한국정밀공학회지 제 21 권 제 9 호 (2004 년 9 월)
Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 21, No. 9, September 2004.

간접 매체로 전파된 AE 신호 측정을 통한 효과적인 누설 검출기법 제시

이성재*, 김전하**, 강명창#, 김정석***

Presentation of the Efficient Leakage Detection by the Measurement of Indirect Media-Propagated AE Signal

Sung-Jae Lee*, Jeon-Ha Kim**, Myung-Chang Kang#, Jeong-Suk Kim***

ABSTRACT

The high pressure vessels that are constructed by welding process have many welding lines and most of the leakage defects are occurred on these welding lines. The acoustic emission(AE) technique has adopted to detect the defect location and leakage on welding parts, but the AE signal in leakage are incomplete due to the attenuation, reiteration, instability and limit of defect size. To overcome these troubles, the experiments in this study are conducted to measure the indirect media-propagated AE signal perpendicular to the leakage hole. The AE signals that are acquired from the direct and indirect media are analyzed, and the reliability of the indirect media-propagated AE signal are examined experimentally. By AE signal investigation, this method can be adopted to detect efficiently the leakage in welding parts.

Key Words : Acoustic Emission(음향방출), Pressure vessel(압력용기), Leakage(누설), Welding defect(용접 결함)

1. 서론

60, 70 년대 국내 기간산업의 발달과 더불어 많은 산업현장에 대형 압력용기와 파이프라인이 가설되어 운용되고 있다. 이러한 제품들은 항상 외부 기후 환경에 노출되어 있고, 장기간의 사용으로 노후되어 부식으로 인한 누설문제가 크게 대두되고 있는 실정이다.

예를 들어, 석유화학단지나 발전소와 같은 대형 산업현장에서 누설로 인한 폭발사고가 발생한다면 대형 참사를 불러 일으키게 되므로 정기적인 누설 검사와 같은 상태 감시가 절실히 요구되고 있다. 특히 압력용기의 경우는 부식에 약한 많은 용접부위를 가지고 있고, 특정 가스를 내포하고 있기 때문에 더더욱 상태 감시가 요구된다.[1-3]

대형 압력용기의 경우 대부분 평판을 원형으로 굽히고, 길이방향으로 직선 용접을 하며, 양쪽 측면 또한 원형 부품의 용접을 통해 기밀을 유지하게 된다. 따라서, 용접부의 상태가 압력용기에서 가장 중요한 부분이며, 결함 또한 이 부위에서 가장 많이 발생한다.

압력용기의 용접결함 종류에는 동공(Hole), 핀

접수일: 2004 년 3 월 16 일; 게재승인일: 2004 년 5 월 7 일
* 부산대학교 대학원 정밀기계공학과
** (주)태크노라이즈
# 교신저자: 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구소
E-mail kangmc@pusan.ac.kr Tel. (051) 510-2361
*** 부산대학교 기계공학부

홀(Pin-hole), 균열(Crack) 등이 있으며, 이러한 결함의 검출 방법으로는 기압· 수압검사, MT, PT, RT, UT 등이 있다. 하지만, 이러한 방법들은 비용과 시간이 과다 투입되는 단점을 가지고 있다.

최근 상태 감시와 위치 검출에 효과를 발휘하고 있는 음향방출기법(AE : Acoustic Emission, 이하 AE 로 칭함)이 누설검사시의 비용과 시간 측면의 문제점 해결을 위해 활발히 연구되고 있다.

AE 기법은 구조물에서 발생하는 돌발적인 결함에 대해 지정된 간격으로 배치되어 있는 센서들 간의 시간차를 이용하여 위치를 검출하는 것은 가능하지만, 누설신호와 같이 신호의 레벨이 점진적으로 증가하는 경우에 대해서는 연구도 미진한 상태이고, 실시간 검출이 어려운 실정이다. [4-6]

본 연구에서는 압력용기의 모든 결함은 용접부위에서 발생한다고 가정하였으며 실제 압력용기의 용접부 누설에 대해 실험하지 않고, 간단한 유사 모델을 구축하여 실험을 행하였다. 누설 결함 검출을 위하여 직접적으로 누설이 되고 있는 매체와 간접적으로 누설부에 수직한 방향의 매체를 통해 전파된 AE 신호를 검출하여 비교· 평가하였다.

결과적으로 직접 매체를 통한 AE 신호 검출의 문제점과 한계성을 파악하였으며, 간접 매체를 통한 누설 결함 검출의 효과성을 실험적으로 규명할 수 있게 되었다.

