

터널 환경 측정 시스템 개발 및 측정 III -솔안터널 측정결과 분석-

박원희*, 조영민², 권태순¹

¹한국철도기술연구원 철도안전연구실

²한국철도기술연구원 시험품질분석팀

Development of Tunnel-Environment Monitoring System and Its Installation III -Measurement in Solan Tunnel-

Won-Hee Park^{1*}, Youngmin Cho², Tae-Soon Kwon¹

¹Railroad Safety Research Division Korea Railroad Research Institute

²Test Quality Analysis Team, Korea Railroad Research Institute

요약 본 논문은 터널 환경 측정 시스템 개발 및 측정 I [1], II [2] 의 후속논문이다. 본 연구의 대상이 되는 터널인 솔안터널은 백두대간을 관통하는 연장 16.7 km의 루프식 단선 터널로 산악지형에 위치하며 화물열차와 승객열차가 혼용인 일반철도 터널이다. 본 논문에서는 솔안터널의 환경 측정을 위하여 터널 내부에 3개의 위치에 설치된 환경 측정 장치에서 약 1년간 측정된 온도 및 습도를 분석하였다. 선행의 연구에서는 도심지 및 도심지 인근에 위치한 터널 내부에서 측정 결과 결과에 대하여 분석하였지만, 본 논문에서는 산악지형에 위치한 터널 내부에서 측정된 온도 및 습도 등을 외부에서의 기상 측정 결과와 비교한 것으로 선행 연구와 차별성을 지닌다. 솔안터널 내부에 측정된 온도 및 습도를 월별로 지역에서의 기상 측정 결과와 비교하였으며, 여름과 겨울을 대표하는 대표적인 일자에 대해서 철도터널에서의 시간별 온도 및 습도의 변화도 분석하였다. 또한 터널 내 측정 위치에 따른 환경 특성도 분석하였다. 본 연구에서 제시한 철도터널의 환경측정 분석 결과는 터널의 환기 및 화재 시뮬레이션 등 터널의 기류의 컴퓨터 해석 및 터널의 공기질 및 온열환경과 관련된 연구에 폭넓게 사용될 수 있다.

Abstract This paper is a follow-up to previous papers entitled, "Development of Tunnel-Environment Monitoring System and Its Installation" I [1] and II [2]. The target tunnel of these studies is the Solan Tunnel, which is a loop-type, single-track, 16.7-km-long tunnel located in mountainous terrain and passing through the Baekdudaegan mountain range. It is an ordinary railway tunnel designed for both freight and passenger trains. We analyzed the environmental conditions of the tunnel using temperature and humidity data recorded over approximately one year. The data were recorded using the Tunnel Rough Environment Measuring System (TREMS), which measures environmental data in subway and high-speed train tunnels and is installed in three locations inside the tunnel. Previous studies analyzed environmental conditions inside tunnels located in or near a city, whereas the tunnel in this study is located in a mountainous area. The tunnel conditions were compared with those measured outside the tunnel for each month. Hourly changes during summer and winter periods were also analyzed, and the environmental conditions at different locations inside the tunnel were compared. The results are widely applicable in studies on the thermal environment and air quality of tunnels, as well as for computer analysis of tunnel airflow such as tunnel ventilation and fire simulations.

Keywords : Tunnel Environment, Temperature, Relative Humidity, Solan Tunnel

본 논문은 국민안전처 소방안전및119구조·구급기술연구개발사업("MPSS-소방안전-2012-64") 및 "철도터널 화재감지기 기준 및 지하역사 안전구역 구축기술 개발"과제의 연구비 지원으로 발간되었습니다.

