협대역 Lamb waves를 이용한 강체의 표면 결함 검출 연구
A Study on the surface Defect Detection of steel plate, by using Narrowband Lamb waves

*한삼희[1], #강영준[2], 이승석[3], 김영길[3], 김정필[1],오정윤[1], 강신재[2], 강형수[4]
*S. H. Han[1], #Y. J. Kang(yjkang@chonbuk.ac.kr)[2] , S. S. Lee[3], Y. G. Kim[3], J. P. Kim[1], J. Y. Oh[1], S. J. Kang[2], H. S. Kang[4]
[1] 전북대학교 기계설계학과, [2]전북대학교 기계설계공학부, [3]한국표준과학연구원, [4]전주비전대학교 자동화기계과

Key words : Laser-based ultrasonics(LBU), Lamb wave, Heterodyne Interferometers, Frequency

1. 서론

유도 초음파 중 하나인 램파(Lamb waves)는 판 구조물의 비파괴 검사를 위해 효과적으로 활용되는 유도초음파이다. 구조물에 대한 종래의 초음파 탐상 검사 방법은 검사할 모든 영역에 대해 탐촉자를 스캔해야 하므로 검사에 많은 시간을 요구한다. 최근에는 빠르고 신뢰성 있는 비파괴 검사에 대한 요구가 증대되고 있다. 램파는 평판이나 쉘 구조에 따라 수 미터 거리를 전파할 수 있으며, 트랜스듀서와 수신자 사이에서 점(point)검사가 아닌 선(line)검사를 수행하므로, 램파 검사법은 2차원 스캔을 1차원 스캔으로 줄일 수 있다. 따라서 평판과 같은 구조물에 대해 빠른 검사를 수행할 수 있는 매우 효과적인 검사방법이다. 많은 연구자들은 이러한 램파의 장점을 활용하여, 평판과 같은 구조물 내 결함을 감지하는 연구를 수행해왔다.

최근에는 레이저를 이용한 초음파 발생 기법과 레이저 간섭계를 이용한 초음파의 비접촉식 측정 기술이 램파의 발생 및 감지에 적용되고 있다. 특히 레이저-여기 초음파를 이용한 램파의 발생에서는 광학적 수단에 의한 파의 방향성 조절이나, 초음파의 주파수 조절이 용이하고, 그 발생 과정이 비접촉식이라는 특징을 가지고 있다.

본 연구에서는 레이저 선 배열 조명에 의해 협대역 램파를 발생시키고, 평판 내 전파하는 레이저-여기 램파를 헤테로다인 간섭계를 이용하여 비접촉식으로 측정하고자 하였다.

또한 평판에 결함을 가공하여 결함에 따른 신호크기 및 주파수 변화를 검출하여 램파의 변화를 측정, 비교하였다.

2. 시스템의 구성

본 연구에서 구성한 시스템은 Fig. 1에서 보이는 바와 같이 고출력 Nd:YAG 펄스 레이저를 통해 램파를 발생시키고, 헤테로다인 간섭계를 사용하여 비접촉식으로 측정하는 방법이다. Fig. 3는 실제로 구성한 시스템의 사진이다.

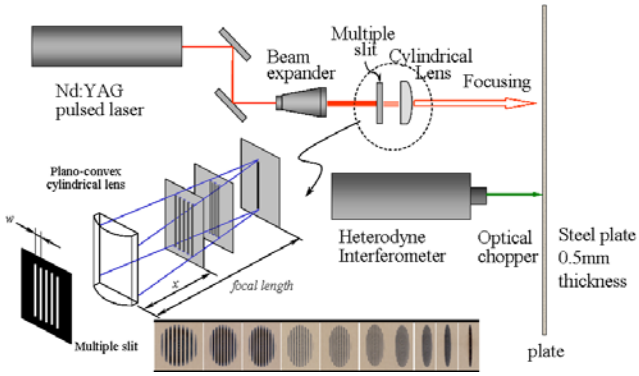

Fig. 1 Configuration of the narrowband Lamb waves generator and Heterodyne Interferometer receiver system

위 그림에서와 같이 고출력 Nd:YAG 원형 레이저 펄스를 빔 확장자(Beam expander)를 이용하여 확대하고, 폭 2mm의 다중슬릿(Multiple slit)을 사용하여 선 형태의 빔을 변형하였다. 이 선 형태의 빔은 초점거리 100mm의 실린더 렌즈(Cylindrical lens)를 지나 협대역으로 변하여 시험편 한쪽 표면에 조사하였다. 동일면 상에서 전파하는 램파를 130mm 떨어진 지점에서 헤테로다인 간섭계를 이용하여 감지하였다.

