

## 겨울철 저온이 교통사고 발생에 미치는 영향에 관한 시계열적 연구

최연우<sup>1</sup> · 윤동근<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>연세대학교 도시공학과 석박사통합과정

<sup>2</sup>연세대학교 도시공학과 교수

(2020년 11월 27일 접수, 2020년 12월 31일 최종 수정, 2020년 12월 31일 게재 확정)

## A Time-series Study on the Impacts of Low Temperature on Traffic Accidents in Winter

Yeon-Woo Choi<sup>1</sup> · Dong Keun Yoon<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Integrated Ph.D student, Department of Urban Planning and Engineering, Yonsei University

<sup>2</sup>Professor, Department of Urban Planning and Engineering, Yonsei University

(Received 27 November 2020, Revised 31 December 2020, Accepted 31 December 2020)

**Abstract** : Extreme low temperature has various effects on society. It has negative impacts on health, industry, agriculture, and transportation during winter season. Therefore, extreme low temperature is recognized as main factor that causing traffic accidents. This study analyzed the relationship between low temperature and traffic accidents from 2012 to 2018. This study also compared the differences in vulnerability to low temperature between urban and rural areas. Generalized Additive Model (GAM) and Poisson regression model are used to estimate the thresholds and the level of traffic accidents. The results show that the thresholds tend to be decreased gradually, but the level of traffic accidents are more likely to increase in both urban and rural areas. Comparatively, rural areas are more vulnerable to traffic accident caused by drop in temperature than urban areas.

**Key Words** : low temperature, traffic accident, Generalized Additive Model, winter

**주요어** : 저온, 교통사고, 일반화가법모형, 겨울

---

\*Correspondence: [dkyoon@yonsei.ac.kr](mailto:dkyoon@yonsei.ac.kr)

© KU Climate Research Institute

## 1. 서론

우리나라에서는 계절별로 극한 기상현상이 지속적으로 발생하고 있으며, 여름철에 발생하는 폭염, 홍수, 겨울철에 발생하는 한파 등이 대표적이다. 특히, 겨울철에 발생하는 한파는 기온이 큰 폭으로 떨어지는 이상저온 현상을 동반하여 발생하고 있다. 이와 관련하여, 2018년에는 1~2월 기준 전국 평균 기온이 약  $-4.8^{\circ}\text{C}$ 로 평년값( $-0.5^{\circ}\text{C}$ )보다 약  $4.3^{\circ}\text{C}$  가량 낮게 관측되어 1973년 이후 두 번째로 낮은 기온이 기록되기도 하였다(MOIS, 2018).

지구온난화 현상이 심화되어 전 지구적으로 기온이 오르는 추세에 있지만, 그와 동시에 겨울철 이상기후로 인한 위험도 높아지고 있다. 그 중, 겨울철에 발생하는 이상저온 현상은 사회의 각 부문에 심각한 직·간접적인 영향을 미칠 수 있다(Jeon and Cho, 2015). 겨울철 이상저온 현상은 농축수산업, 보건, 전력 등의 부문에서 직·간접적인 피해를 발생시킬 수 있으며, 교통부문에서는 교통사고, 도로시설물 균열 등의 영향을 발생시켜 인명피해를 초래할 수 있다. 이상저온 현상으로 인한 도로결빙은 겨울철 교통사고 발생을 촉진하는데, 최근 3년 동안(2016~2018년) 전체 교통사고 발생 건수는 약 0.9% 감소한 반면 겨울철 도로결빙으로 인한 교통사고는 약 9.1% 증가한 것으로 분석되었다(KOROAD, 2020). 겨울철 이상저온에 따른 도로결빙은 운전자가 도로의 노면상태를 인지하지 못한 상태에서 교통사고를 발생시켜 심각한 인명피해를 유발할 수 있는 위험요인으로 인식되고 있다. 특히, 살얼음 현상은 도로가 결빙되어 있음에도 불구하고 운전자가 보기에는 도로가 젖어 있는 것으로만 보이기 때문에 대비하지 못한 상태에서 교통사고를 발생시킬 수 있는 중대한 위험요인으로 인식되고 있다(Park *et al.*, 2017).

겨울철 교통사고 발생에 영향을 미칠 수 있는 요인에 대하여 도로결빙을 유발할 수 있는 기온, 강수량, 적설량, 강풍 등의 기상요인이 주요한 요인으로 분석되고 있으며(Shankar *et al.*, 1995; Lee *et al.*, 2000; Andersson and Champman, 2011; Kwon *et al.*, 2013; Kim *et al.*, 2015), 운전자의 연령, 건강 등의 인적 요인도 영향을 미칠 수 있는 것으로 분석되었다(Jeong, 2007). Shankar *et al.*(1995)의 연구에서는 특정한 도로노선을 대상으로 기상요인 및 도로형태가 교통사고 발생에 미치는 영향에 대하여 도로노선 내에 커브구간이 많고 강수량 및 적설량이 많을수록 교통사고 발생이 증가하는 경향이 있음을 분석하였다. Anderson and Champman (2011)의 연구에서도 겨울철 도로의 노면 상태에 따라 교통사고 발생 양상이 달라질 수 있으며, 저온, 적설, 강우 등의 기후현상으로 인해 노면 상태가 미끄럽고 물기가 형성되어 있을 경우에는 교통사고 발생이 증가할 수 있음을 분석하였다. Lee *et al.*(2000)의 연구에서는 겨울철 교통사고 위험을 가중시킬 수 있는 요인으로서 겨울철 기온하강, 강수량 및 강수일수 증가, 강설량 및 강설 일수 증가, 안개일수 증가 등을 제시하였고, 노면의 마찰력을 감소시킬 수 있는 기상요인이 교통사고 발생을 유발할 수 있는 주요한 요인임을 분석하였다. 교통사고 발생을 유발하는 영향요인 분석에 관한 연구 이외에도 교통사고 위험이 증가하기 시작하는 임계점(Threshold)을 분석한 연구도 수행되었는데, Leviäkangas *et al.*(2011)의 연구는 유럽권 국가들을 대상으로 교통사고 발생이 증가하기 시작하는 기상요인의 임계지점을 분석하였다. 기상요인 중에서도 기온이 낮아지고, 적설량이 많아지고, 풍속이 높아질수록 교통사고 발생이 증가함을 분석하였다. 특히, 기온의 경우에는  $0^{\circ}\text{C}$ 에 교통사고 위험이 증가하기 시작하여  $-7^{\circ}\text{C}$ 를 기점으로 교통정체, 사고 발생 등이 간접적 위험발생이 증가하기 시작하고,

-20℃를 기점으로 교통수단의 기계적 결함이 발생하는 등의 직접적 위험발생이 증가하는 것으로 분석한 바가 있다(Leviäkangas *et al.*, 2011). 그 밖에도 도로결빙으로 인한 도로시설물의 성능저하, 도로균열 등의 시설물 피해를 분석함으로써 겨울철 기상요인이 교통부문에 미치는 영향을 분석하기도 하였다(Hanbali and Kuemmel, 1993; Qiu and Nixon, 2009; Lee, 2013).

겨울철 기후현상과 교통사고 발생 간의 관계를 분석한 연구가 많이 수행되었지만 교통사고에 영향을 미칠 수 있는 요인을 분석한 연구만이 수행된 것으로 나타났다. 본 연구에서는 겨울철 저온과 교통사고 간의 관계를 시간대별로 분석하였다. 또한, 교통사고 발생이 증가하기 시작하는 임계온도를 분석하고 임계온도에서의 기온 하락에 따른 교통사고 증가수준을 정량화하여 도시지역과 비도시지역 간의 비교분석을 수행하고, 시계열적인 변화를 분석하였다.

