

신경망 이론을 이용한 노면온도예측모형 개발

김인수^{1*} · 양충현¹ · 최기주²

¹ 한국건설기술연구원 도로교통연구실, ² 아주대학교 교통시스템공학과

Development of a Surface Temperature Prediction Model Using Neural Network Theory

KIM, In Su^{1*} · YANG, Choong Heon¹ · CHOI, Keechoo²

¹ Highway & Transportation Research Division, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Gyeonggi 411-712, Korea

² Department of Transportation System Engineering, Ajou University, Gyeonggi 443-749, Korea

Abstract

This study presents a model that enables to predict road surface temperature using neural network theory. Historical road surface temperature data were collected from Road Weather Information System. They used for the calibration of the model. The neural network was designed to predict surface temperature after 1-hour, 2-hour, and 3-hour from now. The developed model was performed on Cheongwon-Sangju highway to test. As a result, the standard deviation of the difference of the predicted and observed was 1.27°C, 0.55°C and 1.43°C, respectively. Also, comparing the predicted surface temperature and the actual data, R2 was found to be 0.985, 0.923, and 0.903, respectively. It can be concluded that the explanatory power of the model seems to be high.

본 연구에서는 도로기상정보체계에서 습득할 수 있는 노면온도자료를 활용하여 신경망 이론을 통해 노면온도를 예측하는 모형을 개발하였다. 이를 위해 수집된 노면온도자료(노면온도, 대기온도, 대기습도)를 가지고 1시간, 2시간, 그리고 3시간 후의 노면온도를 예측할 수 있는 신경망을 설계하였다. 청원-상주간 고속도로를 대상으로 모형을 수행한 결과, 예측치와 관측치에 대한 편차의 표준편차가 1시간 예측인 경우 0.55°C, 2시간 예측인 경우 1.27°C, 3시간 예측인 경우 1.43°C를 나타냈다. 또한 예측된 노면온도를 실제 관측한 자료와 비교한 결과 R2 값이 각각 0.985, 0.923, 0.903으로 나타나 모형의 설명력이 높은 것으로 판단된다.

Keywords

neural network theory, pavement sensors, road surface temperature, road management, road weather information
신경망 이론, 노면센서, 노면온도, 도로관리, 도로기상정보

* : Corresponding Author
mriskim@kict.re.kr, Phone: +82-31-910-0064, Fax: +82-31-910-0746

Received 21 August 2014, Accepted 3 October 2014

서론

1. 연구의 배경 및 목적

최근 전 세계적으로 발생하는 기상이변은 국내에도 많은 영향을 미치고 있으며, 그 중 동절기에는 지역적·국지적으로 폭설이 빈번하게 발생하고 있다. 특히 2011년 초에는 경북 포항 및 영동지역에 내린 폭설로 인해 약 290억 원의 피해가 발생하기도 하였다. 따라서 기상이변은 국가 경제에 많은 부분을 담당하고 있는 도로망에도 심각한 영향을 미칠 수 있으며, 이를 대처하기 위해 동절기의 도로 안전성과 소통 향상을 위한 노력이 더욱 필요하다. 실질적으로 동절기 한파와 어는 비, 강우 및 안개 등에 선제적으로 대응하기 위해서는 정확한 기상정보가 필수적이다. 실제로 동절기에 도로 결빙으로 인해 미끄러진 교통사고 등의 대형사고가 증가하고 있는데, 지난 3년간(2010~2012년) 겨울철에 발생한 교통사고 중 도로노면 적설상태에서 사고가 발생하여 78명이 사망하고, 도로노면 결빙상태에서 사고가 발생하여 254명이 사망했다(Korea Road Traffic Authority, 2013). 이러한 동절기 도로 상의 안전사고를 감소시키기 위해서는 도로노면 상태에 대한 정확한 진단이 필요하다.

국내에서는 동절기 도로관리를 위해 고속도로와 일반국도 일부 구간에 도로기상정보 시스템을 구축하여 운영하고 있으며, 특정 도로 지점에 기상관측 장비를 설치하여 기상자료를 수집하고 있다. 도로노면온도도 수집되고 있으나, 특정 지점에 한하여 수집되기 때문에, 타 구간에 대하여 대표성을 나타내기가 어렵다. 다시 말하면 도로변 기상관측 장비 사이의 도로 구간이 같은 성질을 지니고 있는(homogeneous) 경우에만, 각 지점에서 예측된 도로노면온도를 통해 구간온도를 추정할 수 있다. 국내의 경우 도로가 산악 지형을 통과하는 특성으로 인해 음지가 발생하거나 태양으로부터 받는 열에너지가 도로 구간에 균일하게 들어가지 않은 구간이 대부분이어서 실질적으로 도로구간에 대한 노면온도예측은 도로변 기상관측장비에서 얻는 자료만을 가지고는 어려운 실정이다.

