

## 겨울철 도시부 노면결빙사고 발생에 미치는 요소에 관한 연구

### A Study on the Effects of Factors of Traffic Accidents Caused by Frozen Urban Road Surfaces in the Winter

김 상 업 Kim, Sangyoup  
장 영 수 Jang, Youngsoo  
김 성 규 Kim, Sungkyu  
민 동 찬 Min, Dongchan  
나 호 혁 Na, Hohyuk  
최 재 성 Choi, Jaisung

정회원 · 전북발전연구원 도시공간교통연구부 부연구위원 · 교신저자 (E-mail : whiteallen@naver.com)  
한국토지주택공사 양주시도시 사업본부 본부장 (E-mail : ysjang@lh.or.kr)  
정회원 · 서울시립대학교 도시과학대학 교통공학과 박사과정 (E-mail : ic@uos.ac.kr)  
서울시립대학교 도시과학대학 교통공학과 석사과정 (E-mail : roadmin@uos.ac.kr)  
서울시립대학교 도시과학대학 교통공학과 석사과정 (E-mail : ghgurdk@naver.com)  
정회원 · 서울시립대학교 도시과학대학 교통공학과 정교수 (E-mail : traffic@uos.ac.kr)

#### ABSTRACT

**PURPOSES :** According to accident statistics for road built in 2004, the ratio of accidents on frozen roads to normal roads is 0.9%, whereas the fatality ratio is 2.7%. The risk of accidents on frozen roads is very high. Measures taken every year to prevent traffic accidents of frozen roads in the winter season are still insufficient. Additionally, measures have been established mainly on rural roads. Therefore, for urban roads, analyses and measures to prevent accidents are lacking. In this study, data on accidents on frozen roads was used to search for the causes behind these accidents and measures to reduce accidents have been recommended.

**METHODS :** In this study, collected data from the TAMS (Traffic Accident Management System), which were collected by the Seoul National Police Agency was used. The data were divided into vehicle, people, and condition of road. The analytical model used here was the Logistic Regression Model, which is frequently used for traffic safety and accident analysis. This study uses the odds ratio analysis to search for variables related to frozen road traffic accidents in each category. A total of 18 out of 47 variables were found to be the causes of accidents.

**RESULTS :** From the results of the comparative analysis of 18 variables, the category of the condition of the road was found to be the most critical. Contrary to expectations, more accidents occurred in clear weather than in other conditions. Accidents on bridges occurred frequently, and its odds ratio was the highest compared with other road types. When BPT is operated, the probability of accidents on frozen roads is lower than in general conditions, and accidents occurred frequently on roads with less than four lanes.

**CONCLUSIONS :** Based on the results of this study, suggestions for reducing the risk of future domestic road accidents in freezing conditions are indicated as follows. First, it is necessary to perform a technical review of the urban road traffic accidents caused by frozen roads. Second, it is necessary to establish criteria for the study of the road environment based on the major causes of road accidents on frozen roads. Third, improvements in urban road environmental factors should be made.

#### Keywords

*frozen road, traffic accident, traffic accident characteristics effect, logistic regression, odds ratio, urban streets*

Corresponding Author : Kim, Sangyoup, Associate Research Fellow  
Jeonbuk Development Institute,  
#1696, Kongji Patji-ro, Wansan-gu, Jeonju-si, Jeollabuk-do, Korea  
Tel : +82.63.280.7100 Fax : +82.63.286.9206  
E-mail : whiteallen@naver.com

International Journal of Highway Engineering  
http://www.ksre.or.kr/  
ISSN 1738-7159 (print)  
ISSN 2287-3678 (Online)

Received Mar. 11, 2014 Revised Mar. 11, 2014 Accepted Mar. 24, 2015

## 1. 서론

동절기의 도로는 낮은 기온으로 다른 계절에 비해 특수한 조건의 도로 노면이 형성된다. 동절기 도로 노면에 쌓인 눈은 기온변화에 따라 적설 또는 결빙노면을 형성하고 노면의 마찰계수 감소 및 통행속도 저하로 교통사고 또는 교통혼잡을 야기한다. 지난 3년(2008~2010년)간 발생한 겨울철 교통사고 중 결빙노면 사고의 비중은 연평균 60% 비율로 증가하고 있다. 그러나 동절기 교통사고 감소를 위한 대책은 미비하며 사망자를 동반한 동절기 대형사고가 지속적으로 발생하고 있어 겨울철 교통사고에 대한 사회적 관심은 증가하고 있다.

2004년 구축된 노면상태에 따른 교통사고 통계에 따르면, 결빙노면의 사고발생 비율은 0.9%인데 반해 치사율은 3.7%로 높게 나타나 결빙노면의 사고 위험성은 매우 높다(도로교통안전관리공단, 2004). 2004년 이후 노면상태에 따른 통계자료는 분석되지 않아 현 시점과 다소 차이가 있지만 사고특성만을 고려하면 결빙노면의 위험성은 여전히 높다 할 수 있다.

