



## 외면부식 직접평가법 개발 및 국내 도입 연구

†류영돈 · 이진한 · 윤영기 · 임호석

한국가스안전공사

(2014년 7월 17일 접수, 2014년 10월 2일 수정, 2014년 10월 3일 채택)

### The Development and Introduction of External Corrosion Direct Assessment Measures for Urban Gas Pipelines

†Young-Don Ryou, Jin-Han Lee, Yung-Ki Yoon, Ho-Seok Lim

Korea Gas Safety Corporation

(Received July 17, 2014; Revised October 2, 2014; Accepted October 3, 2014)

#### 요 약

매설배관의 부식위험성을 최소화하고 음극방식의 효율극대화를 위해 다양한 비굴착 간접검사기법들이 수십 년 전부터 이용되고 있으며, 미국에서는 굴착을 통한 매설배관 외면부식 직접평가법을 CFR 코드에서 규정하고 있다. 국내의 경우에는 도시가스사업법 관련 4개의 기준(KGS Code)에서 배관의 손상여부를 측정할 수 있는 장비를 이용하여 배관의 상태를 점검, 측정하고 이상부위에 대하여 누출검사를 한 경우 매설배관의 기밀시험을 한 것으로 보고 있을 뿐 배관외면부식 직접평가에 대한 규정은 없다. 본 논문에서는 미국, 영국 등 국외의 매설배관 건전성 관리 기준 및 방법을 조사하고, 국내의 매설배관 방식관리 실태 및 피복손상탐지장치 이용실태 등을 조사한 후 국내 실정에 맞는 매설배관 외면부식 직접평가법을 제시하였다. 본 논문에서 제시한 매설배관 외면부식 직접평가법은 국내에서 중압배관의 정밀안전진단 제도를 도입하는데 기초 자료로 활용되었다.

**Abstract** - To minimize the risk of corrosion on buried pipeline and to maximize the efficiency of cathodic protection, various indirect inspection techniques have been used for decades. In the United States, 49 CFR has regulated the external corrosion direct assessment for buried pipelines. In Korea, there is no provision for external corrosion direct assessment but there is only, according to the KGS Code, provision that if the survey of the defects of buried pipeline and the leakage test for the pipe were conducted, it is deemed to leakage inspection. We, therefore, have suggested external corrosion direct assessment method appropriate to domestic status through the survey of the regulations and standards of UK and the USA and the investigation of domestic situation on coating damage detection method. The proposed external corrosion direct evaluation method was used as the basis when introducing the precision safety diagnosis regulation for the medium-pressure pipe in Korea.

**Key words** : external corrosion direct assessment, buried gas pipelines, coating defects

#### 1. 서 론

도시가스사업법령 관련 기준에는 피복손상탐지장치 또는 지하매설배관부식탐지장치 등을 이용하

여 탐측한 결과 이상부위로 추정되는 부분에 대하여 누출검사를 하도록 하고 있으나, 직접굴착을 통한 배관의 건전성을 확인하도록 규정하고 있지는 않았다. 다만, KGS FS551(일반도시가스사업 제조소 및 공급소 밖의 배관의 시설·기술·검사 기준) 등 4개의 기준에서는 피복손상탐지장치·지하매설배관부식탐지장치 또는 그 밖에 배관의 손상 여부를 측정

†Corresponding author:rydon@kgs.or.kr

Copyright © 2014 by The Korean Institute of Gas

할 수 있는 장비를 이용하여 배관의 상태를 점검·측정하고 이상부위에 대하여 누출검사를 한 경우 배관의 기밀시험을 한 것으로 보고 있다[1].

그러나, 피복손상탐지장치·지하매설배관부식탐지장치 또는 배관의 손상 여부를 측정할 수 있는 장비를 이용하여 배관의 상태를 점검하는 목적은 매설된 배관의 피복 손상 여부 등을 확인하여 결함을 보수하거나 제거하여 배관의 건전성을 확보하고자 하는 것으로서 배관의 기밀성능을 확인하는 것과는 근본적으로 그 취지가 다르다.

매설된 강관의 피복이 손상되는 경우에는 부식이 발생할 수 있고, 부식이 발생하는 경우에는 배관의 강도가 약화되어 배관의 파열사고로 이어질 수 있으며, 핀홀 발생으로 인한 가스누출사고가 발생할 수도 있다. 따라서 피복손상탐지장치 또는 지하매설배관부식탐지장치 등을 이용하여 매설된 배관의 결함을 탐측하는 경우에는 이상부위에 대하여 직접 굴착을 하여 배관외면부식여부 등을 확인하고 필요시에는 보수를 해야 한다[2].

