

레이저 유도 초음파와 RUS 실험을 통한 물성측정 신뢰도 비교

The Comparison of the Material Properties by Using Laser Based Ultrasonic and RUS

*한삼희¹, #강영준², 이승석³, 김영길³, 이재훈¹, 김성종¹
 *S. H. Han¹, #Y. J. Kang(yjkang@chonbuk.ac.kr)², S. S. Lee³, Y. G. Kim³, J. H. Lee¹
¹ 전북대학교 기계설계학과, ²전북대학교 기계설계공학부, ³한국표준과학연구원

Key words : Laser-Based Ultrasonics(LBU), Resonant Ultrasound Spectroscopy(RUS), Heterodyne Interferometers, Material Properties

1. 서론

레이저 유도 초음파(Laser-Based ultrasonics, LBU) 방법은, 고출력 레이저 펄스를 고체 표면에 입사시켜 수 MHz 대역의 초음파를 원격 발생시키고, 그 초음파를 레이저 간섭계 수신 시스템에 의해 비접촉식으로 측정하는 비파괴 검사 방법이다. 레이저 유도 초음파 방법은 결함 검출뿐만 아니라 물성 측정에도 이용할 수 있다. 하지만 레이저 유도 초음파를 이용한 물성측정은 송수신이 비접촉식이기 때문에 재료의 물성 값의 신뢰도가 여부가 중요하다.

이를 위해 초음파를 이용한 물성측정 방법 중 하나인 공진 초음파 분광기(Resonant Ultrasound Spectroscopy, RUS)를 사용하여 비교 연구하였다. RUS는 초음파로 시편을 가진하여 공진 주파수를 추출하여 이론적으로 계산된 공진 주파수 값과 비교를 통해 탄성계수를 결정하는 실험 방법이다.

본 연구에서는 비접촉식 헤테로다인 간섭계(Heterodyne Interferometers)를 이용하여 레이저 유도 초음파의 신호를 분석하여 재료의 물성 값을 측정하고, 같은 재료를 RUS 실험 장비인 QUASAR International Inc. 사의 RUSpec 모델을 사용하여 재료의 물성 값을 측정한 후, 두 실험값의 신뢰도를 비교 연구하였다.

2. 시스템의 구성

2.1 레이저 유도 초음파 (LBU)

본 연구에서 구성한 레이저 유도 초음파(Laser-based ultrasonics, LBU) 방법은 Fig. 1에 보이는 바와 같이 Nd:YAG 펄스 레이저에서 500mJ의 출력을 가진 레이저 빔을 조사하여 초음파를 발생시키고, 헬륨네온 레이저(633 nm)를 사용하는 헤테로다인 간섭계 시스템을 이용하여 비접촉식으로 초음파 신호를 측정하는 검사 방법이다.

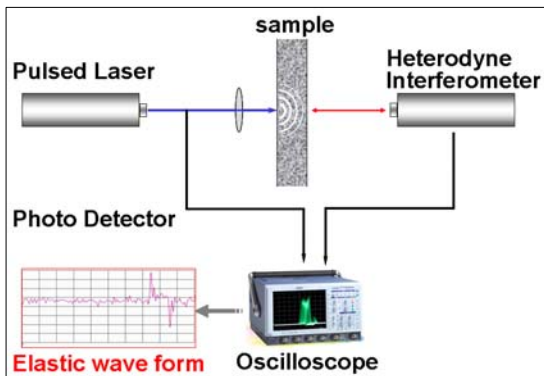


Fig. 1 Concept of Laser-Based Ultrasonics System

Fig. 2는 실제 실험 사진이다.

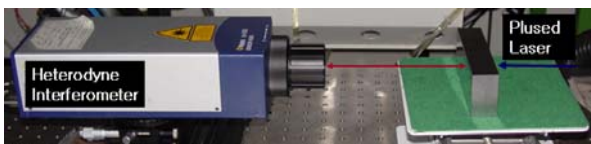


Fig. 2 Photograph of Laser-Based Ultrasonics System

2.2 공진 초음파 분광기 (RUS)

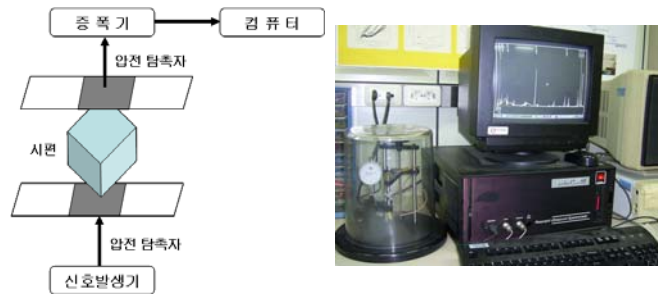


Fig. 3 Schematic and Picture of RUS System

레이저 유도 초음파 시스템의 실험과 비교하기 위하여 공진 초음파 분광기(RUS)를 사용하였다. RUS는 시편을 압전 소자의 센서 사이에 고정시키고, 압전 센서를 통해 시편을 가진시키고, 증폭되어 나오는 전압 값의 주파수 분포로부터 공진주파수를 찾게 된다. Fig. 3은 실험장치의 구성도와 실제 사진을 보여준다.