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

Tel: +82-31-460-5358 email: whpark@krii.re.kr

Received April 5, 2016

Revised April 26, 2016

Accepted May 12, 2016

Published May 31, 2016

1. 서론

본 논문은 터널 환경 측정 시스템 개발 및 측정 I-개발 시스템 및 지하철터널 측정- [1]에서 개발한 시스템을 터널에 설치하여 환경 측정에 관련된 논문이다. 본 연구에서 활용한 개발 시스템은 온도, 습도, 풍향, 풍속 등의 환경을 측정하여 실시간 전송하여 분석 가능한 터널 환경 측정장치(TREMS; Tunnel Rough Environment Measuring System)이다. 개발 장치를 지하철 과천선의 본선터널[1] 및 경부고속철도 금정터널[2]의 여러 위치에 설치하여 약 1년 동안 터널 환경을 분석한 바 있다. 참고문헌[1]에서는 측정장치의 상세 사양, 측정 센서, 데이터 통신방법 등에 대하여 자세히 소개하였으며, 지하철 과천선에 개발 시스템을 2개소 설치하여 시간 및 계절별 환경을 분석한 결과를 제시하였다. 참고문헌[2]에서는 국내 고속철도 터널인 금정터널에 터널환경측정장치(TREMS)를 설치하여 약 1년간 환경측정한 결과에 대하여 논하였다.

지하철의 터널 및 지하역사의 환경에 대한 측정에 대한 기존 연구도 있다. [3,4] 본 연구의 대상이 되는 터널인 솔안터널은 백두대간을 관통하는 연장 16.7 km의 루프식 단선 터널로 산악지형에 위치하며 화물열차와 승객열차가 혼용인 일반철도 터널이다. 또한 금정터널과 같은 고속철도 터널과는 달리 영동선의 솔안터널의 경우 방재 및 환기의 목적으로 송풍기가 설치되어 기계환기를 하고 있으며 이에 따른 터널 내의 환경은 터널 외부환경과 매우 밀접한 관계를 보일 수 있다. Kim과 Park[5]은 송풍기가 설치된 솔안터널의 방재 성능을 축소모형을 이용하여 검증한 바 있다.

본 논문에서는 솔안터널의 환경 측정을 위하여 터널 내부에 3개의 위치에 설치된 환경 측정 장치에서 약 1년간 측정된 온도 및 습도를 분석한 결과를 담고 있다. 선행의 연구에서는 도심지 및 도심지 인근에 위치한 터널 내부에서 측정 결과 결과에 대하여 분석하였지만, 본 논문에서는 산악지형에 위치한 터널 내부에서 측정된 온도 및 습도 등을 외부에서의 기상 측정 결과와 비교한 것으로 선행 연구와 차별성을 지닌다. 솔안터널 내부에 측정된 온도 및 습도를 월별로 지역에서의 기상 측정 결과와 비교하였으며, 여름과 겨울을 대표하는 대표적인 일자에 대해서 철도터널에서의 시간별 온도 및 습도의 변화도 분석하였다. 또한 터널 내 측정 위치에 따른 환경 특성도 분석하였다. 본 연구에서 제시한 철도터널의 환경 측정 분석 결과는 터널의 환기 및 화재 시뮬레이션 등 터널의 기류의 컴퓨터 해석 및 터널의 공기질 및 온열환경과 관련된 연구에 폭넓게 사용될 수 있다.

2. 터널환경측정

본 연구에 사용된 TREMS의 상세 사양 및 측정센서는 이전 연구 결과에 이미 제시된 바 있으며[1,6], 수도권 지하철 과천선 및 고속철도 금정터널에 설치하여 측정된 결과를 제시한 바 있다[1,2].

본 연구에서는 16.7 km로 긴 고리 모양의 짜리 형태인 솔안터널에 개발한 TREMS를 설치하고, 이를 이용하여 솔안터널의 환경을 2013년 7월부터 2014년 7월까지 1년간 분당 모든 환경데이터를 매일 24시간 지속적으로 모니터링하여 얻은 데이터를 이용하여 터널 내부의 시간



Fig. 1. Three TREMS installation locations in Solan tunnel

대별 및 계절별 환경을 분석하였다.

솔안 터널 내부에 TREMS를 3개 지점에 설치하고, 그 설치위치를 Fig. 1에 나타냈는데, 설치 위치를 사갱, 본선, 수직구로 서로 다르게 하여 설치 위치에 따른 환경 비교가 가능하도록 하였다. 사갱의 경우 영동선 시점 106.240 km 위치(Point 1)에 설치하였고, 본선은 시점 104.575 km 위치(Point 2)에 설치하였으며, 수직구는 시점 102.395 km 위치(Point 3)에 설치하였다. 본 연구에서는 위 세 개 지점에서 2013년 7월부터 2014년 7월까지 측정된 온도와 습도 환경을 분석하여 제시하였다.

