

터널 포장의 온도 특성

Temperature Characteristics on Cement Concrete Pavements in Tunnel

홍승호, 이경하, 조창민

Hong, Seung Ho · Lee, Kyung Ha · Cho, Chang Min

1. 서론

우리나라에 시멘트 콘크리트 포장이 도입된 후 고속도로 일반 노선에서는 많이 건설되어 꾸준한 기술발전으로 좋은 품질과 공용성이 우수한 상태를 보이고 있다. 시멘트 콘크리트 포장은 주로 고속도로와 공항에서 시공되고 있어 도로 건설에 임하고 있는 기술자들도 접하기가 어려운 분야이다. 고속도로의 경우 포장 노선 중 60% 정도가 콘크리트 포장으로 건설되고 있으나, 국도의 경우 5% 이내에서 콘크리트 포장이 건설되고 있어 일반인의 콘크리트 포장에 대한 관심도는 낮은 편이다.

본 연구에서는 고속도로 및 국도의 특수 포장 개소인 터널 포장에 대하여 설명하고자 한다. 터널 구조물은 국도, 고속도로 및 지방도 등 대부분의 도로에 건설되어 있다. 대부분의 도로에서 터널 내 포장은 콘크리트 포장으로 건설되고 있으나, 터널 내 포장에 대한 특성에 대하여 연구가 전무한 상태에서 일반구간과 동일한 방식으로 포장되고 있다.

본 연구에서는 터널 내 포장의 온도 특성을 연구하기 위하여 고속도로에 건설된 4곳의 터널을 선정하여 분석하였다. 터널이 건설되어 있는 노선에 따라 온도 변화이 상이점이 분석되었으며, 터널의 입구부와 진출부의 동결 특성이 상이한 것으로 분석되어 동상방지층의 변화 가능성을 제시하였다.

2. 터널 포장 현장 조사

터널내 포장의 온도조사를 위해 온도조사지점을 상시조사지점과 전역조사지점으로 구분하여 선정하였다. 상시조사지점은 갱구부와 갱구부로부터 250m지점에 연중 계절별 온도변화를 측정하기 위해 포장깊이(5, 15, 30cm)별로 온도계를 매설하여 측정하는 구간으로 표 1과 같이 조사지점을 선정하였다.

온도조사는 갱구부와 갱구부로부터 250m 깊이의 지점에서는 포장 단면 깊이별로 상시관측이 가능하며, 갱구부로부터 500m깊이의 지점까지는 50m깊이마다 동결기의 1일간 온도계측을 실시하도록 하였다.

터널내 포장 온도측정은 상시조사지점은 포장단면깊이별로 4개의 센서를 매설하여 데이터로거를 이용하여 온도측정데이터를 획득하도록 하였다. 온도계매설은 갱구부와 갱구부로부터 250m깊이의 지점에 코아링을 한 후에 5cm, 15cm, 30cm의 깊이에 온도센서를 매설한 후 데이터로거와 연결토록 하였으며, 데이터로거를 보호하기 위한 보호박스를 설치하였다.

*정회원 한국도로공사 도로교통기술원 공학석사 013-371-3440(E-mail:HSH373@freeway.co.kr)
**정회원 한국도로공사 도로교통기술원 공학박사 013-371-3362(E-mail:khlee@freeway.co.kr)
***정회원 한국도로공사 도로교통기술원 공학석사 013-371-3440(E-mail:yscivilmin@hanmail.net)

표 1. 터널포장 온도조사 지점

터널명	연장 (m)	노선	위치(km)
용천	500	서해안선	175.6
진부1	2,095	영동선	193.8
육십령	3,170	중부	128.2
죽령	4,600	중앙선	129.6

동상 특성은 터널 입출구부 50m 구간에 대한 토공부와 동일한 동상방지층을 적용하는 현행 터널포장 설계기준에 대한 분석을 통하여 터널내 포장이 토공부 포장과 다른 특성인자인 동결특성에 따른 설계기준을 정립하고자하였다.

터널내에서의 동결심도를 구하기 위해서는 터널내의 갱구부로부터의 깊이별 대기온도로부터 동결지수를 구하고 미공병단에서 제정한 TM 5-852-6에서 제시된 노상동결 판입허용법으로 동결심도를 산정하여 일반 토공부와의 동결심도 특성을 비교하고자 한다.

