

# 3GPP NB-IoT 기반 맨홀 감시 솔루션

주 용 원\*, 김 화 성<sup>o</sup>

## The Solution for Manhole Surveillance Based on 3GPP NB-IoT

Joo Yong Won\*, Kim Hwa Sung<sup>o</sup>

### 요 약

3GPP NB-IoT 기술을 적용하여 맨홀 및 맨홀 내부 시설물을 안전하게 관리하기 위한 ‘NB-IoT 맨홀 감시 솔루션’을 개발하였다. 본 솔루션은 맨홀 뚜껑 개폐 여부 및 맨홀 내부의 공기질 상태를 원격으로 감시하여, 맨홀에 의해 발생할 수 있는 사고를 예방하여 사회적, 경제적 비용을 절감 할 수 있다. 기존에도 맨홀을 원격으로 관리 하는 방안이 있었으나, 주철, 주강재 등의 소재로 제작된 맨홀 뚜껑에 의한 전파 감쇄로 인해 통신이 불가하여 널리 활용되지 못했다. 3GPP NB-IoT의 넓은 커버리지 특성(Coverage Enhancement)을 통해 맨홀 뚜껑에 의한 전파 감쇄 현상을 보상하였고, 맨홀 내부에 전원 공급 시설 부재로 인해 배터리로 동작하도록 제작하였으며, 전력 소모를 최소화하기 위한 3GPP 초절전 기술(PSM, Power Save Mode)을 적용하였다. 또한, 다양한 크기의 맨홀에 활용 할 수 있도록 ‘길이 조정 거치 프레임(Adjustable Length Mounting Frame)’을 발명하여, 설치 시 별도의 시설 공사가 불필요하여, 시설 공사로 인한 시간 및 비용을 절감할 수 있도록 하였다. 상용화를 위한 사전 단계로 통신 맨홀에 시범 적용하여 그 유효성을 검증하였다. 향후, 스마트시티 등의 건설 시에는 맨홀뿐 아니라 다양한 지하 시설물을 원격 감시할 수 있는 솔루션의 개발 및 적용을 통해 각종 사고로부터 국민의 생명과 재산이 안전하게 보호되어야 할 것이다.

**키워드** : 맨홀 감시, 협대역 사물인터넷, 원격 검침, 사물인터넷 플랫폼, 스마트시티

**Key Words** : Manhole Surveillance, NB-IoT, Remote Metering, IoT Platform, Smart City

### ABSTRACT

‘NB-IoT Manhole Surveillance Solution’ has been developed to safely manage manholes and facilities that are applied with 3GPP NB-IoT. It can remotely monitor the opening of the manhole cover and the air quality inside the manhole, thereby preventing accidents that may be caused by the manhole. Conventionally, there were methods to remotely manage manholes, but they were not widely used because of propagation attenuation caused by manhole cover made of cast iron, cast steel. It compensates for propagation attenuation by manhole covers through the coverage enhancement characteristics of NB-IoT, is designed to operate as battery because there is no power supply facilities inside a manhole, and 3GPP’s PSM is applied to minimize power consumption. In addition, ‘Adjustable Length Mounting Frame’ was invented for use in manholes of various sizes so that it is possible to save time and cost due to no construction. It was verified by applying to the telecom manhole as a preliminary step for commercialization. In the future, when planning to design a smart city is required the development and adaptation of solutions that can remotely monitor various underground facilities as well as manhole, and these will protect the life and property of the people from accidents.

\* First Author : KT, soph7392@gmail, 정회원

<sup>o</sup> Corresponding Author : KwangWoon University Electronics and Communications Engineering, hwkim@kw.ac.kr, 종신회원  
논문번호 : 201908-159-D-RU, Received August 17, 2019; Revised September 12, 2019; Accepted September 23, 2019

## I. 서 론

도심에는 수많은 맨홀이 설치되어 있으며, 맨홀 내부의 유해가스로 인한 작업자의 질식사고, 맨홀 뚜껑의 파손 및 노후화 등으로 인한 차량 및 보행자 사고, 악의의 목적으로 맨홀 내부 시설물(가스관, 전기시설, 통신케이블, 상하수도관 등) 파괴 및 파손 행위 및 맨홀 뚜껑의 도난 문제 등의 사회적 문제가 빈번히 발생한다<sup>[1]</sup>. 이러한 문제들을 해결하기 위해 맨홀을 원격으로 감시하기 위한 기술들이 연구되고 있으나, 주철, 주강재 등의 소재로 제작된 맨홀 뚜껑에 의한 전파 감쇄 현상으로 인한 통신 불가, 맨홀 내부의 전원 공급 시설 부재, 감시 장치 설치를 위한 맨홀 내벽 시설 공사 등의 번거로운 작업 등의 문제로 인해 널리 활용되지 못하고 있다. 개발한 ‘NB-IoT 맨홀 감시 솔루션’은 NB-IoT의 넓은 커버리지 특성(Coverage Enhancement)을 위해 표준에서 정의된 HARQ(Hybrid ARQ) 재전송, 반복 전송(Repetition), 낮은 코딩 비율 및 변조 차수를 사용하고, 레퍼런스 신호(Reference Signal)의 전력 증대 및 PRB(Physical Resource Block)의 전력을 증대하여<sup>[2]</sup> NB-IoT 단말이 기지국 신호의 복조 성능을 높이는 방법을 적용하여 맨홀 뚜껑에 의한 전파 투과 손실을 보상함으로써 맨홀 내부에서도 통신이 가능하도록 하였고, 맨홀 내부에 전원 공급 시설 부재로 인해 배터리로 동작하도록 제작하였으며, 전력 소모를 최소화하기 위한 3GPP 초절전 기술(PSM)<sup>[3]</sup>을 적용하였다. 또한, 다양한 크기의 맨홀에 적용할 수 있도록 ‘길이 조정 거치 프레임(Adjustable Length Mounting Frame)’을 발명<sup>[4]</sup>하여, 설치 시 별도의 시설 공사가 불필요하여, 시설 공사로 인한 시간 및 비용을 절감할 수 있도록 하였다. 3GPP NB-IoT는 LTE, 3G 등 기존 이동통신 방식 대비 180kHz의 좁은 대역폭을<sup>[5]</sup> 사용하여 소량의 데이터 통신에 특화된 사물인터넷 표준으로 서비스 커버리지를 정의하는 척도인 MCL(Maximum Coupling Loss)가 LTE 대비 20dB 이상으로 설계가 요구되어<sup>[6]</sup> 원격 감시와 같은 서비스에 적용할 수 있는 최적의 기술로써, 최근에는 NB-IoT의 저저력, 저비용, 넓은 커버리지 특성으로 가스 사용량 검침, 수도 사용량 검침, 등의 원격 검침 솔루션 분야뿐만 아니라, 출입 보안 관제, 가로등 제어, 자산 관리, 스마트주차 등으로 점차 서비스 분야가 확대되고 있다<sup>[7]</sup>.

