

여름철 낮 시간대 교통사고에 대한 고온의 영향

최서형 · 채여라 · 박종철

한국환경정책·평가연구원 기후에너지연구실

(2019년 8월 26일 접수, 2019년 9월 28일 수정, 2019년 9월 30일 게재 확정)

Effects of High Temperatures on Traffic Accidents during Summer Daytime

Seo Hyung Choi · Yeora Chae · Jongchul Park

Division for Climate and Energy, Korea Environment Institute

(Received 26 August 2019, Revised 28 September 2019, Accepted 30 September 2019)

Abstract : Climate change affects the occurrence of heat waves in Korea. Heat wave gives significant impacts not only to human health, but also adversely affects on traffic accidents both directly and indirectly. This study analyzed heat wave impacts on traffic accidents in summer time (JJA) from 2012 to 2017 timely. To consider some occupations work in earlier or later than regular working hour, 04-20h is set for this study. Generalized additive model is used to analyze the relation between the temperature and traffic accidents. The results showed that the traffic accidents in high temperature increases in 04-08h, 08-12h, and especially 18-20h. The percent difference for relative risk of traffic accidents is 2.34% (95% confidence interval: 1.140, 3.269) when the temperature increase by 1°C in 18-20h. The results of this study suggest some requirements for measures to prevent traffic accidents in the morning and evening hours with increasing temperatures.

Key Words : traffic accidents, relative risk, temperature, heat wave

주요어 : 교통사고, 상대 리스크, 기온, 폭염

1. 서론

기후변화는 기온과 강수량에 변화를 일으키며 지구온난화는 폭염 또는 가뭄과 같은 극한 기상현상의 증가원인으로 지목되고 있다(IPCC, 2013). 국내 기온 변화를 살펴보면 여름철 변화가 다른 계절에 비해 가장 크게 나타나며 RCP8.5 시나리오에서

2050년의 기온이 최대 1.87K 상승할 것으로 예상되고 있다(Hong *et al.*, 2013). RCP8.5 시나리오에서는 폭염 발생 빈도가 21세기 후반까지 지속적으로 증가하는 것으로 전망되어 그 영향에 대한 연구가 심도 있게 다뤄져야 할 필요가 있다(Kim *et al.*, 2016).

폭염과 같은 고온은 보건, 농·축·수산업 등 다

양한 부문에서 피해를 야기하며 교통 부문에도 영향을 미친다(Smoyer-Tomic *et al.*, 2003). 극심한 고온은 차량 결함과 도로 파손을 일으켜 교통사고의 원인이 되기도 한다. 고온이 차량에 미치는 직접적인 영향으로는 엔진룸 과열과 스탠딩웨이브 현상 등이 있다. 스탠딩웨이브 현상은 자동차가 고속으로 주행할 때 타이어와 노면의 접지부에서 열이 축적되는 현상으로 폭염과 같은 고온에서 타이어 과열을 일으키는 원인 중 하나이다. 고온으로 인한 도로 파손은 기록적인 폭염을 기록한 2018년 여름에 전국 곳곳에서 발생하였다. 전라남도 이순신대교, 분당 야탑10교, 강원도 중앙고속도로 등에서 도로 파손이 발생하였고, 이로 인해 크고 작은 교통사고가 발생하였다. 고온은 운전자에 직접 영향을 미쳐 교통사고를 일으키기도 한다. Basagaña *et al.*(2015)에 의하면 2008~2011년 스페인에서 기온이 1℃ 증가할 때 마다 전체 교통사고가 0.8%(95% confidence interval(CI): 0.3, 1.3) 증가하였고, 운전자 부주의로 인한 사고는 1.6%(95% CI: 0.1, 3.2) 증가하였다. 폭염(95퍼센타일 기온이 2일 이상 지속된 경우)인 날에는 전체 교통사고의 경우 4.7%(95% CI: 0.8, 8.8) 증가하였고, 운전자 부주의로 인한 사고는 7.8%(95% CI: -3.4, 20.3) 증가하였다. 고온에 의한 교통사고의 증가는 미국 버지니아에 대한 분석 사례에서도 볼 수 있다. Deschenes and Moretti(2009)에 의하면 기온이 약 32℃를 초과할 때 여성과 남성 운전자에서 모두 통계적으로 유의한 사고 증가 패턴이 나타났다.

