

ORIGINAL ARTICLE

제주지역 도로결빙 예측에 관한 연구

이영미 · 오상율* · 이수정

㈜에코브레인

A Study on Prediction of Road Freezing in Jeju

Young-Mi Lee, Sang-Yul Oh*, Soo-Jeong Lee

Eco Brain Co., Ltd., Jeju-do 63309, Korea

Abstract

Road freezing caused by snowfall during wintertime causes traffic congestion and many accidents. To prevent such problems, we developed, in this study, a system to predict road freezing based on weather forecast data and the freezing generation modules. The weather forecast data were obtained from a high-resolution model with 1 km resolution for Jeju Island from 00:00 KST on December 1, 2017, to 23:00 KST on February 28, 2018. The results of the weather forecast data show that index of agreement (IOA) temperature was higher than 0.85 at all points, and that for wind speed was higher than 0.7 except in Seogwipo city. In order to evaluate the results of the freezing predictions, we used model evaluation metrics obtained from a confusion matrix. These metrics revealed that, the Imacho module showed good performance in precision and accuracy and that the Karlsson module showed good performance in specificity and FP rate. In particular, Cohen's kappa value was shown to be excellent for both modules, demonstrating that the algorithm is reliable. The superiority of both the modules shows that the new system can prevent traffic problems related to road freezing in the Jeju area during wintertime.

Key words : Road freezing, prediction system, Weather forecast, Freezing module, Evaluation metric

1. 서론

겨울철 도로 노면은 다른 계절과 다르게 눈의 영향을 많이 받으며 이로 인해 결빙이 발행하게 된다. 도로 결빙은 교통사고 또는 혼잡 정체와 같은 교통문제를 야기하기 때문에 겨울철 도로 노면에 대한 관리는 중요하며, 사회적으로 많은 관심이 필요하다(Kim et al., 2015). 결빙으로 인한 도로 사고발생건수는 다른 요인에 의한 도로 사고발생건수에 비해 부상자수 비율이 높게 나타난다. 2012~2016년 제주지역 노면상태별

교통사고 자료를 분석한 결과, 건조 노면일 때 사고발생건수는 17,791건, 젖은 노면일 때는 2,782건, 결빙 상태일 때는 137건, 적설상태일 때는 66건이다. 이 중 경상을 포함한 부상자수(건별 부상자수)는 각각 24,085명(1.35명/건), 3,883명(1.40명/건), 261명(1.91명/건), 138명(2.09명/건), 사망자수(건별 사망자수)는 각각 369명(0.02명/건), 71명(0.03명/건), 0명(0.00명/건), 1명(0.02명/건)으로 사망자 비율은 노면상태에 따라 비슷하지만, 건조 및 젖은 노면에 비해 도로 결빙 및 적설 상태일 때 부상자 비율이 높게 나타났다. 이는

Received 28 March, 2018; Revised 5 June, 2018;

Accepted 7 June, 2018

*Corresponding author: Sang-Yul Oh, Eco Brain Co., Ltd., Jeju 63309, Korea

Phone : +82-70-7018-0614

E-mail : osy@ecobrain.net

The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

결빙 및 적설로 인한 사고가 발생할 경우, 대형사고로 이어질 수 있음을 의미한다(도로교통공단 TAAS 교통사고분석시스템, taas.koroad.or.kr). 대표적으로 2012년 12월 6일 조천읍 대흘리에서 발생한 11중 추돌사고(사망자 0명, 부상자 5명), 2018년 1월 10일 평화로에서 15중 추돌사고(사망자 0명, 부상자 3명) 등 겨울철 교통사고 발생의 주원인으로 결빙이 지목되었다.

이러한 교통사고 방지를 위하여 결빙 발생 예측에 관한 연구 및 결빙과 기상조건의 관계에 대한 연구가 그동안 진행되어왔다. Choi and Kim(2005)는 GIS 중첩 기능에 의한 공간분석을 통해 노면 결빙 예상구간을 추출하여 노면결빙 위험 구간을 효과적으로 파악하는 방법이 연구 되었으나, 기상조건은 배제되고 지형정보만으로 결빙예측을 함으로 정확한 결빙예측을 하지 못하는 단점이 있다. Sin et al.(2011)은 교량에 직접 설치한 온습도 센서를 통해 관측한 온습도 자료를 바탕으로 교량 노면의 결빙은 노면온도가 이슬점 온도보다 낮고 영하일 때 발생한다는 점에 착안하여 교량 노면의 결빙을 예측하였다. 그러나 교량에서의 결빙은 일반도로에 비해 교량 하부의 순환공기로 인한 빈번한 발생이 이루어지므로 교량 노면에서의 결빙연구를 일반도로에 적용하기에는 한계가 있다. Kim et al.(2013)은 접촉/비접촉식 센서를 통해 얻은 온·습도 데이터와 영상처리기술을 통해 얻은 적외선 카메라로 관측된 도로영상 데이터를 이용하여 노면상태를 구분하는 '상태판정 알고리즘'을 연구하였으며, 이는 건조·습윤·결빙위험·적설의 노면상태를 구분하는 '결빙예측 알고리즘'과 일반·소설·대설의 강설상태를 구분하는 '강설감지 알고리즘'으로 구성된다. 그러나 이 알고리즘은 적외선 카메라의 설치 위치에 따라 차량 주행으로 인한 노이즈 및 낮과 밤의 조도 영향에 의해 오차가 발생하는 단점이 있다.

