

현장 아스팔트 콘크리트 포장체의 온도 계측을 통한 노상층의 온도 분포 특성 연구

A Study on the Subgrade Layer's Temperature Distribution Characteristics Under Asphalt Concrete Pavement System

김홍만* · 조명환** · 심재필***

Kim, Hong man · Cho, Myung-hwan · Shim, Jae-pil

1. 서 론

최근 지구 온난화의 영향으로 대기의 평균기온이 상승하고 있는 것으로 보고되고 있으며, 이러한 지구온난화의 영향은 도로 포장 설계시 동상방지층의 설계두께에도 영향을 미칠 수 있다. 국내에서는 1990년대 이후 전국의 동결지수선도 작성 및 동상방지층을 설치할 때 지구의 온난화 영향을 고려하고, 도로 설계법을 개선하려는 노력이 문헌 1), 2) 그리고 3)과 같이 지속적으로 이루어지고 있다. 지구 온난화의 영향이나 합리적인 도로 동상방지층 설계를 고려하기 위해서는 포장체 내부의 온도 분포에 대한 체계적인 연구가 이루어져야 한다. 이러한 포장체 내부의 온도 분포와 관련된 연구는 외국의 사례연구, 열평형이론들을 이용한 이론적인 접근 및 열역학을 이용한 수치해석 등을 이용하여 접근할 수 있지만 최종적으로는 이러한 방법들로부터 얻어진 연구 결과를 실제 현장과 비교할 수 있는 단계가 필요하다. 그러나 국내의 경우 포장체의 온도분포에 대한 연속적이고 장기적인 계측 및 분석과 관련된 연구가 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 한반도 남부지역(동결지수 350°C·일 미만)에 대하여 아스팔트 콘크리트 포장체의 온도 계측시스템을 구축하고 2009년 1월부터 현장계측을 수행하고 있다. 그리고 본 연구에서는 6개월이라는 제한적인 기간 동안 계측된 현장 포장체 온도 자료에 대한 분석을 수행하여 아스팔트 콘크리트 포장체의 온도 예측 모델 등 포장체의 온도 특성을 평가할 수 있는 연구의 토대를 마련하고자 한다.

2. 아스팔트 콘크리트 포장의 현장계측시스템

현장의 아스팔트 콘크리트 포장체 내부의 온도분포를 계측하기 위하여 그림 1과 같이 한반도 남부지역(동결지수 350°C·일 미만)의 6개소에 대하여 현장계측시스템을 구축하였으며, 도로의 층별 온도를 2009년 1월 이후 지속적으로 측정하고 있다. 온도계측시스템은 일본의 YAMARI사에서 제작한 써모커플(thermocouple)을 표층부터 노상층까지 각 층의 중앙부에 매설하였으며, 각 층의 온도계측주기는 1시간으로 1일 24회 계측하고 있다.

3. 아스팔트 콘크리트 포장의 온도계측 결과

3.1 아스팔트 콘크리트 포장체의 온도 분포 특성

본 연구에서는 한반도 남부지역에 대하여 아스팔트 콘크리트 포장체의 온도 계측시스템을 구축하고 2009

* 정회원 · (주)도화종합기술공사 기술개발연구원 원장 · 공학사(E-mail : hmkim42@hanmail.net)

