

레이저 유도 초음파를 이용한 재료의 고온 특성에 관한 연구

A Study on Properties of Material in High Temperature Using Laser Based Ultrasonic

*한삼희¹, #강영준², 이승석³, 김영길³, 이재훈¹

*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), Heterodyne Interferometers, Material Properties, High Temperature

1. 서론

레이저 유도 초음파(Laser-Based ultrasonics, LBU) 방법은, 고출력의 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.[2, 4]

레이저 유도 초음파 방법은 비파괴평가(NDE) 분야에서 초음파의 비접촉식 발생 및 감지, 광학을 이용한 장치의 원격 배치, 고 공간 분해능을 지닌 용이한 스캐닝, 절대 변위 측정, 넓은 대역 및 좁은 대역의 신호 발생, 광범위 주파수 대역 측정 등의 매력을 가지고 있다. 이는 기존 탐상 방법으로는 접근이 곤란한 구조물이나 고온 구조물 등에 적용될 때 더욱 용이하다. [1,2]

재료의 고온에서의 특성을 연구하기 위해 기계적 특성인 인장 및 압축 실험을 하였다.[3] 하지만 실험의 어려움뿐 아니라 재료를 파괴해야 하기 때문에 온도에 따른 유기적인 실험이 어렵다. 이러한 단점을 극복할 수 있는 비접촉, 비파괴 시스템을 가지고 있는 레이저 유도 초음파 시스템을 이용하고자 한다.

본 연구는 레이저 유도 초음파를 이용하여 재료가 고온에서 나타나는 물성을 검출하고 연구하였다. 고온 전기로를 이용하여 물체를 상온 및 100℃에서 1000℃까지 100℃간격으로 온도를 올리고, 각 온도에서 비접촉식 헤테로다인 간섭계(Heterodyne Interferometers)를 이용하여 레이저 유도 초음파의 신호를 분석하여 탄성계수 및 프와송비와 같은 재료의 물성 값을 측정하였다.

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.

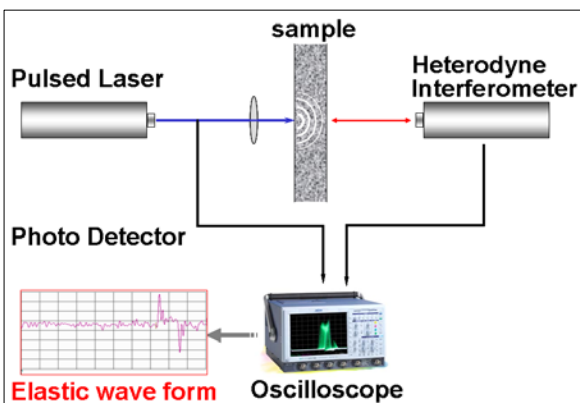


Fig. 1 Concept of Laser-Based Ultrasonics System

이 레이저 유도 초음파 시스템을 이용하여 고온에서의 재료의 물성을 측정하기 위해 Fig. 2와 같이 고온 전기로를 이용한 측정 시스템을 꾸몄다.

이 전기로는 수평 이동성과 수직 높이 조절 등을 용이하게 하여 광학 테이블로부터 고온 전기로 안의 시험편까지 광 경로를 원활하게 하도록 제작되었다. 사용온도는 1200℃ 정도로 산화 방지를 위해 내부는 진공으로 유지 된다.

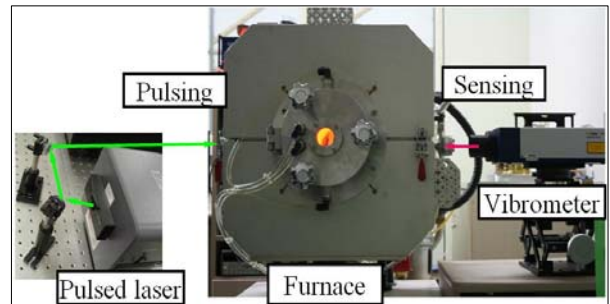


Fig. 2 Photograph of the LBU system for the measurement of elastic constants at high temperature

2.2 물성 측정의 이론식

레이저 유도 초음파 시스템의 실험을 통해 얻은 종파와 횡파의 속도를 측정하여 탄성계수 및 프와송비를 구할 수 있다.[5] 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 압연강재(KS D 3515)로써, 건축물, 다리, 선박, 차량 및 그 밖의 구조물에 사용되며, 일반적으로 건축물에 있어서는 형강, 봉강 등으로 다양하게 활용된다.

물성 특성은 $E = 206,000 \text{ N/mm}^2$, $G = 79,500 \text{ N/mm}^2$, $\nu = 0.3$ 을 가졌으며, 밀도는 7.82 g/cm^3 이다. Fig. 3과 같은 크기의 시험편을 사용하여 실험을 하였다.

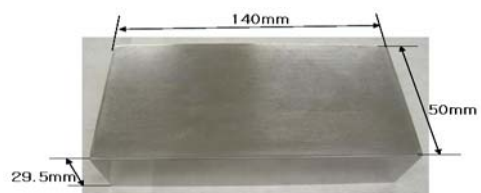


Fig. 3 Photograph of a Specimen

4. 실험 및 결과

고온 전기로에 시편을 넣고, 펄스 레이저를 이용하여 초음파를 가진하고, 헤테로다인 간섭계를 이용하여 초음파를 수신하여 Fig. 4와 같은 그래프를 얻을 수 있었다.