국내에서 교통사고에 대한 연구는 도로의 구조와 교통사고의 관계(Park and Kim, 2010), 교통사고 유형 간 상대적 위험 비교(Lee *et al.*, 2017; Lim *et al.*, 2018), 사고위험지역 분석 및 교통안전시설물의 효과 분석(Lee, 2018) 등이 대부분이었다. 기상과 관련된 연구도 있었는데 맑은 날과 흐린 날, 폭설 또는 강우와 연관되어 있었다. Park and Han(2012)

은 맑은 날과 흐린 날에 교통 시설물과 교통량이 교통사고에 미치는 영향을 분석하였고, Sohn *et al.*(2014)은 폭설로 인한 교통량의 변화를 분석하였다. Kwak and Joh(2015)는 강우와 통행량이 교통사고 발생에 미치는 영향을 연구 하였으며, Lee *et al.*(2017)은 날씨에 따른 사고 비율을 비교하였다. Lee *et al.*(2017)에 의하면 비가 오는 날 중상과 사망 사고 비율이 높고 14~20시 사이에 가장 많은 교통사고가 발생하였다. 차대사람의 교통사고는 20~02시 사이에 높았다.

살펴본 바와 같이 국외의 몇몇 연구에서 고온에 의한 교통사고의 영향이 언급된 바 있지만(Deschenes and Moretti, 2009; Basagaña *et al.*, 2015) 국내에서는 연구 사례를 찾아보기 어렵다. 국내 연구는 주로 도로의 구조적인 문제에서 교통사고를 다루고 있었고, 기상의 경우에는 강우와 폭설을 고려한 사례는 있는 반면 폭염과 같은 고온의 영향을 고려한 사례는 찾아보기 어렵다. 따라서 고온이 교통사고에 미치는 영향에 대한 정보 역시 매우 제한되어 있다.

미래 기후변화로 인한 리스크를 최소화하기 위해 현재의 피해 양상을 정확하게 이해하는 것은 매우 중요한 일이다. 기후변화로 인해 미래 폭염이 증가할 것으로 전망되기 때문에(Kim *et al.*, 2016) 폭염과 같은 고온의 영향을 이해하는 것은 더욱 중요하다. 이에 본 연구에서는 고온이 교통사고에 미치는 영향을 분석하였으며, 폭염 등 고온에 의한 시간대별 교통량의 변화를 고려하기 위해 교통사고를 시간대별로 분석하였다. 선행 연구들은 교통량 증가가 교통사고 증가로 이어진다는 것을 잘 보여주었다(Park and Han, 2012; Sohn *et al.*, 2014; Kwak and Joh, 2015). 고온이 운전자의 부주의를 증가시킬 가능성도 있지만(Basagaña *et al.*, 2015) 고온을 피하기 위한 사람들의 행동패턴이 특정 시간대의 교통량을 증가시켜 교통사고를 증가시킬 가능성도

있기 때문에 본 연구에서는 시간대별 분석을 수행하였다.

2. 연구자료 및 방법

1) 연구자료

본 연구는 2012~2017년(6년) 여름철(6~8월) 낮 시간대에 발생한 교통사고를 분석하였다. 야간 시간은 음주 운전, 취객 등 낮 시간대와는 다른 교통사고 요인이 작용할 수 있기 때문에 본 연구는 분석의 대상을 낮 시간대 교통사고로 국한하였다. 낮 시간대는 04시부터 20시까지로 설정하였으며 이는 여름철에 무더위를 피해 새벽과 저녁 시간에 이동 또는 작업을 진행하는 것을 고려한 것이다. 분석에는 시군별 교통사고, 기상, 자동차 등록대수 등을 활용하였다. 교통사고 자료는 도로교통공단의 도로교통사고 통합DB를 이용하였다.

도로교통사고 통합DB는 경찰, 손해보험사, 공제조합의 자료를 통합하여 구축된 자료이다(https://www.koroad.or.kr/kp_web/safeBiz6.do). 연 평균 약 134만 건의 교통사고 중 여름철 낮 시간대에 발생한 연평균 약 27만 건의 교통사고 자료를 연구에 활용하였다.

