

PE배관 버트 용착 시간에 따른 용착 특성 변화

장 영 오 · 이 영 순
서울산업대학교 안전공학과

The Fusion Characteristic Varying with Butt Fusion Times for Polyethylene Pipe

Jang, Young Oh · Lee, Young Soon
Dept. of Safety Engineering, Seoul National University of Technology

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 시설물 중 배관으로 인한 가스 사고가 빈번하게 발생되었고, 이의 안전성 문제에 대한 높은 관심을 가지게 되었다.^[3-6]

1964년 미국에서 증밀도 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.

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

본 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, 먼취기 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 fuele)에 규정되어 있는 상당 압력 등급(Standard Dimension Ratio : SDR)이 11이하인 1호관

이며, 관규격은 표 2-1과 같다.^[8]

인장 시험용 시험편은 용착된 시험편을 통일중공업(주)의 머시닝 센터(모델명 : TNV 50)를 사용하여 KS M 3514 규격에 의하여 그림 2-1과 같이 제작하였다.

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

Table 2-1. 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(SDR:11) pressure range 4kg/cm ²	75A	89.0	±0.3	8.1	±1.1	600	72.8

2-3. PE배관의 버트 용착 실험

실험에 사용된 용착 변수들은 표 2-2와 같다.

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

Table 2-2. Experimental Variables

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

2-4. 인장 강도 시험

인장시험 데이터 전송 속도는 10Hz, 인장 속도는 200±20mm/min, 눈금선 사이의 거리 즉, 표선 거리는 20mm, 시험온도는 23±2°C로 하였고^[9], 인장 강도는 파괴될 때의 최대 하중을 조사하여 단면적으로 나누어 계산하였다.

신장률은 시험편이 절단될 때의 표선이 늘어난 길이를 조사하여 계산하였다.

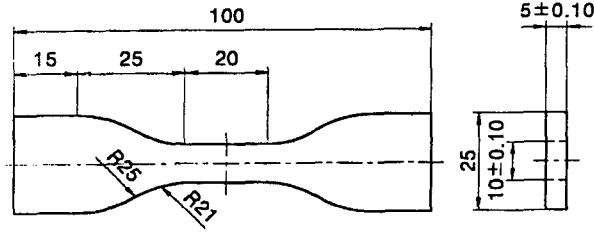


Fig. 2-1 Specimen of Tensile Test

2-5. 파괴 수압 시험

시험 압력은 1회에 급작스럽게 상승되지 않도록 하였고, 최고 사용 압력의 1.5배까지 상승시킨 후 변형 여부를 확인하였다. 또한 파괴 압력까지 상승시켜 용착 신뢰성을 입증하였다.^[10]

3. 결과 및 고찰

3-1. 용착 환경에 따른 용착 비드의 변화

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

가열 온도를 170℃로 하고 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.

그림 3-1은 용융 온도 210℃ 상태에서의 가열 용융 시간에 대한 비드 폭의 변화도이다. 압력과 시간이 증가하면서 비드 폭도 증가하였으나, 용융 시간 6초에서는 변화 폭이 좁았고, 14초 부근에서는 비교적 넓게 변화하였다.

가열 용융 온도 210℃, 압력 1.5kg/cm², 가열 용융 시간 14초에서 비드 폭은 8.65mm, 비드 높이가 3.15mm로 인 값으로 나타났다.

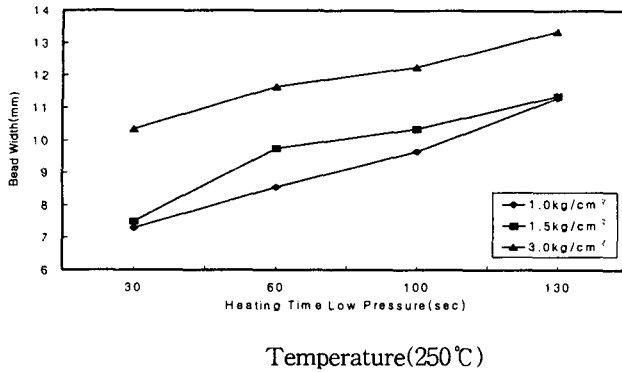
가열 온도 250℃에서, 가열 용융 시간은 3초, 6초, 14초, 22초로 변화시켰을 때 각 비드 폭은 압력 1.0kg/cm²에서는 불 규칙적인 변화를 보였고, 3.0kg/cm²에서는 일정하게 증가하였다. 압력 1.0kg/cm², 용융 시간 3초에서 비드 폭은 8.50mm, 비드 높이가 3.05mm로 나타나 기준치에 만족하는 값을 얻었다.

3-1.2. 가열 유지 시간 변화에 의한 영향

가열 온도 170℃에서 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.

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

그림 3-2는 가열 온도 250℃에서 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℃, 압력 1.0kg/cm²에서 비드 폭은 8.55mm로 기준치에 가장 적합한 값을 나타내었다.



