

농업구조물의 최적설계안 선정, 안전진단 및 개보수를 위한 시스템 개발

Development of System for Optimum Design, Safe Appraisal and Repair Works on Agricultural Structures

김종옥* · 윤광식 · 고만기 · 김기동(공주대) · 최진용 · 김한중(서울대)
Kim, Jong Ok · Yoon, Kwang Sik · Ko, Man Gi · Kim, Ki Dong
Choi, Jin Yong · Kim, Han Joong

Abstract

A study was conducted to develop a system for optimum design, safe appraisal and repair works on agricultural structures. Locations of structures were identified using GPS and imbedded into GIS data base with related information. A graphical program assisting onsite field investigation of typical agricultural structural problems such as fractures and cracks of members was developed. Typical rehabilitation methods were coded for data base development. Optimum design programs for several structures were developed and CAD program which automatically draw draft was also developed.

1. 서론

방조제나 저수지 같은 몇가지 대규모 시설을 제외한 대부분의 농업구조물은 3중시설로 분류되기 때문에 설계에서부터 안전진단 및 보수·보강의 업무가 체계적으로 이루어지고 있지 못한 실정이다.

설계의 경우 1980년대 초반 또는 중반에 그 당시의 지방서와 허용응력 설계법을 적용하여 만든 농지개량사업 표준설계도면(호형도)을 참조하여 설계하고 있기 때문에 많은 문제점을 내포하고 있고, 안전진단의 경우 농업구조물의 특성에 적합한 과학적인 안전진단 방법도 표준화되어 있지 않을 뿐만 아니라 이를 담당할 숙련된 기술자도 절대적으로 부족한 실정이어서 체계적인 안전점검이나 진단을 받지 못하기 때문에 농업구조물의 기능저하 및 내구수명이 단축되고 있다.

또한 농업구조물의 부재별 혹은 부위별 손상 및 노후화 형태에 따라 적절한 보수·보강 공법을 선정할 수 있는 자료도 미흡한 실정이고 농지개량조합 관내 전체구조물의 유지관리를 위한 통일된 조사방법도 없고 이를 위한 시스템도 개발되어 있지 않다.

따라서 본 연구에서는 농업구조물의 설계, 안전진단, 보수·보강 및 유지관리 업무를 소수의 비전문 인력으로도 신속 정확하게 수행할 수 있는 전문가 system을 개발하고자 한다.

1998년도 한국농공학회 학술발표회 논문집 (1998년 10월 24일)

II. 농업구조물 현황조사 및 시설물 위치, 형태등 도형 데이터 획득 및 DB화 기술 개발

본 연구에서는 평야부가 비교적 넓고 대상 구조물의 종류도 다양한 예당농지개량조합을 대상지구로 삼아 농업구조물 현황조사를 실시하였다. 시설물의 위치, 형태등 도형 데이터 획득 및 DB화 기술 개발을 위해 예당농지개량조합 관내 방산저수지 몽리 구역을 대상으로 구조물의 위치 및 종류 조사, 수로조직 측량, 구조물의 노후도와 기능성 조사를 실시하였으며, 지리정보시스템을 이용하여 도형자료를 구축하였다. 방산지 몽리구역내 1:25,000 지형도를 스캐닝하여 래스터 형태의 수치지도를 작성하였으며 경위도 좌표를 이용하여 TM좌표를 좌표 변환하여 경지정리 도면 및 수로조직의 바탕 도면으로 사용하였다. 수로망은 경지정리 도면에서 선속성으로 입력하고 수리구조물은 경지정리 도면에서 점속성으로 입력 하였다. GPS를 이용하여 (그림 1) 국가기본도와 좌표일치를 위한 경위도 좌표를 획득하였으며 개보수 사업 등으로 인한 간선형태의 변화에 대한 현재 상황을 측량하였다. 용수간선은 GPS 측량시 속성을 현지에서 직접 입력하여 작성하였고 지선 및 지거의 수리시설물은 수리시설 대장을 이용하여 입력하였다. 또한 사용자 편의 시스템 구축을위한 검색 메뉴구성을 하였다 (그림 2).

