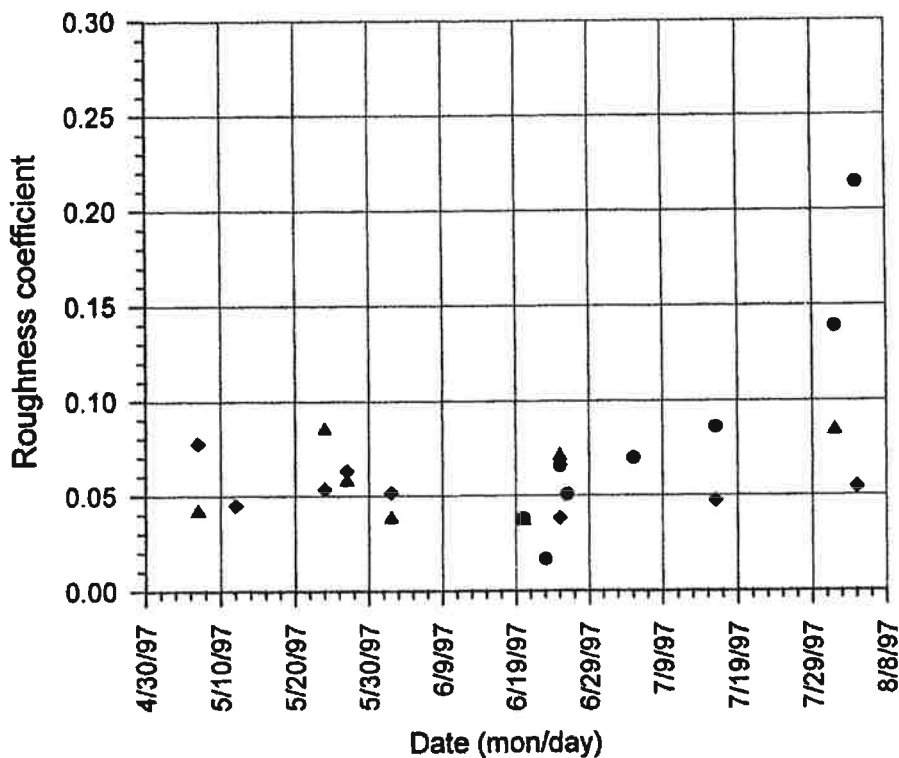
나. 후륜지점

11호 배수로의 파살후륜 지점에서의 수위 및 유량자료를 이용한 조도계수 추정값은 다음 <표 3-40>과 같으며, <그림 3-25>는 이를 도시한 것이다.

<표 3-40> 후륜지점의 조도계수 추정값(1997)

일자	6.20	6.23	6.25	6.26	7.5	7.16	8.1	8.4
조도계수(n)	0.0380	0.0167	0.0657	0.0508	0.0708	0.0858	0.1389	0.2145

(주) 후륜하류측 n값 계산시 <표 3-20>의 수로경사(So) = 0.00188 적용



<그림 3-25> 후륜 하류지점의 조도계수 변화(1997)

<표 3-40>에서 보는 바와 같이 1997년도 유속계 측정에 의한 유량자료에서 조도계수 n 값을 추정한 바 0.0167~0.2145 범위로서 평균 0.0538이었으며, 이는 1996년도 Staff-1 지점에서 가정했던 조도계수 0.030 보다 큰 결과를 가져왔다. 이는 <그림 3-25>에 도시한 바와 같이 11호 배수로내 수초의 성장과 더불어 조도계수가 증가하였음을 알 수 있으며, 또한 유말공과 측정구간 하류부에서 흐름이 정체가 됨으로써 8월에는 더욱 흐름이 원활하지 못하였다.

다. 수위탑(ST-7) 지점

1996년 Staff-7 수위탑 지점에서의 유량산정을 위한 보조자료로 사용하기 위하여 14호 배수로 Staff-6 지점에서 Staff-7 수위탑지점까지의 유량산정에서는 Manning공식에 의한 조도계수 n 값을 7월 0.030~0.0857, 8월 0.080~0.100, 9월 0.110~0.120 및 수로경사 $S_o = 0.00292$ 를 사용하였다.

그러나 <표 3-41>에서 보는 바와 같이 수위탑지점에서의 1997년도 유속계 측정에 의한 유량자료에서 n 값을 추정한 바 0.0383~0.0775 범위로서 평균 0.0538이었으며, 이는 1996년도 가정했던 조도계수보다 7월에는 크고 8월이후에는 작은 것으로 나타났으며, 이는 수위탑 하류가 급류구간으로 물흐름이 빠르고 반대로 측정구간인 St-6~St-7 구간에서는 정체가 심하여 조도계수가 상대적으로 영향을 적게 준 때문으로 추정된다.

<표 3-41> 14호 배수로 ST-6과 ST-7구간 중간지점 조도계수 추정(1997)

일자	5.7	5.12	5.24	5.27	6.2	6.25	7.16	8.4
조도계수(n)	0.0775	0.0449	0.0535	0.0629	0.0516	0.0383	0.0473	0.0543

(주) 수로경사(S_o) = 0.00292 적용

제4절 논유출 상세모형

1. 개요

일반적으로 논유출모형을 위해서는 강우량, 관개수량 및 배수량, 토양특성에 따른 침투량, 증발산량, 논유역 구성 및 배수로 조직, 논역의 형태와 크기, 논바닥 경사 및 균평도, 취배수시설 및 형태, 배수구의 위치, 물꼬형태와 크기 및 개소수, 초기수심 등의 기하적 조건과 초기 및 경계조건과 같은 기본요소를 고려하게 된다.

또한 배수특성상 낙수기 및 홍수기의 아래물꼬를 통한 답면배수는 수심이 아직 큰 단계에서는 배수량이 배수구의 단면에 지배되고, 수심이 얕아진 단계에서는 배수량이 논바닥 상태에 지배되며, 다음으로 고립된 물이 남는 단계의 3단계로 구분될 수 있다.

그러나 실제적으로는 모형의 성격과 주어진 여건에 따라 부분적으로 생략되기도 하며, 기상조건, 논역의 기하적 특성, 벼의 시기별 성숙단계, 배수로 조건 등에 따라 다르다.

본 논유출모형에서는 상시 답수를 기본으로 하는 논에서의 홍수배제이므로 관개수량과 증발산량은 무시하고, 논둑높이를 최대수심으로 하는 유효우량이 되는 배제하며, 배수물꼬를 통한 지표배수를 가정하였다.

따라서 단일필지에서의 논유출과 배수로에서의 흐름추적을 위하여 연속방정식에 기초한 저류방정식을 간략화하여 논유출모형과 배수로유출모형으로 구성한 유출프로그램 PDSM(Paddy Drainage Simulation Model)을 작성하였다.

2. 논유출모형

단일필지에 대한 물수지방정식을 적용하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\pm S = P + IR - F - ET - Q \quad (3.13)$$

식에서 P = 강우량, IR = 관개수량, F = 침투수량, ET = 증발산량, Q = 유출량, S = 저류량의 변화이다. 위식에서 강우기간중에는 취수에 의한 관개수량이 없으며, 침투수량과 증발산량을 무시하면 저류량의 변화는 강우량을 유입량으로 하고 웨어형태의 물꼬를 통한 배수량을 유출량으로 하는 간단한 관계식이 이루어진다.

논유역내 배수로의 유출량은 그 구획내 각각의 필지로부터 배수물꼬를 통하여 배수되는 유출량의 합으로 볼 수 있다. 각 필지로부터의 유출은 배수물꼬에 의하여 좌우되는데 기존의 경우 대부분이 월류형식을 취하고 있으며, 그 폭은 대체로 60cm 이하이고 월류심도 최고 20cm 정도에 그치며, 이때 논에서의 평균유속도 작으므로 논에서의 흐름은 속도수두를 무시할 수 있을 것이다.

즉, 여기에서 대상으로 하고 있는 논유출의 경우 담수관개를 하며 배수물꼬를 통하여 배수가 이루어지므로 배수물꼬의 조절효과에 의하여 유속이 수심에 비하여 극히 적어지며 이 경우 $S_f \approx 0$ 가 된다. 따라서 Dynamic Wave 방정식 중 압력항은 상대적으로 무시할 수 없는 항이 되어 수면은 수평상태로 볼 수 있다.

따라서 논에서의 유출은 하류단에 배수물꼬와 같은 조절기능이 존재하고 있으므로 배수물꼬를 물넘이로 하는 저수지에서의 유출과 같은 유출특성을 가지고 있는 것으로 간주할 수 있으므로 식(3.14)와 같은 연속방정식에 기초한 저류방정식을 기본으로 하는 수문학적 홍수추적방법을 이용할 수 있다.

$$I - O = \frac{dS}{dt} \quad (3.14)$$

따라서 논에서의 유출은 배수물꼬를 물넘이로 하는 저수지에서의 유출과 같은 유출특성을 가지고 있는 것으로 간주할 수 있다.

$$\frac{dS}{dt} = IR + R - F - ET - Q \quad (3.15)$$

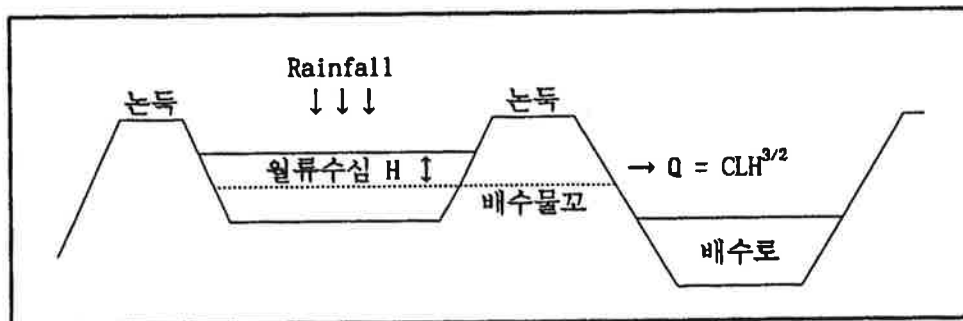
식에서 IR = 관개수량, R = 강수량, F = 침투수량, ET = 증발산량, Q = 유출량이다.

위식에서 강우기간중 관개수량이 없고, 침투수량과 증발산량을 무시하면 저류량의 변화는 강우량을 유입량으로 하고 웨어를 통한 배수량을 유출량으로 하는 저수지에서의 저류량방정식을 적용할 수 있다.

$$\frac{dS}{dt} = R - Q \quad \text{또는} \quad \frac{dh}{dt} = i - q \quad (3.16)$$

즉 눈에서의 유출은 하류단에 배수물꼬와 같은 조절기능이 존재하고 있으므로 저류방정식을 기본으로 하는 저수지 홍수추적방법을 이용할 수 있다.

따라서 <그림 3-26>와 같이 눈에 떨어지는 강우량의 일부는 배수물꼬의 배제능력부족에 따라 눈에 저류되어 유출이 지체됨으로서 최대유출량을 최대유입량보다 감소시키는 홍수조절기능을 가지게 되어 이를 기초로 모형을 구성하였다.



<그림 3-26> 눈에서의 유출과정

저류방정식(3.14)는 임의시간 t에 대하여 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\frac{(I_t + I_{t+\Delta t})}{2} - \frac{(O_t + O_{t+\Delta t})}{2} = \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{S_{t+\Delta t} - S_t}{\Delta t} \quad (3.17)$$

$$\frac{1}{2} (I_t + I_{t+\Delta t}) \Delta t - \frac{1}{2} (O_t + O_{t+\Delta t}) \Delta t = S_{t+\Delta t} - S_t \quad (3.18)$$

식에서 Δt = 계산시간간격, I_t = t시각에서의 유입량, O_t = t시각에서의 유출량, ΔS = Δt 시간동안의 저류량의 변화, $S_{t+\Delta t}$ 및 $S_t = t+\Delta t$ 및 t시간에서의 저류용적이다.

$$S_{t+\Delta t} + O_{t+\Delta t} \times \frac{\Delta t}{2} = \left(S_t - O_t \times \frac{\Delta t}{2} \right) + (I_t + I_{t+\Delta t}) \times \frac{\Delta t}{2} \quad (3.19)$$

식(3.19)에서 I는 눈에 대한 유입량으로서 강우량이며, 유출량 O는 $0 = CLH^{3/2}$ 의 웨어공식으로 산정되는 배수물꼬의 월류량이다. 이때 유출량 O는 눈 저류량 S와 관계가 있으므로 시산법에 의하여 O 및 S를 계산할 수 있도록 프로그램을 작성하였으며, 흐름도는 <그림 3-27>과 같다.

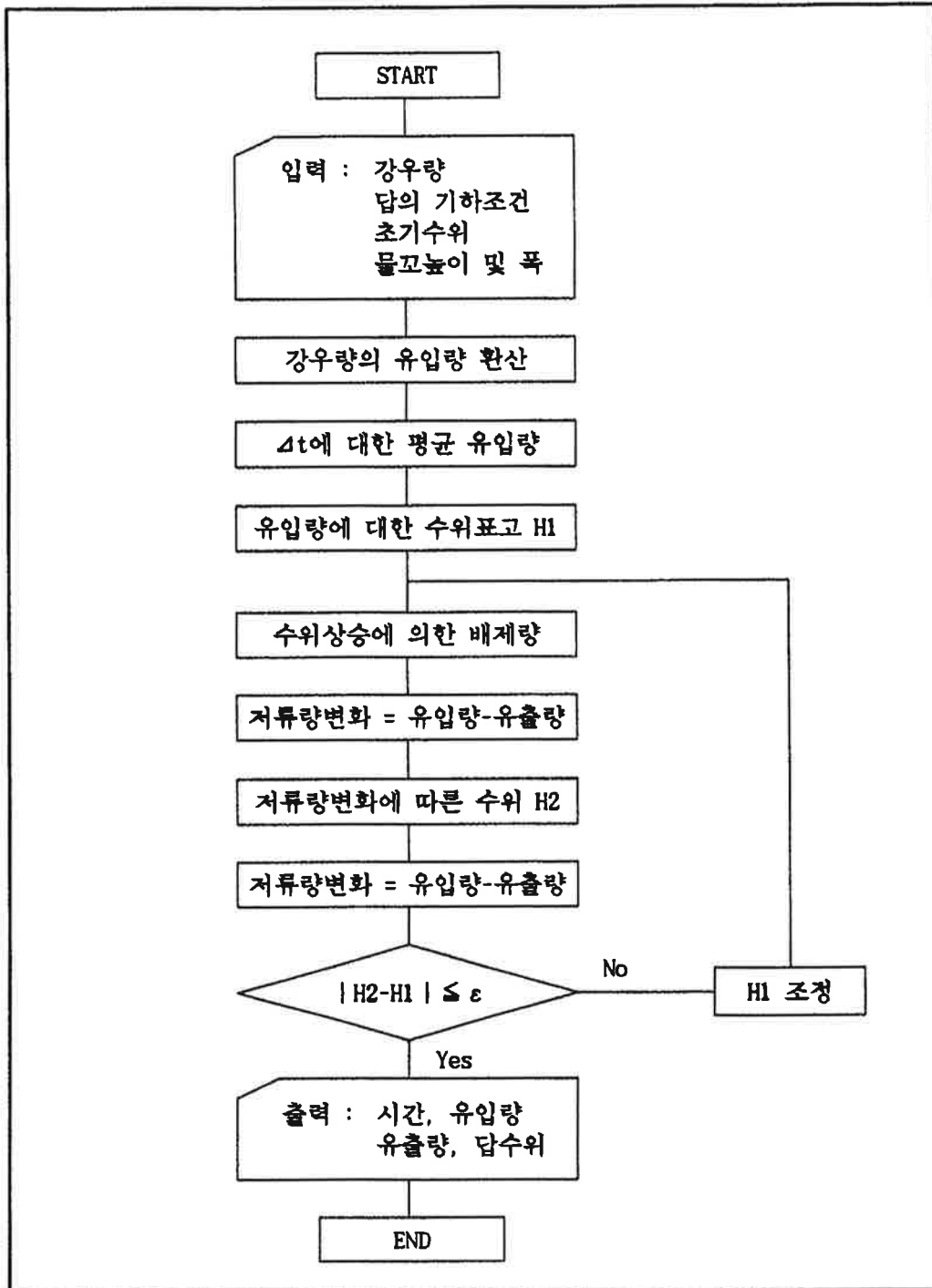
3. 눈유역 유출모형

가. 배수로 유출모형

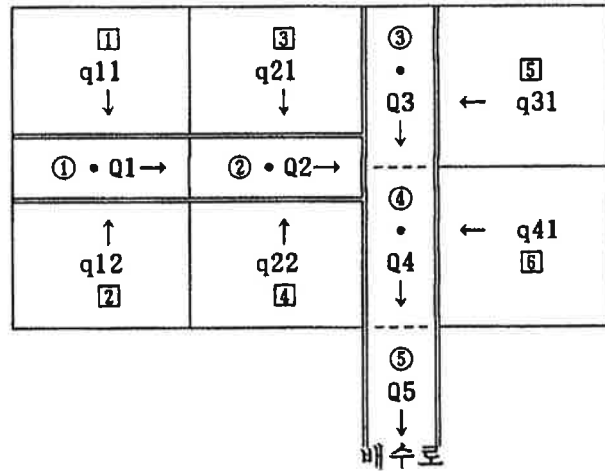
배수로에서의 흐름해석은 상류측수로의 유입량과 눈으로부터의 유출량을 고려하여 시간별 유출수문곡선을 작성하게 되는데 여기서는 배수로의 홍수 추적을 위하여 배수로 구간별로 연속방정식을간략화하여 적용하였다.

우선 눈유역에서의 유출해석을 위하여 눈과 배수로의 구획형태를 <그림 3-28>과 같이 모식화하였으며, 이에 대한 각 필지의 유출량을 계산하면 배수로에서는 다음과 같이 각 필지에서의 유출량과 상류측수로 유입량의 합으로 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} Q_1 &= q_{11} + q_{21} \\ Q_2 &= \underline{Q_1} + q_{21} + q_{22} \\ Q_3 &= q_{31} \\ Q_4 &= \underline{Q_2 + Q_3} + q_{41} \\ Q_5 &= \underline{Q_4} \end{aligned} \quad (3.20)$$



<그림 3-27> 논유출모형의 흐름도



<그림 3-28> 논구획에서의 유출흐름도

위의 식(3.20)과 <그림 3-28>에서 Q = 배수로 유출량, q = 수로구간별 논으로부터의 배수물꼬 유출량이며, \square = 논번호, \circ = 수로구간번호를 나타낸다.

따라서 논에서와 마찬가지로 수로구간별 연속방정식을 이용하면 유입량 - 유출량 = 저류량의 변화로 표시할 수 있다.

여기서 유입량 = 상류측수로 유입량 + 논유출량(수로횡유입량)

+ 수로강수량 + 지하수변화량

$$= (Qc1 + Qc2 + Qc3) + (q1 + q2) \cdot \Delta x + (W \cdot \Delta x \cdot r) \pm U$$

유출량 = 하류측 수로방향으로의 유출량 = Qco

저류량의 변화 = 일정구간(Δx)의 수위에 따른 저류량 변화이다.

식에서 $Qc1, Qc2, Qc3$ = 상류측수로의 유입량으로 최대 3개, $q1, q2$ = 논배수로부터 유입되는 수로횡유입량으로 논 1개는 최대 좌우측 2개, W = 수로수면 폭, Δx = 수로길이, r = 강우강도, U = 지하수유출입량이다.

여기서 수면상에 내린 강수량의 영향을 무시하고 지하수유출입량에 대한 시간적 변화가 적으며, 유출되는 수로는 분기되지 않고 반드시 하류방향의 1개

수로로만 유출되는 것으로 가정하여 Δt 시간동안의 평균값을 사용하면 방정식은 더욱 간략화된다.

그러므로 임의구간 i 지점의 하천흐름에 대한 평균값을 이용하여 시간 t 와 $t+1$ 단계의 방정식으로 나타내면, 3개 상류측수로에서의 시간별 평균유입량은

$$\begin{aligned}
 QI &= 0.5 * \sum_{i=1}^3 (Q_{i,t} + Q_{i,t+1}) \\
 &= 0.5 * (Q_{1,t} + Q_{1,t+1} + Q_{2,t} + Q_{2,t+1} + Q_{3,t} + Q_{3,t+1}) \quad (3.21)
 \end{aligned}$$

에서 유출되어 배수로로 유입되는 평균 횡유입량은,

$$\begin{aligned}
 QP &= 0.5 * \sum_{i=1}^2 [q_{i,t} + q_{i,t+1}] * \Delta x \\
 &= 0.5 * [q_{1,t} + q_{1,t+1} + q_{2,t} + q_{2,t+1}] * \Delta x \\
 &= 0.5 * (Qp_{1,t} + Qp_{1,t+1}) + 0.5 * (Qp_{2,t} + Qp_{2,t+1}) \quad (3.22)
 \end{aligned}$$

하류측 수로방향의 평균유출량은

$$QO = 0.5 * (QO_{1,t} + QO_{1,t+1}) \quad (3.23)$$

또한 저류량변화는

$$\frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{S_{i,t+1} - S_{i,t}}{\Delta t} = \frac{A_{i,t+1} - A_{i,t}}{\Delta t} * \Delta x \quad (3.24)$$

여기서 상류측유입량을 KWN1과 논유출량을 KWN2로 놓으면

$$\begin{aligned}
 KWN1 &= 0.5 * (Q_{1,t} + Q_{1,t+1} + Q_{2,t} + Q_{2,t+1} + Q_{3,t} + Q_{3,t+1}) \\
 KWN2 &= 0.5 * (Qp_{1,t} + Qp_{1,t+1} + Qp_{2,t} + Qp_{2,t+1}) \quad (3.25)
 \end{aligned}$$

따라서 유입량, 횡유입량, 유출량 및 저류량변화를 저류방정식에 조합하면

$$(A_{i,t+1} - A_{i,t}) * \frac{\Delta x}{\Delta t} = KWN1 + KWN2 - 0.5 * (QO_{1,t} + QO_{1,t+1}) \quad (3.26)$$

한편 수심을 H , $DR = \frac{\Delta x}{\Delta t}$, 유수단면적 $A = [B + z * H] * H$,

윤변 $P = [B + 2 * \sqrt{1+z^2} * H]$, 경심 $R = A/P$ 이므로 Manning공식을

이용한 유량계산은 다음과 같다.

$$Q_{i,t+1} = AV = A \times \frac{1}{n} R^{2/3} S_f^{1/2}$$

$$= C2 \times \frac{[(B + z * H(j, n+1)) * H(j, n+1)]^{5/3}}{[B + 2\sqrt{1+z^2} * H(j, n+1)]^{2/3}} \quad (3.27)$$

식에서 $C2 = \frac{1}{n} S_f^{1/2}$ 이다.

이를 1개 수로요소에 적용한 후 차례대로 각 지점에서의 수위 및 유량을 구하게 된다. 여기서 주어진 조건의 수심을 Newton-Rapson 반복법으로 구하기 위하여 A_{t+1} 와 Q_{t+1} 를 식(3.26)에 대입하고 이를 $F(x)$ 로 놓으면,

$$F(x) = DR * [(B + z * H_{t+1}) * H_{t+1} - A_t]$$

$$+ 0.5 * C2 * \frac{[(B + z H_{t+1}) \times H_{t+1}]^{5/3}}{[B + 2\sqrt{1+z^2} H_{t+1}]^{2/3}} + 0.5 * Q_t - KWN1 - KWN2 \quad (3.28)$$

$$F(x) \text{를 미분하면, } F'(x) = DR * [B + 2 * z * H_{t+1}] + 0.5 * C2$$

$$\times \left(\frac{\frac{5}{3} [B + 2zH]^{2/3}}{[B + 2\sqrt{1+z^2} H]^{2/3}} - \frac{\frac{4}{3} \sqrt{1+z^2} [(B+zH) \times H]^{5/3}}{[B + 2\sqrt{1+z^2} \times H]^{5/3}} \right) \quad (3.29)$$

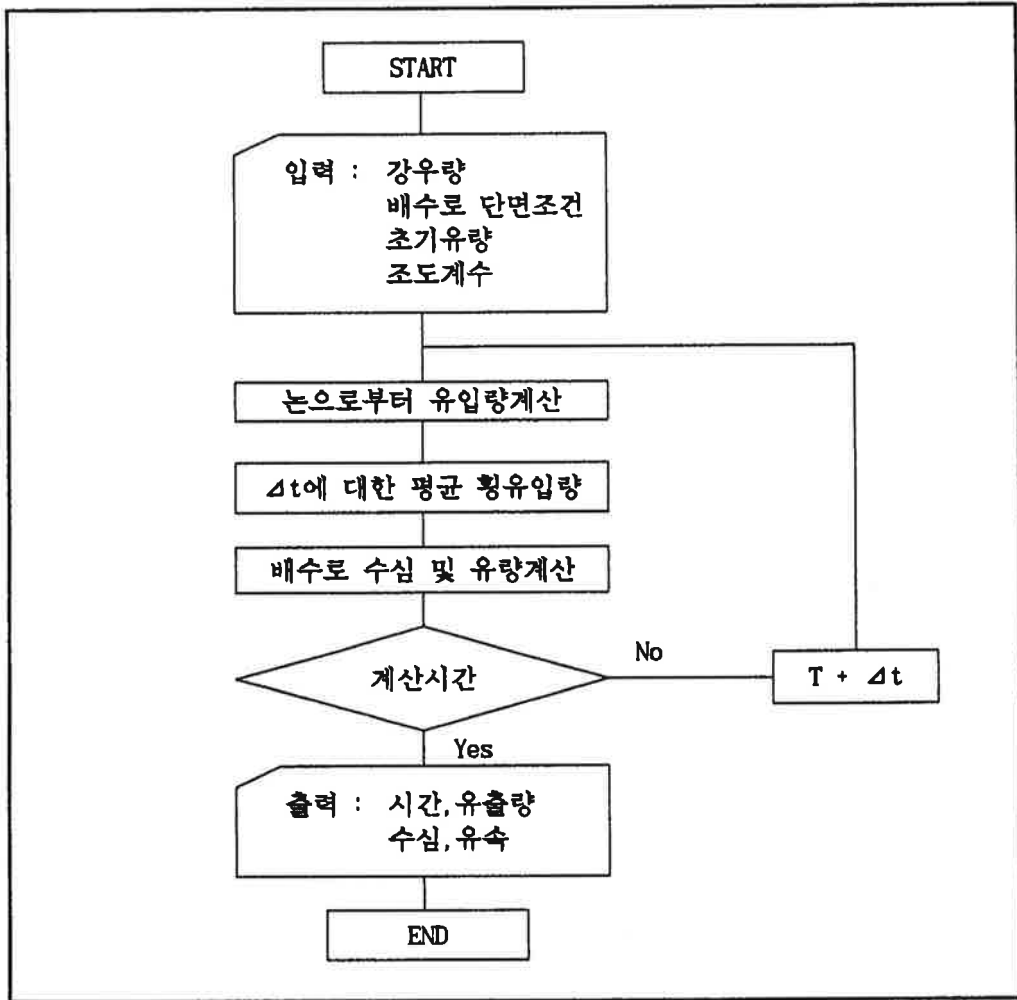
그러므로 Newton 방법인 $H_{t+1} = H_t - \frac{F(H_t)}{F'(H_t)}$ 을 반복하여 허용오차범위의 수심을 계산하게 된다.

$$FX0 = B + 2\sqrt{1+z^2} h(j, n+1)$$

$$FX1 = f(H) \quad FDI = f'(H) \quad (3.30)$$

$$FX2 = H(j, n) - FX1 / FDI$$

이와같은 계산식을 기본으로 <그림 3-29>와 같은 배수로유출모형 프로그램을 작성하였으며, 흐름에 대한 계산순서를 <그림 3-28>에서 보면 논과 배수로가 조합된 소분류별로 계산되며 전체적으로는 ① → ② → ① → ③ → ④ → ② → ⑤ → ③ → ⑥ → ④ → ⑤의 단계로 홍수추적이 이루어진다.



<그림 3-29> 배수로 유출모형 흐름도

나. 기본가정

본 유출모형을 구성하는 데는 기본적으로 다음과 같이 가정하였다.

- 강수량
 - 입력되는 강수량 시간간격은 동일하다.
 - 시간간격내 강수량 또는 강우강도는 균등하다.

- 논
 - 상시답수를 원칙으로 토양수분(지하수위)변화는 고려하지 않는다.
 - 강우시는 관계하지 않으며, 침투량, 증발산량 등의 손실은 없다.
 - 직사각형 논으로 바다과 상단은 동일면적이며 논바닥은 수평하다.
 - 논에서의 물꼬유출은 완전월류로 보며, 1개의 배수로로 유출된다.
 - 논에서의 유출량은 웨어공식 $Q = CLH^{3/2}$ ($C=1.772$)을 적용한다.
- 배수로
 - 수로의 유량계산은 Manning공식과 바닥기울기(S_o)를 이용한다.
 - 수로단면은 사다리꼴단면으로 가정하며, 양측의 사면기울기는 같다
 - 상류측 유입수로는 최대 3개이고, 횡유입되는 논은 최대 2개이다.
 - 하류방향으로의 유출수로는 1개이다.

4. 모형의 구성

가. 변수설명

논유출모형 프로그램의 입출력 및 계산을 위한 변수들은 다음과 같다.

```

nzip          = option code for simulation
rain_dhour    = total duration of rainfall
rain_dtsec    = interval time for rainfall data input
rainsity      = rainfall intensity
dto_sec       = simulation increment time for paddy routing
dte_sec       = simulation increment time for canal routing
simo_hr       = total time for paddy simulation
simc_hr       = total time for canal simulation
nt_pad        = total number of paddy field
nsub_canal    = number of subcanal in total district
nte_canal     = total number of drain canal
ns_pad        = number of paddy in each drain canal
nse_canal     = number of drain canal in nsub_canal block
outlet_type   = type of paddy outlet
  
```

pad_area = paddy area
 init_depth = initial water depth of paddy field
 pdw_width = width of paddy outlet weir
 pdw_height = height on the paddy bottom elevation
 pdw_coeff = runoff coefficient of paddy weir
 nec = drain canal number
 nec1 = no. of lower drain canal
 ncon1 = 1st confluence canal
 ncon2 = 2nd confluence canal
 ncon3 = 3rd confluence canal
 cz = side slope of drain canal
 cbwid = bottom width of drain canal
 clen = length of drain canal
 cslope = bottom slope of drain canal
 crcoef = roughness coefficient of drain canal
 initq = initial discharge of drain canal

나. 프로그램의 구성

프로그램은 1개의 주프로그램과 7개의 부프로그램으로 구성되어 있다.

main(int, char) : main program
 rain_data() : rainfall duration & amount and intensity
 time_data() : simulation time for paddy & canal
 pad_shape(int) : data of paddy field structures
 pad_routing(int, int) : simulation based on the storage equation
 * pad_volume(int, float) : calculation of paddy storage
 * pad_depth(int, float) : calculation of paddy water depth
 pad_canal_data(int, int) : canal subdivisions & compositions
 drain_routing(int) : simulation of drain canal flow

다. 입출력자료

상기 과정을 통하여 개발된 논유출모형과 배수로에서의 유출모형을 조합하여 논구획에서의 홍수유출모형을 구성하였으며, 프로그램의 적용에 필요한 입력 및 출력자료는 <표 3-42>과 같다.

<표 3-42> 상세모형의 입출력자료

구분	항목	입출력내용
입력	강우	강우일시, 강우지속시간, 시간간격, 강우량(강우강도)
	논	논번호, 논면적, 논바닥표고, 물꼬형태, 물꼬높이와 폭, 초기수심, 유출계수, 배수구 개소수, 출구배수로
	배수로	유입수로수, 출구수로, 수로바닥폭 및 측면경사, 배수로 길이, 수로바닥기울기, 조도계수
출력	논	논의 구성, 시간별 배제량 및 논저류수위
	배수로	배수로 재원, 시간별 유출량

상기 입력자료에 대하여 설명하면 다음과 같다.

(1) 강우량 (rain_data)

- 강우가 발생된 년월일 및 시간자료
- 기록자료로부터 총강우지속시간, 시간간격별 (누가)우량의 획득 또는 강우강도 계산

(2) 논 (pad_shape)

- 논외 기하자료인 논구획의 필지별 블록구성, 논면적과 초기수심, 그리고 논 및 배수로에 대한 상호연계
- 논물꼬형태, 물꼬높이와 폭, 유출계수, 배수물꼬수

(3) 배수로 (pad_canal_data)

- 배수로의 기하적 자료인 배수로의 블록구성, 초기유량, 그리고 상류측 배수로 및 하류측 배수로 번호를 구분
- 배수로의 단면형태, 바닥폭, 수로기울기, 수로측면경사, 구간별 수로길이, 조도계수

(4) 모의발생시간 및 계산간격

- 일반적인 경우 논(simo_hr)과 배수로(simc_hr)의 총모의발생시간은

- 강우시간(rain_dhour)보다 길게 한다.
- 는유출 계산간격(dto_sec)은 유달시간(Tc)보다 같거나 작게 한다.
 - 는유출 계산간격(dto_sec)은 강우강도의 시간간격(rain_dtsec)과 같거나 작게 한다.
 - 배수로의 계산간격(dtc_sec)은 는유출 계산간격(dto_sec)과 같거나 작게 한다.
 - 배수로, 는 및 강우강도의 계산간격(dtc_sec)은 각각의 정배수가 되도록 한다. ($dte_sec \leq dtc_sec \leq dtc_sec$)

라. 프로그램의 실행

(1) 프로그램 실행

C:\> 실행프로그램 입력파일명 출력파일명

<예> C:\> PDSM.EXE EX96-000.DAT EX96-000.OUT

(2) 기본예제

앞에서 설명한 <그림 3-28>과 같은 가상적 논구획의 유출해석을 기본 예제로 프로그램을 적용하기 위한 입력자료의 예는 다음과 같다.

• Input data : EX96-000.dat

```

3
1996 6 24 3 30
2
2.5 900
0.7 0.8 0.7 2.5 2.0 1.7 1.6 4.2 2.0 3.7
5.0 900 900
5.0 450 450
6 3 5
2
2
1 7 1 5000.0 0.000 1 0.000 0.30 1.772 1

```

```

2 7 1 5000.0 0.050 1 0.000 0.30 1.772 1
1 9 2 1.0 0.50 50.0 0.01 0.030 0 0 0 0 0.0
2
3 9 2 5000.0 0.100 1 0.100 0.30 1.772 1
4 9 2 5000.0 0.150 1 0.100 0.30 1.772 1
2 9 4 1.0 0.50 50.0 0.01 0.030 1 1 0 0 0.0
2
1
5 9 3 5000.0 0.200 1 0.100 0.30 1.772 1
3 9 4 1.0 0.50 50.0 0.01 0.030 0 0 0 0 0.0
1
6 9 4 5000.0 0.250 1 0.100 0.30 1.772 1
4 9 5 1.0 0.50 50.0 0.01 0.030 2 2 3 0 0.0
1
0
5 9 99 1.0 0.50 50.0 0.01 0.030 1 4 0 0 0.0

```

(3) 적용예

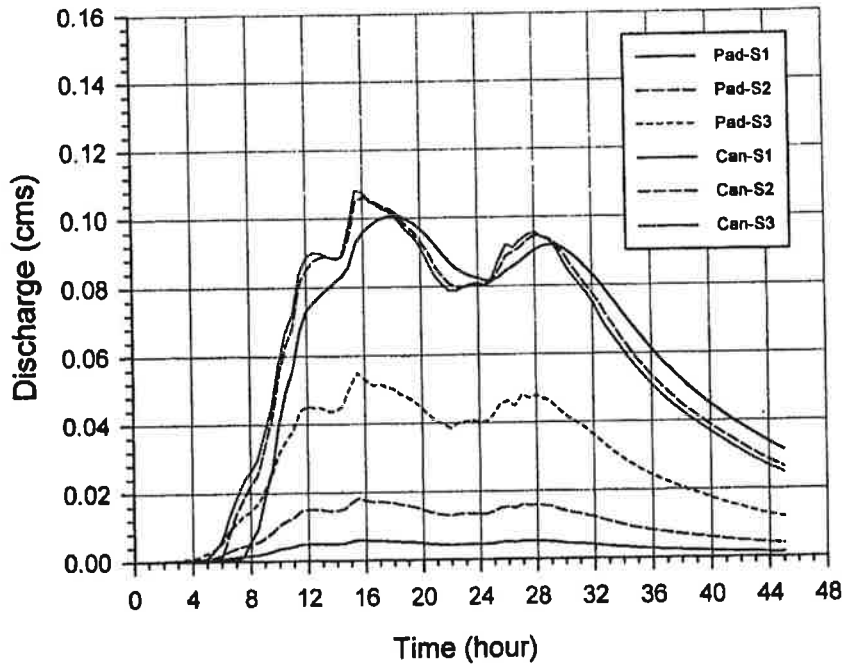
(가) 입출력자료

1996년 6월 24일의 강우사상에 대하여 본 시험포장에 적용한 예는 다음과 같다. 즉 본 적용에서 상류측에서 9번째 우측논에 웨어가 설치되어 있으므로 모의발생에서는 논번호로 17번째의 논유출량이며 9번째 수로의 유출량을 후림의 유출량으로 보면 된다.

- Input data : EX960624.DAT
- Output data : EX960624.OUT

(나) 검토조건

- 1) 논블록의 크기 (rain_dtsec = 900 sec, dto = dtc = 450 sec)
 - 는 1필지의 크기를 50m x 100m = 5,000 m²로 하는 경우
 - 는 3필지 면적인 15,000 m²로 하고 물꼬의 수를 3개로 하는 경우
 - 는 9필지 면적인 45,000 m²로 하고 물꼬의 수를 9개로 하는 경우



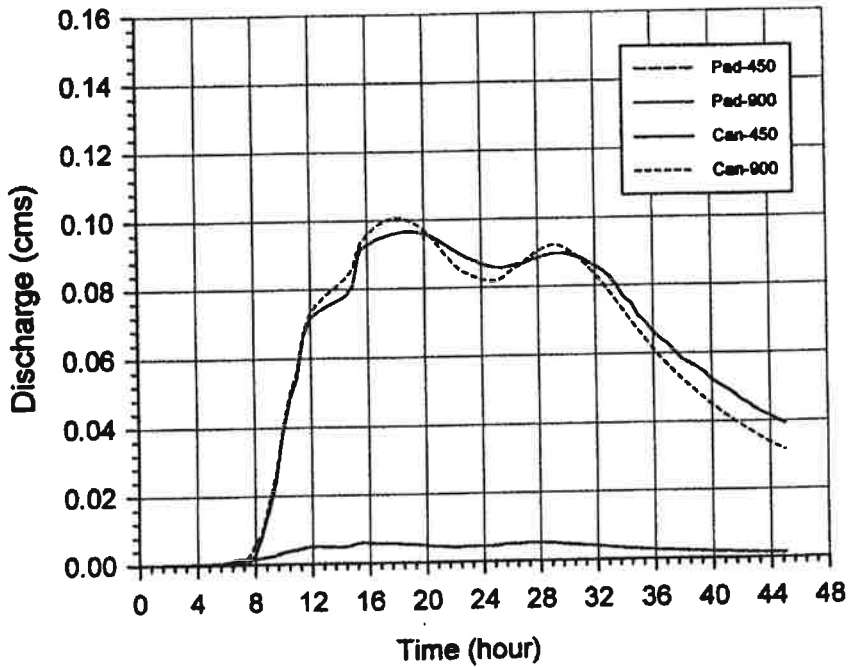
<그림 3-30> 논면적의 크기가 다른 경우 적용예

<그림 3-30>에서 S1, S2, S3는 각각 물꼬의 수를 의미하며, 여기서 논 의 물꼬 크기를 다른 것은 기준논면적에 비례한 물꼬의 수를 조정 한 것으로 배수로의 단위폭당 횡유입량은 차이가 발생되지 않았다. 그러나 배수로의 흐름에서 는 수로구간길이가 달라지므로 <그림 3-30>에서 보는 바와 같이 반복법에 의 한 약간의 차이가 발생하는 것으로 나타났다.

2) 계산시간간격

- 논 및 배수로의 계산시간간격을 동일하게 가정한 경우
(rain_dtsec = 900 sec, dto = dtc = 450 sec)
- 논 및 배수로의 계산시간간격을 다르게 가정한 경우
(rain_dtsec = 900 sec, dto = 900 sec, dtc = 450 sec)

- 는 및 배수로의 계산시간간격을 강우강도와 동일하게 가정한 경우
(rain_dtsec = dto = dtc = 900 sec)



<그림 3-31> 계산시간간격이 다른 경우의 적용에

는유출과 배수로흐름의 계산시간을 달리하는 경우 강우강도의 시간간격내에서는 는유출은 차이가 발생되지 않았으나 배수로에서는 반복법에 의한 약간의 차이가 <그림 3-31>에서 보는 바와 같이 발생되었으나 유의할 만한 오차는 아닌 것으로 보여진다.

3) 는물꼬의 크기 (rain_dtsec = 900 sec, dto = dtc = 450 sec)

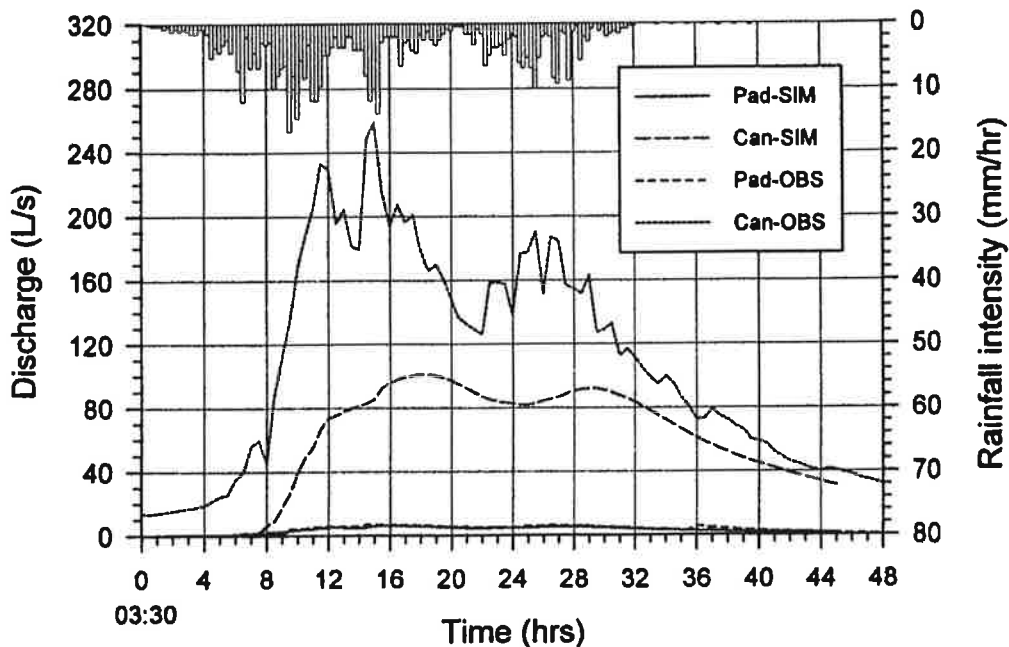
- 는 1필지가 5,000 m²인 경우 물꼬폭의 기준을 0.3m로 하는 경우
- 는 1필지가 15,000 m²인 경우 물꼬폭을 0.9m로 하는 경우
- 는 1필지가 45,000 m²인 경우 물꼬폭을 2.7m로 하는 경우

논의 물꼬크기를 조절하는 경우는 논면적에 따른 물꼬의 수를 다르게 하는 첫번째의 경우와 동일하므로 계산시간간격이 같으면 모의발생결과에서는 논유출 및 배수로 흐름의 경우 모두 차이가 발생되지 않았다.

(4) 제한사항

<그림 3-32>는 논(웨어)과 배수로(후름)에 적용한 예로 관측자료의 수문곡선형태를 잘 나타내지 못하는 것으로 볼 수 있다. 이를 위해서는 여러 원인을 분석하고 다음과 같은 제한사항을 고려하여야 한다.

- 논과 수로의 계산시간간격에서 강우강도의 입력시간간격보다 크면 오차가 발생한다.
- 불록의 구성과 크기에 따라 결과의 차이가 발생한다.
- 배수물꼬와 수로단면 등이 유출에 큰 영향을 주지만 논과 배수로에 대한 정확한 기하적 및 초기조건에 대한 자료수집이 어렵고, 기하자료가 많은 문제점을 지니고 있어 실제적용에는 매우 제한적이라고 할 수 있다.



<그림 3-32> 관측 및 모의발생 수문곡선(96.6.24)

5. 모형의 보정

모형의 보정 및 검정을 위한 강우량 및 유출량자료는 <표 3-43>에 나타난 자료중 1996년도 9개자료를 적용대상으로 하고, 이중에서 6월 24일, 6월 27일, 7월 4일 및 7월 12일의 자료를 보정에, 8월 2일, 8월 5일, 8월 9일, 8월 27, 8월 29일의 자료는 모형의 검정에 사용하였으며 보정과 검정을 통한 논바닥고, 논저류용적 및 유출량 등을 검토하였다.

모형의 적용을 위하여 강우자료는 900sec 간격의 강우강도를 입력하였고, 계산시간간격은 300 sec로 하였다.

<표 3-43> 모형적용을 위한 기본자료(1995,1996)

구분	일 자	강우량(mm)	적 용 시 간	비 고
1	95. 7. 21	8. 9	7/21 05:30 - 22:00	모형의 보정
2	7. 23	62. 9	7/23 15:00 - 7/24 16:00	"
3	8. 9	29. 0	8/09 11:00 - 8/11 18:00	"
4	8. 19	84. 9	8/19 04:00 - 8/20 16:00	모형의 검정
5	9. 2	62. 4	9/02 09:30 - 9/03 12:00	"
1	96. 6. 24	123. 3	6/24 03:30 - 6/26 12:00	모형의 보정
2	6. 27	27. 7	6/27 05:30 - 6/28 16:00	"
3	7. 04	77. 0	7/04 05:30 - 7/06 12:00	"
4	7. 12	44. 7	7/12 14:00 - 7/14 12:00	"
5	8. 02	25. 5	8/02 17:30 - 8/03 18:00	모형의 검정
6	8. 05	30. 6	8/05 15:30 - 8/06 18:00	"
7	8. 09	23. 3	8/09 18:30 - 8/10 18:00	"
8	8. 27	15. 7	8/27 12:00 - 8/27 24:00	"
9	8. 29	15. 1	8/29 18:30 - 8/31 06:00	"

(주) 1995년도는 보고서 참조

가. 논바닥고

일반적으로 논에서의 바닥상태는 균일하지 않고 경우에 따라서는 심한 기복을 나타내기도 하며, 본 시험포장의 경우에도 수심에 따른 수면적 및 내용적은 차이가 있는 것으로 볼 수 있다.

한편 모형의 적용에 필요한 월류수심을 계산하기 위해서는 논바닥고가 결정되어야 한다. 본 포장의 경우 논바닥고를 70cm의 영점표고를 사용하고 있는 웨어수위와 비교하기 위하여 <표 3-44>의 논바닥 측량자료에서 웨어바닥고를 296.169m로 하여 86cm, 80cm, 78cm, 77.4cm의 4가지 경우로 구분하여 6월 24일은 <표 3-45>, 6월 27일은 <표 3-46>과 같이 적용하였으며, <그림 3-33> 및 <그림 3-34>은 이를 나타낸 것이다. 6월 24일 및 6월 27일의 경우는 담수심을 유지하기 위하여 플라스틱판을 논웨어의 월류부에 임시로 부착하여 수두를 높은 상태를 유지하고 있다.

