

결빙구간의 교통사고 심각도 영향 요인 연구

이상준[†]

서울대학교 환경대학원 환경계획학과

(2017. 11. 14. 접수 / 2017. 12. 4. 수정 / 2017. 12. 18. 채택)

A Study on Factors that Influence Traffic Accident Severity in Road Surface Freezing

Sang Jun Lee[†]

Department of Environmental Planning, Seoul National University

(Received November 14, 2017 / Revised December 4, 2017 / Accepted December 18, 2017)

Abstract : A frozen road surface increases traffic accidents during the winter season. Hence, information on easily-frozen road sections and their specificities are required to prevent traffic accidents. Frozen road surfaces are determined by equipment measuring road surface temperatures. However, there are limitations in investigating the entire road network. Therefore, it is imperative to develop new methods that effectively determine road surface freezing risks. Meteorologically, road surfaces are frozen when the actual temperature cools down to the dew point temperature. Under this condition, there is likely to be frost if relative humidity reaches 100% and frozen road surfaces as the temperature gets lower. Meteorological characteristics give us an alternative to a direct measurement road surface temperature to estimate risks of road surface freezing. Based on the clues, the relationship between severity of traffic accidents and temperature changes is empirically investigated using Paju weather data. The results reveal that as the temperature gets lower and changes in current temperature are relatively small, the severity of traffic accidents become higher. In addition, the same is true when the difference between current temperature and the dew point temperature is relatively small, as it increases possibilities of road surface freezing. Future studies must investigate how current temperature and the dew point temperature affect road surface freezing and thereby establish a time-space scope to estimate possible road surface freezing sections using only weather and road material type data. This would provide invaluable information for predicting and preventing frozen road accidents based on weather patterns.

Key Words : frozen road surface, dew point temperature, traffic accident severity, ordered probit model

1. 서론

노면 결빙시 교통사고 치사율은 3.3%로 건조 2.1%, 습기 2.9%, 적설 1.6%보다 높으며 교통사고 1천건당 사망자수 35.9명으로 평균 21.6명보다 66.2% 높은 것으로 나타났다¹⁾. 이러한 사고위험은 타 노면 상태보다 결빙(블랙아이스존) 상태를 운전자가 인지하기 어려우며 건조, 습윤 등 다른 노면 상태보다 마찰계수가 낮아 제동거리가 증가하게 되어 교통사고를 유발하는 가능성이 높기 때문이다²⁾.

최근 교통안전 정보제공 기술 발달로 위험도로 예보 시스템(도로교통공단), 교통안전정보관리시스템(교통안전공단) 등이 구축되어 운영되고 있으며 교통사고자료

를 바탕으로 안전도를 평가하고 있다. 그러나 기존 평가방법은 기발생 교통사고자료를 바탕으로 하고 있어 기상학적 변동에 대한 의미 있는 정보의 가공, 제공에는 한계가 따르고 있다. 따라서 교통안전도 평가에서 단순 사고발생의 여부를 떠나 사고지점의 데이터 수집의 확대가 필요하다 할 수 있다. 이는 현재 구축되는 GPS 위치정보 외 사고지점의 기상정보 수집까지도 포함될 수 있을 것이다.

현재 일시적·기간적인 교통안전 문제에 대해서는 별다른 대책마련 및 접근방법을 제시하지 못하고 있는 실정으로 결빙노면의 사고 위험은 각종 자료와 정보를 기반으로 상습결빙구간을 선정하지 않고 현장 확인과 담당자의 경험에 의해 상습결빙구간을 선정하고 있다.

[†] Corresponding Author : Sang Jun Lee, Tel : +82-2-885-2096, E-mail : sangjun115@gmail.com

Department of Environmental Planning, Seoul National University, 1 Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul 08826, Korea

또한 현행 결빙노면 사고의 대책은 이동성이 높은 고속도로와 지방부도로 위주로 수립되고 있어 도시부도로에 대한 연구 및 사고대책은 부족한 실정이다³⁾.

