

## 지상탱크의 부식감지를 위한 음향방출시험에서 발생한 전자기간섭신호의 특성 연구

김승대<sup>†</sup> · 정우광\*

서울시립상계직업전문학교 품질비파괴검사과  
\*국민대학교 신소재공학부

### A Study on the Characteristics of Electronic Magnetic Interference(EMI) in Acoustic Emission Testing for Corrosion Detection of Ground Tank

Sung-Dai Kim<sup>†</sup> and Woo-Gwang Jung\*

Department of Quality Non Destructive Testing, Seoul Sanggye Vocational School, Seoul, 139-831, Korea  
\*School of Advanced Materials Engineering, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea

(2007년 4월 1일 받음, 2007년 4월 17일 최종수정본 받음)

**Abstract** The evaluation and comparison have been made for the EMI noise which was included in the signal from the sensors in the acoustic emission testing for the bottom plate of ground tank at full. The EMI signal has been classified into two types. One is the signal with very short AE count, and this signal possibly can be filtered by front end filter setting of the channel count with low level of 4 and high level of  $10^8$ . The other EMI signal occurred from CH 1, CH 3 and CH 10, and had high and constant duration with high energy and count (maximun duration  $> 10^5 \mu s$ ), and has characteristic gradient of accumulation amplitude distribution. This signal should be removed in the AE signal evaluation by filtering, because this may affect to the total gradient.

**Key words** Acoustic Emission(AE), Electronic Magnetic Interference (EMI), Gradient of hits vs amplitude.

## 1. 서 론

국내 석유화학 플랜트용 지상탱크(above ground tank)는 주기적인 개방검사(Time-based Maintenance : TBM)가 실시되고 있으나 탱크 개방에 따른 작업 비용 및 보수, 가동 중지 시간에 따른 소요 비용이 가장 큰 경쟁력 저해 요인으로 지적되고 있어, 상태평가(Condition-Based Maintenance : CBM)를 기초로 하여 개방검사의 필요 여부를 판단하는 음향방출 (Acoustic Emission : AE) 기술이 요구되고 있다.

AE는 기존 비파괴 검사(Non-Destructive Testing : NDT)와 달리 탐촉자를 고정하고 취약부위의 응력집중에 의한 균열의 발생 및 성장, 자구의 이동, 상변태, 부식 감육 등 재료 내의 탄성장의 변화를 검출하여 평가하는 방식이다.<sup>1)</sup> 1989년 영국 석유회사의 요청을 시작으로 1990년대 중반 AE user group이 결성되어 미국, 영국, 네덜란드 외 서구 남유럽 여러 나라에서 이미 3,000기

이상이 시험되었으며 개방검사가 의무화 되어있는 독일의 경우에도 EU 통합으로 인한 경제적인 경쟁력 유지를 위한 데이터베이스 구축 등의 움직임을 보이고 있으며, 이웃 일본도 수많은 실험을 통한 권고지침 등을 정리하여 마련한 상황이다.<sup>2-6)</sup> 그러나 AE 특성상 해석의 난해함 및 활용 데이터의 부족 등으로 국내의 적용 사례는 많지 않다.<sup>7)</sup>

본 연구는 AE를 이용한 지상탱크 저판부의 감육 손상 평가 시험 중 발생된 여러 가지 잡음신호들 중 전자기간섭신호(Electronic Magnetic Interference : EMI)를 프렉탈 특성을 이용하여 확인하고 분석하여 지상 탱크 저판부의 감육과 누수 등의 손상 평가시 EMI 잡음신호를 제거하여 보다 정확한 추정을 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

## 2. 실험 방법

본 시험에서 사용된 저장탱크는 17년간 사용 중인 물(water) 저장 탱크로 제원은 Table 1과 같다. 음향방출 탐지를 위해 사용된 센서는 PAC사의 전치 증폭기(pre-

