

論 文

音響放出에 의한 配管系の 漏出防止에 관한 研究

尹東珍 金鉄中
(韓國標準研究所 非破壞試驗室)

〈1987년 6월 22일 접수〉

(Study on Leak Detection of the Pipeline System by Acoustic Emission)

D. J. Yoon C. J. Kim

Abstract

Leak detection testing for the pipeline system was performed by the acoustic emission method. It was found that the detected signal spectrum was influenced by the frequency response of sensors and pressure changes.

AE parameters and frequency spectrum distributions were used to analyze the leak signals. The slope rise time of AE parameters were the important factors for distinguishing leak signals.

The amplitude of leak signal was more affected by the changes of leak rate and pressure than those of leak type.

1. 서 론

AE (acoustic emission) 시험법은 비파괴 검사 방법중의 하나로서 다른 비파괴검사법이 갖고 있지 않는 장점을 보유하고 있어 근래 관심의 대상이 되고 있다.

음향방출이란 재료내에 저장되어 있던 에너지가 급격히 방출되면서 발생하는 탄성파로 정의되어지며 이 AE 법은 금속·세라믹·복합재료 등 재료의 물성연구에도 이용되며 파괴역학의 거동 및 산업설비

구조물의 진단에 많은 이용이 되고있는 실정이다.⁽¹⁾⁽²⁾ 그중 산업설비의 한 부분인 배관계에서의 누출탐지에 대해 많은 연구가 있었으나 본 연구에서는 실험실 규모의 pipeline system을 제작하여 그에 대한 누출의 AE 신호 특성에 관해 고찰하였다.

일반적으로 누출신호의 물리적인 근원은 유체내에서의 turbulence에 의해 생기는 압력의 요동(fluctuating)에 의해 야기된다고 보여 AE에 의한 누출탐지에 있어서의 영향을 미치는 변수로서 크게 다음의 세가지 요인을 들수가 있다. 첫째 누출에서

전파되는 신호 둘째, 누출 위치와 탐촉자간의 감쇠 현상 셋째, background noise 등이다.⁽³⁾

실제로 누출신호는 넓은 범위의 주파수를 갖고 있으며(1 KHz~1 MHz) 고주파수에서는 감쇠현상이 증가하는 반면, 저주파수 영역에서는 system 진동 및 주위 소음때문에 대부분 100KHz~400KHz의 범위내에서 실험이 행해진다. 그러나 background noise가 문제가 되지 않을 경우는 50KHz 이하의 범위에서도 신호를 분석하는데 이용 되기도 한다.⁽⁴⁾

특히 다른 누출탐지 기술에 비교하여 AE법은 누

출위치에 대한 정보, 연속적인 on-line surveillance, 고감도, 빠른 신호처리, 접근하기 어려운 위치의 탐지 및 누출량의 분석에 대한 이점을 가지고 있다.

본 연구에서는 임의의 누출형상을 가진 pipe section을 가공하여 누출형상 및 압력변화에 따른 누출신호의 특성을 waveform 및 frequency spectrum 분석과 더불어 AE parameter(event, rise time slope, event duration etc.)를 사용하여 신호 해석을 하였으며 종전의 해석에 비해 좋은 결과를 나타내 주었다.

2. 실험

2-1 실험장치

그림 1은 본 연구에 사용된 누출 system의 개략도이다. 배관은 직경 $\phi 48.6\text{mm}$, 두께 2mm인 스테인레스 강관을 사용하였으며 전 배관의 길이는 약 20m이고 직관부의 길이는 각각 4m가 되록 하였

다. 그중 직관부 중앙에 결함부위를 가진 1m가량의 조립식 pipe section을 가공하여 언제든지 교환하여 사용할수 있게 하였다. pump는 7.5HP 용 다단펌프이며 최대수압 5kgf/cm^2 까지 실험하였다. (그림 1)

