

PE배관의 용착 강도에 관한 연구

전홍원 · 김용수 · 태순호[†]

서울산업대학교 안전공학과
(2002. 4. 22. 접수 / 2002. 6. 10. 채택)

A Study on Fusion Welding Strength of PE pipe

Hung-Won Jun · Yong-Soo Kim · Soon-Ho Tae[†]

Department of Safety Engineering, Seoul National University of Technology
(Received April 22, 2002 / Accepted June 10, 2002)

Abstract : At present, the Polyethylene piping, on supporting LNG is widely used because of its disposition which are anti-corrosion, flexible and so on. However, it has a few kinds of risk which are the possibility of piping leak, the character of easily corroded and so on. For giving solution, this study is intended to experiment the intension of the PE pipe after melted and when it is melting, the condition which are temperature and pressure is changed. the melting condition in temperature and pressure is adapted identically. After melting, its joint is tested as intension. The result is that the effect of temperature in intension is more effective than pressure. In 210°C, 20kg/cm² condition, the melting intension has the highest. Compare to the Butt melting joint and the Saddle melting joint, the former was 214kg/cm² and the latter was 50kg/cm²(bead 2~3mm) and 73kg/cm²(bead 5~7mm). It means that the Butt melting method has more intensive than saddle. Consequently, the result shows that the liability and safety when PE pipe melting method is used will improve in pipe installation.

Key Words : Fusion welding strength, PE(Polyethylene) pipe, Butt melting joint, Saddle melting joint

1. 서 론

우리 나라는 석유가 나지 않은 비산유국으로서 거의 모든 에너지 자원을 막대한 외화를 지급하여 수입하고 있는 실정이다. 이들 석유류 사용도 대기 오염 등의 환경문제로 대두되면서 액화 천연가스가 청정에너지로 각광을 나타내고 있으며, 도시가스로 보급되어 그 수요가 계속 늘고 있다. 이를 사용하기 위해서는 기체 상태로 기화된 천연가스를 일반 가정이나 산업체에 파이프라인을 통하여 공급하는데 이들 가스배관은 대부분 지하에 일정한 깊이로 매설하여 설치된다. 가스배관을 강관으로 시공하는 경우, 납땜 및 섬유를 감는 방법이 초기에 사용되었으나, 이것은 가스사용압력에 제한을 받기 때문에 고압이 요구되는 곳에는 배관을 용착·이음하는 방법이 사용되었으나, 강관용착은 전기 부식과 응력 부

식이 발생되어 배관을 방식하는 유지보수 비용이 문제가 되었다.

따라서, 1960년대 초에 중저압용으로 플라스틱 재질로 된 새로운 배관을 사용하기 시작하였으며, 특히 내충격성, 내화학적, 경제성, 사용성 및 용융접합성 등이 우수한 순수 중밀도 폴리에틸렌(Medium Density Polyethylene : MDPE) 가스배관이 일반화되어 사용되기에 이르렀고, 국내의 천연가스배관은 폴리에틸렌 배관이 개발된 이후 현재까지 사용되고 있으나, PE피복강관도 강관의 응력부식과 열화현상에 의해 가스가 누출될 개연성을 가지고 있기 때문에 안전성 문제가 항상 제기되고 있다¹⁻³⁾.

따라서 본 연구에서는 폴리에틸렌 가스배관 용착 부분의 가스 누출로 인한 경제적 손실 및 화재·폭발의 위험성 등의 문제점을 해결하기 위하여 현재 사용하고 있는 PE 배관에 대한 강도시험을 함으로써 배관수명의 연장, 가스에너지 손실의 최소화 및 화재·폭발로부터 안전성과 신뢰성을 확보하고자 한다.

[†]To whom correspondence should be addressed.
tsh111@snut.ac.kr

Table 2. Physical properties of PE

Classification	MDPE	Unit
Tensile strength	0.926~0.94	kg/cm ²
Elongation	206	mm
Impact values	650	kgcm/cm ²
Poisson's ratio	0.4~0.44	-

전환벨브는 PE관 grip의 이송속도를 5~10m/sec으로 전·후진시킬 수 있으며, 유압장치에는 최대 압력 100kg/cm²까지 가압할 수 있는 진공펌프가 내장되어 있고, 히터판 온도는 히터의 표면과 중심부에 설치된 Chromel-Alumel 열전대로 감지하여 히터의 온도변화를 설정하거나 측정할 수 있게 하였다.

융착온도는 각각 압력에 대하여 150~240℃까지 30℃의 간격으로 하였으며, 또한 각각의 온도에 대한 융착압력은 10~40kg/cm²까지 10kg/cm²의 압력변화로 융착하였다.

