

현장 계측자료를 이용한 포장체 온도예측모델 개발 연구

A Study on Pavement Temperature Prediction Models Using Field Inspection Data

안덕순* · 박희문**

An, Deok-Soon · Park, Hee-Mun

1. 서론

포장파손의 원인은 크게 교통하중과 환경하중으로 구분된다. 교통하중은 포장체 위를 통과하는 차량의 무게를 의미하고 환경하중은 포장체의 온도 및 습도 변화를 의미한다. 환경하중은 교통하중처럼 포장에 직접적으로 파손의 원인을 제공하지는 않지만 포장체에서의 온도변화로 포장체의 강도 저감 및 재료의 물성변화, 노상토의 지지력 감소 등을 유발하여 포장파손을 가속화하는 역할을 한다. 포장체내에서의 온도변화는 아스팔트포장의 경우, 처짐량(Deflection), 탄성계수(Elastic Modulus), 아스팔트 점도(Viscosity) 등에 크게 영향을 주고, 콘크리트포장의 경우, 구조적 능력(Structural Capacity) 평가의 하중전달효율(LTE; Load Transfer Efficiency)에 영향을 준다.

역학적-경험적 포장설계법에서 공용성 예측을 위해서는 포장체 온도변화가 중요한 입력변수가 된다. 포장체의 온도를 정확히 예측함으로써 역학적인 분석이 정확히 이루어지게 되어 정확한 잔존수명 및 설계수명을 예측할 수 있다. 본 연구에서는 역학적-경험적 포장설계법의 온도변화에 따른 포장체의 거동 분석 및 구조해석 등에 필요한 포장체의 온도분포를 분석하기 위해 우리나라의 포장형식별로 포장체 온도예측모델을 개발하는 연구를 수행하였다. 전국을 대표할 수 있는 각 지점을 선정하여 온도계측센서를 매설하고 계측된 현장 온도자료를 바탕으로 열평형방정식과 열전도이론을 이용하여 온도예측모델을 개발하였다. 본 연구의 결과, 포장체의 온도가 동일해지는 crossing time은 계절별로 다르게 나타났으며, 겨울에는 10시, 봄과 여름에는 8시로 나타났다. 또한 본 연구에서 개발한 온도예측모델은 겨울철 온도가 급강하하는 것에 대한 표현이 잘 안 되는 것으로 나타났으며, 실측값과 예측값의 편차는 아스팔트포장이 콘크리트포장에 비해 더 적절하게 예측되었다. 아스팔트포장은 겨울과 봄에는 최고 4.2℃까지 과다 예측되고, 여름에는 최고 4.5℃까지 과소 예측되는 경향이 나타났으며, 콘크리트포장은 계절에 상관없이 전체적으로 최고 5.1℃까지 과다 예측되는 것으로 나타났다. 본 연구의 결과는 포장설계를 위한 하나의 입력변수로 활용된다.

2. 현장 온도계측 자료 수집

온도계측기 현장 매설과 자료수집은 다음과 같이 진행되었다. 국도의 대부분이 아스팔트포장으로 되어 있기 때문에 콘크리트포장구간에 대해서는 상대적으로 계측기를 적게 매설하였다.

2.1 온도계측 센서 매설

본 연구에서는 포장체 내부온도의 정확한 현장 온도계측을 위해 기후조건, 포장두께, 포장형식, 지역조건을 고려하여 전국의 여러 지점을 대상으로 사전조사를 실시한 후 계측기를 매설하였다. 아스팔트포장은 11개 구간, 콘크리트포장은 6개 구간에 대하여 온도계측기를 매설하였다(표 1). 온도계측기의 매설깊이는 아스팔트포장의 경우, D, D/2, D/3, D/6, 0cm로 하였고, 콘크리트포장의 경우, D, D/2, D/4, 0cm로 하였다.

*정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구부 연구원 dsan@kict.re.kr(031-910-0172)

**정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구부 선임연구원 hpark@kict.re.kr(031-910-0323)



2.2 현장온도 자료 수집

포장체 내부온도를 계측하기 위해 매설된 센서는 대기온도 및 포장체의 깊이별 온도를 매 1시간 간격으로 지속적으로 수집하고 있다. 2004년 1월 1일 00시부터 온도자료를 수집하기 시작하여 현재까지 수집되고 있다.

표 1. 온도계측기 매설 구간

포장형식	온도계측기 매설 구간
아스팔트포장	진부령, 양구, 평창, 신발, 논산, 충주, 당진, 영주, 산청, 성진, 통도사
콘크리트포장	정선, 가평, 도고, 옥천, 남원, 거창

3. 포장체 온도예측모델 개발

본 연구에서의 온도예측모델 개발은 열전도이론과 열평형방정식을 이용하는 것을 기본으로 하였으며, 이에 입력되는 변수값들에 대해서는 국내의 온도분포를 잘 반영할 수 있는 값을 사용하였다.