본 연구에서는 이러한 단점을 보완하기 위해 기상요소를 적용한 결빙예측 방법을 선택하여 적용하였다. 기상예측 모델인 WRF 모델로 생산된 자료를 결빙예측 모듈의 입력변수로 사용하여 결빙발생 예측정보를 생산하고 생산된 결빙예측정보를 차량운전자에게 전달하여 결빙으로 인한 교통사고 피해 저감 및 예방에 기여하고자 한다.

2. 자료 및 연구방법

2.1. 모델 및 자료

본 연구에서는 섬지역이면서 한라산을 중심으로 지역마다 지형고도와 기온이 급변하고, 타 지역과 비교하여 차량 이동을 제외하면 이동수단이 없어 겨울철 이동시 차량을 반드시 이용하여야 하는 제주도의 특성을 고려하였으며, 또한 노면상태가 결빙일 때 교통사고시 부상자 발생비율이 1.91명/건으로 전국 1.71명/건보다 높아 제주도를 연구지역으로 선정하였다.

본 연구에서 사용하는 WRF (Weather Research and Forecasting) 모델은 전 세계적으로 현업 및 날씨 예보에 많이 사용되고 있는 모델로 최신의 기술이 사용되어 대량의 자료를 병렬 처리가 가능하고, 다양한 물리식 및 물리옵션이 적용 가능하며, 자료동화 시스템이 향상되어 손쉽게 자료동화를 할 수 있을 뿐 아니라 수 m에서 수천 km까지 다양한 해상도 적용이 가능하다. 기상청에서 제공하는 국지예보모델(Local Data Assimilation and Prediction System, LDAPS)과 비교하면 해상도가 1 km이하 수 m 고해상도까지 예보 가능하고(LDAPS 해상도 1.5 km), 사용자가 원하는 특정지역만 모델 구축 및 데이터 수집이 가능(LDAPS는 기상청 발표 자료에서 원하는 지역데이터를 추출하여 사용)하며, 다양한 조건을 추가하여 반영(LDAPS는 기상청 발표 자료를 그대로 사용)할 수 있는 장점이 있다. 또한 예보주기 및 예보기간에 있어 WRF는 분 단위 간격 48시간 예측데이터가 생성이 가능하며, 1시간 간격 36시간 예측데이터를 생성하는 LDAPS에 비해 높은 해상도를 보이므로 본 연구에 적합한 기상물리모델이라고 할 수 있다.

본 연구의 결빙예측 프로세스는 먼저 WRF 모델을 이용하여 결빙 예측 기초자료로 사용되어질 기상예측 자료를 생산한다. 생산된 기상예측자료는 격자데이터로 생성되며 기존 결빙 관측값과 비교 분석을 위해 격자데이터를 지점데이터로 변환시킨다. 지점데이터로 변환된 기상예측자료를 Karlsson 모듈과 Imacho 모듈에 적용하여 결빙예측 값을 도출한다(Fig. 1). WRF 모델에서 예측영역 설정 시 Two-way nesting 기법을 적용하여 동아시아 영역(27 km), 한반도 남부지역(9 km), 제주주변 남해안영역(3 km), 제주지역(1 km)로

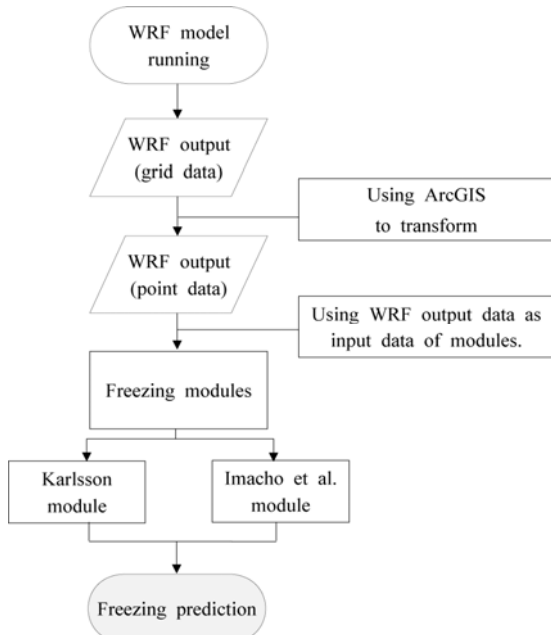


Fig. 1. Flowchart for the freezing prediction process.

