

농업토목 수리구조물 안전도평가 시스템 개발에 관한 연구

Development of Safety Assessment System for Agricultural Irrigation Structures

조	효	남*	김	성	훈**
Cho,	Hyo	Nam	Kim,	Sung	Hoon
이	승	재**	최	영	민***
Lee,	Seung	Jae	Choi,	Young	Min

要 旨

본 연구는 개인용 컴퓨터를 이용하여 농업토목 수리구조물의 안전도평가 시스템을 개발하는데 목적이 있다. 본 시스템은 상호 유기적인 관계를 가지고 있는 데이터베이스, 구조해석, 안전도분석/평가, 입출력도식화의 4가지 서브시스템으로 구성되었으며, 사용자 위주의 풀다운식 메뉴드라이빙 형태로 개발되었다. 노후손상된 구조물의 안전도평가에 사용된 주요 알고리즘은 신뢰성이론에 의한 합리적 내하력 평가방법에 기초하였다.

본 연구에서 개발된 안전도평가 시스템은 노후손상된 농업토목 수리구조물의 안전도 및 내하력평가를 위한 효율적인 수단으로서 실무에서 널리 사용될 수 있을 것이라고 사료된다.

Abstract

This study is directed for the development of a computer aided safety assessment system for agricultural irrigation structures. The developed system is composed of four subsystems that incorporate database, structural analysis, safety assessment, and postprocess, which are made to be interfaced systematically. It is developed in the user-friendly menu driving form with pull-down type interaction on a personal computer. The main algorithm for safety assessment of deteriorated structures utilizes a rational rating system based on the reliability method.

From this study, it may be stated that the proposed rating and safety assessment system provide an effective tool and thus it can be widely used in practice for the assessment of safety and load carrying capacity of existing deteriorated or damaged agricultural irrigation structures.

* 한양대학교 토목공학과 교수
 ** 한양대학교 공과대학 강사
 *** 한양대학교 토목공학과 박사과정

이 논문에 대한 토론을 1993년 9월30일까지 본학회에 보내주시
 면 1994년 3월호에 그 결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

1970년대에 들어서 경제발전에 따른 국력 신장과 함께 이후 20여년간 관개, 배수 및 농지조성사업과 관련된 저수지, 댐, 방조제 등과 같은 많은 수리구조물들이 설계, 시공되어 왔고 대규모 간척사업도 지속적으로 활발히 추진되면서 과거의 단순한 농지확장 개념에서 국토확장 차원으로서 배수갑문의 건설 등과 같은 다목적 사업으로 전환되어 국가발전에 중심적 역할을 수행하게 되었다.

그런데 이러한 수리구조물은 공용연수가 증가함에 따라 공용목적에 악영향을 미치는 내적 및 외적 요인들로 인하여 노후화가 계속 진행되고 있어 합리적 안전도평가에 대한 필요성이 절실히 요구되고 있다. 현재로서는 이를 육안에 의한 단순한 외관 조사나 비파괴시험 등을 통한 재래적 방법에 의존하고 있는 실정이며 현대적인 방법에 의한 안전도평가의 전산화 및 체계화는 상당히 미비한 상태이다. 한편 농업토목 수리구조물의 체계적 유지관리를 위한 각종 조사, 진단, 평가 자료의 관리도 효율적으로 이루어지지 못하고 있다.

따라서 본 연구에서는 효율적 자료관리체계를 포함한 과학적 안전도평가 시스템을 구축하여 농업토목 수리구조물의 안전도를 실용적이고 현대적으로 평가할 수 있도록 하는데 중점을 두었으며 특히 최근의 프로그램 개발의 흐름인 사용자 편의 위주로 개발하였다. 본 논문에서는 개발된 안전도평가 시스템을 개략적으로 설명하고 본 시스템의 핵심이 되는 신뢰성 방법에 기초한 합리적인 안전도평가 방법을 간단히 소개하였다. 또한 실구조물에 대하여 본 시스템을 운용함으로써 시스템의 유용성 및 실용성에 대해서도 검증하였다.

2. 안전도평가 시스템

2.1 전체시스템의 개요 및 구성

본 연구에서는 농업토목 수리구조물의 안전도평가를 위한 일련의 작업을 효율적으로 수행하기 위하여 종래부터 행해지던 안전도평가 작업의

흐름에 근거한 사용자 위주(폴다운식 Menu Driving S/W, 한글을 이용한 대화식 입력방법)의 전산화시스템을 개발하였다[농어촌진흥공사, 1989-1991].

