

PE배관 버트 용착 시간에 따른 용착 특성 변화

The Fusion Characteristic Varying with Butt Fusion Times for Polyethylene Pipe

이 영 순* · 장 영 오*

Young-Soon Lee · Young-Oh Jang

(1998년 9월 3일 접수, 1998년 12월 7일 채택)

ABSTRACT

Butt fusions were practiced with butt fusion in the various conditions of fusion temperatures, pressure and time, and the tests of tensile strength, breaking water pressure and fusion features were also practiced so that the reliability of the butt fusion and the fittest fusion condition may be closely examined. And the width, height and thickness of the beads were also closely measured. The fittest fusion result was achieved in the condition of the temperature of 210°C, heating time high pressure of 14 seconds on the pressure of 1.5kg/cm², heating time high pressure of 100 seconds and pressure build-up time of 11 seconds. And in case of the temperature of 250°C, the fittest fusion result was showed in the condition of the heating time high pressure of 3 seconds on the pressure of 1.0kg/cm², the heating time low pressure variable of 100 seconds, heating time high pressure of 14 seconds and the heating maintenance of around 60 seconds.

The result of breaking water pressure test of a test piece fusion in the fittest fusion condition was that the fusion condition of the PE pipe showed a good stability and high reliance. Through this test, it is proved that the temperature of fusion PE pipes can be increased to 250°C from 210°C. And it can be expected that the above fusion method greatly helps to reduce the fusion time.

* 서울산업대학교 안전공학과

1. 서론

최근 대기오염으로 인한 환경문제가 크게 대두되면서 액화천연가스(LNG: Liquefied Natural Gas)는 청정에너지로서 각광을 받아 국내에서 천연가스 수요가 매년 급속히 증가되고 있다^{1,2)}.

천연가스의 수요가 증가하면서 가스 관련 시설물들 중 배관으로 인한 가스 사고가 빈번하게 발생되었고, 이는 가스 배관의 안전성 문제에 대한 높은 관심을 가지게 되었다³⁻⁶⁾.

'80년대까지만 해도 지하에 매몰된 가스 배관의 대부분은 주철관과 강관에 중밀도 폴리에틸렌(Middle Density Polyethylene: MDPE)을 피복시킨 폴리에틸렌 피복 강관(Polyethylene Lining Pipe: PLP)을 사용하였다. 이러한 급속관은 부식 및 시공상의 복잡성, 안정성 등 많은 문제점이 발견되었다. 이러한 배경으로 1964년 미국에서 중밀도 폴리에틸렌을 재질로 한 가스 배관을 사용하기 시작한 이래 현재는 내구연한, 경제성, 접합성, 내식성, 화학적 안정성, 내충격성 등 여러 가지 우수성을 인정받아 도시가스 배관의 90% 이상을 차지하고 있다. 일본의 경우 1979년 가스용 PE관에 관한 JIS규격이 제정되었고, 1982년 가스 사업법으로 인가되어 보급되고 있다. 현재 세계적으로 PE관이 가스 배관용으로 널리 사용되고 있다.

국내에서는 1983년에 가스용 PE관에 관한 KS규격이 제정되었다.

우리 나라에서는 '90년도부터 PE관을 설치하기 시작하여 '97년 말 기준 도시가스 총 배관 중 PE관은 약 20%를 점유하고 있으며, 현재 급속한 증가 추세에 있다.

PE배관의 시공성은 연결 부위와 같은 가장 약한 부분에 의해서 좌우된다. 용착 공정에서 용착 조건과 용착 절차에 의해서 용착면의 강도가 좌우된다고 볼 수 있다.

이 연구에서는 가열 온도, 압력, 용융 시간, 가열 유지 시간, 압착 시간을 변화시키며 PE관을 용착시킨 후 인장 강도 시험과 파괴 수압 시험을 실시하여 최적의 용착 조건을 규명하여 현장에서 필요한 용착 기본 데이터를 제시하고, 용착의 신뢰성을 입증하고자 한다.