본 연구에서는 위에 언급한 내용을 고려하여 비용-효과적인 동절기 도로관리가 가능하게 하고자 신경망 이론을 통해 도로노면온도를 예측하는 모형을 연구하였다. 이는 도로변에 설치된 기존의 기상관측장비에서 수집되는 자료를 활용할 수 있다는 점에서 매우 유용할 것으로 판단된다.

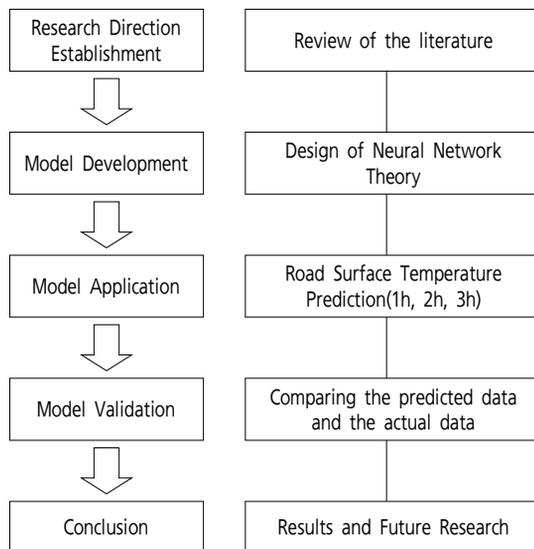


Figure 1. Study process

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구를 위해 청원-상주 간 문의교 부근에 설치되어 있는 접촉식 노면온도측정센서와 도로변 기상관측장비, 그리고 한국도로공사 보은지사에서 운영하고 있는 모니터링 시스템을 이용하였다. Figure 1과 같이 문헌고찰을 수행하여 본 연구의 차별성을 제시하였고, 효과적인 도로노면온도의 예측이 가능하도록 신경망 이론을 설계하였다. 또한 개발된 모형을 통해 나온 결과치를 1시간 후, 2시간 후, 3시간 후의 총 3가지 노면온도 예측을 수행하였고, 실제 고속도로에서 수집한 노면온도 자료와 비교하여 모형의 적정성을 검증하였다. 마지막으로 분석된 결과를 바탕으로 시사점을 도출하였다.

기존 문헌 고찰

국외에서는 1990년대 초부터 도로구간의 노면온도를 측정하고 관리하기 위해 수치예보모형을 이용하여 많은 연구가 수행되어왔다. Sass(1997)는 Road conditions model(RCM)을 개발하여 미끄러운 도로노면 상태를 자동적으로 예측하도록 할 수 있는 시스템에 적용하였다. 덴마크 기상청(Danish Meteorological Institute)에서 운영하는 이 시스템은 200개 도로 지점에 대하여 매 시간 5시간 앞서 예측이 가능하다. Shao(1996)는 짧은 간격 동안 도로노면 온도와 상태에 대해 높은 정확도를



Figure 2. Study-area selection(Cheongwon-Sangju highway)

나타내기 위해 자동화된 도로 결빙 예측 모형을 개발하였으며, 도로표면 센서로부터 수집된 정보 외에 외부 기상자료가 수행에 필요하지 않다는 특징이 있다. Crevier와 Delage(2001)는 수치예보모형이 적용된 캐나다 기상청의 METRo시스템을 개발하였으며, 온타리오주의 3개 도로변 지점을 대상으로 도로변의 관측 값과 예측 값을 이용하여 노면 상의 상태를 도출할 수 있었다. 또한 Krsmanc(2012)는 METRo 모형을 활용하여 캐나다 이외에 다른 지역인 슬로베니아에 적용 가능성을 도출하였다. Feng(2012)은 중국의 고속도로를 대상으로 태양의 단파·장파 복사열, 표면 열 플럭스 등이 반영된 수치모형을 이용하여 도로노면온도를 예측하는 모형을 개발하였으며, 이는 3개의 기상 조건(맑음, 구름, 흐림)상태를 잘 설명할 수 있음을 나타냈다. Sato(2004)는 일본 산악지역을 대상으로 노면온도예측모형을 개발하였으며, 특히 노면 결빙과 같은 문제에 대응하기 위한 국지적인 규모의 도로노면온도의 필요함을 잘 설명하고 있다. 한편, Chapman(2005)은 영국 웨스트 미들랜드 지역을 대상으로 도로노면온도에 영향을 주는 지정학적 요소를 고려하여 GIS 기반의 모형을 개발하였다.

