

지하매설배관의 분극전위 관리기준 필요성

이종락, 최경석, 조영도, 강태연
한국가스안전공사 가스안전시험연구원

Cathodic Protection Criteria Based on Probe Potential for Buried Protected Pipelines

Jong-Rark Lee, Kyung-Suhk Choi, Young-Do Jo and Tae-yeon Kang
Institute of Gas Safety Technology, Korea Gas Safety Corporation

1. 서론

최근 국내뿐만 아니라 일본 등의 외국에서는 에너지 수요의 증대에 대응하기 위하여 전력의 경우는 고압송전선의 증설, 가스의 경우는 매우 높은 피복저항값의 피복재를 가진 배관을 매설하고 있다. 그러나 매설용지의 확보의 어려움 때문에 배관이 고압가공송전하를 통해 장거리에 걸쳐 병행, 매설되는 경우가 많다. 지하에 매설된 배관의 부식방지를 위해 희생양극법, 외부전원법 등의 전기방식, 방식피복 그리고 간섭대책방법으로 배류기에 의하여 매설배관을 보호하고 있지만, 매설배관을 둘러싼 환경이 다양화, 복잡화되어 Fig.1에 나타낸 것처럼 배관의 리스크 발생 위험도 그만큼 증가하고 있다.

이러한 리스크에 대한 안전성 판정기준으로는 관대지전위(P/S)가 -850mV 기준을 사용하고 있지만, 배관의 매설환경의 변화에 따라서 간섭방지, 과방식방지 등과 같은 새로운 문제가 발생하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 종래의 관대지전위만을 지표로 한 음극방식관리에는 어느 정도 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 간섭방지를 위한 국내외의 연구 동향 분석, 프로브전극 등을 이용한 배관의 분극전위 평가 및 음극방식기준에 대하여 비교·검토하였다.

2. 분극전위 측정에 의한 매설배관의 건전성 평가 기술 현황

매설배관의 음극방식효율을 평가하는 방법으로는 배관의 방식전위, 즉 관대지전위(pipe-to-soil potential, P/S)를 측정하여, 이 전위가 -850mV(CSE) 보다도 마이너스이면 방식상태가 양호하다고 판정하는 것이다. 그러나 지하철에 의한 간섭, 타시설물에 의한 간섭이 심한 지역에서는 IR-drop성분을 배제한 분극전위

(Polarized potential 또는 off-potential)를 측정하여 매설배관의 정확한 배관전위를 판정할 필요가 있다.

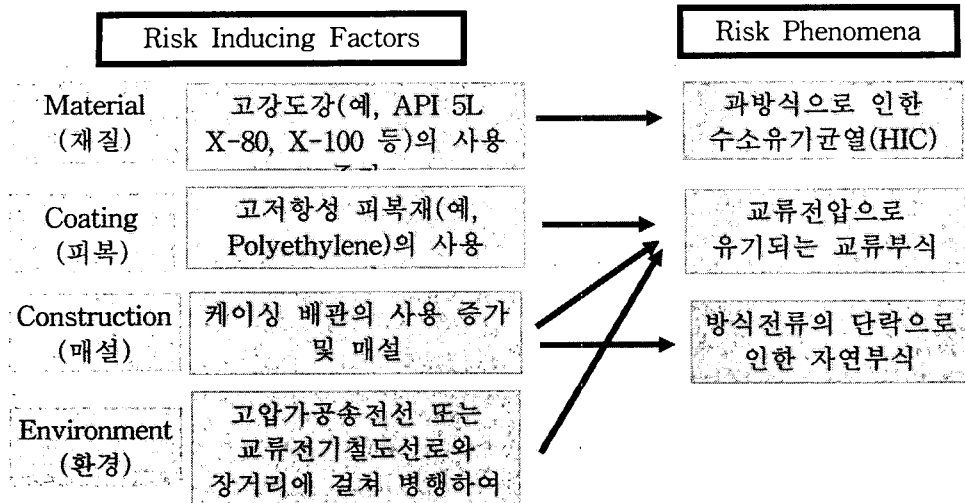


Fig.1 Risk inducing factors and risk phenomena for cathodically protected pipelines

2.1 분극전위측정에 매설배관의 안전성 평가(국내)

분극전위 측정을 위하여 개발된 전극은, 여러 가지 형태가 있지만, 배관과 동일한 재료의 금속의 노출면을 가지고 있다. 전극의 금속면에서 리드선을 배관과 접촉하면 전극은 피복재결함과 등가인 전기회로를 형성하기 때문에 분극측정용 전극을 이용하여 계측을 실시함에 따라 배관 부근의 방식상태를 파악할 수 있다.