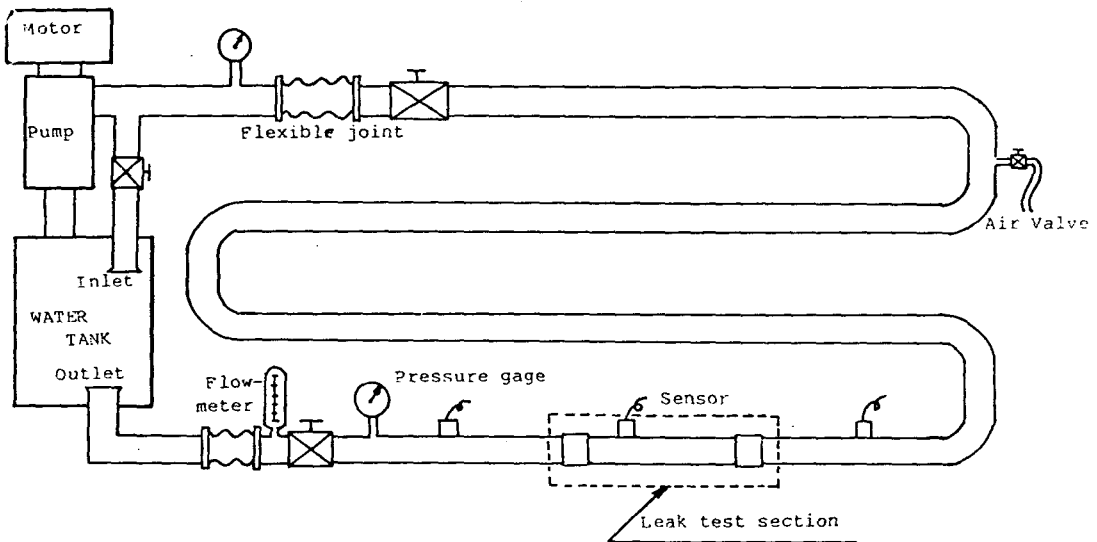


Fig.1 Pipeline layout for leak test

배관의 입·출구 부분에 펌프와 motor 진동을 감소시키기 위해 flexible joint 를 설치하였고 유량 조절을 위해 by-pass line을 만들었다. 또한 pump 와 motor의 하부에 방진가대 및 스프링을 설치하여 전체 system의 진동을 감소시켰다.

누출 결함부위를 가진 시편은 결함의 크기가 $\phi 0.5, \phi 1.0, \phi 2.0$ mm의 hole 형태와 pipe 길이 방향의 $0.3 \times 2, 0.3 \times 4, 0.3 \times 8$ mm² 결함 형태의 시편을 가공하여 사용하였다. (Fig. 2)

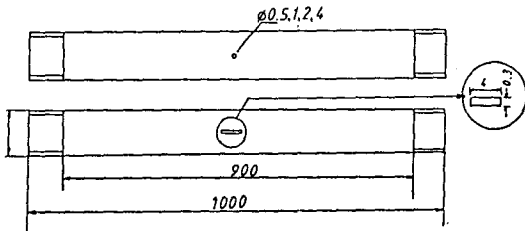


Fig. 2 Configuration of leak pipe specimen and leak hole

2-2 실험방법

관내의 압력은 출구밸브와 by-pass 밸브를 이용하여 1 kgf/cm²에서 5 kgf/cm²까지의 압력 변화로 시행하였다. 또한 신호처리는 AE sensor를 누출부위 주위에 부착하여 행하였으며 pipe의 면이 곡면이라 sensor guide (Fig. 3)를 만들어 사용하였다. sensor를 거친 신호는 preamplifier를 거쳐 main system으로 들어와 모든 parameter가 processing되며 또 이들 신호를 digital oscilloscope로 연결하여 관심 data들을 recording한후 micro-computer에 연결시켜 waveform 및 FFT(Fast Fourier Transform)에 의한 spectrum analysis를 행하였다. 측정장비 및 신호처리까지의 과정을 Fig. 4에 block diagram으로 나타내었다.

누출형태에 따른 실험은 앞서 언급한 6종류의 결함형태에 대해 각각 압력변화를 주어 실험하였으며 그때의 누출량도 또한 측정하였다.

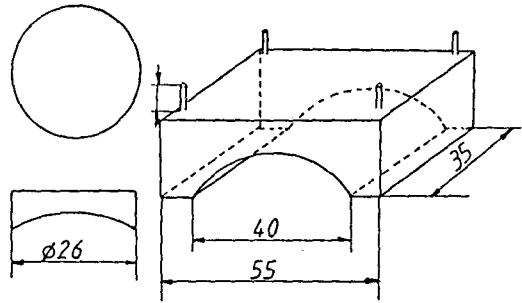


Fig. 3 Configuration of sensor guide used in pipeline

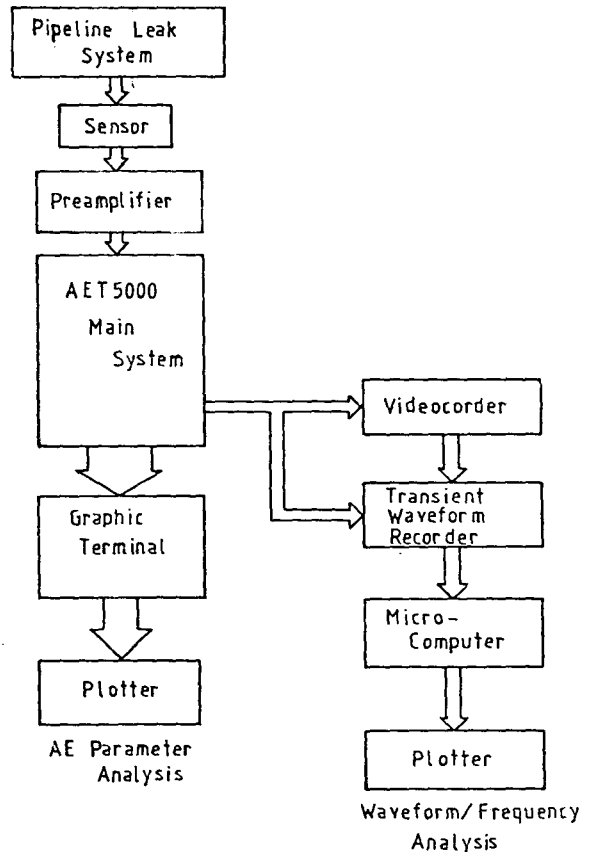


Fig. 4 Block diagram of acoustic emission testing system.