국내에서는 결빙노면의 높은 사고 위험성에도 자료와 정보를 기반으로 상습결빙구간을 선정하지 않고 현장 확인과 담당자의 경험에 의해 상습결빙구간을 선정하고 있다. 게다가 현행 결빙노면 사고의 대책은 이동성이 높은 고속도로와 지방부도로 위주로 수립되고 있어 도시부도로에 대한 연구 및 사고대책은 부족한 실정이다. 또한 결빙노면 사고의 대책으로 미끄럼 주위표지 설치와 제설함 운영 및 VMS를 통한 정보제공, 미끄럼 방지시설 설치, 염화물 자동분사시스템을 통한 개선대책을 수립하고 있으나 지방부도로에 한정되어 있다. 경찰청에서 제공하는 2009년~2013년 까지 5년간의 강설시 도로 종류에 따른 총연장 당 사고건수를 분석한 결과, 도시부도로(시·군도)와 고속도로의 사고건수가 각각 0.1건/km, 0.053건/km로 도시부도로(시·군도)의 사고빈도가 약 2배 더 높아 사고의 위험성이 높다는 것을 알 수 있다.

도시부 결빙노면 교통사고를 예방하고 위험성을 줄이기 위해서는 도시부의 결빙노면 관련 사고발생의 영향요소를 검토해야 할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 결빙노면 교통사고의 감소를 위해 도시부 결빙노면사고 자료를 수집하고 통계적 기법을 활용해 결빙노면사고 발생에 영향을 미치는 요소를 분석하는 것을 목표로 하였다.

## 2. 국내·외 결빙노면 관련 연구검토

### 2.1. 국내 결빙노면의 특성

동절기 노면이 결빙되는 주원인은 노면이 강우·적설로 인해 젖은 상태에서 노면 온도가 0℃ 이하로 떨어지는 것이다. 국내의 경우 노면 온도가 영하로 떨어지는 이유는 낮은 위도로 눈이 쉽게 녹기 때문이며, 주로 Fig. 1의 ①, ② 현상으로 결빙이 발생한다(한국건설기술연구원, 2006).

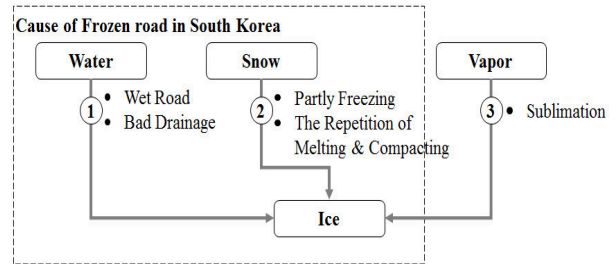


Fig. 1 Main Causes of Frozen Road in South Korea

노면결빙은 도로의 지형 특성으로도 발생한다. 우리나라의 경우 산악지형이 많아 평지보다 온도가 낮은 지형이 다수 존재한다. 또한, 터널 진·출입부와 교량 위와 같은 지역은 평지의 토공 노면에 비해 온도가 낮아 결빙 발생이 평지에 비해 자주 발생한다(김영철, 2003, 최병길, 2005, 한국건설기술연구원, 2006).

특정지형 또는 위치에서 발생한 결빙구간에 대한 연구는 결빙노면 발생구간을 예측하는데 근거로 활용할 수 있다. 그러나 이 연구들은 지방부 지역을 중심으로 수행되어 도로 특성이 다른 도시부도로에서도 동일한 연구결과를 적용하기에는 무리가 있다.

### 2.2. 결빙노면의 마찰계수 및 사고 연관성

강우나 적설과 같은 기상요소는 도로 노면의 마찰계수를 감소시키고 인체에 직·간접적으로 장애 및 조향능력 등에도 영향을 미치며 교통사고와 밀접한 관련이 있다(김두희, 1990, Andrey, 2003, 박준태, 2010, 최새로나, 2013).

기상조건에 따른 도로 노면상태별 마찰계수 값은 다르게 나타난다. 노면 마찰계수 값은 측정방법의 차이로 인해 조금씩 다르지만, 결빙노면은 평균적으로 0.2 이하의 수준을 보이며, 이는 Fig. 2와 같다(Öerg, 1981, Ruud, 1981, 한국건설기술연구원, 1997).