## II. 맨홀현황

### 2.1 맨홀의 용도 및 종류

맨홀은 지하의 매설된 상하수도관, 가스관, 케이블 등의 정비를 위해 지하의 통로와 연결된 구멍으로 관이나 케이블 등의 점검, 관리 및 관이나 케이블의 접합을 위해 사람이 출입하는 시설을 말한다. 관로의 중간에 맨홀을 통해서 수직으로 내려갈 수 있는 통로를 만들어 놓지 않으면 시설물 유지보수에 애로 상황이 발생하여 맨홀을 설치한다<sup>[8]</sup>. 맨홀의 분류법은 여러 방법이 있으며, 맨홀 내부의 시설물에 따라 통신맨홀, 전기맨홀, 가스맨홀, 상수맨홀, 하수맨홀, 우수(雨水)맨홀 등으로 구분할 수 있다. 그림 1은 맨홀 내부 시설물에 따른 맨홀 뚜껑의 모양과 내부 사진이다.

	Manhole Cover	Manhole Inside
Telecom		
Electric Power		
Gas		
Sewage		

그림 1. 맨홀의 내부 시설물에 따른 분류  
Fig. 1. Classification according to Facilities inside Manhole

### 2.2 맨홀 시설에 의한 사고 및 방지 방법

보도나 차도에 설치된 수많은 맨홀로 인해 각종 사고도 자주 발생하고 있다. 맨홀 시설에 의한 대표적인 사고 유형은 맨홀 뚜껑의 파손 및 노후화 등으로 인한 차량 및 보행자 사고, 맨홀 내부의 시설물 유지보수를 위해 작업자의 진입 시 맨홀 내 유해가스에 의한 질식사고, 악의의 목적을 가지고 맨홀 내부의 시설물을 파손하는 행위 등이다. 맨홀 뚜껑의 도난 사고, 맨홀 뚜껑과 프레임의 유격으로 인한 소음 문제 등도 발생한다<sup>[9]</sup>. 이러한 다양한 맨홀 시설에 의한 사고 및 문제점을 해결하기 위해 중앙 및 지방 자치 단체에서는 맨홀

표 1. 맨홀 문제점 및 해결방안  
Table 1. Manhole Issues and Resolutions

Manhole Issues	Resolutions
Worker Suffocation	Detection for Hazardous Gas
Vehicle and Pedestrian Accidents	Monitoring for Status of Manhole Cover
Behavior that Destroys Facilities	
Theft of Manhole Cover	
Noise due to Misalignment of Manhole Cover and Frame	

관련 법규를 제정하여 안전하게 관리하려는 추세이다. 서울시의 경우 국토교통부에서 제정한 ‘도로상 작업구 설치 및 관리지침’과 연계해 2016년 7월 ‘서울시 도로상 맨홀정비 및 관리지침’을 개정하여 맨홀 관리에 대한 종합적이고 세부적인 관리기준을 수립하고 개정된 관리지침에 따라 단계적으로 불량 맨홀의 정비를 통해 맨홀로 인한 각종 사고에 대응해 가고 있다<sup>[10]</sup>. 맨홀 시설에 의한 주요 사고 및 문제점을 방지하는 방법을 표 1에 구분하였다. 3장에서는 이러한 문제점을 해결할 수 있는 ‘NB-IoT 맨홀 감시 솔루션’에 대해 상세히 설명하도록 한다.

### III. NB-IoT 맨홀 감시 솔루션

#### 3.1 맨홀 감시 솔루션 요구 기능

본 솔루션의 개발을 위해 맨홀 및 내부 시설물의 유지보수를 담당하는 국내 한 통신 회사의 현장부서 방문을 통해 담당 직원 20~30명과의 인터뷰하는 방식으로 약 2주간 요구 사항을 조사하였다. 다양한 의견들이 있었으나, 기본적으로 맨홀 내부에서도 통신이 되어야 하는 사항 외에 맨홀 뚜껑 개폐 여부 탐지, 작업을 위한 맨홀 내부 진입 시 유해가스에 의한 질식사 사고 방지를 위한 공기질 센서 장착, 맨홀의 침수 등으로 인한 감시 장치의 방수 기능이 필요하며, 감시 장치의 유지보수 측면에서 배터리는 2년 이상 사용을 보장해야 하며, 무엇보다도 감시 장치의 설치나 철거 시에 간편해야 하며, 설치된 장치에 의해 맨홀 내부 진입 시 불편을 초래하여서는 안 된다는 요구 사항들이 있었다. 이러한 현장의 요구 사항을 반영하여 표 2와 같이 맨홀 감시 솔루션의 필수 기능을 선정하고 목표 성능 수준과 구현 방안을 도출하였다.