3. 측정 결과

3.1 월별 온도 및 상대습도 변화

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

Fig. 6은 태백 지역의 외기, 그리고 터널 내부의 사갱, 본선, 수직구에서의 월별 평균 온도를 각각 나타낸 것인데, 공통적으로 여름에는 온도가 높았고, 겨울에는 온도가 낮았다. 또한, 외기의 온도가 터널 내부의 사갱, 본선, 수직구 등에 비해 여름에는 더 높았고, 겨울에는 더 낮았다. 이는 고속철도 금정터널에서 관찰된 바와 거의 유사한 양상인데, 터널의 경우 여름에는 태양광이 유입되지 않으므로 터널의 온도가 더 낮은 반면에, 겨울에는 지열의 영향과 열차 폐열 등의 영향으로 온도가 더 높았다 [2].

그러나, 여름에는 외기와 터널 내부의 온도 차이가 약 5 °C 이내로 크지 않는데 비해 겨울에는 외기와 터널 내부의 온도 차이가 최대 10 °C 이상 벌어지는 것을 볼 수 있었다. 이처럼 겨울에 외기와 터널 내부의 온도 차이가 크기 때문에 겨울에는 열차의 운행에 의한 열차풍, 환기 장치의 가동, 사갱이나 수직구 등을 통한 자연 환기 등을

통해 외기가 유입되면 온도가 크게 영향을 받지만, 여름에는 외기와 터널 내부의 온도 차이가 작으므로 이러한 영향이 상대적으로 작게 나타났다.

