

# 터널 환경측정 시스템 개발 및 측정 I -개발 시스템 및 지하철터널 측정-

박원희\*

<sup>1</sup>한국철도기술연구원 철도안전연구실

## Development of Tunnel-Environment Monitoring System and Its Installation I

### -Monitoring System and Measurement in Subway Tunnel-

Won-Hee Park\*

<sup>1</sup>Railroad Safety Research Division, Korea Railroad Research Institute

**요약** 터널에 온도, 습도, 풍향, 풍속 등의 환경 데이터를 실시간으로 측정하여 전송 및 화재감지기의 경년시험 등을 수행할 수 있는 시스템을 개발하였다. 개발된 터널 환경측정 시스템은 철도터널 중 금정터널, 솔안터널 및 서울지하철 4호선 터널 등 국내 3개의 대표 터널 현장에 설치가 되어 약 1년 이상 터널환경이 측정되었으며 안정적으로 운용되었다. 또한 서울지하철 4호선 과천선 본선터널에 설치된 2기의 개발된 터널 환경 측정시스템으로부터 측정된 결과를 분석하였다. 개발된 터널 환경측정 시스템은 무선 통신망을 이용하여 터널 환경을 24시간 연속으로 안정적으로 분석가능하며 터널뿐만 아니라 여러 분야에 활용이 가능할 것이다.

**Abstract** We developed a system that can collect and transmit real-time environmental data such as temperature, humidity, wind direction, and wind speed, and equipment performing aging tests on fire detectors. This system was installed in three representative sites of railway tunnels in South Korea such as Gumjung, Solan, Seoul Subway Line 4 tunnels. The systems showed a stable performance and collected environmental data for over a year. We analyzed environmental data collected by two of our developed systems installed in the running tunnels of Gwacheon Line of Seoul Subway Line 4. The developed system was capable of safely analyzing tunnel environments for 24 h straight using a wireless communication network, and has potential for use in a variety of fields other than tunnels.

**Keywords** : Monitoring System in Tunnel, Tunnel Environment, Subway

## 1. 서론

터널은 밀폐된 공간특성으로 인하여 지상공간에 비해 환경 특성이 상이하다. 도로 터널의 경우 환기시스템의 제어 및 운영을 위해 터널 내부에 오염물질을 실시간으로 측정할 수 있는 환경 측정장치가 설치되고 있으며, 이러한 터널의환경시스템의 일반적인 사항 및 국내외 기준

이 제시된 바 있다.[1] 터널의 온열 환경 및 여러 환경은 지하철 등의 에너지 및 화재안전 설계시 미국 운수국에서 개발한 SES(Subway Environment Simulation)[2]를 이용하여 예측할 수도 있다.[3] 김규식[4]은 지하철 역사의 PM10 간으로 터널 및 지하역사의 환경을 측정한다. 본 연구에서는 터널에 온도, 습도, 풍향, 풍속 등의 환경 데이터를 실시간으로 측정하여 전송 및 화재감지기

본 논문은 국토교통부의 “철도터널 화재감지기 기준 및 지하역사 안전구역 구축기술 개발 연구과제로 수행되었음.”

\*Corresponding Author : Won-Hee Park(Korea Railroad Research Institute)

Tel: +82-31-460-5358 email: [whpark@krii.re.kr](mailto:whpark@krii.re.kr)

Received October 16, 2015

Revised (1st November 13, 2015, 2nd November 20, 2015)