융착은 처음에 히터면에 닿은 PE관을 가압융융, 가열유지, 히터판 제거, 가압접 그리고 자연 냉각시키는 순서로 진행하였다. 히터판과 접촉한 배관단면부의 가열유지시간은 60초, 히터판 제거는 5초 이내로 하였고, 융착후 융착부를 포함한 배관전체를 움직이지 않게 완전히 고정된 상태에서 3분 이상의 냉각시간을 충분히 주어 융착부의 열수축이나 잔류응력에 의한 비드변형과 배관의 비틀림 현상을 사전에 방지하고자 하였다.

3.2. 시험편 및 인장강도시험

인장강도시험은 PE인장시험용 시험편에 대한 "KS M 3006 및 KS M 3012를 따랐다"^{16,17)}. Fig. 3의 인장강도시험기는 영국의 INSTRON사가 제작한 만능재료시험기(모델명: INSTRON, 8502)로 maximum capacity는 ±30ton(static), ±25ton(dynamic)이며, 융착시험편은 아령형 2호로 Fig. 4와 같이 제작하였다.

버트융착은 융착기로 가압하여 접합하지만, 새들부 융착부의 가압방법은 대부분 수작업으로 가압하여 접합하므로 융착시 많은 오류를 범할 수 있으므로, 이에 대한 접합강도 시험은 매우 중요하다. 따라서 이들 PE 융착부의 상태를 파악하기 위한 방법으로 융착부의 인장강도를 측정하였다. Fig. 5는 실제 새들 융착된 배관의 시험편이며, Fig. 6은 시험편 지지를 위한 jig이다. 시험속도는 KS M 3006을 따랐다.

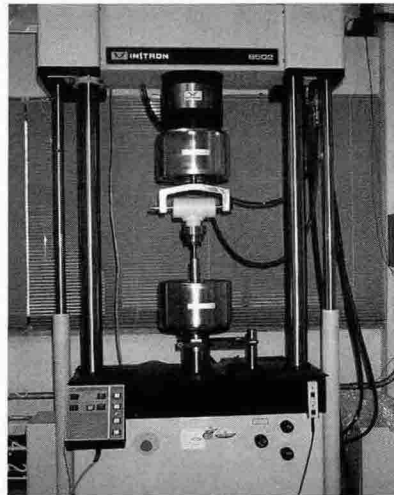


Fig. 3. Universal testing machine

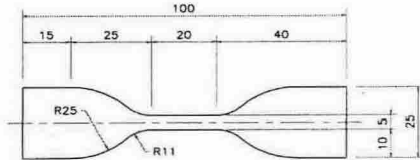


Fig. 4. Tensile specimen of dumbbell No. 2

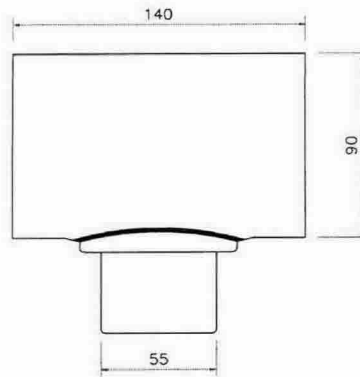


Fig. 5. Tensile specimen of saddle

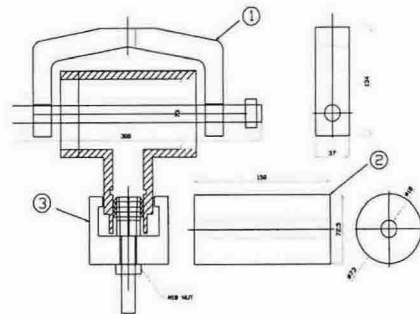


Fig. 6. Jig for tensile test of saddle

4. 고찰

4.1. Butt 용착부의 인장강도시험

인장강도시험은 PE 배관의 물성을 평가하는 중요한 시험으로서 용착온도 변화에 따라 각각 세 개의 시편으로 인장강도를 측정하였다. Table 3과 Fig. 7은 용착온도 150℃에서 각각의 용착압력에 따른 인장강도를 나타낸 것으로 20kg/cm²에서 인장강도가 183kg/cm²으로 가장 높게 나타났으며, 용착압력이 30 kg/cm²으로 상승될 때 오히려 인장강도가 175kg/cm²으로 감소함을 알 수 있다. 용착온도 180℃에서도 용착압력이 10kg/cm²에서 20kg/cm²으로 상승될 때 인장강도가 188kg/cm²으로 최고 강도를 나타내었다. 그후 용착압력이 증가하여도 인장강도는 감소하는 경향을 보여주었다. 용착온도 210℃에서는 10kg/cm²에서 20kg/cm²으로 상승될 때 최고 인장강도 196kg/cm²으로 상승하였다. 이는 PE 용착부의 가교밀도효과(cross-link density effect)로 인한 경화현상으로 판단된다. 또한 용착온도 240℃에서는 용착압력이 증가할수록 인장강도가 감소하는 경향을 보여주었다. 따라서 용착온도와 용착압력 변화에 따른 인장강도는 150℃, 180℃, 및 210℃에서는 용착압력이 20kg/cm²일 때 최