한편 국내에서는 최근 이에 대한 연구가 진행되고 있다. Yang(2011, 2012)은 도로기상정보체계에서 수집되는 자료를 이용하여 지표면과 대기사이의 열-에너지 균형원리를 이용한 노면온도예측모형을 개발하고 실제 데이터와 검증을 하였으며, Kang(2014)은 자동차의 외기 온도 장치 및 회귀모형을 활용하여 노면온도를 추정하는 모형을 개발하였다.

문헌 검토 결과 기존 노면온도예측모형들은 주로 지표면의 열과 대기의 균형원리를 바탕으로 수치모형을 개발하였으며, 이러한 모형의 예측력을 높이기 위해서는

다양한 변수에 대한 가정 또는 측정이 필요한 것으로 나타났다. 반면 본 연구에서는 신경망 이론을 기초로 하기 때문에 기존의 노면온도예측모형과는 다른 방법으로 노면온도 예측이 가능하다. 따라서 본 연구는 신경망 이론을 도로노면온도예측에 적용시킨 연구이며, 기초 수집자료가 많으면 많을수록 신경망 이론의 예측의 정확도가 증가할 것으로 판단된다.

본론

1. 연구지점 선정

본 연구에서 개발된 모형의 검증을 위한 구간을 선정하였는데, 선정기준은 다음과 같다.

- 다양한 지형 조건을 포함하고 있는 고속도로 축
- 노면온도 자료가 축적되어 있어야 함
- 기상관측 장비 및 노면센서가 설치되어 있는 곳

위의 3가지 조건을 가장 잘 만족시키는 구간이 중부 내륙을 관통하는 청원-상주간 고속도로이며, Figure 2와 같이 이 구간에는 총 3개의 접촉식 노면센서가 설치되어 있고, 노면센서로부터 올라오는 기상자료를 도로공사 보은지사에서 수집하고 있다.

2. 신경망 이론 및 모형 설계

일반적으로 신경망은 컴퓨터가 인간의 학습능을 가지도록 하기 위해 개발되었다. 학습능을 갖는 인간의 두뇌는 다수의 뉴런이 서로 연결된 신경망으로 짜여 있

다. 신경망은 이러한 인간의 생물학적 뉴런을 모델링한 단위들과 그 사이의 가중치 연결들로 구성되어지며 각 신경망 모형에 따라 다양한 구조와 각기 독특한 학습 규칙, 습득 방법을 갖는다. 각각의 신경망은 입력(input layer), 은닉(hidden layer), 출력(output layer)의 뉴런의 집합으로 구성되어 있다.

인간의 생물학적 뉴런들 간 정보 전달을 위해서는 시냅스가 가장 중요한 역할을 담당하고 있다. 이와 같이 처리 요소 간 연결강도를 반영하기 위해 연결가중치라는 것을 사용하는데, 각 요소들은 전달받은 입력 값과 연결가중치를 사용하여 입력 값을 계산한 후 이를 이용하여 출력 값을 도출한다. 신경망 이론은 기존의 통계적 방법과는 달리 유일해가 아니며, 수집 또는 관측된 자료들로 구성되는 훈련 샘플에 의해 결정된다. 신경망은 시뮬레이션하기 어려운 인간의 문제해결을 지원할 수 있으며, 주어진 예제 패턴의 반복적인 습득을 통해 지식을 스스로 학습하는 특성을 가지고 있다. 이러한 신경망은 불완전하고 오류가 많은 입력의 해석뿐만 아니라 패턴인식, 로봇틱스, 문자인식, 음성인식, 의사결정 시스템, 진단 시스템 등 여러 분야에 활용되고 있다.

