최 종
연구보고서

관개저수지의 한발 및 홍수 예측기법과 관리지침 개발

Management rules of irrigation reservoir for drought and flood control

1999. 10.

연구기관

충남대학교 농과대학 농업과학연구소

농 림 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “관개저수지의 한발 및 홍수 예측기법과 관리지침 개발” 에 관한 연구과제의 최종보고서로 제출합니다.

1999. 10.

연구기관명 : 충남대학교 농과대학 농업과학연구소

총괄연구책임자 : 김 태 철
세부연구책임자 : 안 병 기
연 구 원 : 박 승 기
연 구 원 : 문 종 필
연 구 원 : 노 재 경
연 구 원 : 민 진 우
연 구 원 : 강 인 식
연 구 원 : 박 상 춘

요 약 문

Ⅰ. 제 목 : 관개저수지의 한발 및 홍수 예측기법과 관리지침 개발

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 중요성

1. 연구개발의 목적

관개저수지의 한발 및 홍수예측기법과 관리지침은 농민과 농지개량조합, 농어촌진흥공사 및 도·시·군 등의 물관리 담당자들이 겪는 현장애로사항을 해결하는데 목적이 있다.

관개저수지의 한발예측과 관리지침은 이수관리곡선모형, 한발평가모형, 한발예측모형과 윤환관개모형으로 구성하여, 오늘 현재의 가뭄정도를 평가하고 예측하여, 이를 극복할 수 있는 제한시기, 제한급수량과 윤환관개지침을 제시하였다.

관개저수지의 홍수예측과 관리지침은 개략 홍수예측모형, 홍수유입량 예측모형, 수문조작모형 및 하류지역 침수예측모형으로 구성하여 객관적인 기준하에 수문을 조작하여 상하류 침수피해를 최소화 있는 홍수관리지침을 제시하였다.

2. 연구개발의 중요성

농림부(1996)는 쌀자급을 위한 논 108.2만ha의 100% 수리답화와 밭기반정비 10.7만ha 및 농촌 생활용수공급 등을 목표로 농어촌용수 10개년계획(1995 2004년)을 수립하여 2004년까지 15.5조원 투자를 계획하고 있다. 개발면적은 신규 20.3만ha, 보강개발 15만ha, 간척 5만ha 등 40.3만ha이며 개보수 1.4만개소, 농촌 생활용수개발 5,000개소를 계획하고 있다. 이 계획은 2004년까지 농촌용수공급량은 약 25.2억m^3 (신규 : 17.6, 보강 : 7.6)로 추산할 수 있다. 이 가운데 2004년까지 논관개용수 보강과 개보수할 저수량 확보량은 약 7.6억m^3 로 소요개발비는 약3조원으로 추정되고 있다.

이상 갈수시에는 용수간에 경쟁이 발생하여 수리권분쟁이 심각하다. 농촌용수개발은 적지감소와 높은 개발비로 곤란하므로 하드웨어적 갈수대책보다는 유역수리권조정과 종합적 이수관리 등 효율적 운영에 의한 소프트웨어적 갈수대책이 바람직하다.

한발 및 홍수 예측기법과 관리지침은 효율적으로 저수지를 관리하여 갈수기에는 한발피해를, 홍수기에는 침수피해를 최소화하여 논관개용수 보강과 개보수 소요개발비의 상당량을 대체할 수 있어 농업기반조성사업비 절감효과를 기대할 수 있다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

한발 및 홍수 예측기법과 관리지침을 개발하기 위하여 제1차년도(1996 97)에는 모형개발을 위한 자료 및 현지조사, 제2차년도(1997 98)에는 관개저수지의 한발 및 홍수예측모형 개발, 제3차년도(1998 99)에는 관개저수지의 한발 및 홍수예측모형 적용 등을 수행하였다.

Ⅳ. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구개발결과

가. 관개저수지 관리소와 행정자치부 방재망의 연결

1) 예당지, 탑정지의 경우 호우시 상류 강우관측소에 전화를 걸어 강수량을 확인하여 수문을 조작하였으나 전화불통, 관측자 부재 등으로 애로가 많았다.

2) 이 연구에서 행정자치부 방재시스템과 예당지와 탑정지를 연결하여 유역내 면(面)에 위치한 원격자동계측시설에서 실시간으로 강수량과 하천수위자료를 취득케 하였다. 1997년 7, 8월의 홍수시 예당지와 삽교호에 적정 홍수방류에 도움을 주었다.

나. 관개저수지의 한발예측모형 개발

1) 가뭄시에 구체적인 절수지침이 없기 때문에 물관리가 어렵고 농민들의 불만이 많았다.

2) 과거 저수지 운영실적으로부터 저수위별 당해 저수지의 가뭄특보와 제한급수율

을 제시하는 이수관리곡선 모형을 개발하였다.

3) 누가강수량, 유역토양수분량, 저수율 및 제한급수강도에 의한 한발평가모형을 개발하였다.

4) 현재 저수율과 토양수분량을 고려하여 유역내 얼마의 강수량이 있어야 저수지가 해갈될 것인가 예측하는 방법을 제시하였다.

장기간의 가뭄기록(누가강수량, 유역토양수분량, 저수율, 급수제한강도) 파일에서 10월1일부터 오늘까지의 가뭄기록패턴과 가장 비슷한 해의 가뭄기록패턴을 선정하고, 그로부터 오늘 이후의 가뭄패턴을 예측하는 한발예측모형을 개발하였다.

5) 기상청 기상예보와 연결하여 가뭄단계에 따라 제한급수시기, 제한급수량과 윤환관개구역을 제시하는 윤환관개모형을 개발하였다.

다. 관개저수지의 홍수예측모형 개발

1) 홍수시 상류 주민은 빨리 수문을 열기 원하고 하류 주민은 늦게 열기를 원하는데 구체적인 지침이 없기 때문에 홍수관리가 어렵고 주민들의 불만이 많다.

2) 호우주의보가 발령되면 현재 저수위에서, 인터넷에서 제공하는 주간예보상의 예상강수량을 입력하여, 이번 호우에 수문을 열어야 할지, 안열어도 될지를 개략적으로 판단해주는 개략 홍수예측모형을 개발하였다.

3) 개략 홍수예측모형에서 예측저수위가 홍수제한수위를 상회하면 상류 유역에서 관측된 강우량과 하천수위를 전송받아 실시간으로 홍수유입량을 예측하는 모형을 개발하였다.

4) 실시간 홍수유입량과 하류하천수위를 고려하여 적절한 방류량, 개문수, 개문고를 제시하여 하류 침수피해를 최소화할 수 있는 수문조작모형을 개발하였다.

5) 방류량이 하류하천과 농경지의 침수면적, 침수시간, 침수심 등을 예측하는 하류지역 침수예측모형을 개발하였다.

2. 활용에 대한 건의

가. 관개저수지의 한발예측기법과 관리지침

1) 관개저수지의 TC/TM에 의한 급수시설 자동화를 촉구한다.

2) 개발된 한발예측모형(이수관리곡선, 한발평가, 한발예측, 윤환관개 모형)은 관개저수지의 TC/TM에 의한 급수자동화 시설의 소프트웨어로 제공될 수 있다.

3) 가뭄극복 종합대책으로 ① 가뭄 평가방법개발 ② 제한급수에 의한 절수방안 ③ 윤환 및 간단관개의 복합관개시스템 구축 ④ 수로 관수로화, 지구내 조정지 및 용배겸용수로 설치 ⑤ 수리관리조직 강화 및 수리조정위원회 구성 ⑥ 평형저수량 관리 ⑦ 저수지의 안전조사 평가기준제정 및 보수강화 ⑧ 댐저수지 환경관리강화와 댐건설 확대 ⑨ 하천관리유량 확대를 위한 하천법 조정 등을 건의한다.

나. 관개저수지의 홍수예측기법과 관리지침

1) 관개저수지의 TC/TM에 의한 수문조작시설 자동화를 촉구한다.

2) 개발된 홍수예측모형(개략 홍수예측, 실시간 홍수유입량 예측, 수문조작, 하류지역 침수예측 모형)은 관개저수지의 TC/TM에 의한 수문조작 자동화시설의 소프트웨어로 제공될 수 있다.

3) 침수피해 경감 종합대책으로 ① 침수피해 평가 방법개발 ② 예비방류에 의한 침수피해 경감방안 ③ 수문자료의 원격측정 및 전송망 확대 ④ 홍수예경보 시스템의 개발과 보급 ⑤ 배수장 확대 등을 건의한다.

3. 기술지도 실시

가뭄시 관개저수지의 가뭄정도를 평가, 예측하여 객관적 윤환관개지침에 의한 절수방법과 홍수시 관개저수지의 홍수유입량을 예측하여 합리적으로 수문을 조작하고 하류지역 침수를 예측하는 방법을 예당, 논산 및 기타 농지개량조합 물관리자들에게 기술지도한다.

4. 인터넷 홈페이지 개설

예당지와 탑정지를 대상으로 관개저수지의 한발 및 홍수 예측기법과 관리지침을 물관리자들이 실무적으로 활용하도록 홈페이지(http:\\warema.chungnam.ac.kr)를 개설하여 계속 보완 홍보할 계획이다.

SUMMARY

The purpose of the management rules for drought and flood control in the irrigation reservoirs is to provide the guidelines to solve the problems of water management for the farmers, member of farmland improvement associations, and government officers.

The management rules for drought control in the irrigation reservoirs includes the operation rule curve model, the drought evaluation model, the drought forecasting model, and the rotational irrigation planning model.

The severity of drought could be evaluated by the accumulative rainfall method, soil moisture condition method, storage ratio method, and water supply restriction intensity method, etc.

The pattern of drought could be forecast with the most similar pattern of accumulative rainfall out of the file of past rainfall history. The information that how much rainfall should be expected to overcome the present drought could be obtained from the reservoir storage ratio and soil moisture condition.

The principle management rule of irrigation reservoir is to accelerate the water use and supply the water actively when water is sufficient, and to restrict the water use and supply the water contineously when water in the reservoir is scarce. In the drought season, water should be saved in order to keep the reservoir not to be dried up during irrigation season. It is very important to know how much water to be saved depending on the rice-growing season and water storage volume. Since there is no proper operation rule of irrigation reservoir, water managers have difficulties how to and when to restrict the water supply.

Drought forecasting by advanced technique is much more reasonable than by the experienced method. With the help of informations in the Internet regarding to climate forecasting, restriction ratio by operation rule curve and rotation irrigation system by irrigation district map prepared by GIS would be proposed and applied to lessen the serious drought damage more reasonably and practically.

The management rules for drought control in the irrigation reservoirs developed in the study could be utilized as software program to install TC/TM system for irrigation water supply by automation facilities.

The following topics are proposed as comprehensive counteracts of drought overcome. Those are the drought evaluation technique, saving water method by ristricted water supply, combined system of rotational and intermitent irrigation, pipeline system of irrigation canal, regulation reservoir system, committee of irrigation water-right, balanced storage volume, dam rehabilitation and construction, etc.

The management rules for flood control in the irrigation reservoirs includes the general flood forecasting model, the flood inflow forecasting model, the gate operation model, and the downstream inundation forecasting model. In addition, irrigation reservoirs with the large storage volume and spillway gates have generally supplementary function of flood control. It is very complicate to operate the spillway gate in the irrigation reservoirs, because it has two contradictory functions of irrigation and drainage. In the flood season, residents in upstream urge water managers to open the spillway gate as quickly as possible, and residents in downstream urge water managers to open the spillway gate as late as possible to protect their farmland from being inundated. Since there is no proper gate operation rule of irrigation reservoir, water managers have difficulties

how to and when to open the gate. Flood forecasting by advanced technique is much more reasonable than by the experienced method. With the help of informations in the Internet regarding to storm forecasting, the flood discharge and water level in the reservoir could be forecast and the release discharge from gates and inundated area map with GIS would be proposed and applied to lessen the serious flood damage more reasonably and practically.

The management rules for flood control in the irrigation reservoirs developed in the study could be utilized as software program to install the TC/TM system for spillway gate operation by automation facilities.

The following topics are proposed as the comprehensive counteracts of flood control. Those are the inundation damage evaluation technique, lessening the inundation damage by pre-releasing technique, construction of telemetering system for hydrologic observations, development of flood forecasting and warning system, and construction of drainage pumping station, etc..

The technique of management rules for drought and flood control in the irrigation reservoirs developed in the study could be transfered to the water managers such as farmers, members of farmland improvement associations, and government officers.

The management rules for drought and flood control in the irrigation reservoirs developed in the study could be searched in the Internet homepage address of http:\\warema.chungnam.ac.kr.

Contents

목 차

표 목 차

그 림 목 차

제 1 장 서 론

관개저수지의 한발 및 홍수 예측기법과 관리지침은 농민과 농지개량조합 및 도·시·군의 물관리 담당자가 겪고 있는 현장애로사항을 해결하는데 목적이 있다.

연구결과의 활용, 보급을 위하여 인터넷 홈페이지(http://warema.chungnam.ac.kr)에 내용을 제공한다.

제 1 절 연구 배경

WTO에 의한 시장개방으로 농업생산구조의 붕괴와 농촌생활환경의 공동화현상이 우려되고 있다. 누군가는 농촌에 살면서 농사를 져야 국토자연환경과 국가산업구조를 유지할 수 있어, 관개저수지를 이용하여 농업생산기반과 농촌생활환경을 개선할 필요성이 대두되고 있다.

21세기 우리 농업은 국민식량공급과 함께 수자원, 토양, 환경 등 자연보전과 휴식처 제공 및 지역사회의 공간유지기능도 확대될 전망이다. 1995년 6월 시행된 농어촌정비법에는 벼에 물을 공급하던 농업용수개념이 농촌에서의 생활, 공업, 농업, 수산, 환경용수 등 종합적인 농촌용수 개념으로 바뀌어 생활, 생산, 자연환경을 향상시키는 기능을 강화하고 있다.

한발 및 홍수 예측기법을 개발하여 농민과 농지개량조합이 효율적으로 저수지를 관리하면 갈수기에는 한발피해를, 홍수기에는 침수피해를 감소시켜 논관개용수 보강과 개보수 소요개발비의 상당량을 대체할 수 있어 농업기반조성사업비 절감효과를 기대할 수 있다.

1. 연구 배경

가뭄시에는 관개저수지의 저수위변화를 예측하여 효율적으로 제한급수를 할 수

있고, 홍수시에는 홍수유입량을 예측하여 효율적으로 홍수량을 배제할 수 있는 한발 및 홍수예측기법을 개발하고자 한다. 개발된 한발 및 홍수 예측기법을 기초로 물관리자가 합리적으로 저수지를 이·치수할 수 있는 관리지침을 제시하므로서 국가적으로 생산기반정비사업 예산을 절감할 수 있는 방안을 마련하고자 한다.

한발시에 농민들은 무제한급수를 요구하고 있으나 관개저수지의 저수량이 적어지면 제한급수를 해야 한다. 그러나, 어느 저수위일 때, 어떤 양을 제한급수해야 하는지 규정이 없어 현장에서 애로가 많다. 따라서, 저수위변화를 예측하여 객관적으로 제한급수할 수 있는 기준을 설정할 필요가 있다. 가뭄시 중장기기상예보와 유역토양수분변화로부터 저수지 한발과 저수위변화를 예측하고 GIS를 이용하여 제한급수를 위한 윤환관개지침을 제시하므로서 가뭄피해를 최소화하는데 연구의 배경이 있다.

홍수시 저수지로 유입되는 홍수량을 알 수 없기 때문에 객관적으로 방류할 수 있는 기준이 없어 현장에서 애로가 많다. 따라서, 저수지에로의 홍수유입량과 저수위변화를 예측하여 객관적으로 방류할 수 있는 기준을 설정할 필요가 있다. 홍수시 지역기상예보와 유역토양수분변화로부터 홍수유입량과 저수위변화를 예측하고 GIS를 이용하여 하류하천수위와 침수구역을 고려하여 수문조작지침을 제시하므로서 침수피해를 최소화하는데 연구의 배경이 있다.

2. 연구개발의 중요성

농림부(1996)는 쌀자급을 위한 논 108.2만ha의 100% 수리답화와 밭기반정비 10.7만ha 및 농어촌 생활용수공급 등을 목표로 농어촌용수 10개년계획(1995 2004년)을 수립하여 2004년까지 15.5조원 투자를 계획하고 있다.

개발면적은 신규 20.3만ha, 보강개발 15만ha, 간척 5만ha 등 40.3만ha이며 개보수 1.4만개소, 농어촌 생활용수개발 5,000개소를 계획하고 있다.

논관개용수는 기계이앙과 직파재배, 대구획 경지정리 등 영농방법의 변화로 물수요량은 급증하고 있다. 2004년까지 농어촌용수공급량은 약 25.2억m^3 (신규 : 17.6, 보강 : 7.6)로 추산할 수 있다. 이 가운데 2004년까지 논관개용수 보강과 개보수할 저수량

확보량은 약 7.6억m^3 로 소요개발비는 약3조원으로 추정되고 있다.

제 2 절 연구의 필요성

관개저수지의 한발 및 홍수 예측기법은 유역특성, 강우특성과 저수지 특성이 각기 다르기 때문에 외국의 선진기술을 도입하여 이용하기가 어려운 분야이다.

1. 기술적 측면

관개저수지의 한발예측과 관리지침은 이수관리곡선모형, 한발평가모형, 한발예측모형과 윤환관개모형으로 구성하여, 오늘 현재의 가뭄정도를 평가하고 이를 극복할 수 있는 제한시기, 제한급수량과 윤환관개계획을 제시하였다.

이수관리곡선모형은 기준저수량곡선과 제한급수량곡선으로 구성되었으며, 관개기별로 저수량에 따라 가뭄특보와 제한급수율을 제시하고 이에따라 절수관리를 객관적이고 실용적으로 실행할 수 있는 기준을 제시하였다. 저수량을 최대한 이용하기 위한 계획을 수립하는데 가장 큰 문제는 유입량을 예측할 수 없는 것이다. 그러나, 정확한 예측은 어렵더라도 그 동안의 유입량에 대한 저수위의 거동을 분석하여 급수관리 규정을 수립하면 효율적으로 저수지를 운영할 수 있을 것이다.

한발평가모형은 과거 누가강수량과 금년 현재까지의 누가강수량을 비교하여 가뭄정도를 평가하는 방법, 유역토양수분량으로부터 가뭄정도를 평가하는 방법, 저수율로부터 가뭄정도를 평가하는 방법, 급수제한강도(%・day)로부터 가뭄정도를 평가하는 방법 등으로 관개저수지의 가뭄정도를 평가하였다.

한발예측모형은 장기간의 가뭄기록(누가강수량, 유역토양수분량, 저수율, 급수제한강도 등)파일에서 10월1일부터 오늘까지 가뭄기록패턴과 가장 비슷한 해의 가뭄기록패턴을 선정하고, 그 해의 오늘 이후 한발을 예측하는 한발예측모형을 개발하였다.

또한, 현재 저수율과 토양수분량을 고려하여 유역내 얼마의 강수량이 있어야 저수지가 해갈될 것인가 아는 방법을 제시하였다.

윤환관개모형은 기상청에서 제공하는 Internet상의 중장기기상예보(월간, 주간예보 등)를 연결하여 앞으로 유역내 예상강수량으로부터, 현재의 저수량으로 가뭄을 극복할 수 있도록 제한급수시기, 제한급수량과 윤환관개구역을 설정하는 방법을 제시하였다.

관개저수지의 홍수예측과 관리지침은 개략 홍수예측모형, 홍수유입량 예측모형, 수문조작모형 및 하류지역 침수예측모형으로 구성하여 객관적인 기준하에 수문을 조작하여 상하류 침수피해를 최소화할 수 있는 홍수관리지침을 제시하였다.

개략 홍수예측모형은 저수지 유역에 호우주의보가 발령되면 현재의 저수위 상태에, 인터넷에서 기상청, Weathernet 등에서 제공하는 주간예보(5 6일간)상의 예상강수량을 입력하여, 이번 호우에 예상되는 홍수관리단계가 어느 단계가 될지, 수문을 열어야 할지, 안 열어도 될지를 개략적으로 판단하는 것은 대단히 중요한 정보를 제공한다. 개략 홍수예측모형을 활용하여 사전에 시간적 여유를 가지고 홍수대책을 미리 수립하여 홍수피해를 경감시킬 수 있다. 홍수피해의 경우, 홍수예경보의 효율은 2시간전이 가장 효율적인 것에 비추어 예당지와 탑정지의 홍수도달시간은 4 6시간이상이므로 충분한 홍수예경보 예지시간이 있다.

홍수유입량 예측모형은 저수지 유역에 호우주의보가 발령되면 개략 홍수예측모형으로 개략적인 홍수대책을 수립할 수 있지만, 일단, 예측저수위가 홍수제한수위를 상회하여 수문을 열어야 할 것으로 판단되면 실시간 강우에 의한 홍수유입량을 예측하여, 저수위를 고려한 적정방류량과 하류하천의 침수상태(침수면적, 침수심, 침수시간 등)를 예측하여 침수피해를 최소화할 수 있도록 하였다.

수문조작모형은 홍수예경보시에 행정자치부 방재망을 통하여 상류유역 7개 자기강우관측소에서 전송되는 강수량자료로 실시간 홍수예측모형에서 유입량을 예측하고, 이로부터 예측되는 저수위를 고려하여 상, 하류의 침수피해를 최소화할 수 있는 적정방류량과 수문개수와 개방고를 제시하였다.

하류지역 침수예측모형은 예측 저수위와 하류하천수위를 고려하여 적정방류량이 결정되면, 방류량에 따라 하류하천수위가 상승하여 지구내 농경지의 내배수가 불가능하므로 예상되는 침수면적, 침수심과 침수시간 등을 GIS를 이용한 지구내 배수계통도로부터 예측하여 적절한 방류계획과 수해방지대책을 수립할 수 있도록 하였다.

2. 경제·산업적 측면

농촌용수개발 못지 않게 중요한 것이 기설 수리시설의 효율적인 관리이다. 2004년까지 저수지를 개보수하여 저수량을 확보하여 논관개용수를 보강하고자 하는 용수는 약 7.6억m^3으로 계획하고 있다.

관개저수지의 한발 및 홍수 예측기법이 개발되어 한발시에는 효율적인 물관리로 물을 절약하여 유효방류율을 200%까지 올리면 논관개용수를 위한 보강과 개보수 사업량 약 7.6억m^3의 농촌용수 일부를 공급할 수 있고, 홍수시 농경지 침수와 인명피해를 줄일 수 있을 것이다.

농촌에 산재돼 있는 관개저수지에서 광역상수도가 미치지 않는 농어촌에 생활용수, 공업용수를 공급하는 것은 경제적, 사회적 측면에서도 대단히 효과가 클 것이다.

장기적으로는 ① 농업생산기반 확립 ② 농지기반조성사업 예산절감 ③ 농민과 농지개량조합에 물관리 정보제공 ④ 관개저수지 활용으로 농민간접수익효과 ⑤ 농지개량조합의 수익사업 방안제시 등을 기대할 수 있을 것이다.

3. 사회·문화적 측면

2004년에는 3백만명 농민은 5천만명 국민에게 먹거리를 마련해야 한다. 젊은 농민이 선진화된 농장에서 힘들지만 보람을 갖고 일할 수 있고, 농사일은 안하더라도 농촌에 살면서 농공단지 및 도시근로자로 일할 수 있도록 활기찬 농촌공간을 만들어야 한다. 살기 좋은 농촌을 건설하기 위해서는 농촌용수를 개발, 관리하여 생활환경과

생산환경을 개선하고 자연환경을 보전하는데 많은 투자가 이루어져야 한다.

농업구조개선 42조원과 농특세 15조원을 농업의 경쟁력강화와 농민의 복지향상에 투자하고 있다. 쌀농사의 환경보전적 가치는 연간 3조 8조원에 이르는 것으로 평가되고 있다. 관개저수지는 쌀자급을 위한 전진기지로서의 기능과 함께 자연환경보전의 기능을 가지고 있다.

따라서, 관개저수지의 한발 및 홍수 예측기법 개발로 소하천의 이수, 치수는 물론 친수기능을 강화하여 생활환경과 생산기반을 향상시켜 떠나는 농촌이 아닌 돌아오는 농촌을 만들어야 한다. 농촌의 소하천에 맑은 물이 흘러야 도시의 중대하천도 깨끗한 물이 흐르게 마련이다.

제 3 절 연구개발의 목적

강우량을 실시간으로 원격 전송받아 관개저수지의 이수관리와 치수관리에 활용하도록 하였다. 가뭄시 관개저수지의 가뭄정도를 평가, 예측하여 윤환관개지침에 따른 절수방법을, 홍수시 관개저수지의 홍수유입량을 예측하여 합리적으로 수문을 조작하여 하류지역의 침수피해를 최소화하는 방법을 물관리자들에게 기술지도할 것이다.

1. 관개저수지의 한발예측과 관리지침

효율적인 저수량 관리는 풍수기에는 저수량을 활용하기 위하여 하류지역의 물수요를 찾아 적극적으로 공급하고, 갈수기에는 저수량이 감소한 상태에서 적합한 방법으로 급수를 억제하여 부족한 물로 수익지역의 물수요를 중단없이 공급하는 것을 말한다. 관개기가 끝나기 전까지는 저수량이 바닥나지 않도록 관리를 하는 것이 합리적이므로 저수량이 감소하면 절수(節水) 등으로 물관리를 강화하게 된다. 그러나, 이 때 물관리 담당자는 경험적으로 운영할 뿐, 객관적이고 정량적인 운영하는 방법은 아직 확립되어 있지 않다.

이를 위하여 한발평가모형, 이수관리곡선모형, 윤환관개모형으로 구성된 관개저수지의 한발예측모형을 개발하였다.

2. 관개저수지의 홍수예측과 관리지침

수문(水門)이 있고 저수용량이 큰 관개저수지는 일반적으로 홍수조절기능을 갖게 된다. 그러나, 수문조작지침은 물넘이 방류량이 크고 조작방법이 대단히 복잡하여 경험적으로 홍수를 방류하지만 정량적으로 파악하여 적합하게 방류하는 방법이 확립되어 있지 않아 현장에서 물관리를 담당하는 실무자는 애로가 대단히 많다.

이를 위하여 개략 홍수예측모형, 실시간 홍수유입량 예측모형, 수문조작모형, 하류지역 침수예측모형 등으로 구성된 관개저수지의 홍수예측모형을 개발하였다.

제 4 절 연구개발 내용 및 범위

한발 및 홍수 예측기법과 관리지침 개발을 위한 3개년 연구로 제1차년도(1996 1997)에는 모형개발을 위한 자료 및 현지조사, 제2차년도(1997 1998)에는 관개저수지의 한발 및 홍수예측모형 개발, 제3차년도(1998 1999)에는 관개저수지의 한발 및 홍수예측모형 적용 등을 수행하였다.

연구대상 저수지인 예당지와 탑정지의 관리책임자를 연구원으로 참여시켜 현장의 애로사항을 보다 정확히 파악하고 분석에 필요한 제반 이수, 치수자료를 취득하였다.

연차별 세부 연구내용은 다음과 같다.

제 1 차년도 (1996 1997) : 모형개발을 위한 자료 및 현지조사

1. 대상 관개저수지의 기상 및 수문조사
2. 수문시설 설치 및 관측 (수위, 강우, 유량, 토양수분, 지하수위)
3. 대상 관개저수지의 급수 및 한해실적분석
4. 대상 관개저수지의 침수 및 수해실적분석
5. GIS를 이용한 한발 및 홍수 피해예상지역 조사
6. 유역지형도, 지질도, 토양도, 토지이용도 자료조사
7. 모형개발에 필요한 유역토양수분측정과 하천수위 및 유량측정

제 2 차년도 (1997 1998) : 관개저수지의 한발 및 홍수예측모형 개발

1. 대상 관개저수지의 기상 및 수문조사
2. 모형개발에 필요한 수문관측 (강수, 하천수위, 유량, 토양수분, 지하수위)
3. 관개저수지의 한발예측모형 개발
   가. 가뭄평가모형 개발
   나. 이수관리곡선에 의한 제한급수지침
   다. GIS를 이용한 윤환관개지침
   라. 비조절형 저수지의 보강방법
4) 홍수유입예측 및 수문조작모형 개발
   가. 토양수분예측에 의한 홍수유입량 예측모형
   나. 홍수단계별 저수지 수문조작 기준작성
   다. 시기별, 저수율별 기상예보에 따른 예비방류지침
   라. GIS를 이용한 침수면적 및 침수시간 예측

제 3 차년도 (1998 1999) : 관개저수지의 한발 및 홍수예측모형 적용

1. 대상 저수지의 기상 및 수문조사
2. 모형검정에 필요한 수문관측 (강수, 하천수위, 유량, 토양수분, 지하수위)
3. 유역한발 및 한발예측모형 검증
   가. 이수관리곡선에 의한 가뭄예측모형
   나. 기상예보에 따른 제한급수지침
   다. GIS를 이용한 윤환관개모형
4. 한해다발지역에 적용 및 관리방안
5. 홍수유입 및 홍수예측모형 검증
   가. 기상예보에 의한 개략 홍수예측모형
   나. 토양수분예측에 의한 홍수유입량 예측모형
   다. 저수지 수문조작 모형
   라. 하류지역 침수예측 모형
6. 수해다발지역에 적용 및 관리방안
7. 실용화 프로그램 및 사용지침서

제 5 절 기대효과 및 활용방안

1. 기대효과

가. 관개저수지 관리소와 행정자치부 방재망의 연결

1) 예당지와 탑정지의 경우 호우시 상류 강우관측소에 전화를 걸어 강수량을 확인하여 수문을 조작하였으나 전화불통, 관측자 부재 등으로 애로가 많았다.

2) 이 연구에서 행정자치부 방재시스템과 예당지와 탑정지를 연결하여 유역내 면(面)에 위치한 원격자동계측시설에서 실시간으로 강수량과 하천수위자료를 취득케 하였다. 1997년 7, 8월의 홍수시 예당지와 삽교호에서 홍수량을 적정방류하는데 도움을 주었다.

나. 관개저수지의 한발예측모형

1) 가뭄시 구체적 절수지침이 없어 물관리가 어렵고 농민들의 불만이 많다.

2) 과거의 저수지 운영실적으로부터 저수위별 당해 저수지의 가뭄특보와 제한급수율을 제시하는 이수관리곡선모형을 개발하였다.

3) 누가 강수량, 유역토양수분량, 저수율 및 제한급수강도에 의한 한발평가모형을 개발하였다.

4) 현재 저수율과 토양수분량을 고려하여 유역내 얼마의 강수량이 있어야 저수지가 해갈될 것인가 예측하는 방법을 제시하였다.

장기간의 가뭄기록(누가강수량, 유역토양수분량, 저수율, 급수제한강도) 파일에서 10월1일부터 오늘까지의 가뭄기록패턴과 가장 비슷한 해의 가뭄기록패턴을 선정하고, 그로부터 오늘 이후의 가뭄패턴을 예측하는 한발예측모형을 개발하였다.

5) 기상청 기상예보와 연결하여 가뭄단계에 따라 제한급수시기, 제한급수량과 윤환관개구역을 제시하는 윤환관개모형을 개발하였다.

다. 관개저수지의 홍수예측모형

1) 홍수시 상류 주민은 빨리 수문을 열기 원하고 하류 주민은 늦게 열기를 원하는데 구체적인 지침이 없기 때문에 홍수관리가 어렵고 주민들의 불만이 많다.

2) 호우주의보가 발령되면 현재 저수위상태에서, 인터넷 기상청, Weathernet site 등에서 제공하는 주간예보상의 예상강수량을 입력하여, 이번 호우에 수문을 열어야 할지, 안열어도 될지를 개략적으로 판단해주는 개략 홍수예측모형을 개발하였다.

3) 개략 홍수예측모형에서 예측저수위가 홍수제한수위를 상회하면 상류유역에서 관측된 강우량과 하천수위를 전송받아 실시간으로 홍수유입량을 예측하는 모형을 개발하였다.

4) 실시간 홍수유입량 예측모형과 하류하천수위를 고려하여 적절한 방류량과 개문수, 개문고를 제시하여 상, 하류 침수피해를 최소화할 수 있는 저수지 수문조작 모형을 개발하였다.

5) 방류량이 저수지 하류하천과 농경지의 침수면적, 침수시간, 침수심 등을 예측하는 하류지역 침수예측모형을 개발하였다.

2. 활용방안

가. 관개저수지의 한발예측기법과 관리지침

1) 관개저수지의 한발예측모형과 관리지침을 범용화한다.
2) 관개저수지의 TC/TM에 의한 급수시설의 자동화를 촉구한다.
3) 개발된 한발예측모형(이수관리곡선, 한발평가, 한발예측, 윤환관개모형)은 관개저수지의 TC/TM에 의한 급수자동화시설의 소프트웨어로 제공될 수 있다.

나. 관개저수지의 홍수예측기법과 관리지침

1) 관개저수지의 홍수예측모형과 관리지침을 범용화한다.
2) 관개저수지의 TC/TM에 의한 수문조작시설의 자동화를 촉구한다.
3) 개발된 홍수예측모형(개략 홍수예측, 실시간 홍수유입량 예측, 수문조작, 하류

지역 침수예측 모형 등)은 관개저수지의 TC/TM에 의한 수문조작 자동화 시설의 소프트웨어로 제공될 수 있다.

3. 기술지도 실시

가. 가뭄시 관개저수지의 가뭄정도를 평가, 예측하여 윤환관개지침에 따른 절수방법을 예당, 논산 및 기타 농지개량조합 물관리자들에게 기술지도할 것이다.

나. 홍수시 관개저수지의 홍수정도를 평가, 예측하여 합리적 수문조작방법과 하류 침수구역을 예측하는 방법을 예당, 논산 및 기타 농지개량조합 물관리자들에게 기술지도할 것이다.

제 6 절 연구기간

1996년 10월26일 1999년 10월25일 (3개년)

제 7 절 연구원 명단

구 분	성 명	소 속	비 고
연구책임자	김태철	충남대학교 농과대학 교수	연구총괄 및 홍수예측
세부책임자	안병기	충남대학교 농과대학 교수	한발예측 세부
연구원	박승기	대전대학교 강사	수문관측 및 GIS분석
	문종필	우송대학교 강사	홍수예측모형
	노재경	한국수자원공사 연구원	자료수집 및 조사
	민진우	한국 Nextel 직원	한발예측모형
	강인식	예당농지개량조합 부장	자료수집 및 자문
	박상춘	논산농지개량조합 부장	자료수집 및 자문
연구보조원	김영식	충남대학교 대학원 농공학과	수문관측 및 분석
	박정남	충남대학교 대학원 농공학과	수문관측 및 분석
	이재면	충남대학교 대학원 농공학과	한발예측모형
	박철동	충남대학교 대학원 농공학과	자료수집 및 조사
	엄민용	충남대학교 대학원 농공학과	홍수예측모형

제 2 장 대상 관개저수지의 개요

한발 및 홍수 예측기법과 관리지침을 개발하기 위한 대상 관개저수지로는 예당저수지를, 이를 검증하기 위한 대상저수지로는 탑정저수지를 선정하였다. 두 저수지의 유역개요와 관개현황은 다음과 같다. 부록에 예당 및 탑정저수지의 관리규정을 수록하였다.

제 1 절 예당저수지

예당지(禮唐池)의 관개면적은 8,788ha 이지만, 삽교호와 일부 대체급수를 실시하여 용수사정에 따라 매년 실급수면적이 6,900ha 9,000ha 로 가변적이다. 1996년의 예당지 실관개실적은 6,900ha 였다. 또한, 홍수기인 6월21일부터 9월20일까지는 저수위(貯水位)를 EL.21.5m로 1.0 m 낮추어 약 1,000만m^3 (유효저수량의 22%)의 홍수조절용량을 두고 있다. 텐터게이트 물넘이 바닥표고는 El.m 19.5으로 저수량은 1,884만m^3 로 전체의 약40%이다.

설계홍수량은 200년빈도 설계강우량 319mm로부터 추정한 1,300m^3/s 이다. 물넘이는 텐터케이트 3.6m(H)×6.0m(W)×26련으로 구성되어 있다.

참고로 예당농지개량조합에서 관리하는 관개저수지는 표. 3 과 같다.

표. 1 예당지 제원

구 분	단 위	성 과	구 분	단 위	성 과
유역면적	ha	37,360	관개면적	ha	8,788 (6,900)
총저수량	ha-m	4,710	유효저수량	ha-m	4,607
만수위	El.m	22.5	사수위	El.m	14.5
제한수위	El.m	21.5	홍수조절용량	ha-m	1,000
물넘이바닥	El.m	19.5	물넘이저수량	ha-m	1,884

표. 2 예당지 저수위-유효저수량

저수위	수면적	유효저수량	저수위	수면적	유효저수량
El. m	ha	× 10^4 m^3	El. m	ha	× 10^4 m^3
14.5	101.6	0.0	19.0	631.8	1,550.9
15.0	127.7	56.7	19.5	712.3	1,884.4
15.5	163.7	129.0	20.0	798.1	2,258.9
16.0	253.0	232.3	20.5	860.6	2,670.0
16.5	329.1	376.6	21.0	929.5	3,113.4
17.0	382.7	553.1	21.5	977.3	3,585.7
17.5	444.0	758.1	22.0	1,027.0	4,082.5
18.0	495.2	991.0	22.5	1,088.7	4,607.0
18.5	565.7	1,254.0	22.8	1,124.0	4,936.3

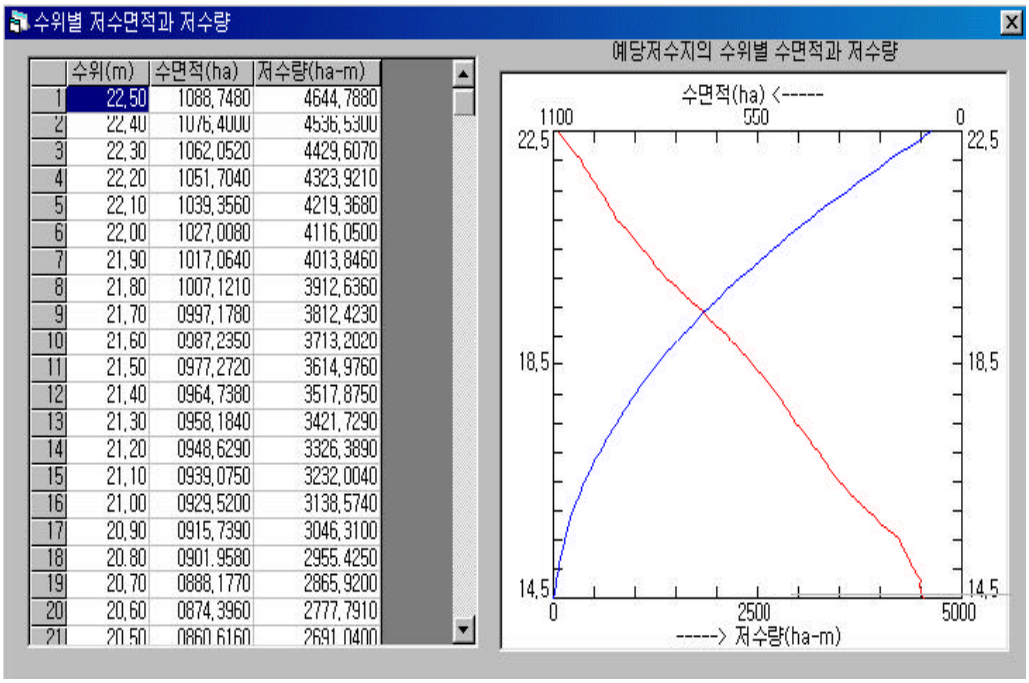


그림. 1 예당저수지 내용적곡선

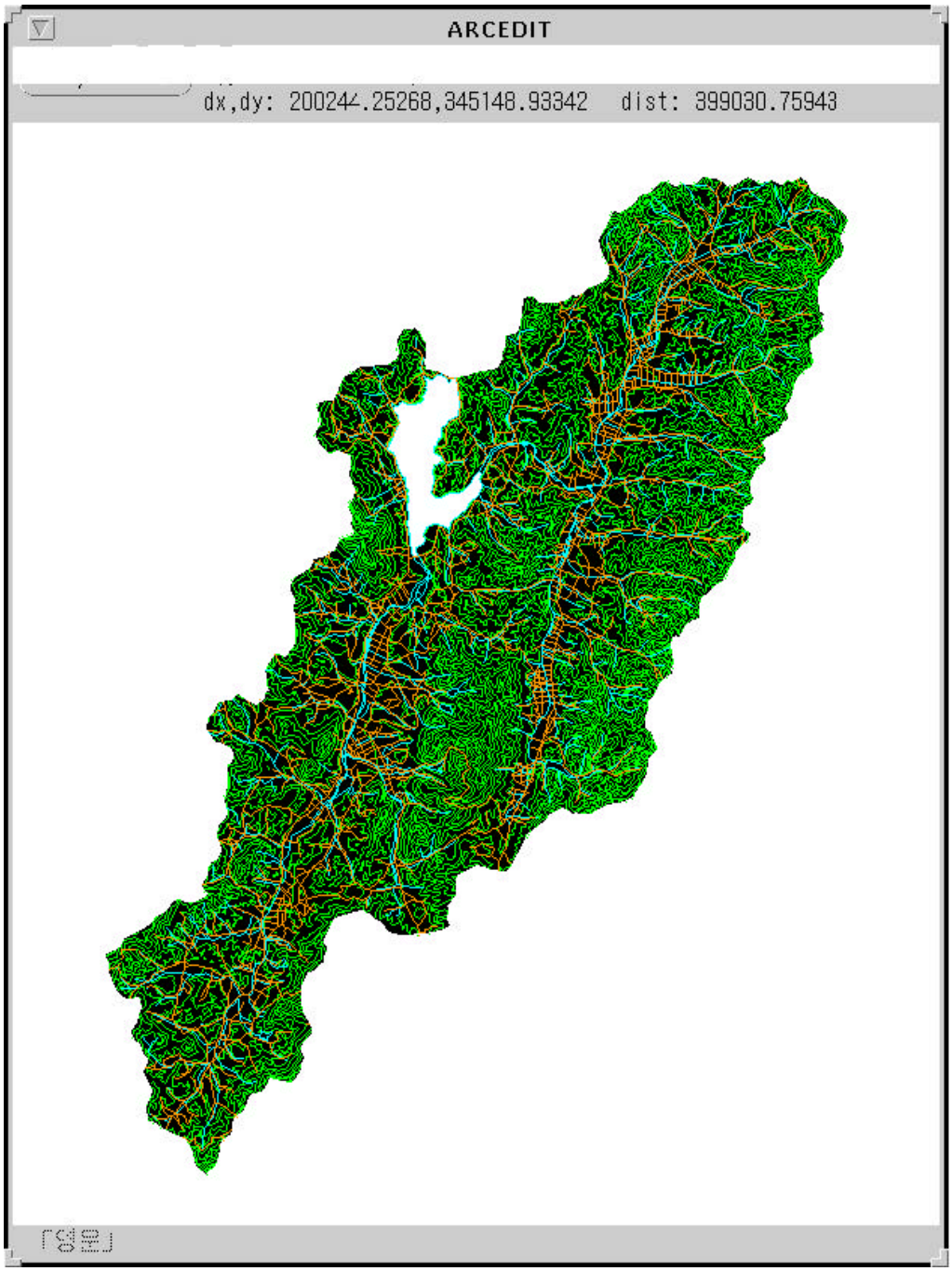


그림. 2 예당지 유역도

표. 3 예당농지개량조합 관내 저수지 제원

저수지명	설치 년도	유역 면적	관개 면적	만수 면적	저 수 량			제 방		비 고
					단위	총	유효	높이	길이	
		ha	ha	ha	mm	10^4m^3	10^4m^3	m	m	
예당지	1964	37,360	8,800	1,088	460	4,710	4,607	13.3	315	
옥계지	1957	1,182	374	43	655	301	274	18	178	'92 숭상
방산지	1982	690	313	33	650	204	198	19	330	
송석지	1979	560	205	24	640	144	141	20	270	
여래미	1990	380	163	14	690	133	124	26.5	184	
봉림지	1944	840	281	19	460	106	106	13.5	246	
수철지	1931	490	230	15	440	78	78	16.8	224	
산묵지	1982	220	129	9	712	72	71	22	99	
용봉지	1979	420	106	16	500	50	49	11	148	
보강지	1982	160	108	6	695	48	48	26.5	103	
월암지	1992	205	30	8	540	32	32	10	168	
상가지	1993	234	51	4	527	27	24	28	283	
백미제	1938	220	32	8	382	10	10	4.5	471	
계		42,961	10,822	1,287	565	5,921	5,762	17.6	232	

제 2 절 탑정저수지

탑정지(塔亭池)는 관개면적 5,862ha이며 1996년 현재 실급수면적은 5,300ha이다. 또한, 홍수기인 6월21일부터 9월 20일까지는 저수위를 EL.27.3m로 1.0m를 낮추어 약 580만m^3 (유효저수량의 18%)의 홍수조절용량을 두고 있다.

텐터게이트 물넘이 바닥표고는 El.m 24.3으로, 이 때의 저수량은 1,260만m^3으로 전체의 약 40%이다. 설계홍수량은 200년빈도 설계강우량 319mm로부터 추정한

1,300m^3/s이다. 물넘이는 텐터게이트 4.3m (H)×8.0m (W)×10련으로 구성되어 있다.

표. 4 탑정지 제원

구 분	단 위	성 과	구 분	단 위	성 과
유역면적	ha	21,880	관개면적	ha	5,862
총저수량	ha-m	3,193	유효저수량	ha-m	3,161
만수위	El.m	28.3	사수위	El.m	16.0
홍수제한수위	El.m	27.3	홍수조절용량	ha-m	580
물넘이바닥	El.m	24.3	물넘이저수량	ha-m	1,260

표. 5 탑정지 저수위-유효저수량

저수위	수면적	유효저수량	저수위	수면적	유효저수량
El. m	ha	× 10^4 m^3	El. m	ha	× 10^4 m^3
16.0	7.7	0.0	22.5	247.0	696.5
16.5	16.9	6.2	23.0	288.0	830.3
17.0	36.0	19.5	23.5	325.0	983.9
17.5	54.4	42.1	24.0	346.8	1,152.0
18.0	61.7	71.2	24.5	367.4	1,330.6
18.5	71.7	104.6	25.0	391.0	1,520.2
19.0	86.5	144.2	25.5	415.8	1,721.0
19.5	107.6	192.8	26.0	438.7	1,935.6
20.0	125.9	251.2	26.5	472.5	2,163.4
20.5	145.0	319.0	27.0	522.8	2,412.3
21.0	162.9	396.0	27.5	551.0	2,680.8
21.5	180.7	482.7	28.0	612.6	2,971.7
22.0	212.0	580.7	28.3	650.0	3,161.1

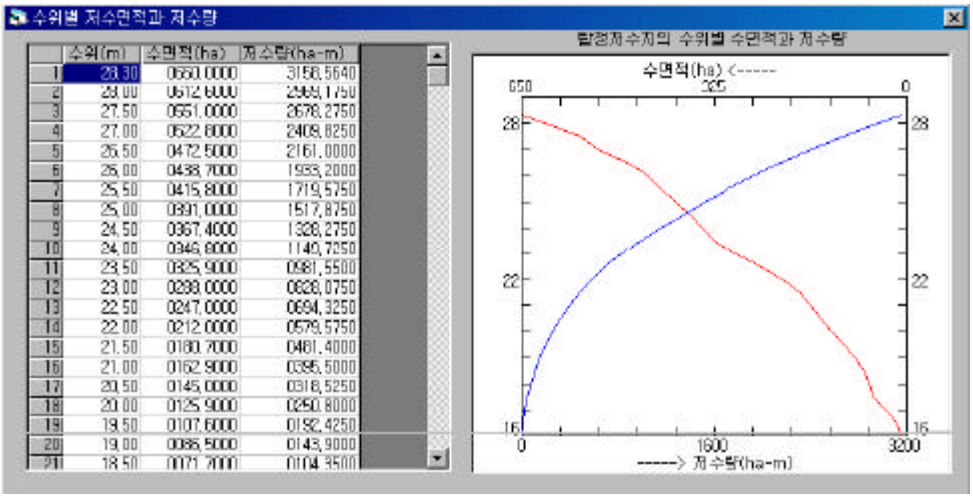


그림. 3 탑정저수지의 내용적곡선

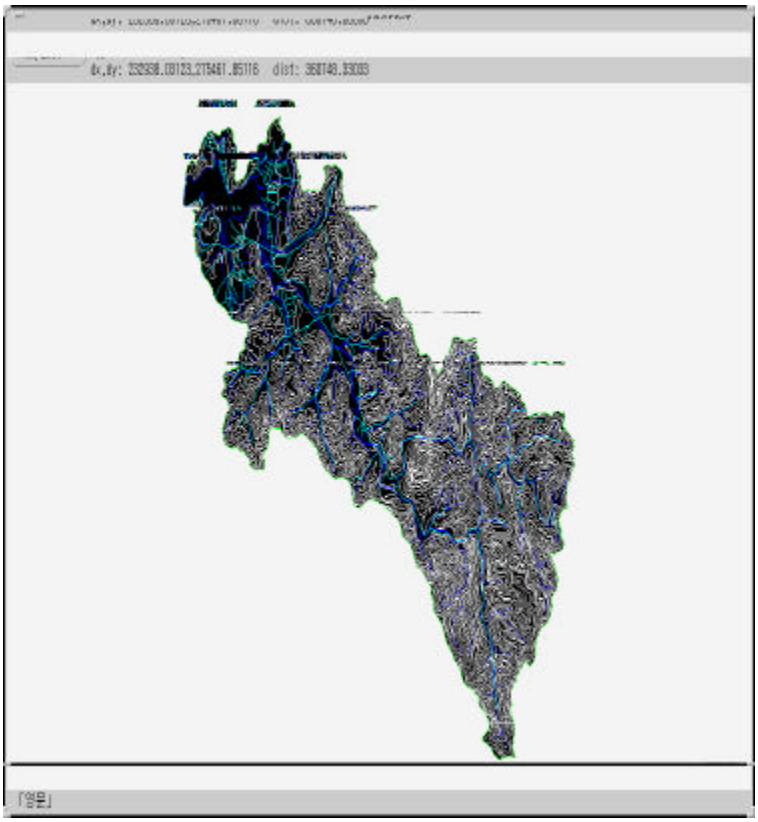


그림. 4 탑정지 유역도

제 3 장 기상 및 수문자료

급수실적과 한발피해분석을 위하여 장기간의 일별강수량, 증발량 등 기상자료와 농지개량조합에서 관측한 장기간의 저수지 운영실적 자료를 사용하였다.

홍수실적과 침수피해분석을 위하여 시간별 강수량, 유입량과 방류량 및 저수위 변화 등을 수집하여 사용하였다.

제 1 절 예당저수지

1966 95년(30개년)의 일별강수량, 증발량 등 기상자료와 예당농조에서 관측한 일별 예당지 운영실적자료를 사용하여 일별급수실적을 분석하였다. 이 가운데 1966년의 예당지 일별 급수량과 저수위변화를 예시하면 그림. 5 와 같다.

실시간 홍수예측모형을 개발하기 위하여 1987 96년(10개년)의 시간별 강수량, 유입량과 방류량 등을 수집하여 시간별 유입량과 저수위변화를 분석하였다. 1989년 9월 14 15일, 1992년 8월26일 28일, 95년 8월23일 26일의 3가지 호우사상에 대하여 유역토양수분량과 유효우량, 홍수도달시간, 강수량, 저수위, 방류량 등을 분석하였다. 또한, 1999년 8월 2일 4일의 홍수로 실시간 홍수예측모형을 검정하였다. 그 가운데 95년 8월23일 26일의 홍수수문곡선을 예시하면 그림. 6 과 같다.

제 2 절 탑정저수지

탑정지에서 급수와 한발피해분석을 위하여 1977 96년(20개년)의 일별 강수량, 증발량 등을 수집하여 일별 급수실적과 저수위변화를 분석하였다.

홍수와 침수피해분석을 위하여 1987 96년(10개년)의 시간별 강수량, 유입량과 방류량 등을 수집하여 시간별 유입량과 저수위변화를 분석하였다.

이 가운데 1978년의 탑정지 일별 급수량과 저수위변화를 예시하면 그림. 7 과 같고, 1998년 8월 발생한 홍수유입량곡선은 그림. 8 과 같다.

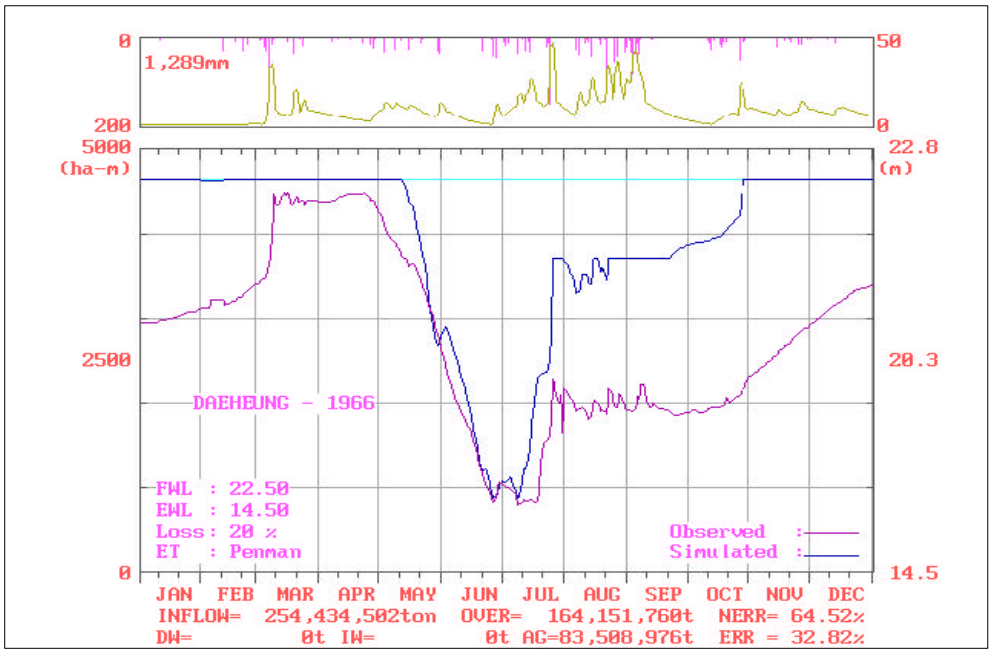


그림. 5 1966년 예당지의 저수위변화

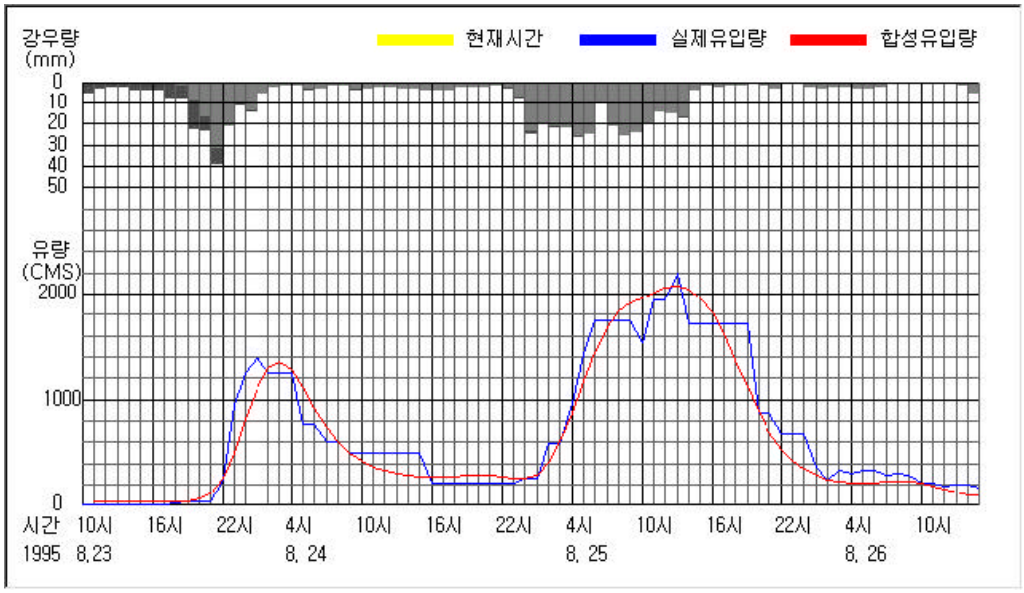


그림. 6 1995년 8월23 26일 예당지의 시간별 홍수유입량

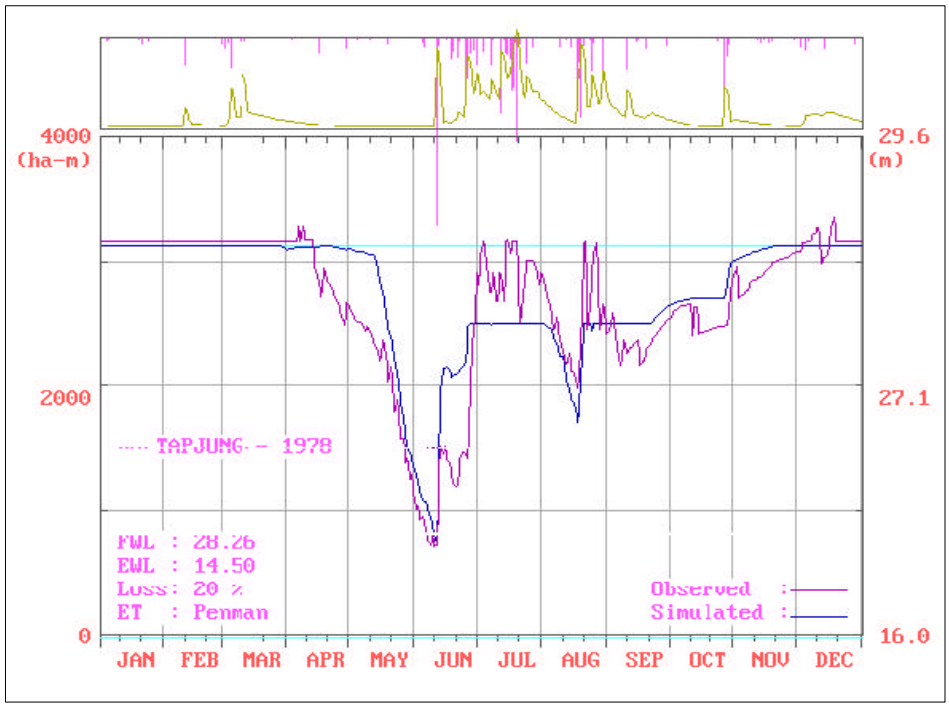


그림. 7 1978년 탑정지의 저수위변화

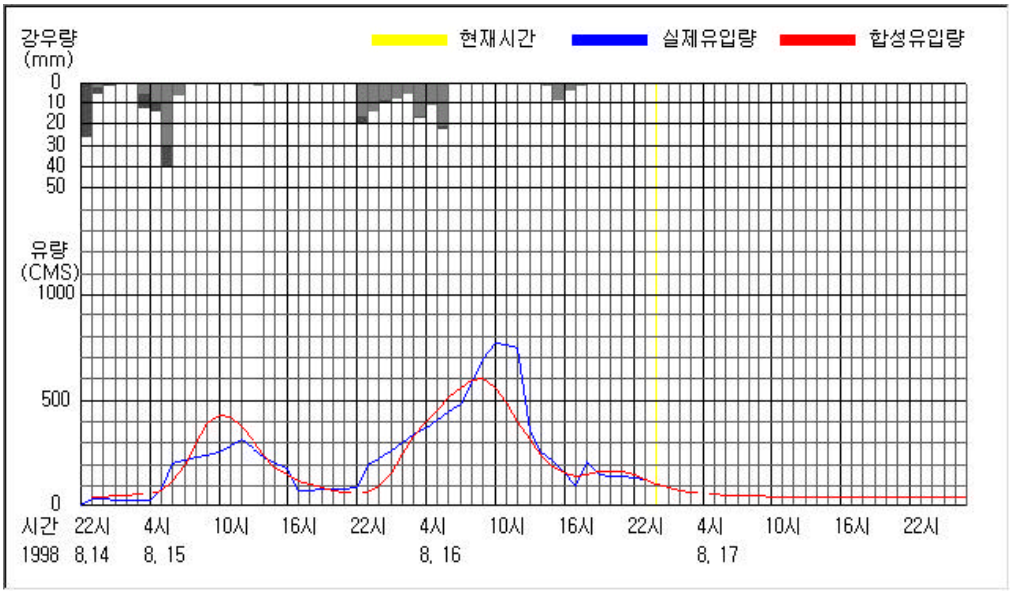


그림. 8 1998년 8월14일 탑정지의 시간별 홍수유입량

제 4 장 수문관측시설

한발 및 홍수예측기법과 관리지침을 개발하기 위하여 강우관측망(행정자치부), 하천수위계, 간이수위표, 유역토양측정공 및 지하수위관측공을 신설하여 강우량, 하천수위 및 유량, 유역토양수분 및 지하수위 등을 자동기록 관측하였다. 특히 토양수분과 지하수위변화의 관측은 가뭄극복과 홍수조절을 위한 기초자료로 중요하며 계속 관측하여야 한다. 강우관측소는 1996년 설치된 행정자치부 방재망(그림. 9)과 연결(소프트웨어와 모뎀)하여 실시간으로 전송받아 개발모형에 연결하였다.

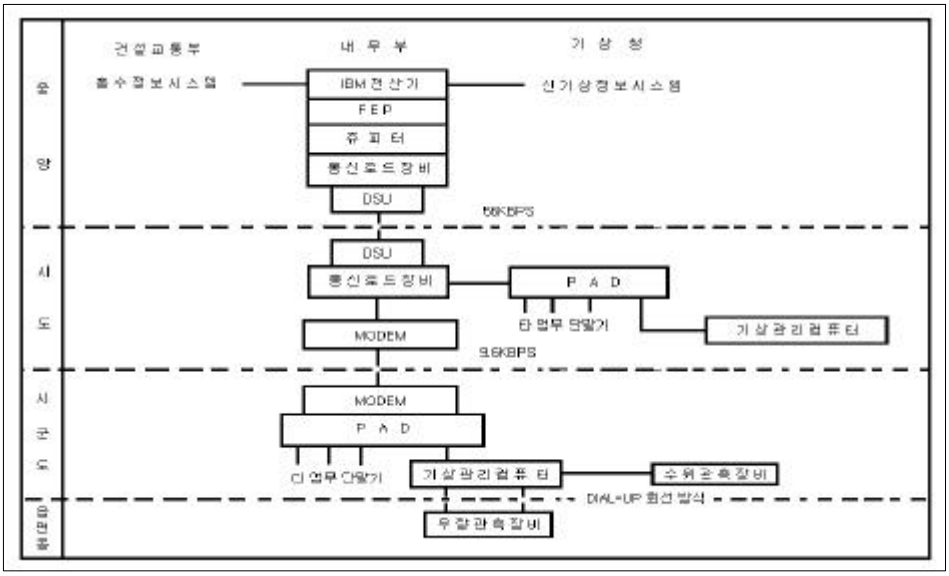


그림. 9 행정자치부 방재망도

제 1 절 예당저수지

예당저수지 상류에 간이하천수위표 3개소, 토양수분관측공 5개소 및 지하수위 관측정 2개소(신설, 기설)를 그림. 10과 같이 설치하였다. 하천수위는 서계양교의 자기 수위관측소(행정자치부)를 이용하였다.

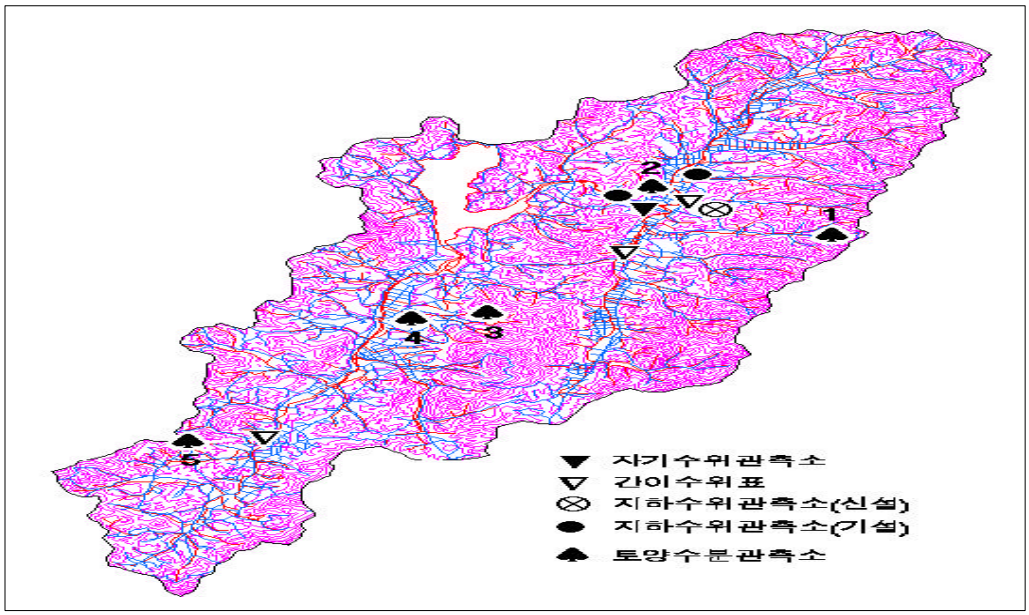


그림. 10 예당지 유역 수문관측시설의 위치도

그림. 11 간이 수위표 (서계양2교)

그림. 12 토양수분 관측공 (1지점)

그림. 13 지하수위 관측정 (신설)

그림. 14 예당지에 설치한 YSI 6000(수질원격측정시설) 부이

이 가운데 간이하천수위표 1개소, 토양수분관측공 1지점, 지하수위관측공 신설지점과 수질원격측정시설의 설치사진은 그림.10 14 와 같다.

제 2 절 탑정저수지

탑정지 상류에 수위탑(인천교), 간이하천수위표 2개소, 토양수분관측공 5개소, 지하수위 관측정 1개소 (신설) 및 지하수위 기록계 1개 (신설)를 그림.15 와 같이 설치하였다.

강우관측소 1개소는 이 지역에 1996년 설치된 행정자치부 방재망(그림. 9)과 연결(소프트웨어와 모뎀)하여 이용하였다.

이 가운데 인천교 수위탑, 토양수분관측공 1지점, 지하수위관측정 기설지점의 설치사진은 그림. 16 18 과 같다.

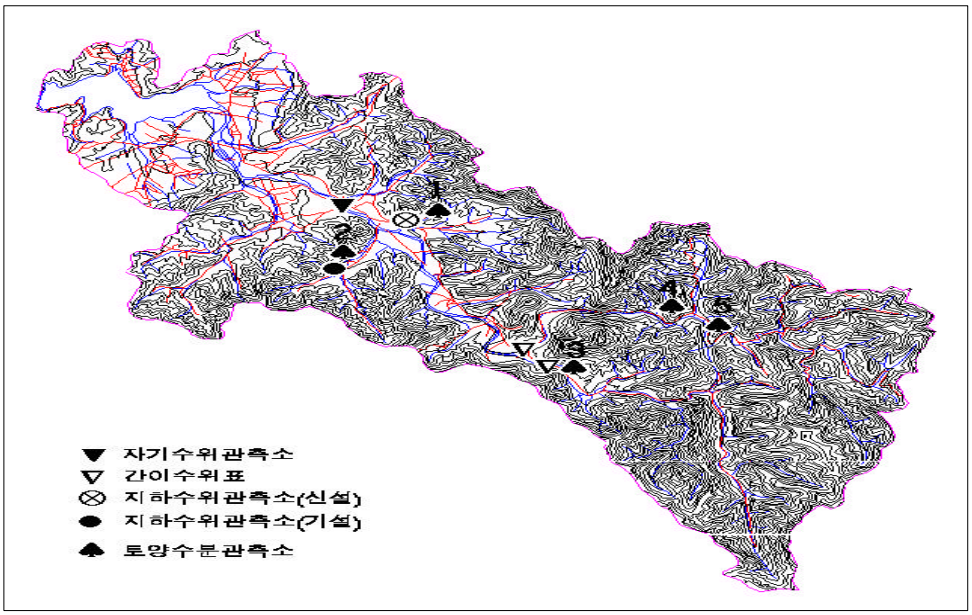


그림. 15 탑정지 유역 수문관측시설설치 위치도

그림. 16 탑정지 상류 인천교지점의 수위탑

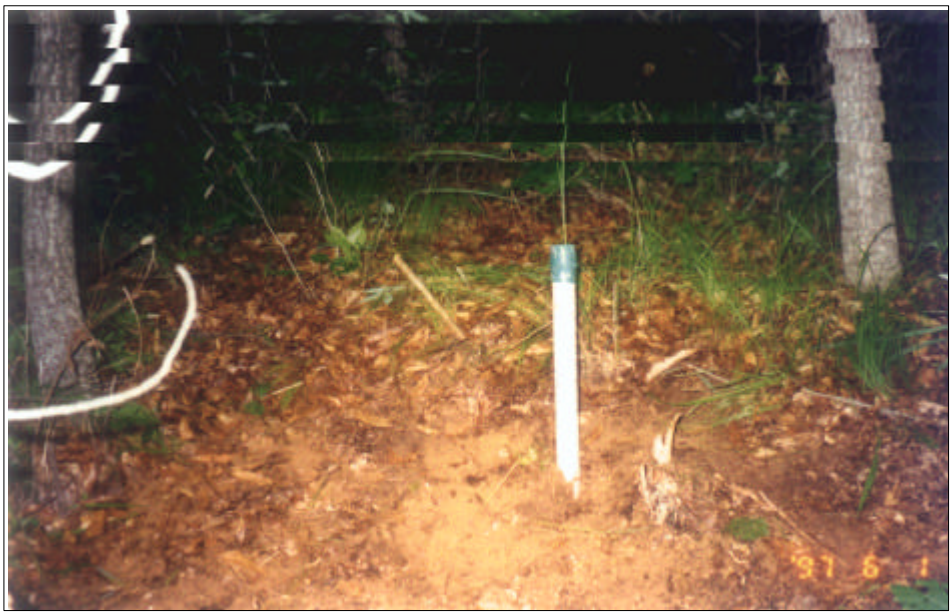


그림. 17 토양수분 관측공 (1지점)

그림. 18 지하수위 관측정 (기설)

제 5 장 모형설정에 필요한 수문관측

모형개발과 관리지침작성에 필요한 기상자료(일별·시간별 강수량, 증발량, 기온 등), 수문관측자료(저수위, 하천수위, 토양수분, 유량 등) 및 관개자료(한해면적과 피해액, 수해면적과 피해액 등)는 양질의 장기간 자료가 필요한데 수문관측자료와 관개자료의 양과 질이 매우 미흡한 실정으로 어려움을 겪고 있어, 장기적으로는 수문관측시설을 확충하고 관개자료를 지속적으로 정확히 조사해야 한다.

제 1 절 강우량측정

예당지와 탑정지 상류유역에 자기강우계를 1개소씩 설치하여 관측하려고 하였으나, 1996년에 행정자치부 방재망이 전국적으로 면단위까지 설치되어 있어서, 이 방재망을 예당지와 탑정지 관리소, 충남대 농공학과 농업수리 및 환경공학 실험실(소프트웨어와 모뎀)과 연결하여 실시간으로 강우량을 전송받아 PC 모니터와 프린터로 받아 볼 수 있도록 처리하였다.

그림. 19 행정자치부 방재망의 실시간 강우자료의 예(탑정지 유역- 1998년)

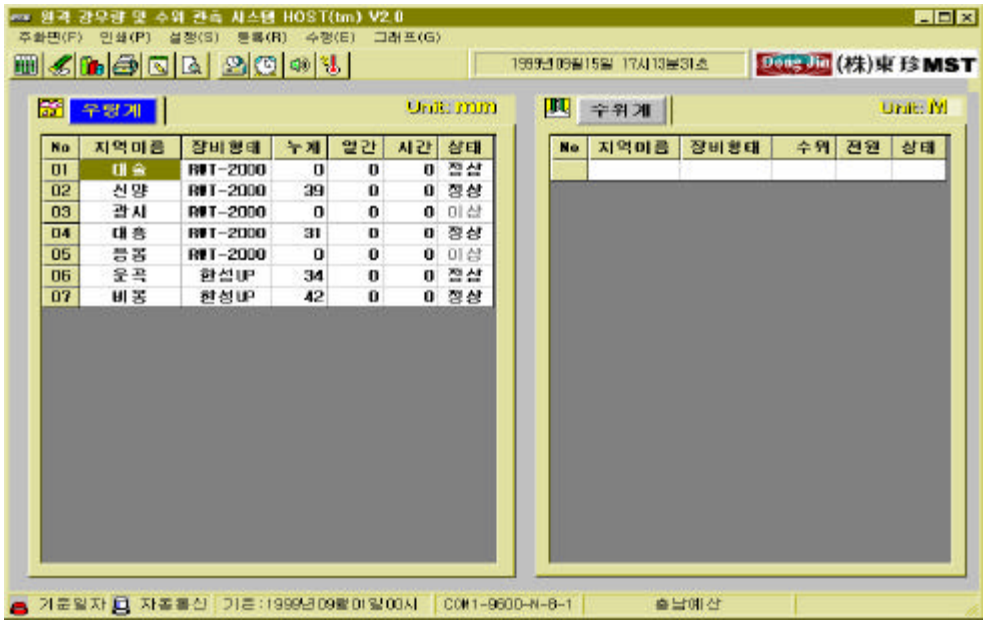


그림. 20 행정자치부 방재망의 실시간 강우자료의 예(예당지 유역- 1999년)

그리고 1999년에 예당지의 강우량 측정 프로그램은 DOS 버전에서 Window 버전으로 바뀌어 가동되고 있다.

제 2 절 하천수위 및 유량측정

예당지 상류에 있는 서계양교에 설치되어 있는 수위관측소에서 수위와 유량을 측정하였다. 탑정지 상류에 있는 인천교에 수위탑을 설치하여 수위와 유량을 관측하였다. 평저수위시에는 유속계와 홍수시에는 봉부자를 이용하여 유량을 측정하였다.

서계양교와 인천교에서의 수위관측기록 예는 그림. 21, 22 와 같다.

예당지 상류 유량측정지점에서의 유량측정자료는 표. 6 9 와 같고 서계양교에서의 수위-유량곡선은 그림. 24 와 같다. 탑정지 상류 유량측정지점에서의 유량측정자료는 표. 10 13 과 같고 인천교 지점(유역면적 : 136km^2)의 수위-유량곡선은 그림. 25 와 같다.

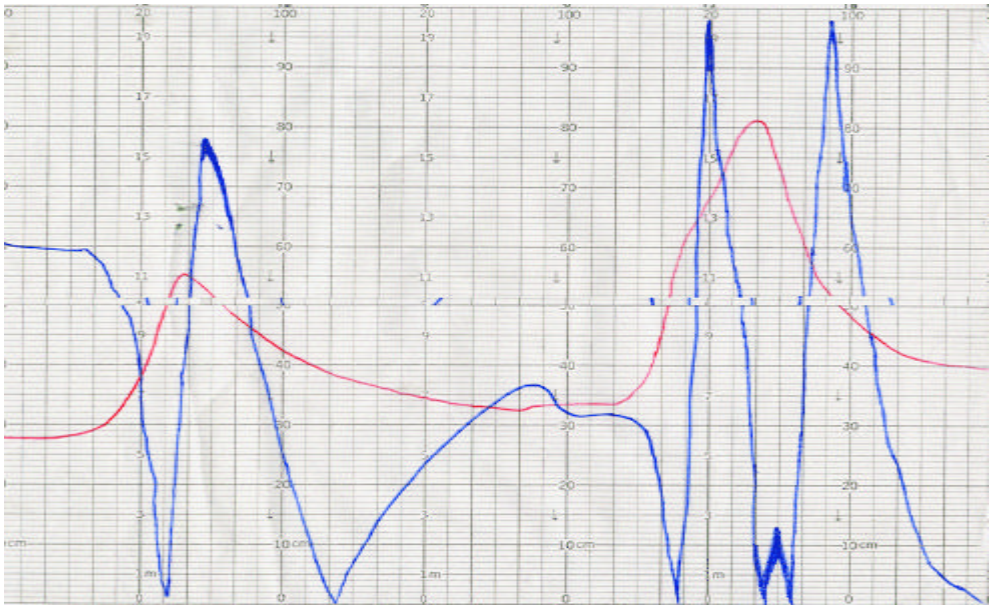


그림. 21 예당지 서계양교 지점에서 관측한 홍수수문곡선 (1998년)

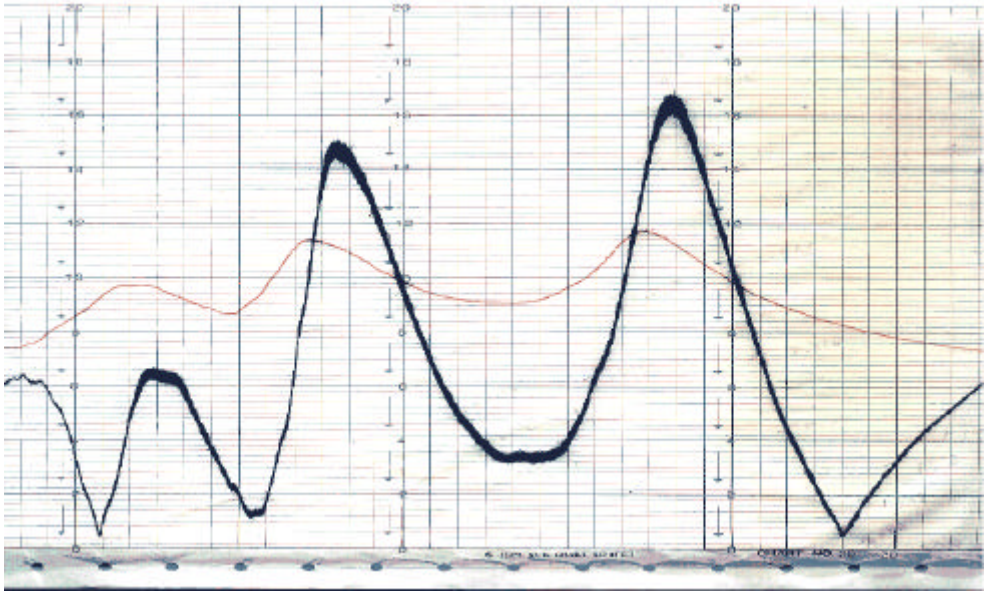


그림. 22 탑정지 인천교 지점에서 관측한 홍수수문곡선 (1997년)

표. 6 예당지 서계양교 유량측정자료

관측 회수	측정일시	수위표(m)			통수단면적 (m^2)	평균유속 (m/s)	유량 (m^3/s)
		시작	종료	평균			
1	1997 6. 29	0.45	0.45	0.45	6.830	0.442	1.4
2	7. 1	4.50	4.46	4.48	367.200	2.209	811.3
3	7. 1	4.00	3.98	3.99	314.700	2.316	728.9
4	7. 1	3.68	3.60	3.64	277.300	2.144	594.5
5	7. 2	2.30	2.25	2.27	137.200	1.082	148.4
6	7. 15	0.58	0.58	0.58	9.900	0.340	6.0
7	8. 15	0.13	0.13	0.13	2.420	0.167	0.1
1	1998 2. 26	0.05	0.05	0.05	1.356	0.463	0.7
2	3. 15	0.05	0.05	0.05	1.743	0.254	0.4
3	4. 4	0.15	0.15	0.15	2.776	0.605	1.7
4	4. 26	0.10	0.10	0.10	2.813	0.506	1.4
5	5. 22	0.15	0.15	0.15	2.918	0.705	2.1
6	6. 25	0.83	0.83	0.83	47.934	0.564	27.2
7	7. 1	0.90	0.88	0.89	56.683	0.600	34.0
8	7. 1	0.80	0.80	0.80	54.008	0.571	30.9
9	7. 2	1.45	1.45	1.45	110.650	0.921	101.9
10	7. 8	0.20	0.20	0.20	3.402	0.592	2.0
11	8. 4	0.50	0.50	0.50	18.798	0.739	13.8
12	8. 9	1.72	1.72	1.72	127.950	1.136	145.5
1	1999 1. 31	0.20	0.20	0.20	1.459	0.458	0.7
2	3. 1	0.19	0.19	0.19	1.451	0.409	0.6
3	3. 17	0.19	0.19	0.19	1.339	0.406	0.5
4	4. 1	0.20	0.20	0.20	1.471	0.460	0.7
5	4. 18	0.39	0.39	0.39	2.076	0.578	1.2
6	5. 4	0.40	0.40	0.40	12.395	0.955	11.8
7	7. 2	-0.05	-0.05	-0.05	2.090	0.578	1.2
8	7. 22	0.10	0.10	0.10	6.307	0.718	4.5
9	7. 30	0.20	0.20	0.20	6.588	0.797	5.3
10	8. 4	0.60	0.60	0.60	33.456	0.911	30.5
11	8. 6	0.15	0.15	0.15	7.243	0.660	4.8
12	8. 18	-0.07	-0.07	-0.07	3.545	0.450	1.6
13	9. 9	-0.05	-0.05	-0.05	4.049	0.473	1.9
14	9. 21	0.64	0.64	0.64	42.380	0.758	32.1
15	9. 30	0.10	0.10	0.10	6.774	0.671	4.6

표. 7 예당지 서계양2교 유량측정자료

관측 회수	측정일시	수위표(m)			통수단면적 (m^2)	평균유속 (m/s)	유량 (m^3/s)
		시작	종료	평균			
1	1998 2. 26				0.970	0.339	0.3
2	3. 15	0.45	0.45	0.45	0.885	0.085	0.1
3	4. 4	0.56	0.56	0.56	1.313	0.395	0.5
4	4. 26	0.53	0.53	0.53	1.518	0.290	0.4
5	5. 22	0.67	0.67	0.67	1.628	0.960	1.6
6	6. 25	0.95	0.95	0.95	21.476	0.358	7.7
7	7. 1	0.91	0.91	0.91	25.365	0.373	9.5
8	7. 2	1.25	1.24	1.25	44.635	1.023	45.6
9	8. 4	0.87	0.87	0.87	17.760	0.138	2.5
10	8. 9	1.50	1.50	1.50	40.740	0.533	21.7
1	1999 1. 31	0.47	0.47	0.47	1.484	0.183	0.3
2	3. 1	0.46	0.46	0.46	1.541	0.188	0.3
3	3. 17	0.44	0.44	0.44	1.407	0.173	0.2
4	4. 1	0.45	0.45	0.45	1.442	0.169	0.2
5	4. 18	0.63	0.63	0.63	5.400	0.210	1.1
6	5. 4	0.87	0.87	0.87	36.950	0.170	6.3
7	7. 2	0.64	0.64	0.64	2.061	0.695	1.4
8	7. 22	0.85	0.85	0.85	3.684	0.759	2.8
9	7. 30	0.84	0.84	0.84	3.980	0.645	2.6
10	8. 4	1.10	1.10	1.10	27.175	0.352	9.6
11	8. 6	0.89	0.89	0.89	4.075	0.753	3.1
12	8. 18	0.61	0.61	0.61	1.675	0.407	0.7
13	9. 9	0.68	0.68	0.68	1.783	0.584	1.0
14	9. 21	1.05	1.05	1.05	46.383	0.390	18.1
15	9. 30	0.87	0.87	0.87	3.740	0.752	2.8

표. 8 예당지 양사교 유량측정자료

관측 회수	측정일시	수위표(m)			통수단면적 (m^2)	평균유속 (m/s)	유량 (m^3/s)
		시작	종료	평균			
1	1998 2. 26	2.75	2.75	2.75	0.858	0.709	0.6
2	3. 15	2.71	2.71	2.71	0.565	0.559	0.3
3	4. 4	2.73	2.73	2.73	0.784	0.590	0.5
4	4. 26	2.74	2.74	2.74	2.418	0.671	1.6
5	5. 22	2.75	2.75	2.75	1.398	0.899	1.3
6	7. 1	3.55	3.53	3.54	41.672	0.546	22.8
7	7. 1	3.40	3.35	3.38	32.344	0.481	15.6
8	7. 2	3.95	3.93	3.94	57.465	0.753	43.3
9	8. 4	2.96	2.96	2.96	5.825	0.503	2.9
10	8. 9	3.55	3.55	3.55	39.881	0.542	21.6
1	1999 1. 31	2.51	2.51	2.51	1.024	0.506	0.5
2	3. 1	2.50	2.50	2.50	0.985	0.516	0.5
3	3. 17	2.49	2.49	2.49	0.842	0.461	0.4
4	4. 1	2.48	2.48	2.48	1.103	0.488	0.5
5	4. 18	2.56	2.56	2.56	1.197	0.844	1.0
6	7. 22	2.52	2.52	2.52	2.996	0.552	1.7
7	7. 30	2.87	2.87	2.87	7.200	0.368	2.6
8	8. 4						
9	8. 6	2.95	2.95	2.95	5.645	0.509	2.9
10	8. 18	2.57	2.57	2.57	2.320	0.431	1.0
11	9. 9	2.49	2.49	2.49	2.060	0.365	0.8
12	9. 21	3.00	3.00	3.00	7.350	0.517	3.8
13	9. 30	2.56	2.56	2.56	3.056	0.587	1.8

표. 9 예당지 죽천2교 유량측정자료

관측 회수	측정일시	수위표(m)			통수단면적 (m^2)	평균유속 (m/s)	유량 (m^3/s)
		시 작	종 료	평 균			
1	1998 2. 26	0.22	0.22	0.22	1.250	0.182	0.2
2	3. 15	0.19	0.19	0.19	0.966	0.116	0.1
3	4. 4	0.27	0.27	0.27	1.917	0.406	0.8
4	4. 26	0.37	0.37	0.37	3.390	0.138	0.5
5	5. 22	0.40	0.40	0.40	1.368	0.310	0.4
6	6. 25	0.77	0.75	0.76	40.988	0.242	9.9
7	6. 27	0.58	0.58	0.58			
8	7. 1	0.80	0.80	0.80	46.020	0.295	13.6
9	7. 2	1.20	1.19	1.20	75.990	0.751	57.1
10	8. 4	0.64	0.64	0.64	34.952	0.130	4.6
11	8. 9	1.00	0.98	0.99	51.600	0.454	23.4
1	1999 1. 31	0.16	0.16	0.16	3.417	0.042	0.1
2	3. 1	0.15	0.15	0.15	3.223	0.043	0.1
3	3. 17	0.16	0.16	0.16	3.497	0.044	0.2
4	4. 1	0.17	0.17	0.17	3.326	0.058	0.2
5	4. 18	0.34	0.34	0.34	5.890	0.089	0.5
6	5. 3	0.71	0.71	0.71	38.450	0.307	11.8
7	7. 2	0.48	0.48	0.48	2.771	0.251	0.7
8	7. 22	0.52	0.52	0.52			
9	7. 30	0.59	0.59	0.59	13.289	0.080	1.1
10	8. 6	0.62	0.62	0.62	33.686	0.130	4.4
11	8. 18	0.50	0.50	0.50	2.771	0.276	0.8
12	9. 9	0.44	0.44	0.44	4.371	0.151	0.7
13	9. 21	0.76	0.76	0.76	22.355	0.411	9.2
14	9. 30	0.56	0.56	0.56	2.924	0.448	1.3

그림. 23 유량측정장면

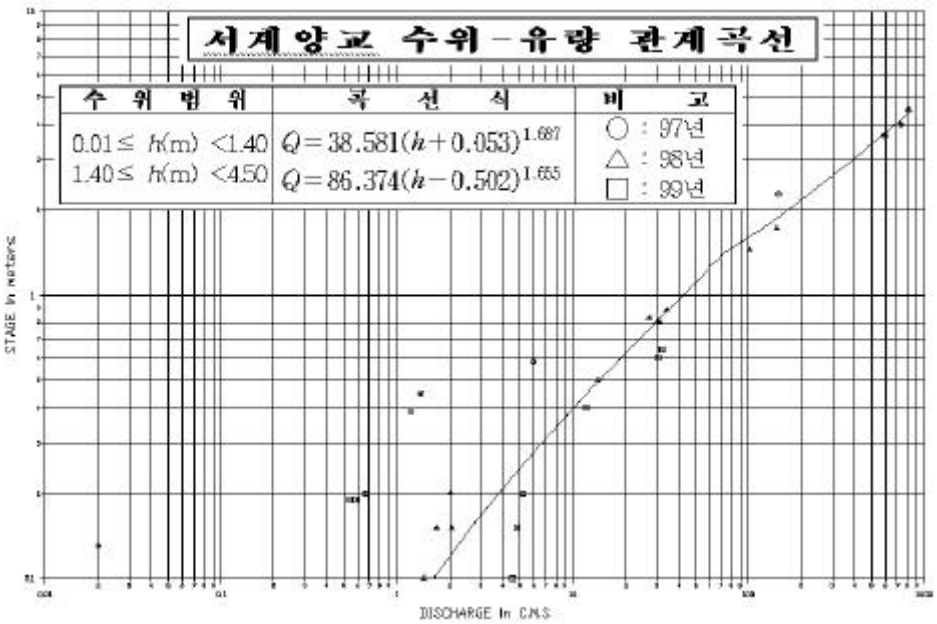


그림. 24 예당지 상류 서계양교의 수위-유량곡선

표. 10 탑정지 인천교 유량측정자료

관측 회수	측정일시	수위표(m)			통수단면적 (m^2)	평균유속 (m/s)	유량 (m^3/s)
		시작	종료	평균			
1	1997. 7. 6	2.98	2.96	2.97	228.000	2.356	537.2
2	7. 6	2.58	2.50	2.54	190.500	2.079	396.1
3	7. 6	2.23	2.22	2.23	164.300	1.256	206.4
4	7. 15	1.93	1.93	1.93	139.300	0.718	100.1
5	7. 16	1.67	1.67	1.67	115.700	1.260	153.6
6	7. 30	1.11	1.11	1.11	68.700	0.100	3.2
7	8. 6	1.31	1.30	1.31	90.100	0.160	14.4
1	1998. 2. 25	1.11	1.11	1.11	7.031	0.383	2.7
2	3. 14	1.01	1.01	1.01	5.864	0.090	0.5
3	3. 16	1.12	1.12	1.12	5.770	0.180	1.0
4	4. 25	1.22	1.22	1.22	14.533	0.231	3.4
5	5. 25	1.02	1.02	1.02	5.740	0.088	0.5
6	6. 26	1.76	1.74	1.75	45.520	1.194	54.4
7	7. 1	1.48	1.48	1.48	29.300	0.999	29.3
8	7. 2	2.01	2.01	2.01	75.760	1.689	127.9
9	8. 4	1.62	1.62	1.62	35.934	1.118	40.2
1	1999. 2. 27	1.13	1.13	1.13	5.458	0.189	1.0
2	3. 16	1.12	1.12	1.12	5.218	0.180	0.9
3	4. 2	1.14	1.14	1.14	5.691	0.211	1.2
4	4. 17	1.18	1.18	1.18	8.670	0.218	1.9
5	5. 18	1.00	1.00	1.00	5.080	0.061	0.3
6	6. 19	1.12	1.12	1.12	6.625	0.337	2.2
7	7. 1	1.07	1.07	1.07	7.225	0.152	1.1
8	7. 30	1.26	1.26	1.26	13.152	0.322	4.2
9	8. 26	1.49	1.48	1.49	30.445	0.501	15.3
10	9. 2	1.25	1.25	1.25	12.820	0.330	4.2
11	9. 10	1.95	1.95	1.95	83.155	1.420	118.5
12	10. 1	1.17	1.17	1.17	5.673	0.395	2.2

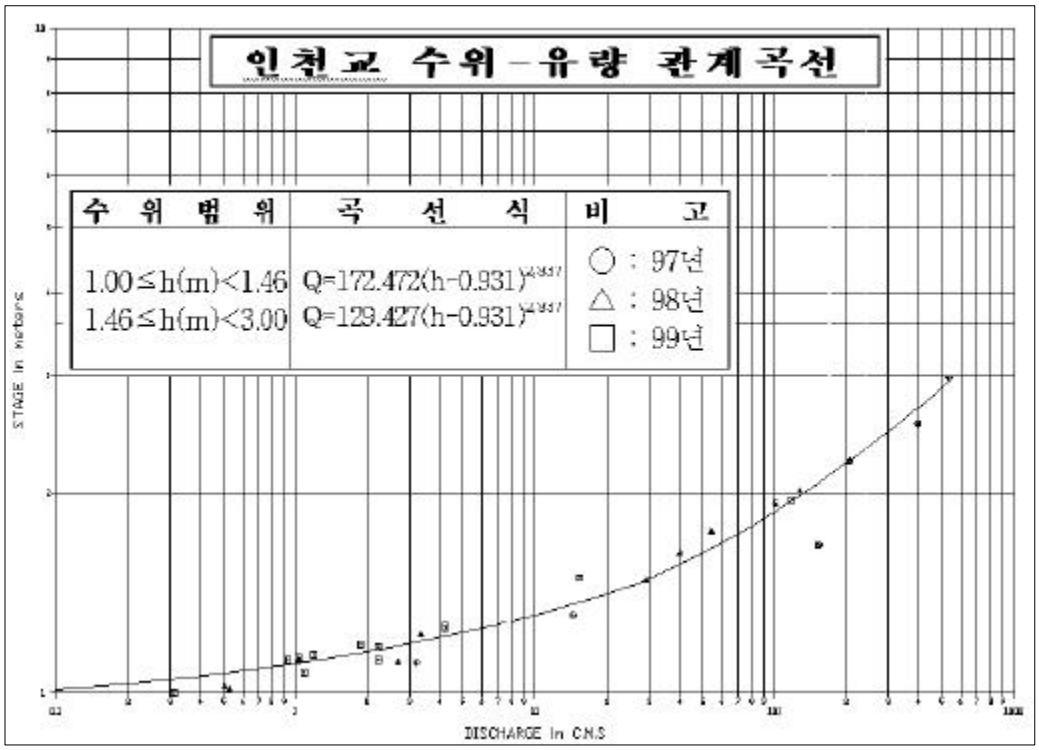


그림. 25 탑정지 상류 인천교의 수위-유량곡선

표. 11 탑정지 장선교 유량측정자료

관측 회수	측정일시	수위표(m)			통수단면적 (m^2)	평균유속 (m/s)	유량 (m^3/s)
		시작	종료	평균			
1	1998. 2 25	2.82	2.82	2.82	4.234	0.179	0.8
2	3. 14	2.62	2.62	2.62	2.330	0.081	0.2
3	3. 16	2.75	2.75	2.75	3.500	0.197	0.7
1	1999. 2. 27	2.76	2.76	2.76	3.531	0.203	0.7
2	3. 16	2.75	2.75	2.75	3.489	0.197	0.7
3	4. 2	2.77	2.77	2.77	3.754	0.198	0.7
4	4. 17	2.84	2.84	2.84	4.375	0.203	0.9

표. 12 탑정지 원장교 유량측정자료

관측 회수	측정일시	수위표(m)			통수단면적 (m^2)	평균유속 (m/s)	유량 (m^3/s)
		시작	종료	평균			
1	1998 4. 6	2.40	2.40	2.40	1.864	0.061	0.1
2	4. 25	2.88	2.88	2.88	9.225	0.246	2.3
3	6. 26	3.23	3.24	3.24	20.480	0.950	19.5
4	7. 2	3.50	3.50	3.50	37.160	1.179	43.8
5	8. 4	3.93	3.93	3.93		미측정	
	1999 미측정						

표. 13 탑정지 운주교 유량측정자료

관측 회수	측정일시	수위표(m)			통수단면적 (m^2)	평균유속 (m/s)	유량 (m^3/s)
		시작	종료	평균			
1	1998 4. 25	0.48	0.48	0.48	9.177	0.227	2.1
2	6. 26	1.80	1.80	1.80	24.250	0.819	19.9
3	7. 2						
4	8. 4						
5	8. 7	1.41	1.41	1.41			
	1999 미측정	교량공사					

제 3 절 유역토양수분량 측정

유역토양수분측정은 Neutron probe(그림. 26)를 이용하여 측정하였으며 이 값과 노건조 함수비로 Rating curve를 작성한다.

