

다양한 결함에 대한 폴리에틸렌 배관의 음향방출 특성

이 시 윤* · 안 석 환* · † 남 기 우

*한국소방안전협회 부산지부, 부경대학교 공과대학
(2004년 4월 19일 접수, 2004년 5월 21일 채택)

AE Characteristic of Polyethylene Pipe under various defects

Si Yoon Lee* · Seok Hwan Ahn and Ki Woo Nam

*Busan Branch, Korea Fire Safety Association, Daegu 700-719, Korea
College of Engineering, Pukyong National University, Busan 608-739, Korea
(Receive 19 April 2004 ; Accepted 21 May 2004)

요 약

최근 가스관용으로 압력손실이 큰 동관의 사용은 점차 줄어들고 있는 추세이며, 한편으로는 폴리에틸렌관이 신소재배관재료로서 사용되어 지고 있다. 폴리에틸렌관은 화학적으로 안정성이 높아 부식에 강하고 반영구적으로 사용할 수 있으며, 유연성이 좋아 설치와 유지관리가 편한 장점이 있다. 그러나 외부에 노출되었을 때 쉽게 열화되므로, 주로 저압 가스용 매설배관으로서 사용하고 있는 실정이다. 그러나 매설배관으로 사용되는 폴리에틸렌관의 사용 중에 발생하는 결함에 대한 비파괴적 평가에 대한 연구는 거의 없다. 본 연구에서는 폴리에틸렌 배관의 건전성을 평가하기 위해 다양한 결함을 상정하여 불 베어링 충격시험에 따른 음향방출에 의한 신호특성을 평가하였다. 폴리에틸렌 배관의 결함 형상에 따라 파형 및 중심주파수의 구별이 가능하였다. 특히, 노치결함이 있는 경우 노치의 각도와 깊이에 따라 AE신호의 특성이 다르게 나타났다.

Abstract - The polyethylene pipe can use semi-permanent because of the high corrosion resistance with chemical stability. In addition to, there is the merit that is an easy to establish and to maintain. However, as the reason that it is simply degraded when the polyethylene pipe was exposed to the outside, mainly it is used to lay under the ground with low-pressure gas transportation pipe. In this study, the nondestructive evaluation method was used to maintain the integrity of the polyethylene pipe. We simulated the various defects on the polyethylene pipes, and then the AE signal occurred according to the impact test of steel ball was evaluated by the acoustic emission method. From the results, the waveform and dominant frequency could be distinguishing from the defect shapes of polyethylene pipe. Especially, in the case of notch defect, the AE signals occur different by the angle and depth of the notch.

Key words : polyethylene pipe, acoustic emission, waveform, frequency, defect

1. 서 론

폴리에틸렌은 세계에서 가장 널리 보급된 합

성고분자 물질 중의 하나로 1930년대 영국의 ICI(Imperial Chemical Industries)사에서 밀도가 낮은 LDPE를 처음으로 합성한 이후 고밀

도폴리에틸렌(HDPE), 중밀도폴리에틸렌(MDPE) 및 저밀도폴리에틸렌(LDPE)이 개발되었고, 현행 가스관용으로 사용되는 폴리에틸렌관은 중밀도폴리에틸렌(MDPE)이다. 폴리에틸렌의 일반적인 특성으로는 유백색이며, 반투명의 납과 같은 느낌의 플라스틱으로 물보다 비중이 낮고 내수성, 전기절연성(특히 고주파 절연)이 우수하고, 산과 알칼리에 강하다는 점과 인체에 무해하고 유연성이 좋으며, 특히 저온에서 유연성을 잃지 않고 내충격성이 강하다는 점을 들 수 있다[1,2].