Accepted December 4, 2015

Published December 31, 2015

의 경년시험 등의 목적으로 개발된 터널환경 측정장치 및 지하철본선터널에 설치된 측정장치로부터 측정된 환경값을 제시하여 본 시스템의 활용성을 보여주고자 한다. 개발된 터널환경 측정 장치의 개발 방향에 대하여 간략하게 소개된바 있으나[5], 본 논문에서는 측정장치의 상세 사양 및 측정센서에 대하여 자세히 소개하고자 한다. 개발된 터널 환경시스템을 철도터널 중 연장이 20.3km로 현 국내 최장대터널인 경부고속철의 금정터널과 일반 철도터널 중 16.7km의 따리굴 형태의 솔안터널 그리고 지하철 과천선을 현장 설치하였다. 본 논문에서는 과천선 지하철의 2개소에서 터널 환경측정 시스템을 이용하여 터널의 환경을 24시간 연속으로 안전적으로 분석하여 시간 및 계절별 환경을 분석하였다. 개발된 터널환경측정장치는 터널뿐만아니라 측정데이터의 저장 및 전송이 어려운 여러 타 분야에 적극 활용할 수 있다.

## 2. 터널 환경 측정시스템 개발

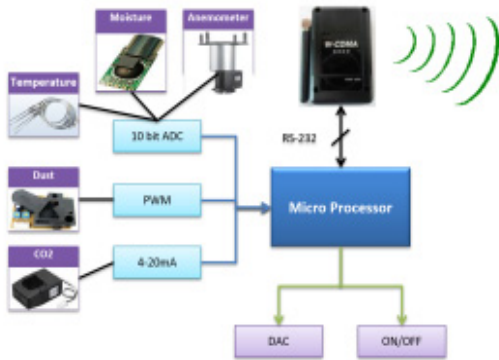


Fig. 1. CDMA communication and input signal of TREMS[5]

터널에서의 계절에 따른 온도, 습도, 풍향 및 풍속 등은 터널에서의 환경은 터널 내의 공기의 유동과 관련된 터널 열환경, 미기압과, 화재발생시 터널 온도 분포 등의 터널 내 기류 및 온도 등의 수치해석과 관련한 초기 상태 등의 자료로 활용될 수 있다. 또한 터널에 설치되어 있는 다양한 감지기의 오작동이 발생할 수 있는 환경에 대한 검토도 필요하다. 이를 위하여 화재감지기의 오작동 분석 및 터널에서의 온도, 습도 및 여러 환경을 측정할 수 있는 터널 전용 환경측정 시스템을 개발하였다. 기존 터널의 경우 터널 현장에서 측정된 데이터를 분석하

기 위하여서는 데이터를 저장할 수 있는 메모리나 컴퓨터 등을 터널 내에 설치하거나 유선 통신망을 이용하여 데이터를 전송하는 것이 일반적이다[1]. 측정된 데이터를 실시간으로 분석 및 저장하고자 철도터널의 환경을 측정하기 위해 터널 환경측정 시스템(TREMS, Tunnel Rough Environment Measuring System)을 Fig.1 과 같이 개발하였다. 철도터널 환경 측정시스템에 포함된 측정 센서는 온도, 습도, 초음파 풍향 및 풍속, 이산화탄소 센서 및 화재감지기를 경년시험할 수 있는 감지기 세트이다.



Fig. 2. Inside of TREMS

현장에서 측정된 데이터는 Fig. 1과 같이 통신회사의 통신망을 이용한 CDMA 무선통신 방식을 이용하여 서버의 전송된다. 통신모듈로는 SEM-W220(퀄컴의 MSM6246)을 이용하였으며, 사용 주파수 대역은 송신, 1.9GHz, 수신 2.1GHz이며, 패킷 전송속도는 업로딩의 경우에는 384Kbps, 다운로드의 경우에는 3.6Mbps이다. 마이크로 프로세서에서 측정 가능한 값은 다양한 출력값의 센서를 설치할 수 있도록 분해능이 10비트인 아날로그 디지털 변환장치(Analog Digital Converter로써 아날로그로 입력된 신호를 마이크로프로세서에서 신호를 처리하기 위해서 디지털로 변환하는 장치)와 PWM(Pulse Width Modulation, 흔히 모터 제어 등의 속도제어에 많이 사용되지만 입력신호로써 펄스폭을 이용하여 마이크로프로세서에서 신호처리를 하기 위한 장치) 및 0 -20 mA 등을 측정할 수 있는 입력포트를 장착하였다. 터널 내에 먼지에 의해 센서가 오염되어 현재 환경과 상이한 값을 측정할 수 있으므로 센서부분에 압축가스로 먼지를 제거할 수 있는 장치를 제작하여 설치하였다. 먼이러한 먼지 제거용 압축가스가 간헐적으로 분출되도록 설정하여 정기적으로 먼지를 제거하였다. Fig. 2에서는 터널 환