본 연구에서는 피복손상탐지장치 또는 지하매설배관부식탐지장치 등을 이용하여 매설된 배관의 결함을 탐측하는 경우 결함에 대한 굴착 우선순위를 정하는 방법을 개발하고, 직접굴착을 통한 검사, 보수 및 사후평가를 통한 도시가스배관의 건전성 확보를 하는 배관외면부식 직접평가법 도입 방안을 제시하였다.

## II. 매설배관의 방식 및 부식진단 방법

### 2.1. 부식으로 인한 가스사고 현황

국내·외적으로 부식으로 인한 사고빈도는 타공사 등 외부간섭으로 인한 사고 빈도 다음으로 높은 편이다. 유럽에서 1970년부터 2010년까지 발생한 사고의 경우 Fig. 1과 같이 타공사로 인한 사고가 48.4%로 가장 높고, 부식으로 인한 사고가 16.1%를 차지

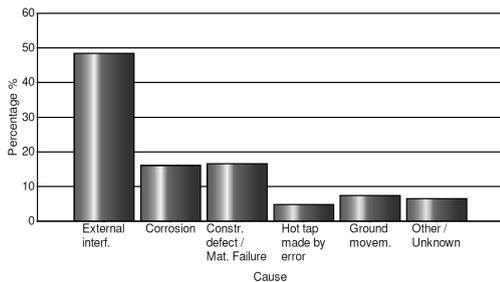


Fig. 1. Distribution chart of gas accident according to cause in Europe[3].

하였다[3]. UKOPA에 따르면 영국의 경우 배관외부부식으로 인한 사고가 전체가스사고의 19%를 차지하고 있다[4].

국내의 경우 가스누출 등의 작은 가스사고는 공개되지 않은 것이 많아 정확한 통계를 내기가 쉽지 않지만 2009년 도시가스안전연구회에서 발표한 자료에 따르면 Table 1과 같이 국내에서도 부식에 의한 가스사고가 11%나 차지하고 있음을 알 수 있다[5].

부식에 의한 가스배관 사고는 단순한 누출사고로 종료되기도 하지만, 대규모 폭발 및 화재사고로 이어지기도 한다. 배관부식으로 인해 발생한 비교적 최근의 사고로는 캐나다와 뉴멕시코에서 발생한 사고를 들 수 있다[2].

캐나다 알버타에서 2003년 발생한 천연가스 배관 사고는 외부부식으로 인해 36인치 배관이 파열되었으나, 다행히도 파열지점이 거주지와 멀리 떨어져 있어서 인명피해는 없었다. 다만, 전략적으로 중요한 수송배관이 파열됨으로써 경제적·사회적으로 큰 영향을 미친 사고이다. 2000년 뉴멕시코 칼스버드에서 발생한 천연가스배관 가스누출 및 화재사고의 경우에는 화재가 55분간 지속되고 인근 캠핑장에 있던 12명이 사망하였으며, 3대의 차량 및 두 개의 철골조 다리가 심각한 파손을 입어 1백만 달러의 손실이 발생하였다.

국내의 경우 2012년 3월 대규모 국제행사를 앞두고 행사장 주위를 점검하는 과정에서 도심지에 설치된 중압배관이 부식되어 가스가 누출되었으나, 다행히 조기에 발견하여 보수함으로써 화재·폭발 사고로 이어지는 않았다.

이처럼 국내·외에서 가스배관의 부식으로 인한 가스누출 및 화재·폭발 사고가 지속적으로 발생하고 있으므로 국내에서도 매설된 가스배관의 부식을 찾아 가스사고를 사전에 예방할 수 있는 기준 마련

Table 1. Table of gas leak accident according to cause in Korea[5]

| Failure cause         | Distribution(%) |
|-----------------------|-----------------|
| External interference | 47              |
| Material failure      | 17              |
| Corrosion             | 11              |
| Ground movement       | 8               |
| Seam weld defect      | 7               |
| Others                | 10              |
| <b>Total</b>          | <b>100</b>      |

이 필요하다.

## 2.2. 매설배관의 부식진단 방법

매설배관의 부식을 진단하는 가장 일반적인 방법은 배관의 피복손상여부와 전기방식 전위를 관리하는 방법이다.

매설배관의 피복이 손상되는 경우에는 금속이 부식성 환경에 직접 노출되게 되고, 적정 방식상태를 유지하기 위한 방식전류가 증가하게 되어 방식유지 비용이 증가한다. 또한, 피복 손상부위는 방식이 제대로 이루어지지 않을 수 있기 때문에 가능한 한 빠른 시간 내에 피복 손상부위를 찾아내고 필요한 경우에는 굴착하여 보수해야만 한다.

