

금속압력용기의 사용 전 음향방출시험

Pre-service Acoustic Emission Testing for Metal Pressure Vessel

이종오*[†], 윤운하*, 이태희**, 이종규***

Jong-O Lee*[†], Woon-Ha Yoon*, Tae-Hee Lee** and Jong-Kyu Lee***

초 록 사용하지 않은 새 금속 압력용기에 대하여, 사용 전 음향방출시험을 수행할 때 장비점검, 탐촉자 간 거리, 탐촉자 위치, 전 측정 시스템 점검, 가압방법, 잡음 제거법 및 시험 결과의 평가 등에 대한 절차를 수립하고 현장 응용시험이 수행되었다. 일반적으로 음향방출 시험은 많은 잡음을 포함하는데 시험동안 관찰결과를 기록하여 평가 시 시간 필터링함으로써 잡음을 제거할 수 있었다.

주요용어: 음향방출, 압력용기

Abstract The field application of acoustic emission(AE) testing for brand-new metal pressure vessel were performed. We will introduce the test procedure for acoustic emission test such as instrument check, distance between sensors, sensor location, whole system calibration, pressurization sequence, noise reduction and evaluation. The data of acoustic emission test contain many noise signal, these noise can be reduced by time filtering which based on the description of observation during AE test.

Keywords: acoustic emission, pressure vessel

1. 서 론

음향방출(acoustic emission: AE)이란 재료내의 국부적인 영역에서 갑작스런 탄성장의 변화에 의해서 발생되는 탄성파를 말한다. 재료내의 탄성장의 변화는 소성변형, 균열의 발생·성장, 자구의 이동, 상변태 등 여러 가지 요인이 있을 수 있으며, 이들이 음향방출의 발생원이 된다. 특히 비파괴적으로 관심을 갖는 분야는 균열의 발생 및 성장이며, 시험편에 자극을 주어 자극에 대한 반응을 관찰하는 시험편 주사식인 다른 비파괴검사 방법과는 달리 탐촉자를 고정하고 압력을 가해 시험편 전 체적에서 발생하는 음향방출 신호를 검출하여 평가하는 방식이다.

본 논문은 국내에서 제작되어 외국에 설치될 NH₃ recycle tank의 사용자 요구사항의 하나로 음향방출 시험을 실시한 예이며, 금속 압력용기의 음향방출 시험에 대한 현장시험을 통하여 실험절차 및 시험에서 주의해야할 점들을 소개하고, 특히 압력용기의 음향방출시험 시 잡음제거 등 금속 압력용기의 건전성 평가에 도움을 주고자 한다.

2. 실험

2.1. 시험의 준비

본 연구에 사용된 압력용기는 NH₃ recycle

tank(MLM-C-5430)로 shell 길이 3.8 m, 내경 2.5 m, 두께 37 mm, 2:1 타원형 head, head 두께 44 mm의 수직 스키트형 용기로 재질은 SA515-55 이다[1].

2.2. 실험 방법

검사대상 압력용기의 음향방출시험을 위한 장비의 구성은 Fig. 1과 같다. 그림에서 보는 것처럼 압력용기에 적절하게 배치된 탐촉자에 의해 검출된 AE 신호는 personal computer에 의해 구동되는 Spartan2000 System(PAC)에 입력되어 신호 처리된다.

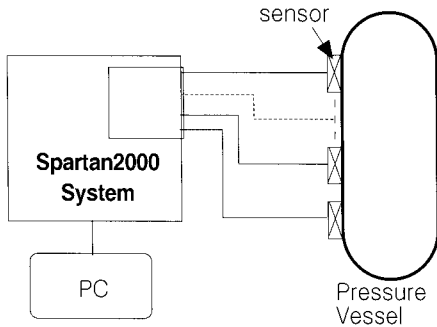


Fig. 1 The block diagram of AE testing

탐촉자는 마그네틱 홀더를 사용하여 압력용기에 부착시켰고 신호의 전달효율을 높이기 위해 접촉매질로 진공 그리스가 사용되었다. 시험에 사용된 탐촉자는 중심 주파수 150 kHz의 공진형 R15I(PAC)이며, 케이블은 길이 60 m RG58A/U(PAC)를 사용하였다. 압력시험의 매질은 물이 사용되었으며, 시험하는 동안 물의 온도는 21.5°C였다. AE 시험 장비의 이득은 전치 증폭기에서 40 dB, 주 증폭기에서 23 dB로 총 63 dB로 설정하였고 문턱값은 45 dB로 설정하였다.