3. 실험결과 및 고찰

누출신호는 일반적으로 연속적인 신호의 발생양상을 가지고 있으므로 개별적인 burst type의 신호와는 달리 일정시간의 신호 전체의 RMS 값이나 상대적인 크기에 의해 판별하기도 한다. 또한 본 연구에서는 누출신호에 대한 AE parameter의 특성을 고찰하여 누출신호 분석에 그 영향을 조사해 보았다.

Fig. 5에서는 (a)누출이 없을시의 신호, (b)누출시의 신호 및 (c) system진동이 없을시의 신호에 대한 waveform 및 frequency spectrum의 대표적인 예를 나타내었다.

누출이 없을시는 transducer의 resonant 특성에 의한 spectrum에서의 peak를 제외하고는 거의 완전한 분포를 보이거나 누출이 생김에 따라 그 spectrum 분포의 형상이 달라지게 된다. 특히 상대적인 peak의 차가 심하게 되며 system진동이 없을시의 신호는 전체적인 크기의 감소외에는 거의 비슷한 분포를 가지게 됨을 알수 있다.

또한 이들의 차이는 AE parameter에서도 잘 나타나며 Fig. 6, 7에서는 slope 및 energy분포에 대해 누출이 없을시와 누출시의 그 변화를 보여주고 있다. 그리고 Fig. 8에서는 system의 진동이 없는 경우의 누출에 의한 신호에 대한 slope 및 rise time의 분포를 나타내었으며 누출신호의 특성을 잘 나타내 주고 있음을 알수 있다.

Fig. 9는 압력변화에 따른 energy의 분포를 $0.3 \times 2\text{mm}^2$ 의 결함을 가진 시편에 대해 나타내었으며 거의 두 종류 세기의 형태를 가지면서 차차 그 값이 증가함을 보여주게 된다.

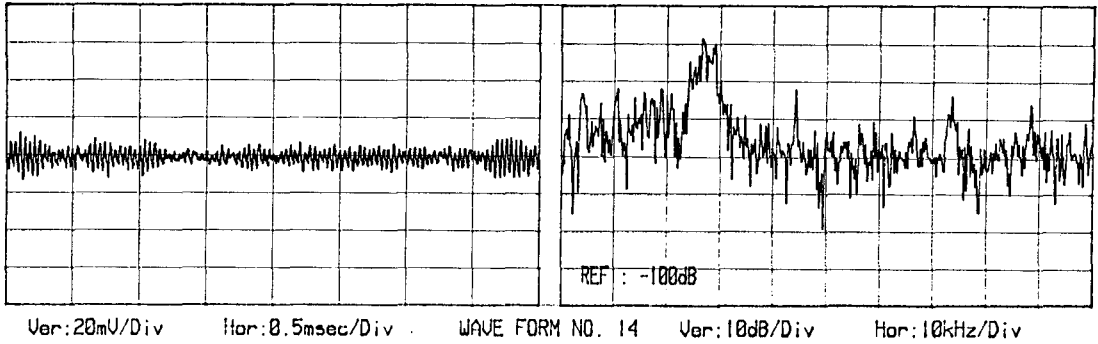
그리고 보통 누출신호는 signal amplitude 한가지 보다는 frequency에 대한 amplitude를 사용하여 대부분 효과적인 결과를 나타내게 되는데 Fig.

10에서는 30KHz resonant type transducer 일 때의 spectrum에 대한 압력 변화의 영향을 나타내준다. 그 전반적인 분포는 resonant 특성을 보이면서 형태가 유사하나 압력이 증가함에 따라 그 상대적인 크기가 증가함을 알수가 있다. Fig. 11은 375 KHz resonant type transducer에 대한 spectrum이며 앞의 경우와 마찬가지로 전체적인 크기의 증가는 있으나 frequency 요소에는 거의 영향을 미치지 않음을 알수가 있다.

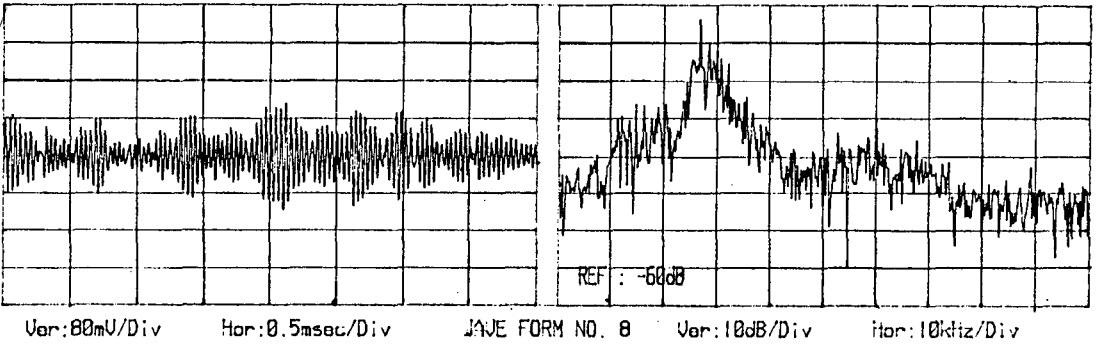
Table. 1에서는 누출형태에 따른 각각의 압력조건 및 누출량을 나타낸다. 이론적으로 단면적에 비례해서 누출량이 많아져야하나 가공상에서 누출부위 선단의 거칠기 및 펌프 가동조건에 따라 약간의 차이가

Table.1 Relationship between pressure and leak rate for each leak type.