<표 3-44> 논바닥 측량자료의 적용

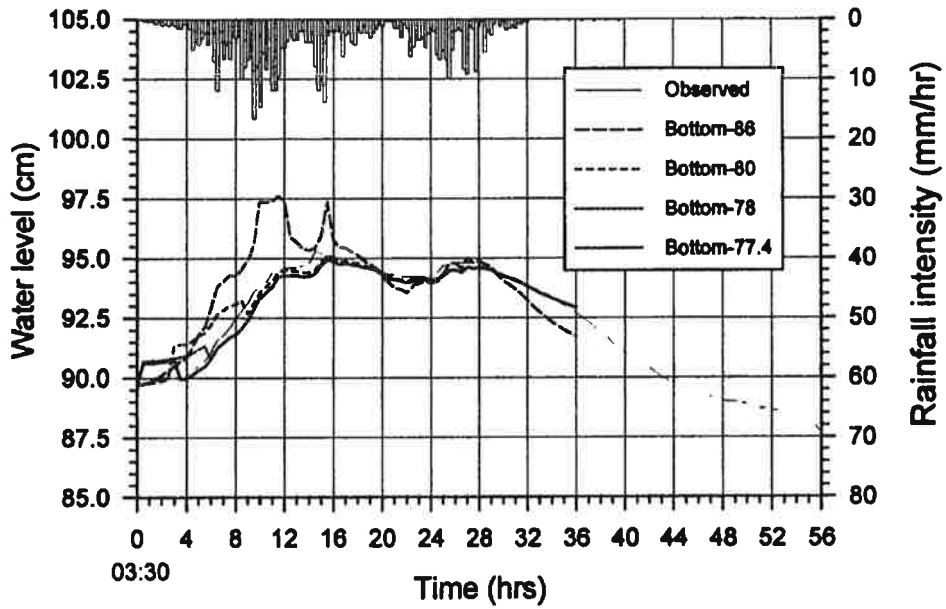
웨어바닥고 (m)	웨어상단부 (m)	논평균바닥고 (m)	R9-2 영점표고 (m)	비 고
298.169	-	298.354	-	95.11.18
"	-	298.359	-	96.3.23
"	-	-	298.230	96.6.19
"	298.269	-	-	모형의 적용

<표 3-45> 논바닥고 보정을 위한 적용조건 (96.6.24)

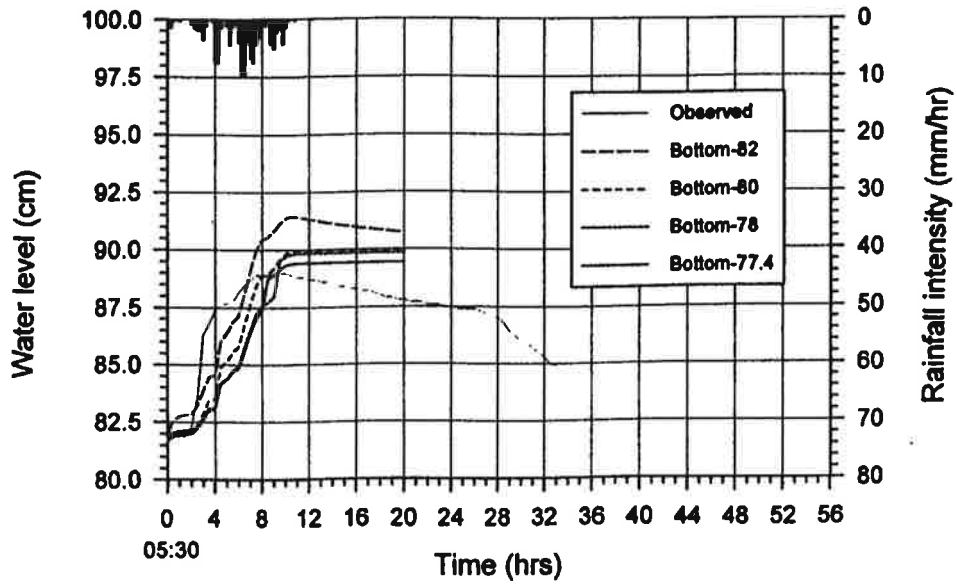
구 분	논바닥고 (cm)	물꼬높이 (cm)	월류수심 (cm)	초기수심 (cm)	비 고
CASE-1	86.0	4.0	-	3.7	논수면고 89.7 cm (t=0)
CASE-2	80.0	10.0	-	9.7	물꼬상단 90.0 cm (임시)
CASE-3	78.0	12.0	-	11.7	물꼬상단 80.0 cm (설치)
CASE-4	77.4	12.6	-	12.3	웨어바닥 70.0 cm

<표 3-46> 논바닥고 보정을 위한 적용조건 (96.6.27)

구 분	논바닥고 (cm)	물꼬높이 (cm)	월류수심 (cm)	초기수심 (cm)	비 고
CASE-1	82.0	8.0	-	-	논수면고 81.9 cm (t=0)
CASE-2	80.0	10.0	-	1.9	물꼬상단 90.0 cm (임시)
CASE-3	78.0	12.0	-	3.9	물꼬상단 80.0 cm (설치)
CASE-4	77.4	12.6	-	4.5	웨어바닥 70.0 cm



<그림 3-33> 논바닥고에 따른 수문곡선 비교(96.6.24)



<그림 3-34> 논바닥고에 따른 수문곡선 비교(96.6.27)

논저류용적은 1995년도에 보정된 <표 3-29>의 수심-내용적관계를 이용하였으며, 논바닥고는 위의 4가지 경우에 대하여 모형을 적용한 결과 <그림 3-33>에서 보는 바와 같이 6월 24일의 경우에는 CASE-4의 결과가 비교적 실측치와 근접하였으며, 6월 27일의 적용에서는 비슷한 양상을 나타내었다.

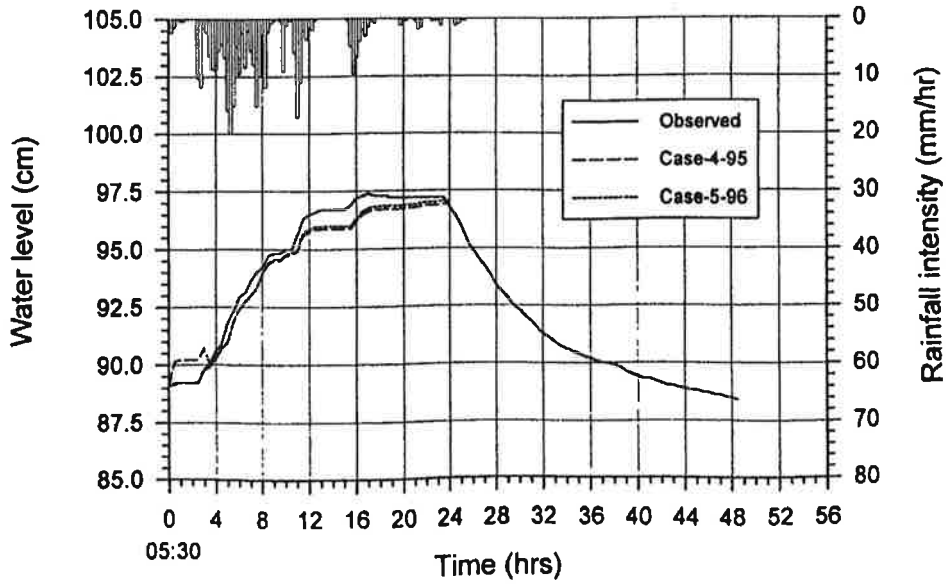
한편 <표 3-12>의 측량자료에서 1996년 3월 논 의 평균바닥고가 298.359m이고 웨어바닥고는 298.169m이므로 이로 인한 표고차가 약 19.0cm가 생기게 된다. 본 실험의 경우 웨어바닥고에 부착된 수위눈금 70.0cm에 기준을 두고 측정된 웨어수위이므로 논바닥고는 77.4cm 높이에 해당하는 298.243m라고 가정하였다.

나. 논내용적

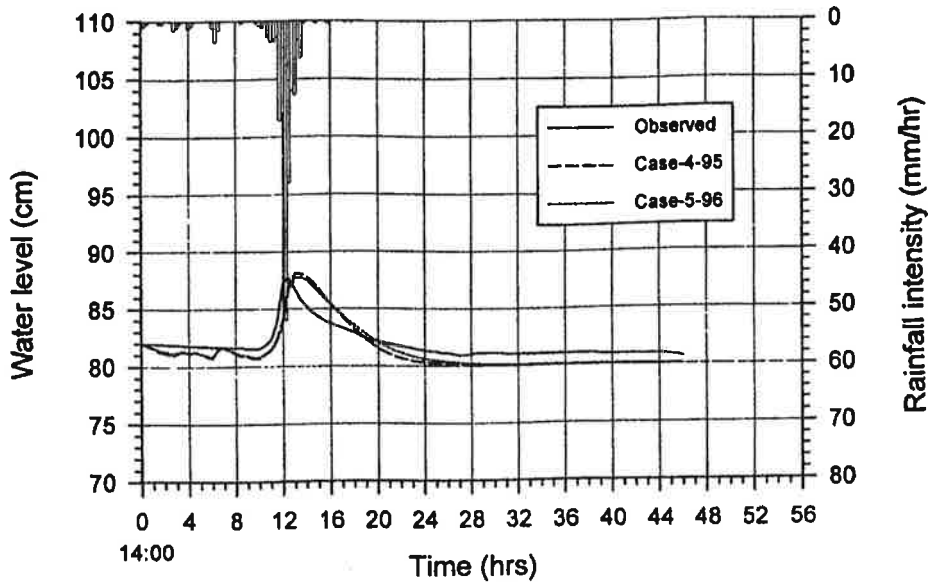
논에서 수심이 낮은 경우의 저류공간은 고르지 않은 논바닥때문에 이를 수평한 직사각형논으로 보고 적용하면 상당한 차이가 발생하게 된다. <그림 3-35>과 <그림 3-36>은 1996년 7월 4일과 7월 12일의 경우에 대하여 적용한 결과를 도시한 것으로 CASE-4는 95년도, CASE-5는 96년도의 회귀식을 나타내며 7월4일에는 상승부에, 7월 12일에는 하강부를 중심으로 적용한 것이다.

상관식은 95년도에는 직선, 역, 지수형태와 이 3가지를 조합하여 구간별로 적용한 4경우이며, 96년도에는 직선과 역형태의 함수를 CASE-5로 검토하였으며, 적용에서는 95년도의 CASE-4와 96년도 CASE-5의 2경우를 사용하였다.

<그림 3-35>과 <그림 3-36>에서 보는 바와 같이 CASE-4와 CASE-5의 적용차이는 큰 차이가 없는 것으로 보이지만, <그림 3-36>의 경우 상승이전의 곡선과 첨두부에서 하강시의 곡선이 잘 일치되지 않았다. 이는 웨어월류부에 따른 논바닥고와 내용적 동이 완전하게 보정되지 않은 때문으로 생각된다.



<그림 3-35> 내용적 보정을 위한 유출수문곡선(96.7.4)



<그림 3-36> 내용적 보정을 위한 유출수문곡선(96.7.12)

다. 배수물꼬와 논유출

논유역에서의 유출특성은 배수물꼬의 유출특성과 밀접한 관계를 가지고 있다는 전제아래 앞에서 설명된 모형을 이용하여 실측치와 비교함으로써 논구획내의 유출특성을 분석하고자 하였다. 이때 적용된 자료는 논웨어의 측정자료이며, 단일물꼬의 배제능력은 웨어유량공식 $Q = CLH^{3/2}$ 로 하여 유량을 산정하고, C값은 1.772를 사용하여 모형을 모의조작함으로써 1개 필지 논에서의 유출량을 측정자료와 비교하였다.

한편 실측자료는 웨어와 후름에서의 유출수문곡선을 나타내는 수위 및 유량자료이나 강우강도 및 각 논에서의 유입공 개폐상태와 초기 담수심이 각 논마다 다르므로 초기 저수위 차이에 따른 유출에의 영향을 완전히 배제할 수는 없다. <표 3-47>은 논웨어의 보정에 사용된 6월24일, 6월 27일, 7월 4일, 7월 12일의 모의발생 및 측정자료의 수문특성값을 정리한 것이다.

<표 3-47> 웨어 유량자료 수문특성(1996)

일자	Rain (mm)	관측 자료					모의발생자료				
		Tp (hr)	Qp (l/s)	유출용적 (m ³)	유출심 (mm)	유출율 (%)	Tp (hr)	Qp (l/s)	유출용적 (m ³)	유출심 (mm)	유출율 (%)
6.24	123.3	14.5	6.70	534.492	105.38	85.47	15.0	5.87	458.78	90.45	73.36
6.27	27.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7.4	77.0	24.0	13.30	259.614	51.19	66.48	-	-	-	-	-
7.12	44.7	12.5	11.70	131.040	25.84	57.81	13.50	11.48	198.90	39.22	87.74

(주) 논(R9)의 면적은 5,072 m²로 계산.

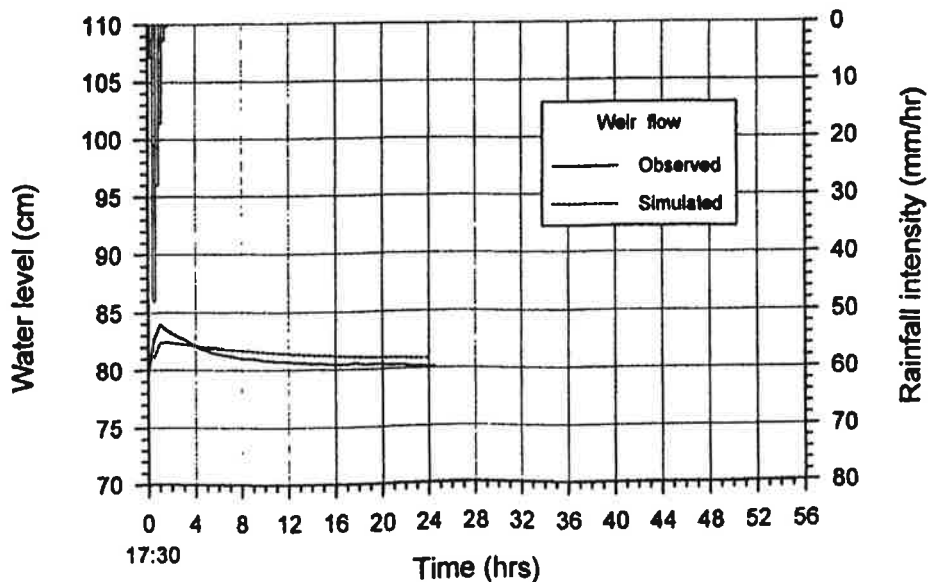
<표 3-47>에서 보면 보정에 사용된 4개 관측자료의 경우 논에서의 유출은 6.7~13.30 l/sec 범위의 첨두유량을 가지고 있었으며, 유출율은 57.8~85.5% 인 반면에 모의발생자료는 5.87~11.48 l/sec의 유출량과 73.4~87.8%의 유출율을 보이고 있는 데 이는 차단, 침투, 지면저류 등에 의한 손실량에 따른 유

효우량의 개념이 모형에 포함되어 있지 않고, 특히 웨어에 임시판 설치에 따른 영향때문이라고 할 수 있다.

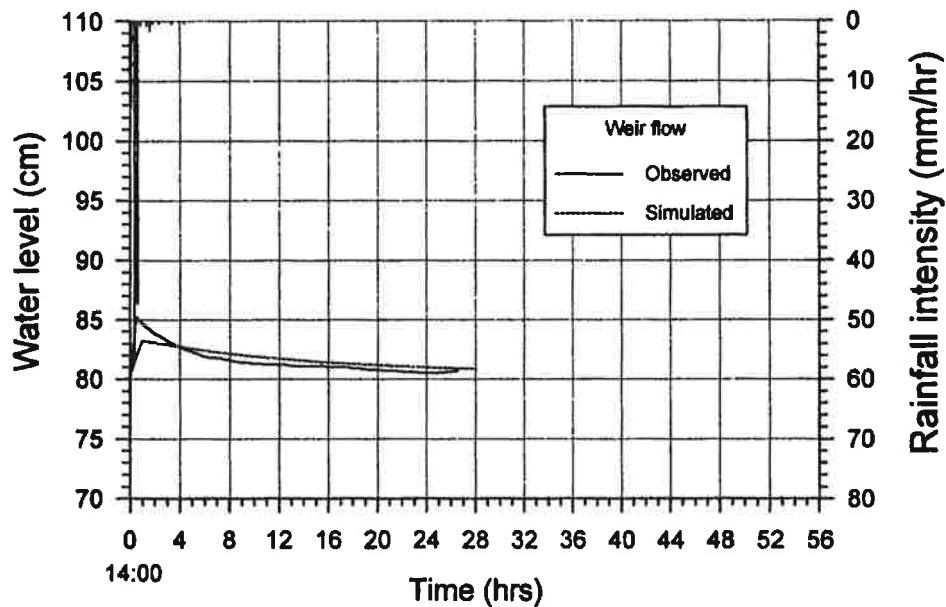
6. 모형의 검증

모의조작을 통한 논저류용적 보정과정에서 얻어진 관계식 <표 3-29>의 CASE-5와 논바닥고를 이용하여 8월 2일, 8월 5일, 8월 9일, 8월 27 및 8월 29일의 강우량자료에 적용하여 그 검증결과를 웨어에서의 관측자료와 비교하였다.

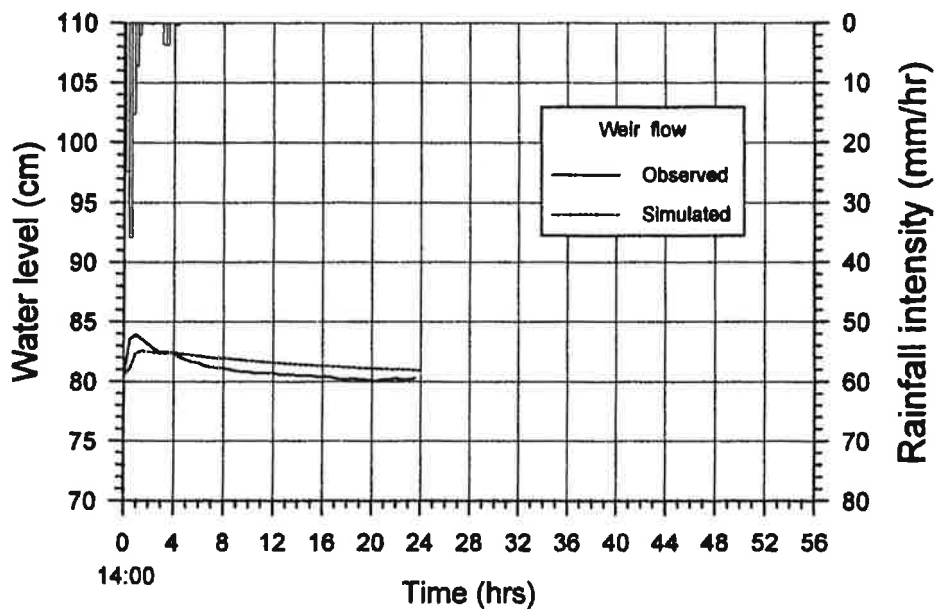
<그림 3-37>에서 <그림 3-41>은 논웨어에서 검증에 사용된 5개자료의 관측된 유출수문곡선과 모의발생 유출수문곡선을 나타낸 것이며, <표 3-48>은 이를 요약한 것이다.



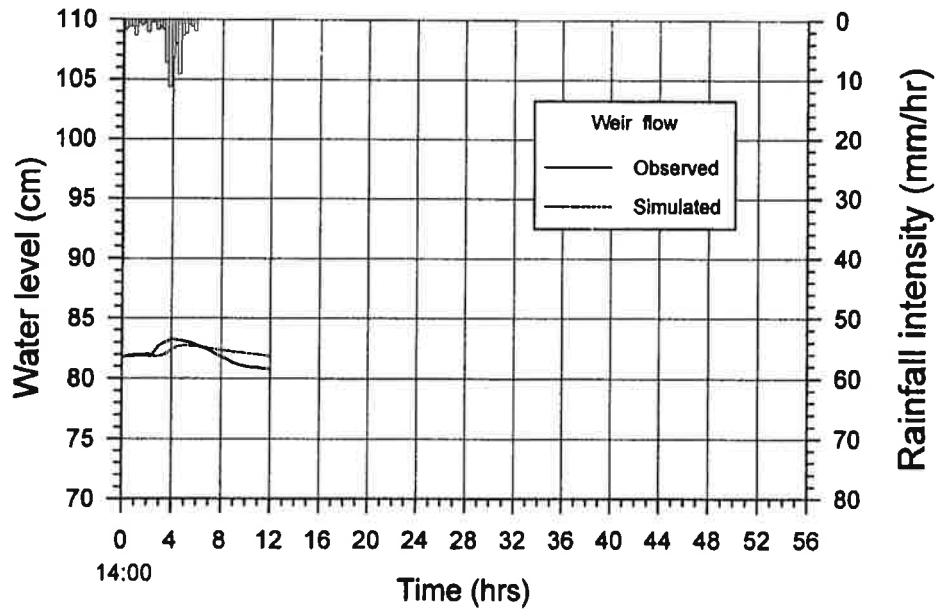
<그림 3-37> 모의발생 유출수문곡선 (96.8.2)



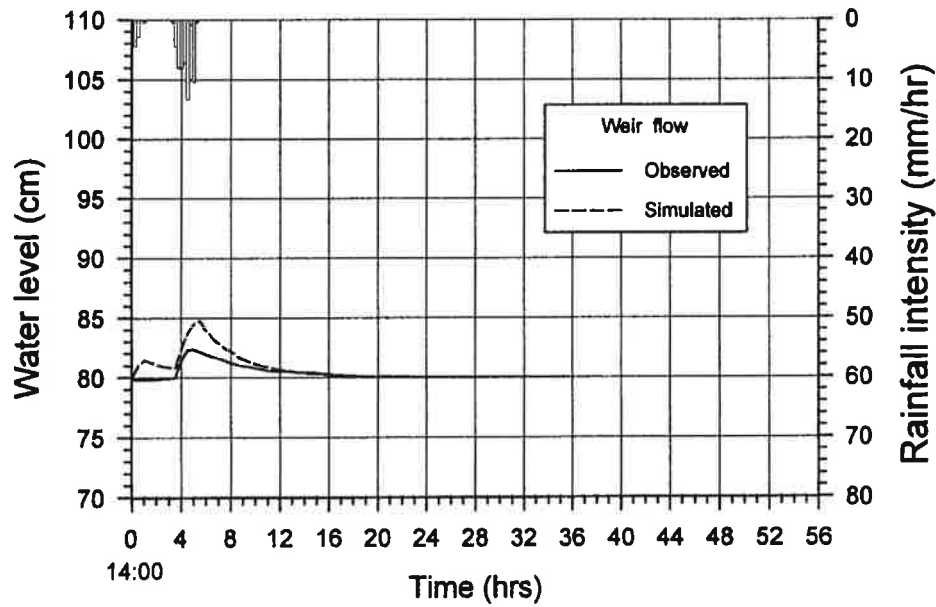
<그림 3-38> 모의발생 유출수문곡선 (96.8.5)



<그림 3-39> 모의발생 유출수문곡선 (96.8.9)



<그림 3-40> 모의발생 유출수문곡선 (96.8.27)



<그림 3-41> 모의발생 유출수문곡선 (96.8.29)

<표 3-48> 웨어의 측정 및 모의발생자료 수문특성

일자	Rain (mm)	관측자료					모의발생자료				
		Tp (hr)	Qp (l/s)	유출 용적 (m ³)	유출심 (mm)	유출율 (%)	Tp (hr)	Qp (l/s)	유출 용적 (m ³)	유출심 (mm)	유출율 (%)
8.2	25.5	1.0	4.40	72.236	13.85	54.31	1.5	2.03	72.288	14.25	55.88
8.5	30.6	0.5	6.50	112.230	22.13	72.32	1.0	3.12	118.449	23.35	76.31
8.9	23.3	1.0	4.40	53.820	10.61	45.54	1.5	2.30	89.313	16.43	70.52
8.27	15.7	4.0	3.30	24.390	4.81	30.64	5.0	2.40	50.076	9.87	62.87
8.29	15.1	5.0	2.10	32.274	6.35	42.12	5.5	7.06	64.206	12.66	83.84

<그림 3-37>에서 <그림 3-41>까지, 그리고 <표 3-48>의 결과로 보면 보정 전의 모의발생값보다 비교적 관측치와 접근하는 형태이지만 전반적으로 첨두부와 하강부에서의 곡선이 일치되지 않고 있다. 이는 논에서의 담수심을 유지하기 위하여 웨어에 설치된 임시판에 의한 유량변화, PVC 배수공 누수, 낮은 월류시의 부정확한 유량산정 등의 원인에 의한 것으로 추정된다.

<표 3-48>에서 보면 검정에 사용된 5개 측정자료의 경우 논에서의 유출은 2.10~6.50 l/sec 범위의 첨두유량을 나타내었고, 유출율은 30.6~72.3%이며 모의발생자료는 전반적으로 측정값보다 큰 값을 보이고 있다.

제5절 논유출 광역모형

1. 기본개요

자연하도에서의 수문곡선은 하도의 저류효과와 수평이동효과의 복합적인 현상이라고 할 수 있다. 따라서 자연하도에서의 수문곡선은 추적구간에 유입되는 유입수문곡선을 저류량과 유출량의 관계를 이용하여 유출수문곡선을 구할 수 있으며, 이 기본개념은 유역의 수문곡선을 구하는 데 이용될 수 있다.

유역은 가상적인 저수지와 자연하도로 구성되어 있고 유효강우로부터 발생

된 지표면 유출에서와 같이 유효강우를 일시 저류한다고 생각할 수 있으므로 이러한 저류효과에 의하여 유역은 가상의 저수지라고 가정할 수 있다.

유역에 1cm의 순간유효강우로부터 발생하는 수문곡선은 유하시간-유역면적과 같으며, 이는 하도의 평행이동효과를 나타내 주는 것이라고 할 수 있다.

$$I_i = 0.2778 \sum_{i=1}^n R_i A_i \quad (3.31)$$

식에서, I_i = 유입수문곡선의 종거(m^3/sec), R_i = 우량주상도의 종거(mm/hr), A_i = 시간-면적곡선의 종거(km^2)이다.

따라서 유역의 저수효과를 위해서는 유하시간-유역면적으로부터 구한 수문곡선을 유입수문곡선으로 가정하고 유역출구에 있는 가상의 저수지를 통하여 저수지추적을 실시하여 유출량은 하류로 흐르면서 유역의 저수지 역할에 의하여 변화하게 된다. 이러한 유역의 저수지 역할을 고려하기 위하여 Clark는 간단하게 유역출구에 1개의 가상의 저수지가 존재한다고 가정하고, 유하시간-유역면적으로 구한 수문곡선을 유입수문곡선으로부터 저수지 추적을 실시하여 유역의 유출수문곡선을 얻었다. 이 저수지는 저류량과 유출량이 선형관계를 갖는 선형저수지로 가정하였다. 즉,

$$S = KO \quad (3.32)$$

여기서 S 는 저류량, O 는 유출량, K 는 저류상수(Storage constant)이다. 위식을 연속방정식에 대입하면 다음과 같이 표시된다.

$$I - O = \frac{dS}{dt} = K \frac{dO}{dt} \quad (3.33)$$

$$\frac{I_1 + I_2}{2} - \frac{O_1 + O_2}{2} = \frac{K(O_2 - O_1)}{\Delta t} \quad (3.34)$$

위의 식(3.34)을 다시 정리하면 Muskingum방법의 공식과 유사한 식을 얻을 수가 있다. 즉,

$$O_2 = C_0 I_2 + C_1 I_1 + C_2 O_1$$

$$C_0 = \frac{0.5\Delta t}{K+0.5\Delta t}, \quad C_1 = \frac{0.5\Delta t}{K+0.5\Delta t}, \quad C_2 = \frac{K-0.5\Delta t}{K+0.5\Delta t} \quad (3.35)$$

$$C_0 + C_1 + C_2 = 1$$

여기서 O_1 = 추적량 O_2 에 대한 先行유출량, I_1, I_2 = 既知의 유입량, $T(=\Delta t)$ = 유입량의 상승시간의 $1/4 \sim 1/8$ 이다. 그리고 저류상수 K 는 유역의 저류량으로부터 방출되는 비율을 나타내 주는 상수로서 미분형태의 연속방정식 (3.33)에서 만일 $I = 0$ 이라면 식은 다음과 같으며 수문곡선으로부터 구할 수 있다.

$$K = - \frac{O}{(dO/dt)} \quad (3.36)$$

수문곡선에서 유입량이 0인 경우를 나타내 주는 점은 수문곡선 하강부분에서의 변곡점이다. 이 변곡점 이후부터 수문곡선은 유역의 저류량으로부터 방류되는 유량을 나타내 주므로 지표면으로부터의 유입량이 없다고 생각할 수 있다. 따라서 식(3.36)은 수문곡선 하강부분의 변곡점에서 기울기를 구하고 이 점의 유량을 기울기로 나누어 계산하면 된다.

2. 모형의 구성

본 모형은 SCS 방법에 의한 유효우량을 산정하고 CRARK 방법을 기본으로 한 강우-유출 프로그램 PAD_CLK(Paddy Area Drainage runoff model by CLark method)을 FORTRAN으로 작성하였다.

가. 유효우량

본에서의 CN값은 90으로 정하고 강우량에 따른 시간별 유효우량은 CN값에 의한 SCS 방법을 이용하였으며, 시간당 손실량은 0.1mm/hr 로 가정하였다.

유출곡선수 CN값은 토양, 토지이용, 처리방법, 수문조건 등을 고려하여 선정되며, 잠재저류량(S)과 유출량(Q)은 다음과 같이 계산된다.

$$S(\text{mm}) = \frac{25,400}{CN} - 254, \quad Q(\text{mm}) = \frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S} \quad (3.37)$$

나. 유달시간(Tc)

유역의 유달시간은 유역면적, 유로장과 기복량 등을 고려하게 되며, 여기에서는 논에서의 지체효과를 고려하여 비교적 유달시간이 크게 계산된 Kerby 방법에 의한 유달시간을 사용하였으며, 공식에 사용되는 지체계수는 <표 3-49>와 같다.

<표 3.49> Kerbey 공식의 지체계수 n

Types of surface	n
Smooth impervious surface	0.02
Smooth, bare packed soil	0.10
Poor grass, cultivated row crops, or moderately rough bare surfaces	0.20
Deciduous timberland	0.60
Pasture or average grass	0.40

(주) Singh, V. P. (1988) Hydrologic Systems, Vol.1 Rainfall-Runoff Modeling, Prentice-Hall, p.112

웨어가 설치된 단일필지 논에서의 경우 Kerby 공식적용에 필요한 지형인자로서 논1개필지 면적 A = 0.5 ha, 유로장(장변) L = 100 m, 평균고저차 H = 0.10 m, 논평균경사 S = 0.001, 지체계수 n = 0.2 로 가정하면,

$$TCW = 1.44 \frac{(nL)^{0.467}}{S^{0.234}} = 1.44 \frac{(0.2 \times 100)^{0.467}}{(0.001)^{0.234}} = 29.4 \text{ min} = 0.49 \text{ hr}$$

또한 후룡의 지배면적인 논구획의 경우에는 유역면적 A = 9.0 ha, 유로장 L = 450 m = 0.450 km, 유로의 평균고저차 H = 3.183 m, 수로평균경사 S = 0.0071, 지체계수 n = 0.20를 사용하면,

$$TCF = 1.44 \frac{(nL)^{0.467}}{S^{0.234}} = 1.44 \frac{(0.2 \times 450)^{0.467}}{(0.0071)^{0.234}} = 37.48 \text{ min} = 0.63 \text{ hr}$$

따라서 본 논유역의 총유달시간은 $TC = TCW + TCF = 1.12 \text{ hr}$ 로 하였다.

다. 저류상수

저류상수 K는 기본개념에서 설명한 바와 같이 기존의 수문곡선에서 구하는 것이 보통이지만 실제 유용한 자료가 없는 경우가 대부분이므로 여기에서는 K와 TC와의 관계식 $K/(TC+K)$ 을 이용하여 간접적으로 결정하였다. 일반적으로 급경사이고 저류능력이 작은 경우에는 $K/(TC+K)$ 가 작고, 상대적으로 완만하고 큰 저류능력을 가진 유역은 큰 값을 나타내게 된다.

(주) Hoggan, D.H. (1989) Computer-Assisted Floodplain Hydrology and Hydraulics, McGraw-Hill Book, p. 55

$$\frac{K}{TC+K} = \text{RATIO}, \quad K = \text{RATIO} / (1 - \text{RATIO}) * TC \quad (3.38)$$

따라서, RATIO = 0.3이면 $K = 0.433 * TC$

RATIO = 0.5이면 $K = 1.000 * TC$

RATIO = 0.7이면 $K = 2.333 * TC$ 를 나타내게 된다.

위와 같은 수문곡선의 형태를 고려하여 모의발생 보정 및 검정을 실시하였으며, 그 결과 비교적 관측자료와 부합되는 RATIO = 0.7, 즉 $\frac{K}{TC+K} =$

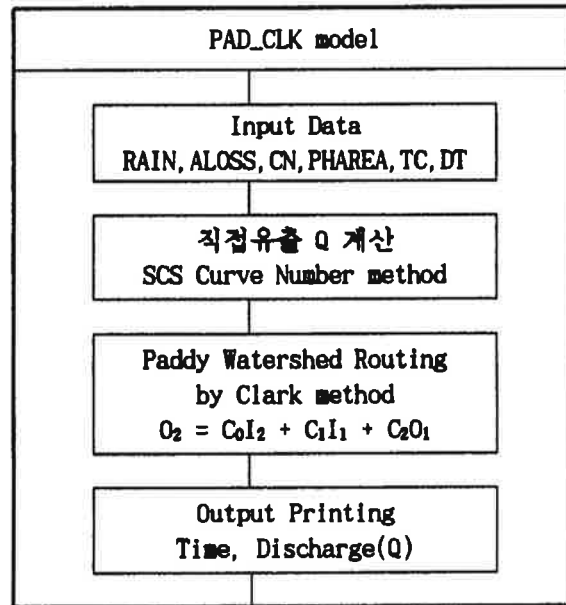
0.7 에서 저류상수 $K = 2.333 * TC$ 의 관계를 사용하였다.

라. 계산시간간격(DT)

모의발생을 위한 계산시간간격 DT는 SCS 방법에서의 $DT(\Delta t) = 0.133 * TC$ 를 기본으로 하고, 시간간격이 너무 작은 경우에는 강우입력 시간간격이나 임의시간간격을 이용할 수 있으나 TC보다는 크지 않도록 하였다.

마. 프로그램의 흐름순서

광역유출모형 PAD_CLK의 흐름은 <그림 3-42>와 같다.



<그림 3-42> 광역유출모형 흐름도

바. 입출력자료

본 프로그램에 의한 광역 논유역 유출모형의 적용에 필요한 입출력자료는 <표 3-50>과 같다.

<표 3-50> 광역모형의 입출력자료

구분	항목	내용
입력	강우량	강우일시, 강우량
	유역인자	유역면적, 손실량, CN, 유달시간
	모의발생	모의발생시간, 계산간격, 출력간격
출력	유출량	시간별 유출량

한편 논유역에서의 총유달시간은 단일필지 논과 논구획면적에서의 Kerby 공식에 의한 각각의 유달시간 계산결과를 합한 값을 입력하며, 유효우량 산정을 위한 SCS 유출곡선수 CN 값은 90을 사용하였다.

3. 모형의 보정

가. 프로그램 실행

- > 실행프로그램 입력화일명 출력화일명 □
- > PAD_CLK.EXE MU5721-1.DAT MU5721-1.OUT □

나. 기본자료

본 모형에 사용된 기본자료는 <표 3-51>과 같이 95.7.23, 95.8.9, 95.6.24, 95.6.27은 보정에, 96.7.4, 96.7.12는 검정에, 97.5.7, 97.7.5, 97.7.15은 SCS 방법과의 비교검정에 사용하였다.

<표 3-51> 광역모형 보정자료

년월일	강우량 (mm)	적용 조건			비 고
		CN	TC (hr)	기저유량 Q(l/s)	
95.7.23	62.9	90	1.12	14.7	모형보정 "
8.9	29.0	"	"	15.0	
96.6.24	123.3	"	"	10.5	모형검정 "
6.27	27.7	"	"	4.1	
7.4	77.0	"	"	15.8	
7.12	44.7	"	"	9.1	
97.5.7	87.0	"	"	4.3	모형비교 "
7.5	157.6	"	"	18.1	
7.15	98.6	"	"	11.5	

다. 매개변수 보정

본 모형을 후륜지점의 논유역에 적용하여 저류상수, 유달시간, 계산시간간격, 유역분할수, 유출곡선수 등에 대한 수문곡선을 관측자료와 비교검토하였다.

(1) 저류상수

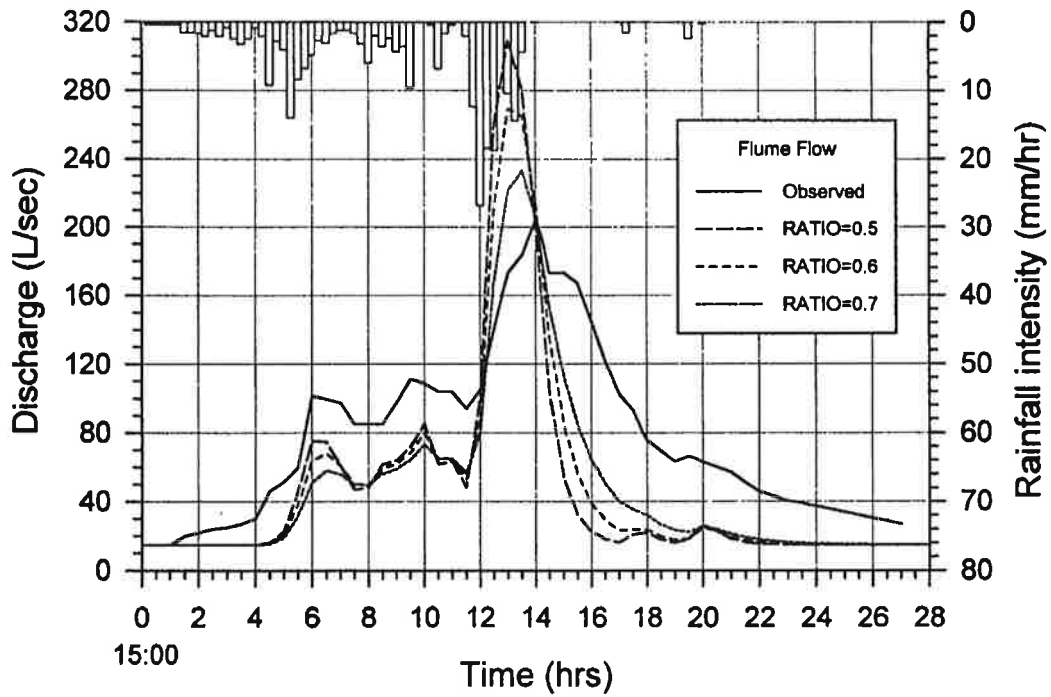
$K/(TC+K) = 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7$ 에 대하여 1995년 7/21 및 7/23에 적용하며, 다른 기본 조건은 $CN = 90, TC = 0.63 \text{ hr}$ (배수로 TC), $DT = 15$ 분으로 하였다.

위와 같이 모형적용을 위한 기본조건을 가정하여 95.7/23 및 8/9에 모의발생시키고, <그림 3-43>와 <그림 3-44>는 이를 도시한 것이며 <표 3-52>는 그 결과를 요약 정리한 것이다.

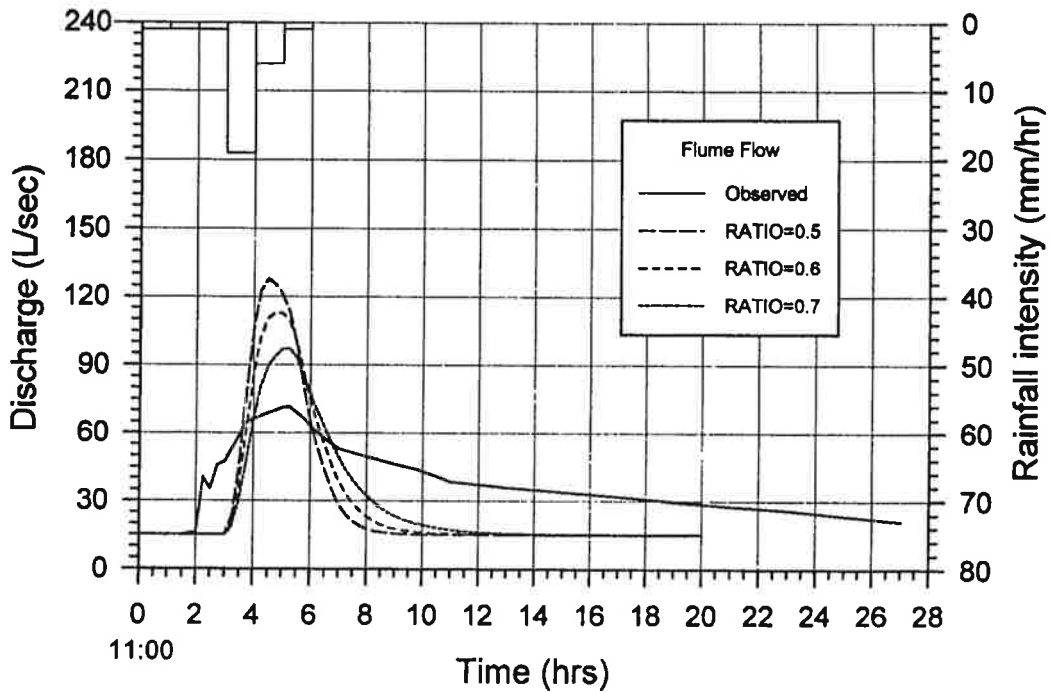
RATIO = 0.5, 0.6, 0.7에 대하여 도시된 <그림 3-43>과 <그림 3-44 및 <표 3-52>에서 보는 바와 같이 가정한 $K/(TC+K)$ 의 RATIO = 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7의 5가지로 적용한 결과 RATIO가 클수록 첨두유량은 작아지고 첨두유량발생시간이 지체되며, 기저시간이 길어지는 경향을 보여주었으며, $K/(TC+K) = 0.7$ 의 경우가 비교적 관측치에 접근하는 것으로 볼 수 있다. 이러한 결과를 가지고 이후 적용에는 RATIO = $K/(TC+K) = 0.7$ 를 사용하였다.

<표 3-52> 모형의 저류상수비율 적용결과(1995)

일자	Rain (mm)	구분	관측 자료	RATIO = $K/(TC+K)$					유출 용적
				0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	
7.23	62.9	Qp(L/s)	209.8	365.75	335.58	309.18	269.22	232.68	3432.1
		Tp(hr)	13.50	12.50	13.0	13.00	13.50		
		Q(mm)	61.6	38.1	-	-	-		
8.9	29.0	Qp(L/s)	71.7	152.51	140.26	127.86	112.89	97.18	951.8
		Tp(hr)	5.25	4.25	4.25	4.50	4.75		
		Q(mm)	12.0	10.6	-	-	-		



<그림 3-43> 저류상수 보정에 대한 유출수문곡선(95. 7. 23)



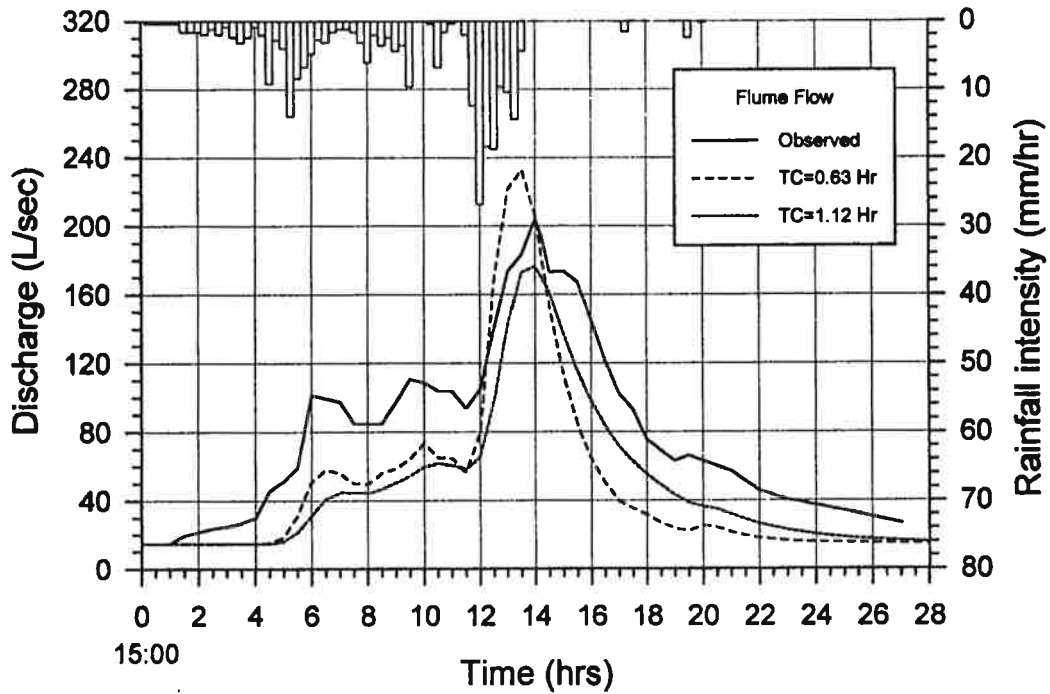
<그림 3-44> 저류상수 보정에 대한 유출수문곡선(95. 8. 9)

(2) 유달시간(TC)

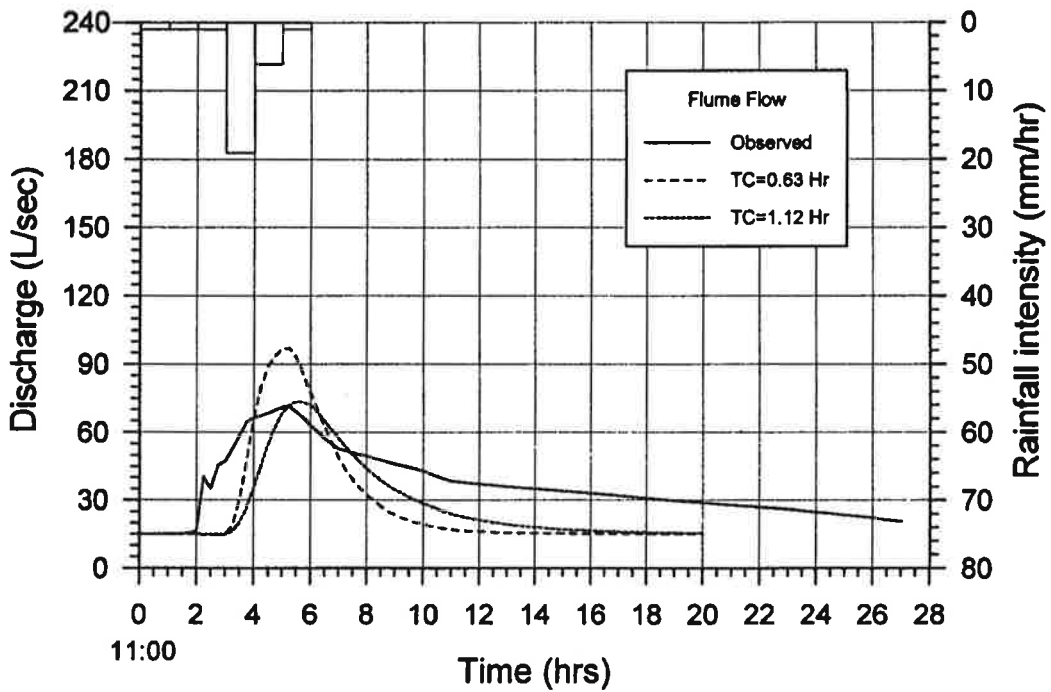
Kerby 방법으로 계산된 유달시간을 보면 단일필지의 $T_c = 29.4\text{분} = 0.49\text{ Hr}$, 논구획의 $T_c = 37.5\text{분} = 0.63\text{Hr}$ 이다. 여기서는 유달시간은 배수로만의 $TC = 0.63\text{ hr}$ 와 논과 배수로의 합인 $TC = 1.12\text{ hr}$ 의 두 경우를 95.7/21, 7/23 및 96.6/24, 6/27에 적용하여 모의발생시키고 유달시간을 통한 수문곡선을 비교하였다. 이때 다른 기본 조건은 $K/(TC+K) = 0.7$, $CN = 90$, $DT = 15\text{분}$ 으로 하였으며 그 결과는 <표 3-53>과 같고 <그림 3-45>에서 <그림 3-48>까지 도시하였다.