본 연구에서는 노면결빙 교통사고 당시의 기상학적 특성을 살펴보고 교통사고와의 관련성을 분석하고자 한다. 이는 기상변동에 따른 교통사고 영향을 검토하는 것 외 기존 경찰 교통사고 데이터에서는 다루지 않는 다양한 사회데이터를 활용하여 안전대책 및 안전성 제고 방안 개발의 의의가 있다.

2. 노면결빙과 교통사고 관련 연구검토

2.1 노면결빙의 특성

동절기 노면이 결빙되는 일반적인 상황은 강우·적설로 인해 노면이 젖은 상태에서 노면 온도가 0°C 이하로 떨어지는 경우이다. 국내의 경우 노면 온도가 영하로 떨어지는 이유는 낮은 위도로 눈이 쉽게 녹기 때문이며, 주로 Fig. 1의 ①, ② 현상으로 결빙이 발생한다. 또한 노면결빙은 도로의 지형 특성으로도 발생하며 우리나라의 경우 산악지형이 많아 평지보다 온도가 낮은 지형이 다수 존재, 이러한 구간에서 노면 결빙이 잦다. 또한, 터널 진출입부와 교량 위와 같은 지역은 평지의 토공 노면에 비해 온도가 낮아 결빙 발생이 평지에 비해 자주 발생한다⁴⁾.

노면 결빙시 교통사고는 주로 06~10시에 많이 발생하며, 이는 밤새 낮아진 온도에 의해 도로 노면 결빙된 상태에서 출근 교통량 증가하면서 발생하는 것으로 알려져 있다.

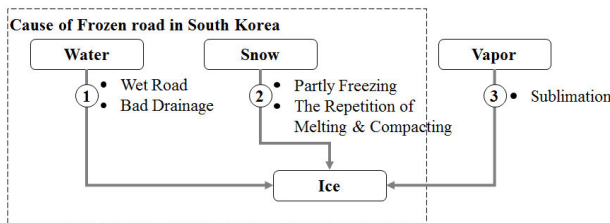


Fig. 1. Main causes of frozen road in south Korea.

2.2 노면결빙 교통사고와 이슬점온도의 관계

이슬점온도(dew point temperature)는 공기가 포화되어 수증기가 응결할 때의 온도로 대기압이 동일하다고 가정할 경우 이슬점은 공기가 포화(saturation)상태에 도달하기 위해 냉각되어야 하는 온도를 의미한다.

온도가 이슬점까지 냉각되면, 안개나 이슬이 발생하고 상대습도는 100%에 가깝게 되며⁵⁾ 이를 역산하면, 이슬점 온도와 실제기온이 동일하면 상대습도가 100%

에 도달하여 겨울철 영하 기온시 노면 결빙이 발생하기 쉬운 조건이라 할 수 있다. 따라서 노면 결빙은 실제 기온 및 이슬점온도와 관계가 있으며 본 연구에서는 기상 관측 자료를 바탕으로 이슬점 온도의 변화를 시차분석하여 결빙교통사고의 기상학적 특성을 분석하고자 한다.

2.3 기상상태와 교통안전 및 특성 분석 연구

기상상태에 따른 사고심각도와 관련한 연구로 Edward⁴⁾는 도로교통사고의 심각도와 날씨요인과의 상관관계에 대한 분석을 수행하였다. 분석 결과, 사고와 상관도가 높게 나타난 변수로는 안개 요인으로 안개시 사고 심각도가 가장 높게 나타남을 제시하였으며 맑은 날과 비교한 강우, 눈, 비 등의 악천후 상태에서의 교통사고 심각도 증가를 제시하였다.

Andrey⁵⁾는 날씨와 사고위험이 얼마만큼 연관되어 있는가에 대한 연구를 시도하였으며, 충돌위험은 겨울 강설에 대해서는 50%, 비에 대해서는 100%이상 평상시보다 증가하나 부상 위험의 경우는 증가폭이 크게 나타나지 않음을 제시하였다.