전기방식하에서의 방식전류분포는 피복 결함부위에서 특징적인 분포를 나타내기 때문에 토양에서의 분포상태를 해석하면 피복결함의 위치, 크기 및 형태까지도 진단해 낼 수 있다. 이러한 기술은 직류를 이용한 기법과 교류를 이용한 기법이 있다. 직류를 이용한 방법은 직류전압구배법, 근접간격전위측정법이 있으며, 교류를 이용한 방법으로는 교류전압구배법과 Pearson survey법, Woodberry 방법이 있다[2].

### 2.2.1. 직류전압구배법(DCVG)

DCVG(Direct Current Voltage Gradient) 탐측법은 배관주변에 직류전류를 인가하여 발생하는 전위구배를 측정하여 피복손상부를 탐측하는 방법이다. 이 방법은 두 개의 포화황산동 기준전극을 사용하여 배관의 직상부를 따라 약 1~2m 정도 이격시켜 두 전극 사이의 전위차(Soil-to-Soil)를 측정하는 방법이다. 즉, 2개의 기준전극을 사용하여 지표면에서 배관

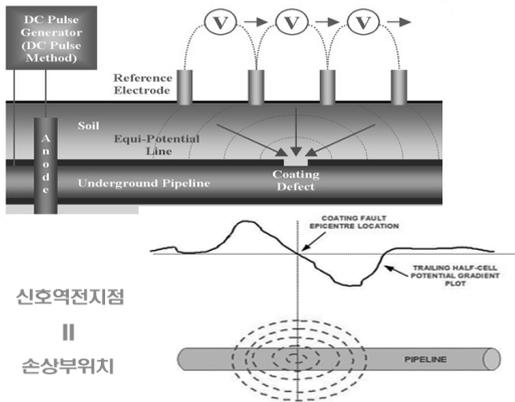


Fig. 2. Signal reversion occurred near the coating defect[6].

의 길이방향으로 배관을 따라 전위를 측정하면 Fig. 2와 같이 손상부 주변에서 전위의 부호가 역전되는 현상이 발생하며 이 역전지점이 손상부위라는 것을 알 수 있다.

### 2.2.2. 근접간격전위측정법(CIPS)

CIPS(Close Interval Potential Survey)법은 음극방식이 행해지고 있는 배관의 직상부를 따라 일정 거리마다(보통 1~5m) 관대지 전위를 측정하여 코팅 손상부의 전위구배를 알아내는 방법이다. 이 방법은 Fig. 3과 같이 배관과 연결된 전선을 길게 하여 배관의 직상부에서 배관을 따라 P/S(Pipe-to-Soil)전위를 일정한 간격으로 측정하는 것으로서 이를 거리에 따라 나타낼 경우 그 지역에서의 국부적인 방식전위 불량 지점을 정확히 찾을 수 있다. 이는 전기간에 대한 방식전위측정 데이터를 저장하여 전체적인 배관 방식상태를 확인하는 것으로서 매설배관의 부식 평가에 가장 많은 정보를 제공하는 검사기법이라 할 수 있다.

### 2.2.3. 교류전압구배법(ACVG)

ACVG(Alternating Current Voltage Gradient) 탐측법은 저주파 교류전류를 인가하여 배관주변에 발생하는 교류 전위구배를 측정하여 피복손상부를 탐측하는 방법이다. ACVG법은 Fig. 4와 같이 A프레임을 통해 토양에 접촉된 지점간의 신호감쇄 측정

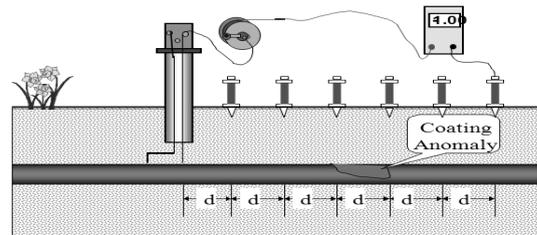


Fig. 3. Closed interval potential survey[6].

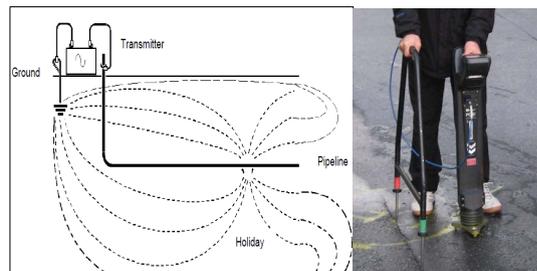


Fig. 4. The principle of ACVG survey [4]

을 통해 피복손상부를 탐측하는 방법이다.

DCVG와 ACVG 탐측법은 각각의 특징과 장단점에 따라 상호 보완적인 방법으로 활용되고 있다.