1. 예당지 유역

예산 1지점은 1997 99년 (3개년), 2 5지점은 1998 99년(2개년)에 걸쳐 토양수분을 정기적으로 측정하였으며, 관측내용은 표. 14 18 과 같다.

그림. 26 Neutron probe 토양수분측정장면(1997년)

그림. 27 토양수분 자동측정기록계 (1999)

표. 14 토양수분측정지점 (예산1) **※ 토양수분측정기 읽음값**

관측일시 \ 깊이(cm)	30	40	50	60	70	80	비고
1997 7. 15	22.47	23.75	24.49	26.58	27.10	27.30	
7. 25	23.75	24.72	26.75	27.34	27.76	28.42	
8. 1	21.74	22.75	24.32	26.75	27.05	27.54	
8. 15	22.35	23.81	25.36	25.34	27.04	27.59	
1998 2. 26	22.54	22.33	22.13	22.52			
3. 15	21.53	20.78	20.42	23.24			
4. 4	21.98	22.73	23.80	27.03			
4. 26	22.64	24.96					
5. 22	21.16	20.31	21.65	24.65			
7. 8	22.25	20.64	21.81	24.12			
8. 8	23.18	22.04	22.98	26.78			
1999 1. 17	19.34	19.61	20.12	20.55			
1. 30	20.27	19.98	19.94	22.79			
2. 28	20.13	20.29	20.65	21.82			
3. 17	21.39	21.51	21.57	21.69			
4. 1	22.58	21.68	24.43	24.82			
4. 18	22.95	22.11	21.16	25.88			
8. 6	24.67	23.48	22.65	21.82	25.89		
8. 18	20.26	18.91	19.38	22.54			
9. 9	20.88	19.45	18.59	19.38			
9. 30	22.18	21.03	21.82	23.69			

표. 15 토양수분측정지점 (예산2) **※ 토양수분측정기 읽음값**

관측일시 \ 깊이(cm)	30	40	50	60	70	80	비고
1998 2. 26	22.56	24.21	25.19	26.18	26.27		
3. 15	22.58	24.09	25.06	25.42	25.94	26.19(76)	
4. 4	23.78	25.05	26.23	26.83	27.31(65)		
4. 26	24.64	25.65	26.86	27.05	27.32	28.96(76)	
5. 22	22.72	24.01	26.02	26.19	27.43		
7. 8	23.36	25.79	26.72	27.86	28.98	29.26	
8. 8	24.62	26.63	27.30	27.37	28.55	28.74(78)	
1999 1. 17	24.26	24.70	25.25	26.32	26.46		
1. 30	24.99	25.46	25.53	25.50	26.78		
2. 28	23.84	24.19	24.61	25.22	26.35		
3. 17	22.79	23.18	23.49	23.79	24.01		
4. 1	23.48	24.19	25.27	26.17	27.11		
4. 18	25.01	26.05	26.73	28.02	28.94		
8. 6	26.12	26.86	28.78	28.59	29.94		
8. 18	23.36	24.72	25.57	27.19			
9. 9	16.51	17.48	19.45	20.90	21.81		
9. 30	24.04	25.53	26.28	28.24	28.98		

표. 16 토양수분측정지점 (예산3) **※ 토양수분측정기 읽음값**

깊이(cm) / 관측일시	30	40	50	60	70	비고
1998 2. 26	26.92	28.69	31.04			
3. 15	27.57	29.23	30.20			
4. 4	26.49	27.71	29.69	31.06	32.46(66)	
4. 26	31.41	30.01	27.13	26.75	28.06	
5. 22	28.28	29.20	27.17	26.76	27.34	
7. 8	29.29	30.63	30.95			
8. 8	29.52	30.25	30.12	30.08(56)		
1999 1. 17	26.25	26.68	27.18			
1. 30	26.71	27.28	27.70	28.62		
2. 28	25.71	26.11	26.70	27.37		
3. 17	24.48	25.53	26.53			
4. 1	26.02	26.31	26.74			
4. 18	28.12	30.22	32.63			
8. 6	28.76	31.31	32.11			
8. 18	25.16	26.70	28.76			
9. 9	21.46	22.87	23.86			
9. 30	27.84	29.68	31.65			

표. 17 토양수분측정지점 (예산4) **※ 토양수분측정기 읽음값**

깊이(cm) / 관측일시	30	40	50	60	70	비고
1998 2. 26	26.65	28.22	28.91	26.47	26.24	
3. 15	27.06	28.87	27.77	25.33	25.42	
4. 4	28.23	29.55	27.09	26.04	26.71	
4. 26	29.23	31.48	31.78			
5. 22	28.85	30.49	30.99			
7. 8	29.43	29.92	29.05	29.40		
8. 8	29.31	31.14	32.36(46)			
1999 1. 17	26.62	27.29	28.15			
1. 30	27.71	28.23	29.05			
2. 28	26.40	27.26	28.05			
3. 17	26.31	26.62	27.76			
4. 1	26.86	27.22	27.77			
4. 18	28.66	29.18	29.23	28.53	29.50	
8. 6	30.92	30.06	30.34	31.60		
8. 18	27.09	29.24	26.24	25.62		
9. 9	27.70	28.23	25.43	24.70		
9. 30	29.56	30.26	28.46	28.99		

표. 18 토양수분측정지점 (예산5)　　※ 토양수분측정기 읽음값

깊이(cm) / 관측일시	30	40	50	60	70	80	비고
1998 2. 26	28.54	28.99					
3. 15	28.71	28.68	29.10	28.17	29.74		
4. 4	29.46	28.94	28.66	31.48	34.87		
4. 26	30.12	28.70	28.82	30.54	32.06	33.53(77)	
5. 22	29.56	28.94	29.05	29.33	31.04	35.17(77)	
7. 8	29.54	28.77	29.59	28.85	31.18	33.22	
8. 8	28.77	29.29	30.20	31.18	34.16(65)		
1999 1. 17	26.19	26.70	27.07	27.63	28.09		
1. 30	27.14	27.63	28.00	28.76	28.95(65)		
2. 28	24.31	27.08	27.95	28.16	28.23(65)		
3. 17	25.60	26.22	26.38	26.77	27.00(65)		
4. 1	26.79	27.07	27.33	27.79	28.03(65)		
4. 18	27.77	28.08	28.34	28.89	29.57		
8. 6	29.36	28.41	29.30	28.15	30.54	33.66	
8. 18	25.37	25.02	25.12	26.25			
9. 9	22.63	22.59	22.62	21.53	24.87	27.98	
9. 30	28.59	27.97	28.90	27.57	29.54	32.05	

'98년도에는 토양수분 자동측정기록계를 제작하여 연속적으로 관측하려 하였으나, IBRD 교육차관으로 토양수분측정기(Soil tensiometer with data logger, 그림.27)를 구입, 설치함에 따라 이에 필요한 센서를 부착하여 1999년도에 측정하였다. '98년도 유역토양수분측정은 '97년도와 같이 Neutron probe를 이용하여 측정하였다.

2. 탑정지 유역

1997년 6월 8일 논산지점 토양수분측정공에서 시료를 채취하여 노건조로 분석한 함수비는 표. 19 와 같다. Neutron probe 읽음값과 함수비로 rating curve를 작성한다.

논산 1지점은 1997 99년 (3개년), 논산 2 5지점은 1998 99년(2개년)에 걸쳐 토양수분을 정기적으로 측정하였으며, 관측내용은 표. 20 24 와 같다.

표. 19 **논산지구 토양수분측정** (1997**년**)

지점	6**월**9**일** 18 : 10	6**월**10**일** 18 : 15	can (g)	W s (g)	W w (g)	**함수비** (%)
60cm	**노건조 시작**(g)	**노건조 끝**(g)				
논산 1	105.07	90.77	26.41	64.36	14.3	22.22
논산 2	97.25	85.33	32.28	53.05	11.92	22.47
논산 3	101.02	88.54	27.08	61.46	12.48	20.30
논산 4	109.97	93.82	23.98	69.84	16.15	23.12
논산 5	94.78	79.41	25.64	53.77	18.37	34.16

표. 20 **토양수분측정지점**(**논산**1) **※ 토양수분측정기 읽음값**

깊이(cm) / **관측일시**	30	40	50	60	70	**비고**
1997 7. 18	18.01	19.45	20.25	22.34	23.02	
7. 28	16.02	17.43	18.54	19.50	20.54	
8. 5	26.48	28.39	30.32	34.24	36.29	
8. 16	19.95	21.29	22.37	24.09	24.53	
1998 2. 25	21.72	23.36	23.72	24.94		
3. 14	20.83	22.38	22.50	23.91		
3. 16	20.52	21.54	22.72	23.18		
4. 6	22.64	26.69	24.28	26.44		
4. 25	23.39	22.63	24.30	26.18		
5. 25	21.62	22.29	23.66	25.84		
7. 14	22.91	22.51	24.61	25.77(55)		
8. 7	22.84	23.10	24.42	26.05		
1999 1. 16	20.60	20.86	21.09	21.52		
1. 29	20.25	20.77	21.21	22.52		
2. 27	20.54	21.46	22.81	25.05		
3. 16	20.52	21.54	22.72	23.18		
4. 2	22.86	24.05	25.51	26.29		
4. 17	24.24	24.89	25.70	26.77		
8. 7	22.04	22.42	23.62	24.72		
8. 17	20.86	20.72	23.21	24.36		
9. 10	23.58	23.29	23.88	25.80		
10. 1	22.68	22.60	23.58	25.15		

표. 21 토양수분측정지점(논산2)　　※ 토양수분측정기 읽음값

깊이(cm) / 관측일시	30	40	50	60	70	비고
1997 8. 16	12.62	12.54	13.04	12.54	12.90(67)	
1998 2. 25	16.53	16.25	16.38	15.38		
3. 14	16.13	15.73	15.44	15.32	15.18(67)	
3. 16	20.86	21.23	21.50	21.38		
4. 6	17.98	17.29	18.04	16.84		
4. 25	17.64	16.86	17.58	17.02		
5. 25	15.44	14.93	15.10	15.52		
7. 14	16.90	16.30	16.87	16.60		
8. 7	17.03	16.64	16.83	17.25		
1999 1. 16	14.45	14.74	15.43	15.94		
1. 29	14.24	14.75	15.23	16.02		
2. 27	15.66	14.75	15.10	15.19		
3. 16	20.86	21.23	21.50	21.38		
4. 2	21.68	22.20	22.53	23.31		
4. 17	23.56	24.67	25.09	25.58		
8. 7	13.56	12.91	13.32	13.42		
8. 17	11.02	10.93	11.82	12.73		
10. 1	16.67	15.85	16.49	16.63		

표. 22 토양수분측정지점(논산3)　　※ 토양수분측정기 읽음값

깊이(cm) / 관측일시	30	40	50	60	70	비고
1998 2. 25	22.08	22.01	23.36	24.07		
3. 14	20.78	21.59	21.75	22.57	22.75(65)	
3. 16	22.18	22.87	23.09	23.69		
4. 6	24.13	25.19	26.38	28.18		
4. 25	24.05	24.34	26.06	25.68	26.24(63)	
5. 25	22.43	22.53	24.16	24.13		
7. 14	23.91	24.60	25.28	25.61(56)		
8. 7	24.71	24.44	27.00	26.29(56)		
1999 1. 16	20.24	21.27	21.69	21.95		
1. 29	20.11	20.85	21.44	21.84		
2. 27	21.36	21.95	22.32	23.25		
3. 16	22.18	22.87	23.09	23.69		
4. 2	22.64	23.06	23.70	24.40		
4. 17	23.67	23.72	24.94	25.15		
8. 7	24.83	25.09	27.14	27.56		
8. 17	22.84	23.96	26.03	27.27		
10. 1	24.47	24.97	27.17	26.81		

표. 23 토양수분측정지점(논산4) ※ 토양수분측정기 읽음값

깊이(cm) / 관측일시	30	40	50	60	70	비 고
1998 2. 25	24.56	23.75	22.50	21.80	23.96	
3. 14	24.20	22.74	21.47	21.83	23.48	
3. 16	22.44	22.79	23.14	23.87	24.13	
4. 6	24.96	23.43	21.94	23.6	25.13(67)	
4. 25	24.89	23.23	21.70	23.41	24.69(67)	
5. 25	23.47	22.21	20.98	22.34	23.79(67)	
7. 14	24.59	22.96	21.58	22.60	24.42(68)	
8. 7	24.32	23.14	21.90	23.39	24.94(68)	
1999 1. 16	21.23	21.71	22.06	22.55	23.15	
1. 29	21.20	21.56	22.19	22.76	23.13	
2. 27	22.30	22.62	23.04	23.71	23.89	
3. 16	22.44	22.79	23.14	23.87	24.13	
4. 2	23.17	23.36	23.86	24.40	24.85	
4. 17	23.86	24.40	24.85	25.17	25.78	
8. 7	26.79	28.05	30.46	33.28		
8. 17						망실

표. 24 토양수분측정지점(논산5) ※ 토양수분측정기 읽음값

깊이(cm) / 관측일시	30	40	50	60	비고
1998 2. 25	28.72	30.62	32.34		
3. 14	28.68	29.46	32.21	33.34(55)	
3. 16	26.76	29.57	31.42		
4. 6					공사중
4. 25	29.71	31.53	32.68	34.89(54)	
5. 25	28.02	29.16	30.36		
7. 14	28.96	30.41	32.63	34.45(53)	
8. 7	29.21	31.06	32.92	33.80(53)	
1999 1. 16	24.22	25.28	26.75		
1. 29	25.22	28.25	30.19		
2. 27	27.46	29.29	31.73		
3. 16	26.76	29.57	31.42		
4. 2	26.91	29.87	30.76		
4. 17	28.63	30.76	31.20		
8. 17	23.10	23.19	25.05	29.11	
10. 1	28.15	29.96	31.99	32.65	

제 4 절 지하수위 측정

강우-유출관계와 하천갈수위와 지하수위와의 관계를 파악하기 위하여 지하수위변화를 측정하였다.

1. 예당지 유역

예당지 유역에 지하수위변화를 파악하기 위하여 신설, 기설 2개소의 지하수위관측공에서 지하수위를 측정한 결과는 표. 25, 26 과 같다.

표. 25 예산 지하수위공(신설) 에서 측정한 지하수위

관측일시	지하수위* (m)	비 고	관측일시	지하수위* (m)	비 고
1998 4. 4	2.91	* 통위에서 지하수면까지 잰 수위	1999 1. 20	3.02	통위에서 바닥까지 깊이 3.87m
4. 26	2.81		4. 1	3.00	
5. 22	2.83		4. 18	2.85	
7. 1	2.50		7. 2	3.40	
7. 2	1.90		7. 30	2.80	
7. 8	2.50		8. 6	2.22	
8. 9	1.48		8. 18	2.64	
			9. 9	2.68	
			9. 30	2.48	

표. 26 예산 지하수위공(기설) 에서 측정한 지하수위

관측일시	지하수위* (m)	비 고	관측일시	지하수위* (m)	비 고
1998. 3. 15	0.40	* 우물턱에서 수면까지 잰 수위	1999. 1. 20	0.11	
4. 4	0.16		4. 1	0.28	
4. 26	0.06		8. 18	0.05	

2. 탑정지 유역

탑정지 유역에 지하수위변화를 파악하기 위하여 신설 1개소의 지하수위관측공에서 지하수위를 측정한 결과는 표. 27 과 같다.

표. 27 논산 지하수위공(신설) 에서 측정한 지하수위

관측일시	지하수위* (m)	비 고
1998. 3. 14	3.40	* 지표면에서 지하수면까지 깊이
4. 25	2.04	
5. 25	2.63	
8. 7	1.95	

1999년 4월 8일부터 탑정지 유역상류 양촌리에 자동기록 지하수위계(Ground water logger)를 추가로 설치하여 지하수위를 관측하였으며. 결과는 그림. 28, 표. 28 과 같다.

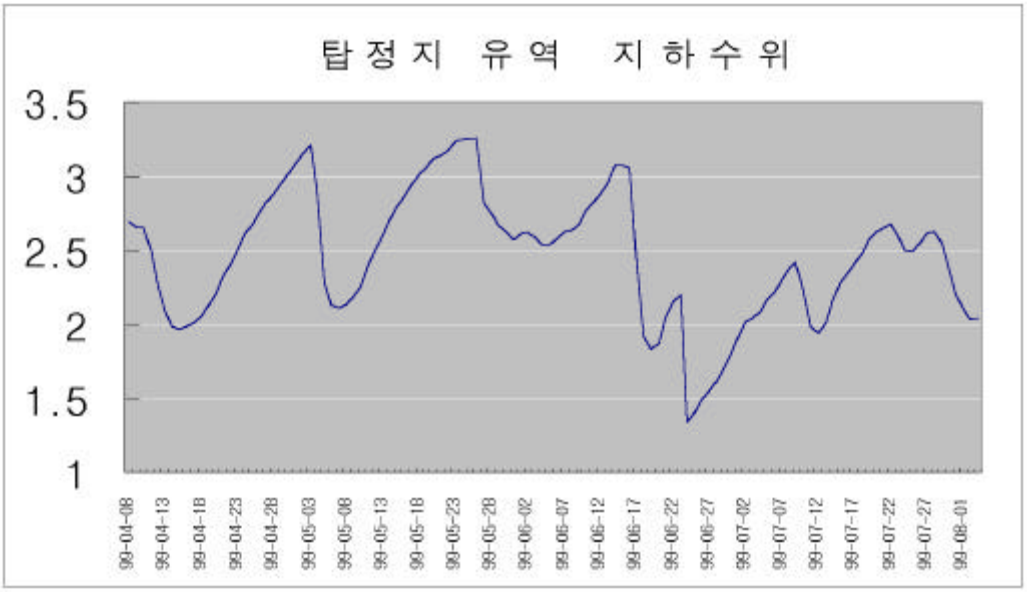


그림. 28 지하수위기록계로 측정한 지하수위변화(1999년 4월 8일 8월 3일)

표. 28 지하수위기록계로 측정한 지하수위 시간별변화(m, 1999년 4월11일 4월25일)

일자 / 시간	4.11	4.12	4.13	4.14	4.15	4.16	4.17	4.18	4.19	4.20	4.21	4.22	4.23	4.24	4.25
00시	2.50	2.28	2.10	1.98	1.97	1.98	1.98	2.06	2.12	2.20	2.32	2.41	2.50	2.61	2.68
01시	2.48	2.27	2.09	1.98	1.97	1.98	1.98	2.07	2.11	2.20	2.33	2.42	2.51	2.61	2.68
02시	2.46	2.26	2.08	1.98	1.97	1.98	1.98	2.07	2.12	2.20	2.33	2.42	2.51	2.61	2.69
03시	2.45	2.26	2.07	1.98	1.97	1.98	1.98	2.07	2.12	2.21	2.33	2.42	2.52	2.62	2.69
04시	2.44	2.25	2.06	1.98	1.97	1.98	1.98	2.07	2.12	2.21	2.34	2.43	2.52	2.62	2.69
05시	2.43	2.25	2.05	1.97	1.97	1.99	1.99	2.07	2.12	2.21	2.34	2.43	2.53	2.62	2.69
06시	2.41	2.25	2.04	1.98	1.97	1.99	1.99	2.07	2.13	2.21	2.35	2.43	2.53	2.63	2.69
07시	2.40	2.24	2.03	1.97	1.97	1.99	1.99	2.07	2.13	2.22	2.35	2.44	2.53	2.63	2.70
08시	2.39	2.24	2.03	1.97	1.97	1.99	1.99	2.09	2.14	2.23	2.35	2.44	2.55	2.64	2.70
09시	2.38	2.23	2.02	1.98	1.97	1.99	1.99	2.08	2.15	2.25	2.35	2.45	2.54	2.64	2.71
10시	2.37	2.22	2.02	1.99	1.98	2.00	2.00	2.08	2.15	2.25	2.36	2.46	2.55	2.64	2.71
11시	2.36	2.22	2.01	2.00	1.98	2.00	2.00	2.08	2.16	2.25	2.36	2.46	2.55	2.64	2.71
12시	2.35	2.21	2.00	1.99	1.98	2.00	2.00	2.08	2.18	2.26	2.36	2.46	2.56	2.64	2.71
13시	2.35	2.20	2.00	1.97	1.99	2.00	2.00	2.08	2.16	2.25	2.37	2.47	2.56	2.64	2.72
14시	2.34	2.20	1.99	1.98	2.00	2.01	2.01	2.09	2.16	2.27	2.37	2.47	2.57	2.65	2.72
15시	2.33	2.19	1.99	1.97	1.99	2.01	2.01	2.09	2.16	2.26	2.37	2.48	2.57	2.65	2.72
16시	2.32	2.19	1.99	1.97	2.00	2.01	2.01	2.09	2.17	2.27	2.38	2.49	2.57	2.66	2.73
17시	2.32	2.17	1.99	1.97	2.00	2.01	2.01	2.10	2.17	2.28	2.38	2.49	2.58	2.66	2.73
18시	2.31	2.16	1.98	1.97	2.00	2.01	2.01	2.11	2.18	2.29	2.39	2.49	2.58	2.66	2.74
19시	2.31	2.14	1.98	1.97	1.99	2.02	2.02	2.12	2.19	2.29	2.39	2.49	2.60	2.66	2.75
20시	2.30	2.13	1.98	1.97	1.98	2.02	2.02	2.11	2.19	2.30	2.40	2.50	2.60	2.67	2.75
21시	2.29	2.12	1.99	1.97	1.98	2.02	2.02	2.12	2.19	2.30	2.40	2.50	2.60	2.67	2.75
22시	2.29	2.11	1.99	1.97	1.98	2.02	2.02	2.11	2.19	2.31	2.41	2.50	2.60	2.67	2.75
23시	2.28	2.10	1.99	1.97	1.98	2.02	2.02	2.12	2.19	2.32	2.41	2.50	2.61	2.68	2.75

제 5 절 저수지 수질 측정

1997년 4월부터 원격수질측정장치인 YSI 6000을 충남 예산군 소재 예당지에 설치하여 실시간으로 수질(수온, DO, 탁도, 전기전도도, 수심, ORP, pH 등)자료를 대전시 유성구 충남대 농공학과 농업수리 및 환경공학 실험실에서 Monitor로 받아 관개저수지의 수질변화를 장기간 관측하고 있다. 그 일례는 그림. 29 31과 같다.

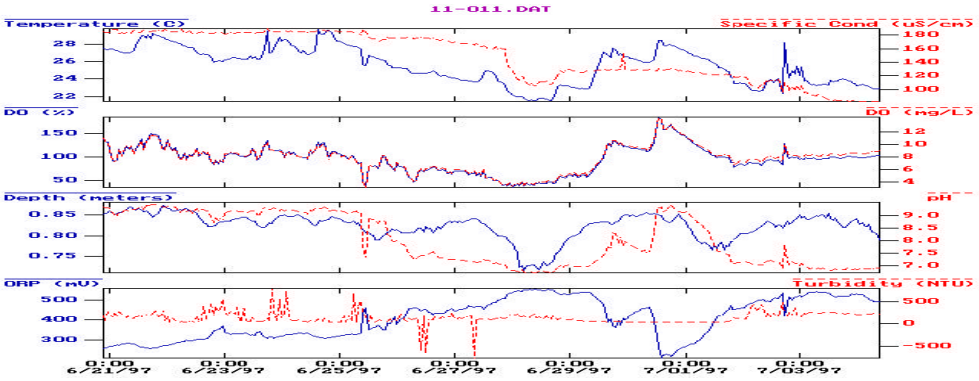


그림. 29 YSI 6000에 의한 예당지 실시간 수질자료의 일례 (1997년도)

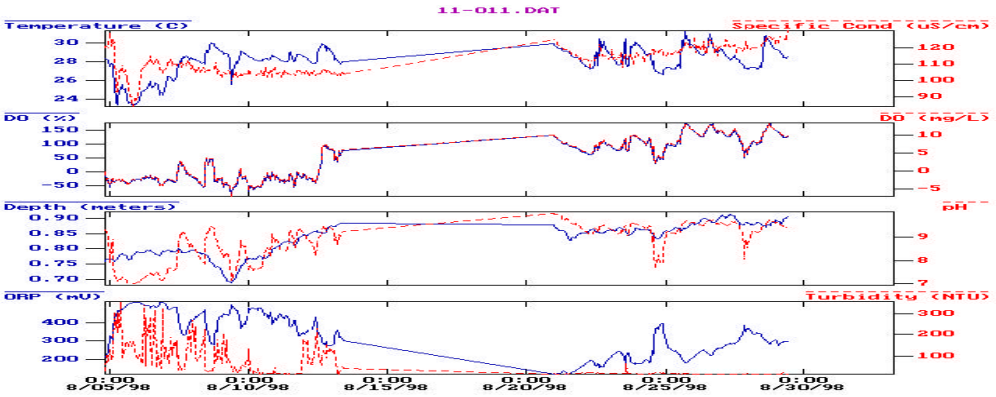


그림. 30 YSI 6000에 의한 예당지 실시간 수질자료의 일례 (1998년도)

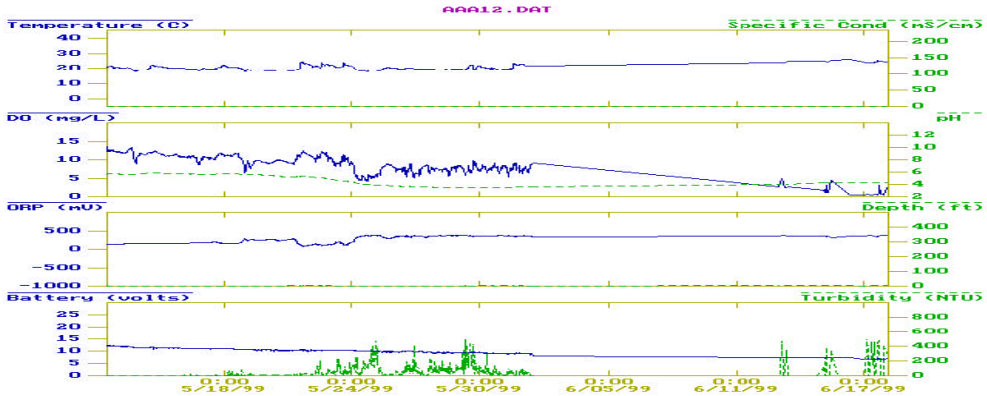


그림. 31 YSI 6000에 의한 예당지 실시간 수질자료의 일례 (1999년도)

제 6 장 관개저수지의 실시간 한발예측모형

관개저수지의 실시간 한발예측모형은 이수관리곡선모형, 한발평가모형, 한발예측모형, 윤환관개모형 등 4개의 부모형으로 구성하였다.

인터넷 기상청, Weathernet 사이트 등에서 제공하는 저수지가 있는 지역의 당일 기상자료, 즉 강우량, 기온, 계기증발, 상대습도, 풍속, 일조시간을 입력하면 당일의 필요수량이 계산되고, 또한, 당일의 저수위에 DAWAST모형으로 추적한 유역토양수분상태에 기상청 주간예보의 예상강우량을 입력하여 유입량, 저수위, 제한급수율에 예측하고, 이에 따라 제한급수시기, 제한급수량 및 윤환관개구역을 제시하는 관개저수지의 실시간 한발예측모형을 개발하였다.

갈수시에는 물관리자가 저수량 변화추세, 유입량, 향후 수요량과 과거의 저수관리 경험으로부터 절수대책을 결정해야한다. 이 경우, 기상대 주간예보, 월간예보 내용은 중요한 자료가 된다.

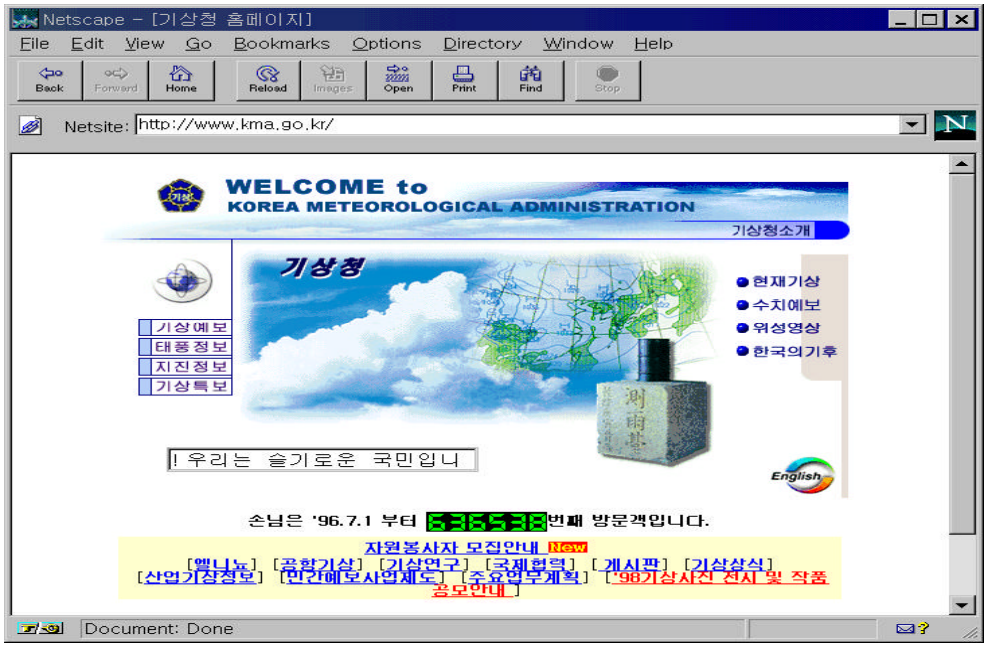
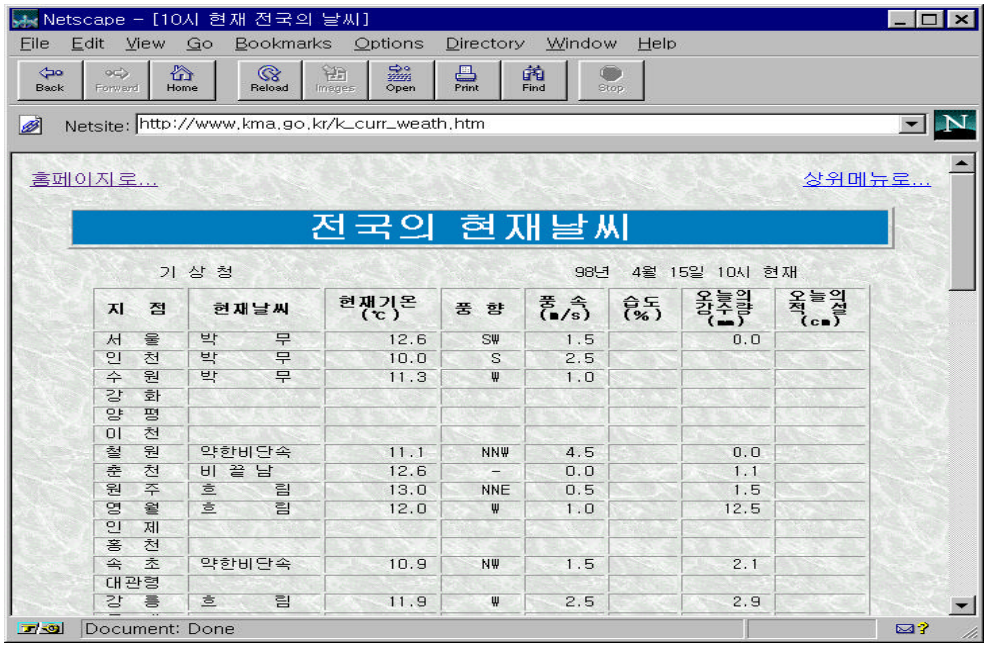


그림. 32 기상청(KMA) 웹사이트-1



지 점	현재날씨	현재기온 (℃)	풍 향	풍 속 (㎧/s)	습도 (%)	오늘의 강수량 (㎜)	오늘의 적설 (㎝)
서 울	박 무	12.6	SW	1.5		0.0	
인 천	박 무	10.0	S	2.5			
수 원	박 무	11.3	W	1.0			
강 화							
양 평							
이 천							
철 원	약한비단속	11.1	NNW	4.5		0.0	
춘 천	비 끝 남	12.6	-	0.0		1.1	
원 주	흐 림	13.0	NNE	0.5		1.5	
영 월	흐 림	12.0	W	1.0		12.5	
인 제							
홍 천							
속 초	약한비단속	10.9	NW	1.5		2.1	
대관령							
강 릉	흐 림	11.9	W	2.5		2.9	

그림. 33 기상청(KMA) 웹사이트-2

제 1 절 가뭄현상

1. 가뭄의 정의

가뭄이라는 수문사상은 지역조건에 따라 기준이 다르기 때문에 정의하기 어려우나 대기중의 지속적인 수분고갈로 야기되는 기상한발과 특정유역이 필요로 하는 용수의 공급부족상태를 나타내는 수문가뭄과 포장의 토양수분부족으로 작물생산에 영향을 주는 농업가뭄 등 크게 세가지로 분류된다.

가뭄의 크기는 가뭄강도와 지속시간의 적(積)으로 정의하지만 각기 다른 분포를 나타내기 때문에 분석이 까다롭다. 농업가뭄은 주로 무강수지속일수와 강수부족량으로 간접적으로 분석한다.

벼는 4 5월 모내기가 늦어지는 이앙지연형과 물이 가장 많이 필요한 이삭패는

7 8월에 물이 부족한 생육장애형 가뭄으로 구분되며 수확량감소와 품질저하가 발생한다.

밭작물은 토양이 필요수분량 이하로 떨어져 작물생육 stress와 수확량감소, 품질저하가 발생된다.

과수는 수분부족으로 생장이 둔화 또는 정지되고 야간에 고온이 지속되어 호흡에 의한 양분소모로 당도가 떨어지거나 과실성숙이 지연된다.

벼의 이앙지연형 가뭄은 3 4년에 한번, 생육장해형은 7 8년에 한번, 혼합형은 약 10년(광주) 20년(대구)에 한번씩 발생하는 것으로 분석되고 있다.

가뭄피해는 진행속도가 완만하고 피해 또한 가시적이지 못하며 농작물 수확량감소와 품질불량 등 최근 10여년간 연 평균 농업가뭄대책비로 농업재해보상 차원에서 약 600억원 정도 지원되고 있지만 생활용수, 공업용수, 발전용수 부족 및 자연생태계와 하천환경 악화, 산불발생 등 수문가뭄에 의한 막대한 경제적 피해액은 이보다 훨씬 클 것으로 추정될 뿐 체계적으로 파악조차 되지않고 있다. 이제 또 비 100 200mm만 내리면 바로 수자원 관리와 개발는 관심밖으로 밀려나곤 해왔다.

2. 최근의 연속가뭄

벼농사 가뭄피해는 무강우지속일수, 강우부족량과 용수원의 유무에 따라 결정되지만 대체로 연평균강수량의 50%미만이면 가뭄피해가 심했으며, 여름 6, 7, 8월중 어느 한달이라도 평균강수량의 50%이하이면 부분적인 가뭄피해가 발생하고 있다. 20세기 들어 가장 적은 연평균강수량은 1943년의 791mm 와 1939년의 809mm 이고, 1939년, 1968년, 1978년, 1982년, 1994년이 5대 가뭄으로 분석되고있다. 연속한발도 1927 29년, 1937 39년, 1942 44년, 1967 68년, 1977 78년, 1981 82년, 1994 95년 등 약 10년에 한번 꼴로 발생하고있다.

최근의 가뭄으로는 1994년 6월부터 시작된 가뭄은 여름철 장마가 실종되어 전국 강수량은 958mm 로 연평균강수량의 75% 이며 지역별로는 대전지방 858mm, 전남지역은 896mm, 전북지역은 770mm로 남부지방이 심하였다. 저수율도 물이 가장 필요

한 7월말 현재 28%로 평년 76% 보다 크게 부족하였다. 지역별로는 전북 8%, 전남 15%, 경북 34%, 경남 20% 에 불과하고 전국적으로 고갈된 저수지가 6,963개소 였다. 1994년의 가뭄피해는 논의 경우 고갈면적 106,000ha, 균열 64,600ha, 고사 4,600ha 등 총 175,190ha 이었다. 쌀생산량은 3,513만섬이었다. 밭의 경우 두류면적 27,530ha, 고추 21,200ha, 채소류 기타 29,400ha 등 총 78,190ha가 피해를 받았다. 생활용수는 경북 73,000명, 전남 72,000명, 경남 53,000명 등 231,000명이 급수에 어려움을 겪었다. 가축피해는 닭 1,384,000수가 폐사되었고 돼지 12,800두, 소 353두가 폐사되었다.

겨울가뭄으로 계속된 1995년 가뭄은 2월 현재 합천댐 23%, 안동댐 22%, 영천댐 16% 영산강 4대호 24% 등 남부지방의 저수률은 20% 정도이고 유역토양이 건조하여 이미 지역적으로 제한급수, 공장조업단축, 발전중단, 특수작물피해, 산불증가, 하천수질악화 등 가뭄피해가 발생하였다. 6월 30일 현재 전국강수량은 364.6mm로 평균강수량 505.9mm의 72%로 141.3mm가 부족하였다. 저수율도 38%로 평년 61%보다 훨씬 적었다. 지역별로는 전북 20%, 전남 46%, 경북 36%, 경남 61% 로 많은 저수지가 고갈되었다가 7월 장마로 해갈되었다. 1995년의 가뭄피해는 논의 경우 고갈면적 12,165ha, 균열 4,377ha, 고사 1,050ha 등 총 20,370ha 이었다. 쌀생산량은 3,260만섬으로 전년대비 250만섬이 감수되었다. 생활용수는 134만명이 급수에 어려움을 겪었다.

3. 가뭄대책

저수, 절수, 용수개발을 가뭄극복 3대운동으로 전개하여 27만ha의 모내기 용수를 확보하였다. 1995년에는 가뭄대책비로 5,261억원이 지원되었다.

저수운동으로 저수지 물채우기 8.7만ha, 논에 물채우기 4.9만ha, 논물가두기 9.9만ha 등 23.4만ha의 모내기용수를 확보하였다.

절수운동으로 건답직파면적 11.7만ha, 육묘상자 5천ha를 보급하였다.

용수개발로 암반관정 3천공, 소형관정 3만공으로 2.4만ha를, 공사시행중인 58개지구에서 1.3만ha에 미리 급수하였다.

하천굴착 783개소, 들샘 992개소, 간이보 73개소, 기타 833개소의 간이용수원을 개

발하여 19,300ha에 급수하였으며 23.6만명의 인력이 동원되었고, 양수기 15.9만대, 송수관 3,076km, 중장비 14.9만대의 장비가 지원되었다.

특별조치로 양수기 1,867대, 송수호스 176km를 구입하였다. 922억원을 투자하여 3,281개소의 저수지에서 3천4백만m^3를 준설하여 6,400ha 관개용수를 확보하였다. 17,175개소의 저수지에서 바닥을 청소하여 14,691톤의 쓰레기를 수거하였다.

비상가뭄대책은 일시적이고 소모적인 예산낭비가 많아 평상시에 가뭄극복을 위한 지속적인 투자가 요망된다. 가뭄대책시행 과정에서 다음과 같은 문제점이 지적되고 있다.

① 가뭄대책의 사전준비기간이 짧았고,
② 시, 군 담당자의 행정업무과다에 가뭄대책업무가 가중되어 효율적 추진이 어려웠고,
③ 영농에 대비한 장기예보분석, 가뭄의 단계별 대책수립이 미흡하였고 착정기 보유현황, 양수장비 및 송수호스 생산능력 등 지원에 대한 사전파악이 어려웠으며,
④ 가뭄시에는 모내기시기를 늦추도록 관계기관과 농민이 협의하여 스스로 극복하는 지혜가 필요하고,
⑤ 각계각층의 전문가들로 가뭄에 대한 장기대책을 수립할 자문기구의 설치할 필요가 있다.

4. 가뭄평가와 예측의 필요성

수자원개발은 과거에 일어났던 기상현상이 설계수명기간의 미래에도 재현될 것이라는 가정에서 출발한다. 과거의 현상은 관측을 통하여 미래의 현상은 확율을 통하여 예측한다. 자연현상의 재현성은 관측으로 얻은 정보이며, 자연현상의 우연성은 어차피 인간의 영역이 아니어서 예측한 대로 재현되지 않는 것이 현실이다. 장기간 관측하고 가끔 검증해보는 것이 할 수 있는 최선일 뿐이다.

가. 가뭄평가와 예측

강우량의 공간적, 시간적 분포를 정확하게 예측할 수 없는 상태에서 가뭄을 장기예측하는 것은 어려운 일이지만, 유역수문모형(DAWAST모형 등)으로 현재의 유역토양수분을 추정하고 과거의 유사한 패턴의 일강수량을 예측하여 장기간 후의 가뭄진행을 예측하는 방법을 개발하여야 한다. 이 가뭄예측에 따라 단기적으로는 제한방류와 절수 등 물관리대책과 지하수개발을, 장기적으로는 수리시설 신설 및 개보수 계획을 세울 수 있다.

전국적, 유역별로 장기간 강수자료를 분석하여 가뭄모형으로 모의발생하여 농업 및 수문가뭄의 계절적, 지역적 특성을 나타낼 수 있는 농업 및 수문가뭄분포도를 작성하여 특정지역의 장기적인 가뭄극복대책과 발생한 가뭄피해를 평가하여 가뭄피해보상대책을 수립할 수 있다.

기상청은 1996년부터 전국 25개소에서 매월 7단계 (-6 + 6)의 가뭄지수를 발표할 예정이다. 이 가뭄지수는 일정지역의 30년간 강수량과 유역토양수분량을 복합하여 계산한 수문가뭄지수이다. 또한, 기상청은 태평양의 기온과 기압분포가 정상화 되어 3 4월에는 예년수준의 100mm 정도의 비가 온다고 지난 1월 예보한 바 있다. 앞으로 무궁화위성과 첨단통신을 이용하여 보다 정확한 장기예보가 가능하도록 노력해야 할 것이다. 이 수문가뭄지수에 해당되는 생활용수, 공업용수, 하천유지용수 부족량에 따른 한발 피해액을 산정하여 수문가뭄을 금액으로 평가한다.

나. 수문가뭄과 농업가뭄

수문가뭄은 유역내 물 순환과정중의 유역토양수분량을 일 유출모형으로 부터 일별로 추정하고 이를 유역의 수문가뭄의 크기로 지수화할 수 있다. 예를 들면, 그림. 48은 강우-유출모형인 DAWAST모형으로 유역에서 일어나는 강수, 증발산, 침투, 심층침투와 유출의 수문반응을 개념적으로 파악하고 있다. 이 모형으로부터 유역 불포화층의 토양수분변화를 일별로 파악하여 수문가뭄의 진행을 예측할 수 있다. 즉, 현재

의 가뭄이 몇 년 빈도에 해당되는 지, 앞으로 가뭄지속일수가 진행됨에 따라 용수공급부족량과 피해액이 얼마나 될 지, 앞으로 몇 mm의 강우가 있어야 가뭄해갈이 될 지를 예측하여 가뭄특보를 발령하고 가뭄대책을 세울 수 있을 것이다.

벼의 가뭄피해는 저수지운영실적을 분석하여 저수율별, 생육시기별 제한방류률(%)과 제한지속일수(day)로 부터 제한방류강도(%·day)를 구하고 이를 농업가뭄의 크기로 지수화할 수 있고 이 농업가뭄지수에 해당되는 작물별, 시기별 피해액을 산정하여 농업가뭄을 금액으로 평가할 수 있으나 실용적이 연구는 미비하여 이에 대하여 연구하였다.

제 2 절 한해실적

한발은 분야별 관점에 따라 크게 기상학적 한발, 수문학적 한발, 농업한발로 나눌 수 있다. 한해를 줄이는 방법으로는 인공강우·증발유제·장기예보시설의 확충 등 기상학적 방법, 강수량의 변동에 따른 농사시간의 조절 및 품종개량 등 농학적 방법과 각종 수리시설의 확충·관개용수의 조절·비상용수공급의 응급대책 등 농업토목공학적인 방법이 있다.

농업한발은 포장의 토양수분이 부족하여 위조와 건조사로 농작물의 수확량과 품질저하를 일으키는 가뭄을 말한다. 물은 생명의 근원으로 작물세포의 원형질을 구성하고 양분의 흡수와 생성물질의 체내이동을 가능하게 하며 체온을 유지시키는 역할을 한다. 쌀 1g 을 생산하는 데 약 1ℓ의 물이 소요된다. 농업한발은 이앙지연형과 생육지연형 한해로 구분된다.

1. 농업한발

가. 이앙지연형 한해

이앙지연형 한발은 가장 자주 발생하는 것으로 피해도 막심하며 우리나라에는

약 20만ha 의 한해상습답이 있다. 이앙지연에 따른 감수율은 표.29와 같다. 5 6월 이앙지연형 한발은 광주 등 호남지방은 4년에 한번, 수원 등 중부지방은 3년에 한번, 대구, 강릉 등 영남내륙과 동해안에서는 2년에 한번 꼴로 발생한다.

나. 생육지연형 한해

생육이 왕성하여 많은 물의 생리수를 필요로 하는 시기에 수분이 부족하여 일어나는 현상으로 수도의 분얼과 생장이 억제된다. 특히, 감수분얼기에는 내건성이 약하므로 7월 또는 8월의 월강우량 100mm 미만이면 생육지연형 한발로 본다. 생육지연형 가뭄은 대구 등 영남내륙지방이 4 5년에 한번, 기타 지방은 5 8년에 한번 꼴로 발생한다.

표. 29 이앙지연에 따른 감수율 (%)

이앙일자	6. 20	6. 25	6. 30	7. 5	7. 10	7. 15	7. 20	7. 25	7. 30
수 원	16	-	19	-	22	-	32	-	-
대 전	-	14	-	26	-	31	-	60	-
광 주	-	-	1	-	9	-	20	-	54
진 주	-	-	0	-	7	-	23	-	54

2. 한발피해 실적

벼의 경우 상시담수의 피해율을 0%로 취했을 경우, 생육기별 가뭄지속일수에 따른 피해율은 분얼기에 10 25일간 지속이면 10 20% 감수, 유수형성기에 10일간 지속이면 20% 감수, 수잉기에 10일간 지속이면 77% 감수, 출수기에 10일간 지속이면 69% 감수이다.

밭작물은 토양이 필요수분 이하로 떨어지면 작물생육 stress 와 수확량 감소, 품질

저하가 발생하게 된다. 맥류의 경우 발아기에서 성숙기에 이르기까지 지속기간이 20 30일이면 피해율은 5 10%, 30일 이상이면 10 20%에 이른다. 콩의 경우 영양생장기인 개화기 이후 총분지수(總分枝數)에 따라 5 35%의 피해율이 예상된다. 감자의 경우 수확전 9주째에는 가뭄이 2주간 지속되어도 피해가 없지만 4주간 지속되면 15% 피해가 예상되며 수확전 6주째에 가뭄이 4주간 지속되면 약 60%의 피해발생이 예상된다.

표. 30 한해발생현황 (1962 95년도)

연도	강우량 (mm) (5,6,7월)	과우일수		저수율		고갈 저수지 (개소)	가뭄 면적 (ha)	가뭄 피해액 (백만원)	가뭄 대책비 (백만원)
		일수	빈도	%	빈도				
1967	307.4	56	7	5	25	-	420,547	626,615	5,758
1968	122.2	72	50	4	30	-	470,422	700,928	5,558
1976	368.7	32	2	37	3	-	28,218	42,044	2,548
1977	287.5	54	7	29	5	6,988	60,222	89,370	13,920
1978	717.6	41	2	13	15	-	-	-	37,201
1981	658.2	50	5	46	2	5,306	145,457	216,730	51,783
1982	300.8	54	7	27	7	13,593	231,569	344,533	48,257
1992	392.4	65	20	23	7	5,840	31,523	46,969	21,400
1994	231.3	68	30	15	15	6,728	231,569	249,281	61,866
1995	364.6	-	-	38	-	-	20,370	700,000	482,700
평균	375.0						163,989	301,647	73,099

과수는 수분부족으로 생장이 둔화 또는 정지되고 야간에 고온이 지속되어 호흡에 의한 양분소모로 당도가 떨어지거나 과실성숙이 지연된다.

우리나라 1962 95년 사이 한해발생은 표. 30과 같이 약10회 발생하였으며 가뭄발생년의 연평균 가뭄피해면적은 16만ha, 가뭄피해액은 3천억원, 가뭄대책비는 700억원 정도였다.

제 3 절 윤환관개에 의한 절수

논벼는 생리상 생육시기별 용수의 필요정도가 다르므로 그 필요정도에 따라 물관리를 하여야 수확량도 높아지고 용수도 절약된다. 더구나 가뭄이 계속되면 용수가 부족하게 되어, 가뭄의 정도와 벼가 지니는 생육시기별 용수의 필요정도에 따르는 절수관개는 절실히 필요하다. 표준적인 절수관개방법으로도 30%정도의 절수가 가능한 것으로 알려져 있으며, 용수가 부족하거나 가뭄이 있는 해에는 용수절약을 위하여 절수관개는 반드시 시행되어야 할 것이다. 용수부족시 생육시기별 용수의 필요정도에 따르는 표준적인 절수관리방법을 제시하면 표. 33과 같다.

1. 윤환관개를 통한 간단관개

간단관개를 가장 필요로 하는 시기는 유수형성기부터 출수개화기와 성숙기로서, 이때는 등숙비율을 높여야 하므로 엽신의 질소농도가 높고 뿌리가 건전해야 하는데 벼뿌리는 이때부터 많은 물을 필요로 하는 동시에 산소 요구도도 높기 때문에 윤환관개를 통한 간단관개를 철저히 이행하여야 하며 통일계 품종은 간단관개를 실시하지 않으면 적고(赤枯)현상이 나타나 등숙에 영향을 준다.

윤환관개를 통한 간단관개를 실시하려면 다음 사항을 고려한 관개급수계획이 수립되어야 한다.

① 급수계획은 간·지선별로 수립하되 지역별 토양 및 재배품종을 고려한다.
② 작물별 생산목표량, 작부체계에 따른 시기별, 관개면적을 조사하여 용수량을 파악한다.
③ 확보가능수량과 평년의 시기별 분포상태를 분석하여 현재의 시설로 급수가능한지를 검토한다.

집단재배단지조성을 위해 유관기관과 긴밀한 협동체제가 이루어져야 하고 간단관개

의 실효를 거두기 위하여 사전에 수혜민에게 급수계획을 충분히 주지시켜야 한다.

표. 31 간단관개가 근활력 및 수량에 미치는 영향

처 리	근활력(r / fr • wt / h)			현미량(kg / 10 a)	
	상 근	중 근	하 근	八 達	八 續
관 행 재 배	148	180	108	434	427
간 단 재 배	180	210	156	438	434

주) 간단관개 : 고온기 40일간 3일관개, 2일 낙수

표. 32 관개방법별 용수량

관 개 방 법	지 구 수	순용수량 (ℓ/s/ha)	감수심 (㎜)
내 리 흘 림 식	131	2.78	24
간 단	172	1.97	17

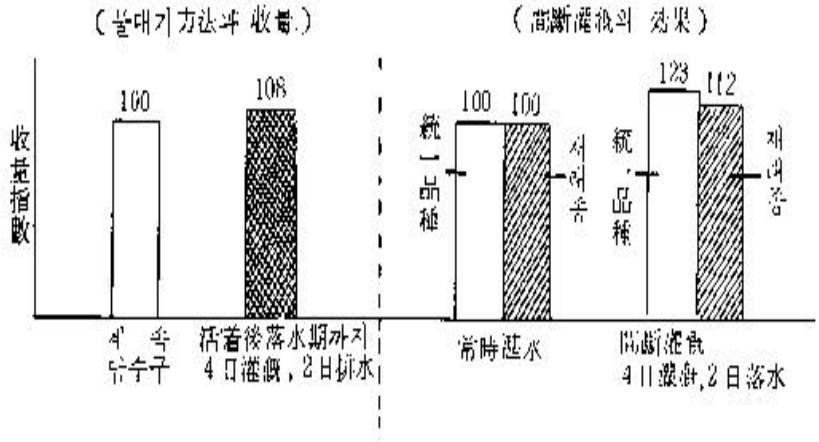


그림. 34 간단관개의 효과

농진공 (1972 74) 시험사업에서는 간단관개가 17 25%의 용수절약과 4 9%의 증수효과가 있는 것으로 보고되고있다. 또한 간단관개에 의한 용수절약효과를 조사한 결과는 표. 32 및 그림. 34 와 같다.

표. 33 표준적인 절수관리방법

구 분	용수의 필요정도	물배분 방법	
		용수가 약간 부족한 경우	용수가 대단히 부족한 경우
활 착 기	가장 필요	담 수	관수 또는 습윤
분 얼 기	필 요	습 윤	단 수
무효분얼기	극 소	단 수	단 수
유수형성기	가장 필요	수회 관수	1 2회 관수
수 잉 기	가장 필요	수회 관수	1 2회 관수 또는 습윤
출수개화기	필 요	1 2회 관수 또는 습윤	습 윤
호 숙 기	필요 또는 적음	습윤 또는 단수	단 수
황 숙 기	적 음	단 수	단 수
완 숙 기	극 소	단 수	단 수

표. 34 벼일반 생육기별 물관리 요령

생육시기	물대는 요령	물깊이(cm)	효 과
이앙기	얕게 댈 것	2 3	모를 얕게 심게 됨
활착기	깊이 댈 것	5 7	증산억제, 활착촉진
분얼성기	얕게 댈 것	2 3	분얼촉진
무효분얼기	중간 물떼기(5 10일간)	0	헛가지억제, 유해물질제거
생식생장기	걸러 대기 (3일 관개, 2일 배수)	2 4	뿌리기능촉진, 유해물질제거
출수기	보통으로 댈 것	3 4	꽃가루받이 촉진
등숙기	걸러 대기 (3일 관개, 2일 배수)	2 3	등숙양호, 뿌리기능유지
낙수기	출수후 35일 전후	0	품질양호, 농작업편리

※ 자료 : 영남농업시험장, 1996, 시험연구사업 설계서

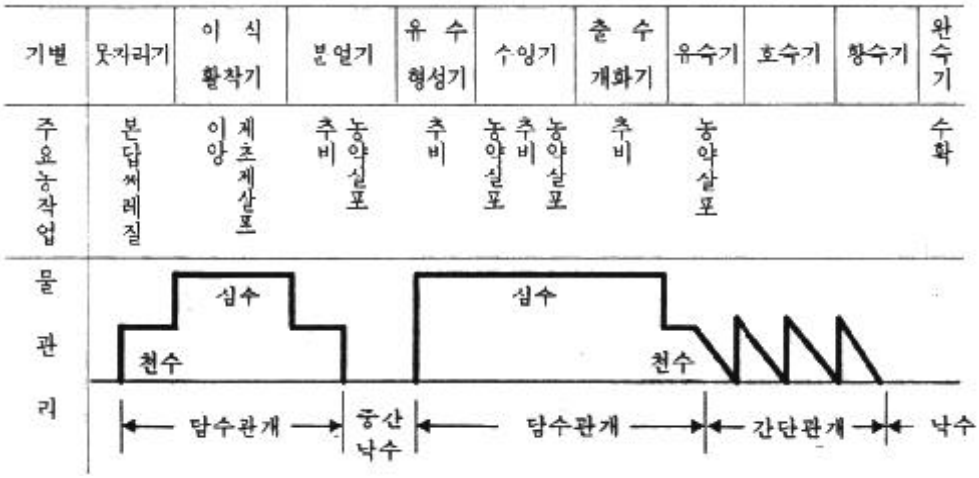


그림. 35 생육시기별 물관리와 주요 농작업

2. 日本의 제한급수에 의한 한해극복 사례

愛知縣 羽布댐, 香川 시메우라댐, 豊川용수 절수대책, 東海지방의 저수지의 목표저수라인, 渡良懶川 연안지역 및 埼玉縣의 제한급수에 의한 윤환관개와 농업토목학회에서 작성중인 관개시설 자동조절장치에 대한 매뉴얼 개념을 소개한다.

가. 愛知縣 羽布댐의 절수량과 윤환관개

愛知縣 羽布댐에서는 1/3 절수량의 경우에는 몽리구역을 3개 블럭으로 구분하여 4일 급수 2일 단수하고, 1/2 절수량의 경우에는 2개 블럭으로 구분하여 3일 급수 3일 단수하고, 2/3 절수량의 경우에는 3개 블럭으로 구분하여 2일 급수 4일 단수하는 윤환관개체제를 수립하여 운영하고 있다.

나. 香川지구 시메우라댐의 제한급수와 윤환관개

1992년의 심한 가뭄을 효과적인 이수관리로 극복한 香川지구 시메우라댐의 제한급수와 윤환관개 사례를 소개하면 다음과 같다.

1) 1992년 가뭄상황

시메우라댐 유효저수량은 $289\times10^4m^3$이며 연간 계획취수량은 농업용수 $96.5\times10^4m^3$, 생활용수 $97\times10^4m^3$, 공업용수 $19.8\times10^4m^3$ 등 총 $214\times10^4m^3$ 이다. 가뭄이 진행되어 사메우라댐에서 6월29일 현재 저수율 50%인 상태에서 급수제한율 30%를 적용하여 전체적으로 용수간선에서 취수량을 감축하였다. 그 후, 댐수위가 계속 저하하였으나 댐저수율과 급수제한율의 명확한 관계가 없어 경험에 따라 "吉野川 이수조정위원회"의 협의에 따라 설정하였으나 합리적인 근거가 부족하였다. 시메우라댐에서 7월 4일 현재 저수율 20%에서 급수를 60%를 제한하고 있는 상태에서 농, 공업용수를 생활용수로 전용요청이 있었으며 생활용수공급 우선의 원칙에 따라 이수조정위원회에서 전용하도록 결정하였다.

시메우라댐의 저수율별, 용수별 제한급수율은 표. 35 와 같다. 용수간선에서 취수제한되므로 용수지선에서도 취수제한되어야 하며 상류측 이용자가 많이 취수하지 않도록 감시해야 한다. 이 감시활동은 가뭄이 지속된 100일간 많은 분수공에서 3 4명이 동원되어 이용자에게 과대한 부담이 되었다.

가뭄이 계속되면 각 포장에서도 여러 블록으로 나누어 물의 단위시간당 공급량(q)과 공급시간(t)을 줄이는 윤환관개를 도입하였다. V = q×t 에서 일반적으로 q가 아닌 t를 조정한다. 예를들면, 가뭄초기에는 q 를 2일 관개, 1일 비관개하고 가뭄심화되면 q 를 1일 관개, 1일 비관개 등으로 실시하면 절수에는 효과적이지만 많은 노력이 든다. 따라서, 윤환관개와 간단관개의 복합체제 수립이 절실히 필요하다.

표. 35 에서 저수율별 용수별 급수제한율은 계절별로 다르지만 평균적으로는 다음과 같다.

저수율 30 50%, 농업용수제한율 30% : 생활용수제한율 30%, 공업용수제한율 60%
저수율 20 30%, 농업용수제한율 50% : 생활용수제한율 40%, 공업용수제한율 70%
저수율 10 20%, 농업용수제한율 60% : 생활용수제한율 55%, 공업용수제한율 85%

표. 35 저수율별 용수별 급수제한율

순 위	기 간	댐저수율 (%)	급수제한율(%)				비 고
			농 업	생 활	공 업	평 균	
1	5.29 7. 8	17	30	30	30	30	
2	7. 8 7.11	29	65	51	70	60	
	7.11 7.16	22	65	41	70	60	
3	7.16 7.24	10	60	55	85	70	
4	7.24 7.25	0	100	100	100	100	댐 고갈
5	7.27 8.13	29	65	41	60	60	
6	8.17 8.19	50	30	30	30	30	
7	8.31 9.13	49	30	30	30	30	
8	9.13 9.18	30	80	14	50	50	
	9.18 9.28	26	85	34	50	50	
9	10. 1 10.12	28	30	30	30	30	
	10.17 11.14	46	30	30	30	30	

유효저수량 300만m^3 정도의 소규모 다목적댐인 시메우라댐에서 제한급수와 용수전용에 의하여 가뭄을 극복한 사례는 우리나라 물관리자에게도 큰 교훈이 되어야 할 것이다. 香川댐 가뭄극복 절수사례와 이수관리곡선으로 판단한 예당저수지의 경우, 6월 5일의 저수율별 농업용수 급수제한율은 저수율 44.4%일 때, 급수제한율 20%, 저수율 33.1%일 때, 급수제한율 40% 저수율 21.8%일 때, 급수제한율 60%, 저수율 10.5%일 때, 급수제한율 80% 이다.

2) 가뭄극복 대책

용수간선, 용수지선 및 포장에서의 물관리에 의한 가뭄극복 대책을 제시하였다.

가) 용수간선의 물관리방법

전체적으로 취수량을 감축하여 제한급수를 실시하였다. 6월29일 현재 시메우라댐 저수율은 50%로 급수제한율 30%를 적용하였다. (※ 예당지의 이수관리곡선에 의하면 6월29일 현재 저수율 50% 이면 급수제한율은 0% 이다.) 그 후, 댐수위가 계속 저하

하여 제한급수율도 강화하였으나 저수율과 급수제한율과의 관계가 명확하지 않아 경험에 의한 “吉野川 이수조정위원회”의 협의에 따라 설정하였으나 합리적인 근거가 부족한 것으로 지적되고 있다.

7월 4일 현재 시메우라댐의 저수율은 20%로 저하되어서 제한급수율 60%를 적용하였으나, 이 때 생활용수가 부족하여 농공용수로부터 전용해달라는 요청이 있어 생활용수 우선원칙에 의하여 이수조정위원회에서 전용을 결정하였다. 따라서, 농업용수부족은 더욱 심각하여 구역내 가뭄상태가 심한 지역에만 집중하여 관개를 실시하였다.

예당지 용수지구의 경우 동서로 20km, 남북으로 50km에 걸쳐 분포되어 있어 가뭄정도도 구역에 따라 차이가 커서 GIS에 의한 용수구역관리로 심한 지역에 중점적으로 농업용수를 배분할 수 있을 것이다.

나) 용수지선의 물관리방법

용수간선에서 취수제한하면 지선에서도 취수제한해야 하므로 지선 상류측 이용자가 많이 취수하지 않도록 감시해야 한다. 이 감시활동을 위하여 가뭄이 지속된 100일간 많은 분수공에서 3 4명이 동원되어 이용자에게 과대한 부담이 되었다.

다) 포장 물관리

가뭄이 계속되면 필요한 수량을 공급할 수 없기 때문에 각 포장을 여러 블록으로 나누어 물의 단위시간당 공급량(q)과 공급시간(t)을 줄이는 윤환관개를 도입하였다. 일반적으로는 V = q × t 에서 q 가 아닌 t 를 조정한다.

예를들면, 가뭄초기에는 q 를 2일 관개, 1일 비관개하고, 가뭄이 심화되면 q를 1일 관개, 1일 비관개 하면 절수에는 효과적이지만 많은 노동력이 필요하다. 윤환관개와 간단관개의 복합체제수립이 필요하다.

3) 가뭄대책의 과제

앞으로 해결해야할 가뭄대책의 과제로 절수규칙의 설정, 수리조정조직의 구성, 가뭄정도의 평가, 물의 용도전용량 설정, 소규모 저수지의 가뭄에 대한 위험도의 평준화, 수로의 관수로화 등을 제안하고 있다.

가) 절수규칙의 설정 : 급수제한 시기와 제한급수율을 설정하기 위한 객관적 기준

이 필요하다. 香川용수에서는 저수율을 기준으로하는 경험과 위원회의 협의로 제한급수율을 조정, 결정하였으나 과학적이고 합리적인 절수곡선 설정이 바람직하다. 또한, 용수 용도별로 다른 절수율을 설정하는 방법이 필요하다.

나) 수리조정조직의 구성 : 행정기관만으로 구성할 것이 아니라 이용자도 참여해야 한다. 이 때, 물을 가장 많이 사용하는 농업용수 사용자가 조직 구성에 주도적인 역할을 하여야 한다.

다) 가뭄정도의 평가 : 지구가 큰 경우에는 강우상황과 가뭄정도가 지역에 따라 다르므로 가뭄의 정도를 표현할 지표가 필요하다.

라) 물의 용도전용량 설정 : 용도별 물의 전용시기와 양을 결정하는데 객관적 평가방법이 필요하다.

마) 소규모 저수지의 가뭄에 대한 위험도의 평준화 : 소규모 저수지의 가뭄에 대한 위험도가 서로 다르지만 큰 저수지 용수공급하에서는 평등하도록 관리하는 것이 바람직하다.

바) 평형저수량 관리 : 어느 저수지가 평균저수량에 비하여 과부족하면 부족량 만큼 다른 저수지에서 공급받는 조치를 취한다.

사) 수로의 관수로화 : 윤환관개를 실시하려면 많은 노동력이 추가로 필요하므로 용수지선이하는 관수로화한다.

아) 하천법 조정 : 최근에는 가뭄시 용수간 경쟁에 따라 수리권상 최상위에 있던 농업용수가 최하위에 놓이게 되는 상황이 발생하고 있어 하천법의 조정이 요구된다.

다. 豊川용수 절수대책

豊川용수 절수대책위원회(平井, 1989)는 이수관리곡선을 기초로 농업용수 10 30%, 생활용수 10%, 공업용수 15% 를 절수해야 할 경우에는 보통절수방법으로, 농업용수 40% 이상, 생활용수 15%이상, 공업용수 20% 이상 절수해야 할 경우에는 특별절수방법으로 대책을 세우고 있다.

라. 東海지방의 저수지의 목표저수라인

東海지방의 한 저수지에서 목표저수라인(Target storage line)을 설정하여 저수량을 관리하는 것을 소개하면 다음과 같다(그림.36).

1) 3월초부터 저수를 개시하여 5월하순 이앙을 대비하여 5월중순까지 만수시킨다.

2) 5월하순 6월하순까지 이앙용수를 공급하고 6월하순부터 7월상순 호우기에는 저수량을 보충한다.

3) 호우기에 완전 보충이 되지않고 저수량이 1/2 1/3 밖에 않되는 경우는 중간낙수기 이후의 용수공급을 위하여 제한급수를 검토한다.

4) 하천유입량이 많고 댐 보급방류가 필요치 않는 경우에도, 호우시에 홍수배제를 실시하여 7 8% 양을 서서히 조정방류한다.

5) 7월하순 이후의 생식생장시의 용수공급을 위하여 호우기에 7월 중순까지 다시 한번 만수시킨다.

6) 7월하순 9월중순까지 필요수량을 공급하고 저수량 감소정도에 따라 제한급수를 실시한다.

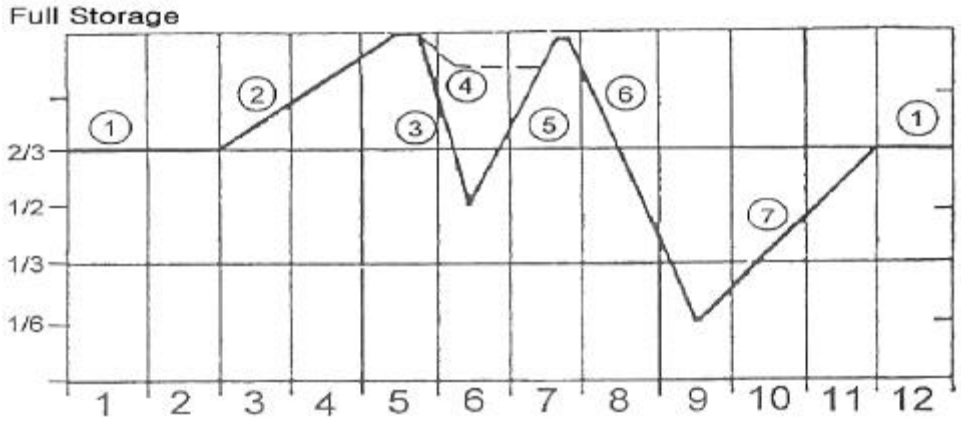


그림. 36 관개저수지의 목표저수라인의 일례

마. 渡良懶川 연안지역에서의 갈수와 대응책

1995년 8월 이후 1년간 과우로 인하여 제한급수를 실시하여 가뭄을 극복한 渡良懶川 연안지역의 갈수대책을 소개하면 다음과 같다.

1) 가뭄상황

1995년 8월이후 과우와 겨울가뭄으로 1월 3월까지 65일간 10%의 제한급수를 실시하였다. 3월 들어 강우량이 있어 제한급수가 해제되었으며 융설로 인하여 5월의 모내기 용수를 공급할 수 있었다. 그러나 7월 강수량은 평년의 80%, 8월은 평년의 38% 정도뿐으로 1년간의 연강수량(1,361mm)의 69%인 942mm 뿐이었다.

유역내 7개 댐의 여름철 제한용량은 3.4억m^3 이지만 3월말 현재 1억m^3 까지 저하되었으나 융설량으로 5월 28일에는 만수가 되었다. 草木댐도 5월 28일에는 98% 만수되었으나 그 이후 과우로 인하여 7월 29일에는 1,500만m^3 (저수율 49%) 8월 28일에는 375만m^3 (저수율 12%)로 저하되었다.

2) 가뭄대책

가) 제한급수 실시 : 利根川(토네가와)수계에는 1987년 1996년 10년간 5회의 제한급수를 실시하였다. 1996년 가뭄에는 利根川수계는 사상 최대가뭄이었던 1994년과 같이 30% , 渡良懶川수계는 60% 제한급수를 실시하였으며, 이 때 농업용수는 60%, 수도용수는 40%를 제한급수하였다.

나) 농작물에의 영향 : 수도작은 생육단계에 따라 필요수량이 변동한다. 8월중순 이후에는 수잉기와 출수기를 맞게되며 수확량에 큰 영향을 주므로 물을 공급하여 토양을 습윤하게 해주어야 한다. 그런데 7월25 31일까지 10%, 8월 1 10일까지 20%, 8월11 20일까지 30%, 8월21 31일까지 60%, 9월 1 15일까지 20% 등 물이 많이 필요한 시기에 물이 부족하여 특별한 절수대책이 강구되었다.

논용수는 주야에 걸쳐 윤환관개하여 토양이 건조되는 것을 방지하였으며 제한급수가 해제된 9월 중순까지 47일간을 극복할 수 있었다. 이런 상황하에서도 작황지수는

111 이라는 좋은 결과를 기록하였으며 60% 절수라는 전례없는 가뭄도 극복할 수 있다는 것을 뜻한다.

3) 가뭄대책의 과제

1994년과 1996년의 가뭄을 극복하는 과정에서 용수를 저수지에 완전히 의존하는 것이 얼마나 위험한 지를 알게 되었다. 가뭄극복 대책으로 ① 지구내 조정지, ② 수리관리조직의 강화, ③ 용배수 겸용수로 설치 등 3가지를 제시하였다.

바. 埼玉縣의 이수와 갈수대책

농업용수는 10년빈도로 계획하고 있으나 최근 利根川수계에서는 2 3년에 한번 가뭄이 빈발하고 있다. 이것은 강우량이 적은 것이 첫째 이유이지만 인구증가, 생활고도화로 인한 물수요는 증대하는데 댐건설을 할 수 없는 데도 원인이 있다.

利根川 상류 8개 댐의 상시만수용량 4.61억m^3 하기제한용량 3.43억m^3이다. 홍수조절용량은 26%이다. 이러한 가뭄에도 책임방류량은 없지만 2,940 km^2인 유역에서 2m^3/s의 하천유지유량을 방류하고 있다. (0.06mm/day)

최근에는 가뭄시 용수간 경쟁에 따라 수리권상 최상위에 있던 농업용수가 최하위에 놓이게 되는 상황이 발생하고 있어 하천법의 조정이 요구된다.

사. 농업토목학회의 관개시설 자동조절장치 매뉴얼 작성

물관리의 정확한 작동과 적절한 관리를 위해서는 자동측정장치(Tele-metering system)와 함께 관개시설의 자동조절장치(Tele-control system) 는 대단히 중요하다. 일본 농업토목학회는 1999년 관개시설 자동조절장치에 대한 매뉴얼을 작성중에 있으며, 관개시설의 자동조절시스템의 계획과 설계과정을 그림.37과 같이 요약하고 있다.

물을 효과적이고 합리적으로 사용하여 지속가능한 농업이 되려면 관개용수조직을

효율적으로 운영하고 적절하게 관리해야하며, 이를 위해서 TC/TM 시스템을 설치해야할 것이다.

이 때 해결해야할 중요한 문제의 하나가 개수로와 관수로의 접합부에서 생기는 수리현상이다. 운전과 반응사이에 지체되는 시간이 개수로는 몇시간씩 걸리는데 반하여 관수로는 몇분 밖에 안걸리기 때문에 개수로와 관수로를 연결시키는 조절지를 설치해야 한다. 만약 조절시설이 없으면 접합부에서 많은 용수손실이 발생하게 된다.

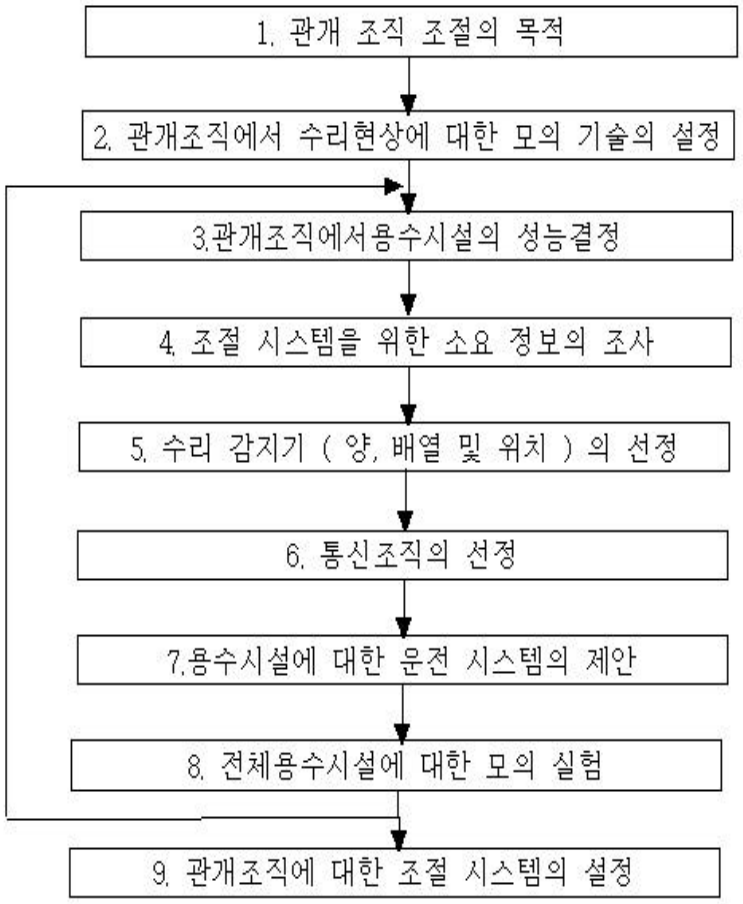


그림. 37 관개시설의 자동조절시스템의 계획과 설계과정

제 4 절 필요수량과 저수지 물수지분석

관개용수는 못자리 용수량, 이앙용수량, 작물소비수량, 침투량, 관리 손실량으로 구성된다. 관개용수는 침투량을 제외한 전량이 소비되며 침투량의 일부가 다시 하천으로 회수된다. 포장에서의 純용수량과 粗용수량는 각각 다음과 같다.

순용수량 = 작물소비수량 + 침투량 - 유효우량 ····· (1)

조용수량 = 순용수량 / (1 - 관리손실률) ····· (2)

농진공(1989)에서 제시한 "소비수량 산정방법 실용화 연구" 를 적용하였다. 이제까지 설계기준으로 사용하던 Blaney-Criddle식에서 FAO의 수정Penman식으로 교체하고, 관리손실률에 대한 현실적 고려를 제안하여 실무에 적용할 수 있는 방법을 제시하고 있다.

1. 못자리용수 및 이앙용수

못자리는 관개면적의 1/20, 정지기간 4일, 못자리 생육기간 41일, 토성에 따라 다르지만 평균 못자리 정지 및 이앙용수량를 140mm로 취한다. 지역에 따른 못자리용수와 이앙용수공급 개시일은 표.36과 같지만, 실제 포장에서의 물관리관행으로는 못자리 용수공급시 이앙용수까지 취수하여 담수시키므로 증발에 의한 많은 용수손실을 야기시키고 있으며, 기계이앙에 따른 이앙용수관리도 문제점으로 지적되고 있다.

표. 36 지역별 못자리 및 이앙개시일 및 기간

지 역	못자리 정지	이앙개시일	이앙기간	비 고
경기, 강원, 충남북 영, 호남 지방	4월 6일 4월 11일	5월 16일 5월 21일	15 일간 20 일간	

2. 작물소비수량

최근 기상 관측자료가 충실해 짐에 따라 증발산의 기본구조를 에너지 인자와 기체역학적 인자로 구성하여 세계적으로 적합성을 널리 평가받고 있는 Penman방법을 사용할 것을 권장하고 있다.

이 방법을 적용하기 위하여는 일평균기온, 습도, 풍속, 일조시간 또는 일사량 등의 기상인자의 확보를 전제로 하며, 이 연구에서는 계산 절차와 벼의 작물계수는 "소비수량 산정 방법 실용화 연구" (1989)에 따른다.

$$ET = K_c \cdot ET_o \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3)$$

$$ET_o = W \cdot R_n + (1 - W) \cdot f(u) \cdot (e_a - e_d) \quad \cdots\cdots (4)$$

여기서, ET : 작물증발산량(mm/day), W : 기온에 관련된 가중치

ET_o : 기준작물증발산량(mm/day), R_n : 순일사량(mm/day)

f(u) : 풍속에 관한 함수, e_a : 평균기온에서의 포화증기압

e_d : 대기의 실제평균증기압, k_c : 작물계수

표. 37 벼의 생육기별 Penman 작물계수 K_c

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	1.58	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 량을 침투량

이라한다. 침투량은 토양의 성질, 구조, 균열, 토심, 담수심, 경지의 고저차, 지질, 지하수위, 배수시설 등의 여러가지 요인에 따라 큰 차이가 있으므로 실측에 의하여 정확한 침투량 값을 구한다. 실측치가 없는 경우는 평균 3 5mm/day를 적용할 수 있을 것이다.

4. 유효우량

관개기간중에 경지에 내린 비의 일부 또는 전부가 유효하게 이용되는데 이를 유효우량이라 한다. 관개기에는 답의 허용담수심을 60 80mm, 평시담수심을 30mm로 유지하고, 중간 낙수기에는 답의 허용 담수심을 10mm로 평시담수심을 0mm로 유지하여 유효우량을 고려한다.

5. 관리손실량

관리손실량은 포장의 재배관리손실량과 용수로의 시설관리손실량(= 손실률 + 배수관리손실률)의 합으로 나타낸다. 이에 대한 정확한 정의와 포장시험은 앞으로의 연구과제이며 일본에서의 기준을 참고하여 관리손실률을 30 40%로 적용한다. 이는 이제까지는 주로 수로손실률 10 20%만을 관리손실량으로 취급하였으므로 포장에서의 용수부족의 원인이 되었으며 앞으로는 보다 많은 관리용수가 필요하게 될 것이다.

6. 저수지 물수지분석

가. 필요수량계산

그림.38의 이수관리모형(IRRIMA)으로 필요수량을 계산할 수 있다. IRRIMA모형을 분석한 결과, 예당지 침투량은 4mm/day, 재이용수를 고려한 관리손실률은 26%로 추정되었다. 1984년 6월 IRRIMA모형에 의한 일별 필요수량계산 예는 표. 41과 같다.

나. 침투량과 관리손실량의 보정

물수지분석에서 민감도가 적은 물수지인자는 미리 결정해놓고, 민감도가 큰 침투량을 3 10mm/day, 관리손실율은 5 50% 범위의 값을 입력하여 일별 저수위를 모의발생하여 추정오차가 최소가 되는 최적 관리손실률과 침투량을 최적화기법 또는 통계적 방법으로(RMS 등) 보정한다.

관리손실률의 연별 변화는 10 50%로 평균 26%를 보이고 있으며 연강우량이 평균치 이상 내린 풍수년일 때 적고 갈수년일 때 크고, 침투량은 풍수년일 때 크고 갈수년일 때 작았다.

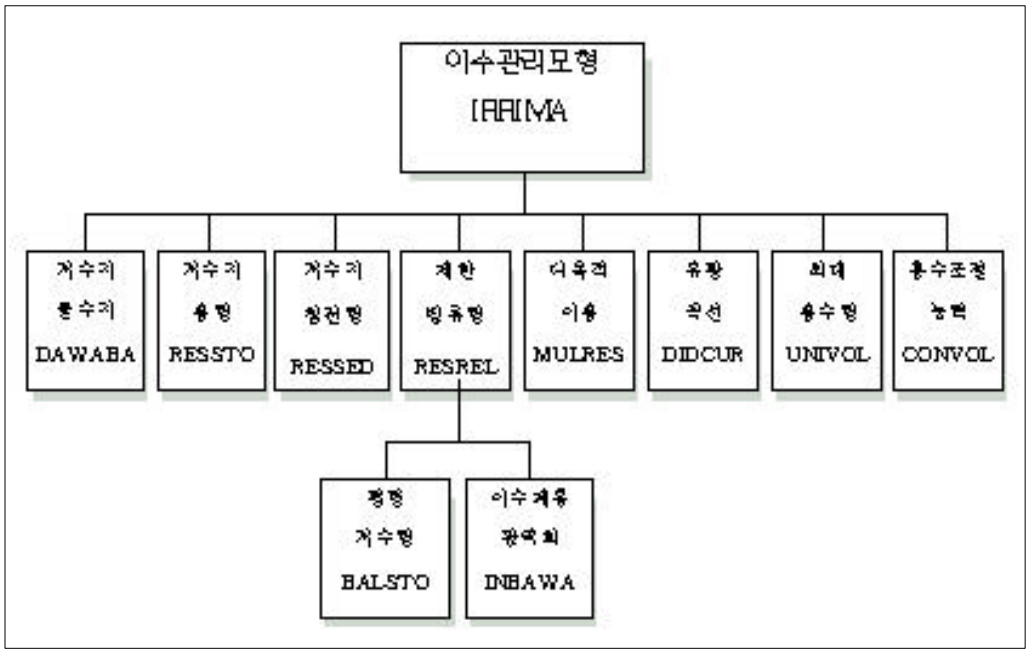


그림. 38 IRRIMA의 이용범위

침투율의 연별 변화는 3 10mm/일로 평균 4mm/일을 보이고 있으며 대체로 3mm/일의 값을 보이고 있다. 이와같은 결과는 관리손실율이 해마다 크게 변화하여 일률적

으로 적용할 수 없는 것을 뜻하며 이에대한 연구가 필요하다.

다. 저수지 물수지분석

예당저수지에서 급수와 한발피해분석을 위하여 1966 95년(30개년)의 일별 강수량, 증발량 등을 수집하여 일별 급수실적과 저수위변화를 분석하였으며 1966년의 예당지 일별 급수량과 저수위 변화를 예시하면 그림.39와 같다. 유입량은 예당지 상류 대흥지점의 1964 66년 유출자료로 DAWAST모형의 매개변수를 결정하고 당진, 예산, 청양의 일강우자료로 Thiessen망으로 면적강우량을 구하여 일유출량을 모의발생하였다.

표. 38 예당지의 과거 30년간 물수지 인자(1966년 95년)

연도	연강수량 (mm)	관리손실률 (%)	침투량 (mm/일)	연도	연강수량 (mm)	관리손실률 (%)	침투량 (mm/일)
1966	1,289	20	5	1981	1,048	20	3
1967	952	10	3	1982	893	20	3
1968	917	20	3	1983	1,081	15	3
1969	1,740	50	10	1984	1,097	20	3
1970	1,285	40	5	1985	1,342	15	3
1971	1,301	40	7	1986	1,197	10	3
1972	1,361	40	5	1987	1,604	20	3
1973	984	25	5	1988	707	20	3
1974	1,311	25	5	1989	1,437	20	3
1975	1,418	40	5	1990	1,018	10	3
1976	1,057	50	8	1991	1,224	40	5
1977	824	30	3	1992	1,111	20	3
1978	1,080	20	3	1993	1,094	20	3
1979	1,137	20	3	1994	1,191	30	4
1980	1,307	20	3	1995	1,383	40	5
				평균	1,190	26	4

표. 39 갈수년과 풍수년의 연평균 물수지 값

	연 도	연평균 강우량	평균 유출율	평균 농업용수	평균 유효급수율	비고
		mm	%	10^4 m^3	%	
갈수년	'67 '68 '73 '77 '82 '88	880	46.6	78,565	55.3	
풍수년	'69 '72 '75 '87 '89 '95	1,490	70.4	94,031	22.6	
보통년	기타 연도	1,180	57.6	80,203	34.2	

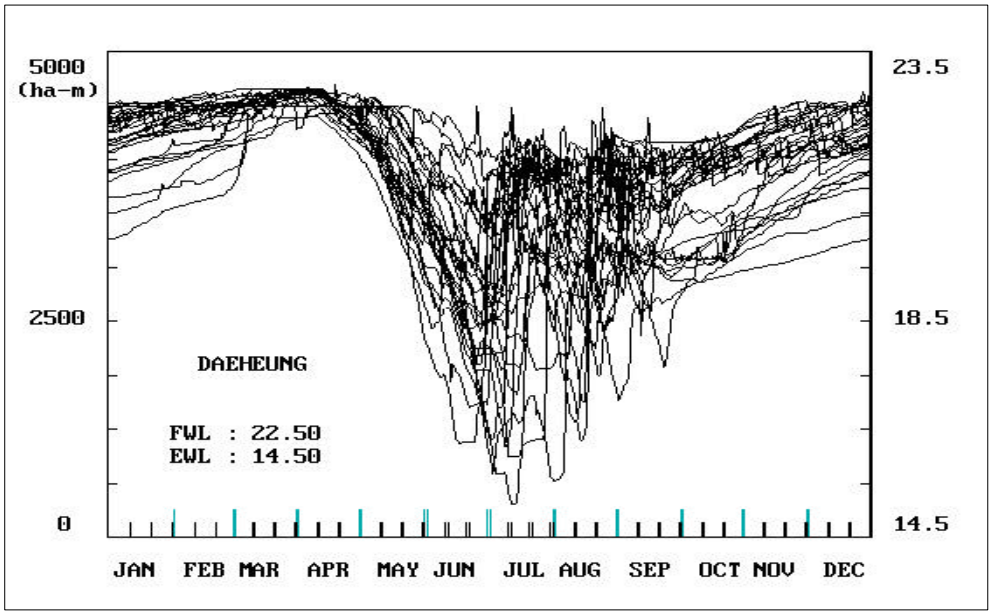


그림. 39 예당지의 관측 일별 저수량곡선 (1966 95년)

IRRIMA모형을 예당지에 적용하여 물수지를 분석한 결과, 그림. 40 과 표, 40 41 과 같다. 연강우량은 1988년 707mm에서 1969년 1,740mm 범위이며 연평균강우량은 1,180mm이다. 연평균유입량은 258백만m^3로 유출율은 31.5 77.5%로 평균 57.6%였다.

연평균 농업용수공급량은 80백만m^3로 단위저수심은 912mm이며 유효급수율은 174%로 대단히 크게 나타났으며 그림. 39에서 30년 가운데 약 6년(1968, 76, 78, 82, 88, 92년)정도가 바닥이 들어나는 가뭄을 겪고 있어 10년 빈도에는 부족한 저수용량으로 나타나고 있다

표. 40 **예당지의 과거** 30**년간의 물수지 분석치** (1966 95**년**)

연 도	강우량	유입량	유출율	농업용수	무효 방류량	유효 급수율	비 고
단 위	mm	10^4 m^3	%	10^4 m^3	10^4 m^3	%	
1966	1,289	254,000	52.8	83,508	164,151	32.8	
67	952	182,452	51.3	71,105	101,024	39.0	갈수년
68	917	186,030	54.3	69,152	107,113	37.0	갈수년
69	1,740	506,851	78.0	155,998	349,278	30.8	풍수년
70	1,285	318,463	66.4	83,037	229,899	26.1	
1971	1,301	308,989	63.7	97,216	206,139	31.5	
72	1,361	396,405	77.5	86,682	305,287	21.9	풍수년
73	984	247,105	67.3	107,156	129,989	43.4	갈수년
74	1,311	314,867	64.3	88,250	221,155	28.0	
75	1,418	373,518	70.6	99,574	269,587	26.7	풍수년
76	1,057	239,204	60.6	137,904	92,701	57.7	
77	824	123,664	40.2	74,669	42,983	60.4	갈수년
78	1,080	210,286	52.2	64,712	140,386	30.8	
79	1,137	219,428	51.7	64,458	147,334	29.4	
80	1,307	280,059	57.4	51,989	226,564	18.6	
1981	1,048	199,569	51.0	61,735	128,967	30.9	
82	893	105,018	31.5	63,644	31,048	60.6	갈수년
83	1,081	210,890	52.3	58,101	144,726	27.6	
84	1,097	181,259	44.3	66,564	106,201	36.7	
85	1,342	277,064	55.3	69,317	202,241	25.0	
86	1,197	228,067	51.0	52,416	167,878	23.0	
87	1,604	379,296	63.3	47,414	331,290	12.5	풍수년
88	707	93,619	35.5	85,669	25,740	91.5	갈수년
89	1,437	310,231	57.9	66,555	239,028	21.5	풍수년
90	1,018	258,731	68.1	54,284	196,459	20.9	
1991	1,224	277,523	60.7	95,217	175,540	34.3	
92	1,111	217,511	52.4	67,042	142,800	30.8	
93	1,094	243,908	69.7	69,315	166,864	28.4	
94	1,191	225,474	50.7	105,438	110,954	46.8	
95	1,383	388,096	75.2	107,966	280,766	22.1	풍수년
평 균	1,180	258,586	57.6	80,203	172,803	34.2	

연강우량 적은 갈수년 1967, 68, 73, 77, 82, 88년의 평균 강우량은 880 mm, 유출율은 46.6 % 이고, 연강우량 많은 풍수년 1969, 72, 75, 87, 89, 95년의 평균 강우량은 1,490 mm, 유출율은 70.4 %,이었다. 갈수년의 평균 유효급수율은 55.3 %로 풍수년의 평균 유효급수율은 22.6 %이다.

물수지분석에서 민감도가 적은 물수지인자는 미리 결정해놓고, 민감도가 큰 침투량과 관리손실율을 각각 3 10mm/day, 5 50% 범위의 값을 입력하여 일별 저수위를 모의발생하여 추정오차가 최소가 되는 최적 관리손실률과 침투량을 최적화기법과 통계적 방법으로(RMS 등) 보정한다. 실제로는 관리손실률 등은 매해 다를 수 있으므로 보정기간동안에 얻어진 값의 평균을 취한다.