경측정 시스템의 내부를 볼 수 있다. 철도터널 환경측정 시스템에 설치된 센서는 총 5가지인데, 삼차원 풍향 풍속, 온도, 습도, CO<sub>2</sub>, 먼지센서 등이다. 삼차원 풍향 풍속 계는 Fig. 3과 같은 Young 사의 초음파 풍속계인 Model 81000[6]을 사용하였다. 풍속 0-60m/s의 풍속을 측정할 수 있고 방향각은 0-360° 고도각은 -60~60°의 각도 까지 측정 가능한 센서이며, 출력값으로는 5V이다.



Fig. 3. Ultrasonic anemometer installed in TREMS



Fig. 4. Dust sensor installed in TREMS



Fig. 5. CO<sub>2</sub> sensor in TREMS

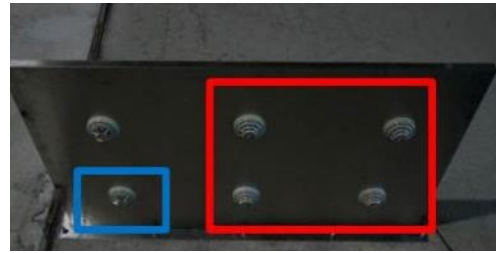


Fig. 6. Various fire detectors installed in TREMS

Table 1. Sensors in TERMS

Sensors	Description
Ultrasonic anemometer	<ul style="list-style-type: none"> <li>wind speed: 0- 60m/s</li> <li>wind direction: 0~36</li> <li>Elevation range:-60~60°</li> </ul>
Temperature	<ul style="list-style-type: none"> <li>-20~90℃</li> </ul>
Moisture	<ul style="list-style-type: none"> <li>10~95%</li> </ul>
CO <sub>2</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>0~3000ppm</li> </ul>
Dust	<ul style="list-style-type: none"> <li>0~9.999mg/m<sup>3</sup></li> </ul>
Smoke detector	<ul style="list-style-type: none"> <li>Scattering detection by Infrared LED</li> </ul>
Temperature detector	<ul style="list-style-type: none"> <li>Detection temperature 70℃</li> </ul>

온도는 -20-90℃의 온도를 측정할 수 있는 NTC thermistor를 사용하였으며, 습도는 0 - 60℃ 사이의 환경온도에서 작동할 수 있는 10 - 100%의 상대습도 측정범위를 갖는 센서를 부착하였다. 먼지센서는 0 - 9.999 mg/m<sup>3</sup>의 먼지를 측정할 수 있는 저가의 Fig. 4와 같은 센서를 이용하였다. 이 센서는 내부에 부착된 히터를 이용하여 상승하는 기류의 먼지를 측정하는 방식을 이용한다. 이산화탄소 센서는 SOHATECH 사의 SH-300-ND[7]를 이용하였으며, Non-Dispersive Infrared(NDIR) 측정방식을 이용한 이산화탄소 측정 센서모듈로서, 듀얼 IR렌즈를 이용하여 ±2%ppm의 정밀도를 제공, 일반적인 싱글IR렌즈 방식의 CO<sub>2</sub>센서들을 단점한 센서이다. 최소측정값 0ppm에서 0V를 출력하고, 최대측정값 3,000ppm에서 3V를 출력하는 전압출력형 CO<sub>2</sub>센서모듈이며, Fig. 5와 같다. 감지기의 경년시험을 위해 정온식 감지기1개, 연기감지기4개, 차동식 감지기1개로 설치하였다. Fig. 6에서 볼 수 있듯이 좌측 상단에 있는 감지기가 정온식 감지기이며, 좌측 하단부에 있는 감지기는 차동식 감지기이고 우측 박스에 4개 센서는 연기감지기이다. 터널환경측정 시스템에 설치된 센서들의 상세 사양은 Table 1과 같다. 다양한 터널 현장에 맞는 시스템을 적용 설치하기 위하여 TREMS를 3가지의 조

