

교통량을 고려한 열수지법에 의한 노면온도 예측모형의 구축

Developing a Model to Predict Road Surface Temperature using a Heat-Balance Method, Taking into Traffic Volume

손 영 태*	전 진 숙**	황 준 문***
(Young-Tae Son)	(Jin-suk Jeon)	(Jun-mun Whang)
(Myong-Ji Uni.)	(Myong-Ji Uni.)	(Gyeonggi Research Inst.)

· Corresponding author : Young-Tae Son (Myong-Ji Uni.), E-mail : son@mju.ac.kr

요 약

본 연구는 동절기 도로관리서비스 향상과 도로의 안전성을 제고하기 위하여, 기존의 입력자료인 기상자료와 더불어 추가적으로 교통자료를 적용하여 노면온도를 예측할 수 있는 모형의 개발을 목표로 하였다.

노면온도 예측모형은 열수지법을 적용하였으며, 모형에서 교통량에 대한 고려는 차량 복사열, 타이어 마찰열로 구성하여 모형화하였다. 이 최종모형과 기상 조건을 기초로 한 초기 모형과 비교하여 노면온도에 미치는 교통량의 영향을 검토하였다.

제3경인고속도로의 실제 관측치와 두 모형에서 계산된 노면온도를 실제 노면온도 관측치와의 비교로 검증하였는데, 관측치와 예측치의 오차인 RMSE는 1.97°C였다. 관측된 노면온도는 오전 6시부터 일사의 영향을 받아 급격히 상승하여 14시에 최대가 되고, 그 후에는 감소한다. 모형 예측값은 관측값보다 오후에는 낮고, 야간에는 높게 나타났다. 이는 오후의 경우는 차량으로 인한 태양 복사열의 차폐, 야간의 경우는 차량열에 의한 열 공급이 주요 원인인 것으로 판단된다.

핵심어 : 노면 온도, 기상 조건, 교통량, 열수지법, 마찰열

ABSTRACT

In this study, to improve effectiveness of road management services and the safety of the road in winter, road surface temperature prediction model was developed. We have utilized the existing input data of meteorological data and additional traffic data. This Road surface temperature prediction model was utilizing a Heat-Balance Method additionally considering amount of traffic that produce heat radiation by vehicle-tire friction. This improved model was compared to the based model to check into influence of traffic affecting the road surface temperature.

There were verified by comparing the real observed road surface temperature of the third Gyeong-In highway and road surface temperature from the two models. As a result, the error of real observed and the predicted value (RMSE) was found to average 1.97 °C. Observed road surface temperature was dramatically affected by the sunlight from 6 a.m. to 2 p.m. and degree of influence decreases after that. The predictive value of the model is lower than the observed value in the afternoon, and higher at night. These results appear due to the shielding of solar radiation caused by the vehicle in the afternoon and at night, the vehicle appeared to cause thermal heat supply.

Key words : Road surface temperature, Weather conditions, Traffic volume, Heat balance method, Tire frictional heat

† 본 연구는 기상청 차세대도시농림융합 스마트기상서비스개발(WISE)사업의 지원으로 수행되었습니다.(KMA-2012-0001)

* 주저자 및 교신저자 : 명지대학교 교통공학과 교수

** 공저자 : 명지대학교 교통공학과 박사과정

*** 공저자 : 경기연구원 휴먼교통연구실 초빙연구위원

† Received 29 December 2014; reviewed 3 March 2015; Accepted 12 March 2015

I. 연구의 배경 및 목적

국의 교통선진국 중 미국의 미네소타와 오리건 주, 캐나다, 스웨덴, 덴마크, 일본 등 동절기 강설로 인한 도로의 안전관리에 중점을 두고 있는 지역에서는 1970년대부터 노면온도예측을 통한 도로 안전성 향상 및 도로관리의 효율성 향상을 위한 연구가 진행되어 왔으나, 우리나라에서는 2000년대에 들어서야 비로소 연구가 시작되었다.

그러나 우리나라에의 노면온도예측에 관한 연구는 외국의 모형을 우리나라에 적용하는 기본적인 연구가 주를 이루었으며, 우리나라에 적합한 변수 개발 등은 이루어지지 않은 실정이다.