<sup>†</sup>Corresponding author  
E-Mail : duddudgu@daum.net (S. - D. Kim)

amplifier)가 내장된 공진주파수 60 kHz의 R6I를 사용하였다. 신호의 감쇠를 고려하여 외장 전치 증폭기로 40 dB를 증폭하였다. 침전물(sludge)의 높이와 지붕부의 액체 낙하에 기인한 잡음을 제거할 목적으로 센서를 총 2단으로 배열하였다. Fig. 1은 시험장치의 개략도이다. Fig. 1에서 보는 것처럼 센서에서 검출된 신호는 외장 전치 증폭기를 통하여 AE 장비에 연결되며 PC를 통해 신호 처리 된다. 풍속계(anemometer)의 신호는 AE 장비의 외부 입력으로 입력한다. 센서는 원주방향에 대하여 같은 간격으로 12.5 m 간격을 두어 지상에서 1 m 높이에 1단(이하 실측센서), 2 m 높이에 2단(이하 가드센서)으로 각 15개씩 총 30개를 배치하였고 Fig. 2에 센서배치를 나타낸다. 탱크 표면의 도료에 의한 음향방출 신호의 손실을 최소화하고 충분한 감도를 얻기 위해 센서 부착 위치를 약 5×5 cm 크기로 그라인더 연마하였다. 접촉매질로는 진공 그리스(vacuum grease)를 사용하였으며 센서의 고정을 위해 마그네틱 홀더(magnetic holder)와 고정

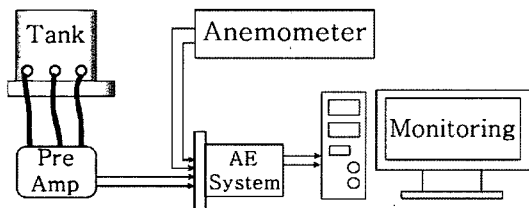


Fig. 1. Block diagram of AE inspection system.

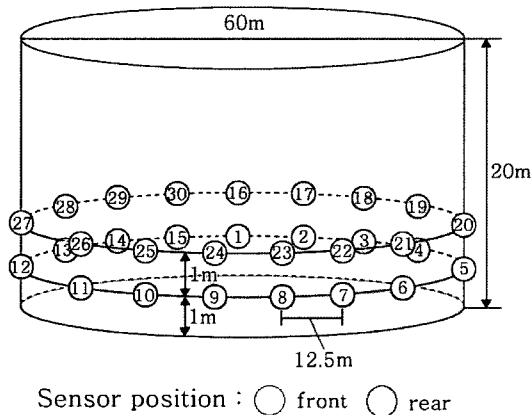


Fig. 2. Channels position for AE testing.

Table 1. Specification of the tank tested.

Year Built	Diameter	Height	Thickness
1989	60 m	20 m	7 mm
Columns	Lining	Mixer	Anode/CP
Yes	None	None	None
Roof Type	Base	Insulation	Heater
CRT	Sand	None	None

Table 2. Information of AE testing.

Calibrating AE system	Cable	Sludge level	THR
Disp AE Work Station	RG58AU	0.5 m	48 dB
AE test level	Setting time	AE test temp	Weather
16 m	24 hours	Ambient (14°C)	Calm/Sunny
Sensor		Noise/Filter detail	
Total	Rows	Setting height	Noise/Filter detail
30	2	1.0 m 2.0 m	Electronic magnetic interference(EMI), internal condensation and mechanical noise

테이프를 사용하였다.

샤프심 파괴(0.3 mm pencil break test) 시험을 실시하여 발생한 인공 AE 신호가 90 ± 2 dB내의 진폭 감도 범위 내에 있는 것을 각각 확인하였다. 나무망치로 탱크 벽면을 3차례 타격하여 음파의 전달을 통하여 센서의 전체적인 감도와 위치표정을 확인하였다. 풍속계와 누설감시기(leak monitor)를 사용하여 탱크 주변에 부는 바람의 유입 및 유출 관 내부의 유체이동 등에 의한 배경 잡음 정보를 취득한 다음 최적의 신호 데이터를 얻기 위해 문턱값(threshold), 이득(gain), 증폭(amplitude) 등을 조절하였다. 측정을 위한 AE 장비로는 PAC사의 32 Channel Disp AE Work Station이 사용되었고 시험을 통한 AE 데이터는 3시간동안 실시간으로 시스템에 저장되었으며 AE 시험의 개략적인 정보는 Table 2에 나타내었다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. AE 실험결과

Fig. 3은 문턱 값을 48 dB로 설정하여 시간에 대한 전체 채널의 (a)는 히트(hits)를 나타낸 것으로 총 3,980,650개가 발생하였다. (b)는 시간에 대한 진폭을 나타낸 것으로 대부분 45~75 dB 영역 내에 분포하며 75 dB이상의 고진폭도 발생하였다. (c), (d)는 각각 시간에 대한 카운트(counts)와 에너지(energy)를 나타낸 것으로 카운트가 증가한 만큼 높은 에너지(큰 최대 진폭치)를 나타낸다. (c)의 3,000대의 카운트와 (d)의 상부에 존재하는 에너지 파형은 전자기 간섭(Electronic Magnetic Interference: EMI)에 의한 발생이다.