총 4개의 도메인을 구성하였다(Fig. 2). 1°×1°의 공간 해상도와 6시간 간격의 시간 해상도를 가지는 GFS(Global Forecast System) 예보자료를 WRF 모델의 초기장으로 활용하였으며, 1시간 간격의 48시간 예측 데이터를 생산한다. 대상지역의 지형과 지표면 상태를 현실적으로 반영하기 위하여 지형고도는 SRTM(Shuttle Radar Topography Mission) 3초 자료

를, 토지피복자료는 환경부의 EGIS(Environmental Geographic Information System) 3초 자료를 사용하였다. 제주지역에 최적화된 물리 scheme을 적용하여 WRF 모델을 수행하였다. 모델링 수행 시 사용된 물리 옵션 중 중규모에 적합한 구름미세물리 모수화 과정은 WSM (WRF single momentum) 6-Class graupel scheme을 적용하였고, 장파와 단파 대기복사과정은 각각 RRTM(Rapid Radiative Transfer Model)과 Dudhia scheme을 사용하였다. 또한, 대기경계층 (Planetary Boundary Layer, PBL)은 YSU(Yonsei University) scheme을 사용하였으며, 적운 모수화과정은 Kain-Fritsch scheme을 도메인 1에만 적용하였다. WRF 모델을 이용하여 해당 연구기간의 기온, 노점온도, 노면온도, 풍속 등의 자료를 생성하였으며, 이를 입력자료로 다시 구성하여 결빙 예측 모듈을 수행한 후 결빙발생 여부를 예측하였다. WRF 모델 결과는 1 km 간격의 해상도로 격자화 되어있기 때문에 이 격자자료를 ArcGIS를 통해 이중선형 보간법(Bilinear Interpolation)으로 공간내삽하여 지점정보로 변환하여 각 검증대상지점과 비교하였다.

결빙예측결과 검증을 위한 기상예측자료 생성기간은 2017년 12월 01일 00시부터 2018년 2월 28일 23시까지이며 도로결빙관측자료는 같은 기간 제주도청에서 제공하는 도로결빙 및 교통통제 상황자료를 이용하였다(Table 1). Table 1은 도로결빙 및 교통통제 구역과 해당 도로명을 나타낸 것으로 해당 구역에

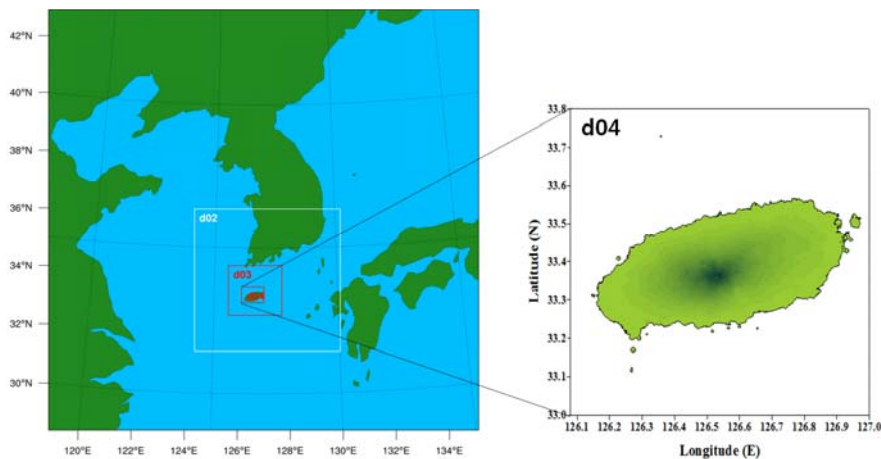


Fig. 2. The total domains (left figure) and the enlarged domain 4 (right figure) of WRF model.

Table 1. Road names (blue line) and freezing observation sections (red line) provided by Jeju Special Self-Governing Province














Road name	Station	Road name	Station
1100 road		Bijarim road	
516 road		Seoseong road	
Beonyeong road		Isanrok road	
Pyeonghwa road		2sanrok road	
Hanchang road		Myeonggrim road	
Namjo road		Cheomdan road	
Aejo road			

Table 2. Criteria for determining the possibility of road freezing

Road Surface Temperature	Wetness	Decision
< -1 °C	Wet	Freezing
	Dry	Freezing highly probable
-1 ~ 1 °C	Wet	Freezing highly probable
	Dry	No freezing
> 1 °C	Wet/Dry	No freezing

명시된 도로를 검증 대상지점으로 정하였다. 제주도 청 재난대응과 재난안전상황실에서는 적설이 있는 경우, 주요도로의 적설 및 도로상태를 관측하여 적설량과 결빙여부 및 교통통제 상황을 제주도청 사이트를 통해 발표한다. 따라서, 분석일은 실제로 제주지역에 눈이나 비가 내렸던 날들 중 관측자료에서 결빙이 기록된 날을 선정하여 수행하였다. 검증대상지점의 결빙관측자료에서 관측이 실시된 경우의 시간대만 추출하여 WRF 모델결과를 결빙발생 예측모델에 적용시킨 결과와 비교하였다.