이에 본 연구에서는 기존 열수지법 모형에 도로의 상황을 현실적으로 반영할 수 있는 교통량 수집 자료를 적용하여 우리나라의 교통상황이 반영될 수 있도록 하였으며, 또한 도로의 지점별 특성을 반영하기 위하여 지점 특성 변수를 설정하여 우리나라의 도로상황을 현실적으로 적용하여 노면온도를 예측할 수 있도록 모형을 개발하고자 하였다.

II. 관련 문헌 고찰

국내외 노면온도 예측모형의 연구는 주로 지면에서 열의 출입을 정량적으로 파악하는 열수지법(Heat balance method)을 이용하여 진행되고 있다.

송장근 등(2002)은 노면온도 예측을 마이크로 물리기상을 포함한 에너지 균형이론을 이용하여 개발하였다. 모형의 검증하기 위해 독일 기상 모니터링 구간의 측정값을 이용하여 모형 값과 비교한 결과, 서로 매우 유사하게 나타났다.[1]

양충현(2011)은 지표면과 대기사이의 열에너지 균형원리를 이용하여 두 가지 모듈로 모형을 개발하였다. 모형1은 지표면과 대기 간의 열교환을 적용한 것이고, 모형2는 열에너지 교환 과정에서 포장체 특성을 반영하였다.[2] 또한, 양충현(2011)은 동절기 도로관리를 위해 신경망 이론을 적용하여 노면온도예측모형을 개발하였다. 모형 검증을 위해 실제 수집 온도와 비교·검토했던 결과, 관측값과 예

측값 사이에 발생하는 허용오차는 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 보다 적은 것으로 나타나 모형의 설명력이 높은 것으로 분석되었다.[3]

신건훈 등(2011)은 교량구간의 도로결빙 예측 및 감지를 위한 시스템 설계를 제안하였다. 교량 노면의 결빙은 노면의 온도가 이슬점 온도 이하이면서 영하일 때 발생하며, 실제 결빙되는 것보다 최소 30분 이전에 결빙 시점을 예측하여 경고가 이루어진다고 하였다.[4]

다카하시 등(2005)과 이시카와 등(2006)은 열균형모형을 적용하여 노면결빙을 예측하기 위한 방법으로 노면온도에 영향을 주는 차량의 바닥으로부터의 복사열을 고려하여 예측하였다.[5]~[6]

기노시타 등(1970)과 후지모토 등(2006)은 노면온도 예측 모형에 있어서 타이어 마찰열(타이어와 노면 사이의 열 전달)이 노면에 '블랙 아이스'의 발생에 중요한 영향을 준다고 제시하였다.[7]~[8]

타오 등(2012)은 노면온도의 예측을 위해 에너지 균형모형을 사용하여 3가지 기상조건(맑음, 구름 낀, 흐림)에서 관측값으로 검증하였다. 그 결과로 대체적으로 0.9보다 높은 상관관계로 보였으며 우천 또는 강설 때에는 상대적으로 낮게 분석되었다.[9]

이에 본 연구에서는 국내외 노면온도 예측모형 개발에서 주로 사용된 열수지법을 기초로 모형을 개발하였으며, 추가적으로 현실적인 도로상황을 반영하기 위해 이와 관련된 요소인 교통량, 차량속도, 타이어 마찰열 등을 고려하여 노면온도 예측모형을 개발하였다. 이는 도로를 이용하는 차량에 대한 요인을 반영하여 기존 노면온도 예측모형보다 현실적으로 변수를 적용하여 예측값의 신뢰도를 높이고자 한 것이며, 특히 교통량을 차종별로 고려하고 타이어 마찰력의 적용하는 단계를 포함시킴으로써 기존의 연구와 차별성을 두었다.

또한 모형의 예측값에 대한 적정성을 검증하기 위해 현장 관측값과 비교·분석하여, 모형의 신뢰도를 높이고자 하였다.