함으로 센서 및 감지기 등을 구성하여 시스템을 구성하였다. 기본 장치는 온도, 습도센서와 CO<sub>2</sub>센서 그리고 먼지센서로 이루어져있다.(TYPE 1), 기본 장치를 기준으로 풍향·풍속 센서가 추가된 시스템(TYPE 2)와 화재 감지기가 추가된 장치(TYPE 3)를 포함 총 세 가지 종류의 TREMS를 구성하였다. TYPE1의 형태의 터널환경 측정시스템 지하철 4호선 본선터널의 금정-범계, 평촌-인덕원 사이 구간에 설치하였다. 데이터는 1분마다 취득하여 스마트폰 3G망을 이용하여 서버로 전송하며 전원 공급이 원활하지 않을 경우나 작동이 제대로 되지 않을 경우 등록된 핸드폰으로 설정된 메시지를 전송하였으며, 24시간 마다 장치의 먼지를 제거해주는 장치도 작동하였다. Type 2는 기본장치에 풍향·풍속계가 추가된 장치로써 풍속, 방향각, 고도각을 측정할 수 있는 장치이다. 금정터널 본선, 수직구2 와 솔안터널의 본선 및 신호장에 설치되었다. Type 3는 기본장치에 화재감지기가 추가된 장치로써 화재를 감지할 경우 3G망을 이용해 등록된 핸드폰 및 서버에 설정된 메시지를 보내는 기능을 포함하고 있다. 본 장치는 금정터널 사갱2와 솔안터널 사갱에 설치되었으며, 과천선을 제외한 터널에서의 환경 측정장치 및 측정 결과는 연속되는 논문[8]에서 소개하고자 한다.

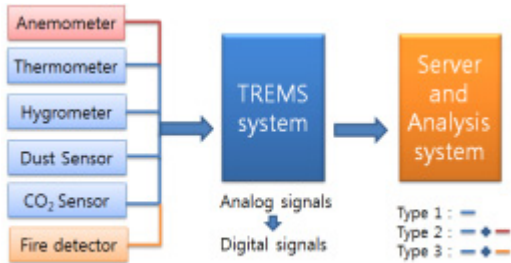


Fig. 7. Schematic view of TREMS

### 3. 지하철 환경측정 결과

#### 3.1 지하철 과천선 터널 내 TREMS 설치

본 연구에서는 과천선의 금정-범계를 잇는 터널과 평촌-인덕원의 본선터널에 TREMS를 Fig. 8과 같은 위치에 설치하였다. 2013년 8월 30일에 설치를 하여 점검 후 9월 1일부터 측정을 시작하였다. 본 논문에서는 2013년 9월부터 2014년 7월까지 측정 결과를 다루고자 한다. 앞

에서 언급한 바와 같이 두 위치에서 TREMS의 기본장치(TYPE 1)를 설치하였다.



