

축소모형을 이용한 플로팅 구조물의 손상탐지

† 박 수용 · 전 용환*

† 한국해양대학교 해양공간건축학과 교수, *한국해양대학교 대학원

요 약 : 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 축소모형을 제작하고, 손상을 모사하여 손상전과 손상 후 구조물의 모드형상에서 얻을 수 있는 모달 변위로 나타낸 손상지수를 통해 플로팅 구조물의 손상을 탐지 하였다.

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

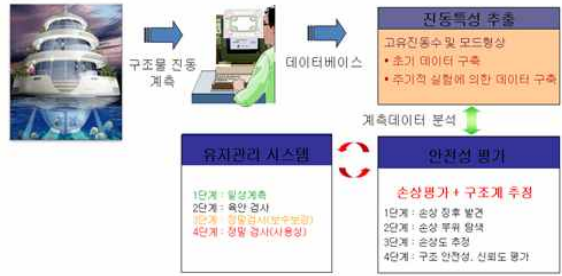
연구 배경

□ 견전도 평가 기술



연구 개념

◆ 개념



연구 목표



주요 연구내용

• 손상탐지 기법

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

β : 손상지수
 D : 절강성
 w_i : 바닥면 연직방향 모드

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

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

† 교신저자 중신회원) sypark@hhu.ac.kr

* 정회원 ninabob4@naver.com

주요 연구내용

손상탐지 기법

손상탐지
기법
결과

- 손상 전과 후의 모드형상 이용하여 부재별 손상지수 계산
- 손상지수의 평균값(μ)과 표준편차(σ)를 구하여 정규분포와 가설검정법(Hypothesis Testing)으로 손상여부 판단

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

- $Z_i \geq \eta$ 일 경우, 1부재에 손상이 있음
- $Z_i < \eta$ 일 경우, 1부재에 손상이 없음 판단

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

주요 연구내용

축소모형 모델 및 실험장비



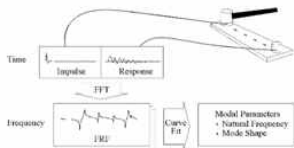
- 모델사이즈 : 0.8(m) X 0.4(m) X 0.1(m)
- 모델종류 : 박스형
- 재료 : 스틸 (SS400)
- 계류장치 : Z축 풀어줌



주요 연구내용

강제진동 실험

실험
방법

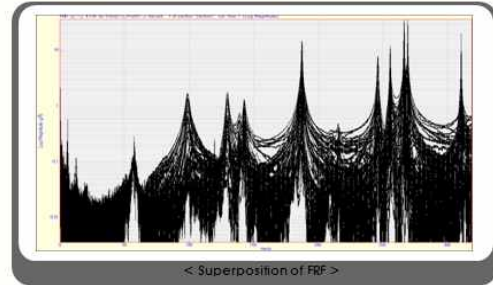


Modal Impact Test

- 가장 큰치를 측정시키고 이의 주변 응답을 무조건을 여러 위치에서 계속하는 법
- 응답유체를 측정 시키고 여러의 가려진모드를 이용하는 법

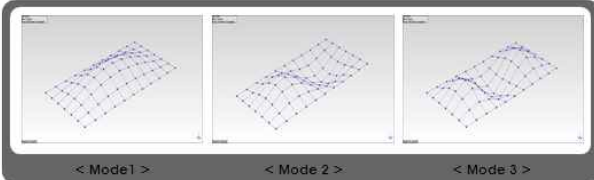
주요 연구내용

FRF



주요 연구내용

모드형상

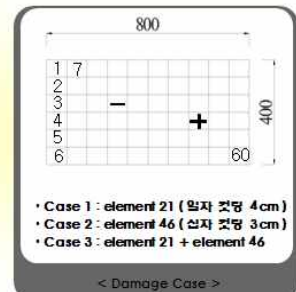


| Mode | Frequency (Hz) |
|------|----------------|
| 1 | 98.5 |
| 2 | 143 |
| 3 | 187 |