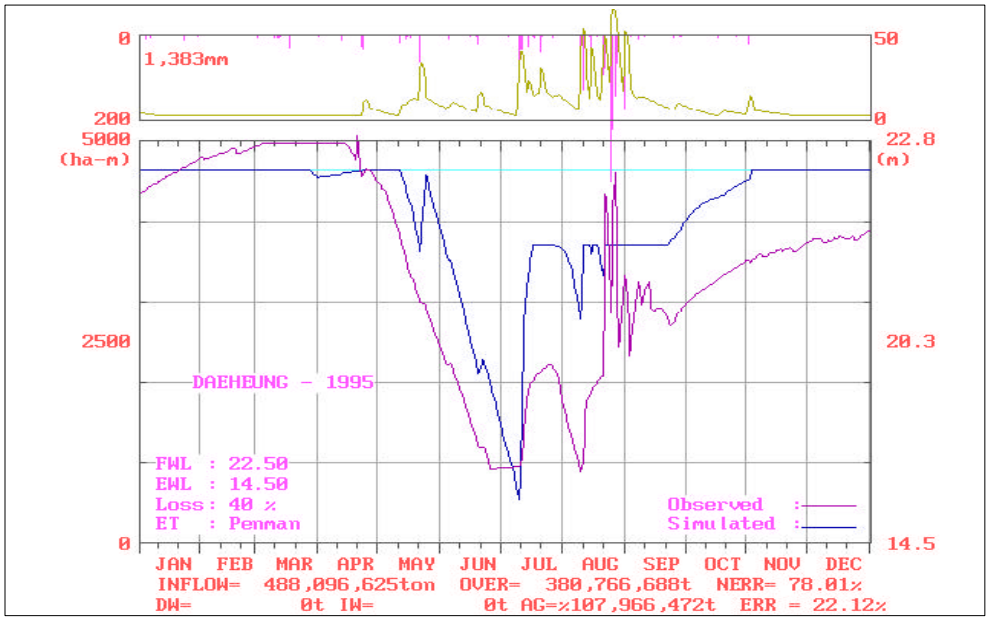


그림. 40 예당지의 연도별 관측-추정 일별 저수량곡선 (1995년)

관리손실률의 변화는 10 50%로 평균 26%를 보이고 있으며 연강우량이 평균치 이상내린 풍수년일 때 적고 갈수년일 때 크고, 침투량은 풍수년일 때 크고 갈수년일 때 작았다. 침투율 연별변화는 3 10mm/일, 평균 4mm/일이다. 이 결과는 관리손실율이 해마다 변화하여 일율적으로 적용할 수 없는 것을 뜻하며 이에대한 연구가 필요하다.

표. 41 IRRIMA모형에 의한 일별 필요수량 및 저수지 물수지분석 예

예당지 일별 물수지 (1984년 6월)											
일	유입량	농업용수	필요수량	증발산	방류량	저수량	저수위	온도	강우량	증발	담수심
단위	ha-m	ha-m	ha-m	ha-m	ha-m	ha-m	EL.m	℃	mm	mm	mm
1	7.5	86.7	86.7	27.8	0.0	2069.0	19.77	20.5	0.0	5.0	30.0
2	7.5	99.3	99.3	38.4	0.0	1971.1	19.64	21.7	0.0	7.2	30.0
3	7.5	97.2	97.2	36.6	0.0	1875.5	19.37	22.1	0.0	7.1	30.0
4	7.5	93.9	93.9	33.9	0.0	1783.8	19.50	21.7	0.0	6.4	30.0
5	7.5	79.3	79.3	21.7	0.0	1707.8	19.37	23.7	0.0	4.6	30.0
6	95.3	0.0	0.0	16.6	0.0	1835.0	19.26	22.4	54.2	4.7	60.0
7	51.4	0.0	0.0	21.5	0.0	1882.9	19.44	19.1	0.0	2.9	53.0
8	32.5	0.0	0.0	32.8	0.0	1910.8	19.55	20.0	0.0	4.9	44.0
9	9.4	0.0	0.0	12.0	0.0	1917.3	19.56	18.6	0.0	1.7	38.0
10	8.6	18.4	18.4	37.8	0.0	1902.3	19.54	19.5	0.0	5.9	30.0
소계	234.7	474.8	474.8	279.1	0.0	18855.5	195.0	209.3	54.2	50.4	375
평균	23.5	47.5	47.5	27.9	0.0	1885.6	19.5	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	30.0
12	7.5	98.6	98.6	37.8	0.0	1708.1	19.26	23.6	0.0	6.3	30.0
13	7.5	96.8	96.8	36.3	0.0	1613.3	19.11	24.9	0.0	7.5	30.0
14	7.5	101.9	101.9	40.6	0.0	1513.2	18.95	25.7	0.0	8.2	30.0
15	7.5	48.5	48.5	28.0	0.0	1470.2	18.88	24.9	3.6	5.4	30.0
16	7.5	0.0	0.0	1.7	0.0	1482.3	18.90	20.5	11.3	1.1	35.0
17	7.5	26.4	26.4	21.8	0.0	1459.8	18.87	20.5	0.0	3.8	30.0
18	108.7	0.0	0.0	11.7	0.0	1594.1	19.08	22.0	45.9	1.1	60.0
19	61.2	0.0	0.0	25.1	0.0	1651.4	19.17	20.9	0.2	4.8	52.0
20	41.0	0.0	0.0	32.0	0.0	1688.3	19.23	21.5	0.0	4.7	44.0
소계	263.7	472.5	472.5	274.1	0.0	15985.1	190.9	226.0	61.0	49.6	371
평균	26.4	47.3	47.3	27.4	0.0	1598.5	19.1	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	38.0
22	13.7	0.0	0.0	22.2	0.0	1710.9	19.26	21.0	0.5	4.3	31.0
23	12.5	67.4	67.4	23.7	0.0	1652.0	19.17	22.1	0.0	4.2	30.0
24	11.4	74.4	74.4	26.5	0.0	1585.6	19.07	23.1	1.0	4.6	30.0
25	10.4	45.2	45.2	9.2	0.0	1549.9	19.01	21.9	1.8	0.3	30.0
26	9.4	78.3	78.3	20.9	0.0	1477.4	18.90	22.7	0.0	3.9	30.0
27	8.6	93.0	93.0	33.1	0.0	1388.9	18.75	22.3	0.0	5.3	30.0
28	7.8	69.5	69.5	13.5	0.0	1324.8	18.64	20.8	0.0	1.4	30.0
29	7.5	96.3	96.3	35.8	0.0	1231.7	18.48	21.6	0.0	6.4	30.0
30	7.5	94.4	94.4	34.3	0.0	1140.3	18.31	23.2	0.0	7.1	30.0
소계	103.9	618.5	618.5	236.2	0.0	14762.3	188.8	220.5	4.8	41.0	309
평균	10.4	61.9	61.9	23.6	0.0	1476.2	18.9	22.1	0.5	4.1	30
총계	602.3	1565.8	1565.8	789.4	0.0	49602.9	574.7	655.8	120.0	141.0	1055
평균	20.1	52.2	52.2	26.3	0.0	1653.4	19.2	21.9	4.0	4.7	35

제 5 절 이수관리곡선모형

저수지 건설후 운영된 저수위기록으로부터 유입량과 방류량의 실적을 분석하여 미래의 저수위를 예측하여 효율적으로 물관리할 수 있는 이수관리규정을 정하여 관리하는 것이 바람직할 것이다. 이러한 이수관리규정 또한 자연현상의 재현성에 기초한 경험으로부터 얻은 정보로서 자연의 우연성을 알 수 없는 것이 인간의 영역이다.

저수량을 최대한 이용할 수 있는 계획을 수립하는데 가장 큰 문제점은 미리 유입량을 예측할 수 없다는 것이다. 이러한 측면에서 가장 적합한 급수계획을 수립하는 것은 더 이상 기술적 모의발생의 문제가 아니다. 그러나, 예측은 불가능하더라도 그동안의 유입량에 대한 저수위의 거동을 분석하여 급수관리규정을 수립하면 효율적인 저수지 운영이 가능할 것이다.

갈수기에는 물사용자간에 이해가 서로 다른 경우가 많으므로 절수대책 결정에 객관적이고 합리적인 이수관리지침 수립이 필요하다.

1. 이수관리곡선의 기본개념

저수지 설계시에 어느 저수위 상태일 때, 즉, 갈수위 또는 홍수위일 때, 어떤 량을 공급해야 할 지를 객관적인 기준하에 조정할 수 있는 공급계획을 규정하게 된다. 갈수시 급수계획을 이수관리, 홍수시 방류계획을 홍수관리라고 한다.

급수계획에는 저수용량, 계절에 관계없이 소요량 전량을 공급하여 저수지가 고갈되면 소요량을 전혀 공급하지 못하는 무제한급수(Simple release)와 저수용량이 감소함에 따라 수요량에 대한 급수를 제한하여 저수지고갈로 인한 급수불능을 막기 위한 제한급수(Restricted release)가 있다.

저수량 관리는 풍수기에는 용수공급을 촉진하여 하류지역의 물수요를 찾아내어 적극적으로 공급하는 것이고, 갈수기에는 저수량이 감소한 상태에서 적합한 방법으로 용수공급을 억제하여 수익지역의 물수요를 중단없이 공급하는 계획을 말한다. 2개의 상반되는 목표를 조정할 수 있는 객관적 기준의 하나가 관개시기별로 일정한 저수량

수준을 설정한 기준저수량곡선과 제한급수량곡선으로 구성된 이수관리곡선이다.

계획적으로 저수량을 운영하는 지구의 댐 저수량은 적어도 관개기가 끝나기 전까지는 저수량이 바닥이 드러나지 않도록 관리를 해야 하므로, 저수량이 감소하면 절수(節水) 등의 방법으로 물관리를 강화하게 된다. 즉, 저수지가 갈수위일 때는 어떤 량을 급수해야 할 지를 객관적인 기준하에 조정할 수 있는 규정이 필요하다. 물관리 강화방법을 경험적으로 운영하지만 정량적으로 파악하여 운영하는 방법은 아직 확립되어 있지 않다. 이 물관리를 객관적으로 정량적으로 파악할 수 있는 관리규정의 하나가 기준저수량곡선과 제한급수량곡선으로 구성된 이수관리곡선(Operation rule curve)이며 이를 구할 수 있는 모형을 개발하였다.

2. 기준저수량곡선

이 기준저수량곡선은 관개기말일에는 저수량이 영(零)이 되도록 일정 확률기준년을 고려하여 시기별로 갈수기 필요저수량곡선을 기초로 실제 저수관리조작의 편리성을 감안해서 작성하게 된다. 이 기준저수량곡선을 경계로 실제의 저수위가 이보다 높으면 물수요에 따라 급수를 촉진하게되며 이보다 낮으면 갈수대책을 위하여 급수를 억제하게 된다. 기준저수량곡선을 작성하는 방법은 다음과 같다.

관개기간의 期別(일별 또는 5일별)로 저수지 유입량과 포장의 조용수량과의 차이인 물부족량을 식(5)와 같이 구하여, 이를 관개기말일을 시점으로하여 역순(逆順)으로 각기별 누가필요저수량을 식(6)과 같이 구한 다음, 이를 각기별로 크기순으로 나열하여 Plotting position 등의 확률개념으로 특정일 i일의 확률 빈도별 누가필요저수량을 결정하여, 이로부터 빈도별 필요저수량 곡선을 작성한다. 특정일 i일의 저수량이 그날의 확률 (P) 필요저수량보다 적지 않으면, 적어도 관개기말까지 저수량이 영(零)이하로 떨어지지 않을 확률이 1 - P 임을 뜻한다. 여기에서 확률 P는 농업용수의 설계빈도가 보통 10년이므로 0.1에서 크게 벗어나지 않으며, 계산된 시점의 필요저수량곡선의 저수량 V가 저수지의 저수용량 $V_{。}$ 와 일치하도록 조정하여 기준저수량곡선을 작성한다.

$$DEF(i) = INF(i) - GDW(i) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (5)$$

$$STV(i) = STV(i+1) - DEF(i) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (6)$$

$$STV(i) < 0, \quad STV(i) = 0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (7)$$

여기서, i : 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)

3. 제한급수량곡선

실제 저수량이 기준저수량곡선보다 낮게 되면, 급수제한을 하게되며 남은 저수량의 정도에 따라 급수제한률 S(=급수제한량/필요수량)를 나타내는 곡선을 제한급수량곡선이라고 한다. 저수위가 점점 감소하면 이에 해당되는 점점 증가된 급수제한률을 적용하여 급수하게 된다.

제한급수량곡선을 구하는 방법은 기준저수량곡선 설정방법의 절차와 거의 같다. 즉, 관개기 말일에서부터 급수제한률 S를 적용하여 기별로 식(5)의 GDW(i) 대신에 급수제한률 S를 고려한 경우의 기별 물부족량을 계산하여, 기준저수량곡선에서와 같은 방법으로 급수제한률별로 제한급수량곡선을 작성한다. 이 때 S는 보통 10, 30, 50, 70 % 등이 적용된다.

$$DEFS(i) = INF(i) - (1 - S) \cdot GDW(i) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (8)$$

$$STV(i) = STV(i+1) - DEFS(i) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (9)$$

$$STV(i) < 0, \quad STV(i) = 0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (10)$$

여기서, DEFS : 방류 제한률을 고려한 물 부족량

4. 이수관리규정에 의한 급수제한율

기준저수량곡선과 급수제한량곡선에 의한 저수지 이수관리 규정에 따라 시기별, 저수위에 따른 용수별 급수제한률을 적용하여 효율적으로 제한급수를 실시할 수 있다. 즉, 그림. 41 에서 6월 5일 현재 저수율이 46% 이므로 20% 제한급수하고, 6월 30일의 경우, 저수율이 20% 이지만 기준저수량곡선 위로 회복되었으므로 제한급수를 해제하여 정상급수하게 된다.

5. 급수제한강도

이수관리곡선(기준저수량곡선과 제한급수량곡선)과 관측저수위(貯水位)로부터 급수제한일수, 제한급수률을 종합적으로 나타내는 가뭄의 정도를 객관적, 정량적으로 파악하는 방법이며 급수제한률(%)×급수제한일수(day)로 구한다.

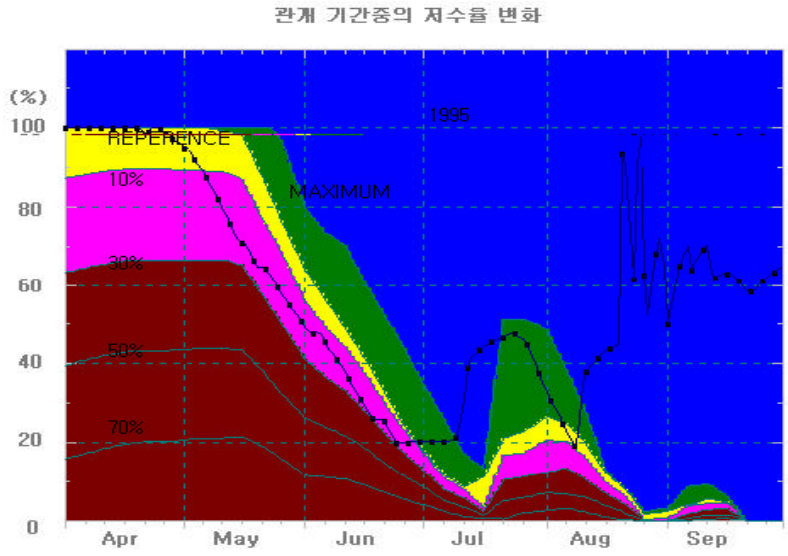


그림. 41 이수관리곡선에 의한 제한급수율과 급수제한강도

즉, 그림. 41 의 경우, 5월 1일 5일까지는 5%의 제한급수율이 5일간 지속되었으므로 25%·day의 급수제한강도를, 5월 6일 6월 5일까지는 20% 제한급수율이 31일간 지속되었으므로 60%·day의 급수제한강도를 나타내고 있다.

6. 이수관리곡선 작성

이수관리곡선의 기본개념에 따라 프로그램을 작성하였으며, 1978 1987년의 예당지 저수위 기록으로부터 작성한 이수관리곡선과 1984 1993년의 탑정지 저수위 기록으로부터 작성한 이수관리곡선은 각각 그림. 42, 43과 표. 42, 43와 같다.

일본의 경우에도, 대부분 특별한 저수량 관리규정이 없거나, 계획기준년의 저수량 변화곡선만 있으며 저수율에 따라 제한급수를 실시하는 경우는 조사한 32개 저수지 가운데 2개소 뿐으로 이수관리곡선에 의한 절수의 필요성은 강조되고 있지만 실적은 그리 많지 않은 현실이다.

표. 42 예당지의 생육시기별, 저수율별 급수제한율

생육시기	급수제한률 (%)				생육시기	급수제한률 (%)			
	10	30	50	70		10	30	50	70
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
6	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					

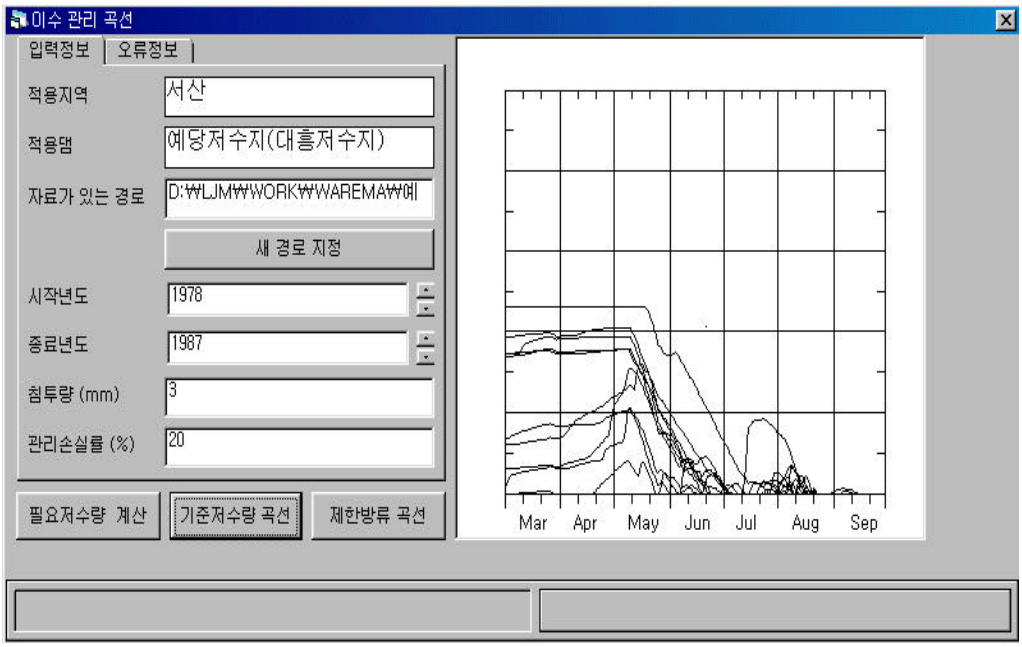


그림. 42 예당지의 이수관리 곡선

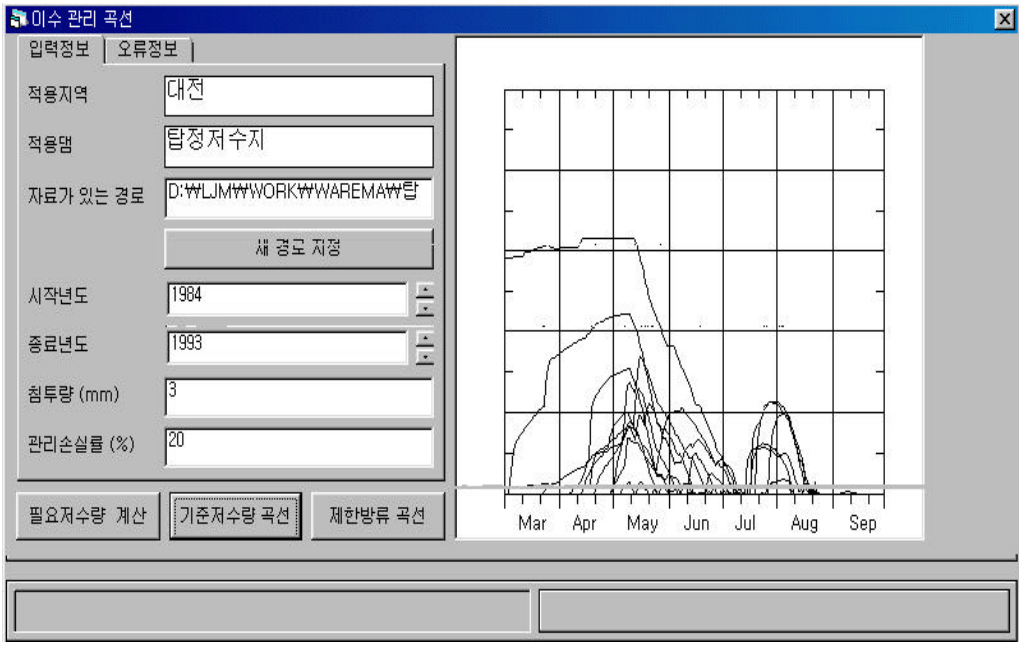


그림. 43 탑정지의 이수관리곡선

표. 43 탑정지의 생육시기별, 저수율별 급수제한율

생육시기	급수제한률 (%)				생육시기	급수제한률 (%)			
	10	30	50	70		10	30	50	70
4. 1	80.1	57.9	35.8	13.6	7. 1	14.3	10.9	7.5	4.1
6	80.6	58.4	36.3	14.2	6	10.4	7.9	5.5	3.0
11	80.8	58.8	36.7	14.6	11	3.3	2.5	1.7	0.9
16	84.1	62.1	40.0	18.0	16	0.0	0.0	0.0	0.0
21	86.9	64.9	42.9	20.8	21	25.0	12.9	0.9	0.0
26	89.0	67.0	45.1	23.1	26	32.0	20.1	8.2	0.0
5. 1	90.2	68.3	46.4	24.5	8. 1	36.0	25.4	14.9	4.3
6	90.9	69.1	47.2	25.4	6	34.2	25.3	16.4	7.5
11	91.5	69.7	47.9	26.1	11	25.7	19.4	13.1	6.7
16	82.4	62.9	43.5	24.0	16	11.4	8.6	5.8	3.0
21	70.4	53.8	37.2	20.7	21	1.6	1.2	0.8	0.4
26	59.2	45.3	31.3	17.4	26	0.8	0.2	0.0	0.0
6. 1	50.5	38.6	26.7	14.8	9. 1	0.0	0.0	0.0	0.0
6	48.7	37.3	25.8	14.4	6	0.0	0.0	0.0	0.0
11	41.3	31.6	21.9	12.2	11	0.0	0.0	0.0	0.0
16	33.7	25.8	17.8	9.9	16	0.0	0.0	0.0	0.0
21	29.3	22.4	15.6	8.7					
26	21.8	16.6	11.5	6.4					

제 6 절 한발평가모형

가뭄의 크기는 가뭄강도와 지속시간의 적(積)으로 정의하지만 각기 다른 분포를 나타내기 때문에 분석이 어렵다. 농업가뭄은 주로 무강수지속일수와 강수부족량으로 간접적으로 분석한다.

1. 외국의 가뭄평가방법

미국에서는 강수자료로부터 가뭄상태를 파악할 수 있는 Hershfield 방법, Palmer지

수, SPI지수, 누가강수량곡선 등을 광범위한 지역에 대해서 웹상으로 모니터링할 수 있도록 정보를 제공하고 있으며 그밖에도 저수지를 모니터링할 수 있도록 제공하는 사이트도 있다. 우리 나라에서도 최근 이러한 방법으로 가뭄평가를 시도하고 있다.

1986 88년 연속한발이후 USCE에서 한발대책 물관리수립과 National Drought Atlas작성, 4개 지역에서 DPS를 개발하였다.

가. Palmer 지수

Palmer(1965)는 가뭄을 "장시간의 이상수분부족"으로 정의하였다. 이는 일반적으로 사소한 불편이나 고통 등을 야기하는 수분부족이 아니라, 수분부족이 심하여 인명 또는 재산의 손실을 야기시킴을 의미하며 단기간의 수분부족이 아니라 최소한 2 3개월에서 보통은 일년이상의 장기간동안 수분부족이 지속되는 것을 뜻한다. Palmer의 가뭄지수 X를 구하는 공식은 식(11) 과 같다.

Palmer 지수의 습윤기와 건조기의 범위는 표.44 와 같다. Palmer지수는 농업에서 토양의 수분상태에 민감한 변화를 측정하는데 효과적이다.

$$X_i = 0.897X_{i-1} + \left(\frac{Z_i}{3}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (11)$$

여기서, Zi : 수분이상지수

우리 나라에서 '94 '95년에 발생한 연속가뭄에 대하여 월강우량과 기온자료를 사용하여 지점별로 지속기간 12, 24개월 최대 평균 Palmer지수를 구한 결과는 그림. 44 와 같다. '94년 후반기에서 '95년 전반기까지의 가뭄이 극심했으며 지역적으로는 영남과 호남지역은 극심했으며, 경기와 강원지방도 상당한 가뭄을 거의 겪었다.

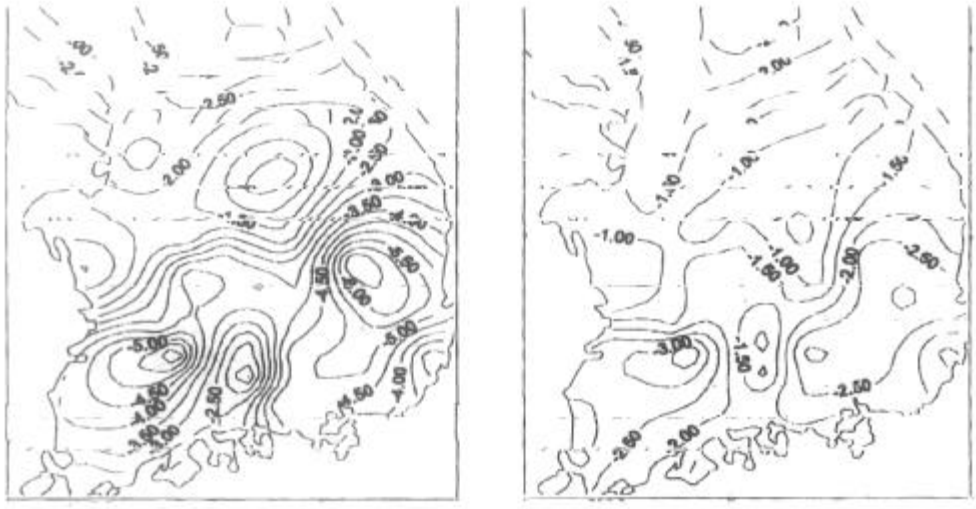


그림. 44 1994년 95년의 12개월지속(왼쪽) 및 24개월 지속(오른쪽) Palmer지수

표. 44 Palmer 지수에 의한 가뭄평가

Palmer지수	가뭄정도	Palmer지수	가뭄정도	Palmer지수	가뭄정도
≥ 4.00	최대 습윤	0.50 to 0.99	습윤시작	-2.00 to-2.99	상당히 건조
3.00 to 3.99	매우 습윤	0.49 to-0.49	보 통	-3.00 to-3.99	매우 건조
2.00 to 2.99	상당히 습윤	-0.50 to-0.99	건조시작	≤ -4.00	최대 건조
1.00 to 1.99	약간 습윤	-1.00 to-1.99	약간 건조		

나. 누가강수량곡선

장기간의 강우자료로부터 평균년 누가강수량곡선을 구하고, 이것과 현재의 누가강수량곡선을 비교하여 가뭄의 정도를 파악하는 방법이다.

예를들면, 그림. 45 는 미국 텍사스주 1998년 3월1일부터 10월31일까지의 누가강수량곡선으로 현재의 가뭄상태를 파악하고 있다.

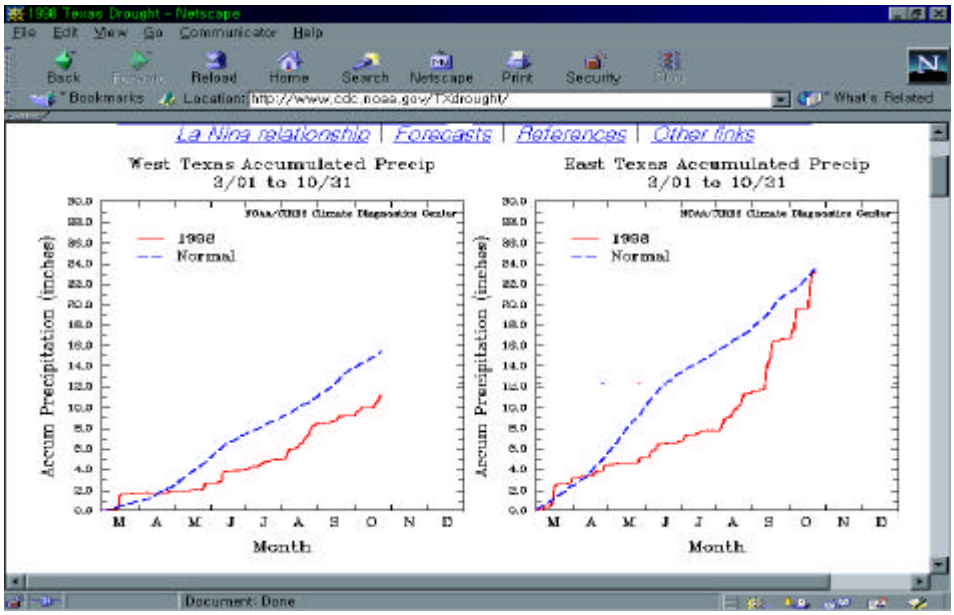


그림. 45 Accumlated precipitation curve in Texas State

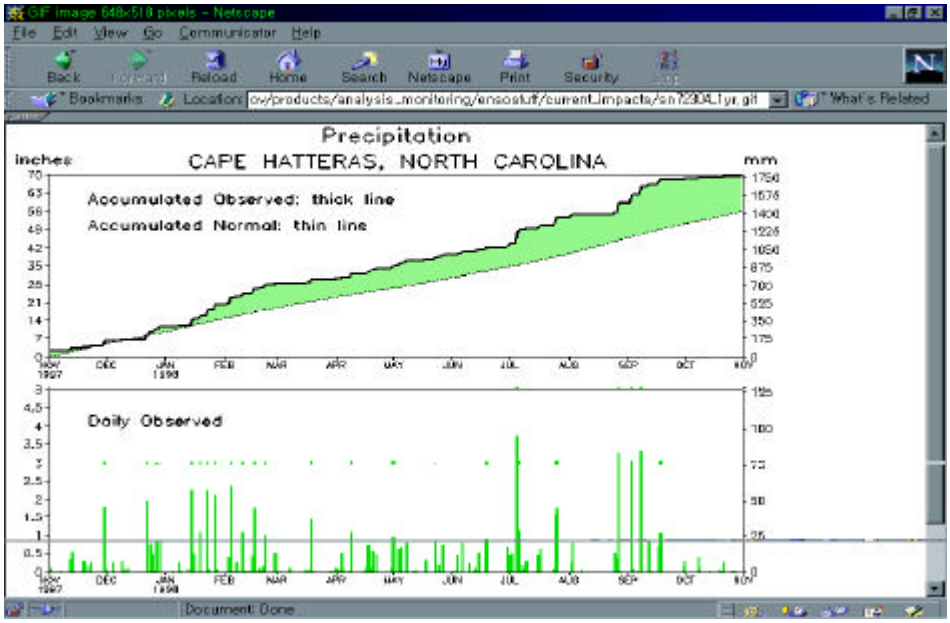


그림. 46 Accumulated precipitation curve in North Carolina State

즉, 파란 점선은 평균년 누가강수량곡선이며 빨간 점선은 1998년도의 누가강수량곡선으로 서부는 10월 현재 예년에 비하여 강수부족이 크며, 동부는 5 8월에는 심한 강수부족을 겪다가 9, 10월의 많은 강수로 평년 누가강수량을 회복한 상태를 나타내고 있다.

그림. 46 은 미국 노스캐롤라이나주의 1997년 11월1일 10월31일의 누가강수량곡선과 평균년 누가강수량곡선을 비교하고 있다.

다. SPI (Standard Precipitation Index)

SPI는 특정한 시간에 대한 강우량의 평균치와 강우량의 차를 표준편차로 나눈 것이며, 여기서 평균치와 표준편차는 과거의 강우량 자료로부터 결정된다. 이 방법은 실제로 강우량 자료가 12개월이나 그 이하의 시간축척에 대해서는 정규분포의 형태를 띄지 않으므로 이를 정규분포의 형태로 변환시켜야 한다.

참고로 그림. 47 51 은 미국 오클라호마주의 Altus Lake 에서 현재 저수위, 저수율을 비롯해서 유입량, 방류량, 강우량 등을 시간별로 웹상에서 모니터링하는 화면이다.

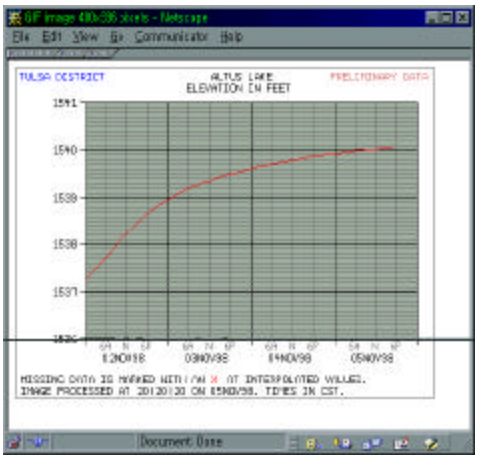


그림. 47 Elevation of Altus Lake

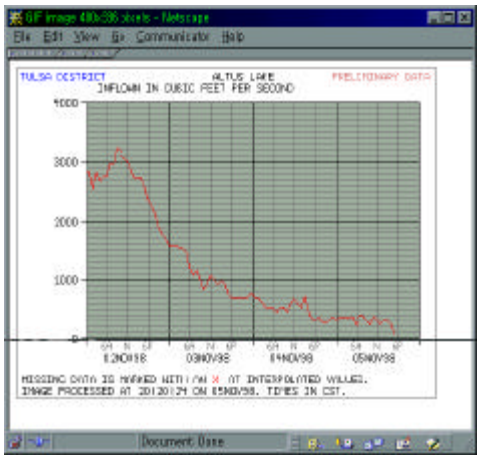


그림. 48 Inflow of Altus Lake

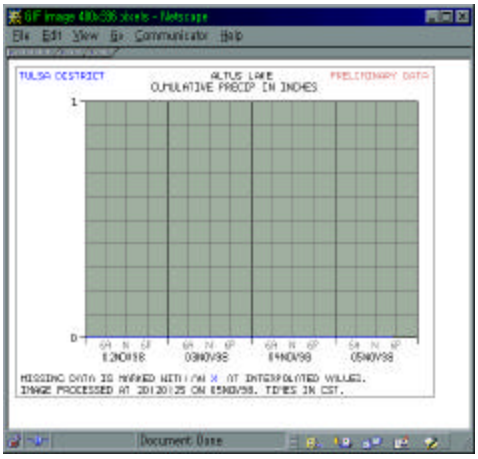


그림. 49 Precip. of Altus Lake

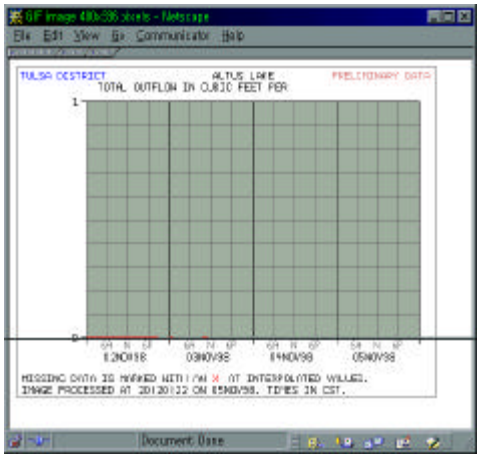


그림. 50 Release of Altus Lake

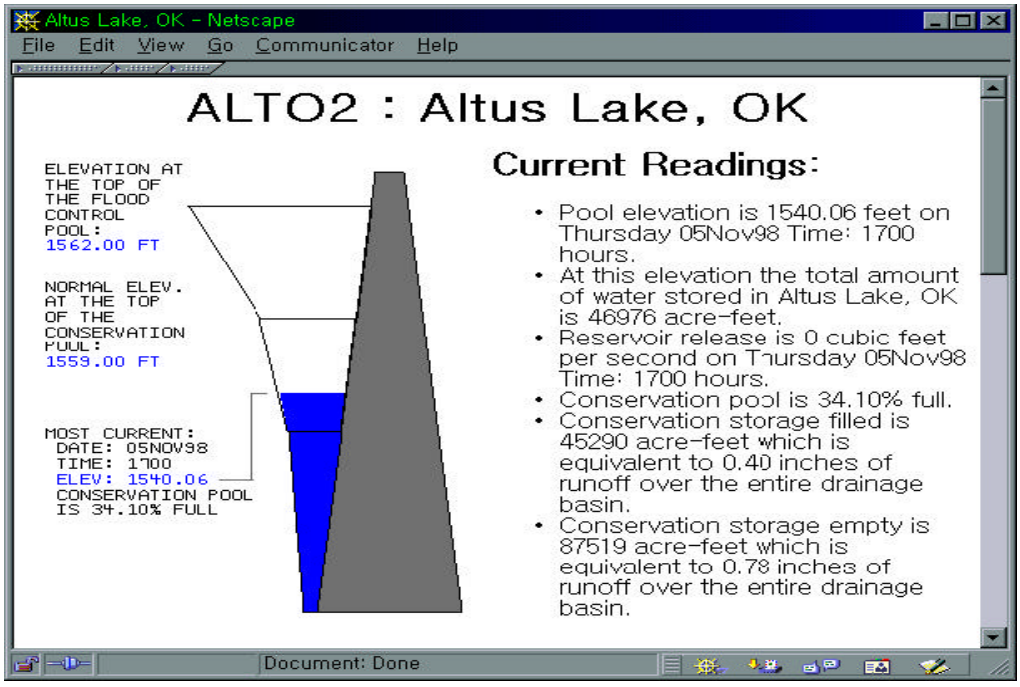


그림. 51 Monitoring of reservoir in Altus Lake

2. 새로운 한발평가모형

과거 누가강수량과 금년 현재까지의 누가강수량을 비교하여 가뭄정도를 평가하는 방법, 유역토양수분량으로부터 가뭄정도를 평가하는 방법, 저수율로부터 가뭄정도를 평가하는 방법, 그리고 급수제한강도(%・day)로부터 가뭄정도를 평가하는 방법 등 4 가지의 관개저수지 한발평가모형을 개발하였다.

가. 실시간 누가강수량으로부터 가뭄평가

오늘까지의 예년 누가강수량과 금년 누가강수량의 비교로부터 가뭄정도를 파악하는 방법이다.

그림. 19와 같이 행정자치부(MOGAHA) 방재망을 통하여 예당지 상류 8개소 원격강우관측소에서 실시간으로 입수되는 일강수량(그림. 19, 20 참고)을 누가하여 오늘(예 : 그림. 52 에서 6월20일)까지의 누가강수량이 과거 30년간의 일강우자료로 오늘까지 분석된 최고강수년, 최저강수년, 10년빈도 강수년, 평균강수년의 누가강수량과 비교하여 판단할 때, 현재 어느 정도 가문지를 파악할 수 있도록 하였다.

표. 45 예당지 30년간의 10월1일 6월20일 까지의 누가강수량 비교

구 분	현 재	최 대	최 소	평 균	10년 빈도
발생년도	1993 94년 6. 20 현재	1969	1982	1990	1987
누가강수량 (mm)	447.1	830.4	334.3	533.5	497.7

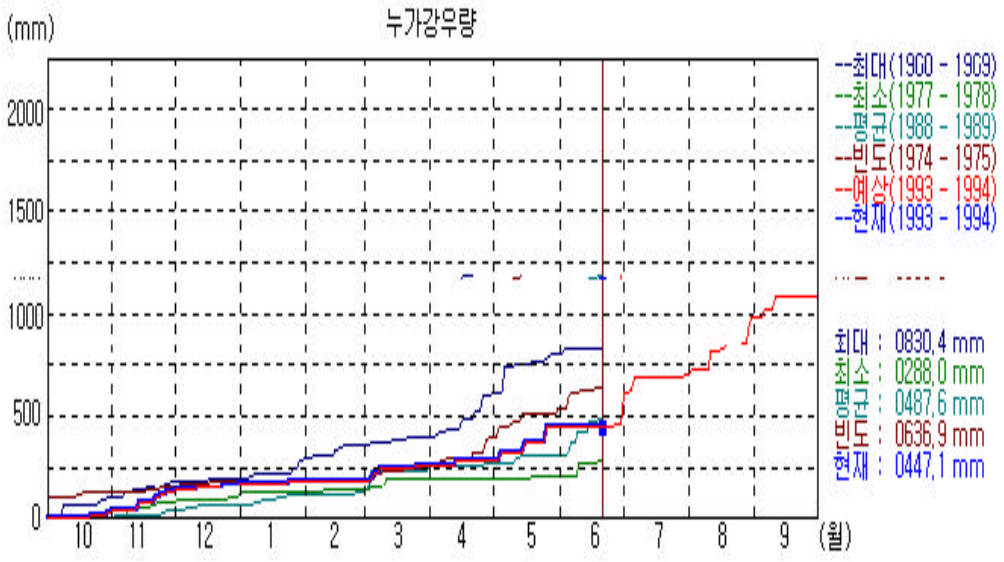


그림. 52 과거 누가강수량과 금년 누가강수량의 비교로부터 가뭄평가

나. 유역토양수분량으로부터 가뭄평가

유역의 토양수분상태는 강수량과 증발산량의 결과로서 가뭄의 정도를 종합적으로 나타내는 지표가 될 수 있다. 따라서, DAWAST모형(그림. 53)으로 유역의 토양수분 변화를 일별로 파악하여 오늘의 가뭄정도를 평가할 수 있다.

표. 46 DAWAST모형의 적용 매개변수

구분	물 수지 매개변수					추적 매개 변수					비고
	Umax	Lmax	FC	CP	CE	U_1	U_2	U_3	K_1	K_2	
값	320mm	30mm	130mm	0.020	0.007	0.52	0.37	0.11	유도식		

표. 47 예당지 30년간의 10월1일 6월20일 까지의 유역토양수분량 비교

구 분	1993 94년 6. 20 현재	최 대	최 소	평 균	10년 빈도
유역토양수분량(mm)	273.1	295.0	92.2	272.7	271.2

그림. 54에서 유역토양수분상태로 가뭄을 판단할 때, 6월20일 현재 유역토양수분량은 273.1mm 로 평균 가뭄년의 272.7mm 와 비슷한 상태이다.

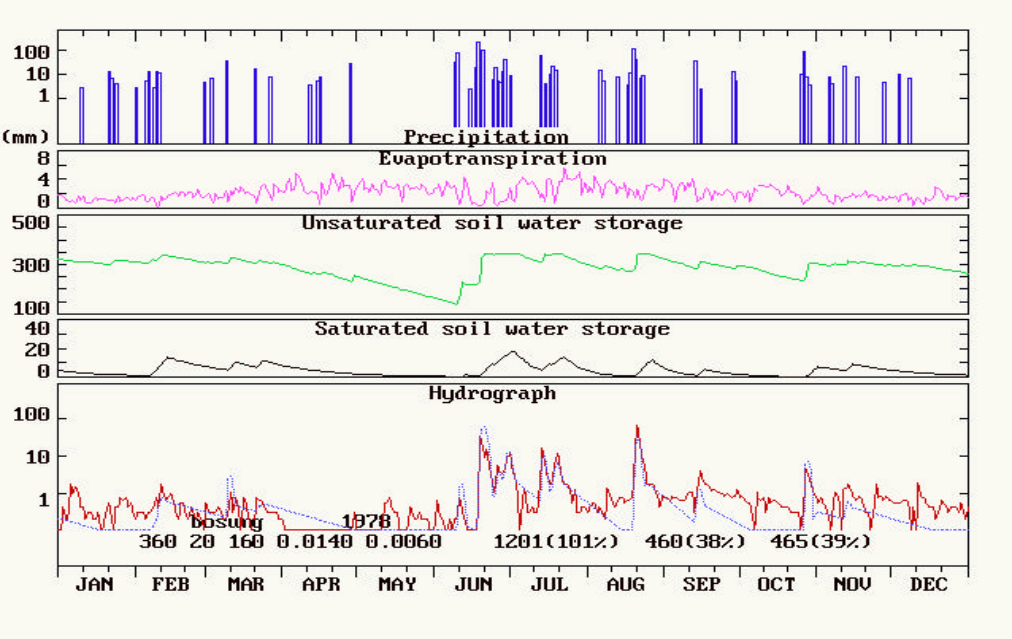


그림. 53 DAWAST 모형에 의한 유역 수문반응해석

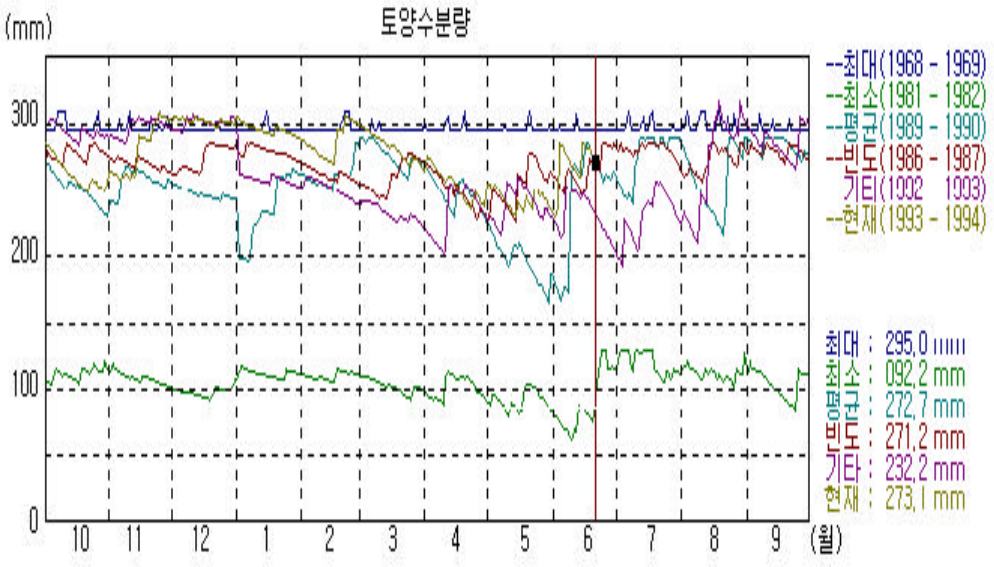


그림. 54 과거 유역토양수분량과 유역토양수분량의 비교로부터 가뭄평가

다. 저수율로부터 가뭄을 평가하는 방법

저수지의 저수위야 말로 바로 그 지역의 가뭄상태를 가장 구체적으로 나타내는 가뭄지표이다. 현재의 저수율로부터 이수곡선상에서 제한급수율과 가뭄정도를 파악할 수 있도록 하였으며 그 일례는 그림. 55 와 같다. 그림. 55에서 저수율로 가뭄을 판단할 때, 1993 94년 6월20일 현재의 예당지 저수율은 64% 로 과거 30년간 가장 높은 저수율을 보이고 있고, 기준저수율 34.5%를 크게 상회하므로 용수공급에 전혀 제한받지 않을 것이다.

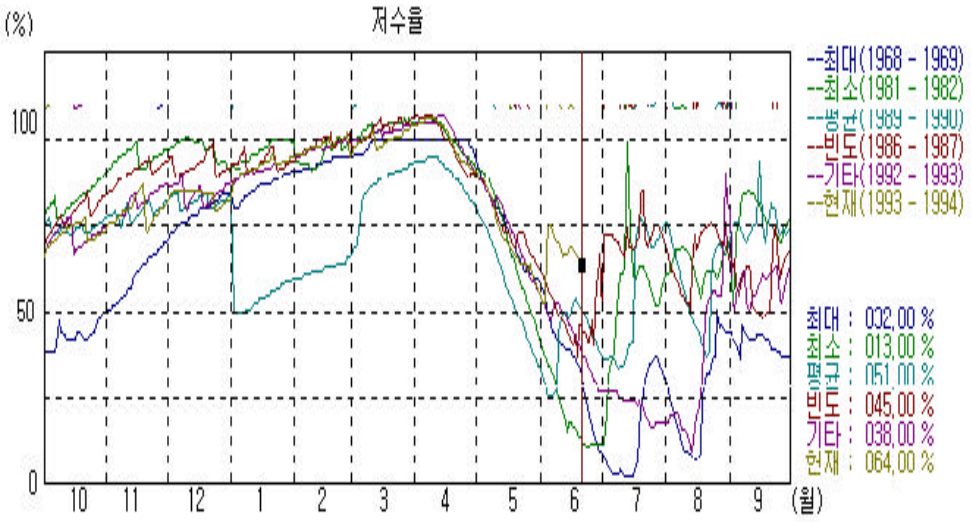


그림. 55 과거 저수율과 금년 저수율의 비교로부터 가뭄평가

표. 48 예당지 30년간의 10월1일 6월20일까지의 저수율 비교

구 분	1993 94년 6. 20 현재	최 대	최 소	평 균	10년 빈도
저 수 율 (%)	64.0	30.0	13.0	51.0	45.0

라. 급수제한강도 (% · day)로부터 가뭄을 평가하는 방법

과거 30년(1966 95)간의 예당지의 저수위기록을 이수관리곡선에 적용하여 급수제한강도를 구하였다. 4월부터 9월까지 적용하여 일별 % · day를 구하고 월별, 연도별로 10년 빈도, 최대값, 최소값, 평균값을 구하였다. 4월부터 현재까지의 % · day를 계산하여 기왕의 월별, 연도별로 10년 빈도, 최대값, 최소값, 평균값과 비교하여 현재 가뭄이 어느 정도인지 파악하고 예측할 수 있다.

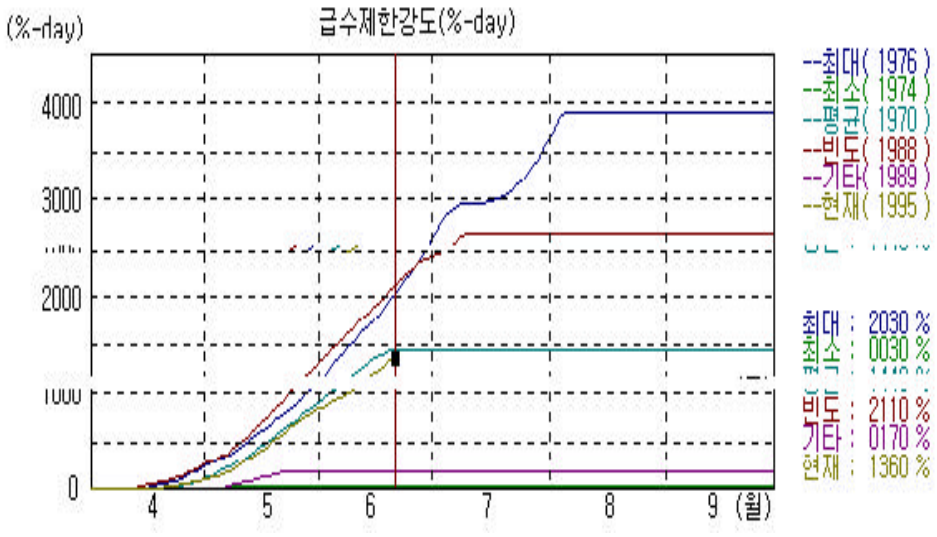


그림. 56 **급수제한강도** (% · day)**로부터 가뭄평가**

예를들면, 예당지 1995**년** 6**월**20**일까지** % · day**를 분석하면** 4**월은** 90% · day, 5**월은** 730% · day, 6**월** 20**일까지는** 510% · day**이므로** 4**월부터** 6**월**20**일까지는** 1,360% · day **이다. 이는 연평균** % · day **값인** 1,440 % · day**를 하회하므로 현재의 저수지 가뭄정도는 평균가뭄보다 약간 가벼운 정도로 평가한다. 보통** 6**월**20**일까지가 전체의** 77%**를 차지하므로 앞으로** 9**월말까지는** 1,727 % · day**가 예상할 수 있다.**

표. 49 **예당지** 30**년간의** 10**월**1**일** 6**월**20**일까지의 제한급수강도 비교**

구 분	1995년 6. 20 현재	최 대	최 소	평 균	10년 빈도
제한급수강도 (% · day)	1,360	2,030	30	1,440	2,110

표. 50 탑정지의 월별 및 연도에 따른 급수제한강도

월 별	10년 빈도	최 대 값	최 소 값	평 균 값
4 월	520 (1984)	1000 (1995)	60 (1979, 80)	312
5 월	1,210 (1989)	1,270 (1995)	120 (1983)	587
6 월	740 (1995)	1,450 (1988)	0	301
7 월	380 (1988)	480 (1995)	0	74
8 월	180 (1992)	470 (1995)	0	60
연도별	3,320 (1988)	3,960 (1995)	2870 (1979)	1,335

제 7 절 한발예측모형

현재의 가뭄이 몇 년빈도에 해당되는지, 앞으로 가뭄이 얼마나 지속될지, 앞으로 몇 mm의 강우가 있어야 가뭄해갈이 될지, 가뭄이 지속됨에 따라 용수공급부족량과 피해액이 얼마나 될지를 예측하는 것은 가뭄대책을 세우는데 대단히 중요한 정보가 된다.

이를 위하여 과거의 장기간 가뭄기록으로부터 가뭄지표(누가강수량, 유역토양수분량, 저수율, 급수제한강도)를 분석하여 오늘 이후의 가뭄패턴을 예측하는 한발예측모형을 개발하였다. 즉, 현재까지의 누가강수량, 유역토양수분량, 저수율, 급수제한강도패턴과 가장 유사한 과거의 누가강수량, 유역토양수분량, 저수율, 급수제한강도패턴 자료로부터 오늘 이후의 중장기적인 가뭄정도를 예측하는 방법이다.

1. 해갈강수량 예측방법

현재의 저수율 상태와 유역 토양수분상태로 볼 때, 유역에 몇mm의 강수량이 더 내려야 해갈이 될 것인가를 예측하는 것은 가뭄대책을 세우는데 중요한 정보가 된다.

예를들면, Umax값은 320mm이고 현재의 토양수분량 WSU는 215.3mm이므로 Sa는 104.7mm이다. Qs는 오늘 날자의 기준저수량에서 오늘의 저수량을 뺀 필요저수량을

유역면적으로 나눈다.

따라서, 오늘날자의 기준저수율이 54,05% 이고, 오늘 저수율이 25.5%라면, 보충저수량은 35mm이 된다. Qs와 Sa를 대입하면 해갈강수량은 101.7mm 이다.

$Qs = 4,607*(54.05 - 25.51)/(100*37.360*10000)*1000 = 35.2mm$ 이 된다.

유효우량식을 P에 관해서 풀면

$$P^2 - (0.4S_a + Qs)P + 0.04S_a^2 - 0,8S_aQs = 0$$

$$P = \frac{0.4S_a + Qs + \sqrt{(0.4S_a + Qs)^2 - 4(0.04S_a^2 - 0.8S_aQs)}}{2} = 101.7 \text{ mm}$$

2. 장기간 가뭄기록에 의한 한발예측모형

유역과 저수지의 가뭄의 정도를 나타낼 수 있는 가뭄지표, 즉, 누가강수량, 유역토양수분량, 저수율, 급수제한강도 등의 장기간 기록파일에서 10월1일부터 오늘까지의 가뭄지표와 그 패턴이 가장 비슷한 해를 선정하고, 그 해의 오늘 이후의 가뭄패턴을 각각의 가뭄지표로부터 예측하는 방법이다.

선정방법으로는 장기간의 가뭄기록 가운데 (가능하면 30년 이상) 10월1일부터 오늘까지의 누가 가뭄기록 패턴과 가장 비슷한 해를 최소자승법에 의하여 선정한다.

이 시스템은 저수지에서 호우대장(Storm file)을 독자적으로 작성하여 두었다가 호우 발생시 현재의 호우형태가 과거 어느 호우패턴과 유사한가를 file로부터 검색하여, 다시 강우상황의 변화를 적절하게 수정하여 장시간 홍수유입량을 예측하는데 주로 쓰이는 방법이다.

누가강수량으로 앞으로의 가뭄패턴을 예측하는 예를들면, 그림. 57 에서 1996년 10월1일부터 1997년 6월20일까지의 누가강수량을 기준으로 할 때, 6월20일 현재의 누가강수량은 613.6mm로 1974년 10월1일 1975년 6월20일까지의 누가강수량 패턴과 가장 비슷하다고 평가할 수 있다. 따라서, 1975년 6월20일 이후의 강수패턴을 참고로 1997년 6월20일 이후의 누가강수량곡선 패턴을 빨간 곡선으로 예측하는 것이다.

그러나, 1997년 6월20일 이후 실제로 내린 누가강수량은 그림. 58 의 파란 점선으로 예측치인 1975년 6월20일 이후의 강수패턴(빨간 곡선)과는 다른 양상을 보이고 있지만, 이것은 예측의 한계일 것이다.

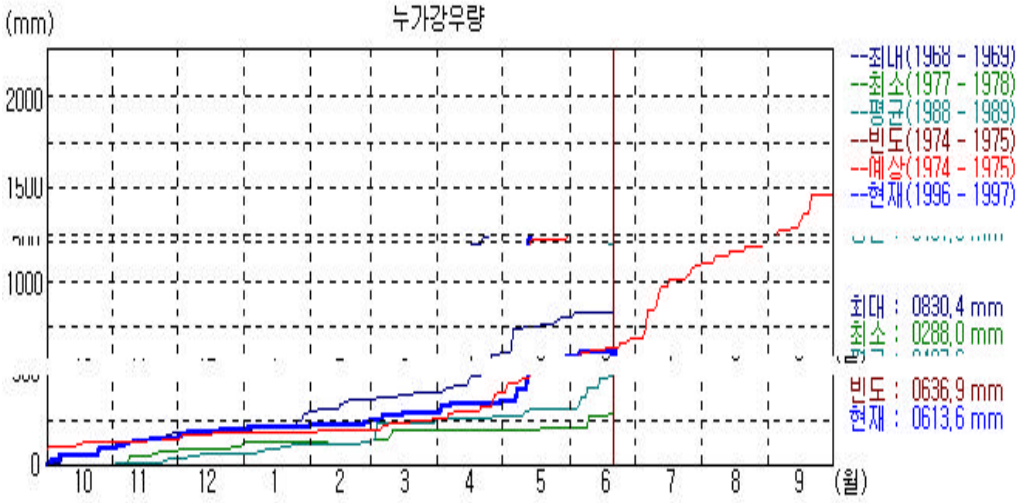


그림. 57 유사한 누가강수량 파일로 예측한 누가강수량

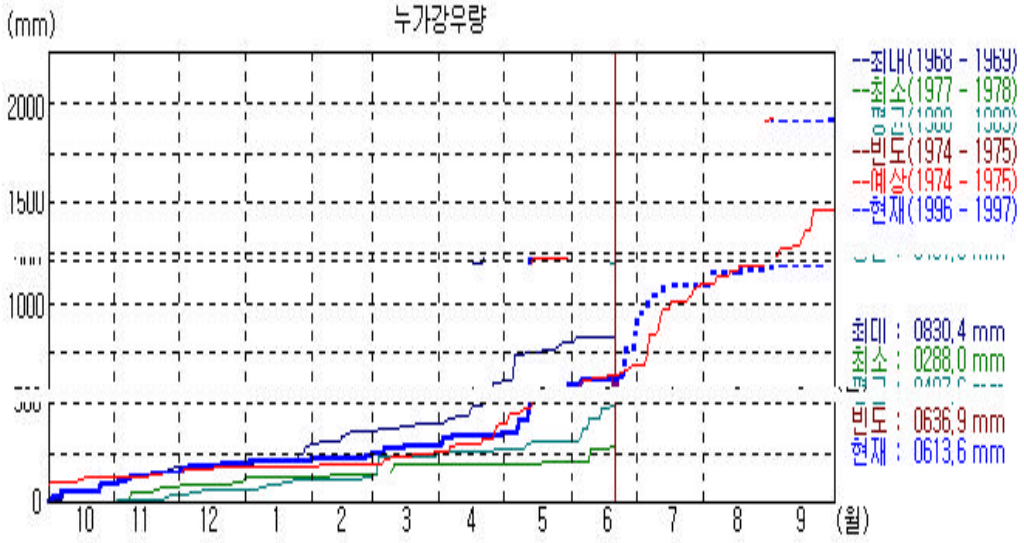


그림. 58 유사한 누가강수량 파일로 예측한 누가강수량과 실제 강수량의 비교

같은 방법으로 유역토양수분량, 저수율, 급수제한강도에 대해서도 오늘 이후의 가뭄을 예측할 수 있다. 그림. 59 는 유사한 저수율 파일로 예측한 6월20일 이후의 예측저수율이고, 그림. 60 은 실제 저수율과의 비교로 예측과 크게 다른 것을 알 수 있다.

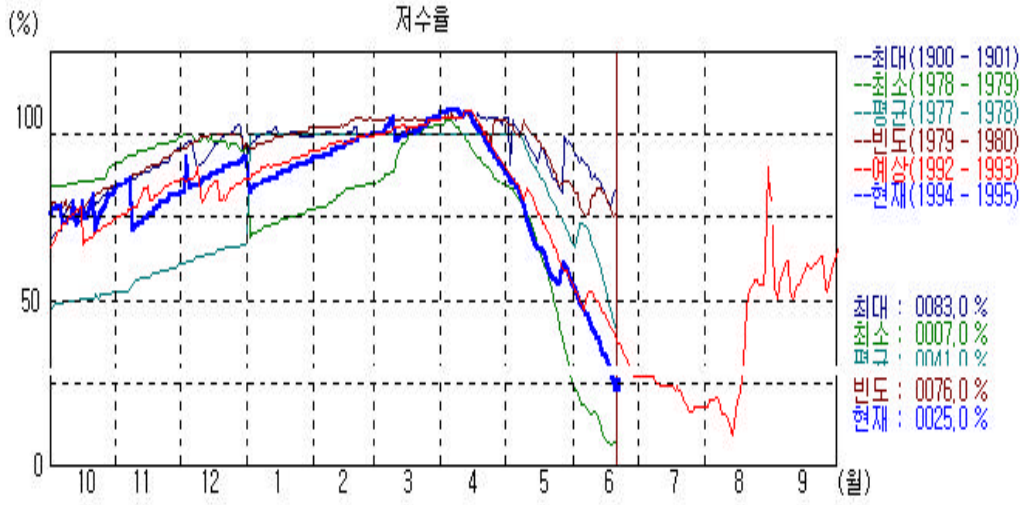


그림. 59 유사한 저수율 파일로 예측한 저수율

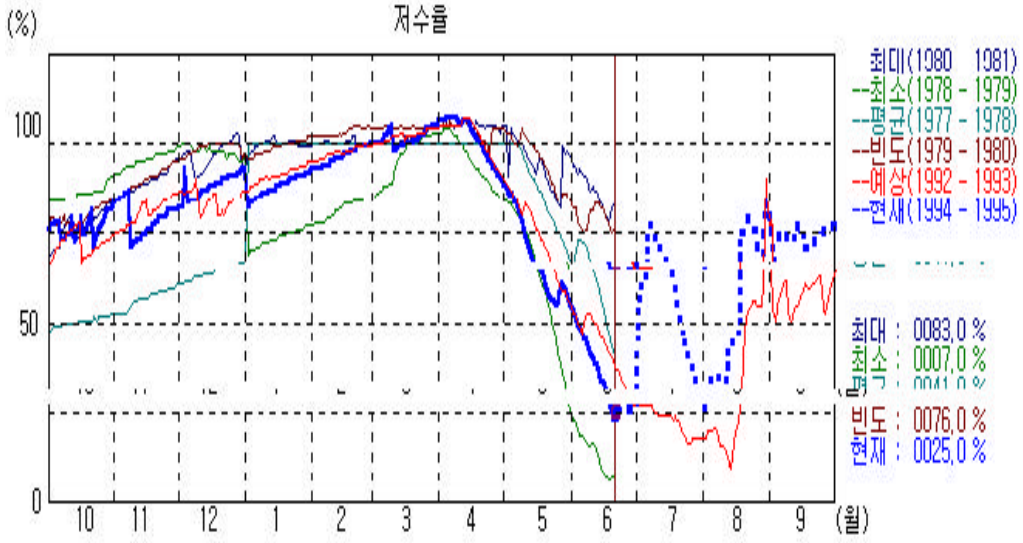


그림. 60 유사한 저수율 파일로 예측한 저수율과 실제 저수율의 비교

제 8 절 윤환관개모형

한발예측기법에 의하여 가뭄시, 생육시기별 저수량에 따라 저수지 몽리지구의 가뭄예상지역과 지속기간, 그리고 이를 극복할 수 있도록 윤환관개에 의하여 절수하려면 GIS를 이용한 저수지 몽리구역과 용수계통도(그림. 64, 65)가 필요하다.

저수율에 따라 저수지 가뭄특보를 설정하고 이에 해당되는 제한급수시기, 제한급수량과 윤환관개구역을 설정하는 방법을 제시하였다.

1. 기상예보를 이용한 가뭄대책

지금까지 기상예보를 이용하여 장기적, 지역적인 가뭄대책을 수립하여 시행하고 있으나 기상예보의 부정확성이 문제가 되고 있다.

저수, 절수, 용수개발을 가뭄극복 3대운동으로 전개하고 있으나 가뭄피해는 진행속도가 완만하고 피해 또한 가시적이지 못하며 절박하지 않고 무조건 담수를 선호하는 불합리한 수리관행, 윤환관개에 대한 홍보부족, 지하수개발에 의한 가뭄대책 등으로 기상예보를 이용한 물수요관리에 의한 단기적, 특정지역에 대한 가뭄대책은 미비한 실정이다.

앞으로는 기상청에서 제공하는 Internet상의 중장기 기상예보(주간, 월간예보 등)를 연결하여 앞으로 10, 20, 30일 이내에 유역내 예상강수량으로부터, 현재의 저수량으로 급수가능면적을 구하고 가뭄이 예상되면 제한급수로 절수를 실시하여 가뭄을 극복할 수 있는 구체적인 방법이 필요하므로 이에대한 연구를 수행하였다. 예상강우량이 해갈강수량보다 적을 경우에는 이수관리곡선에 의한 제한급수율에 따라 제한급수 및 윤환관개를 실시해야 한다.

미국 Texas 지역에서의 기상예보를 이용한 계획관개(Irrigation scheduling)의 예를 소개하면 다음과 같다.

북중부 텍사스는 미국 쇠고기의 30%, 텍사스 옥수수와 밀의 50%를 생산하는 지역으로 약 160만ha 에 Ogallala 지하수로 관개용수를 공급하고 있다. 관개를 도입한지 20년이상 경과하여, 어느 지역은 지하수위가 연간 0.6m 정도 하강하여 안전채수량이 점차 감소하고 있다. 이와같이 건조지역의 밭관개 농업에서는 기상예보를 이용한 정확한 계획관개가 요구되지만 거의 그렇지 못한 실정이다.

NP-PET(Noth Plains-Potential EvapoTranspiration)망은 이 지역에 10개소의 자동기상관측소를 운영하고 있으며, 같은 종류의 다른 망과 WWW으로 연결하여 상호 기상정보를 시간마다 전송 교환하여, 최소, 최대, 총계 등 일별 통계치를 이용자(농민, 조합, 관개용역, 관개회사, 산업체 및 관련기관 등)들에게 제공하여 그날의 관개급수량을 정확하게 공급하여 생산량을 증대하고 수자원을 보전하는 노력을 계속하고 있다.

2. 저수율에 따른 가뭄특보 설정

저수율별, 생육시기별 급수제한율(%)과 제한지속일수(day)로부터 제한급수강도(%·day)를 구하여 농업가뭄을 지수화하고 농업가뭄피해를 평가할 수 있다. 한발예측이 가능해지면 강우량에 따른 저수지에로의 유입량을 예측할 수 있어 저수지의 한발예측기법개발이 가능하다.

기준저수량 곡선과 급수제한 저수량곡선으로 구성된 이수관리곡선(그림. 59)을 작성하면 효율적인 저수지 운영이 가능할 것이다.

시기별로 저수위에 해당되는 급수제한율을 관개저수지의 가뭄종합지수로 나타낸다.

예를 들면, 급수제한율이 0%이면 준비, 급수제한율이 10%이하이면 저수지 가뭄주의보, 10 30%이면 가뭄경보, 제한급수율이 30 50%이면 가뭄위험, 50%이면 가뭄특별위험 단계 등으로 구별할 수 있다.

3. 가뭄단계별 제한급수량과 윤환관개구역 제시

관개기간중 저수량 고갈방지를 위하여 이수관리곡선과 현재의 저수위로부터 기상청 주간강수예보를 참고하여 제한급수시기, 제한급수율과 윤환관개구역을 설정하여 6일간의 급수계획을 제시하였다.

오늘의 저수율에 해당되는 급수제한율을 적용하여 급수량과 가능일수를 결정하여 그 양에 따라 미리 설정해둔 윤환관개구역과 제한급수량을 제시한다.

제한급수율이 10%인 저수지 가뭄주의보일 경우에는 10% 정도 제한하여 급수하면 되지만, 제한급수율이 10 30%의 가뭄경보, 30 50%의 가뭄위험, 50%이상의 가뭄특별위험일 경우에는 GIS를 이용한 저수지 몽리구역과 용수계통도로부터 윤환관개구역을 설정하는 특별한 가뭄대책으로 극심한 가뭄을 극복해야 한다.

첫째, 제한급수율이 10 30%의 가뭄경보 단계일 때에는 용수간선과 관개면적을 고려하여 관개구역을 3개 구역으로 구분하여 각 구역별로 4일 급수(給水), 2일 단수(斷水)체계의 급수량과 급수구역을 지정해줄 수 있다.

들째, 제한급수율이 30 50%의 가뭄위험 단계일 때에는 용수간선과 관개면적을 고려하여 관개구역을 2개 구역으로 구분하여 각 구역별로 3일 급수, 3일 단수체계의 급수량과 급수구역을 지정해줄 수 있다.

셋째, 제한급수율이 50%이상의 최대특별위험 단계일 때에는 용수간선과 관개면적을 고려하여 관개구역을 3개 구역으로 구분하여 각 구역별로 2일 급수, 4일 단수체계의 급수량과 급수구역을 지정해줄 수 있다.

표. 51 제한급수율에 따른 윤환관개 체제의 예

제한급수량곡선	제한급수율	저수지 가뭄단계	급수 구역	급수 체계
0% 이하	0% 이하	준비	전 구역	정상급수
0 10%	10%	가뭄주의보	전 구역	10% 제한급수
10 30%	20%	가뭄경보	3개 구역	4일 급수, 2일 단수
30 50%	40%	가뭄위험	2개 구역	3일 통수, 3일 단수
50% 이상	60%	가뭄특별위험	3개 구역	2일 급수, 4일 단수

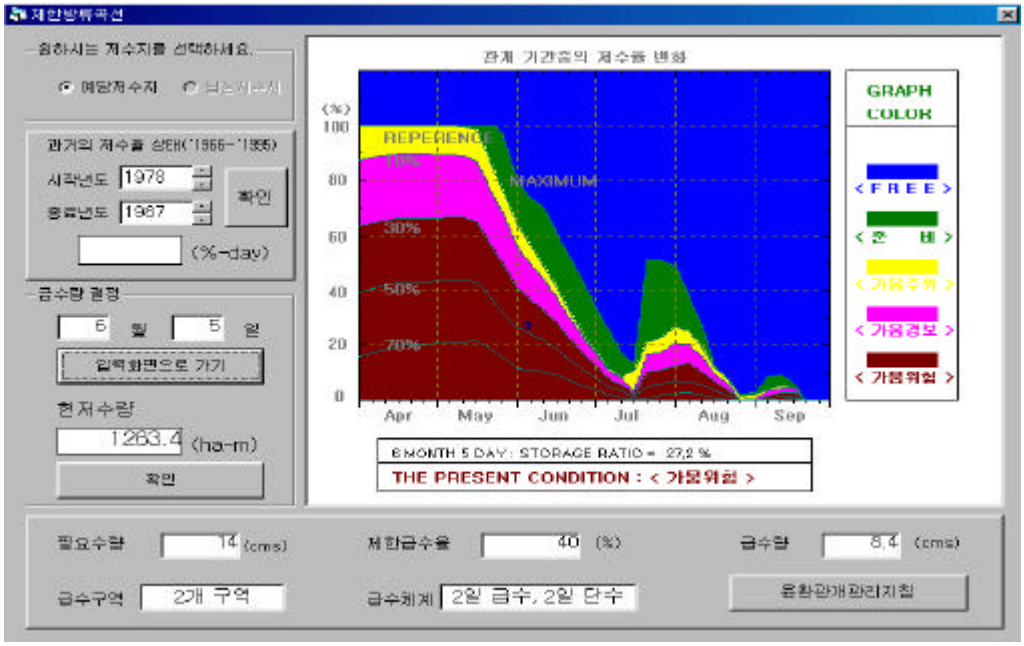


그림. 61 이수관리곡선에 의한 윤환관개지침의 예 (예당지)

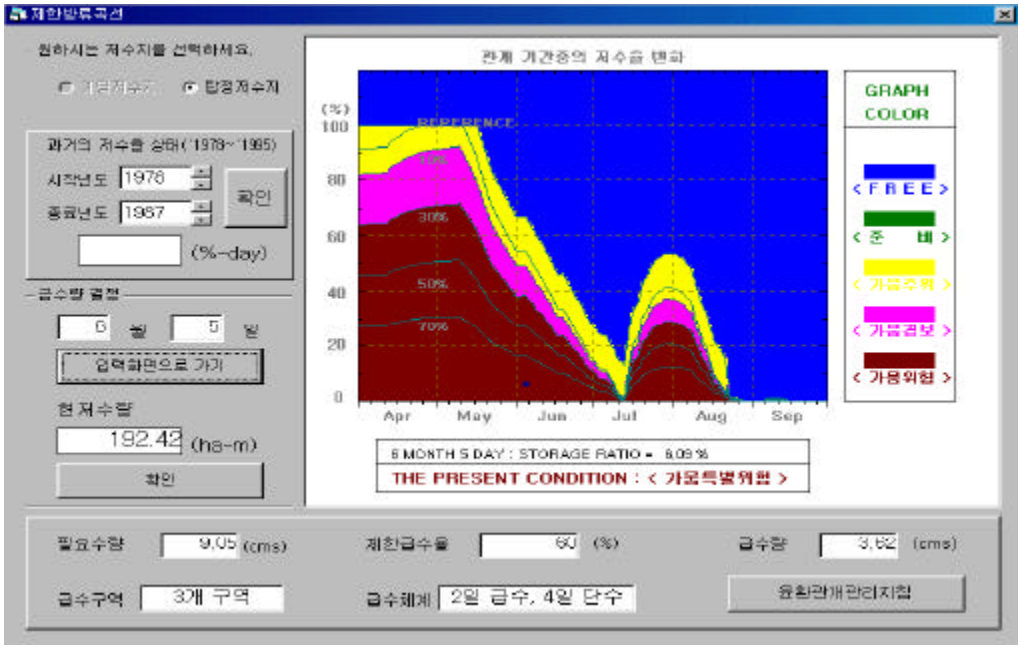


그림. 62 이수관리곡선에 의한 윤환관개지침의 예 (탑정지)

4. 윤환관개구역 및 구역의 크기

윤환구역의 크기는 관개시설, 관개규모 및 용수원의 종류에 따라 송수가 순조롭고 침식이 일어나지 않도록 정해야 하고 토양조사에 의하여 토양과 용수량과의 관계를 파악하여야 한다.

윤환구역과 윤환단위구역의 배치, 관개구역에 일정한 형태로 물을 공급하려면 용수로를 적절히 배치해야 하고 용수로에는 모든 필요한 구조물을 설치해야 한다. 지금까지 일반적으로 시행해온 계속관개가 물싸움과 물낭비를 초래하는 반면에, 적당한 양의 물을 적당한 때에 관개하여 보다 과학적인 관리가 가능한 윤환관개는 관개용수 이용과 농민상호간의 협동, 개선을 위한 가장 효과적인 관개방법이라 할 수 있다.

윤환관개를 위한 관개시설은 간선, 지선, 지거 및 Farm ditch로 구성되며, 전체 관개구역에 물을 공급하는 Farm ditch의 적당한 분포는 대단히 중요하다.

윤환관개에서 한 윤환구역에 대하여 설계된 총용수량은 한 분수물을 통하여 유입된

Farm ditch를 차례로 통하여 각 윤환단위구역에 급수된다. 윤환구역내에 있는 모든 Farm ditch는 같은 통수량으로 설계되어야 하고 가급적이면 윤환구역들도 동일한 면적으로 계획되어야 하며 각 윤환구역은 분수문, 측정장치 및 조절장치를 갖추어야 한다. 윤환관개구역 용수간선의 규모에 따라 수천ha 규모의 관개구역으로 나누어진다.

관개구역은 약 50ha규모의 몇 개 윤환구역으로 다시 나누어진다. 각 윤환구역은 보통 토양일 경우 0.04 0.07m^3/s의 관개용수량이 필요하게 되며 이 수량은 침수피해 방지 또는 수로내 손실감소를 위하여 간단한 설비로 조절될 수 있다.

각 윤환구역의 농민들은 관개시설의 운영과 유지관리를 위하여 자치기구를 구성할 수 있다. 윤환구역은 인근농민들에 의한 도수를 방지하기 위하여 배수구, 도로 또는 자연적인 지형을 이용하여 한계를 정하고 형태는 너무 길면 Farm ditch가 길어져서 손실수량도 증가하며 분쟁도 잦아지기 때문에 너무 길어서는 안된다.

각 윤환구역은 면적이 약10ha인 윤환단위구역으로 세분되어 이 윤환단위구역은 관개시설의 기본이 된다. 이 체계하에서 용수분배를 만족하게 하기 위하여는 윤환구역의 분할과 수로의 적정한 계획설계가 신중히 이루어져야 한다.

5. GIS를 이용한 용수계통도 작성

예당지와 탑정지의 몽리구역 용수계통도를 작성하였으며 그림. 61에서 윤환관개관리지침을 Click 하면 블록별 급수구역과 급수량이 그림. 68, 69, 70 같이 도시된다.

GIS 데이터베이스 구축 흐름도는 그림. 63과 같다.

6. 가뭄시 기상예보를 고려한 윤환관개모형

당일의 저수위와 인터넷에서 제공하는 기상청, Weathernet 등의 자료로부터 저수지가 있는 지역의 당일 기상자료, 즉 강우량, 기온, 계기증발, 상대습도, 풍속, 일조시간을 입력하면 당일의 정상적인 공급수량이 나오고, 여기에 저수위 상태에 따라 제한급수율이 제시된다.

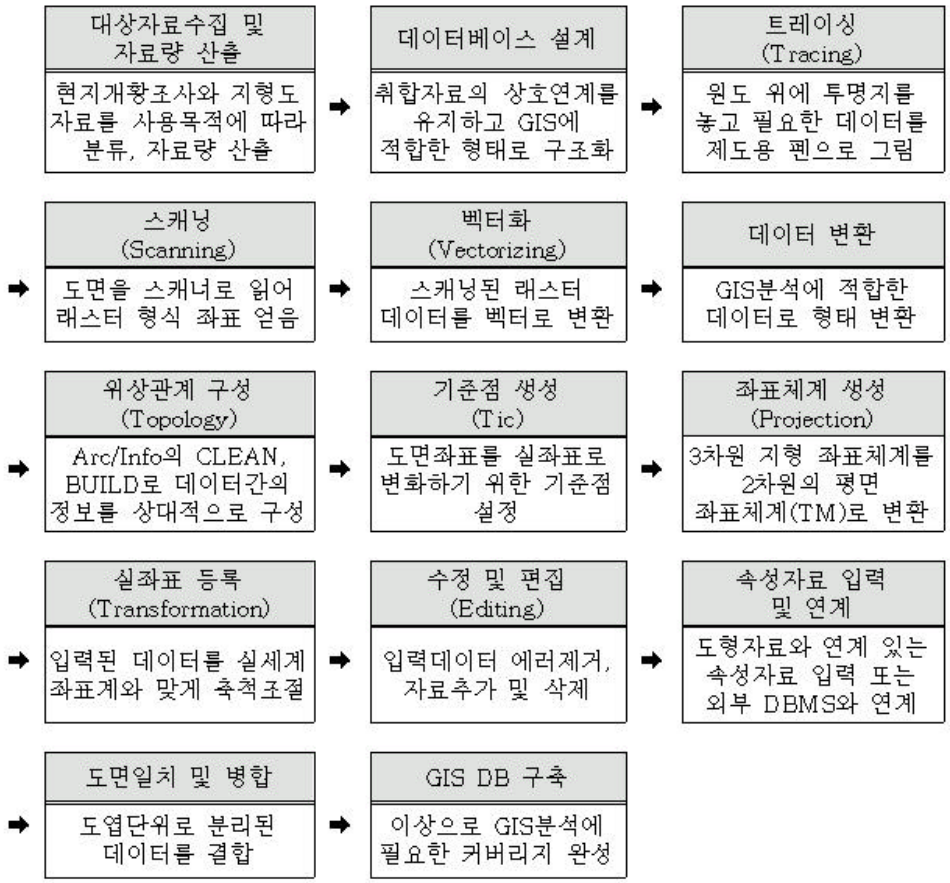


그림. 63 GIS **데이터베이스 구축 흐름도**

가. 예당지의 윤환관개모형

예를들면, 6**월** 5**일 현재 기상자료 강우량** 0mm, **기온** 18℃, **계기증발** 3mm, **상대습도** 70%, **풍속** 1.8m/s, **일조시간** 10**시간을 입력하면 필요수량 계산 방법에 의하여 그날의 급수량** 14.0m^3/s**가 계산된다. 또한, 이때의 저수위가** El.+18.5m **이므로 이수관리곡선으로부터** 40% **제한급수율이 제시되므로 실제로는** 8.4m^3/s**를 공급하게 된다.**

또한, 그림. 61**에서 윤환관개관리지침을** Click **하면 그림**. 68 70 **과 같이 예당지 윤환관개계획, 구역 및 급수량이 설정된다.**

또한, 윤환관개구역을 설정하고 일반적으로 윤환급수는 6일 간격으로 실시하게 되므로 인터넷에서 기상청, Weathernet 등에서 제공하는 주간예보상의 예상강수량을 참고하여 윤환관개구역 설정과 윤환급수일에 관한 시나리오를 작성하여야 한다.

현재는 저수위가 El.+18.5m로 이수관리곡선에서 제한급수율 40%이지만 주간예보상 많은 비가 예상된다면 제한급수를 실시할 필요는 없기 때문이다.

1) 주간예보에 예상강우가 없을 경우

① 저수위가 El.20.0m 라면 저수율은 49%이므로 이에 해당되는 제한급수율이 20%이므로 가뭄경보 단계이다. 이에따라 급수량을 11.2m^3/s로 제한하고 표.53와 같이 관개구역을 3개 구역으로 나누어 4일 급수, 2일 단수하는 윤환관개를 실시한다. 이 때, 3개 구역의 급수면적이 다르므로 면적비율로 제한급수량을 배분한다.

② 저수위가 El.19.2m 라면 저수율은 36%이므로 이에 해당되는 제한급수율은 약 40%이므로 가뭄위험 단계이다. 이에따라 급수량을 8.4m^3/s로 제한하고 표.54 와 같이 관개구역을 2 개구역으로 나누어 3일 급수, 3일 단수하는 윤환관개를 실시한다.

③ 저수위가 El.18.2m 라면 저수율은 23.7%이므로 이에 해당되는 제한급수율은 약 60%이므로 가뭄특별위험 단계이다. 이에따라 급수량을 5.6m^3/s로 제한하고 표.55 와 같이 관개구역을 3개 구역으로 나누어 2일 급수, 4일 단수하는 윤환관개를 실시한다.

2) 주간예보에 예상강우가 있을 경우

기상청의 주간예보에 예상강우량이 있으면, 제한급수와 윤환관개계획에 변화가 있게 되므로 이를 고려하게 된다. DAWAST모형으로부터 추적한 유역토양수분상태에 예상강수량을 입력하면 유입량이 추정된다.

그림. 64 기상자료 입력화면

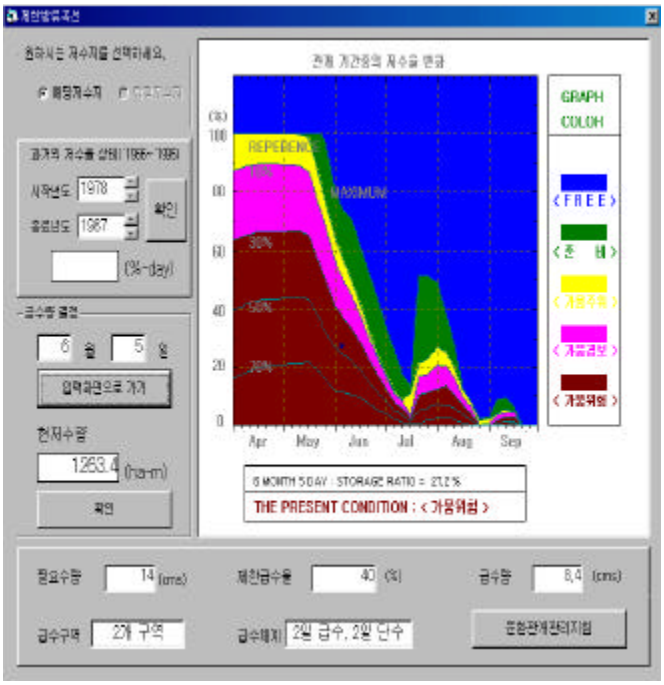


그림. 65 윤환관개모형의 결과화면

저수지로 예상유입량이 유입되었을 때의 저수량과 저수위에 따라 앞에서 작성한 윤환관개계획에 따라 실시한다.

저수위가 El. 18.2m이라면 저수량 1,100만m^3, 저수율은 23.7%이므로 이에 해당되는 제한급수율은 약 60%이므로 가뭄특별위험단계이다. 이에따라 급수량을 5.6m^3/s로 제한하고 표. 55 와 같이 관개구역을 3개 구역으로 나누어 2일 급수, 4일 단수하는 윤환관개를 실시한다. 그런데, DAWAST 모형으로 추적한 유역토양수분량 S_a 가 104.7mm인 상태에서 주간예보 강수량 100mm인 경우와 주간예보 강수량 50mm인 경우를 예측해보면 다음과 같다.

① 주간예보 강수량 100mm인 경우

유효우량은 34mm이고 저수지 유입량은 1,268만m^3이므로 저수량은 2,368만m^3이고

저수위는 El.20.11m 로 상승하여 저수율은 51%이므로 이에 해당되는 제한급수율은 10%로 가뭄주위보단계이다. 이에따라 윤환관계를 실시하지 않고 전 구역에 10% 제한급수를 실시하여 12.6%를 급수하면 된다.

- DAWAST모형 : S_a = UMAX - WSU = 320mm - 215.3mm = 104.7mm
- 유효우량 : $Q_s = (P-0.2S_a)^2 / (P+0.8S_a) = (100-0.2\times104.7)^2 / (100+0.8\times104.7) = 34mm$
- 유입량 : 34mm × 373 km^2 = 12,680,000m^3
- 저수량 : 2,368만m^3(=1,100만m^3+ 1,268만m^3), 저수위 : El.+m 20.11, 저수율 : 51%
- 제한급수율 : 10%,
- 제한급수량 : 12.6m^3/s

② 주간예보 강수량 50mm인 경우

유효우량은 6.3mm이고 저수지 유입량은 235만m^3이므로 저수량은 1,335만m^3이고 저수위는 El.18.62m로 상승하여 저수율이 28.7%로 이에 해당되는 제한급수율은 40% 이므로 아직도 가뭄위험단계이다. 이에따라 급수량을 8.4m^3/s로 제한하고 표. 54 와 같이 관개구역을 2개 구역으로 나누어 3일 급수, 3일 단수하는 윤환관개를 실시한다.

- DAWAST모형 : S_a = UMAX - WSU = 320mm - 215.3mm = 104.7mm
- 유효우량 : $Q_s = (P-0.2S_a)^2 / (P+0.8S_a) = (50-0.2\times104.7)^2 / (50+0.8\times104.7) = 6.3mm$
- 유입량 : 6.3mm × 373 km^2 = 2,350,000m^3
- 저수량 : 1,335만m^3 (=1,100만m^3+ 235만m^3), 저수위 : El.+m 18.62, 저수율 : 28.7%
- 제한급수율 : 40%,
- 제한급수량 : 8.4m^3/s

그림. 66 68 에서 용수간선보기를 Click 하면 그림. 71 83 과 같이 도시된다.

표. 52 예당 용수간선의 블록별 용수로 및 양수장

구 분	지 점	용수로 및 양수장	급수량 (m^3/s)	관개면적 (ha)	누가관개 면적(ha)	구 분
제1/3블럭 (2,475ha)	No. 4 + 16	1호 지선	0.10	61.3	61.3	제1/2블럭 (3,210ha)
	No.23 + 5	임침양수장	0.04	15.3	76.6	
	No.41 + 7	보산양수장	3.163	988.6	1,065.2	
	No.62	신장양수장	0.227	80.4	1,145.6	
	No.65 + 2	2호 지선	0.240	57.9	1,203.5	
	No.74 + 32	3호 지선	0.230	62.5	1,266.0	
	No.97 + 40	4호 지선	0.180	43.4	1,309.4	
	No.109+ 13	5호 지선	0.260	108.5	1,417.9	
	No.135 + 5	7호 지선	0.210	130.5	1,548.4	
	No.140 + 3	오가간선	2.310	589.9	2,138.3	
	No.140 + 3	신암양수장	1.210	336.5	2,474.8	
제2/3블럭 (2,005ha)	No.153 + 0	오가양수장	2.168	471.5	2,946.3	
	No.183 +32	파방양수장	0.780	265.2	3,211.5	
	No.187 +42	신암간선	2.150	606.7	3,818.2	제2/2블럭 (3,690ha)
	No.215 +26	8호 지선	0.240	70.8	3,889.0	
	No.229 +30	9호 지선	0.200	71.7	3,960.7	
	No.233 +44	10호 지선	0.350	178.5	4,139.2	
	No.279 +28	삽교1양수장	0.548	225.0	4,363.2	
	No.290 +26	11호 지선	0.350	115.7	4,479.9	
제3/3블럭 (2,420ha)	No.292 + 2	삽교2양수장	0.856	515.3	4,995.2	
	No.292 + 2	홍북양수장	2.312	652.0	5,647.2	
	No.306 + 5	12호 지선	0.410	90.6	5,737.8	
	No.323 +31	13호 지선	0.040	6.9	5,744.7	
	No.348 +48	13-1호 지선	0.210	87.3	5,832.0	
	No.357 +28	창정양수장	0.602	163.0	5,995.0	
	No.361 + 8	14호 지선	0.470	148.2	6,143.2	
	No.406 +18	15호 지선	0.160	50.1	6,193.3	
	No.412 + 8	고덕양수장	0.930	316.0	6,509.3	
	No.417 +25	16호 지선	0.230	78.9	6,588.2	
	No.422 +48	17호 지선	0.240	31.2	6,619.4	
	No.451 +11	18호 지선	0.230	107.7	6,727.1	
	No.461 +42	D7호 지선	0.350	50.0	6,777.1	
	No.482 +46	D6호 지선	0.160	34.6	6,811.7	
	No.492 +13	D5호 지선	0.350	85.4	6,897.1	

GIS를 이용하여 예당지의 몽리구역 용수계통도를 작성하였다.

