1998년도 한국음향학회 학술발표대회 논문집 제 17 권 제 2(s) 호

이중 접합된 유리판에서의 비선형 음향 효과

정경일, 윤석왕
성균관대학교 물리학과 음향학연구실

Nonlinear Acoustic Effect in Two-glass-plate Layers

Kyung-il Jung, Suk Wang Yoon
Acoustics Research Laboratory
Department of Physics, Sung Kyun Kwan University

요 약

입사된 음파에 대한 배진동의 발생이 물체내 결함이 존재할 때에 나타나는 중요한 비선형 효과라는 것을 이용하여 단순화된 실험실 조건의 겹쳐진 두 장의 유리판에 적용하였다. 본 논문에서는 층상 접합 물체에 있어서의 비파괴 검사법을 위해 접합되지 않은 부분은 두 장의 유리판 사이의 공기 층으로 단순화되었고, 접합되어진 부분은 물 층으로 간주하여 실험을 진행하였고 서로 다른 조건의 두 접합 부분으로부터 발생된 주파수 응답을 관찰하였다. 결과로써 입사된 음파에 대한 배진동의 발생이 공기층에서 두드러지게 나타났지만, 물층에서는 배진동의 발생이 억제되었다. 이 결과로부터 배진동의 발생은 이차원적인 겹쳐진 물체에도 적용 가능함을 알 수 있었다.

1. 서 론

비파괴 검사법은 물체에 손상을 주지 않고 물체의 안전성을 검사할 수 있는 방법이다. 결함의 유, 무를 조사하는 것은 구조물의 안정성을 미리 예견할 수 있으므로 매우 중요하다. 현존하는 선형적인 비파괴 검사방법으론 단순히 입사된 음파가 물질내에 존재하는 결함으로 인하여 산란되고 반사되는 신호를 관찰하는 펄스 에코 방식이 주를 이루고 있다. 그러나 기존의 선형적 비파괴 탐사법으로는 결함에 의한 신호와 물질 자체의 비선형성으로부터 나타나는 신호를 구분하기가 힘들고 판별 가능하다 하더라도 판과 같은 형태의 범위가 넓은 물체인 경우는 많은 시간을 요하게 된다[1]. 비선형 음향 탐사법은 입사된 음파가 물체 내부의 비선형적 반응을 유발하는 다공성, 균열, 전위 등과의 상호작용으로 인해 왜곡되어 반사되거나 산란된 음파가 변하게 되는 원리를 이용한다. 비선형 음향 탐사법은 기본파의 배진동 발생, 고주파수 음파와 저주파수 음파의 상호 작용에 의한 결합 주파수 발생인 주파수 변조(frequency modulation), 그리고 반주파수(subharmonic)등의 비선형 현상이 나타나는 원리를 이용하여 시료의 균열을 진단하는 방법으로써, 단순히 펄스 형태의 입사 음파가 균열 등에 의해 반사나 산란되는 신호를 관찰하는 선형 음향 탐사법과는 명확하게 구분된다[2-4].

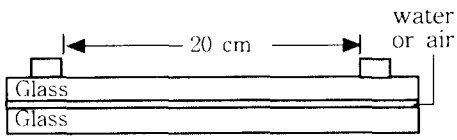
적층 구조로 접합되어진 물체의 사용은 산업현장에서 가볍고 강한 성질로 인하여 매우 중요한 역할을 차지하고 있다. 이런 물체에서 보이지 않는 비접합 부분의 존재는 전체 구조물에 커다란 악영향을 미칠 수 있다. 기존에 금속에 사용되던 비파괴 탐사법은 접합되어 있지 않은 부분에서 나타나는 미약한 신호와 물체 자체에서 나타나는 비선형성으로 기인된 산란된 신호를 구

별해 내기가 매우 힘들다[5].

본 논문에서는 일차원적인 물체에서 실행되었던 실험 결과로부터[6] 이차원적인 관 형태의 물체에 비선형 비파괴 음향 탐사법을 적용하기 위한 일차적 연구로써 접합된 물체에서 나타날 수 있는 비선형적 반응을 살펴보았다. 겹쳐진 두 장의 유리관에서 나타나는 입사 음파에 대한 접합면의 접착 유무로 인하여 나타날 수 있는 비선형적 반응을 물과 공기로 나타내어지는 단순화된 실험실 모델로 알아보았다.

2. 실험

2-1. 실험 장치



24.8×29.7×0.5 cm^3 glass plates

그림1. 시료의 크기 및 단순화된 접합층

air ---

water glass plate

그림 2. 수면에 유리관의 한쪽 면을 부착 시켰을 때.
- water loading

실험에 사용된 시료 그림 1과 같이 24.8×29.7×0.5 cm^3 의 유리관이다. 두 장의 유리관사이에 얇은 층은 단순화된 접합층을 나타내고 유리관들은 유리관 사이의 접합층에 대해 균일한 압력을 가하기 위하여 집게에 의해 유지되어졌다. 두 유리관 사이의 물질은 공기와 물로써, 공기는 접합되어지지 않은 상태를, 물은 접합되어진 상태를 나타낸다.