## 2. 연구자료 및 방법

### 1) 연구자료

본 연구는 시군별 교통사고 데이터, 기상데이터, 차량등록대수, 인구수 데이터를 활용하였다. 교통사고 데이터의 경우 도로교통공단에서 제공하는 도로교통사고 통합DB 중에서 2012년부터 2018년을 대상으로 한과경보를 발령하는 10월부터 4월에 발생한 ‘차량단독 교통사고’ 데이터만을 활용하였다. 또한, 하루 중 08~20시에 발생한 교통사고 데이터만을 활용하였는데, 본 연구에서 활용하는 변수를 제외한 다른 변수가 교통사고 발생에 영향을 미치는 것을 최대한 통제하기 위함이며 Choi *et al.* (2019)의 연구에서도 교통사고 분석 시, 음주운전, 취객 등의 요인들이 교통사고 발생에 영향을 미치

는 것을 통제하기 위하여 위와 같이 시간대를 통제 한 바가 있다. 기상데이터의 경우 일 최저기온, 일 누적강우량, 일 평균 상대습도, 일 평균 풍속 데이터를 활용하였으며, 한국 외국어대학교의 RCAE (2019)에서 생산한 1km 격자형 데이터를 활용하여 시군구별 값을 생산하였다. RCAE(2019)는 5km 공간해상도의 동네 기상예보 자료를 수집한 이후에 지형고도, 사면방향 등의 지형변수와 건축물 밀도, 식생 면적 등의 지표면 변수를 활용하여 Random Forest(RF) 방법을 사용하여 1km 격자 단위의 공간해상도를 지니는 기상자료를 생산하였다. 시군별 차량등록대수 및 인구수 데이터는 국가통계포털(KOSIS)에서 제공하는 통계데이터를 활용하였다.

### 2) 일반화가법모형(Generalized Additive Model, GAM)

본 연구는 겨울철 기온과 교통사고 발생 간의 관계를 분석하기 위하여 일반화가법모형을 활용하였다. 일반화가법모형은 비선형 교란변수의 영향을 비모수적 함수를 활용하여 비선형적으로 분석할 수 있기 때문에 시계열 연구에서 활발하게 활용되고 있다(Kim *et al.*, 2011; Li *et al.*, 2012; Choi *et al.*, 2019). 본 연구는 일반화가법모형을 활용하여 도시지역과 비도시지역을 대상으로 일 최저기온과 교통사고의 관계를 분석하여 교통사고 발생이 증가하기 시작하는 임계온도를 분석하였다. 또한, 연도별 및 시간대별로 일 최저기온의 임계점과 기온변화에 따른 교통사고 발생 증가수준을 비교분석하였다. 추가적으로 전국 시군 지역 중, ‘시’ 지역은 도시지역으로, ‘군’ 지역은 비도시지역으로 정의하여 지역을 구분하였다.

$$\begin{aligned} \ln(E(Y)) = & \beta_0 + s(Tmin) + s(Wsd) + s(Rh) + s(Rn) \\ & + s(sn, k=2*7) + s(Doy) + Offset(C) \\ & + Offset(P) + f(H) \end{aligned}$$

$E(Y)$ 는 일 교통사고 발생 건수를 의미하며  $s(Tmin)$ 은 평활화된 일 최저기온,  $s(Wsd)$ 는 평활화된 일 평균풍속,  $s(Rh)$ 는 평활화된 일 평균 상대습도,  $s(Rn)$ 은 평활화된 일 누적 강우량을 의미한다.  $s(sn)$ 은 평활화된 일자별 일련번호를 의미한다. 분석 데이터의 시간적 범위(2012.10 - 2018.04) 내에서 2012년 10월 1일에 “1”을 부여하고 2012년 10월 2일은 “2”, 3일은 “3”을 부여하는 방식으로 각 일자별 일련번호를 구성하였고, 이는 시간의 흐름에 따른 교통사고 변화추세를 고려하기 위하여 활용하였다.  $s(Doy)$ 는 평활화된 Julian Day로 일별 Julian Day 정보를 적용하였고, 겨울철 시기 변화에 따른 교통사고 변화를 보정하기 위하여 활용하였다.  $f(H)$ 는 요일구분을 의미하고 휴일에는 “0”을, 평일에는 “1”을 적용한 터미변수를 구성하여 활용하였다.  $Offset(C)$ 는 시군별 차량등록대수를 의미하고,  $Offset(P)$ 는 시군별 인구수를 의미한다. 강우량의 경우 겨울철 교통사고 발생에 영향을 미칠 수 있는 주요한 요인으로 분석된 바가 있으며(Shankar *et al.*, 1995), 습도 역시, 겨울철 도로결빙을 유발하여 교통사고 위험성을 증가시킬 수 있는 요인으로 제시된 바가 있다(Kim *et al.*, 2015). 풍속 역시, 겨울철 교통사고뿐만 아니라 교통부문의 다양한 영역에 악영향을 미칠 수 있는 요인으로 제시된 바가 있다(Leviäkangas *et al.*, 2011), 일 최저기온 외에 해당 기상요인을 고려한 통계모형을 구축하였다. 구축한 통계모형에 기반하여 GAM 분석은 R 프로그램의 mgcv package를 활용하였고, 임계온도에서의 기온 하강에 따른 교통사고 발생의 증가수준을 정량화하기 위하여 포아송 회귀분석모형(Poisson Regression Model)을 활용하였다.

### 3. 연구결과

#### 1) 교통사고 기초통계 분석

지난 7년(2012~2018년) 동안 겨울철에는 일평균 약 1,868건의 교통사고가 발생하였고 일평균 교통사고는 2012~2013년 겨울철에 2,189건에서 2017~2018년에 2,327건으로 약 6.30%가 증가하였다(Figure 1a). 하루 중, 18~20시에 가장 많은 교통사고가 발생하였고 12~18시, 08~12시 순으로 교통사고 발생량이 높게 분석되었으나 상대적으로 통행량이 적은 00시부터 06시에는 교통사고 발생량이 가장 낮아(Figure 1c), 겨울철 교통사고가 주로 발생하는 시간대는 08~20시인 것으로 분석되었다. 본 연구는 교통사고가 많이 발생하는 08시부터 20시를 대상으로 분석하였고 시간대를 출근시간(08~12시), 오후시간(12~18시), 퇴근시간(18~20시)로 구분하였다. 교통사고 평균 발생건수를 월별로 비교분석한 결과, 11월부터 1월에 가장 많은 교통사고가 발생하였고 3월과 4월로 갈수록 교통사고 발생량이 감소하는 것으로 분석되었다(Figure 1e). 또한 평일과 휴일 중에는 평일에 평균 교통사고 발생량이 더 높았고(Figure 1b) 비도시지역보다는 도시지역에서 더 많은 교통사고가 발생한 것으로 분석되었다(Figure 1d).

기초통계 분석결과를 바탕으로 본 연구의 GAM 모형 내에서 일자별 일련번호( $s(sn)$ ), 요일구분( $f(H)$ ), 줄리안 데이( $s(Doy)$ )를 통제변수로 활용할 필요가 있으며, 추가적으로 시군별 차량등록대수( $Offset(C)$ )와 인구수( $Offset(P)$ )도 통제변수로 활용할 필요가 있음을 확인할 수 있다.