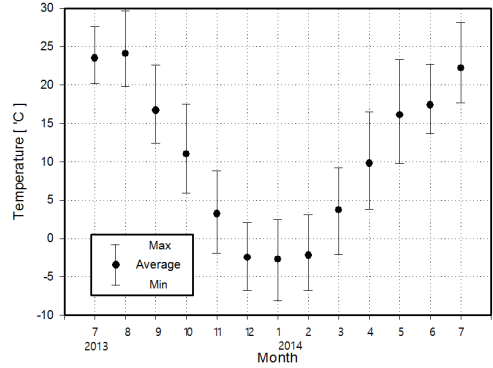


Fig. 2. Ambient temperature of Taebak from July, 2013 to July, 2014

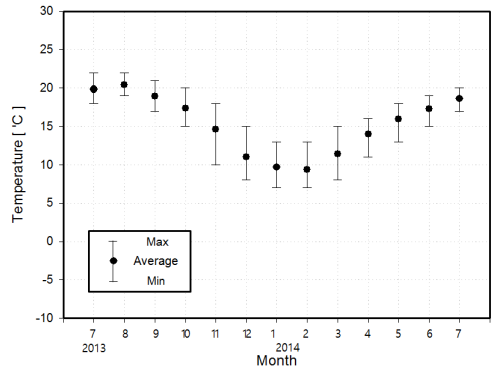


Fig. 3. Temperature at P't 1 of Solan tunnel

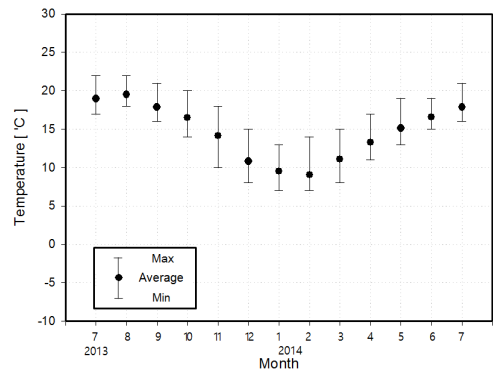


Fig. 4. Temperature at P't 2 of Solan tunnel

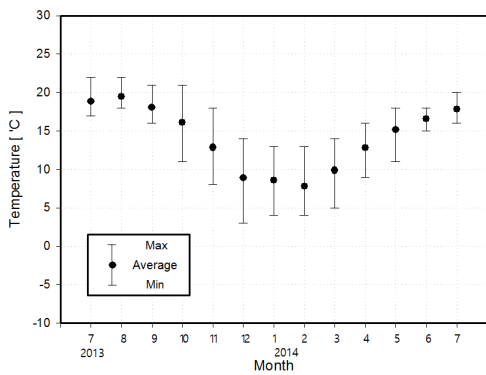


Fig. 5. Temperature at P't 3 of Solan tunnel

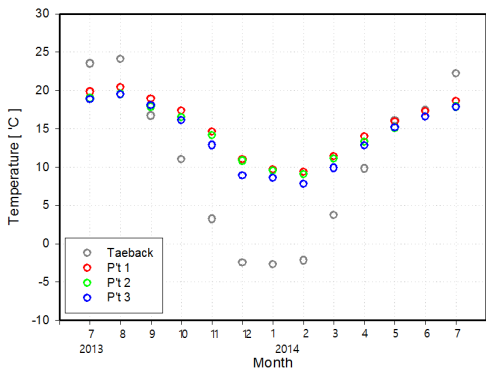


Fig. 6. Monthly averaged temperature of Solan tunnel and Taebak city

터널 내부의 연중 위치별 온도를 보면 Fig. 3~5에 나타난 바와 같이 여름에는 사갱(P't 1), 본선(P't 2), 수직구(P't 3)에서 유사한 온도 범위를 나타냈다. 그러나, 겨울에는 사갱(P't 1)과 본선(P't 2)에 비해 수직구(P't 3)에서 온도가 약간 더 낮은 것으로 나타났다. 이는 솔안터널의 수직구에 환기장치가 설치되어 있고, 이 환기장치가 주기적으로 가동되면서 차가운 외기가 터널 내부로 유입되어 온도가 떨어진 것이다. 이에 반해 사갱과 본선은 외기의 영향을 덜 받는 것으로 나타났으나, 그 영향이 그리 크지는 않았다.

태백 지역의 월간 최고 온도와 최저 온도의 차이는 Fig. 2에 나타난 바와 같이 연중 8~13 °C로 나타났다. 그러나, 솔안터널의 월간 최고 온도와 최저 온도의 차이는 Fig. 3~5에서 볼 수 있듯이 계절에 따라 크게 달라지는 것으로 나타났는데, 여름에는 그 차이가 작아져서 5~6 °C에 불과한 반면, 겨울에는 그 차이가 커져서 7~11 °C에 이른다. 이는 외기 온도와 터널 내부 온도의 차이가

겨울에 증가하기 때문인데, 터널 내부는 지열과 열차 운행 중 발생하는 폐열 등에 의하여 항상 외기 온도보다 10 °C 이상 높다. 그러나, 수직구나 사갱을 통해 외기가 유입되거나, 열차가 운행하면서 터널 내부로 외기가 유입되는 경우 외기의 영향을 받아 터널의 온도가 낮아지는데, 겨울에 외기와 터널 내부의 기본적인 온도 차이가 더 크기 때문에 겨울에 월간 최고 온도와 최저 온도의 차이가 더 커지는 것으로 보인다. 반면에 여름에는 터널 내부와 외기의 온도 차이가 겨울에 비해 작기 때문에 외기 유입에 의한 온도 상승 영향이 작았다.

온도와 마찬가지로 상대습도의 변화도 알아보았다. 위의 온도 측정과 동일 기간 동안 태백지역의 연중 월별 상대습도를 Fig. 7에 나타냈고[6], 마찬가지로 터널 내부의 사갱, 본선, 수직구에서 TREMS를 통해 측정된 연중 월별 상대습도를 Fig. 8~10에 나타내었다.

태백 지역의 상대습도는 8월과 9월에 80 % 이상으로 높고, 12월, 4월, 6월에 50 % 이하로 낮았다. 연중 가장 상대습도가 높은 달과 가장 낮은 달의 상대습도 차이는 약 40 % 정도로 나타났다. 이에 반해 Fig. 8~10에서 볼 수 있듯이, 터널 내부의 상대습도는 연중 변화가 뚜렷했는데, 7~8월 등 여름에는 사갱과 본선, 수직구 모두 상대습도가 90 % 이상으로 매우 높았다. 반면에 11~1월 등 겨울에는 상대습도가 40 % 이하로 매우 건조함을 알 수 있었다. 이에 따라 앞서 언급한 바와 같이 태백 지역의 연중 가장 상대습도가 높은 달과 가장 낮은 달의 상대습도 차이가 약 40 % 가량에 불과한 반면, 터널 내부에서는 그 차이가 약 60 % 이상으로 매우 크게 나타났다. 이는 태백지역 외기와 터널 내부의 연중 월별 평균 상대습도를 함께 나타내어 비교한 Fig. 11에서 쉽게 확인할 수 있었다.

