액화수소 저장용기 내부 결함 검출을 위한 유도초음파 모드 분석

Analysis of Propagation Mode of Ultrasonic Wave for Detection of Internal Defect at Liquid Hydrogen Storage Vessel

*오현근[1], #김기복[1],양승환[1],김건우[1],최남경[1],남승훈[1]
*H. G. Oh[1], #K. B. Kim(kimkibok@kriss.re.kr)[1] ,S. H. Yang[1], K. U. Kim[1], N. K. Choi[1] , S. H. Nahm[1]
[1]한국표준과학연구원

Key words : Ultrasonic Guided Wave, Liquid Hydrogen Vessel, Internal Defect, STFT

1. 서론

화석 에너지의 무분별한 사용으로 인하여 지구의 대기오염 및 온난화 등과 같은 환경 문제가 심각하다. 이를 해결하기 위하여 고효율에 친환경적인 에너지인 수소에너지에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 하지만 수소는 폭발성이 강한 기체이기 때문에 안전한 보관이 중요하며 현재까지 액화수소 저장용기에 대한 비파괴 검사방법에 관한 연구는 다소 미흡한 실정이다.

액화 수소 저장용기는 내벽과 외벽 그리고 이 사이에 있는 단열층으로 이루어져 있다.[1] 초음파가 단열층을 통과하기가 어렵기 때문에 용기의 외부에서 초음파를 이용하여 내부의 결함을 탐상하는 거의 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 초음파 탐촉자를 수소 저장용기의 내부에 설치하여 검사하기 위한 방법을 개발하고자 하였다.

일반적인 초음파 탐상법은 탐상 범위가 제한되어 있어 저장 용기의 전 범위에 대한 탐상이 어렵다. 따라서 원거리 탐상이 가능한 유도 초음파를 이용하여 수소 저장용기의 건전성을 평가할 수 있는 방법을 개발하고자 하였으며 기초연구로서 액화수소 저장용기의 내벽 두께와 동일한 박판을 이용하여 결함에 따른 유도초음파의 모드를 분석하기 위한 연구를 수행하였다.

2. 균열 검출 원리

초음파가 일정한 두께의 판에 경사로 입사 할 때 판 내부에서 종파와 횡파가 발생하여 반사, 굴절 모드변환을 일으키며 판을 따라 전파된 후 일정한 모드의 파가 생성되는데 이러한 파를 유도 초음파라 한다. 유도 초음파가 진행을 하다가 판의 두께가 변하면 모드변환이 발생하여 새로운 전파 모드가 나타나게 되며 정상 판에서의 초음파 모드와 결함이 있는 판에서 초음파 모드의 차이를 비교하여 결함의 검출이 가능하다.[2]

모드 분석 방법으로서 단 시간 퓨리에 변환(STFT)을 사용하였다. 퓨리에 변환은 단점의 신호를 분석할 때 주파수 영역으로 신호가 변화되면서 시간영역의 정보를 알 수가 없다는 것이다. 따라서 이러한 한계를 극복하기 위하여 적절하게 선택된 창문 함수 w를 이용하여 식(1)과 같이 시간축을 나누어 퓨리에 변환 한 수 시간-주파수영역으로 나타낼 수 있다.[3]

$$X[f,t] = \sum_{m=0}^{L-1} w[m]x[t+m]e^{-i(2\pi t/N)m} \quad (1)$$

여기서 X[ ]는 STFT 변환 결과, f는 주파수, ω는 창 함수, x[ ]는 원 신호, m, L, N는 정수

3. 실험 방법

그림1에서 보는 바와 같이 인공적으로 제작한 깊이 0.1, 0.5, 0.7 mm의 표면 결함을 가지는 알루미늄 판(2440×1220×3 mm) 위에 20°의 쐐기각을 가지는 중심 주파수가 2.25 MHz인 종파용 초음파 탐촉자 2개를 서로 마주보게 배치하여 유도초음파를 송수신 할 수 있도록 하였다. 사용된 초음파 송수신 장비는 PCIAD1650 보드(US Ultratek, Inc.)로서 컴퓨터에 장착하여 사용된다. 송수신 탐촉자의 거리를 일정하게 유지 시킨 후 결함의 크기에 따른 수신되는 유도 초음파의 모드를 분ㄴ석하였다. 분석 프로그램은 Visual C++ 6.0과 MATLAB소프트웨어를 이용하여 작성하였으며 결함의 종류에 따라 수신된 유도초

음파를 단시간 퓨리에 변환(STFT)하여 분석하였다.