#### 2.2.4. 전기방식 전위관리 기법

매설배관의 부식진단에서 가장 일반적이고 확실한 방법이 배관의 방식전위(관대지 전위)를 측정하는 것이다. 방식전위를 알면 배관의 부식 또는 방식상태를 쉽게 알 수 있기 때문이다. 음극방식이 정상적으로 작용하고 있는지를 확인하는 기준은 여러 가지가 있는데, 가장 널리 사용되는 방법은 관대지(Pipe-to-Soil: P/S) 전위를 측정하는 것이다. 강관의 경우 측정된 관대지 전위 값이 포화황산동 기준전극을 기준으로 -850mV 이하이면 음극방식이 원활히 수행되고 있다고 판단한다.

### III. 국내·외 매설배관 검사 및 탐측 현황

#### 3.1. 국외의 배관 검사 기준

매설배관의 건전성을 확보하기 위하여 미국과 영국에서 실시하는 매설배관 검사기준에 대하여 조사하였다.

##### 3.1.1. 영국의 배관 검사 기준

영국의 경우 가스공급배관의 설계, 시공, 검사 및 운전에 대하여는 IGE/TD/3 Edition 4에서 규정하고 있다. 동 규정에 따르면 배관의 시공단계에서 희생양극 또는 외부전원을 이용한 전기방식을 설치하도록 하고 있으며 음극방식의 성능을 확인하기 위하여 가능하면 배관전체에 대하여 CIPS를 하도록 하고 있다. 또한, 모든 부식방지에 대한 시공기록을 영구 보존하도록 하고 있다[7].

배관외면검사 주기는 배관내부검사를 하지 않는 배관의 경우 5년을 초과하지 않도록 하고 있다. CIPS를 배관 설치 후 전구간에 대해 실시한 후, 10년 이내의 주기로 실시하도록 하고 있다. 또한, IGE/TD/1에서는 정상적인 방법으로 결함을 찾는 것이 어려운 경우에는 전류감쇄법 또는 DCVG와 같은 방법을 고려하도록 하고 있다.

##### 3.1.2. 미국의 배관 검사 기준

미국의 경우 도시가스배관 설치에 대한 규정은 연방규칙(CFR: Code of Federal Regulation)에서 정하고 있으며, CFR § 192.923 및 CFR § 192.925에서 배관 운전자는 외면부식직접평가(ECDA: External Corrosion Direct Assessment)를 실시하도록 하고 있다[8].

CFR § 192.925에서는 ECDA를 배관건전성에 영향을 미치는 배관외면부식을 평가하기 위해 사전평가(preassessment), 간접검사(indirect inspection), 직접검사(direct examination) 및 사후 평가(post assessment) 4단계로 구성된 과정이라고 정의하고 있으며, ASME/ANSI B31.8S section 6.4 및 NACE SP0502를 따르도록 하고 있다[9].

ANSI/NACE SP0502에서는 4단계 과정(four-step process)을 다음과 같이 규정하고 있다.

##### (1) 사전평가단계(Preassessment step)

ECDA의 적용가능여부를 결정하기 위하여 배관의 이력데이터와 현재 데이터를 수집하고, ECDA 구역을 정의 하고, 간접검사 방법을 결정하는 단계

##### (2) 간접검사평가단계(Indirect inspection step)

배관의 피복손상부와 부식이 발생한 지역(또는 부식이 진행중인 지역)을 찾아 심각도를 정하기 위하여 지상에서 2개 이상의 장비를 이용하여 검사를 수행하는 단계

##### (3) 직접검사 단계(Direct examination step)

굴착지점과 배관표면 평가를 위해 간접검사 자료를 분석하고, 배관피복성능평가, 부식결함 보수 및 방식결함을 개선하는 단계

##### (4) 사후평가 단계(Postassessment step)

ECDA 과정의 효과를 평가하기 위해 앞 3단계의 자료를 수집하여 분석하고 재평가 주기를 결정하는 단계

#### 3.2. 국내의 배관 검사 기준

국내 도시가스배관의 시공, 검사 및 점검에 대해서는 다음 4개의 도시가스사업법령 관련 KGS Code에서 규정하고 있으며, 동 Code에서는 매설되는 강관에 대하여 KGS GC202(가스시설 전기방식기준)에 따라 전기방식조치를 하도록 하고 있다.

- KGS FS451(가스도매사업 제조소 및 공급소 밖의 배관의 시설·기술·검사·정밀안전진단 기준)
- KGS FP451(가스도매사업 제조소 및 공급소의 시설·기술·검사·정밀안전진단·안전성평가 기준)
- KGS FS551(일반도시가스사업 제조소 및 공급소 밖의 배관의 시설·기술·검사 기준)
- KGS FP551(일반도시가스사업 제조소 및 공급

소의 시설 · 기술 · 검사 기준)

상기 4개의 기준에서는 배관의 손상여부를 측정할 수 있는 장비를 이용하여 배관의 상태를 점검, 측정하고 이상부위에 대하여 누출검사를 한 경우 매설 배관의 기밀시험을 한 것으로 보고 있을 뿐 배관의 면부식 직접평가에 대한 규정은 없다.