2. 실험

2.1 실험 장치

PE관의 각 조건별 용착 실험과 접합 상태를 검토 분석하기 위하여 맞대기 용착기 (butt welding machine, 宇成産業, M-Power-150)를 이용하여 용착을 실시하였다. 용착기는 몸체 행정 200mm, 면취기 회전수 90 RPM, 히터 온도 0~399℃, 유압기 최대 압력 100kg/cm²이며, 용착부의 내압 강도 측정을 위한 파괴 수압 시험은 수압 시험기(hydraulic testing machine: 安全油壓機械)를 사용하였고, 수압 시험기의 전동기 마력은 3HP, 최고 측정압은 300kg/cm²이다. 인장 강도 측정은 영국의 인스트롱(INSTRON)사가 제작한 만능재료 시험기(모델명: 8502, INSTRON)를 사용하였다. 만능 재료 시험기의 최대 용량(maximum capacity)은 +/-30ton(static), +/-25ton(dynamic)이다.

2.2 시험편 제작

실험에 사용된 시험편의 소재는 KS M3514 가스용 폴리에틸렌관(Polyethylene pipe for the supply of gaseous fuel)에 규정되어 있는 상당 압력 등급(Standard Dimension Ratio: SDR)이 11이하인 1호관이며, 관규격은 Table 1과 같다⁸⁾.

인장 시험용 시험편은 용착된 시험편을 통일중공업(주)의 머시닝 센터(모델명: TNV 50)를 사용하여 KS M 3514 규격에 의하여 Fig.1과 같이 제작하였다.

파괴 수압 시험용 시험편은 PE관의 양면을 캡으로 용착 밀봉시키고 한쪽에는 물의 주입구를 설치하였다.

Table 1 Dimension of PE specimen

Nominal Size of Pipe	Outside Diameter(mm)		Thickness(mm)		Length (mm)	Inside Diameter (mm)	
	Size	Allowance	Size	Allowance			
	pipe No.1 (SDR11) pressure range 4kg/cm ²	75A	89.0	±0.3	8.1	±1.1	600

2.3 PE배관의 버트 용착 실험

실험에 사용된 용착 변수들은 Table 2와 같다.

실험에 실제로 적용된 용착 압력은 용착기의 실린더 단면적이 6.92cm²이므로 압력 1.5kg/cm²의 경우, 적용 용착 압력은 다음과 같다.

용착 압력 = 파이프 단면적 × 1.5 / 실린더 단면적이므로¹²⁾ * 20.587 × 1.5 / 6.92 = 4.5 kg/cm²이다.

용착공정은 가압 용융, 가열 유지, 히터판 제거, 압착, 냉각 등의 순서로 실시하였다.

Table 2 Experimental variables

Temperature (°C)	Pressure (kg/cm ²)	Heating Time High Pressure (sec)	Heating Time Low Pressure (sec)	Change-over Time (sec)	Pressure Build-Up Time (sec)	Cooling Time (minutes)
170	1.0	6	30		2	10
210	1.5	14	60	3	6	
250	3.0	22	100		11	
		30	130		16	

2.4 인장 강도 시험

제작된 시험편에 용착부 인장 강도 및 신장률은 만능재료 시험기(모델명: 8502 INSTRON)로 측정하였다.

인장시험 데이터는 INSTRON사의 자체 개발 소프트웨어인 FLAPS TLUS에서 IGF File로 저장하였고, 데이터는 EXCEL로 변환하여 처리하였다. 인장시험 데이터 전송 속도는 10Hz, 인장 속도는 200±20mm/min, 눈금선 사이의 거리 즉, 표선 거리는 20mm, 시험온도는 23±2℃로 하였고⁹⁾, 인장 강도는 파괴될 때의 최대 하중을 조사하여 단면적으로 나누어 계산하였다.