이처럼 여름에 터널 내부의 상대습도가 외기에 비해 더 높은 이유는 터널 내부를 흐르는 지하수의 영향 때문이다. 터널 내부 곳곳에 지하수가 흐르지만, 충분한 외기의 유입이나 환기가 어려운 상황이기 때문에 상대습도가 거의 포화 수준으로 매우 높게 나타났다. 반면에 겨울에는 상대습도가 외기에 비해 매우 낮게 나타났는데, 이 역시 터널 내부의 지하수 양과 온도의 영향 때문인 것으로 보인다. 겨울에는 여름에 비해 강우량이 적어서 지하수의 양도 상대적으로 적은 반면에, 터널 내부의 온도는 외기보다 10 °C 이상 높아 상대습도는 더 낮게 나타난 것으로 판단된다.

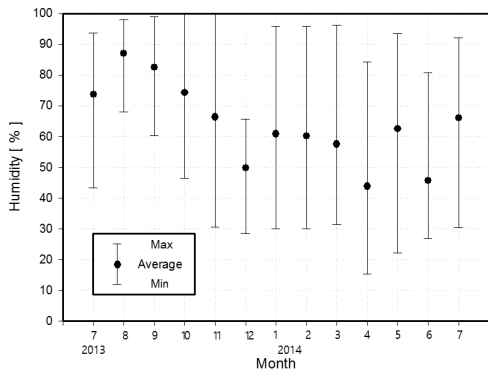


Fig. 7. Ambient relative humidity of Taeback city from July, 2013 to July, 2014

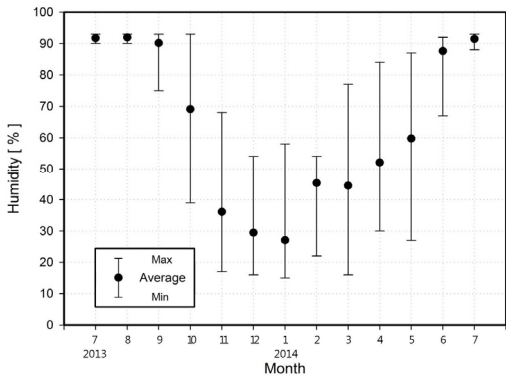


Fig. 8. Relative Humidity at P't 1 of Solan tunnel

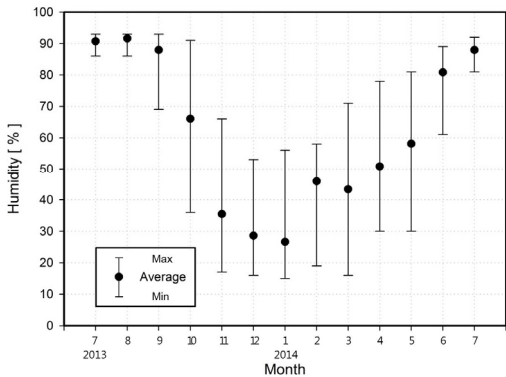


Fig. 9. Relative Humidity at P't 2 of Solan tunnel

마찬가지로, 상대습도도 거의 유사하였다. 그러나, Fig. 6에서 겨울에는 수직구의 온도가 사갱이나 본선에 비하여 약간 낮게 나타났었는데, 이 때문에 상대습도도 수직구에서 약간 더 높게 나타났다. 이는 기본적으로 터널 내부에서는 사갱이나 본선, 수직구 등 위치에 관계없이 절대습도량은 거의 유사하나, 수직구에서는 환기장치를 가동함에 따라 외기가 유입되어 사갱이나 본선에 비하여 온도가 낮아져 상대습도는 약간 더 높게 나타난 것으로 보인다.