기상 자료는 일 최고기온과 최저기온, 강수량 자료를 이용하였으며, 시군 단위의 기상 자료는 한국외국어대학교의 RCAE(2019)에서 생산한 1 km 공간해상도의 격자형 자료를 지역별로 평균하여 획득하였다. RCAE(2019)는 5km 공간해상도의 동네예보 자료를 수집하고, 지형고도, 해안선으로부터 거리, 사면방향 등 지형 변수와 불투수 면적, 건물 밀도, 식생 면적 등 지표면 변수를 이용하여 Random Forest 방법으로 1km 공간해상도의 기상 자료를 생산하였다. 시군별 자동차 등록대수는 국토교통 통계누리(<http://stat.molit.go.kr>)의 자동차등록현

황보고로부터 획득하였다.

2) 교통사고의 기초통계

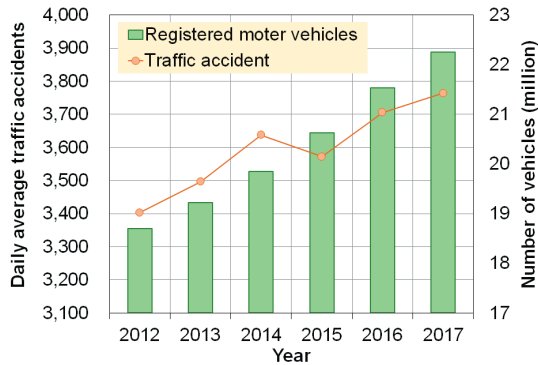
기온과 교통사고의 통계적 모형 설계에 앞서 혼란 변수를 선정하기 위해 교통사고의 기초통계를 수행하였다. 지난 6년 동안 여름철 교통사고는 전국에서 일 평균 3,596건 발생하였다. 일 평균 교통사고 건수는 2012년 약 3,400여건에서 2017년 3,700여건으로 증가하였으며 같은 기간 자동차 등록대수 역시 유사한 증가추세를 보였다(Figure 1a). 여름철 일 평균 교통사고 건수는 6월부터 점진적으로 증가해서 7월 말~8월 초에 가장 높게 나타나는 경향이다. 이는 휴가철의 차량 이동 증가와 연관되어 있는 것으로 여겨진다(Figure 1b). 요일에 따른 교통사고 건수는 휴일에 가장 낮고, 휴일을 전후하여 높게 나타났다. 차량 만 해당 일 평균 사고율이 금요일에 가장 높고 토요일과 월요일에는 비슷하며 휴일에 가장 낮게 나타났다. 휴일에는 일요일과 법정공휴일, 국경일을 포함하였다(Figure 1c). 한국교통안전공단은 이러한 교통사고 패턴을 평일에는 늘 왕래하는 익숙한 길을 운전하기 때문에 사고 위험이 낮고, 금요일과 토요일에는 여행객이 많아 사고 위험이 높아지는 경향이 있다고 설명한다. 일요일에 교통사고 위험이 낮은 이유는 여행에서 일찍 돌아와 휴식을 취하거나 자동차 운행을 하지 않기 때문으로 보고 있다(TS NAVER Post, 2018.04.05.). 요일을 휴일, 휴일의 인접일, 그리고 그 외 요일의 3가지로 유형으로 구분하고, 일 평균 교통사고 건수를 비교한 결과 각 유형 간에는 뚜렷한 차이가 있었다(Figure 1d). 휴일의 인접일은 금요일과 토요일, 월요일 그리고 법정공휴일과 국경일의 하루 전과 다음날을 포함하였다. 요일의 유형 간에 t-test를 수행한 결과 모두 95% 유의 수준에서 통계적으로 유의한 차이($p\text{-value}<0.05$)가 있었다.

기초통계를 통해 교통사고에 대한 기온의 영향을

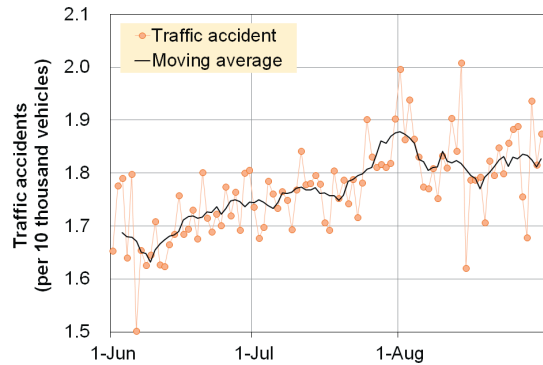
분석하기 위해서는 자동차 등록대수의 변화에 의한 교통사고의 장기 시계열 추세, 휴가철의 영향과 같은 교통사고의 연내 시계열 추세, 휴일 및 요일의 영향을 고려하기 위한 변수들이 필요함을 알 수 있다. 본 연구는 이를 고려하기 위해 시군별 매년 자동차 등록대수, 줄리안데이(day of year), 일자의 일련번

호, 3가지의 요일 구분(휴일, 휴일의 인접일, 그 외 요일) 등을 활용하였다.