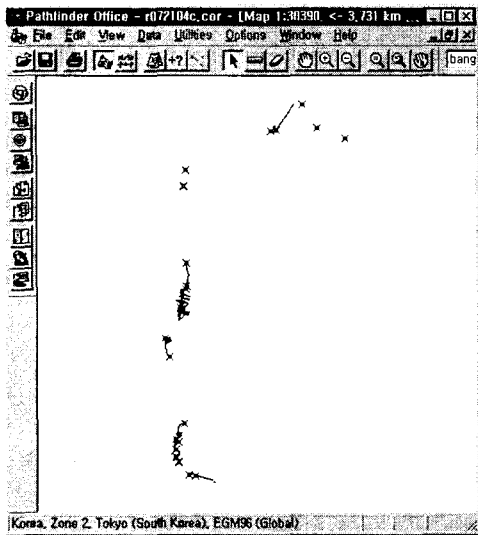


그림 1. GPS 이용한 구조물 위치 측량 결과

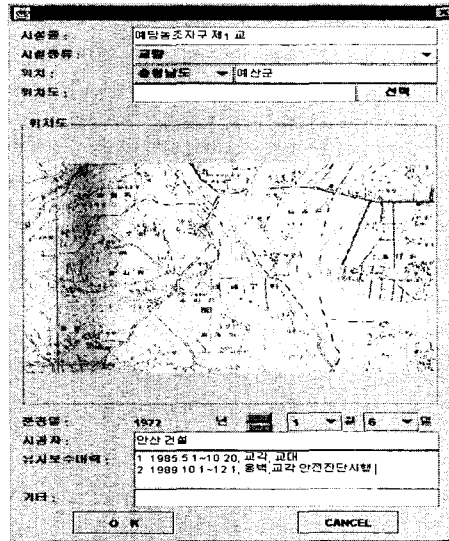


그림 2. 이력 관리 사용자 편의 시스템

III. 농업구조물에 대한 조사 및 평가기법

현황조사 결과를 기초로 농로교, 터널, 수로교, 암거, 잠관, 개거, 낙차공, 취수탑 등에 대한 조사 및 평가기법을 개발하기로 하였다. 개발된 현장조사 기법으로 현장조사를 실시하고 개발된 판정 Rule에 따라서 상태를 판정한 후 적절한 대책을 수립하는 과정을 프로그램화 하는 것이 본 연구의 목표이다. 농업구조물의 규모가 일반 교량구조물에 비하여 작고 요소부재의 종류가 적기 때문에 일반 교량(특히 콘크리트 교)에 대한 조사 방법을 검토 한 후 이를 농도교에 맞게 조정하면 대부분의 수로 구조물에 대한 조사 항목은 교량의 조사항목에 포함되게 된다. 안전진단 및 개보수 판정체계는 그림 3과 같다.

