

## 파손감지관을 이용한 실시간 파손감지에 관한 연구

김민섭, 김형호, 정상용, 탁송수, 안정진, 박교식\*  
 한국가스안전공사  
 (kspark@kgs.or.kr\*)

### A Study on real time pipeline detection using damage sensing pipeline

MinSeop Kim, HeongHo Kim, SangYoung Jung, SongSu Tak, JungJin Ahn, KyoShik Park\*  
 Korea Gas Safety Corporation  
 (kspark@kgs.or.kr\*)

#### 1. 서론

가스에너지에 대한 수요 증가로 지하에 매설되는 배관은 지속적으로 증가하는 추세에 있으며, 이러한 매설 가스배관은 자연부식뿐만 아니라 다른 지하매설 구조물 즉, 지하철이나 상하수도관에 의한 전기적 간섭 등 외부의 다른 요인들에 의해 부식손상을 받고 있다. 배관 파손을 유형별로 살펴보면 건축물 공사 등으로 인한 사고가 43%로 가장 많고 상하수도 공사가 33%, 지하철 공사가 13%, 전기공사가 11%를 각각 차지하고 있다. 또한 타공사에 의한 피복손상 뿐만 아니라 배관이 파손되는 경우도 있으며, 가스배관의 부식손상을 방지하기 위하여 내식성 배관 재료를 사용하거나 피복, 전기방식 및 배관의 절연 등의 방법들을 적용하고 있다. 배관상부에 보호포(판)을 설치하기도 하는데 전기방식이나 보호포(판)을 설치한다 하더라도 지속적이 점검 및 보수가 필요하다. 또한 배관(피복)손상 발생 즉시 감지되어야만 신속한 조치가 가능하고, 사고예방은 물론 경제적 손실도 줄일 수 있는 것이다. 이러한 어려움을 해결하고 효율적인 배관관리를 위해서 본 연구에서는 배관에 도선을 삽입한 파손관 및 TDR(Time Domain Reflectometer) 시스템을 구축하였다.

#### 2. 본론

##### 2.1 파손감지관의 안전성 검토

실험에 사용된 파손감지관 자체의 안전성을 확인하기 위하여 한국화학시험연구원, 한국건설방식기술연구소, SK 화학시험연구소에 장비 검사를 의뢰하였다. 피복강관의 안전성, 전기방식으로 적용되는 희생양극식 또는 외부전원식 시스템의 영향 유무, 감지선의 폴리에틸렌 피복에 미치는 영향 등을 의뢰하여 아래표와 같이 적합함을 판정받았다. 또한 파손감지관에 흐르는 에너지는 전파이나 흑시 전파 발생기에서 이상이 발생하여 파손감지선에 전류가 흐를 경우 이 전류가 도시가스의 주성분인 메탄의 점화에너지를 제공할 수 있는지 확인하였으나 메탄의 최소 점화 에너지보다 작아 이상이 없는 것으로 판단되었다.

- TDR(전파발생기)에서 발생하는 최대에너지는  $2 \times 10^6$  Joule

$$J = VIT = 5 \times (40 / 1,000) \times (10,000 / 109) = 0.000002 \text{ Joule}$$

- 메탄의 최소 점화에너지 : 0°C 1기압에서 0.29mJ

※ 발생기 에너지가 최소점화에너지 보다 작으므로 이상없음( $0.000002 \text{ Joule} < 0.00029\text{J}$ )

[표1] 파손감지관 적정성 검사

	검사항목	검사결과
한국화학시험 연구원	압출식 폴리에틸렌 피복강관 (P1H 400A(2층 피복강관))	외관 : 이상없음 두께 : 3.6mm(기준2.5mm) 핀홀검사 : 이상없음 당김강도 : 122N/1 mm(기준 $\geq$ 35N/10mm)
한국건설방식 기술연구소	파손감지관 작동시 방식전위 영 향 유무	외부전원법에 의한 시험 결과 이상 없음
SK 화학시험 연구소	감지선이 PE(폴리에틸렌) 피복에 미치는 영향	절연파괴전압 : PE(폴리에틸렌) 절연파괴전압이 30,000V에 비해 파손감지장치 최대전압은 5V임 물리/화학적 반응 : 제품제작 온도 약 170~200°C에서 PE와 PVC의 결합 등 물리적, 화학적 손상없음

## 2.2 현장 설치

### 2.2.1 설치현황

Pilot System은 충남 아산에 있는 LNG배관을 이용하였으며 총 대상 배관 길이는 943m(MP 300A 934m, 150A 9m)이고, 시험배관의 길이는 288m (단관 1M 별도)이다.

