

가스용 폴리에틸렌 피복 강관의 음극 박리 특성

길 성 희 · 최 송 천 · 노 오 선 · 김 지 윤
한국가스안전공사 가스안전시험연구원

Properties of Cathodic Disbondment for the Polyethylene Coated Steel Pipes

Seong-Hee Kil, Song-Chun Choi, Ou-Sun Noh, Ji-Yuon Kim

Korea Gas Safety Corporation, Institute of Gas Safety Technology

Polyethylene coated pipeline for distributing gas is divided into Polyethylene coated steel pipes by powder fusion(KS D3607) and Polyethylene coated steel pipes by extruding(KS D3589) as the coating methods of polyethylene. In this study, polyethylene coated pipeline which is buried in the ground for distributing and transmitting gas was tested for cathodic disbonding resistance which is one of the methods for coating qualification analysis.

From the cathodic disbondment test result in 65°C, 3% sodium chloride solution for 7 days, disbonded area of steel pipes coated by powder fusion was decreased a little by increasing applied voltage, but that of steel pipes coated by extruding was more decreased. And from that in 20°C, 3% sodium chloride solution for 28 days, all of coated steel pipes were little change by increasing applied voltage. But polyethylene coated steel pipes by extruding(KS D3589) [PIH(adhesive/polyethylene)] which are used for large size pipes showed the worst cathodic disbonding resistance.

Keywords : Polyethylene coated steel pipes, cathodic disbonding resistance, coating qualification analysis

1. 서 론

현재 도시가스의 수송 및 분배용 지중 매설 배관으로 폴리에틸렌 피복 강관이 주로 사용되고 있다. 폴리에틸렌 피복 강관은 피복 방법에 따라서 분말용착식 폴리에틸렌 피복 강관(KS D3607)과 압출식 폴리에틸렌 피복 강관(KS D3589)으로 구분된다. 압출식 폴리에틸렌 피복 강관의 경우 접착제를 사용하는 대구경 배관[PIH(접착제/폴리에틸렌)]과 접착제를 사용하는 소구경 배관[P2S(접착제/방식

폴리에틸렌/포장폴리에틸렌)으로 세분화할 수 있다. 그리고 피복 공법으로는 배관의 길이방향으로 압출 피복하는 방법인 "O-Dies식"과 원주방향으로 압출 피복하는 "T-Dies식"이 있다.

국내 기준(KS)은 분말용착식 폴리에틸렌 피복 강관에 대해서 피복의 품질을 검사하기 위하여 겹모양, 치수 및 무게, 피복 두께, 편향, 충격 저항, 박리 저항, 내침입도, 절연 저항, 파단 신율, 자외선 조사에 대한 안정성, 열에 대한 안정성, 음극 작용

하에서의 박리 면적, 스트레스 크레킹, 박리력, 굽힘 등의 시험을 실시하도록 규정하고 있으며 시험 방법에 대해서도 규정하고 있다. 그러나 실제로 절연 저항, 자외선 조사에 대한 안정성, 열에 대한 안정성, 음극 작용하에서의 박리 면적 등은 시험하는데 장시간이 소요된다는 이유로 구매자(도시가스사)와 제작자(피복업체) 모두 회피하고 있는 실정이다.

분말용착식 피복 강관은 분말이 완전히 용융될 수 있도록 가열한 후 용착 피복을 실시해야 한다. 그러나 충분한 열을 가하지 않았을 경우에는 배관과 접촉된 완전 용융된 부분과 피복 표면의 용융이 덜된 부분이 생기게 되는데 이때 용융된 부분은 용융에 의한 분자간 완전 섞임 및 결정정이 일어난다. 이때 용융이 덜된 부분에서는 분말 내에서의 분자간 결합이 강하지만 분말 사이의 분자 결합이 약한 상태로 결정화되어 장시간이 경과하면 크랙이 발생하게 된다.

압출식 폴리에틸렌 피복 강관에 대해서는 겉모양, 치수, 피복 두께, 핀홀, 당김 강도 등의 시험을 규정하고 있으며 이 외에 폴리에틸렌의 물성에 대한 몇 가지 시험 방법을 규정하고 있다.