<표 3-53> 모형의 TC별 적용결과(1995,1996)

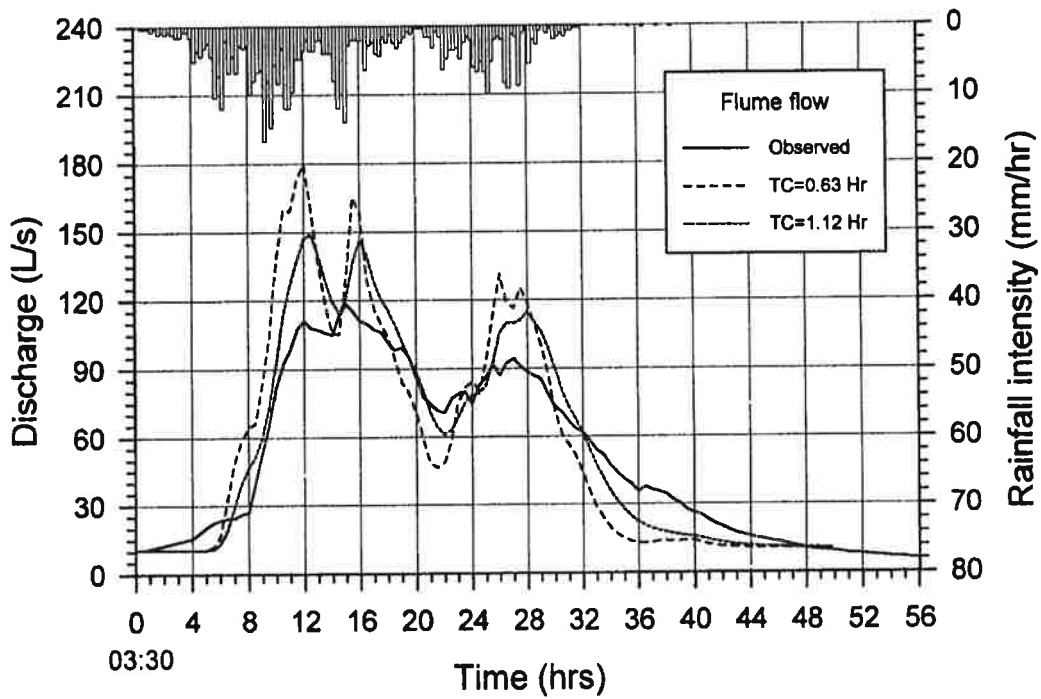
Date	Rain (mm)	구분	관측 자료	TC (hr)		비고
				0.63	1.12	
7.23	62.9	Qp(L/s)	209.8	232.68	176.33	
		Tp(hr)	13.50	13.50	14.0	
		Q(mm)	61.6	38.1	-	
8.9	29.0	Qp(L/s)	71.7	97.18	73.58	
		Tp(hr)	5.25	5.25	5.5	
		Q(mm)	12.0	10.6	-	
96.6.24	123.3	Qp(L/s)	118.4	180.0	149.08	
		Tp(hr)	15.0	12.0	12.50	
		Q(mm)	83.1	93.9	-	
6.27	27.7	Qp(L/s)	62.8	55.0	43.42	
		Tp(hr)	9.0	8.0	10.50	
		Q(mm)	17.6	9.6	-	



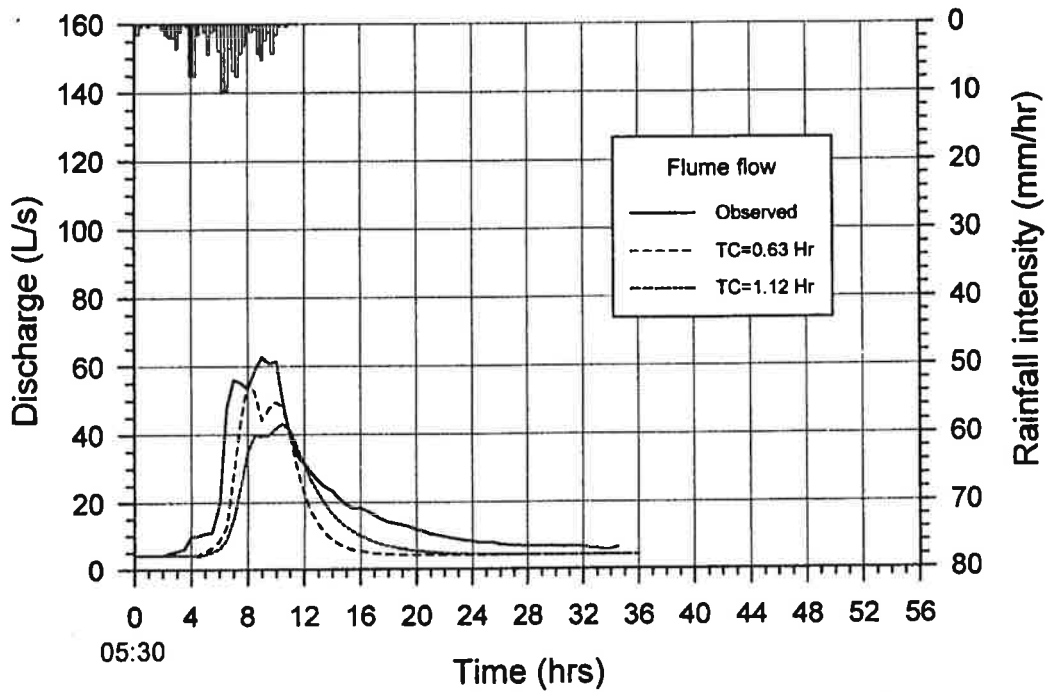
<그림 3-45> 관측 및 TC별 모의발생 유출수문곡선(95.7.23)



<그림 3-46> 관측 및 TC별 모의발생 유출수문곡선(95.8.9)



<그림 3-47> 관측 및 TC별 모의발생 유출수문곡선(96.6.24)



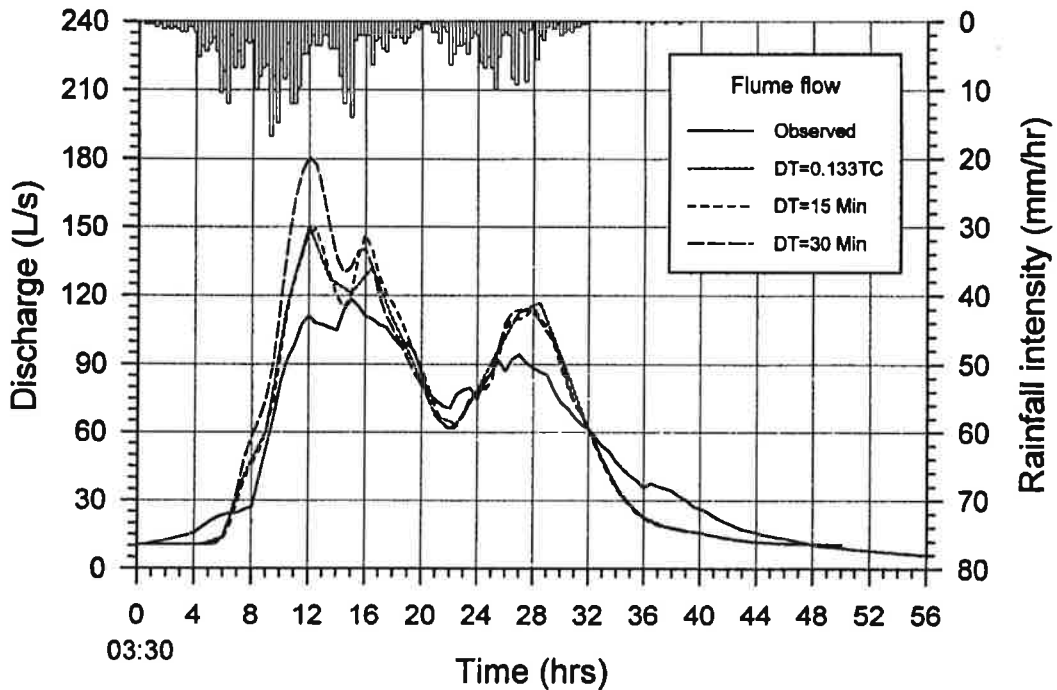
<그림 3-48> 관측 및 TC별 모의발생 유출수문곡선(96.6.27)

(3) 계산시간간격(DT)

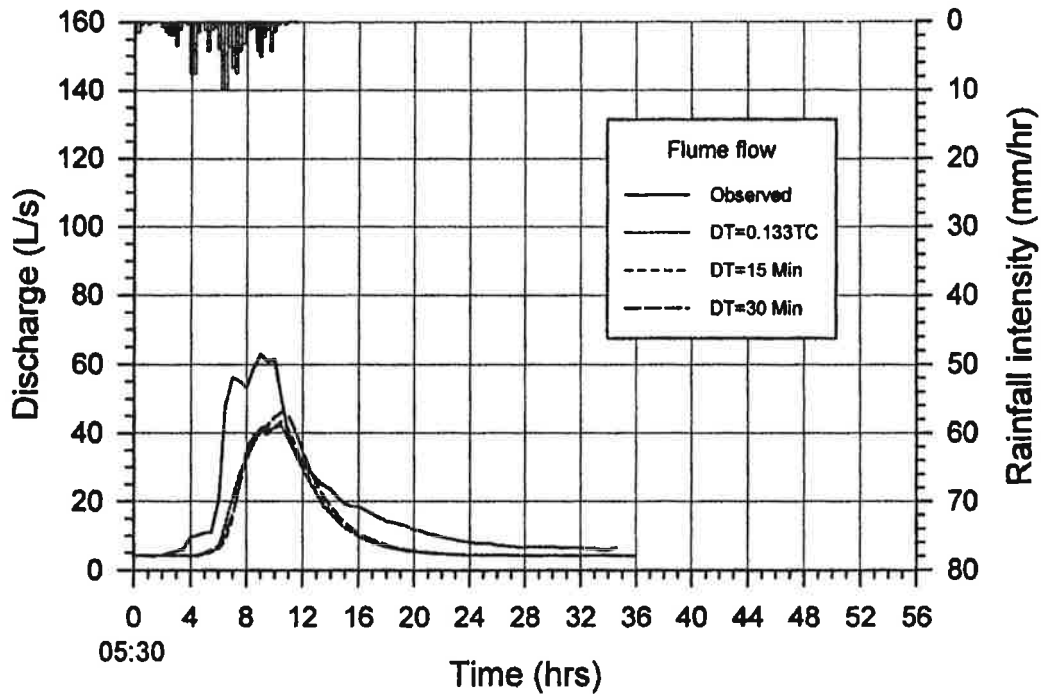
DT = 0.133*TC, 15분, 30분, 60분의 4가지로 96.6/24 및 6/27에 적용하고 다른 조건은 $K/(TC+K) = 0.7$, CN = 90, TC = 1.12 hr으로 하였다. 그 결과는 <표 3-54>와 같고 <그림 3-49>에서 <그림 3-50>까지 도시하였다.

<표 3-54> 모형의 계산간격별 적용결과(1996)

Date	Rain (mm)	구분	관측 자료	계산간격, DT(Hr)			
				0.133Tc	0.25	0.50	1.0
96.6.24	123.3	Qp(L/s)	118.4	150.33	149.08	180.67	173.02
		Tp(hr)	15.0	12.0	12.50	12.0	12.0
		Q(mm)	83.1	93.9	-	-	-
6.27	27.7	Qp(L/s)	62.8	42.15	43.42	46.20	47.85
		Tp(hr)	9.0	10.5	10.5	10.50	11.0
		Q(mm)	17.6	9.6	-	-	-



<그림 3-49> 관측 및 계산간격별 모의발생 유출수문곡선(96.6.24)



<그림 3-50> 관측 및 계산간격별 모의발생 유출수문곡선(96.6.27)

(4) 논구획의 유역분할

본 유역의 경우 1개, 3개, 9개로 구분하여 적용하고 결과를 비교하였으며, 그 결과는 <표 3-54>의 결과와 동일하였다. 즉, 여기에서 1개인 경우는 $DT = 1.0 \text{ hr}$, 3개인 경우는 $DT = 0.50 \text{ hr}$, 9개인 경우는 $DT = 0.133 * TC$ 와 같은 조건이 되기 때문이다.

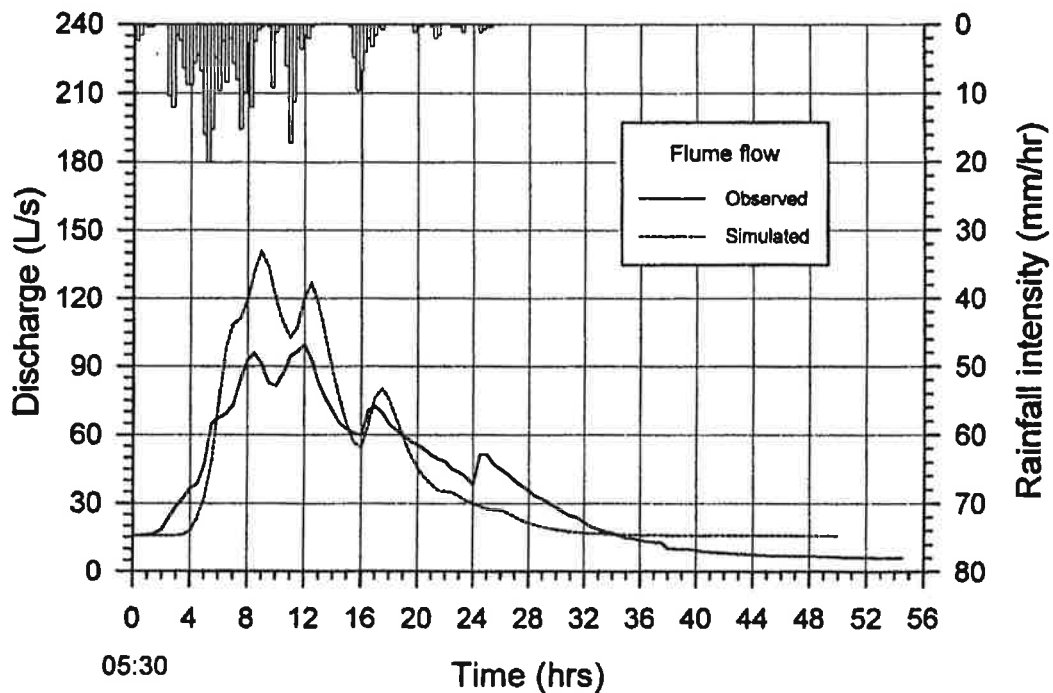
(5) 결과고찰

보정결과를 종합하여 보면 논유역의 경우 $K/(TC+K) = 0.7$, 유달시간은 논과 배수로의 합인 $TC = 1.12\text{Hr}$ 로 가정하는 것이 비교적 관측자료에 접

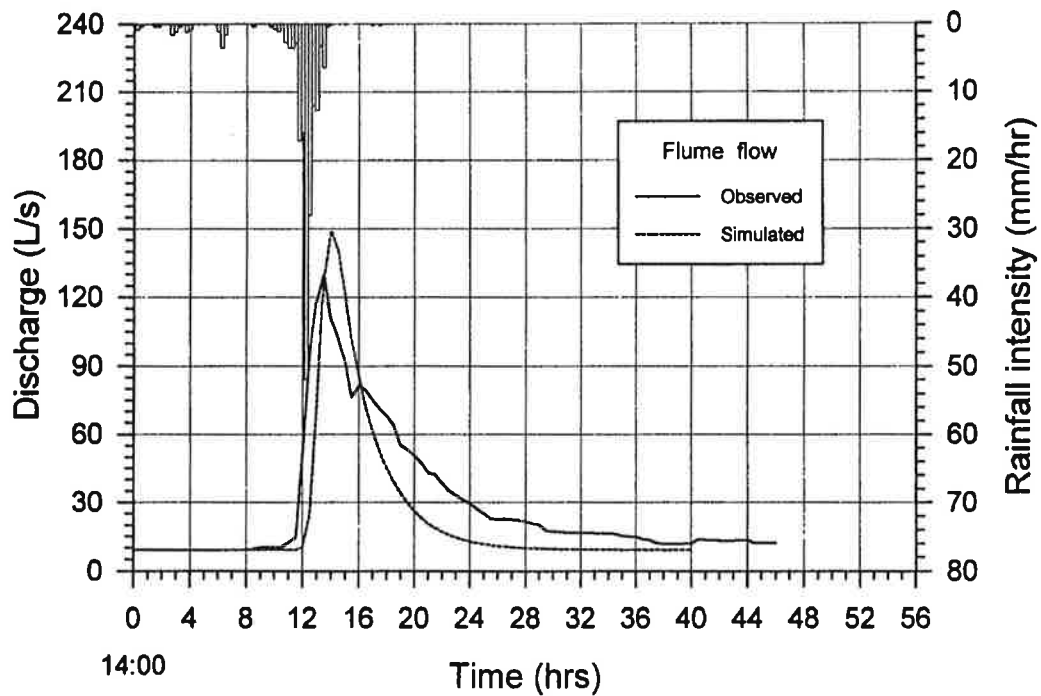
근하였으며, 계산시간간격은 $DT = 0.133 * TC$ 또는 강우입력간격을 사용하며 TC보다는 작게 하는 것이 오차를 줄일 수 있다.

4. 모형의 검증

위와 같은 과정을 통하여 보정된 매개변수 TC, $K/(TC+K)$, 계산시간간격 (DT) 등을 모형의 검증에서는 1996년도의 7/4 및 7/12에 적용하여 논유역의 후릉지점 관측자료와 모의발생된 유출수문곡선을 침투시간, 침투량, 유출률 등을 검토하였다. <표 3-55>는 그 결과를 요약한 것이고 <그림 3-51>에서 <그림 3-52>까지는 이를 도시한 것이다.



<그림 3-51> 보정후 관측 및 모의발생 유출수문곡선(96.7.4)



<그림 3-52> 보정후 관측 및 모의발생 유출수문곡선(96.7.12)

<표 3-55> 모형적용 및 보정결과 검토(1996)

Date	Rain (mm)	구분	측정값	Simulation		비고
				모의자료	상대오차(%)	
96.7.4	77.0	Qp(L/s)	99.6	140.90	41.5	CN = 90 TC = 1.12hr
		Tp(hr)	12.0	9.0	25.0	
		Q(mm)	46.6	50.9	9.2	
7.12	44.7	Qp(L/s)	129.9	149.12	14.8	"
		Tp(hr)	13.5	14.0	3.7	
		Q(mm)	22.0	22.4	1.8	

상기와 같은 검토과정에서 얻어진 <그림 3-51>, <그림 3-52>와 <표 3-55>의 결과에서 보면 2개자료에 불과하지만 SCS 방법보다 간단하고 모의발생자료

의 상대오차가 작으며 결과도 비교적 관측자료에 접근하는 것으로 보여진다.

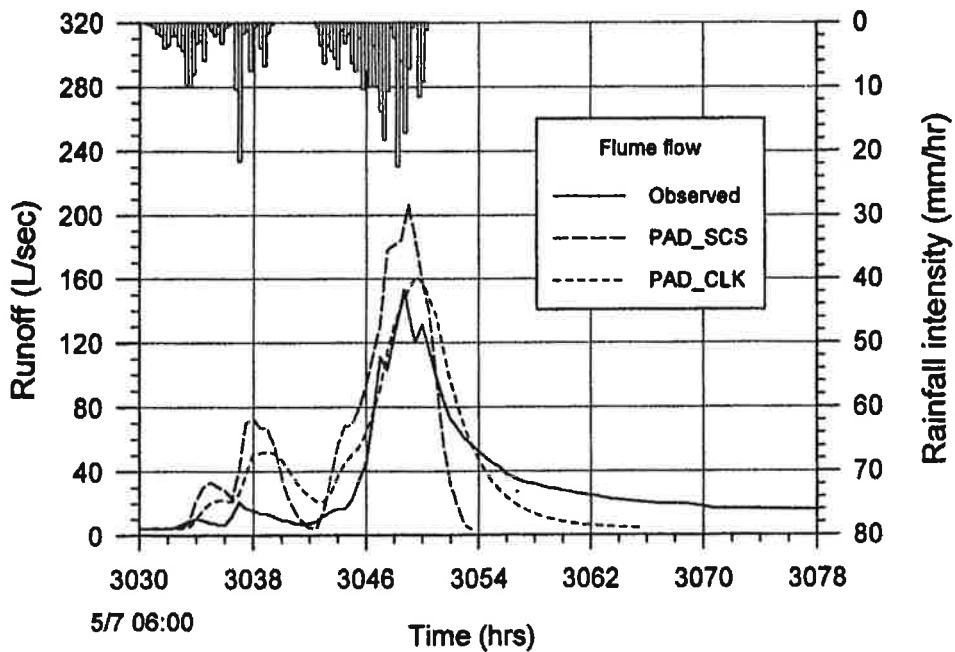
한편 보정된 매개변수 TC, $K/(TC+K)$, 계산시간간격(DT) 등을 1997년도의 5/7, 7/5 및 7/15에 SCS 방법과 같이 적용하고, 논유역의 후푼지점 관측자료와 모의발생된 첨두량, 첨두시간, 수문곡선의 RMS 오차 등을 검토하였다. <표 3-56>은 그 결과를 요약한 것이고 <그림 3-53>에서 <그림 3-55>까지는 이를 도시한 것이다.

<표 3-56> 보정후 SCS 방법과의 모형적용결과 비교(1997)

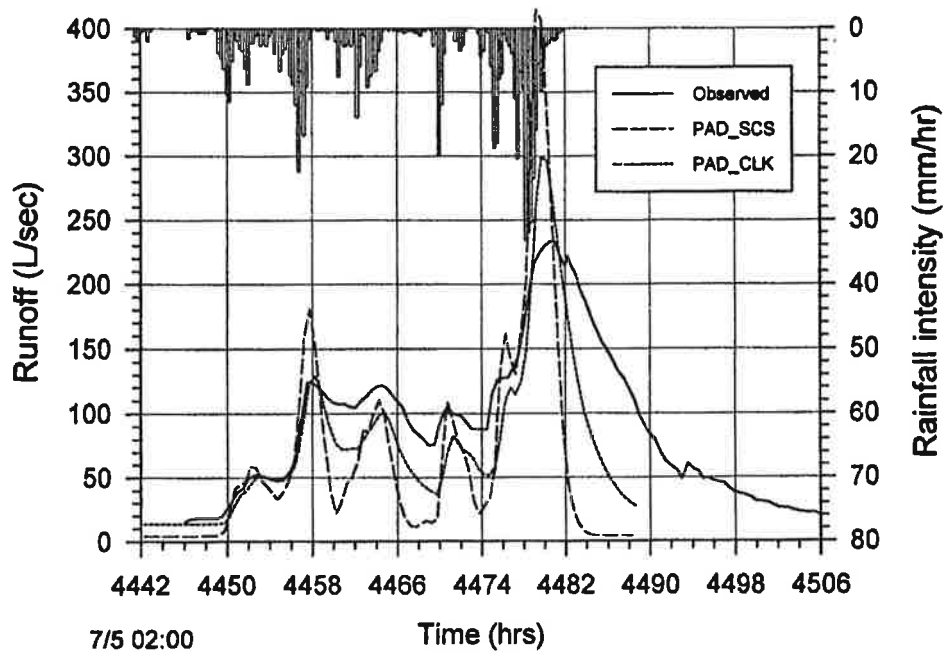
Date	Rain (mm)	구 분	관측치	PAD_SCS		PAD_CLK	
				Sim	상대오차 (%)	Sim	상대오차 (%)
97.5.7	87.0	Qp(l/s)	153.2	206.71	34.9	161.19	5.2
		Tp(hr)	5/8 00:45	01:00	(0.25)	01:30	(0.75)
		Q(mm)	56.7	-	-	-	-
		RMSE(l/s)	-	35.8	-	21.2	-
7.5	157.6	Qp(l/s)	233.1	414.53	77.8	299.91	28.7
		Tp(hr)	7/6 17:00	15:15	(1.75)	15:45	(1.25)
		Q(mm)	153.7	-	-	-	-
		RMSE(l/s)	-	81.7	-	43.3	-
7.15	98.6	Qp(l/s)	156.5	299.25	91.2	193.2	23.5
		Tp(hr)	7/16 07:00	06:00	(1.00)	06:30	(0.50)
		Q(mm)	87.9	-	-	-	-
		RMSE(l/s)	-	71.5	-	38.7	-
평균		Qp(l/s)		-	68.0	-	19.1
		RMSE(l/s)		63.0	-	34.4	-

<표 3-56>에서 ()는 관측첨두시간과의 시간차이며, RMSE는 평균제곱오차 (Root Mean Square Error)로 $RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (O_i - S_i)^2}$ 이다. 기본조건을 CN= 90, TC= 1.12 hr로 동일하게 적용하여 얻어진 상기 <표 3-56>과 <그림 3-53>에서 <그림 3-55>의 결과로부터 SCS 방법과 본 모형과의 모의발생자료를

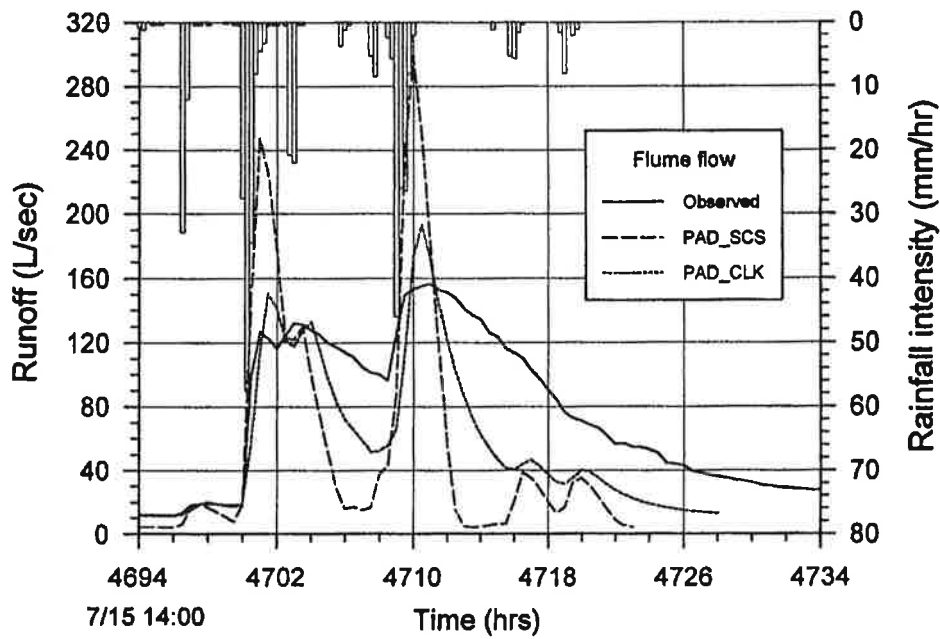
비교해 보면 첨두유량의 경우는 두 방법 모두 관측자료보다 큰 것으로 나왔으며 평균 상대오차는 각각 68.8% 및 19.1%이며, 첨두발생시간은 5/7의 경우는 SCS 방법이 작은 반면 7/5과 7/15의 경우는 본 모형이 시간차이가 작은 결과를 보이고 있다. 전체 수문곡선으로 볼 때 평균제곱오차 RMSE는 각각 63.0l/sec과 34.4l/sec를 보이고 있어 본 논문의 경우 SCS 방법보다는 본 모형의 적용이 관측자료와 더욱 근접한 형태를 나타내고 있다. 따라서 논문의 경우에는 SCS 방법보다는 $K/(TC+K) = 0.7$ 를 사용한 CLARK 방법에 기초한 유출 모형이 나은 것으로 판단된다.



<그림 3-53> 보정후 SCS 방법과의 유출수문곡선 비교(97.5.7)



<그림 3-54> 보정후 SCS 방법과의 유출수문곡선 비교(97.7.5)



<그림 3-55> 보정후 SCS 방법과의 유출수문곡선 비교(97.7.15)

제6절 SCS 방법의 검토

1. 기본개요

SCS 방법은 수문유출곡선수(CN)를 이용한 직접유출 및 침투유출을 계산하는 합성단위도법으로 먼저 유달시간(T_c)과 CN값에 의한 직접유출량을 구하고 삼각단위도법을 이용하여 홍수량을 계산하게 된다.

여기서는 SCS 방법에 의한 유출량 프로그램 PAD_SCS(Paddy Area Drainage runoff model by SCS method)을 FORTRAN으로 작성하고 본 유역의 후륜지점에 적용하여 수문유출곡선수, 유달시간, 기저시간 등 매개변수에 대한 수문곡선을 검토하였다.

가. 단위홍수량

Complex hydrograph 방법에 의한 1 cm 유출에 대한 q_p 계산과정은 다음과 같다.

$$T_p = D/2 + 0.6 * T_c \quad (3.39)$$

$$T_b = 2.67 * T_p \quad (3.40)$$

$$q_p = 2.081 * A * Q / T_p \quad (3.41)$$

식에서 T_p = 단위도상에서 최대 홍수발생시간(hr), D = 계산시간간격(hr), T_b = 단위도상에서 홍수종료시간(hr), q_p = 단위도상에서 최대 홍수량(m^3/s), A = 유역면적(km^2), Q = 강우량(cm)이다.

나. 직접 유출량

SCS 방법을 이용한 직접 유출량의 계산은 다음과 같다.

$$S(mm) = \frac{25,400}{CN} - 254, \quad Q(mm) = \frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S} \quad (3.42)$$

2. 유달시간

일반적으로 유역의 유달시간은 유역면적, 유역의 유로장과 기복량 등을 고려한 경험공식을 이용하여 결정한다.

가. 논단일필지(Weir)

단일필지 논에서의 유달시간 산정에 필요한 지형인자를 1개필지 논면적 $A = 0.5$ ha, 유로장 $L = 100$ m = 0.10 km, 유로의 평균고저차 $H = 0.10$ m, 논평균경사 $S = 0.001$ 로 가정하고, 각 경험공식을 적용하였다.

① Kerby method(1959)

$$T_c = 1.44 \frac{(nL)^{0.467}}{S^{0.234}} = 1.44 \frac{(0.2 \times 100)^{0.467}}{(0.001)^{0.234}} = 0.49 \text{ hr}$$

② California Culverts Practice method(1942)

$$T_c = \left(\frac{0.869L^3}{H} \right)^{0.385} = \left(\frac{0.869 \times 0.10^3}{0.10} \right)^{0.385} = 0.161 \text{ hr}$$

③ Rziha 공식

$$\text{홍수도달속도, } W = 20 \left(\frac{H}{L} \right)^{2/3} = 20 \left(\frac{0.10}{100} \right)^{2/3} = 0.20 \text{ m/sec}$$

$$T_c = L/W = 100 / 0.20 = 500.0 \text{ sec} = 8.3 \text{ min} = 0.14 \text{ hr}$$

④ Kirpich 공식(1940)

$$T_c = 0.06626 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} = 0.06626 \times \frac{(0.10)^{0.77}}{(0.001)^{0.385}} = 0.158 \text{ hr}$$

⑤ SCS lag method(1973)

유로장 $L = 0.10$ km, 경사도 $S_o = 0.1$ %, CN = 90으로 가정하면,

$$\text{잠재저류량 } S = 25400/\text{CN} - 254 = 25400/90 - 254 = 28.2 \text{ mm}$$

$$T_L = \frac{L^{0.8} (S+25.4)^{0.67}}{28.14 S_o^{0.5}} = \frac{(0.10)^{0.8} (53.6)^{0.67}}{28.14 (0.1)^{0.5}} = 0.257 \text{ hr}$$

$$T_c = 1.67 T_L = 1.67 \times 15.4 = 25.7 \text{ min} = 0.43 \text{ hr}$$

⑥ Manning 공식

수리수심 $R = 5.0 \text{ cm}$, $n = 0.03$, $S_o = 0.10$ 으로 가정하면,

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S_o^{1/2} = \frac{1}{0.03} (0.05)^{2/3} (0.001)^{1/2} = 0.143 \text{ m/sec}$$

$$T_c = L / V = 100.0 / 0.143 = 699.3 \text{ sec} = 11.7 \text{ min} = 0.195 \text{ hr}$$

따라서 단일필지 0.5 ha의 6개 경험공식에 의한 유달시간은 Kerby > SCS > Manning > California > Kirpich > Rziha의 순으로 8.3~29.4분이며 평균 유달시간은 15.7분으로 산정되었다.

나. 논구획(Flume)

후름이 설치된 논구역의 경우 지형인자를 유역면적 $A = 9.0 \text{ ha}$, 유로장 $L = 450 \text{ m} = 0.450 \text{ km}$, 유로의 평균고저차 $H = 3.183 \text{ m}$, 수로평균경사 $S = 0.0071$ 로 가정하고 유달시간을 계산하였다.

① Kerby method(1959)

유로장 $L = 450 \text{ m}$, 지체계수 $n = 0.20$, 경사도 $S = 0.0071$

$$T_c = 1.44 \frac{(nL)^{0.467}}{S^{0.234}} = 1.44 \frac{(0.2 \times 450)^{0.467}}{(0.0071)^{0.234}} = 0.63 \text{ hr}$$

② California Culverts Practice method(1942)

유로장 $L = 0.450 \text{ km}$, 유로상하류의 차 $H = 3.183 \text{ m}$

$$T_c = \left(\frac{0.869 L^3}{H} \right)^{0.385} = \left(\frac{0.869 \times 0.450^3}{3.183} \right)^{0.385} = 0.2412 \text{ hr}$$

③ Rziha 공식

$$\text{홍수도달속도, } W = 20 \left(\frac{H}{L} \right)^{2/3} = 20 \left(\frac{3.183}{450} \right)^{2/3} = 0.737 \text{ m/sec}$$

$$T_c = L/W = 450 / 0.737 = 610.6 \text{ sec} = 10.2 \text{ min} = 0.17 \text{ hr}$$

④ Kirpich 공식(1940)

$$T_c = 0.0195 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} = 0.0195 \times \frac{450^{0.77}}{0.0071^{0.385}} = 0.241 \text{ hr}$$

$$\text{또는 } T_c = 0.06626 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} = 0.06626 \times \frac{(0.450)^{0.77}}{(0.0071)^{0.385}} = 0.241 \text{ hr}$$

⑤ SCS lag method(1973)

유로장 $L = 0.450 \text{ km}$, 경사도 $S_o = 0.71 \%$, $CN = 90$ 으로 가정하면,

$$\text{잠재저류량 } S = 25400/CN - 254 = 25400/90 - 254 = 28.2 \text{ mm}$$

$$T_L = \frac{L^{0.8} (S+25.4)^{0.67}}{28.14 S_o^{0.5}} = \frac{(0.450)^{0.8} (53.6)^{0.67}}{28.14 (0.71)^{0.5}} = 0.321 \text{ hr}$$

$$T_c = 1.67 T_L = 1.67 \times 19.2 = 32.1 \text{ min} = 0.53 \text{ hr}$$

⑥ Manning 공식

수리수심 $R = 10 \text{ cm}$, $n = 0.03$, $S_o = 0.10$ 으로 가정하면,

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S_o^{1/2} = \frac{1}{0.03} (0.10)^{2/3} (0.0071)^{1/2} = 0.606 \text{ m/sec}$$

$$T_c = L / V = 450.0 / 0.606 = 742.6 \text{ sec} = 12.4 \text{ min}$$

위와 같이 18개의 필지를 포함하고 있는 9.0 ha의 후름지점 논유역의 경우 각 공식에 의한 계산값은 10.2~37.5분이며 평균값은 20.2분으로 산정되었다.

여기서 후름지점의 실제적인 유달시간을 논필지에서 도달시간과 논구획에서의 합으로 본다면 그 계산값의 범위는 18.5~66.9분으로 볼 수 있으며, 평균값은 35.9분이다.

3. SCS 프로그램

가. 프로그램의 구성

(1) 변수

SCS 방법의 본 프로그램에서 사용된 주요 변수들은 다음과 같다.

Q = $(P - 0.2 * S)^2 / (P + 0.8 * S)$
S = $25400 / CN - 254$ (mm)
P = Total rainfall (mm)
D = Duration (hr)
TP = Peak time = $D / 2 + 0.6 * Tc$
TB = Base time = $2.67 * Tp$
Qp = $2.081 * A * Q / Tp$ (= Unit Q)
L = Length(km)
H = Relief(m)
TC = Time of concentration(hr)
ALOSS = Infiltration rate(mm/hr)
CN = Hydrologic curve number
HAREA = Watershed area(ha)

(2) 단위도의 형태

- ① $Tb = 2.67 * Tp$ $Qp = 2.081 * A * Q / Tp$: (484-A)
- ② $Tb = 3.27 * Tp$ $Qp = 1.670 * A * Q / Tp$: (400-B)
- ③ $Tb = 4.30 * Tp$ $Qp = 1.250 * A * Q / Tp$: (300-C)
- ④ $Tb = 6.45 * Tp$ $Qp = 0.861 * A * Q / Tp$: (200-D)
- ⑤ $Tb = 8.60 * Tp$ $Qp = 0.645 * A * Q / Tp$: (150-E)

나. 입출력자료

(1) 입출력자료

SCS 방법에 의한 논구획 유출모형의 프로그램 적용에 필요한 입력 및 출력자료는 <표 3-57>과 같다.

<표 3-57> SCS 모형의 입출력자료

구분	항목	입출력 내용
입력	강우	강우일시, 시간별 누가우량
	유역인자	손실량, CN, 유역면적, 초기유량 유로장, 표고차, 유달시간
출력	강우	시간별 강우량
	논구획	단위도 계산결과, 시간별 유출량

(2) 유달시간 결정

- 논유역에서의 총 유달시간은 단일필지 논과 논구획면적에서의 경험공식에 의한 각각의 유달시간을 합친 시간으로 한다.
- $T_c = 0.5, 1.0, 1.5, 1.75hr$ 가정하여 검토한다.

(3) CN값

유출곡선수 CN = 88, 90, 96에 대하여 검토한다

다. 프로그램 실행

프로그램 실행은 다음과 같이 실행된다.

- > 실행프로그램 입력파일명 출력파일명
- > SCS-CN.EXE SCS-000.DAT SCS-000.OUT (예시)

4. 모형의 보정

가. 적용조건

(1) 수문곡선 형태

SCS방법에서 삼각단위도의 기저시간과 첨두유량의 관계를 다음과 같이 4가지 형태로 검토하였으며, 출력시간간격은 30분을 사용하였다.

$$\text{Type-A : } T_b = 2.67 * T_p, \quad Q = 2.081 * A * Q / T_p$$

$$\text{Type-B : } T_b = 3.27 * T_p, \quad Q = 1.670 * A * Q / T_p$$

$$\text{Type-C : } T_b = 4.30 * T_p, \quad Q = 1.250 * A * Q / T_p$$

$$\text{Type-D : } T_b = 6.45 * T_p, \quad Q = 0.861 * A * Q / T_p$$

(2) CN값

유출곡선수 CN 값은 96, 90, 88로 적용하고 CN = 90을 기준으로 비교하였다.

(3) 유달시간

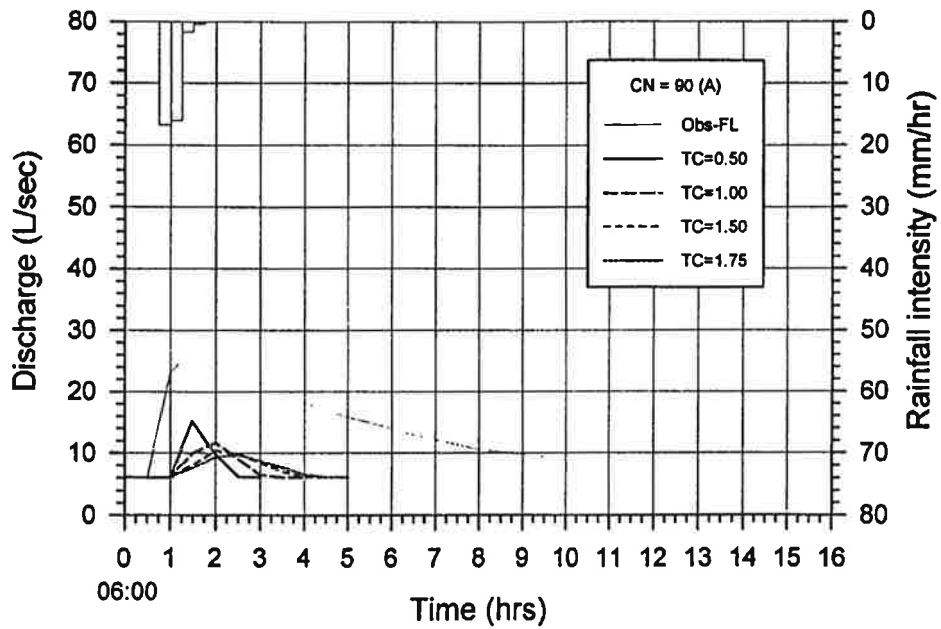
앞에서 설명한 지체시간과 유달시간을 근거로 하여 $T_c = 0.50, 1.00, 1.50, 1.75$ hr의 4가지로 적용하고 그 결과를 CN = 90을 기준으로 관측자료와 비교하였다.

나. 모형의 적용

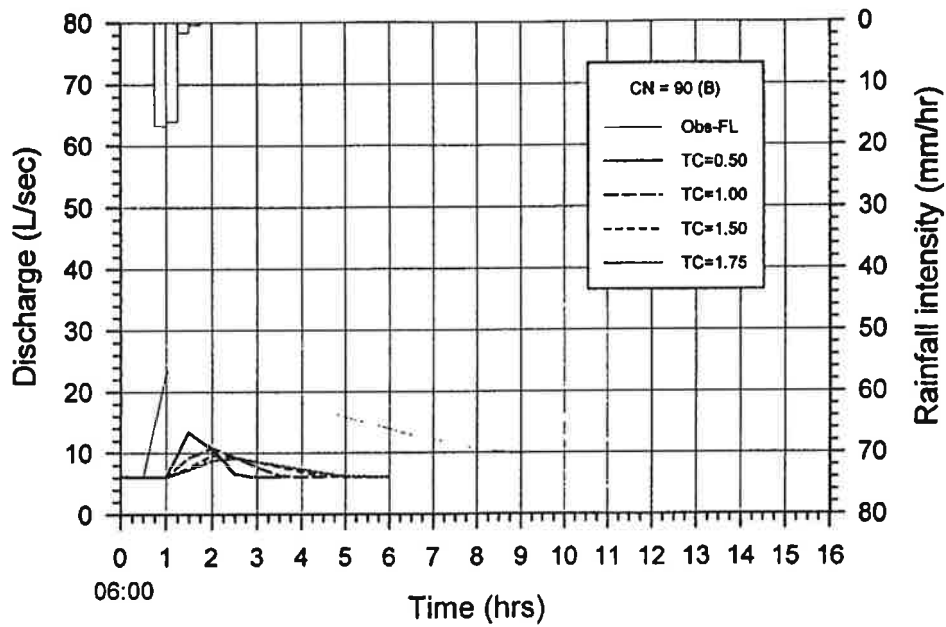
위와 같은 수문곡선형태, CN값, 지체시간과 유달시간에 따른 기본조건을 가정하여 1995.7/21과 7/23에 적용하여 모의발생시켰으며, <그림 3-56>에서 <그림 3-69>까지는 보정에 따른 과정을 도시한 것이다.

<그림 3-56>에서 <그림 3-69>까지의 보정에 사용된 각 매개변수에 대한 설명은 다음과 같다.

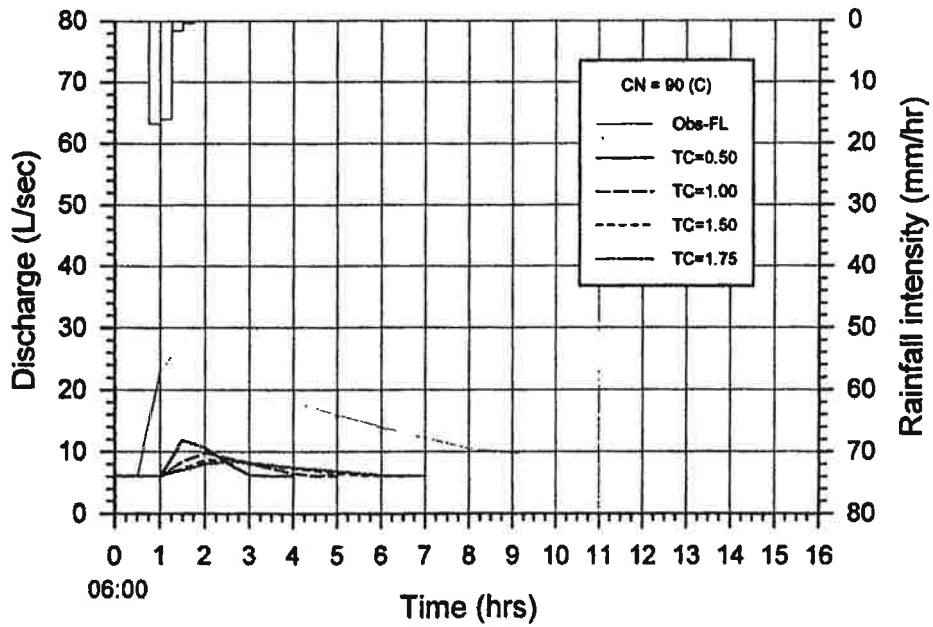
- <그림 3-56>~<그림 3-59>는 Type-A, Type-B, Type-C, Type-D 별로 CN = 90, TC = 0.50, 1.00, 1.50, 1.75를 95.7.21에 적용한 것이다.
- <그림 3-60>~<그림 3-63>은 Type-A, Type-B, Type-C, Type-D 별로 CN = 94, TC = 0.50, 1.00, 1.50, 1.75를 95.7.21에 적용한 것이다.
- <그림 3-64>~<그림 3-66>은 Type-A, Type-B, Type-C 별로 CN = 90, TC = 0.50, 1.00, 1.50, 1.75를 95.7.23에 적용한 것이다.
- <그림 3-67>~<그림 3-69>는 Type-A, Type-B, Type-C 별로 CN = 96, TC = 0.50, 1.00, 1.50, 1.75를 95.7.23에 적용한 것이다.



