

멀티 빔을 이용한 레이저 초음파 신호 획득

Laser Ultrasound Acquisition using multi laser beams

*이승훈¹, #박승규² 백성훈², 강영준³, 김성종⁴, 김진수⁴

*S. H. Lee¹, #S. K. Park(skpark4@kaeri.re.kr)², S. H. Baik², Y. J. Kang³, S. J. Kim⁴, J. S. Kim⁴

¹ 전북대학교 기계설계대학원, ²한국원자력연구원, ³전북대학교 기계항공시스템공학부, ⁴전북대학교 기계설계대학원

Key words : Laser ultrasound, surface wave, multi laser beams

1. 서론

1960년대 초 레이저의 발명 이래, 레이저는 광학 분야뿐만 아니라 다양한 과학 기술 분야에 적용되어 왔으며, 최근에는 비파괴 검사 및 평가 분야에서도 보편화되고 있다. 이러한 레이저를 이용한 초음파 발생 및 감지 기술이 주목 받는 이유는, 본질적으로 이 기술이 비접촉식 초음파 송수신 기술이라는데 있다.

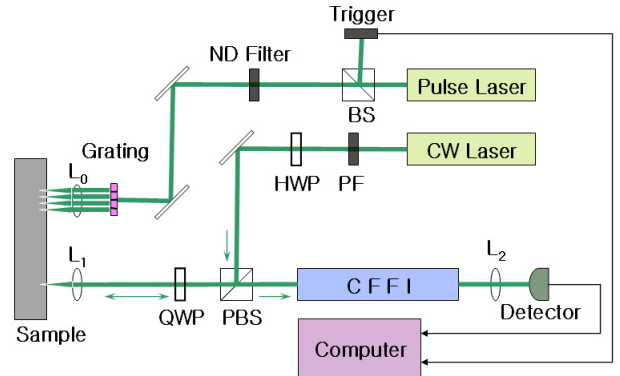
레이저 초음파(Laser Ultrasound) 장치는 펄스레이저 빔을 이용하여 초음파를 발생시키고, 레이저 간섭계를 이용하여 비접촉식으로 초음파 신호를 검출하는 비파괴 검사 장치이다[1,2]. 일반적으로 널리 사용되는 압전 트랜스듀서에 의한 초음파 장치는 효율성, 간편성 등에서 우수한 장점이 있으나, 접촉식이기 때문에 고온 재료에는 적용이 불가능하고, 원자력 발전소와 같은 사람의 접근이 용이하지 않은 곳에서 적용하기 어려운 단점이 있다[1]. 반면 비접촉식인 레이저 초음파 장치는 기존의 압전 트랜스듀서에 의한 초음파 장치에 비하여 스캐닝 작업이 유리하며 높은 공간분해능으로 고속검사가 가능하다. 뿐만 아니라 주파수 대역을 수십 MHz의 광대역에서 헵대역까지도 발생시킬 수 있으며, 응용범위가 넓으며, 곡면부나 거친 표면에서도 검사가 가능하다는 장점을 가지고 있다. 또한 초음파 검출에 사용되는 레이저 간섭계는 작은 점으로 집속된 레이저 빔을 이용하여 초음파를 검출하므로 측정 분해능이 우수한 장점이 있다. 이와 같은 비접촉식 레이저 초음파 장치는 고온재료에 대한 품질검사와 곡면부나 거친 표면에 대해서도 검사가 가능하고, 원자력 발전소와 같이 사람의 접근이 용이하지 못한 곳에도 적용이 가능하다.

이러한 레이저 초음파의 발생 및 전파는 표면파, 종파, 횡파 등이 동시에 발생 및 전파된다. 이 중에서 표면파(Surface wave)의 발생 및 감지는 표면 탄성파의 산란 또는 반사를 감지하여 표면 균열 또는 표면 근방 영역 내 기타 결함을 조사하는데 유용할 뿐만 아니라, 재료 물성 측정에도 이용될 수 있다. 고체 표면에 입사된 레이저에 의해 발생하는 초음파는 열탄성영역 내에서 횡방향 열변형이 지배적이며, 큰 진폭의 표면파를 발생시킬 수 있다. 본 논문에서는 펄스레이저와 격자, CW레이저, 공초점 Fabry-Perot 간섭계, 데이터 수집보드가 장착된 컴퓨터 등을 이용하여 레이저 초음파 시스템을 구성하였다. 격자를 이용하여 멀티빔(Multi beams)을 생성하였고, 이 멀티빔을 이용하여 결함이 없는 영역의 경우와 결함이 멀티빔 사이에 있는 경우 등에서 레이저 초음파 신호 획득 실험을 수행하였다.