가스용 폴리에틸렌배관은 SDR(Standard Demension Ratio) 범위에 따라 SDR 11이하는 4kg/cm²이하의 배관, SDR 17이하는 2.5kg/cm²이하의 배관, SDR 21이하는 2kg/cm²이하의 배관에만 사용 가능하도록 규정하고 있다. 배관의 재료로는 동관, 강관, 폴리에틸렌관, 호스 등이 있다. LP가스 및 도시가스용으로 주로 사용되는 것으로는 이음새 없는 동관 및 탈탄동관(99.5%~99.9%)이 주로 사용되는데 이 중에서는 탈탄동관이 좋으며, 저압용으로는 외경이 8mm, 10mm, 12mm인 것이 사용되고 있고, 두께는 모두 0.8mm이다[3]. 최근 LP가스체적거래가 일반화되면서, 압력손실이 큰 동관의 사용은 점차 줄어들고 있는 추세이다. 한편, 폴리에틸렌관은 화학적으로 안정성이 높아 부식에 강하므로 반영구적으로 사용할 수 있고 유연성이 좋아 설치와 유지관리가 편리한 신소재 배관 재료라 할 수 있다. 그러나 햇빛에 노출되면 쉽게 열화가 일어나므로 주로 저압가스용의 매설배관으로 사용하고 있으며, 최근 도시가스 저압배관은 거의가 폴리에틸렌관을 사용하고 있는 실정이다. 그러나 매설배관으로 사용되는 폴리에틸렌관의 사용 중에 발생하는 결함에 대한 비파괴적 평가에 대한 연구는 거의 없는 실정이다[4].

따라서 본 연구에서는 폴리에틸렌 배관의 건전성을 평가하기 위하여 다양한 결함을 모의하여 음향방출법[5-8]에 의한 신호특성을 평가한 결과를 보고한다.

2. 시험편 및 실험 방법

2.1. 시험편

본 연구에 사용한 재료는 현재 시판 중인 (주) 동원플라스틱의 저압용 폴리에틸렌 배관 A종 1-40호를 사용하였다. 폴리에틸렌 배관의

기계적 성질을 Table 1에 나타내었고, AE 실험에 사용한 폴리에틸렌 배관의 형상을 Fig. 1에 나타낸다.

Table 2에는 폴리에틸렌 배관에 인위적으로 가공한 노치 및 결함의 치수를 나타내었고, Fig. 2는 노치 및 결함 형상의 사진을 나타내었다. 아크릴 절단용 칼을 이용하여 약 7cm 정도의 노치를 삽입하였으며, Bench drilling machine GY. 360을 사용하여 직경 13mm의 hole defect를 삽입하였다.

Table 1. Mechanical properties of PE.

Material	σ_Y (MPa)	ϵ (%)
Polyethylene pipe (KS M 3415)	20	632

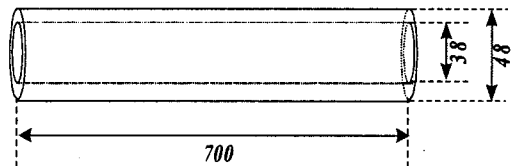


Fig. 1. Shape of test specimen (unit: mm).

Table 2. Defect shapes of test pipe (unit: mm).

defect shape	defect geometries (length, depth)
Non	-
0°wall through notch	50, 5
45°partially notch	50, 2.5
45°wall through notch	50, 5
90°partially notch	50, 2.5
90°wall through notch	50, 5
hole	∅12
bending	-
welding	-

2.2. AE 실험

Fig. 3에는 폴리에틸렌 배관에 대하여 볼 베어링 충격시의 음향방출 실험의 개략도를 나타내었다. 폴리에틸렌 배관의 충격 시에는 직경

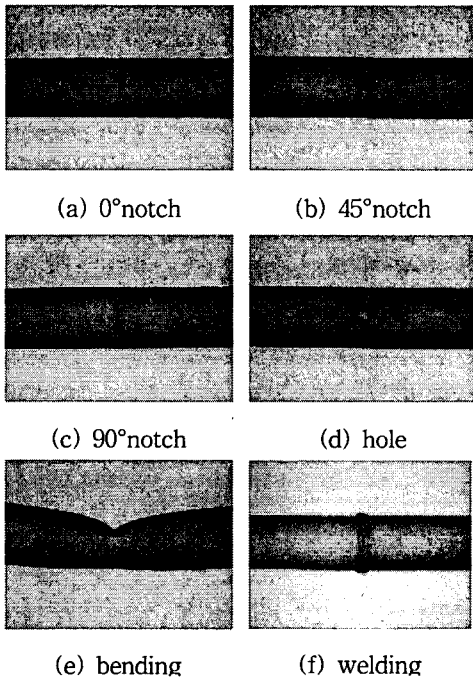


Fig. 2. Shapes of defects for AE test.