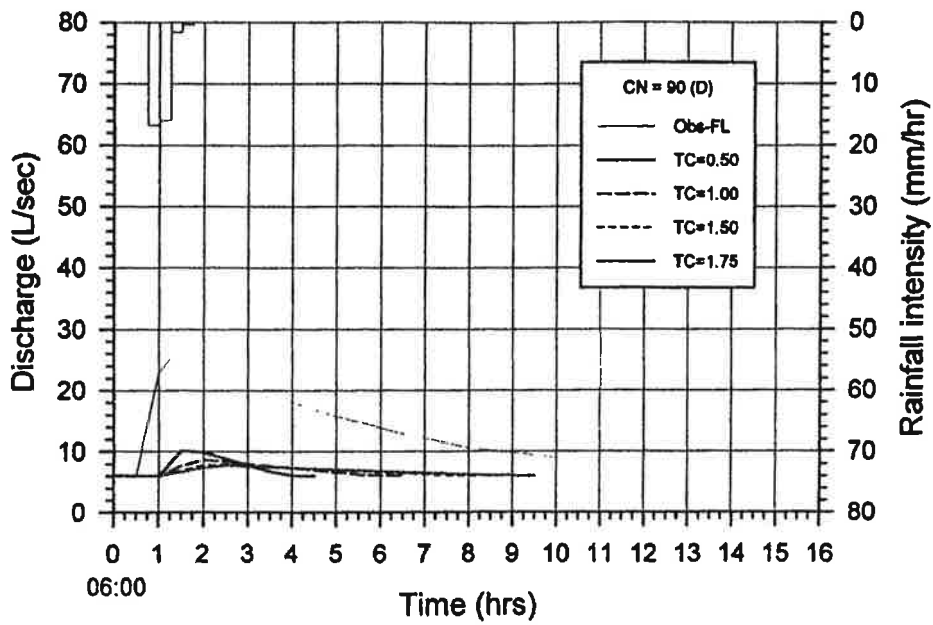
<그림 3-56> 유출수문곡선의 보정(95.7.21) (Type-A, CN = 90)



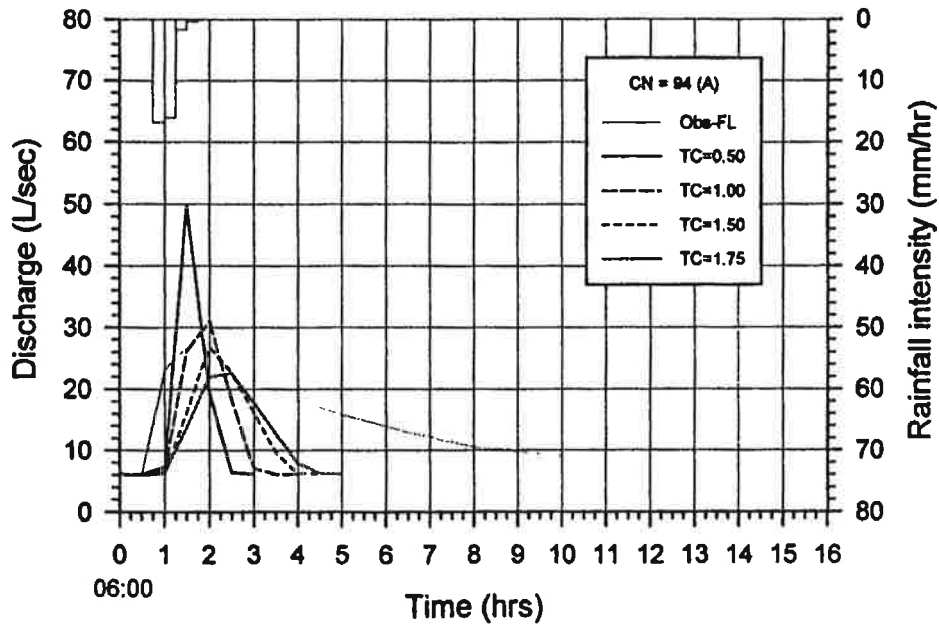
<그림 3-57> 유출수문곡선의 보정(95.7.21) (Type-B, CN = 90)



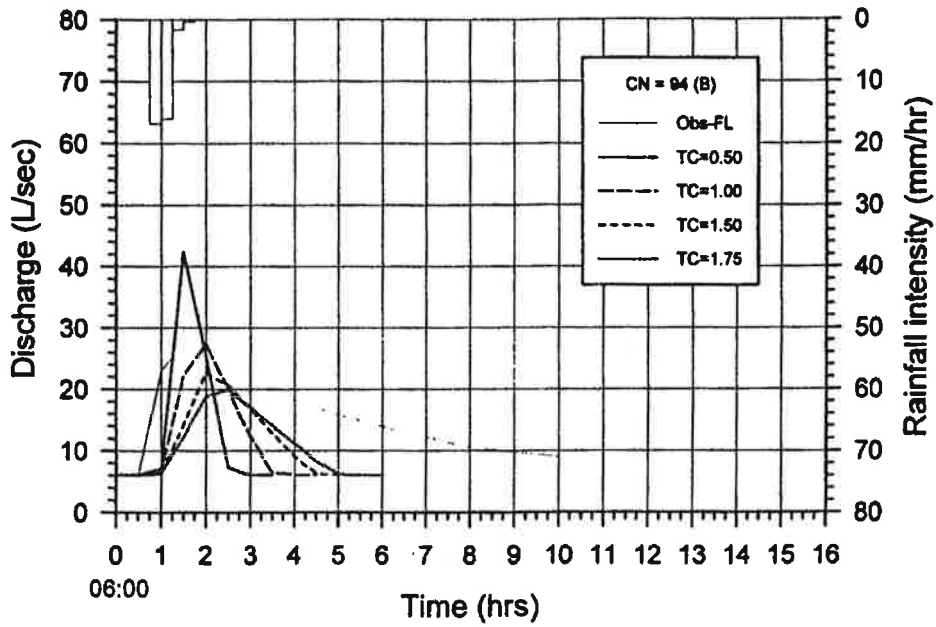
<그림 3-58> 유출수문곡선의 보정 (95.7.21) (Type-C, CN = 90)



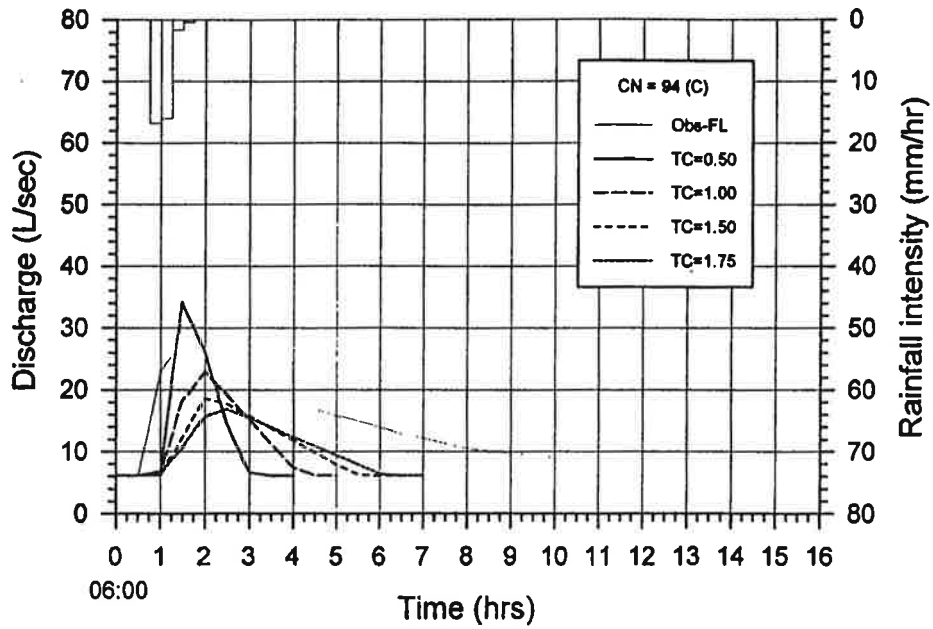
<그림 3-59> 유출수문곡선의 보정 (95.7.21) (Type-D, CN = 90)



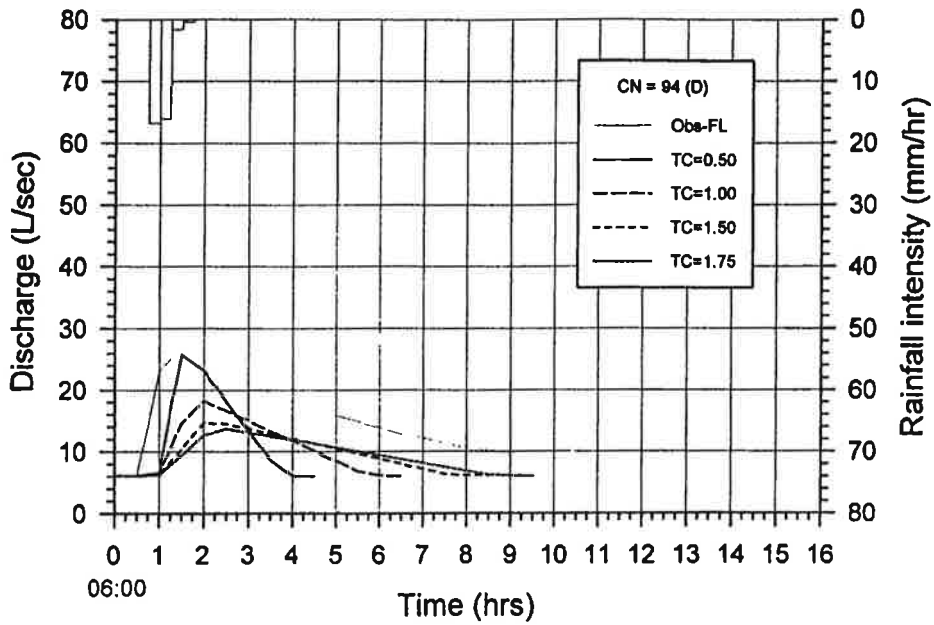
<그림 3-60> 유출수문곡선의 보정 (95.7.21) (Type-A, CN = 94)



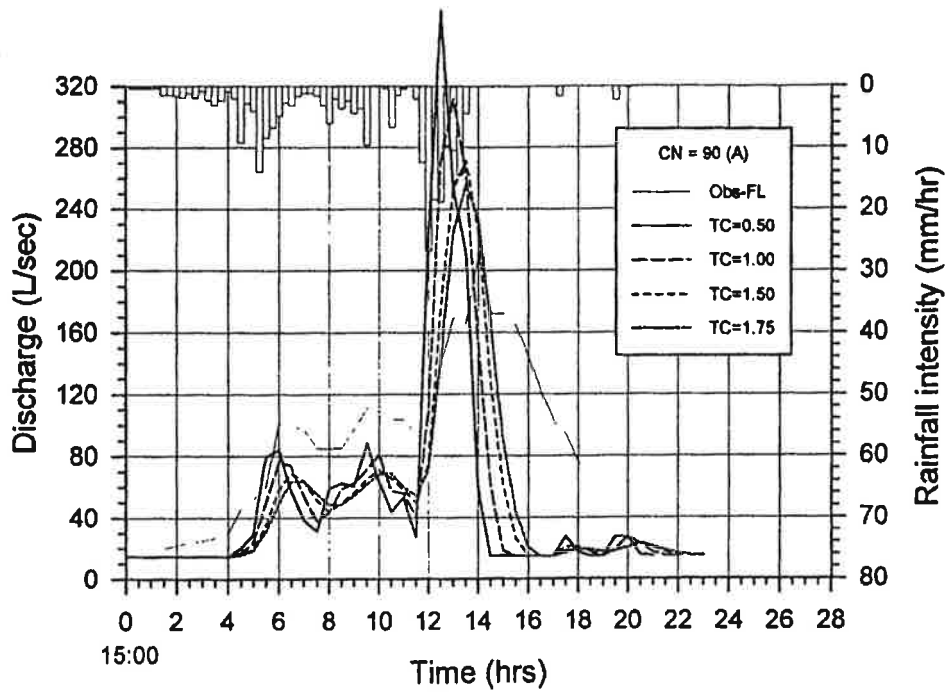
<그림 3-61> 유출수문곡선의 보정 (95.7.21) (Type-B, CN = 94)



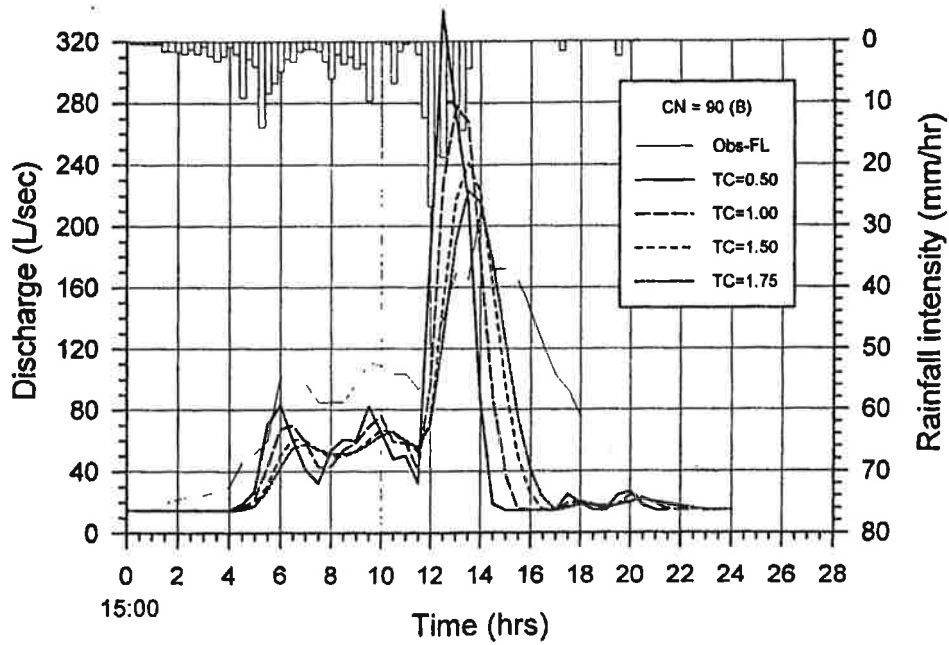
<그림 3-62> 유출수문곡선의 보정(95.7.21) (Type-C, CN = 94)



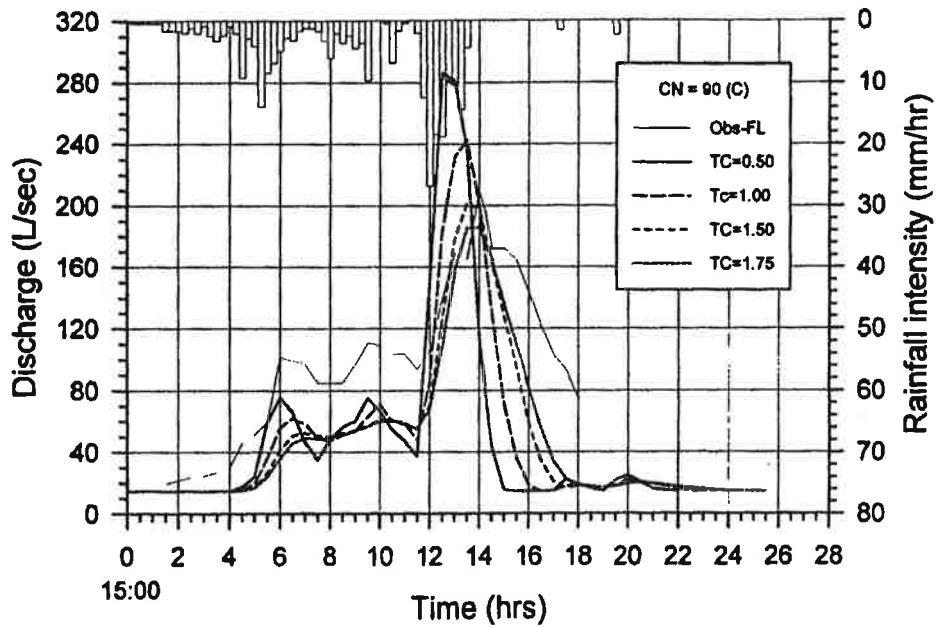
<그림 3-63> 유출수문곡선의 보정(95.7.21) (Type-D, CN = 94)



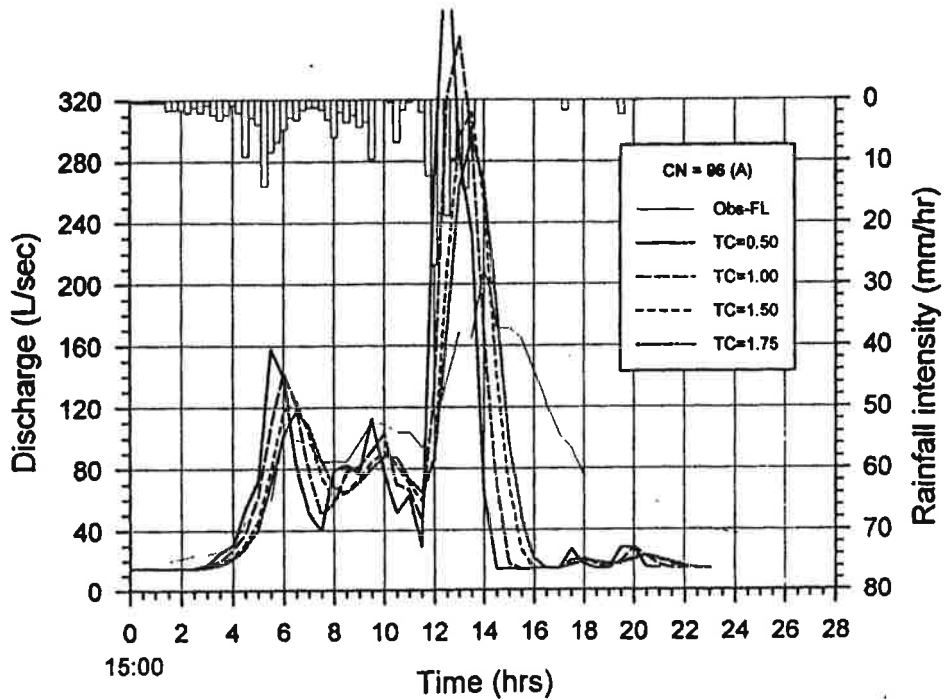
<그림 3-64> 유출수문곡선의 보정(95.7.23) (Type-A, CN = 90)



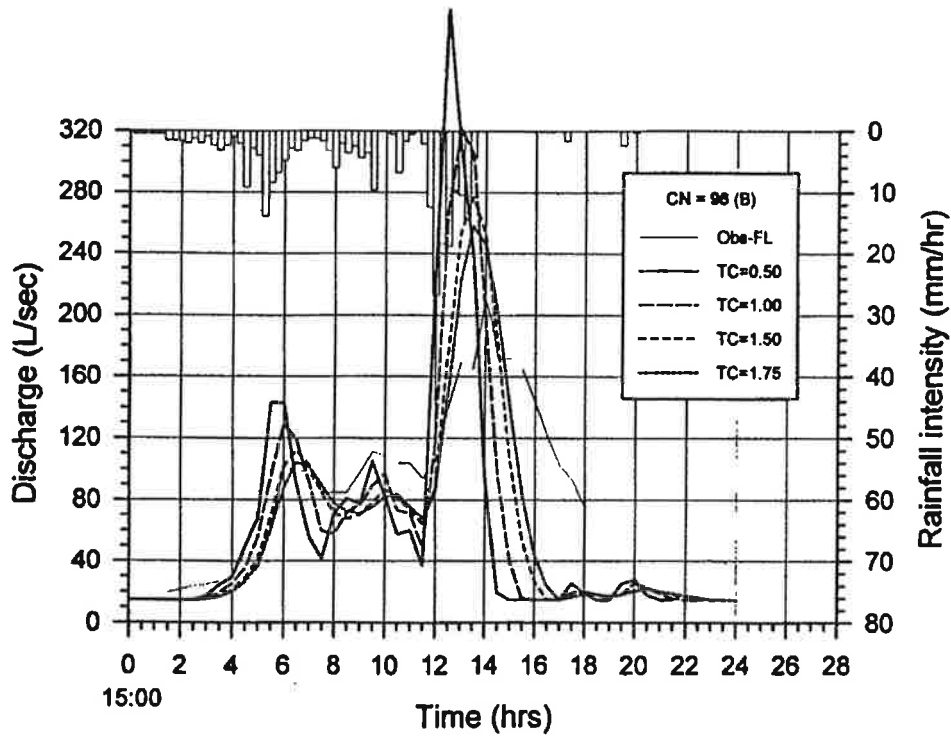
<그림 3-65> 유출수문곡선의 보정(95.7.23) (Type-B, CN = 90)



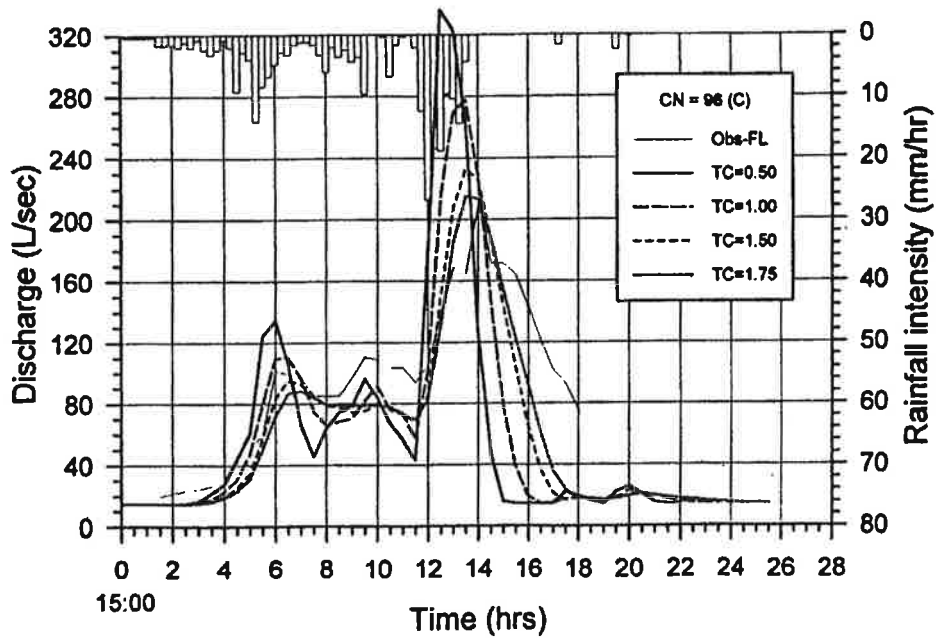
<그림 3-66> 유출수문곡선의 보정(95.7.23) (Type-C, CN = 90)



<그림 3-67> 유출수문곡선의 보정(95.7.23) (Type-A, CN = 96)



<그림 3-68> 유출수문곡선의 보정 (95.7.23) (Type-B, CN = 96)



<그림 3-69> 유출수문곡선의 보정 (95.7.23) (Type-C, CN = 96)

위와 같이 기본조건에 따른 모의발생 결과중 CN = 90인 경우를 요약하여 <표 3-58>에 정리하였다.

<표 3-58> SCS 방법의 적용 및 검토(1995, CN=90 사용)

Date	구분	측정 자료	Type-A				Type-C			
			Tc (hr)				Tc (hr)			
			0.50	1.00	1.50	1.75	0.50	1.00	1.50	1.75
7.21	Qp (L/s)	28.5	15.1	11.68	10.62	9.76	11.77	9.79	8.69	8.45
	Tp (hr)	1.50	1.50	2.00	2.00	2.50	1.50	2.00	2.00	2.50
	Q(mm)	5.0	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
7.23	Qp (L/s)	209.8	369.25	311.71	271.59	256.32	286.22	242.81	201.78	186.03
	Tp (hr)	13.50	12.50	13.00	13.50	13.50	12.50	13.50	13.50	14.00
	Q(mm)	61.6	38.3	38.3	38.3	38.3	38.3	38.3	38.3	38.3

<표 3-58> SCS 방법의 적용 및 검토(1995, CN=90 사용)

Date	구분	측정 자료	Type-C				Type-D			
			Tc (hr)				Tc (hr)			
			0.50	1.00	1.50	1.75	0.50	1.00	1.50	1.75
7.21	Qp (L/s)	28.5	11.77	9.79	8.69	8.45	11.77	9.79	8.69	8.45
	Tp (hr)	1.50	1.50	2.00	2.00	2.50	1.50	2.00	2.00	2.50
	Q(mm)	5.0	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
7.23	Qp (L/s)	209.8	286.22	242.81	201.78	186.03	286.22	242.81	201.78	186.03
	Tp (hr)	13.50	12.50	13.50	13.50	14.00	12.50	13.50	13.50	14.00
	Q(mm)	61.6	38.3	38.3	38.3	38.3	38.3	38.3	38.3	38.3

<표 3-58>에서 보는 바와 같이 침투발생시간은 수문형태간에는 차이가 적고 유달시간에 따라 다르며 긴 유달시간일수록 침투유량발생시간이 지체된다. 즉, 일반적인 결과지만 가정한 TC = 0.50, 1.00, 1.50, 1.75 hr의 4가지로 적용한 결과 유달시간이 길어질수록 침투유량은 작아지고 기저시간이 길어지는 수문곡선을 나타내고 있다.

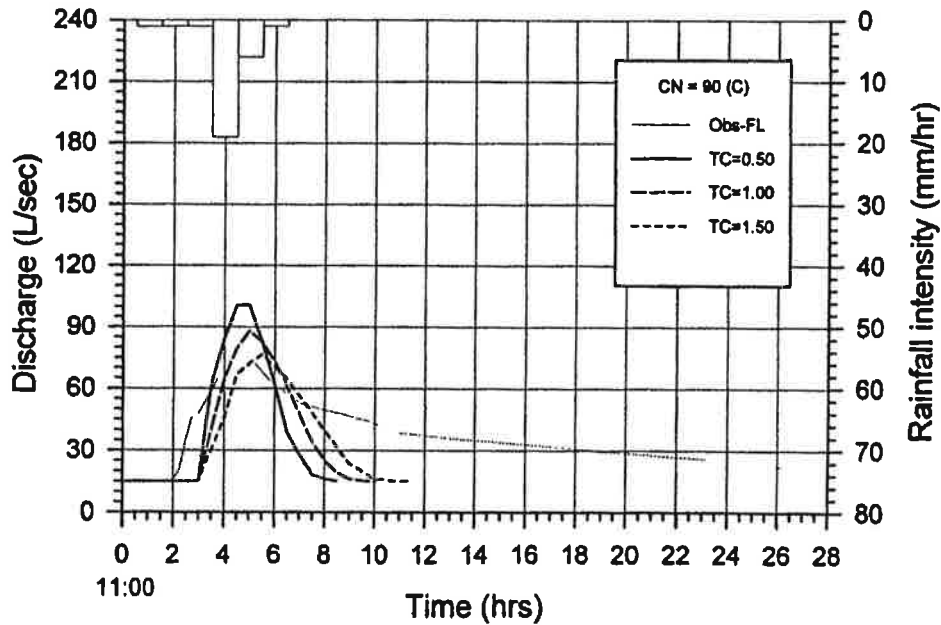
그러나 본 시험포장의 감수부는 비교적 완만한 반면 SCS 방법에 의한 모의 발생결과는 이러한 지체특성을 잘 표현해 주지는 못하였다.

5. 모형의 검정

상기와 같은 과정을 통하여 보정된 수문곡선형태, CN값, 유달시간 등의 매개변수를 95.8.9에 적용하여 SCS 방법의 논유역 유출해석에 대한 검정자료로 수문곡선형태는 Type-C인 $T_b = 4.30 * T_p$, $Q_p = 1.250 * A * Q / T_p$ 와 CN = 90인 경우를 적용하였다. <표 3-59>는 이를 요약한 것이고, <그림 3-70>은 보정후 Type-C, CN = 90, TC = 0.50, 1.00, 1.50, 1.75에 따른 검정결과를 도시한 것이다.

<표 3-59> SCS 방법의 보정후 수문곡선 검토(1995)

Date	Rain (mm)	구분	측정 자료	Type-C				비고
				Tc (hr)				
				0.50	1.00	1.50	1.75	
8.9	29.0	Qp (L/s)	71.7	100.75	88.10	76.55	72.20	CN= 90
		Tp (hr)	5.25	5.00	5.00	5.50	5.50	
		Q (mm)	12.0	10.6	10.6	10.6	10.6	



<그림 3-70> 유출수문곡선의 검정(95.8.9) (Type-C, CN=90)

<표 3-59>에서 보는 바와 같이 TC = 0.50, 1.00, 1.50, 1.75 hr의 4가지로 적용한 결과 첨두발생시간은 유달시간이 0.5hr에서 1.75hr 으로 커질수록 지체되며, 첨두유량은 28% 정도가 감소되는 것을 알 수 있다.

그러나 보정후에도 비교적 완만한 수문곡선의 감수부 형태는 SCS 방법으로 잘 표현되지 못하는 것으로 보여진다. 전반적으로 1995년 강우 및 유출량 자료를 이용한 유출곡선수(CN), 유달시간(Tc), 기저시간(Tb)의 변화에 따른 SCS 방법에 의한 논구획의 유달시간, 첨두량, 첨두발생시간, 수문곡선 형태 등의 타당성 검토는 매우 제한적으로 잘 일치하지 않는 것으로 판단된다.

한편 CLARK 방법을 이용한 광역모형과 비교하기 위하여 1997년 5/6, 7/5 및 7/15에 대하여 PAD_SCS 모형을 적용하고 그 결과는 제5절의 모형의 검정에서 비교 검토하였다.

제4장 일반유역의 홍수량 산정모형

제1절 SCS의 유출량 추정방법

제2절 유달시간

제3절 유출곡선지수

제4절 설계강우량

여 백

제4장 일반유역의 홍수량 산정 모형

배수개선지구의 유역은 지구내 및 지구외로 구분되는 것이 일반적이다. 지구내 유역은 배수개선 대상 경지가 대부분을 차지하며, 지구외 유역은 대부분이 산지와 눈·밭이 혼합된 형태로 여기서 발생한 홍수량은 지구내로 유입되어 지구내에서 발생한 홍수량과 합류한다. 이러한 홍수량은 배수로나 배수암거 등과 같은 수공구조물을 계획하고 설계하며, 또는 유지관리하는데 중요한 기준이 된다.

한편, 이러한 홍수량을 산정하는 방법에는 유량관측 기록이 있는 계측유역의 경우와 관측 기록이 없는 무계측 유역의 경우로 구분할 수 있다. 그러나 대부분의 배수개선 대상 지구는 후자의 경우에 속하는 것이 일반적으로서 임의의 유역에서 물리적 의미를 갖는 유역특성 인자를 변수로 유출특성을 규정하는 단위도의 작성을 통하여 홍수량을 구하는 단위도법과 물리계의 물 순환과정을 수학적으로 서술하여 홍수량을 모의발생 시키는 수문모형이 있다. 이 중에서 지금까지 국내의 배수개선 사업에서는 단위도법이 가장 널리 사용되어 왔다.

단위도법은 그 유도과정의 선형성을 전제로 하기 때문에 그 적용에 있어 다소의 제한성은 있지만 기법의 편리성과 홍수의 시간적 변화 양상을 쉽게 표현할 수 있어서 많이 사용되고 있는 실정이다. 그 대표적인 것으로 SCS 삼각단위도법과 Snyder 방법, Clark 방법 및 증안의 단위도법 등을 들 수 있으며 이중에서도 SCS의 삼각단위도법이 국내에서 가장 널리 사용되고 있다. 따라서 본 홍수분석 시스템에서는 SCS의 삼각 단위도법을 일반유역의 홍수량 산정 모형으로 구축하였다.

그러나 SCS의 삼각단위도법은 미국 토양보전국(Soil Conservation Service)에서 미국내 수백개의 크고 작은 유역에서 실측된 강우와 유출자료를 이용하여 유도된 것으로서 지금까지 국내에서는 이 방법을 사용함에 있어 그 본래의 개발 의도와 다르게 적용되는 경우가 많았다.

SCS방법으로 홍수량을 산정하기 위해서는 유역의 특성값과 강우자료가 필요

하다. 유역 특성값은 유역의 크기, 유달시간 및 유역내 토지이용상황으로 나눌 수 있고 이를 바탕으로 유출곡선지수(CN)를 산정하게 된다. 또한 강우자료는 설계 강우량과 강우의 시간분포가 필요하며 유달시간에 따라 강우 지속시간별 유효우량을 구하게 된다. 본장에서는 SCS의 홍수 유출모형에 대하여 고찰하고 홍수량을 산정할 때 필요한 인자들에 대하여 기술함으로서 제5장의 홍수분석시스템(FAS) 개발에 정확성을 기하였다.

제1절 SCS의 홍수 유출모형

1. SCS 삼각단위도

일반적으로 단위도란 특정 단위시간 동안 균일한 강도로 유역 전반에 걸쳐 균등하게 내리는 단위강우량에 의하여 발생하는 직접유출의 수문곡선을 의미하며 SCS는 다음과 같은 개념을 기본가정으로 단위도를 유도하였다.

첫째, 총강우에서 손실되고 나머지가 유출된다고 볼때 유출에 기여한 강우량은 잉여강우(Excessive Rainfall) 또는 유효강우(Effective Rainfall)가 되며 여기서 손실은 식물에 의한 차단, 지면저류 및 토양침투 등으로 나타난다. 둘째, 유출총량은 잉여강우량과 동일한 1 inch 또는 1 mm 등의 단위량이 된다. 셋째, 단위 잉여강우량 이상일 경우 단위량에 비례한다고 가정한다. 넷째, 지역적(공간적)으로 균일한 분포를 갖는다. 다섯째, 강우의 지속기간(Duration)동안의 잉여강우의 강도는 일정하다.

<그림 4-1>은 SCS에서 수십개의 실측자료로부터 유도한 무차원 및 삼각단위도를 보여주고 있다. 그림의 실선은 무차원 단위도이고 점선은 삼각단위도를 나타내는 것으로서 단위도의 면적은 직접유출의 총량(Q)과 같으며, 다음과 같이 표시된다.

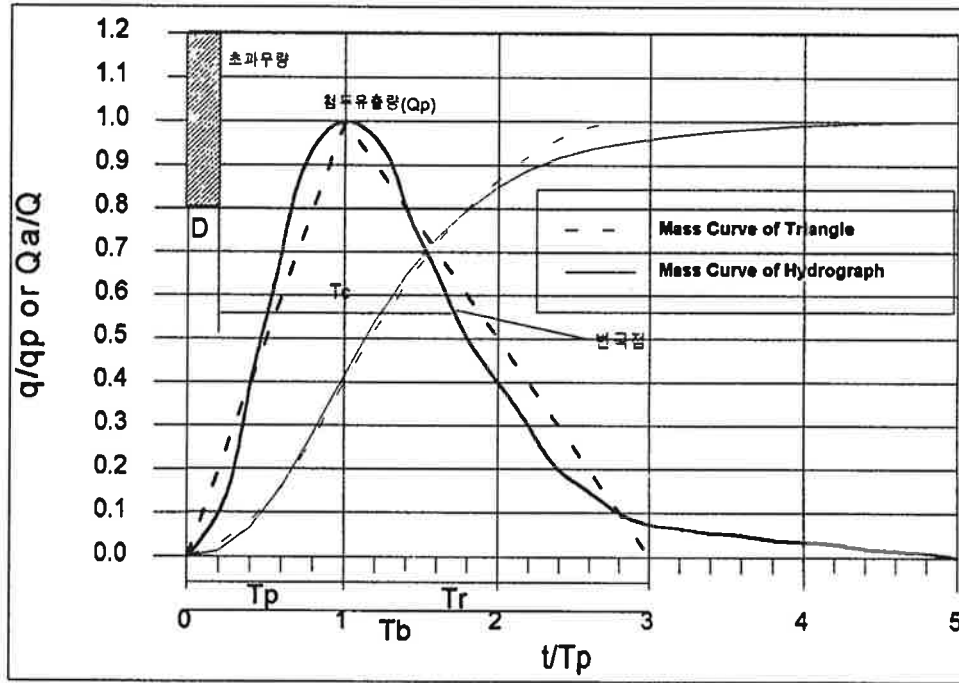
$$Q = \frac{1}{2} a_p (t_p + t_r)$$

여기서 Q : 단위유효우량(직접유출량)

qP : 첨두유량

tP : 첨두유량 발생시간

tr : 감수시간



<그림 4-1> SCS 삼각단위도

윗식을 qP 에 대해서 정리하면,

$$q_p = \frac{Q}{t_p} \left[\frac{2}{1 + \frac{t_r}{t_p}} \right]$$

윗식의 qP를 ft³/sec, tP를 hr, Q 를 inch, 면적 A 를 mile²로 나타내고 tr=1.67tP를 정의하여 대입하면 다음과 같다.

$$q_p = \frac{484AQ}{t_p}, \text{ 단위를 SI단위계로 바꾸면, } q_p = \frac{0.208 A Q}{t_p}$$

윗식에서 상수 484는 단위도에 있어서 상승부의 면적이 전체 단위도 면적의 3/8이 됨을 의미하며, 이것은 수십개 유역의 평균치이다. 따라서 이 값은 유역의 지형적인 특성에 따라 변할 수 있으며, SCS에서는 다음과 같이 추천하고 있다.

◦ 산악지대의 유역 : $q_p = \frac{600 A Q}{t_p}$

단위를 SI단위계로 바꾸면, $q_p = \frac{0.258 A Q}{t_p}$

◦ 평탄지 또는 늪지대 : $q_p = \frac{300 A Q}{t_p}$

단위를 SI단위계로 바꾸면, $q_p = \frac{0.125 A Q}{t_p}$

또한 첨두시간 t_p 는 단위잉여강우에 대한 지속시간의 함수로 표현할 수 있으며, 잉여강우의 지속시간 D 는 유달시간 t_c 와의 관계를 <그림 4-1>으로부터 유도하면 다음과 같다.

$$t_p + D = 1.7t_c$$

$$\frac{D}{2} + 0.6t_c = t_p$$

연립하여 풀면,

$$D = 0.133 t_c \text{ 가 된다.}$$

따라서 t_p 를 t_c 의 항으로 표시할 수 있다. 즉,

$$t_p = \frac{D}{2} + 0.6 t_c = \frac{2}{3} t_c$$

첨두유량을 t_c 항으로 표시하면

$$q_p = \frac{726 A Q}{t_c}$$

단위도의 기저장 t_b 는 <그림 4-1>으로부터 나타내면

$$t_b = t_p + t_r = t_p + 1.67 t_p = 2.67 t_p$$

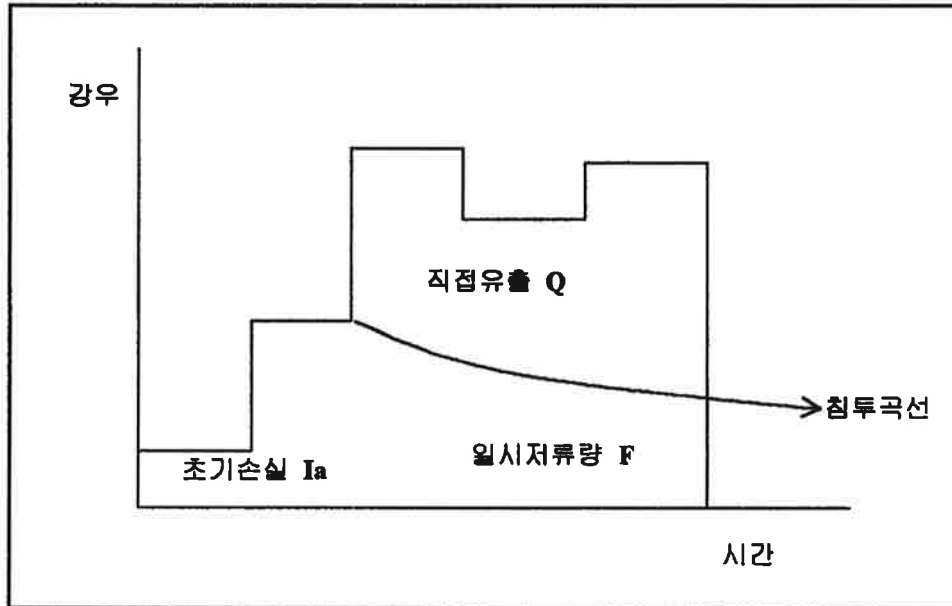
위의 침투유량 산정식은 미국유역에서 유도된 완경사지의 대표적인 단위도의 특성 변수이며, SCS에서 추천하는 유역의 지형 특성과 경사도에 따라 단위도의 특성 변수를 유도하여 정리하면 <표 4-1>와 같다. 따라서 우리나라의 경우는 급경사 산악지에서부터 완경사 평야지역까지의 다양한 유역을 가지고 있기 때문에 적절한 홍수량을 산정하기 위해서는 이 표에서와 같이 유역의 지형 경사도에 따라 단위도의 특성변수를 구분하여 적용하는 것이 합리적이다.

<표 4-1> 유역 특성에 따른 단위도의 침투유량과 기저장

구분	단위도 침투유량	단위도 기저장	비 고
산악지대(불투수층)	$q_p = \frac{0.258 A Q}{t_p}$	$t_b = 2.15 t_p$	$q_p: m^3/sec$ $A: km^2$ $Q: 1mm$ $t_p: hr$
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. 직접유출량 계산

SCS는 직접유출량(Q)은 총강우량(P)과 지표면 요철로 인한 일시저류량의 영향을 받으며, 실제 일시저류량(F)은 총강우량과 직접유출량의 차이로 표시되고, 초기손실량(Ia)으로 불리워지는 강우량은 강우가 시작될 때는 유출로 나타나지 않는다는 가정아래 <그림 4-2>에서 보는 바와 같이 강우-유출의 관계를 표시하여 다음식을 제시하였다.



<그림 4-2> 강우, 유출, 손실량과의 관계

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{P - I_a}$$

여기서 S : 흙이 완전히 포화되었을 때 저류량 즉, 잠재 최대 저류량(Potential Maximum Retention)이다.

실제의 일시저류량은 초기손실량을 고려할 때

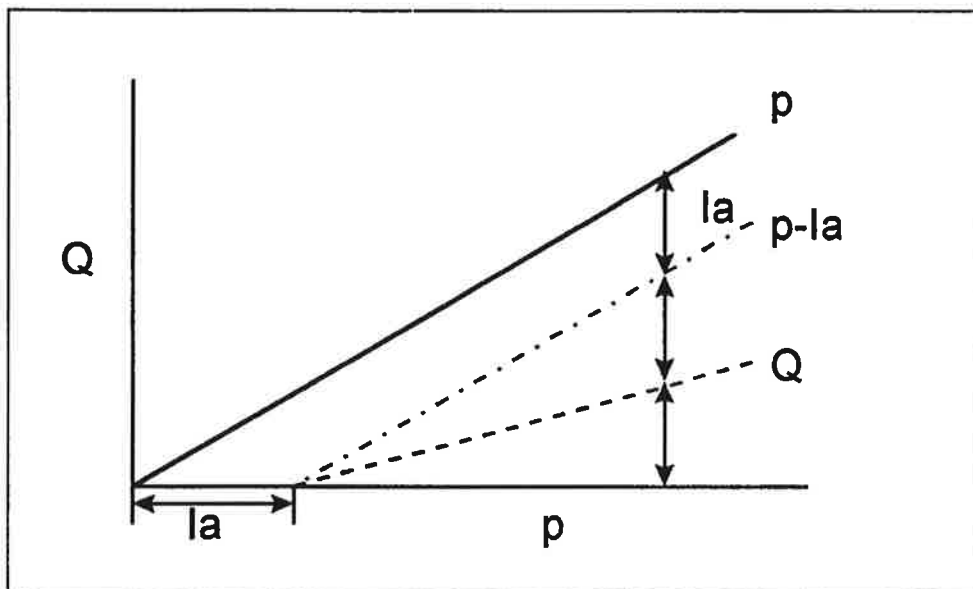
$$F = (P - I_a) - Q$$

위의 식을 연립하면 다음 식과 같다.

$$\frac{(P - I_a) - Q}{S} = \frac{Q}{P - I_a}$$

또한 위식을 Q 에 대해 정리하면

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S}$$



〈그림 4-3〉 SCS 강우-유출 추가곡선

위의 관계에 의하면 강우(P)가 시작되어 초기손실량(Ia)보다 적은 경우 유출은 생기지 않는다. 그러나 강우가 증가하여 어느정도 이상이 되면 1:1 강우-유출 직선과 평행을 이루게 된다. 여기서 이 두 직선의 절편차(S)를 최대잠재저류량(Potential maximum retention)이라 하며, 초기손실량(Ia)는 차단손실, 저류손실 및 유출이전의 침투손실로 정의된다. SCS에서는 이 초기손실량과 최대 잠재저류량과의 관계를 많은 실측자료를 사용하여 다음의 관계에 있음을 밝혔다.

$$Ia = 0.2 S$$

이를 정리하면

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

이 되며 이를 SCS 강우-유출 관계식이라 한다.

최대잠재저류량(S)은 유역의 토양이나 토지이용 및 선행토양함수조건 등 유역의 유출능력을 나타내는 유출곡선지수(CN)으로부터 결정되며 그 관계는 다음과

같다.

$$S = \frac{1,000}{CN} - 10$$

식(4.21)은 inch 단위이며, mm 로 표시할 때

$$S = \frac{25,000}{CN} - 254$$

3. SCS의 수문곡선 유도

SCS방법에 의하여 유출량을 추정하는 과정을 살펴보면 다음에서 보는 바와 같이 크게 3단계로 나누어 진다.

1단계 : 유효강우의 지속시간(D) 결정

2단계 : SCS 삼각단위도유도

3단계 : 유도된 단위도의 종거와 강우의 지속시간동안 내린 강우량과 중첩하여 유출량계산

위의 과정에 의거하여 삼각단위도로부터 유출량을 분석하는 과정을 좀더 상세히 살펴보면 다음과 같다.

① 유달시간(t_c)로부터 유효강우지속시간(D)를 결정한다.

$$D = 0.133 t_c$$

② 선정된 설계강우량(빈도분석 또는 PMP)과 I-D-F곡선으로부터 산정한 강우분포율을 이용하여 지속시간에 따른 강우량을 산정한다.

③ 침투발생시간 (t_p), 침투유량 (q_p), 기저장 (t_b) 를 계산하여 3각 단위도를 유도한다. 즉,

$$t_p = \frac{D}{2} + 0.6 t_c$$

$$q_p = \frac{0.208 A Q}{t_p} \quad (A : \text{km}^2, Q : \text{mm}, q_p : \text{m}^3/\text{sec})$$

$$t_b = t_p + t_r = t_p + 1.67 t_p = 2.67 t_p$$

- ④ 지속 시간별 강우량을 t_p 를 중심으로 재배치 한다.
- ⑤ 강우지속시간(D)마다 단위도의 종거(q_1, q_2, \dots, q_n)를 계산한다.
- ⑥ D 시간 단위로 강우량을 잉여강우량(Q_1, Q_2, \dots, Q_m)으로 환산한다.

$$S = \frac{25,000}{CN} - 254$$

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

⑦ Convolution 에 의해 유출 Hydrograph 을 작성한다.

이중 ⑤, ⑥ 과정에서 계산된 값을 단위도 종거와 동일한 간격을 갖는 (즉 지속시간 D) 잉여강우를 곱하고 다시 D시간 만큼 지체시켜 다시 곱한후 이를 더해가는 일련의 과정을 반복한다. 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

D시간 단위의 유출곡선을 R_1, R_2, \dots, R_m 으로 표시할 때

$$R_1 = Q_1 \cdot q_1$$

$$R_2 = Q_1 \cdot q_2 + Q_2 \cdot q_1$$

$$R_3 = Q_1 \cdot q_3 + Q_2 \cdot q_2 + Q_3 \cdot q_1$$

$$R_4 = Q_1 \cdot q_4 + Q_2 \cdot q_3 + Q_3 \cdot q_2 + Q_4 \cdot q_1$$

.

.

.

$$R_n = Q_1 \cdot q_n + Q_2 \cdot q_{n-1} + \dots + Q_n \cdot q_1$$

.

.

$$R_m = Q_1 \cdot 0 + Q_2 \cdot 0 + \dots + Q_n \cdot q_n + \dots + Q_m \cdot q_1$$

제2절 유달시간

1. 유달시간의 정의

강우에 의한 유출의 반응을 유역반응이라 하며, 유역반응을 나타내는 시간변수는 홍수에측에 매우 중요한 요소다. 이러한 시간변수의 정확도는 설계홍수량의 추정시 첨두홍수량과 매우 밀접한 관계를 가지고 있으며, 이때 주로 사용하는 시간변수로는 유달시간(time of concentration, T_c), 지체시간(lag time), 기저시간(time base), 첨두발생시간(time to peak), 평형시간(time to equilibrium)등이 있다. 이중 유달 시간(T_c) 개념이 각종 모형에 자주 쓰이고 있다.