2.2. 분석 방법

일반적으로 결빙은 노면온도가 0°C 이하이면서 노점온도 보다 낮은 경우에 발생할 가능성이 있으며 (Lee, 2017), 관측자료 중 노점온도가 결측인 경우, Magnus 방정식을 이용해서 노점 온도를 계산할 수 있다. Magnus 방정식은 포화수증기압 및 노점온도와 관련이 있으며, 특정온도의 포화수증기압 EW 는 식 (1)에서 구할 수 있다(Sonntag, 1990).

$$EW = \alpha \cdot e^{\left(\frac{\beta \cdot T}{\lambda + T}\right)} \tag{1}$$

이때 방정식에 적용되는 상수인 Magnus 파라미터들은 -45°C 부터 60°C 사이의 범위에서, 각각 $\alpha=6.112$, $\beta=17.62$, $\lambda=243.12$ 이다. 제시한 Magnus 파라미터에 따라 식 (1)을 재정의하면 노점온도 D_p 는 수증기압 E 에 대한 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$D_p = \frac{\lambda \cdot \ln\left(\frac{E}{\alpha}\right)}{\beta - \ln\left(\frac{E}{\alpha}\right)} \tag{2}$$

식 (2)는 다시 수증기압 E 와 상대습도 RH 와의 관계식인 $E = \frac{RH \times EW}{100}$ 와 식 (1)을 대입하면 노점온도 D_p 는 기온 T 와 상대습도 RH 의 식 (3)과 같이 표현할 수 있다.

$$D_p(T, RH) = \frac{\lambda \cdot \left[\ln\left(\frac{RH}{100}\right) + \frac{\beta \cdot T}{\lambda + T} \right]}{\beta - \left[\ln\left(\frac{RH}{100}\right) + \frac{\beta \cdot T}{\lambda + T} \right]} \tag{3}$$

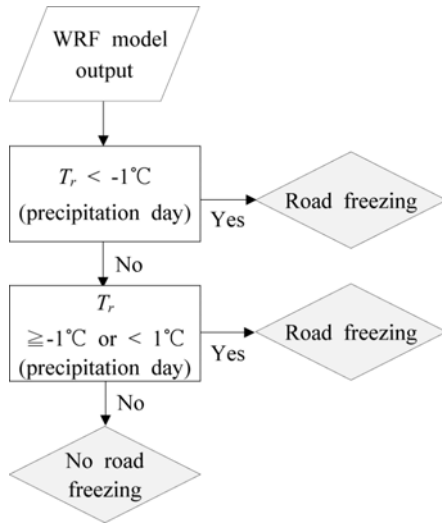
본 연구에서는 노면의 결빙 가능성을 예측하기 위해 두 가지 방안을 사용하였다. 첫 번째는 Karlsson (2001)이 제시한 방식으로 식 (4, 5)와 같이 풍속에 따른 노점온도 T_d , 노면온도 T_r 와 비교하여 결빙여부를 예측하는 방식이다.

$$T_r < 0^\circ\text{C}, T_d - T_r > 0.5^\circ\text{C} \text{ and wind speed } > 2 \text{ m/s} \tag{4}$$

$$T_r < 0^\circ\text{C} \text{ and } T_d - T_r > 1^\circ\text{C} \text{ when wind speed } < 2 \text{ m/s} \tag{5}$$

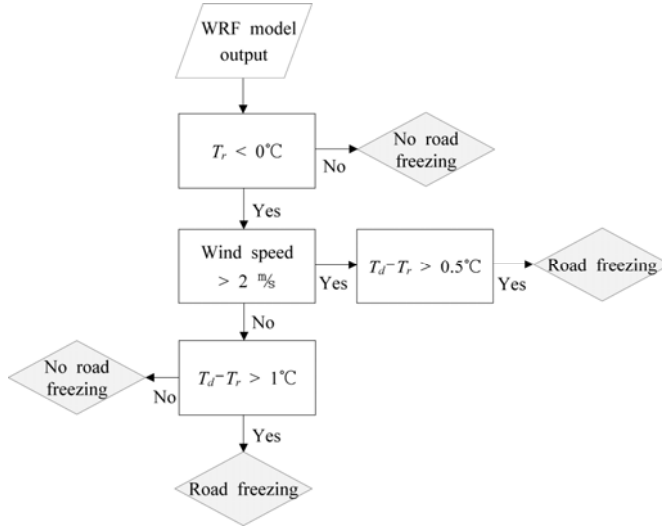
노면온도 T_r 가 0°C이하일 때 노점온도 T_d 와 노면온도 T_r 의 차가 0.5°C 보다 크고, 풍속이 2 m/s 보다 클 때 노면에 결빙이 발생하고, 풍속이 2 m/s 보다 작을 때 노면온도 T_r 가 0°C 이하이고 노점온도 T_d 와 노면온도 T_r 의 차가 1°C 보다 크면 노면에 결빙이 발생한다.

