

PE 배관의 인장시험 동안 발생한 AE 특성

정정환* · 남기우** · 안석환*** · 박인덕**

*부경대학교 대학원 재료공학과

**부경대학교 재료공학부

***부경대학교 기계공학부

AE characteristic of PE pipe under tensile test

JEONG-HWAN JEONG*, KI-WOO NAM**, SEOK-HWAN AHN*** AND IN-DUCK PARK**

*Graduate School of Materials Science and Engineering, Pukyong National University

**Division of Materials Science and Engineering, Pukyong National University

***School of Mechanical Engineering, Pukyong National University

KEY WORDS: PE pipe 폴리에틸렌 관, Acoustic emission 음향방출대, Tensile test 인장시험, Time-frequency analysis 시간-주파수 해석

ABSTRACT: Polyethylene pressure pipe has been used with a gas pipe material because of workability and stability etc.. Researches on characteristics of polyethylene pressure pipe are carried out, but there are rare. In this study, the tensile test was performed on polyethylene pipe. From the tensile test, AE signals were detected and estimated in real time. Also, the time-frequency analysis of AE signals was analyzed. From test results, PE pipes were displayed typical stress-strain curves of semi-crystalline polymer. As result analyzed AE signals, could divide stress-strain curves could be divided into four stages. In the elastic region, signals were not detected. Low amplitude distributions of 30-35dB appeared after yielding, and high amplitude distributions of 30-60dB appeared with increased extension. From the time-frequency analysis of AE signals, the frequency band of 100kHz appeared mainly. Also, the frequency band of 300kHz appeared before the necking phenomenon spreads into the whole region, and the frequency band of 500kHz appeared on extension earlier.

1. 서 론

폴리에틸렌(PE)은 5대 범용 플라스틱의 하나로서 경제적이고 가공이 용이하며, 비극성 물질이기 때문에 화학물질에 대한 우수한 안정성을 가지는 특성으로 인해 전 세계적으로 그 사용량이 많다. 이런 특성으로 인해 가정용품뿐만 아니라 고압의 배관까지 다양한 용도로 적용되고 있다. 특히 폴리에틸렌 압력 배관은 현재 가스관 시장에서 급격히 성장하고 있으며, 이미 유럽 선진국에서는 폴리에틸렌 압력 배관이 보편화 되어 있고 일본도 고베지진 이후 폴리에틸렌 압력 배관에 대한 인식이 새로워졌다. 이로 인해 이미 국내에서도 가스 배관제로 강관이나 폴리에틸렌 코팅 강관을 사용하기보다는 폴리에틸렌 가스관으로 교체하고 있고 현재 시공 중이다.

현재 국내에서도 자주 발생하는 가스 사고의 주원인을 취급 부주의나 시설미비에 보고 있지만(김 등, 1997) 이는 LPG의 경우에서 본 것에 불과하다. 점점 더 늘어만 가는 LNG(도시가스)의 경우에 비취본다면 물론 앞에서 말한 취급부주의나 시설미비가 큰 사고원인으로 작용하겠지만 가스 공사장에서 가정에 까지 이르는 경로를 생각해보면 이 사이에 연관되어지는 가스 배관을 생각하지 않을 수 없다. 가스 배관의 경우 파손으로 인한 사고 빈도는 매우 낮다고 보고되고 있지만(이, 1997), 일단 파손이 발생하면 인명 및 재산의 피해가 매우 크기 때문에 미연에 탄성역을 지나 소성역으로의 변화과정을 식별할 수 있

다면 가스 배관의 파단 사고는 극히 드물 것이다. 하지만 이미 시공이 끝난 배관의 이상 유무를 판가름하기 어려운 실정이다.

AE(Acoustic Emission : 음향방출) 가동 중인 구조물이나 재료에 대해 안정도를 평가하는 비파괴검사 기법의 하나로 대상물에 붙인 AE 탐촉자에서 미시적인 파괴에 따른 탄성파를 수신하여 광범위하게 손상의 위치, 크기, 종류를 실시간적으로 평가할 수 있는 잠재력을 가지고 있는 평가법으로 주목받고 있다(정, 1994). 그러므로 AE를 적용함으로써 이미 시공 완료된 배관에 대한 이상유무의 확인이 가능하리라 생각된다.

