

레이저 유도 초음파를 이용한 비 접촉식 물성 측정에 관한 연구

A study on the non-contacted measurement of Properties by using Laser based Ultrasonic

*김정필¹, #강영준², 이승석³ 김영길³ 강신재², 강형수⁴, 한삼희¹

*J. P. Kim¹, #Y. J. Kang(yjkang@chonbuk.ac.kr)², S. S. Lee³, Y. G. Kim³, S. J. Kang², H. S. Kang⁴, S. H. Han¹

¹ 전북대학교 기계설계학과, ² 전북대학교 기계설계공학부, ³ 한국표준과학연구원 ⁴ 전주비전대학 자동화기계과

Key words : heterodyne interferometer, laser based ultrasonic, elastic modulus

1. 서론

고출력의 펄스레이저를 불 투명한 재료의 표면에 조사할 때 레이저를 흡수한 재료의 표면에서 상 변화가 발생하기도 하고 재료가 폭발하여 기체가 발생할 때 나타나는 발광이 관찰되기도 한다. 비파괴 검사를 목적으로 한 경우에는 재료의 상 변화가 일어나지 않도록 국부 가열을 통해서 열탄성 효과에 의해서 탄성파를 재료내에 전파시키는 방법을 사용한다.[1,2] 이렇게 발생한 초음파에 대해서 PZT 등을 이용한 수신 방법이 주로 사용 되었으나 현재에 와서 마이켈슨(Michelson), 헤테로다인(heterodyne), 사냐크(sagnac) 간섭계 등 레이저를 이용한 수신 시스템이 개발 되었다. 초음파를 이용하여 재료의 내부 결함 검출, 물성평가, 탄성파의 전파 연구 등이 가능하다. 재료에서 종파(longitudinal wave)와 횡파(shear wave)의 도달 시간을 이용하여 탄성계수(elastic constants)와 프와송비 등 재료의 물성을 검출 할 수 있다. 종파와 횡파의 진행 방향에 따른 물성을 측정하고 비교를 해보고자 한다. 이를 위해 비접촉식 헤테로다인 간섭계를 이용하여 레이저 유도 초음파의 신호를 분석하고 재료의 물성 측정에 관한 연구를 하였다. [1,4]

2. 원리

2.1 레이저 초음파 송수신 원리

적당한 진폭과 주파수 범위(100 kHz~10 MHz)의 초음파를 발생시키기 위해서는, 펄스 길이 50 ns 이하의 Q-스위칭된 펄스 레이저를 사용한다. 레이저 입사에 의해 비파괴 검사 및 평가에 적당한 초음파 신호의 변위 진폭을 얻기 위해서는 수~수십 MW 수준의 레이저 출력이 필요하다. 출력 밀도 10 MW/cm² 이하의 저 출력 펄스 레이저의 입사에 대해서는 순간적 가열, 열과 및 탄성파의 발생이 일어난다. 수신은 CW 레이저를 이용한 레이저 간섭계를 사용한다. 레이저 간섭계는 표면의 수직 변위를 비접촉식으로 감지 및 절대량 측정이 가능한 장점을 가지고 있다. Fig. 1은 레이저 초음파 송수신 시스템에 관한 개념도이다. 실험에는 Nd:YAG 펄스 레이저(1064 nm)가 사용되었으며 500 mJ의 출력을 가지고 있다. 또한 수신을 위해서는 헤테로다인 간섭계를 사용하였다. 헤테로다인 간섭계는 헬륨네온 레이저(633 nm)를 사용하였다. 레이저 출력은 1 mW 이하이다.[3,5]

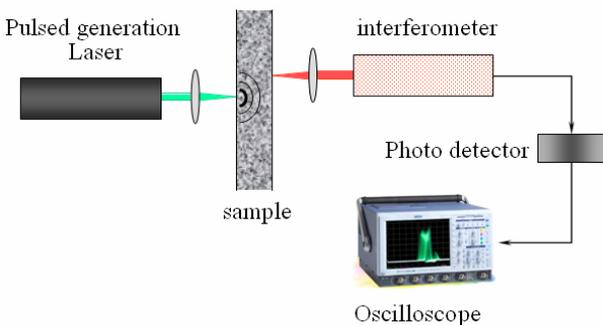


Fig. 1 Concept of laser based ultrasonics

2.2 종파와 횡파 속도 측정

Fig. 2와 같이 가진시키는 부분과 반대편에서 수신하여 초음파의 종파와 횡파를 측정한다. 종파와 횡파의 전파 세기가 방향에 따라 다르기 때문에 θ 를 0, 33, 45, 60으로 바꿔가면서 측정하였다. 특히 횡파를 수신할 수 있는 위치가 제한적이기 때문에 기존의 연구 결과를 참조하여 실험을 설계 하였다. 노이즈 제거를 위해서 Average 방법을 사용하였으며 200~300회를 평균 하였다.