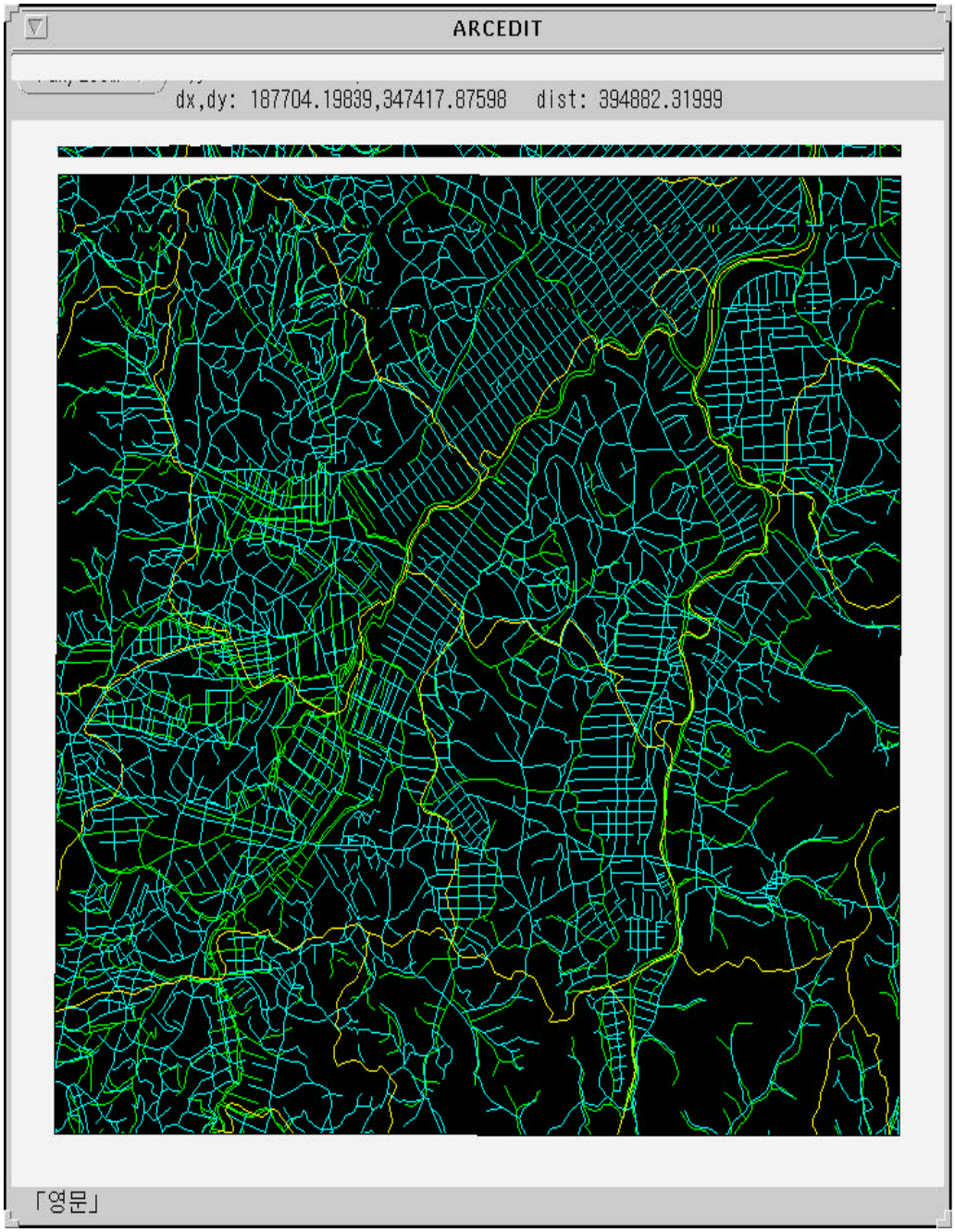


그림. 66 GIS를 **이용하여 작성한 예당지 몽리구역의 용수계통도**

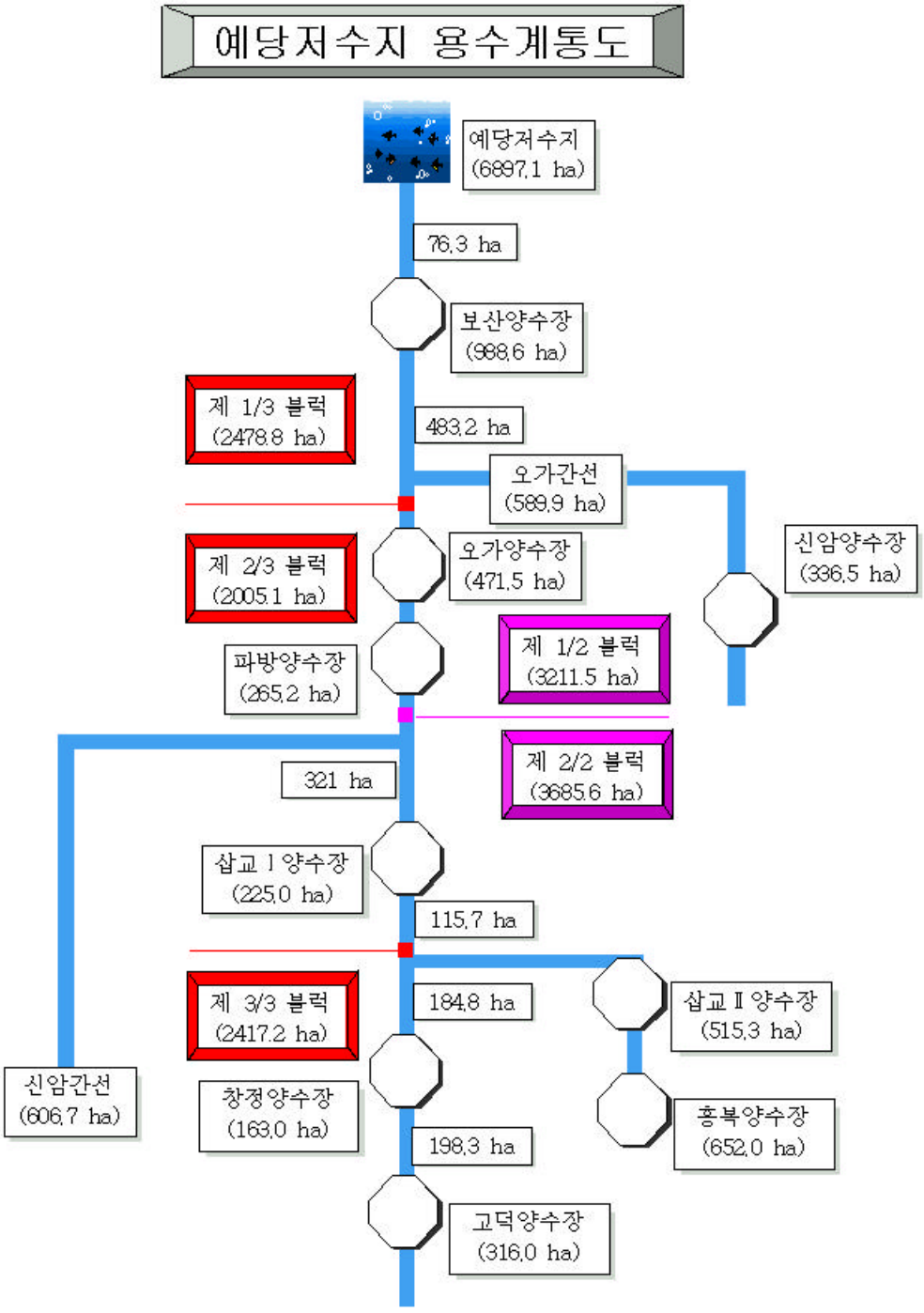


그림. 67 예당지 용수계통도

표. 53 예당용수간선의 4일 급수 2일 단수 급수일정표의 예

급수예정일	제1블록(2,475ha)		제2블록(2,005ha)		제3블록(2,420ha)		총급수량 (m^3/s)
	급수	급수량 (m^3/s)	급수	급수량 (m^3/s)	급수	급수량 (m^3/s)	
1998 6. 5	○	6.03	×	-	○	5.89	11.92
6. 6	○	6.03	×	-	○	5.89	11.92
6. 7	○	6.03	○	4.88	×	-	10.91
6. 8	○	6.03	○	4.88	×	-	10.91
6. 9	×	-	○	4.88	○	5.89	10.77
6.10	×	-	○	4.88	○	5.89	10.77
평 균		4.02		3.25		3.93	11.20

표. 54 예당용수간선의 3일 급수 3일 단수 급수일정표의 예

급수예정일	제1블록 (3,210ha)		제2블록 (3,690ha)		총급수량 (m^3/s)
	급 수	급수량 (m^3/s)	급 수	급수량 (m^3/s)	
1998 6. 5	○	7.82	×	-	7.82
6. 6	○	7.82	×	-	7.82
6. 7	○	7.82	×	-	7.82
6. 8	×	-	○	8.98	8.98
6. 9	×	-	○	8.98	8.98
6.10	×	-	○	8.98	8.98
평 균		3.91		4.49	8.40

표. 55 예당용수간선의 2일 급수 4일 단수 급수일정표의 예

급수예정일	제1블록 (2,475ha)		제2블록 (2,005ha)		제3블록(2,420ha)		총급수량 (m^3/s)
	급수	급수량 (m^3/s)	급수	급수량 (m^3/s)	급수	급수량 (m^3/s)	
1998 6. 5	○	6.03	×	-	×	-	6.03
6. 6	○	6.03	×	-	×	-	6.03
6. 7	×	-	○	4.88	×	-	4.88
6. 8	×	-	○	4.88	×	-	4.88
6. 9	×	-	×	-	○	5.89	5.89
6.10	×	-	×	-	○	5.89	5.89
평 균		2.01		1.63		1.96	5.60

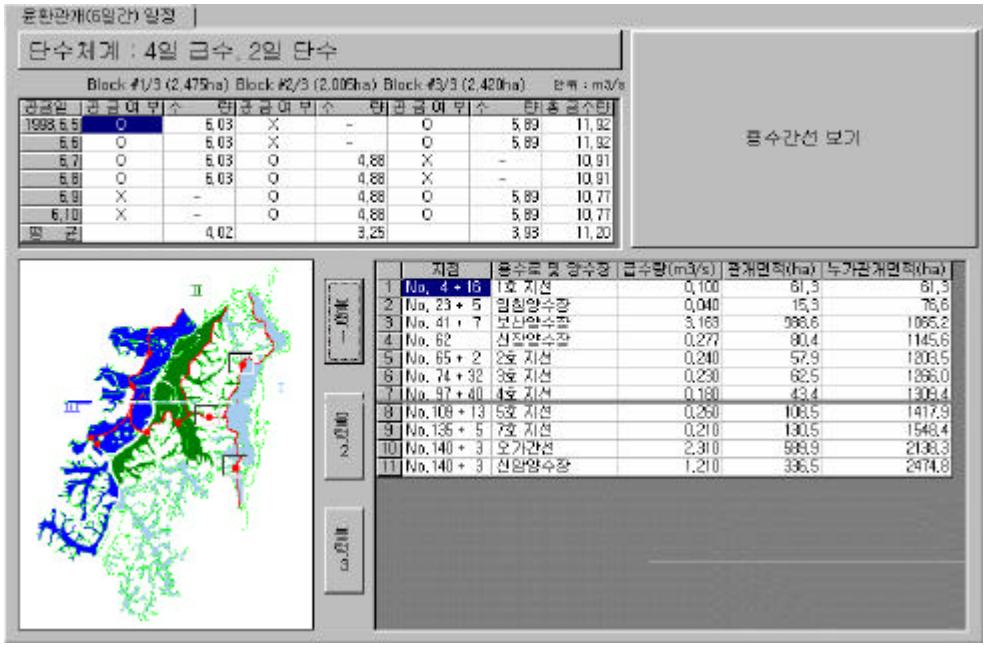


그림. 68 예당용수간선별 급수일정과 급수량 (4일 급수, 2일 단수의 경우)

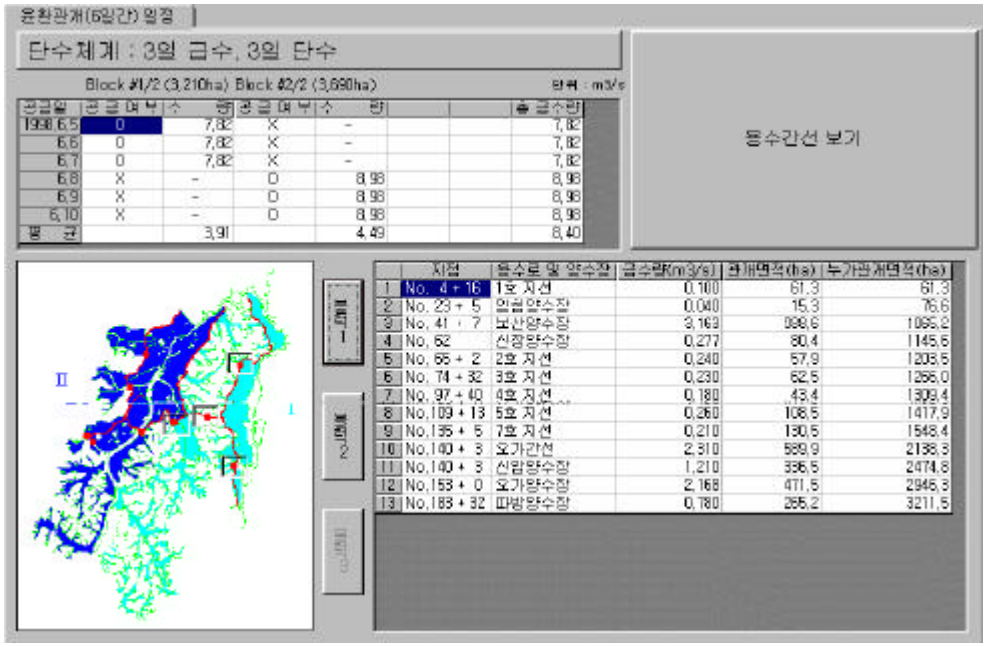


그림. 69 예당용수간선별 급수일정과 급수량 (3일 급수, 3일 단수의 경우)

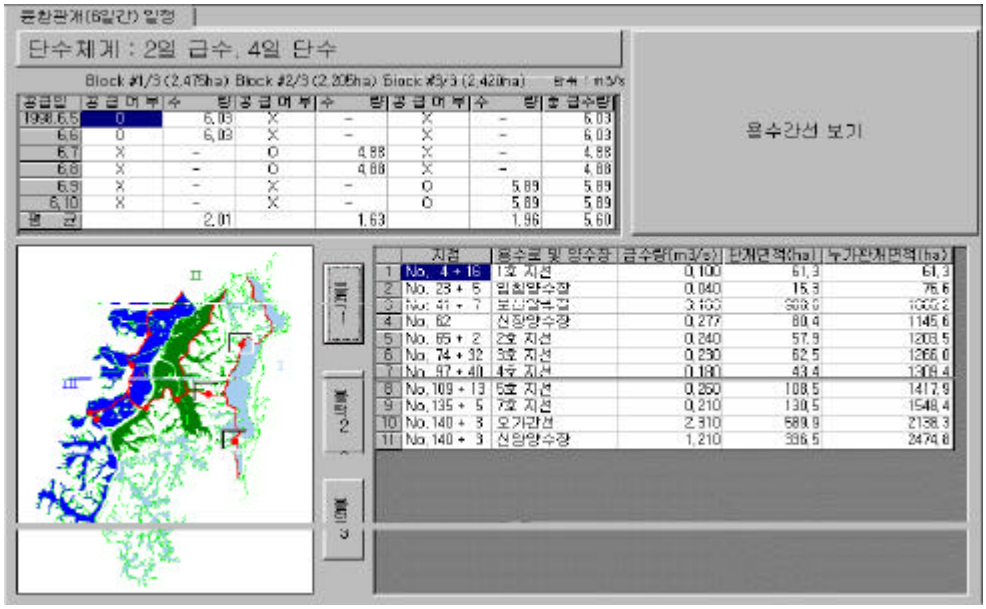


그림. 70 예당용수간선별 급수일정과 급수량 (2일 급수, 4일 단수의 경우)

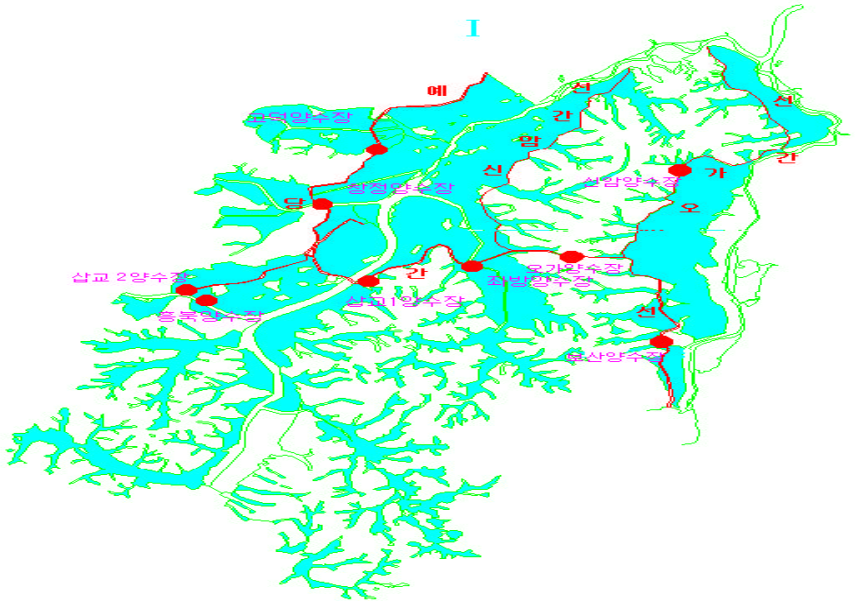


그림. 71 4일 급수, 2일 단수의 경우, 용수간선보기 화면

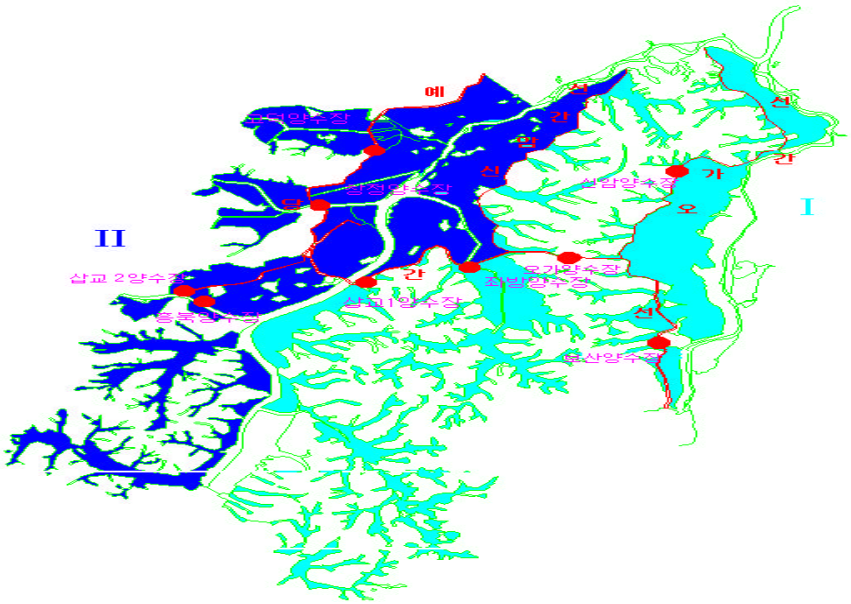


그림. 72 3일 급수, 3일 단수의 경우, 용수간선보기 화면

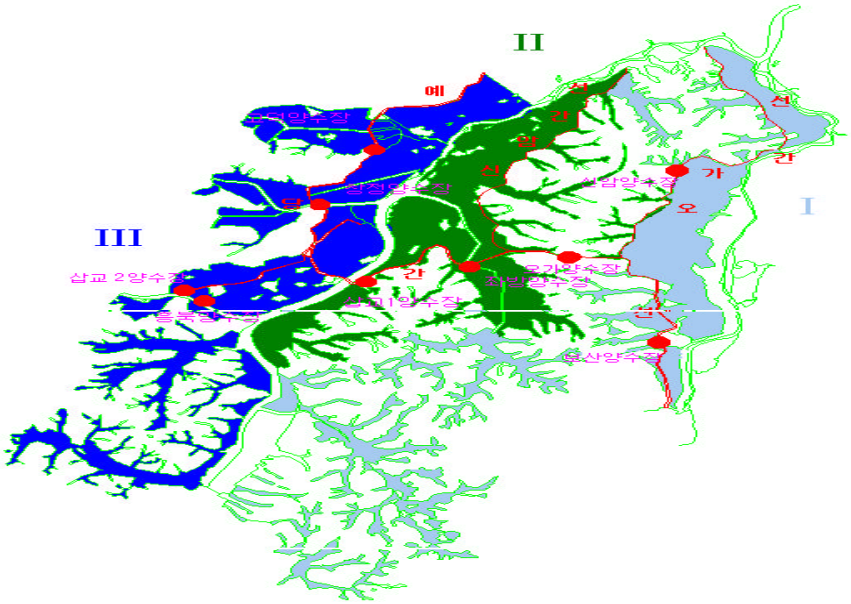


그림. 73 2일 급수, 4일 단수의 경우, 용수간선보기 화면

나. 탑정지의 윤환관개모형

예당지와 같은 방법으로 윤환관개모형을 탑정지에 적용한 결과 다음과 같다.

즉, 탑정지의 이수관리곡선으로 판단할 때, 6월 5일 현재 저수율이 가뭄경보상태인 20% 제한급수상태가 되면 탑정용수간선은 4일 급수 2일 단수의 윤환관개 급수체제로 바뀐다. 블록별 관개면적을 고려하여 제1블록은 6월 5일에서 8일까지 4일간 4.17m^3/s을 공급하고, 제2블록은 6월 7일에서10일까지 4일간 3.69m^3/s을 공급하고, 제3블록은 6월 5 6일, 9 10일까지 4일간 3.00m^3/s을 공급하는 절수 시나리오이다.

GIS를 이용하여 탑정지의 몽리구역 용수계통도를 그림. 75 과 같이 작성하였다.

표. 56 탑정 용수간선의 블록별 용수로 및 양수장

구 분	용수로 및 양수장	관개면적 (ha)	누가관개 면적(ha)	구 분
제 1/3 블럭 (2,251ha)	북부간선	886.5	886.5	제 1/2 블럭 (2,843ha)
	왕전양수장			
	노성간선	732.2	1618.7	
	부적간선	632.2	2250.9	
제 2/3 블럭 (1,993ha)	송산간선	592.4	2843.3	
	상월간선	544.9	3382.2	제 2/2 블럭 (3,019ha)
	탑정양수장	611.9	4000.1	
	양촌양수장			
	양촌간선	244.1	4244.2	
제 3/3 블럭 (1,618ha)	남부간선	842.4	5086.6	
	가야곡양수장			
	소룡간선	599.2	5686.8	
	산노간선	175.2	5862.0	

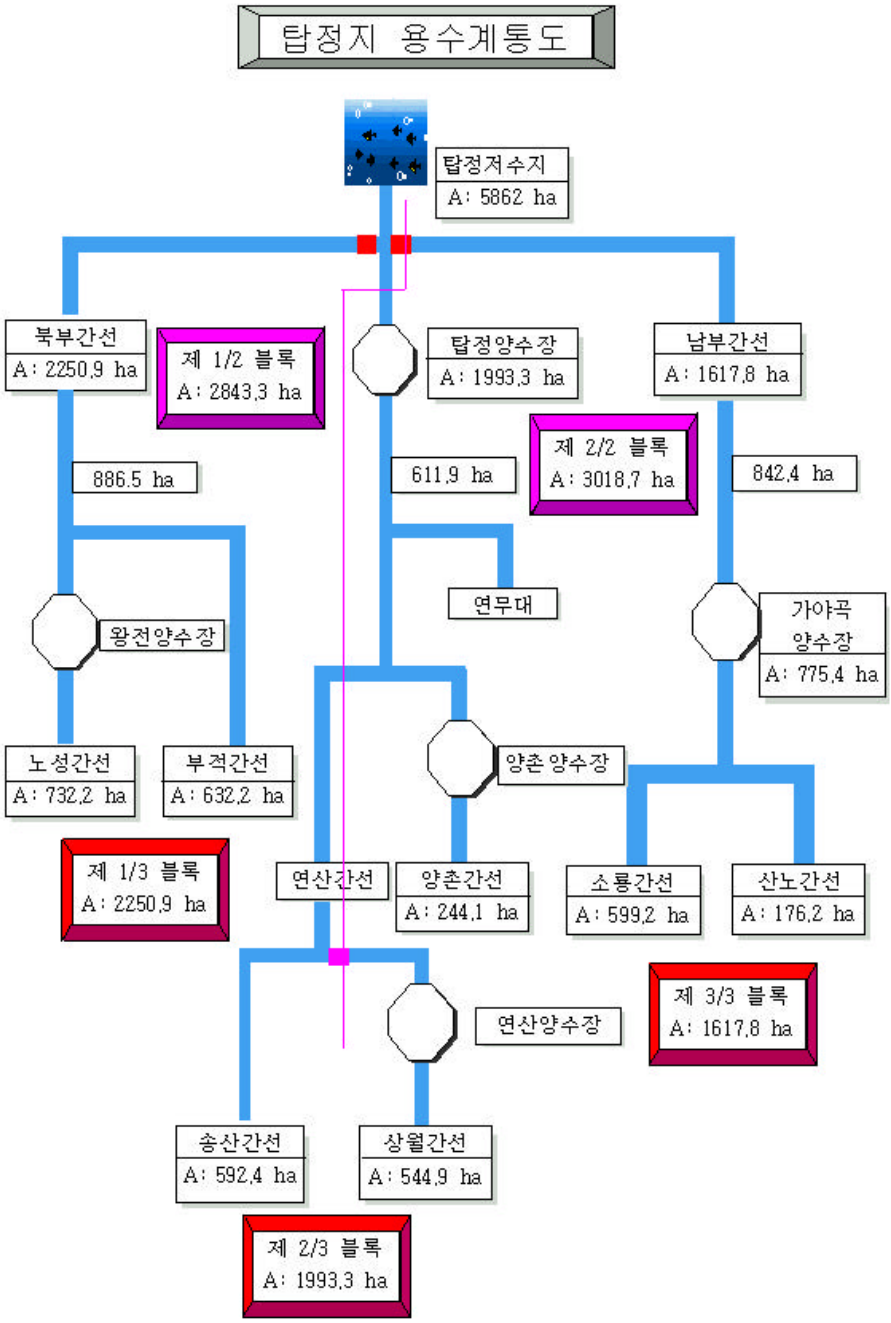


그림. 74 탑정지 용수계통도

표. 57 탑정용수간선의 4일 급수 2일 단수 급수일정표의 예

급수예정일	제1블록(2,251ha)		제2블록(1,993ha)		제3블록(1,618ha)		총급수량 (m^3/s)
	급수	급수량 (m^3/s)	급수	급수량 (m^3/s)	급수	급수량 (m^3/s)	
1998 6. 5	○	4.17	×	-	○	3.00	7.17
6. 6	○	4.17	×	-	○	3.00	7.17
6. 7	○	4.17	○	3.69	×	-	7.86
6. 8	○	4.17	○	3.69	×	-	7.86
6. 9	×	-	○	3.69	○	3.00	6.69
6.10	×	-	○	3.69	○	3.00	6.69
평 균		2.78		2.46		2.00	7.24

표. 58 탑정용수간선의 3일 급수 3일 단수 급수일정표의 예

급수예정일	제 1 블록 (2,843ha)		제 2 블록 (3,019ha)		총급수량 (m^3/s)
	급 수	급수량(m^3/s)	급 수	급수량(m^3/s)	
1998 6. 5	○	5.27	×	-	5.27
6. 6	○	5.27	×	-	5.27
6. 7	○	5.27	×	-	5.27
6. 8	×	-	○	5.59	5.59
6. 9	×	-	○	5.59	5.59
6.10	×	-	○	5.59	5.59
평 균		2.64		2.80	5.43

표. 59 탑정용수간선의 2일 급수 4일 단수 급수일정표의 예

급수예정일	제1블록(2,475ha)		제2블록(2,005ha)		제3블록(2,420ha)		총급수량 (m^3/s)
	급수	급수량 (m^3/s)	급수	급수량 (m^3/s)	급수	급수량 (m^3/s)	
1998 6. 5	○	4.17	×	-	×	-	4.17
6. 6	○	4.17	×	-	×	-	4.17
6. 7	×	-	○	3.69	×	-	3.69
6. 8	×	-	○	3.69	×	-	3.69
6. 9	×	-	×	-	○	3.00	3.00
6.10	×	-	×	-	○	3.00	3.00
평 균		1.39		1.23		1.00	3.62

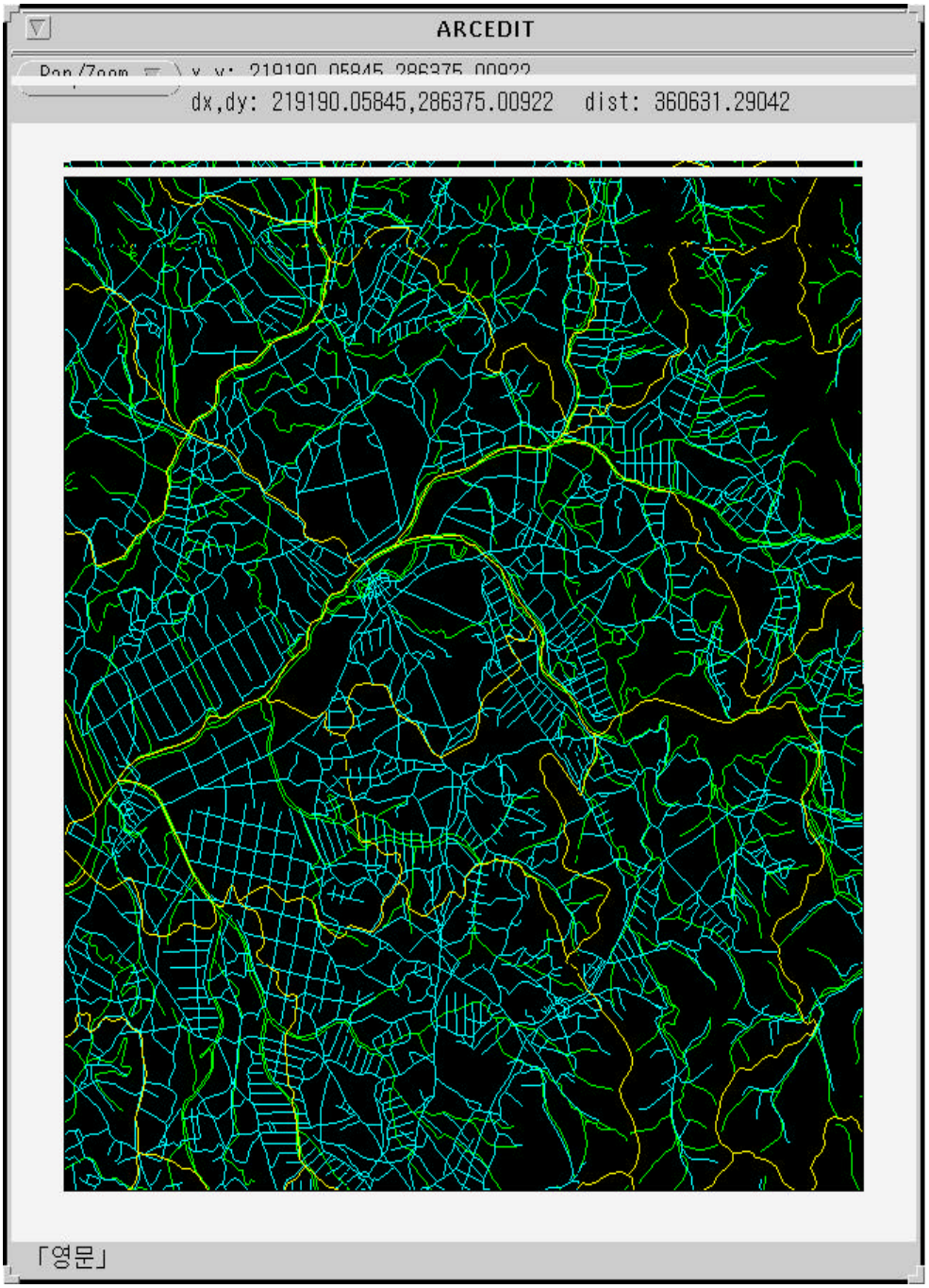


그림. 75 GIS를 **이용하여 작성한 탑정지 몽리구역의 용수계통도**

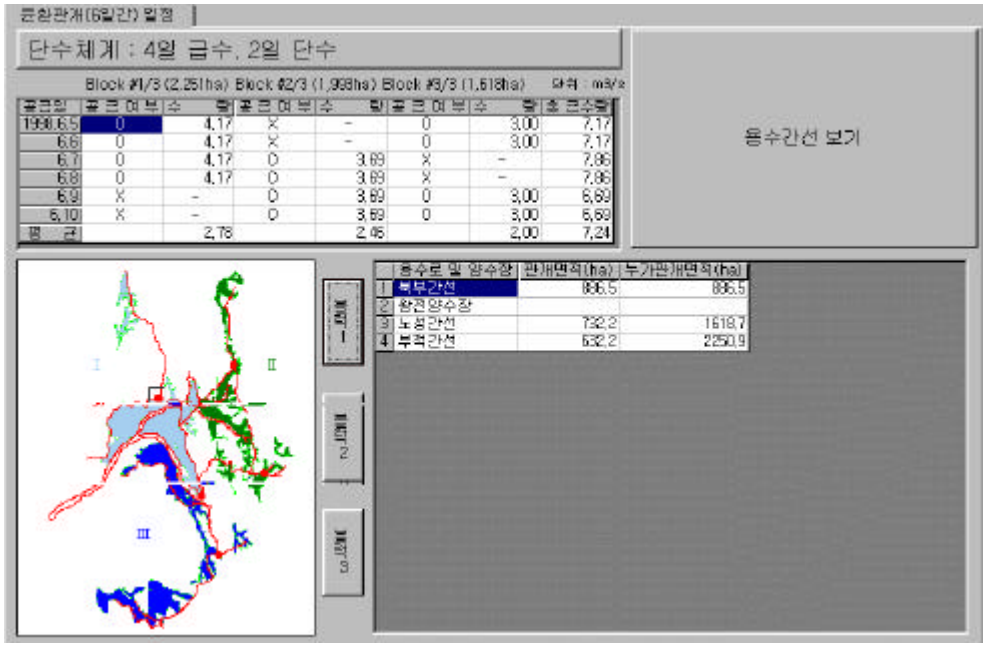


그림. 76 탑정간선별 급수일정과 급수구역(4일 급수, 2일 단수)

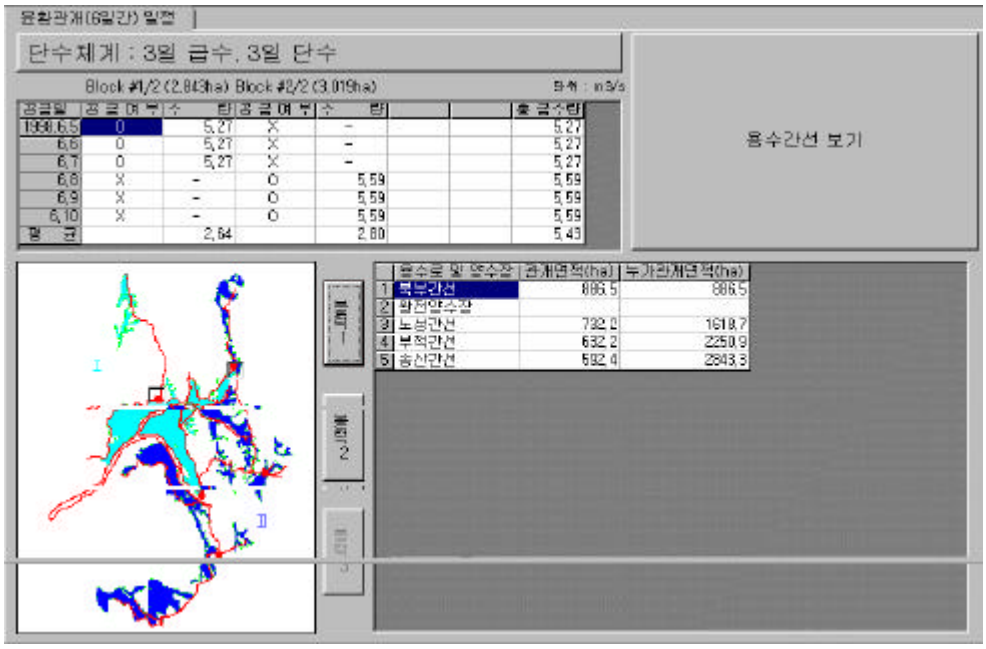


그림. 77 탑정용수간선별 급수일정과 급수구역 (3일 급수, 3일 단수)

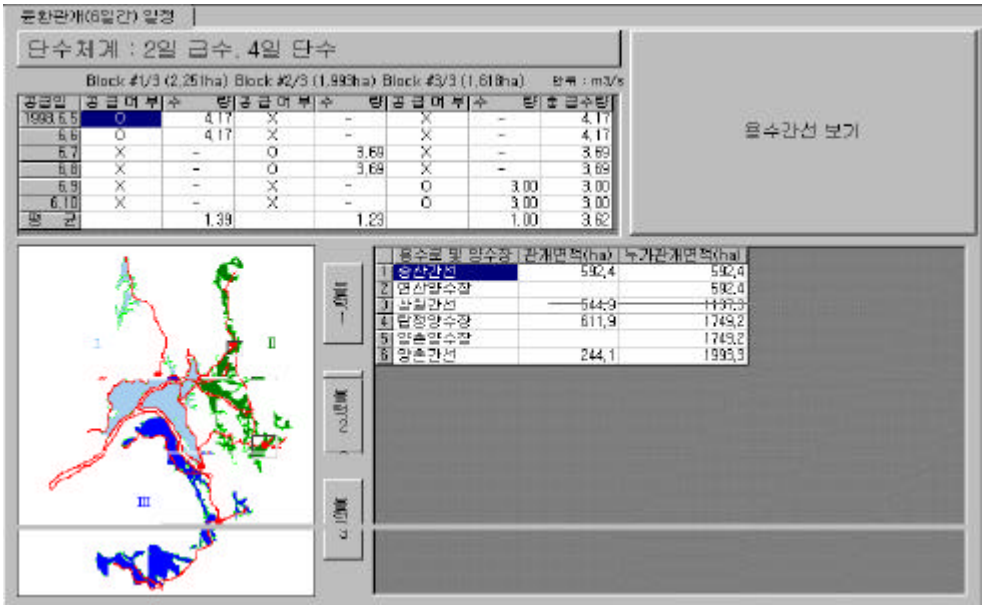


그림. 78 탑정용수간선별 급수일정과 급수구역 (2일 급수, 4일 단수)

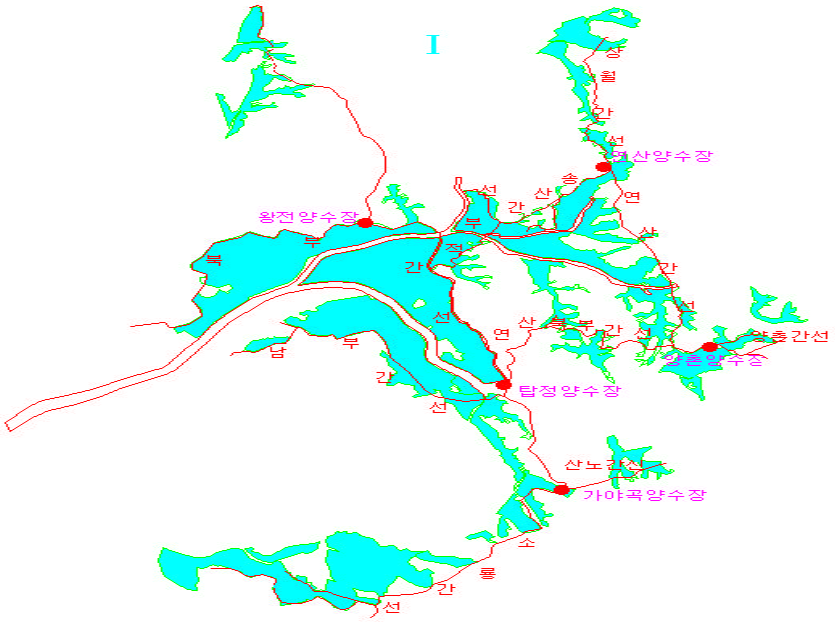


그림. 79 탑정지 4일 급수, 2일 단수의 경우, 용수간선보기 화면

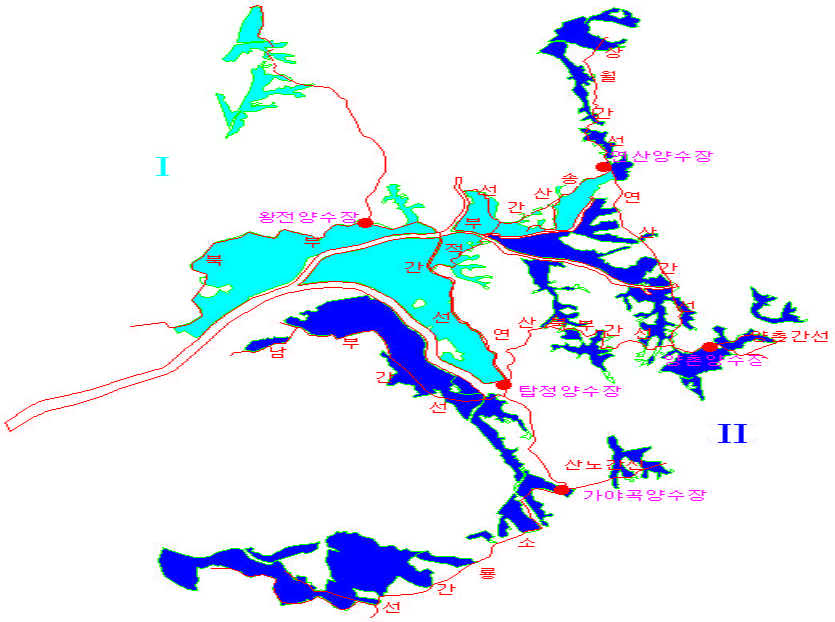


그림. 80 탑정지 3일 급수, 3일 단수의 경우, 용수간선보기 화면

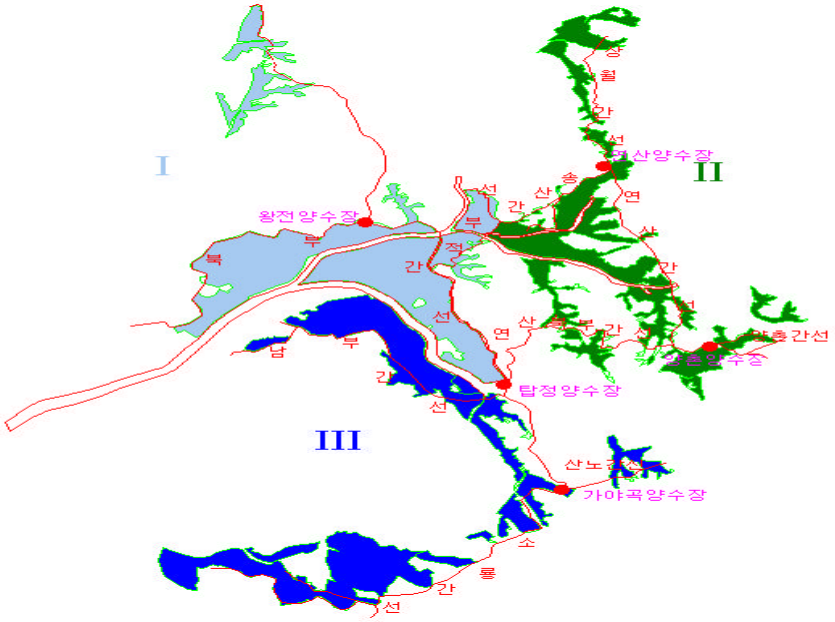


그림. 81 탑정지 2일 급수, 4일 단수의 경우, 용수간선보기 화면

제 9 절 비조절형 저수지의 저수량 보강방법

비조절형 저수지를 보강하여 유효저수량을 확대하는 방법을 연구한다. 유효저수량 확보를 위해서는 비조절형 댐의 본체를 높이는 방법(저수지 嵩上), 자유월류를 수문으로 교체하는 방법, 비관개기에 하천에서 저수지에 퍼올리는 방법, 그리고 오래된 저수지를 보수하여 누수방지와 댐안전를 도모하는 방법이다.

1. 기존댐의 숭상

저수지 숭상은 저수용량 또는 홍수조절용량을 증강하기 위한 것이다. 저수지 숭상은 당초 설계시에 용수증가에 따라 단계적으로 숭상하도록 한 계획숭상과 그렇지 않은 무계획숭상이 있다. 대부분 후자의 경우가 많다. 무계획숭상은 당초 댐터조건 및 설계내용과 숭상작업중 발생하게 될 저수지 운영제약에 따라 숭상설계는 대단히 어렵고 경비도 많이 드는 작업이다.

가. 기존댐 숭상이유

기존댐을 숭상하는 주요 목적은 저수용량 증강, 물넘이 능력제고, 댐 강도증강 및 수력발전증강이다.

1) 저수용량 증강

저수지수면부분은 면적이 크기 때문에 댐높이를 몇m만 높여도 많은 저수량이 증가되기 때문에 경제적일 뿐만아니라 환경보전과 관련된 문제도 단순하여 댐숭상은 새로 댐을 건설하는 것보다 매력적이다.

2) 물넘이 능력제고

물넘이 능력부족과 함께 비상호우에 발생할 수 있는 댐월류에 대한 안전이 가장 당면한 문제이다. 기존댐과 물넘이의 당초 설계시의 조건이 뒤에 강화되는 경우와 댐건

설 이후 하류지역이 개발되어 댐의 안전도가 당초보다 강화되어야 하는 경우에는 댐을 숭상하여 해결할 수 있다. 특히, 최근에는 국지적 이상호우가 자주 발생하고 있어 이들을 기존의 지역별 강우자료에 포함할 경우 설계홍수량이 증대하는 경우가 많다. 1일 강수량의 예를들면 1987년 금강하류 670mm, 1995년 예산지방 350mm, 1996년 문산지방 600mm, 1998년 김포지방 620mm 및 보은지구의 400mm 등 국지적 이상집중호우 등에 의한 저수지 붕괴는 물넘이 능력부족으로 이에대한 재검토가 시급하다.

3) 댐 강도증강

정적 또는 지진에 의한 하중부하량 증대를 극복하는 방법의 하나가 단면수정이고 그 방법의 하나가 댐숭상이며 부수적으로 저수용량 증대를 가져온다.

4) 수력발전증강

수력발전을 증대하려면 높은 위치에너지가 필요하며 댐숭상이 그 한 방법이다.

나. 저수지 숭상에 고려해야할 내용

저수지 숭상에 대한 자료도 부족하고, 있어도 각각 지구특성에 따라 다르기 때문에 일반화하기는 어렵지만 다음 사항을 고려해야 한다.

1) 환경보전

댐숭상에 따라 댐수위가 상승하고 수몰면적이 확대된다. 이 경우 환경에 큰 영향을 미칠 수 있으며, 특히 야생동물은 이주해야만 할 수도 있다.

2) 물넘이

댐을 숭상하여 저수위를 높이려면 물넘이를 보수하거나 신설해야 하므로 물넘이 공사비를 최소화할 수 있는 대책을 세운다. 숭상높이가 몇 m 정도로 작은 경우에는 물넘이에 수문을 설치할 수 있다. 숭상높이가 큰 경우에는 새로운 물넘이를 설치해야 하므로 경제성을 분석해야한다. 계획숭상인 댐의 경우 흙댐보다는 콘크리트댐이 물넘이를 숭상하기에 유리하고, 흙댐에는 Drop inlet 물넘이가 숭상하기에 유리하다.

3) 저수지관리

댐숭상시에 저수지수위를 낮출 수 있거나 비워둘 수 있느 냐는 댐숭상 가능성과 설계에 큰 영향을 미치게 된다. 저수지수위를 낮출 수 있거나 비워둘 수 있으면 기설 중심코아와 원만하게 접합할 수 있고 건설재료도 주위에서 쉽게 구할 수 있다. 저수지수위를 낮출 수 있거나 비워둘 수 없으면 건설재료는 외지로부터 반입돼야 한다.

4) 중심코아

아주 낮게 숭상하더라도 기설 중심코아와의 완전한 접합은 대단히 중요하다. 숭상높이가 높을 경우에는 기설 중심코아가 기능하지 못한다고 할 정도로 새로운 중심코아를 설치해야한다. 기존 중심코아에 완전하게 접합하기 위한 방수벽으로 Slurry wall을 사용하는 것도 한 방법이다.

5) 배수조직

댐숭상에는 침윤선이 댐체 하류측 비탈면에 나타나는 것을 방지하기 위해 댐숭상에 따른 침윤조건과 침윤량에 따라 배수조직을 강화해야한다.

6) 지진조건

콘크리트댐이나 아치댐을 숭상하는 것은 지진발생시에 댐체의 변형과 응력이 증대되어 단순히 숭상높이만큼 콘크리트를 더쌓기할 것이 아니라 댐단면을 변경하여 강화해야 한다. 휠댐의 경우는 콘크리트댐에 비하여 덜 민감하지만 숭상에 따라 댐체의 기울기를 완만하게 해야할 경우도 있다.

다. 저수지 숭상 사례

1) 우리나라의 경우

우리나라에도 저수량확보를 위하여 많은 관개저수지를 숭상하였으며 이 가운데 달창지와 백곡지의 숭상(嵩上)사례를 간단히 살펴본다.

달창지는 유역면적 56 km^2 로 1981년 당초 댐높이 18.2m를 1.8m 숭상하고 물넘이 게이트를 11m×6.5m×2연의 Radial gate로 설치하여 유효저수량 893만m^3, 관개면적 872ha 로 확대하였다. 관개기 급수에 지장을 주지 않기 위하여 외측 제방쪽만 1.8m 숭상하였다.

백곡지는 댐본체를 높이는 동시에 사이폰식 물넘이를 케이트식으로 교체하는 방법

으로 보강하였다. 백곡지 유역면적은 85 km^2 로 당초 댐높이 16.5m를 10.5m 숭상하여 저수량 690만m^3, 관개면적 1,704ha 에서 저수량 2,150만m^3, 관개면적 3,079 ha 로 확대하였다.

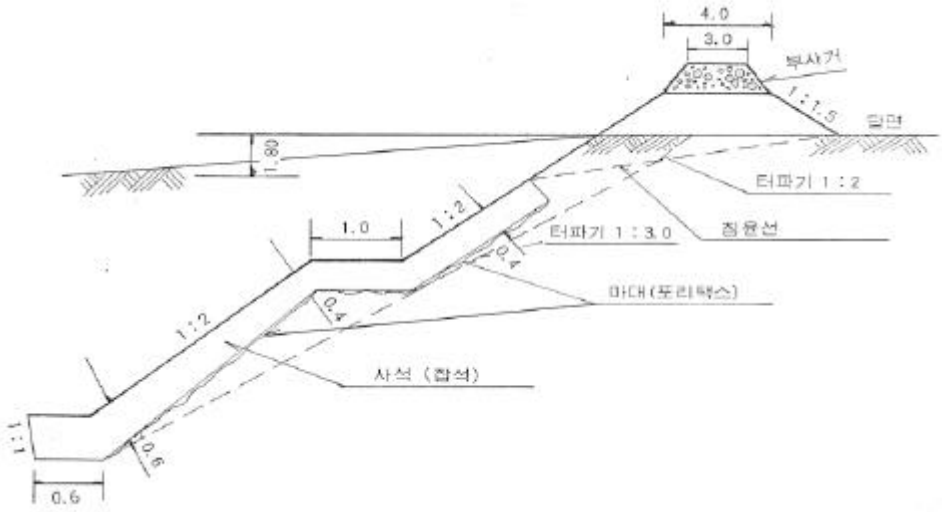


그림. 82 달창지 숭상단면

2) 미국의 경우

저수지 숭상사례를 Anderson('93)의 Dam rehabilitation에서 소개하면 다음과 같다. Sulphur Creek Reservoir는 균일형 흙댐으로 댐상폭 4.2m, 댐높이 15m, 저수량 868만m^3에서 댐상폭을 6m, 댐높이 24.6m, 저수량 2,426만m^3로 확대하였다. 물넘이형태는 Drop inlet에서 Morning glory로 바꾸었다. 숭상한 성토단면의 중심축은 기존댐의 축과 평행하게 하였으며 중심토부는 상류측비탈은 3H : 1V로 하류측비탈은 1H : 1V로, 투수성토부는 중심토 하류측비탈은 3H : 1V로 하였다. 배수조직은 중심토와 투수성토부 경계에 Chimny배수를 배치하고 이를 Blanket배수와 연결하였다. 상류비탈측 보호는 30cm의 바닥 Riprap위에 45cm 두께의 Riprap을 설치하여 파랑에 대비하였다. 조사에 의하면 침투는 숭상성토부와 기초지반부에서 발생하고 있어 기존댐 비탈끝 부근에 지수벽을 설치한다. 지수벽은 1H : 1V 비탈에 바닥폭이 6m 되는 점토지수벽을 설치하던 지, 0.6m 폭의 시멘트-벤토나이트 연속지수벽(Slurry wall)을 설치할 수 있다.

연속지수벽은 중심토부에 약 1.5m 높이로 하고 기초지반부 밑으로 경암부까지 약 0.9m 정도 설치한다.

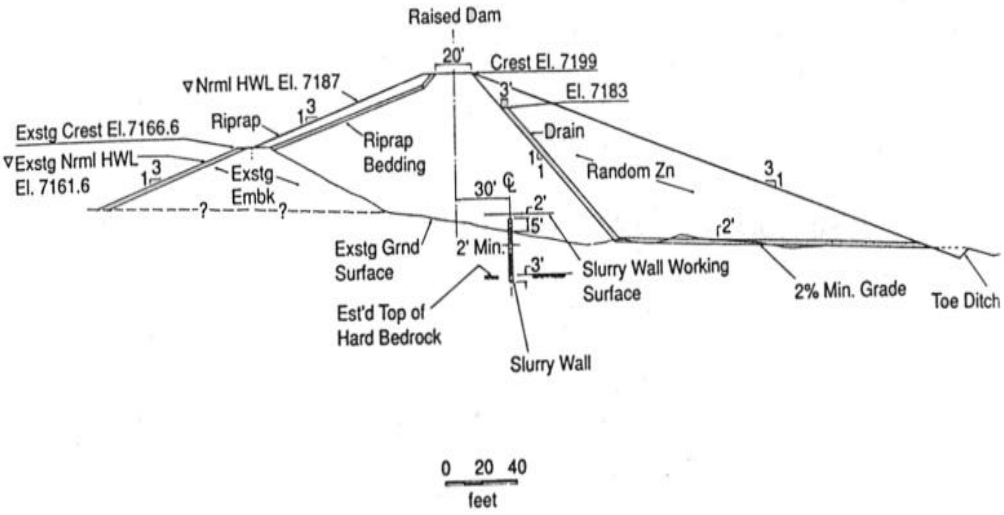


그림. 83 Sulfur 댐 숭상단면

Tolt댐은 중심점토형 흙댐으로 댐높이 60m, 저수량 6,840만m^3 였는데 댐높이를 69m로 숭상하여 저수량을 10,920만m^3로 확대하였다. 댐상부 3 6m를 제거하여 기존 댐의 중심점토와 숭상댐의 중심점토를 완전히 연결시키고 댐상폭을 6m로 확대하고 상하류비탈 모두 2H : 1V의 기울기로 성토하여 기존댐의 비탈면과 연결하였다. 하류측 비탈면에서는 약 0.9m 두께를, 아바트에서는 약 3m 두께를 벗겨내어 기존댐과 숭상댐의 성토재료가 잘 접합되도록 한다. 건설기간중 저수지 수위를 3 6m이상 낮추지 않으므로서 거의 정상적으로 용수를 공급하였다. 물넘이형태는 Drop inlet 에서 Morning glory로 바꾸어 월류탑과 크레스트를 높였다. 프리텐션잉으로 강도를 증대시키고 포스트텐션잉으로 앵커와 연결하여 월류탑을 강화하였다.

Littlerock dam은 1924년에 건설된 24개의 아치군에 부벽이 달린 복합아치댐이다. 당초 저수량은 526만m^3 이었으나 이후 토사유입으로 270만m^3로 감소되었다. 당초 물넘이는 사이펀식이었으나 1938년 홍수시에 파괴되어 38m 길이의 월류식 물넘이로

바뀌었다. 1993년 이 댐은 지진에 대한 안정성에 문제가 있을 것으로 판단되어 기존 부벽을 RCC(Reinforced Compact Concrete)로 보강하는 공사를 실시하였다. 이 때 비월류부는 2.1m, 월류부는 3.6m를 숭상하여 유효저수량 428만m^3으로 확대하였다.

2. 자유월류식을 고무댐으로 교체하는 방법

저수지 규모가 작은 경우에는 자유월류식을 고무댐(水門式)으로 교체하여 약 3억m^3의 유효저수량을 확대할 수 있는 것으로 조사되고 있다. 윤(1999)에 의하면 높이 10m 이상, 만수면적 10ha 이상, 유효저수량 20만m^3 이상인 저수지 416개 저수지 가운데 257개소는 1m 높이의 고무댐으로 교체하여 평균 20만m^3 의 저수량을 증대시킬 수 있고, 설치비용도 신규저수지의 55%의 비용으로 가능한다고 조사한 바 있다. 작은 저수지의 경우, 관개기에 가마니, 나무빈지 등으로 30 50cm 물넘이를 높이는 사례가 많이 있으나, 홍수기에는 반드시 제거되어야 한다. 홍수시 댐월류가 우려된다.

3. 비관개기에 하천에서 저수지에 퍼올리는 방법

영농기전 저수지수위가 낮을 때는 인근(송수거리 5 10km) 하천에서 갈수량을 양수하여 저수지에 물 가두기하는 방법은 '94 95년 연속가뭄시에 8.7만ha에 용수를 공급하여 효과가 컸던 가뭄대책이다. 취수할 수 있는 양은 유역지질특성에 따라 결정되지만 보통 10년빈도 갈수량은 100km^2당 0.18m^3/s (유출심 0.156mm)를 기준할 수 있다.

퍼올리기 하는 시기는 지역별 영농준비기인 2월 하순 또는 3월 초순의 저수율이 60% 이하일 때, 평균저수율 80 90%까지 물 가두기하는 것이 좋다.

대금농조의 방동지에서 저수지 물가두기 이용사례는 다음과 같다.

방동지에서 2.5km 하류에 유역면적이 176.6km^2 인 두계천지점에 양수능력 12,600m^3/일의 양수장을 설치하여 저수지에 물 가두기를 하여 관개용수와 함께 방직공장에 공업용수를 공급하고있다.

그림. 84 물넘이에 가마니로 저수량 확보하는 장면

그림. 85 물넘이에 나무빈지로 저수량 확보하는 장면

그림. 86 비관개기에 하천에서 저수지에 퍼올리는 방법

양수량 12,600m^3/일은 유출심 0.07mm 에 해당되며 정확한 양수기록은 없지만 평상시에는 이 양을 채수하는데 별 문제가 없고 이앙기, 갈수기에는 6,000m^3/일 정도 채수(유출심 약0.03mm) 할 수 있는 것으로 조사되었다.

4. 저수지 보수에 의한 누수방지와 댐안전 강화

저수지는 설계수명이 있어 시간이 경과할수록 댐 누수와 함께 안전이 문제가 된다. 따라서, 축조된지 오래된 저수지는 보수하여 누수를 방지하고 안전을 강화해야 한다. 이를 위해서는 기존 저수지의 안전관리를 위한 조사항목과 평가기준을 제정하고 정기적으로 점검하여 필요하면 보수공사를 시행해야 한다. 저수지의 고정자산 내용연한은 70년이다.

우리나라 저수지 18,000여개 가운데 설치연도별 현황을 보면 1945년이전 10,000여개(55%), 1946 61년 2,600여개(14%), 1962 71년 3,700여개(14%), 1972년이후 1,840여개(14%)이다. 농촌용수 10개년계획에서는 1995년 2004년 14,000여개 수리시설 개보수에 2조8천억원, 장기계획에서는 2005년 2014년 6,000여개 수리시설 개보수에 3조5천억원을 계획하고 있으나, 그 서업추진이 부진한 상태이다.

저수지 보수에 의한 누수방지와 댐안전 강화에 대한 기술적 개발과 재정적 지원방안을 구체적으로 수립, 추진해야 한다. 지금 보수하지 않으면 수리시설기반의 와해가 우려되며 안전상의 문제와 함께 보수비용도 크게 증가할 것으로 우려된다.

미국의 경우, Anderson L.R.(1993)에 의하면 공병대(USCE)에서 관리하는 댐 580개 가운데 200개는 50년 경과한 댐이었다. 공식적인 안전조사평가는 경험많은 기술자가 처음 담수직후와 처음 4년간은 매년 조사, 다음 4년간은 2년에 한번, 그 다음은 매 5년에 한 번씩 댐안전을 위한 조사평가를 실시하도록 규정되어 있다. 댐 안전조사결과 침투수와 댐월류(Seepage and overtopping)가 주된 붕괴원인이었다. USCE는 보수사업을 위하여 2년간 6개사업지구 대형댐 보수사업에 850억원(94.4백만US$)을, 20개 사업지구 소형댐 보수사업에 171억원(19백만US$)을 투자하였다.

Reed P.S.(1999)에 의하면 1940년 이후 미국의 지자체는 농무성(USDA) 자연자원보전국(NRCS)의 소유역계획 지원하에 10,000개 이상의 홍수조절용 소형댐을 유역상류에 건설하였다. 이 댐들은 유역면적 52만km^2 에 걸쳐 홍수조절, 생공용수 및 농업용수 공급, 위락공간, 토양유실방지 및 야생동물보전 등 8억 US$의 연간 이익을 창출하고 있다. 농경지, 도로, 주거지 및 공장지대침수를 방지하는 종합방재사업들은 140억 US$ 상당의 국가 인프라를 제공하고 있다. 그러나, 소형댐들이 건설되던 당시와 제반 환경, 즉, 인구증가, 지역개발, 토지이용변화, 침사지 충전과 댐시설의 노후화 등이 변하였고 댐 설계기준도 크게 강화되었다. 이 가운데 많은 소형댐들이 설계수명을 다하여 하류 주민들의 안전을 위협하고 몇몇 댐들은 환경에 나쁜 영향을 주고 있다. 최근 조사에 따르면 미국내 22개 주에 2,200여개의 댐이 시급히 보수되어야 하며 약 5.4억 US$의 비용이 예상되며, 지금 보수하지 않으면 큰 피해가 예상되고 보수비용도 크게 증가할 것으로 보고되고 있다.

제 7 장 실시간 홍수예측모형

퍼스컴과 전자계측장비 개발로 강우와 유량관측을 적당한 비용으로 상당히 정확하게 on-line monitoring 이 가능하게 되었고, 수문모형의 발전으로 telemetering 내용을 실시간 홍수예측모형에 연계 운영할 수 있어 하천 홍수예경보대책 및 저수지 수문관리능력이 크게 향상되어 실용화가 가능하게 되었다.

저수지 유역에 호우주의보가 발령되면 현재 저수위상태에서, 인터넷 기상청, Weathernet 사이트 등에서 제공하는 주간예보상의 예상강수량을 입력하여, 이번 호우에 의하여 수문을 열어야 할지, 안 열어도 될지를 개략적으로 판단해주는 개략 홍수예측모형을 개발하였다.

개략 홍수예측모형에서 예측저수위가 홍수제한수위를 상회하면 상류유역에서 관측된 강우량과 하천수위를 전송받아 실시간으로 홍수유입량을 예측하는 모형을 개발하였다.

이 실시간 홍수유입량 예측모형과 하류하천수위를 고려하여 상, 하류의 침수피해를 최소화할 수 있는 저수지 수문조작모형을 개발하였다.

방류량이 저수지 하류하천과 농경지의 침수면적, 침수시간, 침수심 등을 예측하는 하류지역 침수예측모형을 개발하였다.

이 실시간 홍수예측모형은 개략 홍수예측모형, 홍수유입량 예측모형, 물넘이 수문조작모형 및 하류지역 침수예측모형 등 4개의 부모형으로 구성되어 있다.

이 관개저수지의 홍수예측과 관리지침은 어느 시간에 어느 만큼 홍수를 방류를 해야 하는가를 제시해주고, 이에따라 사전에 시간적 여유를 가지고 홍수대책을 미리 수립하여 홍수피해를 경감시킬 수 있다.

제 1 절 홍수예경보

관개저수지는 수자원보전이라는 이수기능과 홍수조절이라는 치수기능의 두가지 상

반된 목적을 가지므로, 용수공급을 최대화하기 위해서는 저수지를 가급적 만수시켜야 하지만, 하류측 침수피해를 최소화하기 위해서는 저수지를 가급적 비워 두어야 하며, 저수지 또는 하천 관리자에게 홍수예보를 미리 경보하여야 한다. 이를 위하여 전화, 무선, telemetering 등 on-line 시스템으로 실시간 입수되는 수문(강우, 유출) 관측자료를 입력하여 대상 하천 또는 저수지에서 예측시간후의 홍수유입량를 예측할 수 있는 실시간 홍수예측모형과, 홍수시 저수지 하류의 침수피해를 최소화할 수 있는 저수지 수문조작모형이 절실히 요구되고 있지만 아직 개발이 안된 상태에 있다.

1. 홍수예경보 방법

홍수관리는 저수지 상류에 호우주의보 (일예상강우량 80mm 이상)가 예보되어 홍수가 발생할 염려가 있다고 판단되는 홍수주의보단계, 호우경보 (일예상강우량 150mm 이상)가 예보되어 홍수가 발생할 염려가 크다고 판단되는 홍수경보단계, 실제로 홍수가 발생하여 저수위가 異常홍수위에 접근하거나, 하류하천수위가 위험수위에 육박하는 홍수발생단계, 홍수경계가 해제된 홍수복구의 4 단계로 나누어 단계별로 대책을 수립해야 한다.

관개저수지는 이수기능과 홍수조절이라는 두가지 상반된 목적을 이루기 위해서는 첫째, 용수 공급을 최대화하기 위하여 저수지를 가급적 만수시켜야 하며, 둘째, 하류측 침수피해를 최소화하기 위하여 저수지를 가급적 비워두어야 하며 셋째, 저수지 또는 하천관리자에게 홍수 예보를 미리 경보하여야 한다.

홍수예보방법에는 기상법, 우량법 및 수위법 등이 있다.

기상법(氣象法)은 강우의 원인이 되는 기상조건으로부터 강우를 예측하여 홍수유출을 계산하는 방법이나 장기 기상예보에 의하여 수일 또는 수주일전의 정확하게 강우량과 강우지속시간을 예측하기 어려운 실정이다.

우량법(雨量法)은 강우가 관측된 지점에서 적당한 홍수유출모형(단위도법이나 저류함수법)을 적용하여 유출을 계산하고 하도에서 홍수를 추적하여 필요한 지점에서의 홍수량을 예측하는 방법이다. 과거의 강우-홍수유출자료를 이용하여 유역상류에 내린

강우량과 하류의 홍수유출량과의 관계를 파악해두면 강우량을 입력하면 바로 홍수량을 예측하게 된다. 기상법보다 정확하지만 유역특성에 맞는 홍수유출모형 적용이 중요하다.

수위법(水位法)은 유역 상류지점의 수위와 지류 유입량으로부터 하류 대상지점의 홍수도달시 간 및 홍수위를 계산하는 방법이다. 우량법보다 정확하고 간단하지만 예지시간(豫知時間 : leading time)이 짧은 것이 단점이다.

이 가운데 기상법과 우량법은 장기기상예보에 의하여 수일 또는 수주일후의 강우량과 강우 지속시간을 정확하게 예측하는 것이 무엇보다 중요한데 아직 그것이 어려운 실정이다.

1997년 기상청이 국회에 제출한 국정감사자료(조선일보, 1997, 10월 3일자)로 따르면 " 1996 년의 전국적인 예보정확도는 84.3%이다. 이 예보정확도는 강수여부, 구름상태, 최고-최저기온 등 일기예보와 그 다음 날 실제로 나타난 일기상황과 비교 분석하여 평가한 것이다. 그러나, 지역을 세분해 들어간 국지일기예보의 정확도는 더 떨어진다. 1997년 수도권지역의 월별 기상예보정확도는 1월 83.2%, 2월 81.1%, 3월 82%, 4월 79.9%, 5월 80.2%, 6월 78.1%, 7월 76.6%, 8월 78.8% 등으로 장마기간인 6 7월의 예보적중율이 가장 낮았다. 미국, 일본 등 선진국의 기상예보 정확도는 85%라고 주장했다." 고 보도하고 있다. 이것으로 미루어 볼 때, 관개기인 5 6월과 장마기인 7 8월에 수일 또는 수주일후의 예상강우량과 강우지속시간을 정확하게 예측하는 것은 현재로서는 대단히 어려운 실정이다.

문제는 기상대의 경보내용이 확실한 예비방류를 할 수 있는 정보를 제공하느냐는 것이다. 일본 어느 댐의 경우, 과거 발생한 66개 홍수 가운데 약 10개만이 기상대의 호우예보에 의하여 홍수관리에 충분한 내용과 시간적 여유를 주었을 뿐이라고 보고하고 있다. 댐관리자는 예 비방류에 필요한 독자적 관측정보가 없기 때문에 많은 댐에서 호우가 예상되면 예비방류를 실시하여 저수위를 낮추게 되는데 이것은 실질적으로는 만수위를 낮추게 되어 본래 이수용량 으로 설정한 저수용량의 2 20%가 감소하여 이수기능에 지장을 받게되는 것으로 분석되었다.

또한, 최근에는 엘리뇨 및 라니냐의 영향으로 국지성 집중호우가 이상적으로 발생

하므로 홍수피해를 가중시키고 있다. 1998년의 경우, 1일 강수량이 김포지방 620mm 및 보은지구의 400mm 등이고 순천지방 1998년 7월 31일 21:50 22:50 의 1시간 강우강도 145mm/hr 는 관측이래 최고의 기록을 보이는 등 저수지와 하천제방 붕괴에 따른 침수피해가 극심했다. 이와같은 이상 강수량에 대한 재검토가 시급하다.

홍수예경보는 관측된 기상상태에 따라 예측한 강우량과 하천 상류 주요지점의 수위 또는 유량으로부터 대상지점의 홍수량과 수위가 어떻게 변화할 것인 지 예보하는 것이다.

홍수조절 저수지가 있는 경우에는 강우예측으로 강우가 시작하는 시각과 끝나는 시각, 그리고 유역에 내릴 강우량에 대한 정보와 유역에서 유출되는 홍수량을 알음으로서 저수지 조작을 최적화할 수 있다. 강우의 기상예보는 비교적 단기간 예보밖에 되지 못하고 장기간 예보는 아직 어려운 실정이다. 특히 다목적댐 조작을 최적화하기 위해서는 최대한 정확한 기상예보가 주어졌을 때 가능하며 예보가 장기간일수록 저수지조작효과가 크다.

강우예측 뿐만 아니라 이 저수지에 유입될 홍수량을 예측하고 홍수조절을 최적으로 수행하므로서 하류수위를 낮추거나 첨두홍수 도달시간을 지체시켜 대피할 수 있는 대책을 강구할 수 있다. 특히, 홍수예보와 경보는 홍수파가 도달하기 전에 유역에 설치된 저수지를 비워두어, 홍수유입량을 저류하여 하류수위를 강하시켜 첨두홍수량를 감소시키거나 피해예상지역의 인명과 재산 피해를 감소시킬 수 있다.

2. 홍수예경보 시스템의 경제적 가치

우리나라 홍수예경보 시스템의 경제적 가치평가는 없으며 Floyd(1997)는 영국에서 발생한 많은 홍수피해사례를 분석한 결과, 홍수예경보의 경제적 가치를 다음과 같이 평가하고 있다. 홍수예경보가 없을 경우의 홍수피해를 180만£ 라고 할 때, 2시간전에 홍수예경보를 제공하면 홍수피해는 88만£, 4시간전에 홍수예경보를 제공하면 홍수피해는 80만£, 8시간전에 홍수예경보를 제공하면 홍수피해는 74만£인 것으로 분석되었다. 따라서, 적어도 2시간전에 홍수가 예경보되면 대한히 효과가 크며, 약 50%

의 피해를 줄일 수 있다. 시설물 재산피해, 도로/공공시설 피해, 환경피해 등은 홍수예경보 시스템이 있으나 없으나 거의 같았지만, 인명피해, 비품류 재산피해 및 농업/가축 등의 피해는 2시간전 홍수예경보로도 그 효과가 대단히 컸다.

그러나, 홍수예경보만으로 홍수피해를 줄일 수는 없으며, 홍수예경보의 효율성은 예경보의 신뢰도, 정확한 전달, 개인적 대응의 효율성 등에 따라 결정된다. 예를들면, 홍수예경보의 신뢰성 90%, 정확한 전달 가능성 70%, 개인적 대응의 효율성 60%로 가정할 때, 홍수예경보의 종합적 효율성은 38% 정도이다.

표. 60 홍수예경보 예지시간에 따른 홍수피해사례

피 해 구 분	無 예경보 (£)	2시간전 예경보 (£)	4시간전 예경보 (£)	8시간전 예경보 (£)
재산피해				
시설물	101,500	101,500	101,500	101,500
비품류	131,000	98,000	85,000	77,200
농업/가축	3,240	1,620	0	0
도로/공공시설	8,000	8,000	8,000	8,000
환 경	25,000	25,000	25,000	25,000
인명피해				
정신적	740,000	630,000	576,000	523,000
육체적	833,000	14,000	7,000	0
총 피해	1,800,000	880,000	800,000	735,000

3. 홍수시 저수지 관리대책

홍수관리를 위해서는 홍수주의보, 홍수경보, 홍수발생, 홍수복구의 4 단계로 나누어 각 단계별로 대책을 수립해야한다.

가. 홍수관리 단계별 조치사항

1) 홍수주의보 단계

홍수주의보 단계는 댐 상류 유역에 호우주의보(일 예상강우량 80 mm이상)가 예보되어 홍수가 발생할 염려가 있다고 판단되는 단계를 말한다.

홍수주의보시에는 저수지를 적절하게 관리하기 위하여 요원확보, 기상수문자료의 수집, 유입량 예측, 하천관리자에의 통보, 기기류 또는 자재의 점검 및 정비, 댐 조작에 관한 기록 등의 조치를 취해야 한다. 예비방류계획이 있는 댐에서는 홍수주의보 단계에서 소정의 유입량을 댐에서 예비방류하게 된다.

2) 홍수경보 단계의 조치사항

홍수경보 단계는 댐 상류 유역에 호우경보(일 예상강우량 150 mm이상)가 예보되어, 홍수가 발생할 염려가 크다고 판단되는 단계를 말한다. 이 단계에서의 유입량 예측과 댐에서의 방류량 결정은 대단히 중요하며, 고도의 기술적 판단이 요구된다.

3) 홍수발생단계의 조치사항

홍수발생 단계는 실제로 홍수가 발생하여 저수위가 異常홍수위에 접근하거나, 하류하천수위가 위험수위에 육박하는 단계를 말한다.

홍수발생단계에 댐 또는 저수지를 적절하게 관리하기 위하여 해당 저수지에 대하여 정해둔 수문조작 방법에 따라 방류하거나, 저수지에 유입량을 저류한다. 그러나, 저수지에서의 방류는 하류 하천수위의 급격한 변동이 발생하지 않도록 하여야 한다. 또한 댐 조작사항을 하천관리자에게 통보하고 기록, 작성하여야 한다.

4) 홍수복구단계의 조치사항

홍수복구단계는 홍수경계단계가 해제된 때까지, 또는, 홍수경계가 해제되지 않은 저수지로의 유입량이 재차 증가하여 홍수발생단계에 이르는 때 까지를 말한다.

홍수복구단계에는 예비방류계획이 있는 댐에서 2개 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 수위까지 저하시켜 둔다.

한편, 예비방류계획이 없는 이수 댐에서도, 홍수복구 단계의 저수위는 상시만수위와 같게하고, 현재의 댐 저수위가 상시만수위보다 높은 경우에 있어서는 방류하여 상시만수위에 유지되도록, 또는, 상시만수위보다 낮은 경우에 있어서는 유입수를 댐에 저류하여 상시만수위를 유지하도록 노력해야 하며, 댐저수위가 상시만수위에 같아지는 시점에서는 유입량에 해당되는 유입수를 댐에서부터 방류하게된다.

나. 저수지의 홍수관리 절차

1) 기상, 수문자료의 파악

기상, 수문관측은 규정에 정한대로 하지만, 방류가 예상되는 경우에는 매 1시간마다 실시한다. 물넘이 수문을 조작할 때에는, 조작할 때 마다 관측을 실시한다.

2) 저수지 유입량 예측

1 차로 예상강우량과 홍수조절 가능용량을 고려하여 방류의 필요성을 검토한다.

2 차로 현재의 기상, 수문상태로 부터 댐으로의 유입량과 댐 저수위를 예측하여 방류량과 방류시점을 결정한다.

3) 댐 조작 상황의 통보

댐의 설치자는 홍수가 발생하거나 또는 발생이 예상되는 경우에는, 관계규정에 따라 신속하게 하천관리자나 관리부서에 기상·수문 관측자료와 댐 조작 상황을 통보해야한다.

4) 방류 결정

기상, 수문상황과 유입량 예측을 근거로 하여, 방류시각 또는 방류량을 결정하되, 조작규정에 정한 범위내에서 가능한 한 하류하천에 급격한 수위변동이 생기지 않도

록 실시한다. 여기서 급격한 수위변화라 함은 30분에 약 30 50cm의 수위상승의 경우를 말한다.

5) 방류에 관계되는 기관 통보

댐의 물넘이 또는 방류관에서 방류를 시작하면 이 방류수가 1 시간후에 통과할 것으로 예상되는 지역과 하천수위가 급격이 변화할 것으로 예상되는 구역의 관할시장, 경찰서장, 하천관리자에게 신속히 통지해야 한다. 하류하천에 거주하는 주민들에 위험발생이 예상되는 경우에는 주민들에게도 경고를 철저히 해야한다.

6) 조작기록의 보관

댐의 홍수조작 기록을 작성, 보관하여 다음 댐 관리에 참고한다. 홍수조작 시의 기상·수문 상태, 제반 수문조작 내용, 관계기관에의 통지사항을 기록, 보관한다.

제 2 절 수해실적

유엔조사에 의하면 전세계 자연재해 가운데 1/3 이 홍수피해에서 비롯되므로 효율적인 홍수예경보로 피해를 경감시키는 것은 대단히 중요하다.

지구내 수해실적을 파악하기 위하여 분석에 필요한 유입홍수량과 수문방류량자료와 침수피해면적, 침수심과 침수시간과 침수피해액을 조사하였으나 관련자료가 미비하여 정량적으로 계량화하는데 문제가 많다.

1. 우리나라 수해실적

홍수예경보 시스템구축은 치수사업을 다루는 건교부, 농림부 등에서 우선순위가 높은 사업이다. 홍수예경보 시스템 기술을 향상시키고 운영을 확대보급하는 것은 기술적으로 안전할 뿐더러 경제적으로도 안정적이어야 하는데, 홍수예경보의 경제적 가치에 대한 인식도 미흡하고 연구도 부진한 실정이다.

표. 61 최근 10년간의 풍수해 현황 (1985 94년도)

연도	인명(명)	이재민(명)	침수면적 (ha)	피해액 (백만원)
1985	250	72,257	126,178	163,727
1986	156	99,114	8,685	283,948
1987	1,022	272,277	299,466	1,281,427
1988	143	5,066	17,470	143,765
1989	307	92,599	120,369	638,661
1990	257	203,314	129,314	724,961
1991	240	29,573	61,258	412,363
1992	40	965	13,969	25,094
1993	69	13,799	58,483	202,554
1994	72	11,852	6,275	153,375
합계	2,556	800,816	920,637	4,029,876
평균	256	80,082	92,064	402,988

최근 10년간 풍수해는 표.61와 같이 연평균 인명 250명, 이재민 8만명, 침수면적 9만ha, 피해액 4천억원이었다. 풍수해는 침·관수피해, 강풍에 의한 도복피해, 백수(白穗)현상, 조풍(潮風)에 의한 염분피해, 수발아 등의 농업피해를 일으킨다. 1일 80mm 또는 3 4일 연속 200mm 를 초과하면 홍수발생 가능성이 있다.

2. 예당지 유역의 수해실적

예당-삽교호 유역의 10년간(1984 1993)의 농경지 침수면적은 1987년의 9,702ha가 최대이고 연평균 3,150ha이며, 농경지와 농작물 피해액은 1989년의 약43억원이 최대이고 연평균 12억원이며 표. 62와 같다. 연평균 사망과 이재민은 각각 1.5인, 347인이며, 농경지와 농작물 피해액을 포함한 건물, 선박, 공공시설, 기타의 수해피해액은 32.5억원이다.

표. 62 예당지 유역의 풍수해(1984 1993)

연도	사망	이재민	침수 면적	건물	선박	농경지	농작물	공공 시설	기타	합계
	인	인	ha	백 만 원						
1984	5	471	6,710	102.9	-	362.2	55.6	3,183.3	1,678.7	5,382.8
1985	-	85	477	11.1	11.1	-	2,069.9	87.6	12.1	2,191.7
1986	2	106	1,822	20.8	3.1	31.1	372.1	1,122.6	179.2	1,728.8
1987	3	2085	9,702	174.4	22.7	506.5	2,834.7	8,249.6	1,173.5	12,961.3
1988	-	-	-	-	9.7	-	656.5	7.2	-	673.3
1989	-	489	2,517	7.1	248.0	1.4	4,275.8	839.9	176.3	5,548.5
1990	3	102	4,220	51.7	7.8	143.8	213.5	414.6	363.4	1,194.7
1991	1	4	3,420	0.2	-	3.1	-	20.3	6.8	30.4
1992	1	85	2,436	21.1	2.3	256.7	-	2,424.8	53.0	2,757.9
1993	-	46	203	5.4	21.2	-	-	11.1	7.0	44.7
합계	15	3,473	31,507	394.7	325.9	1304.8	10,478.1	16,361.0	3,650.0	32,514.1
평균	1.5	347	3,150	39	32	130	1,048	1,636	365	3,251

제 3 절 관개저수지의 홍수조절효과

1. 홍수시 첨두홍수량 감소효과

선행홍수에 의해 저수위가 만수가 되었을 때, 다음 올지도 모를 홍수에 대비하기 위하여 인위적으로 저수량을 방류하여 홍수량을 흡수할 수 있는 홍수조절용량을 두게 된다.

연도별 1966 95년의 일별 저수위로 분석한 저수지의 저수상황과 홍수량 유입시의 홍수조절용량 및 조절효과와 이수피해에 대한 조사결과는 표. 68과 같다.

저수량이 큰 관개저수지는 관리규정에 따라 용수를 공급하고 홍수를 조절하게 된다. 그림. 102 과 표. 63에서 보듯이 예당저수지는 유입홍수량이 1,385m^3/s일 경우에는 약 40%정도(833m^3/s)의 첨두홍수량을 감소시키는 조절능력을 평가받지 못하고 있다.

표. 68에서 분석한 정성적인 홍수조절효과와 이수피해를 어떻게 계량화하느냐가 앞으로의 과제이다. 무엇보다 분석에 필요한 유입홍수량과 방류량자료와 침수피해면적과 피해액 자료와 이수피해면적과 피해액 자료가 미비하여 정량적으로 계량화하는데 문제가 많다.

따라서, 최근 큰 홍수시 유입첨두홍수량과 방류홍수량으로부터 조절된 첨두홍수량을 조사한 표. 63의 결과를 가지고 식(12, 13)에 의하여 개략적으로 경제분석하여 홍수조절용량에 따른 조절효과와 이수피해를 정리하였다.

표. 63 최근 큰 홍수시 조절된 첨두홍수량

번호	홍수발생 일 시	유입 첨두홍수량	방류 첨두홍수량	조절된 첨두홍수량		비 고
		m^3/s	m^3/s	m^3/s	%	
1	1995 9.19 21	1,200	500	700	58	
2	1995 8.23 24	1,300	750	550	42	
3	1995 8.25 26	2,200	1,645	555(?)	25.2 (?)	무한천 범람
4	1992 8.24 26	1,385	833	552	40	
5	1989 9.14 15	600	500	100	17	

용담댐의 홍수조절효과분석에서 심천지구 홍수피해액 214,000원/m^3/s(=15.6억원/7,300m^3/s)을 적용하고, 이수피해는 일반적인 농업용수원수값 10원/m^3을 적용하면 표. 64와 같다. 1989년에는 홍수조절효과가 4억원, 이수피해는 1.7억원으로 치수효과가 큰데 반하여 1992년에는 홍수조절효과만 1.2억원이었으며 1995년에는 홍수조절효과가 0.2억원, 이수피해는 1억원으로 이수피해가 더 컸다고 개략적인 평가를 할 수 있다.

한편, 1998년 8월 대청댐 홍수조절효과 분석자료를 적용하면, 15억m^3의 홍수량이 유입되어, 약 5.5억m^3 홍수를 조절하여 공주지점의 하천홍수위를 3.64m 낮출 수 있어 금강하류 침수피해를 방지할 수 있었으며 그 효과를 7,800억원으로 추산하고 있다. (홍수조절효과 = 1,400원/m^3)

홍수조절효과 = m^3/s당 홍수피해액 × 피크홍수조절량 m^3/s ····· (12)

이수피해 = m^3 당 가뭄피해액 × 관개용수 부족량 m^3 ····· (13)

표. 64 홍수조절용량에 따른 조절효과와 이수피해의 예

연 도	홍수조절효과		이수피해		비 고
	m^3/s	백만원	10^4 m^3	백만원	
1989	700				
"	550	400	1,700	170	물부족기간 8.1 8.30
"	555				
1992	552	118	-	-	
1995	100	21	1,000	100	물부족기간 7.10 8.20

2. 관개저수지의 홍수조절용량

6월21일부터 9월10일까지 예당지는 약 1천만m^3, 탑정지는 580만m^3의 홍수조절용량을 두고있다. 별도로 홍수조절용량을 두고 있지 않더라도 표. 65 와 같이 홍수기 직전인 6월30일 현재 전국 저수지 평균저수율이 59%이므로 자연홍수조절효과는 약 10억m^3 (= 25억m^3×0.41) 로 평가된다.

표. 65 홍수기전인 6월30일 현재의 저수률 (%) (농림부, 1990)

연도	전국	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주
평균	59	48	43	52	52	64	66	67	68	56
1968	27	22	19	26	23	24	31	39	29	18
69	57	45	48	45	47	62	59	69	72	40
70	61	26	22	45	47	65	74	92	83	25
71	78	56	46	73	67	81	83	88	94	21
72	49	31	38	39	34	59	67	55	49	54
73	44	41	49	62	41	48	33	51	31	45
74	72	58	60	50	69	80	74	79	78	31
75	59	15	38	40	48	83	64	71	66	31
76	47	13	23	19	32	71	56	58	56	56
77	45	29	28	22	41	49	65	65	66	82
78	61	33	49	55	27	68	88	86	98	48
79	87	87	88	93	87	80	90	89	69	72
80	79	77	33	96	87	90	78	67	66	92
81	45	58	41	36	38	39	52	35	56	51
82	39	57	29	33	44	34	39	26	27	41
83	54	60	27	57	62	56	43	64	56	54
84	61	54	47	69	57	56	62	78	85	78
85	72	64	49	53	46	76	93	69	100	100
86	82	63	49	63	66	95	95	88	100	81
87	69	78	68	70	69	65	72	76	74	100

3. 급수제한강도의 변화에 의한 적정 홍수조절용량

농촌지역의 도시화, 농지의 범용화로 인하여 농촌지역이라도 홍수재해에 대하여 보다 높은 안전성을 요구하게 되지만, 하천개수공사의 지연, 양호한 댐 건설 적지가 적기 때문에 용량이 큰 관개저수지는 홍수기에 하류측 침수피해를 방지하기 위하여 계획된 저수용량 범위내에서 홍수조절용량을 설정하여 관리하는 것이 바람직하다.

그러나, 관개저수지는 용수공급이 원래의 목적이므로 홍수조절기능은 전적으로 부수적 인 효과이다. 따라서, 홍수조절용량은 기실시중인 농업용수계획에 지장을 주지않는 범위 내에서 설정하는 것이 전제되어야 한다.

홍수조절용량을 결정하는 현행 방법은 강우패턴의 우연성(Random)을 고려할 때 문제점이 지적되고 있어, 계획갈수기준년에 대하여 홍수제한수위를 결정할 것이 아니라 장기간의 물수지분석으로 관개저수지의 관측저수위(貯水位)와 물수지분석에 의한 모의발생 저수의로부터 적정 홍수조절용량을 설정하는 것이 바람직하다. 홍수조절용량, 홍수조절시기 조정에 따른 저수지의 저수위변화를 모의발생시켜 급수제한강도의 변화를 파악하여 기실시중인 농업용수계획에 지장을 주지않는 범위내에서 최적 홍수조절용량을 결정하고자 한다.

즉, 이수관리곡선 (기준저수량곡선과 제한급수량곡선)과 관측저수위와 모의발생한 저수위로부터 급수제한강도(급수제한률(%)×급수제한일수(day))로 분석하여 홍수조절용량을 설정하기 전후와 용량조정에 따른 급수제한강도의 차이를 비교하여 적정 홍수조절용량을 결정하였다.

예당지의 홍수조절용량비 21.7%, 보충강우량 26.8mm (소위, 보충강수량)은 일본의 저수지와 비교하면, 관개 주목적인 저수지보다는 크고, 홍수조절 다목적 저수지보다는 적게 취하고 있다. 예당지의 경우 홍수기에 농업이수용량과 기준저수라인까지의 여유 저수량은 7월 하순, 8월초순에 약 2,200만m^3 이다.

일본의 경우, 농업전용의 경우와 치수용량을 설정한 경우에 대하여 급수제한강도 (%・day)를 계산하였으며, 두 값이 동일한 경우의 치수용량을 적정치수용량으로 설정하였다. 관개를 주목적으로 홍수조절하는 관개저수지의 홍수조절용량은 유효저수량의 약 2.2 5.0%정도이고, 홍수조절용량을 채울 수 있는 유효강수량 (소위, 보충강수량)이 3.8 13.6mm이다. 그러나, 홍수조절목적도 있는 다목적 저수지의 경우는 홍수조절용량비가 2.8 % 63.2%, 평균 30.7%, 보충강우량은 4.7 108.6mm, 평균 49.7mm 등 상당히 큰 값을 택하고 있다.

迫川상류지역사업으로 신설된 荒抵擇댐, 小田댐의 치수와의 공동공사화가 검토되고, 이수관리곡선을 사용하고 홍수조절용량설정에 동반한 물관리에의 영향평가가 행해졌다. 7월 1일부터 9월30일까지 荒抵擇댐은 유효저수량 1,239만m^3 가운데 350만m^3(28%)의 홍수조절용량을, 小田댐은 유효저수량 740만m^3 가운데 350만m^3 (47%)의 홍수조

절용량을 설정하고 있다. 댐저수관리조작의 영향은 댐으로부터의 급수제한일수, 제한률에 단적으로 표현되는데 영향의 정도는 급수제한강도(%・day)의 증감에 의해 객관적, 계수적으로 파악가능하게 된다. 荒抵擇, 小田댐에 관해서 10개년간의 댐운영실적을 기초로 이수관리곡선을 설정하였다. 홍수기에 농업이수용량과 기준저수라인까지의 여유저수량은 荒抵擇댐에서는 7월 하순경 379만m^3, 소전댐에서는 7월하순경 170만m^3이다. 이와같이 10개년간의 홍수조절용량설정의 영향은 치수용량의 확보에 의해 7월 이하 저수위가 전반적으로 저하하지만 어떤 해에 있어서도 홍수조절용량 설정에 의해 급수제한강도가 증가하는 일은 없었다. 이 사실로부터 迫川상류지역에 있어서는 홍수조절용량 설정이 물관리에 커다란 영향을 주는 일은 없다고 판단되었다.

野洲川댐은 유효저수용량의 720만m^3의 15%(108만m^3)를 6월 10일부터 9월 30일까지 홍수조절용량으로 설정하고 있다. 홍수조절용량설정 前後에서의 운용률에 기초한 10년간 실적치로 분석한 결과 홍수조절용량설정前의 급수제한강도 3,380%・day에서 홍수조절용량설정後 6,440%・day으로 증가하여 3,060%・day가 증가되고 있다. 이러한 구체적인 관리강도에의 영향수치를 기초해서 농업수리와 치수지점의 조정을 행하고 있는 것이 금후 가능해 질 것이다.

4. 관개기 홍수조절효과

표. 67과 같이 홍수기는 바로 관개기이기 때문에 많은 경우 관개용수공급으로 저수위가 낮아지고 저수량이 비어져 있는 상태에서 홍수가 발생하기 때문에 인위적으로 홍수조절용량을 설정하지 않드라도 자연적으로 홍수조절효과가 있다.

최대 홍수조절량은 1995년의 4회의 홍수시 57일간에 걸쳐 예당지 유효저수량의 1.75배에 해당되는 $8,218\times10^4$ m^3 이고 최소 홍수조절량은 1966년의 1회의 홍수시 9일간에 걸쳐 $1,460\times10^4$ m^3이다. 연평균홍수조절실적은 유효저수량의 0.8배에 해당되는 $3,800\times10^4$ m^3을 27일간에 걸쳐 홍수조절을 하고 있다.

표. 66 다목적 및 관개저수지의 홍수조절용량 및 예비방류용량 (일본의 경우)

저수지 이름	유역 면적	유효 저수량	홍수조 절용량	홍수조 절비	예비방 류용량	예비방 류비	보충 강수량	저수지 목적
단 위	km^2	만m^3	만m^3	%	만m^3	%	mm	
예당지	373.0	4,607	1,000	21.7	-	-	26.8	A, F
羽布	51.3	1,846	70	3.8	-	-	13.6	A,F
永源寺	131.6	2,272	50	2.2	-	-	3.8	A,F
笹ケ峰	56.1	920	46	5.0	-	-	8.2	A,F
평 균	80.0	1,679	55	3.7	-	-	8.5	
長野A	311.1	2,055	1,057	51.4	313	29.6	34.0	F,A,P
岐阜B	471.0	3,300	1,900	57.6	300	15.8	40.3	F,A,P
愛媛C	170.7	2,880	80	2.8	680	850	4.7	F,A,P
青森D	200.8	206	95	46.1	40	42.1	4.7	F,A,P
山形E	162.0	3,048	1,157	38.0	604	52.2	71.4	F,A,P
山形F	98.0	304	100	32.9	142	142	10.2	F,A,P
新潟G	305.7	3,188	1,084	32.9	432	39.8	35.5	F,A,P
新潟H	70.0	1,330	760	57.1	110	14.5	108.6	F,A,P
富山I	44.7	370	200	54.0	50	25.0	44.7	F,A,P
三重J	125.6	6,090	1,050	17.2	630	60.0	83.6	F,A,P
山口K	84.1	2,110	480	22.7	520	108.	57.1	F,A,W,P
長崎L	18.9	263	166	63.2	63	38.0	87.8	F,A,W
宮崎M	81.0	2,990	510	17.1	520	102.	63.0	F,A,P
평 균	164.9	2,164	665	30.7	339	51.0	49.7	

A : 농업용수, F : 홍수조절, P : 발전용수, W : 생공용수

표. 67 예당지의 연도별 홍수기 자연홍수조절량

연 도	홍수조절량 $\times 10^4$ m^3	홍수조절기간	총 조절일수
1966	1,460	7.16 7.24	9
1967	2,608	7.20 7.23, 8.16 8.23	12
1968	3,667	7.13 7.25, 8.14 8.24	24
1969	2,308	7.15 7.25, 8.29 9.2	16
1970	4,454	7. 3 7.12, 8.23 9.4	23
1971	2,995	6.27 7. 2, 7.25 7.27	9
1972	3,575	7.1 7.14, 8.4 8.7	18
1973	2,981	6.27 7.7, 8.23 8.28	17
1974	2,907	7.3 7.10, 8.29 9.6	17
1975	2,972	7.6 7.19, 7.28 8.6	24
1976	3,511	8.1 8.11, 8.14 8.26	24
1977	2,883	7.1 7.17, 8.7 8.13	24
1978	5,920	6.24 7.12, 8.8 8.31	43
1979	2,363	6.19 6.26, 8.3 8.6, 8.18 8.21	17
1980	4,091	6.20 6.21, 6.25 6.26, 6.28 6.30, 7.2 7.23, 7.25 8.2, 8.13 8.23, 8.25 9.7	73
1981	6,408	7.1 7.12, 7.26 8.6, 8.25 8.31	30
1982	4,211	7.16 8.3, 8.14 9.2	39
1983	4,524	6.20 6.24, 6.28 6.30, 7.2 7.12, 7.14 7.23, 7.25 7.27, 7.29 8.2, 8.9-8.14, 8.21-8.30, 9.2-9.8	60
1984	4,225	7.3 7.7, 8.24 9.3	15
1985	3,736	7.3 8.9 8.19	19
1986	2,603	6.23 7.3, 7.11 7.12, 7.15 7.20	19
1987	2,962	7.5 7.18, 8.19 8.20, 8.22 8.24, 8.26 8.30	24
1988	3,856	7.9 7.28	20
1989	4,335	7.8 7.19, 7.25 7.31, 8.20 8.26, 8.29 9.4	33
1990	2,852	7.2 7.17, 7.19 7.27, 8.31 9.6	32
1991	3,690	7.7 7.22, 7.26 7.28, 7.30 8.7, 9.4 9.7	32
1992	4,271	8.12 8.23, 8.25 8.28, 9.2 9.7	22
1993	3,008	7.1 7.5, 7.7 7.8, 7.9 7.14, 7.16 7.22, 7.24 8.7	36
1994	6,837	6.20 7.7, 8.1 8.7, 8.10-8.18, 8.20-8.22, 8.28-8.29	39
1995	8,218	6.25 7.24, 8.8 8.20, 8.23 8.25, 8.27 9.6	57

가. 홍수조절에 따른 이수피해

저수위변화로부터 급수실적 및 한해를 조사하였다.