즉, 수리구조물의 조사, 측정, 평가자료 등 체계적 유지관리에 필요한 기본적인 사항이나 안전진단 관련 항목들을 이용하여 데이터베이스 시스템을 구축하고, 안전도분석의 기초자료를 획득하기 위한 구조해석 시스템 및 실질적 안전도평가를 위한 안전도 분석/평가 시스템, 그리고 이들 결과를 일목요연하게 보여줄 수 있는 입출력도식화 시스템을 상호 유기적으로 관련시키므로서 안전도평가 작업이 체계적이고 합리적으로 수행될 수 있도록 하였다. 특히 본 시스템은 고도의 안전도평가 이론을 모두 블랙박스식으로 내장시키므로서 사용자가 이에 대한 이해가 다소 부족하더라도 2~3년간의 실무 경험만 있다면 일반화된 개인용 컴퓨터를 사용하여 시스템을 손쉽게 운용하고 소기의 목적을 달성할 수 있도록 개발되었다.

그림 1에는 안전진단, 분석/평가, 보수/보강으로 이루어지는 구조물의 전체적인 유지관리 체계내에서 개발된 시스템이 차지하는 영역 및 전반적인 구성, 운용절차에 대해서 도식적으로 나타내었다. 각 서브시스템은 모듈(module) 형식으로 구성되어 있기 때문에 보다 발전된 서브시스템이 개발되면 쉽게 교체하여 주시스템(main system)과 연결시킬 수 있도록 되어 있다.

2.2 서브시스템의 개요 및 구성

2.2.1 데이터베이스

데이터베이스 시스템은 구조물의 현황에 관련된 자료와 조사, 시험결과, 해석 및 평가결과, 그리고 보수기록 등에 관련된 자료의 효율적 관리를 위한 것이다. 따라서 데이터베이스시스템을 통해서 수리구조물의 안전진단 및 보수, 보강 등이 실시될 때마다 표준화된 형식으로 관련자료가 계속 기록, 보존되기 때문에 내하력 및 내구성의 평가 등 안전도평가 작업에 있어서 유용한 정보를 쉽게 얻을 수 있다. 그림 1에는 본 시스템의 구성, 표 2에는 자료그룹별 입력 및 조회항목을 나타내었다.

2.2.2 구조해석

구조해석 시스템의 주목적은 안전도 분석/평가 시스템을 운용하기 위해서 구조물의 공칭저항강도 및 공칭활하중, 사하중강도 등을 계산하기 위한 것이다. 직접강도법을 이용한 매트릭스 구조해석 프로그램에 의한 연속보, 트러스, 뼈대구조물의 해석 그리고 FEM해석 프로그램에 의한 구체형 구조, 평판구조 등의 해석을 수행할 수 있도록 하였다. 본 서브시스템의 구성은 그림 3과 같다.