또한, 기존의 제시되었던 솔루션들의 문제점을 분석하여 보완해야 할 사항도 반영하였다. 기존의 맨홀 감시 장치는 맨홀 뚜껑에 의한 전파 투과 손실을 회피

표 2. 맨홀 감시 솔루션의 요구 사항  
Table 2. Requirements of Manhole Surveillance Solution

Required Function	Implementation
Communication Available in Manhole	Up to -130dBm for N-RSRP
Battery Life Cycle	At least 2 Years
Water and Dust Proof	IP67 (KSC IEC 60529)
Sensors	Air Quality Manhole Cover Detector
Easy Installation	Adjustable Length Mounting Frame
Applicable to Various Sizes	
User Apps	Android, iOS

하기 위하여 맨홀 뚜껑 상단에 통신용 안테나를 매립하여 제작하였다<sup>[11]</sup>. 이러한 방식은 맨홀 뚜껑에 의한 전파감쇄 현상을 회피 할 수 있는 방안이나, 맨홀 뚜껑의 교체가 필요하여 신규로 설치되는 맨홀에는 적용을 검토해 볼 수 있으나, 전국에 설치된 수많은 맨홀의 수량을 고려하면, 맨홀 뚜껑 및 틀의 변경 없이 적용할 수 있는 솔루션이 필요하다. 따라서 국내 통신용 맨홀의 표준 규격을 만족하고, 뚜껑 및 틀의 교체가 필요 없는 ‘길이 조정 거치 프레임’을 새로이 발명하여<sup>[4]</sup> 통신 모듈, 맨홀 뚜껑 개폐 감지기, 공기질 센서, 배터리 등의 모든 구성품을 프레임에 장착하였다.

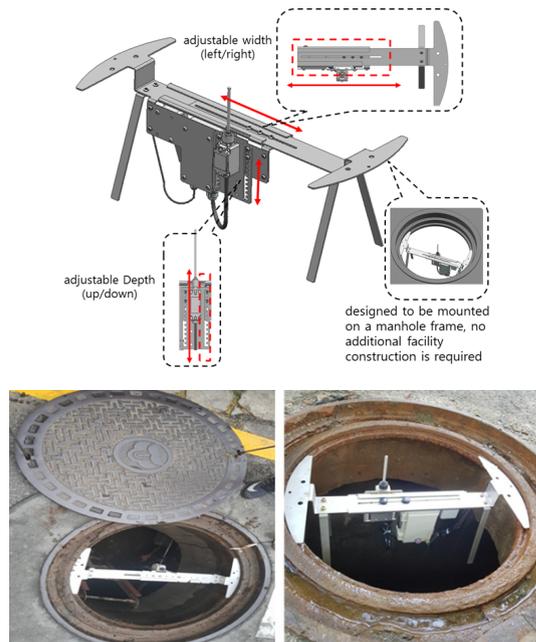


그림 2. 길이 조정 거치 프레임의 구조  
Fig. 2. Structure of Adjustable Length Mounting Frame

설치나 철거 시 별도의 시설 공사가 불필요하도록 제작하였으며, 맨홀 진입 시 설치된 ‘길이 조정 거치 프레임’을 간편하게 철거 할 수 있어 맨홀 작업 시 지장을 초래하지 않으며, 작업 완료 후 재설치를 위해서 맨홀 내부 틀에 맞혀서 올려놓기만 하면 설치가 완료된다. 또한, 다양한 크기의 맨홀에 설치 할 수 있도록 길이 조절이 가능하다. 그림 2는 설치 간소화 및 다양한 크기의 맨홀에 적용될 수 있도록 개발한 ‘길이 조정 거치 프레임’의 구조와 실제 통신맨홀에 설치된 사진이다.

### 3.2 맨홀 감시 솔루션 구성요소

통신맨홀의 원격 감시를 위한 솔루션은 맨홀 감시 장치, NB-IoT 네트워크, IoT 플랫폼, 관제센터 및 사용자 앱으로 구성된다. 그림 3은 맨홀 감시 솔루션의 구성도이다.

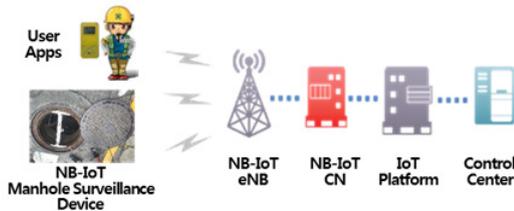


그림 3. NB-IoT 맨홀 감시 솔루션 구성도  
Fig. 3. Diagram of NB-IoT Manhole Surveillance Solution

### 3.3 맨홀 감시 솔루션 상세사항

#### 3.3.1 맨홀 감시 장치

맨홀 감시 장치는 맨홀 뚜껑과 맨홀 내부 시설물의 원격 감시를 위한 장치로써, 통신 모듈, 센서류, 배터리와 맨홀에 설치가 용이한 길이 조정 거치 프레임으로 구성되어 있다. 그림 4는 개발한 맨홀 감시 장치의 실제 사진과 구성요소이다.

맨홀 감시 장치는 뚜껑의 개폐 여부, 내부의 공기질 상태를 NB-IoT 통신 모듈을 통해 주기적으로 관제센터로 보고한다. 맨홀 감시 장치의 상세 동작 절차는 4절에서 설명하도록 한다. 길이 조정 거치 프레임에 모든 구성품이 장착되도록 제작하여 맨홀 뚜껑을 열고 내부 틀에 맞춰 올려놓기만 하면 간편하게 설치가 가능하며, 맨홀 작업을 위해 진입 시에는 설치된 감시 장치를 지상으로 꺼내 놓고 작업 완료 후 다시 틀에 올려놓으면 된다. 원형 통신맨홀의 다양한 크기(직경: 766, 918mm)에<sup>[12]</sup> 적용 할 수 있도록 500 ~

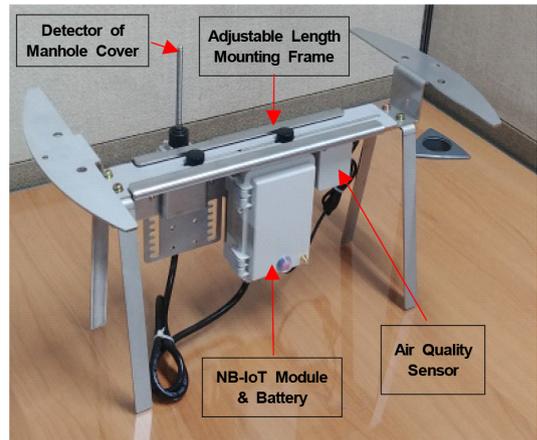


그림 4. NB-IoT 맨홀 감시 장치 구성품  
Fig. 4. Components of NB-IoT Manhole Surveillance Device

1,000mm까지의 길이 조절이 가능하다. 배터리는 범용 AA형을 적용하여, 방전 시 쉽게 교체 할 수 있도록 하였다. 각 구성요소에 대한 상세사항은 표 3과 같다.