** 정회원 · (주)도화종합기술공사 기술개발연구원 선임연구원 · 공학박사(E-mail : dragonjo@dohwa.co.kr) - 발표자

*** 정회원 · (주)도화종합기술공사 기술개발연구원 연구원 · 공학석사(E-mail : simjp@dohwa.co.kr)

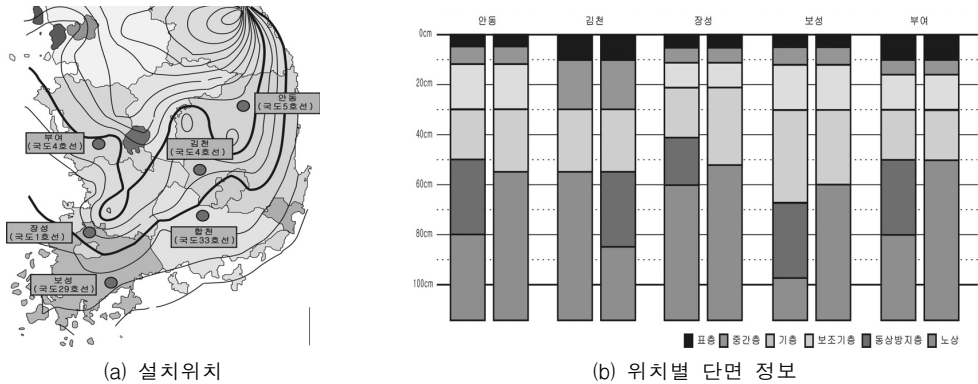


그림 1. 현장계측시스템 구축현황

년 1월부터 지속적인 현장계측 및 분석 작업을 수행하였다. 현장 계측 결과 아스팔트 콘크리트 층의 일별 온도변화는 대기온도의 영향을 받아 haversine 형태의 주기성을 갖는 온도 변화를 보여주었다. 또한 장성 현장계측시스템으로부터 얻어진 6개월간(2009.1.1~2009.6.30)의 자료를 겨울철(1월, 2월), 봄철(3월, 4월) 그리고 초여름(5월, 6월)로 구분하여 분석한 결과 겨울철(그림 1(a)) 노상의 평균 온도는 동상방지층이 없는 구간에서 7.0℃를 나타내었으며, 동상방지층이 있는 구간의 경우 동상방지층의 두께영향으로 동상방지층이 없는 구간보다 0.5℃ 높은 7.5℃를 보여 주었다. 즉, 현장계측결과 동상방지층의 유무와 상관없이 장성 현장계측시스템의 경우 노상층의 온도가 영하로 내려가지 않는 것으로 나타났으며, 이러한 경향은 2009-2010 동절기동안 현장계측을 수행할 경우 장성 현장계측시스템 뿐만 아니라 남부지역의 다른 현장계측시스템에서도 유사한 경향을 나타낼 것으로 사료된다.

그림 2를 살펴보면 표층의 일최고온도($T_{ac, max}$)는 계절에 상관없이 대기의 일최고온도($T_{air, max}$)보다 높은 것으로 나타났으며, 표층과 대기의 일최고온도간 차이는 겨울보다 여름에 더 큰 것으로 나타났다. 특히 겨울의 경우 대기 및 표층 온도가 노상의 온도를 저하시키며, 여름(그림 1(b))에는 노상 온도를 상승시키는 경향을 보여주었다. 이러한 경향으로부터 대기 온도와 포장 표층의 영향으로 겨울철에는 노상층의 온도를 강하시키지만 여름철에는 노상층의 온도를 상승시킨다는 것을 알 수 있다. 또한 그림 2에서 노상층의 온도변화곡선을 살펴보면 대기온도변화에 대하여 아스팔트 콘크리트 층과 같이 민감하게 변화하지 않는 것을 알 수 있으며, 이러한 노상층의 온도 변화곡선은 아스팔트 콘크리트 층 보온 효과 등의 영향으로 사료된다. 그러나 현재 국내에서 동상방지층의 설계시 적용하고 있는 동결깊이 산정식에서는 이러한 아스팔트 콘크리트 층의 영향을 고려하지 않고 노상층과 대기온도와의 상관관계만으로 계산되기 때문에 추후 도로 동상방지층의 효율적인 설계를 위해서는 아스팔트 콘크리트 층의 영향도 충분히 고려되어야 할 것으로 사료된다.