Ⅲ. 연구 방법

1. 노면온도 예측방법의 선정

일반적으로 노면 온도를 예측할 수 있는 모형은 통계적 기법과 열수지법으로 크게 나눌 수 있으며, 각 방법의 특징은 다음과 같다.[10]

1) 통계적 기법

예측 지점의 기상 및 노면온도 자료를 이용하여 다중회귀분석을 통해 노면온도를 예측한다.

- 장점 : 모형 구축이 비교적 용이함
- 단점 : 자료를 장기간에 걸쳐 축적해야 하며, 분석대상 지점에서만 분석한 회귀식을 다른 지점에 사용할 수 없음

2) 열수지법

에너지 수지의 과정을 나타낸 것이며, 기상 및 지면 관련 요인 등의 열 플럭스를 이용하여 노면의 열수지를 계산하여 노면 온도를 예측한다.

- 장점 : 에너지 자료를 수집할 수 있다면 어떤 장소에서도 적용 가능함
- 단점 : 에너지 균형을 계산하기 위해서는 많은 입력자료가 필요하며, 예측방법도 복잡함

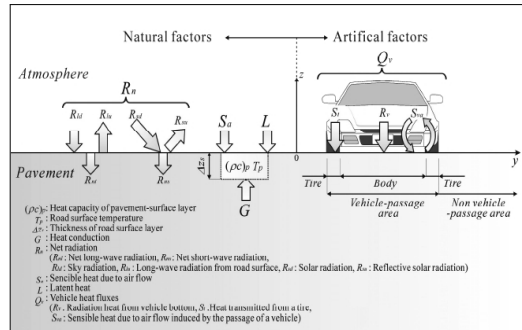
본 연구에서는 다양한 장소에 적용이 가능한 상용적인 모형을 구축하기 위하여 열수지법을 기본 모형으로 사용하였다.

2. 노면온도 예측모형의 구축

본 연구에서는 먼저 지표면 복사에너지 수지 모듈과 지표면 에너지 수지 모듈을 수행한 후 지면 온도 모듈을 수행하여 1차 노면온도를 예측하고, 예측지점을 통과하는 차량에 의한 영향을 고려하는 모듈과 타이어 마찰열을 고려하는 모듈을 수행하여 최종 노면온도를 예측하였다.

1) 지표면 에너지 수지모듈

자연적 요인인 일사에 의한 열 성분에 인위적 요인의 차량 열이 복합되어 노면에서의 열수지가 나타나는 현상은 <그림 1>에서 보는바와 같다.[11]



<그림 1> 노면에서 열수지 개념도
<Fig. 1> Conceptual diagram of heat transfer at road surface

노면에서의 열수지는 식(1)에와 같이 나타낸다.

$$R \downarrow = \sigma T_s^4 + H + LE + G \quad (1)$$

σ : 스테판-볼츠만 계수 (= $5.67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$)

T_s : 노면 온도 [K]

H : 현열 플럭스 [W/m^2]

LE : 잠열 플럭스 [W/m^2]

G : 지중 플럭스 [W/m^2]

$R \downarrow$: 노면에서 받는 에너지 [W/m^2]

2) 차량에 의한 영향 고려

관측지점을 통과하는 차량의 영향으로 발생하는 차량열 플럭스는 식(2)에와 같이 나타낸다.

$$R \downarrow = S_r \downarrow - S_r \uparrow + L_c + S_t \quad (2)$$

$S_r \downarrow$: 노면이 받는 순 일사량 [W/m^2]

$S_r \uparrow$: 노면에서의 반사량 [W/m^2]

L_c : 차량에 의한 적외선 복사량 [W/m^2]

S_t : 타이어 마찰열 [W/m^2]

식 (2)에서 알베도 (α : 반사율)를 이용하면 다음과 같은 식(3)으로 나타낼 수 있다.

$$R \downarrow = (1 - \alpha) S_r \downarrow + L_c + S_t \quad (3)$$

위의 식(3)에서 $S_r \downarrow$ 는 차량에 의한 차폐 효과를 고려하며 다음의 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$S_r \downarrow = t_r \cdot S_s + (1 - t_r) S \downarrow \quad (4)$$

t_r : 차량이 노면을 가리는 시간의 비율
 S_s : 산란된 방사선의 강도 [W/m^2]
 $S \downarrow$: 맑은 날 동안의 순 태양 복사량 [W/m^2]

$$t_r = \frac{L \cdot N}{1000v} \quad (5)$$

L : 차량길이 [m]
 N : 교통량 [대/시]
 v : 차량 속도 [km/시]

또한 차량 복사열은 차량 하부의 온도를 알고 있다면 다음 식(6)과 같이 스테판-볼츠만의 법칙에 따라 계산할 수 있다.