따라서, 본 연구에서는 현재 국내에서 시공 중인 폴리에틸렌 가스 배관(가스용 폴리에틸렌관 A종 1-40호 ; KS M 3514 규격품)을 재가공하여 인장시험편으로 만든 후 강도특성을 조사하였고, 실시간적으로 AE신호를 검출하여 시간-주파수 분석을 행함으로써 폴리에틸렌의 변형 거동 시 나오는 주파수대역을 조사하였다.

2. 시험편 및 실험방법

2.1 재료 및 시험편 형상

본 연구에 사용한 재료는 현재 시판중인 (주)동원프라스틱의 가스용 폴리에틸렌관 A종 1-40호를 사용하였다. 시험편은

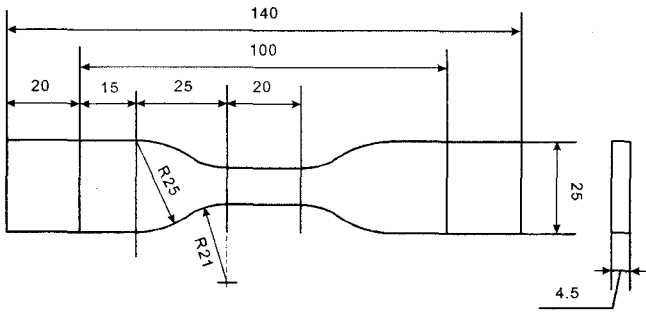


Fig. 1 Shape and dimensions of tensile test specimen (unit : mm)

관을 길이방향으로 90° 간격으로 자른 후 압출성형기를 사용하여 160mm×160mm×4.5mm의 평판을 만든 뒤 KS M 3514 규격에 준하여 제작을 하였으며 AE센서의 부착을 용이하게 하기 위하여 척에 물리는 부분을 좌우로 균일하게 20mm를 더 늘렸다. 두께의 경우 실제 관의 두께를 모의하기 위하여 4.5mm로 하여 Fig. 1의 형상으로 가공하였다.

2.2 인장시험

인장시험은 KS규격에 따라 제작한 시험편을 용량 49kN의 UTM (Instron 社) 시험기로 실온에서 실시하였다. Cross head speed 속도는 200±20mm/min으로 명시되어있지만 본 연구에서는 PE의 인장시험에 대한 전반적인 AE 신호를 받아보기 위하여 3mm/min으로 하여 실시하였다. Fig. 2는 PE 가스 배관으로 만든 인장시험편의 인장시험에 의한 응력-변위곡선을 나타낸다.

2.3 AE 계측

인장시험 중 발생하는 AE(음향방출)의 측정 시스템을 Fig. 3에 나타낸다. PAC社의 Mistras 2001(2 channel)을 사용하여 시험 중 발생하는 AE 신호를 검출하였다. AE센서는 1MHz 광대역 센서를 사용하였고, 센서에 그리스를 발라 시험재에 부착 한 후 테이프로 고정하였다. 검출된 음향방출 신호를 100~1200kHz 아날로그 필터가 내장된 Pre-amp.에서 40dB 증폭시킨 후, Mistras 2001 Board 내부에 포함된 A/D변환기로 디지털 변환