### 2.2.2 파손 감지관 설치

구성 자재 중에서 가장 중요한 부분은 파손 감지관이다. 파손 발생시, 그 위치를 감지하는 역할을 수행하는 것이기 때문이다. 이 자재의 구조는 기존의 폴리에틸렌 피복강관(PEP 강관)의 외면 코팅층 사이에 감지선을 나선형으로 삽입하여 만들었다. 강관의 내면은 에폭시 도장이 이뤄져서 내면의 부식을 방지하도록 하였고 관단부에서는 관이음시에 이 옷하는 관의 감지선과 연결할 수 있도록 감지선을 노출시켜 놓았다.

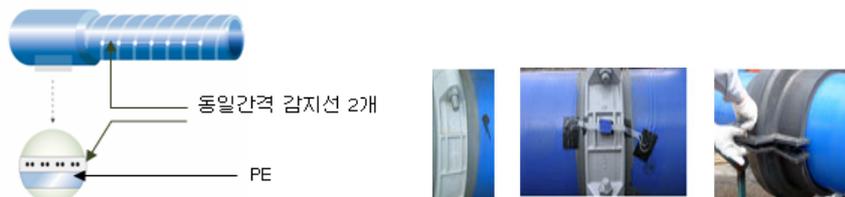


그림 2.1 파손 감지관 구조

감지선 연결은 관단에 노출된 감지선을 점프선으로 연결하고 연결부의 부식을 막기 위해 방식성 열 수축튜브를 씌워서 연결하였다 그리고 관단부의 방식을 위해서 방식 테이프로 마감하였으며, 또한 연결선을 보호하기 위해서 보호커버를 씌웠다. 대상 총 배관(943M) 중 324M 길이(단관1M 별도)를 시험배관(파손감지관 설치 기구간)으로 삼았으며, 파손감지관을 3개 채널로 구분하여 설치하였다.

### 2.2.3 원격감시기

단선인 원격감시제어기는 4 채널 인터페이스를 지원하도록 하여 여러 방향으로 펼쳐진 관망에 대해서 동시에 감시가 가능하도록 하였다. TDR는 관의 파손 및 누출의 상태를 수신한 방향 파를 분석하여 그 원인을 찾게 된다. 분석 유형은 두 가지로 구분된다. 단선인 경우와 단락인 경우이다. 단선(Open)인 경우는 관의 피복이 파손되어 감지선이 끊어진 경우에 발생하며, 단락(Short)은 누출에 의한 감지선에 쇼트가 생긴 경우에 발생한다. 따라서 감지관이 파손되었는지

누출이 발생되었는지는 이러한 유형 변화에 의하여 판단이 가능하다. 이로써 원격감시제어기는 위의 방법으로 초기에 시공된 상태가 유지되지 않고 변화(이벤트 발생)가 감지되면 그 즉시 감지선의 길이와 분석 유형 정보를 서버 컴퓨터로 전송한다.