2. 레이저 초음파 장치의 구성

Fig. 1은 레이저 초음파 검사 장치의 구성도이다. 펄스레이저가 발진되어 Beam Splitter를 통하여 두 방향으로 나누어진다. 한 방향은 격자를 통하여 네 개의 점으로 분할되어 측정 대상체에 조사되어 순간적인 열에너지 유입에 의하여 초음파가 발생되며, 발생된 초음파는 측정 대상체의 표면을 변이시킨다. 다른 한 방향은 트리거를 통하여 컴퓨터로 전송된다. 레이저에 의하여 생성된 초음파는 수 μ s 동안 발생되므로 정확한 시간에 동기를 맞추어 고속으로 데이터를 수집해야 하기 때문에 펄스레이저의 발진에 동기를 일치시키기 위하여 트리거를 사용하였다. 단일 주파수 CW 레이저를 이용한 공초점 페브리-페롯 간섭계(CFPI: Confocal Fabry-Perot Interferometer)는 발생된 초음파를 획득하기

위하여 사용되었고, CW 레이저는 CFPI와 Detector를 통하여 전기적 신호처리 되어 컴퓨터로 전송된다.



PF : Polarized filter HWP : Half wave plate
QWP : Quarter wave plate BS : Beam splitter
PBS : Polarized beam splitter

Fig. 1 Configuration of the laser ultrasonic inspection system

3. 실험 및 결과

본 논문에서 사용된 펄스레이저는 펄스에너지 10 ~ 100 mJ, 녹색광, 펄스폭 10 ns 인 Quantel Brilliant B 라는 모델이다. CW 레이저는 400 mW 급의 파장이 532 nm, 가간섭거리가 1000 m 이상이다. 시편은 알루미늄에 실리콘, 구리, 마그네슘, 크롬 등을 첨가한 알루미늄 합금으로 탄성이 좋은 알루미늄 6061 재질의 시편을 사용하였다. 폭 150 mm, 높이 150 mm, 두께 10 mm 이고, 시편 표면은 레이저 빔을 잘 반사시키기 위하여 폴리싱이 되어있다. 또한 표면에는 폭이 0.1 mm, 깊이는 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 mm 의 5개의 결함을 생성시켰다. Fig. 2 는 멀티빔을 만들기 위한 격자이다. 이 격자를 통하여 펄스레이저가 분할되어 측정 대상체에 포커싱 된다.

Fig. 3 는 실험 방법을 나타내는 그림이다. 발진 부분에서 펄스레이저에 의하여 초음파가 발생되어 표면을 따라 초음파가 진행되며, 수신부분에서 CW 레이저를 이용한 CFPI에 의하여 초음파가 수신된다. CASE A는 결함이 없는 경우, CASE B는 멀티빔 모두 결함을 지나서 오는 경우, CASE C는 멀티빔 중에서 두 개의 빔만 결함을 지나서 오는 경우로 나누어 세 번에 걸쳐 초음파 신호를 획득하였다.