#### 2) 일 최저기온과 교통사고 간의 관계 분석

일반화가법모형을 활용하여 겨울철 일 최저기온과 교통사고의 관계를 분석한 결과, 일 최저기온이 낮아짐에 따라 교통사고 발생이 증가하는 음의 관

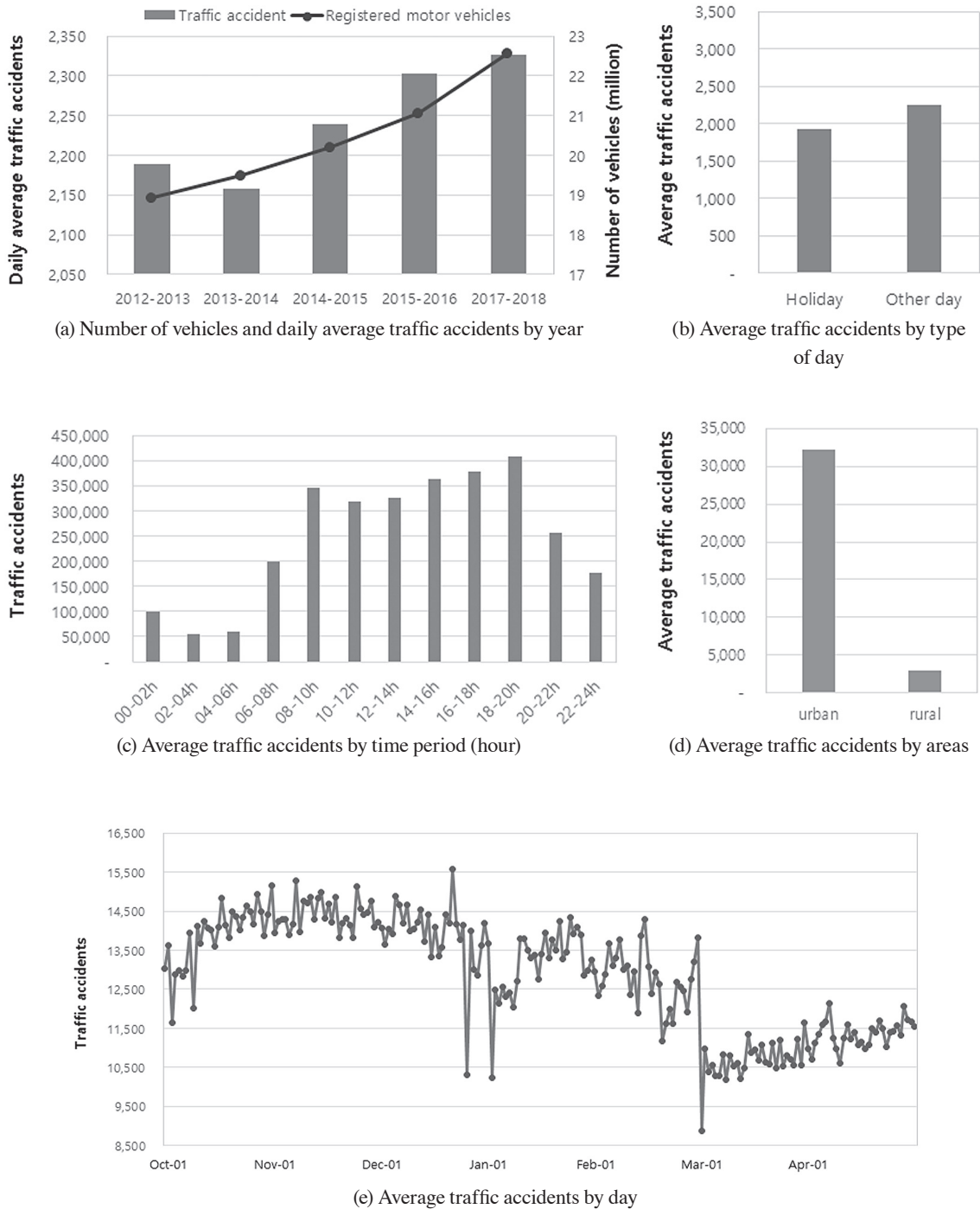


Figure 1. Number of traffic accidents in winter (October-April) during 2012-2018.

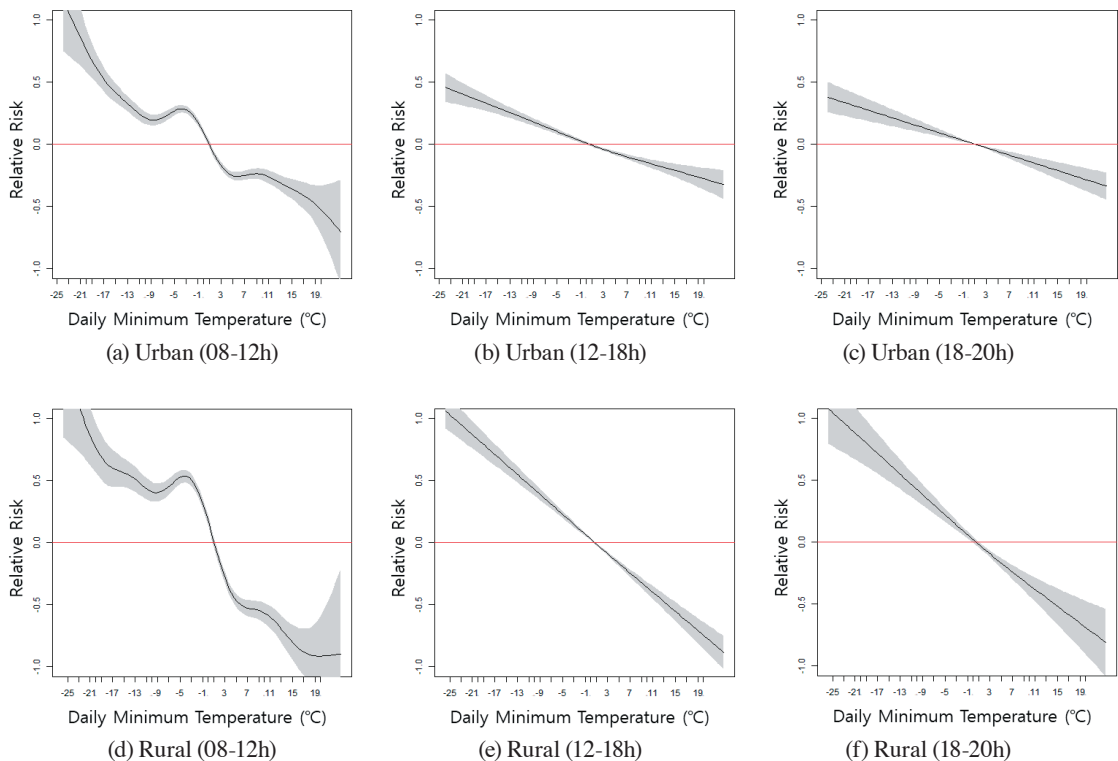
계가 존재하는 것으로 분석되었다. 일반화방법 모형의 분석결과에서 y축은 상대적 리스크(Relative Risk)를 의미하고, x축은 일 최저기온을 의미한다(Figure 2). 상대적 리스크가 0 이상이 되는 일 최저기온 값을 교통사고 발생이 증가하기 시작하는 임계온도로 인식할 수 있다. 또한, 임계온도를 기준으로 그 이하로 기온이 낮아질수록 교통사고 발생이 증가하는 통계적으로 유의한 관계가 존재하는 것으로 해석할 수 있다.