2.3. 시험장비 및 설치 점검

음향방출시험이 수행되기 전 장비점검, 속도 및 감쇠측정, 탐촉자 부착 여부 확인 등을 수행한다.

(1) 장비점검은 채널 간의 비교를 통하여 각 채널의 이상 유무를 확인하는 것으로 pulser와 다른 한 탐촉자를 사용하여 각 채널의 count, amplitude, rise time, duration 등을 점검하여 모든 채널에서 거의

같은 값을 가지는 것을 확인한다.

(2) 시험체의 음향전달에 대한 감쇠와 속도 측정은 검사대상체에 부착된 탐촉자 간 거리 및 탐촉자 위치를 결정하기 위해 실시하며, 같은 재질의 압력용기라도 두께에 따라 감쇠가 달라지므로 감쇠 측정은 시험체에서 직접 수행하여야 한다. Fig. 2는 시험체에서 거리에 따른 감쇠를 나타낸다. 2 m에서 약 35 dB의 감쇠가 있었고 장비의 설정 문턱값 45 dB를 고려할 때 탐촉자간 거리는 3 m 정도가 적당한 것으로 판단하였다. 속도측정결과 속도는 3100 m/s 이었다. 속도와 감쇠 측정결과를 이용하여 적절한 간격으로 탐촉자를 부착한다. Fig. 3은 압력용기에 부착된 탐촉자의 위치를 나타낸다.

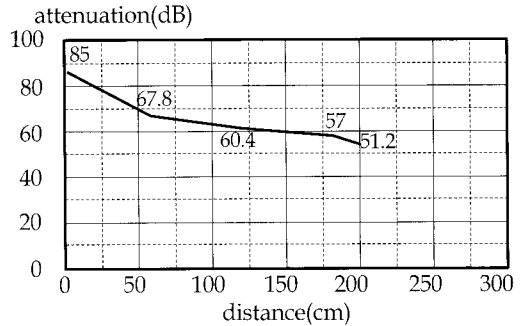


Fig. 2 Attenuation profile with distance

(3) 탐촉자의 부착 후, 탐촉자의 부착된 정도와 음향전달 정도를 측정하기 위해 탐촉자의 감도측정이 실시되었으며, 80 dB이하를 가지는 탐촉자는 부착 상태를 확인하거나 접촉매질, 탐촉자, 마그네틱 홀더의 교체를 통해 모든 sensor의 감도가 80 dB 이상 되도록 조절하였다.

