

구조물 건전성 모니터링을 위한 하이브리드 시간-반전기법 Hybrid Time-Reversal Method for Structural Health Monitoring

이우식† 김대환* 전용주**
Usik Lee Daehwan Kim Yongju Jun

ABSTRACT

This paper proposes a new baseline-free TR-based SHM method in which the time-reversal (TR) property of the guided Lamb waves is utilized. The new TR-based SHM method has two distinct features when compared with the other existing SHM techniques: (1) The measurement-based backward TR process is replaced by the computation-based process (2) In place of the comparison method most commonly used for SHM, the TOF information of the damage signal extracted from the reconstructed signal is utilized for the damage diagnosis. For the damage diagnosis, the imaging method is adopted to efficiently detect damage by representing the damage as an image. The proposed TR-based SHM technique is then validated through the damage diagnosis experiment for an aluminum plate with a damage at different locations.

1. 서론

건축물, 교량, 원자로, 연료 탱크, 기계설비, 자동차, 선박, 철도, 항공기, 우주왕복선 등과 같은 다양한 구조물에 균열이나 결함과 같은 손상(damage)이 발생하면 구조물이 파괴되는 심각한 사고가 발생할 수 있다. 따라서 이러한 구조물에 발생한 손상을 조기에 진단하고 평가하여 그 결과를 바탕으로 보다 경제적이고 효율적인 보수·관리 계획을 수립하여 운영함으로써 불시의 고장, 사고 및 재난을 예방하고 이로부터 엄청난 경제적·사회적 이익을 도모하기 위한 다양한 노력이 선진국에서 이미 오래 전부터 이루어지고 있다 [1]. 이와 관련하여 구조물에 발생한 손상을 보다 정확하고 효율적으로 검출하고 구조물의 건전성을 보다 효율적으로 모니터링 하기 위한 SHM(structural health monitoring) 기술을 개발하기 위한 연구가 최근 활발히 이루어지고 있으며, 비교적 최근에 기준데이터를 사용하지 않고 유도초음파(guided wave)인 Lamb파의 시간-반전(TR, time reversal) 특성을 이용하여 손상을 검출하기 위한 SHM 기술이 문헌 [2-5]에 발표되고 있다. 기존의 대부분 TR-기반 SHM 기술 [2-5]에서는 대부분 TR과정의 전진과정(forward process)과 후진과정(backward process)을 모두 실측과정으로 수행하였다. 대부분의 소요시간이 응답신호를 시간-반전시킨 후 재송신하는 후진과정에서 소요되기 때문에 이를 극복하기 위한 대안이 요구되고 있다. 따라서, 본 연구에서는 기존의 대부분 TR-기반 SHM 기술에서와는 달리 TR과정의 후진과정을 전진과정에서 구한 응답신호(response signal)와 전달함수(transfer function)를 이용하여 전산으로 수행하는 새로운 방법을 제안하고 알루미늄 평판에 대한 손상검출 실험을 수행하였다.

