

저압배관용 폴리에틸렌의 인장시험시 발생한 음향방출 특성 AE Characteristic under Tensile of Polyethylene for Low Pressure Pipe

이시윤 · 정정환 · 안석환 · 남기우

S. Y. Lee, J. H. Jeong, S. H. Ahn and K. W. Nam

Key Words : Low Pressure Pipe(저압배관), PE Pipe(폴리에틸렌배관), Acoustic Emission(음향방출), Waveform(파형), Power Spectrum(파워스펙트럼), Time frequency Analysis(시간 주파수 해석)

Abstract : This study is to look at the effect for deformation of Polyethylene, on the wave forms produced by tensile test. Signals collected were then classified visually into three types according to their shapes in the time and frequency domain. Each type should contain signals which could be correlated to a certain micro failure mechanism that occurs during the tensile process. The result showed that the acoustic emission method could be effectively used for analysis of fracture mechanism in Polyethylene structures.

1. 서 론

폴리에틸렌(PE)은 5대 범용 플라스틱의 하나로써 경제적이고 가공이 용이하며, 염류, 산, 알칼리 등에 대하여 내약품성이 크고, 전기절연성이 크기 때문에 화학적 부식이나 전기부식의 염려가 없으므로 인하여 전 세계적으로 그 사용량이 많다^{1,2)}. 이런 특성으로 인하여 가정용품뿐만 아니라, 저압 및 고압의 배관까지 다양한 용도로 적용되고 있다³⁾.

특히 폴리에틸렌 압력 배관은 현재 가스관 시장에서 급격히 성장하고 있으며, 이미 유럽 선진국에서는 폴리에틸렌 압력 배관이 보편화 되어 있고, 일본에서도 고베지진 이후 폴리에틸렌 압력 배관에 대한 인식이 새로워졌다. 이로 인하여 이미 국내에서도 가스 배관제로 강관이나 폴리에틸렌 코팅 강관을 사용하기보다는 폴리에틸렌 배관으로 교체하고 있는 실정이다.

더구나 선박은 좁은 공간내에 해수, 청수, 기름 등등을 수송하기 위하여 많은 종류의 금속 배관이 설치되어 있다. 이러한 금속 배관을 폴리에틸렌 배

관으로 교체하면 내식성을 향상시킬 수 있으며, 충격에도 강한 특성을 나타내므로 선박의 안전성을 도모할 수 있다.

최근 5년간 국내 도시가스 사고의 주원인은 시설미비, 타공사, 취급부주의의 순으로 나타나고 있다³⁾. 시설미비에 의한 사고의 대부분은 가스보일러의 시설 부적합 사고로 나타나고 있으며, 타공사의 경우는 건축공사 중 굴착공사로 인한 사고가 대부분이다.

2000년도와 2001년도의 타공사에 대한 사고를 살펴보면 2000년도에 타공사의 사고 6건 중 폴리에틸렌 배관의 파손으로 인한 가스 누출 사고가 3건, 2001년도에 6건중 1건이 발생하였다. 이는 포크레인과 천공기에 의한 배관 파손으로 인한 것이다. 이와 같이 폴리에틸렌 배관의 파손 사고가 많은 것은 30cm 정도의 깊이로 매설되는 규정 때문이다.

폴리에틸렌 배관의 매설 깊이가 얕으므로 하여 인위적인 사고뿐만 아니라, 갑작스런 수해나 지반침하에 대해서도 사고의 위험성이 많다. 그리고 이러한 파손뿐만 아니라 굽힘이나 재료 표면의 결함으로 인한 폴리에틸렌의 파손 및 비파괴적인 연구는 미흡한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 저압용 배관으로 현재 국내에서 사용되고 있는 폴리에틸렌 배관(가스용 폴리에틸렌관 A종 140호 ; KS M 3514 규격품)을

접수일: 2002년 11월 9일
이시윤(책임저자) : 한국소방안전협회 대구·경북 지부
E-mail : lsy@kfsa.or.kr Tel. 053-429-6914
정정환 : 부경대학교 대학원
안석환, 남기우 : 부경대학교 공과대학

재가공하여 인장시험편으로 만든 후 강도특성을 조사하였고, 실시간적으로 음향방출신호를 검출하여 시간 주파수를 분석하였다. 이러한 기초적인 연구에서 얻어진 인장특성과 비파괴적특성을 파악 하므로써 저압배관의 사용에 있어서 안전성 및 건전성 관리에 도움이 되고자 하였다. 또한 실구조물인 배관의 특성파악에 기초적인 데이터로 활용하고자 한다.