두 번째는 Imacho et al.(2002)이 제시한 방안으로 Table 2와 같이 노면상태가 젖었는지 말랐는지의 여부와 노면 온도에 따라 결정되며 노면의 습윤도와 노면 온도에 따라 ‘결빙’, ‘결빙 가능성 있음’, ‘결빙없음’의 3가지 상태로 구분할 수 있다. 노면온도가 -1°C



T_r : Road surface temperature

Fig. 3. Flowchart for road freezing prediction algorithm developed by Imacho et al (2002).



T_r : Road surface temperature, T_d : Dew point temperature

Fig. 4. Similar to Fig. 3, but developed by Karlsson et al(2001).

미만이고 노면이 젖어있으면 결빙이 발생하고, 노면 온도가 -1°C 미만이고 노면이 말라있거나, 노면온도가 -1°C 와 1°C 사이에 있고 노면이 젖어있으면 결빙 가능성이 있으며, 노면온도가 -1°C 와 1°C 사이에 있고 노면이 말라있거나, 노면온도가 1°C 초과했을 때에는 결빙이 발생하지 않는다. 본 연구에서는 두 가지 방식을 모두 사용하여 결빙을 예측하였으며, 개발된 결빙발생 예측모델의 개발 절차를 요약하여 Fig. 3과 4에 제시하였다.

위에서 제시한 두 가지 모듈(Karlsson과 Imacho) 중 어떤 모듈이 더 적합한지를 평가하는 방법으로 본 연구에서는 평가 메트릭을 활용하였다. 발생함(Y), 발생하지 않음(N) 두 종류로 분류될 때, 분류 모델에서의 모델 평가 메트릭은 모델에서 구한 분류의 예측값

과 실제 값의 발생 빈도를 혼동 행렬(Confusion matrix)로부터 계산한다(Table 3). 혼동 행렬에서 True Positive(TP)에 해당하는 셀은 실제 값이 발생함(Y)이고, 예측도 발생함(Y)이었던 경우이며, False Positive(FP)는 실제 값은 발생하지 않음(N)이었는데 예측이 발생함(Y)로 된 경우이다. False Negative(FN)는 실제로 발생하지 않음(N)이면서 예측도 발생하지 않음(N)인 경우이고, True Negative(TN)는 실제로는 발생함(Y)이지만, 예측은 발생하지 않음(N)으로 기록된 경우이다(Lee et al., 2016).

Table 4에 혼동 행렬로부터 계산할 수 있는 대표적인 메트릭을 정리하였다. 본 연구에서는 각각의 메트릭을 계산해서 각 모듈의 우수한 정도를 평가하였다. 먼저, Precision은 발생함(Y)으로 예측한 것 중에서

Table 3. Confusion matrix

		Predicted Value	
		Positive	Negative
Observed Value	Positive	True Positive (TP)	False Negative (FN)
	Negative	False Positive (FP)	True Negative (TN)

Table 4. Typical metrics that can be calculated from confusion matrix

Metric	Calculation
Precision	$\frac{TP}{TP+FP}$
Accuracy	$\frac{TP+TN}{TP+FP+FN+TN}$
Recall (Hit Rate)	$\frac{TP}{TP+FN}$
Specificity	$\frac{TN}{FP+TN}$
FP Rate	$\frac{FP}{FP+TN}$
F1 Score	$2 \times \frac{precision \cdot recall}{precision + recall}$
Kappa	$K = \frac{accuracy - P(e)}{1 - P(e)}$

$$P(e) = \frac{(TP+FP) \cdot (TP+FN) \cdot (FN+TN) \cdot (FP+TN)}{(TP+FP+FN+TN)^2}$$

실제로도 발생함(Y)의 비율이고, Accuracy는 모든 예측 중에서 예측된 데이터 값의 비중이 얼마나 되는지를 의미한다. Recall은 Hit Rate라고도 말하며, 실제로 발생함(Y)인 것들 중에서 발생함(Y)으로 예측된 경우의 비율이며, Specificity는 실제로 발생하지 않음(N)인 것들 중 예측이 발생하지 않음(N)으로 된 경우의 비율이고, FP Rate는 실제로는 발생함(Y)이 아닌데 발생함(Y)로 예측된 비율로 이 값은 0에 가까울수록 모델이 우수하다고 본다. F1점수는 Precision과 Recall의 조화평균으로 한쪽만 클 때보다 두 값이 골고루 클 때 큰 값을 가지며, 마지막으로 코헨의 Kappa는 두 평가자의 평가가 얼마나 일치하는지 평가하는 값으로 두 평가자의 평가가 우연히 일치할 확률을 제외한 뒤의 점수이다(Yaser et al., 2012; Seo, 2014;

Lee et al., 2016).