2. 이론적 배경

Fig. 1은 기존의 대부분 TR-기반 SHM 기술에서 사용해온 Lamb파의 TR과정을 보인다. 즉, 구조물(평

† 정회원, 인하대학교, 기계공학과 교수

E-mail : ulee@inha.ac.kr

TEL : (032)860-8780

* 인하대학교 대학원 기계공학과 석사과정

** 인하대학교 대학원 기계공학과 석사과정

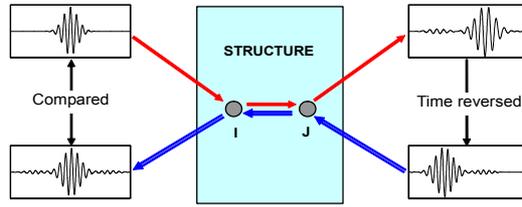


Fig. 1 Conventional time reversal process

판)의 한 위치(I점)에 입력신호를 가하여 Lamb를 발생시킨 다음 다른 위치(J점)에서 전파되어 오는 Lamb파 신호를 측정한다. 이 첫 번째 과정을 전진(forward)과정이라 한다. J점에서 측정된 응답신호를 저장하여 처음과 끝을 완전히 거꾸로 뒤집어서 새로운 신호를 만드는데 이를 TR이라 한다 [8]. TR처리된 응답신호를 입력신호로 사용하여 J점에 가하면 새로운 Lamb파가 발생하여 전파된다. 이때 초기 가진점인 I점에서 전파되어 오는 Lamb파를 측정하여 저장하고 이 신호를 재생신호(reconstructed signal)라 한다. 이 두 번째 과정을 후진(backward)과정이라 한다. 기존의 대부분 TR-기반 SHM 기술에서는 전진과정과 후진과정을 모두 실측과정으로 수행하였다.

본 연구에서는 후진과정을 실측으로 수행하는 어려움을 극복하기 위하여 구조물내의 유도초음파가

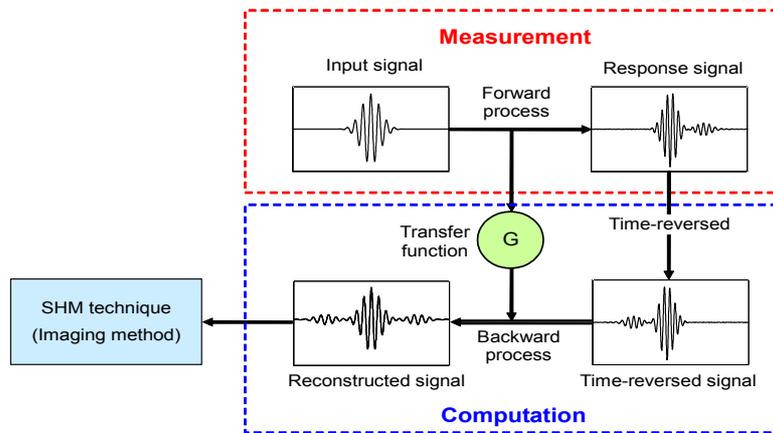


Fig. 2 Newly proposed hybrid time reversal process

갖는 상호성 특성(reciprocal property)을 이용하여 Fig. 2에 보인 바와 같이 후진과정을 전산과정으로 수행하는 새로운 TR-기반 SHM 기술을 제안하였다.

Fig. 2에 보인 바와 같이 전진과정은 실측으로 수행하고 후진과정은 실측 데이터로부터 구한 전달함수 G 를 이용하여 전산과정으로 수행하여 손상검출에 사용할 재생신호를 산출하였다. 그 이후의 과정은 기존의 연구에서 사용한 방법에 따라, 재생신호로부터 손상신호를 추출하여 이로부터 손상을 이미지로 나타내어 검출하는 이미징 기법을 적용할 수 있다.

3. 손상검출 실험 및 결과

Fig. 3에서 왼쪽의 그림은 알루미늄 평판을 사용한 손상검출 실험을 위한 실험 장치도를 나타낸다. 손상검출 실험을 위하여 평판 상에 발생한 손상을 모사하기 위한 방법으로써 질량을 본드로 부착하였다. 구조물에 발생한 손상은 하나인 것으로 가정하였으며 손상의 발생 위치는 Fig. 3의 오른쪽 그림에 보인 바와 같이 세 곳으로 정하였다. 질량(즉, 손상)의 위치를 검출하기 위하여 4개의 PZT를 사용하여 실험하였다.

