

레이저 스캐닝 속도계를 활용한 균일 단면 들보의 미세손상 탐지

Detection of Small-Sized Damage in a Uniform Beam Using a Laser Scanning Vibrometer

허영철* · 전영진** · 길현권*** · 김재관†

Young-Cheol Huh, Young-Jin Jeon, Hyun-Gwon Kil and Jae-Kwan Kim

1. 서 론

진동 인텐시티는 진동하는 구조물에서 임의의 단면을 통과하는 진동파위의 세기를 나타내는 벡터로써 그 크기와 방향에 대한 공간적인 분포를 알면 외부 기진원에 의해 공급된 진동 에너지가 구조물에 전파되는 그 경로를 파악할 수 있다. 만일 구조물에 어떤 물리적인 변화가 발생한다면 이로 인해 진동 에너지의 전파 경로는 변경될 수 있다. 구조물의 설계 단계에서 진동 인텐시티의 평가 결과를 이용하여 진동 및 소음원의 주된 전파 경로를 규명함으로써 효율적인 방진방음 대책을 수립할 수 있고 다른 한편으로 진동 에너지의 전파 경로의 변화로부터 구조물의 물리적인 변화를 유추해 볼 수도 있다.

자유장 조건에서 보와 평판의 진동 인텐시티를 평가할 수 있는 기본 식은 Noiseux에 의해 처음 제안되었으며 Pavic에 의해 근거리의 영향을 고려할 수 있는 방법으로 확장되었다. 이 후 Verheij와 Linjama 등에 의해 가속도의 측정만으로 주파수 영역에서 보와 평판의 진동 인텐시티를 평가할 수 있는 실용적인 방법이 제안되었다.

그러나, 손상 구조물에 대해 진동 인텐시티를 평가한 연구 사례는 많지 않다. Li 등은 전달 행렬법을 이용하여 균열이 있는 원형 평판 및 보 구조물에 대한 진동파위의 수치적인 계산 결과를 보여 주었다. Lee 등은 상용 유한요소해석 프로그램을 이용하여 균열이 있는 평판에 대한 파워 흐름의 계산 결과를 보여주고 균열 주변에서 기진원의 위치에 따른 파워 흐름의 특성 변화를 비교 검토하였다.

레이저 속도계는 비접촉식 측정 방법의 편리성과 가용 주파수 범위가 넓은 장점을 갖고 있기 때문에 그 활용도가 점

차 커지고 있다. Pascal 등은 수직으로 서 있는 서로 다른 두 평판이 한쪽 변은 볼트로 체결되고 다른 변은 각각 고정 지지 조건인 구조물에 대해서 레이저 속도계를 이용하여 속도 응답을 측정 후 진동파위를 평가하여 볼트 주변에서의 감쇠비를 추정하였다. 그러나, 손상 구조물에 대해서 실험적 방법으로 진동파위를 평가한 사례는 거의 없다.

본 논문에서는 레이저 속도계를 활용하여 균일한 단면을 갖는 들보에 대해 진동파위를 평가하였다. 실험 모델은 반사파에 의한 간섭을 최소화하기 위하여 양단에 모래에 의한 경계 조건을 적용하였다. 보의 중앙에는 가진기를 설치하고 가진 신호는 0~50kHz 범위의 백색 잡음을 적용하였다. 실험 모델은 중앙에서 좌측으로 0.35m 떨어진 위치에서 1mm 깊이의 인위적 손상을 가하고 손상 위치 주변에서 속도 응답을 측정 후 이로부터 진동파위를 평가하였다. 그 결과 비손상 모델과 손상 모델에 대한 진동파위를 바탕으로 도입된 손상 지수를 이용하여 균일 단면 들보의 미세손상을 성공적으로 탐지할 수 있음을 보였다.

2. 본 론

2.1 실험 모델의 개요

실험 모델의 주요 제원은 길이가 2m, 단면의 폭X높이는 0.03mX0.01m이다. 재료의 탄성 계수는 70GPa 그리고 밀도는 2710kg/m³과 같다.

보의 양단은 반사파에 의한 간섭을 줄이기 위하여 양 끝단이 약 20cm 정도 모래에 채운 나무상자에 묻히도록 하였다. 보의 중앙에는 가진기를 설치하고 입력파위를 측정하기 위하여 보와 가진기 사이에 임피던스 헤드를 설치하였다. 실험 모델에 대한 측정 시스템의 개요는 Fig.1에 보였다.

