

# 모달 변형에너지를 이용한 플로팅 구조물의 손상탐지

† 박 수용 · 전 용환\*

† 한국대학교 해양공간건축학과 교수, \*한국해양대학교 대학원

**요약** : 구조물의 동적특성인 모드형상을 통해 국부적인 손상을 탐지하는 손상평가 기법은 많은 연구자에 의해 발전되고 있다. 하지만 플로팅 구조물에 대한 손상탐지 기법은 그 사례를 찾아보기 힘들다. 본 논문에서는 플로팅 구조물의 합체 부분을 모델링 하고, 손상전과 손상 후 구조물의 모드형상에서 얻을 수 있는 모달 변위로 나타난 손상지수를 통해 플로팅 구조물에 발생할 수 있는 손상을 추정하여, 제안된 이론의 적용성을 검증 하였다.

**핵심용어** : 손상탐지, 손상지수, 모드형상, 모달 변형에너지, 플로팅 구조물

## 연구 배경

### □ 건전도 평가 기술



## 연구 개념

### ◆ 개념



## 연구 목표



## 주요 연구내용

### • 손상탐지 기법

$$\beta_j^s = \frac{D_j}{D_j^s} \approx \frac{\iint_A (x_i) dA \sum_{i=1}^N \left[ \iint_{AA} (x_i') dA + \iint_A (x_i') dA \right]}{\iint_A (x_i') dA \sum_{i=1}^N \left[ \iint_{AA} (x_i) dA + \iint_A (x_i) dA \right]}$$

$\beta$  : 손상지수

$$D = \frac{Ei^3}{12(1-\nu^2)}$$

D : 휨강성

$w_i$  : 바닥판 연직방향 모드

$$x_i = \left( \frac{\partial^2 w_i}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_i}{\partial y^2} \right)^2 - 2(1-\nu) \left[ \frac{\partial^2 w_i}{\partial x^2} \frac{\partial^2 w_i}{\partial y^2} - \left( \frac{\partial^2 w_i}{\partial x \partial y} \right)^2 \right]$$

† 교신저자 (종신회원) sypark@hhu.ac.kr

\* 일반회원 ninabob4@naver.com

## 주요 연구내용

### 손상탐지 기법

손상탐지  
기법  
결과

- 손상 전과 후의 모드형상을 이용하여 부재별 손상지수 계산
- 손상지수의 평균값( $\mu$ )과 표준편차( $\sigma$ )를 구하여 정규분포와 가설검정법(Hypothesis Testing)으로 손상여부 판단

$$Z_i = \frac{\beta_i - \mu_p}{\sigma_p}$$

- $Z_i \geq \eta$  일 경우, i 부재에 손상이 있음
- $Z_i < \eta$  일 경우, i 부재에 손상이 없음으로 판단

여기서  $\eta$  는 가설 테스트의 신뢰도를 확률적으로 반영하는 지수로  $\eta=1$  일 경우 84%,  $\eta=2$  일 경우는 98%의 신뢰도를 나타낸다.

## 주요 연구내용

### 수치해석 모델을 이용한 검증

플로팅 구조물의 건전도 평가기술 기초연구

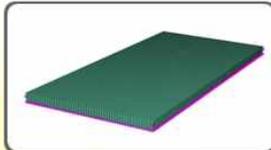
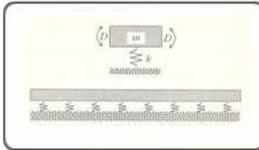
수치해석 모델 작성

플로팅 구조물의 건전도 평가기술의 적용성 검토

플로팅 구조물의 건전도 평가기술의 이론 정립

## 주요 연구내용

### 수치해석 모델



- ABAQUS 프로그램
- 부력을 스프링으로 치환
- 계류장치 X, Y축 스프링 사용
- 모델사이즈 : 100(m) X 50(m) X 5(m)
- 모델종류 : 격벽형
- 재료 : 철근 콘크리트