3. 조사 및 결과 분석

터널의 갱구부 및 내부에 대한 포장온도에 대한 조사는 2003년 11월부터 2004년 9월까지 조사를 실시하였다. 터널온도조사는 상시온도계설치점에 대한 터널 갱구부와 내부에 대하여 포장 단면 깊이별 온도를 계속하였다. 또한, 터널연장에 따른 갱구부로부터의 깊이별 온도변화 특성을 분석하기 위하여 대표조사지점에 대하여 온도변화 특성을 분석하였다.

3.1 터널 내 포장 동결 특성 분석

본 연구에서는 터널의 갱구부 및 내부의 동결지수특성 분석을 위하여 터널의 갱구부 및 내부에 대한 포장온도에 대한 조사가 2003년 11월부터 2004년 5월까지 실시되었다. 온도계측은 1시간대별로 이루어졌으며 동결지수분석을 위해서는 일평균 대기온도로 환산하였다. 그림 1은 진부터널의 갱구부의 대기온도를 나타낸 것이다. 갱구부의 대기온도는 11월부터 지속적으로 하강하여 1월 22일에 최저온도 -12°C 를 저점으로 하여 상승하는 경향을 나타냈다. 그림 2는 진부터널의 내부의 대기온도를 나타낸 것이다. 내부의 대기온도는 11월부터 지속적으로 하강하여 1월 22일에 최저온도 -8°C 를 저점으로 하여 상승하는 경향을 나타냈다.

동결지수는 일평균기온에서 기준온도를 뺀 값을 누적하여 최고점과 최저점의 차이를 구하는 것으로 기준온도는 섭씨에서는 0°C 이므로 섭씨온도에서의 동결지수는 바로 일평균기온 누가곡선에서 최고점과 최저점의 차이를 구한 값이 된다. 그림 3은 진부터널의 갱구부의 일평균기온 누가곡선을 나타낸 것이다. 그림 3에서 진부터널의 갱구부의 동결지수는 $297.3^{\circ}\text{C}\cdot\text{days}$ 이며, 그림 4는 진부터널의 내부의 일평균기온 누가곡선을 나타낸 것이다. 그림 4에서 진부터널의 내부의 동결지수는 $44.3^{\circ}\text{C}\cdot\text{days}$ 로 나타났다.

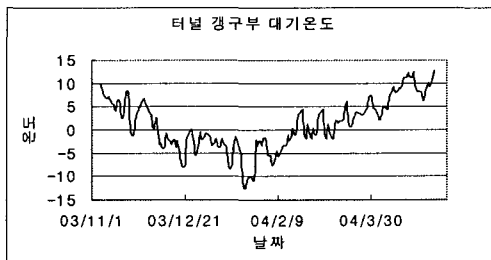


그림 1. 진부터널 갱구부 대기온도

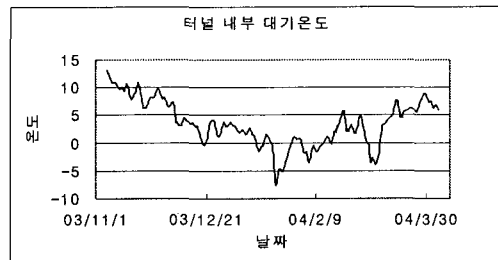


그림 2. 진부터널 내부 대기온도



터널 내부는 갱구부에 비하여 동결지수가 253℃·days 감소하였으며, 터널 내부의 동결지수가 갱구부에 비하여 약 85%정도 감소하는 것으로 나타났다. 터널 갱구부로부터의 깊이별 동결지수 특성을 해석하기 위해서 국내의 대표적 측후소 4개 지점에 대하여 30년간의 동결지수와 동절기 일평균기온 분석을 실시한 결과, 그림 5과 같이 나타났다. 그림 5에서 동절기 일평균기온과 동결지수와의 관계는 매우 양호한 상관관계를 이루고 있으며 동절기 일평균기온으로부터 동결지수를 추정할 수 있다. 그림 5는 향후에 더 많은 데이터를 분석하여 동절기 일평균기온과 동결지수의 관계식을 정립할 예정이다.