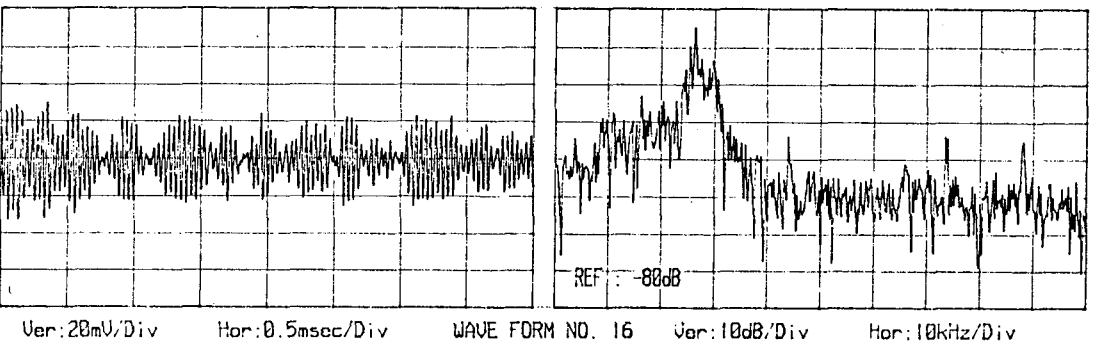
Leak Type	Pressure(Kg _f /cm ²)	Leak Rate (ml/min)
∅ 0.5mm	1.3	220
	2.0	267
	3.0	320
	4.0	370
	5.0	420
∅ 1.0mm	1.3	440
	2.0	550
	3.0	660
	4.0	770
	5.0	853
∅ 2.0mm	1.5	2400
	2.0	2680
	3.0	3200
	4.0	3600
	5.0	4110
∅ 4.0mm	1.4	8700
	2.0	9900
	3.0	12800
	4.0	14800
	5.0	16600
0.3*2mm ²	1.5	410
	2.0	475
	3.0	540
	4.0	630
	5.0	700
0.3*4mm ²	1.5	700
	2.0	980
	3.0	1110
	4.0	1240
	5.0	1380
0.3*8mm ²	1.5	1330
	2.0	1840
	3.0	2160
	4.0	2400
	5.0	2640



(a) without leak on working system.



(b) leak on working system.



(c) leak on non-working system.

Fig. 5 Comparison of signals in the leak and without leak condition using 30 KHz resonant transducer.

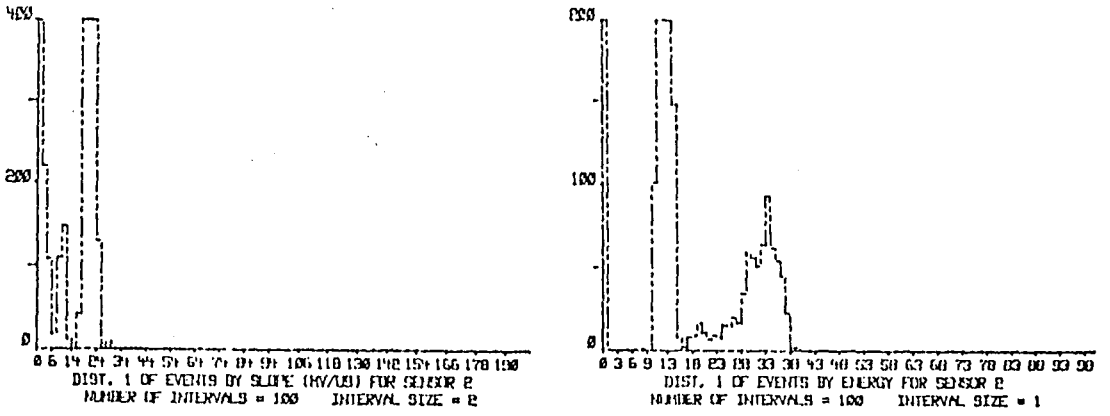


Fig. 6 AE parameters in the case of no leak on working system.

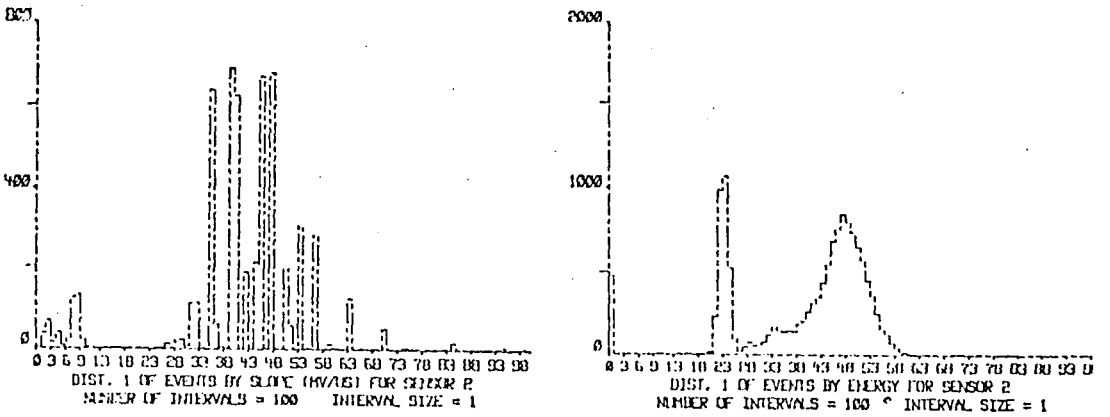


Fig. 7 AE parameters in the case of leak on working system.