2. 실험적 배경 및 실험장치

2.1 실험적 배경

실제 AE 신호는 압력이 가해져야 발생하고, 금속성 물체를 통해 전파되게 된다. 단순히 압력용기 내의 압력만으로 AE 신호는 발생되지 않으며, 또한, 압력의 변화가 생겨도 힘이 가해지는 면적이 충분하지 않으면 발생이 미약하다는 점에서 착안하여 실험에 접근하게 되었다.

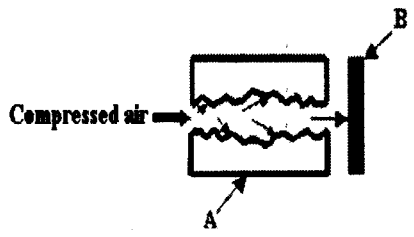


Fig. 1 Generation of AE signal due to the leakage

실험적인 배경은 Fig. 1 에서 잘 설명될 수 있다. A 매체의 결함을 통해 공기가 누설되면 누설구 경로를 따라서는 힘이 전달되는 면적이 적기 때문에 AE 신호의 크기가 미약하고, 오히려 간접적인 B 매체는 큰 면적으로 힘을 받기 때문에 AE 신호의 크기가 보다 클 것으로 예상된다.

그 외 직접 매체를 통해 AE 신호를 검출하게 되면 다음과 같은 단점적인 영향들이 예상된다.

1) 센서와 결함위치까지의 거리에 따른 신호감쇠로 결함 검출오차 유발
2) 용접부의 크기에 따라 센서수량 증가
3) 압력용기는 곡면이므로 실제 센서는 선 접촉을 하므로 신호의 감쇠가 큼
4) 경계면 반사 신호가 중첩되어 검출 에러 유발
5) 검출가능 결함 크기의 한계

이상의 문제점들을 실험적으로 규명하고, 간접적으로 AE 신호를 검출하는 방법을 제시하여 효과적인 누설 결함 검출기법을 제시하고자 한다.

2.2 실험장치 및 방법

먼저 직접 매체에서의 AE 신호 특성을 파악하기 위하여 Fig. 2 와 같은 평판에서 장치를 구성하여 실험을 행하였다[실험 1].

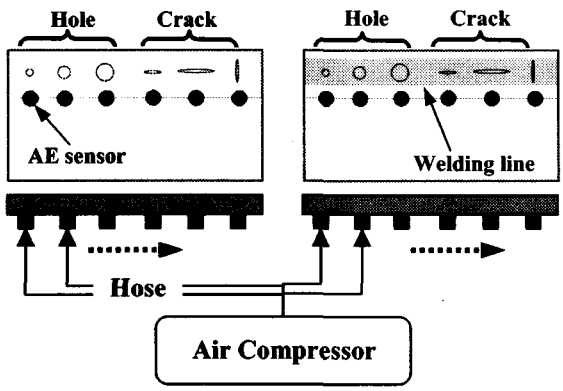


Fig. 2 Experimental setup(Test 1)

두께 12mm 인 평판(SS41)의 일직선 상에 동공과 균열 결함을 제작하였으며, 동공은 일반 드릴로 관통한 구멍이고, 균열은 관통된 구멍을 뾰족한 정을 사용하여 인위적으로 제작하였다. 또한, AE 센서는 결함으로부터 30cm 거리에 부착하였고,

압축공기를 공급하기 위하여 평판의 반대편에 1/8" 니플을 장착하여 측정하고자 하는 결함에 따라 호스를 바꿔 장착하면서 실험을 행하였다. 맞대기 용접 라인상에 결함을 만들어서 동일한 실험을 병행하였다.

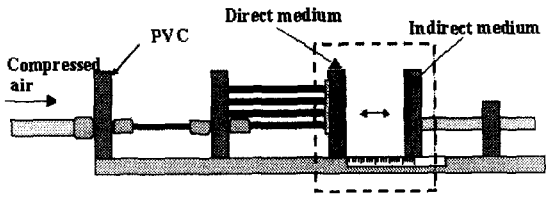


Fig. 3 Experimental setup (Test 2)

Table 1 Experimental conditions

Hole[mm]	1, 2, 3, 4
Distance[mm]	0, 2, 4, 6, 8, 10, 12
Pressure[bar]	1, 2, 3, 4, 5

직접· 간접 매체에 전파되는 AE 신호를 동시에 측정하고 분석하기 위하여 Fig. 3 과 같은 장치를 구성하였으며, 실험 1 과 마찬가지로 직접 매체 평판 상에 동공을 만들고 각각에 호스를 연결하여 측정하고자 하는 동공에 따라 호스를 바꿔 장착하면서 실험을 행하였고, AE 센서를 직접매체와 간접매체에 번갈아 부착하면서 신호를 측정하였다. 실험조건은 Table 1 과 같다[실험 2].