**3.3. 국내의 매설배관 탐측 및 굴착 사례**

국내의 경우 대부분의 도시가스사업자가 굴착을 통한 직접검사 방법을 비용상의 이유 등으로 반대하고 있다. 다만, 일부도시가스사업자의 경우에는 15년 이상 경과된 매설기관에 대하여 DCVG 또는 ACVG를 실시하고, 이상으로 추정되는 지점에 대하여 직접굴착을 통한 확인을 실시하고 있다.

국내 A도시가스사에서는 DCVG를 이용하여 매설배관의 피복손상 탐측을 실시하고 굴착을 통한 직접검사를 실시하였다. Table 2에서 보는 바와 같이 90개소 중 64개소(71%)에서 피복손상을 확인하였으며, 42개소(약47%)에서 피복손상 및 모재손상으로 인한 결함을 탐측하고 3개소에 대하여는 배관을 교체하였다[2].

Fig. 5는 국내 B 도시가스사업자가 DCVG와 CIPS를 이용하여 피복손상 탐측을 실시하고 굴착을 통해 매설배관의 피복손상과 손상부의 부식을 확인한 사례이다.

일본 도쿄가스의 경우에는 도심지에 직류전철이 많이 지나고 있어 DCVG를 이용한 탐사가 쉽지 않아서 주로 ACVG를 이용한 배관피복탐사를 실시한다고 한다[10].

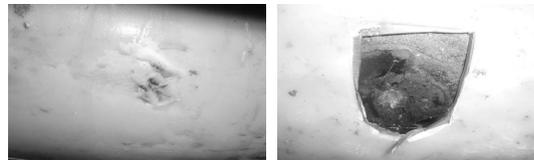
Table 3은 도쿄가스에서 ACVG를 이용하여 배관 피복탐측을 한 후 총 144개소에 대하여 굴착을 한 사례이다. 총 144개소 중 133개소가 코팅 불량이었

**Table 2.** Excavation results of A gas company

| 굴착결과        |                                     | 갯수 | 계                              |
|-------------|-------------------------------------|----|--------------------------------|
| 피복<br>손상    | 피복손상 + 모재손상                         | 42 | 피복손상 확인<br>64<br>(배관교체<br>3개소) |
|             | 타시설물 간섭                             | 12 |                                |
|             | 금속물체 접촉                             | 4  |                                |
|             | 열수축시트(현장피복)<br>불량(용접부 피복 미설치<br>포함) | 6  |                                |
| Mg 양극 인접 설치 |                                     |    | 26                             |
| <b>계</b>    |                                     |    | <b>90</b>                      |

**Table 3.** Excavation results of Tokyo Gas[10]

| Excavation results                | Major cause of coating holidays                   | Number           | Subtotal                           |     |
|-----------------------------------|---|------------------|------------------------------------|-----|
|                                   |   | Coating holidays |                                    |     |
| Coating holidays                  | Imperfect coating construction                    | 10               | 137<br>(133: Cathodic disbondment) |     |
|                                   | Lead wires (test station etc)                     | 10               |                                    |     |
|                                   | Third-party damage                                | 16               |                                    |     |
|                                   | Electrical contact with small metallic structures | 54               |                                    |     |
|                                   | Electrical contact with large metallic structures | 11               |                                    |     |
|                                   | Contact with nonmetallic structures               | 36               |                                    |     |
| Directly connected Mg anodes      |   |                  | 5                                  |     |
| No coating holiday (misdetection) |   |                  |                                    | 2   |
| Total                             |   |                  |                                    | 144 |



**Fig. 5.** Coating damage and corrosion

고, 5개소는 마그네슘 양극과 접촉된 부분이었으며, 2개소는 오 탐측으로 인한 결과였다. 피복손상으로 탐측된 137개소 중 54개소가 금속물체 접촉으로 인한 방식불량이었고, 36개소가 비금속물체에 의한 접촉으로 방식 불량이었으며, 16개소는 타공사에 의해 배관이 손상을 입은 것으로 확인되었다[10].

**IV. 외면부식 직접평가법 개발**

배관외면부식 직접평가법(ECDA)이란 배관에 부식이 발생하기 전에 부식발생 우려가 있는 지점 또는 현재 부식이 진행중인 지점을 검출하고, 직접 굴착을 통해 매설배관의 건전성을 철저하게 확인함으로써 배관의 건전성에 영향을 미칠 우려가 있는 부식지점의 포착확률을 높여 배관의 건전성을 확보하는 매설배관에 대한 체계적이고 종합적인 검사방법으로서, 미국 등 국외에서는 내부검사가 불가능한 배관에 대해서뿐만 아니라 배관외면부식의 위험성 확인이 필요한 배관 등 여러 분야로 점차 적용범위가 넓어가고 있다.