터널 내부에서의 월별 상대습도의 최고치와 최저치의 차이는 여름인 7~8월에 10% 이내로 매우 작게 나타났고, 12~1월에 약 40% 정도로 약간 더 컸으며, 3월과 10월 등 봄과 가을에는 50% 이상으로 그 차이가 가장 컸다. 이처럼 계절에 따라 월중 상대습도의 변화가 다르게 나타난 것은 계절에 따른 온도의 변화 및 강수량 등과 밀접하게 연관되어 있는 것으로 보인다. 여름의 경우 앞서 언급한 바와 같이 지하수에 의한 영향으로 상대습도가 지속적으로 최대 80% 이상으로 유지되는 상황이기 때문에 최대 상대습도와 최저 상대습도의 차이가 가장 작게 나타났다. 봄, 가을과 겨울에는 이 차이가 급격하게 증가하였는데, 이는 Fig. 3~5에서 알 수 있듯이 이 기간 중에 월간 최대 온도와 최저 온도의 차이가 컸기 때문이다. 특히 봄과 가을에는 급격하게 온도가 변화하였기 때문에 이에 따라 상대습도 변화도 크게 나타난 것으로 보인다.

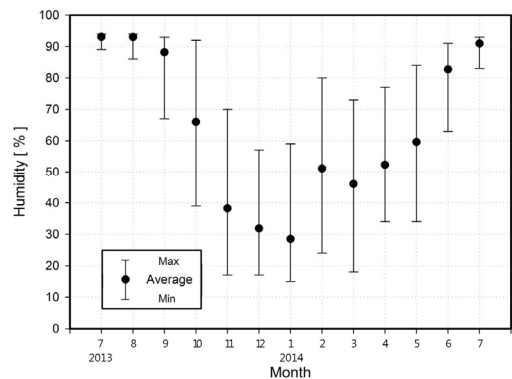


Fig. 10. Relative humidity at P't 3 of Solan tunnel

또한, 사갱, 본선, 수직구 등 터널 내부의 위치에 따른 영향을 보면 앞서 Fig. 6에서 본 온도의 양상과 직접적으로 연관되어 있음을 볼 수 있는데, Fig. 6에서 여름에는 사갱, 본선, 수직구의 온도가 거의 유사하였던 것과