< 고유진동수 >

주요 연구내용

손상모사



- Case 1 : element 21 (notch 깊이 4cm)
- Case 2 : element 46 (notch 깊이 3cm)
- Case 3 : element 21 + element 46

주요 연구내용

• MAC

-MAC Value이 1에 가까울수록 두 모드형상 간의 일치성이 높음
-일반적으로 MAC 값이 0.8이상이면 같은 모드라고 간주

$$MAC(E, F) = \frac{\left| \sum_{i=1}^N (\phi_i)_E (\phi_i)_F \right|}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^N (\phi_i)_E^2 \right) \left(\sum_{i=1}^N (\phi_i)_F^2 \right)}}$$

ϕ : 실험으로부터 구한 모드 형상
 Φ : 수치해석에서 계산한 모드 형상
 N : 자유도 수

주요 연구내용

• MAC

| MAC | | 수치해석 | | | |
|------|----------------|------|------|------|---|
| | | Mode | 1 | 2 | 3 |
| Mode | Frequency (Hz) | 98.5 | 143 | 187 | |
| 모드 1 | 98.5 | 0.97 | 0.01 | 0 | |
| 모드 2 | 135 | 0.8 | 0.85 | 0 | |
| 모드 3 | 174 | 0 | 0 | 0.99 | |

< Case 1 >

| MAC | | 실험 | | | |
|------|----------------|------|------|------|---|
| | | Mode | 1 | 2 | 3 |
| Mode | Frequency (Hz) | 98.5 | 143 | 187 | |
| 모드 1 | 98.1 | 0.89 | 0.06 | 0.01 | |
| 모드 2 | 135 | 0.2 | 0.96 | 0 | |
| 모드 3 | 174 | 0 | 0 | 0.99 | |

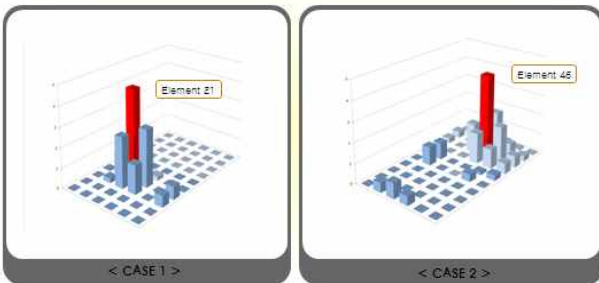
< Case 2 >

| MAC | | 수치해석 | | | |
|------|----------------|------|------|------|---|
| | | Mode | 1 | 2 | 3 |
| Mode | Frequency (Hz) | 98.5 | 143 | 187 | |
| 모드 1 | 98.5 | 0.99 | 0.15 | 0.01 | |
| 모드 2 | 135 | 0.14 | 0.98 | 0 | |
| 모드 3 | 174 | 0 | 0 | 0.99 | |

< Case 3 >

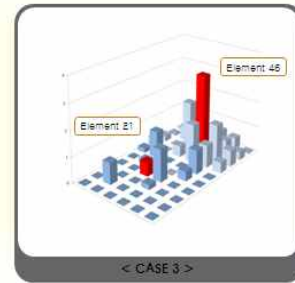
주요 연구내용

• 손상 탐지



주요 연구내용

• 손상 탐지



결론

• 모달 변형에너지를 이용한 블로팅 구조물의 손상탐지 기법은 구조물의 손상부위를 결정함에 있어서 유용하게 사용할 수 있다.

• 축소 모형 실험을 통한 블로팅 구조물의 손상탐지는 실험을 함에 있어 계류 장치 등 경계조건의 영향에 의한 동적인 특성이 가변적으로 변하므로 경계조건의 설정이 중요하다.

• 본 연구의 결과는 향후 실제 블로팅 구조물의 손상탐지에 있어서 중요한 기초 자료가 될 것이다.

후 기

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