안전진단 및 개보수를 위한 시스템 체계도

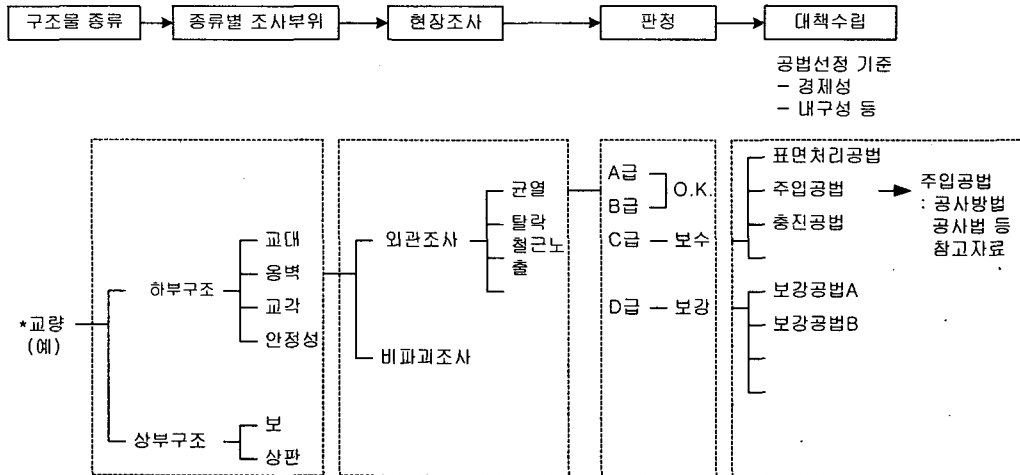


그림 3. 안전진단 및 개보수를 위한 시스템 체계도

IV. 농업구조물의 안전진단 프로그램

본 연구에서는 대상지구에 대한 현장구조물의 안전진단을 실시하는 전 과정을 컴퓨터 시스템을 이용한 Real-time 자료구축과 현장의 감각에 따른 진단 조사결과의 적합한 해석 및 평가지원시스템의 개발을 목표로 하였다. 본 시스템은 안전진단과 유지관리 계획 수립이 필요한 구조물을 선정하면 현장에서 조사자료를 입력할 때, 자료입력 및 관리에 대한 신뢰도를 제고할 수 있게 한다. 간단한 스케치와 구조부위의 묘사 등을 사진관측과 미리 정의된 구조물의 일반적 형식을 기준으로 작성한 테이블에 진단항목 및 진단결과를 작성하도록 한다. 이렇게 현장에서 직접 컴퓨터에 입력해 놓은 자료는 문자와 숫자, 현장위치 지형자료, 도면자료 구조물의 사진 등으로 이루어진다. 안전진단 조사자료 구축 및 평가지원 시스템은 객체지향언어인 Java™을 이용하여 개발한다. 구조물의 유형 선택 객체, 조사지구 개요의 DB 구축 객체, 재료, 구조요소표시, 구조정보 등으로 이루어진 구조정보객체 등을 개발하였다. 구조물 안전진단 결과의 출력을 위하여 JClass를 이용한 Chart 객체를 구성하고, 구조물 단위에서의 대책수립 결정과 사업단위의 대책결정 객체 등을 추가할 수 있도록 하였다. 시스템의 전체적인 흐름도는 다음 그림 4 와 같다.

부위별 노후화를 대표적으로 나타내고, 그 특성을 구조물의 격자에 삽입하면서, 진단결과를 입력할 수 있는 Icon 객체를 개발하였으며 그림 5 는 그예를 보여준다. 구조물은 격자망으로 표시하기 위하여 일반화 하였으므로 조사구조물에서 점검 점의 위치는 구조물의 전체길이에 비례적으로 나타나게 된다 (그림 6). 구조물의 특정한 작업영역을 사용자가 선택하고 작업객체를 지정, 필요한 정보를 사용자가 선택할 수 있도록 한 Drag and Drop 패러다임을 사용한다. 구조물 객체 표현의 유연성을 높이기 위하여 사용자가 미리 준비한 외곽선의 정보만으로 구조물의 유형별 격자조사표를 작성한다. 동일한 종류의 구조물에 대하여 현재 농업구조물로 등록할 수 있는 구조물의 Schematic Diagram을 이용하였다. 선택한 구조물의 조사부위의 선택, 조사부위별, 재료별로 진단 가능한 노후화 분류가 자동으로 사용자에게 제시되는 방법을 사용하였다.