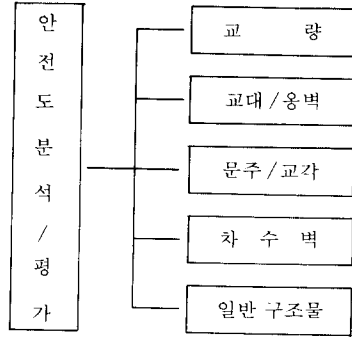


그림 4. 안전도 분석 / 평가서브시스템 구성

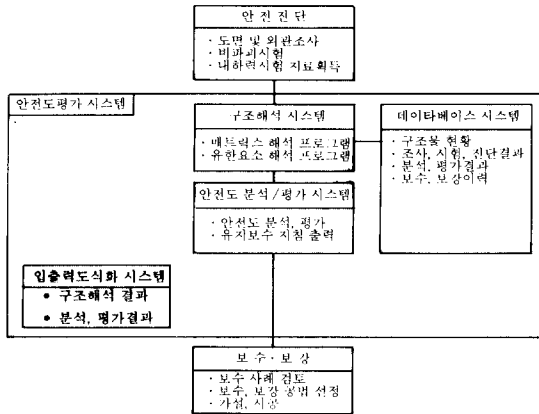


그림 1. 안전도 평가 시스템의 역할 및 구성, 운용절차

표 1. 입출력 도식화 메뉴

번호	메뉴	내 용
1	속도별 충격계수	차량속도별 치짐, 변형율의 동적 응답비
2	반발경도시험	일본재료학회, 동경도재료 시험소 추정식에 근거
3	초음파탐상시험	일본건축학회, Pundit 메뉴얼에 근거
4	코아시험	압축강도 시험결과 및 콘크리트 탄성계수 출력
5	치짐-시간곡선	동적해석 프로그램을 통한 치짐 스펙트럼
6	응력-시간곡선	동적해석 프로그램을 통한 응력 스펙트럼
7	안전도평가 (내하구조물)	재래적 방법과 신뢰성방법으로 비교, 평가
8	안전도평가 (구체구조물 : 옹벽/교대)	신뢰성지수, 공칭안전율로 평가 안전, 각부해석으로 구분
9	안전도평가 (구체구조물 : 기타)	신뢰성지수, 공칭안전율로 평가

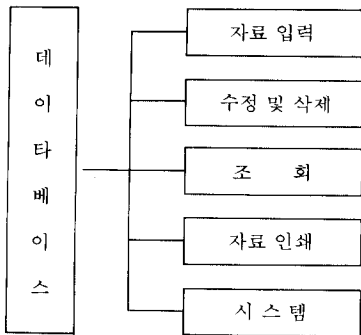


그림 2. 데이터베이스 서브시스템의 구성

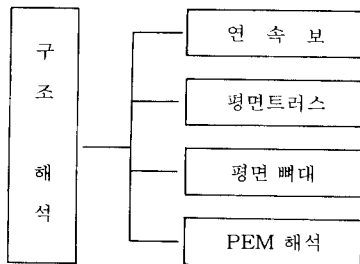


그림 3. 구조해석 서브시스템의 구성

2.2.3 안전도 분석/평가

안전도 분석/평가 시스템은 구조해석 시스템의 결과에 기초하여 내하구조물과 구체구조물별로 안전도를 분석, 평가하고 최종적으로 유지관리의 지침을 제공하기 위한 것으로 블랙박스식으로 개발되었다. 시스템의 구성은 그림 4와 같으며 그림 5에는 그 흐름도를 나타내었다. 본 시스템의 핵심이 되는 주요 안전도평가 이론 및 기법에 대해서는 3절에서 상술하고자 한다.

2.2.4 입출력 도식화

입출력 도식화 시스템은 안전진단 과정에서

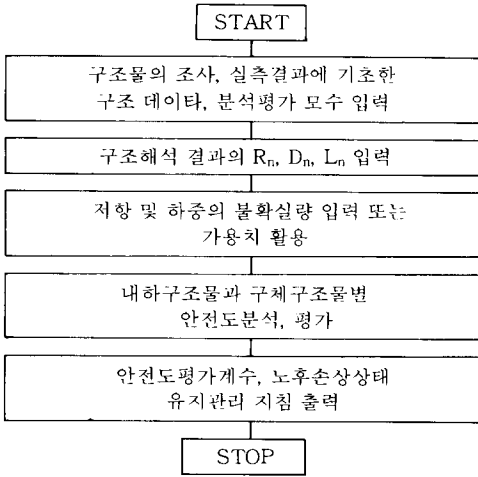


그림 5. 안전도 분석/평가 시스템 흐름도

표 2. 데이터베이스 입력 및 조회 항목

자료그룹	항 목	항목수	
수 리 시 설	시설명, 위치, 관리자, 작성일자, 작성자, 설계자, 시공자, 착공일, 준공일, 공사비, 설계도서, 부대구조물	12	
기	교 량	구조물명, 위치, 상부구조형식, 설계법, 교차하천, 교장, 교폭, 종경간수, 설계활하중, 분리구분	10
	박 스	구조물명, 위치, 설계강도, 높이, 폭, 두께, 길이	7
분	통 관	구조물명, 위치, 단면형식, 설계강도, 높이, 폭, 두께, 길이	8
	용 벽	구조물명, 위치, 구체형식, 기초형식, 설계강도, 높이, 폭	7
대	교 대	구조물명, 위치, 구체형식, 기초형식, 남벽형식, 설계강도, 높이	7
	교 가	구조물명, 위치, 구체형식, 기초형식, 재료, 설계강도, 높이, 폭, 두께, 갯수	10
장	문 주	구조물명, 위치, 설계강도, 폭, 높이, 두께, 갯수	7
	차수벽	구조물명, 위치, 설계강도, 폭, 높이, 두께	6
조 사 대 장	구조물명, 위치, 작성일자, 작성자, 조사종류, 외관조사, 비파괴시험, 내하력시험, 평가의견. (교통량)	9 (10)	
보 수 대 장	구조물명, 위치, 작성일자, 작성자, 보수일자, 보수위치, 보수내용, 평가의견	8	

