

지중 매설물 이력 관리 시스템 개발을 위한 전자인식기의 현장 적용성 검증 연구

정유석¹, 김솔람^{2*}, 김병곤¹

¹한국건설기술연구원 미래융합연구본부, ²한국건설기술연구원 인프라안전연구본부

A Case Study on Electronic Recognition Sensor for Underground Facility Management System

YooSeok Jung¹, Soullam Kim^{2*}, Byungkon Kim¹

¹Department of Future Technology and Convergence Research,
Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

²Department of Infrastructure Safety Research,
Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

요약 도시의 다양한 기능을 제공하기 위해 다양한 유틸리티 라인들이 지중에 매설되어 있다. 하지만, 관련 이력이 체계적으로 관리되고 있지 않아 굴착 공사 시 파손과 같은 피해가 발생하고 있다. 또한, 공중선 지중화 사업이 진행됨에 따라 지중 매설물 이력 관리 시스템의 필요성이 더욱 제기되고 있다. 따라서, 본 연구에서는 BLE(Bluetooth Low Energy) Beacon, UHF RFID(Ultra High Frequency Radio-Frequency Identification), 지자기 센서, 및 상용 마커와 같은 전자인식기를 관로 등의 지중 매설물에 설치하여 관리 이력과 현장 상황 관리 가능성에 대해 살펴보고자 하였다. 현장 시범사업을 통해 각 전자인식기의 장단점과 현장 적용성을 분석하였다. 두 차례의 제한적인 시범사업을 통해 수집한 연구 결과에 따르면 전자인식기의 성능을 발휘하기 위해서는 설치 깊이를 통제하는 것이 가장 중요했다. 또한 도심에서 활용해야 하는 만큼 주변 환경 간섭에 따른 영향이 최소화되어야 하고 시간에 따른 성능 저하가 없어야 한다. 지자기 인식기의 경우 주변 환경간섭의 영향이 컸고 BLE Beacon의 경우는 시간에 따른 성능저하가 발생하였다. 설치 깊이가 40cm 미만으로 통제될 수 있는 현장 상황에서는 배터리를 사용하지 않는 방식의 UHF RFID의 활용성이 가장 뛰어났다.

Abstract Many utility lines are buried underground to provide various functions of the city. Because historical records are not managed systematically, damage has occurred during excavation. In addition, the demand for an underground facility management system is increasing as the aerial underground project is progressing. By attaching an electronic recognition sensor to an underground facility, such as pipelines, the management history and site conditions can be carefully managed. Therefore, in this study, electronic recognition sensors, such as BLE Beacon, UHF RFID, geomagnetic sensor, and commercial marker, were tested to analyze the strengths, weaknesses, and field applicability through a pilot project. According to the limited research results collected through two pilot projects, the installation depth is most important to demonstrate the performance of the electronic reader. In addition, because it should be used in urban areas, the influence of environmental interference should be minimized, and there should be no performance degradation over time. In the case of the geomagnetic recognizer, the effect of environmental interference was large, and performance degradation occurred over time using the BLE Beacon. In the field situation, where the installation depth can be controlled to less than 40cm, the utility of the battery-free UHF RFID was the best.

Keywords : Underground Facility Management, UHF RFID, BLE Beacon, Geomagnetic Recognizer, Field Test

본 논문은 한국건설기술연구원 주요사업인 '노후도시 재생을 위한 공중선 지하 매설 신공법 및 관리 기술(4차 년도)' 과제 지원으로 수행하였습니다.

*Corresponding Author : Soullam Kim(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology)

email: soulkim@kict.re.kr

Received November 4, 2020

Revised January 4, 2021

Accepted January 8, 2021

Published January 31, 2021

1. 서론

1.1 개요

도시의 다양한 기능을 제공하기 위해서 도심부 도로 하부에는 통신선, 전력선, 상하수도, 가스관, 열 수송관 등의 유틸리티 라인들과 지중 매설물이 매설되어 있다. 이렇듯 다양한 지중 매설물이 도로 하부에서 운영되고 있지만 이력이 체계적으로 관리되지 않으며, 상용화된 관리 기술도 미미한 실정이다.

게다가 구도심을 대상으로, 통신선과 전력선이 공중선 형태로 설치되어 있어 미관을 해치는 문제 등을 해결하기 위해 지중화 하는 사업을 추진하여 도로 하부는 더욱 복잡해지고 있다. 또한, 지중 매설물의 위치 정보와 이력 관리가 부정확한 경우가 많아 굴착공사 시 충돌 가능성이 매우 높은 상황이며 이는 지중화의 진행을 저해하는 요소이다.