도시지역에서는 출근시간대(a) 및 퇴근시간대(c)에서 약 1℃, 오후시간대(b)에서는 약 0.5℃에서 임계온도가 분석되어 시간대별 임계온도 간의 차이가 크지는 않으나 출근시간대 및 퇴근시간대가 약간 더 높은 것으로 분석되었다. 비도시지역에서는 출근시간대(d) 및 오후시간대(e)에서 약 1℃, 퇴근시

간대(f)에서는 약 0℃에서 임계온도가 분석되어, 도시지역과는 달리 오후시간대의 임계온도가 퇴근시간대보다 높은 것으로 분석되었다(Figure 2).

시간대별로 도시지역과 비도시지역을 비교분석한 결과, 오후시간대에는 비도시지역이, 퇴근시간대에는 도시지역에서 임계온도가 더 높은 것으로 분석되었고 출근시간대에서는 임계온도가 동일한 것으로 분석되었다. 시간대별로 지역 간 임계온도 차이가 존재하지만 도시지역 및 비도시지역에서 공통적으로 임계온도를 기점으로 기온이 낮아짐에 따라 교통사고 발생이 증가하는 경향이 존재하며(Figure 2), 지역 및 시간대 구분 없이 겨울철 기온 하강으로 인하여 교통사고 발생이 증가하는 것으로 분석되었다.

최근 7년(2012~2018년) 동안 각 연도별, 시간대



**Figure 2.** The results of GAM by time period in urban and rural areas (2012-2018) (Association between daily minimum temperature and traffic accident).



**Table 1.** Threshold of traffic accident increase by area, time period, and year during 2012-2018.

Area	Time period	Year					
		2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018
Urban	08-12h	0.0	0.5	1.0	1.0	-0.5	-0.5
	12-18h	-2.0	1.0	-2.0	2.0	1.5	-5.0
	18-20h	-*	-*	1.0	2.0	-*	0.0
Rural	08-12h	1.0	0.5	2.0	1.0	0.0	-2.0
	12-18h	-1.0	-5.0	1.0	2.0	1.0	-2.0
	18-20h	-1.0	-*	1.0	2.0	1.0	-6.0

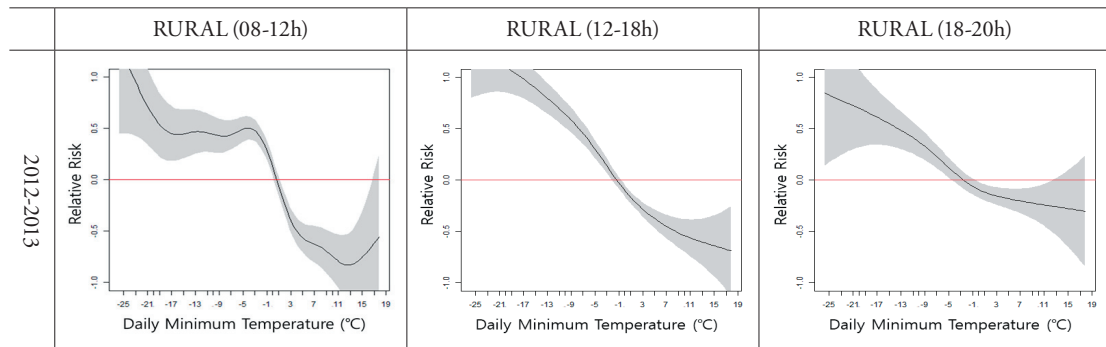
\*: Not significant

별 임계온도를 분석한 결과, 일부 시간대를 제외한 대부분의 시간대에서 일 최저기온이 낮아짐에 따라 교통사고 발생이 증가하는 것으로 분석되었다(Figure 3-4). 공통적으로 2015~2016년을 기점으로 도시지역과 비도시지역의 모든 시간대에서 임계온도가 낮아진 것으로 분석되었다(Table 1). 특히, 2017~2018년에는 임계온도가 급격하게 낮아졌으며 2015~2016년 대비 비도시지역의 퇴근시간대에서는 약 8℃가 낮아졌고, 도시지역의 오후시간대에서는 약 7℃가 낮아진 것으로 분석되었다(Table 1). 반면, 도시지역의 퇴근시간대에서는 약 1℃로 가장 적게 임계온도가 낮아진 것으로 분석되었다.

동일한 연도 및 시간대를 대상으로 도시지역과 비도시지역 간의 임계온도를 비교분석한 결과, 전

반적으로 비도시지역의 임계온도가 도시지역에 비하여 높았지만, 2017~2018년의 경우에는 도시지역에서 출근시간 및 퇴근시간대의 임계온도가 비도시지역에 비하여 더 높은 것으로 분석되었다.

겨울철 도시지역과 비도시지역의 일 최저기온의 변화와 임계온도의 시계열적 변화를 분석한 결과, 교통사고 발생이 급증하는 임계온도와 일 최저기온 간의 시계열적 변화의 추세가 유사한 경향을 보였다(Figure 5). 특히, 2015~2016년을 기점으로 일 최저기온이 낮아짐에 따라 임계온도 역시, 낮아진 것으로 분석되었다. 또한, 2015~2016년을 기준으로 2017~2018년에 도시지역 및 비도시지역의 평균 일 최저기온이 각각 1.38℃, 1.39℃로 거의 유사하게 하강하였음에도 불구하고, 비도시지역의 퇴

**Figure 3.** The results of GAM by time period in rural areas during 2012-2018 (Association between daily minimum temperature and traffic accident).