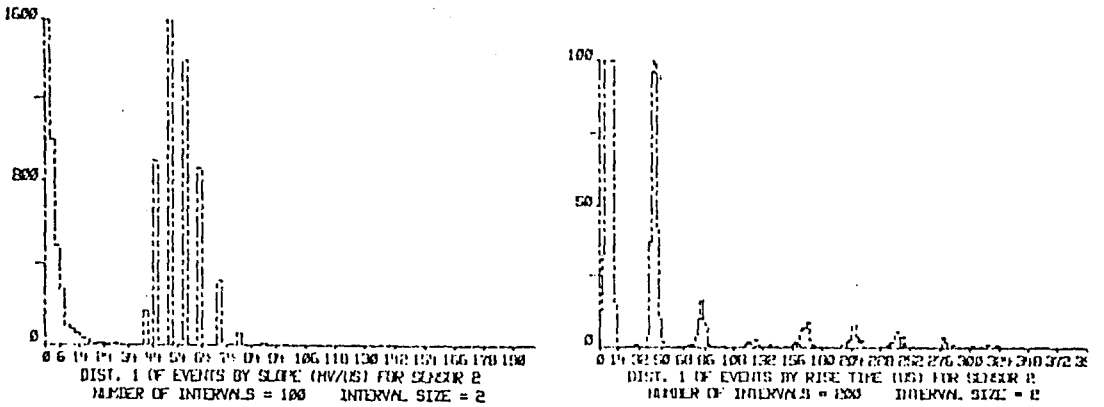


Fig. 8 AE parameters in the case of leak on non-working system.

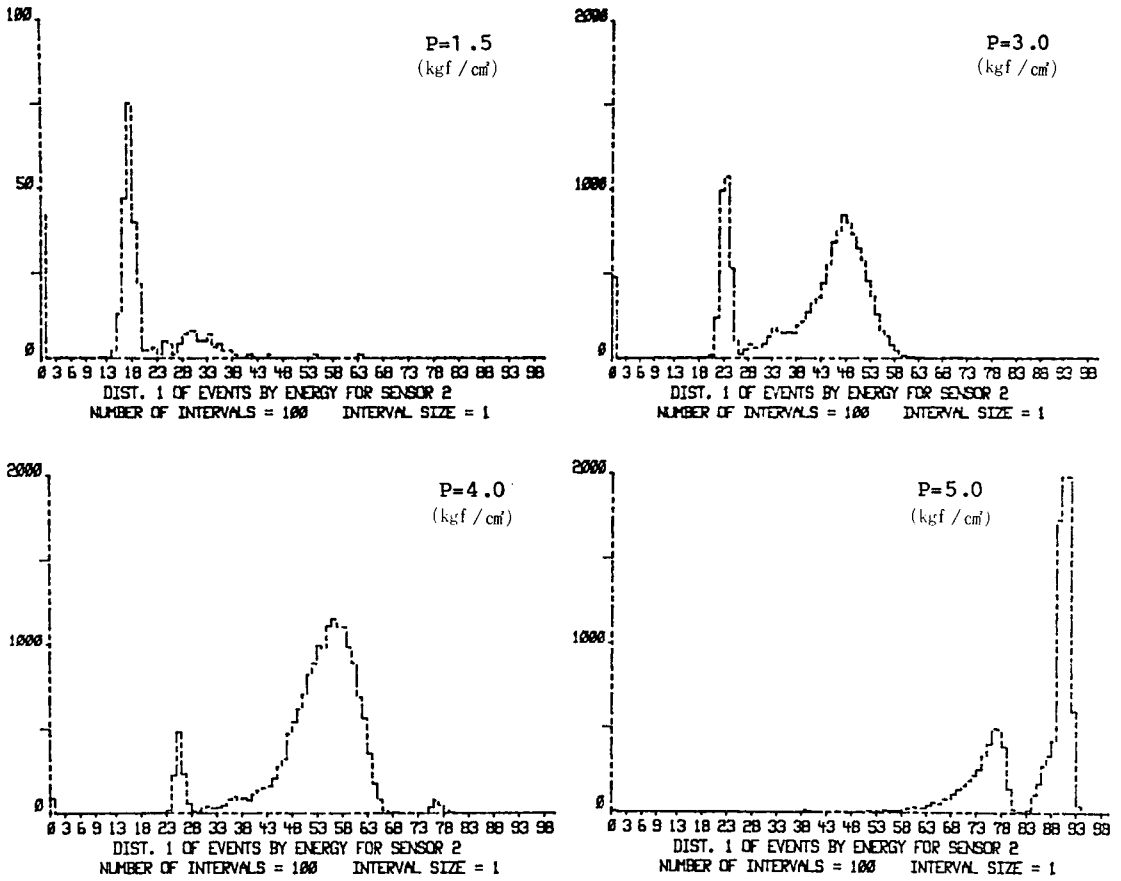


Fig. 9 Change of distribution of events by energy at various pressure (leak size, $0.3 \times 2 \text{ mm}^2$)