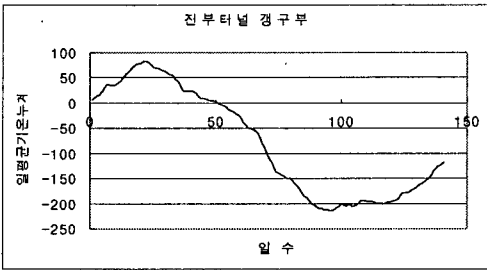


그림 3. 진부터널 갱구부 동결지수

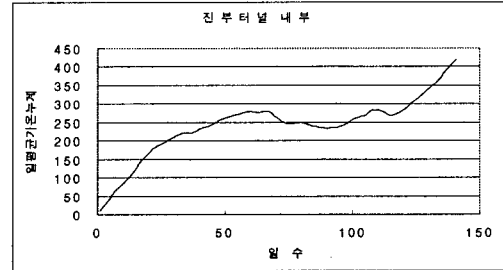


그림 4. 진부터널 내부 동결지수

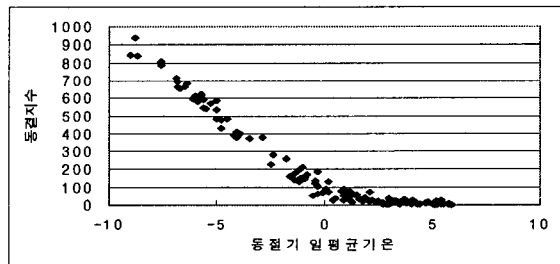


그림 5. 동결지수와 동절기 일평균기온의 관계

4. 포장 온도 특성

4.1 서해안고속도로 웅천 터널

서해안 고속도로에 건설된 웅천 터널을 대상으로 터널 입구부와 중앙부에서 포장 깊이별 온도 변화를 조사하였다. 터널 포장의 온도 변화와 비교하기 위하여 인근 지역(충남 보령 측후소)의 12월부터 2월까지 온도 변화를 조사하였다. 12월 최저 온도가 0℃이하로 낮아지는 것으로 조사되었고, 1월 중 최저 온도는 -13℃까지 낮아진 날이 있음을 알 수 있었다. 2월중에는 최저 온도가 0℃ 이상으로 회복되는 것으로 조사되었다.

웅천 터널의 12월 중 입구부와 중앙부의 시멘트 콘크리트 포장에 깊이별로 설치된 온도 센서의 변화는 그림 6과 그림 7에서 보는 바와 같다. 웅천 터널의 입구부에서는 그림 6에서 보는 바와 같이 -5cm 깊이에서 변화의 폭이 매우 큰 것을 볼 수 있다, 반면에 -30cm 경우 상대적으로 변화의 폭은 작게 발생하는 것을 볼 수 있다. 웅천 터널의 중앙부에서는 그림 7에서 보는 바와 같이 -5cm 깊이에서 온도 변화가 -30cm 깊이의 온도와 비교하여 더욱 낮고 변화의 폭이 큰 것을 알 수 있다. 웅천 터널의 경우 연장이 500m로 작은 터널이지만 그림 6과 그림 7에서 보는 바와 같이 터널 입구부와 중앙부에서의 온도차는 크게 다른 것을 알 수 있다.

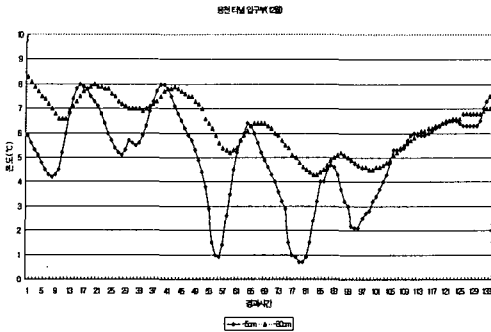


그림 6. 웅천 터널 입구부 포장 깊이별 온도 변화

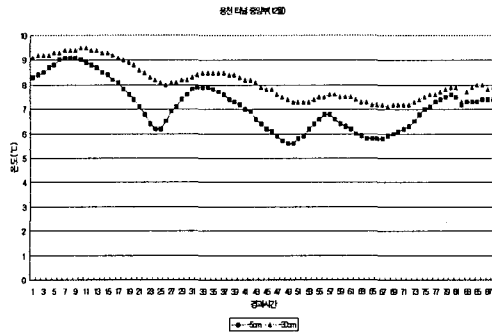


그림 7. 웅천 터널 중앙부 포장 깊이별 온도 변화

4.2 대전-통영 고속도로 육십령 터널

대전-통영 고속도로에 건설된 육십령 터널을 대상으로 터널 입구부와 중앙부에서 포장 깊이별 온도변화를 조사하였다. 터널 포장의 온도 변화와 비교하기 위하여 인근 지역(충남 금산)의 기상 자료를 조사하였다. 육십령 터널 지역은 12월 초부터 최저 온도가 0℃ 이하로 낮아지는 것으로 조사되었고, 최저 온도가 -17℃ 까지 낮아진 것으로 조사되었다. 2월 말 경에는 최저 온도가 0℃ 이상으로 회복되는 것으로 조사되었다.