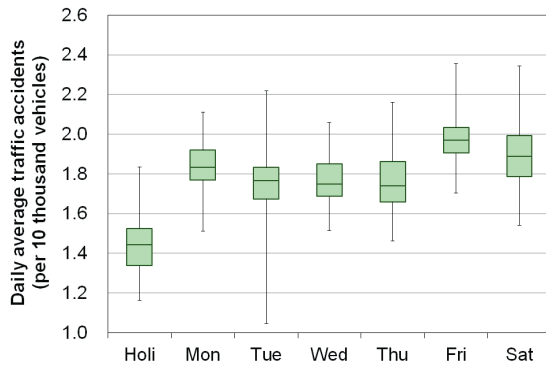
낮 시간대의 시간 당 교통사고 건수를 살펴보면, 교통사고가 가장 빈번하게 발생하는 시간대는 12시부터 18시이고, 그 다음으로는 18시부터 20시와 08시부터 12시 순인 것으로 나타났다(Table 1). 12



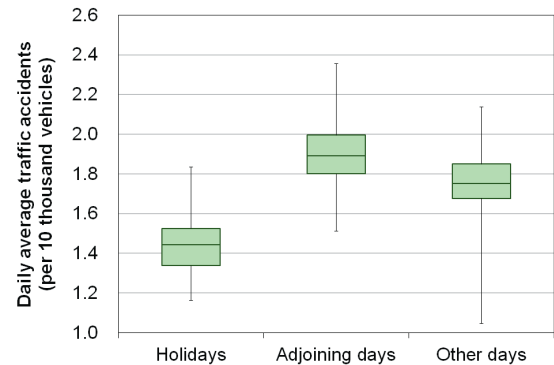
(a) Every summer



(b) Daily average



(c) Day of the week



(d) Three types of days of the week

Figure 1. Number of traffic accidents in summer (Jun.-Aug.) during the period 2012-2017. Holidays (Holi) include legal holidays, national holidays, and Sundays. Adjoining days to holidays included Fridays, Saturdays, Mondays, and one day before and after national holidays and national holidays.

Table 1. Number of traffic accidents per hour during the summer.

Time	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Average
04-08h	181	186	192	187	192	196	189
08-12h	518	544	558	569	608	615	569
12-18h	614	648	683	670	718	726	677
18-20h	612	633	649	638	668	684	647
Average	481	503	521	516	546	555	520

시부터 18시에는 평균적으로 시간당 677건의 교통사고가 발생하였고, 18시부터 20시에는 시간당 647건의 교통사고가 발생하였다. 낮 시간은 04~08시(동틀 무렵), 08~12시(오전), 12~18시(오후), 18~20시(일몰 무렵)로 구분하였다. 이는 여름철에 무더위를 피해 동이 뜨거나 일몰 무렵을 이용한 교통량의 증가를 고려하여 설정한 것이다.

3) 통계적 분석방법

기온과 교통사고의 관계를 정량적으로 분석하기 위해 일반부가모형(Generalized Additive Model, GAM)을 활용하였다. GAM은 비선형 교란 변수의 영향을 비모수적 함수를 이용해 비선형적으로 표현할 수 있기 때문에 시계열 연구에서 폭넓게 활용되고 있다(Kim *et al.*, 2011; Li *et al.*, 2012). 본 연구에서 적용한 통계 모형은 다음과 같다.

$$\ln(E(Y)) = \beta_0 + s(Tmax) + \text{offset}(C) + s(R) + s(DOY) + s(sn, k=2*6) + f(H) + f(TN)$$