한편, 대기온도는 가장 중요한 기상변수 중 하나이기 때문에 이를 모델링 하는 것은 기상관련 학문분야에서 중요한 부분을 차지한다고 할 수 있다. 지난 수십 년간 신경망 이론을 통한 대기온도의 정확한 예측에 대한 노력이 기상모형분야 발전에 많은 기여를 한 것이 사실이다. 신경망 이론을 기상분야에 성공적으로 적용시키고, 이를 적절하게 설계한 결과 대기기상관측에서 누락되거나 단절된 부분을 매우 잘 묘사하는 것으로 나타났다(Mihalakakou et al., 1998, Santamouris et al., 1999, Bodri and Cermak 2000, Luk et al., 2000, Bodri, 2001).

따라서 본 연구에서는 현재 관측된 도로노면온도자료를 바탕으로 향후 1-3시간 이후의 도로노면온도변화를 예측하고자 하는 것이 가장 큰 목적이다. 도로노면온도는 일반적으로 대기기온, 일사량, 구름의 양 및 형태, 풍속, 강수, 대기압 등의 변화 패턴과 같은 대기 기상 변수들과 도로노면의 경사 방향 및 경사도, 주변 장애물, 주변의 토지 이용도 등의 지리변수, 도로의 종류, 색깔, 거칠기 길이, 연직 구조 등의 도로 공학 변수 및 교통량 등에 영향을 받는 것으로 나타났다(Thornes and Shao, 1991). 따라서 물리적 과정을 통해 도로노면온도를 예측하기 위해서는 많은 양의 입력 자료와 복잡한 수식이

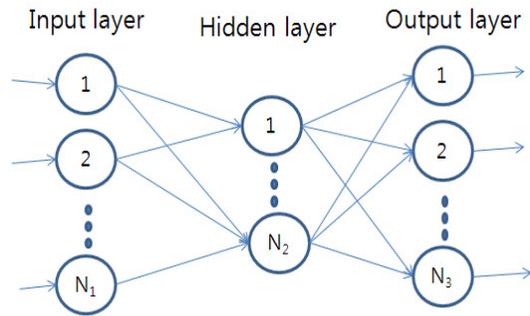


Figure 3. Design by neural network theory

요구된다. 이와 달리 통계적인 방법이 있는데, 이는 도로 노면온도가 일반적으로 연주기 및 일주기 변동을 가진다는 특성을 이용하여 과거 자료를 통계적으로 분석하여 데이터베이스를 구축하고 장래 값을 예측하는 방법이다. 그러나 일단 데이터베이스가 구축되고 나면 나머지 값들이 정해져 버린다는 단점이 존재한다. 본 연구에서는 이러한 단점을 보완하기 위해 신경망 이론을 적용하여 도로노면온도를 예측한다.

Figure 3과 같이 입력, 은닉, 출력의 3층 구조로 이루어진 신경망 방법을 사용하여 연구를 수행하고자 한다. 여기서 N_1, N_2, N_3 는 각각 입력 층, 가운뎃 숨은 층, 출력 층에 있는 뉴런의 수를 나타낸다.

은닉 층과 출력 층의 각 뉴런의 가중합(Sum of weights)은 식(1)과 같이 표현이 가능하다.

$$NET_j = \sum w_{ij} \cdot out_i \tag{1}$$

여기서,

out_i : 그 전 층(layer)의 I번째 뉴런

w_{ij} : 그 전 층(layer)의 I번째 뉴런에서 다음 층의 j번째 뉴런으로 가는 가중치

각 뉴런 j로부터의 출력(out_j)은 활성 함수, 즉 시그모이드(sigmoid) 함수로 유도되며, 단극성 또는 양극성 비선형 연속 함수로 가장 널리 사용되고 있다. 식(2)는 단극성 시그모이드 함수를 수학적으로 표시한 것이다.

$$f(net_j) = \frac{1}{1 + \exp(-k \cdot net_j)} \tag{2}$$

여기서,

$f(net_j)$: 0과 1사이의 값
 k : 1.5 (함수의 확산과 관련된 양의 상수 사용)

도로노면온도를 예측하기 전에 신경망은 이미 알고 있는 입력 자료와 출력 자료를 이용하여 훈련 과정을 거친다. 입력 자료는 먼저 첫 번째 층의 뉴런으로 가고, 가운데 숨은 층 뉴런은 가중치에 비례하여 입력 뉴런으로부터 값을 받아들인 후 출력 뉴런을 위한 입력 뉴런이 된다. 출력 뉴런에서의 값과 실제 관측 값과의 오차는 뉴런들 사이의 가중치를 보정하는데 사용된다. 출력 값과 관측 값 사이의 제곱오차를 식(3)과 같이 최소화하도록 가중치를 보정한다.

