

631.7
L 293L
v.3

제3차년도
최종보고서

농업용수로의 관수로 시스템 계획과 물의 이용 및 관리에 관한 연구

Planning and Evaluating Pipeline Water Delivery Systems
for Conserving and Managing Efficient Agricultural
Water Uses

서울대학교 농업생명과학대학
부속 농업개발연구소

농 립 부

최종보고서

1994년도 농림수산특정연구사업에 의하여 완료한 “농업 용수로의 관수로 시스템 계획
과 물의 이용 및 관리에 관한 연구”의 최종보고서를 별첨과 같이 제출합니다.

- 첨부 : 1. 최종보고서 8부
2. 최종보고서 디스켓 1매

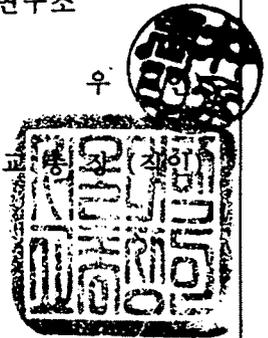
1997 . 11 . 30 .

주관연구기관 : 서울대학교 농업생명과학대학
부속 농업개발연구소

총괄연구책임자 : 박 승 우

주관연구기관장 : 서울대학교

농림부장관 귀하



제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “농업용수로의 관수로 시스템 계획과 물의 이용 및 관리에 관한 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

1997. 11. 30

주관연구기관명 : 서울대학교 농업생명과학대학

부속 농업개발연구소

총괄연구책임자 : 박 승 우

연구 원 : 임 상 준

강 문 성

조 재 필

강 민 구

김 상 민

박 희 성

김 철 겸

진 영 민

최 라 영

요 약 문

I. 제 목

농업용수의 관수로 시스템 계획과 물의 이용 및 관리에 관한 연구

II. 연구개발의 목적 및 중요성

지금까지 우리나라의 농업용수개발은 거의 대부분 논벼의 관개를 목적으로 실시해 왔으며, 전체 논 면적의 약 72%인 976천ha가 수리안전담으로 관개시설을 갖춘 상태이다. 그러나, 농업용 수원공의 대부분은 충분한 용량을 갖추고 있지 못하며, 재현기간 5년 이상의 가뭄에 대하여 충분한 용량을 갖춘 물리면적은 전체의 약 31%정도에 불과한 실정이다. 농업용수조직의 노후화와 과도한 수로손실 등으로 물의 효율적 이용이 이루어지지 못하고 있으며 이로 인하여 가뭄피해가 발생하고 가뭄극복을 위한 보조 수원공을 설치하는 등 여러 가지 문제가 발생되고 있다.

최근에는 농업용수조직의 누수손실을 줄이고, 효율적인 물관리를 목적으로 농업용수로의 관로화 사업이 시행되고 있으나, 그 설계, 시공, 유지관리 상의 문제가 발생되고 있어 소기의 목적을 달성하지 못하는 사례가 발생하고 있다.

따라서, 본 연구는 농업용수로의 관로화 계획, 설계 및 유지관리 등의 기술개발과 현장애로 문제점의 분석 및 해결방안을 제시하기 위하여 시행되었다.

본 연구의 목적은 용수지거의 관로 설계에 필요한 수리계산 방법을 정립하고, 기존의 시설 등의 관리방안을 모색하며, 관수로 시스템의 체계적인 수리 계산과 해석을 위한 프로그램의 개발과 개수로와 관수로의 혼합용수조직의 설계, 시공, 물관리 등을 위한 기술을 개발하며, 경제적인 용수조직의 설계를 위한 관로 배치 및 관경 결정 등을 통한 최적계획 방법을 개발하고, 친수환경의 조성과 농업용수의 다목적

고도이용체계 등의 물의 이용 및 관리기술을 개발하고, 대상지구를 선정하여 연구 결과를 적용함으로써 현장애로 기술을 정착시키는 데 있다.

본 연구의 목적을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 기존의 관로망의 설계 및 시공과 관련된 국내의 연구 사례를 검토하고,
- 2) 관로망의 최적 계획 프로그램을 개발하고
- 3) 저압관수로의 수리계산 프로그램을 개발하고, 현장 적용성을 평가하며,
- 4) 고압관수로 시스템의 수리계산 프로그램을 개발하고, 현장 적용성을 평가하고,
- 5) 개수로-관수로의 혼합 용수조직의 수리계산 프로그램을 개발하고,
- 6) 관수로 시스템의 물관리 및 다목적 고도 이용방안을 모색하며,
- 7) 시범지구를 선정, 물관리 상황을 조사하고, 연구 결과를 적용하는 등 현장애로 문제를 파악하고 해결방안을 제시하는 것 등이다.

이상과 같이 본 연구는 효율적이고 경제적인 관수로의 계획과 시공에 필요한 기술을 개발하고 기존의 관수로 시설에 대한 수리적 평가 분석 등을 통하여 효율적인 물관리 방안을 도출하고, 농업용수의 다목적 고도이용을 위한 각종 자료를 분석하고, 발전방향을 모색함으로써 농업용수의 효율적인 이용을 도모하고자 하며, 관수로 시스템의 설치에 따른 현장애로 문제점을 진단하고, 개선방향을 도출함으로써 농업용수의 균등분배를 실현하고, 가뭄의 극복을 통해 농업생산성의 향상에 기여하고자 하는 것이다.

III. 연구개발 내용 및 범위

본 연구는 1994년부터 1997년까지 3개년에 걸쳐서 실시되었으며, 제1차년도는 자료의 수집과 관련 프로그램의 구성, 제2차년도는 관수로 시스템의 계획과 평가, 제3차년도에서는 개발된 프로그램의 현장 적용성 평가와 고도이용 방안의 모색 등

을 위주로 시행되었으며, 현장애로의 진단과 문제점의 해결을 위한 실용화 연구를 중심으로 시행하였다.

본 연구의 개발 내용과 범위는 다음과 같다.

(1) 기존의 관수로 시스템의 설계·시공 연구사례의 조사 분석

현재까지의 농업용수로 관로화 사업지구의 시공 사례를 조사하고, 계획, 시공 및 유지관리상의 문제를 분석하며, 국내외의 관수로 설계의 예를 비교 분석하여, 관수로 계획, 시공 및 관리 등의 분야에 대한 문제점의 파악과 개선 방안 및 보완 방법 등을 강구한다.

(2) 관로망 최적 계획 프로그램의 개발

관수로 시스템의 경제적인 설계와 시공을 위한 최적 관로망 배치 프로그램과 경제적인 관경 결정 프로그램을 개발하고, 혼합용수조직의 최적 설계를 위한 프로그램을 구성하고 현장 적용성을 평가한다. 또한, 사용자 편의 시스템을 개발하여 프로그램의 실무 활용방안을 제시한다.

(3) 저압 관수로 시스템의 수리계산 프로그램 개발

현재의 용수지거 관로화 시행지구의 물관리의 문제를 파악하고, 불균형 급수의 원인을 진단하며, 이를 바탕으로 적절한 계획에 필요한 수리계산 프로그램을 구성하며, 현장에 대한 적용성을 검토한다.

(4) 고압 관수로 시스템의 수리계산 프로그램의 개발

관수로 시스템의 수리검토를 위하여 관로망에 대한 정상류 해석과 수격압 계산 등을 위한 프로그램을 구성하고, 기존의 관로화 사업지구에 대한 적용성을 검토하며, 효율적인 물 관리 방안을 도출한다.

(5) 혼합수로 수리계산 프로그램의 개발

개수로, 관수로의 혼합형 수로조직의 수리계산을 위한 프로그램을 구성하고, 이를 평가함으로써, 일관되고 효율적인 용수조직의 계획, 설계 및 물관리 기술을 개발한다.

(6) 농업용 용수의 다목적 고도이용의 기초연구

농업용수의 다목적 이용 방안을 검토하고, 그 타당성의 평가와 합리적인 물의 이용을 위한 사례와 방안을 조사하며, 관수로화에 대응하는 물의 고도이용 사업에 대한 국외의 사례를 분석한다.

(7) 시범지구의 선정 및 조사

농업용 수자원의 물관리 실태의 파악과 용수지거 관로화 사업지구의 물관리 기술의 평가분석 및 연구 결과의 실용성 검토 등을 목적으로 대상지구를 선정하여, 관행 물관리 실태를 조사하고, 개방형, 폐쇄형 관수로의 현장애로상의 문제를 분석하고, 관개 단위내의 상하류 구간에 대한 급수현황을 조사함으로써 포장 물관리 방안을 모색한다.

IV. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구결과

본 연구의 최종적인 연구개발 결과와 활용방안 및 건의사항 등을 정리하면 다음과 같다.

(1) 관수로 현황과 계획설계 방법

현재 농업용 관수로는 주로 용수지거의 관로화를 대상으로 하고 있으나, 일부 지역에서는 전체 용수조직을 관로 시스템으로 채택하고 있다. 대부분의 관로는 계

획, 설계, 시공 상의 문제로 관로내의 퇴적 문제 등이 발생되고 있으며, 상하 필지간의 불균등 급수 등 물관리상의 문제를 갖고 있다. 농업용 관수로는 주로 저압수로를 적용하고 있으며, 계획과 설계 등의 기술적 수준이 외국의 경우에 비하여 열악한 수준으로 관련 기술의 개발과 응용 등이 미비한 실정이다. 본 연구에서는 기존의 관수로 계획설계서를 중심으로 국내외의 관련 기술을 비교하고, 앞으로의 발전 방향을 정리하였는데, 관수로의 수리해석 프로그램의 개발과 응용, 최적 계획법 등의 적용이 필요하였다.

(2) 관수로망 최적 배치 프로그램의 개발

관수로는 지형적인 제약이 적으므로 관로의 길이가 최소가 되도록 관로망을 배치하는 것이 경제적이다. 관로망의 배치를 위하여 그래프이론에 따라 관로망을 표현하고, 최단거리 알고리즘을 이용한 최적 관로망 배치 프로그램을 개발하였으며, 공사비와 지형 등 관로망 설치의 제한요인으로부터 가중함수를 구성하고, 대상지구를 선정하여 현장 적용성을 평가하였다.

(3) 최적 관경 결정 프로그램의 개발

급수를 위한 각 분수전의 필요수두를 결정하고, 수원공에서부터 포장 말단까지 용수공급이 충분히 이루어지도록 수두를 배분하고, 경제적인 관경의 조합을 결정하는 프로그램을 구성하였다. 주어진 유효 낙차에 따라 코스트포텐셜법을 이용하여 이론 관경을 우선적으로 결정하고, 선형계획법으로부터 규격 관경을 선정하는 프로그램을 개발하였으며, 기존의 설계지구에 적용하여 개발된 프로그램의 현장 적용성을 평가하고, 기술자들이 쉽게 이용할 수 있도록 전·후처리 프로그램을 개발하였다.

(4) 혼합수로 최적 설계 프로그램의 개발

용수조직의 산정은 수리적인 조건, 지형조건, 관련 기술수준, 기존의 수로 형태 등을 고려하여 결정하지만, 실제적으로 경제적인 요소인 공사비가 중요한 부분을

차지하므로 경제적인 용수조직을 설계하기 위하여 용수조직별 수리조건을 정의하고 수리검토를 하였으며, 개수로, 관수로의 설치 공사비를 고려하여 혼합수로 최적 설계 프로그램을 구성하고, 용수조직 형태별 공사비를 비교하였으며, 현장 적용을 통하여 실무 적용성을 평가하였다.

(5) 저압 관수로 수리계산 프로그램의 개발

용수지거 관로 형식으로 개방식과 폐쇄식을 적용하는데, 이와 같은 저압 관수로 시스템에 대한 지점별 압력과 유량 등을 계산할 수 있는 프로그램을 구성하고, 용수지거 관로를 대상으로 급수현황 등의 현장조사를 실시하고 수리계산을 통하여 그 적용성을 검토하였다. 연구 결과로부터 저압 용수지거 관로의 계획, 설계 및 물관리에 필요한 자료를 검토할 수 있었으며, 대상지구의 관수로 수리현상에 적용하여 현장애로 문제를 해결하도록 하였다.

(6) 고압관수로 수리계산 프로그램의 개발 : 정상류 해석

관로망의 구간별 수압-유량 등의 관계를 해석할 수 있는 비선형 수리계산 프로그램을 구성하고, 실제 관로조직을 대상으로 설계 최대유량과 상시 유량 등에 대한 수로조직에서의 수리적 특징을 분석하는 데 적용하였다. 연구 결과로부터, 관로조직의 설계에 대한 수리검토와 기존의 관로망에 대한 거동해석과 평가, 물관리를 위한 밸브조작 등에 적용이 가능하였으며, 용수간지선을 관로화한 관수로망에 대한 수리적 검토가 이루어지도록 하는 프로그램을 개발하고, 그 응용성을 평가하였다.

(7) 고압관수로 수리계산 프로그램의 개발 : 비정상류 해석

관로망의 계획을 위해서는 펌프의 개폐, 밸브의 조작 등에 의한 수격압의 해석을 필요로 하는데, 이를 위하여 유한차분법을 적용한 비정상류 수리계산 프로그램을 구성하고, 실제 관로망을 대상으로 펌프 개시에 따른 지점별 수격압을 계산하여 적용성을 검토하였으며, 관로화 용수지거의 유말공 밸브 조작에 따른 비정상류 해석을 실시하여 적절한 밸브 조작방법을 제시하였다. 관로망의 계획시 부하 하중의

설계에 필요한 비정상류 해석의 기본적 이론을 정리하고, 수격작용의 발생원인별로 수격압 계산을 위한 수치 모델을 구성하고, 그 결과를 실제 관수로 설치지구에 적용하여 현장 적용성을 검토하였다.

(8) 혼합수로조직의 수리계산 프로그램의 개발

기존의 용수로조직의 거의 대부분은 개수로로 이루어져 있으나, 최근에 용수지거에 대하여 관로화가 추진되어, 일부 용수로조직은 혼합수로조직으로 구성되는 경우가 많으므로 이를 체계있게 검토할 수 있도록 유입부, 유말부 등의 경계조건을 산정하여 관로망의 계획과 기존 시스템의 평가 등을 위한 프로그램을 구성하고, 그 적용성을 검토하였다. 개발된 프로그램의 현장 적용성을 검토하고, 농업용수로의 계획, 설계, 평가, 물관리 방안의 검토 등의 목적에 부합하는 수리 검토 방안을 수립하였다.

(9) 농업용수의 다목적 고도이용계획

농업용 수자원의 효율적 이용을 위한 방안으로 농어촌 용수로씨의 활용과 인접 도시의 생공용수 공급, 친수환경조성 등에 대한 검토가 필요하며, 홍수조절 기능을 검토하여 농업용 수자원의 다목적 이용방안을 계량화하였다. 용수로조직의 관수로화로 인하여 친수공간을 조성하는 등 농업용수의 고도이용 사례를 조사하였으며, 그 현실화 방안 등을 위한 연구를 실시하였다. 본 연구에서는 농지의 전용 등 물리면적의 변화에 따른 농업용수의 이용방안을 고찰하고, 농업용수의 다목적 이용 사례를 조사하였으며, 국내외의 농업용수의 다목적 고도이용 방안에 대하여 고찰하므로써, 우리 실정에 맞는 농업용수의 고도이용 체계를 구상하도록 하였다.

2. 활용계획 건의

이상의 연구결과로부터 활용계획을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 기존 농업용 관수로 설치 상황을 조사한 결과 설계 및 시공 기술적 문

제, 물관리 기술 문제 등이 지적되었으며, 그 개선을 위하여는 계획 단계에서부터 수리계산을 실시하여 다양한 물관리 조건에 따른 관로조직의 거동상태의 사전 분석이 필요하며, 설계 최대유량 이외에도 상시유량, 최저유량 등에 따른 시스템의 거동을 모의조작할 필요가 있었다.

2) 관수로 시스템의 계획을 위한 프로그램을 개발하고, 경제적인 시스템 계획을 위한 최적 프로그램을 개발하여 경제적인 관수로 계획이 이루어지도록 하는 것이 필요하다고 생각되었다.

3) 본 연구의 결과로부터 개발된 프로그램은 제한된 범위에서 적용성 평가를 실시하였으며, 사용자를 위한 시스템을 구축하여 관련분야의 계획, 시공, 물관리 종사자들이 활용할 수 있도록 개발하였으며, 이를 통해서 현장에 활용될 수 있도록 하는 것이 필요할 것이다.

4) 기존의 저수지 물관리 방법의 개선을 위하여, 시기별 물리구역의 필요수량을 추정하고, 이를 바탕으로 급수계획을 수립하여 효율적인 관개가 이루어질 수 있도록 물관리 방안에 대한 연구개발이 필요하였다.

5) 기존의 관수로의 급수 상황 조사와 필지별 담수심 변화를 조사한 결과로부터, 폐쇄식 관로의 경우는 수두의 균등배분을 이룰 수 있는 계획이 필요하며, 급수밸브와 함께 수두배분선에 맞는 급수공을 설치하여 균등급수가 이루어질 수 있도록 하는 것이 필요하였다.

6) 폐쇄식 관로에 대한 급수량 조절방식을 제안하였으며, 현장 적용을 통해 보급하는 것이 필요하였다.

7) 필지간의 균등급수를 실현하기 위하여는 사용자 주도형의 급수 관리를 공급자 주도형으로 전환하거나, 혹은 동일 관개구획내의 필지별 급수시간을 조정하는 등 물관리 방법의 개선이 필요하였다.

8) 기시공된 파이프라인 용수조직의 수리적인 문제를 해결할 수 있는 대안을 제시함으로써 기술적으로 기여하였다.

9) 용수지거의 관로화로 인한 용수공급의 불균등이 발생하는데, 구획내의 물분배문제를 해결할 수 있는 적절한 관리대안을 제시하고 용수조직의 관수로 시스

템 설계를 위한 최적 계획 기술을 통해 최적 설계방안을 제공하므로서 기술적 활용이 가능하도록 하였다.

10) 생태환경공원, 친수공간 등의 연구를 통하여 농업용수의 다목적 고도이용 방안을 제시함으로써, 농어촌 지역의 친수환경 조성을 위한 기초 기술을 제공하였다.

11) 기 시공된 용수조직의 관수로 시스템의 안정적 운영과 물관리의 효율화, 성력화 등을 통해 수리비 중 물관리 인력요소의 상당부분을 절약하므로서, 농가의 경제적 부담을 줄이는데 기여하였다.

12) 용수조직의 설계에 있어서, 최적화 기법을 도입하므로서 용수조직의 직접 시공비의 상당부분을 절감할 수 있으며, 농업용수의 다목적 고도이용 시스템을 통하여 농어촌 지역의 친수공간 조성 등의 간접적인 경제 효과가 있으며, 생활용수, 축산용수, 기타 용수로의 급수가 가능하므로 직접적인 경제효과가 기대된다.

14) 관수로 기술 개발을 통하여 농어촌 지역의 비점오염의 수질관리에 기여하게 되며, 이로 인한 간접적인 경제적 효과가 기대된다.

여 백

SUMMARY

I. TITLE

**Planning and Evaluating Pipeline Water Delivery Systems for
Conserving and Managing Efficient Agricultural Water Uses**

II. PURPOSES AND SIGNIFICANCE

Agricultural water projects have been implemented primarily for supplying irrigation water to paddy rice. Presently, nine hundreds seventy-six thousand hectare of paddies have been facilitated with irrigation systems, which encompasses approximately seventy two percent of the total averages. However, majority of the existing agricultural water resources have the capacity not enough to overcome drought spans of moderate degrees. In fact, only thirty one percent of total paddies are being supplied with water from the water sources having the capacities to suffice the droughts of five year recurrence intervals. And existing water delivery systems are not well maintained and experience excessive delivery losses due to leaks and infiltration. All of the conditions have contributed to demanding supplemental water resources for temporal relieves from water shortage, which may have been prevented through proper operation and management of the systems.

Pipeline water delivery systems have been recently adopted for irrigation purposes, which were thought to be effective to reduce the delivery losses from

leaks and infiltration, and thus improve the irrigation efficiencies. However, problems aroused due to improper planning and designing, and also from field operations, which often resulted in poor irrigation efficiencies at many districts.

This research was initiated to pin-point the problems at the sites, and to develop proper tools and methods to systematically diagnose and correct them, particularly in areas of planning, designing, and managing pipeline systems.

The purposes of this multi-year, interdisciplinary researches were:

(1) To develop proper tools and softwares for evaluating hydraulic characteristics of existing pipeline systems, and for designing a new system.

(2) To develop computer softwares to simulate hydraulic characteristics of pipeline systems at steady and unsteady conditions.

(3) To extend those results for combining delivery systems having open channel and closed conduits within a system, and thus tools are to be applied at different phases of planning and design, and to be adopted for identifying optimal systems operation rules to enhance irrigation efficiencies.

(4) To develop tools and procedures to define optimal systems that are cost effective.

(5) To explore probable alternatives of utilizing existing agricultural water resources for multiple applications, and to extend the water uses along the water courses for scenic sites at rural areas. And

(6) To field monitor the water uses and management at existing systems so that the results from the research may be field tested prior to applying exclusively for various purposes, which may ensure the applicability of the research results to solve the problems at the sites.

The specific objectives of the research are as follows.

(1) To review the existing documents and literature regarding planing, designing and operating irrigation pipeline systems.

(2) To develop an economically feasible optimization model for pipeline layouts.

(3) To develop mathematical models for simulating flow characteristics at low-pressured pipelines.

(4) To develop mathematical models for evaluating and simulating steady and unsteady flow characteristics at pressurized pipeline networks.

(5) To develop mathematical models for simulating flow characteristics at combined channel systems with open channel and closed conduits.

(6) To evaluate and develop feasible methodologies for utilizing agricultural water resources for purposes other than irrigation, and to discuss the feasibility of high-level water uses along the courses as a pipeline system replaces the existing open channel ones.

(7) To select field monitoring sites and implement hydrologic monitoring of the system operations, to apply research results to field data thus collected, and to apply those techniques and tools from the research to diagnosing and solving problems at sites.

As has been discussed, the research was formulated to develop proper tools and techniques to efficient and feasible planning and operating pipeline systems for agricultural uses, and also to apply them for diagnosing the existing systems to identify alternative operation schemes to enhance the performance. The research also aimed to developing feasible methods to conserving agricultural water resources for rural water applications, and developing projects to extend the water uses for scenetic attractions. All of the efforts will be used to

identify problems at the sites associated with the planning, design, and operations of water delivery systems, and to identify feasible alternatives to improve the efficient uses of the valuable resources.

III. CONTENTS AND SCOPES

The research will be implemented as three year efforts from 1994 to 1997. The specific goals of the programs were: 1) to collect field data and develop computer programs for specified purposes in the first year (1994-95), 2) to develop computer softwares for the planning and design, and the efficient management of pipeline water delivery systems during the second year (1995-96), and 3) to implement exclusive, economic feasibility studies for pipeline systems and to come up with high-level utilization of agricultural water resources during the last year (1996-97).

The contents and scopes of the research are as follows

(1) Review and Evaluation of Existing Methodologies for Planning and Designing Pipeline Systems

To collect document and literature regarding pipeline systems for agricultural water delivery, to investigate the problems in the planning, design, construction, and operation and management of the systems, to compare the methodologies between the domestic and foreign projects, and to identify the problems at the sites in general and set up procedures to get to the appropriate solutions.

(2) Developing Optimal Pipeline Network Planning Models.

To formulate an optimal pipeline layout that minimize pipeline costs, and to develop an algorithm to determine economically feasible, optimal model for determining pipeline diameters and hydraulic head distributions, and to explore the applicabilities of those models to field conditions.

(3) Developing Mathematical Models for Hydraulics at Low-Pressured Pipeline Systems

To identify the problems associated with water management at existing conduits at sub-laterals in irrigation systems, to diagnose the problems causing unequal distributions of irrigated water, to develop mathematical models to be applicable to the planning, design, and evaluation of the systems, and to test the applicability of the models with field data.

(4) Developing Mathematical Models for Hydraulic Characteristics of Pressurized Pipeline System

To develop mathematical models for simulating steady and unsteady flow conditions at a pipeline network, to apply the models with existing field conditions, and to identify methodologies for improving irrigation efficiencies.

(5) Developing Mathematical Models for Complex Water Delivery Networks with Open Channel and Pipeline Systems

To develop mathematical models for evaluating hydraulic characteristics of combined water delivery systems with open channel and pipeline, to apply the resulting models with field data, and to evaluate the applicability of models for existing and proposed networks

(6) Evaluating the Feasibility of Multi-Purposed, High-Level Applications of Agricultural Water Resources

To review the feasible alternatives of utilizing agricultural water resources, to investigate examples and methodology of applying the resources for purposes other than agricultural uses, and to review foreign examples of applying the irrigated water for the purposes of high-level applications.

IV. RESULTS AND RECOMMENDATIONS

1. Research Results

The results from the research are as follows:

(1) Present Status of Agricultural Pipelines and Reviews of Planning and Design Methodologies

Typical agricultural water delivery systems are in forms of open channel, but a few districts are implemented with closed conduit systems of various types. And the number of such districts is increasing though a slow rate. Existing conduits are often facing engineering and management problems such as silting, malfunction, improper water uses, and unequal water distribution within an irrigation unit. Typical systems adopts a low-pressured type as applied to sub-laterals, while pressured systems are also being installed at few districts. The engineering methods being used for planning and designing the new systems were found to be simple, and not sophisticated enough to fore-sight all problems mentioned above. The techniques were compared with those being currently used in developed countries, with clear drawbacks found at conventional methods. These may well justify the contents and scopes of

this research projects.

(2) Developing Mathematical Models for Optimizing a Pipeline Network

Positioning hydrants and pipeline networks for a proposed district was formulated to ensure the shorter pipe lengths and/or least costs. Proximity method, 120° method, least length method, and least cost method were formulated and mathematical models developed. The program was incorporated with physical and managerial constraints such as construction cost, topography, and hydrant locations. The models were applied to a hypothetical site with presumed hydrant positions, and the results from the four methods compared. It was demonstrated that the proposed models identify the shortest pipe lengths and/or the least cost lines, given proper hydrant positions.

(3) Developing an Optimal Model for Determining Pipeline Diameters.

An optimal model for determining pipeline systems was formulated that considers hydraulic heads, head distributions, and hydraulic head losses within a system. The model was tested with field conditions and compared with conventional layouts. The results showed a significant saving in pipeline costs could be achieved by applying the model. Pre- and post- processors were developed that may help potential users in their field applications of the model.

(4) Developing Mathematical Models for Analyzing Low-Pressured Pipe Flow

Two types of conduits are being used as sub-laterals, closed and open pipe flows. The flow at such pipes is characterized to be of low-pressured type, and modelled mathematically. The model was formulated and tested with field data from a project site. The results showed that the model was applicable to

the planning and design of such pipelines and also to comparing different water distribution schemes.

(5) Developing a Mathematical Model for Analyzing Pipe Network Flow :
Steady-State Flow Simulation

A nonlinear flow simulation model was formulated that is applicable to analyzing pipe network flow. It was applied to simulating flow conditions along different nodes and segments at an existing pipe network, given the maximum and most frequent flow rates. The results indicated that the model is applicable to evaluating the system performances under different operational schemes.

(6) Developing a Mathematical Model for Analyzing Pipe Network Flow :
Transient Flow Simulation

A finite difference scheme was adopted to formulate a mathematical model that is capable of simulating transient flow resulting from pump operations and valve closes. Water hammer resulting from pump operation was simulated using the model, as it was applied to an existing pipe network. The variations of pressure along the network were evaluated, which are important to the design of pipe materials.

(7) Developing Mathematical Models for Analyzing Flow Characteristics on
Combined Channel Types

A mathematical model was formulated to simulate flow characteristics along water courses at an irrigation system having both open channel and pipe networks. The boundary conditions between the two different flow types are adequately defined in the model, which is, thus, applicable to evaluating such complex systems. Initial runs indicated that the model is capable of simulating

water profiles along the courses, and thus of reflecting adequately the system conditions.

(8) Reviewing Multi-Purposed, High-Level Uses of Agricultural Water Resources

Coping effectively with rapid changes in agricultural activities in a region where the water was used conventionally for agricultural purposes, the feasibility of diverting the resources to other purposes such as domestic and industrial uses at nearby towns and cities, was reviewed and some examples presented. Multi-purposed water uses appear feasible from the review, but further studies need to be implemented to explore possible alternatives. And high-level utilization of agricultural water was reviewed based on Japanese projects, where scenic sites were constructed using the water along the courses for a newly installed pipeline network.

2. Recommendations

The followings are to be recommended from the research:

(1) Reviewing documents and literature from existing pipeline projects, several drawbacks and problems were identified in every aspect of planning, design, operation and management. Most problems may have been identified when adequate flow computations were made prior to the construction. Of particular concerns were no records found to exercise the evaluation process of system performance under different flow conditions. Frequent and low flow conditions should have been reviewed whether the systems performed alright, in addition to present routines of applying maximum designing flow through the systems.

(2) Flow computations and economic optimization should be applied for planning the pipe network. Many drawbacks of the planned network may have been identified when a simple network flow computation was reviewed. And an optimization model may have reduced the construction costs for the systems, and make the project feasible as compared to conventional earth canal alternatives.

(3) Several mathematical models were developed and tested with limited field conditions. They were formulated to be applied as basic tools to evaluate the existing systems, but may be used to test the performance of planning and designing pipeline systems.

(4) The irrigation efficiencies from reservoir operations may be significantly improved when the operations were made based on field water requirements. Good rotational schemes based on canal capacities should be pre-reviewed to enhance the equality of water distribution. Such recommendations were particularly applied to those systems of supply-oriented system types.

(5) The field monitoring projects led to a conclusion that the allocation of hydraulic heads along a closed conduit is important to enhancing equal distribution of water. Valve adjustments should be made to ensure the equal distributions, otherwise the lower paddies received most water which eventually drained to ditches without being used.

(6) Simple field rules for distributing water deliveries at paddies were proposed that may significantly improve the uniformity of water applications and the irrigation efficiencies.

(7) Equality in field applications may be achieved by altering the existing supply-oriented system to user-oriented, which may not be feasible for most irrigation districts. Another alternative is to allocate irrigation time to individual plots with better water management.

(8) Field modification methods were suggested that should solve hydraulical problems associated with existing pipe irrigation canal systems.

(9) Unequal distribution of irrigation water has been observed at irrigation districts with pipeline systems. The research pinpointed adequate management practices to ease the problems. Optimal design can be achieved using the programs and models developed in this studies.

(10) High utilization methods of irrigation water at a pipe canal system were suggested, which include bio-park and water parks.

(11) The results may be applied to safe and efficient management of pipeline systems.

CONTENTS

SUMMARY	11
CONTENTS	22
Chapter 1. Backgrounds, Purposes, and Prospectives of Research	40
Section 1. Introduction	40
Section 2. Background of Research	41
1. Present Status and Problems of Agricultural Water Resources	41
2. Characteristics and Significance of Pipeline Systems	42
3. Background of Study	44
Section 3. Necessity of Research	45
1. Technical Aspects	45
2. Economical Aspects	46
3. Sociological Aspects	47
Section 4. Objectives of Research	49
Section 5. Scopes of Research	51
1. First Year (1995)	51
2. Second Year (1996)	54
3. Third Year (1997)	56
Section 6. Prospectives of Research1	57
1. Technical Aspects	57
2. Economical Aspects	58

3. Sociological Aspects	58
Section 7. Research Personnel	61
Section 8. Schedules	62
Section 9. Summary and Conclusions	64

Chapter 2. On-Site Problems in Agricultural Pipeline Systems and Evaluation of Related Technologies

.....	66
Section 1. Introduction	66
Section 2. Present Status of Agricultural Pipeline Systems	67
1. Backgrounds of Pipeline Network Projects	67
2. Present Status of Pipelines	67
Section 3. Problems of Agricultural Pipeline System	68
1. Relative Data Investigation	69
2. Field Reconnaissance	69
3. Problems of Pipeline System	70
Section 4. Planning Methods of Pipeline Networks	73
Section 5. Planning Methods of Agricultural Pipeline Networks	75
1. Japanese Approaches	75
2. FAO Approaches	79
3. Approaches in Irrigation Districts in Northwest USA	80
Section 6. Comparisons of Technical Aspects between the Conventional and Methodologies	80
1. Comparisons of Technologies	80
2. Goals of Research and Development	83

Section 7. Summary and Conclusions	83
--	----

Chapter 3. Optimal Pipeline Network Design Optimization of the Layout of Branching Networks

.....	85
Section 1. Introduction	85
Section 2. Irrigation Units	86
1. Definitions	86
2. Compositions of Irrigation Units	86
Section 3. Methodologies of Branching Network Layout	88
1. Layout of Hydrants	88
2. Layout of Branching Networks	88
3. Adjustment of Branching Networks	89
Section 4. Programming the Layout of Branching Networks	90
1. Graphical Method	90
2. Dijkstra Algorithm	92
3. Weighting Functions	94
4. Application of GIS	96
Section 5. Applications of Branching Network Layout Programs	97
1. Selection of a Standard Layout	97
2. Case of Including Hydraulic Head Losses	98
3. Case of Including Pipe Costs	99
Section 6. Summary and Conclusions	103

Chapter 4. A Mathematical Model for Optimal Pipeline Sizing 104

Section 1. Introduction 104

Section 2. Methodologies for Determining Pipeline Diameters 104

 1. Distributing Hydraulic Heads 104

 2. Selecting Pipeline Types 107

 3. Sizing Pipeline Diameters 108

Section 3. Developing a Model for Optimal Pipeline Sizing 109

 1. Cost Potential Method 109

 2. Minimizing Construction Costs 112

 3. Preprocessor for Input Data 114

Section 4. Applications of the Model 114

 1. Selection of the Imaginary Pipeline 114

 2. Application Results of the Model 115

Section 5. Summary and Conclusions 116

Chapter 5. Computational Model for Combined Irrigation Canal Systems 118

Section 1. Introduction 118

Section 2. Optimal Design of Combined Irrigation Canal Systems 118

 1. Linear Programming 118

 2. Pipeline Flow 120

 3. Open Channel Flow 123

 4. Combined Flow 125

5. Programming Computational Model	126
Section 3. Applications of Computational Model	126
1. Schematic of Test Canal System	126
2. Construction Cost Data	129
3. Computation Results	130
Section 4. Summary and Conclusions	133

Chapter 6. Computational Model for Low-Pressurized Pipe Flow: I. Flow Computations for Sub-Lateral Pipelines

Section 1. Introduction	135
Section 2. Hydraulics of Low Pressurized Pipe Flow	136
1. Components of a Sub-Lateral Pipe	136
2. Hydraulics of Pipe Flow	143
Section 3. Planning Sub-Lateral Pipe Lines	145
1. Head Distribution	145
2. Determining Pipe Sizes	147
3. Types of Sub-Lateral Pipe Lines	148
Section 4. Programming a Computational Model for Sub-Lateral Pipe Flow	149
1. Basic Theory	149
2. Boundary Conditions	151
3. Schematic of Program	151
4. Pre-/Post-Processor	151

Section 5. Applications of Pipe Flow Computation Model	154
1. Selection of Test Sites	154
2. Dimensions of Sub-Lateral Pipe	155
3. Investigation of Hydraulic Characteristics	158
4. Application Results of the Model	159
Section 6. Summary and Conclusions	159

Chapter 7. A Pipe Network Analysis Model : Steady Flow Simulation

161

Section 1. Introduction	161
Section 2. Steady Pipe Flow Computations	161
1. Pipe Network	161
2. Computational Methods	163
3. Element Matrices	165
4. Network Analyses	165
Section 3. Developing Steady Pipe Flow Model	166
1. Nonlinear Method : Newton-Raphson Method	166
2. Boundary Conditions	166
3. Program Structures	169
Section 4. Application of Steady Pipe Flow Model	171
1. Koheung District	171
2. Dugkok District	173
3. Haenam Tidal Reclamation District	176
Section 5. Summary and Conclusions	187

**Chapter 8. A Pipe Network Analysis Model :
Unsteady Flow Simulation 188**

Section 1. Introduction 188

Section 2. Unsteady Pipe Flow Analyses 188

1. Water Hammer 188

2. Computational Methods 190

3. Basic Equations 191

4. Numerical Methods 192

5. Boundary Conditions 194

Section 3. Development of an Unsteady Pipe Flow Simulation Model 203

1. Input Data 203

2. Computational Steps 203

3. Program Structures 205

Section 4. Applications of an Unsteady Pipe Flow Simulation Model 205

1. Water Hammer Analyses with Valve Closing 205

2. Water Hammer Analyses with Pumping 214

3. Water Hammer Analyses with Pipe Filling 217

Section 5. Summary and Conclusions 225

**Chapter 9. Flow Computation Model for Combined
Irrigation Canal Systems 227**

Section 1. Introduction 227

Section 2. Hydraulics of Combined Irrigation Canal Systems 228

1. Combined Irrigation Canal Systems 228

2. Open Channel Flow	228
3. Closed Conduit Flow	231
Section 3. Developing a Flow Computation Model for Combined Irrigation Canal Systems	236
1. Flow Computation Schemes	236
2. Boundary Conditions	237
3. Input Data	239
Section 4. Summary and Conclusions	240
Chapter 10. Multi-Purposed and High Utilization of Agricultural Water Resources – an Application of Pipe Network	242
Section 1. Introduction	242
Section 2. Examples and Methods of Multi-Purposed Uses of Agricultural Water Resources	243
1. Present Status of Agricultural Water Resources	243
2. Examples of Multi-Purposed Uses	243
3. Methods of Multi-Purposed Uses	246
Section 3. Flood Control Capability of Irrigation Reservoirs	250
1. Storage Indication Method	250
2. Test Irrigation Reservoir	253
3. Effects of Flood Control	257
Section 4. High Utilization of Agricultural Water Uses : Examples and Future	

Prospectives	259
1. Background	259
2. Project Contents	260
3. Project Effectiveness	260
4. Future Prospectives	262
Section 5. Summary and Conclusions	265

APPENDIX –Input/Output Data

I. Computational Model for Optimal Design of Combined Irrigation Canal Systems	A-1
II. Computational Model for Low-Pressurized Pipe Flow	A-7
III. Steady Pipe Flow Simulation Model	A-12
IV. Unsteady Pipe Flow Simulation Model	A-17

목 차

제출문

요약문	1
SUMMARY	11
CONTENTS	22
목 차	31

제1장 연구의 배경, 목표 및 기대효과 40

제1절 서 론	40
제2절 연구의 배경	41
1. 농업용수 현황과 문제점	41
2. 관수로의 특징과 의의	42
3. 연구의 배경	44
제3절 연구의 필요성	45
1. 기술적 측면	45
2. 경제적 측면	46
3. 사회적 측면	47
제4절 연구 목표	49
제5절 연구 내용	51
1. 제 1 차 년도(1995)	51
2. 제 2 차 년도(1996)	54

3. 제 3 차 년도(1997)	56
제6절 기대효과	57
1. 기술적 측면	57
2. 경제적 측면	58
3. 파급효과	58
4. 활용분야	60
제7절 연구진	61
제8절 추진일정	62
제9절 요약 및 결론	64

제2장 농업용 관수로의 문제점과 관련기술의 평가 66

제1절 서론	66
제2절 농업용 관수로 현황	67
1. 관수로화 사업의 배경	67
2. 관수로 시설현황	67
제3절 농업용 관수로의 문제점	68
1. 관련자료조사	69
2. 현장답사	69
3. 관로화의 문제점	70
제4절 국내의 관수로 계획방법	73
제5절 외국의 농업용 관수로 계획방법	75
1. 일본의 경우	75
2. FAO 계획방법	79
3. 미국 북서부 지역 관개지구의 경우	80

제6절	국내외의 기술 수준의 비교	80
1.	기술수준의 비교	80
2.	기술개발의 방향	83
제7절	요약 및 결론	83
제3장	관수로망 최적배치 프로그램의 개발	85
제1절	서론	85
제2절	수리단위의 구분	86
1.	수리단위의 정의	86
2.	수리단위의 구성	86
제3절	관수로망 배치방법	88
1.	급수전의 배치	88
2.	관로망의 배치	88
3.	관로망의 조정	89
제4절	관로망 최적배치 프로그램의 개발	90
1.	Graph 이론	90
2.	Dijkstra 알고리즘	92
3.	가중함수의 구성	94
4.	GIS (Geographic Information System)의 적용	96
제5절	관로망 최적배치 프로그램의 적용	97
1.	표준 관로망의 선정	97
2.	손실수두를 고려하였을 경우	98
3.	공사비를 고려하였을 때	99
제6절	요약 및 결론	103

제4장 최적 환경 결정 프로그램의 개발 104

제1절 서론 104

제2절 환경의 결정방법 104

 1. 수두배분 104

 2. 관종의 선정 107

 3. 환경의 결정 108

제3절 최적환경 결정 프로그램의 개발 109

 1. 코스트포텐셜법 109

 2. 최소비용법 112

 3. 자료입력 전처리 프로그램 114

제4절 프로그램의 적용 114

 1. 모델관수로의 선정 114

 2. 프로그램의 적용 결과 115

제5절 요약 및 결론 116

제5장 혼합용수조직의 최적설계 프로그램 개발 118

제1절 서론 118

제2절 혼합용수조직 최적설계 118

 1. 선형계획법 118

 2. 관수로 120

 3. 개수로 123

 4. 혼합수로 125

 5. 프로그램의 구성 126

제3절 프로그램의 적용	126
1. 모델 용수조직의 구성	126
2. 공사비 자료	129
3. 프로그램의 적용 결과	130
제4절 요약 및 결론	133

제6장 저압 관수로 수리계산 프로그램 개발

- 용수지거 관수로 수리계산 - 135

제1절 서 론	135
제2절 저압 관수로의 수리적 특성	136
1. 용수지거 관로의 구성	136
2. 관로의 수리적 특징	143
제3절 용수지거 관로 계획	145
1. 수두의 배분	145
2. 관경의 결정	147
3. 관로 형식	148
제4절 용수지거 수리해석 프로그램의 개발	149
1. 기본이론	149
2. 경계조건	151
3. 프로그램의 구성	151
4. 전·후처리 프로그램	151
제5절 수리해석 프로그램의 적용	154
1. 대상지구의 선정	154
2. 용수지거의 제원	155
3. 수리특성 조사	158

4. 프로그램의 적용 결과	159
제6절 요약 및 결론	159

제7장 관수로 시스템 프로그램의 개발

- 정상류 수리계산 -	161
제1절 서론	161
제2절 관로망 해석 이론	161
1. 관로망의 구성	161
2. 관로망의 해석	163
3. 요소 매트릭	165
4. 관로망 해석법	165
제3절 관로망 해석 프로그램의 개발	166
1. 비선형 해법 : Newton-Raphson 방법	166
2. 경계조건	166
3. 프로그램의 구성	169
제4절 관로망 해석 프로그램의 응용	171
1. 고흥지구	171
2. 덕곡지구	173
3. 해남간척지구	176
제5절 요약 및 결론	187

제8장 관수로 시스템 수리계산 프로그램 개발

- 비정상류 수리계산 -	188
제1절 서론	188

제2절 비정상류의 수리해석	188
1. 수 격	188
2. 계산 방법	190
3. 기본 방정식	191
4. 수치해법	192
5. 경계조건	194
제3절 비정상 관수로 흐름 해석 프로그램의 개발	203
1. 입력자료	203
2. 계산순서	203
3. 프로그램의 구성	205
제4절 비정상 관수로 흐름 해석 프로그램의 적용	205
1. 밸브폐쇄에 따른 수격압 계산	205
2. 펌프가동에 따른 수격압 계산	214
3. 충수시 수격압 계산	217
제5절 요약 및 결론	225
제9장 혼합수로조직의 수리계산 프로그램 개발	227
제1절 서 론	227
제2절 혼합수로조직의 수리적 특징	228
1. 혼합수로	228
2. 개수로	228
3. 관수로	231
제3절 혼합수로 수리계산 프로그램 개발	236
1. 혼합수로 수리계산	236
2. 경계조건	237
3. 용수조직의 입력자료	239

제4절 요약 및 결론	240
-------------------	-----

제10장 농업용수의 다목적 고도이용 계획

-관수로 시스템의 응용-	242
---------------------	-----

제1절 서론	242
--------------	-----

제2절 농업용수의 다목적 이용 사례와 방향	243
-------------------------------	-----

1. 농업수자원 현황	243
-------------------	-----

2. 다목적 이용 사례	243
--------------------	-----

3. 다목적 이용방안	246
-------------------	-----

제3절 농업용 저수지의 홍수조절 기능	250
----------------------------	-----

1. 저류지표법	250
----------------	-----

2. 대상저수지	253
----------------	-----

3. 홍수조절효과	257
-----------------	-----

제4절 농업용수의 고도 이용 : 사례조사와 방향	259
----------------------------------	-----

1. 사업의 배경	259
-----------------	-----

2. 사업의 내용	260
-----------------	-----

3. 사업 효과	260
----------------	-----

4. 연구 방향	262
----------------	-----

제5절 요약 및 결론	265
-------------------	-----

부 록

-프로그램 입·출력 자료-

I. 혼합수로 최적설계 프로그램	A-1
II. 저압 관수로 수리해석 프로그램	A-7
III. 정상류 수리해석 프로그램	A-12
IV. 비정상류 수리해석 프로그램	A-17

제1장 연구의 배경, 목표 및 기대효과

제1절 서론

본 '농업용수로의 관수로 시스템계획과 물의 이용 및 관리에 관한 연구'는 농어촌발전특별조치법에 의한 <농수산과학기술진흥시책> 중 현장애로기술개발사업의 한 과제로서 1994년 12월31일부터 1997년 11월 30일까지 총 3개년 동안 서울대학교 농업생명과학대학 부속 농업개발연구소 (소장 정진 교수)와의 연구용역계약이 체결되어, 농업개발연구소의 연구진에 의하여 추진되었다.

<현장애로 기술개발사업>은 ① 농어민들이 영농, 농어촌생활 등에서 제기한 애로사항을 해결하고, ② 기술개발을 통한 생산성의 향상과 생활여건의 개선, ③ 영농, 생활환경 등의 분야의 효율적 관리, 또는 ④ 기타 관련 분야별 정책 프로그램의 개발과 현장 적용을 그 범위로 하고 있다 (농림수산부, 1994). 본 연구 과제는 이상의 <현장애로 기술개발사업>의 범위 중 영농상의 애로사항과 관련 기술의 개발을 통한 생산성의 향상, 영농관리의 효율성 제고 등을 목표로 하는 사업이다.

본 연구 과제는 농업용수로의 관수로 시스템화에 따른 영농 현장에서 발생하는 문제를 해결하기 위한 현장애로 기술의 개발을 목표로 하고 있는 데, 그 구체적인 내용은 다음과 같다.

첫째, 농업용수로써 관수로를 채택하고 있는 물리지구에서 효율적인 물관리가 가능하도록 하고, 둘째, 앞으로 관수로 계획에 필요한 기술개발을 통하여, 경제적이고 안전한 시설의 계획과 효율적인 물관리를 달성하며, 셋째, 관수로 시스템을 통한 농업용수의 다목적 고도이용체계를 강구함으로써 영농관리는 물론이고, 농어촌 생활환경의 개선을 꾀하기 위한 것이다.

따라서, 본 연구는 현장 적용성과 실용화가 가능하도록 하는 기술개발을 위주로 하고 있으며, 새로운 첨단기술의 개발보다는 합리적이고 실용적인 목표를 지향하고 있으며, 연구 결과를 현장에 응용할 수 있도록 하는 다양한 수단을 모색하는 것을 포함하고 있다. 그러나, 본 연구과제는 지금까지 관행으로 사용하는 기술을 답습하

는 것이 아닌 새로운 접근을 시도하도록 계획하고 있으며, 단지 연구 결과의 실용성을 높이도록 하는 방안을 포함하는 것이다.

본 장에서는 <농업용수로의 관수로 시스템계획과 물의 이용 및 관리에 관한 연구>의 구체적인 배경과 목표, 연구내용과 범위, 연구진의 구성, 추진체계, 그리고 연구의 기대효과 등을 정리하도록 한다.

제2절 연구의 배경

1. 농업용수 현황과 문제점

지난 50여년간의 지속적인 농업용수개발로 전체 논 면적 1,352천ha의 약 72%인 976천ha가 관개용 시설을 갖춘 수리답으로, 우리 국민의 주곡인 쌀의 자급목표의 달성에 기여해 온 것이 사실이다. 농업용수원의 시설별, 급수면적 등은 <표 1-1>과 같으며, 저수지 18,229개소, 양수장 5,460개소, 보, 관정 등 기타가 32,474개소에 이른다.

그러나, 수리답의 경우, 농업용 수원공의 규모와 물리면적 등에서 소규모로서 충분한 용량을 갖추지 못한 것이 현실이다. 농업용 수원공의 95%가 불과 50ha 미만의 시설을 갖춘 소규모이며, 평균물리면적도 17.0ha에 불과한 것이 현실이다 (<표 1-1> 참조). 따라서, 이들 수원공의 대부분이 재현기간 5년이하의 가뭄에 대하여 충분한 급수가 불가능한 형편으로 5년 이상의 내한능력을 갖는 수리답은 전체 논 면적의 31%에 불과한 것이 현실이다.

또한, 수리시설 중 하천으로부터 취수하는 경우가 47%에 달하여, 가뭄시 하천유량이 고갈될 경우 용수공급 기능을 상실하게 되는 등의 농업용수원의 취약성이 상존한 것이 현실이다.

<표 1-1> 농업용 수원공 시설별 관개면적

수원공	시설수	관개면적 ha	면적구성비 (%)	수원공별 면적 (ha/개소)	내한능력별 관개 면적, ha				
					평균	3년	5년	7년	10년 이상
저수지	18,229	520,542	54.5	28.6	144,316	85,520	34,368	39,359	216,979
양수장	5,340	132,947	13.9	24.9	9,142	11,287	2,877	7,335	102,306
양배수장	120	33,955	3.6	283.0	986	86	52	10,576	22,255
보	18,531	111,563	11.7	6.0	33,771	24,836	7,757	7,211	37,988
집수암거	4,094	22,084	2.3	5.4	6,549	6,320	834	670	7,711
관정	9,849	17,566	1.8	1.8	4,940	4,912	1,341	458	5,915
기타	-	116,345	12.2	-	107,270	2,827	1,763	606	3,879
계	56,163	955,002	100	17.0	306,974	135,788	48,992	66,215	397,033
구성비(%)					32.1	14.2	5.1	7.0	41.6

(자료: 농림수산부, 1994. 농업개발조성사업 통계 연보)

한편, 농업용수의 배분을 위한 용수로는 84% 이상이 흙수로로 구성되어 용수손실이 크고, 토사가 매몰되거나, 수초발생 등으로 통수기능의 장애를 받고 있다. 이로 인한 연간 용수 손실액만도 약 500억원에 달하는 것으로 추정되고 있다. 특히, 기존 수리시설의 40% 정도가 설치후 25년 이상이 경과한 노후 시설로서 기능의 저하 등의 많은 문제를 내포하고 있다. 따라서, 용수로 및 수리시설의 기능을 개선하고, 용수손실을 억제함으로써 가뭄을 효과적으로 극복하는 것은 매우 중요한 과제가 아닐 수 없다.

2. 관수로의 특징과 의의

농업용 관수로란 농업용수를 수원공 시설에서 말단 포장까지 압력관로로 송배수하기 위한 수로 조직을 말하며, 관로와 부대시설 등으로 구성된다. 관수로는 수리적으로는 자유수면을 갖지 않은 흐름, 즉 단면 형상에 관계없이 유수가 단면 내를 완전히 채우면서 유동할 때의 수로를 말한다. 그러나, 본 연구에서는 관로 내의 흐름이 개수로인 경우에도 포함하여 정의하고 있는 데, 관로 시스템에 대한 현장에

로 기술의 적용을 위한 것이다. 따라서, 관수로는 폐쇄된 형태의 단면을 가진 관로와 그 부대시설로써 구성된 송배수 시스템으로 정의하도록 한다. 이와 같은 정의는 폐수로와 개수로 조건이 발생할 수 있는 경우를 포함하는 것을 말하며, 따라서, 본 보고서에서는 전자는 고압관수로로서 정의하고, 관수로의 일부 구간 혹은 일정 시간에 폐수로가 아닌 상태의 경우는 저압관수로로 각각 구분하여 정의하기로 한다.

농업용 관수로는 개수로에 비하여 다음과 같은 장단점을 갖는다 (Exaki, 1983). 우선 관수로의 장점은 ① 지하 매설로 인해 관개수로의 용지비용을 줄이고, ② 농작업 기계의 통행이 가능하도록 하며, ③ 용수조직이 구성이 용이하고, ④ 농업용수의 오염 방지 효과가 있으며, ⑤ 복잡한 지형 등의 제한이나 영향이 없고, ⑥ 그밖에도 용수조절이 쉬움으로써 동일 구획 내에 다른 작물의 재배가 가능하고, 관개방법의 선택이 가능하며, 농지의 다목적 이용을 가능하게 하는 등 부수적인 이점이 있다. 반면에 관수로의 단점으로는 ① 개수로에 비하여 초기 시설비가 비교적 높으며, ② 설계용량 이상의 통수허용 용량이 없는 점 등이 있다.

한편, 농지개량조합연합회 (1989, 1991)는 관수로 연구사업의 결과로부터 토공수로를 관로화함에 따라 수로내의 손실수량을 억제하게 하고, 제초 등으로부터 안전하게 하는 것 등을 들고 있으며, 통수능력을 크게하므로써, 적기적량의 용수공급이 가능하며, 기 확보용수량을 최대한로 활용할 수 있는 등의 관리상의 장점을 제시하고 있다.

이상과 같이, 농업용 관수로는 여러 가지 장점이 있는 반면에 경제적으로 부담이 큰 제한으로 인하여 지금까지는 우리 나라에서 널리 채택하고 있지 않은 것이 현실이다. 최근에는 영농의 편의성이 강조되는 추세로써, 성력화 영농을 지향하고 있음에 비추어 앞으로는 그 타당성이 비교 검토되어 지역에 따라서는 기존의 수로조직의 개보수 차원에서 이용될 수 있다고 본다. 특히, 일부지역에서는 용수지거의 관로화 시범사업 등이 실시되고 있으며, 이로 인하여 재배 농가들의 호응도가 높은 상태임이 확인되고 있으므로, 점차 확대 보급도 가능할 것으로 기대된다.

3. 연구의 배경

현재 일부 지역에서 채택되거나, 시범사업으로 추진하고 있는 농업용 관수로화 사업은 관련 기술과 경험의 부족, 운영상의 미숙 등으로 인하여 또다른 문제를 야기하고 있는 것이 사실이다.

농업용 관수로의 계획, 설계, 시공 등의 기술 부족으로 인하여, 관로내의 퇴적, 누수, 부대시설의 파손 등 구조적 문제가 발생하고 있다. 관수로의 계획에 있어서는 계획 통수량을 원활히 도수할 수 있는 관경의 선택과 관로 전체의 압력과 유량과의 관계를 구명해야 하며, 특히 관로망의 해석을 통하여 전체의 시스템 상에서 원활한 기능의 구현이 가능하도록 하는 수리적 해석이 필요하다. 또한, 실제 관개시 항상 계획 유량을 통수하지 않으며, 상시 유량 또는 그 이하의 최소 유량을 통수하는 경우가 많으므로, 이와 같은 유량 조건에 대한 관수로 망의 수리적 관계를 검토하는 것이 필요하다.

전체의 용수조직을 관로망으로 구성하는 경우에는 펌프의 구동이나 정지, 혹은 급수전의 개폐 등에 따른 수격압에 대한 검토 등을 실시해야 한다. 그밖에도, 관로망 노선의 결정, 관경과 구배의 결정 등은 보다 경제적인 계획이 가능하도록 최적 해석 등을 적용해야 한다.

그러나, 지금까지는 계획 유량과 구배, 재료에 의한 관경의 결정만을 행하고 있는 실정으로 경제적인 측면에서나 수리적 측면에서 충분한 검토가 이루어지지 않고 있는 것이 현실이다.

비구조적 측면에서도 관수로의 상하류 포장간에 급수의 불균형이 초래되거나, 급수를 위해 급수전의 조작으로 인한 노력이 필요하는 등의 관리상의 문제 이외에도 대두되고 있다. 이로 인하여, 일부 지역의 경우에는 설치된 관로를 제거하고 개거로 전환하는 등의 문제도 발생하고 있다.

따라서, 관수로화 사업의 성공을 위하여는 수리적 해석 방법의 정립과 최적 계획법, 그리고 물관리 방법의 개선 등을 꾀하는 것이 필요하며, 이와 같은 기술개발과 함께, 기존의 관로망의 관리 조작 방법을 발전시키는 등이 필요하다.

제3절 연구의 필요성

1. 기술적 측면

대구획 경지정리 사업지구는 지형적으로 평탄하고, 용배수 조건이 불량한 충적토가 대부분으로 토공 수로는 침하의 발생과 안 비탈면의 붕괴와 유속이 느려 수로 내에 잡초나 수초가 밀생되어, 물관리 효율이 낮고, 필요한 양의 도수가 어렵다. 특히, 필지의 대구획화로 인해 구획의 단위 용수량이 증가하며, 이를 효율적으로 도수할 수 있는 기술 발전이 필요하다.

관수로 시스템은 일본의 예에서와 같이 대구획 경지정리지구의 용수지거로 적합할 뿐만 아니라, 장기적으로 토공수로에 비해 경제적 가치가 높다. 시범지구의 관수로 시스템의 경우, 농지개량조합의 물관리 요원과 농민들로부터 좋은 반응을 얻고 있다. 그러나, 저압 관로의 계획, 설계 및 시공 등과 관련한 기술 발전이 이루어지지 않아, 접합부분의 누수, 상류구간의 부압, 통수량의 부족, 통수 소요시간의 증가 등의 기술적 문제들이 제기되고 있다. 따라서, 농업용 관수로에 관한 이론 및 현장 적용 등에 대한 체계적인 연구가 절실히 필요하다.

용수조직의 계획에 있어서 해당 지구에 가장 적합한 시스템은 단순히 과거의 설계, 시공 경험만으로는 불가능하며, 체계적이고 기술적인 접근이 필요하다. 특히, 관수로의 경우, 노선, 관경과 구배, 계획고 등에 따라 공사비에 상당한 차이가 나며, 따라서, 최적 계획법을 적용하여 대상지구의 조건과 특징에 부합하는 가장 적합한 시스템을 채택할 수 있도록 하는 기술의 개발이 요청된다.

토공 용수지거의 경우, 구획의 일부에 밭 작물 재배가 어렵고, 담수 관수방법 이외의 관개방법의 적용이 불가능한 단점이 있다. 이에 반해, 관수로는 용수조절이 용이하고, 안정한 도수를 가능하게 하며, 관개방법의 선택의 폭이 넓어, 농경지의 다목적 이용에 효과적이다. 그러나, 용수 간지선은 개수로이고, 용수지거를 관수로로 채택한 혼합 시스템에서는 수압이 낮은 관계로 스프링 클러 등을 이용한 밭 관개 방법의 적용이 쉽지 않은 경우가 있다. 따라서, 관수로 시스템의 포장 관수방식에 대한 기술 개발이 필요하다. 관수로 시스템의 이용은 논의 용수지거 이외에도 양수장 지구나 관정 등의 용수계통으로 확대할 수 있으며, 적절한 기술의 개발을 통

해 경사지나 굴곡이 심한 복잡한 지형의 용수 공급 방법으로 적용할 수 있다. 일본의 경우, 중산간지의 용수개발의 방법으로 관수로 시스템을 채택하여, 논, 밭, 과수원에 용수를 공급하고 있다. 이는 우리의 중산간지의 한계농지의 경우 용수 부족 등으로 인하여 경작을 포기하는 경우가 많은 것과는 대조적이다. 따라서, 관수로 시스템의 개발 모형을 발전시킴으로서 한계농지의 상당 부분을 재개발이 가능하도록 하거나 소득작물의 재배단지로 개발할 수 있을 것이다.

또한, 관수로 시스템은 농어촌 용수의 다목적 이용에 기여할 수 있을 것이다. 지금까지의 농업용수개발은 논의 관개를 위주로 하여 왔다. 그러나, 앞으로는 농어촌 지역의 생활용수 공급은 물론이고 공업용수, 축산용수 등의 용수공급에 대한 대안이 요구되며 이들 용수공급조직에 관수로 시스템의 적용이 예상된다. 따라서, 용수의 다목적 고도 이용 시스템을 개발하여, 용수조직의 이용기간을 늘리는 한편, 농어촌 생활환경의 개선을 위한 친수환경의 조성 등도 고려할 필요가 있다.

2. 경제적 측면

용수조직의 관로화는 토지의 효율적 이용으로 인한 경제적 효과이외에도, 용수 절약 효과, 유지관리비 절감 효과 등 여러 가지 부수적 효과를 갖는다. 특히, 관수로의 다목적 이용은 직접적인 경제 효과 이외에도 토지 이용의 고도화를 통한 간접적 효과와 용수 이용의 확대 기회의 부여 및 타목적 이용으로 인한 투자 효과 등이 기대된다. 또한, 감가상각비의 절감 등의 부수적 효과가 기대된다.

농업용수조직의 관수로 설치에 따른 경제적 효과의 계량화는 본 연구의 목적의 하나로써, 그것은 기존의 토공수로와 파이프 라인의 경제성을 비교 검토하기 위한 것이다. 일본의 경우, 농업용수의 다목적 이용화 사업을 성공적으로 추진하여 왔으며, 경제적 효과가 있는 것으로 알려지고 있다. 특히, 기존의 농업용수의 단일 목적을 위한 투자에 비추어, 용수의 고도 이용은 부수적인 편익을 증가시킬 것이다. 따라서, 관수로화를 통한 농업용수의 고도 이용에 중점을 둔 개발 모델을 구상함으로써 경제적 효과를 극대화하는 연구가 필요하다.

관수로 시스템은 개수로 등에서의와 같이 여유고를 두지 않으므로 설계 용량 이상

의 통수가 불가능하거나, 그 증가량이 극히 제한된다. 따라서, 적절한 수리 해석 기법이 적용되지 않을 경우, 용량의 부족 등으로 인한 제약이 따를 것이다. 곧, 정확한 수리 해석 방법은 파이프 라인 설비의 여유를 줄이는 경제적 효과를 갖게 된다. 이와 같은 예는 ILLUDAS, ILSD 등을 도시 관로망의 설계에 채택하여, 적절한 직경을 결정함으로써 공사비의 절감을 통한 경제적 효과를 입증한 바 있다.

관수로 시스템은 계획 방법에 따라 공사비에 있어 상당한 차이를 갖게 된다. 이와 같은 이유로 해서 수자원 공학에서는 적절한 시스템의 계획을 위한 많은 연구를 수행해왔으며, 여기서는 편익의 극대화 혹은 비용의 극소화 등의 최적화 기법을 통해 적절한 시스템을 계획하는 방법이 포함된다. 따라서, 최적 설계 기술의 개발 효과는 가장 적합한 시스템을 설치함으로써 안전할 뿐만 아니라, 경제적인 설치가 가능하며, 관행 방법에 비하여 상당한 시설 용량 및 공사비의 절감 등의 경제적 효과가 기대된다.

3. 사회적 측면

우리 나라의 용수조직의 관수로화는 1988년부터 시행되어 왔다. 이들 파이프 라인 시스템은 농민들의 높은 호응을 받고 있으며, 농지개량조합 등에 의해 적극적인 설치 요청이 있어 왔다. 이와 같은 호응의 주요 원인은 물관리의 성력화로 인한 인건비 절약 차원 뿐만 아니라, 시간적 절약, 용수조절의 편의성 등의 비계측적 효과가 크기 때문이다.

동시에, 용수지거의 관수로 설치 사업은 많은 시행 착오를 범한 것도 사실이다. 그것은 관행의 관개계획 기술서 등에 관수로 설계 등에 관한 자료가 전무한 것에도 원인이 있다고 할 수 있다. 따라서, 관수로 시스템에 관한 체계적인 기술의 개발을 통해 보다 안전하고 경제적인 계획, 설계, 시공이 이루어짐으로서 영농의 과학화, 성력화, 자동화에 기여할 필요가 있다.

농업용수조직은 대부분 인접부락, 축산단지 등과 가까이에 배치되어 있어서 이들로부터 배출되는 오염된 물이 유입되는 경우가 많아 수질 악화를 피할 수 없었던 것도 사실이다. 관개용수의 수질 악화는 현재 위험 수준에 이르고 있는 것으로 알

려지고 있으며, 이로 인한 토양의 오염 등의 수준도 허용치를 넘는 지역이 있는 것이 현실이다. 따라서, 깨끗한 물을 안전하게 도수하기 위한 적극적인 방법의 하나로 관개용수조직의 관수로화는 환경적으로 안전한 지속적 농업의 구현에 기여할 것으로 기대된다.

농업용수의 다목적 이용은 물의 고도 이용으로 인한 경제적 효과 이상으로 농어촌 지역의 생활환경의 개선에 큰 기여를 할 수 있을 것으로 생각된다. 친수환경은 물의 이용 목적 중 부가가치가 높은 것으로 인식되고 있으며, 우리의 역사와 문화 역시 물 중심의 친수환경과 밀접한 관계를 가진 사실을 상기할 필요가 있다. 관수로를 통해 깨끗한 수질의 물을 여러 가지 목적으로 활용할 수 있도록 시설 계획을 하는 것은 농어촌 생활환경의 개선에 기여할 것이 분명하며, 이는 일본의 관개용수 고도 이용화 사업의 예에서도 알 수 있을 것이다.

이와 같은 농업용수로의 관수로 시스템의 계획과 효율적인 물의 이용 및 관리 체계의 구현을 위해서는 기술적 검토와 함께 경제적 타당성을 구명하고, 지역 사회의 기여를 열거함으로서 농어촌 발전을 위한 사회 간접자본으로 물의 이용을 고도화, 다목적화할 필요가 있는 것이다.

제4절 연구 목표

본 연구의 연구과제별 현황과 개발 목표는 <표 1-2>와 같다.

<표 1-2> 세부 연구과제별 현황과 연구목표

연구 과제	현황	개발 목표
1. 저수압 파이프 라인 수리 계산 프로그램 개발	<ul style="list-style-type: none"> ① 용수지거의 파이프 라인의 계획은 간단한 관수로 해석에 의해서 이루어지고 있음 ② 파이프 라인의 제어장치 및 정수조 등의 기능을 고려하고 있지 않음 ③ 전체의 시스템에 대한 수리 계산을 전제하지 않음 	<ul style="list-style-type: none"> ① 저수압 파이프 라인 수리해석이 가능한 알고리즘의 개발 ② 용수지거의 각 취입부의 기능을 조절할 수 있는 입력 변수를 고려함 ③ 정수조 등의 설치에 따른 수리적 영향을 분석할 수 있는 알고리즘의 개발 ④ 범용화된 프로그램의 개발
2. 파이프 라인 시스템 수리 계산 프로그램 개발	<ul style="list-style-type: none"> ① 개수로 계산법 혹은 관수로 구간별 수리 계산방법을 적용함 ② 각 지선별 설계유량의 통수능력의 검토 ③ 조절 장치 등의 수두손실을 고려하지 않음 ④ 전체 시스템에 대한 수리 계산을 적용하지 않음 	<ul style="list-style-type: none"> ① 전 파이프 라인 시스템의 관수로 수리 계산 알고리즘 개발 ② 개수로/관수로 혼합시스템의 수리계산 프로그램의 개발 ③ 개발된 모형의 실용성의 검증 실시 ④ 각 지선별 설계유량의 계산 알고리즘의 개발 ⑤ 전 시스템의 체계적 수리계산 방법의 적용 ⑥ 급수조절 방법에 따른 구간별 통수상황의 모의 계산을 통한 검증 실시
3. 파이프 라인 시스템의 최적 계획 프로그램 개발	<ul style="list-style-type: none"> ① 파이프 라인의 구간별 수리계산에 의한 관경의 결정 ② 전체 시스템의 수리적 특성을 고려하지 않음 ③ 설계 유량의 통수능력이 검토되지 않음 ④ 최적 시스템 설계를 고려하지 않음 	<ul style="list-style-type: none"> ① 수리계산을 통한 최적 설계 ② 급수방법 등을 고려한 적절한 시스템 설계 알고리즘의 개발 ③ 저수압/고수압의 경우를 고려한 범용적 계산 알고리즘의 적용 ④ 범용 설계 프로그램의 개발

<표 1-2> (계속)

연구 과제	현 황	개 발 목 표
4. 파이프라인 시스템의 물 관리 및 다목적 고도이용 기술의 개발	① 농업용수조직은 단일 용수 이용 체계로 구성됨 ② 농어촌용수이용계획에 따른 다목적 용수수급 계획이 구현되고 있으나, 계통적인 도수시설은 고려되고 있지 않음 ③ 파이프라인의 물관리 및 용수 고도이용 계획이 고려되지 않음	① 농업용수의 다목적, 고도이용 체계의 구상 ② 파이프 라인을 이용한 용수 다목적 이용방안의 수립 ③ 다목적 이용의 설계에서
5. 파이프 라인 시스템의 타당성 분석방법의 제시	① 파이프 라인 시스템에 대한 경제적 효과가 정립되지 못함 ② 파이프 라인 시스템의 부수적 효과가 계량적으로 표시되지 않고 시범사업에 머물고 있음 ③ 용수의 다목적 고도이용에 따른 편익이 고려되지 않음	① 파이프 라인 시스템의 사회적/경제적 효과의 현장조사를 통한 계량화 ② 파이프라인 시스템의 편익 계산 실시 및 타당성 분석 방법의 개발 ③ 용수의 다목적 고도이용에 따른 사업 편익 계산 알고리즘의 개발 ④ 다목적 파이프라인 시스템의 적용 사례 연구를 통한 타당성 분석 평가
6. 대상지구의 선정, 조사 및 연구결과의 사례 및 적용 결과의 제시	① 연구결과의 실용화를 위한 실제 대상지구의 적용사례가 많지 않음 ② 파이프 라인 시공지구의 수리적 특성에 대한 실측자료가 없음 ③ 대상지구의 파이프라인 시스템의 경제성 평가 자료가 없음 ④ 용수의 다목적 고도이용에 대한 연구가 시행된 바 없음	① 파이프 라인 시공지구를 선정, 수리적 특성 측정 및 결과 분석 제시 ② 연구결과의 적용성 평가 및 결과 보완 등의 자료로 활용 ③ 대상지구의 파이프 라인 시스템에 대한 경제적 타당성 분석 결과의 제시 ④ 용수의 다목적 고도이용 방안에 대한 사례의 제시 ⑤ 사업의 타당성 분석 및 결과 제시

제5절 연구 내용

본 연구는 1994~1997년의 3개년으로 계획되었으며 연도별 과제별 연구내용은 다음과 같다.

1. 제1차 년도(1994)

제1차년도 ('94. 12. 31 ~ '95. 12. 30)의 연구내용은 <표 1-3>과 같다.