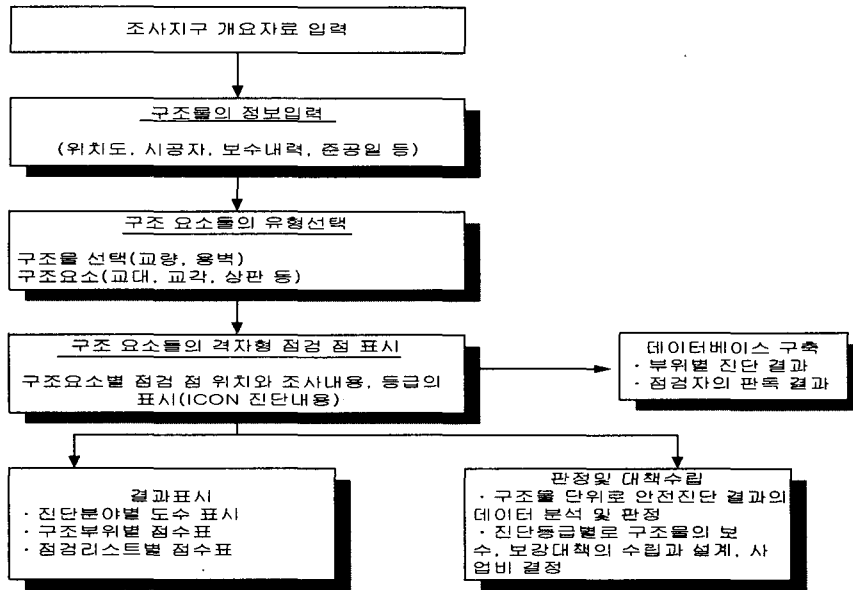


그림 4. 안전진단 시스템 사용자 환경 시스템의 흐름도

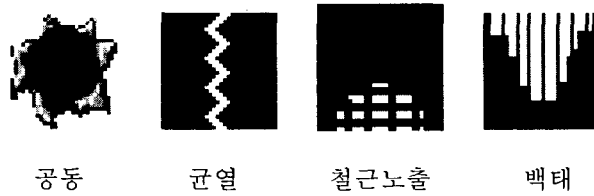


그림 5. 구조물 안전진단 시스템에서 지원되는 아이콘 목록

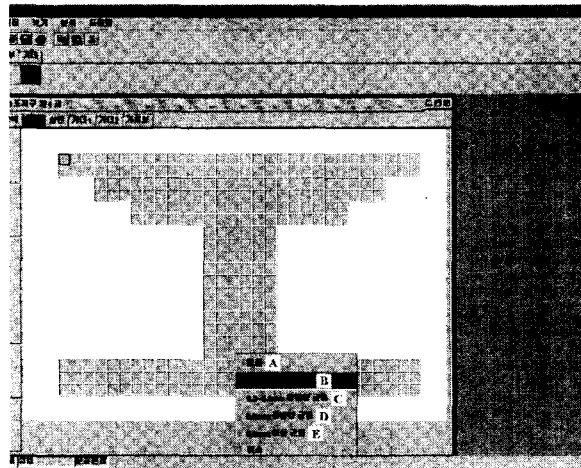


그림 6. 조사구조물의 진단항목 입력 화면

V. 보수·보강 공법 DB화 및 최적공법 선정 시스템 개발

농업구조물은 대부분 콘크리트 구조물로 이루어져 있고 농업용수와 관련된 농업구조물의 특성상 농업구조물의 손상 및 노후화는 구조물의 안정보다는 구조물의 기능저하(예; 농업용수의 손실)에 크게 영향을 미친다. 예당농조 구역의 대표적인 농업구조물인 수로교, 개거, 교량, 용수로, 취수탑, 용수터널의 손상 및 노후화 정도를 조사하였는데 콘크리트 구조물의 전형적인 손상 및 노후화 형태인 균열, 박락, 골재노출, 백화, 박리 등이 주된 현상이었고 이들 현상은 구조물의 불안정을 야기하기보다는 대부분 기능저하를 유발시키는 것으로 조사되었다.

구조물의 손상 및 노후화에 대한 적절한 보수·보강 공법의 선정은 손상 및 노후화 형태별 원인 분석의 선행에 달려 있다. 구조물의 손상원인으로는 설계, 시공 및 외적요인이 있고 열화 원인으로는 화학적 요인과 물리적 요인으로 대별된다. 구조물의 손상과 열화로 가장 많이 발생하는 콘크리트 구조물의 균열에 대한 원인 중 사용 및 환경 조건에 관련 있는 원인과 특성이 표 1 에 나타나 있고 표 2 에는 콘크리트 구조물의 열화현상별 원인과 영향인자 및 억제 대책이 나타나 있다.