유달시간은 다른 시간변수와 같이 유역의 물리적 성질 혹은 유효우량의 주상도와 유출수문곡선과의 관계로 나타낼 수 있으며, 이에 대한 여러가지 경험적인 정의가 있다. SCS에서는 유역의 최원점에서 출구 또는 설계지점까지 물이 유하하는데 걸리는 시간으로 정의하고, Clark(1945)는 유효우량의 끝에서 직접유출수문곡선중 감수부의 변곡점까지를 유달시간으로 정의하고 있다. McCuen 등(1984)은 유효우량의 중심에서 직접유출의 중심까지로 유달시간을 정의하고 있다.

Pilgrim은 실제의 유역에서 SCS의 개념으로 유달시간을 실측하여 유달시간이 한 유역에서 고정되지 않고 유량에 따른 함수임을 제시하였고, 유달시간을 유역의 최원점에서 유효우량의 발생시각과 출구에서 이 요소에 의해 발생하는 유출시각 사이의 시간으로 재정의 하였다.

Meynink(1978)는 호주의 Darling Down의 5km^2 의 면적을 가지는 유역에서 유달시간이 추정된 결과의 1/2 ~ 2배로 변함에 따라 첨두유량이 1.64~6.48배로 변함을 보였다는 연구에서와 같이 유달시간은 시간변수 중에서도 가장 중요한 것이라 할 수 있다.

2. 유달시간 추정방법

유역에서 유출은 면상류(sheet flow), 얇은 집중흐름(shallow concentrated flow), 하도흐름(open channel flow) 또는 이들의 복합적 흐름으로 진행된다. 이

들 흐름은 유역면적, 경사, 지형형상, 식생 및 토지이용상태 등과 같은 지형학적 요소와 강우의 시공간 분포, 지속기간, 강우진행 방향 등의 강우특성 및 기타 선행토양함수조건 및 침투특성과 같은 여러가지 요소에 의해 영향을 받는다.

지금까지 알려져 있는 유달시간을 계산하는 많은 방법들은 모두 흐름에 영향을 주는 상기의 요소중 일반적으로 유로경사, 유로길이 및 토지이용 등과 같은 유역에 따른 매개변수를 사용하며, 그 형태는 다음과 같이 일반화하여 나타낼 수 있다.

$$t_c = C_p L_p^a S_p^b$$

여기서, C_p 는 상수, L_p 는 길이의 함수, S_p 는 경사의 함수이며 a, b 는 유역조건에 따른 지수이다.

유달시간은 경험적 또는 수리학적으로 검토되어 흐름 영역별 또는 지역에 따라 많은 추정방법이 개발되었다. 그중 몇 가지 경험적 방법을 소개하면 다음과 같다.

가. Kerby(1959) 방법

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

$$T_c = 1.44 \frac{(n L)^{0.467}}{S^{0.234}}$$

여기서 T_c : 유달시간 (min), S : 경사 (무차원)

L : 유역의 최원점에서 하도시점까지의 직선길이 (m)

N : 지표면흐름의 지체계수 <표 4-2>참조

〈표 4-2〉 지체계수 N의 값

표 면 상 태	N값
매끄러운 불투수 표면 (Conc'면)	0.02
매끄럽고 잘다져진 나지	0.10
블랑초지, 줄경작, 또는 보통조도의 나지	0.20
목초지 및 보통의 초지	0.40
산림지	0.60
일반적인 산간유역	0.70
산림지(깊은 낙엽퇴적지), 침엽수림, 조밀한초지	0.80

나. Rziha 방법

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

$$T_c = L / W_1$$

$$W_1 = 20 \times (H/L)^{0.6}$$

여기서 T_c : 유달시간 (min)

W_1 : 홍수도달속도 (m/sec)

H : 최상류지점과 유역출구까지의 고저차 (m)

L : 최상류지점과 유역출구까지의 수평거리 (m)

윗식은 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 유달시간을 계산한다.

다. California 도로국 공식

California Culverts Practice(1942)에서 California의 산간지역 소유역에서 유도된 것으로서 근본적으로는 Kirpich의 Tennessee지역 공식과 같으며 다음과

같이 표시된다.

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

여기서 T_c : 유달시간 (hrs)

L : 가장 긴 유로장 (km)

H : 유역출구와 주유로를 따른 최원점과의 고저차 (m)

윗식은 유역이 비교적 크더라도 경사도는 단순해야만 오차를 줄일수 있다. 따라서 유로의 경사도가 상이하게 구성되어 있을 경우 각 구간의 경사도를 구간장의 가중평균으로 평균경사를 구한 후 적용하며, 지표의 흐름경로(overland flow path)가 이스팔트나 콘크리트로 되어 있다면 추정된 집중시간에 0.4, 하도가 콘크리트로 되어 있다면 0.2를 곱하여 사용한다. 이 방법은 주로 하도에서 유달시간 추정에 사용한다.

라. Kraven 방법

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

$$T_c = 0.444 \frac{L}{S^{0.515}}$$

여기서 T_c : 유달시간(min)

L : 유로연장(m)

S : 유역 평균 경사

마. SCS 방법(LAG 법, 1985)

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

$$T_c = 1.67 t_L$$

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

$$Max-S = \frac{25400}{CN} - 254$$

여기서 T_c : 유달시간 (hr)

t_L : 지체시간(유효우량도 중심에서 직접유출수문곡선의 첨두부분
까지의 시간구간)

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

S_0 : 유역평균경사(%), CN : 유역유출수문곡선지수

위 방법은 소유역으로 유달거리가 6Km 이내이고 유역의 경사도가 유로의 길이에 따라 크게 변하지 않으며 비교적 단순한 유로형태에 사용한다. 유달거리를 구할 경우 저수지나 담수호와 같이 유속이 거의 발생하지 않는 구간이 있을 때는 이 구간의 거리를 유달거리에 포함시켜서는 않된다.

이상과 같은 유달시간 추정 방법들은 흐름영역별 또는 지역에 따라 각각 다르게 개발되었으므로 실무에 사용하기 위하여 추정방법을 선정하고자 할때는 유역 특성에 알맞는 흐름영역과 지형적 특징을 고려해야만 한다. 이를 위해서는 충분한 현장 조사를 실시해야 한다.

계3절 유출곡선지수

설계홍수량을 추정하기 위해서는 총강우량으로부터 강우손실을 고려한 유효우량(혹은 유효우량주상도)를 결정하여야 한다. 유효우량에 직접적인 영향을 주는 인자는 크게 기상인자와 유역 특성인자로 구분할 수 있다. 기상인자로는 강우를 들수 있으며 유역 특성인자로는 유역을 형성하고 있는 토양종류(Soil type)와 토지이용(land use) 혹은 식생피복의 종류(vegetal cover), 처리상태 (cover treatment) 및 토양의 수문학적 조건(hydrologic condition) 등이 있으며, 또한 강우가 있기 전의 선행토양함수 조건도 영향력 있는 중요한 인자이다.

SCS는 이러한 인자들이 총강우량으로부터 직접유출량(혹은 유효우량)에 미치는 복합적 영향을 하나의 지수 즉, 유출곡선지수(CN, Runoff Curve Number)로 나타내어 유출량 자료가 없는 미계측 유역의 유효우량을 산정에 사용하고 있다. 따라서 본 절에서는 유출곡선지수를 산정하는 방법과 절차를 기술하였다.

1. 수문학적 토양형의 분류

한 유역의 토양특성은 강우로 인한 유출과정에 직접적인 영향을 미친다. 즉, 토양의 성질에 따라 침투능이 상이하므로 총우량 중 직접유출로 유하하는 유효우량의 크기도 다를 수 밖에 없다. 따라서 SCS는 토양의 성질을 양적으로 표시하기 위하여 침투능을 기준으로 토양형을 4개로 분류하였다. <표 4-3>는 토양형별 토양의 성질을 나타낸 것이다.

〈표 4-3〉 토양형의 분류

토양형	토 양 의 성 질
Type A	낮은 유출율(low runoff potential), 침투율이 대단히 크며 자갈이 있는 부양질, 배수 매우 양호(high rate of water transmission)
Type B	침투율이 대체로 크고(moderate infiltration rate), 돌 및 자갈이 섞인 사질토, 배수 대체로 양호(moderate rate of water transmission)
Type C	침투율이 대체로 작고(slow infiltration rate), 대체로 세사질 토양층, 배수 대체로 불량(slow rate of water transmission)
Type D	높은 유출율(high runoff potential), 침투율이 대단히 작고, 점토질 종류의 토양으로서 거의 불투성, 배수 대단히 불량 (very slow rate of water transmission)

〈표 4-3〉로부터 알 수 있는 바와 같이 토양 침투능의 크기는 A, B, C, D 순이나 유출율은 이의 역순이다. 유역의 토양형별 분포도를 작성하기 위하여 유역 토양형을 판별하여야 하는데 판별방법은 다음 2가지 방법 중 하나를 선택한다.

(1) 토양형의 특성에 의한 방법

이 방법은 현장조사에 의해 토양성질을 파악하여 토양형을 판별하는 방법으로 SCS는 4개 군의 토양성질을 다음과 같이 구분 하였다.

A군 : 깊은 사질, 덩어리진 실트

B군 : 얇은 사질, 사양토

C군 : 점질양토, 얇은 사양토, 유기물 함량이 적은 토양 및 항상 점질이 우세한 토양

D군 : 수분에 의해 팽창하는 토양, 고농도 점질토양 및 염분함유토양

또한 현장조사에 의한 유역 토양조사가 불충분하면 해당유역 토양도에 나타난 토양성질을 이용하여 SCS의 토양형 분류기준에 따라 토양형을 판별할 수 있다. 토양도는 농촌진흥청 식물환경연구소의 한국토양조사사업기구에서 작성한 개략토양도(1:50,000)를 이용하며 개략토양도에 나타난 58개 토양명별 성질 및 특

성은 <표 4-4>과 같다.

한편 <표 4-5>는 <표 4-3>의 토양형별 토양성질을 기준으로 개략토양도에 나타난 토양을 토양형별로 재분류한 것이다. 그러나 이와같은 재분류는 선우중호 등("정밀계측된 소류역의 강우 및 유출특성", 한국수문학회지, 10권 2호, 1977)과 정정화 등("한국토양의 수문학적 분류 및 그 응용", 농공기술, 4호, 1987)이 시도한 바 있으나 아직 실용화 단계에는 미치지 못하고 있다. 반면에 SCS는 미국내 4,000개 이상의 토양에 대해 침투능을 기준으로 토양형별로 재분류하고 이를 실용화 하고 있다.

<표 4-4> 분류기준에 따른 토양형별 토양명

토양형	토 양 명
Type A	Fba,Fbb,Lta,Ltb,Rea,Rsa,Mab,Mac,Mja,Mla,Mlb,Mma,Mmb,Msa,Msb, Mva,Mub,Mvb
Type B	Afc,Afd,Apg,Lpa,Lpb,Raa,Rab,Rac,Rad,Rla,Rlb,Rsb,Rsc,Rva,Rvb,Rvc, Rvd,Maa,Mua
Type C	Fma,Fmb,Fmc,Fmg,Fmk,Afa,Afb,Apa,Apb,Apc,Apd,Ana,Anb,Anc,And,
Type D	Rxa,Fta,Fmd,Fml,Ro

<표 4-5> 개략토양도에 의한 토양명별 성질

토양명	성 질	토심(cm)	분포 지역
Mua	산성갈색 산립토 및 암쇄토,고원,산성,중성,염기성암 및 퇴적암 배수양호,식양질 내지 사양질	50 - 150	
Mub	암쇄토 및 산성갈색 산립토,산악,산성,중성,염기성암 및 퇴적암 배수양호 내지 매우양호,사양질 내지 식양질	20 - 100	구릉지
Mva	암쇄토,구릉,중성 내지 염기성암,배수매우양호 내지 양호,식양질 사양질	20 - 50	및 산악지
Mvb	암쇄토,산악,중성 내지 염기성암,배수매우양호,사양질 내지 식양질	20 - 50	
Ro	암석노출지	-	

<표 4-5 계속>

토양명	성질	토심 (Cm)	분포 지역
Fba	백색사구, 배수양호 내지 매우양호, 사질	50-100	해안지
Fbb	흑색사구, 배수양호 내지 매우양호, 사질	-	
Fta	간석지, 배수매우불량, 미사사양질 내지 미사식양질	-	
Fma	회색토 및 충적토, 배수약간불량, 미사식양질 내지 식질	>100	해안
Fmb	충적토 및 회색토, 배수약간불량, 사양질 내지 미사사양질	50-100	평탄지
Fmc	염류토 배수약간불량 내지 불량, 미사사양질 내지 식질	50-100	
Fmd	충적토 및 회색토, 배수불량 내지 매우불량, 미사식양질 내지 식질	100-150	
Fmg	충적토 및 회색토, 배수불량, 사양질 내지 미사사양질	50-100	
Fmk	특이산성토, 배수약간불량 내지 불량, 미사식양질 내지 미사사양질	50-100	
Fml	이탄토 배수불량 내지 매우불량, 미사식양질 내지 식질	50-100	
Afa	충적토, 배수약간양호 내지 양호, 사양질 내지 사질	100-150	하천
Afb	충적토, 배수약간불량 내지 불량, 사양질 내지 사질	50-100	범람지
Afc	범람지 및 충적토, 배수약간양호 내지 매우양호, 사질 내지 사양질	20- 50	
Afd	범람지 및 충적토, 배수약간양호 내지 매우양호, 자갈이 있는 사질 내지 자갈이 있는 사양질	<20	
Apa	회색토 및 충적토, 배수약간불량, 미사식양질 내지 식질	>100	내륙
Apb	적황색토, 홍적, 배수약간양호 내지 양호, 식양질 내지 식질	>100	평탄지
Apc	충적토, 배수약간불량 내지 양호, 자갈이 있는 식양질 내지 자갈이 있는 사양질	50-100	
Apd	회색토 및 충적토, 배수불량, 미사식양질 내지 식질	100-150	
App	충적토, 배수양호, 자갈이 있는 식양질 내지 자갈이 있는 사양질	20- 50	
Ana	회색토 및 충적토, 배수 약간양호 내지 불량, 식양질 내지 미사식양질	50-100	산악 곡간지
Anb	충적토 및 회색토, 배수 약간양호 내지 약간불량, 자갈이 있는 사양질	50-100	
Anc	퇴적토, 배수약간양호 내지 양호, 사양질 내지 식질	50-100	
And	흑갈색 퇴적토, 배수약간양호 내지 양호, 식양질 내지 사양질	50-100	

<표 4-5 계속>

토양명	성 별	토심(cm)	분포 지역
Lpa	흑색 화산회토, 배수양호, 미사식양질 내지 미사사양질	-	용암류 평원지 및 내지
Lpb	농암갈색 화산회토, 배수양호 돌 및 자갈이 있는 미사사양질 내지 돌 및 자갈이 있는 미사식양질	-	
Lta	흑색 화산회토 및 용암류, 배수양호 내지 매우양호, 돌 및 자갈이 있는 미사식양질 내지 돌 및 자갈이 있는 미사사양질	-	
Ltb	농암갈색 화산회토 및 용암류, 배수양호 내지 매우양호, 돌 및 자갈이 있는 미사식양질 내지 돌 및 자갈이 있는 미사사양질	-	
Lf	용암류	-	
Raa	적황색토, 저구릉, 홍적 및 산성암, 배수양호, 식질 내지 식양질	>100	
Rab	적황색토 및 암쇄토, 저구릉, 산성암, 배수양호, 식양질 내지 사양질	100-150	
Rac	적황색토, 산록, 산성암, 배수양호, 식질 내지 식양질	100-150	
Rad	퇴적토 및 적황색토, 산록, 산성암 배수양호, 돌 및 자갈이 있는 식양질 내지 돌 및 자갈이 있는 사양질	50-100	
Rea	암쇄토, 저구릉, 산성암, 배수매우양호, 식양질 내지 사질, 침식	20- 50	
Rla	적황색토 및 암쇄토, 저구릉, 석회암, 배수양호, 식양질 내지 사양질	100-150	
Rlb	적황색토 및 퇴적토, 산록, 석회암, 배수양호, 식양질 내지 사양질	-	
Rsa	암쇄토 및 적황색토, 저구릉, 퇴적암, 배수매우양호 내지 양호, 식양질 내지 사양질	<20	
Rsb	적황색토, 산록, 퇴적암, 배수양호, 식양질 내지 사양질	-	
Rsc	퇴적토 및 적황색토, 산록, 퇴적암, 배수양호, 자갈이 있는 식양질 내지 자갈이 있는 사양질	50-100	
Rva	적황색토 및 암쇄토, 저구릉, 중성 내지 염기성암, 배수양호, 식양질	50-100	
Rvb	적황색토, 산록, 중성 내지 염기성암, 배수양호, 식질 내지 식양질	50-100	
Rvc	퇴적토 및 적황색토, 산록, 중성 내지 염기성암, 배수양호, 자갈이 있는 식양질 내지 자갈이 있는 사양질	50-100	
Rvd	적황색토, 내지, 현무암, 배수양호, 식질 내지 식양질	100-150	
Rxa	회색토 및 충적토, 저구릉 곡간, 배수불량 내지 약간양호, 식양질 내지 식질	50-100	
Maa	암쇄토 및 적황색토, 구릉, 산성암, 배수양호, 식양질 내지 사양질	100-150	구릉지 및 산악지
Mab	암쇄토, 구릉, 산성암, 배수매우양호, 사양질 내지 식양질	20- 50	
Mac	암쇄토, 산악, 산성암, 배수매우양호, 사양질 내지 식양질	20- 50	
Mja	화산회토, 구릉 및 산악, 화산분석구, 배수매우양호, 돌 및 자갈이 있는 미사식양질 내지 돌 및 자갈이 있는 미사사양질	-	
Mla	암쇄토 및 적황색토, 구릉, 석회암, 배수매우양호 내지 양호, 사양질 내지 식질	20-100	
Mlb	암쇄토, 산악, 석회암, 배수매우양호, 사양질 내지 식질	20- 50	
Mma	암쇄토, 구릉, 변성퇴적암 및 편암, 배수매우양호 내지 양호, 식양질 내지 사양질	20- 50	
Mmb	암쇄토, 산악, 변성퇴적 및 편암, 배수매우양호, 사양질 내지 식양질	20- 50	
Msa	암쇄토, 구릉, 퇴적암, 배수매우양호 내지 양호, 식양질 내지 사양질	<20	
Msb	암쇄토, 산악, 퇴적암, 배수매우양호, 사양질 내지 식양질	-	

(2) 최소 침투량에 의한 방법

이 방법 또한 현장조사에 의해 결정하는 방법으로서 침투량에 따라 토양형을 판별한다. <표 4-6>는 그 기준을 나타낸 것으로 나타낸 값은 판정치 중 최소값이다.

<표 4-6> 토양형별 최소침투량

토양형	최소침투량(mm/hr)
A	7.6 ~ 11.4
B	3.8 ~ 7.6
C	1.3 ~ 3.8
D	0 ~ 1.3

나. 지표의 피복형태에 의한 분류

총우량과 유효우량과의 관계는 유역의 토양종류 뿐 만아니라 유역의 식생피복 상태에 따라 크게 좌우된다. SCS는 <표4-7>에 나타난 바와 같이 지표의 피복 형태를 경작지와 비경작지에서 토지의 이용종류(land use), 토지의 이용방법(treatment/ practice), 수문학적 유출조건(hydrologic condition)의 3 가지 요소로 구분하였다.

토지 이용 종류는 경작지에서 휴경지(Fallow), 조파작물(Row Crop), 밀식작물(Small Grain), 밀식 또는 산파콩과작물 및 윤작목초지(Close-seeded legumes or rotation meadow)의 4개로, 비경작지에서는 크게 주거지(Residential), 목초지(Grass -land, Pasture or Meadow), 식림지(Woods), 임야(Forest)로 분류하며 이들의 의미는 미국 농무성 SCS에서 발간된 National Engineering Handbook Notice4-101(1971)에 따르면 다음과 같다.

- (1) 휴경지 : 작물경작 이전의 나지상태를 말한다.
- (2) 조파작물 : 옥수수, 사탕수수, 사탕무우, 콩, 토마토, 류울립 등과 같은 조파식물재배로 작물간의 간격이 커서 작물의 성장기간 동안 계속

해서 대부분의 토양표면이 강우에 직접 노출되는 토지이용형태이다.

한편 파종기나 작물수확 후는 휴경지와 같은 토지이용형태로 간주된다.

- (3) 밀식 작물 : 밀, 귀리, 보리, 아마 등의 작물을 밀식재배하여 파종기나 그 이후의 짧은 기간 및 수확 이후를 제외하고는 성장기 내내 경작지 토양표면이 강우에 노출되지 않는 경우이다.
- (4) 밀식 또는 산과 콩과작물 (또는 윤작 목초지) : 알파파, 스위트크로바, 티모디 또는 이들 작물의 혼합경작으로서 토양피복상태가 1년이상 유지되므로써 년중 토양표면이 보호되는 경우이다.
- (5) 목초지 : Grassland 나 Pasture 는 방목을 위하여 조성된 초지(방목지)이며 Meadow 는 방목이 허용되지 않고 건초용 목초를 재배하는 영구목초지이다.
- (6) 식림지 : 농가나 목장에서 이용을 위해 보전하는 작은숲 같은 것을 말한다.
- (7) 임 야 : 미국 동부지역에서는 토양형과 부식토 깊이를 주인자로 CN값을 산정하며 서부지역에서는 유역의 토양형, 피복형, 피복밀도(%)를 주인자로 임상별 CN 값을 구하도록 하고 있으나 이는 현장조사를 통한 주인자 자료를 필요로 한다.

한편, 토지이용방법은 4가지로 구분된다. 이중 직선줄경작 (Straight Row)은 경사가 2% 이상인 경작지에서의 직선줄경작을 말하며 등고선 재배 (Contoured)는 경사지에서 작물을 등고선방향으로 경작하는 토지이용방법으로 고랑에서 강우로 인한 침투가 발생하는 동안 지표저류가 지속되는 효과가 있으며 대상재배 (Terraced)는 경지에서 유출수를 차단하여 전류(轉流)시키거나 또는 지표에 저류하여 토양 흡수를 증가시켜서 토양침식을 억제하는 토지이용방법으로 경사도 및 토출구의 유무에 따라 구분되며 토출구가 없는 것은 등고선재배로 간주된다.

수문학적 유출조건은 경작지와 비경작지에서의 의미가 다르다. 경작지에서는 작물의 윤작(rotation) 개념을 가지며, 식생의 조밀도에 의한 수문학적 영향을

고려하여 구분한다. 즉 연속하여 한 작물만 경작하였을 시는 불량(poor) 이고, 경지의 개선이나 침투능을 증가시키기 위하여 알파파나 다른 조밀작물을 반복적으로 재배하였을 시는 양호(good) 이다. 비경작지 즉 목초지나 식림지에서 수문학적 유출 조건은 식생의 조밀도나 방목의 강도가 분류기준이다. 목초지에서 심한 방목으로 지면이 50% 이하 정도만 목초로 덮혀 있고 다른 피복덮기가 없을 때는 불량이고 심하게 방목되지 않았고 지면의 50 ~ 75%가 목초로 피복되었을 시는 보통(fair) 이며, 방목정도가 경미하고 목초가 75% 이상 있을 시는 양호상태이다. 또한 식림지에서는 심하게 방목되고 정기적으로 불태워서 작은 나무나 숲이 파괴된 상태는 불량이고, 방목은 있었지만 불태우지 않은 경우는 보통이며, 방목이 없고 숲등이 토양표면을 덮고 있을 때는 양호상태이다.

<표 4-7> 토양 - 피복형별 유출곡선지수, CN (AMC-2, I₀=0.2S)

토지 이용 상태	피복처리 경작상태	수문학적 토양조건	토 양 군			
			A	B	C	D
주거지역(Residential: ¹⁾)						
평균규모(m ²)	불투수면적비(%) ²⁾					
< 500	65		77	85	90	94
1,000	38		61	75	83	87
1,500	30		57	72	81	86
2,000	25		54	70	80	85
4,000	20		51	68	79	84
포장된 주차장, 지붕, 차도 등. ³⁾			98	98	98	98
도로 및 보도						
포 장(연석 및 우수거 설치) ³⁾			98	98	98	98
자 갈			76	85	89	91
비포장			72	82	87	89
상업지역 (불투수면적 85%)			89	92	94	95
(불투수면적 72%)			81	88	91	93
공업지역 (불투수면적 65%)			77	85	90	92
개활지, 잔디밭, 공원, 골프장, 공동묘지 등						
양호한 상태 : 전면적의 75% 이상 초지피복			39	61	74	80
보통의 상태 : 전면적의 50~75% 초지피복			49	69	79	84
휴 경 지(Fallow)						
나지 상태		-	77	86	91	94
작물 잔재물로 피복		불량	76	85	90	90
		양호	74	83	88	90
조파작물(Row Crops)						
직선줄재배		불량	72	81	88	91
		양호	67	78	85	89
등고선재배		불량	70	79	84	88
		양호	65	75	82	86
등고선 및 대상재배		불량	66	74	80	82
		양호	62	71	78	81
밀식작물(Small Grains)						
직선줄재배		불량	65	76	84	88
		양호	63	75	83	87
등고선재배		불량	63	74	82	85
		양호	61	73	81	84
등고선 및 대상재배		불량	61	72	79	82
		양호	59	70	78	81

<표 4-7계속>

토지 이용 상태	피복처리 경작상태	수문학적 토양조건	토 양 군			
			A	B	C	D
밀식 또는 산과 콩과작물 (또는 윤작 초지) (Close seeded or broadcast legumes or rotation meadow)	직선줄재배	불량	66	77	85	89
		양호	58	72	81	85
	등고선재배 등고선 및 대상재배	불량	64	75	83	85
		양호	55	69	78	83
		불량	63	73	80	83
		양호	51	67	76	80
방목지 (Pasture, grassland or range - continuous forage for grazing)	등고선재배	불량	68	79	86	89
		보통	49	69	79	84
		양호	39	61	74	80
		불량	47	67	81	88
		보통	25	59	75	83
		양호	6	35	70	79
목초지(방목불허, 건초용, 영구) (Meadow: continuous grass protected from grazing and generally mowed for hay)			30	58	71	78
관목-잡초 혼합형태(관목이 주종) (Brush: brush-weed grass mixture with brush being the major element)		불량	48	67	77	83
		보통	35	56	70	77
		양호	30	48	65	73
식림지-초지 혼합형태(오차드 또는 나무 농장) ⁴⁾ (Woods-grass combination(orchard or tree farm))		불량	57	73	82	86
		보통	43	65	76	82
		양호	32	58	72	79
식림지 (Woods, Farm woodlots)		불량	45	66	77	83
		보통	36	60	73	79
		양호	25	55	70	77
임 야 (Forest) ⁵⁾	매우 불량		56	75	86	91
농 가 (Farmsteads: building, lanes, driveways)		-	59	74	82	86

- * 1). 유출곡선지수는 가옥 또는 도로로부터 유출되는 수량이 거리로 유입되는 경우와 침투가 더 일어날 수 있는 잔디로 유입되는 경우를 가정하여 계산된 것이다.
 2). 나머지 유역은 투수성재료(잔디)로 피복되어 있고 이는 양호한 목초 상태로 간주하였다.
 3). 기후가 따뜻한 지역에서는 CN = 95 가 될 수도 있다.
 4). 나무 50% 목초 50%로 이루어진 곳에서 계산된 것임.
 5). 미국 동부지역자료를 근거로 산정된 것임

앞에서도 언급한 바와 같이 임야지에 대한 CN값은 SCS에 따르면 미국 동부지역에서는 부식토의 깊이와 다짐도(compaction)로 계산도표로부터 수문학적 유출 조건을 결정하고 이를 토양군별로 적용하여 산정토록 하며, 서부지역에서는 임상별 피복밀도(%)를 이용하여 도표상에서 토양군별로 산정하도록 제시하고 있으나 Design of Small Dams(USBR, 1977)를 보면 미국 동부지역 자료를 근거하여 지수화된 값을 사용하도록 하고 있다. <표 4-8>은 이의 값을 SCS의 식림지에서의 값 및 A Guide to Hydrologic Analysis Using SCS Methods(1982)에서 식림지 또는 임야의 값을 나타낸 것이다.

<표 4-8> 문헌별 임야의 CN 값 (AMC-2, Ia=0.2 S)

방 법	토 지 이 용 구 분	매우불량				불 량				보 통				양 호				매우양호			
		A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
SCS	식림지	-				45	66	77	83	36	60	73	79	25	55	70	77	-			
USBR	임 야	56	75	86	91	46	68	78	84	36	60	70	76	26	52	62	69	15	44	54	61
McCUEN	식림지 또는 임야	-				45	66	77	83	36	60	73	79	25	55	70	77	-			

<표 4-8>에 나타난 값들을 살펴보면 USBR에서는 임야에서 수문학적 유출 조건을 SCS의 식림지에서 분류한 기준보다 매우불량(poorest) 및 매우양호(best)를 추가하여 5가지 조건으로 구분하고 있으며 CN 값은 불량상태에서만 클 뿐 보통이나 양호상태에서는 같거나 다소 적어 Woods에서 보다 유출조건이 나쁜 것을 보여 주고 있다. 한편 McCUEN의 식림지 또는 임야의 CN값은 SCS 에서의 식림지의 값 과 동일한 것이다.

이상과 같이 SCS에서의 토지이용종류나 그 처리방법들이 우리나라의 경우와 상이한 면을 나타내므로 적용시 가장 유사한 경우를 선정해야 하며 또한 국내의 지구의 유역의 대다수가 산지로 형성되었음을 감안하면 임야에서의 CN값 적용에 보다 신중을 기하여야 할 것이다. 한편 기왕의 경우 우리나라에서는 대부분 눈을

조파작물(Row Crop)로, 밭을 밀식작물(Small Grain)의 토지이용상태로 적용한 경우가 많다.

다. 선행토양함수조건(Antecedent Soil Moisture Condition : AMC)

선행토양수분상태란 홍수분석 시점을 중심으로 하여 그 이전의 강우에 의해 유역 토양층의 수분함량을 지수로 표시한 것이다. 이 지수는 유출량과 유출율을 결정하는 중요한 인자가 되는데 그 이유는 유역에 동일한 강수가 내린다고 가정할 때 선행강수량이 많으면 유역 토양의 습윤도가 높으므로 유출율 즉 유효우량이 상대적으로 많아지며, 선행강수량이 적을 경우 침투손실이 커지므로 유효우량도 적어져서 유출율은 저하하기 때문이다.

SCS에서는 선행토양함수상태를 1년을 기준으로 작물생육기(growing season)와 비생육기(dormant season)로 나누어 각 경우에 대하여 다음과 같은 3가지 조건으로 구분하고 있다.

AMC-1 : 유역의 토양은 대체로 건조상태에 있으나 위조점에 도달한 상태는 아니며 경작작업이 만족할 정도로 이루어 질 수 있으며 유출율이 대단히 낮은 상태 (Lowest runoff potential)

AMC-2 : 유출율이 보통인 상태 (average runoff potential)

AMC-3 : 이전 5 일동안 강우가 많았거나 자주 발생한 상태로 유역의 토양이 거의 포화되어 있어서 유출율이 대단히 높은 경우 (highest runoff potential)

위 3개의 선행토양함수조건은 5일 선행 강수량의 크기에 의하여 유역의 습윤 정도를 분류하는 기준이 되며 SCS에서 사용하고 있는 5일 선행 강수량의 크기는 <표 4-9>과 같다.

<표 4-9> 선행 토양함수조건의 분류

AMC Group	5 일 선행 강수량, P ₅ (mm)	
	비 생 육 기	생 육 기
AMC-1	P ₅ < 12.70	P ₅ < 35.56
AMC-2	12.70 < P ₅ < 27.94	35.56 < P ₅ < 53.34
AMC-3	27.94 < P ₅	53.34 < P ₅

<표 4-6>에 수록된 CN 값은 평균적인 조건 즉 AMC-2 일때의 값이며 AMC 별 CN 값을 곱하기 위해서는 다음식으로 대신 사용할 수 있다.

$$CN_I = \frac{CN_{II}}{2.281 - 0.01281 CN_{II}}$$

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0.427 + 0.00573 CN_{II}}$$

라. 유출곡선지수 산정

농어촌진흥공사에서는 1993년에 반월 및 도척 유역과 “정밀계측된 소유역의 강우 및 유출특성”(선우중호, 수문학회지 제10권1호, 1977) 연구에서 경안천 및 무심천 유역의 유출자료 각 6개, “SCS법에 의한 소유역의 홍수유출추정”(김종덕, 1989) 연구에서 16개 자료 등 총 40개의 강우-유출기록을 사용하여 CN값 산정 방법을 바꾸어 가면서 유출량을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻은 바 있다.

첫째, 선행함수조건별로 SCS방법에 의해 계산된 유출량은 실제 유출량과 비교했을때 AMC값이 적을수록 실제 유출량과의 차이가 커지며,

둘째, 설계 홍수량을 추정할 때 AMCIII 상태로 계산하므로 홍수량 계산시 산

지에 대한 CN값을 '식림지'로 하였을 때 실측 유출량의 0.83, '임야'로 하였을 때 0.95~1.03정도이므로 '임야'로 추정하는 것이 합리적인 것으로 판단된다.

CN값 산정을 위한 토지이용상태 가운데 SCS에서 제시한 방법과 우리나라에서 사용하고 있는 논, 밭과는 차이가 있으므로 실험에 의해 정립할 필요가 있다. 임등(농공학회 학술발표논문집, 1995)은 실험에 의해 이를 구하였으며, 본 연구에서도 제3장에서 논의한 바와 같이 진안시험포장(1995~1997)의 실측 논유역 CN값이 82~99사이에서 변화하고 있음을 보여주고 있다.

제4절 설계 강우량

배수개선 사업에 가장 중요한 수문인자는 홍수량이다. 이때 구해지는 홍수량을 설계 홍수량이라 하며, 설계 홍수량은 수리구조물의 크기 및 위치 등을 결정하는 요인이 되며 농어촌용수이용계획 수립시 기초자료로 사용된다. 이를 산정하기 위하여 계측된 유출자료가 요구되나 우리나라 주요 하천의 특정 지점을 빼고는 계측시설이 미비한 실정이다. 미계측 유역의 홍수량을 산출하기 위하여 유역의 수문특성과 강우자료를 기초로 강우-유출모형이 필요하며 모형의 입력자료로서 강우자료를 필요로 한다. 이렇게 설계홍수량을 결정하기 위해 수리구조물의 설계빈도에 해당하는 강우자료가 필요하며 이는 유출량과 강우량의 생기빈도가 동일하다는 가정하에 적용되는 것이다.

1. 설계 강우량 산정

설계 강우는 특정 목적을 가진 수리구조물의 설계를 위하여 제시되는 강우사상으로 정의된다. 설계 강우는 수문곡선을 결정하기 위해 단위도 혹은 유출모형에 입력되고 첨두 유출량을 추정하기 위해 합리식과 같은 경험식에 사용되기도 한다. 설계 강우는 설계 홍수와 같은 개념으로 산정할 수 있으나 강우부분만 고려할 경우 다음의 요소를 고려해야 한다. (강우에 의한 유출모형 산정, 한국지방행정연구원, 1996)

- 1) 설계될 수리구조물의 성질
- 2) 설계될 수리구조물의 배수용량을 결정하는데 필요한 홍수 조절 용량
- 3) 설계될 수리구조물의 내구년한 및 파괴시 사회·경제적 영향
- 4) 설계될 수리구조물의 지배유역 특성

위의 요소들을 고려하여 설계강우를 결정하는 일반적인 절차는 다음과 같다.

- 1) 설계수리구조물의 재현기간 결정
- 2) 지점별 재현기간에 따른 확률강우량 산정
- 3) 설계강우의 지속기간 결정
- 4) 대유역일 경우 소유역별 지점 강우를 면적강우로 환산
- 5) 설계강우의 시간 분포 결정

설계강우는 다음과 같이 추정할 수 있다.

- 1) 과거에 관측된 지점강우자료를 빈도분석한 확률강우량
- 2) 강우강도-지속기간-빈도 관계
- 3) 지점 확률강우량을 연결하여 공간적 변동성향을 등우선으로 나타낸

확률 강우강도

일반적으로 특정한 관측지점이나 지점강우가 지배하는 일정한 유역면적을 망라할 수 있도록 충분히 관측된 강우자료가 있는 지점의 단시간 확률강우량은 강우강도-지속기간-빈도(IDF: Intensity-Duration-Frequency)곡선을 사용한다. 지점 강우는 관측지점을 포함한 유역을 대표하며, 지점 확률강우량을 얼마나 정확히 산정하느냐에 따라 보다 정도 높은 설계홍수량을 추정할 수 있다.

2. 자료의 선정

일반적으로 강우자료는 홍수분석이 필요한 대상유역 관측소의 우량계 위치, 노출 및 관리 상태, 우량계의 종류, 관측방법 및 주위환경등의 변화에 대하여 이 증누가우량 분석과 같은 방법으로 관측소의 일관성을 검사하고 필요하면 보정한다.

통계처리 대상인 강우사상은 통계학적으로 독립성이 유지되어야 하며 매년 발생하는 일 최대강우사상을 정확히 선정하여 통계처리를 실시해야 한다. 빈도분석의 자료의 기록기간은 원칙적으로 필요한 설계 빈도년보다 많은 기록년수가 필요하지만 일반적으로 강우자료는 이 조건을 만족하지 못하므로 통계학적으로 기록년수 30년 이상의 자료를 이용토록 하고 있다. 현재 농어촌진흥공사는 위의 조건들을 만족하는 기상청 산하 관측소의 강우자료를 수집, 분석하여 확률강우로 이용하고 있는데 기타 관측소의 자료를 이용할 경우 신뢰도에 대한 검증이 수반되어야 한다.

3. 빈도분석 및 최적확률분포형

일반적으로 최적 확률분포형을 선정하여 확률강우량을 산정 해야한다. 그러나 강우자료가 독립적(random)이며, 정상적(stationary)이고, 대표성을 확보하고 있다면 실무적으로 각 분포형에 따른 확률강우량의 차이가 크지 않으므로 적합도 검증을 거치지 않고 될수록 안정적인 측면을 강조하여 큰 값이 나오는 분포형을 사용하는 경향이 있다. 이의 대표적인 예가 한국확률강우량의 작성(건교부, 1988)의 경우로서 전국 적정 확률분포형을 연최대치 계열에 대해 극치 I 분포(Gumbel)로 제시한 바 있다.

가. 통계의 기초변수

설계 강우량을 산정하기 위해서는 강우 지속시간 단위로 년 최대치 계열을 구성하고 적절한 확률분포함수를 이용해 빈도 계산을 해야한다. 이 과정에서 필요한 통계의 매개변수 계산과 확률분포함수에 대하여 고찰할 필요가 있다.

주어진 자료군의 특성을 나타내는 기본 통계치로는 평균(Mean), 분산(Variance)이 있다. 평균은 자료가 분포의 중앙부분에 집중되어 있는 정도를 판별하는 척도이며 분산도는 평균치에 대한 자료의 분산정도를 표시한다. 이외에 왜곡도(Skewness), 첨예도(kurtosis)등이 있다.

(1) 평균

자료계열 X_1, X_2, \dots, X_n 에 대한 평균 μ 는 다음과 같이 표시된다.

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n x_i$$

이때 N 은 자료의 개수이며 μ 는 자료의 평균을 의미한다.

(2) 분산치

분산은 자료가 평균치 주위에 분산하는 정도를 나타낸 것으로 다음과 같은 식으로 표시할 수 있다.

$$\delta^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2$$

자료의 편의성을 고려할 경우 N 대신 $N-1$ 을 사용한다. 분산의 평방근을 표준편차 δ 라 부르며 μ 와 같은 단위를 가지므로 이들간의 상관해석에 편리하게 사용된다. 그리고 변동계수 C_v 는 δ/μ 로 정의되는데 상대적인 분산도를 파악하는데 도움이되는 매개 변수이다.

(3) 왜곡도

왜곡도는 확률분포가 가지는 비대칭성 정도를 판별하기 위한 매개변수로서 평균치에 대한 3차 모멘트로 정의 된다.

$$a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^3$$

표본에 대한 왜곡도는 다음과 같다.

$$a = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3$$

여기서 \bar{x} 는 표본자료의 평균치이다.

왜곡도의 계수 r 은 a/δ^3 으로 정의되며 대칭형 분포의 경우 $r=0$ 이며, $r > 0$ 이면 오른쪽으로, $r < 0$ 이면 왼쪽으로 왜곡된 분포를 갖는다. 왜곡도는 자료수가 작은 경우(50개이하) 주의해서 사용해야 되는 것으로 알려져 있다.

(4) 첨예도

첨예도는 확률분포 중심부분이 평평한가 뾰족한가 하는 정도를 나타내는 척도로서 첨예도 계수는 다음과 같다.

$$K = \frac{(1/n) \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^4}{\delta}$$

표본에 대한 경우는

$$K = \frac{n^2 \sum_{i=1}^n (x_i - x)^4}{(n-1)(n-2)(n-3)s^4}$$

이다.

여기에서 S는 표본자료의 표준편차이다.

나. 확률분포함수

(1) 2변수 대수정규분포

변수에 대수를 취하여 왜곡된 분포를 정규분포화 한 것으로 변수 x의 확률분포함수는 다음과 같다.

$$f(x) = \frac{1}{\delta_y \sqrt{2\pi}} \frac{1}{x} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln x - \mu_y}{\delta_y}\right)^2\right]$$

여기에서 $Y = \ln x$ 이고 μ_y 와 δ_y 는 각각 y의 평균치 및 표준편차이다.

(2) 3변수 대수 정규분포

변수 X가 0이 아닌 하한치 x_0 를 가지며 $(x - X_0)$ 가 2변수 대수정규분포를 가지면 변량 X는 3변수 대수정규분포로 표시될 수 있으며, 확률밀도 함수는 다음과 같다.

$$f(x) = \frac{1}{\delta_y \sqrt{2\pi}} \frac{1}{(x - x_0)} \exp\left[-\frac{1}{2} \left\{ \frac{\ln(x - x_0) - \mu_y}{\delta_y} \right\}^2\right]$$

여기에서, 매개변수는 μ_y 와 δ_y 는 각각 $\ln(x - x_0)$ 의 평균치 및 표준편차로서 축척변수, 모양변수라고도 하며 x_0 는 하한치로서 분포의 위치를 결정하는 위

치변수라고도 한다.

여기에서 x_0 는 다음식으로 계산될 수 있다.

$$x_0 = \bar{x} \left(1 - \frac{C_v}{C_v x_0}\right)$$

여기에서 C_v : 자료계열 X의 변동계수

$C_v x_0$: $(x - X_0)$ 의 변동계수

그리고 변수계수 C_v 는 다음식으로 표시된다.

$$C_v = \frac{S}{\bar{x}}$$

\bar{x} , S는 자료계열 X의 평균 및 표준편차이다.

(3) Type-I 극치분포

이 분포형은 년최대 홍수량 혹은 강우량의 빈도해석에 많이 사용되는 분포로서 Gumbel분포 혹은 Fishett Type-I분포로도 알려져 있다

Type-I 극치분포의 확률밀도함수는 다음과 같이 표시된다.

$$f(x) = \frac{1}{a} \exp\left[-\frac{x-x_0}{a} - \exp\left(-\frac{x-x_0}{a}\right)\right]$$

여기에서 a 는 척척변수이며 0보다 크고, x_0 는 최대확률의 발생위치를 표시한다. 누가확률 분포함수는 다음과 같다.

$$f(x) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{x-x_0}{a}\right)\right] = \exp[-\exp(-y)]$$

여기에서, $y = (x-x_0)/a$ 이다. Type-I 극치분포 평균치 μ 는 표준편차 δ 및 왜곡도 계수 γ 는 다음과 같이 표시할 수 있으며,

$$\mu = X_0 + 0.5772 a$$

$$\delta = \left(\frac{\pi}{\sqrt{6}} a\right) \approx 1.282555 a$$

$$\gamma = 1.1396$$

분포함수의 매분변수 추정치 인 a 와 x_0 를 모멘트 법으로 구한 결과는 다음식으로 표시 된다.

$$a = 0.77975 S$$

$$x_0 = \bar{x} - 0.5772a = \bar{x} - 0.45s$$

여기에서, \bar{x} : 표본자료 x 의 평균치

S : 표본자료 x 의 표준편차

(4) 3변수 GAMMA의 분포

수문학에서 널리 사용되는 분포형종의 하나로서 Pearson TypeIII 분포로도 알려져 있다.

확률밀도함수는 다음과 같이 표시된다.

$$f(x) = \frac{1}{a\Gamma(\beta)} \left(\frac{x-x_0}{a}\right)^{\beta-1} \exp\left(-\frac{x-x_0}{a}\right)$$

여기에서 a 와 β 는 분모의 측척과 모양을 결정하는 매개변수이며 \bar{x} 는 0이 아닌 값을 가지는 위치변수이다.

매개변수 a 와 β 및 \bar{x} 는 다음과 같이 계산되어 질 수 있다.

$$\beta = (2/c_s)^2$$

$$a = \frac{sC_s}{2}$$

$$x_0 = \bar{x} - a\beta$$

여기에서, \bar{x} 는 자료계열 x 의 평균치이고 C_s 는 왜곡도계수이다.

(5) Log - Pearson Type-III 분포

이 분포형도 수문학에서 널리사용되고 있으며, 특히 홍수량의 빈도해석에 가장 적절한 분포로 알려져 있다. Log - Pearson Type-III 분포의 확률밀도함수는 다음과 같이 표시된다.

$$f(x) = \frac{1}{a\Gamma(\beta)} \frac{1}{x} \left(\frac{\ln x - y_0}{a} \right)^{\beta-1} \exp\left(-\frac{\ln x - y_0}{a}\right)$$

여기에서 a 는 척척변수이고, β 는 분포의 모양을 결정하는 변수이며 y_0 는 위치변수이다. 매개변수 a , β , y_0 는 변량 y_0 대신 $\ln x$ 를 대입하여 계산할 수 있다.

다. 최적분포형의 결정

자료군에 어떠한 분포형이 적합한가를 판단하는 방법에는 확률지를 이용하는 도식적 방법과 자료군의 계급 구간별 빈도를 계산하여 상대도수의 분포도를 작성한 후 이를 이론적 확률분포의 밀도함수와 정량적으로 비교하는 이른바 분포의 적합도 검정방법이 있다.

적합도 검정방법중 가장 널리 쓰이는 방법은 X^2 (Chi-Square) 검정과 K-S (Kolmogorov-Smirnov)검정이며, X^2 의 검정에서 계급구간은 X^2 의 값에 큰 영향을 미치는 것으로 알려졌으며 실제 우리나라 중앙기상대 산하 측후소의 지속기간별 우량자료를 이용하여 분석을 실시해 본 결과 X^2 값은 계급구간수에 민감하였고 계급구간을 몇 개로 구분하느냐에 따라 X^2 의 값은 상당한 차이가 있었다. (한국확률강우량도 작성, 건설부, 1988)

K-S검정방법은 X^2 과는 달리 자료의 계급구간으로 나누어 이론분포를 표시하기 위한 매개변수를 계산할 필요가 없으므로 비매개변수 방법(Non-parametric method)이라고 하며 이점이 X^2 의 검정방법보다 유리한 점이다.

(1) Chi-Square 검정

Chi-Square 검정은 관측된 확률변량의 분포가 어떤 형의 이론 확률분포에 적합한가를 판단하기 위한 검정방법이다. 확률변량에 대한 n 개의 관측치를 크기에 의해 k 개의 계급구간으로 나누고 각 구간에 대한 상대도수(relative frequency) 혹은 확률을 P_i 라 하면 Chi-Square 변량은 다음과 같이 정의된다.

$$X^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - nP_i)^2}{nP_i}$$

여기서 n_i 는 관측된 표본자료의 i 번째 구간에 속하는 관측치의 절대도수이며 nP_i 는 전 관측치의 수 n 에 이론적인 발생확률 p_i 를 곱한것으로서 검정하고자 하는 이론확률분포에 의해 기대되는 i 번째 구간의 절대도수이다. 위의 식으로 표시되는 변량 X^2 는 $n \rightarrow \infty$ 에 따라 자유도의 수를 산정하며 가정된 분포에 따라 계산한 X^2 가 유의수준의 X^2 보다 적을 경우 적합도는 인정되고 그렇지 않으면 기각된다.