영국과 미국의 배관검사 기준을 조사 · 검토하고 국내의 매설배관 피복손상탐지 및 굴착사례 등을 조사하여 국내의 실정에 맞는 외면부식직접평가 기준을 다음과 같이 도출하였다.

**4.1. 매설배관 피복손상 및 외면부식평가 단계**

매설배관의 피복손상 및 외면부식 여부를 평가하기 위해서는 다음과 같이 4단계로 구분하여 검사를 실시한다.

- (1) 제1단계 : 사전평가단계
- (2) 제2단계 : 간접검사단계
- (3) 제3단계 : 직접굴착확인검사단계
- (4) 제4단계 : 사후평가단계

**4.2. 사전평가 단계**

사전평가단계는 피복손상탐지장치 등 매설배관의 손상 여부를 탐측할 수 있는 장비의 사용가능여부를 확인하기 위하여 사전에 자료를 수집하는 단계로서 다음의 내용을 확인한다.

- ① 배관의 재료, 관경, 설치년도
- ② 배관의 위치, 매설깊이
- ③ 전기방식 시설물 유지관리상태(정류기, 테스트 박스 등)
- ④ 토양비저항 및 pH
- ⑤ 타 설비와의 전기방식 간섭여부 확인
- ⑥ 부식이력 등 배관의 유지관리 데이터
- ⑦ 기타 매설배관 손상탐지 장비의 사용에 필요한 자료

**4.3. 간접검사 단계**

**4.3.1. 간접검사 방법**

간접검사는 다음의 여러 가지 기법 중에서 각각의 장·단점을 비교 검토하여 각 대상영역별로 가장 적합한 검사 방법을 선택하여 실시한다. 각각의 검사방법은 적용조건에 따라 사용상의 한계가 있으므로 상호 보완적인 2 가지 이상의 검사기법을 사용하되, CIPS는 반드시 실시한다.

- ① 근접간격전위측정법(CIPS)
- ② 직류전압구배법(DCVG)
- ③ 교류전압구배법(ACVG)
- ④ 전류감쇄법(Current Attenuation Survey)
- ⑤ 전자기적방법(Electromagnetic Survey)

**4.3.2. 간접검사 결과 심각도 판정 방법**

- (1) 간접검사 결과 심각도는 다음과 같이 세가지 등급으로 구분한다.
  - ① 상(심각) : 부식 발생 가능성이 가장 높음
  - ② 중(중간) : 부식 발생 가능성이 있음
  - ③ 하(적음) : 피복 손상부는 존재하나, 부식 발생 가능성이 낮음
- (2) 간접검사별 심각도를 구분한 결과가 일관성이 있는지 확인하기 위해 간접검사 결과를 비교

**Table 4.** Example of total severity clarification

| 탐측 위치 | 간접검사 탐측결과 심각도 구분 |      |      |        | 총괄 심각도 |
|-------|------------------|------|------|--------|--------|
|       | DCVG             | ACVG | CIPS | 토양 비저항 |        |
| 1     | 하                | 중    | 이상 무 | 상      | 하      |
| 2     | 중                | 이상 무 | 하    | 중      | 하      |
| 3     | 상                | 이상 무 | 중    | 상      | 중      |
| 4     | 상                | 상    | 중    | 상      | 상      |

한다. 비교 결과 2개 이상의 간접검사 방법에 따른 심각도 구분이 판이하게 다르거나 탐측된 지점이 상이할 경우에는 추가로 다른 방법으로 간접검사를 실시하고, 불일치되는 결과가 반복될 경우에는 또 다른 검사 방법을 도입하여 재검사를 실시한다.

- (3) 4가지 이상의 간접검사방법을 이용하여 탐측을 하여도 탐측결과가 상이한 경우 총괄심각도는 CIPS의 결과를 위주로 Table 4와 같이 결정한다.

**4.4. 직접굴착확인검사 단계**

**4.4.1. 직접검사 우선순위 선정**

복수로 실시한 여러 간접검사 결과를 분석하여 부식가능성이 존재하는 지점의 상대적인 심각도를 정한 후 직접검사 수행을 위한 우선순위를 선정한다. 부식가능성은 현재의 부식 발생 가능성뿐만 아니라 이전의 부식발생 이력 등을 바탕으로 선정한다. 정확한 평가를 위해서는 사전평가단계에서 얻은 배관보수 이력과 가스누출, 배관파손 등 외면부식에 대한 정보와 연계하여 검토한다.

굴착우선순위는 사전평가단계와 간접검사 단계에서 얻은 자료를 기초로 Table 5와 같이 즉각 이행(1년 이내 굴착), 계획 이행(3년 이내 굴착) 및 모니터링 관리(5년 이내 굴착)로 구분한다.