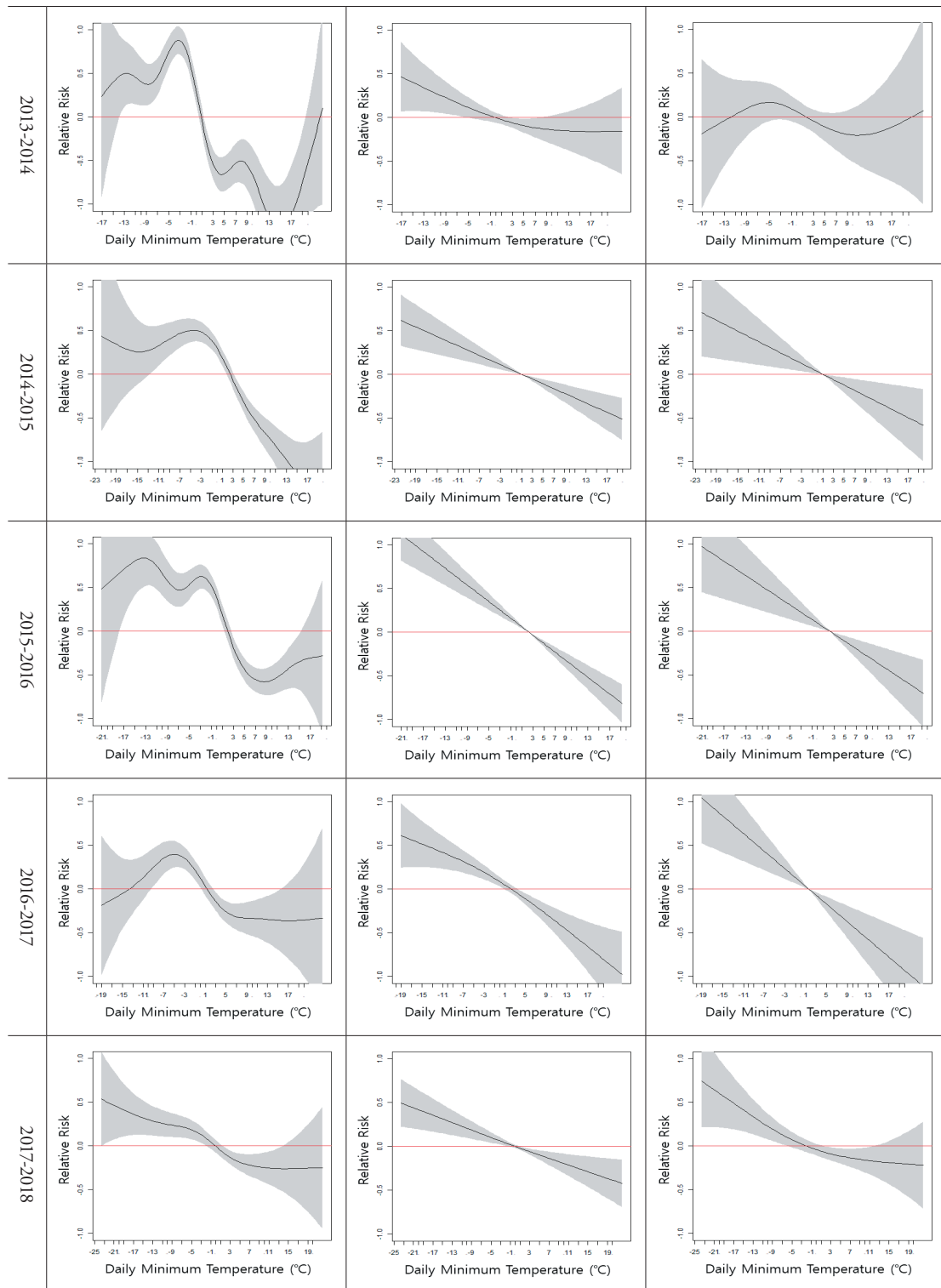
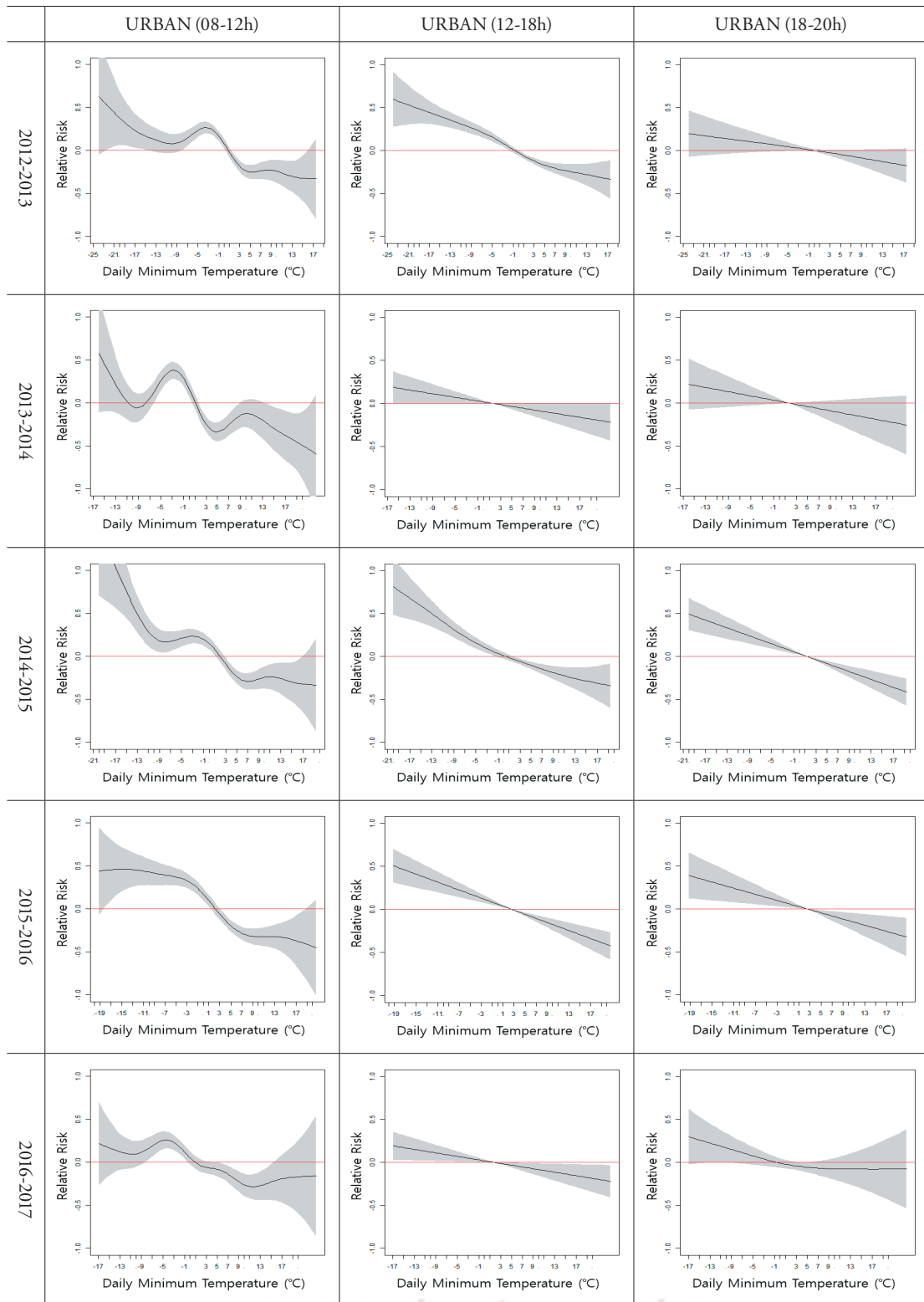


Figure 3. Continued.





**Figure 4.** The results of GAM by time period in urban areas during 2012-2018 (Association between daily minimum temperature and traffic accident).

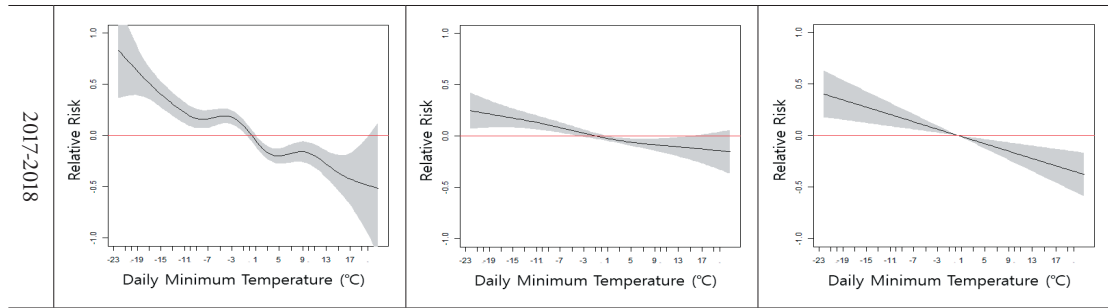


Figure 4. Continued.