2. 시험편 및 실험방법

2.1 재료 및 시험편 형상

본 연구에 사용한 재료는 현재 시판중인 (주)동원프라스틱의 저압용 폴리에틸렌배관 A종 1 40호를 사용하였다. Table 1은 폴리에틸렌배관의 기계적특성을 나타내고 있다. 인장시험편은 배관을 절단하여 hot press를 사용하여 평편을 만든 뒤 KS M 3514 규격에 준하여, Fig. 1에 나타내는 것과 같은 형상과 치수로 제작하였다.

Table 1 Mechanical properties of PE pipe

σ_y (MPa)	ϵ (%)	Test Standard
20	632	KS-M-3514

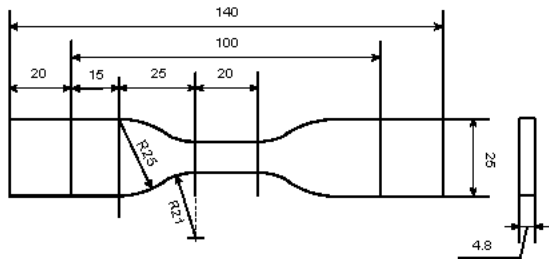


Fig. 1 Shape and dimensions of specimen (unit : mm)

2.2 인장시험

인장시험은 KS규격에 따라 제작한 시험편을 용량 49 kN의 UTM(Instron社)으로 실온에서 실시하였다. Cross head speed는 KS M 3514 규격에 200+20 mm/min으로 명시되어있지만, 본 연구에서는 폴리에틸렌의 인장시험시 발생하는 음향방출신호를 검출하기 위하여 3 mm/min로 하였다.

2.3 음향방출 신호 검출

인장시험 중 발생하는 음향방출 신호의 측정 시

스템을 Fig. 2에 나타낸다. 신호의 파형과 주파수 특성을 검출하기 위한 장비는 최대 16채널까지 지원되는 Fracture Wave Detector (model FM 1, Digital Wave Corp., Englewood, Co.)를 사용하였다. FWD는 발생하는 모든 음향방출 파형을 디지털화시켜 저장한다.

검출되는 음향방출 신호의 디지털화 속도는 하한계 값 0.2 V로 하고, 샘플링 속도는 12.5 MHz이고, 샘플링 크기는 1024개이다. 음향방출을 검출하기 위한 센서의 위치는 Fig. 2에 나타내었다. 사용된 센서는 넓은 범위의 주파수 응답 특성을 가지는 PAC광대역 센서인 1 MHz이며, 42 dB 전치증폭기를 거쳐 검출하였다.

이렇게 검출된 신호를 WaveExplor™ 3.0 프로그램을 사용하여 시간 주파수 분석을 하였다⁴⁾. 또한, 인장 시험시의 잡음을 제거하기 위하여 시험기의 마찰부위에 윤활유를 발라 최소화하였다.