그런데 압출식 폴리에틸렌 피복 강관의 피복 방법중 "O-Dies식" 방법은 제조 공정시 축방향으로 수축 잔류응력이 집중 분포되어 결합이 발생할 확률이 높다. 그리고 점착제를 사용하는 피복 강관은 여름철과 같이 고온으로 온도가 상승하는 경우에 점착제가 용융되어 한쪽으로 몰린다든지 녹아 나오는 등의 문제점이 발생한다.

현재 가스나 정유 업계에서는 수송용 배관 부식 방지를 위하여 폴리에틸렌 피복을 하고 전류를 가하여 음극 방식을 하는 등 시도를 하고 있으며 또한 이러한 노력들은 성과가 있었다. 그러나 피복에서 결합이 발생하면 음극방식 전류를 가하지 않았을 때보다 박리가 빠르게 발생한다는 연구보고⁶⁾도 있다. 즉, 방식을 위하여 가한 음극 전압이 결합 부위의 박리 작용을 활성화시킬 수 있다는 것이다.

따라서 현재 지하에 매설하여 사용하고 있는 폴리에틸렌 피복 강관에 대한 음극 박리에 대한 저항성 실험을 실시하여 피복에 대한 품질을 비교 평가해 보았다.

2. 실험 방법

2.1 실험 방법

가. 시편 준비

실험에 사용한 시편은 분말용착식 폴리에틸렌 피복 강관(KS D3607)과 압출식 폴리에틸렌 피복 강관(KS D3589)이다. 압출식 폴리에틸렌 피복 강관은 점착제를 사용하는 대구경 피복 강관(P1H)과 점착제를 사용하는 소구경 피복 강관(P2S)으로 나누어 실험을 실시하였다. 그리고 각각의 배관은 전체 원통형 모양으로부터 가로×세로가 100mm×150mm인 판이 되도록 절단하였다. 피복된 부분을 제외한 배관의 다른 부분은 전기가 통하지 않도록 절연처리를 하였다.

나. 실험 방법

먼저 각각의 시편은 실험하기 바로 전에 시편의 중심부에 지름이 6mm인 홀(hole)을 강관의 폴리에틸렌 피복 층을 통과하여 강 표면이 노출되도록 뚫었다.

음극 박리 실험은 각각 20°C와 65°C의 온도에서 수행하였다. 먼저 65°C의 온도에서 실험하기 위하여 시편을 셀 안에 넣은 후 실험 온도로 미리 예열한 3% NaCl 용액 2 l를 흡이 잠기도록 셀 안에 넣었다. 그리고 온도 조절이 가능한 항온 수조(water bath)안에 셀을 넣어서 65°C의 실험 온도를 유지할 수 있도록 하였다. 셀은 수용액의 증발을 줄이기 위하여 PVC 덮개를 사용하였다. 또한 20°C의 온도에서의 실험은 시편의 홀 위에 셀을 놓고 점착제로 점착시킨 후 셀 안에 3% NaCl 용액을 높이 50mm까지 채웠다.

그리고 전압을 인가하기 위하여 각각의 셀 안에 전극을 넣고 직류 전원장치로부터 양극선을 전극에 연결하고 실험 시편에는 음극선을 연결하였다. 포화 황산동 전극(SCE) 기준으로 시험 시편이 각각 -1.0V, -1.5V, -2.0V가 되도록 음분극 시켜주었고 용액의 pH는 6~8.5 사이로 유지하였다. 용액의 상태는 필요하면 증류수를 첨가하여 일정하게 유지하였다. 또한 탄소 전극은 홀로부터 일정한 거리에 떨어진 곳에 있도록 하였으며 각각의 시편은 실험이

