

레이저 초음파의 고주파 신호를 이용한 미세결함 검출

Detection of Fine Defects by using Laser Ultrasonic Technology with High Frequency

*박각규¹, 백성훈¹, 박승규¹, 강영훈², 최인영³, 김안드레이³

*N. K. Park¹, S. H. Baik¹, S. K. Park¹, Y. J. Kang², I. Y. Choi³, Andrey Kim³

¹한국원자력연구원, ²전북대학교 기계설계공학부, ³전북대학교 대학원 기계설계학과

Key words : Laser Ultrasonic Inspection , Pulse laser, Frequency

1. 서론

초음파는 구조물과 이에 사용되는 재료들의 안전진단을 위한 방법으로 널리 사용되어 왔다. 고분해능, 비접촉식 등의 여러 가지 장점을 가진 레이저를 초음파 검사방법에 도입하여 레이저를 이용한 초음파의 발생 및 발생된 초음파의 검출에 사용하게 되는데 효율적인 초음파의 발생 검출된 신호의 신호 대 잡음비 개선 등의 시스템 신뢰도 및 효율 향상을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 연구에는 이러한 연구의 일환으로 레이저를 이용하여 초음파를 발생시키고 이를 핵연료 시편의 이면에 존재하는 미세결함을 검출하고자 하는데 고주파 영역의 초음파 신호를 획득하여 이를 이용하고자 한다. 핵연료 시편은 두께가 2mm 이고 따라서 시편의 이면에 존재하는 결함의 규모는 상대적으로 작을 수밖에 없다. 이러한 미세한 결함의 유무를 초음파를 이용하여 판단하고자 할 때는 발생하는 초음파의 주파수가 시간영역에서 결함인 부분과의 구분이 가능할 정도의 영역에서 존재하여야 하며 초음파를 획득하는 시스템 및 장치 또한 이의 구분이 가능할 정도의 분해능을 가져야 한다. 현재 시편에 초음파를 발생하여 전달하는 장치로 Piezoelectric transducer, EMAT, Laser 등을 사용하고 있으나 접촉식 방법인 Piezoelectric transducer를 널리 사용하고 있다.

본 연구에서는 이를 비접촉식 방법인 pulse laser를 이용하여 초음파를 발생시키고 결함의 깊이에 따른 신호를 획득하여 비교적 얇은 두께의 시편에서 구분이 가능한 결함의 깊이에 대하여 알아보고자 한다.

2. 시스템의 구성

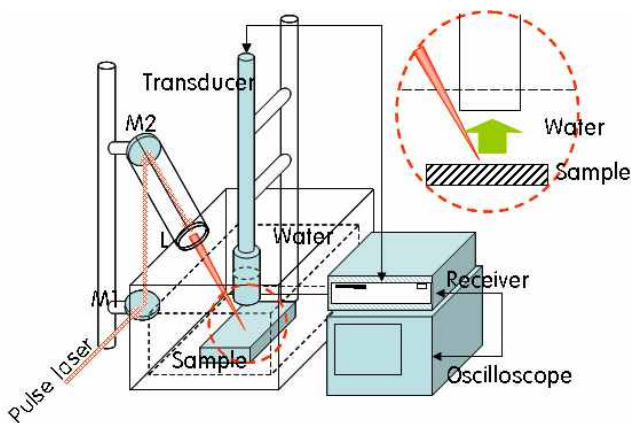


Fig. 1 Schematic diagram of the laser ultrasonic system

본 연구에서는 레이저 초음파의 고주파 성분을 이용하여 판형 시편의 이면결함에 대한 깊이 정보를 추출하는 실험을 수행하였다. 고주파 성분의 초음파 발생을 위하여 레이저 초음파를 사용하였으며, 발생된 초음파는 50MHz 중심주파수를 가지는 트랜스듀서를 사용하여 신호를 획득하였다. 레이저 초음파 발생을 위하여 사용된 레이저는 Nd:YAG 펄스레이저이며 레이저 빔의 파장은 532nm이고 펄스폭은 약 10ns이다.

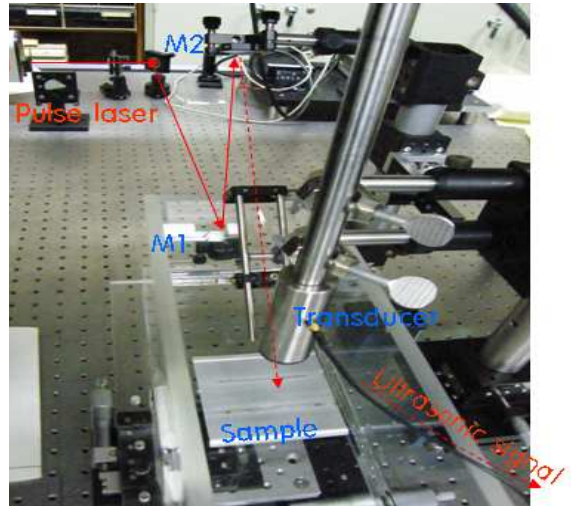


Fig. 2 Photograph of the configured laser ultrasonic system

3. 시험편

실험에 사용된 판형 시편은 두께 2mm인 두랄루민 재료이며 Fig 3에서와 같이 이면 결함의 깊이는 각각 0.1mm, 0.2mm, 0.3mm, 0.4mm, 0.5mm, 0.6mm, 1.0mm, 1.5mm이다.