Fig. 8. TREMS installation positions

#### 3.2 월별 온도습도 변화

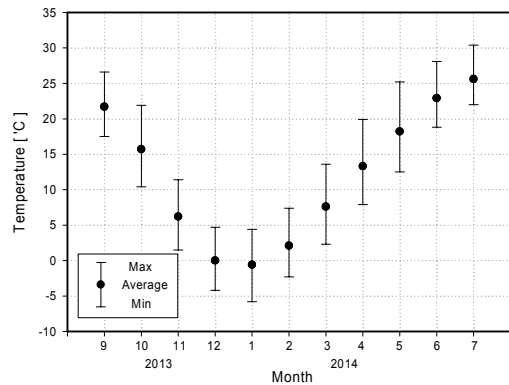


Fig. 9. Outside environment temperature (outside)

외부와 터널 내부 환경과의 경향을 알아보기 위하여 2013년 9월부터 2014년 7월까지의 외부 환경 (기상청의 온도 및 습도)과 TREMS에서 측정된 터널에서 온도 및 습도를 비교하고자 한다. 외부의 환경은 본 시스템이 설치된 위치와 가장 인접한 수원의 기상정보를 활용하였다. Fig. 9에서 외부에서 측정된 온도를 월별로 나타내었는데, 원형 표시는 해당 월의 평균온도이며, 오차 바 해당월의 최대 및 최소 온도를 나타낸다.

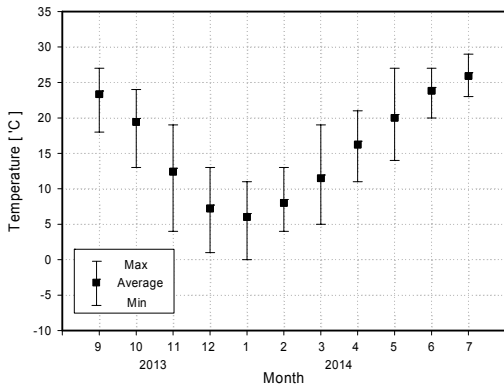


Fig. 10. Temperature at Gumjung-Bumgae subway tunnel (month)

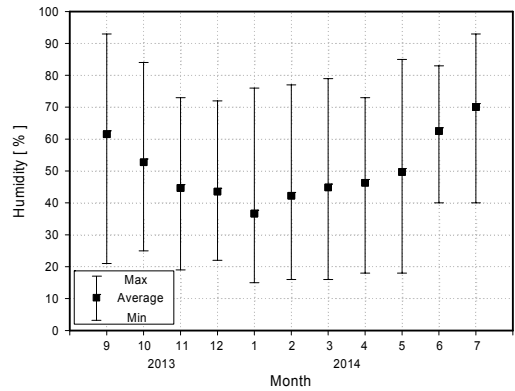


Fig. 13. Humidity at Gumjung-Bumgae subway tunnel (month)

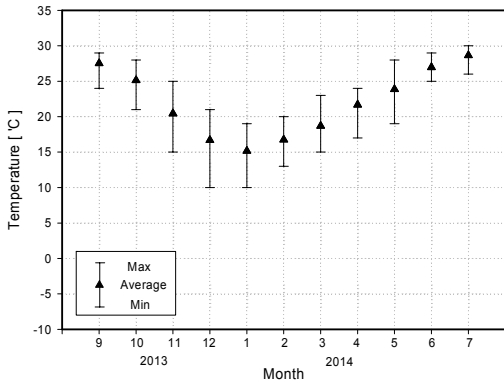


Fig. 11. Temperature at Pyeongchon-Indukwon subway tunnel (month)

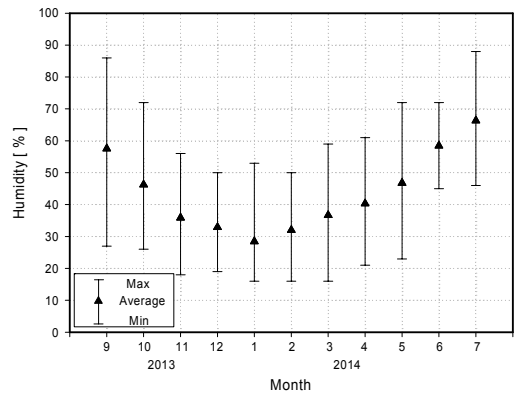


Fig. 14. Humidity at Pyeongchon-Indukwon subway tunnel (month)