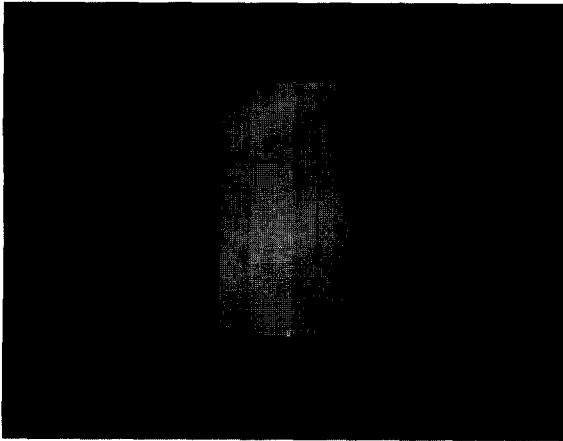


Fig. 1. Test specimens

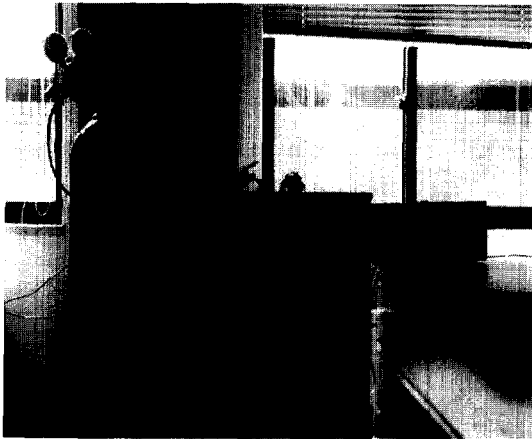


Fig. 2. Test equipment

끝날 때까지 설정된 인가 전위를 유지하도록 하였다. 20°C의 온도에서는 28일(672hr) 동안 전압을 가하여 음극 박리 현상을 관찰하였으며 65°C의 온도에서는 7일(168hr) 동안 유지시켰다. 65°C의 온도에서 실험한 경우 산소에 대한 영향을 가급적 배제하기 위하여 질소가스를 실험이 끝날 때까지 주입하였다. 실험이 끝난 뒤 시편을 셀로부터 해체하고 시편을 20±3°C에서 1시간동안 서서히 냉각시켰다. 그리고 1시간이내에 음극 박리 면적을 계산하였다. 박리된 면적은 그림 3에 나타낸 것처럼 홀을 중심으로 균등하게 방사상으로 8개의 컷(cut)을 만들었다. 이 컷은 홀의 중앙에서 25mm 이상 절단하였다.

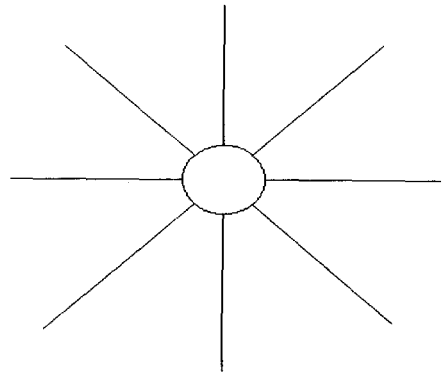


Fig. 3. Example of radial cuts through the coating

홀에서 피복 밑으로 유틸리티 나이프 날의 가장 자리를 넣은 후 폴리에틸렌을 들어낸 후 피복을 대략 25mm 벗겨내었다. 각각의 방사상 컷을 따라서 초기의 홀 중심부로부터 박리된 거리를 측정하고 이 값의 평균을 내어 박리 면적을 계산하였다.

박리된 표면은 주사전자현미경(XL30, Philips)과 EDS(Energy Dispersive Spectrometer)를 사용하여 조직 관찰 및 성분 분석을 실시하였다.

3. 실험 결과

3.1 음극 박리 결과

3.1.1 65°C에서 실험한 경우

65°C, 3% NaCl 수용액에 시편을 7일(168hr) 동안 넣어 실험한 경우 그 결과를 다음 표 1과 그림 4에 나타내었다.