표 3. 맨홀 감시 장치 상세사항  
Table 3. Specifications of Manhole Surveillance Device

Compositions	Specification
Size	100(Width) × 30(Height) cm
Weight	5 kg
NB-IoT Module	MDM9206 (Qualcomm Inc.)
Battery	AA Type 8 EAs
Detector of Manhole Cover	HY-909 Limited Switch (HYnux Inc.)
Air Quality Sensor	MiCS-5524 (SGX Sensortech Inc.)
Range for Adjustable Length Mounting Frame	500 ~ 1,000 mm

#### 3.3.2 NB-IoT 기지국

본 솔루션을 위해 NB-IoT 기지국은 기존 LTE 서비스 주파수 대역(Operating Band 3, 1.8GHz)을 사용하고, NB-IoT의 3가지 운용 방식(In-Band, Guard Band, Stand Alone) 중 Guard Band 방식을 채택하여, 기지국 출력은 기존 LTE 기지국과 동일한 46dBm이다. 또한, 넓은 커버리지를 특성을 위해 Coverage Enhancement 레벨을 3단계로 설정하고, 기지국 신호 복조를 위해 사용되는 레퍼런스 시그널의 전력을 6dB 증대하여 맨홀 내부와 같은 약전계 환경에서도 수신 성능을 높이도록 하였다. 표 4는 NB-IoT 기지국의 주

표 4. NB-IoT 기지국 주요 파라미터  
Table 4. Values of NB-IoT eNB Key Parameters

Parameters	Values
Frequency Band	Band 3 (1.8GHz)
Duplex Mode	Half Duplex FDD
Deployment Mode	Guard Band
Coverage Enhancement	CE Level 0, 1, 2
Cell Power	46 dBm
Power Boosting	6 dB

요 파라미터이다.

### 3.3.3 NB-IoT 코어망

NB-IoT의 코어망은 LTE의 EPC(Evolved Packet Core)에서 MME(Mobility Management Entity)와 SGW(Serving Gateway)의 기능을 수행하는 C-SGN(Cellular IoT-Serving Gateway Node)을 도입하여 IoT 전용 코어망 구축을 통해 사물인터넷 서비스를 안정적으로 제공할 수 있도록 하였다. 사물인터넷 기기들의 저전력 통신을 위하여 C-SGN에서는 PSM, eDRX(Extended Discontinuous Reception)의 기능도 구현되어 있으며, 관련 파라미터의 최적화를 통하여 배터리 사용시간을 최대화 할 수 있다<sup>1)</sup>. 사물인터넷 서비스별로 관련 기능 및 파라미터를 설정 및 제어를 할 수 있으며, 맨홀 감시 솔루션의 경우는 서비스 시나리오에 따라 PSM은 기능을 적용하였고, eDRX는 해당 기능을 사용하지 않았다.

### 3.3.4 IoT 플랫폼

IoT 서비스 제공자는 기기들의 연결 및 운용 등의 효율적 관리를 위해 IoT 플랫폼을 구축하여 운용하고 있다. 맨홀 감시 솔루션은 ‘IoT Makers’라는 개방형 표준 IoT 플랫폼과의 연동을 통해 다양한 서비스가 구현될 수 있도록 하였다. IoT Makers는 NB-IoT와 같은 저전력, 저사양 기기를 수용하기 위해서 경량 IoT 애플리케이션 프로토콜인 LwM2M(Lightweight Machine to Machine)을 적용하여 국제표준 기관인 oneM2M, G/S 인증 및 국내 표준화 단체인 TTA로부터 ‘LwM2M TTA Verified’ 인증을 획득하였다<sup>13)</sup>. 맨홀 감시 장치와의 연동을 위해 사용되는 Tag명, 타입, 속성에 대해서 표 5와 같이 정의하였다. 현재 개발된 감시 장치에는 없는 수위 및 온도 센서에 관련된 Tag 등도 향후 기능 개발을 고려하여 추가하였다. 정의된 Tag의 속성은 크게 수집(Collect)과 제어(Control)로 구분되며, 수집은 각종 검침 항목을 의미

표 5. IoT Makers에 정의된 Tag  
Table 5. Tag Defined on IoT Makers

Action	Tag	Description
Collect	rsrp	Measurement Value of N-RSRP
	air	Measurement Value of Air Quality Sensor
	airQ	Air Quality Level
	door	Status of Manhole Cover
	battery	Battery Remaining Amount
	E-air	Air Quality Value at Event Occurrence
	E-airQ	Air Quality Level at Event Occurrence
	temperature	Measurement Value of Temperature
	humidity	Measurement Value of Humidity
	water	Measurement Value of Water Level
Control	timer	Duration of Metering
	reboot	Reboot for Communication Module
	poweroff	Device Power off

하며, 제어는 감시 장치의 동작을 제어하기 위하여 사용된다.

### 3.3.5 관제센터

감시 장치가 설치된 맨홀의 원격 감시를 위해 맨홀 별 주요 감시 항목을 UX로 구성하고, 관제센터의 월스크린을 통해 맨홀의 실시간 감시가 가능하다. 그림 5는 통신맨홀의 실시간 원격 감시를 위한 관제센터 월스크린 UX이다. 감시 장치가 설치된 맨홀 뚜껑의 개폐 상태, 맨홀 내부의 공기질 상태 값, 맨홀 감시 장치의 배터리 잔여량, 맨홀 내부의 전계 강도 값 (N-RSRP: Narrow band Reference Signal Received



그림 5. 맨홀 원격 감시 관제센터 월스크린 화면  
Fig. 5. Wall Screen of Control Center for Manhole Surveillance

Power), 이벤트 발생 횟수 및 이력 등의 주요 항목을 실시간으로 감지 할 수 있도록 구현하였다.