#### 3.2. EMI 신호의 특징

발생한 EMI는 두 종류로 하나는 매우 짧은 AE 카운트를 가진 신호이며 전체 채널에서 카운트의 low level을 4로 high level을 10<sup>8</sup>로 프론트 엔드 필터 세팅에 의

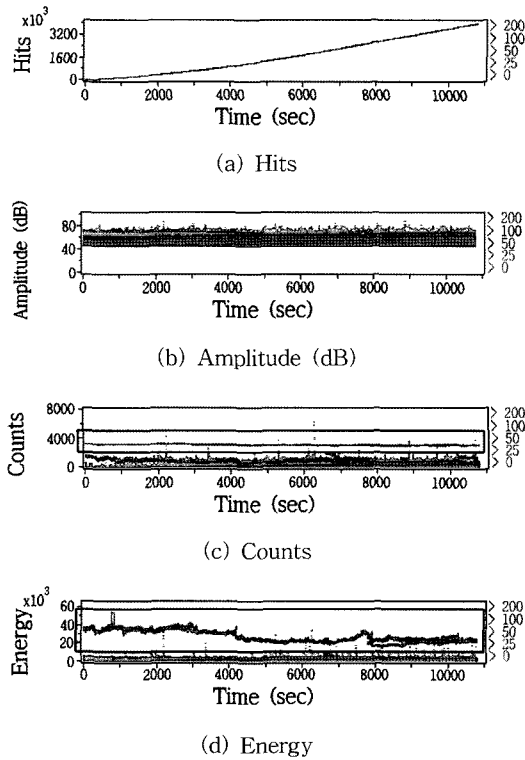


Fig. 3. Results of AE testing by time.

한 필터링으로 제거하였다. 다른 하나는 CH 3번과 CH 10번에서 탐지된 신호로 Fig. 4의 모든 CH에 대한 에너지와 카운트에서 다른 CH보다 높은 에너지와 카운트를 가지며, Fig. 5의 시간 경과에 따른 지속시간(duration)을 비교할 때 CH 3 과 CH 10은  $10^5 \mu s$ 의 일정한 신호형태를 나타내었다. 이 EMI신호는 장비의 측정 한계 이상의 매우 긴 지속시간을 발생하여 측정한계(최대값)인  $10^5 \mu s$ 에 일직선의 형태를 나타낸다.

일반적인 AE신호의 분석방법으로 AE신호의 최대진폭을 A라고 할 때 최대진폭이 A부터 A+dA의 범위에 있는 AE 신호수를 n(A)하고 하면

$$n(A) = k A^{-m} \tag{1}$$

위와 같은 형태의 해석을 AE 신호에 적용하여 식 (1)에 표시한 것처럼 선형분할로 미분형 분포를 f(x)라 하면

$$f(x) = c x^{-m} \tag{2}$$

log 표시에서는

$$\log f(x) = -m \log x + \log c \tag{3}$$

log 그래프에서 기울기의 직선 분포가 음(-)이 되는 스펙트럼 형상을 프랙탈이라 부른다. AE 신호의 진폭분포는 일반적으로 식 (3)에 주어진 것처럼 log 표시로 음의 기울기 m의 직선분포를 나타낸다.<sup>8)</sup> 따라서 검출 신호의

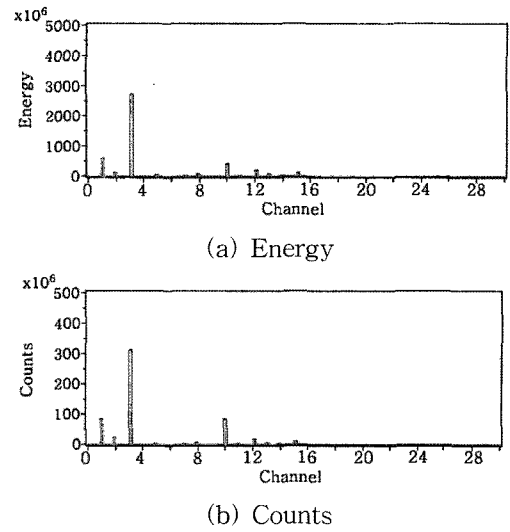


Fig. 4. EMI signal characterization for all channels.

