

## 농업 토목 수리구조물 안전도 평가 시스템 개발에 관한 연구 Development of Safety Assessment System for Agricultural Irrigation Structures

조 효남\*      이 승재\*\*      최 영민\*\*\*  
Cho, Hyo-Nam    Lee, Seung-Jae    Choi, Young-Min

### 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 of safety assessment of deteriorated structures is 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.

### 1. 서 론

1970년대에 들어서 경제발전에 따른 국력 신장으로 이후 수 십년간 관개, 배수 및 농지조성사업과 관련된 저수지, 댐, 방조제 등과 같은 많은 수리 구조물들이 설계, 시공되어 왔고 대규모 간척사업도 현재까지 지속적으로 활발히 추진되고 있다. 이는 과거의 단순한 농지확장 개념에서 국토확장 차원으로서 배수갑문 등과 같은 다목적 사업으로 전환되어 국가발전에 중심적 역할을 다하게 되었다. 그러나 구조물의 공용년수가 증가함에 따라 공용목적에 악영향을 미치는 내적 및 외적 요인들로 인한 노후화가 가속되어 수명을 단축시키고 있다. 현재로서는 이러한 노후 구조물에 대한 안전도평가를 단지 육안에 의한 외관 조사나 비파괴시험을 통한 재래적 방법에 의존하고 있는 실정이며 합리적이고 현대적인 방법에 의한 안전도평가의 전산화 및 체계화는 상당히 미비한 상태이다. 또한 그간 농업 토목 수리구조물의 안전도 진단 및 평가 데이터로부터 획득한 각종 통계 데이터의 축적이나 평가시스템 역시 거의 전무한 상태이다.

따라서 본 연구에서는 자료관리의 효율화에 관한 연구 및 사용자 위주의 과학적 안전도평가 시스템의 구축을 통하여 농업 토목 수리구조물의 안전도를 실용적이고 현대적으로 평가할 수 있도록 하는데 중점을 두었으며 특히 현대의 프로그램 개발의 흐름인 사용자 편의 위주로 개발하였다. 본 논문은 개발된 안전도평가 시스템을 개략적으로 설명하고 본 시스템의 핵심이 되는 신뢰성 방법에 기초한 합리적인 안전도평가 방법을 간단히 소개하였다. 또한 실구조물에 대하여 본 시스템을 운용함으로써 시스템의 유용성을 검증하였다.

- \* 한양대학교 토목공학과 교수
- \*\* 한양대학교 공과대학 강사
- \*\*\* 한양대학교 부속 산업과학 연구소 연구원

## 2. 안전도 평가 시스템

본 연구에서는 농업 토목 수리구조물의 안전도평가를 위한 일련의 작업을 효율적으로 수행하기 위해 종래부터 행해지던 작업의 흐름에 근거한 사용자 위주(플다운식 Menu Driving S/W, 한글을 이용한 대화식 입력방법)의 전산화시스템을 개발하였다. 즉, 수리구조물의 조사, 측정, 시험 자료의 체계적인 관리에 필요한 항목들을 이용하여 데이터베이스 시스템을 구축하고, 안전도 분석 기초자료를 획득하기 위한 구조해석 시스템 및 안전도평가에 필요한 안전도 분석/평가 시스템, 그리고 이들 결과를 일목요연하게 보여줄 수 있는 입출력도식화 시스템을 상호 유기적으로 관련시키므로써 안전도평가 작업이 체계적이고 합리적으로 수행될 수 있도록 하였다. 특히 본 시스템은 사용자가 고도의 안전도평가 이론에 대해서 다소 이해가 부족하더라도 이들을 모두 블랙박스식으로 내장시키므로써 2~3년간의 실무 경험만 있다면 일반화된 개인용 컴퓨터(PC)를 사용하여 시스템을 손쉽게 운용하여 소기의 목적을 달성할 수 있도록 하는데 그 목적을 두고 있다.

