

평판 구조물 손상 탐지에서 탄성파의 신호 에너지를 이용한 손상 탐지 알고리즘

Damage detection algorithm using lamb-wave signal energy on plate structures

초 록

항공기는 운항 중 다양한 하중에 노출되며, 특히 복합재 구조물은 손상 검출을 위해 주기적인 검사를 필요로 한다. 탄성파를 이용한 비파괴 검사 방법으로 복합재 구조물의 손상을 검출할 수 있다. 탄성파를 이용한 손상 탐지 기법은 구조물에 부착한 Piezo-electric actuator와 Sensor로부터 신호를 수집, 분석하여 손상 위치를 검출하는 기법이다. 이러한 방법으로 수집된 신호는 잡음 성분과 손상에서 반사된 신호 성분 등 다양한 정보를 포함하고 있으나, 탄성파의 이산특성과 멀티모드 특성으로 인하여 필요한 정보를 분리하는데 어려움이 있다. 본 논문에서는 주파수 영역에서 신호의 에너지를 사용한 신호 분리 알고리즘을 개발하여 잡음 제거 및 손상 신호 검출에 적용하였으며 이를 통해 손상 위치를 확인하였다.

Key Words : Structural Health Monitoring(SHM), Damage Detection, STFT, Wiener filter, Spectral Subtraction, 잡음제거, 신호분리

1. 배경

항공기는 공력, 항력, 중력 및 다양한 하중을 받으며 운항하고, 이러한 하중으로부터 구조물은 손상이 발생할 수 있다. 특히, 복합재를 사용한 항공기의 경우 손상을 검출하기 위해 주기적인 검사를 필요로 한다. 이와 같이 항공기의 주기적인 검사 방법으로 비파괴검사를 수행하게 되는데, 일반적인 비파괴 검사는 방사선 투과검사(X-ray), 초음파 탐상검사 및 와전류 탐상검사 등의 장비를 사용한다. 특히, 최근에는 복합재에서 이와 같은 검사 방법보다 상대적으로 비용과 검사 시간이 적고 검사 효율을 높일 수 있는 유도 초음파(탄성파)를 이용한 검사 방법에 대한 연구가 진행되고 있다.

2. 탄성파를 이용한 손상 탐지의 개요

유도 초음파(Lamb wave, 탄성파)란 보, 파이프, 평판 등과 같이 경계 면으로 싸여 있는 구조물 매체를 따라서 전파되는 탄성파를 말하는 것으로 평판의 경우 Lamb 파가 이에 해당한다.

손상 탐지에 사용되는 탄성파는 Burst wave의 형태를 가지고 있으며, Burst wave의 주기는 측정하고자 하는 대상 및 손상 유형에 맞춰 선택된다. 손상 탐지를 위해 사용되는 탄성파는 중심 주파수에 따라 전파 속도가 변하는 멀티 모드 특성과 전파해 가는 동안 형상이 변화하는 이산 특성을 갖는다. 이러한 탄성파의 특성으로 인하여 복합재 평판에서 획득된 신호는 이산특성으로 인한 분화된 신호의 조합과 반사된 신호의 조합 그리고 S모드와 A모드가 조합되는 다양한 신호의 합으로 측정된다. 이와 같이 다양한 신호의 합으로 측정된 신호는 손상에서 반사된 신호를 명확히 구별하기 어렵다.

본 논문에서는 Actuator에서 탄성파를 송신하고 Sensor에서 신호를 수신하는 Active Sensing Method를 사용하였고 손상 전후의 신호 차이를 비교하여 손상 정보를 추출하였다. 하지만 기존의 연구결과는 기준신호와 손상신호의 차이 정보(Scattered-signal)를 비교하여 손상을 탐지하는 반면, 본 논문에서 손상 전/후의 차이 정보를 주파수 영역에서 신호의 에너지를 이용하여 신호를 분리하고, 각각 분리된 신호를 통해 손상의 위치를 탐지하였다.

3. 실험 데이터 측정과 시뮬레이션을 통한 제시한 알고리즘의 검증

제안된 알고리즘을 측정된 실험 데이터와 시뮬레이션 결과를 통해 검증하였다. 아래 그림(5)는 시뮬레이션 데이터에서 신호 정보를 획득하고 본 논문에서 제안한 알고리즘을 적용하여 손상 위치를 탐지한 결과이다. 시뮬레이션은 유한요소해석으로 진행하였으며, 상용 프로그램으로 ABAQUS 6.10을 사용하였고 Dynamic Implicit 방법을 적용하였다. 또한 그림(6)은 실험을 통해 획득된 데이터를 제안한 알고리즘을 적용하여 손상 위치를 탐지한 결과이다. 실험 장비는 자체 구성한 장비와 상용 제품인 Acellent사의 장비를 이용하여 실험 데이터를 획득하였다.