실시되는 충격시험 및 비파괴 시험결과 그리고 시스템의 운용을 통한 구조해석 및 안전도평가의 결과를 도식적으로 나타내어 실무자들의 이해를 돕기 위하여 구축되었다. 시스템은 표 1과 같이 총 9가지의 메뉴로 구성되어 있다.

3. 안전도 분석, 평가 방법

3.1 개요

안전도의 분석 및 평가기법은 시대에 따른 구조물의 설계개념에 따라 변화되는데 최근 설계개념의 동향을 보면 구조신뢰도 개념에 기초한 하중저항계수설계법이나 한계상태설계법 등으로의 전환이 뚜렷하기 때문에 구조물의 안전도 분석 및 평가기법도 이러한 확률론적 설계개념에 기초한 진보된 방법으로의 전환이 바람직하다. 그러나 현재로서는 과도기적 단계로서 재래적 허용응력 개념에 기초한 방법과 확률론적 구조신뢰도 개념에 입각한 방법이 모두 도입되고 있기 때문에 본 연구에서는 이들 두가지 방법을 공히 사용하여 안전도평가 시스템을 개발하였다. 자세한 안전도 분석, 평가이론에 대해서는 기존의 연구[조효남 외, 1987, 1991, 1992]에 상술되어 있으므로 여기서는 생략하고 시스템의 주요 알고리즘을 소개하기 위한 안전도평가 방법, 노후손상도 추정방법 및 평가결과를 기초로 한 유지관리 지침 등에 대하여 요약, 기술하였다.

3.2 안전도평가 방법

3.2.1 재래적 방법에 의한 안전도평가

재래적 방법에 의한 안전도는 허용응력법에 기초한 종래의 방법에 노후손상계수 D_F 를 도입하여 개선시킨 내하율 RF로 나타낼 수 있다. 한편, 교량과 같은 내하구조물의 경우에는 구조물의 노후손상 상태를 합성작용계수 CAF와 환산충격계수 TIF로 나타낼 수 있다.

1) 내하율(RF)

$$RF = \frac{P_n}{P_r} = \frac{\sigma_a \times D_F - \sigma_d}{\sigma_r \times K} \quad (1)$$

여기서, P_n : 공용내하력

P_r : 사하중 이외의 가장 지배적인 설계

하중으로서 특히 내하력평가시에는 설계활하중 또는 표준시험하중의 중량

σ_r : P_r 에 의한 응력

σ_d : 사하중응력

σ_a : 허용응력

한편 K 는 실 응답비로서 식(2a)와 (2b)로 부터 구하고 D_F 는 노후손상계수로서 다음절에서 서술하고자 한다.

- 구체구조물 또는 정적 내하구조물

$$K = \frac{\sigma_M}{\sigma_C} \tag{2a}$$

- 동적 내하구조물

$$K = \frac{\sigma_M}{\sigma_C} \times \frac{1+i_M}{1+i_C} \tag{2b}$$

여기서, σ_M : 측정 최대응력(or 처짐)

σ_C : 계산 최대응력(or 처짐)

i_M : 측정 충격계수

i_C : 계산 충격계수

2) 합성작용계수(CAF)와 환산충격계수(TIF)

$$CAF = 1 - \frac{\sigma_M}{\sigma_C} \tag{3}$$

$$TIF = \frac{\sigma_{MD}}{\sigma_{MS}} - 1 \tag{4}$$

여기서, σ_{MD} : 측정 최대동적응력(or 처짐)

σ_{MS} : 측정 최대정적응력(or 처짐)

3.2.2 신뢰성방법에 의한 안전도평가

신뢰성방법은 안전도 분석/평가 시스템의 근간이 되는 알고리즘이며 재래적인 방법의 각종 문제점을 극복하기 위한 확률통계적 안전도평가기법으로서 구조물의 저항 및 하중효과에 내재되어 있는 각종 불확실성과 기설 구조물의 노후손상도 및 실응답비가 안전도평가를 위한 한계상태 모형에 합리적으로 반영된다[Cho/Ang, 1989; Cho et al., 1988]. 여기서는 하중저항계수법에 의한 내하율 RF 및 신뢰성지수 β 와 공칭안전율 n' 로서 구조물의 안전도를 분석하게 된다.