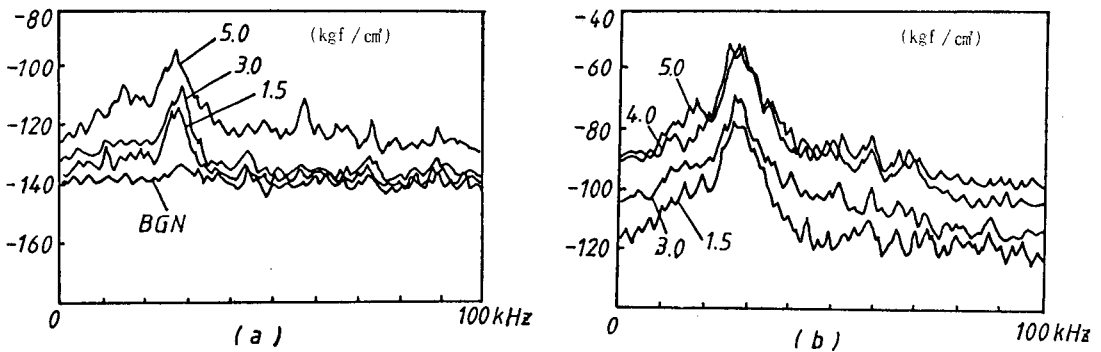


Fig. 10 Change of frequency spectra of leak signals at various pressure. (30 KHz transducer) (a) without leak. (b) leak

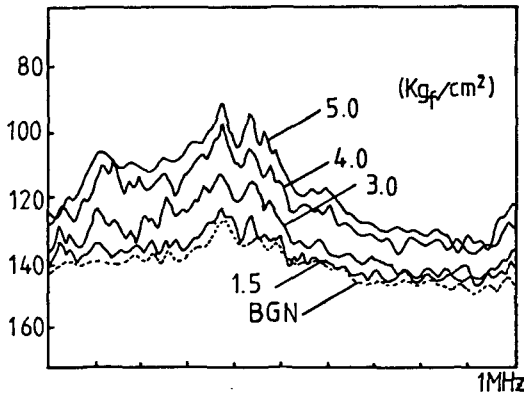


Fig 11 Change of frequency spectra of leak signals at various pressure.

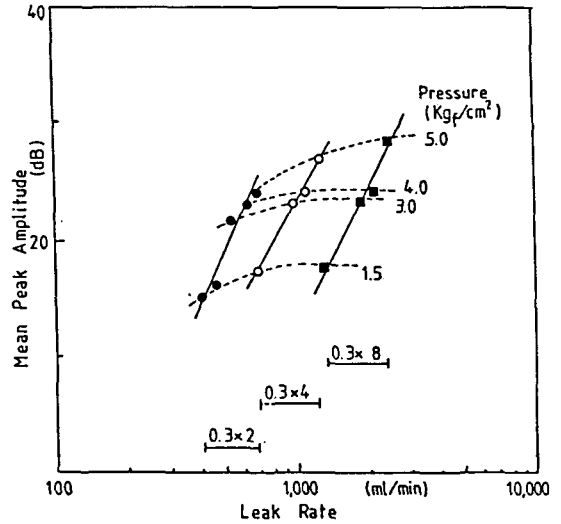


Fig. 13 Log-Log plot of mean peak amplitude vs. leak rate for longitudinal direction leak type and pressure changes.

있다고 판단된다. 그리고 각각의 누출형태에 대해 누출량에 대한 mean peak amplitude를 Log-Log 값으로 표시해 보았다. (Fig. 12, 13)

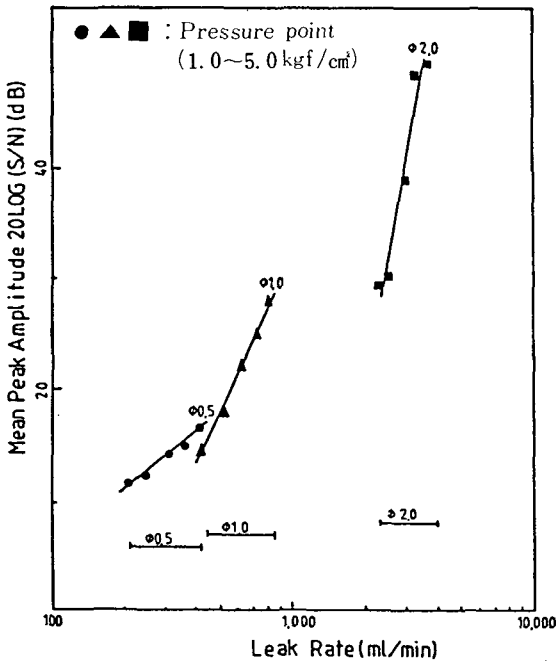


Fig. 12 Lon-Log plot of mean peak amplitude vs. leak rate for hole leak type and pressure.

