

93 - 05 - 10

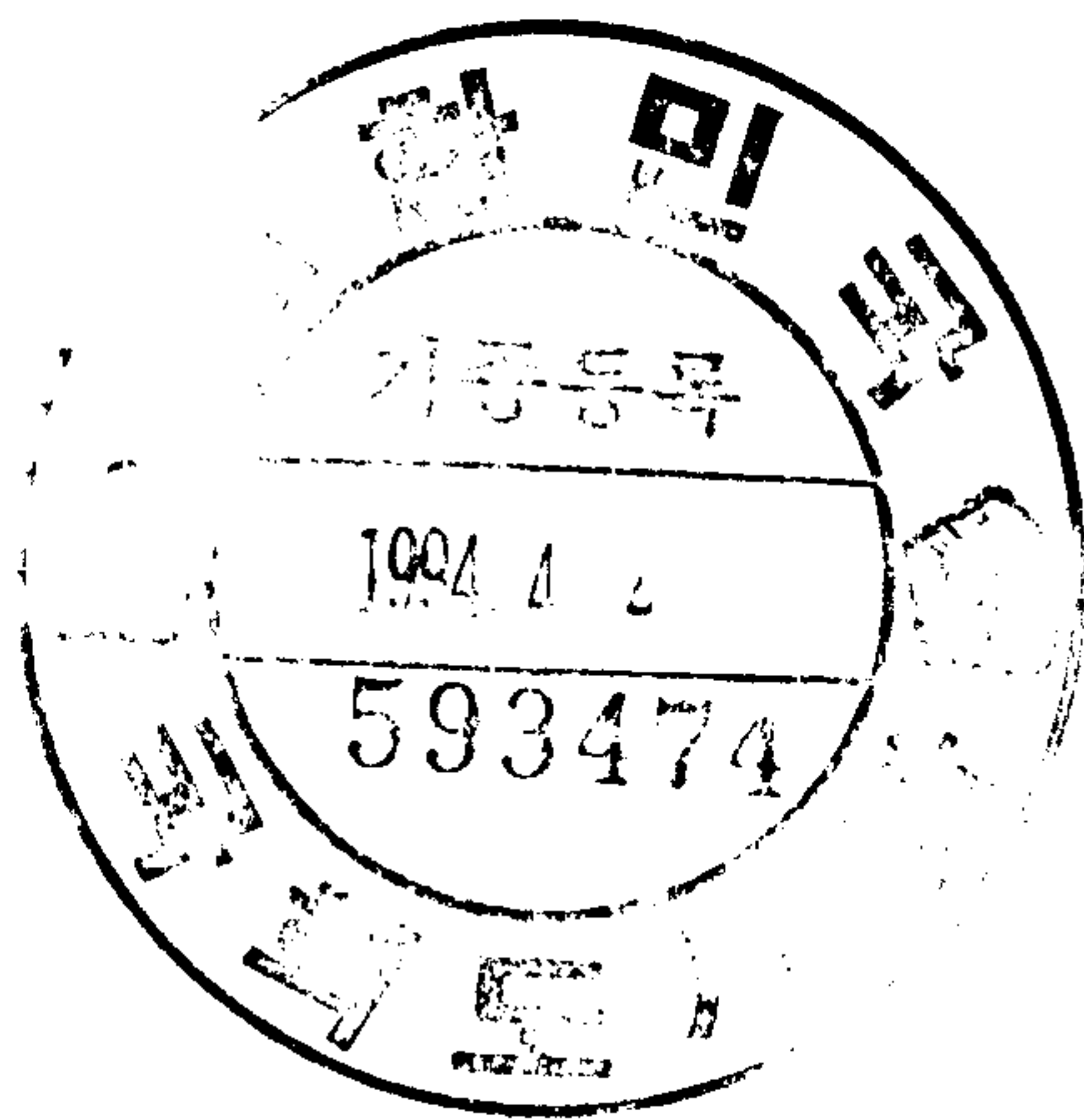
# 농업 수자원 종합 관리 시스템 개발

COMPREHENSIVE MANAGEMENT SYSTEM  
FOR AGRICULTURAL WATER RESOURCES

1993. 11

연 구 기 관  
충남대학교 농과대학  
농업 과학 연구소

농 립 수 산 부  
농 어 촌 진 흥 공 사



# 제 출 문

## 농어촌진흥공사 사장 귀하

이 연구 보고서를 “농업 수자원 종합 관리 시스템 개발” 사업의 제 4 차 년도 연구 결과로 제출합니다.

1993 년 11 월 30 일

연구 기관	·	충남대학교 농과대학	農業科學研究所
연구책임자	·	충남대학교 농과대학	金 泰 喆
연구 원		경북대학교 농과대학	徐 承 德
		충남대학교 농과대학	安 秉 基
		대전직할시 전문위원	盧 載 卿
연구보조원	:	충남대학교 농과대학	朴 承 基
		충남대학교 농과대학	金 承 泰
		충남대학교 농과대학	金 秉 圭
공동연구원	:	농어촌 진흥공사	鄭 炳 昊

## 요 약 문

1. 연구 과제명 : 농업 수자원 종합 관리 시스템 개발  
“저수지 물 수지 모형 (Ⅲ)”
2. 연구 기간 : 1993. 4. 29 ~ 1993. 11.30 (총 7 개월)
3. 연구의 필요성 및 목적

### 가. 필요성

#### 1) 貯水池 利水 管理 實用化 模型

우리 나라에서는 현재 저수 용량 결정 및 저수지 이수 관리를 위한 물 수지 분석은 梶山 공식 (1929) 에 의한 旬別 유입량과 Blaney-Criddle 식에 의한 증발산량 추정을 기초로 순별로 수행되고 있다. 그러나, 일반적으로는 관개의 경우, 생육기별 물 소비 형태를 고려하여 이앙기에는 일별로, 생육 관개기에는 5 일별로, 밭 관개의 경우, 조정지 용량 및 물 관리 계획 수립에는 일별로 물 수지 분석하는 것이 바람직하다. 저수 용량이 크지 않은 관개 저수지에서 순별 물 수지 분석은 갈수기에 저수지의 일별 저수위 거동과 수질 변화를 연속적으로 파악할 수 없기 때문에 효율적인 이수 관리가 곤란하다.

따라서, 다음 내용을 실용화할 수 있는 저수지 이수 관리 실용화 모형을 개발할 필요가 있다.

- 가) 저수지 일별 물 수지 분석
- 나) 저수량 고갈 빈도에 의한 저수 용량

- 다) 이수 관리 곡선에 의한 갈수기 제한 방류량
- 라) 관개 용수의 다목적 이용 및 타목적 전용
- 마) 하천의 이수 관리를 위한 유황 곡선 작성
- 바) 용수로의 단면 크기를 결정을 위한 단위 용수량
- 사) 토사 침전량과 분포 및 시설 저수지의 능력 평가

## 2) 貯水池 治水 管理 基本 模型

이제까지 하천이나 저수지에 실제 유입하는 홍수량을 예측하는데 가장 어려운 문제 가운데 하나가 홍수 직전의 유역 토양 수분 상태를 파악하는 것인데, 이 연구에서는 DAWAST 모형으로 부터 상부 불포화 토양층의 토양 수분 상태를 일별로 추적하므로써 보다 정확하게 홍수량을 추정할 수 있다.

우리 나라 59 개 수문 관측 지점의 유출 자료를 분석하여 우리 나라 유역에 적합한 새로운 Curve number 를 추정하는 방법을 제시하여, 확률 강우량으로 부터 SCS 방법에 의한 유효 우량을 추정하고, 설계 홍수량을 추정하는 設計 洪水量 基本 模型을 개발한다.

평상시에는 DAWAST 모형으로 부터 유역 토양 수분 변화를 개념적으로 추적하고, 호우시에는 시간별 유효 우량을 추정하는 홍수 예측 모형을 개발한다. 이 모형에 의하여 실시간 입수되는 단시간 강우와 하천 수위 자료를 입력하여 대상 하천 또는 저수지에서의 일정 시간 후에 발생 할 수 있는 홍수 유입량을 예측할 수 있는 實時間 洪水 豫測 基本 模型을 개발한다.

이 실시간 홍수량 예측 모형을 기초로 홍수시 저수위와 하류 하천 수위 변화를 입력하여, 저수지 상·하류 하천의 침수 피해를 최소화할 수 있는 貯水池 水門 操作 基本 模型을 개발한다.

## 나. 목적

관개 저수지의 이수와 치수 관리를 위한 물 수지 모형을 개발하여 농업 수자원을 효율적으로 계획, 설계 및 관리할 수 있는 기법을 개발하는데 목적이 있다.

### 1) 貯水池 利水 管理 實用化 模型

관개 저수지의 일별 물 수지 분석, 저수 용량 결정, 이수 관리 곡선에 의한 갈수기 제한 방류량, 관개 용수의 다목적 이용 및 타목적 전용, 하천 유황 곡선 작성, 단위 용수량 결정, 저수지 토사 침전량 추정과 저수지 능력 검토, 그리고 홍수 조절 용량 설정 등을 실용화할 수 있는 저수지 이수 관리 실용화 모형과 사용 지침서 (Manual) 를 작성한다. 이는 저수지 관리를 위한 저수량 예측, 갈수기 방류 계획, 적정 홍수 조절 용량, 관개 용수의 타목적 전용과 저수지 수질 관리 등 농업 수자원 종합 관리에 필수적인 모형이다. 저수지 준의 평형 저수량 관리 및 유역 변경에 의한 이수 계통의 광역화 방안도 연구한다.

### 2) 貯水池 治水 管理 基本 模型

DAWAST 모형의 최대 저류능 ( $U_{max}$ ) 으로 부터 우리 나라 유역에 적합한 새로운 Curve number 추정 방법을 제시하여 이로 부터 설계 홍수량을 추정하는 모형, DAWAST 모형으로 부터 개념적으로 추적한 상부 불포화 토양층의 유역 토양 수분 상태를 고려한 유효 우량 추정으로 실시간으로 홍수량을 예측하는 모형, 이 실시간 홍수 예측 모형을 기초로 저수지 상·하류 하천의 침수 피해를 최소화할 수 있는 저수지 수문 조작 모형 등 저수지 치수 관리 기본 모형을 연구 개발한다.



## 4. 연구 내용 결론

### 가. 貯水池 利水 管理 實用化 模型

관개 용수의 다목적이고 효율적인 이용을 위하여 舉動 분석 방법을 기본 구조로 관개 저수지의 이수 관리 실용화 모형인 IRRIMA (IRRIGATION Management) 모형을 개발하였다. 이 IRRIMA 모형에는 저수지 일별 물수지 분석, 신규 저수지의 새로운 저수 용량 결정 방법, 시설 저수지의 능력 평가 및 합리적인 이수 관리 방법, 적정 홍수 조절 용량 결정 방법, 저수지 균 평형 저수량 관리와 관개 용수의 다목적 이용 및 타목적 전용 방법 등을 제시하고 있다. 다음 관개 저수지의 이수 관리 내용을 실용화하였다.

1) 거동 분석 방법으로 저수량의 실제 일별 거동을 알 수 있는 저수지 일별 물수지 분석을 실시하였다.

2) 저수지 일별 물수지 분석을 위한 저수위 모의 발생에는 대상 지점에서 가까운 기상 관측소의 강우 자료를 사용하는 관행의 방법 보다는 다소 거리가 있더라도 대상 지점에서 가까운 Key station 의 비교적 장기간 강우 자료로 분석하였다.

3) 신설 저수지의 용량 결정에 저수위 변화를 모의 발생하여 저수량 고갈 횟수가 10년 빈도에 해당 될 때까지 반복하여 저수 용량을 試算하는 새로운 관개 저수 용량 결정 방법을 제시하였다. 이 방법은 관개 저수지를 홍수기에 홍수 조절 기능으로 운영하거나 비관개기에 생·공업 용수를 공급하는 등 다목적으로 이용하고자 할 때 보다 적합한 방법이다.

4) 관개 저수지에 홍수 조절 용량 설정이 이수 관리에 미치는 영향을 방류 제한 강도의 개념으로 객관적, 정량적으로 평가하여, 저수지의 이·치수 관리를 최적으로 할 수 있는 적정 홍수 조절 용량 방법을 제시하였다.

5) 관개 저수지의 방류 운영 실적을 분석하여 저수량의 관측치와 추정치를 비교하였으며 저수지의 유출률, 방류율, 저수율, 무효 방류율, 유효 방류율 등을 평가하였다.

6) 관개 저수지의 기준 저수량 곡선과 방류 제한 저수량 곡선을 구하여 생육 시기 별, 저수위 별, 용수 별로 방류 제한률을 찾으므로써 갈수기에 효율적인 방류량을 그날 그날 제시할 수 있는 이수 관리 곡선을 제시하였다.

7) 시설 저수지에 대하여 침전량과 분포를 추정하여 저수지 능력 평가를 실시하였다.

8) 하천의 이수 관리를 위한 유황 곡선 작성과 용수로의 단면 크기를 결정 위한 단위 용수량을 제시하였다.

9) 저수지 군의 평형 저수량 관리와 유역 변경에 의한 이수 계통의 광역화 방안에 대하여 연구하였다.

#### 나. 貯水池 治水 管理 基本 模型 設定

이수 관리를 위하여 개발한 일 유출 추정 DAWAST 모형으로 부터 대 상 유역의 상부 불포화 토양층의 토양 수분 변화를 시간별로 파악하여 관 개 저수지 치수 관리 기본 모형인 FLOCON (FLOod CONtrol) 모형을 설정하였다. 이 치수 관리 기본 모형은 설계 홍수량 추정, 실시간 홍수량 예측과 저수지 수문 조작 모형으로 구성되어 있으며, 설정된 기본 모형을 기초로 실용화 모형을 개발할 수 있을 것이다.

1) DAWAST 모형의 최대 잠재 저류능 ( $U_{max}$ ) 을 유역 특성을 고려하여 추정하므로써 우리 나라 유역에 적합한 Curve number 를 구하는 새로운 방법을 제시하였다.



2) SCS 의 유출수와 합리식의 유출 계수 C 와의 관계를 찾아 우리 나라 농업 지역의 소유역에서 수정 합리식에 의하여 간단하게 홍수 수문 곡선을 구할 수 있도록 하였다.

3) 대상 유역의 특성을 고려한 유출수와 확률 강우량으로 부터 보다 정확하게 유효 우량을 추정하므로써 SCS 방법에 의하여 설계 홍수량을 추정하는 설계 홍수량 기본 모형을 개발하였다.

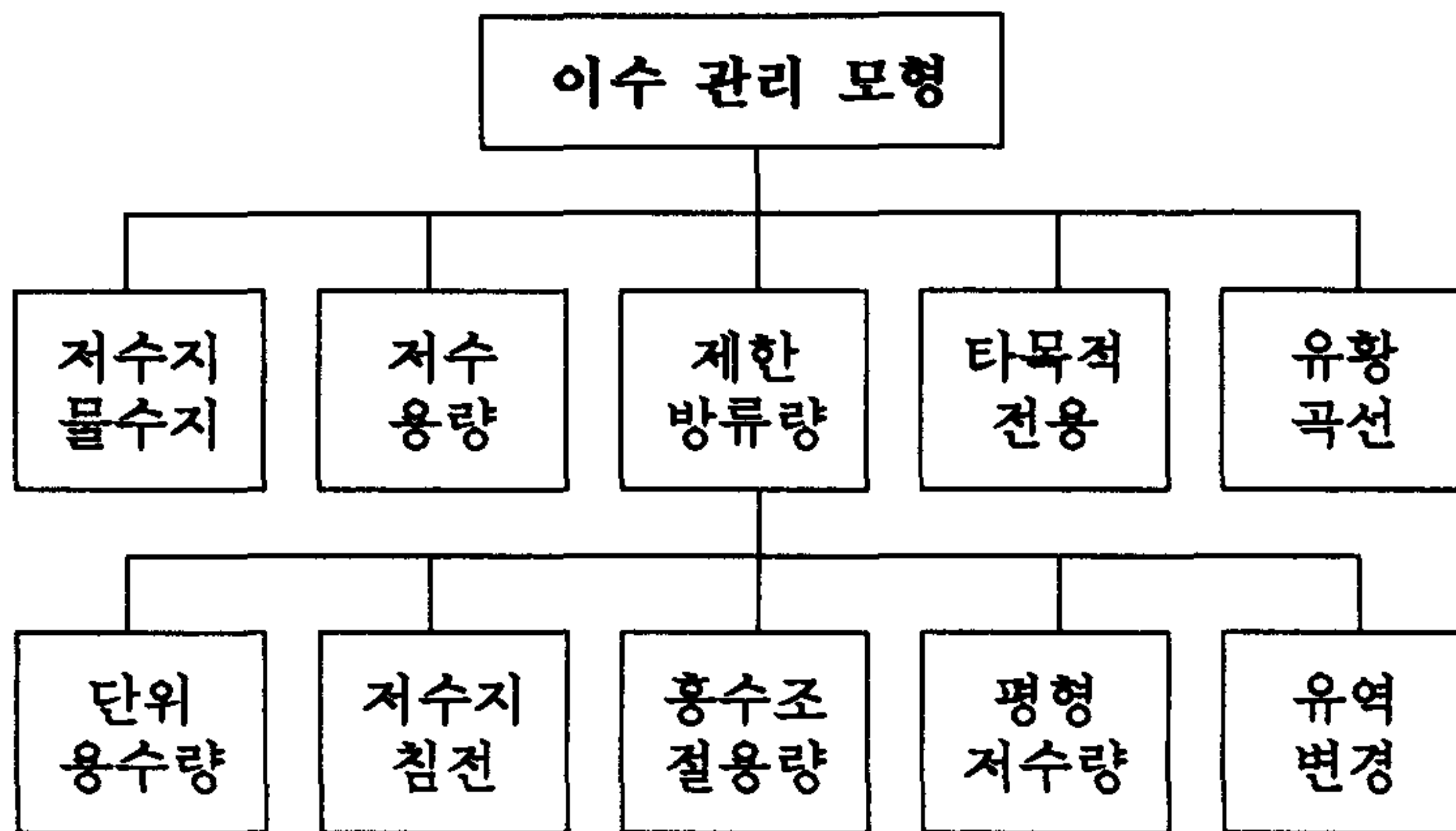
4) 평상시에는 DAWAST 모형으로 부터 일별 유역 토양 수분 변화를 개념적으로 파악하고, 호우시에는 시간별 토양 수분 변화를 추적하여 시간별 유효 우량과 도달 시간을 구하여 실시간 홍수 예측 기본 모형을 개발하였다.

5) 기상대의 호우 예·경보 시에 저수지 상류 유역 강우 관측 망에서 관측된 강우량과 저수위, 상·하류 하천 수위를 실시간 홍수 예측 모형에 입력하므로써 침수 피해를 최소화할 수 있는 최적 방류량을 알려주는 저수지 수문 조작 기본 모형을 개발하였다.

## 5. 연구 결과 실용화 방안

실용화 퍼스컴 디스켓과 사용 지침서를 작성 교육, 보급한다.

다음 내용으로 IRRIMA 모형의 퍼스컴 디스켓과 사용 지침서를 작성한다.



### 1) 저수지 일별 물 수지

거동 분석 방법으로 저수지 물 수지 모형의 기본 구조를 구성한다. 이 모형의 구조는 일별로 저수량의 실제 거동을 보여 주고, 실제 유출량으로 분석하기 때문에 방류량, 기후와 저류량에 따른 저수지 이수 관리 규정도 수립할 수 있다.

### 2) 저수 용량

신설 저수지의 저수위 변화를 모의 발생하여 저수량 고갈 횟 수가 10년 빈도에 해당되는 저수 용량을 구하는 방법을 제시한다. 특히, 농촌 생활 용수, 농공 단지 용수 또는 환경 용수 등 농어촌 용수를 공급하는 관개 저수지와 홍수 조절 기능을 가진 관개 저수지에서는 반드시 이 방법이 적합할 것이다.

### 3) 제한 방류량

관개 저수지의 운영 실적을 근거로 이수 관리 곡선 (기준 저수량 곡선, 방류 제한 저수량 곡선) 을 미리 작성한다. 이로 부터 생육 시기와 저수률에 따라 갈수기에 그날 그날 제한된 방류량을 제시할 수 있다.

### 4) 관개 저수지의 다목적 이용 및 타목적 전용

관개 저수지 주위의 정주권 개발 또는 도시화에 따라 수리 안전담이 시설 원예 단지, 취락 단지 및 농공 단지로 개발되는 경우에는 논 관개 용수의 수요는 감소되고 밭 관개 용수, 농촌 생활 용수, 농공 단지, 소하천 환경 용수 등 농어촌 용수의 수요가 증가하게 되어 관개 용수를 다목적으로 이용 또는 타목적으로 轉用해야할 경우에 적합한 이수 관리 계획을 수립해야한다.

### 5) 하천 유황 곡선

대상 하천에서의 갈수량, 저수량, 평수량, 풍수량 등 하천의 이수 관리를 위한 유황 곡선을 작성한다.

### 6) 단위 용수량

단위 용수량은 계절 최대 용수량으로 관개 용수로의 단면 크기를 결정하는데 필요하다. 계절 최대 용수량은 이앙기 5 월 중순 또는 수잉기인 7월 하순 또는 8 월 상순에 발생하며 10 년 빈도 단위 용수량 ( $m^3/sec$ ) 을 구한다.

### 7) 토사 침전량 및 저수지 능력 평가

신설 저수지의 설계 기간 동안의 침전량과 기설 저수지의 경과년에 해당

되는 침전량과 그 분포를 파악하여 저수 용량 결정과 저수지 능력 평가를 할 수 있다.

#### 8) 적정 홍수 조절 용량

대상 저수지의 저수 용량의 25 % 정도를 홍수 조절 용량 초기치로 가정하여, 홍수 조절로 인한 홍수 피크 감소량을 구하고 이에 의한 이익 (침수 피해 감소액) 과, 이 홍수 조절로 인하여 갈수기에 관개 용수를 공급하지 못하여 발생하는 손해 (가뭄 피해액) 을 검토하여 홍수 조절 용량을 결정한다.

$$m^3/sec \text{ 당 침수 피해액} \times \text{감소량} > \text{\%-day (또는 } m^3) \text{ 당 이수 피해액} \times \text{제한 방류량}$$

## 6. 건의 사항

'93 년도에 연구한 우리 나라 농업 소유역에 적합한 Curve number, 농업 소유역에 적합한 합리식의 유출 계수 C, 설계 홍수량 기본 모형, 실시간 홍수 예측 기본 모형, 저수지 수문 조작 기본 모형을 '94 년도에도 계속 연구하여 다음 내용의 貯水池 治水 管理 實用化 模型을 개발할 것을 건의합니다.

### 가. 貯水池 治水 管理 實用化 模型의 연구 내용

#### 1) 우리 나라 농업 소유역에 적합한 Curve number

현재, 미국 SCS 에서 제시한 Curve number 를 그대로 우리 유역에 적용하는 데 따른 문제가 대단히 크다. 따라서, 우리 나라 농업 유역에서 관



측된 실제 유출량 자료로 부터 구한 DAWAST 모형의 최대 잠재 저류능 ( $U_{max}$ ) 으로 부터 우리 나라 유역에 적합한 Curve number 를 추정할 수 있는 방법을 제시한다.

## 2) 우리 나라 농업 소유역에 적합한 합리식의 유출 계수 C

농업 소유역의 배수 계획을 위한 홍수량 추정에 합리식을 적용하는 데는 유출 계수 C 가 대단히 중요하지만, 우리 나라 유역 특성에 적합한 C 값에 대한 조사가 미비한 실정이다. 따라서, 우리 나라 유역에 적합한 상기한 Curve number 와 합리식 유출 계수 C 와의 관계를 찾으므로써, 우리 나라 농업 소유역에 적합한 이 C 값으로 수정 합리식에 의하여 간단하게 홍수 수문 곡선을 작성할 수 있다.

## 3) 설계 홍수량 실용화 모형

대상 유역의 특성으로 부터 Curve number 를 추정하고, 이와 함께 확률 강우량으로 유효 우량을 추정하므로써 SCS 무차원 단위도법에 의하여 설계 홍수량을 추정할 수 있는 실용화 모형을 개발한다.

## 4) 실시간 홍수 예측 실용화 모형

DAWAST 모형으로 부터 일별 유역 토양 수분 변화를 개념적으로 추적하고, 호우시에는 시간별 유효 우량과 도달 시간을 추정하여 실시간으로 유입되는 홍수를 예측할 수 있는 실용화 모형을 개발한다.

## 5) 저수지 수문 조작 실용화 모형

기상대의 호우 예·경보 시에 저수지 상류 유역 강우 관측 망에서 관측된 강우량과 저수위, 상·하류 하천 수위를 실시간 홍수 예측 모형에 입력하므로써 침수 피해를 최소화할 수 있도록 방류할 수 있는 실용화 모형을 개발한다.



## 나. 貯水池 治水 管理 實用化 模型의 기대 효과

“ 저수지 치수 관리 실용화 모형 ” 으로 농업 소유역의 Curve number 와 유출 계수 C 추정, 저수지 물넘이 · 배수장 용량 및 하천 제방고 결정을 위한 설계 홍수량과 하천 치수 · 홍수 조절 · 저수지 수문 조작 및 배수장 관리를 위한 실시간 홍수 예측 등 효율적인 치수 계획, 설계 및 관리를 기대할 수 있다.

## **SUMMARY**

### **1. Title :**

**COMPREHENSIVE MANAGEMENT SYSTEM  
FOR AGRICULTURAL WATER RESOURCES**

**“WATER BALANCE MODEL FOR IRRIGATION RESERVOIR (III)”**

### **2. Periods of Study : 1993. 4.29 ~ 1993. 11.30**

**(Total 7 months)**

### **3. Objective and Necessity of the Study**

#### **a. Objective of the Study**

The objective of the study is to develop the comprehensive management system for agricultural water resources. The system contains two models which are called “Daily streamflow model for the Korean watersheds” and “Water balance model for the irrigation reservoir”. The latter has two sub-models which are “Irrigation management model” and “Flood control model”

#### **1) Practical irrigation management model for irrigation reservoir**

**IRRIMA (IRRIgation MAnagement)** model for irrigation reservoir has been developed from the DAWAST model for inflow and the PENMAN method for consumptive water. From the practical IRRIMA model

developed, storage capacity, operation rule curve, water supply for domestic and industry, and flood control volume of irrigation reservoir can be determined. The balanced storage management in the system of dam group and the inter basin transfer of water were also studied.

## **2) Basic flood control model for irrigation reservoir**

FLOCON (FLOod CONtrol) model for irrigation reservoir has been developed from DAWAST model and it contains three sub-models of Design flood, Real-time flood forecasting, and Gate operation. From the new curve number considering the characteristic of watershed in Korea, design flood can be estimated by SCS method. From the condition of soil water storage just before the storm event obtained from DAWAST model, real-time flood can be forecast. From the real-time flood forecasting model, gate of spillway in the reservoir can be reasonably operated.

### **b. Necessity of the Study**

DAWAST model considering the meteorologic and geographic characteristics of the Korean watersheds was newly developed to simulate the daily streamflow. Based on the DAWAST model, IRRIMA model were developed to evaluate the storage capacity, the operation rule and the multi-use of irrigation water and FLOCON model for irrigation reservoir were developed to evaluate the design flood, real-time flood forecasting, and gate operation in the irrigation reservoir.

### **1) Practical irrigation management model for irrigation reservoir**

Upto now, monthly streamflow data has been dominantly used for the water resources planning. But, it is more reasonable to explain the variation of spatial and temporal distribution of water from the daily water balance.

Since we are recently facing the problems of regional unbalance of water quantity, and of multi-use of irrigation water, and of deterioration of water quality, it is urgently needed to develop the daily streamflow model which is essential to excute the daily water balance and solve those problems and establish the rational planing of agricultural water resources.

## **2) Basic flood control model for irrigation reservoir**

It is one of the most difficult problems how to estimate soil water condition in the watershed just before storm event for the forecast of real time flood in the river and reservoir.

New curve number considering the characteristics of watershed in Korea was proposed for design flood. From the condition of soil water storage in the watershed just before the storm event obtained from DAWAST model, real-time flood can be forecast. From the real-time flood forecasting model, gate of spillway in the reservoir can be reasonably operated.

## **4. Scope of the Study and Conclusions**

### **a. Practical irrigation management model for irrigation reservoir**

IRRIMA model based on the DAWAST model and behavior analysis



was developed practically to evaluate the storage capacity, the operation rules, flood control volume, and the supply for rural water in the irrigation reservoir.

1) Daily water level in the irrigation reservoir was simulated by the daily water balance of behavior analysis.

2) Simulation for the variation of water level in the irrigation reservoir was carried out with the meteorologic data from the regionalized key station to analyse the storage volume, operation rule curve, flood control volume, evaluation of storage capacity, and conversion of irrigation water to rural water.

3) It was proposed to determine the storage capacity not from the annual water balance of irrigation, but from the 10 year frequency of drying up of storage water by carry-over operation. This method is suitable for the irrigation reservoir to supply rural water or to control the flood.

4) Optimal flood control volume in the irrigation reservoir should be determined such that benefit by flood control is greater than the damage by restricted release of irrigation water.

5) The characteristics of storage such as runoff ratio, release ratio, storage ratio, effective release ratio was obtained by analysing the released water from the irrigation reservoir.

6) Operation rule curve with reference storage curve and restricted release curve was made from the practical operation data of irrigation reservoir. From the operation rule curve, amount of irrigation water can be suggested in a daily basis depending on the water level and



growing stage.

7) The amount and distribution of sediment deposit was estimated to evaluate the capacity of storage volume in the irrigation reservoir.

8) Discharge-duration curve in the river and unit duty of water for the size of irrigation canal can be established.

9) Studies on the management of balanced storage volume in the reservoir group located within the system and water distribution by inter basin transfer from the watershed in a surplus to the irrigation reservoir in a shortage was made.

#### **b. Basic flood control model for irrigation reservoir**

FLOCON model based on the DAWAST and SCS model was basically developed to estimate the design flood and to forecast the real-time flood for both river and reservoir and to operate the gate of irrigation reservoir.

1) Considering the characteristics and maximum storage capacity of watersheds from DAWAST model, new method to estimate curve number suitable for the Korean watersheds was proposed.

2) Relation between curve number in SCS and coefficient of runoff in rational method was introduced. Flood hydrograph in the small agricultural watershed can be obtained from the relation.

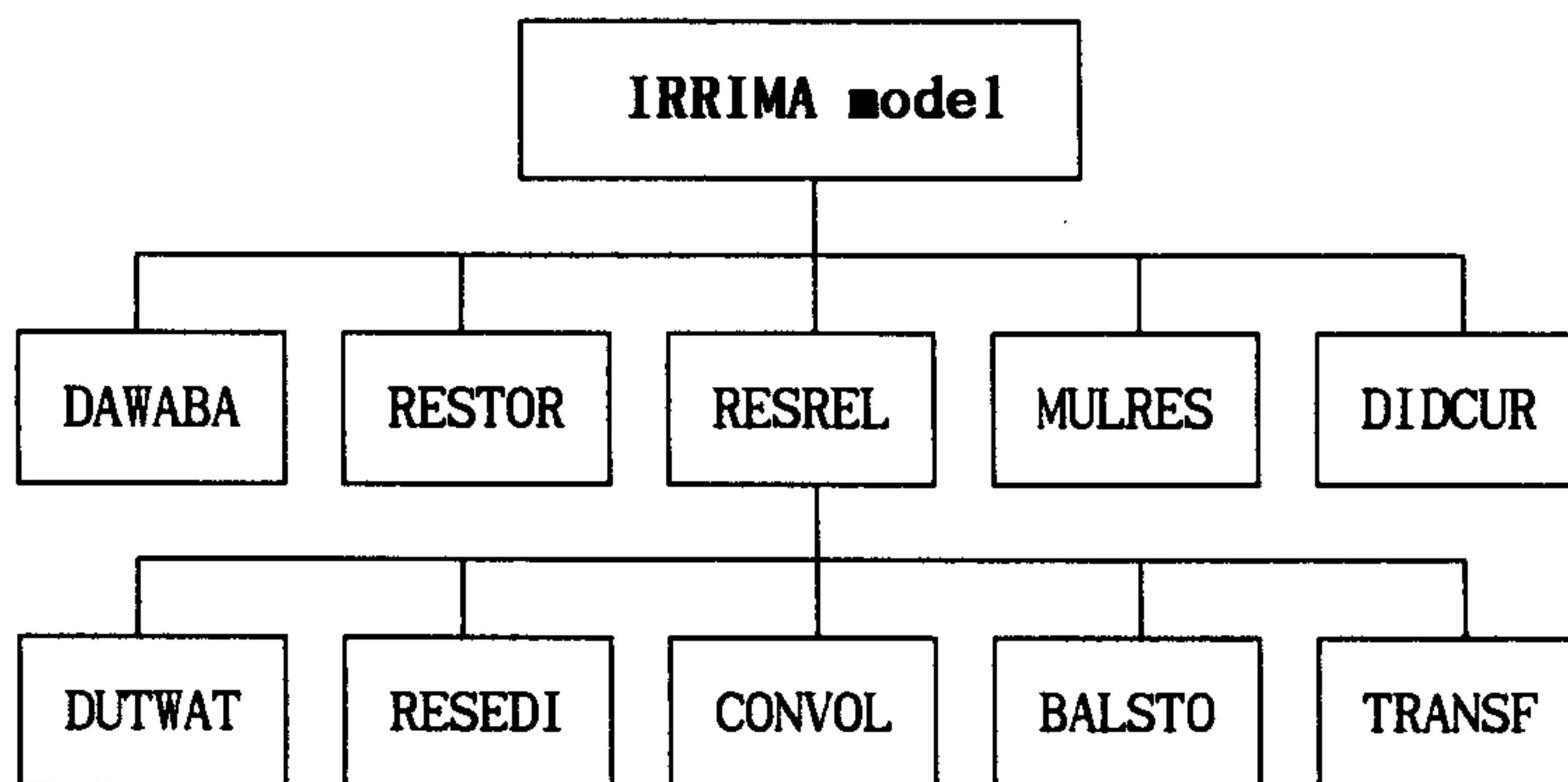
3) Basic model for design flood was developed to estimate the design flood from the probable rainfall and curve number.

4) Basic model for real-time flood was developed to forecast the real time flood from the condition of water storage in the watershed and concentration time.

5) Basic model for gate operation was developed to minimize the flood damage both in the upstream and downstream of irrigation reservoir depending on the rainfall in the upstream and water level in the downstream.

### 5. Results the Study and Suggestion for Application

Manual of the practical IRRIMA model will be made for education and popularization.



#### 1) Analysis of daily water balance in irrigation reservoir (Daily Water Balance)

Daily water balance in the irrigation reservoir was made by the method of behavior analysis as the following storage equation.

$$Z_{t+1} = Z_t + Q_t - D_t - \Delta E_t - L_t , \quad 0 < Z_{t+1} < C$$

## **2) Storage volume in irrigation reservoir (REservoir STORAge)**

It was proposed to determine the storage capacity in irrigation reservoir from the 10 year frequency of dry-up of storage water by carry-over operation and the simulation of water level. This method is suitable for the irrigation reservoir to supply rural water or to control the flood.

## **3) Restricted release in drought season (REStricted RELease)**

Operation rule curve with reference storage curve and restricted release curve can be made from the practical operation data of irrigation reservoir in the past. From the operation rule curve, the amount of water supply for irrigation could be determined and released in a daily basis depending on the water level and growing stage in order to prevent the reservoir from emptying.

## **4) Multi-use of irrigation reservoir (MULTi-use REServoir)**

Due to urbanization, irrigated paddy land is partly converted to green house, farm house, and rural-industrial complex. If excess irrigation water is available, it should be effectively converted to rural water.

## **5) Discharge-duration curve (DIScharge-DURATION CURve)**

Discharge-duration curve for a river can be made from daily flow from DAWAST.

## **6) Unit duty of water (DUTy of WATer)**

Unit duty of water of 10 years frequency in the field can be determined for the size of irrigation canal.

#### **7) Sediment and capacity of irrigation reservoir (REservoir SEDIment)**

Volume of sediment deposit in the proposed reservoir can be estimated to determine the storage volume, and volume and distribution in the existing reservoir can be estimated to evaluate the function of reservoir.

#### **8) Optimal flood control volume (flood CONTROL VOLUME)**

Optimal flood control volume in the irrigation reservoir should be determined such that benefit by flood control is greater than the damage by restricted release of irrigation water.

$$\begin{aligned} &\text{Flood damage per m}^3/\text{sec} \times \text{flood control volume} > \\ &\text{Drought damage per m}^3 \times \text{restricted release water} \end{aligned}$$

## **6. Recommendations**

Studies on the values of Curve number and C suitable for the small agricultural watershed in Korea studied in 1993 are expected to be continued to find the practical values in 1994.

Basic model for design flood, real-time flood forecasting, and gate operation studied in 1993 is recommended to be continued in 1994 and converted to practical model for design flood, real-time flood forecasting, and gate operation.



## **a. Contents of practical flood control model**

### **1) Curve number suitable for the small agricultural watershed in Korea**

Study on the curve number suitable for the small agricultural watersheds proposed in 1993 should be continued to make generalization throughout the Korean watersheds. Curve number can be made from the streamflow data and DAWAST model.

### **2) C value suitable for the small agricultural watershed in Korea**

Study on the C value suitable for the small agricultural watersheds proposed in 1993 should be continued to make generalization throughout the Korean watersheds. C value in modified rational method can be made from the curve number obtained in 1), and rainfall intensity.

### **3) Practical model for design flood**

Basic model for design flood developed in 1993 should be continued to make generalization. Practical model for design flood is expected to estimate the design flood from the probable rainfall, curve number in Korea, and SCS dimensionless hydrograph.

### **4) Practical model for real-time flood forecasting**

Basic model for real-time flood developed in 1993 should be continued to make generalization. Practical model for real-time flood forecasting is expected to forecast the real-time flood from the condition of soil water storage in the watershed and concentration time.



## **5) Practical model for gate operation.**

Basic model for gate operation developed in 1993 should be continued to make generalization. Practical model for gate operation is expected to minimize the flood damage both in the upstream and downstream of irrigation reservoir.

### **b. Expectations of practical flood control model**

Values of curve number and C suitable for the small agricultural watersheds in Korea can be practically applied for the estimation of design flood.

FLOCON model based on the DAWAST and SCS model can be practically applied to estimate the design flood for the size of spillway, capacity of drainage pump, and bank height, etc., and to forecast the real-time flood for the flood control both in river and reservoir and operate the gate of irrigation reservoir and drainage pump.

여 백

# 貯水池 水 收支 模型 (III)

## 第 I 編 利水 管理 模型

여 백

# 目 次

제 1 장 緒 論 -----	31
제 2 장 研究 動向 -----	31
제 3 장 貯水池 日別 水 收支 模型 -----	34
3.1 저수지의 분류 -----	34
3.2 갈수 해석 -----	34
3.3 유역 및 분석 자료 -----	42
3.4 물 수지 모형의 기본 구조 -----	49
3.4.1 기본 저류 방정식 -----	49
3.4.2 저수량의 설계 빈도 -----	51
3.5 저수량 일별 물 수지 분석 -----	53
3.5.1 유입량 -----	53
3.5.2 농어촌 용수의 필요 수량 -----	55
1. 농업 용수 -----	55
2. 생활 용수 -----	59
3. 공업 용수 -----	60
4. 하천 유지 용수 -----	60
5. 농촌 관광 용수 -----	63
6. 소수력 발전 용수 -----	64
3.5.3 침전량 -----	64
1. 신설 저수지의 침전량 추정 -----	64
2. 기설 저수지의 침전량과 분포 -----	66
3.5.4 수면 증발량 -----	67
제 4 장 貯水 容量 決定 -----	68



4.1	현행의 방법	68
4.2	저수지 고갈 빈도에 의한 방법	69
제 5 장 灌溉 貯水池의 利水 管理		70
5.1	이수 관리의 정의	71
5.2	이수 관리 곡선	71
5.2.1	기준 저수량 곡선	72
5.2.2	방류 제한 저수량 곡선	73
5.2.3	이수 관리 곡선에 의한 저수량 관리	74
제 6 장 灌溉 貯水池의 貯水量 擴大 方案		74
6.1.	저수지 시설 보수	76
6.2	효율적인 이수 관리	77
6.2.1	관개 저수지인 예당지의 운영 실적	78
6.2.2	다목적 댐인 대청댐의 운영 실적	80
6.2.3	이수 관리 곡선에 의한 저수량 관리	81
6.3	갈수년에 사수량 이용	82
6.4	저수지 군의 평형 저수량 관리	83
6.4.1	필요성	83
6.4.2	평형 저수량 관리	85
6.4.3	분석 방법	86
6.4.4	저수지 군의 평형 저수량 관리의 적용 대상	90
6.5	유역 변경에 의한 이수 계통의 광역화	90
6.5.1	필요성	90
6.5.2	문제점	91
6.5.3	환경에 미치는 영향	96

제 7 장 <u>灌漑貯水池</u> 에서 農漁村 用水 供給 方案 -----	98
7.1 관개 용수의 농어촌 용수 공급 현황-----	99
7.2 생·공 용수 공급에 따른 저수량 변화 -----	99
7.3 농촌 관광 용수 공급 -----	102
7.3.1 저수지 수위 -----	103
7.3.2 저수지 수질 -----	104
7.4 소하천 환경 용수 공급 -----	104
7.5 홍수 조절 기능 -----	105
7.5.1 계획 갈수 기준년의 저수량 변화 -----	107
7.5.2 장기간 자료에 의한 홍수 조절에 따른 저수량 변화 -----	107
제 8 장 結果 및 考察 -----	109
8.1 저수지 일별 물 수지 분석 -----	109
8.1.1 관개 저수지인 예당 저수지 -----	109
1. 침전량과 분포 -----	109
2. 유입량 -----	109
3. 관리 손실량 -----	110
4. 저수량 일별 물 수지 분석 -----	111
8.1.2 다목적 관개 저수지인 芳洞 저수지 -----	130
8.2 저수량 고갈에 의한 저수 용량 결정 -----	131
8.2.1 관개 저수 용량 -----	132
8.2.2 다목적 관개 저수 용량 -----	133
8.3 관개 저수지의 이수 관리 곡선 -----	135

8.3.1 관개 저수지인 禮唐 저수지 -----	135
1. 기준 저수량 곡선 -----	136
2. 방류 제한 저수량 곡선 -----	136
3. 이수 관리 곡선에 의한 저수량 관리 -----	137
8.3.2 다목적 관개 저수지인 芳洞 저수지의 이수 관리 곡선 -----	138
8.4 관개 저수지의 홍수 조절 능력 평가 -----	141
8.4.1 분석 방법 -----	141
8.4.2 분석 결과 및 고찰 -----	142
1. 홍수 월류량 추정 -----	142
2. 방류 제한 강도의 산정 -----	144
3. 홍수 조절 운영의 효과 및 문제점 -----	145
8.5 농어촌 용수 공급 전망 및 전용 가능성 분석 -----	148
8.5.1 농어촌 용수 공급 전망 -----	149
8.5.2 농어촌 용수 공급 전용 가능성 분석 -----	149
8.5.3 소하천 유지 용수 공급 가능성의 예 -----	150
제 9 장 灌溉 貯水池의 利水 管理 模型 (IRRIMA) -----	152
제 10 장 結 論 -----	154
제 11 장 問題點과 向後 課題 -----	156
제 12 장 期待 效果 -----	158
제 13 장 實用化 計劃 -----	160
參考 文獻 -----	161

## CONTENTS

Chapter 1	INTRODUCTION	31
Chapter 2	RESEARCH TREND	31
Chapter 3	IRRIGATION MANAGEMENT MODEL FOR IRRIGATION RESERVOIR	34
3.1	Classification of reservoir	34
3.2	Drought analysis	34
3.3	Watershed and data discription	42
3.4	System of daily water balance model	49
3.4.1	Basic equation of storage volume	49
3.4.2	Design frequency of storage volume	51
3.5	Analysis of daily water balance in reservoir	53
3.5.1	Inflow	53
3.5.2	Consumptive rural water	55
3.5.3	Sedimentation	64
3.5.4	Water surface evaporation	67
Chapter 4	STORAGE CAPACITY OF RESERVOIR	68
4.1	Current method	68
4.2	Drought frequency method	69
Chapter 5	OPERATION RULES OF IRRIGATION RESERVOIR	70
5.1	Operation rule	71
5.2	Operation rule curve	71
5.2.1	Reference storage curve	72
5.2.2	Restricted-release curve	73
5.2.3	Storage management by operation rule	74



Chapter 6	SAVING WATER FROM IRRIGATION RESERVOIR	- 74
6.1	Repair of resevoir facilities	----- 76
6.2	Effective management by operation rule curve	----- 77
6.3	Use of dead water in the drought year	----- 82
6.4	Balanced storage management for reservoir group	----- 83
6.5	Expanding of water resources by inter basin transfer	----- 90
Chapter 7	RURAL WATER SUPPLY FROM	----- 98
	THE IRRIGATION RESERVOIR	
7.1	Present status of rural water supply	----- 99
7.2	Water supply for domestic and industry	----- 99
7.3	Water supply for rural recreation	----- 102
7.4	Water supply for maintenance of urban stream	----- 104
7.5	Function of flood control	----- 105
Chapter 8	RESULTS AND DISCUSSIONS	----- 109
8.1	Daily water balance analysis	----- 109
8.2	Storage capacity of reservoir	----- 131
8.3	Operation rules for irrigation reservoir	----- 135
8.4	Capacity of flood control in irrigation reservoir	----- 141
8.5	Conversion of irrigation water to rural water	----- 148
Chapter 9	STRUCTURE OF IRRIMA MODEL	----- 152
Chapter 10	CONCLUSIONS	----- 154
Chapter 11	RECOMMENDATIONS	----- 156
Chapter 12	EXPECTATIONS	----- 158
Chapter 13	PRACTICAL APPLICATION	----- 160
	REFERENCES	----- 161

## 第 I 編 利水 管理 模型

### 제 1 장 緒 論

이제까지의 농업의 전통적 역할은 국민 식량 공급과 농촌 고용 유지였으나, 앞으로 21 세기에는 국민 식량 공급 역할은 농산물 시장 개방에 따른 국제 식량 파동의 완충적 기능과 안전 식품 공급이라는 역할로, 농촌 고용 유지 역할은 농촌 고령자, 부녀자의 실업 보호 기능이나 지역 사회 유지 기능으로 축소 조정될 전망이다. 반면, 농업의 역할은 수자원 보존, 토양 보존, 환경 정화 등의 자연 보전과 국민에게 휴식처를 제공하고 지역 사회를 유지하는 공간 유지의 기능으로 확대될 전망이다.

따라서, 이제까지 벼 논에 물을 공급해주는데 국한되었던 관개 저수지의 역할도 밭 관개 용수, 생·공 용수, 농촌 관광 용수, 홍수 조절 기능, 소수력 발전 용수, 소하천 유지 용수 등 신농정에서 추구하는 복지 농촌 건설을 위한 다목적 기능을 가진, 소위 “農漁村 用水 (Rural water)”를 공급함으로써 자연 환경을 보전하고 국민에게 휴식처를 제공하여 지역 사회를 유지하는 역할도 할 수 있어야 할 것이다.

이 연구에서는 농어촌 용수 공급을 위한 신설 저수지의 합리적 설계 기준과 기설 저수지의 효율적 관리 기준을 제시하는 이수 관리 모형을 개발하고자 한다.

### 제 2 장 研究 動向

지금까지 우리 나라의 저수 용량 결정 및 저수량 관리를 위한 저수지의 물 수지 분석은 梶山 식에 의한 旬別 유입량과 Blaney-Criddle 식에 의한 증발산량 추정을 기초로 순별로 수행되어 왔으나, 특히 저수 용량이 크지 않은 대부분의 관개 저수지에서의 저수량 관리를 위해서는 월·순별 물 수



지 분석은 갈수기에 저수지의 일별 저수위 거동과 수질 변화, 담수호의 제염 관리, 염분 토양의 용탈 등을 파악할 수 없기 때문에 효율적인 이수 관리가 불가능하므로 저수지의 일별 물 수지분석은 필수적이다.

따라서, 최근 “저수지 물 관리 연구” (1987)에서는 일별 물 수지에 의한 DIROM을 개발하여 탱크 모형으로 유입량을, Penman 으로 증발산량, 담에서의 담수심 및 기상 자료 등으로 저수지의 물 수지를 일별로 모의 발생하여 半月 저수지에 적용하였으며, “전문가 시스템을 이용한 관개용 저수지의 조작” (1991) 연구에서는 일별 물 수지 분석에 의한 저수지 조작 지침을 제시하여 조작자의 조작 결정에 도움을 주기 위한 전문가 시스템을 반월 저수지에 적용한 바 있다.

일본과 미국 등에서도 논 관개의 경우, 생육기별로 물 소비형태를 고려하여 이앙기에는 일별로, 생육 관개기에는 5 일별로, 밭 관개의 경우, 조정지 용량 및 물 관리 계획 수립에는 일별로 물 수지 분석하는 것이 일반적이다.

이 연구에서는 이제까지 거의 이앙기에만 집중적으로 이용되고 비관개기에 여유있는 귀중한 수자원을 사계절 다목적으로 이용하여 농촌 생활 용수, 농공 단지 용수, 축산 용수, 조정지 시설과 자연 수압 관수로, 시설 농업의 관수 자동화, 내수면 어업과 농촌 관광, 갈수기 소하천 수질 관리, 소수력 발전 용수 등 새로운 개념의 농어촌 용수를 공급할 수 있는 가능성을 연구하여 관개 저수지의 이수 관리를 효율적으로 할 수 있는 “이수 관리 모형 (IRRIMA)”의 실용화 모형을 작성한다. 또한, 저수지 균의 평형 저수량 관리 방법과 유역 변경에 의한 이수 계통의 광역화 방안을 연구한다.

현재 설계 기준으로 시행하고 있는 저수지 물 수지 방법과 이 연구에서 계획하고 있는 저수지 일별 물 수지 모형을 비교하면 표. 1 과 같다.

표. 1 현행 저수지 물 수지 방법과 저수지 일별 물 수지 모형의 비교

	현행 방법	저수지 일별 물 수지 모형
유입량	梶山 月 受水量	日 유출 모형 ( DAWAST)
소비 수량	Blaney - Criddle	Penman
분석 단위	旬 別, 불연속적	日 別, 연속적
저수 용량	필요 저수량 빈도	고갈 저수위 빈도
이수 관리	부 적 합	저수지 일별 물 수지 분석 저수량 고갈 빈도에 의한 저수 용량 이수 관리 곡선에 의한 제한 방류량 관개 용수의 타목적 전용 이수 관리를 위한 하천 유황 곡선 작성 용수로 단면을 위한 단위 용수량 토사 침전량과 분포, 저수지의 능력 평가 최적 홍수 조절 용량 설정 저수지 군의 평형 저수량 관리 방류량 제시 이수 관리 곡선 하천, 저수지 수질 관리
종 합 의 견	旬別, 불연속적으로 이수 관리가 부적합	日別, 연속적 모형으로 이수 관리에 적합함, 실용화 추진

## 제 3 장 貯水池 日別 水 收支 模型

### 3.1 저수지의 분류

저수지는 시간적으로는 수요량이 공급량 보다 큰 시기에, 공간적으로는 수요량이 공급량보다 큰 지역에, 부족한 량의 각종 용수를 공급할 수 있는 물을 저류하여, 홍수기에는 하류 하천 수위를 저하시키고 갈수기에는 하천 수위를 상승시킬 수 있도록 하천의 흐름 상태를 변경시키는 댐을 축조하여 생긴 인공적 호소를 말한다. 또한 홍수 조절, 내수면 어업, 관광 및 수상 스포츠 효과를 기대할 수 있다. 이렇게 좋은 기능의 저수지도 하류측 수량 변화에 따른 하천 수질 악화, 수온 변화에 따른 인근 지역의 안개 발생, 물리·화학·생물학적 반응에 의한 저수지 수질 변화 등 자연 환경에 나쁜 영향을 미칠 수 있다.

#### 3.1.1 기능상의 분류

저수지는 생활, 공업, 농업, 발전, 주운, 환경 등의 각종 용수를 공급하는 기능, 하류측 하천의 홍수를 조절하는 기능, 낚시 및 위락, 유사량 방지와 하천 수질 보전의 기능으로 분류할 수 있다. 2 개 이상의 용수 공급기능을 가진 저수지를 다목적 저수지라 한다.

#### 3.1.2 조직상의 분류

저수지는 조직상 단일 저수지와 저수지 群으로 분류된다. 저수지 군은 직렬 저수지 군, 병렬 저수지 군, 직·병렬 저수지 군, 유역 변경 저수지 군 (Lateral reservoirs) 등으로 나누어 진다.

### 3.2 갈수 해석

#### 3.2.1 물 수지 분석의 단위 기간

저수지 저수 용량 결정과 이수 관리를 위한 물 수지 분석의 단위 기간 (Time period or Control cycle of reservoirs) 은 저수 용량의 크기와 기능에 따라 다음과 같은 주기 (Cycle) 로 분류할 수 있다.

### 1. 년 단위 주기 (Over year control)

년간 소비 수량이 연간 유입량 보다 커서 갈수년에는 풍수년의 과잉 수량을 저류하였다가 공급해야 하므로 저수 용량이 크게 되고, 따라서 몇 년에 한번 월류가 일어나고, 저수지 수위의 만수위 (Filling) 에서 사수위 (Emptying) 까지의 변화가 적어도 1 년 이상의 주기로 일어나는 대용량의 저수지에서는 移越 저류량 (Carryover-year) 방법 이라 하여 분석 주기를 년 단위 자료로 취하여 물 수지 분석을 실시한다.

### 2. 월 단위 주기 (Within year control)

년간의 소비 수량이 연간 유입량 보다 작아 저수 용량이 작으므로 일년에 몇 차례 월류가 일어나고, 저수지의 만수위에서 사수위까지의 변화가 당해 년도내에서 일어나고 단지 1~2 개월간 갈수 기간이 지속되는 경우의 물 공급을 할 수 있도록 저수 용량을 결정하는 방법을 年内 저류량 (Within year) 방법이라 하여 분석 주기를 월 단위 자료로 취하여 물 수지 분석을 실시한다.

### 3. 일 단위 주기 (Weekly control)

저수지의 기능이 작물 생육기, 주운 또는 겨울철 등 년중 특별한 시기에 만 물을 공급하거나, 물의 소비 형태가 일을 하지 않는 週末 (Non-working day) 에는 물 수요가 작아 저수지의 수위가 1 주일을 주기로 만수위와 사수위 사이를 변화하는 저수 용량 이 작은 저수지에서는 분석 주기를 日 單位 자료로 취하여 물 수지 분석을 실시한다.



#### 4. 시간 단위 주기 (Daily control)

저수지의 만수위에서 사수위까지의 변화가 하루를 주기로 일어나는 저수 용량이 작은 조정지와 저수 탱크에 적용되며, 이 경우 유입량은 조정지의 양수량이며, 소비 수량은 시설 농업의 관개 용수량으로 조정지 규모 결정 및 온실 (Green house) 의 자동 관수화 계획에는 분석 주기를 시간 단위 자료로 취하여 물 수지 분석을 실시한다.

일반적으로 년 단위, 월 단위 주기인 저수 용량이 큰 저수지의 물 수지 분석은 월 평균 유출량으로 계산하는 것이 보통이지만, 월 단위 주기인 저수지의 경우라도 유역 면적과 저수 용량이 작은 저수지, 갈수기에 각종 용수 수요가 경쟁적인 다목적 저수지, 시설에 의한 밭 작물 관개를 위한 조정지에는 日別로 물 수지를 분석하는 것이 바람직하다.

Bratranek (1939) 는 월 평균 유출량은 시간적으로 연속 함수인 유출량을 불연속으로 개략 표현하게 되고, 특히 갈수기에 방류률, 유효 저수 용량 등을 확률적으로 해석하는데는 많은 오차가 발생하게 되는데, 일 유출량에 의한 저수 용량과 월 유출량에 의한 저수 용량과의 비교 분석에서 다음 추정 오차 관계식  $E(\beta_z) = 0.08 (\alpha - 0.1)$ , ( $\beta_z$  유효 저수량,  $\alpha$  안전 방류률 (방류량 / 년 평균 유입량) 을 유도한 바 있다.

농수산부 (1987) 는 일별 물 수지에 의한 저수 용량이 월별 물 수지에 의한 저수 용량보다 약 3.5 % 정도 감소에 그치지만, 간단 관개 등 효율적인 물 관리를 위해서는 일별 분석이 불가피하다고 제안한 바 있다.

저수량 고갈이 발생하는 시기는 저수 용량 규모 결정을 위한 설계시에는 별 문제가 없지만 이수 관리시에는 아주 중요한 요소가 된다. 저수지 설계시에는 최대 물 부족이 발생하는 시기에는 포장 말단부에 물을 공급하기 위하여 최대한 방류하므로 저수량은 감소되어 쉼이 되도록 되어 있다.

그러나, 저수지 이수 관리시에는 저수량이 零이 되는 시기가 관개기 末 이면 별 문제가 없지만, 기상 변화에 따라 관개 기간 중에 零에 가까우면 물 관리자는 방류량을 억제하여 저수량을 회복해야 하므로, 앞으로는 저수 용량 결정시에도 생육 시기별 물 부족 상태를 고려할 필요가 있다.

또한, 물을 저류하지 않고 하천에서 직접 양수, 도수하는 웨어나 펌프장 등 연속적인 유출형 수자원 계획에는 적어도 연속적인 일별 물 수지 분석이 바람직하다. 더욱이, 상기한 관개 저수지의 다목적 이용을 위한 이수 관리 계획 수립을 위해서도 저수지 일별 물 수지는 필수적인 것으로 판단된다.

이 연구에서는 日別로, 年內 저류량 방법, 실시간 물 수지 방법인 (Historical balancing) 갈수 기간 방법 중 거동 분석 방법으로 분석 한다.

갈수 해석과 저수지 설계에서는 이용 가능한 수문 자료 (특히, 강우와 유출) 의 정도에 따라 다음의 절차를 밟게 된다.

### 3.2.2 수문 자료와 이수 관리

우리 나라의 수문 자료의 상태가 단기간의 유출 자료와 장기간의 강우 자료, 유출 자료는 없고 장기간의 강우 자료, 유출 및 강우 자료가 전혀 없는 경우가 많으므로 이런 경우에 적합한 유역 강우-유출 모형에 의하여 확정론적으로 일 유출량을 추정하여 유황 곡선 및 갈수 빈도 곡선을 구하고, 저수 용량 결정과 저수량 최적 이용을 위한 이수 관리 기준에 대하여 연구하고자 한다.



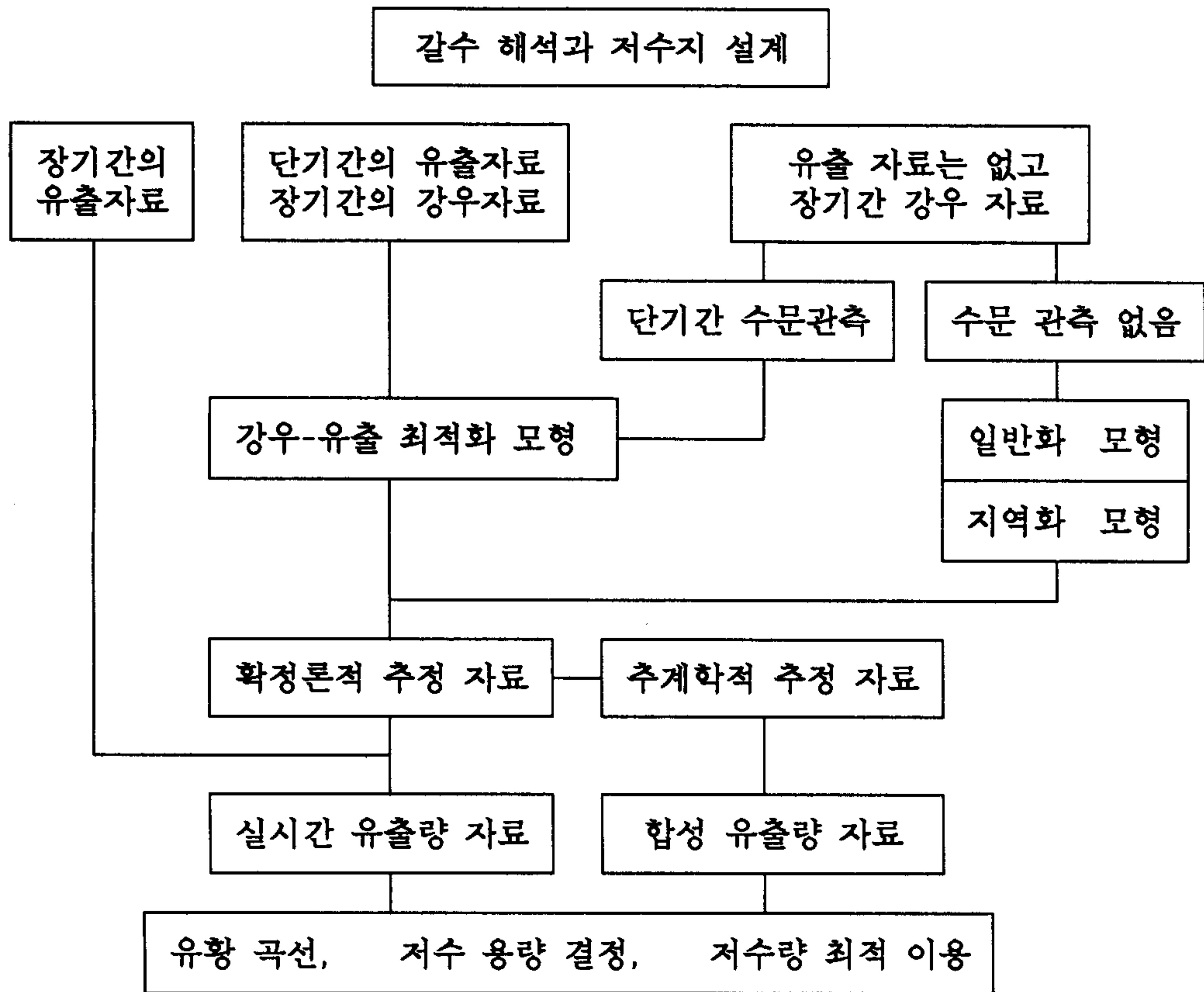


그림. 1 갈수 해석 · 저수지 설계와 수문 자료

### 3.2.3 저수위 모의 발생과 장기간 강우 관측소의 추천

수문 예측은 과거에 일어났던 기상·수문 현상이 미래에도 그대로 재현될 것이라는 개념이므로 기상·수문 현상의 우연성을 고려할 때 가능하면 100년 이상의 장기간의 관측 자료로 분석하거나, 짧은 자료를 추계학적으로 모의 발생한 장기 자료로 분석하는 것이 바람직하다. 그러나, 저수지 물수지 분석에 필요한 기상·수문 자료는 대상 지점에서 가장 가까운 기상 관측소의 자료를 선택하는 것이 일반적인 방법이지만 대부분 단기간 동안의 관측 자료 뿐이 없기 때문에 수문 예측 관점에서 문제점으로 제기되고 있다.

따라서 이 연구의 저수 용량, 이수 관리 곡선, 홍수 조절 용량, 저수지 능력 평가 등 저수지 물 수지 분석을 위한 저수위 모의 발생에는 대상 지점에서 가까운 기상 관측소의 자료 관측 기간이 길지 않으면, 비록 거리가 멀어 지형적인 강우의 변이가 있더라도 장기간의 관측 기록이 있는 기상 관측소를 선택하는 것이 강우의 우연성을 재현할 수 있을 것이다.

예를 들면, 표. 2 에서와 같이 대상 지점이 소속해 있는 적용 지역의 주요 측후소 (Key station) 의 비교적 장기간의 강우 자료로 분석하므로써 지역적 특성보다는 강우의 우연성을 더욱 고려하였으며, 저수지 물 수지 분석에 이 방법을 추천하고자 한다.

표. 2 대상 지역 별 추천 장기 강우 관측소

지역화 群	적용 지역	추천 관측소	관측 기간	비 고
I	서울, 경기, 강원 일원 경기 해안 지역 강원 해안 지역	서울 인천 강릉	1907 ~ 1904 ~ 1911 ~	
II	충청 북부 지역 일원 충청 중부, 전라 북부 일원 전라 남부 지역 일원	서울 전주 광주	1907 ~ 1919 ~ 1939 ~	
III	소백 산맥 좌우 산악 일원	추풍령	1935 ~	
IV	경북 내륙 일원 경북 해안 지역	대구 포항	1907 ~ 1942 ~	
V	경남 해안 일원 전남 해안 일원	부산 여수	1904 ~ 1942 ~	
기타	제주도	제주	1923 ~	

“설계 강우의 지역화 분석” (金, 1990) 은 우리나라의 비교적 장기간의 강우 자료를 보유하고 있는 47 개 강우 관측 지점을 지리·지형학적 (위도, 경도, 표고) 과 기상학적 (년 최대 일 강우량, 년 평균 강우량, 우기 강우량) 특성을 변수화하여 Cluster 분석에 의하여 이들 특성이 同性인 5 개 群

으로 지역화하였으며 실용화 편의상 행정 郡 단위로 그림. 2, 표. 3 와 같이 분류하였으며, 이를 기본으로 표. 2 을 작성하였다.

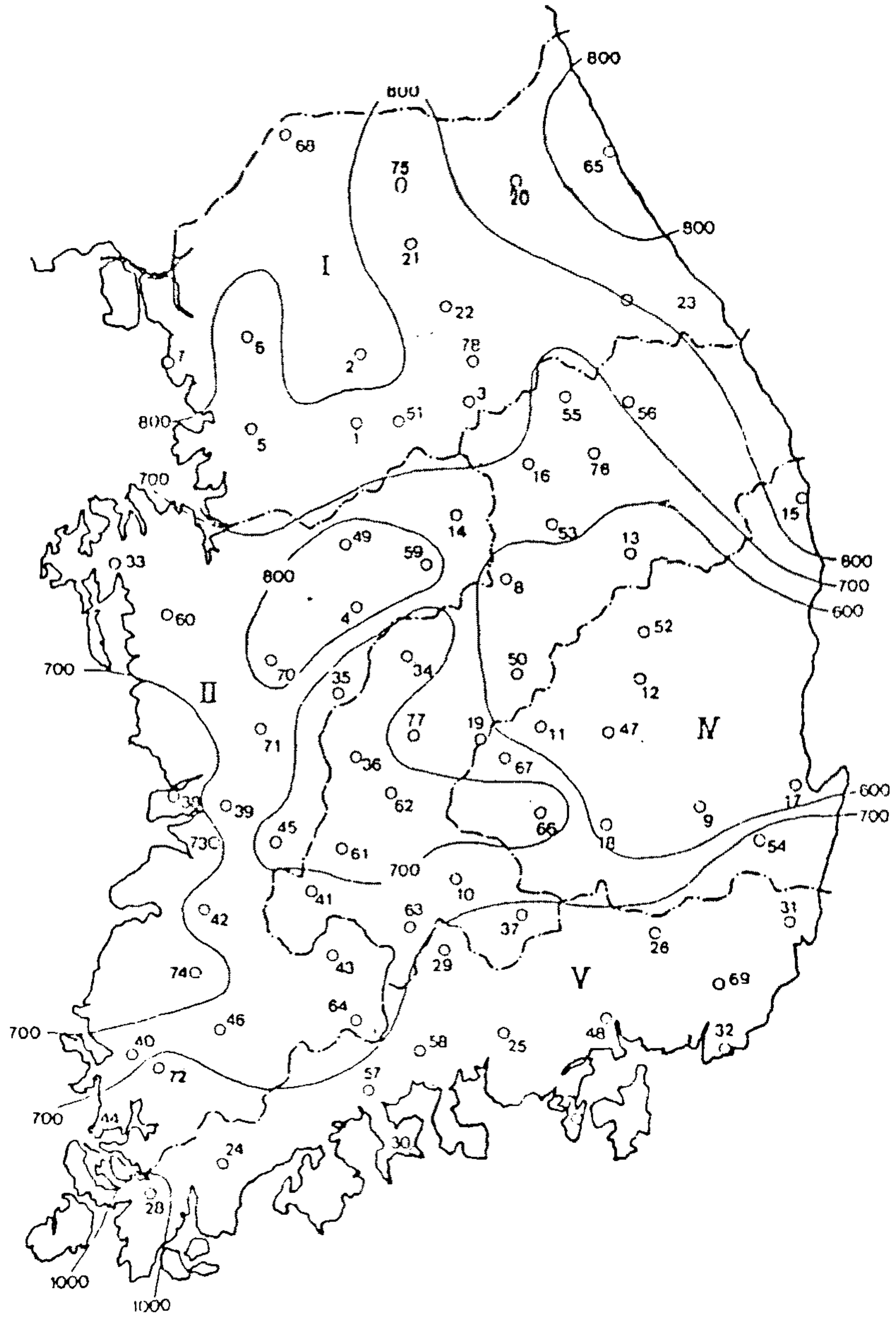


그림. 2 지역화 군도와 등 가능 최대 일 강우량도

표. 3 지역화 군별 소속 행정 군

권역	市, 郡名	면적비율(%)
I	서울, 인천, 과천, 광명, 구리, 동두천, 부천, 성남, 송탄, 수원, 안산, 안양, 의정부, 평택, 가평, 강화, 고양, 김포, 광주, 남양주, 안성, 양주, 양평, 여주, 연천, 용진, 용인, 이천, 파주, 포천, 화성(경기), 강릉, 속초, 원주, 춘천, 고성, 명주, 양구, 양양, 원성, 인제, 철원, 춘성, 홍천, 횡성(강원)	23.8
II	대전, 공주, 천안, 온양, 대천, 논산, 당진, 대덕, 보령, 부여, 서산, 태안, 서천, 아산, 연기, 예산, 천원, 청양, 홍성(충남), 청주, 충주, 증원, 괴산, 음성, 진천, 청원(충북), 전주, 군산, 이리, 남원, 정주, 고창, 김제, 부안, 순창, 옥구, 완주, 익산, 정읍(전북), 광주, 나주, 목포, 곡성, 구례, 담양, 무안, 신안, 영광, 영암, 장성, 함평, 화순(전남)	24.1
III	동해, 삼척, 태백, 영월, 정선, 평창(강원), 단양, 보은, 영동, 옥천, 제원, 제천(충북), 금산(충남), 무주, 임실, 장수, 진안(전북), 거창, 함양, 합천(경남), 상주, 영주, 영풍, 점촌, 문경, 봉화, 예천(경북)	20.0
IV	대구, 경주, 구미, 김천, 안동, 영천, 포항, 경산, 고령, 군위, 금릉, 달성, 선산, 성주, 영덕, 영양, 영일, 울진, 월성, 의성, 청도, 청송, 칠곡(경북)	15.6
V	부산, 김해, 마산, 삼천포, 울산, 진주, 진해, 창원, 충무, 거제, 고성, 남해, 밀양, 사천, 산청, 양산, 울주, 의령, 의창, 진양, 창녕, 통영, 하동(경남), 순천, 여수, 여천, 강진, 고흥, 광양, 보성, 송주, 여천, 완도, 장흥, 진도, 해남(전남)	16.5



### 3.3 유역 및 분석 자료

이 연구에서 설정한 저수지의 일별 물 수지 모형을 대규모 관개 저수지인 禮唐 저수지와 중규모 다목적 저수지인 芳洞 저수지에 적용하여 이수 관리 방법에 대하여 분석하였다. 삼교호와 대청 댐의 이수 관리 실적도 참고하였다.

#### 3.3.1 예당 저수지

##### 1. 저수지 제원

예당 저수지는 관개 면적이 8,788 ha 로 큰 편이며, 하류에 삼교호가 있어 직렬 저수지 군의 평형 저수량 관리 분석에 적합한 지구이다. 최근에는 삼교호와 일부 몽리 대체 급수를 실시하여 1991 년의 예당지 관개 실적은 7,040 ha 였다. 또한, 홍수기인 6월 21일 부터 9월 20일 까지는 貯水位를 EL. 21.5 m 로 1.0 m 낮추어 약 1,000 만 m<sup>3</sup> 의 홍수 조절 용량을 가지고 있다.

표. 4 禮唐池 제원

구분	단위	성 과	비 고	구분	단위	성 과	비 고
유역 면적	ha	37,360		관개 면적	ha	8,788	
총 저수량	ha-m	4,710		유효저수량	ha-m	4,607	
만수위	El.	22.5		사수위	El.	14.5	
제한 수위	El.	21.5		홍수조절용량	MCM	10.0	

분석에는 唐津, 禮山, 靑陽의 일 강우량 자료, 예당지 상류에 위치한 大興 지점에서 관측한 1964~ 66년의 수위-유량 자료, 禮唐 農組에서 관측한 1978~87년의 일별 예당지 저수량 운영 실적 자료를 사용하였다.



표. 5 禮唐池 내용적 곡선

저수위 El. m	수면적 ha	유효 저수량 $\times 10^4 \text{ m}^3$	저수위 El. m	수면적 ha	유효 저수량 $\times 10^4 \text{ m}^3$
14.5	101.6	0.00	19.0	631.8	1550.87
15.0	127.7	56.73	19.5	712.3	1884.40
15.5	163.7	128.97	20.0	798.1	2258.85
16.0	253.0	232.28	20.5	860.6	2670.04
16.5	329.1	376.62	21.0	929.5	3113.38
17.0	382.7	553.10	21.5	977.3	3585.65
17.5	444.0	758.14	22.0	1027.0	4082.54
18.0	495.2	990.97	22.5	1088.7	4607.01
18.5	565.7	1253.98	22.8	1124.0	4936.29

## 2. 유역 특성

### 가. 지형적 특성

본 유역의 지형적 특성은 그림. 3 과 같이 차령산맥이 북동쪽에서 남동쪽으로 지나 가면서 鳳首山(534.4m), 國師峰(488.7m), 白月山(560m), 鳥婁山(790.7m) 등 비교적 높은 산지 지형을 형성하고 있고, 산맥이 통과하는 방향과 평행하게 마름모꼴 형상으로 유역이 형성되어 있다. 하천은 유역을 3등분하여 무한천의 본류와 예당저수지에서 합류하는 신양천, 화산천 등으로 형성되어 있다.

### 나. 토양학적 특성

토양학적인 특성은 그림. 4 와 같이 하천을 중심으로 미사사양질 내지 사양질의 충적토가 분포하고 있으며, 산록에 연하여 식양질 내지 사양질의 암쇄토 또는 적황색토가 분포하고 있고, 산정부근은 일부 암석 노출지 지역을 제외하고 배수가 매우 양호한 암쇄토 지역을 형성하고 있다.

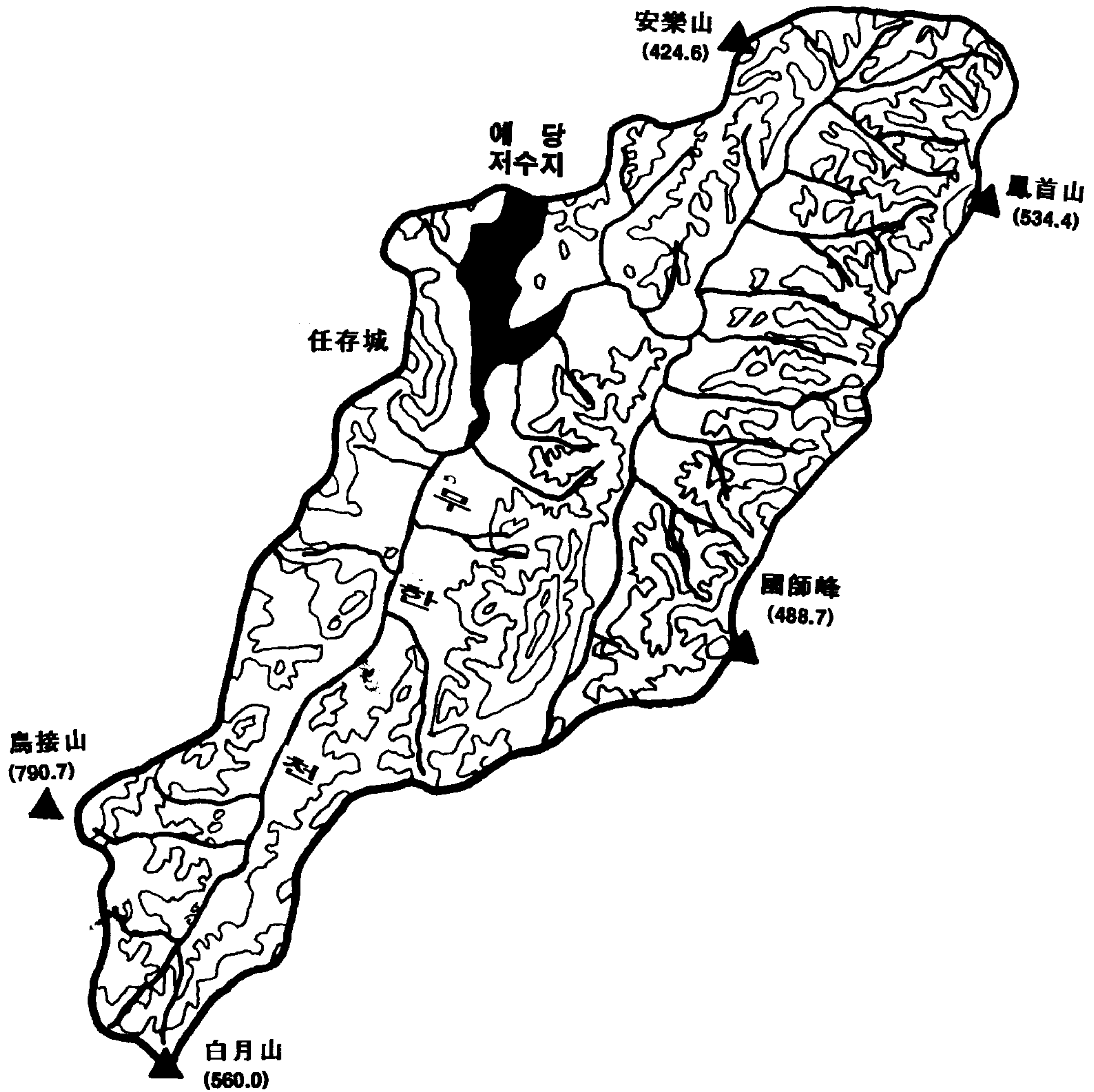


그림. 3 예당지의 유역도

#### 다. 지질학적 특성

본 유역의 지질학적 특성은 그림. 5 와 같이 先캄브리아紀에 형성된  $Pcgy$ (京畿片麻岩 複合체)와  $Pcgggn$ (花崗岩質 片麻岩) 등의 變成岩이 대부분의 지질적 구조를 형성하고 있으며, 주라紀에 형성된 藍浦層群( $Jna_{1,2}$ )의 堆積岩이 차령산맥과 평행한 방향으로 남쪽 일부지역에 형성되어 있으며, 백악紀에 貫入한 斑岩類의 火成岩 유역 상류지역에 극히 일부 지역에 형성되

어 있다. 第四紀 충적층이 하천이 통과하는 지역을 중심으로 不整合面 상부에 형성되어 있다.

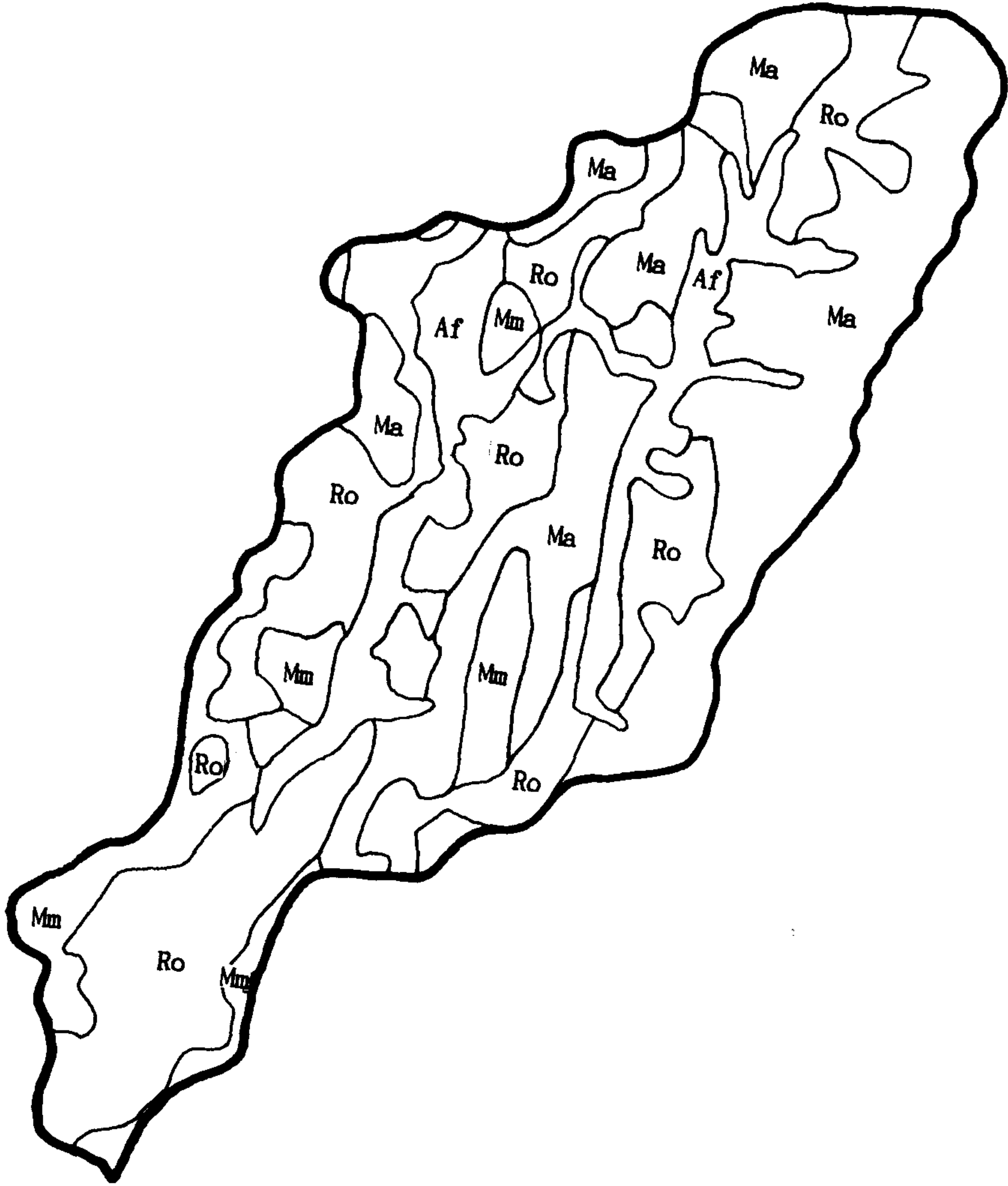


그림. 4 예당지 유역의 토양도

라. 토지 이용

토지의 이용현황은 그림. 6 과 같이 하천을 중심으로 소규모 보, 양수장 등의 수리시설에 의존하여 논으로 이용 되고 있으며, 산록면에 연하여 사

과 과수원이 대단위로 형성되어 있다. 산간지역은 버섯재배가 이루어 지고 있으며, 소규모 양돈과 낙농이 도로와 인접한 야산을 중심으로 이루어 지고 있으며, 일부 정미소를 제외하고는 2차 산업이 거의 발달되지 않은 전형적인 중산간지 농업 형태를 보이고 있는 지역이다.