노면결빙과 교통사고와의 연관성을 연구한 연구로 Oerg⁶⁾는 결빙노면은 건조노면에 비해 긴 제동거리가 필요하기 때문에 운전자의 주의가 필요하나 운전자의 노면 주행행태는 강설상태에서의 속도가 가장 낮고 결빙, 건조 상태 순으로 주행속도가 높은 것으로 제시하였다. 유사 연구로 박준태⁷⁾는 고속도로 기상상태별 교통사고자료를 분석, 안전성 평가시 활용할 수 있는 영향지표를 제시하였다.

노면결빙 판단 방법에 관한 연구로 김종훈⁸⁾은 도로 노면의 영상 정보를 카메라(Stereo camera)를 활용하여 수집, 노면의 상태(마른, 젖은, 적설, 결빙)를 파악하는 분류기법을 개발하였다. 이는 영상취득 모듈 등 첨단 장비를 현장실험을 통해 data를 취득해야 하기 때문에 사전 예고보다는 도로유지관리 차원에서 활용성이 높다고 할 수 있다.

기상청 관측자료는 지속적으로 누적·관리되기 때문에 기상변화의 패턴 및 변화를 파악하기 수월하고 구득이 편리하여 교통사고 기록과 매칭 분석이 용이한 장점이 있다. 본 연구에서는 노면결빙 교통사고를 대상으로 사고당시의 기상환경 및 도로요소 자료를 분석, 결빙사고에 영향을 미치는 관계를 분석하고자 한다. 결빙사고의 경우 동절기 한정된 기간 동안 발생하기 때문에 사고빈도 및 연쇄사고가 일반사고에 비해 매우 제한적으로 발생하고 있다. 반면 사고심각도의 경우 차량자체가 미끄러져 단순 물피 이상으로 일반사고에

비해 위험도가 높다 할 수 있다. 본 연구에서는 파주시를 대상으로 결빙사고의 심각도를 분석, 기상 영향 관계를 도출하였으며 기상청 관측자료 활용성에 대한 시사점을 제시하였다.

3. 자료 수집

노면결빙 교통사고 관련 자료는 경기도 북부권인 파주시의 기상자료(data.kma.go.kr)와 교통사고정보시스템(taas.koroad.or.kr)의 노면결빙 교통사고자료를 수집하였다. 수집범위는 최근 6년(2011년~2016년) 자료이며 이 기간 동안 노면결빙상태에서 발생한 교통사고는 총 112건으로 집계되었다. 기상자료의 경우 일자별 시간대별 온도, 습도, 이슬점 온도 자료를 수집하였다. 노면결빙 교통사고 발생시기는 11월에서 3월까지로 12월~2

Table 1. Comparison of safety budget and traffic accident results

Year	Accidents					Average value at the time of the accidents		
	Total	1M	2M	11M	12M	CT*	H**	DPT***
2011	26	17	3	-	6	-4.8°	62.8%	-11.4°
2012	22	1	7	-	14	-7.9°	65.5%	-13.9°
2013	33	13	6	-	14	-6.7°	71.7%	-11.3°
2014	20	6	7	-	7	1.5°	69.9%	-3.9°
2015	6	1	1	1	3	4.9°	63.7%	-1.8°
2016	5	3	1	1	-	-6.9°	71.0%	-11.4°
Average	18.7	6.8	4.2	1.0	8.8	-3.3°	67.4%	-8.9°