여기에서 실린더 렌즈의 위치(x)를 조절하여 시편 표면에서의 선형 빔 간격을 조정하여 발생되는 램파의 주파수를 조절시켰다.

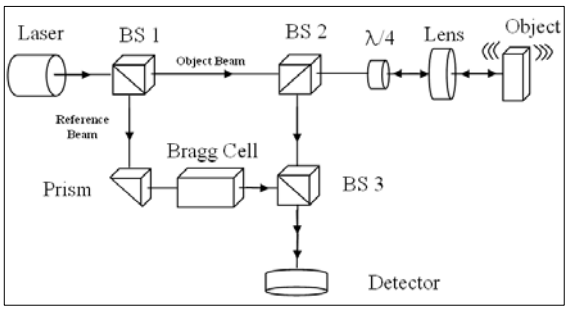

Fig. 2 Heterodyne Interferometer receiver system

위 그림은 헤테로다인 간섭계 시스템으로 시험편에서 발생한 램파에 의해 생긴 변위를 실시간으로 검출할 수 있다.

Fig. 3 Photograph of the narrowband Lamb waves generator and Heterodyne Interferometer receiver system

3. 시험편

본 연구에 사용된 시험편은 두께 0.5mm의 강판을 이용하였다. Fig. 4와 같이 시험편에 지름 2mm, 5mm, 8mm, 10mm로 구멍을 뚫어 결함을 만든 후, 결함과 동일 선상으로 레이저 송수신을 하여 결함 검출에 관한 연구를 하였다.

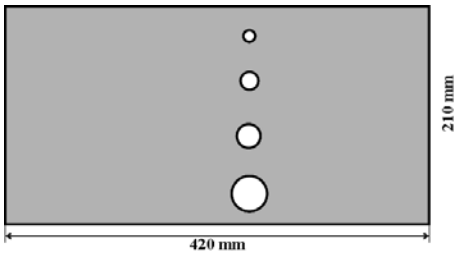

Fig. 4 Steel plate

4. 실험 및 결과

파장 1064 nm, 최대출력 650 mJ, 펄스 폭 6 ns를 갖는 Q-스위칭된 Nd:YAG 레이저를 이용한 선 형태의 변형 빔을 발생시켜 시편에 협대역 램파를 발생시키고, 발생된 램파에서 100mm떨어져 있는 지점에서 헤테로다인 간섭계를 이용하여 램파에 의한 변형을 측정하였다. 여기에 지름 2mm, 5mm, 8mm, 10mm로 결함을 가공하여 이에 의한 레이저 송수신에서의 주파수 및 진폭의 변화를 알아보았다.

램파는 Fig. 5와 같이 주파수에 따른 분산 특성을 가지므로 , 이 분산 특성을 고려하여 특정 단일 모드에 해당하는 램파를 발생시키기 위해서는 실린더 렌즈와 시편사이의 거리를 조정하여야한다. 본 실험에서는 슬릿 간 간격이 2mm인 다중슬릿을 사용하고, 렌즈와 시편사이의 거리를 22mm로 하였다.

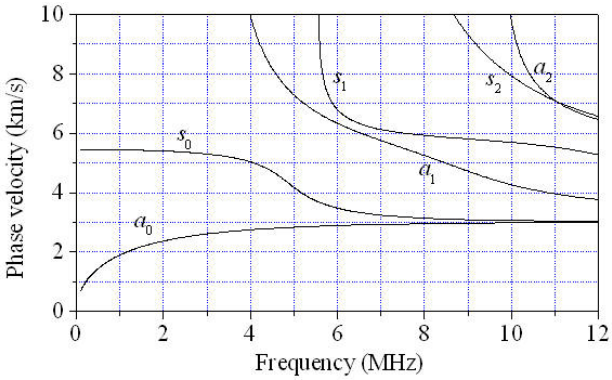

Fig. 5 Phase velocity dispersion curve for steel plate with 0.5mm thickness

Fig. 6과 Fig. 7그래프는 시편에 레이저 송수신을 하여 얻어낸 그래프이다.