그림 3은 단순화된 접합층에 대한 반응을 알아보기 위한 실험 장치도이다. 중심주파수 140 kHz를 갖는 동일한 특성을 갖는 두 개의 원형 PZT 센서를 가지고 실험하였다. 입사 음파는 함수 발생기(function generator)를 이용하여 유리관 면에 부착된 송신 센서를 통하여 발생시켰고, 접합층에서 발생되는 신호는 유리관 면에 부착된 송신 센서로부터 20 cm 떨어진 수신 센서를 통하여 필터(filter)를 이용, 잡음을 걸러내고 sampling rate이 100 MS/s인 디지털 오실로스코프(oscilloscope)로 관측하였다.

2-2. 실험 방법

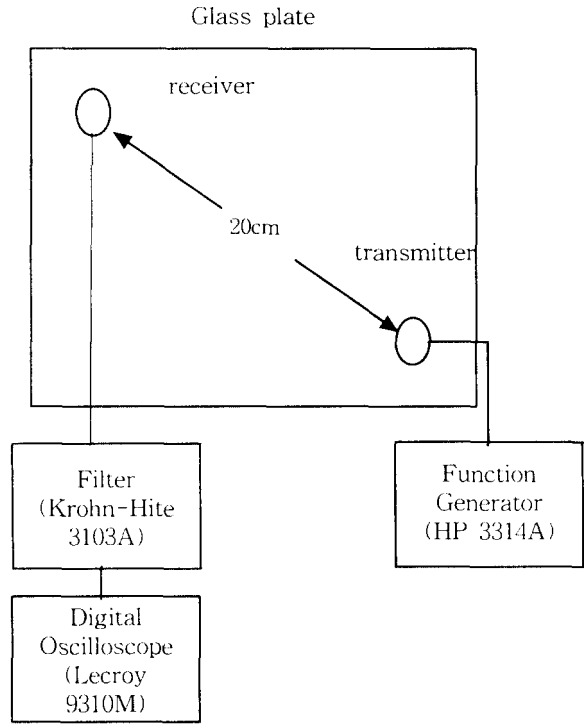


그림 2. 실험 장치

먼저 시료에서 음파의 속도를 측정하였다. 종파의 속도는 5880 m/s 이고 횡파의 속도는 3500 m/s였다. 입사 음파의 주파수는 사용된 PZT 센서를 사용하여 50kHz에서 2MHz 까지 구동시켜 센서 자체의 공진 주파수 근처로 기본 주파수와 그 배진동 주파수의 응답이 같은 주파수를 선택하였고, 유리관 자체의 두께 모드의 주파수는 접합층의 변화에 따른 반응이 아닌 두께에 따른 입사 음파의 배진동을 나타낼 수 있기 때문에 유리관 자체 모드의 영향을 피하기 위해 두께모드의 주파수는 배제하여 선택한 주파수는 90.3kHz 이다.

선정된 주파수로 접합층의 변화에 따른 수신 신호의 변화를 관측하기 위해서 우선 단일 유리관에서 측정되어지는 신호를 관찰하고, 물과 공기의 경계면 변화에서 오는 음파 전달의 변화를 관찰하기 위해 그림 2에서와 같이 유리관 한 장을 water loading시켜 시간 대역에서 파열음을 발생시켜 수신된 파형을 관찰하였고, 이때 같은 주파수의 정현음파를 연속적으로 발생시켜 수신된 신호를 FFT(Fast Fourier Trans- formation) 하여 주파수 대역에서 응답을 관측하였다.

두 장의 유리관 사이의 접합층 물질의 변화에 따른 수신 신호의 변화는 주파수 대역에서 입사된 기본 음파에 대한 배진동의 발생을 중심으로 관측되었다. 접합층

의 물질이 물일 경우와 공기일 경우 두 경우에 대해서 배진동 발생 유무를 관찰하였다.