<표 1-3> 1차년도 연구내용

세 부 과 제 명	연 구 내 용
기존의 관로망 설계내용 및 관련 연구결과의 검토	(1) 기존의 설계/시공 자료의 검토 - 기 설계자료의 사례 검토 - 기 시공지구의 사례 검토 - 설계 및 시공 관련 문제점 도출 (2) 국내외의 관련 연구결과의 검토 - 국내 관련 연구 자료의 검토 - 국외 관련 연구 자료의 검토
저수압 파이프 라인 수리 계산 프로그램 개발	(1) 적용 대상 용수조직: 용수지거 (2) 필지 규모별 단위 용수량 결정 방법의 개발 - 단위 용수량 추정방법의 검토 - 설계 용수량의 결정 - 용수지거 통수량 결정 (3) 수로 조직의 제원 입력방법의 개발 - 구획크기, 형상에 따른 제원 입력자료의 구성 - 메뉴식 입력 프로그램의 구성 (4) 저수압 관수로망 수리계산 프로그램의 구성 - 수리계산 방법에 따른 예비계산 결과의 비교 - 수리계산 방법의 선정 - 저수압 관로망 수리계산 알고리즘의 개발 - 프로그램의 구성 (5) 관수로 용수지거의 수리계산 검토 - 기 시공자료와의 비교 - 시범지구의 조사 결과와의 비교

<표 1-3> (계속)

세 부 과 제 명	연 구 내 용
파이프 라인 시스템 수리 계산 프로그램의 개발	(1) 파이프 라인 시스템의 수리계산 방법의 선정 및 검토 - 관로망 해석방법의 선정 - 해석방법에 따른 수리계산 결과의 비교 (2) 파이프 라인 시스템의 요소별 제원 입력 알고리즘의 개발 - 복합 관로망의 입력자료의 설계 - 입력 프로그램의 구성 (3) 파이프 라인 시스템의 수리계산 결과의 검토 - 대상지구의 선정 - 입력자료의 조사 분석 - 수리계산 - 계산결과와 기 설계/시공자료와의 비교 검토
개수로-관수로 혼합 시스템의 수리계산 프로그램의 개발	(1) 개수로-관수로 조직의 수리계산 방법의 검토 - 기존 수리계산 방법의 검토 - 개수로/관수로 혼합 시스템의 수리적 특성의 검토 (2) 혼합형 용수조직의 수리계산 알고리즘의 구성 - 개수로 해석방법의 검토 - 관수로 해석방법의 검토 - 개수로/관수로 혼합형 용수조직의 수리계산 알고리즘의 개발 (3) 혼합형 수로조직 수리계산 프로그램의 개발 - 프로그램의 구성 - 예비 해석결과의 검토
파이프라인 시스템의물관리 및 고도 이용방안의 개발	(1) 용수의 고도이용 자료의 수집 - 국내의 자료 수집 및 분석 - 국외의 자료 수집 및 분석 (2) 용수의 다목적 고도 이용 체계에 관한 예비 자료의 수집 - 2차 년도의 연구방향 수립을 위한 자료의 수집, 분석 및 정리 - 용수 다목적 활용 체계의 분류 및 특징의 구명

<표 1-3> (계속)

세 부 과 제 명	연 구 내 용
시범지구의 선정 및 자료 조사 및 측량	(1) 대상지구: 파이프 라인 설계/시공지구1 개소 (2) 대상지구의 조사 및 측량 - 설계/시공 관련 자료의 조사 및 분석 - 관수로 조직의 시설현황 측량 (3) 수리특성 조사 및 분석 - 측정장치의 시설 - 수리특성 조사 및 결과 분석

2. 제2차 년도(1995)

제2차 년도 과제별 연구내용은 <표 1-4>와 같다.

<표 1-4> 제2차 년도 과제별 연구내용

세 부 과 제 명	연 구 내 용
시범지구의 물관리 상황 조사 및 분석	(1) 대상지구의 조사측량 (2) 대상지구의 수리특성 측정 및 결과 분석 (3) 물관리 상황의 조사 분석 (4) 당초 설계와 실제 수리 상황의 비교 분석 - 현장 측정결과와 설계자료의 비교 분석 - 문제점의 도출 및 개선방안의 제시
저압 파이프 라인 수리계산 범용 프로그램의 개발 및 적용성 분석	(1) 범용 프로그램의 개발 - 메뉴식 입력/실행 방법의 채택 - 다양한 방식의 결과출력 (2) 프로그램의 적용성 분석 - 대상지구에서의 적용을 통한 실용성 검토 - 적용 결과에 따른 프로그램의 보정 (3) 입력 매개변수의 예민도 분석 - 모형의 입력 매개변수 변화에 따른 출력자료의 분석 - 예민도분석결과에 따른 프로그램의 보완
파이프라인 시스템의 수리계산 범용 프로그램의 개발 및 적용성 분석	(1) 범용 프로그램의 개발 - 메뉴식 입력/실행 방법의 채택 - 다양한 방식의 결과출력 (2) 프로그램의 적용성 분석 - 대상지구에서의 적용을 통한 실용성 검토 - 적용 결과에 따른 프로그램의 보완 (3) 입력 매개변수의 예민도 분석 - 모형의 입력 매개변수 변화에 따른 출력자료의 분석 - 예민도분석 결과에 따른 프로그램의 보완

<표 1-4> (계속)

세 부 과 제 명	연 구 내 용
개수로/관수로 혼합 시스템의 수리계산 범용 프로그램의 개발	(1) 범용 프로그램의 개발 - 메뉴식 입력/실행 방법의 채택 - 다양한 방식의 결과출력 (2) 프로그램의 적용성 분석 - 대상지구에의 적용을 통한 실용성 검토 - 적용 결과에 따른 프로그램의 보완 (3) 입력 매개변수의 예민도 분석 - 모형의 입력 매개변수 변화에 따른 출력 자료의 분석 - 예민도 분석결과에 따른 프로그램의 보완
관개용수조직 최적설계 프로그램의 개발	(1) 관개조직의 설계 입력자료의 조사 - 설계 용수량 추정 - 단면 제원 등의 입력자료 - 관경 시제품 제원 입력자료 (2) 수리계산 알고리즘의 개발 (3) 최적 계획법 알고리즘의 선택 - 수리적 조건 - 비용함수 - 최적 계획법 (4) 최적 설계 프로그램 알고리즘의 구성 - 설계조건/수리조건을 충족하는 개수로/관 수로 조합 설계 - 개수로/관수로의 선택에 따른 최적화 방 법의 제시 - 목적함수의 반응 분석
용수 다목적 고도 이용계획의 수립	(1) 대상지구에 대한 농어촌용수 다목적 고도 이용 시스템의 구상 (2) 사업의 타당성 검토

3. 제3차 년도(1996)

제3차 년도 연구내용은 <표 1-5>와 같다.

<표 1-5> 제3차 년도 세부과제별 연구내용

세 부 과 제 명	연 구 내 용
시범지구의 물관리 특성 분석 및 개선 방안의 시험분석	(1) 시범지구의 수리특성의 조사 분석 (2) 시범지구의 물관리 상황의 조사 분석 (3) 물관리 개선방안의 제시 (4) 물관리 개선방안의 시험분석 - 물관리 특성의 조사 분석 - 관행방법과의 비교 분석
용수로 조직 수리계산 범용 프로그램의 개발 및 적용성 평가	(1) 개수로/관수로 혼합형 용수조직의 수리계산 프로그램의 개발 (2) 범용 프로그램의 개발 (3) 현장기술자의 적용성 평가/모형의 보완 (4) 시범지구의 적용성 평가
파이프 라인 시스템의 최적계획 범용 프로그램의 개발 및 적용성 평가	(1) 개수로/관수로 혼합형 용수조직의 수리계산 프로그램의 개발 (2) 범용 프로그램의 개발 (3) 현장기술자의 적용성 평가/모형의 보완 (4) 시범지구의 적용성 평가
농어촌용수 다목적 고도이용 방법의 예시 및 결과 분석	(1) 대상지구의 선정/ 현장조사 (2) 다목적 고도이용 계획의 설계 예시 (3) 다목적 이용에 따른 효과 분석
개발된 모형의 현장 적용 및 실무보급 방안의 강구	(1) 1,2,3차년도 연구결과의 현장적용 평가 (2) 현장적용을 통한 사용자 편의 시스템의 보완 (3) 연구성과의 실용화 측면의 보완 (5) 실무 보급 방안의 제시

제6절 기대효과

1. 기술적 측면

본 연구는 현재 일부 경지정리지구와 간척농지개발지구 등의 용수조직의 일부 또는 전 구간에 채택되고 있는 관수로 시스템의 수리적 특성을 분석할 수 있는 모형을 개발하고, 현장 조건에 맞는 설계 방법을 개발하며, 주어진 조건에서 최소의 경비를 이용해서 계획할 수 있는 프로그램을 개발하고, 그 결과를 대상지구를 선정하여 적용하고, 실무에 적용이 가능하도록 하는 데 있다.

또한, 관수로 시스템이 갖는 장점의 하나인 지형 조건에 따른 제약이 적은 특성을 최대한 살려, 중산간지의 농업용수의 급수 및 기존의 한계농지의 개발 등과 관련한 기술적 발전을 목표로 하고 있다. 지금까지 농업용수는 대부분 논벼의 관개에 국한되어 왔으나, 관수로 시스템을 통한 용수 이용의 다목적화, 고도 이용화가 가능하도록 체계적인 기술을 개발 하고, 이를 현장에 적용할 수 있는지 여부 등을 검토하기 위한 기술적, 경제적 타당성을 구명하도록 하고 있다.

본 연구의 결과의 기술적 기대 효과를 정리하면 다음과 같다.

① 현재 시공된 관수로 용수조직의 상당 부분은 수리학적으로 많은 문제를 갖고 있는 데, 적절한 물관리 방식을 제시함으로써 시설 이용을 극대화 할 수 있을 것이다.

② 용수지거를 관로화하여 개수로인 용수지선 등으로 부터 취수할 때 발생하는 천이흐름으로 인한 수두의 손실, 구획내의 물 분배 등을 개선할 수 있는 대안을 제시해 준다.

③ 관수로 시스템을 채택할 경우 발생할 수 있는 천이 흐름 상태에서의 물 분배 등에 예상되는 기술적 문제를 해결하고, 원활한 물관리 방안의 제시가 가능하다.

④ 평탄지의 대규모 경지정리 지구 등에서 저압 관수로 시스템의 운영상의 제한을 극복할 수 있어 원활한 물관리가 가능하게 될 것이다.

⑤ 농업용수의 다목적 고도이용 시스템을 채택함으로써, 관개용수의 급수 이외의 목적에 이용할 수 있을 것으로 생각되며, 농어촌 지역의 친수환경을 제공할 수 있을 것이다.

⑥ 관수로 시스템의 경제적 효과를 계량화함으로써 편익계산 및 타당성 분석에

필요한 자료의 제공이 가능할 것이다.

⑦ 최적 설계 기법의 제공을 통해 용수조직의 경제적인 시스템의 설계가 가능할 것이다.

2. 경제적 측면

본 연구의 경제적 기대 효과는 다음과 같이 추정된다.

① 기 시공된 용수조직의 관수로 시스템의 안정적 운영과 물관리 효율화, 성력화 등을 통해 水利費중 물관리 인력소요의 상당부분을 절약하므로써 농가의 경제적 부담을 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

② 용수조직 설계의 최적계획법의 적용으로 외국의 사례를 참고할 때, 용수조직 직접공사비의 20% 이상의 절감 효과가 기대된다.

③ 기존의 관수로 용수조직의 물관리 방안을 도출할 수 있음으로 관리비의 절감 효과가 있을 뿐만 아니라, 절수를 통한 비용절감효과 및 양수비용 절감 등의 직접 효과가 기대된다.

④ 농업용수의 다목적 고도이용 시스템의 정착을 통하여 농어촌 지역의 친수환경 조성 등의 간접적인 경제효과가 있으며, 생활용수, 축산용수, 기타 용수의 급수가 가능함으로 직접적인 경제효과가 기대된다.

⑤ 농업용수 고도이용에 따른 경제효과의 분석 기법을 도입하므로써 경제 분석방법의 개선이 기대된다.

⑥ 관수로 시스템의 이용 기술 향상으로 중산간지의 농경지 급수수단을 제공할 수 있으며, 이를 통해 한계농지를 이용하는 농업기술이 개발될 것이다. 이의 개발에 따른 직접/간접적 경제 효과의 상당부분은 본 연구의 경제적 파급효과로 간주될 수 있을 것으로 기대된다.

⑦ 관수로 시스템의 도입기술의 정착으로 농어촌 지역의 수질보전에 기여하게 될 것이며, 이로 인한 간접적 경제기대 효과가 예상된다.

3. 파급효과

농업용수조직의 관수로 시스템의 계획, 설계 및 관리 등에 필요한 종합적이고, 체계적인 기술개발과 이와 같은 시스템을 이용한 농업용수의 다목적 고도 이용 기술 및 경제성 평가 분석 방법의 제시를 통해 예상되는 기술적, 경제적, 사회적 파급 효과는 다음과 같을 것으로 기대된다.

① 용수 조직의 설계 및 시공기술 분야 : 다양한 수두 조건에 따른 관수로 시스템의 흐름 조건에 대한 해석방법을 제공함으로써 용수조직의 설계 및 시공 관련 기술의 발전 효과가 있을 것이다.

② 용수 조직의 계획 기술 분야 : 대상지구의 용수조직의 최적 설계 및 시공 기술의 개발 및 보급으로 개수로 및 관수로로 구성된 용수조직의 합리적인 설계가 가능할 것이며, 기존의 용수조직의 개보수 계획 등을 포함한 시스템 설계 기법의 발전 효과가 예상된다.

③ 한계 농지의 개발계획 분야 : 관수로 시스템의 설계, 시공, 관리 기술의 개발로 인해 한계농지 개발의 제한인자가 되는 관개용수의 공급 계획이 가능하게 될 것이다.

④ 농업용수의 다목적 고도이용 기술분야 : 본 연구에서는 농업용수조직의 관수로 시스템을 이용하여 농업용수의 타목적 이용과 관련한 기술적 발전을 기대하고 있으며, 나아가, 농업용수의 다목적 이용 기술발전에 파급효과가 예상된다.

⑤ 농어촌 생활 환경의 개선 효과 : 농업용수의 다목적 이용기술의 개발과 고도 이용 시스템 기술 발전에 따라 농업용수의 경관보전 기능이 개선될 것이며, 친수환경의 조성과 관련분야의 기술발전에 기여하게 될 것이다. 또한, 다목적 용수의 개발기술의 발전은 농어촌에 생활용수, 공업용수, 축산용수 등의 급수가 가능하게 함으로서 농어촌의 생활환경 개선에 기여하는 기술적 파급효과가 예상된다.

⑥ 농어촌의 수질보전 및 토양 오염 방지 효과 : 관수로 시스템의 기술개발을 통해 용수조직으로 유입될 수 있는 생활오수, 축산폐기물 오수 등으로부터의 수질 오염이 효과적으로 차단됨으로서 수질보전 효과가 기대되며, 나아가 농경지 토양오염의 방지에 기여할 것이다.

4. 활용분야

본 연구의 활용분야를 정리하면 다음과 같다.

① 농업용수 개발 및 이용 분야 : 농업 생산기반조성사업 중 농업용수개발 및 이용 분야의 기술발전은 물론 관련 종사자의 현장 설계, 시공, 운영 및 관리 등에 활용될 것으로 예상된다.

② 경지정리의 설계, 시공 분야 : 경지정리 지구의 용수로 조직의 설계, 시공 관련 기술 이 분야 등의 활용이 기대된다. 특히, 본 연구의 수행 중 관련 분야의 현장 기술자들과 공동 연구를 수행함으로써 연구 성과를 직접 현장에 적용할 것이며, 범용화된 프로그램 등의 이용이 가능하여 기술적 발전이 예상된다.

③ 농지개량조합의 물관리 개선 : 용수조직의 물관리와 관련한 기술개발을 통해 농지개량조합의 물관리에 직접적으로 도움이 되는 결과가 예상된다.

④ 농업용수의 다목적 이용 기술 분야 : 기존의 저수지 등 농업용 수자원의 상당수가 물리구역의 변경, 용수조직변경 등으로 더 이상 사용되지 않고 있으며, 이들의 다른 목적 이용과 관련한 취수 및 도수시설의 계획, 설계, 시공 등에 필요한 기술이 제공되므로써 농업용수의 다목적 이용 기술의 발전이 예상된다.

⑤ 한계농지 개발 기술 관련 분야 : 관수로 시스템의 계획, 설계, 시공과 관련한 기술개발로 인하여, 한계농지의 농업용수 급수와 관련한 기술에 활용될 수 있을 것이다.

⑥ 농업 비점원 오염관리 기술 분야 : 농어촌 지역의 오수로부터 수질환경의 보전과 관련한 지역계획 등에 활용될 수 있으므로, 농업 비점원 오염관리 기술 분야에 활용될 수 있을 것이다.

제7절 연구진

본 연구의 참여연구진과 그 주요 업무수행 내용은 <표1-6>과 같다.

<표 1-6> 참여연구진현황

구 분	성 명	소 속 및 직 위	학위 및 자격	비고
총괄책임자	박 승 우	서울대학교 농업생명과학대학 교수	공학박사	
협동연구자	정 하 우	서울대학교 농업생명과학대학 교수	농학박사	
	홍 성 표	충남대학교 경영대학 조교수	경제학 박사	
연구원	임 상 준	서울대학교 대학원 박사수료	농학석사	
	강 문 성	서울대학교 대학원 박사과정	농학석사	
연구보조원	조 재 필	서울대학교 대학원	농학사	
	강 민 구	서울대학교 대학원	농학사	
	박 회 성	서울대학교 대학원	농학사	
	김 상 민	서울대학교 대학원	공학사	
	김 철 겹	서울대학교 대학원	농학사	
	진 영 민	서울대학교 대학원	농학사	
	최 라 영	서울대학교 농공학과	농학사	
계	12 인			

제8절 추진일정

본 연구의 연도별 추진일정은 <표 1-7>과 같다.

<표 1-7> 연구 추진일정

연구 과제명	소요 기간	연 차 별, 분 기 별 추 진 계 획												비고
		1차 년도 (94/12-95/11)				2차 년도 (95/12-96/11)				3차 년도 (96/12-97/11)				
		1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	
기존의 관로망 설계자료 및 관련 연구결과의 검토 ① 기존 시공사례 검토 ② 국내외의 관련연구자료 검토	1년													
수리모형의 제작 및 실험 ① 모형의 제작 ② 수리모형 실험 ③ 수리실험 결과 분석	2년													
저수압 파이프라인 수리계산 프로그램의 개발 ① 단위용수량 결정방법개발 ② 수로조직 제원 입력방법개발 ③ 수리계산프로그램 구성 ④ 용수지거 수리계산 ⑤ 프로그램 적용성 분석 ⑥ 범용 프로그램의 구성 ⑦ 시범지구의 적용	3년													
파이프라인 시스템 수리계산 프로그램의 개발 ① 수리계산 알고리즘 개발 ② 제원 입력방법의 개발 ③ 개수로-관수로 혼합시스템 수리계산 프로그램 개발 ④ 프로그램의 구성 ⑤ 범용 프로그램의 개발 ⑥ 시범지구의 적용 ⑦ 프로그램 사용해설서	3년													

<표 1-7> (계속)

연구 과제 명	소요 기간	연 차 별, 분 기 별 추 진 계 획												비고
		1차 년도 (94/12-95/11)				2차 년도 (95/12-96/11)				3차 년도 (96/12-97/11)				
		1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	
파이프라인 시스템 최적계획 프 로그래밍의 개발 ① 설계입력자료 분석 ② 수리계산 알고리즘개발 ③ 최적계획 알고리즘의 개발 ④ 개수로/관수로 혼합형 용수 조직 계획 프로그램의 개발 ⑤ 현장기술자의 적용평가 ⑥ 시범지구의 적용성 평가 ⑦ 프로그램 사용자 해설서	2년													
농어촌용수 다목적 고도이용에 관한 기초적 연구 ① 자료수집 ② 다목적 고도이용 시스템계획 ③ 설계 모형의 개발 ④ 경제성/타당성 분석 ⑤ 설계 예시 및 해설서	3년													
파이프라인 시스템의 타당성분석 방법의 개발 ① 타당성 분석방법의 검토 ② 경제효과 조사 ③ 경제효과 조사결과 분석 ④ 타당성 분석방법의 개발 ⑤ 시범지구의 적용	2년													
시범지구의 선정 및 자료조사 ① 대상지구 선정 및 조사 ② 수문/유량계측시설 설비 ③ 수리상황의 조사분석 ④ 물관리방법의 조사분석 ⑤ 물관리 개선대책 ⑥ 연구결과의 적용 및 분석 ⑦ 실용화 교육/훈련 활용	3년													

제9절 요약 및 결론

본 연구는 농업용수로의 관수로 시스템화에 따른 영농현장에서 발생하고 있는 문제의 해결과 관련 기술의 발전을 모색하기 위한 현장애로 기술을 개발하기 위하여, '94. 12. 31부터 '97. 11. 30까지 3개년간 실시한 것으로, 본 보고서는 최종결과를 정리한 것이다.

본 연구의 목표는 농용 관수로 시스템을 채택하고 있는 물리구역에서 효율적인 물관리가 이루어지도록 하고, 앞으로 관수로 계획에 필요한 기술개발을 통하여, 경제적이고 안전한 시설의 계획과 물관리를 달성하며, 관수로 시스템을 통한 농업용수의 다목적 고도이용체계를 강구함으로써, 영농기술의 발전과 농어촌 생활환경의 개선을 꾀하는 것이다.

본 장에서는 연구의 배경과 목표, 내용과 범위, 연구진의 구성, 추진체계와 연구의 기대효과 등을 정리하였으며,년도별 과업에 대하여 해설하였다.

본 장의 내용과 결과를 요약하면 다음과 같다.

① 농업용 관수로 시설 현황과 문제점을 고찰하고, 그 의의를 논의하였으며, 관수로 계획, 설계와 물관리에 관한 연구의 배경을 살펴보았다.

② 관수로 시스템은 대구획 경지정리 지구는 물론이고, 토공수로를 대처할 수 있는 시설이나, 관련 기술의 개발을 통하여, 안전하고 경제적인 계획을 가능하도록 하는 것이 필요하며, 그 경제적, 사회적 측면에서의 연구의 필요성이 확인되었다.

③ 관수로 시스템의 계획, 설계, 물관리 등을 위한 기술개발분야로는 저압관로망과 고압관로망, 혼합형 수로조직 등의 수리해석 프로그램의 개발과 관리방안의 모색, 용수 시스템의 다목적 고도이용, 경제성 평가와 시범지구의 적용 등 관련 분야의 기술개발이 필요하며, 이를 위한 연구개발 목표를 제시하였다.

④ 연구목표의 달성을 위하여 제1차년도는 자료수집과 분석, 수리 프로그램의 계획 등의 기초연구가 필요하여, 제2차년도에서는 기술개발 연구, 제3차년도에는 개발된 기술의 현장적용을 위한 기술개발 등을 실시하도록 하였으며, 이를 위해 실현 가능한 연구내용을 정리하였다.

⑤ 연구의 결과의 예상되는 기대효과는 관련된 기술개발을 통하여 안전하고, 경제적인 관로망의 계획, 설계와 물관리 기술을 통하여, 성력화 영농을 실현하며, 농어촌 생활환경의 개선 등에 기여하게 될 것으로 예상된다. 연구의 기술적, 경제적, 사회적 측면의 기대효과를 정리하고, 활용분야를 예시하였다.

⑥ 본 연구의 참여 연구진과 그 주요업무 등을 정리하였다.

⑦ 본 연구의 추진 일정 계획 등을 정리하였다.

제2장 농업용 관수로의 문제점과 관련기술의 평가

제1절 서론

농업용 관수로화 사업은 우리 나라에서는 비교적 최근에 이르러 시행되기에 이르렀다. 1988년 농지개량조합연합회의 물관리 시범사업으로 논의 용수지거 관로화를 추진하여, 해마다 전국의 주요 농지개량조합을 대상으로 물리구역 내의 일부 지구를 선정하고, 기존의 토공 개거수로를 포리에틸렌 계통의 관로로 대체하고 있다(농지개량조합연합회, 1991). 농어촌진흥공사(1989)에서는 일본의 관로화 설계지침을 바탕으로 '농업용 관수로 설계시공지침'을 마련하였으며, 해남간척지(해남간척개발사업지구 3공구)의 용수조직으로 채택한 바 있다.

관수로는 생활용수나 공업용수 등의 송배수에서는 이미 널리 이용되고 있으며, 다목적 댐을 중심으로한 광역상수도사업으로부터 도시의 상수도 등에서 널리 이용되고 있다. 따라서, 상수도공학 분야의 기술적 발전이 이루어져 왔기 때문에 농업용 관수로에서는 관련 분야의 기술을 적용함으로써 질적 발전과 기술의 적용이 가능한 것이 현실이다.

그러나, 상수도조직과 농수로의 경우는 여러 가지 측면에서 차이를 갖는 데, 그 대표적인 것은 농수로에서는 상대적으로 저압 관수로를 중심으로, 일년 중 작물재배시기인 일부 기간에만 송배수가 이루어지고, 따라서, 경제적인 측면에서 상수도와 같은 영구적이고, 고가의 장비를 갖추기보다는 보다 싼값으로 건설해야 하는 등의 문제가 있다. 또한, 농업용수의 수질에서도 상수도와 비교할 때 수처리가 이루어지지 않아 부유물의 퇴적 등 수질 면에서 열악한 수준인 점, 또한, 필요수량이 시기별로 큰 변동을 갖는 점 등 상이한 특징을 갖는 것이 사실이다. 따라서, 이와 같은 농업용 관수로의 특징에 맞는 계획, 설계 및 시공관리 등이 이루어져야 하기 때문에 관련 기술에 있어서도 이와 같은 차이점을 강조한 것이 필요한 것이다.

따라서, 본 장에서는 농업용 관수로의 설치 현황과 문제점을 검토하고, 국내외의

관수로 계획방법과 관련 기술을 고찰하며, 농업용 관수로화사업의 발전 방향 등을 정리하도록 한다.

제2절 농업용 관수로 현황

1. 관수로화 사업의 배경

농지개량조합연합회 (1989, 1991)는 관수로화 사업의 필요성으로 다음 사항을 지적하였다. 즉, 기존의 토공 용수지거는 과도한 누수 손실, 수초나 토사 매몰 등으로 인한 통수 능력의 감소 등으로, 적기에 필요한 양의 급수가 어려운 것이 현실인 것이다. 따라서, 용수지거의 관로화를 통해 용수손실을 억제하며, 부족한 용수를 충당하고, 관개효과를 극대화하며, 급수 소요시간을 단축하는 등 여러 가지 측면의 개선을 기대하고 있으며, 논에서도 급수전의 개폐만으로 필요한 양의 급수가 가능하도록 하는 데 있다.

이상의 배경에서 살펴본 바와 같이, 현재 거의 모든 용수지거는 토공수로로 구성되어 있기 때문에, 영농기에 조합원들이 제초나 토사준설 등 적절한 농수로 관리를 하지 않을 경우, 7, 8월의 하절기에는 통수량이 크게 낮아지는 등 문제를 갖고 있다. 그런데, 용수지거는 구조물화를 통하여 토공수로를 대체하기보다는 관로를 설치함으로써 농기계의 주행 등을 위한 도로 폭을 확보하는 데 이점이 있는 것이다. 이와 같은 사정으로 관로화가 추진되고 있으며, 농민들의 호응도도 높은 것이 사실이다.

2. 관수로 시설현황

<표 2-1>은 1988-93년 동안 농업용 관수로사업실적을 보여주고 있다. 기간중 관수로는 총 21개지구에서 설치되었으며, 총연장은 61.8km에 달한다. 그런데, 해남 간척사업지구를 제외하고는 지구당 1-3km 내외의 범위로서, 주로 일부 용수지거의 관로화 시범사업으로 설치된 것을 알 수 있다. 해남지구는 간척사업지구를 대상으로 용수조직 전체를 관로화한 최초의 농업용 관로망을 갖춘 경우이다.

<표 2-1> 농업용 관수로 설치현황

년도	도 별	위 치		지 구 명	조 합 명	연장 (km)	관경 (mm)	비 고
		군	읍 면					
'88	경 기	용 인	남 서	삼 인 동 외11지구	이천농조 외11농조	24.7	200	경지정리사업지구 각도별 시행
'89	경 기	여 주	점 동	원 부	이천농조	1.2	250	농연연구사업
'90	경 북	경 주	건 천	송 선	경주농조	1.7	250	농연개보수사업
'91	경 기	이 천	장호원	용 풍	이천농조	1.4	250	농연연구사업
'91	전 남	해 남	해 남 마 산 황 산	해 남 제3공구	해남농조	26.5	350/ 1,100	해남간척지구 제3 공구 집중물관리연 구
'92	경 북	의 성	구 천	구 천	의성농조	0.9	250	농연연구사업
'92	경 북	상 주	함 창	오 사	상주농조	3.1	350	농연종합정비사업
'92	충 남	논 산	가야곡	왕 암	논산농조	1.4	250	농연조립식구조물 시범사업
'93	경 북	의 성	구 천	모 흥	의성농조	0.9	150	농연연구사업
계	5 도	9 군				61.8		

<표 2-1>에서와 같이 지금까지의 농업용 관로화사업은 주로 농지개량조합연합회의 주관 하에 실시되어왔다. 실제로 농지개량조합연합회에서는 농업용 관로화사업을 지속적으로 추진하고 있으며, 앞으로도 계속해갈 계획으로 있다.

제3절 농업용 관수로의 문제점

농업용 관수로의 설치와 관련된 현장애로사항과 설치에 따른 문제점 파악을 위해 관련자료의 조사와 현장 답사를 실시하고, 주요 문제점 등을 조사하였다.

1. 관련자료조사

관로화 사업과 관련된 문제점을 검토하기 위한 자료를 <표 2-2>와 같이 수집하였으며, 계획, 설계, 시공 및 관리 등과 관련한 자료를 검토하였다.

<표 2-2> 관련 자료 조사 내용

구 분	주 요 관 련 자 료	조 사 내 용	비 고
농업수지거 관로화 자료	-농개량조합연합회 관련자료용 -농지개량조합 관련자료 -농어촌진흥공사 해남 간척지 기본계획,설계자료	○용수지거 관로화 사업배경, 내용 ○관로화 계획내용 ○관로 설계내용 ○관로시공자료 ○각종 시험자료	
농업용수조직 관로화 자료	-농어촌진흥공사 해남 간척지 기본계획, 설계, 시공관련자료 -서울대 농생대 연구자료	○용수조직의 기본계획, 설계내용 ○각종 설계제원 ○기타 관련자료	
상수도자료	-광역상수도 관련자료 (계획, 설계자료)	○송배수조직의 기본계획, 설계내용 ○각종 설계제원 (제계산서) ○기타 관련자료	
기 타	-국내외 관련 연구보고서, 논문 등	○연구논문 ○연구보고서 ○기타 관련 자료	

2. 현장답사

농업용 관수로 설치지구의 현황을 파악하기 위하여, <표 2-3>과 같이 현장 답사를 실시하였다.

<표 2-3> 농업용 관수로 설치지구 현장답사내용

구 분	대 상 지 구	답 사 내 용	비 고
용수지거 관로화 시설	-이천농조 관할 2개 지구 -논산농조 관할지구 -화서농조 관할지구 -해남농조 관할지구	○관로화 시공상태 ○유지관리상태 ○물관리 상태 ○관련자료 수집	
용수로 관로망조직	-해남농조 관할지구	○시공상태 ○관련자료수집	

3. 관로화의 문제점

이상의 관련자료조사 및 현장답사를 통한 농업용 관수로 설치에 있어서 현장에
로와 관련된 문제점 등은 다음과 같다.

가. 계획, 설계 분야

지금까지 농업용 관수로의 계획, 설계에서의 문제는 다음과 같다.

(1) 노선의 단순화 : 기존의 토공개수로를 관로화하고 있기 때문에 관로의
장점을 충분히 살리지 못하고 단순히 개거를 관로로 바꾸는 것에 불과한 것이 현실
이다. 관로는 개거에 비하여 노선의 선정 상에서의 제한이 적은 것이 장점인 데,
이를 반영하지 못하고 있는 것이 사실이다.

(2) 관로 구배의 부적합 : 기존의 개거를 관로화 함으로써, 개수로의 동수구
배를 관로에서 그대로 적용하게 되기 때문에 관로의 구배가 크며, 이로 인하여 상
하류간의 개폐조작에 따른 급수 조건이 바뀌는 등의 단점을 갖고 있다. 이와 같은
설계의 미숙은 결국 일부 지역의 경우 상류 측의 필지에는 급수가 잘 안되고, 하류
구간에서는 잉여수가 발생하게 되는 현상이 빈번하며, 포구나 농구단위의 용수의
반복이용이 불가능하게 된다.

(3) 토사 침전과 매몰 : 용수지거만을 관로화하기 때문에 용수간선이나 지선

에서부터 유사가 운송되어 관로 내에 토사가 침전되거나, 혹은 침전지 등 부대시설이 매몰되는 등의 문제를 갖는 경우가 많다.

(4) 수질악화에 따른 관로내의 침전 문제 : 개거와는 달리 관로 내에 침전된 토사나 이물질의 제거 등 처리가 쉽지 않은 데, 상류구역에서의 수질 악화로 인한 관로내의 수질 문제가 야기되는 단점을 갖고 있다.

(5) 관경의 계획 : 관경의 계획에 있어서 경험식을 적용하고 있는 데, 저렴한 재질의 시공재료에 대한 수리적 경험계수가 정립되지 않아 계획 통수량의 급수가 어려운 경우가 있다.

(6) 경제적인 관로계획 : 농업용 관로화 사업은 상수도 시설에 비하여 사용빈도가 낮고, 또한 농민의 부담 등이 있기 때문에 경제적인 관로 계획이 전제되어야 하나, 대부분의 지역에서는 경제성을 고려하지 않는 계획, 설계가 이루어지고 있는 것이 현실이다.

그 밖에도 용수로를 개거로 설치함에 따라 동수압의 유지를 위하여 용수간선을 수로교로 설치하여 주위 경관을 해치고, 물관리상의 문제를 야기하는 등 관로화 계획이 필요한 경우도 많이 있다.

나. 시공 분야

농업용 관수로 설치 경험의 부족 등의 원인으로 인한 다음과 같은 시공상의 문제가 지적되고 있다.

(1) 지반 침하 문제 : 농업용 관수로는 대부분 연약한 지반에 매설되기 때문에 관로설치작업시 지반침하에 대비한 적절한 공법이 적용되어야 하는 데, 충분한 고려가 되지 못하는 경우가 많다. 이로 해서, 관로의 이음부분의 파괴 등이 발생하고, 누수손실이 큰 경우가 많다.

(2) 관로의 이음처리 : 폴리에틸렌 계 관로재료의 이음 부분의 처리가 쉽지 않아 통수시 누수가 발생하는 등의 문제가 발생되고 있다.

(3) 부대시설의 시공문제 : 용수지거의 경우 주요 부대시설에는 침사지, 맨홀, 계수전, 급수전, 후렌지, L 보 등으로 이들 부대시설의 정확한 시공은 관로의 수

명, 누수방지 등과 밀접한 관계를 갖는 데, 계획, 설계 및 시공 상태가 적절하지 못한 경우가 많다.

다.물관리 분야

이제까지 농업용 용수로로 개수로 만을 사용해온 까닭에 관수로화 사업으로 인한 제반 현장애로 문제점중에는 물관리분야에서 가장 많은 시행착오가 발생하고 있는 것으로 답사결과 판단되었다. 그 주요내용은 다음과 같다.

(1) 급수전의 조절 : 개거에 비하여 관로의 경우 통수량이 증가되어 관개에 소요되는 시간의 단축이 이루어졌으나, 반면에 급수소요시간의 변화에 실감되지 못하여 지나치게 많은 양의 채수가 이루어지게 되고, 상대적으로 상, 하류의 필지에서 급수가 어려운 등 급수의 불균형이 심화되는 경우가 많다.

(2) 불균등 급수 : 관로화 사업지구에서는 상하류 필지간의 급수량이 차이가 심하여, 관개단위내의 급수량의 불균형이 관찰되고 있다. 특히, 관로의 구배와 마찰손실 등에 따른 수리적 동수 구배가 일치 조화되지 못한 경우에는 불균등 급수로 인한 농민간의 갈등의 요소가 되기도 한다.

(3) 물관리 상황을 무시한 관로계획 : 기존의 관로망의 계획에서는 윤회관개, 간단관개 등 실제 관개 조작 상황을 고려하지 않고 최고통수량을 기준으로 설계, 시공되었기에 상시유량, 최소 유량의 급수시는 수리적 관계가 일치하지 못하고, 결국 급수에 장애를 초래하는 경우가 많다. 또한, 전 몽리구역을 동시에 관개하는 경우보다는 일부 지역만을 대상으로 하는 관개단위별 윤회관개가 적합한데, 이와 같은 물관리 상황을 고려하지 않은 것이 대부분으로 실제 조작시 많은 문제가 발생된다.

(4) 상하류 필지간의 물 분쟁 문제 : 관수로의 계획, 시공 등에 따라, 급수의 불균등, 용수 재이용의 불가능 등의 문제가 발생하고 있으며, 이에 따라 기존의 수리권과의 관계 조정이 불가피하다. 또한, 필지간의 물 분쟁의 소지가 남아 있고, 이로 인한 사회적 갈등의 문제가 남아 있다.

(5) 급수전의 파손, 훼손 : 종래와는 다른 급수양태에 따라 관로나 급수전 등 관로망의 훼손, 혹은 고의적인 파손 등의 문제가 발생하고 있는 데, 이는 개거용수지선의 경우에 비하면 그 정도가 심한 것이 대부분이다. (그림 2-1)

이상과 같은 문제를 체계적으로 접근하기 위하여는 체계적인 연구와 현장적용을 통한 문제점의 개선이 시급한 실정이다.



(그림 2-1) 관로 유입부가 파손된 경우

제4절 국내의 관수로 계획방법

관로는 계획 및 관리 수두에 따라 저압과 고압관로로 구분이 가능한 데, 저압관로는 관로망의 전구간 혹은 일부에서 개수로 상태의 흐름이 존재하거나, 수두가 낮은 경우를 말하며, 주로 용수지거의 경우에 해당한다. 고압관로는 폐수로 상태의 흐름을 갖는 관로로서 용수조직 전체를 대상으로 하는 관로망이 그 예이다.

<표 2-4>는 국내의 주요 관로계획에서 적용하고 있는 관로계획방법을 정리한 것이다. 저압관로의 경우, 수두손실에 대한 경험식을 적용하여 관경의 결정위주의 계획이 이루어지고 있는 것이 현실이다. 특히, 관로의 설치를 위한 노선의 계획 부분이 기존의 용수지거를 대처하고 있기에 관로의 장점을 최대한으로 하는 경우가 드물다.

<표 2-4> 관수로 형식별 응용분야와 계획 방법 개요

구 분	주 요 적 용 대 상	계 획 방 법 (개 요)	비 고
저 압 관수로	-농용수로의 용수지거 -배수 관로망 조직	○수두손실 경험식에 의한 관경의 결정 ○개방식과 폐쇄식 등이 적용됨 ○개략적 부대시설계획	
고 압 관수로	-농용수로 조직 (양수 장지구) -광역 상수도 -도시 상수도	○수두손실 (마찰, 미소손실)의 추정에 따른 경험식에 의한 관경결정 ○부대시설 계획에 치중 (침사지, 송배 수 시설, 조절밸브 등)	예: 해남 간척지구

고압 관수로의 계획에 있어서는 관로의 노선 결정이 상대적으로 자유로우나, 개수로 조직의 계획과 큰 차이를 보이지 않는 것으로 보아 관로계획의 적정성은 경험에 의존하는 경우가 많은 것이 사실이다. 더욱이, 저압의 경우보다 수리적 해석이 매우 중요하나 수두손실의 결정 후, 경험식에 의한 관 직경이 이루어지고 있는 것이 현실이다. 따라서, 고압수로의 경우 부대시설 계획 위주로 적용되고 있는 것이 현실이다.

한편, 국내에서 농업용 관수로에 대한 연구는 정하우, 박승우 등 (1989)에 의한 해남지구의 관로망 물관리연구가 시행되었으며, 그 결과 전체 대상농리구역에 대한 급수를 하지 않은 경우, 적절한 밸브의 개폐조작 등이 문제로 대두되고 있다. 그 밖의 관련 연구로는 수리계산, 수격계산, 관수로 최적계획 등의 기술개발이 이루어지고 있다.

제5절 외국의 농업용 관수로 계획방법

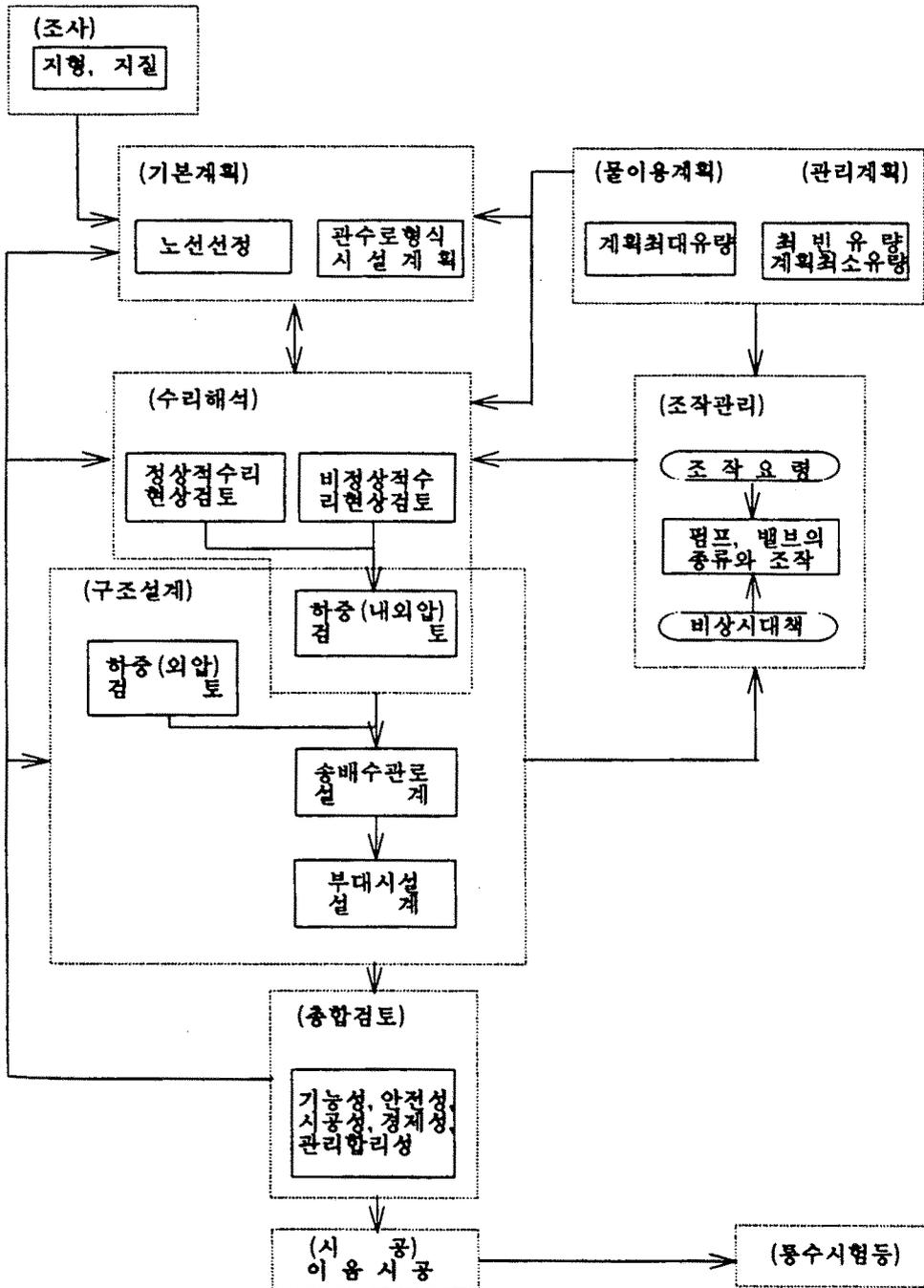
1. 일본의 경우

일본의 농업용 관수로설계시공지침에 따르면 관수로의 설계는 ① 개략적으로 수로조직을 설계하고, ② 관로와 부대시설에 대한 수리 및 구조적 검토를 실시하고, ③ 경제적인 실시설계를 행하는 등의 과정으로 검토한다. 관수로의 설계, 시스템 계획, 시설설계 등 각각의 조사, 계획 내용 등을 도식적으로 나타내면 각각 (그림 2-3, 4, 5)와 같다.

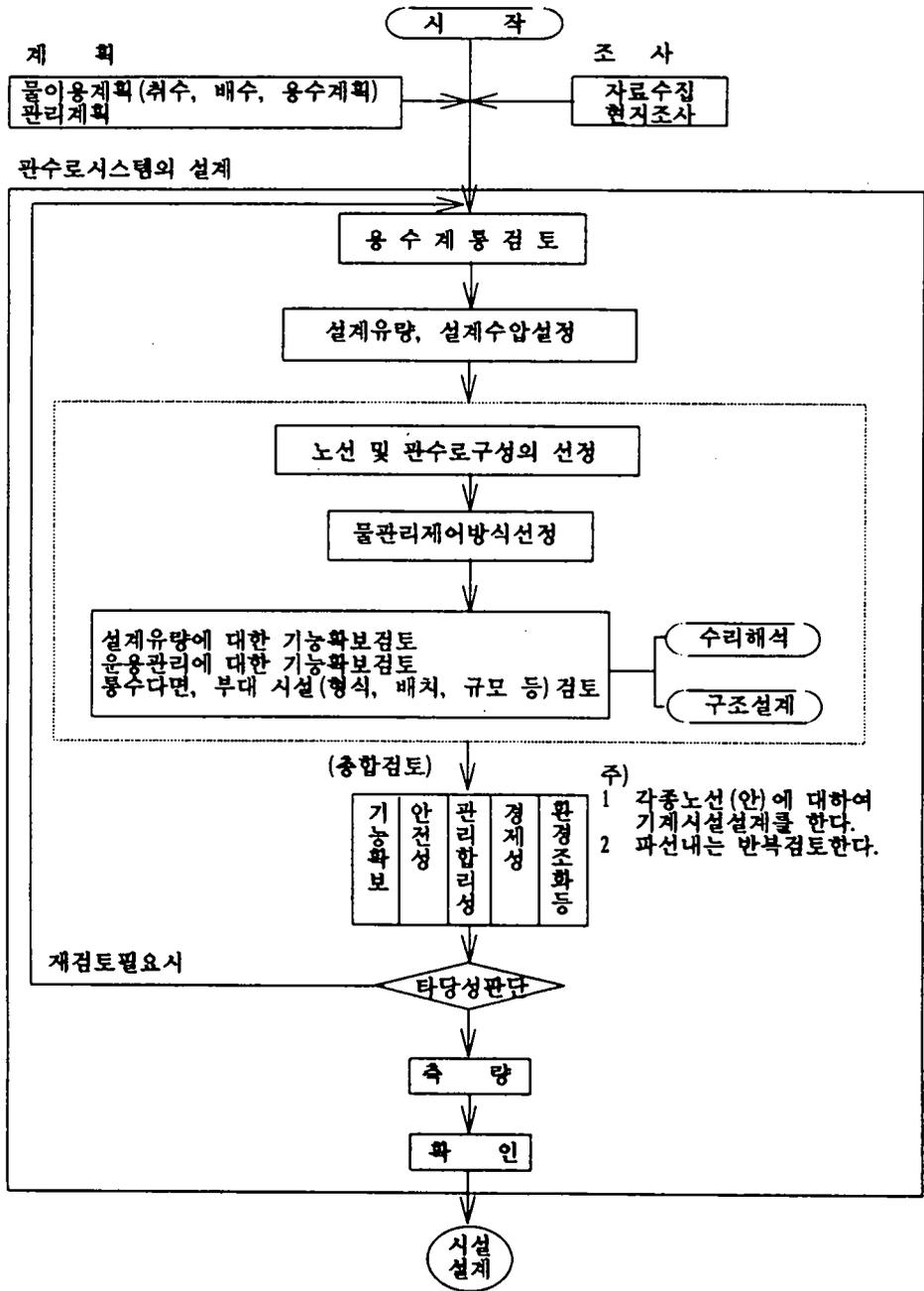
(그림 2-3)은 관수로 전체의 개략적인 조사, 계획 등의 순서를 표시하는 데, 그 주요내용은 ① 현지조사를 통한 지형, 지질 등을 조사 분석하고, ② 노선 선정 및 관수로형식, 시설 등을 계획하는 기본계획을 수립하고, ③ 물의 이용과 관리 계획을 검토하며, ④ 관로에 대한 수리해석을 실시하며, ⑤ 이때, 관로의 조작에 따른 비정상류와 비상시 대책 등을 검토하고, ⑥ 수리계산결과를 바탕으로 관로의 하중을 검토하고, 그 밖의 구조적 해석을 실시하고, ⑦송배수관로와 부대시설을 계획하며, ⑧ 종합적인 기능, 안전성, 경제성 등을 검토하며, ⑨ 이상을 반복하여 최적시설계획을 마련하는 단계를 걸친다.

관수로에 대한 종합검토를 마치면 시공과 통수시험을 걸쳐 관수로가 완성되는 단계를 걸친다.

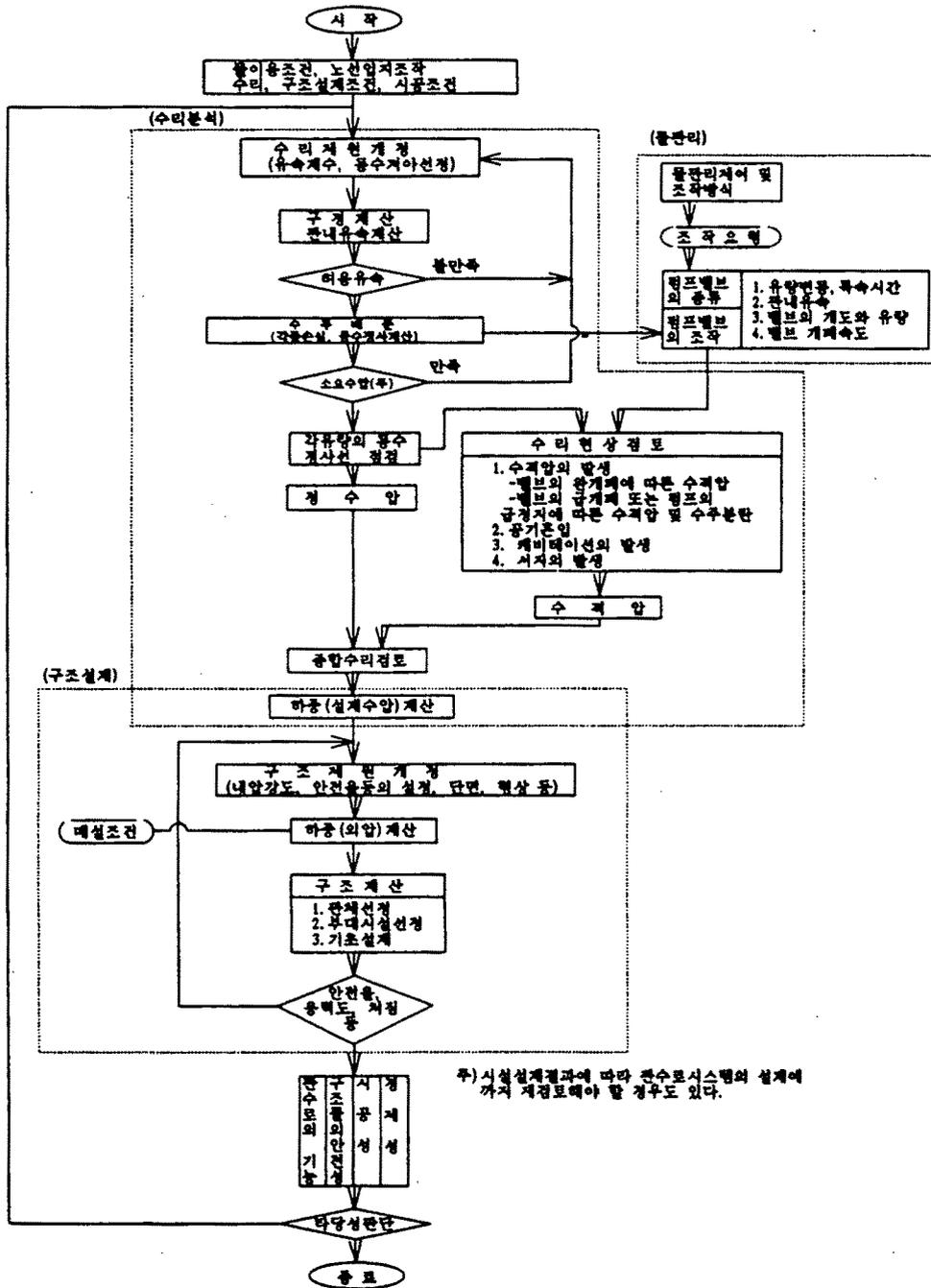
(그림 2-4)에서는 관수로 망의 검토단계를 보다 자세히 정리한 것으로 그 내용을 정리하면 다음과 같다. 즉, ① 물의 이용 및 관리계획을 수립하고, ② 현지조사를 실시하여 이를 바탕으로 관로망을 설계하는 데, ③ 용수계통에 대한 수리검토를 실시하고, ④ 설계유량과 수압을 정하며, ⑤ 노선과 관로망을 구성하고, ⑥물관리 및 제어방식을 선정하며, ⑦ 그 결과로부터 관수로의 수리적, 구조적 기능을 해석하고, ⑧ 그 결과에 대한 안전성, 경제성, 환경문제 등을 정리하며, ⑨ 이상의 내용을 바탕으로 타당성을 판단하며, 만약 현장조건에 부적합한 경우는 ③단계로 가서 이상을 반복 실시한다. ⑩ 타당한 경우는 측량과 확인을 걸쳐 시설계획을 마친다.



(그림 2-3) 관수로의 설계개념



(그림 2-4) 관수로시스템의 설계개념



(그림 2-5) 시설설계의 순서

(그림 2-5)는 관로망의 시설계획의 순서를 나타내고 있는 데, 그 내용을 정리하면 다음과 같다. 즉 ① 물 이용, 노선입지 조건 등의 조사자료를 바탕으로, ② 관로망의 수리적 제원을 가정하여, ③관경을 결정하고, ④ 수두배분을 실시하며, ⑤ 이에 따른 물관리제어 조작 등의 방법을 고려한 펌프의 선정 및 조작조건을 마련하고, ⑥ 주어진 관로망에 대한 수리검토를 실시하며, ⑦ 수격압, 공기혼입, 케비테이션 발생유무, 서지(surge) 등에 대한 검토를 실시하는 등 수리분석을 실시하고, ⑦ 하중계산을 실시하고, ⑧ 관로의 구조적 제원을 가정하여 이에 대한 하중을 검토하고, ⑨ 관체, 부대시설 등의 구조계산을 실시하며, ⑩ 안전율 등을 실시하여, 그 결과로부터 적합성을 판정하여 시공도면의 작성, 공사비의 추정 등을 통하여 시설의 계획을 마련한다.

2. FAO 계획방법

FAO 관개배수 보고서 (1988)에서는 관개용 송배수 망의 설계와 최적계획과 관련한 기술자료로서, 관수로 계획과 관련한 수리학적, 경제적 특징을

정리하고, 관로망의 배치와 설계기준 등을 제시하였으며, 또한 관로망의 최적계획을 위한 수학적 모델들을 소개하고 있다.

관로망의 계획에서는 관개단위를 정하고, 각각의 단위에 이르는 관로망을 배치하는 데, 여기서 경제적인 관로망은 관로의 연장을 최소로 하는 것이 되므로 주어진 조건에 가장 적합한 배치법을 이용하므로써, 경제적이고 합리적인 관로망의 계획이 가능한 것으로 제시하고 있다. 또한, 송배수 망의 관로의 기울기와 관경의 관계를 바탕으로 최적계획을 위한 수학적 모델을 제시하고 있다.

따라서, 관개단위의 결정으로부터 주어진 조건에 적합한 최적 관로망의 계획이 이루어져야 함을 보여준다.

3. 미국 북서부 지역 관개지구의 경우

미국 북서부 지역의 농경지는 광역의 관개 송배수망으로 부터 급수되며, 관개 계획에서는 각각의 관개 시스템 성분을 고려한 연 운영비를 최소로 하는 최적 관개 시스템 계획을 적용하고 있다. 이와 같은 최적계획에서는 컴퓨터를 이용한 선형계획법이나 동적 계획법 등의 방법, 혹은 그 혼합법을 적용하는 등의 예가 있다.

이상에서와 같이 외국의 관개용 관로망의 계획, 설계에서는 단순히 관로의 관경이나 기울기의 결정에 머물지 않고 물관리 조건을 감안한 조작 시뮬레이션과 시스템의 최적계획, 그리고, 운영비를 고려한 최적계획 등 다양한 기술을 적용하고 있음을 알 수 있다.

제6절 국내외의 기술 수준의 비교

1. 기술수준의 비교

앞서 고찰한 국내외의 관로망 계획, 설계, 시공 및 유지관리 등과 관련한 기술을 비교하면 <표 2-5>와 같다.

<표 2-5>에서와 같이 국내외의 관수로계획, 시공, 관리부분에서 상당한 차이를 나타내고 있다. 그 주요 내용을 고찰하면 다음과 같다.

가. 관개 단위의 결정

관개 단위는 배수의 기본이 되는 지역을 말하며, 우리 나라의 경우는 농구나 포구를 말한다. 그런데, 관개단위의 결정을 단순히 지형적 요인만을 감안할 경우에는 물관리 효율을 제고하는 데 제한요인이 되므로 이를 감안한 계획 방법의 검토가 요청된다.

<표 2-5> 국내외의 관수로 관련 기술수준의 비교

구 분	국내의 기술 수준	국외의 기술 수준	비 고
○관개단위의 결정	○지형조건 등에 따른 일률적인 단위의 결정 (농구/포구에 의하여 결정)	○관수로의 특징을 최대한 고려한 최적 계획법의 적용	
○노선의 선정	○기존의 개거식 용수로 계획법의 적용	○최단거리 (최소경비)를 고려한 최적계획법의 일반화	
○수리계산	○경험식에 의한 관경 계산 ○수격압 계산을 고려하지 않음.	○정상류 수리계산법 ○선형계획법 등의 적용 ○수격압 계산실시	
○관경/관체의 선정	○수리계산에 의한 관경결정	○최적계획법을 적용 가장 경제적인 관경의 결정	
○시뮬레이션	○적용하지 않음	○계획최대유량, 상시유량, 최소유량 등에 대한 수리해석 및 시뮬레이션	
○기타 부대 시설	○PVC계열의 각종 조절장치 및 시설	○다양한 부대시설을 고려함	

나. 관로의 노선 결정

관수로는 개수로와 다르게 지형적 제약이 적은 데, 지금까지는 주로 개수로의 노선의 결정과 동일한 방법을 적용해오고 있다. 관개단위의 분기점간을 연결하는 적절한 노선의 계획을 통한 경제적인 계획이 될 수 있도록 하는 것이 필요하다. 외국의 경우는 최단 거리 혹은 최소 경비를 고려한 계획방법을 채택하고 있으며, 이들 방법간의 비교를 통하여 적절한 관로 노선 결정방법의 개발이 필요하다.

다. 수리 계산

우리 나라의 관로계획에서는 경험식을 이용하여 주어진 설계유량과 경사를 이용한 관경을 정하고, 그 관경과 가장 가까운 상용 관경을 택하는 방법을 적용하고 있다. 반면에 외국의 경우는 관로망의 해석을 포함한 다양한 수준의 수리 계산을

통하여 적절한 관경의 결정을 하고 있으며, 비용을 감안한 경제적 계획이 되도록 하는 수리 계산을 실시하며, 또한 수격압 등과 같은 부정류 조건에 대한 해석을 실시하여 관수로의 수압을 추정하고 이를 고려한 관수로의 재료를 택하며, 또한, 구조적 해석을 위한 하중에 반영하고 있다. 따라서, 수리 계산 부문에서는 관로망 전체의 수리적 특징을 분석할 수 있는 수학적 모델의 응용이 필요하다.

라. 관경, 관체의 선정

관경의 결정은 설계통수량과 기울기에 따라 경험식에 의하여 추정하고, 상용 관경을 정하고 있는 데, 기울기와 관경은 서로 독립적인 관계를 갖는 것이 아니므로 이들의 관계를 고려한 최적계획법의 적용이 필요하다. 그밖에도, 연간 편익을 고려한 경제적인 관경의 선정이 이루어져야 한다. 그밖에도 수격압의 계산 결과를 고려한 수압을 견딜 수 있는 관체의 선정 등이 이루어져야 할 것이다.

마. 물관리 조작 시뮬레이션

지금까지는 설계통수량을 감안한 관경의 결정만을 행하므로써 실제 관개시 상시 유량, 최저 유량의 급수의 경우 계획과는 다른 유량조건이 발생되어 급수에 지장이 초래되는 경우도 있었다. 따라서, 일정 규모 이상의 관로망에 대하여는 물관리 조작을 수학적으로 시뮬레이션하여 설계를 보완하는 것이 필요하다.

바. 기타 부대시설

지금까지는 저압 관로망을 대상으로 하여 기존 제품을 활용하는 것을 고려하였으나, 관로 상에서 발생하는 여러 가지 수리조건을 감안한 다양한 부대시설을 계획할 수 있도록 개발이 이루어져야 할 것이다.

2. 기술개발의 방향

이상의 국내외 기술수준의 비교를 통하여 현재 국내의 관로망의 계획, 설계, 시공 및 관리 분야의 기술은 외국의 경우에 비하여 초보적인 단계에 머무르고 있음을 알 수 있었다. 그러나, 국내에서도 관로망의 계획, 설계 부분에 대한 최근의 연구실적을 감안할 때, 국내외의 기술 수준의 차이는 관련 부분의 기술개발이 이루어지지 않은 것보다는 오히려 실용화가 되지 않고, 기술적으로 정착되지 않는 것이 주요 원인이라고 할 수 있다. 따라서, 새로운 기술을 개발하는 것보다는 실용화 기술을 개발하고, 이를 현장에 적용하는 것이 필요한 것으로 생각되었다.

다음은 우리의 기술개발 방향을 정리한 것이다.

- ① 농업용 관수로의 계획에 필요한 적합한 수준의 관수로계획과 관련한 일련의 프로그램을 개발하고,
- ② 개발된 프로그램의 실용화가 가능하도록 사용자 중심의 프로그램으로 발전시켜 각각의 프로그램에 대한 전·후처리 시스템을 개발하며,
- ③ 다양한 현장조건에 대하여 단계별로 기술 수준상 차등을 둔 프로그램의 적용이 가능하도록 하여, 실용화가 가능하도록 하며,
- ④ 신기술의 개발과 응용보다는 실용위주의 기술 개발을 실시하며,
- ⑤ 기존 관수로 설치지구의 현장애로 및 문제점을 해결할 수 있도록 진단과 대안의 제시가 가능하도록 하는 기술을 개발하는 것 등이다.

제7절 요약 및 결론

이상에서 농업용 관수로의 설치 현황과 문제점을 현장조사 및 관련자료를 통하여 검토하고, 국내외의 관수로 계획방법과 관련 기술을 고찰하였다. 또한, 농업용 관수로화 사업의 발전 방향 등을 살펴보았다.

이상의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- ① 농업용 관수로는 기존의 토공 수로의 누수 손실, 수초나 토사 매몰 등으로 인한 통수능력 감소에 대응하고, 적기에 필요수량을 급수하는 데 그 목적이 있다.
- ② 농업용 관수로는 '94년까지 21개 지구에서 약 61km 정도 설치되었으며, 용

수지거로 주로 사용하고 있으나, 간척지구 등의 용수조직으로 채택하였다.

③ 농업용 관수로 계획, 설계, 시공 등의 관련자료를 수집하고, 현장 답사 등을 통하여 계획, 설계, 시공 및 물관리 분야에서의 문제점을 파악하고 이를 정리하였다.

④ 우리 나라에서 적용되고 있는 저압, 고압 관수로 계획 방법에 대하여 고찰하고, 기술 개발 과제를 살펴보았다.

⑤ 일본, FAO, 미국 등의 농업용 관수로 계획 방법을 고찰하고, 그 순서와 내용, 특징 등을 정리하였다.

⑥ 관수로 계획, 설계, 시공 및 물관리 분야에서 국내외의 기술 수준을 비교하고, 이에 따라 우리 기술 발전 과제를 정리하였다.

⑦ 현장애로 기술 개발에서는 농업용 관수로 계획 및 시뮬레이션 프로그램의 개발과 그 실용화, 다양한 현장 조건에 적용이 가능하도록 하여야 하며, 실용 위주의 기술개발을 실시하고, 현장의 문제점 진단과 대안 제시가 가능하도록 하는 방향으로 검토되어야 할 것이다.

제3장 관수로망 최적배치 프로그램의 개발

제1절 서 론

농업용 관수로망의 배치는 개수로와는 달리 지형적인 제약이 없거나 적으므로 대상지구의 관개단위별로 급수가 가능하면서도, 가급적 관로망의 길이가 짧고, 관경이 크지 않도록 하여, 경제적인 관로조직을 계획하는 것이 유리하다. 이와 같이 수원공으로부터 각각의 관개단위까지 송수를 위한 관로를 배치하는 것을 관로망 계획이라 한다.

주어진 물리구역에 적합한 관로망은 무한의 조합이 가능하다. 그러나, 대상지역에 적합하며, 경제적이고, 안전하게 송수할 수 있는 관로망을 계획하는 것은 용이한 일이 아니며, 더구나 관경과 길이, 공사비 등을 감안하여 가장 저렴한 최적 관로망의 구성은 많은 인자를 고려하여 정해야 할 것이다. 이러한 관로망의 배치는 도면상에서 수작업을 통하여 최단길이의 경제적인 노선을 결정하는 것으로, 많은 시간과 시행착오를 요구하며 현실적으로 최적의 관로노선을 선정하기가 어렵다.

관로망의 계획은 먼저 관수로 시스템을 몇 개의 수리단위에 따라 구분하고 수리단위별 급수전의 개수와 위치를 결정한 다음, 수원공으로부터 각 급수전을 연결하는 최단거리의 경제적인 노선을 선정하는 것이다. 농업용 관로망은 수원공, 밸브, 펌프 등의 관로요소와 이들을 연결하는 관로로 구성되어 있다. 이러한 관로망은 방향 그래프 (directed graph)를 이용하여 수학적으로 적절하게 표현할 수 있으며, 그래프 이론의 최단거리 알고리즘을 적용하여 수원공에서 말단 급수전까지 최단거리의 관로망을 구성할 수 있다.

본 장에서는 수리단위의 구분에 따라 급수전의 위치가 결정된 경우, 이들을 잇는 관로망 배치방법을 고찰하고, 그래프이론을 이용하여 관로망의 길이를 최단으로 하는 최적 프로그램을 개발하고, 지형이나 공사비 등의 제약조건으로부터 가중함수를 구성한다. 또한, 대상지구에 적용하여 관로망의 설치 비용을 최소화할 수 있는 관로망을 구성함으로써 프로그램의 현장 적용성을 평가한다.

제2절 수리단위의 구분

1. 수리단위의 정의

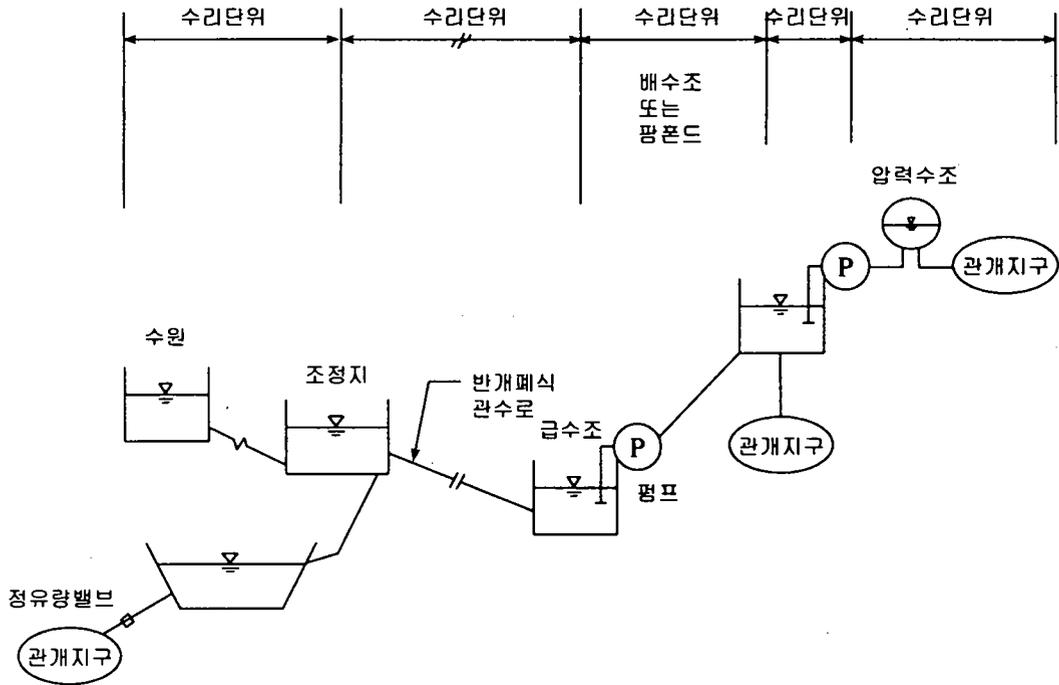
관수로 시스템은 한 지점에 있어서의 물 사용이 주변의 타지점 또는 시스템 전체에 영향을 미치게 되므로 상호간에 영향을 미치는 범위에 있는 시설군 또는 포장을 일체로 취급할 필요가 있다. 이와 같은 관수로 시스템의 기본 구성단위를 수리단위라 한다.

관수로 시스템을 설계하는 데는 우선 농업용 관수로의 용수이용 특성으로 부터 발생하는 다양한 유황등이 관수로 시스템내에 미치는 영향의 범위를 파악한다. 이러한 범위는 몇 개의 경계점으로 나눌 수 있는 데, 예를 들어 수원에서 조정시설, 분수시설, 조압시설, 펌프시설 등의 구간까지 또는 이들 시설의 구간이 여기에 해당한다. 경계점은 설계 목적과 지형조건, 관개지역의 상황, 관행 물관리 방법 등으로 부터 주어진 상하류의 유량이나 수위조건에 의해 결정된다.

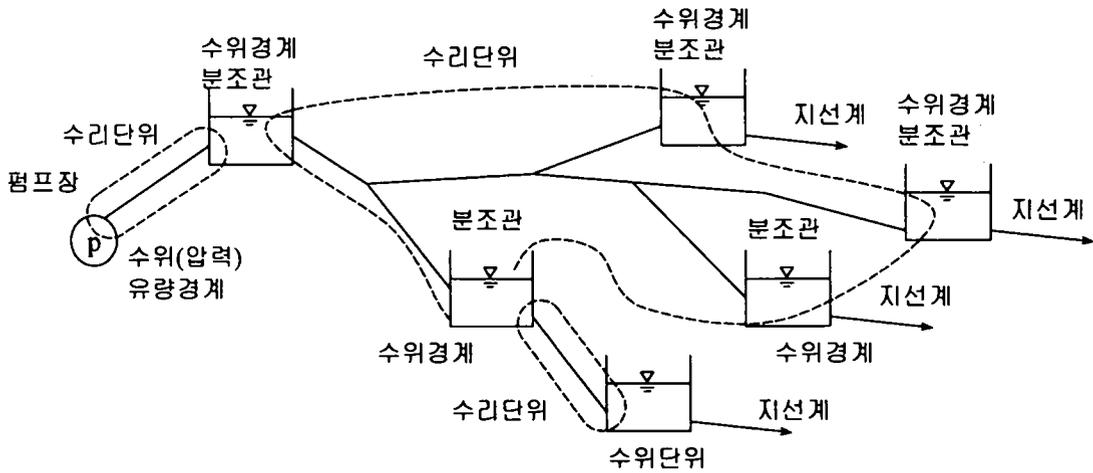
2. 수리단위의 구성

수리단위의 분할을 위한 경계조건은 ① 수위(압력) 경계, ② 유량 경계, ③ 수위-유량 경계로 구분한다. (그림 3-1)은 수리단위의 분할 예를 보여주고 있다. 수위 경계는 수조 등에 의해 일정한 수위가 조절되는 것이며, 유량 경계는 통수 시설이나 유량 밸브 등에 의해 유량을 조절하는 것이다. 또한, 수위-유량 경계는 펌프, 밸브, 오리피스 등에 의해 수위와 유량을 동시에 조절하는 것이다. 이러한 경계조건은 수리 단위내에서 유황을 결정하는 수치로 이용되며 인접한 수리단위에서는 상호간의 결합조건으로 이용된다.

수리단위내의 유황은 해당 단위의 수리해석만으로 해석될 수 있도록 독립적으로 구성하여야 하며, 송배수 조건, 물관리 조건에 따라 경계점을 간선, 지선, 말단 등의 단계로 수리단위를 구분한다. 이러한 수리단위는 수리상 기본 단위이면서 동시에 관리 및 조작의 기본 단위라고 할 수 있다. 용수간선에 대한 수리단위의 구성은 (그림 3-2)와 같다.



(그림 3-1) 수리단위의 분할



(그림 3-2) 용수간선의 수리단위의 구성

제3절 관수로망 배치방법

관수로 노선은 개수로에 비하여 지형적 요인에 따른 제약조건이 적으므로 가급적 경제적인 노선이 되도록 계획한다. 노선의 배치는 ① 급수전(hydrant)을 우선 배치하고, ② 각각의 관로를 배치하는 순서로 행한다.