굴착공사 시 파손에 대한 책임이 굴착공사 당사자에게 있기 때문에 다양한 지중 매설물의 관리주체들이 지중 매설물의 이력 관리 필요성을 느끼지 못하기 때문이기도 하다. 실제로, 기존 지중 매설물의 파손 또는 설치에 의한 공용 중의 지중 매설물의 파손의 위험성이 증대되고 있으며 최근 파손 사례가 급증하고 있다. 이에 대해 국가적으로 많은 사회적 비용을 지불하고 있으며, 국민적 불안감 또한 증대되고 있다[1].

이로 인해, 굴착 공사나 재난재해로 인한 유틸리티 또는 매설관로(상수, 하수, 난방, 가스, 전기, 통신, 유류)의 정보를 파악하기 위한 기술적 필요성이 대두되고 있다 [2]. 또한, 미국 연방 고속도로 관리국(FHWA, Federal Highway Administration) 및 다수의 연구에 따르면 고속도로 기획/설계/공사에서 가장 크게 프로젝트 기간 연장 및 예산에 위협이 되는 요소로 유틸리티의 잘못된 위치 정보라고 보고 있다[3,4].

따라서, 지중 매설물의 이력 관리는 필수적이며, 이를 위해 본 연구에서는 전자인식기를 고려하였다. 지중 매설물에 설치 가능한 BLE Beacon, UHF RFID, 지자기 센서 등의 전자인식 기술 개발은 많이 진행되었지만, 다양한 전자인식기를 실제 현장에 설치하여 성능을 검증한 연구나 상용화 사례는 미미한 실정이다.

1.2 목적

본 연구는 지중 매설물 이력 관리 시스템 개발을 위해, 실제 시범사업을 통해 다양한 전자인식기를 적용하여 현

장 적용성을 검증하는 것을 목적으로 한다. 또한, 가능성을 확인함과 동시에 개선점을 도출하고자 하였다.

서로 다른 특징을 갖고 있는 전자인식기를 실적용 환경인 노후도심 도로 밑에 매설하여 성능과 장기 공용성을 비교한다면 지중 매설물 이력 관리 시스템의 일환으로 실제 관로 위치를 나타낼 수 있는 최적 전자인식기를 선정할 수 있을 것이다.

지하용 전자인식 기술로는 일반적으로 지중 매설물을 추적하기 위해 마련된 상용사의 상용제품과 IoT(Internet of Things) 통신 기술 BLE Beacon 와 지자기 인식기를 선정하였다. 통신 공중선의 지중화 사업을 선정하여 1차 현장 시험은 부산시 연제구 사업, 2차 현장 시험은 서울시 양천구 사업에서 수행하였다. 각 지중 매설물의 이력 관리 방법의 특징과 장단점, 현장 적용성을 비교하였고, 인식률로 성능을 평가하였다.

2. 연구배경 및 선행연구

공중선이 난립함에 따라 차량 및 보행 통행, 교통안전, 도시미관 등에 악영향을 주고 전주의 전복 등 사고가 잇따르고 있다. 공중선 문제를 해결하기 위해 2012년 11월 공중선 정비 종합 계획이 수립되었다. 공중선 정비 종합 계획은 과학기술정보통신부, 국토교통부, 산업통상자원부 합동으로 마련된 계획으로, 전국에 설치된 복잡하고 지저분한 공중선을 1단계 2013~2017년, 2단계 2018~2022년으로 나누어 체계적으로 정비하는 사업이다. 공중선 지중화를 가속화하기 위해 도로 하부 40cm 깊이에 10cm 직경의 관로를 설치할 수 있는 미니 트랜치공법이 도입될 예정이다. 미관과 안전이 확보되며 여러 회선을 설치할 수 있는 등의 다양한 장점으로 인해 각 지자체에서 지중화 사업을 추진하고 있다[5]. 이에 따라 지중 매설물의 관리 수요가 증가하고 있다.

지중 매설물은 수도법, 하수도법, 전기사업법 등 기능에 따라 개별 법령에서 규정하는 사항이 조금씩 다르다. 일반적으로 도로 내의 지하매설물은 “지하굴착공사 안전 관리 편람”의 지하매설물 설치 위치 표준도에 따라 설치 위치가 결정되어 있다. 도로법 시행규칙에 의거 도로 대장에 지하매설물을 관리하도록 되어있으며 표지병 및 표지주 형태의 인식 표지를 설치하게 되어있다. 또한, 표준시방서에는 비닐 경고 테이프를 설치하도록 되어있으나 아직 전자인식기를 법적으로 명시되어 있지는 않다.