2-3. 실험 결과 및 분석

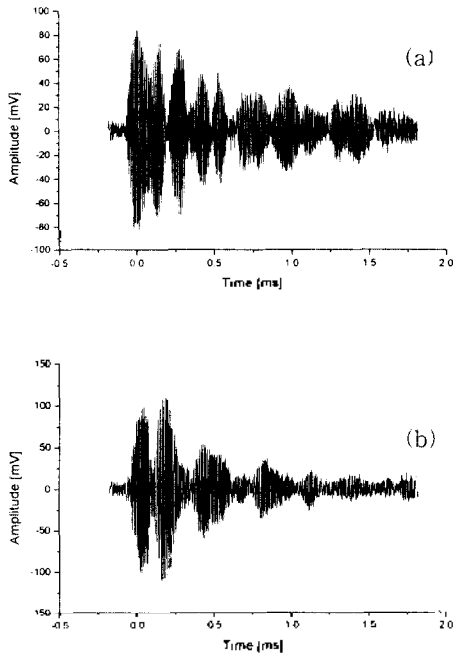


그림 4. 공기 중에서 단일 유리판에서의 수신된 파열음 (a) 90.3kHz (b) 181kHz

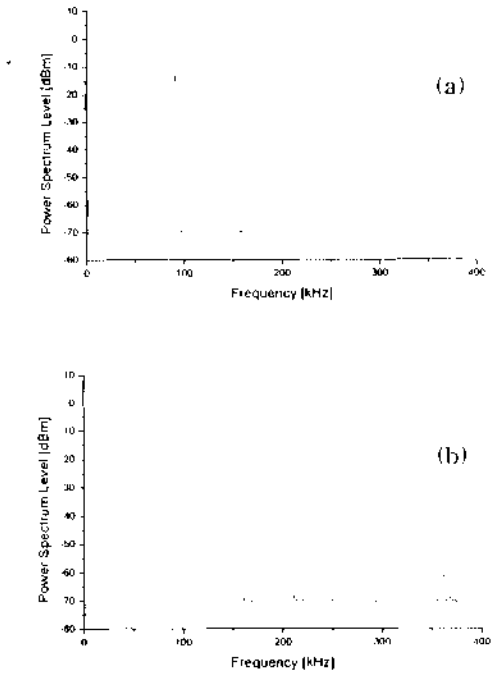


그림 5. 공기 중에서 단일 유리판에서의 수신된 주파수 응답 (a) 90.3kHz (b) 181kHz

단일 유리판에서의 입사 음파 90.3 kHz와 181 kHz의 수신된 신호를 보면 공기중에서는 그림 4에서와 같이 기본 음파와 그에 대한 배진동이 발생함을 볼 수 있다. 배진동의 크기는 기본 주파수에 비해 현저히 작게 나타난다. 그러나 water loading에서의 수신된 파열음 형태는 그림 6에서 보여주는 것과 같이 입사 음파의 흘림(leak) 현상이 발생되고 있고 그림 7에서는 전체 음압 레벨의 감소(20 dB)와 함께 전혀 배진동이 발생되고 있지 않음을 보여준다.

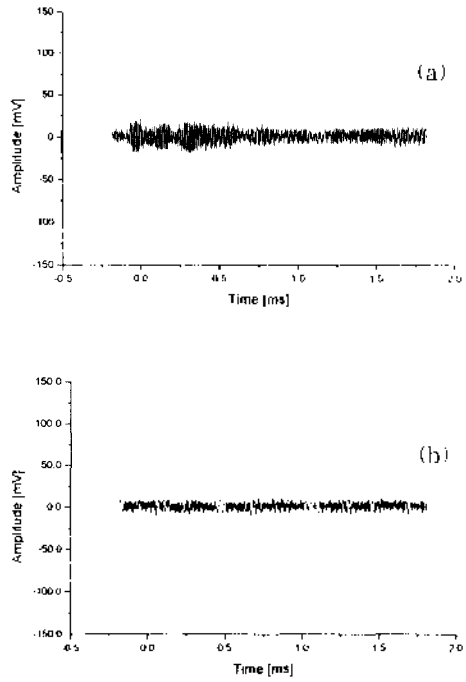


그림 6. Water loading시 단일 유리판에서의 수신된 파열음 (a) 90.3kHz (b) 181kHz

두 장의 유리판이 접합되어 있는 상태에서 접합층의 물질이 변화하는 경우 그림 8에서 보는 것과 같이 공기일 경우 기본음파의 배진동이 발생되고 있으나 물일 경우는 배진동이 발생하고 있지 않다. 그림 8 (a)에서 나타나고 있는 신호는 그림 5 (a)에서의 단일 유리판에 입사한 음파에 대한 수신된 신호의 주파수 응답과 같은 형태를 취하고 있으나 배진동의 크기가 10 dB 정도 증가했음을 알 수 있다. 이것은 센서 자체와 시료 자체의 비선형성으로 인하여 나타나는 현상 이외에 두 장의 유리판 사이의 접합층의 물질의 변화가 배진동 발생에 영향을 미친다는 것을 뜻한다. 그림 7 (b)에서 보여지는 것처럼 유리판과 물이라는 경계조건에서 나타나고 있는 현상과 같이 배진동이 발생되지 않고 있으나 기본 음파의 크기는 유지하고 있다.