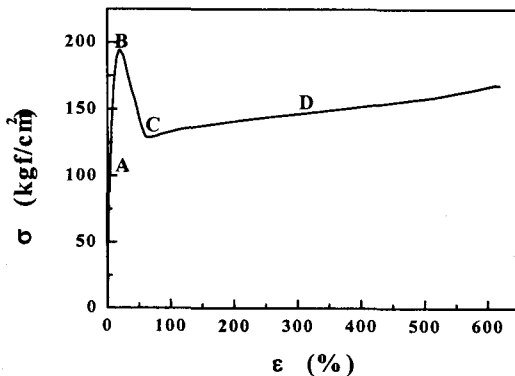


Fig. 2 Stress-strain curve

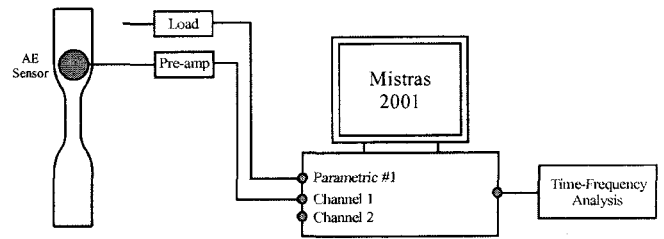


Fig. 3 Schematic diagram of AE system

을 시킨 다음, 최종적으로 시간-주파수 해석법을 사용하여 실시간으로 분석하였다. 본 실험에서는 전기적 및 기계적 잡음을 제거하기 위하여 Threshold를 30dB로 설정한 후 신호를 검출하였다.

또한, 인장 시험시의 잡음을 제거하기 위하여 시험기의 마찰 부위에 윤활유를 발라 최소화하였다.

3. 실험결과 및 해석

3.1 인장특성

Fig. 4는 PE 가스 배관재와 PE관으로부터 절취하여 평판으로 만든 시험편의 항복 응력값을 나타낸다. 그림 속에서 pipe는 원 PE 가스 배관의 시험성적서에 의한 값이며 각 번호들은 시험편 번호를 나타낸다. 원 PE 배관의 항복응력 값은 204kgf/cm²을 나타내는데 인장 시험편으로 가공하기 위하여 압출성형기로 재가공한 경우의 시험편에서도 196~206kgf/cm²으로 항복시의 응력 값이 거의 원 PE 배관 응력 값과 거의 차이가 없는 것으로 나타났다. 그러므로 원 PE 배관과의 기계적 성질에 차이가 없다는 가정 하에 본 실험을 행하였다.

Fig. 2에서 A구간은 탄성영역으로서 항복응력까지 선형이 거의 유지되고 있다. B점은 항복점으로 각 시험편의 항복응력은 Fig. 4에 나타낸 응력값을 가지게 된다. B점에서부터 소성이 시작된 시험편은 넥킹(necking)이 일어나기 시작하고 C점에서 넥킹이 한계점에 달하여 D구간에서는 시험편의 전 영역에 퍼지다 파단에 이르게 된다. D구간에서 응력이 점차 올라가고

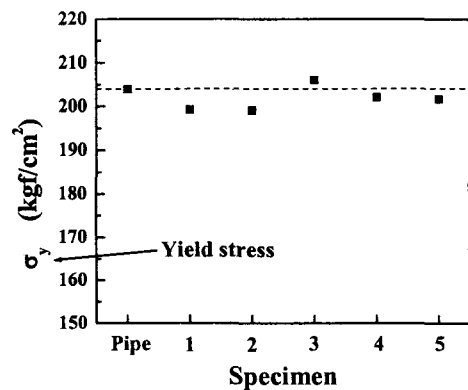


Fig. 4 Yield stress of specimens

있는 양상을 나타내는 것은 시편의 연속적인 연신에 의한 연신강화에 기인한다.

본 실험에서 파단까지 이르는 전체적인 과정을 나타내지 못한 것은 PE 배관의 경우에는 재료가 항복을 지나 소성영역으로 들어가면 상당한 연신을 나타낸 후 결국 파단에 도달하므로, AE 평가를 위한 재료로서의 그 특성은 의미가 없다고 판단되어 전 과정에 걸쳐 시험하지 않았다. 즉, PE 시험편으로 항복영역과 그 이후의 연신과정에서의 AE 특성만 평가한 결과만을 나타내는 것으로 하였다. 그러나, 배관의 경우 시험편 전체에 백킹이 퍼지고 나면 응력 경화(stress hardening)가 일어나 응력이 다시 상승하다 마침내 파괴에 도달한다고 알려져 있다. 이때의 파괴응력은 전형적으로 항복응력보다 크게 나타난다.

