

LASER-RUS 시스템을 이용한 Crack 피로시험편의 주파수 분석 Frequency Analysis of Fatigue Specimens with a crack by using the Laser-RUS

*김상걸¹, #박승규², 강영준³, 김철생³, 김진수¹

*S. K. Kim¹, #S. K. Park(skpark4@kaeri.re.kr)², Y. J. Kang³, C. S. Kim³, J. S. Kim¹

¹전북대학교 기계설계학과, ²한국원자력연구원, ³전북대학교 기계설계공학부

Key words : Laser Resonant Ultrasound Spectroscopy(L-RUS), Resonance, Frequency

1. 서론

본 연구에서 사용하고자 하는 평가방법은 레이저를 이용한 공명 초음파 분광법(Laser Resonant Ultrasound Spectroscopy : LRUS)으로, 레이저 초음파 공명 신호를 이용하여 재료의 공진모드와 공진형상, 공진 위치 및 진폭에 대한 정보를 획득함으로써 재료의 미세 구조에 대한 정보를 획득 할 수 있는 비파괴 검사 방법이다. 재료내부에 있는 음향 임피던스의 불연속부로부터 재료의 특성을 평가하는 초음파탐상법과는 달리 공진특성을 이용하는 레이저 공명 초음파 분광법은 고체 재료의 공진주파수가 그 재료의 밀도, 형상, 탄성상수에 의존하는 것을 이용하여 광대역 스펙트럼을 갖는 펄스 레이저(Pulse Laser)로 시험편을 가진 하고, 그 공진주파수(Resonant Frequency)의 응답을 수신(CW Laser)하여, 재료의 물성을 구하는 방법으로, 이러한 L-RUS 기술은 재료의 탄성특성이나 물리적 특성 및 미세 구조를 비접촉식으로 측정하는데 유용하다.

In-situ응용이 가능한 L-RUS 장치는 현재 전 세계적으로 개발 중에 있는 기술이고, 한 번에 모든 대역의 주파수를 획득할 수 있다는 점과 원격 비접촉식으로 탄성특성과 물리적 특성의 측정 등에 활용될 수 있다.

본 연구에서는, L-RUS의 원리를 응용한 초음파 공명 분광 시스템을 이용하여, Fatigue Test Specimen의 크랙에 따른 주파수 스펙트럼을 분석하였다.

2. 시스템의 구성

본 연구에서 구성한 레이저를 이용한 공명 초음파 분광 시스템은 Fig. 1에 보이는 바와 같이 펄스 레이저 빔을 조사하여 초음파를 발생시키고, 재료 표면에 조사된 연속 발진(CW) 레이저 빔을 이용하여 비접촉식으로 초음파 신호를 측정하는 검사 방법이다. Fig. 2는 실험실상에서 구성한 시스템의 실제 사진이다.

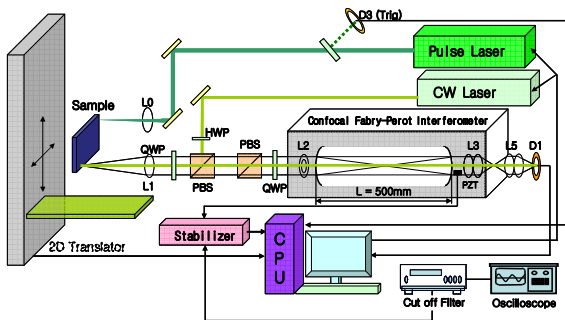


Fig. 1 Configuration of Laser Resonant Ultrasound Spectroscopy System

위의 그림에서와 같이 발진된 펄스레이저는 Beam Splitter를 통하여 두 방향으로 나뉘는데, 한 방향은 측정 대상체에 조사되어 가진을 시키고, 다른 한 방향은 컴퓨터의 트리거 신호로 이용된다. 레이저에 의하여 생성된 초음파는 수 μ s 동안 발생되므로 정확한 시간에 동기를 맞추어 고속으로 데이터를 수집해야 하기 때문에 펄스레이저의 발진에 동기를 일치시키기 위하여 트리거

를 사용하였다. 단일 주파수 CW 레이저를 이용한 공초점 페브리-페롯 간섭계(CFPI: Confocal Fabry-Perot Interferometer)는 발생된 초음파를 획득하기 위하여 사용되었다. 발진된 CW 레이저는 먼저 측정 대상체에 조사되고, 되돌아오는 레이저 빔이 CFPI와 Detector를 통하여 전기적 신호처리 되어 컴퓨터로 전송된다. 이때 차단 주파수가 2MHz인 Lower Pass Filter를 통과한 신호만이 Oscilloscope를 통해 진동 신호로 획득된다.

