

터널 환경 측정 시스템 개발 및 측정 II -금정터널 측정결과 분석-

박원희^{1*}, 조영민²

¹한국철도기술연구원 철도안전연구실/과학기술연합대학원대학교 철도시스템공학,

²한국철도기술연구원 시험품질분석팀

Development of Tunnel-Environment Monitoring System and Its Installation II -Measurement in Gumjung Tunnel-

Won-Hee Park^{1*}, Youngmin Cho²

¹Railroad Safety Research Division, Korea Railroad Research Institute
/Railway System Engineering, University of Science and Technology

²Test Quality Analysis Team, Korea Railroad Research Institute

요약 본 논문은 터널 환경 측정 시스템 개발 및 측정 I-개발 시스템 및 지하철터널 측정- [1]의 후속논문이다. 일반적인 철도터널 형태를 보이는 20.3 km 연장의 고속철도 복선터널인 금정터널에 환경측정장치를 설치하여 약 1년간 환경 측정된 결과에 대하여 논하였다. 월별 터널 내의 온도 및 상대습도에 대하여 측정된 결과를 분석하였으며, 겨울과 여름의 특정 일을 선택하여 측정결과를 분석하였다. 월별 온도의 경우, 터널 내부의 온도가 여름에는 외기의 온도와 거의 유사하였으나, 겨울에는 현저하게 높았다. 지중 온도가 연중 일정한 상황에서 여름에는 터널이 외기의 영향을 많이 받아 외기와 유사한 온도를 나타냈으나, 겨울에는 지열과 열차에서 발생하는 열 등에 의해 온도가 더 높은 것으로 보인다. 또한 측정장치의 설치 위치별 환경 특성에 대하여 분석하였다. 터널 내부에서는 외기와 바로 연결되어 있는 수직구와 사갱이 본선에 비하여 온도와 상대습도의 변화가 심하게 나타났는데, 이는 수직구와 사갱이 외기와 바로 연결되어 있어 외기의 영향을 더 많이 받기 때문이다. 이러한 분석 결과는 터널의 환기나 공기질 개선, 온열환경 개선 등의 연구에 폭넓게 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract This paper is a follow-up paper to the publication, "Development of Tunnel-Environment Monitoring System and Its Installation I - Monitoring System and Measurement in Subway Tunnel" [1]. An environment monitoring system was installed in the 20.3-km-long Gumjung tunnel, which has the general structure of a high-speed double-track railway tunnel. Data were collected for approximately one year. Monthly and daily data were obtained and analyzed for the temperature and relative humidity in summer and winter months. This paper discusses the environmental characteristics at different positions in the tunnel. The results are expected to be widely used in studies on tunnel ventilation and the improvement of air quality and thermal environments.

Keywords : Monitoring System in Tunnel, Tunnel Environment, Temperature, Humidity

이 연구는 국토교통부의 철도기술 연구사업(15RTRP-B082486-02) 및 “철도터널 화재감지기 기준 및 지하역사 안전구역 구축 기술 개발”의 지원을 받아 수행되었습니다.

*Corresponding Author : Won-Hee Park (Korea Railroad Research Institute/University of Science and Technology)

Tel: +82-10-2288-1951 email: whpark@krri.re.kr

Received March 8, 2016

Revised March 25, 2016

Accepted April 7, 2016

Published April 30, 2016

1. 서론

본 논문은 터널 환경 측정 시스템 개발 및 측정 I-개발 시스템 및 지하철터널 측정- [1]의 후속논문이다. 참고문헌[1]에서는 터널의 온도, 습도, 풍향, 풍속 등을 실시간으로 측정하여 전송이 가능하고, 아울러 화재감지기의 오작동시험(경년시험) 등 가능한 터널 환경 측정장치 (TREMS; Tunnel Rough Environment Measuring System)의 개발에 대한 내용과 이를 지하철 과천선의 본선터널의 금정-범계, 평촌-인덕원 사이 구간에 설치하여 약 1년 동안 터널 환경을 측정 분석한 내용을 담고 있다. 또한 손성철 등[2] 및 김규식[3]은 지하철의 터널 및 지하역사의 환경을 측정한 바 있다.

일반적으로 지하철은 역간 간격이 평균 1 km 내외이며 역을 연결하는 본선터널에는 중앙급기/양단배기 형태의 환기구가 설치되어 있는 것이 일반적이다. [4] 그러므로 지하철 터널의 경우 일반 철도 터널보다 외부와 연결되어 외기의 영향을 더 많이 받는다. 국내의 지하철을 제외한 일반 철도터널의 경우 (고속철도 터널 포함) 대부분 기계식환기를 하고 있지 않고 환기구를 통한 자연환기(열차의 주행에 의한 환기 포함)가 되고 있는 실정이다. 그러나 영동선의 솔안터널의 경우 방재 및 환기의 목적으로 송풍기가 설치되어 기계환기를 하고 있으며, 방

재 성능이 축소 시험을 통해 검증된 바 있다. [5]

본 연구에서는 지하철 터널과 구별된 일반적인 철도 터널 형태를 보이는 국내 고속철도 터널인 금정터널에 터널환경측정장치(TREMS)를 설치하여 약 1년간 환경 측정된 결과에 대하여 논하였다.