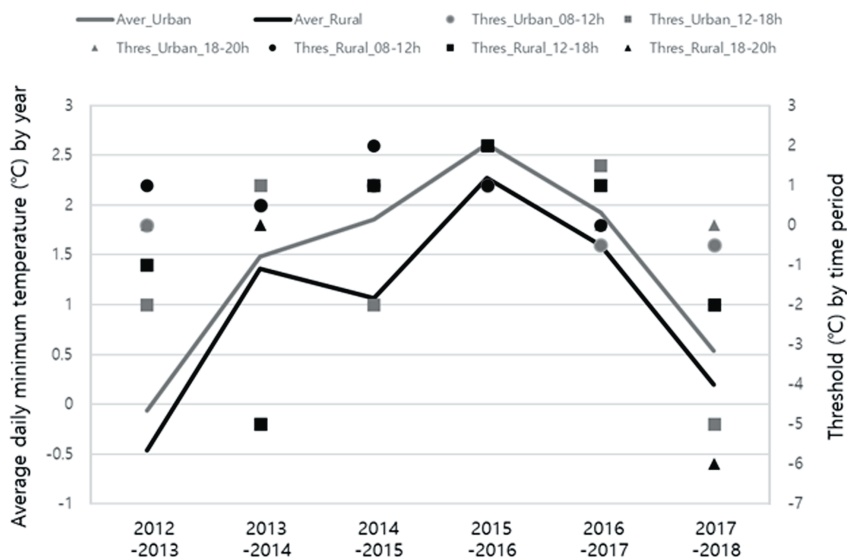


Figure 5. Average daily minimum temperature and threshold by year in urban and rural areas during 2012-2018.

근시간대에서의 임계온도가 가장 많이 하강하는 등 지역별, 시간대별 임계온도의 변화는 차이가 존재하였다(Figure 5). 이는, 동일한 기온 변화에 대하여 시간대별, 도시지역 및 비도시지역별 특징에 따라 교통사고 발생이 급증하는 임계온도의 변화가 상이해질 수 있는 것을 의미한다.

### 3) 임계온도에서의 기온 하강에 따른 교통사고 증가수준 분석

일반화가법모형 분석결과에서, 도시지역의 시간대별 임계온도는 출근시간대가  $-0.5 \sim 1^{\circ}\text{C}$ , 오후시

간대는  $-5 \sim 2^{\circ}\text{C}$ , 퇴근시간대는  $0 \sim 2^{\circ}\text{C}$ 의 범위 내에서 형성되고, 비도시지역의 경우 출근시간대는  $-2 \sim 2^{\circ}\text{C}$ , 오후시간대는  $-5 \sim 2^{\circ}\text{C}$ , 퇴근시간대는  $-6 \sim 2^{\circ}\text{C}$ 의 범위 내에서 임계온도가 형성되었다. 지역별, 연도별, 시간대별 임계온도를 기준으로 기온이  $1^{\circ}\text{C}$  낮아질 때 교통사고 발생이 증가하는 수준을 분석한 결과는 Table 2와 같다.

도시지역 및 비도시지역에서 특정한 연도별 시간대를 제외하고 임계온도 이하로 기온이  $1^{\circ}\text{C}$  떨어짐에 따라 교통사고 발생이 증가하는 것으로 분석되었다(Table 2). 임계온도에서의 기온하강에 따른 교

**Table 2.** Result of poisson regression model between daily minimum temperature and traffic accidents.

Year	Time	Urban		Rural	
		$\beta$ (CI)	Threshold(℃)	$\beta$ (CI)	Threshold(℃)
2012-2013	08-12h	<b>-.030***</b> (-.039,-.021)	0.0	<b>-.050***</b> (-.062,-.038)	1.0
	12-18h	<b>-.032***</b> (-.051,-.013)	-2.0	<b>-.060***</b> (-.072,-.048)	-1.0
	18-20h	-	-	<b>-.048***</b> (-.072,-.024)	-1.0
2013-2014	08-12h	<b>-.014*</b> (-.030,-.001)	0.5	<b>-.014</b> (-.036,-.008)	0.5
	12-18h	<b>-.048***</b> (-.061,-.034)	1.0	<b>-.050**</b> (-.098,-.001)	-5.0
	18-20h	-	-	-	-
2014-2015	08-12h	<b>-.033***</b> (-.047,-.020)	1.0	<b>-.035***</b> (-.052,-.018)	2.0
	12-18h	<b>-.056***</b> (-.075,-.038)	-2.0	<b>-.032***</b> (-.050,-.014)	1.0
	18-20h	<b>-.035***</b> (-.056,-.014)	1.0	<b>-.012</b> (-.045, .021)	1.0
2015-2016	08-12h	<b>-.046***</b> (-.060,-.031)	1.0	<b>-.039***</b> (-.060,-.018)	1.0
	12-18h	<b>-.027***</b> (-.039,-.014)	2.0	<b>-.039***</b> (-.057,-.022)	2.0
	18-20h	<b>-.021*</b> (-.042,-.001)	2.0	<b>-.040**</b> (-.074,-.007)	2.0
2016-2017	08-12h	<b>-.019**</b> (-.035,-.003)	-0.5	<b>-.010</b> (-.033, .013)	0.0
	12-18h	<b>-.015**</b> (-.027,-.003)	1.5	<b>-.026***</b> (-.045,-.008)	1.0
	18-20h	-	-	<b>-.043**</b> (-.077,-.010)	1.0
2017-2018	08-12h	<b>-.024***</b> (-.034,-.015)	-0.5	<b>-.019**</b> (-.037,-.001)	-2.0
	12-18h	<b>-.010</b> (-.024,-.003)	-5.0	<b>-.031***</b> (-.048,-.014)	-2.0
	18-20h	<b>-.025***</b> (-.038,-.011)	0.0	<b>-.094***</b> (-.145,-.043)	-6.0

\*: p&lt;0.1, \*\*: p&lt;0.05, \*\*\*: p&lt;0.01

통사고 증가수준을 분석한 결과, 도시지역 및 비도시지역에서 증가와 감소의 반복적인 패턴을 보이지만 최근(2017~2018년)에는 전년대비 증가수준이 높아진 것으로 분석되었다(Figure 6). 특히, 비도시지역의 퇴근시간대에서 가장 크게 증가한 것으로 분석되었는데, 임계온도를 기준으로 기온이 1℃ 낮아짐에 따라 약 0.094(-0.145, -0.043)의 교통사고 증가수준을 보이는 것으로 분석되었다(Table 2). 도시지역에서도 퇴근시간대의 증가수준이 가장 높은 것으로 분석되었는데, 임계온도를 기준으로 기온이 1℃ 낮아짐에 따른 교통사고 증가수준이 약 0.025(-.038, -.011)인 것으로 분석되었다(Table 2). 도시지역과 비도시지역 간의 비교분석 결과, 상대적으로 도시지역에 비해 비도시지역에서 더 높은 증가수준을 보이는 경향이 분석되어, 임계온도를 기

준으로 도시지역보다는 비도시지역에서 동일한 기온 하강에 대하여 교통사고 발생이 더 많이 증가할 수 있는 것으로 해석된다.