1966년 95년까지의 30년간 예당지 저수량관리실적을 분석하여 홍수기인 6월21일부터 9월20일까지 홍수조절용량 $1,000\times10^4$ m^3을 비워둔 결과의 홍수조절효과와 이수피해를 정성적으로 분석한 결과는 표. 68 70과 같다.

홍수조절효과는 있고 이수피해는 없는 경우는 1966년, 68년, 72년, 78년, 80년, 81년, 83년, 85년, 86년, 87년, 90년, 95년 등 12회 발생하였으며, 홍수조절효과도 있고 이수피해도 있는 경우는 1967년, 69년, 70년, 71년, 73년, 74년, 77년, 84년, 88년, 89년, 91년, 93년, 94년, 95년 등 14회 발생하였으며, 홍수조절효과도 없고 이수피해도 없는 경우는 1975년, 76년, 79년, 82년 등 4회 발생하였다. 이와같이 30개년 가운데 약 50%에 해당되는 14개년은 홍수조절효과도 있고 이수피해도 있었다.

예를들면 1967년의 경우, 6월25일 호우가 있어 홍수조절용량을 고려하여 $1,200\times10^4$ m^3를 예비방류하여 저수량을 비워둔 결과, 물이 많이 필요한 8월 중순에 저수량이 500×10^4 m^3까지 감소하여 원활한 급수에 지장을 초래할 수 있다.

나. 예당저수지의 적정 홍수조절용량

제2장 연구방법에 의한 관개저수지의 이수관리곡선으로부터 관측저수위에 의한 급수제한강도와 제4장 저수지 물수지에 의한 저수위 모의발생에 의한 저수위에 의한 급수제한강도를 예당지에 적용하여 적정 홍수조절용량을 검토하였다.

즉, 이수관리곡선 (기준저수량곡선과 제한급수량곡선)과 관측저수위와 모의발생한 저수위로부터 급수제한강도(%·day)로 분석하여 홍수조절용량을 설정하기 전·후와 용량조정에 따른 급수제한강도의 차이를 비교하여 적정 홍수조절용량을 검토하였다.

1) 홍수조절용량을 $1,000\times10^4$ m^3 두고 운영한 관측저수위에 의한 급수제한강도

표. 68 일별 저수위로 분석한 홍수조절효과와 이수피해 조사(1966년 1975년)

연도	시기별	저수상황	홍수조절효과	이수피해	비 고
1966	6월 하순 7월 초순	저수지고갈 저수량1,000×$10^4$$m^3$			
	7월 25일 호우		예 비 방 류 로 1,500×$10^4$$m^3$조절	없슴	○
67	6월 25일 호우		예 비 방 류 로 2,600×$10^4$$m^3$조절	있슴(8월 중순 저수량 500×$10^4$$m^3$)	●
68	6.20 7.20	저수지 바닥까지 고갈됨(저수량0m^3)		없슴	가뭄극심
	8월 20일 호우		예 비 방 류 로 3,600×$10^4$$m^3$조절		
69	7 월 초 중순	저수지 거의 바닥까지 고갈됨 (저수량 0 m^3)			○
	7월 15일 호우		예비방류로 2,300×$10^4$$m^3$조절	있슴(8월 하순 저수량1200×$10^4$$m^3$)	●
70	6월 하순 7월 초순	저수지고갈 (저수량 1,200 ×10^4 m^3)			
	7월 15일 호우		예 비 방 류 로 4,000×$10^4$$m^3$조절	있음 (8월 하순 저수량800×$10^4$$m^3$)	●
1971	7월 초 호우		예비방류로 3000×$10^4$$m^3$조절	있음 (9월중순 저수량900×$10^4$$m^3$)	●
1972	7.10 호우		예비방류로 3600×$10^4$$m^3$조절	없슴	○
1973	6월하순	저수지고갈 (저수량 800 ×10^4 m^3)			
	8. 5 호우		예비방류로 3000×$10^4$$m^3$조절	있음 (8월하순 저수량1000×$10^4$$m^3$)	●
1974	7. 5 호우		예비방류로 3,000×$10^4$$m^3$조절	있음 (8월하순 저수량1500×$10^4$$m^3$)	●
1975	-	적기에 강우	없슴	없슴	◎

표. 69 일별 저수위로 분석한 홍수조절효과와 이수피해 조사(1976년 1987년)

연도	시기별	저수상황	홍수조절효과	이수피해	비고
1976	6월초순 8월초순	저수지고갈 (저수량$100\times10^4m^3$)	예비방류로 $3,500\times10^4m^3$ 조절	없슴	◎
1977	8월 10일 호우		예비방류로 $2,800\times10^4m^3$ 조절	있음 (8월하순 저수량 $600m^3$)	●
1978	6월 7월초	저수지고갈 (저수량$200\times10^4m^3$)			
	7월 10일 호우		예비방류로 $6,000\times10^4m^3$조절	없슴	○
1979	-	적기에 강우	예비방류로 $2,300\times10^4m^3$조절	없슴	◎
1980	-	적기에 강우	예비방류로 $4,000\times10^4m^3$조절	없슴	○
1981	6월중하순	저수지고갈 (저수량$500\times10^4m^3$)			
	7월 10일 호우		예비방류로 $6,000\times10^4m^3$조절	없슴	○
1982	7월초 8월하순	저수지바닥까지 고갈 (저수량 0 m^3)	예비방류로 $4,200\times10^4m^3$조절	없슴	◎
1983	-	적기에 강우	예비방류로 $4,500\times10^4m^3$조절	없슴	○
1984	6월하순	저수량고갈 ($1500\times10^4m^3$)	예비방류로 $600\times10^4m^3$조절		
	월 호우		예비방류로 3,600만m^3 조절	있음 (8월중하순 저수량$1400\times10^4m^3$)	●
1985	6월하순 7월초순	저수지고갈 ($1500\times10^4m^3$)			
	7월15일 호우		예비방류로 $3,600\times10^4m^3$조절	없슴	○
1986	7월15일 호우		예비방류로 $2,600\times10^4m^3$조절	없슴	○
1987	7월20일 호우		예비방류로 $3,000\times10^4m^3$조절	없슴	○

표. 70 일별 저수위로 분석한 홍수조절효과와 이수피해 조사(1988년 1995년)

연도	시기별	저수상황	홍수조절효과	이수피해	비고
1988	6월하순 7월초순	저수지바닥까지 고갈 (저수량 0 m^3)			
	7월15일		예비방류로 3,800×$10^4$$m^3$조절	있음 (8월하순 저수량1,200×$10^4$$m^3$)	●
1989	7월20일 호우		예비방류로 4,300×$10^4$$m^3$조절	있음 (8월하순 저수량1,700×$10^4$$m^3$)	●
1990	7월10일 호우		예비방류로 2,800×$10^4$$m^3$조절	없슴	○
1991	7월15일 호우		예비방류로 3,700×$10^4$$m^3$조절	있음(8월말 9월초 저수량1,600×$10^4$$m^3$)	●
1992	6월하순 8월초순	저수지 바닥까지 고 갈 (저수량 0 m^3)	예비방류로 1,400×$10^4$$m^3$조절		
	8월25일 호우		예비방류로 2,800×$10^4$$m^3$조절	없슴	○
1993	7월12일 호우		예비방류로 3,000×$10^4$$m^3$조절	있음 (9월중순 저수량1,400×$10^4$$m^3$)	●
1994	6 월 하 순	저수지고갈 (저수량 1,000 ×10^4 m^3)	예비방류로 3,800×$10^4$$m^3$조절		
	7 월 1 2 일 호우		예비방류로 3,000×$10^4$$m^3$조절	있음 (8월초하순 저수량1,000×$10^4$$m^3$)	●
1995	6월하순 7월초순	저수지고갈 (저수량 1,000×$10^4$$m^3$)	예비방류로 2,500×$10^4$$m^3$조절		
	7월하순 호우		예비방류로 3,600×$10^4$$m^3$조절	있음 (8월중순 저수량1,000×$10^4$$m^3$)	●
	8월하순 호우		예비방류로 2,100×$10^4$$m^3$조절	없슴	○

○조절효과있고 이수피해 없슴, ●조절효과있고 이수피해 있슴 ◎조절효과없고 이수피해 없슴

관개저수지의 이수관리곡선과 1966년 95년의 30년간 관측된 저수위에 홍수조절용량 1,000×10^4 m^3를 설정했을 경우의 급수제한강도는 표. 72 와 같다.

관개기간 110일간(5월 1일 8월20일) 20% 제한급수하는 2,200%·day를 저수량부족으로 주관적인 판단을 할 때, 이에 해당되는 해는 1976, 68, 78, 88, 81년으로 약6년에 한 번 정도는 의미있는 저수량부족을 느끼고 있다. 관개기 전기간의 10년빈도인 1978년의 급수제한강도는 3,020%·day이고 30년빈도에 해당되는 1976년의 급수제한강도는 3,710%·day이고 평균년인 1986년의 급수제한강도는 840%·day 이다.

이앙기 50일간(5월 1일 6월 20일) 20% 제한급수하는 1,000%·day를 저수량부족으로 판단할 때, 이에 해당되는 해는 1978, 81, 88, 76, 89, 70, 94, 95, 68, 66, 72년으로 약3년에 한 번 정도는 의미있는 저수량부족을 느끼고 있다. 이앙기 10년빈도인 1988년의 급수제한강도는 1,840%·day이다. 최근 연속가뭄이 있었던 94, 95년은 7, 8위에 해당되어 전국적인 농업피해는 컸지만 지역적으로는 큰 타격이 아니었음을 뜻한다.

생육기 60일간(6월21일 8월20일) 10% 제한급수하는 600%·day를 저수량부족으로는 판단할 때, 이에 해당되는 해는 1976, 68, 82년으로 10년에 한번 정도는 의미있는 저수량부족을 느끼고 있다. 생육기 10년빈도인 1982년의 급수제한강도는 2,010%·day이다.

예당지의 관측저수위(표. 72)와 모의발생된 저수위(표. 71)에 홍수조절용량 1,000×10^4 m^3를 설정했을 경우의 급수제한강도의 값이 약간 다른 것은 모형의 불안전성과 이론적 물관리와 실질적 물관리의 차이에서 비롯된 것으로 판단된다.

2) 홍수조절용량 조정과 급수제한강도

저수지 물수지에 검토한 내용으로 모의발생된 저수위에 의한 급수제한강도를 기초로 적정 홍수조절용량을 분석하였다. 1966년 95년 30년간 모의발생된 예당지 저수량곡선에 홍수조절용량 1,000×$10^4$$m^3$를 설정했을 경우 급수제한강도는 표. 71 과 같다.

표. 71 홍수조절용량 $1,000\times10^4m^3$를 설정했을 경우 급수제한강도

연도	5월1일 6월20일의 제한급수강도			6월21일 8월31일 제한급수강도					합계	비 고
	5.1 5.31	6.1 6.20	계	6.21 6.30	7.1 7.31	8.1 8.31	9.1 9.20	계		
1966년	620	510	1,130	240	0	0	0	240	1,370	
67	500	200	700	30	0	40	0	70	770	
68	730	430	1,160	470	960	470	0	1,900	3,060	
69	40	0	40	0	0	0	0	0	40	
1970년	800	550	1,350	10	0	0	0	10	1,360	
71	240	10	250	0	0	0	0	0	250	
72	580	450	1,030	440	240	0	0	680	1,710	
73	230	390	620	220	0	0	0	220	840	
74	30	0	30	0	0	0	0	0	30	
75	70	0	70	0	0	0	0	0	70	
76	880	890	1,770	550	1,040	350	0	1,940	3,710	30년빈도
77	230	0	230	0	0	0	0	0	230	
78	1,100	1,390	2,490	540	0	0	0	540	3,030	10년빈도
79	50	0	50	0	0	0	0	0	50	
1980년	160	0	160	0	0	0	0	0	160	
81	800	1,030	1,830	540	40	0	0	580	2,410	
82	800	330	1,130	180	710	0	0	890	2,020	
83	190	0	190	0	0	0	0	0	190	
84	510	210	720	0	0	0	0	0	720	
85	350	160	510	0	0	0	0	0	510	
86	670	160	830	0	0	0	0	0	830	평균년
87	580	20	600	0	0	0	0	0	600	
88	1,040	800	1,840	330	260	0	0	590	2,430	
89	1,240	430	1,670	0	0	0	0	0	1,670	
1990년	90	0	90	0	0	0	0	0	90	
91	730	0	730	0	0	0	0	0	730	
92	750	160	910	0	160	290	0	450	1,360	
93	750	40	790	0	0	0	0	0	790	
94	810	480	1,290	90	0	10	0	100	1,390	
95	720	510	1,230	230	0	40	0	270	1,500	
평 균	543	305	848	129	114	40	0	283	1,131	

표. 72 현행 홍수조절용량($1,000\times10^4m^3$)의 경우 급수제한강도

연도	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	합 계
1966년	26	13	9	0	0	0	0	0	0	0	790
67	7	18	10	5	4	3	0	0	0	0	1,310
68	11	27	14	8	8	7	8	4	2	10	4,270
69	16	5	6	1	5	1	0	1	0	0	870
1970년	23	3	0	0	0	0	0	0	0	0	290
71	13	6	16	5	0	0	0	0	0	0	930
72	10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	120
73	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60
74	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30
75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
76	17	6	8	6	6	5	5	0	1	0	1,810
77	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40
78	40	6	6	10	5	12	7	1	1	0	2,730
79	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	350
1980년	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50
81	45	13	17	3	0	0	0	0	0	0	1,340
82	39	8	4	2	3	1	9	5	3	4	2,660
83	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	130
84	40	16	0	0	0	0	0	0	0	0	720
85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
86	43	22	8	0	0	0	0	0	0	0	1,110
87	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	260
88	53	24	5	3	2	1	4	0	1	3	2,200
89	31	13	1	0	0	0	0	0	0	0	600
1990년	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	230
91	10	5	3	0	0	0	0	0	0	0	290
92	41	25	16	10	6	2	4	1	6	3	3,410
93	23	9	0	0	0	0	0	0	0	0	410
94	32	13	0	0	0	0	0	0	0	0	580
95	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	120
평 균	26	13	9	2	1	1	1	0	0	0	790

홍수조절용량을 두지 않을 경우의 급수제한강도를 분석하여 현행 홍수조절용량 ($1,000\times10^4m^3$)의 경우 급수제한강도와 비교하여 홍수조절용량설정에 따른 이수피해를

검토하였다.

홍수조절기간(6월21일 9월20일)에 홍수조절용량을 두지 않는 경우에서 $200\times10^4m^3$ 단위로 $2,400\times10^4m^3$까지 조정해가며 급수제한강도의 변화를 분석하였다.

이 가운데 급수제한강도에 변화를 보이는 0 m^3, 600×10^4 m^3, 800×10^4 m^3, $1,000\times10^4$ m^3 과 $1,200\times10^4$ m^3, $1,400\times10^4$ m^3 는 표. 73 75과 같다.

이수관리곡선과 홍수조절용량을 조정해가면서 급수제한강도를 계산하는 1988년의 경우를 예시하면 그림. 87과 같다.

가) 홍수조절용량을 두지 않을 경우의 급수제한강도

급수제한강도로 볼 때, 현행 홍수조절용량($1,000\times10^4m^3$)이 이수관리에 어떤 영향을 미치는자 알기 위하여 홍수조절용량을 두지 않을 경우의 급수제한강도를 분석하였다.

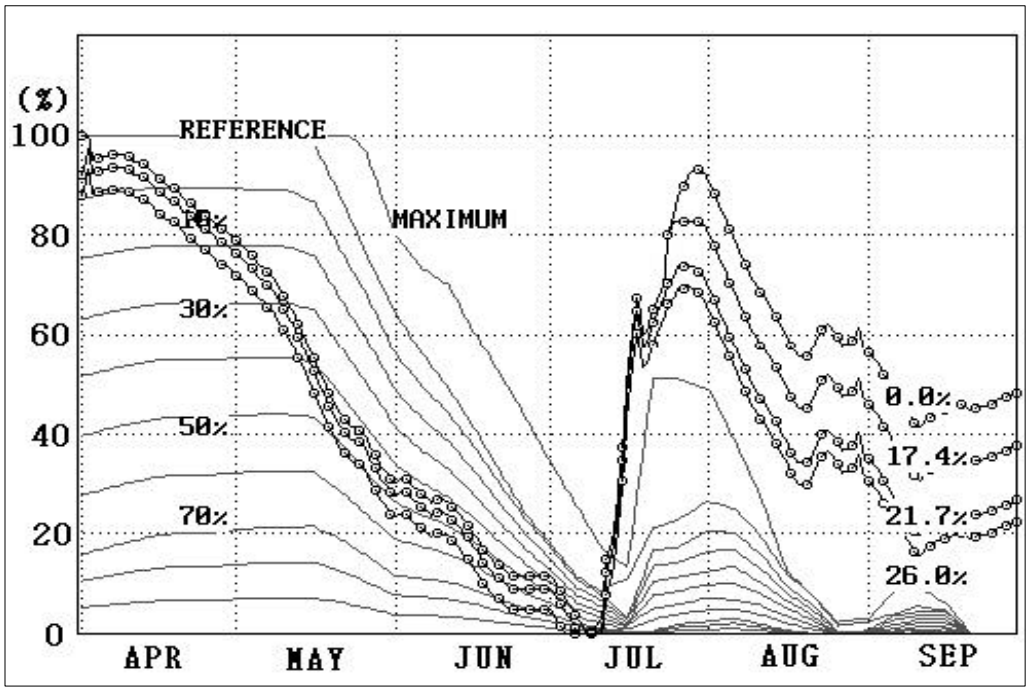


그림. 87 이수관리곡선과 홍수조절용량 조정에 따른 급수제한강도 계산예

나) 홍수조절용량을 600×10^4 m^3 두었을 경우의 급수제한강도

홍수조절용량을 두지 않을 경우의 급수제한강도와 홍수조절용량 $600\times10^4m^3$ 의 경우 급수제한강도를 비교한 결과, 물수지분석기간 30개년중 급수제한강도의 차이는 없었다.

다) 홍수조절용량을 800×10^4 m^3 두었을 경우의 급수제한강도

홍수조절용량을 두지 않을 경우의 급수제한강도와 홍수조절용량 $800\times10^4m^3$의 경우 급수제한강도를 비교한 결과, 물수지분석기간 30개년중 1989년의 급수제한강도가 1,430%·day에서 1,500%·day으로 증가하였다. 이것은 현행 홍수조절용량 $800\times10^4m^3$은 홍수조절용량을 전혀 두지 않을 경우보다는 약간의 이수피해가 있을 수 있으나 큰 영향은 없다는 것을 뜻한다.

라) 홍수조절용량을 $1,000\times10^4$ m^3 두었을 경우의 급수제한강도

홍수조절용량을 두지 않을 경우의 급수제한강도와 현행 홍수조절용량($1,000\times10^4m^3$)의 경우 급수제한강도를 비교한 결과, 물수지분석기간 30개년중 1988, '89년의 급수제한강도가 각각 3,530%·day와 1,430%·day에서 3,880%·day와 2,100%·day으로 증가하였다. 이것은 현행 홍수조절용량 $1,000\times10^4m^3$ 은 홍수조절용량을 전혀 두지 않을 경우보다는 약간의 이수피해가 있을 수 있으나 큰 영향은 없다는 것을 뜻한다.

마) 홍수조절용량을 $1,200\times10^4$ m^3 두었을 경우의 급수제한강도

현행 홍수조절용량($1,200\times10^4m^3$)의 경우 급수제한강도와 $1,200\times10^4$ m^3 두었을 경우의 급수제한강도를 비교한 결과, 물수지분석기간 30개년중 1988, '89년, '82년, '94년의 급수제한강도가 각각 3880, 2100, 3090, 1680%·day에서 4530, 2380, 4250, 1700%·day로 증가하였다. 이것은 현행 홍수조절용량을 $1,200\times10^4m^3$ 로 증가시켜 치수효과를 기대하는 것은 예상되는 이수피해 때문에 어렵다는 것을 뜻한다.

표. 73 홍수조절용량을 두지 않을 경우 급수제한강도

연도	5월 1일 6월20일의 제한급수강도			6월21일 8월31일 제한급수강도					합 계
	5.1 5.31	6.1 6.20	계	6.21 6.30	7.1 7.31	8.1 8.31	9.1 9.20	계	
1966년	620	510	1,130	240	0	0	0	240	1,370
67	500	200	700	30	0	40	0	70	770
68	730	430	1,160	470	960	470	0	1,900	3,060
69	40	0	40	0	0	0	0	0	40
1970	800	550	1,350	10	0	0	0	10	1,360
71	240	10	250	0	0	0	0	0	250
72	580	450	1,030	440	240	0	0	680	1,710
73	230	390	620	220	0	0	0	220	840
74	30	0	30	0	0	0	0	0	30
75	70	0	70	0	0	0	0	0	70
76	930	910	1,840	570	1,150	400	0	2,120	3,960
77	230	0	230	0	0	0	0	0	230
78	1,200	1,550	2,750	690	0	0	0	690	3,440
79	140	0	140	0	0	0	0	0	140
1980년	200	0	200	0	0	0	0	0	200
81	980	1,150	2,130	660	60	0	0	720	2,850
82	950	500	1,450	310	1,330	0	0	1,640	3,090
83	190	0	190	0	0	0	0	0	190
84	550	360	910	0	0	0	0	0	910
85	440	210	650	0	0	0	0	0	650
86	770	330	1,100	0	0	0	0	0	1,100
87	760	30	790	0	0	0	0	0	790
88	1,270	1,030	2,300	540	690	0	0	1,230	3,530
89	1,070	360	1,430	0	0	0	0	0	1,430
1990년	110	0	110	0	0	0	0	0	110
91	730	0	730	0	0	0	0	0	730
92	880	350	1,230	70	320	540	0	930	2,160
93	810	40	850	0	0	0	0	0	850
94	940	570	1,510	150	0	10	0	160	1,670
95	900	760	1,660	440	80	170	0	690	2,350
평 균	596	356	953	161	161	54	0	377	1,329

표. 74 현행 홍수조절용량($1,000 \times 10^4 m^3$)의 경우 급수제한강도

연도	5월 1일 6월 20일의 제한급수강도			6월 21일 8월 31일 제한급수강도					합 계
	5.1 5.31	6.1 6.20	계	6.21 6.30	7.1 7.31	8.1 8.31	9.1 9.20	계	
1966년	620	510	1,130	240	0	0	0	240	1,370
67	500	200	700	30	0	40	0	70	770
68	730	430	1,160	470	960	470	0	1,900	3,060
69	40	0	40	0	0	0	0	0	40
1970	800	550	1,350	10	0	0	0	10	1,360
71	240	10	250	0	0	0	0	0	250
72	580	450	1,030	440	240	0	0	680	1,710
73	230	390	620	220	0	0	0	220	840
74	30	0	30	0	0	0	0	0	30
75	70	0	70	0	0	0	0	0	70
76	930	910	1,840	570	1,150	400	0	2,120	3,960
77	230	0	230	0	0	0	0	0	230
78	1,200	1,550	2,750	690	0	0	0	690	3,440
79	140	0	140	0	0	0	0	0	140
1980년	200	0	200	0	0	0	0	0	200
81	980	1,150	2,130	660	60	0	0	720	2,850
82	950	500	1,450	310	1,330	0	0	1,640	3,090
83	190	0	190	0	0	0	0	0	190
84	550	360	910	0	0	0	0	0	910
85	440	210	650	0	0	0	0	0	650
86	770	330	1,100	0	0	0	0	0	1,100
87	760	30	790	0	0	0	0	0	790
88	1,310	1,060	2,370	620	890	0	0	1,510	3,880
89	1,470	630	2,100	0	0	0	0	0	2,100
1990년	110	0	110	0	0	0	0	0	110
91	730	0	730	0	0	0	0	0	730
92	880	350	1,230	70	320	540	0	930	2,160
93	810	40	850	0	0	0	0	0	850
94	940	570	1,510	150	10	10	0	170	1,680
95	900	760	1,660	440	80	170	0	690	2,350
평 균	611	366	977	164	168	54	0	386	1,364

표. 75 홍수조절용량을 $1,200\times10^4$ m^3 두었을 경우의 급수제한강도

연 도	5월 1일 6월 20일의 제한급수강도			6월 21일 8월31일 제한급수강도					합 계	비 고
	5.1 5.31	6.1 6.20	계	6.21 6.30	7.1 7.31	8.1 8.31	9.1 9.20	계		
1966년	620	510	1,130	240	0	0	0	240	1,370	
67	500	200	700	30	0	40	0	70	770	
68	730	430	1,160	470	960	470	0	1,900	3,060	
69	40	0	40	0	0	0	0	0	40	
1970년	800	550	1,350	10	0	0	0	10	1,360	
71	240	10	250	0	0	0	0	0	250	
72	580	450	1,030	440	240	0	0	680	1,710	
73	230	390	620	220	0	0	0	220	840	
74	30	0	30	0	0	0	0	0	30	
75	70	0	70	0	0	0	0	0	70	
76	930	910	1,840	570	1,150	400	0	2,120	3,960	
77	230	0	230	0	0	0	0	0	230	
78	1,210	1,570	2,780	690	0	0	0	690	3,440	
79	140	0	140	0	0	0	0	0	140	
1980년	200	0	200	0	0	0	0	0	200	
81	980	1,150	2,130	660	60	0	0	720	2,850	
82	1,040	580	1,620	430	2,200	0	0	2,630	4,250	●
83	190	0	190	0	0	0	0	0	190	
84	550	360	910	0	0	0	0	0	910	
85	440	210	650	0	0	0	0	0	650	
86	770	330	1,100	0	0	0	0	0	1,100	
87	760	30	790	0	0	0	0	0	790	
88	1,460	1,250	2,710	770	1,050	0	0	1,820	4,530	●
89	1,630	750	2,380	0	0	0	0	0	2,380	●
1990년	110	0	110	0	0	0	0	0	110	
91	730	0	730	0	0	0	0	0	730	
92	880	350	1,230	70	320	540	0	930	2,160	
93	810	40	850	0	0	0	0	0	850	
94	940	570	1,510	150	10	30	0	160	1,700	●
95	900	760	1,660	440	80	170	0	690	2,350	
평 균	625	380	1,005	173	202	55	0	430	1,435	

● : 홍수조절용량 확대에 따른 제한급수강도의 증대 (이수피해 증가)

바) 홍수조절용량을 1,400×10^4 m^3 두었을 경우의 급수제한강도

현행 홍수조절용량(1,000×10^4m^3)의 경우 급수제한강도와 1,400×10^4 m^3 두었을 경우의 급수제한강도를 비교한 결과, 물수지분석기간 30개년중 1988, '89년, '82년, '94년, '78년, '81년, '77년의 급수제한강도가 각각 3880, 2100, 3090, 1680, 3760, 2,850, 240%·day에서 4530, 2380, 4250, 1700, 3920, 2860, 350%·day로 증가하였다. 이것은 현행 홍수조절용량을 1,400×10^4m^3 로 증가시켜 치수효과를 기대하는 것은 예상되는 이수피해가 급격히 증가하여 어렵다는 것을 뜻한다.

다. 홍수조절기간 조정에 따른 급수제한강도의 변화

홍수기는 6월21일부터 9월20일까지로 이 기간에 홍수조절용량을 확보하는 것이 일반적이다. 일본에서는 댐의 홍수조절기간을 지역조건에 따라 7월1일 9월30일 또는 6월10일 9월30일까지 설정하여 운영하고 있어 홍수조절기간을 조정해가며 급수제한강도 변화를 파악하여 어느 기간이 적합한 홍수조절기간인가를 검토하였다.

홍수조절기간은 장마가 시작되는 시기인 6월21일부터 태풍과 장마의 영향권이 완전히 물러나는 시기인 9월20일까지 두고 있으나 그 시기는 매년 다를 수 있고 지역적인 영향으로 남부지방에서부터 시작되므로 전국적인 장마권에 드는 시기는 다소 늦어지므로 관개용수량이 많이 필요한 시기에 홍수조절을 하기 위해 무효방류하는 경우가 있으므로 홍수조절기간을 조정하여 가장 이수관리에 유리한 쪽으로 하여야 한다.

표. 76 홍수조절용량과 조정기간에 따른 급수제한강도의 변화(1978년 경우)

홍수조절용량 ×10^4 m^3 (%)	홍 수 조 절 기 간				
	6.11 9.20	6.16 9.15	6.21 9.10	6.26 9.25	7.1 9.30
0 (0.0)	1,550	1,140	690	240	0
800 (17.4)	1,550	1,140	690	240	0
1,000 (21.7)	1,550	1,140	690	240	0
1,200 (26.0)	1,570	1,160	690	240	0

표. 77 현행 $1{,}000\times10^4$ m^3 홍수조절용량과 홍수조절기간 조정에 따른 급수제한강도

조절기간	6.11 9.20	6.16 9.15	6.21 9.10	6.26 9.25	7.1 9.30	비 고
1966년	540	400	240	40	0	
67	170	120	70	40	40	
68	2,100	2,000	1,900	1,710	1,430	
69	0	0	0	0	0	
1970년	260	110	10	0	0	
71	0	0	0	0	0	
72	970	830	680	500	240	
73	460	330	220	80	0	
74	0	0	0	0	0	
75	0	0	0	0	0	
76	2,390	2,190	1,940	1,690	1,390	
77	0	0	0	0	0	
78	1,300	940	540	170	0	
79	0	0	0	0	0	
1980년	0	0	0	0	0	
81	1,180	880	580	280	40	
82	1,090	990	890	760	710	
83	0	0	0	0	0	
84	50	30	0	0	0	
85	60	10	0	0	0	
86	60	10	0	0	0	
87	0	0	0	0	0	
88	990	790	590	390	260	
89	0	0	0	0	0	
1990년	0	0	0	0	0	
91	0	0	0	0	0	
92	460	450	450	450	450	
93	0	0	0	0	0	
94	380	250	100	10	10	
95	570	420	270	120	40	
평 균	434	358	283	208	154	

표. 76, 77과 같이 홍수조절기간만으로 비교할 때는 7월1일부터 9월30일까지의 급수제한강도가 가장 유리하게 분석되었다. 이것은 관개기의 초반부에서 홍수조절은 전체 이수관리에 영향이 있음을 나타낸다.

라. 적정 홍수조절용량의 검토

예당지를 대상으로 1966년부터 1995년까지의 급수제한강도로서 비교한 결과 관개기에 현재 운영하는 홍수조절용량 $1,000\times10^4m^3$(21.7%, 제한수위 El.+21.50m)은 홍수조절용량을 전혀 두지 않고 운영할 때와 비교하여 이수관리에는 거의 영향이 없었다. 따라서, 홍수시 홍수조절용량을 일정한 제한수위를 두어 관리하되 첨두홍수량에 적절히 대응하도록 홍수기 제한수위를 조절하는 것이 바람직하다. $1,000\times10^4m^3$은 유역내 유효우량 27mm(유출율 60% 경우 총강우량 45mm상당)를 포용할 수 있는 용량이다.

예당지의 홍수조절용량을 확대하여 치수효과를 증대시킬 수 있는 가능성을 검토한 결과 홍수조절용량 $1,200\times10^4m^3$와 $1,400\times10^4m^3$의 경우에는 관개기와 다음해 영농기 초기의 이수피해가 클 것으로 예상되었다.

제 4 절 개략 홍수예측모형의 개발과 적용

저수지 유역에 호우주의보가 발령되면 현재 저수위 상태에, 인터넷에서 기상청, Weathernet 등에서 제공하는 주간예보(5 6일간)상의 예상강수량(그림. 88 참고)을 입력하여, 이번 호우에 예상되는 홍수관리단계가 어느 단계가 될지, 수문을 열어야 할지, 안열어도 될지를 개략적으로 판단하는 것은 대단히 중요한 정보로 프로그램 내에 개략 홍수예측모형을 삽입하여 사전에 저수지 치수대책을 세우도록 하였다.

개략 홍수예측모형으로 보다 정확한 유효우량을 예측하기 위해서는 유역토양수분량을 정확히 파악하는 것이 대단히 중요하며 DAWAST모형 또는 유역의 토양수분을 측정하여 사용하였다.

1. 개략 홍수예측모형의 계산 절차

개략 홍수예측모형의 계산은 다음 절차에 따라 구성된다.

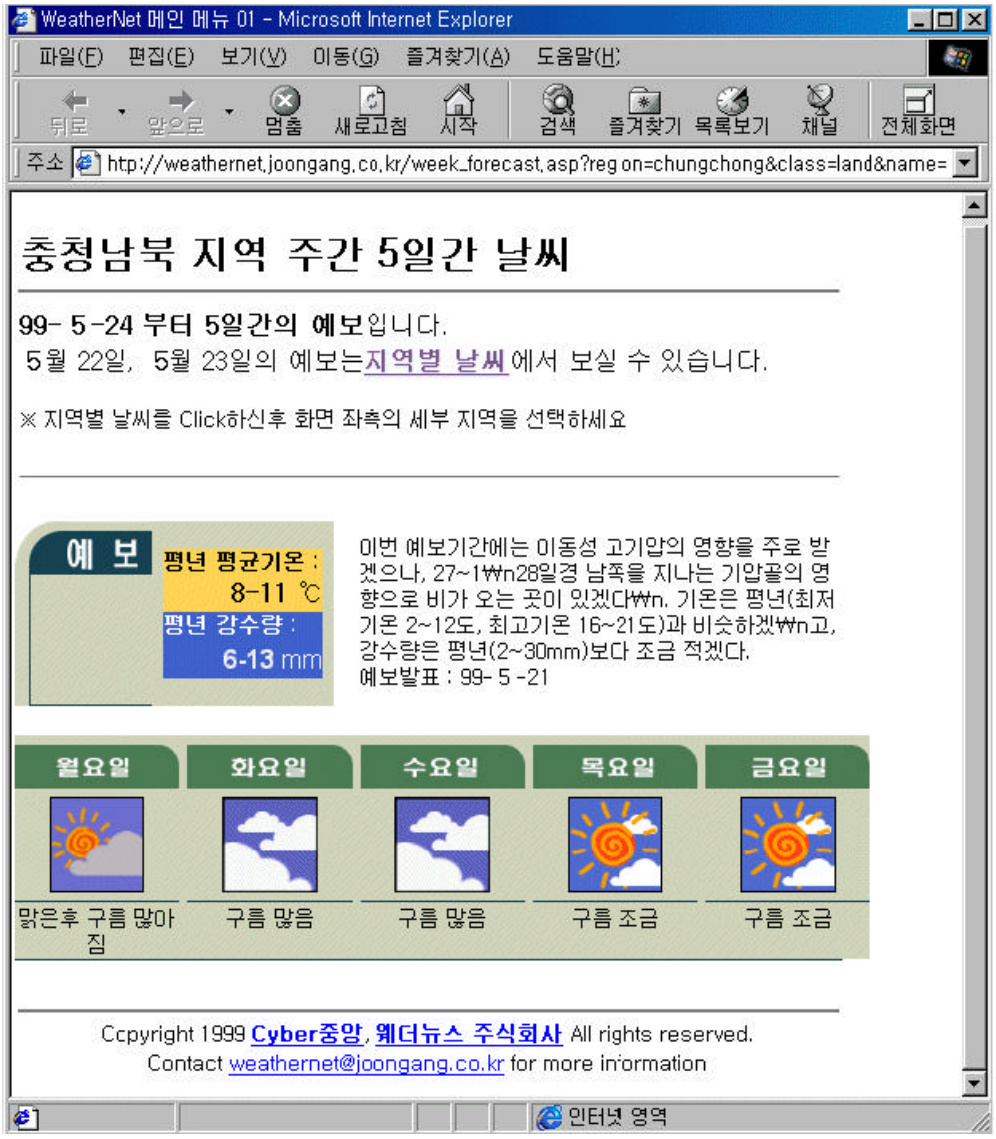


그림. 88 Weathernet에서의 주간예보

① DAWAST 모형 또는 유역의 토양수분을 측정하여 호우가 예상되는 현재의 유역토양수분량(WSU)을 계산한다.

② 유역의 최대저류능에서 유역토양수분량을 빼서 잠재저류능 (S_a)을 계산한다.

③ SCS 공식으로부터 유효우량 (Q)을 계산한다.

$$S_a = Umax - WSU_i, \quad Umax > WSU \qquad \cdots\cdots\cdots (14)$$

$$Q = (P - 0.2\,S_a)^2 \;/\; (P + 0.8\,S_a) \qquad \cdots\cdots\cdots (15)$$

2. 현재의 유역토양수분량을 추정하는 방법

현재의 유역토양수분량(WSU_i)을 추정하는 방법으로는 DAWAST모형으로부터 추정하는 방법과 토양수분측정에 의한 방법을 적용하였다.

DAWAST모형으로 모의발생한 불포화층의 유역토양수분변화과 유역에서 측정한 평균 유역토양수분과의 관계를 모색하기 위하여, 1994년 4월20일부터 10월10일까지 대전시 방동시험유역에서 Neutron probe로 토양수분을 측정하였다.

가. DAWAST모형에 의한 유역토양수분 추정

DAWAST모형의 구조에는 유역의 상부 불포화토양층의 물수지 분석으로부터 토양수분량을 추정하도록 되어 있다.

방동 수문지점에서 측정된 1992 93년 수문자료로 DAWAST모형의 물수지 매개변수를 표. 78 과 같이 구하였으며, 일유출량과 유역토양수분량은 그림.89 과 같다.

$$WSU_i = WSU_{i-1} + I_i - ET_i - PERC_i \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots (16)$$

여기서, WSU : 불포화층의 토양수분량(mm), I : 침투량(mm), ET : 유역증발산량(mm), PERC : 심층침투량(mm), Umax : 불포화층의 최대 토양수분저류능(mm), P : 예상강우량(mm), Q : 예상유입량(mm), S_a : 유효저류능 (mm)

표. 78 방동유역의 DAWAST 모형의 매개 변수

구 분	물수지 매개변수					추적매개변수			
	Umax	Lmax	FC	CP	CE	U_1	U_2	U_3	K_1, K_2
값	280 mm	36 mm	170 mm	0.016	0.007	0.52	0.37	0.11	

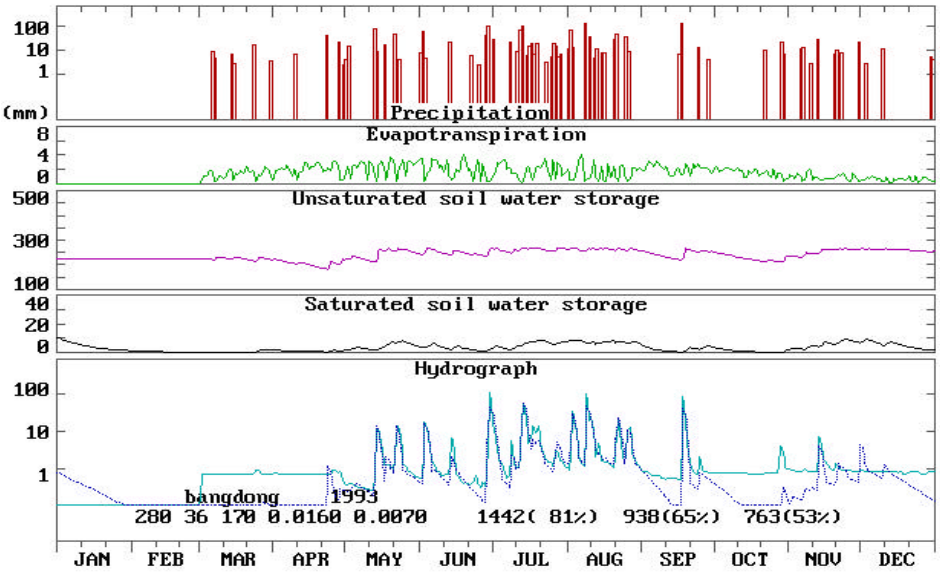


그림. 89 방동 수문지점의 불포화 토양층의 유역토양수분량

나. 유역토양수분량의 측정

토양수분량을 Neutron probe로 현장에서 측정하였으며 Neutron probe 읽음값 (%v)과 측정한 함수비(중량비, %)의 관계는 식(17) 과 같으며 그림. 90 과 같다.

$$SMC(\%) = 1.3 + 0.635 \times NPR(\%v) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (17)$$

다. DAWAST모형으로 추정한 유역토양수분량과 측정한 유역토양수분과의 관계

추정한 불포화층의 토양수분량(WSU) 과 Neutron probe로 측정한 실제 토양함수비(SMC)와의 관계식(18)를 유도하였으며, 측정기간의 비교는 그림. 91 와 같다.

$$SMC\ (\%v) = 1.162 + 0.116 \times WSU(mm) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (18)$$

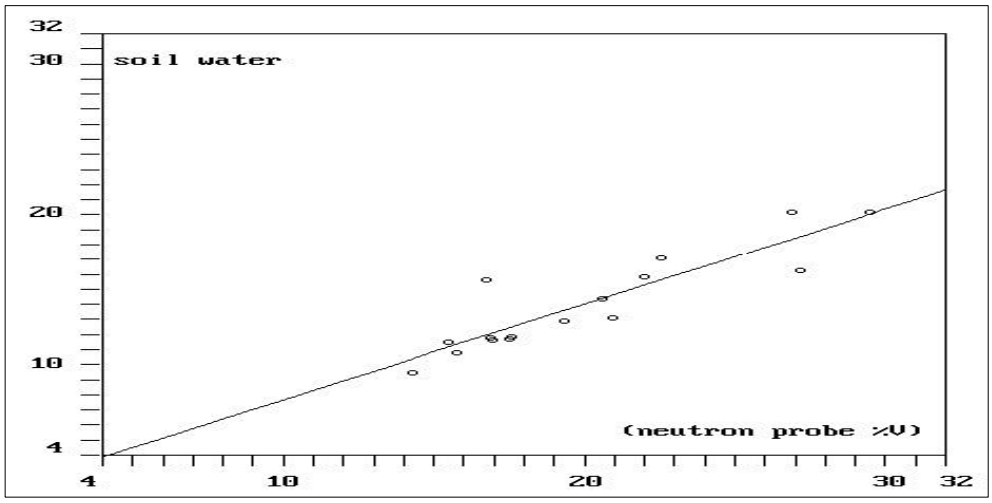


그림. 90 Neutron probe 읽음값(%v)과 측정한 함수비(중량비, %)의 관계

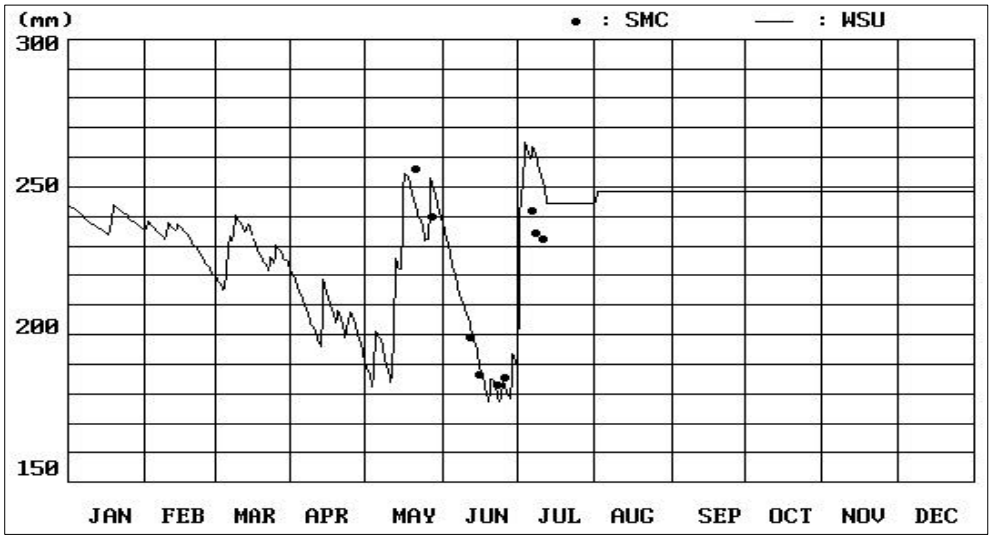


그림. 91 SMC 과 WSU 의 관계

3. 개략 홍수예측모형의 적용 예

예당저수지 저수위가 El.+20.5m인 상태에서, 예산지역 강우예보가 약 100mm 내릴 것으로 예상될 때, 물넘이 방류계획은 어떻게 예측하면 좋을까 ? 유역토양수분상태에 따라 방류계획은 전혀 다르게 된다.

가. 유역이 건조한 경우

1992년 7월12일의 경우 오랫동안 가물어서 유역이 대단히 건조한 상태였다.

DAWAST모형으로부터 일별로 추적해온 S_a 값이 210mm 이므로, 예상유입량은 4,681,000m^3 예측저수위는 El.+21.0m로 홍수제한수위 El.+21.50m 를 하회하므로 이번 강우에 의해서는 수문을 열지 않아도 될 것으로 판단할 수 있으며, 따라서 홍수대기단계에 해당되는 대책을 강구한다.

① 유효우량

$Q = (P - 0.2\,S_a)^2 / (P + 0.8\,S_a) = (100 - 0.2 \times 210)^2 / (100 + 0.8 \times 210) = 2.55mm$

② 예상유입량 : $V = 12.55mm \times 373km^2 = 4,681,000m^3$

③ 예상저수위 : El.+21.0m (31,381,000 = 26,700,000 + 4,681,000)

나. 유역이 습윤한 경우

1993년 8월 8일의 경우 계속된 강수로 유역이 대단히 습윤한 상태였다. DAWAST 모형으로부터 일별로 추적해온 S_a 값은 75mm이므로, 예상유입량은 16,843,000m^3 예측저수위는 El.+22.25m로 홍수제한수위 El.+21.50m을 상회하므로 이번 강우에 수문을 열어야 할 것으로 판단되며, 따라서 홍수발생단계에 해당되는 대책을 강구한다.

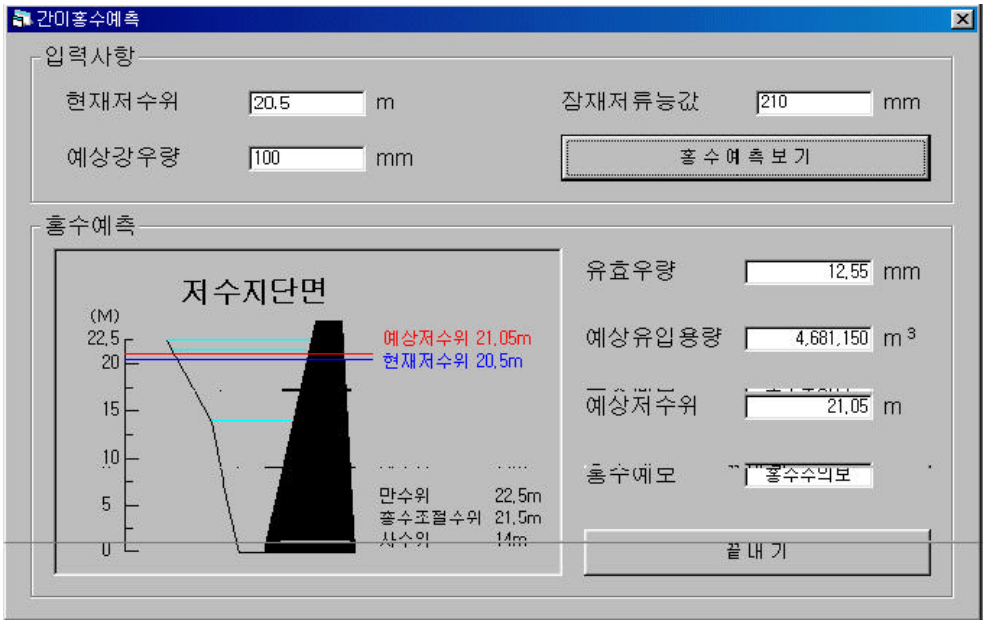


그림. 92 유역이 건조한 경우

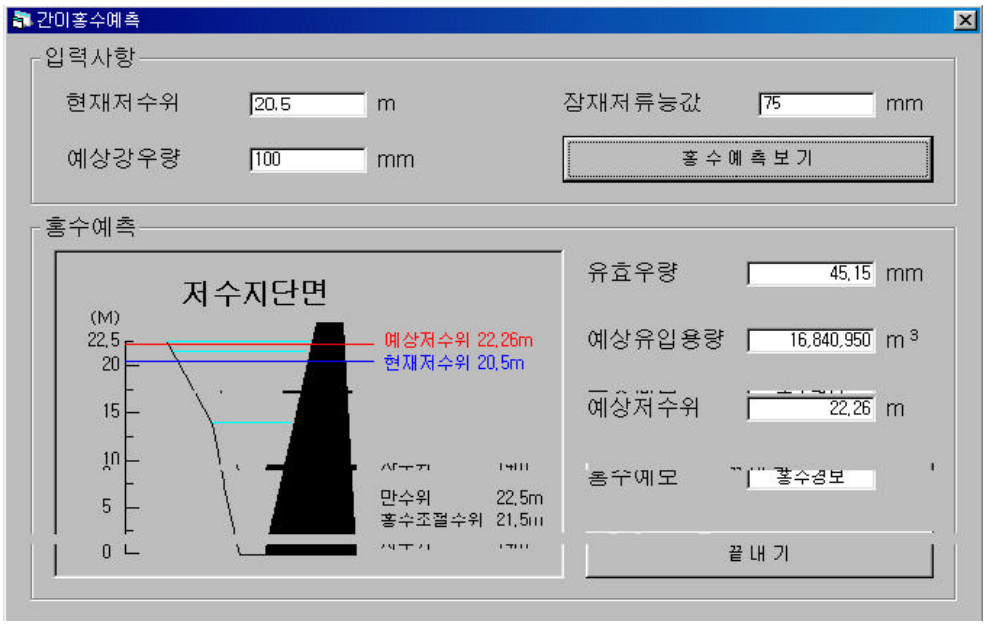


그림. 93 유역이 습윤한 경우

① **유효유량**

$Q = (P - 0.2\ S_a)^2 / (P + 0.8\ S_a) = (100 - 0.2 \times 75)^2 / (100 + 0.8 \times 75) = 45.16mm$

② **예상유입량** : $V = 45.16mm \times 373\ km^2 = 16{,}843{,}000\ m^3$

③ **예상저수위** : El.+ 22.25 m (43,543,000 = 26,700,000 + 16,843,000)

이와같이 저수위와 예상강우량이 같더라도 유역토양수분상태에 따라 방류계획은 전혀 다르므로 개략 홍수예측모형에서는 정확한 유역토양수분량 추정이 중요하다.

제 5 절 실시간 홍수유입량 예측모형 개발과 적용

댐의 치수관리상 가장 중요한 인자의 하나는 급격한 방류에 따른 하류측 침수피해를 방지할 수 있도록 정확하게 저수지 유입량을 예측하는 일이다.

현재 유역에 내린 호우가 홍수도달시간을 고려하여 저수지에 홍수가 어떻게 유입하는 가를 예측하는 단시간 홍수유입량을 예측하는 방법을 적용하였다. 즉, 단시간 강수량을 예측하여 홍수유입량을 예측하는 것은 사실상 불가능하므로 여기에서 홍수유입량 예측이라 함은 현재 유역에 내린 호우가 홍수도달시간을 고려하여 저수지에 어떻게 유입하는가를 예측하는 것을 뜻한다.

댐터에서의 실시간 홍수예측은 홍수도달시간이 3시간이하인 유역에서는 강우-유출모형으로, 9시간이상인 유역에서는 홍수추적에 의한 방법을 추천하고 있어, 댐 site에서의 실시간 홍수수문곡선을 예측하기 위하여 저수지 입구(head)까지는 실시간 홍수예측모형(강우-유출모형)에 의하여 저수지 유입량을 예측하였다.

저수지 유역에 호우주의보가 발령되면 개략 홍수예측모형으로 개략적인 저수지 치수대책을 수립할 수 있지만, 일단, 예측저수위가 홍수제한수위를 상회하여 수문을 열어야 할 것으로 판단되면 실시간 강우에 의한 홍수유입량을 예측하여, 저수위를 고려한 적정방류량과 이에 따른 하류하천의 침수상태(침수면적, 침수심, 침수시간 등)를 예측하여 침수피해를 최소화할 수 있도록 시간별로 홍수유입량을 예측하는 실시간 홍수예측모형을 개발하여 홍수발생단계에 해당되는 대책을 강구하여야 한다.

1. 실시간 홍수유입량 예측모형의 개발

현재까지의 강우량에 의하여 피크홍수량이 저수지까지 도달하는데는 유역크기에 따라 홍수도달시간만큼 지체되므로, 이 시간을 고려하여 현재 이후 저수지로 유입하는 홍수유입량을 예측할 수 있다. 이렇게 예측한 저수위와 현재 관측된 수위와의 유입량 차이로부터 강우-유출모형을 다시 보정하여 다음 강우에 대한 홍수유입량을 보더 정확하게 예측하는 단시간 유입예측 방법을 개발하고자 한다.

가. 홍수유입량 예측방법

저수지로 유입하는 하천유출량으로부터 추정하는 방법과 저수지 수위변동과 방류량으로 추정하는 방법이 있다. 일반적으로 유입량 급증으로 시간 별 저수지 유입량을 추정하여 댐 조작을 할 때에는 홍수가 저수지에 유입하기 이전의 순간 유입량을 쉽게 미리 알 수 있는 전자의 방법을 택하지만, 유입 하천수위 관측지점의 수위-유량곡선이 양호하여야 한다. 유입 하천수위 관측지점의 수위-유량곡선이 불량한 경우에는 저수지 수위변동과 방류량으로부터 시각 t_1-t_2 사이의 평균유입량을 구하는 방법을 택하지만 순간 유입량을 표현할 수 없는 결점이 있다. 일별 자료를 취할 경우에는 댐 조작후 일별 저수위에 의한 물 수지를 통하여 저수지 유입량을 산정한다.

나. 모형의 기본개념

평상시에는 개념화 강우-유출모형인 DAWAST모형으로 일별 유역토양수분변화를 개념적으로 정확히 추적하고, 호우시에는 추적한 토양수분상태하에서의 시간별 유효우량, 침투량과 홍수량을 추정하는 홍수유출모형을 개발하고, 실시간 입수되는 강우강도, 하천수위와 저수위자료를 입력하여 대상 하천 또는 저수지에서의 예측시간 후에 발생할 홍수유입량를 예측하는 실시간 홍수유입량예측 모형을 개발한다.

홍수주의보에는 저수위와 유입량에 따라 홍수조절용량을 비워두고, 홍수경보에는

저수위와 유역토양수분과 예상강수량에 따라 홍수유입량을 예측하여 방류량을 조절하므로서 하류 침수피해를 최소화할 수 있는 수문조작 관리지침을 제시하고자 한다.

이 연구에서는 홍수유출모형을 적용하고 하도에서 홍수를 추적하여 필요한 지점에서의 홍수량을 예측하는 우량법을 적용한다. 즉, DAWAST모형으로 유역토양수분변화를 개념적으로 추적하여 일별로 파악하고 있다가 호우가 예상되면 일 유출모형을 홍수모형으로 전환하여 추적한 유역토양수분상태 S_a 하에서의 시간별 유효우량과 홍수도달시간을 보정하고 SCS무차원단위도를 적용하여 강우-유출모형을 해석한다.

이 강우-유출모형에 실시간 입수되는 강우량, 하천수위, 저수위자료 등를 입력하고 유역토양수분상태 S_a 를 feed-back 또는 updating (Kalman-filtering) 하고, 홍수도달시간을 보정하여 대상하천 또는 저수지에서의 홍수유입량를 예측할 수 있는 실시간 홍수유입량 예측(REal Time FLOood forecasting : RETFLO)모형을 개발하였다.

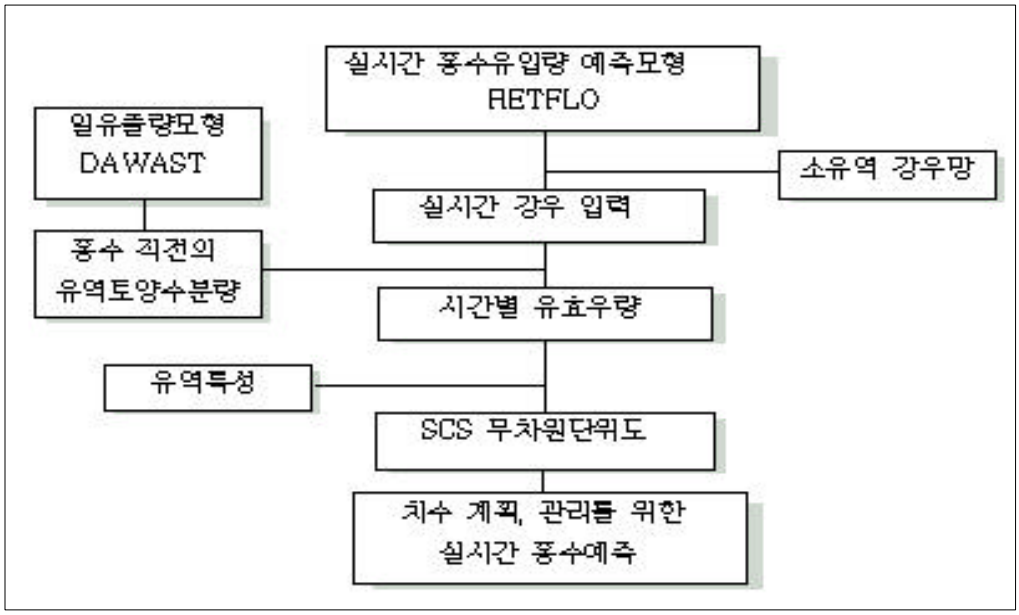


그림. 94 실시간 홍수예측모형의 기본개념 (RETFLO model)

유역토양수분상태 S_a 를 feed-back 또는 updating 하여 다음 시간 강우에 의한 유효우량을 정확하게 예측하는 것은 유역 평균강우량 예측정도의 불량을 보완하기 위

하여 Kalman Filter 이론에 따라 최상층 표층수심을 보정하여 새로 조립한 시스템으로 보다 정확하게 예상유입량을 예측하는 방법과 같다.

다. 모형의 개발

홍수예측의 형태는 사용목적에 따라 다르다. 침수피해 지역에서는 하천수위예측이 유용할 것이고, 수리구조물 관리에는 홍수수문곡선으로 나타내는 하천유량예측이 유용할 것이다. 홍수예측에는 언제 하천 홍수위에 도달하는가, 피크 도달시간과 피크홍수량, 언제 하천 홍수위 이하로 내려가는가, 또는 전체 홍수용량 등이 포함된다. 몇 시간 후의 홍수를 예측하는가를 나타내는 예측시간은 도달시간보다 같거나 작게 된다. 가령, 홍수도달시간이 1시간인 유역에서는 현 시각에서 1 3시간후의 홍수를 예측하는 것이 좋다.

실시간 홍수예측시스템 개발하려면 다음 사항이 우선 파악되어야 한다.

① 유역하천내 여러 지점에서 시간별 유출량의 신속한 예측,

② 각 하천에서의 유출추적 (Channel routing),

③ 유역상태변수의 updating과 강우, 지표면, 유역경사, 토양특성변화에 따른 각 소유역의 강우-유출 반응해석,

④ 강우량예측과 실시간 관측유출량 이용으로 사전에 홍수발생 현황 예측 등

실시간 홍수예측은 강수와 유량측정망을 통하여 자료가 전송되지만 비용 때문에 충분한 강수, 유량측정망이 불비하므로 예측당시의 사용가능한 자료범위내에서 예측하게 된다.

1) 모형의 흐름도

저수지 관리규정을 근거로 홍수단계별 조치사항을 고려하여 실시간 홍수유입량 예축모형의 흐름도를 그림. 93, 94 와 같이 정리하여 프로그램을 구성한다.

2) 홍수분석 자료

실시간 홍수유입량 예측모형을 개발하기 위하여 예당지 유역에서 발생한 1989년 9월14 15일, 1992년 8월 26일 28일, 95년 8월 23일 26일의 3가지 호우사상에 대하여 유역토양수분량과 유효우량, 홍수도달시간, 강수량, 저수위, 방류량 등을 분석하였다. 그 가운데 95년 8월 19일 26일의 홍수분석결과만 기술하면 다음과 같다.

가) 유역토양수분량

RETFLO모형은 DAWAST모형으로 일별로 유출량을 추정한 후 일단 호우가 시작되면 홍수직전의 유역토양수분량을 일별로 추적한 상태에서 시간별 유효우량을 추정하고 소유역 각각의 홍수도달시간에 따라 단위도를 합성하여 홍수량을 예측하고 이를 1시간후에 관측한 홍수량과 비교한다. 유역토양수분량의 초기치는 DAWAST모형으로 추정한 값을 이용하지만, 실시간 홍수유입량 예측모형에서는 초기치로 사용된 후, 바로 모형내에서 관측치로 보정되기 때문에 유역토양수분량의 정확도 여부는 의미가 없다.

예당지의 최대토양수분저류능은 표. 79에서 320mm이고 1995년 8월19일 홍수직전의 유역토양수분량은 140mm로 선행강우가 큰 1995년 8월23일의 유역토양수분량 180mm보다 상당히 건조한 상태를 보이고 있다.

표. 79 DAWAST모형으로 추적한 홍수직전의 유역토양수분량과 유효저류능

연 도	홍수발생일시	유역최대 토양수분저류능	홍수직전의 유역토양수분량	유효 저류능	비 고
		(Umax : mm)	(WSU : mm)	(S_a : mm)	
1995	8월23일 26일	320	180	140	

나) 홍수도달시간 추정

하천장과 유역규모에 따라 SCS 표면류, 중간류과 하천류 공식으로부터 도달시간(t_c) 을 구한다. 예당지 강우관측망을 고려한 소유역 지점별 도달시간은 표. 80 과 같다.

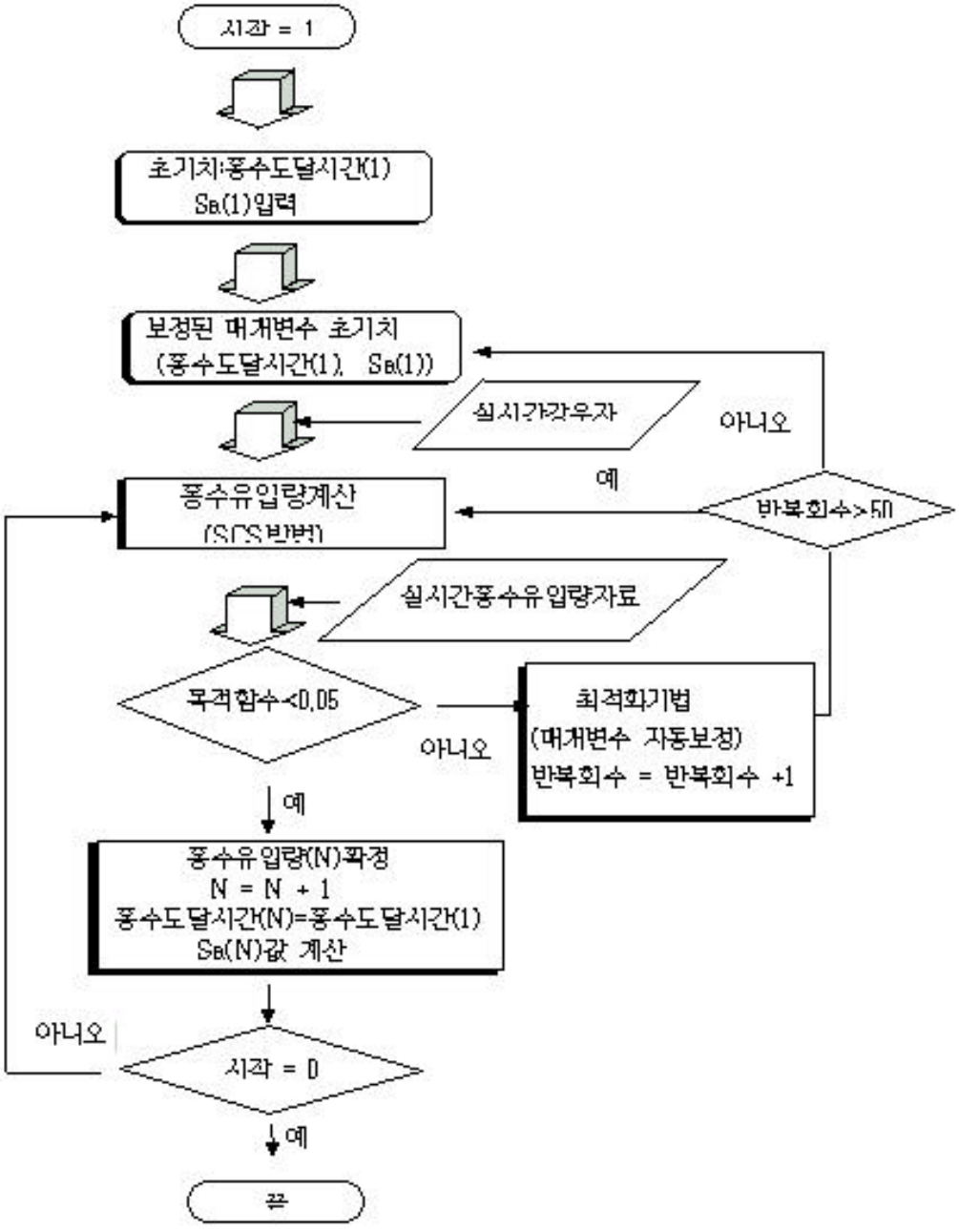


그림. 95 실시간 홍수유입량 예측모형의 흐름도

표. 80 예당지 소유역의 제원과 SCS TR-55에 의한 지점별 도달시간(minutes)

구 분	단위	화성	비봉	광시	대광	운곡	신운	대술	신대	대신
유역면적	km^2	46.9	55.4	54.8	25.4	41.8	23.4	61.4	23.6	30.3
주하천장	km	10.1	6.6	8.2	5.0	9.3	4.4	11.4	4.1	6.3
지하천장	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
최고표고	m	564.	459.	459.	484.	489.	384.	534	375.	276.
최저표고	m	38.4	30.0	20.0	20.0	38.2	26.3	34.0	26.3	20.0
유역경사	%	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

표. 81 하천별, 구간별 유하시간 (minutes)

소유역구간	하천장 (km)	조도계수 (n)	하천경사 (I)	수리반경 (R)	계획통수량 (m^3/s)	유속 (m/s)	유하시간(t_t)
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 대흥	6.3	.030	.0010	1.450	646	1.35	78
소계	20.0						226
봉수산 대술	11.4					1.39	137
대술 신양	4.1	.035	.0019	1.500	304	1.62	42
신양 대흥	6.3	.030	.0010	1.450	646	1.35	78
소계	21.8						257
예당지	5.4					1.35	66
총계	30.3						362

한편, 주하천장의 분할된 각 소유역의 유하시간 (t_t : travel time) 을 계산한다. 주하천은 비교적 완경사이므로 Manning 유속공식으로 부터 구하였으며, 하천별, 구간별 유하시간은 표. 81과 같다.

예당 농지개량조합의 댐 관리자들에게 청문한 구간 별 홍수도달시간은 백월산 댐 구간은 6시간, 국사봉 댐구간은 5시간, 봉수산 댐구간은 5.5시간이었다.

다) 시간별 강우량 및 저수위 자료

95년 8월23일 26일에 발생한 대홍수에 대하여 시간별, 지점별 강우량과 저수지의 시간별 저수량과 방류량 자료를 분석하였다.

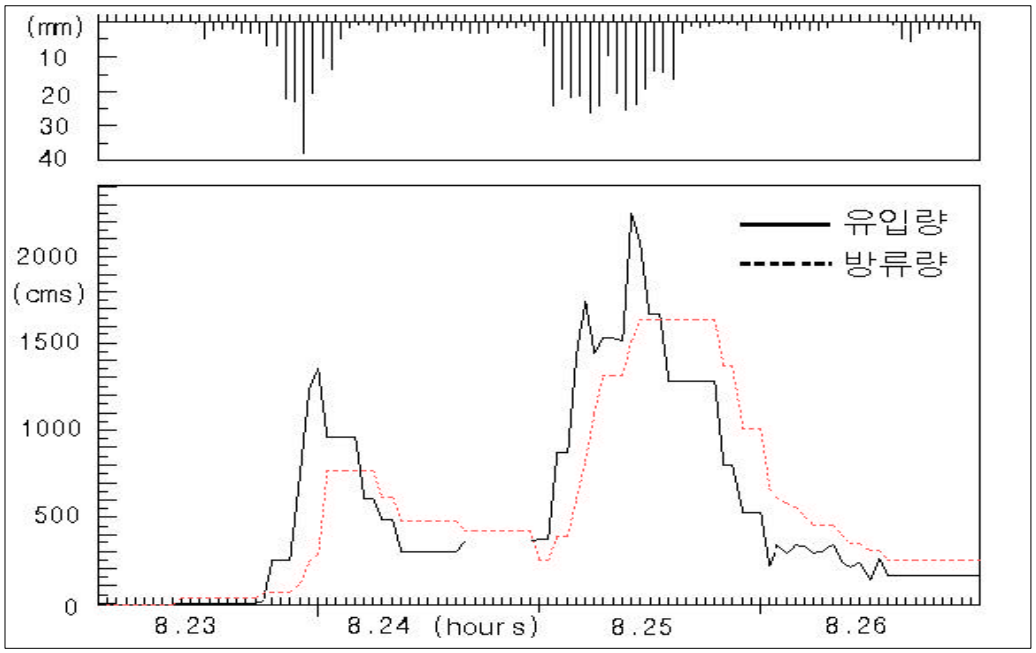


그림. 96 1995년 8월23 26일의 예당지의 시간별 강우, 유입량, 방류량 곡선

이 때는 그림. 96 와 같이 2차에 걸쳐 호우가 발생하였으며, 1차 호우에는 20 40mm/hr가 6시간 정도 120mm의 강우가 집중하여 1,400m^3/s의 피크홍수량이 발생하

였고, 22시간후 2차 호우에는 20 30mm/hr가 14시간 정도 280mm의 강우가 지속되어 피크홍수량이 2,258m^3/s 로 추산되어 예당지 수문을 전부 열어 1,640m^3/s를 방류하였지만 결국 무한천 제방이 붕괴되어 막대한 인명과 재산피해를 당했다. 이 기간 유역평균강수량은 551mm 였다.

3) 모형의 홍수수문곡선 작성절차

큰 하천유역의 홍수유출계산은 일반적으로 전유역을 중규모 유역군(1,000km^2 이하)으로 분할하여 홍수량을 계산하고, 지류 및 본류 하도구간도 분할하여 홍수추적한 후 합성한다. 이 연구에서도 지역에 따라 실시간 강우강도가 다른 것을 고려하여 소유역으로 분할한 혼합유역 홍수수문곡선으로부터 예당지 댐터에서의 실시간 홍수유입량을 예측하였다.

즉, 유역형태가 다양해지고 유역면적이 커지므로 9개 소유역의 단독유역 홍수수문곡선을 합성한 혼합유역 홍수수문곡선을 구하는 것이 바람직하다. 유역형태와 유역경사를 고려함과 동시에 지역에 따라 실시간 강우강도가 다른 것을 강우관측망의 지배면적으로 고려하여 소유역으로 분할한 혼합유역 홍수수문곡선을 예당지에서 다음 순서(그림. 97)로 홍수수문곡선을 합성하였다.

① 강우관측망으로 구성한 Thiessen 망과 지형, 유역경계를 고려하여 소유역으로 분할하여 강우관측망의 지배면적을 구한다.

② 분할된 각 소유역에서 가장 긴 지류의 하천장과 유역규모에 따라 SCS의 표면류, 중간류, 하천류 공식으로 홍수도달시간을 구한다.

③ 주하천장의 분할된 각 소유역의 유하시간을 계산한다. 주하천은 비교적 완경사이므로 Manning 유속공식으로 구하였으며, 하천별, 구간별 유하시간을 구한다.

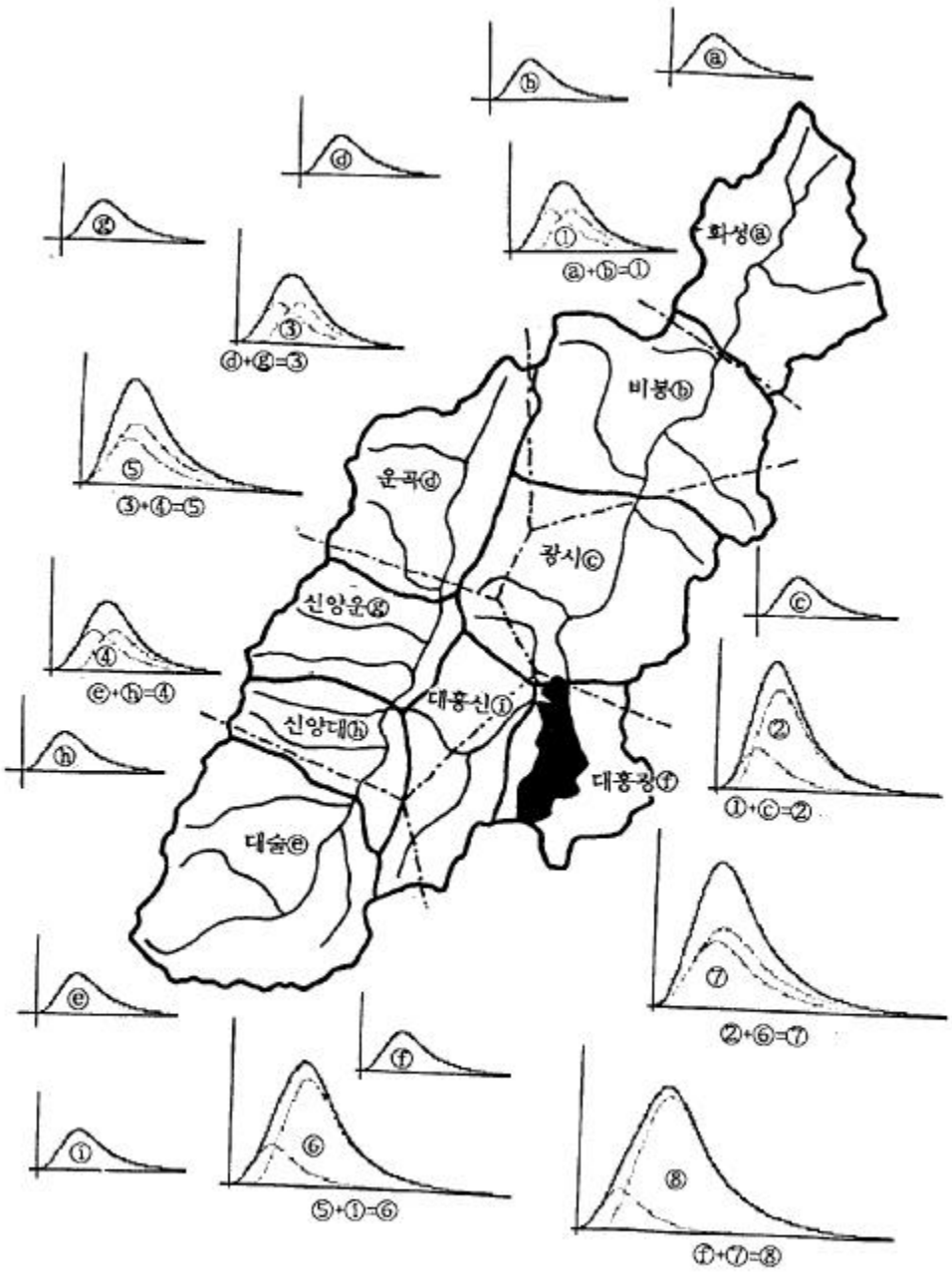


그림. 97 예당지의 소유역별로 추적한 홍수합성도

표. 82 1995**년** 8.23 26**일의 시간별 지점별 강우분포(단위** : mm)

시 간	대흥	대술	신양	운곡	광시	비봉	화성	유역평균	누가유량
8.23 7	2.3	0.6	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.4	0.4
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.1	0.5
9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.1	0.6
10	0.0	0.0	0.0	2.2	0.5	0.0	0.0	0.4	1.0
11	10.7	5.8	1.9	5.6	2.7	5.6	0.0	4.6	5.6
12	0.3	2.1	1.9	5.6	1.1	5.6	0.0	2.4	8.0
13	0.0	1.7	1.9	5.6	0.0	5.6	0.0	2.1	10.1
14	0.0	0.0	1.9	5.6	0.0	5.6	0.0	1.9	12.0
15	3.0	0.0	1.9	5.6	5.8	5.6	0.0	3.1	15.1
16	0.0	10.2	1.9	5.6	0.0	5.6	0.0	3.3	18.5
17	0.0	0.5	1.9	5.6	1.1	5.6	8.0	3.3	21.7
18	0.5	0.0	18.5	5.6	0.3	5.6	17.2	6.8	28.5
19	0.0	0.2	18.5	5.6	0.0	5.6	17.2	6.7	35.2
20	42.2	43.3	18.5	5.6	20.7	5.6	17.2	21.9	57.1
21	29.1	45.7	10.0	5.5	12.5	32.0	16.0	23.0	80.1
22	46.9	45.9	62.0	15.5	48.9	32.0	16.0	38.2	118.3
23	30.0	25.9	12.0	8.0	42.1	8.0	16.5	20.4	138.6
24	9.0	4.4	12.0	8.0	8.4	8.0	16.5	10.5	149.2
8.24 1	6.5	1.3	10.1	44.5	8.4	8.0	16.5	13.6	162.8
2	6.5	13.8	2.5	0.0	6.6	3.1	1.4	4.8	167.6
3	2.0	1.6	2.5	0.0	0.0	3.1	1.4	1.5	169.1
4	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	3.1	1.4	1.0	170.1
5	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	3.1	1.4	1.0	171.1
6	0.0	8.5	2.5	0.0	4.6	3.1	1.4	2.9	174.0
7	0.0	3.1	2.5	1.0	5.1	3.1	1.4	2.3	176.3
8	0.0	0.0	0.0	2.3	0.0	0.0	5.7	1.1	177.4
9	0.0	0.0	0.0	2.3	0.0	0.0	5.7	1.1	178.6
10	8.0	1.5	1.0	2.3	0.0	1.5	5.7	2.9	181.4
11	0.0	2.3	1.2	2.6	1.5	5.6	4.0	2.5	183.9
12	0.0	0.7	1.2	2.6	0.0	5.6	4.0	2.0	185.9
13	0.0	0.7	1.2	2.6	0.0	5.6	4.0	2.0	187.9
14	1.7	1.1	1.2	2.6	0.0	5.6	4.0	2.3	190.3
15	1.7	1.1	1.2	2.6	0.0	5.6	4.0	2.3	192.6
16	1.7	1.1	1.2	2.6	5.1	5.6	4.0	3.1	195.7
17	1.7	1.1	1.2	2.6	5.1	5.6	4.0	3.1	198.7
18	1.7	1.1	1.2	2.6	5.1	5.6	4.0	3.1	201.8
19	1.6	0.1	4.6	2.1	3.4	0.0	0.0	1.7	203.5
20	1.6	0.1	4.6	2.1	3.4	0.0	0.0	1.7	205.2
21	1.6	0.1	4.6	2.1	3.4	0.0	0.0	1.7	206.8
22	1.6	0.4	4.6	2.1	0.0	0.0	0.0	1.2	208.1
23	3.0	2.2	4.6	2.1	3.7	0.0	0.0	2.2	210.3
24	14.0	16.0	4.6	0.0	12.3	0.0	0.0	6.7	217.0
8.25 1	32.0	20.2	20.9	14.1	23.2	30.0	27.9	24.1	241.1
2	0.0	20.2	20.9	14.1	19.9	30.0	27.9	19.0	260.1
3	18.0	20.2	20.9	14.1	19.9	30.0	27.9	21.6	281.6
4	18.4	9.5	20.9	14.1	28.0	30.0	27.9	21.3	302.9
5	37.6	27.0	20.9	14.1	24.2	30.0	27.9	26.0	328.8
6	30.0	23.0	20.9	14.1	20.7	30.0	27.9	24.0	352.7
7	5.5	6.1	19.2	27.6	3.1	3.2	1.5	9.5	362.1
8	43.5	3.1	19.2	27.6	45.6	3.2	1.5	20.5	382.7
9	35.4	44.5	9.2	27.6	45.6	3.2	1.5	25.3	408.0
10	7.6	26.0	19.0	26.6	45.6	40.0	1.5	23.8	431.7

(계속)

시간	대흥	대술	신양	운곡	광시	비봉	화성	유역 평균	누가 유량
11	6.8	5.1	19.0	26.6	4.9	40.0	32.3	19.2	451.0
12	5.8	5.7	11.3	26.6	0.0	16.3	32.3	14.0	465.0
13	8.6	4.9	11.3	26.6	0.0	16.3	32.3	14.3	479.2
14	1.8	15.5	11.3	26.6	11.3	16.3	32.3	16.4	495.7
15	4.0	9.5	0.0	0.0	3.9	2.0	1.9	3.0	498.7
16	2.6	0.0	0.0	0.0	2.7	2.0	1.9	1.3	500.0
17	2.6	0.0	0.0	0.0	4.4	2.0	1.9	1.6	501.6
18	0.0	4.5	0.0	0.0	0.0	2.0	1.9	1.2	502.8
19	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	1.9	0.6	503.3
20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	1.9	0.6	503.9
21	0.0	1.0	0.0	0.0	0.5	2.0	1.9	0.8	504.7
22	0.0	8.3	0.0	4.0	1.3	2.0	1.9	2.5	507.2
23	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	507.2
2 4	0.0	0.5	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.2	507.4
8.26 1	2.3	7.4	0.0	1.6	0.0	0.0	0.0	1.6	509.0
2	2.8	2.4	1.7	1.6	3.5	2.1	1.7	2.2	511.3
3	2.0	2.0	1.7	1.6	2.2	2.1	1.7	1.9	513.2
4	1.7	1.9	1.7	1.6	2.2	2.1	1.7	1.8	515.0
5	5.3	3.5	1.7	1.6	2.2	2.1	1.7	2.6	518.0
6	4.0	2.5	1.7	1.6	2.2	2.1	1.7	2.2	520.0
7	4.0	0.0	1.7	1.6	0.0	2.1	1.7	1.6	521.4
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	521.4
9	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	521.4
10	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	521.4
11	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	521.4
12	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	521.4
13	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	521.4
14	2.2	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.7	522.1
15	4.2	6.0	4.4	2.7	7.4	3.3	4.6	4.7	526.7
16	9.8	7.5	4.4	2.7	7.4	3.3	4.6	5.7	532.4
17	3.3	2.4	4.4	2.7	2.3	3.3	4.6	3.3	535.7
18	0.1	0.0	4.4	2.7	0.0	3.3	4.6	2.2	537.8
19	0.0	0.0	4.4	2.7	0.0	3.3	4.6	2.1	540.0
20	0.0	0.0	4.4	2.7	0.0	3.3	4.6	2.1	542.1
21	0.0	0.0	4.4	2.7	0.0	3.3	4.6	2.1	544.3
22	0.0	0.0	4.4	2.7	1.5	3.3	4.6	2.4	546.6
23	0.0	0.0	4.4	2.7	0.0	3.3	4.6	2.1	548.7
24	0.0	0.0	4.4	2.7	0.0	3.3	4.6	2.1	550.9
계	531.3	535.2	536.5	532.0	552.2	589.2	572.1	550.9	

표. 83 1995년 8.23 26의 시간별 예당지의 저수량변화

시 간	강우량	저수위	저수량	증가량	방 류 량		유 입 량	
hr	mm	El.m	ha-m	ha-m	ha-m	m^3/s	ha-m	m^3/s
8. 23 7	0.4	20.63	2778.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	0.1	20.63	2778.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	0.1	20.63	2778.0	0.0	15.4	42.7	4.1	11.4
10	0.4	20.63	2778.0	0.0	15.4	42.7	4.1	11.4
11	4.6	20.63	2778.0	0.0	15.4	42.7	4.1	11.4
12	2.4	20.63	2778.0	0.0	15.4	42.7	4.1	11.4
13	2.1	20.63	2778.0	0.0	15.4	42.7	4.1	11.4
14	1.9	20.63	2778.0	0.0	15.4	42.7	4.1	11.4
15	3.1	20.63	2778.0	0.0	15.4	42.7	4.1	11.4
16	3.3	20.63	2778.0	0.0	15.4	42.7	4.1	11.4
17	3.3	20.63	2778.0	0.0	15.4	42.7	4.1	11.4
18	6.8	20.56	2718.1	-59.8	27.3	75.9	8.8	24.7
19	6.7	20.54	2699.7	-18.4	25.7	71.3	92.0	255.6
20	21.9	20.54	2699.7	0.00	25.7	71.3	92.0	255.6
21	23.0	20.54	2699.7	0.00	25.7	71.3	92.0	255.6
22	38.2	20.73	2865.6	165.8	45.9	127.5	280.8	780.0
23	20.4	20.99	3100.5	234.9	88.9	246.9	448.2	1245.1
24	10.5	21.37	3459.9	359.3	103.9	288.6	490.9	1363.6
8. 24 1	13.6	21.91	3989.7	529.8	280.6	779.4	347.4	965.0
2	4.8	21.91	3989.7	0.0	280.6	779.4	347.4	965.0
3	1.5	21.91	3989.7	0.0	280.6	779.4	347.4	965.0
4	1.0	21.91	3989.7	0.0	280.6	779.4	347.4	965.0
5	1.0	22.17	4256.9	267.2	278.2	772.9	222.8	619.0
6	2.9	22.17	4256.9	0.0	278.2	772.9	222.8	619.0
7	2.3	22.09	4173.9	-82.9	225.0	624.9	178.9	496.9
8	1.1	22.00	4081.8	-92.1	225.0	624.9	178.9	496.9
9	1.1	22.00	4081.8	0.0	176.4	490.0	110.0	305.7
10	2.9	22.00	4081.8	0.0	176.4	490.0	110.0	305.7
11	2.5	22.00	4081.8	0.0	176.4	490.0	110.0	305.7
12	2.0	22.00	4081.8	0.0	176.4	490.0	110.0	305.7
13	2.0	22.00	4081.8	0.0	176.4	490.0	110.0	305.7
14	2.3	22.00	4081.8	0.0	176.4	490.0	110.0	305.7
15	2.3	22.00	4081.8	0.0	176.4	490.0	110.0	305.7
16	3.1	21.50	3584.3	-497.5	155.0	430.5	133.1	369.7
17	3.1	21.50	3584.3	0.0	155.0	430.5	133.1	369.7
18	3.1	21.50	3584.3	0.0	154.8	430.0	133.1	369.7
19	1.7	21.50	3584.3	0.0	154.8	430.0	133.1	369.7
20	1.7	21.50	3584.3	0.0	154.8	430.0	133.1	369.7
21	1.7	21.50	3584.3	0.0	154.8	430.0	133.1	369.7
22	1.2	21.50	3584.3	0.0	154.8	430.0	133.1	369.7
23	2.2	21.50	3584.3	0.0	154.8	430.0	133.1	369.7
24	6.7	21.32	3409.2	-175.0	91.1	253.1	137.1	381.0
8.25 1	24.1	21.32	3409.2	0.0	91.1	253.1	137.1	381.0
2	19.0	21.39	3478.3	69.1	143.0	397.2	317.8	883.0
3	21.6	21.39	3478.3	0.0	143.0	397.2	317.8	883.0

(계속)

시 간		강우량	저수위	저수량	증가량	방 류 량		유 입 량	
hr		mm	El.m	ha-m	ha-m	ha-m	m^3/s	ha-m	m^3/s
	4	21.3	21.84	3916.0	437.6	221.4	615.0	520.9	1447.0
	5	26.0	22.13	4215.4	299.4	300.0	833.2	631.6	1754.6
	6	23.8	22.29	4381.3	165.8	397.6	1104.5	535.7	1488.0
	7	9.5	22.42	4519.5	138.2	475.9	1322.0	554.1	1539.3
	8	20.5	22.42	4519.5	0.0	475.9	1322.0	554.1	1539.3
	9	25.3	22.42	4519.5	0.0	475.9	1322.0	546.5	1518.3
	10	23.8	22.65	4768.3	248.7	545.8	1516.0	812.9	2258.2
	11	19.2	22.77	4901.9	133.6	592.2	1645.0	748.8	2080.1
	12	14.0	23.00	5215.1	313.2	592.2	1645.0	606.0	1683.4
	13	14.3	23.00	5215.1	0.0	592.2	1645.0	606.0	1683.4
	14	16.4	23.06	5242.8	27.6	592.2	1645.0	464.1	1289.4
	15	3.0	23.06	5242.8	0.0	592.2	1645.0	464.1	1289.4
	16	1.3	23.06	5242.8	0.0	592.2	1645.0	464.1	1289.4
	17	1.6	23.06	5242.8	0.0	592.2	1645.0	464.1	1289.4
	18	1.2	23.06	5242.8	0.0	592.2	1645.0	464.1	1289.4
	19	0.6	23.06	5242.8	0.0	592.2	1645.0	464.1	1289.4
	20	0.6	22.44	4537.9	-704.8	495.0	1374.8	291.9	811.0
	21	0.8	22.44	4537.9	0.0	495.0	1374.8	291.9	811.0
	22	2.5	21.95	4031.1	-506.7	365.0	1013.2	192.7	535.5
	23	0.1	21.95	4031.1	0.0	365.0	1013.2	192.7	535.5
	24	0.2	21.95	4031.1	0.0	365.0	1013.2	192.7	535.5
8.26	1	1.6	21.43	3515.1	-516.0	240.7	668.5	79.4	220.6
	2	2.2	21.26	3353.9	-161.3	225.0	625.0	123.7	343.5
	3	1.9	21.15	3252.5	-101.4	213.1	592.0	107.2	297.7
	4	1.8	21.04	3146.6	-106.0	205.6	571.0	123.7	343.5
	5	2.6	20.95	3063.7	-83.0	185.0	514.0	120.5	334.8
	6	2.2	20.88	2999.2	-64.5	165.6	460.0	105.7	293.6
	7	1.6	20.81	2939.3	-59.9	165.6	460.0	110.3	306.4
	8	0.0	20.75	2884.0	-55.3	165.6	460.0	124.1	344.8
	9	0.0	20.70	2842.5	-41.5	145.8	405.0	90.4	251.0
	10	0.0	20.64	2787.2	-55.3	127.4	354.0	76.8	213.2
	11	0.0	20.58	2736.6	-50.7	127.4	354.0	86.0	238.8
	12	0.0	20.53	2695.1	-41.5	112.3	312.0	51.1	141.8
	13	0.0	20.49	2633.8	-61.3	112.3	312.0	95.3	264.7
	14	0.7	20.44	2616.8	-17.1	93.6	260.0	61.4	170.4
	15	4.7	20.40	2584.5	-32.3	93.6	260.0	60.1	167.0
	16	5.7	20.40	2584.5	0.0	93.6	260.0	60.1	167.0
	17	3.3	20.40	2584.5	0.0	93.6	260.0	60.1	167.0
	18	2.2	20.40	2584.5	0.0	93.6	260.0	60.1	167.0
	19	2.1	20.40	2584.5	0.0	93.6	260.0	60.1	167.0
	20	2.1	20.40	2584.5	0.0	93.6	260.0	60.1	167.0
	21	2.1	20.40	2584.5	0.0	93.6	260.0	60.1	167.0
	22	2.4	20.40	2584.5	0.0	93.6	260.0	60.1	167.0
	23	2.1	20.40	2584.5	0.0	93.6	260.0	60.1	167.0
	24	2.1	20.40	2584.5	0.0	93.6	260.0	60.1	167.0

④ 주하천의 유역형태가 뚜렷이 다른 오른쪽 수계의 최상류 유역인 그림.96의 I 지역에서의 강우강도와 도달시간에 의한 홍수수문곡선 ⓐ 를 구한다.

⑤ I 지역 유출수문곡선은 II지역 주하천 入口(head)의 유입수문곡선으로 취하고, 여기에 II지역의 강우강도와 지류하천 도달시간으로 구한 홍수수문곡선 ⓑ 를 구하고, II지역 유하시간을 고려하여 합성한 II지역 주하천 出口(tail) 에서의 유출수문곡선 ⓒ 를 추정한다.

