

모드유연도 행렬을 이용한 실규모 전단빌딩의 손상진단

Damaged flexion of a full-scale shear building using deflections obtained by modal flexibility

성승훈* · 정형조† · 정호연**

Sung Seunghun, Jung Hyungjo and Jung Hoyeon

1. 서 론

구조물의 건전도 모니터링은 센서로부터 측정한 구조물의 응답 신호를 분석하여 건전도를 평가하는 기술이다. 지난 수십 년간 진동 기반 구조물의 건전도 모니터링에 대한 연구는 활발히 진행됐으며, 이는 고유진동수, 모드형상, 모드형상 곡률, 모드유연도 등을 활용한다. 하지만 토목 분야에서의 구조물 건전도 모니터링에 대한 연구는 대부분 교량에 집중되어 있으며, 빌딩 구조물에 대한 연구는 부족한 실정이다. 본 연구팀은 기존연구를 통해 모드 유연도 행렬 기반 변위를 이용하여 전단빌딩의 손상진단을 수행하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 오직 응답신호의 분석만을 통해 손상 진단을 수행한다는 점에서 간편하며 효율적인 방법이다. 하지만, 기존 연구에서는 이상적 환경인 실험실 규모의 축소모형 실험을 통해 제안된 전단빌딩의 손상진단을 수행했다.

본 연구에서는 기존에 제안된 방법을 실규모 전단빌딩에 적용하여 손상진단을 수행하는 연구를 수행하였다. 두 가지 손상 케이스에 대해 제안된 방법의 성능확인을 수행한 결과, 허위양성 혹은 허위음성 진단 없이 정확한 손상위치를 판별하였다.

2. 이 론

2.1 손상유발 변위의 일반식

손상은 구조물의 강성행렬(K_0)과 변위(u_0)에 영

† 교신저자, 정회원, KAIST
E-mail : Hjung@kaist.ac.kr
Tel : 042-350-3626, Fax : 042-350-3610
* KAIST
** KAIST

향을 주며, 손상에 의한 구조물의 강성변화와 변위 변화는 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$F = (K_0 - \Delta K)(u_0 + \Delta u) \quad (1)$$

식(1)에서 손상등가 하중은 식(2)로 표현되며, 식(2)를 통해 알 수 있듯 손상등가하중은 오직 손상발생구역에 추가적인 변위를 유발하는 하중이다.

$$\Delta F = \Delta K u_0 = \begin{Bmatrix} 0 \\ \alpha_e f_e \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (2)$$

여기서, $\Delta K = \text{diag}(0, \alpha_e k_e, 0)$; α_e ($0 < \alpha_e < 1$)는 손상정도, k_e 는 손상 구역에서의 손상에 의해 표현된 요소강성행렬, $f_e = k_e u_e = \{V, M - V, M\}$ 는 잔류응력이다.

즉, 식(1)과 식(2)를 통해 최종적으로 손상유발변위는 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta u = (K_0 - \Delta K)^{-1}(\Delta K u_0) \quad (3)$$

2.2 양전단력 탐색하중

DI-ID는 손상 시, 외력(F)에 의해 유발되는 잔류응력(f_e)에 의해 발생한다. 그러나 만약, i 번째 상층부의 외력의 합이 '0' 이 된다면, i 번째의 잔류응력도 '0' 이 되기 때문에 손상이 발생하더라도 DI-ID는 나타나지 않는다. 본 연구에서는 모든 층에서 양의 전단력이 발생하도록 하는 양전단력 탐색하중을 활용했으며, 이러한 하중 하에서는 모든 층에서 양의 전단력이 발생하기 때문에 DI-ID를 명확히 확인할 수 있다⁽¹⁾.

3. 실험적 검증

3.1 대상 구조물 및 손상모사 방법

대상구조물은 천안의 유니슨(주)에 위치한 modal test tower 이다. Figure 1에서 4층에 위치한 Hybrid Mass Damper (HMD)에 의해 random 가진을 수행하였고, 각 층별로 설치된 가속도계에 의해 구조물의 진동응답을 계측하였다. 또한, 1층의 spring member의 강성의 크기를 바꿔 가며, 두 가지 케이스의 손상을 모사하였다.

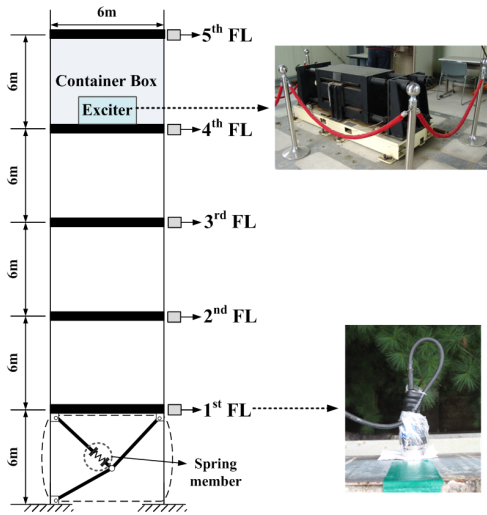


Figure 1. Test model and measurement setups

3.2 실험 결과

Output-only 모드 해석 기법 중 하나인 추계론적 부공간 규명기법 (Stochastic Subspace Identification method)을 이용하여 모드해석을 수행하였다. 손상전/후의 고유진동수 및 모드형상을 이용하여 각각에 대한 모드유연도 행렬을 얻었고, 이에 양전단력 탐색하중을 가하여 모드유연도 행렬 기반 변위를 얻었다. 이를 통해 손상진단을 수행한 결과는 Figure 2와 같다.

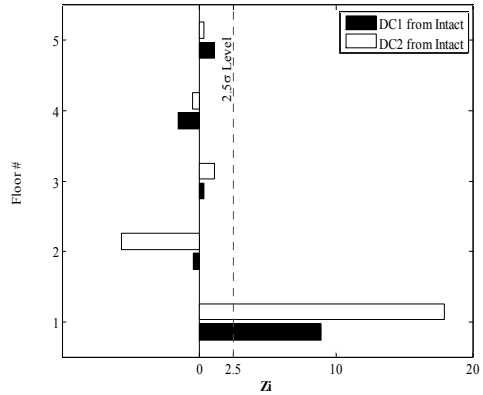


Figure 2. Estimations of damage location from damage index

3. 결 론

본 연구에서는 기존에 제안된 전단빌딩의 손상진단을 위한 손상유발변위기법에 대한 실규모 손상진단을 수행하였다. 1층에 설치된 spring member의 강성크기를 바꿔가며, 이에 따른 1층의 강성감소를 손상으로 간주하였다. 층별로 설치된 가속도계에 의해 구조물의 응답을 계측하였으며, 이를 통해 얻어진 손상전/후의 모드정보를 통해 제안된 방법에 의해 손상진단을 수행한 결과, 두 가지 손상케이스에 대해 모두 정확도 높은 손상진단을 수행하였다.

후 기

본 연구는 지식경제부의 지원(과제번호 2008-F-044-01)으로 수행되었으며, 저자들은 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

(1) Koo, K.Y., Sung, S.H., Park, J.W. and Jung, H.J., 2010, NRRO Damage Detection of Shear Buildings Using Deflections Obtained by Modal Flexibility, Smart Materials and Structures, 115026.