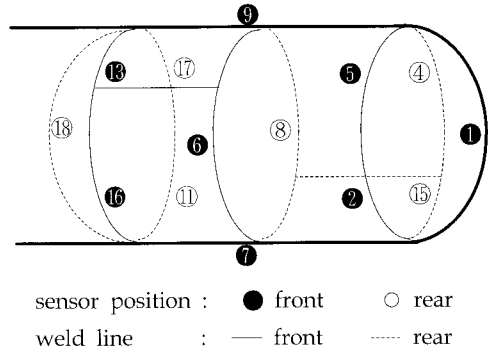


Fig. 3 Sensor location for AE testing

2.4. 음향방출 시험

음향방출 시험은 시험체의 제작이 끝난 후 수압 (또는 공압) 시험과 동시에 실시한다. 가압순서는 수압시험 요건을 벗어나지 않는 범위에서 적절히 조절이 가능하다. 본 연구에서의 가압순서는 ASME 의 요건에 따라 작성된 절차서[2]에 따라 수압시험 압력의 50, 65, 85%에서 10분간 유지하고 최종 100%에서 30분간 유지하며 음향방출시험을 실시한다. 압력의 상승이 과도하지 않도록 주의 한다. 음향방출시험 결과 용기에 이상이 있다고 판단되는 경우, 2차로 동일한 순서로 압력을 올리면서 음향 방출 시험하도록 계획 되었다. 그러나 본 시험 대상 기기는 1차 음향방출시험에서 합격되었으므로 1차 압력 시험으로 종료하였으며, Fig. 4는 본 연구 에서 실시한 가압순서를 보여주고 있다.

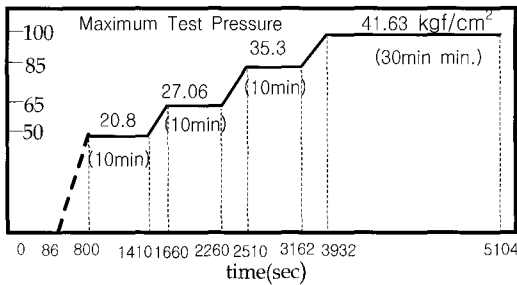


Fig. 4 Loading sequence for AE testing

3. 결과 및 토의

3.1. 시험동안 관찰사항

음향방출시험은 시험동안 잡음(noise)이 많으며 해석의 어려운 점은 이들 잡음과 원하는 신호를 어떻게 구별하느냐에 달려있다. 음향방출 시험시의 잡음으로는 전기적 잡음과 기계적 잡음으로 나눌 수 있으며, 전기적 잡음은 전자장비 특성에 의한 잡음, 근접지역에서 전기 전자장비의 운용에 의한 잡음 등이 있고 기계적인 잡음의 경우 진동, 마찰 및 바람, 비 등의 자연환경 영향, 동물이나 인간의 접촉 등 거의 모든 환경에서 발생된다.

본 음향방출 시험에서는 시험동안 발생 가능한 잡음 및 관찰, 확인된 잡음을 기록하여 시험을 종

료한 뒤 post processing에서 기록된 잡음을 제거한 후 평가하였다.

시험동안 관찰된 잡음으로는 압력을 증가시키거나 유지시키기 위해 valve를 개폐할 때의 기계적 잡음, 압력의 증가율이 높은 경우 flow 잡음, 시험 장소 주변의 전기작업(gouging, grinding)에 의한 전기적인 잡음이었다. Table 1은 시험동안 관찰된 사항을 기록한 것이다.

Table 1 Description for observation during AE test

Time	description
background noise check(20 min)	
07/21 13:20:00	test start
00:01:26-00:02:20	high flow noise(1 kgf/cm ² /min)
00:02:20-00:03:20	reduce (0.4 kgf/cm ² /min)
00:03:20-00:07:55	increase (0.6 kgf/cm ² /min)
00:13:00	load holding(50%)
00:23:00	load restart
00:26:40	load holding(65%)
00:36:40-00:37:40	valve opening noise
00:39:00-00:40:00	high flow noise(2 kgf/cm ² /min)
00:41:36	valve closing noise
00:41:50	load holding(85%)
00:46:58	system trap(test stop)
07/21 15:13:43	test restrat
00:00:00	load holding(85%)
00:10:52	load restart
00:13:42	load holding(100%)
00:43:14	test end

Table 1에서 볼 수 있는 것처럼 00:1:26-00:02:20 사이는 1kgf/cm²/min 의 가압조건에서 잡음이 발생하였고 50%-60% 사이의 가압은 2kgf/cm²/min 정도 이나 잡음이 발생하지 않았다. 그리고 00:13:00, 00:23:00에서는 밸브를 열고 닫을 때에도 잡음이 발생하지 않았으나 65%-85%로 가압을 시작과 마지막 때인 00:36:40과 00:41:00에서는 밸브를 열고 닫을 때 잡음이 발생하였다. 그러므로 본 실험에서처럼 수동 가압기를 사용할 때, 가압조건을 잘 조절 하

면서 가압하여야 하며 수동으로 밸브를 열고 닫을 때도 주의를 하여야 한다. 그리고 실험동안 관찰된 사항은 빠짐없이 기록하여 두어야 올바른 평가가 가능할 것으로 본다.