실험에 사용된 복합재 평판에서 탄성파의 속도를 측정된 결과, 복합재의 적층 방향에 따라 강성이 달라지고 이로 인해 탄성파의 속도가 변함을 확인하였다.

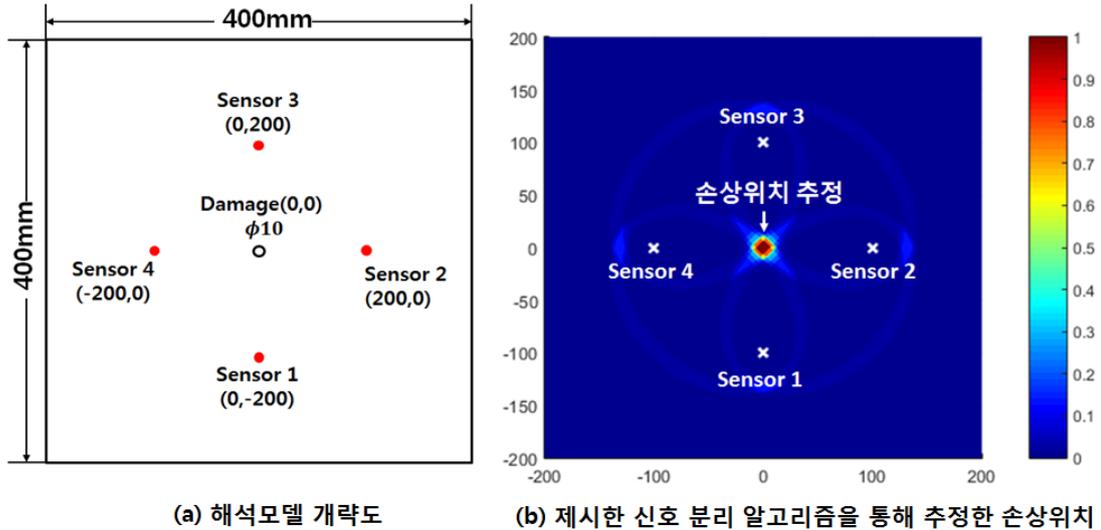


Fig. 5. 시뮬레이션 데이터에서 손상 위치를 추정된 결과

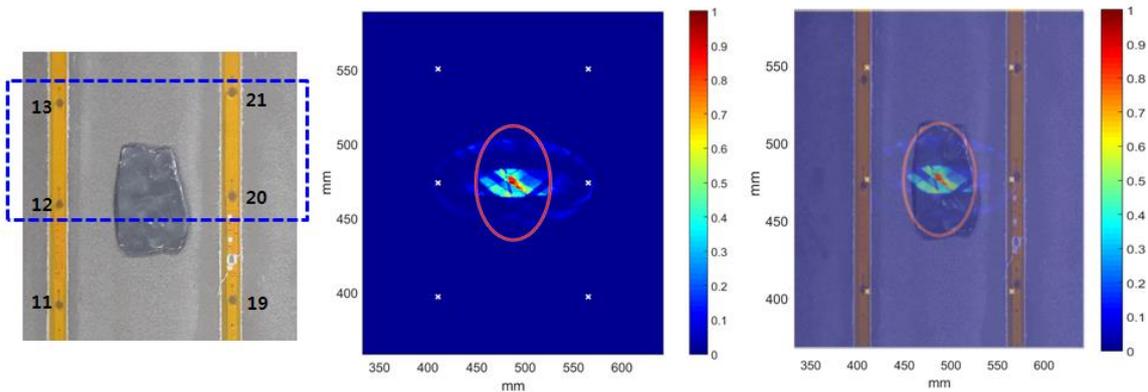


Fig. 6. 손상을 모사한 실험 데이터 분석을 통해 손상 위치를 추정된 결과

4. 결론

본 논문에서는 손상 탐지에 사용되는 탄성파의 특성을 반영하고, 주파수 영역에서 신호의 에너지를 이용하여 잡음의 크기를 줄일 수 있는 잡음 제거 알고리즘과 신호의 위상,진폭,주파수 변화를 찾아내어 신호를 분리할 수 있는 신호 분리 알고리즘을 제안하였다. 또한 이를 통해 손상 위치를 탐지 할 수 있음을 시뮬레이션 결과와 실험 결과를 통해 검증하였다.

본 논문에서 제안한 알고리즘은 기존의 방법과는 다르게, 신호를 분리하여 손상을 거치는 정보를 직접적으로 찾아낸다. 이는 신호 분리를 통해 손상을 거치는 신호와 반사된 신호 그리고 그 외 잡음

등을 구별할 수 있게 해 준다. 본 연구의 결과는 손상을 직접 판단할 수 있는 정보를 제공할 수 있기 때문에, 분리된 신호에 적합한 가시화 알고리즘의 개발과 복합재 평판의 각 방향별 속도를 반영할 수 있는 가시화 알고리즘의 개발이 이루어진다면 손상 탐지의 정확도를 높일 수 있을 것으로 판단된다.