1. 급수전의 배치

관로망의 배치계획에서는 우선 관개지구내의 급수전의 위치를 정한다. 급수전은 보통 3-6개 정도의 개별 급수전들의 집합으로 하여, 이들의 위치를 결정하는 것이 바람직하다.

급수전의 위치는 각 농부들의 희망이 통상 필지 가까이에 위치하기를 바라는 것인데 반하여, 물관리 측면에서 용이한 지점과는 차이가 있을 수 있으므로 이들간의 조화점으로 하는 것이 바람직할 것이다. 따라서, 여러 농부들이 하나의 급수전으로부터 취수해야하는 경우는 가급적 각 필지로부터 등거리에 위치하여, 사용할 수 있는 지점으로 하는 것이 필요하다. 반면에 대구획의 경우는 필지 가까이에서 취수하도록 하여야 한다.

2. 관로망의 배치

급수전의 위치가 선정되면, 이들 급수전을 잇는 관로망을 구성하게 되는 데, 관로망은 가급적 경제적인 노선으로 선정해야 한다. 노선의 선정방법에는 다음의 4가지가 있다.

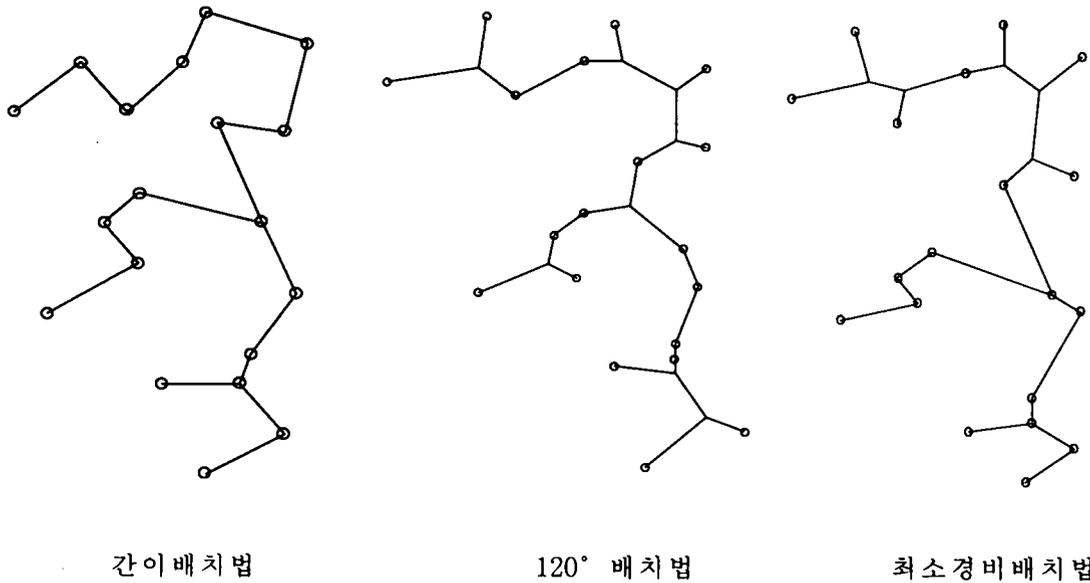
① 간이 배치법 (proximity layout) - 수원공으로부터 각 급수전까지의 거리가 가장 짧도록 하는 방법

② 120° 배치법 (120° layout) - 급수전 이외의 절점을 이용하여 간이배치법을 적용하는 것으로, 각 급수전과의 배치각이 120° 일 때 최소거리의 노선이 된다.

③ 최소거리 노선법 - 120° 배치법과 같은 방법으로 급수전까지를 잇는 노선을 정하나, 그 거리가 최소로 되는 연결점을 찾는 방법으로, 3개 이상의 급수전에서 적용한다.

④ 최소경비 배치법 (least cost layout) - 가급적 대구경 관로의 연장을 줄이고, 대신에 소구경의 길이를 크게 하여 관로망의 공사비를 최소로 하도록 배치하는 방법 등이다.

(그림 3-3)은 주어진 급수전에 대한 각 배치방법의 적용 예를 비교하고 있다. (그림 3-3)에서와 같이 간이배치법은 급수전을 잇는 노선을 정하고 있으며, 120° 배치법은 3개 혹은 그 이상의 급수전을 망라한 관로망의 연장을 최소화 하는 경우이며, 최소경비 배치법은 관경을 고려한 배치방법을 나타내고 있다. (그림 3-3)에서 120° 배치법과 최소경비 배치법은 상당히 유사한 것을 보여준다.



(그림 4-1) 관로망의 배치법

3. 관로망의 조정

관로망 배치의 최적화는 통상적으로 주관로망의 경우에 유용한 데, 그 한계는 직경 400mm 이상의 관에 적용하는 것이 보통이다. 그 이하의 경우는 관로의 유지 보수나 지가 등이 관로의 비용보다 큰 경우가 많기 때문이다.

논, 밭 등 구획정리가 된 경우는 최적 관로망의 배치보다는 직교망을 적용하는 것이 유리할 것이다. 직교배치의 경우, 필지별 취수에 유리한 경우가 많기 때문이

다.

그런데, 120° 배치법이나 최소경비 배치법의 경우 급수전까지의 관로의 길이를 최소화하는 분지점을 정하므로써 실제 지형적 조건 등에 따라 설치 불가능한 관로망의 해를 제시할 경우가 가능하다. 따라서, 관로망의 배치에서는 지형적 제약조건을 감안한 조정이 이루어져야 한다.

이상과 같이, 관로망의 배치를 조정하는 것을 관로망의 조정이라 한다.

제4절 관로망 최적배치 프로그램의 개발

1. Graph 이론

그래프는 컴퓨터로 해결해야 할 수많은 문제 중에서 객체와 그들간의 연결로 모델링 된 것들을 해결하는 도구로 가장 많이 이용되고 있으며, 정점(Vertex)과 간선(Edge)의 집합이다.

농업용 관수로 시스템은 관로, 밸브나 급수전 및 양수장이나 저수지와 같은 수원공으로 구성되어 있다. 이러한 관수로 시스템은 방향 그래프 (Directed Graph)를 이용하게 쉽게 나타낼 수 있다. 이 때 밸브, 펌프 등은 정점 (node)으로 표시할 수 있으며, 이들을 서로 연결하는 관로는 간선(edge)으로 나타내어진다.

그래프를 기술하는 방법에는 인접행렬법(Adjacency Matrix)와 인접리스트법(Adjacency List)이 있으며, 여기에서는 다음에 사용할 Dijkstra 알고리즘에 적합한 인접행렬법에 대해서 살펴보겠다.

인접행렬법은 복잡한 그래프를 표현하는데 적합하며, 다소 메모리의 낭비라는 측면이 있지만 직관적이고 쉽게 그래프를 표현하는 방법이다. 그래프에서 정점의 수를 V 라고 할 때 $V \times V$ 행렬을 이용하여 표현할 수 있으며, 행렬의 i 행과 i 열은 정점 V_i 를 나타내고, V_i 와 V_j 사이에 간선이 있을 경우에는 행렬의 $[i, j]$ 및 $[j, i]$ 를 1로 하고 간선이 없을 경우는 0으로 한다. 여기서, $[i, j]$ 및 $[j, i]$ 를 1로 하는 것은 V_i 와 V_j 의 간선사이에 방향성이 없을 경우에 한하며, 이를 무향그래프의 대칭성이라고

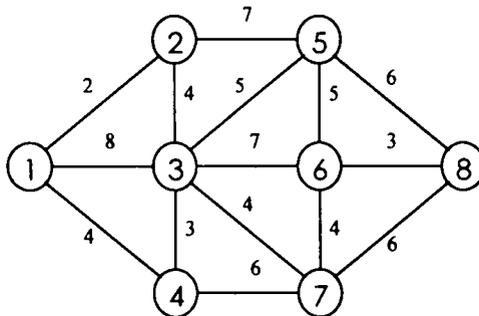
한다.

이를 정리하면 다음과 같다.

- V_i 와 V_j 를 연결하는 간선이 있으면 : $[i, j] = [j, i] = 1$
- V_i 와 V_j 를 연결하는 간선이 없으면 : $[i, j] = [j, i] = 0$
- 모든 i 에 대해서 : $[i, i] = 1$

최적 경로 선정시에 방향성이 필요한 경우에, 정점과 정점을 연결하는 간선에 방향성을 부여하는데 이를 방향 그래프라 한다. 방향 그래프의 표현은 인접행렬법을 이용하여 나타낼 수 있으며, V_i 에서 V_j 로의 흐름만이 가능할 경우에는, 무향 그래프에서는 방향성이 없이 $[i, j]$ 와 $[j, i]$ 를 모두 1로 나타내었으나, 방향 그래프의 경우는 $[i, j]$ 만을 1로 나타내면 된다.

지금까지는 정점간의 연결 상태만이 중요한 경우에 대하여 설명하였으나, 실제 문제에서는 연결의 가중치가 중요할 때도 있다. 교통문제에서는 소요시간 및 교통비가 가중치로 이용될 수 있으며, 가중 그래프를 이용하여 최소비용 또는 최소 소요시간의 경로를 설정할 수 있을 것이다. 가중 그래프는 위의 무향 또는 방향 그래프를 변형하여 사용할 수 있는데, 행렬의 1이 설정되어 있는 $[i, j]$ 또는 $[j, i]$ 에서 1 대신 가중치를 사용하여 나타낼 수 있다.



(a)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
A	0	4	1	2	3	0	0	0	0	0	0
B	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0
C	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
D	0	0	0	0	0	4	4	0	0	0	0
E	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0
F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4
G	0	0	0	0	0	0	0	3	3	4	0
H	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
J	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(b)

(그림 3-4) 방향·가중 그래프의 예

(그림 3-4(a))의 방향·가중 그래프를 인접행렬법으로 나타내면 (그림 3-4(b))와 같이 나타낼 수 있다.

2. Dijkstra 알고리즘

Dijkstra 알고리즘은 각 정점(vertex, node)에서 간선(edge, arc) 및 정점의 총 가중치(impedance, registance)의 합이 가장 최소가 되도록 간선을 찾아서 경로에 추가시키고, 모든 정점이 계산될 때까지 가중치의 합이 최소인 간선들을 찾아내는 방법이다.

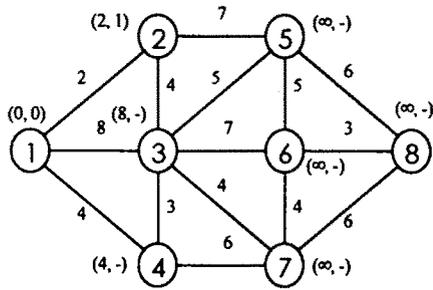
예를 들어 설명하면, (그림 3-4(a))은 원 안에 정점의 이름과 간선의 중앙에 가중치를 가지고 있는 간단한 네트워크를 보여주고 있다. 미소손실을 의미하는 정점에서의 가중치는 고려하지 않고 있다. 1번이 흐름이 시작하는 정점이고, 다른 모든 정점까지의 최단거리를 찾는 것이 이 알고리즘의 목표이다. (그림 3-5)에서 괄호안의 값들을 볼 수 있는데, (ip, nd)_j에서 ip는 1점에서 j점까지의 총 가중치의 합이고 nd는 1점에서 j점까지의 최소비용경로에서 j점 바로 앞의 정점을 의미한다. 또한, nd의 항에 - 표시가 있는 정점은 개방정점으로, 이 정점에 이르는 다른 최소비용경로가 존재할 수 있음을 의미한다. nd항에 숫자가 있는 정점은 폐쇄정점으로 최소비용경로가 확정된 정점을 의미한다. 그림에서 막 결정된 정점은 asterisk(*)로 표시되고 있다.

(그림 3-5(a))는 알고리즘의 처음 단계를 보여주고 있는데, 출발점인 1점과 연결된 2, 3, 4정점과 연결된 간선의 가중치 중에서 가장 작은 2번이 폐쇄정점으로 선정되어 있다. 2점의 (2, 1)는 폐쇄정점임을 보여주고 있으며, 1에서 2점까지의 최단거리(최소비용)는 2이고, 최소비용경로 중에서 바로 전의 정점은 1임을 나타낸다. 또한, 3점의 (8, -)와 4점의 (4, -)는 개방정점이고, 최단경로가 확정되어 있지 않으며, 각각의 정점까지의 가중치는 8과 4임을 보여주고 있다.

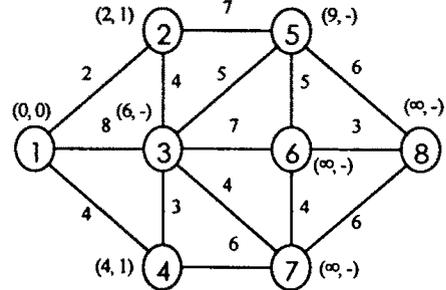
두 번째의 단계는 전 단계의 폐쇄정점에서 시작하게 되는데 (그림 3-5(b))의 2점에서 시작한다. 2점과 연결된 정점들에 대하여 가중치의 합이 계산되는데, 5점에서 9이고, 3점에서 6임을 보여주고 있다. 5점 및 3점에서의 값들은 이전의 모든 개방

정점들(3점 및 4점)의 값들과 비교되고, 가장 작은 값을 가지고 있는 4점이 폐쇄정점으로 결정되었음을 보여주고 있다. 또한 3점에서의 1-3경로의 8과 1-2-3경로의 6의 값 중에서 작은 6이 새로운 가중치의 합으로 대체되어 있다.

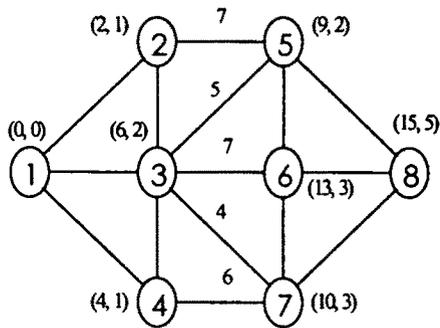
다음의 단계도 마찬가지로 4점으로부터 시작되고 모든 정점이 모두 포함될 때까지 반복된다. (그림 3-5(d))는 마지막 단계를 보여주고 있으며, 괄호 안의 값들은 1점으로부터 각 점들까지의 최단거리에 대한 정보를 가지고 있고, 이는 (그림 3-5(d))와 같이 나타낼 수 있다. 7점에서는 3점으로부터의 가중치의 합과 4점으로부터의 합이 같게 되어 충돌이 발생하는데, 임의로 하나를 선택하여 해결할 수 있다.



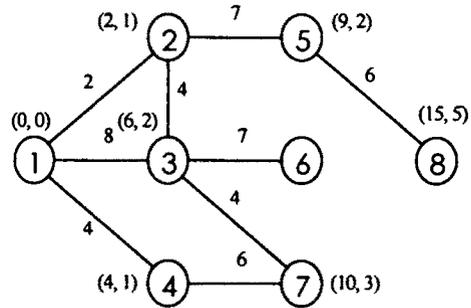
(a) 처음 단계



(b) 두 번째 단계



(c) 마지막 단계



(d) 최적경로 선정

(그림 3-5) Dijkstra 알고리즘의 적용 단계

3. 가중함수의 구성

가. 손실수두

관수로내 흐름에선 점성으로 인한 마찰효과를 고려해야 한다. 마찰은 긴 연장의 관로 벽면에서만 일어 나는 것이 아니라, 흐름단면의 변화나 만곡부 및 밸브, 엘보우(elbow)등의 부속물에 의해서도 와류의 생성과 함께 흐름이 가지는 에너지의 일부가 소모된다. 손실수두(h_L)는 속도수두와 관의 길이(l)에 비례하고 관경(d)에 반비례하는 것으로 알려져 있으며, 다음과 같은 Darcy-Weisbach 공식으로 표시된다.

$$h_L = f \frac{l}{d} \frac{V^2}{2g} \quad (3-1)$$

여기서, f 는 마찰손실계수(friction factor)로, 주로 관의 조도에 관계되나 흐름의 유속, 점성계수 및 관의 직경 등에도 관계가 있으며, Reynolds수와 상대조도의 함수로 표시할 수 있다.

각 구간에서 발생하는 손실수두를 계산하여 가중치로 사용하기 위해서는 각 구간에서의 유량을 알아야 하지만, 본 연구는 관수로의 설계전의 단계에 해당되기 때문에 정확한 유량을 알 수 없다. 따라서, 각 급수전에서의 필요수량으로부터 각 간선에서의 설계유량을 가정하여 사용하기로 하였다. 구간의 경로 설정여부에 따라서 각 간선에서의 유량의 값이 변하는 문제를 해결하기 위해서 다음과 같은 가정을 이용하였다.

- 각각의 관수로 구간에 대하여 물의 공급지점으로부터 차수를 구한다.(하천의 차수 선정과 같은 방법사용)
- 차수가 가장 높은(하류부) 말단의 경우는 필요수량들 중에서 가장 큰 값을 그 차수의 설계유량으로 선정한다.(예: 가장 높은 차수가 7이었을 때 차수가 7차인 4개의 관의 말단에서 필요수량이 각각 2, 3, 4, 5 m^3/s 이었다면 차수가 7인 모든 4개의 관에 대한 설계유량은 5 m^3/s 로 한다)
- 차수가 줄어들수록 전단계의 설계유량에 해당 차수의 관에서 필요수량 중에서 가장 큰 값을 합하여 설계유량으로 한다.(예: 차수가 6차인 관들 중에서 필

요수량의 최대값이 3 m³/s이었다면, 6차인 모든 관들의 설계유량은 7차의 5에 3을 더한 8이 된다)

또한, 하류부로 갈수록 관의 직경이 감소하는데, 이를 고려하기 위해서 아래와 같은 가정을 사용한다.

- 차수의 단계별로 관의 직경을 다르게 선정한다.(예: 1-3차 ⇒ 400mm, 4-6차 ⇒ 350mm, 7차 이상 ⇒ 300mm)

위의 가정들로부터 설계 유량과 관경이 주어지면 연속방정식에 의해서 속도(V)를 구할 수 있다. 속도(V)를 알면 관속의 흐름이 층류, 혹은 난류인지를 판별하여 이에 해당하는 조건의 해석을 해야한다. 층류, 난류를 구분하는 레이놀드수는 다음 식(3-2)에서 구할 수 있다.

$$R = \frac{Vd}{\nu} \quad (3-2)$$

여기서, R = 레이놀드 수, ν = 동점성 계수이다..

층류 또는 난류가 결정되면 f 를 결정해야 하는데, 층류의 경우는 R 의 함수이고, 난류의 경우는 조도에 영향을 받는다. f 를 구하는 식은 식(3-3) 및 식(3-4)와 같으며, 난류의 경우는 정해가 아닌 근사해이다.

$$f = \frac{64}{R} \quad : \text{층류} \quad (3-3)$$

$$f = \frac{124.6n^2}{d^{1/3}} \quad : \text{난류} \quad (3-4)$$

여기서, R = 레이놀드 수, n = Manning의 조도계수이다.

수로가 비교적 길 경우에는 미손실은 마찰손실에 비하여 상대적으로 적으므로 거의 무시할 수 있으므로 본 연구에서는 고려하지 않았다. 위에서 계산된 손실수두를 가중치로 하여 Dijkstra 알고리즘을 실행시키면 손실수두가 최소인 최적의 관수로 배치를 할 수 있다.

나. 공사비

공사비는 환경에 따른 재료값과 설치비용을 생각 할 수 있으며, 설치비용으로는 굴착깊이, 토양상태, 토지이용상태의 차이에 따른 변동을 고려할 수 있다.

설치비용은 일반적인 조건에서의 설치비용에 해당하는 가중인자들의 합을 1로 하고, 작업의 난이도가 어려울수록 가중치의 값을 크게 설정하여 설치비가 증가하도록 하였으며, 작업이 불가능한 구간에는 임의의 큰 값을 부여하여 경로에서 제외되도록 하였다.

위의 내용을 식으로 나타내면 식(3-5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Cost_{total} = (Cost_{material} + Cost_{construct}(a + b + c)) \times Length \quad (3-5)$$

여기서, $Cost_{total}$ = 총 설치비(원/m), $Cost_{construct}$ = 일반적인 조건에서의 평균 설치비(원/m) $Cost_{material}$ = 관의 가격(원/m), $Length$ = 두 정점간의 거리(m), a = 굴착깊이에 따른 가중인자, b = 토양상태에 따른 가중인자, c = 토지이용상태에 따른 가중인자, 단, $a+b+c \geq 1$ (일반적인 조건일 때 : 1) 이다.

위의 $Cost_{total}$ 을 가중치로 Dijkstra 알고리즘을 실행시켜 최소공사비가 소요되는 구간을 설정할 수 있다.

4. GIS (Geographic Information System)의 적용

공간적 위치를 표현하는 지형정보(도형정보)와 그 대상의 형태나 기능에 관련된 속성정보 (비도형정보)를 컴퓨터의 그래픽 처리기능과 데이터베이스 관리기능을 이용, 데이터를 저장, 추출, 관리, 분석하여 국토계획, 지역개발, 자연현상 추정 등의 목적에 맞게 활용하고, 관련정보들을 처리하여 의사결정을 돕는 정보체계 또는 그 기술전반을 GIS라 한다.

GIS의 기능들로는 가장 기본적인 기능인 거리(Distance) 및 면적(Area) 측정기능, 점, 선, 면으로부터 특정한 거리의 새로운 면을 생성하는 완충지역 분석(Buffering)기능, 점과 면, 선과 면, 면과 면을 중첩(Overlay)시켜 새로운 정보를 도출해 내는 기능, DEM (Digital Elevation Model)으로부터 경사(slope), 사면방향(Aspect), 음영기복도(Shaded Relief Map)등의 작성 및 분석기능, 도로 또는 수로

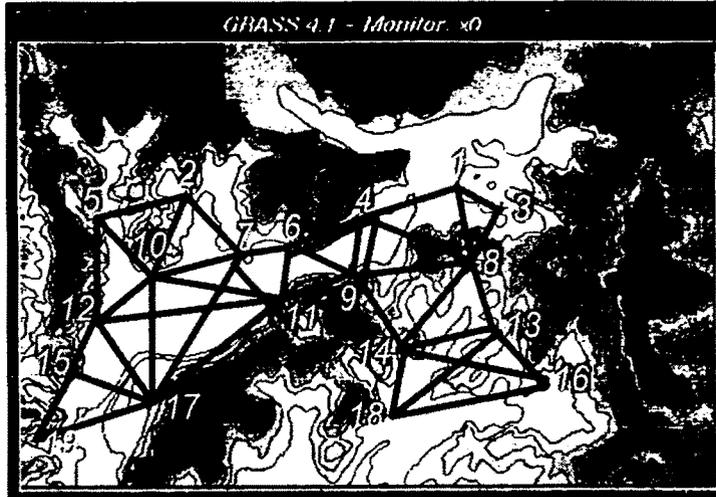
와 같은 선형으로 결합된 곳의 자원의 흐름의 최적 경로선정을 위한 Network 분석 기능 등이 있다. GIS는 최근 수자원분야에서 널리 사용되고 있으며, 필요한 분석의 입력자료를 생성하기 위한 전처리 및 결과를 지도화하는 데 이용된다.

관수로의 최적배치를 위해서는 급수전의 좌표로부터 거리들 도출해내고 DEM 및 토지이용도, 토양도로부터 관 배치 경로에 있는 표고차, 토지이용상태, 토양종류를 도출해내며, 최적경로를 선정하기 위해서 Network 분석 기능을 이용할 수 있다. 네트워크 루틴은 여러 GIS(지리정보시스템) 안에서 구현되고 있으며, 이러한 루틴들은 교통흐름, 적지선정 분석 등에 주로 사용되어 왔으나, 수자원의 분야에 적용은 매우 적다. 네트워크 수행을 위해서 가장 많이 사용되는 알고리즘으로는 위에서 살펴본 Dijkstra 알고리즘이 있다. 본 연구에서는 사용한 지리정보시스템은 1980년대에 미 육군 공병대 건설공학연구소에서 개발한 GRASS (Geographic Resources Analysis Support System)을 사용하였다. GRASS는 공용으로 누구나 무료로 사용할 수 있고 프로그램의 원시코드가 공개되어 있어 새로운 모형의 개발에 적합하다. 그러나, GIS 기능중의 하나인 네트워크기능은 제공되고 있지 않아 거리, 표고차 등의 입력자료를 도출하는 도구로 사용하였다.

제5절 관로망 최적배치 프로그램의 적용

1. 표준 관로망의 선정

관로망 최적배치 프로그램의 현장 응용성을 평가하기 위하여 표준 관로망을 구성하였다. 프로그램의 적용을 위한 표준 관로망은 (그림 3-6)과 같이 구성되어 있다. (그림 3-6)은 19개의 급수전의 위치와 관로망의 구성을 보여주고 있으며, 실선으로 된 부분이 관수로이며, 옆의 번호는 급수전의 번호를 나타내고 있다.



(그림 3-6) 표준 관로망의 구성

프로그램의 적용성을 평가하기 위하여 (그림 3-6)의 표준 관로망에 대하여 손실수두만을 고려한 경우와 공사비를 고려한 경우에 대하여 각각 최적 관로망을 구성하였다.

2. 손실수두를 고려하였을 경우

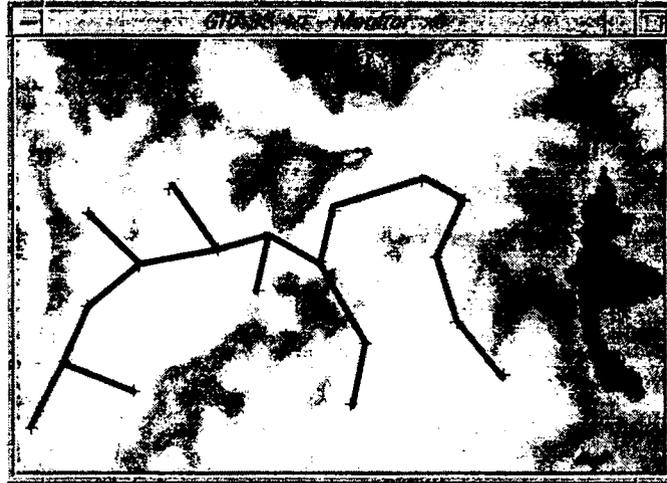
관망의 공급지점으로부터 계산한 각 간선들의 차수는 1에서 7차까지 존재하였다. 관경의 변화를 고려하기 위해서 1-3차의 경우는 550mm, 4-6차의 경우는 500mm, 7차 이상일 경우는 450mm의 관을 사용하는 것으로 가정하였으며, 각 급수전에 임의로 설정된 필요수량으로부터 구한 각 차수별 설계유량은 <표 3-1>과 같았다.

<표 3-1> 각 차수별 설계유량

차 수	1차	2차	3차	4차	5차	6차	7차
설계유량(m ³ /s)	0.1	0.7	0.9	1.5	2.0	2.4	2.8

위에서 결정된 관경과 설계유량으로부터 각 유속을 구하고, 이를 이용하여 R값을 구한 결과 모든 간선에서 난류조건에 속했다. 따라서, 관의 Manning 조도계수

(n)를 0.022라 가정하여 식(3-4)에 의해 f 를 구하고, 간선의 길이, 관경, 유속을 이용하여 각 구간별 손실수두를 계산한 결과는 <표 3-4>와 같다. 이를 이용하여 구한 최소수두손실 경로는 (그림 3-7)과 같다.



(그림 3-7) 손실수두를 고려한 관로망의 최적배치

3. 공사비를 고려하였을 때

공사비를 산정하기 위해서 관의 가격과 설치비용을 고려해야 한다. 상업용 관으로는 PE 일반관과 강관이 있으며, 관에 따른 가격 및 설치비는 <표 3-2>와 같다.

설치 비용을 산정할 때에는 굴착깊이, 토양상태, 토지이용상태에 따른 변동을 고려할 수 있으며, 이를 위하여 GRASS를 이용하여 발안유역에 가상으로 분포하는 급수전의 좌표와 표고를 도출해 내고, DEM, 토지이용도, 토양도에서 각 급수전사이의 평균표고, 토지이용상태, 토양상태 등을 추출하여 <표 3-3>에서와 같이 가중치를 부여하였다.

<표 3-2>의 설치비용은 일반적인 조건에서의 설치비용으로 가정하였으며, <표 3-3>에서 밑줄이 그어진 조건을 일반적인 조건으로 생각하여 가중인자의 총합이 1이 되도록 설정한다. 굴착깊이가 깊어지거나, 토양의 상태가 기계의 작업에 어려움이 있는 조건일 경우는 총합이 1보다 크게 하여 설치비용을 크게 하였고, 작업이

불가능한 토지이용상태(예: 저수지) 경우는 임의의 큰 값(100)을 주어 계산 시 경로에서 제외되도록 하였다.

<표 3-2> 관에 따른 가격 및 설치비 (관 1본 : 6m)

관 종	관 경 (mm)	가 격 (원/m)	설치비 (원/관1본)
PE 일 반 관	200	9084	40087
	250	12830	44740
	300	16556	49393
	350	26814	54103
	400	34712	58863
	450	41055	63075
	500	47386	67799
	550	53635	72886
강 관	600	59139	77977
	700	85769	196852
	800	108111	279008

위의 계수들은 설계자의 경험에 따라서 조절되어야 하며, 여기에서는 임의로 가정한 값들이다. 위의 내용을 식(3-5)를 이용하여 가중치를 구하면 <표 3-4>에서와 같으며, (그림 3-8)은 구간내의 표고의 변화를 도출해내는 GRASS의 출력결과를 보여주고 있다.

<표 3-3> 설치비용에 굴착깊이, 토양상태, 토지이용상태를 고려하기 위한 가중인자

굴착깊이(m)		토양상태		토지이용상태	
1~5	0.5	사양토	0.3	논, 밭, 산림	0.2
5~10	0.6				
10~15	0.7	점질토, 석력	0.4	저수지, 주거지	100
15이상	100				

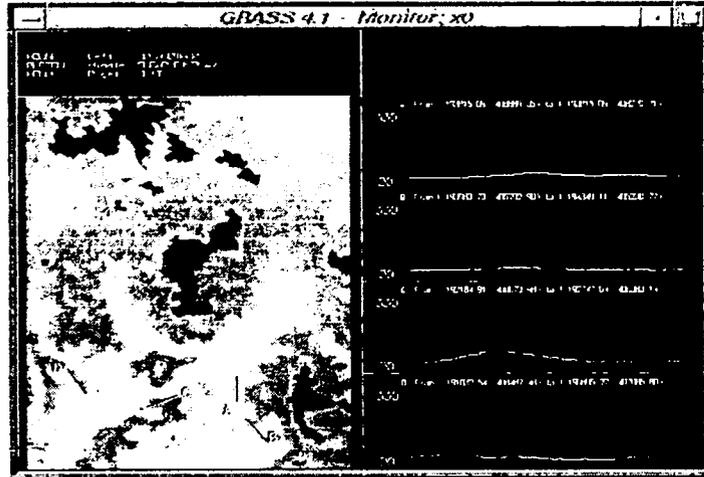
<표 3-4> 손실수두; 공사비를 고려한 경우에 각 구간별 가중치

구 간	손실수두 (유량가정)	공사비 (만원)	구 간	손실수두 (유량가정)	공사비 (만원)
1 - 3	9	205	9-11	132	6387
1 - 4	17	408	9-14	184	8901
1 - 8	14	342	10-11	447	635
2 - 5	375	428	10-12	292	340
2 - 7	284	396	10-17	563	642
2 - 10	373	434	11-12	630	895
3 - 9	116	727	11-17	591	839
4 - 6	56	355	12-15	270	308
4 - 8	81	518	12-17	435	515
4 - 9	40	244	13-14	184	418
5 - 10	327	373	13-16	138	313
5 - 12	693	488	13-18	263	597
6 - 7	96	218	14-16	277	643
6 - 9	118	274	14-18	124	288
6-11	106	246	15-17	556	391
7-10	295	419	15-19	548	385
7-17	606	861	16-18	562	799
8-9	86	536	17-19	339	629
8-13	52	311			
8-14	84	515			

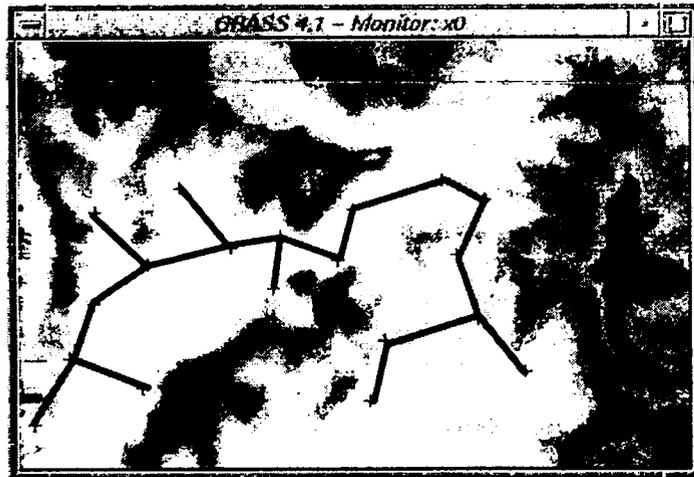
<표 3-5>는 손실수두와 공사비를 가중함수로 하여 각 구간에 대하여 나타낸 것이다. 손실수두는 가정된 유량으로부터 식(3-1)을 이용하여 구하였으며, 공사비는 (그림 3-8)의 구간별 표고차를 이용하여 지형적인 제약조건을 나타낼 수 있도록 식(3-5)에 의하여 산정하였다. <표 3-5>와 같은 가중치는 최단 거리의 관로망을 구성함에 있어서 관수로의 수리적 조건을 고려하고, 설계자의 경험을 계량화하기

위하여 사용되는 수치이다.

계산된 공사비를 가중치로 하여 선정된 최적경로는 (그림 3-9)와 같다



(그림 3-8) GRASS를 이용한 구간별 표고변화 생성



(그림 3-9) 공사비를 고려한 관로망의 최적배치

제6절 요약 및 결론

이상에서 수리단위의 정의 및 구분, 관로망의 배치법을 고찰하며, 관로의 길이를 최소로 하는 관로망 배치를 위한 프로그램을 구성하여, 각 방법별로 급수전을 잇는 관로의 배치 계획에 따른 관로의 연장 등을 비교하여, 최적 관로망의 배치방법의 결정을 시도하였다. 제3차 년도의 최종 연구 결과를 정리하면 다음과 같다.

① 수리단위의 결정을 위한 경계조건을 정의하였으며, 이 들 경계조건으로부터 용수간선에 대한 수리단위를 구성하였다.

② 농업용 관수로의 배치방법을 살펴보고, 관수로망의 배치법인 간이법, 120° 법, 최소거리법에 대하여 고찰하였다.

③ 관로망의 최적 배치 프로그램을 개발하기 위하여 그래프 이론을 고찰하였으며, Dijkstra 알고리즘을 적용하여 최적배치 프로그램을 구성하였다.

④ 손실수두와 공사비, 지형 등의 제약조건을 이용하여 가중함수를 구성하였으며, GIS를 이용한 가중함수를 산정하였다.

⑤ 최적 배치 프로그램의 현장 적용성을 평가하기 위하여 표준 관로망을 구성하고, 손실수두를 고려한 경우와 공사비를 고려한 경우에 대하여 각각 적용하여 최적 관로망을 구성하였으며, 적용 결과 지형적인 제약조건에 따라 일부 구간에 대하여 다른 결과를 보였으나 대체로 일치하였다.

제4장 최적 관경 결정 프로그램의 개발

제1절 서 론

농업용수로에 관수로 시스템의 도입은 물 이용 계획에 따라 수원공에서부터 포장 말단까지 관수로가 갖는 본래의 특징을 충분히 이해하고, 송·급수시설 및 부대시설 등을 종합적이고 체계적으로 계획하여, 효율적인 용수공급체계를 구축하여야 한다. 관수로 시스템은 관로와 관로를 연결하거나 수두를 조절하기 위한 밸브 등의 급수시설 및 기타 부대시설로 이루어져 있다.

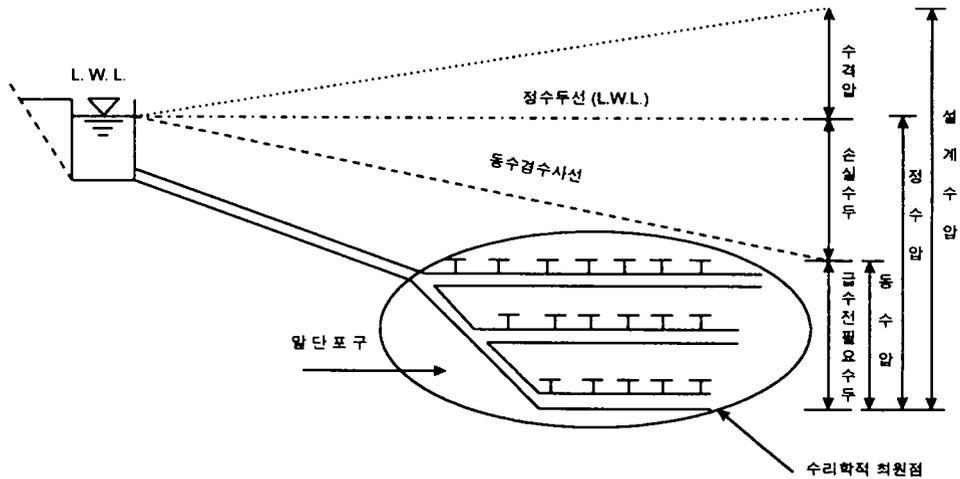
관로는 관수로 시스템에 있어서 가장 기초적이고 중요한 요소로서, 용수를 공급하기 위한 이동 통로를 제공한다. 경제적인 관로의 구성이란 관경의 크기를 최소화하여 관로의 공사비를 적게하는 것을 말한다. 관수로의 관경은 급수를 위한 각 분수전의 필요수두를 결정하고, 수리조건을 고려하여 결정하게 되는 데, 이 때 최적화기법 등의 적용이 많이 시도되고 있다.

본 장에서는 수원공에서부터 포장 말단까지 용수공급이 충분히 이루어지도록 수두를 배분하고, 이를 위한 최적 관경을 결정하는 프로그램을 구성하도록 한다. 또한, 기존의 설계지구에 적용하여 개발된 프로그램의 현장 적용성을 평가하고, 기술자들이 쉽게 이용할 수 있도록 전·후처리 프로그램을 개발하도록 한다.

제2절 관경의 결정방법

1. 수두배분

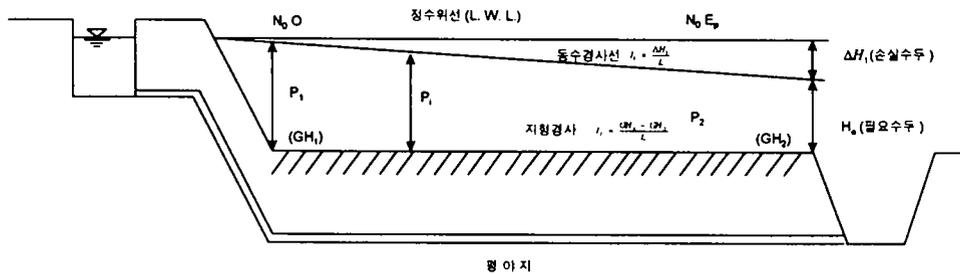
관수로에 있어서 수두배분이란 설계유량을 경제적으로 송배수하기 위하여 각 필지에서 필요로 하는 수두를 확보하는 것을 말한다. 관수로 조직의 수리설계에서 사용되는 수두는 (그림 4-1)과 같이 정의 방법에 따라 다양하게 분류할 수 있다. 관수로의 설계시에는 급수전의 필요수두를 고려하여 관경을 결정하며, 수두 결정시 가장 먼위치나 관로상의 최저 표고점인 수리적 최원점에 대한 수리 검토를 실시하여야 한다.



(그림 4-1) 관수로 조직의 수두 구분

관수로는 배관방식에 따라 가지형 (수지식)과 그물형 (관망)으로 구분하는 데, 가지형 수로는 간·지선과 지거가 순차적으로 분기하여 물의 흐름이 상류에서 말단까지 일정방향의 흐름을 가지는 방식으로 그물형 방식에 비해 대체로 노선의 길이는 짧고 관경은 크게 된다. 가지형 관수로는 용수 배분이 유입부의 유입수두에 따라 결정되며, 농업용 관수로의 경우에는 상대적으로 수압이 적은 저압관수로로 설계되기 때문에 지형적인 조건에 따라 용수 이용의 불균형 문제 등이 발생하기도 한다.

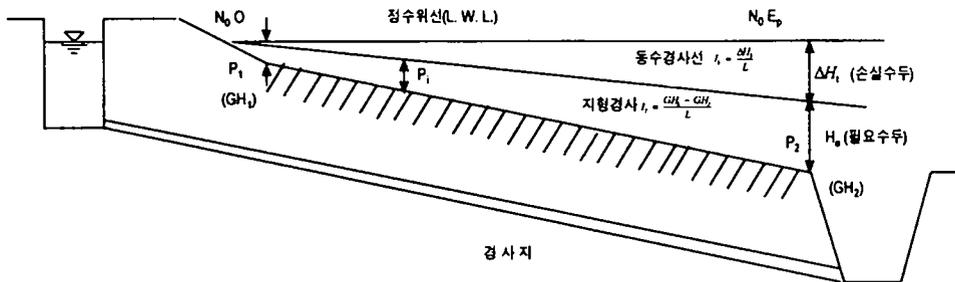
지형 조건에 따른 가지형 관수로의 수두 배분을 살펴보면, 평탄지의 경우에는 (그림 4-2)와 같이 계획 동수경사가 지형 경사보다 크면 관수로 상류구간에 큰 동수압



(그림 4-2) 평탄지의 수두 배분

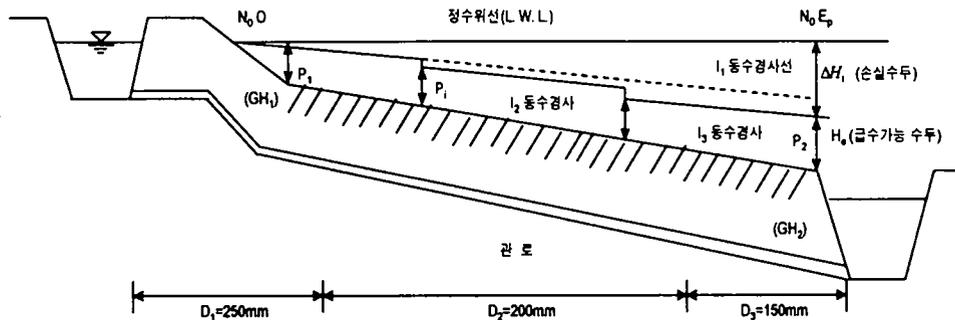
이 발생하여 관수로 시점부에서 많은 유량이 관개되고, 하류구간으로 갈수록 유량이 줄어들게 된다.

그러나, (그림 4-3)과 같이 지형경사가 커서 계획 동수경사가 지형경사보다 작아지면 관수로 말단에 큰 동수압이 발생하여 관수로 하류구간에 오히려 많은 유량이 유출되고, 상대적으로 상류에는 용수가 적어 용수 부족현상을 초래하게 된다.



(그림 4-3) 경사지의 수두 배분

지형에 따라 상하류 구간에 대하여 일정한 동수두를 유지하기 위해서는 관경을 조절하는 방법이 있다. (그림 4-4)와 같이 지형 경사에 따라 구간별로 서로 다른 관경을 배치할 경우, 동수두 경사를 조절하게 되어 상하류 구간에 대하여 균등 급수를 실현할 수 있게 된다.



(그림 4-4) 관경의 조정에 의한 수두 배분

2. 관종의 선정

관수로에 사용되는 주관 및 급수관은 1) 토압이나 기타 외압과 수압 등에 충분히 견딜 수 있어야 하고, 2) 시공이 편리하고, 3) 통수능력이 커야 하며, 4) 물관리가 용이하고 용수의 이용효과가 높아야 한다. 국내에서 생산되는 관은 크게 수도용 고압력관과 저압력관, 오·폐수 처리용 관 등으로 구별되며, 실제로 농업용수의 목적으로 제작되는 관은 없는 실정이다. 따라서, 관경의 크기나 관의 매설장소, 상재하중의 종류 등을 고려하여 적절한 관종을 선정하여야 한다.

지금까지 농업용 관수로 지구에 적용된 관의 종류는 <표 4-1>과 같다.

<표 4-1> 사업지구별 관종의 현황

년도	지구명	관 종	접합방법	관 경(mm)	비 고
89	원 부	고강도폴리에틸렌관 (D. C 일반관)	소켓식	∅ 200-∅ 250	농조연사업지구
90	송 선	P. E 일반관	소켓식	∅ 200-∅ 250	"
91	용 풍	복합철판매입파형관 (P. C. F 관)	용융용착식	∅ 250	"
92	구 천	복합철판매입파형관 (P. C. F 관)	용융용착식	∅ 250	"
93	모 흥	P. E 압력관	맞이음용착	∅ 150	"
93	왕 암	복합철판매입파형관 (P. C. F 관)	용융용착식	∅ 250	경지정리 사업지구
94	학 림	P. E 압력관	용융용착식	∅ 200-∅ 350	"
96	덕 곡	P. E 압력관	버터용착식	∅ 200-∅ 350	"
96	해 남	P. E 압력관, 강관		∅ 350-∅ 1100	간척사업지구
96	고 흥	P.E 압력관, 도복장강관		∅ 531-∅ 1300	간척사업지구

3. 관경의 결정

관경의 결정이란 관수로의 동수경사선을 고려하여 경제적인 관로 단면을 설계하는 것으로, 각 급수전의 필요수두를 만족하면서 경제적인 동수경사를 가지도록 하는 것이다.

관경을 결정하는 조건은 설계유량, 허용유속, 계획동수경사 등이며, 설계유량은 계획 용수량의 산정에 의해 산출된 값을 기준하고, 계획동수경사는 관로 말단의 토출수위나 급수전의 수위에 말단 여유수두를 고려하여 산정한다. 허용유속은 관경이나 관의 종류에 따라 결정되는 것으로 계산된 설계 유속을 검토하기 위하여 사용한다. 농지개량조합연합회 시험연구소의 '관수로 설계 및 시공요령 (1995)'에 의한 관의 종류에 따른 허용 최대유속은 <표 4-2>와 같다.

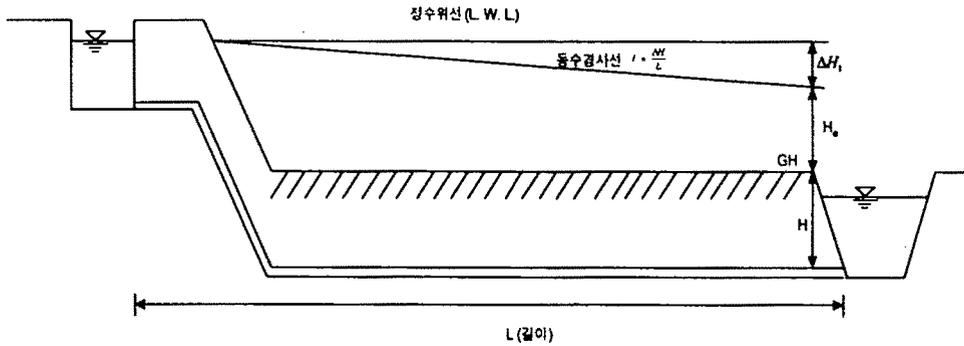
(그림 4-5)는 관경을 결정하기 위하여 주어진 수리 조건에 대하여 동수경사를 결정하는 방법은 보여주고 있다.

주어진 유효낙차를 이용하여 경제적인 관경의 조합을 결정하는 방법으로는 코스트포텐셜법과 선형계획법이 이용되고 있다. 코스트포텐셜법은 가장 경제적인 관경의 조합을 결정하는 데 있어서 주어진 유량으로부터 코스트포텐셜을 계산하여 이로부터 이론 관경을 구하는 방법이다. 선형계획법은 관로 구간에 대하여 2종의 관경을 선정 한 후, 최적의 관경 조합을 결정하는 방법이다.

따라서, 우선 코스트포텐셜법을 이용하여 최적경사 배분과 그에 의한 이론 관경

<표 4-2> 허용 최대유속

관 종	허용 최대 유속 (m/s)
콘크리트 관	3.0
강 관	6.0
주철관 및 덕타일 관	6.0
경질염화비닐관, 폴리에틸렌관	6.0
강화 플라스틱 복합관	6.0



(그림 4-5) 계획 동수경사의 산정

을 구하고, 그 결과 얻어지는 최적 동수경사로부터 최적의 규격관경을 선정하면 가장 경제적인 관수로 시스템을 구성할 수 있다.

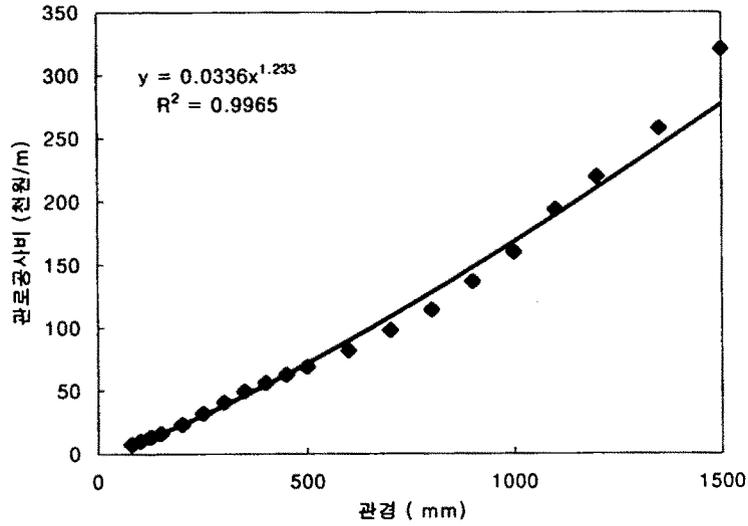
제3절 최적관경 결정 프로그램의 개발

1. 코스트포텐셜법

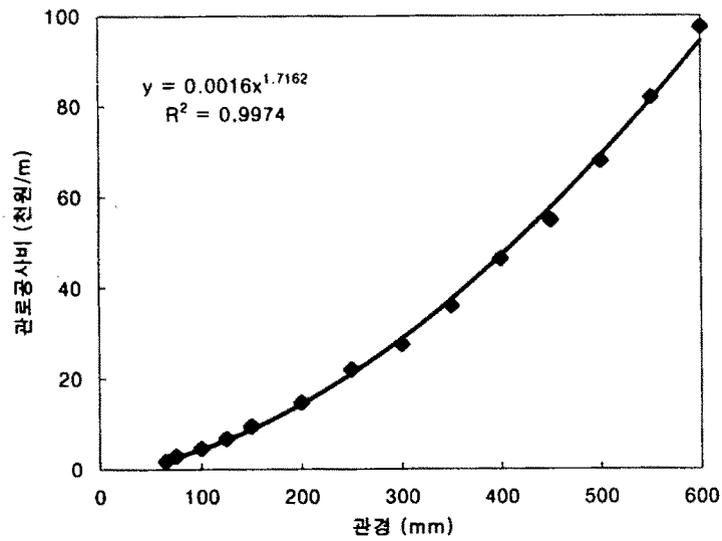
주어진 낙차를 유효하게 경제적인 관경의 조합을 구하는 것은 관수로 시스템의 설계 중에서도 매우 중요한 사항이다. 코스트포텐셜법은 경제적인 관경의 조합을 결정하는 최적 경사 배분방법으로, 전체 유효낙차에 대하여 구간 유량조건을 만족하는 가장 경제적인 이론 관경을 결정하는 것이다.

가. 비용 함수

최적 관경의 결정이란 관로 공사비를 최소화하는 관경의 조합을 구하는 것이다. 이를 위하여 관경과 단위길이당 관로 공사비와의 관계를 나타내는 비용함수를 관의 종류와 관경에 따라 결정하여 이용한다. 관로 공사비는 관 자재비, 토공비, 매설비, 운반비 등으로 구성되며, 본 연구에서는 관의 자재비를 이용하여 비용함수를 결정하였다. (그림 4-6)은 도복장강관과 폴리에틸렌관에 대한 비용함수를 보여주고 있다.



(그림 4-6(a)) 도복장강관의 비용함수



(그림 4-6(b)) 폴리에틸렌관 비용함수

일반적으로 비용함수는 (그림 4-6)과 같이 지수함수를 이용하여 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$C = a D^b \quad (4-1)$$

여기서, C = 단위길이당 관로공사비, D = 관경이며, a, b = 관의 종류에 따라 결정되는 계수이다.

따라서, 임의의 구간 L에 대한 관로 공사비는 비용함수를 이용하여 다음 식(4-2)와 같이 구하여 진다.

$$Y = C \cdot L \quad (4-2)$$

여기서, Y = 관경 D의 구간 관로 공사비를 의미한다.

나. 이론 관경의 선정

코스트포텐셜법을 이용하여 이론 관경을 결정하기 위하여는 유효낙차를 관수로의 각 구간에 최적분배하고, 아래의 식과 같이 비용을 최소화하도록 한다.

$$Y = \sum_{i=1}^n Y_i = \sum_{i=1}^n C_i L_i \quad (4-3)$$

$$H_o = \sum_{i=1}^n h_i \quad (4-4)$$

여기서, Y_i 는 각 구간의 수두차, h_i 를 만족하는 관경의 비용을 나타내며, H_o 는 총 유효낙차(수두)이다.

윗 식은 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{Y_1}{h_1} &= \frac{Y_2}{h_2} = \dots = \frac{Y_n}{h_n} \\ &= \frac{Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n}{h_1 + h_2 + \dots + h_n} \end{aligned} \quad (4-5)$$

이 때, 코스트포텐셜 ϕ 를 이용하여, $Y_i/h_i = \phi_i$, $\sum Y_i/h_i = \phi$ 로 나타낼 수 있으며, 비용을 최소화하기 위해서는 아래의 관계를 만족시켜야 한다.

$$\phi_1 = \phi_2 = \dots = \phi_n = \phi \quad (4-6)$$

이론 관경을 구하기 위하여, 초기치로서 등동수경사를 주고, 포텐셜코스트를 구한다.

$$\phi_0 = \frac{Y_1^0 + Y_2^0 + \dots + Y_n^0}{h_1^0 + h_2^0 + \dots + h_n^0} \quad (4-7)$$

다음에는 각 구간에 배분되는 수두의 제1차근사해를 $h_i^1 = Y_i^0 / \phi^0$ 로 하고, 이 h_i^1 을 이용하여 포텐셜코스트 ϕ^1 을 계산한다. 같은 방법으로 제2차, 제3차의 포텐셜코스트의 근사해를 반복 계산하여 수렴조건을 만족하면, 이로부터 최적의 h_i 를 구한다. 최종적으로 최적의 h_i 를 만족하는 이론 관경을 Hazen-Williams 공식 등을 이용하여 구하게 된다.

코스트포텐셜법을 계산 흐름도는 (그림 4-7)과 같다.

2. 최소비용법

코스트포텐셜법으로 구한 각 구간의 이론 관경으로 부터 규격 관경을 결정한 다. 이를 위하여 구해진 이론 관경으로 부터 근사한 상위 2개의 규격 관경을 선정하고, 최적화기법을 적용하여 최소 비용의 경제적인 관경 조합을 결정한다.

최적화 기법을 적용하여 최소 비용의 관경 결정을 위한 목적함수와 제약조건은 각각 다음과 같다.

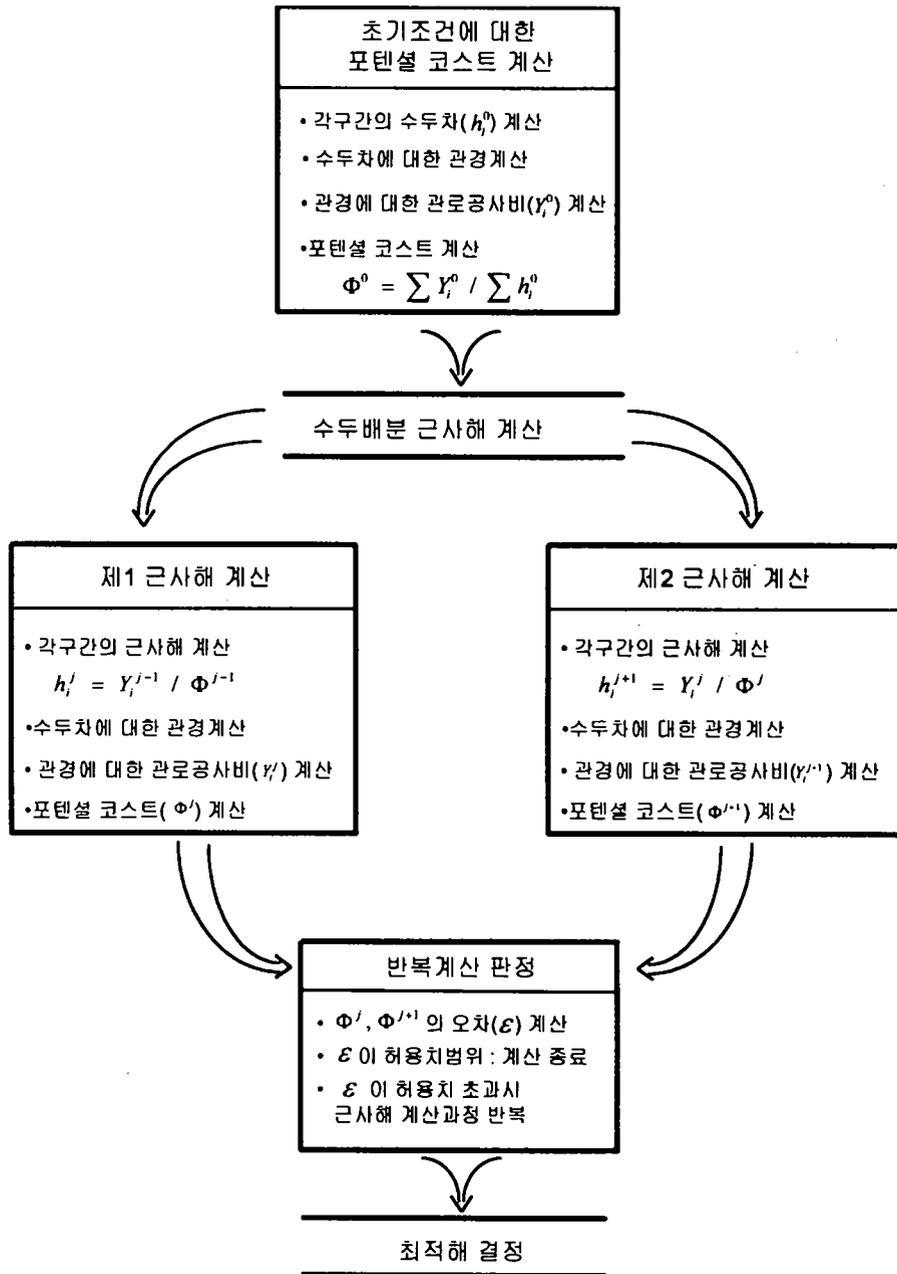
$$\text{Min } Z = \sum C_{i,j} X_{i,j} \quad i=1,2,\dots,n, \quad j=1,1 \quad (4-8)$$

$$X_{i,1} + X_{i,2} = L_i \quad i=1,2,\dots,n \quad (4-9)$$

$$h_i \geq GH_i \quad i=1,2,\dots,n \quad (4-10)$$

여기서, i = 각 관로 구간, j = 서로 다른 규격 관경(2종)이 적용되는 세부구간, L = 각 구간의 길이이며, h = 각 분수점의 수두, GH = 각 분수점의 지반고를 나타낸다.

식 (4-8)에서와 같이 목적함수는 관로구간의 공사비를 최소화하도록 구성하였으며, 제약조건은 관로길이와 수두에 대한 것으로 구분하였다. 식 (4-9), 식 (4-10)과 같이 어떤 관로 구간에 있어서 서로 다른 관경을 적용하는 관로의 길이는 전체 관로구간의 길이와 같아야 하며, 각 분수점의 수두는 지반고보다 반드시 높아야 한다.



(그림 4-7) 코스트포텐셜법의 계산 흐름도

이상의 문제는 선형계획법을 적용하여 계산할 수 있다. 목적함수와 제약조건이 모두 선형으로 구성되어 있기 때문에 선형계획법의 일종인 단체법(simplex method)을 이용하여 공사비를 최소화하도록 각 구간의 규격 관경을 결정하게 된다.

3. 자료입력 전처리 프로그램

개발된 프로그램은 일반적으로 사용이 어렵고, 입력자료가 복잡하기 때문에 실무에 적용하기에는 많은 어려움이 따른다. 최적관경 결정 프로그램은 자료 입력을 손쉽게 하고, 자료 입력에 따른 오류를 줄이기 위하여 자료입력화면을 개발하였다. 자료입력화면은 (그림 4-8)과 같이 입력자료의 작성을 위하여 한글 메뉴방식의 전처리 프로그램이다.

구간	종류	수량
1	1	2,292
2	1	1,117
3	1	8,292
4	5	8,71
5	14	8,63
6	7	8,62
7	3	8,3
8	7	8,497
9	10	8,109
10	11	8,11
11	12	8,10
12	13	8,10
13	14	8,10
14	14	8,10

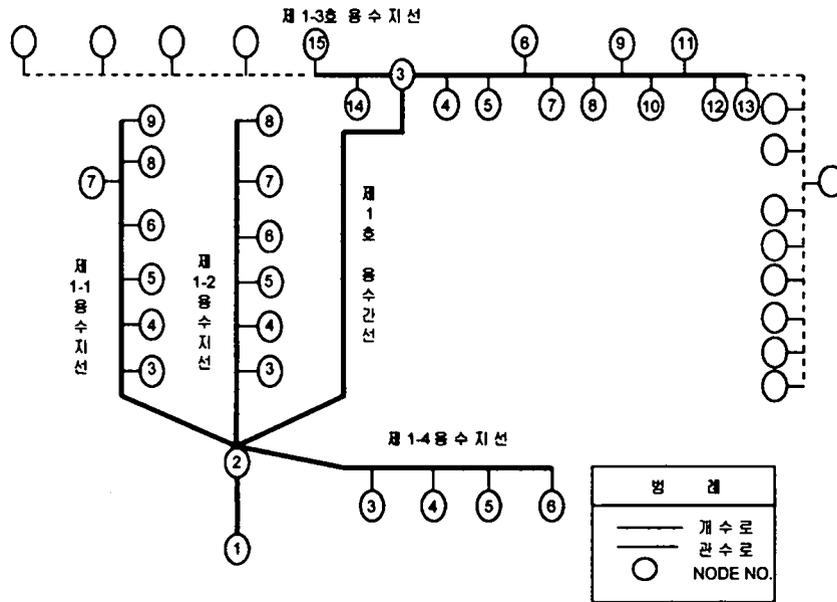
(그림 4-8) 자료입력 전처리 프로그램

제4절 프로그램의 적용

1. 모델 관수로의 선정

최적관경 결정 프로그램의 현장 적용성을 평가하기 위하여 시험지구를 선정하

였다. 선정된 모델 관수로는 고흥 관수로 사업지구로서 관로망 배치는 (그림 4-9)와 같다.



(그림 4-9) 고흥지구 관로망 배치

2. 프로그램의 적용 결과

관종별 비용함수와 수리조건으로부터 구한 최적 관경은 <표 4-3>과 같다. 관종은 P. E 일반관과 도복장강관의 2종을 선정하였으며, $\phi 600\text{mm}$ 이하는 P. E 일반관을 사용하고, $\phi 600\text{mm}$ 이상은 도복장강관을 사용하도록 하였다. <표 4-3>에는 코스트포텐셜법과 최소비용법에 의한 관경과 사업 계획시에 설계한 관경을 함께 나타내고 있다.

계획관경과 최소비용법에 의해 구해진 최적 관경을 비교하면, 관로의 상류구간과 하류의 몇 개 구간에서 서로 상이한 결과를 보이고 있으나, 전체적으로 일치하고 있다. 관로의 관 자재비를 비교하면, 최소비용법에 의하여 최적 관경을 선정하였을

경우 약 13%의 비용절감 효과를 얻을 수 있었다. 그러나, 관경의 결정에는 부대시설이나 공사의 여건 등을 모두 고려하여야 하므로, 계산된 관경을 적용함에 있어서 세심한 주의를 하여야 한다.

<표 4-3> 최적 관경 결정

구간	계획유량 (m ³ /sec)	관로길이 (m)	최 적 관 경 (mm)		
			계획 관경	코스트포텐셜법	최소비용법
1	2.292	50.0	1300.0	987.3	1000.0
2	1.417	2716.0	1100.0	862.5	1000.0
3	0.792	323.0	800.0	732.4	800.0
4	0.710	251.2	800.0	710.2	800.0
		66.8	800.0	710.2	700.0
5	0.630	143.0	700.0	686.7	700.0
6	0.620	184.0	700.0	683.6	700.0
7	0.550	345.0	700.0	661.0	700.0
8	0.493	198.0	700.0	641.0	700.0
9	0.489	169.0	531.0	639.5	700.0
10	0.442	155.0	531.0	621.6	600.0
11	0.398	166.0	531.0	603.6	600.0
12	0.348	356.0	531.0	581.2	500.0
13	0.625	9.0	700.0	685.2	600.0
14	0.530	129.0	700.0	654.2	600.0
관로 설치비			776,559천원	761,119천원	676,351천원

제5절 요약 및 결론

이상에서 경제적인 관경의 결정을 위한 프로그램을 구성하고, 적용성을 평가하였다.

최종 년도의 연구 결과를 정리하면 다음과 같다.

① 경제적인 관경의 선정을 위한 수두배분에 대해서 살펴보고, 가지형 관수로에 있어서 평탄지와 경사지의 수두배분을 고찰하고, 현장 애로문제를 도출하였다.

② 기존의 관수로 사업지구에 사용된 관종을 살펴보고, 관종의 선정기준을 제시하였다.

③ 코스트포텐셜법으로 부터 이론 관경을 결정하고 선형계획법을 이용하여 최적 규격 관경을 결정하는 프로그램을 구성하였으며, 관 자재비를 고려하여 비용 함수를 결정하였다.

④ 개발된 프로그램을 현장에 쉽게 활용하게 하고, 자료입력의 오류를 줄이며 자료입력 전처리 프로그램을 개발하였다.

⑤ 최적 관경 결정 프로그램의 적용성을 평가하기 위하여 고흥 관수로 지구에 적용한 결과, 계획 관경과 유사한 결과를 보였으나 전체 공사비에 있어서는 약 13%의 비용 절감효과를 기대할 수 있었다.

제5장 혼합용수조직의 최적설계 프로그램 개발

제1절 서론

농업용수로써는 과거에는 개수로로 이루어졌으나 최근에 이르러 콘크리트 라이닝수로 및 관수로의 시공이 늘어나고 있다. 관수로는 개수로에 비하여 수로손실이 적고 사용자 위주의 물관리가 가능하며, 주변의 오염물질 유입으로 인한 수질오염을 방지할 수 있기 때문에 앞으로 용수조직으로 많이 이용될 것이다. 또한, 효율적인 물관리를 위해서는 구조화된 용수조직체계가 필요하므로 기존의 노후화된 용수조직과 시설물은 개보수를 필요로 하며, 이에 따라 경제적인 용수조직의 설계가 중요한 문제로 대두될 것이다.

용수조직은 전체의 수로조직을 동일한 수로형태로 구성하거나 서로 다른 수로 형태를 조합하여 구성한다. 예를 들어, 수원공으로부터 용수간선은 개수로 형태로 구성하고 용수지거는 관로화하거나, 혹은 양수장으로 부터 관수를 통하여 지선까지 송배수하고 지선은 개수로로 구성하기도 한다. 이러한 용수조직의 구성에 있어서는 사전에 여러 가지 대안에 대한 적절한 평가가 이루어져야 한다.

용수조직의 선정은 수리적인 조건, 지형조건, 관련 기술수준, 기존의 수로 형태 등을 고려하여 결정하지만 실제적으로 경제적인 요소인 공사비가 중요한 부분을 차지한다. 따라서, 용수조직별 수리점토를 통하여 경제적인 최소비용의 용수조직을 설계하여야 한다.

본 장에서는 혼합용수조직의 최적설계를 위하여 용수조직별 수리조건을 정의하고, 프로그램을 구성하며, 현장 적용을 통하여 실무 적용 가능성을 평가하도록 하였다.

제2절 혼합용수조직 최적설계

1. 선형계획법

선형계획법(linear programming)은 목적함수나 제약조건이 모두 선형함수로 구성되어 있는 최적화 문제를 푸는 방법이다. 선형계획법의 최적해는 가능해(feasible

solution) 영역의 꼭지점에서 생기며, 항상 전체 최적해(global optimal solution)를 구하게 된다. 선형계획법 중에서 일반적으로 널리 이용되고 있는 단체법(simplex method)은 1948년에 G. B. Dantzig에 의해 개발된 반복법의 일종이다.

가. 단체법

최적화의 목적은 목적함수(objective function) f 를 최적화, 즉 최대화 또는 최소화하는 것이다. 대부분의 최적화 문제에서 목적 함수 f 는 제어 변수(control variable)라는 여러개의 변수, x_1, \dots, x_n 에 의존하게 되며, 제어변수는 문제와 변수의 특성에 따라 부가적인 제약을 받게 되는 데 이를 제약조건(constraints)이라 한다.

선형계획법의 일반적인 형태는 아래와 같이 목적함수와 제약조건으로 이루어진다.

$$\text{목적함수 : } \text{Max(or Min)} f = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (5-1)$$

$$\text{제약조건 : } \sum_{j=1}^n a_{ij} x_{ij} = b_i, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (5-2)$$

$$x_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (5-3)$$

여기서, c_j , a_{ij} , b_i 는 계수이며, x_j 는 결정변수이다. 위의 식을 이용하여 최적 설계에 적용하면, 목적함수는 관로의 설치비와 공사비 등을 최소화하는 것이고, 제약조건은 관로의 길이나 절점에서의 수두 등으로 구성할 수 있다.

나. 단체법의 해석방법

단체법의 해석방법은 제약조건에 의해 이루어지는 각 가능점(feasible point)과 이것에 근접한 가능점에서 목적함수값을 비교하여 순차적으로 최적값을 구하는 것이다. 일반적으로 변수가 많아지게 되면 표(simplex tableau)를 작성하여 변수값을 가능점에 따라 기본 변수(basic variable)과 비기본 변수(nonbasic variable)로 나누어서 목적함수값을 구하여 최적해를 구한다.

단체법의 해석과정을 정리하면 다음과 같다.

$$\text{목적함수 : } \text{Max(or Min)} x_0 = c^T x \quad (5-4)$$

$$\text{제약조건 : } \begin{matrix} (A, I)x = b \\ x \geq 0 \end{matrix} \quad (5-5)$$

여기서, I는 단위행렬, c는 목적함수 계수벡터이고, A는 제약조건식의 계수벡터이며 x는 변수이다.