7mm의 steel ball을 사용하였다. steel ball의 충격 시 검출되는 신호는 최대 16채널까지 지원되는 Fracture Wave Detector (Model FM-1, Digital Wave Corp., Englewood, Co.)를 사용하였고, 센서는 1MHz의 광대역 센서를 사용하여 Pre-amplifier에서 54dB 증폭한 신호를 수신하였다. 검출된 신호는 WaveExplor™ 3.0 프로그램을 사용하여 시간-주파수 분석을 하였다.

3. 결과 및 고찰

폴리에틸렌 배관의 다양한 결함에 대한 파형 및 주파수 분석을 결과를 Fig. 4에 나타낸다. 결함의 유무 및 결함에 관계없이 0~50 kHz의 저주파수 대역이 중심주파수로 나타났다. 이는 steel ball 충격에 대한 중심주파수가 저주파수 대역을 생성하는 것도 이유가 되겠지만, 다른 재료(강재)의 중심주파수와 비교해서도 현저히 낮은 주파수 대역을 이루고 있는 것으로 보아 본 실험에 사용한 재료인 폴리에틸렌 배관이 고주파수 대역의 음파를 흡수하는 것으로 판단된다.

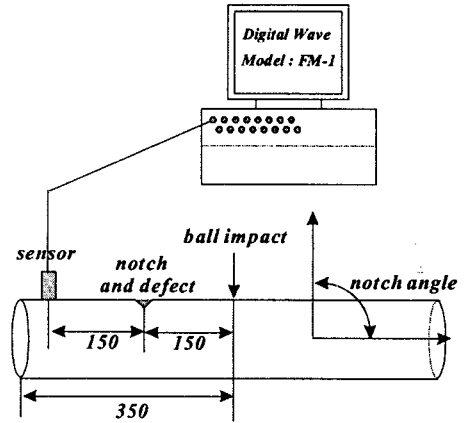
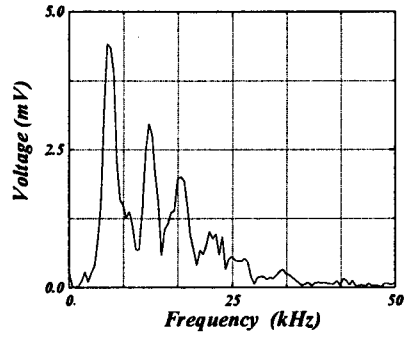
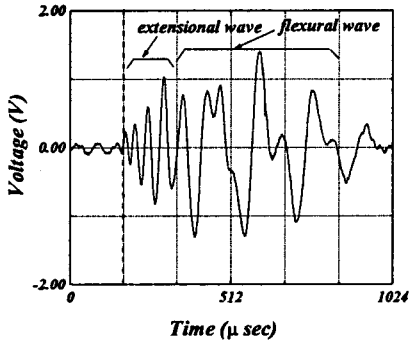


Fig. 3. Schematic diagram of AE test (unit: mm).

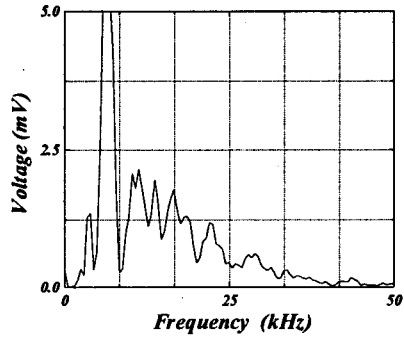
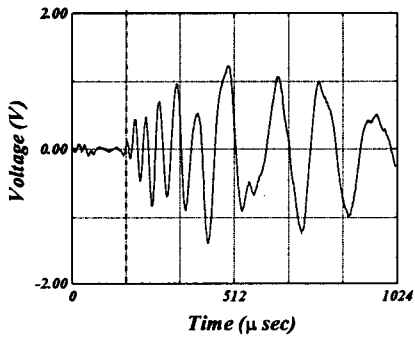
Fig. 4(a)는 결함이 없는 폴리에틸렌의 파형 및 주파수를 나타낸다. 중심 주파수 대역은 6kHz, 12kHz, 17kHz 및 21kHz의 순서로 나타났다.