Fig.2는 통상적으로 사용되는 관대지전위와 IR-Free 전극에 의한 분극전위 거동을 EPR로 측정된 결과를 나타낸 것이다. 분극전위의 측정값은 $-1,600\text{mV} \sim -2,300\text{mV}$ 의 범위로 평균전위는 약 $-2,000\text{mV}$ 이었는데 비하여, 관대지전위(P/S)의 측정값은 $-2,700\text{mV} \sim -5,300\text{mV}$ 의 범위로 변동폭이 크며, 평균전위는 약 $-4,100\text{mV}$ 를 나타내었다.

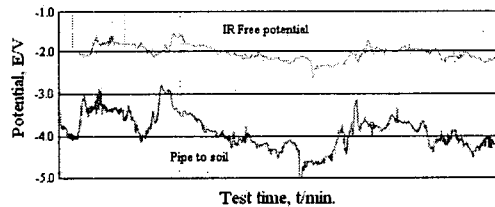


Fig.2 The Change of polarization potential and pipe-to-soil potential with test time measured by EPR.(2003.5).

Fig.3은 외부전원법으로 전기방식을 실시하고 있고, 지하철 간섭을 받고 있는 지역에서 관대지전위와 IR-Free 전극에 의한 분극전위(평균) 거동을 측정시간에 따라 정리한 것이다. 측정초기에는 관대지전위와 분극전위와의 차이는 약 $1,200\text{mV}$ 이었으나, 시간경과에 따라서 두 전위는 안정되어 가는 경향을 보이고

있으며, 전위는 450mV의 차이를 보였다. 이 결과로부터 관대지전위의 측정값에는 전해질의 저항값이 포함되어 있으므로, 실제배관의 전위를 평가하기에는 과대평가 될 우려가 있다. 여기에서 분극전위값이 초기에 높은 값을 보이는 것은 분극전극내의 전기회로의 형성이 불안정하기 때문이며, 시간이 경과할수록 분극이 안정이 되어 분극전위값이 일정하게 되었다.

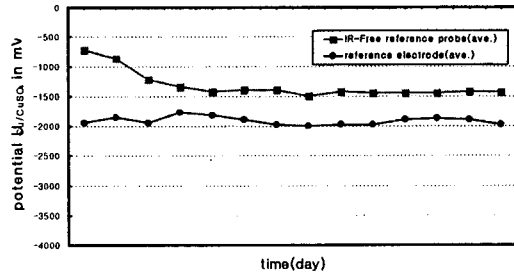


Fig.3 The Change of polarization potential and pipe-to-soil potential with test time.

2.2 프로브전극을 이용한 계측 및 방식상태 평가(일본 동경가스)

외부전원법으로 전기방식을 실시하고 있는 배관에 교류전압이 유도된 상황에 대한 프로브전류밀도의 교류유도 전후의 계측결과를 Fig.4에 나타내었다. 이때의 data샘플링시간은 0.1ms이다. 프로브와 파이프를 OFF한 시점을 시간 0으로 하였고 ON상태의 시간을 마이너스로, OFF상태의 시간을 플러스로 정리하였다. 프로브전류밀도의 경우, 플러스는 프로브에 전류가 유입하는 방향(방식방향)을, 마이너스는 프로브로부터 전류가 유출하는 방향(부식방향)을 의미한다. 교류유도의 저감대책으로는 마그네슘양극을 사용하였다. 방식대책 이전에는 프로브OFF전위는 충분한 방식관리전위를 만족함에도 불구하고 프로브교류전류밀도는 10.5 mA/cm²로 매우 높다. 대책전후의 프로브전류는 50Hz의 주기성이 매우 좋은 상태를 보였다. 대책을 실시한 후 교류유도전압은 1.73V rms에서 0.76V rms로 저하하였다. 프로브OFF전위는 -1.29V(대책이전), -1.34V(대책이후)로 안정된 방식전위범위이내의 값을 나타내었다.

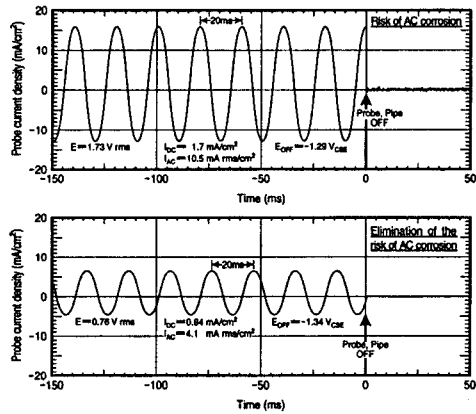


Fig.4 Probe current density under induced AC voltage (Above: risk of AC corrosion, Below: after countermeasures against AC corrosion)⁷⁾