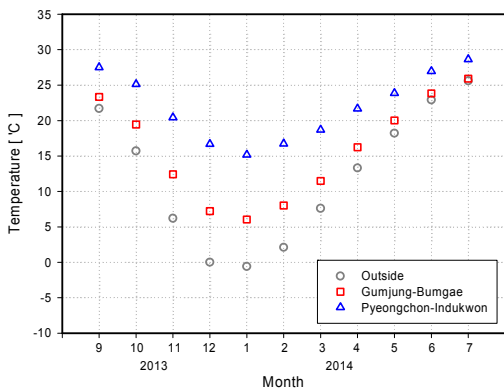


Fig. 12. Monthly averaged temperature

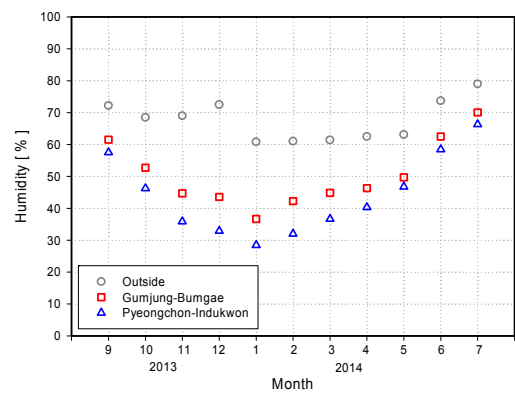


Fig. 15. Monthly averaged humidity



Fig. 10과 11에서는 금정-범계 본선터널과 평촌-인덕원 본선터널에 설치된 TREMS에서 측정된 온도를 보여 주고 있다. 터널 내부에서 두 위치 모두에서 대체적으로 여름보다 겨울에 최대온도와 최저온도의 차이가 더 컸으며, 이는 외부 환경의 차이보다 더 컸다. Fig. 12는 외부에서 측정된 평균온도와 터널에서 측정된 평균온도를 비교하고 있다. 회색의 원형은 외부 환경의 온도이며 붉은색 네모는 금정-범계 본선터널에 설치된 TREMS에서 측정된 평균온도를 나타내며, 파란색의 세모표시는 평촌-인덕원 본선터널에 설치된 월별 평균온도를 나타낸다. 월별 평균온도를 비교하였을 경우 외부 환경의 온도가 가장 낮으며, 평촌-인덕원의 본선터널에서의 측정된 월별 평균온도가 금정-범계 본선터널에서 측정된 월별 평균온도보다 높았다. 이는 지하철투터널 내에 설치된 환기구에서 터널 환기로 인한 터널 내부로 유입되는 외부 공기의 영향으로 판단된다. 참고로 환기구에서 보다 가까운 위치에 설치되어 있는 금정-범계 본선터널에 설치되어 있는 TREMS과 환기구의 거리가 평촌-인덕원에 설치되어 있는 TREMS과 환기구의 거리보다 짧다. Fig. 13~15는 4호선 과전 지하철투터널 각 측정시스템 설치 위치에서 측정한 평균습도와 외부에서의 평균습도 등을 비교하고 있는데, Fig. 9 ~12에서 표현한바와 같은 방식으로 표현하였다. 습도의 경우 최소, 최대 습도의 차이가 온도의 차이보다 큰 것을 Fig.13과 14에서 볼 수 있다. 습도의 경우 외부환경의 평균 습도가 가장 높았으며, 금정-범계 구간 본선터널에 설치되어 있는 상대습도가 평촌-인덕원 구간 본선터널에 설치된 상대습도보다는 높았다. 상대습도는 현재 온도의 포화수증기압에 반비례하므로 온도가 높은 위치에서 측정된 상대습도(평촌-인덕원 본선터널에 설치된 TREMS로부터 측정)가 가장 낮은 값을 보였다.