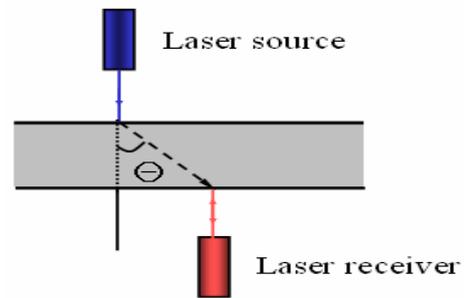


Fig. 2 Configuration for ultrasonics measurements.

2.3 탄성계수 측정

초음파의 종파(longitudinal wave)와 횡파(shear wave)의 속도를 측정하여 탄성계수 및 프와송비를 구할 수 있다. 이미 PZT를 이용하여 증명된 방법이다. 그 관계식은 다음과 같다. 종파속도 = c_1 , 횡파속도 = c_2 이고 $k = c_1/c_2$ 이다.[1,3]

Young's modulus : $Y = \rho c_2^2 (k^2 - 2)$ -----(1)

Poisson's ratio $\nu = (2 - k^2)/(2 - 2k^2)$ ----(2)

Shear modulus $\mu = \rho c_2^2$ -----(3)

Bulk modulus $B = \rho c_2^2 (k^2 - 4/3)$ -----(4)

3. 시험편

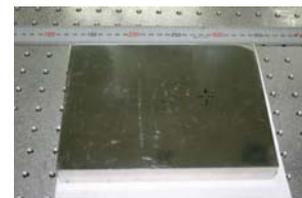


Fig. 3 Steel specimen

재질 : 303 stainless steel
 밀도 : 7.84 g/cm³
 크기 : 200 mm × 150 mm × 2.96 mm
 표면 처리 : polishing

4. 실험 및 결과

수신 위치를 변경해 가면서 초음파를 측정하였다.

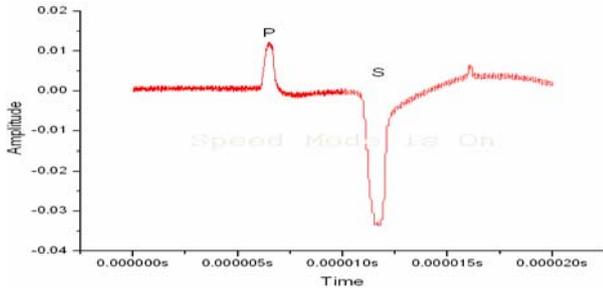


Fig. 4 Experimental results of 33 Degree

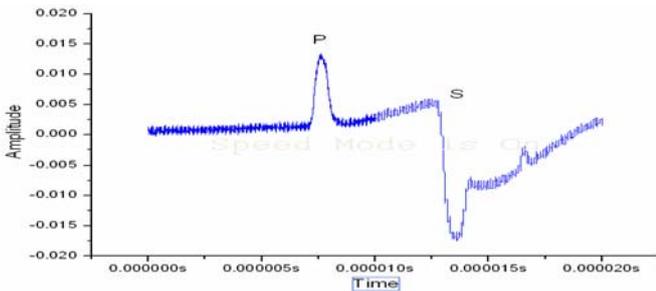


Fig. 5 Experimental results of 45 Degree

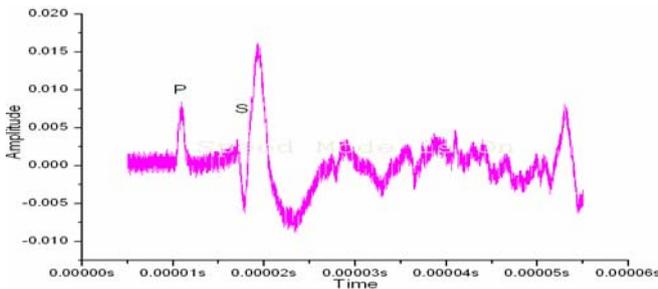


Fig. 6 Experimental results of 60 Degree

Fig. 4~6 에서 종파와 횡파가 정확하게 검출되는 것을 확인 할 수 있다.