Fig. 4의 흐름도에 보인 바와 같이 시편의 형상과 밀도 조건 및 예상되는 탄성계수를 입력하여 이론적인 공진 주파수를 얻고, 이 두 공진 주파수를 비교, 반복 계산하여 오차를 최소화하기 위한 최적화를 수행하면 초기에 가정된 시편 구조에 일치하는 탄성계수 행렬을 얻을 수 있게 된다.

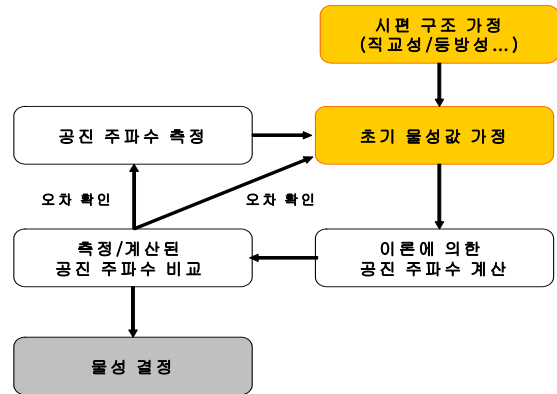


Fig. 4 Schematization of the material properties by using RUS

2.3 물성 측정의 이론식

레이저 유도 초음파 시스템의 실험을 통해 얻은 종파와 횡파의 속도를 측정하여 탄성계수 및 프와송비를 구할 수 있다. 그 관계식은 다음과 같다. 종파 속도 = c_1 , 횡파속도 = c_2 , $k = c_1/c_2$, ρ 는 밀도 라 할 때,

$$\text{Young's modulus} : E = \rho c_2^2 (4 - 3k^2) / (1 - k^2)$$

$$\text{Poisson's ratio} : \nu = (2 - k^2) / (2 - 2k^2)$$

$$\text{Shear modulus} : G = \rho c_2^2$$

$$\text{Bulk modulus} : K = \rho c_2^2 (k^2 - \frac{4}{3})$$

3. 시험편

본 연구에 사용된 시험편의 재질은 SM 490A 용접구조용 강재이며, 대략적인 물성 값은 $E = 206,000\text{N/mm}^2$, $G = 79,500\text{N/mm}^2$, $\nu = 0.3$ 으로 주어진다. Fig. 5에서 좌측 그림의 시험편을 이용하여 레이저 유도 초음파 실험을 하였고, 그 시험편의 일부를 절단하여 RUS용 시험편으로 사용하였다.

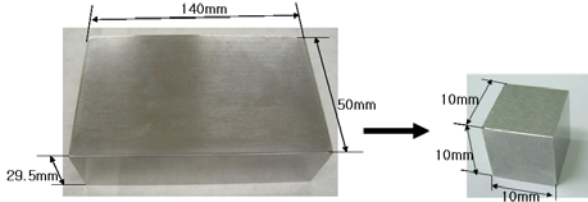


Fig. 5 Photograph of a Specimen

4. 실험 및 결과

레이저 유도 초음파 시스템을 이용한 실험에서 펄스 레이저를 이용하여 초음파를 가진하고, 헤테로다인 간섭계를 이용하여 초음파를 수신하여 다음과 같은 파형을 얻을 수 있었다.

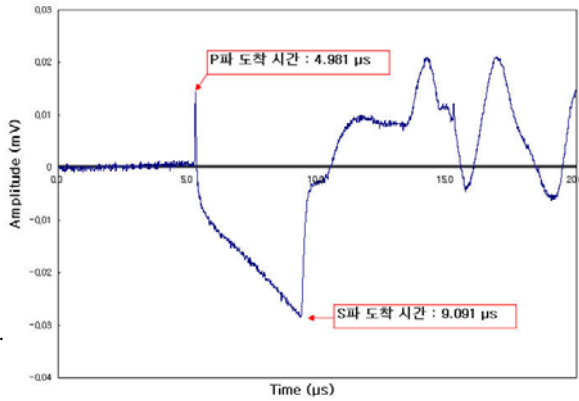


Fig. 6 Experimental Result of LBU System

Fig. 6에서 종파와 횡파의 정확하게 검출되었고, 이를 이용하여 종파와 횡파의 속도를 구한 뒤, 관계식을 이용하여 물성 값을 얻을 수 있었다.

작게 자른 시험편을 이용하여 RUS 시스템 실험 장비인 QUASAR International Inc. 사의 RUSpec 모델을 사용하여 재료의 물성 값을 측정하였다. Fig. 7과 같이 공진 주파수 그래프를 얻었고, 이 주파수 값을 이용하여 Fig. 8의 결과를 얻어 물성 값을 얻을 수 있었다.