신장률은 시험편이 절단될 때의 표선이 늘어난 길이를 조사하여 아래 식으로 계산하였다.

$$E_B = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100(\%) \dots\dots\dots (1)$$

식(1)에서 E_B는 신장률, L₀는 초기 길이, L₁은 파단 후의 길이를 나타낸다^{10,11)}

2.5 파괴 수압 시험

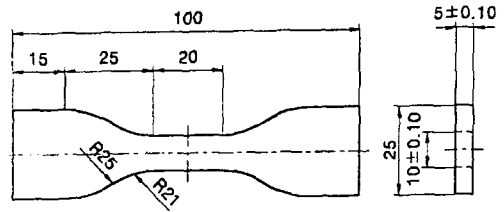


Fig. 1 Specimen of tensile test

인장 강도 시험을 실시한 후 최적의 용착 조건에서 제작된 시험편을 이용하여 용착부의 내압 강도성을 측정하고자 수압 시험기(hydraulic testing machine: 安全油壓機械)를 이용하여 파괴 수압 시험을 실시하였다. 시험 압력은 1회에 급작스럽게 상승되지 않도록 하였고, 최고 사용 압력의 1.5배까지 상승시킨 후 변형 여부를 확인하였다. 또한 파괴 압력까지 상승시켜 용착 신뢰성을 검증하였다¹²⁾.

3. 결과 및 고찰

3.1 PE배관의 용착 비드에 미치는 용착 환경의 영향

PE배관의 용착 비드는 내·외측과 좌·우측이 대칭적이어야 한다. 따라서 실험에서는 육안으로 관찰하여 비드 모양이 내·외측과 좌·우 대칭인 것만을 선정한 후 여러 조건에서 만든 용착 시험편의 비드 폭, 비드 높이, 비드 두께를 측정하였다.

3.1.1 가열 용융 시간 변화에 의한 영향

Fig. 2는 가열용융시간에 대한 비드폭을 나타낸 것이다. Fig. 2에서 가열 온도를 170℃로 하고 가열 용융 시간을 6초, 14초, 22초, 30초로 각 8초 간격으로 용융 시간 변화를 준 경우의 용융 시간에 대한 비드 폭은 압력과 시간이 증가하면서 선형적으로 증가하였다. 가열 온도 170℃에서는 비드 폭과 높이가 전체적으로 기준치에서 많이 미달되었다. 이것은 온도가 낮은 상태에서는 용착에 적합한 용융이 이루어지지 않음을 의미한다.

Fig. 3은 용융 온도 210℃ 상태에서의 가열 용

용 시간에 대한 비드 폭의 변화도이다. 압력과 시간이 증가하면서 비드 폭도 증가하였으나, 가열 용융 시간 6초에서는 변화 폭이 좁았고, 14초 부근에서는 비교적 넓게 변화하였다.

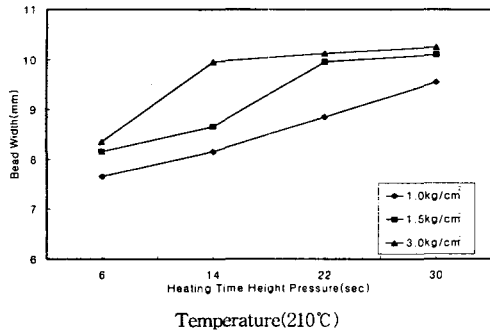


Fig. 2 Bead width for the varying heating time height pressure

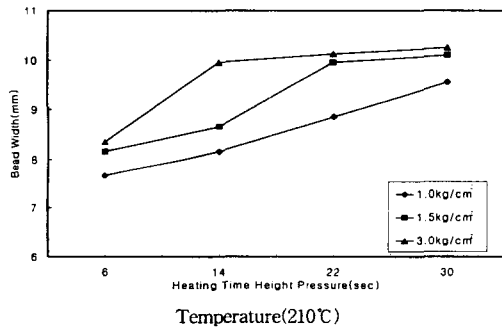


Fig. 3 Bead width for the varying heating time high pressure

가열 용융 온도 210°C, 압력 1.5kg/cm², 가열 용융 시간 14초에서 비드 폭은 8.65mm, 비드 높이 3.15mm로 외국의 기준치인 비드 폭 8.5±1.5mm, 비드 높이 3±1mm에 가장 근사적인 값으로 나타났다.

