

다물리량 데이터를 이용한 교량 안전진단기술

Multi-Scale Sensing-based Bridge Health Monitoring Technique

성승훈* · 김인호* · 정호연* · 정형조†
S.H. Sung, I.H. Kim, H.Y. Jung and H.J. Jung

1. 서 론

본 논문에서는, 가속도계와 자이로스코프를 이용한 가속도 및 각속도의 동시 계측을 통해, 기존 가속도기반의 교량구조물의 건전성 평가 기술⁽¹⁻⁴⁾의 단점을 극복하고자 한다. 교량의 경우, 지점 부근에서는 각속도 변화가 큰 반면, 중앙으로 갈수록 그 값은 작아지고, 가속도 변화가 크게 발생한다. 이러한 교량의 거동 특성 하에서 가속도 기반의 건전성 평가에서 간과할 수 있는 지점 부근의 손상을 각속도를 이용하여 보상한다. 즉, 가속도 계측치를 이용하여 구조물의 모드유연도 행렬을 구성하고, 이를 이용하여 일차적인 손상진단을 수행한 후, 각속도 데이터를 이용해 지점부근의 손상진단을 수행한다. 제안된 방법의 검증에 위해서 단순보를 이용한 실험적 검증을 수행했다. 중앙 부근의 손상과 지점 부근의 손상을 모사하였으며, 제안된 방법의 우수성 검증을 위해 가속도 계측만을 통한 결과와 이중 데이터 계측을 통한 결과에 대한 비교연구를 수행했다.

2. 회전 모드유연도 행렬을 이용한 교량 지점 부근의 손상진단 기법

2.1 변위 모드형상과 회전 모드형상의 관계식

† 교신저자; 정회원, 한국과학기술원

E-mail : hjung@kaist.ac.kr

Tel : 042-350-3626, Fax : 042-350-3610

* 한국과학기술원

구조물의 운동 방정식을 partitioned-matrix 형태로 나타낸 후, 이를 이용하여 변위 모드형상과 회전 모드형상의 관계식을 유도하면, 다음의 식(1)과 같다.

$$\Psi_r = [-\mathbf{K}_{dd}^{-1} - \mathbf{K}_{da}] \Psi_v \quad (1)$$

여기서 Ψ_r 회전 모드형상, Ψ_v 는 변위 모드형상, $\mathbf{K}_{dd}, \mathbf{K}_{da}$ 각각 구조물의 partitioned-matrix 로부터 얻어진 강성행렬이다. 즉, 위의 관계식을 통해 변위 모드형상을 회전 모드형상으로 치환함으로써 구조물의 회전 모드유연도 행렬을 얻을 수 있다.

2.2 회전 모드유연도 행렬을 이용한 지점 부근의 손상진단

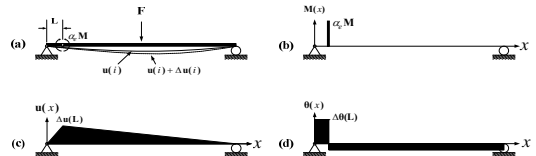


Figure 1. Damage detection using rotational modal flexibility (a) Deflection due to damage and applied force (b) Damage equivalent force (c) Damage-induced deflection (d) Damage-induced rotation

Figure 1 에서와 같이 교량 구조물에 발생한 손상은 손상 증가하중⁽⁵⁾과 동일 시 되며, 이러한 손상 증가하중에 의해 발생한 급격한 회전 변화의 위치를 확인함으로써 교량 지점 부근의 손상진단을 수행할 수 있다.

3. 실험적 검증

3.1 실험 대상 구조물

본 논문에서 실험적 검증을 위한 대상 구조물은 휨 거동을 하는 2.04m 의 보 구조물이며, 구조물의 재원은 Table 1 과 같다. 대상 구조물의 지점 부근과 중앙 부근에 각각 20%의 강성저감을 통해 손상을 모사했으며, 이는 Figure 2 와 같다.