실험 1 은 A/D board 를 사용하여 고주파 샘플링주파수로 원신호를 획득하였고, 획득된 신호로부터 AE 절대평균값을 계산하여 분석하였다.디지털 오실로스코프(Oscilloscope)를 사용하여 신호를 획득하였고, 오실로스코프 상에서 직접 RMS 평균값을 측정하였다.

실험 2 는 디지털 오실로스코프(Oscilloscope)를 신호를 획득하였고, 오실로스코프 상에서 직접 AE RMS 평균값을 측정하였다.

샘플링주파수는 5MHz 이고, 획득시간은 10ms 로 하였으며, 신호의 신뢰성 확보를 위하여 동일한 압력 조건 하에서 반복적으로 AE 신호의 재현성을 확인한 후 실험을 행하였다.

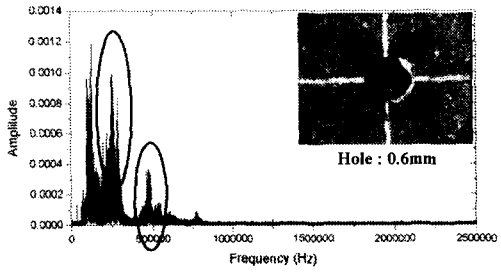
3. 실험결과 및 고찰

먼저 실험 1 로부터 동공과 균열결함의 패턴, AE 신호의 감쇠와 중첩현상, 신호의 불안정, 결함검출 크기의 한계성에 대해 검토한 후, 실험 2 의 결과를 고찰하였다.

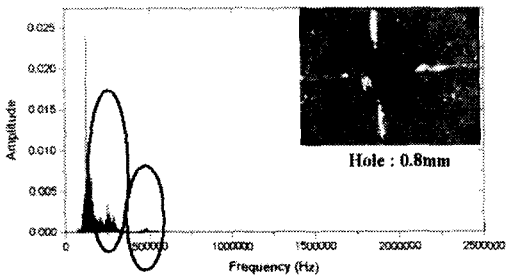
3.1 직접 매체에서의 AE 신호분석[실험 1]

3.1.1 동공과 균열결함의 패턴 분석

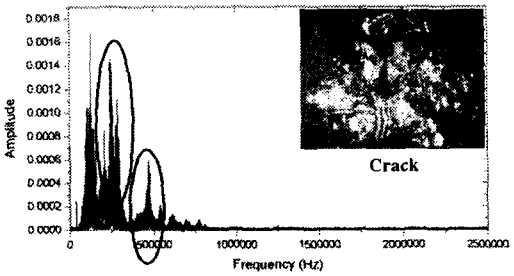
동공과 균열결함의 패턴을 분석하기 위하여 압력과 결함의 크기에 따라 획득한 AE 신호를 FFT(Fast Fourier Transform)변환하여 주파수별 유의차를 Fig. 4 와 같이 분석하였다. Fig. 4 의 (a)~(c)은 일반 평판, (d)는 용접평판 상에서의 동공과 균열에 대한 실험 결과이다.



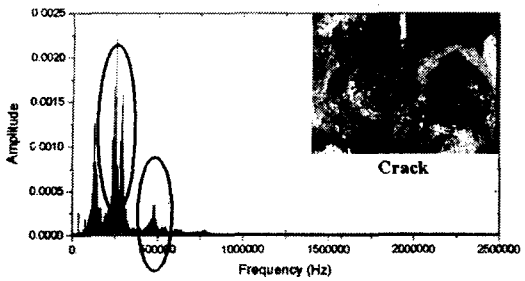
(a) hole size 0.6mm



(b) hole size 0.8mm



(c) in case of crack(plate)



(d) in case of crack(welding plate)

Fig. 4 Analysis of FFT patterns to the hole and crack

누설시의 AE 신호는 100~500kHz 대의 신호를 가지며, Fig. 4 의 (d)에 나타난 용접 평판에 대한 주파수도 동일한 패턴을 가짐을 알 수 있다.