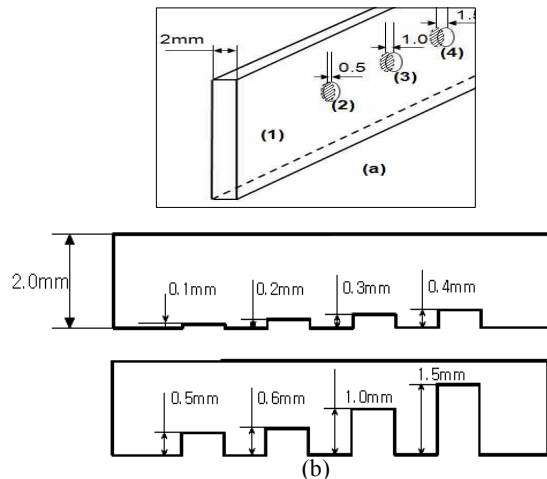


Fig. 3 Schematic diagram of a specimen ((a),(b))

펄스레이저 빔의 조사에 의하여 발생하는 초음파는 광대역 주파수 성분이 모두 혼합된 신호가 발생된다. 광대역 주파수 신호가 모두 혼합된 초음파 신호를 획득하여 미세한 결함의 깊이 정보를 효율적으로 추출하기에는 어려움이 있다. 그러므로 약 0.12mm의 공간분해가 가능한 50MHz의 주파수 신호 성분만을 검출하여 결함의 깊이 정보를 추출하였다. 결함의 깊이 정보는

50MHz의 종파신호의 시간 영역에서 도달 시간차를 이용하여 측정하였다.

4. 실험 및 결과

펄스레이저의 Q-Switch의 delay time을 485us ~490us까지 차례로 변화시켜 펄스레이저가 조사되는 시편의 표면에서 융발현상이 발생하지 않도록 power를 조절하였고, 시편의 표면과 시편을 통하여 이면에서 반사되어 나온 초음파의 시간영역에서의 간격을 시편의 두께 및 결함부분에서의 결함선단의 위치를 판단하는 data로 사용하였다.

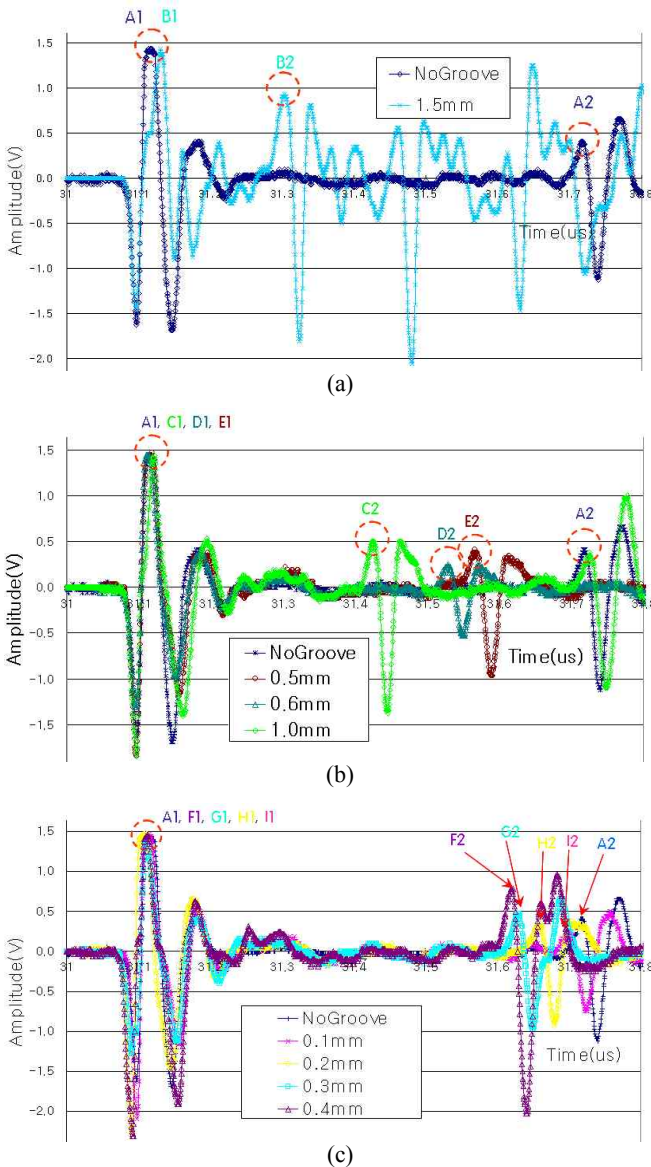


Fig. 4 Comparison of ultrasonic signals for each defect ((a), (b), (c))