하지만 지중화 사업을 위한 굴착 공사 시에 기존 시설

물에 대한 정보가 부족하여 좀 더 체계적인 이력정보 관리의 필요성이 대두되고 있으며, 지중화 사업에 의해 새로 매설되는 통신선에 대해서는 전자인식기를 포함한 이력 관리 시스템과 정책적인 개선이 요구되고 있다. 지중 매설물 이력 관리 시스템의 일환으로 현장에 설치하여 관리의 정확도를 높일 수 있는 전자인식 기술이 필요하다.

지하매설물의 위치를 표시하기 위해서 도로 표면에 표지병을 붙이는 것이 가장 일반적이다. 표지병에 NFC(Near Field Communication) 태그를 부착한 형태로 지하시설물 관리를 제안[6]하거나 표지병에 UHF 태그와 NFC 태그를 혼합 형태로 적용하여 지하시설물의 위치 정보를 제공하고 관리하여 업무 효율을 증대시킬 수 있도록 [7,8] 하는 것처럼 표지병에 전자태그를 설치하는 선행연구가 있었다. 전자인식기를 통해서 구체적인 정보를 제공할 수는 있지만 자연 유실, 재포장 등에 의해 추적이 불가능해지는 표지병 자체의 단점을 극복할 수는 없었다.

따라서 다양한 방법들이 대안으로 제시되었다. 그 중 레이더를 주사하는 방식인 GPR(Ground Penetration Radar)을 활용하여 지하를 탐지하는 것도 그중 하나이다. GPR은 1911년 독일에서 최초로 개발되었고, 1970년도 이후 적극적으로 개발 및 활용되고 있는 방법이다 [9]. 송신 및 수신 안테나의 구성을 바꾸어 지하에 주사되는 송신 전자기파의 종류(bandwidth)를 다르게 할 수 있다. ASTM(American Society for Testing and Materials) D6432로 가이드가 마련되어 있다[10]. 미국 토목학회의 SUE(Subsurface Utility Engineering) Standard Guideline에 따르면 GPR 을 이용한 지중 유틸리티의 검측은 Quality Level B에 해당하는데, 반사된 이미지의 해석이 매우 힘든 경우가 있거나 토질 조건 특히 지하수의 유무에 많은 영향을 미치기 때문에 정밀한 해석이 어렵기 때문이다.

표지병 방식의 단점과 GPR의 낮은 정확도를 극복하기 위해 지하매설물에 직접 부착하여 위치를 추적할 수 있는 또 다른 대안기술들이 시도되고 있다. 대표적인 기술들은 EM(Electromagnetic) locator, RFID, 그리고 IoT 기술을 활용한 방법이다.

EM Locator 방식은 전자기파를 송신 및 수신하는 매질로 사용하여 지중에 매설된 금속 재질 관로의 위치를 발견할 수 있다. 전자기파를 검측하기 위해서는 전도체에 흐르는 특정 주파수가 제시되어 있으며[11], 자기장을 증폭시키는 송신기(transmitter)와 수신기(receiver)가

같은 주파수를 사용한다. 일반적으로 낮은 주파수는 도달 거리가 멀고 지반 상태가 균일하고 좋아야 하며, 높은 주파수는 도달거리가 짧고 주파수 방해/점프 현상인 bleed-over 현상이 일어나지만 해상도가 높다[12].

송신기를 전도성 관로에 클램프나 직접 연결, 관로에 클램프나 직접 연결, 전기나 통신선과 같은 전자기파가 이동하는 관로 중 관로 자체에서 발생하는 전자기파를 인식, 관로 내부에 탐지 가능한 로드(detectable rods)를 삽입하여 전자기파를 인위적으로 잠시 생성시키는 방법, 지상에서 유도 전자기파를 발생시켜 도체인 유틸리티에 전달하여 증폭 시키는 방법들이 있다[13].

여러 유틸리티가 교행/교차하거나 가깝게 매설되어 있을 경우 EM 신호가 타 유틸리티로 유도되어 세기가 변화하는 현상이 나타나기 때문에 지하 유틸리티가 너무 복잡한 곳은 적용하기가 어렵다. EM 신호가 많이 발생하는 지역(공장 지역, 도심의 특정 지역, 전기 관련 시설)에서는 전파의 수신이 어려운 경우가 발생한다. 따라서 구도심에 비금속 재료인 PVC(Polyvinyl Chloride) 덕트와 광케이블로 이루어진 통신 시설에서는 단점이 부각된다.

IoT 기술인 LoRa(Long Range) 통신 기술을 맨홀 뚜껑에 설치하고 BLE로 각 지하 시설물 노드의 데이터를 수집하는 연구[14]에서 알 수 있듯이 Active 방식의 전자인식기는 전원 공급이 필요하다.