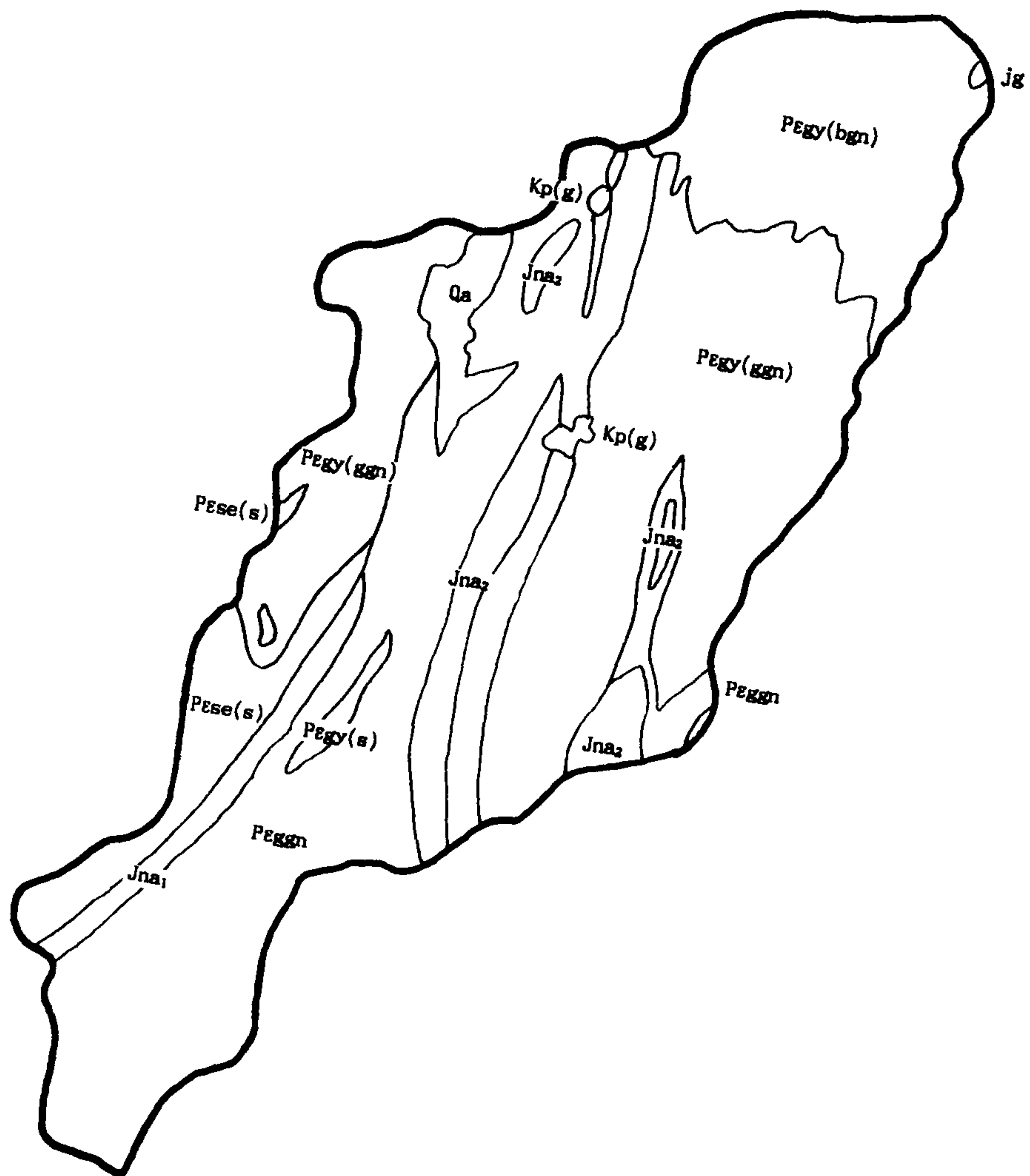


그림. 5 예당지 유역의 지질도

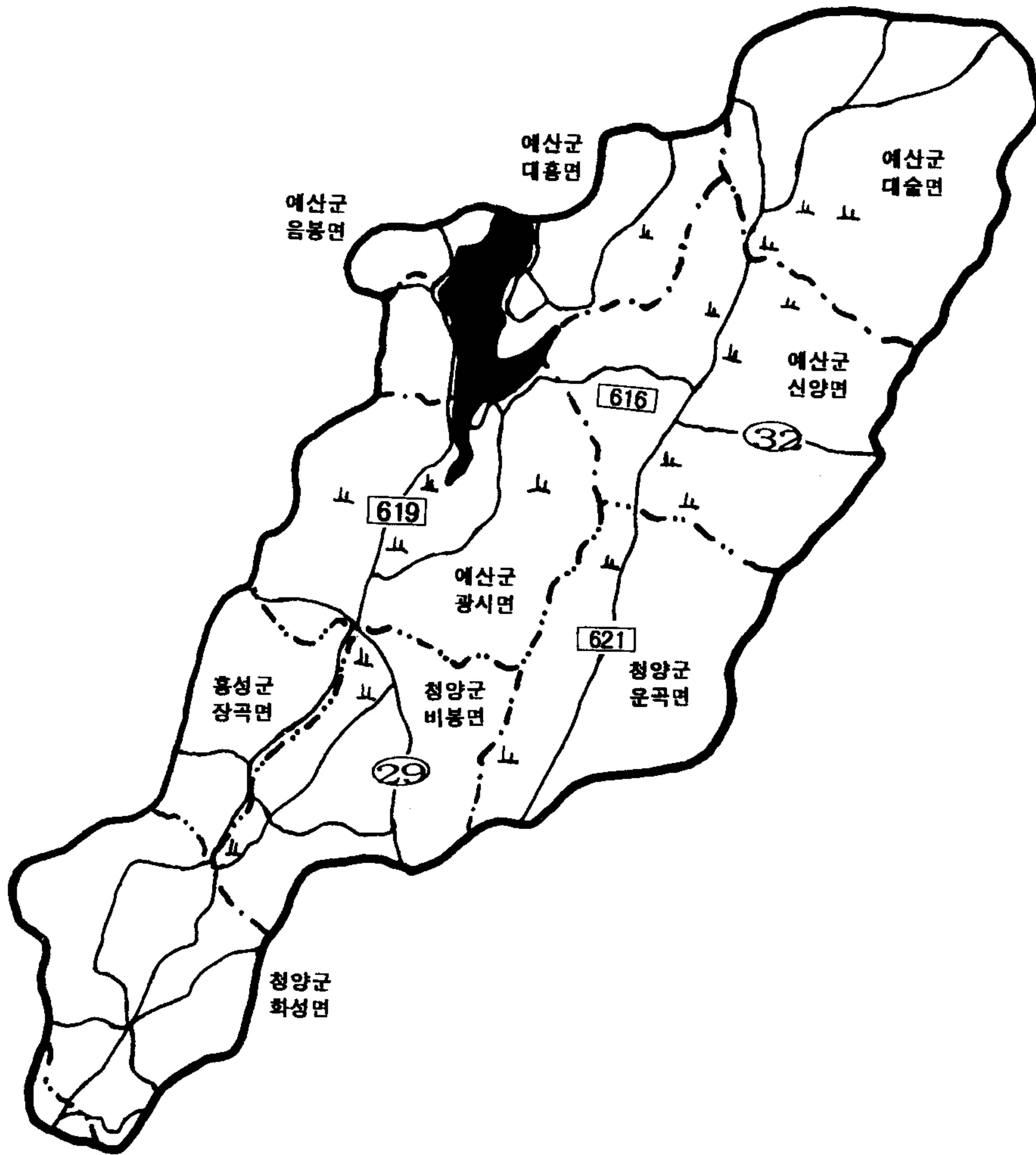


그림. 6 예당지 유역의 토지 이용도

### 3.3.2 芳洞 저수지

방동지는 관개 단일 목적으로 약 537 ha 를 몽리 면적으로 1977 년 완공 되었으나 몽리 지역이 大田市 근교에 위치한 특성 때문에 근교의 도시화로 인하여 몽리 면적이 매년 감소하는 반면, 저수지 가까이 위치한 방적 공장에 년 평균 약 9,000 m<sup>3</sup>/day 의 공업 용수를 공급하고 있어 다목적 관개



저수지가 되어 있다. 1991 년 현재의 물리 면적은 293 ha, 공업 용수 12,200 m<sup>3</sup>/day 이다.

### 1. 저수지 제원

방동 저수지의 제원은 표. 6, 7 과 같으며, 大鎭 농조에서 관측한 일 강우량, 대전 축후소의 계기 증발량과 1978~91 년의 일별 저수위, 년도별 관개 면적, 공업 용수 공급 기록으로 분석한다.

표. 6 방동지 제원

구분	단위	성 과	비 고	구분	단위	성 과	비 고
유역 면적	ha	1,375		인가 면적	ha	537	
관개 면적	ha	293		공업 용수	m <sup>3</sup> /d	12,200	
총 저수량	ha-m	337.3		유효저수량	ha-m	306.7	
만수위	El.m	100.5		사수위	El.m	90.4	
홍수위	El.m	101.75			"	86.0	
제당고	EL.m	103.8					

표. 7 방동지 내용적 곡선

저수위 El. m	수면적 ha	유효 저수량 x 10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup>	저수위 El. m	수면적 ha	유효 저수량 x 10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup>
86.0	0.0	0.00	95.0	26.79	99.33
87.0	1.86	1.08	95.5	28.95	113.27
88.0	3.75	4.10	96.0	30.53	128.14
89.0	5.61	8.73	96.5	32.57	143.86
90.0	8.97	16.35	97.0	34.98	160.70
91.0	11.81	26.63	97.5	36.97	178.64
92.0	14.13	39.20	98.0	38.93	197.57
92.5	15.69	46.66	98.5	40.35	217.39
93.0	17.79	55.03	99.0	42.05	237.99
93.5	19.81	64.43	99.5	43.87	259.47
94.0	21.96	74.87	100.0	47.51	282.32
94.5	24.55	86.50	100.5	49.56	306.58

## 2. 유역 특성

방동지 상류 유역의 지형적 특성, 토양학적 특성, 지질학적 특성, 토지 이용 특성에 대한 조사 내용은 제 2 편 8.2 에 기술하였다.

### 3.4 물 수지 모형의 기본 구조

저수지 설계에는 갈수 기간 방법으로 예비 설계에 적합한 누가 곡선 (Mass curve) 방법과 실시 설계에 적합한 거동 분석 또는 모의 발생 방법 (Behaviour or Simulation analysis) 이 가장 널리 실용되고 있다.

이 연구에서는 실시 설계에 적합한 거동 분석 방법으로 저수지 물 수지 모형의 기본 구조를 구성하였다. 이 모형의 구조는 저수량의 실제 거동을 보여 주므로 계산 과정이 간단하고, 실제 유출량 (Historical flow) 으로 분석하기 때문에 자기 상관, 계절성, 기타 유출 매개 변수들을 고려하며, 어떤 시간 단위에도 적용 가능하며, 방류량의 계절성을 고려할 뿐 아니라, 기후와 저류량에 따라 달라지는 복잡한 저수지 이수 관리 규정도 수립할 수 있다.

#### 3.4.1 기본 저류 방정식

저수지 저류량 변화는 다음 저류 방정식 (1) 로 나타낸다.

$$Z_{t+1} = Z_t + Q_t - D_t - \Delta E_t - L_t, \quad 0 < Z_{t+1} < C \quad (1)$$

여기서,  $Z_{t+1}$  단위 기간 시점의 저류량

$Z_t$  단위 기간 종점의 저류량

$Q_t$  유입량,  $D_t$  방류량,

$\Delta E_t$  호면 증발량,  $L_t$  기타 손실량,

$C$  유효 저수량

(1) 1 차로 임의의 유효 저류량  $C$  를 선택한다. 분석 시점에는 저수지가 만수된 것으로 가정한다 ( $Z_0 = C$ )

(2) 일별로 유입량, 방류량, 호면 증발량을 고려하여 식 (1) 의 물 수지 분석으로 수문 자료가 있는 기간에 걸쳐 일별 저수량 변화를 추정한다.

(3) 방류량 중에서 생활 용수, 공업 용수는 계절성을 월별로 고려하고, 관개 용수는 일별로 계산한다. 하천 유지 용수는 유입량이 기준 갈수량 보다 적을 경우에 한하여 공급할 수 있다.

(4) 저류량을 다목적으로 이용하기 위해서는 잔여 저류량에 따라 정해진 규칙에 따라 방류량을 조절 제한한다.

(5) 분석 기간 전 기간에 걸쳐 저류량이 고갈된 횟 수가 몇 회 인가에 따라 빈도를 계산하여 계획한 빈도와 비교한다. 고갈된 횟 수는 용수의 종류, 작물 생육기 등을 고려하여 제한 급수의 가능성을 고려하여 결정한다.

(6) 계산된 빈도가 계획된 빈도와 일치하지 않으면 유효 저류량  $C$  를 다시 가정하여 정해진 저수지 고갈률 (계획 설계 빈도) 과 일치할 때 까지 1~5 의 과정을 반복한다.

이상의 절차로 여러 가지 저류량 크기, 방류량 조건 등으로 저수지 크기를 결정할 수 있다. 이 거동 분석 방법의 가정상의 문제점과 해결 방법은 다음과 같다.

(1) 저류 방정식의 초기 저수위는 만수라고 가정한다. 이 가정은 분석 초기가 갈수년일 때에는 저수 용량에 미치는 영향이 특히 크므로 이를 보완하기 위하여 최종 분석 저수위를 다시 초기 저수위로 가정할 수 있다.

(2) 과거의 하천 유출량이 미래에도 재현된다고 가정한다. 이 가정은 사

실과 다를 것이므로 이를 보완하기 위하여 N simulation analysis (N 년의 유출 자료를 사슬 모양으로 재순환 시켜 N 개의 N 년의 유출 자료로부터 분석하여 N 개의 저수 용량을 구하는 방법) 를 실시 할 수 있다.

(3) 미래의 물 수요량 증가를 과거의 유출 기록과 연관지어 물 수지 분석을 하게 되므로 미래의 물 수요량 증가를 고려하기 어렵다. 미래의 물 수요 증가는 저수량 신뢰률과 관계가 크므로, 미래의 수요량 증가 수준을 여러 가지로 가정하여 물 수지를 분석할 수 있다.

### 3.4.2 저수량의 설계 빈도

저수량의 설계 빈도는 고갈률로 나타내며, 고갈률은 전체 분석 기간 동안의 고갈 지속 시간, 고갈 발생 月 수, 공급 부족 수량 중 어디에 평가의 기준을 두느냐에 따라 다음의 몇 가지 방법이 있다. 이 가운데서 적합한 방법으로 저수량의 설계 빈도를 구한다.

#### 1. 저수지의 고갈 지속 시간

$$P_e = n_e / n \quad (2)$$

여기서,  $P_e$  : 저수지 고갈률

$n_e$  . 저수지의 고갈 지속 시간

$n$  저수지 운영 전체 시간

이 방법은 저수지의 완전 고갈이 허용되는 경우에 가장 일반적인 방법이지만 생활 용수 공급 저수지는 고갈을 허용치 않기 때문에 이런 경우에는 실제와 부합되지 않는다.

#### 2. 저수지의 고갈 발생 月 수



$$P_r = n_r / n \quad (3)$$

여기서,  $n_r$  제한 급수를 실시한 월 수  
 $n$  전체 분석 월 수

이 방법은 용수 공급 측면에서 저수지의 고갈이 허용되지 않는 생활 용수공급의 경우에 적합한 방법이다.

### 3. 저수지의 공급 부족 수량

$$P_v = V_s / V_d \quad (4)$$

여기서,  $V_s$  저수지의 공급 부족 수량  
 $V_d$  : 수요량

전체 기간 동안의 수요량에 대한 공급 부족량의 비로 나타내는 이 방법은 일반적으로 좋은 방법이지만 고갈 및 제한 급수의 심각성을 나타내지 못한다.

### 4. 다목적 저수지의 경우

생활, 공업, 관개, 축산, 환경, 발전, 주운 용수 등 여러 가지의 용수를 동시에 공급해야하는 다목적 저수지의 경우에는 제한 급수로 야기되는 경제적·사회적·환경적 문제의 심각성에 따라 효율적으로 물을 공급할 수 있는 물 수지 분석을 구체화 해야한다. 이 때에는 물 부족으로 인한 각 용수의 경제적·사회적 영향을 고려한 장기간의 설계와 저수지 운영 경험에 의한 각종 용수의 표준 설계 신뢰률을 종합적으로 고려해야한다. 표준 설계 신뢰률이 높으면 물 공급 부족으로 인한 피해는 적어지지만 수자원 시설 투자가 커지게 되므로 경제성 분석을 실시해야하며, 생활·공업 용수를 공급하지 못하므로 야기되는 사회적 문제 등을 고려해야된다.



저수지 설계에서 가장 경제적인 저수 용량을 결정하기 위한 중요한 인자 중의 하나가 결정된 기준량의 용수 공급을 어느 정도 보장할 수 있는가를 나타내는 신뢰률 (Rate of reliability) 이다. 신뢰률은 전체 시간중에서 수요량을 공급할 수 있는 시간의 비로 나타내며 이는 저수지 고갈률 (Probability of failure) 과는 다음의 관계가 있다.

$$R = 1 - P \tag{5}$$

표. 8 각종 용수의 표준 신뢰률 (Votruba, 1989)

용수 명	신뢰률 (%)	비 고	용수 명	신뢰률 (%)	비 고
생활 용수	95~99		공업 용수	95~99	
관개 용수	90~95		축산 용수	95~97	
환경 용수	95~99		발전 용수	80~95	
주운 용수	90~95				

### 3.5 저수량 일별 물 수지 분석

관개 저수지에서 수입으로서의 유입량과 지출로서의 농어촌 소비 수량 (농업·생활·공업·환경 용수 등), 침전량, 수면 증발량 등을 다음과 같은 기준으로 저수지의 물 수지를 일별로 분석한다.

#### 3.5.1 유입량

저수지로 유입하는 유입량의 특성은 저수지의 기능과 단위 시간 (Duration of the control cycle) 에 따라 달라진다. 단기간 조절 저수지 (Short-term control) 에서는 일별, 주별, 월별 확정론적 유입량으로, 장기간 조절 저수지 (Over-year control) 에서는 월별, 년별 추계학적 유입량으로 분석하는 것이 일반적이다.

저수지 건설 지점에서의 수문 자료 상태가 단기간의 유출 자료와 장기간의 강우 자료, 유출 자료는 없고 장기간의 강우 자료, 유출 및 강우 자료가 전혀 없는 경우가 대부분이므로 그림. 1 에서와 같이 이러한 경우에 적합한 유역의 확정론적 강우-유출 모형 으로 부터 유출량을 추정하는 것이 바람직하다. 따라서, 이 연구에서는 이제 까지 설계 기준으로 적용하던 梶山の 月 受水量 공식 대신에 수문 자료의 유무에 따라 우리나라의 기상 특성과 유역 특성을 고려하여 개발한 “韓國 河川의 流出 模型” (DAWAST 모형) 을 적용하였으며 기본 구조는 그림. 7 과 같다.

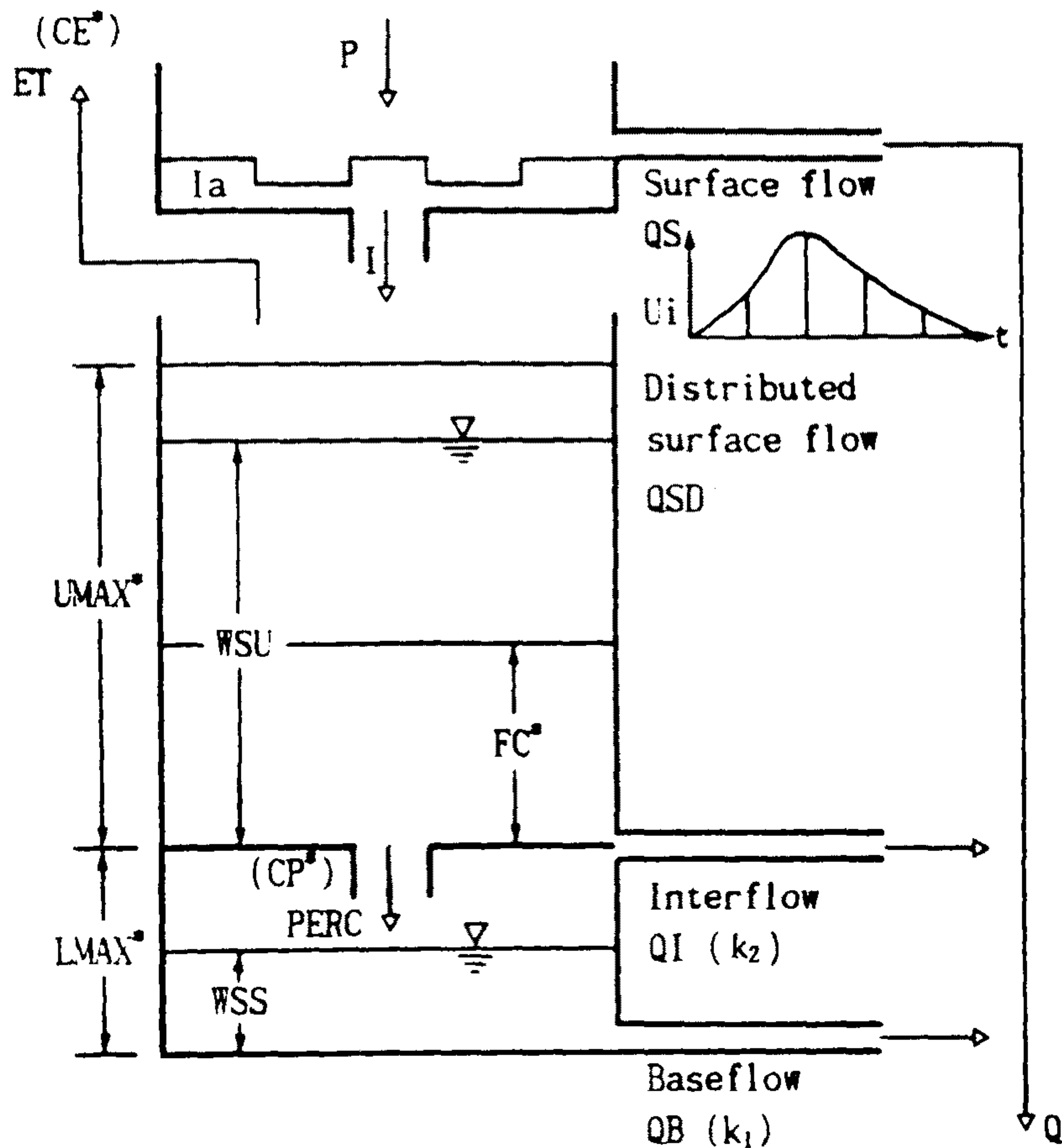


그림. 7 DAWAST모형의 기본 구조도

### 3.5.2 농어촌 용수의 필요 수량

소비되는 (consumed 생활, 공업, 농업 용수) 수량과 이용되는 (used 환경, 발전, 주운, 수상 레저 용수) 수량 사이에는 뚜렷한 구분없이 보통 소비 수량이라 한다. 소비되는 수량은 사용 후 수질이 악화되며, 이용되는 수량은 사용 후에도 수질이 악화되지 않는다.

여기에서는 농업 용수, 농촌 생활 용수, 농공 단지 용수, 하천 유지 용수, 농촌 관광 용수, 소수력 발전 용수 등 총괄하여 농어촌 용수 라고 정의하고, 관개 용수에 대하여 상술하고, 기타의 용수는 약술한다.

#### 1. 농업 용수

농업 용수는 관개 용수와 축산 용수의 총칭이다.

##### 가. 관개 용수

관개 용수는 못자리 용수량, 이앙 용수량, 작물 소비 수량, 침투량, 관리 손실량으로 구성된다. 관개 용수는 침투량을 제외한 전량이 소비되며 침투량의 일부가 다시 하천으로 회수된다.

포장에서의 純 용수량과 粗 용수량은 각각 다음과 같다.

$$\text{순 용수량} = \text{작물 소비 수량} + \text{침투량} - \text{유효 우량} \quad (6)$$

$$\text{조 용수량} = \text{순 용수량} / (1 - \text{관리 손실률}) \quad (7)$$

이 연구에서는 농진공 (1989) 에서 제시한 "소비 수량 산정 방법 실용화 연구" 를 적용하였다. 이 연구는 이제 까지 설계 기준으로 사용하던 Blaney-Criddle 식에서 FAO 의 수정 Penman 식으로 교체하고, 관리 손실률에 대한 현실적 고려를 제안하여 실무에 적용할 수 있는 방법을 제시하고 있다.

## 1) 못자리 용수 및 이앙 용수

못자리는 관개 면적의 1 / 20, 정지 기간 4 일, 못자리 생육 기간 41 일, 토성에 따라 다르지만 평균 못자리 정지 및 이앙 용수량을 140 mm 로 취한다. 지역에 따른 못 자리 용수와 이앙 용수 공급 개시일은 표. 9 와 같지만, 실제 포장에서의 물 관리 관행으로는 못 자리 용수 공급시 이앙 용수 까지 취수·담수 시키므로 증발에 의한 많은 용수 손실을 야기 시키고 있으며, 기계 이앙에 따른 이앙 용수 관리도 문제점으로 지적되고 있다.

표. 9 지역별 못자리 및 이앙 개시일 및 기간

지 . 역	못자리 정지	이앙 개시일	이앙 기간	비 고
경기·강원·충남북	4 월 6 일	5 월 16 일	15 일간	
영·호남 지방	4 월 11 일	5 월 21 일	20 일간	

## 2) 작물 소비 수량

이제 까지 벼의 소비 수량은 기온의 간단한 입력 자료와 계산의 간편성 때문에 Blaney-Criddle 방법으로 추정하여 왔다.

$$U = 25.4 \times K_c \times P \times t / 100 \quad (8)$$

여기서, U 순별 작물 증발산량  
 $K_c$  : 생육기별 작물 계수  
 P 주간 시간 백분률 (%)  
 t 순별 평균 기온 (F)

이 Blaney-Criddle 방법은 미국 서부 건조 지대 밭 작물의 소비수량 계산을 위하여 개발된 공식으로 분석 결과 너무 크게 추정되는 경향을 보이므로, 최근 기상 관측 자료가 충실해 짐에 따라 증발산의 기본 구조를 에



너지 인자와 기체 역학적 인자로 구성하여 세계적으로 적합성을 널리 평가 받고 있는 Penman 방법을 사용할 것을 권장하고 있다.

$$ET = K_c \times ET_o \quad (9)$$

$$ET_o = W \times R_n + (1 - W) \times f(u) \times (e_a - e_d) \quad (10)$$

- 여기서, ET 작물 증발산량 (mm/day)  
 ET<sub>o</sub>: 기준 작물 증발산량 (mm/day)  
 W 기온에 관련된 가중치  
 R<sub>n</sub> 순 일사량 (mm/day)  
 f(u): 풍속에 관한 함수  
 e<sub>a</sub> 평균 기온에서의 포화 증기압  
 e<sub>d</sub> 대기에서의 실제 평균 증기압  
 k<sub>c</sub> 작물 계수

이 방법을 적용하기 위하여는 일 평균 기온, 습도, 풍속, 일조 시간 또는 일사량 등의 기상 인자의 확보를 전제로 하며, 이 연구에서는 계산 절차와 벼의 작물 계수는 “소비 수량 산정 방법 실용화 연구”(1989)에 따른다.

표.10 벼의 생육기별 Penman 작물 계수 K<sub>c</sub>

지역	5 월		6 월			7 월			8 월			9 월		
	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하
북부	.90	.95	1.00	1.22	1.39	1.50	1.56	1.58	1.56	1.51	1.42	1.31	-	-
중부	.90	.95	1.07	1.24	1.39	1.50	1.59	1.65	1.68	1.68	1.66	1.60	-	-
남부	-	.95	1.10	1.27	1.41	1.52	1.60	1.66	1.68	1.68	1.65	1.60	1.55	-

### 3) 침투량



관개에 의하여 공급된 물은 토양으로 침투되어 근역 아래로 배수되는 양을 침투량이라 하며 mm/day 로 나타낸다. 침투량은 토양의 성질, 구조, 균열, 토심, 담수심, 경지의 고저차, 지질, 지하 수위, 배수 시설 등의 여러 가지 요인에 따라 큰 차이가 있으므로 실측에 의하여 정확한 침투량 값을 구한다. 실측치가 없는 경우는 평균 3~5mm/day 를 적용할 수 있을 것이다.

#### 4) 유효 우량

관개 기간중에 경지에 내린 비의 일부 또는 전부가 유효하게 이용되는 데 이를 유효우량이라 한다. 관개기에는 답의 허용 담수심을 60~80 mm, 평시 담수심을 30 mm로 유지하고, 중간 낙수기에는 답의 허용 담수심을 10 mm로 평시 담수심을 0 mm로 유지하므로써 유효 우량을 고려한다.

#### 5) 관리 손실량

관리 손실량은 포장에서의 재배 관리 손실량과 용수로에서의 시설 관리 손실량 (= 손실률 + 배수 관리 손실률) 의 합으로 나타낸다. 이에 대한 정확한 정의와 포장 시험은 앞으로의 연구 과제이며 일본에서의 기준을 참고하여 관리 손실률을 30~40% 로 적용한다. 이는 이제까지는 주로 수로 손실률 10~20% 만을 관리 손실량으로 취급하였으므로 포장에서의 용수 부족의 원인이 되었으며 앞으로는 보다 많은 관리 용수가 필요하게 될 것이다.

#### 나. 축산 용수

가축이 생리적으로 필요한 물, 사육 관리 작업과 환경 개선을 위한 물과 초지 및 사료 작물의 관개 용수 등을 포함하여 축산 용수라 한다. 축산 용수 공급으로 야기되는 축산 폐수와 관계가 있기 때문에 문제로 제기되고 있다.

표.11 2001 년도의 예상 축산 용수

종 류	1 일 두 당 소요량	2001 년 예 상		비 고
		두 수 (千頭)	총 필요수량 (千톤)	
한·육우	40 l	2,752	40,200	
젖 소	150 l	705	38,600	
돼 지	15 l	7,965	43,600	
닭	0.3 l	102,809	11,300	
초지 관개 용수	년간 300 mm 두당 0.2 ha	705	423,000	
계			556,700	

2001년 예상되는 축산 용수는 약 5억 6천만 m<sup>3</sup> 으로 관개 용수의 약 3 % 에 해당된다는 보고도 있다.

## 2. 생활 용수

생활 용수량은 예상 인구, 보급률, 1인당 급수량에 따라 m<sup>3</sup>/day 로 나타낸다. 계절별 소비 수량도 달라 월별로 고려할 필요가 있다. 大淸 댐의 大田 상수도 생활 용수 공급 1983~90 년의 8년 실적에 의한 월별 변화률은 90~110 % 로서 다음 표.12 와 같다. 생활 용수의 하천에로의 회수율은 약 70% 로서 하천 수질 악화의 요인으로 하수 처리의 대상이 된다. 농촌 생활 용수도 이에 준하게 된다.

표.12 월별 생활 용수 공급 변화

월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	평균
%	93	92	96	96	100	100	110	110	104	104	100	102	100

### 3. 공업 용수

공업 용수량은 일반적으로 원 단위법을 적용하여  $m^3/day$  로 나타내는데, 原單位法에는, 종업원 원 단위, 출하액 원 단위, 부지 면적 원 단위 등이 있는데 우리나라에서는 대부분 부지 단위 원 단위를 적용한다. 大淸 댐의 大田 상수도 공업 용수 공급 1983~90년의 8년 실적에 의한 월별 변화율은 80~120% 로서 다음 표. 13 과 같다. 공업 용수의 하천으로의 회수율은 약 90% 로서 하천 수질 악화의 요인으로 하수 처리의 대상이 된다. 농공 단지의 용수량도 이에 준하게 된다.

표.13 월별 공업 용수 공급 변화

월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	평균
%	90	90	82	82	88	108	118	120	118	110	98	94	100

### 4. 하천 유지 용수

하천 유지 용수의 기능은 주운, 염해 방지, 적정 취수심 유지, 수질 보전, 어업·하구 폐쇄의 방지, 지하 수위 유지, 하천 생태계 보전, 경관 등 하천의 정상적인 기능을 수행하는 데 필요한 최소한의 하천 유량으로 볼 수 있다.

또한, 도시 하천의 경관을 개선하고 시민 정서 함양을 위한 도시 소하천 환경 용수 공급도 친수 공간 확보 차원에서의 하천 유지 용수로 취급할 수 있다.

#### 가. 갈수기 하천 수질과 환경·생태계 유지 용수

갈수기 하천의 수질과 환경·생태계 유지에 필요한 최소한의 유량을 하천 유지 용수로 정의할 수 있으나 量的 계산에 대한 기준은 설정되어 있지

않은 실정이다.

더우기, 저수지를 건설할 때와 유역 변경에 의하여 타 유역으로 용수를 전용할 때에는, 갈수기에 하류 측 하천의 기능이 유지될 수 있도록 기득수리권에 대한 책임 방류를 보장하도록 되어 있다. 하천 유지 용수를 계산하는데는 주로 평균 갈수량 (355 일 유량의 년 평균치) 또는 기준 갈수량 (10년 빈도 7일 갈수량) 으로 취하거나 생물이 생존 가능한 DO 4 ppm 을 유지할 수 있는 하천 유량으로 취하기도한다. 기왕에 우리 나라의 하천에서 분석한 2001년의 수계 별 하천 유지 용수를 정리하면 다음 표.14 과 같다.

표.14 주요 하천의 기준 갈수량과 하천 유지 용수 ( mm/day)

하천명	기준 갈수량		하천 유지 용수		비 고
	지점	갈수량	건설부(BIO)	국토개발연	
한 강	충주	0.14	0.50	-	
낙동강	동촌	0.11	0.26	-	
금 강	규암	0.24	0.35	0.26	
영산강	나주	0.26	0.93	0.31	
섬진강	송정	0.20	0.10	0.24	
동진강		-	0.13	-	
만경강		-	0.27	-	

우리 나라 다목적 댐 가운데서 충주 댐 관리 규정에는 하천 유지 용수의 공급 기준을 구체적으로 제시하고 있으나, 소양강 댐, 대청 댐, 안동 댐 관리 규정 등에는 하천 유지 용수를 공급하도록 하고 있지만 량에 대하여 명시한 것이 없고 상시 발전 용수에 대해서만 제시하고 있다. 금강 하구 지점에서 갈수기 하천 유지 용수량은 30m<sup>3</sup>/sec (약 0.26 mm/day) 이며, 미국 Arkansas 주 White river 의 Batesville 지점(유역 면적 11,062 sq. m) 에서의 하천 유지 용수량은 겨울철 0.26 mm/day, 여름철 0.43 mm/day 이다.



표.15 다목적 댐의 하천 유지 용수량 (m<sup>3</sup>/sec)

댐 명	하천 유지 용수량	용수심	비 고
충주 댐	32.6 m <sup>3</sup> /sec 이상	0.4 mm	이상 갈수기 10.6 m <sup>3</sup> /sec 상시 발전 용수 " "
소양강 댐	5 시간, 250.8 m <sup>3</sup> /sec	1.6 mm	
대청 댐	5 시간, 264 m <sup>3</sup> /sec	1.1 mm	
안동 댐	5 시간, 105 m <sup>3</sup> /sec	1.2 mm	

이상의 내용을 종합하여 볼 때, 저수지를 건설하려면 수질 보전과 수리 기득권 측면에서 하천 유지 용수의 책임 방류량을 여름철 갈수기의 유입량이 0.40mm/day 이하인 경우에 0.40mm/day 이 되도록 방류하고, 겨울철에는 0.25mm/day 이하인 경우에 0.25mm/day 이 되도록 방류하는 것이 바람직할 것이다.

#### 나. 소하천 유지 용수량

갈수기 도시 하천의 건천화를 방지하여 하천 생태계를 유지하고, 경관을 개선하여 시민의 정서를 함양하기 위한 친수 공간 확보 차원에서의 하천 유지 용수 공급의 필요성이 최근 대두되고 있다. 최근, 서울시에서는 牛耳川 하천 환경 정비 등을 시범적으로 계획하고 있어 이에 대한 연구가 요구되고 있다. 여기에서는 일본의 예를 들면 다음과 같다. (일본, 수 환경 관리 자료)

##### 1) 수면 폭

일본에서의 여론 조사에 의하면 수면 폭(B)은 최소(0.2~0.3×하천 폭(L))로 나타났으며, 서울시 관내 중·소하천에서는 (0.3×하천 폭)을 계획하고 있다.

##### 2) 유속

중·소하천에서 도시 경관용 하천의 유속은 흐름을 매우 완만하게 느낄

수 있고, 수면에는 거의 파가 일어나지 않는 0.2 m/sec 이내 적합할 것이다.

### 3) 수심

수심은 하상 재료가 보이지 않을 정도의 수심인 적어도 10 cm 이상이 좋다. 서울시에서는 하천 기울기에 따라 1/100 이상에서는 수심 10 cm, 유속 0.30 m/sec, 1/100~1/300 에서는 15 cm, 0.2 m/sec, 1/300 이하에서는 20 cm, 0.15 m/sec 로 정하고 있다.

### 4) 유량

이상의 기준에 의하면 도시 소하천의 환경 용수는 하천 폭 1 m당 최소한 9 l/sec( = 0.3×0.1m×0.3m/sec ) 가 필요하여, 우리 나라 중·소 하천의 하천 폭 공식 (11)을 적용하면 하천 유지 용수량은 다음 식 (12) 과 같으며, 일본에서는 하천 유역 면적 100 km<sup>2</sup>에 약 1 m<sup>3</sup>/sec를 기준 갈수량으로 취하고 있다.

$$L = 1.303 \times A^{0.318} \cdot I^{-0.5} \text{ (m)} \quad (11)$$

$$Q = 0.0117 \times A^{0.318} \cdot I^{-0.5} \text{ (m}^3\text{/sec)} \quad (12)$$

$$Q = A^{-0.682} \cdot I^{-0.5} \text{ (mm)}$$

여기서, L : 하천 폭 ( m),

A : 유역 면적 ( km<sup>2</sup>)

I : 하천 경사,

Q : 하천 유지 용수 ( m<sup>3</sup>/sec)

## 5. 농촌 관광 용수

지역 자원을 유효하게 이용하기 위하여는 농업 수리 시설을 관광 자원으로 이용하려는 것은 당연하고, 요즘 커다란 사회적 요청이 되고 있다. 농업 수리 시설을 관광 시설로 이용하는 것은 농촌 근대화 촉진법에 기초한

규정에 따라 가능하다. 앞으로는 농업 수리 사업도 자연 환경의 보전과 그의 공익적 이용 가치를 높일 수 있도록 하여야 할 것이다. 관개 저수지 및 수로를 농촌 관광 용수로 이용하는 데는 원래의 저수지 목적인 관개 용수와 사이에는 저수위의 원활한 유지와 수질의 문제를 사전에 조정할 필요가 있다.

## 6. 소수력 발전 용수

1974 년 1차 유류 파동 이후, 관개 저수지의 소수력 발전과 농촌 생활 용수 공급 가능성에 대한 조사 결과, (농진공, 1980) 농조 관할 관개 저수지 2,151개 중에서 약 140개 정도는 시설 확장 또는 보수에 의하여 유역내 수자원을 최대한 이용하여 저수지와 인접한 농촌과 소도시의 농촌 생활 용수 및 전기를 일부 해결하고, 관개시 인근 양수장 지역의 농업용 전력을 공급하며 미개발된 고지대 2단 양수장용 전력 및 과수원 급수용 전력 공급 가능성이 있다고 조사한 바 있어, 이의 심도 있는 연구가 앞으로 요구된다.

### 3.5.3 침전량

상류 유역의 토양의 종류, 강우 강도, 토지 이용에 따라 토사 침식(Erosion) 이 일어나고, 이 토사는 하천 유출 과정에 유송(Transport) 되어 저수지에 침전(Deposit) 하게 된다. 저수지 설계시에는 저수 용량을 결정하기 위하여 설계 수명 기간 동안의 침전량을, 저수지 관리시에는 저수 능력을 평가하기 위하여 시간 경과에 따른 침전량과 분포를 추정하여야 한다.

#### 1. 신설 저수지의 침전량 추정

모든 저수지는 유역에서의 유사 현상의 결과로 어느 정도의 침전량이 있게 마련이며 이에 따라 저수 용량이 감소하게 되므로, 저수지의 설계 수명 기간 동안의 침전량을 고려한 저수 용량을 결정한다. (보통 예상 침전량이

총 저수 용량의 5% 이상인 경우)

저수지 침전량 조사 분석 결과에 따르면 년 평균 침전량은 표.16 과 같이 유역 면적과 저수 용량에 밀접한 관계가 있는 것으로 알려져 있으며 이에 대한 연구는 유역에 따라 많으므로 적합한 것을 적용할 수 있다.

표.16 저수지의 년 평균 침전률과 유역 면적과의 관계식

분석자	분석유역	유역범위(km <sup>2</sup> )	년도	추정 공식
金	담수호	209 ~ 1,639 3 개소	'90	$Q_s = 5,610 \times A^{-0.44}$
李	삽교천, 안성천	1.44 ~ 93.0 25 개소	'92	$Q_s = 830.5 \times A^{-.902} \cdot IRC^{0.315}$
金	전국 농 조 저수지	2 ~ 71 100 개소	'93	$Q_s = 196.33 \times A^{-1.163} C^{0.301}$
柳	삽교천	2.1 ~ 21.1 9 개소	'75	$Q_s = 1.43 \times A^{-0.469} C^{0.531}$
B&P	전국 저수지	0.15 ~ 84.8 105 개소	'78	$Q_s = 255.4 \times A^{-0.8184} \cdot IRC^{0.5774}$
安	영산강	0.7 ~ 33.0 26 개소	'84	$Q_s = 3,007 \times A^{-0.361} \cdot T_e^{16.09}$

$$T_e = 100 \left[ 1 - \frac{1}{1 + 0.00021 (C / A)} \right], \text{ 저수용량 : } C \text{ (m}^3\text{), IRC (ha-m)}$$

담수호의 경우에는 조위에 따라 배제 시간에 제약을 받아 포착 시간이 길어지는 등 저수지와는 침전 기구가 다르므로, 10년 이상 경과하고 침전



량 조사를 실시한 담수호는 3개소에 대하여 표.17 으로부터 유역 면적과 년 평균 침전량과의 관계를 구한 경험식은 다음 식 (13)과 같다.

$$Q_s = 5,610 \times A^{-0.44} \quad (13)$$

여기서,  $Q_s$  년 평균 침전률 ( $m^3/yr/km^2$ )  
 $A$  유역 면적 ( $km^2$ )

표.17 담수호의 관측 년 평균 침전률

담수호명칭	경과년수	유역면적 ( $km^2$ )	만수면적 ( $km^2$ )	총침전량 ( $m^3$ )	년 평균침전률 ( $m^3/km^2/yr$ )	년 평균 침전고(cm)
삼교호	13	1,263	19.13	4,578,100	278.8	1.8
남양호	16	209	7.61	1,751,740	523.2	1.4
아산호	13	1,634	23.22	4,026,762	189.6	1.3

이 연구에서는 담수호의 경우는 金(1990)의, 관개 저수지의 경우는 삼교, 안성천의 경우는 李(1992)의, 그 외의 유역은 金(1993)의 추정 공식을 적용하고자 한다.

## 2. 기설 저수지의 침전량 및 분포

기설 저수지의 저수 능력을 평가하려면 수심 측량 등에 의하여 저수지 축조 이후 침전된 침전량과 표고별 분포를 실측하여 새로운 내용적 곡선을 작성하는 것이 바람직하다. 침전량 조사가 없는 경우에는, 저수지 축조 경과 년수에 따른 총 침전량 계산은 물론 이의 표고 별 분포를 추정하여 새로운 내용적 곡선을 작성하여 저수지 능력 평가하여야 한다. 경과 년수에 따른 총 침전량은 표.16에 의하여 구하고, 다음의 USBR방법으로 내용적에 분포시킨다.

수심 백분률에 대한 침전량 백분률인 수심에 따른 침전량 분포를 구해 두면 저수지 기본 계획 단계에서 침전량 분포를 예측하는데 필요한 침전량 분포 설계 곡선을 찾을 수 있다. 당초의 수심과 내용적의 기울기의 역수를 취하여 형상 계수  $m$  이라 하고 이 값에 따라 저수지 형태를 표.18 와 같이 4가지로 분류하고 총 침전량, 저수 용량, 깊이, 면적의 무차원 함수  $F$ (Dimensionless function)를 도입하고,  $F$  는 다음 (14)식으로 정의하고 있다.

$$F = ( S - V_h ) / H \cdot A_h \quad (14)$$

여기서  $S$  총 침전량,  $V_h$  : 표고  $h$  의 저수 용량  
 $H$  : 건설 당시의 저수지 깊이,  $A_h$  : 표고  $h$  의 저수지 면적

표.18 형상 계수  $m$  에 따른 저수지 형태 구분

저수지 형태	구분	$m$	비고
I	Lake	3.5 ~ 4.5	
II	Flood plain-foothill	2.5 ~ 3.5	
III	Hill	1.5 ~ 2.5	
IV	Normally empty	-	

표.18 의 Type 에 따라 상대 깊이  $p$  와 무차원 함수  $F$  로 부터 경과년의 침전량과 표고별 분포를 추정하여 새로운 내용적 곡선을 구하여 저수 능력을 평가한다.

### 3.5.4 수면 증발량

저수지 수면으로 부터의 증발 손실량은 인근 측후소의 증발계 증발량에 환산 계수 0.7을 곱하여 추정한다.

## 제 4 장 貯水 容量 決定

이상의 각종 용수량과 유입량을 기본 저류 방정식에 적용하여 일별로 물 수지 분석하고 정해진 신뢰률에 따라 거동 분석 방법으로 저수 용량을 결정하게 된다.

저수 용량 결정 방법은 이론적으로 실제 관측 자료에 의한 물 수지 방법(Historical balancing)인 갈수 기간 방법(Critical period methods), 통계·확률 처리된 자료에 의한 물 수지 방법(Synthetic balancing)인 추계학적 추정에 의한 모의 발생 방법(Simulation with generated data)과 확률 행렬 방법(Probability matrix methods) 등의 세가지 방법으로 대별할 수 있으며 분석 대상의 성격에 따라 선택한다.

저수지 설계에는 갈수 기간 방법으로 예비 설계에 적합한 누가 곡선(Mass curve) 방법과 실시 설계에 적합한 거동 분석 또는 모의 발생 방법(Behaviour or Simulation analysis)이 가장 널리 실용되고 있다. 세계적으로는 1980년대에 들어서는 그림. 1에서와 같이 추계학적으로 모의 발생한 비역사성 합성 수문 자료로 저수지의 저류-방류 계획을 수립하는 기술이 수자원 계획에 도입되고 있다.

### 4.1 현행의 방법

농림수산부(1982)의 농지개량사업 설계 기준(담편)에 의하면 농업 용수 공급을 위한 유효 저수량은 “10년에 한번 정도의 가뭄을 기준으로 취수 지점 누가 부족 수량의 피크 용량을 구하고, 여기에 각종 손실량을 더하여 구한다”고 되어 있다. 따라서, 최근 10년간의 필요 저수량 중 가장 큰 값을 계획 용량으로 결정하거나, 과거 수 십년간의 필요 저수량을 매년 계산하여 Plotting position 등 가장 적합한 확률 분포를 기준으로 10년 빈도에 해당되는 저수 용량을 계획 용량으로 결정하거나, 과거 수 십년간의 자료로부터 10년 빈도에 해당되는 기준년을 설정하여 그 해의 저수 용량을 계획 용량으로 결정하거나 한다.



관개 저수지 설계에서 현행의 저수 용량 결정 방법은 梶山の 월 수수량 공식으로 부터 旬別유출량을, Blaney & Criddle 방법으로 旬別증발산량을 구하여 旬別로 물 수지를 분석하여, 과거 수 십년간의 필요 저수량을 매년 계산하여 가장 적합한 확률 분포를 적용하여 10년 빈도에 해당되는 저수 용량을 계획 용량으로 결정하고 있다.

이수 관리의 합리화와 기술 발전에 따라 현행의 방법으로는 관개 기간중 어느 시기에 최대 부족량이 발생하는 지를 알 수 없다는 한계가 지적되고 있으며, 겨울철 갈수기와 생·공업 용수 공급으로 만수가 되지 않은 채 관개기를 맞이하는 다목적 관개 저수지의 저수 용량 결정을 위해서는 생육기 별 한발 지속 일 수를 파악할 수 있는 일별 물 수지 분석이 불가피하다.

#### 4.2 저수량 고갈 빈도에 의한 방법

현행의 관개 저수 용량 결정 방법과는 다르게 DAWAST모형으로 일별 유출량을, Penman방법으로 일 증발산량을 구하여 일별로 물 수지를 분석하여, 초기 저수 용량(관개 면적×단위 저수량)을 가정하여 입력 자료의 년 수에 따라 저수위 변화를 모의 발생하여 Plotting position방법으로 10년 빈도에 해당 되는 저수량 고갈 횟 수가 될 때까지 반복하여 저수 용량을 試算하는 새로운 관개 저수 용량 결정 방법을 제시하고자 한다. 이 방법은 겨울철 갈수기와 생·공업 용수 공급으로 만수가 되지 않은 채 관개기를 맞이하는 다목적 관개 저수지의 저수 용량 결정에 적합할 것으로 생각된다.

또한, 관개 용수는 생육기에 따라 물 부족의 피해가 크게 다르므로, 물 부족의 피해가 심각한 이앙기인 5월 15일~6월 15일 과 幼穗 形成·出穗 開花期인 7월 11일~7월 31일 사이의 고갈 횟 수와 기간의 고갈 횟 수를 차등을 두어 고갈 빈도를 구하여 저수 용량을 결정하는 새로운 개념의 정립도 고려할 수 있다.



$$P_m = n_a / n \quad (15)$$

여기서,  $n_a$  생육기를 고려한 저수지 고갈 횟 수  
 $n$  전체 분석 년 수

또한, 고갈 횟 수 산정시에 생육 시기 또는 갈수 심도를 고려할 수 있다. 앞으로 이와 같이 생육 시기 또는 갈수 심도를 고려한 저수 용량 결정에 대한 설계 기준의 재정립이 요청된다.

## 제 5 장 灌漑 貯水池의 利水 管理

저수지의 저수 용량은 설계에 사용된 과거의 기상, 수문 현상이 설계 수명 기간 동안에도 다시 재현된다는 가정하에서 이루어진 것이다. 그러나, 자연 현상의 우연성 (Random) 때문에 예측한 대로 재현되지 않는 것이 현실이다. 따라서, 저수지 건설 후에 현실적으로 운영된 저수위 기록으로부터 유입량과 방류량의 실적을 분석하여, 미래의 저수위를 예측하여 효율적으로 물 관리할 수 있는 이수 관리 규정을 정하여 관리하는 것이 바람직할 것이다. 그러나, 이렇게 구한 이수 관리 규정 또한 자연 현상의 재현성에 기초한 경험으로부터 얻은 정보로서, 자연의 우연성을 알 수 없는 것이 어차피 인간의 영역이다.

방류량은 필요에 의하여 일정 기간 동안 저수지에서 공급하는 수량으로서 홍수시 물넘이를 월류하는 양은 이에 속하지 않는다. 방류률은 평균 유입량에 대한 방류량 백분률로 나타내며 일반적으로 50~70%의 값을 가진다.

또한, 저수지 群에서 저수지 능력 평가에 의한 새로운 저수지 건설 시점을 결정하게 된다.

## 5.1 이수 관리의 정의 (Release or Operation rule)

저수지 설계시에는 어느 저수위 상태일 때, 즉, 갈수위 또는 홍수위일 때, 어떤 량의 방류를 해야 할 지를 객관적인 기준하에 조정할 수 있는 방류 계획을 규정하게 된다. 갈수위에서의 방류 계획을 이수 관리, 홍수위에서의 방류 계획을 홍수 관리라고 한다. 이들 관리 계획은 대단히 복잡하여 일반적이고 실용적인 방법은 없으므로 각 물 관리 주체가 수립해야 할 것이다.

저수지의 능력을 평가하여 새로운 물 공급 방류 규칙을 수립하려면 시간적으로 당초 설계서의 운영 규칙을 수립한 지 수 년이 경과한 후 이므로 그 동안에 관측된 저수위에 의한 수요-공급상의 제반 자료와 저수지 침전량, 저수지 수질등 새로운 자료를 분석하여 평가해야 할 것이다.

방류 계획에는 저수 용량, 계절에 관계 없이 소요량 전량을 공급하여 저수지가 고갈되면 소요량을 전혀 공급하지 못하는 무제한 방류(Simple release) 와 저수 용량이 감소함에 따라 수요량에 대한 급수를 제한하여 저수지 고갈로 인한 급수 불능을 막기 위한 제한 방류 (Restricted release) 가 있다. 이 제한 방류 규칙은 대단히 복잡하여 일반적이고 실용적인 방법은 없으므로 물 관리 주체가 수립해야 할 것이다. 저수량을 최대한 효율적으로 이용할 수 있는 계획 수립하는데 가장 큰 문제점이 미리 유입량을 예측할 수 없다는 것이다. 이러한 측면에서 그날 그날의 방류의 가장 적합한 계획은 더 이상 기술적 모의 발생의 문제가 아니다. 유입량 예측은 불과 몇 일 후만 가능하기 때문이다. 따라서, 예측은 불가능하더라도, 그 동안의 유입량에 대한 저수위의 거동을 분석하여 이수 관리 규정을 수립하면 가장 효율적인 저수지 운영이 가능할 것이다.

## 5.2 이수 관리 곡선 (Rule Curve)

계획적으로 저수량을 운영하는 지구의 댐 저수량은 적어도 관개기가 끝나기 전까지는 저수량이 바닥이 드러나지 않도록 관리를 해야 하므로, 저

수량이 감소하면 節水 등의 방법으로 물 관리를 강화하게 된다. 그러나, 이때 물 관리 담당자는 물 관리 강화 방법을 정성적으로는 파악하여 운영하지만, 정량적으로 파악하여 운영하는 방법은 아직 확립되어 있지 않다. 이를 위한 이수 관리 규정은 Operation Rule curve 또는 Table 을 기초로 작성하게 된다. Rule curve 는 년중 시간에 따른 물 수요량의 관계로 작성된다. 이수 관리 곡선은 기준 저수량 곡선과 방류 제한 저수량 곡선으로 구성되며 그 내용은 다음과 같다.

### 5.2.1 기준 저수량 곡선

저수량 관리는 풍수기에는 유효 방류량을 촉진하여 하류 지역의 물 수요를 찾아 적극적으로 공급하는 것이고, 갈수기에는 저수량이 감소한 상태에서 적합한 방법으로 유효 방류량을 억제하여 수역 지역의 물 수요를 중단 없이 공급하는 계획을 말한다. 이러한 2 개의 서로 상반되는 목표를 조화롭게 조정할 수 있는 객관적인 기준의 하나로 관개 시기별로 일정한 저수량 수준을 설정하고 이를 기준 저수량 곡선이라고 한다.

이 기준 저수량 곡선은 관개기 말일에는 저수량이 零이 되도록 일정 확률 기준년을 고려하여 시기별로 갈수기 필요 저수량 곡선을 기초로 실제 저수 관리 조작의 편리성을 감안해서 작성하게 된다. 이 기준 저수량 곡선을 경계로 실제의 저수위가 이 보다 높으면 물 수요에 따라 유효 방류를 촉진하게 되며, 이 보다 낮으면 갈수 대책을 위하여 유효 방류를 억제하게 된다.

기준 저수량 곡선을 작성하는 방법은 다음과 같다.

관개 기간의 各 期別 (일별 또는 5일별) 로 저수지 유입량과 포장의 粗用水量 과의 차이인 물 부족량을 식 (16)과 같이 구하여, 이를 관개기 말일을 시점으로 하여 逆順으로 각 기별 누가 필요 저수량을 식 (17)과 같이 구한 다음, 이를 각 기별로 크기순으로 나열하여 Plotting position 등의 확



를 개념으로 특정일 1 일의 확률 빈도별 누가 필요 저수량을 결정하여, 이로부터 빈도별 필요 저수량 곡선을 작성한다. 특정일 1 일의 저수량이 그날의 확률 (P) 필요 저수량보다 적지 않으면, 적어도 관개기말 까지 저수량이 零 이하로 떨어지지 않을 확률이 1 - P 임을 뜻한다. 여기에서 확률 P는 농업 용수의 설계 빈도가 보통 10년이므로 0.1 에서 크게 벗어나지 않으며, 계산된 시점의 필요 저수량 곡선의 저수량 V 가 저수지의 저수용량 V<sub>0</sub> 와 일치하도록 조정하여 기준 저수량 곡선을 작성한다.

$$DEF(i) = INF(i) - GDW(i) \quad (16)$$

$$STV(i) = STV(i+1) - DEF(i) \quad (17)$$

$$STV(i) < 0, \quad STV(i) = 0 \quad (18)$$

여기서, 1 일 또는 5 일의 기별  
 INF 저수지 유입량 (Inflow)  
 GDW 포장의 조 용수량 (Gross Duty of Water)  
 DEF 물 부족량 (Deficit)  
 STV 필요 저수량 (STorage Volume)

### 5.2.2 방류 제한 저수량 곡선

실제 저수량이 기준 저수량 곡선보다 낮게 되면, 방류 제한을 하게되며, 잔유 저수량의 정도에 따라 방류 제한률 S( = 방류 제한량/필요 수량) 를 나타내는 저수량 수준을 설정하고 이를 방류 제한 저수량 곡선이라고 한다. 실제 저수위가 점점 감소하면 이에 해당되는 방류 제한 저수량 곡선의 점점 증가된 방류 제한률을 적용하여 방류하게 된다.

방류 제한 저수량 곡선을 구하는 방법은 기준 저수량 곡선 설정 방법의 절차와 거의 같다. 즉, 관개기 말일에서 부터 방류 제한률 S 를 적용하여 기별로 식 (16)의 GWD(i) 대신에 방류 제한률 S 를 고려한 경우의 기별 물 부족량을 계산하여, 기준 저수량 곡선에서와 같은 방법으로 방류



제한률별로 방류 제한 저수량 곡선을 작성한다. 이 때 S 는 보통 10, 30, 50, 70% 등이 적용된다.

$$\text{DEFS}(i) = \text{INF}(i) - (1 - S) \cdot \text{GDW}(i) \quad (19)$$

$$\text{STV}(i) = \text{STV}(i+1) - \text{DEFS}(i) \quad (20)$$

$$\text{STV}(i) < 0, \quad \text{STV}(i) = 0 \quad (21)$$

여기서, DEFS : 방류 제한률을 고려한 물 부족량

### 5.2.3 이수 관리 곡선에 의한 저수량 관리

이상의 기준 저수량 곡선과 방류 제한 저수량 곡선에 의한 저수지 이수 관리 곡선에 따라 시기별, 저수위에 따른 용수별 방류 제한률을 적용하여 효율적으로 이수 관리를 할 수 있다. 즉, 그림. 8 에서 어느 시점의 저수위가  $P_1$  에 있다면, 이 때의 제한 방류률이  $S_1$  에 속하므로  $S_1$  만큼 제한 방류하고, 저수위가  $P_2$  로 강하하면  $S_3$  만큼 제한 방류하고, 다시 저수위가  $P_3$  로 회복되면 제한 방류를 해제하게 된다.

## 제 6 장 灌溉 貯水池의 貯水量 擴大 方案

정주권 개발과 도시화에 따라 농촌 지역이 도시 지역과 混在하게 되므로 시설 관개 저수지를 타목적과 공동으로 이용해야 할 필요가 있거나, 또는 관개 저수지를 신설할 때 다목적으로 이용할 수 있도록 설계해야 할 필요가 있다. 즉, 관개 저수지의 주 목적은 관개 용수 공급이지만 홍수 조절 기능, 생·공업 용수, 발전 용수, 위락 용수 등 지역이 필요로 하는 수자원의 이용과 보전을 위하여 수자원 시설을 효율적으로 이용하는 것이 바람직하다.

앞으로는 농업 수리 시설도 자연 환경의 보전과 공익적 이용 가치를 높

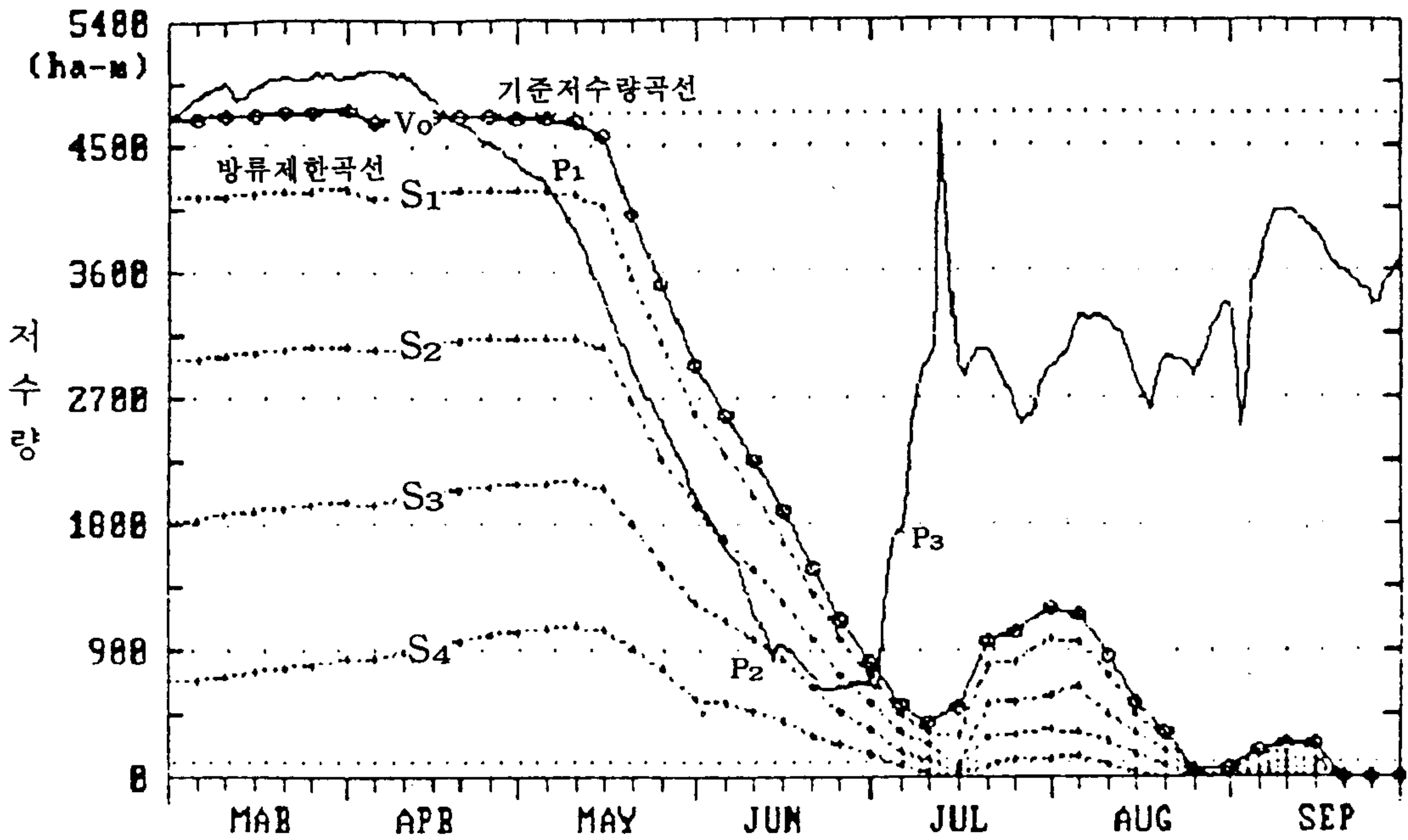


그림. 8 이수 관리 곡선에 의한 저수량 관리 예

일 수 있도록 하여야 할 것이다.

관개 저수지의 저수 용량 결정은 10년 빈도, 즉, 10년에 평균 1 회 저수지가 고갈되어 관개 용수 공급을 못하는 것으로 설계 한다. 이는 바꾸어 말하면 나머지 9 년간에는 용수 공급에 여유가 있다는 것을 의미하며, 더우기, 비관개기에는 항상 여유가 있다는 것을 알 수 있다. 이러한 사실은 관개 저수지인 예당지의 과거 10년간의 운영 실적인 그림. 9 로 부터도 알 수 있다.

따라서, 평균 10년에 1회의 갈수년의 관개기에 대한 별도의 용수 공급 대책만 수립하면 농업 용수를 다목적으로 이용할 수 있다는 것을 의미하며, 이제까지 거의 이앙기에만 집중적으로 이용되고 년중 방치되고 있는 귀중한 수리 시설물과 수자원을 사철 다목적으로 이용할 수 있을 것이다.

이를 위하여 시설 관개 저수지의 효율적 이수 관리, 사수량 이용 방안, 저수지 시설 보수와 저수지 균의 평형 저수량 관리에 의하여 갈수년 관개기에 각종 용수를 확보하는 방안을 강구하고, 이 확보된 관개 용수를 주변의 여건 변화에 적합하게 다목적으로 이용할 수 있는 농어촌 용수 공급 방안을 강구하고자 한다.

## 6.1 저수지 시설 보수

관개 저수지가 다목적으로 이용되는 것은 내수면 가두리 양식, 내수면 낚시, 유람선장, 생활 용수, 공업 용수, 관광 용수 등이며 최근 농조의 수익사업 개발 차원에서 활성화하기 위해서도 저수지 시설 보완에 의한 유효저수량의 확대는 중요하다. 강릉 저수지는 관개, 생활, 발전 용수 등 다목적으로 설계하여 관리되고 있고 관개 저수지인 삼교호, 방동 저수지의 경우 적절한 이수 관리로 공업 용수를 공급하고 있다.

조사 자료 (1980, 농진공)에 따르면 저수지 嵩上이나 적절한 시설 보수로 농촌 상수도 및 소수력 발전 등 관개 저수지를 다목적으로 이용할 수 있는 저수지가 전국에는 약 140 여개가 있다고 조사하였다.

상기한 효율적 이수 관리 방안과 갈수기에 사수량 이용 방안은 별도의 시설 투자없이 기존 저수량을 관리 개선하여 관개 저수지를 다목적으로 이용하려는 방안인데 반하여, 시설 보수에 의한 방안은 별도의 시설 투자가 필요하지만, 궤폐 농지와 용지 매수비가 적어 신규 댐 건설 보다 저렴하고 공사 조건이 용이한 특징을 가지고 있다. 시설 보수에 의한 관개 저수지의 다목적 이용에는 다음의 방법이 있다.

### 6.1.1 저수지 嵩上에 의한 저수 용량 확대

유역 면적이 여유가 있는 경우 기존 저수지의 제방을 더쌓기 하여 유효저수량을 확대할 수 있다.

### 6.1.2 물넘이 구조 변경에 의한 유효 저수량 확대

제방 높이에 여유가 있고 만수 면적이 큰 경우에는, 자유 월류식 물넘이에 월류 수심 정도 높이의 수문 또는 고무 댐 등을 설치하여 유효 저수량을 확대할 수 있다.

### 6.1.3 침전량 준설에 의한 유효 저수량 확대

침전량 준설에 의하여 유효 저수량을 확대할 수 있고, 또한 골재 채취이용의 이중의 효과를 얻을 수 있다.

### 6.1.4 관개 용수로의 콘크리트 개거화

우리 나라 관개 용수로의 84% 가 흙수로 손실률이 커서 관개 저수지의 저수량이 과대하게 낭비되고 있다. 콘크리트 개거 수로로 손실률을 줄이면, 농지 개량 조합에서 관리하는 관개 저수지의 총 유효 저수량이 약 19.75억톤이고, 유효 방류량을 150% 로 볼 때, 흙수로를 전부 콘크리트 개거로 교체하면 연간 수 억 m<sup>3</sup> 의 저수량을 절약할 수 있을 것이다.

표.19 조합 관리 관개 저수지의 제원

내용	관개 저수지 개수	관 개 면 적	수면적	유효 저수량	평 균		
					관개면적	수면적	유효저수량
	ea.	ha.	ha.	ha-m	ha.	ha.	ha-m
농조	2,831	373,408	41,130	197,500	132	14.5	70

## 6.2 효율적인 이수 관리 방안

현실적으로 운영된 저수위 기록으로 부터 유입량과 방류량의 실적을 분석하여, 미래의 저수위를 예측하여 효율적으로 물 관리할 수 있을 것이다.



### 6.2.1 관개 저수지 예당지의 운영 실적

관개 단일 목적 댐인 禮唐池의 저수 용량 이용 현황을 일별 저수위로 비교해 보면 그림. 9 에서 보는 바와 같이 관개기 6, 7 월 이외에는 거의 만수 상태로 저류되어 있고, 13개년 (1978~1990 년) 중에서 갈수년인 3개년의 관개기에는 갈수위까지 내려가지만 그 이외의 해에는 관개기, 비관개기를 막론하고 저수량이 여유있게 남아 있어, 전체적으로 유효 방류률은 작고 무효 방류률은 커서 관개용 저수지의 수자원이 방치되어 있는 것을 뚜렷이 알 수 있다.

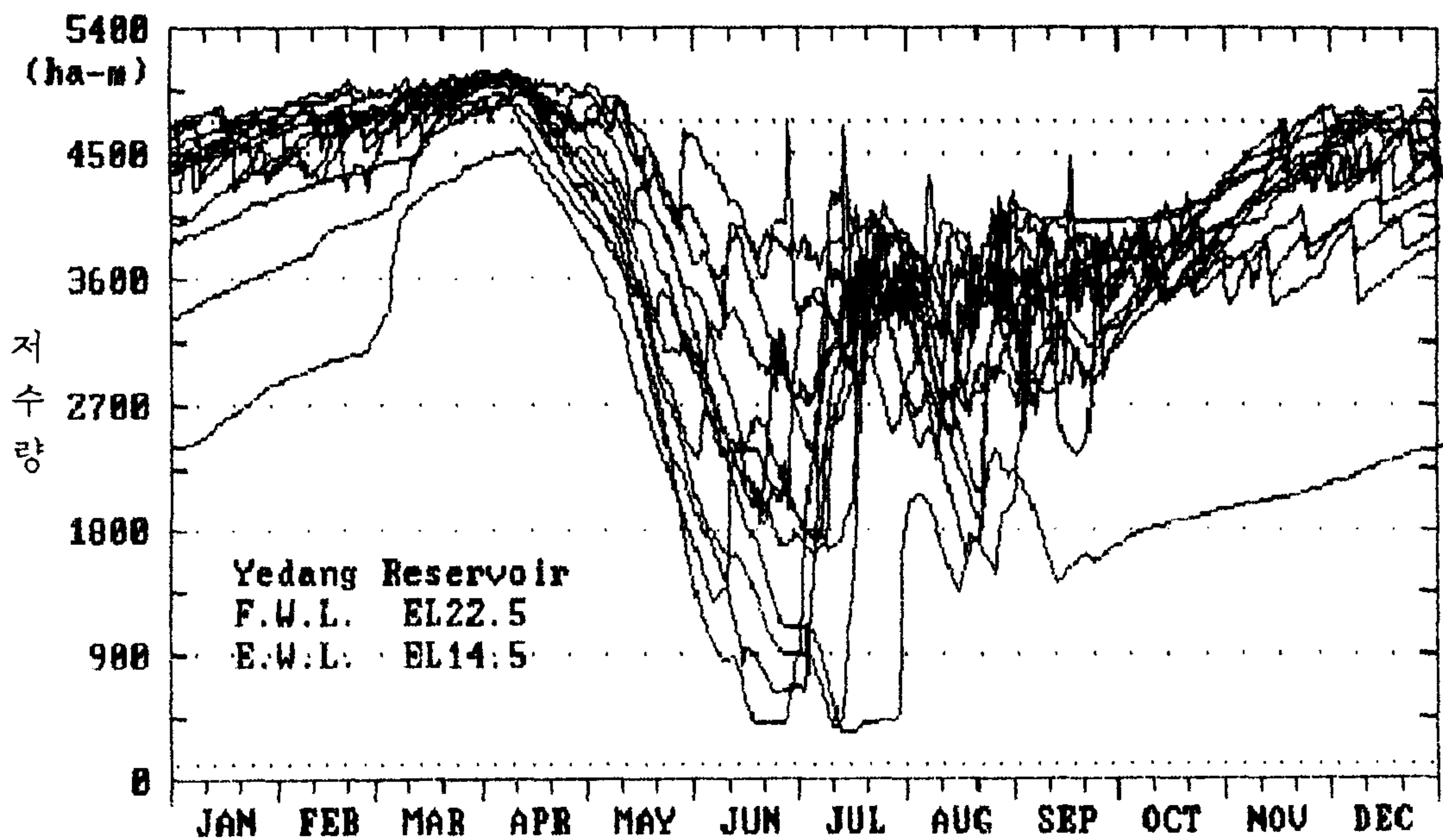


그림. 9 예당 저수지의 저수위 기록 (1978~1990 년)

그림. 9 에서와 같이 10월 부터 다음 해 4월까지 비관개기의 잉여 저수량을 생활·농공 단지·축산·환경 용수로 다목적으로 이용할 때, 다음 해 관개기 시점인 5월에 저수량 상태를 확인하고 갈수년 관개기에 적절한 이

수 관리와 사수량 이용으로 관개 저수지의 다목적 이용 가능한 지, 그 량이 얼마인지를 알 수 있다.

禮唐池의 현행 이수 관리에 의한 물 수지 내역을 요약하면 다음과 같다.

禮唐池의 경우, 표.20 에서와 같이 년 평균 강우량은 1,178.7mm, 유출률은 49.5%이다. 방류률은 약 35% 로 연간 유입량의 35% 인 6천 9백만  $m^3$ 을 저류·방류하고 약 65%는 매년 무효 방류된다. 유효 방류률은 149% 로서 유효 저수량의 1.5배를 연간 공급하는 셈이다. 관개 저수지인 插橋湖의 지난 7년간 (1983~89)의 평균 유효 방류률도 약 140%정도이다.

또한, 농진공(1980)에 따르면, 우리나라 140개소의 관개 저수지의 평균 저수률은 26%, 유효 방류률은 141% 로 조사된 것으로 볼 때, 관개 저수지는 유효 저수량의 1.5배를 연간 공급하는 것으로 추정할 수 있다. 日本의 95개 다목적 댐의 평균 저수률은 12%, 유효 방류률은 222% 로서, 일본에서도 다목적 댐이 적은 저수률에 큰 방류률을 보여 효율적으로 이용하는 것을 알 수 있다.

표.20 禮唐池의 연간 급수 운영 실적 (1978~87)

년도	강우량	유입량	유출률	관개용수	무효방류량	방류률	저수률	유효방류률	비고
단위	mm	백만톤	%	백만톤	백만톤	%	%	%	
1978	1079.7	208	51.6	66	125	32	22	143	
1979	1136.6	213	50.3	70	120	33	22	152	
1980	1307.4	273	55.8	66	189	24	17	143	
1981	1048.3	192	48.9	76	96	40	24	165	
1982	893.5	105	31.6	83	11	79	44	180	
1983	1081.4	200	49.4	62	111	31	23	135	
1984	1097.0	180	43.9	71	83	39	26	154	
1985	1342.3	259	51.7	74	174	29	18	161	
1986	1196.6	225	50.2	64	139	28	20	139	
1987	1604.1	367	61.3	53	287	14	13	115	
평균	1178.7	222	49.5	69	147	35	23	149	

방류률 : 용수공급량 / 년 유입량,      저수률 : 유효저수량 / 년 유입량  
 유효방류률 : 유효방류량 / 유효저수량

한편, 관개 용수와 공업 용수를 공급하고 있는 방동지의 10 년간의 평균 유효 방류률은 약 163 % 이었다.

### 6.2.2 다목적 댐인 대청 댐의 운영 실적

다목적 댐인 대청 댐의 제원과 운영 실적은 표.21, 22 와 그림.10 과 같다.

표. 21 대청 댐 제원

구 분	내 용	구 분	내 용	비 고
유역 면적	4,134 km <sup>2</sup>	총 저수량	14.9 억톤	
유효저수량	7.9 억톤	사수량	4.5 억톤	
홍수조절량	2.5 억톤	발전량	2.4 억 kwh/yr	
년평균유입량	32.2 억톤	년평균 공급량	16.5 억톤	

유효 방류률은 325 % 로서 연간 유효 저수량의 3 배를 공급하는 셈이며, 무효 방류량은 홍수년인 '85, '87 년을 제외하고는 별로 많지 않다. 이는 방류률의 일반적인 평균치는 50~70 % 로서 예당지는 40 %, 대청 댐은 100 % 의 관계를 볼 때, 대청 댐이 예당 저수지 보다 효율적으로 수자원을 이용하고 있는 것을 알 수 있다.

표.20, 22 에서 보는 바와 같이, 관개 전용 저수지인 예당지의 유효 방류률이 149 %, 다목적 댐인 대청 댐의 유효 방류률이 325 % 인 것을 비교할 때, 만약, 우리 나라의 농조 관리 저수지의 유효 저수량 19.75 억톤을 효율적인 이수 관리하여 년 평균 유효 방류률 149 % 를 일본의 다목적댐 평균 유효 방류률 222 % 정도로 향상 시킬 수 있다고 가정한다면, 연간 십 수 억 m<sup>3</sup> 의 節水 효과를 볼 수 있다.



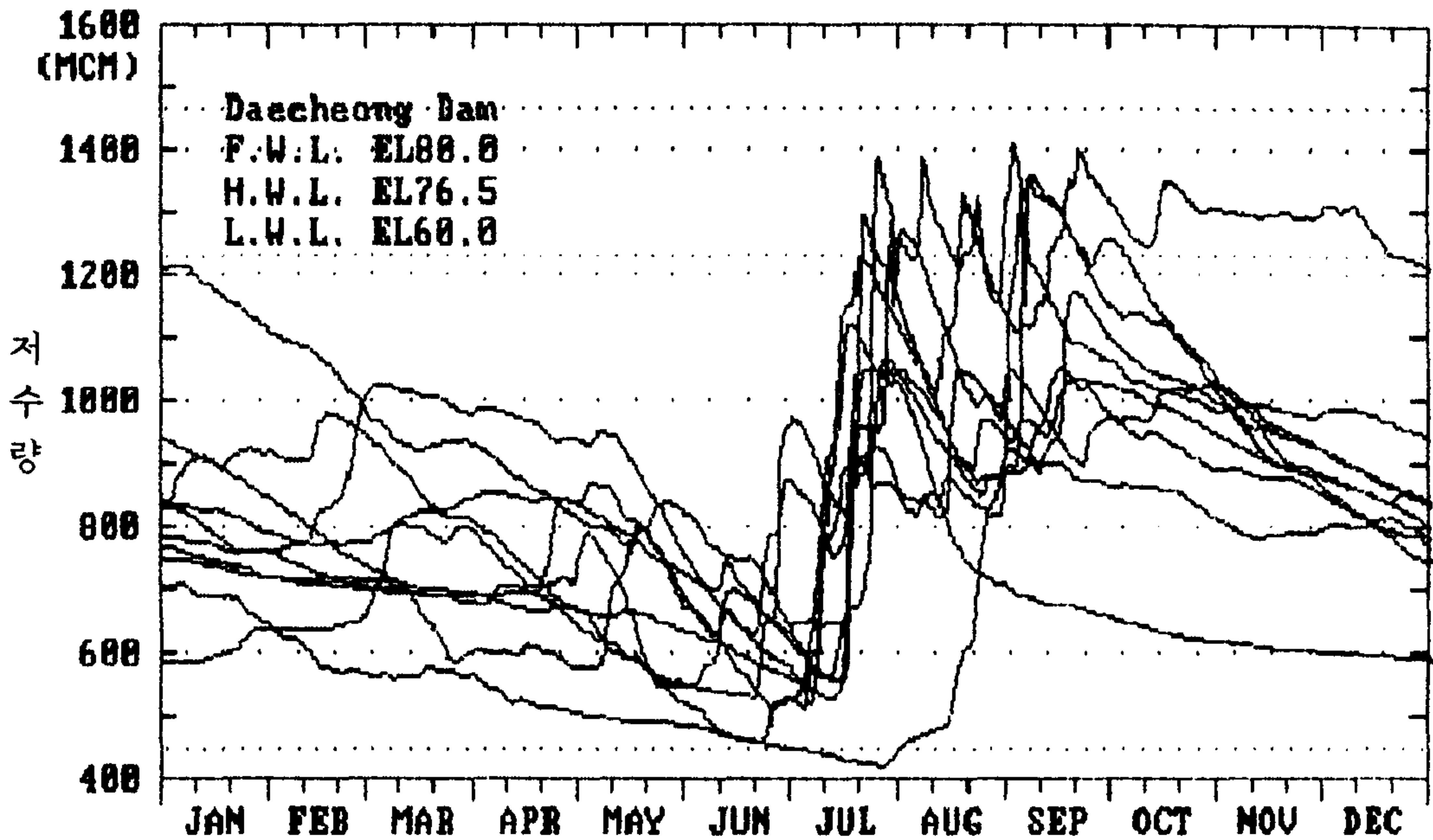


그림.10 대청 댐 저수위 기록 (1981~1990 년)

다목적 댐의 이수 관리 규정은 V 장에서 기술한 관개 저수지의 이수 관리 곡선과 상기한 각종 용수의 신뢰률과 홍수 조절 기능을 고려하여 작성할 수 있다.

### 6.2.3 이수 관리 곡선에 의한 저수량 관리

제 5 장에서의 기준 저수량 곡선과 방류 제한 저수량 곡선등 저수지 이수 관리 곡선에 따라 시기별, 저수위에 따른 용수별 방류 제한률을 적용하여 효율적으로 이수 관리를 할 수 있다.

즉, 그림. 8 에서 어느 시점의 저수위가  $P_1$  에 있다면, 이 때의 제한 방류률이  $S_1$  에 속하므로  $S_1$  만큼 제한 방류하고, 저수위가  $P_2$  로 강하하면  $S_3$  만큼 제한 방류하고, 다시 저수위가  $P_3$  로 회복되면 제한 방류를 해제하게 된다.



표.22 대청댐의 연간 운영 실적 (수공, 1981~1990)

년도	강우량	유입량	유출률	발전용수	물넘이 방류량	生工용수	조정지 방류량	유효 방류량	방류률	저수률	유효 방류률	발전량
단위	mm	백만톤	%	백만톤	백만톤	백만톤	백만톤	백만톤	%	%	%	백만kwh
1981	1079.2	2607	58.5	2416	-	60.4	2401	2476	95	30	313	240
82	759.7	1142	36.3	1103	-	67.3	1134	1170	102	69	148	110
83	1052.6	2451	56.2	2391	-	77.6	2395	2469	101	32	313	224
84	1161.7	2412	50.3	2634	150	82.8	2773	2717	113	33	344	257
85	1787.0	3454	46.8	3359	792	97.6	4155	3457	100	23	438	337
86	1177.1	2680	55.1	3097	-	98.2	3078	3195	119	29	404	269
87	1537.4	4768	75.0	2876	1791	101.1	4668	2977	62	17	377	275
88	788.2	1254	38.5	1594	-	112.5	1621	1707	136	63	216	138
89	1326.8	3013	54.9	2315	355	145.6	2684	2461	82	26	312	224
90	1213.7	3091	61.6	2886	115	162.1	2993	3048	99	26	386	286
평균	1188.3	2687	54.7	2467	320	100.5	2790	2568	101	35	325	236

조정지 발전, 농업, 유지 용수량, 방류률 용수공급량 / 년 유입량,  
 저수률 유효저수량/년 유입량, 유효방류률 유효방류량 / 유효저수량

### 6.3 갈수년에 사수량 이용 방안

평균 10 년에 1 회 예상되는 갈수년, 관개기에 사수량을 하루 하천으로 방류하거나, 揚水해서라도 적극적으로 수자원을 이용할 수 있다면 나머지 9 년과 비관개기의 관개 용수의 다목적 이용이 가능해진다.

死水量은 수익지 보다 낮은 곳에 위치한 댐 저수량과 배수 갑문 Sill 표고 이하의 염수층의 담수호 저수량으로 취수 시설로는 자연 급수가 불가능하고 이 부분의 수질도 불량하여 총 저수량에서 이 사수량을 뺀 량을 유효저수량이라 한다. 그러나, 이제 물의 경제적 가치의 시대적 격상을 고려할

때 더 이상 사수를 방치할 수 없는 상황에 이르렀다. 즉, 과거에는 일단 물이 풍부하다는 인식과 양수 시설 및 유지 관리비에 대한 부담 때문에 사수량을 두었으나, 요즘처럼 물이 귀한 갈수기에 사수량의 질이 양호하다면 당연히 이용되어야 할 것이다.

이용 방법으로는 갈수기에 이를 양수하여 이용하거나 사수위 이하에도 취수구를 설계 및 건설 당시 부터 만들어 갈수기 때에 이를 하류 하천으로 방류하여 할 수 있다면 갈수시 방류 제한률도 완화할 수 있고, 비갈수년의 관개 용수를 다목적으로 이용할 수 있는 기회를 마련할 수 있어 저수량의 유효성을 크게 확대시킬 수 있을 것이다. 따라서, 사수를 양수할 수 있는 시설 또는 사수위 이하에 취수구 설치를 계획할 수 있다.