3.2. 시험 결과의 평가 방법

일반적으로 압력용기의 음향방출 시험 결과를 평가는 다양한 방법이 있을 수 있다[3,4]. 그러나 원리적으로는 가압 시 균열의 발생이나 성장에 의한 탄성장의 교란으로 음향방출 신호가 발생한다고 본다면 평가 방법의 차이는 신호의 해석 방법상의 차이라고 볼 수 있다. 가압이나 압력 정지 시 균열의 발생이나 성장을 고려하면, 압력이 증가한다면 균열이 발생 성장할 가능성이 있으므로 발생한 AE 신호의 수는 증가할 것이고 진폭 또한 증가할 가능성이 있다. 그리고 균열 같은 결함이 없을 때 가압을 정지하고 압력을 일정하게 유지한다면 발생하는 음향방출 신호는 없어야 할 것이다. 그러나 이 경우에 AE가 계속 발생한다면 균열의 성장을 의미하고 심각한 균열이 있는 것으로 고려할 수 있을 것이다. 그리고 잡음과 비교하여 균열에서 발생하는 음향방출 신호는 진폭이 상대적으로 크며 특별한 주파수영역의 신호이므로 이를 이용한 평가방법을 이용하기도 한다. Table 2는 위에 언급한 내용을 토대로 하여 ASME 기준에 적합하게 절차화한 평가 기준을 나타낸다.

Table 2 Evaluation criteria for AE test

Description	criteria
hits during load holding	below 2 hits/ch
amplitude	below 65 dB
AE amplitude with load	do not increase
AE activity with load	do not increase

그러나 위의 결과에 맞지 않다고 해서 시험된 압력용기가 결함이 있기 때문에 사용할 수 없다고 성급한 결론을 내려서는 안된다. 음향방출 시험은 많은 신호를 통계적으로 평가하여 결론을 내리는 것으로 많은 잡은 신호에는 위 결함 조건과 유사한 특징을 나타내는 한 두 개의 신호가 있을 수 있으므로 신호의 공간적인 집중성이나 시간적 연관성

등을 고려하여 평가하여야 한다.

3.3. 시험 결과의 평가

Fig. 5는 측정시간에 대한 음향방출 신호의 진폭 분포를 나타낸 것이다.

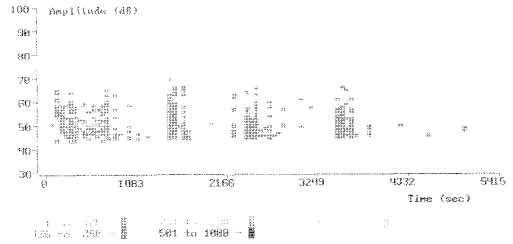


Fig. 5 Amplitude distribution of AE hits

Fig. 5의 음향방출 신호에는 65 dB - 70 dB의 많은 신호를 포함하고 있으며, table 2의 평가기준에 의하면 불합격이 된다. 그러나 이는 3.1에서 언급한 것처럼 많은 잡음신호를 포함하고 있기 때문에 평가에 앞서 잡음신호를 제거해야 한다. 잡음신호의 제거방법은 특별한 특징을 갖는 신호를 필터링하는 방법과 특정한 시간대의 모든 신호를 필터링하는 방법이 있다. 일반적으로는 관찰 결과에 따라 시간대 필터링을 한 후에도 잡음신호가 많이 있다고 판단되면 주파수, count, duration 등의 특별한 특징을 갖는 신호를 필터링을 행할 수 있겠다. 그러나 시간 필터링의 경우 관찰된 잡음신호의 발생시간 구간을 필터링하는 것이기 때문에 충분한 설득력이 있지만 시험 계를 완벽하게 이해하지 않은 상태에서 특별한 특징을 갖는 신호의 필터링은 바람직하지 못하다. Table 3은 Table 1의 관찰 기록을 토대로 본 연구에서 잡음을 제거하기 위해 사용한 시간 필터를 나타낸다.