3. 음극방식관리기준 검토

3.1 관대지전위를 목표로 한 음극방식관리기준

1982년 Kuhn에 의해 강제배관의 음극방식관리기준으로 관대지전위를 -850mV

(CSE)보다도 마이너스로 해야 한다고 의견이 제기되었다. 이후 각국의 강제배관 또는 항만구조물의 방식기준으로 반영되어 왔다. 일반적으로는 강제배관의 관대지전위는 조합전극에 대한 강제의 전위차로 계측되지만, 이 경우 강제배관과 조합전극간의 전압강하분이 실측치에 포함되어 있다. Kuhn의 기준에는 이 전압강하분이 포함되어 있지 않는 값이다. 전위계측시 전압강하분을 제거하는 방법은 다음에 서술하는 프로브를 이용하는 방법이 있지만, 실제 현장에서 방식관리를 담당하고 있는 입장에서는 프로브 이용에 대한 복잡함 등의 이유로 지표면 등에 조합전극을 설치하여 계측하는 전압강하분을 포함한 관대지전위(이하 “ON전위” 또는 “프로브ON전위”라고 칭함)를 지표로 하는 관리가 일반적인 상황이다.

3.2 프로브를 이용한 음극방식관리

Kasahara, Baeck등은 프로브를 이용한 음극방식관리방법을 개발하였다. 프로브는 피복재결합을 가상하여 만들어 졌으며, 여러 가지 형태가 있지만 배관과 동일한 재질의 금속의 노출면을 가지고 있다. 이를 세부적으로 살펴보면 먼저 배관 부근의 환경에 프로브를 매설하여 금속노출면이 환경과 접촉하도록 한다. 프로브 금속면에서 리드선을 배관과 접속하면 프로브는 피복재결합과 등가인 전기회로를 형성하게 된다. 따라서 프로브를 이용하여 계측을 실시함에 따라 배관 부근의 피복재결합의 상황을 파악할 수 있다.

3.3 교류부식방지기준에 관한 검토

교류유도전압은 피복재결합부에 대하여 교류유도전류를 발생시켜 교류부식을 초래하는 원인이 된다. NACE에 의하면, 인체의 안전을 확보하기 위하여 교류유도전압의 상한치를 15V로 하는 것을 권장하고 있다. 그러나 교류유도전압은 기준전극의 위치에 따라서 값이 변하는 점과 측정케이블에의 교류유도의 영향을 고려하면, 데이터의 신뢰성은 낮다. 무엇보다도 교류부식속도와 밀접하게 관계가 있는 교류유도전류는 교류유도전압 및 토양비저항으로 결정되기 때문에 교류유도전압 단독으로는 정량적인 관리기준으로는 적합하지 않다. 中村의 연구결과에 의하면, 교류전류밀도가 70A rms/cm²이상인 경우에는 유입직류전류밀도, 즉 방식전류밀도의 크기에 의존하지 않고 교류부식이 발생할 수 있다고 보고하고 있다.

교류부식의 리스크를 평가하기 위해서는 프로브를 이용하여 프로브교류전류밀도를 측정할 필요가 있다. 최근 구미의 여러 국가에서는 교류부식을 평가할 시에는 프로브교류밀도를 고려할 필요가 있다는 인식이 확산되고 있다. Helm의 연구결과에 의하면, 교류전류밀도가 20A/m²미만인 경우에는 종래의 기준을 사용하여도 거의 교류부식은 발생하지 않으며, 20~100A/m²의 범위에서는 교류부식이 발생할 가능성이 있고 100A/m²를 초과하면 부식이 발생할 수 있다고 보고하였다. Ragault에 의하면, 교류부식의 평가에는 교류전류밀도, 교류전류밀도와 직류전류

밀도와 의 비, 2개가 중요한 파라미터라고 보고하고 있다.

3.4 과방식기준에 대한 검토

배관의 철도횡단부 혹은 인접부에서 누설전류 등의 간섭을 받는 구간에서는 배류기 혹은 외부전원법으로 대책을 실시하고 있으며, 최근에는 외부전원의 제어기술의 발달로 간섭영향을 일으키는 높은 전위발생을 저지하는 것은 어느 정도 가능하게 되었다. 그러나 역으로 과대한 방식전류의 유입에 의한 과방식의 위험은 증가하였다. 과방식상태라 함은

음극반응의 결과로 생성되는 알칼리(OH⁻)에 의해서 피복재결합부 부근의 피복재의 결합력이 저하하여 초래하는 음극박리 혹은 음극반응으로 인한 수소가 강의 내부로 침입하여 발생하는 수소응력균열 등이 발생하는 현상이다.