표 1. 균열의 원인과 특성

| 균열의 원인 | | 균열의 특성 |
|-----------------------|----------------|------------------------------------|
| 사용·환경 조건에 관계되는것 | 환경온도·습도의 변화 | 발생된 균열은 온도·습도 변화에 따라 변화 |
| | 부재양면의 온도·습도차 | 저온측 또는 저습측의 표면에, 휨방향과 직각으로 발생 |
| | 동결·융해의 반복 | 표면이 스케일링을 일으켜 곰보형상을 나타냄 |
| | 화재·표면가열 | 표면 전체에 거북등 모양의 미세균열을 나타냄 |
| | 내부철근의 녹에 의한 팽창 | 철근에 연하여 큰 균열발생, 피복콘크리트가 탈락하고 녹이 유출 |
| 산·염류의 화학작용 | | 콘크리트 표면의 침식, 팽창성 물질이 형성되어 전면에 발생 |

표 2. 열화현상별 원인과 영향인자 및 대책

| 열화 현상 | 열화 원인 | 구분 | 영향인자 | 억제대책 |
|----------|-----------------|------|---|-------------------------------|
| 철근 부식 | 염해 | 내적요인 | 콘크리트 내부 허용 Cl 량 초과 | 해사 세척에 의한 Cl 제거 |
| | | 외적요인 | 제설제살포 또는 해안환경에 의한 염화물 침입 | 표면을 기밀성 도료로 도장 |
| | 중성화 | 내적요인 | 콘크리트의 W/C, 공극이 큼 | 적정의 W/C 선정 |
| | | 외적요인 | 대기의 CO ₂ 농도증가, 탄산화가 철근 깊이까지 도달 | 기밀성 도료로 표면도장 |
| 균열 박리 | 알칼리 골재반 응 | 내적요인 | 알칼리 반응성 골재를 사용할때 시멘트중 K ₂ O 가 다량있음 | 반응성 골재의 사용제한 저알칼리성 시멘트를 사용 |
| | | 외적요인 | 콘크리트 습윤상태에 있음 | 콘크리트를 건조상태로 보존, 수밀성 도장 |
| | 건조 수축 | 내적요인 | 단위수량이 높음 | 단위수량이 적은 무수축 시멘트 사용 |
| | | 외적요인 | 콘크리트의 건조속도가 빠름 | 초기양생을 충분히 실시 |

각 구조물의 부재별 혹은 부위별 손상 및 노후화 형태를 분류하고 원인을 파악한 후, 각 구조물의 부재별로 손상 및 노후화 형태에 따라 적절한 보수·보강 공법을 선정하도록 하였다. 표 3 에는 농도교(교량)와 수로교에 적용할 수 있는 콘크리트 상부 구조와 수로 터널에 적용할 수 있는 터널에 대한 보수·보강 공법이 적용 목적과 함께 일부 나타나 있다. 구조물 중 가장 복잡한 교량에 대하여 부재별로 손상 및 노후화 형태에 따른 210여개의 보수·보강 공법이 수집 분석되고 개량되어 농도교와 수로교 뿐만 아니라 다른 농업구조물의 경우에 있어서도 부재

별 손상 및 노후화 형태에 따라 원인이 같을 경우 적절한 보수·보강 공법을 선택 할 수 있게 하였다. 또한 부재수가 적은 단순한 농업구조물의 경우에도 부위별 손상 및 노후화에 따라 보수·보강 공법을 선택할 수 있도록 DB체계를 구축한다.

각 보수·보강 공법의 자료는 용도 및 목적, 설계 및 시공방법, 개요도 등으로 분리 구성되어 각 공법의 특성과 용도 및 시공방법을 쉽게 파악할 수 있게 하였다.