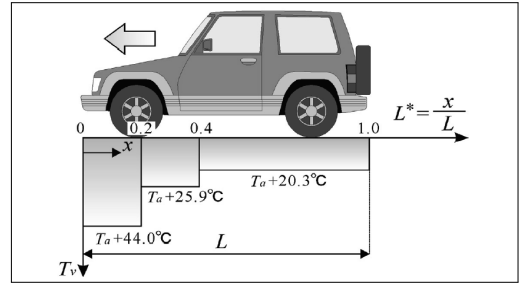
$$L_c = \epsilon_v \sigma T_v^4 \quad (6)$$

ϵ_v : 차량 하부의 방사율(= 0.80)
 T_v : 차량 하부의 온도 [K]

여기에서 T_v 는 <그림 2>에 나타내는 바와 같이 3개로 분류되며, 그 분포는 아래 식(7)과 같다.[11]

$$\begin{aligned} T_v &= T_a + 44.0 & (0 \leq L^* \leq 0.2) \\ T_v &= T_a + 25.9 & (0.2 \leq L^* \leq 0.4) \\ T_v &= T_a + 20.3 & (0.4 \leq L^* \leq 1.0) \end{aligned} \quad (7)$$

x : 차량의 전방으로부터의 거리 [m]
 T_a : 기온 [K]



<그림 2> 차량 하부 노면의 무차원 거리분포
 <Fig. 2> Spatial variation of temperature of bottom surface of vehicle in x direction

3) 타이어 마찰열에 의한 영향 고려

타이어 마찰열 S_t 는 뉴턴의 냉각법칙에 의해 수립되며 다음의 식(8)과 같이 나타낼 수 있다.

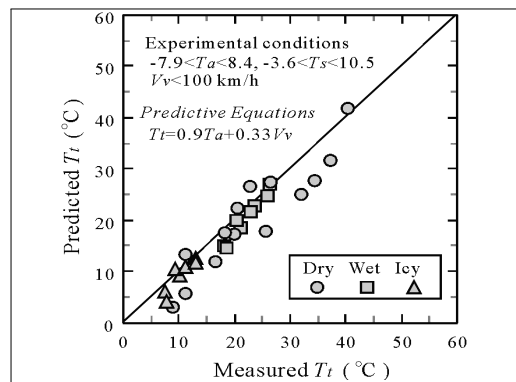
$$S_t = \alpha_{tp} (T_t - T_s) \quad (8)$$

α_{tp} : 타이어와 노면 사이의 열전달율(= $60W/m^2/K$)
 T_t : 타이어 온도 [°C]

여기에서 T_t 는 노면조건과 관계없이 <그림 3>에서와 같이 경험적인 상관관계에 의해 주어진다.[11]

$$T_t = 0.9 T_a + 0.33 V_v \quad (9)$$

V_v : 차량 속도 [km/시]



<그림 3> 예측 및 측정 타이어 온도의 상관관계
 <Fig. 3> Correlation of predicted and measured tire temperatures

IV. 모형의 분석 및 검증

1. 대상구간 선정

본 연구에서 개발된 노면온도 예측모형의 결과값에 대한 정확도 검증을 위하여 다음과 같이 2가지 조건을 고려하여 검증 대상구간을 선정하였다.

- 모형적용 결과값과의 비교가 가능한 실제 노면온도 관측값의 축적이 가능한 지점
- 모형수행에 필요한 기상예측자료 수집이 용이한 지점

이에 수도권 주요 자동차전용도로를 검토한 결과, 검증 대상구간으로 2013년에 노면온도 관측센서를 포함한 도로기상 관측장비를 구축한 제3경인고속도로를 대상구간으로 선정하였다.