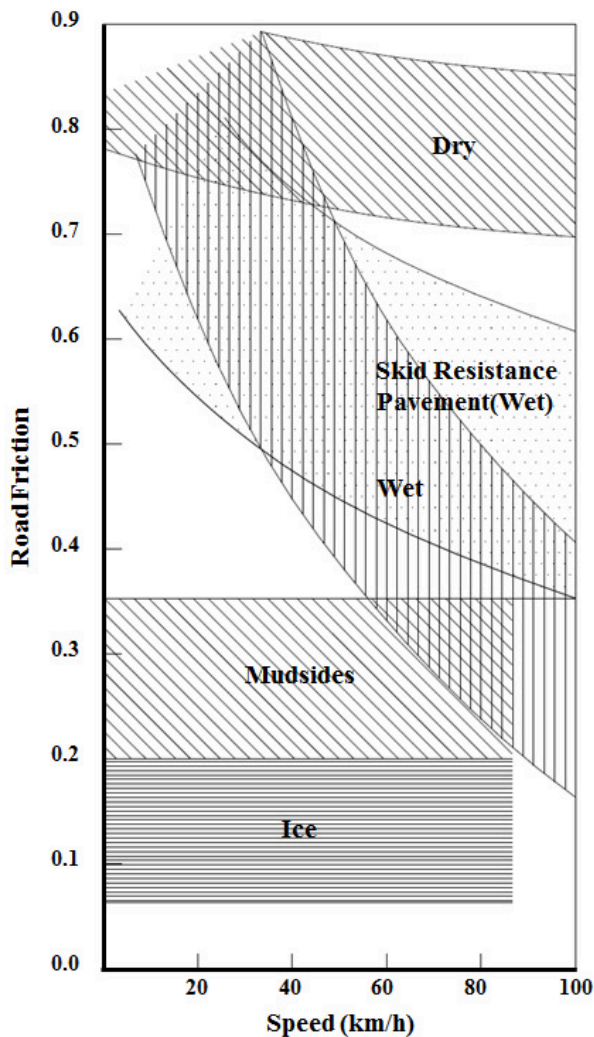


Fig. 2 Road Friction about Road Conditions and Vehicle Speed

마찰계수의 감소는 차량의 제동거리에 직접적인 영향을 미친다. 국내기준에 따르면 제동거리는 자동차의 브레이크 성능, 포장의 종류 및 노면상태 등 다양한 조건에 따라 달라질 수 있으며 타이어와 노면 간의 미끄럼 마찰력에 의한 정지거리를 다음과 같이 제시하고 있다 (국토교통부, 2012).

$$d = \frac{V^2}{254(f \pm s/100)} \quad (1)$$

여기서,  $d$  : 제동거리(m)

$V$  : 주행속도

$f$  : 타이어와 노면의 미끄럼마찰계수

$s$  : 종단경사(%)

국내기준에서 제시하는 정지시거는 습윤상태의 마찰계수를 고려하여 산정된다. 하지만 결빙노면은 습윤노면에 비해 마찰계수가 낮으므로 제동거리는 증가하게 된다. Table 1은 국내기준에서 제시하는 마찰계수 값을 이용해 노면상태별 제동거리를 비교한 것이다. 건조 및 습윤노면의 마찰계수는 국내기준에서 제시하는 값을 사용하였으며 적설 및 결빙노면의 마찰계수는 Fig. 2의 0.2를 일괄 적용하였다. 제동거리 비교결과, 모든 조건에서 속도가 증가할수록 제동거리는 급격하게 증가하며 건조 및 습윤상태와 적설 및 결빙상태의 제동거리 차이는 설계속도 120km/h에서 최대 371m를 나타냈다. 제동거리의 증가는 대규모 교통사고를 유발하고 인명사고의 가능성을 증가시킨다(Wallman, 2001, 이승우, 2006). 또한 도시부의 결빙노면의 경우 일반 건조노면에 비해서 교통사고 및 치명도가 각각 75%, 45% 정도 증가한다(Andrey 2003).

Table 1. Comparison of Stopping Distance about Surface Statements

Design speed (km/h)	Stopping distance (m)				Difference in stopping distance (Ice-Wet)
	Dry (f=0.54~0.65)	Wet (f=0.29~0.44)	Snow (f=0.3)	Ice (f=0.1)	
120	105	195	189	567	371
110	87	164	159	476	312
100	70	131	131	394	262
90	56	106	106	319	213
80	43	81	84	252	171
70	33	60	64	193	133
60	24	43	47	142	99
50	16	27	33	98	71
40	10	16	21	63	47
30	6	8	12	35	27
20	2	4	5	16	12

### 2.3. 결빙노면 상 운전자 운행특성

운전자는 주행 중 시각·청각 등 다양한 감각을 이용하지만 도로 선형·장애물 등을 파악하기 위해 시각을 많이 이용한다. 그러나 결빙노면은 종종 시각으로 노면상태를 구분하기 어려운 ‘블랙 아이스(Black Ice)’ 현상으로 혼란을 야기한다.

블랙 아이스 현상은 결빙노면이 일반도로 보다 조금 더 검게 보이는 현상으로 시각만으로 노면의 상태를 판단해야 하는 운전자의 의사결정이 잘못되면 사고로 이

어질 수도 있다(도로교통공단, 2012). 또한, 결빙노면은 건조노면에 비해 긴 제동거리가 필요하기 때문에 운전자의 주의가 필요하다. 하지만 운전자의 노면 주행행태는 강설상태에서의 속도가 가장 낮고 결빙, 건조 상태 순으로 주행속도가 높은 것으로 조사되었다(Öerg, 1991, Öerg, 1996).

그러나 선행 연구들은 제한속도가 90km/h 이상으로 통행속도가 높은 지역에서 수행된 연구로서 본 연구의 대상지역인 도시부 교차로와 같이 교통량이 많아 통행속도가 낮은 지역은 다른 결과가 도출될 수 있으므로 연구가 필요하다.

## 2.4. 소결

결빙노면의 특성 및 위험성에 관한 많은 연구가 진행되어 왔다. 하지만 주로 지방부에 위치한 고속도로, 일반국도 등 주행속도가 높은 도로를 대상으로 연구가 진행되어 왔다(Öerg, 1991, Öerg, 1996, 김영철, 2003, 최병길, 2005). 따라서 본 연구에서는 도시부를 중심으로 결빙노면사고에 영향을 미치는 요소를 분석하였다. 또한 도시부는 사고유형 및 속도특성, 인적특성(보행자, 운전자), 도로환경특성(BRT 유무, 차로수 등) 등이 지방부와 상이하므로 본 연구에서는 결빙노면사고 발생에 영향을 미치는 요인을 다각적으로 분석하고 다양한 요인들을 선정하였다.