Fig. 4는 손상검출 실험을 통해 얻은 손상 검출의 결과이다. Fig. 3의 오른쪽에 보인 질량(손상)의 위치 세 곳을 모두 성공적으로 검출하고 있음을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 기존의 대부분 TR-기반 SHM 기술에서와는 달리 TR과정의 후진과정을 전진과정에서 구한 전달함수를 이용하여 전산과정으로 대체하여 수행하는 새로운 방법을 제안하고 이를 알루미늄 평

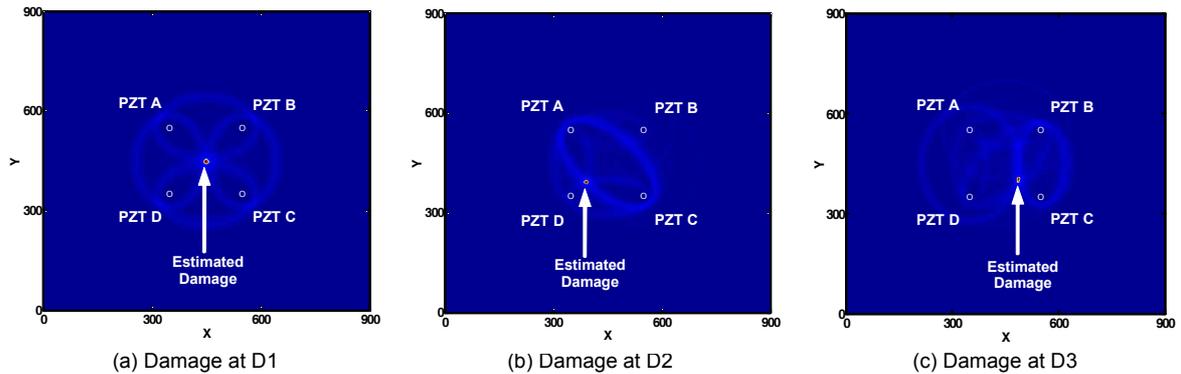


Fig. 4 Damage diagnosis results

판에 대한 손상검출 실험을 통해 검증하였다.

참고문헌

1. R. J. Hansen, D. L. Hall and S. K. Kurtz, "A new approach to the challenge of machinery prognostics," Journal of Engineering Gas Turbines and Power, Vol. 117, pp. 320-325, 1995.
2. H. W. Park, H. Sohn, K. H. Law and C. R. Farrar, "Time reversal active sensing for health monitoring of a composite plate," Journal of Sound and Vibration, Vol. 302, pp. 50-66. 2007.
3. H. Sohn, H. W. Park, K. H. Law and C. R. Farrar, "Damage detection in composite plates by using an enhanced time reversal method," Journal of Aerospace Engineering, Vol. 20, No. 3, pp. 141-151, 2007.
4. H. Sohn, H. W. Park, K. H. Law and C. R. Farrar, "Combination of time reversal process and a consecutive outlier analysis for base-line free damage diagnosis," Journal of Intelligent Material Systems and Structures, Vol.18, No. 7, pp. 335-346, 2007.
5. S. B. Kim and H. Sohn, "Application of time-reversal guided waves to field bridge testing for baseline-free damage diagnosis," Proc. of the SPIE International Symposia, Smart Structures & Materials and Nondestructive Evaluation for Health Monitoring and Diagnosis, San Diego, CA., 2006.

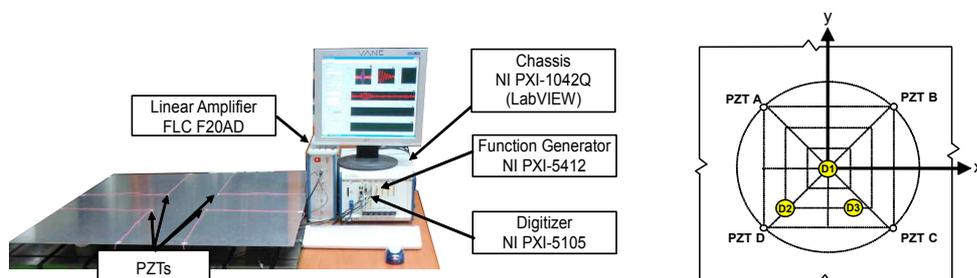


Fig. 3 Experimental set-up