기상자료 및 교통자료는 수집자료가 연속적이며, 가장 일반적인 기상상태를 나타내는 기간으로 기상자료와 교통자료의 매칭이 가능한 기간동안 수집된 2014년 5월 22일 04시 ~ 24일 24시 동안(69시간) 수집된 자료를 적용하였다. 이 기간 동안 날씨는 맑았고, 노면은 건조한 상태였으며, 기상자료는 1시간 간격, 교통자료는 10분 간격으로 수집된 자료를 활용하였다.



<그림 4> 대상구간의 선정
<Fig. 4> Selection of object section to apply the model

본 연구에서 개발한 모형에서는 도로포장체의 열적 특성을 나타내는 밀도, 열전도도, 열용량, 열

확산도 등의 변수 값으로 다음 <표 1>에서와 같은 값들을 적용하였다.[2]

<표 1> 도로포장의 열적 특성 값
<Table 1> Thermal properties of the pavement

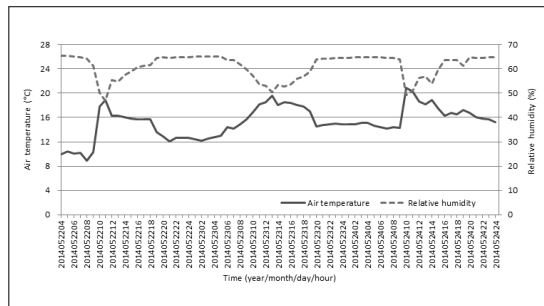
Item	Density (kg/m ³)	Heat capacity (J/m ³ /K)	Conductivity (W/m/K)
concrete	1.4	1.4×10 ⁶	0.51

2. 입력자료

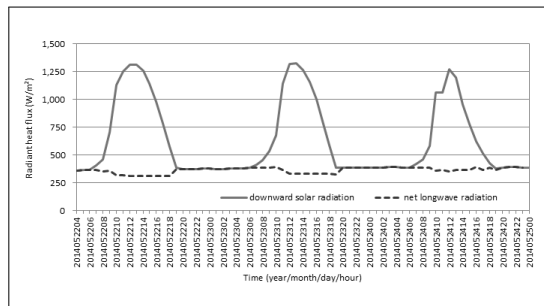
1) 기상자료

노면온도 예측모형의 주요 입력자료인 기온, 습도, 기압, 풍속, 태양복사량 등은 기상청 산하 ‘기상기술개발연구원’의 예측자료를 적용하였다.

<그림 5~6>은 기상자료 중 기온과 습도, 복사에너지의 시간에 따른 변화를 나타내고 있다.



<그림 5> 기온 및 습도의 시간변화
<Fig. 5> Diurnal variations of air temperature and relative humidity



<그림 6> 하향태양복사량 및 순장파복사량의 시간변화
<Fig. 6> Diurnal variations of downward solar radiation and net longwave radiation

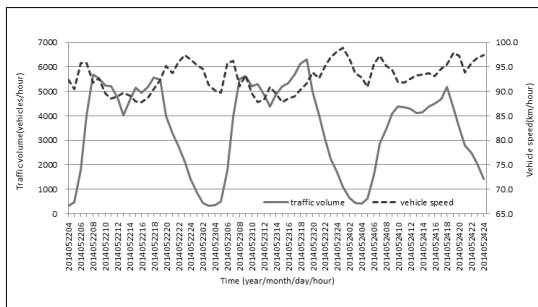
2) 교통자료

교통자료는 대상구간인 제3경인고속도로의 도로 교통정보시스템에서 수집된 교통량과 속도 관측자료를 제공받아 적용하였다.

교통량은 차종을 크게 승용차, 버스, 트럭 등 3가지로 구분하여 적용하였으며, 평균 지점속도, 차종별 평균 차량길이 등을 입력값으로 사용하였다. 교통량과 속도의 입력형태는 다음 <그림 7>과 같다.