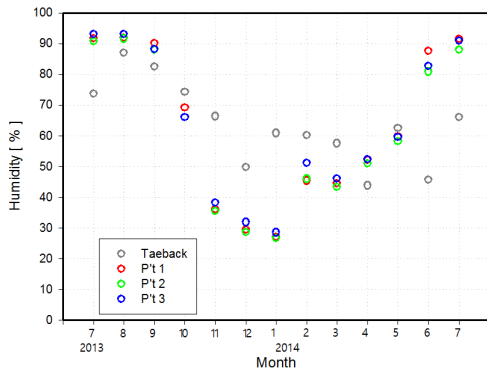


Fig. 11. Monthly averaged relative humidity of Solan tunnel and Taeback city

3.2 일별 온도 및 상대습도 변화

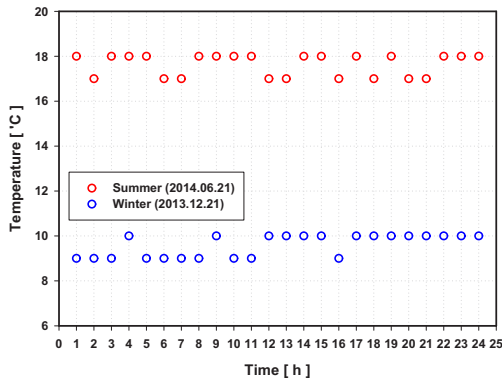


Fig. 12. Daily temperature change at P't 1 of Solan tunnel

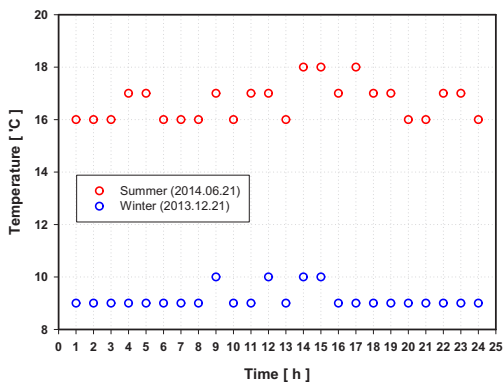


Fig. 13. Daily temperature change at P't 2 of Solan tunnel

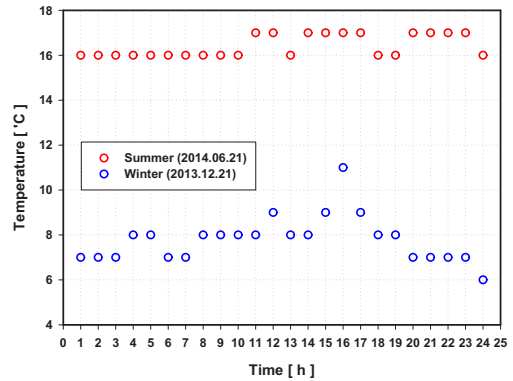


Fig. 14. Daily temperature change at P't 3 of Solan tunnel

TREMS에서는 월간 온도와 상대습도뿐만 아니라 일간 온도와 상대습도의 변화도 모니터링 할 수 있다. 이에 여기에서는 여름 중 2014년 6월 21일 하루, 겨울 중 2013년 12월 31일 하루를 각각 임의로 선정한 후에 이렇게 선정한 2일에 대하여 터널 내 위치별 온도변화와 상대습도 변화를 각각 Fig. 12~14와 Fig. 15~17에 나타내었다.

Fig. 12~14에 나타난 바와 같이 사갱과 본선에서는 여름과 겨울 모두 하루 중 온도 변화가 2~3 °C 이내로 불과하여 거의 일정한 것으로 나타났다. 그러나, 수직구의 경우 겨울에 위치에 따라 온도 차이가 큰 것으로 나타났다는데, 그 차이가 최고 5 °C에 이르렀다. 겨울철 사갱과 본선의 온도가 9~10 °C로 거의 일정한 반면 수직구에서 온도가 6~11 °C로 온도 변화가 크게 나타난 것은 앞서 논의한 바와 같이 수직구에 설치된 환기 장치의 가동에 의해 외기가 터널 내부로 유입되었기 때문이다. 위치에 따른 하루 중 상대습도의 변화를 보면, 사갱과 본선, 수직구 모두 하루 중 큰 변화 없이 여름에는 80~90 % 수준을 유지하였다. 반면에 겨울에는 하루 중 상대습도 변화가 다소 큰 것으로 나타났다. 앞서 Fig. 14에서 살펴 본 바와 같이 겨울철 수직구에서의 하루 중 온도 변화가 매우 큰 것으로 나타났기 때문에 Fig. 17의 겨울철 수직구에서도 하루 중 상대습도 변화가 매우 클 것으로 예상되었으나, 실제 측정 결과는 사갱이나 본선과 큰 차이가 없이 거의 유사한 경향으로 나타났다. 이는 겨울철 터널 내부의 절대습도량이 많지 않기 때문에 온도에 따른 상대습도 변화가 온도에 비하여 크지 않게 나타난 것으로 판단된다.