Fig. 4(b), (c), (d), (e) 및 (f)에는 각각 폴리에틸렌의 길이방향에 대하여 노치의 각도 및 깊이를 다르게 하였을 때의 파형 및 주파수를 나타낸다. 결함이 없는 건전한 폴리에틸렌 배관의 직접파 부분의 파형이 조밀하게 나타나는 것을 볼 수 있으며, 폴리에틸렌 배관의 음파의 흡수에 의하여 반사파 부분의 파의 밀도가 직접파 보다 낮게 나타나고 있다. 그러나 노치가 있는 폴리에틸렌 배관과 비교하면, 노치각도가 0°인 경우에는 노치가 없는 폴리에틸렌 배관과 거의 유사하게 나타났으나, 직접파 부분의 파형이 노치의 각도가 증가하면 할수록, 그리고 노치의 깊이가 깊을수록 파형의 밀도가 낮게 나타났다. 이는 이러한 노치와 같은 결함이 폴리에틸렌 배관에 발생할 경우, 노치에 의하여 음파가 감쇠 혹은 반사하기 때문에 파형의 밀도가 낮아졌다고 판단된다. 결함이 없는 폴리에틸렌 배관의 중심주파수를 비교하면, 노치의 각도가 0°인 경우는 노치가 없는 폴리에틸렌 배관과 유사하게 나타났으나, 노치의 각도와 깊이가 커질수록 노치가 없는 중심주파수 6kHz보다 12kHz, 17kHz, 21kHz의 고주파수 대역의 감쇠가 나타났다.

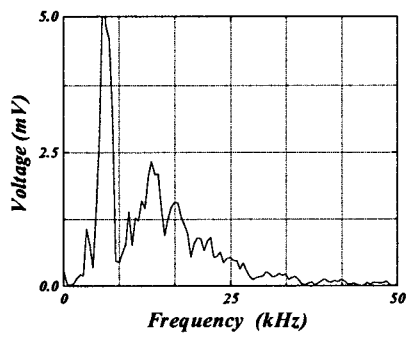
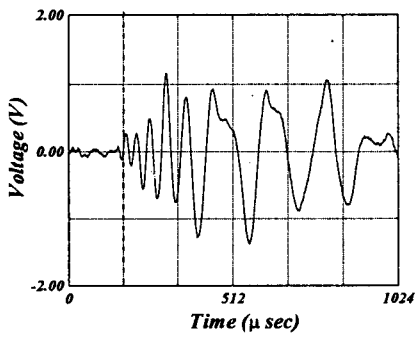
Fig. 4(g), (h) 및 (i)는 폴리에틸렌 배관의 구멍, 굽힘, 용접 결함에 대한 파형 및 주파수 분석을 나타낸다. 결함이 없는 폴리에틸렌 배관과 비교하기 위하여 구멍 결함을 삽입한 경



(a) Non-defect

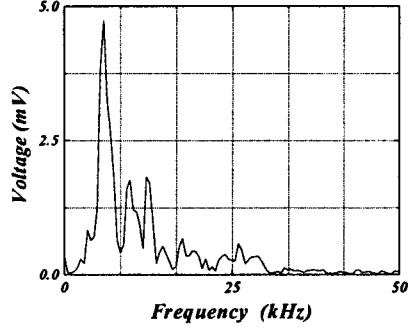
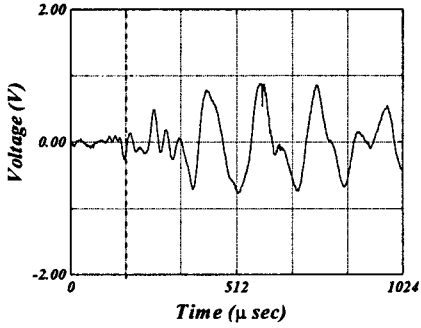