3. 결과 및 고찰

WRF 모델 결과의 평가를 위해 제주도에 있는 종관 기상관측시스템(Automated Synoptic Observation System, ASOS) 네 지점을 대상으로 기온과 풍속 변수에 대하여 통계 검증을 수행하였고, Table 5에 제시하였다. 기온의 경우, 네 지점에서 모두 0.85 이상의 높은 IOA를 나타내고 있으나 Fig.5.의 그래프에서 볼 수 있듯이 제주 지점을 제외한 3개 지점에서 과소평가 되고 있음을 알 수 있다. 풍속의 경우, 서귀포 지점을 제외하고 대부분 0.7 이상의 IOA를 나타내고 있으며 Fig.6.의 그래프에서 볼 수 있듯이 제주 지점에서는

Table 5. Performance evaluation of air temperature and wind speed predicted from 4 ASOS sites in Jeju

ASOS sites	Air temperature			Wind speed		
	MAE(℃)	RMSE(℃)	IOA	MAE(m/s)	RMSE(m/s)	IOA
Jeju	2.543	2.780	0.885	2.676	3.224	0.726
Gosan	2.051	2.233	0.918	2.045	2.773	0.879
Seongsan	3.069	3.218	0.877	1.288	1.669	0.721
Seogwipo	2.854	3.000	0.882	1.986	2.322	0.627

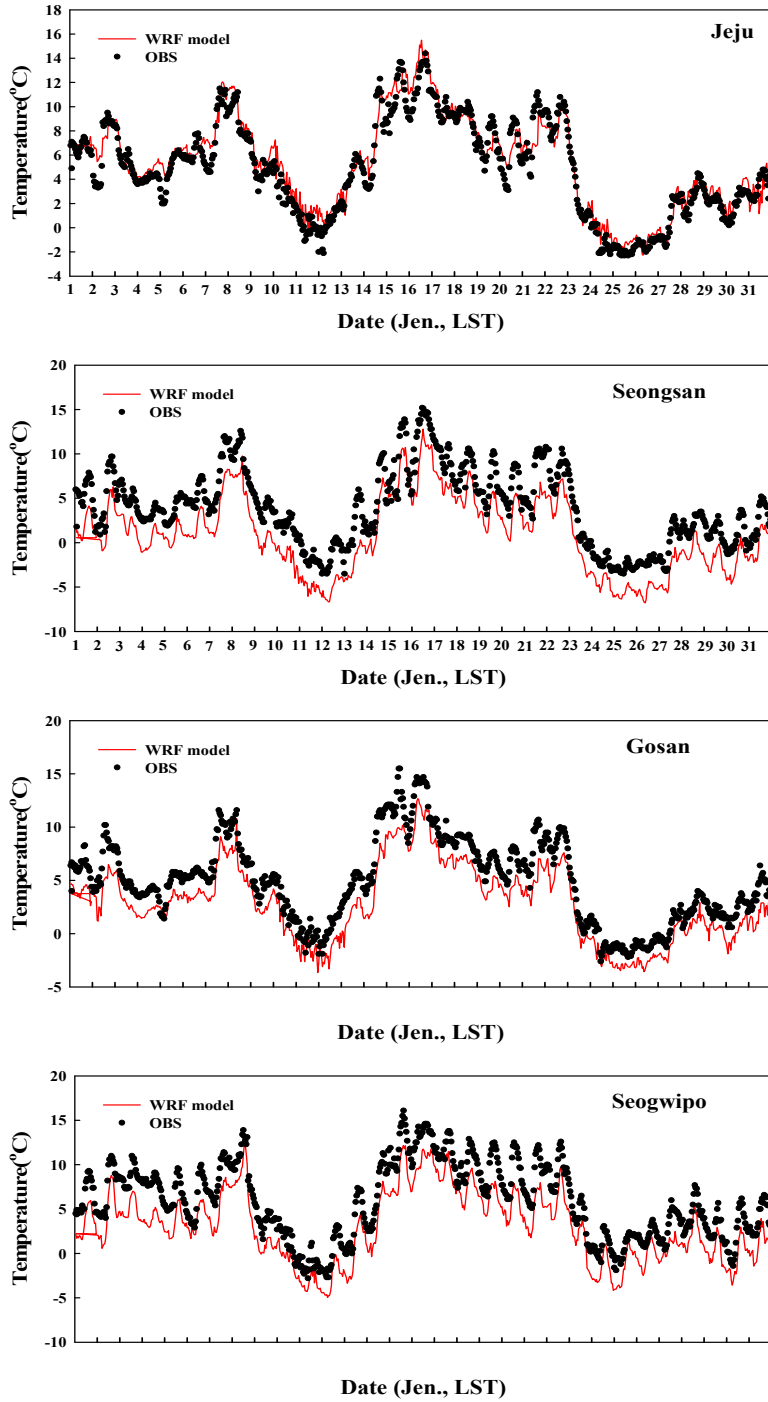


Fig. 5. Comparison of air temperature between model prediction results and observation data in Jeju, Seongsan, Gosan and Seogwipo during January.