### 3.3.6 사용자 앱

현장 작업자가 맨홀 작업을 위해 맨홀 상태를 확인 가능한 스마트폰(Android 및 iOS) 앱을 개발하여, 맨홀 관련 작업 전에 해당 맨홀의 내부 공기질 상태를 확인함으로써, 각종 사고 등을 예방 할 수 있도록 하였으며, 맨홀 뚜껑의 개폐 여부, 맨홀 감지 장치의 배터리 잔여량도 확인하여 조치 및 점검이 필요한 맨홀에 대해서도 알 수 있도록 하였다. 인가된 사용자만 사용할 수 있도록 앱 설치 및 접속 시 OTP(One Time Password) 기반의 보안 기능을 적용하였다.

## IV. 맨홀 감시 솔루션 동작 절차

맨홀 감시 솔루션의 동작 방식은 주기적 검침(Periodic Metering) 방식과 이벤트 검침(Event Triggering Metering) 방식으로 구분하여 동작한다. 동작 시나리오는 IoTMakers 경량 표준 디바이스 연동 규격 준수를 위해 IoTMakers에서 제공하는 SDK(Software Development Kit)를 통신 모듈의 서비스 로직 구동 에이전트에 포팅하였으며, 맨홀 원격 감시에 필요한 검침 항목(전계 강도, 공기질 측정값, 배터리 잔여량, 맨홀 뚜껑 개폐 상태, 온습도, 수위 등), 각 검침 데이터의 속성(String, Integer, Float, Boolean 등) 및 범위, 보고하려는 검침 값을 결정하기 위한 측정 횟수 및 평균 산출 방법에 대해서 정의하였다.

### 4.1 검침 주기 및 이벤트 발생 조건

검침 주기는 IoTMakers를 통해 설정 및 변경을 할 수 있으며, 기본 주기는 1일 1회(24시간)로 설정하였다. 이벤트 검침은 맨홀 뚜껑의 개폐 상태가 변경되었을 때 동작한다. 즉, 맨홀 뚜껑 감지기를 통해 열림에서 닫히거나 닫힘에서 열림 상태로 변경 시 이벤트로 처리하며 이벤트 발생 시에도 각종 맨홀의 검침 데이터를 전송한다.

### 4.2 주기적 검침 방식의 상세 동작 절차

맨홀 감시 장치는 전원이 켜지면 NB-IoT 네트워크에 위치등록 완료 후, IoTMakers에 등록 과정을 통해 검침 주기, 검침 항목 등의 조회 및 협상을 통하여 설정된 값에 따라 동작하며, 검침 데이터 전송 완료 후에는 배터리 절감을 위해 PSM 상태로 진입한다. 그림

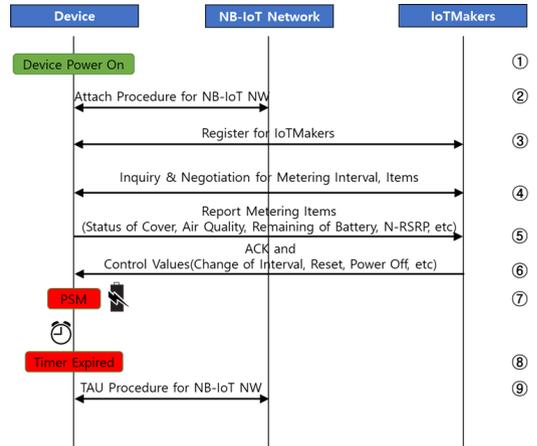


그림 6. 주기적 검침 상세 절차  
Fig. 6. Detailed Procedures of Periodic Metering

6은 주기적 검침 방식의 상세 절차이다.

- ① 감시 장치 전원 인가
- ② NB-IoT 네트워크에 위치등록 절차
- ③ IoTMakers에 등록 절차
- ④ 검침 주기, 검침 항목 조회 및 협상 과정 수행
- ⑤ 검침 데이터 전송
- ⑥ IoTMakers의 감시 장치의 검침 데이터 수신 확인 (ACK) 및 해당 감시 장치의 Reset, Power Off 등의 제어 값(Control Value)이 설정되었을 경우 전송하며, 감시 장치는 수신한 제어 값에 따라 이후 동작을 수행한다. 예를 들어 검침 주기 변경을 위한 동작은 NB-IoT 주기적 위치등록 메시지(TAU: Tracking Area Update) 전송을 통해 T3412 등의 주기적 위치등록 타이머를 갱신한다. Reset 및 Power Off의 설정 시에는 TAU 등의 절차 이후 감시 장치 단말을 재부팅 또는 전원 Off를 수행한다. Reset과 Power Off가 동시에 설정되어 있으면, 재부팅 과정 이후 전원 Off를 수행하도록 한다.
- ⑦ 감시 장치는 배터리 절감을 위해 NB-IoT 위치등록 (Attach, TAU) 과정에서 설정된 관련 타이머 (T3412, T3324)에 따라 PSM 상태로 진입한다.
- ⑧ 타이머(T3412, T3324) 구동
- ⑨ 타이머가 만료되면 PSM 상태를 해제하고 NB-IoT 주기적 위치등록(TAU)을 수행한 후 ③의 과정부터 반복 수행한다.

### 4.3 이벤트 검침 방식의 상세 동작

감시 장치는 맨홀의 뚜껑 개폐 상태의 변화가 발생하면 이벤트로 처리하여 그림 7과 같이 이벤트 검침 시나리오를 수행한다.