동공이 0.8mm 이상일 때는 500kHz 대의 신호가 미약하거나 발생하지 않지만, 0.6mm 에서는 크게 발생함을 알 수 있었고, 마찬가지로 균열에서도 500kHz 대 신호가 크게 발생함을 파악하였다. 따라서, 500kHz 대 신호는 결함의 종류가 아니라, 누설 유량 면적에 좌우됨을 알 수 있다.

3.1.2 AE 신호의 감쇠와 중첩 현상

AE 신호의 경우 누설 발생 지점으로부터 센서와의 거리가 멀어질수록 감쇠에 의해 레벨이 낮아질 것으로 예상되지만, 실제 평판 실험에서 일정 구간에서는 감소하다가 다시 증가하는 경향을 Fig. 5 에서와 같이 보여주고 있다. 이는 획득 당시의 신호에 경계면에서 반사된 신호가 시간적으로 지연된 후 중첩되어 오히려 증가한 것으로 사료된다.

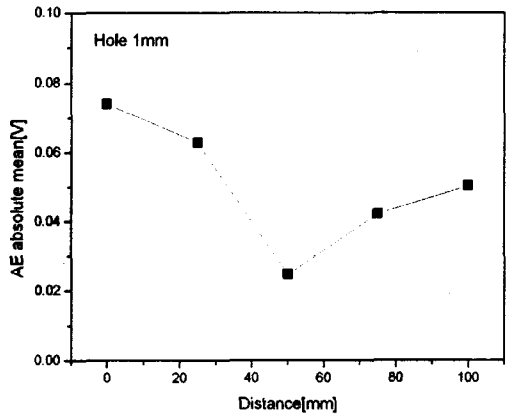


Fig. 5 Attenuation and reiteration of AE signal

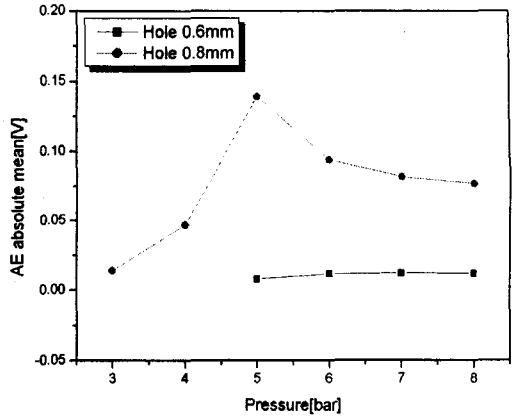


Fig. 6 Instability of AE signal

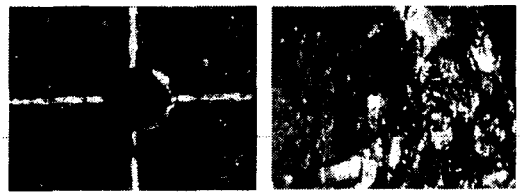


Fig. 7 Shapes of hole and crack

3.1.3 AE 신호의 불안정성

결함 검출을 위해서는 AE 신호가 압력에 따라 선형적으로 증가하거나, 노이즈(Noise)신호 보다는 훨씬 크게 발생하는 것이 유리하다. 하지만, Fig. 6 의 결과와 같이 동공 0.6mm 에서는 신호가 노이즈 신호에 근접할 정도로 아주 미약하게 발생하고 있으며, 동공 0.8mm 에서는 신호가 증가하다가 5 bar 이상에서는 감소하는 경향을 보이고 있다. 이러한 결과는 감쇠와 중첩의 현상과 마찬가지로 오류 유발을 초래하게 될 것이다.

3.1.4 검출 가능 결함크기의 한계

관측자가 직접 시각이나 청각으로 확인할 수 있는 결함도 발생하지만, AE 센서를 이용한 경우에는 직접 확인이 곤란한 부분들에 초점을 맞추어야 한다. 따라서, 검출 가능한 결함크기가 미세할수록 신뢰성이 높아질 것이다. 하지만, 실험결과 약 0.2mm 이하의 신호에서는 AE 신호가 미약하게 나타남을 확인하였다. 인위적으로 만든 0.2mm 정도의 결함크기를 Fig. 7 에 나타내었다.

3.2 직 · 간접 매체에서의 AE 신호분석[실험 2]

3.2.1 직접 매체에서 AE RMS

압력과 동공 크기에 따른 AE RMS 신호의 경향을 Fig. 8 에 나타내었다.