* : Current Temperature
 ** : Humidity
 *** : Dew Point Temperature

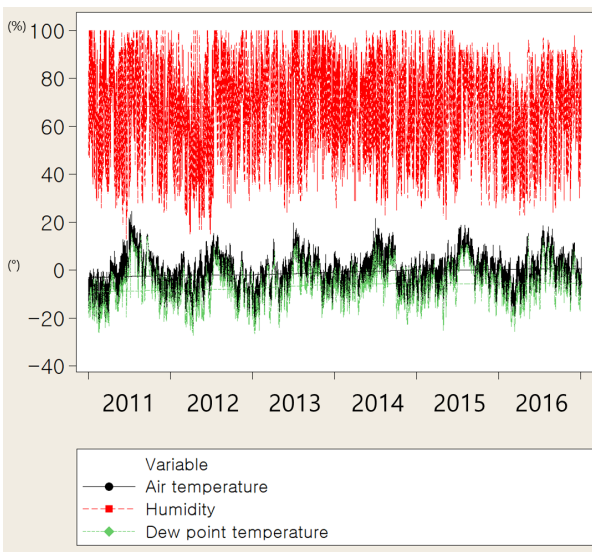


Fig. 2. Temperature changes per year(Jan, Feb, Nov, Dec).

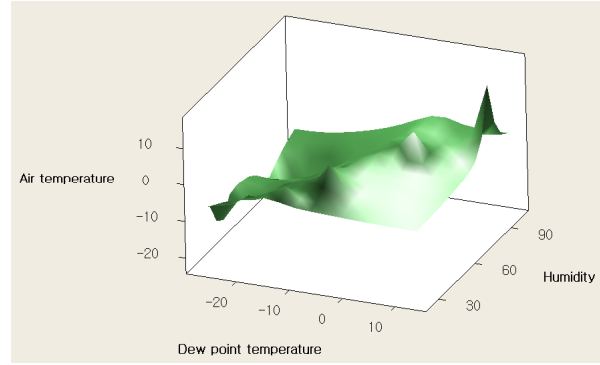


Fig. 3. Surface plot of weather data.

Table 2. Traffic accident situations at different times of day

Time sec.	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Accidents	2	1	2	0	2	4	13	12	13	7	4	4
%	1.8	0.9	1.8	0.0	1.8	3.6	11.6	10.7	11.6	6.3	3.6	3.6
Time sec.	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Accidents	2	3	7	6	3	5	1	2	6	2	5	6
%	1.8	2.7	6.3	5.4	2.7	4.5	0.9	1.8	5.4	1.8	4.5	5.4

월에 집중 발생하였다. 사고 발생 당시의 평균 온도 및 습도는 -3.3°, 67.4%로 영하권에서 주로 발생하였으며 이슬점온도는 -8.9°로 나타났다.

각 연도별 동절기(11월·12월·1월·2월)의 기온 특성을 살펴보면 11월부터 온도 및 이슬점온도가 급감하며 2월부터 상승하는 계절 패턴이 반복되는 것을 알 수 있다. 또한 온도 및 이슬점온도는 유사한 형태로 변화하는 것으로 나타났다.

교통사고가 집중된 시간대는 오전 07시~09시이며 이는 출근시간대임을 알 수 있다. 심야시간대인 01시~05시까지의 교통량의 감소로 인해 교통사고 발생 또한 매우 낮게 나타나고 있는 것으로 판단된다.

4. 결빙구간의 교통사고 특성 분석

4.1 기상(온도) 특성 분석

교통사고 발생당시의 현재온도(-3.3°)와 이슬점온도(-8.9°)와의 차이는 평균 5.6°로 분석되었으며 온도와 이슬점 모두 영하 상태일 경우 교통사고 발생 점유율이 72.3%로 가장 높게 나타났다.

또한 온도는 영상이나 이슬점온도가 영하인 경우 교통사고발생 점유율은 18.8%로 나타나 사고당시 온도는 크게 높지 않으며 도로구간의 결빙상태가 완전히 녹지 않은 경우로 판단된다. case1 사고시간을 중심으로 온도 및 이슬점온도의 시간적 변화를 살펴보면 1시간 이전 온도변화율은 2.3%, 이슬점온도 변화율은 2.0%로 사고

Table 3. Accident cases by weather conditions

Case	Contents	Frequency of events	Occurrence ratio
Case1	CT(+), DPT(+)	10	8.9%
Case2	CT(+), DPT(-)	21	18.8%
Case3	CT(-), DPT(+)	-	-
Case4	CT(-), DPT(-)	81	72.3%
Sum		112	100.0%