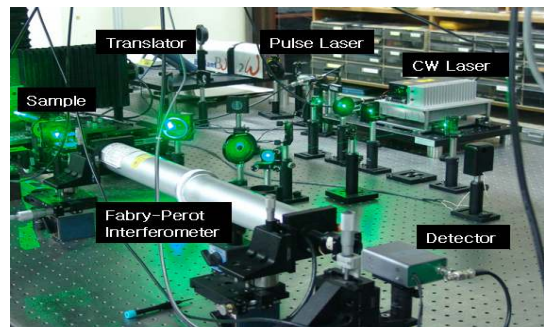


Fig. 2 Photograph of the Laser Resonant Ultrasound Spectroscopy System

3. 시험편

본 연구에 사용된 시험편의 재질은 STS 347이며, Fig. 3에서와 같이 Fatigue Test Specimen을 330°C의 온도에서 $\Delta \epsilon_t = 0.9\%$ 로 1740 회, $\Delta \epsilon_t = 1.2\%$ 로 804 회의 Life Cycle동안 삼각과 인장하중을 주는 Test를 거친 후, 피로 파괴된 부위의 표본을 추출하여 본 연구의 시험편으로 사용하였다.



Fig. 3 Photograph of a specimen

Table 1 Material properties of specimen

Dimensions of the specimen		Material properties of the specimen	
Length	0.01002m	Mass density	$\rho = 7.89 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
Width	0.00697m	Young's modulus	195Gpa
Thickness	0.00169m	Poisson's ratio	$\nu = 0.27$

4. 실험 및 결과

펄스레이저의 Q-Switch의 Delay Time을 330us ~370us까지 차례로 변화 시키면서 Power를 조절하였고, Q-Switch의 Delay Time에 따른 Power 변화는 Fig. 4와 같았다.

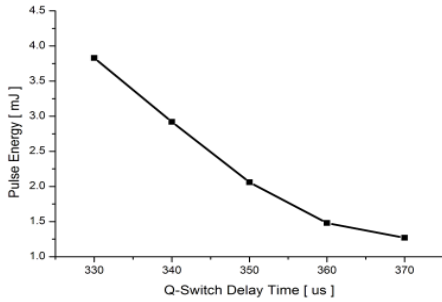


Fig. 4 Power of Pulse Laser Beam by the Delay Time

발진된 펄스레이저의 빔이 대상체에 조사되어 시험편을 가진 하고, 그에 따라 발생하는 공진주파수(Resonant Frequency)의 응답을 CW Laser를 통해 수신하여, Oscilloscope를 통해 화면상에 진동신호로 나타내었다. Fig. 5의 (a)와 (b)에서는 각각 무결함 피로 시험편과 결함이 있는 피로 시험편의 공진주파수 데이터를 비교하고 있다.

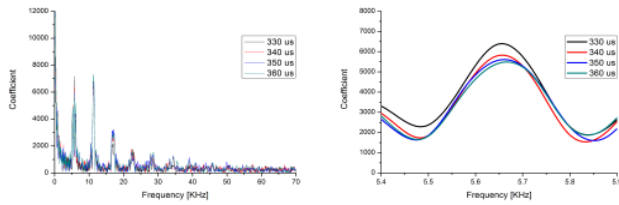


Fig. 5(a) Measured resonant frequency spectrum to the clean sample

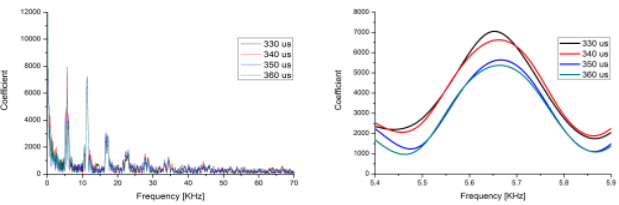


Fig. 5(b) Measured resonant frequency spectrum to the fatigue sample

Fig. 6(a)는 무결함 피로 시험편과 결함이 있는 피로 시험편의 하모닉스(Harmonic Number) - 진폭 감쇠율(Decreasing rate)에 관한 그래프로써, 하모닉스가 늘어날수록 무결함 피로 시험편과 결함이 있는 피로 시험편의 진폭 감쇠율이 일정하게 감소하고 있다.