용융 온도 250°C에서, 가열 용융 시간은 3초, 6초, 14초, 22초로 변화시켰을 때 각 비드 폭은 압력 1.0kg/cm²에서는 불규칙적인 변화를 보였고, 3.0kg/cm²에서는 일정하게 증가하였다. 압력 1.0kg/cm², 가열 용융 시간 3초에서 비드 폭은 8.50mm, 비드 높이 3.05mm로 나타나 기준치에 만족하는 값을 얻었다. 이것은 현재 용착 조건

으로 온도 210°C, 압력 1.5kg/cm²로 일정하게 적용하고 있으나 가열 온도를 250°C로 올리고, 가열 용융 시간, 가열 유지 시간과 압력을 적절하게 변화시키어도 최적 상태의 버트 용착을 실시할 수 있음을 의미한다.

3.1.2 가열 유지 시간 변화에 의한 영향

가열 유지 온도 170°C에서 가열 유지 시간을 30초, 60초, 100초, 130초로 변화시켰을 때 비드 폭의 변화는 가열 유지 시간 30초와 130초에서는 압력 변화에 따른 비드 폭이 좁게 나타났으나 60초, 100초에서는 변화폭이 크게 나타났다. 온도 170°C에서는 비드 폭이 기준치에 미달되었는데 이것은 온도가 낮은 상태에서는 용착에 적합한 용융 상태가 아님을 알 수 있다.

가열 유지 온도 210°C에서 가열 유지 시간 변화에 대한 비드 폭은 비교적 좁은 폭으로 증가하였으며, 온도 210°C, 압력 1.5 kg/cm², 가열 유지 시간 100초에서 비드 폭 8.65mm로 기준치에 가장 근사적인 값을 나타냈다.

Fig. 4는 가열 유지 온도 250°C에서 가열 유지 시간에 따른 비드 폭의 변화를 나타낸 것이다. 온도가 높은 상태에서는 비드 폭의 변화가 급격하게 증가하는 것으로 나타났으며, 가열 유지 시간 60초, 온도 250°C, 압력 1.0kg/cm²에서 비드 폭은 8.55mm로 기준치에 가장 적합한 값을 나타내었다. 이 결과는 온도를 250°C로 높이고, 가열 유지 시간을 짧게하고 압력을 낮게하여 용착을 실시할 수 있음을 의미한다.

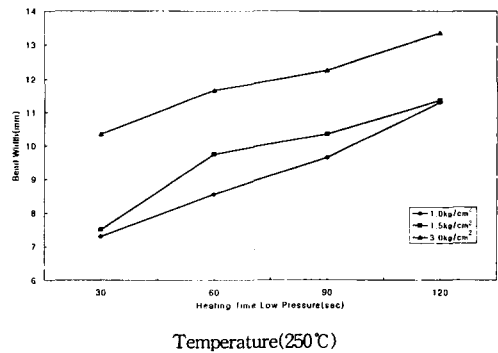


Fig. 4 Bead width for the varying heating time low pressure

3.1.3 압착 시간 변화에 의한 영향

가열 온도 170℃에서 압착 시간은 2초, 6초, 11초, 16초로 변화하였을 때 압착 시간에 대한 비드 폭은 압력 1.0kg/cm², 1.5kg/cm²에서는 불안정한 곡선을 보이며 비드 폭이 증가하였고, 압력 3.0kg/cm²에서는 비교적 안정된 변화 폭으로 증가하였다. 온도가 낮은 상태에서는 용착이 불량하여 비드 폭이 기준치에 미달되는 것으로 나타났다.

Fig. 5에서는 가열 온도 210℃에서의 압착 시간에 따른 비드 폭이다. 가열 온도 210℃, 압력 1.5kg/cm², 압착 시간 11초에서 비드 폭 8.65mm로 기준치에 가장 만족하는 값을 얻었다.

가열 온도 250℃에서 압착 시간에 따른 비드 폭의 변화는 일정하게 나타났으며, 압착 시간 변화에 따른 비드 폭은 기준치 보다 넓게 나타났다. 온도 250℃에서 가열 유지 시간, 가열 용융 시간을 일정하게 적용한 상태에서 압착 시간 변화만을 이용해서는 온도 210℃, 압력 1.5kg/cm²에서의 비드 폭 기준치와 일치하는 점이 없는 것으로 나타났다. 이 결과는 용착 비드 폭은 가열 유지 시간과 용융시간, 압력에 많은 영향을 미치고 있음을 의미한다.