(b) 0° wall through notch

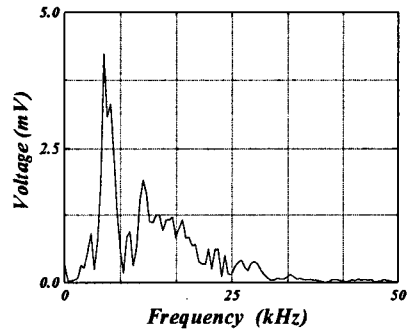
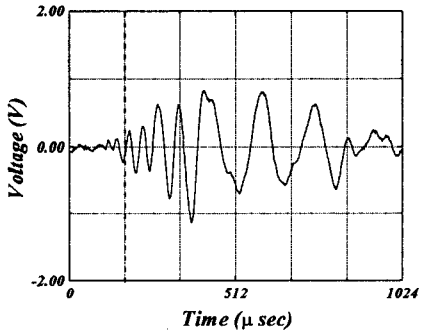


(c) 45° wall partially notch

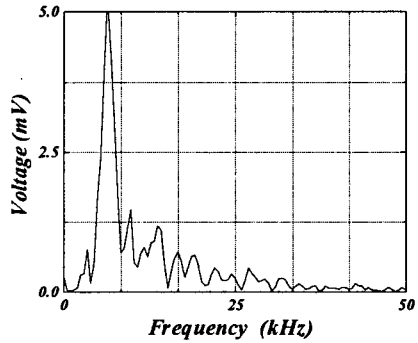
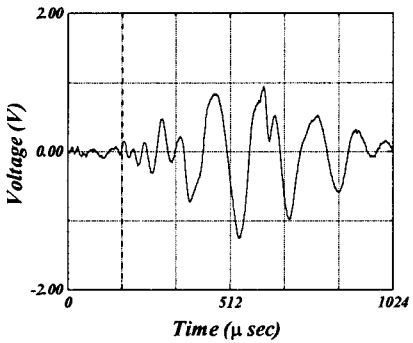
다양한 결함에 대한 폴리에틸렌 배관의 음향방출 특성



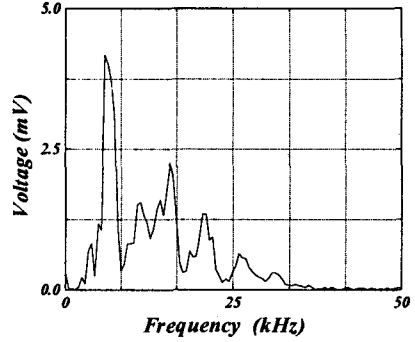
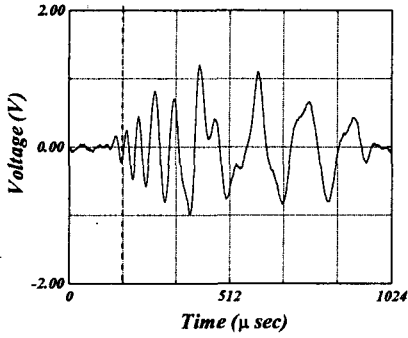
(d) 45°wall through notch



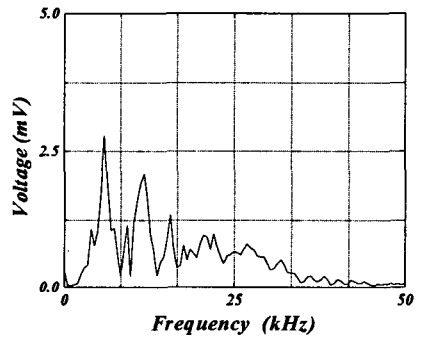
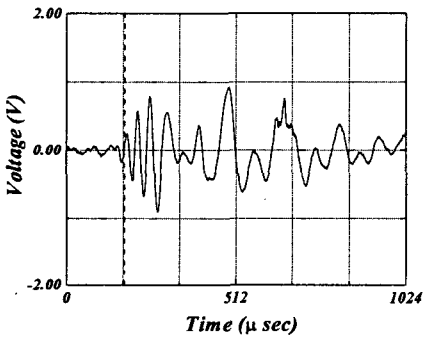
(e) 90°wall partially notch