그러나, 갈수기에 사수위 부근에서의 수질은 불량한 경우가 있으므로 수심별 수질 상태에 따라 량과 함께 質에 따라 농업, 공업, 생활 용수로의 공급 가능성을 판단해야하며, 이 때 냉수 방류에 따른 안개 발생 등도 미리 고려해야 할 것이다. 관개 저수지와 다목적 댐의 사수률은 표.23 과 같으며 특히 총 저수량이 큰 다목적 댐과 담수호의 사수률은 약 20~50 % 으로 그 이용 가능성이 크다.

이 가운데 6 개 관개 담수호의 사수량은 약 2.35 억톤, 6 개 다목적 댐의 사수량은 28.6 억톤의 엄청난 양이 사장되고있어, 갈수년, 관개기에 이 사수량을 효율적으로 이용할 수 있는 방안을 연구할 필요가 있다.

## 6.4 저수지 군의 평형 저수량 관리

### 6.4.1 필요성

동일 수계에 수자원 이용과 치수 목적으로 건설한 다목적 댐이 여러 개 있을 경우에, 평상시에는 다목적 댐으로 건설된 각 댐의 투자 효과를 높이

표.23 저수지의 死水率

저수지 이름	총 저수량 ×10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup>	사수량 ×10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup>	사수률 %	비 고
예당지	4,700	103	2.2	관개 저수지
탑정지	3,161	60	1.9	
덕동지	3,270	344	10.5	
방동지	337	31	9.2	
대덕지	270	37	13.6	
섬진댐	46,000	9,600	20.9	다목적 댐
주암댐	45,070	10,500	23.0	
안동댐	124,800	24,800	20.0	
대청댐	148,000	45,000	30.4	
충주댐	275,000	96,100	35.0	
소양댐	290,000	100,000	34.5	
아산호	12,300	4,300	35.0	하구 독
남양호	3,100	1,300	42.0	
삼교호	8,426	2,147	25.0	
영산호	25,320	7,220	29.0	
대 호	12,200	6,882	56.0	
금강호	13,900	1,700	12.0	

기 위하여 각개 댐의 독자적 조작 기준에 따라 방류하지만, 갈수시가 되면 각개 댐 운영의 자율성은 제약되고, 갈수 유량 증강 또는 貯水 보존을 위하여 저수지 군의 종합 저수량 관리의 필요성이 대두되고 있다.

즉, 다목적 댐 群의 종합 저수량 관리는 댐 저수량의 효율성을 높이고, 저수 목적의 상호 경합을 완화시키는 것을 뜻한다.

실제로 다목적 댐 群 (동일 수계에 6 개의 다목적 댐) 종합 관리의 시범 사례로 알려진 일본 利根川 상류 댐 群에서 방류 조작의 기준화에 따른 저수지 종합 관리 시스템 운영 실태를 분석한 결과를 참고할 수 있다.

여기에서는 동일 수계에 저수지 군의 저수위를 평형 (Balanced storage level) 으로 관리할 수 있는 저수지 군의 평형 저수량 관리에 대해서만 살펴 본다.

#### 6.4.2 평형 저수량 관리

저수지 군의 평형 저수량 관리는 동일 시스템안에 있는 저수지 군의 저수량을 연계하여 종합적으로 관리하므로서, 각각의 저수지를 단독으로 관리할 때 보다, 효율적으로 수자원을 관리하는 방법이다. 저수지 군의 조직에는 직렬, 병렬, 직·병렬 저수지 군 조직 등 세가지가 있다.

가정한 하류 수요량에 대하여 연속 방정식과 평형 저수량 방정식을 조합하여 저수지에서의 방류량을 결정할 수 있다. 저수지에서의 유입과 방류의 전형적인 연속 방정식은 다음과 같다.

$$( S = PS + QI + LF - QO + D )_t \quad (22)$$

- 여기서, S      현재의 저류량  
 PS      전기의 저류량  
 QI      저수지에로의 유입량  
 LF      저수지에로의 지천 유입량  
 QO :      저수지 하류에로의 방류량  
 D      저수지에서의 도수 및 취입량 (-),  
          또는 저수지에로의 반복 유입량 (+)

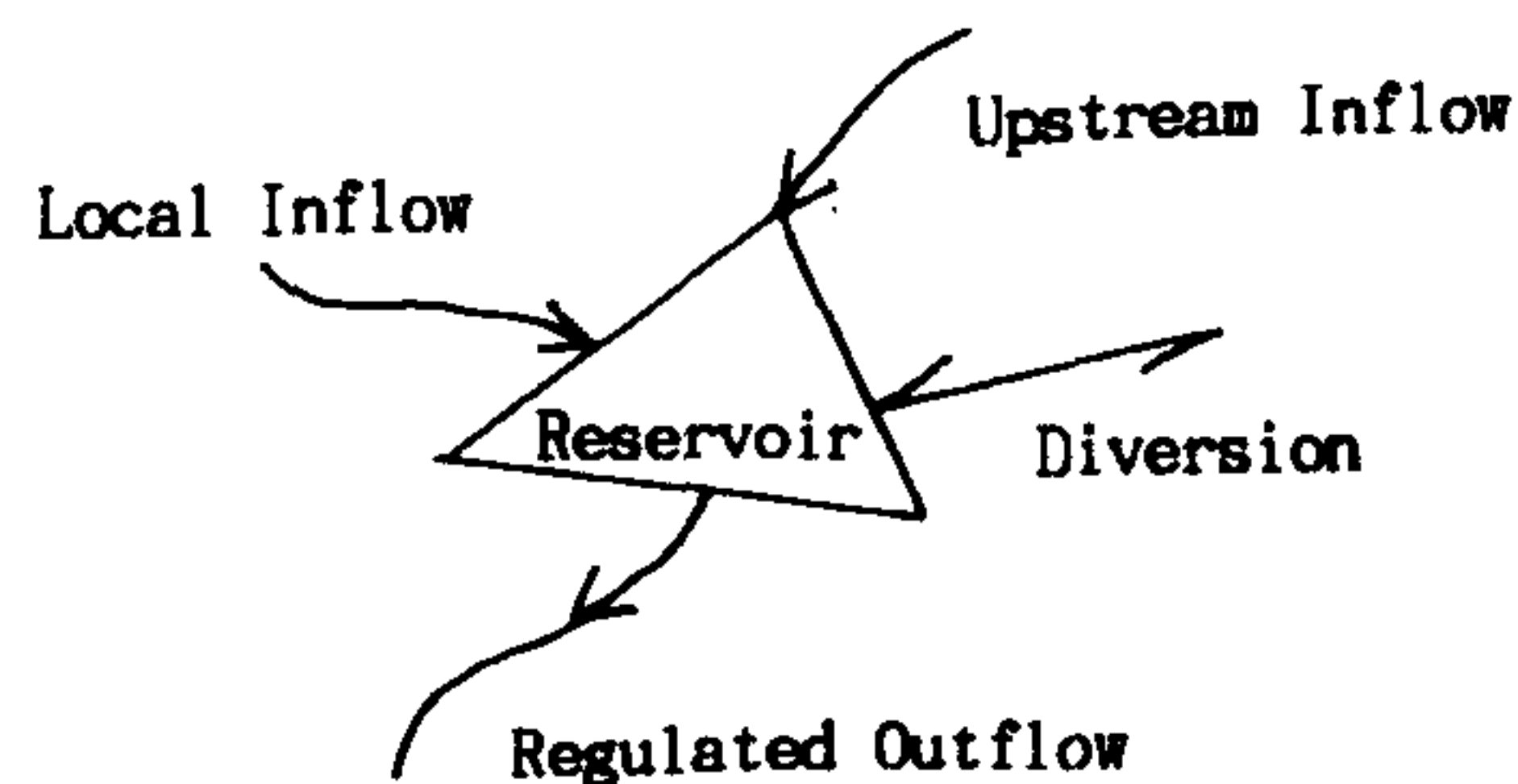


그림.11 저수지에서의 유입과 방류



### 6.4.3 분석 방법

#### 가. 병렬 저수지 군

병렬 저수지 군의 (Pararrel reservoirs) 운영을 위한 물 수지 분석은 다음과 같다.

$$QT = QO_1 + QO_2 \quad (23)$$

또한, 병렬 저수지 군의 저수지가 2 개인 경우, 평형 저수량 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{S_1}{TS_1} = \frac{S_2}{TS_2} \quad (24)$$

여기서,  $TS_{1,2}$  상, 하 저수지의 총 저수량  
 $S_{1,2}$  상, 하 저수지의 현재 저수량

병렬 저수지군에서는 그림.12 에서 보는 바와 같이 다음의 관계가 성립된다.

$$QO_2 = QT - QO_1 \quad (25)$$

따라서, 병렬인 두 저수지의 저수량을 평형으로 유지하려면 상류 저수지의 방류량  $QO_1$  은 다음과 같다.

$$QO_1 = \frac{TS_2(PS_1+QI_1+LF_1+D_1) - TS_1(PS_2+QI_2+LF_2 - QT+D_2)}{TS_1 + TS_2} \quad (26)$$

식의 오른 쪽의 내용은 모두 아는 것이므로  $QO_1$  를 직접 계산할 수 있고, 식 (25) 로 부터  $QO_2$  도 구한다.

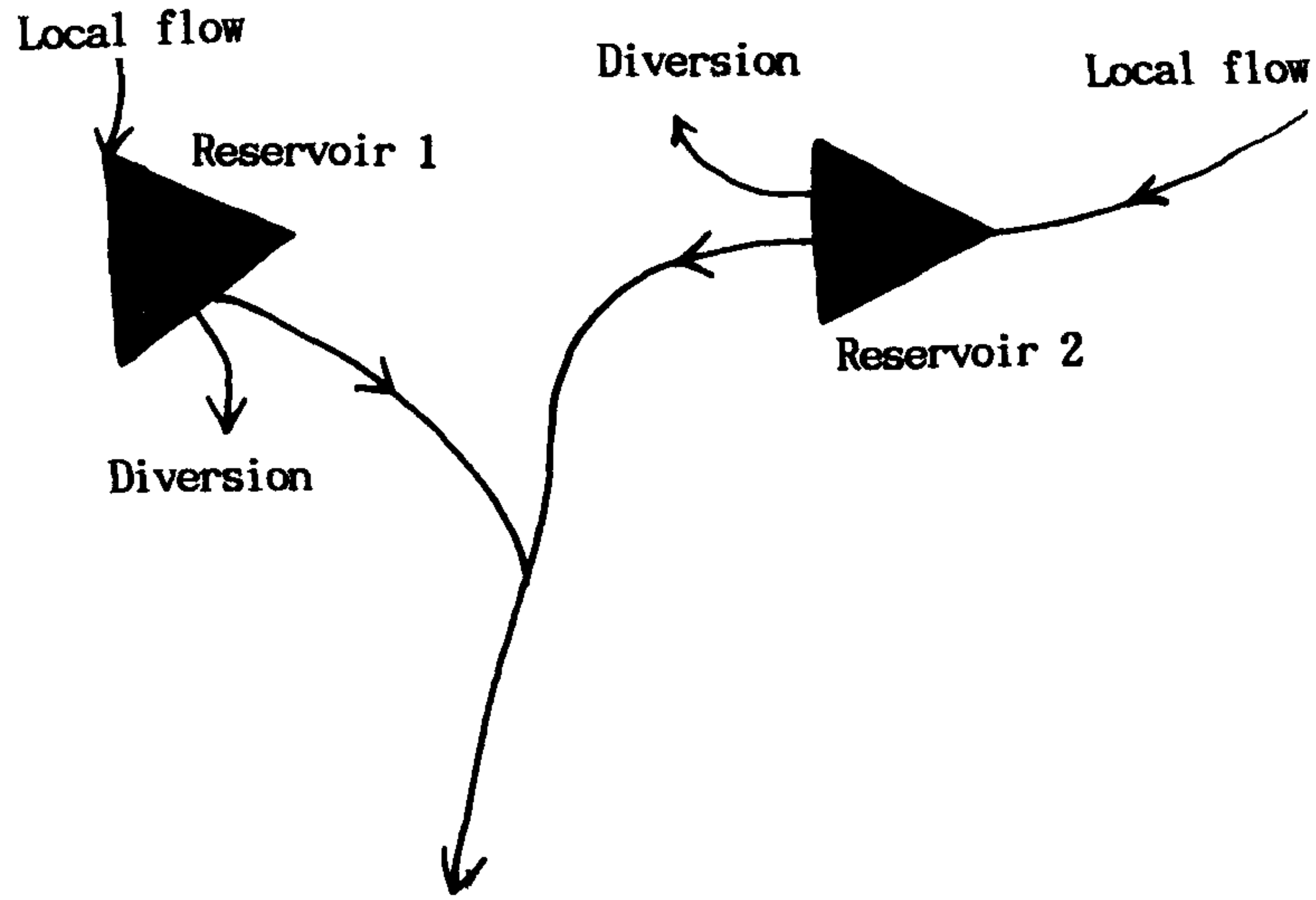


그림.12 병렬 저수지의 구성도

#### 나. 직렬 저수지 군

직렬 저수지 군의 (Series 또는 Tandem reservoir) 운영을 위한 물 수지 분석은 다음과 같다.

각 저수지에서의 유입과 방류의 전형적인 연속 방정식은 다음과 같다.

$$( S = PS + QI + LF - QO + D )_t \quad (27)$$

직렬 저수지군의 저수지가 2 개인 경우, 저수량이 평형을 이루려면 다음과 같다.

$$\frac{S_1}{TS_1} = \frac{S_2}{TS_2} \quad (28)$$

직렬 저수지 군에서는 그림.13 에서 보는 바와 같이 다음의 관계가 성립

된다.

$$QT = QO_2 \quad (29)$$

$$QI_2 = QO_1 \quad (30)$$

여기서, QT : 하류 지점의 필요 수량

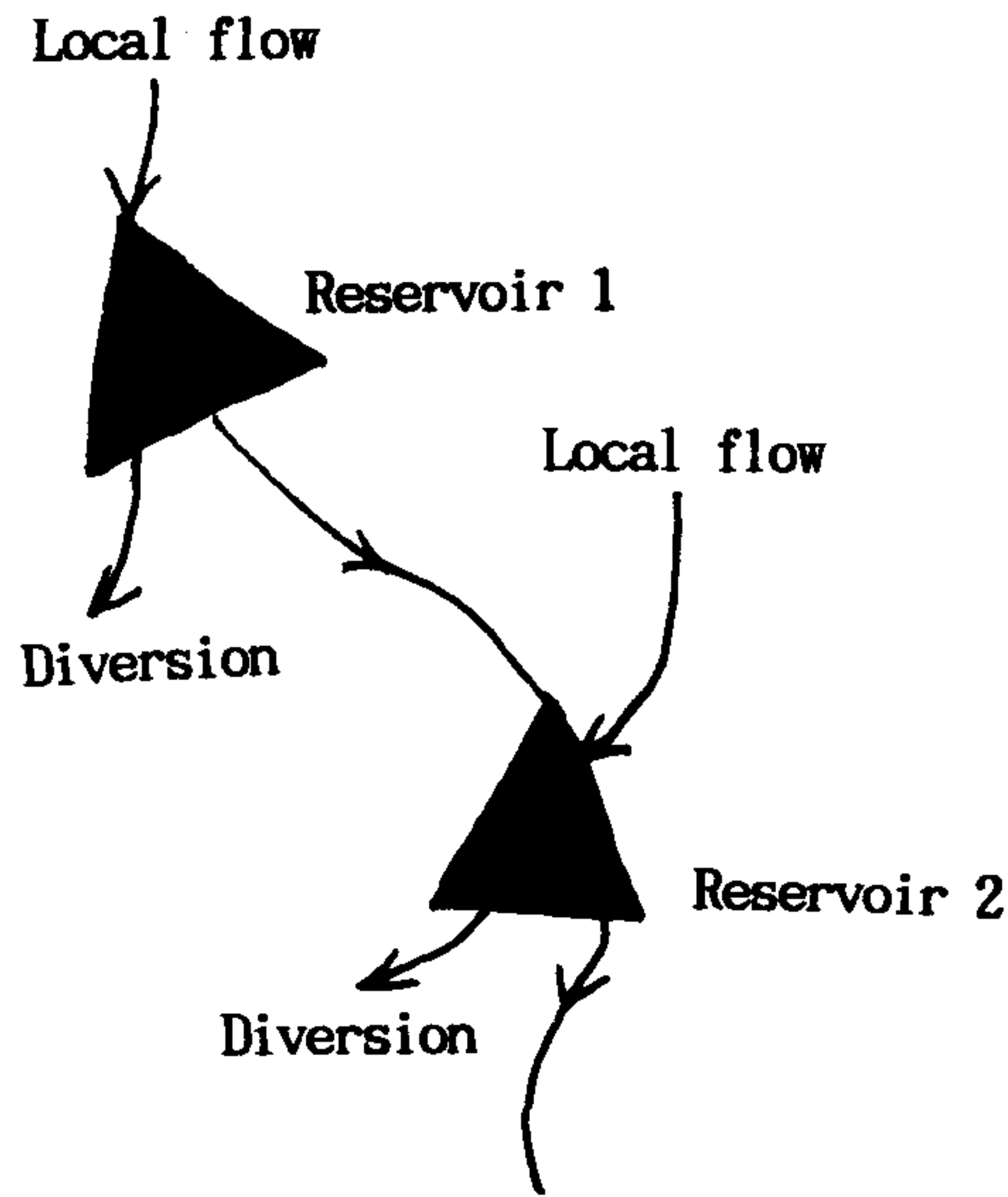


그림.13 직렬 저수지군의 구성도

따라서, 직렬인 두 저수지의 저수량이 평형으로 유지하려면 상류 저수지의 방류량  $QO_1$  은 다음과 같다.

$$QO_1 = \frac{TS_2(PS_1+QI_1+LF_1-D_1)-TS_1(PS_2+LF_2-QT-D_2)}{TS_1 + TS_2} \quad (31)$$

식의 오른 쪽의 내용은 모두 아는 것이므로  $QO_1$  를 직접 계산할 수 있다.

#### 다. 직·병렬 저수지 군

그림.14 와 같이 세 저수지가 직·병렬 군을 형성하고 있을 때, 2, 3 저수

지의 방류량은 다음식으로 구할 수 있다.

$$QO_2 = \frac{TS_3(PS_1+PS_2+QI_1+LF_2-D_2)-(TS_1+TS_2)(PS_3+QI_3-QT-D_3)}{TS_1 + TS_2 + TS_3} \quad (32)$$

$$QO_3 = QT - QO_2 \quad (33)$$

1, 2 저수지가 직렬 저수지로 평형 관리하면,  $QO_2$  를  $QT$  로 취하여 식 (31) 로 부터  $QO_1$  도 구할 수 있다.

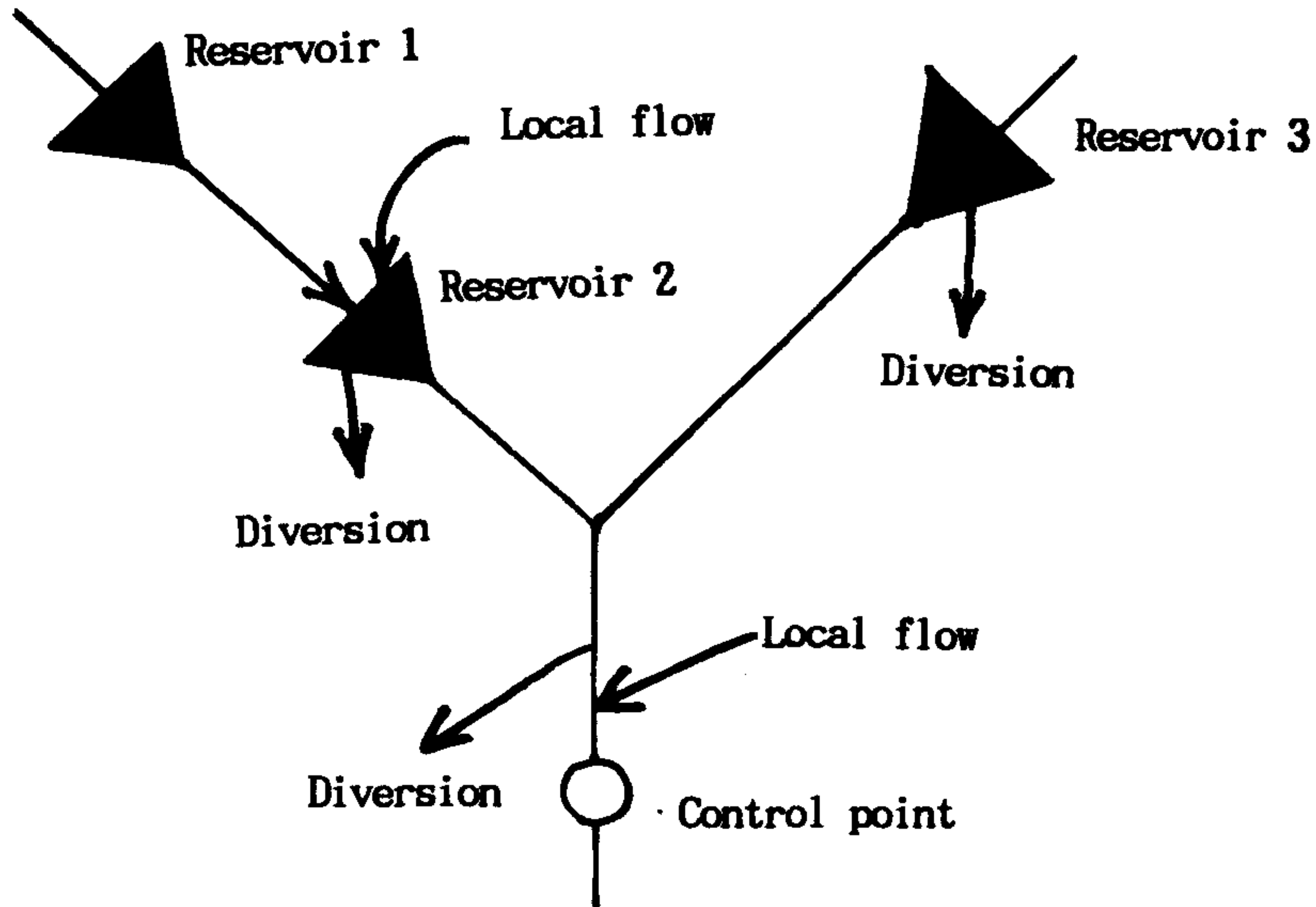


그림.14 직·병렬 저수지 군의 구성도

그러나, 저수지 수면 증발 수량은 평균 수면적에 의하여 결정되고, 발전 수량은 평균 수심에 의하여 결정되므로, 이들을 고려하면, 방류량은 직접 계산할 수 없고 시산법으로 계산하여야한다. 즉, 어느 날의 (초기) 저수위는 알고 있기 때문에 방류한 후의 다음 날 (종기) 저수위를 알아야만 평균 저수위를 구할 수 있다. 시산 절차는 다음과 같다. 일차로, 다음 날의 저수위를 가정하면, 손실된 증발 수량과 필요한 발전 수량을 계산할 수 있고, 그 날의 방류량을 결정하면 새로운 다음 날의 저수위를 계산된다. 이 계산



된 저수위가 가정한 저수위와 일치할 때 반복 계산하여 실시한다. 이상 내용의 적용 예는 HEC-3 (Reservoir system analysis) 프로그램을 참고할 수 있다.

#### 6.4.4 저수지 군의 평형 저수량 관리의 적용 대상

금강 유역의 대청 댐 상류에 용담 댐을 건설하면 직렬 저수지 군이므로 상기한 직렬 저수지 군의 평형 저수량 관리로 용담 댐 - 대청 댐을 연계 운영하는 모의 발생을 할 수 있다.

직렬 저수지 군에서는 대청 댐 하류의 필요 수량은 대청 댐의 방류량이 되고, 대청 댐에로의 유입량은 용담 댐의 방류량이 되므로, 직렬인 대청 - 용담 두 저수지의 저수량이 평형을 유지하기 위한 용담 댐의 방류량을 제시하므로써 댐을 단독 관리할 때 보다 효율적으로 이용할 수 있을 것이다.

병렬 저수지 군에서는 경기 남부와 충청 서북부 지방의 안성천 유역과 삼교호 유역에 급증하는 용수 수요에 대처하기 위하여 기존의 아산호 - 삼교호 - 대호를 연계하여 저수량을 평형 관리하므로써 효율적으로 부존 수자원을 이용할 수 있을 것이다.

직·병렬 저수지 군에서는 아산호-삼교호-대호에 삼교호와 직렬로 연결된 예당 저수지까지 연계하여 저수량을 평형 관리하므로써 효율적으로 부존 수자원을 이용할 수 있을 것이다.

### 6.5 유역 변경에 의한 이수 계통의 광역화

#### 6.5.1 필요성

수자원의 급증과 지역적 불균형으로 비교적 수자원이 풍부한 지역의 남은 물을 물이 부족한 지역으로 분배하는 유역 변경에 의한 이수 광역화 사

업이 최근 도처에서 계획되고 있다.

그러나, 기본적으로 이러한 유역 변경에 의한 수자원 개발에 앞서 현재 시스템으로 이용 가능한 수자원의 효율을 제고하는 것이 가장 중요하다.

즉, 물 사용 기술의 개선과 물을 적게 쓰는 산업으로의 대체, 물의 절수와 자기 유역내에서 저수지 건설에 의한 현지 수자원 공급량 증대 등 수자원을 가장 효율적으로 이용한 뒤에, 마지막 대안으로 유역 변경에 의한 수자원 개발로 효율적인 지역적 재분배를 계획하여야 한다.

미국에서의 가장 대규모의 유역 변경에 의한 이수 광역화 사업은 1964년에 계획된 비교적 강우가 많은 북서 지역의 남는 물을 물이 부족한 캐나다, 미국, 멕시코 지역에 분배하는 이 사업 계획은 수자원 계획에 신기원을 이루었다. 그러나, 1960년대 말에 이르러서는 환경에 관한 관심이 크게 대두되었고, 결국 환경 영향 평가라는 완전히 새로운 절차에 이르게 되었다. 정치적으로 환경론자들이 강경 해지고, 그들은 환경 보호와 생태학적 관점에서 대규모 수자원 건설 사업을 반대하고 있어, 환경에 대한 인식 확대로 상기한 사업에 대한 관심은 점차 멀어졌고 현재로서는 이 사업이 20세기 전에 추진될 가능성은 거의 없다고 하겠다.

이러한 부정적 측면 때문에 물을 다른 주 또는 나라로 유역 변경하는 것에 대한 반대가 점점 커져가고 있다. 그러나, 농산물, 광산물과 같은 다른 자연 자원의 유통은 더욱 증가하는데 물이 자유롭게 유통되는 것에 반대한다는 것은 논리적으로는 맞지 않는다.

우리 나라의 경우에도 수자원 수요-공급의 지역적 불균형으로 유역 변경에 의한 수자원 개발의 필요성이 점점 증대하고 있다.

### 6.5.2 문제점

유역 변경 수자원 개발의 문제점에는 기술적, 사회·경제적, 법적·정치

적 및 환경·보전적 측면등 네가지 측면이 있다.

기술적 측면은 사업을 수행하고 운영을 관리하는 것이 목적인 반면, 사회 경제적 측면과 환경 보전적 측면은 사회의 순이익을 극대화 시키는 것과 환경의 최적 조건을 보전하는 것으로 자연의 파괴를 최소화를 목적으로 하기 때문에 개발을 억제하는 기능이 있다. 처음에는 기술적 측면만이 강조되다가 경제성을 검토하게 되었고, 뒤이어 환경을 고려하게 되었다.

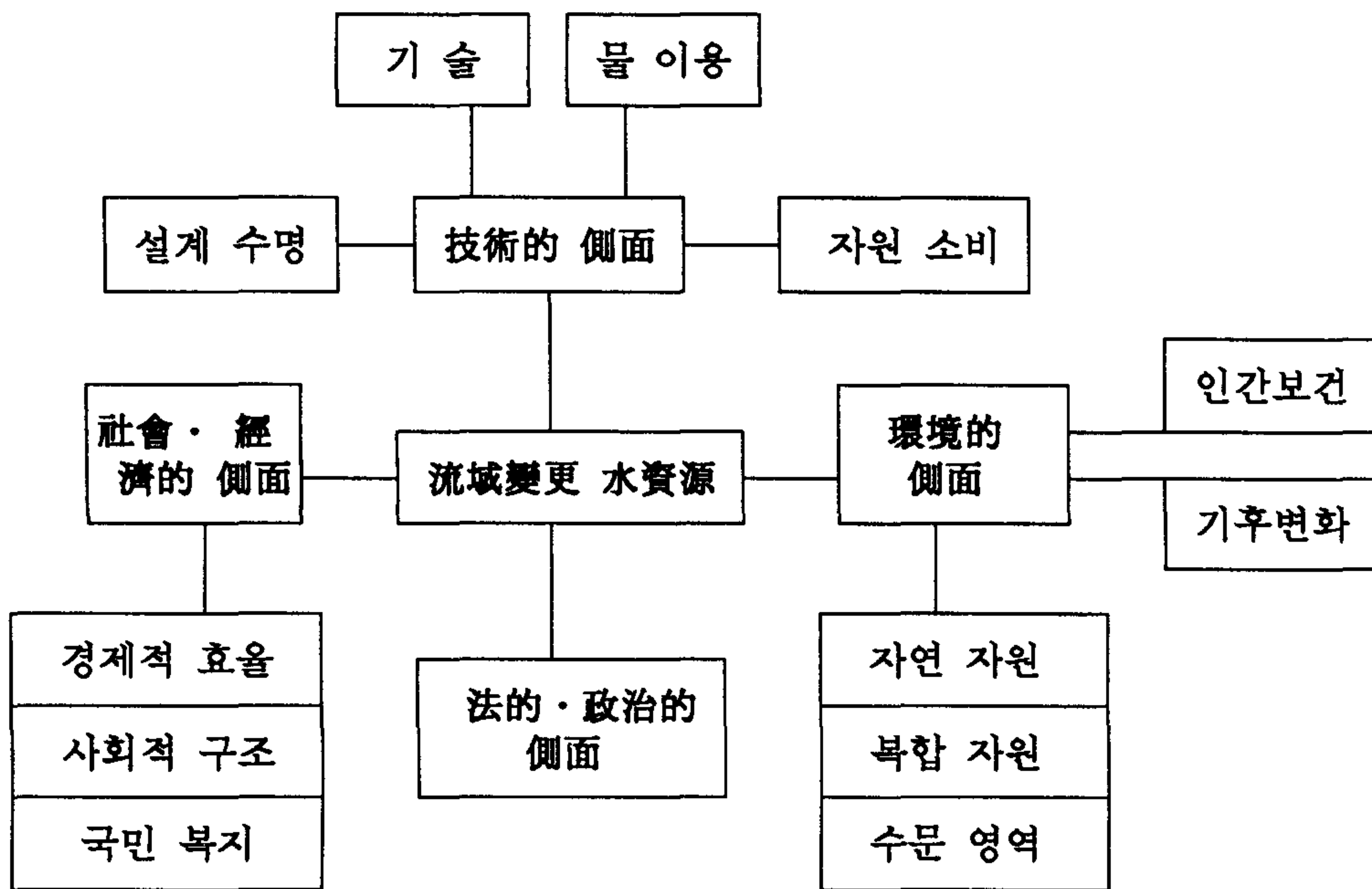


그림.15 유역 변경 수자원 개발의 구조

그림.15 의 네 가지 측면의 세부 내용을 요약하면 다음과 같다.

### 1. 기술적 측면

#### 가. 기술

새로운 시스템의 건설과 운영을 뜻한다.

## 나. 설계 수명

수자원 개발은 보통 100 년을 취한다.

## 다. 물 이용

물 이용 구조와 수량은 경제 상황의 변화, 설계 수명에 따라 변화하게 된다.

## 라. 자원 소비

수자원 개발에 소요되는 인력, 자본 투자, 에너지, 재료 등을 뜻한다.

## 2. 사회·경제적 측면

### 가. 경제적 효율

경제적 효율은 대단히 중요한 사업의 판단 기준이 되며 유역 변경 수자원 개발 사업의 경제성 분석의 Howe 와 Easter 의 전통적인 관계식은 다음과 같다.

$$(DB_m + SB_m) + (DB_t + SB_t) > (DC_x + SC_x) + SC_c + TC \quad (34)$$

$$TC + [(DC_x + SC_x) - (DB_t + SB_t)] < TC_a \quad (35)$$

여기서, $DB_m + SB_m$	· 물을 받는 지역의 직, 간접 이익
$DC_x + SC_x$	· 물을 보내는 지역의 직, 간접 손해
$DB_t + SB_t$	· 통과 지역의 직, 간접 이익
$SC_c$	· 경쟁적인 지역의 간접 손해
$TC$	· 현재안의 총비용
$TC_a$	· 최선안의 총비용



상기한 경제성 분석 식에서 평가하지 않은 환경에 미치는 제반 영향 (대기, 수질, 소음 등) 을 환경 비용 (EC) 으로 나타내면 다음식과 같다. 그러나, 환경 비용은 금액으로 환산하는 것은 대단히 어려운 문제이지만 어떠한 주관적으로라도 평가해야한다.

$$(DB_m+SB_m)+(DB_t+SB_t) > (DC_x+SC_x)+SC_c+TC+EC, \quad (36)$$

$$TC+[(DC_x+SC_x) - (DB_t+SB_t)] < TC_a+EC_a \quad (37)$$

여기서, EC : 환경 비용 ( 환경 피해를 금액으로 나타낸 비용)

유역 변경 수자원 개발 사업은 경제성만으로 평가할 수 없고 경제적 1 차, 2 차, 3 차 중요성은 무엇이고, 지역적, 국가적, 국제적 차원에서의 기여도는 무엇인 가 등 그림.15 와 같이 종합적으로 평가해야 하지만, 정형화된 방법론도 없고, 전문가 평가, 모의 발생 게임, 최적화 모형, 모의 발생 모형 중에서 어느 방법을 선택할 것인 가도 문제이고, 이들 방법들도 대단히 복잡하다.

우리 나라에서는 전통적으로 수자원 개발은 개발에 앞서 경제성 분석 (보통, 이익-비용 분석, Benefit-cost analysis) 으로 사업의 타당성만을 평가하였으나, 1982 년 부터는 환경 보전법에 따라 경제성 분석에서 평가하지 않은 환경에 미치는 제반 영향도 평가 (대기, 수질, 소음 등) 하도록 규정하고 있다.

#### 나. 사회 구조

사회 구조는 개발 사업의 건설 또는 관리에 영향을 받는다.

#### 다. 복지

유역 변경 수자원 개발의 목적은 주민 복지를 향상시키는데 있다.

### 3. 법적·정치적 측면

수리권은 하천 유량을 배타적·독점적으로 사용하는 권리를 뜻하는 것으로, 이 하천의 자연 유량은 강우에 따라, 기후에 따라 변화한다.

어떤 수계에, 소위 수리권 분쟁이 발생하는 것은 기 형성된 수리 질서에 따라, 첫째, 기득 수리권자가 수리 시설 취수 방법, 수량, 기간 등을 변경하든가, 신규로 수리 사용을 원하는 사람이 나타나든 지 등의 사정에 따라 새로운 수리 질서의 형성할 필요한 경우가 있고, 둘째, 기존의 수리 체계에 갈수가 왔을 때, 소위, 갈수 조정이 필요한 경우가 있다.

유역 변경에 의한 수자원 개발에 앞서 지역적, 국가적, 국제적 차원에서 법적, 정치적 측면에서 수리권에 대한 검토가 반드시 이루어져야 한다.

### 4. 환경적 측면

열대, 아열대 지역에서는 수인성 질병 발생의 염려와 대책을 수립해야 한다. 식물군, 동물군에 심대한 영향을 주어 다시 회복할 수 없는 타격을 받을 수도 있다. 미기상, 대기 기상의 변화의 가능성 (특히 증발량의 증가와 안개 발생의 증가) 도 있다.

#### 가. 자연 자원

유역 변경 수자원 개발은 재활용이 가능한 자연 자원에 영향을 미친다.

#### 나. 수문 영역

이것은 수기권, 대기권, 지질권, 생물권 등과 상호 관련된 복합 영역에 관한 사항이다. 저수지를 건설하면 수몰지가 발생하고, 수질이 악화되고, 물의 순환의 변경으로 기후가 변화하는 등 수문 영역에 수 많은 문제점이 발

생하는데 이에 대한 장, 단기적 영향을 예측하는 방법을 강구해야한다.

### 다. 인간 보건

유역 변경 수자원 개발이 인간의 보건에 미치는 영향도 검토되어야 한다.

### 6.5.3 환경에 미치는 영향

유역 변경에 의한 수자원 개발이 환경에 미치는 영향의 일반적인 분류는 다음 표.24 와 같다.

표.24 유역 변경 수자원 개발이 환경에 미치는 영향

지 역 별		환경에 미치는 영향
수물 지역		침수에 의한 이주민 발생 수생 및 육생 생태계 변화 ( 어족, 곤충과 야생동물) 수질과 수온의 변화 증발량의 증가와 국지 기상 변화 침식과 침전에 미치는 영향 지하수와 지질학적 상태 변화 토지 이용 변화 ( 댐 부근의 위락 시설)
하류 지역		유출 형태 변화 지하수 충전에 영향 수생 및 육생 생태계의 변화 수질과 수온의 변화 토지 이용 변화 ( 홍수터의 주거지화)
도수 지역	하천 도수	유량 증가와 지하수 충전 변화 수질과 수온의 변화 어획고 변화 하천 식물의 변화 침식과 침전
	수로 도수	수로에 의한 구역간 접근성 방해 취수부에서의 어류 손실 야생동물의 감소 어린이 익사 위험 발생 위락 시설 가능
급수 지역		인구 급증 도심 확장 기회 공업 단지 확장 관개 면적의 확대

사업의 타당성, 유역 변경 사업의 여러 가지 선택의 비교, 유역 변경 사업의 몇 가지 비교안에 대한 판단 등을 위하여 이러한 문제는 사업 초기에 해결하여야 한다.



## 제 7 장 灌溉 貯水池에서의 農漁村 用水 供給 方案

앞으로 21 세기에는 농업의 역할은 이제까지의 국민 식량 공급 기능은 축소되고, 수자원 보존, 토양 보존, 환경 정화 등의 자연 보전 기능과 국민에게 휴식처를 제공하고 지역 사회를 유지하는 공간 유지 기능은 확대될 전망이다.

이에 따라, 이제까지의 논에 물을 공급하는 관개 저수지의 전통적 역할과 더불어, 밭 관개 용수, 생·공 용수, 농촌 관광 용수, 소하천 유지 용수, 홍수 조절 기능 등 신농정에서의 복지 농촌 건설을 위한 다목적 기능을 가진, 소위 농어촌 용수 (Rural water) 를 공급함으로써 자연 환경을 보전하고 공익 봉사 시설로서의 역할도 포함할 수 있는 것이 바람직하다. 따라서, 제 6 장 에서 절약한 관개 저수지의 용수를 이상의 농어촌 용수 공급에 다목적으로 이용할 수 있을 것이다.

농어촌 용수 공급을 위한 다목적 저수지의 경우에는 표. 8 에서 보는 바와 같이 생활, 공업, 환경 용수의 신뢰률은 95~99 % 로서 (20~100 년 빈도) 가장 높으므로, 갈수기에도 제한 급수를 실시할 지라도 급수 중단은 가급적 허용하지 않는 반면, 발전·주운 용수의 신뢰률은 80~95 % 로서 (5~20 년 빈도) 상대적으로 낮으므로, 갈수기에는 발전·주운 용수의 공급은 고려치 않는다는 전제하에, 공급 물량이 가장 많은 용수인 관개 용수 (10~20 년) 의 빈도를 조정하여 다목적 저수지의 종합 신뢰률을 결정할 수 있을 것이다. 이러한 신뢰률은 저수지의 운영시에는 물론 설계시에도 적용되어야한다. 관개 저수지의 홍수 조절 기능이 관개 용수 공급에 미치는 영향도 이수 관리 측면에서 검토되어야 한다.

따라서, 이 연구에서는 제 4 장에서 신설 관개 저수지의 저수 용량 결정 방법에 대하여 분석하였고, 이 장에서는 기존 관개 저수지의 타목적과 공동으로 이용함에 따르는 관리 운영 단계에서의 문제점, 특히 貯水 운영에 초점을 두어 검토하고자 한다. 다목적 댐의 이수 관리 곡선은 제 5 장에서

기술한 관개 저수지의 이수 관리 곡선과 상기한 각종 용수의 신뢰률과 홍수 조절 기능을 고려하여 작성할 수 있다.

### 7.1 관개 용수의 농어촌 용수 공급 현황

'89년 4월 농근법의 개정으로 농조 재산의 다목적 사용, 수익 사업이 가능하지만, 이 경우에는 농지 개량 재산 본래의 용도와 목적을 방해하지 않는 범위내에서 농수산부 장관의 승인을 얻게되어 있다.

관개 용수로 농어촌 용수를 공급하고 있는 수리 시설을 1992년에 104개 농지개량조합 중 25개 조합에 대하여 조사한 결과(농련, 1992), 농업용수 이외의 목적으로 공급하는 조합은 10개 조합으로 표.25와 같다.

표.25 관개 저수지의 수익 사업 유형

농어촌 용수	수리 시설	조합명	비고
1. 생활 용수	저수지	강릉, 영산강	
2. 공업 용수	"	평택, 전주, 영산강	
3. 농촌관광용수	"	예당, 온양, 천안	
유료 낚시	"	수화, 예당, 온양, 전주, 경주	
유선장	"		
4. 기타 용수	"	경주	
골프장 급수	"		
가두리 양식	"	예당, 온양, 전주, 영산강, 함안	
진주 양식	"	경주	

### 7.2 생·공업 용수 공급에 따른 저수량 변화

농 관개를 중심으로 하는 관개 저수지의 저수량을 지역 개발 또는 산업구조의 변화로 생·공 용수로 공급할 필요가 있으며, 이 경우의 다목적 이수 관리에 따른 저수량 곡선 변화와 다목적 관개 저수지의 이수 관리 방법에 대하여 살펴본다.

표.26 관개 저수지 및 다목적 댐의 생·공 용수 공급

댐 명	생·공 용수공급 (백만 m <sup>3</sup> /년)	비 고	댐 명	생·공 용수공급 (백만 m <sup>3</sup> /년)	비 고
삽교호	17.5	관개저수지	소양댐	687	다목적댐
아산호	38.0	"	안동댐	923	"
영산호	47.0	"	충주댐	1416	"
금강호	121.0	"	대청댐	1297	"
방동지	3.6	"	주암댐	489	"
강릉지	18.2	발전 포함	섬진댐	-	관개 전용

관개 저수지로 부터의 생·공업 용수의 공급하는 것은 관개 저수지의 이수 계획 또는 저수량 관리에 중요한 영향을 미치게 된다. 즉, 관개 저수지로 부터 생·공업 용수를 공급하면 비관개기의 저수량 고갈과 겨울철 갈수에 이은 年 移越 갈수를 야기하여 안전 이수에 영향을 미치게 되므로 이러한 영향을 모의 발생으로 미리 예측하여야 한다.

### 7.2.1 여름철 갈수가 겨울 갈수로 이어지는 경우

논 관개의 수요 패턴은 관개기에만 집중하게 되어 비관개기인 겨울철에는 다음해 관개기에 대비하기 위하여 만수시킨다. 그러나, 관개 저수지에서 생·공업 용수를 공급하게 되면 관개기에도 용수 수요가 증가하지만 더욱 중요한 것은 비관개기인 겨울철에도 용수를 공급해야 하므로 관개기에는 저수량 변화의 차이가 별로 없지만 비관개기에는 차이가 큰 것을 나타낸다. 그 결과, 여름철 갈수에 따른 저수량 감소가 회복되지 않아 일어나는 겨울 갈수가 많아지고, 이에 따라 다음해 관개기 시점 까지 저수량이 만수되지 않는 年 移越 갈수가 일어나게 된다.

### 7.2.2 연속 계산에 따른 年 移越 갈수의 문제

一年 단위로 每年 관개기 시점에 만수된 상태로 저수지 물 수지를 하는



경우에는 관개기 중 물 부족이 없지만, 겨울철 갈수의 영향이 다음해로 이어져 年 移越 갈수가 발생하는 것을 고려한 Carry-over 로 연속 계산하면 관개기에 물 부족이 발생하여 필요한 때 용수를 보급할 수 없는 경우가 있다. 특히, 도시 용수량이 하천 유량보다 큰 경우, 가을 부터 겨울에 걸쳐 하천 유량이 작게 되는 시기에 생·공업 용수를 공급하기 위하여 댐에서 보급 방류해야 하므로 前年の 갈수 영향이 다음 해의 겨울철 갈수로 이어지게 된다.

이와 같이 관개 저수지에서 생·공업 용수를 공급하게 되면 만수가 되지 않은 채 관개기를 맞는 년 이월 갈수가 자주 발생하게 되는 특징이 있다.

따라서, 관개기 시점에 만수된다는 가정하에 관개기 필요 수량으로 부터 관개 저수지의 저수 용량을 결정하는 관행의 방법은 다목적 관개 저수지의 경우에는 저수량 고갈 빈도로 부터 저수 용량을 결정해야 할 것이다.

### 7.2.3 다목적 저수지의 이수 관리 규정

다목적 저수지 이수 관리 규정은 갈수 필요 저수량 곡선 작성 요령과 같지만, 관개 전용 저수지와 다른 것은 비관개기에 회복기 기준 저수량 곡선을 작성해야 하는 점이다. 비관개기 末日까지 所定の 저수량 (여기서는 만수량) 까지 회복되어야 하므로 90 % 안전률을 가지고 회복기 기준 저수량 곡선을 작성해야 한다. 즉, 계획년 末日의 필요 저수량을 滿水가 되도록 관개 저수지에서와 같은 방법으로 필요 저수량을 계산하고, 같은 방법으로 확률 갈수년 (보통 10년 빈도) 에 해당되는 회복기 기준 저수량 곡선을 작성한다. 다목적 저수지에서 관개기에 각종 용수의 공급 신뢰율을 종합 고려한 방류 제한 곡선 작성과 비관개기에 회복기 기준 저수량 곡선 작성 하며 그 절차는 다음과 같다.

관개기 末인 비관개기 시점의 도시 용수와 환경 용수의 필요량이 10 년 빈도 저수지 유입량보다 작으면 저수량은 零이고, 크면 그 차이 만큼 저수량을 확보한다.



비관개기 末日 (관개기 개시 前日) 까지 所定の 저수량 (여기서는 만수량) 까지 회복되어야 한다. 이를 위하여, 각 期別로 목표가 되는 저수량을 “회복기 저수량” 이라 한다.

$$W(n) = W(n+1) - (P(n) - Y(n)) \quad (38)$$

$$W(n)_{\max} = V_{\max}, \quad W(n) \geq 0 \quad (39)$$

여기서,  $W(n)$     회복기 필요 저수량  
 $V_{\max}$     저수 용량

즉, 계획년 末日의 필요 저수량을 만수량으로 취하여, 기준 저수량 곡선에서와 같은 방법으로 회복기 저수량 곡선을 작성한다. 이것을 위하여 관개기 개시일 까지 저수지가 만수가 되도록 하면 좋다.

### 7.3 농촌 관광 용수 공급

지역 자원을 유효하게 이용하기 위하여는 농업 수리 시설을 관광 자원으로 이용하려는 것은 당연하고, 요즈음 커다란 사회적 요청이 되고 있다. 농업 수리 시설을 관광 시설로 이용하는 것은 농촌 근대화 촉진법에 기초한 규정에 따라 가능하다.

'89 년 4월 농근법의 개정으로 농조 재산의 타목적 사용, 수익 사업이 가능하지만, 이 경우에는 농지 개량 재산 본래의 용도와 목적을 방해하지 않는 범위내에서 농수산부 장관의 승인을 얻게되어 있다. 타 목적으로 사용하여 얻은 수입은 관리 수탁자 (조합) 에게 귀속한다. 이 때, 타 목적으로 사용하는 자는 농지 개량 조합과 시설 사용에 관한 계약서를 작성하고, 여기에 임대차 등에 관한 조건을 명기한다. 관광 사업의 주체는 지방 공공단체, 농지 개량 조합, 사기업 등이 있다.

관광 자원으로서의 저수지는 호면을 이용한 보트, 모터 보트, 유람선, 낚

시, 스케이트 장 등이, 호안을 이용한 양어장, 유원지, 식당, 농산물 직매점 등이, 주변을 이용한 하이킹, 야영장, 체육 시설, 관광 농원 등이 있다. 이 중에서 양어장 (가두리 양어, 진주 등) 은 한 때 권장, 보급하였으나, 저수지 수질 악화로 인하여 지금은 사양화되고 있다.

이상의 농촌 관광 용수를 공급하려면 원래의 저수지 목적인 관개 용수와 사이에 저수지의 수위와 수질에 다음과 같은 조정이 필요하다.

### 7.3.1 저수지 수위

첫째, 저수위를 원활하게 조정, 유지하는 일이다. 관광 용수측에서만 보면 가급적 저수위를 높게 유지하기를 바라지만, 관개 용수측에서는 필요한 용수를 자유롭게 방류하기를 바란다. 관광 사업자와 조합과의 계약서에는 당연히 농업 수리 우선 원칙이 명기되어있다. 그러나, 관개 용수측에서도 관광지의 존재는 경제적인 이득이 있으므로, 관광에 협조하기 위하여 농업 용수 사용을 가급적 줄이려는 경향이 있게된다.

관개 저수지는 10 년 빈도 갈수를 대상으로 계획된 경우가 많아 평균 10 년에 1 번은 댐 바닥이 드러나게 된다. 따라서, 매년 수위가 매우 낮아지는 저수지는 관광 이용의 대상으로 적합하지 않고, 도시화에 따라 관개 면적이 상당히 감소한 도시 근교 지구에서나, 자기 유역 외에 별도의 간접 유역이 있어 그곳으로 부터 풍부한 유입량을 기대할 수 있는 도시 근교 지구에서는 관광 이용의 대상으로 좋은 조건을 가지게 된다. 또는, 관광 성수기 (4월~11월) 에 수위가 낮을 때에는 주위에 관정을 설치하여 지하수를 양수하여 저수지에 유입시킬 수도 있다.

특히, 보트 승선장은 지형에 따라 차이는 있지만 보통 저수위가 3 m 이상 낮아지면 승선에 문제가 있고, 양어의 경우에는 수위가 급격히 저하하거나 댐이 바닥이 드러나는 경우는 피해야 한다.

### 7.3.2 저수지 수질

저수지의 수질을 보전하는 문제이다. 관광지가 되면 사람이 많이 모이게 되어 적절한 대책을 세우지 않으면 수질은 나빠진다. 여기에 관해서도, 관광측과 조합간에 계약에서 엄격히 규정되어야 한다. 많은 경우에, 식당에서의 배수는 별도로 정화하여 하천으로 방류하던가, 토양식 처리 방법으로 지하에 침투시키던 가 한다. 이 경우에도 간접 유역에서 유입량이 많으면, 저수지의 물의 회전수가 많은 경우에는 수온이 상승하는 것을 억제되기도 하므로 좋은 조건이 된다. 한편, 여름에 수위가 낮아지면 수온이 상승하고 이끼와 프랑크톤이 번성하여 수질이 악화된다.

### 7.4 소하천 환경 용수 공급

도시 주민에게 물놀이, 낚시, 보트, 스케이트, 만남의 터, 자연 동·식물의 서식처 등 다목적 기능을 가지도록 도시 하천에 늘 푸른 물이 흐르도록 “親水 空間”을 제공해주는 것은 관개 용수 공급에 의한 생산성 향상에 지장을 주지 않는 범위내에서 중요한 의미가 있다. 이 친수 공간 제공 문제는 경제성 측면에서 보다는 사회성 측면에서 접근해야할 것이다.

특히, 도시화에 따라 관개 면적이 상당히 감소한 관개 저수지의 경우, 여유있는 물이 있다면 도시 하천의 경관을 개선하고 시민 정서 함양을 위한 친수 공간 확보 차원에서의 소하천 환경 용수를 공급하여 물 값을 받을 수 있다면 농지 개량 조합 운영에도 도움이 될 것이다. 일본에서의 도시 소하천의 친수 기능 확보를 위한 수질과 유황 조건은 다음 표.27 과 같다.

일본의 경우, 관개 用水路를 그 지역의 관개 용수와 음용수, 잡용수 공급은 물론, 소방 용수, 생활 잡배수 처리, 지하수 함양과 더불어, 흔히 물놀이, 만남의 터, 자연 동·식물의 서식처 등 가능한한 다목적으로 이용하여 자연 정화 기능을 가진 공간과 친수 공간을 제공할 수 있도록 활용하고 있다. 그러나, 우리 나라의 관개 용수로는 주거지를 관통하는 경우가 거의 없



으므로, 신규로 도시 하천으로 부터 인근의 도시 공원에서의 “親水 水路” 설치를 장차 계획할 수 있을 것이다.

표.27 도시 소하천의 친수 기능 확보를 위한 수질과 유황 조건

구 분	수 질		유 황			비 고
	BOD mg/l	대장균수 개 / 100 ml	흐름폭 m	수 심 cm	유 속 cm/sec	
수 영	< 2	< 400	> 5	> 50	< 50	일본의 예
물 놀 이	< 5	< 1,000		< 50	< 60	
반딧불감상	< 2			5~ 30	10~ 30	
낚 시	< 5			> 30	> 30	
보트 놀이	< 10		> 10	> 100	< 60	
강변 산책	< 10			30	30	

이제까지의 쌀 농사 위주의 농촌 사회에서는 관개 용수의 확보와 보전을 통하여 생산과 생활이 이루어졌으나, 농지 이용이 범용화되고 농촌이 혼재화, 겸업화됨에 따라 용수로에 대한 관리가 소홀해짐에 따라 수질 악화, 쓰레기 방치로 자연 경관과 친수성을 상실해가고 있다. 따라서, 관개 수로의 물을 가능한한 다목적으로 이용하여 자연 정화 기능을 가진 공간과 친수 공간을 제공할 수 있도록 하여야 할 것이다.

### 7.5 홍수 조절 기능

농지의 홍수 방재 대책은 논에서는 24 시간 정도의 담수가 허용되고 보통 10~20 년 빈도의 홍수에 대하여 설계하게 되므로 보통 20~100 년 빈도의 홍수에 대하여 침수를 허용하지 않도록 설계하는 도시 홍수 방재의 경우보다 약하게 마련이다.



그런데, 농촌 지역의 도시화, 농지의 범용화로 인하여 농촌 지역이라 할 지라도 홍수 재해에 대하여 보다 높은 안전성을 요구하게 되지만, 하천 개수 공사의 지연, 양호한 댐 건설 적지가 적기 때문에 시설 대용량의 관개 저수지는 홍수기에 하류측 침수 피해를 방지하기 위하여 계획된 저수 용량 범위내에서 조절 용량을 설정하게 된다. 이러한 침수 피해 방지이라는 順機能에 반하여 홍수 조절 용량의 설정으로 인하여 관개기 이수 관리에 미치는 영향과 비관개기에 관개 저수지에서 생·공 용수를 공급할 경우에 다음 해 관개기에 만수가 되지 않은 상태로 관개기를 맞게되는 등의 逆機能이 작용하게 된다.

이와 같이 관개 저수지의 홍수 조절 운영이 갖는 상반되는 기능을 고려한 경제성 분석에 의한 적정 홍수 조절 용량 결정 방법이 아주 미비한 실정이다. 이에 수반되는 경제적인 면과 함께 실제 관리 단계에 있어서의 농업 수리에 미치는 영향을 정확히 고려하는 것이 중요하지만 우리 나라에는 이제 까지 이에 대한 검토는 미비한 실정으로 이에 대한 연구가 요구된다. 앞으로는 홍수 조절 용량 설정으로 얻는 이익 (홍수 피해 감소액) 이 손실 (이수 피해액) 보다 크도록 홍수 조절 용량을 설정하여야 할 것이다.

$$\frac{\text{m}^3/\text{sec 당 홍수 피해액} \times \text{감소된 홍수량}}{\text{m}^3 \text{ 당 가뭄 피해액} \times \text{관개 용수 부족량}} > \frac{\text{m}^3/\text{sec}}{\text{m}^3} \quad (40)$$

표.28 관개 저수지 및 다목적 댐의 홍수 조절 용량

댐 명	홍수조절용량 (백만 m <sup>3</sup> )	용수 공급 (백만 m <sup>3</sup> /년)	댐 명	홍수조절용량 (백만 m <sup>3</sup> )	용수 공급 (백만 m <sup>3</sup> /년)
예당지	10	69	소양댐	500	1,213
탑정지	10	60	안동댐	110	923
삼교호	10	88	충주댐	616	3,380
주암댐	80	489	대청댐	250	1,649

### 7.5.1 계획 갈수 기준년의 저수량 변화

보통 관개 저수지의 계획에는 10년 정도의 계획 대상년을 취하여 그 중에서 제 1위의 갈수년을 계획 갈수 기준년으로 취하고, 이 기준 갈수년에 대하여 결정한 관개 저수지의 저수 용량 범위내에서 홍수 조절 용량을 확보하기 위한 홍수 제한 수위를 다음과 같은 방법으로 설정하고 있다.

1) 계획 갈수 기준년의 저수량 변화 곡선내에 홍수 제한 수위를 설정해도 이수 용량에 영향이 없는 것을 확인한다. 또는 逆으로 이수 용량에 영향이 없도록 홍수 제한 수위를 설정한다.

2) 이 홍수 제한 수위를 적용하여 다른 계획 대상년 (10개년)에 물 수지 분석하여 어떤 해의 利水 용량에도 영향을 미치지 않는지 확인한다. 홍수 제한 수위가 계획 갈수 기준년의 저수 용량에 영향을 미치지 않는 경우가 많이 있다.

이 방법은 합리적인 것으로 보이지만 완전히 똑같은 저수량의 감소 형태 일지라도 어느 경우는 이수 용량에 전혀 영향을 미치지 않는 반면, 어느 경우는 이 홍수 제한 수위에 따라 이수 용량이 부족하게 된다. 즉, 완전히 똑같은 저수량의 감소 형태이지만 단지 저수량이 감소하기 시작하는 시기를 약간만 (數週) 이동하면 용수 부족이 생기게 되며, 이것은 강우 패턴의 우연성 (Random)에서 비롯되는 것이다.

### 7.5.2 장기간 자료에 의한 홍수 조절에 따른 저수량 변화

이 연구에서는 이러한 강우의 우연성을 극복하기 위해서 계획 갈수 기준년에 대하여 홍수 제한 수위를 결정하지 않고, 가급적 장기간의 강우 자료에 의한 물 수지 분석으로 관개 저수지의 적정 홍수 조절 용량을 설정하고자 한다. 따라서, 저수지 물 수지 분석을 위한 저수위 모의 발생에는 대상

지점에서 가까운 기상 관측소의 짧은 자료를 선택하지 않고, 표. 2 에서 제시한 바와 같이 비록 거리가 다소 멀어도 대상 지점이 소속해 있는 지역군의 Key station 의 약 50~90 년간의 비교적 장기간의 강우 관측 자료로 분석하고자 한다.

## 제 8 장 結果 및 考察

제 3 장의 저수량 일별 물 수지 분석 과정과 제 4 장의 저수 용량 결정 방법, 제 5 장의 관개 저수지 이수 관리 규정의 기본 구조에 따라 禮唐 저수지에, 제 4 장의 다목적 저수지 이수 관리 규정의 기본 구조에 따라 芳洞 저수지에 적용한 결과는 다음과 같다.

### 8.1 저수량 일별 물 수지 분석

#### 8.1.1 관개 저수지인 예당 저수지

禮唐池의 10 년간의 저수량 기록으로 부터 침전량 분포에 의한 내용적 조정, DAWAST모형에 의한 일 유입량 추정, 삼투량과 관리 손실률을 조정하여 저수량 일별 물 수지 결과는 다음과 같다.

##### 1. 침전량과 분포

침전량 조사가 실적이 없는 禮唐池의 경과년에 따른 침전량과 분포 (그림. 16) 를 추정하여 그림.17 와 같이 현재의 저수량 능력을 검토하여 물 수지 분석을 실시하였다.

##### 2. 유입량

유입량은 禮唐池 상류에 위치한 大興 지점의 1964~66 년 유출량 자료로 부터 DAWAST모형의 매개 변수를 결정하고 唐津, 禮山, 靑陽 의 일 강우 자료로 부터 Thiessen 망으로 면적 강우량으로 부터 일 유출량을 모의 발생하였다. 禮唐池에 적용한 DAWAST모형의 매개 변수는 표.29 와 같고, 이에 의한 추정 일 유출량은 그림.18 과 같다.



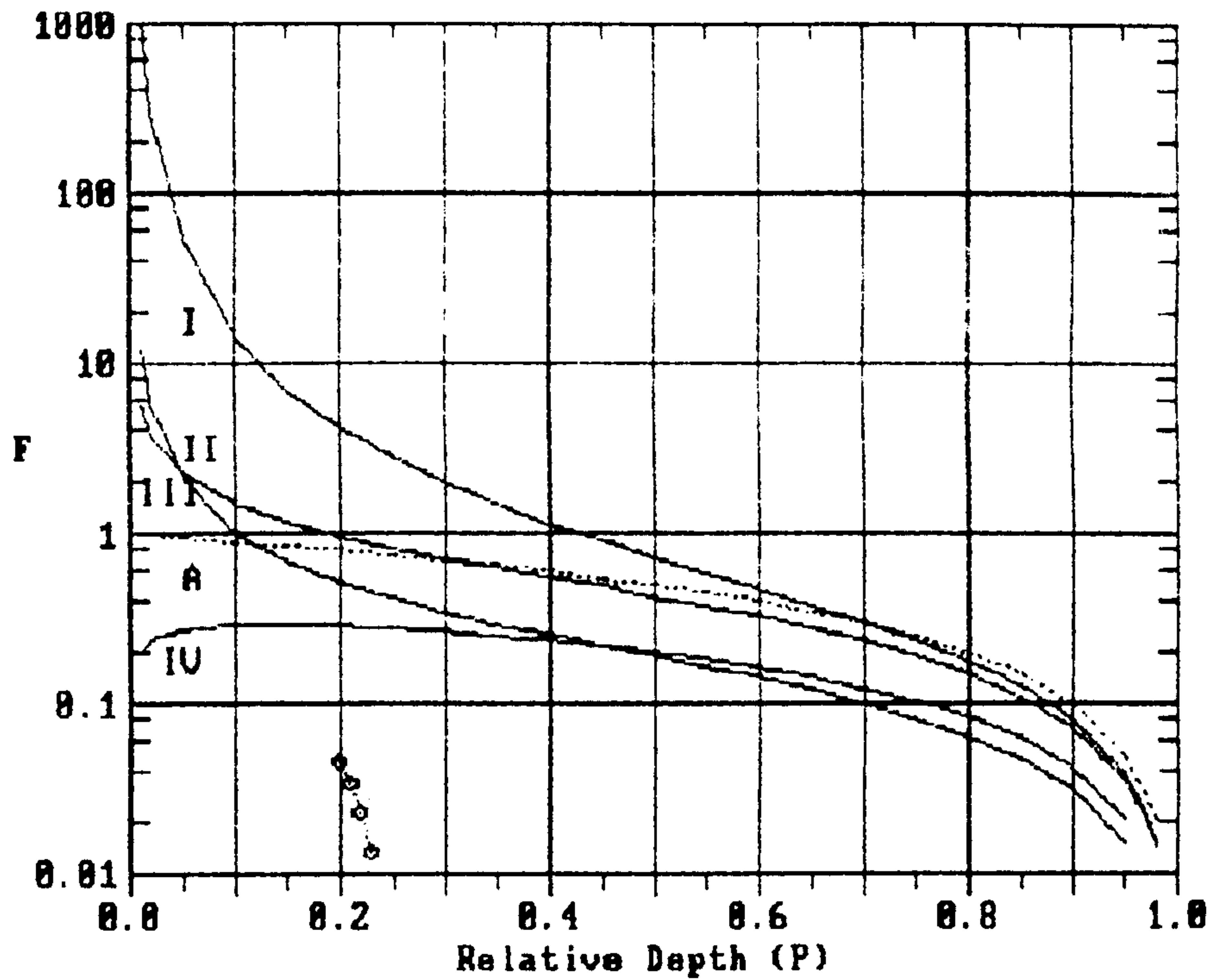


그림.16 Type 별 상대 깊이 (p) 와 무차원 함수 (F) 의 관계

표.29 DAWAST 모형의 적용 매개 변수

구분	물 수지 매개 변수					추적 매개 변수				
	UMAX	LMAX	FC	CP	CE	U <sub>1</sub>	U <sub>2</sub>	U <sub>3</sub>	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>
값	320	30	130	.020	.007	0.52	0.37	0.11	추정식	

### 3. 관리 손실량

관개 저수지의 물 수지 분석에서 추정하기 어려운 인자는 삼투량과 관리 손실률이다. 삼투량과 관리 손실률의 경우, 조건이 다양하므로 평균치를 적

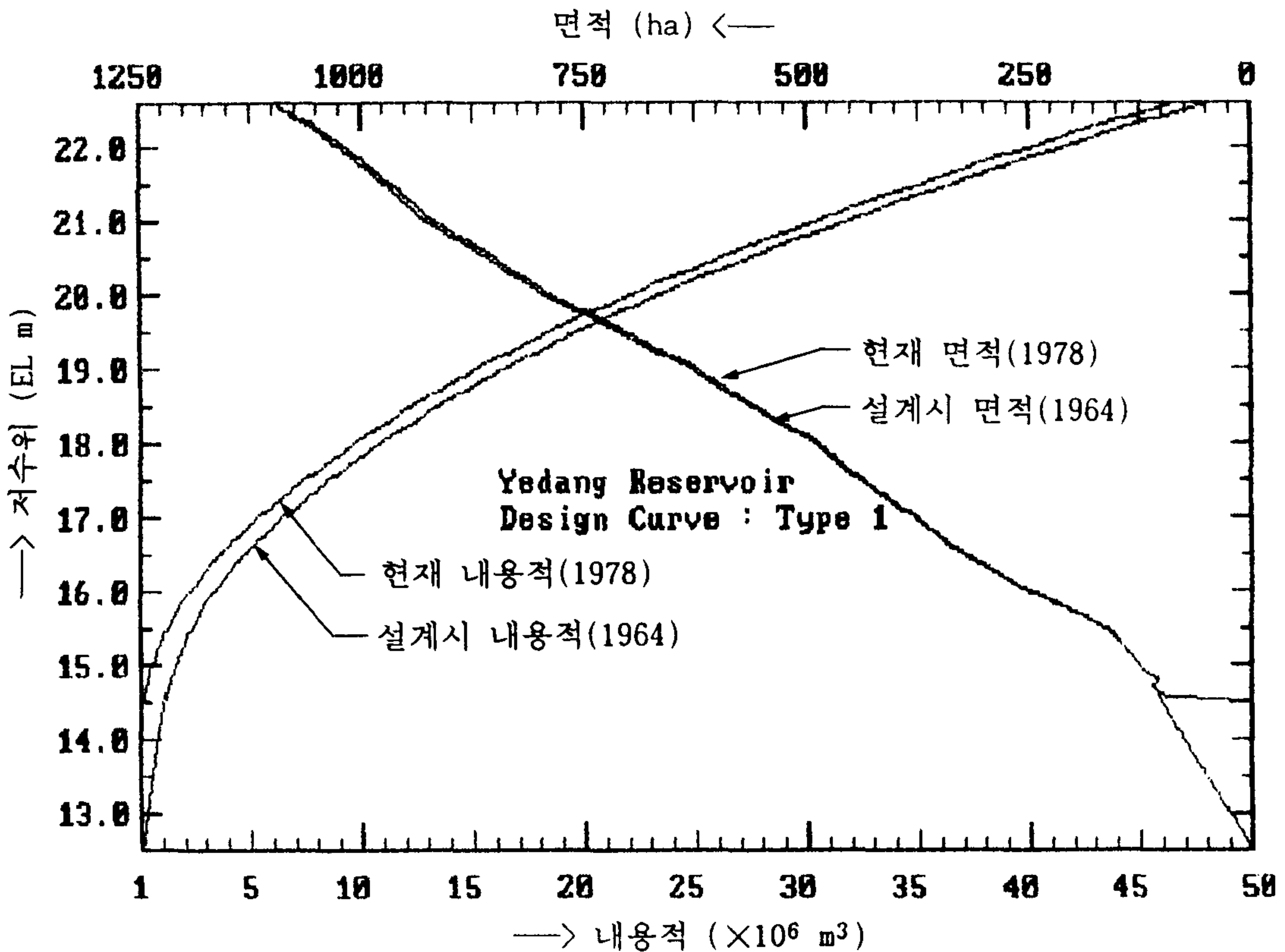


그림.17 禮唐池의 당초 내용적과 현재의 내용적

용하는데 어려움이 있지만 삼투량 평균을 5 mm/day 로 취하고 추정 저수위를 모의 발생하여 관측 저수위와 일치하는 하는 과정에서 관리 손실률은 연도별로 5~40 % 의 범위였으며, 대체로 갈수년에는 손실률이 작고 풍수년에는 큰 값을 나타내었으며, 이 연도별 관리 손실률의 변이는 관행 이수 관리 방법의 효율성과 밀접한 관계가 있다고 판단되어 이에 대한 분석이 필요하다. 평균 손실률은 약 20 % 수준이었다. 이 연구에서는 별도의 하천 유지 용수를 고려하지 않는다.

#### 4. 저수량 일별 물 수지 분석

제 3 장에서 구성한 관개 저수지의 이수 관리 (IRRIMA) 모형을 禮唐 저

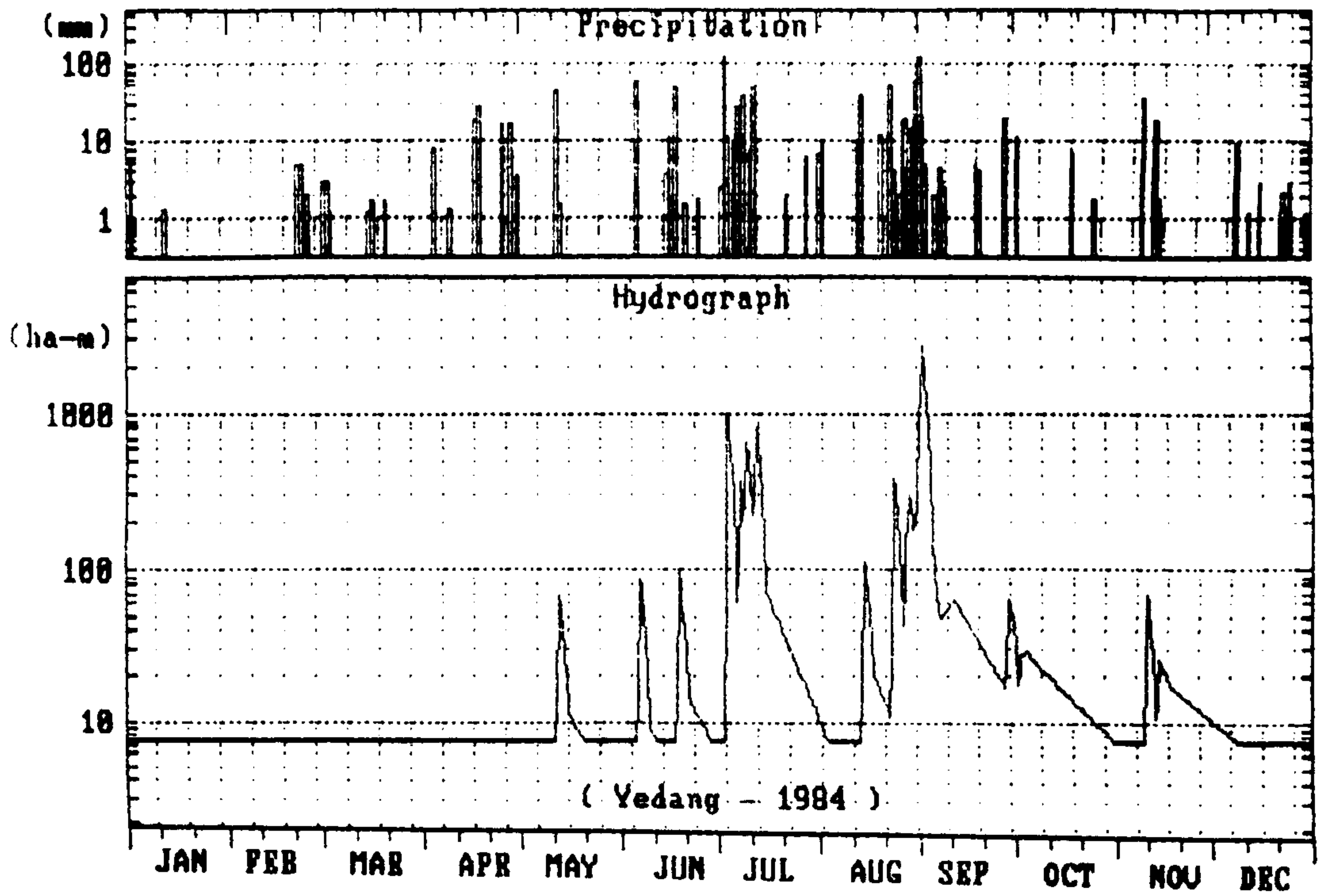
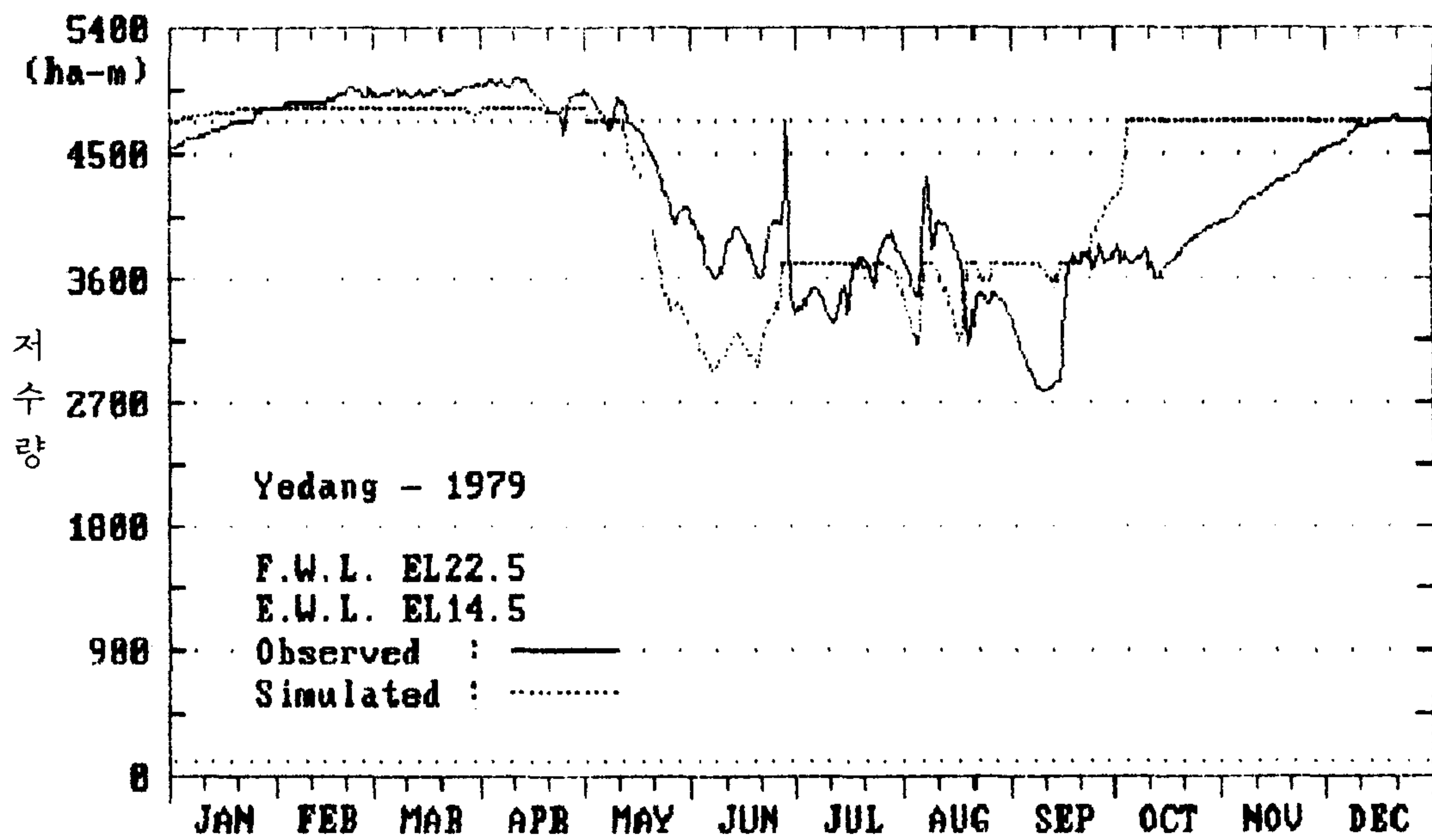
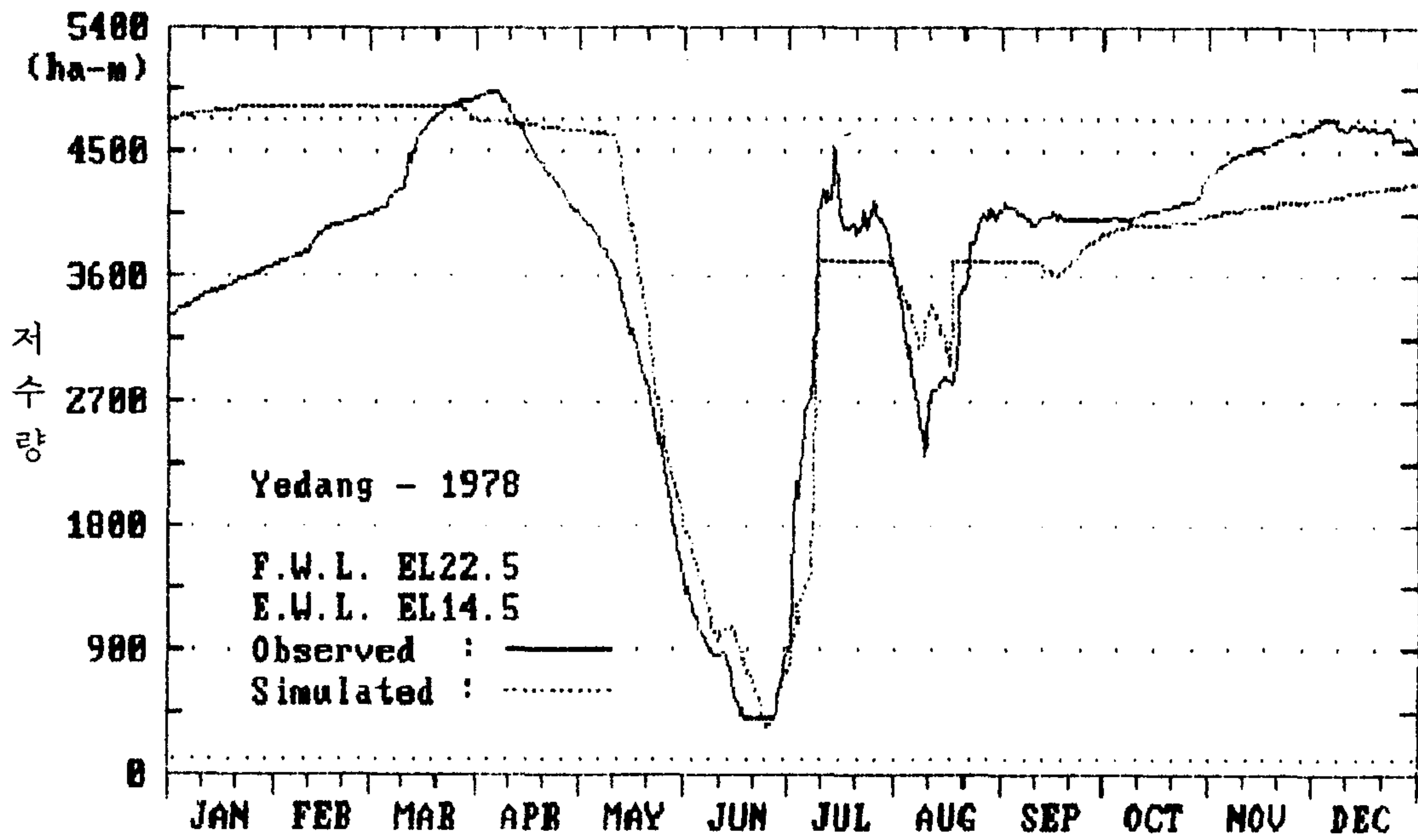
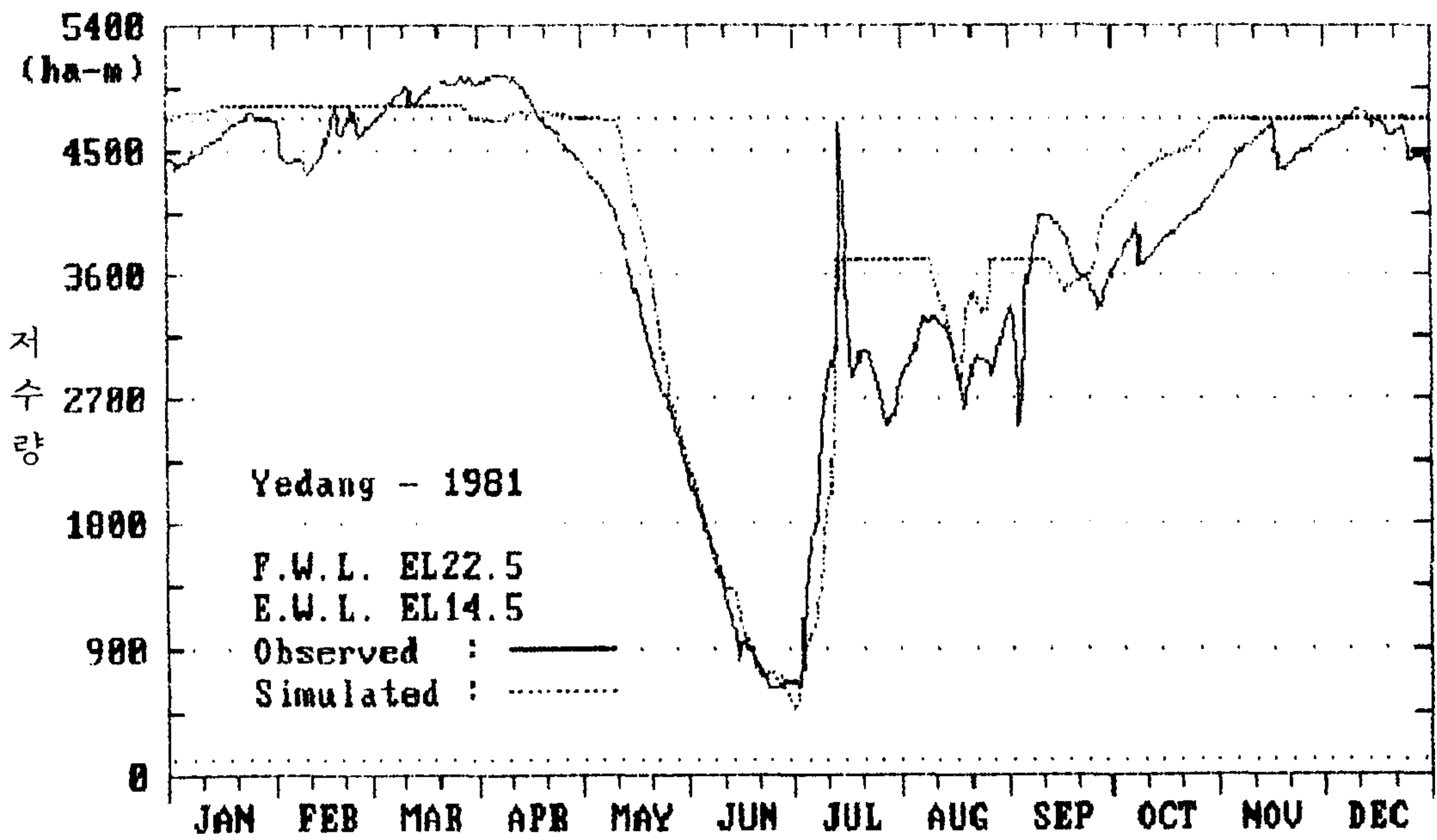
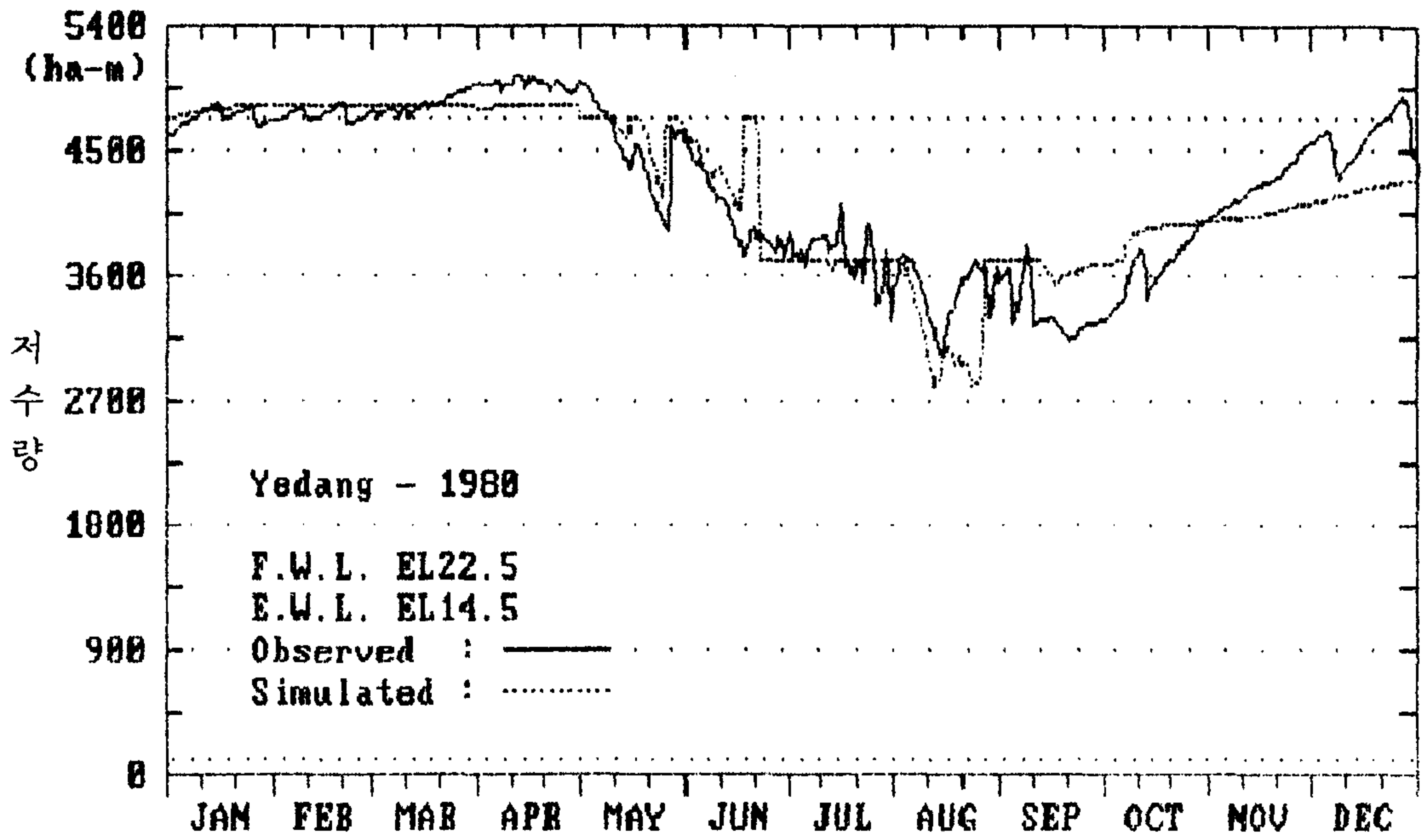


