

## 전위구배법을 이용한 매설배관의 피복손상부 탐지(II)

조용범 · 고영태 · 이선엽 · 전경수 · 박경완

한국가스공사 연구개발원

### Coating Defects Survey on Buried Pipelines by Voltage Gradient Technique

Y. B. Cho, Y. T. Kho, S. Y. Li, K. S. Jeon, K. W. Park

R & D Center/Korea Gas Corporation 277-1, Il-Dong, Ansan, Kyunggi, Korea

The Corrosion control of buried pipeline is achieved by using combination of protective coating and cathodic protection. The coating system isolates metal from corrosive environments. However the coating is sometimes damaged during construction and degrades with pipeline ages resulting the exposure of bare metal. These coating defects are responsible for the corrosion of coated pipeline and it is important to locate and repair defects in order to maintain pipeline integrity. DC voltage gradient method has been proposed to locate coating defects without digging work. Preliminary work using mock pipe showed that the combination of voltage gradient measurement and current interruption is essential to improve the accuracy of this method. Results of extensive field survey for the KOGAS's pipeline of 1450km has proven that this is a viable method. This study presents our recent approach aiming at the identification of the types of coating defects and their size.

#### 1. 서 론

일반적으로 지하에 매설한 배관은 부식 방지를 위하여 배관 표면에 폴리에틸렌과 같은 비전도성 물질을 피복하여 배관을 부식환경으로부터 보호한다. 하지만 피복재 자체에 핀홀과 같은 자연손상을 때문에 희생양극이나 외부전원법을 이용한 음극방식을 병행하여 사용함으로써 배관을 보호하게 된다. 그러나 원치 않은 타 시설물 공사 혹은 피복의 물성 변화 등으로 인한 피복손상이 발생하는 경우를 가끔 경험할 수 있다. 따라서 이러한 피복손상부를 정확히 진단하여 보수하는 것은 배관의 안전성 유지를 위하여 매

우 필요한 일이다. 매설배관의 피복손상 부위를 굴착하지 않고 알아내기 위하여 전위구배법을 개발하였으며, 이를 이용하여 가스 배관에 실제 적용하여 그 정확성을 평가한 결과 90% 이상의 높은 신뢰도를 나타내고 있었다. 이 방법에 대한 자세한 내용은 전술한 바가 있다.<sup>1,2)</sup>

한편 음극방식으로 배관을 보호하고 있기 때문에 전위구배법을 이용하여 피복손상부의 유형 및 크기를 추정하는 방법이 필요한 설정이다. 그렇게 함으로써 보수가 필요한 부위를 결정할 수 있고 우선순위를 결정할 수 있는 것이다.

본 연구는 매설배관 피복손상부의 크기와 유형을 추정할 수 있는 방법에 대한 기초 실험을

통하여 그 가능성을 알아 보고자 하였다.

음극방식전류는 배관 전체에 균일하게 흐르는 것이 아니고 금속표면이 노출된 피복손상부위에 편중되어 흐르게 된다.<sup>3)</sup> 이는 손상부위의 토양에 대한 저항이 피복이 양호한 부분에 매우 작기 때문이다. 이로 인하여 손상부위 주위에는 전류밀도가 크게 되어 이 부분에 전류의 흐름에 의한 전위구배가 생기게 된다. 피복손상부를 찾기 위해서는 음극방식전류를 주기적으로(일반적으로 on 상태로 1초, off 상태로 3초) 단락시키게 되는데, 이 때 on 상태와 off 상태에서 측정된 관대지 전위의 차이는 토양과 배관 계면에 형성되는 전위강하 성분(VI)과 토양과 배관 계면으로부터 remote earth 사이에 형성되는 전위강하 성분(VS)으로 구성된다. 이를 Fig. 1에 나타내었다. 따라서 측정된 관대지 전위의 차이(VT)는 다음과 같은 간단한 식으로 표현할 수 있다.<sup>4)</sup>

$$VT = VI + VS$$

VT= applied voltage or measured potential shift

VI= potential difference across the pipe/soil interface, i.e., actual potential shift at the pipe/soil interface

VS= voltage or potential difference between the soil side of the pipe/soil interface and remote earth