육십령 터널의 1월 말부터 3월 말까지의 입구부와 중앙부의 포장 깊이별 온도 변화는 그림 8과 그림 9에서 보는 바와 같다. 육십령 터널 입구부의 경우 그림 8에서 보는 바와 같이 포장 깊이 -5cm에서 온도 변화가 매우 크게 발생하는 것을 볼 수 있다. 반면에 -30cm 깊이에서는 변화의 폭이 매우 작고 온도 상승이 점진적으로 발생하는 것을 알 수 있다. 육십령 터널 인근 지역의 기상 자료와 비교하여 2월 초에 최저 온도가 -15℃가 관측되었는데 입구부 -5cm 깊이의 온도는 -10℃까지 낮아진 것을 볼 수 있다. 육십령 터널의 중앙부의 경우 그림 9에서 보는 바와 같이 포장 깊이별 -5cm와 -30cm에서 온도 변화 폭은 작게 관측되었으며, 2월 초경에서 -5℃까지 낮아지는 것으로 조사되었다.

육십령 터널 입구부의 -5cm 깊이는 6월에 최고 42.6℃가 온도가 상승하는 것으로 조사되었으며, -30cm 깊이에서는 26.6℃가 측정되어 상부와 하부의 온도차가 18℃ 발생하는 것으로 조사되었다. 조사 기간 동안 -5cm 깊이는 1월 최저 -9.2℃까지 낮아진 후 6월에 최고 42.6℃까지 상승하여 경험하는 온도차가 51.8℃로서 콘크리트의 열팽창 특성에 큰 영향을 줄 것으로 사료된다. 육십령 터널의 중앙부는 -5cm 깊이에서 2월에 -6℃로 낮아진 후 6월에 24℃로 온도가 상승하여 조사기간 중 온도차가 30℃ 정도 발생하는 것으로 조사되었다. 입구부와 비교하여 상하부에서 온도 변화가 작게 발생하는 것으로 조사되었다.

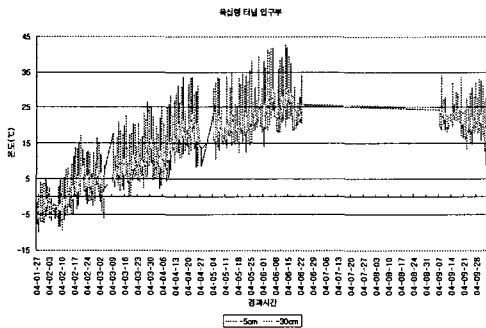


그림 8. 육십령 터널 입구부 포장 깊이별 온도 변화

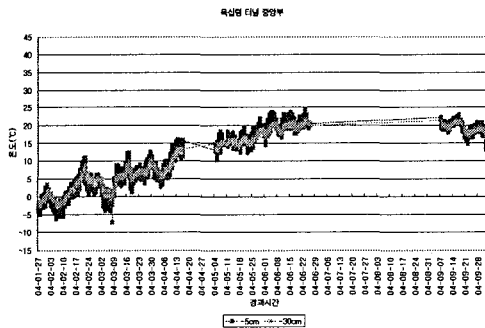


그림 9. 육십령 터널 중앙부 포장 깊이별 온도 변화



4.3 중앙고속도로 죽령 터널

중앙고속도로에 건설된 죽령 터널을 대상으로 터널 입구부와 중앙부의 포장 깊이별 온도 변화를 조사하였다. 죽령 터널의 인근 지역의 최저 온도는 1월부터 3월 말까지 0℃ 이하로 떨어지는 것으로 조사되었다. 1월 말 경에는 최저 온도가 -16℃까지 낮아진 것을 관측되었다.

죽령 터널의 3월 중 포장 깊이별 온도 변화는 그림 10과 그림 11에서 보는 바와 같다. 죽령 터널의 입구부에서의 포장 깊이별 온도 변화는 그림 10에서 보는 바와 같이 -5cm 깊이에서 매우 크게 변화되는 것을 볼 수 있으며, -30cm 깊이의 경우 온도 변화의 폭이 크지 않음을 알 수 있다.