Table 1 Model properties

Parameters	Value
Damping ratio	0.01
Mass density	7850 kgm ⁻³
Poisson's ratio	0.28
Elasticity modulus (E)	200 GPa
Length (L)	2.04 m
Width (w)	100 mm
Thickness (t)	10 mm

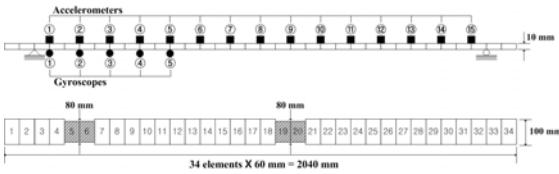
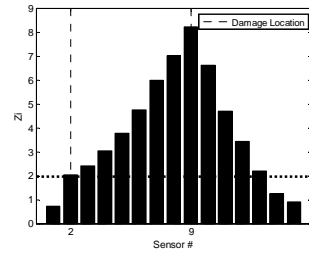
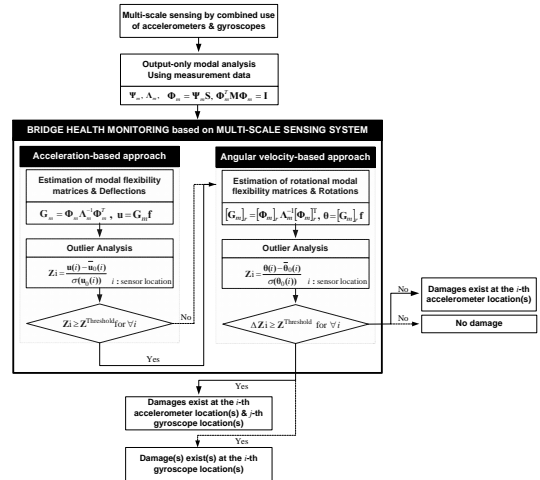


Figure 2. Experimental setup and damage scenarios

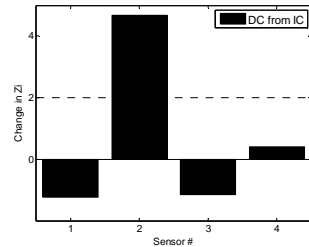
3.2 실험 결과

가속도계 및 자이로스코프를 이용해 측정된 시간영역의 응답에 대한 모드해석을 수행하여 고유진동수와 모드형상을 얻었고, 이를 이용해 모드유연도 행렬 및 회전 모드유연도 행렬을 구성했다. 이를 이용하여 손상진단을 수행한 과정은 Table 2와 같고, 이때의 결과는 Figure 3과 같다. 그림에서 나타나듯, 가속도 기반의 방법은 중앙 부근의 손상을 명확히 추정했으나, 지점 부근의 손상진단은 실패했다. 반면, 가속도 기반의 방법을 이용하여 지점 부근의 손상을 추정하였다. 따라서 본 연구에서 제안된 방법이 가속도만을 이용한 방법의 한계를 극복할 수 있는 대안으로써 가능성을 지님을 확인했다.

Table 2 Flow chart of multi-scale sensing-based damage detection



(a) Damage detection result using acceleration measurements



(b) Damage detection result using angular-velocity measurements

Figure 3. Damage detection based on multi-scale sensing

4. 결론

교량의 경우, 지점 부근에서는 각속도 변화가 큰 반면, 중앙으로 갈수록 그 값은 작아지고, 가속도 변화가 크게 발생한다. 이러한 교량의 거동 특성에

의해 가속도 계측을 통한 건진성 평가 시 교량의 지점부근 손상에 둔감하다. 본 연구에서는 기존 연구의 단점 극복을 위해 자이로스코프를 이용한 손상진단 방법을 제안했고, 이를 실험적으로 검증했다. 그 결과, 제안된 방법에 의해 예측된 손상발생 지점이 손상지점과 정확히 일치함을 확인할 수 있었다. 이를 통해, 제안된 방법이 가속도만을 이용한 방법의 한계를 극복할 수 있는 대안으로써 가능성을 지님을 확인했다.

후 기

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education (NRF-2013R1A1A2011) and the Korea Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTM) as [U-City Master and Doctor Course Grant Program]

참고문헌

1. Pandey,A. and Biswas,M., "Damage detection in structures using changes in flexibility," Journal of Sound and Vibration, Vol. 169,1994, pp.3-17
2. Toksoy,T. and Aktan, A., "Bridge-condition assessment by modal flexibility," Experimental Mechanics Vol. 34,1994, pp.271-278
3. Zhang,Z. and Aktan, A., "The damage indices for the constructed facilities," 13th International modal analysis conference, 1995, pp.1520-1529
4. Bernal,D. "Load Vectors for Damage Localization," Journal of Engineering Mechanics ,Vol. 128 ,2002 , pp.7-14
5. Koo K.Y, Lee J.J, Yun C.B and Kim, J.T., "Damage Detection in Beam-Like Structures Using Deflections Obtained by Modal Flexibility Matrices," Advances in Science and Technology,Vol. 56,2008, pp.483-488