3.1 현장 온도계측자료의 분석

현장에서 계측된 온도자료를 보면 기후가 일정할 때는 온도의 흐름이 일정 sin 곡선의 형태로 나타났다. 그러나 강수, 강설, 온도 급강하 등의 기후변화가 나타날 때는 온도의 흐름이 불규칙하게 나타났다. 또한 포장의 깊이별로 표면에서 멀어질수록 온도의 최고/최저 편차는 적게 나타났다. 본 연구에서는 일정기간 온도의 흐름이 규칙적으로 나타나는 시점의 자료를 이용하여 모델을 개발하였다.

대기 및 표면의 최고온도는 계절에 상관없이 14~15시 사이에서 발생하는 것으로 나타났으며, 최저온도는 겨울의 경우 8시, 봄과 여름의 경우 6시에 발생하는 것으로 나타났다. 또한 온도분포가 규칙적인 sin 곡선의 형태로 나타날 때 포장의 깊이에 따라서 온도가 동일해지는 시간인 crossing time은 지역에 따라서는 영향이 없고, 계절에 따라서는 변화하는 것으로 나타났다. Crossing time은 하루에 오전과 오후 두 번 나타나는데 본 연구에서는 오전에 나타나는 crossing time을 이용한다. Crossing time은 겨울의 경우 10시, 봄과 여름의 경우 8시에 발생하는 것으로 나타났다.

3.2 온도예측모델 개발 방안

본 연구에서는 정확한 포장의 온도예측 모형을 개발하고자 포장체의 깊이별 온도분포를 고려하는 열전도이론과 열평형 방정식을 이용하여 온도예측모델을 개발하였다. 그림 1은 온도예측모델 개발을 위한 흐름도를 나타내고 있다.

이와 같은 방법으로 개발되는 모델의 온도예측 절차는 먼저 대기온도로부터 포장표면의 최고/최저온도를 예측하고, 이 값을 이용하여 시간변화에 따른 표면온도 profile을 생성한다(그림 1(b)). 이렇게 생성된 profile을 통하여 crossing time에서의 초기온도를 결정하고 포장 깊이별, 시간별로 포장체의 온도를 예측한다. 그리고 예측된 포장체 온도를 이용하여 표면온도(Ts)와 임의의 깊이온도(Tx)의 편차를 비교한 후 오차범위를 만족할 경우에 최종적으로 포장체 온도를 예측한다. 만일 오차범위를 만족하지 않는다면 오차범위를 만족할때 까지 앞의 과정을 반복한다(그림 1(a)).

3.3 온도예측모델 개발

본 연구에서의 온도예측모델 개발은 그림 1의 논리를 바탕으로 온도예측을 위한 기본 입력변수 모듈, 포장체 온도예측을 위한 main 모듈로 구성된다. 본 연구에서는 아스팔트포장은 충주지역, 콘크리트포장은 옥천 지역의 온도자료를 바탕으로 온도예측모델을 개발하는데 필요한 입력변수에 대해서 분석하였다.



온도예측모델을 개발하는데 앞서 모델에 입력되는 기본 입력자료에 대한 분석이 필요하다. 본 연구에서 이용되는 열평형방정식에 입력되는 기본 변수는 태양흡수율, Emissivity, 열확산계수, 열전도율, 전달계수, 대기복사계수, 표면열전달계수, 태양상수, 천정각 등이 있으며, 입력변수의 값들은 기본 범위 값에서 결정하였다.

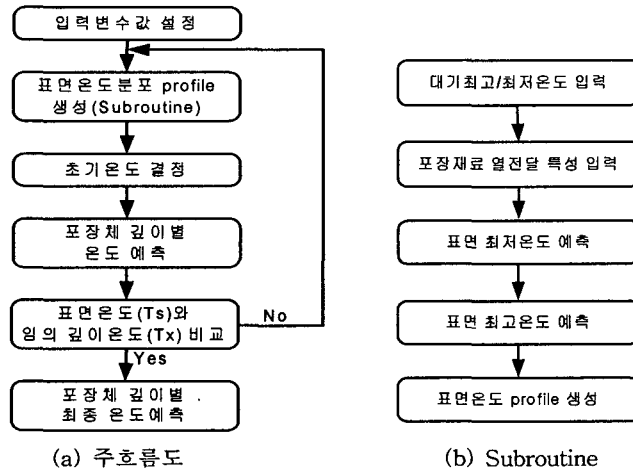
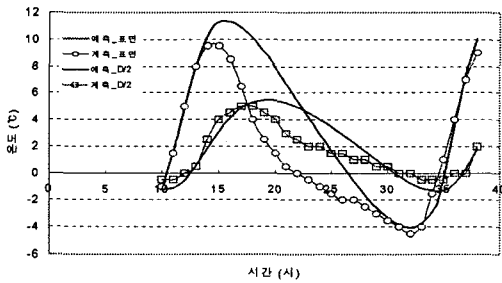