$$Err = \frac{1}{2} \sum_j (T_j - out_j)^2 \quad (3)$$

여기서,

Err : 오차, T_j : 관측 값, out_j : 출력 값

오차는 입력 자료와 가중치의 함수로 이를 최소화하기 위한 가중치를 선택하는데, 이 과정의 학습을 역전파(backward propagation) 법칙이라 한다(Beale and Jackson, 1994). 먼저 출력 뉴런에서 오차가 계산되고 나중에 숨은 층으로 되돌아온다. 이 과정에서 뉴런과 뉴런의 출력 층 사이의 가중치가 변하게 된다. 그 결과 오차를 최대로 감소시키는 방향으로 신경망이 움직인다. 일반적인 가중치 조절은 식(4)와 같이 표현된다.

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + \eta \delta_j out_i \quad (4)$$

여기서,

η : 학습률
 δ_j : 뉴런의 오차항
 (출력 뉴런 : $\delta_j = k out_j (1 - out_j)(T_j - out_j)$
 숨은 항 : $\delta_j = k out_j (1 - out_j) \sum_k \delta_k w_{jk}$)

처음에 숨은 층과 출력 층 사이의 모든 연결의 가중치는 무작위 또는 전 시간(previous time step)의 마지막 값으로 정해진다. 학습률은 식(5)와 같이 시간의 함수로 간주된다.

$$\eta = 1 - \ln(1.2 + \frac{t}{t_{max}}) \quad (5)$$

여기서,

t : 반복 횟수
 t_{max} : 반복의 최대 횟수
 (본 연구에서는 5,000을 사용)

학습과정은 다음의 3가지 경우를 만족할 때 종료될 수 있다.

- 오차가 0.1℃보다 작을 경우
- 모든 가중치가 안정화 되는 경우
 (가중치의 변화 값<0.0001)
- $t \geq t_{max}$ 인 경우

과거자료에 대해 성공적인 훈련을 완료한 후에 최근의 실시간 자료를 입력 자료로 받아들여 훈련된 입력 자료와 비교하여 가장 유사한 입력 자료를 선택하여 본 연구에서 설계된 신경망을 통해 출력 결과를 생성한다. 입력 자료 결정을 위해 노면온도에 영향을 미치는 요인에 대한 민감도 실험을 반드시 수행해야 한다. 그러나 일반적으로 모형 수행에 필요한 관측 값이 제한되어 있다. 또한 설계된 신경망에 대한 효율적인 사용을 위해서는 관측 값을 최대한 활용하는 방안을 마련해야 한다. 일반적으로 대기환경 특성상 오차는 주간에 크고, 야간에 작으며, 비선형적이며 지표면 근처의 2m 높이의 대기환경과 시간적 변화와 상관성이 매우 높다(Thornes and Shao, 1991).

본 연구에서 모형 수행을 위해 2009년 10월 1일부터 2010년 2월 28일까지 청원-상주 간 고속도로 문의교 지점에서 30분 간격으로 관측된 노면온도, 대기온도, 대기습도를 입력 자료로 사용하였다. 운량이나 일사량과 같이 직접 관측할 수 없는 변수들은 포함하지 않았다. 본 연구에서 설계한 신경망 활용에 필요한 입력 뉴런과 출력 뉴런을 table 1과 같이 나타내었으며, 구축한 신경망은 13개의 입력 뉴런(Input Neuron), 2개의 숨은 뉴런(Hidden Neuron), 3개의 출력 뉴런(Output Neuron)으로 구성되어 있다.

3. 모형의 적정성 검증

본 연구에서 개발된 모형을 실제 문의교 부근에서 겨울철 4개월 동안 수집한 노면온도, 대기온도, 대기습도 자료를 통해 신경망 모형에 적용하였다. 또한 모형의 적정성을 검증하기 위해 12월 1개월 간의 노면온도를 예측하고, 이를 접촉식 노면온도센서로부터 수집한 12월 1개월 간의 노면온도와 비교 및 검토를 수행하였다. 예측한 노면온도는 현재시점에서부터 1시간 후, 2시간 후, 그리고 3시간 후의 총 3가지이다. Figure 4의 경우, 첫 번째 행은 모형 수행결과 값(1h, 2h, 3h)과 실제 관측 값(OBS)을 비교한 결과이다. 신경망 모형에서 학습된 내용을 바탕으로 예측해 본 결과, 예측된 노면온도는 관측 값의 변화경향을 잘 묘사하는 것으로 나타났다. 보다