⑥ II지역 유출수문곡선 ⓒ 를 III지역 주하천의 입구의 유입수문곡선으로 취하고, 여기에 III지역의 강우강도와 지류하천 도달시간으로 구한 홍수수문곡선 ⓓ 를 구하고, III지역 유하시간을 고려하여 합성한 III지역 주하천 출구에서의 유출수문곡선 ⓔ 를 추정한다.

⑦ 주하천 유역형태가 뚜렷이 다른 왼쪽 수계의 최상류 유역인 IV지역에서의 강우강도와 도달시간에 의한 홍수수문곡선 ⓕ 를 구한다.

⑧ IV지역 유출수문곡선 ⓕ 를 V지역 주하천 입구의 유입수문곡선으로 취하고, 여기에 V지역의 강우강도와 지류하천 도달시간으로 구한 홍수수문곡선 ⓖ 를 구하고, V지역 유하시간을 고려하여 합성한 V지역 주하천 출구에서의 유출수문곡선 ⓗ 를 추정한다.

⑨ 왼쪽 수계의 최하류유역인 VI지역에서의 강우강도와 도달시간에 의한 홍수수문곡선 ⓘ를 구한다.

⑩ VI지역 유출수문곡선 ⓘ 는 VII지역 주하천 입구의 유입수문곡선으로 취하고, 여기에 VII지역의 강우강도와 지류하천 도달시간으로 구한 홍수수문곡선 ⓙ 를 구하고, VII지역 유하시간을 고려하여 합성한 VII지역 주하천 출구에서의 유출수문곡선 ⓚ 를 추정한다.

⑪ 왼쪽 수계의 주하천이 합류하는 VIII지역 주하천 입구에서의 유입곡선은 수문곡선 ⓗ 과 ⓚ 를 합성하여 수문곡선 ⓛ 을 추정한다.

⑫ 수문곡선 ⓛ 을 유역VIII 에서의 유입수문곡선으로 취하고 VIII지역에서의 강우강도와 지류하천 도달시간으로 구한 홍수수문곡선 ⓜ 을 구하고, VIII지역 유하시간을 고려하여 VIII지역 주하천 출구에서의 유출수문곡선 ⓝ 을 추정한다.

⑬ 주하천이 합류하는 저수지 입구지점에서의 홍수수문곡선은 오른쪽 유역 합성홍수수문곡선 ⓔ 와 왼쪽 유역 합성수문곡선 ⓝ 을 합성한 수문곡선 ⓞ 를 추정한다.

⑭ 저수지가 있는 유역 IX에서는 직접 내린 강우에 의한 홍수량 (시간강우×만수면적)/3,600 (m^3/s) 과 저수지에 유입하는 짧은 지류하천의 평균 도달시간으로 구한 홍수수문곡선을 합성하여 수문곡선 ⓟ 을 추정한다. (Design of small dam, Fig.31) 여기에 추적해온 홍수수문곡선 ⓞ 를 합성하여 저수지 수문에서의 유출 홍수수문곡선 ⓠ 를 최종으로 합성한다.

⑮ 유출 홍수수문곡선 ⓠ 에 분리해둔 기저유출량 $2.39m^3/s/hr$를 더하여 최종적으로 합성한다.

저수지가 있는 소유역에서는 도달시간은 저수지에 유입한 홍수는 저수지 만수구간을 같은 조건의 자연하천에서 보다 훨씬 빠르게 유하하므로 저수지입구(head) 까지 도달하는 시간을 계산한다.

4) 모형 매개변수 자동보정과 유입량 예측 보정

여기에서 홍수유입량예측은 강우예측에 의한 유입량 예측이 아니고, 현재 내린 유역내 강우량이 홍수도달시간을 고려한 현재시간 이후의 홍수유입량을 예측한다.

유입량을 예측하는데는 현시점 강우강도 계속법 (예, 직전 1시간의 강우강도가 13시간후 까지 계속된다는 가정)을 채택하여 강우-유출모형으로 홍수유입량을 예측하는 방법과 유역크기에 따라 홍수도달시간을 고려한 홍수유입량을 예측하고, 여기에 유역의 평균강우량 예측정도의 불량을 보완하기 위하여 Kalman Filter 이론에 따라 최상층 표층수심을 보정한 새로이 조립한 시스템에 따라 더욱 정확하게 예상유입량을 예측하는 방법이 있다.

여기에서는 강우-유출모형으로 저수지 유입량을 예측하는 것은 정확도가 떨어지기 때문에, 매 시간마다 저수지 수위변동과 방류량으로부터 유입량을 산정하고, 예측한 유입량과의 차이로부터 강우-유출모형의 매개변수(S_a 및 T_c) 를 다시 보정하여 다음 시간의 홍수유입량 예측을 보다 정확히 할 수 있는 후자의 방법을 택하였다.

유입량이 저수지내에서 조절된 후의 유출수문곡선은 Reservoir routing 등으로 구하였다.

물넘이 방류가 임박한 경우에는 유역강우의 원격통보에 의한 정보수집간격을 30분으로하여 입수된 자료로부터 매 30분 마다 홍수유입량을 예측하여 댐 관리사무소간에 방류 개시시각을 확인한 뒤 실시하는 것이 바람직하다.

모형 매개변수인 잠재저류량과 홍수도달시간을 자동보정하여 매시간 feed-back하여 홍수유입예측량과 관측유입량과의 오차를 최소화하는 과정을 1995년 8월23일 22시부터 8월24일의 02시까지의 보정절차를 대표적으로 예시하면 그림. 98, 99 과 같다.

표. 84 와 같이 1995년 8월23일 예당저수지의 잠재저류량을 상한치 210mm 로, 홍수도달시간을 300분으로 가정하여 입력한 결과, 유역이 대단히 건조하여 11시부터 17시까지의 초기강우량 20.7mm는 모두 침투되어 189.3mm인 상태에서 18시에 6.8mm 강우에 의한 실제유입량 18.8m^3/s 인데, 예측유입량은 40.3m^3/s 로 과대 평가되었다. 이렇게 유입량이 잘 못 예측된 것은 유역은 대단히 건조한데 습윤하다고 평가되었기 때문으로 판단할 수 있으며, 예측치가 18.8m^3/s 가 되도록 자동보정한 잠재저류량 값은 182.5mm 홍수도달시간은 300분이 되었다. 따라서, 다음 시간의 유입량을 예측을 위하여 잠재저류량 182.5mm, 홍수도달시간 300분을 적용한 결과, 19시 6.7mm 강우에 의하여 실제유입량 27.7m^3/s 인데, 예측유입량은 42.8m^3/s 로 예측되었다. 따라서, 예측유입량이 27.7m^3/s 가 되도록 자동보정한 잠재저류량 값은 175.8mm 홍수도달시간은 300분이 되었다.

다음 시간의 유입량을 예측을 위하여 잠재저류량 175.8mm, 홍수도달시간 300분을 적용한 결과, 20시 21.9mm 강우에 의하여 실제유입량 27.7m^3/s 인데, 예측유입량은 59.7m^3/s 로 예측되었다. 따라서, 예측유입량이 27.7m^3/s 가 되도록 자동보정한 잠재저류량 값은 156.1mm 홍수도달시간은 300분이 되었다.

다음 시간의 유입량을 예측을 위하여 잠재저류량 156.1mm, 홍수도달시간 300분을 적용한 결과, 21시 23.0mm 강우에 의하여 실제유입량 27.7m^3/s 인데, 예측유입량은 115.2m^3/s 로 예측되었다. 따라서, 예측유입량이 27.7m^3/s 가 되도록 자동보정한 잠재저류량 값은 156.1mm 홍수도달시간은 300분이 되었다.

다음 시간의 유입량을 예측을 위하여 잠재저류량 156.1mm, 홍수도달시간 300분을 적용한 결과, 22시 38.2mm 강우에 의하여 실제유입량 243.8m^3/s 인데, 예측유입량은 257.8m^3/s 로 예측되었다. 따라서, 예측유입량이 243.8m^3/s 가 되도록 자동보정한 잠재저류량 값은 117.3mm 홍수도달시간은 373분이 되었다.

다음 시간의 유입량을 예측을 위하여 잠재저류량 117.3mm, 홍수도달시간 373분을 적용한 결과, 23시 20.4mm 강우에 의하여 실제유입량 955m^3/s 인데, 예측유입량은 501.7m^3/s 로 예측되었다. 따라서, 예측유입량이 955m^3/s 가 되도록 자동보정한 잠재저류량 값은 98.4mm 홍수도달시간은 397분이 되었다.

실시간으로 자동입력되는 강수량에 의한 홍수유입예측량을 관측유입량과 비교하여 잠재저류량과 홍수도달시간을 매시간 자동보정하여 모형의 정확도를 크게 향상시킬 수 있었다. 매시간 자동보정된 시간별 잠재저류량과 홍수도달시간의 변화는 그림 98, 99 와 같으며, 잠재저류량은 초기에는 변화폭이 크지만 시간이 경과함에 따라 안정적으로 변화하고, 홍수도달시간은 강우강도, 유역토양수분상태에 따라 다를 것이지만 대체로 400분대에서 안정적으로 변화하였다.

표. 84 1995년 8월23 26일 매개변수 잠재저류량과 홍수도달시간의 자동보정과정

시 간	보정 잠재저류량 (mm)	홍수 도달시간 (min)	시 간	보정 잠재저류량 (mm)	홍수 도달시간 (min)
23일 11시	205.4	300.0	25일 06시	79.0	395.8
12시	203.0	300.0	07시	77.8	397.1
13시	201.0	300.0	08시	77.4	397.1
14시	198.9	300.0	09시	79.0	399.4
15시	195.9	300.0	10시	78.7	399.4
16시	192.6	300.0	11시	78.5	399.4
17시	189.3	300.0	12시	79.4	401.5
18시	182.5	300.0	13시	78.2	399.4
19시	175.8	300.0	14시	79.0	401.5
20시	156.1	300.0	15시	81.9	400.4
21시	117.3	373.0	16시	81.8	400.3
22시	98.4	397.0	17시	81.9	400.4
23시	105.1	295.8	18시	78.0	399.4
24일 00시	90.7	315.6	19시	76.7	402.3
01시	97.8	311.3	20시	71.9	404.4
02시	98.5	310.9	21시	70.4	439.9
03시	106.2	283.8	22시	66.3	453.1
04시	99.6	329.4	23시	66.4	453.1
05시	99.5	329.4	26일 00시	66.3	453.1
06시	96.2	364.6	01시	66.4	453.1
07시	89.7	389.6	02시	66.3	453.1
08시	89.4	397.7	03시	66.3	453.1
09시	86.0	395.0	04시	65.9	454.4
10시	85.5	395.5	05시	65.3	455.8
11시	84.3	397.1	06시	65.2	455.8
12시	83.6	397.7	07시	65.2	455.8
13시	83.5	397.8	08시	65.2	455.8
14시	81.7	392.6	09시	65.2	455.8
15시	79.9	395.3	10시	65.2	455.8
16시	81.4	392.6	11시	65.1	457.0
17시	81.2	392.6	12시	65.1	457.0
18시	82.6	397.8	13시	65.1	457.0
19시	82.6	397.7	14시	65.1	457.0
20시	82.4	397.7	15시	65.0	457.0
21시	82.8	397.1	16시	65.0	457.0
22시	82.8	397.1	17시	65.0	457.0
23시	82.6	397.1	18시	65.0	457.0
25일 00시	82.1	397.1	19시	63.3	462.2
01시	80.6	397.1	20시	63.3	462.2
02시	80.5	397.1	21시	63.2	462.2
03시	79.3	397.1	22시	63.2	462.2
04시	75.0	404.2	23시	63.2	462.2
05시	78.1	397.1	27일 00시	63.2	462.2

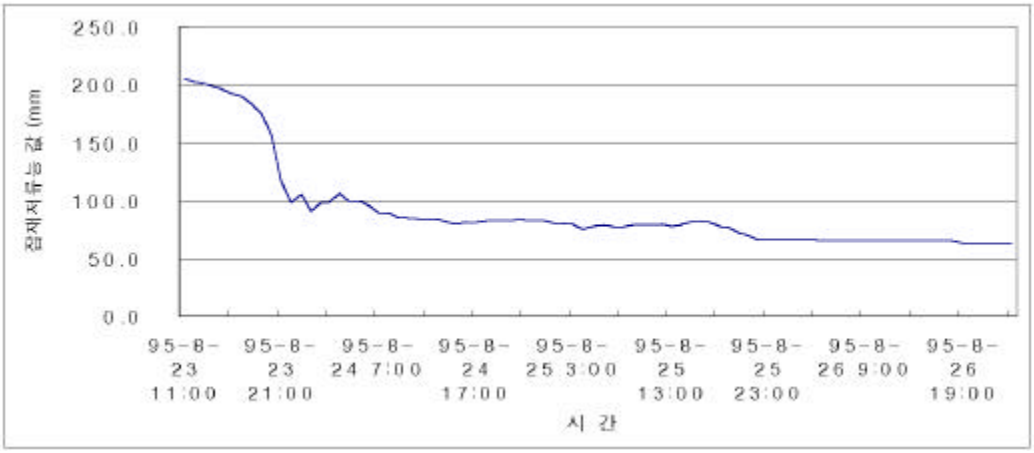


그림. 98 1995년 8월23 26일 발생한 홍수사상의 자동보정된 잠재저류량

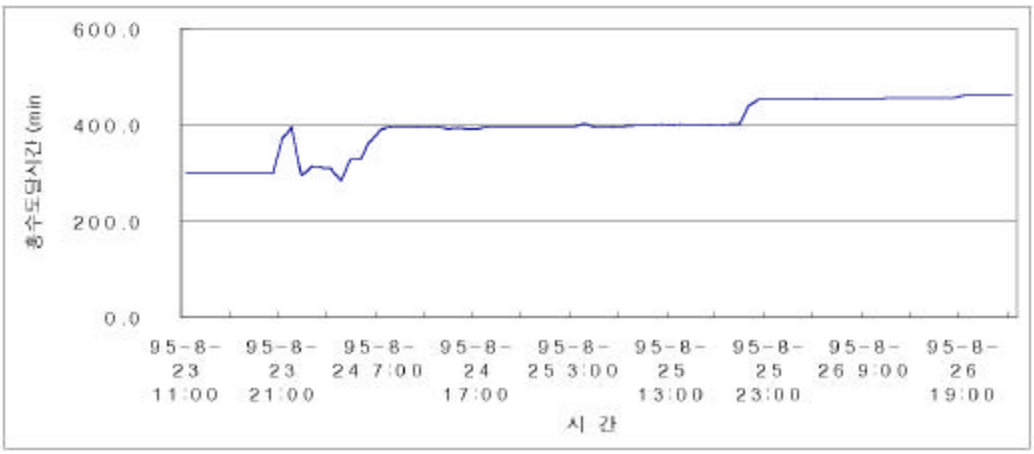


그림. 99 1995년 8월23일 26일 발생한 홍수사상의 자동보정된 홍수도달시간

5) 실시간 홍수유입량 예측모형에 의한 유입량 예측 과정

홍수와 침수피해분석을 위하여 1987 96년(10개년)의 시간별 강수량, 유입량과 방류량 등을 수집하여 시간별 유입량과 저수위변화를 분석하였으며 이 가운데 1995년 8월23 26일의 시간별 예측 홍수수문곡선을 대표적으로 예시하면 그림. 100 와 같다.

가) 1995년 8월23 26일의 시간별 예측 홍수수문곡선

그림. 100-1 에서 1995년 8월23일 22시 (노란선) 까지 내린 강우에 의한 관측유입량은 200m^3/s 이며, 현재까지 내린 유역강우에 의하여 앞으로 6시간후에 피크홍수량 800m^3/s에 도달할 것으로 예상된다.

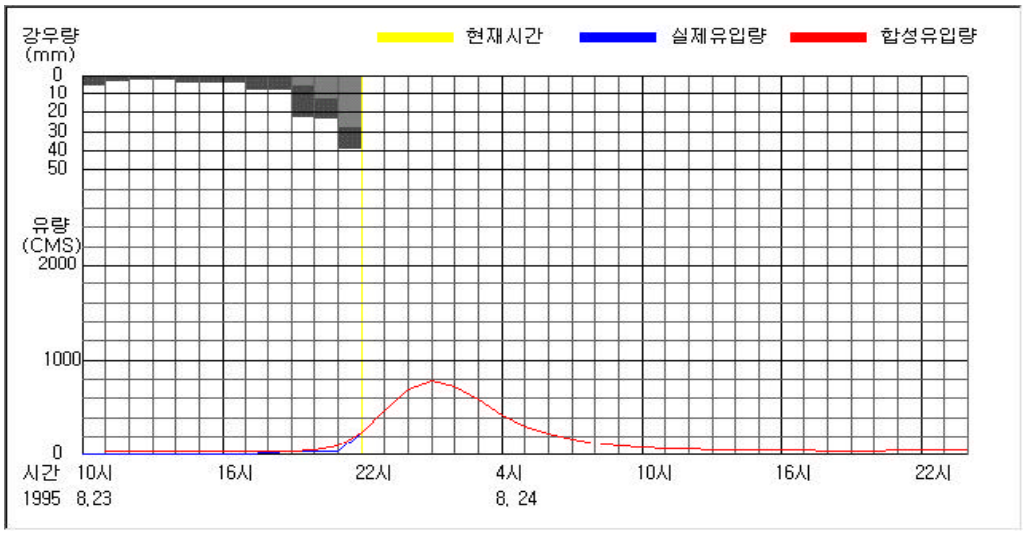


그림. 100-1 1995년 8월23 26일 예당지의 시간별 홍수량 예측 과정

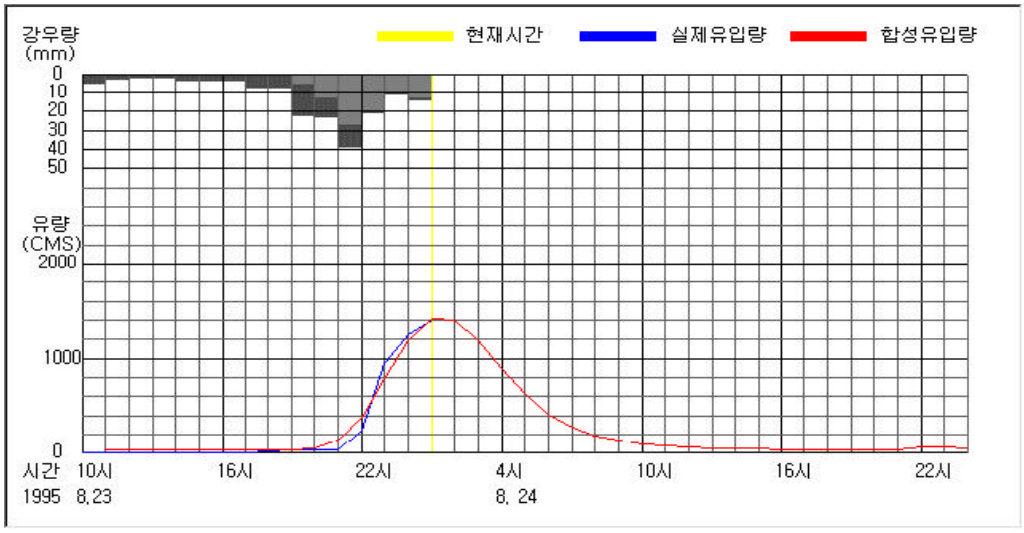


그림. 100-2 1995년 8월23 26일 예당지의 시간별 홍수량 예측 과정

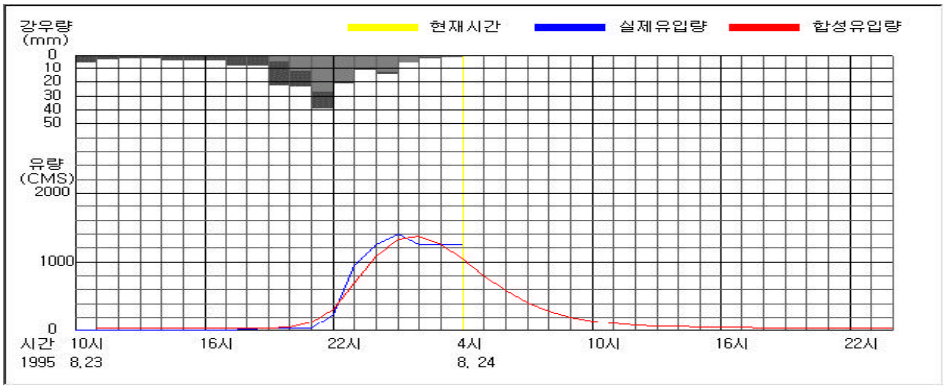


그림. 100-3 1995년 8월 23 26일 예당지의 시간별 홍수량 예측 과정

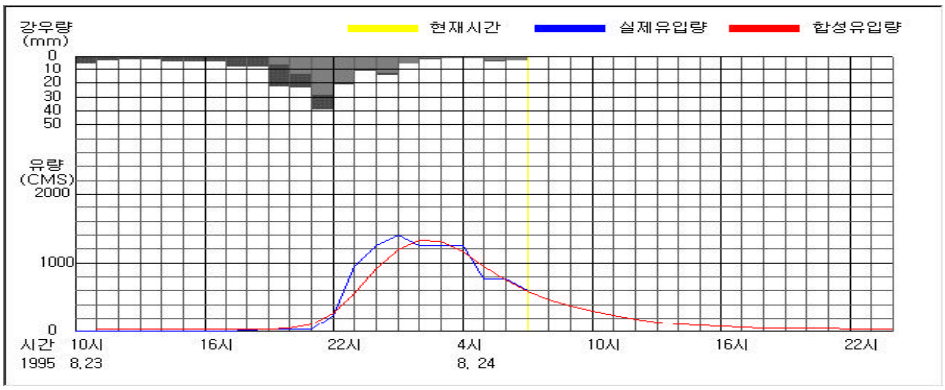


그림. 100-4 1995년 8월 23 26일 예당지의 시간별 홍수량 예측 과정

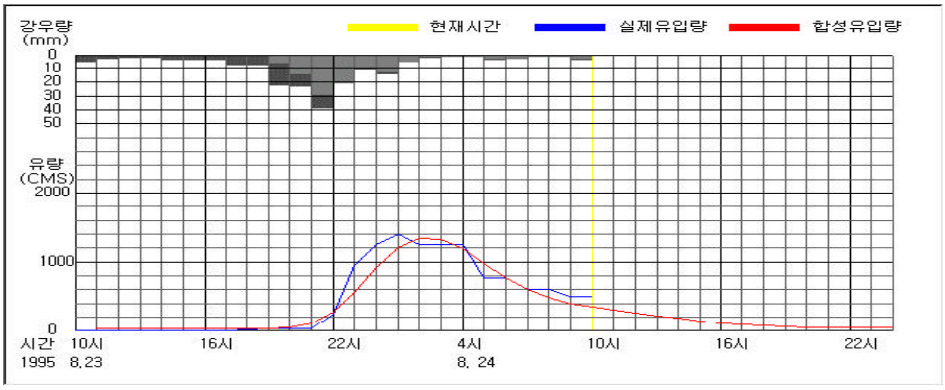


그림. 100-5 1995년 8월 23 26일 예당지의 시간별 홍수량 예측 과정

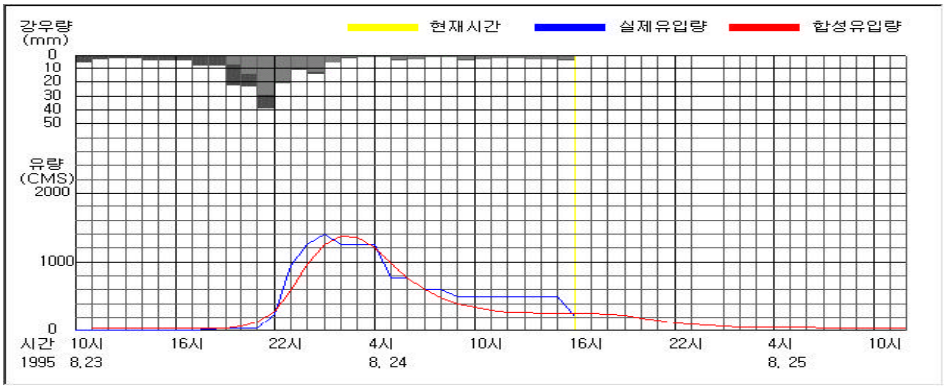


그림. 100-6 1995년 8월 23 26일 예당지의 시간별 홍수량 예측 과정

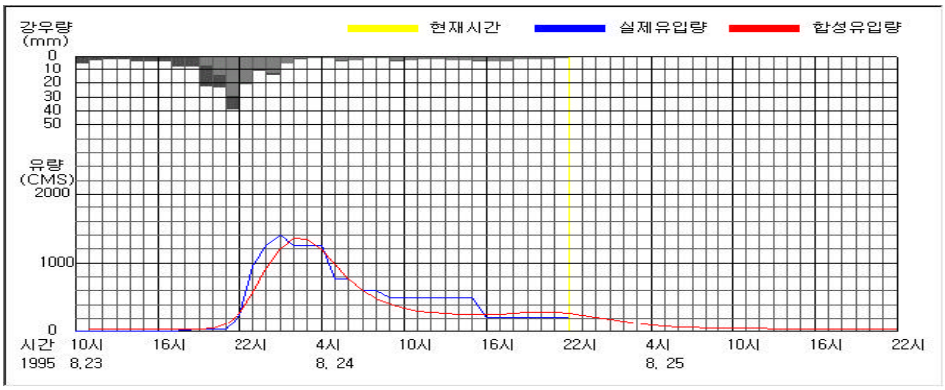


그림. 100-7 1995년 8월 23 26일 예당지의 시간별 홍수량 예측 과정

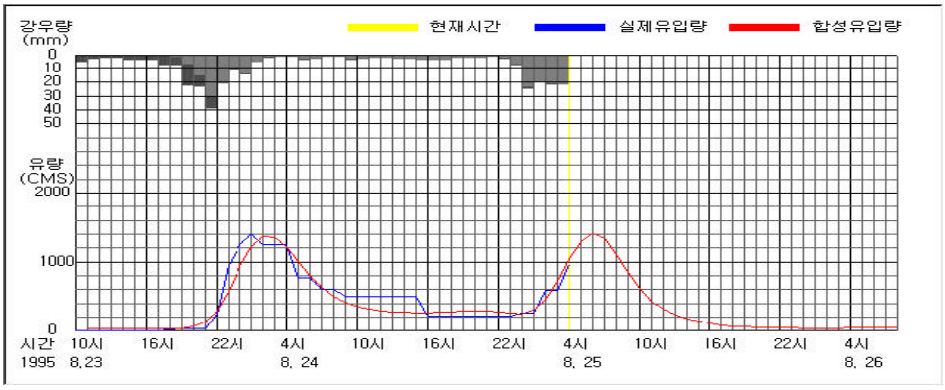


그림. 100-8 1995년 8월 23 26일 예당지의 시간별 홍수량 예측 과정

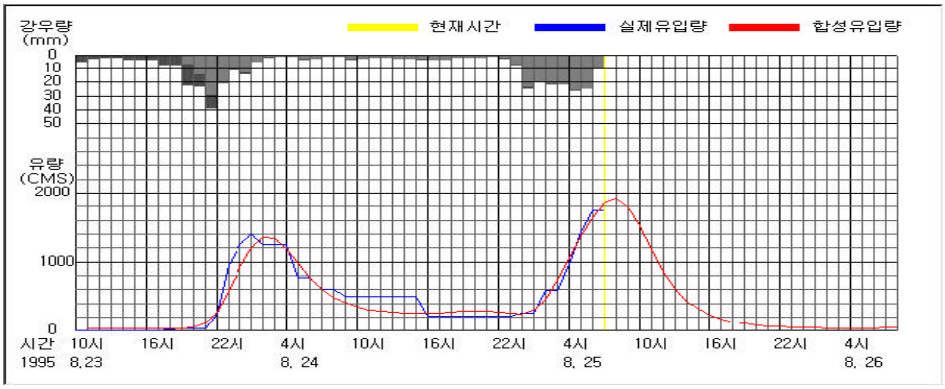


그림. 100-9 1995년 8월 23 26일 예당지의 시간별 홍수량 예측 과정

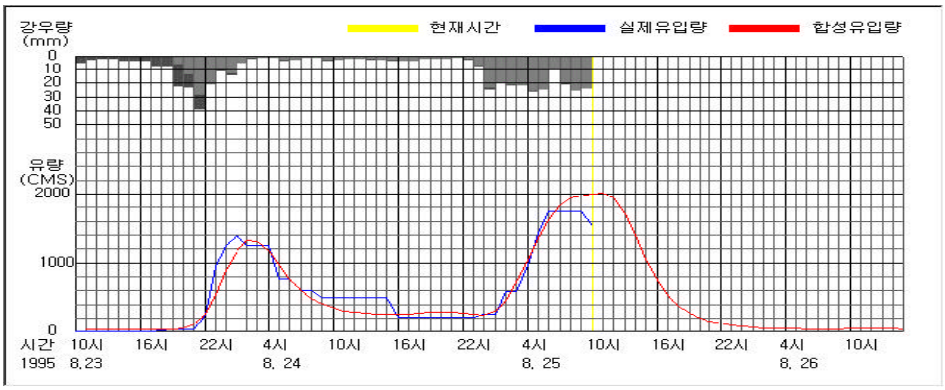


그림. 100-10 1995년 8월 23 26일 예당지의 시간별 홍수량 예측 과정

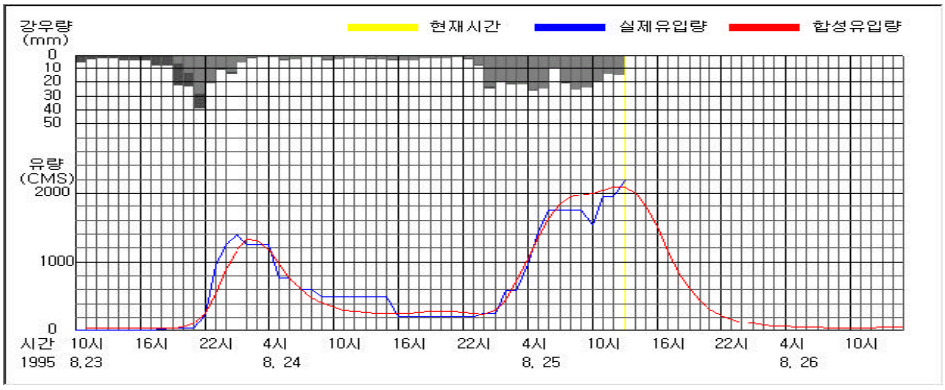


그림. 100-11 1995년 8월 23 26일 예당지의 시간별 홍수량 예측 과정

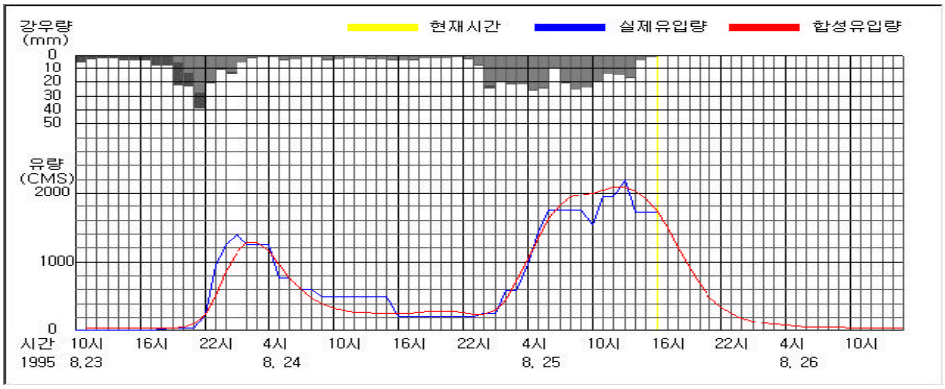


그림. 100-12 1995년 8월 23 26일 예당지의 시간별 홍수량 예측 과정

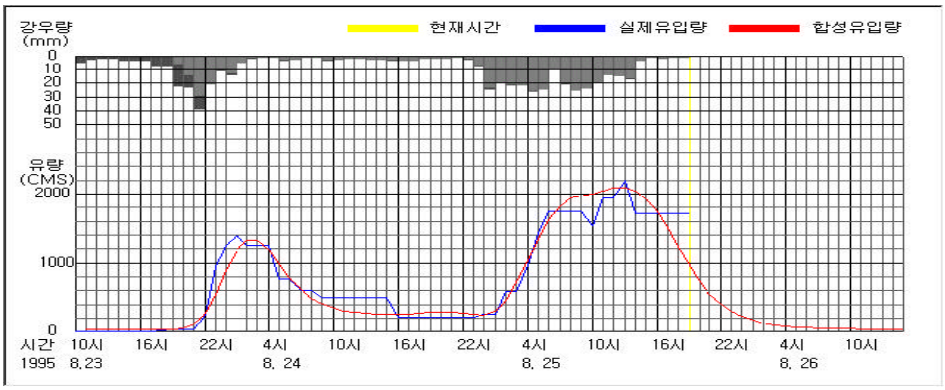


그림. 100-13 1995년 8월 23 26일 예당지의 시간별 홍수량 예측 과정

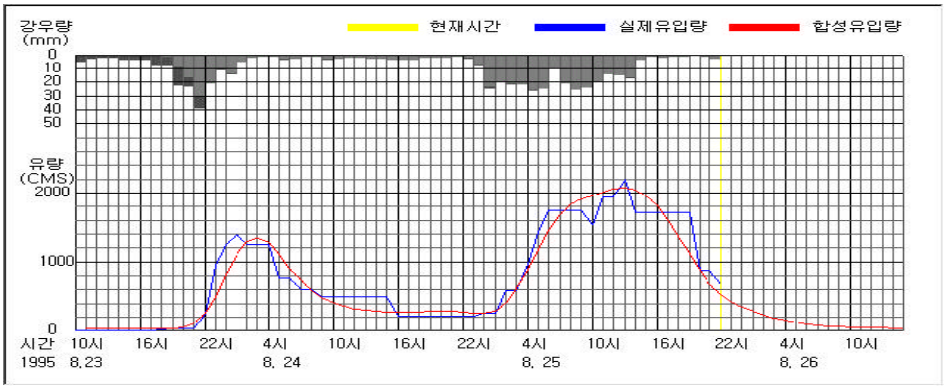


그림. 100-14 1995년 8월 23 26일 예당지의 시간별 홍수량 예측 과정

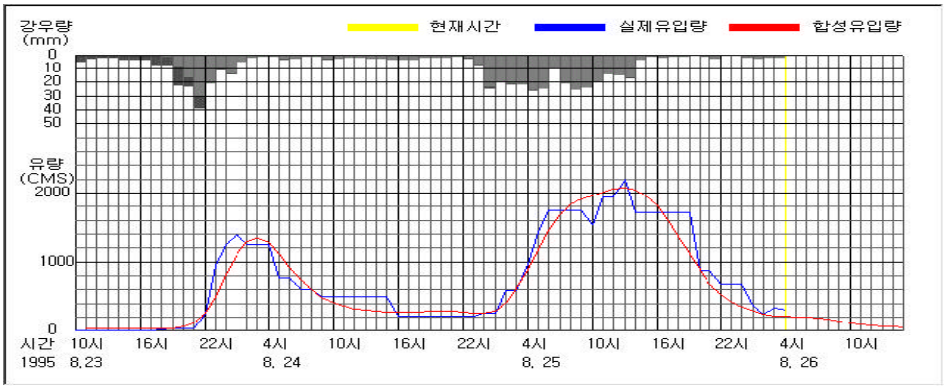


그림. 100-15 1995년 8월 23 26일 예당지의 시간별 홍수량 예측 과정

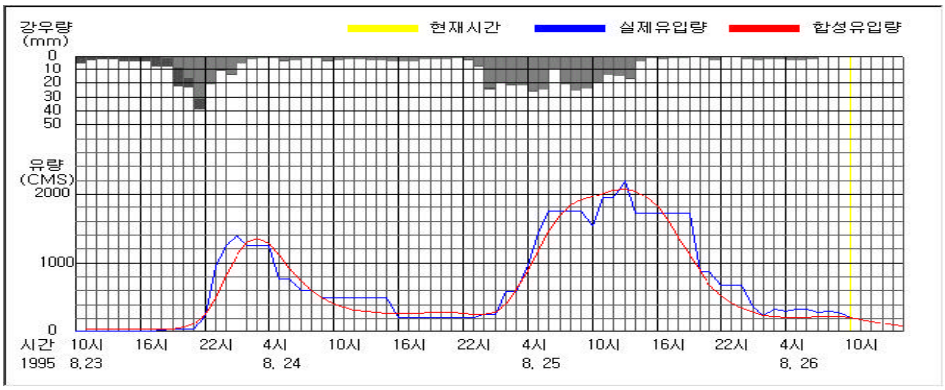


그림. 100-16 1995년 8월 23 26일 예당지의 시간별 홍수량 예측 과정

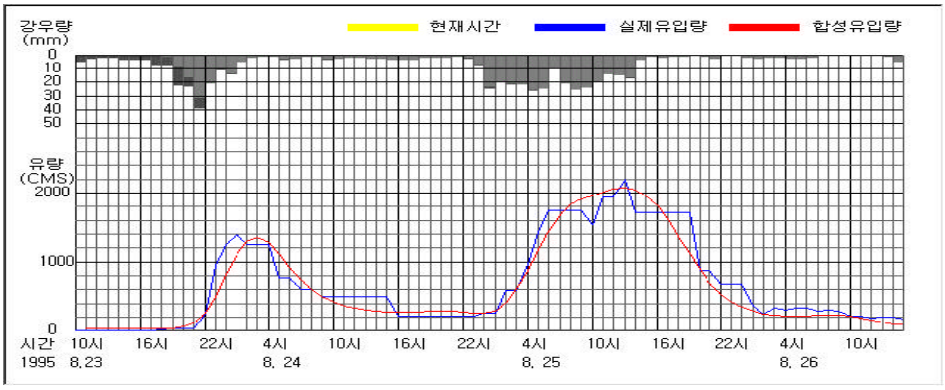


그림. 100-17 1995년 8월 23 26일 예당지의 시간별 홍수량 예측 과정

그림. 100-2 에서 1995년 8월24일 01시 (노란선) 까지 내린 강우에 의한 관측유입량은 1,200m^3/s 이며, 현재까지 내린 유역강우에 의하여 거의 피크에 도달한 것으로 판단된다.

그림 100-8 에서 1995년 8월25일 04시 (노란선) 에는 2차 호우에 의해 관측유입량은 1,000m^3/s 이로 급격히 상승하여, 현재까지 내린 유역강우에 의하여 앞으로 2시간 후에 피크홍수량 1,400m^3/s에 도달할 것으로 예상된다.

그림 100-11 에서 1995년 8월25일 12시 (노란선) 에는 관측유입량은 2,000m^3/s을 초과하여, 현재까지 내린 유역강우에 의하여 피크에 도달하였으며 실제로 이 때 무한천 제방(설계홍수량 1,600m^3/s) 이 붕괴되었다.

나) 1989년 9월15 16일, 1992년 8월26 28일의 시간별 예측 홍수수문곡선

예당지에서 1989년 9월15 16일, 1992년 8월26 28일에 발생한 호우에 대해서도 시간별 홍수량 예측과정을 분석하였으나 지면 관계상 홍수유출 종료시간에서의 홍수수문곡선만 도시하면 그림. 101, 102 과 같다. 참고로 1992년 8월26일 28일과 1989년 9월14 15일의 예당지에서 관측한 시간별 강우, 유입량, 방류량곡선은 그림. 103, 104 와 같다.

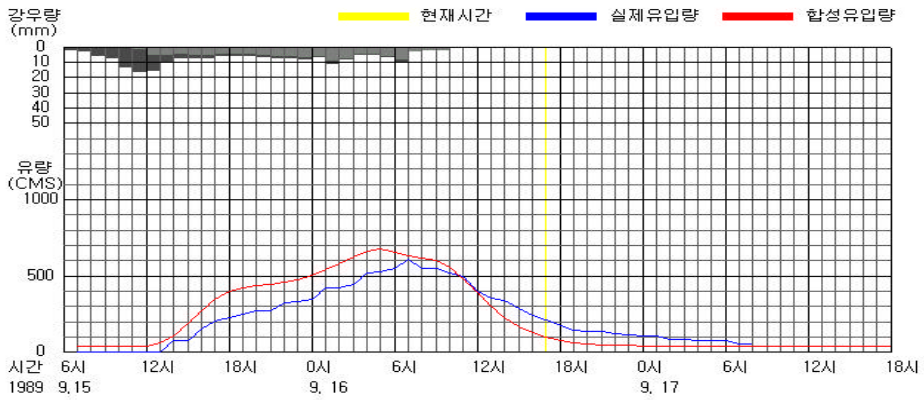


그림. 101 1989년 9월 15 16일 예당지의 시간별 홍수량 예측

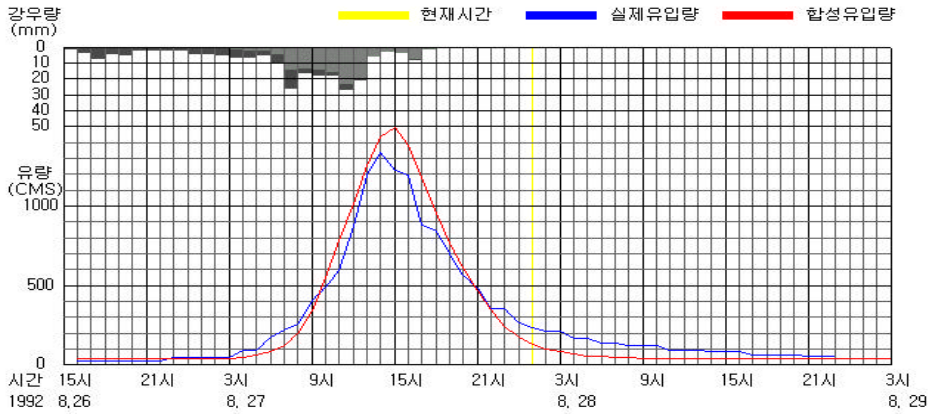


그림. 102 1992년 8월 26 28일 예당지의 시간별 홍수수문곡선

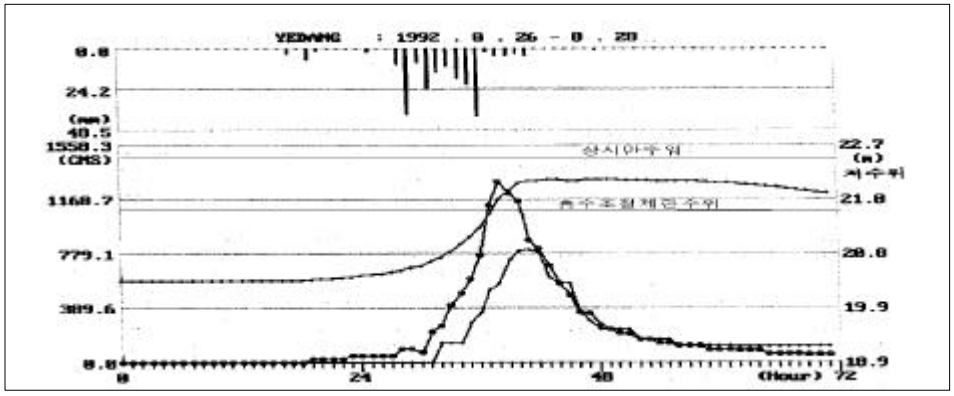


그림. 103 1992년 8월26 28일의 예당지의 시간별 강우, 유입량, 방류량 곡선

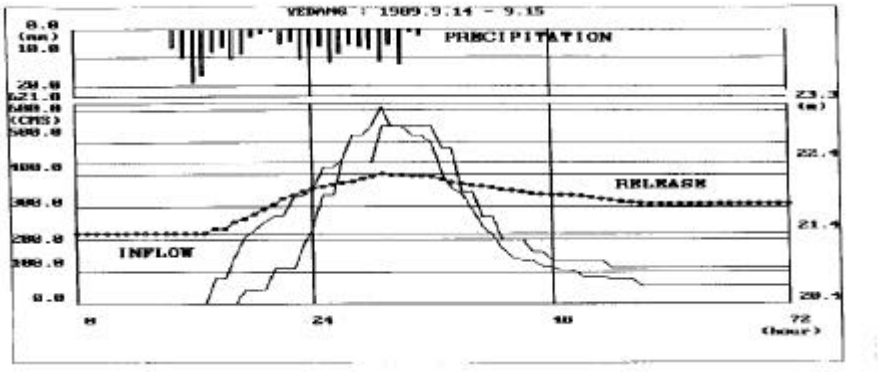


그림. 104 1989년 9월14 15일의 예당지의 시간별 강우, 유입량, 방류량 곡선

2. 실시간 홍수유입량 예측모형의 적용

가. 예당지의 적용 예

개발한 실시간 홍수예측모형을 1999년 8월 2일 3일 예당지 유역에 발생한 호우에 대하여 현지에서 실행하여 홍수발생대책 수립에 검정하였다.

탑정지 유역에는 1999년 홍수를 유발할만한 호우가 발생하지 않아 1998년 8월14일 16일 탑정지 유역에 발생한 호우에 적용하여 모형의 일반성을 검정하였다.

1) 예당지에 실시간 홍수예측모형 적용

1999년 8월2일 3일 예당지 유역에 호우가 발생하였을 때, 예당지 현지에서 실시간 홍수예측모형을 적용한 결과, 홍수도달시간을 고려하여 비교적 안정적으로 정확하게 홍수량을 예측할 수 있었다. 즉, 행정자치부(MOGAHA) 방재망을 통하여 예당지 상류 유역 7개 (대술, 신양, 광시, 대흥, 응봉, 운곡, 비봉면) 자기강우계측기에서 Telemetering 되어 실시간 홍수예측모형에 자동입력되는 강우자료로부터 유역평균강수량과 유효우량을 추정하여 홍수유입량을 실시간으로 예측하였다.

가) 모형의 매개변수 보정과정 분석

표. 85 와 같이 1999년 8월 2일 예당저수지의 잠재저류량을 상한치 210mm 로, 홍수도달시간을 300분으로 가정하여 입력한 결과, 초기강우 1.7mm, 5.0mm는 모두 침투되어 203.3mm 인 상태에서 16시에 23.7mm 강우에 의한 실제유입량 130m^3/s 인데, 예측유입량은 47.1m^3/s 로 과소 평가되었다. 이렇게 유입량이 잘 못 예측된 것은 유역은 대단히 습윤한데 아주 건조한 상한치(S_a : 210mm)를 초기치로 가정했기 때문으로 판단할 수 있으며, 예측치가 130m^3/s 가 되도록 자동보정한 잠재저류량 값은 23.3mm 홍수도달시간은 201.2분이 되었다. 따라서, 다음 시간의 유입량을 예측을 위하

여 잠재저류량 23.3mm, 홍수도달시간 201.2분을 적용한 결과 , 17시 3.7mm 강우에 의하여 실제유입량 84m^3/s 인데, 예측유입량은 79.6m^3/s 로 과소 평가되었다. 따라서, 예측유입량이 84m^3/s 가 되도록 자동보정한 잠재저류량 값은 56mm 홍수도달시간은 314.6분이 되었다. 이와같이 이 모형에서는 보정을 통하여 홍수유입량을 예측할 수 있으므로 초기치 가정에 대한 부담이 적다.

매시간 자동보정된 시간별 잠재저류량과 홍수도달시간의 변화는 그림. 108, 109 과 같으며, 잠재저류량은 초기에는 변화폭이 크지만 시간이 경과함에 따라 50mm에서 안정적으로 변화하고, 홍수도달시간은 강우강도, 유역토양수분상태에 따라 다를 것이지만 대체로 300분대에서 안정적으로 변화하였다.

실시간으로 자동입력되는 강수량에 의한 홍수유입예측량을 관측유입량과 비교하여 잠재저류량과 홍수도달시간을 매시간 자동보정하여 모형의 정확도를 크게 향상시킬 수 있었다.

표. 85 1999년 8월 2일 모형 매개변수 잠재저류능 (S_a) 및 홍수도달시간 (T_c) 변화

시 간	보정 잠재저류량 (mm)	홍수 도달시간 (min)	시 간	보정 잠재저류량 (mm)	홍수 도달시간 (min)
2일 13시	208.3	300.0	07시	49.1	289.4
14시	203.3	300.0	08시	48.8	289.6
15시	203.3	300.0	09시	48.7	289.7
16시	23.3	201.2	10시	44.1	320.6
17시	56.0	314.6	11시	43.6	320.6
18시	55.1	309.2	12시	43.3	320.6
19시	53.7	315.9	13시	47.3	289.7
20시	48.0	329.2	14시	47.1	289.7
21시	48.3	306.7	15시	47.1	289.7
22시	46.0	329.2	16시	46.1	304.0
23시	46.0	316.0	17시	47.0	289.6
3일 00시	44.0	331.5	18시	46.9	289.6
01시	43.4	329.4	19시	46.8	289.6
02시	40.5	331.6	20시	42.8	320.6
03시	43.6	312.5	21시	45.9	294.6
04시	42.0	325.0	22시	47.3	287.3
05시	46.1	303.6	23시	47.1	287.7
06시	49.3	289.4	4일 00시	46.6	288.3

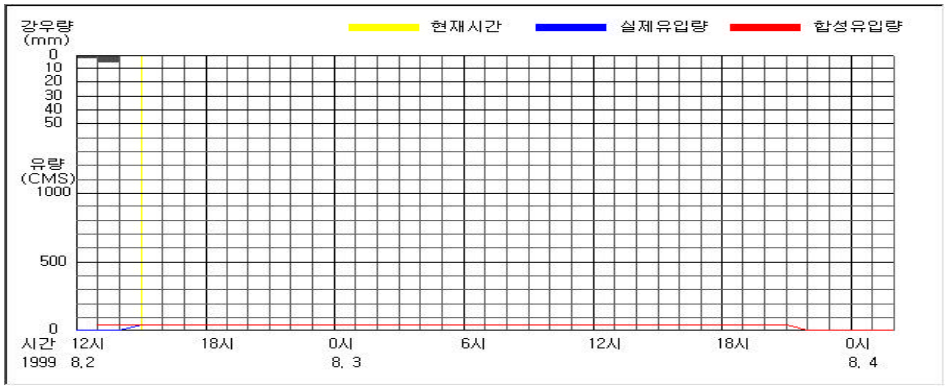


그림. 105 1999년 8월2일 15시 예당저수지의 실제유입량과 예측유입량

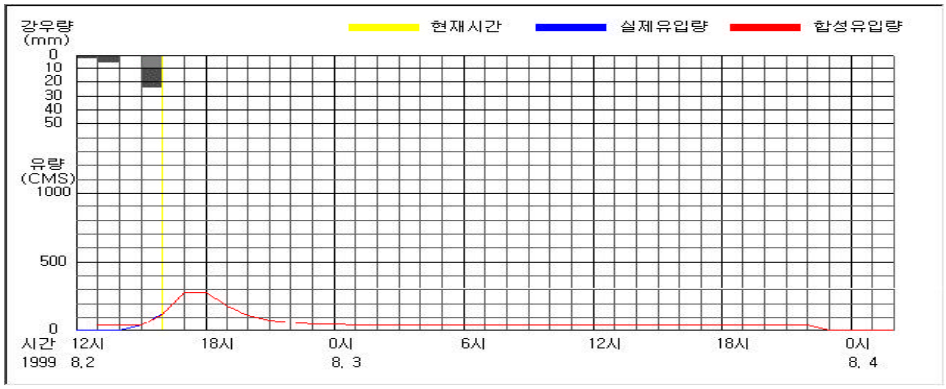


그림. 106 1999년 8월2일 16시 예당저수지의 실제유입량과 예측유입량

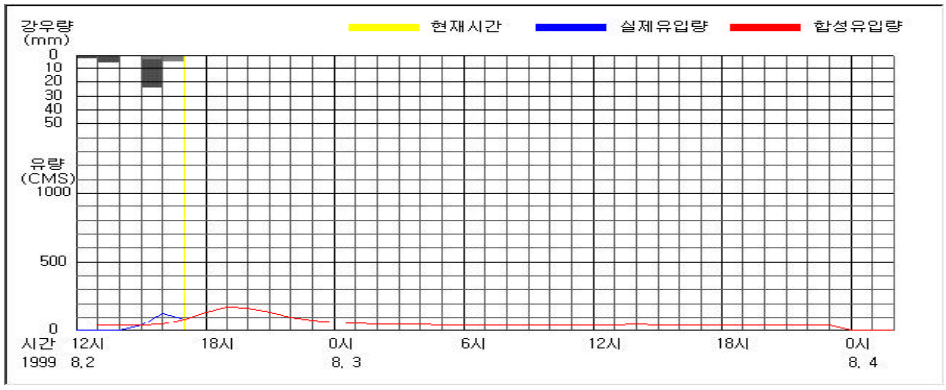


그림. 107 1999년 8월2일 17시 예당저수지의 실제유입량과 예측유입량

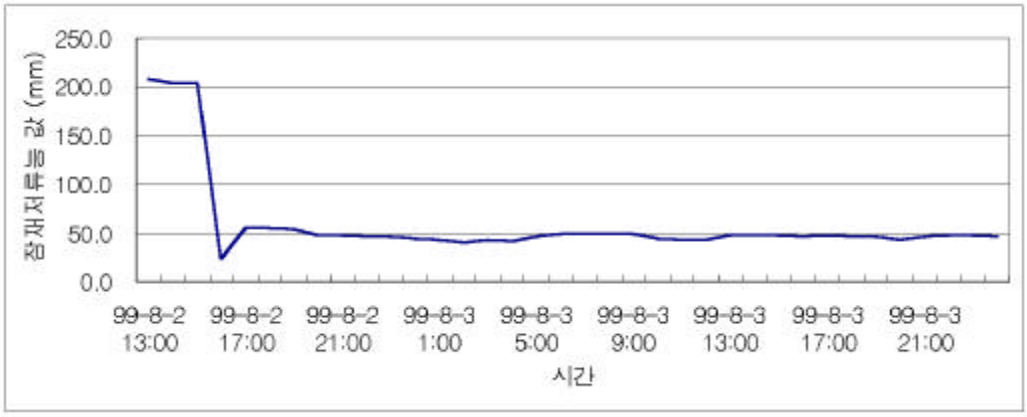


그림. 108 1999년 8월 2일 3일 발생한 홍수사상의 자동보정된 잠재저류능값

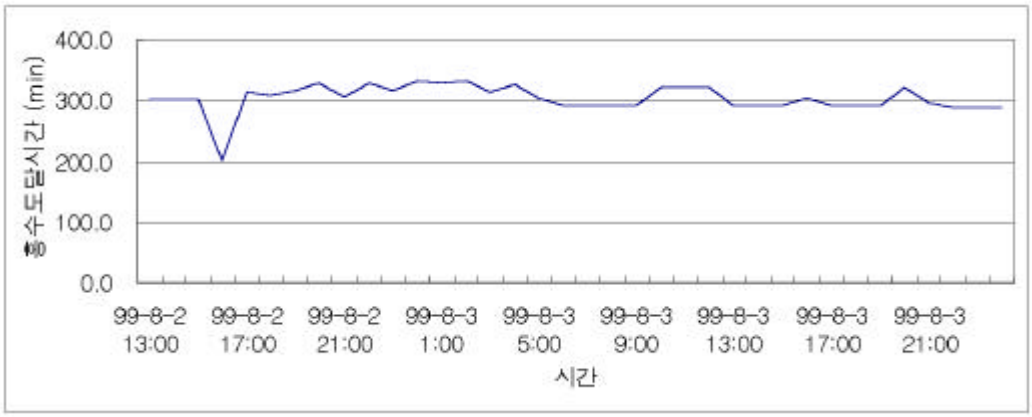


그림. 109 1999년 8월 2일 3일 발생한 홍수사상의 자동보정된 홍수도달시간

나) 모형운전 결과 분석

그림. 113-2 에서 1999년 8월2일 21시 (노란선) 까지 내린 강우에 의한 관측유입량은 380m^3/s, 예측유입량은 360m^3/s 이었으며, 현재까지 내린 유역강우에 의하여 앞으로 2시간후에는 피크홍수량 510m^3/s 예상되어 이에 해당되는 대책을 촉구하였다.

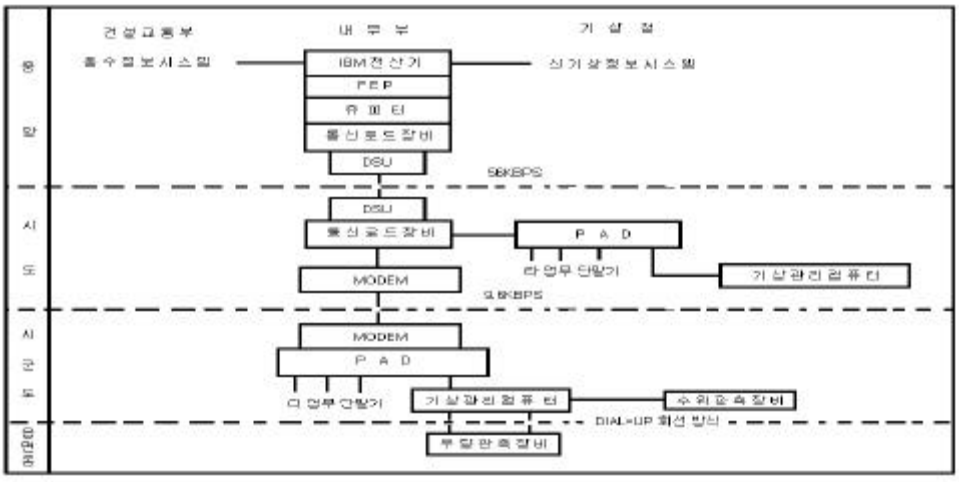


그림. 110 행정자치부의 방재 강우관측망도

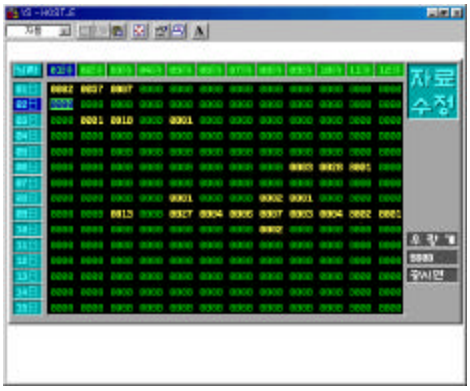


그림.111 실시간 강우자료 다운로드

그림. 112 실시간 강우자료의 통계치

그림. 113-4 에서 1999년 8월3일 03시 (노란선) 까지 내린 강우에 의한 관측유입량은 1,100m^3/s, 예측유입량도 1,100m^3/s 였으며, 현재까지 내린 유역강우에 의하여 거의 피크에 도달한 것으로 판단되었다.

1차 호우가 거의 하강하던 홍수량이 그림. 113-7 과 같이 1999년 8월3일 12시(노란선)에는 2차 호우에 의해 관측유입량은 500m^3/s로 상승하여, 현재까지 내린 유역강우에 의하여 앞으로 2시간후에 피크홍수량 620m^3/s에 도달할 것으로 예상된다.

그림. 113-8 에서 1999년 8월3일 15시 (노란선) 에는 관측유입량은 620m^3/s 에 도달하여, 현재까지 내린 유역강우에 의하여 피크에 도달한 것으로 판단되어 이에 해당되는 홍수단계조치를 제시하였다.

예당지에서 1999년 8월 2일 12시부터 4일 0시까지의 전체 실시간 홍수유입량 예측 과정은 그림. 113-1 11 과 같다. (지면상 3시간 간격으로 도시함)

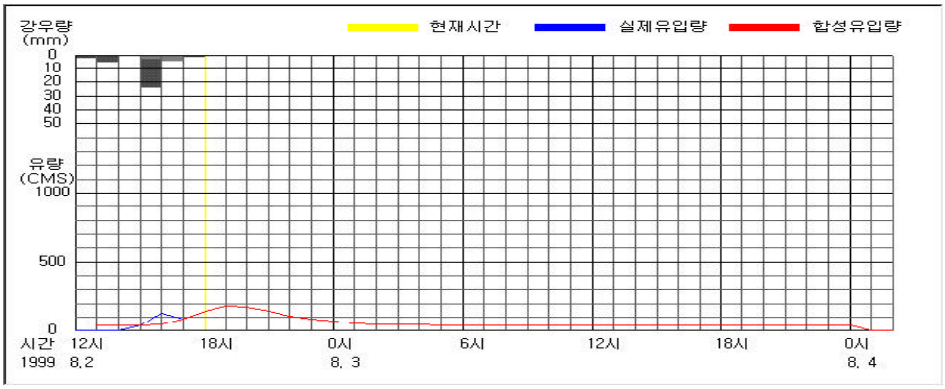


그림. 113-1 1999년 8월 2일 예당지의 시간별 홍수량 예측 과정

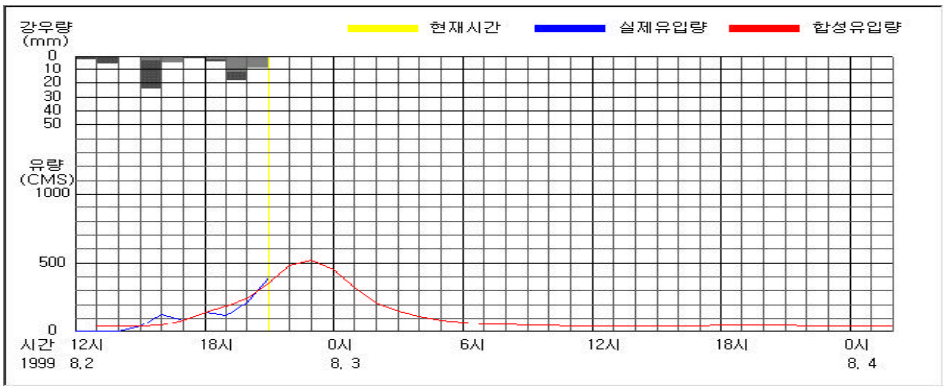


그림. 113-2 1999년 8월 2일 예당지의 시간별 홍수량 예측 과정

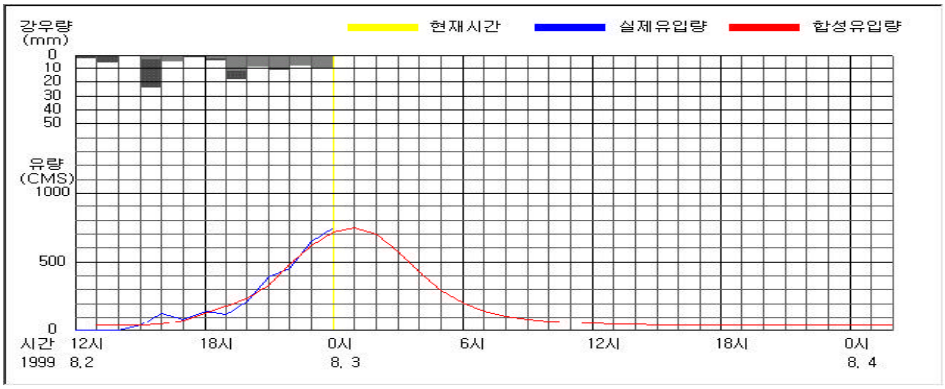


그림. 113-3 1999년 8월 2일 예당지의 시간별 홍수량 예측 과정

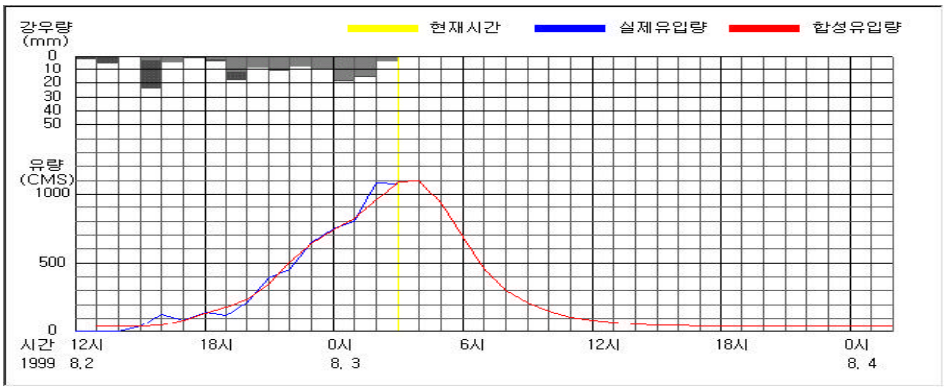


그림. 113-4 1999년 8월 2일 예당지의 시간별 홍수량 예측 과정

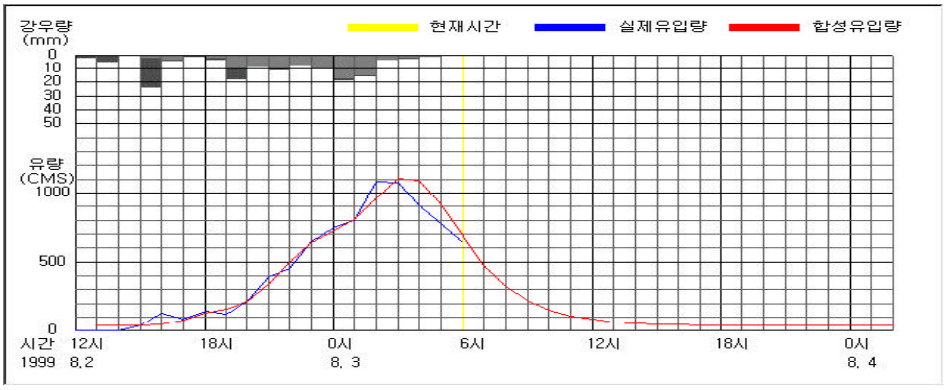


그림. 113-5 1999년 8월 2일 예당지의 시간별 홍수량 예측 과정

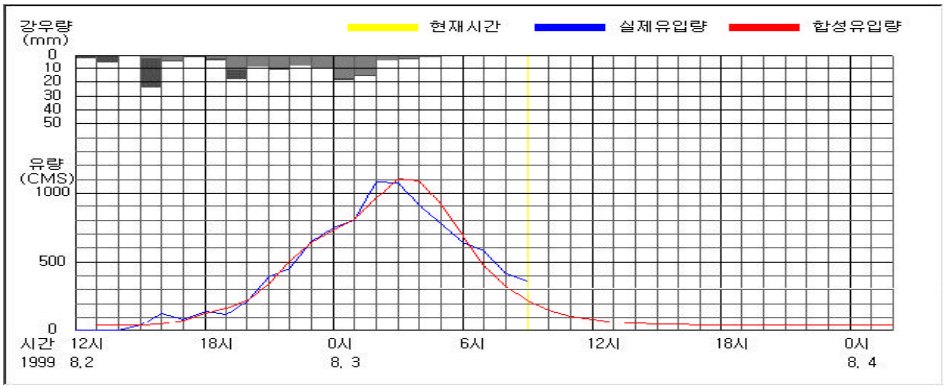


그림. 113-6 1999년 8월 2일 예당지의 시간별 홍수량 예측 과정

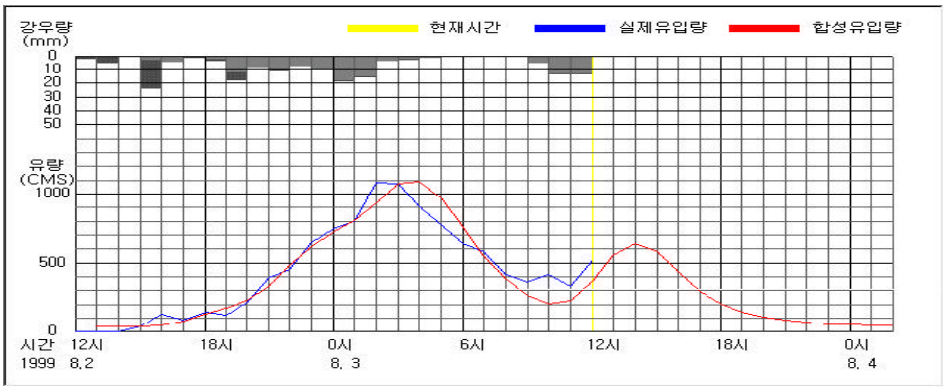


그림. 113-7 1999년 8월 2일 예당지의 시간별 홍수량 예측 과정

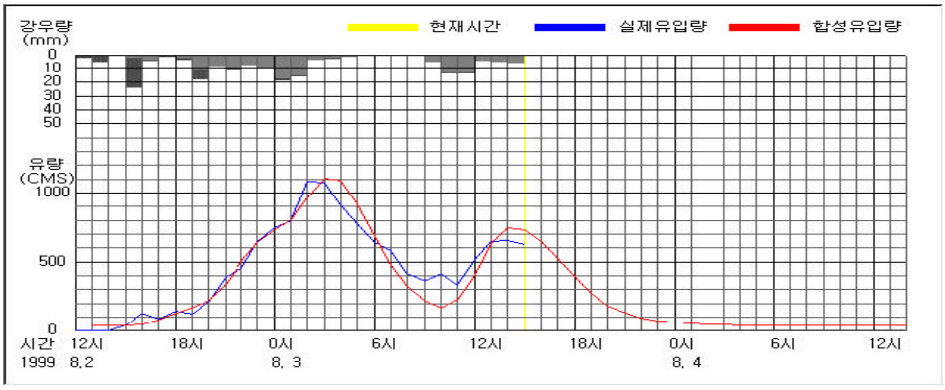


그림. 113-8 1999년 8월 2일 예당지의 시간별 홍수량 예측 과정

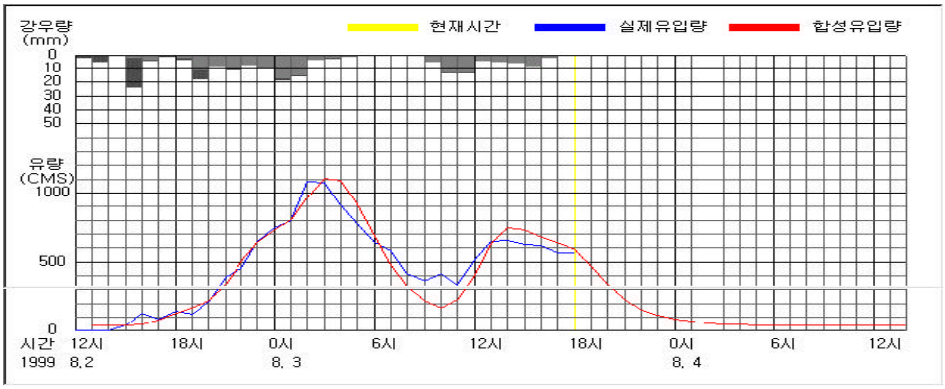


그림. 113-9 1999년 8월 2일 예당지의 시간별 홍수량 예측 과정

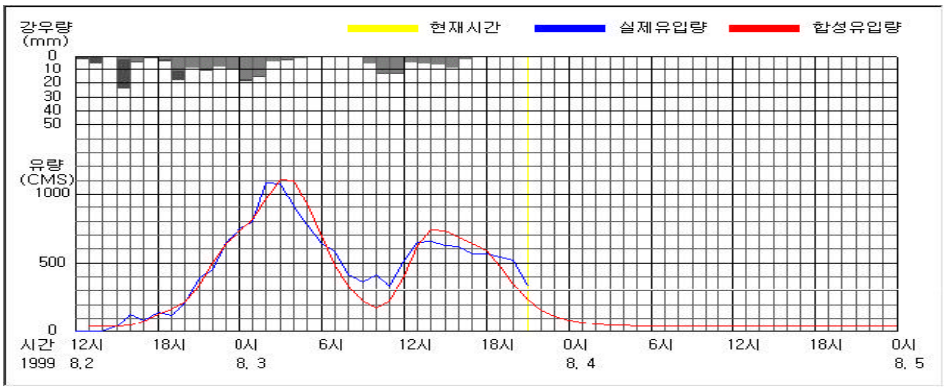


그림. 113-10 1999년 8월 2일 예당지의 시간별 홍수량 예측 과정

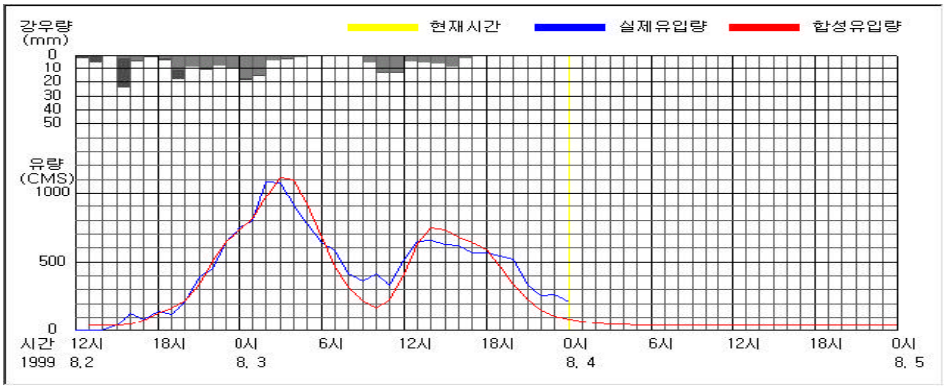


그림. 113-11 1999년 8월 2일 예당지의 시간별 홍수량 예측 과정

나. 탑정지의 적용 예

1999년 탑정지 유역에는 홍수를 유발할만한 호우가 발생하지 않아 현지에서 모형의 일반성을 검정할 수 없어 1998년 8월14일 16일 탑정지 유역에 발생한 호우사상에, 개발한 실시간 홍수예측모형을 적용하여 홍수량을 예측하였다.

1) 1998년 8월14일 16일 홍수유입량 예측 과정

그림. 114 에서 보는 바와 같이 모형검정에 적합성이 모형보정보다 월등 떨어지는 것을 알 수 있다. 이렇게 잘 맞지 않는 것은 실시간 홍수예측모형의 일반성에도 문제가 있겠지만 탑정지 주변 강우관측소가 2개소(연산, 장선)뿐이어서 강우의 지역편중을 고려할 수 없는데 기인한다고 볼 수도 있다. 예당지 상류유역에는 원격 자기강우관측소가 7개소인데 비하여 탑정지 유역내에는 양촌 우량관측소 1개뿐으로 수문관측시설이 미비한 편이고, 기타 하천수위 및 유량, 저수위 및 홍수배제량 등 제반 관측자료가 약간 불충분한 형편이다. 현재 행정자치부(MOGAHA) 방재망으로 탑정지 상류 유역내에는 자기강우계측기가 설치된 곳이 한 곳도 없는 실정이다.

앞으로, 탑정지의 효율적 물관리를 위해서는 탑정지 상류 유역내에는 행정자치부(MOGAHA) 방재망으로 적어도 강우관측소 4 5개소를 확충하고, 하천수위 및 유량측정, 저수위 및 홍수배제량 등 수문관측도 확대해야 할 것이다. 탑정지 유역내외에도 행정자치부(MOGAHA) 방재망을 통하여 적어도 6개소(가야곡, 양촌, 연산, 장선, 남이, 대불면 등)의 원격 자기강우계에서 Telemetering 되도록 설치가 완료되고, 홍수가 발생되면 탑정지에서도 실시간 홍수예측모형을 보정하고, 검정할 수 있을 것이다.

그림. 114-1 에서 1998년 8월15일 06시 (노란선) 까지 내린 강우에 의한 관측유입량은 200m^3/s, 예측유입량은 200m^3/s 이었으며, 현재까지 내린 유역강우에 의하여 앞으로 2시간후에 피크홍수량 450m^3/s 에 도달할 것으로 예상되며 이에 해당되는 대책을 촉구할 수 있다.

그림. 114-2 에서 1998년 8월15일 09시 (노란선) 까지 내린 강우에 의한 예측유입량은 350m^3/s 으로, 현재까지 내린 유역강우에 의하여 거의 피크에 도달한 것으로 나타났으나, 관측유입량은 서서히 상승하는 양상을 나타내어 잘 맞지 않았다.

1차 호우로 거의 하강하던 홍수량이 그림. 114-7 과 같이 1998년 8월15일 22시(노란선)에는 2차 호우에 의해 관측유입량은 220m^3/s 로 상승하여, 현재까지 내린 유역강우에 의하여 앞으로 3시간후에 피크홍수량 300m^3/s에 도달할 것으로 예상되었다.

그림. 114-8 에서 1998년 8월16일 09시 (노란선) 에는 관측유입량은 680m^3/s, 예측유입량은 600m^3/s 로, 현재까지 내린 유역강우에 의하여 피크에 도달한 것으로 예측하였느나, 관측유입량은 그 후 10시에 760m^3/s 까지 상승하는 등 잘 맞지 않았다.

탑정지에서 1998년 8월 14일 22시부터 17일 0시까지의 전체 실시간 홍수유입량 예측과정은 그림. 114-1 12 와 같다. (지면상 3시간 간격으로 도시함)

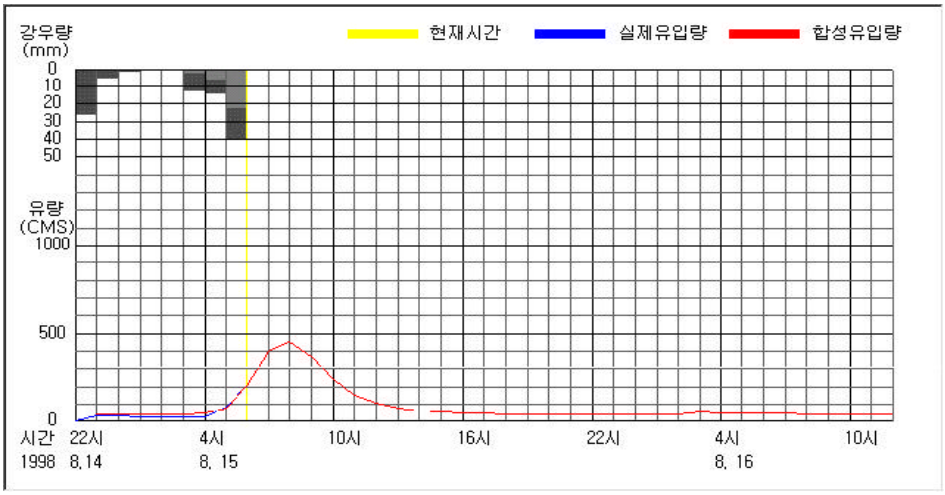


그림. 114-1 1998년 8월 14일 탑정지의 시간별 홍수량 예측 과정

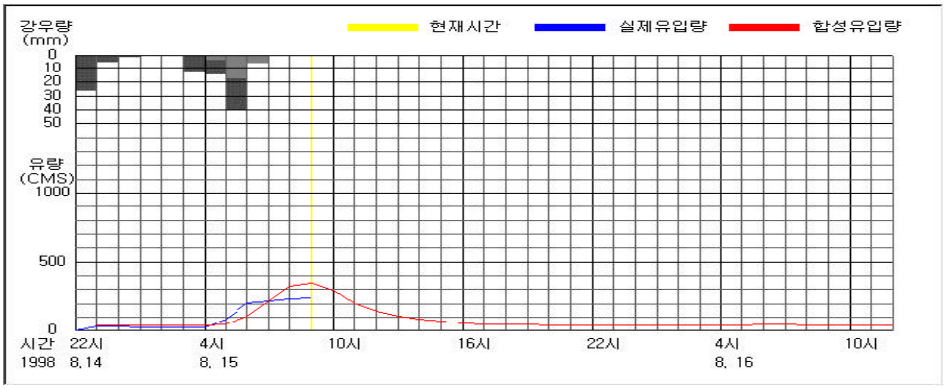


그림. 114-2 1998년 8월 14일의 시간별 홍수량 예측 과정

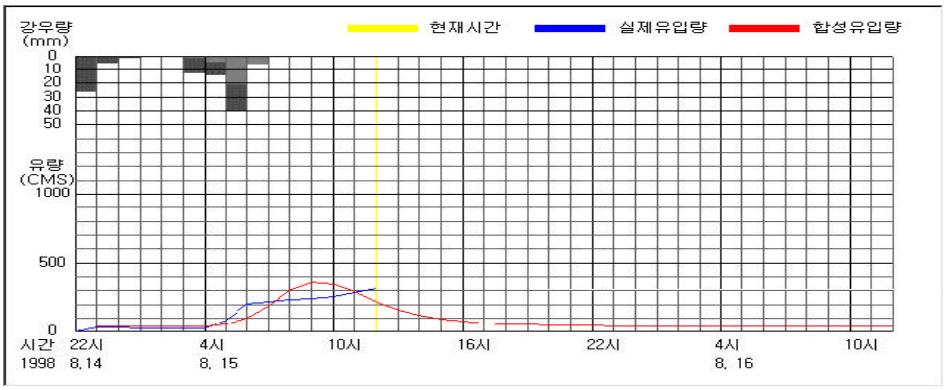


그림. 114-3 1998년 8월 14일 탑정지의 시간별 홍수량 예측 과정

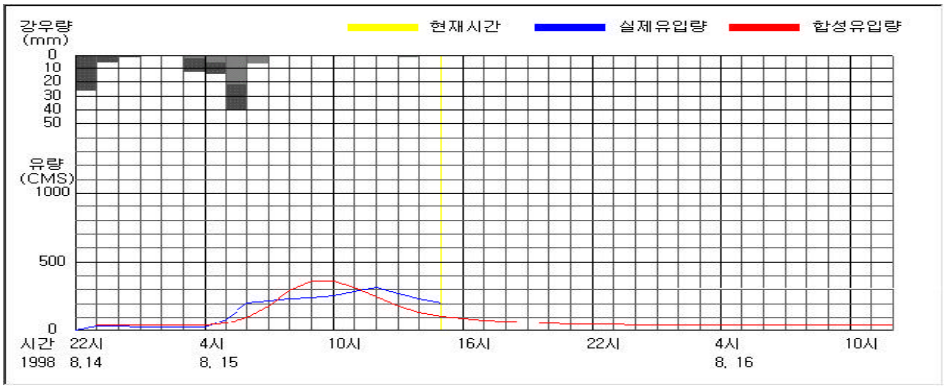


그림. 114-4 1998년 8월 14일의 시간별 홍수량 예측 과정

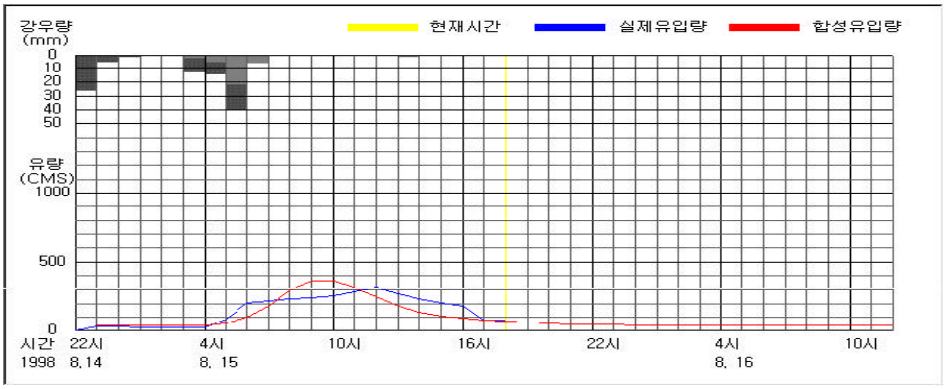
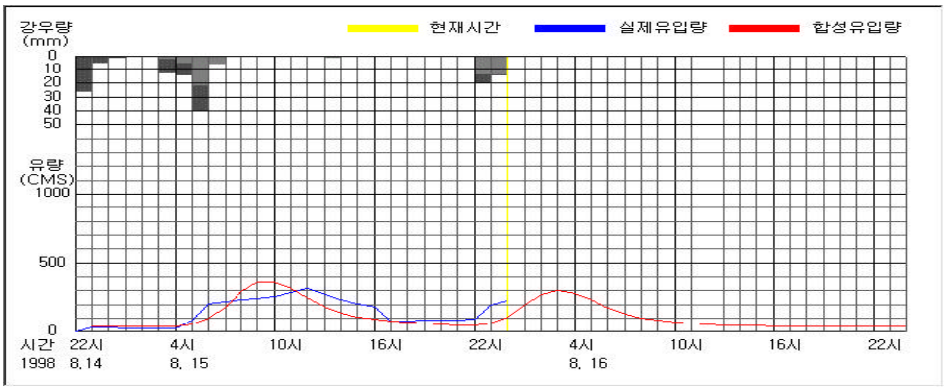


그림. 114-5 1998년 8월 14일 탑정지의 시간별 홍수량 예측 과정



±x림. 114-6 1998년 8월 14일의 시간별 홍수량 예측 과정

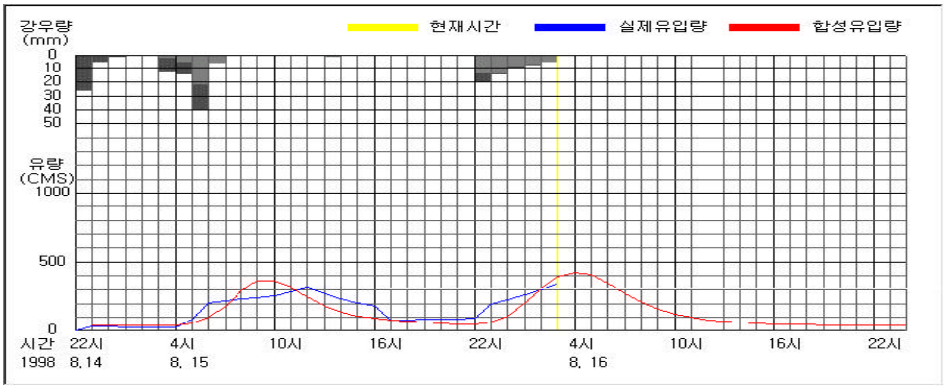


그림. 114-7 1998년 8월 14일 탑정지의 시간별 홍수량 예측 과정

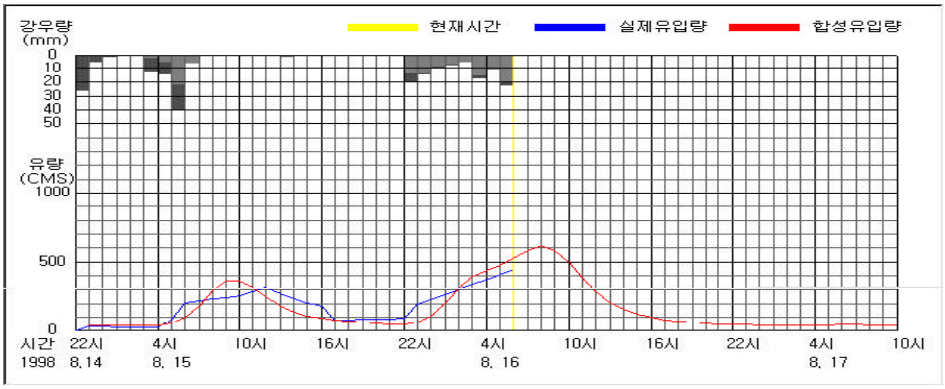


그림. 114-8 1998년 8월 14일의 시간별 홍수량 예측 과정

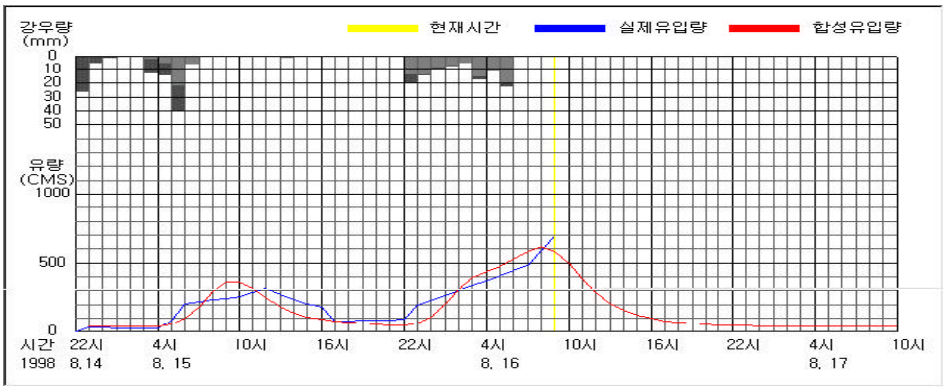


그림. 114-9 1998년 8월 14일의 시간별 홍수량 예측 과정

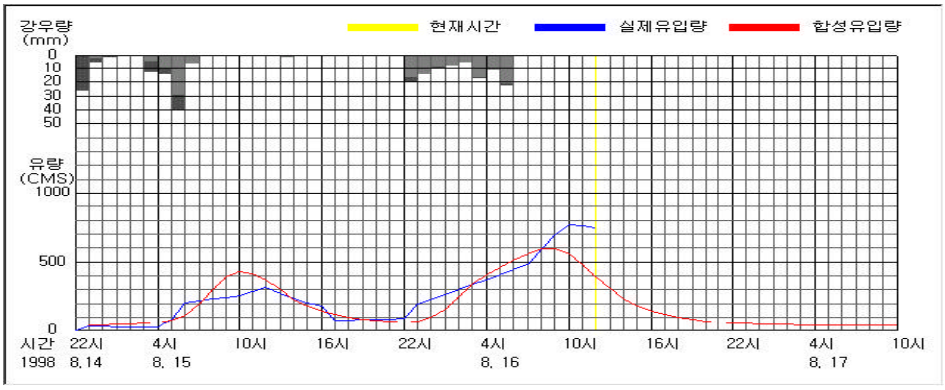


그림. 114-10 1998년 8월 14일의 시간별 홍수량 예측 과정

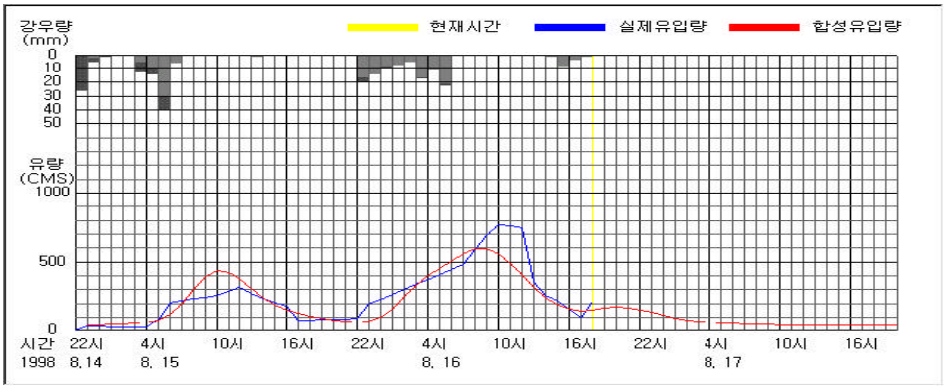


그림. 114-11 1998년 8월 14일의 시간별 홍수량 예측 과정

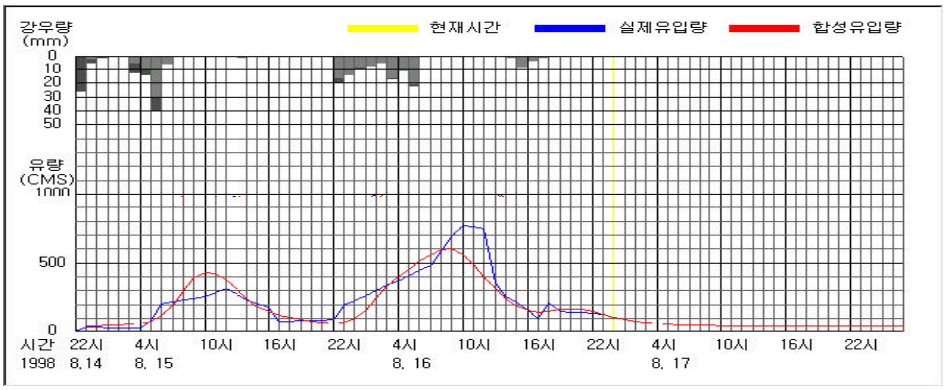


그림. 114-12 1998년 8월 14일의 시간별 홍수량 예측 과정

2) 1997년 7월5 7일, 1998년 8월3 4일, 9월30일 홍수유입량 예측 과정

탑정지에서 1997년 7월5 7일, 1998년 8월3 4일, 1998년 9월30일에 발생한 호우에 대해서도 시간별 홍수량 예측 과정을 분석하였으나 지면 관계상 홍수유출종료시간에서의 홍수수문곡선은 다음 그림. 115, 116, 117 와 같다.

