

유도초음파를 이용한 액화수소저장 용기 시편의 인공 표면 결함 검출

Detection of artificial surface defects at specimen of liquefied hydrogen storage vessel by ultrasonic guided waves.

*김기복¹, 오현근¹, 양승환¹, 김건우¹, 최남경¹

*K. B. Kim(kimkibok@kriss.re.kr)¹, H. G. Oh¹, S. H. Yang¹, K. U. Kim¹, N. K. Nahm¹

¹한국표준과학연구원

Key words : Ultrasonic guided wave, Liquid hydrogen vessel, Artificial surface defects, STFT

1. 서론

최근 화석 에너지의 남용에 따른 대기오염 및 온난화 등과 같은 환경 문제로 인하여 친환경 에너지에 대한 관심이 증가하고 있다. 이에 따라 친환경 에너지 중의 하나인 수소에너지에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 수소는 기화성이 강한 기체로서 누출이 되면 폭발의 위험이 크다. 따라서 매우 수소를 안전하게 보관하는 것이 중요하다. 그러나 현재까지 액화수소저장용기에 대한 비파괴 검사 방법에 관한 연구는 다소 미흡한 실정이다.

액화 수소 저장용기는 내벽과 외벽 그리고 이 사이에 단열층이 있는 구조로 이루어져 있다.¹ 초음파는 단열층을 통과하기 어렵기 때문에 용기 외부에서는 내벽의 결함을 탐상하기가 어렵다. 따라서 본 연구에서는 초음파 탐촉자를 수소 저장용기의 내부에 설치하여 검사하기 위한 방법을 개발하고자 하였다. 일반적인 벌크 형태의 초음파는 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 하였다. 기초연구로서 액화수소 저장용기의 내벽 두께(3t)와 재질(sus304)이 동일한 박판을 이용하여 결함에 따른 유도 초음파의 모드를 분석한 후 결함을 검출할 수 있는 방법을 모색하였다.

2. 유도초음파 모드 분석 방법

초음파가 일정한 두께의 판에 경사로 입사 할 때 판 내부에서 중파와 횡파가 발생하여 반사, 굴절 모드변환을 일으키며 판을 따라 전파된 후 일정한 모

드의 파가 생성되는데 이러한 파를 유도초음파라 한다. 유도 초음파가 진행을 하다가 결함을 만나게 되면 초음파신호의 변화가 발생한다.² 이러한 유도 초음파는 서로 다른 속도와 주파수를 가지고 있는 모드들이 중첩되어 파형을 이루면서 진행하기 때문에 원 신호만을 가지고는 결함의 유무를 판단하기가 어렵다. 따라서 획득한 신호를 다음식(1)과 같은 단 시간 푸리에 변환(STFT)을 사용하여 유도 초음파 모드를 분석하였다.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, f 는 주파수, ω 는 창 함수, $x[]$ 는 원 신호, m, L, N 는 정수

3. 실험 방법

결함이 없는 시편 1개와 각각 다른 크기의 결함을 가지고 있는 시편 5개(결함1: 폭=571 μ m 깊이=1582 μ m, 결함2: 폭=565 μ m 깊이=1010 μ m, 결함3: 폭=293 μ m 깊이=656 μ m, 결함4: 폭=141.2 μ m 깊이=260 μ m, 결함5: 폭=53.6 μ m 깊이=76 μ m)를 제작 하여 실험을 하였다. 중심 주파수 2.25 MHz인 접촉식 탐촉자와 췌기를 사용하여 그림 1과 같이 유도초음파를 송수신 하였다. 탐촉자 사이의 거리를 일정하게 유지하기 위하여 탐촉자를 고정 시킬 수 있는 지그를 제작 하였다. 사용한 초음파 송수신 장비는 펄스/리시버(Krautkramer Japan co., Ltd, HIS-2)와 오실로스코프(Lecroy, Wave Runner 62Xi)로 구성하였다. 수신된 초음파의 분석은 MATLAB 프로그램을 이용하여 분석하였다.