2. 실험 방법

2.1 측정 방법

본 연구에 사용된 TREMS의 상세 사양 및 측정센서는 이전 연구 결과에 이미 제시된 바 있으며[1,6], 수도권 지하철 과천선에 설치하여 측정된 결과를 제시한 바 있다.[1]

본 연구에서는 현재 국내에 건설되어 현재 운용중인 철도터널 중 연장이 20.3km로 긴 경부고속철도의 금정터널에 개발한 TREMS를 설치하고, 이를 이용하여 금정터널의 환경을 2013년 7월부터 2014년 7월까지 1년 동안 지속적으로 모니터링 하였으며, 이렇게 얻은 데이터를 이용하여 터널 내부의 시간대별 및 계절별 환경을 분석하였다.

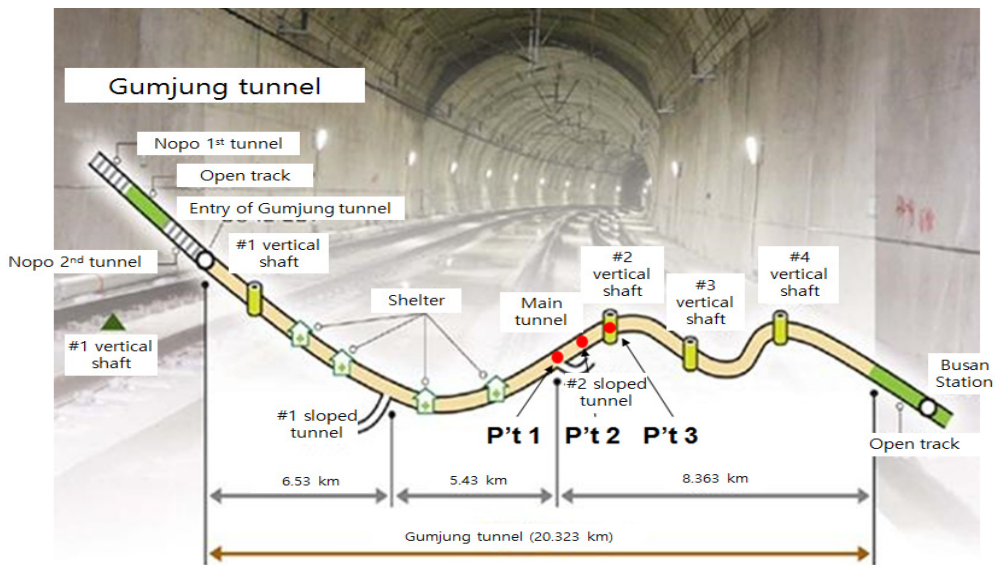


Fig. 1. Three TREMS installation locations in Gumjung tunnel

2.2 측정 위치

금정 터널 내부에서도 위치에 따른 영향을 분석하기 위하여 본선, 사갱, 수직구의 세 지점에 TREMS를 설치하고, 그 설치 지점을 Fig. 1에 나타내었다. 사갱의 경우 서울 시점 407.426 km 위치(P't 1으로 표시)의 사갱 2에 설치하였고, 본선은 서울 시점 408.489 km 위치(P't 2로 표시)의 본선 옆에 설치하였으며, 수직구는 서울 시점 409.683 km 위치(P't 3으로 표시)에 있는 수직구 2에 설치하였다. 사갱2(P't 1)에 설치된 TREMS에는 온도 센서, 습도 센서와 화재감지기를 설치하였고, 본선(P't 2)과 수직구(P't 3)에 설치된 TREMS에는 온도 센서, 습도 센서와 풍향풍속계를 설치하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 월별 온도 및 상대습도 변화

외기 온도와 터널 내부 온도의 상관 관계를 알아보기 위하여 2013년 7월부터 2014년 7월까지 1년 동안 금정 터널이 위치한 부산 지역의 온도[7]와 TREMS에서 측정된 터널의 온도를 비교하고자 하였다. Fig. 2는 측정기간 중 부산 지역의 온도를 월별로 나타낸 것인데, 원형 표시는 해당 월의 평균 온도이며, 오차 막대는 해당 월의 최대 온도와 최소 온도를 나타낸 것이다.[7] Fig. 3~5는 금정터널에 설치된 TREMS에서 측정된 온도를 나타낸 것이고, Fig. 6은 금정터널 내부의 월별 평균 온도를 부산 지역의 월별 평균 온도와 비교한 것이다.