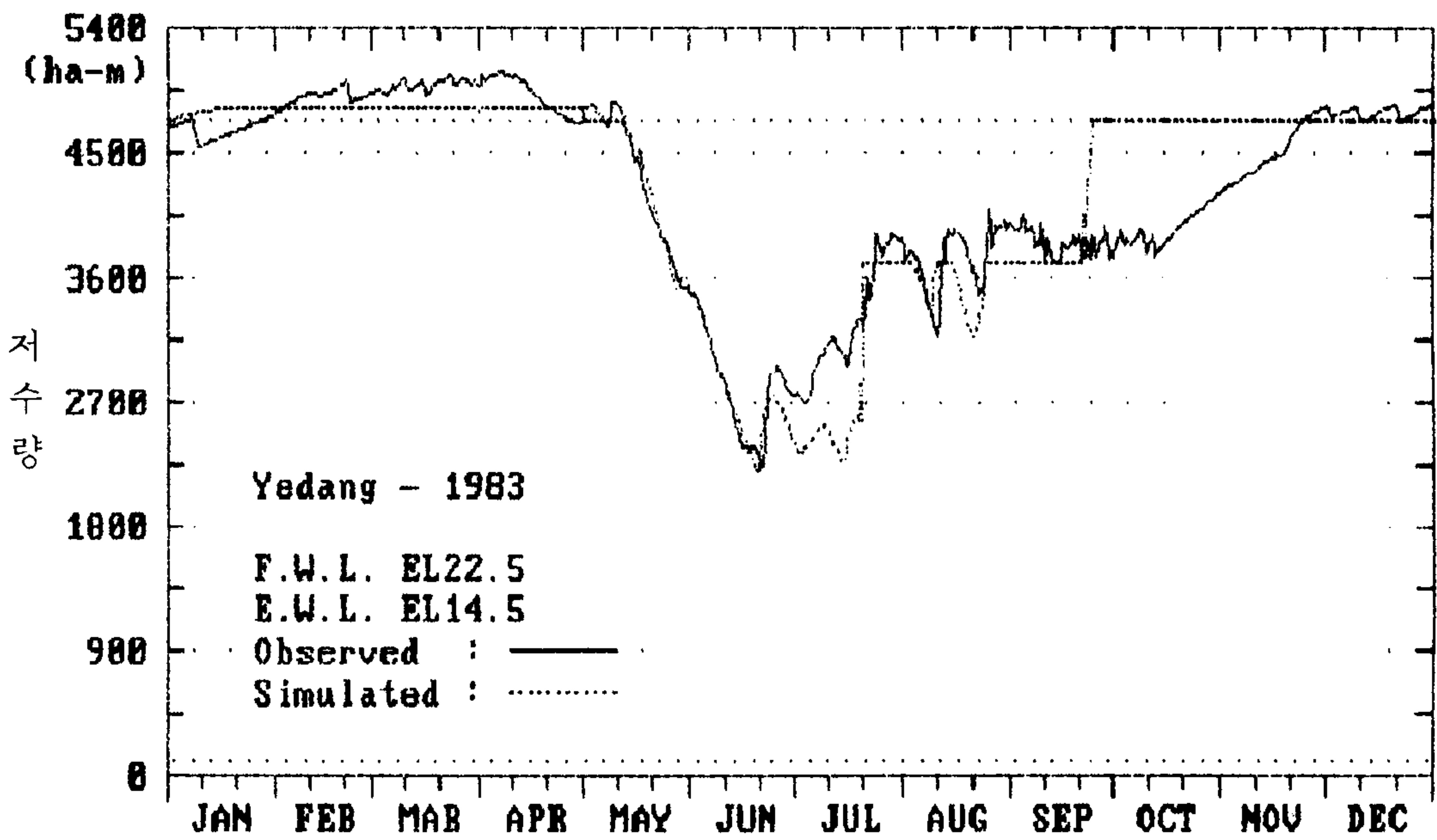
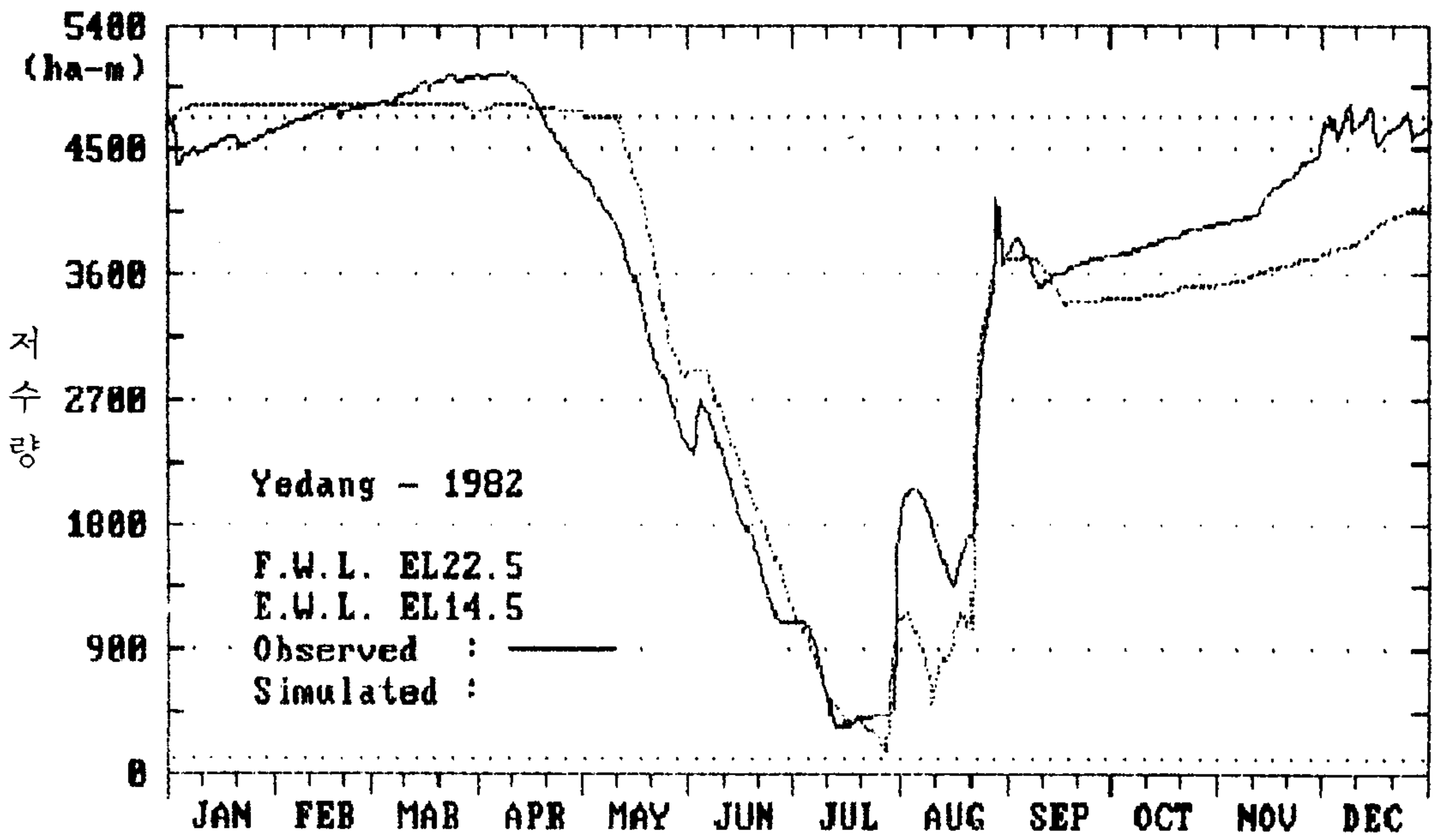
그림.18 예당지의 추정 일 유입량 (1984 년)

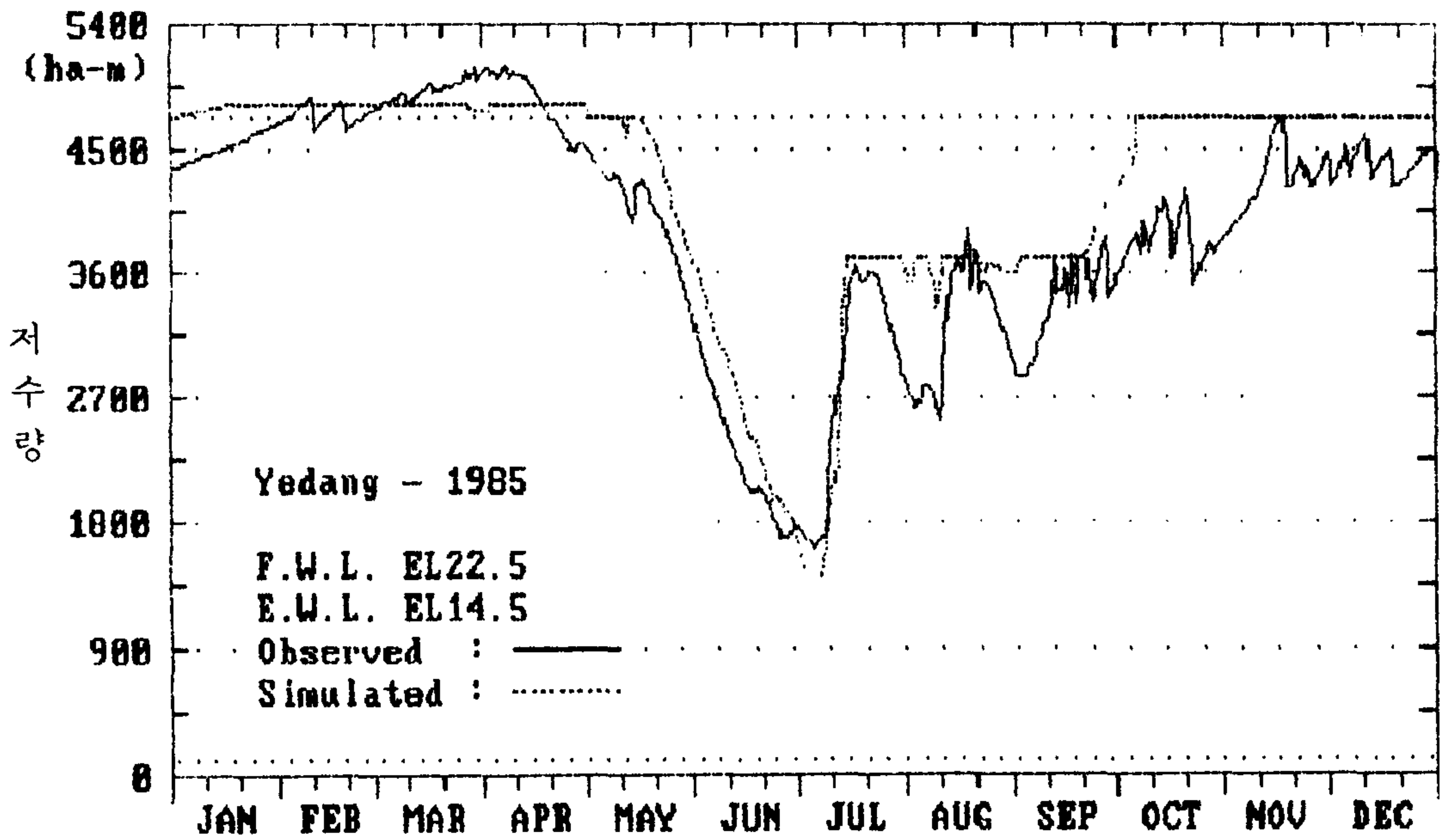
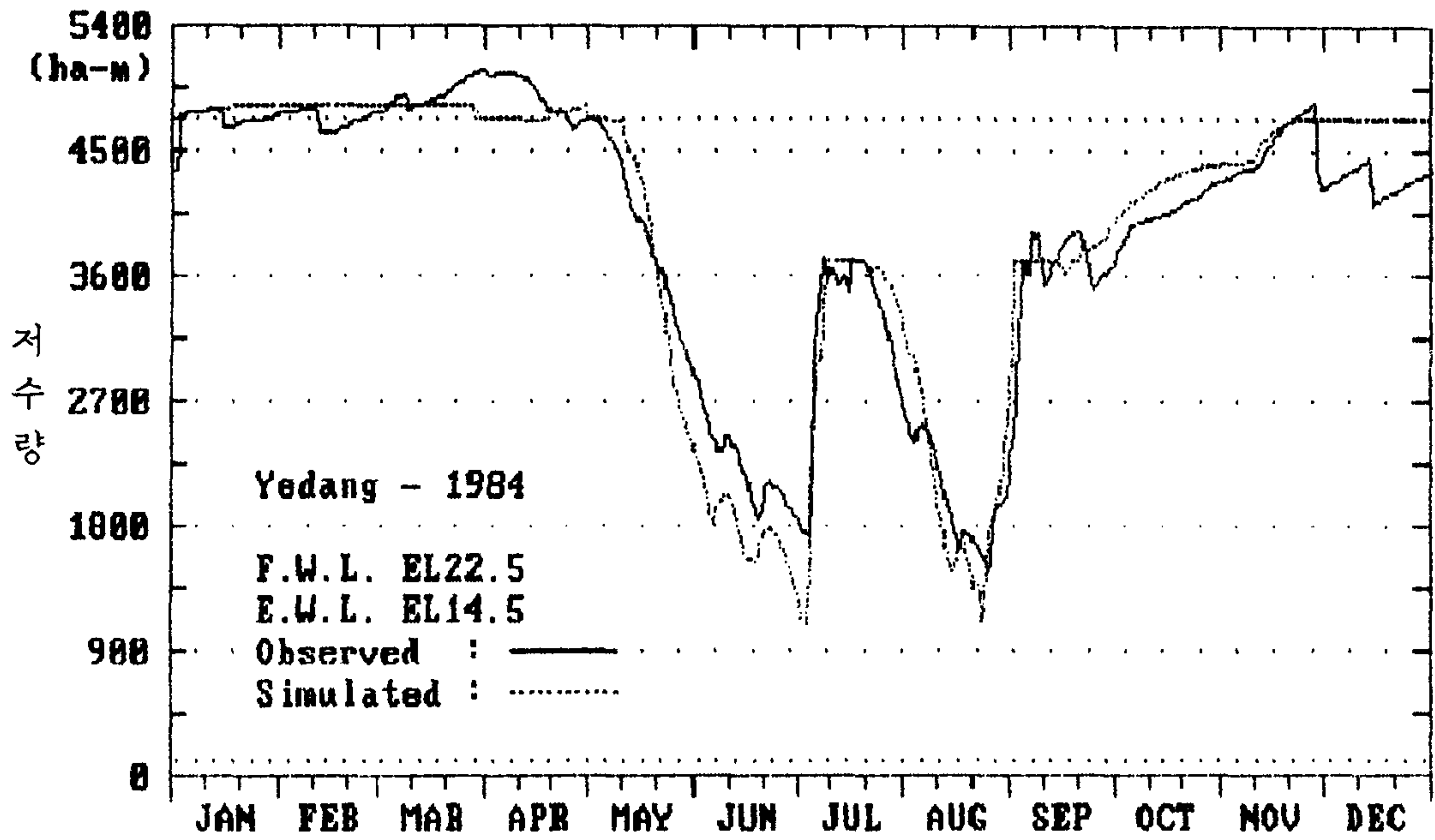
수지에 적용한 결과 저수량 관측치와 추정치의 년도별 비교는 그림.19 와 같고, 물 수지 분석표는 표.30 과 같다.











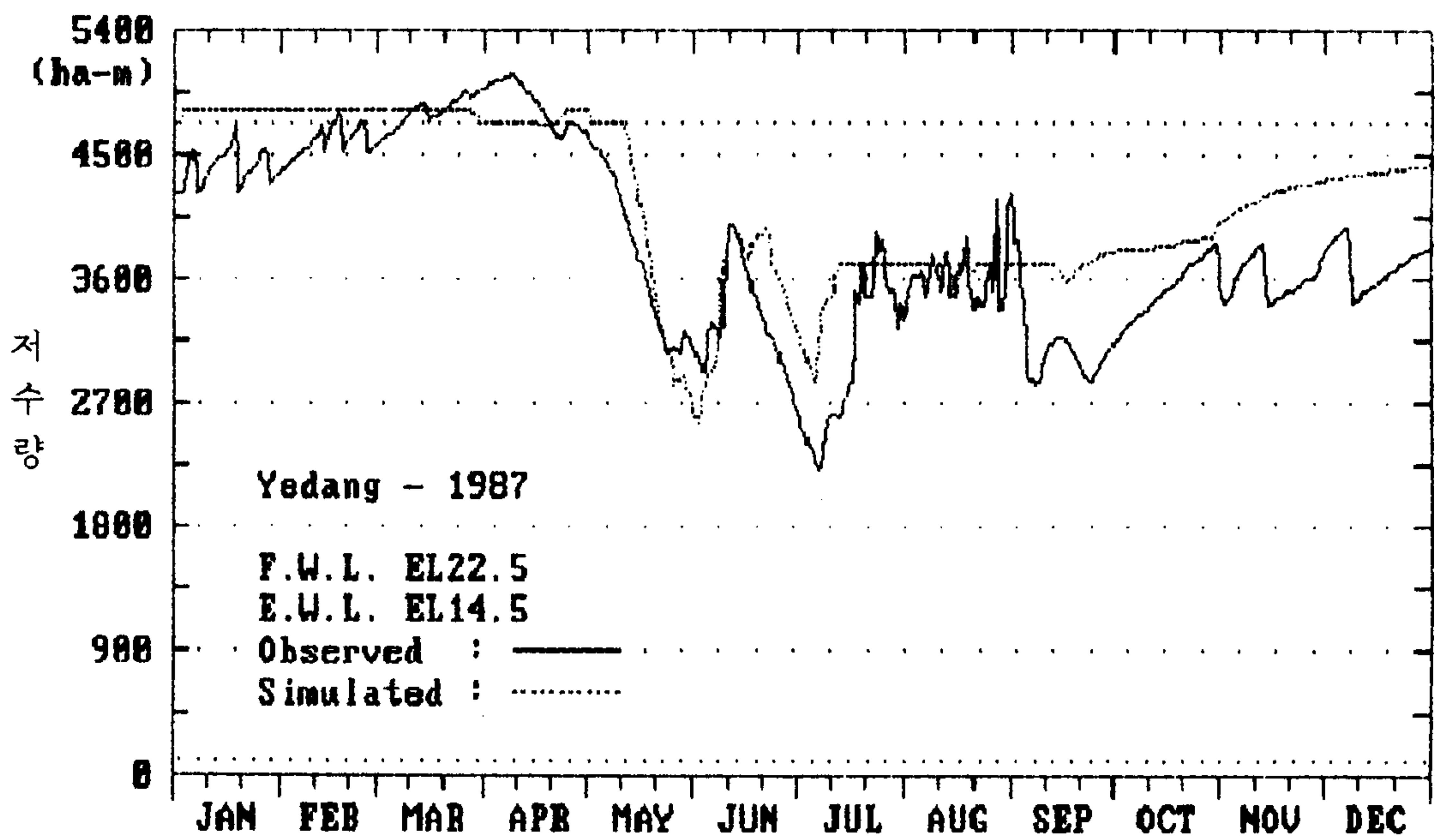
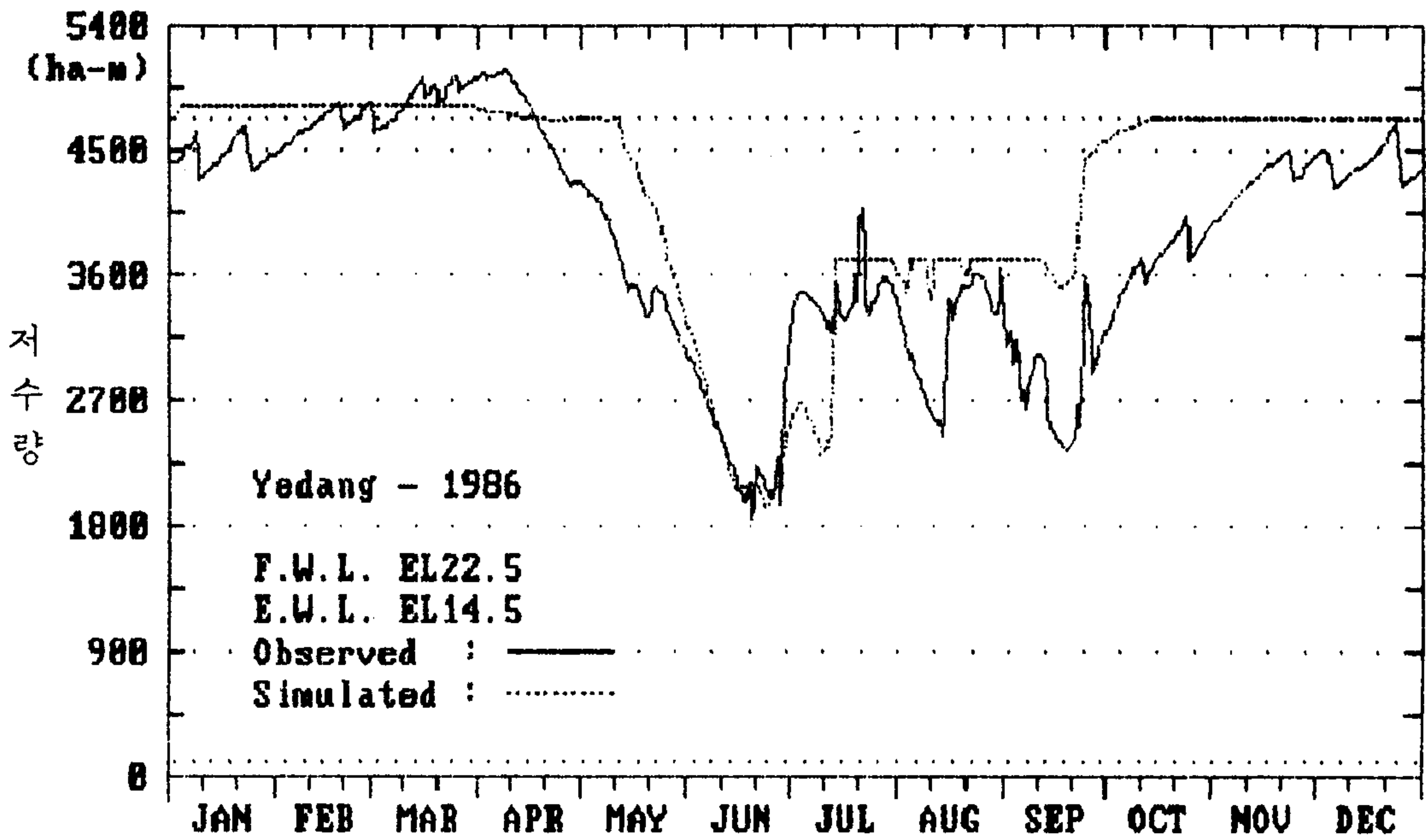


그림.19 禮唐池 관측 - 추정 저수량 비교 (1978~87)



표.30 禮唐池 일별 물 수지 결과표 (1984 년)

예당지 일별 물수지 ( 1984 년 1 월 )

일	유입량	농업용수	필요수량	증발산	방류량	저수량	저수위	온도	강수량	증발	담수심
단위	←———— ha-m —————→					(EL. m)	(° C)	←———— mm —————→			
1	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4598.2	22.50	-0.9	0.0	0.7	0
2	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4608.5	22.51	0.3	6.2	0.8	0
3	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4612.3	22.51	-0.6	0.5	1.3	0
4	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4615.5	22.52	-3.6	0.0	1.3	0
5	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4619.0	22.52	-8.3	0.0	1.0	0
6	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4622.3	22.52	-7.5	0.0	1.1	0
7	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4626.2	22.53	-3.4	0.2	0.8	0
8	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4629.7	22.53	-3.6	0.2	1.1	0
9	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4633.1	22.53	0.6	0.1	1.2	0
10	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4635.9	22.53	-0.1	0.0	1.9	0
소계	74.7	0.0	0.0	0.0	0.0	46200.8	225.20	-27.1	7.2	11.2	0
평균	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4620.1	22.52	-2.7	0.7	1.1	0
11	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4638.9	22.54	-2.4	0.0	1.5	0
12	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4644.2	22.54	-3.1	1.3	0.4	0
13	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4647.7	22.55	-2.1	0.0	1.0	0
14	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4651.1	22.55	-0.3	0.0	1.0	0
15	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4653.4	22.55	-3.3	0.0	2.4	0
16	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4656.5	22.55	-6.0	0.1	1.6	0
17	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4659.6	22.56	-7.7	0.0	1.5	0
18	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4662.6	22.56	-5.8	0.0	1.5	0
19	7.5	0.0	0.0	0.0	2.0	4663.6	22.56	-5.9	0.0	1.5	0
20	7.5	0.0	0.0	0.0	3.6	4663.6	22.56	-7.2	0.0	0.8	0
소계	74.7	0.0	0.0	0.0	5.5	46541.3	225.51	-43.8	1.4	13.2	0
평균	7.5	0.0	0.0	0.0	0.6	4654.1	22.55	-4.4	0.1	1.3	0
21	7.5	0.0	0.0	0.0	4.1	4663.6	22.56	-4.6	0.3	0.6	0
22	7.5	0.0	0.0	0.0	4.1	4663.6	22.56	-7.2	0.8	1.3	0
23	7.5	0.0	0.0	0.0	3.2	4663.6	22.56	-6.5	0.0	1.3	0
24	7.5	0.0	0.0	0.0	4.3	4663.6	22.56	-6.4	0.9	1.1	0
25	7.5	0.0	0.0	0.0	2.8	4663.6	22.56	-6.8	0.0	1.8	0
26	7.5	0.0	0.0	0.0	2.9	4663.6	22.56	-6.4	0.0	1.7	0
27	7.5	0.0	0.0	0.0	3.4	4663.6	22.56	-7.2	0.2	1.3	0
28	7.5	0.0	0.0	0.0	3.0	4663.6	22.56	-7.3	0.0	1.5	0
29	7.5	0.0	0.0	0.0	3.3	4663.6	22.56	-7.7	0.0	1.1	0
30	7.5	0.0	0.0	0.0	3.2	4663.6	22.56	-5.1	0.1	1.4	0
31	7.5	0.0	0.0	0.0	3.2	4663.6	22.56	-2.8	0.1	1.4	0
소계	82.2	0.0	0.0	0.0	37.5	51300.1	248.16	-68.0	2.4	14.5	0
평균	7.5	0.0	0.0	0.0	3.4	4663.6	22.56	-6.2	0.2	1.3	0
총계	231.6	0.0	0.0	0.0	43.1	144042.2	698.87	-138.9	11.0	38.9	0
평균	7.5	0.0	0.0	0.0	1.4	4646.5	22.54	-4.5	0.4	1.3	0

예당지 일별 물수지 ( 1984 년 2 월 )

일	유입량	농업용수	필요수량	증발산	방류량	저수량	저수위	온도	강우량	증발	담수심
단위	←———— ha-m —————→					(EL. m)	(° C)	←———— mm —————→			
1	7.5	0.0	0.0	0.0	3.1	4663.6	22.56	-3.9	0.0	1.4	0
2	7.5	0.0	0.0	0.0	2.9	4663.6	22.56	-7.2	0.0	1.7	0
3	7.5	0.0	0.0	0.0	2.9	4663.6	22.56	-6.6	0.0	1.7	0
4	7.5	0.0	0.0	0.0	3.5	4663.6	22.56	-3.9	0.2	1.2	0
5	7.5	0.0	0.0	0.0	2.6	4663.6	22.56	-4.8	0.0	2.0	0
6	7.5	0.0	0.0	0.0	2.6	4663.6	22.56	-9.0	0.0	2.0	0
7	7.5	0.0	0.0	0.0	2.9	4663.6	22.56	-8.2	0.0	1.7	0
8	7.5	0.0	0.0	0.0	2.4	4663.6	22.56	-6.9	0.0	2.3	0
9	7.5	0.0	0.0	0.0	2.7	4663.6	22.56	-6.5	0.0	1.9	0
10	7.5	0.0	0.0	0.0	2.9	4663.6	22.56	-5.3	0.0	1.7	0
소계	74.7	0.0	0.0	0.0	28.6	46636.4	225.60	-62.3	0.2	17.6	0
평균	7.5	0.0	0.0	0.0	2.9	4663.6	22.56	-6.2	0.0	1.8	0
11	7.5	0.0	0.0	0.0	2.8	4663.6	22.56	-3.0	0.0	1.8	0
12	7.5	0.0	0.0	0.0	2.8	4663.6	22.56	-1.2	0.0	1.8	0
13	7.5	0.0	0.0	0.0	2.8	4663.6	22.56	-1.6	0.0	1.8	0
14	7.5	0.0	0.0	0.0	2.9	4663.6	22.56	-2.1	0.0	1.7	0
15	7.5	0.0	0.0	0.0	2.6	4663.6	22.56	-3.5	0.0	2.0	0
16	7.5	0.0	0.0	0.0	2.5	4663.6	22.56	-4.6	0.0	2.2	0
17	7.5	0.0	0.0	0.0	2.3	4663.6	22.56	-2.6	0.0	2.5	0
18	7.5	0.0	0.0	0.0	2.2	4663.6	22.56	-2.2	0.0	2.6	0
19	7.5	0.0	0.0	0.0	2.6	4663.6	22.56	-3.3	0.0	2.1	0
20	7.5	0.0	0.0	0.0	2.6	4663.6	22.56	-2.6	0.0	2.1	0
소계	74.7	0.0	0.0	0.0	26.0	46636.4	225.60	-26.7	0.0	20.6	0
평균	7.5	0.0	0.0	0.0	2.6	4663.6	22.56	-2.7	0.0	2.1	0
21	7.5	0.0	0.0	0.0	2.2	4663.6	22.56	0.2	0.0	2.6	0
22	7.5	0.0	0.0	0.0	9.0	4663.6	22.56	2.8	4.7	0.4	0
23	7.5	0.0	0.0	0.0	9.0	4663.6	22.56	1.5	4.7	0.5	0
24	7.5	0.0	0.0	0.0	3.2	4663.6	22.56	1.4	0.0	1.3	0
25	7.5	0.0	0.0	0.0	5.7	4663.6	22.56	4.2	2.0	0.9	0
26	7.5	0.0	0.0	0.0	2.7	4663.6	22.56	0.2	0.9	3.2	0
27	7.5	0.0	0.0	0.0	2.3	4663.6	22.56	-2.8	0.0	2.4	0
28	7.5	0.0	0.0	0.0	2.4	4663.6	22.56	-3.0	0.0	2.3	0
29	7.5	0.0	0.0	0.0	2.6	4663.6	22.56	-3.0	0.0	2.0	0
소계	67.2	0.0	0.0	0.0	39.2	41972.8	203.04	1.5	12.3	15.6	0
평균	7.5	0.0	0.0	0.0	4.4	4663.6	22.56	0.2	1.4	1.7	0
총계	216.7	0.0	0.0	0.0	93.8	135245.8	654.24	-87.5	12.5	53.8	0
평균	7.5	0.0	0.0	0.0	3.2	4663.6	22.56	-3.0	0.4	1.9	0



예당지 일별 물수지 ( 1984 년 3 월 )

일	유입량	농업용수	필요수량	증발산	방류량	저수량	저수위	온도	강수량	증발	담수심
단위	←———— ha-m —————→					(EL. m)	(° C)	←———— mm —————→			
1	7.5	0.0	0.0	0.0	6.6	4663.6	22.56	-1.6	3.0	1.1	0
2	7.5	0.0	0.0	0.0	5.4	4663.6	22.56	-0.3	2.9	2.6	0
3	7.5	0.0	0.0	0.0	4.0	4663.6	22.56	-1.1	1.2	1.9	0
4	7.5	0.0	0.0	0.0	3.1	4663.6	22.56	-2.4	0.2	1.7	0
5	7.5	0.0	0.0	0.0	4.4	4663.6	22.56	-1.8	0.9	1.0	0
6	7.5	0.0	0.0	0.0	2.2	4663.6	22.56	0.4	0.0	2.6	0
7	7.5	0.0	0.0	0.0	2.0	4663.6	22.56	-0.4	0.0	2.9	0
8	7.5	0.0	0.0	0.0	2.3	4663.6	22.56	1.0	0.0	2.4	0
9	7.5	0.0	0.0	0.0	2.8	4663.6	22.56	1.5	0.9	3.1	0
10	7.5	0.0	0.0	0.0	2.2	4663.6	22.56	0.3	0.0	2.6	0
소계	74.7	0.0	0.0	0.0	35.0	46636.4	225.60	-4.4	9.1	21.9	0
평균	7.5	0.0	0.0	0.0	3.5	4663.6	22.56	-0.4	0.9	2.2	0
11	7.5	0.0	0.0	0.0	2.6	4663.6	22.56	1.7	0.0	2.0	0
12	7.5	0.0	0.0	0.0	2.7	4663.6	22.56	2.2	0.0	1.9	0
13	7.5	0.0	0.0	0.0	2.6	4663.6	22.56	1.4	0.0	2.1	0
14	7.5	0.0	0.0	0.0	2.7	4663.6	22.56	4.6	0.0	1.9	0
15	7.5	0.0	0.0	0.0	4.7	4663.6	22.56	3.5	1.2	1.0	0
16	7.5	0.0	0.0	0.0	3.4	4663.6	22.56	4.1	1.6	3.3	0
17	7.5	0.0	0.0	0.0	2.0	4663.6	22.56	3.1	0.0	2.9	0
18	7.5	0.0	0.0	0.0	2.0	4663.6	22.56	3.3	0.0	2.8	0
19	7.5	0.0	0.0	0.0	1.7	4663.6	22.56	5.3	0.0	3.2	0
20	7.5	0.0	0.0	0.0	4.2	4663.6	22.56	0.4	1.6	2.2	0
소계	74.7	0.0	0.0	0.0	28.8	46636.4	225.60	29.6	4.4	23.3	0
평균	7.5	0.0	0.0	0.0	2.9	4663.6	22.56	3.0	0.4	2.3	0
21	7.5	0.0	0.0	0.0	2.6	4663.6	22.56	0.5	0.2	2.3	0
22	7.5	0.0	0.0	0.0	2.4	4663.6	22.56	0.4	0.0	2.3	0
23	7.5	0.0	0.0	0.0	2.9	4663.6	22.56	2.6	0.2	1.9	0
24	7.5	0.0	0.0	0.0	2.0	4663.6	22.56	3.7	0.0	2.9	0
25	7.5	0.0	0.0	0.0	2.0	4663.6	22.56	1.9	0.0	2.8	0
26	7.5	0.0	0.0	0.0	2.9	4663.6	22.56	1.2	0.0	1.7	0
27	7.5	26.6	26.6	0.0	0.0	4639.4	22.54	3.8	0.0	2.4	30
28	7.5	26.6	26.6	0.0	0.0	4615.1	22.52	2.9	0.0	2.4	30
29	7.5	26.6	26.6	0.0	0.0	4589.7	22.49	8.7	0.0	3.9	30
30	7.5	3.1	3.1	0.0	0.0	4589.9	22.49	8.9	0.0	1.2	30
31	7.5	3.3	3.3	0.0	0.0	4589.5	22.49	6.6	0.0	1.7	30
총계	82.2	86.3	86.3	0.0	14.9	51005.4	247.89	41.2	0.4	25.5	150
평균	7.5	7.8	7.8	0.0	1.4	4636.9	22.54	3.7	0.0	2.3	14
TOT	231.6	86.3	86.3	0.0	78.7	144278.3	699.09	66.4	13.9	70.7	150
MEAN	7.5	2.8	2.8	0.0	2.5	4654.1	22.55	2.1	0.4	2.3	5

예당지 일별 물수지 ( 1984 년 4 월 )

일	유입량	농업용수	필요수량	증발산	방류량	저수량	저수위	온도	강수량	증발	담수심
단위	←———— ha-m —————→					(EL. m)	(° C)	←———— mm —————→			
1	7.5	3.9	3.9	0.0	0.0	4587.2	22.49	6.9	0.0	3.4	30
2	7.5	3.4	3.4	0.0	0.0	4586.6	22.49	6.2	0.0	1.9	30
3	7.5	3.8	3.8	0.0	0.0	4584.7	22.49	10.8	0.0	3.1	30
4	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4594.4	22.50	14.4	7.5	3.4	30
5	7.5	3.4	3.4	0.0	0.0	4593.7	22.50	8.8	0.2	2.4	30
6	7.5	4.2	4.2	0.0	0.0	4590.7	22.49	4.4	0.0	4.0	30
7	7.5	4.0	4.0	0.0	0.0	4588.1	22.49	4.8	0.0	3.7	30
8	7.5	4.5	4.5	0.0	0.0	4584.1	22.49	9.0	0.0	4.9	30
9	7.5	2.5	2.5	0.0	0.0	4586.1	22.49	9.5	1.3	1.4	30
10	7.5	4.2	4.2	0.0	0.0	4583.2	22.49	9.8	0.0	4.0	30
소계	74.7	33.8	33.8	0.0	0.0	45878.7	224.90	84.6	9.0	32.2	300
평균	7.5	3.4	3.4	0.0	0.0	4587.9	22.49	8.5	0.9	3.2	30
11	7.5	4.3	4.3	0.0	0.0	4579.9	22.48	9.5	0.0	4.3	30
12	7.5	4.1	4.1	0.0	0.0	4577.0	22.48	10.7	0.0	3.9	30
13	7.5	4.5	4.5	0.0	0.0	4573.1	22.48	10.5	0.0	4.8	30
14	7.5	4.0	4.0	0.0	0.0	4570.7	22.47	10.1	0.3	4.0	30
15	7.5	3.4	3.4	0.0	0.0	4569.9	22.47	13.2	0.5	2.8	30
16	7.5	3.9	3.9	0.0	0.0	4567.6	22.47	15.6	0.0	3.4	30
17	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4589.7	22.49	13.4	18.1	2.2	42
18	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4621.6	22.52	10.0	27.0	2.2	60
19	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4622.9	22.52	10.8	0.0	3.8	52
20	8.1	0.0	0.0	0.0	0.0	4625.0	22.52	10.2	0.0	3.6	45
소계	75.4	24.2	24.2	0.0	0.0	45897.3	224.92	114.0	45.9	35.0	379
평균	7.5	2.4	2.4	0.0	0.0	4589.7	22.49	11.4	4.6	3.5	38
21	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4626.1	22.53	11.6	0.0	4.0	37
22	7.5	0.7	0.7	0.0	0.0	4626.0	22.53	10.8	0.0	4.8	30
23	7.5	4.1	4.1	0.0	0.0	4623.1	22.52	11.5	0.0	3.9	30
24	7.5	4.3	4.3	0.0	0.0	4619.6	22.52	12.8	0.0	4.4	30
25	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4640.4	22.54	12.9	16.7	2.1	40
26	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4644.3	22.54	14.7	0.2	0.7	35
27	7.5	1.3	1.3	0.0	0.0	4644.4	22.54	15.9	0.0	3.5	30
28	7.5	0.0	0.0	0.0	2.5	4663.6	22.56	13.2	16.6	0.9	41
29	7.5	0.0	0.0	0.0	66.7	4598.2	22.50	13.0	0.0	3.8	33
30	7.5	0.4	0.4	0.0	4.8	4598.2	22.50	11.8	3.5	3.7	30
소계	74.7	10.9	10.9	0.0	73.9	46283.9	225.28	128.2	37.0	31.8	336
평균	7.5	1.1	1.1	0.0	7.4	4628.4	22.53	12.8	3.7	3.2	34
총계	224.8	68.9	68.9	0.0	73.9	138059.9	675.10	326.8	91.9	99.0	1015
평균	7.5	2.3	2.3	0.0	2.5	4602.0	22.50	10.9	3.1	3.3	34



예당지 일별 물수지 ( 1984 년 5 월 )

일	유입량	농업용수	필요수량	증발산	방류량	저수량	저수위	온도	강우량	증발	담수심
단위	←———— ha-m —————→					(EL. m)	(° C)	←———— mm —————→			
1	7.5	4.1	4.1	0.0	0.0	4595.5	22.50	10.6	0.0	3.8	30
2	7.5	4.3	4.3	0.0	0.0	4592.1	22.49	12.3	0.0	4.3	30
3	7.5	3.9	3.9	0.0	0.0	4589.8	22.49	12.7	0.0	3.4	30
4	7.5	4.0	4.0	0.0	0.0	4587.2	22.49	13.0	0.0	3.7	30
5	7.5	4.4	4.4	0.0	0.0	4583.6	22.49	15.0	0.0	4.6	30
6	7.5	4.5	4.5	0.0	0.0	4579.5	22.48	13.9	0.0	5.0	30
7	7.5	4.5	4.5	0.0	0.0	4575.6	22.48	14.0	0.0	4.8	30
8	7.5	4.8	4.8	0.0	0.0	4570.8	22.47	16.6	0.0	5.6	30
9	7.5	4.3	4.3	0.0	0.0	4567.3	22.47	15.9	0.0	4.5	30
10	7.5	103.0	103.0	2.2	0.0	4464.9	22.38	17.0	0.0	4.8	30
소계	74.7	141.8	141.8	2.2	0.0	45706.3	224.74	141.0	0.0	44.5	300
평균	7.5	14.2	14.2	0.2	0.0	4570.6	22.47	14.1	0.0	4.4	30
11	7.5	108.7	108.7	3.6	0.0	4357.1	22.27	18.8	0.0	4.5	30
12	73.9	103.0	103.0	3.1	0.0	4369.3	22.29	19.9	42.7	0.7	60
13	42.5	103.0	103.0	4.0	0.0	4305.8	22.23	16.4	1.5	2.0	55
14	29.9	103.0	103.0	12.1	0.0	4225.2	22.15	15.8	0.0	5.9	46
15	11.9	103.0	103.0	7.0	0.0	4128.7	22.06	16.0	0.0	3.1	39
16	10.9	103.6	103.6	16.1	0.0	4029.0	21.96	16.8	0.0	5.5	30
17	9.9	147.1	147.1	18.3	0.0	3885.2	21.81	15.9	0.0	5.0	30
18	9.1	154.3	154.3	21.4	0.0	3733.1	21.66	16.1	0.0	5.6	30
19	8.3	159.6	159.6	22.8	0.0	3575.1	21.50	17.4	0.0	5.4	30
20	7.6	167.5	167.5	26.6	0.0	3407.9	21.33	18.8	0.0	6.5	30
소계	211.5	1252.7	1252.7	135.0	0.0	40016.5	219.25	171.9	44.2	44.2	379
평균	21.1	125.3	125.3	13.5	0.0	4001.6	21.92	17.2	4.4	4.4	38
21	7.5	164.3	164.3	20.2	0.0	3245.6	21.15	18.0	0.0	4.0	30
22	7.5	182.0	182.0	32.9	0.0	3063.8	20.96	18.1	0.0	6.8	30
23	7.5	184.5	184.5	31.7	0.0	2880.1	20.75	17.6	0.0	6.1	30
24	7.5	189.8	189.8	33.1	0.0	2692.4	20.54	18.6	0.0	4.4	30
25	7.5	72.7	72.7	16.2	0.0	2622.6	20.46	18.7	0.0	3.4	30
26	7.5	75.1	75.1	18.2	0.0	2549.5	20.37	18.7	0.0	4.9	30
27	7.5	85.3	85.3	26.7	0.0	2466.3	20.27	20.4	0.0	5.0	30
28	7.5	69.5	69.5	15.3	0.0	2399.9	20.19	20.0	0.2	3.6	30
29	7.5	86.7	86.7	27.9	0.0	2314.9	20.08	19.6	0.0	5.8	30
30	7.5	83.1	83.1	24.9	0.0	2234.4	19.98	20.5	0.0	4.4	30
31	7.5	83.3	83.3	25.0	0.0	2153.2	19.88	19.9	0.0	5.5	30
소계	82.2	1276.2	1276.2	271.9	0.0	28622.7	224.64	210.1	0.2	53.9	330
평균	7.5	116.0	116.0	24.7	0.0	2602.1	20.42	19.1	0.0	4.9	30
총계	368.4	2670.7	2670.7	409.1	0.0	114345.4	668.63	523.0	44.4	142.6	1009
평균	11.9	86.2	86.2	13.2	0.0	3688.6	21.57	16.9	1.4	4.6	33

예당지 일별 물수지 ( 1984 년 6 월 )

일	유입량	농업용수	필요수량	증발산	방류량	저수량	저수위	온도	강우량	증발	담수심
단위	←———— ha-m —————→					(EL. m)	(° C)	←———— mm —————→			
1	7.5	86.7	86.7	27.8	0.0	2069.0	19.77	20.5	0.0	5.0	30
2	7.5	99.3	99.3	38.4	0.0	1971.1	19.64	21.7	0.0	7.2	30
3	7.5	97.2	97.2	36.6	0.0	1875.5	19.50	22.1	0.0	7.1	30
4	7.5	93.9	93.9	33.9	0.0	1783.8	19.37	21.7	0.0	6.4	30
5	7.5	79.3	79.3	21.7	0.0	1707.8	19.26	23.7	0.0	4.6	30
6	95.3	0.0	0.0	16.6	0.0	1835.0	19.44	22.4	54.2	4.7	60
7	51.4	0.0	0.0	21.5	0.0	1882.9	19.51	19.1	0.0	2.9	53
8	32.5	0.0	0.0	32.8	0.0	1910.8	19.55	20.0	0.0	4.9	44
9	9.4	0.0	0.0	12.0	0.0	1917.3	19.56	18.6	0.0	1.7	38
10	8.6	18.4	18.4	37.8	0.0	1902.3	19.54	19.5	0.0	5.9	30
소계	234.5	474.8	474.8	279.0	0.0	18855.5	195.14	209.3	54.2	50.4	374
평균	23.5	47.5	47.5	27.9	0.0	1885.5	19.51	20.9	5.4	5.0	37
11	7.8	100.3	100.3	39.1	0.0	1804.4	19.40	21.5	0.0	6.7	30
12	7.5	98.6	98.6	37.8	0.0	1708.1	19.26	23.6	0.0	6.3	30
13	7.5	96.8	96.8	36.3	0.0	1613.3	19.11	24.9	0.0	7.5	30
14	7.5	101.9	101.9	40.6	0.0	1513.2	18.95	25.7	0.0	8.2	30
15	7.5	48.5	48.5	28.0	0.0	1470.2	18.88	24.9	3.6	5.4	30
16	7.5	0.0	0.0	11.7	0.0	1482.3	18.90	20.5	11.3	1.1	35
17	7.5	26.4	26.4	21.8	0.0	1459.8	18.87	20.5	0.0	3.8	30
18	108.7	0.0	0.0	11.7	0.0	1594.1	19.08	22.0	45.9	1.1	60
19	61.2	0.0	0.0	25.1	0.0	1651.4	19.17	20.9	0.2	4.8	52
20	41.0	0.0	0.0	32.0	0.0	1688.3	19.23	21.5	0.0	4.7	44
소계	263.5	472.6	472.6	284.2	0.0	15985.1	190.87	226.0	61.0	49.6	371
평균	26.4	47.3	47.3	28.4	0.0	1598.5	19.09	22.6	6.1	5.0	37
21	15.1	0.0	0.0	17.0	0.0	1700.8	19.25	21.8	1.5	3.5	38
22	13.7	0.0	0.0	22.2	0.0	1710.9	19.26	21.0	0.5	4.3	31
23	12.5	67.4	67.4	23.7	0.0	1652.0	19.17	22.1	0.0	4.2	30
24	11.4	74.4	74.4	26.5	0.0	1585.6	19.07	23.1	1.0	4.6	30
25	10.4	45.2	45.2	9.2	0.0	1549.9	19.01	21.9	1.8	0.3	30
26	9.4	78.3	78.3	20.9	0.0	1477.4	18.90	22.7	0.0	3.9	30
27	8.6	93.0	93.0	33.1	0.0	1388.9	18.75	22.3	0.0	5.3	30
28	7.8	69.5	69.5	13.5	0.0	1324.8	18.64	20.8	0.0	1.4	30
29	7.5	96.3	96.3	35.8	0.0	1231.7	18.48	21.6	0.0	6.4	30
30	7.5	94.4	94.4	34.3	0.0	1140.3	18.31	23.2	0.0	7.1	30
소계	103.8	618.5	618.5	236.3	0.0	14762.4	188.84	220.5	4.8	41.0	310
평균	10.4	61.8	61.8	23.6	0.0	1476.2	18.88	22.1	0.5	4.1	31
총계	601.9	1565.8	1565.8	799.6	0.0	49603.0	574.85	655.8	120.0	141.0	1055
평균	20.1	52.2	52.2	26.7	0.0	1653.4	19.16	21.9	4.0	4.7	35



예당지 일별 물수지 ( 1984 년 7 월 )

일	유입량	농업용수	필요수량	증발산	방류량	저수량	저수위	온도	강수량	증발	담수심
단위	←————— ha-m —————→					(EL. m)	(° C)	←————— mm —————→			
1	7.5	83.7	83.7	25.3	0.0	1060.3	18.16	25.0	0.0	6.0	30
2	7.5	42.8	42.8	12.6	0.0	1023.8	18.08	25.0	2.4	2.4	30
3	1033.5	0.0	0.0	9.7	0.0	2113.1	19.83	23.4	114.3	0.2	60
4	528.4	0.0	0.0	9.1	0.0	2646.8	20.49	21.7	10.7	1.0	60
5	283.0	0.0	0.0	25.9	0.0	2924.5	20.80	24.6	0.0	4.6	52
6	65.5	0.0	0.0	15.4	0.0	2994.6	20.88	24.3	10.3	3.1	56
7	383.4	0.0	0.0	11.7	0.0	3399.0	21.32	23.0	27.7	2.2	60
8	217.1	0.0	0.0	9.2	39.7	3577.4	21.50	22.6	4.2	0.2	58
9	672.0	0.0	0.0	8.9	706.0	3577.4	21.50	23.2	38.2	0.3	60
10	334.3	0.0	0.0	14.2	335.6	3577.4	21.50	24.0	6.3	2.8	60
소계	3532.2	126.4	126.4	142.0	1081.3	26894.3	204.06	236.8	214.1	22.8	526
평균	353.2	12.6	12.6	14.2	108.1	2689.4	20.41	23.7	21.4	2.3	53
11	222.8	0.0	0.0	9.8	226.0	3577.4	21.50	23.4	7.2	1.3	60
12	801.7	0.0	0.0	9.0	844.5	3577.4	21.50	22.7	47.3	0.3	60
13	426.6	0.0	0.0	11.2	421.0	3577.4	21.50	22.7	0.0	4.0	54
14	251.9	0.0	0.0	22.2	245.6	3577.4	21.50	24.4	0.0	4.9	46
15	70.0	0.0	0.0	18.2	64.8	3577.4	21.50	26.1	0.0	3.3	39
16	62.1	0.0	0.0	25.3	55.3	3577.4	21.50	23.0	0.0	5.8	31
17	55.2	52.6	52.6	27.3	0.0	3573.5	21.50	22.4	0.0	5.3	30
18	49.1	61.3	61.3	32.2	0.0	3554.5	21.48	23.9	0.0	5.7	30
19	43.5	48.6	48.6	23.1	0.0	3543.4	21.47	23.7	0.0	4.7	30
20	38.7	48.1	48.1	30.8	0.0	3527.2	21.45	24.6	0.0	5.9	30
소계	2021.7	210.5	210.5	209.0	1857.2	35663.1	214.91	236.9	54.5	41.2	411
평균	202.2	21.1	21.1	20.9	185.7	3566.3	21.49	23.7	5.4	4.1	41
21	34.4	41.8	41.8	30.3	0.0	3513.1	21.44	25.3	0.0	5.5	30
22	30.6	18.3	18.3	11.5	0.0	3523.3	21.45	23.5	2.0	1.6	30
23	27.1	21.2	21.2	17.5	0.0	3525.2	21.45	24.7	1.0	3.2	30
24	24.1	62.7	62.7	23.7	0.0	3480.6	21.40	24.2	0.0	4.5	30
25	21.4	64.4	64.4	27.9	0.0	3430.8	21.35	24.7	0.0	5.9	30
26	19.0	62.9	62.9	24.0	0.0	3380.7	21.30	25.7	0.0	5.1	30
27	16.9	66.5	66.5	33.1	0.0	3324.1	21.24	28.1	0.0	6.2	30
28	15.0	35.9	35.9	9.9	0.0	3304.2	21.22	26.8	6.0	2.7	30
29	13.3	63.7	63.7	14.3	0.0	3248.9	21.16	25.9	0.0	3.2	30
30	11.8	80.5	80.5	36.0	0.0	3172.7	21.08	28.7	0.0	7.2	30
31	10.5	83.4	83.4	30.4	0.0	3093.0	20.99	28.4	0.0	6.3	30
소계	224.3	601.4	601.4	258.6	0.0	36996.6	234.06	286.0	9.0	51.4	330
평균	20.4	54.7	54.7	23.5	0.0	3363.3	21.28	26.0	0.8	4.7	30
총계	5778.2	938.4	938.4	609.6	2938.5	99553.9	653.03	759.7	277.6	115.4	1266
평균	186.4	30.3	30.3	19.7	94.8	3211.4	21.07	24.5	9.0	3.7	41

예당지 일별 물수지 ( 1984 년 8 월 )

일	유입량	농업용수	필요수량	증발산	방류량	저수량	저수위	온도	강우량	증발	담수심
단위	←———— ha-m —————→					(EL. m)	(° C)	←———— mm —————→			
1	9.3	35.5	35.5	12.2	0.0	3068.1	20.96	27.3	6.5	3.0	30
2	8.3	35.5	35.5	17.9	0.0	3044.6	20.94	26.9	9.7	3.8	33
3	7.5	76.2	76.2	26.8	0.0	2969.4	20.85	27.3	0.0	5.9	30
4	7.5	102.2	102.2	25.1	0.0	2869.1	20.74	26.7	0.0	4.4	30
5	7.5	106.8	106.8	24.2	0.0	2764.2	20.62	26.9	0.0	4.7	30
6	7.5	119.6	119.6	30.7	0.0	2645.8	20.48	26.2	0.0	6.0	30
7	7.5	120.9	120.9	31.2	0.0	2525.7	20.34	26.3	0.5	7.7	30
8	7.5	183.4	183.4	19.6	0.0	2345.1	20.12	27.0	0.0	3.8	35
9	7.5	143.1	143.1	30.4	0.0	2203.4	19.94	28.1	0.0	6.7	35
10	7.5	145.5	145.5	32.5	0.0	2059.1	19.75	28.3	0.0	7.1	35
소계	77.4	1068.6	1068.6	250.5	0.0	26494.6	204.76	271.0	16.7	53.1	318
평균	7.7	106.9	106.9	25.0	0.0	2649.5	20.48	27.1	1.7	5.3	32
11	7.5	145.6	145.6	32.6	0.0	1915.3	19.56	27.3	0.0	6.4	35
12	7.5	141.8	141.8	29.4	0.0	1775.5	19.36	27.4	0.0	6.7	35
13	7.5	40.6	40.6	27.6	0.0	1743.7	19.31	27.6	9.3	6.1	35
14	113.3	0.0	0.0	12.9	0.0	1878.4	19.51	26.4	37.7	4.2	60
15	67.0	0.0	0.0	9.0	0.0	1942.9	19.60	23.2	0.5	1.5	49
16	48.6	0.0	0.0	30.0	0.0	1986.6	19.66	22.6	0.0	5.4	36
17	20.6	119.7	119.7	23.5	0.0	1882.7	19.51	25.7	0.3	5.2	35
18	18.1	144.3	144.3	31.4	0.0	1751.0	19.32	28.0	0.0	7.1	35
19	16.0	143.4	143.4	30.7	0.0	1618.9	19.12	28.4	0.0	5.5	35
20	14.2	1.1	1.1	16.9	0.0	1636.3	19.15	26.7	11.8	3.0	35
소계	320.1	736.6	736.6	244.0	0.0	18131.4	194.09	263.3	59.6	51.1	391
평균	32.0	73.7	73.7	24.4	0.0	1813.1	19.41	26.3	6.0	5.1	39
21	12.5	121.1	121.1	12.1	0.0	1524.6	18.97	24.3	0.0	2.6	35
22	11.1	138.0	138.0	26.3	0.0	1393.5	18.76	25.1	0.0	5.1	35
23	388.5	0.0	0.0	13.4	0.0	1810.3	19.41	24.2	52.3	2.2	60
24	206.2	0.0	0.0	8.3	0.0	2017.0	19.70	21.7	4.1	0.5	58
25	125.4	0.0	0.0	20.5	0.0	2137.9	19.86	24.6	0.0	4.3	51
26	43.3	0.0	0.0	19.7	0.0	2178.6	19.91	25.5	2.0	3.4	46
27	162.5	0.0	0.0	12.3	0.0	2350.9	20.13	25.8	18.0	3.5	57
28	306.5	0.0	0.0	9.0	0.0	2670.0	20.51	25.1	20.0	1.9	60
29	183.8	0.0	0.0	8.5	0.0	2849.5	20.72	24.7	1.7	5.3	56
30	190.1	0.0	0.0	19.8	0.0	3046.3	20.94	25.3	13.6	4.2	60
31	1011.4	0.0	0.0	7.1	528.6	3577.4	21.50	22.7	56.4	0.7	60
소계	2641.1	259.2	259.2	157.0	528.6	25556.1	220.41	269.0	168.1	33.7	578
평균	240.1	23.6	23.6	14.3	48.1	2323.3	20.04	24.5	15.3	3.1	53
총계	3038.5	2064.3	2064.3	651.5	528.6	70182.1	619.27	803.3	244.4	137.9	1286
평균	98.0	66.6	66.6	21.0	17.1	2263.9	19.98	25.9	7.9	4.4	41



예당지 일별 물수지 ( 1984 년 9 월 )

일	유입량	농업용수	필요수량	증발산	방류량	저수량	저수위	온도	강우량	증발	담수심
단위	←———— ha-m —————→					(EL. m)	(° C)	←———— mm —————→			
1	2702.2	0.0	0.0	7.7	2812.1	3577.4	21.50	24.4	116.5	0.2	60
2	1558.5	0.0	0.0	7.2	1575.8	3577.4	21.50	21.5	21.0	0.2	60
3	712.9	0.0	0.0	10.2	713.5	3577.4	21.50	20.2	4.7	1.5	59
4	138.1	0.0	0.0	13.3	134.9	3577.4	21.50	20.3	1.0	1.8	53
5	88.1	0.0	0.0	25.7	82.5	3577.4	21.50	20.9	0.2	4.3	45
6	51.1	0.0	0.0	14.8	48.3	3577.4	21.50	20.8	2.0	2.7	41
7	47.2	0.0	0.0	16.8	42.0	3577.4	21.50	22.0	0.0	3.4	34
8	51.5	0.0	0.0	14.7	51.5	3577.4	21.50	21.1	4.5	2.2	32
9	55.5	18.0	18.0	19.7	34.2	3577.4	21.50	21.7	2.4	3.9	30
10	59.1	46.3	46.3	19.9	7.2	3577.4	21.50	18.6	0.0	3.9	30
소계	5464.1	64.3	64.3	149.9	5502.0	35774.0	215.03	211.5	152.3	24.1	443
평균	546.4	6.4	6.4	15.0	550.2	3577.4	21.50	21.2	15.2	2.4	44
11	62.4	51.4	51.4	19.9	5.1	3577.4	21.50	19.6	0.0	4.4	30
12	57.5	59.3	59.3	23.0	0.0	3570.6	21.50	18.2	0.0	3.1	30
13	53.0	67.9	67.9	26.3	0.0	3550.1	21.47	18.4	0.0	4.1	30
14	49.0	70.7	70.7	23.6	0.0	3522.9	21.45	18.4	0.0	3.8	30
15	45.2	79.9	79.9	26.9	0.0	3482.3	21.40	20.2	0.0	4.6	30
16	41.7	0.0	0.0	0.0	0.0	3517.8	21.44	19.0	0.0	5.0	0
17	38.4	0.0	0.0	0.0	0.0	3551.6	21.48	18.5	0.0	2.6	0
18	35.5	0.0	0.0	0.0	4.0	3577.4	21.50	19.8	0.0	4.1	0
19	32.7	0.0	0.0	0.0	31.5	3577.4	21.50	19.9	4.7	4.2	0
20	30.2	0.0	0.0	0.0	0.0	3606.7	21.53	19.1	4.1	3.0	0
소계	445.8	329.2	329.2	119.7	40.6	35534.2	214.78	191.1	8.8	38.9	150
평균	44.6	32.9	32.9	12.0	4.1	3553.4	21.48	19.1	0.9	3.9	15
21	27.9	0.0	0.0	0.0	0.0	3628.9	21.56	19.5	0.0	4.0	0
22	25.7	0.0	0.0	0.0	0.0	3649.2	21.58	19.7	0.0	3.8	0
23	23.8	0.0	0.0	0.0	0.0	3667.4	21.59	18.7	0.0	3.8	0
24	21.9	0.0	0.0	0.0	0.0	3686.1	21.61	18.5	0.5	1.1	0
25	20.2	0.0	0.0	0.0	0.0	3699.3	21.63	17.0	0.0	5.8	0
26	18.7	0.0	0.0	0.0	0.0	3713.6	21.64	15.4	0.0	2.1	0
27	17.2	0.0	0.0	0.0	0.0	3726.8	21.66	17.1	0.0	1.6	0
28	62.6	0.0	0.0	0.0	0.0	3805.1	21.73	18.3	20.1	1.7	0
29	46.9	0.0	0.0	0.0	0.0	3845.9	21.78	19.3	0.0	4.5	0
30	41.8	0.0	0.0	0.0	0.0	3882.5	21.81	18.4	0.0	3.2	0
소계	306.7	0.0	0.0	0.0	0.0	37304.7	216.59	181.9	20.6	31.6	0
평균	30.7	0.0	0.0	0.0	0.0	3730.5	21.66	18.2	2.1	3.2	0
총계	6216.7	393.5	393.5	269.6	5542.7	108612.8	646.39	584.5	181.7	94.6	593
평균	207.2	13.1	13.1	9.0	184.8	3620.4	21.55	19.5	6.1	3.2	20

예당지 일별 물수지 ( 1984 년 10 월 )

일	유입량	농업용수	필요수량	증발산	방류량	저수량	저수위	온도	강우량	증발	담수심
단위	←———— ha-m —————→					(EL. m)	(° C)	←———— mm —————→			
1	17.9	0.0	0.0	0.0	0.0	3896.2	21.83	19.2	0.0	1.7	0
2	28.4	0.0	0.0	0.0	0.0	3932.1	21.86	17.5	11.0	0.7	0
3	28.1	0.0	0.0	0.0	0.0	3953.8	21.88	16.8	0.0	4.8	0
4	29.5	0.0	0.0	0.0	0.0	3978.0	21.91	12.9	0.0	3.3	0
5	26.4	0.0	0.0	0.0	0.0	3999.8	21.93	11.5	0.0	2.3	0
6	25.2	0.0	0.0	0.0	0.0	4018.8	21.95	13.0	0.0	4.4	0
7	24.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4037.6	21.97	13.9	0.0	3.1	0
8	22.9	0.0	0.0	0.0	0.0	4055.2	21.98	14.5	0.0	3.2	0
9	21.9	0.0	0.0	0.0	0.0	4071.8	22.00	14.9	0.0	3.1	0
10	20.8	0.0	0.0	0.0	0.0	4087.4	22.01	15.5	0.0	3.0	0
소계	245.2	0.0	0.0	0.0	0.0	40030.6	219.32	149.7	11.0	29.6	0
평균	24.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4003.1	21.93	15.0	1.1	3.0	0
11	19.8	0.0	0.0	0.0	0.0	4101.8	22.03	16.6	0.0	3.2	0
12	18.9	0.0	0.0	0.0	0.0	4115.7	22.04	15.9	0.0	2.7	0
13	18.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4129.3	22.06	15.3	0.0	1.9	0
14	17.2	0.0	0.0	0.0	0.0	4141.7	22.07	13.5	0.0	2.4	0
15	16.3	0.0	0.0	0.0	0.0	4152.9	22.08	14.6	0.0	2.7	0
16	15.6	0.0	0.0	0.0	0.0	4164.1	22.09	14.6	0.0	1.8	0
17	14.9	0.0	0.0	0.0	0.0	4173.1	22.10	15.3	0.0	3.9	0
18	14.2	0.0	0.0	0.0	0.0	4181.7	22.11	13.4	0.0	3.3	0
19	13.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4195.7	22.12	14.4	6.4	4.2	0
20	12.9	0.0	0.0	0.0	0.0	4202.4	22.13	10.4	0.0	4.3	0
소계	161.1	0.0	0.0	0.0	0.0	41558.4	220.81	144.0	6.4	30.4	0
평균	16.1	0.0	0.0	0.0	0.0	4155.8	22.08	14.4	0.6	3.0	0
21	12.3	0.0	0.0	0.0	0.0	4208.8	22.13	8.2	0.0	3.7	0
22	11.7	0.0	0.0	0.0	0.0	4215.5	22.14	13.4	0.0	2.6	0
23	11.1	0.0	0.0	0.0	0.0	4221.3	22.14	15.7	0.0	3.1	0
24	10.6	0.0	0.0	0.0	0.0	4227.9	22.15	12.4	0.0	1.2	0
25	10.1	0.0	0.0	0.0	0.0	4233.2	22.16	13.6	0.0	2.3	0
26	9.6	0.0	0.0	0.0	0.0	4239.2	22.16	13.7	1.8	3.3	0
27	9.2	0.0	0.0	0.0	0.0	4243.4	22.17	14.2	0.2	2.7	0
28	8.7	0.0	0.0	0.0	0.0	4246.8	22.17	9.0	0.0	3.1	0
29	8.3	0.0	0.0	0.0	0.0	4249.6	22.17	8.5	0.0	3.2	0
30	7.9	0.0	0.0	0.0	0.0	4252.6	22.17	7.7	0.0	2.5	0
31	7.6	0.0	0.0	0.0	0.0	4256.4	22.18	8.3	0.0	1.0	0
소계	107.1	0.0	0.0	0.0	0.0	46594.8	243.75	124.7	2.0	28.7	0
평균	9.7	0.0	0.0	0.0	0.0	4235.9	22.16	11.3	0.2	2.6	0
총계	513.5	0.0	0.0	0.0	0.0	128183.8	683.88	418.4	19.4	88.7	0
평균	16.6	0.0	0.0	0.0	0.0	4135.0	22.06	13.5	0.6	2.9	0



예당지 일별 물수지 ( 1984 년 11 월 )

일	유입량	농업용수	필요수량	증발산	방류량	저수량	저수위	온도	강우량	증발	담수심
단위	←———— ha-m —————→					(EL. m)	(° C)	←———— mm —————→			
1	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4259.1	22.18	12.2	0.3	2.7	0
2	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4261.6	22.18	6.9	0.0	2.5	0
3	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4264.5	22.19	7.7	0.0	2.0	0
4	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4266.7	22.19	12.0	0.0	2.8	0
5	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4269.7	22.19	14.9	0.0	1.9	0
6	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4272.4	22.19	12.8	0.0	2.2	0
7	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4275.3	22.20	15.0	0.0	2.0	0
8	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4278.5	22.20	13.2	0.0	1.5	0
9	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4282.6	22.20	10.8	0.5	1.1	0
10	69.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4383.5	22.30	10.0	33.4	0.5	0
소계	136.7	0.0	0.0	0.0	0.0	42813.9	222.02	115.5	34.2	19.2	0
평균	13.7	0.0	0.0	0.0	0.0	4281.4	22.20	11.6	3.4	1.9	0
11	39.3	0.0	0.0	0.0	0.0	4417.4	22.33	12.0	0.0	3.0	0
12	26.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4438.9	22.35	7.4	0.0	2.5	0
13	10.8	0.0	0.0	0.0	0.0	4445.2	22.36	4.7	0.0	1.7	0
14	25.7	0.0	0.0	0.0	0.0	4485.4	22.40	7.5	17.2	1.0	0
15	22.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4505.2	22.41	8.3	1.8	1.2	0
16	21.7	0.0	0.0	0.0	0.0	4522.3	22.43	9.2	0.0	1.8	0
17	17.9	0.0	0.0	0.0	0.0	4536.4	22.44	8.0	0.0	0.8	0
18	17.1	0.0	0.0	0.0	0.0	4549.8	22.46	10.0	0.8	1.7	0
19	16.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4562.9	22.47	7.0	0.2	0.5	0
20	15.8	0.0	0.0	0.0	0.0	4574.3	22.48	4.0	0.0	1.6	0
소계	213.4	0.0	0.0	0.0	0.0	45037.9	224.12	78.1	20.0	15.8	0
평균	21.3	0.0	0.0	0.0	0.0	4503.8	22.41	7.8	2.0	1.6	0
21	15.2	0.0	0.0	0.0	0.0	4585.3	22.49	4.2	0.0	1.2	0
22	14.6	0.0	0.0	0.0	0.0	4595.6	22.50	5.8	0.0	1.4	0
23	14.0	0.0	0.0	0.0	6.9	4598.2	22.50	6.5	0.0	1.7	0
24	13.4	0.0	0.0	0.0	9.1	4598.2	22.50	6.2	0.0	1.4	0
25	12.9	0.0	0.0	0.0	8.6	4598.2	22.50	2.4	0.0	1.3	0
26	12.4	0.0	0.0	0.0	7.6	4598.2	22.50	3.6	0.0	2.0	0
27	11.9	0.0	0.0	0.0	7.2	4598.2	22.50	0.5	0.0	1.9	0
28	11.4	0.0	0.0	0.0	7.5	4598.2	22.50	0.2	0.0	0.8	0
29	11.0	0.0	0.0	0.0	7.3	4598.2	22.50	3.1	0.0	0.6	0
30	10.5	0.0	0.0	0.0	7.3	4598.2	22.50	8.6	0.9	1.3	0
소계	127.3	0.0	0.0	0.0	61.5	45966.6	224.99	41.1	0.9	13.6	0
평균	12.7	0.0	0.0	0.0	6.1	4596.7	22.50	4.1	0.1	1.4	0
총계	477.4	0.0	0.0	0.0	61.5	133818.4	671.13	234.7	55.1	48.6	0
평균	15.9	0.0	0.0	0.0	2.0	4460.6	22.37	7.8	1.8	1.6	0

예당지 일별 물수지 ( 1984 년 12 월 )

일	유입량	농업용수	필요수량	증발산	방류량	저수량	저수위	온도	강수량	증발	담수심
단위	←———— ha-m —————→					(EL. m)	(° C)	←———— mm —————→			
1	10.1	0.0	0.0	0.0	5.8	4598.2	22.50	6.8	0.2	1.7	0
2	9.7	0.0	0.0	0.0	5.3	4598.2	22.50	3.5	0.0	1.5	0
3	9.3	0.0	0.0	0.0	4.8	4598.2	22.50	2.4	0.0	1.7	0
4	8.9	0.0	0.0	0.0	4.4	4598.2	22.50	5.3	0.1	1.8	0
5	8.6	0.0	0.0	0.0	4.2	4598.2	22.50	1.2	0.0	1.5	0
6	8.2	0.0	0.0	0.0	4.0	4598.2	22.50	-1.9	0.0	1.3	0
7	7.9	0.0	0.0	0.0	3.3	4598.2	22.50	-1.1	0.0	1.7	0
8	7.6	0.0	0.0	0.0	3.2	4598.2	22.50	2.4	0.0	1.5	0
9	7.5	0.0	0.0	0.0	13.7	4598.2	22.50	6.3	9.4	0.9	0
10	7.5	0.0	0.0	0.0	4.4	4598.2	22.50	9.4	0.5	0.5	0
소계	85.2	0.0	0.0	0.0	53.0	45982.0	225.00	34.3	10.2	14.1	0
평균	8.5	0.0	0.0	0.0	5.3	4598.2	22.50	3.4	1.0	1.4	0
11	7.5	0.0	0.0	0.0	3.2	4598.2	22.50	7.1	0.0	1.3	0
12	7.5	0.0	0.0	0.0	3.5	4598.2	22.50	5.5	0.0	0.9	0
13	7.5	0.0	0.0	0.0	5.3	4598.2	22.50	4.3	1.2	0.3	0
14	7.5	0.0	0.0	0.0	3.2	4598.2	22.50	5.4	0.0	1.3	0
15	7.5	0.0	0.0	0.0	4.2	4598.2	22.50	1.8	0.5	0.8	0
16	7.5	0.0	0.0	0.0	6.6	4598.2	22.50	3.2	2.8	0.8	0
17	7.5	0.0	0.0	0.0	4.7	4598.2	22.50	2.4	0.7	0.4	0
18	7.5	0.0	0.0	0.0	3.6	4598.2	22.50	-0.2	0.3	1.3	0
19	7.5	0.0	0.0	0.0	4.1	4598.2	22.50	-0.7	0.7	1.1	0
20	7.5	0.0	0.0	0.0	3.8	4598.2	22.50	0.4	0.0	0.5	0
소계	74.7	0.0	0.0	0.0	42.3	45982.0	225.00	29.2	6.2	8.7	0
평균	7.5	0.0	0.0	0.0	4.2	4598.2	22.50	2.9	0.6	0.9	0
21	7.5	0.0	0.0	0.0	3.4	4598.2	22.50	-0.9	0.3	1.5	0
22	7.5	0.0	0.0	0.0	4.5	4598.2	22.50	-4.5	1.2	1.3	0
23	7.5	0.0	0.0	0.0	5.3	4598.2	22.50	-7.4	2.1	1.6	0
24	7.5	0.0	0.0	0.0	3.4	4598.2	22.50	-7.1	0.2	1.4	0
25	7.5	0.0	0.0	0.0	6.3	4598.2	22.50	-8.8	2.8	1.2	0
26	7.5	0.0	0.0	0.0	3.8	4598.2	22.50	-4.8	0.3	1.0	0
27	7.5	0.0	0.0	0.0	3.5	4598.2	22.50	-5.9	0.4	1.5	0
28	7.5	0.0	0.0	0.0	3.2	4598.2	22.50	-4.9	0.0	1.3	0
29	7.5	0.0	0.0	0.0	3.5	4598.2	22.50	-7.4	0.2	1.2	0
30	7.5	0.0	0.0	0.0	4.9	4598.2	22.50	-5.2	1.2	0.8	0
31	7.5	0.0	0.0	0.0	3.2	4598.2	22.50	-5.1	0.0	1.3	0
소계	82.2	0.0	0.0	0.0	45.1	50580.2	247.50	-62.0	8.7	14.1	0
평균	7.5	0.0	0.0	0.0	4.1	4598.2	22.50	-5.6	0.8	1.3	0
총계	242.1	0.0	0.0	0.0	140.4	142544.3	697.50	1.5	25.1	36.9	0
평균	7.8	0.0	0.0	0.0	4.5	4598.2	22.50	0.0	0.8	1.2	0



### 8.1.2 다목적 관개 저수지인 芳洞 저수지

방동지는 관개 단일 목적으로 약 537 ha 를 몽리 면적으로 1977 년 완공 되었으나 몽리 지역이 대전시 근교에 위치한 특성 때문에 근교의 도시화로 인하여 몽리 면적이 매년 감소하고 있으며, 한편 저수지 가까이 위치한 방적 공장에 년 평균 약 9,000 m<sup>3</sup>/day 의 공업 용수를 공급하고 있어 다목적 관개 저수지가 되어있다. 년도별 몽리 면적과 공업 용수 공급 실적은 표.31 과 같으며, 1991 년 현재의 몽리 면적은 293 ha, 공업 용수 공급은 12,200 m<sup>3</sup>/day 이다.

표.31 년도별 몽리 면적과 공업 용수 공급 실적

년 도	몽리면적	공업용수	비고	년 도	몽리면적	공업용수	비고
단 위	ha.	m <sup>3</sup> /day		단 위	ha.	m <sup>3</sup> /day	
1986	305	9,147		1990	299	9,347	
1987	305	9,288		1991	294	12,203	
1988	303	9,049		1992	280	-	
1989	303	9,277					

유입량은 방동지 부근에 유출 기록이 없기 때문에 이러한 유역에 적용하기 위하여 개발한 일반화 DAWAST 모형의 14 개 유역 인자를 표.32 와 같이 조사하여 이로 부터 표.33 의 모형 매개 변수를 추정하여 일 유출량을 추정하였다.

다목적 관개 저수지인 芳洞池의 현행 이수 관리에 의한 물 수지 내역을 요약하면 다음 표.34 와 같다.

표.32 일반화 모형을 위한 방동 저수지의 유역 인자

독립 변수	변수 내용	단위	값	비고
지형 인자	X <sub>1</sub> (유역 면적)	km <sup>2</sup>	13.6	
	X <sub>2</sub> (주하천장)	km	6.9	
	X <sub>3</sub> (주변장)	km	18.1	
	X <sub>4</sub> (유역 경사)	%	12.3	
토양 인자	X <sub>5</sub> (토양군 A)	%	0.8	
	X <sub>6</sub> (토양군 B)	%	56.7	
	X <sub>7</sub> (토양군 C)	%	40.4	
	X <sub>8</sub> (토양군 D)	%	2.1	
토지 이용 인자	X <sub>9</sub> (밭 면적)	%	8.2	
	X <sub>10</sub> (논 면적)	%	17.2	
	X <sub>11</sub> (산림 면적)	%	70.9	
수문 지질 인자	X <sub>12</sub> (화성암류)	%	48.0	
	X <sub>13</sub> (퇴적암류)	%	0.0	
	X <sub>14</sub> (변성암류)	%	0.0	

표.33 DAWAST 모형의 적용 매개 변수

구분	물 수지 매개 변수					추적 매개 변수				
	UMAX	LMAX	FC	CP	CE	U <sub>1</sub>	U <sub>2</sub>	U <sub>3</sub>	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>
값	270	10	158	.017	.008	0.52	0.37	0.11	추정식	

## 8.2 저수량 고갈 빈도에 의한 저수 용량 결정

梶山の 월 수수량 공식으로 부터 旬別 유출량을, Blaney & Criddle 방법으로 旬別 증발산량을 구하여 旬別로 물 수지를 분석하여, 과거 수 십년간의 필요 저수량을 毎年 계산하여 빈도 분석으로 10년 빈도에 해당되는 저수 용량을 계획 용량으로 결정하는 것이 현행의 저수 용량 결정 방법이다.

표.34 방동지의 연간 급수 운영 실적 (1978~1987)

년도	강우량	유입량	유출 률	관개 용수	공업 용수	무효 방류량	방류 률	저수 률	유효 방류률
단위	mm	만톤	%	만톤	만톤	만톤	%	%	%
1978	1465.7	951	51.5	205	274	522	50	32	156
1979	1399.1	990	56.2	212	274	569	49	31	158
1980	1598.7	1157	57.4	164	275	781	38	27	143
1981	1312.2	884	53.4	196	274	418	53	35	153
1982	1007.6	432	34.0	212	274	0	113	71	158
1983	1228.3	793	51.2	230	274	326	64	39	164
1984	1318.8	826	49.7	208	275	346	58	37	157
1985	1692.8	1262	59.2	214	274	790	39	24	159
1986	1244.5	793	50.6	197	334	305	67	39	173
1987	1880.7	1586	66.9	178	339	1209	33	19	169
1988	877.1	456	41.2	227	331	0	122	67	182
1989	1538.0	1039	53.6	215	339	414	53	30	181
평균	1380.3	931	52.1	205	295	473	62	38	163

이 연구에서는 DAWAST 모형으로 일별 유출량을, Penman 방법으로 일 증발산량을 구하여 일별로 물 수지를 분석하여, 초기 저수 용량을 가정하여 입력 자료의 년 수에 따라 저수위 변화를 모의 발생하여 저수량 고갈 횟 수가 10 년 빈도가 될 때까지 반복하여 저수 용량을 試算하는 새로운 관개 저수 용량 결정 방법을 제시하고자 한다. 여기에서도 강우 패턴의 우연성을 고려하여 표. 2 에서 제시한 바와 같이 비록 거리가 다소 멀어도 대상 지점이 소속해 있는 지역 群의 Key station 의 약 50~90 년간의 비교적 장기간 강우 관측 자료로 분석하는 것이 바람직하다.

### 8.2.1 관개 저수 용량

관개 저수 용량을 결정하는 구체적인 방법으로는 초기 저수 용량 (관개 면적×단위 저수량) 을 가정하여 물 수지 입력 자료의 년 수에 따라 저수

穂 形成・出穂 開花期인 7월 11일~7월 31일 사이에는 1 일 이상 고갈되는 것을 1 회로, 그 이외의 기간에는 5 일 이상 고갈되는 것을 1 회로 취급하는 등 생육 시기별 한발 피해를 고려하여 저수 용량을 결정할 수도 있다. 앞으로 이와 같이 생육 시기를 고려한 저수 용량 결정에 대한 설계 기준의 재정립이 요청된다.