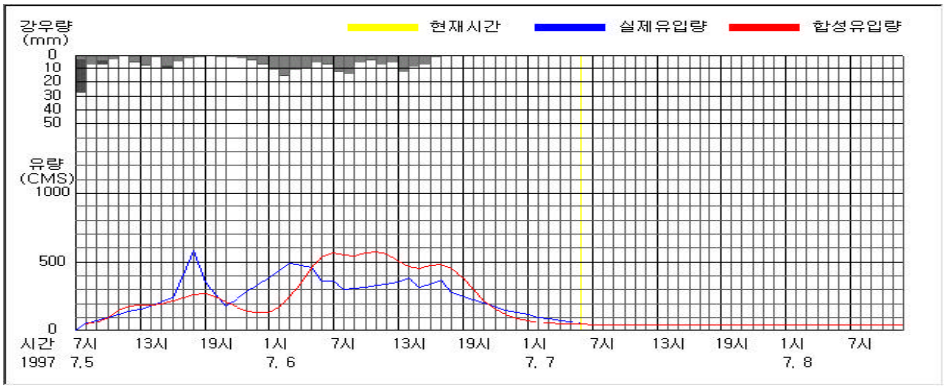


그림. 115 1997년 7월 5일 탑정지 홍수량 합성 그래프

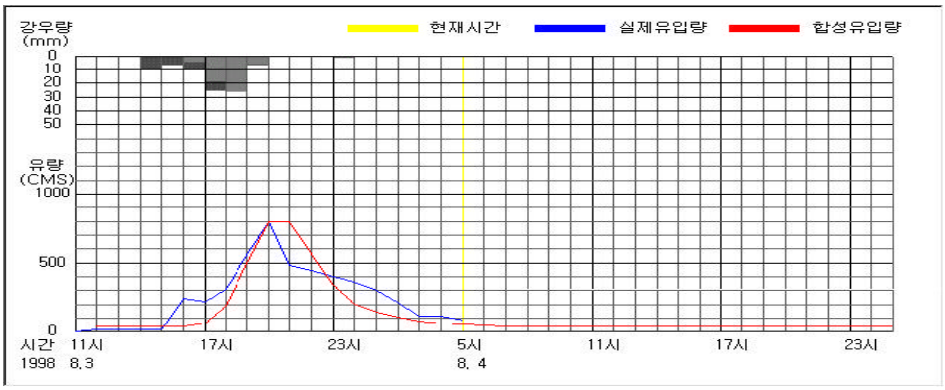


그림. 116 1998년 8월 3일 탑정지 홍수량 합성 그래프

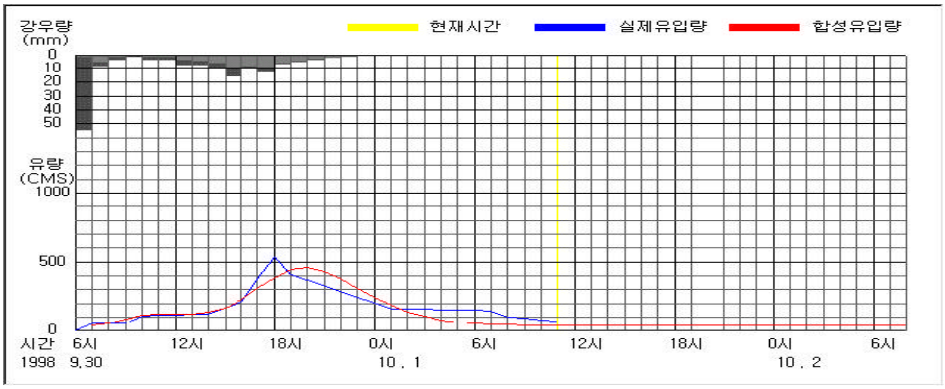


그림. 117 1998년 9월 30일 탑정지 홍수량 합성 그래프

제 6 절 수문조작모형 개발과 적용

수문(水門)이 있고 저수용량이 큰 저수지는 일반적으로 홍수조절기능을 두지만 물넘이 방류량이 크고 수문조작 방법이 복잡하다. 그러나, 경험적으로 홍수를 방류할 뿐 객관적인 기준하에 정량적으로 파악하여 방류하는 방법은 확립되어 있지 않다.

이 연구에서 저수지 홍수통제본부에서 홍수예경보시에 상류유역 강우관측망에서 자동관측되어 전송되는 실시간 강우량으로 실시간 홍수유입량을 예측하고, 이로부터 예측되는 저수위와 GIS를 이용하여 하류의 침수피해를 최소화할 수 있는 적정 방류량과 수문개수와 개방고를 제시해주는 수문조작모형을 개발하였다.

1. 수문조작 일반사항

물넘이 수문은 방류 또는 물넘이 점검정비를 위하여 필요한 경우, 즉 ① 상시만수위를 확보하기 위한 경우 ② 홍수시에 저수지에서 방류할 경우 ③ 댐 기타 저수지내의 시설의 점검, 정비가 필요한 경우 ④ 기타 불가피하게 필요한 경우를 제외하고는 수문을 개폐하면 안된다.

물넘이 수문개폐의 순서, 개폐방법, 1회 조작 개방도 등을 정하는 것은 안전상 대단히 중요하다. 즉, 수문을 조작하여 방류하는 경우에는 수문 1개 또는 일부 수문만을 개폐하지 않는다는 규정에 따라, 1 회 조작시의 1개 수문의 개방한도를 정해 놓고 차례로 개방을 진행하여 전체 수문을 개방한 후에는, 다시 최초로 조작한 수문으로 돌아와서 다시 1회 조작시의 1개 수문의 개방한도만큼 차례로 개방을 진행하는 수순으로 방류조작을 원활하게 조작한다. 폐문시에는 개문시의 역순으로 조작하여 원활하게 처리할 수 있다.

그러나, 유입량이 급증하는 경우에 저수위를 상시만수위에 유지하기 위하여는, 1회의 개폐 높이가 몇십cm 를 초과하는 불가피한 경우도 있다. 그러나, 이러한 경우에라도 당해 유입증가율의 범위내에서 방류조작하는 것에는 변함이 없다.

홍수시 수문개폐폭은 하류하천의 수위변동에 미치는 영향이 크므로, 과도한 개폐폭으로 조작하는 경우에는 하류하천으로의 유하량을 일시적으로 증대시켜 급격한 수위변동을 초래하거나, 또는, 일련의 수문을 한 쪽으로 치우치게 열어 하류 하천의 흐름이 난류가 되어 피해가 발생하는 경우가 많다. 이를 방지하기 위하여, 각개 수문의 1회 개폐높이가 oo cm 를 초과하지 않도록 제한하여 안정적으로 방류하여야 한다.

2. 수문조작모형의 기본개념

실시간 홍수예측모형으로 저수지 유입량을 예측하여 이에따라 댐안전과 관계가 있는 저수위와 하천범람과 관계가 있는 하류하천수위를 고려해가며 적정방류량을 결정하여야 한다. 홍수예경보 단계별로 유역토양수분량을 고려하여 예상강수량에 의한 저수지에로의 유입량과 저수위를 예측하여, 예측저수위가 만수위이상, 제한수위와 만수위사이, 제한수위이하의 경우에 대하여 방류기준과 시나리오(표. 86, 87)를 설정한다.

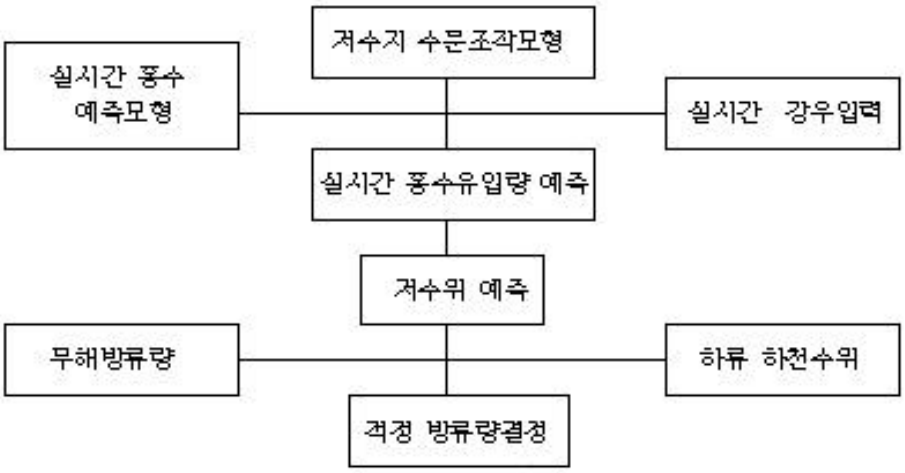


그림. 118 저수지 수문조작모형의 구조

가. 저수위 예측

홍수예보 단계별로 DAWAST모형으로 추정한 유역토양수분상태일 때, SCS 유효우량공식으로 예상강수량에 의한 저수지에로의 유입량을 식(15) 로 계산하여 저수위를 예측하여, 예측저수위가 만수위이상, 제한수위와 만수위사이, 제한수위이하 등 각각의 경우에 대하여 방류기준을 설정한다.

나. 예측 저수위별 방류기준설정

예상강우량이 정확할 수도 있지만, 그렇지 못한 경우도 있으므로, 홍수진행상황에 따라 저수위 단계별 (제한수위 이하, 제한수위와 만수위 사이, 만수위 이상 등) 로 방류기준을 정하여야한다. 왜냐하면, 만약 강우가 예상과 다르게 많이 내리지 않으면, 치수관리를 위하여 사전에 예비방류한 것이 애써 저류한 귀한 저수량을 낭비하는 무효방류가 되어 이수관리에 큰 문제가 되기 때문이다.

1) 예상저수위가 만수위 이상인 경우

예상저수위가 만수위 이상 상승하면 홍수위험단계이다. 미리 예비방류를 실시하여 가급적 저수지 용량을 비워두어 저수위가 만수위까지 이르지 않도록 홍수조절효과를 극대화하여야 한다.

① 용수공급 관계로 저수위가 예비방류수위이하이면 예비방류를 준비한다.
② 저수위가 예비방류수위이상 상승하면 30분 수위상승량이 50cm를 초과하지 않을 량 (예 : 설계홍수량의 약 15% 정도) 을 방류한다.
③ 홍수가 더욱 진행되어 저수위가 제한저수위에 접근하면 하류측 무해방류량 (댐하류 협착부 하천과 부근의 농경지에서 재해가 발생하지 않을 최대방류량) 수준으로 방류하여 저수위가 제한수위를 넘지 않도록한다.
④ 저수위가 제한수위와 만수위 사이로 상승하면 홍수발생 단계로 무해방류량과 유입량중 큰 량을 방류하여 저수위가 만수위를 넘지 않도록 한다.

⑤ 예상한대로 저수위가 만수위 이상이 되면 홍수위험단계이므로 설계홍수량 전량을 방류하여 저수위가 만수위 이하로 강하시킨다.

2) 예상저수위가 제한수위와 만수위사이인 경우

예상저수위가 제한수위와 만수위사이로 상승하면 홍수발생단계이다.

① 용수공급 관계로 저수위가 예비방류수위이하이면 예비방류를 준비한다.

② 저수위가 예비방류수위이상 상승하면 30분 수위상승량이 50cm를 초과하지 않을 량을 방류한다.

③ 홍수가 더욱 진행되어 저수위가 제한저수위에 접근하면 하류측 무해방류량 수준으로 방류하여 저수위가 제한수위를 넘지 않도록한다.

④ 저수위가 제한수위와 만수위 사이로 상승하면 홍수발생단계로 무해방류량과 유입량 중 큰 량을 방류하여 저수위가 만수위를 넘지 않도록한다.

⑤ 만약, 예상외로 저수위가 만수위 이상이 되면 홍수위험단계이므로 설계홍수량 전량을 방류하여 저수위가 만수위 이하로 강하시킨다.

3) 예상저수위가 제한수위 이하인 경우

예상저수위가 제한저수위이하이면 홍수주의보 대기단계 (Stand-by) 이다.

① 첫 단계로, 저수위가 제한저수위보다 낮은 경우에는 방류하지 않는다.

② 만약, 예상외로 저수위가 제한수위이상으로 상승하면 무해방류량과 유입량 중 큰 량을 방류하여 저수위가 제한수위를 넘지 않도록 한다.

규정상의 수문개방 순서는 13, 12, 14, 11, 15, 10, 16, 9, 17, 8, 18, 7, 19, 6, 20, 5, 21, 4, 22, 3, 23, 2, 24 1, 25, 26 ...순이며, 폐쇄는 역순이다.

같은 방법에 의한 탑정지 홍수단계별 방류기준과 시나리오의 일례는 다음과 같다.

표. 86 예당지 홍수단계별 방류기준과 시나리오의 일례

홍수예보	예상저수위 h (El.m)	관측저수위 h (El.m)	홍수단계	방류량 m^3/s	개방고 cm	개방문 련	하천수위 m
홍수위험	h > 22.50	h < 19.5	Stand-by	0	0	0	< 3.0
		19.5 < h < 21.5	홍수주의보	200 677	50 100	15 26	< 3.0
		21.5 < h < 22.5	홍수경보	677과 유입량에서 큰 값	200	유입량/32.9	< 4.2
		h > 22.5	홍수위험	1,645	300	26	> 5.0
홍수경보	21.5 < h < 22.5	h < 19.5	Stand-by	0	0	0	< 3.0
		19.5 < h < 21.5	홍수주의보	200 677	50 100	15 26	< 3.0
		21.5 < h < 22.5	홍수경보	677과 유입량에서 큰 값	200	유입량/32.9	< 4.2
		h > 22.5	홍수위험	1,645	300	26	> 5.0
홍수주의보	h < 21.50	h < 21.5	Stand-by	0	0	0	< 3.0
		h > 21.5	홍수경보	677과 유입량에서 큰 값	200	유입량/32.9	< 4.2

※ 1차 예비방류량은 지정홍수량 및 하천부지 경작지 보호를 위하여 250 m^3/s
※ 2차 예비방류량은 하류 협착부인 신례원의 통수량을 고려하여 677 m^3/s

표. 87 탑정지 홍수단계별 방류기준과 시나리오의 일례

홍수예보	예상저수위 h (El.m)	관측저수위 h (El.m)	홍수단계	방류량 m^3/s	개방고 cm	개방문 련	하천수위 m
홍수발생	h > 28.30	h < 24.0	Stand-by	0	0	0	< 2.83
		24.0 < h < 26.5	홍수주의보	50 103	100cm	2 4	< 2.83
		26.5 < h < 28.3	홍수경보	103과 유입량에서 큰 값	200cm	유입량/48.1	< 3.8
		h > 28.3	홍수위험	1,300	400cm	10	> 7.5
홍수경보	26.5 < h < 28.3	h < 24.0	Stand-by	0	0	0	< 2.83
		24.0 < h < 26.5	홍수주의보	50 103	100cm	2 4	< 2.83
		26.5 < h < 28.3	홍수경보	103과 유입량에서 큰 값	200cm	유입량/48.1	< 3.8
		h > 28.3	홍수위험	1,300	400cm	10	> 7.5
홍수주의보	h < 26.50	h < 26.5	Stand-by	0	0	0	< 2.83
		h > 26.5	홍수경보	103과 유입량에서 큰 값	200cm	유입량/48.1	< 3.8

※ 논산천 저수로의 통수량 : $123m^3/s$
※ 논산천 제외지의 답면표고에 해당되는 논산천 통수량 : $251m^3/s$

다. 하류하천 수위별 예비방류량

홍수기 (6월21일 9월20일) 저수위 변화는 홍수발생전에 미리 방류하여 저수위를 홍수조절수위에 유지한 상태에서 홍수가 유입되는 경우와 용수공급으로 저수위가 강하한 상태에서 홍수가 유입되는 경우가 있다.

홍수기에 홍수에 의하여 저수위가 일정수위 이상 상승하면 다음 홍수에 대비한 저수지내 홍수조절공간을 확보하기 위하여 미리 방류하여 저수위를 일정수위로 유지하며 이 일정수위를 홍수조절수위라 정의한다.

또한, 용수공급으로 저수위가 일정수위이하로 강하한 상태에서 홍수유입으로 인한 예측저수위가 만수위이상으로 예상되는 홍수에는, 저수위가 일정수위이상 상승하면 무해방류량내에서 미리 방류하여 저수지내 홍수조절공간을 더욱 확보하여 피크홍수량를 감소시킬 수 있도록 미리 방류하는 것을 예비방류라 하고, 예비방류를 시작하는 일정수위를 예비방류수위라 정의한다.

현재, 관개저수지의 홍수조절수위는 지정되어 있으나 예비방류수위는 개념은 정립되어 있지 않은 상태이다.

예비방류량은 무해방류량 수준에서 저수지의 제한수위를 유지하는 범위내에서 단계적으로 방류량을 증가시켜야한다.

제 1단계로는 하류측으로 피해없이 안전하게 방류하는 단계로 기능하면 하천수위 증가량이 30분에 약 50cm 이하가 되도록 방류한다. 그러나, 유입량이 급격히 증가하는 경우에는 다음과 같은 적정 방류한도량으로 방류량을 증가시킨다. (일본 농업토목학회, 1993, 토지개량시설 관리기준 (댐편) 참고)

$$Q_o = Q_3 \ (1 + d), \qquad d = \frac{Q_2 - Q_1}{(Q_2 + Q_1)/2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (19)$$

여기서, Q_1 : 1시간전의 유입량 (m^3/s), Q_2 : 현재시간의 유입량 (m^3/s)

Q_3 : 현재시간의 방류량 (m^3/s), Q_o : 적정한 방류한도량 (m^3/s)

제 2 단계로는 하천 고수부지의 경작지를 보호할 수 있는 범위내에서 방류한다.

제 3 단계로는 하류하천의 협착부 단면의 통수능력 범위내에서 방류한다. 유입량이

점점 증가하고 저수위가 제한수위와 만수위사이에 있을 경우에는, 하류하천의 협착부 단면의 통수능력 범위내에서 방류하여 가급적 침수피해를 줄인다.

제 4 단계로는 저수위가 만수위이하가 되도록 적의 방류한다. 유입량이 점점 증가하여 저수위가 만수위 가깝게 상승하면 무해방류량에 관계없이 유입량이상으로 방류하여 가급적 만수위이하로 저수위를 낮추어야한다.

1) 예당저수지의 예비방류기준

하류유역을 보호하기 위한 하류하천 수위와 상류유역을 보호하기 위한 저수지수위를 고려하여 방류량을 결정하여야한다. 피크홍수유입량을 조절하려면 다음 기준으로 예비방류량를 계산하여야 한다.

① 하류하천에 급격한 수위변동이 생기지 않도록, 즉, 원평교 지점에서 30분 수위상승량이 50cm를 초과하지 않도록 현재의 수위를 수위-유량곡선식으로 구하여 1단계 방류량으로 한다.
② 유입량이 급격히 증가할 때는 적정 방류한도량 Q_o로 방류량을 증가시킨다.
③ 하류 하천수위가 지정홍수위(3.0m) 이하이면 고수부지의 경작지를 보호하기 위하여 200m^3/s (지정홍수량 : 250m^3/s) 이내에서 2단계 예비방류량으로 한다.
④ 신례원 협착부 통수량을 고려한 677m^3/s 이내를 제3단계 예비방류량으로 한다.
⑤ 댐저수위가 El.+ 22.50m 이상 상승하면 무해방류량에 구애치 않고, 1,645m^3/s 까지 적의 방류하여 저수위가 El.+ 22.50m 에 유지되도록 한다.

예당지의 예비방류수위는 지정되어 있지 않지만, 홍수기간 최고기준저수량인 26,000,000m^3 (유효저수량의 56%, 예비방류용량비 100% 수준)에 해당되는 El.+20.5m을 예비방류수위로 취하고자 한다.

이 예비방류수위는 '92년 8.27일 방류를 시작한 시각 07:00의 저수위가 El.+20.67m이었으며, 일본의 경우, 예비방류용량이 유효저수량의 46.4%, 예비방류용량비 51.0%를 참고할 때, 비교적 낮은 수위로 생각된다.

저수지 치수관리상 가장 중요한 인자는 정확한 홍수유입량의 추정이다. 강우량을

정확하게 예측할 수 없으므로 홍수진행에 따라 저수위 단계별로 방류기준을 정하여야 한다. 왜냐하면, 강우가 예상과 다르게 내리면 치수관리를 위하여 사전에 예비방류한 것이 무효방류되어 이수관리에 큰 문제가 되기 때문이다.

2) 다목적댐의 무피해방류량

다목적댐에서도 홍수유입량을 효과적으로 조절하기위하여 저수지 수위를 저하할 목적으로 예비방류를 실시하며, 참고로 하류유황을 고려한 우리나라 다목적댐의 무피해방류량은 표. 88 과 같으며, 최대방류량의 약 16% 정도이다.

표. 88 다목적댐의 무피해방류량

댐 명	무해방류량 (m^3/s)	최대방류량 (m^3/s)	백분율 (%)	비 고
소양 댐	700	5,500	12.7	
대청 댐	1,000	6,000	16.6	
안동 댐	300	3,038	9.9	
남강 댐	2,000	6,500	30.7	
충주 댐	2,000	16,500	12.1	
평 균			16.4	

라. 수문개방도와 방류량 계산

홍수시의 댐방류는 물넘이 수문에서 이루어진다. 수문의 저수위별, 개방도별 방류량과의 관계를 구해둔다. 저수위가 만수위 El.+22.50m에 있을 때, 수문 1련 (H = 3.6 m, B = 6.0 m)을 50cm 개방시 Tainter gate 로의 방류량을 계산한다.

$$q = C_d \, w \, (2 g y_1)^{0.5} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (20)$$

$$C_d = \frac{C_c}{(1 + C_c \, w / y_1)^{0.5}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (21)$$

Toch의 Tainter gate 에 대한 월류량 실험 결과에 따라 $C_c = 0.625$ 로 취하면,

$$q = \frac{0.625}{(1 + 0.625 \times 0.5 / 3.0)^{0.5}} \times 0.5 \times (2 \times 9.8 \times 3.0)^{0.5} = 2.281$$

$$Q = 2.281 \times 6.0\ m = 13.68\ m^3/s$$

한편, 26련, 일류심 3.0m의 최대방류량은 $Q = 1{,}645\ m^3/s$ **(63.2×26련)이다.**

3. 수문조작모형의 개발

급격한 방류에 따른 하류측 침수피해를 방지할 수 있도록 홍수유입량 및 저수위와 GIS를 이용한 하류하천수위에 따른 침수면적을 고려하여 적정방류량을 제시하는 저수지 수문조작지침을 제시하였다.

상기한 수문조작모형의 기본개념을 예당지에서 1989년 9월14 15일, 1992년 8월26일 28일, 95년 8월23일 26일의 3가지 홍수사상에 대하여 실시한 수문조작 실적을 근거로 수문조작모형을 개발하였다. 이 가운데 1995년 8월23일 27일 홍수사상에 대한 수문조작모형의 과정과 결과는 각각 그림. 119, 표. 89, 90 과 같다.

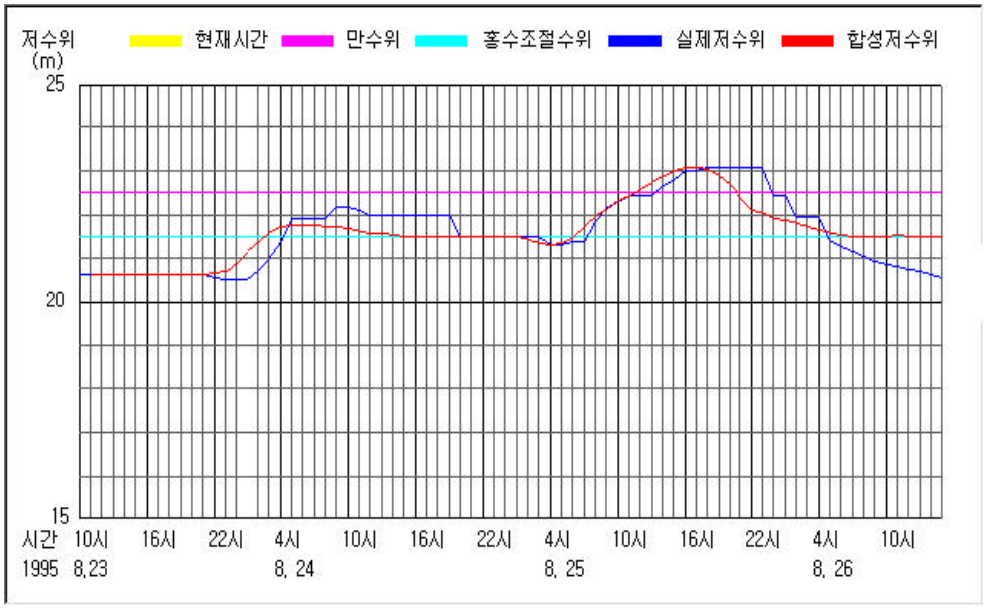


그림. 119 1995년 8월 23일 예당지 저수위 그래프

표. 89 1995년 8월23일 27일까지의 예당지 홍수합성 결과-1

시 간	강우량 (mm)	누가강우량 (mm)	유효강우량 (mm)	실제유입량 (CMS)	합성유입량 (CMS)
23일 11시	4.6	4.5	0.0	11.3	40.0
12시	2.4	7.0	0.0	11.3	40.0
13시	2.1	9.1	0.0	11.3	40.0
14시	1.9	11.0	0.0	11.3	40.0
15시	3.1	14.1	0.0	11.3	40.0
16시	3.3	17.3	0.0	11.3	40.0
17시	3.3	20.7	0.0	11.3	40.0
18시	6.8	27.5	0.2	18.8	40.3
19시	6.7	34.2	1.2	27.7	42.8
20시	21.9	56.0	8.1	27.7	59.7
21시	23.0	79.0	16.3	27.7	115.2
22시	38.2	117.2	31.0	243.8	257.8
23시	20.4	137.6	20.8	955.0	501.7
24일 00시	10.5	148.1	8.8	1251.9	813.1
01시	13.6	161.8	13.0	1403.3	1107.6
02시	4.8	166.6	4.6	1247.0	1294.6
03시	1.5	168.1	1.4	1247.0	1354.9
04시	1.0	169.1	0.9	1247.0	1294.2
05시	1.0	170.1	0.9	772.2	1134.9
06시	2.9	173.0	2.6	772.2	938.8
07시	2.3	175.3	2.2	600.0	761.6
08시	1.1	176.3	1.0	600.0	618.0
09시	1.1	177.5	1.0	494.1	506.7
10시	2.9	180.3	2.6	494.1	426.5
11시	2.5	182.8	2.4	494.1	370.3
12시	2.0	184.8	1.8	494.1	333.2
13시	2.0	186.8	1.9	494.1	309.4
14시	2.3	189.1	2.1	494.1	293.1
15시	2.3	191.5	2.2	494.1	282.6
16시	3.1	194.6	2.9	214.4	277.9
17시	3.1	197.6	2.9	214.4	277.4
18시	3.1	200.8	2.9	214.4	281.8
19시	1.7	202.5	1.6	214.4	289.2
20시	1.7	204.1	1.5	214.4	294.4
21시	1.7	205.8	1.6	214.4	292.2
22시	1.2	207.1	1.1	214.4	281.9
23시	2.2	209.3	2.0	214.4	267.5
25일 00시	6.7	216.0	6.3	253.1	259.0
01시	24.1	240.1	22.6	253.1	292.2
02시	19.0	259.1	18.9	583.0	398.7
03시	21.6	280.7	20.7	583.0	601.7
04시	21.3	302.0	21.2	970.5	868.8
05시	26.0	328.0	25.2	1435.0	1154.7
06시	24.0	352.0	24.0	1744.0	1433.6
07시	9.5	361.5	9.2	1744.0	1665.5
08시	20.5	382.0	20.2	1744.0	1823.1

(계속)

시 간	강우량 (mm)	누가강우량 (mm)	유효강우량 (mm)	실제유입량 (CMS)	합성유입량 (CMS)
25일 09시	25.3	407.2	24.9	1744.0	1900.8
10시	23.8	431.1	23.6	1538.3	1949.9
11시	19.2	450.2	19.0	1945.0	2007.7
12시	14.0	464.2	13.9	1945.0	2055.2
13시	14.3	478.6	14.1	2201.0	2067.1
14시	16.4	495.0	16.3	1715.0	2041.5
15시	3.0	498.0	3.0	1715.0	1966.1
16시	1.3	499.2	1.2	1715.0	1831.5
17시	1.6	500.8	1.6	1715.0	1632.1
18시	1.2	502.1	1.1	1715.0	1388.3
19시	0.6	502.7	0.6	1715.0	1139.2
20시	0.6	503.2	0.5	880.0	907.6
21시	0.8	504.1	0.8	880.0	705.3
22시	2.5	506.6	2.4	674.0	548.2
23시	0.1	506.7	0.1	674.0	437.5
26일 00시	0.2	506.8	0.1	674.0	358.8
01시	1.6	508.5	1.6	359.0	299.2
02시	2.2	510.7	2.1	238.0	254.8
03시	1.9	512.5	1.9	338.0	227.6
04시	1.8	514.4	1.7	307.0	215.2
05시	2.6	517.0	2.6	341.0	212.9
06시	2.2	519.2	2.1	337.0	217.5
07시	1.6	520.7	1.6	285.0	226.8
08시	0.0	520.7	0.0	311.0	232.1
09시	0.0	520.7	0.0	283.0	226.6
10시	0.0	520.7	0.0	209.0	208.8
11시	0.0	520.7	0.0	210.0	182.2
12시	0.0	520.7	0.0	192.0	152.4
13시	0.0	520.7	0.0	207.0	124.0
14시	0.7	521.5	0.6	194.0	101.4
15시	4.7	526.2	4.6	167.0	93.2
16시	5.7	531.9	5.6	167.0	107.5
17시	3.3	535.2	3.2	167.0	147.5
18시	2.2	537.4	2.1	167.0	203.7
19시	2.1	539.5	2.0	167.0	255.0
20시	2.1	541.5	2.0	167.0	288.6
21시	2.1	543.7	2.0	167.0	303.5
22시	2.4	546.0	2.3	167.0	303.2
23시	2.1	548.2	2.0	167.0	294.0
27일 00시	2.1	550.2	2.0	167.0	284.9
01시					276.0
02시					262.1
03시					238.2
04시					206.1
05시					171.6
06시					139.3

표. 90 1995년 8월23일 27일 까지의 예당지 홍수합성 결과-2

시 간	실측저수위 (m)	합성저수위 (m)	방류량 (CMS)	개방문련 (개)	개방고 (m)	하천수위
23일 11시	20.63	20.63	0.0	0	0.0	0.18
12시	20.63	20.64	0.0	0	0.0	0.18
13시	20.63	20.64	0.0	0	0.0	0.18
14시	20.63	20.64	0.0	0	0.0	0.18
15시	20.63	20.64	0.0	0	0.0	0.18
16시	20.63	20.64	0.0	0	0.0	0.18
17시	20.63	20.64	0.0	0	0.0	0.18
18시	20.63	20.64	0.0	0	0.0	0.18
19시	20.63	20.64	0.0	0	0.0	0.18
20시	20.63	20.64	0.0	0	0.0	0.18
21시	20.63	20.65	0.0	0	0.0	0.18
22시	20.56	20.69	242.3	10	1.0	0.18
23시	20.54	20.72	559.5	16	1.5	2.90
24일 00시	20.54	20.88	699.4	20	1.5	4.00
01시	20.54	21.15	854.7	19	2.0	4.30
02시	20.73	21.41	899.7	20	2.0	4.60
03시	20.99	21.59	809.7	18	2.0	4.70
04시	21.37	21.71	809.7	18	2.0	4.50
05시	21.91	21.76	699.4	20	1.5	4.50
06시	21.91	21.76	594.5	17	1.5	4.30
07시	21.91	21.75	559.5	16	1.5	4.00
08시	21.91	21.71	489.6	14	1.5	4.00
09시	22.17	21.71	454.6	13	1.5	3.80
10시	22.17	21.67	419.6	12	1.5	3.70
11시	22.09	21.61	363.5	15	1.0	3.60
12시	22.00	21.57	290.8	12	1.0	3.40
13시	22.00	21.54	266.5	11	1.0	3.10
14시	22.00	21.52	242.3	10	1.0	3.00
15시	22.00	21.50	242.3	10	1.0	2.90
16시	22.00	21.48	218.1	9	1.0	2.90
17시	22.00	21.49	218.1	9	1.0	2.80
18시	22.00	21.48	242.3	10	1.0	2.80
19시	22.00	21.49	242.3	10	1.0	2.90
20시	21.50	21.48	218.1	9	1.0	2.90
21시	21.50	21.48	218.1	9	1.0	2.80
22시	21.50	21.50	218.1	9	1.0	2.80
23시	21.50	21.49	193.8	8	1.0	2.80
25일 00시	21.50	21.51	266.5	11	1.0	2.70
01시	21.50	21.48	489.6	14	1.5	3.00
02시	21.50	21.43	699.4	20	1.5	3.80
03시	21.50	21.38	989.6	22	2.0	4.30
04시	21.32	21.34	1169.6	26	2.0	4.90
05시	21.32	21.33	1169.6	26	2.0	5.20
06시	21.39	21.47	1169.6	26	2.0	5.20
07시	21.39	21.72	1169.6	26	2.0	5.20
08시	21.84	21.97	1473.4	26	3.0	5.20

(계속)

시 간	실측저수위 (m)	합성저수위 (m)	방류량 (CMS)	개방문련 (개)	개방고 (m)	하천수위
25일 09시	22.13	22.15	1544.7	26	3.0	5.6
10시	22.29	22.30	1609.1	26	3.0	5.7
11시	22.42	22.44	1644.2	26	3.0	5.8
12시	22.42	22.59	1644.2	26	3.0	5.9
13시	22.42	22.74	1644.2	26	3.0	5.9
14시	22.65	22.87	1644.2	26	3.0	5.9
15시	22.77	22.99	1644.2	26	3.0	5.9
16시	23.00	23.06	1644.2	26	3.0	5.9
17시	23.00	23.08	1644.2	26	3.0	5.9
18시	23.06	23.02	1644.2	26	3.0	5.9
19시	23.06	22.88	1644.2	26	3.0	5.9
20시	23.06	22.66	1586.7	26	3.0	5.9
21시	23.06	22.38	1459.2	26	3.0	5.8
22시	23.06	22.10	764.7	17	2.0	5.6
23시	23.06	21.98	559.5	16	1.5	4.4
26일 00시	22.44	21.92	489.6	14	1.5	4.0
01시	22.44	21.85	454.6	13	1.5	3.8
02시	21.95	21.77	384.6	11	1.5	3.7
03시	21.95	21.70	339.2	14	1.0	3.5
04시	21.95	21.63	315.0	13	1.0	3.3
05시	21.43	21.57	242.3	10	1.0	3.2
06시	21.26	21.53	242.3	10	1.0	2.9
07시	21.15	21.49	193.8	8	1.0	2.9
08시	21.04	21.48	169.6	7	1.0	2.7
09시	20.95	21.49	169.6	7	1.0	2.6
10시	20.88	21.51	145.4	6	1.0	2.6
11시	20.81	21.50	121.1	5	1.0	2.4
12시	20.75	21.48	63.1	5	0.5	2.3
13시	20.70	21.48	37.9	3	0.5	1.8
14시	20.64	21.49	63.1	5	0.5	1.5
15시	20.58	21.50	121.1	5	1.0	1.8
16시	20.53	21.48	145.4	6	1.0	2.3
17시	20.49	21.46	169.6	7	1.0	2.4
18시	20.44	21.45	193.8	8	1.0	2.6
19시	20.40	21.45	242.3	10	1.0	2.7
20시	20.40	21.46	242.3	10	1.0	2.9
21시	20.40	21.48	242.3	10	1.0	2.9
22시	20.40	21.50	266.5	11	1.0	2.9
23시	20.40	21.49	242.3	10	1.0	3.0
27일 00시	20.40	21.50	266.5	11	1.0	2.9
01시		21.50	193.8	8	1.0	3.0
02시		21.52	218.1	9	1.0	2.7
03시		21.52	145.4	6	1.0	2.8
04시		21.54	121.1	5	1.0	2.4
05시		21.56	121.1	5	1.0	2.3
06시		21.56	96.9	4	1.0	2.3

4. 수문조작모형의 적용

개발한 수문조작모형을 1999년 8월 2일 3일 예당지 유역에 발생한 호우에 대하여 현지에서 실행하여 예당지 저수위 변화와 하류하천수위와 침수상황을 검정하였다.

탑정지 유역에는 1999년 홍수를 유발할만한 호우가 없어 1998년 8월14일 16일 탑정지 유역에 발생한 호우에 적용하여 수문조작모형의 일반성을 검정하였다.

가. 예당지에 수문조작모형 적용

1999년 8월2일 3일 예당지 유역에 호우가 발생하였을 때, 예당지 현지에서 실시간 홍수유입량 예측모형으로 매시간 홍수유입량을 예측하고, 이 홍수가 저수지로 유입될 때의 저수위를 고려하여, 수문조작모형으로 최적 방류량을 예측하고, 이 때의 예당지 저수위와 하류하천수위를 예측한 결과, 비교적 안정적으로 예측할 수 있었다.

예당지 유역에서 8월 2일 12시에 시작한 호우를 예를들면, 1999년 8월 3일 03시 현재 실시간 홍수유입량 예측모형으로 예측한 피크 홍수량은 1,100m^3/s (그림. 120)이고, 수문조작모형으로 예측한 최적 방류량은 809.7m^3/s (표. 93)이고, 이 때의 예당지 저수위는 21.43m 이었으며, 방류량에 의한 하류하천수위는 4.5 m 으로 예측되었다.

하류지역 침수예측모형에 의하면 1999년 8월 3일 3시 현재 침수구역별 침수현황은 표. 91 과 같다. 또한, 1시간후인 04시의 예당지 저수위와 하류하천수위는 그림. 123 과 같이 예측되었다.

수문조작모형에 의하면 1999년 8월 3일 3시 현재 홍수량 1089.9m^3/s 유입되어 El.21.54m로 상승하여 홍수기 제한수위를 상회하여, 18연을 2m 개방하여 809.7m^3/s를 방류하도록 제시하고 있다.

방류하지 않으면 El.21.90m 로 상승할 저수위가 방류에 따라 1시간후에는 El.21.63m 가 유지될 것이며 이에 따라 하류하천수위는 4.5m 가 된다.

또한, 하류침수 예측모형에 의하면 하천수위가 상승함에 따라 내배수가 되지않아 약 124ha가 침수심 0.4 0.6m 정도 침수될 것으로 예측된다.

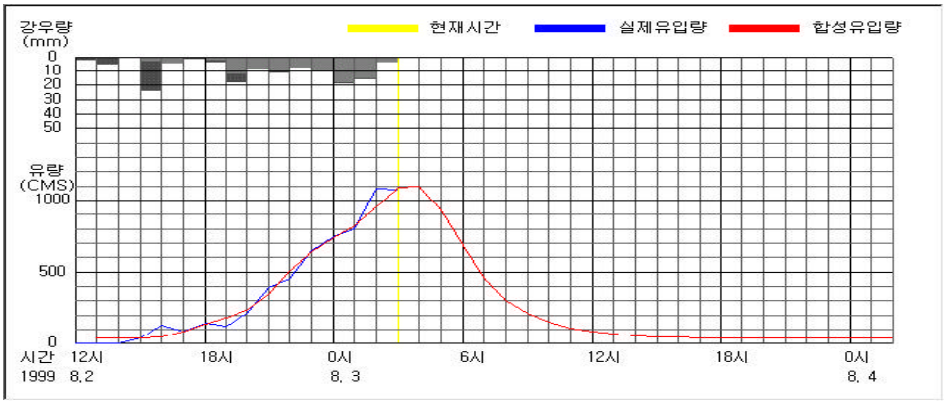


그림. 120 1999년 8월 3일 3시 현재 예당지 홍수유입량 예측 합성그래프

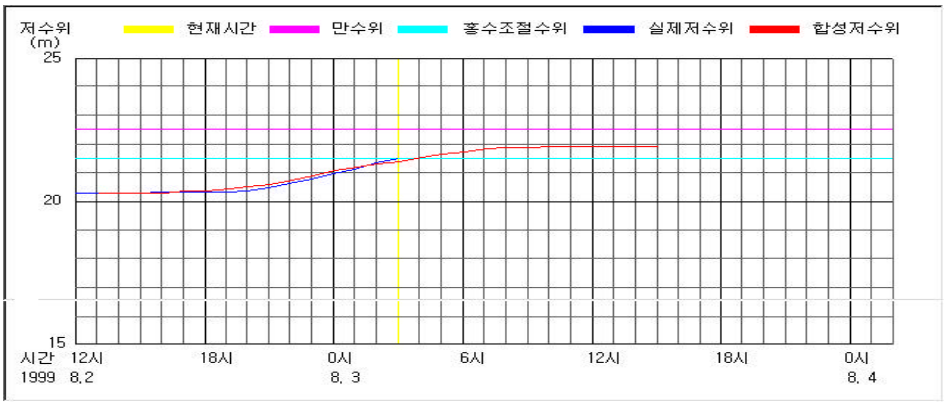


그림. 121 1999년 8월 3일 3시 예당지 저수위 그래프

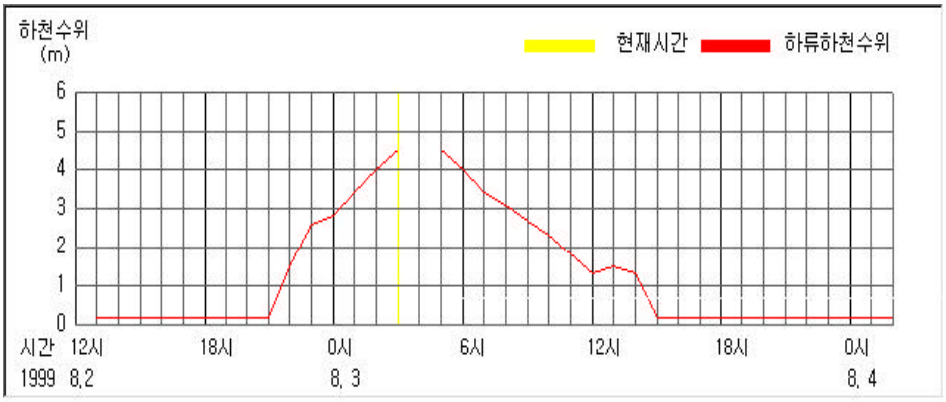


그림. 122 1999년 8월 3일 3시 예당지 하류하천수위 그래프

표. 91 1999년 8월 3일 3시 현재 예당지 하류하천 침수예상현황

유 역 명 칭	수 문 폐쇄시간	수 문 개방시간	유역면적 (ha)	침수면적 (ha)	침수율 (%)	침수심 (m)
입침리	3일 1시20분	3일 6시20분	373	15	4	0.43
손지리	3일 1시20분	3일 6시20분	442	14	3	0.66
산성리			279	0.0	0	0.00
원평리	2일 20시56분	3일 14시56분	2,464	44	2	0.62
소란마을	2일 20시56분	3일 14시56분	463	16	4	0.41
창소리	3일 1시41분	3일 14시41분	1,333	35	3	0.46
총 계			5,354	124	2.32	

표. 92 1999년 8월 3일 3시까지 예당지 홍수합성 결과-1

시 간	강우량 (mm)	누가강우량 (mm)	유효강우량 (mm)	실제유입량 (CMS)	합성유입량 (CMS)
2일 13시	1.7	1.7	0.0	0	40.0
14시	5.0	6.6	0.0	0	40.0
15시	0.0	6.6	0.0	3	40.0
16시	23.5	30.2	2.3	130	48.5
17시	3.7	33.9	4.1	84	83.7
18시	0.7	34.5	0.2	145	139.0
19시	3.4	38.0	1.8	122	183.9
20시	17.4	55.4	11.3	215	237.1
21시	7.7	63.0	8.0	390	345.9
22시	10.9	74.0	8.5	454	501.9
23시	6.8	80.8	6.8	644	642.5
3일 00시	10.3	91.0	8.7	747	737.0
01시	18.4	109.5	17.2	800	817.3
02시	15.2	124.6	14.6	1083	953.3
03시	2.9	127.5	3.0	1074	1089.9
04시					1095.9
05시					933.3
06시					685.2
07시					459.1
08시					305.9
09시					210.2
10시					148.7
11시					109.2
12시					84.0
13시					67.7

표. 93 1999년 8월 3일 3시까지 예당지 홍수합성 결과-2

시 간	실측저수위 (m)	합성저수위 (m)	방류량 (CMS)	개방문련 (개)	개방고 (m)	하천수위
2일 13시	20.30	20.30	0.0	0	0.0	0.18
14시	20.30	20.31	0.0	0	0.0	0.18
15시	20.29	20.31	0.0	0	0.0	0.18
16시	20.32	20.31	0.0	0	0.0	0.18
17시	20.33	20.36	0.0	0	0.0	0.18
18시	20.34	20.39	0.0	0	0.0	0.18
19시	20.34	20.44	0.0	0	0.0	0.18
20시	20.38	20.51	0.0	0	0.0	0.18
21시	20.49	20.61	37.9	3	0.5	0.18
22시	20.62	20.75	169.6	7	1.0	1.50
23시	20.78	20.89	218.1	9	1.0	2.60
3일 00시	20.96	21.07	363.5	15	1.0	2.80
01시	21.12	21.23	594.5	17	1.5	3.40
02시	21.35	21.34	809.7	18	2.0	4.00
03시	21.49	21.43	809.7	18	2.0	4.50
04시		21.54	809.7	18	2.0	4.50
05시		21.63	594.5	17	1.5	4.50
06시		21.73	363.5	15	1.0	4.00
07시		21.82	290.8	12	1.0	3.40
08시		21.86	193.8	8	1.0	3.10
09시		21.88	121.1	5	1.0	2.70
10시		21.89	63.1	5	0.5	2.30
11시		21.90	25.2	2	0.5	1.80
12시		21.92	37.9	3	0.5	1.30
13시		21.92	25.2	2	0.5	1.50

또한, 수문조작모형으로 예측한 시간별 최적방류량과 개방연수와 개방고, 이에 의한 예당지 저수위는 그림. 123 과 같고, 하천지역 침수예측모형에 의한 하류하천수위는 표. 93 과 같다.

이상은 1999년 8월 3일 3시 현재의 수문조작모형의 예측결과이고, 이와같은 예측은 매시간 가능하며 지면관계상 홍수가 끝난 1999년 8월 2일 4일까지의 예당지 유역에서 발생한 홍수의 최종합성결과는 표. 94, 95, 96 과 같으며, 최종 합성 홍수유입량과 예당지 저수위 변화는 각각 그림. 124, 125과 같다.

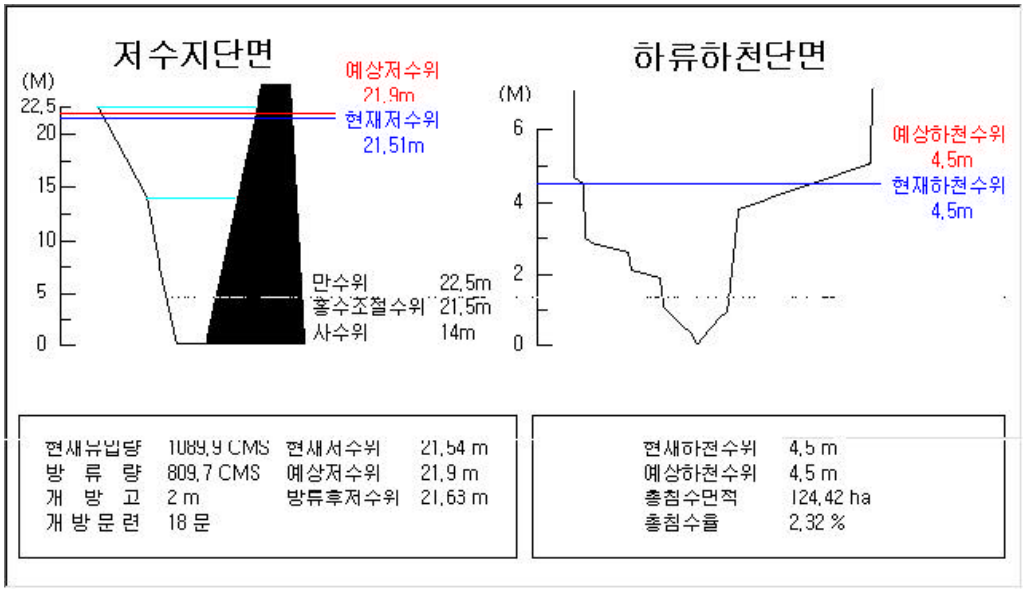


그림. 123 **1999년 8월 3일 3시에서 1시간후 예당지 저수위와 하류하천 침수상황**

표. 94 **1999년 8월 2일 12시부터 4일 0시까지의 예당지 홍수합성결과 최종자료**

총누가강우량	총유효강우량	총실제유입량	총합성유입량
185.1 mm	136.7 mm	6001.8 ha-m	5679 ha-m
최종실측저수위	**최종합성저수위**	**총방류량**	**최종하천수위**
21.3 m	21.52 m	4253.8 ha-m	2.3 m

1999년 8월 2일 4일까지의 예당지 상류유역 7개 (대술, 신양, 광시, 대흥, 응봉, 운곡, 비봉면) 자기강우계측기에서 Telemetering 되어 실시간으로 자동입력되는 강우자료로부터 유역평균강수량이 구해지고, 유효우량에 의하여 합성된 최종 홍수유입량는 표. 95, 그림. 124 와 같다.

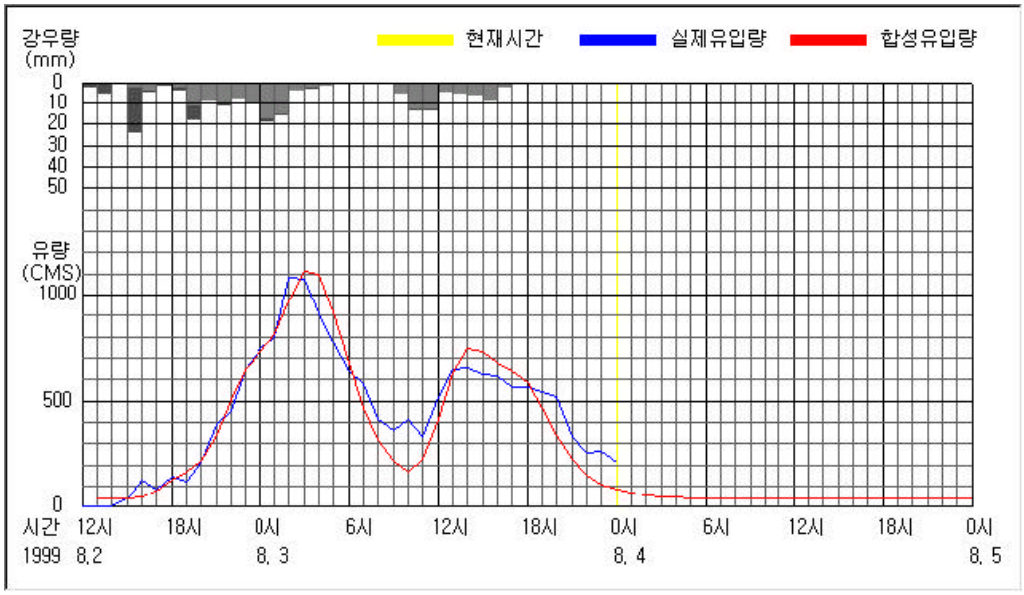


그림. 124 1999년 8월 2일 최종 예당지 홍수량 합성 그래프

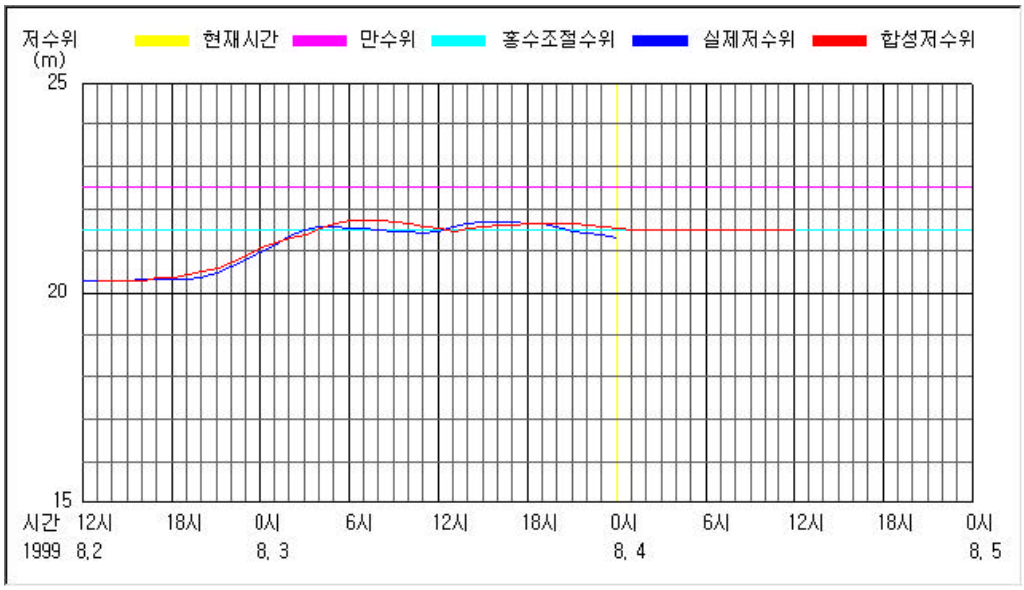


그림. 125 1999년 8월 2일 최종 예당지 저수위 그래프

표. 95 1999**년** 8**월** 2**일** 12**시부터** 4**일** 0**시까지의 예당지 홍수합성 결과**- 1

시 간	강우량 (mm)	누가강우량 (mm)	유효우량 (mm)	실제유입량 (CMS)	합성유입량 (CMS)
2일 13시	1.7	1.7	0.0	0	40.0
2일 14시	5.0	6.6	0.0	0	40.0
2일 15시	0.0	6.6	0.0	38	40.0
2일 16시	23.5	30.2	1.7	130	47.1
2일 17시	3.7	33.9	3.4	84	79.6
2일 18시	0.7	34.5	0.3	145	130.0
2일 19시	3.4	38.0	1.6	122	167.2
2일 20시	17.4	55.4	10.4	215	218.4
2일 21시	7.7	63.0	7.7	390	342.2
2일 22시	10.9	74.0	8.2	454	507.4
2일 23시	6.8	80.8	6.6	644	645.3
3일 00시	10.3	91.0	8.6	747	729.6
3일 01시	18.4	109.5	16.9	800	810.3
3일 02시	15.2	124.6	14.6	1083	968.2
3일 03시	2.9	127.5	3.0	1074	1111.1
3일 04시	2.4	130.0	2.1	907	1094.6
3일 05시	1.2	131.1	1.3	773	917.3
3일 06시	0.0	131.1	0.0	638	680.8
3일 07시	0.0	131.1	0.0	579	470.9
3일 08시	0.0	131.1	0.0	417	321.2
3일 09시	0.0	131.1	0.0	360	216.5
3일 10시	4.9	136.1	4.5	414	167.6
3일 11시	12.7	148.8	12.0	335	224.1
3일 12시	12.8	161.6	12.4	520	412.5
3일 13시	3.7	165.3	3.7	647	633.5
3일 14시	4.9	170.1	4.6	658	744.3
3일 15시	5.3	175.5	5.2	628	729.3
3일 16시	7.9	183.3	7.5	621	679.3
3일 17시	1.4	184.8	1.6	567	642.3
3일 18시	0.3	185.1	0.1	567	585.3
3일 19시	0.0	185.1	0.0	539	469.9
3일 20시	0.0	185.1	0.0	519	337.5
3일 21시	0.0	185.1	0.0	331	225.1
3일 22시	0.0	185.1	0.0	254	154.3
3일 23시	0.0	185.1	0.0	264	110.8
4일 00시	0.0	185.1	0.0	211	83.9
4일 01시					67.1
4일 02시					56.4
4일 03시					49.5
4일 04시					45.3
4일 05시					43.1

표. 96 1999년 8월 2일 12시부터 4일 0시까지의 예당지 홍수합성 결과-2

시 간	실측저수위(m)	합성저수위(m)	방류량(CMS)	개방문련(개)	개방고(m)	하천수위
2일 13시	20.30	20.30	0.0	0	0.0	0.18
14시	20.30	20.31	0.0	0	0.0	0.18
15시	20.29	20.31	0.0	0	0.0	0.18
16시	20.32	20.31	0.0	0	0.0	0.18
17시	20.33	20.36	0.0	0	0.0	0.18
18시	20.34	20.38	0.0	0	0.0	0.18
19시	20.34	20.44	0.0	0	0.0	0.18
20시	20.38	20.51	0.0	0	0.0	0.18
21시	20.49	20.61	37.9	3	0.5	0.18
22시	20.62	20.75	169.6	7	1.0	1.50
23시	20.78	20.89	218.1	9	1.0	2.60
3일 00시	20.96	21.07	363.5	15	1.0	2.80
01시	21.12	21.23	594.5	17	1.5	3.40
02시	21.35	21.34	809.7	18	2.0	4.00
03시	21.49	21.43	809.7	18	2.0	4.50
04시	21.56	21.57	854.7	19	2.0	4.50
05시	21.57	21.64	699.4	20	1.5	4.60
06시	21.53	21.68	489.6	14	1.5	4.30
07시	21.54	21.72	419.6	12	1.5	3.80
08시	21.49	21.71	315.0	13	1.0	3.60
09시	21.47	21.68	266.5	11	1.0	3.20
10시	21.47	21.63	290.8	12	1.0	3.00
11시	21.44	21.57	384.6	11	1.5	3.10
12시	21.48	21.51	524.5	15	1.5	3.50
13시	21.56	21.48	559.5	16	1.5	3.90
14시	21.65	21.54	559.5	16	1.5	4.00
15시	21.67	21.55	559.5	16	1.5	4.00
16시	21.68	21.58	594.5	17	1.5	4.00
17시	21.67	21.60	524.5	15	1.5	4.00
18시	21.66	21.63	454.6	13	1.5	3.90
19시	21.64	21.65	384.6	11	1.5	3.70
20시	21.57	21.65	339.2	14	1.0	3.50
21시	21.48	21.64	242.3	10	1.0	3.30
22시	21.42	21.60	169.6	7	1.0	2.90
23시	21.37	21.56	121.1	5	1.0	2.60
4일 00시	21.30	21.52	63.1	5	0.5	2.30
01시		21.51	25.2	2	0.5	1.80
02시		21.51	50.5	4	0.5	1.30
03시		21.50	0.0	0	0.0	1.60
04시		21.50	0.0	0	0.0	0.18
05시		21.50	0.0	0	0.0	0.18

나. 탑정지에 수문조작모형 적용

1998년 8월14일 22시부터 17일 0시까지 탑정지 유역에 발생한 홍수에 대하여 수문조작모형을 적용한 결과, 최종자료는 표. 98, 99, 그림. 126 과 같다.

표. 97 에서 총강우량 216mm에 유효우량 160mm로 유출율 74%로 유역이 대단히 습윤한 상태였으며, 합성유입량은 4150만m^3으로 관측유입량 4322만m^3의 4% 상대오차를 보이고 있다.

수문조작모형은 큰 홍수가 예상되지 않으면 수자원 보유차원에서 가급적 홍수조절수위 El.27.3m가 유지되도록 저수위를 조정하도록 계획되어 있기 때문에, 이번 호우에는 큰 홍수가 예상되지 않기 때문에 홍수가 끝난 8월16일 22시 현재 저수위 El.27.30m가 유지되도록 모의발생하여 저수율이 81.4%였다.

그러나, 실제 저수지 방류실적은 홍수가 끝난 8월16일 22시 현재 저수위가 El. 25.76m 되도록 많이 방류하였기 때문에 저수율이 55%에 달하여 수자원보유 차원에서는 모의발생보다 부족한 측면이 있다.

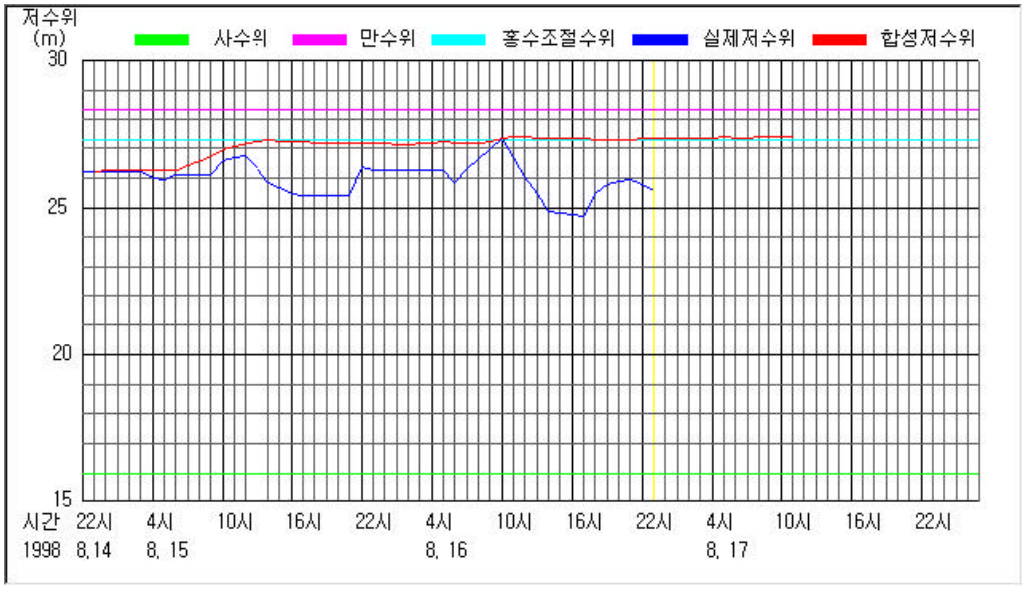


그림. 126 1998년 8월 14일 탑정지 저수위 최종 그래프

표. 97 1998년 8월14일 22시부터 17일 0시까지의 탑정지 홍수합성결과 최종자료

총누가강우량	총유효우량	총실제유입량	총합성유입량
216 mm	160.7 mm	4322.6 ha-m	4150.4 ha-m
최종실측저수위	최종합성저수위	총방류량	최종하천수위
25.57 m	27.30 m	2805.3 ha-m	m

제 7 절 하류지역 침수예측모형

행정자치부 방재망을 통하여 예당지 상류 7개소 자기강우관측소에서 실시간(시간별, 또는 30분 간격)으로 입수되는 강수량자료를 실시간 홍수예측모형에 자동 입력하여 홍수유입량을 예측하고, 이에따라 예측되는 저수위와 하류하천수위를 고려하여 적정방류량이 결정되면, 방류량에 따라 하류하천수위가 상승하고 지구내 농경지의 내배수가 불가능하므로 침수피해를 받게 된다. 따라서, 방류량에 따른 하류하천수위와 예상 침수면적, 침수심과 침수시간 등을 GIS를 이용한 지구내 배수계통도로부터 예측하여 적절한 방류계획과 수해방지대책을 수립할 수 있도록 하였다.

1. 벼의 생육시기별 침수피해

벼의 침수피해는 생육시기, 침수시간, 수온, 수질, 담수심에 따라 피해정도가 달라지며 특히, 관수(벼가 물에 완전히 잠김) 시의 피해가 크다.

경기, 충남, 전남, 경남 등에서 조사된 자료를 종합정리한 벼의 생육시기에 따른 관수일수별 감수피해는 표. 101 과 같다.

우리나라 홍수시작일인 6월 21일은 분얼기에 해당되며 이 때 초장은 30cm 이상이므로 수해발생시기인 7 9월에 수해가 많이 발생하는 것을 고려할 때, 주로 수잉기의 침수피해방지를 목표로 허용담수심을 30cm 로 정하게 된다.

표. 98 1998년 8월14일 22시 17일 0시까지의 탑정지 홍수합성결과 최종자료-1

시 간	강우량 (mm)	누가강우량 (mm)	유효강우량 (mm)	실제유입량 (CMS)	합성유입량 (CMS)
14일 23시	26	26	0.1	30.2	40.0
15일 00시	5	31	1.8	28.9	41.6
01시	1	32	0.5	27.7	45.1
02시	0	32	0.0	26.4	50.7
03시	0	32	0.0	25.2	56.7
04시	12	44	4.5	24.0	63.5
05시	14	58	8.9	85.1	77.2
06시	39	97	29.9	204.4	121.0
07시	1	98	5.3	217.9	198.4
08시	0	98	0.0	231.4	300.9
09시	0	98	0.0	244.9	393.4
10시	0	98	0.0	258.5	434.7
11시	0	98	0.0	286.4	425.2
12시	0	98	0.0	314.4	376.9
13시	0	98	0.0	276.1	312.5
14시	1	99	0.8	237.9	241.4
15시	0	99	0.0	208.4	188.1
16시	0	99	0.0	178.9	152.0
17시	0	99	0.0	76.0	127.4
18시	0	99	0.0	78.7	107.4
19시	0	99	0.0	81.4	91.9
20시	0	99	0.0	84.2	79.6
21시	0	99	0.0	86.9	69.7
22시	0	99	0.0	89.7	62.0
23시	19	118	15.9	194.6	67.9
16일 00시	14	132	14.0	230.2	97.6
01시	9	141	8.0	265.8	159.7
02시	7	148	6.9	301.4	247.0
03시	5	153	4.5	337.0	331.2
04시	17	170	15.9	372.6	401.1
05시	11	181	11.0	408.2	454.1
06시	22	203	20.6	443.8	508.4
07시	0	203	0.0	479.4	556.7
08시	0	203	0.0	584.9	592.0
09시	0	203	0.0	690.5	598.5
10시	0	203	0.0	767.0	560.2
11시	0	203	0.0	756.3	491.7
12시	0	203	0.0	745.6	404.0
13시	0	203	0.0	357.1	320.2
14시	0	203	0.0	257.8	244.5
15시	1	204	0.9	223.0	191.5
16시	8	212	7.6	163.0	159.8
17시	3	215	3.1	100.3	147.8
18시	1	216	0.8	212.0	152.1
19시	0	216	0.0	150.4	164.6
20시	0	216	0.0	148.3	171.2
21시	0	216	0.0	146.3	167.2
22시	0	216	0.0	140.0	153.2
23시	0	216	0.0	133.7	134.0
17일 00시	0	216	0.0	109.6	111.4
01시					92.3
02시					78.2
03시					68.5

표. 99 1998년 8월14일 22시 17일 0시까지의 탑정지 홍수합성결과 최종자료-2

시 간	실측저수위 (m)	합성저수위 (m)	방류량 (CMS)	개방문련 (개)	개방고 (m)
14일 23시	26.21	26.21	0.0	0	0.0
15일 00시	26.22	26.26	0.0	0	0.0
01시	26.22	26.26	0.0	0	0.0
02시	26.22	26.26	0.0	0	0.0
03시	26.22	26.26	0.0	0	0.0
04시	26.00	26.26	0.0	0	0.0
05시	25.94	26.26	0.0	0	0.0
06시	26.11	26.29	38.0	1	1.0
07시	26.11	26.43	38.0	1	1.0
08시	26.11	26.57	76.1	2	1.0
09시	26.11	26.75	38.0	1	1.0
10시	26.59	26.96	38.0	1	1.0
11시	26.67	27.11	76.1	2	1.0
12시	26.75	27.21	114.2	3	1.0
13시	26.29	27.20	143.5	2	2.0
14시	25.84	27.25	114.2	3	1.0
15시	25.65	27.25	76.1	2	1.0
16시	25.46	27.23	38.0	1	1.0
17시	25.41	27.22	38.0	1	1.0
18시	25.41	27.20	38.0	1	1.0
19시	25.41	27.19	38.0	1	1.0
20시	25.41	27.19	0.0	0	0.0
21시	25.41	27.19	38.0	1	1.0
22시	26.37	27.18	0.0	0	0.0
23시	26.27	27.18	76.1	2	1.0
16일 00시	26.27	27.16	143.5	2	2.0
01시	26.27	27.13	215.3	3	2.0
02시	26.27	27.14	287.1	4	2.0
03시	26.27	27.17	358.9	5	2.0
04시	26.27	27.20	430.7	6	2.0
05시	26.27	27.23	430.7	6	2.0
06시	25.84	27.21	611.3	7	2.5
07시	26.32	27.19	611.3	7	2.5
08시	26.65	27.21	524.0	6	2.5
09시	26.98	27.28	430.7	6	2.0
10시	27.33	27.39	524.0	6	2.5
11시	26.69	27.33	358.9	5	2.0
12시	26.05	27.32	287.1	4	2.0
13시	25.46	27.32	215.3	3	2.0
14시	24.87	27.35	215.3	3	2.0
15시	24.82	27.33	143.5	2	2.0
16시	24.76	27.33	143.5	2	2.0
17시	24.71	27.3	143.5	2	2.0
18시	25.46	27.29	143.5	2	2.0
19시	25.78	27.29	143.5	2	2.0
20시	25.86	27.29	114.2	3	1.0
21시	25.94	27.31	114.2	3	1.0
22시	25.76	27.31	114.2	3	1.0
23시	25.57	27.30	76.1	2	1.0
17일 00시	25.43	27.31	38.0	1	1.0
01시		27.33	38.0	1	1.0
02시		27.34	38.0	1	1.0
03시		27.34	0.0	0	0.0

수잉기, 출수기에는 12시간 관수에도 약 28%의 감수를 보이고 있어 가능하면 관수상태는 피해야 할 것이다. 왜냐하면, 수면에서 잎끝이 10 15cm정도 노출되면 1 2일 침수되어도 약 20% 정도의 피해에 그치게 되기 때문이다. 수잉기의 초장은 약 70 80cm 이므로 논두렁 높이와 허용담수심 30cm 를 고려할 때, 이 시기에는 풍수해에 의한 도복, 관수피해를 조심해야 한다.

도복피해는 출수후 10일 경과한 시점이 가장 심하며 출수후 40일 경과 이후에는 피해가 없다.

홍수시의 배수계획을 세우는 기준내수위는 홍수피크수위때의 허용상한수위로서 수익지구내의 가장 낮은 답표고로 정한다. 다만, 수익지구내에서 침수를 허용하는 경우에는 지구내 가장 낮은 답표고에 허용침수심을 더한 높이로 정한다.

따라서, 저수지 방류량에 따른 외수위와 기준내수위를 비교하여 예상 침수면적, 침수심과 침수시간을 계산할 수 있고 예상피해액도 산정할 수 있다.

표. 100 출수기 이후 시기별 도복 피해율

도 복 시 기 (출수기후 일수)		10	15	20	25	30	35	40
피해율 (%)	전도복	55	45	35	25	15	7	3
	반도복	40	30	25	15	7	3	0

표. 101 벼의 생육시기별 관수일수와 감수율 (%, 탁수의 경우)

관수일수	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	감수예측방정식
이앙직후	4	7	10	13	16	19	22	25	28	31	34	37	39	42	$y = 6.97x^{0.926}$
분 얼 기	6	11	16	21	26	30	35	39	44	48	52	57	61	65	$y = 11.12x^{0.908}$
유수형성기	15	20	24	29	34	39	44	48	53	58	63	68	72	77	$y = 9.58x + 10$
수 잉 기	27	40	50	58	66	73	80	86	92	97	100	-	-	-	$y = 39.66x^{0.558}$
출 수 기	28	42	53	63	72	80	88	95	100	-	-	-	-	-	$y = 41.94x^{0.589}$

y : 감수율 (%), x : 관수일수 (일)

2. 하류지역 침수예측모형의 기본개념

홍수예측기법에 의하여 홍수시, 저수위별 강수량과 예상유입량에 따라 방류계획을 수립할 때에는, 방류에 따른 하류하천수위와 연관되는 저수지 수익지구의 침수 예상면적과 침수심과 침수시간 등을 종합적으로 판단해야 한다. GIS를 이용한 저수지 몽리구역과 배수계통도가 필요하다.

예당저수지 하류 무한천 양안지역은 예당지 홍수방류에 따라 무한천 수위가 상승하여 각 지구내 배수가 안되어 침수가 잦은 지역으로 주로 이에 대해 분석하였다.

탑정저수지 하류 논산천 양안지역은 탑정지 홍수방류에 의한 하천수위상승보다는 금강본류의 수위상승에 따른 홍수역류에 의하여 침수되는 경우가 더 많은 지역이다. 방류기준과 시나리오에 의한 방류량이 하류 하천수위와 농경지의 침수면적과 침수시간에 미치는 영향을 다음과 같이 검토하였다.

① 예당지 방류량에 의한 지점별, 시간별 하천수위를 구한다.
② 시간별 댐유입량으로부터 유역면적 비율로 시간별 지구내 유입량을 추정한다.
   지구내 유입량 = 댐유입량 × 지구내 유역면적 / 댐유역면적
③ 추정된 지구내 유입량으로부터 답면 담수심을 계산한다.
④ 시간별 하천수위가 지구내 답면 담수심보다 같거나 낮으면 침수없슴.
⑤ 시간별 하천수위가 지구내 답면 담수심보다 높으면 지구내 유입량에 의한 침수면적과 하천수위가 답면 담수심보다 낮아질 때까지의 침수시간 동안 침수됨.

같은 방법으로 탑정지 방류량에 해당되는 논산천의 시간별 하천수위를 수위-유량곡선으로부터 구하여 방류수와 지구내 유입량에 의한 침수시간과 침수면적을 할 수 있다.

그림. 127 1997년 8월26일 무한천 양안의 침수상황-1

그림. 128 1997년 8월26일 무한천 양안의 침수상황-2

3. 하류지역 침수예측모형의 개발

예당지 방류에 따른 예상 하류하천수위를 추정하고 하류지역의 각 지구내 홍수량을 추정하여 침수용량을 계산하고, 이에 따라 침수면적, 침수시간과 침수심을 추정하는 모형을 개발하였다.

가. 방류량과 하류하천 수위변화

예당지의 수문개방에 따른 하천통수능력을 결정하기 위하여 원평 수위관측소에서의 수위-유량곡선식(22)을 금강수계 유량측정조사 보고서(1997)에서 구하였으며, 식(23), 식(24)와 같이 수위-유속식, 수위-통수단면적 관계식을 구하였다. 홍수후 하천유로의 변형이 예상되나, 이 유역은 저수로가 정비되어 비교적 하천바닥이 안정적이다.

수위-유량 곡선식 : $Q = 8.636 \times h^{3.014}$, $H < 0.3$ ····· (22)

수위-유속 곡선식 : $V = 0.254 \times H \wedge 1.265$ ····· (23)

수위-통수 단면적 식 : $A = 12.938 \times H \wedge 2.151$, $H < 0.6$ ····· (24)

$A = 50.590 \times H \wedge 1.388$, $H \geq 0.6$

탑정지의 수문개방에 따른 하천통수능력을 결정하기 위하여 논산 수위관측소에서의 수위-유량곡선식 (25)를 금강하류지역 유량측정조사 보고서(1997)에서 구하였다..

수위-유량 곡선식 : $Q = 10.809 \times h^{1.975}$, $0.26 < H < 2.8$ ····· (25)

$Q = 2.367 \times h^{3.466}$, $2.8 \leq H$

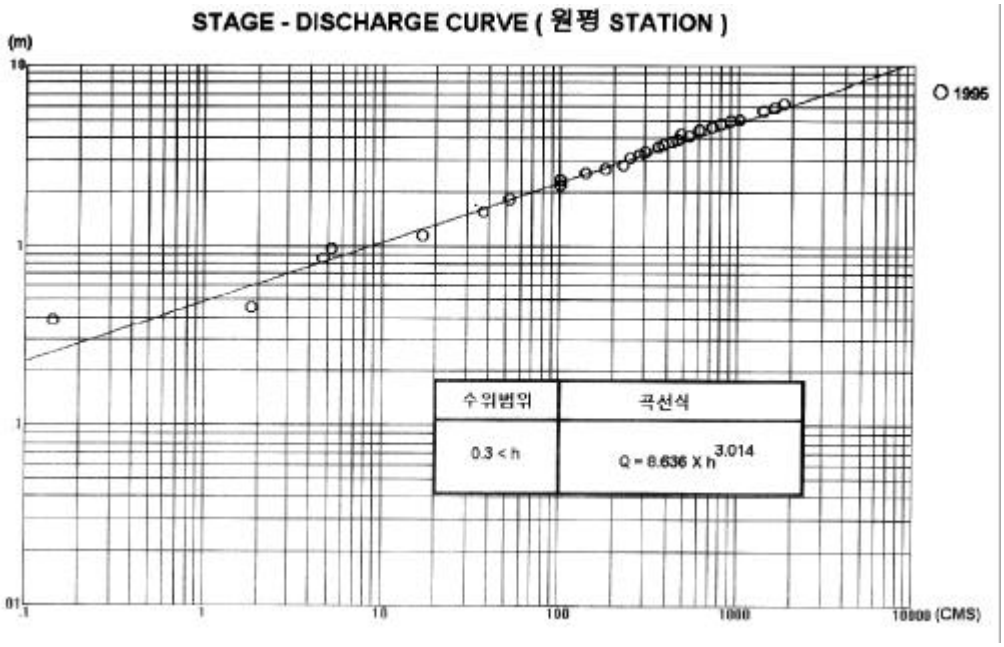


그림. 129 **예당지 하류 원평교 지점의** Rating curve

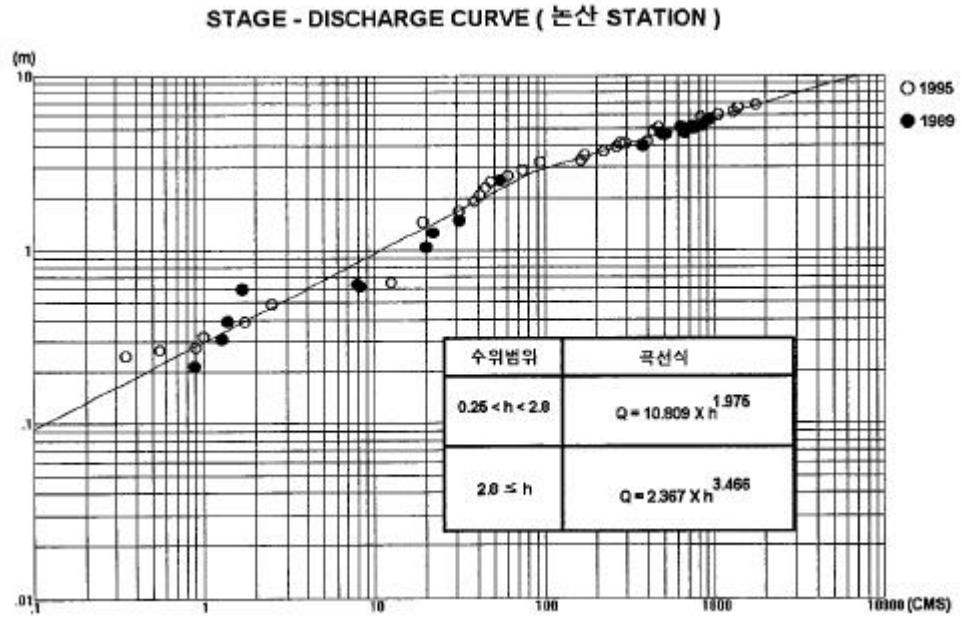


그림. 130 **탑정지 하류 논산지점의** Rating curve

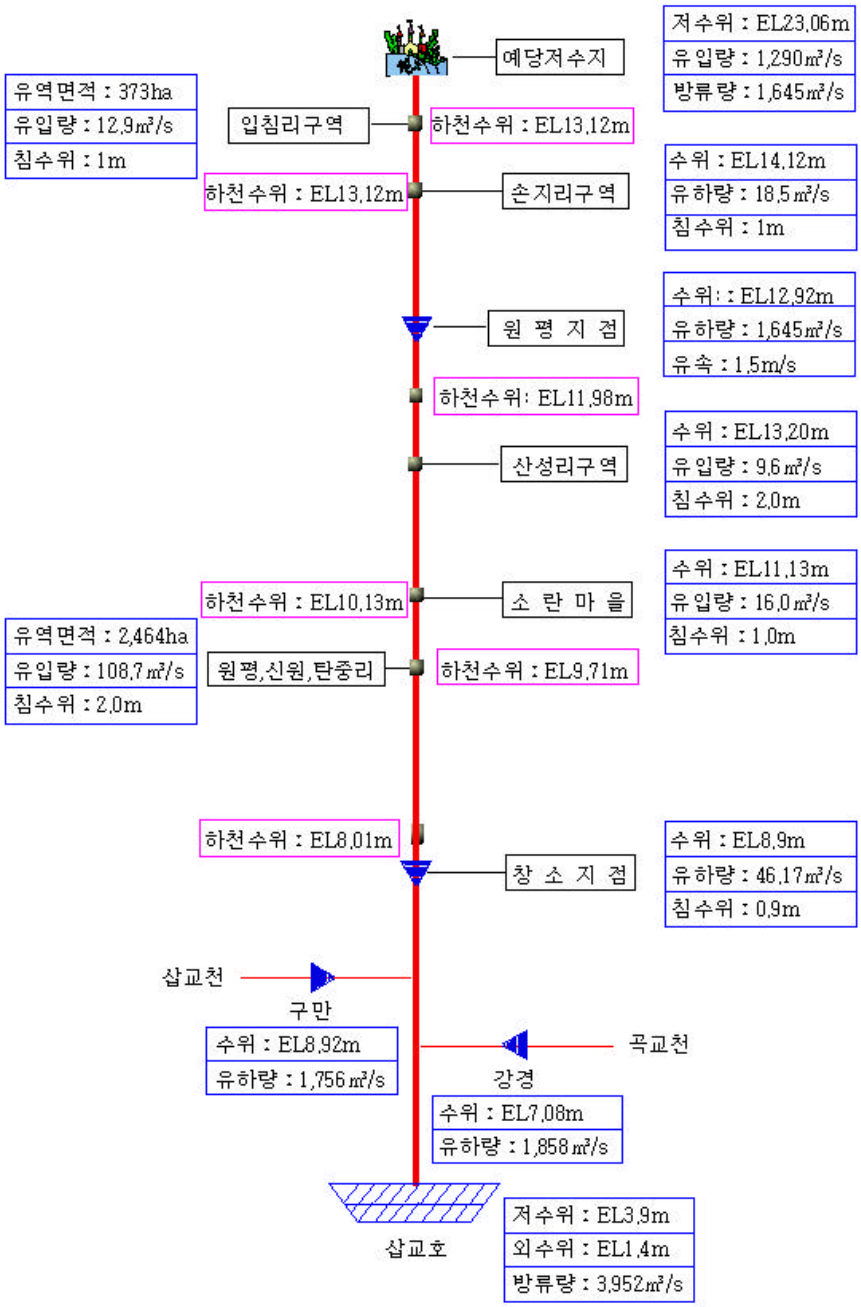


그림. 131 **예당지 침수구역 계통도와** 1995**년** 8**월**25**일** 15 : 00 **의 예**

표. 102 1992년 8월26 28일의 시간별 예당지 방류량과 무한천 수위변화

시간	강우량	저수위	저수량	방류량		무한천		비 고
hr	mm	El.m	ha-m	ha-m	m^3/s	수위 m	홍수량 m^3/s	
8.26 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	-	-			
20	4.5	20.35	2543.4	-	-	.38	.0	
21	1.4	20.36	2551.8	-	-	.38	.0	
22	1.5	20.37	2560.1	-	-	.43	.2	
23	1.8	20.39	2576.9	-	-	.50	.7	
24	1.6	20.41	2593.7	-	-	.46	.4	
8.27 1	3.9	20.43	2610.6	-	-	.43	.2	
2	4.4	20.45	2627.5	-	-	.54	1.3	
3	4.9	20.47	2644.5	-	-	.53	1.1	
4	5.9	20.51	2678.6	-	-	.52	1.0	
5	6.2	20.55	2712.9	-	-	.56	1.7	
6	4.9	20.58	2738.7	-	-	.57	2.0	
7	10.0	20.67	2816.9	49.6	137.7	.60	2.8	
8	26.0	20.72	2860.6	49.6	137.7	.63	3.3	예당지
9	16.2	20.83	2958.6	53.0	147.2	.72	4.7	방류
10	17.8	20.97	3085.8	88.9	246.9	.82	6.8	
11	17.6	21.09	3196.7	124.3	345.4	1.73	54.3	
11.5		21.18	3280.8	64.9	360.6			
12	26.6	21.25	3346.8	91.1	506.2	2.52	154.2	
12.5		21.36	3451.3	95.3	529.6			
13	20.7	21.48	3566.3	99.4	552.2	2.88	223.3	
13.5		21.63	3712.4	103.3	574.0			
14	5.3	21.75	3831.0	129.9	721.4	3.12	278.8	
14.5		21.84	3920.8	135.2	751.0			지정
15	2.6	21.92	4001.4	140.3	779.4	3.58	408.2	홍수위
15.5		21.98	4062.2	145.9	810.6			
16	3.3	22.03	4131.4	145.9	810.6	4.04	570.6	
16.5		22.06	4143.9	145.9	810.6			
17	7.4	22.07	4154.1	150.0	833.2	4.37	709.4	
18	0.7	22.08	4164.4	283.9	655.2	4.57	803.0	
19	0.3	22.11	4195.3	219.9	566.2	4.78	909.5	
20	0.0	22.11	4195.3	203.8	566.2	4.87	957.8	
21		22.08	4164.4	203.8	357.9	4.98	1019.0	
22		22.08	4164.4	128.8	357.9	4.92	985.3	최대
23		22.10	4185.0	107.4	238.6	4.60	817.7	홍수량
24		22.11	4195.0	85.9	238.6	4.46	750.6	
8.28 1		22.11	4195.0	85.9	238.6	4.22	643.9	
2		22.10	4185.0	85.9	238.6	3.87	506.5	
3		22.09	4174.7	85.9	167.0	3.48	374.3	
4		22.09	4174.7	60.1	167.0	3.25	312.2	
5		22.09	4174.7	60.1	167.0	3.18	293.9	
6		22.08	4164.4	60.1	167.0	3.13	281.3	
7		22.07	4154.1	60.1	119.3	3.00	250.1	
8		22.07	4154.1	42.9	119.3	2.87	221.2	
9		22.07	4154.1	42.9	119.3	2.75	196.5	
10		22.07	4154.1	42.9	119.3	2.73	192.5	
계	215.1 8,036		+1,627	3,472				

나. 배수구역 지구내 침수용량

방류량에 의한 하천수위 추정은 원평교 수위를 기초로 하였으며 직하류하천 3곳의 기준이 되는 지점을 선정하여 직하류하천에서 가장 저수지와 가까운 무한철교 부근의 하상표고를 기준으로 하여 그 하상표고에 원평교 수위를 더하여 홍수위 표고를 산정하였다. 홍수위 표고가 입침리와 손지리의 답면표고보다 높게 되는 시점부터 침수가 시작되는 수위로 산정하였으며, 원평리와 산성리는 원평교 수위에 대한 표고를 산정하여 그 지점의 제내지의 답면표고보다 높게 되는 시점부터 침수시작시점으로 하였고 배수문이 닫히므로 배수되지 못하는 유량이 침수를 증가시키게 되므로 배수구역의 유역면적만큼의 배수용량을 침수용량으로 간주하여 총 침수용량을 계산하였다.

배수구역 지구내 시간별 침수용량은 다음과 같은 방법으로 추정하였다.

침수용량(m^3) = 저수지상류 시간별 유효우량심(mm)×침수구역별 유역면적(ha)×10

침수구역별 침수용량 (i+1) = 침수구역별 침수용량 (i) + 침수용량

또한 신례원교 바로 전인 탄중배수장에서의 하상표고를 기준으로 하여 그 표고에 원평교수위를 첨가 홍수위 표고 산정 위와 똑같은 방법으로 홍수위를 산정 침수면적과 침수심을 산정하였다.

표. 103 예당지 침수구역별 최저 답면표고 및 최저 하상표고

침수구역	최저답면표고	침수구역	최저답면표고
입침리	EL. 9.572m	원평리	EL. 9.29m
손지리	EL. 9.572m	소란마을	EL. 6.29m
산성리	EL. 9.29m	창소리	EL. 6.29m

다. 침수심과 침수면적

GIS 자료로부터 침수구역별, 침수용량별 침수심을 산정하는 회귀식을 유도하였다. 또한, 침수구역별, 침수심별 침수면적을 산정하는 회귀식을 유도하였으며 각각 표. 104, 105 와 같다.

표. 104 예당지 하류하천의 침수구역별 침수심 산정식

침수 구역	x : 침수용량 (m^3)	y : 침수심 (m)
입침리	$0 < x \leq 189$	$y = 0.042 + 0.00455\ x - 0.0000115\ x^2$
	$189 < x \leq 1{,}918{,}020$	$y = 0.010464\ (x + 13{,}522)^{0.4322}$
	$x > 1{,}918{,}020$	$y = 0.002332\ x^{0.5356}$
손지리	$0 < x \leq 2{,}130$	$y = 0.042 + 0.00040\ x - 9.3\times10^{-8}\ x^2$
	$2{,}130 < x \leq 56{,}748$	$y = 0.019655\ x^{0.4604}$
	$56{,}748 < x \leq 1{,}083{,}220$	$y = 0.246\ *\ (x + 28{,}614)^{0.2227}$
	$x > 1{,}083{,}220$	$y = 4.308 + 1.1\times10^{-6}\ x$
산성리	$0 < x \leq 1{,}362{,}840$	$y = 0.048 + 0.000005\ x - 1.80\times10^{-12}\ x^2$
	$1{,}362{,}840 < x \leq 2{,}878{,}300$	$y = -5.827 + 0.0000096\ x - 1.55\times10^{-14}\ x^2$
	$x > 2{,}878{,}300$	$y = 3.263 + 0.0000023\ x - 8.24\times10^{-14}\ x^2$
원평리	$0 < x \leq 3{,}010{,}190$	$y = 0.086 + 0.0000041\ x - 6.75\times10^{-16}\ x^2$
	$x > 3{,}010{,}190$	$y = 0.313\ (x - 407{,}818)^{0.2161}$
소란 마을	$0 < x \leq 697{,}282$	$y = 0.477 + 0.0000099\ x - 7.02\times10^{-12}\ x^2$
	$697{,}282 < x \leq 3{,}714{,}960$	$y = 0.010\ (x - 49{,}205)^{0.4511}$
	$x > 3{,}714{,}960$	$y = 4.665 + 0.0000013\ x - 2.77\times10^{-14}\ x^2$
창소리	$0 < x \leq 51{,}269$	$y = 0.027 + 0.0000771\ x - 7.38\times10^{-10}\ x^2$
	$51{,}269 < x \leq 1{,}995{,}260$	$y = 0.058\ (x + 34{,}169)^{0.3347}$
	$1{,}995{,}260 < x \leq 7{,}246{,}920$	$y = 4.814 + 0.0000014\ x - 5.27\times10^{-14}\ x^2$
	$x > 7{,}246{,}920$	$y = 5.918 + 0.0000011\ x - 2.28\times10^{-14}\ x^2$

표. 105 예당지 하류하천의 침수구역별 침수면적 산정식

침수 구역	x : 침수심 (m)	y : 침수면적 (m^2)
입침리	0 < x ≤ 0.5	y = 1,510.6 x
	0.5 < x < 5.5	y = - 75,807.2 + 153,124.9 x
	5.5 < x	y = 41,054,014 + 6,469,812.4 x
손지리	0 < x ≤ 0.5	y = 17,045.0 x
	0.5 < x ≤ 3	y = - 8,144.5 + 17,045.0 x
	3 < x ≤ 5.5	y = - 839,244.4 + 294,078.4 x
	5.5 < x	y = 605,125.1 + 31,465.7 x
산성리	0 < x ≤ 4.2	$y = - 6.65 \times 10^{-12} + 154,516.7 x$
	4.2 < x ≤ 9.2	y = - 325,262.9 + 92,912.8 x
	9.2 < x	y = 144,932.0 + 41,804.6 x
원평리	0 < x ≤ 7.5	$y = 2.72 \times 10^{-11} + 107,029.1 x$
	7.5 < x	y = - 9,922,974.6 + 1,437,186.5 x
소란 마을	0 < x ≤ 4.2	$y = 5.5 \times 10^{-12} + 79,057.0 x$
	4.2 < x ≤ 9.2	y = - 122,512.0 + 108,366.1 x
	9.2 < x	y = 339,284.9 + 57,896.5 x
창소리	0 < x ≤ 2.4	$y = - 3.56 \times 10^{-14} + 17,802.0 x$
	2.4 < x ≤ 7.4	y = - 299,065.7 + 140,370.3 x
	7.4 < x <= 12.4	y = - 177,322.5 + 124,007.0 x
	12.4 < x	y = - 501,513.3 + 150,067.3 x

라. 하류지역 침수예측모형의 개발

하류지역 침수예측모형의 기본개념을 예당지 유역에서 1989년 9월15일, 1992년 8월26일, 1995년 8월23일 26일에 발생한 홍수에 의한 침수자료에 사용하여 하류지역의 침수면적, 침수시간, 침수심을 예측하는 하류지역 침수예측모형을 개발하였다.

이 가운데 1995년 8월23일 26일에 홍수로 발생한 예당지 하류지역의 침수면적, 침수시간, 침수심을 예측하여, 당시 관측된 침수실적 표. 106 과 비교하였다.

표. 106 1995년 예당지 하류하천의 침수면적 조사현황

지역명	침수면적 (ha)	침수심 (m)	수 해 원 인
입침리	78	1.0	제방월류(부체도로), 용수간선 수로 월류
손지리	62	1.0	무제부
산성리	25	2.0	내수배제불량
원평리	1,071	2.0	잠수교 (신원교,탄중교,종경교)로 인한 수위상승 신원리 제방 월류 및 유실 (200m) 침수 및 주민대피령으로 인한 배수장 3곳 가동 중단
소란 마을	272	1.0	제방 낮은 부분 및 취약부분으로 월류 잠수교 (신원교,탄중교,종경교)로 인한 수위 상승 내수배제불량
창소리			

※ 자료 : 건교부, 1996, 삽교천수해원인조사 보고서

1995년 8월23일 26일 예당지 방류량과 원평지점 수위-유량곡선식(22)로 추정한 무한천 하천수위와 관측된 하천수위변화는 그림. 132 과 같다.

이 무한천 수위와 하류지역의 각 지구내 홍수량을 추정하여 침수용량을 계산하고, 이에 따라 침수면적, 침수시간과 침수심을 추정한 결과는 표. 106 과 같다.

1995년 8월23일 26일 홍수시 예당 하류지역 제방붕괴영향이 없었던 입침리, 손지리, 산성리의 침수조사면적은 각각 78ha, 62ha, 25ha 로 예상침수면적 48ha, 70ha, 26ha과 대체로 엇비슷하게 침수정황을 예측하고 있다.

원평리, 소란·창소리 등의 침수면적이 1,071ha, 272ha로 예상침수면적 328ha, 144ha 보다 많이 침수된 것은 내배수에 의한 침수보다는 제방붕괴에 의한 침수였기 때문이었다.