1) 내하율(RF)

$$RF = \frac{\phi' D_F R_n - \gamma_D' C_D D_n}{\gamma_r' C_r K \cdot P_r} \tag{5}$$

여기서, R_n : 무손상 단면의 실강도에 의한 추정 공칭강도

D_n : 공칭사하중강도

C_D, C_r, D_n 및 P_r 의 작용외력에 대한 노후손상 구조물의 추정강성도에 의해 해석한 영향계수

한편, $\phi', \gamma_D', \gamma_r'$ 는 저항 및 하중관련 안전모수 들로서 신뢰성이론에 근거한 현행시방서의 안전수준을 점검한 후 공학적 판단하에 구조형식 별로 결정되는 값이다[건설부, 1990].

2) 신뢰성지수와 공칭안전율

신뢰성지수 β 및 공칭안전율 n' 는 구조물의 건전성여부 및 보수, 복구 등의 유지관리를 위한 대책 수립의 판단지침으로 사용될 수 있다. 본 시스템의 신뢰성지수 β 의 해석 알고리즘은 저항 및 하중변수의 확률분포형을 그대로 해석에 포함시킬 수 있는 Rackwitz-Fiessler[1978]의 등가정규 분포변환법을 사용하였다. 한편 공칭안전율은 공칭저항 R' 와 공칭하중효과 S' 의 비인 $n' = R'/S'$ 로서, 저항 및 하중변수가 $\xi_n - \xi_n$ 형인 경우에는 신뢰성지수 β 를 이용하여 식(6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$n' = \frac{\eta_S}{\eta_R} \exp[\beta \sqrt{(V_R^2 + V_S^2)}] \tag{6}$$

여기서, η_S, V_S : 하중의 평균공칭비와 변동계수

η_R, V_R : 저항의 평균공칭비와 변동계수

3.3 노후손상도 추정, 평가방법

노후손상도는 고유진동수 측정이 가능한 내하구조물 또는 소규모 구체구조물에서는 강성도가 고유진동수의 자승에 비례한다는 점에 유의하여 식(7)과 같이 추정할 수 있다.

$$D_F = \frac{W_D^2}{W_I^2} \tag{7}$$

여기서, W_D : 손상부재의 기본 고유진동수

W_I : 무손상부재의 기본 고유진동수

한편, 고유진동수의 측정이 불가능한 대규모 구체구조물에서는 강성도의 저하가 각종 열화손상들에 의한 유효단면의 감소에 비례한다고 가정하여 구할 수 있으며, 이러한 경우의 노후손상도는 철저한 외관조사 및 신뢰도가 높은 각종 비파괴시험을 통하여 추정할 수 있다.

3.4 안전도평가 기준 및 유지관리 지침

3.4.1 안전도평가 기준

본 시스템의 안전도평가는 수리구조물을 구체구조물과 내하구조물로 분류하고 각각의 구조형식에

표 3. 구체구조물의 안전도평가 기준

(i) 옹벽, 교대-안정해석

등급	단면벽		앞급판		뒷급판	
	β	n'	β	n'	β	n'
I	4.00	2.28	3.50	1.98	3.00	3.64
II	3.00	1.90	2.50	1.63	2.00	2.34
III	2.00	1.58	1.50	1.34	1.00	1.50
IV						

(ii) 옹벽, 교대-각부해석

등급	전도		활동		침하	
	β	n'	β	n'	β	n'
I	3.00	2.00	3.00	1.68	3.00	1.54
II	2.00	1.62	2.00	1.42	2.00	1.29
III	1.00	1.32	1.00	1.20	1.00	1.08
IV						

(iii) 기타

등급	박스		통관		교각,문주		차수벽	
	β	n'	β	n'	β	n'	β	n'
I	3.50	1.90	4.00	2.30	4.00	2.62	3.00	1.43
II	2.50	1.44	3.00	1.91	3.00	2.07	2.00	1.13
III	1.50	1.20	2.00	1.31	2.00	1.64	1.00	0.89
IV								

표 4. 내하구조물의 안전도평가 기준

등급	재래적방법		신뢰성방법		
	RF	RF	β	n'	n'
I	1.00	1.00	3.00	2.00	
II	0.75	0.75	2.00	1.60	
III	0.57	0.57	1.00	1.30	
IV					