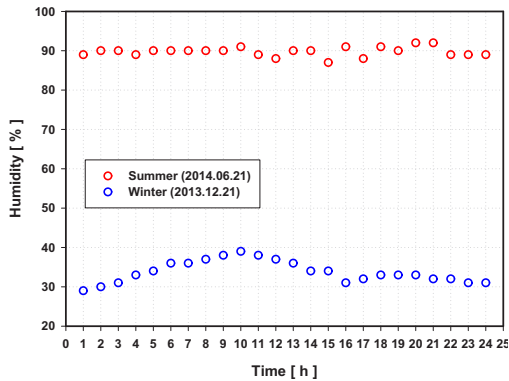


Fig. 15. Daily relative humidity at P't 1 of Solan tunnel

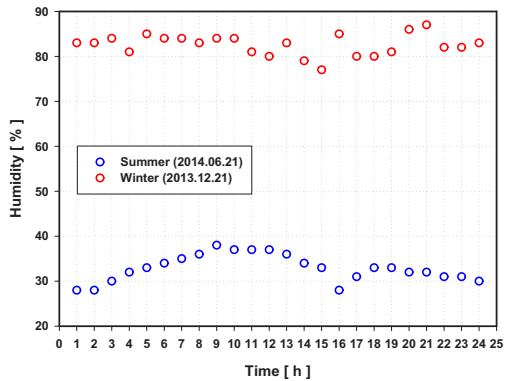


Fig. 16. Daily relative humidity at P't 2 of Solan tunnel

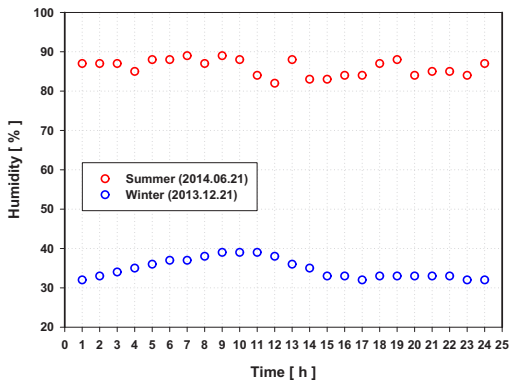


Fig. 17. Daily relative humidity at P't 3 of Solan tunnel

4. 결론

본 연구에서는 파리형 터널인 솔안터널에 TREMS를 설치하고, 이를 이용하여 온도 및 상대습도를 측정하였

으며, 이를 분석하여 다음과 같은 결론을 제시하였다.

- 솔안터널의 온도는 여름에는 외부보다 온도가 낮았고, 겨울에는 높았는데, 여름에는 터널 내부로 태양 광이 유입되지 않으므로 터널의 온도가 더 낮은 반면에, 겨울에는 지열의 영향과 열차 폐열 등의 영향으로 온도가 더 높았다.
- 여름보다 겨울에 외기와 터널 내부의 온도 차이가 큰 것으로 나타났는데, 이는 겨울에 열차의 운행에 의한 열차풍, 환기장치의 가동, 사갱이나 수직구 등을 통한 자연 환기 등을 통한 외기 유입 때문이다.
- 겨울에는 사갱과 본선에 비해 수직구의 온도가 약간 더 낮았는데, 이는 수직구에 설치된 환기장치의 가동에 의해 차가운 외기가 터널 내부로 유입되었기 때문이며, 이에 따라 상대습도는 더 높은 것으로 나타났다.
- 터널 내부의 월간 최고 온도와 최저 온도의 차이는 여름보다 겨울에 더 컸는데, 이는 겨울에 터널 내부가 지열 등에 의해 외기와의 온도차이가 큰 상태에서 환기나 열차풍 등에 의해 외기가 유입될 때 온도가 급격하게 변화하기 때문이다.
- 여름에는 터널 내부의 상대습도가 외기보다 높았는데 이는 터널 내부의 온도가 외기보다 낮고, 지하수 유입 등으로 물이 많기 때문이다. 반면에 겨울에는 터널 내부의 온도가 외기보다 높고, 영서지방의 강수량도 적기 때문에 터널 내부의 상대습도가 외기보다 더 낮았다.
- 하루 중 온도 변화는 사갱과 본선에서 여름과 겨울 모두 크지 않았으나, 수직구는 겨울에 온도 변화가 큰 것으로 나타났는데, 이는 앞서 논의한 바와 같이 수직구에 설치된 환기 장치의 가동에 의해 외기가 터널 내부로 유입되었기 때문이다.
- TREMS를 통하여 솔안터널의 온도 및 상대습도 변화를 알 수 있었으며, 이를 통해 터널의 환기장치 가동방법이나 터널 내부의 오염물질 제거를 위한 기술적용 환경조건 등의 연구를 위한 기초 자료를 확보할 수 있었다.

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.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.12.8608>
- [2] W.-H. Park, Y. Cho, Development of Tunnel-Environment Monitoring System and Its Installation I -Measurement in Gumjung Tunnel-, *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, will be printed in Vol. 17.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.12.8608>
- [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, pp.294-301, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5573/ieek.2013.50.6.294>
- [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] http://www.kma.go.kr/weather/climate/past_cal.jsp

박 원 희(Won-Hee Park)

[정회원]



- 2000년 2월 : 중앙대학교 기계공학 학과 (기계공학석사)
- 2004년 2월 : 중앙대학교 기계공학 학과 (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

권 태 순(Tae-soon Kwon)

[정회원]



- 2002년 8월 : 카이스트 화학공학과 (공학석사)
- 2006년 8월 : 카이스트 생명화학공학과 (공학박사)
- 2006년 9월 ~ 2007년 11월 : 한국에너지기술연구원 선임연구원
- 2007년 11월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 선임연구원

<관심분야>

화재안전, 환경공학