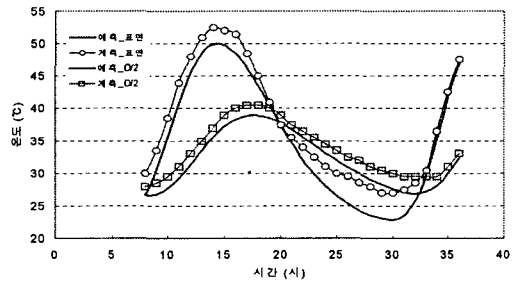
그림 1. 온도예측모델 개발 흐름도

3.4 포장체 온도예측 결과 분석

본 연구에서 개발한 온도예측모델을 이용하여 예측한 값과 현장에서 실측한 값을 비교하면 다음과 같다.

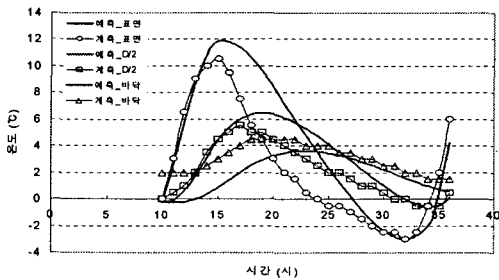


(a) 겨울

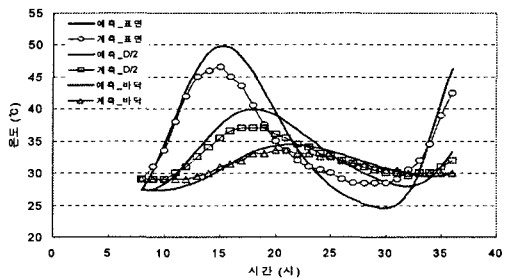


(b) 여름

그림 2. 충주지역의 온도예측 결과(아스팔트포장)



(a) 겨울



(b) 여름

그림 3. 옥천지역의 온도예측 결과(콘크리트포장)



위의 그림에서 보면 겨울철 최고온도에서 최저온도까지의 실측값과 예측값 온도편차는 봄이나 여름에 비해 크게 나타나는 것을 볼 수 있다. 이것은 이 모형을 이용하여 겨울철 온도를 예측할 경우, 겨울철 온도가 급감하하는 것에 대한 표현이 잘 안된다는 것을 알 수 있다. 또한 겨울철 예측온도는 실측온도보다 크게 나타나는 것을 알 수 있다.

4. 요약 및 향후 연구과제

본 연구는 현장 계측자료를 이용하여 포장체 온도예측모델을 개발하는 연구를 수행하였다. 본 연구에 대해 요약하면 다음과 같다.

1. 포장체의 온도가 동일해지는 crossing time은 계절별로 다르게 나타났으며, 겨울에는 10시, 봄과 여름에는 8시로 나타났다.
2. 아스팔트포장은 겨울과 봄에는 최고 4.2℃까지 과다 예측되고, 여름에는 최고 4.5℃까지 과소 예측되는 경향이 나타났으며, 콘크리트포장은 계절에 상관없이 전체적으로 최고 5.1℃까지 과다 예측되는 것으로 나타났다.
3. 열평형 방정식을 이용하여 표면온도를 예측한 결과 실측값과 예측값의 편차는 아스팔트포장이 콘크리트포장에 비해 더 적절하게 예측되었다.
4. 본 연구에서 개발된 온도예측모델은 더 많은 현장 계측자료를 활용하여 모델의 타당성을 검증하고 보완하는 연구가 수행되어야 한다.

참고문헌

1. 인병익(2003) “교면포장의 온도예측 모형 개발” 세종대학교 석사학위 논문
2. Y. R. Kim, S. W. Park, L. Shao(1996), "Statewide Calibration of Asphalt Temperature Study from 1992 and 1993," Volume 1.
3. Y. R. Kim, S. W. Park, L. Shao(1996), "Statewide Calibration of Asphalt Temperature Study from 1992 and 1993," Volume 2.