죽령 터널의 중앙부 온도 조사는 터널 입구부로부터 500mm 지점에 위치한 비상 주차 공간에 포장 깊이별로 온도 센서를 매설하였다. 죽령 터널 중앙부의 경우 포장 깊이별 온도 변화는 그림 11에서 보는 바와 같이 -5cm와 -30cm 깊이에서의 온도 변화는 작게 발생하는 것으로 조사되었다.

4.4 영동고속도로 진부1 터널

영동고속도로에 건설된 진부1 터널을 대상으로 포장 깊이별 온도 조사를 실시하였다. 진부1 터널 인근 지역의 경우 12월부터 2월 말까지 최저 온도가 0℃ 이하로 떨어지는 것으로 조사되었다. 1월경에는 최저 온도가 -25℃까지 떨어지는 것으로 조사되었다.

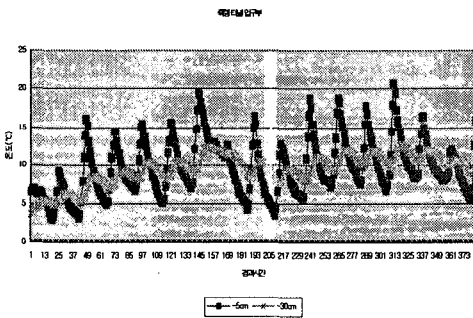


그림 10. 죽령 터널 입구부 포장 깊이별 온도변화

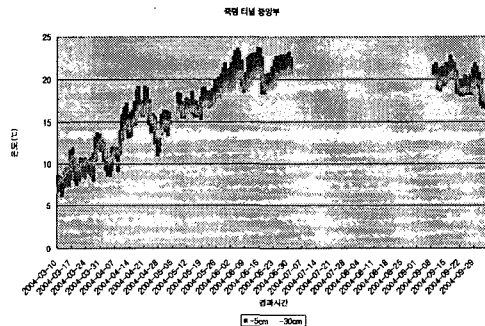


그림 11. 죽령 터널 중앙부 포장 깊이별 온도변화

진부 1터널 인근 지역의 6월부터 9월까지 조사된 최고 대기온도는 7월 30일에 31.3℃까지 상승한 것으로 조사되었다. 6월의 최고 온도는 27.5℃가 조사되었고, 터널 입구부의 -5cm 깊이에서는 31℃가 조사되어 약 3℃ 정도의 차이가 발생하는 것을 알 수 있다. 9월의 최고 온도는 26.1℃가 조사되었으나, 터널 입구부 -5cm 깊이에서는 26.6℃가 조사되어 온도 차가 거의 발생하지 않은 것을 알 수 있었다.

진부1 터널의 포장 깊이별 온도 변화는 그림 12와 그림 13에서 보는 바와 같다. 진부1 터널 입구부의 포장 깊이별 온도변화는 그림 12에서 보는 바와 같이 -5cm 깊이에서 변화의 폭이 매우 크게 발생하는 것으로 조사되었다. -5cm 깊이에서는 1월 중순경에는 최저 온도가 -18℃로 낮아진 것으로 조사되었으며, -30cm 깊이에서는 -11℃까지 온도가 낮아진 것으로 조사되었다. 터널 입구부의 -5cm 깊이에서는 12월 초부터 2월 말까지 0℃ 이하로 낮아진 상태를 나타내는 것을 볼 수 있으며, -30cm 깊이의 경우는 -5cm 깊이와 달리 12월 초부터 2월 말까지 0℃이하 상태를 유지하는 것으로 조사되었다.

진부1 터널 중앙부의 포장 깊이별 온도 변화는 그림 13에서 보는 바와 같이 -5cm 깊이에서 변화의 폭이 매우 크게 발생하는 것으로 조사되었다. -5cm 깊이에서는 1월 중순경에 최저 온도가 -14℃로 낮아진 것으로 조사되었으며, -30cm 깊이에서는 -10℃까지 온도가 낮아진 것으로 조사되었다. 터널 중앙부의 포장 깊이별 온도도 터널 입구부와 유사한 온도 형태를 보임을 알 수 있다, 진부1 터널의 경우 중앙부의 포장 하부도 온도가 매우 낮아지는 것으로 조사되었으며 포장 하부의 기층은 동상 영향을 받을 것으로 사료된다.