$E(Y)$ 는 각 시군의 일별 교통사고 건수이고, $s(Tmax)$ 는 평활화된 일 최고기온이며, $\text{offset}(C)$ 는 각 시군의 연도별 자동차 등록대수이다. 자동차 등록대수는 지역 간 교통량의 차이와 연별 차량 증가의 영향을 보정하기 위해 활용하였다. $s(R)$ 은 평활화된 강수량으로 강수량의 영향을 보정하기 위해 사용하였고, $s(DOY)$ 는 day of year로 여름철의 시기에 따른 교통사고 변화 경향을 보정하기 위해 사용하였다. $s(sn)$ 은 일자의 일련번호로 장기간에 걸친 변화 추세를 고려하기 위해 사용하였다. $f(H)$ 와 $f(TN)$ 은 각각 요일 구분과 열대야 여부이며 모두 더미변수로 적용하였다. 요일 구분은 기초통계에서 구분된 요일 구분을 사용하였고, 열대야는 일 최저기온이 25℃ 이상인 날로 정의하여 사용하였다. 강우의 영향은 Kwak and Joh(2015)의 연구를 통해 교통사고에 미치는 영향이 분석된 사

례가 있어 영향 변수로 고려하였다. 열대야는 수면 부족을 일으켜 건강에 영향을 미치는 요인으로 알려져 있다(Zander *et al.*, 2015). 수면 부족은 운전 중 집중력을 떨어뜨릴 수 있는 요인이 될 수 있으며, Basagaña *et al.*(2015)에 의하면 운전 중 집중력 저하는 교통사고를 유발하는 요인이 될 수 있기 때문에 변수로 고려하였다. 통계 모형은 포아송회귀 모형(poisson regression model)을 활용하였으며, GAM 분석에는 R 3.4.0과 mgcv package를 이용하였다.

3. 연구 결과

1) 기온과 교통사고의 관계

여름철 교통사고 발생은 기온의 영향을 받으며, 그 강도는 시간대에 따라 다르다. Figure 2는 GAM에 의해 분석된 시간대별 일 최고기온과 교통사고와의 관계를 보여준다. 상대 리스크(y축의 값)가 1 이상이면 일 최고기온에 의해 교통사고가 증가한다는 것을 의미하고 1보다 작다면 감소한다는 것을 의미한다. 상대 리스크가 1과 같다면 기온과 교통사고는 연관성이 없다. 04~08시에는 일 최고기온이 28℃ 이상이 되면 상대 리스크가 1 이상으로 증가한다. 08~12시에도 28℃에서부터 교통사고가 증가하는 것을 확인할 수 있다. 12~18시에는 28℃부터 교통사고가 증가하다가 33℃에서 정점을 찍고 그 이후부터는 감소하기 시작한다. 18~20시에는 29℃부터 교통사고 증가가 나타난다.

기온과 교통사고의 관계를 사고형태로 구분하여 분석한 결과 차대차 사고는 대부분의 시간대에서 기온의 영향을 받는 반면 차대사람 사고는 아침 시간대에 뚜렷하게 영향을 받고 있었다. Figure 3은 사고형태에 따른 교통사고의 상대적 리스크 변화를 보여준다. 차대차 사고는 모든 교통사고의 84%를