Table 1. Cathodic disbonding test results in 65°C, 3% sodium chloride solution

pipe	applied voltage	disbonded area(mm ²)			비고
		-1.0V	-1.5V	-2.0V	
KS D3607		56.9	65.6	66.8	
KS D3589					
- P2S*		×	×	×	점착제가 녹아 나옴
- P1H		2,291.0	2,943.7	3,088.9	

*주) 실험온도가 점착제의 연화점(softening point, 60°C 이상)보다 높아 점착제가 녹아 나옴

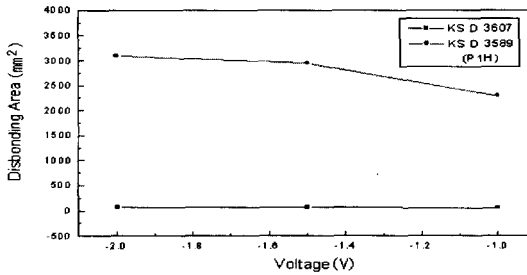


Fig. 4. The variation of disbonded area with applied voltage in 65°C, 3% NaCl solution

가. 박리 면적

박리 면적은 각각의 인가전압에서 3회의 실험을 반복하여 그 값을 평균한 결과이다.

나. 박리 모양

음극 박리 실험 후 각각의 시편의 박리 모양은 다음 그림 5와 같다.

다. 박리 표면

인가 전압이 -1.5V인 경우의 박리 단면의 주사전자현미경 사진을 그림 6에 나타내었다. KS D3589 (P2S)의 경우에는 점착제가 완전 용융되어 다른 시편에 비하여 강관 표면에 심한 부식 흔적을 나타내고 있다.

라. 박리 표면의 EDS(Energy Dispersive Spectrometer) 분석 결과

박리 표면에 대하여 홀 내부(A)와 박리된 부분(B)을 EDS를 이용하여 분석하였다. KS D3607 시편의 박리된 표면(B)에서는 KS D3589보다 산소(O)의 검출량이 많이 나타났다.

3.1.2 20°C에서 실험한 경우

20°C, 3% NaCl 수용액에 시편을 넣어 28일 동안 실험한 경우 그 결과는 다음 표 2와 같다.

가. 박리 면적

박리 면적은 다음과 같다.

4. 고 찰

4.1 65°C에서 실험한 경우

가. 박리 면적

인가전압에 따른 박리 면적은 분말용착식 폴리에

Table 2. Cathodic disbonding test results in 20°C, 3% sodium chloride solution

pipe	applied voltage	disbonded area (mm)		
	-1.0V	-1.5V	-2.0V	비고
KS D3607	88.6	88.6	88.6	
KS D3589				
- P2S	66.8	104.5	66.8	
- PIH	2,613.8	2,613.8	2,613.8	

틸렌 피복 강관(KS D3607)의 경우 전위가 -1.0V 일 때 보다 -1.5V일 때 증가되었고 -2.0V인 경우에는 -1.5V일 때에 비해 증가폭이 크게 감소되었다.

이는 T. Kamimura와 H. Kishikawa의 실험⁵⁾과 동일한 결과로서 실제적으로 -1.5V의 전압에서는 활발하게 수소가 방출되고 수소 방출로 인하여 피복 밑에서의 전류 흐름이 제한되어 용존 산소 농도가 감소하게 된다. 따라서 이러한 용존 산소의 감소로 인하여 음극 박리가 서서히 진행된다는 것이다. 즉 -1.5V~-1.0V 사이의 전압에서는 전압이 증가함에 따라서 음극 박리 면적이 증가하다가 -1.5V 이하의 전압에서는 점차적으로 음극 박리 면적 증가폭이 감소하게 된다.

압출식 폴리에틸렌 피복 강관(KS D3589)중 점착제를 사용한 배관(P2S)에 대한 실험 결과는 65°C의 온도가 점착제의 용융점(melting point)인 60°C 이상 보다 높아서 홀 주변의 점착제가 녹아 나와 박리 면적을 구할 수 없었다.

압출식 폴리에틸렌 피복 강관(KS D3589)중 점착제를 사용한 배관(PIH)은 인가전압이 증가함에 따라 박리 면적에는 큰 변화가 없었다.

대구경 배관용 압출식 폴리에틸렌 피복 강관(PIH)은 다른 종류의 폴리에틸렌 피복 강관 보다 현저히 나쁜 음극 박리 저항성을 나타내었다. 실제로 박리된 면적은 캐나다 기준(CAN/CSA Z245.21-M92)에서 제한하는 즉 반경이 최대 15mm 이내이어야 한다는 허용기준을 훨씬 초과하였다. 이는 인가된 전압에 관계없이 모든 실험에서 같은 결과를 나타내었는데 배관과 피복을 점착하기 위하여 사용한 폴리에틸렌 계통의 점착제에 대하여 신중하게 검토할 필요성이 있다고 생각된다.