## 3. 분석 방법

### 3.1. 데이터 개요

본 연구에서는 도시부 결빙노면사고 발생유무에 영향을 미치는 변수들을 선정하고 그 영향력을 산정하고자 한다. 따라서 공간적 범위는 서울시 전체 경찰서 관할지역에 따른 전체 도시부도로, 시간적 범위는 2010~2012년 동절기(1, 2, 12월)로 설정하였다. 교통사고 데이터를 1년으로 분리하여 분석할 경우 각 1년치 사고자료는 정치적, 사회적 성향이 반영될 가능성이 있으므로 본 연구에서는 데이터를 분리하지 않고 시간적 범위인 3년치 사고자료를 하나로 합쳐서 분석하였다. 데이터 수집은 경찰청에서 제공하는 TAMS(Traffic Accident Management System)를 통해 이루어졌고 총 20,581건/3년의 교통사고자료가 수집되었으며 결빙사고는 치사율에 비해 사고발생 빈도가 낮으므로 전체 사고발생 건수가 높은 서울시가 본 연구에 적합하다고 판단하였다. 그러나 사고원인 중 가장 중요한 요소인 교통

량은 서울시 도시부도로 전체를 대상으로 했기 때문에 전수조사가 불가능하여 수집이 불가능하였다.

수집된 자료는 종속변수와 독립변수로 구분하였으며 종속변수는 결빙노면사고 발생유무(결빙, 건조), 독립변수는 일반, 차량, 도로환경, 인적요인 총 4가지 특성으로 구분하였다. 일반특성은 연도별 사고발생에 따른 사고발생 시계열, 사고발생시간, 사고심각도 총 3개 항목(1~3) 11개의 변수로 구분되며 차량요인은 차종 및 사고유형 2개 항목(4~5) 7개의 변수로 구분되고 도로환경요인은 날씨 및 도로기하구조(종단, 평면), 도로의 유형 3개 항목(6~8) 15개의 변수로 구분된다. 마지막으로 인적요인은 운전자의 성별과 나이, 그리고 주행행태 총 3개 항목(12~14) 8개의 변수로 구분된다.

본 연구에서는 4가지 특성 중 기존 도로환경에 의한 결빙노면사고 발생 영향 외에 다른 도로 영향을 알아보기 위해 사고지점의 GPS 위치를 통해 도로 유형 3개 항목인 차로수 현황(9), BRT 운영(10), 중분대 유무(11) 6개의 변수를 추가적으로 조사하였다. 따라서 총 14개 항목 47개 변수로 자료를 구축하였으며 도로환경 요인은 6개 항목(6~11) 21개 변수로 구분되어 도로환경 요인에 의한 결빙노면사고 발생 영향을 세부적으로 분석할 수 있게 되었다.

Table 2. Classification of Accident Data

Classification	Independent variables	N
General	Time trend(1), Time of day(2), Severity(3)	11
Vehicle	Type of vehicle(4), Type of accident(5)	7
Road Environment	Weather condition(6), Alignment(7), Road features(8)	15
	Number of lanes(9), Location about BRT(10), Median(11)	6
Human	Driver gender(12), Age of Driver(13), Maneuver of driver(14)	8

### 3.2. 기초분석

결빙 또는 건조노면 사고와 관련한 변수들의 기초통계량은 Table 3과 같다. Time trend의 경우 평균 2.006으로 결빙 또는 건조노면사고는 점차 증가하는 추세를 보이고 있으며 주로 야간인 20시~익일 07시 사이에 많이 발생하는 것으로 보인다. 또한 해당 노면 사고는 치사율이 낮은 경상 사고가 많으며 단독 승용차와 차:차에 의한 사고의 평균이 각각 0.786, 0.707로 가장 많은 비중을 차지하고 있다.