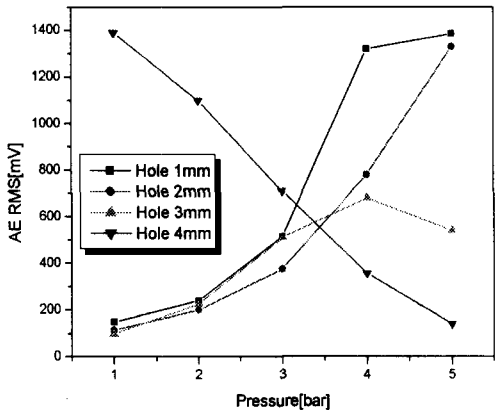


Fig. 8 AE RMS according to pressure and hole

AE RMS 값은 동공이 작아질수록 압력의 증가에 따라 지수적으로 크게 증가함을 알 수 있으며, 반대로 동공이 커질수록 압력의 증가에 따라 그 기울기가 완만해지다가 4mm 에서는 역전되는 경향을 보이고 있다. 이러한 결과로부터 누설시 AE 신호는 동공의 크기와 압력의 상관관계에 의해 결정된다는 것이 실험적으로 증명되었다.

3.2.2 간접 매체에서 AE RMS

간접 매체로 전파된 AE 신호의 압력과 거리에 따른 경향을 Fig. 9 에 나타내었다.

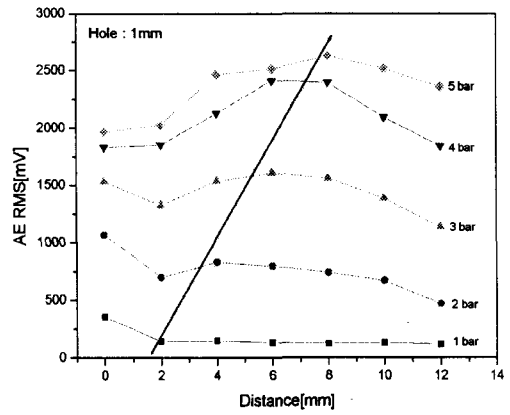


Fig. 9 AE RMS according to pressure and distance

압력의 크기에 따라 AE RMS 값이 어느 정도 선형적으로 증가하고, 초기 직접· 간접매체가 밀착된 상태(0mm)를 제외한 경우 압력의 증가에 따라 최대값이 선형적으로 증가함을 알 수 있다.

3.2.3 직 · 간접 매체에서 AE RMS 비교

직접· 간접 매체에 대한 개별적인 실험 결과들을 종합하여 압력에 따른 AE RMS 크기 비교 결과를 Fig. 10 에 나타내었다.

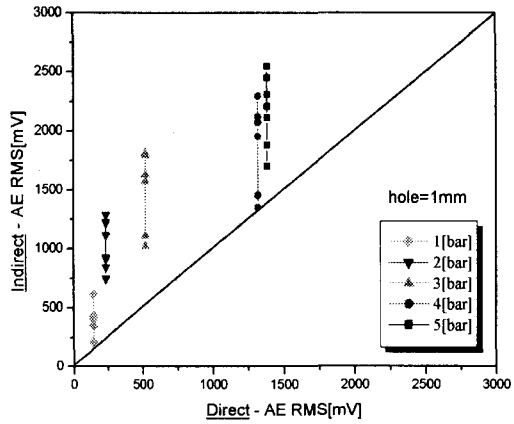


Fig. 10 AE RMS comparison according to pressure in direct and indirect media

상대적으로 간접 매체에서 획득된 AE 신호의 최대값이 2~3 배정도 크게 나옴을 알 수 있다.

이상의 결과를 바탕으로 직접 매체에서 AE 신호가 검출되지 않았던 Fig. 7 의 인위적 균열 결함(0.2mm 이하)에 대해 직접· 간접 매체에서 거리에

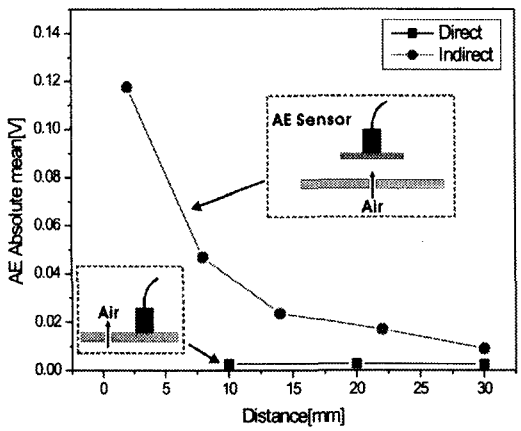


Fig. 11 AE absolute mean value according to the distance n direct and indirect media

따른 AE 신호를 분석한 결과결과를 Fig. 11 에 나타내었다. 직접 매체의 경우 AE 신호는 거리에 따라 변함이 없고 신호 레벨이 거의 노이즈 수준임을 알 수 있으며, 간접 매체의 경우 거리가 가까워질수록 지수적으로 증가함을 알 수 있다. 따라서, 간접 매체를 통해 누설시 AE 신호를 검출하는 것이 상대적으로 직접 매체에 비해 수십 배 이상 크게 발생한다는 것이 실험적으로 규명되었다.