### 3.3 일별 온도-습도 변화

시간대별로 터널 내의 온도 및 습도의 변화를 검토하기 위하여 계절별 특정한 일자(여름: 2014년 6월 21일, 겨울: 2013년 12월 21일)의 측정값을 검토하였다. Fig. 16 및 17은 금정-범계 및 평촌-인덕원 본선터널에 설치된 TREMS에서 측정된 온도를 각 시간대별 평균값으로 나타낸 그림이다. 외부환경과 온도차이가 많이 났던 월별 평균온도의 경우에서 검토했던바와 같이 일별 온도도 겨울에 시간별 평균온도가 여름의 시간별 평균온도보다

더 많은 차이를 보였다. 평촌-인덕원 본선터널에서 여름에 측정된 온도의 시간에 따른 온도의 변화량이 보다 시간별 온도의 변화가 컸는데, 두개의 측정 위치에서 모두 해당된다. Fig. 18 및 19는 금정-범계 및 평촌-인덕원 본선터널에 설치된 TREMS에서 측정된 습도를 계절별 특정 일자에 대한 시간별 평균값으로 표현하였다. 터널 내부의 시간별 평균 습도는 약 하루 24시간 동안 10% 정도로 변하는 것을 알 수 있으며 겨울보다 여름에 훨씬 다습한 조건을 보이는 것을 확인할 수 있다.

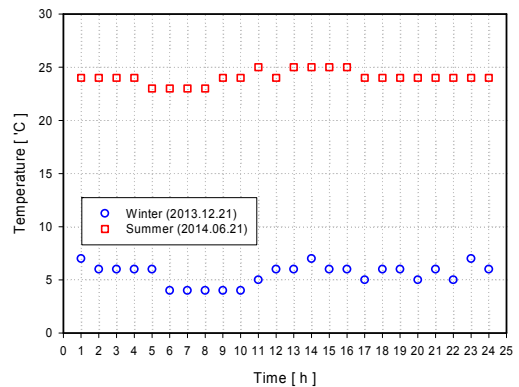


Fig. 16. Temperature at Gumjung-Bumgae subway tunnel (hour)

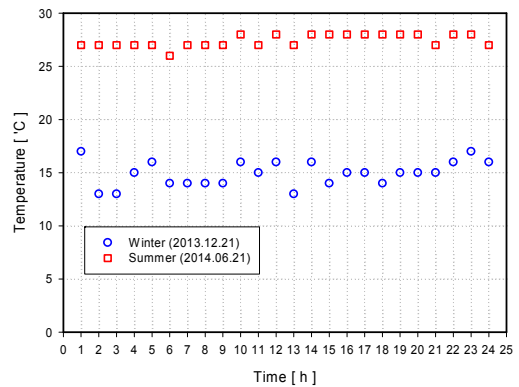


Fig. 17. Temperature at Pyeongchon-Indukwon subway tunnel (hour)

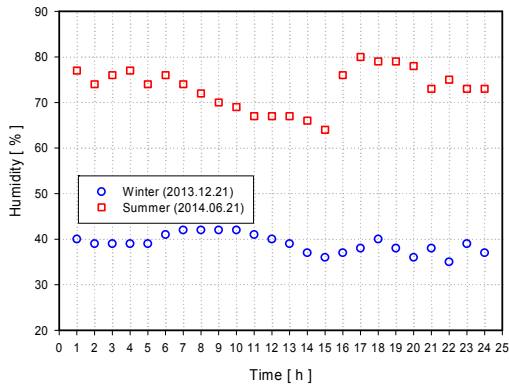


Fig. 18. Humidity at Gumjung-Bumgae subway tunnel (hour)

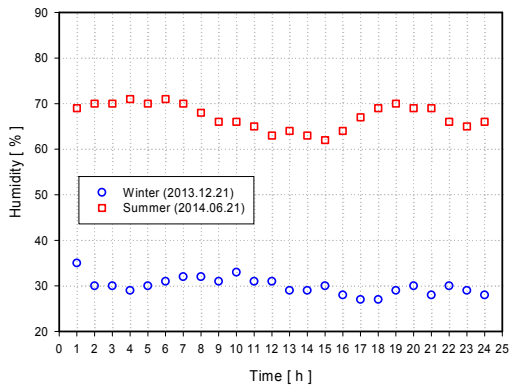


Fig. 19. Humidity at Pyeongchon-Indukwon subway tunnel (hour)

#### 4. 결론

본 논문에서는 터널전용 환경측정을 개발 및 설치하여 측정된 결과를 제시하였는데, 본 시스템은 다음과 같은 특징이 있다.