상세한 결과 값을 검토하기 위해 Figure 4의 두 번째 행에서는 12월 6일부터 9일까지의 모형 수행결과 값(1h, 2h, 3h)과 실제 관측 값(OBS)에 대한 상세한 시계열을 나타내었다. 이를 통해 접촉식 노면온도측정 센서로부터 취득한 노면온도 값과 신경망을 통해 산출된 예측 값(1h, 2h, 3h 각각과 비교) 사이의 평균오차는 일반적으로 타당하다고 허용되는 오차($\pm 2^{\circ}\text{C}$)보다 적은 것으로 나타났다. Figure 4에 나타난 결과의 통계적 검증을 위해 Figure 5와 같이 신경망 모형을 통해 나온 결과 값과 현장 관측 값 사이의 관계를 나타내는 산점도를 도출하였다. 직선과 곡선 등의 시각적인 경향을 통해 두 결과간의 관련성, 즉 모형 수행 결과 값(1h, 2h, 3h)과 실제 관측 값(OBS) 사이의 관계를 파악하고자 하였다. 앞에서 나타난 것과 같이, 현장에서 접촉식 노면온도 센서를

Table 1. Construction of neural network

Neuron		Formula	Neuron		Formula
Input Neuron	Time of Day	$\sin\left(\frac{2\pi t}{24h}\right)$	Input Neuron	Derivative of air temperature variation	$(T_a^1 - T_a^2) - (T_a^2 - T_a^3)$
	Variation of surface temperature 1 hour earlier	$T_s^1 - T_s^2$		Variation of air temperature 24 hour earlier	$T_a^{24} - T_a^{25}$
	Variation of surface temperature 2 hour earlier	$T_s^2 - T_s^3$		Variation of air temperature 48 hour earlier	$T_a^{48} - T_a^{49}$
	Derivative of surface temperature variation	$(T_s^1 - T_s^2) - (T_s^2 - T_s^3)$		Variation of relative humidity 1 hour earlier	$RH_s^1 - RH_s^2$
	Variation of surface temperature 24 hour earlier	$T_s^{24} - T_s^{25}$		Variation of relative humidity 2 hour earlier	$RH_s^2 - RH_s^3$
	Variation of surface temperature 48 hour earlier	$T_s^{48} - T_s^{49}$		Output Neuron	Forecast error 1 hour earlier
	Variation of air temperature 1 hour earlier	$T_a^1 - T_a^2$	Forecast error 2 hour earlier		$T_f^2 - T_s^2$
	Variation of air temperature 2 hour earlier	$T_a^2 - T_a^3$	Forecast error 3 hour earlier		$T_f^3 - T_s^3$