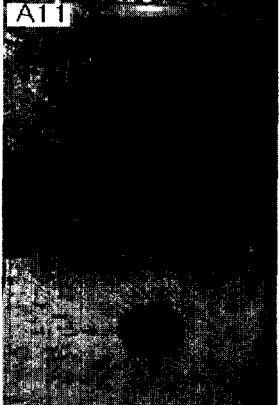
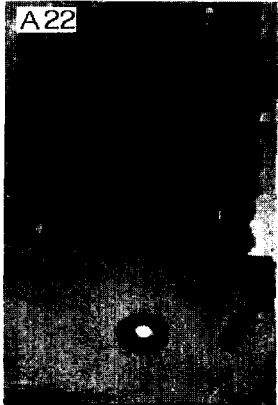
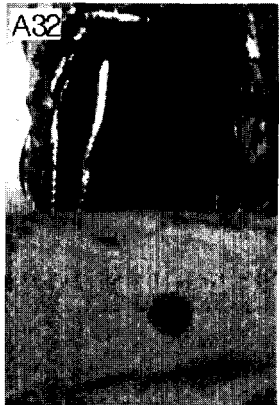
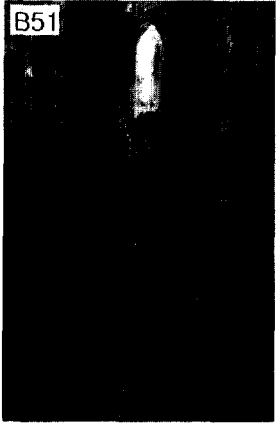
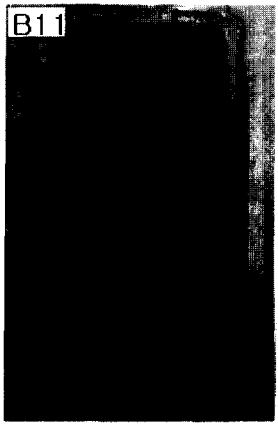

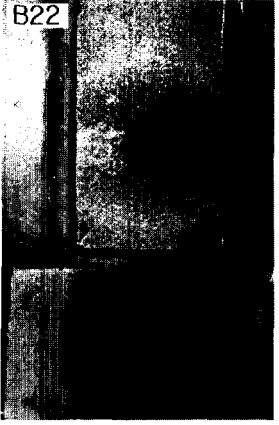
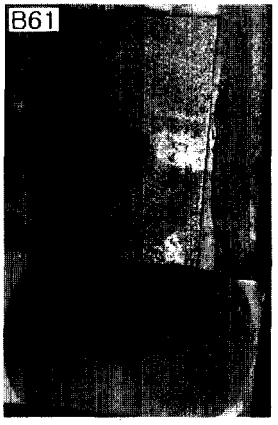

applied voltage pipe	-1.0V	-1.5V	-2.0V
KS D3607			
KS D3589 - P2S			
KS D3589 - P1H			

Fig. 5. Photographs of the specimens after cathodic disbonding test in 65°C, 3% NaCl solution