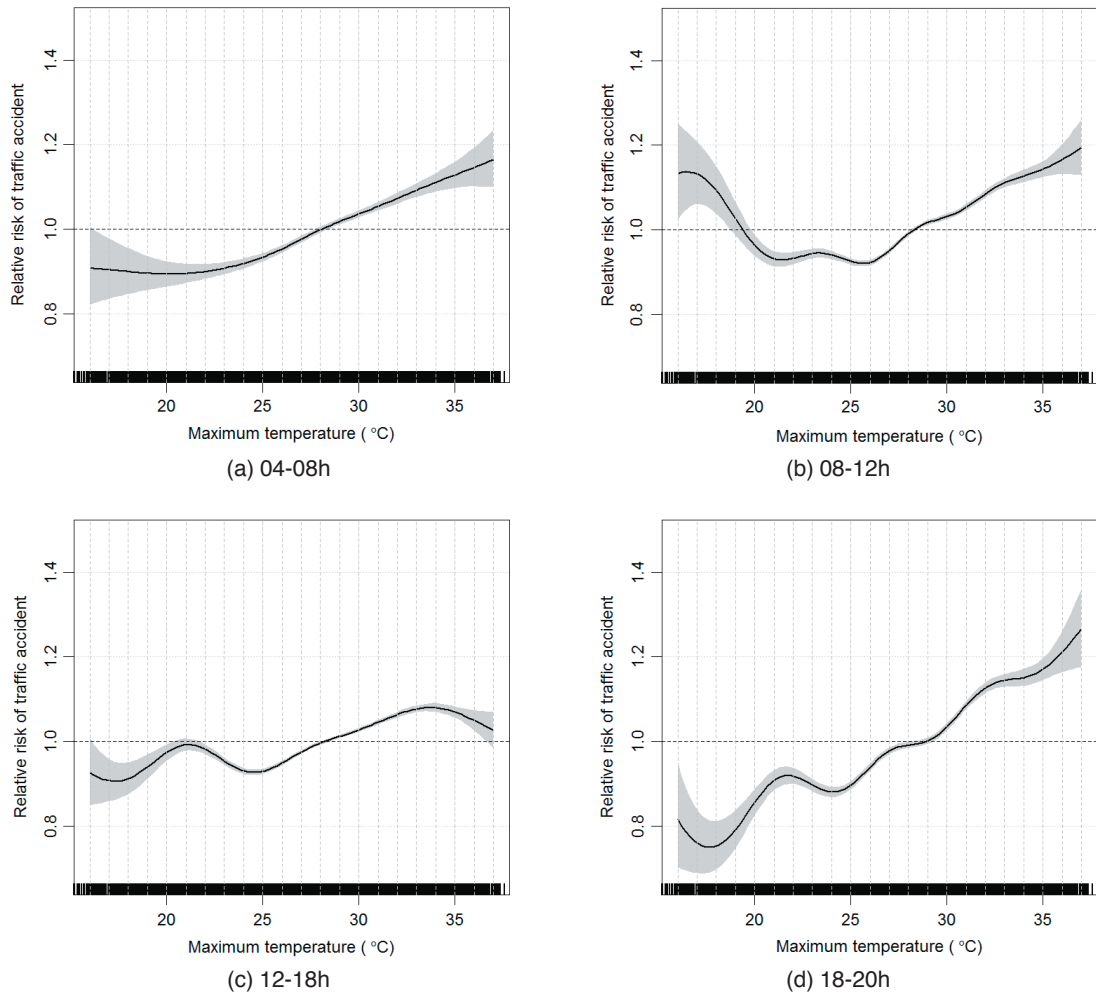


Figure 2. Association between daily maximum temperature and daily traffic accidents for each daytime periods, Jun.-Aug. in 2012-2017. Shaded areas represent 95% confidence interval.

차지하기 때문에 전반적으로 Figure 2의 결과와 유사한 패턴을 보였다. 차대사람 사고는 교통사고의 11%를 차지하고 있었는데 총 사고와는 다른 패턴을 보였다. 04~08시에 기온이 상승하면 차대사람 사고의 리스크는 선형으로 증가하며 임계기온은 약 28°C에서 나타난다. 하지만 다른 시간대에서는 차대사람 사고와 기온의 관계가 관찰되지 않았다.

2) 상대적 리스크의 정량화

GAM 분석 결과에서 모든 형태의 교통사고는 일

최고기온의 변수에 대해 모든 시간대에서 통계적으로 유의한 관계를 보였다($p\text{-value} < 0.05$). 상대 리스크가 1 이상이 나타나기 시작하는 지점을 교통사고가 증가하는 임계기온으로 간주하면, 모든 교통사고의 임계기온이 18~20시의 경우 29°C에서 나타났지만 전반적으로는 28°C에서 나타나고 있었다. 사고유형에 따른 분석 결과에서 역시 28°C를 기점으로 교통사고 발생 패턴에 변화가 나타나고 있었다.