당시와 큰 차이가 없다. 3시간 이전 시점과는 각 3.2%, 2.7%로 1시간 이전보다는 변동이 다소 증가하였다.

case2는 영하온도가 영상기온으로 변화 또는 0°를 중심으로 낮은 영상온도를 보이는 경우로 case1보다 변화율은 크나 결빙이 해소되지 않은 경우이다. 시간대로는 오전 일출후가 주로 해당되는 것으로 나타났다. case3은 온도 및 이슬점온도 모두 영하 상태인 경우로 일몰 및 일출전후, 오전·오후 등 광범위하게 분포한 시간대이며 사고발생 점유율도 72.3%로 가장 높다. 그 외 분석기간인 11월~2월의 오전(07~12) 시간대의 현재

Table 4. Temperature changes at the time of traffic accident break-out

Time of accident		Current temperature average rate of change	Dew point temperature average rate of change
Case1	1 hour before	2.3%	1.2%
	2 hour before	2.8%	2.6%
	3 hour before	3.2%	2.7%
Case2	1 hour before	5.6%	3.2%
	2 hour before	3.4%	3.0%
	3 hour before	2.4%	2.5%
Case4	1 hour before	3.4%	6.1%
	2 hour before	3.9%	7.2%
	3 hour before	6.8%	5.6%

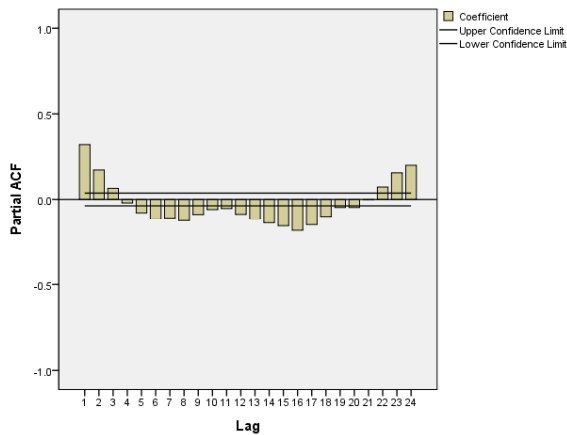


Fig. 4. Partial autocorrelation graph of temperature.

온도 변화율은 14.5%, 오후(12~18) 11.8%, 일몰 후인 야간·심야시간대 9.8%로 분석되었다. 현재온도의 편자기상관계수는 3시차까지 유의하며 4시차까지는 지속되지 않는 것으로 나타났다. 24시간 기간내 연속적으로 유사한 온도는 3시간 수준으로 판단된다.

4.2 모형의 변수 선정

본 연구에서는 결빙사고의 심각도 분석에 있어 온도 변화율을 고려하며 도로 결빙이 발생할 수 있는 현재 온도와 이슬점온도와의 차이값을 시차변수로 적용하였다. 노면 결빙의 유무는 노면온도에 대한 관측실험 또는 관측자료가 필요하나 자료수집이 매우 어려운 한계점이 따르느바 대안변수로 현재온도와 이슬점온도를 고려한 것이다. 현재온도 및 이슬점온도의 평균변화율은 3시간까지의 변화율을 기준(자기상관 반영)으로 적용하였으며 노면결빙 교통사고 112건에 대해 도