Fig. 2에 나타난 것과 같이 부산의 월간 최고 온도와 최저 온도의 차이는 계절마다 다소 차이가 있었지만, 대체로 5~9 °C로 여름과 겨울에 큰 차이가 없었다. 그러나, 금정터널의 경우 Fig. 3~5에 나타난 바와 같이 여름에는 2 °C까지 작아지고, 겨울에는 최대 10 °C까지 커지는 것을 볼 수 있었다. 여름에는 터널의 최저 온도가 외기에 비해 약간 작은 반면에, 최고 온도가 외기에 비해 훨씬 더 낮기 때문에 최고 온도와 최저 온도의 차이가 외기에 비하여 훨씬 작았다. 반대로 겨울에는 최저 온도와 최고 온도가 외기보다 모두 높아졌는데, 최저 온도와 최고 온도 모두 외기의 최저 온도와 최고 온도에서 비슷한 수준만큼 증가하였기 때문에 최고 온도와 최저 온도의 차이는 외기와 큰 차이가 없었다.

Fig. 3~5에 나타난 바와 같이 터널 내부의 위치별 온

도의 경우 여름에는 사갱(P't 1), 본선(P't 2), 수직구(P't 3)에서 거의 비슷한 것으로 나타났으나, 겨울에는 위치별로 차이가 커서 본선(P't 2)의 온도가 가장 높은 반면에, 사갱(P't 1)의 온도가 가장 낮았다. 이처럼 겨울에 본선(P't 2)의 온도가 가장 높게 나타난 것은 본선(P't 2)이 외기의 영향을 사갱(P't 1)이나 수직구(P't 3)에 비하여 상대적으로 덜 받기 때문이다. 반면에 사갱(P't 1)은 외기의 영향을 지속적으로 받으며, 특히 고속열차가 운행할 때 발생하는 열차풍에 의하여 외기가 유입되기 쉽기 때문에 온도가 더 낮았다. 이에 따라 최고 온도와 최저 온도의 차이도 본선(P't 2)에서는 겨울에도 6 °C 이내로 작은 반면에 사갱(P't 1)과 수직구(P't 3)는 10 °C에 이르렀다. 이처럼 사갱(P't 1)과 수직구(P't 3)의 최고 온도와 최저 온도의 차이는 본선(P't 2)에 비해 상대적으로 외기의 온도 변화 양상과 더 유사하였다.

연중 최고 온도와 최저 온도의 차이는 Fig. 6에 나타난 바와 같이 터널의 온도가 외기에 비하여 여름에는 낮고, 겨울에는 높게 나타나서 터널의 연중 온도 차이가 외기에 비하여 더 낮았다. 반면에 월간 최대 온도와 최저 온도의 차이를 보면 터널은 여름보다 겨울에 큰 반면에 외기는 연중 거의 일정하게 나타났다. 이는 터널이 여름에는 직사광선의 영향을 받지 않아 더 시원하고, 겨울에는 지열과 고속열차 운행 중에 발생하는 폐열 등으로 인해 외기보다 더 따뜻하기 때문이다. 이는 전체적으로 터널의 온도 환경이 외기보다 더 양호함을 의미한다.

