

# 가스용 폴리에틸렌 배관 용착부의 성능검사에 관한 연구

장형록 · 장기석\* · 이영순 · 김용수  
서울산업대학교 안전공학과 · \*극동도시가스

## 1. 서 론

우리나라는 석유가 나지 않는 비산유국으로서 거의 모든 에너지 자원을 막대한 외화를 지급하여 수입하고 있는 실정이다. 이렇게 수입되는 에너지원중에서 대기 오염 등의 환경문제가 대두되면서 액화 천연가스가 청정에너지로 두각을 나타내게 되었으며, 국내에서는 도시가스로 보급되어 수요가 점차적으로 계속 증가하고 있는 추세이다. 기체상태로 기화된 천연가스는 일반 가정이나 산업체에 관로(pipe line)를 통하여 공급되는데, 이들 가스배관은 대부분 지하에 일정한 깊이로 매몰되어 설치된다.

가스 배관을 강관으로 시공하는 경우, 납땜 및 섬유를 감는 방법이 초기에는 사용되었으나 이것은 가스사용압력에 제한을 받기 때문에 고압이 요구되는 곳에서는 배관을 용착하여 이음하는 방법이 사용되었다. 그러나 배관용착은 전기 부식과 응력 부식이 발생되어 배관을 방식하는 유지보수 비용이 문제가 되었고, 이러한 문제를 해결하기 위해 지하에 매몰할 수 있는 배관으로써 강관에 중밀도 폴리에틸렌(middle density polyethene : MDPE)을 피복시킨 폴리에틸렌 피복강관이 개발되어 현재까지도 사용되어 오고는 있으나, PE피복강관도 강관위 응력부식과 열화현상에 의해 가스누출의 개연성을 항상 가지고 있기 때문에 안전성의 문제가 역시 제기되었다.

따라서 본 연구에서는 도시가스 배관으로 많이 사용되고 있는 폴리에틸렌 파이프의 맞대기 용착시 온도와 압력을 변화시켜 가면서 기밀시험, 내압시험, 인장강도 시험 등 가스용 폴리에틸렌관의 용착성능을 실험적으로 수행하여 PE관의 용착성능을 고찰하여 안전성 측면과 현장에서 적용할 수 있는 유용한 PE용착 데이터를 제공하고자 하며, 특히 지관(支管)으로 뽑기 위해 T관이 사용되고 있으나 이때의 용착상태가 매우 연약한 조건에서 접합하기 때문에 이 부분에 대한 용착성 실험을 하고 접합 방법에서 기기사용과 수동작업에 관한 장·단점 및 개선 방법에 대한 연구를 목적으로 한다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 용착시험편

PE용착실험에 사용된 폴리에틸렌 재료시편은 KS M 3514, 가스용 폴리에틸렌관 (Polyethylene Pipes for the Supply of Gaseous Fuels)에 규정되어 있는 상당압력등급

(Standard Dimension Ratio : SDR)이 11이하인 호칭 75A배관이며 가스사용압력의 범위는 4kg/cm<sup>2</sup>이하이다.

용착 실험은 시험편 용착시 견인 압력을 고려하여 50cm 길이로 절단하였다.

Table 1. Dimension of PE Pipe Specimen

Nominal Size of Pipe		Outside Diameter(mm)		Thickness (mm)		Length (mm)	Inside Diameter (mm)
		Size	Allowance	Size	Allowance		
Pipe No.1(SDR:11) Pressure Range 4kg/cm <sup>2</sup>	75 A	89.0	±0.3	8.1	+1.1	600	71.7

## 2.2. 실험장치

본 실험에서 사용한 실험장치 및 기기는 폴리에틸렌 맞대기 용착기( Butt Heat Fusion Machine, Model BF01), 유압장치(Hydraulic system), 히터(Heater)로서 Fig 1과 같이 구성되었다. 유압장치는 최대 압력 100kg/cm<sup>2</sup>까지 가압할 수 있는 베인펌프(Vane Pump)가 내장되어 있으며, 용착기 몸체의 액츄에이터(Actuator)에 설치된 PE관 그립(Grip)의 이송속도를 초당 5-10m로 전후진시킬수 있는 4포트-2위치 전환밸브가 있다. 히터판의 온도는 히터의 표면과 중심부에 설치된 Chromel-Alumel 열전대로 감지하여 히터의 온도변화를 설정하거나 히터의 온도변화를 설정하거나 측정할 수 있게 하였다