Table 5. List of independent variables

Variable	Definition	Mean	S. Dev
Traffic accident severity	Slight accident=0, Serious accident=1, Fatal accident=2	1.18	0.34
Number of lane	One way lane(n)	1.29	0.42
Speed limit	Running speed(km/h)	63.66	12.5
Auto	Auto=0, Others=1	0.78	0.29
Shade ¹⁾	Shadow=0, Others=1	0.72	0.21
Road type	Road=0, Tunnel or Bridge =1	0.95	0.12
Road alignment	Straight line=0, Others=1	0.63	0.17
Town	City=0, Others=1	0.77	0.14
Accident occurrence at the time	Day=0, Night=1	0.74	0.26
Topography	Flatland=0, Others=1	0.62	0.19
Paved road surface	Non skid proof pavement=0, Skid proof pavement=1	0.93	0.09
Speed limit facility ²⁾	Non facility=0, Facility=1	0.19	0.02
Weather condition	Clear=0, Others=1	0.43	0.14
Humidity	Humidity at the time of the accident(%)	76.46	12.2
Current temperature	Current temperature at the time of the accident(%)	-7.82	2.31
Dew point temperature	Dew point temperature at the time of the accident(%)	-12.2	2.68
Relative temperature difference	Current temperature(%) - Dew point temperature (%)	6.21	2.86
Current temperature average rate of change (3hour)	3hour average rate of change(%)	3.68	1.01
Dew point temperature average rate of change (3hour)	3hour average rate of change(%)	4.28	1.18
Relative temperature difference(3hour)	3hour average rate of change(%)	4.86	1.08

note1) Shadow area distinguish using aerial photograph
note2) Hump or speed camera installed location within 50 m

로·교통·기상 자료를 구축하고 심각도에 미치는 영향을 분석하였다. 음영지역의 경우 정밀 분석의 한계점이 따라 해당도로 정북방향 건축물의 존재 여부로 설정하며 항공사진을 이용하여 여부를 결정하였으며 결빙과 관련하여 사고차량의 주행속도, 타이어의 마모수준이 마찰력을 감소시키는 주요 변수로 판단되나 자료수집의 한계(자료 부재)로 포함시키지 못하였다.

사고심각도는 순서형 자료로 본 연구에서는 순서화된 다항(Polytomous)의 선택을 다룰 수 있도록 고안된 모형을 이용하여 사고심각도 분석을 실시하였다. 본 연구에서는 오차항의 확률분포형태를 분산이 동일하고 공분산이 0인 정규분포 (Normal Distribution)를 따른다고 가정된 순서형 프로빗 모형을 통해 사고심각도 분석을 실시하였다. 순서형 프로빗 모형은 종속변수와 독립변수간의 비선형관계⁹⁾를 정의할 때 오차항의 분포를 누적 정규분포 형태로 정의, 사고심각도 분석시 일반적으로 사용된다.

4.3 모형 분석 결과

심각도 모형 분석 결과, 총 7개의 유의변수가 도출되었으며 도심부구간에 비해 외곽지역에서 사고심각

도가 0.118증가하는 것으로 나타났다. 이는 교통량의 영향으로 판단되며 본 연구에서 전구간 교통량을 수집하지는 못하였지만 도심 등 상업·업무 지역 등에서는 교통량 영향이 노면온도를 상승, 결빙해소와 관련이 있다고 판단된다. 직선구간에 비해 곡선구간의 사고심각도는 0.331증가하는데, 곡선부의 이탈 위험이 크게 작용한다고 판단된다. 사고발생시간대는 주간에 비해 야간 및 심야시간대의 사고심각도가 0.321증가하는 것으로 나타나 이 또한 현재온도 및 교통량과 관련이 있다고 할 수 있으며 야간 주행시의 시거, 노면 상태의 확인어려움 등을 대리하는 변수로 판단된다.

눈, 비 등 악천후는 일반기상시보다 사고심각도가 0.342증가시키는 것으로 기상상태는 결빙사고의 추가 위험을 높이는 환경요인으로 분석되었으나 본 연구에서 우량 등의 정량값은 반영하지 못하였다. 영하 이하의 온도에서 눈, 비 등은 표면의 수막이 바로 동결되는 조건을 형성하기 때문에 심각도가 급증하는 일반적 상황으로 볼 수 있다.