도로환경측면에서는 맑은 날에 종단곡선과 평면곡선

Table 3. Descriptive Statistics of Variables

Classification	N	Explanatory variables	Variable description	Mean	Standard deviation	
General	1	Time trend	1 year increments(2010=1, 2011=2, 2012=3)	2.006	0.817	
			00:00 ~ 07:00=1, otherwise=0	0.251	0.434	
	7	Time of day	Peak of AM(07:00 ~ 09:00)=1, otherwise=0	0.070	0.256	
			09:00 ~ 12:00=1, otherwise=0	0.110	0.312	
			Launch(12:00 ~ 14:00)=1, otherwise=0	0.074	0.262	
			14:00 ~ 18:00=1, otherwise=0	0.166	0.372	
			Peak of PM(18:00 ~ 20:00)=1, otherwise=0	0.109	0.312	
			20:00 ~ 00:00=1, otherwise=0	0.220*	0.414	
	3	Severity	Fatal=1, otherwise=0	0.010	0.099	
			Serious=1, otherwise=0	0.340	0.474	
			Slight=1, otherwise=0	0.650*	0.477	
Vehicle	4	Type of vehicle	Car=1, otherwise=0	0.786	0.410	
			Bus=1, otherwise=0	0.063	0.242	
			Truck=1, otherwise=0	0.071	0.256	
			Motorcycle=1, otherwise=0	0.081*	0.273	
	3	Type of accident	Vehicle-Pedestrian=1, otherwise=0	0.259	0.438	
			Vehicle-Vehicle=1, otherwise=0	0.707	0.455	
			Vehicle alone=1, otherwise=0	0.033*	0.180	
Road environment	5	Weather condition	Serenity=1, otherwise=0	0.931	0.253	
			Cloudy=1, otherwise=0	0.054*	0.226	
			Rainy=1, otherwise=0	0.000*	0.020	
			Foggy=1, otherwise=0	0.000*	0.007	
			Snowy=1, otherwise=0	0.015*	0.120	
	5	Alignment	Vertical	Ascent=1, otherwise=0	0.061	0.239
				Descent=1, otherwise=0	0.081	0.272
			Horizontal	Flat=1, otherwise=0	0.859*	0.348
				Curve=1, otherwise=0	0.053	0.224
	5	Road features	Straight=1, otherwise=0	0.947*	0.224	
			Crosswalk & Near of crosswalk=1, otherwise=0	0.096	0.294	
			Tunnel=1, otherwise=0	0.002	0.047	
			Bridge=1, otherwise=0	0.015	0.120	
			Single route=1, otherwise=0	0.503	0.500	
	2	Location about BRT	Intersection & Near of intersection=1, otherwise=0	0.384*	0.486	
			BRT=1, otherwise=0	0.041	0.198	
	2	Number of lanes	The rest road=1, otherwise=0	0.959*	0.198	
			Lanes≤4=1, otherwise=0	0.518	0.500	
	2	Median	5≤Lanes=1, otherwise=0	0.482*	0.500	
			something=1, otherwise=0	0.123	0.328	
	Human	2	Driver gender	nothing=1, otherwise=0	0.877*	0.328
Male=1, otherwise=0				0.877	0.328	
3		Age of driver	Female=1, otherwise=0	0.123*	0.328	
			Age≤20=1, otherwise=0	0.033	0.180	
			21≤Age≤64=1, otherwise=0	0.904	0.295	
3		Maneuver of driver	65≤Age=1, otherwise=0	0.063*	0.242	
			Driving ahead=1, otherwise=0	0.375	0.484	
			Turning=1, otherwise=0	0.178	0.383	
			Maneuver etc=1, otherwise=0	0.446*	0.497	

\* Omitted variables during analysis(The total number is 17)

이 없는 직선구간에서 사고가 많이 발생하고 있다. 또한, 사고가 발생하는 위치는 주로 횡단보도가 없는 단일로나 교차로 부근이며, BRT(Bus Rapid Transit)가 운영되지 않는 일반 도로와 4차로 이하의 도로에서 해당 노면 사고가 많이 발생하고 있다.

인적요인에 해당하는 운전자의 성별·연령대에서는 남성이 0.877로 월등히 많고 21~64세에 해당하는 운전자가 대부분을 차지하고 있다. 행동유형 측면에서는 운전자가 직진하는 중이거나 또는 출발, 후진 등 기타 행동을 하는 중에 사고가 많이 발생하고 있다.

### 3.3. 통계분석

본 연구에서는 결빙노면사고 발생에 영향을 미치는 요인들을 분석하기 위하여 Logistic Regression Model을 사용하였다. 이항변수모형인 Logistic Regression Model은 교통사고 특성을 잘 나타낼 수 있어 교통안전분야에 다양하게 사용된다. 본 연구에서 사용된 변수들은 각 값들의 범위 간에 위계를 갖는 변수들이 아니며, 위계 없이 양분화 또는 다분화된 이항변수로 Logistic Regression Model이 적합하다고 판단하였다. Logistic Regression Model의 일반식은 Eq. (2)와 같다.

$$Y = \text{Logit}(p) = \ln(p/(1-p)) = \beta x \quad (2)$$

여기서,  $Y$  : 사고발생 여부(발생: 1, 미발생: 0)

$p$  : 결빙노면 사고가 발생할 확률

최종적으로 결정한 47개 독립변수를 하나의 모형으로 표현하는 것은 모형의 설명력을 과도하게 높일 가능성이 있다. 그러나, Richard Tay(2008)는 뺑소니 사고에 대한 기하구조, 환경, 차량, 운전자 특성을 한 번에 파악하기 위한 방법으로 Logistic Regression Model이 가장 적합한 기법으로 설명하고 있으며, 본 연구에서는 각 변수별로 대조군을 기준으로 이분화된 통계적 해석을 위해 이 방법론을 분석에 적용하였다.

## 4. 분석결과

본 연구에서 결빙노면사고 발생과 관련된 최종모형식은 Eq. (3)이고, 계수 및 OR 그리고 결빙노면 사고

건수는 Table 4와 같다. 수집된 표본은 모두 20,581건/3년이었으나, 표본 가공과정 중에 310건과 해당 변수 17개가 제외되었다. 따라서 본 연구에서는 최종적으로 총 20,271건/3년을 기준으로 odds ratio를 분석하였고 분석 신뢰수준은 95%로 30개 변수 중 18개의 변수가 유의한 것( $p \leq 0.05$ )으로 산정되었다. 모형의 우도비(Log likelihood)는 -3331.3, Chi square는 1234.46으로 검정통계량이 유의하다고 분석되었으며 총 사고건수 중 결빙노면사고는 10,163건/3년으로 수집된 표본의 약 50%의 사고가 결빙에 의해 발생한 것으로 분석되었다.

$$Y = \ln[p/(1-p)] = \alpha + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_{18} x_{18} \quad (3)$$