Fig. 4의 (a)를 보면 결함이 없는 부분의 시편 표면에서 초음파 A1이 발생한 뒤 시편 내부 통과하여 이면을 맞고 왕복하여 검출된 신호 초음파 A2가 존재하는 것을 볼 수 있다. 이에 비하여 결함깊이 1.5mm인 부분에서는 초음파가 시편을 경과하는 거리가 상대적으로 짧게 되므로 결함부분에서의 이면 초음파 신호 B2는 A2보다 시간축에서 앞 부분에 위치하는 것을 볼 수 있다. 이는 각 결함의 깊이에 따라서 선형성을 가지게 되는데 Fig. 4의 (b)에서는 결함 깊이가 1.0mm, 0.6mm, 0.5mm의 순서대로 이면의 초음파가 검출되는 것을 볼 수 있으며 (c)의 0.4mm, 0.3mm, 0.2mm, 0.1mm

도 역시 같은 양상을 나타내고 있는 것을 볼 수 있다. Fig. 4에서 나타난 결함 깊이별 시편 이면에서의 초음파 신호의 변화는 Fig. 5와 같이 요약할 수 있다.

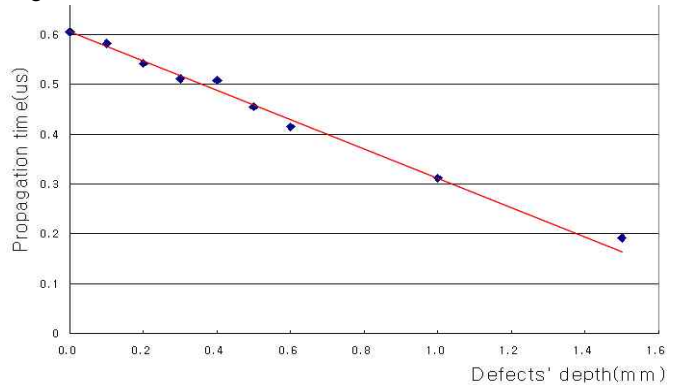


Fig. 5 Propagation time of ultrasonic waves for each defect

Fig. 5에서 보면 결함 깊이가 0.4mm를 제외한 결함의 깊이별 초음파의 전파 시간이 선형적으로 변화하는 것을 볼 수 있다. 또한 결함이 없는 부분과 결함 깊이가 0.1mm인 곳의 구분이 가능하며 결함 깊이가 0.3mm 이상인 곳에서의 결함은 초음파의 전파시간 0.1us 단위로 확연히 구분이 가능한 것을 볼 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 레이저 초음파의 고주파 성분을 이용하여 판형 재료의 이면결함의 깊이를 측정하였다. 레이저 초음파의 고주파 성분은 효과적으로 발생되는 것을 확인하였고 이를 이용하여 미세결함의 유무를 판단할 수 있었다. 두께 2mm인 두랄루민 시편에 인공결함을(최소 0.1mm부터 1.5mm까지) 만들어 이를 구성된 레이저 초음파 시스템을 이용하여 결함의 위치를 판단할 수 있었는데 결함은 최소 0.1mm부터 검출이 가능하였으며 0.3mm 이상인 곳에서는 더욱 확실하게 결함이 존재하지 않는 부분과의 구분이 가능하였다.

차후 연구에서는 레이저 초음파법을 핵연료 시편에 적용하여 시편내의 공극 및 결함을 검출하는데 사용하고자 하며 초음파 검출 방식에 검사속도가 빠르며 비접촉식 방법인 레이저 간섭계를 적용하여 고주파 성분을 효과적으로 획득할 수 있는 시스템을 개발하고자 한다.

참고문헌

- 1 A. S. Birks and R. E. Green, *Nondestructive Testing Handbook*, (American Society for Nondestructive Testing Inc., 1991).
- 2 S. Yashiro, J. Takatsubo, H. Miyauchi, N. Toyama, "A novel technique for visualizing ultrasonic waves in general solid media by pulsed laser scan", *NDT&E International* 41, 137(2008).
- 3 M. Ochiai, N. Mukai, Y. Sano, H. Nakano, "Compact and robust inspection system for micro cracking detection using laser-induced surface waves", *10th International Symposium on Nondestructive Characterization of Materials*, June 26-30, Karuizawa, Japan (2000).
- 4 H. Voillaume, D. Simonet, C. Brousset, P. Barbeau, M. Dubois, T. Drake, "Analysis of commercial aeronautics applications of laser ultrasonics for composite manufacturing", *ECNDT*, (2006).