목적함수식과 제약조건식을 다시 전개하면 다음과 같다.

$$\text{Max } x_0 = c_B^T x_B + c_N^T x_N \quad (5-6)$$

$$Bx_B + Nx_N = b \quad (5-7)$$

여기서, 첨자 B는 기본변수를 의미하고 첨자 N은 비기본 변수로서, 제약조건식의 기본 변수와 비기본 변수의 계수를 나타낸다. 계산 과정에서 비기본 변수는 0이므로 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\text{Max } x_0 = c_B^T x_B \quad (5-8)$$

$$Bx_B = b \quad (5-9)$$

위의 식으로부터 계산된 해가 최적해이며 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\begin{pmatrix} 1 & c_B^T B^{-1} A - c_I^T & c_B^T - c_{II}^T \\ 0 & B^{-1} A & B^{-1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_0 \\ x_I \\ x_{II} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_B^T B^{-1} b \\ B^{-1} b \end{pmatrix} \quad (5-10)$$

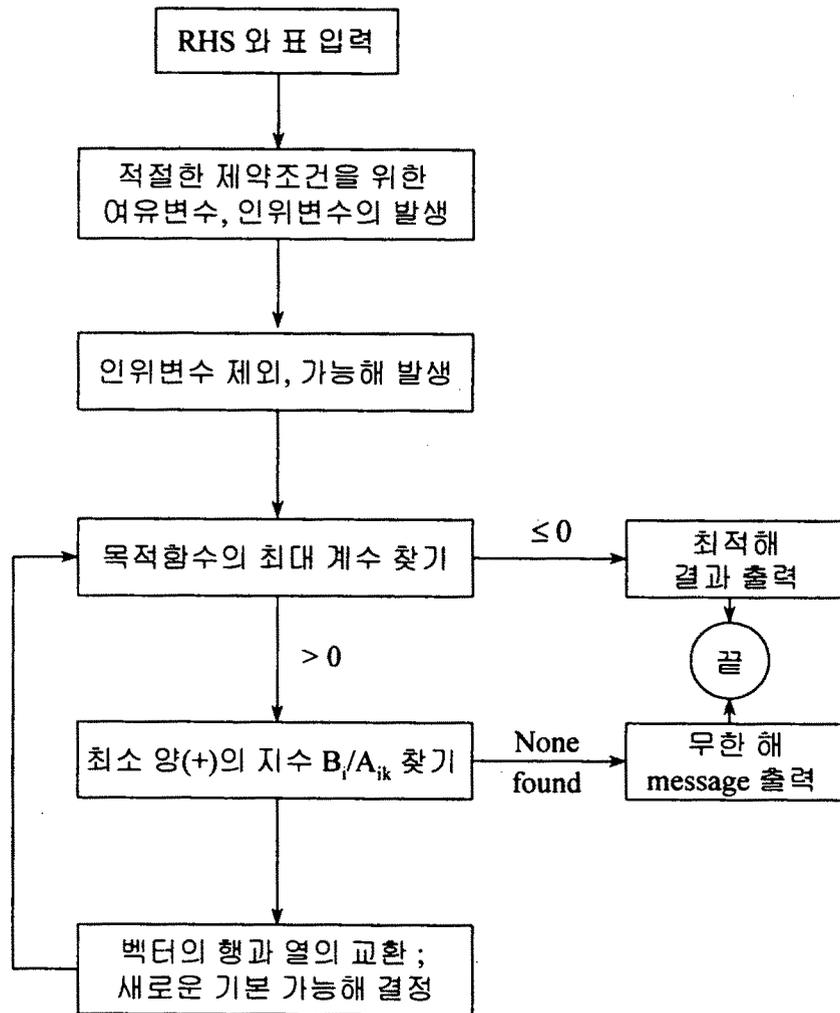
여기서, I 첨자는 초기연산을 위한 비기본 벡터이고, II는 초기연산에 이용되는 기본 벡터이다.

이상의 단체법의 해석과정을 정리하면 (그림 5-1)과 같다.

2. 관수로

가. 목적함수의 구성

용수조직의 최적설계를 위한 목적함수는 전체의 시설비를 최소화하는 것이다. 관수로 조직에 있어서 시설비는 관중에 따른 재료비와 설치비로 구성되므로, 관수로 조직의 목적함수를 정의하면 아래 식과 같다.



(그림 5-1) 단체법의 계산 흐름도

$$\text{Min cost} = \sum_{(i,j) \in I} \sum_{m \in M_{i,j}} C_{i,j,m} X_{i,j,m} \quad (5-11)$$

여기서, $C_{i,j,m}$ = 각 구간의 재료비와 설치비, $X_{i,j,m}$ = 어떤 관경을 가지는 관로의

길이를 나타낸다.

나. 제약조건

관수로 용수조직의 제약조건은 크게 관로길이에 대한 제약조건, 필요압력수두에 대한 제약조건 및 비음 조건(nonnegativity) 등으로 구성된다.

1) 관 길이에 대한 제약조건

관의 길이는 절점과 절점사이의 구간에 대하여 몇 개의 세부 관로구간으로 다시 구분하여 적용한다. 세부 관로구간이란 동일한 관경을 사용하는 관로를 의미하는 것으로, 나누어진 구간별로 관경이 결정되면, 동일한 관경을 가지는 관로의 길이를 모두 합하여 전체 관로구간의 길이와 같아지도록 한다.

$$\sum_{m \in M_{i,j,k}} X_{i,j,k} = L_{i,j,k} \quad (5-12)$$

여기서, $L_{i,j,k}$ 는 구간 (i, j) 사이의 전체 관로 길이를 나타낸다.

2) 압력수두 제약조건

관로를 통하여 관개용수를 공급하기 위해서는 각 용수 수요지점에서 일정 압력수두 이상을 유지시켜 주어야 하므로 다음과 같은 제약조건식을 만족시켜 주어야 한다.

$$DP \geq FG - \sum_{(i,j) \in I} \sum_{m \in M_{i,j}} HL_{i,j,m} X_{i,j,m} - DH \quad (5-13)$$

여기서, DP = 용수 수요지점의 필요수두, FG = 저수지나 양수장과 같이 수두가 일정한 지점에서의 고정수두, $HL_{i,j,m}$ = 구간(i, j)에서 사용가능한 관경별 관의 단위 길이당 손실수두, DH = 용수 수요지점의 표고를 의미한다.

3) 비음조건

결정변수인 어떤 관경을 갖는 관로의 길이는 양수이어야 함으로 다음의 비음조건을 만족하여야 한다.

$$X_{i,j,m} \geq 0 \quad (5-14)$$

다. 손실수두의 계산

입의구간에서 설치가능한 관경별 손실수두를 설계유량에 따라 미리 계산함으로써 비선형항을 제거할 수 있으므로, 설치가능한 관경별 길이를 결정변수로 하는 선형계획법 문제를 구성할 수 있다. 손실수두 계산식은 Darcy-Weisbach 공식이며 다음과 같다.

$$h_L = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (5-15)$$

$$f = 124.5 \frac{n^2}{D^3} \quad (5-16)$$

여기서, L = 관의 길이(m), D = 관경(m), V = 유속(m/sec), f = 마찰손실계수, n = manning의 조도계수이다.

3. 개수로

가. 목적함수의 구성

개수로의 최적설계를 위한 목적함수는 관수로의 경우와 같이 아래의 식으로 구성된다.

$$Min \text{ cost} = \sum_{(i,j) \in I} O_{i,j} X_{i,j} \quad (5-17)$$

여기서, $O_{i,j}$ = 각 구간의 재료비와 설치비이며, $X_{i,j}$ = 각 구간의 길이를 나타낸다.

나. 제약 조건

개수로 구간의 제약조건은 수로 말단부의 수면 표고, 연결지점의 수면 표고와 수로 단면의 높이로 구성된다.

1) 말단 수표면고

각 용수 수요지점에서 필요수량을 취수하기 위해서는 일정 수면고 이상을 유지

시켜 주어야 하므로, 다음과 같은 제약조건식을 만족시켜 주어야 한다.

$$WL(I) \geq RWL(I) \quad (5-18)$$

여기서, $WL(I)$ = 용수수요지점의 실제 수표면고(m), $RWL(I)$ = 용수수요지점의 필요 수표면고(m)를 의미한다.

2) 연결지점의 수표면고

각 용수구간에서 상하류의 연결 절점에서의 수위는 아래의 제약조건을 만족하여야 한다. 이를 위하여 상류의 수표면고는 하류의 수표면 보다 항상 높게 유지시켜야 한다..

$$UPWL(I) \geq DNWL(I) \quad (5-19)$$

여기서, $UPWL(I)$ = 상류의 수표면고(m), $DNWL(I)$ = 하류의 수표면고(m) 이다.

3) 수로의 높이

개수로 단면의 높이는 수로의 설계유량과 경사에 따른 등류수심에 여유고를 고려한 높이를 만족해야 한다.

$$CH(I) \geq ND(I) + F(I) \quad (5-20)$$

여기서, $CH(I)$ = 수로의 높이, $ND(I)$ = 설계유량, 경사에 따른 등류수심, $F(I)$ = 수로상의 여유고 ($1/3 \times$ 수로의 수심)를 나타낸다.

다. 등류수심 계산

임의 구간에 설치가능한 개거의 등류수심을 수로경사, 설계유량에 따라 미리 계산함으로써, 설계조건에 맞는 최적의 제원을 갖는 수로 단면을 구할 수 있다. 등류수심은 Manning 공식을 이용하며 아래의 식(5-21)로부터 계산할 수 있다.

$$Q = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S_0^{\frac{1}{2}} A \quad (5-21)$$

여기서, Q = 설계유량 (m^3/sec), R = 동수반경(m), S_0 = 수로경사, A = 수로 단면적이다. 조립식 개거 수로는 사각형 수로이고, 단면의 폭이 정해져 있으므로 식

(5-21)을 수심(H)으로 정리하면 식 (5-22)와 같다.

$$\frac{1}{n^3} S_0^{\frac{3}{2}} B^5 H^5 - 4Q^3 H^2 - 4Q^2 B H - Q^3 B^2 = 0 \quad (5-22)$$

식(5-22)를 Newton-Rapson 방법을 이용하여 풀면, 사각형 단면의 등류수심을 구할 수 있다.

4. 혼합수로

혼합수로란 개수로와 관수로가 부분적으로 연계 구성되어 있는 수로로서, 수로의 형태에 따라 다양하게 존재한다.

<표 5-1> 혼합수로조직의 형태

용수 간선	용수 지선	용수 지거
개수로	개수로	개수로
개수로	개수로	관수로
개수로	관수로	관수로
개수로	관수로	개수로
관수로	관수로	개수로
관수로	개수로	관수로
관수로	개수로	개수로
관수로	관수로	관수로

가. 관수로-개수로(유말부)

관수로에서 개수로로 취수하는 경우, 관수로 말단의 필요수두는 연결된 개수로의 설계유량에 좌우된다. 즉, 개수로로의 유입량은 관수로 말단의 압력수두와 개수로의 수심 차에 좌우되며 식(5-23)과 같다.

$$Q = C_0 \sqrt{2g(H_p - H_o)} A_p \quad (5-23)$$

여기서, Q는 설계유량, C₀는 유량계수, g는 중력가속도(9.8m/sec²), H_p는 관수로

말단수두(m), H_o 는 개수로의 수심(m), A_p 는 관수로의 단면적이다. 식 (1)를 관수로 말단의 필요수두로 나타내면 식(5-24)와 같다.

$$H_p = \frac{Q^2}{C^2 g A_p^2} + H_o \quad (5-24)$$

(2) 개수로-관수로(취입부)

개수로 부터 관수로로 취수할 경우, 상류측 개수로의 등류수심이 관수로의 유입수두가 되며, 관수로 말단에서 필요수두는 관로 말단이 개수로인 경우는 식(5-24)를 이용하며, 해당 관수로가 용수지거이거나, 연결수로가 관수로인 경우에는 식(5-25)와 같은 제한조건을 만족하는 최적관경을 구한다.

$$DP \geq ND + \Delta ELE - \sum_{(i,j) \in I} HL_{i,j} X_{i,j} \quad (5-25)$$

여기서, DP = 용수수요지점의 필요수두(m), ND = 개수로 수심(m), $HL_{i,j}$ = 구간 (i, j)에서 사용 가능한 관경별 관의 단위 길이당 손실수두(m), ΔELE = 표고차(m)이다.

5. 프로그램의 구성

혼합용수조직의 최적설계를 위한 프로그램의 구성은 (그림 5-2)와 같다. (그림 5-2)에서와 같이 관수로, 개수로 및 혼합수로에 대하여 수리 계산을 실시하고 공사비 자료로부터 용수조직 형태별 제원 및 총 공사비를 계산한다.

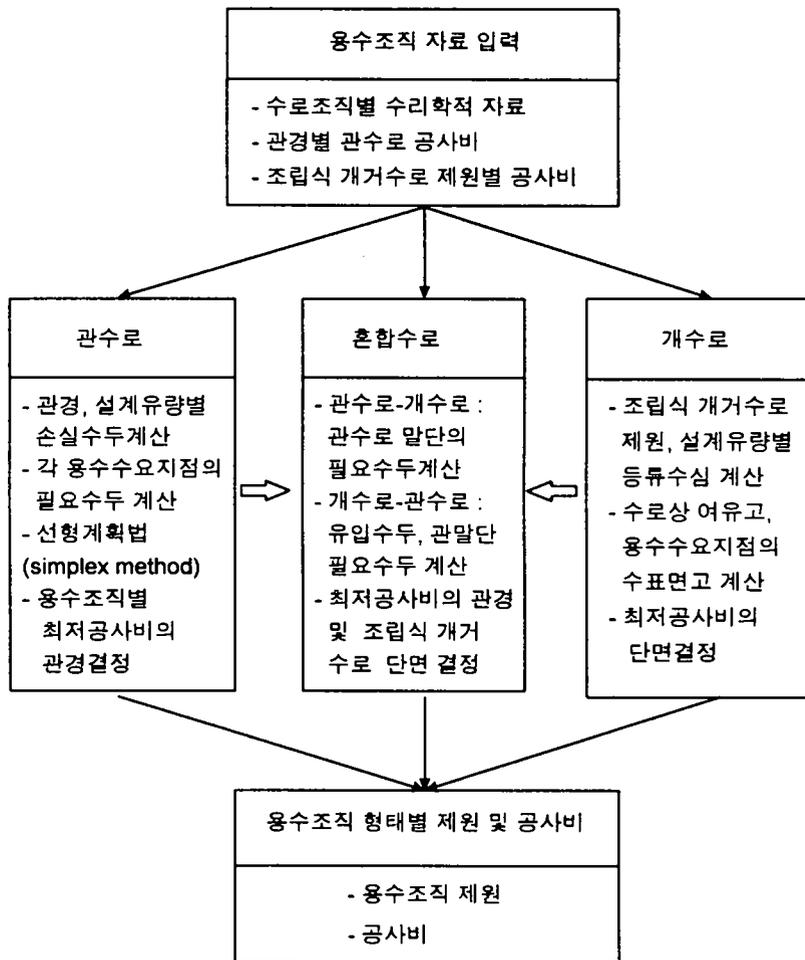
제3절 프로그램의 적용

1. 모델 용수조직의 구성

혼합용수조직 최적설계 프로그램의 현장 적용성을 분석하기 위하여 모델 용수조직을 구성하였다. 모델 용수조직은 <표 5-2>와 같이 용수간선과 3개의 용수지

선, 9개의 용수지거로 구성하였다. 용수간선의 통수량은 1.2 m³/s 이고, 수로 연장은 2,100 m로 하였다. 각각의 용수지선에는 3개씩 모두 9개의 용수지거가 설치되어, 각 필지로 용수를 공급하도록 하였다.

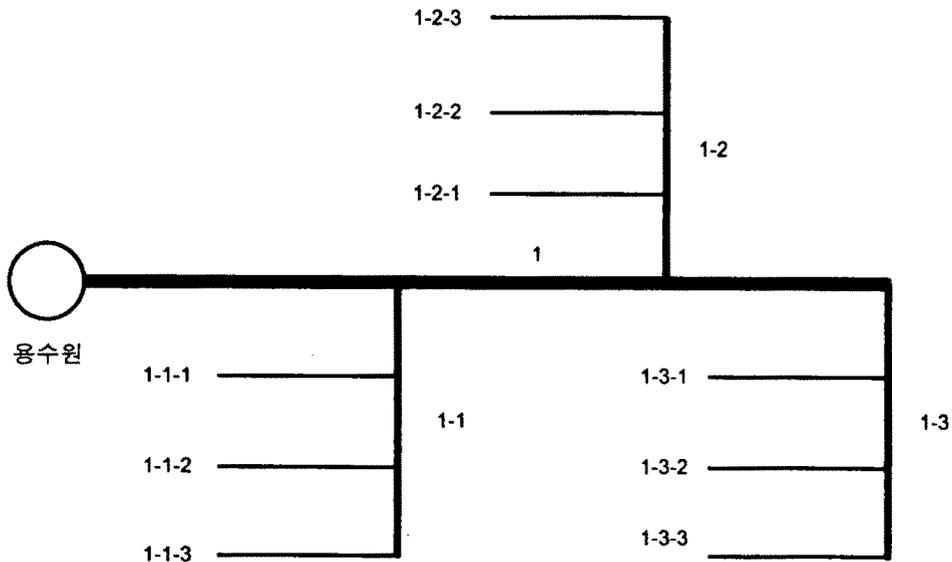
(그림 5-3)은 모델 용수조직의 모식도를 보여주고 있다.



(그림 5-2) 프로그램의 구성도

<표 5-2> 모델 용수조직의 구성

구분	용수조직			연장 (m)	통수량 (m ³ /sec)	말단 지점의 표고 (m)
	간선	지선	지거			
1	1			2,100	1.2	
2		1-1		400	0.3	
3			1-1-1	300	0.1	0.4
4			1-1-2	300	0.1	0.4
5			1-1-3	300	0.1	0.4
6		1-2		400	0.6	
7			1-2-1	300	0.2	0.6
8			1-2-2	300	0.2	0.6
9			1-2-3	300	0.2	0.6
10		1-3		500	0.3	
11			1-3-1	300	0.1	0.5
12			1-3-2	300	0.1	0.5
13			1-3-3	300	0.1	0.5



(그림 5-3) 모델 용수조직의 모식도

2. 공사비 자료

가. 관경별 공사비

관로의 공사비는 관의 재료비와 매몰비 등의 설치비 등으로 이루어진다. 본 연구에서는 관경별 공사비를 산정하기 위하여 관 재료비는 물가정보를 이용하여 구하였으며, 설치비는 농어촌진흥공사의 표준단가표와 덕곡지구 사업계획서를 참조하여 산정하였다. <표 5-3>은 상업용 P.E 일반관 및 강관의 단위길이당 공사비를 나타내고 있다. 단위길이당 관로의 공사비는 $\phi 300\text{mm}$ 의 P.E. 일반관의 경우, 재료비는 17,556원이며 설치비는 9,352원으로 전체의 공사비는 26,905원이다. 대체적으로 관경이 커짐에 따라 굴착 깊이가 커지므로 매몰비 등의 설치비가 증가하게 된다. 강관의 경우는 접합 등의 공사비가 많아져서 P.E 일반관에 비하여 공사비가 높게 산정된다.

<표 5-3> 상업용 P.E 일반관 및 강관의 공사비

관 종	관 경 (mm)	공 사 비 (원/m)		
		재료비	설치비	공사비
P.E 일반관	200	9,384	7,362	16,746
	250	13,235	8,475	21,710
	300	17,556	9,352	26,908
	350	27,282	10,634	37,916
	400	35,325	12,386	47,711
	450	41,729	13,674	55,403
	500	48,580	14,961	63,541
	550	55,449	16,230	71,679
	600	61,725	17,453	79,178
강 관	700	89,735	38,287	128,022
	800	113,655	48,758	162,413

나. 조립식 개거의 공사비

개수로 용수구간에 대한 최적설계를 위한 공사비의 산정 결과는 <표 5-4>와 같다. <표 5-4>는 조립식 개거의 공사비를 단면에 따라 구한 것으로, 재료비는 물가정보지를 이용하였으며 설치비는 농어촌진흥공사의 표준단가표를 이용하였다.

3. 프로그램의 적용 결과

선형계획법을 이용하여 모델 용수조직에 대하여 최적 설계를 실시하였다. 이를 위하여 <표 5-2>에서 주어진 각 구간별 수리조건을 만족하도록 용수조직을 구성하고, 공사비를 최소화하기 위한 관경 및 수로 단면의 조합을 결정하였다.

<표 5-5> 모델 용수조직의 관경 및 수로단면의 결정

용수구간		길이 (m)	용수로의 제원 (mm)			
용수간선	1	1,000	개 수 로	1,500×1,100	개 수 로	1,500×1,100
	2	700		1,300×1,000		1,300×1,000
	3	500		1,200×800		1,200×800
용수지선	1-1	200	개 수 로	1,000×600	관 수 로	350
	1-2	100		800×490		350
	1-3	100		600×380		350
	2-1	200		1,000×900		450
	2-2	100		1,000×800		450
	2-3	100		800×490		450
	3-1	300		1,000×600		350
	3-2	100		800×490		350
	3-3	100		600×380		350
용수지거	1-1-1	300	개 수 로	600×380	개 수 로	600×380
	1-2-1	300		600×380		600×380
	1-3-1	300		600×380		600×380
	2-1-1	300		800×490		800×490
	2-2-1	300		800×490		800×490
	2-3-1	300		800×490		800×490
	3-1-1	300		600×380		600×380
	3-2-1	300		600×380		600×380
	3-3-1	300		600×380		600×380

<표 5-4> 조립식 개거의 공사비

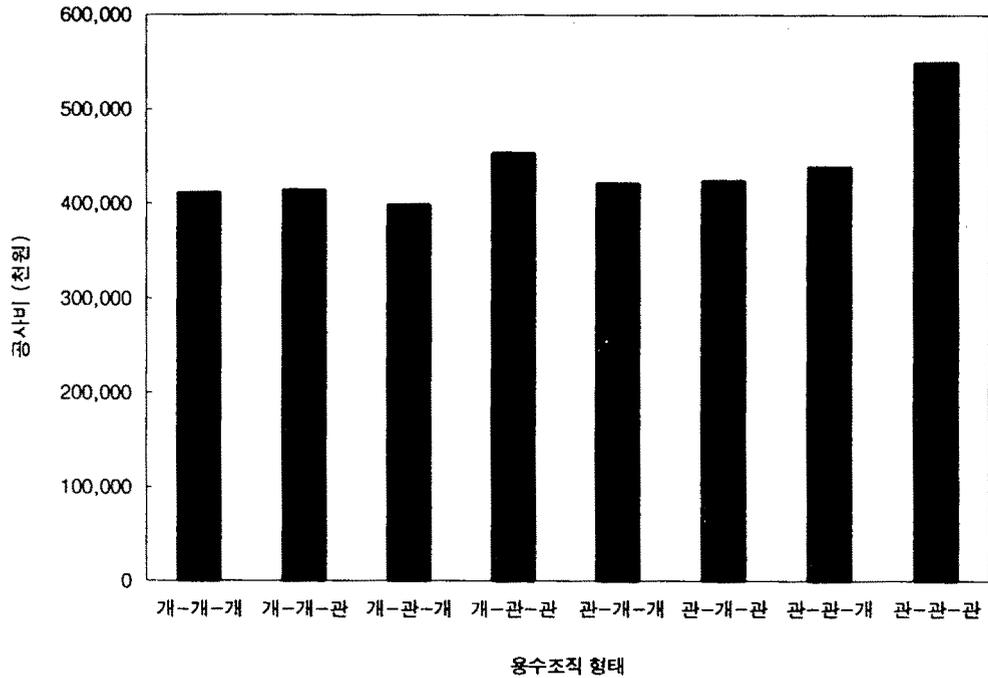
제 원 (mm)		공 사 비 (원/m)		
폭	높 이	재 료 비	설 치 비	공 사 비
200	150	5950	3254	9204
250	175	7000	3254	10254
300	200	8500	3254	11754
350	235	9350	3254	12604
400	260	11300	3254	14554
450	295	12500	3254	15754
500	320	15350	3254	18604
550	355	15800	4366	20166
600	380	18000	4366	22366
650	145	20000	4366	24366
700	440	24200	4366	28566
800	490	28400	5371	33771
900	550	36000	5371	41371
1000	600	41300	5371	46671
1000	800	87000	10689	97689
1000	900	92600	11807	104407
1000	1000	98400	11923	110323
1200	800	93250	11820	105070
1200	900	99000	11935	110935
1200	1000	104700	12049	116749
1200	1200	116150	13284	129434
1300	1000	107950	13120	121070
1300	1100	113650	13234	126884
1300	1200	119400	14354	133754
1300	1300	125150	14469	139619
1500	1000	114200	13245	127445
1500	1100	119950	14365	134315
1500	1200	125650	14480	140130
1500	1300	131400	15600	147000
1500	1400	137100	15714	152814

<표 5-2>의 수리 조건으로부터 제약 조건을 구성하고, 단체법을 이용하여 구간에 있어서 관경이나 개거 단면을 결정한 결과는 <표 5-5>와 같다. <표 5-5>는 용수간선, 지선 및 지거를 모두 조립식 개거로 설치하는 경우와 용수지선은 관수로로 설치할 경우에 대한 계산 결과이다. 용수조직의 모든 구간을 개거로 설계하는 경우, 수원공으로 제1호 용수지선의 분기점까지의 구간은 1,500×1,000mm의 수로 단면이 요구되며, 말단부인 제3호 용수지선의 3-3-1 구간은 600×380mm의 수로 단면이 필요하다는 것을 알 수 있다. 용수지선만을 관수로로 설치하는 경우에는 제1호, 3호 용수지선은 $\varnothing 350$ mm의 P.E. 일반관이 필요하며, 제2호 용수지선은 $\varnothing 450$ mm의 P.E. 일반관을 설치하여야 한다.

이상의 결과로 부터 모델 용수조직에 대하여 유지관리비 등의 부대비용을 제외한 설치 공사비만을 고려할 경우, 각 용수조직의 형태에 따른 총공사비는 <표 5-6>과 같다. <표 5-6>에서와 같이 최소 공사비는 용수간선과 용수지선을 개수로로 설치하고, 용수지선은 관수로로 구성할 경우이며, 이때의 공사비는 398,536 천원이며, 최대 공사비는 전체 구간을 관수로로 구성하는 것으로, 총공사비는 550,009 천원이었다.

<표 5-6> 용수조직 형태별 공사비

용수조직 형태			총공사비 (천원)
용수간선	용수지선	용수지거	
개수로	개수로	개수로	411,345
개수로	개수로	관수로	413,895
개수로	관수로	관수로	453,994
개수로	관수로	개수로	398,536
관수로	관수로	개수로	438,897
관수로	개수로	관수로	423,945
관수로	개수로	개수로	421,395
관수로	관수로	관수로	550,009



(그림 5-4) 용수조직별 공사비 비교

<표 5-6>의 용수조직 형태별 공사비를 비교하면 (그림 5-4)와 같다.

제4절 요약 및 결론

농업용수조직은 개수로, 관수로 혹은 개수로-관수로 혼합형 용수조직으로 구성되어 있다. 농업용수로의 설계관 수리조건을 만족하는 최소비용의 경제적인 용수조직을 구성하는 것으로, 각각의 수로 형태에 대하여 공사비를 산정하고, 이로부터 최적 설계를 위한 프로그램을 개발하였다. 또한, 모델 용수조직에 적용하여 프로그램의 현장 적용성을 평가하였다.

이상의 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

① 용수조직의 경제적인 설계를 위하여 수리조건과 공사비로부터 목적함수와 제약조건을 구성하고, 선형계획법을 이용하여 최적화 문제를 해석하였다.

② 관수로, 개수로 및 혼합수로의 수리특성을 정의하고, 각각에 대하여 목적

함수와 제약조건을 구성하였다.

③ 용수로의 최적 설계를 위한 프로그램을 개발하였으며, 모델 용수조직에 적용하여 용수조직 형태별 공사비를 계량화하였다.

제6장 저압 관수로 수리계산 프로그램의 개발 - 용수지거 관수로 수리해석 -

제1절 서 론

최근 일부 농지개량조합에 설치되고 있는 관수로화 사업은 대부분 기존 몽리구역의 일부 용수지거를 관로로 대체하는 것이다. 대부분의 용수지거는 토공수로로 설치되어, 관개기간 중 수초가 발생되어 수로를 덮고 있어 통수에 지장을 주고 있는 것이 현실이다. 또한, 수로내의 토사의 붕괴, 유실, 퇴적 등이 빈번하여 적기에 개보수를 시행하지 않으면 통수가 어렵고, 수로 단면의 유지가 곤란하게 된다. 따라서, 농지개량조합연합회에서 주관하여, 매년 일부 농조의 몽리지구의 용수지거를 관로화하고 있는 것이다.

용수지거에 설치된 관로는 개수로 형식의 용수지선에서 관로로 유입된 물을 필지로 송수하는 기능을 하며, 필지의 급수를 위하여 분기관을 설치하고 취수밸브를 설치하여 경작자들의 조작에 따라 밸브를 통해 필지로 물을 공급하게 된다. 이와 같이 개수로로부터 취수하여 중력에 의하여 관로로 물을 송수하는 까닭에 용수지거의 일부 구간에서는 개수로 흐름이 발생하기도 하며, 하류부에서는 위치수두에 의한 수압에 의하여 통수가 이루어진다.

그런데, 일부 관로화 사업지구의 경우, 관수로의 압력수두경사와 관로의 경사가 적절히 조화를 이루지 못한 까닭에 하류구간에서의 밸브 토출구의 수압이 상류보다 높은 상태가 발생되어, 상류에서는 취수가 어려운 상황이 발생하는 경우가 있다. 한편으로는 상류의 취수시는 하류에 급수가 이루어지지 않도록 설치되는 등 물관리와 관련한 문제가 야기되고 있는 것이 현실로써, 급기야는 일부 지역에서는 설치된 관로를 제거하고, 토공수로로 다시 전환하는 예도 발견되고 있는 것이다.

용수지거 관로화 사업을 원활하게 하고, 또한 이미 설치된 관로로부터 적절한 물관리를 위해서는 저압관수로의 수리계산이 가능하도록 범용 프로그램을 개발하고, 이를 이용하여 관로화 용수지거에서 발생하고 있는 현장애로를 극복하는 것이 필요

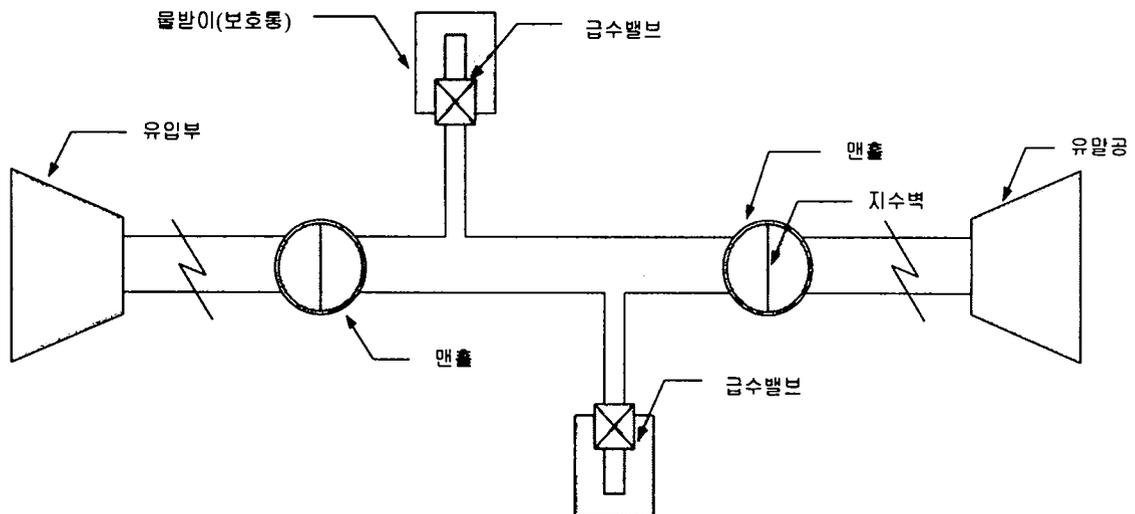
하다.

따라서, 본장에서는 저압관수로의 수리계산 프로그램을 구성하고, 그 응용을 검토하며, 대상지구의 관수로 수리현상에 적용하여 현장으로 문제를 해결하도록 하고 있다.

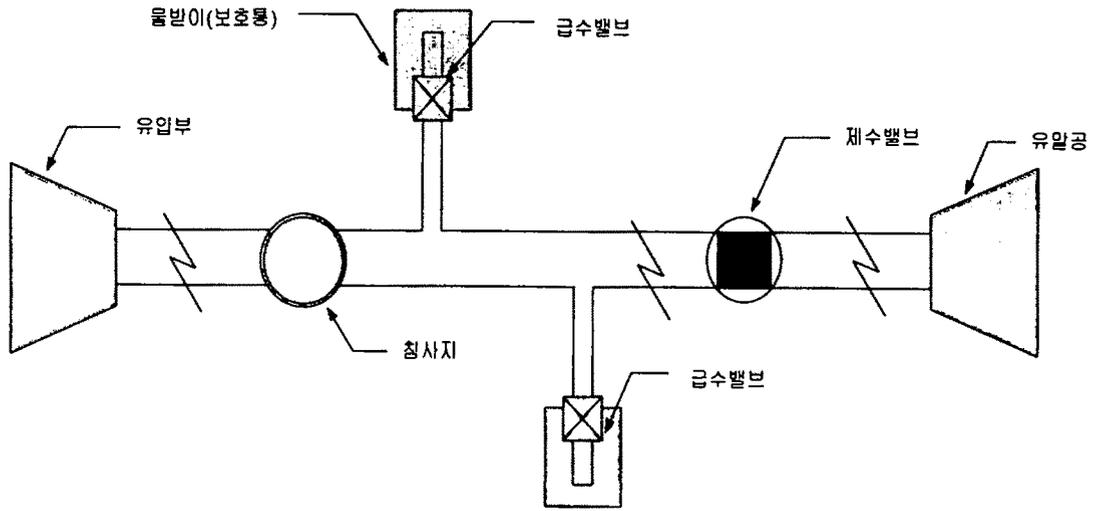
제2절 저압관수로의 수리적 특성

1. 용수지거 관로의 구성

용수지거 관로화 사업의 시행으로 일부 농지개량조합 관내 물리지구에 설치되고 있는 용수지거 관로는 지형적인 조건이나 관로의 형식에 따라 지구별로 차이를 보이고 있으나 일반적으로 (그림 6-1)과 같은 형상을 보여주고 있다. 개방식 관수로의 경우는 (그림 6-1(a))와 같이 유입부, 급수밸브, 유말공 및 수두 조절을 위하여 맨홀 등으로 구성되어 있다. 폐쇄식 관수로는 (그림 6-1(b))에서와 같이 유입부, 급수밸브, 유말공 외에 토사의 유입을 방지하는 침사지 및 유량 조절을 위한 제수밸브 등으로 구성되어 있다.



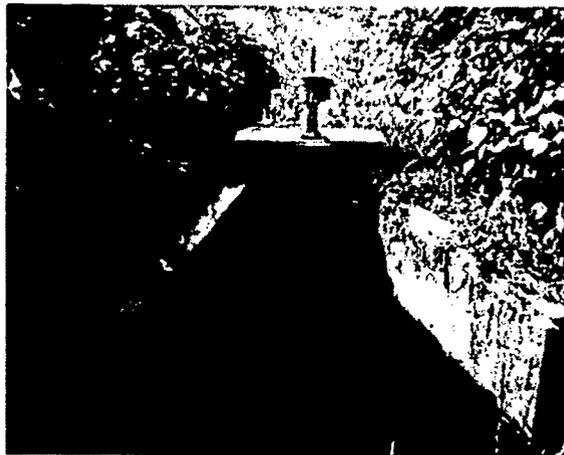
(그림 6-1(a)) 개방식 관수로의 구성



(그림 6-1(b)) 폐쇄식 관수로의 구성

가. 유입부

유입부는 용수지선 (토공 혹은 콘크리트 수로)의 유로 방향에 직각이 되도록 수로벽에 설치하며, 상하로 동작하는 수동식 제수문을 설치하여 취수를 조절하며, 관로내로 이물질의 유입을 방지하기 위하여 스크린 등을 설치한다(그림 6-2).

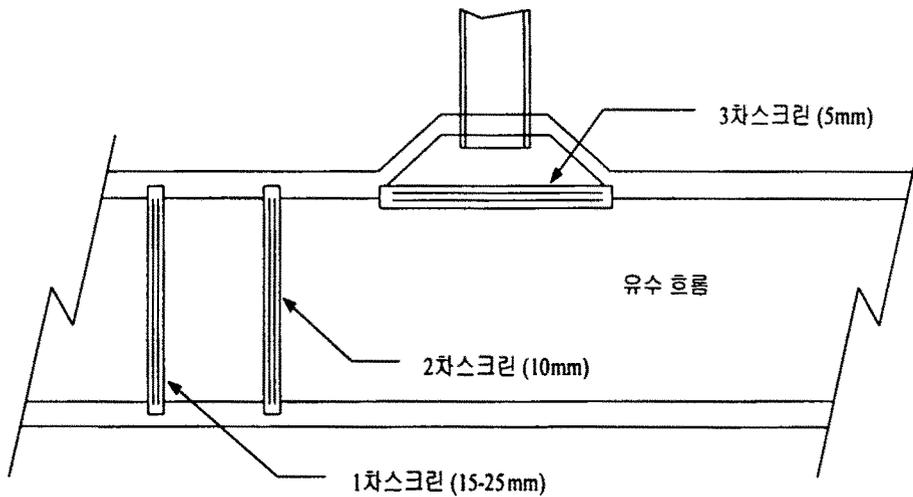


(그림 6-2) 유입부의 전경

스크린은 부착된 이물질에 의하여 스크린의 단면이 축소되어 제기능을 충분히 발휘하지 못하고 오히려 통수능력을 저하시킬 수 있으므로 주관 유입부에서 되도록 멀리 상류부에 2중, 3중으로 설치하는 것이 바람직하다. <표 6-1>은 스크린의 규격을 나타내고 있으며, 설치 위치 및 형상은 (그림 6-3)과 같다.

<표 6-1> 스크린의 규격

구 분	1차 스크린	2차 스크린	3차 스크린
망 목 간 격	급수밸브 관경의 1/3	10 mm 정도	5 mm 정도

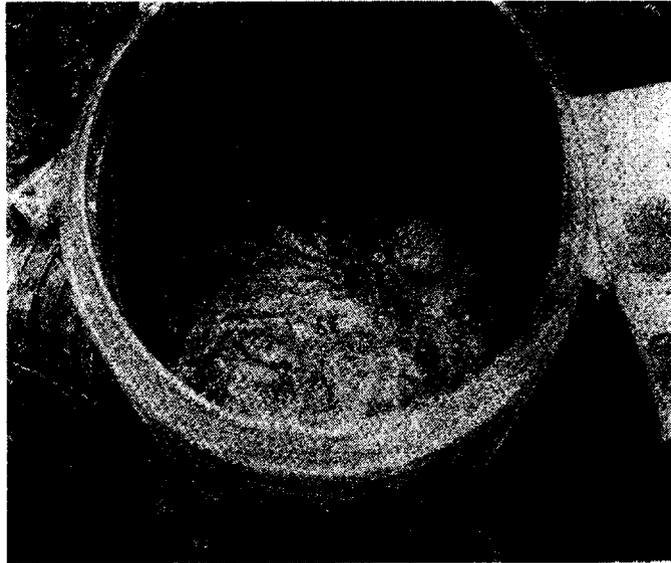


(그림 6-3) 스크린의 설치 위치

관로의 설계 유량은 보통 유입부의 수심에 따라 결정된다. 유입수로인 개수로의 수심과 관로내의 수두에 따라 설계 유량이 결정되며, 설계시에는 유입부의 수두손실이나 와류 등의 발생을 고려하여 계산된 수위에 여유수위를 고려하여 주어야 한다.

나. 침사지

폐쇄형 관수로의 경우에 주관 유입부에서 관경의 10배 정도의 거리에 침사지 기능을 갖도록 하는 맨홀을 설치한다. 침사지는 부유사 등의 침전물을 처리하거나 2차 스크린의 목적으로 설치하는 것으로, 원형이나 콘크리트 박스형으로 설계한다. 침사지의 단면은 (그림 6-4)와 같다.



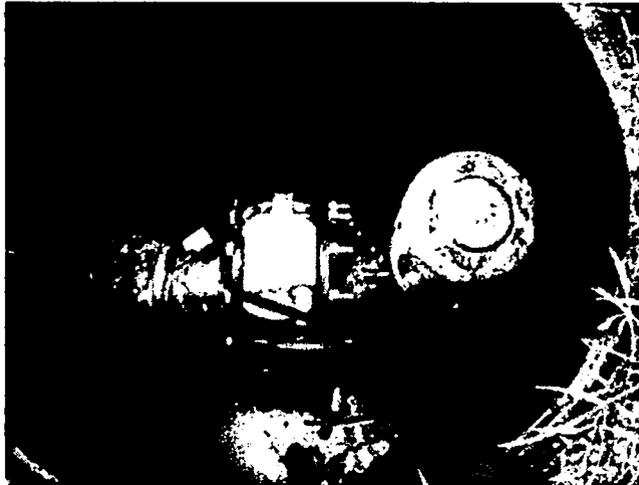
(그림 6-4) 침사지의 전경

다. 제수밸브

폐쇄형 관로의 경우 하류구간의 유량을 조절하거나 상류의 수두를 유지시켜 관개를 원활하게 하기 위하여 제수밸브를 설치한다. 제수밸브는 게이트형과 버터플라이형으로 구분할 수 있으며, 대구경의 경우 게이트형이 버터플라이형보다 조작이 용이한 것으로 보고되고 있다. 제수밸브는 맨홀 등을 설치하여 시설물을 보호하고 빗물 등이 유입되지 않도록 하여야 한다. (그림 6-5)는 관로 중간에 설치된 제수밸브의 보여주고 있다.

라. 급수밸브

분기관역 말단부분에는 (그림 6-6)과 같은 밸브를 설치하여, 경작자의 조작에 따라 개폐하여 취수한다. 일반적으로 농업용 관수로에 이용되는 급수밸브는 재료에 따라 주철제와 P.V.C 합성수지계로 분류되며, 기존에 설치된 급수밸브를 분류하면 <표 6-2>와 같이 분사 밸브, 슬루스 밸브, 나이프게이트 밸브, 버터플라이 밸브로 구분할 수 있다.



(그림 6-5) 제수밸브의 전경



(그림 6-6) 급수밸브의 전경

급수밸브는 설치시에 토출구의 위치가 경지의 담수심보다 낮게 설치되면 주관안에 부압이나 공동현상이 발생할 때, 경지내의 용수가 토출구를 통하여 주관안으로 역류하여 유입되는 현상이 발생한다. 따라서 이러한 현상을 방지하기 위하여 급수밸브의 토출구의 위치를 경지의 허용 담수심의 표고보다 높게 설치하여야 한다.

<표 6-2> 급수밸브의 분류

분 류	분사 밸브	슬루스 밸브	나이프 게이트 밸브	버터플라이 밸브	버터플라이 밸브
재 료	P. V. C	P. V. C	P. V. C	P. V. C	주철제
내구성	비교적 불량	양호	양호	양호	불량
경제성	비교적 고가	비교적 고가	비교적 고가	비교적 고가	매우 저렴
기능성	이물질부착으로 통수능력 감소, 고장의 원인으로 발생	밸브가 게이트형으로 밸브손실계수가 작아 통수 양호	밸브가 게이트형으로 밸브손실계수가 작아 통수 양호	밸브손실계수가 분사밸브보다 작고 게이트형보다 크다	밸브손실계수가 분사밸브보다 작고 게이트형보다 크다
제품의 일반성	단일업체의 제품으로 일반성 결여	단일업체의 제품으로 일반성 결여	단일업체의 제품으로 일반성 결여	단일업체의 제품으로 일반성 결여	공업용, 상수도용으로 일반화되어 있음
설치 지구	용평, 왕암, 구천, 오사, 덕곡	왕암, 오사	학림, 오사	구천	모흥, 송선

급수밸브 등의 급수 시설물을 보호하기 위하여 설치하는 급수 보호통은 보통 콘크리트 박스형이나 합성수지제로 구분하는 데, 시공의 조건이나 관리 등을 고려하여 설치하는 것이 좋다.

마. 유말공

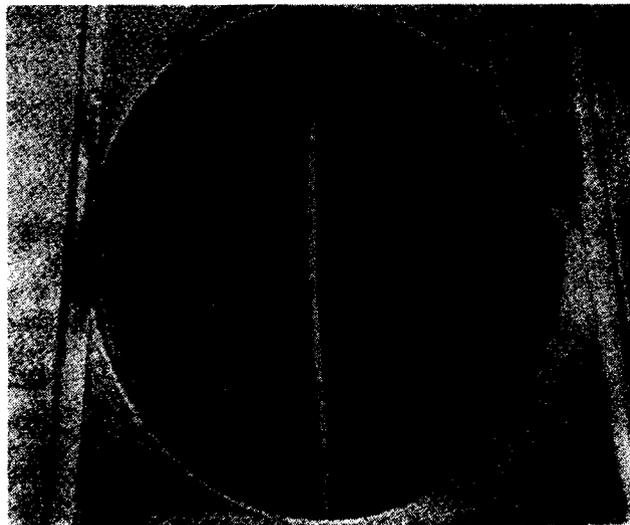
용수지거 관로의 말단부분에는 잉여수를 배제하기 위한 유말공을 설치한다 (그림 6-7). 유말공은 관개기간이 끝난 후, 관로내의 잔류수를 배제할 때 개방한다.



(그림 6-7) 유말공의 전경

바. 맨 홀

맨홀은 개방형 용수지거 관로의 경우, 중간 부분에 수압의 조절이나 관로의 유지 관리 등을 목적으로 설치하며, 폐쇄형 관로의 경우에는 제수밸브 등의 시설물을 보호하기 위하여 설치한다 (그림 6-8).



(그림 6-8) 맨홀의 전경

2. 관로의 수리적 특징

용수지거 관로는 유입부의 수위와 관내의 수위의 차이에 따라 개수로나 폐수로 흐름의 형태를 갖는다. 유입부에서 압력수를 주입하지 않는 까닭에 관경을 채운 흐름이 발생하지 않는 경우가 발생하는 것이다. 각각의 흐름 상태에 따른 수리적 관계는 다음과 같다.

가. 개수로 흐름 상태

관로내의 수심이 관경보다 작은 상태에서는 자유수면을 가지므로 개수로 흐름이 발생한다. 개수로 흐름은 Manning 식으로부터 다음과 같다.

$$Q = \frac{AR^{2/3}S^{1/2}}{n} \quad (6-1)$$

여기서, Q = 유량 (m^3/s), A = 단면적 (m^2), R = 동수반경 (m), S = 마찰경사 (m/m), n = Manning 조도계수이다.

나. 폐수로 흐름 상태

관로내의 수심이 관경과 같아 관을 채운 흐름상태에서는 관수로의 흐름 특성을 갖는다. 이때, 폐수로 흐름에서의 유량은 Hazen-Williams 식으로부터 정의된다

$$Q = 0.27853CD^{2.63}I^{0.54} \quad (6-2)$$

여기서, Q = 유량, (m^3/s), C = 유속계수(표 5-3), D = 관경 (m), I = 동수경사 (m/m)이다.

동수경사는 동수두의 거리에 따른 변화로서 정의되는 데, 동수두는 위치수두와 압력수두의 합을 말한다. 그런데, 동수두는 관로내의 마찰 손실과 미소 손실 등에 의하여 감소하므로, 수리계산에서는 이들의 값을 아는 것이 필요하다.

(1) 마찰손실수두

관경 D , 평균유속이 V 인 관로의 길이 L 일때 마찰손실수두 h_f 는 다음과 같다.

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (6-3)$$

여기서, f 는 마찰손실계수이며, 이값은 식 (6-4)와 같다.

$$f = \frac{133.7}{C^{1.952} D^{0.167} V^{0.148}} \quad (6-4)$$

<표 6-3> 유속계수

관 종 (내면상태)	유 속 계 수 (C)		
	최대치	최소치	표준치
주 철 관(비도장)	150	80	100
동 관(비도장)	150	90	100
도복장동관			110
콜타르도장관(주철)	145	80	100
타르에폭시도장관			130
모르타라이닝관(동, 주철)	150	120	130
원심력철근콘크리트관	140	120	130
축전압철근콘크리트관	140	120	130
코어식 프리스트레스트콘크리트관	140	120	130
석면시멘트관	160	140	140
경질염화 비닐관	160	140	150
폴리에틸렌관	170	130	150
강화플라스틱복합관	160	-	150

(2) 미소손실

폐수로 흐름에서는 마찰에 의한 압력손실 이외에도 유입부, 만곡부, 밸브 등에서 미소손실이 발생한다. 일반적으로 관로의 길이가 길어지면 마찰손실수두에 비하여 상대적으로 작아지므로 무시하여도 좋다.

폐수로에서의 미소손실은 다음 식으로 표시된다.

$$h_i = f_i \frac{V^2}{2g} \quad (6-5)$$

여기서, h_i = i 요소에 대한 미소손실수두 (m), V = 유속 (m/s), f_i = 손실계수, g = 중력가속도 (m/s^2)이다.

식 (6-5)의 미소손실계수는 <표 6-4>와 같다.

<표 6-4(a)> 유입 손실계수

유입구의 형상	f _i 의 값 및 계산식	비 고
돌출입구	1.0	
직각모서리	0.5	
사각모서리	0.25	
작고 둥근모서리	0.1(원형)~0.2(각형)	
크고 둥근모서리	0.01~0.05	
사 류 입 구	$0.5 + 0.3\cos\theta + 0.2\cos^2\theta$	

<표 6-4(b)> 급확대 손실계수

D ₁ /D ₂	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	(1.0)
f _{se}	1.00	0.98	0.92	0.82	0.70	0.56	0.41	0.26	0.13	0.04	(0)

<표 6-4(c)> 급축소 손실계수

D ₂ /D ₁	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	(1.0)
f _{se}	0.50	0.50	0.49	0.49	0.46	0.43	0.38	0.29	0.18	0.07	(0)

제3절 용수지거 관로계획

1. 수두의 배분

경지정리 사업 시행에 있어서 용수지거를 관로화함으로서 수로내의 침투등으로 인한 용수손실을 최소화하여 부족한 용수를 보충하고, 공급자 주도형의 물관리에서 수요자 주도형의 물관리 체계로 전환하기 위한 용수지거 관로화 사업은 용수지거의 수리현상에 대한 검토 등이 충분히 이루어지지 않아 용수의 불균형 분배 등의 현장으로 문제를 발생시키고 있다. 이러한 용수지거 현장으로 문제를 해결하기 위해서는 우선적으로 적절한 수두배분과 관경의 결정이 이루어져야 한다.

농업용 관수로는 큰 압력이 작용하지 않도록 하여야 하는 데, 일반적으로 정수압이 10 kgf/cm²이하가 되도록 한다. 용수지거 관로화에서는 기존의 지거 노선을 택하게 되므로, 별도의 노선 선정이 필요하지 않으나, 분수전에서 필요한 수두를 갖도록 종단 계획이 필요하며, 지나치게 높은 수두가 작용하는 경우는 감압형 조압시설을 계획해야 한다.

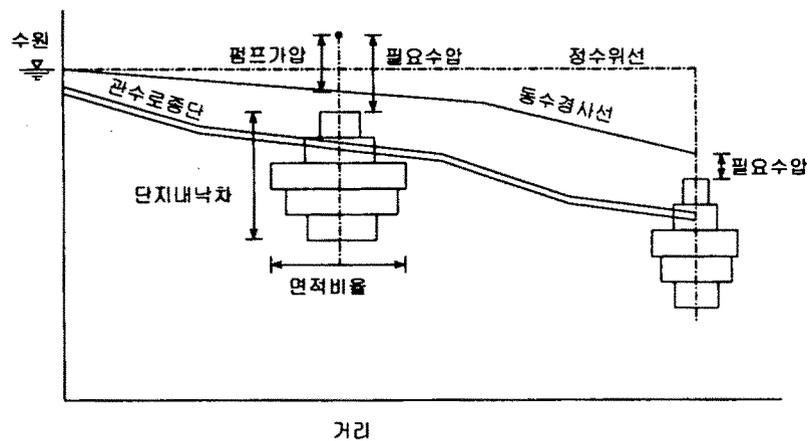
가. 급수전의 필요수압

급수전의 필요수압은 다음을 기준한다.

- (1) 논의 급수전: 1.0 kgf/cm² 내외 (토출수두 5.0m와 급수관의 손실수두 5.0m를 더한 값)
- (2) 밭의 스프링쿨러 관개 : 3.0 kgf/cm² 정도

나. 수두 종단면도

관로의 종단방향으로 거리에 따른 수압을 표시하면 (그림 6-9)와 같은 데, 이를 수두 종단면도라 한다. 이를 이용하여 각 급수전 지점에서의 개략적인 수압을 정하거나, 필요수압을 구하여, 이를 만족하기 위한 승압 또는 감압 등 조압시설을 고려하게 된다.



(그림 6-9) 관수로의 수두 종단면도

다. 수두의 배분

관로에서의 수두배분은 (그림 6-10)에서와 같이 유효낙차를 이용하여 관로의 종단방향에 따라 수두를 정의하면 되는 데, 일반적으로 다음의 기준을 참고한다.

(1) 동수경사선은 (그림 6-10)에서와 같이 아래로 볼록한 형태를 취하는 것이 좋은 데, 이를 최적배분선이라 한다.

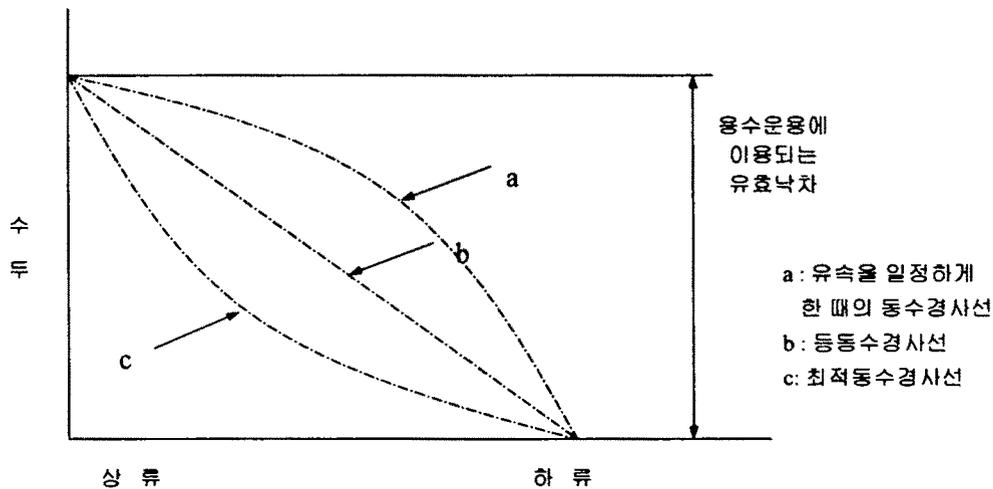
(2) 관내 유속은 관경이 작아짐에 따라 느려진다.

(3) 관경을 줄일 경우 되도록 상류의 대구경관을 줄이도록 한다.

(4) 관경을 크게할 때에는 되도록 하류의 소구경관을 크게 한다.

(5) 도중에 분기나 분수가 있으면 수두배분이 어려운 데, 가급적 등동수경사선에 의한 낙차를 활용하도록 한다.

(6) 그밖의 경제적인 수두배분법에는 최적계획법 (선형계획, 동적계획, 코스트포텐셜법 등)을 적용한다.



(그림 6-10) 수두배분의 개념도

2. 관경의 결정

주관의 관경은 대상노선의 지배면적에 의한 소요용수량, 계획고에 의한 수두차를 고려하여 단일 관수로에 적용되는 다음의 식을 이용하여 결정한다.

$$D = 1.6258 C^{-0.38} Q^{0.38} \Gamma^{-0.205} \quad (6-6)$$

여기서, D = 이론 관경 (m), C = 관체에 따른 유속계수, Q = 유량 (m^3/s), I = 동수경사 (m/m)이다. 유속계수 C 값의 예는 <표 6-3>에서와 같다.

폐쇄식 관수로에서는 급수 분지점을 기준으로 하여 각각의 지배면적에 의한 소요 용수량 결정과 간선수위와 분지점의 수위차를 이용, 분지구간마다 소요 용수량을 통수할 수 있도록 결정한다.

3. 관로 형식

용수지거의 관로형식은 개방식과 폐쇄식, 반폐쇄식으로 구분되며, 각각의 특징은 다음과 같다.

가. 개방식

개방식은 역 사이폰의 연속으로 관로를 배치하는 것으로, 그 전형적인 예는 (그림 6-1(a))와 같다. (그림 6-1(a))와 같이 각각의 급수전까지의 수로를 관로로 연결하고, 급수전에서는 자유수면을 갖는 수조(맨홀)를 배치하고, 수조에는 수위조절을 위한 지수벽 (혹은 물넘이)이 장치된다. 따라서, 수조내에서는 수리적으로 낙차공과 같은 배치를 갖기도 한다.

나. 폐쇄식

폐쇄식은 취수부분에서 말단부까지 관로로 연결하여 그 중간에 급수밸브를 설치하는 방식으로 낙차를 이용하여 말단 분수점에 필요한 압력수두를 확보하는 것이다. 폐쇄식은 유속을 크게 할 수 있기 때문에 관경이 줄어들어 시설비가 적게 들어가며, 제수밸브의 조작에 따라 수두를 조절하기 때문에 관리가 용이하다. 그러나 관로내의 장애가 발생했을 경우에 발견이 어려우며, 유속이 빠르기 때문에 상대적으로 수격압에 대한 적절한 조치를 마련하여야 한다. 폐쇄식 관로의 예는 (그림 6-1(b))에 나타나있다.

다. 반폐쇄식

반폐쇄식은 개방식과 같이 수조를 배치하나 수리적으로 폐쇄상태를 유지하는

것이다. 수조내의 수위를 조절하는 플로트밸브 등을 사용하기도 한다.

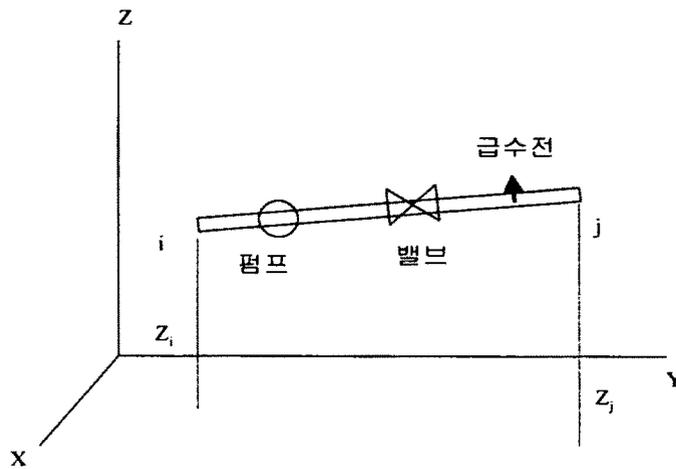
제4절 용수지거 수리해석 프로그램의 개발

1. 기본 이론

용수지거의 수리해석을 위하여 (그림 6-11)과 같이 두 점 i,j에 대하여 속도의 변화가 적다고 가정하여 무시하고, Bernoulli 방정식을 적용하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Z_i + \frac{P_i}{\gamma} + H_{pp} = Z_j + \frac{P_j}{\gamma} + h_f + h_c \quad (6-7)$$

여기서, Z = 지점의 표고(m)이고, P = 수두(m), H_{pp} = 펌프에 의한 양정고, h_f = 마찰 손실수두이고 h_c = 미소손실수두이다.



(그림 6-11) 관로 요소의 정의

식(6-7)을 다시 정리하면 식(6-8)과 같다.

$$(Z_i + H_i) - (Z_j + H_j) = KQ^m + \frac{K_c Q^2}{2gA^2} - H_{pp} \quad (6-8)$$

여기서, Q = 관로를 통과하는 유량, H = 압력 수두, K, m = 마찰손실수두를 나타내는 계수이며, K_c = 미소손실계수이다.

가. 관로

관로에 대한 성분만을 고려하여 식(6-8)을 다시 정리하면 다음과 같다.

$$K^{\frac{1}{m}} Q = [(Z_i + H_i) - (Z_j + H_j)]^{\frac{1}{m}} \quad (6-9)$$

혹은,

$$Q = C_p(H_i - H_j) + C_p(Z_i - Z_j) \quad (6-10)$$

이다, 여기서, C_p = 관로의 선형특성계수(linearized coefficient)로서 식(6-11)로부터 얻을 수 있다.

$$C_p = \frac{|(Z_i + H_i) - (Z_j + H_j)|^{\frac{(1-m)}{m}}}{K^{\frac{1}{m}}} \quad (6-11)$$

밸브 등으로 인한 미소손실은 관로와 동일한 방법으로 C_{pc} 를 이용하여 아래와 같이 나타낸다.

$$Q = C_{pc}(H_i - H_j) + C_{pc}(Z_i - Z_j) \quad (6-12)$$

$$C_{pc} = \frac{1}{R_c^{\frac{1}{2}} \Delta H_{component}^{\frac{1}{2}}} \quad (6-13)$$

여기서 $R_c = \sum_{k=1}^n \left(\frac{K_{c,k}}{2gA^2} \right)$ 이다.

이상의 결과를 이용하여 연속된 절점 s, t로 이루어진 관로 요소에 대하여 관로 요소 방정식을 수립하면 식(6-14)와 같으며, 이를 매트릭스 형태로 표시하면 식(6-15)와 같다.

$$Q_s^{(e)} = C_p(H_s - H_t) + C_p(Z_s - Z_t) \quad (6-14)$$

$$Q_t^{(e)} = -C_p(H_s - H_t) - C_p(Z_s - Z_t)$$

$$\begin{Bmatrix} Q_s^{(e)} \\ Q_t^{(e)} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} C_p & -C_p \\ -C_p & C_p \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} H_s \\ H_t \end{Bmatrix} - \begin{Bmatrix} C_p \Delta Z \\ -C_p \Delta Z \end{Bmatrix} \quad (6-15)$$

식(6-15)는 일반적인 구조 해석에 널리 이용되고 있는 유한요소방정식의 direct stiffness procedure를 이용하여, 식(6-16)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\{R^{(e)}\} = [K^{(e)}]\{H^{(e)}\} - \{F^{(e)}\} \quad (6-16)$$

2. 경계 조건

프로그램의 경계조건은 크게 고정수위의 상류 경계조건과 급수밸브의 유량경계 조건으로 구성되어 있다. 상류 경계조건은 유입부의 수위를 의미하는 것으로, 지선의 유량이 상대적으로 커서 용수지거의 유량변화에 따라 수위의 변화가 없는 것으로 가정하여 계산한다.

급수밸브의 유량은 밸브의 특성과 수두차에 따라 결정된다. 급수밸브의 유량은 일반적으로 아래의 식과 같이 나타낼 수 있으며, 식(6-17)과 같은 유량방정식을 경계조건으로 사용하여 계산한다.

$$q = k \Delta h^x \quad (6-17)$$

여기서, q = 급수밸브의 토출유량이며, k , x 는 밸브에 특성에 따라 결정되는 계수이다.

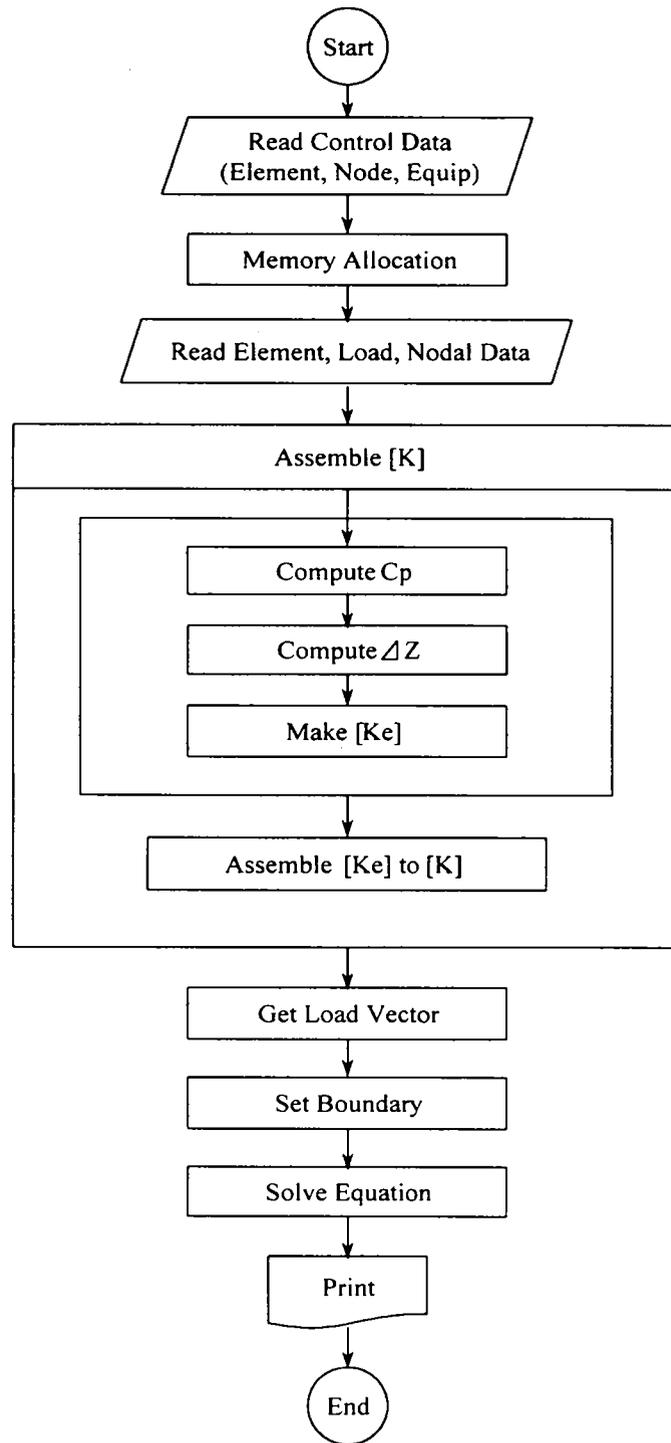
3. 프로그램의 구성

용수지거 수리해석 프로그램의 흐름도는 (그림 6-12)와 같다. 프로그램의 구성은 크게 관로 요소, 절점 및 조절 변수의 입력 함수와 식(6-16)의 **[K]** 매트릭스를 구성하는 함수, 구축된 전체의 시스템 방정식을 해석하는 함수 등으로 이루어져 있다.

4. 전·후처리 프로그램

용수지거 수리해석 프로그램을 이용하여 급수전의 수두와 유량 등을 검토하거나 주어진 수리조건에 따른 거동을 분석하기 위해서는 대상지구의 입력자료를 작성하고, 프로그램을 구동한 후, 출력 결과를 적절히 해석하여야 한다.

입력자료는 <표 6-4>와 같이 크게 조절변수, 관로 요소 자료, 절점 자료 및 경계조건으로 구성되어 진다. 조절변수는 프로그램을 제어하기 위한 계산 허용 오차와 최대의 반복 실행 횟수를 정의하고, 관로 요소 자료는 관로 요소의 특성과 상하류 연결 상태를 정의하며, 절점 자료는 절점의 표고와 급수밸브의 종류, 형태 등을 표시한다.

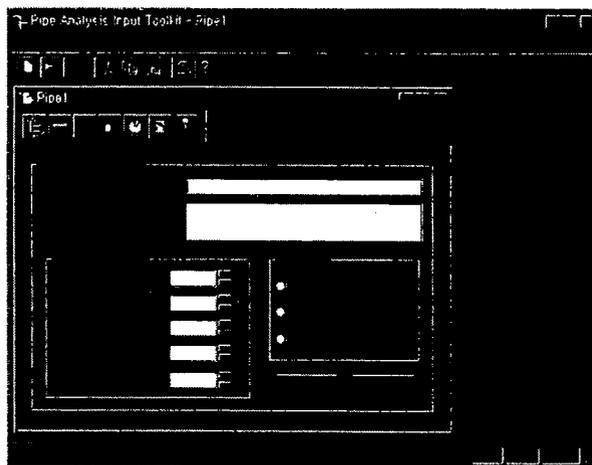


(그림 6-12) 프로그램의 흐름도

<표 6-5> 프로그램의 입력자료

구 분	변 수 명	설 명
조절변수	TOL MAX	계산 허용 오차의 범위 최대 반복 계산 횟수
관로 요소 자료	UP_NODE DN_NODE C_HW DIA LEN	관로 요소의 상위 절점 번호 관로 요소의 하위 절점 번호 Hazen-Williams 계수 관로의 관경 (mm) 관로 요소의 길이 (m)
절점 자료	ELEV TYPE	절점의 표고 (m) 절점에서의 용수이용 형태
경계 조건	HEAD	경계점에서의 수두

이상의 프로그램의 구동에 필요한 입력자료는 복잡하고 다양하기 때문에 입력자료의 구축에 많은 노력과 시간이 요구되며, 이로 인하여 프로그램의 활용에 어려움이 따른다. 따라서, 입력자료의 작성 과정을 일괄적으로 처리하고 입력 오류를 발생을 사전에 방지해주는 전처리 프로그램의 개발 및 활용이 필요하다.



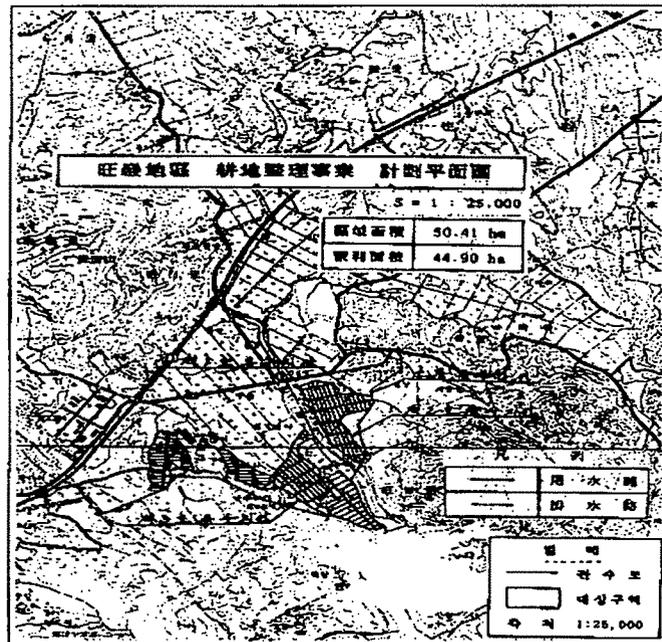
(그림 6-13) 자료 입력 화면

용수지거 수리해석 프로그램의 전처리 프로그램인 입력화면은 (그림 6-13)과 같다. 입력화면은 일괄적으로 자료입력이 가능하도록 하며, 자료입력시 오류가 발생할 때에는 즉각적으로 수정하여 입력자료의 오류로 인한 프로그램의 잘못된 연산을 사전에 방지하여 준다. 또한, 모든 입력 항목을 한글로 표시하여 실무자들이 쉽게 이용할 수 있도록 하였다.

제5절 수리해석 프로그램의 적용

1. 대상지구의 선정

용수지거 수리해석 프로그램의 적용을 위하여 논산 농지개량조합 관할의 왕암 관수로 사업지구를 선정하였다. 왕암지구는 (그림 6-14)와 같이 충남 논산군 가야곡면 육곡리, 왕암리 및 야촌리 등 3개리에 위치하고 있으며, 1992년~1993년에 걸쳐 '92 조립식 구조물 시범사업(경지정리사업 왕암지구)지구에 관수로가 시범사업의 일환으로 설치되었다.



(그림 6-14) 왕암지구의 위치도

왕암지구의 주수원공은 논산저수지이며, 7조의 폐쇄식 관수로로서 총 연장은 1,539m이다. <표 6-6>은 왕암지구의 주요 자재 및 규격을 나타내고 있다. <표 6-6>에서와 같이 주관은 $\phi 150$, $\phi 250$ mm의 철판매입 파형관(P. C. F관)으로 이루어져 있으며, 급수관은 $\phi 75$ mm의 P. E. 일반관(2종, 7kg/cm²)을 사용하였다. 왕암지구에는 분사형, 게이트형, 앵글형 등 다양한 종류의 급수밸브를 시공하여 활용성을 검토하고 있다. 분사 밸브는 농업용 급수밸브 (P. V. C.)를 시공하였으며 게이트 밸브는 주철제 게이트형을 농업용 급수밸브로 변형 제작하여 사용하고 있으며 앵글 밸브는 스텐드형 앵글형을 농업용 급수밸브로 변형 제작하였다. 기타 부대시설로는 침사지, 맨홀, 물받이 등이 시공되어 운영되고 있다.