VI는 실질적으로 배관을 방식하는 부분이며, VS는 토양의 저항으로 인하여 생기는 전압강하분으로 실질적인 배관의 방식에 도움을 주지 못하는 부분이다. 따라서 효과적인 방식을 하려면 VI가 커야 하고, VS가 작아야 하고 VI값을 알면 음극방식의 정도를 알 수 있을 것이다. 하지만 실질적으로 VI값을 구하기란 어려운 일이며 상대적으로 VS값을 구하는 것이 편리하다. 이는

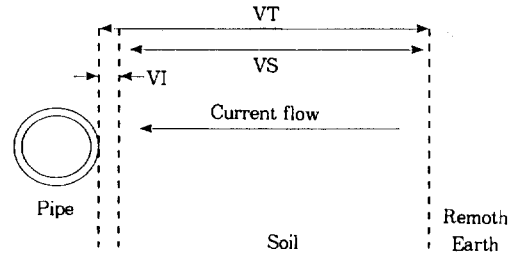


Fig. 1. Schematic illustration of the voltage drop in the cathodic protection of a pipe.

VS와 VI가 서로 상반되는 관계를 가지기 때문이다. 즉 VS값이 커지면 VI값이 작아지고 VS값이 작아지면 VI값이 커져 이들중 VS값만 알면 음극방식 정도를 평가할 수 있는 것이다. 이를 좀더 편리한 방식으로 표현하면 다음과 같이 표현할 수 있을 것이다.

$$\%IR = VS/VT \times 100$$

즉 %IR은 VT에 대한 토양 저항에 의한 전압강하분 VS의 백분율을 표시한 값으로 %IR값이 크면 음극방식 효과가 작은 것이며 피복손상부 크기도 크다고 말할 수 있다. 반대로 %IR값이 작으면 피복손상부 크기가 작다고 말할 수 있는 것이다. Fig. 2에 %IR을 구하기 위하여 VS와 VT를 측정하는 방법을 나타내고 있다. VT는 test box에서 on 상태와 off 상태에서 관대지 전위를 측정하여 그 차이를 측정하면 된다. 그림에서 1000m 간격의 test box에서의 VT가 각각 800mV와 300mV였고 전위 기울기가 일정하다고 보고 피복손상부가 400m 지점에 있었다면 손상부에서의 VT는 600mV라고 할 수 있는 것이다. VS는 피복손상부 지점에서 배관과 수직 방향으로 두개의 기준전극을 이용하여 전위차이가 나지 않을 때까지 측정하여 이들 전위차이를 전부 합한 값이 된다. Fig. 2의 경우 %IR값은 21.1이다. 토양의 저항, 매설 깊이 등 여러 변수가 있지만 %IR값에 따른 피복손상부 크기를 실질적으로 비교하여 참고한다면 %IR값은 피복

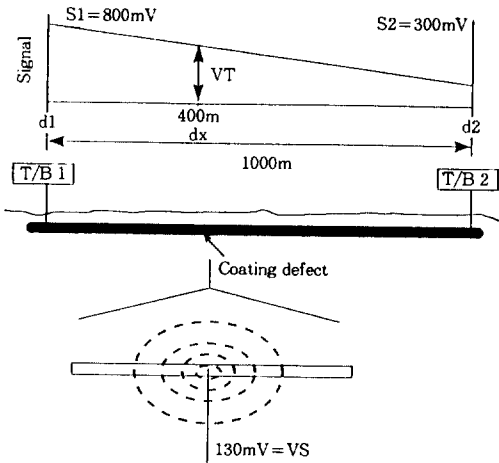


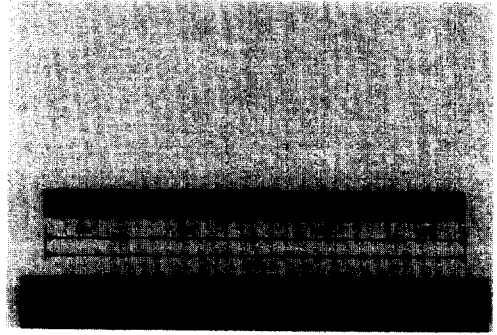
Fig. 2. Measuring the VT and VS.