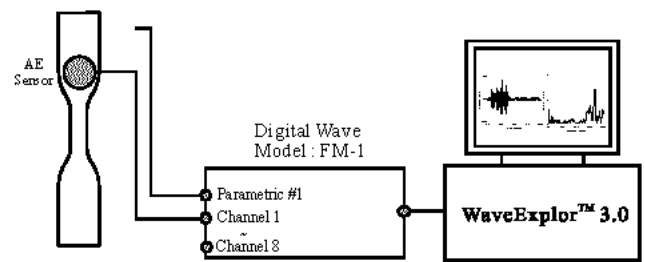


Fig. 2 Schematic diagram of AE system

3. 실험결과 및 해석

3.1 인장특성

Fig. 3은 폴리에틸렌 배관으로 만든 인장시험편의 인장시험에 대한 응력 변형을 곡선을 나타낸다⁵⁾. Table 2는 4개의 시험편으로 인장시험에서 얻어진 항복강도와 파단강도, 연신율의 평균값을 나타낸다. Table 2에 나타낸 기계적특성은 Table 1에 나타낸 배관의 기계적특성에 비하여 항복응력의 값은 낮고, 연신율은 높게 나타나 있다. 이것은 배관을 판재로 만들기 위하여 hot press가공 시 배관의 결정구조가 이완된 것으로 판단된다.

Fig. 3에서 A영역은 탄성영역으로서 항복까지 선형이 거의 유지되고 있다. B영역은 항복영역으로 소성이 시작된 시험편은 넥킹(necking)이 일어나기 시작하고, B영역의 마지막 부분에서 넥킹이 한계점에 달한다. C영역은 넥킹이 시험편의 표점부 전반에 걸쳐 그 길이가 늘어나고, 이 영역에서는 가공경화 현상인 응력의 증가가 완만하다가 변

형이 증가함에 따라서 응력이 더욱 증가하는 현상을 볼 수 있다.

Fig. 4는 인장시험편의 표점부에서 나타나는 인장시험시의 변형의 개략도를 보여주고 있다. '1'은 탄성영역(Fig. 3의 A영역)으로 시험편에 아무런 변화가 없었으며, '2'는 Fig. 3의 B영역으로 국부적인 넥킹이 형성되는 것을 보여주고 있다. '3'은 Fig. 3의 C영역의 초반부로 국부적인 넥킹이 한계점에 달하여 시험편의 길이 방향으로 넥킹이 일어나는 형상을 나타내며, '4'는 시험편 표점부 전체에 넥킹이 일어난 형태를 보여주고 있다.

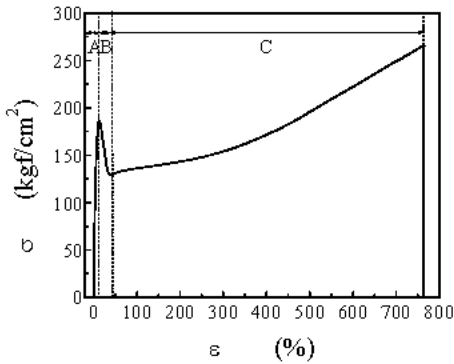


Fig. 3 Stress strain curve

Table 2 Mechanical properties from tensile test

σ_y (MPa)	σ_u (MPa)	ϵ (%)
18.9	25.8	781

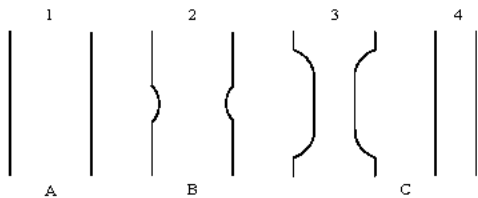


Fig. 4 Schematic diagram of specimen shape change during tensile test

3.2 음향방출 특성

Fig. 5는 폴리에틸렌 시험편의 인장시험시 검출된 음향방출 신호에 대한 파워스펙트럼의 최대 전압값을 나타내는 주파수를 나타내고 있다. Fig. 5에서 최대전압값은 전반적으로 200 kHz 이하의 주파수가 주를 이루고, 900 kHz~1.1 MHz가 시험초기부터 파단까지 나타나고 있다.

그리고 탄성역과 항복구간, 가공경화 초기에는 250~400 kHz의 주파수가 나타났으며, 연신 중에는

변형대 응력의 기울기가 높게 변하는, 즉 연신을 400 % 이상의 구간에서는 500~600 kHz의 주파수가 나타났다.

