

폴리에틸렌 배관 전기융착부의 단기성능에 대한 비파괴적 결합평가기준 개발

길성희*, 권정락*, 노동훈**

한국가스안전공사 가스안전시험연구원*,

미국 오하이오주립대 Plastics & Composites Joining Lab.**

Development of non-destructive evaluation flaw criteria for short-term performance of electrofusion PE pipe welds

Seonghee Kil*, Jeongrock Kwon*, Donghun No**

Dept. of Gas Safety R&D Center, Korea Gas Safety Corporation*,

Dept. of Industrial, Welding and Systems Engineering, The Ohio State University**

1. 서론

도시가스설비 중 가스를 수송하는 배관은 크게 강관과 폴리에틸렌 배관으로 나눌 수 있다. 강관에 비해 내구성, 유연성, 내부식성, 작업성 등이 우수한 폴리에틸렌 배관은 점차 그 사용량이 증가하고 있으며 중·저압의 매설용 도시가스 및 상수도 배관으로 그 사용이 보편화되고 있다. 현재 국내에서는 관경이 350mm인 이음관까지 사용하고 있으나 일본에서는 200mm 이하만을 사용하고 있으며 미국, 유럽에서는 100mm 이하가 주로 사용되고 있다.

폴리에틸렌 배관은 관경이 클수록 배관의 진원이 타원(oval)으로 변형되기 쉬우며 시공시 폴리에틸렌 배관을 이음관에 삽입할 때 배관의 정렬 불량이 상대적으로 심하게 나타나게 된다. 따라서 폴리에틸렌 배관의 진원도 변형과 정렬불량은 배관 외면과 이음관 내면 사이의 간극이 불균일하게 되어 간극이 큰 부위에서는 용융된 수지가 채워지지 못하거나 부족하여 접합면에 융착 결합이 발생하게 된다.

폴리에틸렌 배관의 안전성은 배관 자체보다는 융착접합부의 성능에 의존하는데 현재 폴리에틸렌 배관 융착부는 규격화된 비파괴검사기술이 없어서 단순외관 검사, 융착조건 확인 및 기밀시험 등에 의존하고 있는 실정이며 특히 큰 구경의

배관에서는 인디케이터 확인이나 기밀시험 등은 용착성능이나 내부 용착 결함에 대한 정보를 주지 못하고 있는 실정이다. 따라서 폴리에틸렌 배관 용착부에도 강관과 마찬가지로 비파괴검사기술의 도입이 필요하다고 사료되며 본 연구에서는 비파괴검사기술을 적용했을 때 측정되는 용착 결함 크기에 대한 판정기준을 개발하고자 한다.

2. 실험

2.1 시험편 제작

기계적 시험을 실시하기 위하여 용착 결함 시험편을 제작하였다(Table.1). 이때 용착접합부의 관경은 100mm이며 용착 결함은 이음관 열선 폭의 5%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% 크기로 제작하여 이음관에 삽입 후 용착하였다.

Table 1. Typical material properties for 75A PE pipes

Outside Diameter of pipes(mm)	Wall Thickness (mm)	Density (g/cm ³)	Melt Flow Index (g/10min)	Yield Strength (psi)
89	9	0.933~0.939	0.15~0.4	2,560

2.2 기계적 시험

정수압시험(sustained pressure test), 압축박리시험(crush test), 굽힘 시험(bend test), 인장시험(tensile test)을 실시하였다.

2.3 유한요소 모델링

굽힘 시험 및 인장시험에 대한 응력해석을 실시하였다.

3. 결과

3.1 기계적 시험 결과

정수압시험 및 압축박리시험(Fig.1)에서는 결함크기에 따른 용착 부위의 파단이 발생하지 않았다. 또한 굽힘시험에서는 결함크기가 증가함에 따라서 변형량도 증가하였으며 결함크기가 열선 폭의 60%일 때 0.08mm 변형이 발생하였다(Fig.

2). 인장시험에서는 결함 크기가 열선 폭의 30%에서 파단이 발생하기 시작하였고(Table.1) 이음부 중심부에 결함이 존재할 경우보다도 이음부 끝단에 존재할 경우 낮은 응력에서 파단이 발생하였다.