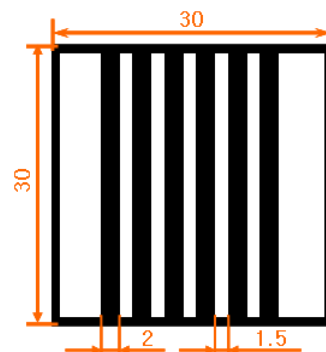


Fig. 2 Grating

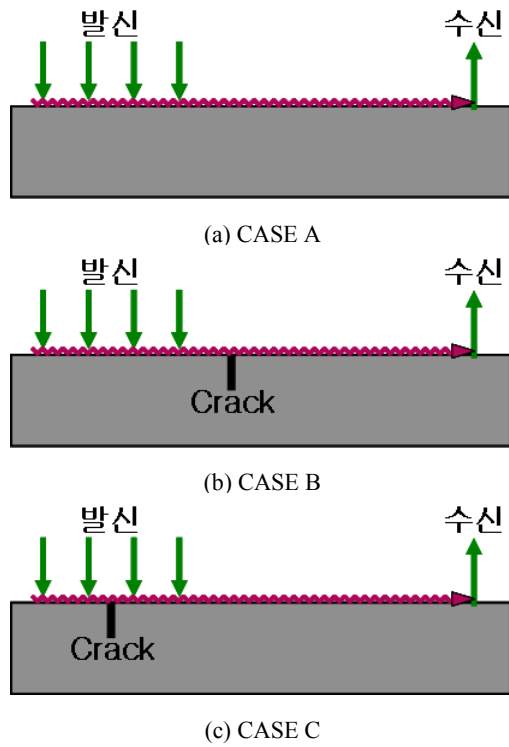


Fig. 3 Experimental method

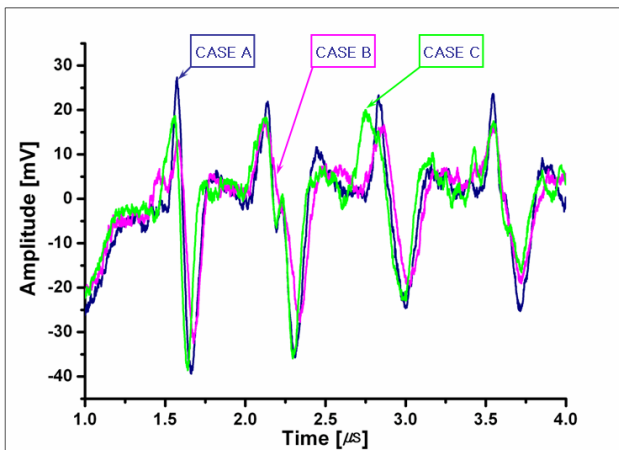


Fig. 4 Comparison of received laser ultrasonic signals

Fig. 4 는 시간영역에서의 신호처리 결과를 나타내는 그래프로써 초음파를 각 CASE 마다 50번씩 발생시켰고, 그 평균값을 이용하여 시간영역에서 신호처리를 수행한 것이다. CASE A의 경우 결함이 없는 경우로 다른 경우들에 비해 네 개의 신호 모두 진폭이 크게 획득되었다. CASE B의 경우는 멀티빔 모두 결함을 지나는 경우로 CASE A에 비하여 네 개의 신호 모두 진폭이 작게 획득되었다. CASE C의 경우는 멀티빔 중에 두 개의 빔만 결함을 지나는 경우로 결함을 지나서 오는 두 개의 신호의 진폭이 결함이 없는 경우보다 감소하였다.

4. 결론

본 논문에서는 멀티빔을 이용한 레이저 초음파 검사 장치를 이용하여 초음파 신호 획득 실험을 수행하였다. 펄스레이저 멀티빔은 격자에 의하여 측정 네 개의 점으로 분할되어 측정 대상체의 표면에 조사되어 초음파를 발생시키고, CW 레이저를 이용한 CFPI에 의하여 초음파를 획득하였다. 세 가지 경우로 실험을 하여 세 가지 신호를 비교한 결과 결함이 없는 경우(CASE A)가 진폭이 가장 크게 획득되었고, 멀티빔이 모두 결함을 지나는

경우(CASE B)가 진폭이 가장 작게 획득되었다.

CASE B와 CASE C를 비교하면 결함을 지나는 세 번째, 네 번째 멀티빔의 진폭이 같아야 하지만, 실제로는 CASE C의 세 번째 빔이 진폭이 더 크게 획득되었다. 이는 두 번째의 빔에서 발생된 초음파가 뒤에 있는 결함에 반사된 후 측정되는 과와 결합하여 증폭된 신호가 획득된 것이라 생각된다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여, 향후 연구로는 신호들의 주파수 영역에서의 분석과 결함의 깊이 정보에 대한 분석도 필요하리라 생각된다.

참고문헌

1. 이승석, 장태성, "레이저 유도 초음파에 대한 이해," 비파괴검사학회지, Vol. 22, No. 1, 74-87, 2002
2. C. B. Scruby and L. E. Drain, "Laser ultrasonics : technique and applications," Adam-Hilger, New York, 1990
3. 임충수, 박형국, 전형하, 김달우, "레이저 응용 초음파를 이용한 금속 시편의 결정 입경 측정 연구," 비파괴검사학회 춘계 학술대회, 59-63, 2002
4. 최상우, 이준형, 조윤호, "배관부 붕괴 및 결함 평가를 위한 레이저 유도 초음파 적용 기술," 비파괴검사학회 춘계 학술대회, 46-54, 2002
5. 장경영, 김홍준, D. Ceringglia, B. Djordjevic, "레이저 여기 램파를 이용한 항공기 관재 접합부의 비접촉식 초음파 검사," 비파괴검사학회지, Vol. 21, No. 2, 163-168, 2001
6. T. Miura, H. Kuroda, M. Ochiai and K. Naruse, " Applications of laser-ultrasonic technique for nuclear power plants," J. of JSNDI, Vol. 51, No. 4, 194-199, 2002
7. S. B. Palmer and S. Dixon, "Industrially viable non-contact ultrasound," Insight, Vol. 45, No. 3, 211-217, 2003
8. 박승규, 백성훈, 박문철, 임창환, 나성웅, "적응적 에러 보정과 다이나믹 안정기를 이용한 레이저 유도 초음파 검사 시스템 개발," 비파괴검사학회지, Vol. 25, No. 5, 391-399, 2005
9. 박승규, 정현규, 백성훈, 임창환, 주영상, 강영준, "레이저 초음파의 표면파를 이용한 표면결함 측정," 비파괴검사학회지, Vol. 26, No. 2, 84-89, 2006
10. 장태성, 이정주, 이승석, "레이저 선 배열을 이용한 레이저-여기 표면 탄성파의 발생 및 주파수 특성," 한국비파괴검사학회 추계 학술발표회, 150-155, 2001
11. 이승훈, 박승규, 백성훈, 강영준, 김성중, 심우승, "레이저 초음파를 이용한 용접비드면의 표면결함 검출에 관한 연구," 한국정밀공학회 춘계 학술대회, 355-356, 2007