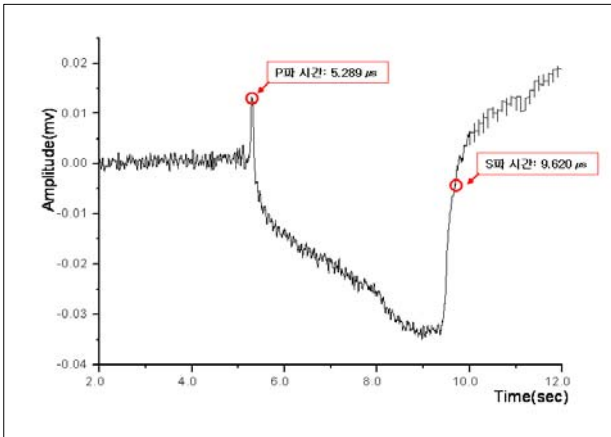


Fig. 4 Experimental Result of LBU System

고온 전기로를 40분 간격으로 100°C씩 가열하여, 100°C에서 1000°C까지의 종파(P파)와 횡파(S파)의 시간을 구하고, 이 값을 이용하여 Fig. 5와 같은 각각의 속도를 찾을 수 있다.

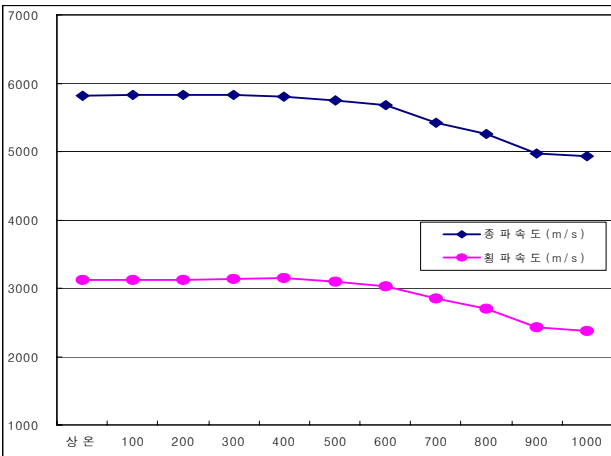


Fig. 5 Graph of the changed wave velocities depend on the temperature

그리고 이 속도를 이용하여 Fig. 6과 Fig. 7과 같이 각 온도의 물성 값을 찾을 수 있었다.

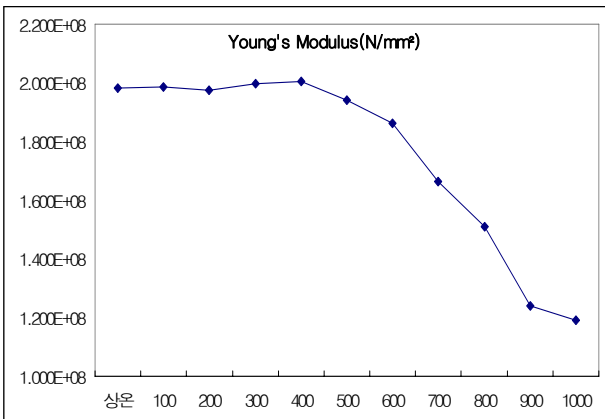


Fig. 6 Graph of the changed Young's modulus depend on the temperature

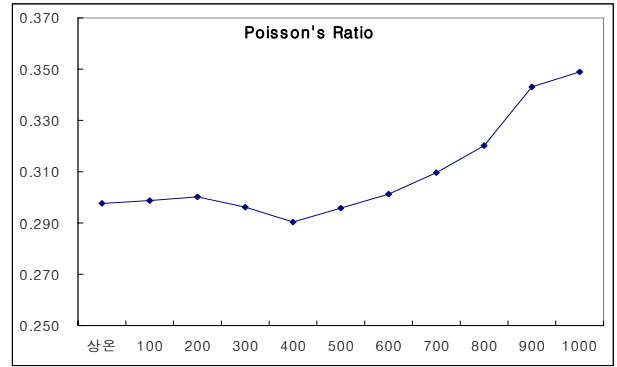


Fig. 7 Graph of the changed Poisson's ratio depend on the temperature

실험 결과와 같이 온도 변화에 따른 종파 및 횡파의 속도 값으로 물성값을 구하였다. 탄성계수 및 프와송비는 거의 변화가 없다가, 400°C에서 변화를 보인 후 그 이후부터는 탄성계수는 점차적으로 하강하였고, 프와송비는 상승하였다. 이것은 용접 구조용 압연강이 가지는 특성을 보여주는 것으로, 400°C 정도에서 청열취성이 발생한 후, 그 후의 온도에서는 물체 내부의 상태변화로 물성값이 바뀌었다고 볼 수 있다.

5. 결론

이 연구에서는 레이저 유도 초음파 시스템을 이용하여 재료의 고온에서의 물성의 특성을 연구하였다. 레이저 유도 초음파는 실험하기 힘든 고온에서의 비접촉을 이용하여 물성값을 원활하게 얻을 수 있고, 고온에서 인장 및 압축 실험을 통한 타 실험값과 비교하였을 때, 그 값들은 유사하게 얻을 수 있었다.[3] 하지만 인장 및 압축 같은 기계적 실험은 실험방법도 어렵고, 실시간으로 측정이 어려우며, 세부온도에서 유기적으로 사용할 수 없다는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 극복할 수 있는 비접촉 실험 방법인 레이저 유도 초음파 시스템의 실험의 장점을 확인할 수 있는 연구였다.

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" 대한기계 학회 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
3. 이상록, 권인규, "용접구조용강(SM400)의 고온 시 기계적 특성에 관한 실험적 연구" 대한기계 학회 논문집 제 22권 제 1호, pp. 143~146, 2002
4. C.B. Scruby and L.E. Drain, "Laser Ultrasonics - Techniques and Applications", Adam Hilger, New York, 1990
5. 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, FERROELECTRIC, AND FREQUENCY CONTROL, VOL. 55, No. 1, JANUARY 2008