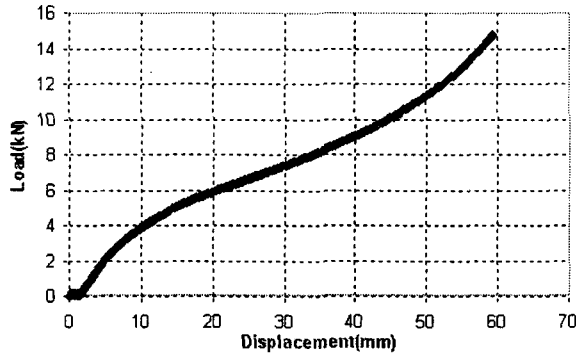


Fig. 1 Load-displacement curve for crush test

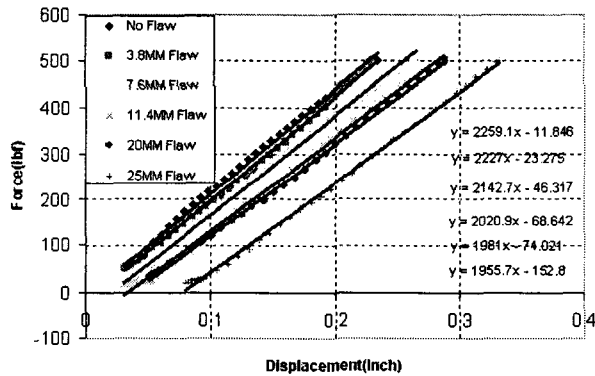


Fig. 2 The deflection with regard to different lack of fusion sizes of defects

3.2 유한요소 모델링 결과

결함크기에 따른 최대 변형량에 대하여 응력해석을 실시한 결과 실험값과 근사한 결과를 얻었다.(Fig.3) 그리고 안전 계수 2를 선택(최대허용응력 : 1,280psi)하여 응력해석을 실시한 결과 최대로 허용 가능한 결함크기는 열선 폭의 30%로 판정되었으며 안전 계수 4를 선택(최대허용응력 : 640psi)하여 응력

해석을 실시한 결과 최대 허용 가능한 결함크기는 열선 폭의 5%로 판정되었다(Fig.4).

Table 2. Tensile Test Result

sample No.	Defect size/ Location	Failure Location	Maximum Load (lbf)	Energy at Break (lbf.in)
1	No Defect	Inside of cold zone	13,540	1,543
2	3.8mm	Outside of cold zone	13,340	1,347
3	7.6mm	Outside of cold zone	13,480	1,446
4	11.4mm	On the end of defect	12,620	1,187
5	15.2mm	On the end of defect	12,400	1,162

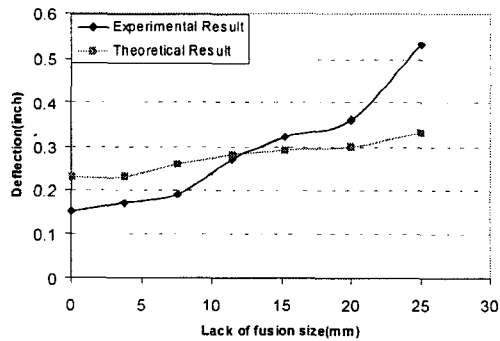


Fig. 3 Comparison between experimental and FEA predictions of the maximum deflection as a function of defect size

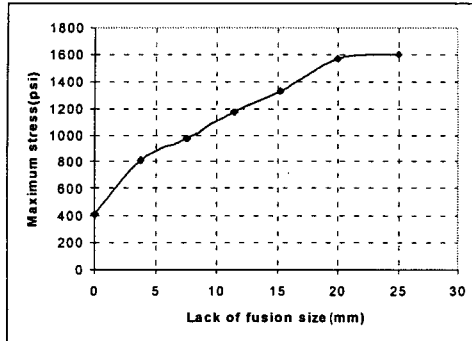


Fig. 4 FEA predictions of the maximum von Mises stress as a function of defect size for combined tensile stress and internal pressure

4. 결론

본 연구결과는 전기용착 접합부의 단기성능에 대한 평가만을 수행하였다. 전기용착 접합부의 비파괴검사에 필요한 결함판정 기준을 정립하기 위해서는 장기성능평가에 대해서도 반드시 고려해야 할 것이다. 따라서 크립 크랙 성장(creep crack growth) 및 점탄성 크랙 성장(viscoelastic crack growth)과 같은 시간 의존적인 파괴 거동에 대한 연구가 더 필요할 것으로 사료된다.

5. 참고문헌

- 1) R. Wise, C. Brown, and F. Chipperfield, "Resistive Implant Welding," Chapter 7 Plastics and Composites Welding Handbook, D.A.Grewell, A. Benatar, and J.B. Park, Editors, Hanser (2003)
- 2) A. Lustiger, M. J. Cassady, F. S. Uralil, and L. E. Hulbert "Field Failure Reference Catalog for Polyethylene Gas Piping," First Edition, Battelle Research Report (1986)
- 3) KS M 3514-95, "Standard for Polyethylene Pipes for the Supply of Gaseous Fuels" Korean Standard (1995)

- 4) ASTM D1599 88, "Standard Test Method for Short-Time Hydraulic Failure Pressure of Plastic Pipe, Tubing and Fittings," ASTM International (1988)
- 5) R. C. Hibbeler, "*Mechanics of Materials*", Chapter 12, Fourth Edition, Prentice Hall (2000)
- 6) ASTM F1055 - 95a, "Standard Specification for Electrofusion Type Polyethylene Fittings for Outside Diameter Controlled Polyethylene Pipe and Tubing," ASTM International (1995)
- 7) ASTM D638 95, "Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics," ASTM International (1995)
- 8) Korean Civil Gas Safety Management Regulations for Pipe Thickness, Chapter 2-11 (2000)
- 9) G. W. Ehrenstein, *Polymeric Materials: Structure - Properties - Applications*, Chapter 6, Hanser (2001)
- 10) M.F. Kanninen and C.H. Popelar, "*Advanced Fracture Mechanics*", Chapter 7, Oxford University Press (1985)