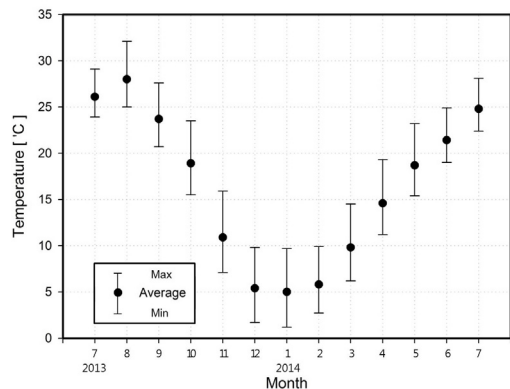


Fig. 2. Ambient temperature of Busan city from July, 2013 to July, 2014

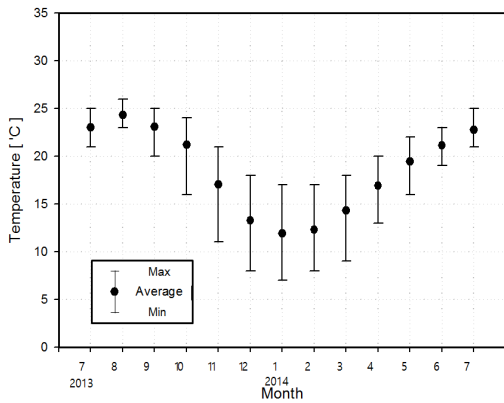


Fig. 3. Temperature at P't 1 of Gumjung tunnel

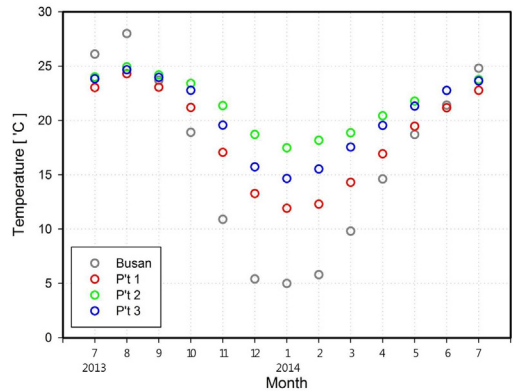


Fig. 6. Monthly averaged temperature of Gumjung tunnel and Busan city

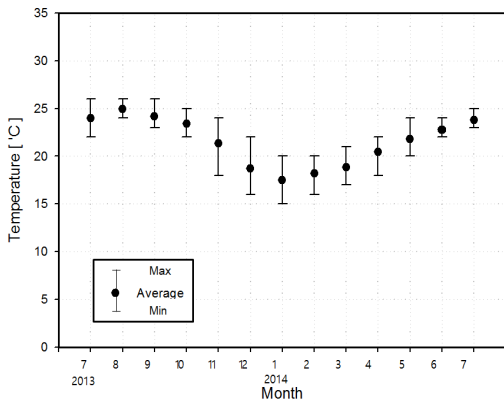


Fig. 4. Temperature at P't 2 of Gumjung tunnel

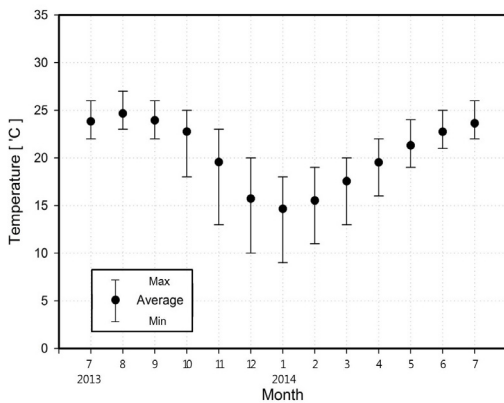


Fig. 5. Temperature at P't 3 of Gumjung tunnel

외기 중 상대습도와 터널 내부 상대습도의 상관 관계를 알아보기 위하여 앞서 살펴본 온도와 마찬가지로 방법으로 2013년 7월부터 2014년 7월까지 1년 동안 금정터널이 위치한 부산 지역의 상대습도와 TREMS에서 측정된 터널의 상대습도를 비교하고자 하였다. 먼저 Fig. 7은 측정기간 중 부산 지역의 상대습도를 월별로 나타낸 것인데, 원형 표시는 해당 월의 평균 상대습도이고, 오차 막대는 해당 월의 최대 상대습도와 최소 상대습도를 나타낸 것이다.[7] 또한, Fig. 8~10는 금정터널에 설치된 TREMS에서 측정된 상대습도를 나타낸 것이고, Fig. 10은 월별 평균 상대습도를 부산지역의 상대습도와 비교한 것이다.

Fig. 7에 나타낸 바와 같이 부산의 상대습도는 여름에 약 60% ~ 90% 수준으로 높고, 겨울에는 약 30% ~ 60% 수준으로 낮았다. 그러나, 터널 내부의 상대습도는 Fig. 8~10에 나타낸 바와 같이 여름에는 약 60% ~ 90% 수준으로 외기보다 더 높은 반면에 겨울에는 약 20% ~ 40% 수준으로 외기보다 오히려 낮았다. 이처럼 터널의 상대습도가 여름에 더 높고, 겨울에 더 낮은 이유는, Fig. 6에 나타낸 바와 같이 여름에는 터널 내부와 외기의 온도가 거의 유사한 상태에서 터널 내부의 지하수 등에 의하여 상대습도가 더 높은 반면에, 겨울에는 터널의 온도가 외기의 온도보다 약 7°C ~ 13°C가 더 높기 때문에 지하수가 존재하더라도 터널 내부의 상대습도는 외기에 비하여 더 낮게 나타나는 것으로 보인다.

Fig. 11에 연중 터널 내부와 외기의 평균 상대습도를 비교하여 나타내었는데, 터널 내부의 상대습도가 외기에

비해 여름에 더 높고, 겨울에 더 낮은 것은 부산 지역 상대습도의 연중 변화 양상과 유사함을 확인할 수 있었다. 부산 지역의 기후가 여름에는 온도와 상대습도가 높아 덥고 습한 반면 겨울에는 온도와 상대습도가 낮아 춥고 건조한데, 터널 내부도 이러한 외기의 계절별 온도 및 상대습도 변화 양상과 유사하게 변화함을 볼 수 있는데, 터널이 외기와 연결되므로 여전히 외기의 영향을 많이 받을음을 알 수 있었다.