Observation year / month / day / hour / minute	Type of vehicle traffic (Car / bus / taxi)	The average spot speed
201412040610	452.00	24.00
201412040620	506.00	27.00
201412040630	566.00	30.00
201412040640	582.00	31.00
201412040650	643.00	34.00
201412040700	657.00	35.00
201412040710	686.00	36.00

<그림 7> 교통자료의 입력형태
<Fig. 7> Input type of traffic data



<그림 8> 교통량 및 속도의 시간변화
<Fig. 8> Diurnal variations of traffic volume and speed

평균 지점속도의 경우 제3경인고속도로에서 제공받은 속도가 차종별로 구분되지 않아 지점별로 전체 교통량에 대한 평균 지점속도를 산정하여 적용하였다.

그러나 일반적으로 교통정보수집시스템에서는 차량당 속도 수집이 가능하며, 본 연구에서는 보편적으로 적용이 가능한 모형의 개발을 목표로 하였으므로 향후 다른 구간에 대해 모형 적용 시 차종

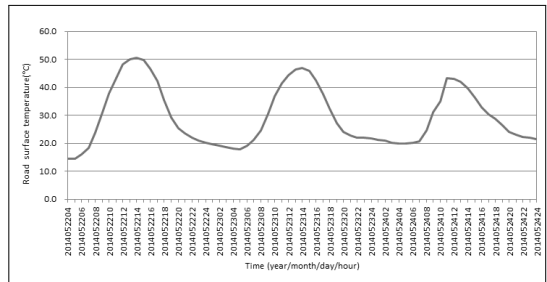
별 속도자료를 적용할 수 있도록 프로그램을 구축하였다.

3) 노면온도 관측자료

본 연구에서 개발한 노면온도 예측모형의 결과값을 검증하기 위한 비교자료는 2013년 제3경인고속도로에 설치된 도로기상 관측장비의 노면온도 관측센서로부터 측정된 자료를 이용하였다.

제3경인고속도로에 설치된 도로기상관측장비는 본 연구를 위해 설치된 현장 관측장비로서 노면온도 관측센서와 순복사센서, 대기온도센서, 강수량센서, 풍향/풍속센서, 지중온도센서, 대기압센서 등을 포함한 통합 도로기상정보 수집시스템이다.

분석대상 기간동안 관측된 노면온도 관측값의 시간에 따른 변화는 다음 <그림 9>와 같다.



<그림 9> 노면온도의 시간변화
<Fig. 9> Diurnal variations of road surface temperature

3. 모형의 적용 결과

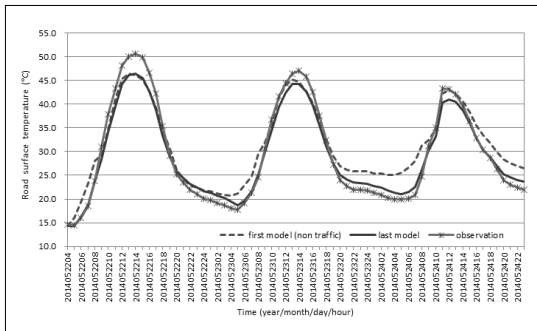
노면온도 예측모형은 기상자료 관측지점에 대한 위도, 경도, 도로특성, 도로의 상태조건, 도로포장특성 등에 대한 지점특성자료와 기온, 풍속, 기압, 도로조건, 노면온도 관측값, 복사에너지 등의 기상자료, 교통량, 차량길이, 평균 통행속도 등의 교통자료를 입력하여 실행하였다.

본 연구에서는 교통자료가 노면온도 예측에 미치는 영향을 비교분석하고자 기상자료만을 적용한 기초적 노면온도 예측모형(first model)도 적용하여 분석하고 교통자료를 적용한 최종 노면온도 예측모

형(last model)의 예측값과 비교하여 본 연구에서 개발한 노면온도 예측모형의 정확성을 판단하였다.

관측값과 기초 모형의 예측값, 최종 모형의 예측값을 비교한 결과, <그림 10>의 그래프에서 보이는 것과 같이 최종 모형의 예측값이 노면온도의 관측값의 추이를 잘 모사하고 있는 것으로 분석되었다.