예를 들어, 예당지에 장기간의 자료를 가진 서울 측후소의 60 년간의 강우 자료를 적용하여 저수량 고갈 빈도에 의한 관개 저수지의 저수 용량을 계산한 결과는 표.35 와 같으며, 현재의 저수 용량으로는 10 년에 1.33 회 (약 7.5 빈도) 정도 고갈되었고, 이 방법에 의한 10 년 빈도의 저수 용량은 5,079.4 ha-m 이었으며, 일례로 1917 년 경우의 저수 용량에 따른 저수위 변화는 그림.21 과 같다.

표.35 고갈 빈도에 의한 저수 용량 결정 예 ( 예당지)

구 분	단 위	당초 설계 방법과 조건	고갈 빈도 10 년 빈도	비고
저수 용량	ha-m	4746.3	5079.4	
만 수 위	El.m	22.5	22.8	
고갈 년도		1908, 1909, 1910, 1917 1936, 1939, 1965, 1982	1909, 1910, 1936 1939, 1965, 1982	
고갈 빈도		7.5 년 빈도 ( 8/60년)	10 년 빈도 ( 6/60 년)	

### 8.2.2 다목적 관개 저수 용량

농어촌 용수의 수요 증가로 인하여 신설 저수지의 저수 용량 결정에도 10 년 빈도의 관개 용수 뿐만 아니라, 신뢰율이 다른 설계 빈도의 생활, 공업 용수, 도시 환경 용수, 소수력 발전 용수, 홍수 조절 등 다목적으로 이용할 계획을 수립할 필요가 있다.



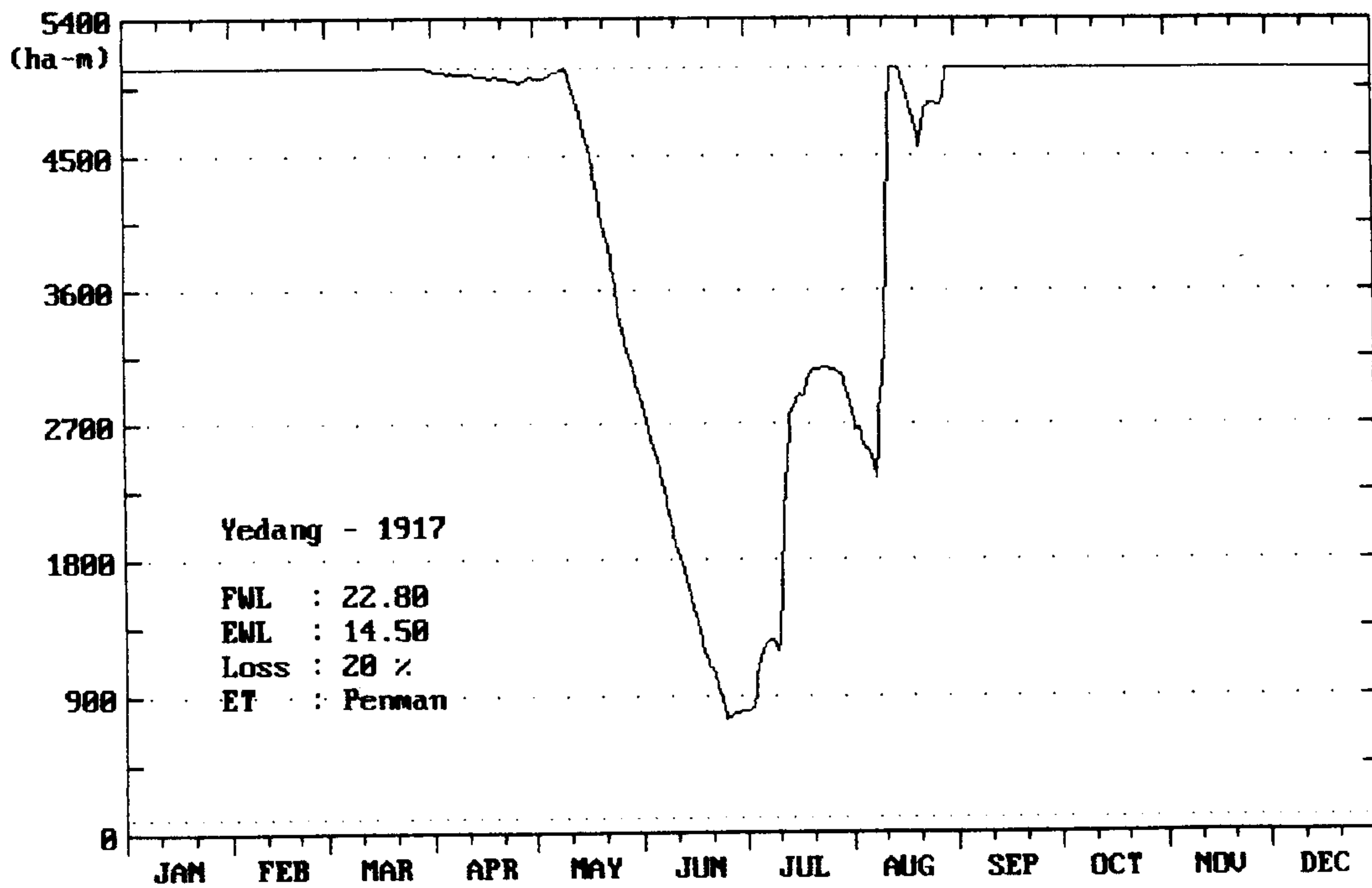
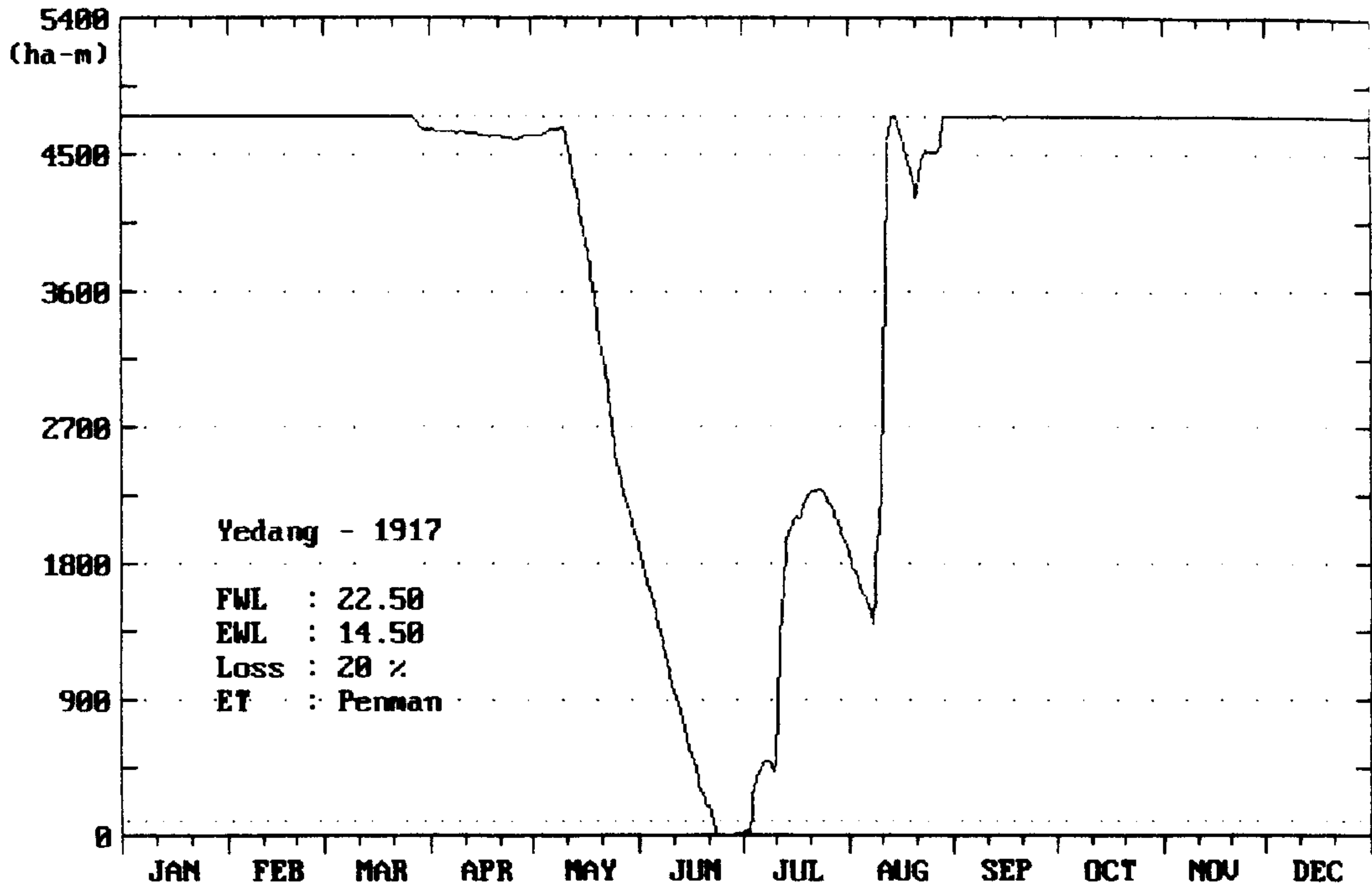


그림.21 고갈 빈도에 의한 저수위의 비교 예 (1917 년, 예당지)

다목적 관개 저수지의 경우에 생활·공업·환경 용수의 신뢰률은 95~99 % 로서 적어도 20 년 빈도 이상으로 가장 높으므로, 갈수기에도 제한 급수를 실시할 지라도 급수 중단은 가급적 허용하지 않는 반면, 발전·주운 용수의 신뢰률은 80~95 % 로서 상대적으로 낮으므로 갈수기에는 우선적으로 발전·주운 용수의 공급을 중단한다는 전제하에, 공급 물량이 가장 많은 용수인 관개 용수 10 년 빈도 저수량을 조정하여 다목적 저수지의 종합 신뢰률을 결정하는 방법은 앞으로의 연구 과제이다.

특히, 다목적 관개 저수지 에서는 비관개기에 남는 물을 생활, 공업 용수로 공급하거나 홍수 조절 기능을 할 수 있는 반면, 이 때문에 겨울철 갈수와 더불어 다음 해에 만수되지 않은 채로 관개기를 맞이하는 경우가 있게 되므로 Carry-over 를 고려한 저수위 모의 발생에 의한 저수 용량 고갈 빈도를 고려하게 된다.

여기에서는, 전술한 8.2 의 방법으로 저수량 고갈 빈도 방법에 의하여 10 년 빈도의 관개 용수 공급을 위한 저수 용량을 결정한 후, 이 저수 용량에 생활 용수, 공업 용수, 하천 유지 용수 등의 연간 필요량의 약 1/2~1/3 (다목적 댐의 유효 방류률) 을 더하여 초기 저수량으로 가정하여 입력 자료의 년 수에 따라 Carry-over 에 의하여 연속적으로 일별 저수위 모의 발생을 실시하여 20 년 고갈 빈도에 해당되는 다목적 저수 용량을 결정한다.

기설 다목적 관개 저수지의 저수량을 관리할 때에는 설계 빈도가 가장 낮은 관개 용수를 기 작성된 방류 제한 저수량 곡선에 의하여 제한 방류하면 될 것이다.

## 8.3 관개 저수지의 이수 관리 곡선

### 8.3.1 관개 저수지 인 禮唐 저수지

관개 저수지 禮唐池에 적용한 기준 저수량 곡선, 방류 제한 저수량 곡선, 이수 관리 곡선에 의한 저수지 관리의 예는 다음과 같다.

## 1. 기준 저수량 곡선

관개 저수지의 일별 물 수지 분석에서 추정 저수위 모의 발생 과정에서 결정된 삼투량 5 mm/day, 평균 관리 손실률을 20 % 을 적용하여 기준 저수량 곡선을 구한 결과는 그림.22 와 같다.

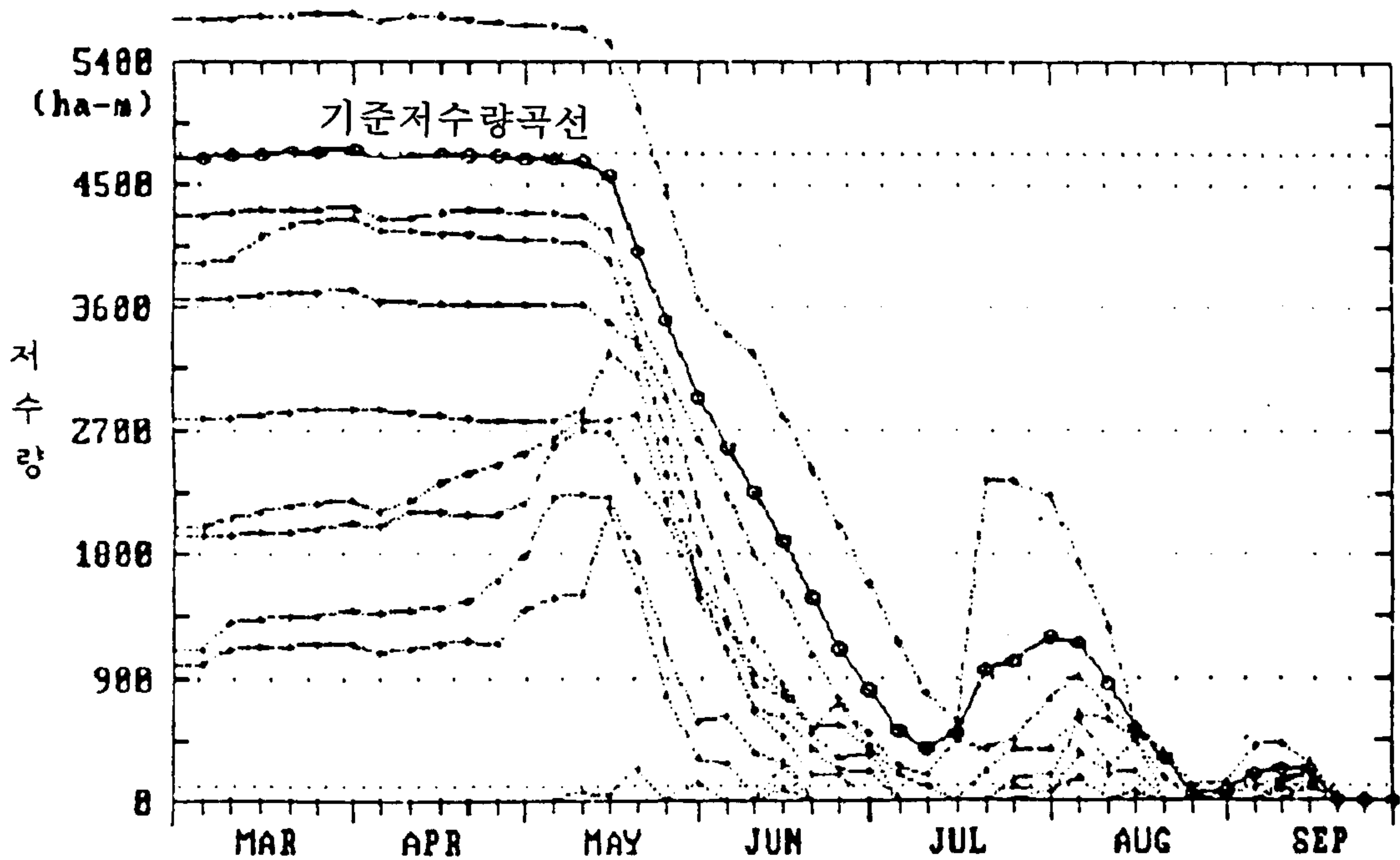


그림.22 禮唐池의 기준 저수량 곡선의 예

## 2. 방류 제한 저수량 곡선

관개 저수지의 일별 물 수지 분석에서 추정 저수위 모의 발생 과정에서 결정된 삼투량 5 mm/day, 평균 관리 손실률을 20 % 을 적용하여 방류 제한 저수량 곡선을 구한 결과는 그림.23 과 같다.

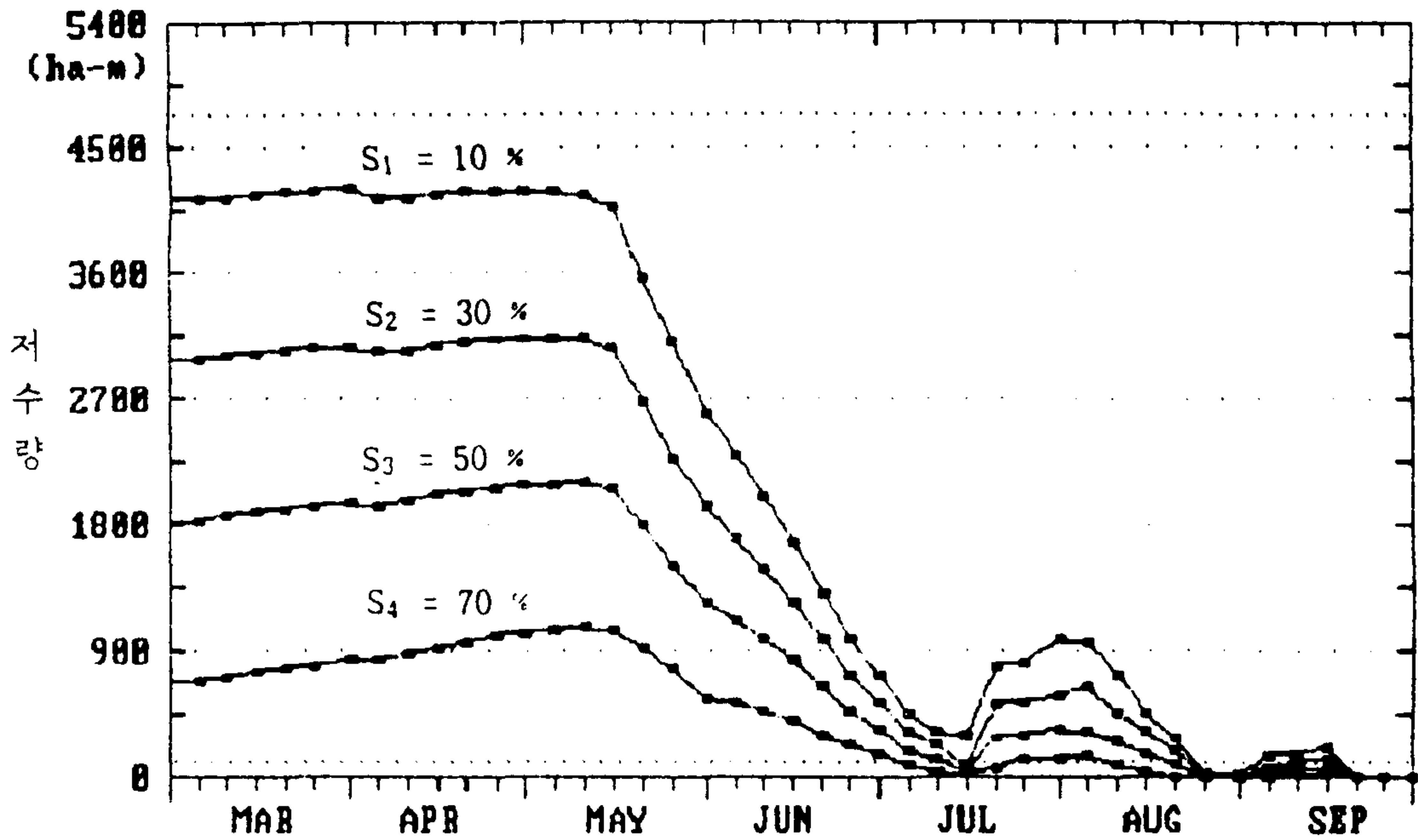


그림.23 禮唐 저수지의 방류 제한 저수량 곡선의 예

### 3. 이수 관리 곡선에 의한 저수량 관리

기준 저수량 곡선과 방류 제한 저수량 곡선에 현재 관행으로 관리하고 있는 禮唐 저수지의 10 년간의 실제 저수량 곡선을 비교한 결과의 한 예는 그림.24 와 같다. 가령, 禮唐池에서 1981년 5월 6일의 실제 저수량이 방류 제한률 10~30 % 사이에 있으므로 계속 20 % 제한 방류하고, 다시 수위가 강하하여 6월 1일에는 저수량이 방류 제한률 30~50 % 사이에 있으므로 계속 40 % 제한 방류하다가 7월 3일 에는 강우에 의하여 저수량이 기준 저수량 곡선 위로 수위가 회복하였으므로 제한 방류를 해제하게 되는 등의 이수 관리를 할 수 있다. 관리 손실률 20 % 를 기준으로 시기별, 저수를별 방류 제한률과의 관계는 표.36 과 같으며 이는 禮唐 저수지 이수 관리 방법의 한 예라 할 수 있다.



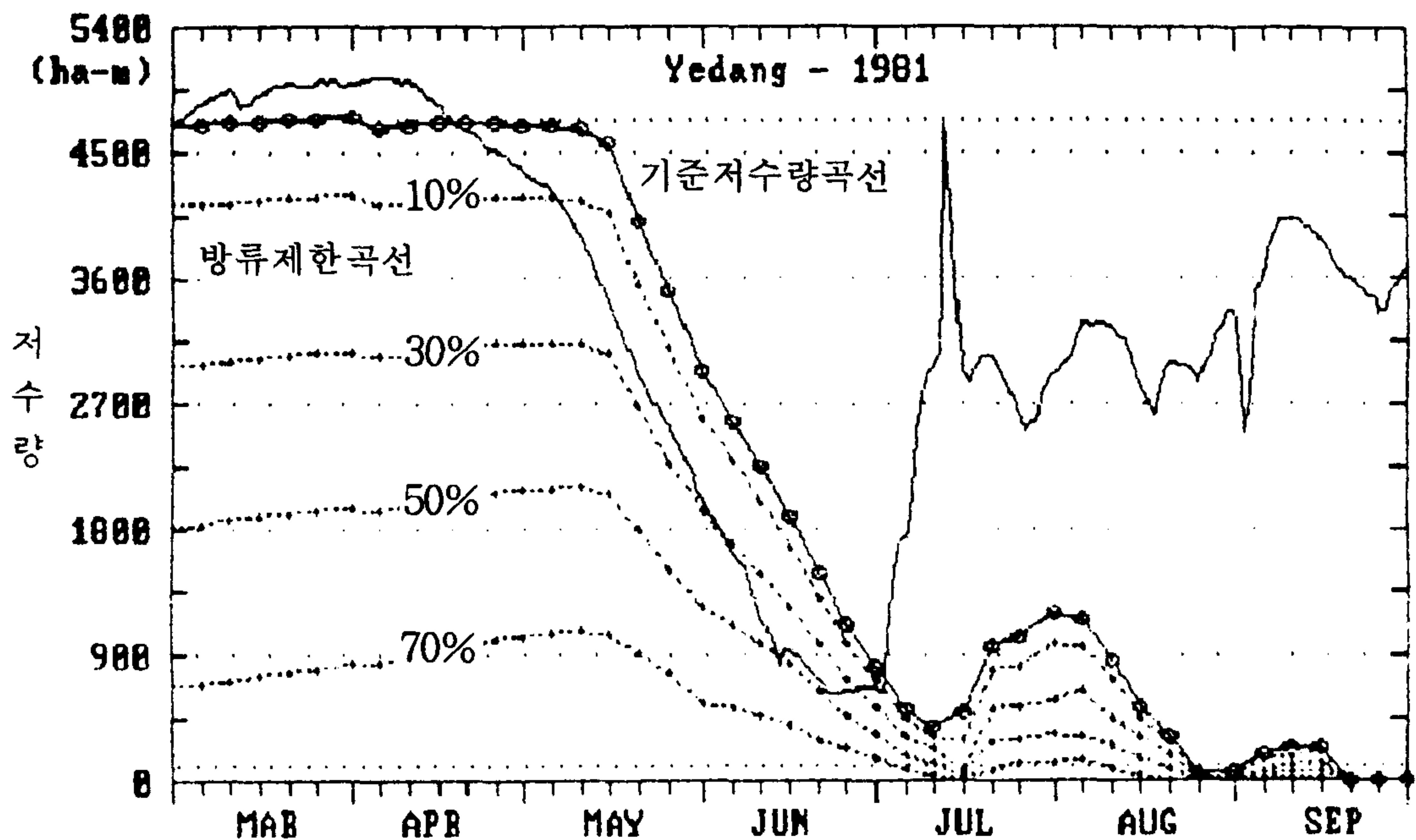


그림.24 禮唐池 이수 관리 곡선의 예 (1981년)

설계 기준에 의한 저수량 곡선과 관행의 저수량 곡선을 설정된 기준 저수량 곡선과 방류 제한 저수량 곡선의 이수 관리 곡선에 따라 방류한 저수량 곡선과 비교하여 효율적 이수 방안을 제시하고, 효율적인 방류량을 매일 매일 제시할 수 있을 것이다.

### 8.3.2 다목적 저수지 인 芳洞 저수지의 이수 관리 곡선

다목적 관개 저수지 방동지의 이수 관리 곡선은 그림.25 와 같으며, 다목적 댐의 이수 관리 규정은 V 장에서 기술한 관개 저수지의 이수 관리 곡선과 상기한 각종 용수의 신뢰률과 홍수 조절 기능을 고려하여 작성할 수 있다. (관개 면적, 생활 용수, 홍수 조절에 대하여 저수지 이수 관리 곡선을 예시한다.)

기준 저수량 곡선과 방류 제한 저수량 곡선에 현재 관행으로 관리하고 있는 방동 저수지의 10 년간의 실제 저수량 곡선을 비교한 결과의 한 예는

표.36 禮唐池의 생육 시기별, 저수를별 방류 제한률

생육 시기	방류 제한률 (%)				비 고	생육 시기	방류제한률 (%)				비 고
	20	40	60	80			20	40	60	80	
4. 1	87.2	63.3	39.5	15.8		7. 1	11.0	7.9	5.0	2.2	
6	88.2	64.5	40.9	17.2		6	8.0	5.7	3.3	1.1	
11	89.0	65.5	42.0	18.5		11	3.3	2.3	1.4	0.5	
16	89.5	66.3	43.0	19.7		16	16.7	10.3	5.0	0.4	
21	89.5	66.4	43.3	20.2		21	17.3	11.2	5.9	1.9	
26	89.3	66.4	43.6	20.7		26	20.6	12.4	7.1	2.5	
5. 1	89.1	66.5	43.8	21.2		8. 1	20.2	13.5	6.8	3.1	
6	88.9	66.5	44.1	21.6		6	16.0	10.3	5.8	2.0	
11	87.0	65.2	43.4	21.5		11	9.7	6.8	3.8	0.8	
16	77.3	57.7	38.4	19.1		16	6.0	3.9	1.8	0.1	
21	68.6	50.3	32.4	15.9		21	0.3	0.0	0.0	0.0	
26	55.8	41.1	26.3	11.6		26	0.6	0.0	0.0	0.0	
6. 1	49.5	36.7	23.9	11.1		9. 1	3.6	1.7	0.5	0.0	
5	44.4	33.1	21.8	10.5		6	4.3	2.8	1.4	0.3	
11	37.6	28.1	18.6	9.1		11	4.5	3.0	1.4	0.5	
16	30.1	22.4	14.8	7.1		16	0.0	0.0	0.0	0.0	
21	23.2	17.2	11.3	5.3							
26	17.3	12.8	8.4	3.9							

그림.26 과 같다. 가령, 방동지에서 1984 년의 경우, 겨울철 갈수와 공업 용수 공급으로 관개기 시점인 4 월 초 현재 저수량이 약 70 % 정도 밖에 안 되었지만, 다행히 4 월 중순의 강우로 거의 만수가 된 상태에서 이양기를 맞이하였기 때문에 제한 방류없이 원활히 관개 용수와 공업 용수를 공급할 수 있었다.

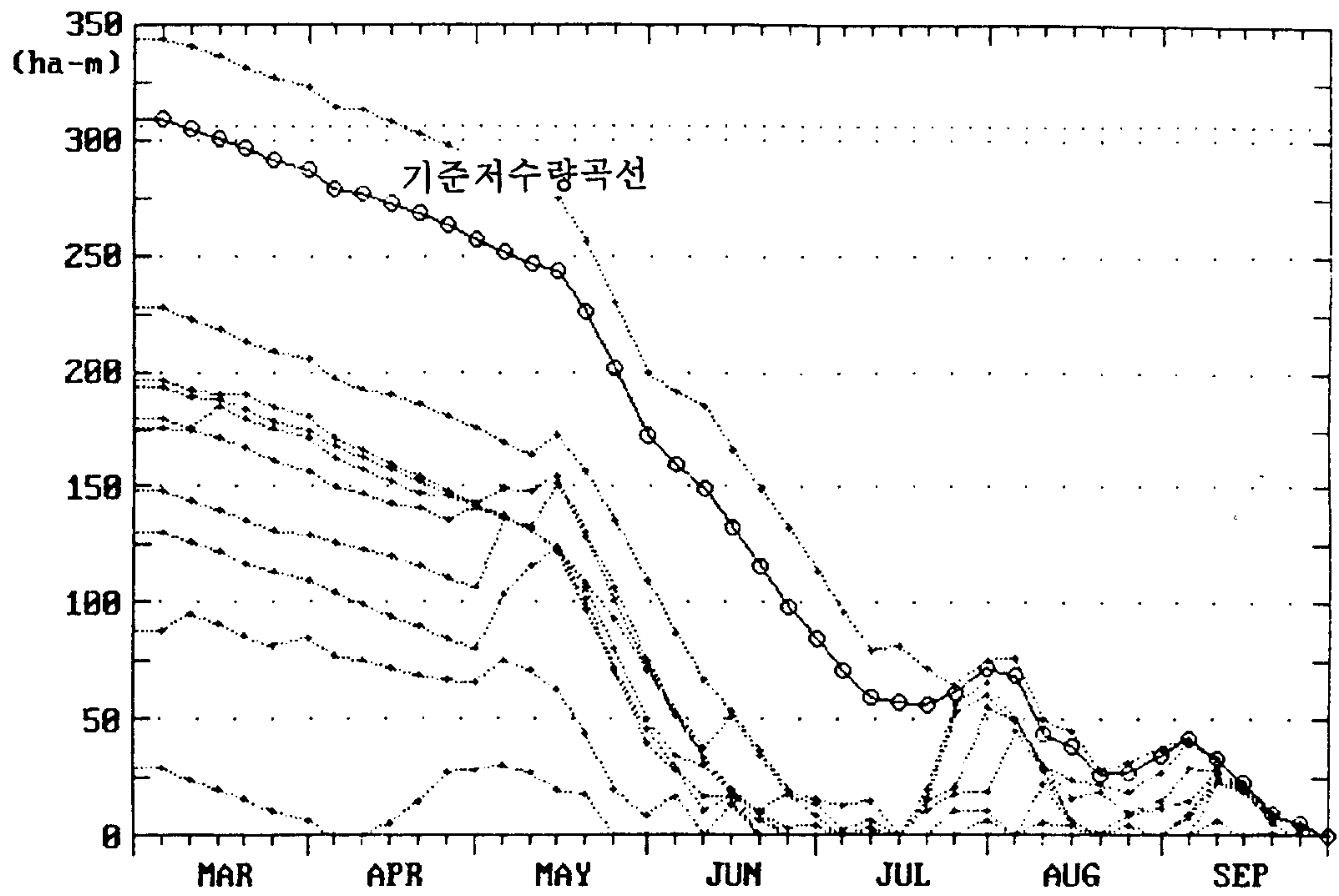


그림.25 방동지의 이수 관리 곡선

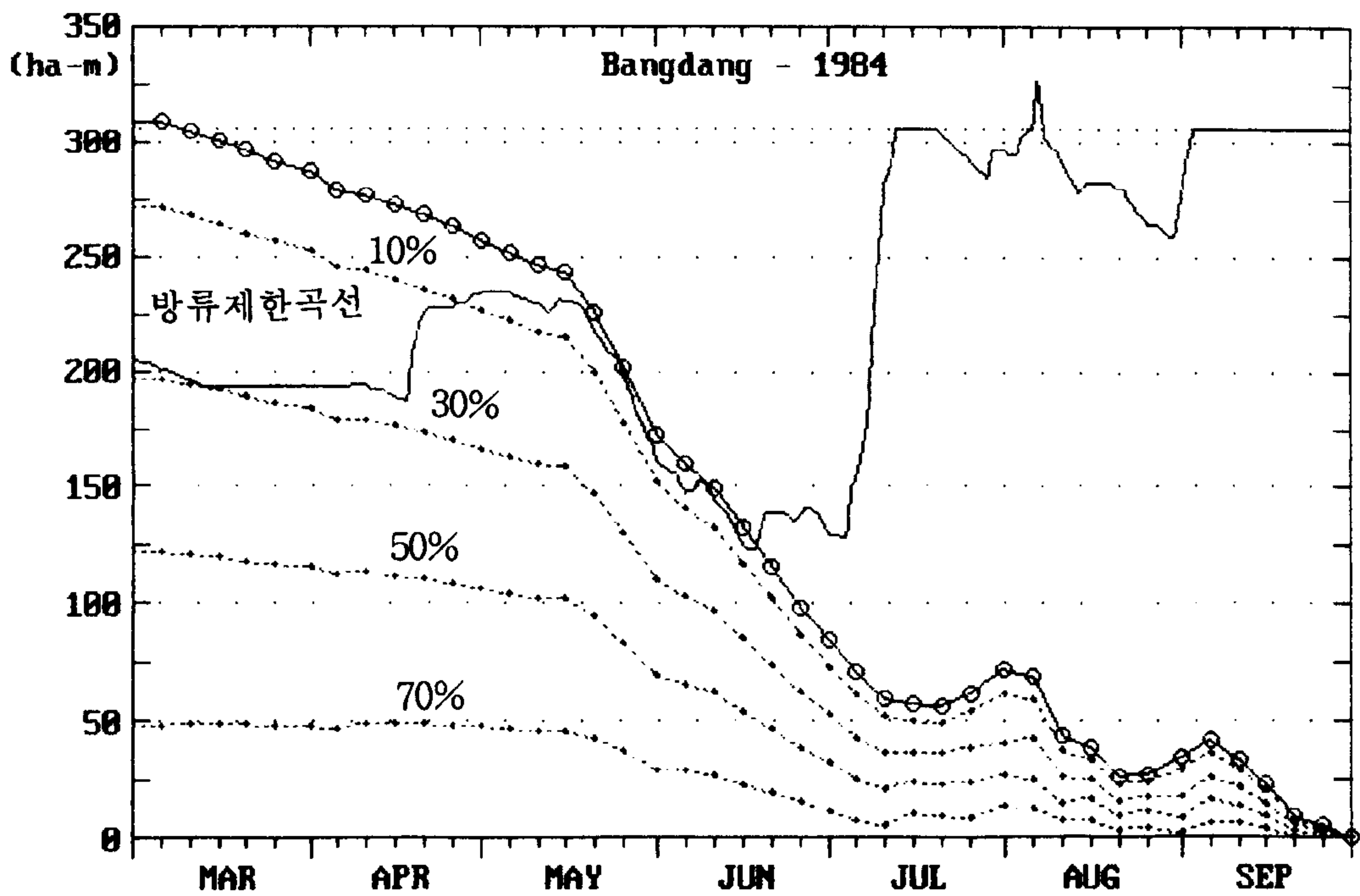


그림.26 방동지 이수 관리 곡선의 예 (1984년)

## 8.4 관개 저수지의 홍수 조절 능력 평가

관개 저수지인 예당지의 홍수 조절 능력을 평가한 결과는 다음과 같다. 예당지는 유효 저수 용량 4,607만  $m^3$  의 21.7 % 인 1,000만  $m^3$  을 홍수 기인 6월 21일 부터 9월 20일 까지 비워 두어 홍수를 조절하고 있어 利·治水 기능을 하고 있어, 이를 객관적으로 평가할 수 있는 방법을 제시하고, 홍수 방류량 추정과 방류 제한 강도의 산정으로 경제성 분석을 통하여 최적 홍수 조절 용량을 결정할 수 있도록 하고자 한다.

### 8.4.1 분석 방법

홍수 조절 용량을 결정하는 현행 방법은 강우 패턴의 偶然性 (Random) 을 고려할 때 문제점이 지적되고 있어, 계획 갈수 기준년에 대하여 홍수 제한 수위를 결정할 것이 아니라 장기간의 물 수지 분석으로 관개 저수지의 貯水位를 모의 발생하여 적정 홍수 조절 용량을 설정하는 것이 바람직하다. 따라서 거리가 다소 멀어도 대상 지점이 소속해 있는 주요 측후소인 서울 기상대의 67 년의 강우 관측 자료로 분석하고자 한다.

예당 저수지에서 계획 대상년 10 개년간의 자료를 가지고 설정한 그림.24 의 利水 管理 曲線 (기준 저수량 곡선과 방류 제한 저수량 곡선) 과 모의 발생한 貯水位로 부터 댐에서의 방류 제한 일수, 방류 제한률을 종합적으로 나타내는 指標인 放流 制限 強度 (= 방류 제한률 (%) × 방류 제한 일수 ( day)) 로 홍수 조절 용량이 이수 관리에 미치는 영향을 객관적, 정량적으로 파악하는 방법으로 분석하였다. 홍수 조절 용량을 설정하기 前·後의 방류 제한 강도의 차이로 부터 이수 관리에 미치는 영향을 검토한다.

또한, 홍수 조절 용량 설정하기 前·後의 방류량의 차이로 부터 홍수 조절 효과를 검토한다.



### 8.4.2 분석 결과 및 고찰

이수 관리 규정에 의하여 예당 저수지에 대하여 서울 기상 자료로 67 년 간의 자료를 적용하여 저수위를 일별로 모의 발생하여 홍수 조절 용량의 운영 여부에 따른 하류측 하천에 조절된 홍수량을 검토하기 위하여 홍수 월류량을 추정하였으며, 홍수 조절 용량의 운영 여부에 따른 放流 制限 強度 (%-day) 를 분석하여 이수 관리에 미치는 영향을 정량적으로 나타내었다. 또한, 관개 저수지의 홍수 조절 기능이 갖는 효과와 문제점도 검토하였다.

#### 1. 홍수 월류량 추정

이수 관리 규정에 의하여 예당 저수지에 대하여 서울 기상 자료로 67 년 간의 자료를 적용하여 저수위를 일별로 모의 발생하여, 홍수 조절 용량 1,000만 m<sup>3</sup> 을 두기 前·後의 홍수 월류량과 관개기 시점에서의 저수위 滿水 여부를 판정한 결과는 표.37 와 같다.

표.37 홍수 조절 운영에 따른 월류량 및 저수위 비교

년도	강수량 mm	홍수 월류량 ( 백 만 m <sup>3</sup> )							
		홍수 조절 後				홍수 조절 前			
		전기간	홍수기	시점	년말	전기간	홍수기	시점	년말
1908	1,066.3	95	92	0	/	92	82	0	0
09	827.0	0	0	/	/	2	0	0	/
10	1,020.9	56	56	/	/	48	46	/	0
11	1,067.0	57	21	/	0	65	11	0	0
12	1,129.3	142	130	0	/	134	120	0	0
13	917.5	85	85	0	/	82	75	0	/
14	1,262.6	119	56	0	0	128	46	0	0
15	1,578.3	350	277	0	0	351	267	0	0
16	1,710.3	402	237	0	0	402	228	0	0
17	981.7	102	95	0	0	102	84	0	0
18	1,132.3	185	174	0	/	176	161	0	0
19	1,176.3	149	116	/	0	154	105	0	0

20	1,674.4	353	334	0	0	354	325	0	0
21	971.9	105	93	0	/	97	83	0	0
22	1,552.8	305	268	0	0	313	258	0	0
23	1,194.7	196	117	0	0	196	107	0	0
24	1,001.0	137	71	0	/	127	71	0	/
25	1,934.1	398	330	/	0	407	330	/	0
26	1,822.5	410	337	0	0	410	327	0	0
27	1,269.7	211	143	0	0	211	132	0	0
31	1,388.3	234	200	0	/	225	186	0	0
32	941.2	50	33	/	0	66	36	0	0
33	1,400.8	200	196	0	/	204	191	0	0
34	1,244.6	176	150	0	0	178	139	0	0
35	1,202.3	194	180	0	0	195	170	0	0
36	1,531.6	268	252	0	0	268	236	0	0
37	1,063.0	135	78	0	0	135	67	0	0
38	1,058.8	109	91	0	0	109	81	0	0
39	638.7	3	0	0	/	3	0	0	/
40	강우 결측기간								
53									
54	1,435.8	259	241	0	0	264	235	0	0
55	1,230.7	157	146	0	0	157	136	0	0
56	1,701.1	386	350	0	/	384	338	0	0
57	1,220.3	140	135	0	0	142	125	0	0
58	1,325.4	199	144	0	0	199	134	0	0
59	1,370.8	223	122	0	0	224	117	0	0
60	1,188.4	149	142	0	0	149	131	0	0
61	1,436.6	259	198	0	0	239	187	0	0
62	986.2	94	55	0	0	94	44	0	0
63	1,626.6	363	276	0	/	356	266	0	0
64	1,794.0	375	284	/	0	382	275	0	0
65	1,216.3	178	169	0	0	178	159	0	0
66	2,018.9	444	424	0	0	445	414	0	0
67	1,248.8	214	168	0	/	210	157	0	0
68	1,288.2	165	146	/	0	169	136	0	0
69	1,736.8	364	238	0	0	365	228	0	0
70	1,708.2	345	293	0	0	346	283	0	0
71	1,359.7	250	224	0	0	251	214	0	0
72	1,769.6	369	279	0	0	369	269	0	0
73	928.1	102	66	0	/	101	55	0	0
74	1,250.7	191	124	0	0	192	113	0	0
75	1,067.4	131	107	0	0	131	96	0	0
76	1,109.5	118	110	0	/	124	106	0	0
77	1,147.6	130	85	0	/	112	69	0	/
78	1,160.9	150	150	/	/	142	133	0	0
79	1,279.4	223	182	/	/	211	170	0	0

80	1,242.4	180	163	/	/	192	163	0	0
81	1,216.2	149	149	/	/	166	152	0	0
82	949.3	41	18	0	0	46	12	0	0
83	1,205.1	202	151	0	0	202	140	0	0
84	1,249.5	196	194	/	/	193	183	0	0
85	1,544.6	297	190	0	0	300	180	0	0
86	1,247.4	214	174	0	0	215	164	0	0
87	1,751.4	424	365	0	/	422	356	0	0
88	760.8	30	30	/	/	22	20	0	/
89	1,437.1	203	174	/	0	212	142	/	0
평균	1291.8	202	164	24	15	202	155	6	3
참고	0 : 관개기 시점 또는 년말에 저수량 滿水로 移越 / : 관개기 시점 또는 년말에 저수량 非 滿水로 移越								

년 평균 강수량은 1,291.8 mm 로 우리 나라의 년 평균 강수량과 거의 같으며, 전기간을 통하여 홍수 조절 前·後의 년 평균 홍수 월류량은 2 억톤으로 차이가 없지만, 홍수 조절기인 6월 21일부터 9월 20일 까지의 홍수 조절 前·後의 홍수 월류량 차이는 최고 3,200 만 m<sup>3</sup>, 년 평균 940 만 m<sup>3</sup> 정도의 홍수 조절 기능을 확보한 것으로 판단된다.

홍수 조절 前·後의 다음 해 4 월 초 관개기에 滿水가 되지 않는 경우는 각각 3 회와 15 회 였다. 또한 년말에 만수가 되지 않은 채로 다음해로 이월되는 경우는 홍수 조절 前·後 각각 24 회와 6 회 였다. 이것은 수자원 개발 계획의 변경으로 관개 용수를 다목적으로 일부 轉用하여 이용할 때, 즉 비 관개기에 생·공업 용수를 공급할 때에는 다음 해 관개 용수 공급에 문제있는 것을 뜻한다.

## 2. 방류 제한 강도의 산정

放流 制限 強度 (%-day) 를 분석하여 이수 관리에 미치는 영향을 정량적으로 나타내었으며 그 결과는 표.38 과 같다. 전 기간중 11 년만이 관개기에 방류를 제한하였으며, 완전히 바닥이 들어난 경우는 홍수 조절 여부



에 관계없이 1909 년 1 일 1 회, 1939 년 2 회 18 일, 1982 년 1 회 3 일 등 3 회로 총 22 일간 발생하였다.

표.38 禮唐池의 홍수 조절 前後의 방류 제한 강도

년도	방류 제한 강도 ( %-day )			고 갈 률		비 고
	홍수 조절 후	홍수 조절 전	차 이	횃 수	일 수	
1908	20	20	0	-	-	
09	210	210	0	1	1	
10	3,010	3,010	0	-	-	
17	630	630	0	-	-	
25	4,350	2,490	1,860	-	-	
36	550	550	0	-	-	
39	2,150	2,150	0	2	18	
65	1,060	1,060	0	-	-	
82	930	320	610	-	-	
84	150	150	0	1	3	
89	1,240	130	1,110	-	-	

1925년, 1982년, 1989년 등 3 개년의 경우와 같이 방류 제한 강도가 차이가 나는 것은 홍수 조절 용량을 두므로서 관개기에 관개 용수 공급에 지장을 초래하는 것을 의미한다.

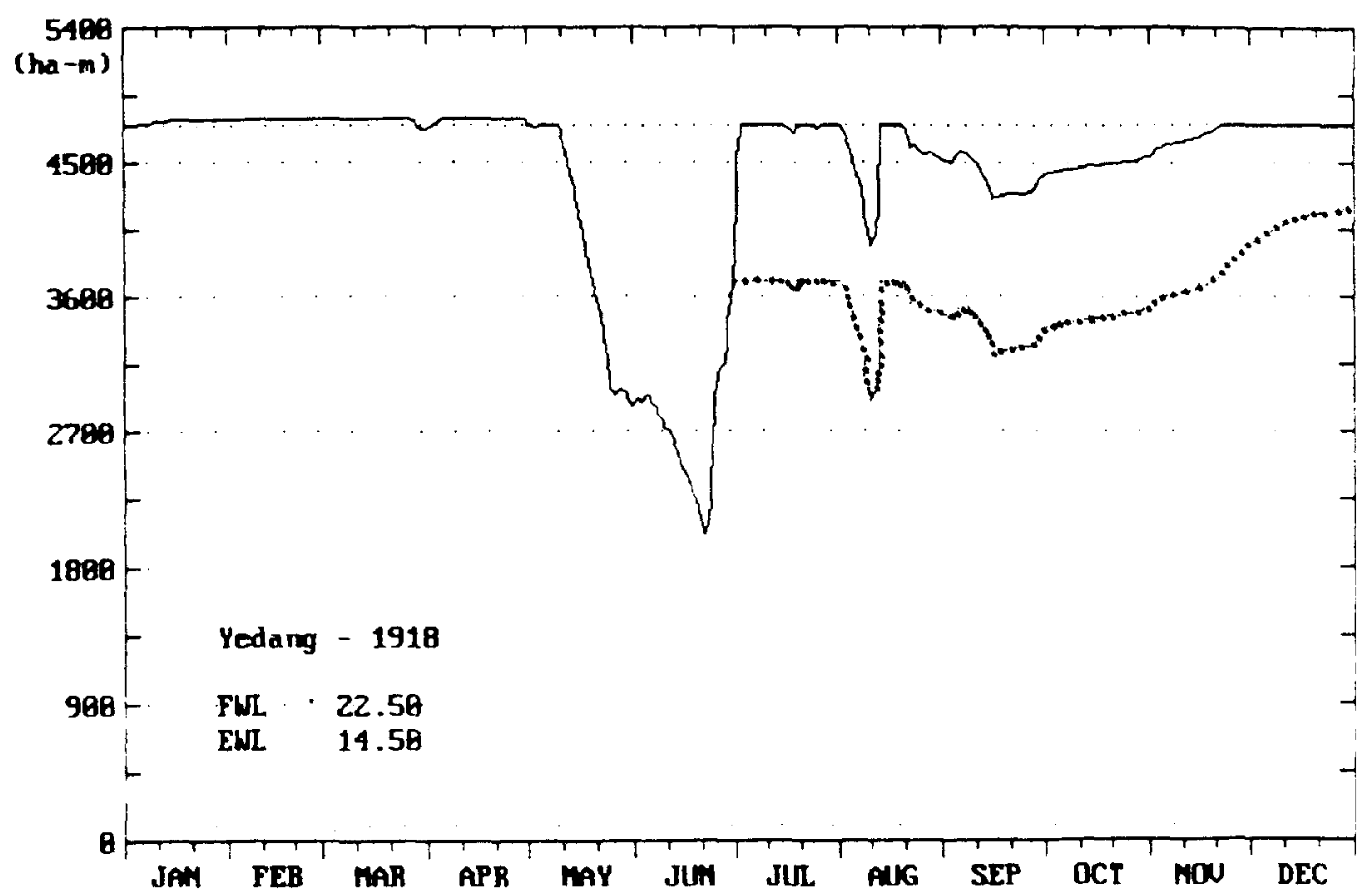
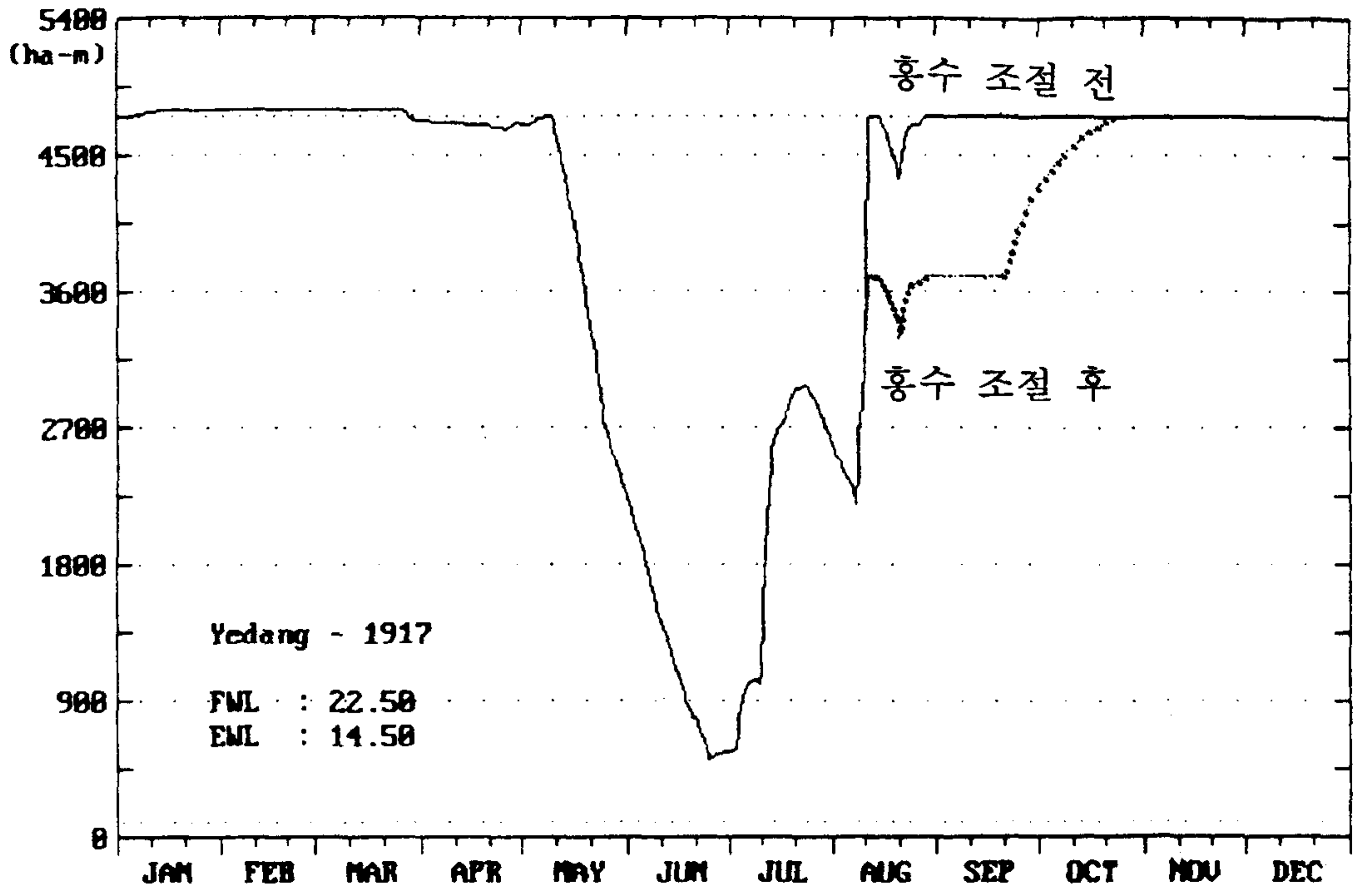
### 3. 홍수 조절 운영의 효과 및 문제점

홍수 조절로 인하여 1925년, 1982년, 1989년과 같이 직접적으로 관개 용수 공급에 문제가 되기도 하지만, 관개 저수지의 용수 공급 계획의 변경으로 홍수기 홍수 조절과 비관개기에 생공업 용수를 공급할 경우에 예상되는 간접적인 문제점을 전 기간 중 1917~20 년의 저수위 곡선 변화를 一例로 선택하여 설명하면 다음과 같다.

표.39 禮唐池의 홍수 조절 전후의 방류 제한 강도와 방류량

년도	방류 제한 강도 ( %- day )			홍수 월류량 ( 백 만 m <sup>3</sup> )		
	홍수조절 前	홍수조절 後	차이	홍수조절 前	홍수조절 後	차이
1917	630	630	-	95	84	11
1918	-	-	-	174	161	13
1919	-	-	-	116	105	11
1920	-	-	-	334	325	11





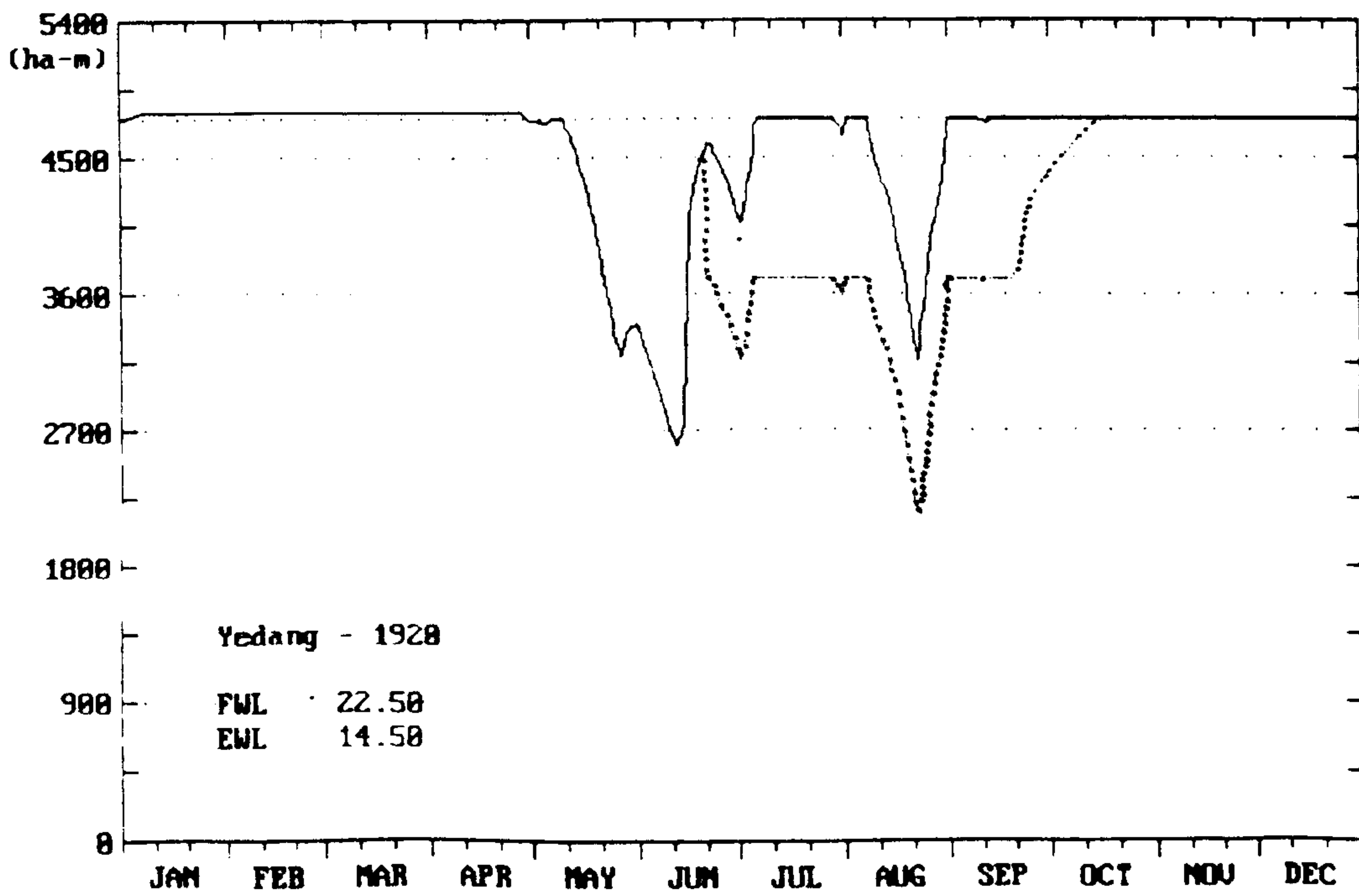
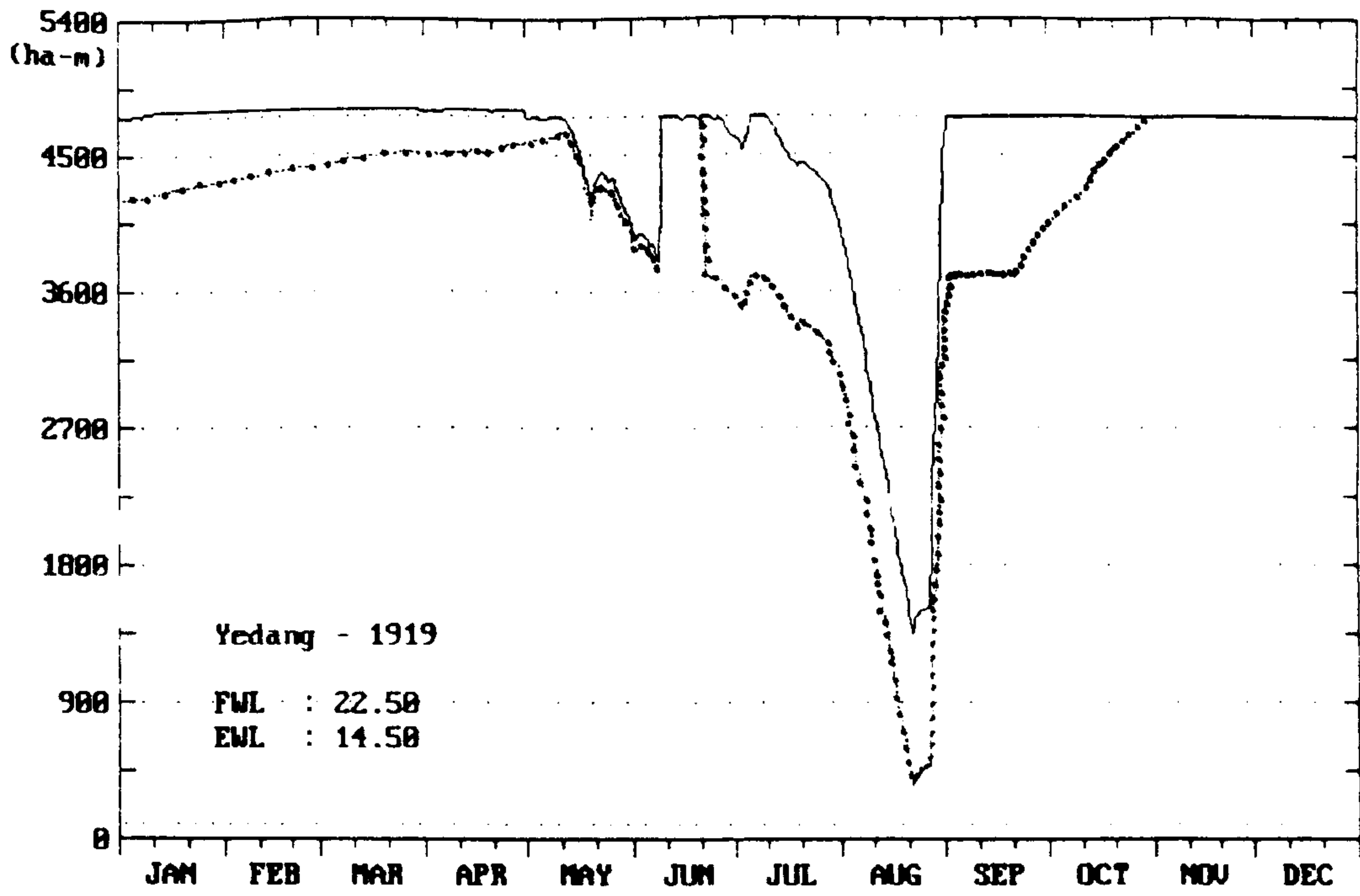


그림.27 홍수 제한 수위 설정 여부에 따른 저수위 곡선 변화 (1917~20)

1917 년의 경우는, 홍수 조절을 하더라도 관개기에 용수 공급에 지장이 없고, 8월 중순 경에 홍수 조절 효과를 얻고 있다.

1918 년의 경우는, 홍수 조절을 하더라도 관개기에 용수 공급에는 지장이 없지만, 홍수 조절을 하지 않으면 비 관개기인 10월~12월에 저수위가 만수가 되지만 홍수 조절을 하면 만수가 되지 않은 채 다음 해로 이월된다. 이것은 홍수 조절을 하지 않으면 비관개기에 생공업 용수 공급 가능성이 있지만, 홍수 조절 용량을 운영하면 비관개기에 생공업 용수 공급할 경우 다음 해 관개 용수 공급에 문제가 있는 것을 나타낸다.

1919 년의 경우는, 홍수 조절을 하지 않는다면 관개기 용수 공급에 문제가 없으나, 홍수 조절을 하게 되면 전년의 홍수 조절 영향이 이월되어 관개기 시점이 되어도 만수가 되지 않은 채 관개기를 맞게되고, 관개기 홍수 조절로 인하여 저수량이 8월 중순 경 완전 고갈된다. 즉, 홍수 조절 운영으로 6월 하순과 7월 초순에 걸쳐 홍수 조절 효과가 있는 반면 8월 중하순에는 관개 용수가 고갈되는 역기능이 있다.

1920 년의 경우는, 홍수 조절을 하더라도 관개기에 관개 용수 공급에 지장 없이, 7월 한 달 홍수 조절 효과만을 얻는 경우이다.

앞으로, 주요 축후소의 장기간의 강우 자료로 물 수지 분석으로 일별로 저수위를 모의 발생하여 홍수 조절 용량 설정으로 인하여 放流 制限 強度가 증가하여 관개 용수 공급이 원활치 못한 逆 기능과 홍수 조절 용량 설정으로 홍수를 조절하여 하류측 하천으로의 홍수 방류량이 감소되는 順 기능을 분석하고, 경제성 분석을 검토하여 적정 홍수 조절 용량을 설정하고자 한다. 즉, 홍수 조절 용량 설정으로 얻는 이익 (홍수 피해 감소액) 이 손실 (이수 피해액) 보다 홍수 조절 용량을 설정한다.

## 8.5 농어촌 용수 공급 전망 및 전용 가능성 분석

기설 관개 저수지 주위의 개발 여건, 즉, 정주권 개발 또는 도시화에 따

라 수리 안전답이 시설 원예 단지, 취락 단지 및 농공 단지로 개발되는 경우에는 논 관개 용수의 수요는 감소되고 밭 관개 용수, 농촌 생활 용수, 농공 단지 용수, 소하천 환경 용수 등 농어촌 용수의 수요가 증가하게 되어 관개 용수를 타목적으로 轉用해야할 경우에는 적절한 이수 관리 계획을 수립해야한다.

### 8.5.1 농어촌 용수 공급 전망

앞으로는 산업 여건의 변화를 수리 시설의 농어촌 용수 공급을 확대하도록 노력해야 할 것이다. 25 개 농조의 구상중인 수익 사업중에서 농어촌 용수 공급을 계획하는 조합은 6 개로서 표.40 와 같다.

표.40 25 개 농조의 구상 중인 농어촌 용수 공급 계획

농어촌 용수	수리 시설	조합명	비 고
생활 용수 공업 용수 농촌관광용수	저수지 "	강릉, 보은, 영북, 영암 전주, 영암	
유료 낚시 관광유원지	" "	연천, 옥천, 영암 평택, 중앙, 영암	

### 8.5.2 농어촌 용수 공급 전용 가능성 분석

假想의 관개 저수지로 대상으로, 관개 용수의 감소에 따른 생·공업 용수, 홍수 조절 용량 등 각각 임의의 조합에 대하여 모의 발생하여 저수량 변화와 저수량 이용 방안에 대하여 검토하였다.

예를 들어, 현재의 유효 저수 용량 4,600 만  $m^3$  로, 관개 면적이 8,780 ha, 홍수 조절량이 1,000 만  $m^3$  인 저수지 A 가 주위 개발 여건에 따라 용수의 용도가 변경되어 관개 면적이 6,500 ha 로 감소하고 공업 용수를



10,000 m<sup>3</sup>/day 를 공급해야 한다고 가정할 때, 공급할 수 있는 생활 용수는 약 35,000 m<sup>3</sup>/day 인 것을 알 수 있다.

표.41 관개 용수의 용도 변경

	단 위	현재의 용수	용수의 용도 변경	비 고
관개 면적	ha	8,780	6,500	35,000
생활 용수	m <sup>3</sup> /day	-	?	
공업 용수	m <sup>3</sup> /day	-	10,000	
홍수 조절	만 m <sup>3</sup>	1,000	1,000	

### 8.5.3 소하천 유지 용수 공급 가능성의 예

도시 근교 관개 저수지에서 도시 소하천 환경 용수 공급의 필요성도 고려될 수 있으나 (예, 분당 신도시 소하천과 낙생 저수지의 경우) 수리권과 법규상의 문제 등으로 공급된 실적은 없다. 임하 댐에서 영천 댐으로 도수하여 대구시를 관통하는 금호강의 환경 용수를 공급하는 사업이 추진되고 있다.

최근 도시 하천의 수질 오염 방지를 위한 차집 관로 매설로 야기되는 하천의 건천화를 방지하여 경관을 개선하고, 시민 정서 함양을 위한 친수 공간 확보 차원에서 서울시 牛耳川 하천 공원 조성과 대전시의 大田川에 도시 하천 유지 용수를 공급하기 위한 댐 건설을 계획하는 등 여러 도시에서 하천 유지 용수 공급을 계획하고 있다.

예를 들어, 유역 면적이 61.5 km<sup>2</sup> 인 대도시 하천 상류에 농업용수, 하천 유지 용수 공급과 홍수 조절을 위하여 유효 저수량이 각각 546, 467 만 톤 규모인 저수지 두 개를 건설하여 갈수기에도 평수량에 해당되는 0.515 m<sup>3</sup>/sec 를 공급하는 기본 계획이 하나의 비교안으로 다음 표.42 와 같이 제시되고 있다.

표.42 도시 하천 유지 용수 공급 댐 제원

	단 위	제 1 댐	제 2 댐	계	비 고
유역 면적	km <sup>2</sup>	15.7	6.8	22.5	
유효 저수량	ha-m	546	467	1,013	
관개 면적	ha	-	-	70.5	
홍수조절용량	ha-m	130	103	233	
하천유지용수	m <sup>3</sup> /day	26,000	18,600	44,600	



그림.28 도시 하천 유지 용수 전용 댐 건설 구상도

## 제 9 장 灌溉 貯水池의 利水 管理 模型 (IRRIMA)

관개 저수지의 이수 관리 모형의 구조는 그림. 29 와 같다.

신설 관개 저수지의 경우에 저수 용량 결정을 위하여 DAWAST모형에 의한 유입량을 추정하고, Penman 방법에 의한 증발산량을 추정하고, 저수지 침전량을 추정하여 일별 저수위 변화를 Carry-over 로 모의 발생하여 저수량 고갈 횟 수가 10 년 빈도에 해당 될 때까지 반복하여 적정 저수 용량을 시산하는 새로운 관개 저수 용량 결정 방법을 제시하였다.

기설 관개 저수지의 경우에는 기왕의 저수위 기록으로 부터 기준 저수량 곡선과 방류 제한 저수량 곡선을 구하여 생육 시기 별, 저수위 별, 용수 별로 방류 제한률을 구하여 갈수기에 효율적인 이수 관리를 위하여 적정 방류량을 그날 그날 제시할 수 있는 이수 관리 곡선을 제시하였다.

또한, 홍수 조절 용량이 이수 관리에 미치는 영향을 정량적으로 평가하여, 적정 홍수 조절 용량 설정 방법을 제시할 수 있다. 저수지 침전량과 분포를 추정하여 기존 저수지의 능력 평가도 실시할 수 있다.

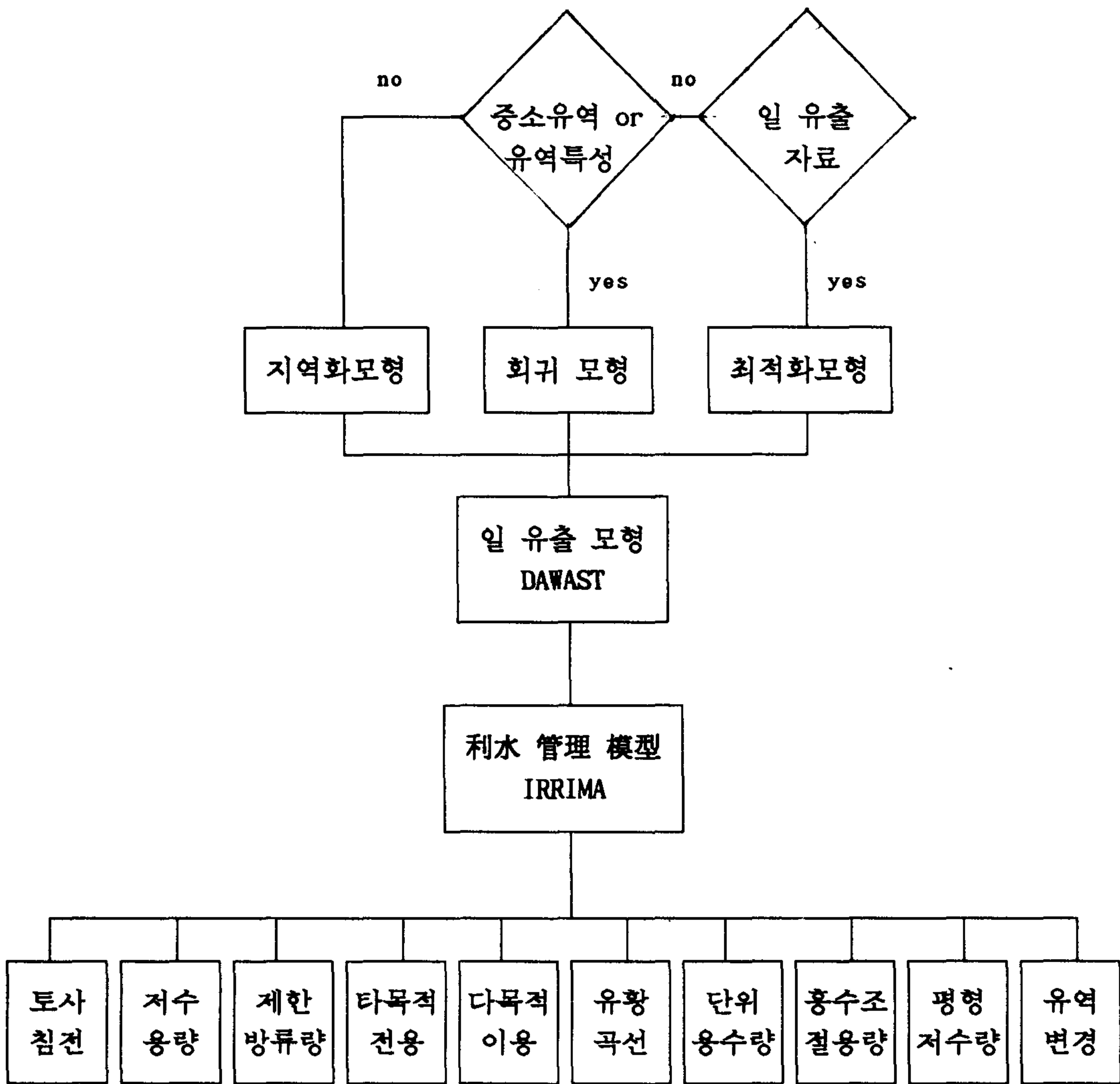


그림.29 IRRIMA 모형의 구조



## 제 10 장 結 論

관개 용수의 다목적적이고 효율적인 이용을 위하여 거동 분석 방법을 기본 구조로 한 “貯水池 利水 管理 模型 (IRRIMA)” 을 개발하여 신설 관개 저수지의 새로운 저수 용량 결정 방법, 기설 저수지의 합리적인 이수 관리 및 타목적 전용, 적정 홍수 조절 용량 결정과 저수지 능력 평가 방법 등을 제시하였다.

1. 거동 분석 방법으로 저수량의 실제 일별 거동을 알 수 있는 저수지 일별 물 수지 분석을 실시하였다.

2. 저수지 일별 물 수지 분석을 위한 저수위 모의 발생에는 대상 지점에서 가까운 기상 관측소의 강우 자료를 사용하는 관행의 방법 보다는 다소 거리가 있더라도 대상 지점에서 가까운 Key station 의 비교적 장기간 강우 자료로 분석하였다.

3. 신설 저수지의 용량 결정에 저수위 변화를 모의 발생하여 저수량 고갈 횟 수가 10 년 빈도에 해당 될 때까지 반복하여 저수 용량을 試算하는 새로운 관개 저수 용량 결정 방법을 제시하였다. 이 방법은 관개 저수지를 홍수기에 홍수 조절 기능으로 운영하거나 비관개기에 생·공업 용수를 공급하는 등 다목적으로 이용하고자 할 때 보다 적합한 방법이다.

4. 관개 저수지에 홍수 조절 용량 설정이 이수 관리에 미치는 영향을 방류 제한 강도의 개념으로 객관적, 정량적으로 평가하여, 저수지의 이·치수 관리를 최적으로 할 수 있는 적정 홍수 조절 용량 방법을 제시하였다.

5. 관개 저수지의 방류 운영 실적을 분석하여 저수량의 관측치와 추정치를 비교하였으며 저수지의 유출률, 방류율, 저수율, 무효 방류율, 유효 방류율 등을 평가하였다.

6. 관개 저수지의 기준 저수량 곡선과 방류 제한 저수량 곡선을 구하여 생육 시기 별, 저수위 별, 용수 별로 방류 제한률을 찾으므로써 갈수기에 효율적인 방류량을 그날 그날 제시할 수 있는 이수 관리 곡선을 제시하였다.

7. 시설 저수지에 대하여 침전량과 분포를 추정하여 저수지 능력 평가를 실시하였다.

8. 하천의 이수 관리를 위한 유황 곡선 작성과 용수로의 단면 크기를 결정할 위한 단위 용수량을 제시하였다.

9. 저수지 군의 평형 저수량 관리와 유역 변경에 의한 이수 계통의 광역화 방안에 대하여 연구하였다.

## 제 11 장 問題點 및 今後 課題

유역 (포화층과 불포화층) 의 토양 수분 상태를 파악하여, 표면 유출, 중간 유출, 기저 유출 등 일 유출량을 추정하는 DAWAST 모형을 기초로 하여 이수 계획, 설계 및 관리를 위한 상기 결론의 저수지 이수 관리 모형인 IRRIMA 모형을 개발하였으며, 이 IRRIMA 모형을 기본으로 금후 다음 내용을 실용화할 수 있을 것이다.

1. 저수지 이수 관리 규정을 응용하여 효율적인 방류량을 일별로 제시하고, 관개 저수지의 용수 확대 방안과 농어촌 용수여로의 다목적 이용 방안을 모색한다.
2. 다목적 댐의 이수 관리 규정은 관개 저수지의 이수 관리 곡선과 다목적 용수의 신뢰률과 홍수 조절 기능을 고려하여 작성한다.
3. 시계열로 저수위 변화를 정량적으로 평가하여, 저수지 홍수 조절의 순기능과 이수에 미치는 역 기능을 경제적으로 분석하여 관개 저수지의 적정 홍수 조절 용량을 제시한다.
4. 설계 기준에 의한 저수량 곡선과 관행의 저수량 곡선을 설정된 기준 저수량 곡선과 방류 제한 저수량 곡선 등 이수 관리 곡선에 따라 방류한 저수량 곡선과 비교하므로써 효율적 이수를 관리할 수 있도록 평가한다.
5. 비관개기에는 회복기 기준 저수량 곡선을 작성하여, 관개 용수, 홍수 조절 용량, 생·공업 용수 공급에 따른 저수량 변화를 모의 발생하여 관개 저수지의 다목적 이용 방안을 검토한다.
6. 농업 수자원과 이수 계통의 광역화를 위하여 유역 변경과 연락 수로에 의한 저수지 군의 최적 이용 방안을 연구한다.

7. 유역 토양 수분 상태를 DAWAST 모형으로 부터 일별로 파악하여 유역에서의 현재의 수분 고갈 상태가 몇 년 빈도에 해당되는 지, 어느 정도의 가뭄 피해인 지, 유역 가뭄 대책은 무엇인 지를 정의하는 새로운 개념의 수문 한발 빈도와 심도를 설정할 수 있다.



## 제 12 장 期待 效果

“이수 관리 모형”을 기초로 합리적인 수자원 계획을 기대할 수 있다.

### 1. 저수지 일별 물 수지

거동 분석 방법의 저수지 일별 물 수지 분석으로 저수량의 실제 거동을 알 수 있고, 실제 유출량으로 분석하기 때문에 어떤 시간 단위에도 적용 가능하며 방류량, 저류량과 기상 조건에 따라 달라지는 복잡한 저수지 이수 관리 계획을 수립할 수 있다.

### 2. 저수 용량 결정

저수량이 유입량에 비하여 상대적으로 작은 중·소 유역 저수지의 저수 용량을 침전량과 생육기 소비 패턴을 고려한 고갈률로 설계빈도를 정하여 저수 용량을 결정한다.

### 3. 제한 방류량

관개 저수지의 운영 실적을 근거로 이수 관리 곡선 (기준 저수량 곡선, 방류 제한 저수량 곡선)을 미리 작성한다. 이로 부터 생육 시기와 저수율에 따라 갈수기에 그날 그날 제한된 방류량을 제시할 수 있다.

### 4. 관개 용수의 다목적 이용 및 타목적 전용

기설 관개 용수의 공급 여건의 변화에 따라 관개 단일 목적에 국한하지 않고, 농촌 생활 용수, 농공 단지 용수, 휴양 시설 및 농촌 관광 용수, 소수력 발전 용수 등 농어촌 용수로서의 이용 및 전용이 대두되고 있으며, 이를 효율적으로 관리할 수 있는 방법을 제시할 수 있다.

앞으로의 신설 관개 저수지도 벼 논에 물을 공급해주는 단일 목적에 국한하지 않고, 밭 관개 용수, 농촌 생활 용수, 농공 단지 용수, 휴양 시설 및 농촌 관광 용수, 소수력 용수 등 농어촌 용수를 공급할 수 있도록 설계할 수 있다.

## 5. 유황 곡선

대상 하천에서의 갈수량, 저수량, 평수량, 풍수량 등 하천의 이수 관리를 위한 유황 곡선을 작성한다.

## 6. 단위 용수량

단위 용수량은 계절 최대 용수량으로 관개 용수로의 단면 크기를 결정하는데 필요하다. 계절 최대 용수량은 이앙기 5월 중순 또는 수잉기인 7월 하순 또는 8월 상순에 발생한다.

## 7. 토사 침전량

신설 저수지의 설계 기간 동안의 침전량과 기설 저수지의 경과년에 해당되는 침전량과 그 분포를 파악하여 저수 용량 결정과 저수지 능력 평가를 할 수 있다.

## 8. 적정 홍수 조절 용량

관개 저수지에 홍수 조절 용량 설정이 이수 관리에 미치는 영향을 평가하여 저수지 홍수 조절의 순 기능과 이수에 미치는 역 기능을 경제적으로 분석하여 관개 저수지의 적정 홍수 조절 용량을 제시할 수 있다.

## 9. 저수지 군의 평형 저수량 관리

직렬, 병렬, 직·병렬 저수지 군의 구성 된 저수지 군의 경우에는 갈수기

에 저수지의 저수량이 평형을 유지하도록 물 관리하는 것이 효율적이다.

## **10. 유역 변경에 의한 이수 계통의 광역화**

용수 공급의 지역적 불균형 해소를 위해서 연락 수로 또는 유역 변경에 의한 이수 계통의 광역화가 불가피할 것이며 이에 대한 연구가 필요하다.

## **11. 유역에서의 수문 한발 빈도와 심도**

유역에서의 토양 수분 변화량을 관측과 추정을 통하여 수문 한발을 분석하고, 한발 다발 지역 및 한발 피해 형태를 파악, 미래의 예상되는 수문 한발 빈도와 심도에 따라 한발 대책을 수립할 수 있다.

## **제 13 장 實用化 計劃**

실용화 퍼스컴 디스켓과 사용 지침서를 작성 교육, 보급한다.