터널 내부에서의 위치에 따라서도 상대습도가 다소 다르게 나타났는데, 여름과 겨울 모두 사갱(P't 1)의 상대습도가 가장 높았고, 이어 본선(P't 2)의 상대습도가 약간 낮았으며, 수직구(P't 3)의 상대습도가 가장 낮은 것으로 나타났다. 겨울에 사갱(P't 1)의 상대습도가 본선(P't 2)나 수직구(P't 3)에 비해 높은 것은 Fig. 6에 나타난 바와 같이 사갱(P't 1)이 외기와 직접적으로 연결되어 있어 사갱의 온도가 더 낮기 때문이다. 유사하게 수직구(P't 3)도 본선(P't 2)에 비해 외기의 영향을 더 많이 받아 온도가 더 낮으므로 상대습도가 더 높은 것으로 나타날 것으로 예상되었으나, 실제로는 본선(P't 2)의 상대습도가 더 높은 것으로 나타났는데, 이는 본선(P't 2)에는 겨울에도 지하수가 흐르기 때문에 더 높은 것으로 예상된다.

유사하게 여름에도 사갱(P't 1)에는 외부에 내린 빗물이 사갱에 유입되고, 또한 사갱 주변을 흐르는 지하수도 사갱에 유입되는데, 이 물이 긴 사갱을 따라 흐르며 사갱의 도로면을 적시고, 이 물은 사갱에 부는 고온의 열차풍에 의하여 증발하면서 상대습도를 높이는 것으로 보인다. 이는 Fig. 8에 나타난 바와 같이 겨울에도 사갱(P't 1)의 월간 상대습도가 최대 70%에 이르는 반면에 수직구(P't 3)의 상대습도가 최대 50% 이하인 것에서도 확인할 수 있다. 반면에 수직구(P't 3)는 외기의 영향을 많이 받아 온도는 높은 반면에 흐르는 지하수의 양이 적기 때문에 상대습도는 낮게 나타난 것으로 보인다. 본선(P't 2)은 겨울에도 사갱(P't 1)과 수직구(P't 3)의 중간 정도의 습도를 나타냈는데, 이는 본선(P't 2)이 사갱(P't 1)이나 수직구(P't 3)에 비하여 외기의 영향을 상대적으로 덜 받아 온도가 높아 상대습도는 가장 낮아야 하나, 수직구(P't 3)에 비하여 흐르는 지하수가 많아 이 지하수가 열차풍 등에 의해 증발하면서 상대습도를 다소 높이는 것으로 보인다.

연중 최고 상대습도도와 최저 상대습도의 차이는 Fig.

11에 나타난 바와 같이 터널 내부는 약 50%로 비교적 큰 반면에 외기는 약 35%로 외기의 연중 상대습도 변화가 다소 낮았다. 이처럼 터널 내부의 연중 상대습도 변화가 큰 이유는 겨울철에 터널의 상대습도가 외기에 비하여 낮기 때문인데, 이는 앞에서 기술한 바와 같이 터널 내부의 온도가 겨울에는 외기보다 더 높기 때문이다.

터널의 월간 최대 상대습도와 최저 상대습도의 차이는 Fig. 8 ~ 10에 나타난 바와 같이 여름에는 10 ~ 20% 수준으로 작은 반면에 겨울에는 50% 이상으로 매우 컸다. 이 역시 터널 내부의 온도와 밀접하게 관련이 있는데, Fig. 3 ~ 5에 나타난 바와 같이 월간 최대 온도와 최저 온도의 차이가 여름에는 2 ~ 4 °C에 불과한 반면 겨울에는 10 °C 이상으로 커지기 때문이다. 절대습도량이 동일한 조건에서 상대습도는 결국 온도에 따라 크게 달라지므로, 이와 같은 큰 폭의 상대습도 차이가 나타난 것으로 보인다.