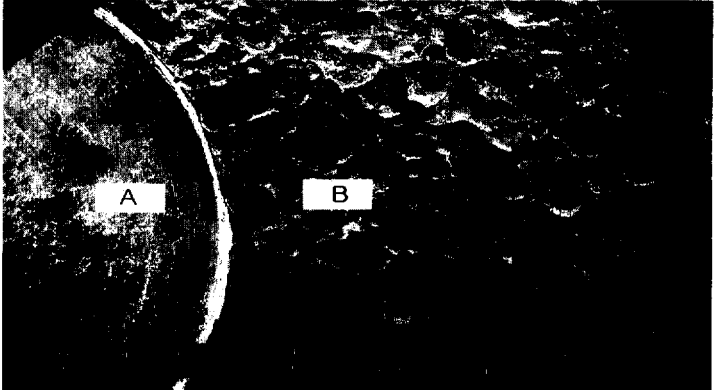
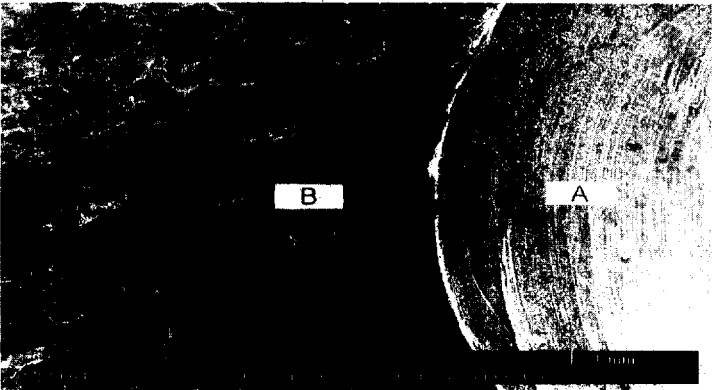
<p>KS D3607 (Disbonded Area : 65.6mm²)</p>	
<p>KS D3589 - P2S (Disbonded Area : 점착제 용융에 의해 측정 불가)</p>	
<p>KS D3589 - P1H (Disbonded Area : 2,944mm²)</p>	

Fig. 6. SEM photographs of the specimens after cathodic disbonding test on -1.5V applied voltage in 65°C, 3% NaCl solution(A: hole inside, B: disbonded area)