3.2 인장시험하에서의 AE 특성

인장시험 시에 나타나는 AE amplitude 값을 Fig. 5에 나타낸다. Fig. 5는 인장시험시의 전반적인 AE amplitude 값을 나타내고 있는데 인장 초기 즉 탄성영역 A에서는 AE가 나타나지 않고 있다. 재료가 항복을 시작한 후 하중이 감소하는 B-C 구간에서는 30~35dB의 미약한 신호가 들어오지만 국부적인 백킹이 끝나고 전체적으로 백킹이 퍼지는 D구간에서는 전반부에는 30~45dB의 낮은 amplitude 값을 나타내고 있으나 후반부로 갈수록 30~60dB의 높고 넓은 영역에서의 amplitude 대역을 보이는 것을 알 수 있다. 이것으로 보아 폴리에틸렌은 항복까지의 탄성구간에서는 AE는 거의 나타나지 않고 항복이 시작된 이후의 소성구간에서부터 활발한 AE 특성이 나타나는 것을 알 수 있다. 이것은 연신 중에는 재료 내의 결정들이 파괴되어 사슬들이 뽑혀 나오며 섬유상의 구조로 형성됨으로 인한 탄성파에 의하여 크고 넓은 대역의 amplitude 값이 발생하는 것으로 생각된다.

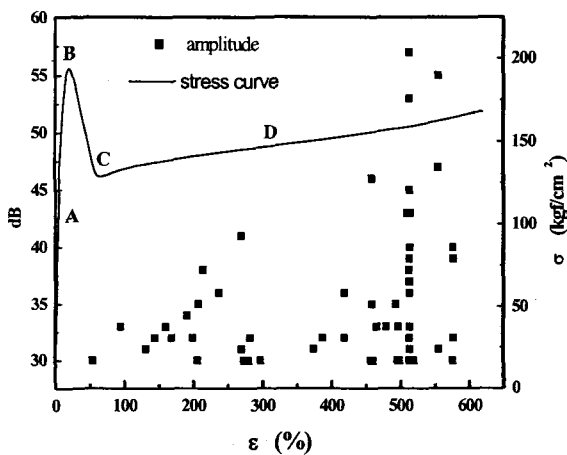
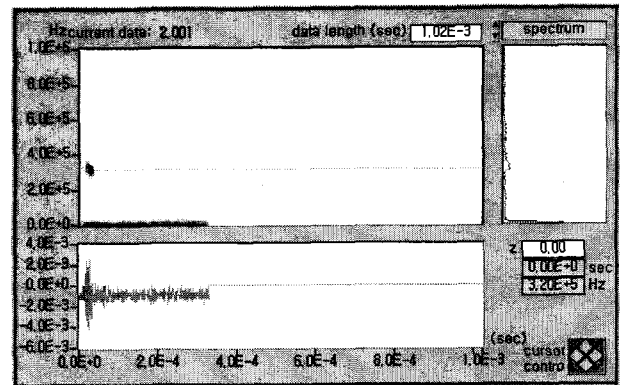


Fig. 5 AE amplitude obtained during the tensile test

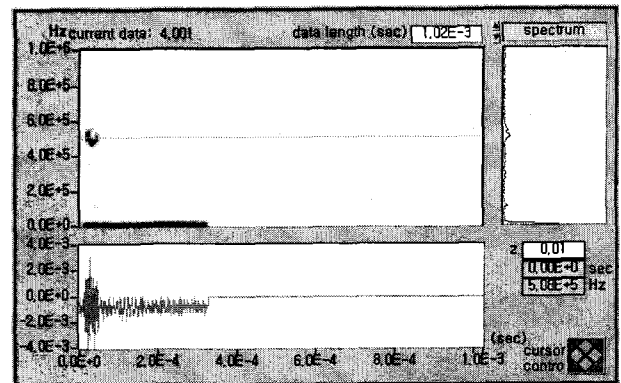
3.3 인장시험시의 시간-주파수 분석

본 연구에 이용한 시험편에 대해 AE 검출을 받은 데이터들을 시간-주파수 분석(Time-frequency analysis)을 통한 결과를 Fig. 6에 나타낸다. 탄성 영역에서는 AE가 검출되지 않으므로 인해 시간-주파수 분석은 불가능하였다. 항복 이후의 주파수대를 분석해 보면 100~500kHz대역이 나타났지만 거의 100kHz대 전 영역에서 나타났다.