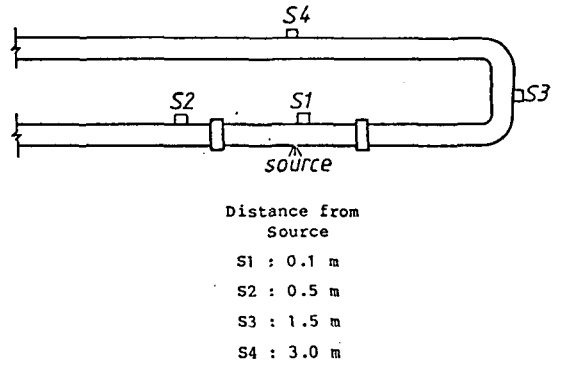
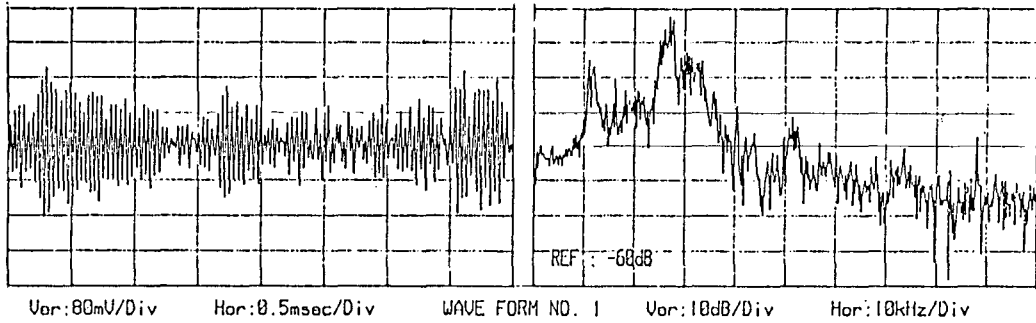


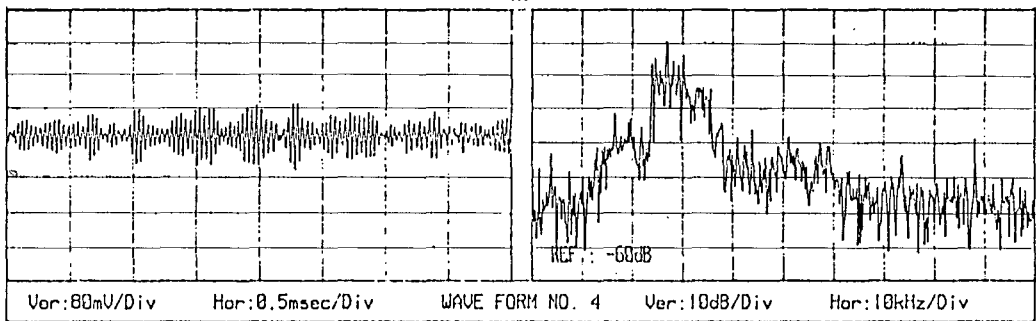
Fig. 14 Relationship between sensors and distance from source.

누출량은 압력증가 및 누출결함 크기의 증가에 따라 변하면서 이에 따른 amplitude 값도 거의 선형적으로 증가하고 있다. 즉, 누출량 및 압력의 증가에 따라 신호의 크기가 영향을 받게 되며 시편의 형태에는 크게 영향을 받지 않음을 볼 수가 있다.

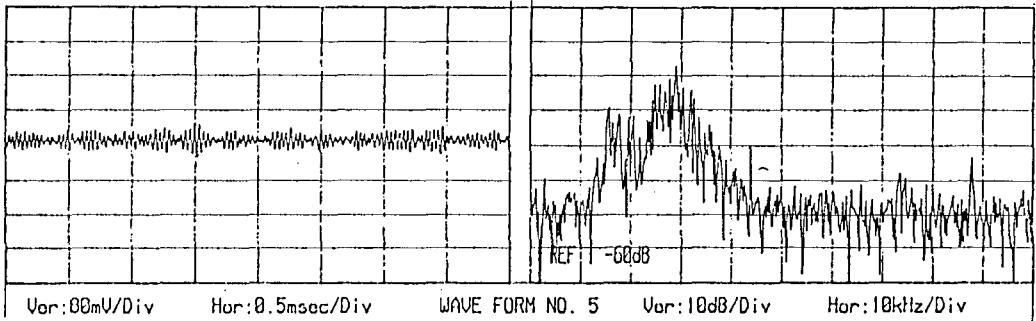
다음은 누출신호의 감쇠특성에 대해 조사해 보았다. Wave가 이동할때 거리에 따른 amplitude에서



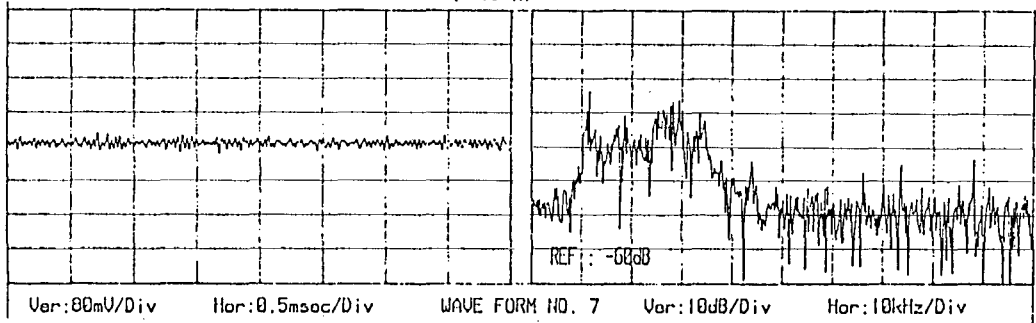
(a) 0.1m



(b) 0.5m



(c) 1.5m



(d) 3.0m

Fig. 15 Attenuation effect of leak signals with distance from source.