### 4.1. 일반 요인

일반 요인인 시계열, 시간대, 사고심각도 중 유의한 항목은 시간대와 사고심각도이다. 도시부 결빙노면사고는 20:00~00:00 시간보다 익일 00시~12시 사이에 사고가 집중적으로 발생했으며 일반 요인으로 발생한 1,298건/3년 중에 726건으로 분석되었다. 이는 새벽녘에 결빙이 발생하여 오전 출근시간대에 교통량이 증가하면서 사고가 발생하는 것으로 판단된다. 특히 오전 09시~12시 사이는 온도가 올라감에 따라 결빙노면이 해빙되어 사고발생확률이 낮을 것이라고 예상했지만, 실제 사고는 해당 시간대에 발생할 확률이 가장 높은 것으로 분석되었다. 또한, 도시부 결빙노면사고는 경상사고가 많았다. 그 이유는 본 연구의 분석대상은 서울시내 도시부도로이기 때문에 통행속도가 낮아 심각도가 떨어지는 것으로 판단되었다. 따라서 겨울철 결빙노면에 대한 운전자 교육에 분석결과를 활용하면 동절기 결빙노면사고 예방에 도움이 될 것으로 판단된다.

### 4.2. 차량 요인

차종 요인 중 유의한 변수는 승용차인 것으로 나타났다. 승용차(1,068건/3년)는 중차량(152건/3년)에 비해 결빙노면사고가 발생할 확률이 약 1.4배 더 높은 것으로 분석되었다. 이는 서울시내의 승용차가 중차량에 비해 사고발생확률이 2배 더 높기 때문으로 판단하였다.

사고유형은 차:사람(OR 0.331) 사고와 차:차(OR 0.457)의 사고 건수가 각각 254건/3년, 922건/3년으로 결빙노면사고는 주로 차량단독사고가 많이 발생하는 것을 볼 수 있다. 일반 통계분석에서 차량단독사고의 평

균은 0.033으로 비중이 낮았으나 분석결과, 실제 결빙 노면사고와 비례관계로 차:차 사고의 odds ratio가 높은 것을 볼 수 있다.

### 4.3. 도로환경 요인

도로환경 요인 중 유의한 항목은 날씨, 도로 종단·평면선형, 도로 특징, BRT 운영 유무, 차로수이다.

Table 4. Estimation Results

Variables			$\beta_i$		Odds ratio	p-value	# of accidents per 3 year		
General	(1)	Time trend(relative to first years of 2010) Every years after 2010		-	-0.066	0.936	0.104	-	
	(2)	Time of day (relative to 20:00 ~ 00:00)		00:00 ~ 07:00	$\beta_{11}$	0.342	1.408	0.001*	454
				07:00 ~ 09:00	$\beta_2$	0.362	1.436	0.011*	116
				09:00 ~ 12:00	$\beta_3$	0.407	1.502	0.001*	156
				12:00 ~ 14:00	-	-0.154	0.857	0.359	156
				14:00 ~ 18:00	-	-0.010	0.990	0.933	69
				18:00 ~ 20:00	-	-0.205	0.815	0.171	156
(3)	Severity(relative to slight)		Fatal	-	0.071	1.074	0.819	14	
			Serious	$\beta_4$	-0.160	0.852	0.036*	359	
Vehicle	(4)	Type of vehicle(relative to motorcycle)		Car	$\beta_5$	0.336	1.399	0.042*	1,068
				Bus	-	0.083	1.086	0.711	75
				Truck	-	-0.064	0.938	0.768	77
	(5)	Type of accident (relative to vehicle alone)		Vehicle-pedestrian	$\beta_6$	-1.106	0.331	0.000*	254
				Vehicle-vehicle	$\beta_7$	-0.783	0.457	0.000*	922
Road environment	(6)	Weather condition (relative to cloudy)		Serenity	$\beta_8$	-2.442	0.087	0.000*	662
	(7)	Alignment	Vertical (relative to flat)	Ascent	-	0.103	1.108	0.459	90
				Descent	$\beta_9$	0.565	1.760	0.000*	209
			Horizontal (relative to straight)	Curve	$\beta_{10}$	0.557	1.746	0.000*	142
	(8)	Road features (relative to intersection & near of intersection)		Crosswalk & near of crosswalk	-	-0.123	0.884	0.429	79
				Tunnel	-	-0.358	0.699	0.630	3
				Bridge	$\beta_{11}$	1.036	2.817	0.000*	57
				Single route	$\beta_{12}$	0.330	1.391	0.000*	769
	(9)	Location about BRT (relative to the rest road)		BRT	$\beta_{13}$	-0.406	0.666	0.046*	44
	(10)	Number of lanes (relative to 5≤lanes)		Lanes≤4	$\beta_{14}$	0.210	1.234	0.004*	712
(11)	Median(relative to nothing)		Something	-	0.054	1.055	0.601	196	
Human	(12)	Driver gender(relative to female)		Male	$\beta_{15}$	0.273	1.314	0.025*	1,177
	(13)	Age of Driver (relative to 65≤age)		Age≤20	$\beta_{16}$	-1.112	0.329	0.001*	17
				21≤Age≤64	-	-0.122	0.885	0.372	1,199
	(14)	Maneuver of driver (relative to maneuver etc)		Driving ahead=1, otherwise=0	$\beta_{17}$	0.856	2.354	0.000*	760
Turning=1, otherwise=0				$\beta_{18}$	0.262	1.299	0.020*	171	
						sum	10,163		

Number of observation=20,271; Log likelihood =-3331.301; Chi-square=1234.46, p-value<0.0001

\* p-value is statistical significant at the 0.05 level

우선 날씨 항목 중 비, 안개, 눈 변수는 결빙노면에서 모델의 제약으로 인해 제외되었다. 그 이유는 비 또는 눈이 온 경우와 안개 시 발생한 사고 모두 결빙노면사고로 기록되어 결빙노면에 끼치는 영향을 알 수 없으므로 모델에서 제외되었다. odds ratio는 맑음 변수에 대한 값만 도출되었고 맑은 날씨는 흐린 날씨에 비해 결빙노면사고와의 연관성이 적은 것으로 분석되었으나, 사고건수는 맑음이 662건/3년, 흐림이 326건/3년으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 결빙노면사고의 발생과 사고당시 날씨 사이의 관계는 분석하기 어려운 것으로 판단하였다.