손상부 크기를 추정할 수 있는 좋은 지수가 될 수 있을 것이다.

## 2. 실험방법

%IR값의 정확도를 알기 위하여 실험용 모의 배관을 매설한 후 실제 배관이 매설되어 있는 환경과 일치시키기 위하여 VT값을 변화시키면서 실험을 행하였다. 이는 실제 배관에 전위구배법을 적용할 때 VT를 일정하게 유지하지 어렵기 때문이다.

실험용 모의 배관은 길이 18m, 지름 5cm로 관 표면은 폴리에틸렌으로 피복되어 있으며 매설 깊이는 약 1m로 하였다. 피복손상부는 Fig. 3에 나타냈듯이 최초 3m 지점에서 6m 간격으로 3가지 종류의 크기와 위치로 인위적으로 피복을 벗겨 높은 상태로 매설하였으며, 외부전원법을 이용하여 음극방식을 적용하였다. 피복손상부에서 %IR값이 on 상태와 off 상태에서의 관대지 전위차이, 즉 VT값의 변화에 따라 어떻게 변화하는가를 알아보기 위하여 VT값을 500, 1,000, 1,500mV로 변화시켜 보았다.



1. Defect (3×3cm), 2. Defect (6×6cm)

Fig. 3. Mock pipeline including various coating defects.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 피복손상부 유형의 구분

전위구배법을 이용하여 매설배관의 피복손상부를 파악하여 굴착확인한 결과 피복손상부는 크게 두가지로 분류할 수 있다. 첫째, 기계적 손상으로 인한 것인데 이는 배관 건설시 부주의로 인한 결함이다. 이 결함은 일반적으로 배관 상부에 있고 결함크기가 작은편이다. 둘째, 부식환경에 놓인 피복재질의 자연 손상으로 인한 crack 유형의 결함이다. 이 결함은 일반적으로 배관의 용접부위를 따라 전파된 형태로 발견되는 것이 보통이다.

Fig. 4는 두 유형의 손상부에서 전위구배법을 이용했을 때 나타나는 전위의 형상을 나타내고 있다. 기계적 손상부에서는 손상부가 비교적 작기 때문에 관대지 전위가 손상부를 전후로 하여 변하며 전위차이의 역전 현상도 이 부위에서 바로 발생하게 된다. 한편 비교적 긴 crack 유형의 손상부에서는 관대지 전위의 변화가 crack 길이만큼의 차이를 두고 변화하게 되며 전위차이의 역전 현상도 crack 길이만큼의 차이를 두고 발생하게 된다. 따라서 전위의 형태를 파악하면 피복손상부 크기는 알 수 없지만 대략적인 손상부의 유형을 파악할 수 있는 것이다.

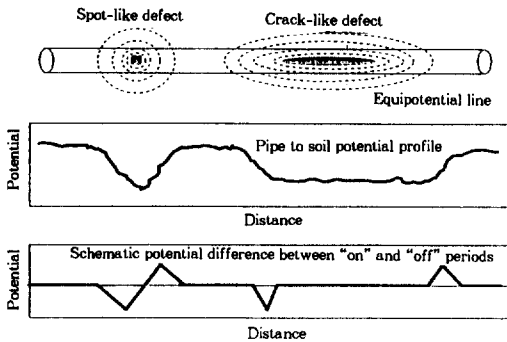


Fig. 4. Comparison of potential profile patterns between spot-like defect and crack-like defect.

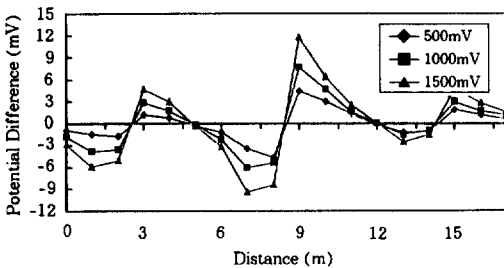


Fig. 5. Potential difference with the magnitude of DC signal.