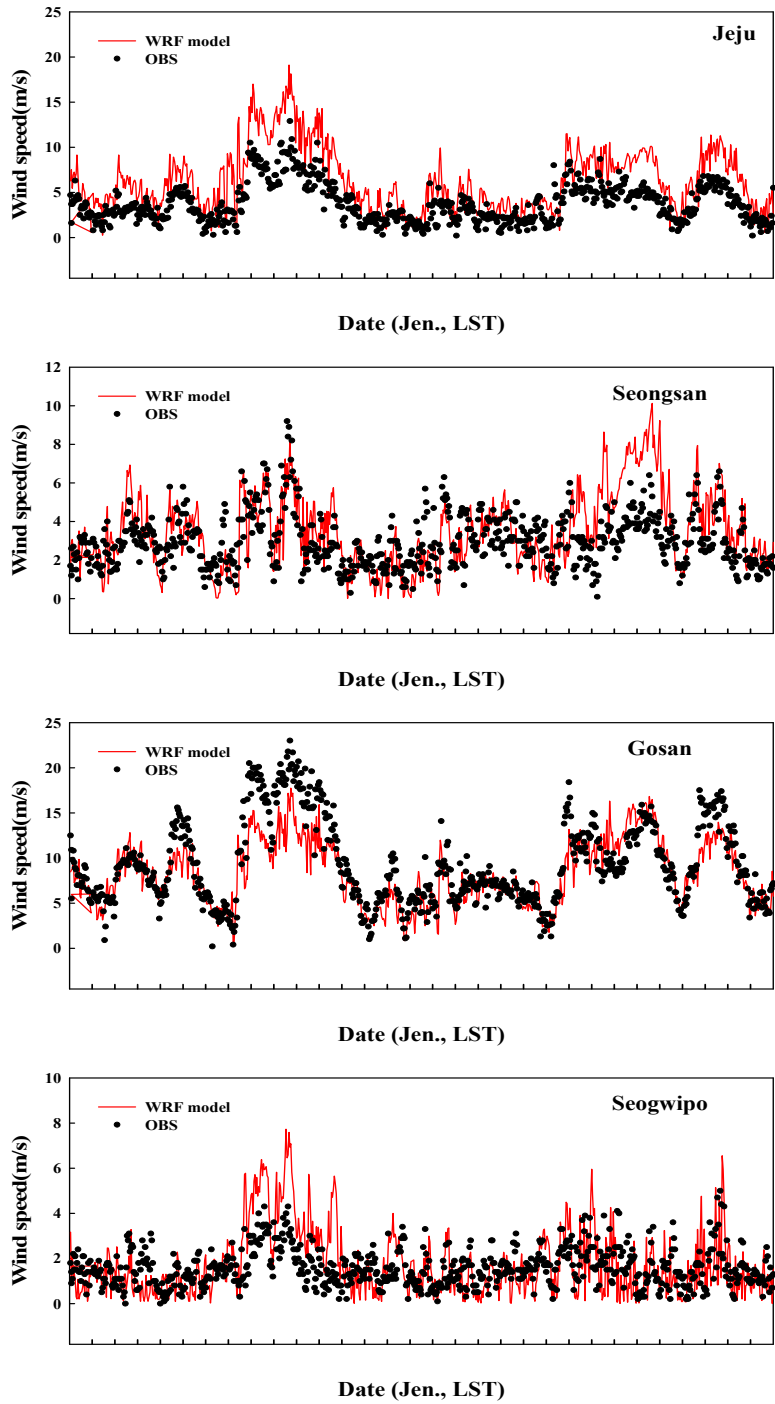


Fig. 6. Similar to Fig. 5, but wind speed.

Table 6. Evaluation metrics for freezing generating modules of Karlsson and Imacho

Metric	Karlsson	Imacho
Precision	0.56	0.79
Accuracy	0.51	0.74
Recall	0.23	0.93
Specificity	0.82	0.28
FP Rate	0.18	0.72
F1 Score	0.32	0.85
Kappa	1.00049	1.000076

과대평가되고 있으며, 다른 지점에서도 특정시간 대에 과대모의 되고 있음을 알 수 있다.