이러한 주파수영역이 발생한 이유를 고찰하기 위하여 준결정성 고분자의 변형 중 넥킹의 형성과정을 분자 수준에서 묘사한 개념도를 Fig. 6에 나타내었다. A는 이상적으로 표현된 변형전의 구조이고, B는 결정이 변형하여 결정이 파괴되어 사슬들이 뿔뿔히 나오기 시작하는 모습을 보여주고 있으며, C에서는 섬유상 구조가 형성되기 시작하는 과정을 보여주고 있다.

저자들의 연구에서 200 kHz 이하의 주파수는 실험시의 기계적·전기적 잡음에 의한 노이즈로 판명되었으므로, 이후 논의에서는 제외하였다⁶⁾. 항복 전후와 가공경화 초기에 나타나는 250~400 kHz는 Fig. 6의 B영역과 같이 결정이 파괴됨으로 이상적인 구조가 가지고 있던 에너지가 방출된 것이라 판단된다.

그리고, 500~600 kHz의 주파수는 Fig. 6의 C영역과 같이 폴리에틸렌 내부의 구조가 섬유상으로 변하고, 가공경화 현상이 발생하여 재료가 가지는 에너지가 변함에 따라 이와 같은 주파수가 나타난

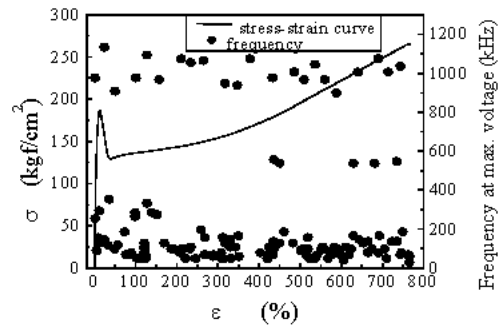


Fig. 5 Frequency of maximum voltage of power spectrum from tensile test

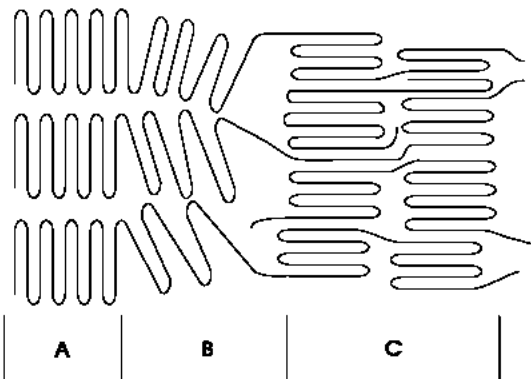


Fig. 6 Schematic diagram of necking for deformation of PE

것으로 판단된다. 900 kHz~1.1 MHz 주파수는 폴리에틸렌의 변형으로 발생하는 것으로 판단된다.

폴리에틸렌의 인장시험 시에 나타나는 음향방출의 파형과 파워스펙트럼은 Fig. 7과 같이 3가지로 분류할 수 있었다. 이것은 시각적인 방법에 의하여 분류하였다⁷⁾. 가로축은 파형에서는 시간이며, 파워스펙트럼에서는 주파수를 나타내고, 각각의 세로축은 전압을 나타내고 있다.

Fig. 7에서 음향방출 신호의 파형 형태에 따라 다른 파워스펙트럼을 가짐을 알 수 있다. Fig. 5의 주파수 최대전압값은 Fig. 7의 파워스펙트럼에서 최고 peak값을 나타낸 것이다.

(a) Type I은 항복 전후에서 검출되는 것으로 탄성역을 지나 소성이 되면서 서로 엉켜있던 사슬들이 풀어지고 그 풀어지는 과정에서 미끄럼이나 서로간의 마찰로 인하여 결정화가 되어가는 과정에서 축적되어 있던 에너지가 방출이 되며 나오는 신호로 판단된다. (b) Type II는 연속형 파형의 신호를 나타내는 것으로, Fig. 4와 6의 C와 같은 상태에서 나오는 신호라고 판단된다. (c) Type III는

전 구간에 걸쳐 검출되면서, 고주파수 성분을 가지므로서 폴리에틸렌이 갖는 재료 고유의 에너지라 판단된다.