기상관련 변수로는 현재온도는 1° 낮아질수록 사고심각도 0.342 증가시키며 현재온도와 이슬점온도와의 차이가 클수록 사고심각도를 0.236낮추는 것으로 노면

Table 6. The results of ordered probit model

Variable	Coefficient	T-value	Sg.
Constant	0.788	2.525	0.010
Number of lane	0.569	0.135	0.892
Speed limit	0.354	1.805	0.071
Auto	0.125	1.687	0.091
Shadow	0.162	1.682	0.092
Road type	0.148	1.808	0.070
Road line	0.331	2.049	0.040
Town	0.118	2.252	0.024
Accident occurrence at the time	0.321	2.224	0.026
Topography	0.153	1.882	0.060
Paved road surface	-0.083	-1.755	0.079
Speed limit facility	-0.128	-1.746	0.081
Weather condition	0.342	2.353	0.019
Humidity	0.218	1.760	0.078
Current temperature	0.342	2.148	0.031
Dew point temperature	-0.312	-1.782	0.074
Relative temperature difference	-0.236	-2.465	0.013
Current temperature average rate of change(3hour)	-0.388	-2.353	0.019
Dew point temperature average rate of change(3hour)	-0.120	-1.897	0.058
Relative temperature difference(3hour)	-0.189	-1.756	0.061
LL(z)		509.122	
LL(0)		589.147	
- ²		0.135	
x ²		34.263	

동결조건과 관련이 있다고 할 수 있다. 이는 현재온도와 이슬점온도의 차이값 지속성을 판단하여 결빙의 위험에 대한 사전 예측을 검토할 수 있는 시사점을 제시한다. 현재온도의 지속시간을 반영한 평균 변화율이 클수록 사고심각도 0.388낮추는 것으로 분석되었다.

현재온도는 온도가 낮을수록 결빙 발생 가능성과 관련이 있기 때문에 영향변수로 도출된 것으로 판단되며 현재온도와 이슬점온도의 차이는 그 값이 작을수록 사고심각도를 증가시킨다고 할 수 있다. 이는 현재온도와 이슬점온도가 유사할수록 서리가 나타나는 현상을 반영한 것으로 도로에 진눈깨비 및 결빙이 발생할 가능성이 높다. 현재온도 평균변화율은 그 값이 작을수록 사고심각도를 높이는 것으로 나타났으며 이는 결빙사고가 주로 영하(0°) 온도에서 발생하기 때문에 낮은 온도의 변화가 지속되는 것을 의미한다고 할 수 있다. 이와 같은 분석 결과를 종합해 보면 현재온도와 이슬점온도의 차이가 작아지면서 그 시간이 지속될 때 결빙사고에 대한 주의정보 등의 사전 안전 정보를 제공해 주는 방안 모색 및 기술개발 등이 필요할 것으로 사료된다.

5. 결론

결빙사고 발생시의 기상 현황자료를 분석하여 사고 심각도와 영향관계를 검토하였다. 사고당시의 평균 현재온도는 -3.3°로 영하상태에서 결빙사고가 주로 발생하였으며 현재온도는 낮을수록 현재온도의 변화가 적을수록 사고심각도에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 낮은 온도가 지속될 시 결빙의 가능성이 증가함과 동시에 사고발생의 기회가 증가하는 것으로 볼 수 있다. 현재온도와 이슬점온도의 차이는 작을수록 노면 결빙 발생 가능성이 높기 때문에 이 또한 사고심각도에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 도로 및 교통조건은 경우 직선구간보다는 곡선구간, 도심구간에 비해 교통량이 한산하다고 할 수 있는 외곽지역의 도로구간, 야간·심야시간대 발생한 교통사고의 심각도가 크게 나타나는 것으로 분석되었다.

연구의 한계점으로 사고심각도에 영향을 미치는 변수의 특성을 살펴보았으나 본 연구에서 변수의 임계기준 및 사고심각도의 변화와 관련된 변수의 범위는 분석하지 못하였다. 이는 사고당시 현황 자료를 대상으로 연구를 수행한 한계로 실무적인 활용을 위해서는 사고 위험이 높은 도로 구간의 규명 및 결빙 발생이 나타나는 기상학적 범위를 규명하는 것이 필요하다. 향후 연구에서는 노면 결빙시 비발생 사고에 대한 기초 조사도 포