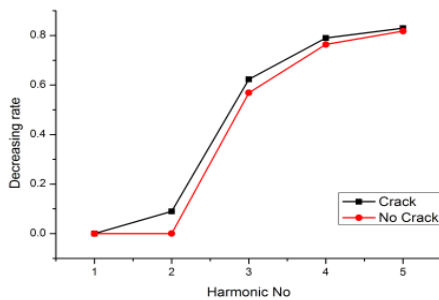


Fig. 6(a) Amplitude Decreasing rate

Fig. 6(b)는 무결함 피로 시험편과 결함이 있는 피로 시험편의 하모닉스 - 주파수 감쇠율의 관계를 설명하고 있는데, 4차 하모닉스까지는 각 시험편의 주파수 감쇠율이 어느 정도 일정하게 변화하

다가, 5차 하모닉스부터 무결함 피로 시험편과 결함이 있는 피로 시험편의 주파수 감쇠율이 크게 차이가 남을 알 수 있었다. 위의 두 가지 데이터 분석으로부터 결함의 유무가 진폭 감쇠율에는 거의 영향을 미치지 않으나, 주파수 감쇠율에는 크게 기여한다고 생각되어 진다.

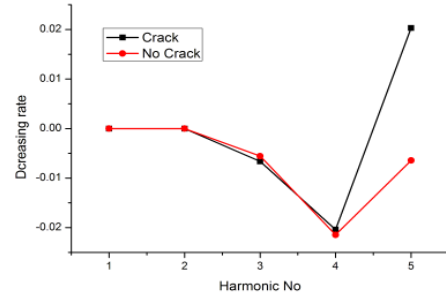


Fig. 6(b) Frequency Decreasing rate

5. 결론

본 연구에서는, 레이저초음파 공명 분광 시스템을 이용하여 무결함 피로 시험편과 결함이 있는 피로 시험편에서 초음파 공명 신호를 획득하여, 진폭신호와 주파수 신호의 감쇠를 분석하여 미세 결함 검출을 시도하였다.

측정된 초음파 신호는 측정장비로 사용된 디지털 오실로스코프의 측정 분해능 한계와 광검출기에서의 신호 jittering으로 인하여 기본적인 측정 오차가 있었으며, 이를 개선하기 위해서는 정밀한 동기장치와 고속 신호획득장치를 사용할 필요가 있다.

실험결과, 결함 피로 시험편에서의 주파수 감쇠는 무결함 피로 시험편에서 보다 커짐을 관찰할 수 있었다. 그러나 높은 하모닉스에서는 S/N비가 떨어져 분해능이 떨어지므로, 측정 분해능을 높이기 위해선 SN비가 높은 효율적인 초음파 발생 기법에 대한 연구가 필요함을 알 수 있었다.

참고문헌

- Schwarz, R. B. and Vuorinen, J. F., "Resonant Ultrasound Spectroscopy; Current Status and Limitation", Journal of Alloys and Compounds, Vol. 310, Nos. 1-2, pp.243-250, 2000
- Milgory, a., Sarrao, J. L., Visscher, W. M., Bell, T. M., Ming Lei, Fisk, Z. and R. G. Leisure, "Resonant Ultrasound Spectroscopic Techniques for Measurement of the Elastic Moduli of Solid", Physica B, Vol. 183, Nos. 1-2, pp. 1-24.
- Hirotsugu Ogi, Nobutomo Nakamura, Keiji Sato, Masahiko Hirao, Satoshi Uda, "Elastic, Anelastic, and Piezoelectric Coefficients of Langasite : Resonance Ultrasound Spectroscopy with-Laser-Doppler Interferometry" IEEE Transaction on ultrasonics, ferroelectrics, and frequency control, Vol. 50, No. 5, pp.553-560, 2003
- Nobutomo NAKAMURA, Hirotsugu OGI and Masahiko HIRAO, "Resonance Ultrasound Spectroscopy for Measuring Elastic Constants of Thin Films", Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 43, No. 5B, 2004, pp. 3115-3118
- 김진수, 박승규, 백성훈, 강영준, 차형기, 정용무, 김상걸, "재료의 공명특성 분석을 위한 Laser-RUS 시스템, 한국정밀공학회, pp.456-457, 2008