## 參考 文獻

1. HEC, 1977, Reservoir system analysis for conservation
2. McMahon T.A., 1986, River and reservoir yield, WRP
3. USBR, 1987, Design of small dam, 3rd ed.
4. Votruba, V., 1989, Water management in reservoirs, Elsevier
5. HEC, 1976, Reservoir yield
6. 건설부, 1978, 새마을 수문 조사사업, 제 5 권 기술집
7. 건설부, 1992, 국토이용에 관한 년차 보고서
8. 농업진흥공사, 1980, 농업용 저수지의 다목적 이용을 위한 최적규모 결정에 관한 연구
9. 국토개발연구원, 1988, 서해안 개발에 대비한 용수 수급에 관한 연구, KRIHS 연구논문 88-3
10. 국토개발연구원, 1988, 하천유지용수의 수급에 관한 연구, KRIHS 연구논문 88-2
11. 삼성 종합화학, 1988, 삼교호 삼봉 저수지 수문 분석, 충남대 농업기술 연구소
12. 金泰喆, 1991, 유역 토양 수분 추적에 의한 일 유출 모형, 한국 농공학 회지 33-4
13. 金顯榮, 1988, 관개용 저수지의 일별 유입량과 방류량의 모의 발생, 한국 농공학 회지, 30-1
14. 농수산부, 1985-1988, 저수지 물 관리 연구, 서울대 농업 개발 연구소
15. 농업진흥공사, 1989, 소비 수량 산정 방법 실용화연구
16. 농림수산부, 1990-1991, 서해안 수자원의 개발과 이용에 관한 연구
17. 당진 농조, 1990, 삼교호 토사 침전량 조사 연구, 한국 농지개발연구소
18. 朴承禹, 1991, 전문가 시스템을 이용한 관개용 저수지 조작, 한국 농공학 회지, 33-1
19. 安秉基, 1991, 장기 유출 해석에서의 감수곡선 계수 변화, 한국 농공학 회지, 33-1



20. 李載溶, 1991, 담수호와 저수지의 침전량 비교, 충남대학교 석사학위 논문
21. 한국농지개발연구소, 1990, 삼교호 수문분석 및 배수갑문 조작 타당성 연구
22. 千賀裕太郎, 1989, 水資源의 Soft science, 鹿島 出版會
23. 일본 농업토목총합연구소, 1990, 토지개량 시설 관리 기준 (담편), 제 1차 수정안
24. 高橋 彌, 증·소하천 댐군의 종합 관리 계획, 일본 토목학회지, 제 383 호
25. 武藤 暢夫, 1992, 수환경의 관점에서 본 도시 하천의 이미지, 심포지움 초록
26. 서울시, 1992, 제방 안전도 검토 및 치수 종합 대책, 보고서
27. 李基鍾, 1991, 축산 발전을 위한 합리적 용수 이용, 세미나 자료
28. 21세기위원회, 1992, 2020 년의 한국과 세계, 동아일보사
29. 朴聖濟, 1993, 용수 수급 모형 개발을 위한 기초 연구, 국토 개발 연구원
30. (재) 한국농지개발연구소, 1992, 12, 농조 발전 기반 정립에 관한 연구, 농지개량조합연합회

# 貯水池 量 收支 模型 (III)

## 第 II 編 治水 管理 模型

여 백

# 目 次

제 1 장	緒 論 -----	169
제 2 장	研究 動向 -----	171
제 3 장	貯水池의 治水 管理 基準 -----	173
3.1	홍수시 수문 관측 조건 -----	173
3.2	댐의 홍수 경계 단계 -----	174
3.3	댐의 홍수 관리 절차 -----	175
3.4	댐 조작 규정 수립 -----	177
3.5	물넘이 수문의 조작 -----	179
3.6	각 단계별 조치 사항 -----	181
제 4 장	時間 別 有效 雨量 -----	186
4.1	홍수 직전의 유역 토양 수분 -----	186
4.2	시간별 유효 우량 -----	186
제 5 장	洪水 到達 時間 -----	189
5.1	유속에 의한 방법 -----	189
5.2	유역의 물리적 특성에 의한 방법 -----	190
5.3	지체 시간에 의한 방법 -----	191
5.4	SCS TR-55 에 의한 방법 -----	192
제 6 장	洪水 水門 曲線 -----	194
6.1	홍수 수문 곡선의 개요 -----	194
6.2	SCS 무차원 단위도 -----	196
제 7 장	設計 洪水量 模型 -----	198
7.1	서론 -----	198
7.2	수문 및 유역 자료 조사 -----	198
7.3	확률 日 강우량 분석 -----	198



7.4	확률 日 강우량의 시간 별 배분 -----	198
7.5	우리 나라 유역에 적합한 Curve number 추정 방법 -----	200
7.6	Curve number 와 합리식의 유출 계수 C 와의 관계 -----	208
7.7	CN <sub>3</sub> 에 의한 시간 별 유효 우량 -----	219
7.8	홍수 도달 시간의 계산 -----	220
7.9	설계 홍수량 모형의 구조 -----	220
7.10	DESFLO 모형의 적용 예 -----	220
제 8 장 實時間 洪水 豫測 模型 -----		222
8.1	서론 -----	222
8.2	수문 및 유역 자료 조사 -----	223
8.3	홍수 직전의 유역 토양 수분 상태 -----	231
8.4	시간별 유효 우량 산정 -----	232
8.5	홍수 도달 시간의 계산 -----	236
8.6	실시간 홍수 예측 기본 모형 -----	237
8.7	실시간 홍수량 예측 모형의 구조 -----	238
8.8	RETFLO 모형의 적용 예 -----	240
제 9 장 水門 操作 模型 -----		243
9.1	서론 -----	243
9.2	수문 및 유역 자료 조사 -----	243
9.3	저수지 유입량 예측 -----	247
9.4	수문 개방도와 방류량 계산 -----	251
9.5	하류 하천의 무해 방류량 -----	254
9.6	수문 조작 모형의 구조 -----	256
9.7	GATOPE 모형의 적용 예 -----	259
제 10 장 貯水池의 治水 管理 模型 -----		261
제 11 장 結 論 -----		262
제 12 장 問題點과 向後 課題 -----		264
제 13 장 期待 效果 -----		265
제 14 장 實用化 計劃 -----		265
參考 文獻 -----		266

# CONTENTS

Chapter 1 INTRODUCTION -----	169
Chapter 2 RESEARCH TREND -----	171
Chapter 3 GENERAL INFORMATION OF FLOOD CONTROL --	173
3.1 Hydrologic observation in flood period -----	173
3.2 Flood warning step -----	174
3.3 Flood management procedure -----	175
3.4 Gate operation -----	177
3.5 Management of flood control -----	179
3.6 Countermeasures in each step -----	181
Chapter 4 HOURLY EFFECTIVE RAINFALL -----	186
4.1 Water storage in the watershed just before storm event ---	186
4.2 Calculation of effective rainfall -----	186
Chapter 5 CONCENTRATION TIME OF FLOOD -----	189
5.1 Velocity method -----	189
5.2 Method of characteristics of watershed -----	190
5.3 Lag time method -----	191
5.4 SCS TR-55 method -----	192
Chapter 6 FLOOD HYDROGRAPH -----	194
6.1 Concept of flood hydrograph -----	194
6.2 SCS Dimensionless hydrograph -----	196
Chapter 7 DESIGN FLOOD MODEL -----	198
7.1 Introduction -----	198
7.2 Watershed and data description -----	198
7.3 Analysis of probable daily rainfall -----	198
7.4 Hourly distribution of probable daily rainfall -----	198
7.5 Curve number suitable for the Korean watersheds -----	200
7.6 Relationship between runoff coeff. C and Curve number ---	208

7.7	Hourly effective rainfall in the condition of $CN_3$	219
7.8	Concentration time of flood	220
7.9	Structure of design flood model	220
7.10	Application of design flood model	220
Chapter 8 REAL-TIME FLOOD FORECASTING MODEL		222
8.1	Introduction	222
8.2	Watershed and data description	223
8.3	Water storage in the watershed just before storm event	231
8.4	Estimation of effective rainfall	232
8.5	Concentration time of flood	236
8.6	Basic model of real-time flood forecasting	237
8.7	Structure of real-time flood forecasting model	238
8.8	Application of real-time flood forecasting model	240
Chapter 9 GATE OPERATION MODEL		243
9.1	Introduction	243
9.2	Watershed and data description	243
9.3	Forecasting of reservoir inflow	247
9.4	Gate opening and its volume of release	251
9.5	Non-damage release to down-stream	254
9.6	Structure of gate operation model	256
9.7	Application of gate operation model	259
Chapter 10 STRUCTURE OF FLOCON		261
Chapter 11 RESULTS AND DISCUSSIONS		262
Chapter 12 RECOMMENDATIONS		264
Chapter 13 EXPECTATIONS		265
Chapter 14 PRACTICAL APPLICATION		265
REFERENCES		266



## 제 1 장 서 론

이 관개 저수지의 治水 管理 模型은 설계 홍수량 모형, 실시간 홍수 예측 모형, 水門 조작 모형 등 세가지 기본 모형으로 구성되었다.

퍼스컴 개발로 강우와 유량 관측을 적당한 비용 투자로도 상당히 정확하게 On-line monitoring 이 가능하게 되었고, 수문 모형의 발전으로 이러한 telemetering 내용을 자동적으로 조절하여 실시간 홍수 예측 모형의 프로그램을 운영할 수 있는 기능의 개인용 컴퓨터 가격도 저렴해지고 있어 최근 하천의 홍수 예·보 대책, 저수지의 수문 관리 등 치수 위기 대처 능력이 크게 향상되어 실용화가 가능하게 되었다.

이 연구에서는 수자원 이용을 위하여 개발한 일 유출량 추정 DAWAST 모형으로 부터 대상 지점의 유역 특성의 하나인 불포화 토양의 최대 잠재 저류능( $U_{max}$ ) 으로 부터 Curve number를 추정하는 우리나라 유역에 적합한 유출수를 추정하는 새로운 방법을 제시한다.

이 유역 특성에 적합한 새로운 유출수로 부터 유역의 토양 수분 상태에 따라, 보다 정확하게 유효 우량을 추정하므로써 확률 강우량으로 부터 SCS 방법에 의한 설계 홍수량을 추정하는 設計 洪水量 模型을 개발한다.

평상시에는 집중형, 개념화 강우-유출 모형인 DAWAST모형으로 부터 일별 유역 토양 수분 변화를 개념적으로 정확히 추적하고, 호우시에는 추적한 토양 수분 상태하에서의 시간별 유효 우량과 침투량을 추정하는 홍수 유출 모형을 개발하고, 실시간 입수되는 강우 강도, 하천 수위와 저수위 자료를 입력하여 대상 하천 또는 대상 저수지 에서의 예측 시간(보통 1~3 시간) 후에 발생할 홍수 유입량을 예측할 수 있는 實時間 洪水 豫測 模型을 개발한다.

또한, 저수지 홍수 통제 본부에서 호우 예·경보 시에 상류 유역 강우



관측 망에서 관측된 강우 강도, 저수위, 상·하류 하천 수위를 시시 각각 유선으로 보고 받아, 실시간 홍수 예측 모형에 입력하므로서 상·하류의 침수 피해를 최소화할 수 있는 수문 조작 지침을 그때 그때 출력하는 저수지 水門 操作 模型을 개발한다.

## 제 2 장 연구 동향

홍수 유출 해석에서 가장 어려운 문제가 유효 우량 추정이며, 이 유효 우량은 유역의 토양 수분 상태의 정확한 이해가 무엇보다 중요한 것으로 되어 있다.

현재 우리나라 농업 수리 구조물의 계획, 설계 및 관리 시에 유효 우량과 설계 홍수량을 결정할 때에는, 미국 SCS에서 개발한 Curve number에 의한 유효 우량과 Complex hydrograph method을 적용하고 있으나, 우리나라 유역 특성에 적합한 유출수와 이에 따른 유역 토양 수분의 변화를 알 수 없기 때문에 정확한 유효 우량 추정, 설계 홍수량과 실시간 홍수량 예측 등 홍수 해석의 학술적, 기술적 발전에 커다란 장애가 되고 있다.

이를 해결하기 위하여 이 연구에서는 우리나라 59개 수문 관측 지점에서 유출 자료를 분석하여 우리나라 유역에 적합한 유출수를 추정하는 새로운 방법을 제시하고자 한다.

관개 저수지의 수자원 보전이라는 이수 기능과 홍수 조절이라는 치수 기능의 두가지 상반된 목적을 이루기 위해서는, 첫째, 용수 공급을 최대화하기 위하여 저수지를 가급적 만수시켜야 하며, 둘째, 하류측 침수피해를 최소화하기 위하여 저수지를 가급적 비워 두어야 하며, 셋째, 저수지 또는 하천 관리자에게 홍수 예보를 미리 경보하여야 한다.

이를 위하여 호우 시의 유효 우량이 추정되면 전화, 무선, telemetering 등 On-line 시스템으로 실시간 입수되는 수문(강우, 유출) 관측 자료를 입력하여 대상 하천 또는 대상 저수지에서의 예측 시간 (보통 1~3 시간) 후에 발생할 수 있는 홍수 유입량을 예측하여 효율적으로 하천과 저수지의 치수 관리를 할 수 있는 실시간 홍수 예측 모형과, 홍수시 저수지 상·하류의 침수 피해를 최소화할 수 있는 실용적인 저수지 수문 조작 모형이 절실히 요구되고 있지만 아직 개발되어 있지 않은 상태에 있다.

일본에서는 角屋(1983) 등이 Tank모형을 기본 모형으로 하는 장·단기 유출 兩用 모형(LST model)을 개발하여 1 시간 또는 3 시간 후에 발생 할 수 있는 홍수 유입량을 예측, 실제 댐에서 실용화를 위하여 시험 적용되고 있다. 李(1991)는 이 兩用 모형을 우리 나라 2개 수문 지점에 적용한 바 있다. 또한, 鄭(1990) 등도 Tank모형으로 하천 日 유출량의 실시간 예측을 실시한 바 있다.

### 제 3 장 저수지의 치수 관리 기준

댐은 구조적으로는 수문이 있는 경우와 수문이 없이 자유 월류하는 두 가지 경우가 있고, 기능적으로는 저수 용량에 홍수 조절 기능이 있는 경우와 없는 경우 두 가지가 있다. 홍수 조절 기능이 없는 댐은 저수위를 常時 滿水位에 유지하여 홍수에 대처하여도 재해 발생할 염려가 없는 소규모 이수 단일 목적 댐의 경우이고, 홍수 조절 기능이 있는 댐은 물넘이 방류량이 크거나 수문 조작 방법이 복잡한 댐에서는 홍수시 상류 수위 상승에 따른 상류 지역 피해를 방지하고, 급격한 방류에 따른 하류 지역 침수 피해를 방지하기 위하여, 저수지의 수위를 豫備 放流 水位에 유지하여 홍수를 조절하는 중·대 규모 다목적 댐의 경우이다.

이 연구에서는 水門이 있고 洪水 調節 機能이 있는 댐의 홍수 관리를 다룬다.

#### 3.1 홍수시 수문 관측 조건

수위 측정을 위하여 자동 수위계를 저수지의 상류와 댐 site에 가까운 저수지 안쪽에 설치하여야 하되, 방류량을 측정하여야 할 경우에는 하류부에 설치하여야 한다.

강우 측정을 위하여 자기 우량계를 집수 유역이 200 km<sup>2</sup> 미만인 경우에는 1개소 이상, 200~600km<sup>2</sup> 인 경우는 2개소 이상, 600 km<sup>2</sup> 이상인 경우에는 3개 이상을 적당한 장소에 설치하여야 한다.

표. 1 홍수시 수문 관측 조건

	조 건	관측 종류	보고 시간	보고 내용
우 량	일 우량 50 mm 이상 시 우량 20 mm 이상	시우량 "	매 3시간 마다 매 1시간 마다	시우량 시우량
수 위	지정 홍수위 이상 경계 홍수위 이상 위험 홍수위 이상	매 시 관측 매 30분 관측 수시 관측	매 시간 마다 매 30분 마다	매 시 수위 매 30분 수위 매 30분 수위



## 3.2 댐의 홍수 경계 단계

홍수 관리를 위해서는 홍수 주의보, 홍수 경보, 홍수 발생, 홍수 복구의 4 단계로 나누어 각 단계 별로 대책을 수립해야한다.

### 3.2.1 홍수 주의보 단계

댐 상류 유역의 전부 또는 일부 지역에 호우 주의보(일 예상 강우량 80mm이상)가 예보되어 홍수가 발생할 염려가 있다고 판단되는 시점에서 홍수 경계 단계 전까지, 또는, 홍수 경보 단계에 이르기 전에 홍수 주의보가 해제되어 홍수 발생 염려가 없다고 생각되는 시점까지의 단계를 말한다.

### 3.2.2 홍수 경보 단계

댐 상류 유역의 전부 또는 일부 지역에 호우 경보(일 예상 강우량 150mm 이상)가 예보되어, 홍수가 발생할 염려가 크다고 판단되는 시점에서 부터 호우 경보 해제 단계 또는, 홍수 발생 염려가 적다고 생각되는 시점까지의 단계를 말한다.

### 3.2.3 홍수 발생 단계

실제로 홍수가 발생하여 저수위가 이상 홍수위에 접근하거나, 하류 하천 수위가 위험 수위에 육박하는 단계를 말한다.

### 3.2.4 홍수 복구 단계

홍수 경계 단계가 해제된 때까지, 또는, 홍수 경계가 해제되지 않은 저수지로의 유입량이 재차 증가하여 홍수 발생 단계에 이르는 때 까지를 말한다.

### 3.3 댐의 홍수 관리 절차

댐의 홍수 관리 절차에서 3.6의 각 단계별 조치 사항까지는 건설부(1988)의 재해 대책 편람과 일본의 농업토목총합연구소(1990)의 토지 개량 시설 관리 기준(댐편)을 참고로 요약하였다.

홍수시에 있어서 댐 관리는 댐 조작 규정에 기초하여 실시하게 되므로, 기상과 수문 상태를 잘 파악하여 댐으로의 유입량과 그에 따른 저수위를 예측하고, 이 예측 결과를 이용하여 방류를 결정하여야 한다.

#### 3.3.1 요원의 확보

홍수시에 댐 또는 저수지를 적절하게 관리하기 위하여 요원을 확보하여야 한다.

#### 3.3.2 기상 수문 자료의 파악

기상 수문 상태의 관측은 조작 규정에 정한대로 하지만, 댐 방류가 예상되는 경우에는 매 1시간마다 실시한다. 물넘이의 수문을 조작할 때에는, 조작할 때 마다 관측을 실시한다.

#### 3.3.3 저수지 유입량 예측

1 차로 예상 강우량과 홍수 조절 가능 용량을 고려하여 방류의 필요성을 검토한다.

2 차로 현재의 기상, 수문 상태로 부터 기존의 자료에 근거하여 유사한 기상 패턴을 추출하여, 댐으로의 유입량과 댐 저수위를 예측하여 방류량과 방류시점을 결정한다.

댐의 치수 관리상 가장 중요한 인자의 하나는 정확한 저수지 유입량의 추정이며, 여기에는 저수지 유입 하천 유출량으로 부터 추정하는 방법과 저수지 수위 변동과 방류량으로 부터 추정하는 방법이 있다.

일반적으로 유입량이 급증하여 시간 별 저수지 유입량 추정으로 댐 수문을 조작 할 때에는 홍수가 저수지에 유입하기 이전의 순간 유입량을 쉽게 미리 알 수 있는 전자의 방법을 택하지만, 이 경우 유입 하천 수위 관측 지점의 수위-유량 곡선이 양호하여야 한다.

유입 하천 수위 관측 지점의 수위-유량 곡선이 불량한 경우에는 저수지 수위 변동과 방류량으로 부터 시각  $t_1 - t_2$  사이의 평균 유입량을 구하는 방법을 택하지만 순간 유입량을 표현할 수 없는 결점이 있다. 일별 자료를 취할 경우에는 댐 조작 후 일별 저수위에 의한 물 수지를 통하여 저수지 유입량을 산정한다.

### 3.3.4 기계 기구의 점검 정비

댐 관리에 관계되는 기계 기구 즉, 관측, 통보, 경보 시설 등을 항상 점검한다.

### 3.3.5 댐 조작 상황의 통보

댐의 설치자는 홍수가 발생하거나 또는 발생이 예상되는 경우에는, 관계 규정에 따라 신속하게 하천 관리자나 관리 부서에 기상 수문 관측 자료와 댐 조작 상황을 통보해야한다.

### 3.3.6 방류 결정

기상 수문 상황과 유입량 예측을 근거로 하여, 방류 시각 또는 방류량을 결정하되, 조작 규정에 정한 범위내에서 가능한 한 하루 하천에 급격한 수위 변동이 생기지 않도록 실시한다. 여기서 급격한 수위 변화라 함은 30분에 약 30~50 cm 의 수위 상승의 경우를 말한다.

### 3.3.7 방류에 관계되는 기관에의 통보

댐의 물넘이 또는 방류관에서 방류를 시작하면 이 방류수가 1시간 후에 통과할 것으로 예상되는 지역과 하천 수위가 급격이 변화할 것으로 예상되는 구역의 관할 시장, 경찰 서장, 하천 관리자에게 신속히 통지해야 한다.

하류 하천에 거주하는 주민들에 위협 발생이 예상되는 경우에는 주민들에게도 경고를 철저히 해야한다.

### 3.3.8 조작 기록의 보관

댐의 홍수 조작 기록을 작성, 보관하여 다음 댐 관리에 참고한다. 홍수 조작 시의 기상, 수문 상태, 제반 수문 조작 내용, 관계 기관에의 통지 사항을 기록 보관한다.

## 3.4 댐 조작 규정 수립

댐과 저수지의 제원, 댐 관리의 원칙, 홍수시의 조치 등에 관한 규정을 하천법에 근거하여 정하여야 한다. 이를 위하여 댐 홍수량, 저수지 유입량, 방류량의 증가 한도, 방류 통지 구간 및 경고 시간 설정, 수문 개방도와 방류량과의 관계 등을 수립하여야한다.

### 3.4.1 댐과 저수지의 제원

댐의 높이, 둑 마루 표고, 물넘이 표고, 수문의 규모와 수, 수문의 개폐 속도, 설계 홍수량 등 기본적 사항을 파악한다.

저수지의 유역 면적, 만수 면적, 최대 배수 거리, 설계 홍수위, 상시 만수위, 예방 방류(또는 제한) 수위, 최저 수위, 유효 저수 용량 등 기본적 사항을 파악한다.

### 3.4.2 무해 방류량

댐 방류에 의하여 댐 하류 협착부 하천과 부근의 농경지에서 일반 재해



가 발생하지 않을 최대 방류량을 댐 지점에서의 유역 면적 비로 환산한 방류량을 무해 방류량이라 한다.

### 1. 방류량의 증가 한도

댐에서의 방류는 가능한 한 하루 하천에 급격한 수위 변동이 생기지 않도록 제한적으로 실시하여야 한다.

#### 가. 방류량 증가 제한 곡선의 작성

댐에서의 방류량 증가 비율은 하루 하천의 수위 증가량이 30분에 약 30~50cm 이하가 되도록 방류량과 일정 시간내(약 10 분간)의 방류량 변화량을 작성한다. 이 제한 곡선은 방류 개시에서 부터 방류량이 완전히 홍수량에 이를 때 까지 작성한다.

#### 나. 경과 시간과 방류량과의 관계

댐에서 방류 시작 부터 댐 하루 하천 수위를 서서히 상승시켜 하류측에 피해 없이 가장 안전하게 효과적으로 방류를 시키기 위해서는, 하천의 수위 증가량이 30분에 약 30~50cm 이하가 되는 경과 시간 마다의 방류량 곡선을 작성한다.

### 2. 방류량의 증가 방법

댐에서의 방류는 가능한 한 하루 하천에 급격한 수위 변동이 생기지 않도록 상기한 무해 방류하는 것이 기본이지만, 유입량이 급격히 증가할 때에는 댐 조작 규정에 단서를 두어, 당해 유입량의 증가률의 범위내에서 방류량을 증가시키는 것을 인정해야 할 것이다.

즉, 유입량이 급격한 경우의 방류 가능 한도량( $Q_0$ )은 다음과 같이 구한다.

$$d = \frac{Q_2 - Q_1}{(Q_2 + Q_1) / 2} \quad (1)$$

$$Q_o = Q_3 (1 + d) \quad (2)$$

여기서,  $d$  유입량 변화율,  $Q_1$  : 일정 시간 전의 유입량  
 $Q_2$  현재의 유입량,  $Q_3$  : 현재의 무해 방류량

### 3.4.3 방류 통지 구간과 경고 시간 설정

방류할 때는 관계 기관과 하류 하천에 일반적으로 통지하고, 하류 하천에서 수영 또는 낚시하는 사람들이 대피할 수 있도록 약 15분 전에 사이렌 등으로 경고해야한다. 방류 통지 구간은 급격한 수위 변화(30 분에 약 30~50cm의 수위 상승)가 예상되는 구간으로 설정한다.

### 3.4.4 수문 개방도와 방류량과의 관계

홍수시의 댐 방류는 물넘이 수문으로 부터 이루어진다. 물넘이 수문의 저수위 별 개방도 별 방류량과의 관계를 구해둔다.

## 3.5 물넘이 수문의 조작

### 3.5.1 수문의 조작 수순

물넘이 수문은 다음 사항에 해당되어 방류하는 경우 또는 물넘이 점검 정비를 위하여 필요한 경우를 제외하고는 수문을 개폐하면 안된다.

1. 상시 만수위를 확보하기 위한 경우
2. 홍수 시에 저수지에서 방류할 경우
3. 댐 기타 저수지내의 시설의 점검, 정비가 필요한 경우
4. 기타 불가피하게 필요한 경우

물넘이 수문에서의 수문 개폐의 순서, 개폐 방법, 1 회 조작의 개방도 등을 정하는 것은 안전 조작상 대단히 중요하다.

즉, 수문을 조작하여 방류하는 경우에는 수문 1 개 또는 일부 수문만을 개폐하지 않는다는 규정에 따라, 1회 조작시의 1 개 수문의 개방 한도를 정해 놓고 차례로 개방을 진행하여 전체 수문을 개방한 후에는, 다시 최초로 조작한 수문으로 돌아와서 다시 1회 조작시의 1 개 수문의 개방 한도 만큼 차례로 개방을 진행하는 수순으로 방류 조작을 원활하게 조작한다.

폐문시에는 개문시의 역순으로 조작하여 원활하게 처리할 수 있다.

그러나, 유입량이 급증하는 경우에 저수위를 상시 만수위에 유지 하기 위하여는, 1 회의 개폐 높이가 몇 십 cm 를 초과하는 불가피한 경우도 있다. 그러나, 이러한 경우에라도 당해 유입 증가율의 범위내에서 방류 조작 하는 것에는 변함이 없다.

### 3.5.2 물넘이 수문 개폐의 제한와 시동 간격

홍수시의 수문의 개폐 폭은 하류 하천의 수위 변동에 미치는 영향이 크므로, 과도한 개폐 폭으로 조작하는 경우에는 하류 하천으로의 유하량을 일시적으로 증대시켜 급격한 수위 변동을 초래하거나, 또는, 일련의 수문을 한 쪽으로 치우치게 열어 하류 하천의 흐름이 난류가 되어 피해가 발생하는 발생하는 경우가 많다. 이를 방지하기 위하여, 각개 수문의 1 회 개폐 높이가 00 cm를 초과하지 않도록 제한하여 안정적으로 방류하여야 한다.

홍수시에 수문으로 방류할 때에 무엇보다 중요한 것이 수문 시동이다. 수문 시동이 지체되지 않아 순조로울 때에는 별 문제가 없지만, 댐 저수위가 높은 상태에서 유입량이 급격히 증가하는 경우에는, 일정 간격을 두지 않고 여러 개의 수문을 시동하여 사고가 발생하는 경우가 많다.

이를 방지하기 위하여, 기계적 또는 전기적 과부하가 되지 않도록 1 개 수문을 시동한 후 다른 수문을 시동하는 등 시동 간격을 두어 원활한 수문 조작을 하여야 한다. 그 간격은 당해 수문 또는 동력 설비에 따라 다르지만 일반적으로 30초 정도가 바람직하다.

### 3.6 각 단계별 조치 사항

#### 3.6.1 홍수 주의보 단계의 조치 사항

홍수 주의보 시에는 댐 또는 저수지를 적절하게 관리하기 위하여 요원의 확보, 기상 수문 자료의 수집, 유입량 예측, 하천 관리자에의 통보, 기기류 또는 자재의 점검 및 정비, 댐 조작에 관한 기록 등의 조치를 취해야 한다.

예비 방류 계획이 있는 댐에서는 홍수 주의보 단계에서 소정의 유입량을 댐에서 예비 방류하게 된다.

#### 3.6.2 홍수 경보 단계의 조치 사항

홍수 경보 단계에는 댐 또는 저수지를 적절하게 관리하기 위하여 요원의 확보, 기상 수문 자료의 수집, 유입량 예측, 하천 관리자에의 통보, 기기류 또는 자재의 점검 및 정비, 댐 조작에 관한 기록, 댐에서의 방류 등의 조치를 취해야 한다.

이 단계에서의 유입량 예측과 댐에서의 방류량 결정은 대단히 중요하며, 고도의 기술적 판단이 요구된다.

##### 1. 유입량 예측

강우량을 예측하여 유입량을 예측하는 것은 사실상 불가능하므로 여기에서 유입량 예측이라 함은 현재 상류 유역에 내린 호우가 도달 시간을 고려하여 1~3시간 후에 저수지에 홍수로 어떻게 유입하는 가를 예측하는 것을 뜻한다. 이렇게 예측한 저수위와 현재 관측된 수위와의 유입량 차이로



부터 강우-유출 모형을 다시 보정하면 다음 강우에 대한 홍수 유입량을 비교적 정확하게 예측할 수 있다.

또한, 현재의 저수위에 대하여 앞으로 예상되는 강우 강도를 가정하여 이에 의한 홍수 유입량을 모의 발생으로 예측하여, 각각의 경우에 대비하여 홍수 배제 시간과 배제량을 미리 결정할 수 있다.

이 연구에서는 현재 상류 유역에 내린 호우가 도달 시간을 고려하여 1~3시간 후에 저수지에 홍수로 어떻게 유입하는가를 예측하는 단시간 유입량 예측 방법을 적용한다.

#### 가. 과거의 유사한 패턴의 기상 자료 입력에 의한 長時間 유입 예측 방법

호우가 있기 전 날까지는 장기 유출 모형으로 댐의 이수 관리를 실시하고, 호우가 예보되면, 예상 강우량을 입력하여 미리 유입량을 예측하도록 한다. 이에 따른 예상 방류량을 입력하여 저수지의 물 수지 계산에 의하여 예상 저수위를 예측한다.

이 시스템에 입력하는 예상 강우량은 과거에 발생한 호우들을 수집하여 작성한 그 댐의 호우 대장(Storm file)으로 부터 현재의 호우 형태가 과거의 어느 호우 패턴과 유사한가를 file로 부터 검색하여, 이 호우 패턴과 유사한 과거의 호우 패턴을 입력하고, 다시금 강우 상황의 변화에 적응하여 이 호우 패턴을 적절하게 수정하여 보다 정확한 예측을 할 수 있다. 이 출력 결과는 대체로 “어느 시간 쯤에 방류를 시작해야 하는가”를 제시해주고, 이에 따라 사전에 시간적 여유를 가지고 각종 홍수 대책을 미리 수립할 수 있다.

#### 나. 단시간 유입 예측 방법

수문으로 방류를 시작하는 시각을 결정하기 위하여는 예측 정도를 향상시킬 필요가 있다. 그러나, 현재 시점까지의 강우량을 알고, 그 이후의 강

우량을 예상할 수 있다면 이 예상 강우량을 입력하면 좋지만, 아직 이 방법이 확립되어 있지 않으므로, 현시점 강우 강도 계속법 (예, 직전 1 시간의 강우 강도가 3시간 후 까지 계속된다는 가정)을 채택하여 여기에 유역의 평균 강우량 예측 정도의 불량을 보완하기 위하여, Kalman Filter 이론에 따라 최상층 표층 수심을 보정하여 새로이 조립한 시스템에 따라 3 시간 후까지의 매 시의 예상 유입량을 출력하는 방법이다.

수문으로 방류가 임박한 경우에는 유역 강우의 원격 통보에 의한 정보 수집 간격을 30 분으로 하여 입수된 자료를 즉시 입력하여 30 분마다 예측 유입량을 구하여 댐 관리 지소와 통합 관리 사무소 간에 방류 개시 시각을 확인한 뒤에, 이것을 결정하는 것이 활용된다.

## 2. 댐에서의 방류

예비 방류 계획이 있는 홍수 조절 댐에서는 홍수 주의보 단계에서 댐 조작에 의하여 예비 방류 수위에 접근하도록 하고, 예비 방류 계획이 없는 관개 단일 댐에서는 방류 결정에 임하여 최종 판단한다.

### 가. 예비 방류 계획이 있는 댐

예비 방류 계획은 홍수 발생 단계의 댐 조작의 어려움을 감안하여 적절한 예비 방류 수위 (홍수기 제한 수위) 를 두어 저수지 용량을 미리 비워두는 것을 말한다.

1) 댐 수위가 예비 방류 수위를 上廻하는 경우에는 댐으로의 유입량이 홍수량에 이르기 전까지는 유입량 보다 많은 량을 방류하여 예비 방류 수위에 접근하도록 한다.

2) 댐 수위가 예비 방류 수위와 같은 경우에는 유입량에 상당한 유량을 방류한다.

3) 댐 수위가 예비 방류 수위를 下廻하는 경우에는, 저수위가 예비 방류 수위와 같아지기 전까지는 유입하는 유량을 저류하고, 같아지면 유입량에 상당한 유량을 방류한다.

#### 나. 예비 방류 계획이 없는 댐

예비 방류 계획이 없는 댐에서의 방류는 유입량에 상당하는 유량을 방류하면 되지만, 항상 유입량에 상당하는 유량을 방류하기는 곤란하다.

즉, 저수지에서 방류를 할 때에는 하류 수위가 급격히 상승하지 않도록 방류해야 하므로, 유입량이 급격히 증가하는 경우에는, 그 때의 유입량 증가율 범위내에서 방류하여, 홍수 발생 단계에는 유입량을 모두 방류할 수 하도록 하는 것이 좋다.

#### 3.6.3 홍수 발생 단계의 조치 사항

홍수 발생 단계에 댐 또는 저수지를 적절하게 관리하기 위하여 해당 저수지에 대하여 정해둔 수문 조작 방법에 따라 방류하거나, 저수지에 유입량을 저류한다. 그러나, 저수지에서의 방류는 하류 하천 수위의 급격한 변동이 발생하지 않도록 하여야 한다. 또한 댐 조작 사항을 하천 관리자에게 통보하고 기록 작성하여야 한다.

#### 3.6.4 홍수 복구 단계의 조치 사항

홍수 복구 단계에는 예비 방류 계획이 있는 댐에서 2 개 이상의 피크가 있는 홍수가 예상되는 경우는, 먼저 피크의 홍수가 경과한 후, 두 번째 홍수가 올 것에 대비하여 첫 번째 홍수시에 저류되었던 물을 신속히 방류하여 저수위를 홍수기 제한 수위 까지 저하시켜 둔다.

한편, 예비 방류 계획이 없는 이수 댐에서도, 홍수 복구 단계의 저수위는

상시 만수위와 같게하고, 현재의 댐 저수위가 상시 만수위 보다 높은 경우에 있어서는 방류하여 상시 만수위에 유지되도록, 또는, 상시 만수위보다 낮은 경우에 있어서는 유입수를 댐에 저류하여 상시 만수위를 유지하도록 노력해야 하며, 댐 저수위가 상시 만수위에 같아지는 시점에서는 유입량에 해당되는 유입수를 댐에서 부터 방류하게 된다.



## 제 4 장 時 間 別 有 效 雨 量 推 定

평상시에는 유역의 상부 불포화층과 하부 포화층의 토양 수분 상태를 파악할 수 있는 일 유출량 모형인 DAWAST 모형을, 호우시에는 DAWAST로 파악된 홍수 직전의 유역 토양 수분 상태를 고려한 시간별 유효 우량을 구하여, 이로부터 치수 관리 모형을 개발한다.

### 4.1 홍수 직전의 유역 토양 수분 상태 파악

현재의 유역 토양 수분 상태인 유효 저류능  $S_a$  를 SCS의 AMC 1, 2, 3 로 단절된 유역 토양 수분 상태의 유출수로 부터 구하지 않고, 식 (4) 의 일별 불포화 토양층 물 수지 분석으로 연속적인 유역 토양 수분 상태로 추적함으로써 홍수 직전의 유역 토양 수분 상태를 고려하여 보다 정확한 홍수량을 추정하고자 한다.

DAWAST 모형으로 일 유출량과 유역의 토양 수분 변화를 일별로 파악하고 있다가 호우가 예상되면 일 유출량 모형을 홍수 모형으로 전환하여, 호우가 있기 직전의 유역 토양 수분 상태  $S_{ai}$  를 식 (4) 으로 구한다.

$$WSU_i = WSU_{i-1} + I_i - ET_i - PERC_i \quad (3)$$

$$S_{ai} = U_{max} - WSU_i, \quad U_{max} > WSU \quad (4)$$

$$Q_{Si} = (P_i - 0.2 S_{ai})^2 / (P_i + 0.8 S_{ai}) \quad (5)$$

여기서,  $t$  일 단위 (day)

$S_a$  유효 저류능 (mm)

$U_{max}$  불포화층의 최대 토양 수분량 (mm)

$WSU$  불포화층의 현재 토양 수분량 (mm)

$Q_S$  표면 유출량 (mm)

### 4.2 시간별 유효 우량

DAWAST 모형의 시간 단위를 1 시간으로 취하여 구한 시간별 유효 우량을 구한다. 또한, Smith (1976) 의 SCS 침투 방정식에 의한 유효 우량 계산 방법을 참고로 소개한다.

#### 4.2.1 DAWAST 모형에 의한 시간별 유효 우량

호우가 발생하면, (4) 식의  $S_{ai}$  를 (6) 에 대입하여 처음 단위 시간 강우량  $P_t$  으로부터 처음 단위 시간의 시간 별 유효 우량  $Q_{St}$  를 구하고, 그 다음 시간의 유효 우량은 다음 시간의 단위 시간 강우량  $P_t$  와 전 시간의 유효 저류능  $S_{at-1}$  에 식 (7) 으로 구한 단위 시간의 침투량을 뺀 (8) 식으로 구한 다음 시간의 유효 저류능  $S_{at}$  값을 (6) 식에 대입하여 구한다. 이와 같이, 단위 시간 별로 불포화 토양층의 유효 저류량  $S_a$  를 연속적으로 추적하여 단위 시간별 유효 우량을 구한다.

$$Q_{St} = ( P_t - 0.2 S_{at} )^2 / ( P_t + 0.8 S_{at} ) \quad (6)$$

$$I_t = P_t - Q_{St} \quad (7)$$

$$S_{at} = S_{at-1} - I_t \quad (8)$$

여기서,  $t$  는 시간 단위 (minutes or hours)

#### 4.2.2 SCS 의 침투 방정식에 의한 유효 우량

DAWAST 모형에서 새로이 정의한 Retention parameter  $S$  를 최대 저류능  $S$  개념에서 유효 저류능  $S_a$  개념으로 변형 도입하고, Smith (1976) 의 침투 방정식을 유도하면

$$F = ( P - I_a ) S / ( P - I_a ) + S \quad (9)$$

식 ( 6)을 시간  $t$  에 대하여 미분하면

$$f = dF/dt = S^2 / ((P - I_a)^2) \cdot dP/dt \quad (10)$$

유효 저류능  $S_a$  는

$$S_a = S - F = S^2 / (P - I_a) + S \quad (11)$$

$$f = (S_a / S)^2 \cdot r \quad (12)$$

(11) 식에서 누가 강우량  $P$  가 증가하면  $S_a$  가 감소하므로, 침투률  $f$  도 감소하게 된다.

## 제 5 장 洪水 到達 時間

도달 시간은 가장 자주 쓰이는 시간 매개 변수중 하나이다. 다른 매개 변수와 마찬가지로 도달 시간도 유역의 물리적 특성과 유효 우량과 강우와 직접 유출과의 관계로 정의된다. 제 4 장의 유효 우량과 함께 홍수 도달 시간으로 부터 홍수 수문 곡선을 합성할 수 있다.

도달 시간은 보통 두 가지 개념으로 정의된다.

첫째, 유역 최상부에 떨어진 강우가 대상 지점까지 도달하는 시간을 말하며 유역의 물리적 특성으로 부터 추정한다.

둘째, 유효 우량의 중심에서 직접 유출 수문 곡선 감수부의 변곡점까지의 시간, 또는 유효 우량이 끝난 시간으로 부터 직접 유출 수문 곡선 감수부의 변곡점까지의 시간을 말한다.

도달 시간은 이론 또는 경험식 모두 추정치 오차의 범위가 대단히 크므로 유역이 커지고, 흐름이 주로 하천류인 경우에는 유역 경사 별로 나누어 하천류의 유속으로 부터 구하는 것이 바람직하다.

홍수 도달 시간을 구하는 방법에는 유속에 의한 방법, 유역의 물리적 특성에 의한 방법, 지체 시간에 의한 방법 등이 있으며, 이 연구에서는 5.4의 SCS TR-55 방법으로 홍수 도달 시간을 구하였다.

### 5.1 유속에 의한 방법

유로 연장을 유역의 평균 경사와 유역 조건에 따라 구한 유속으로 나누어 도달 시간을 구한다. 이 방법에는 Kraven (1942), Rizha, Texas Highway (1946), US Navy (1953), SCS TR-55 등이 있다.



$$T_c = L / ( V \times 3.6) \quad (13)$$

여기서,  $T_c$  도달시간 (hrs),  $V$  평균유속 (m/sec)  
 $L$  수리연장 (km)

## 5.2 유역의 물리적 특성에 의한 방법

하천 흐름의 단계는 표면류 (Overland flow), 하천류 (Channel flow), 그리고 표면류와 하천류의 중간 단계인 중간류 (Shallow concentrated flow)로 분류되므로, 유역의 도달 시간도 이들 각 단계 흐름의 도달 시간의 합으로 나타낸다. 이들 흐름의 단계를 정확하게 분류하기는 애매하며, 도달 시간 계산 방법도 각기 다르지만, 대체로 하천장, 유역 경사와 유역 계수로 나타내는 유역의 물리적 특성에 의한 경험적 공식과 유역의 기하학적 특성을 개수로의 이론적 함수로 접근하는 수리학적 공식으로 구한다.

표면류, 중간류 및 하천류 흐름에 따른 도달 시간은 V. P. Singh (1988)의 분류를 참고한다.

### 가) 표면류의 도달 시간

아직 소하천이 형성되지 않은 (not well-defined channel) 시험적 소유역의 흐름인 표면류의 도달 시간 계산은 수리학적 공식 추정 (Izzard, Agiralioglu) 에는 하천장이 15~30 m, 경험적 공식 추정에는 하천장이 400 m (kerby) 이하인 경우에 적용하는 것이 바람직하며, 비행장 배수의 도달 시간 계산은 Federal aviation 공식으로 구한다. 소유역 (3~5 km<sup>2</sup>) 에서 합리식 등의 도달 시간 계산에 적용된다. 이 방법에는 Bransby-Williams (1914), Hathaway (1945), Izzard (1946), Kerby (1954), Federal aviation (1970), SCS TR-55 (1986), Agiralioglu (1981) 공식 등이 있다.

#### 나) 중간류의 도달 시간

가장 오래된 무계측 하천의 도달 시간 공식 중의 하나인 Ramser (1927)의 공식 (14) 는 지금도 자주 사용되고 있다. 유역의 면적이 커지고 토지 이용 상태가 다양해지면 표면류와 함께 중간류가 형성되므로 Ramser 의 하천류와 Kerby 의 표면류의 도달 시간을 합하여 도달 시간을 계산하는 것이 좋다. (L.F. Huggins, 1982) 이와 같은 중간류 공식에는 Kirpich, SCS TR-55, Mcquen (1983) 등이 있다.

$$T_c (\text{min}) = 0.02 L_c^{0.77} S_c^{-0.385} \quad (14)$$

$$T_c (\text{min}) = 0.02 L_c^{0.77} S_c^{-0.385} + \left[ \frac{2.2 n L_o}{S_o^{0.5}} \right]^{0.467} \quad (15)$$

#### 다) 하천류의 도달 시간

유역이 더욱 커지고, 흐름이 제대로 형성된 하천류에서는 유역 경사 별로 나누어 하천류의 유속으로 부터 도달 시간을 구하는 것이 바람직하다. 하천류 도달 시간은 다음 적용 범위를 고려하여 적절하게 적용하게 된다.

이 방법에는 Bransby-Williams (1922), USBR (1942), Johnstone (1949), Eaton (1954), 角屋 등이 있다.

### 5.3 지체 시간에 의한 방법

하천류의 도달 시간은 지체 시간에 의하여 간접적으로 구할 수도 있다. 지체 시간 (Lag time) 은 Horner 와 Flynt (1934) 가 정의한 유효 우량의 중심과 직접 유출량의 중심과의 시간 차 (USBR 에서 적용) 와 Snyder (1938) 가 정의한 유효 우량의 중심과 피크 홍수 시간과의 시간 차 (SCS 에서 적용) 와 USCE (1949) 가 정의한 유효 우량의 시점과 직접 유출량의

중심과의 시간 차 등 여러 가지 정의가 있지만, 여기에서는 SCS (Mocus, 1957) 에서 제시한 도달 시간과 지체 시간과의 관계로 부터 하천류 도달 시간을 구한다.

지체 시간에 의한 공식에는 Snyder (1938), USCE (1949), SCS (1975) 와 우리 나라의 유역에서의 공식 등이 있다.

$$T_c = 1.67 T_L \quad (16)$$

#### 5.4 SCS TR-55 에 의한 방법

하천 흐름의 단계인 표면류, 중간류와 하천류 별로 구한 도달 시간의 합으로 나타낸다. SCS TR-55 에서는 표면류의 유속은 식 (17) 로 구한다.

$$T_c = \frac{0.0288 \times (n \times L)^{0.8}}{P_2^{0.5} S^{0.4}} \quad (17)$$

여기서,  $T_c$  : hrs,  $L$  : m,  $n$  : 표.2,  $P_2$  : cm,  $S$  : m/m (%)

표. 2 표면류에서의 Manning 계수

표면의 상태	n	표면의 상태	n
매끄러운 표면 (콘크리트, 아스팔트, 자갈, 나지 등)	0.011	경작지 잔유물 20 % 이하	0.06
		잔유물 20 % 이상	0.17
휴경지 (잔유물 없음)	0.05	목장 (자연 상태)	0.13
목초지		삼림지	
짧은 목초 평원	0.15	덤불이 많지 않음	0.40
밀집한 목초지	0.24	덤불이 많음	0.80
버뮤다 목초	0.41		

유역 경사가 6 % 이상이면 중간류로서 표.3 에서 잔디 수로의 평균 유속을 취하여 도달 시간을 계산한다.

표. 3 SCS TR-55 의 농업 지역의 도달 시간 계산을 위한 평균 유속

하천 경사 (%)	평균 유속 ( m /sec)				
	표면류 (휴경, 등고선 경작)	표면류 (조파 경작)	표면류(나지) 서부 산악지	잔디 수로	포장, 산지 하천
1 ~ 2	0.20	0.26	0.37	0.55	0.76
2 ~ 4	0.25	0.37	0.55	0.80	1.07
4 ~ 6	0.35	0.50	0.67	1.04	1.22
6 ~ 10	0.43	0.61	0.85	1.28	1.71
10 ~ 15	0.55	0.76	1.07	1.58	2.13
15 ~ 20	0.64	0.91	1.28	1.90	2.60

8 또는 16 km<sup>2</sup> 이하이고, 유역 경사가 6 % 이하인 소하천류의 경우는 표.4 에서 포장, 산지 하천의 평균 유속을 취하여 도달 시간을 계산하거나, 또는 유출수가 50~95 범위안에 있는 경우에는 유출수 방법으로 구한다.

$$t_L = \frac{L^{0.8} (S_a + 1)^{0.7}}{1,900 Y^{0.5}} \quad (18)$$

$$t_L = 0.6 t_c \quad (19)$$

여기서, L : 하천 연장 (ft), S<sub>a</sub> : (in), Y : 유역 경사 (%), t<sub>c</sub> : (hrs)

16 km<sup>2</sup> 이상인 대하천류의 경우와 유출수가 50 이하 또는 95 이상인 경우에는 Manning 등 유속 공식으로 유속을 구하여 도달 시간을 추정하였다.



## 제 6 장 洪水 水文 曲線

피크 홍수량, 피크 시간, 홍수 지속 시간, 홍수 용량 등을 나타내는 홍수 수문 곡선은 하천과 저수지 등 유역 치수 관리의 가장 기본적인 수문 자료이다.

### 6.1 홍수 수문 곡선의 개요

홍수 수문 곡선은 실제 유역 하천에서 관측에 의한 시간별 홍수량 변화를 나타내는 실시간 홍수 수문 곡선 (Natural or real time hydrograph) 과 유역의 지형 특성과 강우 특성과의 관계로 부터 확률별로 홍수량을 합성, 추정하는 설계 홍수 수문 곡선 (Synthetic hydrograph) 의 두 가지로 분류된다.

수문 곡선의 형태에는 단일 피크에 상승부와 감수부가 하나씩 있는 단일 수문 곡선 (Simple hydrograph) 과 두 개 이상의 피크, 상승부와 감수부로 이루어진 복합 수문 곡선 (Complex hydrograph) 이 있고, 또한, 유역 형태와 규모를 고려하여 單獨 流域 홍수 수문 곡선 (Individual hydrograph) 과 混合 流域 홍수 수문 곡선 (Composite hydrograph) 으로 구분된다.

무계측 하천에서 홍수량을 추정하는 합성 단위도 방법으로는 면적이  $2.5 \text{ km}^2$  이하인 소유역의 경우에는 합리식에 의하여, 면적이  $2.5 \sim 250 \text{ km}^2$  인 중규모 유역의 경우에는 SCS 의 무차원 단위도에 의하여, 면적이  $250 \sim 5,000 \text{ km}^2$  의 대유역에서는 Snyder 의 합성 단위도에 의하여 설계 홍수량을 추정하는 것이 바람직하다. (Ponce, 1989)

유역 면적이 적어서 유역 형태와 유역 경사의 변화가 단순할 경우에는 대상 수문 지점 (Dam site) 에서 단독 유역 홍수 수문 곡선을 추정한다.

그러나, 유역의 형태가 다양해지고 유역 면적이 커지면 단독 유역 홍수 수문 곡선만으로는 해석하기 어렵기 때문에 유역 개개의 단독 유역 수문 곡선을 합성한 혼합 유역 홍수 수문 곡선을 구하는 것이 바람직하다.

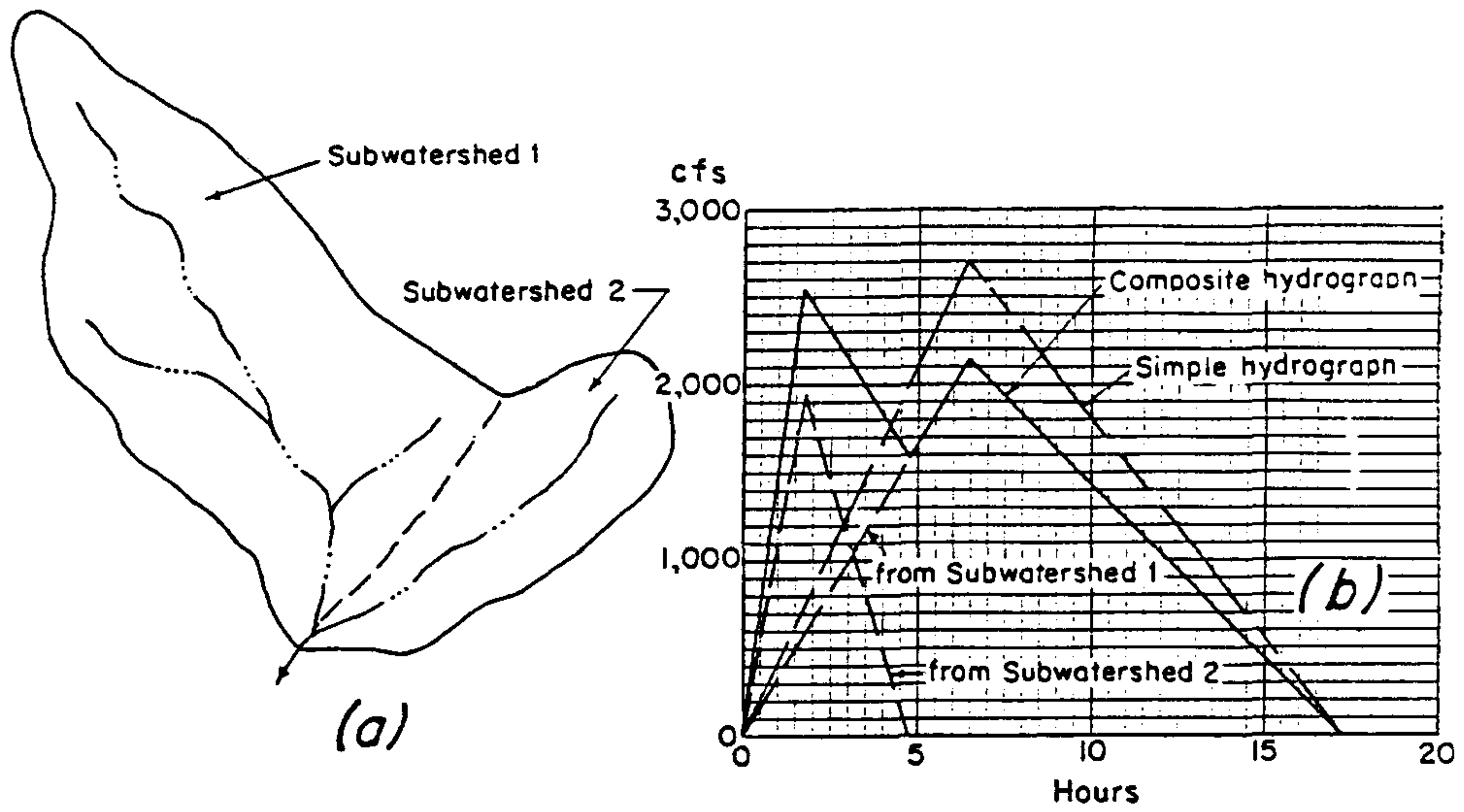


그림. 1 혼합 유역 수문 곡선

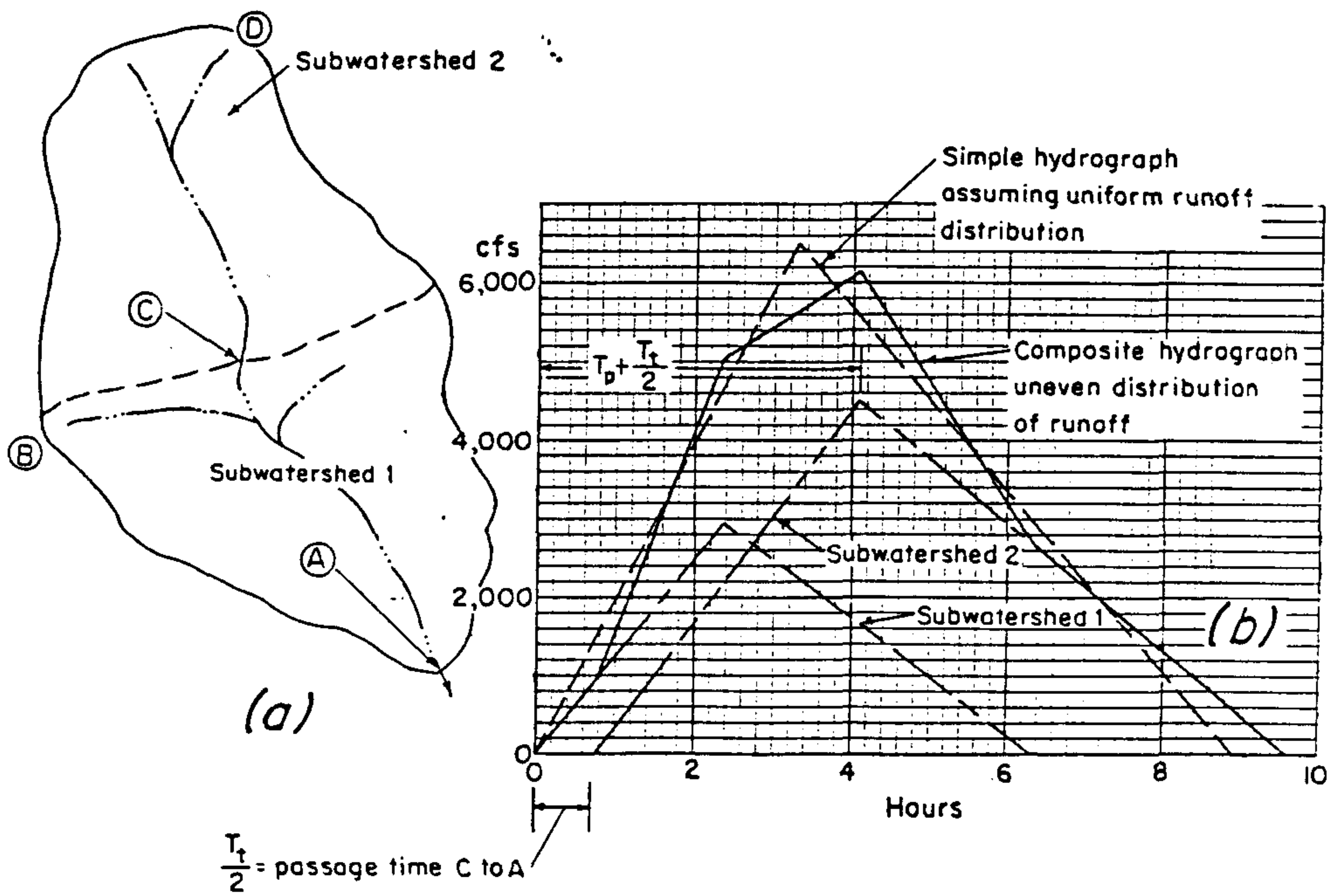


그림. 2 대유역 홍수 수문 곡선의 합성

또한, 더욱 유역 면적이 커지면 같은 주하천이라도 유역 경사가 뚜렷이 다른 소유역으로 분할하여 홍수 수문 곡선을 각각 구하여 합성한다. 합성할 때, 분할된 상류 유역의 수문 곡선은 같은 시각 하류 수문 곡선보다 평균 통과 시간을 고려하여 0.5  $t_c$  시간 만큼 뒤로 물려 (Set back time) 시작한다. 여기서  $t_c$  는 분할 소유역의 상류 (Head) 에서 하류(Foot) 까지 홍수량이 통과 시간이다.

이 연구에서는 유역 특성으로 부터 구한 홍수 도달 시간으로 SCS 무차원 단위도를 적용하여, 유역 특성에 의한 유출수와 확률 강우량을 입력하면 설계 홍수량을 구할 수 있고, 호우 직전의 유역 토양 수분 상태와 실시간 강우량을 입력하면 실시간 홍수량을 구할 수 있는 홍수 유출 모형을 설정하며 이에 대한 내용은 제 7, 8 장에서 상술한다.

## 6.2 SCS 무차원 단위도 (Dimensionless hydrograph)

美 농무성 SCS 는 유출수에 의하여 유역 토양 수분을 고려하여 유효 우량을 추정하고, 단위 시간당 단위 유효 우량에 의한 유출 형태를 三角 단위도로 가정하고, 기본 요소인  $T_p$ ,  $Q_p$  를 경험식에 의하여 구하여 홍수 수문 곡선을 합성한다.

$$T_p = D / 2 + T_{lag} \quad \text{또는,} \quad t_p = 10 / 9 t_L \quad (20)$$

$$T_{lag} = 0.6 T_c \quad (21)$$

$$D = 0.133 T_c \quad \text{또는} \quad D = 0.2 T_p \quad (22)$$

$$Q_p = 0.2082 \times A \times r_e / T_p \quad (23)$$

여기서,  $T_p$  피크 시간 (hr),  $T_b$  基底 시간 (hr)  
 $T_c$  홍수 도달 시간 (hr),  $A$  유역 면적 ( $\text{km}^2$ )  
 $r_e$  유효 우량 (mm),  $Q_p$  피크 홍수량 ( $\text{m}^3/\text{sec}$ )

면적이  $2.5 \sim 250 \text{km}^2$  인 중규모 유역의 경우에는 대체로  $T_b / T_p$  가 5 범위에 있으므로 SCS 의 무차원 단위도를 택하여 설계 홍수량을 추정하는 것이 바람직하다.

SCS 무차원 단위도 방법을 적용하려면, 유효 우량이 시간 경과에 따라 유역에서 대상 지점으로 유입하는 과정을 도달 시간이라는 하나의 개념적 인자로 나타내고 있다. 물론, 유역의 복합적인 물리적 조건을 도달 시간 하나로 나타내기엔 근본적으로 부정확성을 배제하기 어렵다. 한편, 지체 시간과 도달 시간을 정확히 추정하는 것이 대단히 중요한 반면에, 유역의 크기와 특성에 따라 도달 시간 공식 간의 편차 또한 대단히 크므로 이에 대한 우리 나라 유역에서의 경험적 연구가 절실히 필요하며, 기존의 공식을 적용하려면 주의를 기울여야하며, 미리 검토의 절차를 거치는 것이 바람직하다.



## 제 7 장 設計 洪水量 基本 模型 (DESFLO)

### 7.1 서론

일 유출량을 추정하는 DAWAST 모형의 유역 수문 반응이 개념을 시간 별 홍수 유출을 구할 수 있는 홍수 유출 모형으로 발전시키고자 한다. 평상시에는 DAWAST 모형을 운영하고, 이로 부터 호우 직전의 유역 토양 수분 상태를 파악하여 호우에 의한 유효 우량을 정확하게 추정할 수 있다. 이를 위하여 우리 나라 59개 수문 관측 지점의 유출 자료를 분석하여 우리 나라 유역에 적합한 새로운 유출수를 구하고, 설계 빈도의 확률 강우량을 입력하여 SCS 무차원 단위도 방법으로 설계 홍수량을 추정하는 설계 홍수량 기본 모형을 개발한다.

### 7.2 수문 및 유역 자료 조사

이 연구에서 새로운 방법으로 제시한 설계 홍수량 추정 방법을 저수지의 이치수 관리 모형 개발을 위하여 忠南大 농대 농공학과에서 관측하고 있는 방동 수문 지점에 적용하여, 방동 저수지에서 기왕의 설계 홍수량 추정 방법과 비교하고자 한다.

### 7.3 확률 日 강우량 분석

최대 일 강우량 자료를 사용하여, 2 변수 대수 정규 분포 함수, 대수 제 3 형 Pearson 분포 함수, 제 1 형 극치 분포 함수 등으로 확률 일 강우량을 계산한다.

### 7.4 확률 강우량의 시간 별 배분

홍수시 배수 계획의 기본이 되는 유출량은 계획 기준 강우로 부터 추정 하되 피크 홍수량을 계획의 기본으로 하는 경우에는 短時間 降雨 強度를

대상으로 하고, 유출 곡선을 계획의 기본으로 하는 경우에는 적합한 분포를 가진 長時間 降雨 強度 또는 연속 강우를 계획의 대상으로 택하는 것을 원칙으로 한다.

#### 7.4.1 단시간 강우 강도식

지역별로 Sherman, Talbot 등 많은 단시간 강우 강도 식이 제시되고 있으며, 건설부 (1988)의 강우 강도식인 I-D-F 곡선도 적용할 수 있다.

#### 7.4.2 장시간 강우 강도식

장시간 강우 강도식으로는 SCS TR-55의 24 시간 분포도 나 Sherman type 의 物部, 伊藤, 川上 式 등이 있으며, 지금까지 物部の 式 (24) 이 자주 적용되었으나 추정치가 너무 과대한 경향이 있어 (千田), 朴 (1984) 은  $n = 2 / 3$  대신에 우리 나라에 적합한 계수를 지역별로 수정 제시하였다.

$$I_t = R_{24} / 24 \cdot (24/t)^n \quad (24)$$

유역 면적이 작고, 홍수 도달 시간이 짧은 경우 (보통 2 시간 이하) 에는 단시간 강우 강도 식으로 부터 지속 시간에 따른 강우량을, 유역 면적이 크고 홍수 도달 시간이 긴 경우에는 장시간 강우 강도식 또는 SCS 강우 분포 등 일 강우량을 적절하게 배분하여 홍수 수문 곡선을 합성한다.

강우를 배분하는 방법에는 中央 집중형, 前方 집중형, 後方 집중형이 있으며, 시간별 침투를 고려하는 경우에는 일반적으로 피크 홍수량을 크게 유발하는 후방 집중형을 적용한다. 후방 집중형에서는 피크점을 중심으로 전방에 60~70 %, 후방에 30~40 % 를 배치한다.

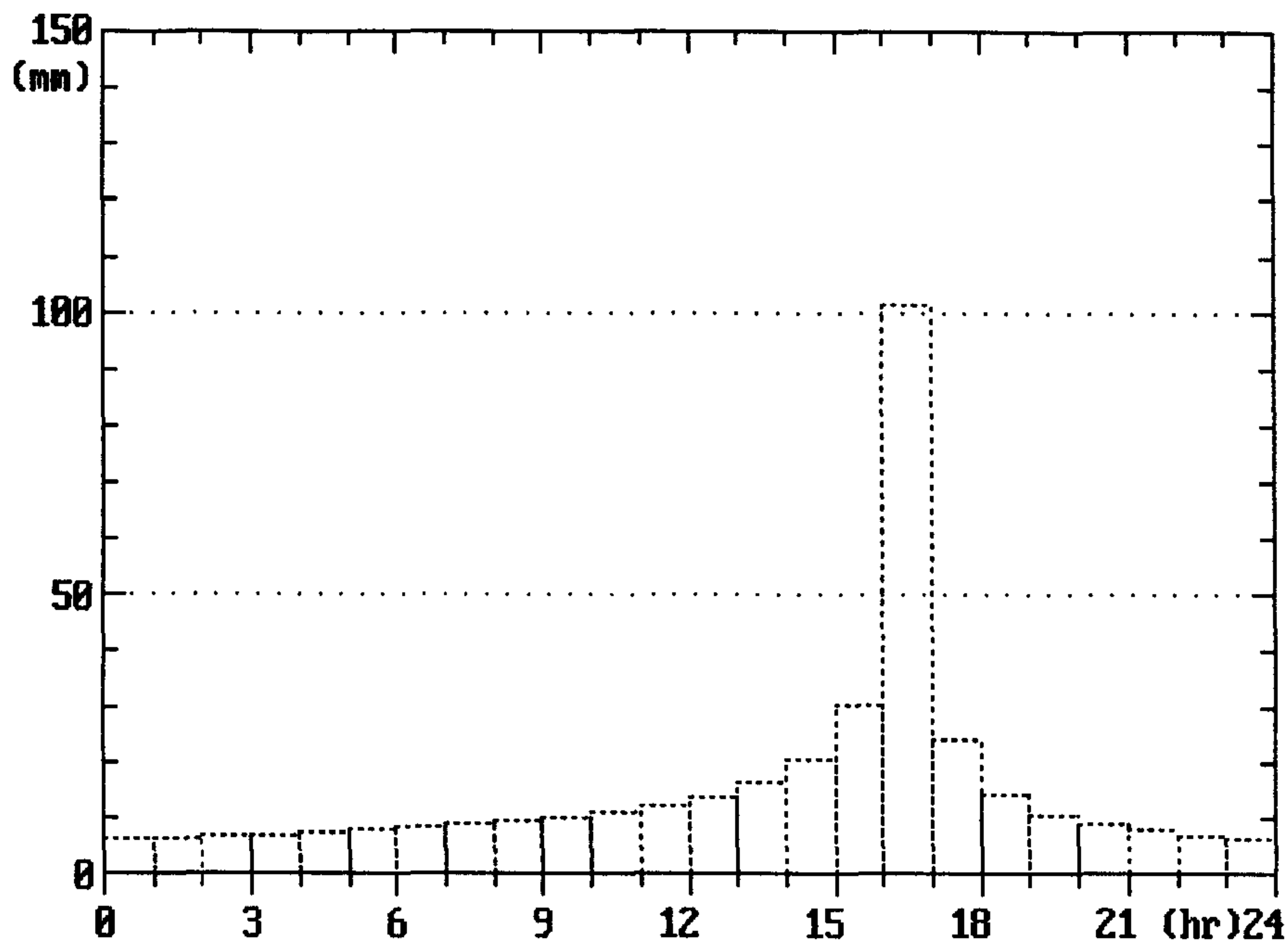


그림. 3 확률 일 강우의 시간별 강우 분포도 ( 후방형의 예).

## 7.5 우리 나라 유역에 적합한 Curve number 추정 방법

### 7.5.1 Curve number 의 배경과 현황

#### 1. 배경

유출수 (Curve number) 방법은 농업 지대 소유역에서 20 년 이상의 현지 조사와 강우-유출 관계를 연구하여 토지 이용과 처리의 변화가 유출에 미치는 영향을 경험적으로 추정하기 위하여 SCS (1954) 에서 개발하였다.

1930 년대 중반들에 SCS 는 유출과 토양 보전을 위한 사업 설계에 수문 자료의 필요성이 절실했으며, 1936 년 홍수 조절법이 통과되어 농무성에서는 홍수 방지와 토양 유실 방지를 위한 유역 조사와 측정을 실시하였다. 30 년대 후반과 40 년대 초반에 걸쳐 강우-유출 관계를 조사하기 위하여 수천 개의 살수형 침투계가 설치되었으며, 이후 조사의 복잡성과 경비를

고려하여 소형 30 × 75 cm 의 시험구에서 FA 침투계로 대대적으로 측정하였다.

SCS 에서는 이 소유역에서 측정한 자료를 Horner, Horton, Sherman 에게 분석하도록 하였으며, 별도로 Andrews (1954) 는 토성 분류에 따라 강우-유출을 추정하는 도해법을 개발하였다. Sherman (1949) 은 강우와 직접 유출 관계를 plot 하는 방법을 처음으로 제시하였으며, Mockus (1949) 는 이 plot 방법을 기초로 함수식을 유도하였다.

50 년대 초에 들어 Sherman 등의 방법은 유량 측정 자료가 있어야 하기 때문에, SCS 는 이제까지 측정한 모든 자료를 분석하여 전국적으로 적용 가능한 일반화한 직접 유출 추정 방법의 개발이 필요하게 되었다. 따라서, Andrews 와 Mockus 의 방법을 기초로 다음과 같이 SCS 유출 공식이 유도되었다.

강우량과 직접 유출량의 관계를 잠재 최대 저류능 개념을 도입하여 나타낸 식 (28) 는 (실제 저류능 / 잠재 저류능) = (유출량 / 강우량) 이라는 식 (25)의 지극히 상식적인 개념에서 개발되었다.

$$\frac{(P - Q)}{S} = \frac{Q}{P} \tag{25}$$

여기서,  $(P - Q) / S$  : 실제 저류량과 잠재 저류량의 비  
 $Q / P$  실제 유출량과 잠재 유출량의 비

Q 에 대해서 풀면,

$$Q = P^2 / (P + S) \tag{26}$$

여기에 강우 초기의 손실  $I_a$  를 고려하고,



$$\frac{(P - I_a) - Q}{S} = \frac{Q}{P - I_a} \quad (27)$$

초기 손실을 경험적으로  $I_a = 0.2 S$  로 취하면,

$$Q = (P - 0.2 S)^2 / (P + 0.8 S) \quad (28)$$

$$S = 25,400 / CN - 254 \quad (29)$$

여기서, Q 직접 유출량 (mm)  
P 일 강우량 (mm)  
S 최대 잠재 저류능 (mm)  
CN Curve number

SCS (1974) 방법은 입력 자료가 간단하고, 모형의 기본 구조와 가정이 단순하며, 토양의 종류, 토지 이용 및 피복 상태, 유역 건설 조건 등의 유역 특성을 流出數로 나타내어 쉽게 적용할 수 있고, 농업 소유역에 적용 사례가 많아 토지 이용과 처리의 변화가 유출에 미치는 영향을 잘 평가하는 것으로 알려져 미국내 연방, 주 정부 및 수문 기술자들이 가장 일반적으로 사용하는 방법이다.

HEC-1 (1989), CREAMS (1980), SMAP (1981), SPUR (1984), EPIC (1990), SWRRBWB (1990) 등의 최근의 유출 모형에서 직접 유출의 추정을 SCS 방법을 택하고 있으며, 우리나라에서도 IHP 시험 유역에서 尹 (1976), 鮮于(1977), 金 (1989) 등에 의하여 설계 홍수량 추정에, 金 등 (1989) 에 의하여 장기 유출량 추정을 위한 유효 우량의 분리에 사용되었다.

그러나, 최근 이 방법을 무계측 수문 지점에 적용하거나, 개발 당시에 목적하지 않은 수문학적 문제들에도 너무 광범위하게 적용되고 있어 이에 대한 재평가가 시도되고 있다.

## 2. 현 황

현재 우리 나라 농업 수리 구조물의 계획, 설계 및 관리를 위한 홍수량을 결정할 때에는, 미국 SCS 에서 개발한 Curve number 에 의한 유효 우량 추정과 무차원 단위도 (Dimensionless hydrograph ) 를 적용하고 있으나, 실제로 우리 나라 유역 특성을 나타내는 Curve number 실측 자료가 없어 실용적인 적용상에 많은 문제점이 야기되고 있다.

또한, 유효 우량을 추정하는 SCS 방법은 流出數가 유역의 토양, 피복 조건을 개략적으로 나타내는 Median 값이고 강우 강도를 무시한 유역의 평균 토양 수분 조건을 취한 값이고, 침투, 증발산, 토양 수분, 지체 시간, 강우 강도, 온도 등에 따라 변화하는 값이기 때문에 유역의 수문 반응을 해석하는 절차상 유출수 자체의 불합리성이 다음과 같이 지적되고 있어 재평가와 개선 방법이 연구되고 있다. (Hawkins(1979, 1985), Helmfelt(1982) )

첫째, 시간 개념에 대한 정의와 침투와 유출에 영향이 큰 강우 강도가 고려되어 있지않다.

둘째, 연속적인 유역 건습을 5 일 선행 강우에 따라 AMC I, II, III 의 세 단계로 불연속 처리함으로써 유출 반응이 크게 단절되어 오차가 크다.

셋째, 5 일 선행 강우에 의한 유역 건습 판단의 객관성이 결여되어 있다.

넷째, 분석 대상 유역에서 모든 호우에 단일 유출수를 적용하게 된다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 1980 년대의 CREAMS, EPIC 모형 등에서는 토양층을 여러 개의 저류능으로 나누어 AMC I 의 잠재 저류능을 최대값으로 하여 토양층의 수분 변화를 나타내고 있다.

$$S = S_{\max} \left[ 1.0 - \sum_1^N W_i \left( \frac{SM_i}{UL_i} \right) \right] \quad (30)$$

$$S_{\max} = 1,000 / CN_I - 10 \quad (31)$$

$$CN_I = -16.91 + 1.348(CN_{II}) - 0.01379(CN_{II})^2 + 0.0001177(CN_{II})^3 \quad (32)$$

$$W_i = 1.016[\exp(-4.16(D_i - 1/RD)) - \exp(-4.16(D_i/RD))], \quad \sum_{i=1}^N W_i = 1.0 \quad (33)$$

여기서,  $S$  : 잠재 저류능,  $S_{max}$  : 최대 잠재 저류능  
 $N$  : 토양층 수,  $W_i$  : 가중 인자  
 $SM_i$  :  $i$  층의 토양 수분량,  $RD$  : 根域 깊이  
 $UL_i$  :  $i$  층의 최대 저류 높이,  
 $D_i$  :  $i$  층의 바닥 저류 깊이

또한, EPIC 모형에서는 圃場 容水比 (Fraction of field capacity) 을 고려하여 토양 수분 변화를 일별로 추정하여 표면 유출을 SCS 유출수 방법을 적용하고 있다.

$$S = S_1 (1 - FFC / \{FFC + \exp[w_1 - w_2(FFC)]\}) \quad (34)$$

$$FFC = (SW - WP) / (FC - WP) \quad (35)$$

여기서,  $S_1$  :  $CN_1$  일때의 저류능,  $FFC$  : 포장 용수비  
 $SW$  : 토양 수분량,  $WP$  : 위조점의 수분량  
 $FC$  : 포장 용수량,  $w_1, w_2$  : 형상 계수

그러나, 이러한 모형들은 유역 특성에 적합한 유출수가 조사된 유역에 국한하게 되는데 반하여, 우리 나라 유역에 적용할 수 있는 유출수에 대한 자료가 없는 실정이므로 그 부정확성이 문제가 되고 있다.

## 7.5.2 새로운 Curve number 추정 방법

이상 살펴본 바와 같이 현실적으로 우리 나라 유역에서 조사 분석하여 작성한 유출수 表가 없으므로, 미국 SCS 의 방법을 그대로 우리 나라 유

역에 적용하는데서 오는 문제점을 해결하기 위하여 우리 유역에 적합한 새로운 유출수 추정 방법을 제시하고자 한다. 이 연구에서는 현실적으로 우리 나라 유역 특성에 맞는 유출수가 없어 CREAMS 모형의  $S_{max}$  와 EPIC 모형의  $S_1$  에서와 같이 AMC I 인 유출수로 부터 구할 수 없기 때문에, 逆으로 유출 관측 자료가 있는 수문 지점에서 DAWAST 모형의 매개 변수의 최적화 기법으로 보정하여 불포화 토양층의 깊이인 매개 변수  $U_{max}$  를 구하고, 이  $U_{max}$  로 부터 유역이 가장 건조한 상태의 유출수인  $CN_1$  를 식 (36) 로 구하고자 한다.

이 새로운 유출수 추정 방법은 분석에 사용된 자료가 산림 지대나 농업 유역에서의 유출 자료이므로, 이들 지역에 적용 가능할 것이다.

$$CN_1 = 25,400 / ( U_{max} + 254 ) \quad (36)$$

표. 4 에서 都尺 지점의  $U_{max}$  는 380 mm 로 식 (36) 에 의하면  $CN_1$  은 40 이 되고, 이에 해당되는  $CN_2, CN_3$  는 각각 60, 78 이 된다. 또한, 箕大 지점의  $U_{max}$  는 260 mm 로  $CN_1$  은 49 가 되고, 이에 해당되는  $CN_2, CN_3$  는 각각 69, 84 가 된다.

표. 4 대표 수문 지점의 최적화 기법에 의한 Curve number

수문 지점	유역 면적 km <sup>2</sup>	보정 기간	U <sub>max</sub> mm	Curve number		
				CN <sub>1</sub>	CN <sub>2</sub>	CN <sub>3</sub>
都尺	5.9	'87~87	380	40	60	78
佳莊	149.4	'74~76	330	43	63	81
寶城	275.0	'76~78	360	41	61	78
箕大	346.5	'85~86	260	49	69	84
槐山	671.0	'76~78	320	44	64	81
龍潭	937.0	'70~72	300	46	66	82
羅州	2,060.0	'70~72	310	45	65	82
公州	7,126.0	'74~76	320	44	64	81



Hawkins 는 다음과 같은 관계를 제시하였다.

$$S_1 / S_2 = S_2 / S_3 = 2.3 \quad (37)$$

$$CN_2 = \frac{2.3 CN_1}{1 + 0.013 CN_1} \quad (38)$$

$$CN_3 = \frac{2.3 CN_1}{0.43 + 0.0187 CN_1} \quad (39)$$

DAWAST 모형에서 분석한 57 개 수문 지점에서 매개 변수  $U_{max}$  와 물리적으로 관계가 깊을 것으로 생각되는 4 개의 지형 인자, 4 개의 토양 인자, 3 개의 토지 이용 인자, 3 개의 수문 지질 인자 등 14 개 독립 변수를 조사하여 Stepwise regression 분석으로 표. 5 의 매개 변수 예측 방정식을 적용하였다.

유역 규모에 따라 대상 유역의 14 개 유역 특성 인자를 조사하여, 표. 5 의 예측 방정식으로 부터 매개 변수  $U_{max}$  를 구하여 이로부터 유출수를 구할 수 있다.

물론 표. 5 의 독립 변수들이 통계적인 의미가 있을 뿐, 물리적인 의미를 나타낼 수 없으며, 이는 회귀 방정식이 갖고 있는 한계이다.

표. 5 매개 변수  $U_{max}$  의 예측 방정식

종속 변수	예측 방정식	유역 규모
$U_{max}$	$289.9 + 0.3154 X_1 - 1.4036 X_3 + 1.4545 X_{11} - 0.6739 X_{13}$	小 유역
	$380.5 - 5.1977 X_{10} - 1.6019 X_{13} + 0.2993 X_{14}$	中 유역
	$324.0 - 0.0612 X_3 + 0.9581 X_6 - 2.8831 X_9 + 0.3866 X_{12}$	大 유역

### 7.5.3 대상 유역에의 실용적 적용의 예

SCS 모형의 S 값을 IHD, IHP 조사 유역의 250 km<sup>2</sup> 이하 농업 소유역 13 개 지점에 적용하여 구한 CN<sub>2</sub> 값과 상기한 우리 나라 DAWAST 모형의 U<sub>max</sub> 으로부터 구한 CN<sub>2</sub> 값을 비교 평가한 결과는 다음 표. 6 과 같다.

표. 6 DAWAST 모형의 U<sub>max</sub> 값과 SCS 방법에 의한 CN<sub>2</sub> 의 비교

수계명	지점명	유역면적 (X <sub>1</sub> )	주변장 (X <sub>3</sub> )	산림면적 (X <sub>11</sub> )	퇴적암류 (X <sub>13</sub> )	U <sub>max</sub> (mm)	CN <sub>2</sub>	
							U <sub>max</sub>	S
한 강	백옥포	140.45	55.8	87.7	0.0	383.5	60.4	68.5
	장 평	105.75	49.6	83.0	0.0	374.4	60.9	65.8
	이목정	55.93	35.0	83.0	0.0	379.2	60.6	70.0
	경 안	9.46	13.1	85.0	0.0	398.2	59.5	63.9
금 강	이 평	79.52	51.5	74.8	0.8	351.0	62.5	67.2
	탄 부	72.53	50.3	85.1	6.7	361.5	61.8	69.3
	산 성	53.70	40.4	87.1	0.0	376.9	60.8	68.1
	무심천	19.79	21.9	87.5	18.2	380.5	60.6	63.1
낙동강	이 안	189.90	72.5	73.1	6.8	349.8	62.6	67.6
	미 성	171.25	64.0	80.6	57.9	332.3	63.7	69.2
	고 노	109.73	48.0	86.7	41.2	355.5	62.2	73.1
	신 천	42.64	35.4	89.7	1.5	383.2	60.4	61.3
	동 곡	33.63	28.6	87.1	50.0	353.4	62.3	76.2

SCS 방법을 우리 나라 유역에 적용한 Curve number 는 이 연구의 관측 유출량 의한 U<sub>max</sub> 값으로 구한 Curve number 보다 큰 값을 나타내고 있어, 홍수량이 크게 산정되는 경향이 있는 것으로 판단되며, 앞으로 이에 대한 유역에서의 실험적 검증이 요구된다.

## 7.6 Curve number 와 합리식의 유출 계수 C 와의 관계

소유역 배수 설계에 가장 널리 적용되고 있는 합리식의 유출 계수 C 에 대한 우리 나라 유역에서 조사된 실증적인 자료가 없어 문제점으로 지적되고 있어 이를 개선하기 위하여 7.5 의 우리 나라의 유역 특성을 고려한 Umax 방법에 의한 유출수로 부터 유출 계수를 구하는 새로운 방법을 제시하고자 한다.

이 방법은 도달 시간이 2 시간 이하이고, 약 10 km<sup>2</sup> 이하의 우리 나라 농업 소유역에서 유역 특성을 고려하여 합리식의 유출 계수 C 를 구할 수 있다.

### 7.6.1 합리식

도시와 농업 지역의 배수 설계를 위한 소유역의 피크 홍수량을 추정에 가장 널리 적용되는 방법이 합리식 (Rational method) 이다. 입력 자료는 유역 면적, 도달 시간을 지속 시간으로하는 설계 빈도의 강우 강도, 유출 계수이며, 도달 시간은 토지 이용 상태, 유역 경사, 하천 장에 의하여 결정된다.

$$Q = 1 / 3.6 C i A \quad (40)$$

여기서, Q 피크 홍수량 (m<sup>3</sup>/sec), C : 유출 계수  
A 유역 면적 (km<sup>2</sup>)  
i 홍수 도달 시간을 지속 시간으로 하는 강우 강도 (mm/hr)

이 방법은 그 간단성 때문에 도시 雨水路, 경지 정리 배수로 단면, 소류지 물넘이, 비행장 배수로, 도로 횡단 암거 등의 단면 결정 등 홍수 도달 시간이 짧은 단기간 호우에 의한 소유역 홍수량 산정에 실용적으로 가장 많이 쓰이고 있다.

## 1. 적용 범위

소유역은 다음과 같은 특성을 가지는 유역 규모를 말한다.

- 1) 강우가 시간과 공간에 대하여 균일하게 분포한다.
- 2) 강우 지속 시간이 도달 시간 보다 크다.
- 3) 유출은 주로 표면류 (Overland flow) 이다.
- 4) 하천류 저류과정은 무시한다.

소유역의 피크 홍수량을 추정하는 합리식의 적용 실적의 범위는 도달 시간이 1 시간 미만이거나, 유역 면적이  $0.65\sim 12.5\text{ km}^2$  까지 이지만, 현재는 도시 지역은 1 ha 이상  $1.3\sim 2.5\text{ km}^2$  이하를, 농경지 유역에서는  $10\text{ km}^2$  까지를 적용 범위로 하는 것이 일반적이다.

## 2. 유출 계수

합리식 적용에는 적합한 유출 계수 C 값의 적용이 무엇보다 중요하다. 유출 계수는 토지 이용 상태에 따라 조사된 일정 범위의 유출 계수를 제시한 표. 7 로 부터 찾아 적용하지만 실제로 대한히 중요한 유역 토양 수분 상태를 고려하고 있지 못하므로, 앞으로는 유역 토양 수분 상태를 고려한貯溜量 S 와 C 와의 관계도 연구해야 할 것이다. 우리 나라 유역에는 조직적으로 조사된 유출 계수가 없는 실정이다.

이 표.7 의 값은 평균 유역 토양 수분 상태이고 5~10 년 빈도에 적용하며, 계수의 범위에서 큰 값은 25 년 빈도에 해당된다. 유역이 습윤하거나, 강우 강도와 재현 기간이 큰 경우에는 이를 고려하여 더 큰 C 값을 택한다.

Stephensen (1981) 에 의하면 재현 기간에 따라 표.7 의 값에 2~10 년 빈도이면 1.0, 25 년 빈도이면 1.1, 50 년 빈도이면 1.20, 100 년 빈도이면 1.25 의 조정 계수를 곱하여 적용할 것을 추천하고 있다.