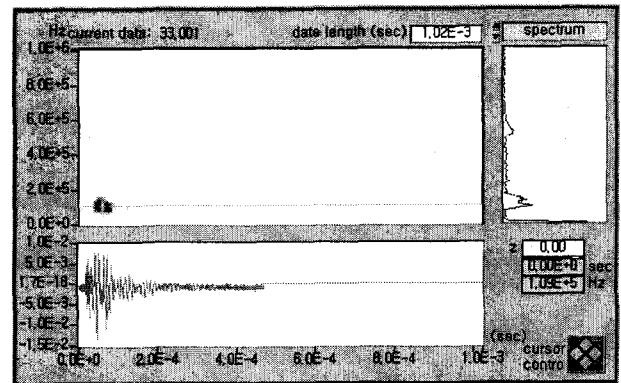
Fig. 6의 (a) Type I은 Fig. 2에서의 B와 C 사이의 구간으로 이 구간에서는 주로 300kHz대의 주파수가 나타났다. 이는 백킹에 의한 내부 에너지의 변화에 의해 100kHz보다 높은 주파수가 나타난 것으로 생각된다. Fig. 6 (b) Type II는 C구간에서



(a) Type I



(b) Type II



(c) Type III

Fig. 6 Time-frequency analysis of acoustic emission signal by tensile test

나타나는 주파수로서 국부적인 벙킹 현상 후에 전체적인 벙킹이 시작되는 구간에서 나타난 것이다. 주로 500kHz 대역을 나타내고 있다. Fig. 6 (c) Type III는 D구간에서 나타나는 주파수로서 100kHz 대역을 나타내고 있지만, 같은 100kHz의 대역이라도 B-C 구역에서와는 달리 넓은 시간대역을 가지고 있기 때문에 대역이 두 구간으로 나타나고 있다. 이는 시편의 연신으로 인해 벙킹이 일어나는 두 구간의 거리에 대한 시간의 차로 두 구간의 대역으로 나뉘어져 나타나는 것으로 생각되어 진다.

4. 결 론

본 논문에서는 현재 시판중인 PE 배관을 인장시험편의 형태로 가공하여 인장시험을 행하였다. PE의 파괴기구에 대한 AE 검출이 가능한가를 알아보기 위하여 실시간적으로 AE를 검출하여 분석하였으며, 시간-주파수 해석을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) PE 배관의 인장시험의 경우 탄성영역에서는 AE가 검출되지 않았으나, 그 이후의 항복영역과 연신 중에는 AE검출이 가능하였다.
- (2) PE의 항복 초기에는 amplitude의 값이 30~35dB로 낮았으며 연신이 계속되어 갈수록 30~60dB의 넓은 대역을 나타내었다.
- (3) 시간-주파수 해석의 결과 주로 100kHz대역이 주를 이루었으며 벙킹이 전 영역으로 퍼지기 전의 영역에서는 300kHz대가 또한, 연신 초기에서는 500kHz대의 주파수 영역이 나왔다. 그리고 연신 중에는 두 구간의 벙킹 형성으로 인해 같은 100kHz대의 주파수일지라도 두 군데로 나누어지는 경향을 나타내고 있다.

참 고 문 헌

- 김우식, 김철만, 홍성호 (1997). "국내 가스사고 사례분석 및 가스배관 건전성 확보방안", 한국산업안전학회지 제12권 제3호, pp 192-199.
- 정희돈 (1994). "음향방출법의 공학적 이용을 위한 기초", 대한기계학회지 제34권 제1호, pp 20-32.
- 이종락 (1999). "도시가스배관의 사고사례 및 간섭영향 실태", 부식과 방식 제1권 제2호, pp 113-123.
- 한국 산업표준심의회 심의 (1995). "가스용 폴리에틸렌 관", KS M 3514.