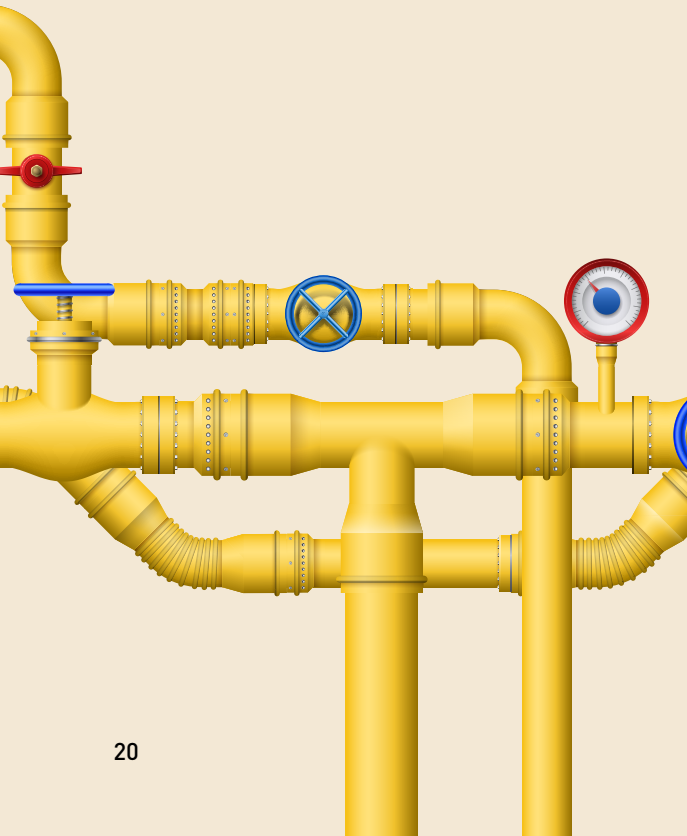




# 지하관로의 손상감지를 위한 유지관리 기술

박민철 / 서울기술연구원 도시인프라연구실 수석연구원

서울기술연구원은 지하관로 스마트 모니터링 기술을 2022년까지 개발완료하고 실용화 및 서울시 도입을 목표로 하고 있다. 이 기술이 서울시의 지하관로를 선제적으로 유지관리하고 파열사고를 예방할 수 있기를 기대해 본다.



## 1. 서론

서울시는 지하공간 종합기본계획수립(서울시, 2006)에 따라 심도별로 지하공간과 매설된 주요 시설물을 구분하고 있다. 천심도(0.0 ~ 5.0m)에 매설된 주요시설물은 통신시설, 상수도관, 하수도관, 가스관, 개착식 전력구, 송유관, 광역상수도관이다. 저심도(0.0 ~ 20.0m)에는 지하차도, 지하상가, 지하주차장, 지하보도, 대형건축물의 터파기 및 기초보강, 지열공 설치 등이 있다. 중심도(20.0 ~ 40.0m)에는 지하철, 터널형 전력구, 도로/철도터널 등이 있다. 대심도(40.0m 이하)에는 장심도터널, 도수터널, 유류비축기지, 방사성폐기장 등이 있다. 현재 서울시 지하시설물 연장(52,697km)은 도로연장(8,245km)에 비해서 약 7배로 지하공간이 포화상태이며, 지하공간 개발에 대한 안전관리와 제도적 장치가 필요하다(서울시 지하안전관리계획, 2020). 지하시설물의 안전점검은 <표 1>과 같이 관련 법규에 따라 수행되고 있다.

지하시설물 중에서 천심도에 매설된 지하관로는 다른 시설물에 비해 배관과 전력선, 그리고 통신선이므로 상대적으로 손상이나 파손이 될 확률이 높다. 그리고 손상이 발생할 경우 지표면에 영향을 미쳐 다양한 2차 피해를 유발하게 된다. 지하관로는 안전점검 및 정밀진단을 통한 사후 유지관리로는 파열 사고 등을 사전에 예방하는 것은 현실적으로 불가능하다. 이러한 문제를 해결하고자 최근에는 첨단기술을 활용한 점검 기술 그리고 모니터링 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 서울기술연구원에서도 열수송관 손상감지 기술부터 지하관로의 모니터링 기술 그리고 GIS 기반의 플랫폼 기술까지를 2019년도부터 개발하고 있으며 2022년에 완료할 계획이다.