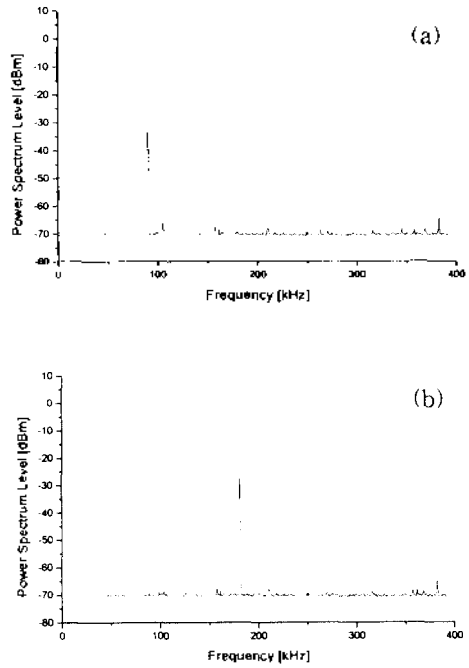


그림 7. Water loading시 단일 유리판에서의 주파수 응답 (a) 90.3kHz (b) 181kHz

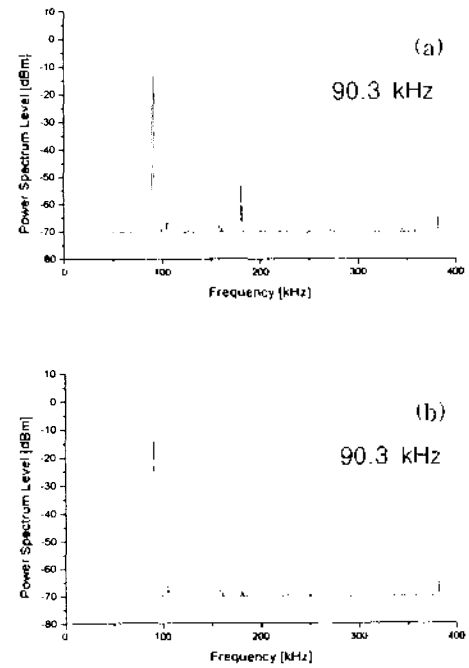


그림 8. 유리판 두 장의 접합시켰을 경우 접합층의 물질에 따른 주파수 응답. (a) 공기 (b) 물

3. 결 론

접합층 사이의 물질의 유무를 가리기 위해서 저주파대역의 정현파(sine) 형태의 연속파를 입사하여 배진동의 발생을 관찰하였다. 유리판 자체의 비선형성과 두 장의 유리판 사이의 접합층 물질의 변화에 따른 신호를 비교할 때 10 dB이상 배진동의 진폭이 증가함을 알 수 있었다. 접합층의 변화에 따른 수신 신호의 변화는 물과 공기일 때 신호를 비교하면 20 dB 이상의 배진동의 진폭이 변화함을 관찰하였다.

본 연구로부터 접합된 판형 물체에서 시료 자체의 비선형성과 경계조건의 변화에서 나타나는 반응 이외에 접합층의 변화에 의하여 입사 음파에 대한 배진동의 발생이 나타남을 알 수 있었다. 이로부터 배진동의 발생이 이차원적인 판 형태의 접합 물체에서 비접합 부분의 유무를 진단할 수 있는 유용한 도구가 될 수 있음을 제시하였다.

감사의 글

이 논문은 한국과학재단이 지원한 핵심전문연구과제 981-0209-130-2로 이루어진 연구 결과의 하나이며 지원에 감사드립니다.

4. 참 고 문 헌

[1] A. Sutin, *"Nonlinear acoustic phenomena in subsurface bubble layers and its usage for bubble measurements,"* *Breaking waves: IUTAM symposium., 223-228, (1992).*

[2] V. Antonetz, M. Slavinsky and A. Sutin, *"Nonlinear vibroacoustic methods for diagnostics of metal strength properties, fluid Mechanics, in Nonlinear Acoustics,"* (World Scientific, Singapore, 1993) 370-375.

[3] A. Sutin, *"Nonlinear acoustic diagnostics of micro-inhomogeneneous media,"* (Porc. Int. Symp., 1992) 497-506.

[4] S. Hirose, J. D. Achenbach, *"Higher harmonics in the far field due to dynamic crack-face contacting,"* J. Acoust. Soc. Am. 93(1), 142-147, (1993).

[5] Tadeusz Stepinski and Bengt Vagnhammr, *"Automatic detecting disbonds in layered structures using ultrasonic pulse-echo inspection"* www.ndt.net/article/ecndt98/aero/051/051.htm.

[6] J. P. Kim, E. J. Kim, S. W. Yoon *"Non-destructive Evaluation of flaws in solids using Nonlinear Acoustic Modulation Technique."* 한국음향학회 학술발표대회 논문집 제15권 제1(s)호 (1996).