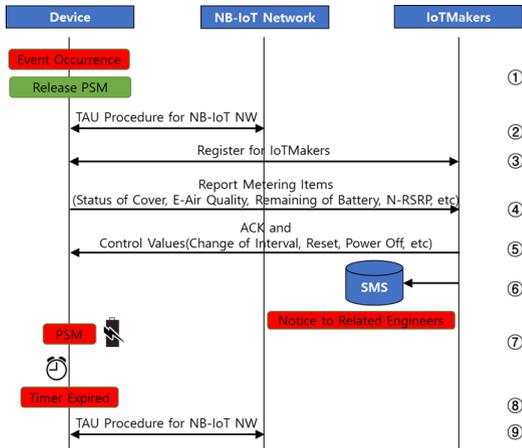


그림 7. 이벤트 검침 상세 절차  
Fig. 7. Detailed Procedures of Event Metering

- ① 이벤트 발생 시 감시 장치의 네트워크 접속 상태에 따라 이벤트 발생을 처리해야 한다. 단말이 PSM 상태가 아닐 경우, 즉 RRC(Radio Resource Control) Idle 또는 Connected 상태일 때는 별도의 PSM 상태 해제 절차 없이 ③번 과정부터 수행하며, PSM 상태일 경우는 PSM 상태를 해제하고 ②번 과정부터 수행한다.
- ② NB-IoT 네트워크에 주기적 위치등록(TAU)절차
- ③ IoTMakers에 등록 절차
- ④ 이벤트 발생 시의 검침 데이터 보고는 주기적 보고 시 검침 항목과 달리 이벤트 공기질 상태 값(E-air: Event Air Quality Value), 이벤트 공기질 수준(E-airQ: Event Air Quality Level)을 전송하여, 주기적 검침 시의 공기질 수준 및 상태 값과 구분할 수 있도록 하였다.
- ⑤ IoTMakers의 감시 장치의 검침 데이터 수신 확인(ACK) 및 해당 감시 장치의 Reset, Power Off 등의 제어 값(Control Value)이 설정되었을 경우 전송하며, 감시 장치는 수신한 제어 값에 따라 이후 동작을 수행한다. 예를 들어 검침 주기 변경을 위한 동작은 NB-IoT 주기적 위치등록 메시지(TAU: Tracking Area Update) 전송을 통해 T3412 등의 주기적 위치등록 타이머를 갱신한다. Reset 및 Power Off의 설정 시에는 TAU 등의 절차 이후 감시 장치 단말을 재부팅 또는 전원 Off를 수행한다. Reset과 Power Off가 동시에 설정되어 있으면, 재부팅 과정 이후 전원 Off를 수행하도록 한다.
- ⑥ IoTMakers에서는 감시 장치로부터 이벤트 접수 시 담당자 및 관련 부서에 이벤트 발생 내용을

SMS(Short Message)로 통지한다. 이벤트 접수 시 감시 장치로부터 보고된 공기질 상태 값(E-air)과 수준 값(E-airQ)도 통지 내용에 포함하여 작업을 위한 맨홀 진입 시 내부의 공기질 상태를 사전에 인지할 수 있도록 하였다.

- ⑦ 감시 장치는 배터리 절감을 위해 NB-IoT 위치등록(Attach, TAU) 과정에서 설정된 관련 타이머(T3412, T3324)에 따라 PSM 상태로 진입한다.
- ⑧ 타이머(T3412, T3324) 구동
- ⑨ 타이머가 만료되면 PSM 상태를 해제하고 NB-IoT 주기적 위치등록(TAU)을 수행한 후 주기적 검침 시나리오의 ③의 과정부터 반복 수행한다.

## V. 실험결과

### 5.1 맨홀 뚜껑에 의한 전파감쇄 실험결과

맨홀 뚜껑에 의한 전파감쇄 정도를 파악하기 통신 맨홀을 대상으로 깊이에 따른 전파감쇄 실험을 수행하였다. 실험결과 맨홀 외부 대비 맨홀 내부에서의 전파감쇄는 N-RSRP 기준으로 -34 ~ -38dB의 손실이 발생하며, 개발한 맨홀 감시 장치는 N-RSRP가 -135dBm 이상에서 수신할 수 있음을 확인하였다. 따라서, 맨홀 감시 장치를 설치 시에는 맨홀 뚜껑 상단에서 N-RSRP가 -97dBm 이상이 되는 곳에 설치하여야 하며, -97dBm 미만인 곳에 설치를 위해서는 지국 최적화 또는 중계기 설치를 통해 -97dBm 이상의 전계 강도 확보가 필요하다. 표 6은 맨홀 뚜껑에 의한 전파감쇄 실험 환경 및 사용된 파라미터 값들이며, 그림 6은 통신맨홀 내부에서 깊이에 따른 전파감쇄 실험결과이다.

표 6. 맨홀 뚜껑에 의한 전파감쇄 실험 환경  
Table 6. Experiment Environment of Propagation Attenuation by Manhole Cover

Test Location	Around KT R&D Center
Manhole Type	Communication Manhole
Manhole Depth	2 m
Manhole Cover	Diameter:766mm Thickness: 50mm
Communication	NB-IoT (Category NB1)
Frequency Band	B3 (1.8GHz)
Deployment Mode	Guard Band

### 5.2 배터리 수명 실험결과

맨홀 내부는 대부분 전원 공급이 불가능한 환경으로 감시 장치는 상시 전원이 아닌 배터리로 동작해야 하

며, 요구되는 배터리 수명은 3장 1절에서 언급하였듯이 현장부서의 요구 사항을 반영하여 최소 2년을 보장할 수 있도록 배터리 용량 설계를 위해 표 7과 같이 배터리 소모 전류 측정을 위한 환경 조건을 수립하였다. 전계강도 -130dBm이고, 검침 데이터 크기는 200 Byte 이내이며, 1일 1회 주기적 검침을 수행하고, 이벤트 발생은 월 1회로 가정하였다. NB-IoT 네트워크에서 200 Byte의 검침 데이터를 전송하는 시간은 최대 2분 이내이며, 전송 완료 후 PSM 상태로 진입한다. 배터리는 범용 AA형 8개(4개씩 직렬연결 2조를