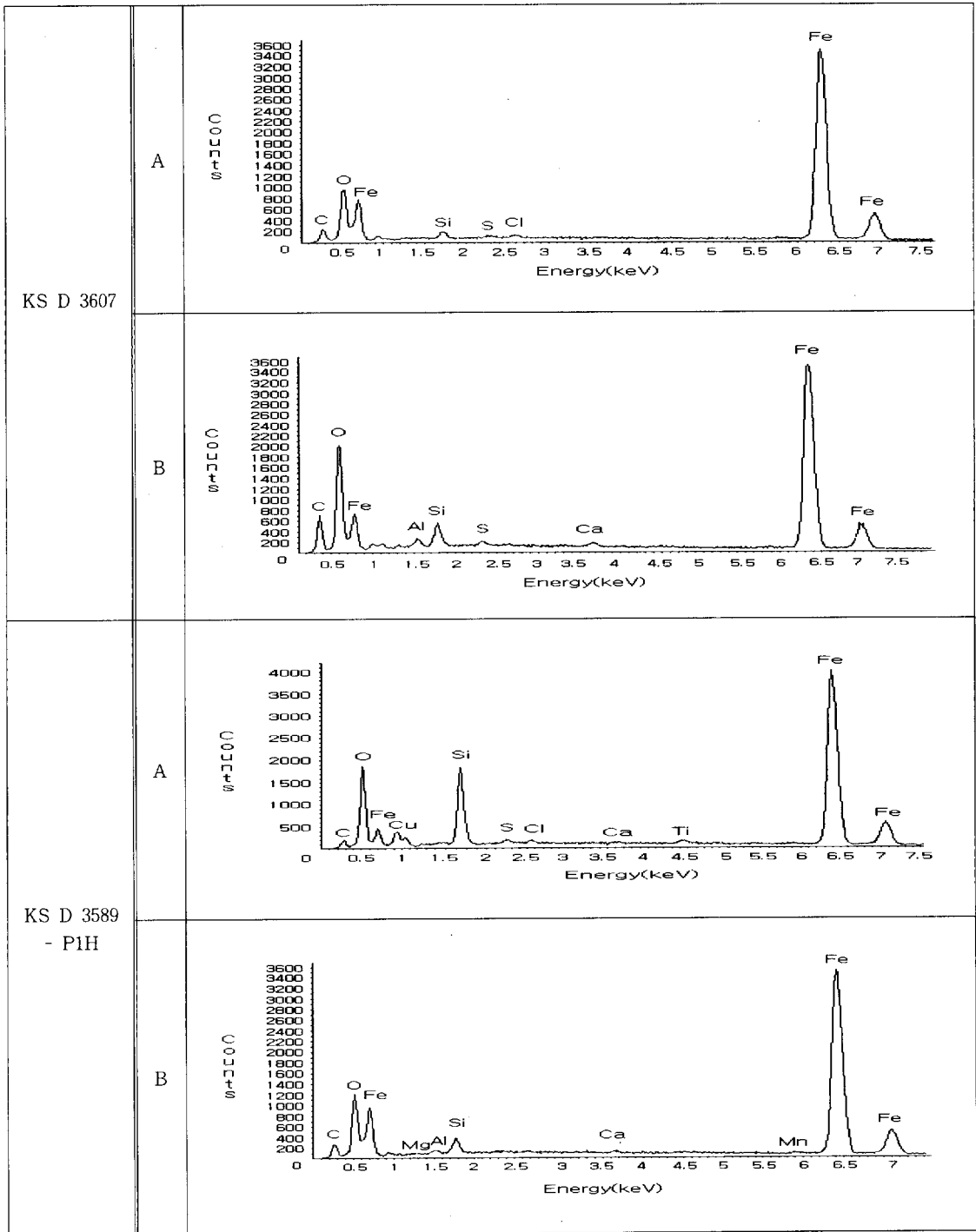


Fig. 7. EDS analysis results of disbonded area on -1.5V applied voltage in 65°C, 3% NaCl solution(A: hole inside, B: disbonded area)

나. 박리 표면

박리 표면을 주사전자 현미경으로 관찰한 결과 분말용착식(KS D3607) 시편과 압출식(KS D3589) 중 접착제를 사용한 배관(P1H)의 경우에는 접착제의 흔적이 남아 있으나 접착제를 사용한 배관(P2S)의 박리 표면에는 접착제의 완전 용융으로 인하여 다른 시편에 비하여 박리 표면이 심하게 부식된 흔적을 관찰할 수 있었다.

홀 내부(A)와 박리된 부분(B)의 박리 표면에 대한 EDS 분석 결과 분말용착식(KS D3607)의 경우에는 홀 내부 보다 박리된 부분에서 산소가 많이 측정된 것으로 보아 이때의 산소는 접착제 성분으로 추정된다. 그리고 이러한 산소와 음극 박리 저항성과의 관계에 대해서는 이후에 더 자세한 연구가 필요한 것으로 생각된다.

4.2 20°C에서 실험한 경우

가. 박리 면적

인가전압에 따른 박리 면적을 살펴보면 분말용착식(KS D3607)과 압출식(KS D3589) 모두 인가전압에 따른 박리 면적의 영향은 거의 없었다. 즉 -1.0V, -1.5V, -2.0V를 가했을 때 세가지 종류의 파이프 모두 인가전압에 관계없이 동일한 박리 면적 값을 나타내었다.

접착제를 사용한 압출식 폴리에틸렌 피복 강관(P1H)은 65°C의 온도에서 실험한 결과와 마찬가지로

Table 3. Acceptance criteria of cathodic disbondment of the coating

	Test method	Acceptance criteria
KS D3607	28 days in 23°C 3% NaCl solution	disbonded area shall be smaller than 7500mm ²
CAN/CSA -Z245.21-M92	minimum 48 hours in 65°C 3% NaCl solution 28 days in 20°C 3% NaCl solution	15mm maximum radius
NF A 49-705	28 days in 20°C 3% NaCl solution	disbonded area shall be smaller than 7500mm ² (only polyethylene coated steel pipes by powder fusion)
DIN 30670	100 days in 23°C 3% NaCl solution	coating resistivity shall be not less than 10 ⁸ Ωm ²

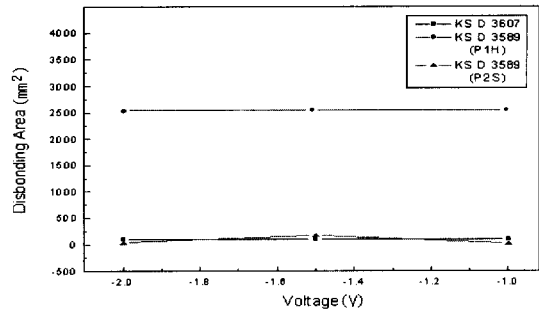


Fig. 8. The variation of disbonded area with applied voltage in 20°C, 3% NaCl solution

로 다른 종류의 배관과 비교했을 때 음극박리에 대한 저항성이 현저히 낮았다.