표 3. 보수공법 일람표

| 콘크리트 상부 구조 | | 터널 복공 | |
|--------------|-------------|--------------|---------|
| 공법명 | 적용목적 | 공법명 | 적용목적 |
| 미세균열 표면처리공법 | 미세균열 방수,내구성 | 침투성 방수제 도포공법 | 균열 및 방수 |
| 모르타르 팻칭 공법 | 보수단면이 적은 경우 | 지보공 보강 공법 | 복공 보강 |
| ASG(아리소프트)공법 | 열화방지 | 숏크리트 보강 공법 | 복공 보강 |

보수·보강 공법의 DB화는 각 구조물에 대하여 부재 혹은 부위별 손상 및 노후화 형태에 따른 손상 코드 분류표에 의하여 구성되어진다. 표 4 에는 교량의 상부구조에 대한 구조부위별 손상코드 분류표가 나타나 있다. 표 4 에서 나타난 것처럼 각 구조물에 대하여 구조부위별 손상 및 노후화 형태를 손상코드로 분류하고 표 5 에서 볼수있는것과 같이 각 구조물의 구조부위별 손상코드에 적절한 보수·보강공법을 연계 시켜 각 농업 구조물에 대하여 구조부위별 손상 및 노후화 형태에 따른 적절한 보수·보강 방법들을 선택할 수 있도록 보수·보강공법의 DB 체계가 구성되었다.

표 4. 교량의 구조부위별 손상코드 분류표

| 손상종류 | 손상부위 | 손상코드 | 교면 포장 | 배수 시설 | 난간 연석 | 상판 | 콘크리트 주형 | | 콘크리트 가로보 |
|-------|--------|------|-------|-------|-------|----|---------|-----|----------|
| | | | | | | | 중앙부 | 지점부 | |
| | | | | | | | 01 | 02 | |
| 콘크리트 | 균열 | 101 | ▲ | | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ |
| | 박리 | 102 | ▲ | | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ |
| | 백태 | 103 | | | | ▲ | | | |
| | 파손(탈락) | 104 | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ |
| 철근 | 노출, 부식 | 201 | | | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ |
| | 파단 | 202 | | | | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ |
| PC 강재 | 노출 | 203 | | | | | ▲ | ▲ | |
| | 부식 | 204 | | | | | ▲ | ▲ | |
| | 파단 | 205 | | | | | ▲ | ▲ | |

표 5. 교량 상판의 보수·보강 공법과 손상 코드 연계

| 공법번호 | 공법명 | 손상코드 | 적용목적 |
|------|-----------------------|------------------|------------|
| 04-1 | 수지주입공법 | (04)-101,104 | 균열 |
| 04-2 | 그라우트 주입공법 | (04)-101 | 균열 |
| 04-3 | 교면방수공법 | (04)-101,104,201 | 방수 |
| 04-4 | 강격자 상판위의 누수방지공법 | (04)-103 | 누수방지 |
| 04-5 | 합성수지 모르타르에 의한 방수층의 시공 | (04)-102,104,201 | 보강, 내하력 증대 |

VI. 최적 설계기법을 이용한 농업구조물의 최적설계안 선정 프로그램 개발

1. 개요

본 연구에서는 철근콘크리트 역T형 옹벽, 철근콘크리트 슬래브교, 철근콘크리트 단순T형교를 대상으로하여 이들 구조물을 최적설계기법에 의하여 설계할 수 있는 최적설계 프로그램을 개발하였고 이 프로그램에 의하여 구해진 최적설계안에 대한 설계도면을 작성할 수 있는 프로그램도 개발하였다.

2. 최적설계 문제의 정식화

가. 설계변수

옹벽, 슬래브교, 단순T형교의 설계변수는 각 구조물의 단면치수와 철근량으로 잡았으며, 그중 대표적인 예로서 옹벽의 설계변수는 그림 7 과 같다

나. 목적함수

목적함수는 옹벽, 슬래브교, 단순T형교 공히 이들을 설치하는데 소요되는 콘크리트, 철근, 거푸집에 대한 재료비 및 노임을 포함하는 건설경비로 잡았다.

다. 제약 조건식

제약조건식은 옹벽의 경우 27개, 슬래브교는 7개, 단순T형교는 20개의 제약조건식으로 구성되었다.