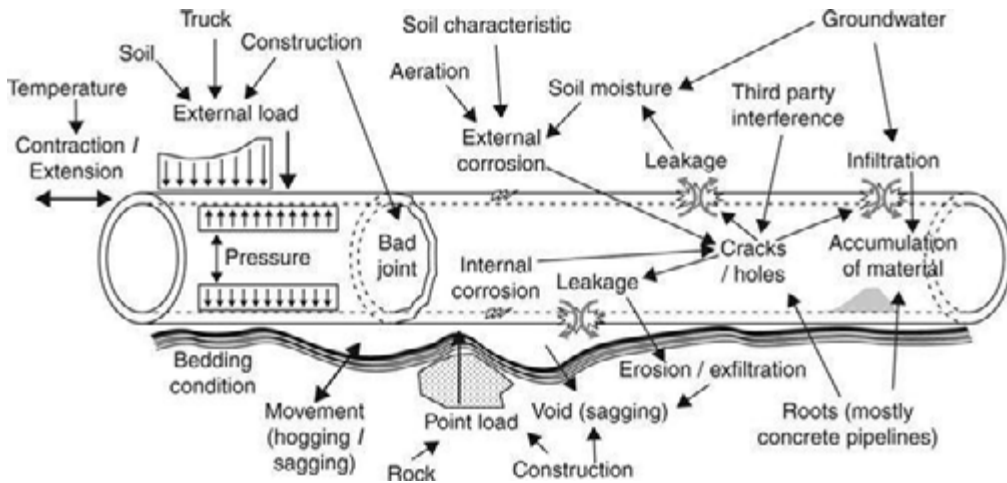
## 2. 물리탐사를 이용한 지하관로의 누수 감지 기술

<그림 1>은 지하관로의 손상 요인을 나타낸 것이다. 땅속에 매설된 지하관로는 외력과 온도신축, 흙의 특성과 지하수, 기초지반 등의 영향을 받아 균열과 구멍 등의

표 1. 지하시설물 안전점검 관련 법규 및 실시 주기(서울시 지하안전관리계획, 2020)

분야	관리기관	연장	점검근거	점검대상	점검주기	점검기관
상수도	서울시상수도 사업본부 외 4개	13,889	시설물안전법 수도법	상수도관	정밀진단(5년 1회) 정밀점검(2년 1회) 정기점검(반기 1회)	용역업체 및 자체점검
하수도	25개 자치구 4개 물재생센터	11,186	하수도법	하수BOX	정밀점검(2년 1회) 정기점검(반기 1회)	용역업체 및 자체점검
전기	한국전력공사 외 1개	3,260	소방시설법 전기사업법	(전력구) 소방시설, 전기시설	연 2회 3년 1회	소방전문업체 전기안전공사
전기통신	정보통신보안담당관 외 10개	9,864	소방시설법 전기사업법	(통신구) 소방시설, 전기시설	연 2회 3년 1회	소방전문업체 전기안전공사
가스	한국가스공사 외 6개	9,897	도시가스 사업법	가스관	정기점검(연 1회), 수시점검	한국가스안전공사
열수송관	한국지역난방공사 외 4개	784	집단에너지 사업법	열수송관	정기점검(연 1회) 자체점검(연 1회)	한국에너지공단 자체점검
공동구	서울시설공단 서울시설공단	266 266	시설물안전법	구조물 본체	정밀진단(5년 1회) 정밀점검(2년 1회) 정기점검(반기 1회)	용역업체 및 자체점검
			소방시설법 전기사업법	소방시설 전기시설	연 2회 3년 1회	소방전문업체 전기안전공사