- 터널 내에서 온도, 습도, 풍향/풍속 등을 측정
- 측정데이터를 무선으로 전송하여 실시간 분석
- 화재감지기의 경년시험(오작동시험) 수행

개발된 터널 환경시스템을 국내 여러 터널에 설치하여 환경값을 측정하였는데, 지하철 과천선의 본선터널의 금정-범계, 평촌-인덕원 사이 구간에 설치하였으며 약 1

년 동안 터널 환경을 측정 분석하여서 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 월별 온도를 분석하였을 때 대체적으로 터널 내부의 여름보다 겨울에 최대온도와 최저온도의 차이가 더 컸다.
- 외부 환경의 온도차이가 터널 내부의 온도차이가 컸는데, 이는 터널 내부의 따뜻한 공기가 터널환기로 인해 내부의 외부의 보다 차가운 공기로 치환되었기 때문이다.
- 측정된 지하철의 환경값을 토대로 볼 때 터널환경으로 인한 일반적인 화재 온도 및 연기감지기의 오작동이 발생할 확률이 높지 않은 것으로 판단되며, 이는 다른 터널에서 실험으로 증명되었다.

터널에서 측정된 결과는 터널 내부의 화재유동 및 CFD 해석 등의 터널 초기 조건으로 활용될 수 있을 것이며, 개발된 터널환경 측정장치는 터널뿐만 아니라 측정데이터의 저장 및 전송이 어려운 여러 타 분야에 적극 활용할 수 있다.

#### Acknowledgement

본 논문은 국토부와 국토교통과학기술진흥원의 “철도터널 화재감지기 기준 및 지하역사 안전구역 구축기술 개발” 과제의 지원으로 맡김되었으며 이에 감사드립니다.

#### References

- [1] I. H.-K. Kim, S.-C. Kim, Measurement system of in/out Road Tunnel, The Magazine of the Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, v.41, no.1, pp.46-55, 2012.
- [2] Subway environmental design handbook, vol. II, Subway environmental simulation computer program, Version4, Part 1, User's manual, DOT of USA, 1997.
- [3] S. C. Son, J. Kim, The thermal environment and validity of ventilation in subway system, The Magazine of the Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, vol.28, no.6, pp.443-451, 1999.
- [4] G.-S. Kim, Implementation of Indoor Air Quality Monitoring System for Subway Stations., Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea Vol. 50, NO. 6, 2013.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5573/ieek.2013.50.6.294>

- [5] W.-H. Park, Development and Installation of a Measurement System for Tunnel Environments, Advanced Science and Technology Letters Vol.108 (Mechanical Engineering 2015), pp.10-13
- [6] <http://www.youngusa.com/products/11/3.html>
- [7] <http://www.soha-tech.com/inopdt/bbslist.php?code=ishoppt001&nbd=ishoppt001>
- [8] W.-H. Park, Development of Tunnel-Environment Monitoring System and Its Installation II - Measurement in Gumjung and Solan Tunnels -, will be submitted

---

박 원 희(Won-Hee Park)

[정회원]



- 2000년 2월 : 중앙대학교 기계공학과 (기계공학석사)
- 2004년 2월 : 중앙대학교 기계공학과 (기계공학박사)
- 2004년 3월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 선임연구원
- 2009년 6월 ~ 2009년 12월 : 호주 Victoria Univ. 연구원

<관심분야>

철도 열유체, 화재안전