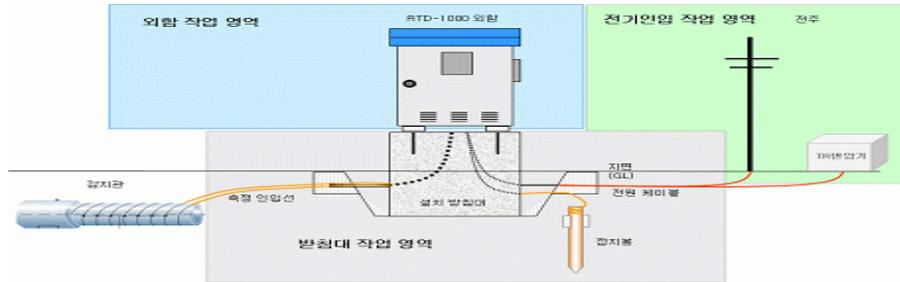


그림 2.2 원격감시기 설치도

현장 운용 방식은 설치된 구간에서 채널별로 순환하게 되며 한 채널에서 보내는 인가전압은 평균 2.5V, 펄스 단위유지 시간은 2000ns, 채널당 측정횟수는 2,018번(AVG 16 × 128), 채널 순환 대기시간은 1분으로 실시간 모니터링이 가능하도록 하였다. 또한 TDR 기기는 측정 대상 케이블에 전압 펄스를 출력하고 기기 출력단의 전압을 직접 감시하는 방식을 사용한다. 따라서 기기에 파형으로 표시되는 측정값 자체가 실제 측정 대상 케이블에 존재하는 전압값을 표시하는 것이다. 실제 측정 파형을 보면 알 수 있듯이 매 측정은 기존 측정에 사용된 전압 신호가 케이블 상에서 완전히 방전된 이후에 다음 측정을 수행하기 때문에, 측정 대상 케이블에 전압이 지속적으로 충전되어 누적 전하에 의한 스파크의 위험성은 없을 것으로 예상된다.

2.2.2 기준전위 설정

TDR은 장비의 특성상 Noise 방해를 막기 위해 레퍼런스 값을 보수적인 값인 75mv(Threshold Value) 이상을 문제로 인식하도록 하고 있으나 본 연구에서는 설치 배관의 특성 및 현장 특성을 고려하여 수회의 파형변화를 분석하여 새로운 기준값(Threshold Value)을 적용하였다. 이를 위해 장비 설치 후 정상 측정값을 확보하기위해 일정한 시간동안 수회의 반복 측정(각 점 검구당 5회)을 통하여 정상 파형의 범위가 4-5mv인 것을 확인하였다. 파손시의 파형변화를 확인하기 위하여 인위적인 EVENT를 준 후 1주일간의 펄스 변화를 관측한 결과 비정상 범위가 10,000mv 이상인 것을 확인하였다. 이를 바탕으로 본 연구에서는 비정상 범위를 초과하지 않고 정상범위를 인지할 수 있는 2500mv를 기준값(Threshold Value)로 Setting 하였다.

2.3 정류기와 RTD의 영향분석

측정을 위해 설치한 T/B(Testing Box)의 현황은 아래표와 같다. 방식전위 검용 T/B는 방식전위측정 리드선과 감지선 이벤트 리드선이 설치(파손감지관에 위치)되어 있는 경우이고, 일반 T/B는 비시험관에 위치한다.

표2-1 T/B의 현황

T/B 구분	위치	측정 용도	배관 구분
1T/B	A	방식전위측정	신설관(비시험관)
2T/B	B	감지선 이벤트 측정	신설관(시험관)
3T/B	C	방식전위측정, 감지선 이벤트 측정	신설관(시험관)
4T/B	D	방식전위측정, 감지선 이벤트 측정	신설관(시험관)
5T/B	E	감지선 이벤트 측정	신설관(시험관)
6T/B	F	방식전위측정	신설관(비시험관)
7T/B	G	방식전위측정	기존관(비시험관)

정류기와 RTD의 상호 영향을 분석하기 위하여 방식전위측정기를 사용하여 점검구 위치별로 측정을 실시하였으며, 각각의 측정값은 5개의 데이터를 채택하여 평균값으로 나타내었다. 그림은 정류기와 RTD 작동중 방식전위 측정기로 측정한 평균값을 그래프로 나타낸 것이며 각각의 점검구별 전위값은 위치에 따라 약간의 차이가 있으나 각각  $\pm 2.72$ , 5.34% 범위내에 있어 오차가 그리 크지 않음을 알 수 있다.