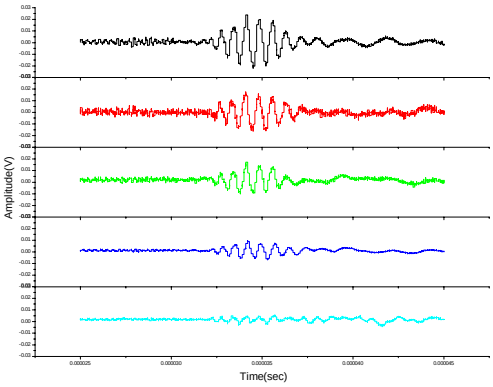

Fig. 6 Effects of holes at Waveform

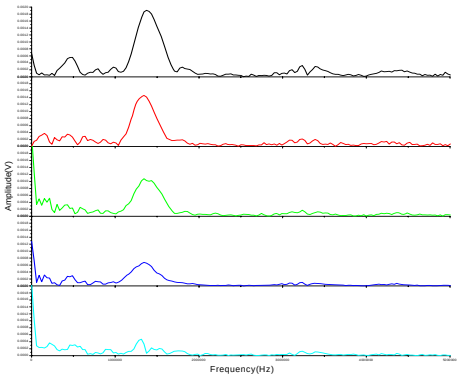

Fig. 7 Effects of holes at FFT spectrum

Fig. 6과 Fig. 7에서 맨 위 그래프는 결함이 없을 때 그래프이고, 그 밑으로 차례로 2mm, 5mm, 8mm, 10mm 결함에서의 그래프이다.

5. 결론

램파는 얇은 판 구조물에서 유용하게 쓰일 순 있지만, 파형이 여러 모드의 중첩과 각 모드의 주파수에 따른 분산 특성으로 인해 해석하기 복잡하여, 램파의 적용이 어렵게 만든다. 본 연구에서는 레이저 선 배열 조명에 의해 파장 분포를 협대역으로 만들어 좁은 영역에서의 분산 특성을 갖도록 함으로써, 특정 단일 모드에 해당하는 램파를 발생시켰다.

이 발생된 램파를 이용하여 결함 크기에 따른 주파수 및 진폭의 변화를 관찰하였고, 결함에 의해 진폭의 값이 감소함을 찾을 수 있었다. 또한 결함에 크기가 커짐으로써 급격한 변화를 관찰할 수 있었다.

레이저 송수신을 이용하여 다양한 램파의 모드를 찾고, 모드에 맞는 해석을 하여 램파를 이용한 판 구조물에서의 연구를 해보야 할 것이다.

6. 후기

이 논문은 2007년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2007-00467)

참고문헌

1. H. Lamb, "The Flexure of an Elastic Plate", Proceedings of London Mathematical Society, pp.85~90, 1989.

2. Alleyne, D.N., and Cawley, P., “The interaction of Lamb waves with defects”, IEEE Trans. Ultrason. Ferroelect., Freq. Cont., Vol. 39, No. 3, pp. 381-397, 1992.

3. Pierce, S.G., Culshaw, B., Philp, W.R., Lecuyer, F., and Farlow, R., “Broadband lamb wave measurements in aluminium and carbon/glass fiber reinforced composite materials using non-contacting laser generation and detection”, Ultrasonics, Vol. 35, pp. 105-114, 1997.

4. Wilcox, P.D., Dalton, R.P., Lowe, M.J.S., and Cawley, P., “Mode and transducer selection for long range Lamb wave inspection”, Key Engineering Materials, Vols. 167-168, pp. 152-161, 1999.

5. 이승석, 장태성, “레이저 유도 초음파에 대한 이해”, 비파괴검사학회지, 제22권, 제1호, pp. 74-87, 2002.

6. 장태성, 이정주, 이승석, “레이저-여기 램파의 비접촉식 측정에 관한 연구”, 2002 한국비파괴검사학회 춘계학술발표회 논문집, pp. 97-102, 2002.