시간대 중에서는 퇴근시간대에서 임계온도에서의 기온하강에 따른 교통사고 증가수준이 높아지는 경향이 존재하며, 상대적으로 도시지역보다는 비도시지역에서 더 많이 높아진 것으로 분석되었다(Figure 6). 비도시지역의 경우 2014~2015년을 기점으로 최근(2017~2018년)까지 매우 가파른 증가세를 보여, 교통사고 증가수준이 약 6.83배 증가한 것으로 분석되었다(Table 2). 도시지역에서는 장기간 지속된 증가세를 보이지는 않았으나, 퇴근시간대에서 가장 높은 교통사고 증가수준을 보이는 것으로 분석되었다. 비도시지역의 경우, 퇴근시간대 외에도 출근시간대 및 오후시간대에서 최근 들어

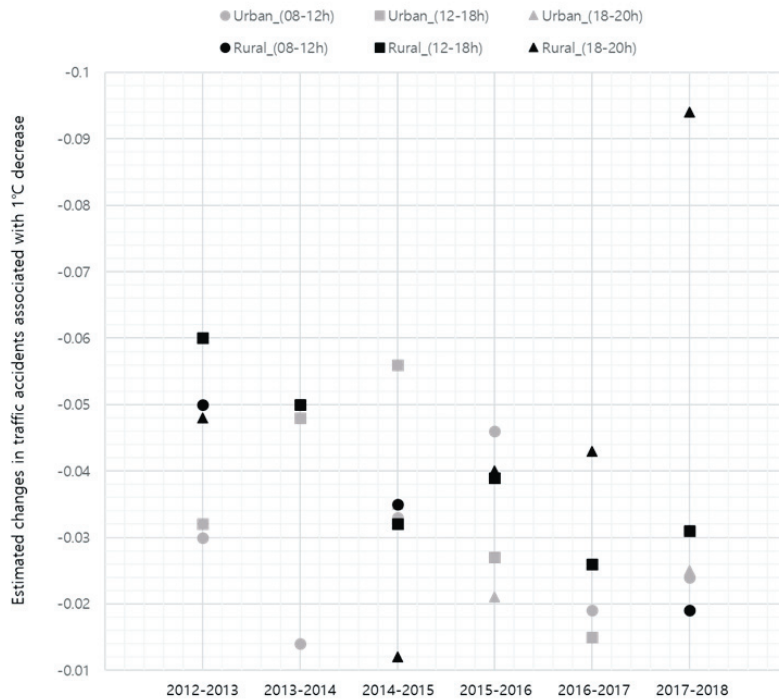


Figure 6. Estimated changes in traffic accidents associated with 1°C decrease at threshold.

증가하는 경향이 존재하였고, 도시지역에서는 출근 시간대에서만 증가세를 보였다(Figure 6). 단, 이와 같은 시계열적 변화에 따라 도시지역 및 비도시지역에서의 시간대별 교통사고 증가수준이 변화하였음에도 불구하고, 전반적으로 비도시지역이 도시지역보다 임계온도에서의 기온하강에 따른 교통사고 증가수준이 상대적으로 더 높은 경향이 존재하는 것으로 분석되었다.

도시지역과 비도시지역 간의 증가수준 차이를 시계열적으로 분석한 결과, 퇴근시간대에서 유일하게 도시지역과 비도시지역 간의 차이가 점점 증가하는 것으로 분석되었다(Figure 6, Table 2). 2015~2016년을 기준으로 퇴근시간대의 도시지역과 비도시지역 간의 차이는 약 0.019였지만 2017~2018년에는 약 0.069로 최근 4년 동안(2015~2018년) 약 263% 가량 차이가 증가한 것으로 분석되었다(Table 2). 오후시간대에서도 지역 간 교통사고 증가수준의 차

이가 증가하는 경향이 존재하였지만, 퇴근시간대보다는 낮은 수준이었으며, 출근시간대에서는 거의 변화가 없었다. 이러한 결과를 토대로, 퇴근시간대에서 비도시지역의 위험수준이 도시지역보다 더 높음과 동시에, 비도시지역이 지니는 위험수준이 도시지역이 지니는 위험수준보다 더 급격하게 증가하고 있는 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구는 도시지역과 비도시지역을 대상으로 겨울철 저온과 교통사고 간의 관계를 분석하기 위하여 일 최저기온의 변화에 따라 교통사고 발생량이 변화하는 양상을 일반화가법모형을 활용하여 분석하고, 이를 시계열적으로 비교분석하였다.

도시지역 및 비도시지역에서 공통적으로 교통사

고 발생량이 급증하는 임계온도는 낮아지는 경향이 존재하였다. 임계온도가 낮아지는 것과 관련하여, 기후변화로 인한 겨울철 일 최저기온의 하강, 한랭·결빙일수 등의 증가로 인하여 교통사고가 발생하는 평균적인 기온이 낮아졌음으로 해석할 수 있다. 최근 10년(2008~2017년) 동안 겨울철 결빙일수는 약 2.4일 증가하고 일 최저기온의 최소값은 약 0.4℃가 낮아지는 등(NIMS, 2018) 겨울철 저온현상, 결빙 등의 발생빈도의 증가로 인하여 교통사고가 발생하는 온도 및 발생이 급증하는 임계온도가 점차 낮아지는 경향을 보이는 것으로 해석할 수 있다.

임계온도를 기준으로 기온이 1℃ 낮아짐에 따른 교통사고 발생량의 증가수준은 증가하는 경향을 보였고, 상대적으로 도시지역보다는 비도시지역에서 더 높은 증가세를 보였다. 이러한 지역 간 차이와 관련하여, Lee *et al.*(2000)의 연구에서는 교통량의 차이에 따라 교통사고 위험발생의 차이가 발생할 수 있음을 분석한 바가 있다. 겨울철 기간동안 상대적으로 적은 교통량을 보이는 지역일수록, 교통사고 발생량이 높아질 수 있는데, 이는 교통량이 적어 교통체증 등이 덜 발생하여 평균적인 통행속도가 높고, 적은 통행량으로 인해 도로노면의 결빙이 더 유지되기 쉬어 노면 마찰력이 저하될 가능성이 높기 때문인 것으로 분석하였다(Lee *et al.*, 2000). 본 연구에서도 지역의 통행량을 대표할 수 있는 인구 수 및 차량등록대수가 상대적으로 낮은 비도시지역에서 도시지역보다 더 높은 수준으로 교통사고 발생이 증가하는 것으로 분석되어, 동일한 기온 하락에 대하여 비도시지역이 도시지역에 비해 더 높은 교통사고 위험수준을 보이는 것으로 해석할 수 있다.

또한, 임계온도에서의 기온 하강에 따른 교통사고 발생이 증가하는 수준은 도시지역 및 비도시지역에서 공통적으로 퇴근시간대에서 최근 들어 가장 급격하게 증가하였고, 비도시지역에서 가장 많이 증가한 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 주요 시

간대 중, 겨울철 퇴근시간대가 지나는 교통통행과 관련된 시간적 특성과 앞서 설명한 것과 같이 통행량 관점에서 비도시지역이 지나는 특성에 의해 설명할 수 있다. 퇴근시간대의 경우, 다른 시간대에 비하여 노면상태를 육안으로 확인하기 어렵다는 특징이 있다. 이와 관련하여, 안개 등의 겨울철 운전자의 가시거리를 방해할 수 있는 기상현상으로 인하여 교통사고 발생이 증가할 수 있음이 분석된 바가 있다(Lee *et al.*, 2000). 또한, 가시거리가 짧은 야간시간대에 속하는 퇴근시간대의 경우에는 운전자가 충분한 제동거리를 확보하기 어렵기 때문에 다른 시간대에 비해 기온 하락에 따라 교통사고 발생량이 더 많이 증가할 가능성이 높은 것으로 해석할 수 있다. 이와 관련하여, Kim *et al.*(2015)의 연구에서도 결빙도로에서 차량정지를 위한 충분한 제동거리가 요구되지만, 운전자가 도로결빙을 사전에 인지하지 못할 경우, 교통사고가 더욱 빈번하게 발생할 수 있음을 분석한 바가 있다. 또한, 앞서 설명한 비도시지역의 낮은 통행량으로 인한 상대적으로 높은 통행속도, 노면 관리수준 등의 특성으로 인하여, 임계온도에서의 기온 하강에 따른 교통사고 발생의 증가수준이 도시지역보다 더 급격하게 높아진 것으로 판단된다.