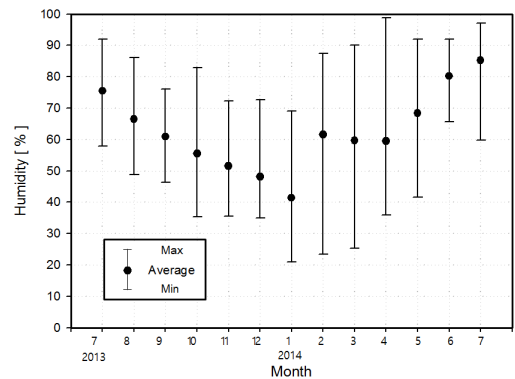


Fig. 7. Ambient relative humidity of Busan city from July, 2013 to July, 2014

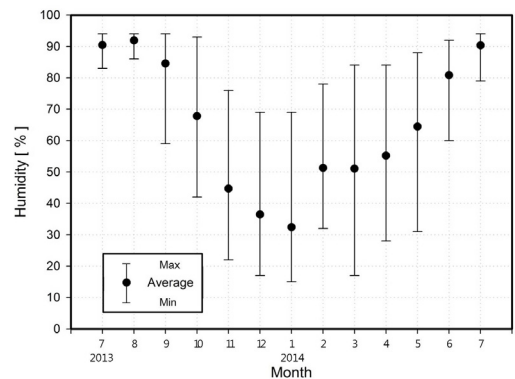


Fig. 8. Relative humidity at P't 1 of Gumjung tunnel

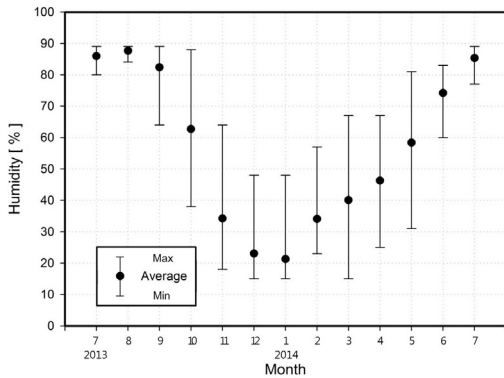


Fig. 9. Relative humidity at P't 2 of Gumjung tunnel

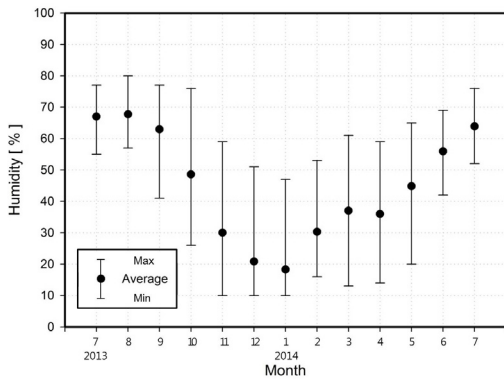


Fig. 10. Relative humidity at P't 3 of Gumjung tunnel

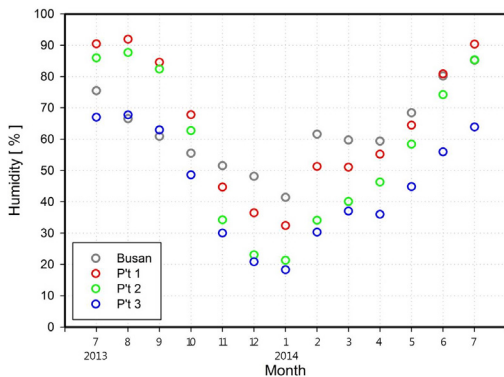


Fig. 11. Monthly averaged relative humidity of Gumjung tunnel and Busan city

3.2 일별 온도 및 상대습도 변화

앞서 계절에 따른 월별 터널 내의 온도와 상대습도를

알아본 것과 유사하게 하루 중 시간대별 터널 내부의 온도 및 상대습도의 변화를 알아보려고 하였다. 이를 위해 여름 중 하루 (2014년 6월 21일), 겨울 중 하루(2013년 12월 31일)를 임의로 선정하고, 하루 중 온도 및 상대습도를 분석하였다.

Fig. 12 ~ 14는 금정터널의 사갱 2(P't 1), 본선(P't 2), 수직구(P't 3)에 설치된 TREMS에서 2014년 6월 21일과 2013년 12월 31일에 측정된 온도를 각 시간대별 평균으로 나타낸 그림이다. 2014년 6월 21일의 경우 사갱 2(P't 1), 본선(P't 2), 수직구(P't 3)의 온도가 하루 중 일 22 ~ 24 °C 정도로 일정하게 유지된 반면에, 2013년 12월 31일의 경우 이들의 온도가 최대 6 °C까지 변화되는 것을 볼 수 있었다. 이는 여름에 겨울보다 터널 내부 환경이 더 안정적임을 의미한다.

이처럼 일중 온도 변화가 겨울에 여름보다 큰 이유는 외기 온도의 영향을 겨울에 더 많이 받기 때문으로 보인다. Fig. 6에서 알 수 있듯이 터널의 월 평균온도와 외기의 월 평균온도가 여름에는 큰 차이가 없는 반면에, 겨울에는 큰 차이가 났는데, 이처럼 겨울에는 외기와 터널 내부의 온도 차이가 크기 때문에 외기 온도의 영향을 겨울에 더 많이 받음을 알 수 있다. 이는 Fig. 12 ~ 14를 비교하면 더 명확히 알 수 있는데, 외기에 더 많이 노출되는 사갱 2(Fig. 12)과 수직구(Fig. 14)에서는 하루 중 온도 차이가 최대 7 ~ 8 °C까지 나는 반면에 외기에 상대적으로 노출이 덜 되어 있는 본선(Fig. 13)에서는 최대 온도 차이가 2 °C에 불과하였다. 따라서 본선이 사갱이나 수직구에 비하여 온도 변화가 훨씬 적은 안정화된 공간임을 다시 한 번 확인할 수 있었다.