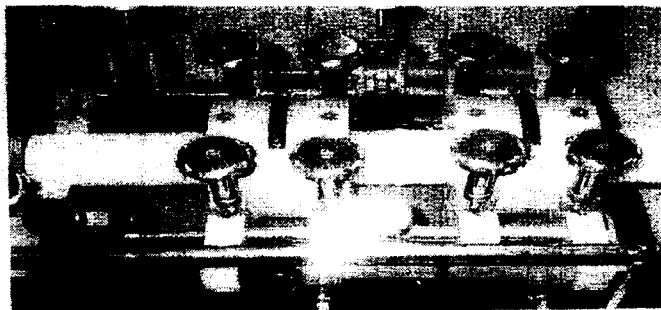


Fig 1. Photograph of Polyethylene butt Heat Fusion Welding Machine

용착부의 내압 강도 측정을 위한 파괴 수압 시험은 수압 시험기(Hydraulic Testing Machine : 安全油壓機械)를 사용 하였고. 수압 시험기의 전동기 마력은 3HP, 최고 측정압은 300kg/cm<sup>2</sup>이다. 인장 강도 측정은 영국의 인스트론(INSTRON)사가 제작한 만능

재료 시험기(모델명 : INSTRON, 8502 )를 사용하였다. 만능 재료 시험기의 최대 용량 (Maximum Capacity)  $\pm 30\text{TON(Static)}$ ,  $\pm 25\text{TON(Dynamic)}$ 이다. Fig 2와3은 수압 시험기와 만능재료 시험기 사진이다.

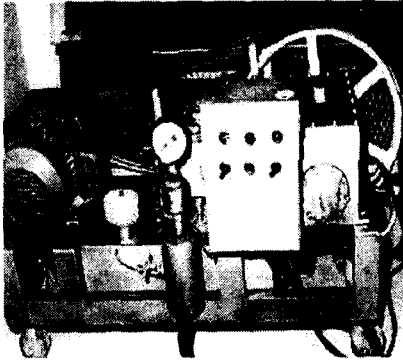


Fig 2. Hydraulic Testing Machine

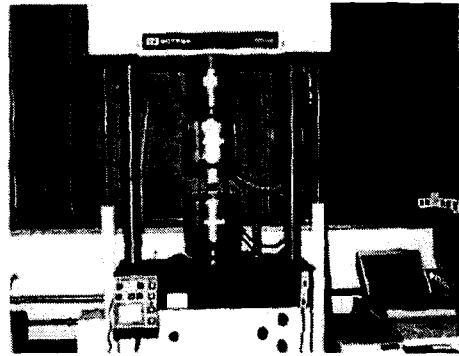


Fig 3. Universal Testing Machine

### 2.3 실험방법

실험은 PE관의 접합하고자 하는 길이를 절단하고, 그 후 절단된 접합면의 불순물 특히 먼지, 습기, 기름류 등이 없게 깨끗이 제거하여 배관을 맞대기 용착하였다. 폴리에틸렌관이 서로 히터 표면(Heater Surface)의 온도는 각각의 압력에 대하여  $150\sim 240^{\circ}\text{C}$ 까지  $30^{\circ}\text{C}$ 의 온도차를 주어 가면서 용착실험을 하였으며, 또한 각각의 온도에 대한 유압펌프의 압력변화는  $10\sim 40\text{kg/cm}^2$ 까지  $10\text{kg/cm}^2$ 씩의 압력변화를 주어 용착실험을 각각 수행하였다. 실험에 사용된 용착변수들은 Table 2와 같다.

PE용착은 처음에 히터면에 닿은 PE관을 가압용융, 가열유지, 히터판 제거, 가압 접 그리고 자연 냉각시키는 순서로 진행된다. 히터판과 접촉한 배관단면부의 가열유지는 60초, 히터판 제거는 5초 이내로 각각 실시하였고, 용착후 용착부를 포함한 배관전체를 움직이지 않게 완전히 고정된 상태에서 3분이상의 냉각시간을 충분히 주어 용착부의 열수축이나 잔류응력에 의한 비드변형과 배관의 비틀림 현상을 사전에 방지하였다. 또한 상분석기 (Image Analyzer, Lasertec, Model SALT 1LM21)을 이용하여 용착부의 단면 비드 형상을 관찰하였다.