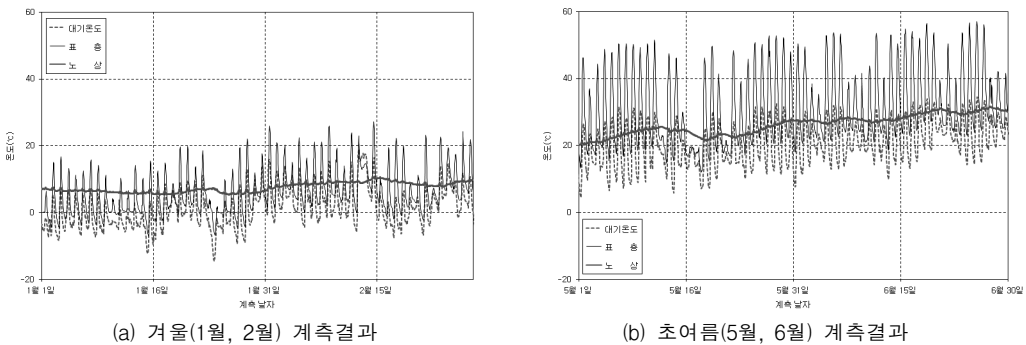


그림 2. 장성 현장계측시스템 온도 계측 결과

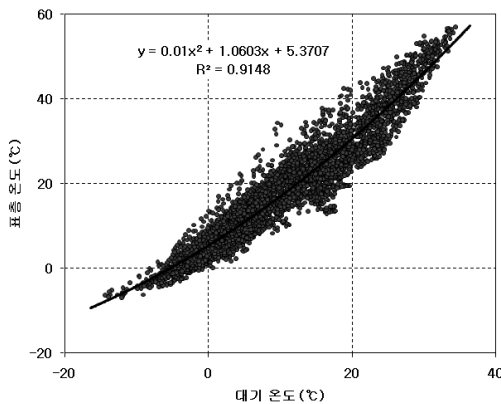
3.2 장성 현장계측시스템의 온도계측결과에 대한 회귀분석

표 1 및 그림 3에서 그림 5는 장성 현장계측시스템으로부터 얻어진 6개월간의 현장 계측 자료를 활용하여 대기온도와 표층의 회귀분석을 수행한 결과를 나타낸 것이다. 표층과 노상층의 시간별 데이터와 동시간대에 계측된 대기온도에 대하여 회귀분석을 수행한 결과를 나타낸 표 1과 그림 3을 살펴보면, 표층의 경우 R^2 (적합계수)가 0.91로 나타낸 것을 알 수 있다. 그러나 노상층의 경우 0.66으로 나타나 시간별 데이터를 활용한 노상층의 회귀식은 표층에 비하여 정확도가 떨어지는 것을 알 수 있다. 이러한 경향은 전 절에서 살펴본바와 같이 일별 대기온도 변화에 대하여 노상층의 온도 변화폭이 작기 때문인 것으로 사료된다.

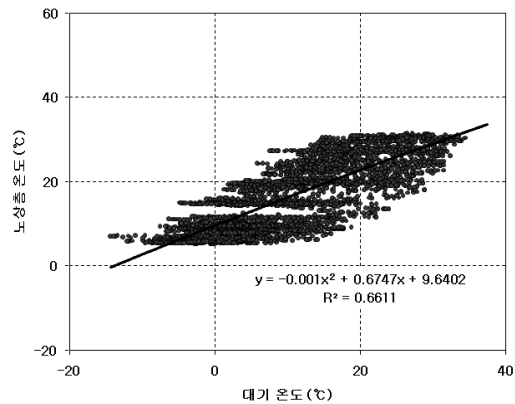
일평균 데이터로부터 얻어진 회귀식의 경우 표층과 노상층의 R^2 가 각각 0.95와 0.91로 나타나 시간별 데이터를 활용하는 경우보다 표층과 노상층 모두에서 R^2 가 높은 회귀식을 얻을 수 있었다. 그러나 시간별과 일평균으로부터 얻어진 회귀식을 비교결과 표층과 노상층 모두 예측된 온도가 20°C 를 넘어서면 두 식간의 예측결과에서 차이가 발생하는 것으로 나타났다. 이러한 예측결과와의 차이는 노상층에서 더욱 크게 나타나고 있으며, 노상층에서 발생하는 오차는 시간별 데이터에서 살펴본바와 같이 대기온도변화에 대하여 노상층의 온도변화가 민감하게 반응하지 않는 영향을 시간별 데이터로부터 얻어진 회귀식이 갖고 있기 때문인 것으로 사료된다. 따라서 표층의 경우는 현장 계측자료로부터 대기온도와의 상관관계로부터 회귀식을 구할 경우 시간별 데이터나 일평균 데이터를 사용해도 별 문제는 없지만 노상층의 경우는 일평균 데이터를 사용하는 것이 보다 정확한 회귀식을 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

표 1. 표층 및 노상층 온도 vs. 대기온도 회귀분석 결과

구 분	표층	노상층
시간별 데이터	$T_{\text{sur}} = 0.01 T_{\text{air}}^2 + 1.0603 T_{\text{air}} + 5.3707$ $R^2 = 0.91$	$T_{\text{sub}} = -0.001 T_{\text{air}}^2 + 0.6747 T_{\text{air}} + 9.6402$ $R^2 = 0.66$
일평균 데이터	$T_{\text{sub}} = 0.0038 T_{\text{air}}^2 + 1.0908 T_{\text{air}} + 5.6963$ $R^2 = 0.95$	$T_{\text{sub}} = 0.0142 T_{\text{air}}^2 + 0.5748 T_{\text{air}} + 7.8938$ $R^2 = 0.91$