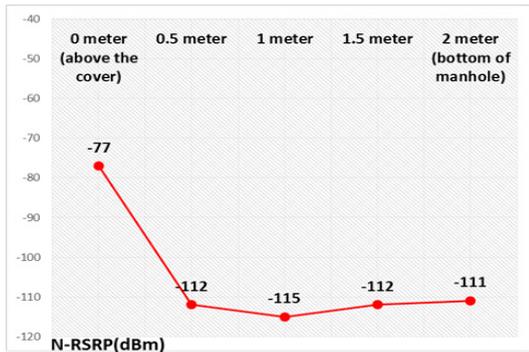


그림 8. 맨홀 내부에서의 전파감쇄 실험결과  
Fig. 8. Experimental Result of Propagation Attenuation in Manhole

표 7. 배터리 수명 기간을 보장하기 위한 환경 조건  
Table 7. Environmental Conditions to Ensure Battery Life

Parameters	Values
N-RSRP	-130 dBm
Size of Packet	200 Byte
Transmission Period, Count	1 Time per 1 Day
Average of Counts for Event Report	1 Time per 1 Month

표 8. 소모 전류 측정 결과  
Table 8. Results for Current Consumption Measurement

Occupancy Time per 1 Day	Connected : 2 min
	PSM : 1,438 min
Avg. of Current Consumption for 1 min	Connected : 60 mA
	PSM : 0.1 mA
Avg. of Current Consumption for 1 Day	0.185967593 mA
Total Capacity of Battery	4,300 mAh
Battery Life Cycle	23,122.308247(Hour) ÷ 2.6 (Years)

구성하고 각 조를 병렬연결)를 탑재하여 총 사용시간을 시뮬레이션한 결과 약 2.6년으로 계산되었다. 표 8은 측정된 소모 전류값과 그에 따른 배터리 수명을 시뮬레이션 한 결과이다.

### 5.3 온습도 환경실험 결과

감시 장치 설치 시의 환경적 요소를 고려하여 고온, 고습, 저온 상태에서도 안정적으로 동작해야 하므로 그림 9와 같이 챔버를 통한 온습도 환경시험을 수행하였다.

실험은 2대의 감시 장치에 대해서 고온고습 31시간, 저온 16시간에 대해서 수행하였으며, 전계 강도는 중전계(-85~90dBm) 환경에서 실험하였으며, 기본 설정인 1일 1회 검침 주기를 1분 1회로 변경하고 검침 항목은 배터리 잔량과 전계 강도를 전송하도록 설정하였다. 실험결과 총 47시간 동안 -20 ~ 85°C(온도), 0 ~ 85%(습도)의 환경변화에서 설정된 전송주기에 따라 배터리 잔여량과 전계 강도 측정값을 정상적으로 전송하는 것을 확인하였다. 배터리 소모량은 고온고습 실험 31시간 동안 3.8%인데 반해 저온 실험 16시간 동안 8.8% 소모되었다. 이는 실험에 사용한



그림 9. 온습도 환경시험 챔버  
Fig. 9. Temperature and Humidity Environmental Test Chamber

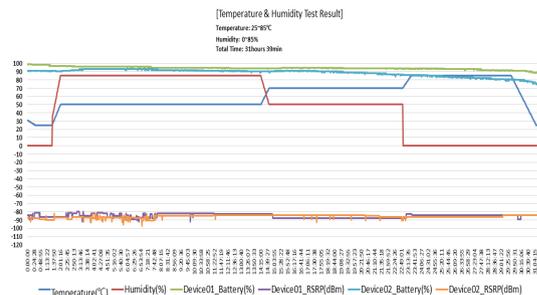


그림 10. 온습도 환경시험 결과 그래프  
Fig. 10. Temperature and Humidity Environmental Test Result Graph

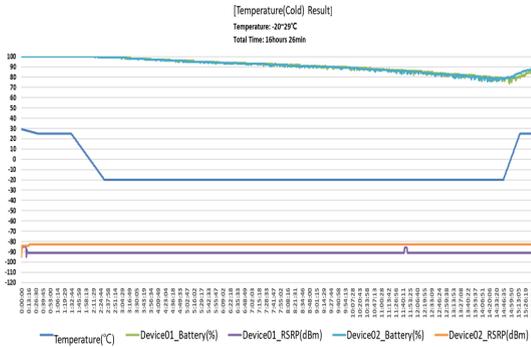


그림 11. 저온 시험 결과 그래프  
Fig. 11. Temperature(Cold) Test Result Graph

상용 AA형 배터리의 저온에서 배터리 방전이 상온 및 고온에서 보다 많은 특성으로 판단된다. 그림 10, 11은 2대의 감시 장치에 대한 고온고습 및 저온 실험 결과 그래프이다.

5.4 현장 시범적용 결과

상용화를 위한 사전 단계로 부산의 해변 지역의 7개 통신맨홀을 선정하여 시범적용을 추진하였다. 시범적용 결과 맨홀 감시 솔루션의 기본 기능인 주기적 검침 및 이벤트 검침 동작은 양호하였으나, 해변 지역의

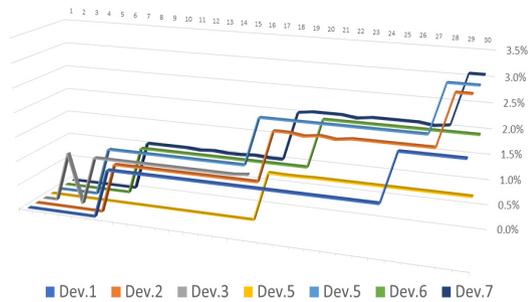


그림 12. 배터리 소모량 변화 그래프  
Fig. 12. Battery Consumption Graph

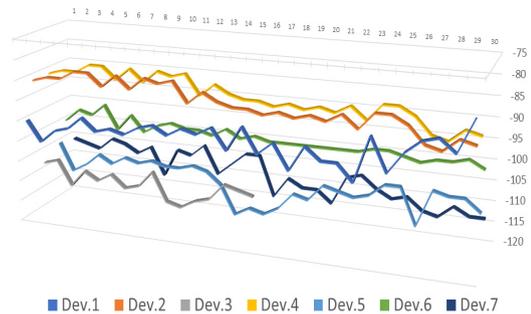


그림 13. 전계강도(N-RSRP) 측정값 그래프  
Fig. 13. N-RSRP Measurement Value Graph

특수성으로 맨홀 침수 시 염분 성분에 의한 일부 구성품의 부식 발생으로 검침 항목의 측정 오류 등의 오동작 현상이 발견되었다. 향후 상용화를 대비하여 추가로 보완해야 할 사항에 대해서는 5장의 결론 및 고찰을 통해 언급하고자 한다. 그림 12, 13은 현장에 설치한 감시 장치의 1개월 동안의 주기적 검침 데이터로써, 감시 장치 3번(Dev.3)의 경우 염분 침수에 의한 오동작으로 검침 데이터를 전송하지 못한 것을 볼 수 있다.