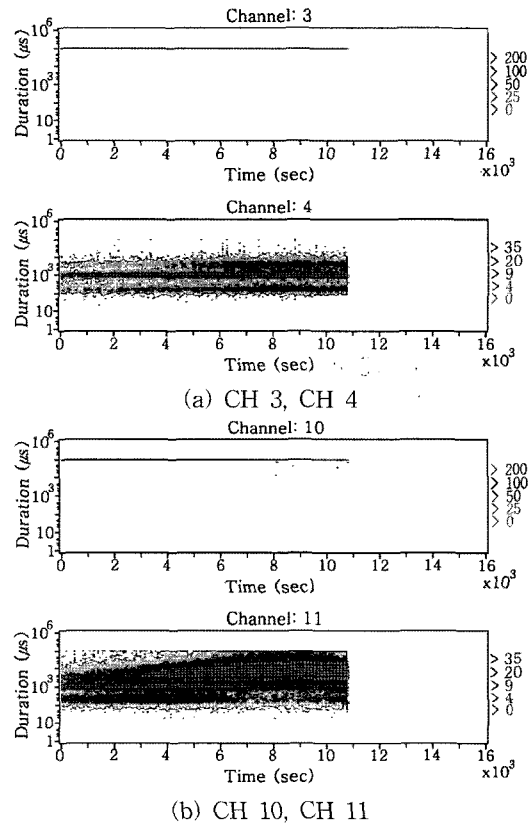


Fig. 5. Change of duration with time in EMI signal characterization.

크기별 도수분포인 진폭분포는 프랙탈 특성을 갖게 된다. 이러한 데이터 해석 평가법을 이용하여 EMI 발생 센서와 다른 실측 CH의 히트에 대한 진폭의 기울기를 Fig. 6에 비교하였다. CH 3은 0.416의 높은 기울기를 형성하였고 CH 10은 0.142로 다른 실측 CH의 평균 기울기인

0.115보다 약간 높은 기울기를 갖는다. 이는 Fig. 4에서 보는 것처럼 CH3 과 CH 10을 비교할 때 CH 3의 약 1/10배의 약한 EMI의 발생으로 기울기의 변화가 크지 않은 것으로 사료된다.

이들 CH에 의한 EMI는 전체 기울기에 영향을 미치며 Fig. 7과 같이 CH 3과 CH 10을 제거하면 3개의 기울기가 1개의 기울기로 변화됨을 볼 수 있다. 따라서 CH 3과 CH 10은 센서 이상에 의한 EMI로 판단되며 부식이라는 기구에 EMI에 의한 기구 더해져 새로운 기울기를 만들어 냄을 알 수 있다.

시험시작 후 02:11부터 CH 1에 EMI가 발생하였다.

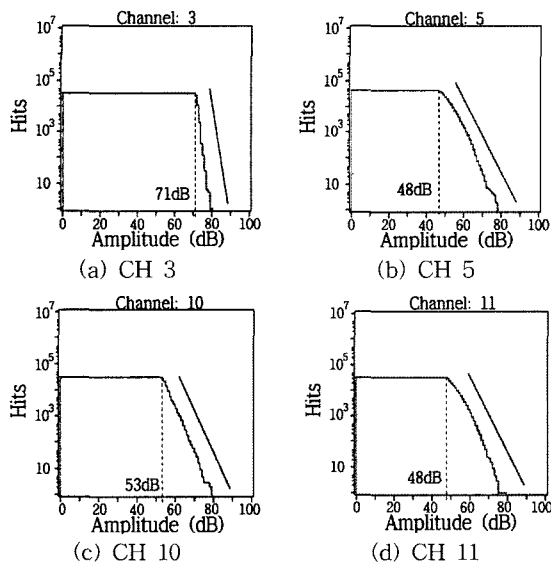


Fig. 6. Change of hits with amplitude for different channels.