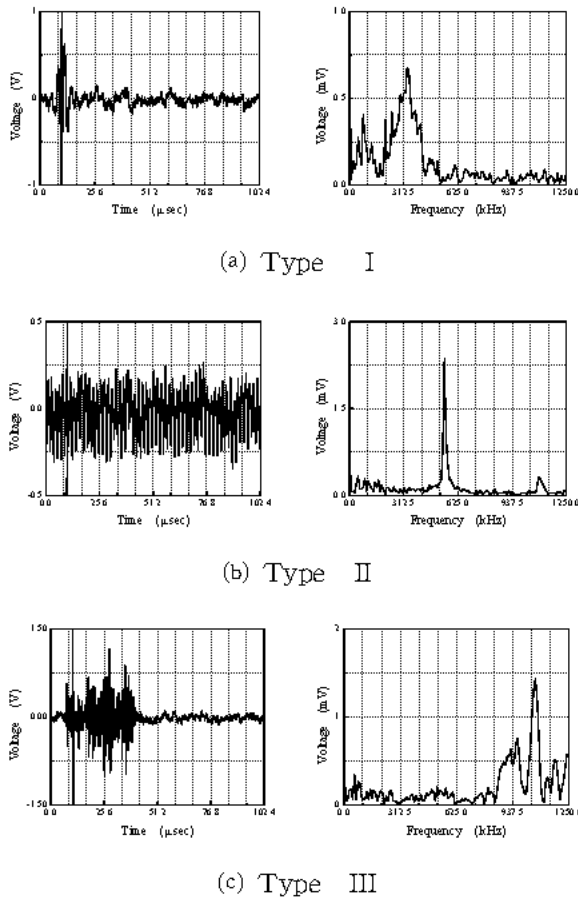
이와 같이 폴리에틸렌의 인장시험에서는 3종류의 파형과 파워스펙트럼 분류가 가능하였고, 이를 활용하면 폴리에틸렌 배관의 건전성 감시에 활용 가능하리라 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 저압용 배관으로 현재 국내에서 사용되고 있는 폴리에틸렌의 인장시험에서 3종류의 파형과 파워스펙트럼을 분류할 수 있었다. 이러한 기초적인 연구에서 얻어진 인장특성과 비파괴적특성을 파악함으로써 저압배관의 사용에 있어서 안전성 및 건전성 관리에 도움이 되고자 하였으며, 폴리에틸렌 배관의 건전성 감시에 활용 가능하리라 판단된다.

참 고 문 헌

1. 신현주, "폴리에틸렌", 폴리머, 제5권, 제2호, pp. 128~134, 1981
2. 김기채, "고밀도 폴리에틸렌", 고분자과학과 기술, 제4권, 제1호, pp. 12~22, 1993
3. 김우식, 김철만, 홍성호, "국내 가스사고 사례분석 및 가스배관 건전성 확보방안", 한국산업안전학회지, 제12권, 제3호, pp. 192~199, 1997
4. 이근찬 외 3인, "열화된 SUS316강의 시간 주파수 해석에 의한 비파괴평가", 비파괴검사학회지, 제19권, 제4호, pp. 270~276, 1999
5. 남기우, 김선진, 안병현, "두께변화에 따른 엔지니어링 플라스틱의 파괴인성과 AE특성", 한국해양공학회지, 제10권, 제4호, pp. 51~57, 1996
6. 이상기 외 4인, "316L스테인리스강의 피로균열 진전 거동과 음향방출신호의 주파수 특성", 한국동력기계공학회지, 제4권, 제2호, pp. 52~57, 2000
7. Kiwoo Nam, Ajit Mal, "Characteristics of Elastic Waves Generated by Crack Initiation in Aluminum Alloys under Fatigue Loading", Journal of Materials Research, Vol. 16, No. 6, pp. 1745~1751, 2001



Waveform Power spectrum
Fig. 7 Acoustic emission obtained during the tensile test