<표 6-6> 주요 자재 및 규격

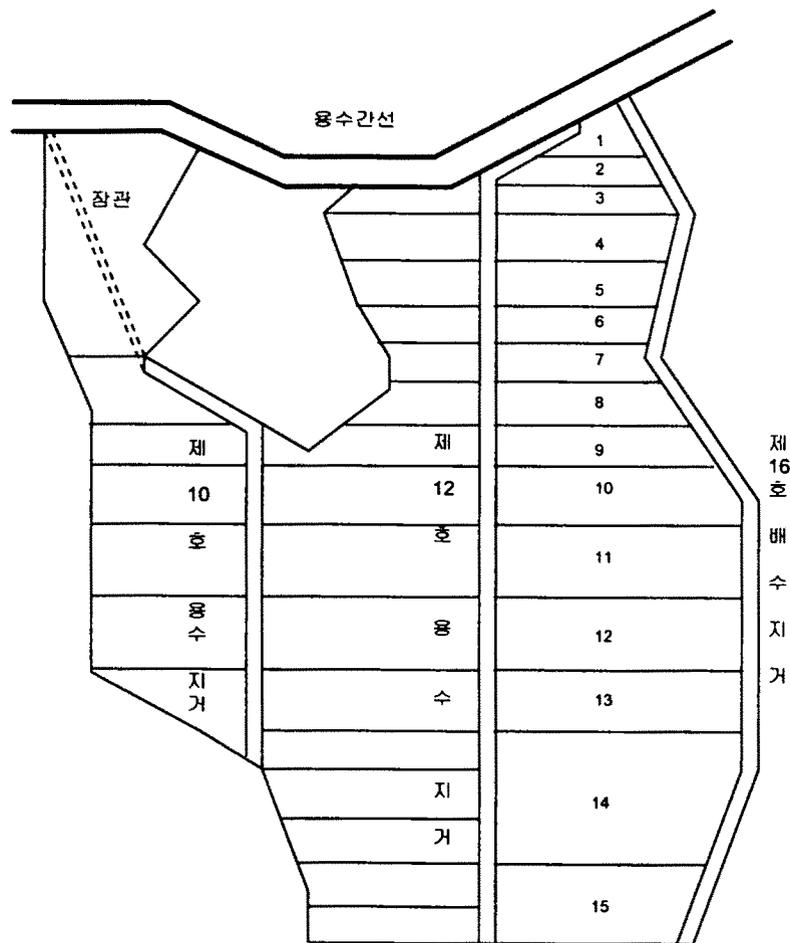
구 분	관의 종류		급수 밸브			부대 시설		
	주 관	급수관	분사형	게이트형	앵글형	침사지	맨홀	물받이
명 칭								
규격(mm)	$\phi 150$ $\phi 250$	$\phi 75$	$\phi 75$	$\phi 75$	$\phi 75$	$\phi 800$	$\phi 800$	$\phi 400$
재 료 특 성	철판매입 파형관 (P.C.F관)	P.E 일반관 (2종, 7kg/cm ²)	합성수 지제 (P.V.C)	합성수 지제 (P.V.C)	스테인레스	철판매입 파형관 (P.C.F관)	철판매입 파형관 (P.C.F관)	철판매입 파형관 (P.C.F관)

2. 용수지거의 제원

왕암지구의 제12호 용수지거를 대상으로 용수지거의 수리해석을 실시하였다. 지거 유입수로인 제2호 용수지선 1.4×1.6 m의 사각형 콘크리트 라이닝 수로로 설치되어 있으며, 유입부에는 침사지가 설치되어 있으며, 제수변이 중간에 설치되어 하류구간의 유량조절을 할 수 있도록 하였으며, 말단부에는 유말공을 설치하고 있다. 용수지거의 전체 급수면적은 5.76 ha이며, $\phi 250$ mm의 철판 매입 파형관(P.C.F

관)으로 구성되어 있다.

제12호 용수지거에는 (그림 6-15)와 같이 총 21개의 급수밸브가 설치되어 포장으로 관개를 하고 있으나, 전체의 급수밸브를 모두 개방하였을 경우에 동시에 관개 가능한 구간은 제수변 하류구간의 No. 15~No. 23번의 9개의 급수밸브에 불과하며 이 때의 관개면적은 2.05 ha이다. 동시급수구간은 농지개량조합회 연합회 시험연구소에서 “관수로 시공지구 현황조사”의 일환으로 관수로 성능조사를 시행하고 있는 구간이다.



(그림 6-15) 제12호 용수지거 노선현황

제12호 용수지거의 각 구간에 대한 제원은 <표 6-7>과 같다. <표 6-7>에는 급수구간별 거리와 급수전의 유출고 및 급수전의 관개면적을 나타내고 있다.

<표 6-7> 제12호 용수지거의 제원

측 점	경 구		급수전표고(EL)		지형 경사	수두 경사	급수 면적	비 고
	구간	누계	좌	우				
No(1)	0	0	60.546 (61.989)					○간선바닥 (개거상단)
No(2)	4	4	61.926 (61.835)					○침사지상단 (30cm자 위치)
No(3)			61.07					○급수토구관정
No(4)			60.71					"
No(5)			60.44					"
No(6)			60.56					"
No(7)			59.65					"
No(8)			58.41					TP
No(9)			57.95					○급수토구관정
No(10)			57.68					"
No(11)			57.00					"
No(12)			55.14	-	1/40	1/100		○제수공관정
No(13)			55.13					○급수토구관정
No(14)			54.63					"
No(15)	239	243	53.62				0.35	(동시급수구간)
No(16)	25	268	53.09				0.17	"
No(17)	10	278	52.88				0.17	"
No(18)	25	303	51.84				0.30	"
No(19)	30	333	51.11.				0.28	"
No(20)	30	363	50.73				0.26	"
No(21)	40	403	50.08				0.15	"
No(22)	10	413	50.13				0.15	"
No(23)	55	468	49.36				0.22	"
No(24)	-	-	48.91					○유말공 관정
합 계		468					5.76	

3. 수리특성 조사

용수지거의 대상구간에 대한 유량측정은 '96, '97년에 2회에 걸쳐서 조사하였다. 조사방법은 전체의 급수밸브를 모두 개방한 상태에서 각 급수밸브를 통하여 배출되는 유량을 조사하였다. '96년에는 각 급수밸브에서 유출되는 유량을 측정용기(물통 $V=22.61$ l)에 담고 그때의 시간을 측정하여 측정된 체적을 시간으로 나누어서 유량을 계산하는 총량법을 사용하였다. '97년에는 휴대용 초음파 유량계와 총량법을 이용하여 각 급수밸브의 유량을 측정하였다.

동시급수구간에 대하여 조사된 유량은 다음 <표 6-8>과 같다. <표 6-8>에서와 같이 하류구간에 위치한 급수밸브의 수두가 지형적인 조건의 영향으로 상류구간보다 수두가 커져서 많은 유량을 관개하고 있는 것으로 조사되었으며, 이러한 현상은 균등 급수를 위하여 해결하여야 할 중요한 문제로 판단되었다.

<표 6-8> 용수지거 유량측정 결과

측 점	위 치	1996년		비 고
		유 량(m ³ /s)	(%)	
No. 15	좌경구	0.0065	6.2	총량법으로 3회 실시하여 평균값 사용
No. 16	“	0.0063	6.0	
No. 17	“	0.0063	6.0	
No. 18	“	0.0133	12.6	
No. 19	“	0.0135	12.8	
No. 20	“	0.0140	13.0	
No. 21	“	0.0149	14.1	
No. 22	“	0.0149	14.1	
No. 23	“	0.0159	15.0	
소요통수량		0.1056	100	

4. 프로그램의 적용 결과

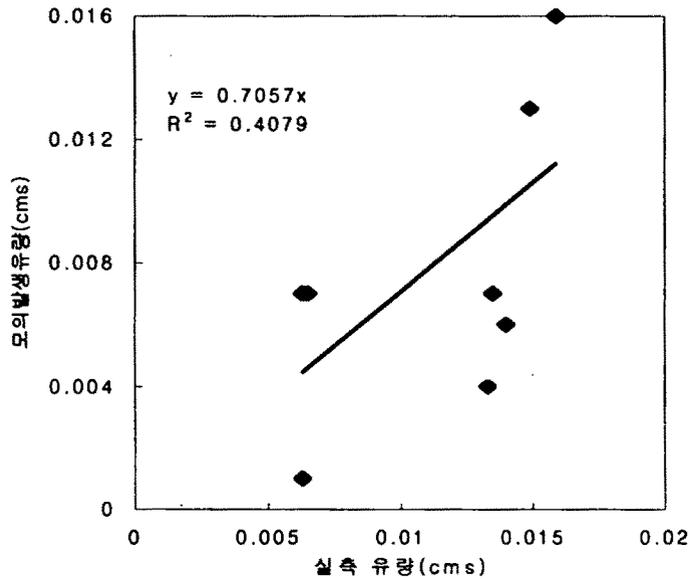
왕암지구 용수지거에 대한 수리해석 결과는 <표 6-9>에 나타나 있으며, (그림 6-16)은 실측 유량과 모의발생 유량의 비교한 것이다. (그림 6-16)에서 모의발생 유량과 실측 유량의 상관계수는 0.41 정도였으며, 모의발생된 유량은 0.074 m³/s로 실측 유량 0.1056 m³/s보다 적게 나타났다. 이러한 결과는 밸브의 종류에 따른 밸브의 수두-유량 관계식을 추정에 오차가 많았기 때문인 것으로 판단된다.

<표 6-9> 급수밸브의 토출유량 모의발생

측 점	위 치	유 량(m ³ /s)		R ²
		실 측	모의발생	
No. 15	좌경구	0.0065	0.007	
No. 16	“	0.0063	0.007	
No. 17	“	0.0063	0.001	
No. 18	“	0.0133	0.004	
No. 19	“	0.0135	0.007	
No. 20	“	0.0140	0.006	
No. 21	“	0.0149	0.013	
No. 22	“	0.0149	0.013	
No. 23	“	0.0159	0.016	
소요통수량		0.1056	0.0740	

제6절 요약 및 결론

저압관수로망의 계획과 수리해석을 위한 프로그램을 개발하였으며, 실제 지구에 적용하여 적용성을 평가하였다. 용수지거 수리해석 프로그램은 현장 자료의 수집을 통하여 급수밸브의 수위-유량 관계식 등을 보완하면 실제 관로망의 계획이나



(그림 6-16) 실측 유량과 모의발생 유량의 비교

현장 조건에 대한 조작 방법을 모색하는 데 활용할 수 있을 것이다.

이상의 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

① 용수지거의 관로화 사업에서 발생하는 현장애로 문제의 해결을 위한 용수지거 수리해석 프로그램을 구성하고, 경계조건을 정의하였다.

② 개발된 프로그램의 적용성 평가를 위하여 실제 시범지구에 적용한 결과, 유량 분포는 유사한 경향을 보였으나 상관계수는 낮게 나타났다.

③ 앞으로 밸브의 수위-유량 관계식을 추정하여 이용하면 용수지거의 수리해석과 기능 검토에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

제7장 관수로 시스템 수리계산 프로그램의 개발

- 정상류 수리계산-

제1절 서론

관개지구의 급수를 위하여 용수간·지선 등 관개조직을 관수로로 계획하는 경우에는 관로망의 수리적 검토가 필수적이다. 또한, 기존 관로망의 물관리를 위하여는 해당 시스템의 수리적 특징을 구명하여 적절한 급수조작이 이루어질 수 있도록 하는 것이 필요하다. 이와 같은 일을 기능의 검토라고 한다.

관수로의 기능검토에는 수리단위의 통합 검토, 통수기능검토, 관리시설 검토 등으로 구분하는 데, 그 내용은 이론 관경과 규격 관경의 차이로 인한 수리적 특징을 구명하는 것과, 각종 부대시설과의 관련성 등으로 인하여 시스템의 기능이 원활한 지 등을 조사하는 것이다. 이와 같은 기능검토를 위해서는 시뮬레이션 기법이 필요한데, 관로조직의 수리적 특징을 수학적 모델을 구성하여 검토하는 것이다.

그런데, 관수로의 수리현상은 정상류와 부정류로 대별할 수 있는 데, 이들은 그 해석 방법과 검토 목적이 차이가 있으므로, 별도의 모델을 적용하는 것이 보통이다. 정상류 상태는 송배수량이 일정할 때 나타나므로 통상적인 급수시에 적용되며, 부정류는 펌프의 개폐, 밸브조작 등에 의한 천이흐름상태로서 비교적 짧은 시간에 국한 하는 흐름상태이다.

본 장에서는 용수간·지선을 관로화한 관로망에 대한 수리적 검토가 가능하도록 하는 프로그램의 개발과 응용을 다루도록 한다. 여기서는 기능검토를 전제로 하여 주로 정상류 상태에서의 시뮬레이션 모델의 개발과 응용을 검토하는 데, 부정류 상태에서 발생하는 수격압 해석 등은 추후에 별도로 다루도록 한다.

제2절 관로망 해석 이론

1. 관로망의 구성

관로망은 한 관로가 절점에서 다른 관로들과 연결되어 있는 시스템으로 정의된

다. 관로망은 수개의 구간으로 구분되어 각각의 관경, 기하적 제원과 절점에서의 취수량 등에 따라 그 수리적 특징이 좌우된다. 일반적으로 농업용 관로망은 관로, 펌프, 밸브 등으로 구성되며, 이들 요소의 수리적 특징은 다음과 같다.

가. 관로

관로는 두 절점으로 연결된 동일 관중, 관경으로 이루어진 관로 요소를 말한다. 관로는 관경이 일정한 관으로 이루어진 구간으로 여기에는 곡관, 밸브 및 펌프 등의 관내 부대장치들을 포함할 수도 있다.

관로의 양 끝점을 이루는 절점(node)은 단순 절점과 고정 수두 절점으로 구분할 수 있다. 단순 절점은 관의 분지점이나 급수전이 위치하고 있는 지점, 혹은 관경이 변화하는 지점을 의미한다. 고정 수두 절점은 저수지 등과 같이 수두를 시간에 따라 일정하게 유지하고 있는 수원공을 말한다.

나. 펌프

펌프는 수원공이 관개지구보다 낮은 경우 또는 관개용수를 압력을 이용하여 송·배수하는 방식을 적용하는 경우에 이용된다. 관로 시스템의 해석에 있어서 펌프는 관로의 어느 구간에도 포함시킬 수 있다. 펌프는 마력으로 나타나는 펌프의 동력과 실제의 운전특성을 나타내는 펌프특성곡선의 자료를 이용하여 해석할 수 있다.

펌프의 동력은 압력 수두와 물이 펌프를 통과할 때 생기는 운동에너지의 증가로 전달되는 힘을 의미하며, 다음 식으로 표시된다.

$$P = \frac{13.33QH}{\eta} \quad (7-1)$$

여기서, P = 펌프의 동력(Hp), Q = 펌프의 토출량 (cms), H = 전 양정(m), η = 펌프의 합성효율이다.

윗 식을 수두인 전 양정의 항으로 표시하면, 다음 식(7-2)와 같다.

$$H = \frac{\eta P}{13.33Q} \quad (7-2)$$

펌프의 특성곡선은 펌프의 특성을 나타내는 것으로, 횡축에 토출량, 종축에 전양

정, 축동력, 펌프 효율을 그림으로 나타낸 것이다. 이러한 특성을 이용하기 위하여 다음과 같이 지수화된 방정식을 이용한다.

$$h_p = H_1 - CQ^n \quad (7-3)$$

여기서, h_p = 펌프에 의한 상승 수두(m), H_1 = 펌프의 체질 양정, C, n = 곡선의 계수 및 지수를 의미한다.

다. 밸브

밸브에 의한 유량은 다음 식으로 표시된다.

$$Q = A\sqrt{\frac{2g\Delta p}{f_v\gamma}} = A\sqrt{\frac{2g}{f_v}}\sqrt{\frac{\Delta p}{\gamma}} \quad (7-4)$$

여기서, A = 밸브의 단면적, f_v = 밸브의 미소손실계수, Δp = 밸브에 의한 압력 강하량이다.

밸브의 미소손실계수는 밸브의 개폐정도에 따라 달라진다. 버터플라이 밸브의 경우, 밸브의 개도각 θ 나 전체 단면적(A)과 폐쇄된 만큼의 단면적(a)의 비에 따라 다음 <표 7-1>과 같이 결정된다.

<표 7-1> 버터플라이 밸브의 미소손실계수

θ	5	10	15	20	25	30	35
a/A	0.91	0.83	0.74	0.66	0.58	0.50	0.43
f_v	0.24	0.52	0.90	1.54	2.51	3.91	6.22
θ	40	45	50	60	70	90	
a/A	0.36	0.29	0.23	0.13	0.06	0.0	
f_v	10.8	18.7	32.6	118	751	∞	

2. 관로망의 해석

관로상의 한점에서의 총수두는 (그림 7-1)과 같이 위치수두, 압력수두, 유속수두의 합으로 정의된다. 이들의 총수두를 연결하면 (그림 7-1)과 같은 경사를 갖는데, 이를 에너지 수두경사선이라고 한다. 그리고, 위치수두와 압력수두의 합을 동수

두라고 하며, 동수두를 잇는 선을 동수경사선이라 한다.

한 관로에서의 손실수두는 식(7-5)와 같이 계산된다.

$$\Delta H_i = H_k - H_j \quad (7-5)$$

관로를 통과하는 유량은

$$Q_i = A_i V_i \quad (7-6)$$

이며, 유속은 Hazen-Williams식으로부터 다음과 같다.

$$V = 0.3545 CD^{0.63} \frac{h_i^{0.54}}{L^{0.54}} \quad (7-7)$$

손실수두 ΔH 를 써서 유량을 구하면

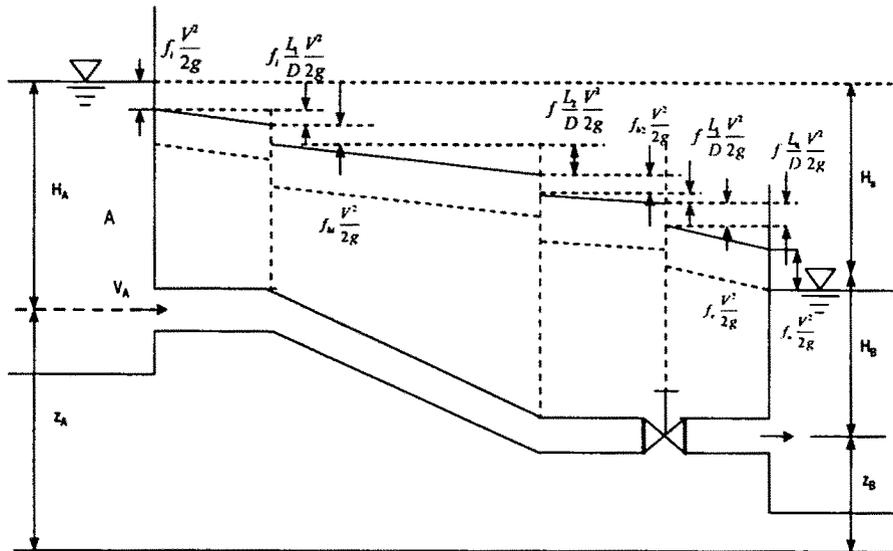
$$Q = AV = \left(0.2784 \frac{CD^{2.63}}{L^{0.54}}\right) \Delta H^{0.54} \quad (7-8)$$

혹은

$$Q = k \Delta H^{0.54} \quad (7-9)$$

$$k = 0.2784 \frac{CD^{2.63}}{L^{0.54}} \quad (7-10)$$

로서 표시할 수 있다.



기준선

(그림 7-1) 관수로의 수두

한편, 식 (7-9)의 i 요소의 K 를 다음과 같이 정의하면

$$k^i = \frac{k}{\Delta H^{0.46}} \quad (7-11)$$

유량 Q 는 다음과 같다.

$$Q^i = k^i \Delta H^i \quad (7-12)$$

3. 요소 매트릭스

관로 요소에서 두 점 A, B에서의 유량은 다음과 같다.

$$Q_A^i = k^i \Delta H^i = k^i (H_A - H_B) \quad (7-13)$$

$$Q_B^i = -k^i \Delta H^i = -k^i (H_A - H_B) \quad (7-14)$$

이상의 식을 매트릭스로 정리하면

$$[Q^i] = [K] [H^i] \quad (7-15)$$

4. 관로망 해석법

관로 요소의 매트릭스를 전체 관로망에 전개하고, 경계조건을 고려하면 일련의 매트릭스를 구성할 수 있다. 이 매트릭스에서 각 관로별 유량을 구할 수 있다. 관로망이 복잡한 경우는 컴퓨터를 이용해서 해를 구하는 데, 해석방법에는 여러 가지가 있으며, 선형 해법과 비선형 해법으로 구분된다.

식(7-15)를 이용하여 전체의 관로 조직에 대하여 방정식을 구성하면 아래 (그림 7-2)와 같이 매트릭스로 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} k^1 & 0 & \dots & & \\ & \ddots & & & \\ & & [K] & & \\ & & & \ddots & \\ \dots & & & & 0 & k^n \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} H_1 \\ \vdots \\ [H] \\ \vdots \\ H_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_1 \\ \vdots \\ [C] \\ \vdots \\ C_n \end{bmatrix}$$

(그림 7-2) 시스템 방정식의 예

(그림 7-2)는 매트릭스 표현법을 이용하여 나타내면 식(7-16)과 같다 선형해법은 식 (7-16)의 K 매트릭스를 선형으로 가정하는 것이고, 비선형 해법은 식 (7-11)에서와 같이 H 의 함수로써 비선형을 고려하는 것이다.

$$KH = C \quad (7-16)$$

제3절 관로망 해석 프로그램의 개발

1. 비선형 해법 : Newton-Raphson 방법

Newton-Raphson 방법은 Taylor 다항식에 근거를 둔 $f(x)=0$ 의 근을 구하는 수치해석적 방법이다. $f(x)=0$ 을 만족시키는 해를 x_0 라고 하면, $f(x_0)=0$ 이 되고, 이 식을 근사해 x_k 를 이용하여 전개하면 아래의 식과 같다.

$$f(x_0) \approx f(x_k) + \frac{\partial f(x_k)}{\partial x} \delta x = 0 \quad (7-17)$$

여기서, $\delta x_k = -\frac{f(x_k)}{\partial f(x_k)/\partial x}$ 이다.

같은 방법으로 새로운 값, x_{k+1} 을 구하여 수렴 조건을 만족할 때까지 반복 계산한다.

$$x_{k+1} = x_k + \delta x_k \quad (7-18)$$

Newton-Raphson 방법을 이용하여 비선형 방정식 $K(H)H = C$ 의 해를 구하기 위하여 다음과 같이 나타낸 후, 수렴조건을 이용하여 절점의 유량을 계산한다.

$$F(H) = K(H_k)H - C = 0 \quad (7-19)$$

2. 경계조건

정상류 수리해석은 각 시설물의 수리특성에 따라 지배되며, 이러한 시설물의 수리특성을 경계조건으로 설정하여 계산하여야 한다. 정상류 수리해석을 위한 경계조건으로는 유량 경계, 고정 수위 경계, 펌프 및 밸브 등으로 구분할 수 있다.

가. 유량 경계

관수로 조직에 있어서 급수밸브나 취수구에 있어서 유량이 일정하게 유지될 경우에는 유량을 경계조건으로 설정한다. 예를 들어, 1번, 3번 취수구(혹은 급수밸브)의 유량이 Q_1, Q_3 으로 일정하게 취수된다면, Q_1, Q_3 을 식(7-16)의 C 매트릭스에 적용하여 유황을 해석할 수 있다.

나. 고정 수위경계

고정 수위경계란 수원공과 같이 유량을 계속적으로 취수하여도 경계점의 수위가 일정하게 유지되는 경우를 말한다. 고정 수위 경계점에 있어서는 수위가 항상 일정하게 어떤 값으로 주어지기 때문에 식(7-16)의 방정식을 구성함에 있어서 수위 경계조건을 고려하여 방정식의 수를 경계점의 수만큼 줄여서 구성한다.

다. 펌프

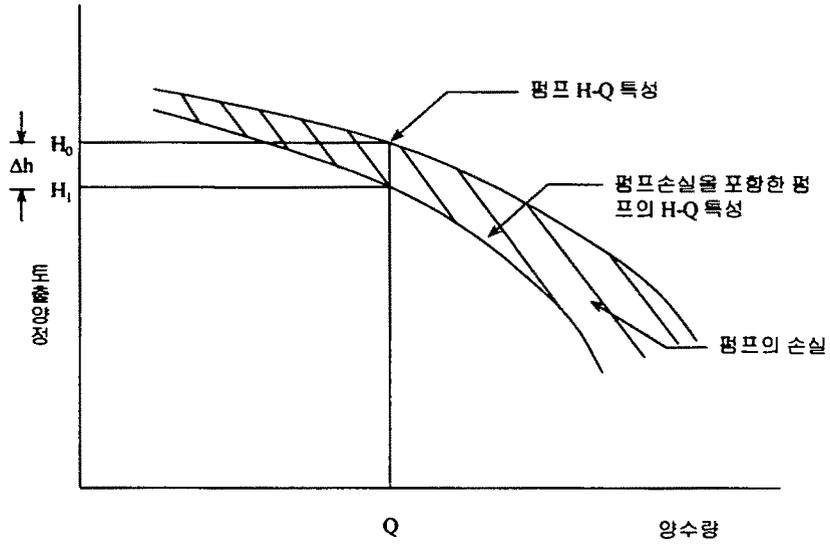
관로내에 펌프에 의해 양수량이 존재하는 경우에는 펌프의 특성곡선을 이용하여 경계조건을 설정한다. 즉, 펌프의 토출량은 (그림 7-3)과 같이 펌프의 H-Q 특성곡선을 이용하여 결정한다.

라. 밸브

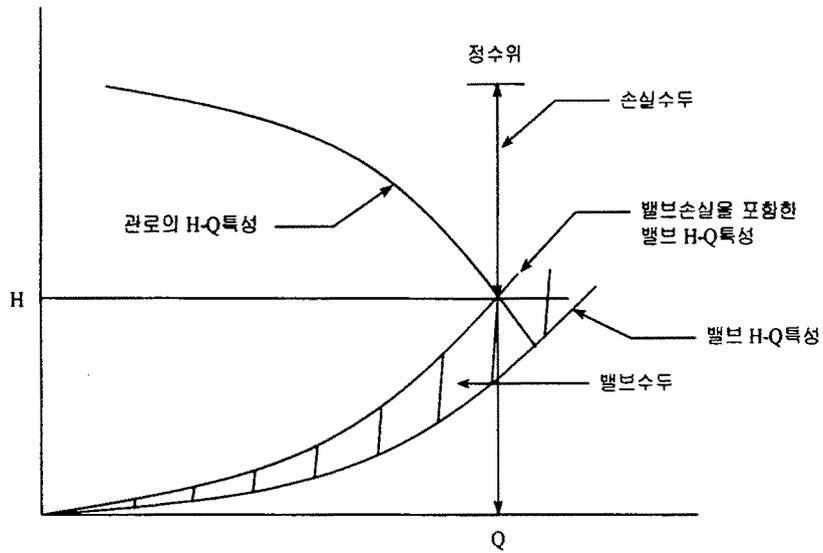
관로내의 급수밸브 등을 경계조건으로 설정할 경우에는 밸브의 특성곡선을 이용한다. 밸브의 특성곡선은 밸브지점의 압력수두에 대하여 지수함수로 나타낼 수 있다.

$$Q = CA\sqrt{2g(h - GH)} \quad (7-20)$$

여기서, Q = 밸브의 유량(m^3/s), C = 유량계수, A = 밸브의 평균 단면적(m^2), h = 밸브지점(하류측)의 압력수두(m), GH = 밸브지점의 표고(m)이다.



(그림 7-3) 펌프의 H-Q 특성곡선



(그림 7-4) 밸브의 압력수두 및 H-Q 특성곡선

3. 프로그램의 구성

가. 입력자료

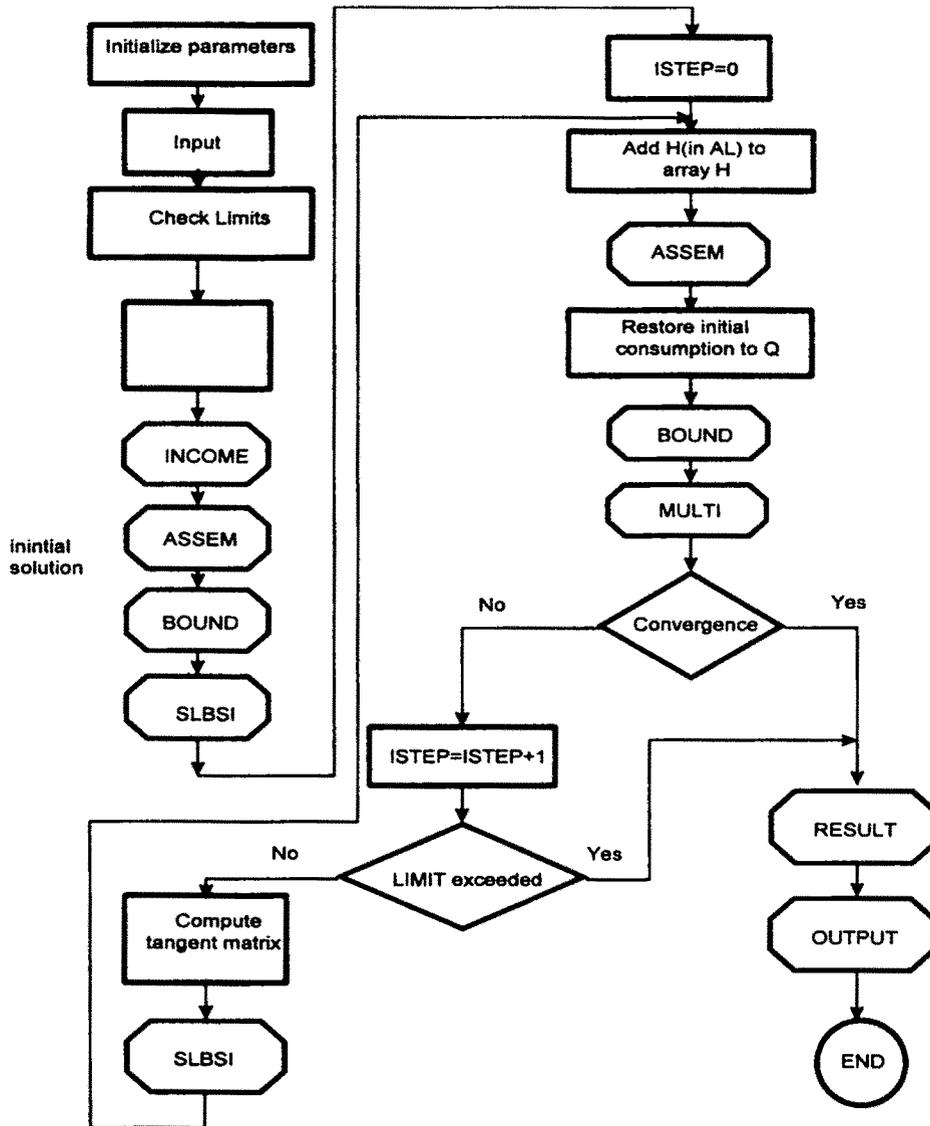
관로망 수치해석 프로그램의 계산을 위하여는 각 관로의 기하적 특징과 절점의 위치, 절점과 관로의 관계, 절점에서의 경계조건 등 관로망에 관한 자료, 수치해석을 위한 한계값 등이 필요하다. 이들을 기능적으로 구분하여 정리하면 <표 7-2>와 같다. <표 7-2>에서는 각 입력자료의 변수명, 내용, 초기자료 등을 제시하고 있다.

<표 7-2> 관수로 해석모형의 입력자료

구분	변수명	형식	내용
1	기본 매개변수		
	NN	I10	절점수
	NE	I10	구간수
	NLN	I10	기지 유량 절점수
	NBN	I10	기지 수두 절점수
	NMAX	I10	최대 반복 횟수
	TOL	F10.7	허용오차
2	절점좌표		
	X(i)	F10.2	절점의 X좌표
	Y(i)	F10.2	절점의 Y좌표
3	구간 결합 및 관의 특성		
	IC(1)	I10	구간의 시작 절점
	IC(2)	I10	구간의 끝 절점
	PROP(i)	F10.5	구간의 관경 (m)
	E(i)	F10.2	구간의 Hazen-Williams C값
4	절점 경계유량		
	W	F12.4	j절점의 기지유량 (m ³ /s)
	RENO(i)	F10.4	j절점의 기지수두 (m)
	KODE	I10	출력선택사양

나. 프로그램의 구성

<표 7-2>의 입력자료로부터 각 절점의 값과 관로의 유량 등을 비선형 반복법으로부터 구하도록 하고, 각 반복시 마다 계산 결과를 출력하고, 최종적으로 해를 구하도록 하였다. 프로그램의 계산 순서를 정리하면 (그림 7-5)에서와 같다.



(그림 7-5) 프로그램의 흐름도

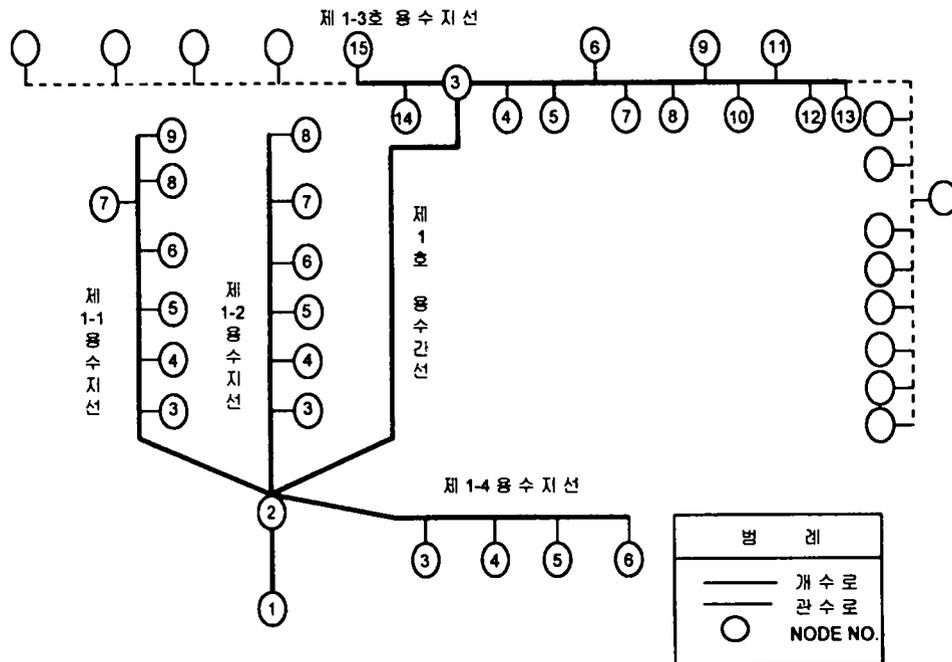
제4절 관로망 해석 프로그램의 응용

1. 고흥지구

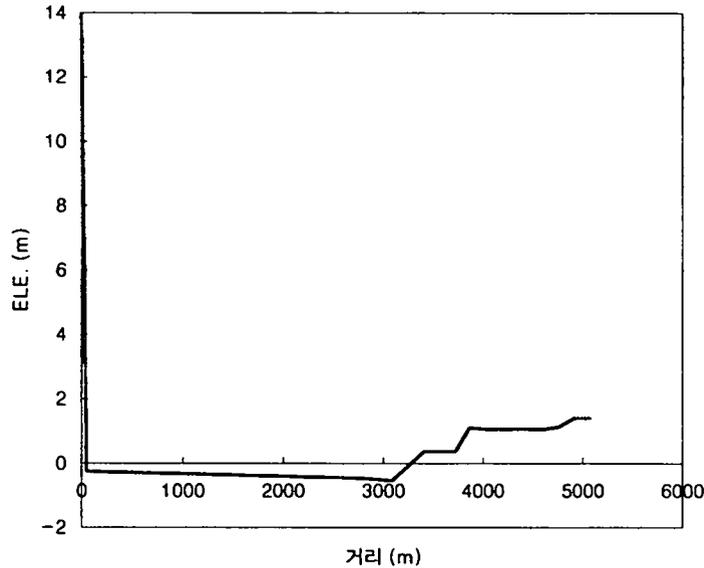
가. 지구 개요

고흥지구는 지구내의 양수시설에 의해 토출수조의 수위를 유지하고, 자연압력식으로 용수간·지선을 통하여 관개하도록 계획되어 있다. 고흥지구의 관로조직은 반폐쇄식의 수지상(branch) 관망으로 이루어져 있다. 고흥지구는 (그림 7-6)과 같이 제1호 용수간선 및 제1-1 ~ 1-5호 용수지선이 관수로로 계획되어 있으며, 용수간선의 말단부, 용수지선의 일부 및 용수지거는 개수로로 되어 있다.

제1호 용수간선은 양수장으로부터의 토출량을 이용하여 771.31 ha에 용수를 공급하는 관로 조직으로, 유효낙차는 (그림 7-7)과 같이 18 m이며, 최대용수량은 2.2923 m³/s이고 관리용수량은 1.523 m³/s 이다. 관로 길이는 <표 7-3>에서와 같이 5,123 m 이고, 관경은 통수량에 따라 1300~531mm의 5종으로 계획되어 있다.



(그림 7-6) 고흥지구 1공구 관로망 구성도



(그림 7-7) 제1호 용수간선 종단도

나. 정상류 해석

주수원공으로 부터의 유효낙차가 18 m인 제1호 용수간선에 대한 정상류 해석 결과는 <표 7-3>에 나타나있다. <표 7-3>에서는 각 관로의 소요유량 및 통과유량, 동수두 등을 보여주고 있다. 제1호 용수간선으로 최대용수량 $Q=2.29 \text{ m}^3/\text{s}$ 이 통수되고, 각 구간에서 최대용수량을 소요유량으로 하여 절점별 동수두를 계산하였다.

정상류 해석 결과, 제1-1, 1-2, 1-4호 용수지선이 분기하는 2-3 구간의 경우에 동수두 EL은 12.15 m로 낮아지고, 제1-3호 용수지선이 분기하는 3-4 구간의 동수두는 11.05 m로 계산되었다. 4-5 구간이후에는 일정하게 수두가 감소하여, 관수로 말단부인 13번 절점의 수두는 3.66 m로 나타났다.

제1호 용수간선의 계획고 및 동수두선을 표시하면 (그림 7-8)과 같다. 계획고에 의한 지형경사의 말단부가 오히려 높은 역경사를 보이고 있으며, 이는 관수로 용수조직이 지형적인 제약이 적다는 것을 보여주고 있다.

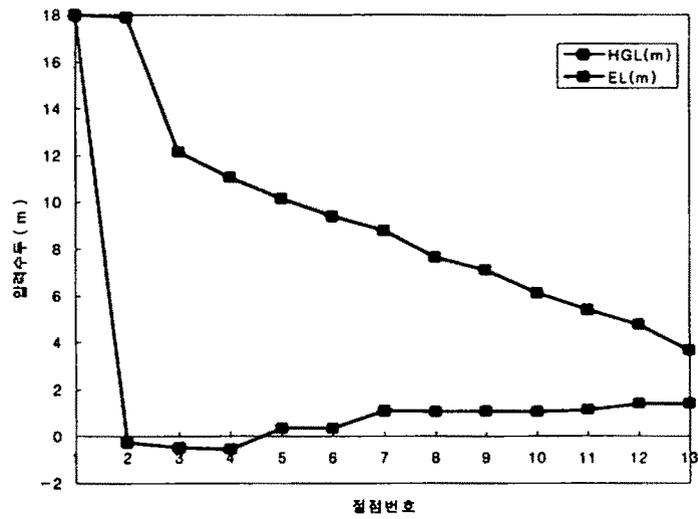
<표 7-3> 고흥지구 정상류 해석 결과

구 간	관경(mm)	관로길이 (m)	계획고 EL (m)	동수두 EL (m)	유량(m ³ /s)	
					소요유량	통과유량
1-2	1300	50	-0.26	17.9	0.88	2.29
2-3	1100	2716	-0.47	12.15	0	1.42
3-4	800	323	-0.54	11.05	0.08	0.79
4-5	800	318	0.36	10.17	0.08	0.71
5-6	700	143	0.36	9.56	0.01	0.63
6-7	700	184	1.10	8.8	0.07	0.62
7-8	700	345	1.05	7.66	0.06	0.55
8-9	700	198	1.07	7.12	0	0.49
9-10	531	169	1.05	6.15	0.05	0.49
10-11	531	155	1.13	5.41	0.05	0.44
11-12	531	166	1.40	4.77	0.05	0.40
12-13	531	356	-0.47	3.68	0.35	0.35
계		5123			2.29	

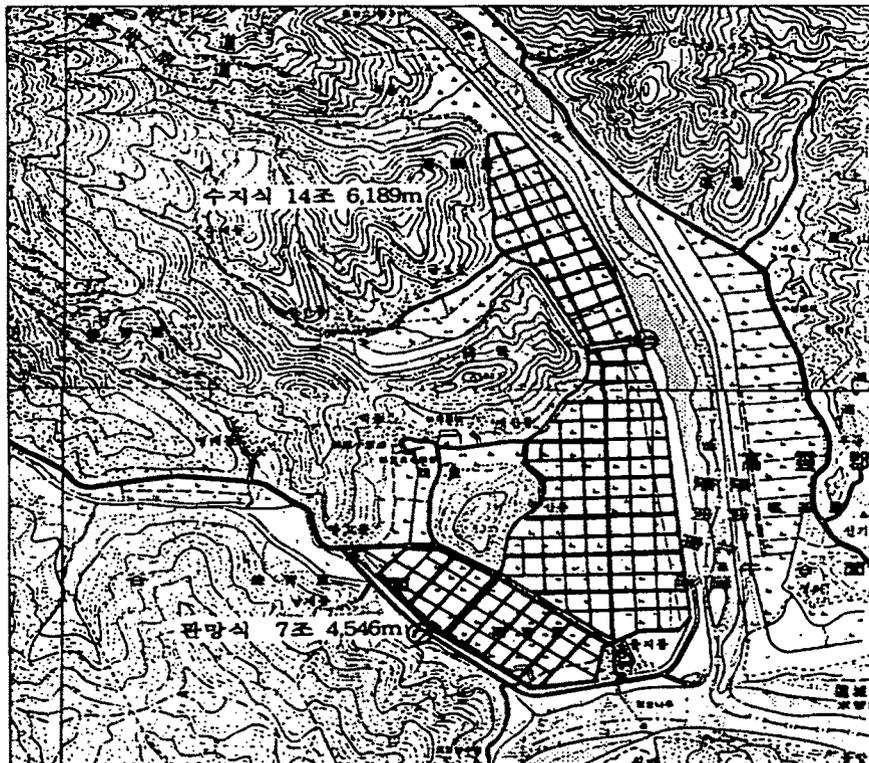
2. 덕곡지구

가. 지구 개요

덕곡지구는 (그림 7-9)와 같이 경남 합천군 덕곡면의 울지리와 3개리에 위치하고 있는 지구로서, 1995년~1996년 기간동안 덕곡지구 경지정리사업의 일환으로 추진되었다. 덕곡지구는 주수원공인 덕곡양수장으로 부터 용수간선 1조 3,870 m, 용수지선 2조 2,658 m, 용수지거 19조 8,028 m를 설치하여 필지별 급수가 가능하도록 하였다. 또한, 배수로는 배수지선 2조 3,414 m, 배수지거 23조 9,456 m를 설치하여 침수지역을 최소화하며 필지별 배수를 원활하게 하도록 하였다.



(그림 7-8) 고흥지구 용수간선의 계획고 및 동수두선



(그림 7-9) 덕곡지구 위치도

지구내의 관로 조직은 수원공에서부터 말단 급수전까지 전노선을 폐쇄된 형태로 필요한 수두를 확보하여 각각의 필지에 용수를 공급할 수 있도록 수지상 및 관망 관수로를 채택하였다. 14개 용수지거 단일노선에 관을 매설하여 용수간선에서 유입된 용수를 각 필지로 급수하는 수지형 관수로는 총 연장이 6,189 m이며, 그물형(관망) 관수로는 7조 6,189 m로서, 수위 확보가 충분하고 지형이 평탄한 37.2 ha의 단일 물리구역에 대하여 간선 수위에 의한 자연 압력식 급수방식을 적용하여 설치하였다.

덕곡지구 관수로 시스템의 주요 자재는 <표 7-4>에 나타나있다. 주관은 $\phi 200 \sim \phi 350$ mm의 P.E. 일반관을 사용하였으며, 급수관은 $\phi 75$ mm의 P.E. 일반관을 설치하였다. 급수밸브는 분사밸브와 나이프게이트 밸브 2종을 설치하였으며, 부대시설로 맨홀과 급수 보호통을 제작하여 설치하였다.

<표 7-4> 주요 자재 및 규격

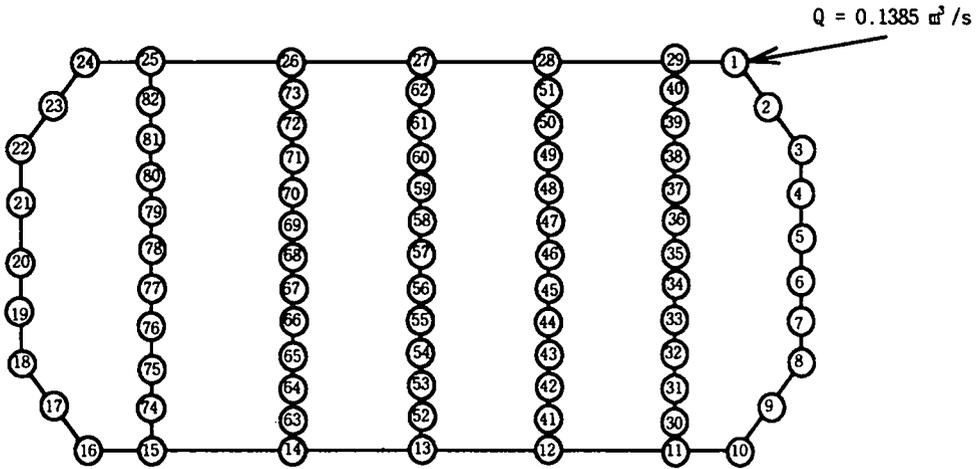
구 분	관 중 (mm)		급수밸브 (mm)		부 대 시 설	
	주 관	급수관	분사밸브	나이프게이트밸브	맨홀	급수보호통
규 격	$\phi 200 \sim \phi 350$	$\phi 75$	$\phi 75$		1.0×1.0 ×1.0	560×560 ×680
재 료 특 성	P.E 일반관 (2종, 7kg/cm ²)	P.E 일반관 (2종, 7kg/cm ²)	합성수지 (P.V.C)		현장타설 Con'c	조립식 Con'c

나. 정상류 수리 검토

덕곡지구의 정상류 수리해석을 위한 관로망의 모식도는 (그림 7-10)과 같다. 관로망은 88개의 관로요소와 82개의 절점으로 구성되어 있으며, 각 관로요소의 연결상태와 관경, 관로길이는 <표 7-5>와 같다.

(그림 7-10)의 관로망에 대하여 1번 절점인 용수간선으로 부터 설계유량 $Q = 0.1385 \text{ m}^3/\text{s}$ 가 주어졌을 경우, 정상류 수리해석 결과는 <표 7-5>와 같다. 관로의 유속계수는 $C = 140$ 을 사용하였다. 용수간선으로 부터 취수된 용수는 수두 및 지

유속계수는 $C = 140$ 을 사용하였다. 용수간선으로 부터 취수된 용수는 수두 및 지



(그림 7-10) 덕곡지구 관로망 모식도

형경사에 따라 관망 흐름을 구성하게 된다. 관망의 흐름 방향과 주요지점의 유량을 표시하면 (그림 7-11)과 같다.

또한, 각 절점별 수두변화를 살펴보면 (그림 7-12)와 같이 취수구인 1번 절점은 15.57 m를 보였으며, 19번 절점에서는 14.73 m로서 양 방향의 유량이 합쳐지는 곳이 된다.

3. 해남간척지구

가. 지구 개요

해남간척지구는 전남 해남군 해남읍, 황산면, 마산면 등 3개 읍면에 걸쳐 위치하고 있으며, 1985년에 착공하여 방조제 1조 1,874 km와 배수갑문 1개소를 완공하여 황산면 측은 2공구로, 화산면 측은 3공구로 설정하여 개답 및 관개개선 등 영농기반조성을 실시하고 있다. 이 중 제3공구는 (그림 7-13)과 같이 수호 근처에 위치한 연곡양수장으로 부터 제1호 및 2호 용수간선, 제3호 용수간선이 시작되고 제3호 용수간선으로 부터 차례대로, 제6호, 제4호, 제5호 용수간선이 분지되어 각 지구

<표 7-5> 정상류 수리해석 결과

PIPE No.	NODE No. FROM	NODE No. TO	길이 (m)	관경 (mm)	유속계수 C	소요유량 (m ³ /s)	통과유량 (m ³ /s)	유속 (m/s)	동수위 m
1	1	2	36	300	140	0.001369	0.048414	0.68	15.57
2	2	3	34	300	140	0.001369	0.047044	0.67	15.51
3	3	4	30	300	140	0.001361	0.045686	0.65	15.47
4	4	5	36	300	140	0.001589	0.044094	0.62	15.43
5	5	6	34	300	140	0.001589	0.042506	0.6	15.38
6	6	7	40	300	140	0.001581	0.040925	0.58	15.35
7	7	8	40	300	140	0.001500	0.039425	0.56	15.30
8	8	9	50	300	140	0.001139	0.038286	0.54	15.26
9	9	10	50	300	140	0.001150	0.037136	0.53	15.22
10	10	11	195	300	140	0.001150	0.035986	0.51	15.17
11	11	12	200	300	140	0	0.034017	0.48	15.01
12	12	13	200	300	140	0	0.025322	0.36	14.85
13	13	14	20	300	140	0	0.022347	0.32	14.77
14	14	15	202	300	140	0	0.012228	0.17	14.76
15	15	16	206	300	140	0	0.005578	0.08	14.74
16	16	17	16	250	140	0	0.005578	0.11	14.73
17	17	18	30	250	140	0.002261	0.003319	0.07	14.73
18	18	19	34	250	140	0.002261	0.001058	0.02	14.73
19	20	19	36	250	140	0.002231	0.001211	0.02	14.73
20	21	20	36	250	140	0.001200	0.003442	0.07	14.73
21	22	21	30	250	140	0.002231	0.004642	0.09	14.74
22	23	22	50	250	140	0.001200	0.006022	0.12	14.74
23	24	23	50	250	140	0.001381	0.0074	0.15	14.74
24	25	24	160	250	140	0.001381	0.008781	0.18	14.77
25	26	25	206	350	140	0.001381	0.014522	0.15	14.78
26	27	26	20	350	140	0.002869	0.031583	0.33	14.79
27	28	27	204	350	140	0.001139	0.042878	0.45	14.90
28	29	28	207	350	140	0.001250	0.062633	0.65	15.13
29	1	29	205	350	140	0.001369	0.088906	0.92	15.57
30	11	30	14	350	140	0.001150	0.001969	0.04	15.01

<표 7-5> 계속

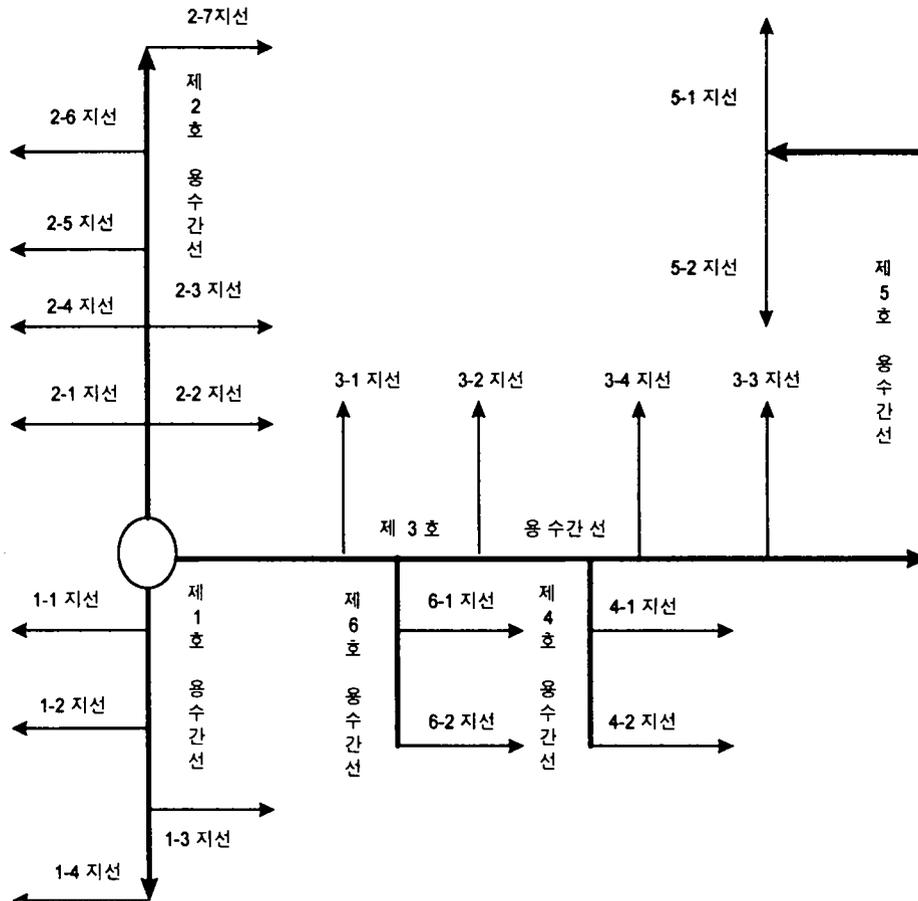
PIPE No.	NODE FROM	NODE TO	길이 (m)	관경 (mm)	유속계수 C	소요유량 (m ³ /s)	통과유량 (m ³ /s)	유속 (m/s)	동수위 m
31	31	30	30	250	140	0.001969	0	0.04	15.01
32	32	31	36	250	140	0.001981	0.001972	0.04	15.01
33	33	32	30	250	140	0.002481	0.00395	0.08	15.01
34	34	33	34	250	140	0.002481	0.006431	0.13	15.01
35	35	34	36	250	140	0.002481	0.008911	0.18	15.02
36	36	35	30	250	140	0.002481	0.011392	0.23	15.02
37	37	36	34	250	140	0.002481	0.013872	0.28	15.04
38	38	37	36	250	140	0.002481	0.01635	0.33	15.05
39	39	38	30	250	140	0.002481	0.018831	0.38	15.07
40	40	39	34	250	140	0.002481	0.021311	0.43	15.10
41	29	40	36	250	140	0.002489	0.023792	0.48	15.13
42	12	41	12	250	140	0	0.008692	0.18	14.85
43	41	42	30	250	140	0.002031	0.006664	0.14	14.85
44	42	43	36	250	140	0.002039	0.004622	0.09	14.85
45	43	44	30	250	140	0.002039	0.002583	0.05	14.85
46	44	45	34	250	140	0.002481	0.000103	0	14.85
47	46	45	36	250	140	0.002481	0.002378	0.05	14.85
48	47	46	30	250	140	0.002489	0.004858	0.10	14.85
49	48	47	34	250	140	0.002481	0.007347	0.15	14.85
50	49	48	36	250	140	0.002481	0.009828	0.20	14.86
51	50	49	30	250	140	0.002481	0.012308	0.25	14.87
52	51	50	34	250	140	0.002481	0.014786	0.30	14.88
53	28	51	36	250	140	0.002489	0.017267	0.35	14.90
54	13	52	16	250	140	0	0.002978	0.06	14.77
55	52	53	30	250	140	0.001031	0.001947	0.04	14.77
56	53	54	36	250	140	0.001031	0.000917	0.02	14.77
57	55	54	30	250	140	0.001239	0.000125	0	14.77
58	56	55	34	250	140	0.001239	0.001364	0.03	14.77
59	57	56	36	250	140	0.001239	0.002603	0.05	14.77
60	58	57	30	250	140	0.001239	0.003844	0.08	14.77

<표 7-5> 계속

PIPE No.	NODE FROM	NODE TO	길이 (m)	관경 (mm)	유속계수 C	소요유량 (m ³ /s)	통과유량 (m ³ /s)	유속 (m/s)	동수위 m
61	59	58	34	250	140	0.001239	0.005083	0.10	14.77
62	60	59	36	250	140	0.001239	0.006322	0.13	14.77
63	61	60	30	250	140	0.001239	0.007564	0.15	14.78
64	62	61	34	250	140	0.001239	0.008803	0.18	14.78
65	27	62	36	250	140	0.002869	0.010044	0.20	14.79
66	14	63	14	250	140	0	0.010117	0.21	14.76
67	63	64	34	250	140	0.001061	0.009058	0.18	14.76
68	64	65	36	250	140	0.001061	0.007997	0.16	14.76
69	65	66	30	250	140	0.001061	0.006939	0.14	14.75
70	66	67	34	250	140	0.001239	0.005697	0.12	14.75
71	67	68	36	250	140	0.001239	0.004458	0.09	14.75
72	68	69	30	250	140	0.001239	0.003217	0.07	14.74
73	69	70	34	250	140	0.001239	0.001978	0.04	14.74
74	71	70	36	250	140	0.001250	0.007422	0.15	14.75
75	72	71	30	250	140	0.001139	0.011153	0.23	14.75
76	73	72	34	250	140	0.001139	0.014781	0.30	14.77
77	26	73	36	250	140	0.001139	0.015922	0.32	14.78
78	15	74	32	250	140	0	0.006650	0.14	14.74
79	74	75	34	250	140	0.002439	0.004211	0.09	14.74
80	75	76	30	250	140	0.002450	0.001761	0.04	14.74
81	77	76	34	250	140	0.002481	0.000719	0.01	14.74
82	78	77	36	250	140	0.002481	0.003200	0.07	14.74
83	79	78	30	250	140	0.002481	0.005681	0.12	14.74
84	70	79	34	250	140	0.002481	0.008161	0.17	14.74
85	71	80	36	250	140	0.001250	0.002481	0.05	14.75
86	72	81	42	250	140	0.001139	0.002489	0.05	14.75
87	25	82	40	250	140	0.002869	0.002869	0.06	14.77
88	0	1	10	300	140	0	0.138689	1.96	15.67

로 용수가 공급된다.

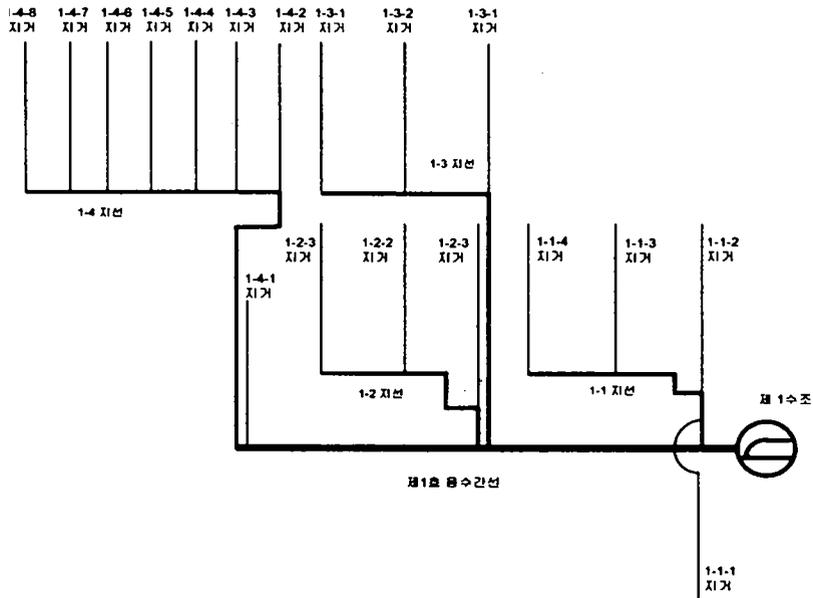
제 3공구의 용수조직은 용수간선 6조 12,500 m, 용수지선 21조 18,239 m, 용수지거 86조 38,232 m로 설계되었으며, 각각의 체원은 <표 7-6>과 같다. 가장 통수량이 큰 제 3호 용수간선은 연장 4338 m, 지배면적 541.6 ha, 통수량이 1.3730 m³/sec이며, 각 구간별 관수로는 1.10 m, 0.80 m, 0.60 m, 0.50 m, 0.45 m, 0.40 m, 0.35m 등의 종류로 구성되어 있다. (그림 7-14) ~ (그림 7-16)은 각 용수간선의 구성상태를 모식도로 나타낸 것이다.



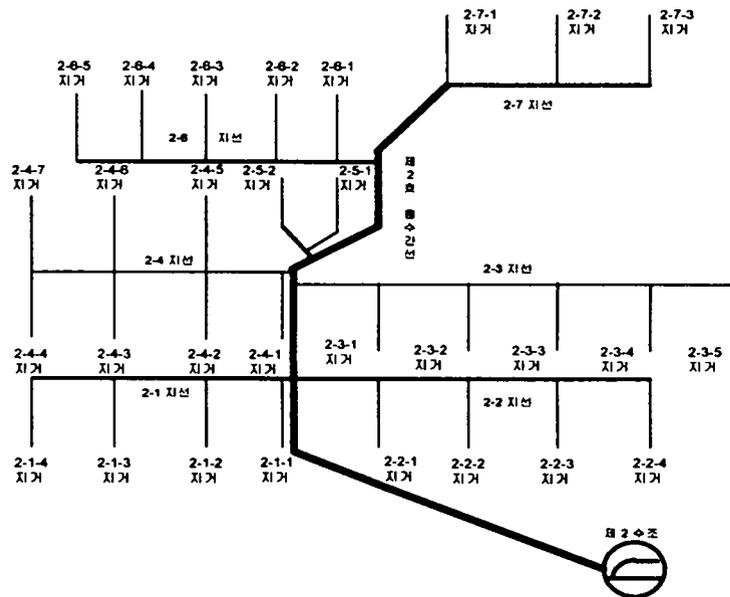
(그림 7-13) 해남 3공구 용수조직 모식도

<표 7-6> 해남 3공구 용수간·지선 현황

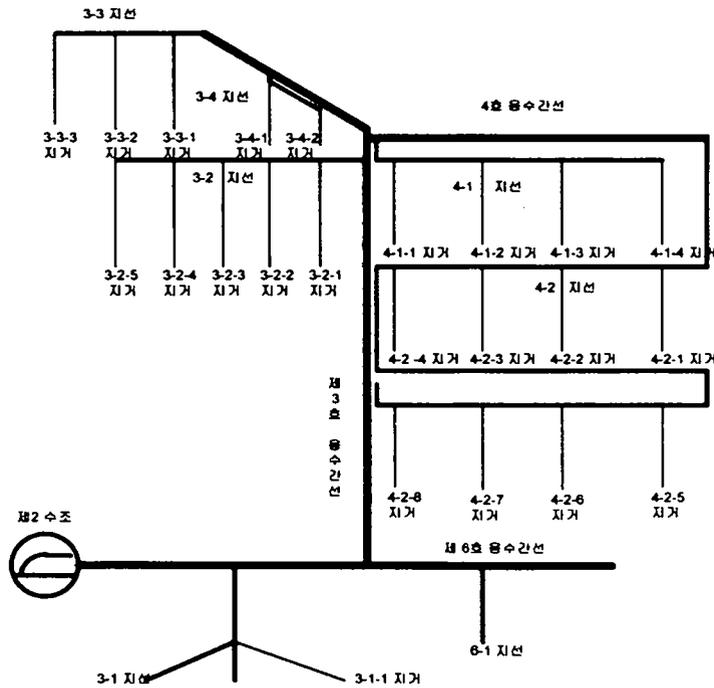
구분	간선	지선	연장 (m)	지배면적 (ha)	통수량 (m ³ /sec)	비고(관경, m)
1	1		1216	295.70	0.5522	관수로(0.80)
2		1-1	355	17.60	0.1129	관수로(0.35)
3		1-2	428	14.90	0.1090	관수로(0.35)
4		1-3	698	32.50	0.1302	관수로(0.40)
5		1-4	1595	71.70	0.2001	관수로(0.40)
6	2		2409	287.40	1.4316	관수로(0.80)
7		2-1	625	17.70	0.1130	관수로(0.40)
8		2-2	856	49.50	0.1501	관수로(0.45)
9		2-3	1064	30.20	0.1276	관수로(0.45)
10		2-4	552	68.40	0.2055	관수로(0.50)
11		2-5	320	13.50	0.0344	관수로(0.35)
12		2-6	870	41.60	0.1409	관수로(0.40)
13		2-7	410	9.80	0.1079	관수로(0.35)
14	3		4338	541.60	1.6940	관수로(1.10)
15		3-1	1150	82.00	0.2460	관수로(0.40)
16		3-2	1085	68.30	0.2052	관수로(0.60)
17		3-3	485	29.30	0.1265	관수로(0.45)
18		3-4	206	9.50	0.1034	관수로(0.35)
19	4		911	166.10	0.4503	관수로(0.60)
20		4-1	687	46.10	0.1461	관수로(0.45)
21		4-2	1922	120.0	0.3042	관수로(0.45)
22	5		2020	162.22	0.4110	개수로
23		5-1	700	13.75	0.1627	개수로
24		5-2	1316	36.40	0.1348	개수로
25	6		913	15.30	0.1140	관수로(0.40)
26		6-1	756	2.50	0.0441	관수로(0.35)
27		6-2	2064	12.80	0.1073	개수로



(그림 7-14) 제1호 용수간선 모식도



(그림 7-15) 제2호 용수간선 모식도

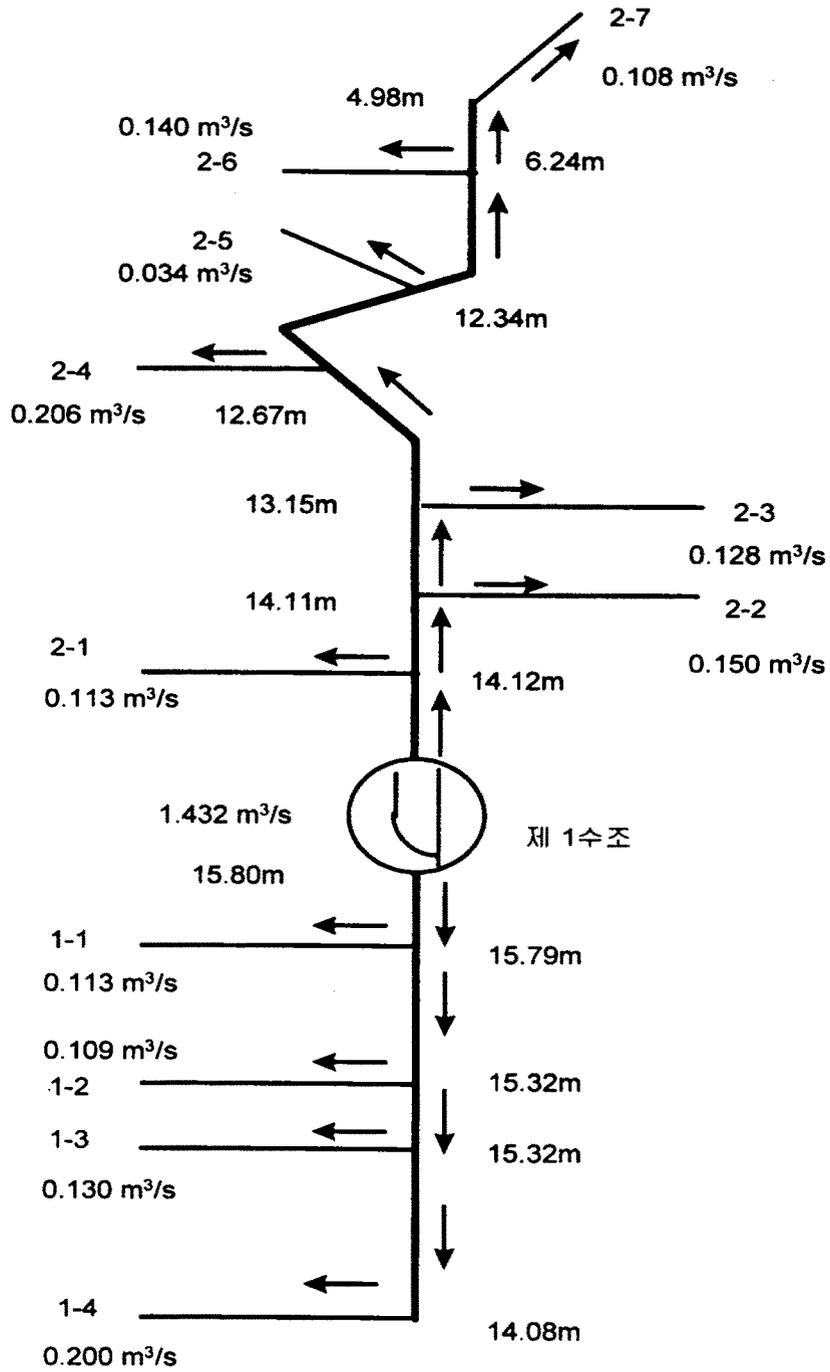


(그림 7-16) 제 3, 4, 5, 6호 용수간선 모식도

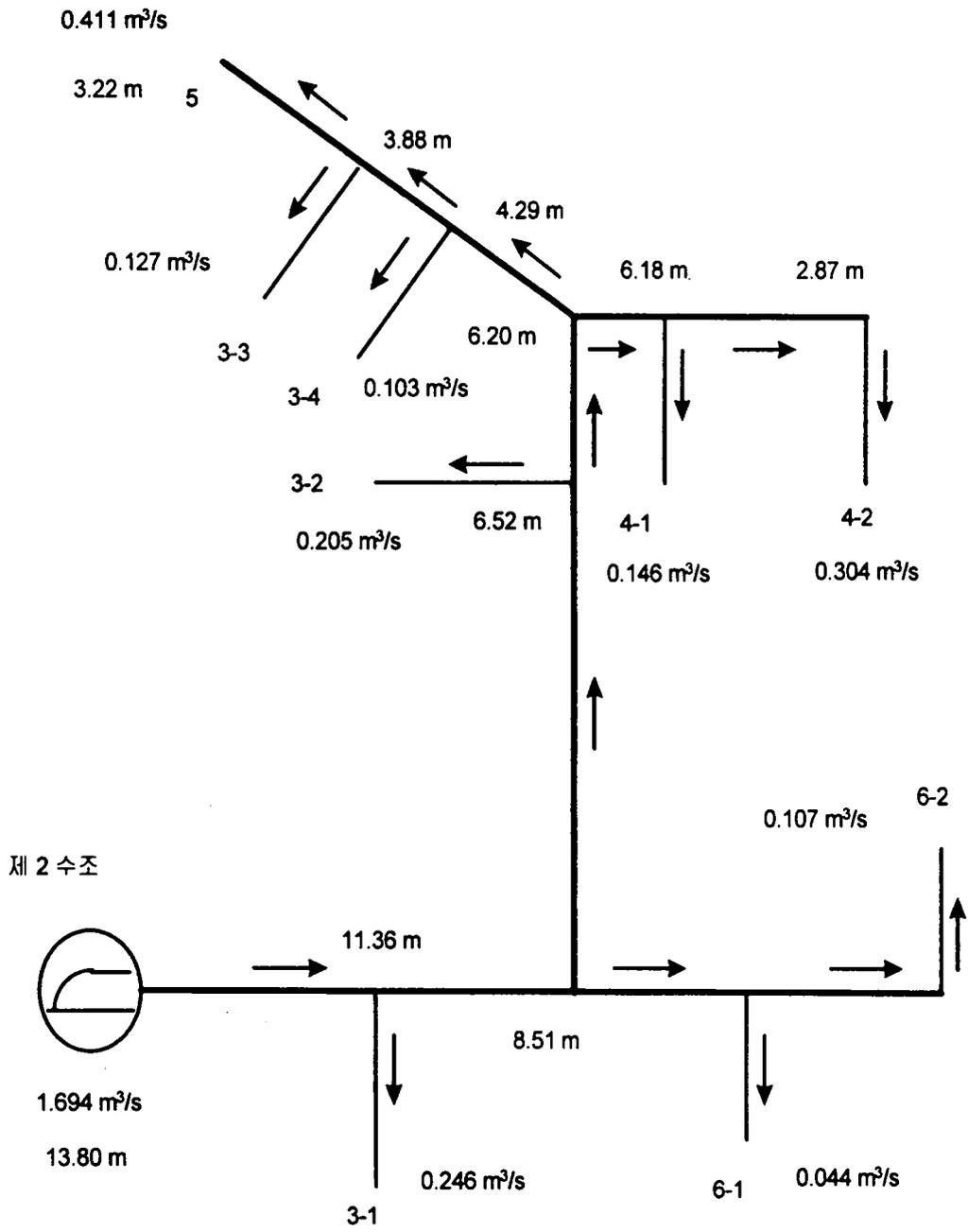
나. 정상류 수리 검토

대상지구의 용수조직의 제원은 양수장으로 부터 설계유량이 전용수로 구간에 일시에 도수되는 것을 전제로 하여, 각 구간의 설계도수량을 송수할 수 있는 단면을 결정하고 있다. 대상지구의 정상류 수리해석은 용수간선을 제1호 및 2호 용수간선과 제3호 용수간선으로 구분하여 양수장의 수조의 수표면고를 고정수두로 하고, 각 용수지거에서의 설계유량을 용수간선 절점의 소요유량으로 하여, 각 분지점의 압력수두를 계산하였다. 해남 3공구 관수로 조직의 정상류 수리계산을 위한 입력자료는 '해남 3공구 용수계통도 및 중·횡단면도' 를 참고하였으며, Hazen-Williams의 C값은 130을 사용하였다.