표 5. 종합 판정기준

구조형식		기준
구체구조물	옹벽/교대	β 중 가장 작은 등급에 의해 판정하되 n' 는 안전도 참고용으로 사용
	기타	β 를 기준으로 하되 n' 는 안전도 참고용으로 사용
내하구조물		β 를 기준으로 판정하되 n' , RF는 안전도 참고용으로 사용

맞는 안전도평가가 수행되도록 하였다. 표 3과 표 4에는 각각의 안전도평가 기준 그리고 표 5에는 여러 항목으로 평가된 구조물의 종합적 판정 기준을 나타내었다[농어촌진흥공사, 1989-1991].

3.4.2 유지관리 지침

본 시스템에서는 표 5의 종합 판정기준에 따라 표 6에 정리한 바와같이 수리구조물의 구조상태 및 그에 따른 유지관리의 지침을 최종적으로 제시하게 된다.

표 6. 유지관리지침

등급	구조상태	유지관리
I	정상 (안전)	정기적인 육안조사
II	안전도 및 내하력 부분상실	유지, 보수
III	안전도 및 내하력 상실	보수, 보강
IV	불안정	주요부분 복구, 교체

4. 안전도평가 시스템 운용에

개발된 시스템의 유용성 및 활용성을 검증하기 위하여 내하구조물과 구체구조물 각각에 대하여 전산화시스템을 운용하였다. 대상구조물은 금강교와 하빈저수지의 통관이다. 금강교는 금강하구둑 상에 위치하고 있으며 상부구조가 주행 양방향으로 분리된 형식의 4경간 연속 강판형교로서 본 시스템의 적용을 위하여 직접 안전진단을 실시한 교량이다[농어촌진흥공사, 1991]. 내하력 시험은 상류방향의 근산측 제 1경간에 대하여 실시하였

다. 하빈저수지통관은 1944년에 준공된 마제형 단면의 암거로서 기존의 연구보고서[농업진흥공사, 1989]에서 발췌한 구조물이다. 표 7, 8 및 그림 6, 7에는 대상구조물의 제원 및 재료특성 그리고 단면을 나타내었다. 그림 8~11에는 대상구조물에 대한 본 시스템의 운용단계별 중요화면 및 출력결과에 대하여 나타내었다.

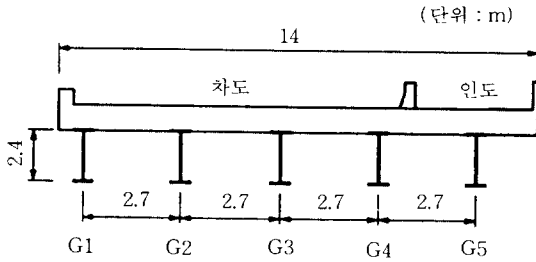


그림 6. 금강교 단면도(상류방향)

표 7. 금강교 제원

준공년도	상부구조형식	총연장 (m)	총교폭 (m)	지간거리 (m)
1990	4경간 연속 강관형교	714	28.35	34.6

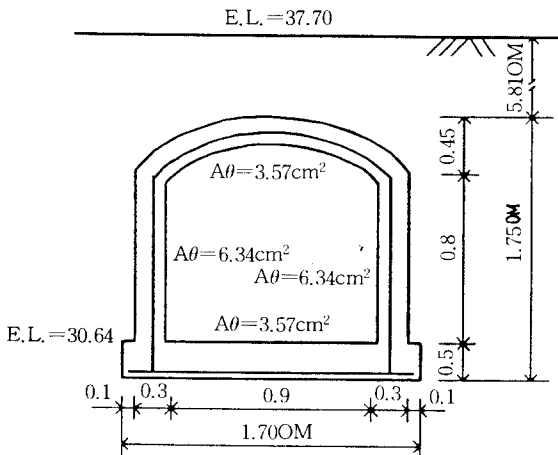


그림 7. 하빈저수지통관 단면도

표 8. 하빈저수지통관 재료특성

준공년도	구분	압축응력 (kg/cm²)	탄성계수 (kg/cm²)	단위중량 (t/m³)
1944	설계시	210	2.174×10^6	2.27
	측정시	85.6	1.388×10^6	2.50