진부 1터널의 6월부터 10월까지 조사된 온도 변화는 입구부의 -5cm 깊이에서 6월에 최고 31℃까지 상승한 것으로 조사되었다. 1월 최저 -18℃의 온도로부터 조사 기간 중 최대 온도차는 49℃가 발생되어 콘크

리트의 열팽창 특성에 의한 영향을 크게 받을 것으로 사료된다. 중앙부의 -5cm 깊이에서 6월에 최고 21.7℃까지 온도가 상승한 것으로 조사되었다. 1월 최저 -14℃의 온도로부터 조사 기간 중 최대 온도차는 35.7℃가 발생되는 것을 알 수 있었다.

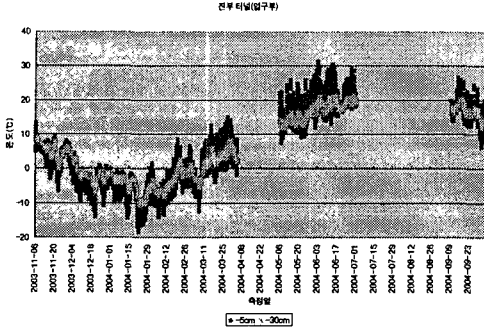


그림 12. 진부1 터널 입구부 포장 깊이별 온도변화

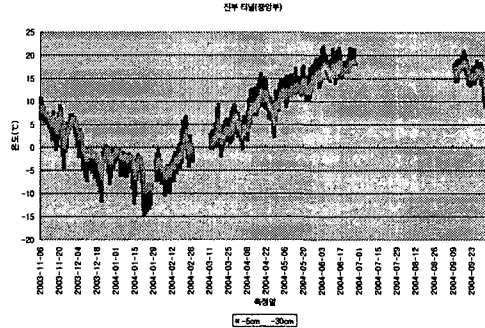


그림 13. 진부1 터널 중앙부 포장 깊이별 온도변화

5. 결론

본 연구에서 특수한 환경 조건인 터널 내의 시멘트 콘크리트 포장의 온도 특성에 대한 조사를 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

진부터널의 갱구부의 동결지수는 297.3℃·days로 나타났으며, 진부터널 내부의 동결지수는 44.3℃·days로 나타났다. 터널 내부는 갱구부에 비하여 동결지수가 253℃·days 감소하였으며, 터널 내부의 동결지수가 갱구부에 비하여 약 85%정도 감소하는 것으로 나타났다.

웅천 터널의 중앙부에서는 포장 -5cm 깊이에서 온도 변화가 -30cm 깊이의 온도와 비교하여 더욱 낮고 변화의 폭이 큰 것을 알 수 있다. 웅천 터널의 경우 연장이 500m로 연장이 작은 터널이지만 터널 입구부와 중앙부에서의 온도차는 크게 다른 것을 알 수 있다.

육십령 터널 입구부의 -5cm 깊이는 6월에 최고 42.6℃가 온도가 상승하는 것으로 조사되었으며, -30cm 깊이에서는 26.6℃가 측정되어 상부와 하부의 온도차가 18℃ 발생하는 것으로 조사되었다. 조사 기간 동안 -5cm 깊이는 1월 최저 -9.2℃까지 낮아진 후 6월에 최고 42.6℃까지 상승하여 경험하는 온도차가 51.8℃로서 콘크리트의 열팽창 특성에 큰 영향을 줄 것으로 사료된다.

죽령 터널의 입구부에서의 포장 깊이별 온도 변화는 -5cm 깊이에서 매우 크게 변화되는 것을 볼 수 있으며, -30cm 깊이의 경우 온도 변화의 폭이 크지 않음을 알 수 있다. 죽령 터널 중앙부의 -5cm와 -30cm 깊이에서의 온도 변화는 작게 발생하는 것으로 조사되었다.

진부 1터널의 6월부터 10월까지 조사된 온도 변화는 입구부의 -5cm 깊이에서 6월에 최고 31℃까지 상승한 것으로 조사되었다. 1월 최저 -18℃의 온도로부터 조사 기간 중 최대 온도차는 49℃가 발생되어 콘크리트의 열팽창 특성에 의한 영향을 크게 받을 것으로 사료된다. 중앙부의 -5cm 깊이에서 6월에 최고 21.7℃까지 온도가 상승한 것으로 조사되었다. 1월 최저 -14℃의 온도로부터 조사 기간 중 최대 온도차는 35.7℃가 발생되는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 김대하, 권기진 (2001), "터널내 포장설계 개선방안 고찰 -동절기 터널내 온도변화 조사를 통한 동결심도 및 포장두께 산정-", 한국도로포장공학회지, 제3권 3호, 한국도로포장공학회.