* 정회원, 한국기계연구원 시스템엔지니어링연구본부
E-mail : ychuh@kimm.re.kr
Tel : (042) 868-7468, Fax : (042) 868-7418

** 정회원, (주) 하이센

*** 정회원, 수원대학교 기계공학과

† 정회원, 서울대학교 건설환경공학부
E-mail : jkwankim@snu.ac.kr
Tel : (02) 880-9214, Fax : (02) 884-3976

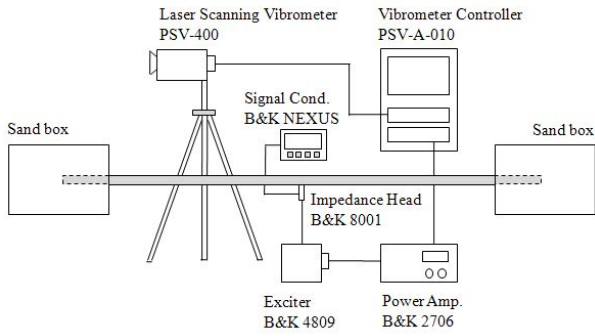


Fig.1 Schematic diagram of the measurement system for detection of small-sized damage

2.2 손상 및 비손상 실험모델의 진동파워 평가

레이저 속도계에 의해 평가된 진동파워의 정도를 확인하기 위하여 전통적인 가속도계(PCB 352C22)에 의한 평가결과와 비교하여 보았다. 이 때 가속도계의 간격은 $\Delta = 20\text{mm}$ 로 고려하였으며 이는 PCB 352C22의 외형 크기로부터 가용할 수 있는 최소 간격이다. 비손상된 실험 모델에 대한 진동파워의 비교 위치로써 중앙으로부터 좌측으로 0.33m 떨어진 위치를 대표적으로 선정하였다. 레이저 속도계와 PCB 가속도계에 의해 평가된 실험 모델의 진동파워를 Fig.2에 보였으며 두 결과는 서로 잘 일치함을 확인할 수 있다.

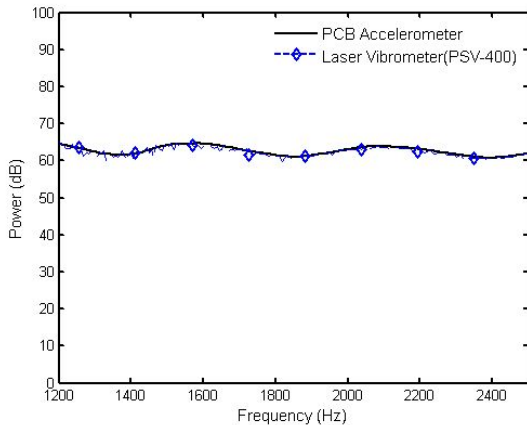


Fig.2 Comparison of vibratory power of undamaged beam obtained from conventional accelerometers and a laser scanning vibrometer

한편, 작은 크기의 손상을 탐지하기 위해서는 고주파수 영역의 가진 신호가 요구된다(Stokes and Clouds). 이를 위해 레이저 속도계의 측정 간격을 5mm, 7.5mm 그리고 10mm로 정하고 각각의 경우에 대하여 진동파워를 평가하였다. 비손상된 모델과 손상된 모델의 진동파워를 평가한

후 두 결과를 바탕으로 손상 지수를 계산하였다. $\Delta = 7.5\text{mm}$ 인 경우의 손상 지수를 대표적인 결과로써 Fig.3에 보였다. Fig.3을 살펴보면 손상 위치 근처에서 손상 지수가 최대이고 주변의 손상 지수에 비해 두드러진 크기임을 확인할 수 있다.

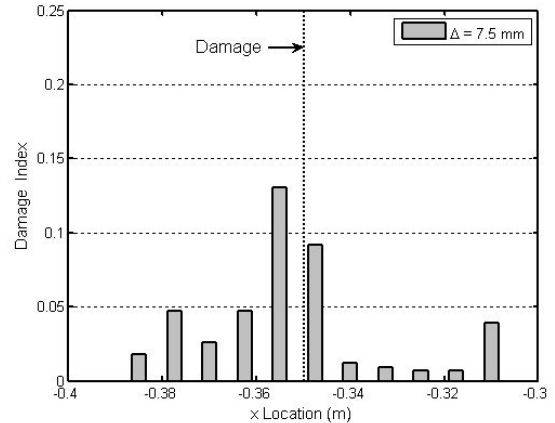


Fig.3 Damage index of the beam with small-sized damage

3. 결 론

작은 크기의 손상을 탐지하기 위해서는 고주파수 영역의 가진 신호가 요구되고 고주파수 영역의 진동파워를 평가하기 위해서는 진동 응답의 측정 간격이 조밀해질 필요가 있다. 진동파워를 이용한 손상 탐지 방법에서 전통적인 가속도계를 활용할 경우 진동 응답의 측정 간격에는 제한이 있으나 비접촉 방식의 레이저 속도계를 활용할 경우 충분히 조밀한 간격으로 진동 응답을 측정할 수 있다.

양단이 모래에 의한 경계조건을 갖는 균일 단면 들보에 대해 1mm 크기(손상 깊이 비=0.1)의 인위적 손상을 가한 후 레이저 속도계를 활용하여 진동파워를 평가하였다. 비손상 모델과 손상 모델에 대한 진동파워 평가결과를 바탕으로 손상지수를 계산하고 손상 주변에서 그 값을 살펴 본 결과 손상 위치 근처에서 손상 지수가 최대이고 주변의 손상 지수에 비해 그 크기가 두드러짐을 관찰할 수 있었다. 본 논문의 결과로써 레이저 속도계를 활용하여 균일 단면 들보의 미세손상을 탐지할 수 있음을 확인하였다.

후 기

본 연구는 산업기술연구회의 지원으로 수행된 한국기계연구원원의 기본사업의 결과이며 관련 지원에 감사드립니다.