

LASER-RUS 시스템을 이용한 재료의 비선형 관측 Observation of nonlinearity by using the Laser-RUS System

*김진수¹, #박승규², 강영준³, 강신재³, 김상걸¹

*J. S. Kim¹, #S. K. Park(skpark4@kaeri.re.kr)², Y. J. Kang³, S. J. Kang³, S. K. 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 초음파와 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 유용하며, 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, 인장시험으로 피로 파단 된 시험편에서 재질이 손상된 단면의 공진 주파수와 손상이 없는 건전한 단면의 공진주파수를 비교 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 조사 된 연속 발진(CW) 레이저 빔을 이용하여 비접촉식으로 초음파 신호를 측정하는 검사 방법이다. Fig. 2는 실험실상에서 구성한 시스템의 실제 사진이다.

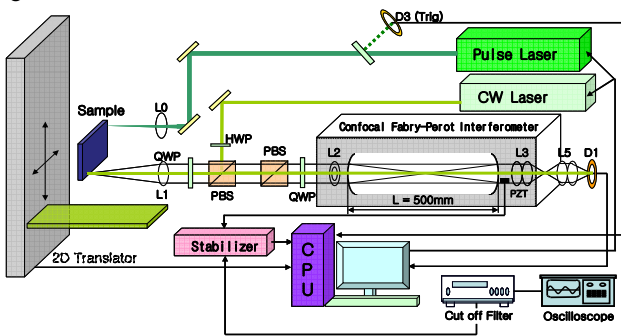


Fig. 1 Configuration of L-RUS System

위의 그림에서와 같이 발진된 펄스레이저는 Beam Splitter를 통하여 두 방향으로 나뉘어 지는데, 한 방향은 측정 대상체에 조사되어 가진을 시키고, 다른 한 방향은 컴퓨터의 트리거 신호로 이용되며, 단일 주파수 CW 레이저를 이용한 공초점 페브리-페롯 간섭계(CFPI: Confocal Fabry-Perot Interferometer)는 발생한 초음파를 획득하기 위하여 사용되었다. 발진된 CW 레이저는 먼저 측정 대상체에 조사되고, 반사되어 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.

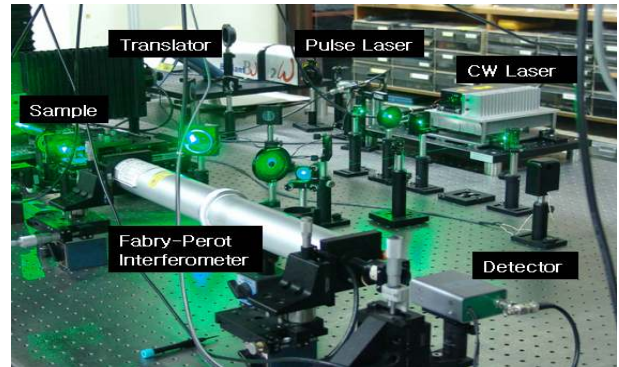


Fig. 2 Photograph of L-RUS System

3. 시험편

본 연구에 사용된 시험편의 재질은 Carbon Steel 이며, Fig. 3에 나타낸 바와 같이 실제 Fatigue Test 를 통해 피로파괴 된 판형 Fatigue Test Specimen 의 단면을 추출하여 실험을 실시하였고, 시험편의 크기와 물성치는 Fig. 3과 Table 1에 나타내었다.

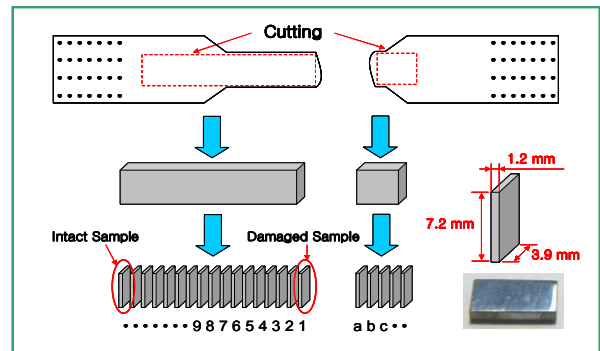


Fig. 3 Schematic diagram of a specimen

Table 1 Material properties of specimen

Dimensions of the specimen		Material properties of the specimen	
Length	0.0072m	Mass density	$\rho=7.85 \times 10^3 \text{kg/m}^3$
Width	0.0039m	Young's modulus	203Gpa
Thickness	0.0012m	Poisson's ratio	$\nu=0.29$

4. 실험 및 결과

펄스레이저의 Q-Switch의 Delay Time을 330us~370us까지 단계별로 변화 시키면서 Power를 조절하였고, Q-Switch의 Delay Time에 따른 Power 변화는 Fig. 4와 같다. 발진된 펄스레이저의 빔이 시험편에 조사되어 시험편을 가진 하고, 그에 따라 발생하는 공진주파수(Resonant Frequency)의 응답을 CW Laser를 통해 수신

하여, Oscilloscope를 통해 화면상에 나타내었으며, 각각의 시험편에 대한 공진 주파수 데이터를 비교하였다.