표. 107 1995년 8월 23일 26일 예당 하류지역 예상침수면적

유 역 명 칭	수 문 폐쇄시간	수 문 개방시간	유역면적 (ha)	침수면적 (ha)	침수율 (%)	침수심 (m)
입침리	24일 1시20분	26일 1시20분	373	48	13	1.09
손지리	24일 1시20분	26일 1시20분	442	70	16	1.04
산성리	25일 3시40분	25일 22시20분	279	26	9	1.82
원평리	23일 21시56분	27일 11시56분	2,464	328	13	1.37
소란 마을	23일 21시56분	27일 11시56분	463	48	10	1.10
창소리	23일 22시41분	27일 8시41분	1,333	96	7	0.92
총 계			5,354	616	11.5	

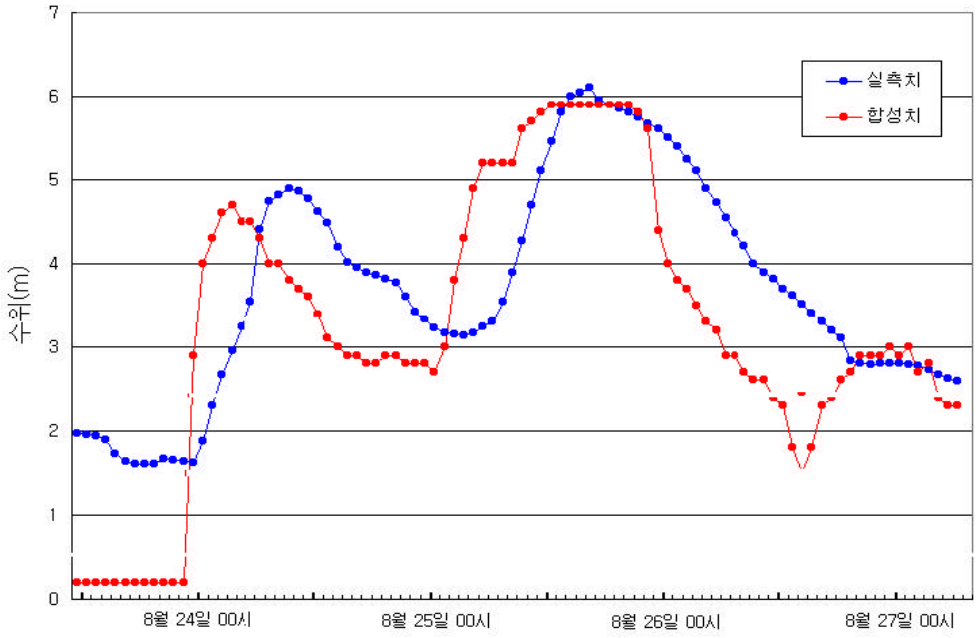


그림. 132 1995년 8월23일 26일 예당지 하류하천수위 그래프

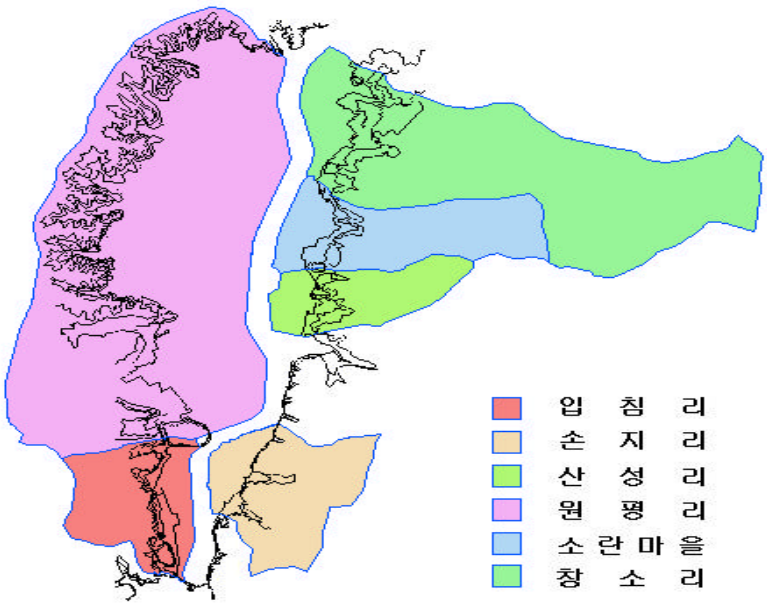
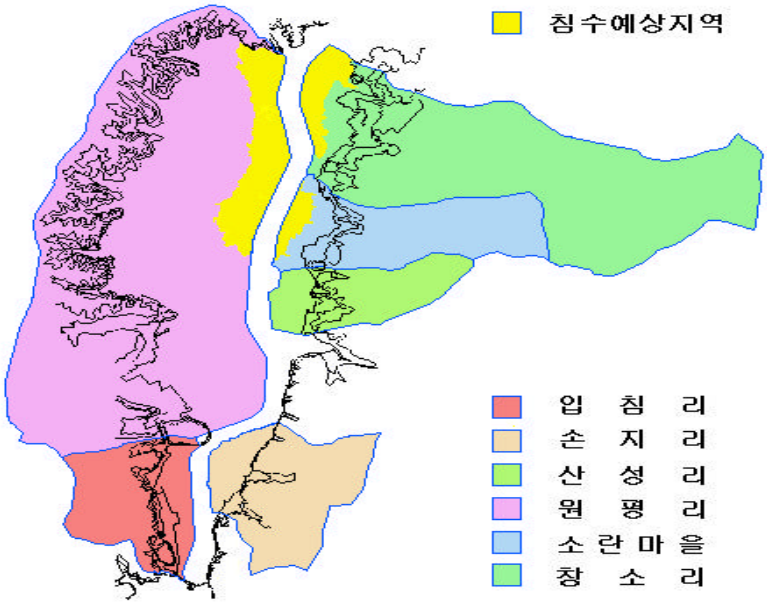


그림. 133 예당지 하류 배수구역별 경지면적



림. 134 예당지 방류량으로 예상되는 1차 침수지역

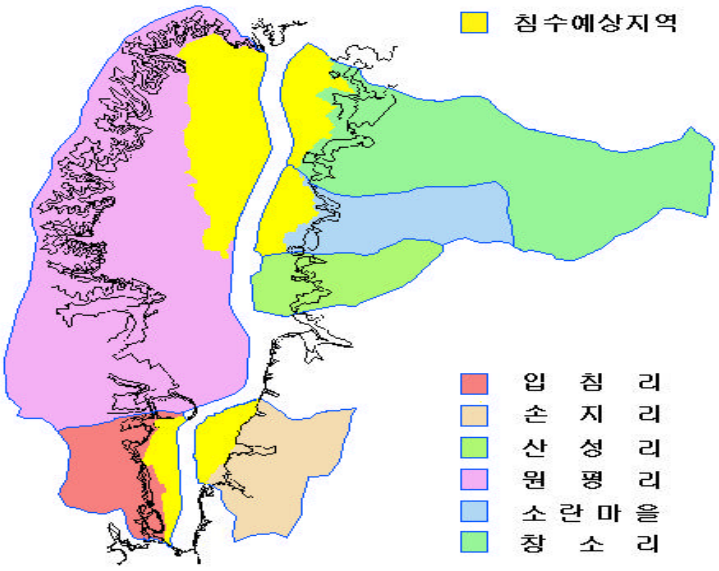


그림. 135 예당지 방류량 증가로 예상되는 2차 침수지역

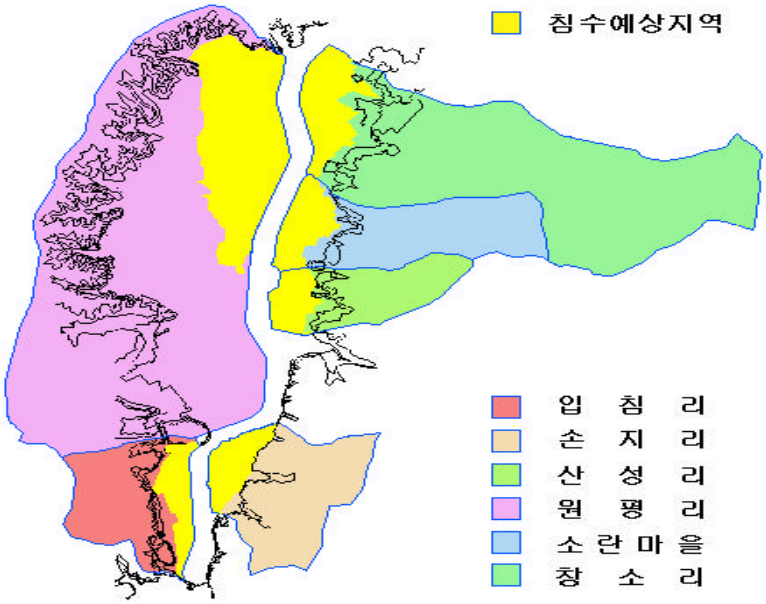


그림. 136 예당지 방류량 증가로 예상되는 3차 침수지역

또한, 1989년 9월15일, 1992년 8월26일 홍수로 발생한 예당지 하류지역의 침수면적, 침수시간, 침수심 예측 결과는 표.108, 109 와 같다.

표. 108 1989년 9월15일 예당 하류지역 침수추정자료

유 역 명 칭	수 문 폐쇄시간	수 문 개방시간	유역면적 (ha)	침수면적 (ha)	침수율 (%)	침수심 (m)
입침리	16일 1시20분	16일 10시20분	373	16	4.3	0.46
손지리	16일 1시20분	16일 10시20분	442	16	3.7	0.68
산성리			279	0	0.0	0.00
원평리	15일 12시56분	16일 20시56분	2,464	65	2.6	0.90
소란 마을	15일 12시56분	16일 20시56분	463	21	4.5	0.53
창소리	15일 14시41분	16일 18시41분	1,333	45	3.4	0.53
총 계			5,354	163	3.0	

표. 109 1992년 8월26일 예당 하류지역 침수추정자료

유 역 명 칭	수 문 폐쇄시간	수 문 개방시간	유역면적 (ha)	침수면적 (ha)	침수율 (%)	침수심 (m)
입침리	27일 10시20분	27일 21시20분	373	22.73	6.09	0.59
손지리	27일 10시20분	27일 21시20분	442	29.29	6.62	0.77
산성리	27일 12시40분	27일 19시40분	279	5.56	1.99	0.39
원평리	27일 7시56분	28일 7시56분	2,464	89.9	3.64	1.12
소란 마을	27일 7시56분	28일 7시56분	463	24.03	5.19	0.6
창소리	27일 9시41분	28일 3시41분	1,333	47.99	3.6	0.55
총 계			5,354	219.5	4.09	

4. 하류지역 침수예측모형의 적용

개발한 하류지역 침수예측모형을 1999년 8월 2일 3일 예당지 유역에 발생한 호우에 대하여 현지에서 실행하여 예당지 하류 하천수위변화와 시간별 침수면적, 침수심 등 침수상황을 검정하였다.

탑정지 하류지역은 탑정지 방류량뿐만 아니라, 타유역에서 유입되는 홍수량과 금강 본류의 역류에 의하여 침수되며 논산천 침수에 대한 관측자료도 불비한 상태이므로 적용하지 못했다.

가. 예당지에 하류지역 침수예측모형 적용

1999년 8월2일 3일 예당지 유역에 호우가 발생하였을 때, 예당지 현지에서 실시간 홍수유입량 예측모형으로 매시간 홍수유입량을 예측하고, 이 홍수가 저수지로 유입될 때의 저수위를 고려하여, 수문조작모형으로 최적 방류량을 예측하고, 이 방류량에 따른 하류지역의 침수상황을 하류지역 침수예측모형을 적용하여, 비교적 안정적으로 침수면적과 침수심을 예측할 수 있었다.

예당지의 방류량과 원평지점 수위-유량곡선식 (22)로 추정한 무한천 하천수위(붉은 선)와 관측된 하천수위(검은 선) 변화는 그림. 137 와 같다.

개략 홍수량예측에서 홍수유입량이 많을 것으로 예상이 되고 합성저수위가 El. +20.50m를 상회하기 시작하는 8월 2일 21시에 수문 3연을 0.5m 개문하여 37.9m^3/s 를 방류하기 시작하여 무한천 하천수위는 0.18m에서 1.5m로 상승하게 되었다.(표. 96)

23일 03시에 수문 18연을 2m 개문하여 피크방류량 809m^3/s 를 방류하였으며 무한천 하천수위는 4.5m로 상승하게 되었다.

1999년 8월 2일 4일까지 예당지 유역에 발생한 호우에 대하여 현지에서 하류침수예측모형의 적용을 적용한 결과는 다음과 같다. 즉, 유역면적 5,354ha에서 내배수되는 홍수량에 의하여 213ha가 침수심 0.6 1.1m 정도 침수되는 것으로 추정되었다.

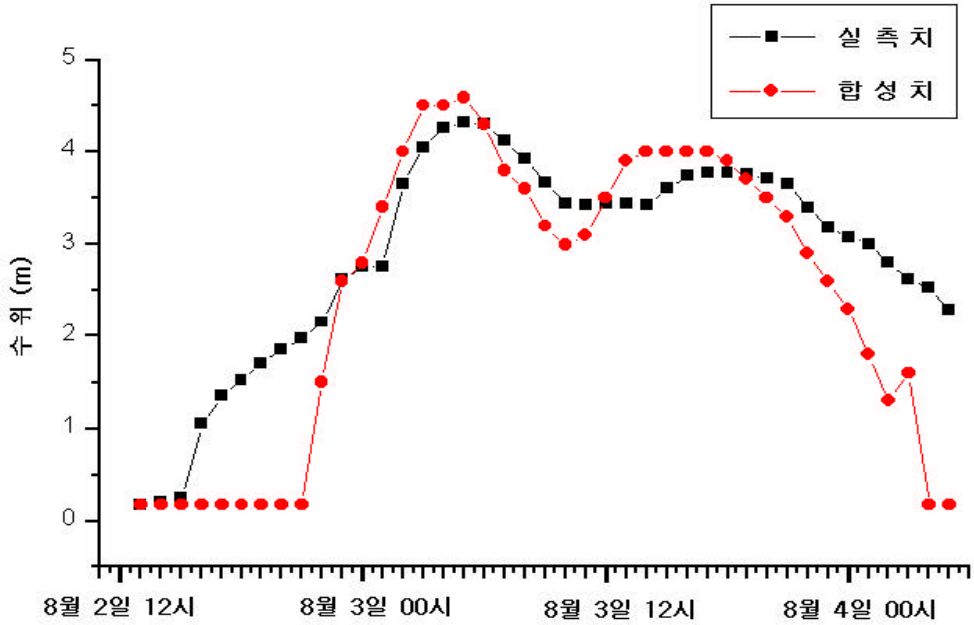


그림. 137 1999년 8월 2일 예당지 하류 하천수위변화

표. 110 1999년 8월 2일 12시부터 4일 0시까지의 예당지 홍수합성결과 최종자료

유 역 명 칭	수 문 폐쇄시간	수 문 개방시간	유역면적 (ha)	침수면적 (ha)	침수율 (%)	침수심 (m)
입침리	3일 1시20분	3일 18시20분	373	22	5.9	0.58
손지리	3일 1시20분	3일 18시20분	442	28	6.4	0.76
산성리			279	0	0	0.00
원평리	2일 20시56분	4일 3시56분	2,464	88	3.6	1.12
소란 마을	2일 20시56분	4일 3시56분	463	24	5.2	0.60
창소리	3일 1시41분	4일 1시41분	1333	50	3.7	0.56
총 계			5,354	213	4.0	

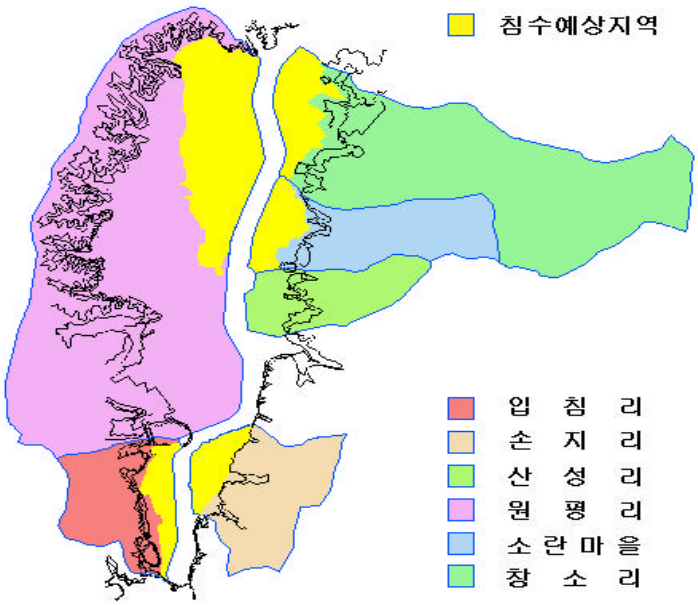


그림. 138 1999년 8월 2일 최종 예당지하류지역 침수예상도

나. 탑정지에 하류지역 침수예측모형 적용

탑정지 유역의 경우, 하류하천유량이 탑정지 방류량 뿐만 아니라, 타 유역에서 유입되는 면적이 더 크므로 논산천의 수위를 예측하는 의미가 적고, 논산천 수위는 금강 본류의 역류에 의한 배수현상에 의하여 지배되므로 하류지역 침수예측모형을 탑정지에는 적용하지 못하였다. 더욱이, 논산천 침수에 대한 관측조사도 불비한 상태이므로, 관측시설이 확충되고 관측조사를 강화하여, 호우에 의한 홍수피해가 있을 때, 하류지역 침수예측모형을 탑정지에 적용할 수 있을 것이다.

제 8 장 연구개발결과의 활용

제 1 절 연구개발결과 활용

1. 농촌용수관리 정보수집 시스템 연결

관개저수지 관리소와 행정자치부 방재망을 연결하여 강우량을 실시간으로 입수하여 관개저수지의 이수관리와 치수관리에 활용하도록 하였다.

① 과거에는 예당지와 탑정지의 경우 호우시 상류 강우관측소에 전화를 걸어 실시간 강수량을 확인하여 수문을 조작하였으나 전화불통, 관측자 부재 등으로 애로가 많았다.

② 이 연구에서 행정자치부 방재시스템과 예당지와 탑정지를 연결하여 유역내 면(面)에 위치한 원격자동계측시설에서 실시간으로 강수량과 하천수위 자료를 취득케 하였다. 그 결과 1997년 7, 8월의 홍수시 예당지와 삽교호에서 홍수량을 방류하는데 도움을 주었다.

2. 관개저수지의 한발예측모형 개발

이수관리곡선모형, 한발평가모형, 한발예측모형, 윤환관개모형으로 구성된 관개저수지의 한발예측모형을 개발하였다.

① 가뭄시에 구체적인 절수지침이 없기 때문에 물관리가 어렵고 농민들의 불만이 많았다.

② 한발예측모형은 한발평가모형, 이수관리곡선모형, 윤환관개모형으로 구성하였다.

③ 저수위별 당해 저수지의 가뭄특보를 제시하는 이수관리곡선모형을 개발하였다.

④ 누가강수량, 유역토양수분량, 저수율 및 제한급수강도에 의한 한발평가모형을 개발하였다.

⑤ 현재 저수율과 토양수분량을 고려하여 유역내 얼마의 강수량이 있어야 저수지가 해갈될 것인가 예측하는 방법을 제시하였다.

장기간의 가뭄기록(누가강수량, 유역토양수분량, 저수율, 급수제한강도) 파일에서 10월1일부터 오늘까지의 가뭄기록패턴과 가장 비슷한 해의 가뭄기록패턴을 선정하고, 그로부터 오늘 이후의 가뭄패턴을 예측하는 한발예측모형을 개발하였다.

⑥ 기상청 기상예보와 연결하여 가뭄단계에 따라 제한급수시기, 제한급수량과 윤환관개구역을 제시하는 윤환관개모형을 개발하였다.

3. 관개저수지의 홍수예측모형 개발

개략 홍수예측모형, 실시간 홍수유입량 예측모형, 수문조작모형, 하류지역 침수예측모형 등으로 구성된 관개저수지의 홍수예측모형을 개발하였다.

① 홍수시 상류 주민은 빨리 수문을 열기 원하고 하류 주민은 늦게 열기를 원하는데 구체적인 지침이 없기 때문에 홍수관리가 어렵고 주민들의 불만이 많다.

② 호우주의보가 발령되면 현재 저수위상태에서, 인터넷 기상청, Weathernet 사이트 등에서 제공하는 주간예보상의 예상강수량을 입력하여, 이번 호우에 의하여 수문을 열어야 할지, 안 열어도 될지를 개략적으로 판단해주는 개략 홍수예측모형을 개발하였다.

③ 개략 홍수예측모형에서 예측저수위가 홍수제한수위를 상회하면 상류유역에서 관측된 강우량과 하천수위를 전송받아 실시간으로 홍수유입량을 예측하는 모형을 개발하였다.

④ 이 실시간 홍수유입량 예측모형과 하류하천수위를 고려하여 적절한 방류량과 개문수, 개문고를 제시하여 상, 하류 침수피해를 최소화할 수 있는 저수지 수문조작모형을 개발하였다.

⑤ 방류량이 저수지 하류하천과 농경지의 침수면적, 침수시간, 침수심 등을 예측하

는 하류지역 침수예측모형을 개발하였다.

4. 관개저수지의 TC/TM에 의한 물관리 소프트웨어 제공

① 관개저수지에서 급수량을 원격측정 및 조정하는 자동화시설이 설치되고 있으나 언제, 얼마의 물을 급수해야하는 지를 알 수 있는 지침이 없어 단지 수문개폐를 자동으로 조작하는데 그치고 있는 실정이다. 따라서, 관개저수지의 TC/TM에 의한 급수시설의 자동화를 촉구하며, 이 연구결과인 관개저수지의 한발예측모형(이수관리곡선, 한벌평가, 한발예측 및 윤환관개모형)을 TC/TM 자동화시설에 연결하면 합리적인 이수관리로 가뭄을 극복할 수 있다.

② 관개저수지에서 홍수시 수문조작을 자동화하는 시설이 설치되고 있으나 저수위와 유입량에 따라 언제, 얼마를 방류해야할 지를 알 수 있는 지침이 없어 부족한 상태에 있어 단지 수문개폐조작만을 자동화하는데 그치고 있는 실정이다. 따라서, 관개저수지의 TC/TM에 의한 수문조작시설의 자동화를 촉구하며, 이 연구결과인 관개저수지의 홍수예측모형 (개략 홍수예측, 홍수유입량 예측, 수문조작 및 하류지역 침수예측 모형)을 TC/TM 자동화시설에 연결하면 합리적인 치수관리로 침수피해를 최소화할 수 있다.

5. 물관리자 기술지도 실시

① 가뭄시 관개저수지의 가뭄정도를 평가, 예측하여 윤환관개지침에 따른 절수방법을 예당농지개량조합 및 논산농지개량조합 물관리자에게 교육을 통하여 기술지도할 것이다.

② 홍수시 관개저수지의 홍수정도를 평가, 예측하여 합리적으로 수문을 조작하는 방법과 하류침수구역을 예측하는 방법을 예당농지개량조합 및 논산농지개량조합 물관리자에게 교육을 통하여 기술지도할 것이다.

③ 기타 물관리기관의 담당자에게 관개저수지의 절수에 의한 가뭄극복 방안과 합리적 수문조작에 의한 침수피해 최소화 방안을 기술지도할 수 있다.

6. 건의사항

가. 가뭄극복 종합대책

① 가뭄 평가방법개발

② 제한급수에 의한 절수방안

③ 윤환 및 간단관개의 복합관개시스템 구축

④ 수로의 관수로화, 지구내 조정지 및 용배겸용수로 설치

⑤ 수리관리조직 강화 및 수리조정위원회 구성

⑥ 유역내 저수지의 평형저수량 관리

⑦ 기존 저수지의 안전조사 평가기준 제정 및 보수강화

⑧ 댐저수지 환경관리강화와 댐건설 확대

⑨ 하천관리유량 확대를 위한 하천법 조정 등

나. 침수피해 경감 종합대책

① 침수피해 평가방법개발

② 예비방류에 의한 침수피해 경감방안

③ 수문자료의 원격측정 및 전송망 확대

④ 홍수예경보 시스템의 개발과 보급

⑤ 배수장 확대 등

다. 앞으로 기술전망

관개저수지의 한발 및 홍수 예측기법 및 관리지침은 농촌용수구역 설정에 따른 다음과 같은 농어촌용수 종합관리시스템 구축에 기초자료를 제공할 수 있다.

① GIS 기술을 이용한 농촌용수 수급현황분석

② 농촌용수관리 정보 D/B 구축

③ On-line 농촌용수 정보수집 시스템 구축

④ 한발 및 홍수위험지구 D/B 관리

⑤ 효율적 물관리와 적합한 한수해대책 수립

⑥ 농촌용수 및 치수관리 자동화 시스템 구축

제 2 절 인터넷 홈페이지 개설

관개저수지의 한발 및 홍수 예측기법과 관리지침 내용을 인터넷 홈페이지 (http:\\warema.chungnam.ac.kr)에 개설하여 물관리자들이 실무적으로 활용할 수 있도록 계속 보완 홍보할 것이다.

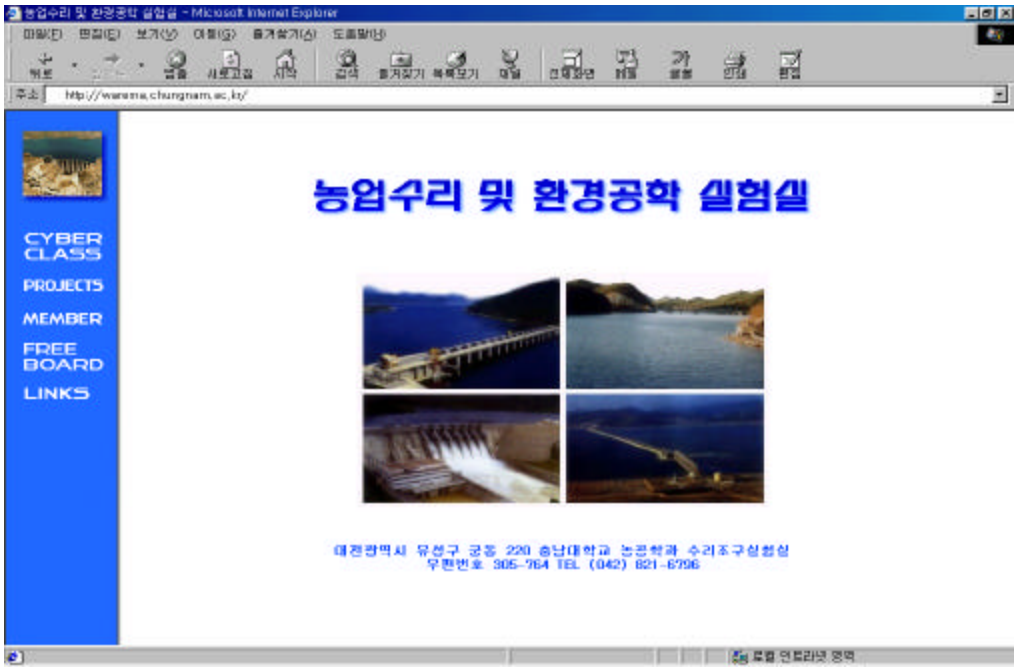


그림. 139 홈페이지 로고 화면

제 9 장 결 론

“ 관개저수지의 한발 및 홍수 예측기법과 관리지침 개발 ” 의 결론은 다음과 같다.

1. 한해 및 수해조사와 수문관측(수위, 강우, 유역토양수분, 지하수위)을 실시하였으며, 관개저수지의 한발 및 홍수 예측기법을 개발하고 관리지침을 작성하였다.

2. 행정자치부 방재시스템망과 예당지, 탑정지를 연결하여 유역내 면(面)에 위치한 원격자동계측시설에서 실시간으로 강수량과 하천수위자료를 취득케 하여 관개저수지의 이수관리와 치수관리에 활용하도록 하였다. 그 결과 1997년 7, 8월의 홍수시 예당지와 삽교호에서 홍수량을 방류하는데 도움을 주었다.

3. 저수량 관리기록으로부터 저수위별 당해 저수지의 가뭄특보를 제시하는 이수관리곡선 모형을 개발하였다.

4. 누가강수량, 유역토양수분량, 저수율 및 제한급수강도에 의한 한발평가모형을 개발하였다.

5. 현재 저수율과 토양수분량을 고려하여 유역내 얼마의 강수량이 있어야 저수지가 해갈될 것인가 예측하는 방법을 제시하였다.

장기간의 가뭄기록(누가강수량, 유역토양수분량, 저수율, 급수제한강도) 파일에서 10월1일부터 오늘까지의 가뭄기록패턴과 가장 비슷한 해의 가뭄기록패턴을 선정하고, 그로부터 오늘 이후의 가뭄패턴을 예측하는 한발예측모형을 개발하였다.

6. 인터넷 기상청 사이트의 주간기상예보와 연결하여 가뭄단계에 따라 제한급수시기, 제한급수량과 윤환관개구역을 제시하는 윤환관개모형을 개발하였다.

7. 농업가뭄 평가방법개발, 제한급수에 의한 절수방안, 윤환 및 간단관개의 복합관개시스템 구축, 지구내 조정지 및 용배겸용수로 설치, 수로의 관수로화, 수리관리조직 강화 및 수리조정위원회 구성, 저수지의 안전조사 평가기준 제정, 저수지의 개보수 강화, 댐저수지 환경관리강화와 댐건설 확대, 하천관리유량 확대를 위한 하천법 조정 등을 가뭄극복 대책으로 제시하였다.

8. 호우주의보가 발령되면 현재 저수위상태에서, 인터넷 기상청, Weathernet 사이트

등에서 제공하는 주간예보상의 예상강수량을 입력하여, 이번 호우에 의하여 수문을 열어야 할지, 안 열어도 될지를 개략 판단해주는 개략 홍수예측모형을 개발하였다.

9. 개략 홍수예측모형에서 예측저수위가 홍수제한수위를 상회하면 상류유역에서 관측된 강우량과 하천수위를 전송받아 실시간으로 홍수유입량을 예측하는 모형을 개발하였다.

10. 이 실시간 홍수유입량 예측모형과 하류하천수위를 고려하여 적절한 방류량과 개문수, 개문고를 제시하여 상, 하류 침수피해를 최소화할 수 있는 저수지 수문조작 모형을 개발하였다.

11. 방류량이 저수지 하류하천과 농경지의 침수면적, 침수시간, 침수심 등을 예측하는 하류지역 침수예측모형을 개발하였다.

12. 관개저수지에서 급수량을 원격측정 및 조정하는 자동화시설이 설치되고 있으나 언제, 얼마의 물을 급수해야하는지를 알 수 없어 단지 수문개폐를 자동으로 조작하는데 그치고 있다. 따라서, 관개저수지의 TC/TM에 의한 급수시설의 자동화를 촉구하며, 관개저수지의 한발예측모형(이수관리곡선, 한발평가, 한발예측 및 윤환관개 모형)을 TC/TM 자동화시설에 연결하면 합리적인 이수관리로 가뭄을 극복할 수 있다.

13. 관개저수지에서 홍수시 수문조작 자동화시설이 설치되고 있으나 저수위와 유입량에 따라 언제, 얼마를 방류해야할 지를 알 수 없어 단지 수문개폐조작만을 자동화하는데 그치고 있다. 따라서, 관개저수지의 TC/TM에 의한 수문조작시설의 자동화를 촉구하며, 이 연구결과인 관개저수지의 홍수예측모형 (개략 홍수예측, 유입량 예측, 수문조작 및 하류지역 침수예측 모형)을 TC/TM 자동화시설에 연결하면 합리적인 치수관리로 침수피해를 최소화할 수 있다.

14. 물관리자에게 관개저수지의 한발예측모형(이수관리곡선, 한발평가, 한발예측 및 윤환관개모형)과 관개저수지의 홍수예측모형(개략 홍수예측, 홍수유입량 예측, 수문조작 및 하류지역 침수예측 모형)을 교육, 홍보한다.

15. 예당지와 탑정지를 대상으로 관개저수지의 한발 및 홍수 예측기법과 관리지침을 완성하여 물관리자들이 연구결과를 활용할 수 있도록 인터넷 홈페이지 (http:\\warema.chungnam.ac.kr)를 개설하여 물관리자가 실무적으로 이용할 수 있도록 계속 보완 홍보할 것이다.

참고문헌

1. 건설부, 1990, 재해대책 편람, 중앙재해대책본부
2. 건설부, 1993, 하천시설기준
3. 건교부, 1995, 금강하류지역 유량측정조사 보고서
4. 건교부, 1995, 가뭄기록조사 보고서
5. 건교부, 1996, 삽교천 수해원인조사
6. 건교부, 1997, 금강홍수예경보
7. 농수산부, 1985 1988, 저수지 물관리연구, 서울대학교 농업개발연구소
8. 농수산부, 1990 93, 농업수자원종합관리시스템개발(I) (IV), 충남대학교 농업과학연구소
9. 농수산부, 1994, 저수지 치수관리에 관한 연구, 충남대학교 농업과학연구소
10. 영남농업시험장, 1996, 시험연구사업 설계서
11. 농어촌진흥공사, 1996, 농어촌용수의 자동관리시스템
12. 농업진흥공사, 1989, 소비수량 산정방법 실용화 연구
13. 농지개량조합연합회, 1995, 농조저수지의 효율적관리를 위한 기술개발연구
14. 한국수자원공사, 1992, 다목적댐의 홍수조절을 위한 예비방류 대책, 연구보고서
15. 한국관개배수위원회, 1998, 물 2000년 - 관개배수시스템의 효율적인 관리
16. 고홍석 외, 1998, 웹기반 지리정보시스템 설계 및 프로토타입 구현, 한국농공학회지, 40(3)
17. 권오익, 1997, 홍수기중 다목적댐의 운영현황과 동향, 한국수자원학회지 30(3)
18. 권순국, 1988, 산지소유역의 홍수유출예측을 위한 모의발생 수문모형의 개발, 한국농공학회지, 30(3)
19. 김자영 외, WWW란, http://www.cyberkorea.co.kr/edu/w_what.htm
20. 김선주 외, 1998, 수리시설물 통합관리시스템 실용화 연구, 한국농공학회지, 40(3)

21. **김승권**, 1988, **최적화기법에 의한 남강-안동댐의 홍수조절**, **한국수문학회지** 8(1)
22. **김태철**, 1997, **관개저수지의 적정 홍수조절용량**, **한국농공학회지** 40(2)
23. **김태철**, 1992, **관개저수지의 이수관리방법**, **한국농공학회지** 34(1)
24. **김태철**, 1995, **유역토양수분 추적에 의한 실시간 홍수예측모형**, **한국농공학회지** 37(5)
25. **김태철**, 1996, **한국하천의 일유출량 모형**, **한국수자원학회지** 29(5)
26. **김태철**, 1997, **수문지질특성에 의한 기준갈수량**, KCID**논문집**, 4(2)
27. **김태철**, 1997, DAWAST**모형을 이용한 유출곡선번호 추정**, **한국수자원학회지**, 30(5)
28. **김태철**, 1997, **유역에서의 실시간 토양수분 변화에 관한 연구**, **한국농공학회지 학술발표논문집**
29. **김현영**, 1988, **관개용 저수지의 일별 유입량과 방류량의 모의발생**, **한국농공학회지**, 30(1)
30. **박성제**, 1993, **용수수급모형 개발을 위한 기초 연구**, **국토개발연구원**
31. **박승우**, 1991, **전문가 시스템을 이용한 관개용 저수지 조작**, **한국농공학회지**, 33(1)
32. **백창열**, CGI**란**, http://pcrc.hongik.ac.kr/~cybaek/lecture/cgi/what_is_cgi.html
33. **이맹렬**, **사이버랜드**, http://www.ibooks.co.kr/~redred/
34. **이순혁**, 1991, **장단기유출 양용 저류탱크모델의 개발에 관한 연구** (I), (II), **한국농공학회지** 33(1),(2)
35. **윤충섭**, 1999, **고무댐에 의한 저수지의 저수량 증대방안**, **한국관개배수** 6(1)
36. Climate Prediction Center, http://nic.fb4.noaa.gov/
37. National Drought Mitigation Center, Comparison of Drought Indices, http://enso.unl.edu/ndmc/enigma/indices.htm
38. National Drought Mitigation Center, http://enso.unl.edu/ndmc/
39. NCSA, The Common Gateway Interface, http://hoohoo.ncsa.uiuc.edu/cgi/overview.html

40. Southeast Regional Climate Center, http://water.dnr.state.sc.us/climate/sercc/products/pdi/ALpdi.html

41. Texas drought, http://www.cdc.noaa.gov/TXdrought/

42. HEC, 1976, Reservoir yield

43. HEC, 1977, Reservoir system analysis for conservation

44. Mcmahon T.A., 1986, River and reservoir yield, WRP

45. Votruba, V., 1989, Water management in reservoirs, Elsevier

46. V.M. Ponce, 1989, Engineering hydrology, Prentice hall.

47. S.G. Walesh, Urban surface water management, HohnWiley & Sons, Inc.

48. V. P. Singh, 1988, Hydrologic systems, Rainfall-runoff Volume 1, Prentice Hall

49. Scott A. Brown, 1985, A microcomputer based real-time flood warning system, Hydraulics and hydrology in the small computer age, Vol 2, ASCE Proceeding

50. R. H. McCuen, 1982, A guide to hydrologic analisis using SCS methods, Prentice-Hall

51. SCS (1986), Urban hydrology for small watershed, TR-55

52. G. Fleming, 1986, Case studies on real-time river flow forecasting, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland, 329-366

53. Anderson L. R., 1993, Dam rehabilitation, Geotechnical Publication 35

54. A. B. Cunningham, 1990, Water management using interactive computer simulation

55. P. J. Floyd, 1997, The economic benefits of flood warning and forecasting, Water, E & FN Spon

56. Smith, R.E., and R.H. Hebbert, 1979, A Monte Carlo analysis of the hydrologic effects of spatial variability of infiltration, WRR., Vol.15(2), pp.419-429.

57. Rawls, W.J. and D.L. Brakensiek, 1986, Comparison between Green-Ampt and curve number runoff prediction, Trans. of the ASAE, Vol. 29(6), pp.1597-1599.

58. P. S. Reed, 1999, Aging dams need attention, Resources published by ASAE
59. T. A. Howell, Weather station networks, Resources published by ASAE
60. **千賀裕太郎**, 1989, **水資源のSoft science**, **鹿島出版會**
61. **佐藤勝夫**, 1982, **洪水流出解析**, **山海堂**
62. **日本農業土木學會**, 1993, **土地改良施設 管理基準 (ダム編)**
63. **佐藤政良**, 1985, **農業用利水ダムの洪水時操作と空容量の確保**, **日本農業土木學會誌** 53(3)
64. **佐藤政良**, 1993, **利水ダムの洪水對策貯水池管理**, **日本農業土木學會학술발표논문집**
65. **佐藤政良**, 1979, **降雨確認候の豫備放流**, **日本農業土木學會 論文集** 81
66. **千賀裕太郎**, 1984, **農業水利ダム貯水運用の實態分析**, **日本農業土木學會誌** 52(6)
67. **千賀裕太郎**, 1985,**ダムを含む水利システムの綜合管理**,**日本農業土木學會誌** 53(3)
68. **松原榮一**, 1988, **農業用ダム管理の現象と課題について**, **日本農業土木學會誌** 56(9)
69. **內村研二**, 1985, **畑地灌漑用ダムの管理**, **日本農業土木學會誌** 53(3)
70. **松田精二**, 1985, **大夕張地區 複數ダムの統合管理**, **日本農業土木學會誌** 53(3)
71. **岸 良昌**, 1997, **渡良懶沿岸地域における渴水と對應策**, **日本農業土木學會誌** 65(6)
72. **船田重則**, 1997, **琦玉縣の利水と渴水調整**, **日本農業土木學會誌** 65(6)
73. **宮前義幸**, 1985, **ダム含む水利システム總合管理**, **日本農業土木學會誌** 53(3)
74. **佐藤政良**, 1978, **多目的ダムにおげる洪水調節操作の分析**, **日本農業土木學會論文集** 76
75. **山崎不二夫**, 1979, **多目的ダムの異常出水時のダム操作について**, **日本農業土木學會誌** 47(2)
76. **山路永司**, 1995, **流域管理計劃におげるGIS手法の適用**, **日本農業土木學會誌** 63(8)
77. **增田明德**, 1984, **迫川上流流域の水利開發**, **日本農業土木學會誌** 53(3)
78. **黑田正治**, 1999, Operation and Management of Irrigation System, KSAE Proceeding.

부록 1. 예당저수지 관리규정

제 1 장 總 則

제1조 (목적) 이 규정은 하천법 제 38 조에 의하여 예당저수지 (이하 저수지) 의 운영 관리에 필요한 사항을 규정함을 목적으로 한다.

제2조 (저수지의 용도) 저수지의 용도는 농업용수의 공급과 홍수조절 기타 당해 저수지의 효용으로 발생하는 사업도 이에 포함한다.

제3조 (저수지의 운영관리) 저수지의 운영관리는 도지사의 위임에 따라 예당 농지개량조합 (이하 " 저수지 관리자 " 라 한다) 이 행한다.

제 2 장 貯水池의 運營 및 利用

제4조 (수위 측정) 저수지의 수위는 자기수위계가 설치되기 전 까지는 일류언에 부착된 수위표를 기준으로 하여 측정한다.

제5조 (저수지의 수위 및 유효수량) 저수지의 계획수위 및 유효저수량은 다음과 같다.

1. 저수지의 계획만수위를 표고 +22.50m로 하여 계획사수위는 약 표고 +14.50m로 한다. 이 때의 유효저수량은 4,607ha-m이다.
2. 홍수조절 가능수위는 표고 +19.50m(일류언)이며 이 때의 저수량은 1,884.4ha-m 이다.

제6조 (저수지의 수위확보)

(1) 저수지 관리자는 제 2 조에 규정한 저수지 용도의 사업효과를 보강하기 위하여 3월말 현재 저수지 수위를 표고 +22.50m가 되도록 확보해야 한다.

(2) 홍수에 대비하기 위하여 홍수경계 체제시의 저수위는 표고 +21.50m로 유지하여야 한다.

제7조 (용수의 공급)

(1) 저수지 하류에 공급할 농업용수의 용량은 제 5 조 1 항의 유효저수량을 이용한다.

(2) 제 1 항의 규정에 의한 용수공급은 저수지의 용수공급 능력 범위내에서 용수공급 전용 설비를 통하여 공급한다.

제 3 장 洪水警戒

제8조 (홍수경계 체제) 저수지 관리자는 다음 각호에 해당하는 경우에는 홍수경계 체제를 취해야 한다.

1. 중앙관상대의 폭우 및 호우주의보 또는 경계예보가 있을 때
2. 재해대책본부의 홍수경계 지시가 있을 때
3. 기타 홍수발생이 예상될 때

제9조 (홍수경계 체제시의 조치) 제 8 조의 규정에 의한 홍수경계 체제시에는 즉시 다음 각호에 정한 조치를 취해야 한다.

1. 수방대책 상황실을 설치하고 예상홍수량에 따른 총 홍수량, 최대유입량, 홍수계속시간 및 유입량의 시간적 변화를 예측한다.
2. 수문조작에 필요한 기계 기구, 전원 등의 점검 정비와 예비 전원설비의 시운전 등으로 수문조작에 필요한 조치를 취해야 한다.
3. 유관기관 및 하류 피해예상지역에 연락을 취하고 수문조작 태세를 취해야 한다.
4. 저수지 수위를 매 시간 마다 측정하여 수위를 조절한다.

제10조 (홍수조절)

(1) 용수공급에 지장이 없는 범위내에서 방류량 및 방류개시 시간을 정하여 홍수발생 즉시

하류 지역에 무해 유량으로 예비방류할 수 있다.

(2) 홍수조절은 제 1 항 및 제 6 조 2 항의 규정에 의한 홍수조절용량 범위내에서 홍수를 조절한다.

(3) 홍수발생시 수문조작 방법은 일정율 및 일정량 방류법에 의하고 일정율은 60%로 하되 이상홍수시에는 예외로 한다.

(4) 개문의 수 및 문비의 개소는 계산방류량에 의하여 매 시간 이에대한 조치를 취한다.

제11조 (홍수경계 체제의 해제) 저수지 관리자는 홍수경계 체제를 계속할 필요가 없다고 판단되었을 때는 이를 해제하여야 한다.

제 4 장 貯水의 放流

제12조 (저수의 방류) 저수지에 저류한 유수는 다음 각호에 해당할 경우에 한하여 방류한다.

1. 제10조 1항의 규정에 의한 예비방류를 할 때
2. 제10조 2항의 규정에 의한 홍수조절을 할 때
3. 수문의 점검 정비 또는 저수지내의 유지 보수를 하고자 할 때
4. 기타 부득이한 사유가 발생한 때
5. 방류시에는 관계 지역 재해대책본부장 및 삽교천 사업소장과 긴밀한 협의를 하여야 한다.

제13조 (방류량)

(1) 저수지의 방류는 다음 각호의 양을 초과해서는 아니된다. 다만, 계획 홍수 유입량을 초과 유입할 때에는 예외로 한다.

1. 제12조 1 및 3 의 경우 하류하천 개수전은 200m^3/sec (15련 0.50m 개문) 하천 개수후는 677m^3/sec (26련 1.0m 개문) 로 한다.
2. 제12조 2 의 규정에 의한 경우에는 방류시간의 사전조절로 전조 1호에 준하여 방류하되 재해대책본부의 지시가 있을 때에는 이에 따른다.

(2) 제12조 3 및 4 의 규정에 의하여 방류하며 용수공급에 지장을 초래할 경우는 도지사의 승인을 득하여 방류하여야 한다.

제14조 (방류량에 관한 통보) 저수지 관리자는 제 12 조의 규정에 의하여 방류할 필요가 있을 때에는 방류일시, 방류량, 방류에 의하여 상승할 수위 등을 관계기관 및 피해 예상지역에 통보하고 방송, 싸이렌, 경종, 확성기, 경고 표지 등으로 일반인에게 이를 경고하여야 한다.

제 5 장 水門操作

제15조 (문비조작 방법) 방류를 위하여 일류언의 문비를 조작할 때에는 제 13 조에 지정된 방류량의 범위내에서 조작하되 제 12 조 각호 이외의 경우는 폐쇄한다.

제16조 (수문의 조작 순서) 수문의 조작은 수문의 고장 등 부득이한 경우를 제외하고는 중심부에서 좌우측을 순차적으로 개방하여야 하며 이의 역순으로 폐쇄하여야 한다. 다만, 수문의 점검등을 필요로 할 때에는 그러하지 아니하다.

제17조 (문비조작의 기록) 저수지 관리자는 제 12 조의 규정에 의하여 방류하였을 때에는 다음 사항을 기록 보존하여야 한다.

1. 기상 및 수상에 관한 사항
2. 조작된 수문 명, 가동 개시 및 완료시간, 방류량 및 유입량, 저수지 변동사항
3. 저수지 및 관련 구조물에 관한 홍수피해, 저수지 및 저수지 상하류 지역에 대한 홍수피해
4. 방류에 따른 정보 및 통신에 관한 사항

5. 기타 필요한 사항

제 6 장 點檢整備 및 調査測定

제18조 (점검정비) 저수지 관리자는 저수지의 안전한 관리를 기하기 위하여 다음 각 호에 제기한 시설을 항상 양호한 상태로 유지하기 위하여 정기 및 수시 점검과 정비를 행하여야 한다.

1. 저수지 여수토 및 제당 수문 및 방수로
2. 각종 관측, 경보 및 통신시설
3. 수문조작을 위하여 필요한 설비와 예비 전원설비
4. 기타 저수지 부대시설

제19조 (조사측정) 저수지 관리자는 저수지의 조작관리에 필요한 다음 각호의 사항을 조사 측정해야 한다.

1. 기상 : 날씨, 기온, 습도, 풍향 및 풍속, 강우량, 증발량
2. 수문 : 저수지 수위, 유입량, 방류량, 수온, 결빙, 퇴사, 수질
3. 저수지 거동 : 간극 수압, 침하량, 수평 변위
4. 실적 : 용수 공급량, 저수지 방류량

제20조 (조사결과 기록) 저수지 관리자는 제 18 조 및 제 19 조 의 규정에 의하여 점검 정비 및 조사 측정 결과를 기록해야 한다.

제21조 (관리연보 작성) 저수지 관리자는 저수지 운영 및 관리실적에 따른 저수지 관리연보를 작성 비치하여야 한다.

제 7 장 管理費用

제22조 (경상관리비 부담) 저수지의 유지관리에 소요되는 비용은 저수지 관리자가 자체의 내규 및 업무 관리에 따라 저수지 관리를 위하여 사업관리비 및 일반관리비로 구분하여 부담하여야 한다.

제23조 (시설의 개보수비 부담) 저수지 관리자는 저수지 및 저수지와 관련된 시설의 개보수, 신축 및 기타 저수지 관리상 필요한 부대사업을 지원 및 자체부담으로 실시할 수 있다.

제24조 (보고)

(1) 저수지 관리자는 제 18 조의 규정에 의한 정기점검 결과를 도지사에게 보고하여야 한다.

(2) 저수지 관리자는 제 21 조의 규정에 의한 관리년보를 작성 비치하고 이를 도지사에게 제출하여야 한다.

제25조 (세칙) 이 규정의 시정에 필요한 사항은 시행세칙으로 정하되 도지사의 승인을 받아야 한다.

제 8 장 附則

1. 이 규정에 정하지 아니한 사항에 대해서는 도지사의 승인을 받아야 한다.
   단, 긴급을 요할 시에는 필요한 조치를 취하고 즉시 보고하여야 한다.
2. 이 규정은 공포한 날로 부터 시행한다.

1982, 5. 7

부록 2. 탑정저수지 관리규정

제 1 장 總 則

제1조 (목적) 이 규정은 하천법 제 38조에 의하여 탑정저수지(이하 저수지라 한다)의 운영관리에 필요한 사항을 규정함을 목적으로 한다.

제2조 (저수지의 용도) 저수지의 용도는 법령이 정하거나 타기관과의 협약에 의하는 경우를 제외하고는 농업용수의 공급과 홍수조절을 목적으로 한다.

제3조 (저수지의 운영관리) 저수지의 운영관리는 도지사의 위임에 따라 논산농지개량조합(이하 저수지 관리자라 한다) 이 행한다.

제 2 장 저수지의 운영 및 이용

제4조 (수위측량) 저수지의 여수토 수위표를 기준으로 하여 측정한다.

제5조 (저수지의 수위) 저수지의 수위조작을 위한 수위는 다음과 같이 유지한다.

1. 만수위 표고 : 28.30 미터
2. 일류언 수위 : 24.30 미터(텐타게이트 바닥고)
3. 최 저 수 위 : 16.00미터

제6조 (저수위의 수위확보) (1) 저수지 관리자는 저수지 수위를 평상시에는 만수위 28.30 미터를 유지하되 홍수기에는 27.30미터의 제한수위를 유지하여야 한다.

(2) 홍수기는 6월21일부터 9월20일까지로 한다.

제7조 (용수공급) (1) 저수지 하류에 공급할 농업용수의 용량을 만수위 28.30미터와 저수위 16.00미터사이의 유효저수량 31,610,000 M/T를 이용한다.

(2) 제1항의 규정에 의한 용수공급은 저수지의 용수공급 능력 범위내에서 용수공급 설비를 통하여 공급한다.

제 3 장 홍 수 경 계

제8조 (홍수경계 체제) 저수지 관리자는 다음 각호에 해당하는 경우에 홍수경계체제를 취하여야 한다.

1. 중앙관상대의 호우, 태풍 및 폭풍주의보 또는 경보가 있을 때
2. 재해대책 본부의 홍수경계 지시가 있을 때
3. 기타 홍수 발생이 예상될 때

제9조 (홍수경계 체제시의 조치) 저수지 관리자는 홍수경계 체제를 취하였을 때에는 즉시 다음 각호의 조치를 취하여야 한다.

1. 각 관측소 및 관계기관에 연락하여 매시간 마다 기상, 강우, 수위 등에 관한 자료의 수집 및 분석
2. 최대유입량, 홍수총량, 홍수 계속시간 및 유입량의 시간적 변화 예측
3. 홍수조절에 필요한 계획을 수립하여 예비방류계획의 사전통보 및 예비방류 실시
4. 수문조작에 필요한 기계기구의 점검 및 정비와 예비전원 설비의 시운전 등으로 수문조작을 위한 조치를 취한다.

제10조 (홍수조절) (1) 홍수기에는 홍수유출에 대비하여 제한수위를 유지하되 제한수위 유지시라도 제 9조의 분석결과에 따라 급격한 홍수유출이 예측될 경우 제한 수위이하로 사전 예비방류를 실시하여 홍수를 조절한다.

(2) 제 1 항의 경우 저수지 하류부의 급격한 수위상승으로 인한 피해가 발생하지 않도록 사전 예비방류 방법 및 방류량의 한계를 정하여 실시하여야 한다.

제11조 (저수지의 방류) 저수지에 저류한 유수는 다음 각호의 1에 해당할 경우에 한하여 방류한다.

1. 제6조 제1항의 수위를 초과할 때

2. 제10조 제1항의 규정에 의한 홍수조절을 목적으로 예비방류를 실시할 때
3. 수문의 점검정비 또는 저수지내의 유지보수를 하고자 할 때
4. 저수지 상류 강우량을 수시로 파악 하천수의 급격한 유출이 되지 않도록 수위조절에 적정을 기하여야 한다.
5. 기타 부득이한 사유가 발생할 때

제12조 (방류에 관한 통보) (1) 저수지 관리자는 제 11조의 규정에 의하여 방류를 할 필요가 있을 때는 예상유입량, 방류일시, 방류량, 방류에 의하여 상승할 수위 등 방류계획을 방류개시 3시간전에 하천관리청, 논산군청, 유관기관과 하류부 연안 주민에게 사전 통보하여 피해를 방지토록 하여야 한다.

(2) 저수지 관리자는 보유차량이나 유무선 통신시설 등에 의하여 위험지역에 대한 연안주민에게 경고방송을 별도 실시하여야 한다.

제13조 (홍수경계체제의 해제) 저수지 관리자는 저수지의 유입량이 감소하여 제한수위로 유지될 수 있을 경우 또는 기타 상황으로 보아 경계체제를 계속할 필요가 없다고 판단되었을 때에는 홍수경계체제의 해제계획을 관할 하천관리청에 사전통보한 후 이를 해제하여야 한다.

제 4 장 수 문 조 작

제14조 (문비조작방법) 방류를 위하여 여수토의 일류문비를 조작할 때는 제 11 조의 지정된 범위내에서 조작하되 제 11 조의 각호 이외의 경우는 폐쇄한다.

1. 방류시 개문순서는 10연중(5, 6, 4, 7, 3, 8, 2, 9, 1, 10)순으로 개문 방류한다.

제15조 (문비조작 기록) 저수지 관리자는 제 11 조의 규정에 의하여 방류를 할 때에는 다음 사항을 기록 보존하고 당해 하천 관리청에 즉시 통보하여야 한다.

1. 조작된 수문명, 가동개시, 유입량, 방류량, 저수지 수위변동 및 완료시간
2. 방류에 따른 정보 및 통신에 관한 사항
3. 기타 필요한 사항

제 5 장 점검정비 및 조사측정

제16조 (점검정비) 저수지 관리자는 저수지의 안전한 관리를 기하기 위하여 다음 각호의 계기한 시설을 항상 양호한 상태로 유지하기 위하여 정기 및 수시점검과 정비를 행하여야 한다.

1. 저수지 여수토 및 제방, 수문 및 방수로
2. 각종 관측정보 및 통신시설
3. 수문조작을 위하여 필요한 설비와 예비전원 설비
4. 기타 저수지 부대시설

제17조 (조사측정) 저수지 관리자는 저수지의 조작관리에 필요한 다음 각호의 사항을 조사 및 측정을 행하여야 한다.

1. 기상 : 날씨, 기온, 강수량
2. 수상 : 저수위 수위, 유입량, 방류량
3. 실적 : 용수공급량, 저수지 강수량

제18조 (조사결과 기록) 저수지 관리자는 제8조 및 제17조의 규정에 의하여 행한 점검 정비 및 조사측정결과를 기록해야 한다.

제19조 (관리연보작성 보고) 저수지 관리자는 저수지 운영 및 관리실적에 따른 저수지 관리연보를 작성 비치하고 이를 하천관리청 및 도지사에게 보고하여야 한다.

부 칙

시행일 : 이 규정은 공포한 날로부터 시행한다.

부록 3. 高隈ダム管理規程

※ 日本 高隈ダム관리규정을 참고로 수록하였다. 유역면적 38km², 총저수량 1,393만m³, 유효저수량 1,163만m³, 만수면적 104 ha, 만수위표고 158m, 제정표고 160m, 이용수심 15m, 텐터게이트 3문, 계획취수량 3.95m³/s 를 공급하는 농업용 저수지이다.

제 1 장 총칙

(취지)

제1조 이 규정은 國營 笠野原 농업수리사업에 따라 조성된 高隈ダム의 유지, 조작 및 기타 관리에 필요한 사항을 정한다.

(관리자의 업무)

제2조 댐관리책임자(이하 관리자)는 이 규정에 따라 댐을 관리한다.

(이례의 조치)

제3조 관리자는 이 규정에 없는 사항을 처리할 때에는 미리 笠野原 토지개량구이사장(이하 이사장)의 승인을 얻어야 한다. 그러나, 비상사태 발생으로 긴급조치가 필요한 때에는 사후에 신속히 보고하고 지시에 따라야 한다.

제 2 장 저수, 취수 또는 방류에 관한 사항

제1절 댐수위 또는 저수

(만수위)

제4조 댐만수위는 표고 158m 로 하고 이 수위보다 상승해서는 안된다.

(예비방류수위)

제5조 댐의 예비방류수위는 157.5m이다.

(저수위)

제6조 댐저수위는 표고 143m로 하고 감사, 보수, 기타 특별한 경우외에는 이 보다 더 저하시키지 않는다.

(수위의 기준)

제7조 댐수위는 모두 취수탑에 설치된 수위계에 따른다.

(저수)

제8조 관리자는 관개용수 등을 확보하기 위하여 댐용량배분계획에 따라 원칙적으로 매년 6월 20일까지 만수위가 되도록 저수한다. 댐용량배분계획은 별도로 정한다.

(홍수 및 홍수시)

제9조 이 규정에서의 “홍수”는 저수지로 유입되는 양이(이하 유입량) 140m³/s 이상인 경우이고, “홍수시”는 홍수가 발생한 경우를 말한다.

(홍수경계시)

제10조 “홍수경계시”는 댐유역 일부 또는 전부에서 폭풍경보 또는 호우경보가 발령되거나 기타 홍수발생 가능성이 크다고 인정되는 때부터 홍수시에 다다르거나 홍수가 지나 경보가 해제된 경우 또는 홍수발생가능성이 적다고 인정될 때까지 사이에 홍수시를 제외한 기간을 말한다.

(홍수처리시)

제11조 “홍수처리시”는 홍수경계시이거나 홍수가 끝나는 때부터 홍수경계시가 해제될 때까지, 또는 해제되었지만 유입량이 다시 증가하여 홍수시에 다다르는 때까지 기간을 말한다.

(예비경계시)

제12조 “예보경계시”는 제10조의 댐유역 일부 또는 전부에서 폭풍 또는 호우주의보가 발령되거나 기타 홍수발생가능성이 크다고 인정되는 때부터 홍수경계시에 다다르거나 홍수경계가 지

나 주의보가 해제된 경우, 또는 홍수발생가능성이 없다고 인정될 때까지 사이에 홍수시를 제외한 기간을 말한다.

(관개용수의 이용)

제13조 관개용수의 이용은 표고 158m부터 표고 143m 까지 최대 11,630,000m^3을 이용한다.

제2절 취 수

(관개기간)

제14조 매년 1월 1일부터 12월 31일까지의 기간을 말한다.

(관개용수의 취수)

제15조 관리자는 관개기간에 기상, 수상 또는 관개상황을 고려하여 수익지에서 필요한 수량을 댐에서 취수해야한다.

관리자는 관개기간에 이상갈수 등으로 필요수량을 취수할 수 없을 때에는 이사장에게 보고하고 지시에 따라 적절한 조치를 취해야 한다.

(계획취수량)

제16조 관개용수를 위한 취수량은 다음을 기준으로 한다.

자	지	취수량 m^3/s	자	지	취수량 m^3/s
1월 1일	2월 28일	0.64	8월 21일	8월 31일	1.25
3 1	3 31	1.87	9 1	9 30	2.61
4 1	4 20	2.90	10 1	10 10	2.20
4 21	4 30	3.32	10 11	10 31	1.99
5 1	5 31	2.49	11 1	11 30	1.38
6 1	8 20	3.32	12 1	12 31	1.87

제17조 관리자는 하류 九州전력 谷田발전소 또는 논관개를 위한 수량을 책임방류해야 한다.

(하류의 발전 또는 관개용수 책임방류)

9월말 현재 저수량이 5백만m^3 이하인 경우

기 간	단위	10월 11월	12월 3월	4월 8월21일	8월21일 9월	비 고
맑은 날	m^3/s	0.3	1.2	1.6	0.9	자연유입량을 한도로 여름20mm, 겨울10mm의 일강수가 있는 경우에는 당일부터 5일간 방류
강우 시	m^3/s	0.0	0.6	1.0	0.9	

9월말 현재 저수량이 5백만m^3 1,000만m^3 인 경우

기 간	단위	10월 11월	12월 3월	4월 8월21일	8월21일 9월	비 고
맑은 날	m^3/s	1.2	1.2	1.6	0.9	자연유입량을 한도로 여름20mm, 겨울10mm의 일강수가 있는 경우에는 당일부터 5일간 방류
강우 시	m^3/s	0.6	0.6	1.0	0.9	

9월말 현재 저수량 1,000만m^3 이상인 경우

기 간	단위	10월 11월	12월 3월	4월 8월21일	8월21일 9월	비 고
맑은 날	m^3/s	1.5	1.5	1.6	0.9	4 9월에는 자연유입량을 한도로 여름20mm, 겨울10mm 일강수가 있는 경우 당일부터 5일간 방류
강우 시	m^3/s	0.9	0.9	1.0	0.9	

관리자는 댐조작이 하류 발전소 또는 논용수 취수에 영향을 주게될 우려가 있는 경우에는 이사장에 보고하고 지시에 따라야 하며, 이사장은 구주전력 곡전발전소 또는 논용수 기득수리권자의 책임자와 협의해야한다.

제3절 방 류

(방류의 제한)

제18조 댐에 저류된 물은 다음 각호에 해당되는 경우에 한하여 방류(취수를 위한 방류는 제외)할 수 있다.

(1) 수위가 만수위를 초과하는 경우

(2) 제28조 또는 29조 규정에 따라 홍수시의 조절을 행할 필요가 있는 경우

(3) 제25조의 규정에 따라 점검정비를 할 필요가 있는 경우

(4) 기타 특별히 중지(中止)를 얻을 수 없는 이유가 있는 경우

(방류량)

제19조 저수지에서의 방류는 제29조 1호의 규정의 경우를 제외하고는, 하류수위의 급격한 변동이 생기지 않도록 별도로 정해야 한다. 다만, 유입량이 급격히 증가하는 경우에는 당해 유입량의 증가율 범위내에서 저수지에서의 방류량을 증가시키는 것이 좋다.

(방류의 통지)

제20조 관리자는 댐방류에 따라 하류수위가 급격히 변동할 것으로 판단되는 경우에는 위해를 방지하기 위하여 관계기관에 통지하는 동시에 일반적으로 주지시키기에 필요한 조치를 취한다.

제 3 장 수문 및 밸브조작

(물넘이 수문과 방류관 밸브조작방법 등)

제21조 댐물넘이 수문을 구성하는 개개의 수문은 좌안에서 우안으로 순차적으로 제1호, 제2호, 제3호 수문이라고 부른다. 댐물넘이에서 방류하는 경우 수문을 제2호, 제1호, 제3호의 순서로 열고, 제3호 수문을 연후에도 방류량이 증가하면 같은 방법으로 조작을 반복한다. 닫을 때는 열 때의 역순으로 조작한다. 수문 1회의 개폐의 움직임은 100cm를 넘지 않는다. 그러나, 유입량이 급격히 증가하는 경우에 있어서 어쩔수 없이 인정하는 경우에는 제한을 두지 않는다.

1개의 수문을 개폐한 후에 연속적으로 다른 수문을 개폐하는 경우에는 당해 1개 수문이 움직임이 정지할 때까지 적어도 30초가 경과하지 않으면 다른 수문을 시동하지 않는다.

수문 또는 댐 방류관밸브는 제 18조의 규정에 따라 방류하는 경우 또는 댐 물넘이 또는 방류관의 점검 또는 정비를 위해 필요한 경우를 제외하고는 개폐해서는 안된다.

(취수탑 수문조작)

제22조 취수탑 수문은 취수가 필요할 때 문비를 열고, 상시저수위에서 6.5m 이내의 수심에 있는 물을 취수하도록 조작한다. 제 25조 규정에 따른 취수탑 수문의 점검정비는 취수하지 않는 적절한 시기에 하는 것이 좋다.

(비상방류밸브조작)

제23조 비상용 방류밸브는 항상 폐색시켜놓고 다음의 경우에는 조작한다.

(1) 제체 등을 감사 또는 보수하기 위하여 저수위를 저하시킬 필요가 있는 경우

(2) 퇴적토사를 소류시킬 때

(3) 방류밸브를 점검할 때

(4) 기타 저수위를 저하시킬 필요가 있는 경우

(책임방류밸브조작)

제24조 책임방류밸브는 제17조의 규정 방류량에 상응하는 조작을 한다.

제 4 장 점검 또는 정비에 관한 사항

(점검 및 정비)

제25조 관리자는 제체 또는 수문을 조작하는데 필요한 기계 또는 기구, 경보, 통신연락 또는 관측에 필요한 장비, 관리에 필요한 선박 또는 차량, 자재를 항상 양호한 상태를 유지하도록 점

검 및 정비를 해야한다. 특히, 수문 또는 예비전원설비는 적시에 시운전을 해야 한다.

(댐 또는 주변의 감시)

제26조 관리자는 댐과 그 주변을 항상 감시해야 한다. 유지 및 보전에 지장을 주는 행위의 단속 또는 위험방지에 노력해야 한다.

제 5 장 긴급사태시 조치에 관한 사항

제1절 홍수

(예비경계시의 조치)

제27조 예비경계시에는 다음의 각호의 조치에 따라야 한다.

(1) 홍수시에는 댐 또는 저수지를 적절히 관리할 요원을 확보해야 한다.

(2) 댐을 조작하기 위해 필요한 기계 및 기구(전기설비 및 예비전원설비 등) 하천법 제45조의 관측시설, 제46조 2항의 통보시설, 시행령 31조의 규정에 따라 경고를 위한 사이렌 또는 경보차, 야간작업에 필요한 조명시설 또는 휴대용 전등 기타 홍수시에 댐 또는 저수지관리를 위하여 필요한 기계기구 또는 자재의 점검정비를 행한다.

(3) 기상청의 기상관측자료를 신속히 수집한다.

(4) 구주지방 건설국장 또는 鹿兒島 지사에게 제46조 1항의 규정에 따라 통보한다.

(5) 하천법 시행규칙(1965년 건설성령 제7호) 제27조의 규정에 따라 댐조작 기록을 작성한다.

(6) 기타 댐과 저수지의 관리상 필요한 조치

(홍수경보시의 조치)

제28조 홍수경계시에는 제27조 1항에서 5항까지의 조치이외에 다음 조치를 취한다.

(1) 최대유입량, 기타 유입량의 시간별 변화를 예측한다.

(2) 다음 정하는 바에 따라 저수지에서 방류 또는 저수지로의 유입수를 저류한다. 다만 저수지에서의 방류는 제19조 규정에 적합하지 않은 경우에는 될 수 있는 한 적합한 방법을 행한다.

① 홍수경계시가 시작되는 경우에는 저수위가 예비방류수위를 상회하는 경우에는 유수를 저수지에서 방류하고, 저수위가 예비방류수위와 같은 경우에는 유입량에 상당하는 유량을 저수지에서 방류한다.

② 홍수경계시가 시작되는 경우에는 저수위가 예비방류수위와 같은 경우에는 유입량에 상당하는 유량의 유수를 저수지에서 방류한다.

③ 홍수경계시가 시작되는 시간에는 저수위가 예비방류수위를 下回하고 있는 경우에는 저수지에 유입수가 저류되어 저수위가 예비방류수위에 같아지는 시기 이후에는 유입량에 상당한 유수를 저수지로부터 방류하는 것

(3) 기타 댐 또는 저수지 관리상 필요한 조치

(홍수시의 조치)

제29조 홍수시에는 제 27조 3호, 4호 및 전조의 1호에서 제시하는 조치외에 다음의 각 호에서 제시하는 조치를 취해야 한다.

(1) 다음에 정하는 부분으로부터 저수지에서 방류하고, 또는 저수지에 유수를 저류하는 것. 다만 저수지로부터의 방류는 하류수위의 급격한 변동을 발생시키지 않을 정도로 하는 것

① 홍수가 시작되는 시간으로부터 유입량의 상당하는 유수를 저수지로부터 방류하고 댐의 여수토 수문을 전부 개방하게될 때까지 계속하는 것

② ①에서 규정한 시간이 경과한 때부터 댐의 여수토수문을 완전히 개방할 때 유입량이 최대로 될 때를 기다려 저수위가 예비방류수위에 같아질 때까지 계속하는 것

③ ②에 규정된 시간이 경과했을 때부터 유입량이 $140m^3/sec$가 될 때까지는 유입량에 상당하는 유량의 유수를 저수지로부터 방류하는 것

④ ③에 규정된 시간을 경과한 이후에는 저수지로부터의 방류를 하면서 또는 이것을 하지않고 저수지에 유수를 저류하는 것

⑤ ④로부터 지금까지의 규정에 관계없이 홍수가 시작한 경우 저수위가 예비방류수위를 하외하고 있는 경우는 저수위로부터의 방류를 하면서 또는 이것을 하지않고 저수지에 유수를 저류하고 저수위가 예비방류수위에 같아진 이후는 (2)로부터 지금까지의 규정의 예에 의해 저수지로부터 방류하는 것

(2) 법 제 49조의 규정에 의한 기록작성을 하는 것

(3) 이외에 댐 및 저수지의 관리상 필요한 조치

(홍수경계체제의 해제)

제30조 관리자가는 기상 및 수상(水象)상태의 상황에 의한 홍수경계체제를 유지할 필요가 없는 경우에는 제체 등의 이상의 유무를 점검하고 이상을 확인한 경우에는 신속한 조치를 취한 후에 홍수경계체제를 해제하도록 한다.

제 2 절 한 발

(한발시 조치)

제 31 조 관리자는 댐의 저수상황 또는 장기 강우예보 등을 감안해야하며 한발이 우려되는 경우에는 이사장 또는 댐이용자의 의견을 들어 밭관개 취수에 관한 절수계획을 세워 물이 부족하지 않도록 노력해야 한다.

제 6 장 관측 및 조사에 관한 사항

(기상 및 수상의 관측)

제32조 관리자는 기상 및 수상에 대해서 다음에 제시하는 사항을 정기적으로 관측해야 한다.

(1) 기상관계

날씨, 기압, 기온, 상대습도, 강우량, 증발량, 풍력 및 풍향

(2) 수상관계

수위, 유입량, 방류량, 취수량, 수온 등

(댐의 퇴사상황의 조사)

제33조 관리자는 매년 저수위시에 한번 또는 홍수 직후 필요하다고 생각될 때 댐의 퇴사사항을 조사해야 한다.,

(제체의 조사)

제34조 관리자는 설치된 측정기구에 의해 제체 온도와 응력, 변형 및 양압력 등에 대해 조사 또는 관측한다.

(관리일지)

제35조 관리자는 댐 관리일지를 준비하고 다음 각호의 사항을 기록한다.

(1) 전3조의 규정에의한 조사 또는 관측의 결과

(2) 댐의 상황 및 점검, 정비에 관한 사항

(3) 긴급시에 있어서 조치에 관한 사항

(4) 수문 및 밸브를 조작하는 경우에는 조작 이유와 조작 시각. 개도(開度), 취수량 및 방류량

(5) 관리자는 매월10일까지 전월의 관리일지를 정리, 이사장에 제출하고 그 내용을 보고한다.

(6) 관리자는 관리월보 및 관리년보를 작성해야 한다.

(7) 기타 댐의 관리에 관한 사항

부 칙

이 관리규정은 鹿兒島縣 지사의 인가된 날로부터 시행한다.

부록 4-1 예당저수지의 일별 기준저수율(%) 곡선

4 월	저수율	5 월	저수율	6 월	저수율	7 월	저수율	8 월	저수율	9 월	저수율
1	100	1	100	1	64.1	1	18.0	1	26.6	1	2.3
2	100	2	100	2	62.5	2	16.7	2	26.3	2	2.7
3	100	3	100	3	61.0	3	15.5	3	25.9	3	3.0
4	100	4	100	4	59.4	4	14.2	4	25.6	4	3.3
5	100	5	100	5	57.8	5	13.0	5	25.3	5	3.6
6	100	6	100	6	56.3	6	11.7	6	25.0	6	3.9
7	100	7	99.9	7	54.9	7	11.1	7	23.9	7	4.2
8	100	8	99.7	8	53.5	8	10.5	8	22.8	8	4.5
9	100	9	99.6	9	52.0	9	9.9	9	21.9	9	4.8
10	100	10	99.5	10	50.6	10	9.2	10	20.6	10	5.2
11	100	11	99.3	11	49.2	11	8.6	11	19.5	11	5.5
12	100	12	99.1	12	47.7	12	9.1	12	18.1	12	5.3
13	100	13	98.9	13	46.1	13	9.5	13	16.6	13	5.2
14	100	14	98.7	14	44.5	14	10.0	14	15.1	14	5.0
15	100	15	98.6	15	43.0	15	10.5	15	13.6	15	4.8
16	100	15	98.4	16	41.4	16	10.9	16	12.1	16	4.7
17	100	16	96.3	17	39.7	17	13.0	17	11.3	17	3.8
18	100	18	94.2	18	38.0	18	15.0	18	10.4	18	2.8
19	100	19	92.1	19	36.3	19	17.0	19	9.5	19	1.9
20	100	20	90.0	20	34.5	20	19.1	20	8.7	20	0.9
21	100	21	87.9	21	32.8	21	21.1	21	7.8	21	0.0
22	100	22	85.6	22	31.1	22	21.4	22	6.6	22	0.0
23	100	23	83.4	23	29.4	23	21.7	23	5.3	23	0.0
24	100	24	81.1	24	27.7	24	22.0	24	4.1	24	0.0
25	100	25	79.0	25	25.9	25	22.4	25	2.8	25	0.0
26	100	26	76.6	26	24.2	26	22.7	26	1.6	26	0.0
27	100	27	74.5	27	23.0	27	23.3	27	1.7	27	0.0
28	100	28	72.4	28	21.7	28	24.0	28	1.8	28	0.0
29	100	29	70.3	29	20.5	29	24.6	29	2.0	29	0.0
30	100	30	68.2	30	19.2	30	25.3	30	2.1	30	0.0
		31	66.2			31	25.9	31	2.2		

부록 4-2 탑정저수지의 일별 기준저수율곡선

4 월	저수율	5 월	저수율	6 월	저수율	7 월	저수율	8 월	저수율	9 월	저수율
1	100	1	100	1	68.8	1	28.4	1	53.6	1	0.0
2	100	2	100	2	67.0	2	27.6	2	53.4	2	0.0
3	100	3	100	3	67.1	3	26.0	3	53.1	3	0.0
4	100	4	100	4	67.1	4	24.7	4	52.5	4	0.0
5	100	5	100	5	67.2	5	23.9	5	51.9	5	0.0
6	100	6	100	6	66.8	6	23.9	6	51.0	6	0.0
7	100	7	100	7	65.1	7	23.4	7	50.1	7	0.5
8	100	8	100	8	63.3	8	22.1	8	49.2	8	0.8
9	100	9	100	9	61.6	9	20.3	9	48.2	9	0.9
10	100	10	100	10	59.7	10	18.3	10	44.3	10	1.0
11	100	11	100	11	58.5	11	16.1	11	41.3	11	1.0
12	100	12	100	12	57.0	12	14.5	12	38.1	12	0.9
13	100	13	100	13	55.4	13	14.2	13	34.8	13	0.8
14	100	14	100	14	53.8	14	12.9	14	33.2	14	0.7
15	100	15	100	15	51.9	15	20.4	15	30.6	15	0.6
16	100	16	100	16	60.1	16	26.1	16	27.7	16	0.4
17	100	17	100	17	48.1	17	32.1	17	24.4	17	0.0
18	100	18	100	18	46.2	18	34.1	18	21.2	18	0.0
19	100	19	97.0	19	46.2	19	34.9	19	20.5	19	0.0
20	100	20	94.1	20	46.3	20	39.1	20	18.9	20	0.0
21	100	21	91.0	21	45.1	21	43.4	21	17.3	21	0.0
22	100	22	87.9	22	43.3	22	44.5	22	15.6	22	0.0
23	100	23	84.7	23	41.6	23	45.6	23	6.1	23	0.0
24	100	24	82.6	24	39.7	24	48.3	24	0.7	24	0.0
25	100	25	80.6	25	37.9	25	50.2	25	1.5	25	0.0
26	100	26	78.6	26	36.7	26	51.0	26	1.2	26	0.0
27	100	27	77.5	27	35.3	27	51.8	27	0.7	27	0.0
28	100	28	75.8	28	33.3	28	52.3	28	0.4	28	0.0
29	100	29	74.0	29	31.5	29	53.3	29	0.4	29	0.0
30	100	30	72.3	30	29.6	30	53.8	30	0.1	30	0.0
		31	70.6			31	53.7	31	0.0		

부록 4-3 예당저수지의 일별 제한급수율 곡선

4월	10%	30%	50%	70%	5월	10%	30%	50%	70%	6월	10%	30%	50%	70%
1	87.0	63.3	39.5	15.8	1	89.3	66.4	43.6	20.7	1	55.8	41.1	26.3	11.6
2	87.4	63.5	39.8	16.1	2	89.3	66.4	43.6	20.8	2	54.5	40.2	25.8	11.5
3	87.6	63.8	40.1	16.4	3	89.2	66.4	43.7	20.9	3	53.3	39.3	25.3	11.4
4	87.8	64.0	40.3	16.6	4	89.2	66.5	43.7	21.0	4	52.0	38.5	24.9	11.3
5	88.0	64.3	40.6	16.9	5	89.1	66.5	43.8	21.1	5	50.8	37.6	24.4	11.2
6	88.2	64.5	40.9	17.2	6	89.1	66.5	43.8	21.2	6	49.5	36.7	23.9	11.1
7	88.4	64.7	41.1	17.5	7	89.1	66.5	43.8	21.2	7	48.5	36.0	23.5	11.0
8	88.5	64.9	41.3	17.7	8	89.0	66.5	43.8	21.2	8	47.5	35.3	23.1	10.9
9	88.7	65.1	41.6	18.0	9	89.0	66.5	43.8	21.2	9	46.4	34.5	22.6	10.7
10	88.8	65.3	41.8	18.2	10	88.9	66.5	43.8	21.2	10	45.4	33.8	22.2	10.6
11	89.0	65.5	42.0	18.5	11	88.9	66.5	43.8	21.2	11	44.4	33.1	21.8	10.5
12	89.1	65.7	42.2	18.7	12	88.5	66.2	43.7	21.3	12	43.0	32.1	21.2	10.2
13	89.2	65.8	42.4	19.0	13	88.1	66.0	43.6	21.3	13	41.7	31.1	20.5	9.9
14	89.3	66.0	42.6	19.2	14	87.8	65.7	43.6	21.4	14	40.3	30.1	19.9	9.7
15	89.4	66.1	42.8	19.5	15	87.4	65.5	43.5	21.4	15	39.0	29.1	19.2	9.4
16	89.5	66.3	43.0	19.7	16	87.0	65.2	43.4	21.5	16	37.6	28.1	18.6	9.1
17	89.5	66.3	43.1	19.8	17	85.1	63.7	42.4	21.0	17	36.1	27.0	17.8	8.7
18	89.5	66.3	43.1	19.9	18	83.1	62.2	41.4	20.5	18	34.6	25.8	17.1	8.3
19	89.5	66.4	43.2	20.0	19	81.2	60.7	40.4	20.1	19	33.1	24.7	16.3	7.9
20	89.5	66.4	43.2	20.1	20	79.2	59.2	39.4	18.6	20	31.6	23.5	15.6	7.5
21	89.5	66.4	43.3	20.2	21	77.3	57.7	38.4	19.1	21	30.1	22.4	14.8	7.1
22	89.5	66.4	43.3	20.2	22	75.6	56.2	37.2	18.5	22	28.7	21.4	14.0	6.7
23	89.5	66.4	43.3	20.2	23	73.8	54.7	36.0	17.8	23	27.3	20.3	13.4	6.4
24	89.5	66.4	43.3	20.2	24	72.1	53.3	34.8	17.2	24	26.0	19.3	12.7	6.0
25	89.5	66.4	43.3	20.2	25	70.4	51.8	33.6	16.5	25	24.6	18.2	12.0	5.7
26	89.5	66.4	43.3	20.2	26	68.6	50.3	32.4	15.9	26	23.2	17.2	11.3	5.3
27	89.5	66.4	43.4	20.3	27	66.5	48.8	31.4	15.2	27	22.0	16.3	10.7	5.0
28	89.4	66.4	43.4	20.4	28	64.3	47.2	30.4	14.5	28	20.8	15.4	10.1	4.7
29	89.4	66.4	43.5	20.5	29	62.2	45.7	29.3	13.7	29	19.7	14.6	9.6	4.5
30	89.3	66.4	43.5	20.6	30	60.1	44.2	28.3	13.0	30	18.5	13.7	9.0	4.2
					31	58.0	42.7	27.3	12.3	31				

7월	10%	30%	50%	70%	8월	10%	30%	50%	70%	9월	10%	30%	50%	70%
1	17.3	12.8	8.4	3.9	1	20.6	12.4	7.1	2.5	1	0.6	0.0	0.0	0.0
2	16.0	11.8	7.7	3.6	2	20.5	12.6	7.0	2.6	2	1.2	0.3	0.1	0.0
3	14.8	10.8	7.0	3.2	3	20.4	12.8	7.0	2.7	3	1.8	0.7	0.2	0.0
4	13.5	9.9	6.4	2.9	4	20.4	13.1	6.9	2.9	4	2.4	1.0	0.3	0.0
5	12.3	8.9	5.7	2.5	5	20.3	13.3	6.9	3.0	5	3.0	1.4	0.4	0.0
6	11.0	7.9	5.0	2.2	6	20.2	13.5	6.8	3.1	6	3.6	1.7	0.5	0.0
7	10.4	7.5	4.7	2.0	7	19.4	12.8	6.6	2.9	7	3.7	1.9	0.7	0.1
8	9.8	7.0	4.3	1.8	8	18.5	12.2	6.4	2.7	8	3.9	2.1	0.9	0.1
9	9.2	6.6	4.0	1.5	9	17.7	11.6	6.2	2.4	9	4.0	2.4	1.0	0.2
10	8.6	6.1	3.6	1.3	10	16.8	11.0	6.0	2.2	10	4.2	2.6	1.2	0.2
11	8.0	5.7	3.3	1.1	11	16.0	10.3	5.8	2.0	11	4.3	2.8	1.4	0.3
12	7.1	5.0	2.9	1.0	12	14.7	9.6	5.4	1.8	12	4.3	2.8	1.4	0.3
13	6.1	4.3	2.5	0.9	13	13.5	8.9	5.0	1.5	13	4.4	2.9	1.4	0.4
14	5.2	3.7	2.2	0.7	14	12.2	8.2	4.6	1.3	14	4.4	2.9	1.4	0.4
15	4.2	3.0	1.8	0.6	15	11.0	7.5	4.2	1.0	15	4.5	3.0	1.4	0.5
16	3.3	2.3	1.4	0.5	16	9.7	6.8	3.8	0.8	16	4.5	3.0	1.4	0.5
17	6.0	3.9	2.1	0.5	17	9.0	6.2	3.4	0.7	17	3.6	2.4	1.1	0.4
18	8.7	5.5	2.8	0.5	18	8.2	5.6	3.0	0.5	18	2.7	1.8	0.8	0.3
19	11.3	7.1	3.6	0.4	19	7.5	5.1	2.6	0.4	19	1.8	1.2	0.6	0.2
20	14.0	8.7	4.3	0.4	20	6.7	4.5	2.2	0.2	20	0.9	0.6	0.3	0.1
21	16.7	10.3	5.0	0.4	21	6.0	3.9	1.8	0.1	21	0.0	0.0	0.0	0.0
22	16.8	10.5	5.2	0.7	22	4.9	3.1	1.4	0.1	22	0.0	0.0	0.0	0.0
23	16.9	10.7	5.4	1.0	23	3.7	2.3	1.1	0.1	23	0.0	0.0	0.0	0.0
24	17.1	10.8	5.5	1.3	24	2.6	1.6	0.7	0.0	24	0.0	0.0	0.0	0.0
25	17.2	11.0	5.7	1.6	25	1.4	0.8	0.4	0.0	25	0.0	0.0	0.0	0.0
26	17.3	11.2	5.9	1.9	26	0.3	0.0	0.0	0.0	26	0.0	0.0	0.0	0.0
27	17.9	11.4	6.1	2.0	27	0.4	0.0	0.0	0.0	27	0.0	0.0	0.0	0.0
28	18.4	11.6	6.3	2.1	28	0.4	0.0	0.0	0.0	28	0.0	0.0	0.0	0.0
29	19.0	11.8	6.5	2.2	29	0.5	0.0	0.0	0.0	29	0.0	0.0	0.0	0.0
30	19.5	12.0	6.7	2.3	30	0.5	0.0	0.0	0.0	30	0.0	0.0	0.0	0.0
	20.1	12.2	6.9	2.4	31	0.6	0.0	0.0	0.0	31				

부록 4-4 탑정저수지의 일별 제한급수율 곡선

4월	10%	30%	50%	70%	5월	10%	30%	50%	70%	6월	10%	30%	50%	70%
1	80.1	57.9	35.8	13.6	1	90.2	68.3	46.4	24.5	1	50.5	38.6	26.7	14.8
2	80.2	58.0	35.9	13.7	2	90.3	68.5	46.6	24.7	2	48.9	37.4	25.8	14.3
3	80.3	58.2	36.0	13.8	3	90.5	68.6	46.8	24.9	3	48.9	37.4	25.9	14.4
4	80.4	58.3	36.1	13.9	4	90.6	68.8	46.9	25.1	4	49.0	37.5	26.0	14.4
5	80.5	58.3	36.2	14.1	5	90.8	68.9	47.1	25.2	5	49.1	37.6	26.0	14.5
6	80.6	58.4	36.3	14.2	6	90.9	69.1	47.2	25.4	6	48.7	37.3	25.8	14.4
7	80.6	58.5	36.4	14.3	7	91.0	69.2	47.4	25.5	7	47.2	36.1	25.0	14.0
8	80.7	58.6	36.5	14.4	8	91.1	69.3	47.5	25.6	8	45.6	34.9	24.2	13.5
9	80.7	58.6	36.5	14.5	9	91.2	69.4	47.6	25.8	9	44.0	33.7	23.4	13.0
10	80.8	58.7	36.6	14.5	10	91.3	69.5	47.7	25.9	10	42.4	32.4	22.5	12.5
11	80.8	58.8	36.7	14.6	11	91.5	69.7	47.9	26.1	11	41.3	31.6	21.9	12.2
12	80.9	58.8	36.8	14.7	12	89.9	68.5	47.1	25.7	12	40.0	30.6	24.2	11.8
13	80.9	58.9	36.8	14.8	13	88.3	67.3	46.4	25.4	13	38.5	29.5	20.4	11.4
14	82.4	60.3	38.3	16.2	14	86.5	66.0	45.5	25.0	14	37.1	28.4	19.6	10.9
15	83.5	61.5	39.4	17.4	15	84.5	64.5	44.5	24.5	15	35.4	27.1	18.7	10.4
16	84.1	62.1	40.0	18.0	16	82.4	62.9	43.5	24.0	16	33.7	25.8	17.8	9.9
17	84.6	62.5	40.5	18.4	17	80.5	61.5	42.5	23.6	17	32.0	24.4	16.9	9.4
18	85.1	63.1	41.0	19.0	18	78.2	89.8	41.3	22.9	18	30.2	23.1	16.0	8.8
19	85.7	63.7	41.6	19.6	19	75.7	57.9	40.1	22.2	19	30.3	23.2	16.0	8.9
20	86.4	64.3	42.3	20.2	20	73.1	55.9	38.7	21.5	20	30.7	23.2	16.1	9.0
21	86.9	64.9	42.9	20.8	21	70.4	53.8	37.2	20.7	21	29.3	22.4	15.6	8.7
22	87.4	65.4	43.4	21.4	22	67.6	51.7	35.8	19.9	22	27.6	21.2	14.7	8.2
23	87.9	65.9	43.9	21.9	23	64.7	49.5	34.2	19.0	23	26.1	20.0	13.8	7.7
24	88.3	66.3	44.3	22.3	24	62.8	48.1	33.3	18.5	24	24.4	18.7	12.9	7.2
25	88.7	66.7	44.7	22.7	25	61.0	46.7	32.3	17.9	25	22.9	17.5	12.1	6.7
26	89.0	67.0	45.1	23.1	26	59.2	45.3	31.3	17.4	26	21.8	16.6	11.5	6.4
27	89.3	67.3	45.4	23.5	27	58.3	44.6	30.9	17.2	27	20.5	15.6	10.8	6.0
28	89.5	67.6	45.7	23.8	28	56.7	43.4	30.0	16.7	28	18.8	14.3	9.9	5.5
29	89.8	67.9	45.9	24.0	29	55.1	42.2	29.2	16.2	29	17.1	13.1	9.0	5.0
30	90.0	68.1	46.2	24.3	30	53.6	41.0	28.4	15.7	30	15.4	11.7	8.1	4.4
					31	52.1	39.8	27.6	15.3	31				

7월	10%	30%	50%	70%	8월	10%	30%	50%	70%	9월	10%	30%	50%	70%
1	14.3	10.9	7.5	4.1	1	36.0	25.4	14.9	4.3	1	0.0	0.0	0.0	0.0
2	13.6	10.4	7.2	3.9	2	35.9	25.7	15.5	5.3	2	0.0	0.0	0.0	0.0
3	12.0	9.1	6.3	3.4	3	35.8	25.9	15.9	6.0	3	0.0	0.0	0.0	0.0
4	10.2	7.8	5.3	2.9	4	35.3	25.8	16.2	6.6	4	0.0	0.0	0.0	0.0
5	10.3	7.8	5.4	3.0	5	34.9	25.6	16.4	7.1	5	0.0	0.0	0.0	0.0
6	10.4	7.9	5.5	3.0	6	34.2	25.3	16.4	7.5	6	0.0	0.0	0.0	0.0
7	9.1	7.6	5.3	2.9	7	33.5	24.9	16.3	7.8	7	0.0	0.0	0.0	0.0
8	8.7	6.7	4.6	2.6	8	32.7	24.5	16.2	8.0	8	0.0	0.0	0.0	0.0
9	7.1	5.4	3.7	2.1	9	31.9	23.9	16.0	8.1	9	0.0	0.0	0.0	0.0
10	5.3	4.1	2.8	1.5	10	28.4	21.4	14.3	7.3	10	0.0	0.0	0.0	0.0
11	3.3	2.5	1.7	0.9	11	25.7	19.4	13.1	6.7	11	0.0	0.0	0.0	0.0
12	1.9	1.4	1.0	0.5	12	22.9	17.3	11.7	6.1	12	0.0	0.0	0.0	0.0
13	1.6	1.2	0.8	0.4	13	20.0	15.1	10.2	5.3	13	0.0	0.0	0.0	0.0
14	0.5	0.4	0.2	0.1	14	17.1	12.9	8.7	4.6	14	0.0	0.0	0.0	0.0
15	0.0	0.0	0.0	0.0	15	14.2	10.8	7.3	3.8	15	0.0	0.0	0.0	0.0
16	0.0	0.0	0.0	0.0	16	11.4	8.6	5.8	3.0	16	0.0	0.0	0.0	0.0
17	0.0	0.0	0.0	0.0	17	8.6	6.5	4.4	2.2	17	0.0	0.0	0.0	0.0
18	0.0	0.0	0.0	0.0	18	5.8	4.4	2.9	1.4	18	0.0	0.0	0.0	0.0
19	9.0	0.0	0.0	0.0	19	3.3	2.4	1.6	0.7	19	0.0	0.0	0.0	0.0
20	20.6	8.7	0.0	0.0	20	1.5	1.1	0.7	0.2	20	0.0	0.0	0.0	0.0
21	25.0	12.9	0.9	0.0	21	1.6	1.2	0.8	0.4	21	0.0	0.0	0.0	0.0
22	26.1	14.1	2.1	0.0	22	0.0	0.0	0.0	0.0	22	0.0	0.0	0.0	0.0
23	27.2	15.2	3.2	0.0	23	0.0	0.0	0.0	0.0	23	0.0	0.0	0.0	0.0
24	28.2	16.2	4.1	0.0	24	0.2	0.0	0.0	0.0	24	0.0	0.0	0.0	0.0
25	30.6	18.5	6.5	0.0	25	1.0	0.2	0.0	0.0	25	0.0	0.0	0.0	0.0
26	32.0	20.1	8.2	0.0	26	0.8	0.2	0.0	0.0	26	0.0	0.0	0.0	0.0
27	32.8	21.0	9.3	0.0	27	0.3	0.0	0.0	0.0	27	0.0	0.0	0.0	0.0
28	34.0	22.4	10.9	0.0	28	0.0	0.0	0.0	0.0	28	0.0	0.0	0.0	0.0
29	35.2	23.8	12.3	0.9	29	0.0	0.0	0.0	0.0	29	0.0	0.0	0.0	0.0
30	35.8	24.6	13.4	2.2	30	0.0	0.0	0.0	0.0	30	0.0	0.0	0.0	0.0
	35.9	25.0	14.1	3.2	31	0.0	0.0	0.0	0.0	31				

주 의

1. 이 보고서는 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림부에서 시행한 농림기술개발 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.