(2) K-S(Kolmogorov-Smirnov)검정

이 방법의 기본적인 절차는 표본자료의 누적확률분포 $S_n(x)$ 와 가정된 이론분포인 $f(x)$ 를 비교하는 것으로 양자의 최대편차가 표본의 크기와 유의수준에 따라 결정되는 한계치보다 크면 가정된 분포형은 기각된다. (윤용남, 1987) 자료 X 의 전구간에 있어서 $S_n(x)$ 와 $f(x)$ 의 최대편차 D_n 는 다음과 같이 표시된다.

$$D_n = \text{Max}|F(x) - S_n(x)|$$

여기에서 D_n 은 n 의 크기에 따라 좌우되는 확률변수로서 주어진 유의수준 α 로서 적합성을 검정하고자 할 때 D_n 식으로 정의되는 한계치 D_n^α 와 비교하여

$$P(D_n \leq D_n^\alpha) = 1 - \alpha$$

최대편차 D_n 이 한계치 D_n^α 보다 작으면 가정된 분포는 유의수준 α 로서 그 적합성이 인정된다.

4. 강우강도-지속기간-빈도(IDF: Intensity-Duration-Frequency)

강우강도-지속기간-빈도(IDF)곡선은 지속기간 및 재현기간별 확률강우량을 전대수지에 지속기간별로 그려서 연결한 곡선으로 확률 강우강도식으로도 불리고 있으며, 특정지점에 대한 확률 강우량을 얻을 수 있다. 선정된 지속기간 및 재현

기간별 확률강우량에 대해 특정 지속시간(1시간, 3시간, 6시간등)에 대해 강우강도공식(Sherman형, Talbot형, Japanese형)을 이용하여 재현기간별로 최소자승법 등으로 구한 공식을 적용 사용하고 있다.

배수개선 홍수분석 시스템에서는 한국확률강우량도의 작성(건교부,1988)에서 제시한 IDF곡선의 빈도별 강우강도를 이용 각 강우관측소 지점에서 강우의 시간 분포를 데이터베이스로 구축하여 홍수 유출량 산정시 이용하고 있다.

5. 확률강우량도

상대적으로 자료년수가 적은 유역 또는 미계측 유역의 설계강우량을 산정하는 경우 확률강우량도나 지역 빈도결과를 이용한다. 확률강우량도는 어떤 유역이나 전국적으로 산정된 지점별 확률강우량을 기초로 지도상에 동일한 강우량을 연속적으로 연결한 등우선을 나타낸 것으로서 수리구조물 설계에 많이 이용되는 재현기간과 지속기간별로 표시하는 것이 일반적이다.

이렇게 작성된 확률강우량도를 이용하면 미계측 유역의 설계강우량을 쉽게 산정할 수 있다. 자세한 내용은 한국확률강우량도의 작성(건교부,1988)보고서를 참조하면 된다. 일반적으로 수리구조물의 중요성과 유역의 범위가 클때는 지점확률강우를 면적확률강우로 환산하여 사용하는 것이 바람직하다.

농어촌진흥공사에서는 전국 기상청산하 관측소의 강우자료를 주전산기(PRIME)에 저장하여 수리구조물 설계시 기초자료로 사용하고 있으며 지점확률강우량은 수문프로그램을 운영하여 산정하고 있다.

6. 가능최대강수량(PMP : Probable Maximum Precipitation)

대규모 수리구조물 설계를 위해서 여러 가지 공학적 판단과 사회적 여건을 고려하는 것이 보통이며 구조물의 파괴시 위험도와 중요성 및 기타 여건에 따라 설계강우의 선정은 설계빈도가 높은 확률강우량뿐만 아니라 가능최대강수량, 표준설계호우를 채택하여 설계홍수량을 산정하거나 관측치가 있는 경우 홍수량을

직접 빈도분석한다.

대규모 수리구조물의 설계홍수량은 강수량 자료의 빈도분석에 의해 확률강우량으로 결정하여 단위도등의 확정론적 방법에 의해 확률홍수량으로 전환시키는 방법과 측정한 홍수량 자료의 연 최대치 계열을 작성하여 빈도분석에 의해 산정하는 방법등 두가지가 있다.

가능최대강수량은 “어떤 지속기간에서 어느 특정위치에 주어진 호우면적에 대해 연중 집중된 기간에 물리적으로 발생할수 있는 이론적으로 추정된 최대강수량의 깊이”를 말한다. 이를 추정하는 방법은 주로 과거에 발생한 최대강우량을 통계학적으로 추정하는 방법과 물리적으로 발생 가능한 최대강수사상을 수문기상학적으로 추정하는 방법이 있다. (한국가능최대강수량 추정, 건설부, 1988)

제5장 홍수분석시스템 개발

제1절 기본시스템 구성

제2절 데이터베이스 구축

제3절 홍수량 산정모듈

제4절 홍수량 합성/추적 모듈

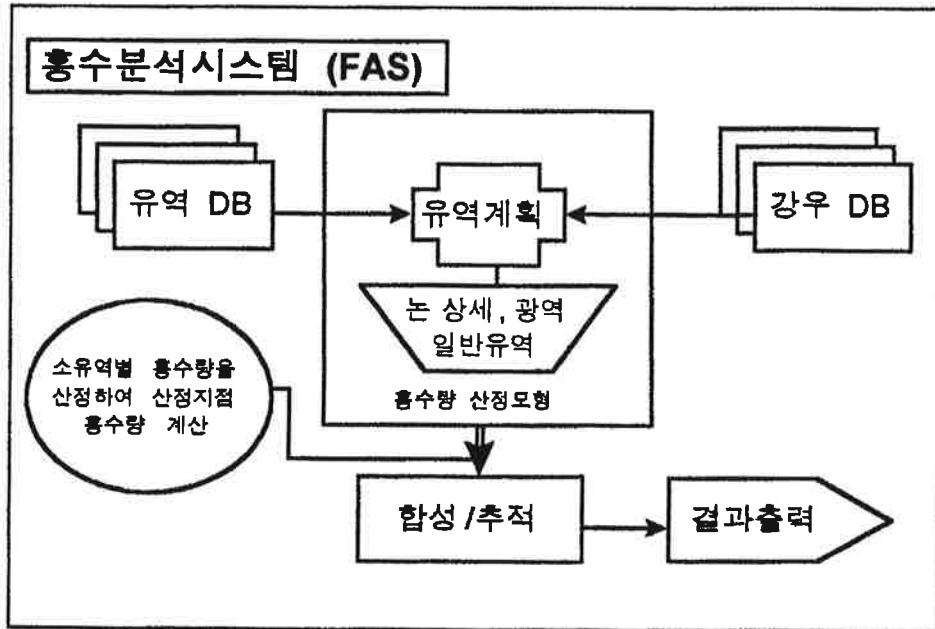
제5절 FAS 운영

여 백

제5장 홍수분석 시스템(FAS)

제1절 기본시스템 구성

배수개선 대상구역의 홍수량을 산정시 는 유출 특성을 고려한 홍수량을 산정하기 위한 홍수분석시스템(FAS)의 기본구상은 아래의 <그림 5-1>과 같다. 소유역별 홍수량을 산정하고 합성지점에서 홍수합성/추적 과정이 일괄처리 되며, 각 서브 모듈별의 자료는 데이터베이스로부터 공유하며 특히 기초 수문자료는 기 구축된 데이터베이스를 이용하므로 설계자마다 편차를 제거할 수 있게 된다.



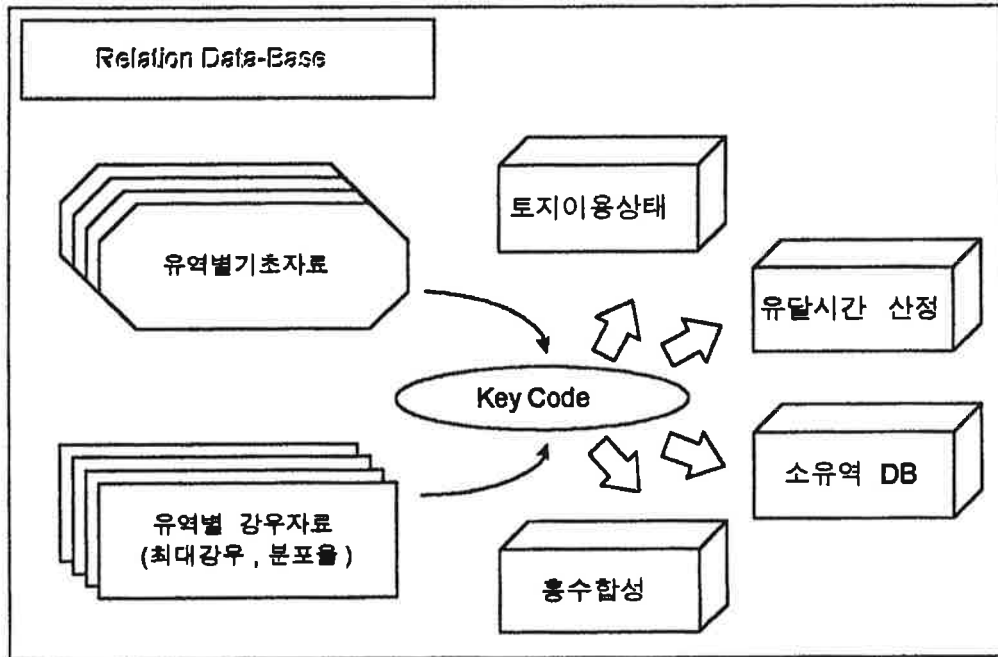
<그림 5-1> 홍수분석시스템(FAS)의 구성

홍수분석 시스템은 배수개선 사업에 필요한 수리수문과정을 일관된 체계하에 분석하므로서 표준화된 설계절차에 따라 배수개선사업을 수행하는 것을 목표로 하고 있다. FAS에서는 홍수량 추정 단계로 5개의 Sub 모듈을 구성하였다. 유역계획, 홍수량 산정, 홍수 합성/추적, 계산결과 출력, 도움말 모듈로 홍수분석시스템은 구성된다.

제2절 홍수분석시스템(FAS) 데이터베이스 구축

배수개선 홍수분석시스템 FAS의 입력자료와 출력자료는 DB를 구축하여 관리한다. 다음의 <그림 5-2>는 본 시스템에서 사용되는 관계형 데이터베이스의 구조를 나타낸다. 홍수분석 시스템의 입력자료 데이터베이스는 유역의 특성자료와 강우자료로 대별되는데 유역특성자료는 유역명, 유역의 크기, 유역의 토지이용상태 등으로 구분되고, 강우자료는 확률통계 처리된 빈도별 최대강우량과 시간별 강우 분포로 구분된다. 이 자료들은 Access데이터베이스 엔진으로 관리되며 서버모형에서 호출된다. 또한 서버모형의 출력결과도 DB로 저장 관리되며 다른 모형의 입력자료로 이용되기도 한다.

이렇게 입력과 출력자료를 DB화하여 자료관리의 편리를 추구하고 빠른 검색을 통해 일관된 분석이 가능해진다.



<그림 5-2> 홍수분석시스템(FAS)의 데이터베이스 구조

1. 강우분포율 DB

배수개선 홍수분석시스템에서 필요한 강우자료는 강우분포율과 설계강우량이 다. 설계하고자 하는 수리구조물의 재현기간에 맞추어 설계강우량을 선정하고 강우의 시간적 분포사항을 지역적 차이를 고려하여 강우를 재배치하게 된다.

본 시스템에서 사용하는 강우의 시간적 분포는 IDF곡선에서 유도된 분포율을 적용하여 지속시간에 따른 강우를 산정한 후 일반구역의 홍수량 산정을 위해 T_p (첨두시간)를 중심으로 재배치한다고 언급한 바 있다. 일반적으로 실무에서 사용하는 강우의 시간적 분포는 네가지 형태로 구분할 수 있다.

첫째, 강우를 임의로 배열한다. 현재 우리 나라에서 많이 사용하는 Mononobe 식에 의해 전방, 중앙, 후방으로 구분하며, 중앙형을 주로 선택하고 있으나 강우의 무작위 성향을 정확히 표현하지 못하므로 지양해야 할 방법이다. 둘째로, IDF 곡선의 각 인자의 상호관계를 이용하여 수학적으로 모형화한 방법이다. 셋째는, 관측자료를 그대로 사용하여 누가곡선형태로 강우분포를 적용하는 방법이다. 미토양보존국에서는 두가지 형태의 강우분포를 제시한바 있다. 넷째는, 시간분포를 평균이동법에 의해 분석하는 방법으로 70년대에 호주에서 주로 이용하였다.

FAS의 홍수량 산정모형에서 사용하는 강우분포율과 강우배치 방법은 김(1988년)이 제시한 FAUST모델에서 사용된 방법으로 SCS의 삼각단위도의 T_p (첨두유량 발생시간)를 중심으로 IDF곡선에서 추출한 시간강우를 재배치하게 된다. 이 방법은 빈도별로 작성된 IDF곡선에서 해당 지점 강우의 시간적 분포를 추출하여 설계의 안정성을 충분히 고려한 재배치를 하므로써 보다 안정적인 설계 홍수량을 산정하게 된다.

2. 설계강우량의 DB

실무에서 쉽게 설계강우량을 선정하는 절차는 다음과 같다. 첫째 구조물의 설계빈도를 결정한다. 이때 설계빈도는 구조물의 설치목적과 중요도에 좌우된다.

둘째, 빈도에 해당되는 지점의 확률강우를 산정한다. 확률강우량도를 이용하

거나 PMP도를 사용하기도 하며, 지점의 기록된 자료를 이용하여 확률분포를 실제로 계산하기도 한다. 그러나 통계자료의 안정성과 현재의 기상이변을 고려할 때 아직 보완되지 않은 확률강우량도와 PMP도(1988년)보다는 현재까지의 자료를 사용한 결과가 더욱 안정적이라 할 수 있다.

본 FAS에서는 Gumbel분포를 사용하여 각 지점별 재현기간별 확률강우량을 산정하고 IDF곡선의 시간분포를 이용하여 강우분포 DB를 구축하였으며 각 데이터베이스는 매년 Update한다. 이를 사용자가 쉽게 이용할 수 있도록 메뉴방식에 의해 홍수량 산정 모형의 입력자료로 사용한다.

3. 기타자료 DB

대상구역의 설계 홍수량 산정을 위한 모든 자료를 데이터베이스로 관리한다. 데이터베이스를 이용하는 것은 자료의 보존 측면과 설계변경에 따른 작업효율의 제고 및 설계 신뢰도 향상을 가능케 한다. FAS에서는 홍수분석에 필요한 모든 입출력자료를 데이터베이스로 저장하여 실무적용성이 매우 뛰어나며 신뢰도 높은 홍수량 산정을 가능케 한다.

홍수분석시 이용되는 모든 자료는 구역명과 소유역의 지점번호로 인덱스 되어진다. 데이터베이스는 시스템에서 제공하는 Source DB와 사용자가 입력하는 RunTime DB로 구성되는데 제공되는 자료는 기상자료(빈도별 확률 강우량, 지점별 강우분포율)와 유출곡선지수를 계산하는데 필요한 CN테이블이다. 사용자가 입력(선정)해야 하는 자료는 구역명, 축후소명, 설계빈도, 지속기간과 소유역의 특성자료 및 구역간의 관계이다.

또한 각 소유역 및 산정지점의 출력결과가 DB로 저장되어 결과출력 모듈에서 텍스트 출력과 그래프출력의 자료로서 이용된다. FAS에서 사용되는 데이터베이스는 ODBC로 연결되므로 DataBase Management(자료관리)가 뛰어나며 향후 C/S(Client/Server)체제로의 전환이 용이하다. 데이터베이스와 서브모듈간의 관계는 <표 5-1>에서 알 수 있다.

〈표 5-1〉 데이터베이스 구성

구분	테이블명	주요 필드	사용 모듈	비고
Source DB	raindata	측후소명, 빈도별 설계강우량	유역계획	
	distrib	측후소명, 강우분포율	유역계획	
	CN	옵션 1,2,3,4,	홍수량 산정	CN window
Runtime DB	basin	유역명, 유역형태등	홍수량산정	
	parts	소유역 일반자료	홍수량 산정	
	part_point	유역-산정지점	홍수합성/추적	
	route	추적 옵션	홍수합성/추적	
	runoff	결과(유출량)저장	출력	
Temp DB	temp	합성, 추적 임시저장	합성/추적	
	tempcn	임시 사용	홍수산정	CN window
	temptc	임시사용	홍수산정/추적	TC window

제3절 소유역별 홍수량 산정모듈

각각의 소유역을 논과 일반유역으로 구분하여 홍수량을 산정하게 된다. 논유역의 홍수량 산정 모형은 시험포장의 실측자료를 바탕으로 개발하였으며 본 시스템에서는 이를 활용하고 있다. 시스템 사용자는 현장여건과 입력자료 준비에 따라 논유역 홍수 유출을 상세모형과 광역모형으로 구분하여 산정한다.

또한 논유역을 제외한 일반유역의 유출량은 미국 SCS 삼각단위도법으로 모형을 개발하여 홍수유출량을 산정하는데, 본 시스템에서 사용된 일반유역 홍수유출모형은 유역의 수문학적 조건에 따라 단위도를 5가지로 구분함으로 산지가 많은 우리나라의 유출특성을 잘 표현하도록 하였다. 이렇게 함으로서 유역을 집수단위로 구분하고 각 소유역별로 유출 특성이 반영된 홍수유출량을 산정할 수 있다.

일반유역의 홍수량 산정에는 유역면적, 유역경사, TC, CN값이 입력자료로 사용되고, 논유출 광역모형의 경우는 유역면적과 TC가 입력자료로 사용된다. 홍수량 산정시 필요한 설계강우량과 강우의 시간분포는 유역계획에서 DB를 통하여 작성된 값을 이용한다.

1. 논유출 광역/일반유역 모형

유역계획에 따라 소유역이 논과 일반유역으로 구분되며 각 소유역들은 유역특성을 반영할 수 있도록 논유출 광역모형과 일반유역 유출모형에 의해 홍수량이 산정된다. 유역계획의 강우자료 프로시저로부터 대상유역의 설계강우량과 강우분포율을 입력받고 유출곡선지수 산정, 유달시간 산정 등의 과정을 통해 모형에서 필요한 입력자료를 작성한다.

가. 유출곡선지수(Runoff Curve Number: CN)산정

유출곡선지수(CN)은 제4장에서 언급한 바와 같이 SCS에서 개발한 유출정도를 표시하는 지수이다. 이 지수는 LAG방법에 의해 유달시간을 산정할 경우와 일반유역의 홍수량 산정시 잉여강우량을 계산하기 위한 S(최대잠재저류량)를 산정할 때 필요하다. 사용자는 대상유역의 토지이용상황을 파악하여 이미 구축된 CN 데이터베이스로부터 CN값을 산정한다.

나. TC 산정

TC를 산정하는 모듈은 5가지의 유달시간 산정 공식을 이용하여 대상유역의 유달시간을 계산한다. 제4장에서 언급한 각 공식들은 지형적 인자에 크게 영향을 받기 때문에 동일한 조건에서도 같은 값을 나타내는 경우가 드물다. 따라서 어떤 공식을 적용할 것인지를 선택할 때는 앞에서 언급한 내용을 충분히 숙지할 필요가 있다.

2. 논유출 상세모형

홍수분석시스템(FAS)과 별도로 논유역의 홍수유출량을 산정한다. 이 모형은 시험포장의 실측자료를 바탕으로 단일필지에서 논유출과 배수로에서의 흐름추적을 위하여

연속방정식에 기초한 저류방정식을 간략화하여 눈과 배수로 유출을 통합한 모형이다. 각 필지별 유출량을 산정하고 배수로 흐름을 추적하므로 상세한 홍수유출이 필요한 경우 이 모형을 이용하게 된다. 이 모형에 대한 자세한 내용은 제3장에서 언급한 바 있다.

제4절 홍수 합성/추적 모듈

소유역의 상태에 따라 눈과 일반유역의 유출량을 산정하고, 산정지점에서 홍수 유출량을 합성한다. 이 과정은 눈유역의 유출량 산정 모형인 눈유출 광역모형과 일반유역의 유출모형의 계산치를 유달시간이 큰 것을 기준으로 강우지속 시간별로 합성하게 된다. 이때 하도추적과 유달시간의 차를 고려하는 알고리즘이 선택적으로 사용될 수 있도록 모듈을 개발하였다.

이 모듈은 기존의 홍수량 합성방법의 단점을 보완하고 있다. 즉 유역특성이 고려된 유출량을 고정된 시간별로 합성하는게 아니라 유역의 유달시간의 함수인 강우지속 시간별로 합성함으로써 홍수수문곡선의 신뢰성을 더욱 제고하게 된다.

눈과 일반유역으로 구분하여 홍수량을 산정한 결과는 시스템에서 데이터베이스로 자동 입력된다. 이들 홍수유출 결과는 합성/추적 모듈에서 입력자료로 사용되는데 홍수 합성/추적 과정은 3가지로 구분된다.

첫째, 홍수량 산정지점에서 각 소유역의 홍수가 직접 합성되는 과정이다. 이 경우는 각 소유역에서 홍수유출량 발생시간의 차이가 없는 경우이며 단위도의 중첩이론에 따라 홍수수문곡선이 합성된다. 이때 사용되는 알고리즘은 강우지속시간별로 홍수수문곡선을 선형으로 가정하고, 유달시간이 작은 유역의 강우지속시간 간격을 유달시간이 큰 유역의 강우지속시간 간격으로 보간법에 의해 환산하여 홍수수문곡선을 합성한다.

두 번째방법은 비교적 하도구간이 짧은 경우에 적용하는 것으로, 홍수가 하류로 전달될 때 하도의 홍수전파 속도만큼 지체되어 합성되는 방법이다. 이 경우는 홍수전파속도를 작정 산출할 수 없기 때문에 유달시간 산정법에 의해 시간의 함수인 홍수전파시간을 구하여 산정된 시간만큼 홍수수문곡선을 지체시킨 후 유달시간이 큰 유역을

기준으로 첫 번째 방법과 같이 보간법에 의해 같은 간격마다 홍수량을 산정 후 단위의 증첩이론을 따라 홍수를 합성하게 된다.

세 번째 방법은 상류에서 하류로 홍수추적을 Muskingum법에 의하여 수행 후 전단계의 합성방법과 같이 소유역 홍수 유출량을 합성하게 된다. FAS에서는 저류가 발생할 만큼 하도의 길이가 충분히 긴 경우 Muskingum방법을 홍수량 합성에 적용할 것을 권장한다. 그러나 Muskingum방법의 적용시 계수를 선정에 많은 수문학적 경험이 필요하므로 사용할 경우 주의를 요하며 다음의 내용을 참조하기 바란다.

1. Muskingum 홍수추적

홍수를 추적하여 홍수수문곡선을 합성하기 위한 목적은 홍수의 시간적 변화를 추정하기 위함이며 이를 바탕으로 수리구조물의 기초수문량을 얻을수 있다. 수문학적 홍수추적은 유역추적(Watershed routing), 저수지 추적(Reservoir routing), 하도추적(Channel routing)등으로 크게 나눌 수 있다. 대표적인 하도홍수추적 방법으로 Kimura의 저류함수법(Storage function method)과 McCarthy의 Muskingum방법이 있다. 저류함수법은 홍수유출의 비선형을 고려해주는 방법으로 선형모형보다 합리적이라 할 수 있으나 사용의 범용성이 Muskingum법 보다 떨어진다.

Muskingum 홍수추적 방법은 McCarthy가 미공병단 Muskingum Conservancy District 홍수조절계획 수립시 최초로 사용하였다. 그후 Linsely et al, Chow, Willson등의 연구를 걸쳐 2변수선형모형이 완성되었고 Gill, Tung, Singh등은 3변수 비선형 모형을 제안하였다.

하도추적을 위한 기본 방정식은 다음과 같다.

$$I - O = \frac{ds}{dt}$$

여기서 I = 유입량, O = 유출량

$$S = kO + k(I - O)$$

$$= k[xI + (1 - x)O]$$

K는 시간차원을 가지는 저류상수이고, x는 가중계수이며, S는 저류량이다. K값은 실측자료가 있는 경우는 시산법이나 매트릭스를 해석하여 구하기도 한다. 간혹 자료가 없는 경우 구간의 상류에서 하류까지 통과하는데 소요되는 시간으로 정의하며 간혹 침투용수량의 구간 통과시간을 근사치로 사용하기도 한다. 가중계수 x는 저류효과 없는 경우 0이며 자연하천이 등류일 경우 0.5이며 일반적인 경우 0~0.3의 값을 가지며 흔히 0.2나 0.25를 사용한다. 한 추적구간에 대해 저류량 변화는

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

윗식을 정리하여 O_2 에 관하여 풀면

$$O_2 = C_0 I_2 + C_1 I_1 + C_2 O_1$$

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.

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

Δt 를 결정함에 있어 우선 이 값이 모든 수문곡선도를 완전히 작성할 수 있는 수치중 최소치여야 하며 두 번째로 구간의 수면 종단구배가 비교적 직선이어야 한다는 것이다. 일반적으로 추적결과의 수문곡선에서 K와 X의 값을 고정시켰을때 Δt 의 적은 변화에는 비교적 영향을 받지 않는다.

2. Muskingum방법에 사용되는 계수 선정

가. K의 결정

시간 증가량에 대한 K의 값은 유출량을 나타내는 평균곡선 기울기의 역수이다. 즉 K는 유량 변화에 대한 저류량 변화이다. K는 시간의 차원을 갖으며, K로 표시되는 시간간격은 기본홍수파가 홍수추적 구간을 통과하는데 소요되는 시간과 동일함을 알 수 있다. 이로부터 우리가 홍수추적기간으로 선택하는 Δt 와 K와의 사이에는 어떤 관계가 있음을 알 수 있다. 예를 들어 만일 Δt 가 K보다 작다면 기본홍수파는 그 기간 동안에 전체 홍수추적구간을 통과하지 못할 것이고, 추적구간 하류단에서 완전한 수문곡선을 계산하지 못할 것이다. 즉 상류단에서 일부분의 유량 변화상태만 가지고는 하류단에서의 유량변화를 계산할 수 없기 때문이다. 이런 이유로부터 Δt 와 K는 일치해야 한다.

그러나 실제로 적용할 때 K와 Δt 가 약간 달라도 앞에서 설명한바와 같이 추적된 홍수유량도는 Δt 의 변화에 그리 큰 영향을 받지 않기 때문에 서로 비슷한 정도면 충분하다. 그러나 C2의 값이 -가 되지 않도록 하기 위해서 Δt 의 값이 $2KX$ 보다 적어서는 안된다. K와 홍수파의 이동속도와의 관계는 K는 유입 및 유출 홍수량의 1/2이 되는 두점간의 시간차임을 알 수 있다.

K를 산정하기 위한 방안은 다음과 같다.

1) 추적구간내의 어느 두 지점간의 K의 값은 두 지점에 대한 홍수수문곡선도가 있다면 이 K는 두 수문곡선도 체적의 중심선 간의 시간 혹은 갈수시의 어느 선정된 유량의 하류도달시간 혹은 갈수시의 어느 선정된 유량의 하류도달시간 혹은 증수시의 중간유량의 하류도달시간 혹은 수문곡선도상의 어느 특정한 유량의 하류도달시간으로 정의 할수 있다.

2) 기본홍수파의 이동속도 V_w 는 단면이 홍수추적구간의 대표단면인 경우에 그 지점의 수위-유량곡선으로부터 대략의 값이 결정된다. (Seddon)

$$V_w = \frac{1}{B} \frac{dQ}{dY} \quad (\text{여기서 } \frac{dQ}{dY} \text{는 수위-유량곡선의 기울기})$$

Manning공식으로부터 V_w 와 평균유속 V 의 비는 하천단면 형태에 따라 다음과 같은 값을 갖는다(Gilcrest)

하천단면	V_w/V
------	---------

넓은구형	1.67
넓은 포물선형	1.44
삼각형	1.33

평균유속 V 는 그지점의 유량과 대표 단면적으로 구할 수 있다. 그래서 K 의 값은 홍수와 이동속도 V_w 에 대한 추적구간길이의 비라 할 수 있다. 위의 값은 수면경사가 일정한 경우에 대해서 계산한 것이므로 하천이 저수지에 유입해서 수면경사가 저수지 표면과 같아지는 구간에 대해서 적용할 수 없다.

3) 만일 추적구간 하류단에서의 수위-유량곡선이 있고 구간내의 단면자료가 많고, 조도계수를 안다면 K 의 값은 유출량에 대한 정류부의 총수량을 나타내는 곡선의 기울기로부터 대략의 값을 얻을 수 있다.

4) 홍수추적의 역순에 의하여 실제 수문곡선으로부터 K 의 값을 결정할 수 있다. 이 방법은 K 와 x 의 값을 동시에 결정할 수 있고 앞의 방법들에 비해 더욱 정확한 값을 얻을 수 있다.

$$K = \frac{0.5 \Delta t [(I_2 + I_1) - (O_2 + O_1)]}{X(I_2 + I_1) + (1 - X)(O_2 - O_1)}$$

K 값에 대한 추적구간길이의 비는 홍수파의 이동속도비율을 의미한다. 홍수추적에 필요한 구간과 K 의 값을 도출한 구간사이에 저류특징에 뚜렷한 차이가 없는한 이 비율보다 긴 구간이나 짧은 구간에 그대로 적용할 수 있다.

나. X 값의 결정

추적한 홍수수문곡선의 형태에서 X 값의 변화가 미치는 영향은 $K = \Delta t$ 인 경우에 $X=0.5$ 이면 홍수유량도의 형태는 변하지 않고 시간만 다른 유량도가 계산되며 $X=0$ 이면 아주 완만한 유량도가 생기게 된다.

X 는 홍수추적구간의 빼기저류량에 관계되는 무차원 상수로 여겨졌으나 넓은 구형 단면수로일 경우 단위폭에 대한 빼기형 저류량과 각주형 저류량은 도면상의 식으로 표시되어 이는 다음식을 대입해서 풀 수 있다.

$$X = \frac{O \Delta y}{2y(I - O)}$$

만일 수면구배가 일정하다면

$$\frac{(I-O)}{\Delta y} = \frac{5}{3} \left(\frac{O}{y}\right) \text{가 된다.}$$

그러므로 유량의 변화가 작고 이와같은 유량변화에 따른 구배의 변화가 없는 넓은 구형수로에 대한 X값은 0.3이다.

위와 비슷한 조건에서 삼각형 수로에 대한 X의 값은 $\Delta y/y_0 = 0$ 인 경우 0.375. $\Delta y/y_0=0.5$ 0.438까지 일정하게 변화한다. 여기서 중요한 점은 X의 값은 우선 단면의 형태와 Manning의 유량공식 y의 지수에 따라 변하고 하천구배 조도계수 및 구간길이와 무관하지 않다.

실제의 수문곡선에서 X의 값을 구하는 방법중 하나는 앞에서 언급하였다. 두 번째 방법은 각기 다른 X값을 사용하여 홍수추적 계산을 해서 그 결과치가 실측의 유출량 수문곡선과 일치할때까지 시산함으로써 가장 적합한 X의 값을 구하는 방법이다. 그러나 이 방법은 구간내 두 개의 수위표 지점간의 홍수파 도달시간이 $\Delta t/2X$ 보다 클 때 필요하게 될 것이다. 이 경우에는 홍수추적구간을 m구간으로 나누고 소구간별로 산정하는 것이 편리하다. 이 방법은 하천단면과 경사가 비교적 일정하고 지류 유입량이 일정하거나 적은 경우 만족할만 할 결과를 도출한다.

제5절 FAS 운영

1. 시스템 개요

홍수분석시스템(FAS)은 사용자의 편의성을 증대하기 위해 Windows운영 체제하에서 아래의 기본방향을 설정하였다.

- 메뉴방식에 의한 프로그램 구성
- GUI(Graphic User Interface) 환경에서 가동
- 비숙련 사용자를 위한 온라인 도움말
- 기본자료의 DB구축을 통한 검색 및 분석

이러한 시스템의 개발을 위한 단계별 계획은 다음과 같다.

○ 1차년도 (1995)

- 시스템을 개발하기 위한 기본방향 설정
- 기초 수문 자료의 전산화(DB구축)
- 일반유역의 홍수유출모형 개발

○ 2차년도 (1996)

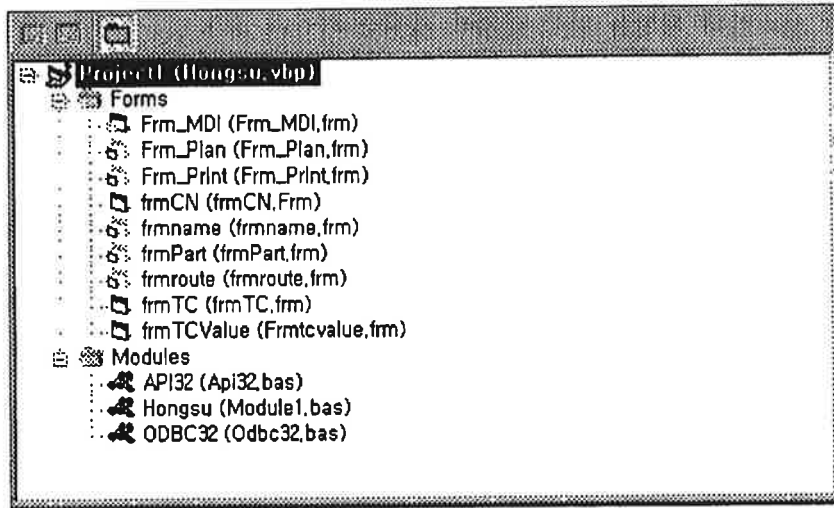
- 기초수문자료의 DB 보강
- 논유역의 홍수유출모형개발
- 유역홍수량 합성 모형 개발

○ 3차년도 (1997)

- 기초수문자료의 DB 보강
- 기 개발 모형의 보정 및 검증
- 종합 홍수분석시스템 개발

FAS는 단계별로 세부작업을 실시하고 Main Menu에서 서브모듈을 관리한다. 화면 구성은 토고화면, 각 분야별 업무선택화면, 각 분야별 입출력 및 실행화면으로 순차적으로 진행하도록 구성하여 <그림 5-3>과 같이 서브모듈이 구성되었고 각 메뉴의 상위모형에서 하위모형으로 작업을 진행하는 Tree Sub Menu방식을 선택하였다.

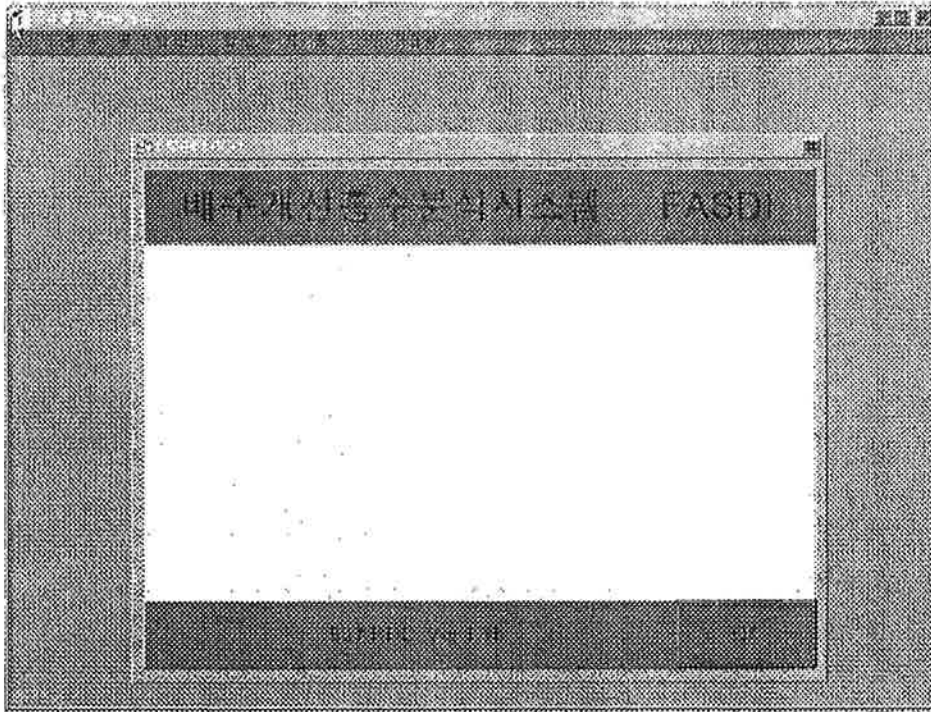
일반유역의 홍수량 산정과 논유역의 홍수산정은 Fortran으로 개발하였고 나머지 화면 입출력, 데이터베이스 제어, 유달시간, 유출곡선지수 산정, 홍수합성, 홍수추적은 Visual basic으로 개발하였다. 또한 화면의 구성은 시스템의 안전성을 높이기 위하여 MDI(Multi Document Interface)설계를 하였으며 데이터베이스는 ODBC드라이버와 DAO(Data Access Objects)엔진을 병행사용하였다.



〈그림 5-3〉 홍수분석시스템(FAS)의 파일구조

시스템 운영방식은 문답식과 스프레드 시트를 이용하여 사용자가 운영과정을 한 눈에 알아볼 수 있도록 하였다. 초기화면과 메뉴는 〈그림 5-4〉와 같이 구성되어 있다.

- 유역계획 - 새작업, 기존작업열기
- 홍수량산정 - 논 광역/ 일반유역 홍수산정모형, 논유역상세모형
- 홍수합성/추적
- 출력
- 도움말



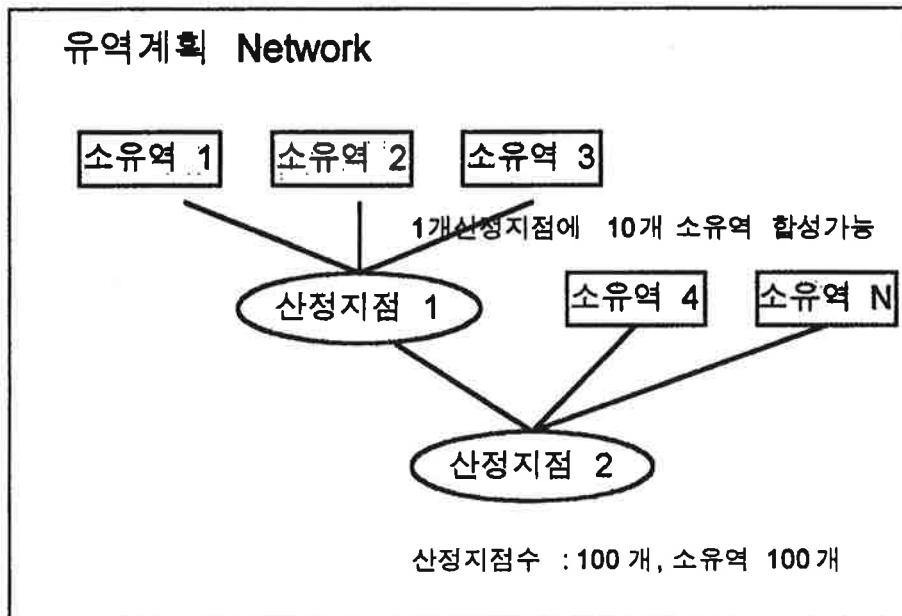
〈그림 5-4〉 홍수분석시스템(FAS)의 LOGO와 Main Menu

2. 유역계획

유역계획 모듈은 Network자료와 강우자료를 처리하는 두개의 프로시저로 구성된다. 강우자료 프로시저는 홍수량 산정에 필요한 기초강우자료를 제공하며 Network자료 프로시저는 소유역의 구분, 홍수량 산정지점의 선정 등 소유역 구성에 따른 분석계획을 수립한다.

〈그림 5-5〉와 같이 유역을 분할하여 소유역으로 구분하며 토지이용상황에 따라 는 또는 일반유역으로 구분하여 Network를 구성하고, 홍수분석시스템에서 구동이 가능한 소유역의 수는 100개이며 산정지점에 따라 축차적인 계산이 이루어진다.

여기서 입력된 자료는 데이터베이스로 저장이 되어 홍수량 산정, 홍수 합성/추정 모듈에서 호출되고, 사용자 입력사항을 간편화 하였으며 언제든지 검색과 수정이 가능하다.

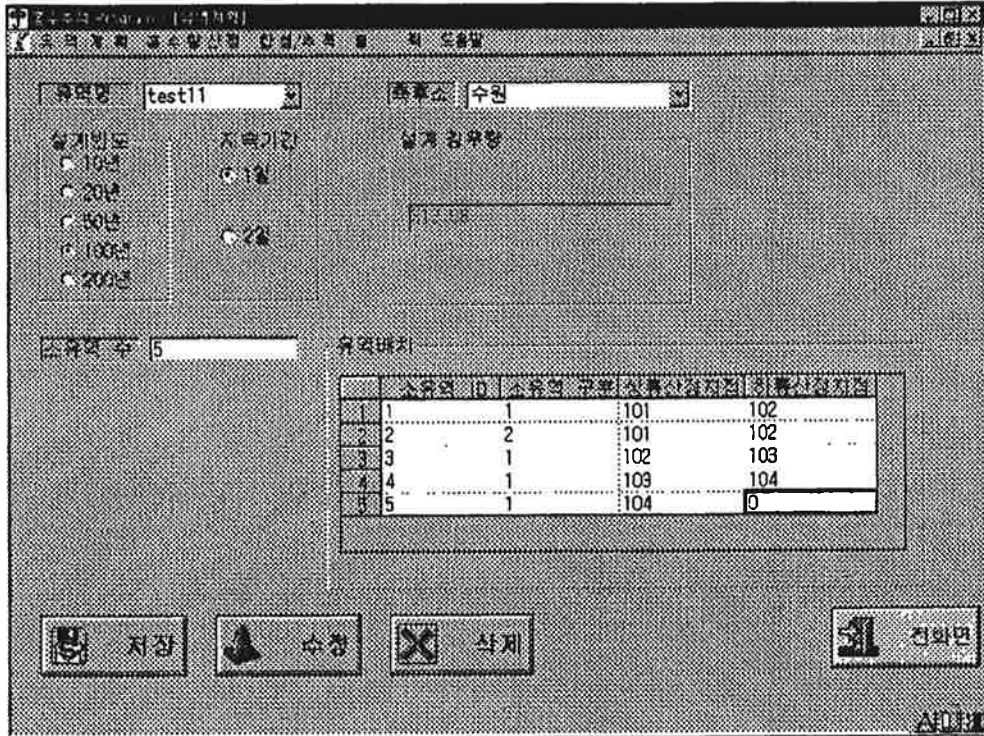


〈그림 5-5〉 유역 계획 Network

〈그림 5-6〉와 같이 유역계획은 새작업과 기존작업으로 구분되는데 새작업은 유역명을 입력하고 측후소, 설계빈도, 지속기간을 선택하면 설계강우량이 자동으로 산정된다. 기존작업의 경우 기 수행한 자료의 유역명만 안다면 다시 호출하여 수정할 수 있도록 구성하였다. 또한 스프레드 시트로 구성된 유역배치 프레임은 소유역이 논인지 일반유역인지를 결정하고 홍수량 산정지점과 연계되는 순서를 정한다.

집수단위별 소유역 분석계획을 수립하며 유역의 일반적인 특징을 결정한다. 이 모듈은 유역 분할, 수계, 분석지점, 토지이용현황등의 자료를 인덱스화하여 DB에 저장하며 각 소유역별 유출량 산정후 이 자료에 근거하여 홍수합성/추적이 수행된다.

모듈 운영에 필요한 입력자료는 집수단위로 구분된 소유역과 하천자료이다. 모듈의 출력자료는 Network의 구성현황이며 다음의 홍수량 산정모듈과 홍수 합성/추적 모듈에서 호출하여 사용한다.



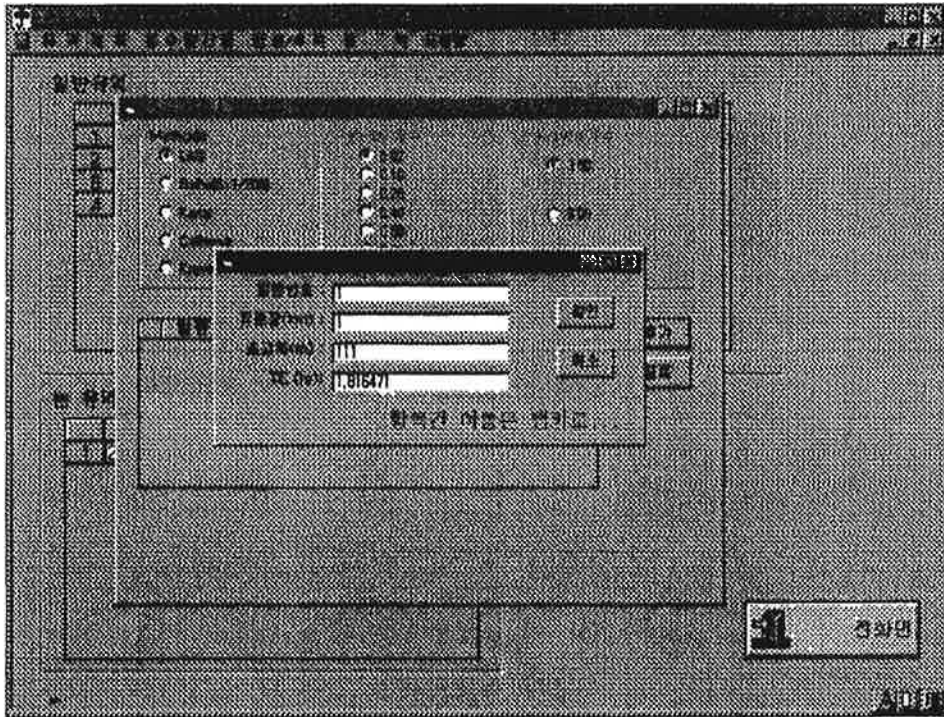
<그림 5-6> 유역계획 창 : 설계강우량, 유역배치 결정

3. 홍수량 산정

논유출 광역/일반모형, 논유출 상세모형으로 구성되어 있다.

가. 일반유역의 홍수유출

일반유역의 홍수 유출량을 산정한다. 이 프로시저는 SCS 삼각단위도를 이용하여 개발하였다. 입력자료중 기초수문량(기상자료, 유출곡선지수)은 source 데이터베이스에서 얻고 사용자는 유역면적, 유역경사도, 유달시간만을 입력하면 된다. 논유역과 마찬가지로 TC 산정은 <그림 5-7>의 유달시간 모듈을 이용하며, CN값은 <그림 5-8>와 같이 유출곡선지수 모듈을 호출하여 데이터베이스로부터 CN값을 얻는다. 산정 결과는 홍수 유출량의 시간적 분포, 즉 유효강우의 지속시간별로 홍수수문곡선이 출력되며 논유역의 홍수 유출량산정 결과와 함께 홍수량 산정지점에서 합성/추적과정의 입력자료로 이용된다.