버지니아 교통국(VDOT, Virginia Department of Transportation)에서 2010년경 시행한 유틸리티 Relocation 공사에서 RFID Locating Marker를 적극 활용하여 GPS(Global Positioning System) 조사 통한 위치 정보 확인과 이를 기존의 GIS(Geographic Information System)에 효과적으로 연동시키는 방법에 대하여 현장 시험(pilot project)을 시행하였다[15]. 5종류의 UHF RFID에 대해서 흙 속 5cm 하부와 아스팔트 지표 상부 표층에 설치하여 비교하였고, 노면의 물과 같은 주변 환경의 영향을 분석한[16] 연구 등, passive 방식의 UHF RFID를 지중에 설치할 수 있는 가능성이 확인되었고 시도되고 있다.

하지만 이러한 전자인식기는 정책적인 한계와 도심지 환경의 특성에 의해 아직까지 널리 보급되지 않고 있다. 따라서, 도로포장의 기층 구조물 아래에 위치한 관로에 다양한 전자인식기를 설치하여 현장 적용성 최적화와 시범사업 사례를 통하여 전자인식기 활용과 관련된 정책 개선의 기반 마련이 필요하다.

3. 전자인식기 현장 적용성 평가 계획

3.1 실험개요

시범사업을 수행하여 전자인식기의 현장 적용성을 확인하였다. 전자인식기를 관로 상단에 함께 매설하여 인식 성능을 평가하였다. UHF RFID는 원형(MOA)과 바형(MONO), 두 종류를 설치하고, 추가적으로 BLE Beacon과 지자기 인식기, 추적선, 상용 마커를 설치하였다. UHF RFID의 경우 안테나 형태에 따른 지중 인식 성능이 다를 것으로 예상되어 두 종류를 설치하였다. 테스트베드는 구도심인 부산시 연제구와 서울시 양천구를 대상으로 하였다.

부산시 연제구에는 한국건설기술연구원, 과학기술정보통신부, 부산 시청, 연제구청, 사업자 LG U+ 외 7개 사업자가 참여하여 공중선 지중화 시범사업을 수행하였으며, 본 시범사업에 전자인식기를 함께 매설하여 성능을 테스트하고자 하였다. 2019년 2월 과학기술정보통신부, 부산시와 사전 조율을 통해 시범사업 진행을 합의하였다. 테스트베드 구간은 부산시 연제구 거제대로 178번길이다.

서울시 테스트베드 역시 공중선 지중화 시범사업 시행 구간으로, 2019년 5월 대상지 공모를 통해 7월 양천구 관내 도로로 최종 선정하였다. 테스트베드 구간은 양천구 신정동 296-90번지 일대이다.

3.2 대상 전자인식기

RFID 시스템은 소형 반도체 칩을 이용해 사물의 정보를 처리하는 기술로, 무선주파수(RF, Radio Frequency)를 이용하여 시설물, 사람 등의 대상을 확인할 수 있다. 안테나와 칩으로 구성된 RF 태그에 사용 목적에 맞는 정보를 저장하여 적용 대상에 부착한 후 판독기에 해당하는 RFID 리더를 통하여 정보를 인식하는 방법으로 활용할 수 있다. 현장 시

Table 1. Specification of UHF RFID

| 구분 | 설명 |
|-----------------------|----------------------------|
| RF Protocol | EPC Class1 Gen |
| Operating frequency | UHF 902-928MHz |
| IC type | Alien Higgs-3 SOT-323 |
| Memory Configuration | EPC 96bits User 512bits |
| Functionality | Read/Write |
| Memory cycles | 100,000cycles |
| Data retention | Up to 50 years |
| Read Rate | 400/s |
| Operating Temperature | -20 ~ 180℃ |

험에 사용된 UHF RFID의 스펙은 Table 1과 같다.

BLE Beacon은 저 전력 블루투스 무선 통신 기술로, 배터리 하나로 수개월에서 최대 수년까지 활용이 가능하다. 또한, 블루투스 통신 방식으로 별도의 인식이 필요치 않고 스마트폰으로도 인식이 가능하다. 현장 시험에 사용된 BLE Beacon의 스펙은 Table 2와 같다.