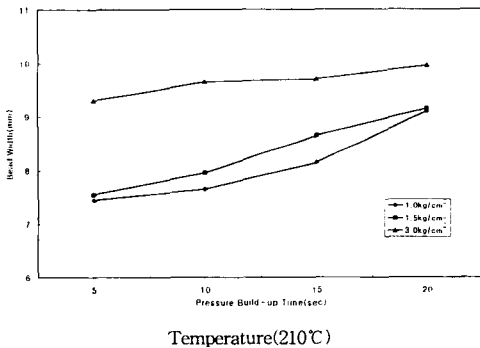


Fig. 5 Bead width for the varying pressure build-up time

3.2 용착 환경 변화에 따른 인장강도

3.2.1 가열 용융 시간 변화에 따른 인장강도

가열 온도를 170℃로 하고, 가열 용융 시간을 6초, 14초, 22초, 30초로 변화를 준 경우의 인장

강도는 압력과 용융 시간이 증가하면서 대체적으로 인장 강도가 증가됨을 보였으나, 압력 1.5 kg/cm²에서는 증가를 보이다가 오히려 감소하는 것으로 나타났다.

국내·외 기준에 의하면 용착부에 대한 인장 강도의 성능 평가치는 180kg/cm² 이상이어야 한다⁷⁻⁹. 용착 온도 170℃에서는 대부분 국내·외 기준에 미달되는 것으로 나타났다.

Fig. 6은 가열 용융 온도 210℃에서 가열 용융 시간에 대한 인장 강도를 나타낸 것이다. 압력 1.0kg/cm²에서는 전체적으로 소폭 증가를 보였으나, 압력 1.5kg/cm²에서는 가열 용융 시간 14초에서 204kg/cm²로 가장 안정하였고, 가열 용융 시간이 증가하면서 점차적으로 감소하였다. 압력 3.0kg/cm²에서는 용융 시간 6초에서 인장 강도는 증가를 보인 후 급격히 감소함을 보였다. 이는 용융량에 비해서 용착 압력이 높아 비드가 밖으로 밀려나가 오히려 용착 불량으로 강도가 저하한 것으로 보인다. 가열 용융 온도 210℃, 압력 1.5kg/cm², 가열 용융 시간 14초에서 인장 강도는 204kg/cm²로 가장 안정하였다.

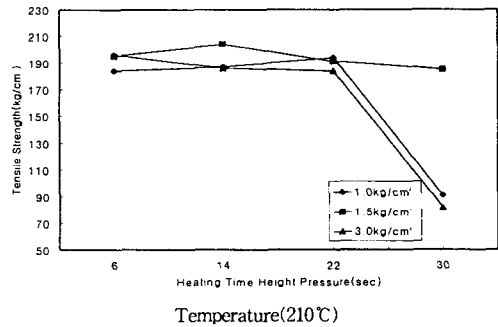


Fig. 6 Tensile strength for the varying heating time high pressure

또한 가열 용융 온도 250℃에서 가열 용융 시간을 3초, 6초, 14초, 22초로 변화시켰을 때의 인장 강도이다. 가열 용융 시간이 증가하면서 인장 강도는 대체적으로 감소하였다. 이것은 용융 온도가 높을 때 용융 시간이 길어지면서 용융면이 넓어져 비드 폭이 증가하여 강도는 저하한 것으로 판단된다. 온도가 높은 상태에서는

가열 시간이 짧을수록 인장 강도가 증가하였다. 가열 용융 시간 3초에서 인장 강도는 203kg/cm²로 안정하였다.