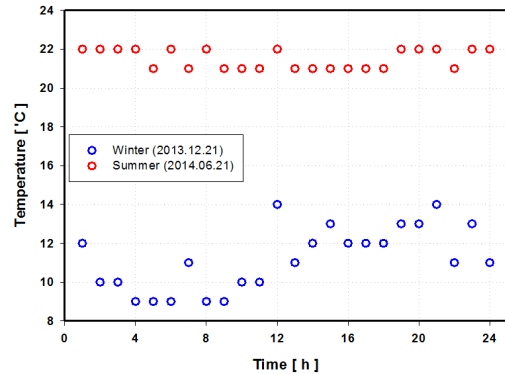


Fig. 12. Daily temperature change at P't 1 of Gumjung tunnel

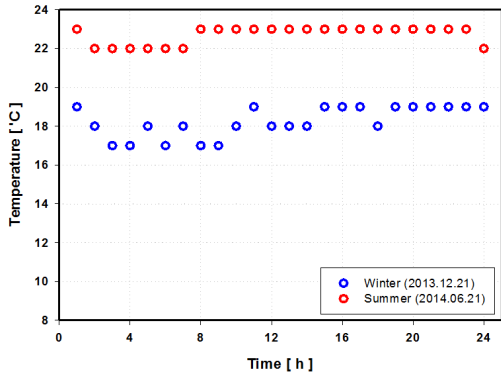


Fig. 13. Daily temperature change at P't 2 of Gumjung tunnel

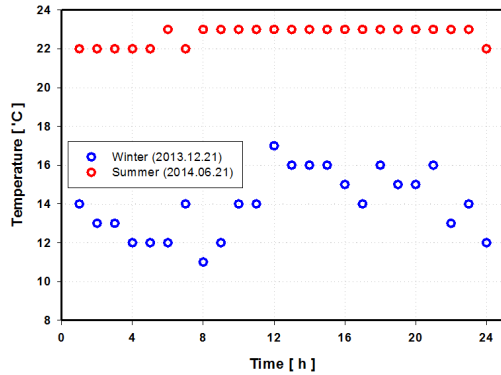


Fig. 14. Daily temperature change at P't 3 of Gumjung tunnel

Fig. 15 ~ 17은 위와 같은 조건에서 각 시간대별 상대 습도의 평균값을 나타낸 것이다. 2014년 6월 21일의 경우 본선(Fig. 16)에서는 하루 중 상대 습도 변화가 최대 5% 이내인 반면에 사갱(Fig. 15)에서는 약 17%, 수직구(Fig. 17)에서는 약 15% 정도임을 볼 수 있었다. 이는 앞에서 살펴본 바와 같이 본선이 사갱이나 수직구에 비하여 온도 변화가 적기 때문인 것으로 본선의 환경이 더 변화가 적고, 안정적임을 의미한다.

2013년 12월 31일의 경우, 본선(Fig. 16)이나, 사갱(Fig. 15), 수직구(Fig. 17) 모두 일중 상대 습도의 차이가 7~8% 이내로 위치에 따른 큰 차이가 없었다. 앞의 Fig. 12 ~ 14에서 일중 온도 변화가 매우 크게 나타났으므로, 상대 습도 변화도 크게 나올 것으로 예상되었으나, 이처럼 낮게 나온 것은 겨울에는 공기 중의 절대습도량 자체가 적기 때문에 온도에 따른 변화가 크지 않은 것

로 보인다. 본선, 사갱, 수직구 중에서는 역시 본선이 사갱이나 수직구에 비하여 상대 습도의 변화가 더 적은 것으로 나타났다.