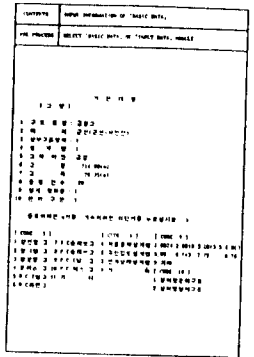
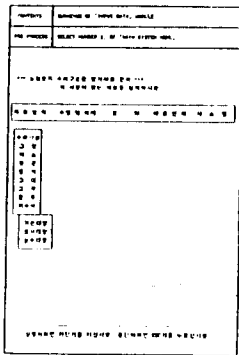
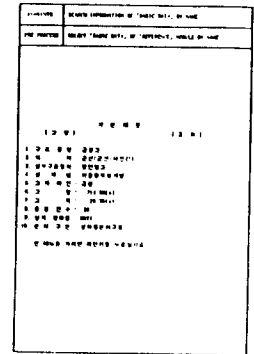
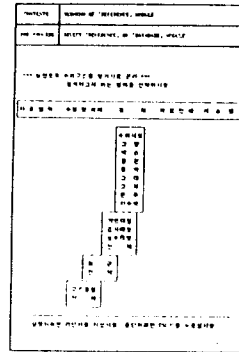


그림 8. 데이터베이스 서브시스템 운용예

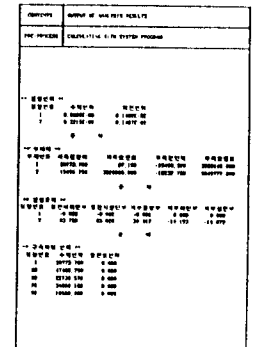
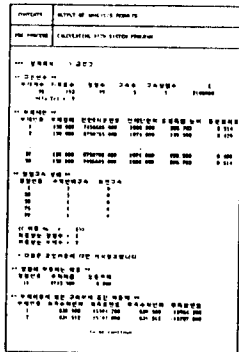
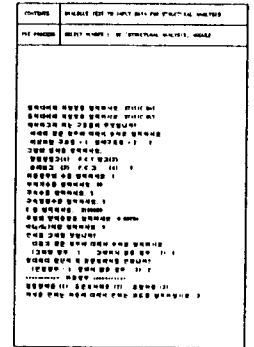
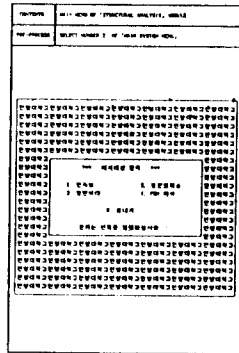


그림 9. 구조해석(정적해석) 운용예

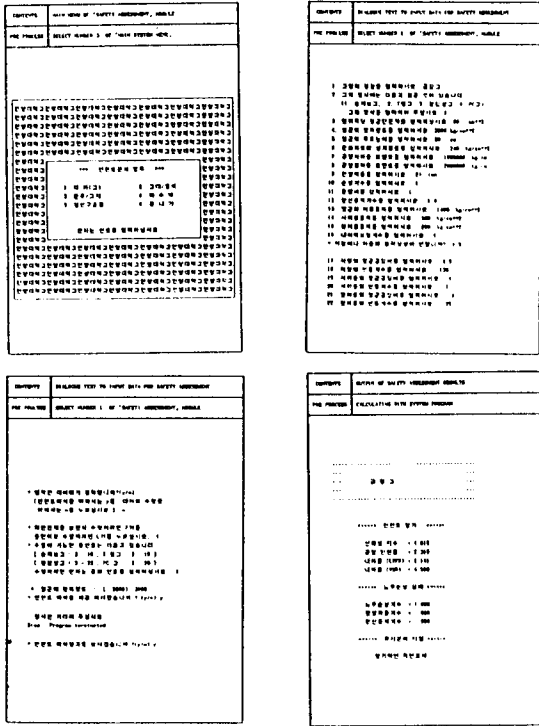


그림 10. 안전도 분석/평가 운용예(내하구조물)