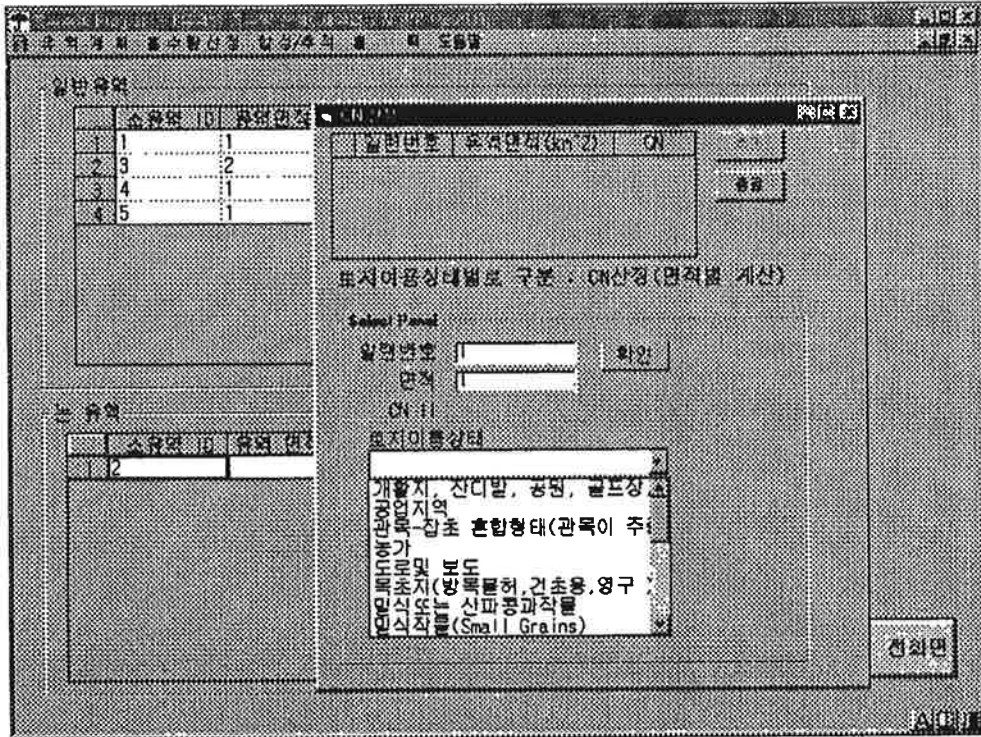


〈그림 5-7〉 홍수량 산정 창 : 유달시간 계산

나. 논유역의 홍수유출

논유역의 홍수유출량을 산정한다. 이 프로시저는 시험포장의 실측자료를 바탕으로 구성된 논유역 홍수유출 상세모형과 광역모형으로 구분되는데 본 시스템에서는 논유출 광역모형과 일반유역의 홍수량 산정을 동시에 수행토록 구성하였고 논유출 상세모형은 별도로 운영된다. 논유출 광역모형은 그 적용성 검토에서 간단한 입력 자료로 높은 정도의 신뢰도를 나타낸 바 있다. 유달시간 산정모듈은 일반유역에서와 같이 〈그림 5-8〉에서 유역상황에 따라 각각의 유달시간 산정공식을 적용한다. 프로시저 운영에 필요한 기초수문량은 유역계획의 DB에서 자동으로 입력처리된다. 이러한 절차는 사용자의 편의성을 최대한 고려한 것이며 설계자마다의 편차를 제거해 준다.

논유출 광역모형의 출력자료는 지구내 홍수수문곡선, 첨두유출량, 총 유출량, 단위 배수량이 되며 출력결과는 자동으로 일반유역(지구외)의 홍수량과 함께 홍수량 합성/추적모형의 입력자료로 사용된다.



<그림 5-8> 유출곡선지수 산정(홍수량 산정)

4. 홍수 합성/추적

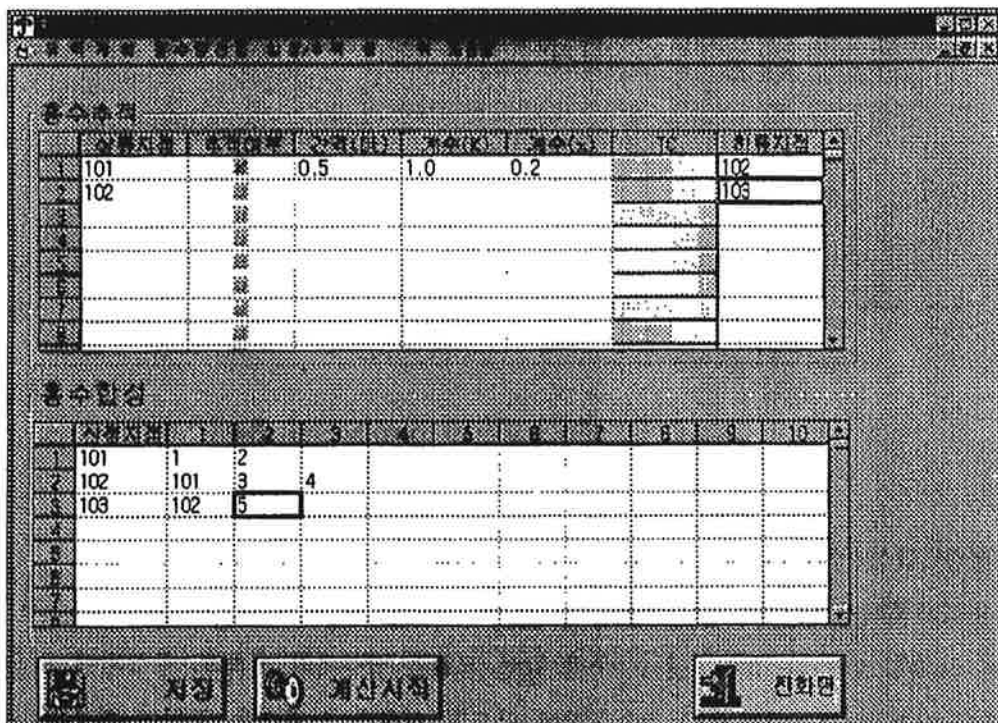
유역계획에서 입력된 데이터베이스로부터 기본자료는 자동으로 호출되며, 창의 구조는 <그림 5-9>과 같다. 홍수 추적/합성 모듈은 두 개의 시트로 구성되어 있으며 상부의 시트는 산정지점간의 홍수추적에 필요한 자료를 입력하는 곳이며 하부의 시트는 합성에 필요한 유역 ID를 입력하는 곳이다.

홍수추적 시트는 상류산정지점과 추적여부, 간격(Dt), 계수(K), 계수(Dx), TC, 하류지점의 필드로 구성되어 있다. 상류와 하류지점은 유역계획에서 입력된 DB로부터 자동으로 검색되고, 추적여부는 체크박스로 표시되며 사용자는 하도의 저류상태와 하도길이 등의 자료에서 추적을 유달시간만큼 지체할 것인지 Muskingum법으로 추적할 것인지를 판단해야 한다. 체크박스를 체크하면 계수를 입력하고 그렇지 않으면 유달

시간 버튼을 클릭한다. 유달시간 계산 모듈은 홍수량 산정에서의와 같다.

하부의 합성시트는 홍수 합성이 이루어지는 지점에 합성되는 유역이나 상류의 산정지점을 입력한다. 사용자는 유역계획 수립시 작성하는 유역 Network에 의해 유역의 ID를 입력하면 된다.

자료의 입력이 끝나면 저장버튼을 누르고 저장확인 메시지를 확인한 후 계산시작 버튼을 클릭한다. 각 단계별 계산과정을 메시지에 의해 사용자가 확인할 수 있다.



<그림 5-9> 홍수 추적/합성창

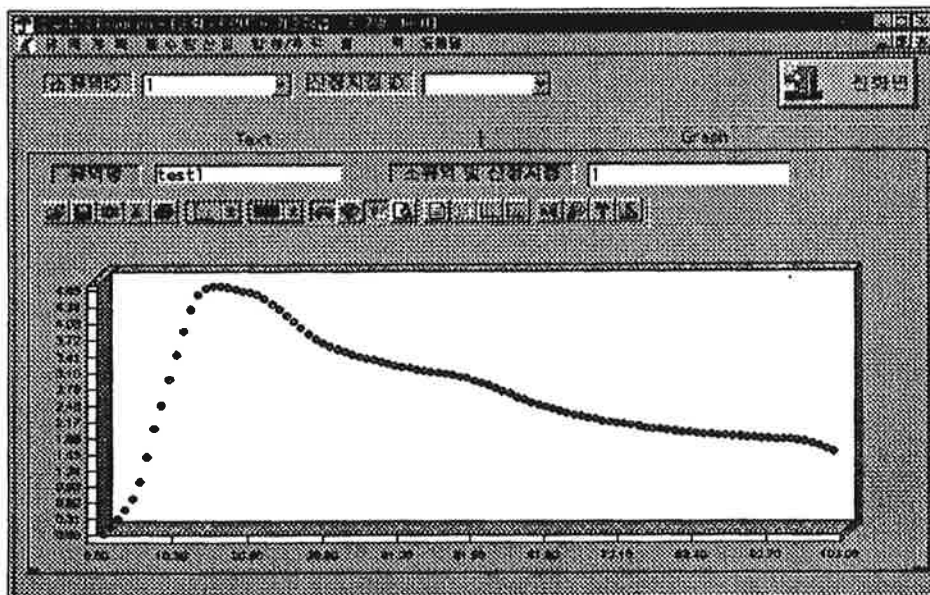
5. 출력

홍수량 산정에 의해 산정지점에서 합성된 홍수량은 유역명과 소유역명 또는 산정지점 이름으로 출력되는데 <그림 5-10>의 기본자료와 <그림 5-11>의 홍수 수문곡선 두가지가 있다. 사용자는 소유역이나 산정지점을 마우스로 선택하고 스위치보드의 상단을 두 번 클릭하면 결과시트나 홍수수문곡선을 확인할 수 있다. 시스템 외부에서 홍수유출량 자료를 이용할 수 있도록 텍스트 출력기능이 있으며, 프린터 출력 및 자

료의 편집은 스위치 보드의 아이콘을 선택하면 메뉴에 의해 작업을 수행할 수 있다

시각	유출량	시각	유출량	시각	유출량	시각	유출량	시각	유출량	시각	유출량
0.00	0.00	5.00	4.61	10.00	3.25	15.00	2.51	20.00	1.99	25.00	1.59
0.30	0.16	5.30	4.57	10.30	3.22	15.30	2.47	20.30	1.98	25.30	1.58
0.60	0.32	5.60	4.50	10.60	3.20	15.60	2.43	20.60	1.96	25.60	1.56
0.90	0.49	5.90	4.41	10.90	3.17	15.90	2.39	20.90	1.95	25.90	1.54
1.00	0.70	6.00	4.30	11.00	3.15	16.00	2.35	21.00	1.94	26.00	1.53
1.30	1.03	6.30	4.19	11.30	3.12	16.30	2.32	21.30	1.93	26.30	1.52
1.60	1.52	6.60	4.08	11.60	3.10	16.60	2.29	21.60	1.92	26.60	1.51
1.80	2.07	6.80	3.96	11.80	3.08	16.80	2.26	21.80	1.91	26.80	1.50
2.00	2.51	7.00	3.85	12.00	3.06	17.00	2.23	22.00	1.90	27.00	1.49
2.30	2.98	7.30	3.75	12.30	3.03	17.30	2.20	22.30	1.89	27.30	1.48
2.50	3.45	7.50	3.66	12.50	3.00	17.50	2.18	22.50	1.88	27.50	1.47
2.80	3.93	7.80	3.56	12.80	2.98	17.80	2.15	22.80	1.87	27.80	1.46
3.00	4.30	8.00	3.55	13.00	2.92	18.00	2.13	23.00	1.86	28.00	1.45
3.30	4.57	8.30	3.51	13.30	2.87	18.30	2.11	23.30	1.85	28.30	1.44
3.50	4.69	8.50	3.46	13.50	2.82	18.50	2.09	23.50	1.85	28.50	1.44
3.80	4.73	8.80	3.42	13.80	2.76	18.80	2.07	23.80	1.84	28.80	1.43
4.00	4.74	9.00	3.38	14.00	2.71	19.00	2.06	24.00	1.83	29.00	1.42
4.30	4.71	9.30	3.35	14.30	2.65	19.30	2.04	24.30	1.81	29.30	1.41
4.50	4.68	9.50	3.31	14.50	2.60	19.50	2.02	24.50	1.77	29.50	1.40
4.80	4.64	9.80	3.28	14.80	2.55	19.80	2.00	24.80	1.73	29.80	1.39

<그림 5-10> FAS의 텍스트 출력



<그림 5-11> FAS의 그래프 출력

여 백

제6장 홍수분석시스템 적용

제1절 모형의 검증

제2절 계획지구의 적용

제3절 적용성 고찰

여 백

제6장 FAS의 적용

개발된 FAS의 적용성을 검증하기 위하여 소규모, 중규모, 대규모 유역의 실측 홍수수문곡선과 FAS 계산치를 비교하였다. 소규모 유역은 실측자료를 보유하는 반월과 도척유역을, 중규모와 대규모 유역은 새만금지구의 신태인 수위관측지점과 대천 수위관측지점을 선정하고, 실측자료와 FAS 계산치, 기존의 홍수분석 방법인 Complex Hydrograph method에 의한 계산치를 비교하여 FAS의 적용성을 고찰하였다.

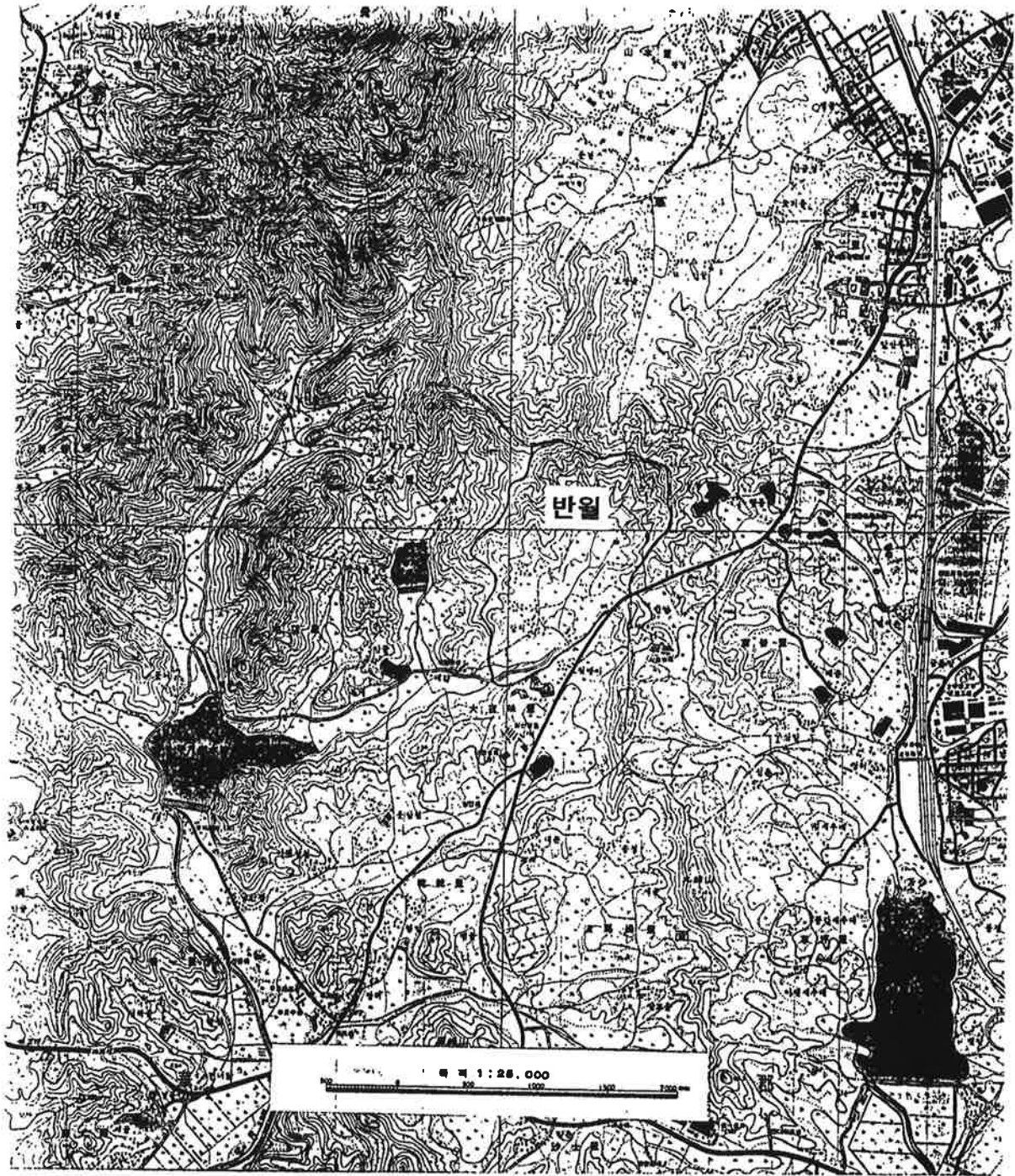
또한 기존의 홍수분석방법(Complex Hydrograph method)으로 현재 계획중인 지구에 대해서도 FAS를 적용하여 상호 비교를 통해 기존방법의 문제점을 확인하고 해결방안을 제시하였다.

제1절 모형의 검증

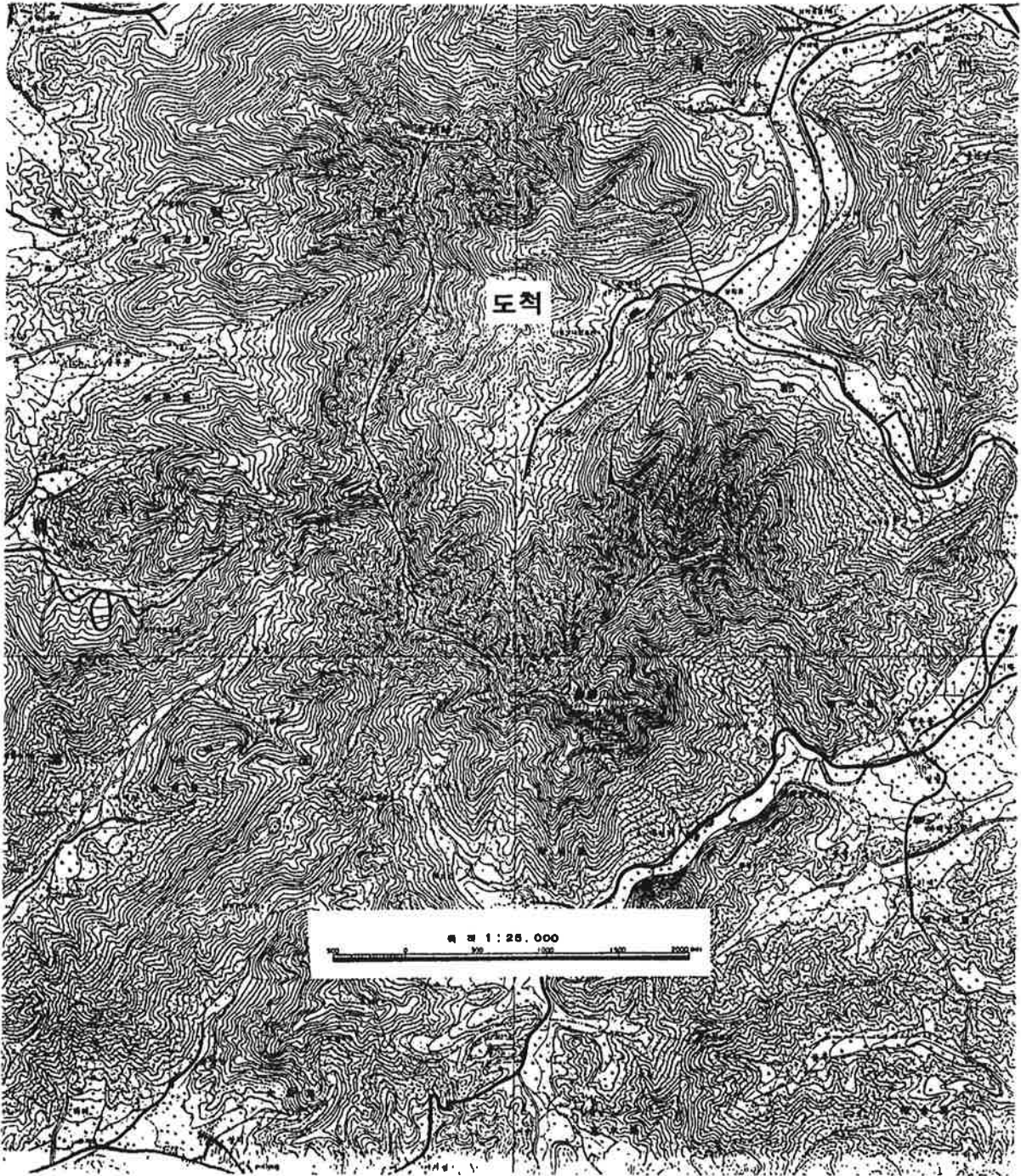
1. 소규모 유역

가. 유역 특성

소규모 유역으로 선정된 반월과 도척은 유역면적이 각각 272ha와 589ha로서 일반적인 배수개선 유역규모에 해당한다. 이중 반월유역은 <그림 6-1>과 같이 경기도 화성군 반월면 대야미리 일대에 소재하며 1985~1987년까지 3개년 동안 서울대학교 부설 농업개발연구소에서 저수지 물관리연구를 시행한 지구로 유역경사가 2% 정도로 완만하고, 유로장은 3.8km에 달한다. 유역형상계수는 0.19로 유역면적에 비해 유로장이 긴 편이다. 한편 도척유역은 <그림 6-2>와 같이 경기도 광주군 도척면 상림리 일대에 위치하며 서울대학교 농과대학 중부연습림이 위치한 곳으로 유역 대부분이 연습림 유역에 포함되어 있어 대체로 산지유역의 특성을 지닌다. 유역의 평균경사는 13%이나 산지부의 경사에 반하여 하류쪽은 완만한 경사를 이루고 있으며, 유로장은 3.81km이고 유역형상계수는 0.45로 반월유역에 비해 유역폭이 크다.



<그림 6-1> 반월 유역도



<그림 6-2> 도척 유역도

유출곡선지수를 산정하기 위하여 도척과 반월유역의 토지이용상태를 조사한 결과 <표 6-1>과 같다. 반월유역은 논유역이 차지하는 비율이 29.1%이고 도척유역은 2.3%이며, 반월은 논이 차지하는 비율이 높은 것으로 보아 논 유역의 특성이 강하다고 볼 수 있는 반면에 도척은 전형적인 산지유역의 특성을 나타낸다고 할 수 있다.

<표 6-1> 반월, 도척유역의 토지이용 상황

구분	반월		도척	
	면적(ha)	구성비(%)	면적(ha)	구성비(%)
논	79.2	29.1	13.7	2.3
밭	51.5	18.9	27.4	4.7
산지	131.9	48.6	545.4	92.6
농가	7.7	2.8	2.5	0.4
수면	1.7	0.6	-	-
계	272.0	100.0	589.0	100.0

<표 6-2>는 반월과 도척유역의 유출곡선지수(CN)를 조사한 결과를 보여준다. 이는 농촌진흥청의 개략토양도를 이용하여 유역을 토양군별로 구분하고 산지를 식림지(Case1), 임야(Case2)로 구별하여 SCS방법에 의하여 CN값을 계산한 것이다. 반월유역은 CN I의 경우 47에서 CNIII 88 까지 나타나는데 반하여 도척유역은 CN I의 경우 30에서 CNIII 82까지로 반월유역이 높게 나타났다.

<표 6-2> 반월, 도척유역의 유출곡선지수

구분	반월		도척	
	Case 1	Case 2	Case 1	Case 2
CN I	47	57	30	45
CNII	67	75	49	65
CNIII	83	88	69	82

<표 6-3>은 반월과 도척유역의 유달시간과 유역경사도를 보여준다. 유달시간은 Rziha공식과 california도로국 공식으로 산출한 것으로서 반월유역은 0.85hr

에서 1.5hr의 범위를 가지는데 반해 도착유역은 0.31hr에서 0.91hr의 범위를 나타내는 등 도착유역이 비교적 짧게 나타났다. 또한 선행강우조건(AMC)에 따라 SCS방법에 의해 유달시간을 계산한 결과도 반월유역은 AMC I 일 때 10.97hr에서 AMCIII일 때 4.46hr까지, 도착유역은 AMC I 일 때 7.97hr에서 AMCIII일 때 3.04hr까지로서 도착유역이 짧게 나타났다. 한편 유역 경사도는 반월유역은 완경사, 도착유역은 산악지대로 분류하였다.

<표 6-3> 반월, 도착유역의 유달시간과 유역경사도

구분	Rziha	California도로국		LAG			유역경사도
		가중평균법	경사자승법	AMC I	AMC II	AMCIII	
반월	0.85	1.50	1.00	10.97	6.82	4.46	완경사
도착	0.31	0.91	0.58	7.97	4.79	3.04	산악지대

나. 실측 강우-유출자료

적용성 검토를 위한 실측 강우-유출자료는 <표 6-4>에서 보는 바와 같이 반월유역은 1986.7.16일에 발생한 32.10mm의 자료를 선정하고 도착유역은 1985.10.12일에 발생한 113.5mm때의 자료를 선정하였고, 이때의 선행강우조건은 모두 AMCIII이다.

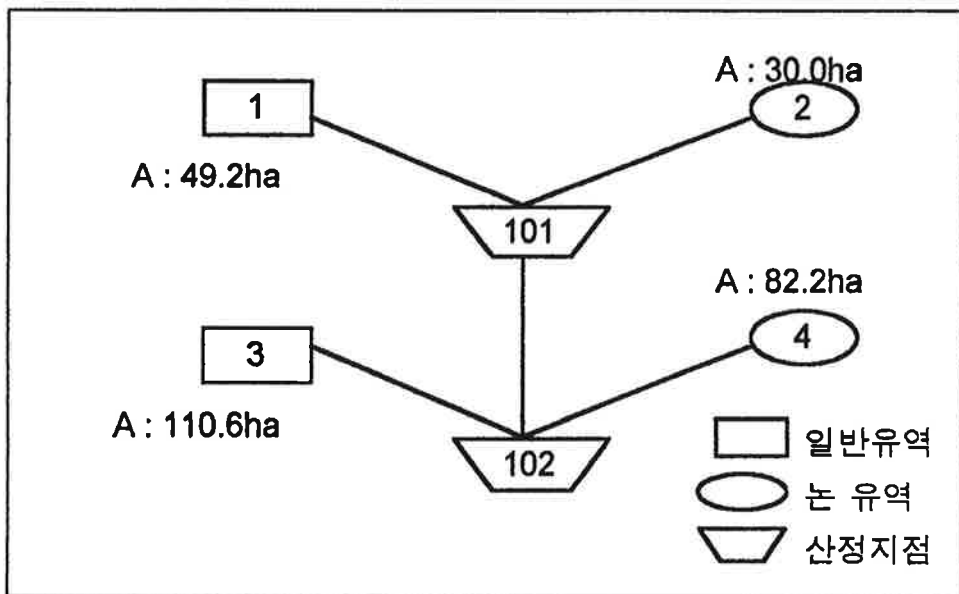
<표 6-4> 실측 강우-유출 자료(반월, 도착)

구분	강우량(mm)	AMC조건	발생일자
반월	32.10	III	'86. 7.16
도착	113.5	III	'85.10.12

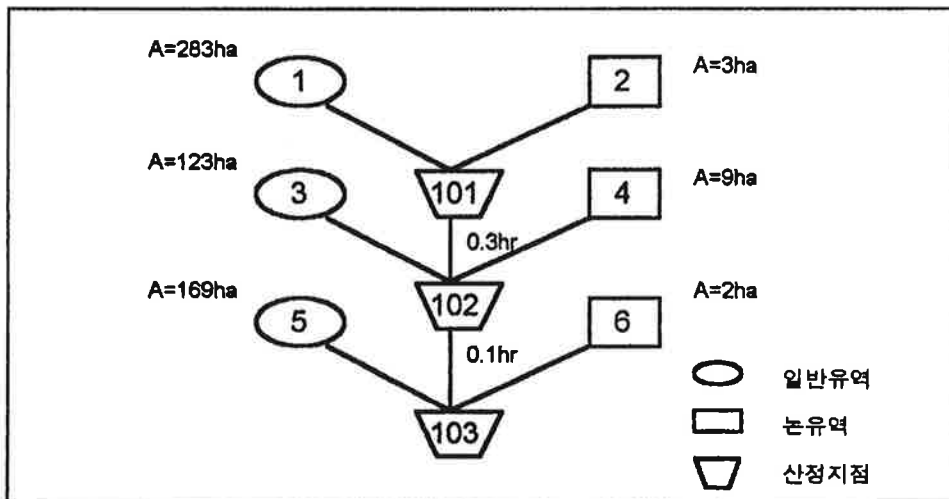
다. 유역계획

FAS를 적용하기 위하여 반월과 도착유역에 대해 <그림 6-3>과 <그림 6-4>와 같이 유역계획을 하였다. <그림 6-3>은 반월유역의 유역계획을 보여주는 것으로서 일반유역이 2개(1,3번), 논 유역이 2개(2,4번), 홍수량 산정지점이 2개(101, 102번)로 구성된다. 홍수량 산정지점 101번의 경우 일반유역 1번과 논유역 2번유

역이 합성되며, 합성된 홍수량은 유역출구인 102번으로 추적되고 다시 일반유역 3번과 논유역 4번의 홍수유출량이 산정되어 합성되도록 계획하였다.



<그림 6-3> 반월유역의 유역계획



<그림 6-4> 도척유역의 유역계획

<그림 6-4>는 도척구역의 논유역과 일반유역으로 구분된 유역계획을 도시한 것으로서 일반유역 1,3,5번 3개, 논유역 2,4,6번 3개, 홍수량 산정지점 101, 102번 2개가 있다. 홍수량 산정, 합성/추적 방법은 반월유역과 동일하다

라. 실측수문곡선과 비교

반월, 도척 유역의 실측자료와 Complex hydrograph, FAS로 산정한 유출량을 비교하였다. 그 결과를 요약하면 <표 6-5>에서 보는 바와 같다.

<표 6-5> 반월, 도척 홍수유출량 비교

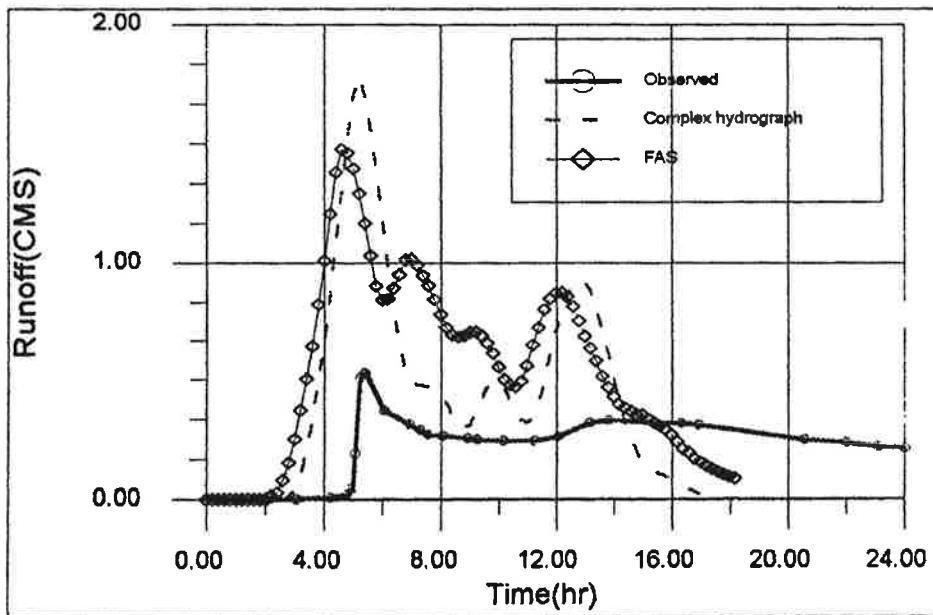
구분	실측자료		Complex Hydrograph			FAS		
	Tp(hr)	Qp(m ³ /s)	Tp(hr)	Qp(m ³ /s)	상대오차	Tp(hr)	Qp(m ³ /s)	상대오차
반월	5.40	0.529	5.19	1.78	3.36	4.63	1.47	2.77
도척	6.10	11.770	4.72	44.12	3.75	4.59	43.72	3.71

반월의 경우 첨두 홍수량은 실측치가 0.529m³/s인데 비해 Complex hydrograph는 1.78m³/s, FAS가 1.47m³/s로서 FAS의 상대오차가 2.77로 Complex hydrograph보다 실측치에 접근하며, 첨두유량 발생시간은 실측치가 5.40hr인데 비해 Complex hydrograph 5.19hr, FAS가 4.63hr으로 오히려 Complex hydrograph가 미미한 차이로 더 접근한다.

도척의 경우도 마찬가지로 첨두 홍수량은 실측치가 11.77m³/s인데 비해 Complex hydrograph는 44.12m³/s, FAS가 43.72m³/s로서 상대오차가 Complex hydrograph 3.75, FAS 3.71로 나타나므로 반월유역과 마찬가지로 FAS가 실측치에 더 접근하지만 두 방법간의 차는 미미하다. 첨두유량 발생시간은 실측치가 6.10hr, Complex hydrograph 4.72hr, FAS가 4.59hr로 나타나므로 Complex hydrograph가 조금 더 접근한다.

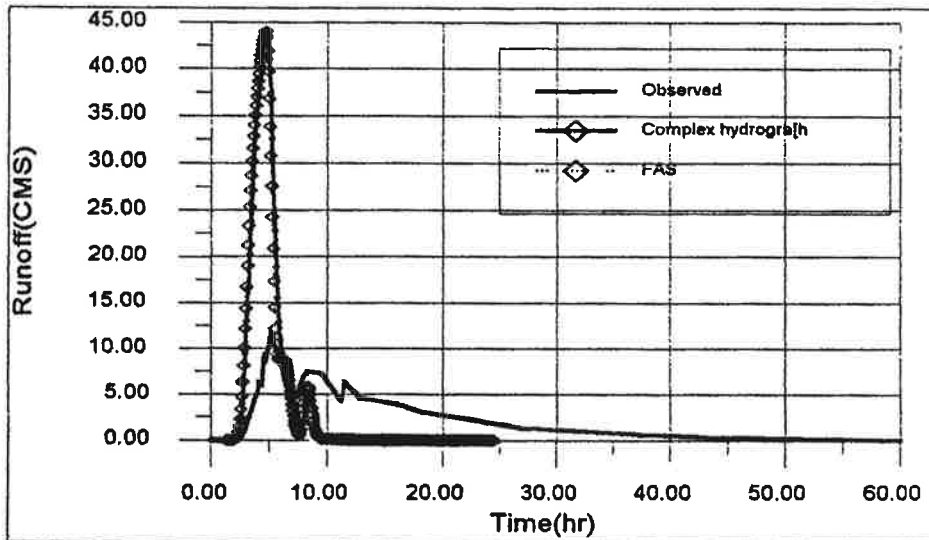
<그림 6-5>과 <그림 6-6>은 반월, 도척유역의 실측자료와 Complex

hydrograph방법과 FAS로 산정한 결과와 비교한 홍수수문곡선이다. <그림 6-5>는 반월유역의 홍수수문곡선을 비교한 것으로서 FAS와 Complex Hydrograph는 상당히 접근하는데 비해 실측치와는 큰 차이를 보인다. 이것은 실측자료의 신빙성에 문제가 있거나 또는 유달시간이나 유출곡선지수의 추정 문제로 사료되며, “마”항에서는 이들 자료를 보정한 후 수문곡선을 비교, 고찰하였다.



<그림 6-5> 반월유역의 홍수수문곡선 비교

<그림 6-6>은 도척유역의 홍수수문곡선을 비교하고 있다. 이 유역 또한 반월유역과 마찬가지로 계산치가 실측치와 큰 차이를 보이고 있는데 이 또한 실측자료와 유달시간 및 유출곡선지수 추정에 신빙성이 문제가 되는 것으로 보이므로 “마”항에서 이들 자료를 보정하여 수문곡선을 비교, 고찰하였다.



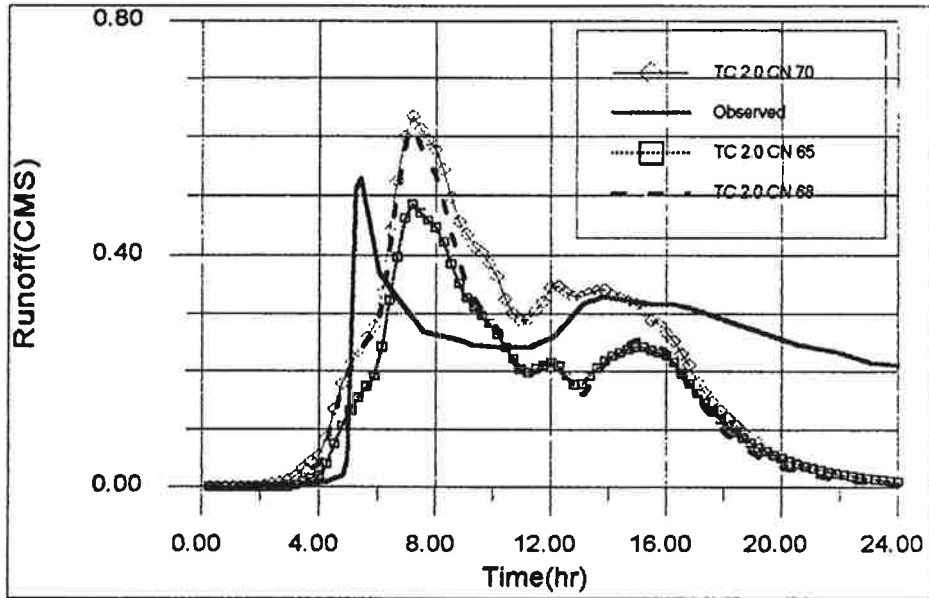
〈그림 6-6〉 도척구역의 홍수수문곡선 비교

마. 모형의 보정 및 적용성 고찰

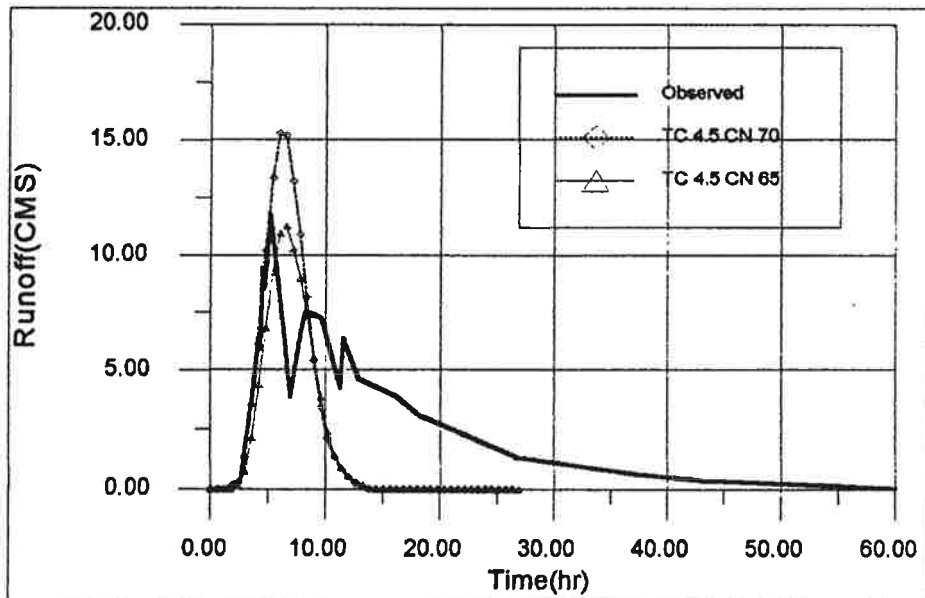
앞에서 살펴본 바와 같이 반월과 도척구역의 실측 홍수량은 FAS에 의한 계산치와 큰 차이를 보였다. 따라서 TC와 CN을 매개변수로 모형의 보정을 수행하고 그 적용성을 고찰하였다.

반월구역의 경우는 TC를 1.5hr에서 2.0hr로, CN값을 88에서 70, 68, 65로, 도척구역의 경우는 TC를 0.9hr에서 4.5hr로, CN값을 82에서 70, 65로 보정하여 산정된 홍수량과 실측치를 비교한 결과는 〈그림 6-7〉, 〈그림 6-8〉과 같다.

〈그림 6-7〉은 반월구역의 수문곡선을 비교한 것으로서 CN값이 65이고 TC 2.0hr일 때가 계산치가 실측치에 가장 접근하며, 첨두유출량의 상대오차는 〈표 6-6〉에서 보는 바와 같이 0.92로 가장 작다. 유출율의 경우는 CN 값의 변화에 따라 큰 반응을 보이지 않는다. 이것은 곧 지금까지의 TC와 CN값의 추정 방법에 상당한 오류가 있었음을 의미하는 것으로 풀이된다.



<그림 6-7> 보정 홍수수문곡선(반월)



<그림 6-8> 보정 홍수수문곡선(도척)

<그림 6-8>은 도척유역의 수문곡선을 비교한 것으로서 이 유역 또한 CN 값이 65이고 TC가 4.5hr일 때가 실측치와 계산치가 가장 접근하며 첨두유출량의 상대 오차도 <표 6-6>에서 보는 바와 같이 0.96으로 가장 적다. 유출율의 경우는 29.3%에서 36.9%로 상당한 변화를 보인다.

<표 6-6> 반월, 도척 유역의 FAS 보정 결과

구분	FAS			
	Tp(hr)	Qp(m ³ /s)	상대 오차	유출율(%)
반월 TC 2.0, CN 70	7.20	0.634	1.20	36.1
반월 TC 2.0, CN 68	7.20	0.614	1.16	35.8
반월 TC 2.0, CN 65	7.20	0.485	0.92	33.1
도척 TC 4.5, CN 70	5.38	15.28	1.30	36.9
도척 TC 4.5, CN 65	6.58	11.26	0.96	29.3

이상과 같이 두 유역에서 모형의 매개변수 TC와 CN값을 보정하여 FAS에 의한 계산치와 실측치를 비교한 결과 홍수수문곡선은 강우량의 크기에 따라 실측치와 계산치의 유출율이 크거나 작은 경우가 비슷한 횟수로 나타났다. 이는 소규모 유역의 홍수반응이 매우 민감하기 때문으로 풀이되며, 또한 실측자료의 기저시간이 계산치보다 비교적 길게 나타났는데 이것은 강우의 크기에 따라 논의 저류와 임야의 차단 등의 효과가 상대적으로 달라지기 때문이다. 그러므로 FAS에 의해 소규모 유역의 홍수량을 추정하기 위해서는 논유역의 크기와 임야의 조성상태 등을 고려하여 논유역의 비율이 30%미만인 경우, TC는 계산치의 4~5배, CN은 AMC II 조건으로 적용해야 하며, 논 유역비율이 30%이상일 경우, TC는 논의 지체시간을 고려하여 계산치에 0.5~1.5hr을 더하고 CN은 AMC II 조건으로 하여야 할 것으로 판단된다.

2. 중규모 유역

가. 유역 특성

새만금지구 신태인 지점의 유역면적은 21,800ha이며, 홍수 유출은 동진강을 따라 보림보, 낙양보를 거쳐 신태인으로 유하한다. <표 6-7>과 <표 6-8>에서 보는 바와 같이 상류 보림보지점의 유역면적은 9,985ha, 임야의 비율이 76.8%로 산악지대로 구분되고, 낙양보지점의 유역면적은 7,365ha, 경지 비율이 54.4%로 완경사 유역이며, 신태인지점의 유역면적은 4,450ha, 경지 비율이 44.1%로 낙양보지점과 마찬가지로 완경사 유역이다. 신태인지점 전체의 논유역 구성비는 25.3%이고, 산지는 55.3%로 논 유역의 비율이 높은 편에 속한다. 유로장은 27.5km이며 유역형상계수는 0.28로 유역면적에 비해 유로장이 긴 편이다.

<표 6-7> 소유역별 토지이용상황(신태인)

(단위 : ha)

구 분	전체	임야	밭	논	대지	유지
보 립	9,985	7,677	277	1,491	467	73
낙 양	7,365	2,363	1,252	2,757	795	198
신태인	4,450	2,039	707	1,257	367	80
신태인전체	21,800	12,079	2,236	5,505	1,629	351

<표 6-7>의 토지이용현황을 이용하여 SCS방법으로 산정한 신태인 지점의 CN III값은 89이며, 전체유역의 유달시간은 7.4hr로 산정되었다. (새만금지구 수문조사보고서, 1989, 농업진흥공사) 구분된 각 소유역의 유달시간과 산정지점간의 홍수유하시간은 <표 6-8>에서 보는 바와 같다.

<표 6-8> 소유역별 유달시간과 유역경사도(신태인)

구 분	유달시간(hr)	유역경사도	하천 경사
보 립	3.91	산악지대	-
보림-낙양	1.98	-	1/188
낙 양	1.95	완경사	-
낙양-신태인	1.45	-	1/580
신 태 인	1.92	완경사	-
신태인전체	7.40	완경사	1/500

나. 실측 강우-유출자료

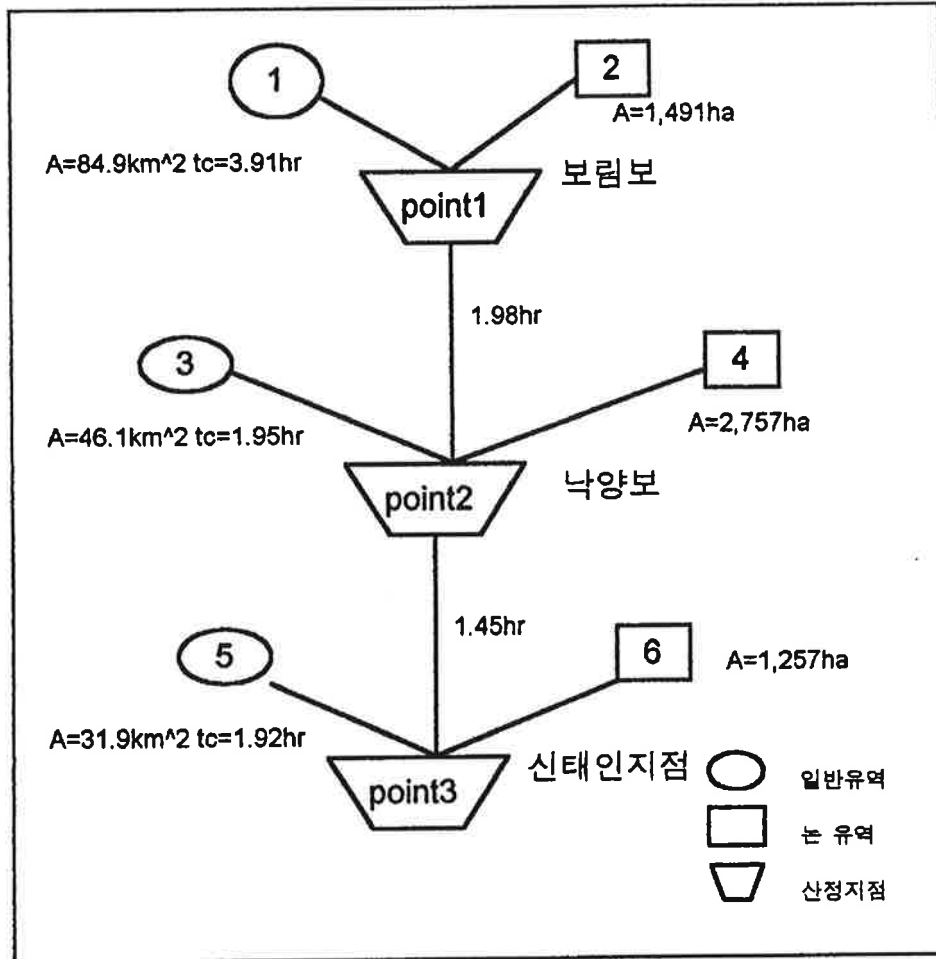
신태인 유역의 FAS 적용성을 검토하기 위한 실측 강우-유출 자료는 <표 6-9>에서 보는 바와 같이 '84.9.2일에 발생한 113.7mm의 강우를 대상으로 하였다.