Table 2. Experimental Variables

Temperature( $^{\circ}\text{C}$ )	Pressure( $\text{kg/cm}^2$ )
150	10
180	20
210	30
240	40

## 2.4. PE배관 용착 성능 시험

### 2.4.1 시험종류

PE관을 열용착한후 이들 부위에서의 성능과 신뢰성을 검증하는 것이 필요하다. 따라서 이러한 대표적인 검증법에는 물리적 또는 기계적인 특성을 평가할 수 있는 기밀 시험, 내압시험, 인장강도시험을 실시하며 간략하게 나타내면 다음과 같다.

- (1) 기밀시험 : PE관 용착부위의 기밀유지 여부를 검증
- (2) 내압시험 : PE관 용착부위의 용착성능 및 내구성을 검증
- (3) 인장강도 : PE관 용착부위의 강도 및 내력을 검증

### 2.4.2 시험방법

#### (1) 기밀시험

각 실험조건에 대해서 각각 5개씩의 시편을 사용하여 용착을 마친후 용착부위의 기밀성을 알아보기 위하여 기밀시험을 실시하였다. 기밀시험은 자체제작한 기밀시험기를 사용하였다. 지그를 이용하여 용착파이프를 고정시킨후 질소를 충전하였다. PE 배관시험편에 가해지는 질소압은 설계압력이상이나 최고사용압력 1.1배로서 여기서는 4.4kg/cm<sup>2</sup>를 가하여 용착시험파이프를 수조에 넣어 10분동안 기밀유지 여부를 확인하였다.

#### (2) 내압시험

기밀시험을 실시한 시편에 대한 내압시험은 불활성 가스나 공기를 이용하여 실시할 수도 있지만 폭발의 위험성이 내재하고 있어 이들 대신 물을 매개체로 이용하였다. 용착부 특성시험시 장기내압시험을 적용하는데 배관은 온도와 압력 및 시간의 변화에 따라 커다란 영향을 받게 되므로 온도 20℃, 압력 18.4kg/cm<sup>2</sup>의 조건하에서 1,200시간 경과에 따른 파이프의 외경변화를 계측하였다. 외경계측은 용착파이프를 지그로 고정시킨후 측정위치에서 계측하였는데, 시간에 따라 외경의 변화를 기록할 수 있도록 시스템을 구성하였다.

#### (3) 인장시험

인장시험은 INSTRON(Instron LTD, Model 8502)을 사용하여 측정하였다. PE 인장시험용 시편에 대한 KS의 “폴리에틸렌 시험방법”에서는 “플라스틱의 인장성 측정방법”에 따르도록 규정되어 있다. 따라서 각 실험조건에 대하여 용착시킨후 시험시편은 Fig 4 와 같은 아령형 2호로 제조하였고, 주어진 치수의 단위는 mm이다.

시험조건은 인장속도를 200±20mm/min, 눈금선 사이의 거리 즉, 표선 거리는 20mm, 시험온도는 23±2℃로 하였다. 인장강도는 시편이 절단될때의 최대하중을 조사하여 아래식으로 나타내었다.

$$\sigma_B = \frac{F_B}{A} \quad (1)$$

이때,  $\sigma_B$  는 인장강도,  $F_B$  는 시편이 절단될 때의 최대하중, 그리고  $A$  는 시편의 단면적을 나타낸다.

신장률은 시편이 절단될 때의 표선이 늘어난 길이를 조사하여 아래식으로 계산하였다.

$$E_B = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \quad (2)$$

여기서  $E_B$  는 신장률,  $L_0$  는 초기길이 그리고  $L_1$  은 늘어난 길이를 나타낸다.