**4.4.2. 굴착개소 결정**

굴착 개소 결정은 검사대상 영역(Region)별로 구분하여 실시하며, 다음과 같이 4가지 경우로 구분하여 굴착을 통한 직접검사를 실시한다. 이 경우 배관 외면부식평가의 영역은 배관의 부식 이력, 배관주위 토양의 물리적 특성 및 간접검사 방법에 따라 Fig 6 과 같이 분류하며, 분류가 어려운 경우에는 배관길이 10km를 하나의 영역으로 구분한다.

**Table 5.** Example of DA prioritization criteria

| 즉각 이행(1년 이내)   | 계획 이행(3년 이내)                      | 모니터링 관리(5년)    |
|--|-----------------------------------|----------------|
| 부식이력과 관계없이 두 가지 이상의 간접검사 결과 탐측된 심각한 결함                       | 즉각 이행 범주에 있지 않은 남아있는 모든 심각한 결함    | 남아있는 모든 탐측된 결함 |
| 부식 이력이 있는 지역에서 발견된 중간크기의 결함군(group) 또는 그 지역에서 탐측된 개개의 심각한 결함 | 부식 이력이 있는 지역에서 탐측된 기타 모든 중간크기의 결함 |                |
| 심각한 부식 이력이 있는 지역에서 탐측된 중간크기의 결함                              | 심각한 부식 이력이 있는 지역에서 탐측된 적은 크기의 결함군 |                |

| Indirect Inspection Tool/Segment     | CIS + DCVG  |   | Current Attenuation Tools   |   | CIS + DCVG  |  |
|--------------------------------------|---|---|---|---|---|--|
|                                      | PIPELINE  |   |   |   |   |  |
| Physical Characteristics and History | Sandy, well drained soil, with low resistivity, no prior problems | Sand to loam, well drained, with low resistivity, no prior problems | Sandy, well drained soil, with low resistivity, no prior problems | Loam, poor drainage, with medium resistivity, some prior problems | Loam, poor drainage, high resistivity, prior problems |  |
| ECDA Region                          | ECDA 1  | ECDA 2, ECDA 3  | ECDA 4, ECDA 1  | ECDA 5  | ECDA 6  |  |

**Fig. 6.** Example of ECDA region classification[9].

- (1) 간접검사 결과 결함(손상추정부)이 검출되지 않은 경우
  - ① 사전평가단계에서 가장 부식의 우려가 높은 것으로 평가된 지점을 굴착하여 직접 검사
  - ② 배관 외면부식평가를 최초로 적용하는 영역에 대해서는 1개 지점을 추가로 굴착하여 검사
- (2) 즉각 이행이 요구되는 경우
  - ① 즉각 이행이 요구되는 것으로 우선순위가 정해진 모든 결함부에 대하여 굴착 검사 실시
- (3) 계획 이행이 요구되는 경우
  - ① 가장 심각한 결함으로 검출된 지점에 대해 굴착하여 직접검사 실시, 이 경우 가장 심각한 결함부 선정은 간접검사 결과, 부식이력 데이터, 현재의 부식환경 등을 고려하여 선정
  - ② 배관 외면 부식평가를 최초로 적용하는 영역

에 대해서는 2개 지점을 추가로 굴착하여 검사, 이 때 계획 이행 개소가 1개 뿐인 경우에는 관리(모니터링)가 요구되는 결함부 1개소를 굴착하여 직접검사 실시

- ③ 직접검사 결과 외면부식이 최초의 배관두께보다 20% 이상 깊은 경우 신뢰성 확인 측면에서 1개소 이상을 추가로 굴착하여 직접검사 실시

(4) 모니터링 관리가 요구되는 경우

- ① 가장 심각한 결함으로 검출된 지점에 대해 굴착하여 직접검사 실시
- ② 배관 외면 부식평가를 최초로 적용하는 영역에 대해서는 1개 지점을 추가로 굴착하여 검사

**4.5. 사후평가 단계**

직접검사 결과에 따라 잔존결함측정, 부식성장률 계산, 재평가주기계산, 배관외면 부식효과측정 등을 실시한다.

**4.6. 심각도 분류 및 직접검사 우선순위 판정자**

심각도 분류 및 직접검사 우선순위 판정은 한국 가스안전공사에서 실시하는 배관외면부식 직접평가법 특별교육을 이수한 자가 한다.

**V. 결론**

매설배관의 부식위험성을 최소화하고 음극방식의 효율극대화를 위해 다양한 비굴착 간접검사기법들이 수십 년 전부터 적용되어 왔다. 매설배관피복 손상부의 위치를 찾아내는 직류전압구배법(DCVG) 및 교류전압구배법(ACVG)과 같은 피복손상탐측기법, 배관의 방식전위를 세밀하게 측정하여 전기방식 효율을 측정하는 근접간격전위측정법(CIPS)과 배관 주변 토양의 부식성을 평가하는 토양비저항 측정 등의 검사가 대표적인 간접검사 방법이다. 그러나 이러한 기법을 독립적으로 적용하는 경우 부식 위험성이 높은 지점을 바로 찾아낼 확률은 적다.