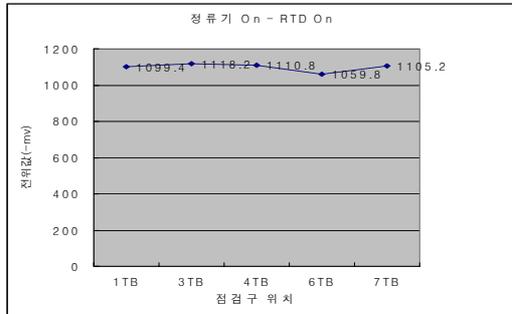


그림 2.3 정류기On - RTD On상태의 점검구 위치에 따른 전위의 평균값

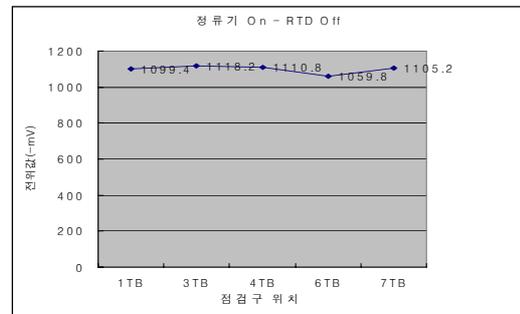


그림 2.4 정류기On - RTD Off상태의 점검구 위치에 따른 전위 평균값

그림 2.3 - 2.4는 정류기와 RTD 작동중 방식전위 측정기로 측정한 각각의 T/B의 전위 측정값을 나타내며, 이들 값은 기준 허용값 -850mV 미만으로 RTD작동은 전기방식 시스템에 큰 영향을 주지 않는 것으로 보인다.

#### 2.4 실시간 감지를 위한 통신 서비스(SMS) 구축

이벤트 발생시 RTD는 이벤트를 감지하여 메인서버에 전송하며, 메인서버는 데이터를 처리하여 등록되어있는 연락처로 SMS를 송신하였다. 측정을 위해 테스트는 시험관을 대상으로 각각 5회 실시하였다. 이벤트 발생 후 문자로 도착하기까지 대략 50초 ~ 100초의 시간이 소요되었으며, 거리에 따른 영향은 없는 것으로 나타났다. 또한 수신결과는 실패 없이 전송되었다.

### 3. 결론

현재 상하수도용 배관 파손감지관은 개발되어 현장등에 설치되고 있지만, 도시가스 배관 파손에 의한 사고 방지를 위하여 실시간으로 배관 손상여부를 감시하는 시스템은 아직 적용된 바가 없다. 이번 연구에서는 이러한 시스템을 구축하고 실제 실험을 통하여 도시가스 배관 안전관리 및 사고예방에 도움이 되는 지를 집중적으로 연구하였다. 연구결과 파손감지관의 안전성과 적합성이 확인 되었으며, 현장 실험 등을 통하여 기존 도시가스 배관에 사용 중인 방식전위에 이상 유무와 파손 발생시의 통신시스템 연계 등을 연구하여 만족할만한 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 이번 연구결과 도면과의 연계시스템에서 보다 정확한 GIS 도면을 사용하다면 더 좋은 효과를 거둘 수 있을 것으로 판단되고, 통신시스템 또한 노이즈가 없는 더 좋은 시스템과 연계된다면 배관 파손 감지시 다수의 안전관리 관련자(상황실,순찰차량등)에게 동시 송출이 가능하여 신속한 업무협조 및 조치가 가능하여 활용성이 높을 것으로 판단된다. 그리고 설치된 RTD-1000으로 인한 정류기의 영향은 없는 것으로 확인 되었다. 설치된 배관은 1년간의 모니터링을 통하여 장기적인 영향을 평가 할 예정이다. 향후 이러한 연구결과를 활용하면 항상 실시간 감시제어가 필요한 주요 관망(가스관망, 송유관망, 상수도관망, 플랜트의 배관설비 등)에 적용 가능하고 신설관 및 노후관 교체 관리에 적용할 수 있을 것이다.