(그림 7-17)은 수표면고가 15.80 m인 연곡양수장 제1수조에서 1.432 m³/sec의 유량이 제1, 2호 용수간선으로 통수되고, 용수간선내의 각 분지점에서 설계유량을



(그림 7-17) 제1, 2호 용수간선 정상류 수리해석 결과



(그림 7-18) 제 3, 4, 5, 6 호 용수간선 정상류 수리 해석 결과

취수할 때 각 지점의 소요유량과 압력수두를 보여주고 있다.

(그림 7-18)은 수표면고가 13.80 m인 연곡양수장 제 2수조에서 1.694 m³/sec 유량이 제3호 용수간선으로 통수되어, 제6호, 제 4호, 제5호 용수간선으로 순으로 분지되어 통수될 때의 각 분지범의 소요유량과 압력수두를 보여주고 있다.

제5절 요약 및 결론

관수로 시스템의 정상류 수리해석을 위하여 프로그램을 개발하고, 관수로 지수에 적용하여 기능 검토를 실시하여 적용성을 평가하였다. 이상의 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

① 관로망 해석을 위하여 관로 요소를 정의하였으며, 정상류 수리해석을 위한 비선형 방정식을 구성하였다.

② Newton-Raphson 방법을 이용하여 비선형 방정식을 풀이하였으며, 경계조건으로부터 관로망 해석 프로그램을 개발하였다.

③ 관로망의 정상류 수리해석을 위하여 수지형 관수로 지구와 그물형 관수로 지구를 선정하였으며, 주어진 수리조건에 따라 수리검토를 하였으며, 프로그램의 적용성을 평가하였다.

제8장 관수로 시스템 수리계산 프로그램 개발

- 비정상류 수리계산 -

제1절 서론

관로망의 계획에서는 관내의 수압, 즉 내수압을 견딜 수 있는 관체를 선정해야 한다. 내수압은 동수압과 수격압으로 구성되는 데, 동수압은 관로의 흐름에 필요한 압력으로 거의 정상상태이며, 제7장의 관로망 해석에서 다루었다. 그런데, 수격압은 관로망의 한점, 또는 그 이상에서 펌프의 작동·정지, 밸브의 개폐 등이 이루어질 때, 급격한 수리적 특성의 변화에 수반되는 압력으로 수리적 상태가 정상상태로 회복되는 비교적 짧은 시간 동안에 발생, 소멸하는 특징을 가진다.

설계수압은 동수압과 수격압의 합으로 정의되므로 관로망의 계획에서는 수격압에 대한 정확한 추정이 필요하며, 이를 바탕으로 수격압의 감쇄를 위한 조정장치 등을 계획하여, 관로망의 안전을 고려해야 한다. 관로망의 조작에서도 여러 가지 수리단위의 개폐조건에 따른 수격압을 추정하여 안전한 물관리가 이루어질 수 있도록 하는 것이 필요하다.

따라서, 본 장에서는 관수로망에서 부정류 해석을 위한 기본적 이론을 정리하고, 수격작용 발생원인 별로 수격압계산을 위한 수치모델을 구성하고, 그 결과를 실제 관수로 설치지구에 적용하여 현장적용성을 검토하도록 한다.

제2절 비정상류의 수리해석

1. 수 격

수격은 흔히 워터햄머 (waterhammer)라고 부르며, 관수로에서 유량의 급격한 변화로 인하여 매우 큰 압력이 발생하고, 이로 인하여 관수로내의 유속이 가속되거나, 감속되는 현상을 말하며, 수격이 발생될 때의 압력을 수격압이라 한다. 이와 같은 waterhammer는 관수로 내의 유량이 순간적으로 완전히 차단되는 경우에 유속이 급격히 감소하므로써 급변류 흐름이 발생하여 생기는 것이 보통이다.

수격 작용은 관수로에서 펌프의 작동·정지, 밸브의 개폐, 관개초기 빈 관의 충수 등에 의한 과도적 흐름 상태에서 발생하게 되며, 과도한 수격압의 발생은 관로의 안전성에 영향을 미치게 된다. (그림 8-1)은 말단 밸브의 급폐쇄에 따라 발생한 수격압에 의해 밸브연결부가 파손된 상태를 보여주고 있다.

가. 비정상류의 수리검토 목적

비정상류의 수리검토 목적은 다음과 같다.

- ① 펌프의 작동·정지, 밸브의 개폐, 빈 관의 충수로 인하여 발생하는 수격압 (상승압 혹은 강하압)의 크기가 관수로의 내압강도에 대하여 안전한지 여부와 그 대책을 검토하고,
- ② 관수로의 부대조정수조에 발생하는 수면진동 (서지현상)이 시설규모에 대하여 안전한가의 여부와 그 대책을 검토하며,



(그림 8-1) 수격작용에 의한 관의 파손

③ 펌프나 밸브 등의 제어방식 및 그 관리 방식이 관수로 시스템의 송·배수기능을 충분히 만족할 수 있는가의 여부와 그 대책을 검토하는 것 등이다.

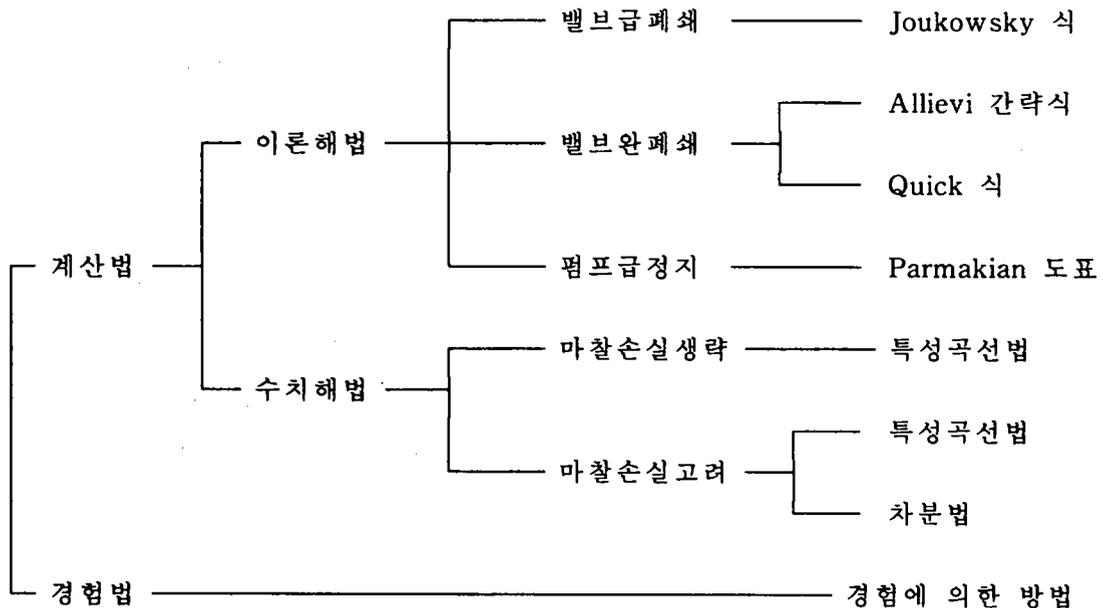
나. 비정상류의 검토대상

비정상류 해석을 필요로 하는 경우는 다음과 같다.

- ① 수지상 관수로 시스템의 수격압에 대한 해석과 대책을 검토하는 경우
- ② 관수로 시스템이 복수의 수조를 갖는 경우
- ③ 관수로 시스템의 송·배수관리를 자동제어로 하는 경우 등이다.

2. 계산 방법

수격압의 계산방법은 (그림 8-2)와 같이 수리 계산법과 경험법 등으로 구분되며, 수리 계산법은 단순한 관로망의 수격압을 해석하는 이론해법과 복잡한 관로망의 수격압을 해석하는 수치해법으로 나뉜다.



(그림 8-2) 수격압의 계산방법

일반적으로 농업용 관수로는 펌프와 분수공을 설치하게 되므로, 관로구성이 수직상이나 망상 등 복잡한 조직으로 되는 경우가 많다. 그러므로, 주요한 간선수로 등에 대한 수격압은 수치해법으로 해석하게 되며, 특히, 폐쇄식 관수로나 펌프에 의한 가압식 관수로는 수치해법으로 해석하는 것이 보통이다.

3. 기본 방정식

관내 과도류 해석을 위한 지배방정식으로는 운동량방정식과 연속방정식이 사용된다. 1차원 흐름의 유체에서 유속분포가 전 통수단면에 대하여 균등하고 마찰손실이 정상류 상태와 동일하다고 가정할 때, 연속방정식과 운동량방정식은 아래의 식 (8-1)과 식 (8-2)와 같이 표시할 수 있다.

$$\frac{a^2}{gA} \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial t} = 0 \quad (8-1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{f}{2DA} Q |Q| = 0 \quad (8-2)$$

여기서, Q는 유량(m³/sec), H는 수두(m), A는 통수단면적(m²), g는 중력가속도(9.8m/sec²), f는 조도계수, D는 관경(m)이다.

관내 과도류해석을 위한 지배방정식 식 (8-1), 식 (8-2)는 준선형(Quasilinear), 쌍곡선(Hyperbolic) 편미분방정식이며, 이들 방정식의 일반적인 해석방법은 알려져 있지 않으며, 컴퓨터를 이용한 수치해석방법이 널리 이용되고 있다. 이들 수치해석 방법으로는 특성법, 유한차분법, 유한요소법 등이 있으며, 본 연구에서는 널리 이용되고 있는 특성법에 의한 수치해석을 이용하여 농용관수로에 대한 수리해석을 실시하였다. 특히, 1차원 부정류 해석의 경우, 특성법에 의한 해석방법이 다른 수치해석 방법들에 비해 정확한 결과를 얻을 수 있는 것으로 알려져 있다.

4. 수치해법

식 (8-1)과 식 (8-2)를 해석하기 위하여 특성법(Characteristic method)를 적용하기로 하고, 먼저 식 (8-1)과 식 (8-2)를 합성하여 아래와 같은 식 (8-3)을 정의하였다.

$$\left(\frac{\partial Q}{\partial t} + \lambda a^2 \frac{\partial Q}{\partial x}\right) + \lambda gA \left(\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{1}{\lambda} \frac{\partial H}{\partial x}\right) + \frac{f}{2DA} Q |Q| = 0 \quad (8-3)$$

식 (8-3)에서 편미분항을 차분항으로 정리하면 식 (8-4), 식 (8-5)와 같다.

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} \frac{dx}{dt} \quad (8-4)$$

$$\frac{dH}{dt} = \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial H}{\partial x} \frac{dx}{dt} \quad (8-5)$$

속도개념인 $\frac{dx}{dt}$ 를 $\pm a$ 일 때로 정의하여 식 (8-3)을 정리하면, 식 (8-6), (8-7)로 나타낼 수 있다.

$$\frac{dQ}{dt} + \frac{gA}{a} \frac{dH}{dt} + \frac{f}{2DA} Q |Q| = 0 \quad (\because \frac{dx}{dt} = a) \quad (8-6)$$

$$\frac{dQ}{dt} - \frac{gA}{a} \frac{dH}{dt} + \frac{f}{2DA} Q |Q| = 0 \quad (\because \frac{dx}{dt} = -a) \quad (8-7)$$

특성법에 의한 각 지점의 유량과 압력수두는 (그림 8-3)에서와 같이 $t + \Delta t$ 시간의 P지점에서의 값과 t_0 시간에 대한 A지점, B지점의 값으로 부터 구할 수 있다.

$\frac{dx}{dt} = a$ 일 때, 유량과 수두의 차분항은 식 (8-8)과 식 (8-9)로 나타낼 수 있다.

$$dQ = Q_P - Q_A \quad (8-8)$$

$$dH = H_P - H_A \quad (8-9)$$

$\frac{dx}{dt} = -a$ 일 때, 유량과 수두의 차분항은 식 (8-10)과 식 (8-11)로 나타낼 수 있다.

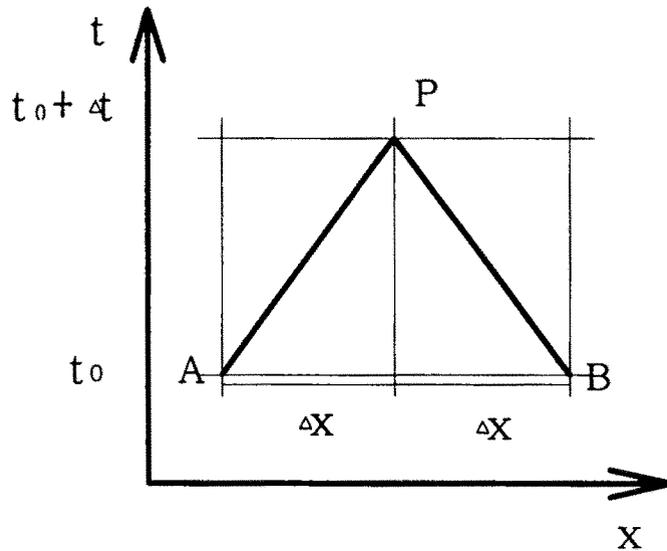
$$dQ = Q_P - Q_B \quad (8-10)$$

$$dH = H_P - H_B \quad (8-11)$$

위의 식 (8-8)~식 (8-11)을 식 (8-6), 식 (8-7)에 대입하여 관수로 각 지점에서의 유량과 수두의 변화를 식 (8-13), (8-14)와 같이 계산할 수 있다.

$$(Q_P - Q_A) + \left(\frac{gA}{a}\right)(H_P - H_A) + \frac{f}{2DA} Q_A |Q_A| = 0 \quad (8-13)$$

$$(Q_P - Q_B) - \left(\frac{gA}{a}\right)(H_P - H_B) + \frac{f}{2DA} Q_B |Q_B| = 0 \quad (8-14)$$



(그림 8-3) 특성법에서의 $x-t$ 평면

5. 경계조건

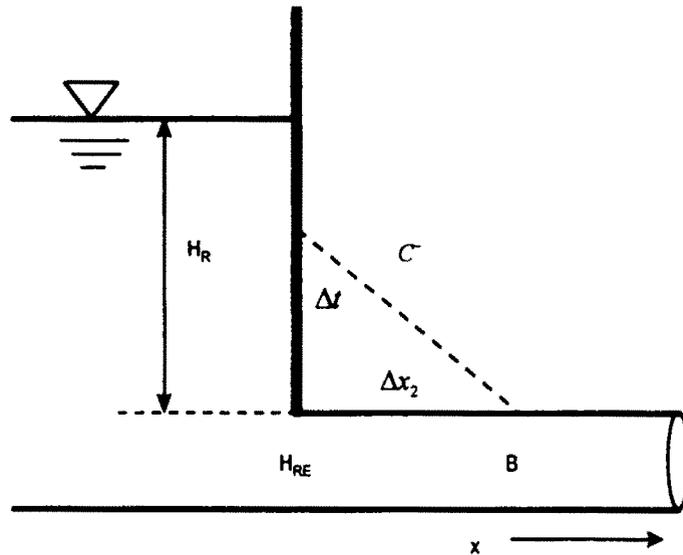
특성법에 의한 수격압 해석에서는 계산의 시작점이나 끝점에서 단지 1개의 방정식이 사용되기 때문에 미리 정해진 경계조건이 필요하다. 농업용 관수로에서의 경계조건은 시스템 구성의 특성상 상류조건은 저수지나 펌프의 형태가 있으며, 하류조건은 관경의 변화나 관의 분리, 밸브 개폐, 침사조 등의 형태가 있다. 농업용 관수로 시스템의 수격압 해석을 위한 이들 경계조건의 계산방법을 수격압 발생원인 별로 구분하여 살펴보면 다음과 같다.

가. 밸브, 펌프 조작에 의한 수격작용

(1) 상류단에 일정한 수위의 저수지가 있는 경우

(그림 8-4)와 같이 상류측 경계조건인 저수지의 수두(H_{RE})는 계산 시간 내에 일정하므로 유량 (Q_{RE})는 식 (8-15)에 의해 구할 수 있다.

$$Q_{RE} = Q_B + \left(\frac{gA}{a}\right)(H_{RE} - H_B) + \frac{f}{2DA} Q_B |Q_B| = 0 \quad (8-15)$$



(그림 8-4) 저수지의 특성곡선

(2) 상류단에 펌프가 있는 경우

펌프의 유출량 Q 는 회전속도 N 과 펌프 양정 H 에 의해 결정되며, 펌프가 가동되거나 정지할 때에 회전속도는 토크 T 에 의해 결정되기 때문에 변수 Q, H, N, T 에 대한 수학적 계산이 필요하다. 이들의 관계는 (그림 8-5)와 같은 특성곡선으로 나타낼 수 있으며, 식 (8-16)~식 (8-18)로 표시한다.

$$W_H(x) = \frac{h}{(\alpha^2 + v^2)} \quad (8-16)$$

$$W_B(x) = \frac{\beta}{(\alpha^2 + v^2)} \quad (8-17)$$

$$x = \pi + \tan^{-1} \frac{v}{\alpha} \quad (8-18)$$

여기서, $v = \frac{Q}{Q_R}$, $h = \frac{H}{H_R}$, $\alpha = \frac{N}{N_R}$, $\beta = \frac{T}{T_R}$ 이며, 하첨자 R 은 정격상수이다.

입의 시간의 펌프의 유량과 압력 수두는 식 (8-19), 식 (8-20)에 의해 구할 수 있다.

$$Q_{PUMP} = vQ_R \quad (8-19)$$

$$H_{PUMP} = H_R h = H_R (\alpha^2 + v^2) W_H(x) \quad (8-20)$$

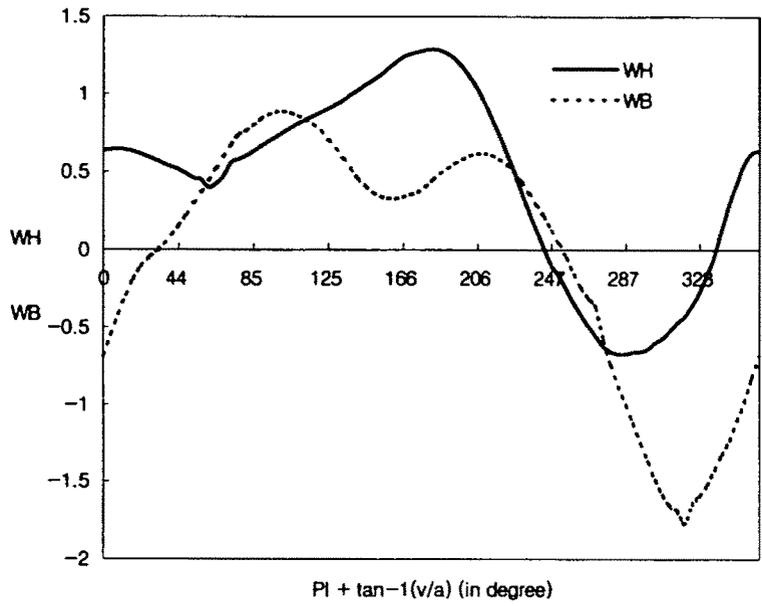
(3) 관로 말단에 밸브가 설치된 경우

(그림 8-6)과 같이 밸브조작에 의해서 수격현상이 발생할 때, 하류의 경계조건으로서 입의 시간에 밸브를 통과하는 유량 Q_{valve} 는 식 (8-21)과 같다.

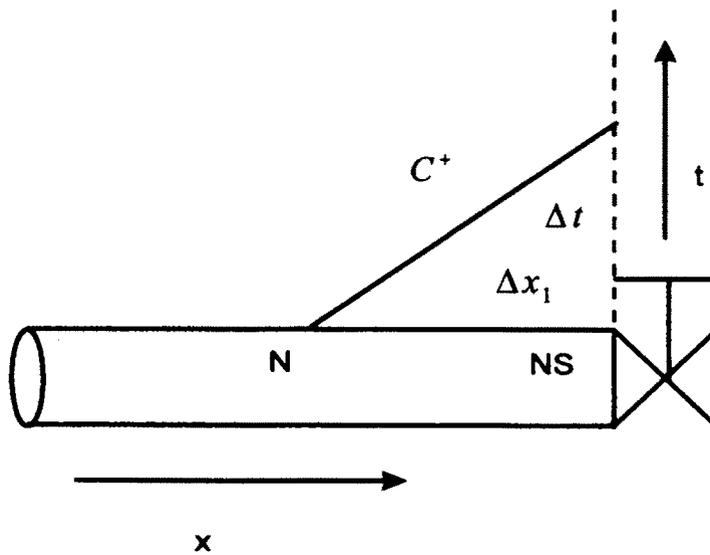
$$Q_{valve} = \frac{Q_0}{\sqrt{H_0}} \text{Tau} \sqrt{\Delta H} \quad (8-21)$$

$$\text{Tau} = \frac{C_d A_g}{(C_d A_g)_0}$$

여기서, Q_0 =정상류 상태의 유량 (m^3/s), H_0 =정상류 상태의 수두 (m), ΔH =밸브 상하류의 수두차 (m), C_d =유량계수, A_g =밸브의 개구부 단면적 (m^2)이다.



(그림 8-5) 펌프 특성곡선



(그림 8-6) 말단 밸브의 특성곡선

(4) 관경이 변하는 경우

그림 (8-7)과 같이 단면 1과 2의 속도수두차를 무시할 경우, 관경이 변하는 지점에서 수두는 식 (8-22)와 같이 나타낼 수 있으며, 연결점의 연속방정식은 식 (8-23)과 같이 나타낼 수 있다.

$$H_{1,NS} = H_{2,1} \quad (8-22)$$

$$Q_{1,NS} = Q_{2,1} \quad (8-23)$$

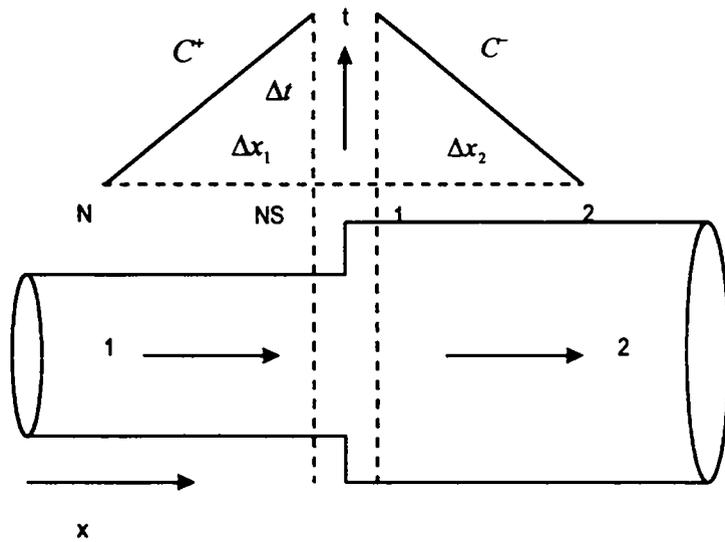
식 (8-22), (8-23)과 특성방정식을 연립하여 풀면, 관경변화지점의 유량과 압력수두를 계산할 수 있다.

(5) surge tank (침사조)

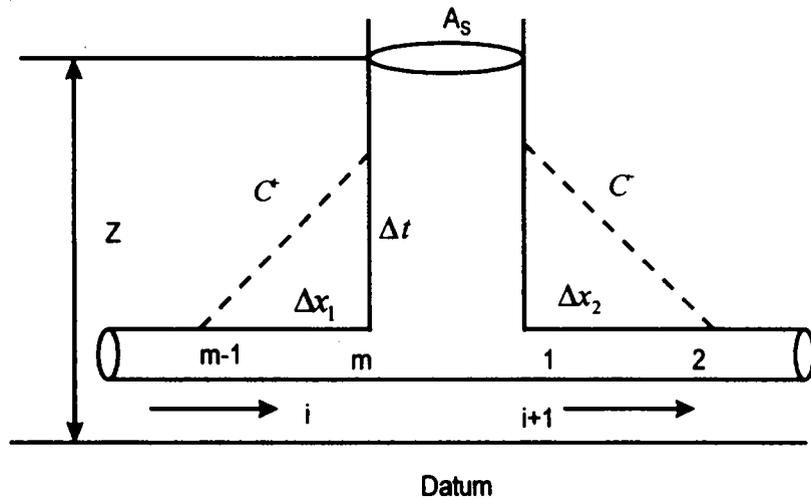
일반적으로 surge tank는 과압력일 때에는 관에서 유출되는 유체를 잠시 저류함으로서 압력의 상승을 막고, 압력이 떨어질 때에는 유체를 공급함으로서 압력을 조절하게 된다. 농업용 관수로의 경우에는 시스템구조상 수면이 대기과 접해있는 침사조의 경계조건을 surge tank의 경우로 해석을 하게된다. surge tank의 경계조건은 (그림 8-8)과 같이 surge tank에 연결된 상하류의 특성방정식, 연속방정식과 식 (8-24)에 의해서 결정된다.

$$H_{m,i} = H_{1,i+1} = Z - \frac{1}{2} \frac{\Delta t}{A_s} (Q_{t+\Delta t} + Q_t) \quad (8-24)$$

여기서, $H_{m,i}$ 는 surge tank의 상류측 연결부의 압력수두(m), $H_{1,i+1}$ 는 surge tank의 하류측 연결부의 압력수두(m), $Q_{t+\Delta t}$ 는 $t + \Delta t$ 시간에 surge tank에서 관으로의 유입량(m^3/sec), Q_t 는 t 시간에 surge tank에서 관으로의 유입량(m^3/sec), A_s 는 surge tank의 단면적(m^2)이다.



(그림 8-7) 관경변화지점의 특성방정식



(그림 8-8) surge tank의 특성방정식

나. 빈 관의 충수에 의한 수격작용

(그림 8-9)와 같이 상류측의 밸브개방에 의해 빈 관을 충수시킬 때, 관내의 공기는 물머리가 진행함에 따라 공기변을 통해서 관밖으로 빠져나간다. 이때 수두손실은 공기에 의한 것 보다 관마찰에 의한 것이 더 크므로, 물머리의 진행에 대한 공기의 영향은 무시할 수 있다.

(1) 물머리 진행

빈 관의 충수시 관내의 유속은 정상상태의 유속보다 크게 되며, 물머리의 진행에 따른 유속의 변화는 (그림 8-10)과 같은 Control Volume에 운동량 방정식을 적용하면 식 (8-25)와 같다.

$$P_0A - P_1A - F_g \sin \theta - F_w = \rho LA \frac{dV}{dt} \quad (8-25)$$

여기서, P_0 는 상류부의 압력($= \rho gh$), P_1 는 대기압($=0$), F_g 는 중력에 의한 유체의 무게($= \rho gLA$), F_w 는 관벽에서 마찰력($= \frac{1}{8} \rho V^2 \pi DL$), A 는 관단면적(m^2), ρ 는 물의 밀도($=1000 \text{ kg/m}^3$), g 는 중력가속도($=9.8 \text{ m/sec}^2$), L 은 선행수두 길이(m), D 는 관경(m), f 는 Darcy-Weisbach 마찰계수이다.

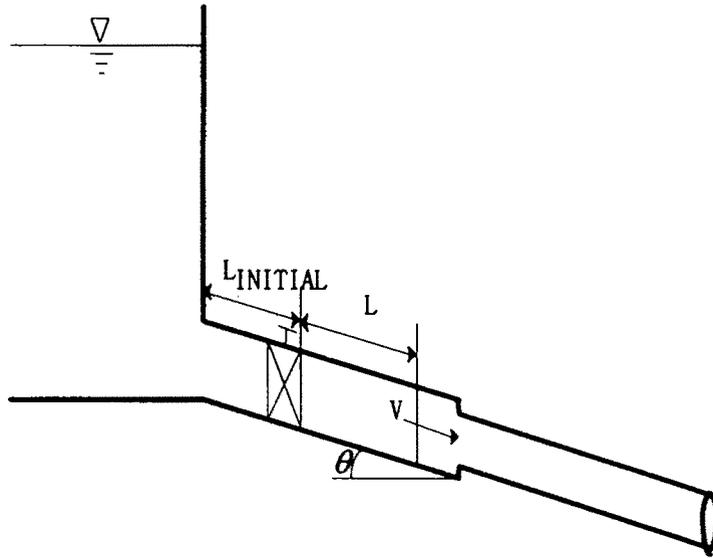
식 (8-25)를 정리하면 식 (8-26)과 같은 선행 수두에서의 유속변화를 유도할 수 있다.

$$\frac{dQ}{dt} = \left(\frac{P_0}{\rho L} + g \sin \theta - \frac{fV^2}{2D} \right) A \quad (8-26)$$

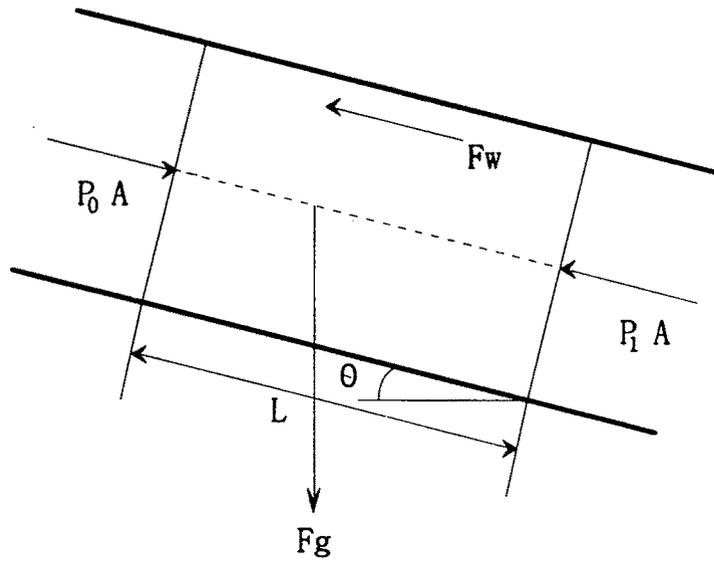
여기서, P_0 는 관로유입부의 압력손실을 고려한 상류측의 압력이며, L 은 물머리의 이동거리이며, 식 (8-27)을 이용하여 계산할 수 있다.

$$L = L_{initial} + \int_0^t V dt \quad (8-27)$$

여기서, $L_{initial}$ 은 초기의 물머리 위치이며, V 는 이동유체의 평균유속이며, t 는 이동 시간이다.



(그림 8-9) 밸브 개방에 의한 빈 관의 충수



(그림 8-10) 운동량방정식의 적용을 위한 Control Volume

$t + \Delta t$ 시간의 유량과 물머리 진행 거리는 식 (8-26), (8-27)을 수치해석적 방법을 이용하여 계산한다. 식 (8-26), (8-27)의 차분은 양해법을 사용하며, 식 (8-26)의 마찰항은 안정해를 구하기 위해 음해법으로 처리한다. 식 (8-26), (8-27)를 차분화하면 식 (8-28), (8-29)와 같다.

$$\frac{Q^{n+1} - Q^n}{dt} = \left(\frac{gH_0}{L^{n+1}} + g \sin \theta - f \frac{(Q^{n+1} + Q^n)}{2} \frac{|Q^n|}{2DA^2} \right) A \quad (8-28)$$

$$L^{n+1} = L^n + \frac{(Q^{n+1} + Q^n)}{2A} dt \quad (8-29)$$

식 (8-28), (8-29)를 Δt 후의 유량(Q^{n+1})에 대하여 정리하면 식 (8-30)과 같다.

$$\begin{aligned} & \left(\frac{1}{2A} + \frac{f|Q^n|}{8DA^2} dt \right) Q^{n+1} + \left(\frac{L^n}{dt} - \frac{1}{2} g \sin \theta dt + \frac{fQ^n|Q^n|}{4DA^2} dt \right) Q^{n+1} \\ & - gH_0A - gL^n \sin \theta A - \frac{1}{2} gQ^n dt \sin \theta + \frac{fL^n Q^{n2}}{4DA} + \frac{fQ^{n2}|Q^n|}{8DA^2} dt + \frac{QL^n}{dt} \quad (8-30) \\ & = 0 \end{aligned}$$

식 (8-30)의 해는 Δt 후의 유량(Q^{n+1})이 되며, 물머리의 위치는 식 (8-29)를 이용하여 계산할 수 있다.

(2) 관단면 축소지점의 수격작용

(그림 8-11)과 같이 속도 V_1 로 빈 관을 채우는 액체의 전단면이 관단면의 급축소부에 부딪칠 때, 액체는 압축되는 동시에 연결된 작은 단면의 관으로 진행된다. 이 때 단면의 급축소부에서 발생한 압력파는 액체 내에서의 음파 a 의 속도로 상류로 전파된다.

액체의 전단이 단면의 급축소부를 통과한 직후에 작은 관내의 압력은 여전히 대기압을 유지하게 된다. 그러므로 단면 1, 2에 Bernoulli의 에너지 방정식을 적용하면 식 (8-31)과 같은 관계를 유도할 수 있다.

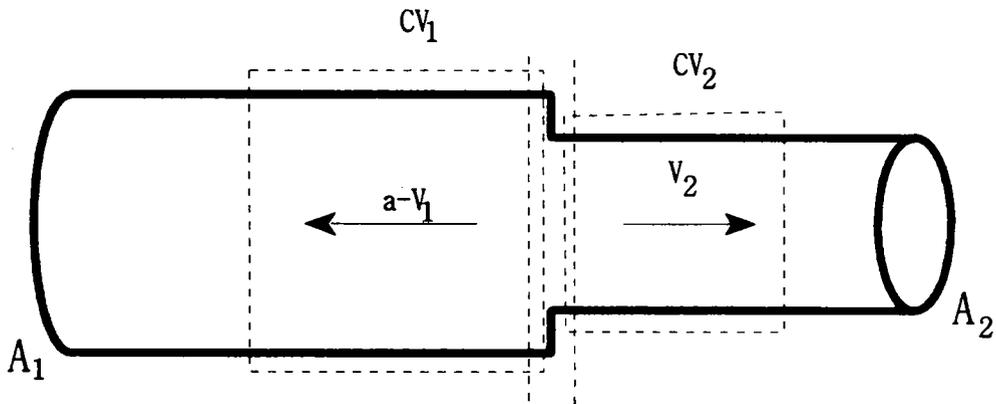
$$\frac{(Q_0 + \Delta Q)^2}{2gA_1^2} + \Delta H = \frac{(Q_0 + \Delta Q)^2}{2gA_2^2} + \Delta H_1 + K_L \frac{(Q_0 + \Delta Q)^2}{2gA_2^2} \quad (8-31)$$

여기서, K_L 은 단면의 급축소에 의한 에너지손실계수이며, ΔH 는 관경 축소부에서 압력파의 발생에 따른 수격압으로 특성방정식을 이용하면 식 (8-32)와 같이 나타낼 수 있으며, ΔH_1 은 물머리가 진행되는 통제체적의 수두로 식 (8-33)과 같은 차분식으로 나타낼 수 있다.

$$\Delta H = H_R - \frac{a}{gA_1} (Q_0 + \Delta Q - Q_R - \frac{F\Delta t}{2DA} Q_R |Q_R|) \quad (8-32)$$

$$\Delta H_1 = \frac{L}{g} \left[\frac{\Delta Q}{\Delta t A} + g \sin \theta - f \frac{(Q^{n+1} + Q^n)}{2} \frac{|Q^n|}{2DA^2} \right] \quad (8-33)$$

식 (8-32), (8-33)을 식 (8-31)에 대입하여, Newton-Rapson method를 적용하여 방정식의 해인 관경축소 지점의 유량변화량 ΔQ 를 계산한다. 계산된 ΔQ 를 식 (8-32)와 식 (8-33)에 대입하면 압력파가 전달되는 관에서의 압력변화와 물머리가 진행되는 관에서의 압력변화를 계산할 수 있다.



(그림 8-11) 관단면 축소부에서 충수에 의한 수격작용

제3절 비정상 관수로 흐름 해석 프로그램의 개발

1. 입력자료

비정상 관수로 흐름 해석 프로그램의 계산을 위해서는 각 관로의 기하적 특징과 밸브의 조작 상태, 그리고 수치해석을 위한 경계조건들이 필요하다. 이들 입력자료들을 기능적으로 분류하면 <표 8-1>과 같다. <표 8-1>에서와 같이 프로그램의 입력자료는 시스템의 상·하류 경계조건자료, 저수지 수위, 계산 간격과 정상류상태의 유량의 초기조건 자료와 밸브의 개폐 상태에 따른 밸브 자료, 그리고 관경, 관의 길이, 마찰손실계수 등의 관로제원 자료, 빈 관의 충수에 의한 수격해석을 위한 충수자료로 구분할 수 있다.

2. 계산순서

특성법을 이용하여 비정상류 흐름 해석을 위한 프로그램의 계산순서는 다음과 같다.

(1) 펌프, 밸브 조작에 의한 수격압 계산

- ① 입력자료를 읽어 기본 자료를 구성하고, 출력한다.
- ② 정상상태의 초기 입력자료로부터 각 절점의 Q, H를 계산한다.
- ③ 상류의 저수지 수위 자료로부터 상류 경계조건을 결정한다.
- ④ 밸브 및 관로 자료로부터 하류 경계조건을 결정한다.
- ⑤ t시간에 대한 비정상류 흐름을 계산하고, 계산된 자료를 저장한 후 $t+\Delta t$ 시간에 대한 흐름 상태를 계산한다.
- ⑥ ⑤의 과정을 정상상태에 도달할 때까지 반복한다.
- ⑦ 계산된 결과를 출력한다.

(2) 충수시 수격압계산

- ① 입력자료를 읽어 기본 자료를 구성하고, 출력한다.
- ② 초기 물머리 위치에서 관단면 변화지점까지 t 시간에 대한 유량 및 물머리 진행 거리를 계산한다.

<표 8-1> 수격압 계산 프로그램 입력자료

구분	변수명	내용		
경계조건 자료	L		관로갯수	
	BNDY	RESERVOIR	관상류 저수지	
		PUMP	경계조건 펌프	
	NPEND(I)	1	관하류 경계조건	관경변화 및 분지
		2		말단 밸브의 축차적인 폐쇄
		3		surge tank
	NBR(I)		관하류에 연결된 관로 번호	
	NO(I)		관하류에 연결된 관의 갯수	
	NX(I)		관 분할 개수	
	VALVE(I)		관하류에 VALVE 존재	
초기조건 자료	DT		시간증분(sec)	
	TG		계산종료시간(sec)	
	H(1,1)		저수지 고정수두(m)	
	HRT		펌프의 정격수두(m)	
	QRT		펌프의 정격유량(m ³ /s)	
관로제원자료	A(I)		압력파전달 속도(m/s)	
	D(I)		관경(m)	
	DIST(I)		관길이(m)	
	F(I)		마찰손실계수	
	QO(I)		정상상태의 유량(m ³ /s)	
VALVE 자료	DTAU(I)		TAU VALUE의 시간간격(sec)	
	TC(I)		VALVE 폐쇄 종료시간(sec)	
	TS(I)		VALVE 폐쇄 시작시간(sec)	
충수자료	V_INT		초기유속 (m/s)	
	L_INT		초기 선행수두 길이(m)	
	KL		관입구의 에너지 손실계수	

③ 물머리가 관경변화지점에 도달했을 때, 상류관의 각 절점의 유량 및 압력을 계산한다.

④ t 시간에 대한 비정상류 흐름을 계산하고, 계산된 자료를 저장한 후 $t+\Delta t$ 시간에 대한 흐름 상태를 계산한다.

⑤ ④의 과정을 물머리가 관말단에 도달할 때까지 반복한다.

⑥ 계산된 결과를 출력한다.

3. 프로그램의 구성

특성법은 특성방정식을 적분하여 얻은 차분방정식을 컴퓨터를 이용한 수치해법에 의하여 밸브의 조작이나 펌프 등에 의한 수격현상의 해석에 매우 유용한 방법이다. 밸브의 조작에 의한 수격현상의 해석 프로그램은 (그림 8-12)와 같이 구성하였으며, 충수에 의한 수격현상의 해석 프로그램은 (그림 8-13)과 같이 구성하였다.

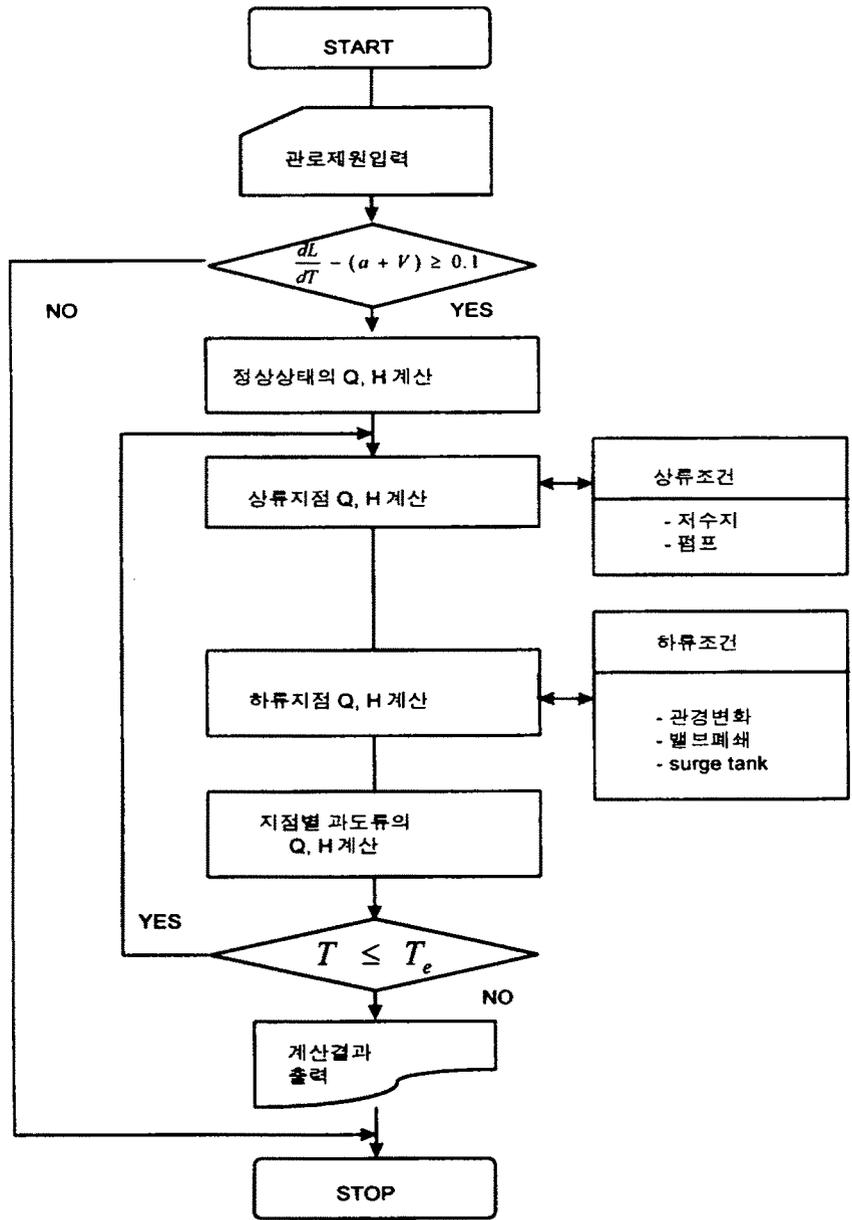
제4절 비정상 관수로 흐름 해석 프로그램의 적용

1. 밸브폐쇄에 따른 수격압 계산

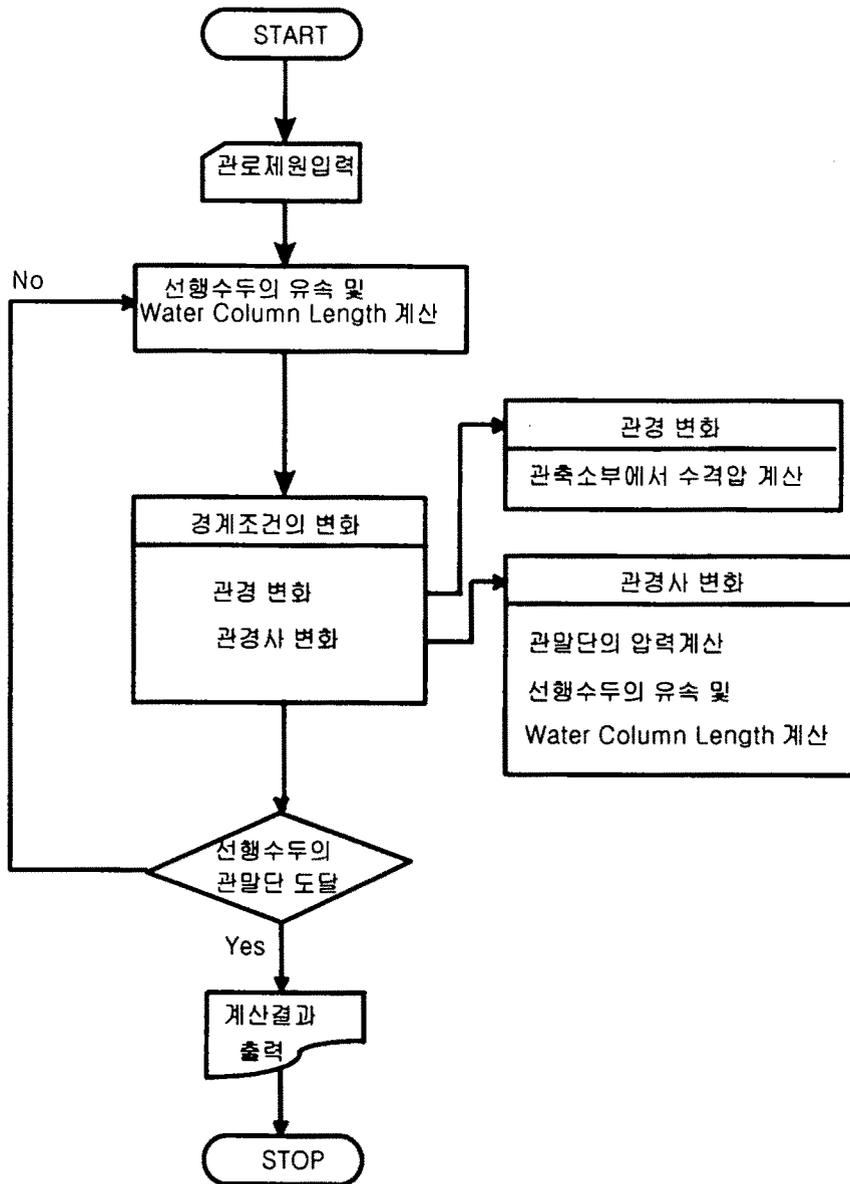
가. 왕암지구

밸브폐쇄에 따른 수격압계산 프로그램은 왕암지구에 적용하여 적용성을 검토하였다. 왕암지구의 용수조직은 개수로 용수간선과 관수로 용수지선으로 구성된 혼합수로의 형식을 취하고 있다. 관수로인 용수지거는 (그림 8-14)와 같이 개수로의 유입부 직하단부에 침사조가 설치되어 있으며, 용수지거 중간부에 제수변 밸브, 관로말단에 유말공 밸브가 설치 되어있다. 또한, 공기의 출입이 가능하도록 제수변 밸브와 유말공 밸브의 상류부에 공기변이 설치되어 있다. (그림 8-15)는 용수지거 말단에 설치된 유말공 밸브를 나타내고 있다.

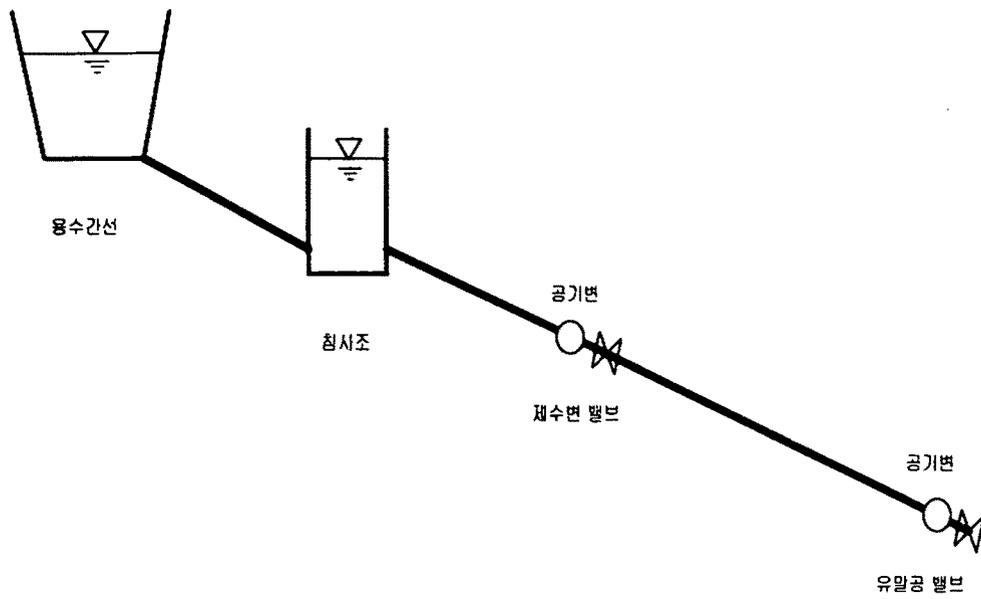
왕암지구 용수지거의 주관은 직경 250mm 철판매입 파형관을 사용하고 있으며, 침사조는 관제원은 직경 800mm 철판매입 파형관을 사용하고 있다. (그림 8-16)은 용수지거의 종단면도를 나타내고 있으며, 평균경사는 0.0242이다.



(그림 8-12) 펌프, 밸브에 의한 수격압 계산 프로그램 구성도



(그림 8-13) 충수에 의한 수격압 계산 프로그램 구성도



(그림 8-14) 왕암지구 용수지거 모식도



(그림 8-15) 유말공 밸브

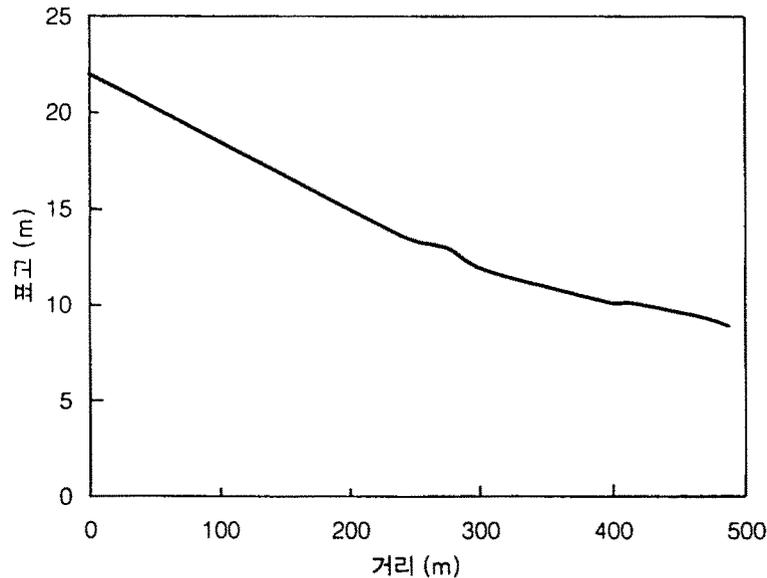
(1) 수격압 측정

왕암지구의 유말공 밸브의 폐쇄에 따른 수격압은 (그림 8-17)과 같이 아날로그식 압력계를 유말공 밸브에서 80m 상류에 위치한 포장유입밸브에 설치하여 측정하였으며, 압력파의 전달에 따른 수격압의 진동을 최고/최저 압력으로 분리하여 기록하였다. 유말공 밸브의 폐쇄시간은 30초이며, 수동으로 조작하였다.

(2) 수격압 모의

왕암지구 용수지거 유말공 밸브의 폐쇄에 따른 수격압은 전노선을 49개의 절점으로 나누고, 침사조를 surge tank의 경계조건으로 처리하여 모의하였다.

(그림 8-18)은 수격압 실측지점에서 시간에 따른 압력수두의 변화를 모의한 결과로서 모의지점에서 최대압력은 28.50m을 보였다. 이는 정상상태의 압력수두인 12.64m의 약 2배에 해당하는 압력이다.



(그림 8-16) 왕암지구 용수지거 종단면도



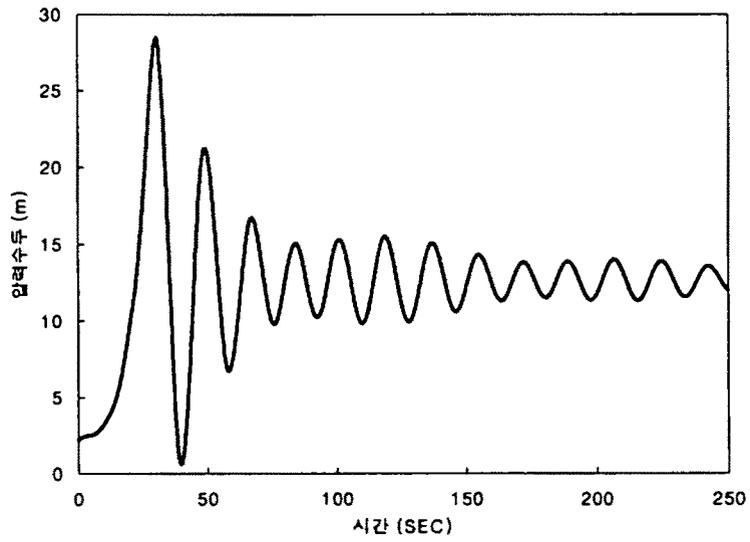
(그림 8-17) 수격압 측정

(그림 8-19)는 침사조의 수면고를 시간에 따라 모의한 결과로서 침사조의 최대수면고는 13.65m를 보였다.

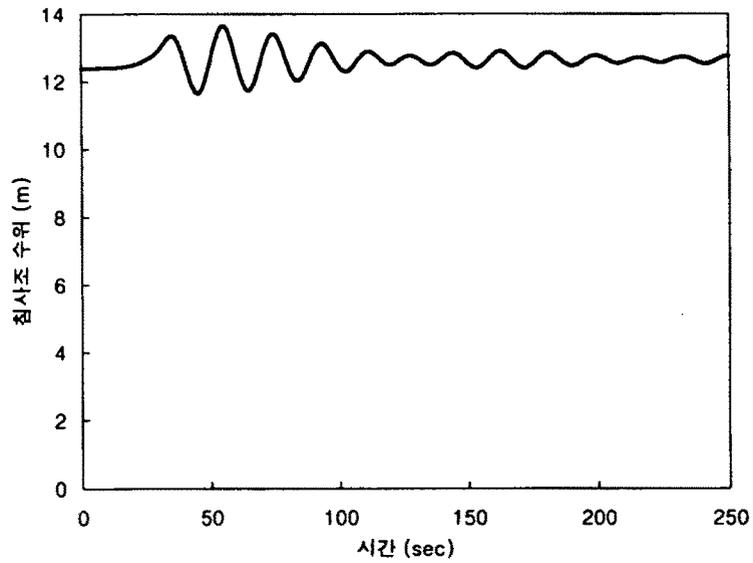
(3) 실측치와 모의치의 비교

왕암지구의 용수지거의 밸브폐쇄에 따른 실측치와 모의치의 비교는 압력파의 전파에 따른 압력의 변화를 진동으로 보고 각 주기의 최대/최소값의 비교를 통해서 실시하였다.

(그림 8-20)과 (그림 8-21)은 각 주기의 최대/최소압력의 감쇄곡선을 실측치와 모의치로 구분하여 반대수용지에 나타낸 결과로서 실측치와 모의치가 유사한 경향을 보이고 있음을 알 수 있다. 실측치의 최대압력수두는 26.7 m이고, 모의치의 최대압력수두는 28.5 m로 실측치와 모의치가 큰 차이를 나타내지 않으나, 실측치가 모의치보다 빨리 정상상태로의 회복되고 있다. 이는 제수변 밸브와 유말공 밸브에 설치되



(그림 8-18) 측정지점의 압력수두 변화



(그림 8-19) 침사조의 수면고 모의 결과

어 있는 공기변에 의해서 공기의 출입이 가능하므로 압력수두가 감소되어 실측치가 모의치 보다 빨리 정상상태에 회복되는 것으로 사료된다.

나. 고흥지구

(1) 시스템의 구성

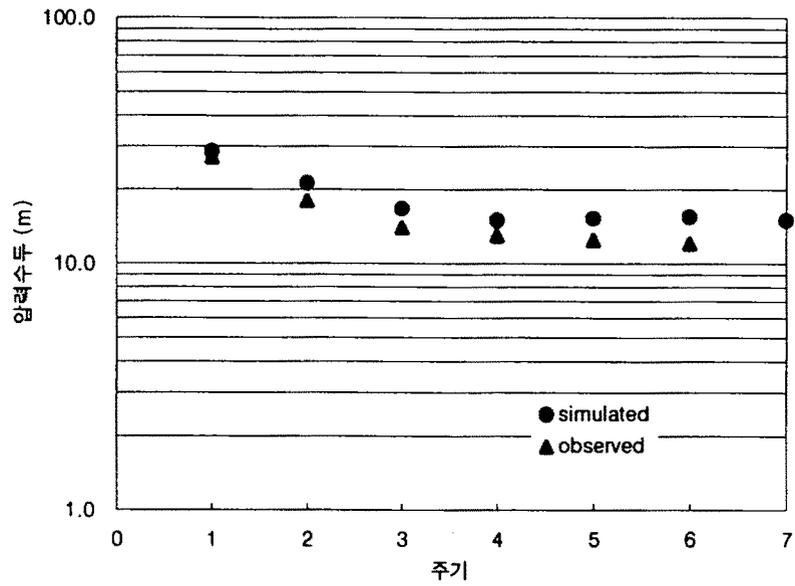
고흥지구의 용수간선은 양수시설에 의해, 토출수조의 수위를 일정하게 유지, 토출수조로부터 자연압력식으로 송수하고 있다. 전체 관로의 유효낙차는 약 18m이며, 용수간선과 용수지선이 관수로로 구성되어 있는 반폐쇄식 관수로 시스템이다. 용수간선의 구성은 (그림 8-22)와 같다.

(2) 적용결과

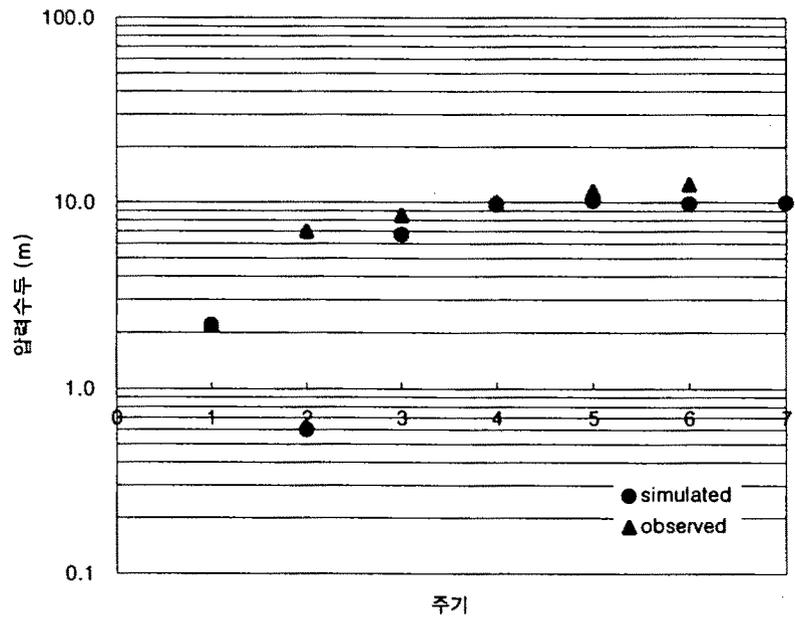
고흥지구 관수로 시스템에 대하여 용수간선의 말단부에 설치된 밸브의 조작에 따른 수격압 해석을 실시하였다. 용수간선의 말단부에 설치된 밸브의 폐쇄시간을 각각 10, 30, 45 및 60초로 하였으며 이때 각 관로 중간에 위치한 분수밸브는 폐쇄된 상태를 유지하며 말단 밸브에서 최대용수량을 급수하며 토출수조의 수위는 일정하게 유지된다고 가정하였다. <표 8-3>은 고흥지구의 관로제원을 나타내고 있으며, 이는 수격압 계산프로그램의 입력자료로 사용되었다.

<표 8-3> 고흥지구의 관로제원

관로	관로 길이 (m)	압력파 전달 속도 (m/s)	관경 (m)	마찰손실계수 (f)
1	2850	987	1.1	0.0173
2	570	977	0.8	0.0193
3	570	937	0.7	0.0201
4	1140	1320	0.531	0.0221



(그림 18-20) 최대압력 감쇄곡선



(그림 8-21) 최소압력 상승곡선

<표 8-4>는 밸브 폐쇄시간에 따른 최대수압을 나타낸 것으로서 밸브의 폐쇄시간이 10초일 경우의 최대수압은 9.45kg/cm^2 이었으며, 60초일 경우에는 3.06kg/cm^2 으로서 밸브 폐쇄시간이 짧을수록 큰 수격압이 발생하고 있다. 따라서, 관로 설계시에 수리해석 결과 과도한 수격압이 발생할 것으로 예상될 경우에는 충분한 내압강도를 가진 관망을 선택하거나 또는 밸브의 조작시간을 완만히 수행하는 등의 수격압 방지대책이 요구된다.

<표 8-4> 수격압 계산 결과

밸브조작시간(sec)	10	30	45	60
최대압력(kg/m^2)	9.45	4.83	3.72	3.06

(그림 8-23)은 밸브조작시 관로구간별 시간에 따른 수격압의 변화를 보여주고 있으며, 밸브조작 시간이 길어질수록 비교적 빠르게 정상상태로 회복되고 있다.

2. 펌프가동에 따른 수격압 계산

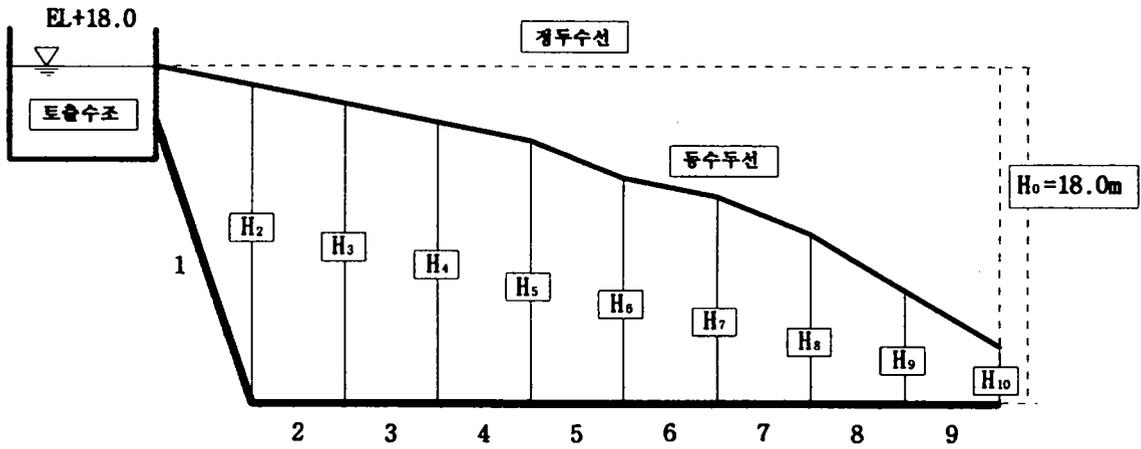
가. 시스템의 구성

본 모델 관수로는 수원의 지반고가 낮아 양수시설에 의해 압력을 높인 후 용수 용수간선을 통해 포장말단까지 용수를 공급하는 형태이다. 펌프에 의한 실양정은 30m이며, 펌프관로 중간에 위치한 분수밸브는 폐쇄된 상태이다. 모델 관수로의 구성은 (그림 8-24)과 같다.

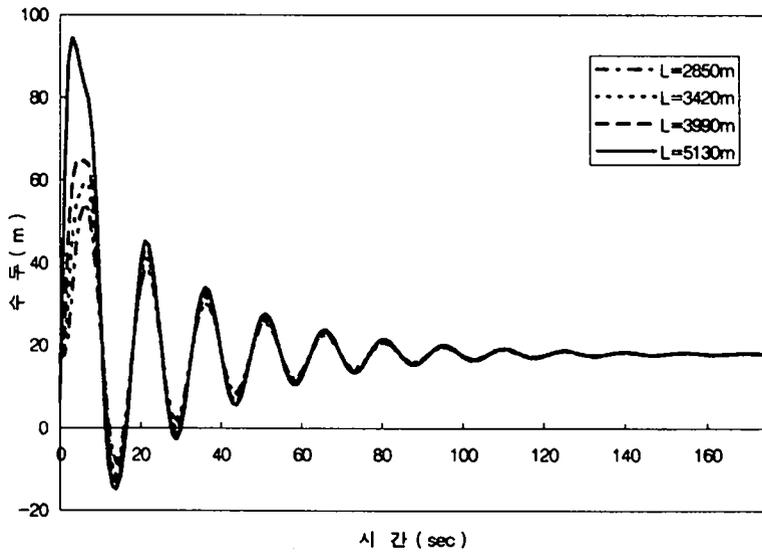
(그림 8-25)는 펌프의 유출량(Q), 회전속도(N), 펌프 양정(H), 토크(T)의 관계를 수학적으로 나타내는 모델관수로의 펌프특성곡선이다.

나. 적용결과

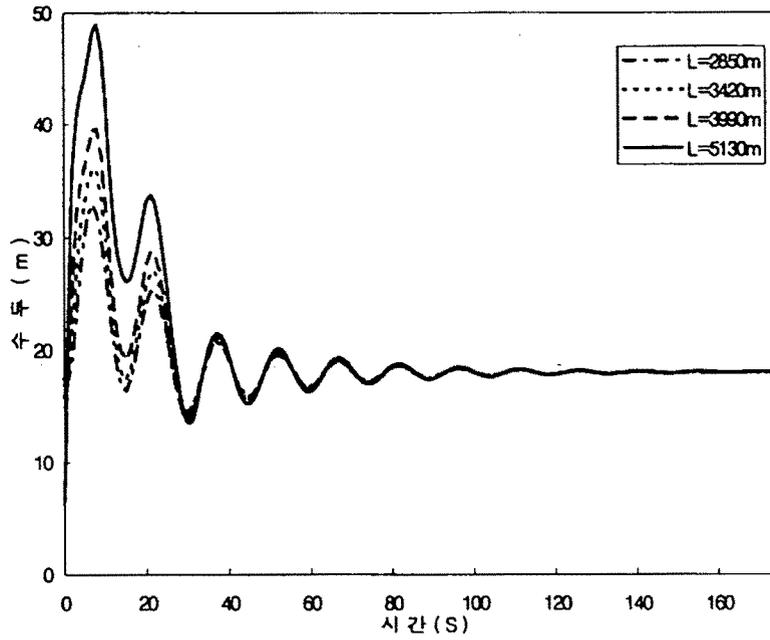
펌프압력식 모델관수로에 대하여 관로 말단밸브 폐쇄시 펌프가동에 의한 수격



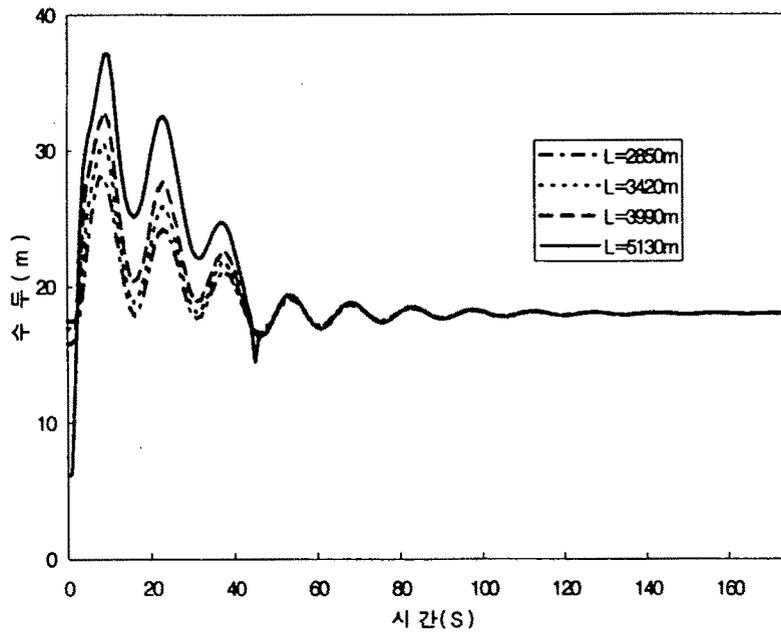
(그림 8-22) 고흥지구 용수간선 모식도



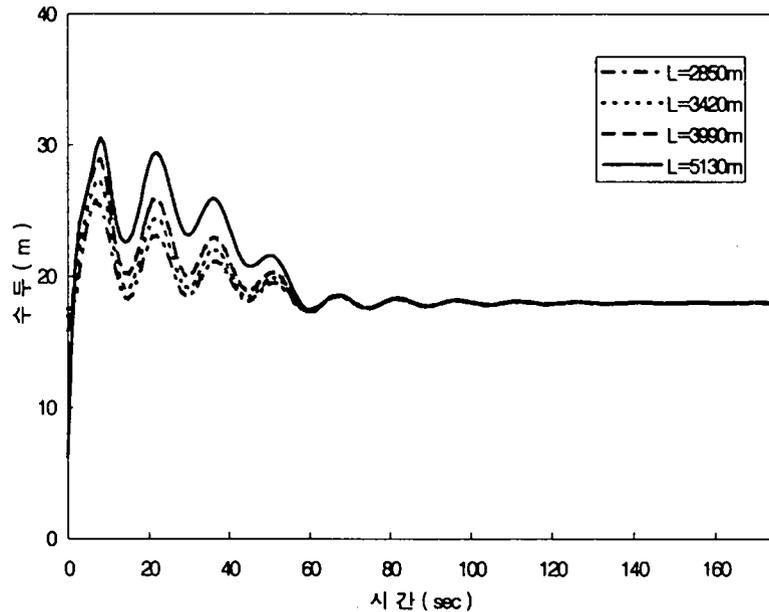
(그림 8-23(a)) 밸브 조작시간 = 10초



(그림 8-23(b)) 밸브 조작시간 = 30초



(그림 8-23(c)) 밸브 조작시간 = 45초



(그림 8-23(d)) 밸브 조작시간 = 60초

압과 펌프 가동후 밸브 개방에 의한 수격압을 계산하였다. 펌프가동후 펌프의 양정이 실양정까지 상승하는데 걸리는 시간을 2초로 가정하여 계산하였다.

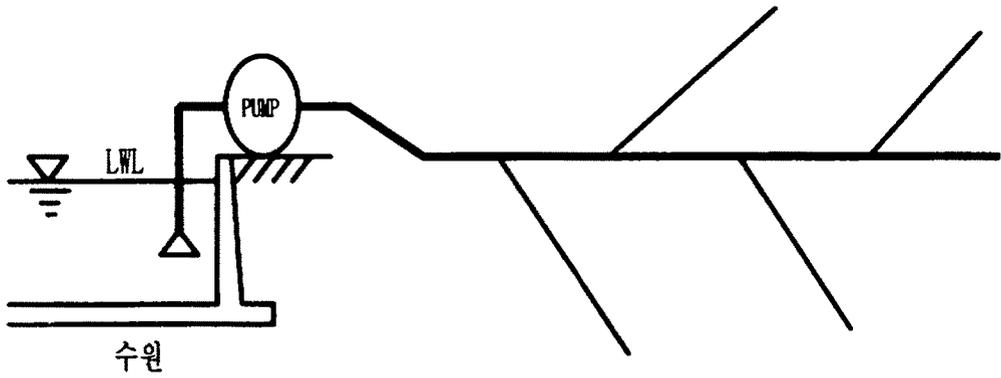
(그림 8-26)은 관로 말단밸브 폐쇄시 펌프가동에 의한 수격압의 변화를 나타내고 있으며, 관말단의 압력수두는 펌프가동후 3초가 경과했을 때 $7.50\text{kg}/\text{cm}^2$ 으로 급상승했다가 시간 경과에 따라 일정해지고 있다.