결빙예측정확도를 판단하기 위해 혼동 행렬에 의한 메트릭 분석 결과를 Table 6에 제시하였다. 분석결과를 살펴보면, Precision은 각각 Karlsson 모듈과 Imacho 모듈로 결빙발생을 예측한 결과 각각, 0.56과 0.79의 값을 나타냈다. Accuracy는 Karlsson 모듈과 Imacho 모듈로 결빙발생을 예측한 결과 각각 0.51과 0.74의 값을 보였다. Recall은 Karlsson 모듈을 사용한 경우에는 0.23, Imacho 모듈을 사용한 경우가 0.93으로 Imacho 모듈이 높은 값을 나타내었다. Specificity는 Karlsson 모듈이 0.82, Imacho 모듈이 0.28로 Imacho 모듈보다 Karlsson 모듈이 높은 값을 보였다. FP Rate는 Karlsson 모듈은 0.18, Imacho 모듈은 0.72로 Karlsson 모듈이 더 좋은 결과를 보여주었다. F1 점수는 Karlsson 모듈이 0.32, Imacho 모듈이 0.85로 Imacho 모듈이 높은 값을 보여주었다. 코헨의 Kappa는 Karlsson 모듈과 Imacho 모듈 모두 1을 나타내어 우수한 값을 보였다. 혼동행렬 매트릭스 분석결과를 정리하면 정확도 부분인 Precision, Accuracy Hit Rate에서는 Imacho 모듈이 예측률이 좋아 보이지만 모듈 자체의 종합적 평가로 봤을 때 Specificity, FP Rate 값은 Karlsson 모듈이 높은 예측률을 보였기에 Karlsson 모듈 또한 사용함에 있어서 그 우수성을 인정받을 수 있는 것으로 보이며, 코헨의 Kappa값은 모두 우수한 값을 보여 두 모듈 모두 알고리즘의 신뢰성이 상당부분 확보되었다고 판단된다.

4. 결론

본 연구는 WRF 모델을 통해 기상예측자료를 생산하고, 이를 두 가지 결빙 모듈의 입력자료로 활용하여 최종적으로 결빙발생을 예측하였으며, 이를 실제 결빙관측자료를 통해 정확도 검증을 하였다. 검증결과 두 모듈 모두 사용함에 있어 신뢰성이 확보되었다고 판단된다. 향후 기상상황에 따른 적합한 모듈 선정 방법 방안(눈·비가 올 때는 Imacho 모듈을 적용하고, 그 외의 상황에서는 Karlsson 모듈을 적용하는 방안)을 연구해야 할 것으로 보인다.

본 연구에서의 결빙발생예측 연구를 통해 기상관측데이터를 기반으로 결빙발생유무를 판단하는 방법의 한계를 보완하며 결빙예측 정보를 보다 상세히 제공하기 위해서 향후 결빙 관측 시, 결빙없음과 결빙강도를 구분하여 정시마다 관측한 자료를 확보한다면 이를 토대로 결빙발생 예측모듈을 개선하여 정확도를 더욱 향상시킬 수 있을 것으로 예상된다. 본 연구를 통해 동절기 도로 결빙 여부를 사전에 파악하여 이로 인해 야기될 수 있는 도로 교통사고를 미연에 방지하고, 피해를 저감할 수 있을 것으로 예상되므로, 제주지역 도로 안전주행에 도움이 될 수 있으리라 사료된다.

감사의 글

“이 논문은 2017년도 지역주력산업육성(R&D) 기술개발 사업인 「운전자 환경 반응형 CEV(Connected Electricity Vehicle) 서비스 개발」 사업(R0003890)으로 산업통상자원부의 지원을 받아 연구한 논문임”

REFERENCES

- Choi, B. G., Kim, J. S., 2005, Extraction of road surface freezing section using GIS, *Journal of The Korea Society For Geospatial Information Science*, 4(34), 19-25.
- Imacho, N., Nakamura, T., Hashiba, K., 2002, Road icing detection and forecasting system using optical fiber sensors for use in road management in winter, *Hitachi Cable Review*, 21, 29-34.
- Karlsson, M., 2001, Prediction of hoar-frost by use of a road weather information system, *Meteorol. Appl.*, 8(1), 95-105.
- Kim, J. W., Jung, Y. W., Nam, J. W., 2013, Study on the development of road icing forecast and snow detection system using state evaluation algorithm of multi sensing method, *KSMI*, 17(5), 113-121.
- Kim, J. W., Kim, H. G., 2010, Introduction of prevention and prediction techniques of road surface freezing, *Magazine of The Korean Society of Hazard Mitigation*, 10(4), 35-39.
- Kim, S. Y., Jang, Y. S., Kim, S. K., Min, D. C., Na, H. H., Choi, J. S., 2015, A Study on the effects of factors of traffic accidents caused by frozen urban road surfaces in the winter, *Int. J. Highw. Eng.*, 17(2), 79-87.
- Koroad, 2018, <https://www.koroad.or.kr>.
- Lee, S. J., 2017, A Study on factors that influence traffic accident severity in road surface freezing, *KOSOS*, 32(6), 150-156.
- Lee, Y. M., Bae, J. H., Park, J. K., 2016, A Study on fog forecasting method through data mining techniques in Jeju, *JESI*, 25(4), 603-613.
- Seo, M. G., 2014, Data processing using the R & industry analysis, *Gilbut Inc.*, 447-450.
- Sin, G. H., Song, Y. J., You, Y. G., 2011, Bridge road surface frost prediction and monitoring system, *Jour. of KoCon.a.*, 11(11), 42-48.
- Sonntag, D., 1990, Important new values of the physical constants of 1986, vapour pressure formulations based on the ITS-90 and psychrometer formulae, *Z. Meteorol.*, 70(5), 340-344.
- Yaser, S. A., Malik, M. I., Lin, H. T., 2012, Learning from data, *AML Book*, 32-39.