	철근 콘크리트
길이	2400 (mm)
포아송비	0.15
탄성계수	27.389 GPa
스프링 상수	9.76 kN/m

## 주요 연구내용

### 모드형상

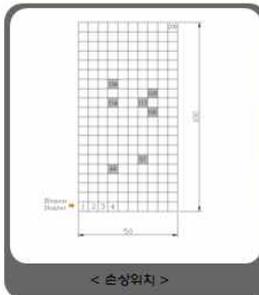


Mode	Frequency (Hz)
1	2.4088
2	3.1516
3	5.6452

< 고유 진동수 >

## 주요 연구내용

### 모의 손상



CASE	손상 위치	손상정도
1	44	20%
2	57	10%
3	128,134	10%,10%
4	114,57,108	10%,10%,10%
5	114,57,108	15%,10%,10%

## 주요 연구내용

### 성능 평가

손상경우	1차 모드	2차 모드	3차 모드	3모드 합성
1 개수	2	3	4	4
%	1	1.5	2	2
2 개수	2	0	2	3
%	1	0	1	1.5
3 개수	2	0	2	2
%	1	0	1	1
4 개수	2	1	2	0
%	1	0.5	1	0
5 개수	1	0	2	1
%	0.5	0	1	0.5

< Percentage of false positive >

## 주요 연구내용

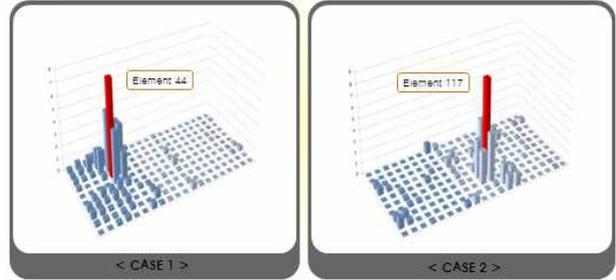
### • 성능 평가

손상경우		1차 모드	2차 모드	3차 모드	3모드 합성
1	개수	0	0	0	0
	%	0	0	0	0
2	개수	0	0	0	0
	%	0	0	0	0
3	개수	0	1	0	0
	%	0	50	0	0
4	개수	1	2	2	0
	%	33	66	66	0
5	개수	1	2	1	0
	%	33	66	33	0

< Percentage of false negative >

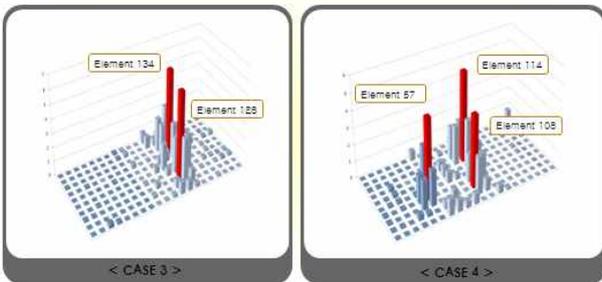
## 주요 연구내용

### • 손상 탐지



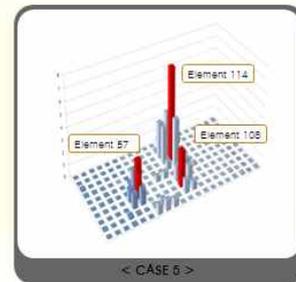
## 주요 연구내용

### • 손상 탐지



## 주요 연구내용

### • 손상 탐지



## 결론

- 모달 변형에너지를 이용한 블로팅 구조물의 손상탐지 기법은 구조물의 손상부위를 결정함에 있어서 탁월한 성능을 가지고 있다.
- 수치해석을 통한 손상탐지 이론을 검증한 결과, 단일 손상 뿐만 아니라 다수의 손상 또한 정확히 찾아냈으며 손상도가 다른 경우에도 손상부위를 정확하게 추정하였다.
- 본 연구의 결과는 향후 실제 블로팅 구조물의 손상탐지에 있어서 중요한 기초 자료가 될 것이다.

## 감사의 글

본 논문은 2010년 국토해양부 기술연구개발의 지역 기술혁신사업(과제번호: 10지역기술혁신B01)의 일환으로 수행된 연구임을 밝히며 이에 감사를 드립니다.