### 2.1 시스템의 구성 및 운용절차

본 시스템은 데이터베이스, 구조해석, 안전도 분석/평가, 입출력도식화 등의 네개의 서브시스템(subsystem)으로 구성(그림 1 참조)되어 있으며, 특히 모듈(module)형식으로 프로그램이 구성되어 있기 때문에 보다 발전된 각 서브시스템이 개발되면 쉽게 주시스템(main system)에 포함시킬 수 있다. 본 시스템의 운용절차는 그림 2와 같다.

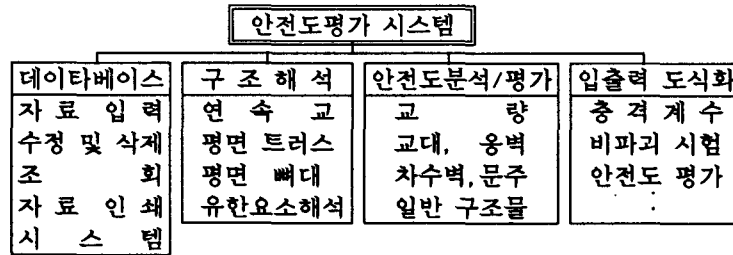


그림 1. 안전도 평가 전산화 시스템

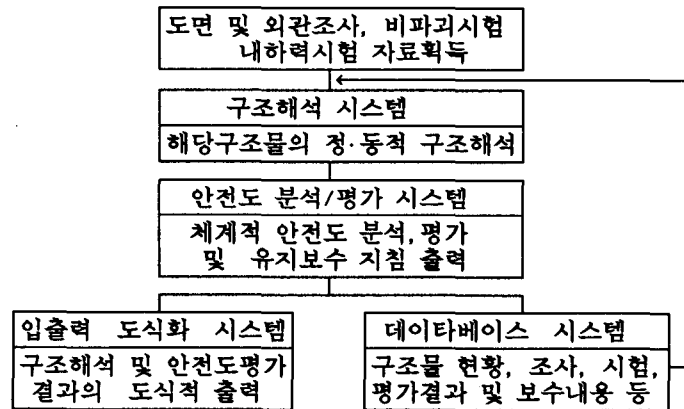


그림 2. 안전도평가 시스템의 운용절차

### 2.2 데이터베이스

본 데이터베이스 시스템은 구조물의 현황에 관련된 자료와 조사, 시험결과, 해석 및 평가결과, 그리고 보수기록 등에 관련된 자료의 효율적 관리를 위한 것이다. 따라서 본 데이터베이스를

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. 구성은 자료입력, 수정 및 삭제, 조회, 자료인쇄 그리고 시스템의 다섯가지 기본메뉴로 구성되어 있으며(그림 3 참조) 해당 입력 및 조회자료 항목은 표 1과 같다.



그림 3. 데이터베이스의 구성

표 1. 데이터베이스 입력 및 조회 항목

자료그룹	항목	항목 수	
수리시설	시설명, 위치, 관리자, 작성일자, 작성자, 설계자, 시공자, 착공일, 준공일, 공사비, 설계도서, 부대구조물	12	
기본 대 장	교량	구조물명, 위치, 상부구조형식, 설계법, 교차하천, 교장, 교폭, 총경간수, 설계활하중, 분리구분	10
	박스	구조물명, 위치, 설계강도, 높이, 폭, 두께, 길이	7
	통관	구조물명, 위치, 단면형식, 설계강도, 높이, 폭, 두께, 길이	8
	옹벽	구조물명, 위치, 구체형식, 기초형식, 설계강도, 높이, 폭	7
	교대	구조물명, 위치, 구체형식, 기초형식, 날개벽형식, 설계강도, 높이	8
	교각	구조물명, 위치, 구체형식, 기초형식, 재료, 설계강도, 높이, 폭, 두께, 갯수	10
	문주	구조물명, 위치, 설계강도, 높이, 폭, 두께, 갯수	7
	차수벽	구조물명, 위치, 설계강도, 높이, 폭, 두께	6
조사대장	구조물명, 위치, 작성일자, 작성자, 조사종류, 외관조사, 비파괴시험, 내하력시험, (교통량), 평가의견	9(10)	
보수대장	구조물명, 위치, 작성일자, 작성자, 보수일자, 보수위치, 보수내용, 평가의견	8	