과방식방지기준으로는 여러 가지 제안이 있지만 정설은 없는 형편이다. 어느 경우에도 과방식이 일어날 우려가 있는 지점에는 방식전류에 기인하는 전압강하(IR)분이 매우 큰 값이 되므로 통상적인 관대지전위 값으로 과방식 정도를 평가하기에는 한계가 있다(Fig.5 참조). 과방식관리에는 프로브를 이용하는 것이 최적이다. 그러나 프로브전극을 이용한 계측의 장점에도 불구하고 피복재의 음극박리 혹은 수소유기균열 등과 같은 과방식리스크를 배제한 과방식방지기준에 대하여는 실험검증의 어려움이 있어 아직까지 통일된 견해를 얻을 수 없는 상황이다.

3.5 향후의 음극방식관리기준

현재 사용하고 있는 관대지전위를 기준으로 하는 음극방식관리의 경우 실측한 값에는 전압강하분이 포함되어 있음을 고려해야 한다. 전압강하분 제거 방법으로는 프로브를 이용하는 방법이 있으며, 이 방법에 의해 측정되는 프로브OFF전위는 배관의 음극방식상황을 보다 정확히 판단할 수 있는 인자라고 할 수 있다. 그러나 간섭 혹은 과방식의 우려가 있는 경우에는 프로브전류밀도에 의하여 평가할 필요가 있다. 프로브전류밀도(직류 및 교류)를 계측함으로써 방식전류의 유입 상황을 직접적으로 평가할 수 있는 장점이 있다[7-9]. 이들을 종합적으로 판단해보면 배관의 건전성을 판단하기 위해서는 프로브전류밀도를 목표로 하는 음극방식관리가 유효하다.

4. 맺음말

최근 매설배관에 대한 매설환경의 변화에 따라 교류부식, 과방식 등으로 인한

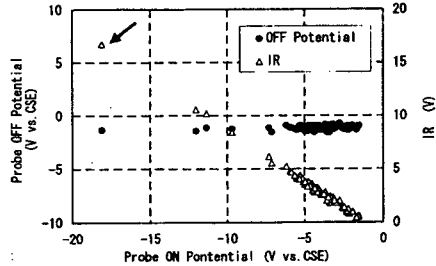


Fig. 5 The relationship among probe OFF potential, probe ON potential and IR. ⁸⁾

배관의 리스크가 발생할 확률이 증가하고 있다. 이에 따라 리스크의 유무를 판단하기 위한 방식관리기법도 새로운 환경에 대처하도록 변화하여야 한다.

현재의 음극방식기준만으로는 간섭 및 과방식에 대한 배관의 유효성을 평가하기에는 한계가 있다. 교류부식 및 과방식 우려가 있는 배관의 경우는 상기에서 검토한 프로브전류밀도를 가지고 배관의 안전성을 판단하는 것이 적절하다. 또한 리스크가 없는 일반 토양매설배관의 경우는 현재 사용되고 있는 관대지전위(혹은 프로브ON전위)를 사용하여 방식관리를 하여도 충분할 것으로 판단된다. 프로브를 이용한 음극방식관리방법은 구미에서도 계속 보급되고 있으며 이는 세계적인 추세라고 말할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구 결과의 일부분은 한국가스공사의 연구비 지원으로 수행하였으며, 이에 감사 드립니다.

참고문헌

- 1 NACE Standard RP0177-2000, Mitigation of Alternating Current and Lighting Effects on Metallic Structures and Corrosion Control Systems
- 2 NACE Standard RP0169-1996, Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping
- 3 Y. Hosokawa etc., New Cathodic Protection Criteria Based on DC and AC Current Densities Measuring Using Probes for Buried Steel Pipelines, Zairyo-to-Kankyo, 51,221(2002)
- 4 W. Prinz, AC Induced Corrosion on Cathodically Protected Pipelines, UK Corrosion '92, 1 (1992)
- 5 I. Ragault, AC Corrosion Induced by VHV Electrical Lines on Polyethylene Coated Steel Gas Pipelines, NACE International, Corrosion '98, Paper No.557(1998)
- 6 細川 裕司, 梶山 文夫, 프로브電流密度를 指標としたカソード防蝕管理基準, 第48回材料と環境討論會講演集 JSCE (2001)
- 7 梶山 文夫, 細川 裕司, 中村 康郎, 土壤埋設パイプラインのとその交流腐食管理, 第48回材料と環境討論會講演集 JSCE, D-301, 541 (2001)
8. 細川 裕司, 梶山 文夫, 中村 康郎, 프로브電流密度를 指標とした土壤埋設パイプラインのカソード防蝕管理基準に関する検討, 材料と環境, 51(5), 221(2002)
9. 송홍석, 김영근, 이성민, 고영태, 박용수, 교류가 유도되는 매설배관에서의 쿠펴을 이용한 교류부식속도 측정에 관한 연구, 한국부식학회, Vol.20, No.2, 95(2001)