표.7 도시 지역의 종류와 지표면의 형태에 따른 C 값 (ASCE, 1960)

지역의 종류	계 수	지표면의 형태	계 수
상업 지역 변화가 인근지역	0.70~ 0.95 0.50~ 0.70	수밀성 지붕 아스팔트 도로	0.70~ 0.95 0.85~ 0.90
주거 지역 (도시)		콘크리트 도로	0.80~ 0.95
단독주택	0.30~ 0.50	포장된 차도, 보도	0.75~ 0.85
복합주택 (고립)	0.40~ 0.60	자갈포설 차도, 보도	0.15~ 0.30
복합주택 (연립)	0.60~ 0.75		
주거 지역 (교외)	0.25~ 0.40	잔디밭, 砂質土	
아파트 지역	0.50~ 0.70	2 % 경사	0.05~ 0.10
경공업 지역	0.50~ 0.80	2 - 7 % 경사	0.10~ 0.15
중공업 지역	0.60~ 0.90	7 % 이상 경사	0.15~ 0.20
공원, 묘원	0.10~ 0.25	잔디밭, 重粘土	
운동장	0.20~ 0.35	2 % 경사	0.13~ 0.17
철도 지역	0.20~ 0.40	2 - 7 % 경사	0.18~ 0.22
미개발 지역	0.10~ 0.30	7 % 이상 경사	0.25~ 0.35

표.8 미국 농업 지역의 지형, 피복과 토성에 따른 C 값

지형	경 사	토성 분류			비 고
		사양토	점토·식양토	중점토	
森林地	0 ~ 5 %	0.10	0.30	0.40	( by Schwab, R. J., 1981)
	5 ~ 10 %	0.25	0.35	0.50	
	10 ~ 30 %	0.30	0.50	0.60	
牧草地	0 ~ 5 %	0.10	0.30	0.40	
	5 ~ 10 %	0.16	0.36	0.55	
	10 ~ 30 %	0.22	0.42	0.60	
耕作地	0 ~ 5 %	0.30	0.50	0.60	
	5 ~ 10 %	0.40	0.60	0.70	
	10 ~ 30 %	0.52	0.72	0.82	

Stephensen (1981) 에 의하면 재현 기간에 따라 20년 빈도 이하이면 표.8 값보다 0.05 작게, 50 년 빈도 이상이면 0.05 크게 조정할 것을 추천하고 있다.

건설부에서는 유역 상태별로 유출 계수를 표.9 과 같이 제시하고 있으나, 우리 나라 유역에 적합한 합리식의 유출 계수 C 에 대한 실험적 연구를 촉구하고 있다.

표.9 유역 상태별 유출 계수 (건설부)

유역 상태	유출 계수 C	비 고	유역 상태	유출 계수 C	비 고
밀집 시가지	0.90		일반 시가지	0.80	
밭, 임야	0.60		및 주택 지역		
논	0.70		산지	0.70	

### 3. 홍수 도달 시간

식 (41) 에서 강우 강도  $1$  는 홍수 도달 시간을 지속 시간으로 하는 강우 강도이며 홍수 도달 시간은 流入 시간과 流下 시간의 합이며, 소유역 배수 조직과 비교적 유역이 큰 자연 배수로·소하천에 따라 각각 다음과 같은 방법으로 구한다.

유입 시간은 지표면의 경사도에 따라 결정되며 보통 5~10 분으로 가정하는 것이 일반적이다. 유하 시간은 배수로 길이를 배수로의 경사와 조도 계수에 따른 유속으로 나누어 계산된다.

상세한 합리식의 홍수 도달 시간 계산은 제 5 장의 홍수 도달 시간을 참고한다.

#### 4. 피크 홍수량

강우 지속 시간을 도달 시간과 같도록 인위적으로 가정하므로, 대상 지점에서의 홍수 흐름의 형태는 그림.4 의 이동변 삼각형인 concentrated flow 이며, 피크 홍수량은  $Q_p = 1 / 3.6 C i A$  이 된다. 여기에서 유출 계수 C 는 손실 우량을 고려한 총 강우량에 대한 유효 우량의 비 이다.

유역이 급경사인 경우에는 흐름의 확산에 의한 유출 둔화가 거의 없으므로, 손실 우량만 고려한, 표.7 의 상한치에 가까운 값을 적용하는 것이 좋다.

그러나, 유역이 완경사인 경우에는, 유출 계수는 손실 우량 뿐 아니라 흐름의 확산에 의한 유출 둔화를 포함하므로 표.7 의 하한치에 가까운 값을 적용하는 것이 좋다.

한편, 이상의 합리식을 도시 지역의 보다 큰 유역 ( $2.5 \text{ km}^2$  이하) 에 적용하려면, 유역을 몇 개의 소유역으로 분할하여 피크 홍수량을 추적하는 추적 합리식을 적용할 수 있다. (Ponce, 1989)

#### 5. 수정 합리식

합리식은 일반적으로 피크 홍수량만을 추정하는 것이 결점으로 지적되고 있어, 도달 시간과 강우 지속 시간에 따라 이동변 삼각형 또는 사다리꼴 모양의 유출 곡선으로 피크 홍수량과 홍수 용량을 구하여 저류 시설 용량 등을 결정할 수 있도록 개선한 것을 수정 합리식이라 한다.

##### 가. 수정 합리식에 의한 유출 곡선

합리식에 의한 유출 곡선은 홍수 도달 시간과 강우 지속 시간에 따라 다음의 세가지 경우를 생각할 수 있다.

- 1) 강우 지속 시간이 도달 시간보다 긴 경우,
- 2) 강우 지속 시간이 도달 시간과 같은 경우,
- 3) 강우 지속 시간이 도달 시간보다 짧은 경우

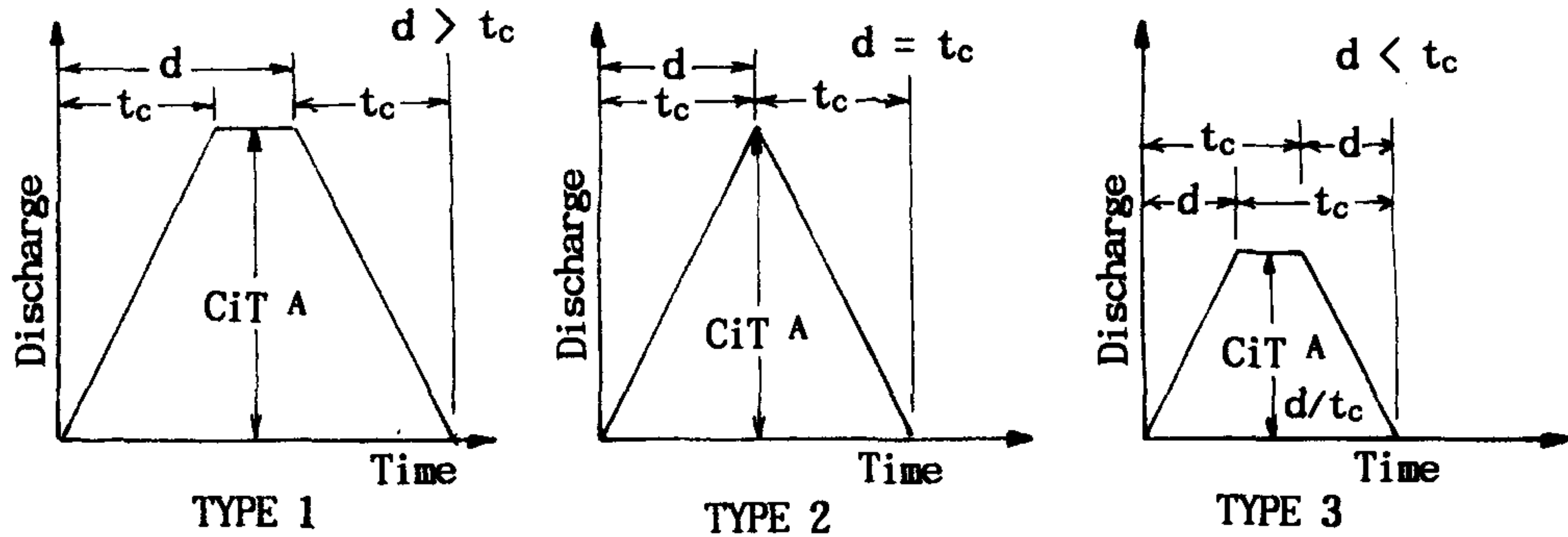


그림. 4 강우 지속 시간과 도달 시간에 따른 수정 합리식

#### 나. 저류 시설 용량 결정 방법

하류 하수도 배수 능력을 저류 시설의 방류량으로 취하여 이를 만족시킬 저류 시설 용량을 결정하려면 다음의 절차를 따른다.

- 1) 유역 면적, 유출 계수, 도달 시간, 하수도 배수량 결정
- 2) 10년 빈도-강우 지속 시간 (예, 10~70분, 10분 단위)의 강우 강도에 의한 지속 시간 별 유출 곡선 작성, 가장 짧은 강우 지속 시간 (예, 10분)은 도달 시간을 취한다.
- 3) 각 지속 시간 별로 하수도 배수량을 고려한 저류 시설 용량 계산
- 4) 저수 용량이 가장 큰 지속 시간에 해당되는 저류 시설 용량 결정

#### 7.6.2 SCS의 TR-55

SCS의 TR-55 (1975, 1986)는 도시 및 농업 소유역에서 1) 유출 용량,



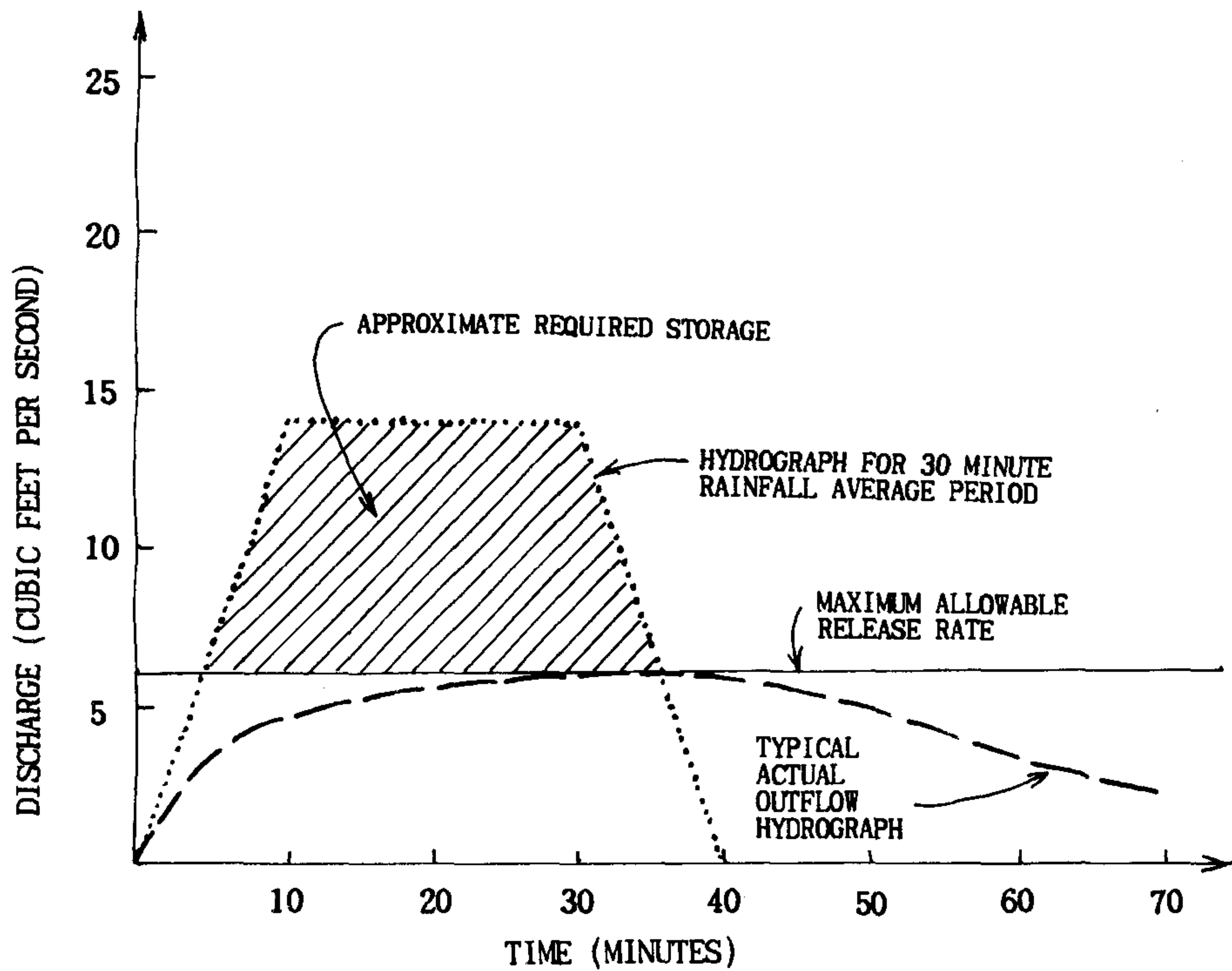


그림. 5 수정 합리식에 의한 저류 시설 용량

2) 홍수 도달 시간, 3) 피크 홍수량, 4) 저류 시설 용량 등을 결정하기 위한 방법을 제시하고 있다.

입력 자료는 유역 면적, 설계 빈도의 24 시간 강우량, 유출수, 도달 시간 등이다. 여기서 유출수는 토양의 종류, 토지 이용, 토양 피복과 조건을 나타내는 종합적인 지표로서 토양 수분 상태를 고려하여 적용한다.

### 1. 유출 용량 결정

SCS 의 유효 우량 공식으로 부터 유역에 적합한 유출수와 해당 설계 빈도의 24 시간 강우량을 적용하여 유출량을 구할 수 있다.

### 2. 홍수 도달 시간 추정

하천 흐름의 단계는 표면류 (Overland flow), 중간류 (Shallow

concentrated flow) 와 하천류 (Channel flow) 로 분류되므로, 유역의 홍수 도달 시간은 이들 각 단계 흐름의 도달 시간의 합으로 나타낸다. 상세한 홍수 도달 시간은 제 5 장의 SCS TR-55 를 참고한다.

### 3. 피크 홍수량

SCS 의 무차원 단위도에서는  $T_b / T_p = 5$  로 취하고 있는데, 2.5~250km<sup>2</sup> 인 중규모 유역의 경우에는 대체로  $T_b / T_p$  가 5 범위에 있으므로 SCS 의 무차원 단위도를 택한다.

### 4. 저류 시설 용량

상류 유역에서 유입한 홍수량에 의한 시가지의 침수를 방지하기 위하여 시가지 시작 전에 저류 시설을 설치한다. SCS (1986) 에서는 상류 유입 최대 홍수량과 시가지 하수구 능력의 하류 유출 최대 유출량과의 비로 부터 유입 용량과 저류 용량과의 비를 제시하고 있다. ( Walesh, 1989)

#### 7.6.3 CN 과 합리식의 유출 계수 C 와의 관계

이상과 같이 합리식과 SCS 의 TR-55 는 모두 피크 홍수량을 추정하는 방법이며, 입력 자료가 유역 면적, 강우 강도, 도달 시간, 유출 계수 등 서로 같기 때문에 이들의 관계, 특히, TR-55 는 합리식에서는 고려하고 있지 않는 유역 토양 수분 상태를 고려하고 있기 때문에 유출수와 유출 계수의 관계를 찾는 것은 대단히 흥미 있는 일이다.

#### 1. 필요성

합리식과 SCS 방법은 다음과 같은 관계가 있으므로 합리식의 C 와 SCS 의 CN 간의 관계 규명은 필요하다.

자연 현상은 설계 빈도에 해당되는 강우 빈도가 피크 홍수량 빈도와 일치하지 않기 때문에, 강우 빈도에 유역의 토양 수분의 상태를 동시에 고려한 조건 확률 (Conditional probability) 개념을 도입하거나, 유출 계수를 상향 조정하게 된다. 따라서, CN 의 선행 유역 토양 수분 조건 AMC I, II, III 에 따른 합리식의 C 를 구할 수 있다. (C.T. Haan)

## 2. 관계식의 유도

SCS 의 TR-55 의 방법은 농업 소유역에서 단시간 피크 홍수량을 추정하는데 24 시간 강우 분포를 사용하기 때문에 자주 비판받고 있으므로, 이 연구에서는 SCS 의 무차원 단위도법의 피크 홍수량 추정 방법과 도달 시간을 지속 시간으로 하는 합리식과의 관계를 다음과 같은 새로운 각도에서 연구하였다.

합리식에서의 피크 홍수량은 다음과 같다. 여기서  $i$  는 홍수 도달 시간을 지속 시간으로 강우 강도 (mm/hr) 이다.

$$Q = 1 / 3.6 \ C i A \quad (41)$$

여기서,  $Q$  피크 홍수량  $m^3/sec$ ,  $C$  유출 계수  
 $i$  강우 강도 mm/hr,  $= a / t_c^b$  (Sherman type 의 경우)  
 (예,  $= 345 / t_c^{.43}$  )  
 $A$  유역 면적,  $a, b$  : 지역 계수,  $t_c$  minutes

SCS 무차원 단위도에서의 피크 홍수량은 다음과 같다.

$$Q = \frac{12.50 \times A \times P_e}{t_p} \quad (42)$$

여기서, Q 피크 홍수량 ( $m^3/sec$ ), A 유역 면적 ( $km^2$ )  
 $P_e$  유효 우량 ( $= (P - 0.2 S)^2 / (P + 0.8 S)$ )  
S 저류량 ( $= 25,400 / CN_3 - 254$ )  
 $t_p$  피크 시간 (minutes),  $t_c$  홍수 도달 시간 (minutes)  
P 홍수 도달 시간 동안의 강우량 (mm)  
( $= a / t_c^b \times t_c / 60 = a / 60 \times t_c^{1-b}$ ,  
 $= 345 / 60 t_c^{1-.43}$ )

이 두가지 방법이 정확히 피크 홍수량을 추정했다면 다음 관계가 성립된다.

$$1 / 3.6 C i A = \frac{12.50 \times A \times P_e}{t_p} \quad (43)$$

$$C = \frac{45.0}{(a / t_c^b) \times (D/2 + 0.6 t_c)} \times \frac{(P - 0.2 \times (25,400 / CN_3 - 254))^2}{(P + 0.8 \times (25,400 / CN_3 - 254))} \quad (44)$$

여기서, 홍수 도달 시간 동안의 강우량  $P = a / 60 \times t_c^{1-b}$  이고,  $CN = 100$  일 때,  $C = 1$  을 만족 시켜야 하므로  $D = 0.3 t_c$  이 된다. (일반적으로는  $D = 0.133 t_c$ , 또는  $D = 0.2 t_c$  로 택한다.)

$$C = \frac{45.0}{(a / t_c^b) \times 0.75 t_c} \times \frac{(P - 0.2 \times (25,400 / CN_3 - 254))^2}{(P + 0.8 \times (25,400 / CN_3 - 254))} \quad (45)$$

$$C = \frac{1}{P} \times \frac{(P - 0.2 \times (25,400 / CN_3 - 254))^2}{(P + 0.8 \times (25,400 / CN_3 - 254))} \quad (46)$$

결국, 유출 계수 C 는 총 강우량에 대한 유효 우량의 비로 나타낸 것을 확인한 셈이다.



7.5.2 (36), (39) 식으로 부터 우리 나라 농업 소유역에 적합한  $CN_3$  를 구하여 식 (46) 으로 부터 우리 나라 농업 소유역에 적합한 합리식의 유출 계수  $C$  로 적용할 수 있다. 앞으로 유역에서의 실증적 연구가 필요하다.

예를 들면, 농업 소유역인 방동지 유역의  $U_{max}$  가 270 mm 이므로  $CN_3 = 83$  이고, 홍수 도달 시간이 1 시간이면, 강우 강도 10 년 빈도 60 mm/hr 일 때와 20 년 빈도 80 mm/hr 일 때의 합리식 유출 계수  $C$  는 각각 0.40, 0.50 범위의 값이 된다.

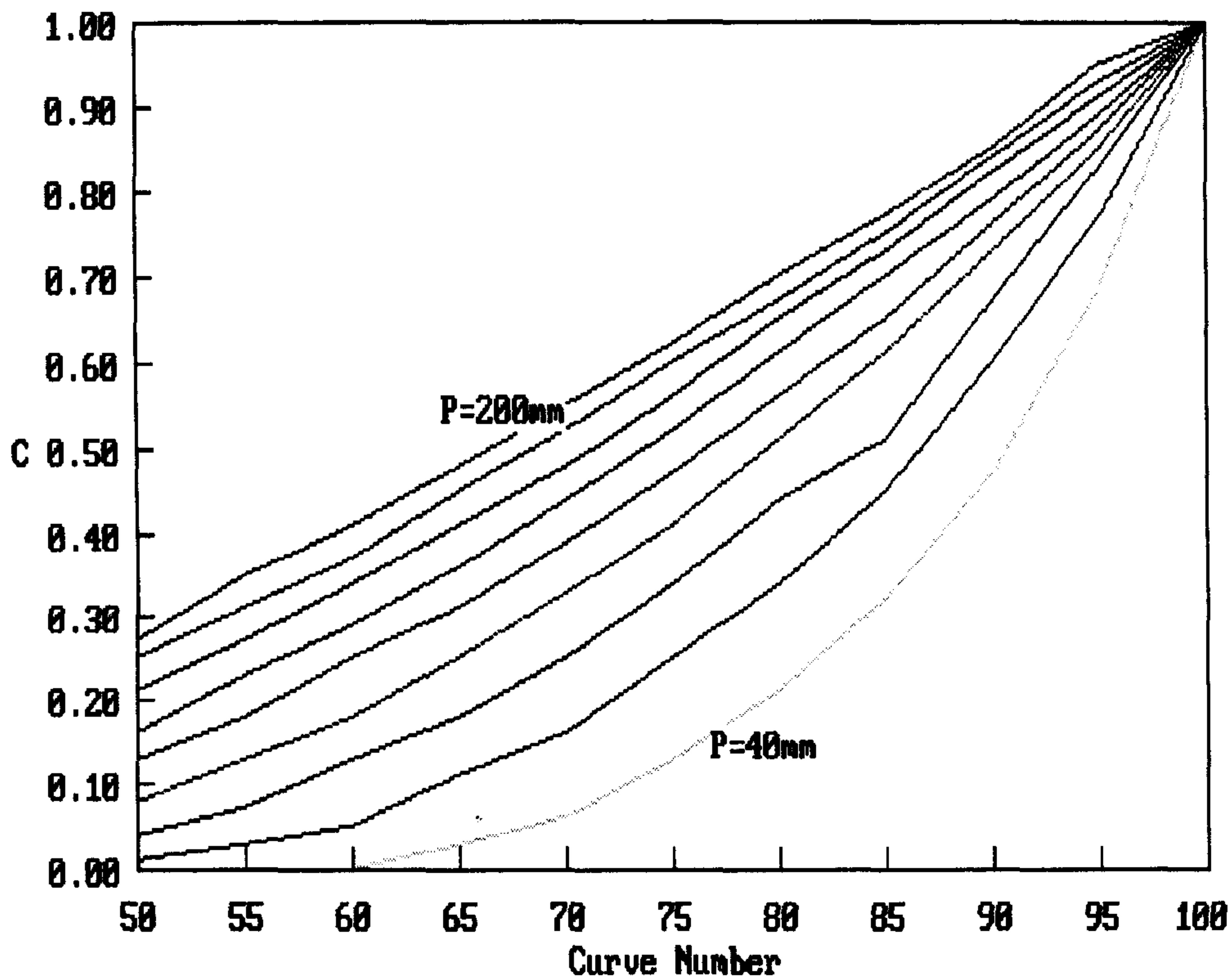


그림.6 강우 강도에 따른 유출수  $CN$  과 유출 계수  $C$  와의 관계

Rossmiller (1980) 는 재현 기간과 불투수층비를 고려한  $C$  와  $CN$  과의 경험식 (47) 를 제시하였다.

$$C=7.7 \times 10^{-7} CN^3 R^{.05} (.01 CN)^{-6S} (.001 CN)^{1.48(.15-I)} ((IM+1)/2)^{.7} \quad (47)$$

여기서, CN : 유출수, R 재현 기간  
I 강우 강도 (in/hr), IM : 불투수층비

### 7.7 CN<sub>3</sub> 에 의한 시간 별 유효 우량 결정

대상 지점의 유역 특성으로 부터 U<sub>max</sub> 의 예측 방정식에 의하여 유역이 가장 건조한 CN<sub>1</sub> 를 구하고 이를 (39) 식으로 부터 유역이 가장 습윤한 상태인 CN<sub>3</sub> 로 7.4 의 배분된 시간 별로 유효 우량을 추정한다.

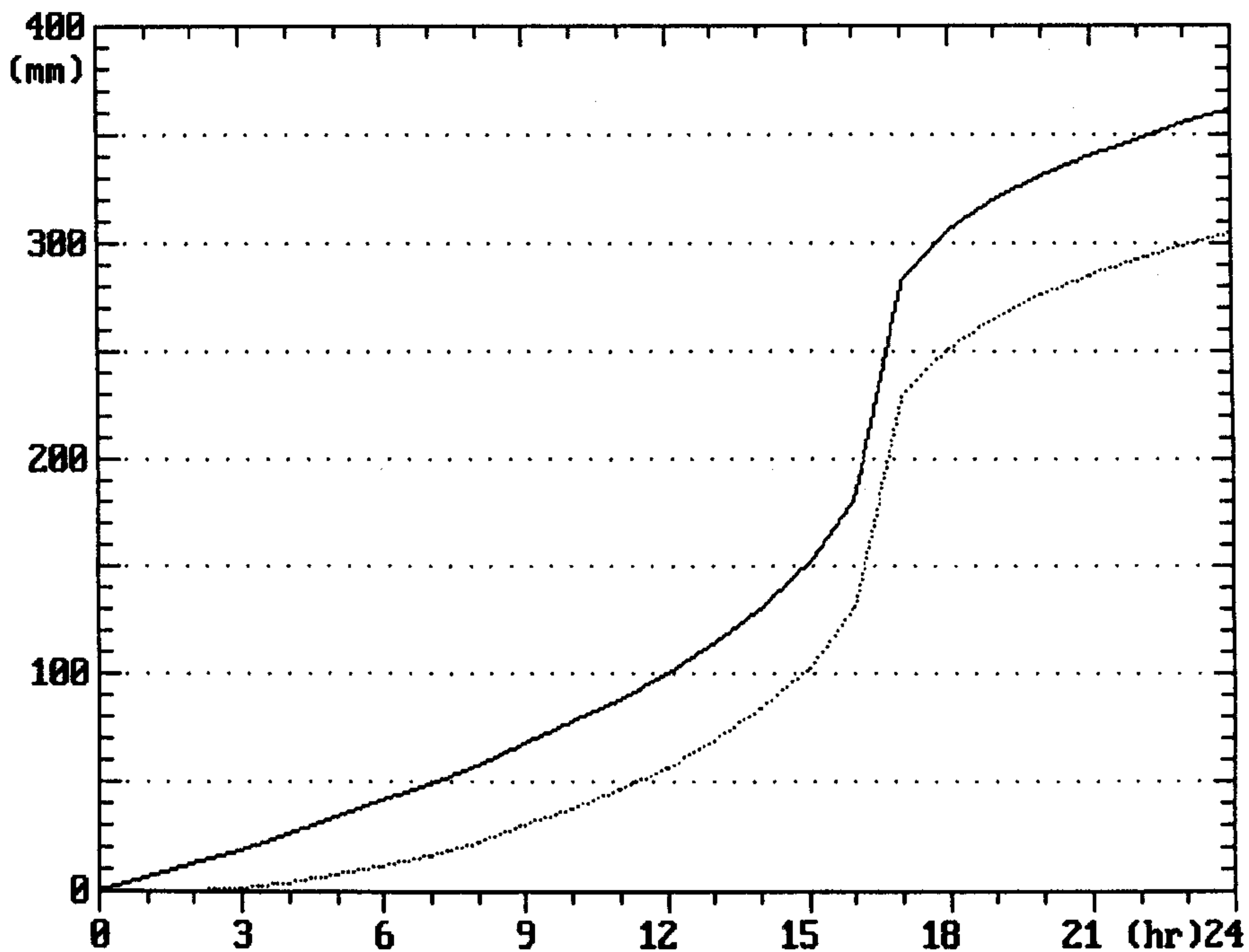


그림.7 SCS 법에 의한 유효 우량 계산 곡선의 예.

## 7.8 홍수 도달 시간의 계산

이 연구에서는 유역 경사의 변화와 유역 크기를 고려하여 흐름 (표면류, 중간류, 하천류) 을 분류하여 SCS TR-55 에서 제시한 방법을 적용하여 도달 시간을 구하였으며, 상세한 내용은 제 5 장을 참고한다.

## 7.9 설계 홍수량 모형의 구조

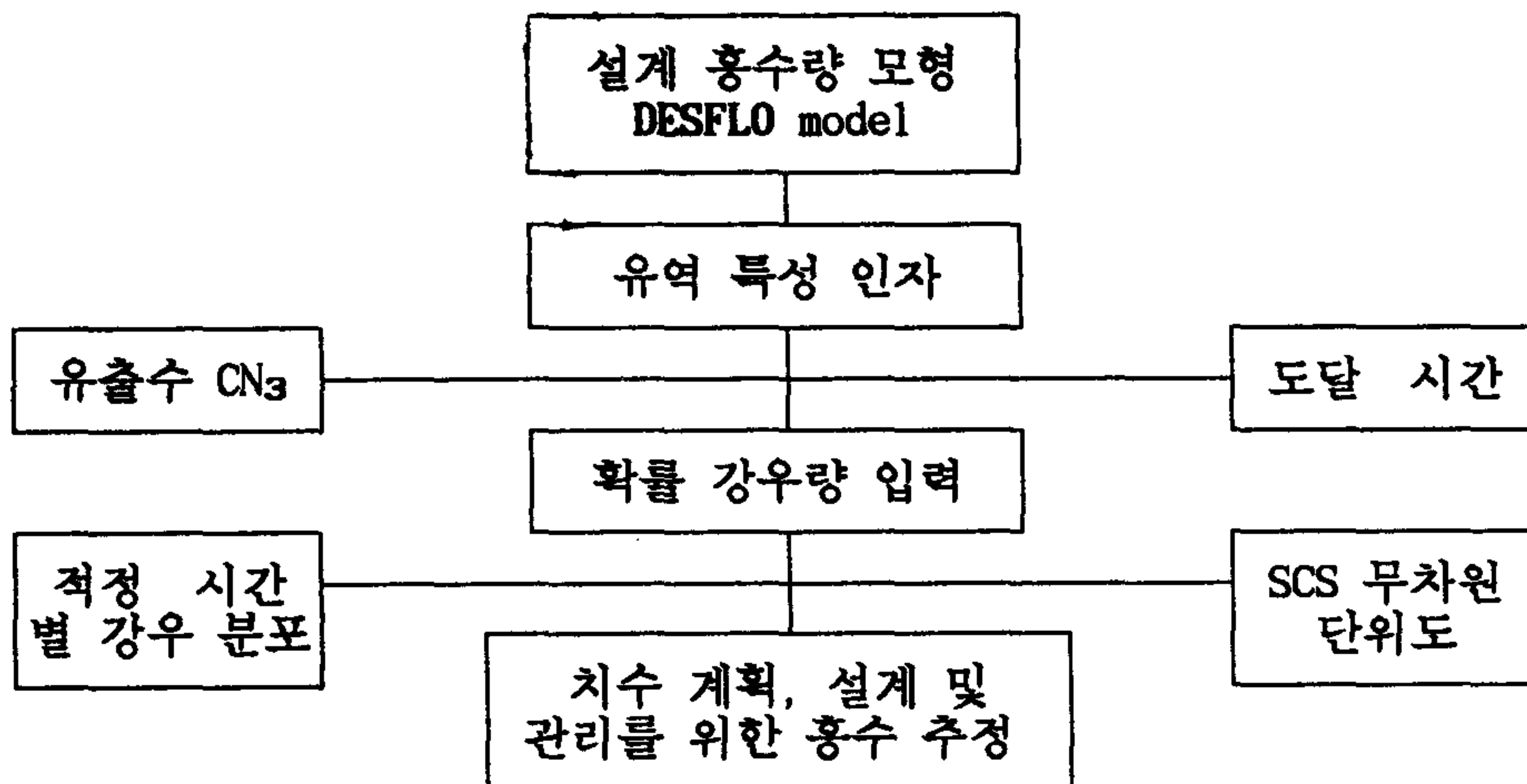


그림.8 설계 홍수량 모형의 구조 (DESFLO model)

## 7.10 DESFLO 모형 적용 예

우리 나라 유역에 적합한 유출수를 구하는 새로운 방법을 제시하였으며, 이 유출수와 합리식의 유출 계수 C 와의 관계도 유도하였다. 또한, 설계 빈도의 확률 강수량을 입력하여 SCS 무차원 단위도 방법으로 설계 홍수량을 추정하는 기본 모형을 개발하였다. 이 DESFLO 모형을 방동 저수지에 적용 결과는 표.10 와 같으며, 앞으로 더욱 보완, 발전시켜야 할 것이다.

표.10 DESFLO 모형 적용 예

	내 용	단 위	DESFLO	비 고
설 계 제 원	유역 면적	km <sup>2</sup>	13.64	'46, 6.25 식 (45)
	설계 빈도	년	기왕최대	
	일 강우량	mm/day	360.7	
	시간 강우분포	-	Sherman	
	도달 시간	hr	1.4	
	CN <sub>3</sub>	-	83	
설계 홍수량		m <sup>3</sup> /sec	283.6	

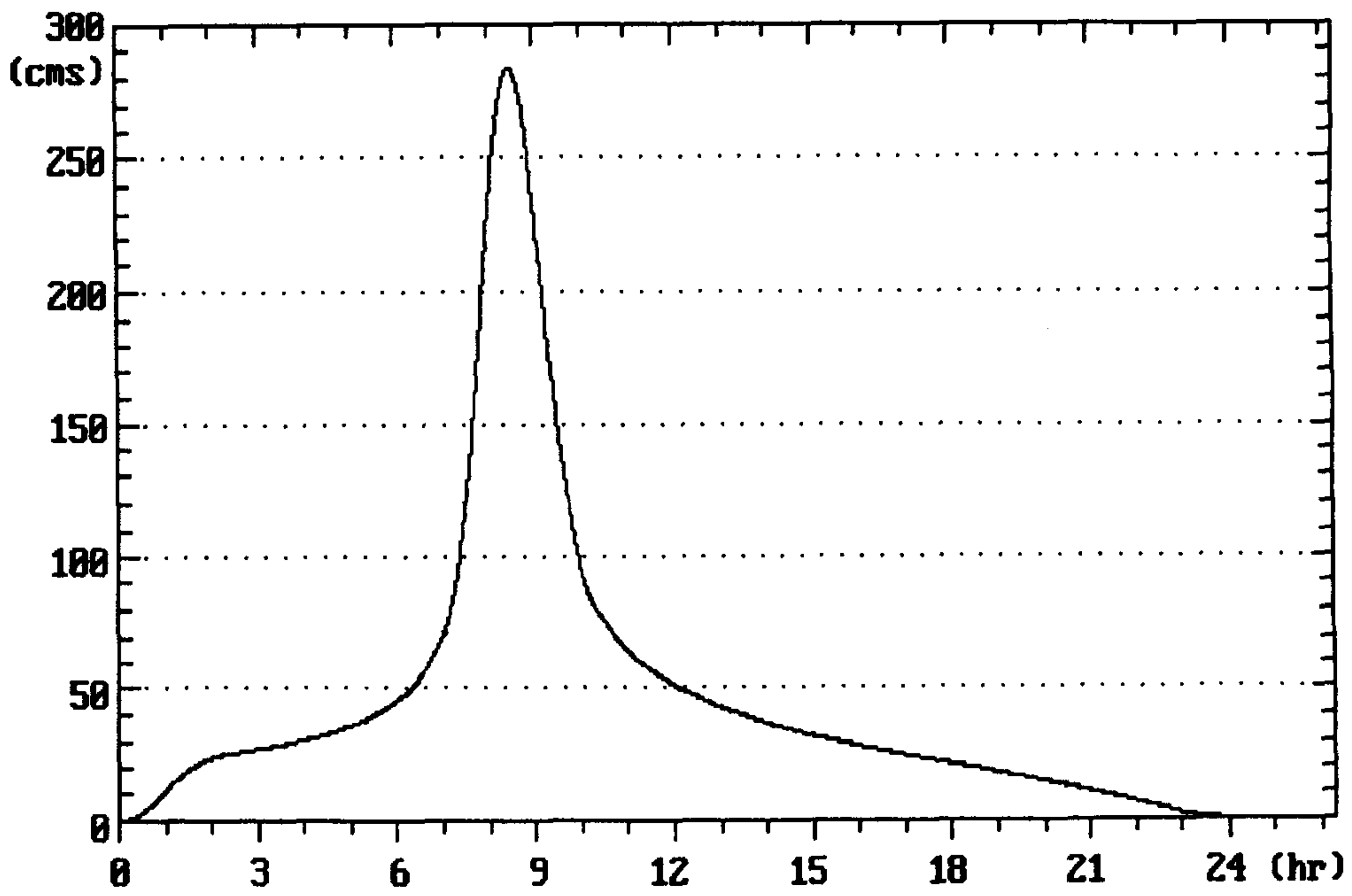


그림.9 24 시간 확률 강우량에 의한 설계 홍수량의 예



## 제 8 장 實時間 洪水 豫測 基本 模型 (RETFLO model)

### 8.1 서 론

홍수 예측 모형에는 홍수 추적에 의한 모형과 실시간 강우-유출 모형에 의한 두 가지 방법이 있고 실용적인 예보 시스템에서는 이 두 방법을 다 적용할 수도 있다. Reed (1984) 는 홍수 도달 시간이 3 시간 이하이면 강우-유출 모형으로, 9 시간 이상인 유역에서는 홍수 추적에 의한 방법을 제안하고 있다. 홍수 예측은 모형내에 많은 불확실한 원인 때문에 어려움이 많지만, filtering 기법 등으로 정도를 향상시킬 수 있다.

홍수 예측의 형태는 사용 목적에 따라 다르다. 홍수에 의한 침수 피해가 문제되는 지역에서는 하천 수위 예측이 유용할 것이고, 수리 구조물 조절이 문제가 되는 경우에는 홍수 수문 곡선으로 나타내는 하천 유량 변화 예측이 유용할 것이다. 홍수 예측에는 언제 하천 홍수위에 도달하는 가, 피크 홍수 도달 시간과 피크 홍수량, 언제 하천 홍수위 이하로 내려가는 가, 또는 전체 홍수 용량 등이 포함된다.

몇 시간 후의 홍수를 예측하는 가를 나타내는 예측 시간은 도달 시간 보다 같거나 작게 된다. 가령, 홍수 도달 시간이 1 시간인 유역에서는 현 시각에서 1 시간 후의 홍수를 예측하는 것이 좋다.

실시간 홍수 예측은 일반적으로 유량 측정 망을 통하여 자료가 전송되지만, 경비 때문에 충분한 유량 측정 망이 불비하므로 예측 당시의 사용 가능한 자료로 예측하게 된다.

이를 위하여는 실시간 홍수 예측 시스템 개발이 요구되며 다음 사항이 우선 파악되어야 한다.

- 1) 유역 하천 내 여러 지점에서 시간별 유출량의 신속한 예측

- 2) 각 하천에서의 유출 추적 ( Channel routing)
- 3) 유역 상태 변수의 updating 과 강우, 지표면, 유역 경사, 토양 특성 변화에 따른 각개 소유역의 강우-유출 반응 해석
- 4) 강우량 예측과 실시간 관측 유출량 이용으로 사전에 홍수 발생 현황 예측

이 연구에서는 일 유출량 모형인 DAWAST 모형으로 부터 유역 토양 수분 변화를 물리적으로 정확히 추적하여 일별로 파악하고 있다가, 호우가 예상되면 일 유출 모형을 홍수 모형으로 전환하여, 추적한 토양 수분 상태  $S_a$  하에서의 시간별 유효 우량과 침투량으로 부터 실시간 강우-유출 모형을 개발한다. 이 실시간 강우-유출 모형을 On-line 으로 실시간 입수되는 단시간 강우, 하천 수위 자료를 입력하여 홍수 도달 시간을 고려한 대상 하천 또는 대상 저수지 에서의 1 시간 또는 3 시간 후에 발생 할 수 있는 홍수 유입량을 예측 개발하고자 한다.

## 8.2 유역 및 수문 자료 조사

실시간 홍수 예측 모형 개발을 위하여 대전 직할시 유성구 성북동 일대의 유역 면적이  $5.03 \text{ km}^2$  인 방동 지점에서 관측, 조사한 유역 특성과 수문 자료를 가지고 분석하였다.

### 8.2.1 유역 조사

이 시험 유역은 대전 직할시 서부지역인 유성구 성북동 金谷川의 상류에 위치하며 하류에 농업용 저수지인 방동 저수지가 1978 년도 축조되어 서구 용계동, 관저동, 봉곡동 및 인근 방적 공장에 농업 용수를 공급하고 있다. 본 지역은 개발 제한 구역내에 위치하고 있는 관계로 급속한 도시화가 억제되고 있으며, 전형적인 도시 근교 농업의 특색을 보이고 있는 지역으로 부족한 농업 용수를 공급하기 위하여 소규모 관정이 개발되고있으나, 1987 년 홍수에 대부분의 수리 구조물 및 제방이 파괴되어 이후 새롭게 개수하였다.

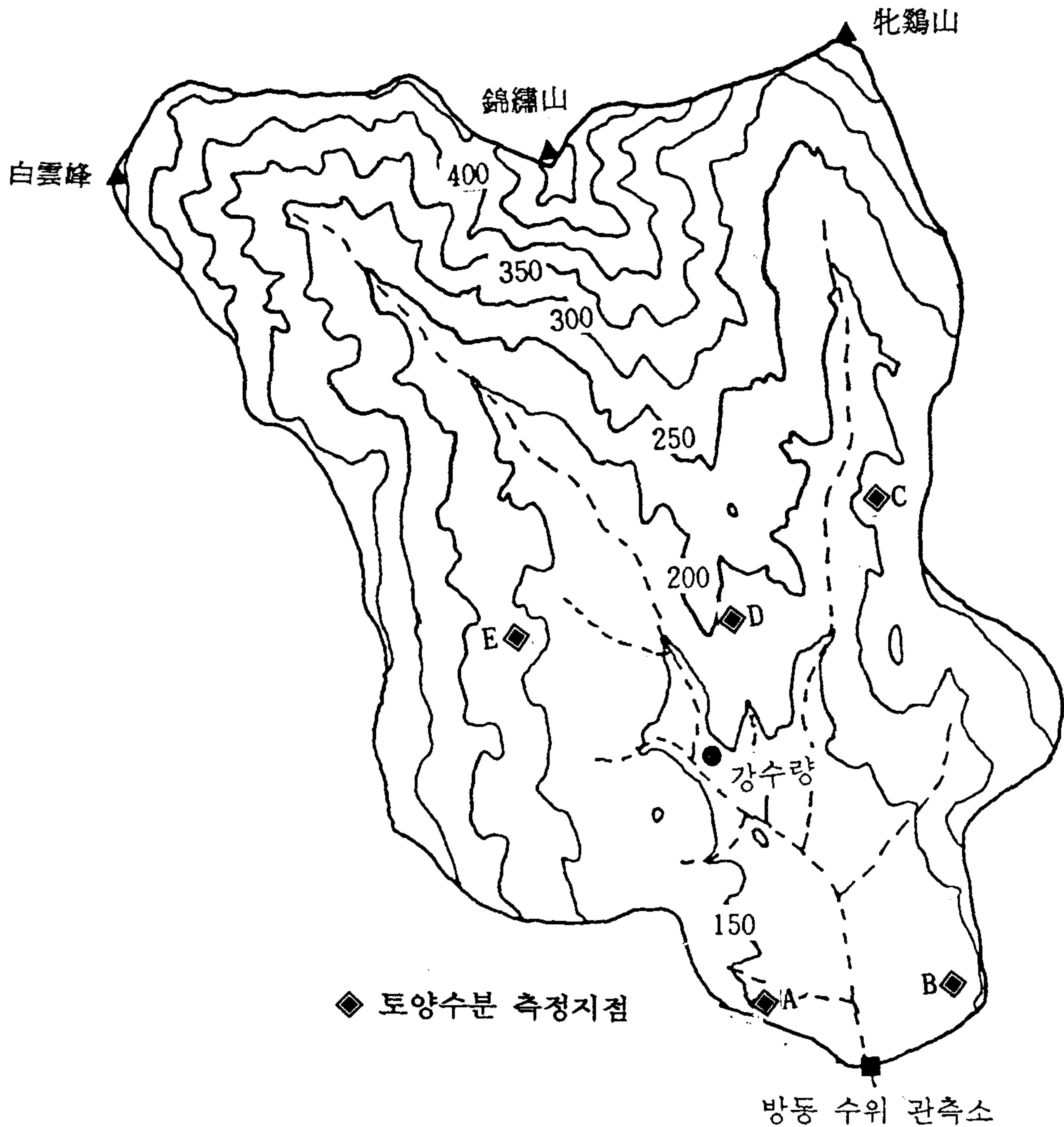


그림.10 芳洞 수문 지점의 유역도

### 가. 지형적 특성

이 시험 유역은 그림.10 와 같이 북쪽 중앙부에 錦繡山 (532 m), 좌측에 白雲峰 (536 m), 우측에 牝鷄山 (415 m) 에서 발달한 산지가 남동쪽으로 발달되어 있어 하천의 경사가 급하여 유출이 신속히 이루어 진다. 일반적인 지형 인자는 표.13 의 일반화 모형을 위한 방동 수문 지점의 유역 인자에 정리하였다.

## 나. 토양학적 특성

이 시험 구역의 토양학적 특성은 그림.11 와 같이 북부 및 서부 전역이 사양질 내지 식양질의 배수가 매우 양호한 산악 암쇄토 (Mac)로 구성되어 있고, 동부 산지에 암석 노출지 (Ro)가 약간 분포하고 있으며, 하천에 접하는 하류쪽에 적은 면적의 범람지 및 충적토 (Afc)가 분포하고 있다. 기타 중앙부 및 하부는 구릉지에 발달하는 암쇄토, 적황색토 (Rea, Rab, Mac) 및 산악 곡간지에 분포하는 퇴적토(Anc)로 구성되어 있다. 본 구역을 농업진흥공사 (1985) 에서 분류한 4가지 수문 토양 군으로 분류하면, 토양 군 A 군이 0.05 %, B 군이 31.68 %, C 군이 66.83 %, D 군이 1.44 % 로 높은 유출형을 보이는 지역으로 분류할 수 있다.

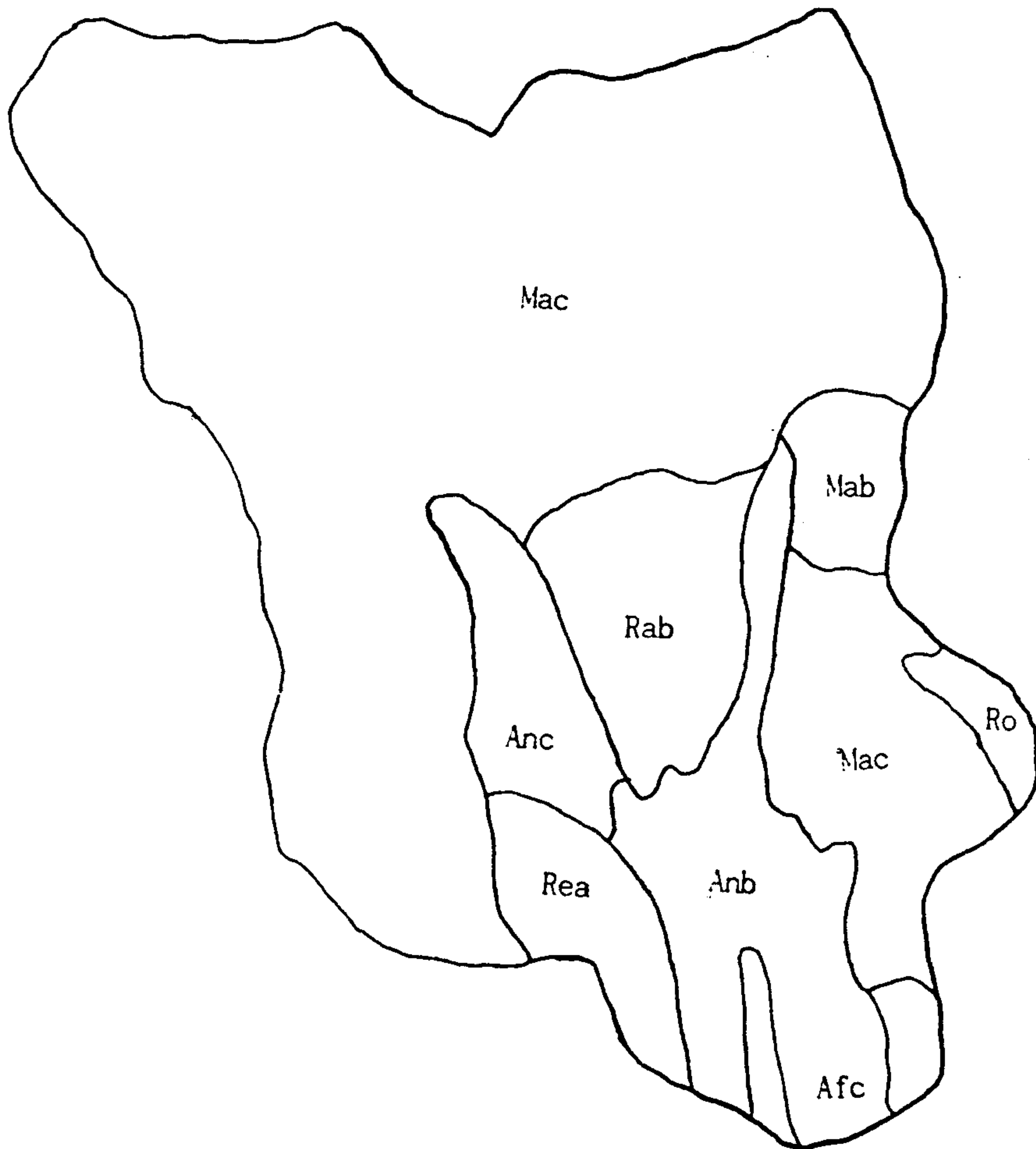


그림.11 방동 수문 지점의 토양도.



#### 다. 지질학적 특성

이 시험 구역은 그림.12 과 같이 하류 중앙부 충적층 지역을 제외한 전 지역이 흑운모 화강암, 석영반암, 화강반암등의 화강암으로 구성되어 지역이 산지 지역을 나타내고 있다.

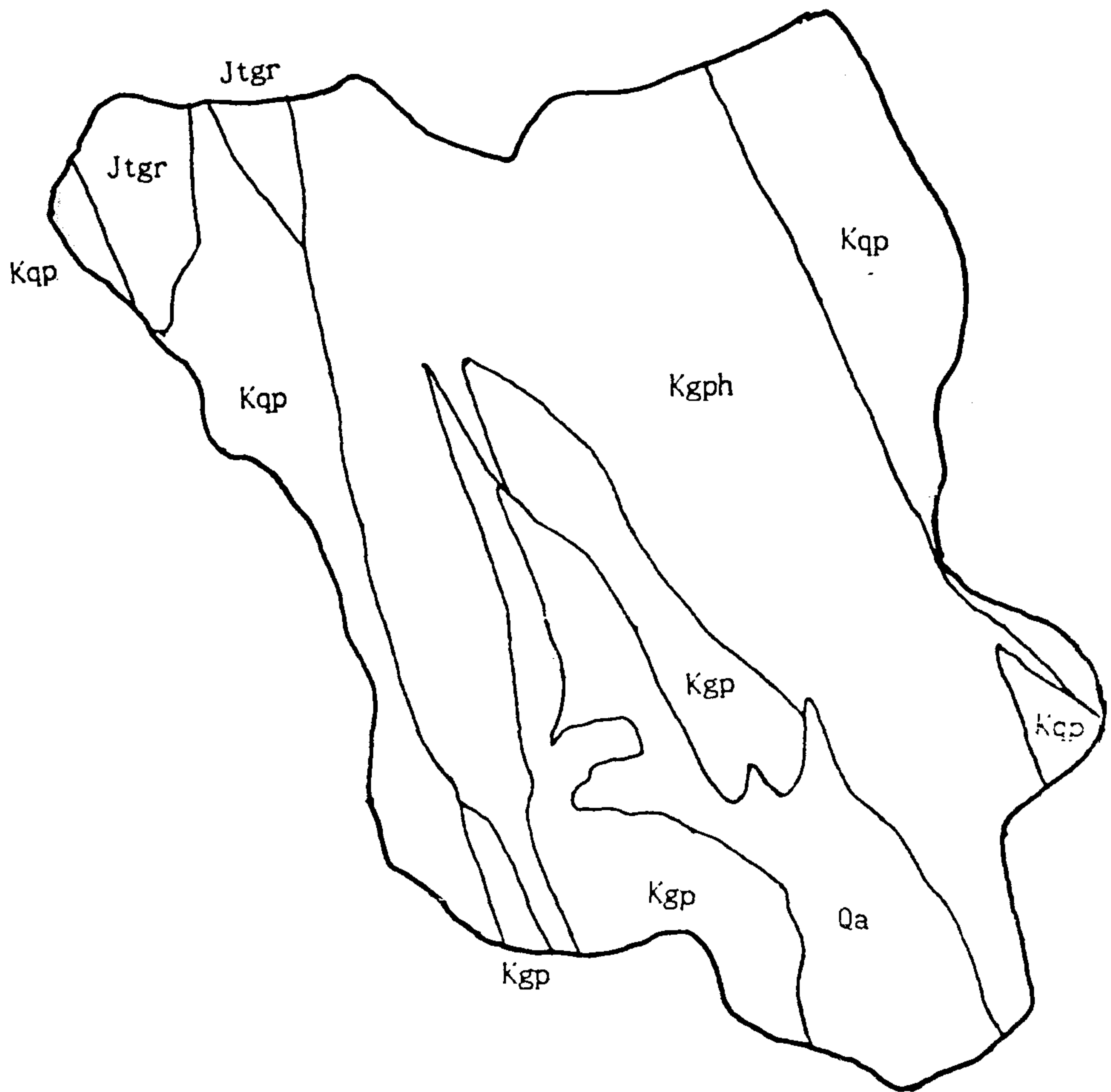


그림.12 방동 수문 지점의 지질도.

## 라. 토지 이용

이 유역은 지형적 특성 및 지질학적 특성에서 나타난 바와 같이 대다수 유역이 가파른 관계로 대다수 지역이 산림지로 구성되어 있다. 그림. 13 와 같이 하천을 중심으로 한 지역이 논 농사 지역으로 이용되고 있으나, 일부 지역은 양호한 배수 관계를 이용한 과수원이 형성되어 있으며, 구릉 지역은 밭 농사에 이용되고 있다. 산골짜기에 형성되어 있던 대다수의 경작지들이 휴경지로 방치되고 있으며, 농업 용수 공급이 불리한 지역은 두충, 작약 등 한약재 작물의 경작이 늘어나고 있다. 주거 지역은 농경지를 중심으로 5 개 지역으로 발달되어 있으나, 본 지역이 개발 제한 지역인 관계로 늘어나지 않고 당분간 현 상태를 유지할 것으로 보여진다.

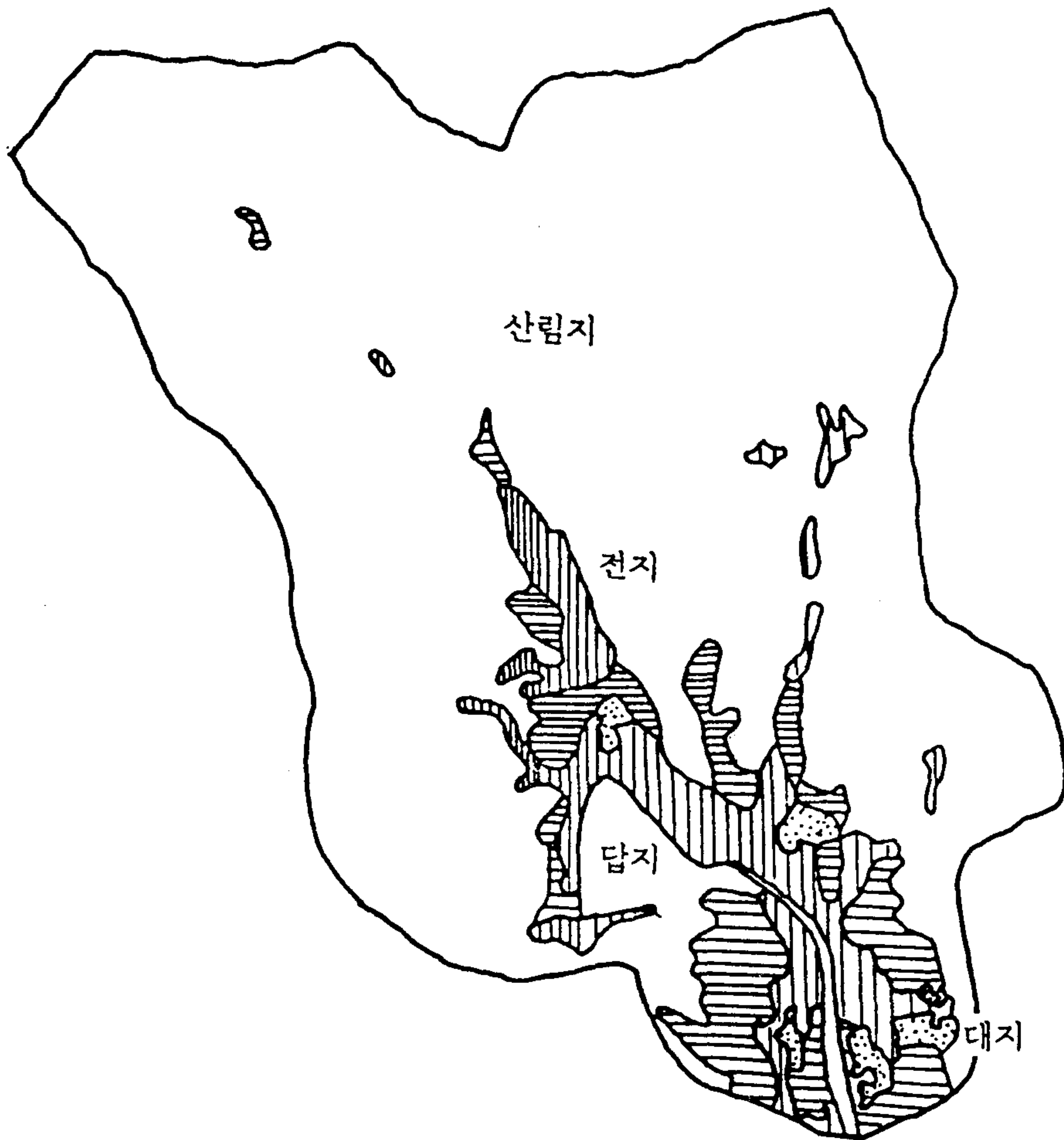


그림.13 방동 수문 지점의 토지 이용도.

## 8.2.2 수문 조사

실시간 홍수 예측 기본 모형 설정에 을 위하여, 수위 관측, 우량 관측, 유량 측정, 유역 토양 수분을 측정하였다.

### 1. 수위 관측

대전 직할시 유성구 성북동 332 번지 성북교에 수위 관측소를 설치하고 1992 년 3 월 부터 수위를 관측하고 있다.

### 2. 강우 관측

유량 관측 유역의 중앙에 해당되는 대전 직할시 유성구 성북동 491 번지 상의 양수장 옥상에 자기 우량계를 설치하여 수위 관측과 함께 관측하고 있다.

### 3. 유량 측정

측정 범위 0.03~7.0  $m^3/s$  의 Valeport 사 BFM.001 유속계로 유속을 측정하여 (48) 식의 수위-유량 (Rating Curve) 곡선으로 산출한 유량은 표.11 과 같다.

표.11 방동 지점 유량 측정 결과.

측 정 일	수 위 (m)	단면적 ( $m^2$ )	평균유속 (m/sec)	유 량 ( $m^3/sec$ )	비 고
'92 7. 12	1.173	1.20	0.179	0.215	
7. 13	1.263	1.45	0.641	0.930	
7. 13	1.243	1.22	0.524	0.639	
8. 12	1.403	2.39	1.265	3.023	
8. 12	1.277	1.45	0.748	1.085	
8. 15	1.257	1.21	0.687	0.831	
8. 15	1.243	1.18	0.615	0.726	
8. 22	1.113	0.13	0.040	0.005	
8. 27	1.383	2.38	1.084	2.580	
'93 6. 29	1.343	3.031	0.827	2.506	
6. 29	1.443	3.756	0.994	3.732	
7. 2	1.196	0.987	0.373	0.368	
8. 8	1.700	14.533	1.382	18.073	
8. 8	1.505	10.310	0.961	8.916	
8. 9	1.303	2.532	0.691	1.750	

수위-유량 곡선은 그림.14 과 같으며 수위-유량 곡선식은 식 (48) 과 같다.

$$\begin{aligned} Q &= 0.0111 \times H^{19.04} & H < 1.27 \text{ m} \\ Q &= 0.1150 \times H^{9.80} & H \geq 1.27 \text{ m} \end{aligned} \quad (48)$$

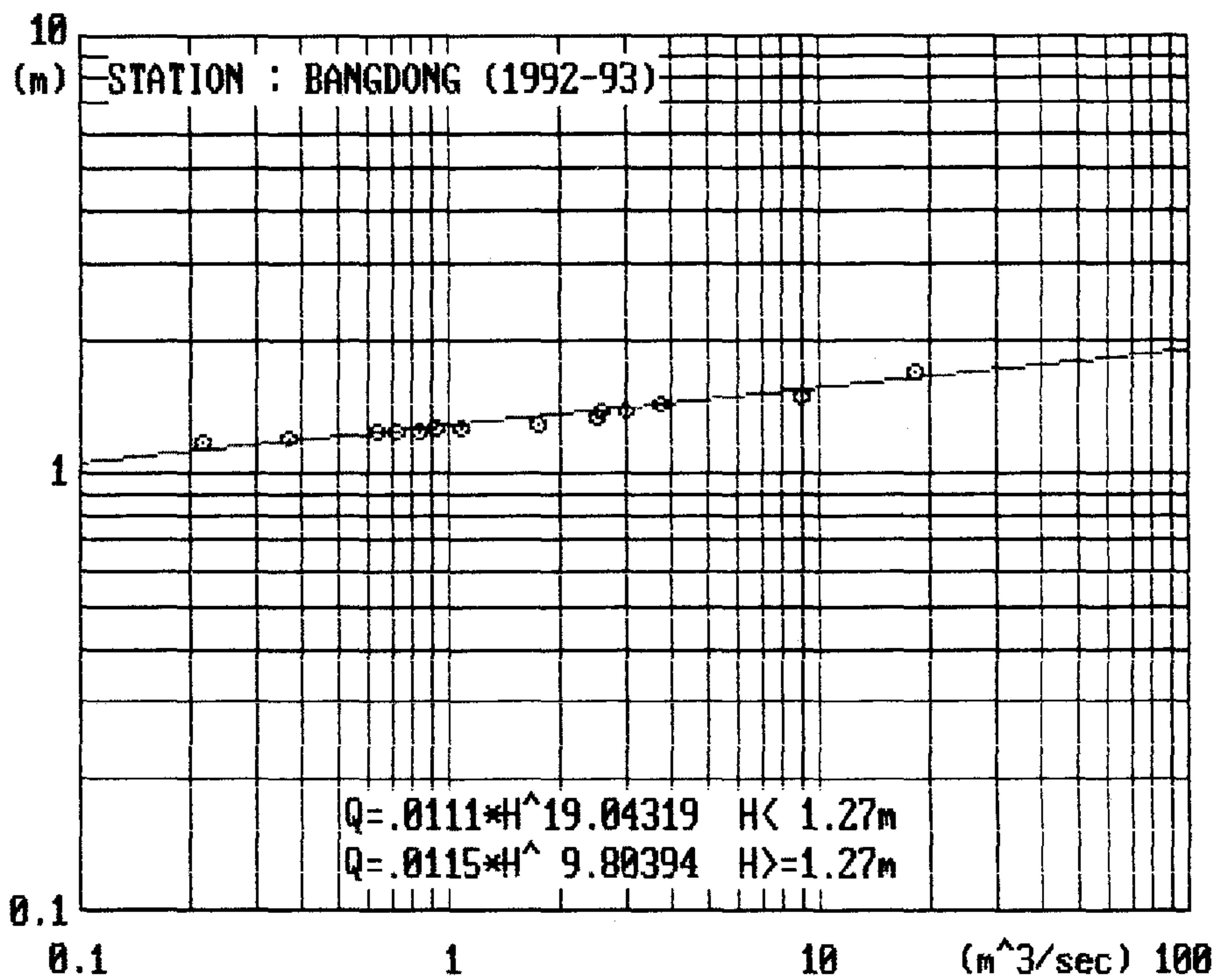


그림.14 수위-유량 곡선

#### 4. 시 강우 - 유출 곡선

실시간 홍수 예측 기본 모형을 1992 년 8 월에 발생한 홍수 사상에 적용하기 위하여 관측한 강우와 수위-유량 곡선으로 부터 구한 시간별 강우-유출 곡선은 다음 그림.15 과 같다.



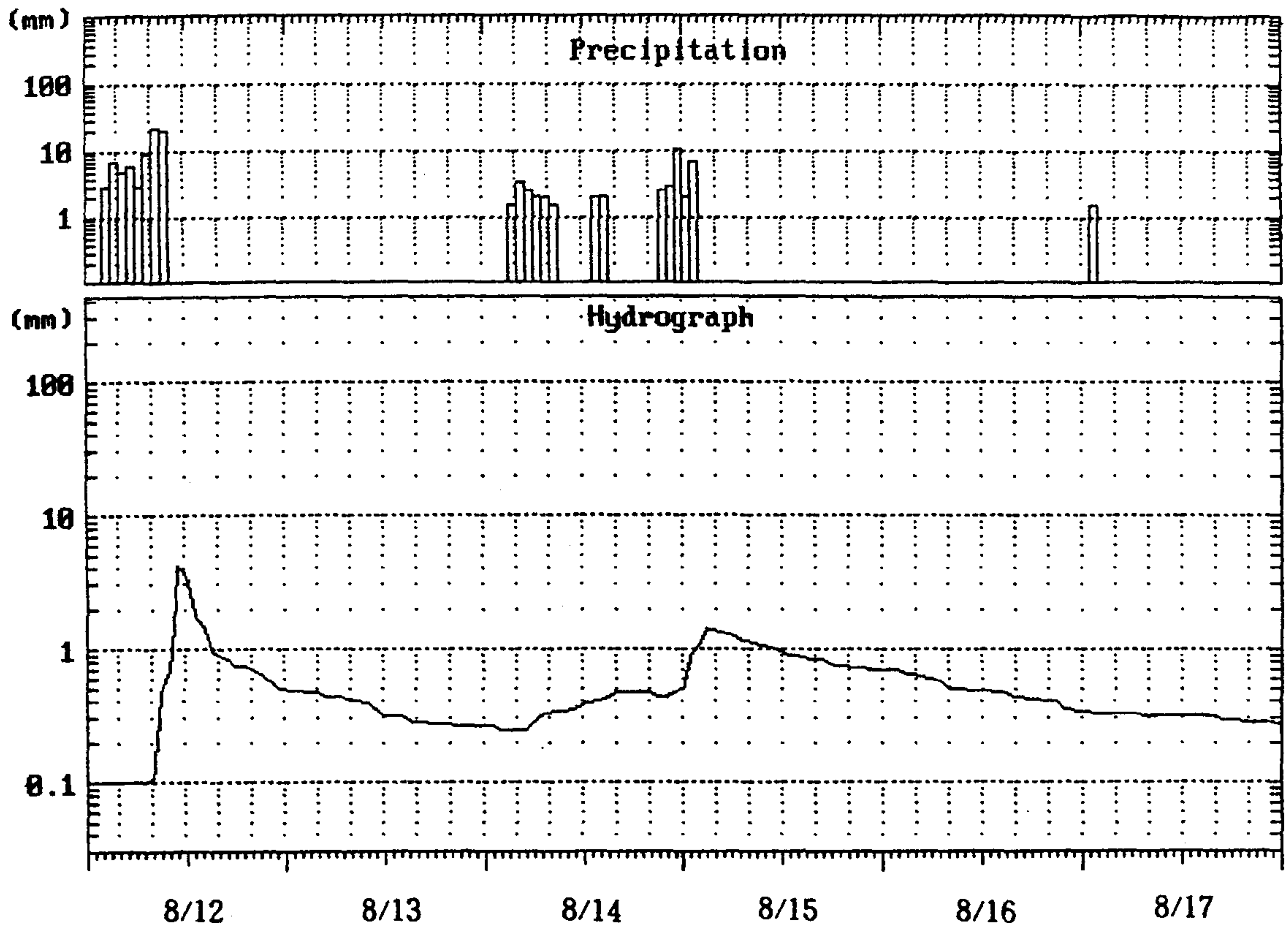


그림.15 1992 년 방동 지점의 시간 별 강우-유출 수문 곡선 예

### 5. 유역 토양 수분 측정

DAWAST 모형으로 모의 발생한 상부 불포화 토양층의 유역 토양 수분 변화과 실제 유역에서 측정한 평균 유역 토양 수분과의 관계를 모색한다. 이는 모형에 의한 개념적이고 상대적인 유역 토양 수분량을 절대량으로 평가하여 홍수기에 홍수 직전의 유역 토양 수분량을 파악하고, 갈수기의 토양 수분 고갈량과 빈도를 파악하여 홍수량 모형과 유역 한발 모형 개발에 이용할 수 있을 것이다.

유역 상류에 Aluminium tube (깊이 1.8 m) 를 유역 토성을 고려하여 5 개소 (그림.10 참고) 에 설치하여 중성자 토양 수분 측정기 (Neutron probe) 로 유역 토양 수분 변화를 표.12 와 그림.16 과 같이 측정하였으나

금년도의 성과는 불량하였으며, 앞으로 이에 대한 측정과 분석은 앞으로의 계속 추진해야할 것이다.

표.12 A 지점의 심도별 토양 수분 함수비 (중량비)

일자	구 분	30 cm	60 cm	90 cm	120 cm
1993 5.10	Neutron probe 치 함수비 ( % )	1.83 10.05	2.07 7.93	2.51 17.56	2.98 12.46
5.29	Neutron probe 치 함수비 ( % )	1.74 10.22	2.12 12.31	2.65 13.59	3.18 8.85
5.31	Neutron probe 치 함수비 ( % )	1.59 10.77	2.04 12.71	2.50 10.00	3.10 -
6. 4	Neutron probe 치 함수비 ( % )	2.27 12.64	2.60 13.63	3.06 17.40	3.17 9.82
6. 7	Neutron probe 치 함수비 ( % )	1.97 10.45	2.17 12.72	2.80 16.10	3.19 12.54
6. 9	Neutron probe 치 함수비 ( % )	1.80 10.92	2.20 11.73	2.64 12.12	3.17 11.43
6.11	Neutron probe 치 함수비 ( % )	1.65 11.68	1.94 13.74	2.57 12.41	3.12 9.00
6.15	Neutron probe 치 함수비 ( % )	2.12 10.80	2.16 12.53	2.54 13.44	3.08 -

### 8.3 홍수 직전의 유역 토양 수분 상태 파악

실시간 홍수량을 예측하기 위해서는 유역의 토양 수분 상태의 정확한 파악이 무엇보다 중요하다. 제 4 장에서와 같은 방법으로 홍수 직전의 유역

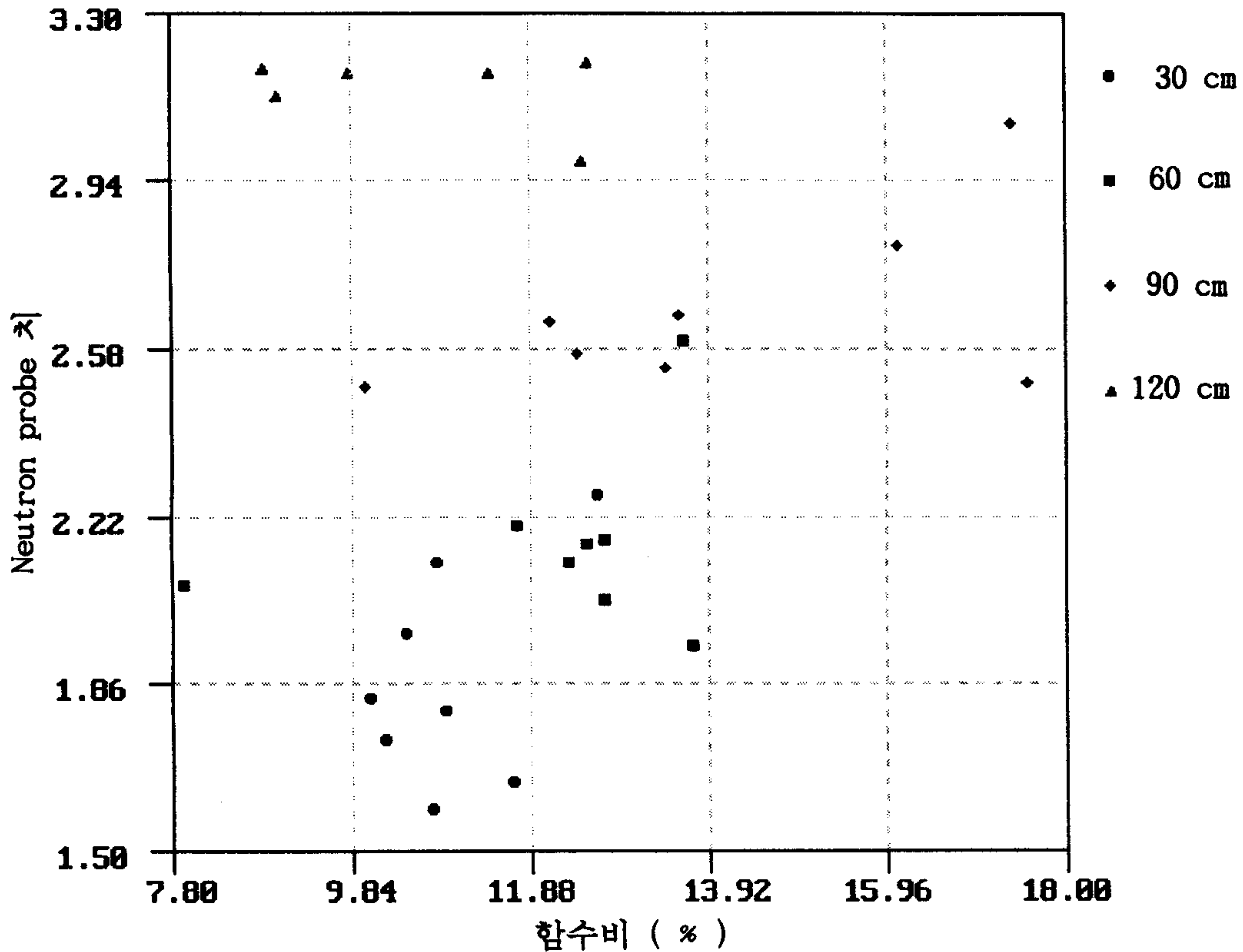


그림.16 Neutron probe 기록

토양 수분 상태를 파악한다. 芳洞 수문 관측소가 1992 년 부터 수위 관측 이 시작 되었던 관계로 유출 기록이 없기 때문에 이러한 유역에 적용하기 위하여 개발한 일반화 DAWAST 모형의 14 개 유역 인자를 표.13 과 같 이 조사하여 이로 부터 모형 매개 변수를 추정하여 일 유출량을 추정하였 으며, 그림.17 의 불포화 토양층의 수분량으로 부터 홍수 직전의 유역 토양 수분 상태 파악한다.

#### 8.4 시간별 유효 우량 산정

시간 별 강우량을 SCS 방정식에 적용하여 시간별, 침투량과 유효 우량 을 식 (4) 로 부터 구하여, DAWAST 모형의 시간 단위를 1 시간으로 취

표.13 일반화 모형을 위한 방동 수문 지점의 유역 인자

獨立 變數	변수 내용	단위	값	비 고
지형 인자	X <sub>1</sub> (유역 면적)	km <sup>2</sup>	5.03	
	X <sub>2</sub> (주하천장)	km	3.25	
	X <sub>3</sub> (주변장)	km	10.26	
	X <sub>4</sub> (유역 경사)	%	17.81	
토양 인자	X <sub>5</sub> (토양군 A)	%	0.05	
	X <sub>6</sub> (토양군 B)	%	31.68	
	X <sub>7</sub> (토양군 C)	%	66.83	
	X <sub>8</sub> (토양군 D)	%	1.44	
토지 이용 인자	X <sub>9</sub> (밭 면적)	%	6.4	
	X <sub>10</sub> (논 면적)	%	10.3	
	X <sub>11</sub> (산림 면적)	%	76.6	
수문 지질 인자	X <sub>12</sub> (화성암류)	%	52.0	
	X <sub>13</sub> (퇴적암류)	%	0.0	
	X <sub>14</sub> (변성암류)	%	0.0	

표.14 DAWAST 모형의 적용 매개 변수

구분	물 수지 매개 변수					추적 매개 변수				
	UMAX	LMAX	FC	CP	CE	U <sub>1</sub>	U <sub>2</sub>	U <sub>3</sub>	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>
값	270	10	158	.017	.008	.52	.37	.11	추정식	

하여 구한 시간 별로 유효 우량을 구한다. 시간별 유효 우량은 Smith 가 제안한 SCS 의 침투 방정식으로도 구할 수 있다.

#### 8.4.1 수문 곡선으로 부터 관측 유효 우량 계산



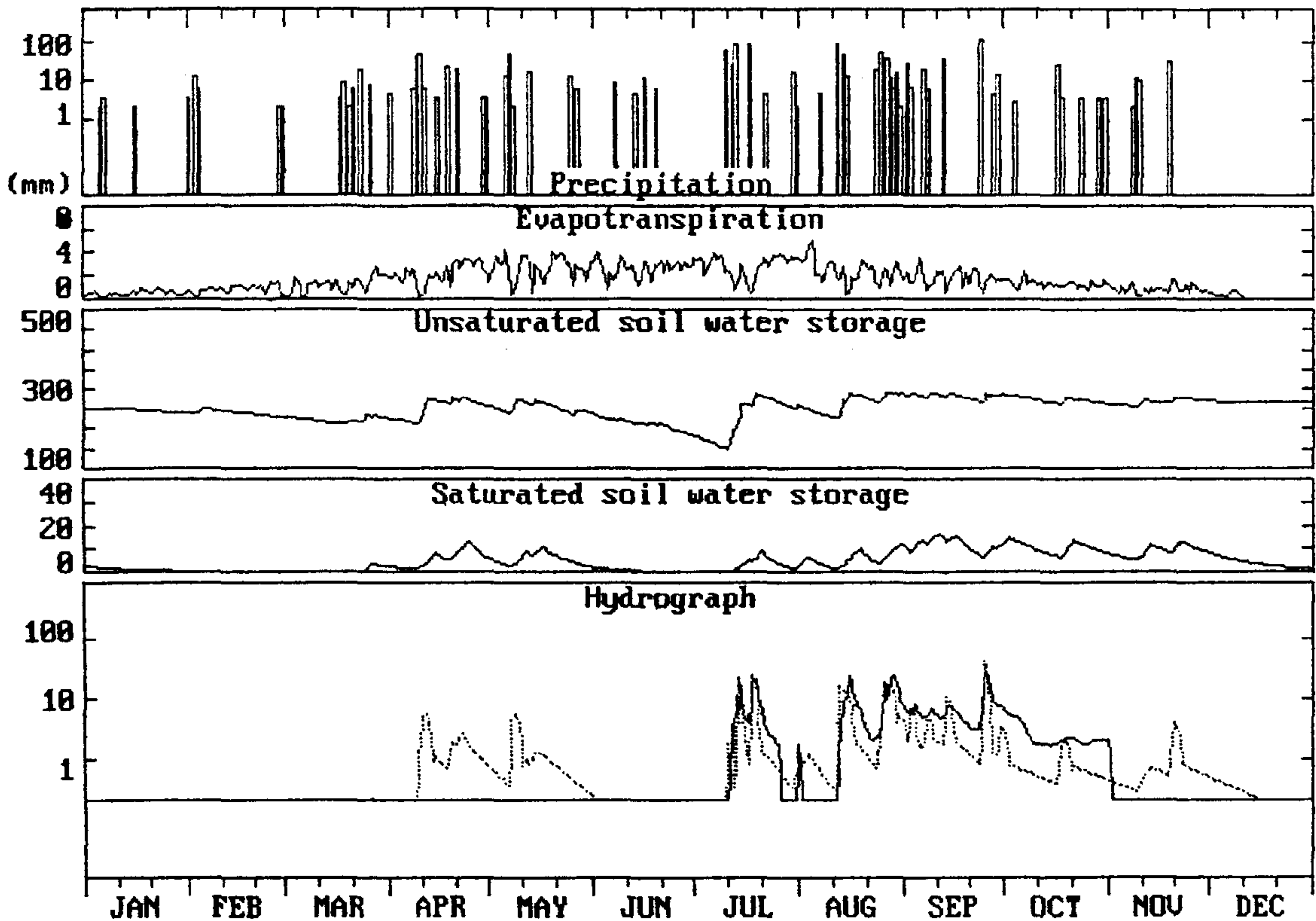


그림.17 불포화 토양층의 수분량으로 부터 홍수 직전의 유역 토양 수분 파악

관측된 Hyeto-hydrograph 로 부터 유효 우량을 계산한다. 유출 시점과 마지막 강우 시간로 부터  $5 \times t_p$  되는 시점 까지를 직선으로 연결하여 유효 우량을 분리한다.

#### 8.4.2 DAWAST 모형에 의한 시간별 유효 우량 산정

DAWAST 모형으로 일 유출량과 유역의 토양 수분 변화를 4.1 의 식 (3, 4, 5) 에 의하여 일별로 파악하고 있다가 호우가 예상되면 일 유출량 모형을 홍수 모형으로 전환하여, 호우가 있기 직전의 유역 토양 수분 상태  $S_{ai}$  를 구한다.

$$WSU_i = WSU_{i-1} + I_i - ET_i - PERC_i \quad (3)$$

$$S_{ai} = U_{max} - WSU_i, \quad U_{max} > WSU \quad (4)$$

$$Q_{Si} = (P_i - 0.2 S_{ai})^2 / (P_i + 0.8 S_{ai}) \quad (5)$$

여기서,  $t$  일 단위 (day)

$S_a$  · 유효 저류능 (mm)

$U_{max}$  : 불포화층의 최대 토양 수분량 (mm)

$WSU$  · 불포화층의 현재 토양 수분량 (mm)

$QS$  · 표면 유출량 (mm)

호우가 발생하면, (4) 식의  $S_{ai}$  를 4.2 의 (6) 에 대입하여 처음 단위 시간 강우량  $P_t$  으로 부터 처음 단위 시간의 시간 별 유효 우량  $Q_{St}$  를 구하고, 그 다음 시간의 유효 우량은 다음 시간의 단위 시간 강우량  $P_t$  와 전 시간의 유효 저류능  $S_{at-1}$  에 식 (7) 으로 구한 단위 시간의 침투량을 뺀 (8) 식으로 구한 다음 시간의 유효 저류능  $S_{at}$  값을 (6) 식에 대입하여 구한다. 이와 같이, 단위 시간 별로 불포화 토양층의 유효 저류량  $S_a$  를 연속적으로 추적하여 단위 시간별 유효 우량을 구한다.

$$Q_{St} = (P_t - 0.2 S_{at})^2 / (P_t + 0.8 S_{at}) \quad (6)$$

$$I_t = P_t - Q_{St} \quad (7)$$

$$S_{at} = S_{at-1} - I_t \quad (8)$$

여기서,  $t$  는 시간 단위 ( minutes, hour)

이상의 내용으로 DAWAST 모형에 의하여 1992, 8. 12.~13. 의 시간별 유효 우량을 구하였다. DAWAST 모형으로 부터 일별로 추적해온 1992, 8 월 11일의  $S_a$  값은 194 mm 이었고, 10 시간 동안 77.0 mm 의 강우에 의한 유효 우량이 12.9 mm 로 16.7 % (관측 유출률 15.4 %) 의 유출률을 나타내었다. 1992 년 8월 11일은 가뭄이 지속되어 유역 토양 수분이 대단히

건조한 상태 였기 때문에, 모형에서 이때의  $S_a$  값이 194 mm, 유출률이 16.7 % 인 것은 유역의 수문 반응을 개념적으로 비교적 잘 나타낸 것으로 판단 된다.