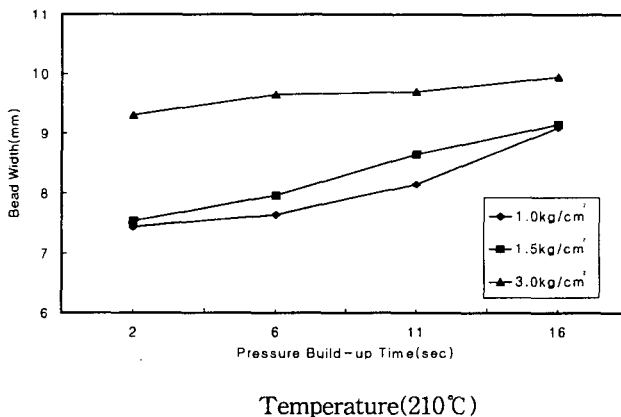
Temperature(250℃)
 Fig. 3-2 Bead Width for the Varying Heating Time Low Pressure

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 융착이 불량하여 비드 폭이 기준치에 미달 되는 것으로 나타났다.

그림 3-3에서는 온도 210℃에서의 압착 시간에 따른 비드 폭이다. 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.



Temperature(210℃)
 Fig. 3-3 Bead Width for the Varying Pressure Build-Up Time

3-2. 용착 환경에 따른 인장강도 변화

3-2-1 가열 용융시간 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 1.5kg/cm²에서는 증가

를 보이다가 오히려 감소하는 것으로 나타났다.

국내·외 기준에 의하면 용착부에 대한 인장 강도의 성능 평가치는 $180\text{kg}/\text{cm}^2$ 이상이어야 한다.^[7-9] 용착 온도 170°C 에서는 대부분 국내·외 기준에 미달되는 것으로 나타났다.

그림 3-4는 가열 용융 온도 210°C 에서 가열 용융 시간에 대한 인장 강도를 나타낸 것이다. 압력 $1.0\text{kg}/\text{cm}^2$ 에서는 전체적으로 소폭 증가를 보였으나, 압력 $1.5\text{kg}/\text{cm}^2$ 에서는 가열 용융 시간 14초에서 $204\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 가장 안정하였고, 가열 용융 시간이 증가하면서 점차적으로 감소하였다. 압력 $3.0\text{kg}/\text{cm}^2$ 에서는 용융 시간 6초에서 인장 강도는 증가를 보인 후 급격히 감소함을 보였다. 온도 210°C , 압력 $1.5\text{kg}/\text{cm}^2$, 가열 용융 시간 14초에서 인장 강도는 $204\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 가장 안정하였다.

또한 가열 용융 온도 250°C 에서 가열 용융 시간을 3초, 6초, 14초, 22초로 변화시켰을 때의 인장 강도이다. 가열 용융 시간이 증가하면서 인장 강도는 대체적으로 감소하였다. 온도가 높은 상태에서는 가열 시간이 짧을수록 인장 강도가 증가하였다. 가열 용융 시간 3초에서 인장 강도는 $203\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 안정하였다.

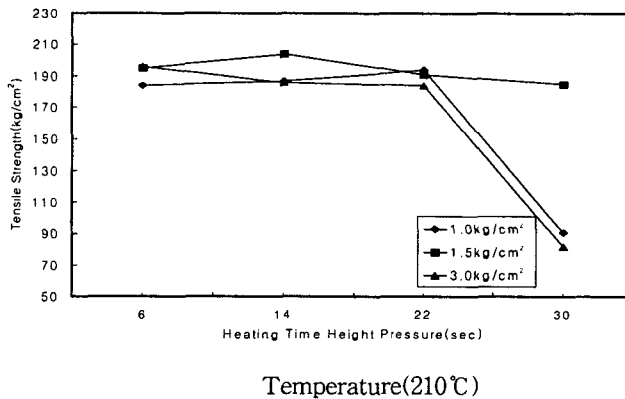


Fig. 3-4 Tensile Strength for the Varying Heating Time Hight Pressure

3-2.2. 가열 유지 시간 변화에 따른 인장 강도

가열 온도 170°C 상태에서 가열 유지 시간을 30초, 60초, 100초, 130초로 변화시켰을 때의 인장 강도는 압력과 가열 유지 시간이 증가하면서 인장 강도는 대체적으로 증가하였으나, 압력 $3.0\text{kg}/\text{cm}^2$ 에서는 가열 유지 시간이 60초, 100초 부근에서는 압력 $1.5\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 했을 때의 경우보다 낮게 나타났다. 온도 170°C 에서는 KS규정^[8] 강도에 대부분 미달되었다.