Table 1 Velocities of ultrasonics

	Longitudinal wave (m/s)	Shear wave (m/s)
33 Degree	5461	3067
45 Degree	5537	3123
60 Degree	5433	3345

Table 1 과 같이 종파와 횡파 속도를 측정되었다. 종파는 약 5477 m/s, 횡파는 약 3178 m/s 이다. 이를 이용하여 재료의 물성을 구해보면 다음과 같다.

Table 2 Results of Properties vs SUS 303

	Young's modulus (GPa)	Poisson's ratio	Shear modulus (GPa)	Bulk modulus (GPa)
33 Degree	187.24	0.269	73.7	135.45
40 Degree	193.75	0.266	76.5	138.21
60 Degree	209.81	0.195	87.7	144.59
SUS 303	193	0.250	77.2	128.6

실험 결과와 같이 종파는 모든 방향으로 전파가 잘되나 횡파가 30~45 도 사이에서 전파가 잘 되기 때문에 60 도로 전파 방향을 준 것은 그 값이 다른 것과 차이가 난다. 횡파의 전파 크기가 가장 큰 33 도 보다 45 도의 결과 값이 실제값과 비슷함을 알 수 있었다. Shear modulus 와 poisson's ratio 값은 실제값과 비슷하게 측정 되었지만 Bulk modulus 의 값은 큰 차이를 보였다.

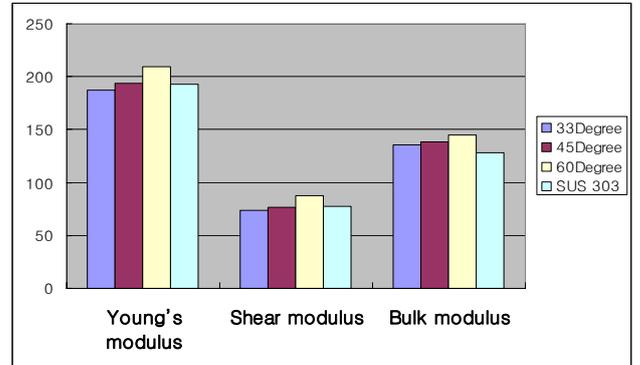


Fig. 7 Comparison of result data

5. 결론

식(1)~(4)는 이미 PZT 방법으로 검증된 것이다. 이 연구에서는 횡파의 강도가 강한 33 도 위치와 다른 위치의 물성을 측정하여 비교 하였다. Fig. 7 에서와 같이 측정된 물성 값이 각이 커짐에 따라 조금씩 증가됨을 알 수 있었다. 물론 프와송비는 예외적으로 줄어들었다. 또한 SUS 303 의 물성 값과 크게 다르지 않음을 알 수 있었다. 레이저 유도 초음파를 이용한 비접촉식 물성 측정방법이 신뢰도가 높고 좀더 정확한 data 확보를 위해 펄스 레이저의 직경크기를 작게하고 수신 센서와의 거리를 정확하게 측정할 필요가 있다. 이와 같은 방법을 활용하여 물성 측정은 물론, 결함의 검출, 결장 크기 측정 등에 다양하게 쓰일 것이라 판단 된다. 비접촉식 방법이라는 장점을 살려서 고온 물성에 대한 부분에 연구를 해야 할 것이다

후기

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

참고문헌

1. C. B. Scruby and L.E. Drain. "Laser ultrasonics : techniques and applications", Adam-Hilger, New York, 1990
2. 이승석, 장태성, "레이저 유도 초음파에 대한 이해", 비파괴검사학회지, Vol. 22, No. 1, pp.77~87, 2002
3. 강영준, 노경완, 박상규 "준 헤테로다인 간섭법을 이용한 평판 충격파의 정량화에 대한 실험적 연구" 대한기계학회논문집 A 권, 제 23 권 제 1 호, pp. 1~10, 1999
4. Kallyan K. Phani and Dipayan Sanyal " A New Method for Estimation of Elastic Properties of Sintered Iron Power Compacts from Ultrasonic Longitudinal Velocity" IEEE TRANSACTIONS ON ULTRASONICS, FERROELECTRICS, AND FREQUENCY CONTROL, VOL. 55, No. 1, JANUARY 2008
5. 장태성, 이정주, 이승석, " 레이저 선 배열을 이용한 레이저-여기 표면 탄성파의 발생 및 주파수 특성", 비파괴검사학회 추계 학술