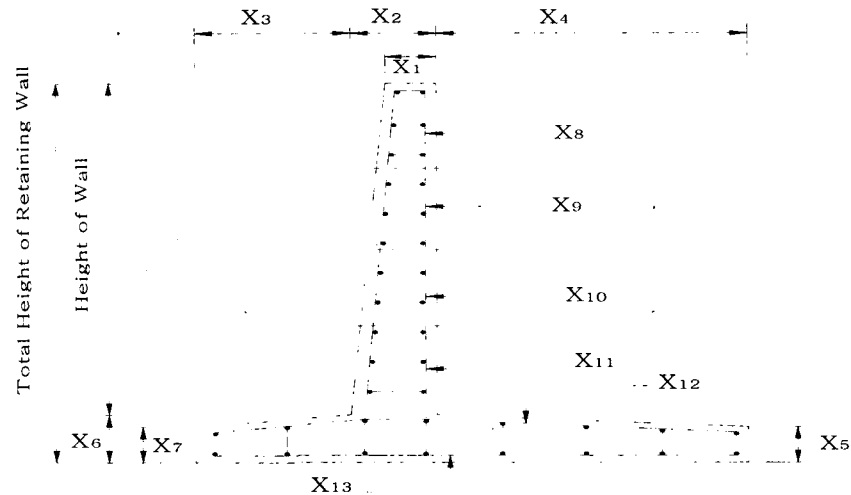


그림 7. 옹벽의 설계변수

3. 컴퓨터프로그램 개발

옹벽, 슬래브교, 단순T형교의 목적함수와 제약조건식에 대한 컴퓨터프로그램을 개발하여 DOC/DOT와 연결하여 이들의 최적해를 구할 수 있도록 하였다.

4. 최적설계 결과

옹벽, 슬래브교, 단순T형교의 각 규모별로 최적설계 결과를 얻었다.

5. 최적설계안 도출

최종적으로 전산화한 호형도의 제원은 본 연구에서 개발된 컴퓨터 프로그램에 의하여 구한 최적설계값과 기존의 호형도 및 설계예를 참고로 하여 도출하였다.

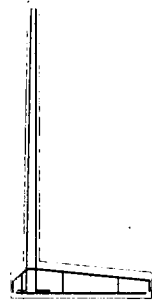
6. 호형도의 전산화

가. 호형도 작성 프로그램

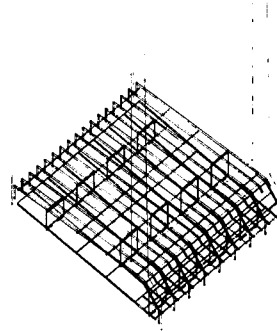
최종적으로 도출된 최적설계안으로부터 구조물의 기본형과 철근표, 철근가공표의 속성자료를 이용하여 호형도의 3차원 도면을 작성해주고 이로부터 각 단면도를 자동 작성할 수 있는 프로그램을 개발하였다.

나. 호형도 작성 예

도면작성 프로그램을 이용하여 용벽의 설계도면을 작성한 예는 그림 8 과 같다.



전체 단면도



3차원 철근 배근도

그림 8. 용벽 도면 작성의 예

VII. 요약

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 예당농지개발조합 관내 방산저수지 물리구역을 대상으로 농업구조물의 위치 및 종류조사, 수로조직 측량, 농업구조물의 노후도와 기능성 조사를 실시하였고 지리정보시스템을 이용하여 이들 자료를 DB화 하였다.
2. 농업구조물의 안전진단을 위한 조사방법을 개발하였고 진단결과에 적합한 해석 및 평가지원 시스템의 일부를 개발하였다.
3. 각 농업구조물의 부재별로 손상 및 노후화 형태에 따라 적절한 보수보강공법이 수집정리 되고, 또한 농업구조물에 적합한 새로운 공법도 일부 개발 되었다.
4. 농업구조물을 최적설계기법에 의하여 설계할 수 있는 최적설계 프로그램과 이 프로그램에 의하여 구해진 최적설계안에 대한 설계도면을 작성할 수 있는 프로그램이 개발되었다.

VIII. 참고문헌

- Emmons, P.H. and Vaysburd. A.M. Factors affecting durability of concrete repair. Structural Faults and Repair 93. Edinburgh. UK 1993
- S.S.Rao, Engineering Optimization, John Wiley & Sons, Inc, 1996.