(그림 8-27)은 펌프가동후 3초가 경과했을 때 말단밸브의 개방에 따른 수격압의 변화를 나타내고 있으며 밸브가 완전히 개방됐을 때 관말단의 압력수두는 펌프의 실양정과 관로 마찰손실수두 만큼의 차이를 보이고 있다.

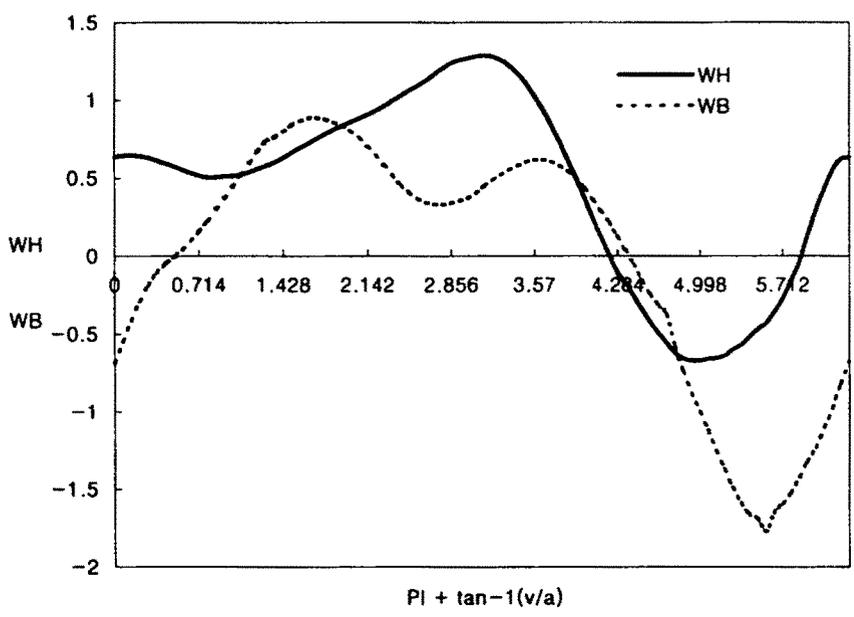
3. 충수시 수격압 계산

가. 모델 관수로

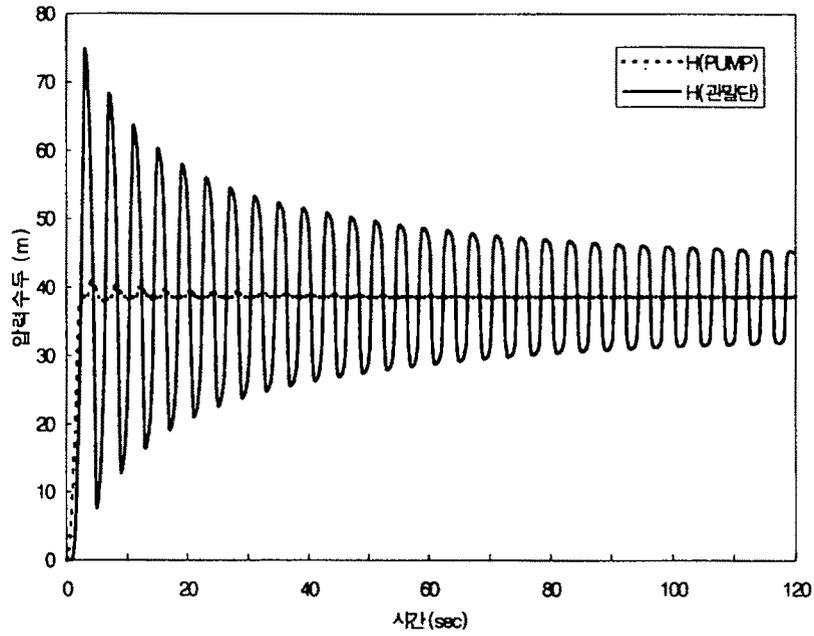
프로그램의 적용을 위한 모델관수로는 (그림 8-28)과 같이 양수시설에 의해 토출수조의 수위를 일정하게 유지하며, 토출수조로 부터 자연압력식으로 송수하고 있



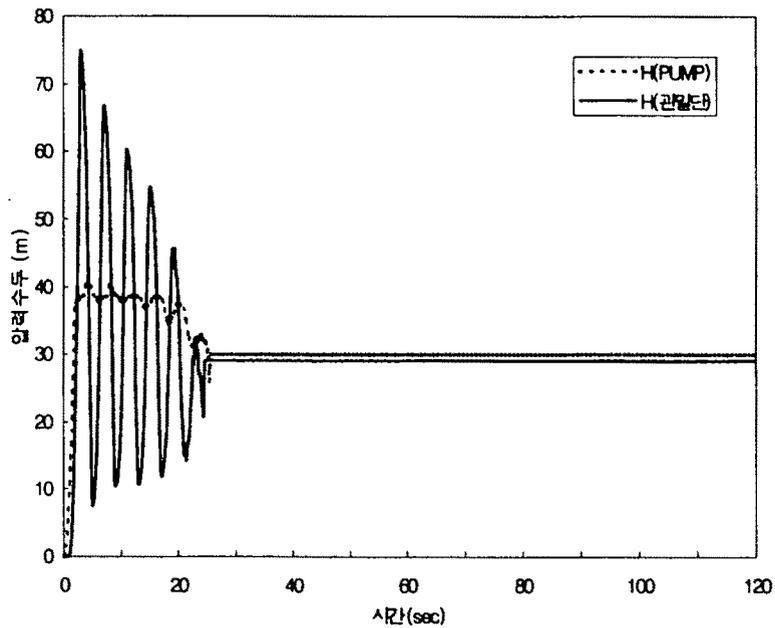
(그림 8-24) 펌프압력식 모델 관수로 모식도



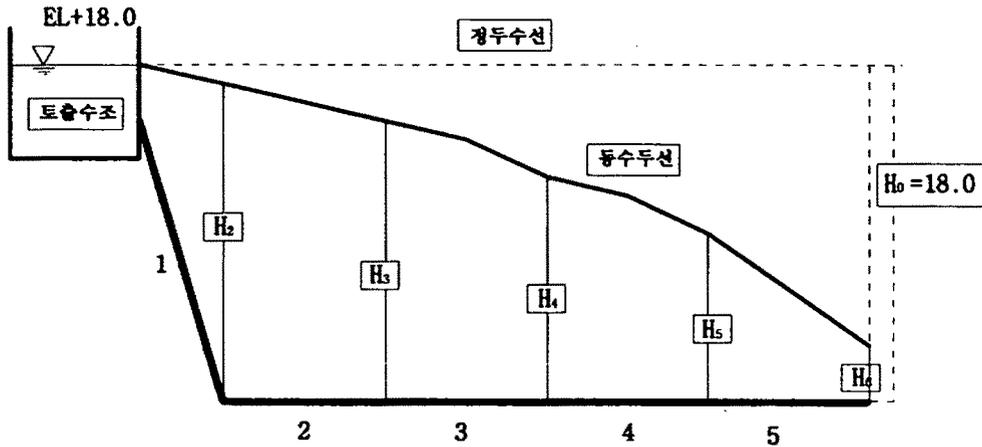
(그림 8-25) 모델관수로 펌프특성곡선



(그림 8-26) 관로 말단밸브 폐쇄시 펌프가동에 따른 압력수두 변화



(그림 8-27) 펌프가동후 관로 말단밸브 개방시 압력수두 변화



(그림 8-28) 모델관수로 모식도

다. 전체 관로의 유효낙차는 약 18m이며 용수간선과 용수지선이 관수로로 구성되어 있는 반폐쇄식 관수로 시스템이다. <표 8-4>는 모델관수로의 관로제원을 나타내고 있다.

(그림 8-29)는 모델관수로의 종단면도이며, 말단에서 수두를 높이기 위해 1번 관로의 경사는 0.275로 급경사이며, 2, 4번 관로에서는 계획고 때문에 역경사(-)를 취하고 있다.

나. 적용 결과

(1) 물머리 진행관의 압력수두 변화

물머리가 각 관으로 진행할 때 충수되고 있는 관에서 최대, 최소 압력수두의 발생 시간 및 유량은 <표 8-5>와 같다.

<표 8-5>에서와 같이 3번 관으로 물머리가 진행할 때, 압력수두가 -17.19m인 부압이 발생한다. 이는 2번관의 경사가 역경사(-)이므로, 물머리가 3번 관으로 진행할 때 관의 정점에서 부압이 발생하게 되며, 4번 관에서도 물머리가 5번관으로 진행함에 따라, 관의 정점에서 부압이 발생하게 된다. 이 부압은 2번, 4번관의 관의 경

<표 8-4> 모델 관수로 관로제원

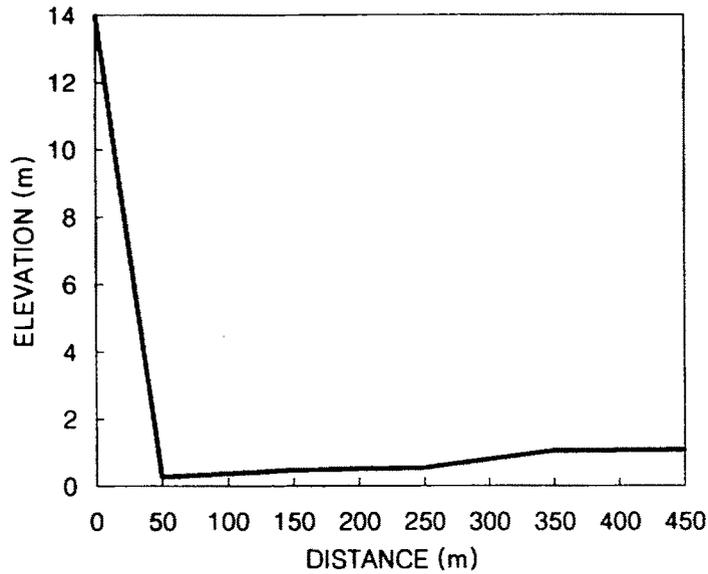
관로	관로 길이 (m)	압력과 전달 속도 (m/s)	관경 (m)	마찰손실 계수 (f)	관경사
1	50	1000.0	0.8	0.0259	0.2750
2	100	1000.0	0.7	0.0255	-0.0001
3	100	1000.0	0.5	0.0255	0.0007
4	100	1000.0	0.35	0.0246	-0.0051
5	100	1000.0	0.300	0.0246	0.0002

사가 각각 -0.01%, -0.05%로 별로 급하지 않으므로 빠르게 회복된다.

(2) 관경 변화 지점의 유량 및 압력수두 변화

물머리가 빈 관으로 전진할 때, 채워진 관에서 압력파의 전달에 따른 각 관에서의 최대, 최소 압력 수두는 <표8-6>과 같다.

<표 8-6>과 같이 물머리가 관경 축소 지점을 통과함에 따라 발생하는 수격압력은 본 연구에서 선정한 모델 관수로의 경우 1번관의 말단에서 36.19m (3.619 kg/m²)로 가장 높게 나타났다. 따라서, 관로 설계시에 수리해석 결과 과도한 수격압력이 발생할 것으로 예상될 때는 충분한 내압 강도를 갖는 관종류를 선택하여, 관로 파괴 등의 문제에 대처해야 할 것이다. (그림 8-30)~(그림 8-33)은 각 관의 말단에서 압력파의 전달에 따른 유량 및 압력 수두의 변화를 나타내고 있다. (그림 8-30)~(그림 8-33)에서 알 수 있듯이 물머리가 관경축소 지점을 통과한 직후 유량의 감소에 따라 관경축소 지점에서 압력파가 발생하여 압력수두가 크게 상승후 정상상태로 회복되다가, 다시 물머리가 인접 빈 관으로 진행함에 따라 다시 압력파가 발생하여 압력수두가 증가하게 된다.



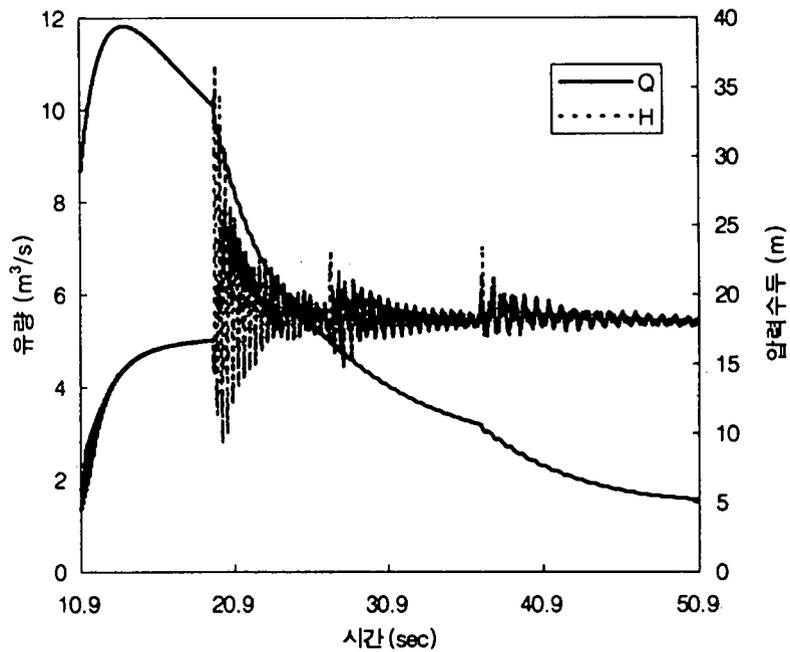
(그림 8-29) 모델관수로 종단면도

<표 8-5> 물머리가 진행되는 관에서 최대/최소 압력수두

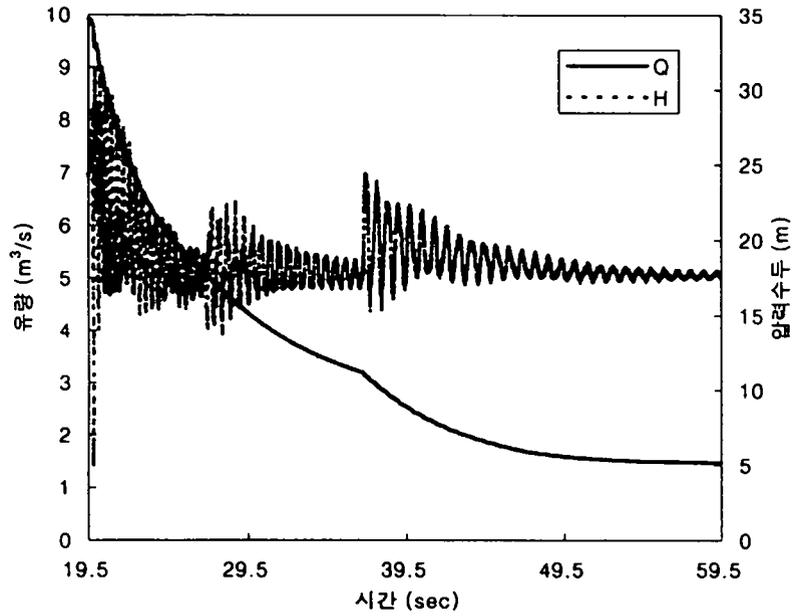
관로 번호	최대 압력수두			최소 압력 수두		
	시간 (sec)	Q (m ³ /sec)	H _{max} (m)	시간 (sec)	Q (m ³ /sec)	H _{min} (m)
2	19.50	10.12	11.11	10.90	8.69	0.28
3	22.08	7.18	14.20	19.81	9.62	-17.19
4	36.20	3.25	10.97	27.39	4.91	-2.75
5	46.21	1.75	14.78	37.33	3.03	0.07

<표 8-6> 압력파의 전달에 따른 각 관로의 압력 수두

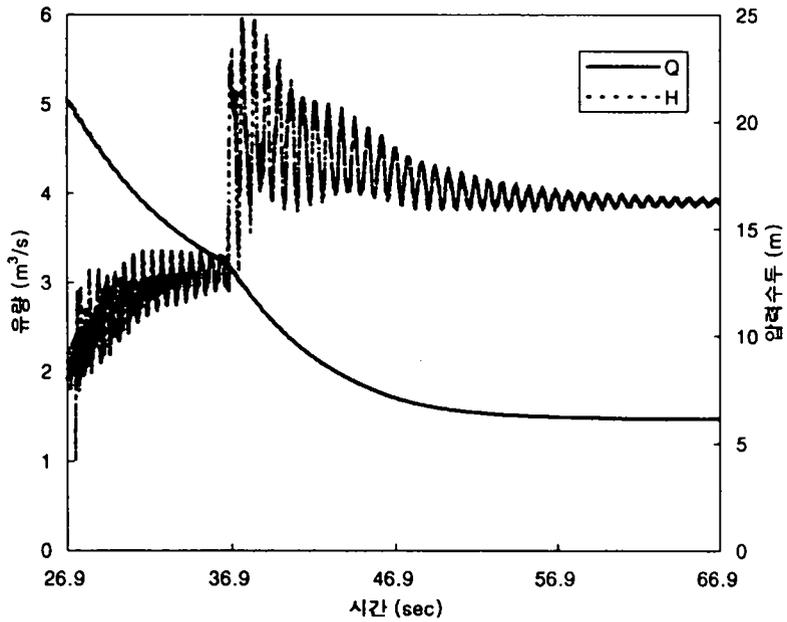
관로 번호	최대 압력수두			최소 압력 수두		
	시간 (sec)	Q (m ³ /sec)	H _{max} (m)	시간 (sec)	Q (m ³ /sec)	H _{min} (m)
1	19.70	9.84	36.19	10.89	8.69	4.52
2	19.91	9.41	31.35	19.81	9.62	5.38
3	37.54	2.97	24.78	27.39	4.91	4.30
4	39.83	2.48	19.53	37.32	3.03	1.16



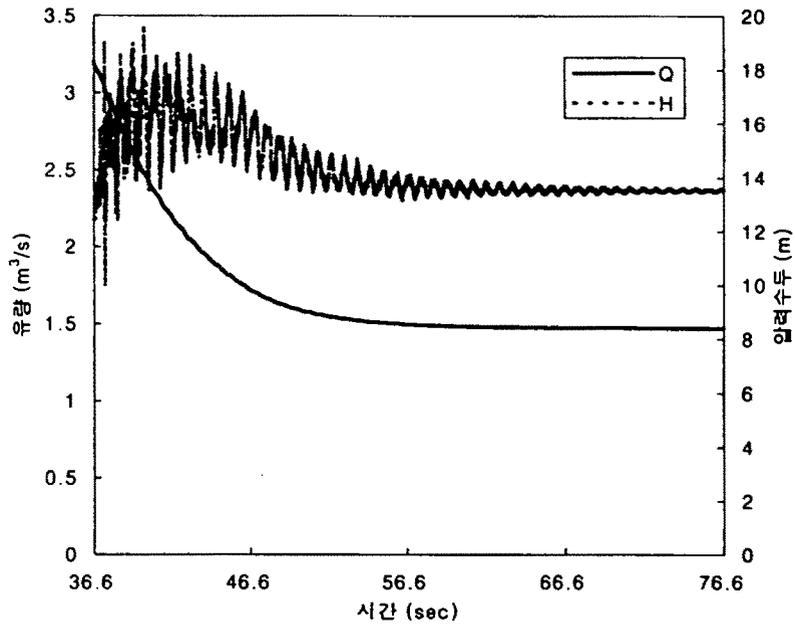
(그림 8-30) 2번 관에서 유량 및 압력수두의 변화



(그림 8-31) 3번 관에서 유량 및 압력수두의 변화



(그림 8-32) 4번 관에서 유량 및 압력수두의 변화



(그림 8-33) 5번 관에서 유량 및 압력수두의 변화

제5절 요약 및 결론

이상에서 관수로 시스템의 비정상류 흐름 해석을 위한 기본 이론을 정리하고, 수격작용 발생원인별로 수치모형을 구성하여, 실제 관수로 지구에 적용하여 실측치와 모의치를 비교하여 현장 적용성을 검토하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

① 관수로에서 펌프의 작동이나 밸브의 개폐, 관개초기 빈 관의 충수 등으로 인하여 발생하는 비정상류의 수리 검토의 목적과 검토 대상에 대하여 정리하였다.

② 비정상류 해석방법을 수치계산법과 경험법으로 구분하여 정리하였으며, 수치해석을 위한 기본방정식을 구성하고, 특성법을 적용하여 특성방정식을 차별화하였으며, 이로부터 수격작용 발생원인별로 경계조건을 고려하여 비정상류 해석 수치모형을 개발하였다.

③ 비정상 관수로 해석 프로그램의 입력 자료를 제시하고, 펌프·밸브의 조작으

하였다.

④ 개발된 프로그램의 현장 적용성을 분석하기 위하여, 왕암지구의 용수지거에 적용하여 유말공밸브의 폐쇄에 따른 수격압을 계산하고, 실제 측정값과 비교하였으며, 고흥지구 용수간선에 적용하여 말단밸브의 폐쇄시간에 따른 압력수두의 변화를 모의하였다.

⑤ 펌프조작에 의한 수격압 계산 프로그램은 모델관수로 선정하여, 밸브가 폐쇄된 상태에서, 펌프가동에 따른 압력수두의 변화를 모의하였으며, 관개 초기 빈관의 충수시 수격압을 계산하기 위한 프로그램은 모델관수로 선정하여, 물머리가 진행함에 따라 관경축소부에서 발생하는 압력수두의 변화를 모의하였다.

제9장 혼합수로조직의 수리계산 프로그램 개발

제1절 서 론

농업용 수로조직은 대부분 개수로로 구성되어 있으며, 관수로는 일부 지역에 채택되거나, 혹은 수로조직의 일부 구간에 적용되고 있는 것이 현실이다. 예를 들어, 농지개량조합에 설치되고 있는 관수로는 대부분 용수지거의 관로화 사업의 일환으로 추진하고 있는 것이다. 또한, 용수간·지선을 관수로로 하는 경우에는 용수지거를 개수로로 채택하는 예가 많다. 이와 같이 관수로와 개수로가 혼용된 경우에는 각 유형별 수리적 특성이 서로 독립적이기 보다는 상호 관련성을 갖는다. 따라서, 각각의 수로형식에 대한 개별적인 해석도 필요하지만 전체의 수로조직의 수리 현상을 파악하는 것이 필요하다.

용수지거 관수로의 경우, 개수로 형식의 용수지선으로부터 취수되는 데, 그 상류에서의 경계수압은 개수로의 수위가 된다. 따라서, 관수로 해석을 위한 상류경계조건을 고려하기 위해서는 개수로의 수리적 특성을 파악해야 하는 것이다, 이와 같은 혼합수로조직의 해석은 개수로 조직의 수리해석 방법과 관수로 수리해석 방법을 조합하고, 경계조건을 결정하여 각 요소별 계산을 실시하게 되는 것이다.

혼합용수조직의 수리검토를 위해서는 전체 용수조직을 해석할 수 있는 모형의 구성이 필요하다. 혼합용수조직은 개수로 구간과 관수로 구간으로 구별하며, 관수로 구간은 다시 개수로 흐름과 폐수로 흐름으로 구분할 수 있다. 일반적으로 농업용 관수로는 저압수로로서 수압이 크지 않기 때문에 개수로 흐름으로 가정하여 계산할 수 있으며, 분지점, 합류점이나 상하류 경계조건으로부터 전체적인 용수조직의 흐름 해석이 가능하다.

본 연구의 목적은 혼합용수조직의 수리적 특성을 파악하고, 수리해석을 위한 기본방정식을 수립하고 경계조건을 정의하며, 이로부터 혼합수로 수리해석 모형을 개발하여, 수리 검토 방안을 수립하는 것이다.

제2절 혼합수로조직의 수리적 특징

1. 혼합수로

개수로와 관수로의 혼합형 수리조직은 여러 가지 조합이 가능할 것이다. 즉,

① 용수지거 관로화 사업에서와 같이 개수로 용수지선과 관수로 지거로 구성된 경우 (개수로-관수로 형),

② 펌프로부터 양수된 물을 관수로 간선을 통하여 배분하고, 개수로 지선이나 지거로 구성되는 경우 (관수로+개수로 형),

③ 개수로 간·지선으로부터 관수로 지선, 지거, 그리고 말단부분에는 개수로 지거 등의 조합으로 구성되는 경우 (개수로+관수로+개수로 형)

④ 기타 개수로와 관수로의 혼합형의 경우 등이다.

2. 개수로

개수로 구간에서의 수리적 특성은 시간적 변화 유무에 따라 정상류, 부정류로 구분하고, 공간적 변화에 따라 등류, 부등류로 나뉜다. 관개용 수로의 흐름은 관개 개시 초기에는 부정류이나, 일정 시간이 지나면 정상 상태를 가지며, 따라서, 수로 구간에 따라 등류와 부등류가 발생되는 데 이들 흐름의 특징은 다음과 같다.

가. 등류

등류의 경우, 수로단면의 유속은 Manning식으로부터 다음과 같다.

$$V = \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{n} \quad (9-1)$$

여기서, V=단면 평균유속 (m/s), R = 동수반경 (=A/P), A = 단면적, P = 윤변, S = 마찰경사, n = Manning 조도계수이다. 식 (9-1)의 S는 등류의 경우 바닥경사와 같다.

식(9-1)의 동수반경, 단면적, 윤변 등은 단면의 기하적 요소라고 하며, 이들 간의 관계는 단면형식에 따라 <표 9-1>과 같다.

<표 9-1> 단면의 기하학적 요소

단면 형식	단면적, A	윤변, P	동수반경, R	비 고
사각형 단면	bh	$b+2h$	$\frac{bh}{b+2h}$	b = 단면폭 h = 수심 z = 측면경사 θ = 중심각
사다리꼴 단면	$bh+zh^2$	$b+2h\sqrt{1+z^2}$	$\frac{bh+zh^2}{b+2h\sqrt{1+z^2}}$	
원형 단면	$\frac{D^2}{8}(\theta - \sin\theta)$	$\frac{D^2}{2}\theta$	$\frac{D}{4}\left(1 - \frac{\sin\theta}{\theta}\right)$	

수로단면의 통수량은 식(9-1)의 유속과 단면적의 곱으로부터 계산된다. 그런데, 주어진 유량에 대한 단면의 기하적 요소는 단면적과 동수반경이 서로 관련이 있으므로, 다음 식에서 수심을 가정하여 유량을 계산하고, 계산유량과 계획유량이 차이가 나는 경우는 반복해서 계산하여 수심을 정한다.

$$Q = \frac{AR^{2/3}S^{1/2}}{n} \quad (9-2)$$

여기서, Q = 유량, A = 단면적이다.

한편, 등류상태의 흐름은 수면경사와 바닥경사가 같고, 따라서 마찰경사와 바닥경사가 같은 조건이 된다.

나. 점변류

부동류 상태의 흐름에서 점진적으로 수심이 변화하는 것을 점변류라 한다. 농업용 개수로의 흐름은 시간에 대해 정상류로 가정할 수 있으며, 공간적으로는 수로 조건에 따라 수심이 변화하는 점변류로 해석할 수 있다. 농업용수로의 점변류 해석을 위한 기본 가정은 다음과 같다.

- ① 수로의 경사는 매우 작아서 $\sin\theta \approx \tan\theta$ 이고, $\cos\theta \approx 1$ 이다.
- ② 어떤 구간에 있어서 수로의 단면은 일정하다.
- ③ 흐름의 속도분포는 등분포이며 에너지 및 모멘텀 보정계수는 임의 구간내에서

일정하다.

④ 수로의 조도계수는 수심에 독립적이며, 구간내에서는 일정하다.

이상의 가정으로 부터 에너지방정식과 연속방정식으로부터 개수로의 점변류 해석을 위한 기본방정식을 유도할 수가 있다.

주어진 개수로 구간에서 에너지 방정식은 다음과 같다.

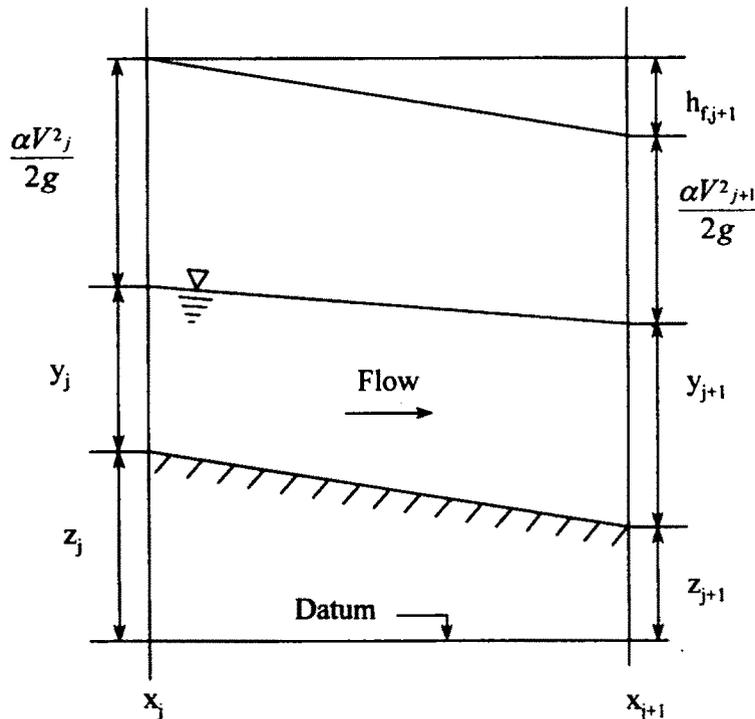
$$z_i + y_i + \alpha \frac{Q_i^2}{2gA_i^2} = z_j + y_j + \alpha \frac{Q_j^2}{2gA_j^2} + h_f \quad (9-3)$$

식(9-3)의 마찰손실수두를 이용하여 정리하면 식(9-4)와 같다.

$$z_i + y_i + \alpha \frac{Q_i^2}{2gA_i^2} = z_j + y_j + \alpha \frac{Q_j^2}{2gA_j^2} + \frac{1}{2} (x_j - x_i) \left(\frac{Q_j^2 n_j^2}{A_j^2 R_j^{1.33}} - \frac{Q_i^2 n_i^2}{A_i^2 R_i^{1.33}} \right) \quad (9-4)$$

연속방정식은 다음과 같다.

$$Q_i = Q_j \quad (9-5)$$



(그림 9-1) 개수로 수리조건의 정의

개수로 용수조직을 해석하기 위하여 수로 구간에 대하여 에너지 방정식과 연속방정식을 구성하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 F_1 &= z_2 - z_1 + y_2 - y_1 + \frac{\alpha}{2g} \left(\frac{Q_2^2}{2gA_2^2} - \frac{Q_1^2}{2gA_1^2} \right) \\
 &\quad + \frac{1}{2} (x_2 - x_1) \left(\frac{Q_2^2 n_2^2}{A_2^2 R_2^{1.33}} - \frac{Q_1^2 n_1^2}{A_1^2 R_1^{1.33}} \right) = 0 \\
 F_2 &= Q_2 - Q_1 = 0 \\
 F_3 &= z_3 - z_2 + y_3 - y_2 + \frac{\alpha}{2g} \left(\frac{Q_3^2}{2gA_3^2} - \frac{Q_2^2}{2gA_2^2} \right) \\
 &\quad + \frac{1}{2} (x_3 - x_2) \left(\frac{Q_3^2 n_3^2}{A_3^2 R_3^{1.33}} - \frac{Q_2^2 n_2^2}{A_2^2 R_2^{1.33}} \right) = 0 \\
 F_4 &= Q_3 - Q_2 = 0
 \end{aligned} \tag{9-6}$$

$$\begin{aligned}
 F_{2n-1} &= z_{n+1} - z_n + y_{n+1} - y_n + \frac{\alpha}{2g} \left(\frac{Q_{n+1}^2}{2gA_{n+1}^2} - \frac{Q_n^2}{2gA_n^2} \right) \\
 &\quad + \frac{1}{2} (x_{n+1} - x_n) \left(\frac{Q_{n+1}^2 n_{n+1}^2}{A_{n+1}^2 R_{n+1}^{1.33}} - \frac{Q_n^2 n_n^2}{A_n^2 R_n^{1.33}} \right) = 0
 \end{aligned}$$

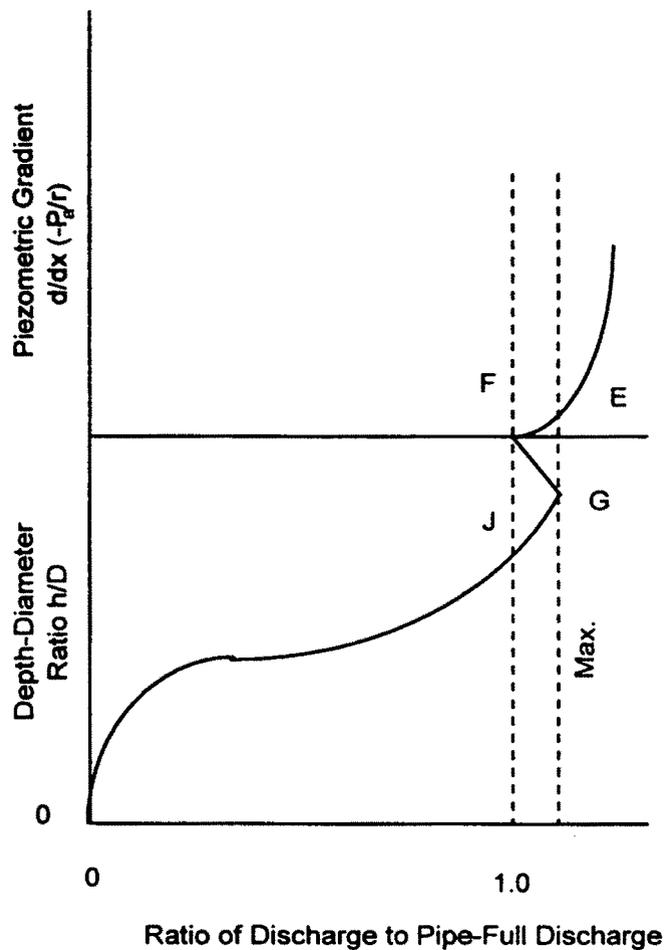
$$F_{2n} = Q_{n+1} - Q_n = 0$$

식(9-6)은 비선형 방정식으로, Newton-Raphson방법 등을 이용하여 해를 구할 수 있다.

3. 관수로

관로는 취입부의 수위와 관내의 수위의 차이에 따라 개수로나 폐수로 흐름의 형태를 갖는다. 수심이 관경보다 클 경우에는 폐수로 흐름이 발생하고, 관경보다

작은 경우에는 개수로 흐름이 발생한다. 이러한 관로내의 흐름을 구분하는 방법은 첫째, 관로속에서 유량이 등류로서 만관 흐름일 때의 유량에 도달하면 개수로에서 폐수로 흐름으로 변하고, 반대로 관수로에서 유량이 점차 감소하여 만관일 때의 유량이하가 되면 개수로 흐름으로 전환된다고 가정하는 방법과, 둘째로 수심이 일정한 높이 보통, $0.9 D$ (D 는 관거높이나 관경) 보다 커지면 폐수로 흐름이 되고 작아지면 개수로 흐름이라고 가정하는 방법이 있다.



(그림 9-2) 수위에 따른 유량 변화

수위에 따른 유량 변화를 살펴보면, (그림 9-2)와 같이 수심이 점차 증가할수록 유량이 증가하다가 일정 수심(0.9 D)이 되면 관의 벽면마찰 저항에 의하여 오히려 유량이 감소하게 되고, 만관의 흐름이 되어 폐수로 흐름 상태가 되면 다시 수심의 증가에 따라 유량이 증가하는 현상을 보인다. 농업용 관수로에서의 이러한 흐름 상태의 변화는 유입부에서 압력수를 주입하지 않는 까닭에 관경을 채운 흐름이 발생하지 않는 경우가 많기 때문이다.

각각의 흐름 상태에 따른 수리적 관계는 다음과 같다.

가. 개수로 흐름

관로내의 수심이 관경보다 작은 상태에서는 자유수면을 가지므로 개수로 흐름이 발생한다. 개수로 흐름은 Manning 식으로부터 다음과 같다.

$$Q = \frac{AR^{2/3}S^{1/2}}{n} \quad (9-7)$$

여기서, Q = 유량 (m³/s), A = 단면적 (m²), R = 동수반경 (m), S = 마찰경사 (m/m), n = Manning 조도계수이다.

나. 폐수로 흐름

관로내의 수심이 관경과 같아 관을 채운 흐름상태에서는 관수로의 흐름 특성을 갖는다. 이때, 폐수로 흐름에서의 유량은 Hazen-Williams 식으로부터 정의된다.

$$Q = 0.27853CD^{2.63}I^{0.54} \quad (9-8)$$

여기서, Q = 유량, (m³/s), C = 유속계수, D = 관경 (m), I = 동수경사 (m/m)이다.

동수경사는 동수두의 거리에 따른 변화로서 정의되는 데, 동수두는 위치수두와 압력수두의 합을 말한다. 그런데, 동수두는 관로내의 마찰 손실과 미소 손실 등에 의하여 감소하므로, 수리계산에서는 이들의 값을 아는 것이 필요하다.

(1) 마찰손실수두

관경 D, 평균유속이 V인 관로의 길이 L일 때 마찰손실수두 h_f는 다음과 같다.

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (9-9)$$

여기서, f 는 마찰손실계수이며, 이 값은 식 (9-9)으로부터 다음과 같다.

$$f = \frac{133.7}{C^{1.952} D^{0.167} V^{0.148}} \quad (9-10)$$

(2) 미소손실

폐수로 흐름에서는 마찰에 의한 압력손실 이외에도 유입부, 만곡부, 밸브 등에서 미소손실이 발생한다.

폐수로에서의 미소손실은 다음 식으로 표시된다.

$$h_i = f_i \frac{V^2}{2g} \quad (9-11)$$

여기서, $h_i = i$ 요소에 대한 미소손실수두 (m), $V =$ 유속 (m/s), $f_i =$ 손실계수, $g =$ 중력가속도 (m/s^2)이다.

다. 유입, 유말부

혼합형 수로의 수리적 특징은 각각의 흐름 형태에서와 큰 차이가 없다. 그러나, 흐름 형태의 급격한 전환으로 인한 동수두의 손실이 발생하며, 이로 인하여 국부적인 수리현상이 일어난다. 이와 같은 국부적 현상은 각 수로형식별 양단부분에서 발생되는 데, 이를 정리하면 다음과 같다.

(1) 취입부

개수로로부터 관수로로 취수할 경우, 개수로에서의 급변류는 다음과 같은 수리현상이 발생한다. 즉, 상류부분에서는 수위가 하강하며, 유입부의 손실로 인하여 와류가 형성되고, 유입부분을 지난 하류구간에서 에너지가 회복된다.

관수로 취입부의 수두는 손실수두를 무시하고, 유입전의 수위와 유입후의 수위의 평균값과 같다고 가정할 수 있다. 즉,

$$h_o = \frac{(h_1 + h_2)}{2} \quad (9-12)$$

여기서, $h =$ 수위 (m), 첨자 o, 1, 2는 관수로 유입부, 관수로 상하류의 개수로 수위

이다.

한편, 개수로에서 관수로로 취수하는 경우, 관수로 내에서는 유입부의 손실 수두에 의한 와류로 공기가 유입되는 데, 이를 제거하기 위해서는 일정한 길이의 천이 구간을 설정하고, 공기를 회수하는 것이 필요하다. 이때, 유입공을 설치한다. 유입공에서의 마찰손실은 거리가 짧아 무시할 수 있으므로, 유입손실수두 만큼을 고려한다.

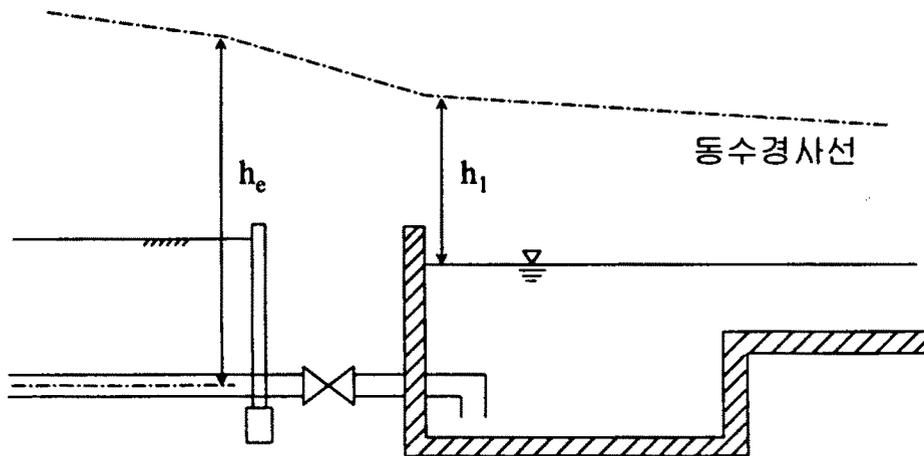
(2) 유말부

관수로에서 개수로 상태로 전환하기 위해서는 압력수두를 안전하게 조절하는 것이 필요하므로 유말공을 설치하는 데, 그 예는 (그림 9-3)과 같다. 유말공에서의 수위는 관수로의 말단의 수두에서 손실수두 만큼을 제외하여 정하며, 이 수두에서 개수로에서의 유속수두 만큼을 뺀 수위로써 정의할 수 있다.

따라서, 관수로 하단부의 개수로 수위는 다음 식으로 표시할 수 있다.

$$h_1 = h_e - h_{fo} - a \frac{V_1^2}{2g} \quad (9-13)$$

여기서, h_{fo} = 유말공의 손실수두, V = 개수로의 유속, g = 중력가속도, a = 에너지 수정계수, 첨자 1은 개수로 상단, e는 관수로 말단부를 나타낸다.



(그림 9-3) 관수로의 유말공

제3절 혼합수로 수리계산 프로그램 개발

1. 혼합수로 수리계산

개수로 용수조직은 식(9-6)의 비선형 방정식을 풀이하여 해를 구하고, 이로부터 수로단면의 수심을 계산하여 해석할 수 있다. 식(9-6)의 비선형 방정식의 해를 구하기 위하여 Newton-Raphson 방법을 적용하면 다음과 같다.

$$y_j^{(1)} = y_j^{(0)} + \Delta y_j \quad (9-14)$$

여기서, $y_j^{(0)}$ 는 초기에 추정된 수로단면의 수심이며, Δy 를 이용하여 최종적으로 y_j 를 구하게 된다.

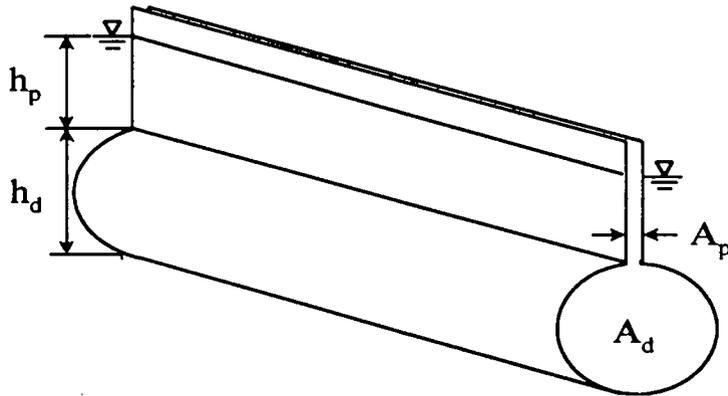
$$\begin{bmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial y_1} & \frac{\partial F_1}{\partial y_2} & \dots & \frac{\partial F_1}{\partial y_n} \\ \frac{\partial F_2}{\partial y_1} & \frac{\partial F_2}{\partial y_2} & \dots & \frac{\partial F_2}{\partial y_n} \\ \vdots & & & \\ \frac{\partial F_n}{\partial y_1} & \frac{\partial F_n}{\partial y_2} & \dots & \frac{\partial F_n}{\partial y_n} \end{bmatrix}^{(0)} \begin{bmatrix} \Delta y_1 \\ \Delta y_2 \\ \vdots \\ \Delta y_n \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \vdots \\ F_n \end{bmatrix}^{(0)} \quad (9-15)$$

식(9-15)에서 계산된 Δy 가 주어진 수렴조건을 만족하도록 반복 계산하여, 수로구간에 대한 수심을 구하게 된다.

관수로의 경우에는 흐름 상태가 개수로 조건과 폐수로 조건으로 구분할 수 있기 때문에 서로 다른 지배방정식을 적용하여야 한다. 개수로 흐름조건에 대해서는 개수로 용수조직과 같이 식(9-6)을 적용할 수 있다. 농업용 관수로는 저압관수로로서 일반적으로 지형경사에 따라 자연압력식으로 운영되고, 동일한 지배방정식을 이용하여 혼합용수조직의 해석하기 위하여 관로에 가상의 slot을 설치하여 관경보다 수심이 큰 흐름은 가상의 slot을 이용하여 개수로 흐름으로 가정할 수 있다.

여기서, 수로의 단면적과 수심은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} y &\geq y_d ; \quad y = y_d + y_p \\ A &= A_d + A_p \end{aligned} \quad (9-16)$$



(그림 9-4) 가상 slot의 개념

여기서, 첨자 d는 관로를 의미하거, p는 가상 slot을 의미한다.

2. 경계조건

가. 단면이 서로 다른 단일관로

수로의 단면이 수로 구간에 따라 확대되거나 축소될 경우에는 수심이 변하는 점 변류 흐름이 발생한다. 수로의 단면은 확대 또는 축소되어 변화하지만 각 구간에 있어서 유량은 일정하기 때문에 아래의 연속방정식이 성립된다.

$$Q_1 = Q_2 = \dots = Q_{n+1} = Q \quad (9-17)$$

또한, 식(9-17)을 식(9-4)에 대입하고, α , n 을 수로의 전체 구간을 통하여 일정하다고 가정하면 다음과 같은 에너지방정식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned}
 F_1 &= z_2 - z_1 + y_2 - y_1 + \frac{\alpha}{2g} \left(\frac{Q^2}{2gA_2^2} - \frac{Q^2}{2gA_1^2} \right) \\
 &\quad + \frac{1}{2} (x_2 - x_1) \left(\frac{Q^2 n^2}{A_2^2 R_2^{1.33}} - \frac{Q^2 n^2}{A_1^2 R_1^{1.33}} \right) = 0 \\
 F_2 &= z_3 - z_2 + y_3 - y_2 + \frac{\alpha}{2g} \left(\frac{Q^2}{2gA_3^2} - \frac{Q^2}{2gA_2^2} \right) \\
 &\quad + \frac{1}{2} (x_3 - x_2) \left(\frac{Q^2 n^2}{A_3^2 R_3^{1.33}} - \frac{Q^2 n^2}{A_2^2 R_2^{1.33}} \right) = 0
 \end{aligned} \quad (9-18)$$

$$F_n = z_{n+1} - z_n + y_{n+1} - y_n + \frac{\alpha}{2g} \left(\frac{Q^2}{2gA_{n+1}^2} - \frac{Q^2}{2gA_n^2} \right) + \frac{1}{2} (x_{n+1} - x_n) \left(\frac{Q^2 n^2}{A_{n+1}^2 R_{n+1}^{1.33}} - \frac{Q^2 n^2}{A_n^2 R_n^{1.33}} \right) = 0$$

나. 분지점

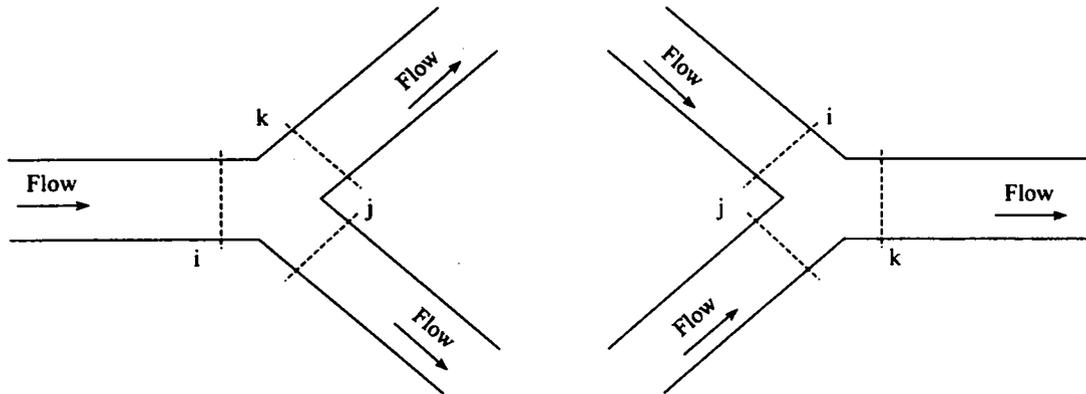
혼합수로의 수리계산에 있어서 분지점은 하나의 경계조건을 구성하게 된다. 분지점에서의 경계조건인 분지유량은 에너지방정식과 연속방정식으로 부터 구할 수 있다. (그림 9-5)와 같은 분지점에 있어서 에너지방정식과 연속방정식은 속도수두 손실항을 무시할 경우, 다음 식(9-19~21)과 같이 나타낼 수 있다.

$$F_{Junction,1} = Q_i - Q_j - Q_k = 0 \quad (9-19)$$

$$F_{Junction,2} = z_i + y_i + \frac{Q_i^2}{2gA_i^2} - z_j - y_j - (1+k) \frac{Q_j^2}{2gA_j^2} = 0 \quad (9-20)$$

$$F_{Junction,3} = z_i + y_i + \frac{Q_i^2}{2gA_i^2} - z_k - y_k - (1+k) \frac{Q_k^2}{2gA_k^2} = 0 \quad (9-21)$$

여기서, z = 단면의 표고, y = 수심, A = 단면적이며, k = 분지점의 손실수두계수를 나타낸다.



(그림 9-5) 관로 분지점과 합류점

다. 합류점

용수로에서 두 개의 수로나 관로가 합쳐져서 하나의 수로를 형성하는 경우, 합류점에서의 경계조건은 다음과 같다.

$$F_{Joint,1} = Q_k - Q_i - Q_j = 0 \quad (9-22)$$

$$F_{Joint,2} = z_i + y_i + \frac{Q_i^2}{2gA_i^2} - z_k - y_k - (1+k) \frac{Q_k^2}{2gA_k^2} = 0 \quad (9-23)$$

$$F_{Joint,3} = z_j + y_j + \frac{Q_j^2}{2gA_j^2} - z_k - y_k - (1+k) \frac{Q_k^2}{2gA_k^2} = 0 \quad (9-24)$$

라. 상하류 경계조건

수로의 흐름이 사류흐름(supercritical flow) 혹은 상류흐름(subcritical flow)에 따라 경계조건이 달라지게 된다. 상류흐름일 경우에는 식(9-25)와 같이 말단부의 하류 경계조건을 이용하며, 상류흐름이 발생할 경우에는 식(9-26)과 같은 상류구간의 고정수두를 이용하여 경계조건을 구성할 수 있다.

$$F_{n+1} = y_{n+1} - y_d = 0 \quad (9-25)$$

$$F_1 = y_1 - y_u = 0 \quad (9-26)$$

여기서, y_d, y_u 는 각각 하류 및 상류의 고정수두를 의미한다.

마. 취수량

수로 구간내에 취수가 이루어질 경우는 해당구간의 수리적 관계식을 적용하거나, 유입량 모두가 취수되는 것으로 한다. 수리적 관계는 다음의 식에 의한다.

$$q_i = a d^b \quad (9-27)$$

여기서, q_i = 취수량, a, b = 매개변수 (입력자료)이다.

3. 용수조직의 입력자료

<표 9-2>는 혼합 수로조직의 입력자료의 구성을 나타낸다. <표 9-2>에서와 같이 1) 시스템자료, 2) 구간자료, 3)개수로 조직 입력자료, 4) 관수로 조직 입력자료

등으로 구분하여, 각각의 수로형식의 입력자료를 이용하여 혼합용수조직의 해석이 가능하도록 하였고, 혼합수로의 합류점의 관계를 정의하여 계산이 가능하도록 하였다.

<표 9-2> 혼합용수조직의 입력 자료

구 분	입력자료	내 용
시스템자료	PROJECT Q_XIN	사업지구명 유입량(ton/sec)
구간자료	NOREACH IDREACH JUNCTNS NO_DOWN ID_DOWN NO_CANL SLOPE XLENGTH ELE_IN XN_MANN HIGH_IN THETHA	전체 구간의 수 구간 번호 합류점의 형태에 따른 구분 변수 하류 구간의 개수 하류 구간의 번호 구간형상의 구분 변수 구간의 경사 (m/m) 구간의 길이 (m) 취입부의 표고 (m) Manning 계수 게이트 개방 높이 래디얼 게이트 개방 상태 (Degree)
개수로조직 입력자료	NO_GEOM X_WIDE X_SIDEM X_FREEB X_HEIGT	수로의 형상 수로 단면의 바닥폭 (m) 단면의 측면 기울기 (θ) 수로의 여유고 높이 (m) 수로의 최대수심 (m)
관수로조직 입력자료	P_DIA P_LENGT P_COEFF P_SLOP	관경 (mm) 관의 길이 (m) 관의 조도 계수 기울기 (m/m)

제5절 요약 및 결론

이상에서는 개수로-관수로의 혼합형 용수조직의 수리해석과 효율적인 물관리

등을 위한 기본적인 도구로써 현장 조건의 수리적 특징을 분석할 수 있는 계산 프로그램을 구성하고, 그 적용성을 평가하며, 앞으로의 발전 방향을 모색하도록 하였다.

최종 연구결과 및 금후의 발전방향 등을 정리하면 다음과 같다.

① 혼합형 수로는 개수로 구간과 관수로 구간별로 각각의 수리적 특징을 만족하나, 그 접합점에서는 급변류를 나타내는 데, 이들의 수리적 특징을 고찰하였다.

② 혼합수로의 접합부분인 유입부와 유말부에서의 수리적 관계식을 유도하고, 손실수두 등을 정리하였다.

③ 혼합수로의 수리적 계산을 위한 프로그램을 구성하여, 전체 수로조직의 수리적 특징을 파악할 수 있도록 하였다.

④ 개수로-관수로 혼합형 수로조직을 하나의 용수조직으로 계산할 수 있는 프로그램을 개발하고, 경계조건을 제시하고, 적용 방향을 살펴보았으며, 개수로 흐름과 관수로 흐름의 전이구간에 대한 보완이 이루어지면 혼합수로의 수리 검토를 위하여 현장 적용이 가능할 것으로 판단된다.

제10장 농업용수의 다목적 고도이용계획 -관수로 시스템의 응용-

제1절 서론

최근에 들어 농지의 타목적 전용이 늘고 있으며, 대부분 도시 근교나 그 밖의 평탄지를 도시나 공장 부지 등으로 활용하는 데 기인하는 것으로 나타났다. 이들 전용지 중 상당부분은 관개시설이 설치된 지역이 많은 데, 이로 인하여 물리면적이 없거나 감소한 수원공 시설이 생기고 있다. 따라서, 이들 농업용 수자원의 활용에 대한 검토의 필요성이 대두되고 있다.

아울러, 도시의 생활용수와 공업용수 등의 수요가 증가됨에 따라 일부 지역에서는 수자원이 부족하거나 확보되지 못한 지역이 있다. 이와 같은 경우, 기존의 농업용수를 생활용수나 공업용수로 취수하여 쓰는 사례가 증가되고 있다.

김 (1994)은 예당지의 홍수조절 기능에 대한 검토를 실시하여, 홍수시 문비의 조작을 통해 하류 구간의 홍수조절을 극대화할 수 있는 물관리 방안에 대하여 논의하였다. 한편, 농어촌진흥공사 (1994)에서는 새만금지구의 담수호 조성후 관리수위를 낮춤으로써 동진강 상류에서의 홍수위를 낮추는 효과가 있음을 보고하였다.

이상과 같은 사례들은 농업용 수자원이 지금까지의 관개용 단일 목적에의 이용에서부터 다목적 이용이 가능하거나, 다목적 기능을 이미 수행하고 있음을 의미하는 것이다. 따라서, 농업용수의 이용체제를 재검토하고, 다목적 이용의 가능성을 검토하는 것이 필요하다고 생각된다.

한편, 국민의 생활 수준과 의식 수준이 높아짐에 따라 농업과 농촌의 역할이 다양해지고 있는 것이 사실이다. 맑고 깨끗한 친수환경에 대한 국민적인 수요가 증가되고 있으며, 아름다운 농촌 경관에 대한 사회적, 경제적 수요가 증가되고 있는 것도 사실이다.

따라서, 본 연구에서는 농지의 전용 등 물리면적의 변화에 따른 농업용수의 이용 방안을 고찰하고, 농업용수의 다목적 이용 사례를 조사하고, 국내외의 농업용수의

다목적 고도이용 방안에 대하여 살펴보면, 이를 바탕으로 우리 실정에 맞는 용수의 고도이용 체제를 구상하도록 한다.

제2절 농업용수의 다목적 이용 사례와 방향

1. 농업수자원 현황

건설부 (1990)에 의한 우리나라 수자원 장기개발계획에 따르면, 우리나라의 수자원은 1991년 기준으로 하천수와 지하수 등으로부터 183억톤, 댐공급으로 부터 126억톤 등 총 309억톤으로 2001년의 용수수요 추정량 330억톤보다 작으며, 그 기간동안의 용수개발을 통해 공급예비율 5.6%를 목표로 하고 있다 (<표 10-1>참조). <표 10-1>은 용도별 수자원의 수요량을 보여주는 데, 1991년을 기준으로 할 때, 2001년의 수요량은 117%, 2011년은 131% 등으로 연평균 1.5%정도 증가할 것으로 나타났다.

한편, 농림수산부 (1989)에 의한 농업용 수자원량은 1988년 기준 143억톤으로 나타났다으며, 경지면적의 증감과 농업용수의 수급을 고려할 때, 2001년에는 173억톤의 용수가 필요한 것으로 나타났다. 그러나, <표 10-2>에서와 같이 농어촌지역의 생활용수 등 농어촌 용수의 수요량은 2001년에 약 239억톤으로 기존의 153억톤의 1.5배에 달하는 것으로 발표되었다.

이와 같은 농어촌용수 수급전망은 앞으로 지속적인 농어촌용수의 개발이 필요함을 말해주는 것으로, 개발 수요측면에서 농업용수 이외에도 생활용수, 수산용수, 하천유지수 등의 목적을 위한 개발이 요청됨을 나타내고 있다.

2. 다목적 이용 사례

가. 생공용수

전북농조는 관내의 동북, 대아, 경천 등의 저수지로부터 방류수를 대간선수로로 통하여 2만여 ha의 농지에 관개하고 있는 데, 잉여수를 군산, 이리 등의 생공용수로 할애하고 있다. 또한, 동진농조의 경우는 섬진강댐으로부터 생공용수를 취수하여

< 표 10-1 > 전국 용수수급계획 (1991-2011)

(단위: 백만m³)

구분	년도				
	1991	1996	2001	2006	2011
총용수 수요	28,237	30,241	32,986	34,921	37,015
○ 생활용수	4,892	5,919	7,068	7,685	8,199
○ 공업용수	2,309	2,783	3,052	3,365	3,663
○ 농업용수	15,094	15,797	16,430	17,119	17,770
○ 유지용수	5,742	5,742	6,436	6,752	7,383
용수 공급	18,282	18,599	19,451	20,129	20,320
○ 하천수	16,425	16,466	17,044	17,443	17,358
○ 지하수	1,857	2,133	2,407	2,686	2,962
과 부 족	-9,955	-11,642	-13,535	-14,792	-16,695
댐 공 급	12,618	13,954	15,368	15,432	17,260
잉 여 수 량	2,663	2,312	1,833	640	565
공급 예비율	9.4%	7.6%	5.6%	1.8%	1.5%

(자료: 수자원장기종합계획 1991~2011보고서, 건설부 (1990))

< 표 10-2 > 농어촌용수 수요전망

(단위: 백만m³)

구 분	2001년 수요량		'89현재 수자원량		개발수요	
	용수량	구성비	용수량	구성비	용수량	구성비
계	23,873	100%	15,382	100%	8,491	100%
농업용수	17,340	72.6	14,270	92.8	3,070	36.2
생활용수	1,260	5.3	410	2.7	850	10.0
공업용수	744	3.1	32	0.2	712	8.4
축산용수	379	1.6	278	1.8	101	1.2
수산용수	2,121	8.9	392	2.5	1,729	20.4
하천유지수	2,029	8.5	-	-	2,029	23.8

(자료: 농어촌용수이용합리화계획 (농림수산부, 1989))

인근 도시로 급수를 할애하고 있다. 그밖에도 많은 수의 농지개량조합에서는 상류 계곡에 위치한 저수지의 물을 도시의 상수도 원수로써 공급하고 있는 것이 현실이다.

이상과 같은 농업용수자원의 원수 이용은 인근 지역의 생활에 필요한 물을 공급한다는 의미에서 새로운 기능을 수행하는 것이 분명하다. 반면에, 생활용수의 원수로써 채취함에 따라 발생할 수 있는 농업용수의 부족에 대한 문제 역시 검토가 필요한 것이 사실이다.

한편, 농어촌 용수 이용 합리화계획에 따라 지금까지의 농업용수의 개발에서 농어촌 지역의 생활용수 등 다목적 이용을 위한 개발이 허용되고 있으며, 이와 같은 것은 농업용수의 다목적 이용에 대한 새로운 검토가 필요함을 말해주는 것이다.

나. 홍수조절

김태철 (1994)은 예당저수지의 수문조절을 통하여 하류구간의 홍수조절 기능을 검토하였다. 예당지는 수문에 의하여 홍수나 잉여수를 방류하도록 된 저수지이며, 따라서, 홍수시 만수위 이상의 홍수를 일시 저류함으로써 하류 구간에서의 홍수 조절 기능이 있음을 분석하였다. 이와 함께, 홍수조절을 고려한 수문 조작 관리 방안을 분석하고 있다.

이상과 같은 결과는 상류에 위치한 농업용 저수지가 유역의 홍수관리에 큰 기여를 하는 것을 나타내고 있으며, 적절한 관리방안이 마련될 경우 유역의 홍수관리를 위한 시설로써 활용될 수 있는 잠재력이 있음을 말해준다.

다. 담수 양어

근래에는 저수지 수질오염의 주범으로 많은 저수지에서 폐지되고 있으나, 수년 전에는 전국적으로 담수양어시설을 저수지에 설치하여 높은 수익을 올린 사례가 있다. 다만, 그간 간이 양어시설을 적용함으로써 양어용 사료나 각종 병해충 구제를 위한 약제 등이 별도의 분리시설 없이 저수지 수면상에서 이루어짐으로써 수질오염 문제를 야기한 것이 사실이다.

만약, 외국에서와 같이 수면에 사료나 약품의 투입을 엄격히 규제하고, 저수지에
서의 담수양어를 실시하는 예를 적용한다면 농업용 저수지의 내수면을 활용한 다양
한 담수어의 양어가 가능할 것이 분명하다.

3. 다목적 이용방안

가. 기본전제

이상에서와 같이, 농업용수의 다목적 이용은 상당수의 농지개량조합에서 이미
실시하고 있으며, 또한 가까운 장래에는 농어촌용수의 개발이 활성화되므로 써 보
다 활발히 추진될 수 있을 것으로 예상된다. 그 이유는 다음과 같은 사회·경제적
인 추세에 기인한 것으로 보인다. 즉,

- ① 생공용수의 수요량이 급속히 증가하고 있고,
- ② 새로운 수자원의 개발이 어려워 기존 수원공의 이용률을 증대시켜 용수
수요를 충족하는 것이 필요하며,
- ③ 하천수질의 악화로 인하여 하류구간에서의 생공용수의 취수가 어려운 반
면에 상당수의 대규모 농업용 저수지는 유역이 상류에 위치하여 수질보전상에 유리
하여 원수으로써 이용이 가능하며,
- ④ 일부 지역에서는 지하수 오염으로 생공용수으로써 활용이 어렵고,
- ⑤ 농지의 전용으로 인하여 물리면적이 줄거나 없어진 농업용 저수지의 수
가 늘고 있어 국가적으로 수자원의 이용측면에서 활용이 고려될 수 있고, ⑥
농업용 저수지의 홍수조절 기능이 있으나, 이를 간과해왔으며,
- ⑦ 그간 농업용 저수지의 담수 양어시설은 수질오염방지를 고려하지 않은
까닭에 실패한 것이므로 적절한 수질오염방지책을 채택함으로써 내수면 어업의 장
으로 잠재성이 높으며,
- ⑧ 그 밖의 친수공간 조성의 효과를 기대할 수 있는 것
등이다.

그러나, 이상과 같은 필요성에도 불구하고 농업용 수자원의 다목적 이용체계를
도입하기 위해서는 다음과 같은 전제조건을 충족하는 것이 필요하다. 즉,

① 농업용 수자원은 농업용으로 개발되어 그 수리권은 농지개량조합원 또는 흥농계원인 농민에게 귀속되므로, 수리권에 대한 법적인 보장이 이루어지고, 이에 대한 재화적 가치가 보장되어야 하고,

② 농업용수의 필요수량이 우선적으로 급수되고 남은 수량이 타목적으로 사용되어야 하며,

③ 농업용 수자원은 단순히 관개용수로서 급수하는 데 머무를 수 없고 수질 보전적 차원에서 이용에 제한을 두고 있으므로, 다목적 이용에서는 엄격한 수질기준이 마련되고 실행되어야 하며,

④ 홍수조절 기능을 위한 안전장치가 마련되고, 이로 인하여 수리권 상에서 저촉되지 않아야 하며,

⑤ 다목적 이용에 따른 경제적, 사회적 직·간접 효과를 충분히 검토하여, 이에 대한 수리권의 적용이 보장되어야 하며,

⑥ 물리면적이 감소하여 타목적으로 전용이 가능한 경우에는 저수시설에 대한 수리권을 파악하여 그 권리의 이전에 따른 재화적 보상이 이루어지는 조건하에서 타목적으로의 전용이 검토되어야 하는 것 등이다.

나. 다목적 이용방안

농어촌용수이용합리화계획에 따르면 농어촌지역의 용수수요는 농업용수 이외에도 생활용수, 공업용수, 축산용수, 수산용수, 하천유지용수 등이 있다. 또한, 저수지는 홍수조절기능을 갖고 있고, 친수환경의 조성을 위한 적합한 여건을 갖춘 곳이 많다. 수질오염의 방지대책이 수립될 수 있는 조건에서는 담수어의 양어가 가능한 등의 여러 가지 목적의 활용이 가능하다.

이상의 각 목적별 이용 방안을 살펴보고, 이를 위한 조사 연구의 필요성을 정리하면 다음과 같다.

(1) 생공용수 : 월별 목적별 용수수요를 추정해보면 (그림 10-1)과 같다. (그림 10-1)에서와 같이 농업용수가 4-9월 중에 집중되는 데 반하여, 생활용수, 공

업용수 등은 일년중 20%내외의 차이를 보여, 용수수급의 조절만으로도 농업용수의 이용에 차질을 주지 않는 범위에서 생공용수의 이용이 가능할 것으로 예상된다.

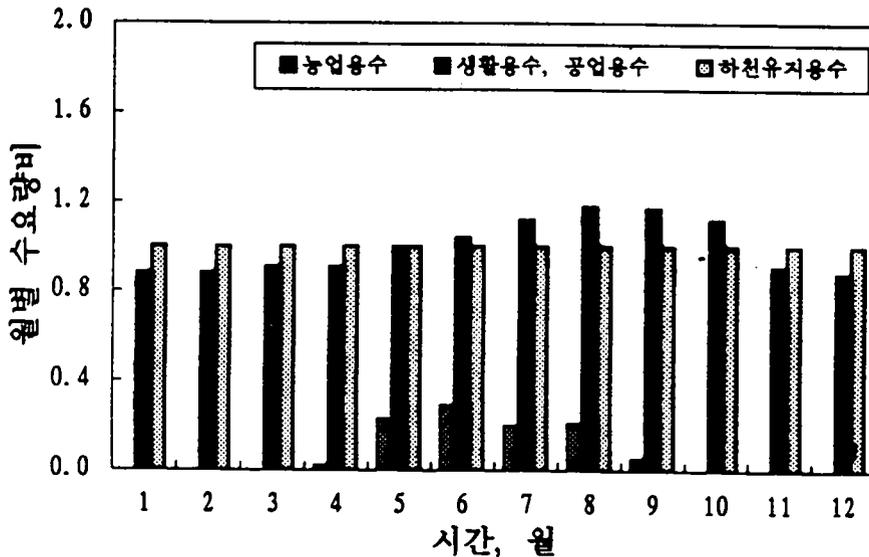
농업용 수자원의 생공용수로의 이용 방안으로는 다음과 같은 것이 가능할 것이다.

① 수원공의 용량이 충분하거나, 물리면적의 감소 등으로 잉여 수자원이 있는 경우는 이를 직접 원수로써 활용하거나, 혹은 기존의 상수도용 수원공에 도수하여 활용하는 방법이 검토될 수 있을 것이다.

② 수원공의 용량이 부족한 경우는 보충방안을 강구하여, 보강 공사를 실시하고, 이로부터 채수량을 생공용수로 전환이 가능할 것이다. 원수의 활용방안은 앞에서와 같다.

③ 대단위 농업용수개발사업 혹은 유역개발사업 등에 의하여 조성된 다목적댐, 하구둑 등의 수자원과 농업용 수자원을 상호 보완적으로 활용하는 계획을 수립하고, 이에 따른 잉여 수자원을 생공용수로 활용하는 방안이 가능할 것이다.

④ 그밖에도, 소규모의 생공용수의 원수 공급이 가능한 예가 많을 것이므로



(그림 10-1) 월별 수요량비

전국적인 조사를 실시하여, 농업용수 필요수량을 충족하고 남은 수자원의 효율적 활용방안의 검토가 가능할 것이다.

(2) 환경용수 : 농어촌 지역의 자연하천의 건천화 방지 등을 위해서는 일정한 양의 하천유지용수가 필요한 데, 건기 동안에는 많은 하천이 물이 부족하여 하천 생태계에 큰 위협이 되고 있다. 농업용 수자원은 실제로 하천의 유하량을 증대시키는 데 기여를 하고 있는 것이 사실이다. 관개기간 중 하천수위는 환원수, 혹은 누수손실에 의한 수량 등이 하천에 집수되어 흐르게 되므로 건천화 방지에 기여하고 있다.

따라서, 농업용 수자원의 환경용수의 기여 정도를 조사 분석하므로써, 환경용수에 기여도를 구명할 수 있을 것이며, 생공용수에서와 같이 필요한 경우 일정 유량을 하천으로 방류시켜 하천의 건천화 방지에 기여가 가능할 것이다.

(3) 홍수조절 : 농업용 저수지의 홍수조절 기능은 홍수발생시 저류용량에 따라 다르게 되므로, 유역의 홍수조절을 갖춘 저수지를 대상으로 하여 홍수조절 기능을 조사 분석하고, 그 경제성을 구명하여, 타당한 경우는 적극적인 홍수조절 용량을 할당하는 방안의 검토가 필요하다. 다만, 홍수조절기능의 수행을 위해서는 엄밀한 수문학적 검토를 통해서 효과적이고 안전한 방안을 마련하는 것이 전제되어야 할 것이다.

(4) 친수환경의 조성 : 기존의 농업용 저수지의 상당수는 지역의 여가 휴식처를 제공하고 있고, 친수환경의 기능을 수행하고 있다. 휴식 공간으로 많은 시민들이 방문하고, 낚시터 등으로 활용되어 도시민들의 휴식 공간이 되고 있으며, 각종 수상 스포츠나 레크레이션을 행하는 등의 기능을 수행하고 있는 것이다.

따라서, 전국의 농업용 저수지를 입지여건 등에 따라 기능화하여 친수환경의 조성을 통하여 다양한 목적으로 활용성 여부를 검토함으로써, 보다 적극적으로 농업용 수자원의 기능을 확대하는 것이 필요할 것이다. 이를 위해서는 농업용 수자원의 이용을 위한 수문학적, 수자원공학적 타당성을 검토하여, 농업목적과 친수환경 목적에 따른 수자원 이용을 위한 검토가 전제되어야 할 것이다.

제3절 농업용 저수지의 홍수조절 기능

농업용 저수지의 홍수조절 효과는 저수지를 통과하는 홍수파의 추적을 통해서 측정이 가능하며, 이를 저수지 추적이라고 한다. 이 저수지추적은 저수지의 홍수조절용량의 결정이라든지 댐높이 및 댐 부속구조물의 수리설계를 위한 기준유량을 제공하는 데 이용되기도 한다.