Table 3. Tensile strength of PE test specimens according to pressure and temperature of fusion welding(kg/cm²)

Temperature \ Pressure	10 (kg/cm ²)	20 (kg/cm ²)	30 (kg/cm ²)	40 (kg/cm ²)
T150(℃)	177	183	175	156
T180(℃)	185	188	179	165
T210(℃)	192	196	185	169
T240(℃)	190	186	178	164

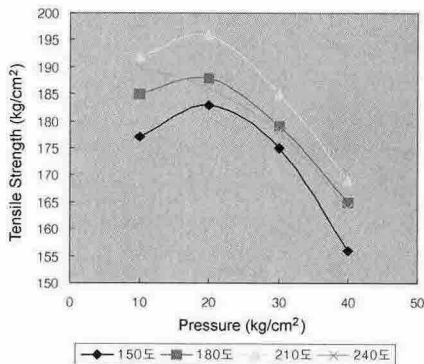


Fig. 7. Tensile strength of PE test specimens according to pressure and temperature

대인장강도의 값을 보여주었으며 용착온도가 상승함으로서 인장강도 역시 동시에 상승되는 경향을 나타냈다. 그러나 240℃에서는 용착압력이 증가함에 따라 인장강도는 감소하는 특성을 나타냈다. 그러므로 인장강도는 일정한 용착온도와 용착압력 범위에서는 인장강도도 상승할 수 있지만 규정 값 이상으로 온도와 압력이 상승되면 인장강도가 감소하므로 이에 대한 최적조건을 고려하여 효율적인 기준을 정해야 할 것으로 판단된다.

4.2. 새들 용착부 인장강도시험

새들 용착부의 실질적인 인장강도를 측정하기 위하여 실제 시공되고 있는 열용착된 PE배관으로 비드폭 2~3mm 및 5~7mm인 시험편 각각 5개씩을 인장시험하여 최고 및 최하 값은 버리고 3개의 값을 평균하여 Table 4에서 나타내었다. 시험결과 비드폭 2~3mm의 인장강도는 50kg/cm²이었고, 비드폭 5~7mm의 인장강도는 73kg/cm²이었다. Fig. 9의 비드폭 2~3mm인 PE배관 시험편 파단면을 보면, 이 물질이 많이 산재되어 있었고, 이로 인하여 균테균테미 접합된 흔적이 나타났다. 비드폭 5~7mm 인장시험편의 파단 양상은 2~3mm인 경우와는 다르게 접합부와 모재부가 찢기어 나가듯 파괴되는 형태를 보여주었다. 이는 비드폭의 대, 소가 PE배관의 접합 강도에 밀접한 영향이 있음을 알 수 있다. 또한 용착된 접합단면에 이 물질이 계제된다는 것은 접합

Table 4. Tensile stress of saddle fusion welding for PE tube

Pressure (kg/cm ²)	Temperature (°C)	Fusion type	Tensile strength(kg/cm ²)				
			σ_1	σ_2	σ_3	σ_m	
1.0~1.5	260±10℃	버트용착	217	208	217	214	
1.0~1.5	260±10℃	새들 용착	Bead 2-3mm	48	47	49	50
			Bead 5-7mm	79	67	74	73
1.0~1.5	260±10℃	이음배관	52.8	51.1	50.9	51.6	

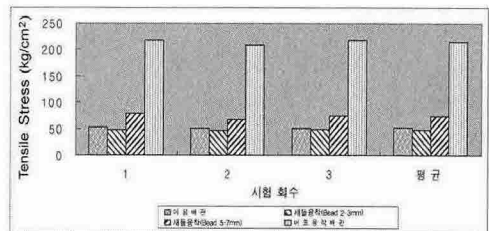


Fig. 8. The comparison of tensile strength between butt fusion welding, saddle fusion welding and joint pipe



(a) bead with 2~3mm



(b) bead with 5~7mm

Fig. 9. Fracture shape of saddle fusion PE pipe according to bead width

강도뿐만 아니라 미접합으로 인하여 가스누출이 될 수 있다. Table 4에서 버트 용착과 접합강도를 비교한 결과 버트 용착부의 인장강도는 $214\text{kg}/\text{cm}^2$ 로서 새들 용착부의 비드폭 5~7mm인 경우 인장강도 $73\text{kg}/\text{cm}^2$ 보다 약 3배의 높은 값을 보였다.

4.3. 새들 용착부 배관과 이음배관의 인장강도시험

새들 용착부 배관과 이음배관의 접합강도는 Table 4와 같으며, Fig. 10과 11은 인장시험편 및 인장시험결과 파단된 형상이다. 실험결과 접합강도는 $51.6\text{kg}/\text{cm}^2$ 에서 이음부 배관 모재가 파단되었다. 일반적으로 새들 용착부 배관과 이음부 배관 접합부분이 취약할 것으로 생각하고 있었으나 시험결과와는 상반되게 나타났다.