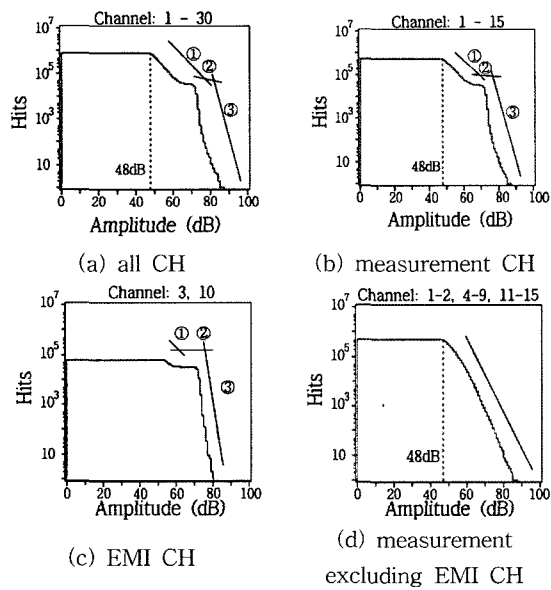


Fig. 7. Change of gradient in hits with different channels.

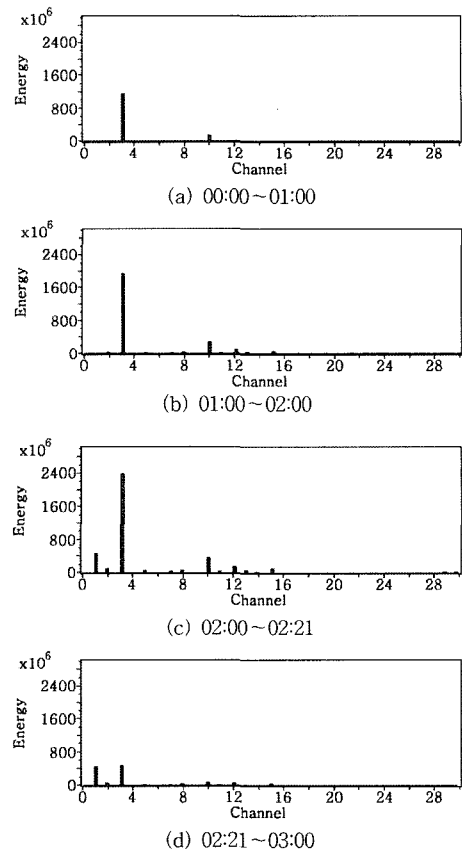


Fig. 8. Change of energy with time.

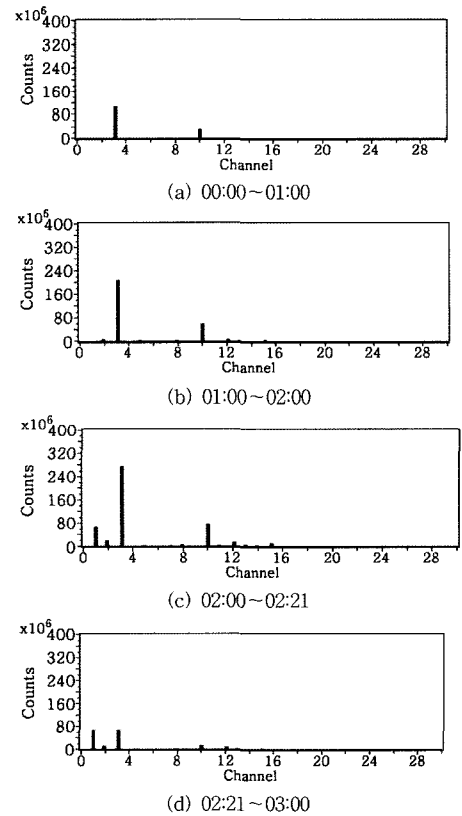


Fig. 9. Change of counts with time.

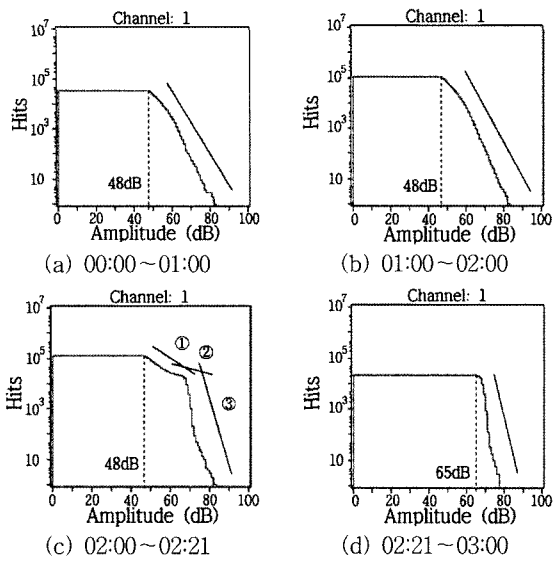


Fig. 10. Change of gradient of hits in CH 1 in different time.