Table 2. Specification of BLE Beacon

| 구분 | 설명 |
|-----------------------|----------------|
| Dimensions | 42φ x 15mm |
| Weight | 25g |
| Range | Up to 80m |
| Battery | CR2450(620mAh) |
| Frequency range | 2.4 GHz RF |
| Adjustable Output | -20dBm ~ +4dBm |
| Operating Temperature | -10 ~ 50℃ |
| Operating Humidity | 5 ~ 95% |

지자기 센서는 지구를 둘러싸고 있는 자력을 검출하는 센서로, 지자기를 통해 x, y 좌표 정보를 얻는 것이 가능하다. 지자기 센서에는 X와 Y의 2축 유형 및 Z를 추가한 3축 유형이 있으며, 각 방향의 자력을 측정할 수 있다. 현장 시험에 사용된 지자기 센서의 스펙은 Table 3과 같다.

Table 3. Specification of Geomagnetic Recognizer

| 구분 | 설명 |
|-----------------------|----------------|
| Dimension | 24 x 24 x 94mm |
| Sensitivity Accuracy | 20% |
| Full Scale Range | 1200 μT |
| Magnetic Sensitivity | 0.0366 μT/LSB |
| Digital Bit Depth | 16bits |
| Operating Temperature | -40 ~ 85℃ |

추적선(tracer wire)은 전자기파 송신기로 연속적인 전자기파를 증폭 및 송신시키고, 수신기로 반사된 신호를 획득하여 증폭 및 신호 처리하여 지중에 매설된 시설물을 탐지하기 위해 사용한다.

상용 마커의 경우, RFID 기술을 활용한 전자인식기로 마커마다 다른 주파수를 사용하여 유틸리티별로 구분할 수 있는 것이 특징인 상용 제품이다. Identification 기능은 데이터를 마커에 저장하고, Locator를 통하여 지중 매설물 정보 데이터를 송수신한다. 이러한 데이터 송수신 기능을 사용할 경우, 전파의 수신 깊이가 최대 검출 깊이에 비하여 감소된다. 현장 시험에 사용된 상용 마커의 스펙은 Table 4와 같다.

Table 4. Specification of Marker

| 구분 | 설명 |
|--------------|--------------------|
| Dimension | 21 x 3.2 cm |
| Burial Depth | 1.83 m |
| Range | 0 to 6 Linear Foot |

4. 현장 적용성 평가 결과

4.1. 부산시 시범사업(1차) 결과

부산시 연제구 테스트베드는 2019년 7월 24~25일 Fig. 1의 200m 구간에 시공하였으며, 해당 구간에 네 가지 종류의 전자인식기를 설치하고 위치 정보를 획득하였다. Fig. 2는 현장 시험 시공 설치도를 나타낸다. 두 종류의 UHF RFID 각각 40개, BLE Beacon 40개, 지자기 센서 20개, 상용 마커 20개를 지중에 설치하였다.



Fig. 1. Sensor location for Busan Yeon-je district



Fig. 2. Sensor installation on Busan Yeon-je district

인식 성능은 2019년 8월부터 2020년 6월까지 총 3차례에 걸쳐 측정하였으며, 첫 번째 인식 성능 테스트는 현장 시험시공 이후 약 10일이 경과된 이후인 2019년 8월 6일에 수행하였다. Table 5는 전자인식기별 인식 성능 테스트 일정을 나타낸다.

Table 5. Test schedule by sensor

| Date | RFID (MOA) | RFID (MONO) | BLE Beacon | Geomagnetic recognizer | Commercial Marker |
|-------------|------------|-------------|------------|------------------------|-------------------|
| 2019. 08.06 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 2019. 09.09 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 2020. 06.18 | ○ | ○ | ○ | X | ○ |

두 번째 테스트는 약 한 달 뒤인 9월에 진행하였으며, 세 번째 테스트는 장시간 이후의 성능을 확인하기 위해 약 10개월 이후인 2020년 6월에 수행하였다. 하지만 6월 18일은 우천으로 인해 지자기 센서 테스트는 어려움이 있었다.

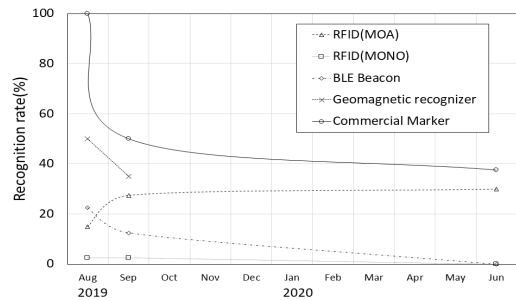


Fig. 3. Sensor recognition rate of Busan Yeon-je district

Fig. 3은 전자인식기별 시간에 따른 인식률을 나타낸다. 현장 상황에 따라 제한적인 데이터를 감안하고 결과를 살펴보면 RFID의 인식 성능 분석 결과, 원형 RFID(MOA)는 첫 번째 테스트에서는 인식된 센서가 6개에 불과하였지만, 두 번째 11개, 세 번째 12개로 점차 증가하는 것으로 나타났다. 시간이 지남에 따라 인식률이 증가하는 것을 통해, 지중화 시 포장재 마감이 완전히 되지 않으면 인식 성능이 떨어지는 것으로 추정된다. 반면, 박형 RFID(MONO)는 한 개의 센서만 인식되다가 마지막 테스트에서는 전혀 인식이 되지 않았다. 이는 콘크리트

트 매설 작업 시 센서의 위치가 돌아가면서 인식이 되지 않는 것으로 확인되었다.