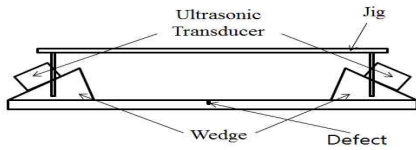


Fig. 1 Transmitting and receiving the ultrasonic guided wave

4. 결과

결함이 없는 시편에서의 신호를 단시간 푸리에 변환하였을 경우 그림 2와 같이 2개의 모드(S0, S1)가 검출되었다. 이러한 파형만을 이용하여 시편의 결함 여부를 판단할 경우 여러 가지 모드가 섞여있어서 결함 여부를 판단하기가 힘들다. 따라서 단시간 푸리에 변환한 결과들을 모드별로 표시한 다음 식(2)와 같이 건전한 시편에서 얻은 단시간 푸리에 변환 결과와 결함 시편에서의 단시간 푸리에 변환결과와의 차이를 이용하여 결함 여부를 판단하고자 하였다.

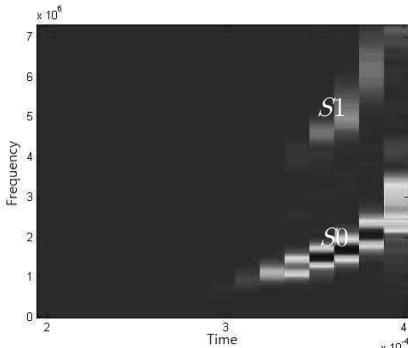


Fig. 2 Result of SIFT for without defect

$$A[f, t] = abs(B[f, t] - x[f, t]) \quad (2)$$

여기서, B는 결함이 없는 시편, x는 검사 시편

이러한 차이 값에서 일정한 문턱값을 넘은 픽셀의 개수와 차이 값이 가장 큰 값을 결함 시편의 구분에 사용하였다. 결함이 없는 시편에서 100개의 신호를 획득하였으며 결함이 있는 시편에서는 결함 별로 각각 20개씩의 신호를 획득하였으며 식(2)에 적용한 결과 그림 3 및 4에서와 같이 S1모드보다 S0모드를 이용하는 것이 결함 검출에 적합 한 것으로 나타났다. 결함이 없는 시편을 결함으로 판정한 경우가 2회 나타났으며(정확도: 98%) 결함 1, 2, 3 시편에서는 각각 결함을 정확하게 검출하였다(정확도: 100%). 결함시편 4, 5에서는 각각 2개씩이 결함이 없는 시편으로 검출이 되었다(정확도: 90%).

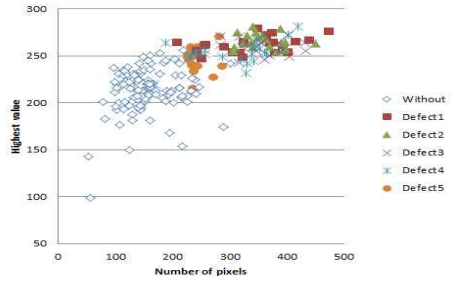


Fig. 3 Classification result of defects by S0 mode

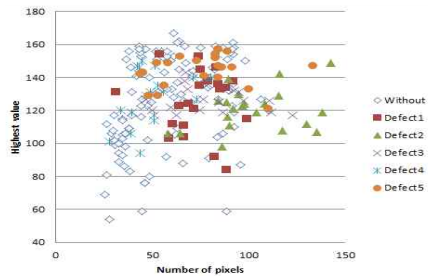


Fig. 3 Classification result of defects by S1 mode

5. 결론

유도초음파를 이용하여 수소 저장용기의 내벽에 대한 인공 결함을 검출하기 위한 실험을 수행한 결과 총 200개의 유도초음파 신호 중에서 결함검출 오차는 6개로서 97%의 정확도로 결함 검출이 가능 하였다. 향후 본 연구 결과를 바탕으로 액화수소 저장용기에 적용하여 결함 검출의 가능성을 검증할 계획이다.

후기

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 휴먼인지환경 사업본부-신기술 융합형 성장동력 사업의 지원을 받아 수행된 연구임(2012K000774)

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