### 2.3 구조해석

구조해석 시스템의 주목적은 안전도 분석/평가 시스템을 운용하기 위해서 구조물의 공칭저항 강도 및 공칭활하중, 사하중강도 등을 계산하기 위한 것이다. 직접강도법에 의한 매트릭스 구조해석 프로그램에 의해 연속보, 트러스, 평면뼈대의 구조해석을 수행할 수 있도록 하였다. 그러나 구체형 구조의 입체해석이나 평면응력 및 평판 구조해석 등을 수행하기 위해서는 가용한 FEM해석 프로그램을 사용할 수 있도록 만들었다. 본 서브시스템의 구성은 그림 4와 같다.

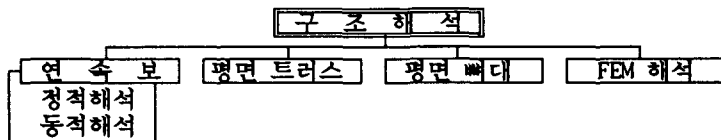


그림 4. 구조해석 서브시스템의 구성

## 2.4 안전도 분석/평가

### 2.4.1 내하력 평가 및 내하급수 판정시스템

본 시스템의 내하급수 판정은 구조물의 실제 노후손상도를 고려한 허용응력 내하력 판정 (WSR), 구조신뢰성지수  $\beta$  및 하중저항계수법에 의한 내하력 평가(LRFR)의 크게 3부분으로 나누어진다[건설부:1990]. 이에 대한 개략적인 것만을 언급하면 다음과 같다.

#### 1) 허용응력 설계법에 의한 내하력 평가

허용응력법에 의한 내하력 평가는 3가지 평가계수, 즉 합성작용계수(CAF), 환산충격계수(TIF) 및 내하율(RF)을 사용한다. 또한 공용내하력( $P_n$ )은 RF에 표준트럭 하중을 곱하여 구한다. 이중 CAF와 TIF는 기존의 방식[건설부:1990]에 따라 구하고 내하율은 구조물의 손상도를 고려하여 다음과 같이 구한다.

$$RF = \frac{\text{허용응력} \times D_f - \text{사하중응력}}{\text{DB-24에 의한 최대계산응력} \times K} \quad (1)$$

여기서  $D_f$  와  $K$ 는 손상계수(damage factor)와 실용담비로 각각 식 (2) 및 (3)으로부터 구한다.

$$D_f = \frac{\text{손상부재의 강성도}}{\text{무손상부재의 강성도}} = \frac{(\text{손상부재의 기본 고유진동수})^2}{(\text{무손상부재의 기본 고유진동수})^2} \quad (2)$$

$$K = \begin{cases} \frac{\text{측정응력}}{\text{계산응력}} & : \text{구체구조물 또는 정적 내하구조물} \\ \frac{\text{측정응력}}{\text{계산응력}} \times \frac{1 + \text{측정충격계수}}{1 + \text{계산충격계수}} & : \text{동적 내하구조물} \end{cases} \quad (3)$$

#### 2) 신뢰성 및 하중저항계수법에 의한 내하력 평가

본 연구의 핵심부로서 허용응력법에 의한 내하력 평가에 각종 문제점을 극복하기 위한 확률 통계적 내하력 평가기법으로서 구조물의 저항 및 하중효과에 내포되어 있는 각종 불확실성과 시설 구조물의 노후손상도 및 실용담비가 내하력 평가를 위한 한계상태 모형에 합리적으로 반영된다. 본 시스템의 신뢰성지수  $\beta$ 는 Rackwitz-Fiessler[1978]의 알고리즘을 이용하여 AFOSM법을 이용하여 구하고, LRFR에 의한 내하율 RF는 식 (4)를 이용하여 구한다[Cho/Ang:1989].