(a) 대기온도 vs. 표층온도



(b) 대기온도 vs. 노상층 온도

그림 3. 시간대별 데이터에 대한 회귀분석 결과

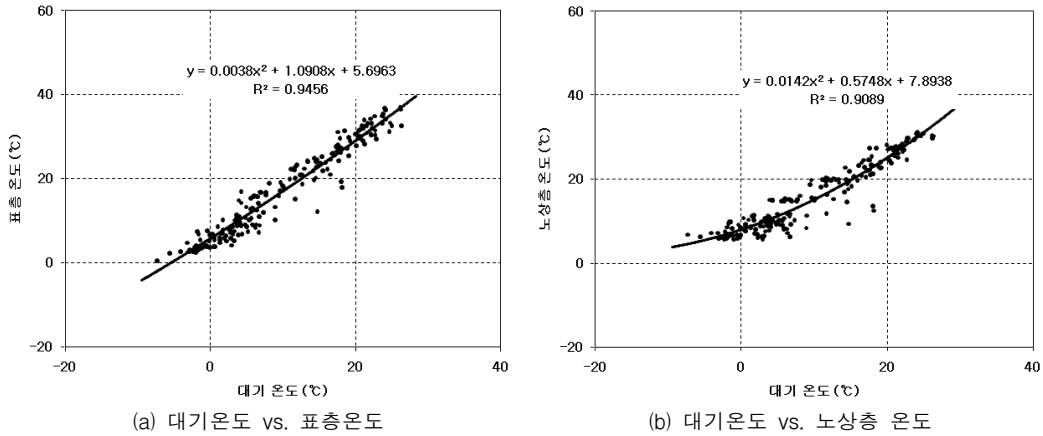


그림 4. 일평균 데이터에 대한 회귀분석 결과

4. 결론

본 연구에서 한반도 남부지역(동결지수 $350^{\circ}\text{C}\cdot\text{일}$ 미만)에 대하여 아스팔트 콘크리트 포장체의 온도 계측시스템을 구축하였으며, 6개월간의 제한적인 계측자료로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 현장계측결과 대기와 포장 표층온도가 겨울철에는 노상층의 온도를 강하시키고 여름철에는 노상층의 온도를 상승시키는 것으로 나타났다. 노상층의 온도변화는 아스팔트 콘크리트 층과 같이 대기온도의 변화에 대하여 민감하게 변화하지 않는 것으로 나타났으며, 이러한 노상층의 온도 변화 특성은 아스팔트 콘크리트 층의 보온 효과 등의 반영하는 것으로 사료된다.
2. 시간별 데이터와 일평균 데이터를 활용하여 대기온도와 표층 또는 노상층 온도에 대한 회귀분석 결과 시간별 데이터보다 일평균 데이터를 활용하는 것이 보다 큰 R^2 를 얻을 수 있으며, 특히 노상층의 경우 시간별 데이터보다 일평균 데이터를 활용하는 것이 대기온도와 노상층 온도의 상관성을 잘 설명할 수 있는 것으로 나타났다.

그러나 본 연구에서 활용한 현장의 온도계측 자료는 6개월이라는 짧은 기간의 자료라는 한계를 갖고 있다. 따라서 추후 지속적인 온도 계측과 분석을 통하여 보다 정확한 아스팔트 콘크리트 포장체의 온도 분포에 관련된 연구를 수행할 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 건설교통R&D 정책 인프라사업의 일환인 “남부지역 도로의 포장구조체 현장계측시스템 구축 및 계측결과 분석(08-기술혁신-C01)” 연구결과와 일부입니다. 연구지원에 감사드립니다.

참고 문헌

1. 김석명, 최근 기온변화가 동결지수 및 포장두께에 미치는 영향분석, 석사논문, 연세대학교 공학대학원, 2003. 6
2. 김영진, 유준, 김현민, 동결심도 및 포장체 온도분포조사, 건기연 99-115, 한국건설기술연구원, 1999. 12
3. 김영진, 홍승서, 동결심도 및 포장체 온도분포조사, 건기연 2007-112, 한국건설기술연구원, 2007. 12