따라서, 간접 매체를 이용해 실용적인 시스템이 구축된다면 용접 라인상을 구르는 장치에 AE 센서를 부착한 롤링(Rolling)방식이 유효할 것으로 사료되며, 10㎜ 이하 또는 최대한 용접 라인상에 근접하도록 간접 평판 지그를 위치시켜 압력용기 용접부의 결함 발생과 위치를 검출한다면 작업자가 판단할 수 없는 마이크로 단위의 결함까지도 검출이 가능할 것이다.

4. 결 론

본 연구는 압력용기에 직접 AE 센서를 부착하여 누설 결함을 검출하는 방법의 낮은 신뢰성을 규명하고, 이를 극복하기 위하여 간접적으로 증폭된 AE 신호를 획득하여 현장 적용이 가능한 신뢰성 있는 검출 시스템 제작의 기초를 마련하고자 하였다. 본 연구의 결과들은 다음과 같다.

1) 누설 시 동공과 균열 결함의 AE 신호 패턴 유의차는 없으며, AE 신호의 500kHz 신호는 유량의 면적에 좌우됨이 규명되었다.
2) 평판 실험의 경우 AE 신호의 감쇠, 중첩, 불안정의 영향으로 실제 적용시 검출 오류를 범할 수 있으며, 0.2mm 이하의 결함에 대해서는 AE 신호의 발생이 미약하였다.
3) 직접 매체의 경우 동공의 크기와 압력에 따라 AE 신호의 증감곡선이 역전되는 관계를 가지므로 결함 검출이 복잡해질 수 있지만, 반대로 간접 매체의 경우는 압력에 따라 증가하고, 거리에 따라 최대값이 존재하기 때문에 검출 방법이 간편해 질 수 있다.
4) AE 신호를 적용하여 누설 결함을 검출할 경우 직접적으로 압력용기에 센서를 부착하는 것보다 AE 센서가 부착된 간접 매체를 사용하여 용접부 위를 정해진 높이로 이송시키는 방식이 훨씬 효과적이다.

이상과 같은 결과를 바탕으로 향후 간접 매체를 적용한 검출 시스템이 개발된다면 실제 현장에서 많이 발생하고, 검출이 어려웠던 마이크로 단위의 결함도 검출이 가능하고, 기존의 검출 방법들이 가진 비용과 시간측면의 단점들을 해소할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. Palaniappan, M., Thomas, P. V., Rao, B. S. C. and Chandramohan, R., "Mass Spectrometer Helium Leak Testing of Large Volume Pipelines and Pressure Vessels of a Nuclear Power Plant," Int. J. Pres. Ves. & piping, 73. pp. 39-44, 1997.
2. Chapetti, M. D., Otegui, J. L., Manfredi, C. and Martins, C. F., "Full Scale Experimental Analysis of Stress States in Sleeve Repairs of Gas Pipelines," Int. J. Pres. Ves. & piping, 78, pp. 379-387, 2001.
3. Seo, J. W., Seok, C. S. and Kim, Y. J., "Evaluation of Fracture Behavior of High Tension Steel by AE Amplitude Distribution," Journal of Korea Society Precision Engineering, Vol. 16, No. 5, pp. 175-185, 1999.
4. Xiaorong, L. and Igor, G., "Use of an Automatic Modeled and a Small Receiver Array for Acoustic Emission(AE) Source Location," Journal of Ultrasonics, Vol. 36, pp. 539-547, 1998.
5. Xin, L. and Guangjun, C., "Investigation of Fracture and Determination of Fracture Toughness of Modified 9Cr-1Mo Steel Weld Metals using AE technique," Journal of Materials Science and Engineering, A270, pp. 260-266, 1999.
6. Hawkes, M. and Nehorai, A., "Effects of Sensor Placement on Acoustic Vector-Sensor Array Performance," IEEE Journal of Materials and Engineering, Vol. 24, No. 1, pp. 33-40, 1999.