BLE Beacon의 경우, 첫 번째 테스트에서는 총 40개의 센서 중 9개의 센서만을 감지하는 것으로 나타났다. 두 번째 테스트에서는 5개의 센서, 마지막 테스트에서는 하나도 인식하지 못하는 것으로 분석되었다. 비교적 얕은 지점에 매설된 센서는 처음에 인식하고, 상대적으로 매설 깊이가 깊은 통신 맨홀 인근의 센서는 인식이 잘 되지 않는 것으로 분석되었다. 또한, 세 번째 테스트는 겨울, 봄을 거쳐 측정한 데이터로 겨울철 날씨로 인한 배터리 문제로 인해 기존에 인식되었던 센서마저 인식되지 않는 것으로 유추된다.



Fig. 4. Limited installation on Busan Yeon-je district

지자기 센서의 경우, 우천으로 인한 성능 테스트 진행의 어려움으로 총 2차례 측정하였으며 1회 측정 시 5번을 측정하여 평균값을 산정하였다. 평균값과 매설되지 않은 지점의 측정값과 비교하여 인식 여부를 판단하였다. 첫 번째 테스트 결과, 10개를 인식하여 50%의 센서를 인식하는 것으로 나타났다. 두 번째 테스트에서는 35%로 나타났다. 이는 RFID와 마찬가지로 콘크리트 매설 시 지자기의 방향이 돌아가 제대로 인식이 되지 않은 것으로 유추된다. Fig. 4는 부산시에서 설치된 RFID 및 지자기 센서 현황을 나타낸다.

상용 마커의 경우, 측정 dB 평균값과 매설되지 않은 지점의 dB 값의 차이로 인식 여부를 판단하였다. 첫 번째 테스트 결과, 2개 센서를 제외하고는 센서가 매설된 지점과 매설되지 않은 지점의 dB 측정값이 크게 나지 않는 것으로 확인되었다. 매설되지 않은 곳은 19~24dB로, 매설된 곳은 33~58dB로 분석되어 값이 크게 차이 나지 않거나, 측정되더라도 측정된 값의 편차가 커서 명확한 위치를 도출하는데 어려움이 있었다. 이는 매설 깊이가

깊어 측정되더라도 값이 약하게 측정되는 것으로 추정된다.

부산시 현장 시공을 통한 전자인식기 인식 성능 테스트 결과, 전체적으로 인식률이 낮은 것으로 분석되었다. 이는 좁은 구간에 공중선을 매설하여 매설된 관의 간격이 좁아 전자인식기를 고정할 수 있는 스페이서 사용에 한계가 있었다. 이로 인해, 테이프프로만 전자인식기를 고정하여 콘크리트 메움 시 센서의 위치가 돌아가는 등의 문제점으로 인해 성능이 떨어지는 것으로 유추된다. 또한, 매설된 깊이, 되메움 재료의 특성에 따라 인식 성능이 다른 것으로 추정된다. 이렇듯 부산시 시범사업을 통해, 문제점을 파악하였으며 이를 서울시 시범사업에서 개선하여 전자인식기 성능을 보다 향상시키고자 하였다.

4.2 서울시 시범사업(2차) 결과

서울시 양천구 테스트베드는 2019년 11월 18~19일에 약 50m 구간에 현장 시공을 수행하였으며, 마찬가지로 위치정보를 획득하였다. 부산시 사업과 마찬가지로, 해당 구간에 네 가지 종류의 전자인식기를 설치하였으며 Fig. 5는 현장 시험시공 설치 위치를 나타낸다. 두 종류의 UHF RFID 각 5개, BLE Beacon 5개, 지자기 센서 5개, 상용 마커 4개를 지중에 매설하였다. 제한적인 현장 길이(구간)에 따라 1차 시범사업에서 문제점으로 확인된 설치깊이를 검증하도록 상대적으로 적은 수의 전자인식기를 설치하였다.