저수지 홍수추적 방법에는 저류지표법(storage-indication method), 계수법(coefficient method), Gould함수법(method of Gould Function) 및 누가곡선법(mass curve method) 등이 있으며, 여기서는 계산절차가 간편한 저류지표법(storage-indication method)를 사용한다.

1. 저류지표법(storage-indication method)

여수로(spillway)나 방수로(outletwork)에 수문이 없는 저수지의 경우에는 유출량(O) 및 저류량(S)가 수면표고의 함수로서 표시될 수 있으므로 홍수추적이 비교적 간단하며 이를 단순저수지 홍수추적(flood routing in a simple reservoir, reservoir routing)이라고 한다. 수문이 있는 경우에도 수문의 개폐정도가 고정되면 단순저수지로 취급하여 홍수추적계산을 하게 된다.

저수지 홍수추적을 위해서는 (그림 10-2)와 같은 표고별 저류량곡선(elevation-storage curve) 및 표고별 유출량 곡선(elevation-discharge curve) 등과 같은 자료가 필요하다. 표고별 저류량 곡선은 저수지 지점의 각 등고선간의 면적을 구적기로 구한 다음 등고선간의 저류가능한 용적을 결정하는 평균단면적법(average end-area method)을 사용하여 만든다. 표고별 유출량 곡선은 식 (10-1), 식 (10-2)와 같이 웨어(weir) 혹은 오리피스(orifice)공식을 사용하여 얻을 수 있다.

$$O_s = C_s L H_s^{3/2} \quad (10-1)$$

$$O_o = C_o A \sqrt{2gH_o} \quad (10-2)$$

여기서, O_s 는 여수로 위로 월류되는 유량(m^3/sec), L 은 여수로의 길이(m), H_s 는 여수로위의 수두(m), C_s 는 여수로의 유량계수이며, O_o 는 방수로를 통해 방류되

는 유량(m^3/sec)이고, A는 방수로의 단면적(m^2), g는 중력가속도 (= 9.8m/sec)
 H_o 는 방수로 중심축으로 부터 측정한 수두(m)이며 C_o 는 오리피스의 유량계수이
 다.

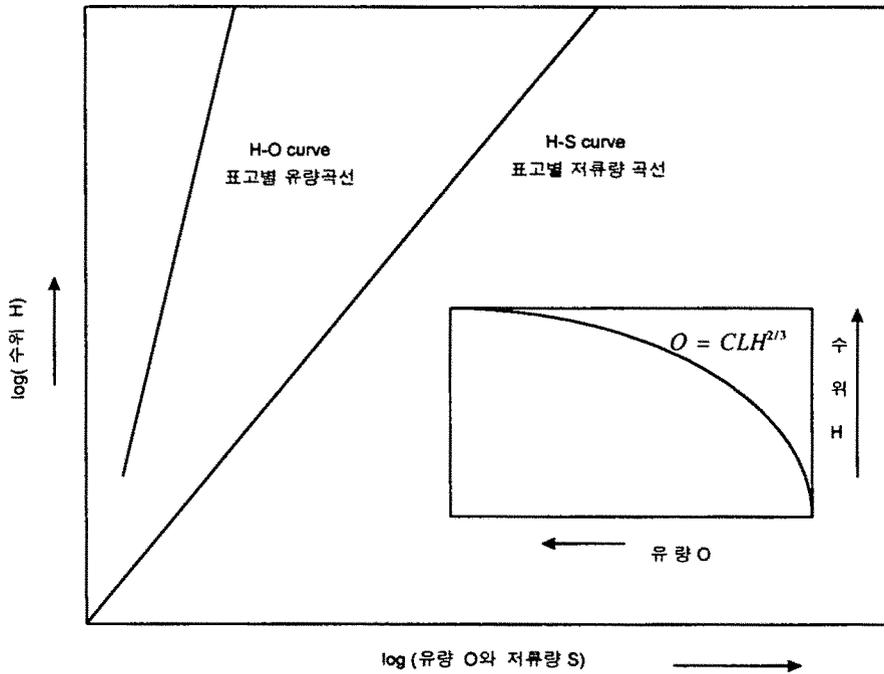
저수지 홍수추적에 사용되는 저류방정식은 식 (10-3)이며, 이를 임의 시간 t_0 에서
 의 유입·유출량으로 나타내면 식 (10-4)와 같다.

$$I - O = \frac{dS}{dt} \quad (10-3)$$

$$\frac{1}{2}(I_1 + I_2)\Delta t + (S_1 - \frac{1}{2} O_1\Delta t) = (S_2 + \frac{1}{2} O_2\Delta t) \quad (10-4)$$

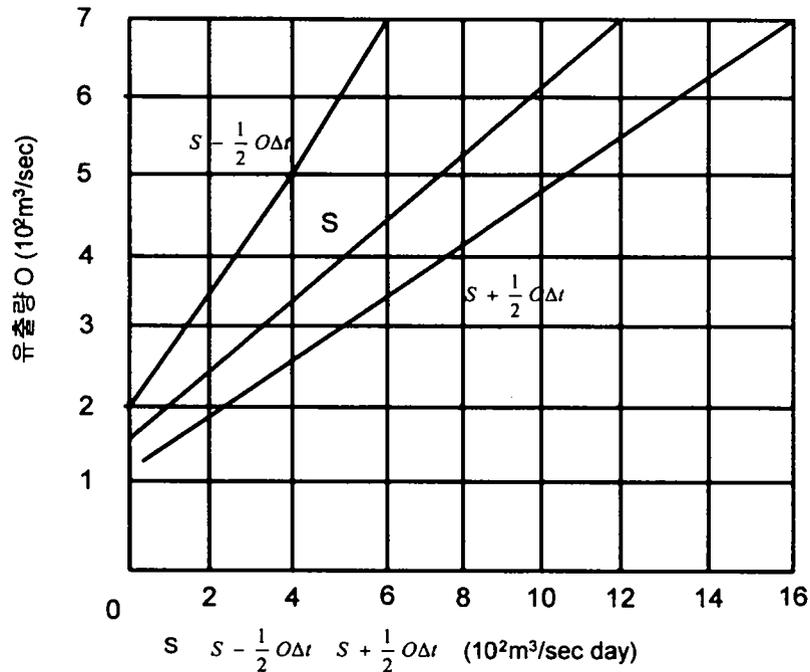
여기서, I는 유입량, O는 유출량, S는 저류량이며, 하첨자 1, 2는 각각 계산시간의
 시작점과 끝점이고, Δt 는 시간간격이다.

식 (10-4)에 의해 추적계산을 하기 위해서는 (그림 10-3)의 S-곡선으로 부터



(그림 10-2) 표고별 저류량 및 유량곡선

$\pm \frac{1}{2} O \Delta t$ 를 가감하여 $S \pm \frac{1}{2} O \Delta t$ 곡선을 미리 계산해 둔다. 추적계산은 식 (10-4)의 좌변에 기지의 값을 대입하여 우변의 $S_2 \pm \frac{1}{2} O_2 \Delta t$ 값을 계산한 다음, (그림 10-3)으로부터 이 값에 해당하는 O_2 를 구함으로써 첫 번째 추적기간 t_0 에 해당하는 계산을 종료한다. 다음 추적기간 $t_0 + \Delta t$ 에 대한 계산을 위해서는 전기간의 O_2 가 O_1 이 되고, 그림 (10-3)로부터 다시 $(S_1 - \frac{1}{2} O_1 \Delta t)$ 값을 구하여 유입수문곡선 자료로부터 얻을 수 있는 $\frac{1}{2} (I_1 + I_2)$ 를 이에 더하여 $(S_2 + \frac{1}{2} O_2 \Delta t)$ 를 계산하게 된다. 이 값에 해당하는 O_2 를 (그림 10-3)의 관계로부터 구하면 $t + \Delta t$ 의 유출량을 계산하게 된다. 수문으로 유출량을 조절하는 저수지의 경우 저류방정식은 식 (10-5)와 같다.



(그림 10-3) 저류지표법을 적용하기 위한 곡선

$$\frac{1}{2}(I_1 + I_2)\Delta t - O_R\Delta t + (S_1 - \frac{1}{2} O_1\Delta t) = (S_2 + \frac{1}{2} O_2\Delta t) \quad (10-5)$$

여기서, O_R 는 수문에 조절된 유출량(regulated outflow)이다. 식 (10-4)의 $O_R\Delta t$ 항을 제외하면 식 (10-5)와 동일하게 되므로, 여러가지 수문개구정도에 대한 $S \pm \frac{1}{2} O\Delta t$ 를 미리 계산해 두면 수문이 없는 경우와 동일한 방법으로 추적계산을 할 수 있다.

2. 대상저수지

저수지의 홍수조절 기능을 평가하기 위한 대상저수지로 경기도 안산시 반월동에 위치한 반월저수지로 선정하였다. 반월저수지에 대한 수문관측은 1985년 이래 서울대학교 농공학과에서 실시하고 있으며, 방류량의 측정을 위한 구조물이 설치되어 있고, 저수지의 수위-내용적 관계 등의 기본자료가 축적되어 있다.

반월저수지는 1960년에 축조되어, 그 하류에 위치한 360ha의 논에 농업용수를 공급하고 있으며, (그림 10-4)와 같이 여수로를 통한 자유유통형식을 취하고 있으며, 방류구를 통해서 몽리지구에 관개를 한다. <표 10-3>은 반월저수지의 주요제원을 나타내고 있다.

반월저수지의 수문관측망은 (그림 10-5)와 같다. 반월저수지는 2개의 반월지천으로 부터 유입하는데, 그 중 하나의 지천에 자기수위계를 설치하고 (WS#3), 저수지 수위관측을 위해 취수문 구조물에 자기수위계(WS#2), 그리고 통관직하류의 수로부분에 설치된 프롬(flume)에 자기수위계를 설치하여(PF#1), 유입량, 저수위, 그리고 방류량 등의 시간별 자료를 수집하도록 하였다. 그리고 유역의 상류부에 자기강우계를 설치하였으며, 그 밖의 기상자료는 8km떨어진 수원측후소로 부터 주간기상자료를 얻어 활용하도록 하였다.

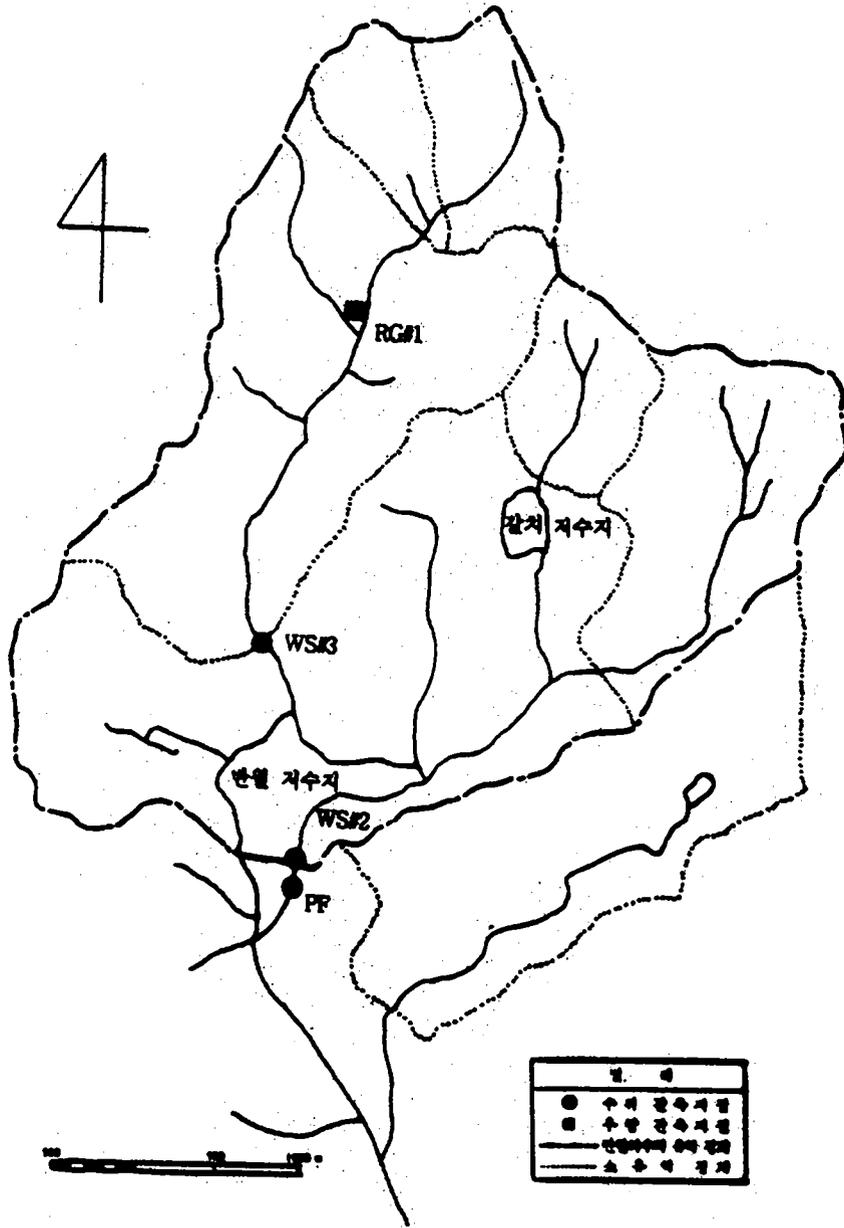
(그림 10-6)은 반월저수지의 수위-내용적 곡선을 보여주고 있으며, (그림 10-7)과 (그림 10-8)은 각각 WS#3과 통관의 수위-유량관계를 보여주고 있다.

<표 10-3> 반월저수지 주요 제원

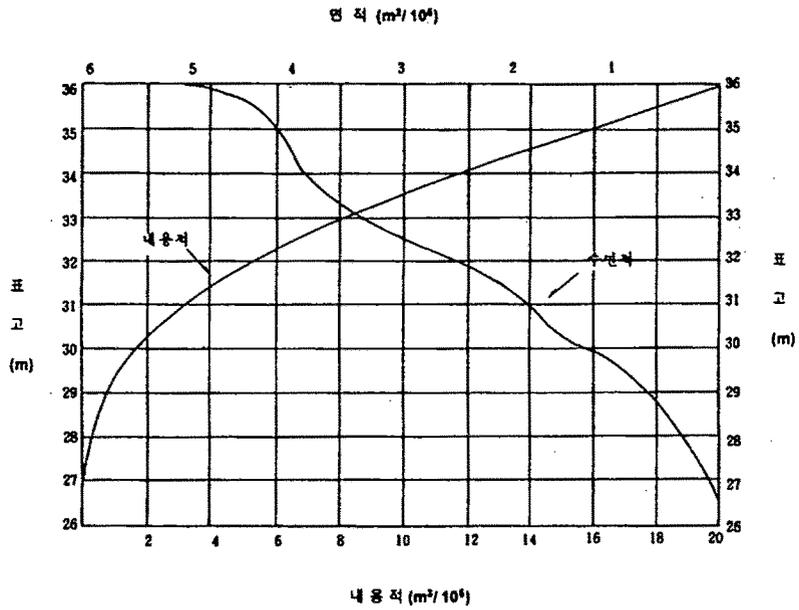
제원	크기
유역면적(ha)	1,220
만수면적(ha)	46
관개면적(ha)	405
내용적(ha-m)	139.6
만수위(m)	35.0
사수위(m)	27.0
최대저류량(10 ³ m ³)	1,602
제장(m)	344
천폭(m)	6.0
최고수심(m)	8.5
여수토 언정(m)	4.2



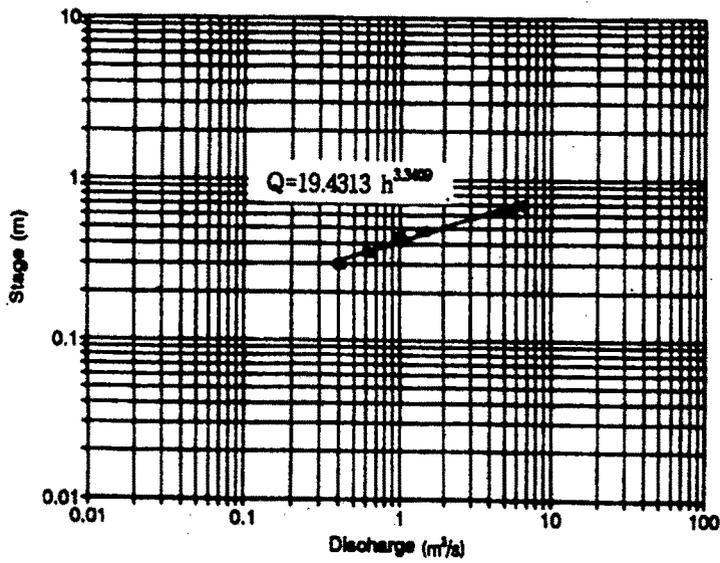
(그림 10-4) 반월저수지 여수토



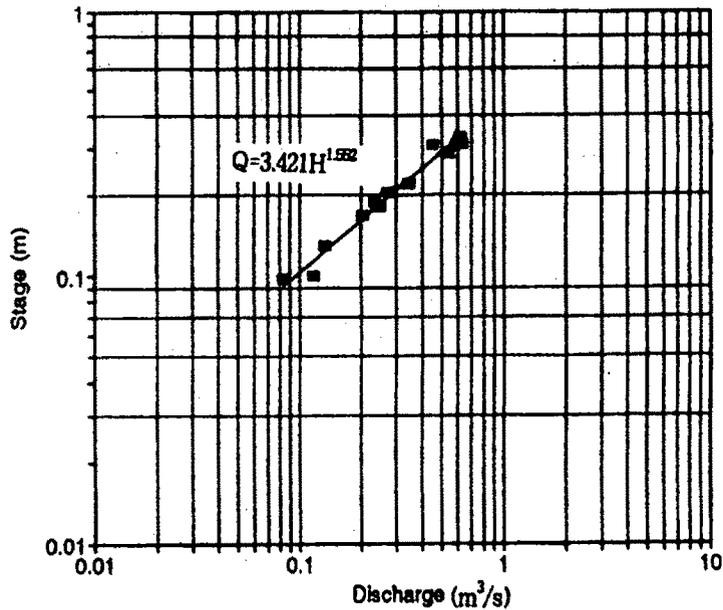
(그림 10-5) 반월저수지 유역 관측망



(그림 10-6) 반월저수지 수위-내용적 곡선



(그림 10-7) WS#3지점의 수위-유량 관계



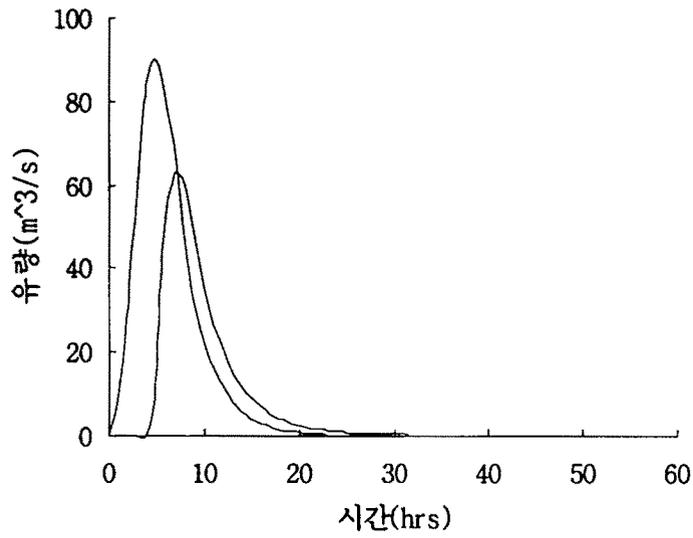
(그림 10-8) 통관지점의 수위-유량관계

3. 홍수조절효과

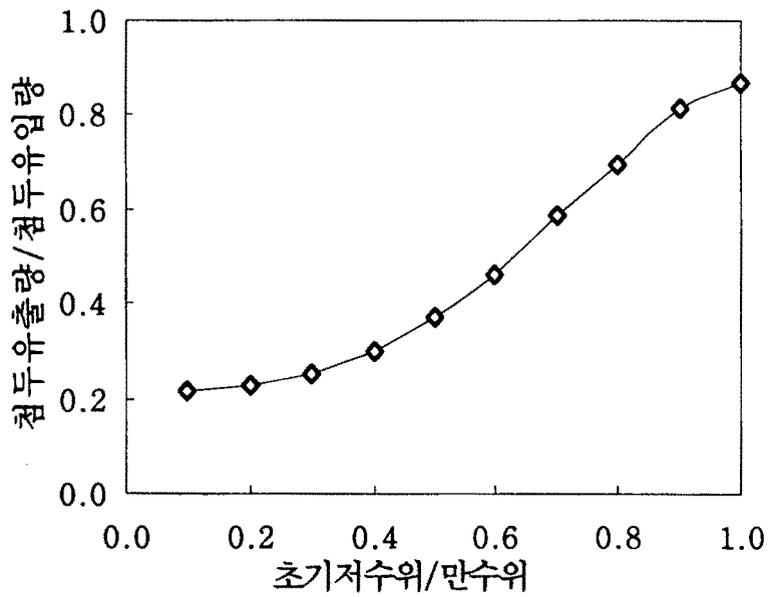
(그림 10-9)는 반월저수지의 초기저수율이 80%일 때, 폭우사상에 대한 유입홍수량과 유출량을 비교한 것으로 유입첨두유량의 도달시간이 5.76시간이고, 그 양이 $90.0 \text{ m}^3/\text{sec}$ 일 때, 첨두유출량은 유출개시후 4.80시간이 경과했을 때 발생하며, 그 양은 $77.88 \text{ m}^3/\text{sec}$ 이었다. 이는 반월저수지의 저류효과에 의해, 첨두유입량의 약 13.5% 감소효과를 보임을 알 수 있다.

(그림 10-10)은 반월저수지로 동일 유입량이 유입될 때, 만수위에 대한 초기저수의 비에 따른 첨두유입량에 대한 첨두유출량의 비를 나타내고 있다. 초기저수위가 만수위의 약 20%일 때, 첨두유출량은 첨두유입량의 약 80%의 감소효과를 보이고 있으며, 초기저수위가 만수위에 해당할 경우도 약 15%의 첨두유량의 감소효과를 보이고 있다.

(그림 10-11)은 동일 저류량의 저수지의 경우, 여수토의 길이에 따른 첨두유량의



(그림 10-9) 유입홍수량도와 유출량도



(그림 10-10) 초기 저수량에 따른 첨두유량 변화

변화를 보이고 있으며, 여수토가 길어질수록 유출량이 감소하고 있음을 알 수 있다.

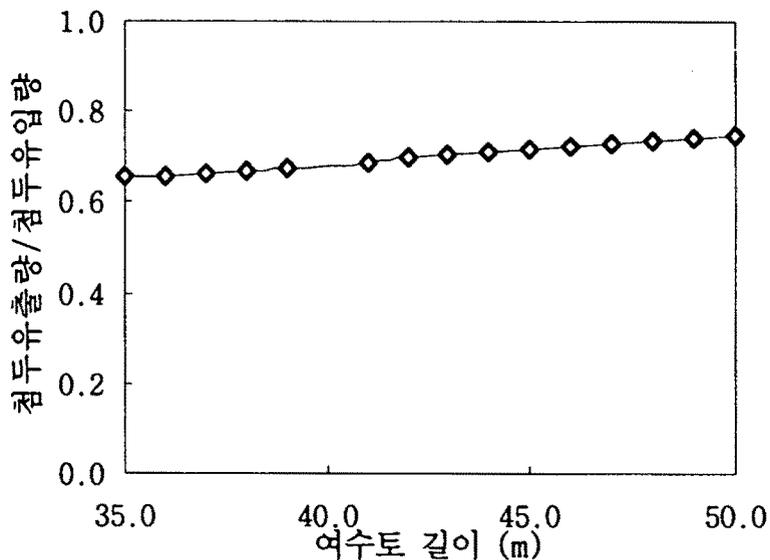
제4절 농업용수의 고도 이용 : 사례조사와 방향

일본의 경우, 농업용수의 고도이용을 위한 사업을 시행하여 왔다. 용수의 고도 이용이란 단순히 농업용을 위한 관개용수로 국한하지 않고, 수원공으로부터 필지에 도수하는 도중에 친수환경조성이나 마을 주변의 수변환경에 기여할 수 있도록 하므로써 용수의 이용목적에 충당하는 동시에 부수적인 효과를 얻도록 하여 이용성과를 극대화하는 것이다.

다음에서는 일본의 농업용수 고도이용사업의 배경과 내용 등을 살펴보고, 그 효과를 고찰하며, 우리나라의 적용을 위한 연구의 방향 등을 정리하도록 한다.

1. 사업의 배경

농업용수 고도이용사업의 배경은 다음과 같다.



(그림 10-11) 여수토 길이에 따른 침투유량 변화

日本 滋賀縣 太上郡 申良町地區의 경우에는 개수로의 관수로화 사업으로 인하여 농수로가 없어지게 되었는데, 이로 인하여 미관 환경이 나쁘게 되는 결과를 초래

하게 되었다. 그래서, 수로의 일부 구간을 개수로화하고, 수로 주변의 자연경관을 미화하으로써 친수환경을 조성하고, 지역의 미관을 아름답게 조성하도록 한 것이다.

2. 사업의 내용

滋賀縣 太上郡 申良町地區의 농업용수 고도이용사업의 내용은 (그림 10-12)와 같이 친수공원의 조성을 위하여 분수를 설치하고, 친수성 광장을 조성하였으며, 경관을 아름답게 꾸미는 등의 사업을 시행하였다. 그밖에도 친수성 용수로를 조성하여 마을을 통과하도록 하고, 이를 용수간선으로 활용하는 등 용수의 이용 목적을 다양화하는 내용으로 구성되었다. <표 10-3>는 申良町地區의 사업내용을 요약한 것이다.

3. 사업 효과

申良町地區 등의 용수 고도이용사업의 효과는 다음과 같다.

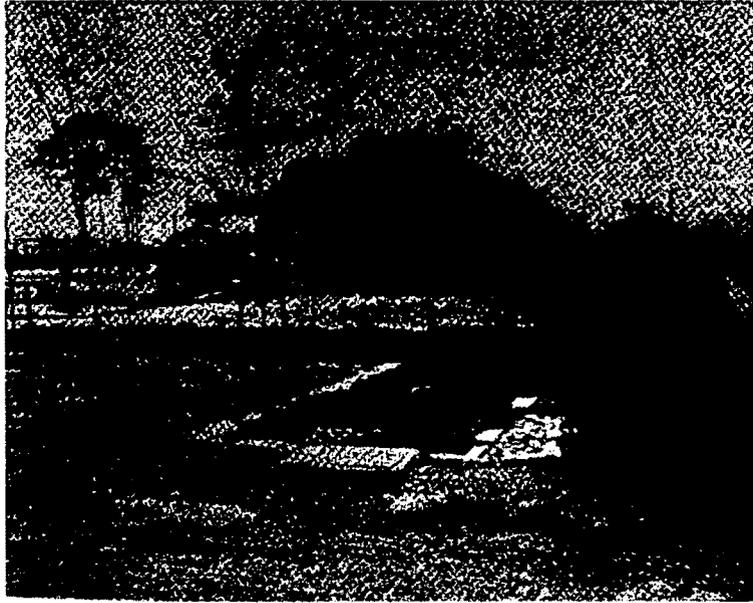
① 농업용수를 이용하여 도수중 친수환경을 조성하으로써 농촌지역의 경관을 미화하여 아름다운 농촌환경을 조성하고,

② 농어촌지역에 친수성 용수로를 설치함으로써 아름다운 농촌을 만들고, 물을 이용한 경관의 조성에 기여하며,

③ 친수공원의 조성을 통하여 관광과 휴식처를 조성하여 삶의 질을 높이는 등이

그 것이다.

이상과 같은 사업효과는 물을 이용한 경관조성의 효과를 농어촌 지역에 적용한 것에 의의가 있으며, 별도의 수자원을 개발하여 쓰지 않고, 농업용수를 활용하으로써 용수이용의 부가가치를 높인 것이 유의해야할 사항인 것이다.



(그림 10-12) 친수성 광장 조성

<표 10-3> 申良 관개시설 고도이용 사업

항 목	주 요 내 용
사업개요	기존의 개수로 관개조직을 관수로화 함으로서 미관환경을 나쁘게 하는 결과를 낳았다. 그래서 부분적으로 개수로를 재건설 함으로서 농촌지역을 보기 좋고 매력적으로 하며 수로 주변의 자연경관을 미화하는 것이 이사업의 목적이다.
주요사업내용	①친수공원(친수성, 분수공광장, 친수성 광장) 조성 ②친수성 집락내 용수로(1800m) 조성 ③관개간선(640m) 조성
사업비	총사업비는 16억이며, 정부 50%, 현 50% 부담이며 사업기간은 1990년 - 1995년이다.

4. 연구 방향

농업용 관수로화는 일본에서와 같이 우리의 경우에도 기존의 개수로를 폐쇄하는 것을 전제로 하는 것이므로 단순히 수로부지의 타목적 이용이나 경지정리의 감보율을 낮추는 등의 토지 생산성 차원에서 고찰해서는 안되며, 보다 적극적으로 용수 이용의 고도화를 겨냥한 다양한 사업을 구상하여, 그 타당성을 검토하고, 연구 발전시켜, 아름다운 농어촌의 건설과 함께 친수환경을 조성하여 관광 명소와 휴식공간의 조성 등을 꾀해야 할 것이다.

(1) 소하천의 친수성 증대

하천의 친수기능은 수상위락, 수변경관, 정서함양 등 하천과 인간과의 교류기능을 말한다. 농촌마을의 경우, 소하천이 대부분 존재하며, 이 소하천공간의 합리적인 이용, 접근성의 개선, 물의 특성활용을 통해 친수기능을 개선할 수 있다.

소하천의 친수성을 증대시키기 위해서는 우선 하천에의 접근성이 고려되어야 한다. 또한 하천 주변을 가급적 자연스럽게 하여, 하천의 자연스러운 흐름, 여울, 연못 등을 도입한다. 호안을 녹화하거나 주변의 초화류와 수목을 이용하여 계절감을 느끼게 해줄 수 있다.

(그림 10-13)은 버드나무가지와 자연석을 이용하여 모래하천의 환경을 정비한 형태이다. 조그만 시내를 치수목적으로 단순한 콘크리트로 호안을 축조하는 것 보다 버드나무가지와 자연석을 이용함으로써, 버드나무잎은 수중 먹이사슬에 유기물 공급원이 되고, 자연석은 세굴에 의한 웅덩이를 형성시켜 물고기의 서식처가 됨으로써, 생태계에도 이롭고 보는 느낌도 부드럽게 한다.

(2) 환경을 고려한 용·배수로

배수기능이 중심인 수로를 사람을 대상으로 한 친화적 기능만이 아니라, 생태계를 배려하여 폭을 확대한 토수로로 개량하여 다른 시설물들과 연계시킨 환경배수로로 정비할 수 있다. 수로내에 습지식물 등의 서식을 가능하게 하여 수역을 다양화할 수 있으며, 유속을 저하시켜 수질정화효과를 도모함으로써 배수로의 자연하천으로서의 기능을 기대할 수 있을 것이다.

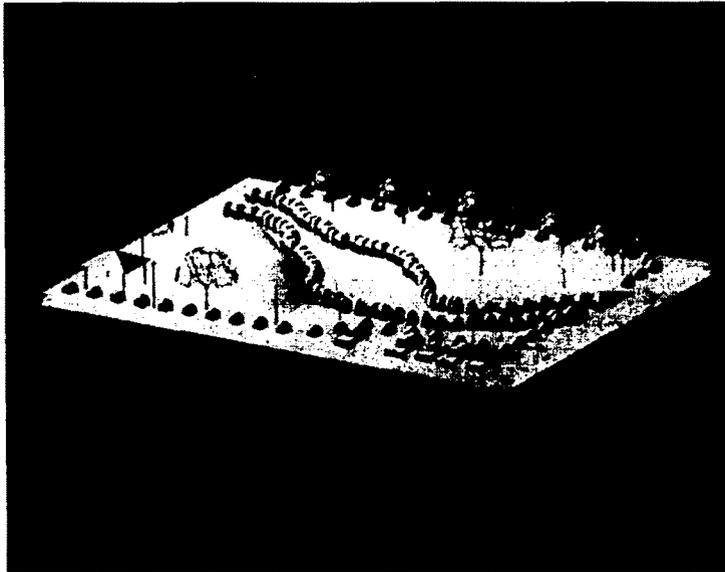
이와 같이 배수로를 생태계를 배려한 공간으로서 만이 아니라, 생활 및 사회환경에서 공공기능적 공간으로 정비·활용함으로써 지역주민 뿐만아니라 도시주민에게도 개방된 공간이 되어 지역사회 발전에도 기여하게 될 것이다.

용수로는 관개용수의 안정적 공급이라는 기능이 중심이 되고 있으며, 특히 간선수로에서는 안전성을 고려하여 유지관리를 하여야 한다. 용수로는 콘크리트 등 인공구조물에 의한 송수기능을 중심으로 한 구조로 되어 있으며, 이물질의 유입을 방지하기 위해 주변과 격리된 공간이 되고 있다. 따라서, 자연기능을 발휘하기 위해 수로를 직접 이용하기에는 어려움이 많다.

그러므로, 용수로의 부지 및 공간을 활용하고 물을 간접적으로 이용하기 위한 방법이 필요하다. (그림 10-14)와 같이 지역적 특성에 따라 별도의 용수원의 개발 없이 농업용수를 직접공원으로 유입시켜 활용하며, 시설부지의 녹화와 방풍림 또는 가로수 부지를 활용하거나, 농업용수에서 분수하여 지역환경을 배려한 시설 또는 공간을 통과시켜 유하시키는 등 간접적으로 활용할 수 있을 것이다.



(그림 10-13) 소하천의 복원



(그림 10-14) 용수로 주변의 수변공원 조성

제5절 요약 및 결론

본 연구는 농지의 전용 등 물리면적의 변화에 따른 농업용수의 이용방안을 고찰하고, 농업용수의 다목적 이용 사례를 조사하고, 국내외의 농업용수의 다목적 고도이용 방안에 대하여 살펴보며, 이를 바탕으로 우리 실정에 맞는 용수의 고도이용 체계를 구상하도록 하였다.

이상의 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

① 우리나라 농업수자원은 전체 용수이용의 약 59%로써 약 157억톤이며, 2001년에는 173억톤의 용수가 필요하며, 대부분 저수지 등 수원공으로부터 공급되고 있다.

② 농업 수자원은 근래에 인근 도시의 생공용수로 활용되는 사례가 늘고 있으며, 저수지의 유역 홍수조절 관리기능, 담수 양어, 관광여가 등 다목적 활용이 이루어지고 있다.

③ 앞으로도 농업 수자원의 다목적 이용이 예상되고 있으며, 합리적인 다목적 이용을 위해서는 기본 전제를 충족시켜야 하며, 다양한 이용방안에 대한 검토가 이루어져야 할 것이다.

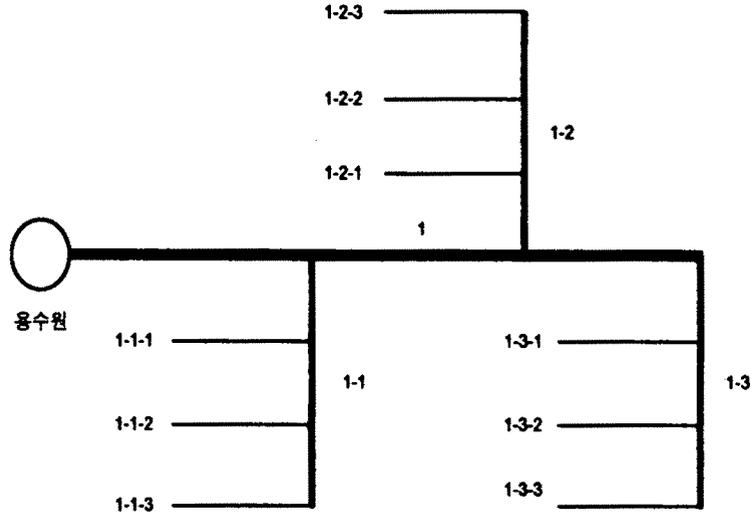
④ 저수지의 홍수조절효과를 평가하기 위해, 경기도 화성군 반월면에 위치한 반월저수지를 대상으로 초기저수량에 따른 침투유출량의 변화, 여수로 길이에 따른 침투유출량의 변화를 검토하였다.

⑤ 농업용수의 고도이용사업에 대한 고찰을 위해 사례조사를 검토하였으며 그 배경과 내용, 효과 등을 정리하였다. 또한, 관련된 연구방향을 고찰하였다.

I. 혼합수로 최적설계 프로그램

1. 대상지구

1.1 모식도



1.2 관로제원

구분	용수조직			연장 (m)	통수량 (m ³ /sec)
	간선	지선	지거		
1	1			2,100	1.2
2		1-1		400	0.3
3			1-1-1	300	0.1
4			1-1-2	300	0.1
5			1-1-3	300	0.1
6		1-2		400	0.6
7			1-2-1	300	0.2
8			1-2-2	300	0.2
9			1-2-3	300	0.2
10		1-3		500	0.3
11			1-3-1	300	0.1
12			1-3-2	300	0.1
13			1-3-3	300	0.1

2. 입력자료

Pipeline Cost	11	12					
Data	0.20	16745.6					
	0.25	21710.2					
	0.30	26907.6					
	0.35	37916.4					
	0.40	47711.0					
	0.45	55402.7					
	0.50	63541.4					
	0.55	71679.6					
	0.60	79178.0					
	0.70	128022.3					
	0.80	162412.8					
Pipeline System	1.20000	1000.00000	0.01000				
Data	0.90000	700.00000	0.01000				
	0.60000	500.00000	0.01000				
	0.10000	300.00000	0.01000				
	0.10000	300.00000	0.01000				
	0.10000	300.00000	0.01000				
	0.20000	300.00000	0.01000				
	0.20000	300.00000	0.01000				
	0.20000	300.00000	0.01000				
	0.10000	300.00000	0.01000				
	0.10000	300.00000	0.01000				
	0.10000	300.00000	0.01000				
Optimization	47	48	24	46	10	22	46
Data							
Open Channel	30						
Cost Data	0.200	0.150	9204.00				
	0.250	0.175	10254.00				
	0.300	0.200	11754.00				
	0.350	0.235	12604.00				
	0.400	0.260	14554.00				
	0.450	0.295	15753.00				

0.500	0.320	18604.00
0.550	0.355	20166.00
0.600	0.380	22366.00
0.650	0.415	24366.00
0.700	0.440	28566.00
0.800	0.490	33771.00
0.900	0.550	41371.00
1.000	0.600	47677.00
1.000	0.800	97689.00
1.000	0.900	104407.00
1.000	1.000	110323.00
1.200	0.800	105070.00
1.200	0.900	110935.00
1.200	1.000	116749.00
1.200	1.200	129434.00
1.300	1.000	121070.00
1.300	1.100	126884.00
1.300	1.200	133754.00
1.300	1.300	139619.00
1.500	1.000	127445.00
1.500	1.100	134315.00
1.500	1.200	140130.00
1.500	1.300	147000.00
1.500	1.900	152814.00

Open Channel
System Data

1	2				
3					
3					
0.10000	300.00000	0.01500	0.00100	1.50000	1.10000
0.10000	300.00000	0.01500	0.00100	1.50000	1.10000
0.10000	300.00000	0.01500	0.00100	1.50000	1.10000
0.15000	300.00000	0.01500	0.00100	1.50000	1.10000
0.15000	300.00000	0.01500	0.00100	1.50000	1.10000
0.15000	300.00000	0.01500	0.00100	1.50000	1.10000
0.30000	200.00000	0.01500	0.00100		
0.20000	100.00000	0.01500	0.00100		
0.10000	100.00000	0.01500	0.00100		

0.45000	200.00000	0.01500	0.00100
0.30000	100.00000	0.01500	0.00100
0.15000	100.00000	0.01500	0.00100
0.75000	200.00000	0.01500	0.00100
0.45000	200.00000	0.01500	0.00100

3. 계산결과

DETERMINATION OF PIPELINE'S OPTIMAL DIAMETER

용수간선/용수지거 관로화시 관로공사비 (관-개-관)

관로총공사비 388893800.000

용수간선 공사비 162412.8 162412.8 79178.0

용수지거 공사비 21710.2 37916.4 21710.2

관로총공사비 388893800.0

용수간선 필요수두 10.0

용수지거 필요수두 10.0

CONSTRAINT CONDITION			EACH NODE'S COST		
CONS1	.732	.000	X1	1000.000	162412.800
CONS2	.688	.000	X2	.000	162412.800
CONS3	.630	.000	X3	700.000	162412.800
CONS4	.549	.000	X4	.000	162412.800
CONS5	4.631	.000	X5	500.000	79178.000
CONS6	4.483	.000	X6	.000	79178.000
CONS7	4.323	.000	X7	300.000	21710.200
CONS8	.688	.000	X8	.000	21710.200
CONS9	.630	.000	X9	300.000	21710.200
CON10	.549	.000	X10	.000	21710.200
CON23	1000.000	.000	X11	300.000	21710.200
CON25	700.000	.000	X12	.000	21710.200
CON27	500.000	.000	X13	300.000	37916.400
CON29	300.000	.000	X14	.000	37916.400
CON31	300.000	.000	X15	300.000	37916.400
CON33	300.000	.000	X16	.000	37916.400

CON35	300.000	.000	X17	300.000	37916.400
CON37	300.000	.000	X18	.000	37916.400
CON39	300.000	.000	X19	300.000	21710.200
CON41	300.000	.000	X20	.000	21710.200
CON43	300.000	.000	X21	300.000	21710.200
CON45	300.000	.000	X22	.000	21710.200
			X23	300.000	21710.200
			X24	.000	21710.200

DETERMINATION OF OPENCHANNEL OPTIMAL SECTION

EACH SUBSUBCHANNEL OPTIMAL SECTION, NORMAL DEPTH AND COST

NODE	WIDTH	HEIGHT	NDEPTH	S	ELE.	UPELE.	m-COST	TCOST
1 1	.60000	.38000	.28495	.00100	1.30000	1.60000	22366.0	6709800.0
1 2	.60000	.38000	.28495	.00100	1.30000	1.60000	22366.0	6709800.0
1 3	.60000	.38000	.28495	.00100	1.30000	1.60000	22366.0	6709800.0
2 1	.80000	.49000	.36651	.00095	1.20000	1.48500	33771.0	10131300.0
2 2	.80000	.49000	.36651	.00095	1.20000	1.48500	33771.0	10131300.0
2 3	.80000	.49000	.36651	.00095	1.20000	1.48500	33771.0	10131300.0
3 1	.60000	.38000	.28495	.00100	1.30000	1.60000	22366.0	6709800.0
3 2	.60000	.38000	.28495	.00100	1.30000	1.60000	22366.0	6709800.0
3 3	.60000	.38000	.28495	.00100	1.30000	1.60000	22366.0	6709800.0

EACH SUBCHANNEL OPTIMAL SECTION, NORMAL DEPTH AND COST

NODE	WIDTH	HEIGHT	NDEPTH	SLOPE	ELE.	m-COST	TOTAL COST
1 1	1.00000	.60000	.42438	.00080	1.76000	47677.0	9535400.0
1 2	.80000	.49000	.36651	.00095	1.69500	33771.0	3377100.0
1 3	.60000	.38000	.28495	.00100	1.70000	22366.0	2236600.0
2 1	1.00000	.90000	.67446	.00094	1.67300	104407.0	20881400.0
2 2	1.00000	.80000	.52577	.00080	1.56500	97689.0	9768900.0
2 3	.80000	.49000	.36651	.00095	1.58000	33771.0	3377100.0
3 1	1.00000	.60000	.42438	.00080	1.76000	47677.0	9535400.0
3 2	.80000	.49000	.36651	.00095	1.69500	33771.0	3377100.0
3 3	.60000	.38000	.28495	.00100	1.70000	22366.0	2236600.0

EACH MAIN CHANNEL OPTIMAL SECTION, NORMAL DEPTH AND COST

NODE	WIDTH	HEIGHT	NDEPTH	SLOPE	ELE.	m-COST	TOTAL COST
1	1.50000	1.10000	.79907	.00080	2.56000	134315.0	134315000.0
2	1.30000	1.00000	.74373	.00080	2.23300	121070.0	84749000.0
3	1.20000	.80000	.59377	.00080	2.16000	105070.0	52535000.0

TOTAL COST EACH COMPONENT

	SUBSUB CHANNEL	SUBCHANNEL
1	20129400.0	15149100.0
2	30393900.0	34027400.0
3	20129400.0	15149100.0

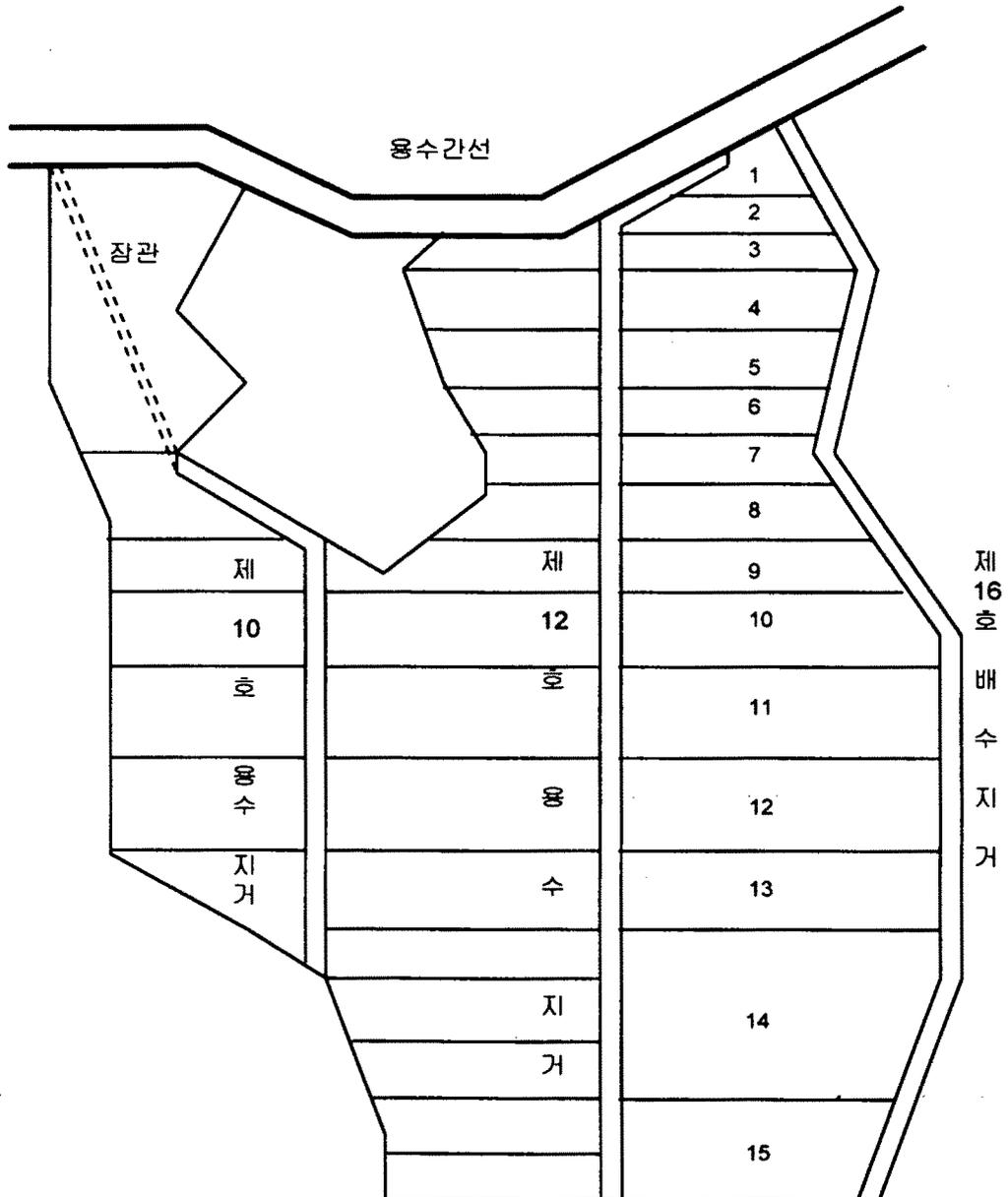
MAIN CHANNEL TOTAL COST = 271599000.0

TOTAL COST OF OPEN CHANNEL= 406577300.0

Ⅱ. 저압 관수로 수리해석 프로그램

1. 대상지구

1.1 모식도



1.2 관로 재원

측 점	경 구		급수전표고(EL)		지형 경사	수두 경사	급수 면적	비 고
	구간	누계	좌	우				
No(1)	0	0	60.546 (61.989)					○간선바닥 (개거상단)
No(2)	4	4	61.926 (61.835)					○침사지상단 (30cm자 위치)
No(3)			61.07					○급수토구관정
No(4)			60.71					"
No(5)			60.44					"
No(6)			60.56					"
No(7)			59.65					"
No(8)			58.41					TP
No(9)			57.95					○급수토구관정
No(10)			57.68					"
No(11)			57.00					"
No(12)			55.14	-	1/40	1/100		○제수공관정
No(13)			55.13					○급수토구관정
No(14)			54.63					"
No(15)	239	243	53.62				0.35	(동시급수구간)
No(16)	25	268	53.09				0.17	"
No(17)	10	278	52.88				0.17	"
No(18)	25	303	51.84				0.30	"
No(19)	30	333	51.11.				0.28	"
No(20)	30	363	50.73				0.26	"
No(21)	40	403	50.08				0.15	"
No(22)	10	413	50.13				0.15	"
No(23)	55	468	49.36				0.22	"
No(24)	-	-	48.91					○유말공 관정
합 계		468					5.76	

2. 입력자료

Control Data

9 10 1 500 0.00001

Element Data

0 0 1 110 0.25 55.0

1 1 2 110 0.25 10.0

2 2 3 110 0.25 40.0

3 3 4 110 0.25 30.0

4 4 5 110 0.25 30.0

5 5 6 110 0.25 25.0

6 6 7 110 0.15 10.0

7 7 8 110 0.15 25.0

8 8 9 110 0.15 243.0

Node Data

0 49.36 1 0.010 0.5

1 50.13 1 0.010 0.5

2 50.08 1 0.010 0.5

3 50.73 1 0.010 0.5

4 51.11 1 0.010 0.5

5 51.84 1 0.010 0.5

6 52.88 1 0.010 0.5

7 53.09 1 0.010 0.5

8 53.62 1 0.010 0.5

9 60.546 0

Boundary Data

9 0.7

3. 계산 결과

Control Data

9 10 1 500 0.000010

Element Data

0	0	1	110.0	0.25	55.00
1	1	2	110.0	0.25	10.00
2	2	3	110.0	0.25	40.00
3	3	4	110.0	0.25	30.00
4	4	5	110.0	0.25	30.00
5	5	6	110.0	0.25	25.00
6	6	7	110.0	0.15	10.00
7	7	8	110.0	0.15	25.00
8	8	9	110.0	0.15	243.00

Node Data

0	49.36	1	0.01	0.50
1	50.13	1	0.01	0.50
2	50.08	1	0.01	0.50
3	50.73	1	0.01	0.50
4	51.11	1	0.01	0.50
5	51.84	1	0.01	0.50
6	52.88	1	0.01	0.50
7	53.09	1	0.01	0.50
8	53.62	1	0.01	0.50
9	60.546	0		

Boundary Data

0 9 0.700000

*** Successive, Iteration No = 422 ***

*** Matrix [K] ***

262.99	-260.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
260.26	1287.29	-1023.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	-1023.74	1082.80	-55.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	-55.82	134.91	-72.34	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	-72.34	162.86	-84.76	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	-84.76	157.95	-63.08	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-63.08	140.64	-31.53	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-31.53	56.63	-18.64
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-18.64	26.19

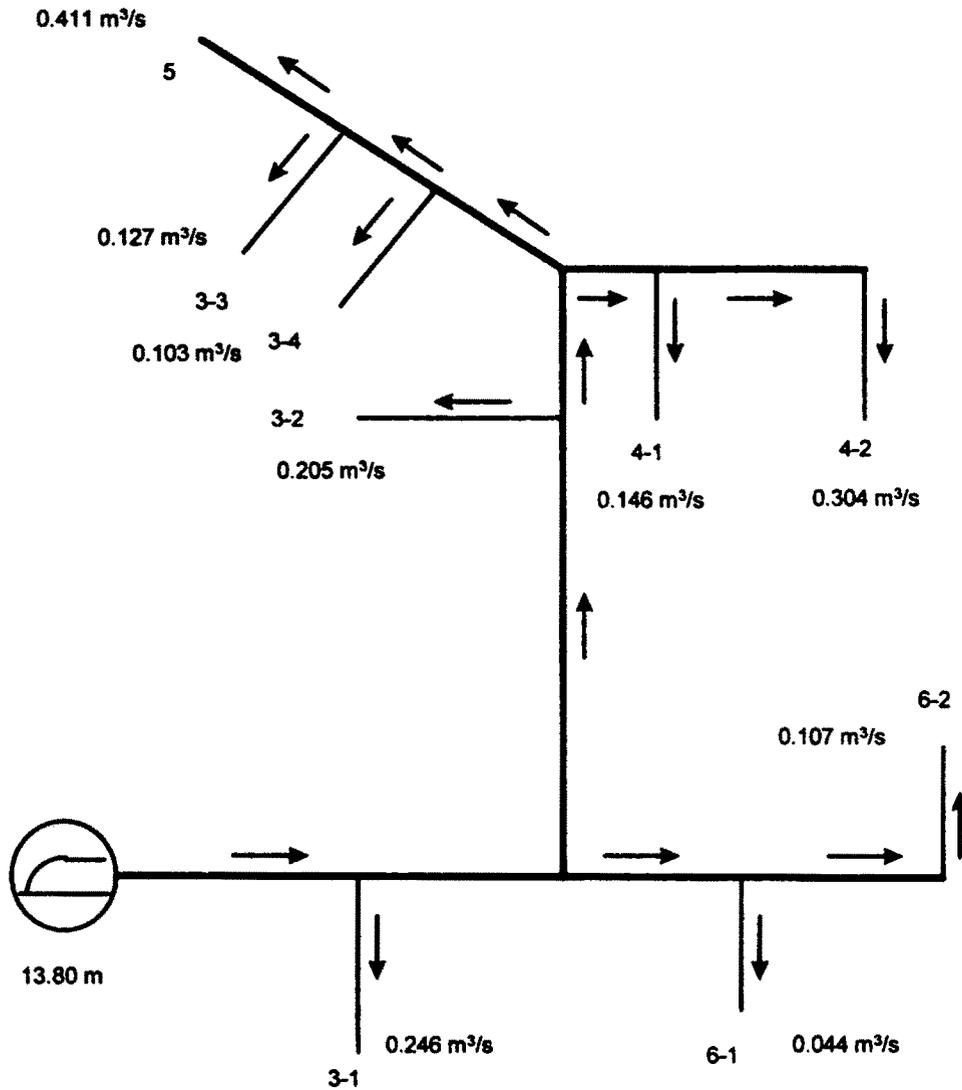
*** {F} {H} {Q} ***

203.1284	2.449	0.016
-248.2897	-1.694	0.013
90.7082	1.750	0.013
-2.0418	0.414	0.006
40.1382	0.526	0.007
13.8426	0.163	0.004
-12.9506	0.009	0.001
9.7098	0.436	0.007
10.4742	0.561	0.007

Ⅲ. 정상류 수리해석 프로그램

1. 대상지구

1.1 모식도



1.2 관로제원

관로번호	길이 (m)	관경 (m)	유속계수 (H-W)	소요유량 (m ³ /sec)
1	1123.0	1.1	130	0.2463
2	1108.0	1.0	130	0.0000
3	771.0	1.0	130	0.2052
4	98.0	0.9	130	0.0000
5	589.0	0.7	130	0.1034
6	175.0	0.7	130	0.1265
7	468.0	0.7	130	0.4112
8	4.0	0.6	130	0.1461
9	907.0	0.6	130	0.3042
10	137.0	0.4	130	0.0441
11	776.0	0.4	130	0.1073

2. 입력자료

Hydraulic data	12	11	9	1	100	0.00010
	1	1	2	1.10000	1123.00000	130.00000
	2	2	3	1.00000	1108.00000	130.00000
	3	3	4	1.00000	771.00000	130.00000
	4	4	5	0.90000	98.00000	130.00000
	5	5	6	0.70000	589.00000	130.00000
	6	6	7	0.70000	175.00000	130.00000
	7	7	8	0.70000	468.00000	130.00000
	8	5	9	0.60000	4.00000	130.00000
	9	9	10	0.60000	907.00000	130.00000
	10	10	11	0.40000	137.00000	130.00000
	11	11	12	0.40000	776.00000	130.00000
Boundary condition	2	-0.2463				

1. Water demand	4	-0.2052
	6	-0.1034
	7	-0.1265
	8	-0.4112
	9	-0.1461
	10	-0.3042
	11	-0.0441
	12	-0.1073
2. Fixed head	1	13.80
Printing format	1	

3. 계산결과

INTERNAL DATA

NUMBER OF NODES : 12
NUMBER OF ELEMENTS : 11
NUMBER OF NODES WITH KNOWN DISCHARGE: 9
NUMBER OF NODES WITH KNOWN HEAD: 1
MAXIMUM NUMBER OF ITERATIONS: 100
TOLERANCE: .0001000

ELEMENT CONNECTIVITY AND DIAMETER

ELEMENT	START	END	DIA.	LENGTH	H-W
1	1	2	1.10000	1123.00000	130.00000
2	2	3	1.00000	1108.00000	130.00000
3	3	4	1.00000	771.00000	130.00000
4	4	5	.90000	98.00000	130.00000
5	5	6	.70000	589.00000	130.00000
6	6	7	.70000	175.00000	130.00000
7	7	8	.70000	468.00000	130.00000
8	5	9	.60000	4.00000	130.00000
9	9	10	.60000	907.00000	130.00000

10	10	11	.40000	137.00000	130.00000
11	11	12	.40000	776.00000	130.00000

--- HALF-BANDWIDTH IS EQUAL TO 5 ----

NODAL DISCHARGES

NODE	VALUE
2	-.2463
4	-.2052
6	-.1034
7	-.1265
8	-.4112
9	-.1461
10	-.3042
11	-.0441
12	-.1073

BOUNDARY CONDITION DATA

NODE	PRESCRIBED VALUES
1	13.8000

RESULTS

NODAL HEADS

NODE	HEAD
1	13.8000
2	11.3649
3	8.5077
4	6.5196
5	6.2015
6	4.2930
7	3.8836

8	3.2174
9	6.1771
10	2.8694
11	2.4014
12	1.0003

NODAL DISCHARGES

NODE	DISCHARGE
1	1.6943
2	-.2463
3	.0000
4	-.2052
5	.0000
6	-.1034
7	-.1265
8	-.4112
9	-.1461
10	-.3042
11	-.0441
12	-.1073

MEMBER DISCHARGES

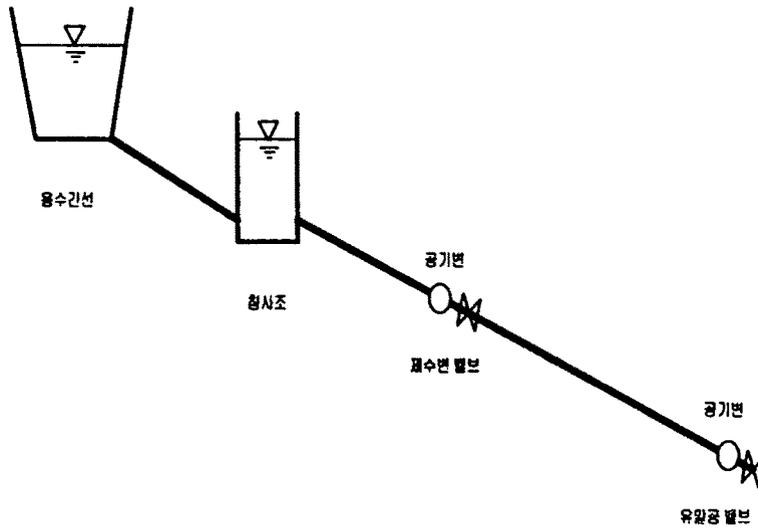
MEMBER	DISCHARGE
1	1.6943
2	1.4480
3	1.4480
4	1.2428
5	.6411
6	.5377
7	.4112
8	.6017
9	.4556
10	.1514
11	.1073

IV. 비정상류 수리해석 프로그램

1. 벨브폐쇄에 따른 수격압 계산

1.1 대상지구

1.1.1 모식도



1.1.2 관로제원

관로번호	관길이 (m)	압력파 전달속도 (m/s)	관경 (m)	마찰손실계수 (f)
1	10	100.0	0.25	0.0135
2	470	100.0	0.25	0.0135

1.2 입력자료

Boundary condition	2RESERVOIR			
System data	1	2	2	1
	2	0	0	47

Hydraulic data	.0100	250.0000	12.6460	.1510				
	100.0000	.2500	10.0000	.0135	.0250			
	100.0000	.2500	470.0000	.0135	.0250			
Valve control	.0000	30.0000	.0000	3.0000				
data	1.0000	.6888	.4870	.3444	.2514	.1743	.1178	.0827
	.0471	.0163	.0000					
Surge tank data	.8000	1.0000						

1.3 계산결과

DT= .01000 TG= 250.000 H(1,1)= 12.646
 QRT= .151

PIPE LINE DATA

No.	DIA.	CEL.	LEN.	Q	F	B.	NBR	NO	NX
1	.25	100.0	10.0	.15	.014	1	2	2	1
2	.25	100.0	470.0	.15	.014	2	0	0	47

TS = .0000 TC = 30.0000
 TAUFIN = .0000 DTAU = 3.0000
 TAU = 1.0000 .6888 .4870 .3444 .2514 .1743 .1178 .0827 .0471 .0163 .0000

DTANK = .8000 DHEAD= 1.0000
 VALUE OF DT RESET TO .01000

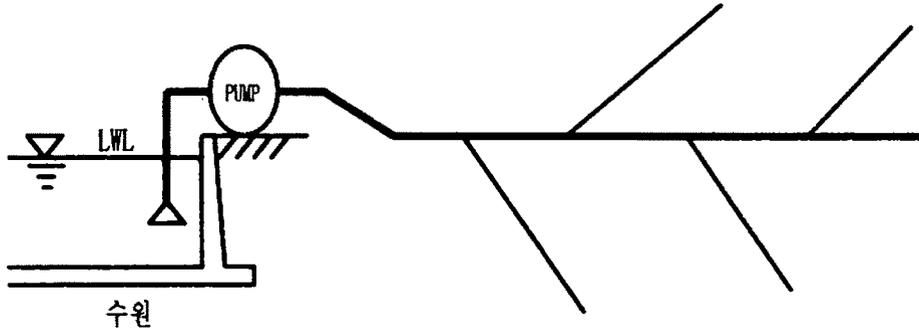
NODE	HMAX	NODE	HMIN
1 1	12.64600	1 1	12.64600
1 2	13.65484	1 2	11.64978
2 1	13.65484	2 1	11.64978
2 2	13.63886	2 2	11.63993
2 3	14.14439	2 3	11.40723
2 4	14.67253	2 4	11.08176
2 5	15.20060	2 5	10.72020
2 6	15.72512	2 6	10.34385
2 7	16.24441	2 7	9.96161

2 8	16.75738	2 8	9.57777
2 9	17.26326	2 9	9.19470
2 10	17.76145	2 10	8.81391
2 11	18.25155	2 11	8.43648
2 12	18.73326	2 12	8.06320
2 13	19.20643	2 13	7.69475
2 14	19.67093	2 14	7.33164
2 15	20.12673	2 15	6.97434
2 16	20.57381	2 16	6.62324
2 17	21.01218	2 17	6.27867
2 18	21.44187	2 18	5.94094
2 19	21.86287	2 19	5.61031
2 20	22.27516	2 20	5.28699
2 21	22.67874	2 21	4.97120
2 22	23.07352	2 22	4.66311
2 23	23.45944	2 23	4.36286
2 24	23.83638	2 24	4.07062
2 25	24.20418	2 25	3.78649
2 26	24.56270	2 26	3.51060
2 27	24.91178	2 27	3.24307
2 28	25.25120	2 28	2.98399
2 29	25.58079	2 29	2.73348
2 30	25.90033	2 30	2.49165
2 31	26.20966	2 31	2.25864
2 32	26.50858	2 32	2.03463
2 33	26.79691	2 33	1.81983
2 34	27.07449	2 34	1.61452
2 35	27.34112	2 35	1.41903
2 36	27.59668	2 36	1.23381
2 37	27.84100	2 37	1.05940
2 38	28.07399	2 38	.89645
2 39	28.29553	2 39	.74566
2 40	28.50563	2 40	.60778
2 41	28.70432	2 41	.48366
2 42	28.89184	2 42	.37409
2 43	29.06846	2 43	.27986

2. 펌프가동에 따른 수격압 계산

2.1 대상지구

2.1.1 모식도



2.1.2. 관로제원

관로번호	관길이 (m)	압력파 전달속도 (m/s)	관경 (m)	마찰손실계수 (f)
1	1000	1000.0	0.80	0.020

2.2 입력자료

Hydraulic data	1000.0000	1000.0000	0.0200	.8000	9.8100	
Pump data	120.0000	2.0000	30.0000	.4429	0.0002	0.9000
Node data	10	1	5			

2.3 계산결과

A, XL, D, F	=	1000.000	1000.000	.800	.020
QR, HR, G	=	.443	30.000	9.810	

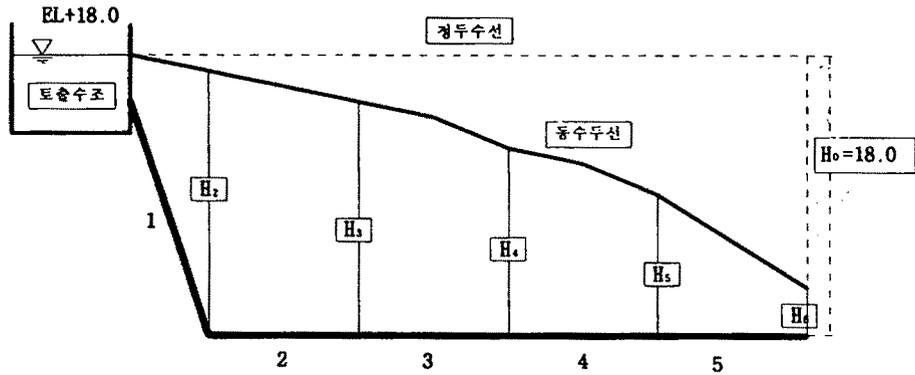
TM, TS, TOL, VI = 120.000 2.000 .000 .900
 N, JPR, KIT = 10 1 5

TIME	ALPHA	V	Q(1)	H(1)	H(NS)
1.400	.700	.208	.092	18.700	3.087
1.600	.800	.270	.120	24.290	6.939
1.800	.900	.341	.151	30.616	12.317
2.000	1.000	.418	.185	37.574	19.234
2.200	1.000	.410	.181	37.609	27.552
2.400	1.000	.385	.170	37.703	37.365
2.600	1.000	.344	.152	37.907	48.523
2.800	1.000	.288	.127	38.204	61.146
3.000	1.000	.214	.095	38.486	75.023
3.200	1.000	.122	.054	38.555	74.325
3.400	1.000	.014	.006	38.607	72.207
3.600	1.000	-.109	-.048	38.743	68.777
3.800	1.000	-.239	-.106	39.711	64.013
4.000	1.000	-.376	-.167	41.183	57.682
4.200	1.000	-.369	-.164	41.101	49.527
4.400	1.000	-.349	-.154	40.852	39.845
4.600	1.000	-.314	-.139	40.508	28.930
4.800	1.000	-.267	-.118	40.006	18.336
5.000	1.000	-.203	-.090	39.378	7.445
5.200	1.000	-.119	-.053	38.785	7.977
5.400	1.000	-.014	-.006	38.613	9.588
5.600	1.000	.107	.047	38.558	12.318
5.800	1.000	.224	.099	38.453	16.064
6.000	1.000	.339	.150	37.948	21.120
6.200	1.000	.334	.148	37.965	28.070
6.400	1.000	.316	.140	38.043	37.383
6.600	1.000	.288	.127	38.204	48.103
6.800	1.000	.247	.110	38.327	58.519
7.000	1.000	.193	.085	38.480	68.368
7.200	1.000	.116	.052	38.553	67.872
7.400	1.000	.013	.006	38.607	66.421
7.600	1.000	-.104	-.046	38.727	64.022
7.800	1.000	-.212	-.094	39.468	60.533

3. 빈관의 충수시 수격압 계산

3.1 대상지구

3.1.1 모식도



3.1.2 관로제원

관로번호	관길이 (m)	압력파 전달속도 (m/s)	관경 (m)	마찰손실계수 (f)
1	50	1000.0	0.80	0.0259
2	100	1000.0	0.70	0.0267
3	100	1000.0	0.50	0.0255
4	100	1000.0	0.35	0.0256
5	100	1000.0	0.30	0.0256

3.2 입력자료

Boundary condition 5RESERVOIR

System data	1	2	2	5
	1	3	3	10
	1	4	4	10
	1	5	5	10

	1	6	6	10			
	1	0	0	10			
Hydraulic data	0.0100	100.0000	4.00000	0.0000	0.3000	.5000	.0001
	0.8000	50.0000	0.27500	0.0259	14.0000		
	0.7000	100.0000	-0.00010	0.0267	0.2600		
	0.5000	100.0000	0.00070	0.0255	0.4700		
	0.3500	100.0000	0.00510	0.0256	0.5400		
	0.3000	100.0000	-0.00020	0.0256	1.0500		

3.3 계산결과

DT = .010 TG = 100.00 HR= 4.000
V_INITIAL = .000 L_INITIAL = .30
KL = .500 E_TOL = .00010

PIPELINE DATA

NO.	DIA.	L	SLOPE	F	B	NBR	NO	ELE.
1	.800	50.000	.275000	.02590	1	2	2	14.000
2	.700	100.000	-.000100	.02670	1	3	3	.260
3	.500	100.000	.000700	.02550	1	4	4	.470
4	.350	100.000	.005100	.02560	1	5	5	.540
5	.300	100.000	-.000200	.02560	1	6	6	1.050

TIME	L	H1	H2	H3	H4	H5	H6
4.80001	47.70159	4.00000	16.00188	14.00376	12.00564	10.00752	.00000
4.81002	47.81170	4.00000	16.00087	14.00175	12.00262	10.00349	.00000
4.82002	47.92184	4.00000	15.99987	13.99973	11.99960	9.99947	.00000
4.83002	48.03200	4.00000	15.99886	13.99773	11.99659	9.99545	.00000
4.84002	48.14219	4.00000	15.99786	13.99572	11.99358	9.99144	.00000
4.85002	48.25241	4.00000	15.99686	13.99372	11.99058	9.98744	.00000
4.86002	48.36266	4.00000	15.99586	13.99172	11.98759	9.98345	.00000
4.87002	48.47294	4.00000	15.99487	13.98973	11.98460	9.97946	.00000
4.88002	48.58324	4.00000	15.99387	13.98774	11.98161	9.97548	.00000
4.89002	48.69357	4.00000	15.99288	13.98576	11.97864	9.97151	.00000

4.90002	48.80393	4.00000	15.99189	13.98377	11.97566	9.96755	.00000
4.91002	48.91431	4.00000	15.99090	13.98180	11.97269	9.96359	.00000
4.92002	49.02473	4.00000	15.98991	13.97982	11.96973	9.95964	.00000
4.93002	49.13517	4.00000	15.98892	13.97785	11.96678	9.95570	.00000
4.94002	49.24563	4.00000	15.98794	13.97588	11.96382	9.95177	.00000
4.95002	49.35612	4.00000	15.98696	13.97392	11.96088	9.94784	.00000
4.96002	49.46664	4.00000	15.98598	13.97196	11.95794	9.94392	.00000
4.97002	49.57719	4.00000	15.98500	13.97000	11.95500	9.94000	.00000
4.98002	49.68776	4.00000	15.98402	13.96805	11.95207	9.93610	.00000
4.99002	49.79836	4.00000	15.98305	13.96610	11.94915	9.93220	.00000
5.00002	49.90899	4.00000	15.98208	13.96415	11.94623	9.92831	.00000
5.00824	50.00000	4.00000	15.98110	13.96221	11.94332	9.92442	7.90553