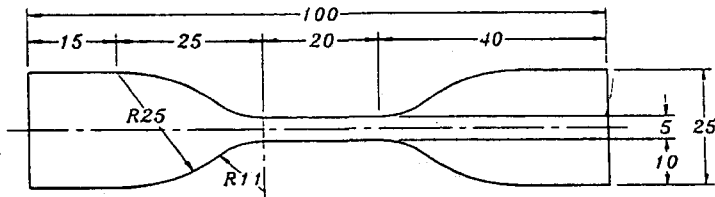


Fig 4 Tensile specimen of dumbbell No. 2

#### (4) 새들 용착부 인장강도시험

열용착한 PE관 용착부위의 기계적 특성과 최적의 용착조건을 판단하기 위한 방법으로 새들 용착부의 인장강도를 측정하였다.

Fig 5 는 용착시험편의 인장강도를 측정하기 위해 사용한 만능재료 시험기(모델명 : 8502 INSTRON)이다.

인장시험 데이터는 INSTRON사의 자체 개발 소프트웨어인 FLAPES TLUS에서 IGF File로 저장하였고, 데이터는 EXCEL로 변환하여 처리를 하였다. 속도는 분당 10mm/min, 눈금선 사이의 거리 즉, 표점 거리는 20mm, 시험 온도는  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 로 하였다.

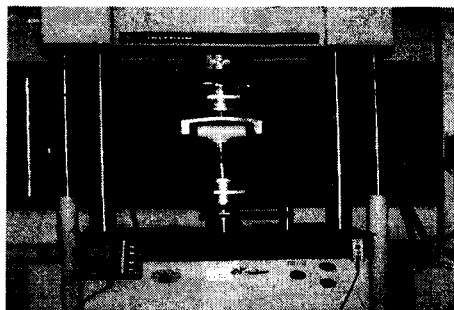


Fig 5 Universal Testing Machine

### 3. 결 론

최근 가스용 배관으로서 PE배관이 많이 사용됨에 따라 PE관에 대한 용착부의 신뢰성이나 안전성을 확보하는 것이 대단히 중요하기 때문에 용착된 폴리에틸렌 배관에 대한 용착성능시험을 통하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) PE관 용착에서 용착비드는 접합면에 작용하는 압력보다는 온도에 더 큰 영향을 받는다.
- (2) 용착비드의 단면두께 K값은 온도 210℃에서 2.2mm로 나타났으며, 이것은 ISO기준치 대비 69.2% 이상의 높은 수준으로서 가장 안정적인 결과로 나타났다.
- (3) PE관 용착시 최적의 용착온도와 압력은 각각 210℃와 20kg/cm<sup>2</sup>임을 얻었으며, 용착부의 비드폭 (W) 6~8mm로 발생되어 일본기준치보다 우수한 용착결과를 나타내었다.
- (4) PE관 용착후 실시한 기밀시험 결과 기밀유지 성능은 매우 우수하게 나타났으며, 내압시험결과 PE관은 압력의 영향에 민감함을 알 수 있었다.
- (5) PE관의 인장시험결과 용착압력 20kg/cm<sup>2</sup>, 온도 210℃에서 용착한 PE관은 원래의 PE관 대비의 인장강도는 3.9%, 신장률은 9.6% 감소하여 용착 신뢰성 및 성능측면에서 매우 안정적인 결과를 보여주었다.
- (6) 일반적으로 가스 PE배관에서 맞대기 용착부보다 새들 용착부가 취약한 것으로 보고된바 있다. 본 연구는 이에 대한 실험을 수행한 결과 새들 용착부 평균 접합하중 1491kg, 2171kg 나타났다. 이는 일반적으로 보고되고 있는 새들 용착부의 취약성을 실질적으로 나타남을 알 수 있었다.
- (7) 새들용착부에 접합력 평가보다도 접합면에 접합상태에 대하여 보다 심도있는 검사가 필요하다고 평가된다.
- (8) 새들 용착부의 접합 향상을 위한 기기개발이 이루어져야 하겠다.

### 참고문헌

- [1] JIS K 6774, "Polyethylene Pipes for the Supply of Gaseous Fuels" (1989)
- [2] F. H. Andrews : Fracture in Polymer, Oliver and Boyd (1968)
- [3] L. K. Donald and L.L. Robert, Natural Gas Engineering Production and Storage, McGraw-Hill, New York ,pp 5~17,(1990)
- [4] KS M 3514, "가스용 폴리에틸렌관" (1995)
- [5] R.M.Ogorkiewicz : Properties of Thermoplastics, Willey Interscience, London (1970)