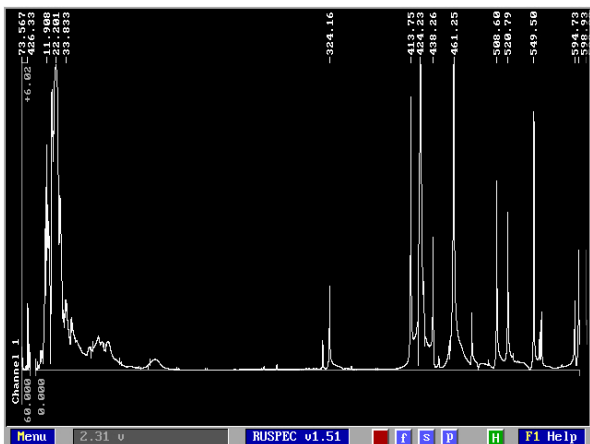


Fig. 7 Scan Result of RUS System

*** Rectangular Parallelepiped Version 2.03 ***

n	k	Fcalc, MHz	Fmeas	%err	% of modulus contributing to mode
1	4	1.14714	.14741	-0.18	.00
2	4	2.14714	.14741	-0.18	.00
3	5	1.19800	.00	.04	.96
4	7	2.19800	.00	.04	.96
5	1	2.19800	.00	.04	.96
6	3	2.20146	.20141	0.02	.01
7	3	2.20146	.20141	0.02	.01
8	2	2.20146	.20141	0.02	.01
9	3	2.22888	.00	.00	1.00
10	5	1.22888	.00	.00	1.00

Dimensions:	c11	c22	c33	c23	c13	c12	c44	c55	c66
d1 1.00000	216.62	216.62	216.62	112.76	112.76	112.76	81.938	81.938	81.938
d2 1.00000	216.62	216.62	216.62	112.76	112.76	112.76	81.938	81.938	81.938
d3 1.00000	216.62	216.62	216.62	112.76	112.76	112.76	81.938	81.938	81.938

Mass 7.820 Density 7.820

Elastic Moduli (GPa)

Young's Modulus (GPa) = 211.312	Independent Plane Wave Sound Velocities (mm/us)
Bulk Modulus (GPa) = 167.380	
Shear Modulus (GPa) = 81.938	c11 = 5.947554
Poisson's Ratio = 0.28959	c44 = 3.236817

(C) Copyright Quasar International, Inc. 1997 04/30/09 2:45pm

Fig. 8 Result of RUS System

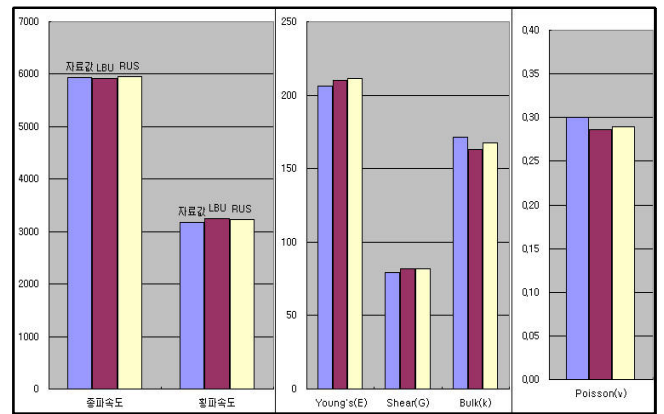


Fig. 9 Analysis of Experimental Result

실험 결과와 같이 종파와 속도 및 재료의 물성 값의 차이가 거의 비슷하였다. 자료에 주어진 값과의 차이가 조금 있지만, 두 실험의 값들은 유사하였다.

5. 결론

이 연구에서는 레이저 유도초음파의 비접촉식 측정의 신뢰도를 알기위해서 접촉식 측정 방법 중 하나인 초음파 공진 분광기를 이용한 실험을 통한 비교 연구였다. Fig. 9에서와 같이 측정된 물성 값들은 SM 490A의 물성 값과 크게 다르지 않음을 알 수 있었다. 실험에서의 외부 방해 요소들에 의한 실험값의 오차를 고려해봤을 때, 레이저 유도 초음파를 이용한 비접촉식 물성 측정방법이 신뢰도가 높은 측정방법이라는 것을 확인 할 수 있었다.

후기

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

참고문헌

1. 강영준, 노경완, 박상규 “준 헤테로다인 간섭법을 이용한 평판 충격파의 정량화에 대한 실험적 연구” 대한기계학회 논문집 A 권, 제 23 권 제 1 호, pp. 1~10, 1999
2. 이승석, 장태성, “레이저 유도 초음파에 대한 이해” 비파괴 검사 학회지, Vol. 22, No. 1, pp.77~87, 2002
4. Maynard, J., "Resonant Ultrasound Spectroscopy", Physics Today, pp. 26-31, 1996
5. B. J. Zadler, J. H. L. Le Rousseau, and J. A. Scales, "Resonant ultrasound spectroscopy : theory and application", Int. J. Geophys. , Vol. 156, pp. 154-169, (2004)