### 8.5 홍수 도달 시간의 계산

이 연구에서는 유역 경사의 변화와 유역 크기를 고려하여 흐름 (표면류, 중간류, 하천류) 을 분류하여 SCS TR-55 에서 제시한 방법을 적용하여 도달 시간을 구하였으며 제 5 장을 참고한다.

방동 유역의 면적은  $5.06 \text{ km}^2$  로서  $2.844 \text{ km}^2$  의 새뜸 유역,  $1.406 \text{ km}^2$  의 절골유역과  $0.813 \text{ km}^2$  의 봉소사 유역 등 3 개의 소유역으로 합성된 유역으로 거리 별 표고의 변화는 그림.18 와 같다.

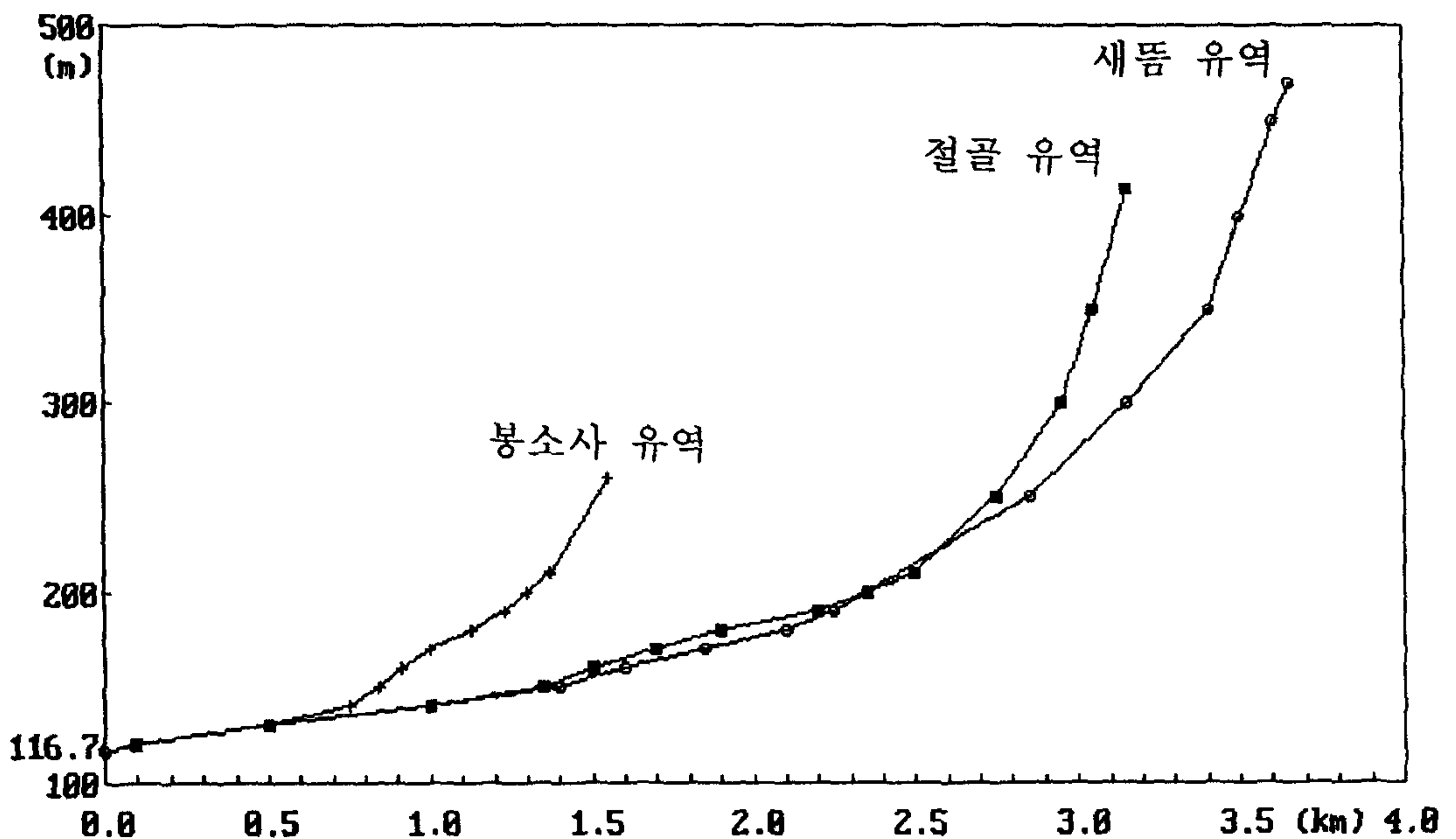


그림.18 소유역망의 거리 별 표고

표.15 지점별 흐름별 SCS TR-55 에 의한 도달 시간 계산 내역

	표면류					중간류			소하천류			도달 시간 min
	n	L m	P <sub>2</sub> cm	S %	t <sub>c</sub> min	L km	S %	t <sub>c</sub> min	L km	S %	t <sub>c</sub> min	
새뜸	.8	250	14	48	7.8	1.05	14.3	11.0	1.70	4.0	26.5	45.3
절골	.8	200	14	57	5.3	0.60	16.7	5.3	1.70	4.0	26.5	37.1
봉소사	.8	180	14	28	6.5	0.87	9.2	11.3	0.50	2.7	7.8	25.6

5.3 의 SCS TR-55 에 의한 홍수 도달 시간 계산 방법으로, 하천 구간별 경사도를 고려하여 하천장 400 m 이하, 유역 경사 20 % 이상, 유역 면적 2.5 km<sup>2</sup> 이하인 상류 1 구간은 표면류로, 유역 경사 6~20 % 이상, 유역 면적 8 km<sup>2</sup> 이하인 2 구간은 잔디 수로의 유속을, 유역 경사 6 % 이하인 3 구간 산지 소하천류로 취급하여 유속을 적용하여 적합한 결과 새뜸 유역 약 45 분, 절골 유역 37 분, 봉소사 유역 26 분이였다. 또한, 합류한 지점에서 수위 측정 지점까지 650 m 구간의 통과 시간 ( t<sub>t</sub> ) 을 중간류 ( 산지 하천 ) 의 유속을 적용하였을 때, 14 분이였다. 따라서, 전체 도달 시간은 약 60 분 정도이다.

참고로 여러 가지 도달 공식과 SCS TR-55 도달 공식을 비교한 결과 약 0.8 km<sup>2</sup> 이하에 적합한 Kirpich 공식  $T_c = 0.0663 L^{0.77} S^{-0.385}$  ( T<sub>c</sub> hrs, L : km, S : m/m ) 이 새뜸 38 분, 절골 35 분 등 SCS TR-55 와 비슷한 결과를 보였다.

## 8.6 홍수량 합성

美 농무성 SCS 는 유출수에 의하여 유역 토양 수분을 고려하여 유효 우



량을 추정하고, 단위 시간당 단위 유효 우량에 의한 유출 형태를 三角 단위도로 가정하고, 기본 요소인  $T_p$ ,  $Q_p$  를 경험식에 의하여 구하여 제 6 장의 방법으로 SCS 무차원 단위도 (Dimensionless hydrograph) 를 적용하여 홍수 수문 곡선을 합성한다.

## 8.7 실시간 홍수 예측 기본 모형

유역 상류의 강우 관측 망에서 보고되는 시간 강우 강도를 Thiessen 방법으로 유역 평균 강우 강도로 환산하여, 다음 시간 별 유효 우량과 홍수 도달 시간을 고려하여 실시간 홍수 예측 기본 모형을 개발한다.

유입 홍수 수문 곡선의 홍수 피크량과 홍수 용량은 토양 수분  $S_a$  조정으로 보정하고, 홍수 피크 시간과 기저 시간은 도달 시간을 조정하여 보정하여, 홍수시 관측된 저수지 방류량과 예측한 방류량이 일치할 때 까지 실시간 홍수 예측 모형의 매개 변수를 최적화하여 홍수 수문 곡선을 예측하였다.

유역의 형태가 다양해지고 유역 면적이 커지므로 3 개 소유역의 단독 홍수 수문 곡선을 합성한 혼합 홍수 수문 곡선을 구하는 것이 바람직하다. 하천장과 유역 규모에 따라 SCS 의 표면류, 중간류과 하천류 공식으로부터 도달 시간 ( $t_c$ ) 을 제 5 장의 방법으로 구한다.

1) 분할된 I 소유역에서의 홍수 수문 곡선 ㉠ 를 추정하고, 분할된 II 소유역에서의 홍수 수문 곡선 ㉡ 를 추정하여 이를 중첩하여 ( ㉠ + ㉡ ) 합류지점에서의 홍수 수문 곡선 ㉢ 를 구한다.

2) III 소유역에서의 홍수 수문 곡선 ㉣ 를 추정하고, 이를 주하천장의 III 소유역의 통과 시간 ( $t_t$ ) 만큼 지체시켜 상류에서의 홍수 수문 곡선 ㉢ 와 합성하여 홍수 수문 곡선을 구한다.

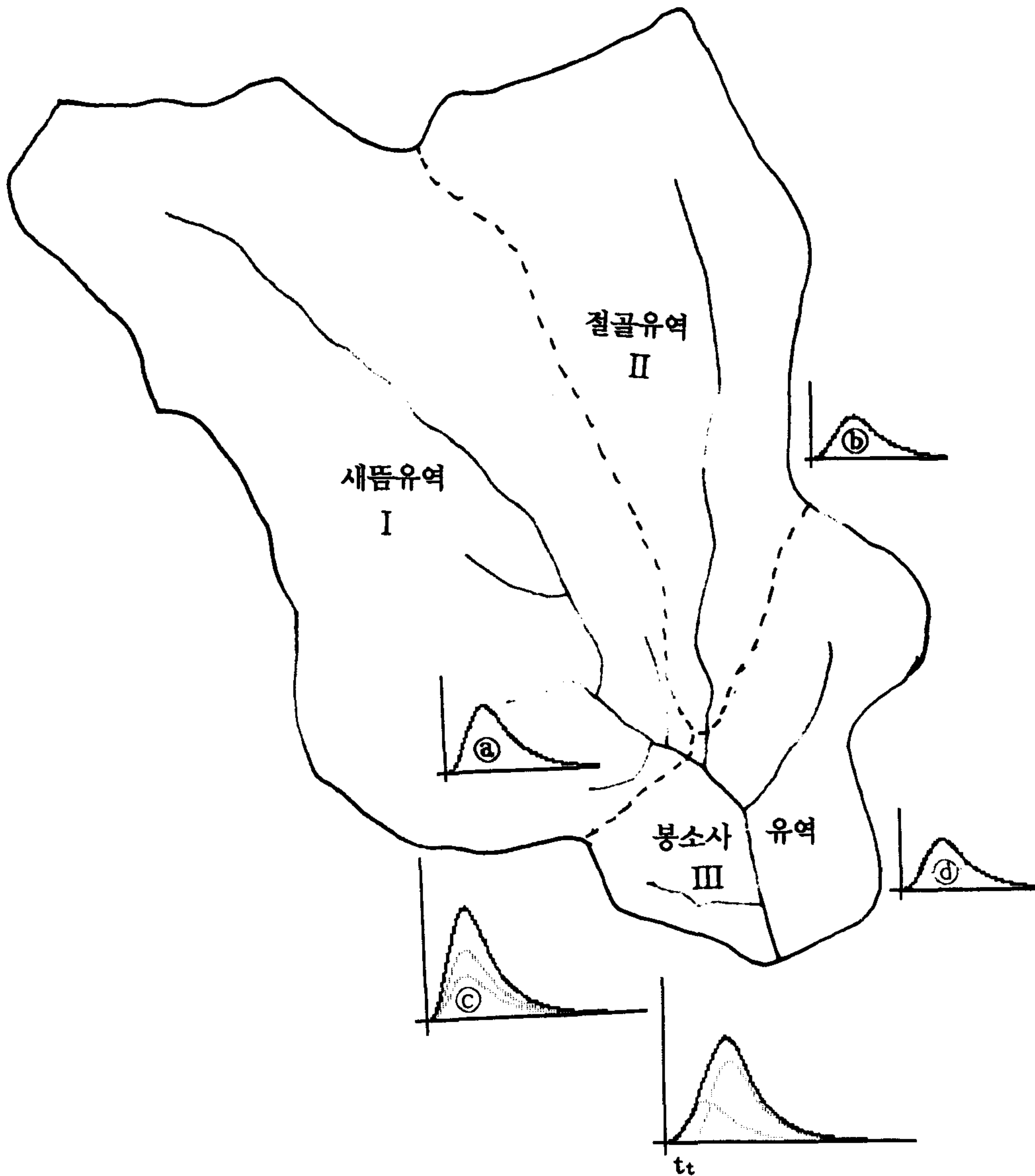


그림.19 방동 유역의 분할된 소유역 망과 홍수 합성 추적도

실시간 홍수량 예측의 경우에는 위에서 구한 유효 우량과 각종 단위도 시간을 보정하여 다음 각 요소들을 결정하여 SCS의 무차원 단위도에 따라 추정 홍수 수문 곡선을 작성하여 관측 홍수 수문 곡선의 피크와 용량의 상대 오차 (R.E) 식 (54)를 최소화하는 요소,  $t_c$ 와  $S_a$ 를 결정한다.

$$R.E = \frac{1}{n} \times \frac{|Q_c - Q_o|}{Q_o} \quad (54)$$

### 8.7 실시간 홍수 예측 모형의 구조

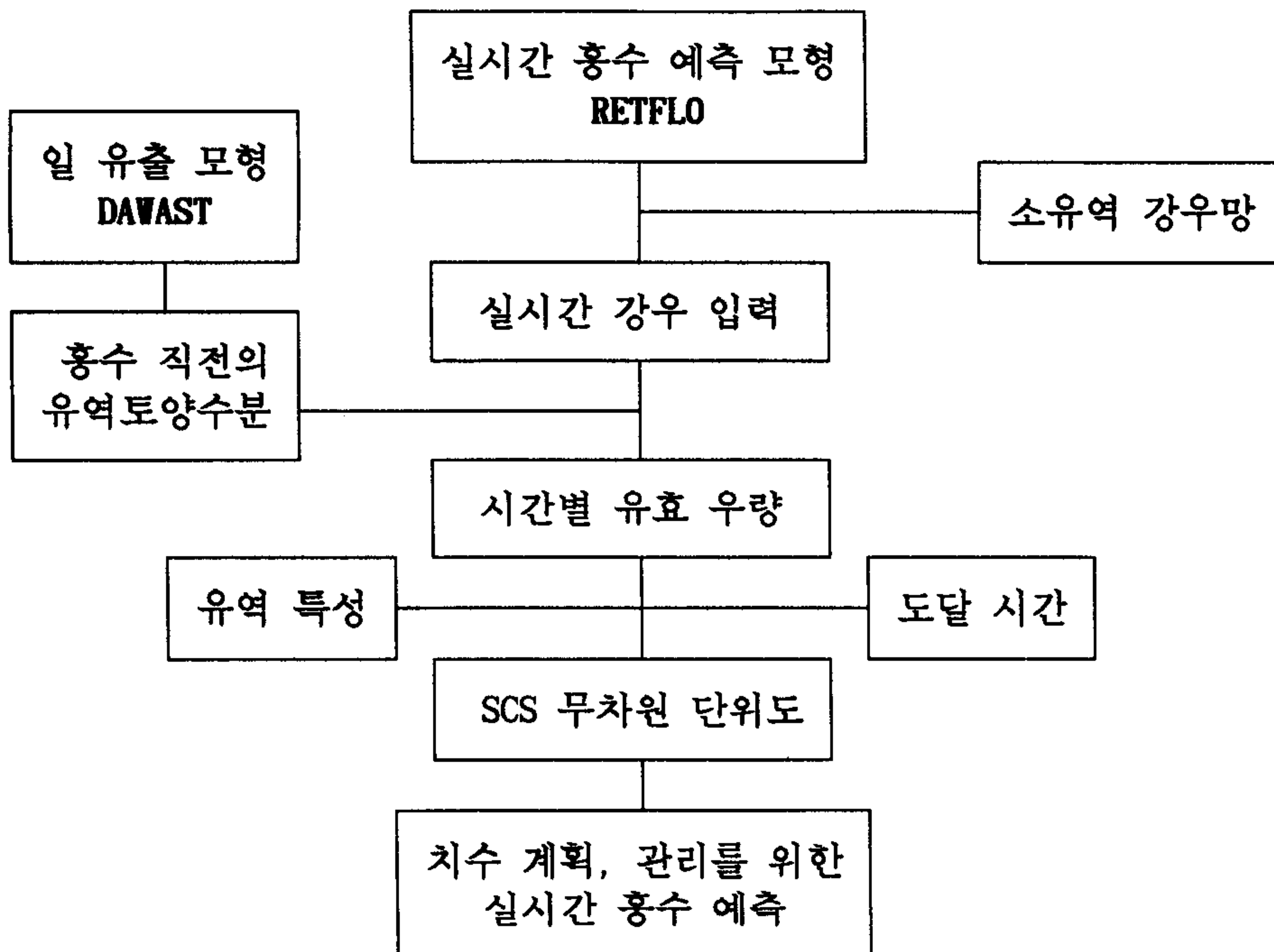


그림.20 실시간 홍수 예측 모형

### 8.8 RETFLO 모형 적용 예

DAWAST 모형으로 부터 유역 토양 수분 변화를 개념적으로 추적하여 일별로 파악하고 있다가, 호우가 예상되면 일 유출 모형을 홍수 모형으로 전환하여, 유효 저류능  $S_a$  하에서의 시간별 유효 우량으로 홍수량을 추정하는 실시간 홍수 예측 모형을 개발하여 방동 지점과 예당 저수지에 적용한 결과 비교적 만족스러웠다. 앞으로, 이 모형의 실용화를 위해서는 더욱 보완, 발전시켜야 할 것이다.

이 연구에서는 DAWAST 모형의 1 일 단위 시간을 1 시간 단위로 취하여 홍수 유출의 유효 우량을 결정하였다. 결정된 시간 별 유효 우량으로 SCS 의 무차원 단위도법에 따라 실시간 홍수 수문 곡선을 소유역 (5.03 km<sup>2</sup>) 인 방동 수문 지점에 적용하여 예측한 결과, 그림.21, 22 와 같다.

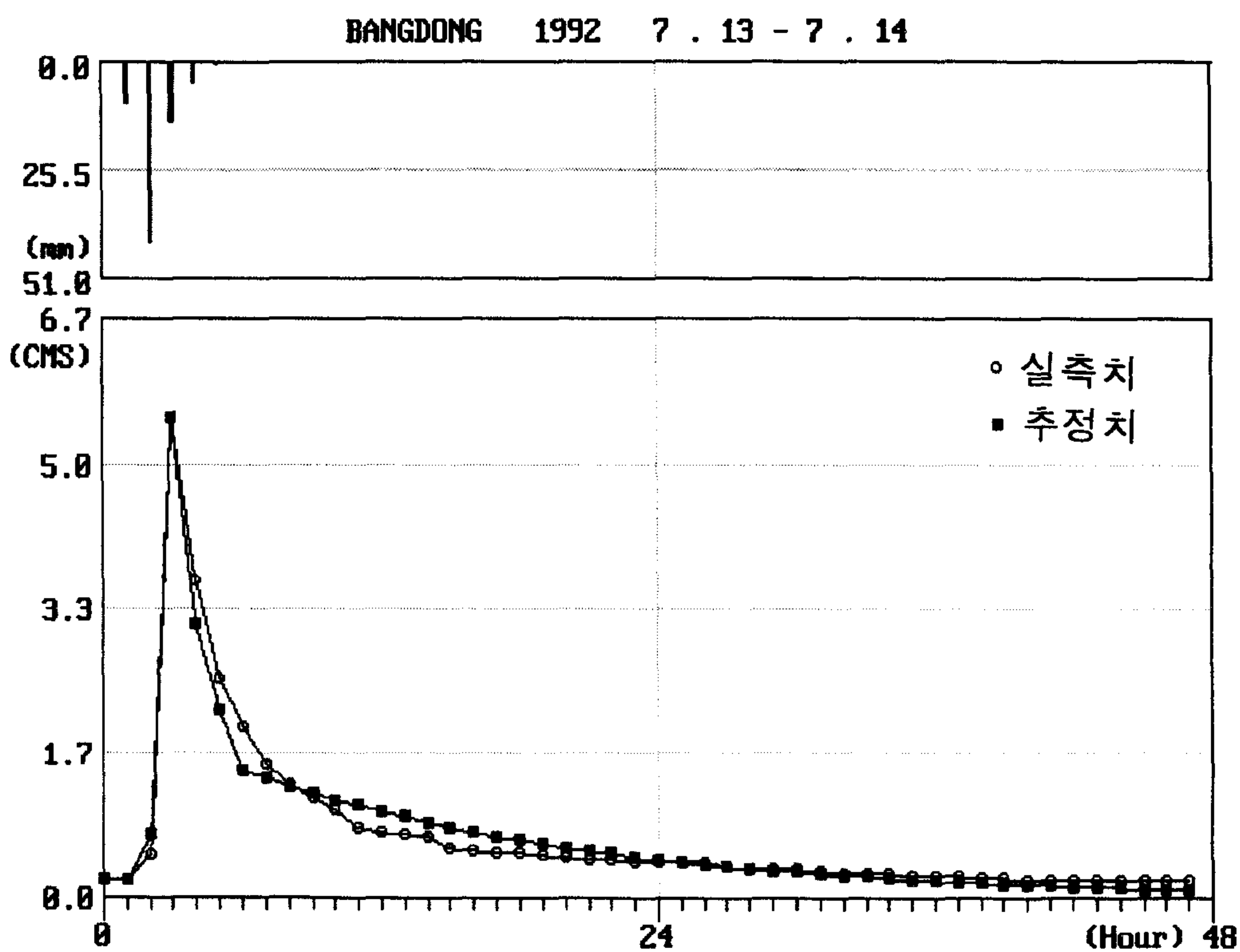


그림.21 1992. 7.13~14일의 방동 지점의 시간별 홍수 수문 곡선



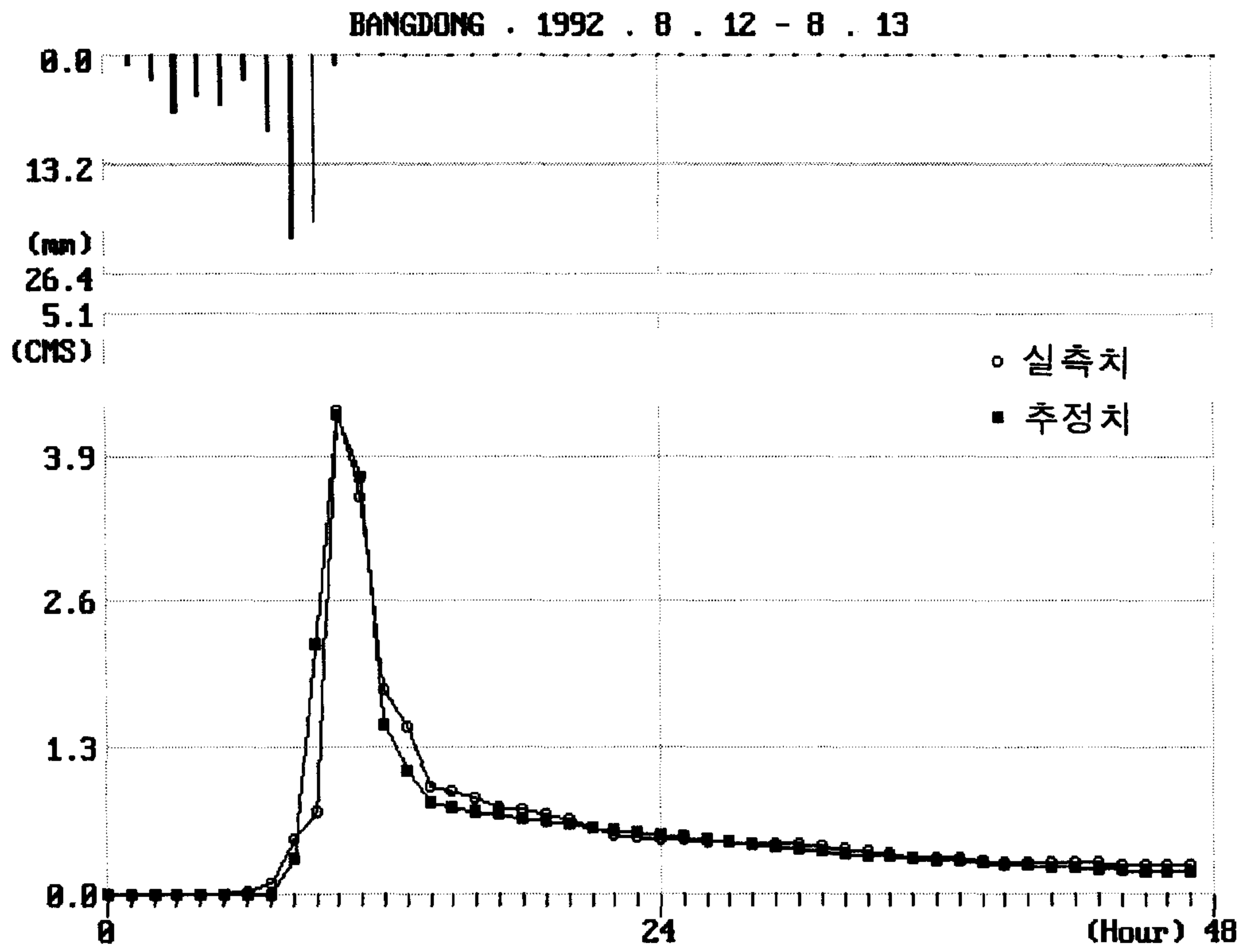


그림.22 1992. 8.12~13일의 방동 지점의 시간별 홍수 수문 곡선

## 제 9 장 貯水池 水門 操作 基本 模型 (GATOPE model)

### 9.1 서 론

이 연구에서는 실시간 홍수 예측 모형을 기본으로 저수지 통제 본부에서 호우 예·경보 시에 상류 유역 몇 개 지점의 강우 분포, 저수위, 하류 하천 수위를 유선으로 보고 받아 입력하여, 상·하류 하천에 침수 피해를 최소화 할 수 있는 저수지 수문 조작 지침을 그때 그때 출력해주는 기본 모형을 다음과 같은 절차에 따라 개발한다.

- 1) 하류 하천의 무해 방류량
- 2) 실시간 홍수 유입량
- 3) 수문 개방도와 방류량 계산
- 4) 수문 조작 모형의 구조

앞으로, 이 GATOPE 모형과 Telemetrying 관측 시스템과 연결, 발전시키면 水門 관리의 자동화도 가능할 것이다.

### 9.2 유역 및 수문 자료 조사

저수지 수문 조작 모형 개발을 위하여 충남 예산군에 위치한 유역 면적이 373 km<sup>2</sup> 인 예당 농지 개량 조합의 예당 저수지에서 1992 년에 관측한 수문 조작 자료를 분석하였다.

#### 9.2.1 유역 조사

예당지 유역의 지형적 특성, 토양학적 특성, 지질학적 특성, 토지 이용 특성에 대한 조사 내용은 제 1 편 3.3 에 기술한 내용과 같다.

#### 9.2.2 수문 조사 및 자료 분석

예당지는 중앙 기상대의 광역 예보구로는 충청남북도에, 국지 예보 구역으로는 충남 북부 내륙 구역에 속한다.

홍수 도달 시간 계산을 위한 하천 단면, 유량 측정 및 조도 계수 계산 등을 위하여 현지 하천 조사를 실시하였다.

모형 개발에는 예당 저수지에서 1992. 8.26~28 사이에 발생한 수문 조작 자료를 사용하였다.

### 1. 강우 자료

상류 7 개 강우 관측 지점에서 시간 별로 관측한 보통 우량계에 의한 강우 분포는 표.16 과 같다.

### 2. 저수위 자료

예당지에서 1992. 8. 26~28 에 관측한 저수위 변화는 표.17 와 같다.

### 3. 홍수 유입량 자료

예당지에서 관측한 시간 별 저수위 변화로 부터 저수량 증가량과 수문 방류량을 고려하여 홍수 유입량을 계산하였으며, 결과는 표.17 와 같다.

### 4. 예당지 수문 조작과 방류량 자료

예당 저수지의 수문 조작에 의하여 1992. 8. 27 ~ 28 사이에 시간별로 관측한 예당지의 수문 개방수와 개방고는 표.18 과 같고, 이에 의한 방류량 계산 결과는 표.17 와 같다.

표.16 '92. 8.26~27 일의 시간 별 지점 별 강우 분포 (단위 . mm)

시간	대흥	대슬	신양	운곡	광시	비봉	화성	평균	비 고
15	-	-	-	-	-	-	-	-	
16	-	-	-	4.6	2.0	-	-	0.9	
17	-	-	-	5.4	4.0	5.0	9.2	3.4	
18	4.6	2.0	2.0	5.9	7.8	16.0	11.2	7.1	
19	10.0	4.0	4.0	1.0	0.7	5.0	3.2	4.0	
20	12.3	6.0	7.0	1.6	0.5	0.5	3.3	4.5	
21	2.6	1.0	1.0	2.9	0.3	1.0	1.1	1.4	
22	2.6	1.0	1.0	3.0	0.2	1.2	1.5	1.5	
23	2.7	2.0	2.0	3.0	0.3	1.5	1.0	1.8	
24	1.4	2.0	2.0	3.0	0.2	1.0	1.5	1.6	
1	0.6	3.0	10.0	3.0	7.0	3.0	1.0	3.0	
2	0.6	3.0	10.0	4.0	7.0	4.0	2.0	4.4	
3	6.4	3.0	10.0	4.0	4.0	4.0	3.0	4.9	
4	6.4	5.0	10.0	4.0	8.0	5.0	3.0	5.9	
5	6.4	5.5	10.0	4.0	9.3	5.0	3.0	6.2	
6	3.5	4.0	9.0	4.0	3.2	7.5	3.0	4.9	
7	24.3	11.0	5.0	4.0	16.6	1.6	7.4	10.0	
8	58.2	30.5	23.0	11.7	25.7	13.5	19.4	26.0	
9	30.6	8.5	17.8	6.2	10.0	20.2	20.2	16.2	
10	13.5	11.5	12.2	19.5	16.0	20.0	31.8	17.8	
11	22.6	21.3	18.0	23.2	12.4	9.0	17.0	17.6	
12	27.6	23.5	25.0	17.8	18.8	49.5	24.2	26.6	
13	15.9	18.5	2.0	25.0	23.1	29.8	30.8	20.7	
14	5.9	3.5	4.0	5.0	4.8	5.0	9.2	5.3	
15	0.7	2.7	3.0	2.0	2.0	5.0	3.0	2.6	
16	1.8	2.5	2.0	7.5	2.0	4.5	2.5	3.3	
17	3.5	10.0	19.0	4.1	9.5	3.7	2.0	7.4	
18	0.0	0.0	1.0	1.9	0.0	1.5	0.5	0.7	
19	-	-	1.0	0.0	-	1.0	0.0	0.3	
20	-	-	0.0	-	-	0.0	-	0.0	
계	263.5	185.5	211.0	181.3	201.4	235.0	228.0	215.1	



표. 17 1992. 8. 26 ~ 28 일의 시간별 예당지의 저수량 변화

시간	강우량	저수위	저수량	증가량	방류량		유입량	
hr.	mm	El. m	ha-m	ha-m	ha-m	m <sup>3</sup> /s	ha-m	m <sup>3</sup> /s
16	0.9	20.33	2526.7	-	-	-		
17	3.4	20.33	2526.7	-	-	-		
18	7.1	20.33	2526.7	-	-	-		
19	4.0	20.34	2535.1	8.4	-		8.4	23.3
20	4.5	20.35	2543.4	8.3	-		8.3	23.3
21	1.4	20.36	2551.8	8.4	-		8.4	23.3
22	1.5	20.37	2560.1	8.3	-		8.3	23.3
23	1.8	20.39	2576.9	16.8	-		16.8	46.6
24	1.6	20.41	2593.7	16.8	-		16.8	46.6
1	3.9	20.43	2610.6	16.9	-		16.9	46.9
2	4.4	20.45	2627.5	16.9	-		16.9	46.9
3	4.9	20.47	2644.5	17.0	-		17.0	47.2
4	5.9	20.51	2678.6	34.1	-		34.1	94.7
5	6.2	20.55	2712.9	34.3	-		34.3	95.3
6	4.9	20.58	2738.7	25.8	-		25.8	71.7
7	10.0	20.67	2816.9	78.2	49.6	137.7	127.8	217.2
8	26.0	20.72	2860.6	43.7	49.6	137.7	93.3	259.2
9	16.2	20.83	2958.6	98.0	53.0	147.2	151.0	410.0
10	17.8	20.97	3085.8	127.2	88.9	246.9	216.1	491.1
11	17.6	21.09	3196.7	110.9	124.3	345.4	235.2	596.1
11.5		21.18	3280.8	84.1	64.9	360.6	149.0	827.8
12	26.6	21.25	3346.8	66.0	91.1	506.2	157.1	770.0
12.5		21.36	3451.3	104.5	95.3	529.6	199.8	872.8
13	20.7	21.48	3566.3	115.0	99.4	552.2	214.4	1191.1
13.5		21.63	3712.4	146.1	103.3	574.0	249.4	1385.6
14	5.3	21.75	3831.0	118.6	129.9	721.4	248.5	1280.6
14.5		21.84	3920.8	89.8	135.2	751.0	225.0	1250.0
15	2.6	21.92	4001.4	80.6	140.3	779.4	220.9	1227.2
15.5		21.98	4062.2	60.8	145.9	810.6	206.7	1148.3
16	3.3	22.03	4131.4	69.2	145.9	810.6	215.1	1195.0
16.5		22.06	4143.9	12.5	145.9	810.6	158.4	880.0
17	7.4	22.07	4154.1	10.2	150.0	833.2	160.2	890.0
18	0.7	22.08	4164.4	10.3	283.9	655.2	294.2	817.2
19	0.3	22.11	4195.3	30.9	219.9	566.2	250.8	696.7
20	0.0	22.11	4195.3	0.0	203.8	566.2	203.8	566.1

21		22.08	4164.4	- 30.9	203.8	357.9	172.9	480.3
22		22.08	4164.4	0.0	128.8	357.9	128.8	357.8
23		22.10	4185.0	20.6	107.4	238.6	128.0	355.6
24		22.11	4195.0	10.0	85.9	238.6	95.6	265.5
1		22.11	4195.0	0.0	85.9	238.6	85.9	238.6
2		22.10	4185.0	- 10.0	85.9	238.6	75.9	210.8
3		22.09	4174.7	- 10.3	85.9	167.0	75.6	210.0
4		22.09	4174.7	0.0	60.1	167.0	60.1	166.9
5		22.09	4174.7	0.0	60.1	167.0	60.1	166.9
6		22.08	4164.4	- 10.3	60.1	167.0	49.8	138.3
7		22.07	4154.1	- 10.3	60.1	119.3	49.8	138.3
8		22.07	4154.1	0.0	42.9	119.3	42.9	119.2
9		22.07	4154.1	0.0	42.9	119.3	42.9	119.2
10		22.07	4154.1	0.0	42.9	119.3	42.9	119.2
계	215.1 8,036		+ 1,627		3,472		5,099 63.5 %	유출률

## 5. 관측 계 수문 곡선

이상의 시간별 강수량, 유입량, 방류량 및 저수위 변화를 나타내면 그림.23 와 같다.

### 9.3 저수지 유입량 예측

댐 Site 에서의 실시간 홍수 예측은 홍수 도달시간이 3 시간 이하인 유역에서는 강우-유출 모형으로, 9 시간 이상인 유역에서는 홍수 추적에 의한 방법을 추천하고 있어, 이 연구에서는 댐 site 에서의 실시간 홍수 수문 곡선을 예측하기 위하여 저수지 입구 (head) 까지는 실시간 홍수 예측 모형 (강우-유출 모형) 에 의하여 유입 수문 곡선을 구하고, 이 유입량이 저

표. 18 1992. 8. 27 ~ 28 일의 시간별 예당지 수문 개방수와 개방고

시간	개방고	개문수	비고	시간	개방고	개문수	비고	시간	개방고	개문수	비고
5	-	-		.5	2.0	5		8	1.0	5	
6	-	-			1.0	15		9	1.0	5	
7	1.0	10		19	2.0	5		10	1.0	5	
8	1.0	10			1.0	15		11	1.0	5	
9	1.0	10		20	2.0	5		12	1.0	5	
10	1.0	15			1.0	15		13	1.0	5	
.5	1.0	20		21	1.0	15		14	1.0	5	
11	1.0	20		22	1.0	15		15	1.0	5	
12	1.5	20		.5	1.0	10		16	1.0	5	
13	1.5	20		23	1.0	10		17	1.0	5	
14	2.0	20		24	1.0	10		18	1.0	5	
15	2.0	20		1	1.0	10		19	1.0	5	
16	2.0	20		2	1.0	10		20	1.0	5	
17	2.0	20		3	1.0	7		21	1.0	5	
.5	2.0	15		4	1.0	7		22	1.0	5	
	1.0	5		5		7		23	1.0	5	
18	2.0	10		6	1.0	7		24	1.0	5	
	1.0	10		7		5					

수지내에서 조절된 후의 유출 수문 곡선은 Design of small dam 에서 제시한 개략 방법을 적용하였다.

제 8 장에서 설정한 실시간 홍수 예측 기본 모형을 적용하여, 상기 수문, 기상 자료를 입력하여 유입량을 추정하였다.

### 9.3.1. 홍수 도달 시간

하천장과 유역 규모에 따라 SCS 의 표면류, 중간류과 하천류 공식으로부터 도달 시간 ( $t_c$ ) 을 제 5 장의 방법으로 구한다. 예당지의 소유역의 지점별 도달 시간 ( $t_c$ ) 은 표.19 과 같다.

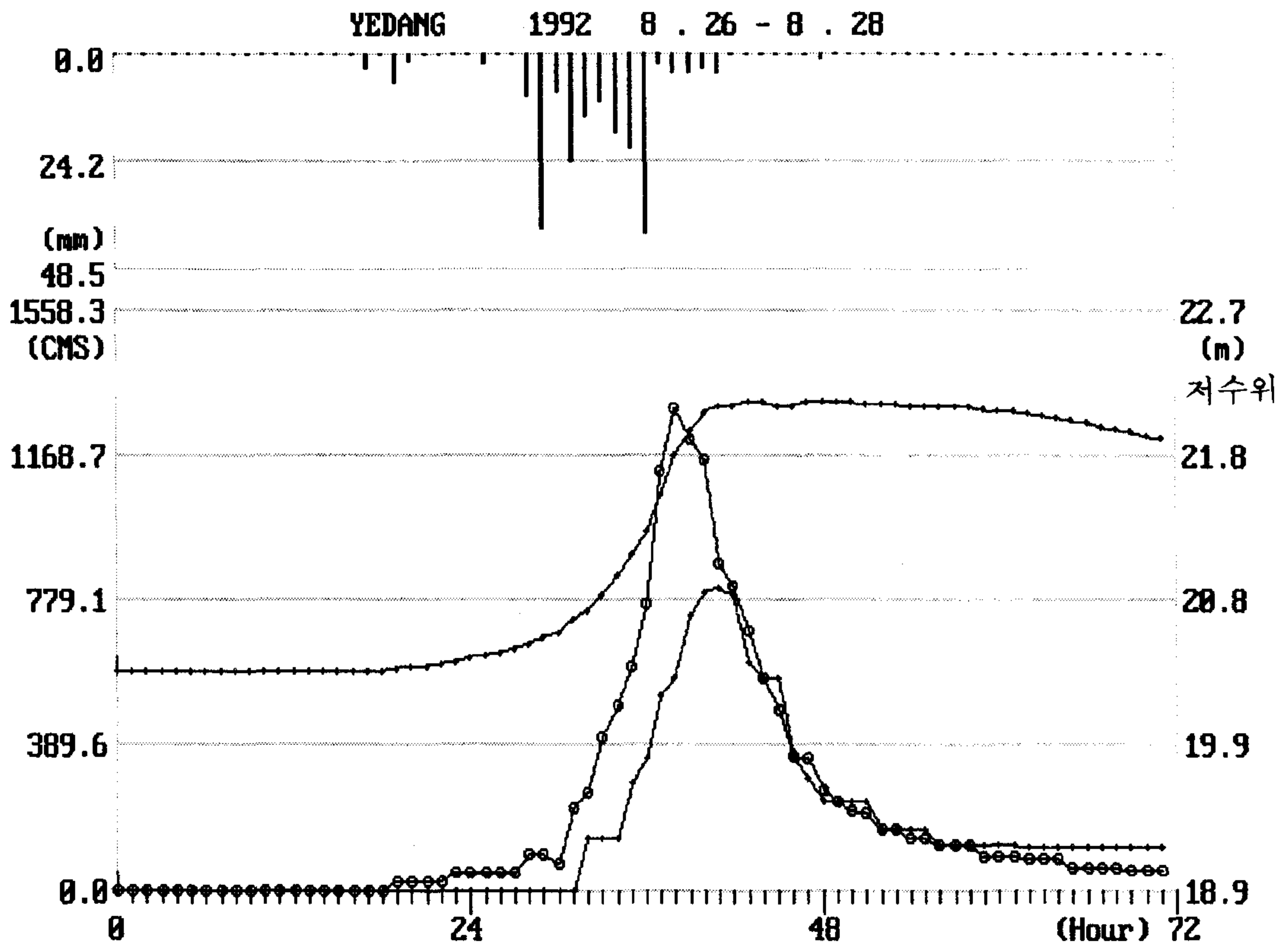


그림.23 '92. 8.26~28일의 시간별 강수량, 유입량, 방류량 및 저수위 변화

표.19 예당지 소유역의 제원과 지점별 도달 시간 ( $t_c$ )

구 분	단위	화성	비봉	광시	대광	운곡	신운	대슬	신대	대신
유역 면적	km <sup>2</sup>	46.9	55.4	54.8	25.4	41.8	23.4	61.4	23.6	30.3
주 하천장	km	10.1	6.6	8.2	5.0	9.3	4.4	11.4	4.1	6.3
지 하천장	km	10.1	8.6	11.9	6.1	9.3	8.1	11.4	7.9	9.7
하천중심장	km	4.5	2.8	4.3	3.0	3.4	5.1	5.6	3.5	3.5
최고 표고	m	564.	459.	459.	484.	489.	384.	534.	375.	276.
최저 표고	m	38.4	30.0	20.0	20.0	38.2	26.3	34.0	26.3	20.0
유역 경사	%	5.2	5.3	3.7	7.6	5.0	4.4	4.4	4.4	2.6
저류량 S	mm	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0
SCS TR-55	min	133	82	152	42	105	93	137	113	115



한편, 주하천장의 분할된 각 소유역의 통과 시간 ( $t_t$ ) 을 계산한다. 주하천은 비교적 완경사이므로 Manning 유속 공식으로 부터 구하였으며, 하천별, 구간별 통과 시간은 표.20 와 같다.

표.20 하천별, 구간별 유하 시간 ( $t_t$  : Travel time)

소유역 구간	하천장 (km)	조도계수 (n)	하천경사 (I)	수리반경 (R)	계획통수량 ( $m^3/s$ )	유속 (m/s)	유하시간 $t_t$ (min)
백월산- 화성	10.1					1.23	133
화성 - 비봉	6.6	.035	.0024	1.520	366	1.85	60
비봉 - 광시	8.2	.028	.0008	1.510	563	1.33	103
소계	24.9						296
국사봉- 운곡	9.3					1.44	105
운곡 - 신양	4.4	.038	.0027	1.393	234	1.71	43
신양 - 대홍	6.3	.030	.0010	1.450	646	1.35	78
소계	20.0						226
봉수산- 대슬	11.4					1.39	137
대슬 - 신양	4.1	.035	.0019	1.500	304	1.62	42
신양 - 대홍	6.3	.030	.0010	1.450	646	1.35	78
소계	21.8						257
예당지	5.4					1.35	66
총계	30.3						362

현지 예당 농지 개량 조합의 댐 관리자들에게 청문한 구간별 홍수 도달 시간은 백월산-댐 구간은 6 시간, 국사봉-댐 구간은 5 시간, 봉수산- 댐 구간은 5.5 시간이었다.

### 9.3.2. 홍수 유입량 추정

유역의 형태가 다양해지고 유역 면적이 커지므로 9 개 소유역의 단독 홍수 수문 곡선을 합성한 혼합 홍수 수문 곡선을 구하는 것이 바람직하다.

상기한 유역의 형태와 유역 경사를 고려함과 동시에 지역에 따라 실시간 강우 강도가 다른 것을 강우 관측 망의 지배 면적으로 고려하여 소유역으로 분할한 혼합 유역 홍수 수문 곡선을 그림. 24 와 같이 합성, 추정하고자 한다.

### 9.3.3. 예당 저수지에서의 홍수 수문 곡선

유역의 형태와 유역 경사를 고려함과 동시에 지역에 따라 실시간 강우 강도가 다른 것을 강우 관측 망의 지배 면적으로 고려하여 소유역으로 분할한 혼합 유역 홍수 수문 곡선으로 예당 저수지 댐터에서의 실시간 홍수 유입량을 예측하였다.

## 9.4 수문 개방도와 방류량 계산

홍수시의 댐 방류는 물넘이 수문으로 부터 이루어진다. 물넘이 수문의 저수위 별 개방도 별 방류량과의 관계를 구해둔다.

저수위가 만수위 El. 22.50 m 에 있을 때, 수문 1 런 (H = 3.6 m, B = 6.0 m) 을 50 cm 개방하였을 경우의 Tainter gate 로의 방류량을 계산한다.

$$q = C_d w ( 2 g y_1 )^{0.5} \quad (49)$$

$$C_d = \frac{C_c}{( 1 + C_c w / y_1 )^{0.5}} \quad (50)$$

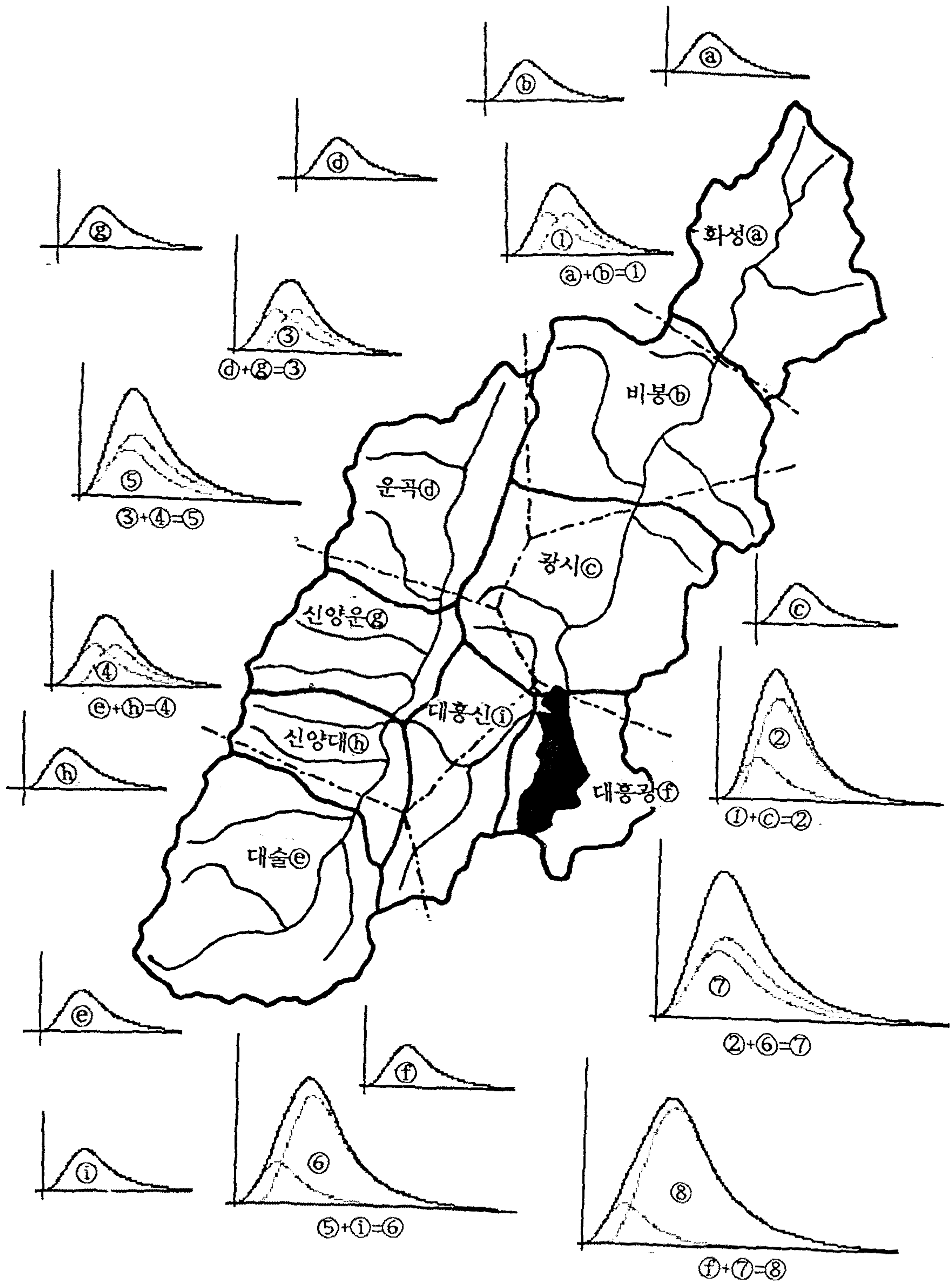


그림.24 예당 저수지에서의 소유역 분할 및 홍수 추적-합성도

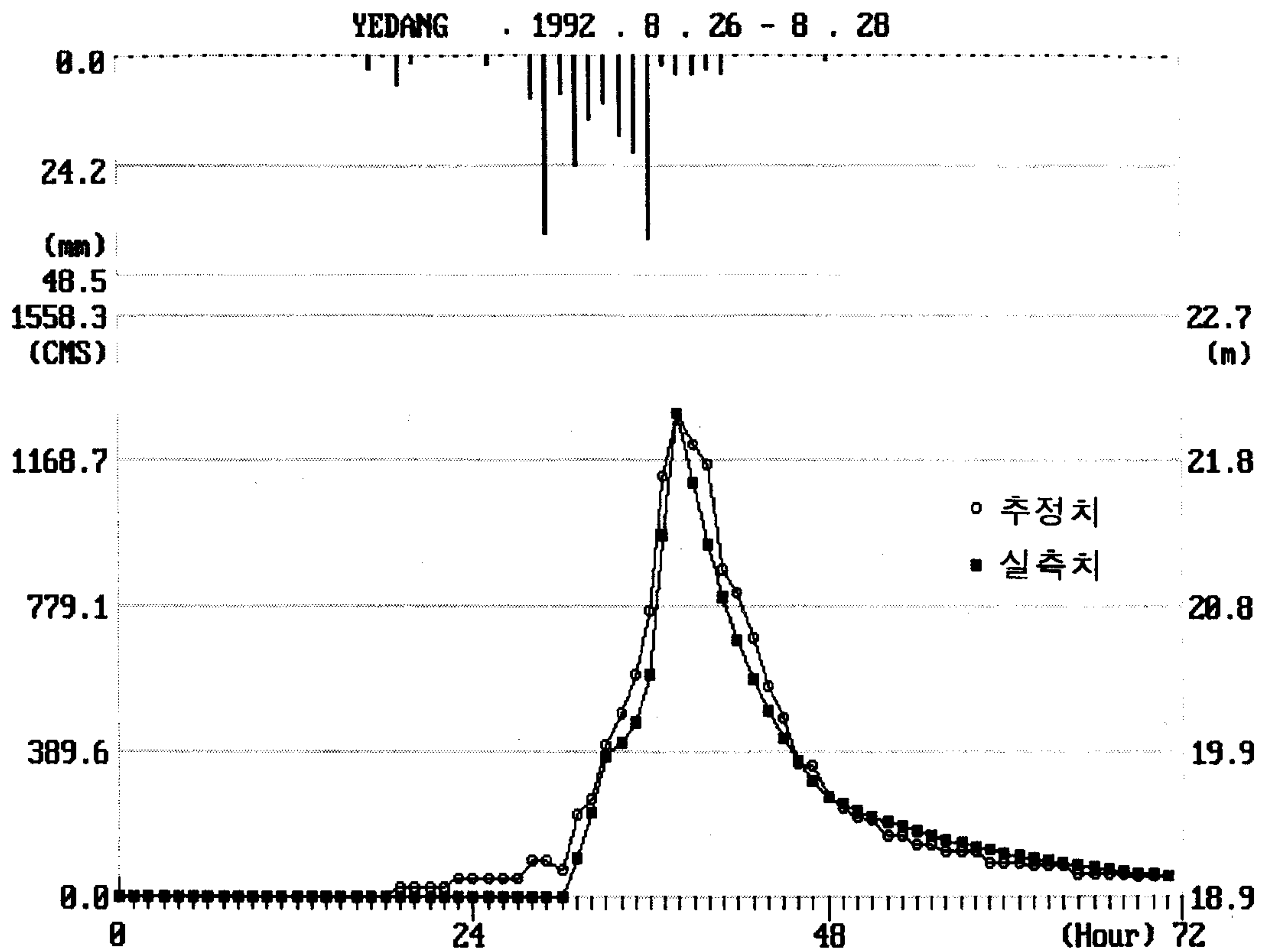


그림.25 '92. 8.26 - 28 홍수시의 시간별 관측-예측 유입량 곡선

여기서, Toch 의 Tainter gate 에 대한 월류량 실험 결과에 따라  $C_c = 0.625$  로 취하면, ( 1966, Henderson 참고)

$$q = \frac{0.625}{(1 + 0.625 \times 0.5 / 3.0)^{0.5}} \times 0.5 \times (2 \times 9.8 \times 3.0)^{0.5} = 2.281$$

$$Q = 2.281 \times 6.0 \text{ m} = 13.68 \text{ m}^3/\text{sec}$$

한편, 26 련, 일류심 3.0 m 의 최대 방류량은  $Q = 1,645 \text{ m}^3/\text{sec}$  (63.2 × 26 련) 이다.



## 9.5 하류 하천의 무해 방류량

댐에서 방류할 때 댐 하류 하천 수위를 서서히 상승시켜 하류측에 피해 없이 가장 안전하게 효과적으로 방류를 시키기 위해서는, 하천의 수위 증가량이 30 분에 약 30~50 cm 이하가 되도록 방류하는 것을 무해 방류량이라 한다.

따라서, 예상되는 1~3 시간 뒤의 유입량을 예측하고, 하류 하천의 수위 별 통수량을 나타내는 수위-유량 곡선을 작성하여 하천 단면을 입력하여, 예비 또는 홍수 경계 단계에 입력된 하류측 수위일 때의 9.5.4 의 기준에 의한 무해 방류량에 따라 예비 방류량을 결정한다.

### 9.5.1 하류 하천의 원평교 지점 단면과 유량 조사

1986 년 하천 조사에 의한 원평교 지점의 단면과 수위 별 유량을 조사하였다.

$$\begin{aligned} \text{수위-유량 곡선식} \cdot Q &= 147.94380 \times H^{7.62778} & H < 0.6 & (51) \\ Q &= 11.90337 \times H^{2.77171} & H \geq 0.6 & \end{aligned}$$

### 9.5.2 방류량 증가 제한 곡선도의 작성

댐에서의 방류량 증가 비율은 하류 하천의 수위 증가량이 30 분에 약 30~50 cm 이하가 되도록 방류량과 일정 시간내 (약 10 분간) 의 방류량 변화량을 그림으로 작성한다. 이 제한 곡선은 방류 개시에서 부터 방류량이 완전히 홍수량에 이를 때 까지 작성한다.

### 9.5.3 경과 시간과 방류량 증가 방법

댐에서의 방류는 가능한 한 하류 하천에 급격한 수위 변동이 생기지 않

도록 방류량 증가 제한 곡선에 따라 실시한다. 그러나, 유입량이 급격히 증가하는 경우에는 당해 유입량의 증가율 증가 범위내에서 방류량을 증가시키는 것이 좋다.

#### 9.5.4 하류 하천 수위 별 무해 예비 방류량 계산

하류 하천의 단면과 유량 조사에 따라 방류량 증가 제한 곡선도의 작성, 경과 시간과 방류량 증가 방법 등에 의하여 다음 기준에 의하여 하류 하천 수위 별 무해 예비 방류량을 계산하여야 한다.

1. 하류 하천에 급격한 수위 변동이 생기지 않도록 방류량 증가 제한 곡선에 따라 방류한다.
2. 원평교 지점에서의 현재 수위에서 30 분 수위 상승량이 50 cm 를 초과 하지 않는 유량을 1 단계 방류량으로 한다. 그러나, 유입량이 급격히 증가하는 경우에는 상기한 당해 유입량의 증가율 범위내에서 방류량을 증가시킨다.
3. 하류 하천 고수 부지의 경작지를 보호하기 위한 유량  $300 \text{ m}^3/\text{sec}$  이내를 2 단계 무해 방류량으로 한다. ( 저수위 예, 22.20 m 와 하류 하천 수위 조건, 예 El. + 3.50 m )
4. 신례원의 협착부 통수 유량을 고려하여  $677 \text{ m}^3/\text{sec}$  이내를 제 3 단계 무해 방류량으로 한다.
5. 댐 저수위가 El. + 22.50 m 이상 상승하면 무해 방류량에 구애치 않고,  $1,645 \text{ m}^3/\text{sec}$  까지 적의 방류하여 저수위가 El. + 22.50 m 에 유지되도록 한다.

## 9.6 수문 조작 모형의 구조

### 9.6.1 수문 조작 모형의 조건

홍수 예측 및 수문 조작 모형의 3 가지 조건은 정확성, 신뢰성 및 적기성에 있다.

정확성은 홍수 예측이 정확하면 하천 또는 댐 관리자가 홍수피해를 경감시킬 수 있는 조치를 취할 수 있지만, 부정확하면 오히려 피해가 가중될 수 있다.

신뢰성은 홍수 정보 및 수문 관측 장비 등이 고장나거나 부분적인 작동 정지에도 바로 점검되거나 적절한 조치가 취해져야 한다.

적기성은 홍수 발생 보다 상당한 시간 (예측 시간) 만큼 미리 경보되어 대책을 수립하도록 해야지 홍수 발생 후 홍수 예측은 의미가 없다. 예측 시간 (Lead or advance time) 은 유역 지형과 입력 자료의 전송 시스템에 따라 결정된다.

수문 자료 전송 시간 간격 (Sampling time interval) 은 홍수 도달 시간 보다 훨씬 짧아야 하며, 도달 시간의  $1/3 \sim 1/6$  사이로 취하는 것이 보통이다. 홍수 예측도 수문 자료 전송 시간 간격으로 실시하게 된다.

### 9.6.2 수문 조작 모형의 절차

다음 그림. 26 과 같은 절차로 저수지의 수문 조작 모형을 개발한다.

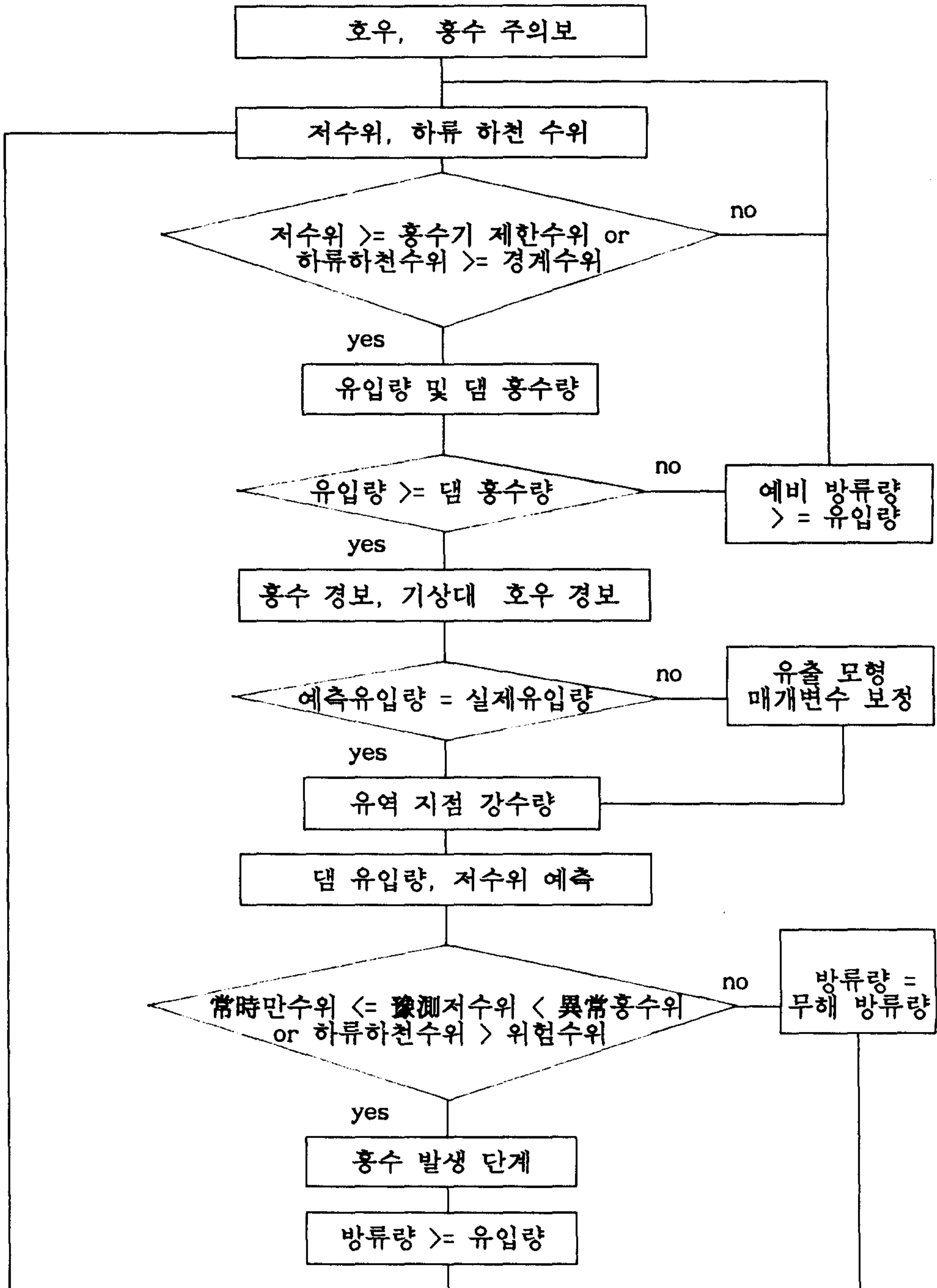


그림. 26 수문 조작 모형의 흐름도



### 9.6.3 수문 조작 모형의 보정

저수지에서 관측한 저류량, 유입량과 방류량으로 부터 이상 개발한 수문 조작모형을 예당지에 적용하여 보정한다.

홍수량 관측에 의하여 홍수 예측 모형에 의한 실시간 오차를 계산할 수 있고, 이것으로 부터 다음 단계의 모형 오차를 예측하여 홍수 예측 모형을 수정할 수 있다.

바로 전에 관측된 유량으로 부터 모형 구조의 내용 또는 상태 (state) 를 새롭게 (update) 할 수 있다. 이와 같은 모형 상태를 새롭게 하는 것은 모형의 초기화라 한다. 모형의 상태를 새롭게 하므로서 홍수 예측 모형을 새롭게 할 수 있고 예측 유량이 관측 유량에 잘 접근할 수 있다. 단위 유량도를 기초로 하는 홍수 예측 모형을 예를 들면, 이러한 모형은 우선 강우를 유효 우량과 손실 우량으로 분리해야한다. 손실은 유역의 초기 조건에 따라 다르고, 침투는 유역 토양 수분 상태에 따라 다르다. 만약, 각 시간에서의 유역 토양 수분 상태를 독립적으로 측정할 수 있다면, 이 측정된 유역 토양 수분로 추정된 유역 토양 수분 상태를 새롭게 하므로서 보다 정확하게 침투량을 추정할 수 있고 이로 부터 유효 우량과 단위 유량도를 보다 정확하게 추정할 수 있다.

이와 같은 방법으로 모형의 매개 변수 가운데 하나 또는 2 개를 보정하여 예측 홍수량이 관측 홍수량에 접근하도록 할 수 있다. 어느 매개 변수를 보정할 것인가는 모형의 구조에 따라 다르며, 보정 기준은 최소 자승법으로 하는 것이 최근 일반적이다.

각 단계마다 예측한 유입량과 실제 유입량과의 차이로 부터 유출 모형의 매개 변수를 보정하여 다음 단계의 댐 유입량을 보다 정확하게 예측할 수 있으며, 이 연구에서는 주로  $S_a$  를 대상으로 모형 상태를 초기화한다.

#### 9.6.4 저수지 수문 조작 모형의 구조

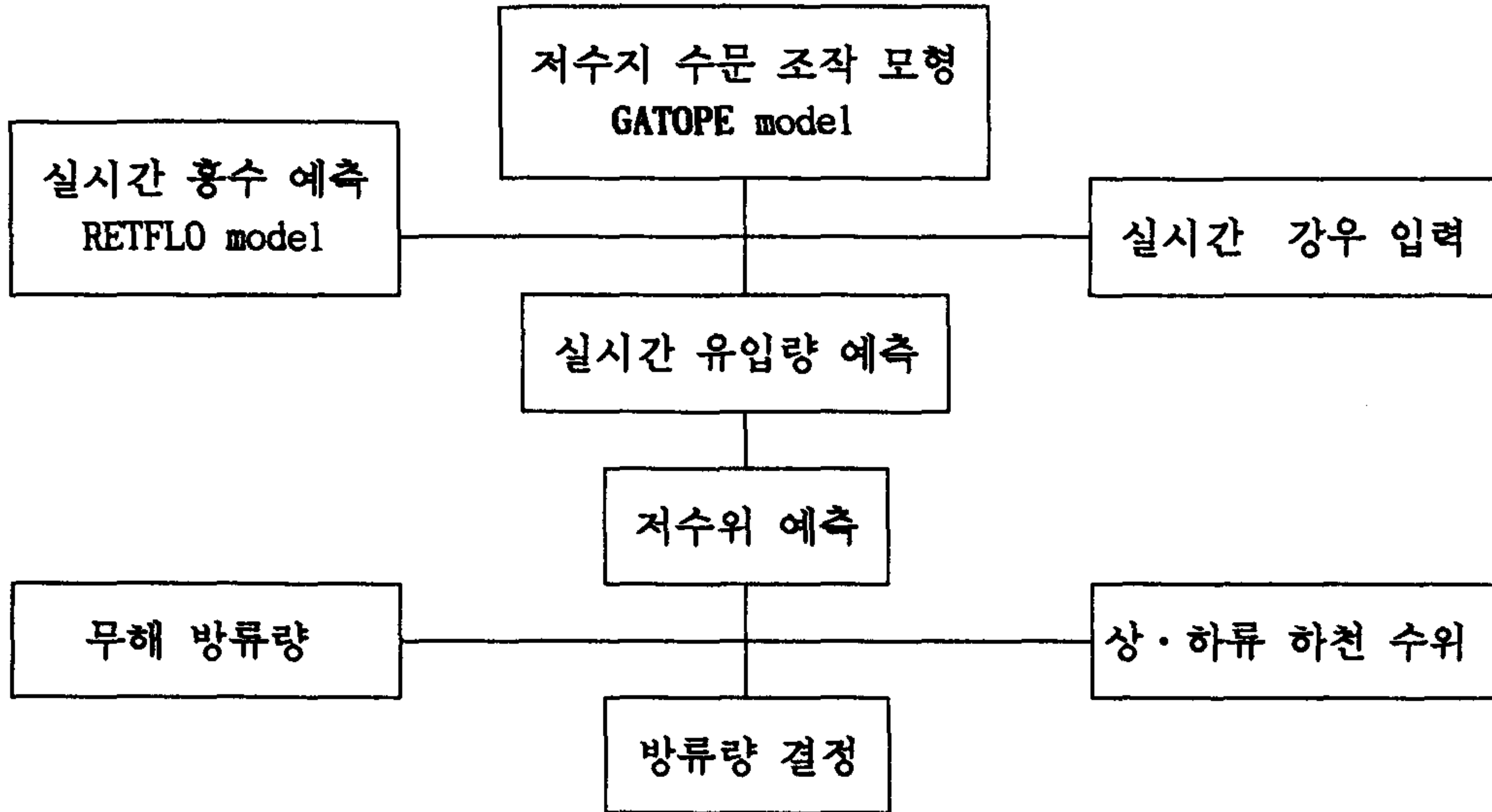


그림. 27 저수지 수문 조작 모형의 구조

### 9.7 GATOPE 모형 운용 예

저수지 통제 본부에서 호우 예·경보 시에 상류 유역의 강우 분포, 저수위, 하류 하천 수위를 시간 별로 보고 받아 입력하여, 상·하류 하천에 침수 피해를 최소화 할 수 있는 저수지 수문 조작 지침을 그때 그때 출력해주는 기본 모형을 해당 저수지에 적용하려고 시도하였으나, 1993 년 현재, 하류 하천인 원평교 지점의 단면과 수위, 유량 조사 등 1992 년 8 월 홍수에 대한 수문 자료가 정리되지 않아 하류 하천 수위 별 무해 예비 방류량을 계산할 수 없어 이 연구에서는 GATOPE 모형의 적용을 실시하지 못하였다.

앞으로 이에 대한 연구와 적용을 실시하고, 홍수 유입량을 도달 시간 1

시간 전에 미리 예측하여 예비 방류를 효율적으로 하여 하루 하천의 방류량을 무효 방류량 수준으로 낮출 수 있어, 관행의 방법보다 상 하루 하천에 미치는 침수 피해를 감소시킬 수 있도록하는 것이 이 연구의 방류 모의 발생의 목적이다. 이 기본 모형의 실용화를 위하여 더욱 보완, 발전시켜야 할 것이다.

## 제 10 장 관개 저수지의 治水 管理 基本 模型의 構造

제 4, 5 장의 시간별 유효 우량과 홍수 도달 시간을 기초로, 적정 분포의 확률 일 강우량을 입력하여 설계홍수량을 추정하는 설계 홍수량 모형, 실시간 강우를 입력하여 실시간 홍수 유입량을 예측할 수 있는 실시간 홍수 예측 모형과 이로부터 저수위와 하천 수위를 입력하여 홍수시 상·하류 피해를 최소화할 수 있는 저수지 수문 조작 모형으로 구성하는 치수 관리 모형 (Flood control model) 을 개발한다.

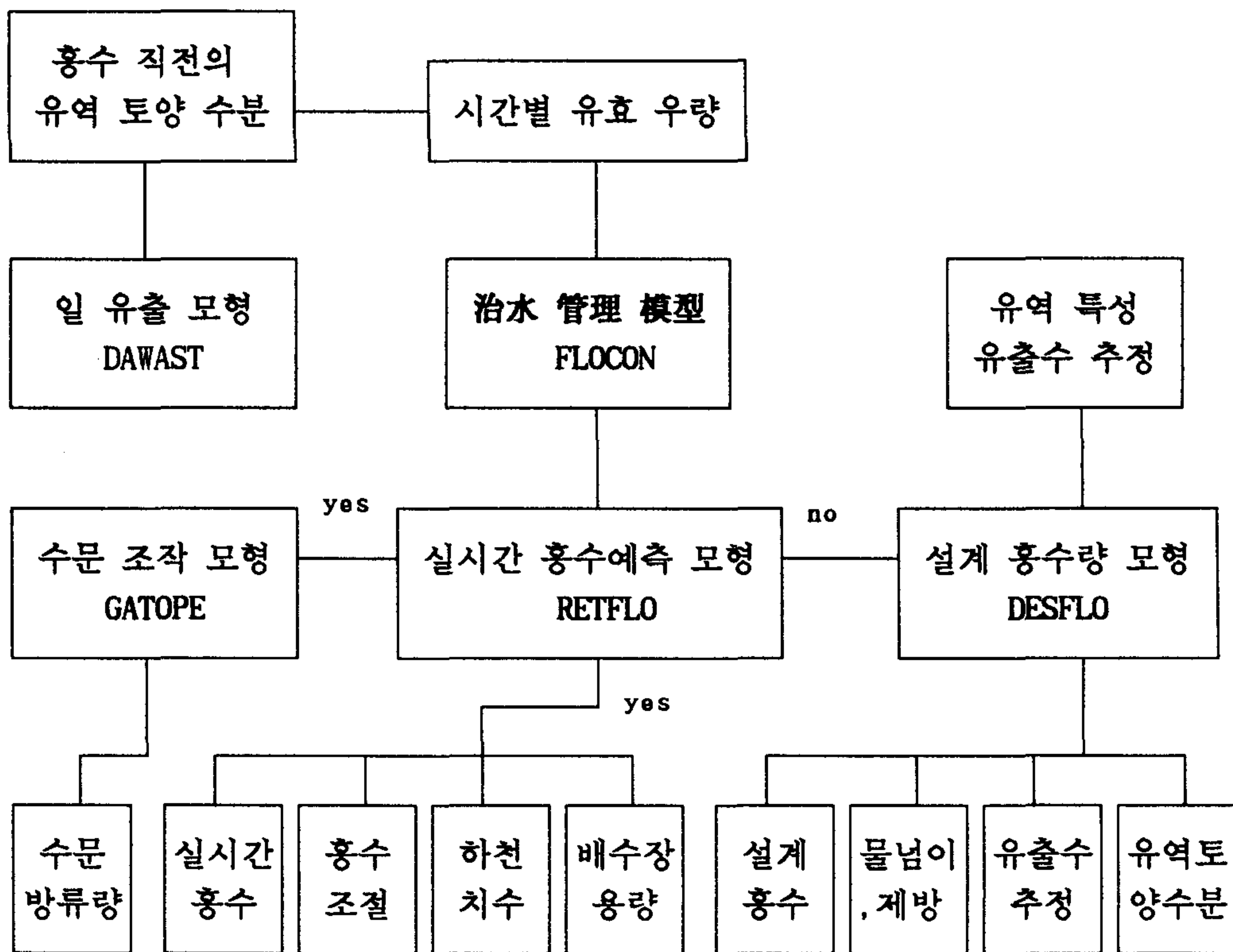


그림. 28 FLOCON 모형의 구조



## 제 11 장 結 論

이 연구에서는, 수자원 이용을 위하여 개발한 일 유출 추정 DAWAST 모형으로 부터 대상 유역의 불포화 토양층의 토양 수분 상태를 파악하여 치수 관리 모형인 FLOCON 모형을 개발하여 설계 홍수량 추정, 실시간 홍수량 예측과 저수지 수문을 조작할 수 있도록 하였다.

1. DAWAST 모형의 최대 잠재 저류능 ( $U_{max}$ ) 으로 부터 유출수 (Curve number) 를 추정하는 우리 나라 농업 소유역에 적합한 유출수를 추정하는 새로운 방법을 제시하였다.

2. SCS 의 유출수와 합리식의 유출 계수  $C$  와의 관계를 찾아 우리나라 농업 지역의 소유역에서 합리식에 의하여 간단하게 홍수 수문 곡선을 구할 수 있다.

3. 대상 유역의 특성으로 부터 유출수를 추정하고, 이로 부터 보다 정확하게 유효 우량을 추정하므로써 확률 강우량으로 부터 SCS 방법에 의하여 설계 홍수량을 추정하는 設計 洪水量 基本 模型을 개발하였다.

4. 실시간 홍수 예측을 위하여 평상시에는 집중형, 개념화 강우-유출 모형인 DAWAST 모형으로 부터 일별 유역 토양 수분 변화를 개념적으로 정확히 추적하고, 호우시에는 추적한 토양 수분 상태하에서의 시간별 유효 우량과 침투량을 추정하여 實時間 洪水 豫測 基本 模型을 개발하였다.

5. 이 실시간 홍수 예측 모형에 실시간 입수되는 강우 강도, 하천 수위와 저수위 자료를 입력하여 대상 하천 또는 대상 저수지 에서의 예측 시간 (1 ~ 3 시간) 후에 발생할 홍수 유입량을 예측할 수 있다.

6. 기상대의 호우 예·경보 시에 저수지 상류 유역 강우 관측 망에서 관측된 강우량과 저수위, 상·하류 하천 수위를 실시간 홍수 예측 모형에 입력하므로써 침수 피해를 최소화할 수 있는 방류량을 알려주는 저수지 水門 操作 基本 模型을 개발하였다.

## 제 12 장 問題點과 向後 課題

'94 년도에는 다음 사항을 연구하여 저수지 치수 관리 실용화 모형을 개발하여야 할 것이다.

### 1. 우리 나라 농업 소유역에 적합한 Curve number

현재 SCS 에서 제시한 미국 유역에서의 CN 를 사용하는 문제점을 해결하기 위하여 DAWAST 모형의 최대 잠재 저류능 ( $U_{max}$ ) 으로 부터 Curve number 를 추정하는 우리 나라 유역에 적합한 유출수를 추정할 수 있다.

### 2. 우리 나라 농업 소유역에 적합한 합리식의 유출 계수 C

상기한 Curve number 와 합리식 유출 계수 C 와의 관계를 찾아 우리나라 농업 지역의 소유역에서 수정 합리식에 의하여 간단하게 홍수 수문 곡선을 작성할 수 있다.

### 3. 설계 홍수량 실용화 모형

대상 유역의 특성으로 부터 Curve number 를 추정하고, 이로 부터 보다 정확하게 유효 우량을 추정하므로써 확률 강우량으로 부터 SCS 방법에 의하여 설계 홍수량을 추정할 수 있다.

### 4. 실시간 홍수 예측 실용화 모형

DAWAST 모형으로 부터 일별 유역 토양 수분 변화를 개념적으로 추적하고, 호우시에는 추적한 토양 수분 상태하에서의 시간별 유효 우량과 도달 시간을 추정하여 실시간으로 유입되는 홍수를 예측할 수 있다.

## 5. 저수지 수문 조작 실용화 모형

기상대의 호우 예·경보 시에 저수지 상류 유역 강우 관측 망에서 관측된 강우량과 저수위, 상·하류 하천 수위를 실시간 홍수 예측 모형에 입력하므로써 침수 피해를 최소화할 수 있도록 방류할 수 있다.

### 제 13 장 期待 效果

“저수지 치수 관리 모형”을 기초로 농업 소유역의 유출수와 유출 계수 추정, 저수지 물넘이·배수장 용량 및 하천 제방고 결정을 위한 설계 홍수량, 하천 치수·홍수 조절 수문 및 배수장 관리를 위한 실시간 홍수 예측 등 치수 계획, 설계 및 관리를 효율적으로 할 수 있다.

### 제 14 장 實用化 計劃

상기한 治水 管理 基本 模型을 기초로 앞으로 實用化 治水 管理 模型을 보완, 개발하여야 할 것이다.



## 參考 文獻

1. 건설부, 1988, 한국 확률 강우량도
2. 건설부, 하천 시설 기준
3. 건설부, 1990, 재해 대책 편람, 중앙 재해 대책 본부
4. 김 태철, 1990, 설계 강우의 지역화 분석, 한국 농공학회지, 32 권 2호, pp. 59 - 69
5. 윤 태훈, 1992, SCS 곡선 번호에 의한 유출고 및 침투유량의 산정과 곡선 번호의 시변성, 한국 수문학회지 25-4, 87-95
6. 안 상진, 1992, Interactive program 에 의한 소유역의 유출량 산정, 한국 수문학회지 25-4, 96-107
7. 이 순혁, 1991, 장단기 유출 양용 저류 탱크 모델의 개발에 관한 연구 (I),(II), 한국 농공학회지 33-1,2,
8. 권순국, 고덕구, 1987, 산지 유역에 대한 USDAHL-74 유역수문 모형의 장기 유출 해석 적용, 한국농공학회지 29(2), pp.53-63.
9. 권순국, 고덕구, 1988, 산지 소류역의 홍수 유출 예측을 위한 모의 발생 수문 모형의 개발, 30(3), pp.58-68.
10. 김종덕, 1989, SCS 법에 의한 소류역의 홍수 유출 추정, 서울 대학교 석사 학위논문.
11. 김현영, 박승우, 1986, 유역 특성에 따른 탱크 모형 매개변수의 변화, 한국농공학회지 28(2), pp.44-52.
12. 선우중호, 1977, SCS 방법 및 회귀분석에 의한 유효 강우량 결정, 한국수문학회지 10(2), pp.101-111.
13. 윤용남, 심순보, 1976, 단위 유량도법에 의한 소유역의 계획 홍수량 결정, 한국수문학회지, 9(2), pp.76-86.
14. V.M. Ponce, 1989, Engineering hydrology, Prentice hall.
15. S.G. Walesh, 1989, Urban surface water management, HohnWiley & Sons, Inc.
16. V. P. Singh, 1988, Hydrologic systems, Rainfall-runoff Volume 1, Prentice Hall

17. M. P. Wanielista, 1990, Hydrology and water quantity control, John Wiley & sons
18. Daniel H. Hoggan, 1989, Computer-assisted floodplain, McGraw-hill
19. G.J. Sabbagh, et al, 1991, Modification of EPIC to incorporate drainage systems, ASAE Vol.34(2)
20. P. Pathak, et al, 1989, A runoff model for small watersheds in the semi-arid tropics, ASAE Vol.32(5)
21. Bruce A. Tschantz, 1985, SCS User-Defined Storm Hydrograph (SCS-USH), Hydraulics and hydrology in the small computer age, Vol 2, ASCE Proceeding
22. Scott A. Brown, et al, A microcomputer based real-time flood warning system, Hydraulics and hydrology in the small computer age, Vol 2, ASCE Proceeding
23. Allen T. Hjelmfelt, Jr., 1980, Curve-number procedure as infiltration method, ASCE Vol 106, No. hy 6
24. R. H. McCuen, 1981, Relation between curve number and runoff coefficient, ASCE Vol.107, No. IR 4
25. R. H. McCuen, 1982, A guide to hydrologic analysis using SCS methods, Prentice-Hall, Inc.
26. SCS (1986), Urban hydrology for small watershed, TR-55
27. G. Fleming, 1986, Case studies on real-time river flow forecasting, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland, 329-366
28. P.E. O'Connell, 1986, Case studies in real-time hydrological forecasting from the UK, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland, 195-240
29. 角屋 睦, 1987, 장단기 유출 공용 Model 과 댐 유입량 예측의 응용, 한국 농공학회지 29-3, 59-74
30. 佐藤 政良, 1993, 이수 댐의 홍수 대책 저수지 관리, 일본 농업토목학회, 학술발표대회

31. 角屋 睦, 1986, 巨惊 低平 구역의 도시화와 내수 (1) ~ (9), 京都大 防  
災 研究所 年報 제 29 호 B -2
32. 千賀裕太郎, 1989, 水資源의 Soft science
33. 佐藤 勝夫, 1982, 洪水 流出 解析, 山海堂

## 분야별 공동 연구 참여 내역

공 동 연 구 항 목	연구기관 참여자	농어촌 진흥공사
이수 관리 실용화 모형	김 태 철	
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 저수량 일별 물 수지 분석</li> <li>○ 관개 저수지의 이수 관리 곡선</li> <li>○ 관개 저수지의 용량 결정</li> <li>○ 적정 홍수 조절 용량 설정</li> <li>○ 관개 용수의 농어촌 용수에로의 전용</li> <li>○ 저수지 군의 평형 저수량 관리 연구</li> <li>○ 유역 변경과 이수 계통의 광역화 연구</li> </ul>	김 태 철 노 재 경 노 재 경 김 병 규 김 병 규 서 승 덕 안 병 기	정 병 호    정 병 호
치수 관리 기본 모형 설정	김 태 철	
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 수문 관측소 운영</li> <li>○ 우리나라 유역의 새로운 CN 추정</li> <li>○ 설계 홍수량 모형</li> <li>○ 실시간 홍수 예측 모형</li> <li>○ 저수지 수문 조작 모형</li> </ul>	박 승 기 박 승 기 김 승 태 김 승 태 김 태 철	정 병 호 정 병 호