그림 1. 지하관로의 손상 요인(O'Day et al., 1986)



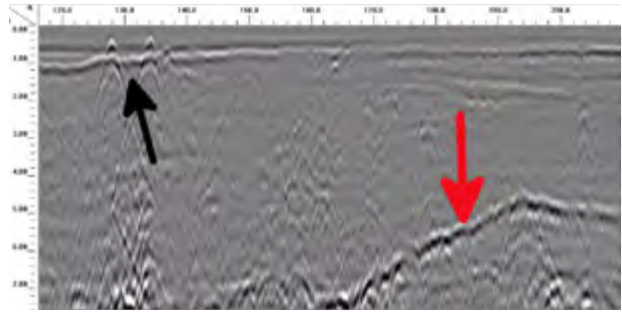
손상이 발생되고 누수가 발생된다. 강관인 열수송관이 구조적으로 파손되기는 어려우며 주로 연결부나 기초지반의 부등침하로 인해 손상이 발생된다. 하지만, 땅속에 매설된 지하관로의 손상을 육안으로 확인할 수 없기에 간접적인 방법을 이용하게 된다.

지하관로의 누수탐지 기술은 대표적으로 전자파를 이용한 GPR(Ground Penetrating Radar)이다. 물리탐사 기법의 하나로써, 전자파를 지표면에 방사시킨 후 반사체에서 되돌아온 반사파를 <그림 2>(a)와 같이 감지하는 것이다. 하지만, <그림 2>(b)와 같이 지하관로의 존재 유무나 누수

그림 2. 지하관로 누수탐지를 위한 GPR 기술

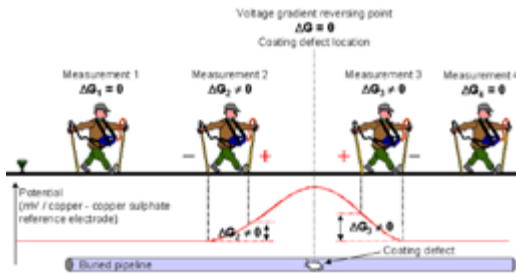


(a) GPR 기법(미국 SiteScan 사)

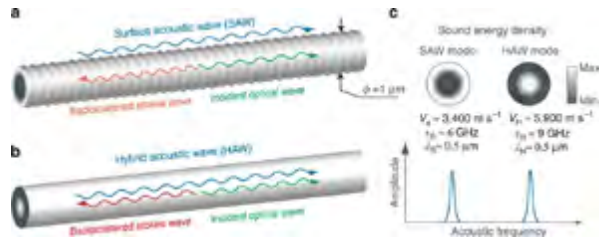


(b) GPR 이미지(미국 MME 사)

그림 3. 지하관로 누수탐지를 위한 물리탐사 기술



(a) DCVG (Direct Current Voltage Gradient) 탐측법



(b) Hybrid 음향기술 (HATs) (Beugnot, et al., 2014)

여부를 획득된 영상정보에서 정확히 판단하기는 어렵다. 따라서, 지하관로의 누수를 감지하는 것보다 지하 공동 또는 싱크홀을 탐사하기 위한 목적으로 활용되고 있다. GPR 기법은 지상 또는 지표면에 전자파를 방사시킨 방법이며, 전자파 외에도 전류나 음향을 방사시키는 방법도 있다<그림 3 참조>. 하지만, 음향을 이용한 방법은 매설된 지하관로 주변의 소음으로 인해, 누수 여부나 정확한 위치를 감지하기는 매우 어렵다. 전류를 이용한 방법도 이러한 물리적 한계가 있다.