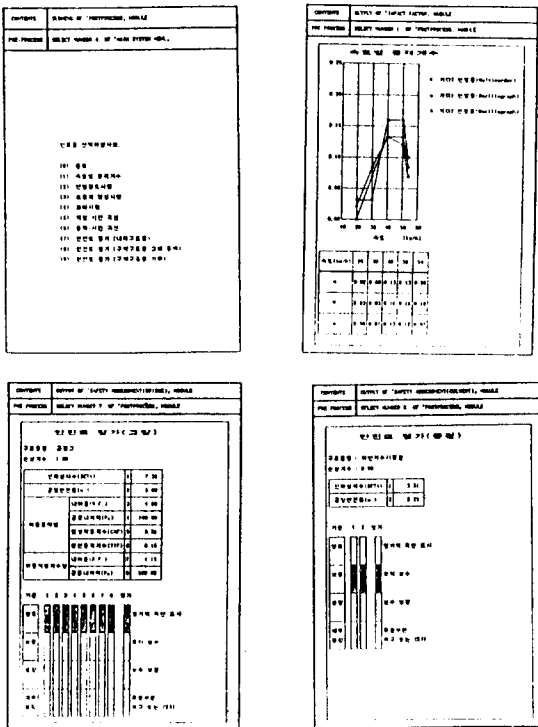


그림 11. 입출력도식화 운용예(내하구조물과 구체구조물)

5. 결 론

본 연구에서 개발된 농업토목 수리구조물의 안전도평가 전산화시스템을 실제의 수리구조물에 대해서 운용을 하여 본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 본 시스템은 사용자 위주의 PC용 S/W로서 고도의 안전도분석 및 평가 이론에 대해서는 블랙박스식으로 내장시켰기 때문에 관련부서에서 2~3년간 종사한 실무자라면 시스템을 손쉽게 운용하여 소기의 목적을 달성할 수 있을 것이라고 판단된다.

2) 본 시스템의 데이터베이스를 이용하면 농업토목 수리구조물에 대한 안전진단 관련 자료를 효율적으로 관리할 수 있고 유지관리에 대한 신뢰할 수 있는 유용한 정보를 손쉽게 획득할 수 있기 때문에 이를 바탕으로 보다 합리적인 안전도평가가 수행될 수 있을 것이라고 사료된다.

3) 본 시스템에서 채택하고 있는 안전도평가 방법은 구조물의 노후도와 각종 불확실량을 체계적으로 반영한 실내하력 평가수단으로서 농업토목 수리구조물에 대한 안전성 및 내하력평가에 널리 활용될 수 있을 것이다.

4) 본 연구에서 개발된 안전도평가 시스템은 앞으로 농업토목 수리구조물의 과학적인 전산화 유지관리 시스템의 핵심이 되는 구조물 안전진단 평가시스템으로서 효과적으로 운용될 수 있다고 사료된다.

감사의 글

본 연구는 농어촌진흥공사의 시스템 개발 지원 연구비로 수행되었으며 이에 심심한 사의를 표합니다.

참 고 문 헌

[1] Cho, H.N., Chang, D.I. and Shin, J.C.(1988), "A Practical Reliability-Based Capacity Rating of Existing Road Bridges," Japan Society of Civil Engineers, Vol.5, No.2, pp.245~254.
 [2] Cho, H.N. and A.H-S. Ang(1989), "Reliability

Assessment and Reliability-Based Rating of Existing Road Bridges," 5th Int. Conf. on Structured Safety and Reliability(ICOSSAR '89), U.S.A.

[3] Rackwitz, R. and Fiessler, B.(1978), "Structural Reliability Under Combined Random Load Sequences," Computers & Structures, Vol.9, pp.489~494.

[4] 건설부(1990), "교량 안전도평가 및 내하급수 판정 시스템 개발", 한양대학교 부속 산업과학연구소.

[5] 농어촌진흥공사(1989-1991), "농업토목 수리구조물 안전도평가 시스템 개발(I, II, III)", 한양대학교 부속 산업과학연구소.

[6] 농업진흥공사(1989), "수리시설 개보수 기술훈련 보고서", 동국대학교 부속 산업기술연구소.

[7] 조효남, 장동일, 신재철(1987), "구조신뢰성 방법에 의한 도로교의 내하력평가에 관한 연구", 대한토목학회논문집, 제7권 제2호, pp.117~120.

[8] 조효남, 장동일, 이희현(1991), "도로교 내하급수 판정시스템 개발", 대한토목학회논문집, 제11권 제4호, pp.9~15.

[9] 조효남, 이승재, 최영민(1992), "농업토목 수리구조물 안전도평가 시스템 개발에 관한 연구", 한국전산구조공학회, 가을학술발표회 논문집, 제5권 제2집, pp.141~147.

(접수일자 : 1992. 11. 9)