서울시 시범사업의 경우, 부산시 시범사업의 문제점을 고려하여 현장 적용성을 검토하였다. 문제점을 개선하기 위해, 전자인식기의 매설 깊이를 통제할 수 있도록 하였다. 설치 시 태그 마운트 장치를 추가하여 센서 깊이를 표층에서부터 40cm 이내로 설치하였다.



Fig. 5. Sensor location for Seoul Yang-cheon district

인식 성능 테스트는 2019년 12월에 수행하였다. Fig. 6은 전자인식기가 설치된 현장을 나타낸다.



Fig. 6. Sensor installation on Seoul Yang-cheon district

BLE Beacon의 경우, 센서 5개 중 4개의 센서를 인식하는 것으로 나타났다. UHF RFID의 경우, 두 가지 모두(MOA, MONO)는 100% 인식 성능을 보였다.

지자기 센서의 경우, 3번의 측정 평균값과 매설되지 않은 지점의 측정값과 비교하였다. 그 결과, 매설되지 않은 곳의 측정값과 차이가 나지 않아 인식이 어려운 것으로 도출되었다.

마지막으로, 상용 마커의 경우, 지자기 센서와 마찬가지로 3번의 측정 dB 평균값과 매설되지 않은 지점의 dB 값의 차이로 인식 여부를 판단하였다. 그 결과, 모든 센서를 인식하는 것으로 분석되었다. Table 6은 전자인식기별 인식률을 나타낸다.

Table 6. Test result comparison between Yeon-je and Yang-cheon

| Type | Recognition rate(%) | |
|------------------------|---------------------|------------------|
| | Busam Yeon-je | Seoul Yang-cheon |
| BLE Beacon | 22.5 | 80 |
| RFID(MOA) | 27.5 | 100 |
| RFID(MONO) | 2.5 | 100 |
| Geomagnetic recognizer | 50 | 0 |
| Commercial Marker | 100 | 100 |

서울시 현장 시공을 통한 전자인식기 인식 성능 테스트 결과, 부산시에 비해 인식률이 크게 상승하는 것으로 나타났다. 특히 RFID는 100%의 인식률을 나타냈다. 2차 시범사업 간에 전자인식기의 성능 개선은 없었으므로

1차 시범사업 시 도출한 설치 깊이의 영향인 것을 시사한다. 부산시 현장 시공의 문제점을 보완하기 위해 설치한 태그 마운트와 매설 깊이가 인식률을 크게 높인 것으로 보인다. 지중에 설치된 전자인식기의 설치 깊이와 방향성이 매우 중요하기 때문에 현장 적용 시에 설치 깊이를 정밀하게 조절한 경우 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

5. 결론

서로 다른 특징을 갖고 있는 전자인식기 중 이력 관리에 활용 가능한 전자인식기를 도출하고 최적의 적용 방안을 마련하기 위해, 종류별 지중 매설물용 전자인식기를 두 차례의 지중화 통신관로 시범사업에 적용하여 비교 분석하였다. 시범사업을 통해 전자인식기의 인식 성능이 설치 깊이 변수에 가장 큰 영향을 받는 것을 확인하였다. 특히 전원을 사용하지 않는 방식의 전자인식기는 위치 인식 불가를 최소화할 수 있도록 제한 깊이를 40cm로 도출할 수 있었다. 이는 현재 도입되고 있는 미니트랜칭 공법(40cm 깊이에 설치)에 적합한 성능이다. 다양한 제약조건과 통제할 수 없는 변수들로 가득찬 현장 테스트 결과에 따르면 UHF RFID는 배터리 영향에 따른 시간에 따른 성능 저하, 다양한 주변 환경의 영향이 가장 적었다. 또한 설치 깊이를 통제하여 표층으로부터 40cm 이내에 설치된다면 인식률 100%의 성능을 발휘한다. 따라서 관로의 설치 깊이를 통제한다면 지중 매설물 이력 관리 시스템의 전자인식기로 보급할 수 있는 기술 수준이라고 판단된다. 본 연구에서 분석한 현장 적용 결과는 전자인식기를 활용한 지중 매설물 이력 관리 시스템이 도심지에 보급되는 정책 개선 기반 마련 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