3.2.2 가열 유지 시간 변화에 따른 인장 강도

가열 유지 온도 170℃ 상태에서 가열 유지 시간을 30초, 60초, 100초, 130초로 변화시켰을 때의 인장 강도는 압력과 가열 유지 시간이 증가하면서 인장 강도는 대체적으로 증가하였으나, 압력 3.0kg/cm²에서는 가열 유지 시간이 60초, 100초 부근에서는 압력 1.5kg/cm²로 했을 때의 경우보다 낮게 나타났다. 가열 유지 온도 170℃에서는 KS규정⁸⁾ 강도에 대부분 미달되었다.

가열 유지 온도 210℃에서 가열 유지 시간에 대한 인장 강도는 압력 1.0kg/cm²에서는 증가하였으나, 압력 1.5kg/cm², 3.0kg/cm²에서는 증가를 보이다가 급격히 감소하였다. 압력 1.5kg/cm², 가열 유지 시간 100초, 가열 용융 시간 14초, 압착 시간 11초, 냉각 시간 10분 이상에서 가장 안정하였다.

Fig. 7은 가열 유지 온도 250℃에서 가열 유지 시간에 대한 인장 강도를 나타낸 것이다. 압력 1.0kg/cm², 가열 유지 시간 60초에서 인장 강도는 204kg/cm²로 가장 안정하였으며, 가열 유지 시간이 길어지면서 다시 감소하였다. 온도 250℃에서는 가열 유지 시간이 길어지면서 인장 강도는 감소하는 것으로 나타났다.

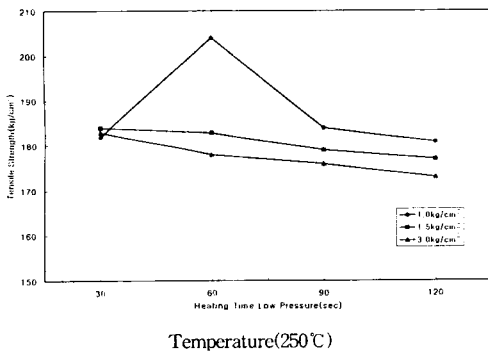


Fig. 7 Tensile strength for the varying heating time low pressure

위의 두 실험 결과는 용착 온도를 210℃에서

250℃로 높여서 용착을 실시할 수 있음을 의미한다.

3.2.3 압착 시간 변화에 따른 인장 강도

가열 온도 170℃에서 압착 시간을 2초, 6초, 11초, 16초로 하였을 때 인장 강도는 압력이 증가하면서 대체적으로 증가함을 보였으나, 대부분 규정치이하로 나타났다.

Fig. 8은 가열 온도 210℃에서 압착 시간에 대한 인장 강도를 나타낸 것이다. 압력 1.0kg/cm²에서는 완만한 증가를 보였고, 압력 1.5kg/cm², 압착 시간 2초와 11초 사이에서는 증가를 보이다가 오히려 감소하였다. 압력 3.0kg/cm²에서는 완만한 감소를 하였다. 온도 210℃, 압력 1.5kg/cm², 압착 시간 11초에서는 인장 강도 204kg/cm²로 가장 안정하였다. 가열 온도 250℃에서 압착 시간에 대한 인장 강도는 온도가 높은 상태에서는 압착 시간이 길어지면서 인장 강도는 오히려 감소하는 것으로 나타났다. 온도 250℃부근에서 시간을 일정하게 하고, 압착 시간 변화만을 이용해서는 최적의 용착조건을 찾지 못하였다. 이 부분에 대해서는 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다

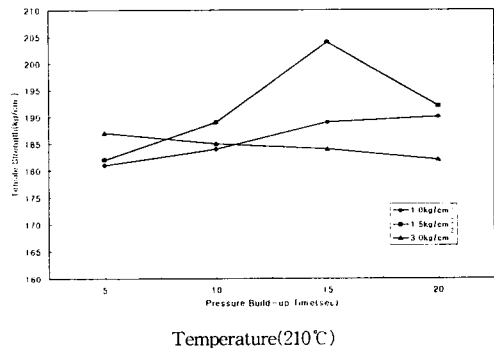


Fig. 8 Tensile strength for the varying pressure build-up time

3.2.4 파괴 수압 시험

PE 배관은 지하에 매몰 시공할 때 방식처리를 하지 않아도 되는 장점이 있다. 그러나 지속적인 압력을 받으면 배관이 파괴될 수도 있기 때문에 내압 시험을 실시함으로써 용착부의 내

구성을 측정할 필요가 있다. 최적의 조건에서 정상 상태의 시험편으로 파괴 수압 시험을 실시한 결과 $52\text{kg}/\text{cm}^2$ 에서 최고압에 이른 후 부피 팽창으로 인하여 압력이 급격히 감소하면서 $42\text{kg}/\text{cm}^2$ 에서 완전히 파괴되었다. 정상 시험편의 경우 모두 만족한 값을 얻었다.