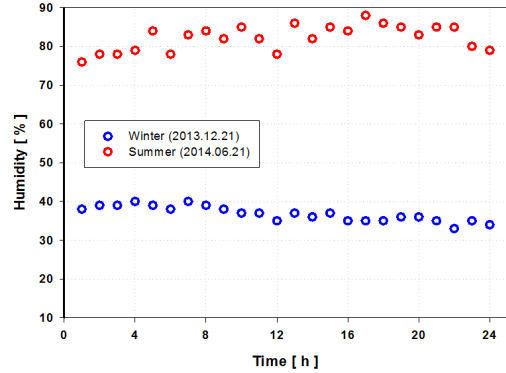


Fig. 15. Daily relative humidity change at P't 1 of Gumjung tunnel

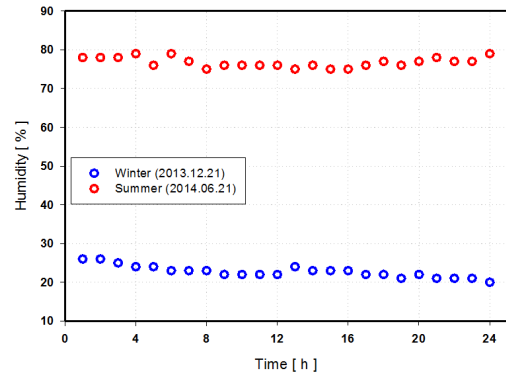


Fig. 16. Daily relative humidity change at P't 2 of Gumjung tunnel

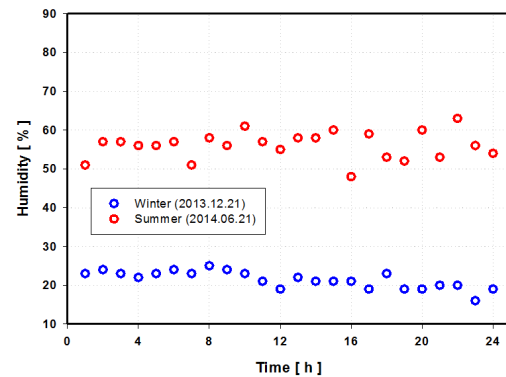


Fig. 17. Daily relative humidity change at P't 3 of Gumjung tunnel

4. 결론

본 논문에서는 터널전용 환경측정을 금정터널에 설치하고 1년 동안 측정한 결과를 제시하고, 이를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 월별 온도의 경우, 터널 내부의 온도가 여름에는 외기의 온도와 거의 유사하였으나, 겨울에는 현저하게 높았다. 지중 온도가 연중 일정한 상황에서 여름에는 터널이 외기의 영향을 많이 받아 외기와 유사한 온도를 나타냈으나, 겨울에는 지열과 열차에서 발생하는 열 등에 의해 온도가 더 높은 것으로 보인다.
- 월별 상대습도의 경우, 터널 내부의 상대습도가 여름에는 외기보다 더 높고, 겨울에는 더 낮았다. 그 이유는 여름에는 터널과 외기의 온도가 유사한 상황에서 터널 내부를 흐르는 지하수의 영향에 의하여 상대습도가 더 높게 나타났고, 겨울에는 터널의 온도가 외기보다 훨씬 더 높기 때문에 상대습도는 오히려 낮게 나타났다.
- 일별 온도의 경우, 터널 내부의 온도가 여름에는 일정한 반면에, 겨울에는 상대적으로 크게 변화하였다. 여름에는 터널과 외기의 온도 차이가 크지 않으므로 열차풍에 의한 외기 유입의 영향을 덜 받지만, 겨울에는 터널과 외기의 온도 차이가 크기 때문에 열차풍 등에 의하여 유입되는 외기에 의해 터널 내부의 온도도 크게 내려가기 때문이다.
- 터널 내부에서는 외기와 바로 연결되어 있는 수직구와 사갱이 본선에 비하여 온도와 상대습도의 변화가 심하게 나타났는데, 이는 수직구와 사갱이 외기와 바로 연결되어 있어 외기의 영향을 더 많이 받기 때문이다.
- 본 연구에서 사용한 터널환경 측정장치를 이용하여 터널의 온도 및 상대습도 등의 환경을 분석할 수 있었으며, 이러한 분석 결과는 터널의 환기나 공기질 개선, 온열환경 개선 등의 연구에 폭넓게 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] W.-H. Park, Development of Tunnel-Environment Monitoring System and Its Installation I -Monitoring System and Measurement in Subway Tunnel-, Journal of

the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 16, No. 12 pp. 8608-8615, 2015.

- [2] 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.
- [3] 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>
- [4] Korea Railroad Research Institute, Development and Improvement of the Ventilation and Fire Safety of the Existing Subway, 1997.
- [5] D. H. Kim, W. -H. Park, Experiment by using reduced scale models for the fire safety of a rescue station in very long tunnel in Korea, Tunnelling and Underground Space Technology, Vol.21, No.3-4, pp.303, 2006.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tust.2005.12.159>
- [6] 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, 2015.
- [7] http://www.kma.go.kr/weather/climate/past_cal.jsp

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

조 영 민(Youngmin Cho)

[정회원]



- 1998년 2월 : 서울대학교 공업화학 과 (공학사)
- 2000년 2월 : 포항공과대학교 환경공학부 (공학석사)
- 2003년 8월 : 포항공과대학교 환경공학부 (공학박사)
- 2003년 9월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 선임연구원

<관심분야>

환경공학