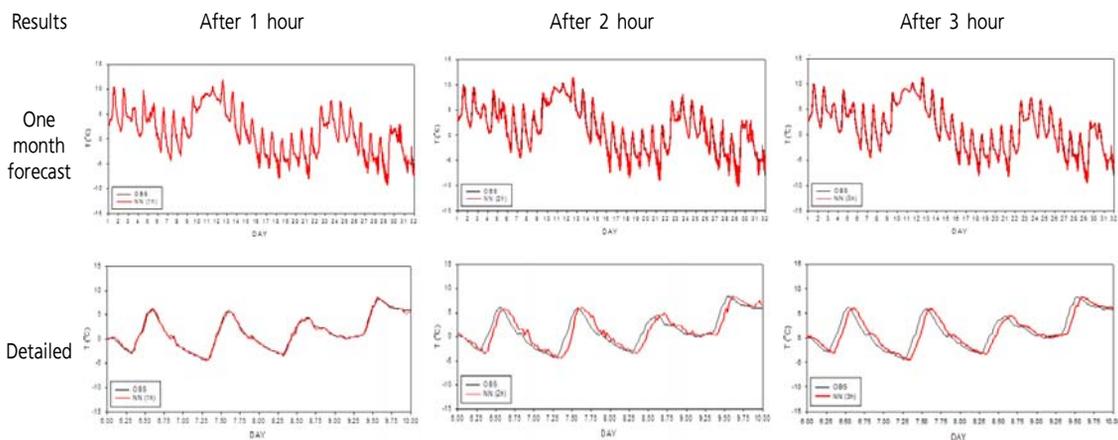


Figure 4. Comparison of model and observed values using a neural network

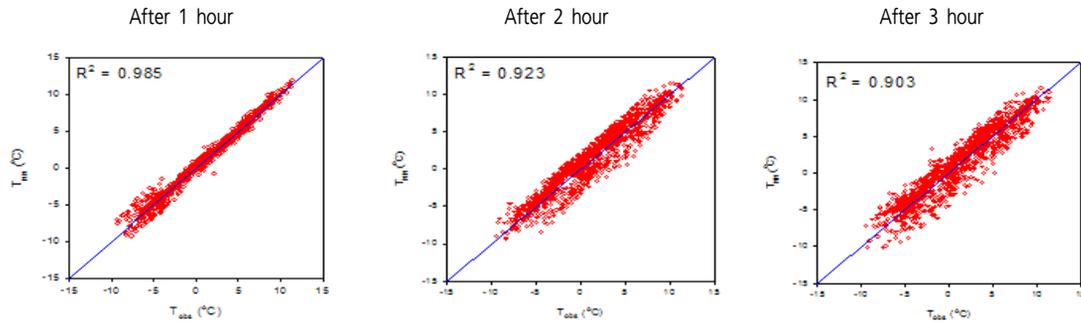


Figure 5. Scatter diagram results

통해 수집한 온도 값이 증가함에 따라 신경망 모형 수행을 통해 산출된 노면온도 모형 수행결과 값(1h, 2h, 3h)이 커지는 경향이 있음을 알 수 있다. 즉, 이들 사이에는 양의 선형관계가 있으며, 편차의 평균 값은 거의 0에 가까운 값을 보였다. 편차의 표준편차는 1시간 예측인 경우 0.55℃, 2시간 예측인 경우 1.27℃, 그리고, 3시간 예측인 경우 1.43℃를 보여 오차가 적음을 알 수 있었다. 결정계수 R^2 값 역시 1시간 예측인 경우 0.985, 2시간 예측인 경우 0.923, 3시간 예측인 경우 0.903으로 모형의 설명력이 높게 예측되었음을 알 수 있다.

결론

본 연구에서는 신경망 이론을 이용하여 신경망을 설계하고, 국내 도로에서 실제로 측정된 노면온도, 대기온도, 대기습도 자료를 통해 현재시점에서부터 1-3시간 후의 노면온도의 변화에 대한 예측을 수행하고 검증하였다. 이를 위해 신경망을 설계하여 향후 1시간, 2시간, 그리고 3시간 후의 노면온도를 예측하였다. 예측된 노면온도와 실제 관측한 노면온도에 대한 편차에 대한 표준편차가 1시간 예측인 경우 0.55℃, 2시간 예측인 경우 1.27℃, 그리고, 3시간 예측인 경우 1.43℃를 보였으며, 예측된 노면온도를 실제 관측한 자료와 비교한 결과 R^2 값이 각각 0.985, 0.923, 0.903으로 나타나 모형의 설명력이 높은 것으로 판단된다.

최근 잦은 기상이변에 따라 고속도로 및 일반국도의 도로관리업무를 수행하는데 있어 동절기 도로관리도 점차 중요한 업무로 인식되고 있다. 특히 기온, 풍속 등의 도로기상정보를 수집하는데 있어 외국 기술에 의존하고, 고가에 유지관리가 어려워 개선책이 필요한 실정이다.

이를 해결하기 위한 기초 연구 중 하나로서 신경망 이론을 이용하여 본 연구를 수행하였으며, 개발된 모형은 실제 도로에서 설치된 노면센서에서 측정된 기상 및 노면온도자료를 이용하여 그 지점의 향후 노면온도를 예측하는데 활용이 가능할 것으로 판단된다.

그러나 현장 적용성을 높이기 위해서 향후 관측 값과 예측 값 사이의 오차를 최소화하기 위해 필요한 적정 자료의 길이, 입력 변수의 재설정, 숨은 뉴런의 개수 산정 등에 대한 조사가 필요하다. 또한 계절이나 기상 조건에 따른 가중치의 재설정 여부 등에 대한 추가 조사가 필요할 것으로 판단된다. 더불어 본 연구는 신경망 이론을 이용하여 제시한 연구이기 때문에 향후 타 알고리즘, 즉 유전자 알고리즘, 퍼지이론 등과 결합 또는 비교하여 모형의 적합성을 도출하는 정교한 모형 제시가 필요하다.