4. 결 론

여러 가지 환경 변화에서 PE배관의 버트 용착 특성 실험을 실시하였는 바 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 용착 비드폭은 온도 210°C , 압력 $1.5\text{kg}/\text{cm}^2$ 에서 용착할 때 8.65mm 로 안정하였다. 또한 온도 250°C , 압력 $1.0\text{kg}/\text{cm}^2$ 에서 가열 용융 시간 3초, 가열 유지 시간을 100초로 용착했을 때와 가열 용융 시간 6초, 가열 유지 시간 60초, 열판 제거 3초, 압착 시간 11초, 냉각 시간 10분 이상으로 용착했을 때 비드 폭은 8.55mm 로 가장 안정하였다.
- 2) 비드 높이는 온도 250°C 에서 가열 용융 시간 3초, 가열 유지 시간 60초로 용착했을 때 3.05mm , 3.15mm 로 가장 안정하였다.
- 3) 위에서 얻은 최적 환경 조건에서 용착한 시험편으로 파괴 수압 시험을 실시한 결과 파괴압이 $42\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 안정하였다.
- 4) 인장 강도 시험 실시 결과 온도 210°C , 압력 $1.5\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 조건에서 용착한 시험편의 인장 강도는 또한 $204\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 안정하였다. 온도 250°C 에서 가열 용융 시간을 3초로 하고, 가열 유지 시간을 60초로 하여 용착할 때 인장 강도는 $204\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 가장 안정하였다.

이러한 결과는 가스용 PE배관의 버트 용착시 용착 온도를 210°C 에서 250°C 로 높여서 용착을 실시할 수 있음을 입증한 것이다.

이 연구는 1997년 서울산업대학교 학술연구비 지원에 의하여 이루어 졌으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 1) 한국가스안전공사, "고압가스통계", pp. 7~8, 1996.
- 2) L.K. Donald and L.L. Roberd, "Natural Gas Engineering Production and Storage", McGraw-Hill, New York, pp. 5~17, 1990.
- 3) T.H. Striplin, "Ultrasonic Evaluation of Polyethylene Butt Fused Joints", McElroy Manufacturing Inc. pp. 92~100, 1990.
- 4) D.S. Royre, D. Gueugnaut and D. Reveret, "Test Methodology for the Determination of Optimum Fusion Welding Conditions of Polyethylene", Journal of Applied Polymer Science, Vol.38, pp. 147~162, 1989.
- 5) A. Hillersborg, "Fusion Jointing of PE Gas Pipes. Criteria for Visual Judging of Heat Fused PEM Pipes", Weld World Soudage Monde, Vol. 27, No. 1~2, pp. 36~51, 1989.
- 6) M. Wolters, B. Venema, "Butt Welding of Polyethylene Pipes", Weld World Soudage Monde, Vol. 23, No. 9~10, pp. 202~207, 1985.
- 7) J. Bowman, R. Parmar, "Importance of Axial Misalignment on the Long Term Strength of Polyethylene Pipe Butt Fusion Joints", Polymer Engineering Science, Vol. 29, No. 19, pp. 1406~1412, 1989.
- 8) KS M 3514, "가스용 폴리에틸렌관", 1995.
- 9) KS M 3012, "폴리에틸렌 시험방법", 1996.
- 10) JIS K 6774, "Polyethylene Pipes for the Supply of Gaseous Fuels", 1989.
- 11) DVS 2203, Part 2~3, 1978.
- 12) 한국가스안전공사, "가스관계법령집", 1997.