다음으로 종단선형(OR 1.760)은 내리막 변수만 유의하였으며, 평면에 비해 결빙노면사고가 발생할 확률이 높은 것으로 분석되었다. 사고건수도 내리막과 오르막이 각각 209건/3년, 90건/3년으로 더 높게 나타났는데, 이는 도로가 내리막일 경우 평탄한 도로 선형에 비해 정지시거가 길어지기 때문이다(박준태 2010, 최새로나 2013). 평면선형은 커브(OR 1.746)가 직선에 비해 결빙노면사고가 발생할 확률이 크며, 곡선주행 시 노면의 결빙으로 인해 횡방향 마찰계수가 감소하기 때문인 것으로 판단된다.

도로 특징 항목에서는 교차로 및 부근 보다 교량 위(OR 2.817)와 기타 단일로(OR 1.391) 변수가 유의하여 결빙노면사고가 발생할 확률이 컸다. 또한, 일반 통계분석에서 교량 위는 평균 값이 0.015로 가장 적었으나 결빙노면 사고의 odds ratio가 가장 커 사고가 발생할 확률이 큰 것으로 볼 수 있다. 이는 교량 구간이 일반 토공 구간에 비해 온도가 낮아 결빙이 발생할 확률이 높기 때문이다(김영철 2003). 마지막으로 BRT 운영 도로(OR 0.666)는 일반 도로에 비해 결빙노면사고가 발생할 확률이 적으며, 4차로 이하의 도로(OR 1.234)는 5차로 이상의 도로에 비해 사고가 발생할 확률이 큰 것으로 분석되었다. 사고건수 또한 BRT 운영 도로는 44건/3년, 4차로 이하 도로는 712건/3년으로 나타났다.

#### 4.4. 인적 요인

인적 요인은 총 4개 변수가 유의한 것으로 나타났다. 운전자 성별은 남성(OR 1.314)이 여성에 비해 결빙노면 사고가 발생할 확률이 더 크다. 이는 남성의 사회적 활동량과 운전량이 여성에 비해 많아 사고에 노출될 가능성이 큰 것으로 판단된다. 운전자 연령은 20세 이하인 연령대(OR 0.329)만 유의한 것으로 분석되었다. 운전자 행동유형은 출발 중·후진 중 등이 포함된 기타 행

동에 비해 직진 중(OR 2.354), 회전 중(OR 1.299)일 경우 결빙노면사고에 더 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

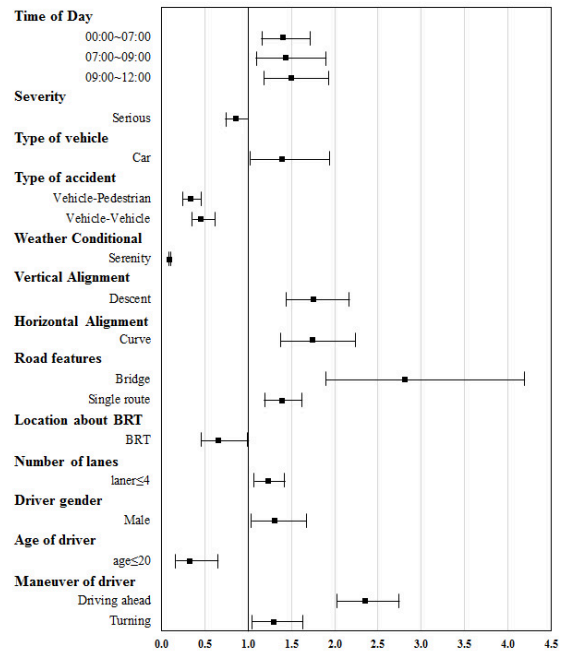


Fig. 3 The Odds Ratios for Each Independent Variable

## 5. 결론

본 연구는 결빙노면에서 발생하는 교통사고 자료의 통계분석을 통해 사고요인과 사고발생과의 영향력을 산정하였다. 본 연구의 방법론은 기존의 명확한 기준 없이 상습결빙구간을 선정하고 교통안전관리를 시행했던 과거의 방법론에 사고와 관련된 요인 및 영향력의 척도를 제공하여 향후 도시부도로 결빙구간의 기준과 선정방법론을 개발하는데 기여할 것으로 기대된다.

본 연구에서 수행한 도시부도로의 노면결빙사고와 관련된 중요한 요인에 대한 분석결과는 다음과 같다.