교통자료를 적용하지 않은 기존모형(first model)에서는 노면온도가 낮을수록 관측값과의 오차가 크게 나타났으나, 교통자료를 적용한 최종모형(last model)에서는 노면온도가 높거나 낮은 모든 상황에서 관측값에 근접한 예측값을 산정하는 것으로 분석되었다.



<그림 10> 관측 및 모형적용 노면온도의 시간변화
<Fig. 10> Diurnal variations of observation and modelling road surface temperatures

또한 관측값의 경우 06시부터 일사의 영향을 받아 급격히 상승하여 14시에 최대가 되고, 그 이후에는 감소하는 경향을 보이고 있으며, 모형의 예측값은 관측값보다 오후에는 낮고, 야간에는 높게 나타나는 것으로 예측되었다. 이는 오후에는 차량으로 인한 태양 복사열의 차폐로 인한 영향이 반영되었으며, 야간에는 차량열에 의한 열 공급이 주요 원인 것으로 판단된다.

4. 모형의 검증

대상구간의 관측기간 동안 관측값과의 모형 예측값의 오차 RMSE(Root Mean Square Error)를 산출한 결과, 1.97°C의 오차가 나타났다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (10)$$

y_i : 모형 예측 노면온도

\hat{y}_i : 관측 노면온도

일별로 RMSE를 살펴보면, 5월 22일 2.62°C, 23일 1.72°C, 24일 1.44°C로 계산되었다.

기상학적 관점에서는 일반적으로 관측값과 모형 예측값의 오차가 평균 ±2°C이면 정확하다고 판단하므로 결과적으로 본 모형 예측값이 관측값의 변화 추이를 잘 표현하고 있는 것으로 판단된다.

V. 결 론

본 연구에서는 미시기상학에서 기본이 되는 지표면과 대기사이의 열수지 균형이론을 바탕으로 교통자료를 반영한 노면온도 예측모형을 개발하였다.

본 연구에서 개발한 노면온도 예측모형은 기존의 기상자료를 적용한 모형을 바탕으로 하였으나, 우리나라의 현실적인 도로의 특성을 고려하고자 교통량, 속도, 타이어 마찰력 등 통행 차량의 특성을 반영하여 기존 노면온도 예측모형을 발전시키고 우리나라의 도로상황을 반영하고자 하였다.

본 연구에서는 개발한 노면온도 예측모형의 정확성 검증을 위하여 실제 대상구간을 선정하고, 현장에 구축된 도로기상 관측장비를 통해 수집된 노면온도 관측값과 기상자료만을 적용한 기존 노면온도 모형의 예측값과의 비교를 수행하였다.

비교분석 결과, 본 연구에서 개발한 모형은 기상자료만을 적용하는 기존 모형의 예측값보다 관측값에 근사한 예측값을 산출하는 것으로 나타났다.

또한 관측값과 본 연구에서 개발한 모형의 예측값과의 오차(RMSE)는 1.97°C로 평균 오차범위 ±2°C내(기상학적 기준)로 나타나, 모형의 예측값이 관측값을 잘 모사하고 있다고 판단할 수 있다.

그러나, 본 연구에서 개발된 모형의 검증시 기상상태가 양호하고 도로상태가 건조한 날의 자료만을 적용하여, 실제 도로관리에 노면온도가 요구되는 동절기의 노면온도 예측이 수행되지 않아 동절기

자료에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

동절기 뿐만 아니라 모형 예측값의 정확성 확보를 위하여 다양한 기상조건 하에서의 모형 적용이 필요하므로 계절의 특성을 반영하기 위한 계절별 자료를 모형에 적용하는 과정이 필요할 것으로 판단된다.

또한 향후 모형의 활용성을 높이기 위하여 도로 관리를 위한 노면온도 예측뿐만 아니라 실제 도로 이용자에게 필요한 노면상태(습윤, 결빙, Black icing 등) 정보제공이 가능하도록 ‘노면상태 예측모형’의 개발이 반드시 수행되어야 할 것으로 판단된다.