의 감소를 일반적으로 감쇠현상(attenuation) 이라 하며 이것은 amplitude가 wave의 감지능력을 나타내기 때문에 AE 신호탐지에 매우 중요한 인자가 된다. Pipeline에서의 신호특성중의 하나로 이 감쇠현상을 들수 있으며 주로 감쇠현상의 이유로 다음 네가지를 들수가 있다.⁽⁵⁾

- 1) geometric spreading of the wavefront
- 2) internal friction
- 3) dissipation of energy into adjacent medium
- 4) velocity dispersion

누출 source에서의 거리에 따른 sensor의 위치 (Fig. 14)와 신호의 감쇠현상을 나타내 본 결과 거리가 멀어질수록 amplitude의 감소가 눈에 띄게 나타나며 특히 joint 부분을 지난 신호는 다른 거리에 비해 그 감소율이 크다는 것도 볼수가 있다. 그러나 곡관부의 영향은 거의 받지 않았으며 거리가 멀어질수록 frequency spectrum에서의 peak 값의 상대적인 크기가 뚜렷이 낮아짐을 알수 있다. 이전 연구에서도 누출 source에 가까울수록 그리고 관내 유체가 water 일때 감쇠현상이 증가함을 볼수 있으며 본 연구에서의 감쇠율은 짧은 거리에 대해 측정해 본 결과 약 -3dB/m 정도의 값을 갖고 있음을 알수 있었다. (Fig. 15)^{(6) (7) (8)}

4. 결 론

실험실 규모의 누출장치 system을 제작하여 누출형태 및 압력, 누출량의 변화에 따른 AE 신호특성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 누출신호의 분석에 있어 slope, rise time 등 AE parameter의 특성 이용은 분석에 더 좋은 결과를 가져다 줄수 있다.

2) Frequency spectrum 분포에서 누출량 및 압력이 증가함에 따라 전체적으로 비슷한 형태로서 증가함은 보이거나 frequency 요소에는 거의 영향을

미치지 않는다.

3) 누출량 및 압력의 증가에 따른 신호의 크기는 지수적인 비례를 보이며 동일한 형태의 누출 하에서 그 형상의 크기 보다는 누출량에 의한 영향이 더 지배적이다.

4) Joint 부위의 심한 감쇠현상에 비해 곡관부는 거의 영향을 받지 않으며 본 system에서의 누출부위와의 가까운 거리에 대해 약 -3dB/m 정도의 감쇠율을 보였다.

5. 참고문헌

- (1) A. G. Beattie, Acoustic Emission Principles and Instrumentation, J. of A. E., 2 (1983) pp. 95~128
- (2) J. W. McElroy, Development of Acoustic Emission Testing for the Inspection of Gas Distribution Pipelines, ASTM STP 571, (1975) pp. 59~79
- (3) A. A. Pollock and S. Y. S. Hsu, Leak Detection using Acoustic Emission, J. of A. E., 1, 4 (1982) pp. 237-243
- (4) B. R. A. Wood and R. W. Harris, Pipeline Leak Detection with Acoustic Emission, Australian Welding Research, Vol. 13 (1984) pp. 8~17
- (5) A. A. Pollock, Classical Wave Theory in Practical AE Testing, Prog in A. E. III, Jap. Soc. of NDI. (1986) pp. 708-721
- (6) A. Kitajima, N. Naohara and A. Aihara, Acoustic Leak Detection in Piping Systems, Energy & Environment Lab., Rep. No. E 283006 (1983)
- (7) B. R. A. Wood and R. W. Harris, Leak Detection in Pipelines Using Acoustic

Emission, Prog. in A. E. II, (1984)

pp. 202~209

(8) A. E. Lord, J. N. Deisher and R. M.

Koerner, Attenuation of Elastic Waves in

Pipelines as Applied to Acoustic

Emission Leak Detection, Materials

Evaluation, Nov. (1977) pp. 49~54 .

안 내

1987년도 부터 우리학회 회원명단을 별책으로 발간
코자 하오니 근무처 및 현주소가 변경된 회원께서는 다
다음 양식에 의거 한국비파괴검사학회 사무실 (전화
582-2743·583-7564) 로 연락주시기 바랍니다.

아울러 당학회에서는 대체구좌 및 온라인을 개설하
여 회비 납부에 편의를 도모하도록 하였으니 많은 이
용을 바라오며 온라인 이용시 전화나 서신으로 연락하
여 주시기 바랍니다.

우리 학회의 온라인 번호와 주소가 다음과 같이
변경되었음을 알려 드립니다.

- 1) 국민은행 : 086-01-0088-748
(한국비파괴검사학회)
- 2) 외환은행 : 154-13-00283-1
(한국비파괴검사학회)
- 3) 조흥은행 : 348-1-055562
(한국비파괴검사학회)

보내실곳 : 서울 강남구 서초동 1603-66

한국비파괴검사학회 직원 : 임상석, 김성철, 박영희

성 명 (영 문)	근 무 처 (전화번호)	현 주 소