향후 주요 고속도로 및 주요 도로의 노면온도에 대한 정확한 예측이 가능하게 된다면, 도로관리자 입장에서는 노면온도로 인해 발생하는 여러 재해에 대하여 사전 대응이 가능하게 될 뿐만 아니라 이를 토대로 취약 구간 선정이 가능하게 되어 도로별 우선 관리 대상을 설정하는데 유용할 것으로 판단된다.

REFERENCES

Beale R., Jackson T. (1994), Neural Computing: An Introduction, Institute of Physics Publishing, 240.
 Bodri L. (2001), Precipitation Prediction with Neural Networks, Acta Geod. Geoph. Hung., 36, 207-216.
 Bodri L., Cermak V. (2000), Prediction of Extreme Precipitation Using a Neural Network, Application to Summer Flood Occurrence in Moravia, Adv. Eng. Soft., 31, 311-321.

- Chapman L., Thornes J. E. (2005), A Geomatics-based Road Surface Temperature Prediction Model, *Science of The Total Environment*, 360, 68-80.
- Crevier L. P., Delage Y. (2001), METro: A New Model for Road-Condition Forecasting in Canada, *Journal of Applied Meteorology*, 40, 1226-1240.
- Feng T., Feng S. (2012), A Numerical Model for Predicting Road Surface Temperature in the Highway, *Procedia Engineering*, 37, 137-142.
- Kang Y. K., Park J. S., Shin S. W., Kim J. H. (2014), A Development of Road Surface Temperature Prediction System, 13th ITS Asia Pacific Forum.
- Korea Road Traffic Authority (2013), KoROAD Briefing.
- Krsmanc R., Sajnslak A., Carman S., Korosec M. (2012), METro Model Testing at Slovenian Road Weather Stations and Suggestions for Further Improvements, 16th International Road Weather Conference in Helsinki.
- Luk K. C., Ball J. E., Sharma A. (2000), A Study of Optimal Model Lag and Spatial Inputs to Artificial Neural Network for Rainfall Forecasting, *J. Hydrol.*, 227, 56-65.
- Mihalakakou G., Santamouris M., Asimakopoulos D. (1998), Modeling Ambient Air Temperature Time Series Using Neural Networks, *J. Geophys., Res.*, 103, 19509-19517.
- Santamouris M., Mihalakakou G., Papanikolaou N., Asimakopoulos D. N. (1999), A Neural Network Approach for Modeling the Heat Island Phenomenon in Urban Areas during the Summer Period, *Geophysical Research Letters*, 26, 337-340.
- Sass B. H. (1997), A Numerical Forecasting System for the Prediction of Slippery Roads, *Journal of Applied Meteorology*, 36, 801-817.
- Sato N., Thornes J. E., Maruyama T., Sugimura A., Yamada T. (2004), Road Surface Temperature Forecasting (Case Study in a Mountainous Region of Japan), 6th International Symposium on Snow Removal and Ice Control Technology, 414-421.
- Shao J., Lister P. J. (1996), An Automated Nowcasting Model of Road Surface Temperature and State for Winter Road Maintenance, *Journal of Applied Meteorology*, 35, 1352-1361.
- Thornes J. E., Shao J. (1991), A Comparison of UK Ice Prediction Models, *Meteorological Magazine*, 120, 51-57.
- Yang C. H., Park M. S., Yun D. G. (2011), A Road Surface Temperature Prediction Modeling for Road Weather Information System, *J. Korean Soc. Transp.*, 29(2), Korean Society of Transportation, 123-131.
- Yang C. H., Yun D. G., Sung J. G. (2012), Validation of a Road Surface Temperature Prediction Model Using Real-time Weather Forecasts, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 16, 1289-1294.

알림 : 본 논문은 한국도로학회지 제13권 제1호(2011.3) 기술기사에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

- ☞ 주 작성자 : 김인수
- ☞ 교신저자 : 김인수
- ☞ 논문투고일 : 2014. 8. 21
- ☞ 논문심사일 : 2014. 9. 23 (1차)
2014. 10. 3 (2차)
- ☞ 심사판정일 : 2014. 10. 3
- ☞ 반론접수기한 : 2015. 4. 30
- ☞ 3인 익명 심사필
- ☞ 1인 abstract 교정필