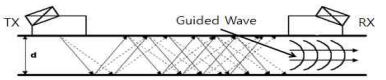
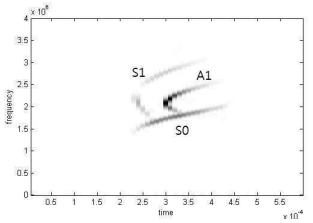
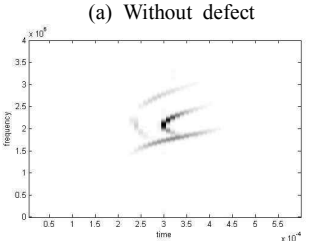


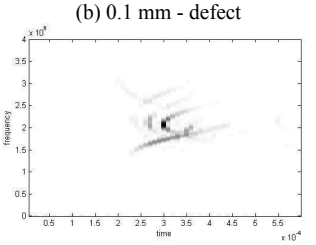
Fig. 1 Transmitting and receiving of ultrasonic guided wave on the plate with defect.



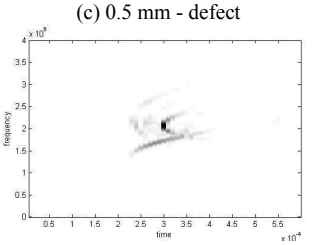
(a) Without defect



(b) 0.1 mm - defect



(c) 0.5 mm - defect



(d) 0.7mm - defect

Fig. 2 Mode identifications of ultrasonic guide wave for plate with defects

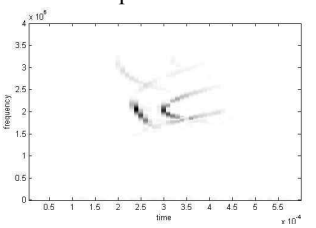


Fig. 3 Difference in STFT results between with and without defect(0.1 mm)

4. 결과

판에 결함이 없는 상태에서 측정하였을 경우 그림 2와 같이 3개의 모드(S0, S1, A1)가 나타는 것을 알 수 있다. 결함이 큰 경우(0.5, 0.7 mm)에는 그림 2(b) 및 2(c)에서 보는바와 같이 단시간 퓨리에 변환 값들과 결함이 없을 때의 결과(그림 2(a))와 모드 변환 차이가 나타나 결함 유무의 평가가 가능한 것으로 나타났다. 반면 결함 크기가 0.1 mm인 경우는 그림 2(b)와 같이 결함이 없는 신호의 STFT결과(그림 2(a))와 구분이 곤란한 것으로 나타났다. 따라서 결함의 유무를 보다 명확하게 평가하기 위하여 결함이 없을 때의 STFT결과와 결함이 있을 때의 STFT결과의 차이를 이용하여 나타낸 결과 그림 3에서 보는 바와 같이 그림 2(a)에서 나타난 모드와는 다른 모드의 신호가 나타나 0.1mm 결함의 검출이 가능 할 것으로 분석되었다.

5. 결론

유도초음파를 적용하여서 결함의 크기에 따른 유도초음파 수신신호에 대하여 단시간 퓨리에 변한기법을 적용하여 유도초음파 전파 모드를 분석한 결과 결함의 유무에 따른 전파모드의 차이가 나타나 결함의 유도 판전이 가능할 것으로 판단된다. 향후 본 연구의 결과를 바탕으로 실제 액화수소 저장용기에 적용하여 그 유용성을 검증할 계획이다.

후기

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 휴먼인지환경 사업본부-신기술 융합형 성장동력사업의 지원을 받아 수행된 연구임(NO. 20011K000774)

참고문헌

1. I. K. Jung and H. K. Kang, “Thermal Analysis of a Liquid Hydrogen Vessel with Multi-Layer -Insulation and Vapor-Cooled Shield”, Transactions of the Korean Hydrogen and New Energy Society, 16, 284-289, 2005
2. Y. G. Kim, K. J. Park, J. K Lee, H. S Moon and D. H. Yoo., "Interpretation for a Route Reflection of Torsional Mode in Guided Wave", Proceedings of the Korean Institute of Intelligent Systems Conference, 19, 316-318, 2009
3 I. K. Park, Y. K. Kim, Y. A. Cho, Y. S. Ahn and Y. S. Cho, "A Study on the Behavior of Ultrasonic Guided Wave Mode in a Pipe Using Comb Transducer ", Journal of the Korean Society for Nondestructive Testing, 24, 142-150, 2004