Table 2는 임계기온을 28°C로 설정했을 때 임계

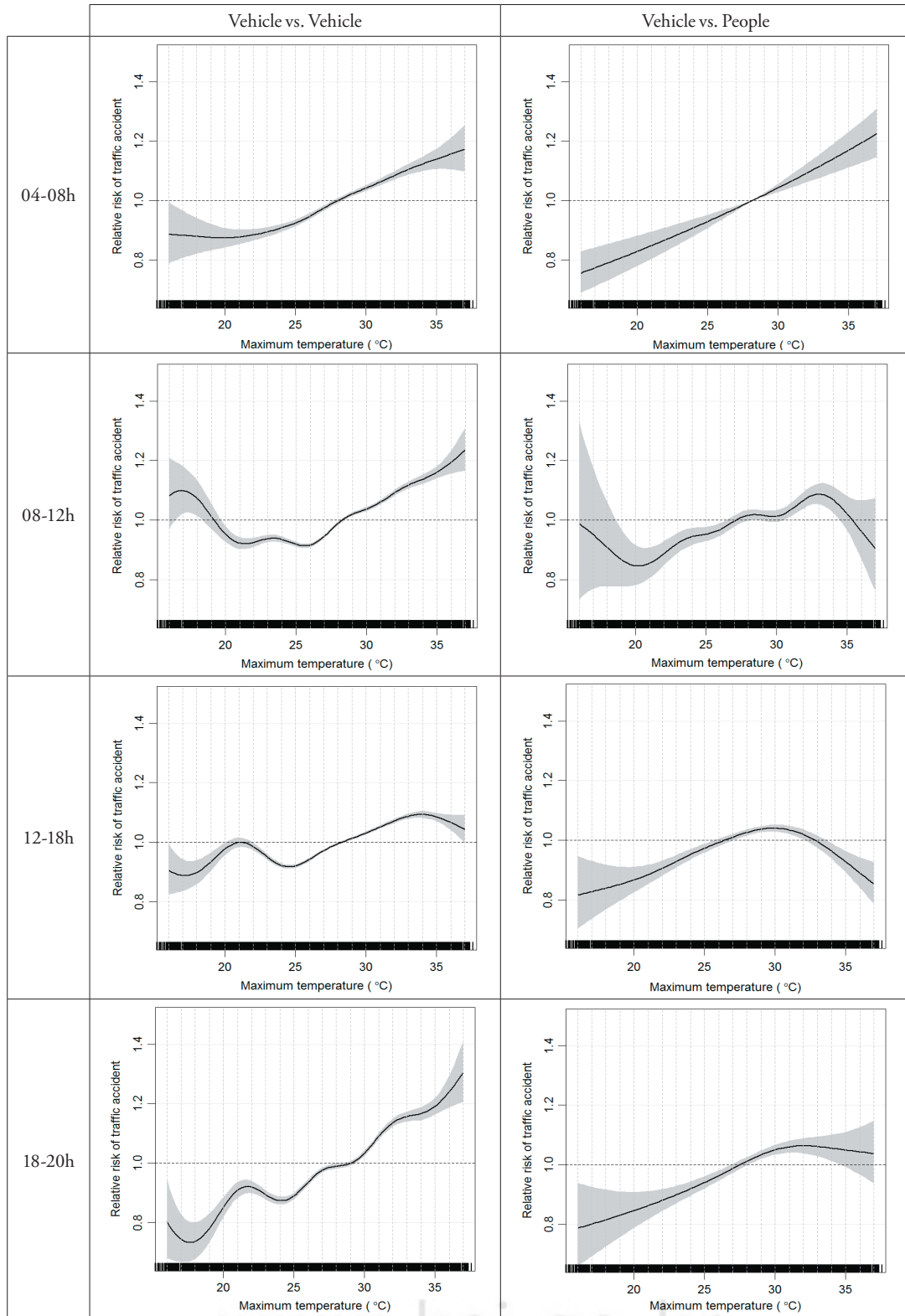


Figure 3. Relative risk of traffic accident by types of traffic accidents.

Table 2. Estimated changes and 95% CI (confidence interval) in traffic accidents associated with 1°C increase in daily maximum temperature above the estimated threshold.