가열 온도 210°C 에서 가열 유지 시간에 대한 인장 강도는 압력 $1.0\text{kg}/\text{cm}^2$ 에서는 증가하였으나, 압력 $1.5\text{kg}/\text{cm}^2$, $3.0\text{kg}/\text{cm}^2$ 에서는 증가를 보이다가 급격히 감소하였다. 압력 $1.5\text{kg}/\text{cm}^2$, 가열 유지 시간 100초, 가열 용융 시간 14초, 압착 시간 11초, 냉각 시간 10분 이상에서 가장 안정하였다.

그림 3-5는 가열 온도 250°C 에서 가열 유지 시간에 대한 인장 강도를 나타낸 것이다. 압력 $1.0\text{kg}/\text{cm}^2$, 가열 유지 시간 60초에서 인장 강도는 $204\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 가장 안정하였으며, 가열 유지 시간이 길어지면서 다시 감소하였다. 온도 250°C 에서는 가열 유지 시간이 길어지면서 인장 강도는 감소하는 것으로 나타났다.

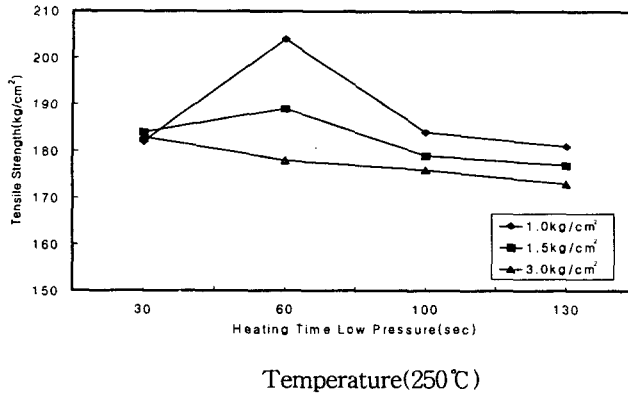


Fig. 3-5 Tensile Strength for the Varying Heating Time Low Pressure

3-2.3. 압착 시간 변화에 따른 인장 강도

가열 온도 170°C에서 압착 시간을 2초, 6초, 11초, 16초로 하였을 때 인장 강도는 압력이 증가하면서 대체적으로 증가함을 보였으나, 대부분 규정치 이하로 나타났다.

그림 3-6은 가열 온도 210°C에서 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 감소하는 경향으로 나타났다. 압력 3.0kg/cm²에서는 완만한 감소를 하였다. 온도 210°C, 압력 1.5kg/cm², 압착 시간 11초에서는 인장 강도 204kg/cm²로 가장 안정하였다. 가열 온도 250°C에서 압착 시간에 대한 인장 강도는 온도가 높은 상태에서는 압착 시간이 길어지면서 인장 강도는 감소하는 것으로 나타났다. 온도 250°C 부근에서 시간을 일정하게 하고, 압착 시간 변화만을 이용해서는 최적의 용착조건을 찾지 못하였다 이 부분에 대해서는 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다

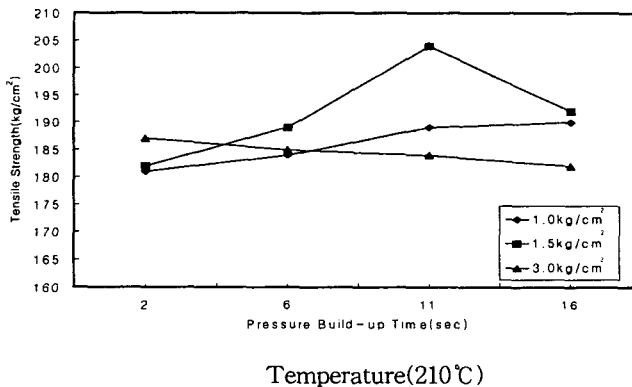


Fig. 3-6 Tensile Strength for the Varying Pressure Build-Up Time

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 1.5kg/cm²에서 용착할 때 8.65mm로 안정하였다. 또한 온도 250°C, 압력 1.0kg/cm²에서 가열 용융 시간 3초, 가열 유지 시간을 100초로 했을 때 가열 용융 시간 6초, 가열 유지 시간 60초, 열판 제거 3초, 압착 시간 11초, 냉각 시간 10분 이상으로 용착할 때 비드 폭은 8.55mm

로 가장 안정하였다.

2. 비드 높이는 온도 250℃에서 가열 용융 시간 3초, 가열 유지 시간 60초로 용착 할 때 3.05mm, 3.15mm로 가장 안정하였다.

3. 인장 강도 시험 실시 결과 온도 210℃, 압력 1.5kg/cm²의 조건에서 용착한 시험편의 인장 강도는 204 kg/cm²로 안정하였다. 온도 250℃에서 가열 용융 시간을 3초로하고, 가열 유지 시간을 60초로 하여 용착 할 때 인장 강도는 또한 204kg/cm²로 안정하였다.

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

참고문헌

- [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 Appied 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 Poyethylene 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] 한국가스안전공사, “가스관계법령집,” 1997.