Table 3 Exclusive filter

filter(time)	channel
00:02:00 ~ 00:02:15	all
00:03:20 ~ 00:04:20	all
00:36:40 ~ 00:37:40	all
00:39:00 ~ 00:40:00	all
00:41:36 ~ 00:41:50	all

Fig. 6은 Fig. 5를 Table 3의 시간 필터를 사용하여 필터링한 결과를 보여준다. 실험 전 구간에서 65dB 이상의 신호는 검출되지 않았고 가압이 되는 동안 진폭이 증가되거나 event 수가 증가하는 경향을 보이지 않았다. 그리고 여기에는 보여주지 않았지만 load holding 한 후 2분 이후에는 각 채널당 2개 이상의 신호가 검출되지 않았다. 따라서 시험체 압력용기는 건전하다고 판단할 수 있었다.

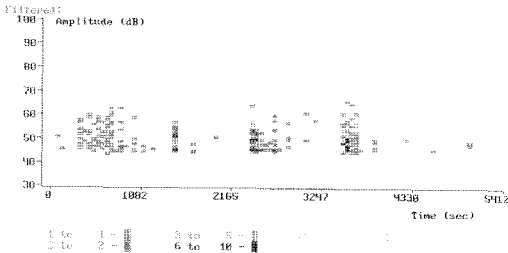


Fig. 6 Amplitude distribution of AE hits after time filtering

만약 1차 가압 시 평가 기준을 넘는 신호가 검출되었다면 일반적인 압력용기의 음향방출 시험 요건에 따라 2차 가압시험에서 음향방출 시험을 실시해야 된다. 여기에서도 평가 기준을 넘는 신호가 관찰되면 3.2에서 언급한 것처럼 신호의 공간적인 집중성이나 시간적 연관성 등을 고려하여 신중히 평가하여야 한다. 이때 결함 존재 영역으로 의심되는 부위에 대하여 초음파 탐상시험 또는 방사선 투과시험 같은 추가적인 비파괴시험을 동원하여 결함을 확인할 수 있다. 추가적인 비파괴시험 결과 결함이 없는 것으로 확인되면 시험체는 건전한 것으로 판단할 수 있다.

그러나 본 연구에서는 1차 가압시험에서 평가기준을 넘는 신호가 관찰 되지 않았으므로 2차 가압 시험 없이 시험 용기를 건전한 것으로 판단하였다.

4. 결 론

새로 제작된 압력용기의 음향방출 시험과 토론에서 다음과 같은 결론을 내릴 수 있었다.

- (1) 일반적으로 음향방출 시험은 많은 잡음을 포함하며 시험동안 관찰결과를 기록하여 평가 시 시간 필터링함으로써 잡음을 제거할 수 있다.
- (2) 압력유지동안 음향방출 신호, 높은 진폭의 신호, AE 활성도의 감시 등을 통하여 압력용기의 건전성을 평가 할 수 있었다.

참고문헌

- [1] NH₃ Feed Tank/NH₃ Recycle Tank의 Acoustic Emission Test, BSID320-2417.C, 한국기계연구원 보고서, (2000)
- [2] Procedure for Acoustic Emission Testing of Pressure Vessel/Tank, AET0100, KIMM, (2000)
- [3] Acoustic Emission Examination of Metallic Vessels during Pressure Testing, ASME Sec. V, Art. 12
- [4] 高張力鋼を用いた球形タンクのアコースティック・エミッション試験方法と試験結果の等級分類法, NDIS 2412