### 3.2 피복손상부 크기와 손상부에서의 전위차 (전위구배의 크기)

Fig. 5는 전위구배법을 이용하여 손상부 위치를 알고 있는 모의 배관에서 피복손상부 위치를 찾아 본 그림인데 피복손상부에서 정확히 전위 차이가 역전되고 있음을 알 수 있다. 손상부에서 전위차이가 dc 신호(VT) 크기와 손상부 크기에 따라 다른가를 알아보기 위하여 dc 신호 크기를 500, 1,000, 1,500mV로 변화시키면서 전위차이를 측정해 보았다. dc 신호 크기가 같을 때 전위차이는 피복손상부가 가장 큰 9m 지점에서 가장 큰 값을 보였으며 3m 지점과 15m 지점에서는 거의 같은 크기의 전위차이를 보이고 있었다. 또한 dc 신호크기를 증가시키면 피복손상부에서 나타나는 전위차이가 더욱 커지고 있음을 알 수 있다. 하지만 dc 신호 크기에 따

Table 1. VT, VS and %IR at defect in the mock pipeline

Defect location	VT(mV)	VS(mV)	%IR
3m	500	5.8	1.16
	1,000	12.8	1.28
	1,500	18.9	1.26
9m	500	13.7	2.74
	1,000	27.5	2.75
	1,500	42	2.8
15m	500	4.6	0.92
	1,000	8.8	0.88
	1,500	13.6	0.90

른 손상부에서의 전위차이의 크기는 일정한 상관관계가 없었다. 따라서 피복손상부에서 나타나는 전위차이의 값으로는 손상부 크기를 상대적으로 추정하기는 어려움을 알 수 있다.

Table 1은 피복손상부에서 dc 신호 크기에 따라 각각 VS를 구하여 VT, VS와 %IR값을 나타낸 것이다. 표에서 보면 쉽게 알 수 있듯이 피복손상부 크기가 커질 수록(9m 지점의 손상부 크기는 36cm<sup>2</sup>, 3m와 15m 지점의 손상부 크기는 9cm<sup>2</sup>임) %IR값이 증가하고 있음을 알 수 있으며 dc 신호크기와 무관하게 거의 일정한 값을 유지하고 있음을 알 수 있다. 이러한 결과는 피복손상부 크기와 %IR값 사이에는 일정한 관계가 있음을 나타내는 것이다.

본 연구에서는 3종류의 피복손상부만을 대상으로 실험하였기 때문에 %IR값에 따른 손상부 크기를 일정하게 관련 지우기는 어려웠다. 하지만 본 실험의 결과로 보아 %IR값은 피복손상부 크기를 상대적으로 추정할 수 있는 지수로 사용되기에 충분할 것으로 생각되며, 향후 손상부 크기와 %IR과의 관계를 확립하는 연구가 진행될 것이다.

## 4. 결 론

1) 전위구배법을 이용하여 피복손상부 위치를 정확히 찾아낼 수 있었다.

2) 기계적손상부와 crack 유형의 손상부를 전위 형태를 분석함으로써 구별할 수 있었다.

3) 피복손상부에서 나타나는 전위차이 크기로는 피복손상부 크기를 추정하기가 어려웠다. 이는 dc 신호크기와 손상부에서의 전위차이 크기가 일정한 관계를 가지고 있지 않았기 때문이다.

4) %IR값은 피복손상부 크기가 클수록 큰 값을 나타냈으며, dc 신호크기와 무관하게 거의 일정한 값을 나타내고 있어 피복손상부 크기를 추정할 수 있는 지수로서 사용할 수 있다고 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. 조용범, 박경완 등 “전위구배법을 이용한 매설배관의 피복손상부 탐지(I)”, 한국부식학회, 24, 3, 167 (1995).
2. Y. B. Cho, K. W. Park, K. S. Jeon, Y. T. Kho “Coating Integrity Survey Using DC Voltage Gradient Technique at Korea Gas Corporation” Proceedings of The 1st International Pipeline Conference vol. 1, pp. 463-470 (1996).
3. J. M. Leeds, Dec., (1992) “New corrosion detection method for buried pipelines-Part 1”, PIPE LINE INDUSTRY, pp. 48-52.
4. J. M. Leeds and J. Grapiglia “The DC Voltage Gradient Method For Accurate Delineation of Coating Defects on Buried Pipeline” UK CORROSION 90.