우선 일반 요인에서는 주로 새벽 혹은 출근시간에 위험도가 가장 높고 인적요인에서 여성보다 남성에게 의한 결빙노면사고 발생확률이 높으며, 차량 요인에서는 주로 승용차에 의한 사고와 차량 단독사고가 위험한 것으로 나타났다. 도로환경 요인에서는 종단경사가 존재하는 구간, 왕복 4차로 이하의 폭이 좁은 도로, 교량, 단일로에서 위험성이 높은 것으로 분석되었다.

연구결과를 기반으로 향후 국내 노면결빙사고의 위험성을 감소시키기 위한 결론은 다음과 같다.

우선 결빙노면 교통사고의 주요 요인의 기술적 검토



를 통해 사고위험구간을 선별하기 위한 절차 및 기준을 정립해야 한다. 다음으로 정립된 시스템 안에서 우선적으로 검토해야 할 요소는 도로환경적 요소가 되어야 한다. 도로환경적 요소는 연구결과에서 가장 유의한 영향력을 가지는 세부요소가 많았고 영향력 또한 다른 항목에 비해 크게 나타났기 때문이다. 따라서 미끄럼방지포장, 그루빙과 같은 배수를 통한 결빙방지 및 겨울철 곡선부, 경사로, 단일로에서의 승용차 제한속도 감소 등을 통해 우선적으로 개별시설을 제공할 필요가 있다. 마지막으로 시스템 및 캠페인을 통해 지속적으로 노면결빙 사고에 대한 위험 및 인적 대처방법에 대한 정보를 지속적으로 제공해야 한다. VMS 및 공익방송을 통한 캠페인은 운전자에게 직접적인 정보제공을 통해 인적 요인으로 인한 사고를 일차적으로 감소시키는데 기여할 것으로 기대된다.

#### 감사의 글

이 논문은 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업입니다 (No.2012R1A1A2005256). 연구지원에 감사드립니다.

## BIBLIOGRAPHY

- Andrey, J., Mills, B., Leahy, M., Suggett, J. 2003. Weather as a Chronic Hazard for Road transportation in Canadian Cities, *Natural Hazards*, Vol. 28, Issue 2-3, pp. 319-343
- Choi, B.G., and Kim, J.S. 2005. Extraction of Road Surface Freezing Section using GIS, *Journal of the Korean society for geo-spatial information system*, Vol. 13, No. 4, pp. 19-25.
- Choi, S.R.N., Kim, M.J., Oh, C., and Lee, K.Y. 2013. Effects of Weather and Traffic Conditions on Truck Accident Severity on Freeways, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 33, No. 3, pp. 1105-1113.
- Kang, H.G. 2012. Ambush of Traffic Accidents in Winter, 'Dangerous of Black Ice Road', *The Signals, The Road Traffic Authority*, pp. 10-11.
- KICT 1997. The Slip Road Off-Road, Runway, and The Top Surface, *The Report of Road Traffic Safety Technology*, Korea Institute of Science and Technology, South Korea.
- KICT 2006. Development of Safety Management Technology in Winter Bridge Sections, 'The Final Reports of Construction Core Technology Research', Korea Institute of Science and Technology, South Korea.
- Kim, D.H., and Lee, J.M. 1990. Frequency and Pattern of Traffic Accidents in Different Atmospheric Phenomena, *The Journal of Preventive Medicine*, Vol. 23, 98-105.
- Kim, Y.C., On, H.S., Lee, J.G., Kim, B.H., and Choo, E.S. 2003. A Study on the Relation of Road Topography Character and Road Surface Temperature using Thermal mapping, 2003 KSCE Conference.
- KNPA 2013. Traffic Accidents Management system(TAMS), Korea National Police Agency, South Korea.
- KoRoad 2004. Statistic Analysis of Traffic Accidents 2004, The Road Traffic Authority, South Korea.
- Lee, S.W., and Woo, C.W. 2006. A Study of Skid Resistance Characteristics by Deicing Chemicals, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 26, No. 5D, pp. 813-819.
- Park, J.T., Hong, J.Y., and Lee, S.B. 2010. Development of Traffic Accident Safety Index under Different Weather Conditions, *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol. 28, No. 1, pp. 157-163.
- Tay R., Rifaat, S.M., and Chin, H.C. 2008. A Logistic Model of the Effects of Roadway, Environmental, Vehicle, Crash and Driver Characteristics on Hit-and-run Crashes, *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 40, pp. 1330-1336.
- Ruud, H.K., 1981. Kjørefart på saltede og usaltede veger : målinger i Akershus og Vestfold 1980 og 1981, TØI, Transportøkonomisk institut.
- Öberg, G.D. 1981. Friktion och reshastighet på vägar med olika vinterväghållning, VTI rapport 218, Statens väg- och trafikinstitut.
- Öberg, G.D., Gregersen., and Nills, P. 1991. MINSALT : försök med osaltad väg i Västerbottens län, VTI meddelande 636, Statens väg- och trafikinstitut.
- Öberg, G.D. 1996. osaltad vinterväghållning och sänkt hastighetsgräns vintern 1994/95 och 1995/96 på e4 i region norr. effekt på väglag och hastighet, VTI notat 65, Statens väg- och transportforskningsinstitut.
- Wallman, C.G., Wretling, P., and Öberg, G.D. 1997. Effects of Winter Road Maintenance, VTI rapport 423A, Swedish National Road and Transport Research Institute.
- Wallman, C.G., and Åström, H. 2001. Friction Measurement Methods and the Correlation between Road Friction and Traffic Safety - A literature review, VTI meddelande 911A, Swedish National Road and Transport Research Institute.