새들 용착부와 버트 용착부는 상당한 인장강도차를 보여주고 있으나, 수작업으로 가압 접합하는 새들 용착부 배관과 이음배관 용착은 접합강도차가

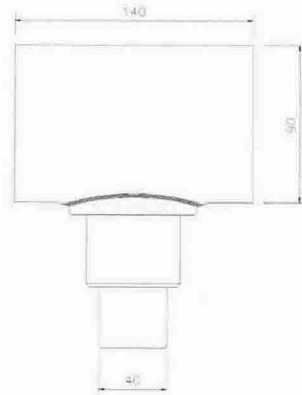


Fig. 10. Tensile specimen of saddle

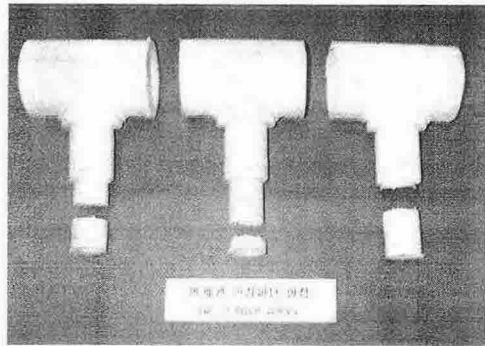


Fig. 11. Fracture shape of saddle fusion welding fusion welding PE pipe PE pipe

크지 않으므로서 PE배관 용착에서는 용착온도의 영향이 용착압력 조건보다도 더 크다는 사실을 알 수 있었다.

5. 결론

최근 가스용 배관으로 PE 배관을 많이 사용함에 따라 PE 배관의 안전성 확보가 대단히 중요하여 이에 대한 인장강도시험 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) PE관 용착시 용착온도와 용착압력 변화에 따른 인장강도는 용착온도 150, 180, 210 $^{\circ}\text{C}$ 에서는 용착압력 $20\text{kg}/\text{cm}^2$ 까지 인장강도가 증가한 반면, 그 이상의 용착압력에서는 감소하였고, 용착온도 240 $^{\circ}\text{C}$ 에서는 용착압력이 증가할수록 인장강도는 감소하는 특성을 나타내었다.

(2) 버트용착부와 새들 용착부의 접합강도를 실험한결과는 버트 용착부 인장강도는 $214\text{kg}/\text{cm}^2$ 이였

고, 새들 용착부 인장강도는 50kg/cm^2 (비드 폭 2~3 mm) 및 73kg/cm^2 (비드 폭 5~7mm)이었다. 이는 일반 가스 PE배관에서 버트 용착부보다 새들 용착부가 취약하다는 평가와 동일한 결과이다.

(3) 새들 용착부와 이음관 접합부에서는 오히려 이음배관 모재가 파괴됨으로서 두 부재간에 접합강도는 양호한 것으로 판단된다. 이는 PE배관 용착에서 용착압력 조건보다 용착온도 영향이 더 크다는 실험결과와 일치하였다.

참 고 문 헌

- 1) 한국가스안전공사, 고압가스통계, 1999.
- 2) 한국가스안전공사, 가스사고연감, 1999.
- 3) L. K. Donald and L.L. Robert, Natural Gas Engineering Production and Storage, McGraw-Hill, New York, 1990.
- 4) 대림산업(주), Polyethylene 가스관 System, 1995.
- 5) 박승국, 폴리에틸렌수지, 대광서림, 1996.
- 6) R. M. Ogorkiewicz, Properties of Thermoplastics, Willey Interscience, London, 1970.
- 7) F. H. Andrews, Fracture in Polymer, Oliver and Boyd, 1968.
- 8) American Gas Association, A.G.A Plastic Pipe Manual for Gas Service, 1995.
- 9) Mr. A. Hillersborg, Criteria for visual judging of heat fused PEM pipes, 1989.
- 10) Gas Research Institute, Defect Discrimination in Heat-Fused Polyethylene Pipe Joints, 1983.
- 11) Gas Research Institute, User's Guide on Butt Heat Fusion Joining of Polyethylene Gas Pipes Topical Report, 1986.
- 12) 한국가스안전공사, 가스관계법령집, 1999.
- 13) KS M 3514, 가스용 폴리에틸렌관, 1995.
- 14) John Wiley, Journal of Applied Polymer, Vol. 38, pp. 1147~162, 1989.
- 15) 한국가스안전공사, PE시공관리, 1994.
- 16) KS M 3006, 플라스틱 인장성 측정시험, 1993.
- 17) KS M 3012, 폴리에틸렌 시험방법, 1996.