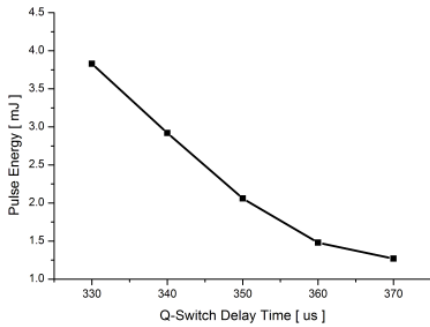
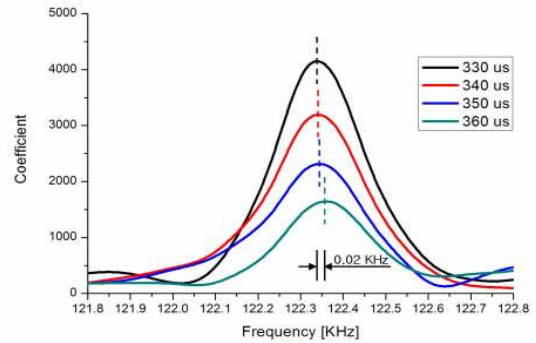
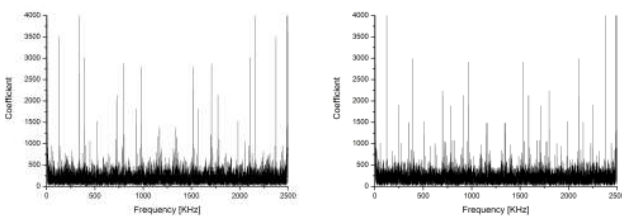


Fig. 4 Power of Pulse Laser Beam by the Delay Time

것과 같이 나타나는데 Q-Switch의 Delay Time이 330us~360us로 가면서 Power가 줄어드는 동안 건전한 시험편 (a), (b)의 경우 주파수의 이동이 거의 없이 진폭만이 감소되는 것을 확인할 수 있었던 반면,



<c> Frequency spectrum of damaged sample

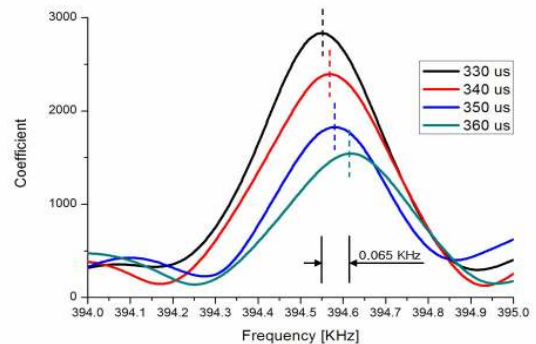


<a> Intact sample

 Damaged sample

Fig. 5 Measured frequency spectrum

손상이 없는 건전한 시험편과 손상된 시험편에 대한 각각의 공진 주파수 분포는 Fig. 5에 보이는 것과 같이 나타났고,



<d> Frequency spectrum of damaged sample

Fig. 6 Measured frequency spectrum

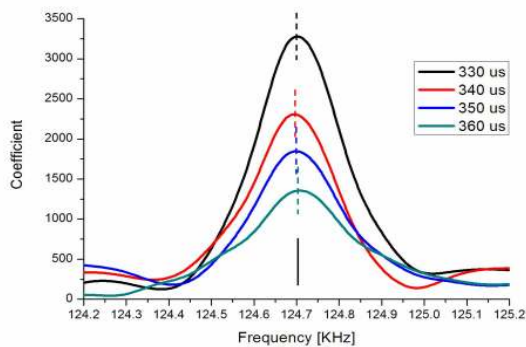
손상된 시험편 (c), (d)의 경우 진폭의 감쇠와 함께 약 20Hz와 65Hz의 주파수 이동을 확인할 수 있었는데, 이는 손상된 재료에서 나타날 수 있는 비선형적인 특성이다.

5. 결론

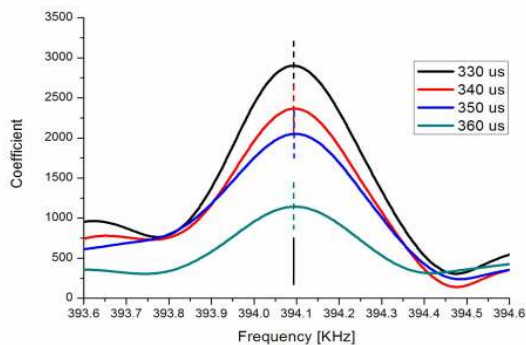
건전시편과 손상시편에서의 공진 주파수 스펙트럼 변화를 알 수 있었고, 건전한 시편에서도 손상시편과 비교했을 때, 아주 적은 수치의 주파수 이동을 관찰할 수 있었으나 이는 시험환경에 따른 오차에 기인한 것으로 생각되어지며, 피로나 고온 등으로 인해 열화 된 재료의 경우, 그 조직의 손상정도가 심할수록 더 확실하게 Resonance Curves의 이동을 관찰할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. Maynard, J., "Resonant Ultrasound Spectroscopy", Physics Today, pp. 26-31, 1996
2. K. E. A. Van Den Abeele, J. Carmeliet, J. A. Ten Cate, P. A. Johnson, "Nonlinear Elastic Wave Spectroscopy Techniques to Discern Material Damage", Res Nondestr Eval, Vol. 12, pp.31-42, 2000
3. P. A. Johnson, A. Sutin, "Nonlinear Resonant Ultrasound Spectroscopy and Slow Dynamics Diagnostics" Review of Quantitative Nondestr Evaluation, Vol. 24, pp.377-560, 2005
4. 김진수, 박승규, 백성훈, 강영준, 차형기, 정용무, 김상걸, "재료의 공명특성 분석을 위한 Laser-RUS 시스템" 한국정밀공학회, pp. 456-457, 2008



<a> Frequency spectrum of intact sample



 Frequency spectrum of intact sample

Resonance Curves는 Fig.6의 (a), (b), (c), (d)에서 보이는