5.5 다양한 종류의 맨홀에 설치 가능 여부 확인

본 감시 장치는 설치의 간소화 및 다양한 종류의 맨홀에 적용될 수 있도록 길이 조정 거치 프레임을 고안하였으며, 실제 현장의 다양한 맨홀에 설치 가능 여부를 확인코자, 통신맨홀뿐 아니라, 가스맨홀, 상하수도 맨홀에도 설치할 수 있음을 현장시험을 통해 확인하였다. 실제 설치 시간은 작업자 2명이 30분 이내에 완료할 수 있어, 설치 공사에 걸리는 시간 및 비용을 절감 할 수 있었다.

VI. 결론 및 고찰

개발한 맨홀 감시 솔루션의 유효성을 검증하기 위해 부산의 해변 지역의 7개 통신맨홀을 선정하여 약 10개월가량 시범 운용을 통해 주기적 검침 및 이벤트 검침에 대한 기본 기능에 대해서 정상 동작하는 것을 확인하였다. 그러나, 해변 지역의 특수성으로 맨홀의 침수가 발생할 때 염분 성분에 의한 거치 프레임 및 일부 구성품의 부식이 발생하였다. 향후, 상용 서비스를 대비하여 침수 및 염분에 대한 내구성이 강한 소재로의 보완이 필요하며, 감시 장치를 설치할 맨홀의 지역 특수성을 고려하여 수위, 염도, 온습도 센서 등의 추가도 검토할 만하다. 또한, 전계강도가 미약한 지역에 시설된 맨홀에서의 안정적인 전송 성공률과 배터리 수명을 보장하기 위해서 최적의 네트워크 파라미터 도출 및 검침 시나리오의 고도화도 필요하다. 마지막으로 맨홀 등 지하 시설물에 의한 각종 사고 및 문제점을 예방하기 위해서는 정부 기관 차원의 통합 안전 관리 대책 수립을 통한 법제화 및 성공적인 솔루션이 개발될 수 있도록 적극적인 투자도 필요하며, 향후 스마트시티 등을 조성할 때에는 맨홀뿐 아니라 다양한 지하 시설물을 원격 감시할 수 있는 솔루션의 개발 및 적용을 통해 각종 사고로부터 국민의 생명과 재산이 안전하게 보호되어야 할 것이다.

References

[1] J. W. Lee, "Analysis of suffocating accidents in confined spaces in the past 10 years (2005-2015)," *J. Korean Soc. Occupational and Environ. Hygiene*, vol. 26, no. 4, pp. 436-444, 2016.

[2] P. Andres-Maldonado, P. Ameigeiras, J. Prados-Garzon, J. J. Ramos-Munoz, J. Navarro-Ortiz, and J. M. Lopez-Soler, "Analytic analysis of narrowband IoT coverage enhancement approaches," in *Proc. 2018 Global Internet of Things Summit (GIoTS)*, pp. 1-6, Bilbao, Spain, Jun. 2018.

[3] A. K. Sultania, P. Zand, C. Blondia, and J. Famaey, "Energy modeling and evaluation of NB-IoT with PSM and eDRX," *GLOCOMW*, pp. 1-7, Abu Dhabi, United Arab Emirates, 2018.

[4] 1020180034439(Application No.), "Facility management system," Korean Intellectual Property Office, Mar. 2018.

[5] 3GPP TS 36.201 V15.2.0, "LTE physical layer; General description (Release 15)," Dec. 2018.

[6] 3GPP TR 45.820 V13.1.0, "Cellular System Support for Ultra Low Complexity and Low Throughput Internet of Things (Release 13)," Aug. 2015.

[7] [https://biz.kt.com/html/product/bz\\_product\\_com.html?pc=3CEFA0](https://biz.kt.com/html/product/bz_product_com.html?pc=3CEFA0)

[8] <https://namu.wiki/w/맨홀>

[9] H. H. Aly, A. H. Soliman, and M. Mouniri, "Towards a fully automated monitoring system for Manhole Cover: Smart cities and IOT applications," *2015 IEEE First Int. Smart Cities Conf. (ISC2)*, pp. 1-7, Guadalajara, 2015.

[10] [http://www.koit.co.kr/news/articleView.html?id\\_xno=66266](http://www.koit.co.kr/news/articleView.html?id_xno=66266)

[11] 1020170050148(Application No.), "Manhole cover type antenna," Korean Intellectual Property Office, Apr. 2018.

[12] SPS-KFCA-M201 "Cast Iron-Cast steel Manhole covers and frames"

[13] <http://iotmakers.kt.com/openp/index.html#/press>

주 용 원 (Joo Yong Won)



1999년 2월 : 광운대학교 전자통신공학과 졸업  
 2001년 8월 : 광운대학교 전자통신공학과 석사  
 2007년 2월 : 광운대학교 전자통신공학과 박사과정 수료  
 2001년 7월~현재 : KT

<관심분야> 이동통신(5G, LTE), IoT, 통신 인프라

김 화 성 (Kim Hwa Sung)



1981년 2월 : 고려대학교 전자공학과 졸업  
 1983년 2월 : 고려대학교 전자공학과 석사  
 1996년 : Lehigh Univ. 전산학 박사  
 1984년 3월~2000년 2월 : ETRI 책임 연구원

2000년 3월~현재 : 광운대학교 전자통신공학과 교수  
<관심분야> 분산 및 병렬 컴퓨팅, 가상화 기술