**3. 분포형 센서를 이용한 지하관로의 누수 감지 기술**

물리탐사를 이용한 누수 감지 기술 외에도 손상을 실시간 감지하기 위해서는 모니터링이 가능한 센싱 기술이 필요하다. 연장이 매우 긴 지하관로의 손상을 감지하기

위해서는 토양수분계 또는 지중 온도계를 무수히 많이 설치하여야 한다<그림 4 참조>. 이러한 지점형 센서의 공간적 한계를 개선한 것이 분포형 센서이다. 분포형 센서는 수리구조물의 침윤선이나 침투거동을 파악하기 위한 연구용 목적으로 많이 활용되었다. 분포형 센서는 케이블에 전기 또는 빛을 주사한 후 반사파의 특성을 분석하여 물리량을 측정하는 방식이다. 전기를 이용하는 방식은 TDR(Time Domain Reflectometry)이고, 빛을 이용하는 방식은 OTDR(Optical Time Domain Reflectometry)이다. TDR은 전기를 이용하므로 모체가 금속이고, OTDR은 빛이므로 석영으로 만들어진 유리를 사용한다. OTDR은 빛을 매개로 하므로 온도 측정에 적합하고, TDR은 전기펄스를 매개로하므로 유전율 변화에 의한 토양수분량 측정에 적합하다.

그림 4. 지하관로의 손상감지를 위한 지점형 센서와 분포형 센서의 개념 비교(Glisc and Yao, 2012)

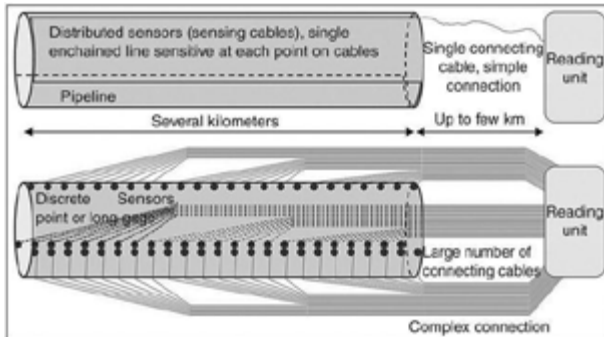


그림 5. 기존 토양수분센서와 지하관로 손상감지용 분포형 TDR센서 비교(서울기술연구원, 2020)



#### 4. 결론

서울기술연구원에서는 2020년에 지하관로의 손상을 감지할 수 있는 분포형 TDR 기술을 개발하였다<그림 5참고>. 이 기술은 분포형 TDR센서(계측선)와 TDR계측기기로 구성되며, 최대 1km까지 10cm간격으로 계측이 가능하다. TDR계측기에서 생성된 약 250mV의 전기펄스를 분포형 TDR센서에 주사하게 되고 반사되어오는 전기펄스를 감지하여 지하관로 손상에 의해 유발되는 주변 지반의 토양수분량 또는 지중 온도 변화를 감지하게 된다. 분포형 센서(계측선)는 전기펄스가 이동하는 평광선(스테인리스 스틸)에 PVC(Poly Vinyl Chloride)로 피복된 계측선(Line)으로 내구성이 높고 m당 2,000원으로 광케이블에 비해 매우 저렴하다. 또한, 100m 단위의 롤(Roll) 형태로 제작되어 현장에서 운반 및 설치가 간편하고, 함께 개발된 연결 키트(Kit)로 10분 내로 쉽고 빠르게 접합할 수 있다.

천심도에 매설된 지하관로의 선제적 유지관리를 위해서는 누수 또는 손상을 감지할 수 있는 기술의 개발과 운영이 필수적이다. 하지만, 땅속에 매설된 관로의 손상을 감지하는 것을 기술적으로 매우 어려운 부분이므로 대부분의 관리주체에서는 펌프와 밸브에 설치된 압력계로 누수 발생 유무를 판단하고 있다. 본문에 기술된 물리탐사와 분포형 센서 기술은 첨단 기술의 발전과 함께 활발히 연구 중에 있으며, 실제 운영이 가능할 단계까지 지속적인 고도화가 필요하다. 서울기술연구원에서도 지하관로 스마트 모니터링 기술을 2022년까지 개발완료하고 실용화 및 서울시 도입을 목표로 하고 있다. 이 기술을 통해 서울시의 지하관로를 선제적으로 유지관리하고 파열사고를 예방할 수 있기를 기대해 본다. [sIT](#)