함되어야 할 것으로 연구방법론에 있어서 비교 그룹을 설정하고 차량 및 노면(포장) 속도 등 복합적 자료 분석이 향후 필요하다. 우선적으로 실증연구를 위한 온도 범위별 사고 특성을 파악할 필요가 있으며 이는 경기 북부권 전역 및 전국적 자료를 검토해야 한다. 기상데이터의 경우 1시간 간격으로 수집되기 때문에 사고시점과는 다소 차이가 발생하며 기상관측소의 경우 점적으로 분포하는 바 동일 조사권역에서도 관측값의 차이가 발생할 수 있지만 사고지점에 일괄적으로 적용하는 한계점을 현장조사를 통해 보완하여야 한다. 사고시점의 교통·기후 환경을 최대한 정확하게 반영하기 위해서는 결빙 위험과 관련된 포장 마찰력과 결빙조건 등의 기준값을 도출 후 지역별·시간대별 보정계수 개발이 필요하며 이는 결빙사고 가능성을 분석할 수 있는 odds-ratio도출 등으로 향후 분석이 필요하다.

References

- 1) Samsung Traffic Safety Reserach Institute, "Analysis of the Relationship between Regional Climate Changes and Traffic Accidents", 2016.
- 2) K. Y. Park, "A Case Study on Meteorological Analysis of Freezing Rain and Black Ice Formation on the Load at Winter", Journal of Environmental Science International, vol. 26, No. 7, pp.827-836, 2017.
- 3) S. Y. Kim, Y. S. Jang, S. K. Kim, D. C. Min, H. H. Na and J. S. Choi, "A Study on the Effects of Factors of Traffic Accidents Caused by Frozen Urban Road Surfaces in the Winter", Journal of Highway Engineering, Vol. 17, No. 2, pp.79-87, 2015.
- 4) J. B. Edwards, "The Relationship between Road Accident Severity and Recorded Weather" Journal of Safety Research, Vol. 29, No. 4, pp.249-262, 1998.
- 5) J. Andrey, B. Mills, M. Leahy and J. Suggett, "Weather as a Chronic Hazard for Road Transportation in Canadian Cities", Natural Hazards, Vol. 28, Issue 2-3, pp.319-343, 2003.
- 6) G. D. Oberg and N. P. Gregersen, "MINSALT : forsok med osaltad vag i Vasterbottens lan", VTI Meddelande 636, Statens vag- och Trafikinstitut, 1991.
- 7) J. T. Park, "Development of Traffic Accident Safety Index under Different Weather Conditions", Journal of Korean Society of Transportation, Vol. 28, No. 1, pp.249-262, 2010.
- 8) J. H. Kim, "A Development of Stereo Camera based on Mobile Road Surface Condition Detection System",

- Journal of Highway Engineering, Vol. 15, No. 5, pp.177-185, 2013.
- 9) S. T. Choi, "Development of Severity Model for Elderly Pedestrian Accidents Considering Urban Facility Factor", J. Korean Soc. Saf., Vol. 30, No. 1, pp. 94-103, 2015.
 - 10) J. H. Jeong, "Severity Analysis for Vulnerable Pedestrian Accident Utilizing Vehicle Recorder Database of Taxi", J. Korean Soc. Saf., Vol.29, No.3, pp.98-106, 2014.
 - 11) Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, "Bridge Road Surface Frost Prediction and Monitoring System", 2006.
 - 12) G. H. Shin, "The 3rd National Railway Safety Plan (2016-2020)", The Journal of the Korea Contents Association, Vol. 11, No. 11, 2011.
 - 13) S. W. Lee, "Study of Skid Resistance Characteristics by Deicing Chemicals", Journal of Highway Engineering, Vol. 26, No. 5, pp.813-819, 2016.
 - 14) H. K. Hong, " Analysis of Accident Cause on Icy Road Pavement", University of Seoul, Master degree, 2014.
 - 15) <http://www.kma.go.kr/index.jsp>
 - 16) <http://taas.koroad.or.kr/index.jsp>