미국에서는 배관의 내부검사나 압력시험으로 검사할 수 없는 배관 또는 일정구획에 대한 외면부식 건전성 확인이 필요한 배관에 대한 체계적인 검사방법으로서 배관의 건전성에 큰 영향을 미치는 외면부식을 평가하기 위하여 외면부식직접평가법(ECDA)을 개발하여 고압가스배관 등을 중심으로 적용범위를 점차 넓혀가고 있다.

영국의 경우에는 CIPS를 배관 설치 후 및 5년~10년 주기로 실시하도록 하고 있으며, 결함을 찾기 어려운 경우 DCVG를 하도록 하고 있다.

국내의 경우에는 일부 도시가스사업자가 자체적으로 DCVG 또는 ACVG 등을 이용하여 피복손상을 탐사하고 굴착을 통해 확인 및 보수를 실시하고 있지만, 배관외면부식 직접평가에 대한 기준이 마련되어 있지 않아 대부분의 도시가스사업자는 굴착을 통한 외면부식 직접확인, 보수 및 사후 평가 등을 하지 않고 있는 실정이다.

본 논문에서는 미국의 ANSI/NACE 등에서 규정하고 있는 배관외면부식 직접평가법에 대해서 조사하고, 국내 실정에 맞는 외면부식 직접평가법을 제시하였다.

외면부식평가 단계는 미국의 경우와 같이 4 단계로 하였고, 사전평가단계는 국내에서 평가가 가능한 방법을 조사하여 규정하였다. 간접검사의 경우 국내에서 많이 사용되고 있는 검사방법인 DCVG, ACVG 및 CIPS를 기본적인 방법으로 제시하였으며, 심각도 판정기준을 제시하였다.

토양 비저항과 pH 등 토양의 특성에 따른 부식영향 기준은 NACE 기준과 큰 차이가 없어서 미국의 기준을 그대로 따르도록 하였다.

국내에서는 도시가스사업자가 매설배관 설치지역에 대한 토양 특성 등을 기록·유지하고 있지 않으므로 굴착개소 결정시 검사대상 영역(region) 분류가 어려울 것이므로 이 경우에는 배관길이 10km를 하나의 영역으로 구분하도록 하였다. 또한, ECDA를 국내에 처음 도입하면서 ECDA의 절차와 내용 등을 제대로 이해하지 못하는 점을 고려하여 심각도 분류 및 직접검사 우선순위 판정은 한국가스안전공사에서 실시하는 배관외면부식평가 특별교육 등을 이수한 자가 하도록 하였다.

본 논문에서 제시한 외면부식직접평가 기준은 국내의 중압배관 정밀안전진단 제도 도입시 “매몰배관 외면부식 직접조사” 항목에 반영되었다. 추후 제도 운영을 통해 기준개선의 필요성이 발생하는 경우에는 개선(안)을 도출할 예정이다.

## 감사의 글

본 연구는 한국가스안전공사의 자체연구과제 및 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 것으로 이에 감사드립니다.  
(과제번호 20132010500030)

## 참고문헌

- [1] KGS, "Code for Facilities, Technology, Inspection and Safety Diagnosis of Pipelines outside Manufacturing and Supplying Places for Urban Gas Business", (2013)
- [2] KGS, "A Development of External Corrosion Direct Examination Measures for Urban Gas Pipelines", (2011)
- [3] EGIG, Gas Pipeline Incidents 8th Report of the European Gas Pipeline Incident Data Group
- [4] UKOPA, UKOPA PIPELINE FAULT DATABASE, Pipeline Product Loss Incidents(1962-2008)
- [5] KOGAS, "Technical Workshop for Buried Pipelines Integrity Management with Gas Related Organization" (2009)
- [6] GTI-04/0071, External Corrosion Direct Assessment Implementation Protocol
- [7] The Institution of Gas Engineers(IGE), Steel and PE pipelines for gas distribution, IGE/TD/3 Edition 4, (2007)
- [8] U. S. Department of Transportation, Pipeline Safety Regulations, CFR(Code of Federal Regulation), §192.923, §192.925
- [9] ANSI/NACE SP0502-2010, Pipeline External Corrosion Direct Assessment, Standard Practice
- [10] Yuji Hosokawa and Fumio Kajiyama, "External Corrosion Risk Management for Aged Steel Pipelines Buried High Consequence Areas", CORROSION at Houston, Paper No. 05166, (2005)