향후 지중 매설물에 전자인식기를 부착하여 이력을 관리하는 기술이 유틸리티의 매설 계획 및 설계, 시공 과정에 활용된다면 파손 피해를 최소화하고 서비스의 안정성을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다. 특히 신뢰성이 확보된 전자인식기를 지중 매설물 즉 관로에 직접 부착을 한다면 굴착공사 전에 탐지하도록 하여 이력 관리 도면과 매핑할 수 있을 것이고, 지중 매설물의 현황을 최신화 하여 흔히 발생하는 도면 부정확에 따른 기존 관로 파손을 방지할 수 있을 것이다. 또한, 굴착공사의 효율성을 높이며 장기적인 유지관리에 필요한 정보를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] Jae-Woo Kim, *Case Study on Underground Utilities Damage in Urban Area due to Deep Underground and Administrative Approach to Alleviate Problems*, Master's thesis, Hanyang University, pp.14-15, 2019.
- [2] KeeHyun Park, InSung Kim, Donghyeok An, "An Integrated IoT Underground Utility Management System Using Pole-type Utility Indicators", *Asia-pacific Journal of Multimedia Services Convergent with Art, Humanities, and Sociology*, Vol.9, No.1, pp. 41-50, 2019, DOI: <https://dx.doi.org/10.21742/AJMAHS.2019.01.05>
- [3] Paul Goodrum, Adam Smith, Ben Slaughter, Fady Kari, "Case study and statistical analysis of utility conflicts on construction roadway projects and best practices in their avoidance", *Journal of urban planning and development* 134, pp.63-70, 2008.
- [4] James H Anspach, *Utility Location and Highway Design: A Synthesis of Highway Practice*. Transportation Research Board of National Academies, Washington, DC, USA. 2010
- [5] EunDeok Jang, Status and Task of the aerial cable maintenance project, National Assembly Legislative Research Office, Korea, 2016
- [6] Tai-Dal Kim, "A Study on the Development of Intelligent Markup Indicator(IMI) Technology for Underground Facilities Management Using IoT", *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication* 17, 129-136, 2017 DOI: <https://doi.org/10.7236/IIBC.2017.17.3.129>
- [7] Kim Sung Hun, Do Myung Sik, "A study on the underground facilities management using location marker and complex sensor" *The 14th Proceeding of Korean Society of Road Engineers*, Korean Society of Road Engineers, pp. 421-424, 2012.9
- [8] Young Wook Lee, Sung Hun Kim, "A study on the development of Smart Information Mark and the method for Underground facility management" *Journal of the Korean Cadastre Information Association* 14(2), 2012
- [9] David J Daniels, *Ground Penetrating Radar*, The Institution of Electrical Engineers. The Institution of Engineering and Technology, 2004 DOI: <https://doi.org/10.1049/PBRA015E>
- [10] D18 Committee, *Guide for Using the Surface Ground Penetrating Radar Method for Subsurface Investigation*. ASTM International, 2019 DOI: <https://doi.org/10.1520/D6432-19>
- [11] Sterling R L, Anspach James H, Allouche Erez N, Simicevic Jadranka, Rogers Christopher D F, Weston Karla E, Hayes K, *Encouraging innovation in locating and characterizing underground utilities*, SHRP2 Transportation Research Board, USA, 2009 DOI: <https://doi.org/10.17226/22994>
- [12] Radiodetection, *The theory of buried cable and pipe location*, 2017.
- [13] *Underground surveying, Utility Locating Technology: Learn All About Our Cable & Pipe Locator, Ground-Penetrating Radar(GPR), & Magnetometer Technology*, <https://sites.google.com/a/undergroundsurveying.com/website/technology/utility-locating-technology> (accessed 9.7.20).
- [14] Jong-Duk Kim, Seung-Heon Han, Yong-Kil Kim, "Smart Manhole Device for Underground Facility Management" *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering* 23, 996-1003, 2019 DOI: <https://doi.org/10.6109/jkiice.2019.23.8.996>
- [15] Darlene North, RFID markers and GPS technology support Virginia DOT roadway construction. Project case study report, USA, pp38-39.
- [16] Eeun Chul Shin, Gwang Seok Park, Jeong Jun Park, "A Fundamental Experiment for Field Application of the under Pavement Cavity Management System Using RFID". *The Korean Society of Disaster Information* 15, pp391-401, 2019 DOI: <https://doi.org/10.15683/kosdi.2019.09.30.391>

정 유 석(YooSeok Jung)

[정회원]



- 2014년 2월 : 중앙대학교 토목공학과 공학석사
- 2015년 4월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 전임연구원

<관심분야>

사물인터넷, 계측

김 슬 램(Soullam Kim)

[정회원]



- 2016년 2월 : 과학기술연합대학원대학교 교통물류 및 ITS공학과 (공학 석사)
- 2016년 1월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 전임연구원

<관심분야>

교통운영, 교통안전

김 병 곤(Byungkon Kim)

[정회원]



- 2013년 2월 : 한양대학교 컴퓨터 공학과 공학박사
- 1993년 2월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 미래융합연구본부 연구위원

〈관심분야〉

스마트건설기술, 운영체제