$$RF = \frac{\phi' D_f R_n - \gamma_D' C_D D_n}{\gamma_L' C_L K \cdot P_r} \quad (4)$$

여기서  $\gamma_D'$  와  $\gamma_L'$ 는 사하중 및 활하중 계수,  $C_D$  및  $C_L$ 은 사하중 및 활하중 영향계수,  $R_n$ ,  $D_n$  및  $P_r$ 은 각각 공칭저항, 공칭사하중 및 표준 트럭하중, 그리고  $\phi'$ 와  $K'$ 는 각각 저항계수 및 식 (3)이다. 또한 저항 및 하중변수가  $\ln$ - $\ln$ 형인 경우 신뢰성지수  $\beta$ 를 이용하여 공칭안전율  $n'$ 를 식 (5)와 같이 구할 수 있다[건설부:1990].

$$n' = \frac{\eta_S}{\eta_R} \exp [ \beta \sqrt{(V_R^2 + V_S^2)} ] \quad (5)$$

여기서  $\eta_S$ ,  $V_S$  는 각각 하중의 평균공칭비와 변동계수를  $\eta_R$ ,  $V_R$  은 각각 저항의 평균공칭비와 변동계수를 나타낸다.

#### 3) 내하급수 판정시스템

앞에서 설명한 내하력 평가계수들에 대한 고찰을 한 후 표 2 및 표 3과 같은 내하급수 판정시스템을 제시할 수 있다.

표 2. 구체구조물

등급	박스		통관		교각,문주		차수벽	
	$\beta$	$n'$	$\beta$	$n'$	$\beta$	$n'$	$\beta$	$n'$
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 3. 내하구조물

등급	재래적방법		신뢰성 방법	
	RF (WSR)	RF (LRFR)	$\beta$	$n'$
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				

### 2.4.2 시스템 구성

2.4.1절에 서술된 이론에 근거하여 구조물의 안전도를 평가하고 최종적인 유지관리의 지침을 제공하기 위해 블록박스식으로 개발되었다(그림 5 참조). 안전도 분석/평가시스템의 구성은 그림 6과 같다.

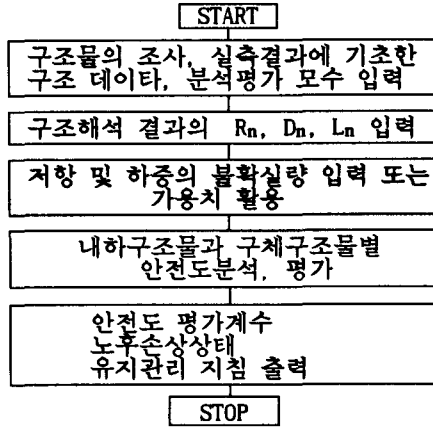


그림 5. 안전도평가 프로그램 흐름도

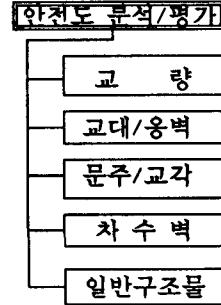


그림 6. 안전도 분석/평가 서비스시스템 구성

### 2.5 입출력 도식화

입출력 도식화 시스템은 안전진단 과정에서 실시되는 충격시험 및 비파괴 시험결과 그리고 구조해석 및 안전도평가의 결과를 도식적으로 표현하기 위하여 구축되었다. 도식화 출력은 표 4와 같이 총 9가지로 되어있다.