현재 국내 기준은 프랑스 기준을 인용하여 음극 박리 면적에 대하여 허용 기준을 박리 면적이 7,500 mm² 이내이도록 규정하고 있다. 그러나 이 기준은 국내 배관의 음극박리 저항성에 대한 시험 결과를 검토해볼 때 보완할 필요가 있다고 생각된다. 즉 캐나다에서 규정하고 있는 것과 같이 최대 박리 반경이 15mm 이내(박리 면적이 675mm² 이하)로 보완해야 할 것이다. 참고로 표 3에 각국에서 실시하고 있는 음극 박리의 시험 방법과 허용 기준을 나타내었다.

5. 결 론

본 연구에서는 분말용착식 폴리에틸렌 피복 강관과 압출식 폴리에틸렌 피복 강관에 대하여 음극 박리 저항성에 대한 실험을 실시하였다.

65°C, 3% NaCl 수용액에서 7일간 실험한 결과 분말용착식 폴리에틸렌 피복 강관은 인가전압이 증가함에 따라 박리 면적이 많이 감소하였으나 압출식 폴리에틸렌 피복 강관은 인가전압이 증가함에 따라서 큰 변화가 없었다. 그러나 압출식 폴리에틸렌 피복 강관중 접착제를 사용한 배관[P2S(접착제/방식폴리에틸렌/포장폴리에틸렌)]은 홀 주변의 접착제가 녹아 나와 박리 면적을 구할 수 없었다.

또한 접착제를 사용한 압출식 폴리에틸렌 피복 강관(P1H)은 분말용착식 폴리에틸렌 피복 강관보다 훨씬 나쁜 음극 박리 저항성을 나타냈으며 캐나다 등에서 허용하는 기준을 크게 초과하였다.

20°C, 3% NaCl 수용액에서 28일 동안 실험한 결과 인가전압에 따른 박리 면적은 큰 차이가 없었다. 그러나 65°C에서의 실험 결과와 마찬가지로 압출식 폴리에틸렌 피복 강관중 접착제를 사용한 배관(P1H)은 다른 배관에 비하여 현저히 나쁜 음극 박리 저항성을 나타내었다.

따라서 현재 분말용착식 폴리에틸렌 피복 강관에 대해서만 규정하고 있는 “음극 작용 하에서의 박리 면적”에 대한 요구 사항을 압출식 폴리에틸렌 피복 강관에 대해서도 적용할 필요성이 있다.

References

1. KS D 3607-1990
2. KS D 3589-1994
3. ASTM G8-96, Standard Test Methode for Cathodic Disbonding of Pipeline Coatings, pp.634-641.
4. ASTM G42-96, Standard Test Methode for Cathodic Disbonding of Pipeline Coatings Subjected to Elevated Temperatures, pp.679-685.
5. T. Kamimura and H.Kishikawa, *Corrosion*, Vol.54, 979 (1998).
6. J. H.Payer, B. Trautman, D. Gervasio, and I. Song, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* Vol.304, pp.21-26.
7. CAN/CSA-Z245.21-M92, External Polyethylene Coating for Pipe.
8. DIN 30670, Polyethylene coatings for steel pipes and fittings, Berlin, Germany: Beuth Verlag, GmbH, a subsidiary of the German Institute for Standardization [DIN] (1980).
9. NF A 49-705, Steel tubes external polyethylene coating application by powder fusion, Paris, France: French Standards Organization [AFNOR] (1992).
10. D. Fairhurst, BP International, Sunbury-on-Thames and D. Willis, *Journal of Protective Coating & Linings*, March, pp.64-82 (1997).
11. Richard W. Geary, *Material Performance*, January, pp.43-45. (2000).
12. Robert M. Nee, Paper No.372, CORROSION92, pp.372/1-372 /12. (1992).