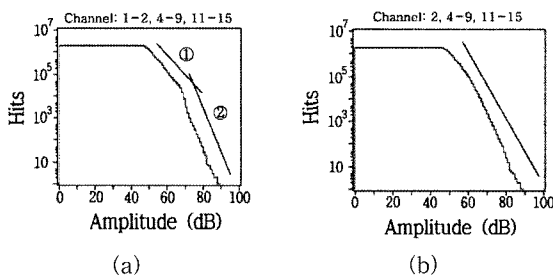


Fig. 11. Change of gradient in 02:00~02:21. (a) CH 3, CH 10 excluding (b) CH 1, CH 3, CH 10 excluding.

Fig. 8과 Fig. 9는 시간에 따른 각 CH에 대한 에너지와 카운트의 변화로 02:11이후 CH 3과 CH 10는 감소하며 CH 1이 점차 증가하므로 EMI 특성은 다른 CH로 이동한다.

Fig. 10은 시간에 따른 CH 1의 기울기 변화로 ②의 기울기가 증가하여 CH 3과 CH 10에 나타난 특성과 같이 기울기가 0.121에서 0.270으로 증가하였다. Fig. 11은 02:00~02:21 시간 사이에 실측 CH들 중 CH 3과 CH 10을 제거하면 0.080과 0.188의 2개의 기울기를 나타내며 CH 1을 추가로 제거하면 0.130의 1개의 특성 기울기를 나타냈다.

EMI 신호는 높고 일정한 지속시간(검출 최대 지속시

간)과 높은 에너지 및 카운트의 특징을 갖는 신호로 누적 진폭분포에서 특성 기울기를 가지므로 전체 기울기에도 매우 큰 영향을 미치므로 손상에 따른 신호 평가시 반드시 제거되어야 하며 제거가 가능하다.

#### 4. 결 론

본 연구는 충수된 지상 탱크 저판부에서 발생하는 AE 신호 특성을 관찰하여 누수 등 손상에 대한 신호를 분석, 평가 중 발생한 EMI신호에 대하여 아래와 같은 결과를 얻었다.

1. 시험 진행 동안 발생하는 EMI 잡음신호의 히트와 증폭의 관계를 고려할 때 0.125이상의 기울기를 나타낸다.
2. EMI 잡음신호는 높은 에너지와 카운트를 나타내며 높은 지속시간( $10^5 \mu s$ 이상)을 나타내므로 평가에서 역과 가능하다.

#### 참 고 문 헌

1. J.-O. Lee, W.-H. Yoon, T.-H. Lee and J.-K. Lee, Journal of the Korean Society for Nondestructive Testing, **23(3)**, 280 (2003).
2. P.T. Cole and P.J. Van de Loo., Acoustic Emission-Beyond the Millennium., Ed. T. Kishi., M. Ohtsu and S. Yuyama, Elsevier, p.169, (2000).
3. Shigenori Yuyama, Minoru Yamada, Kazuyoshi Sekine, Shigeo Kitsukawa., Journal of High Pressure Institute of Japan, **40(4)**, 176 (2002).
4. Guide pour Linspection et la Maintenance des Reservoirs Metaliques Aeriens Cylindriques Verticaux Dhydrocarbures Liquides en Raffinerie, Edition Aout 2000, Union Francaise des Industries Petrolieres, (2000).
5. HPIS (G 110 TR)., Recommended Practice for Acoustic Emission Evaluation of Corrosion Damage in Bottom Plate of Oil Storage Tanks., High Pressure Institute of Japan, (2005).
6. T. J. Fower, Progress in Acoustic Emission IV, Proceedings 9th International Acoustic Emission Symposium (Kobe, Japan, 1988) p.391-404.
7. J. R. Kwon, G. J. Iyu, T. H. Lee and J. Y. Kim, KIGAS, **4(1)**, 9 (2000).
8. Adrian A. Pollock, "Acoustic Emission Amplitude Distributions", Dunedan/Endevco, DE-79-10, (1979).