본 연구의 결과를 통해 겨울철 기온 하강에 따른 교통사고 발생 위험이 지역 및 주요 시간대에 상관없이 모두 존재하지만, 시계열적 흐름에 따른 겨울철의 기온변화 속에서도 통행시간대별, 도시지역 및 비도시지역별로 상이한 영향수준 및 영향수준의 변화양상을 보임을 알 수 있다. 이러한 결과는 교통통행 측면에서 교통량 등의 도시지역 및 비도시지역이 지나는 특징, 가시거리, 온도 등의 통행 시간대가 지나는 특징 등에 따라 동일한 기온 변화에 대해서도 다른 영향수준을 보일 수 있는 것으로 해석할 수 있다. Park *et al.*(2019)의 연구에서도 기온 변화로 인하여 발생하는 영향수준이 도시지역과 농촌지역

이 지니는 특성의 차이에 따라서 달라질 수 있음을 분석한 바가 있다. 단, 본 연구에서는 도시지역 및 비도시지역의 어떠한 특징이 겨울철 교통사고 발생에 영향을 미칠 수 있는지에 관한 구체적인 연구로 발전되지는 못하였다는 한계점은 존재한다. 그럼에도 불구하고, 본 연구는 겨울철 기온 하락이 교통사고에 미칠 수 있는 영향이 지역별, 시간대별 취약수준에 따라 더 위험하게 발생될 수 있는 가능성이 존재하며, 최근 들어 그러한 위험수준이 더 높아지는 추세를 분석하였다는 점에서 의의가 있다.

## 사사

이 연구는 기상청 <자연재해대응 영향예보 생산 기술 개발>(KMI2018-01410)의 지원으로 한국환경정책·평가연구원(2020-007(R))에 의해 수행되었습니다.

## References

- Andersson, A. and Champman, L., 2011, The use of a temporal analogue to predict future traffic accidents and winter road conditions in Sweden, *Meteorological Applications*, 18(2), 125-136.
- Choi, S.-H., Chae, Y.-R., and Park, J.-C., 2019, Effects of high temperatures on traffic accidents during summer daytime, *Journal of Climate Research*, 14(3), 171-181 (in Korean with English abstract).
- Hanbali, R. M. and Kuemmel, D. A., 1993, Traffic volume reductions due to winter storm conditions, *Transportation Research Record*, 1387, 159-164.
- Jeon, M.-J. and Cho, Y.-S., 2015, An analysis of a winter-time temperature change and an extreme cold waves frequency in Korea, *Journal of Climate Change Research*, 6(2), 87-94 (in Korean with English abstract).
- Jeong, C.-W., 2007, A study on impactive factors about major causes in freeway accidents, *Journal of Police Science*, 7(1), 221-247 (in Korean with English abstract).
- Kim, S.-Y., Jang, Y.-S., Kim, S.-K., Min, D.-C., Na, H.-H., and Choi, J.-S., 2015, A study on the effect of factors of traffic accidents caused by frozen urban road surfaces in the winter, *International Journal of Highway Engineering*, 17(2), 79-87 (in Korean with English abstract).
- Kim, Y.-M., Kim, S., Cheong, H.-K., and Kim, E.-H., 2011, Comparison of temperature indexes for the impact assessment of heat stress on heat-related mortality, *Environmental Health and Toxicology*, 26, doi:10.5620/eh.2011.26.e2011009. \_num=134983&file\_num=
- Kwon, T.-J., Fu, L., and Jiang, C., 2013, Effect of winter weather and road surface conditions on macroscopic traffic parameters, *Transportation Research Record*, 2329(1), 54-62.
- Lee, W.-K., 2013, *Epidemiologic Research of Weather and Injuries from Traffic Accident*, Ph.D. Dissertation, Ewha Womans University (in Korean with English abstract).
- Lee, Y.-T., Kim, Y.-J., Kim, D.-H., and Lim, K.-W., 2000, Analysis of seasonal variation effect of the traffic accidents on freeway, *Journal of Korean Society of Transportation*, 18(5), 7-16 (in Korean with English abstract).
- Leviäkangas, P., Tuominen, A., Molarius, R., Kojo, H., Schabel, J., Toivonen, S., Keränen, J., Ludvigsen, J., Vajda, A., Tuomenvirta, H., Juga, I., Nurmi, P., Rauhala, J., Rehm, F., Gerz, T., Muehlhausen, T., Schweighofer, J., Michaelides, S., Papadakis, M., Dotzek, N., and Groenemeijer, P., 2011, *Extreme Weather Impacts on Transport Systems: EWENT Project Deliverable D1*. VTT WORKING PAPERS 168.



- Li, B., Sain, S., Mearns, L. O., Anderson, H. A., Kovats, S., Ebi, K. L., Bekkedal, M. Y. V., Kanarek, M. S., and Patz, J. A., 2012, The impact of extreme heat on morbidity in Milwaukee, Wisconsin, *Climate Change*, 110(3-4), 959-976.
- MOIS (Ministry of the Interior and Safety), 2018, *Statistical Yearbook of Natural Disaster* (in Korean).
- NIMS (National Institute of Meteorological Sciences), 2018, *Climate Change Report on 100 Years in Korea* (in Korean).
- Park, G.-Y., Lee, S.-H., Kim, E.-J., and Yun, B.-Y., 2017, A case study on meteorological analysis of freezing rain and black ice formation on the load at winter, *Journal of Environmental Science International*, 26(7), 827-836 (in Korean with English abstract).
- Park, J., Chae, Y., and Choi, S.-H., 2019, Analysis of mortality change rate from temperature in summer by age, occupation, household type, and chronic diseases in 229 Korean municipalities from 2007-2016, *International Journal of Environment Research and Public Health*, 16(9), 1561.
- Qiu, L. and Nixon, W., 2009, *Performance Measurement for Highway Winter Maintenance Operations*, Iowa Highway Research Board Technical Report 474.
- RCAE (Research Center for Atmospheric Environment), 2019, *Development of Heat-wave Impact Forecasting Model: Micro-Scale Weather Forecasting and Information Service Development for Summer Period Heat-Wave Adjustment*, Korea Environment Institute (unpublished, in Korean).
- Shankar, V., Mannering, F., and Barfield, W., 1995, Effect of roadway geometrics and environmental factors on rural accident frequencies, *Accident Analysis and Prevention*, 27(3), 371-389.
- KOROAD, 2020, [http://www.koroad.or.kr/kp\\_web/krPrView.do?board\\_code=GABBS\\_050&board](http://www.koroad.or.kr/kp_web/krPrView.do?board_code=GABBS_050&board)

책임편집: 허인혜

영문교열: Mian Sabir Hussain