표 4. 입출력 도식화 항목

번호	메뉴	번호	메뉴
1	속도별 충격계수	7	안전도평가 (내하구조물)
2	반발경도시험	8	안전도평가 (구체구조물: 옹벽/교대)
3	초음파탐상시험	9	안전도평가 (구체구조물:기타)
4	코아시험		
5	처짐-시간 곡선		
6	응력-시간 곡선		

### 3. 안전도 평가 시스템 운용에

본 연구에서는 수리구조물의 안전도분석 및 평가를 위해 개발된 시스템의 유용성 및 활용성을 검증하기 위하여 수리구조물의 내하구조물과 구체구조물 각각에 대하여 전산화시스템을 운용하여 보았다. 그러나 지면관계로 전체 운용단계를 모두 보일 수 없으므로 전북 군산과 충남 서천을 잇는 금강배수갑문의 내하구조물인 금강교에 대한 시스템 운영단계별로 몇가지 수행과정 및 결과를 그림 8, 9, 10, 11에 제시하였다.

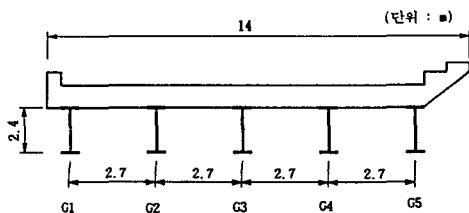


그림 7. 금강배수갑문 금강교 단면도

표 5. 금강교 제원

교량명	상부구조형식	총연장 (m)	교폭 (m)	주경간 거리(m)
금강교	강판형교 (4경간 연속)	714	28.35	3.46

#### 4. 결 론

본 연구에서 개발된 농업 토목 수리구조물에 안전도평가 전산화시스템은 실제 구조물에 대해 적용하여 운용을 하여본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 신뢰성이론에 기초한 안전도평가에 관한 깊은 전문지식이 없어도 안전진단에 대해 기본적인 사항만 알고 있는 실무자라면 누구라도 쉽게 본 시스템을 이용하여 높은 정도의 결과를 얻을 수 있다.

2) 본 시스템의 데이터베이스 서브시스템을 이용하여 대상 농업 토목 수리구조물에 대한 다량의 체계적인 자료의 누적으로 인하여 차후 안전진단 및 유지관리에 대한 보다 신뢰할 수 있는 유용한 정보를 손쉽게 획득할 수 있고 이를 바탕으로 보다 정확한 신뢰성해석 및 안전도평가를 수행할 수 있을 것이라고 사료된다.

3) 본 연구에서 제시된 내하력 및 내하급수 판정시스템, 그리고 내하력 평가 프로그램은 구조물의 노후도와 각종 불확실량을 체계적으로 반영한 실내하력 평가 수단으로서 장차 농업 토목 수리구조물에 대한 안전성 및 내하력 평가에 널리 활용될 수 있을 것이다.

4) 본 연구에서 제시된 안전도평가 방법은 확률론적 신뢰성모형을 토대로 각종 통계적 불확실량을 합리적으로 반영하고, 적절한 목표신뢰성지수와 보정기법을 사용하여 하중 및 저항계수를 산정하였으며, 고려하는 모든 하중조건에 대해서 거의 일정한 신뢰도를 갖는 합리적인 안전도평가 방법이라고 사료된다.

5) 본 시스템은 대형 컴퓨터가 아닌 현재 일반화된 개인용컴퓨터를 전제로 개발되었으므로 일상 안전진단 및 유지관리 실무에서 어디에서나 쉽게 운용할 수 있을 것으로 사료된다. 뿐만 아니라 본 시스템을 조금만 수정, 보완한다면 토목구조물 전반에 적용할 수 있을 것이다.

#### 감사의 글

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

#### 참고문헌

AASHTO(American Association of State Highway and Transportation Officials)(1983), "Manual for Maintenance Inspection of Bridges," 1983.

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.

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

건설부(1990), "교량 안전도평가 및 내하급수 판정 시스템 개발", 1990.9.

농어촌진흥공사(1989-1991), "농업토목 수리구조물 안전도평가 시스템 개발", 한양대학교 부속 산업과학 연구소, 1989.12.

조효남, 장동일, 이희현(1991), "도로교 내하급수 판정시스템 개발", 대한토목학회논문집, 제 11권, 제 4호, 1991.12.

한국건설기술연구원(1989), "구조물의 신뢰성에 관한 연구", 1989.12.