REFERENCES

- [1] C. K. Song and B. Lee, “Prognosis of the road surface condition in Korea using surface energy balance theory”, *Journal of Korean Meteorological Society*, vol. 1, no. 2, pp.420-422, 2002.
- [2] C. H. Yang, M. S. Park and D. K. Yun, “A road surface temperature prediction modeling for road weather information system”, *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 29, no. 2, pp.123-131, 2011.
- [3] C. H. Yang, “A neural network theory Road surface temperature prediction modeling”, *Technology magazine of Korean Society of Road Engineers*, vol. 13, no. 1, pp.52-61, 2011.
- [4] G. H. Sin, Y. J. Song and Y. G. You, “Bridge road surface frost prediction and monitoring system”, *International Journal of Contents*, vol. 11, no. 11, pp.42-48, 2011.
- [5] Takahashi N., Asano M. and Ishikawa N., “Developing a method to predict road surface icing conditions applying a heat balance method”, *Proceedings of cold region technology conference*, vol. 21, pp.201-208, 2005.
- [6] Ishikawa N., Narita H. and Kajiya Y., “Heat balance characteristics of snow melting on roads”, *Proceedings of cold region technology conference*, vol. 16, pp.382-388, 2006.
- [7] Kinoshita S., Akitaya E. and Tanuma K., “Snow and ice on roads II”, *Low temperature. Ser. A, Physical sciences*, vol. 28, pp.311-323, 1970.
- [8] Fujimoto A., Watanabe H. and Fukuhara T., “Effects of tire frictional heat on snow covered surface”, *Standing international road weather Conference*, vol. 13, pp.117-122, 2006.
- [9] Tao F. and Shide F., “A numerical model for predicting road surface temperature in the highway”, *Procdia Engineering*, vol. 37, pp.137-142, 2012.
- [10] Takahashi, N., Tokunaga, R.A, Asano, M. and Ishikawa, N., “Developing a method to predict road surface temperatures - applying heat balance model considering traffic volume”, *Proceedings of the 13th International Road Weather Conference, SIRWEC*, pp.58-66, March 2006.
- [11] Fujimoto A., Watanabe H. and Fukuhara T., “Effects of vehicle heat on road surface temperature of dry condition”, *Proceedings of the 13th International Road Weather Conference, SIRWEC*, pp.1-8, May 2008.

저자소개



손 영 태 (Son, Young-Tae)

1996년 9월 ~ 현재 : 명지대학교 교통공학과 교수
1994년 미국 Purdue University 공학박사 (토목공학과 교통전공)
1995년 1월 ~ 1996년 7월 : 미국 Purdue University Research Associate
1992년 1월 ~ 1994년 12월 : 미국 Purdue University Research Assistant
1990년 4월 ~ 1991년 7월 : 한국교통문제연구원 연구원
1989년 4월 ~ 1989년 8월 : 한국건설기술연구원 위촉연구원
e-mail : son@mju.ac.kr 연락처 : 031) 330-6504



전 진 숙 (Jeon, Jin-Sook)

2012년 3월 ~ 현재 : 명지대학교 교통공학과 박사과정
2011년 6월 ~ 2011년 12월 : (주)비즈로웨텍 교통IT실 차장
2010년 10월 ~ 2011년 6월 : 주식회사 트래픽스 ITS팀 팀장
2001년 3월 ~ 2004년 6월 : 도로교통안전관리공단(현 도로교통공단) 교통안전시설팀 팀장
1998년 10월 ~ 2001년 3월 : (주)청해이엔씨 과장
1994년 7월 ~ 1997년 12월 : 동부엔지니어링(주) 사원
1990년 3월 ~ 1994년 2월 : 명지대학교 교통공학과 학사 졸업
e-mail : jinsstoo@gmail.com 연락처 : 031) 338-6504



황 준 문 (Whang, Jun-Moon)

2009년 9월 ~ 현재 : 경기연구원 휴먼교통연구실 초빙연구위원
2000년 3월 ~ 2009년 8월 : 명지대학교 교통공학과 박사 졸업 & 경기도 교통DB센터 책임연구원
1998년 3월 ~ 2000년 2월 : 명지대학교 교통공학과 석사 졸업
1991년 3월 ~ 1998년 2월 : 명지대학교 교통공학과 학사 졸업
e-mail : jmwhang@gri.re.kr 연락처 : 031) 250-3171