<표 6-9> 실측 강우-유출자료(신태인)

구 분	강우량(mm)	AMC조건	발생일자
신 태 인	113.70	III	'84. 9.2

다. 유역계획

<그림 6-9>와 같이 신태인 유역의 FAS 적용성을 검토하기 위하여 일반유역이 1,3,5번 3개, 논 유역이 2,4,6번 3개, 산정지점이 point1, point2, point3번 3개로 유역을 구분하였다. 상기 유역특성에서 언급한 바와 같이 홍수 유출량은 신태인 유역의 주하천인 동진강을 따라 point1의 보림보, point2의 낙양보를 걸쳐 point3의 신태인 지점으로 유하한다. 1번 유역의 유역면적은 84.9km², 2번 유역은 14.91km²이며, 이들 유출량은 보림보의 point1로 합성되고 합성된 홍수량은 1.98hr 지체되어 3번(46.1km²), 4번(27.57km²)에서 산정된 홍수량과 낙양보의 point2에서 합성된다. point2의 홍수량은 1.45hr 지체되어 5번(31.9km²), 6번(12.57km²)과 함께 point3에서 합성되도록 유역을 계획하였다.



<그림 6-9> 신태인지점의 유역계획

라. 실측 수문곡선과 비교

신태인 유역의 실측자료와 Complex hydrograph, FAS로 산정한 유출량을 비교하였다. 그 결과를 요약하면 <표 6-10>에서 보는 바와 같다.

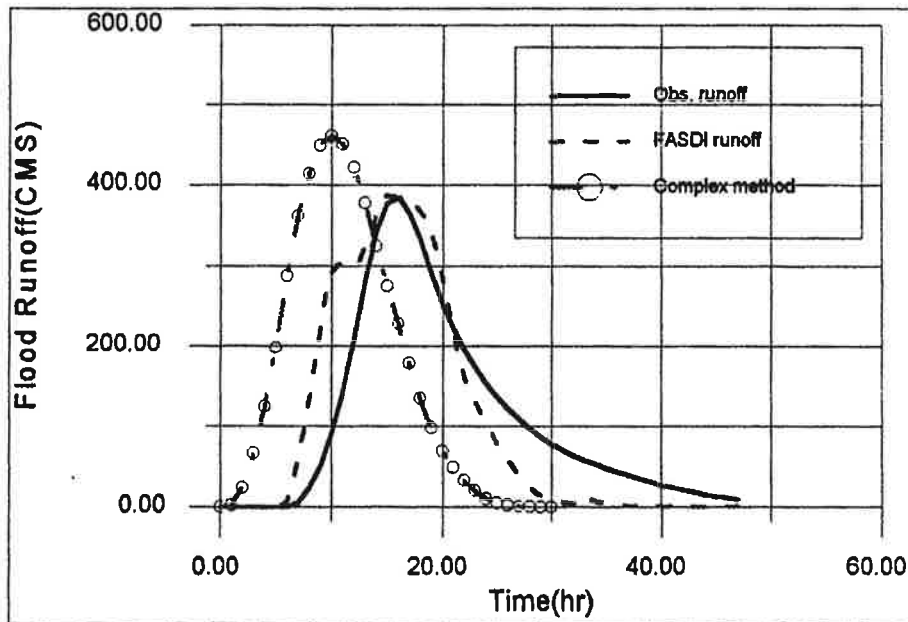
신태인의 첨두 홍수량은 실측치가 $377.6\text{m}^3/\text{s}$, Complex hydrograph는 $461.53\text{m}^3/\text{s}$, FAS가 $387.46\text{m}^3/\text{s}$ 로서 FAS의 상대오차가 1.03으로 실측치와 일치하는 반면 Complex hydrograph는 1.22로 실측치와 차이를 나타낸다. 첨두유량 발생시간은 실측치가 15.0hr인데 비해 Complex hydrograph 10.5hr, FAS가 15.0hr으로

FAS가 실측치와 가장 일치하고 있다.

<표 6-10> 신태인지점 홍수량 산정결과 요약

구분	실측자료		Complex Hydrograph			FAS		
	Tp(hr)	Qp(m ³ /s)	Tp(hr)	Qp(m ³ /s)	상대 오차	Tp(hr)	Qp(m ³ /s)	상대 오차
신태인	15.0	377.60	10.5	461.53	1.22	15.0	387.46	1.03

<그림 6-10>은 신태인유역의 실측자료와 Complex hydrograph방법, FAS로 산정한 결과와 비교한 홍수수문곡선이다. FAS 계산치는 실측치와 일치하는 반면, Complex hydrograph방법으로 계산한 결과치는 실측치에 비해 과대하게 홍수량이 산정되었다. 이것은 Complex hydrograph방법이 논과 일반유역을 구분하지 않고 일괄적인 계산을 하기 때문에 논이 유출특성을 전혀 고려하지 못하고, 실측치에 비해 첨두유출량 발생시간이 빠르고 첨두유출량도 과대하게 산정된 것으로 풀이되며, FAS는 논이 저류효과를 고려하므로 정확한 홍수량을 산정할 수 있었던 것으로 판단된다.



〈그림 6-10〉 신태인 지점의 홍수수문곡선 비교

3. 대규모 유역

가. 유역 특성

대천 지점의 유역면적은 80,915ha이며, 홍수 유출은 경천, 대아담을 시작으로 만경강을 따라 유하한다. 어우보지점을 경유하여 소양천과 전주천이 합류되면서 대천지점으로 유하한다. <표 6-11>과 <표 6-12>에서 보는 바와 같이 상류 대아지점의 유역면적은 10,770ha, 임야의 비율이 88.6%로 전형적인 산지 유역이고, 또한 경천지점도 유역면적 10,390ha, 임야의 비율이 80.7%로 산지 유역이며, 어우보지점의 경우 유역면적 9,660ha, 논 유역 1,640ha, 소양천지점의 경우 유역면적 15,300ha, 논 유역 2,268ha, 전주천지점의 경우 유역면적 28,385ha, 논 유역 4,535ha로 만경강 하류로 갈수록 논유역 면적이 증가하게 된다. 특히 유역 하류 부인 비봉과 대천은 논 유역 비율이 각각 21.0%, 72.5%로 평야부로 구분된다. 유로장은 44.65km이며 유역형상계수는 0.42로 신태인유역에 비해 유역 폭이 크다.

대천유역 전체 논유역 구성비는 15.6%, 산지 71.1%로 중규모 유역인 신태인 지점에 비해 산지가 많고 논유역이 적다. 상류부는 거의 산지이고 하류부에 평야부가 발달된 낮은 지형이다.

<표 6-11> 소유역별 토지이용상황(대천)

구분	전체	임야	밭	논	대지	유지
대아	10,770	9,547	349	386	154	334
경천	10,390	8,395	201	1,265	211	318
어우	9,660	7,037	270	1,640	441	272
소양	15,300	10,964	788	2,268	785	315
전주	28,385	18,811	1,069	4,535	3,244	726
비봉	4,345	2,779	230	915	208	213
대천	2,065	13	11	1,492	267	282
대천 전체	80,915	57,546	2,918	12,681	5,310	2,460

<표 6-11>의 토지이용현황을 이용하여 SCS방법으로 산정한 대천 지점의 CNIII 값은 89이며, 전체유역의 유달시간은 16.0hr로 산정되었다. (새만금지구 수문조사 보고서, 1989, 농업진흥공사) 구분된 소유역의 유달시간과 산정지점간의 홍수유하시간은 <표 6-12>에서 보는 바와 같다.

<표 6-12> 소유역별 유달시간과 유역경사도(대천)

구 분	유달시간(hr)	유역경사도	하천 경사
경 천	4.10	산악지대	-
어 우	1.95	산악지대	-
어우-소양	4.00	-	1/325
비 봉	1.10	낮은 구릉지	-
소 양	3.15	완경사	-
소양-대천	3.90	-	1/872
전 주	4.10	완경사	-
대 천	0.95	낮은 구릉지	-
대천 전체	19.00	완경사	1/650

나. 실측 강우-유출자료

대천 유역의 FAS 적용성을 검토하기 위하여 실측 강우-유출 자료는 <표 6-13>에 서 보는 바와 같이 '85.7.7일에 발생한 105.2mm의 강우를 대상으로 선정하였다.

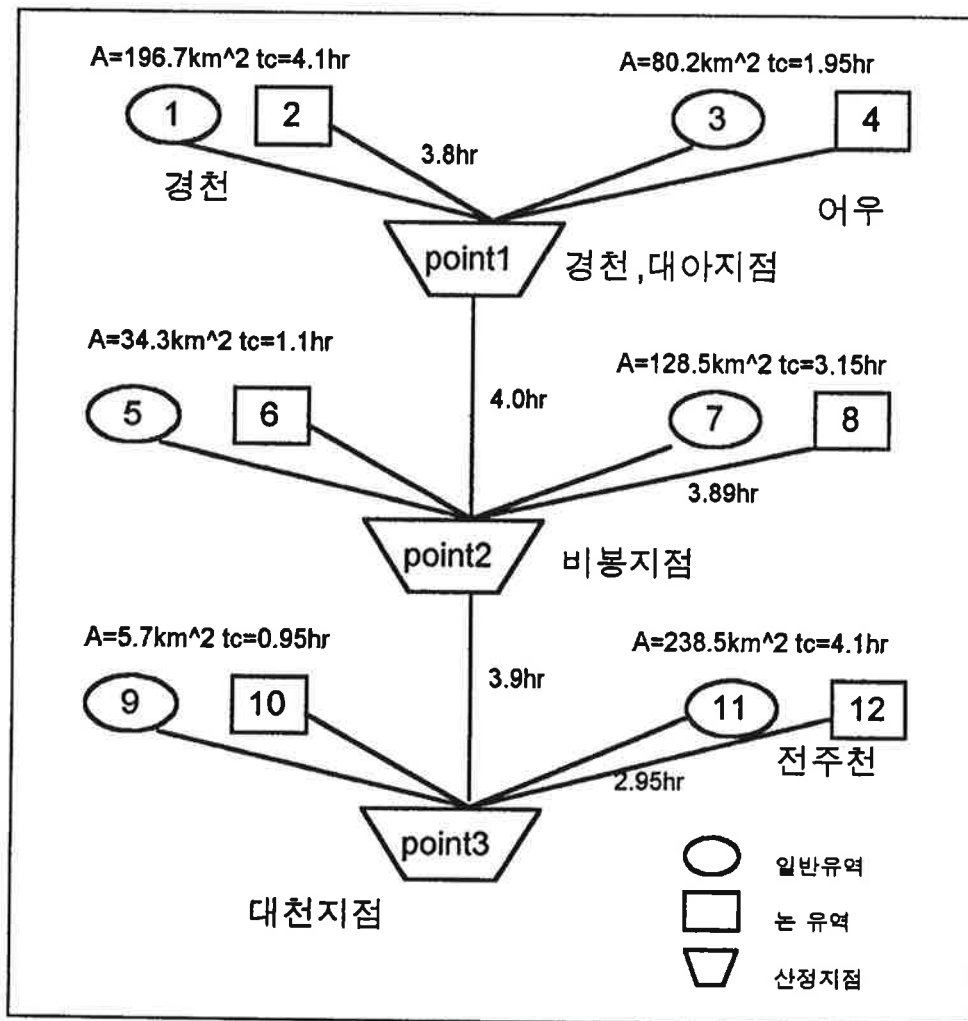
<표 6-13> 실측 강우-유출자료(대천)

구 분	강우량(mm)	AMC조건	발생일자
대 천	105.20	III	'85. 7.7

다. 유역 계획

<그림 6-11>과 같이 대규모 유역의 FAS 적용성을 검토하기 위하여 일반유역 1, 3, 5, 7, 9, 11번 6개, 논 유역 2, 4, 6, 8, 10, 12번 6개, 산정지점 point1, point2, point3번 3개로 유역을 구분하였다. 상기 유역특성에서 언급한 바와 같 이 홍수 유출량은 경천, 대아댐을 시작으로 대천 유역의 주하천인 만경강을 따라 어우, 비봉지점을 걸쳐 대천 지점으로 유하한다. 경천·대아의 point1지점은 경 천과 대아유역의 홍수유출량이 합성되어 4.0hr 동안 지체되면서 비봉의 point2지

점으로 홍수가 유하된다. 비봉의 point2지점에서는 비봉유역과 소양천 유역의 홍수유출량이 상류에서 유하된 경천·대아지점의 홍수와 합성되고, 합성된 홍수는 3.9hr 동안 지체되면서 대천의 point3지점으로 유하된다. 대천지점에서는 전주천과 대천 소유역의 홍수유출량이 상류인 비봉지점의 홍수와 합성된다.



<그림 6-11> 대천지점의 유역계획

라. 실측 홍수수문곡선과 비교

대천 유역의 실측자료와 Complex hydrograph, FAS로 산정한 유출량을 비교하

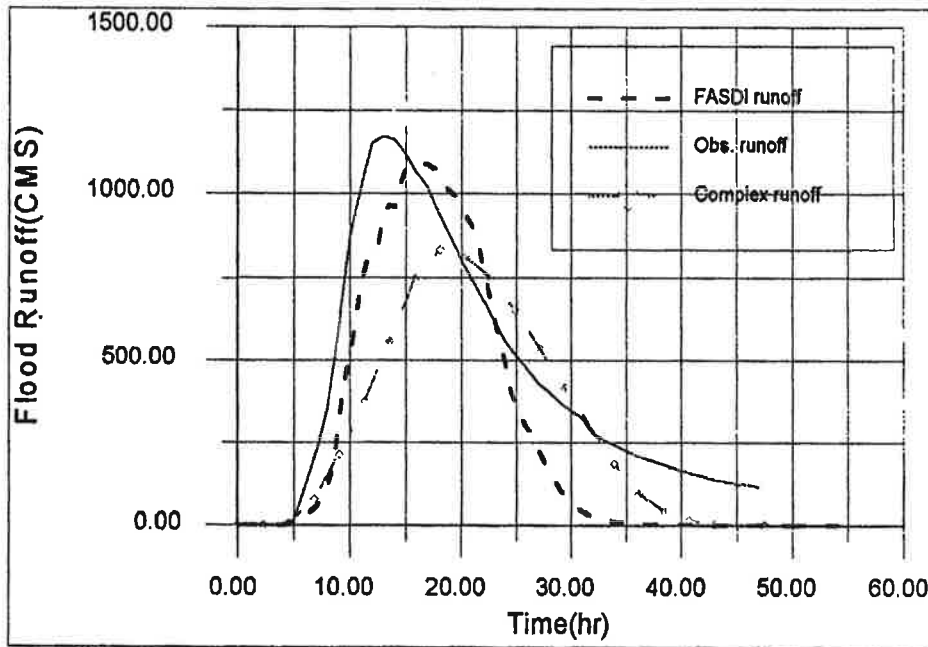
였다. 그 결과를 요약하면 <표 6-14>에서 보는 바와 같다.

대천의 철두 홍수량은 실측치가 1168.1m³/s, Complex hydrograph는 830.88m³/s, FAS가 1087.3m³/s로서 FAS의 상대오차가 0.93으로 실측치와 잘 일치하는 반면 Complex hydrograph는 0.73으로 실측치와 차이를 나타낸다. 철두유량 발생시간은 실측치가 13.0hr인데 비해 Complex hydrograph 18.1hr, FAS가 16.5hr으로 FAS가 실측치와 거의 일치하고 있다.

<표 6-14> 대천지점 홍수량 산정결과 요약

구분	실측자료		Complex Hydrograph			FAS		
	Tp(hr)	Qp(m ³ /s)	Tp(hr)	Qp(m ³ /s)	상대 오차	Tp(hr)	Qp(m ³ /s)	상대 오차
실태인	13.0	1168.1	18.1	830.88	0.73	16.5	1087.3	0.93

<그림 6-12>는 대천유역의 실측자료와 Complex hydrograph방법, FAS로 산정한 결과와 비교한 홍수수문곡선이다. FAS 계산치는 실측치와 일치하는 반면, Complex hydrograph방법으로 계산한 결과치는 실측치에 비해 과소하게 홍수량이 산정되었다. 이것은 기존의 홍수분석 방법인 Complex hydrograph가 단일유역 개념으로 논과 일반유역을 구분하지 않고 획일적으로 홍수를 산정하는 반면 FAS는 논과 일반유역을 구분하고, 유역 경사도를 5가지로 구분하여 적용함으로써 대천유역의 특성을 잘 표현할 수 있었던 것으로 풀이된다.



<그림 6-12> 대천 지점의 홍수수문곡선 비교

제2절 계획지구와 비교

경상남도 창원군 신당지구 배수개선사업기본조사보고서(1994.12)의 수문조사 편의 홍수량과 FAS의 홍수량 산정 결과를 비교 고찰하였다.

1. 유역특성

본 유역은 낙동강의 제1지류인 토평천 상류지점에 위치하며 홍수시 낙동강 수위의 영향을 받는 곳이다. 총 유역면적은 1,950ha로 이 중 논면적 470.5ha, 산지 870ha, 밭 392.9ha, 기타 187ha로 산지와 경지의 면적이 차지하는 비율이 비슷한 유역이다.

경지중 하류부는 하성 평탄지로 침수피해가 발생하고 있으며, 상류부는 곡간 선상지 지형이다. 토양배수는 약간 불량한 편이며 산지의 임상은 보통이고 경지 중 393ha가 전작지대이므로 유출률이 높은 편이다.

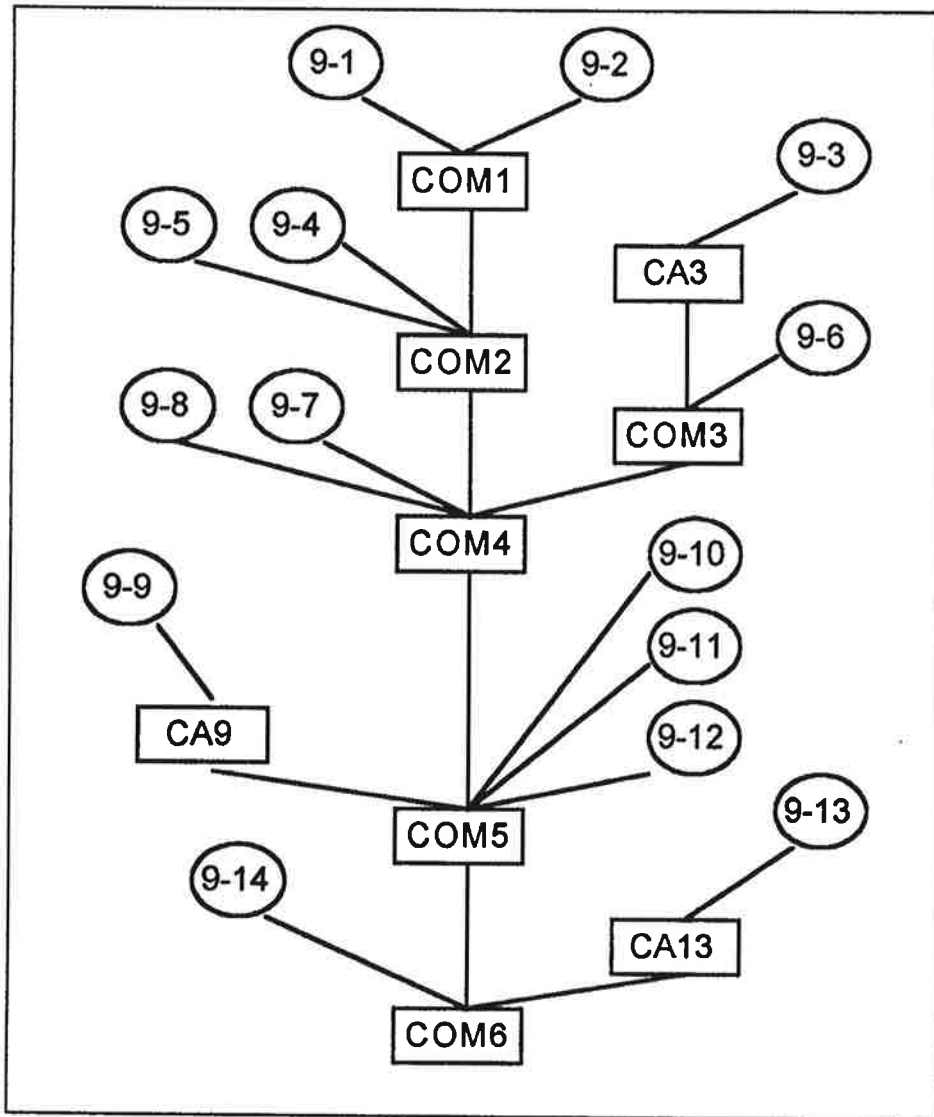
2. 강우자료

배수개선사업 기본조사보고서에서 홍수량 산정시 설계강우는 20년 2일빈도를 채택하였으며 관할 측후소는 건교부 관할 창녕 관측소이다. Gumbel법으로 확률빈도 처리한 강우량은 252.66mm이며 시간별 강우는 "한국의 강우분석결과 및 등우곡선과 그 이용(1978, 농업진흥공사)의 대구측후소의 강우분포율을 이용하였다.

FAS에서는 보고서와 같이 20년 2일빈도의 설계강우량은 창녕 252.66mm를 선정하고 시간별 강우는 기상청 관할 대구측후소의 IDF곡선에서 추출한 강우분포를 이용하였다.

3. 유역계획

기본조사보고서에서는 <그림 6-13>과 같이 대상유역을 14개의 소유역과 8개의 산정지점으로 구분하였다. 그러나 FAS 적용에서는 <그림 6-11>의 Com4를 첫 번째 산정지점(point1)으로, 소유역 9-1번에서 9-8번까지를 하나의 유역군으로 묶어 논(2번)과 일반유역(1번)으로 구분하고, Com5를 두 번째 산정지점(point2)으로, 9-9번에서 9-12번을 하나의 유역군으로 묶어 논(4번)과 일반유역(3번)으로 구분하였으며, Com6를 유역출구 지점인 point3로, 9-13과 9-14를 합쳐서 논(6번)과 일반유역(5번)으로 구분하였는데 이는 기본조사보고서에서 단순히 소유역을 작게 구분한 반면에 FAS에서는 논과 일반유역을 구분하고 집수단위로 소유역을 구분하였기 때문이다.



<그림 6-13> 신당지구 배수개선기본조사보고서의 유역계획

4. 홍수량 산정 및 소유역별 홍수량 합성

본 적용에서는 신당지구의 설계홍수량을 두가지 경우로 산정해 보았다. Case1은 유역을 구분하지 않고 HEC-1모형을 사용하여 신당지구의 홍수량을 산정한 것과 FAS에서 신당지구를 논(2번)과 일반유역(1번)으로 구분하여 홍수를 산정지점

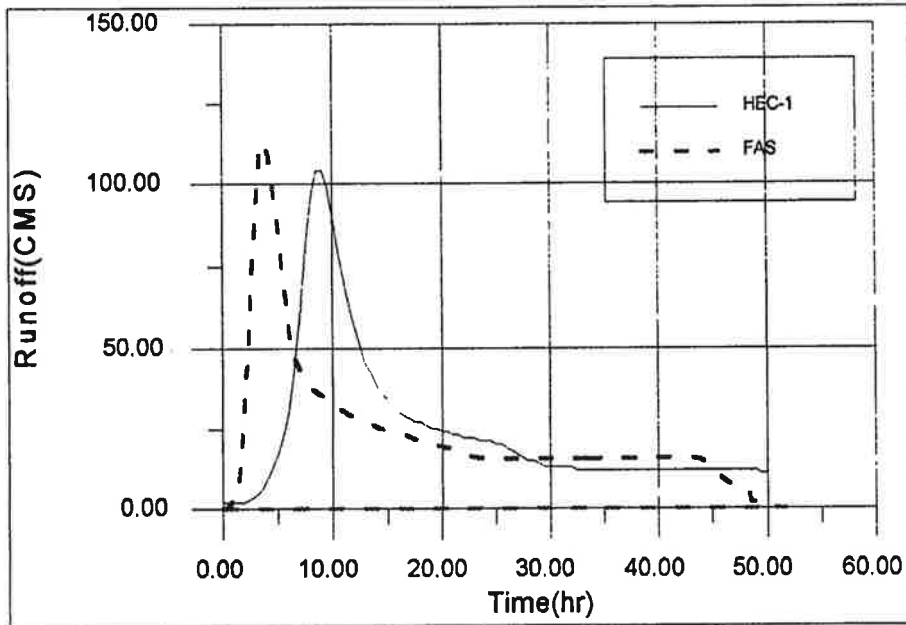
(101번)에서 합성한 것을 비교하고, Case2는 신당지구 배수개선기본조사보고서와 마찬가지로 HEC-1모형에 <그림 6-13>의 유역계획을 적용하여 홍수량을 산정한 것과 FAS를 사용하여 유역계획에서 설명한 바와 같이 신당지구를 소유역 6개(1, 2, 3, 4, 5, 6번), 산정지점 3개(101번, 102번, 103번)로 구분하고, 각 논과 일반유역의 홍수량을 산정하여 합성한 결과를 비교하였다.

5. 홍수유출량 비교

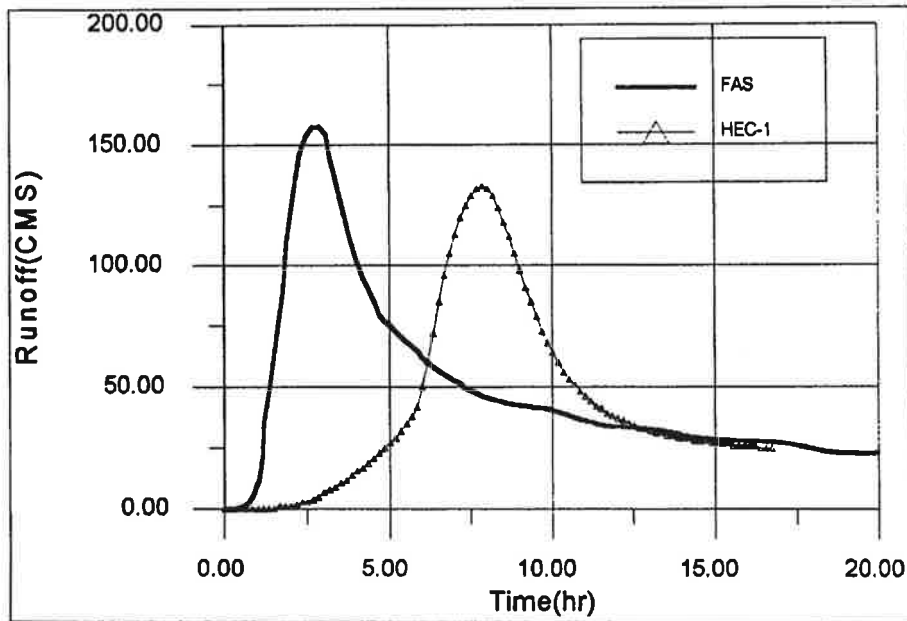
홍수량 산정 결과는 다음 <표 6-12>와 같다. 전반적인 첨두유출량은 FAS가 크게 나타났으며, 첨두 발생시간은 HEC-1이 대체로 길게 나타났다. Case1의 경우, 첨두유출량은 FAS가 $112.77\text{m}^3/\text{s}$, HEC-1 모형이 $104.11\text{m}^3/\text{s}$ 로 FAS가 HEC-1에 비해 $8.66\text{m}^3/\text{s}$ 이 크게 산정되었고, 첨두시간은 FAS가 3.7hr, HEC-1이 9.0hr로 HEC-1이 더 길다. Case2의 경우 FAS의 첨두유출량은 $157.76\text{m}^3/\text{s}$, HEC-1모형이 $132.93\text{m}^3/\text{s}$ 로 FAS가 $24.83\text{m}^3/\text{s}$ 이 크게 산정되었으며 첨두시간의 경우는 FAS가 2.88hr, HEC-1이 7.83hr으로 역시 길다. FAS 적용절차 및 결과는 부록에 자세히 정리하였다.

<표 6-12> 신당지구 홍수량 산정결과 비교

구분	지점명	FAS		HEC-1	
		Tp(hr)	Qp(CMS)	Tp(hr)	Qp(CMS)
Case1	유역출구(103번)	3.70	112.77	9.00	104.11
Case2	산정지점(101번)	2.52	50.74	7.17	59.02
	산정지점(102번)	3.08	132.11	7.50	111.78
	유역출구(103번)	2.88	157.76	7.83	132.93



<그림 6-14> 신당지구 홍수수문곡선 비교(Case1)



<그림 6-15> 신당지구 홍수수문곡선 비교(Case2)

<그림 6-14>와 <그림 6-15>는 유역구분 유무에 따라 HEC-1모형과 FAS와의 홍수수문곡선을 비교한 것이다. Case1의 <그림 6-14>에서 HEC-1모형과 FAS의 홍수수문곡선은 매우 유사함을 알 수 있다. Case2의 <그림 6-15>에서는 Case1과 비교할 때 보다 첨두유출량의 차이가 크게 나타났으며 전체적인 수문곡선의 형태도 상이하다.

이렇게 볼 때 FAS가 HEC-1보다 시설물 설계규모 결정에 더 안정적이라 할 수 있다. 이것은 FAS가 논과 일반유역을 분리하여 논에 저류효과를 고려한 홍수량 산정을 하였는데도 첨두유출량이 크고 첨두시간이 빠르게 나타났고, HEC-1은 논에 저류를 고려하지 않았음에도 첨두유출량이 작고 첨두시간이 늦게 나타났기 때문이다.

제3절 적용성 고찰

FAS의 적용성을 검증하기 위해 대·중·소규모 유역을 선정해서 홍수유출량을 산정하고 실측자료와 비교를 통해 다음과 같이 기존의 홍수량 산정방법의 문제점을 확인하고 FAS의 적용성을 증명하였다.

가. 소규모 유역은 유역의 수문반응이 매우 민감하여 기존의 홍수량 산정방법으로 정확한 홍수유출량을 추정하기 어렵다. 이것은 유역내 논유역이 차지하는 비율에 따라 유출양상이 크게 달라지기 때문에 기존의 홍수량 산정 방법은 논유역의 유출특성을 고려할 수 없으며, FAS는 논 비율에 따라 유달시간과 유출곡선 지수를 선정하여 논의 유출특성을 정확히 고려할 수 있다.

나. FAS에 의해 소규모 유역의 홍수량을 추정하기 위해서는 논유역의 비율이 30%미만인 경우, TC는 계산치의 4~5배, CN은 AMC II 조건으로 적용해야 하며, 논유역비율이 30%이상일 경우, TC는 논의 지체시간을 고려하여 계산치에 0.5~1.5hr을 더하고 CN은 AMC II 조건으로 하여야 할 것으로 판단된다.

다. 중규모 유역에서 FAS 계산치는 실측치와 매우 잘 일치하는 반면, 기존의 Complex hydrograph 방법으로 계산한 결과치는 실측치에 비해 과대하게 홍수량이 산정되었다. 이것은 Complex hydrograph 방법이 논과 일반유역을 구분하지 않고 일괄적인 계산을 하기 때문에 논유역의 유출특성을 전혀 고려하지 못하고, 실측치에 비해 첨두유출량 발생시간이 빠르고 첨두유출량도 과대하게 산정된 것으로 풀이되며, FAS는 논유역의 저류효과를 고려하므로 정확한 홍수량을 산정할 수 있었던 것으로 판단된다.

라. 대규모 유역의 경우는 FAS 계산치가 실측치와 일치하는 반면, Complex hydrograph 방법으로 계산한 결과치는 실측치에 비해 과소하게 홍수량이 산정되었

다. 이것은 기존의 홍수분석 방법인 Complex hydrograph가 단일유역 개념으로 논과 일반유역을 구분하지 않고 획일적으로 홍수를 산정하는 반면, FAS는 논과 일반유역을 구분하고, 유역 경사도를 5가지로 구분하여 적용함으로써 대규모 유역의 특성을 잘 표현하고 있는 것으로 풀이된다.

마. FAS를 이용하여 대·중·소규모 유역의 홍수유출량을 산정하므로써 기존의 홍수분석방법(Complex hydrograph method)의 문제점을 보완할 수 있었다. 특히 유달시간과 유출곡선지수의 산정방법을 정립하였고, 유역의 경사도와 논이 지체 효과를 고려한 홍수량을 산정하므로 배수개선사업의 안정적인 설계가 가능하리라 기대된다.

제7장 요약 및 결론

여 백

제7장 요약 및 결론

제1절 연구목적 및 내용

1. 연구목적

홍수분석시스템(FAS)은 배수시설물의 최적규모를 결정하는데 필요한 홍수량 분석을 합리적으로 수행할 수 있도록 함으로서 배수개선 사업의 효율성을 높이는 데 그 주목적이 있다. 따라서 홍수분석시스템은 첫째, 지구내 논에서의 유출특성이 고려되어야 하고 둘째, 설계홍수량 산정시 각종 변수 및 자료가 합리적으로 적용되어야 하며 셋째, 각종 수문분석이 일관성 있게 처리될 수 있어야 한다.

이러한 시스템을 구축하기 위해서 배수개선 사업의 수문분석 이론 및 절차를 확립하였고, 논 유출 특성을 고려한 논에서의 홍수량 산정 모형의 개발과 일반유역에 적용할 홍수량 산정 모형의 보완개발 그리고 입출력자료의 Data Base를 구축하였다.

2. 연구내용

배수개선 홍수분석시스템의 개발을 위한 연구는 총 3개년에 걸쳐 시행하였으며 각 시행 년도별 연구추진 계획 및 내용은 다음과 같다.

가.1차년도 (1994~1995)

(1) 연구계획

- 논유역 유출모형 개발을 위한 자료관측
- 논유역 유출 기본모형의 개발

(2) 연구내용

- 강우, 유량 측정시설의 설치 및 운영
- 논유역 유출자료 관측, 수집 및 분석
- 논유역 유출 기본모형의 개발

- 논유역 유출특성의 분석

나. 2차년도 (1995~1996)

(1) 연구계획

- 논유역 유출모형의 적용성 검토
- 일반유역 홍수량산정 모형의 보완개발

(2) 연구내용

- 유량측정시설의 추가 설치 및 운영, 관측
- 논 유역 유출모형의 보정 및 검증
- 논 유역 유출의 유효강우량 분석
- 일반유역 홍수량 산정모형 및 소유역별 합성모형의 개발

다. 3차년도 (1996~1997)

(1) 연구방향

- 논유역 유출 모형의 적용성 검토
- 일반유역 홍수량 산정모형의 적용성 검토
- 홍수분석 시스템 개발

(2) 연구내용

- 강우, 유량측정시설의 운영 및 관측
- 논 유역 유출모형 및 일반유역 홍수량 산정모형의 합성개발
- 사용자 편의 홍수분석 시스템 개발

제2절 기존홍수분석 방법의 문제점과 대책

현재 실무에서는 Complex Hydrograph Method와 National method에 의한 홍수 분석 방법이 널리 사용되고 있다. 그러나 이 방법은 이론적 및 그 적용상의 여러 가지 문제점을 가지고 있다. 또한 유출량계산 대상유역이 논지역일 경우는 과대,

과소한 홍수유출량을 계산하는 결과를 초래할 수 있다. 따라서 합리적인 홍수분석시스템을 구축하기 위하여 지금까지의 사용해온 홍수분석방법의 문제점과 개선책을 고찰하였다.

- 논유역의 유출해석 : 현재 배수개선사업시 사용중인 Complex Hydrograph법은 미국의 일반유역을 대상으로 개발되었으므로 우리나라 논유역의 유출량산정에의 적용은 부적합하다. 따라서 논유역의 홍수유출량 산정을 위해서는 논유출특성을 잘 표현할 수 있는 모형의 개발이 필요하다.

- 단위배수량 산정 : 배수개선사업의 단위배수량 계산은 합리식(National Method)을 가장 많이 사용하고 있다. 그러나 합리식은 자연현상을 간단히 표현하기 위하여 강우의 비균일성과 유역의 비선형성을 무시하므로 가능한 작은 유역(1.3~2.5 km²)에서만 사용해야 한다. 또한 그 결과를 적용함에 있어서도 배수지거에서의 침수를 허용하는 정도에 따라 논, 밭등의 구분에 의해 배수시간을 정하여 사용하고 있으므로 배수지거의 단면결정에만 적용하여야 한다.

- 유역구분 : 현재 실무에서 유역을 집수단위(소유역)으로 구분하지 않고 전체 유역을 하나 또는 임의로 조정한 몇 개의 소유역으로 구분하여 홍수량을 산정하므로 유역에 따라 홍수량이 과대/과소가 되는 모순이 있었다. 적절한 홍수량 산정을 위해서는 홍수유출 모형으로 분포형(Distributed Model)을 사용하던가 아니면 유역을 집수단위별 소유역으로 구분하여 홍수유출량을 산정한 후에 합성하는 총괄형(Lumped Model)을 사용해야 한다. 그러나 분포형을 사용할 경우는 유역 규모가 크면 매개변수가 많아져 모형의 경제성이 떨어지므로 사용에 제한이 따른다.

- 유효강우강도 : 설계홍수량 산정에 필요한 강우강도의 산정은 物部(Monobe)식과 Talbot식 및 Sherman식이 가장 많이 사용하고 있다. 그러나 이들 공식은 강우의 공간적 성향을 잘 표현하지 못하고 있다. 이를 해결하기 위해서는 우리나라 기상관측소의 실측자료를 이용하여 시간적, 공간적 분포를 고려할 수 있도록 연구된 한국건설기술연구원의 확률강우량도 및 서울대농업개발연구소의

강우분포율을 이용 하거나 또는 직접 실측자료를 분석하여 사용해야 한다.

- 수문곡선추정 : 홍수량의 시간별 변화를 나타내는 수문곡선의 추정은 Complex Hydrograph방법을 가장 많이 사용하고 있다. 그러나 이 방법은 본래의 개발의도와는 다르게 유효강우의 지속시간과 유역의 경사도를 충분히 고려하지 못하는 문제점을 가지고 있다. 따라서 유역의 특성을 고려하여 유역의 경사도를 5가지로 구분하고 유효강우의 지속시간을 유달시간의 함수가 되도록 개선되어야 한다.

또한 유역의 토지이용에 따른 유출곡선지수(CN : Runoff Curve Number) 및 유달시간을 일정한 기준이 없이 산정하여 적용함으로써 홍수량의 과대, 과소 현상이 발생하고 있는데, 자료의 Data Base화를 통하여 누구나 기준에 맞게 적용할 수 있도록 개선되어야 한다.

제3절 논에서의 강우-유출모형

논의 유출특성을 규명하고 논유역에서의 강우-유출모형을 개발하기 위하여 시험포장을 선정하고 관측시설을 설치하여 강우 및 유출자료를 수집분석하였으며, 또한 기본적인 논유역 유출모형을 개발하고 모형의 보정 및 검정을 통하여 모형의 논유역 유출해석의 적용성을 검토하였다. 홍수분석시스템에서 논유역 홍수유출량을 산정하기 위하여 상세모형과 광역모형으로 구분하여 개발하므로써 정밀한 유역의 유출상황을 위해 상세모형을, 일반적인 홍수량 산정을 위해서 광역모형을 이용한다.

1. 시험포장의 설치 운영 및 자료분석

가. 시험포장

- 시험포장의 선정 : 전북 진안군 마령면 평지리

- 측정시설의 설치 및 운영 : 우량계 1 및 웨어, 후름 각 1조, 수위계 4조
- 논 토양 및 수질 분석
- 논바다고 측량

나. 강우, 유량측정 및 자료분석

- 측정된 강우 및 수위자료 분석
- 유출량 분석 : 유효우량 분석

다. 논유역 유출특성 분석

- 논저류용적 :
- 유출률 :
- 유효우량과 유출곡선지수
- 배수물꼬와 논유출
 - 논웨어 유량공식 : $Q(m^3/s) = 0.8943(0.592+0.11H)(H+0.001)^{1.5}$ (H=m)
 - $Q(m^3/s) = 0.5317H^{1.4834}$ (H=m)을 사용
 - 파살후름유량공식 : $Q(m^3/s) = 1.056Ha^{1.538}$ (H=m)을 사용
- 논유역 지체시간 : 측정자료의 유출특성
- 배수로 조도계수 산정

2. 논유출모형의 개발 및 적용성 검토

- 논유출 기구의 이론적 검토
- 논유출 해석모형의 알고리즘 연구
- 단일필지 논유출모형의 개발
- 논유출 상세모형의 개발 및 적용
- 논유출 광역모형의 개발 및 적용
- SCS 방법의 적용 및 검토

제4절 일반유역의 홍수량 산정 모형

무계측 유역의 홍수량산정 방법인 SCS삼각단위도를 이용하여 배수개선 대상 지구의 일반유역에 적용하였다. 그러나 SCS삼각단위도법은 미국토양보전국에서 미국내 수백개의 크고 작은 유역에서 실측된 강우와 유출자료를 이용하여 유도된 것으로서 지금까지 국내에서는 이 방법을 사용함에 있어 그 본래의 개발의도와 다르게 적용되는 경우가 많았다.

이 방법의 이론적 근거를 고찰한 결과, 홍수량을 산정시 필요로 되는 유달시간과 유출곡선지수의 산정 방법을 정립하고 데이터베이스를 이용한 홍수분석 시스템에 구동되는 일반유역 유출모형을 개발하였다. 또한 유역의 특성을 고려하여 유역의 경사도를 5가지로 구분하고 유효강우의 지속시간을 유달시간의 함수가 되도록 모형을 보완 개발하는 성과를 얻었다.

제5절 홍수분석 시스템

배수개선홍수분석시스템은 논 유출특성을 고려한 홍수량을 산정하고 홍수 산정지점에서 홍수 합성/추적 과정이 일괄처리되며, 각 서브모듈의 자료는 데이터베이스로부터 공유하며 특히 기초수문자료는 기 구축된 데이터베이스를 이용토록 구축하였다.

- 시스템 기본구조 : 데이터베이스를 근간으로 하는 통합형 모델
- 개발환경
 - 사용 O/S : Windows95
 - 개발언어 : VisualBASIC, PowerFORTRAN
- 시스템 개발 : 두 개의 프로그램 언어를 이용하여 시스템을 개발하므로서 서로의 단점을 보완하였다. 전체 시스템의 관리는 VisualBASIC으로, 연산과정이 많은 유출모형은 PowerFORTRAN으로 구분하여 개발하였고 입력자료와 출력자료는 모두 데이터베이스로 저장하여 검색과 수정이 용이하다. 또한 강우자료와 유출곡선지수, 유달시간산정은 사용자의 편차를 감소하도록 데이터베이스를 구축하여 모형운영의 적용성을 극대화하였다.

- **논유출 모형** : 상세모형과 광역모형으로 구성되고 사용자의 선택에 따라 모형을 적용한다.
- **일반유역 유출모형** : SCS삼각단위도를 이용하여 유역의 지형적 특성을 고려할 수 있도록 보완 개발하였다.
- **홍수 추적/합성모형** : 소유역이나 산정지점의 유출량을 데이터베이스로 관리하고 홍수/추적과정과 합성프로시저를 VisualBasic으로 개발
- 개발 프로시저 내역
 - **유역계획** : 강우자료선정, 소유역과 산정지점간의 NetWork작성
 - **홍수량산정** : 논유출 상세모형, 논광역/일반유역 홍수량 산정모형
 - **홍수추적/합성** : Network에 따라 홍수량을 추적하여 합성
 - **출력** : 소유역이나 산정지점의 시간별 홍수량을 시트에 출력하거나 홍수 수문곡선으로 출력

제6절 FAS 적용

FAS의 적용성을 검증하기 위하여 대·중·소규모 유역의 홍수유출량을 산정하고 실측자료와 비교하였으며, 기존의 홍수량 산정방법의 문제점을 확인하고 FAS의 정확성을 증명하였다.

- 소규모 유역 : 소규모 유역내 논유역이 차지하는 비율에 따라 유출양상이 크게 달라지므로 논유역의 비율이 30%미만인 경우, TC는 계산치의 4~5배, CN은 AMCII조건으로 적용해야 하며, 논유역의 비율이 30%이상일 경우, TC는 논의 지체 시간을 고려하여 계산치에 0.5~1.5hr을 더하고 CN은 AMCII조건으로 하여야 할 것으로 판단된다.

- 중규모 유역 : 논유역의 비율이 높은 상태인 유역에서 홍수량 산정시 Complex hydrograph방법은 논과 일반유역을 구분하지 않고 일률적인 계산을 하기 때문에 실측치에 비해 침투시간이 빠르고 침투유출량도 과대하게 산정되었고, FAS는 논의 저류효과를 고려하므로 정확한 홍수량을 산정할 수 있었다.

- 대규모 유역 : 산지와 경지가 혼재되어 있는 유역의 홍수량 산정시 Complex hydrograph가 단일유역 개념으로 논과 일반유역을 구분하지 않고 획일적으로 홍수량을 산정하는 반면, FAS는 논과 일반유역을 구분하고, 유역 경사도를 5가지로 구분하여 적용함으로써 정확한 홍수량을 산정할 수 있다.

- FAS를 이용하여 대·중·소규모 유역의 홍수유출량을 산정하므로서 기존의 홍수분석방법(Complex hydrograph method)의 문제점을 보완할 수 있었다. 특히 유달시간과 유출곡선지수의 산정방법을 정립하였고, 유역의 경사도와 논이 지체 효과를 고려한 홍수량을 산정하므로 배수개선사업의 안정적인 설계가 가능하리라 기대된다.

참 고 문 헌

1. 농림수산부, 농어촌진흥공사(1991) 농업토목핸드북 : 264-266.
2. 농수산부(1983) 농지개량사업계획설계기준(경지정리), 1983.12.
3. 농수산부(1983) 농지개량사업계획설계기준(배수), 1983.12.
4. 농어촌진흥공사(1993) '92생산기반정비사업 조사설계종합보고서, 1993.2.
5. 박승우, 임상준, 서영제(1997) 논의 유출곡선번호 연구, '96분과위원회 연구 과업보고서, 한국수자원학회 학술 및 기술위원회. : 4-1~4-22.
6. 윤태훈(1991) 유효우량 산정을 위한 곡선번호방법의 적용성, 한국수문학회지, 24(2) : 97-108.
7. 한국수문학회(1995) 하천시설기준(조사편), 1995.2.
8. Abt, S.R, and K. J. Staker(1990) Rating Correction for lateral settlement of Parshall flume, ASCE, Jour.Irr.Drai., 116(6) : 797-803.
9. Blaisdell, F.W. (1994) Results of Parshall flume tests, ASCE, Jour.Irr.& Drai., 120(2) : 2780-291.
10. Bos, M.G. (1976) Discharge Measurement Structures, International Institute for Land Reclamation and Improvement/ILRI, Wageningen, Netherlands.
11. _____, J.A.Replogle, and A.J.Clemmens(1984) Flow Measuring Flumes for Open Channel Systems, John Wiley & Sons, New York.
12. Hjelmfelt, A.T. (1980) Empirical Investigation of curve number technique, ASCE, J.Hyd.Div., 106(9) : 1471-1476.
13. Hjelmfelt, A.T. (1991) Investigation of curve number procedure, ASCE, J.Hydr.Eng., 117(6) : 725-737.
14. Hoggan, D.H. (1989) Computer-Assisted Floodplain Hydrology and Hydraulics, McGraw-Hill Book, p.55

15. Jensen, M. E. (1983) Design and Operation of Farm Irrigation Systems, ASAE Monograph No. 3, ASAE : 235 - 277.
16. Rawls, W. J., C. A. Onstad, H. H. Richardson (1980) Residue and tillage effects on SCS runoff curve numbers, Trans. ASCE, 23(2) : 357-361.
17. Singh, V. P. (1988) Hydrologic Systems, Vol. 1 Rainfall-Runoff Modeling, Prentice-Hall.
18. Smedema, L. K., and D. W. Rycroft (1983) Land Drainage (Planning and Design of Agricultural rainage Systems), Batsford Academic and Educational Ltd London : 164-204.
19. USDI (1981) Water Measurement Manual, Denver, USDI, Bureau of Reclamation, Colorado.
20. Wright, S. J. (1991) Correction to Parshall flume calibrations at low discharges, ASCE, Jour. Irr. Drai., 117(5) : 800-804.
21. Wright, S. J., B. P. Tullis, and T. M. Long (1994) Recalibration of Parshall flume at low discharges, ASCE, Jour. Irr. Drai., 120(2) : 348-362.