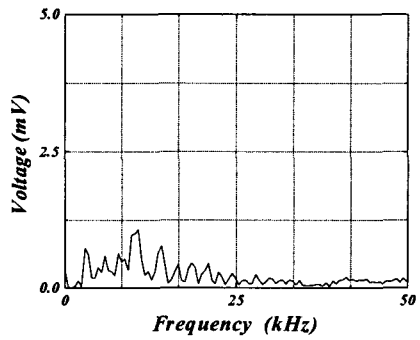
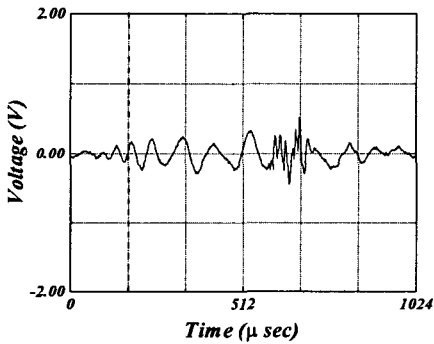
(f) 90°wall through notch



(g) hole



(h) bending



(i) welding

Fig. 4. Results of waveform and frequency after AE test.

우에는 결함이 없는 폴리에틸렌 배관에서 나타난 파형과 비슷한 파형을 나타냈으나, 중심주파수 대역은 결함이 없는 폴리에틸렌 배관의 6kHz, 12kHz, 17kHz, 21kHz의 순서가 아니라, 오히려 17kHz의 주파수가 12kHz의 주파수 대역보다 크게 나타났다. 굽힘 결함을 삽입한 폴리에틸렌 배관 파형 및 중심 주파수 대역은 결함이 없는 배관과 비슷하게 나타났으나, 동일한 steel ball의 충격 시험에서는 파형 및 주파수 크기가 낮게 나타났다. 또한, 용접 결함을 삽입한 폴리에틸렌 배관의 파형의 형태 및 크기, 중심주파수 대역의 크기 등이 현저하게 다르게 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서 폴리에틸렌 배관에 다양한 결함을 모의하고, steel ball 충격시험에 의한 음향방출 실험을 한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 결함이 없는 폴리에틸렌 배관의 steel ball 충격 시험에 대한 중심 주파수 대역은 6kHz, 12kHz, 17kHz 및 21kHz의 순서로 나타났다.
2. 노치 결함이 있는 폴리에틸렌 배관의 파형 및 중심 주파수 대역은 노치의 각도 및 깊이 에 따라 결함이 없는 폴리에틸렌 배관과 구별이 가능하였다.
3. 구멍, 굽힘, 용접 결함이 있는 폴리에틸렌 배관의 파형 및 중심주파수의 크기는 결함이 없는 폴리에틸렌 배관의 파형 및 주파수와 구별이 가능하였다.

4. 이와 같은 결과를 통하여 사용이 증가하고 있는 폴리에틸렌 배관의 건전성 평가에 음향방출법을 적용하면 사고의 위험을 줄일 수 있으리라 판단된다.

참고문헌

- [1] 신현주, “폴리에틸렌”, 폴리머, 5(2), 128-134, (1981)
- [2] 김기채, “고밀도 폴리에틸렌”, 고분자 과학과 기술, 4(1), 12-22, (1993)
- [3] 김우식, 김철만, 홍성호, “국내 가스사고 사례분석 및 가스배관 건전성 확보방안”, 한국산업안전학회지, 12(3), 192-199, (1997)
- [4] 이시윤, 정정환, 안석환, 남기우, “저압배관용 폴리에틸렌의 인장시험시 발생한 음향방출 특성”, 한국동력기계공학회지, 7(1), 82-85, (2003)
- [5] 정회돈, “음향방출법의 공학적 이용을 위한 기초” 대한기계학회지, 34(1), 20-32, (1994)
- [6] 김현수, 남기우, 강창률, 김부안, “음향방출에 의한 고강도 구조용 내화강의 열화특성에 관한 연구”, 한국열처리공학회지, 13(5), 309-317, (2000)
- [7] 남기우, 김선진, 안병현, “두께변화에 따른 엔지니어링 플라스틱의 파괴인성과 AE특성”, 한국해양공학회지, 10(4), 51-57, (1996)
- [8] ASNT, “Nondestructive Testing handbook - volumn 5 Acoustic Emission Testing”, 2nd Edition, American Society for Nondestructive Testing, (1987)