Daytime	% increase per 1°C (95% CI)*		
	Total accidents	Vehicle vs. Vehicle	Vehicle vs. People
04-08h	1.700(0.779, 2.622)	1.774(0.734, 2.814)	-2.301(0.819, 3.782)
08-12h	2.027(1.319, 2.734)	2.308(1.556, 3.060)	-0.568(-2.931, 1.795)
12-18h	0.572(0.046, 1.099)	0.786(0.226, 1.346)	-2.212(-3.525, -0.899)
18-20h	2.598(1.664, 3.533)	2.962(1.958, 3.966)	0.103(-1.643, 1.850)

* Threshold temperature: daily maximum temperature 28°C

기온 이상에서 기온이 1°C 상승할 때 나타나는 교통사고의 % 변화를 분석한 결과이다. 모든 형태의 교통사고는 04~08시에 기온이 1°C 상승할 때 마다 1.700%(95% CI: 0.779, 2.622)씩 증가하는 것으로 나타났으며 08~12시에는 2.027%(95% CI: 1.319, 2.734) 증가하는 것으로 나타났다. 12~18시에는 0.572%(95% CI: 0.046, 1.099)의 증가가 나타났다. 이 시간대에 교통사고와 기온은 양의 상관관계가 있지만 상대적으로 가장 약한 상관관계를 보였다. 18~20시에는 2.598%(95% CI: 1.664, 3.533)의 증가가 나타났다.

차대차 사고의 리스크 증가량은 모든 교통사고에 비해 큰 것으로 나타났다. 04~08시의 차대차 사고의 리스크 증가량은 모든 교통사고에 비해 0.074%p 크고, 18~20시에는 0.364%p 크다. 차대사람의 리스크는 04~08시에 기온이 1°C 상승할 때 마다 2.301%(95% CI: 0.819, 3.782)씩 크게 증가한다. 하지만 08~18시에는 기온 상승에 따른 리스크의 증가가 나타나지 않으며 18~20시에는 리스크가 0.103%(95% CI: -1.643, 1.85) 증가하는 것으로 나타났다.

4. 토의 및 결론

우리나라의 6년간에 대한 교통사고와 일 최고기

온과의 관계에 대한 정량적인 분석 결과는 일 최고기온의 증가에 의해 교통사고 증가가 나타난다는 것을 보여주었다. 본 연구의 분석 결과에 의하면 고온과 교통사고는 낮 시간대 중에서 오후 한낮(12~18시)을 제외하고 아침(04~08시)과 오전(08~12시), 저녁 시간대(18~20시)에 통계적으로 유의한 관계가 있는 것으로 나타났다. 고온의 영향은 특히 차대차 사고에서 뚜렷하게 나타났으며 차대사람 사고에서는 아침(04~08시) 시간대에서만 분명하게 나타났다.

몇몇 국외 연구들에서 교통사고에 대한 기온의 영향에 대한 연구를 찾을 수 있지만(Deschenes and Moretti, 2009; Basagaña *et al.*, 2015) 그 사례가 많지 않으며, 특히 본 연구와 같이 시간대에 따른 기온의 영향을 분석한 사례는 찾아보기 어렵다. 따라서 본 연구에서 나타난 결과를 기존 연구와 비교하여 토의하기에 한계가 있다.

Basagaña *et al.*(2015)는 고온에 의한 교통사고 증가가 운전자의 퍼포먼스에 영향을 주어 교통사고를 증가시킨다고 설명하였다. 그의 연구에 의하면 스페인에서 고온에 의한 교통사고는 기온 1°C 마다 전체 교통사고는 0.8%(95% CI: 0.3, 1.3) 증가하였지만 운전자 부주의로 인한 사고는 1.6%(95% CI: 0.1, 3.2) 증가하였다. 일반적으로 극한 고온은 다양한 경로를 통해 건강에 영향을 미치는데(Mora *et al.*, 2017), 수면부족(Zander *et al.*, 2015)과 정신적

인 스트레스를 증가시키기도 한다(Lee *et al.*, 2018; Obradovich *et al.*, 2018). 이러한 고온의 영향은 운전자의 퍼포먼스에 영향을 미쳐 교통사고를 증가시키는 요인이 될 가능성이 있다.

본 연구에서 나타난 시간대에 따른 기온과 교통사고의 관계는 운전자의 퍼포먼스 뿐 아니라 고온으로 인한 유동인구 변화 패턴이 교통사고와 연관되어 있을 가능성을 암시한다. 고온이 나타나면 낮 시간대의 유동인구는 평소에 비해 감소하고, 반면 그 외 시간대의 유동인구는 증가할 것으로 예상된다. 일반적으로 폭염 주의보 또는 경보 수준의 극한 고온이 나타나면 사람들은 가까운 곳으로의 이동이라도 자제하는 경향이 있으며 농촌 지역에서는 특히 무더위를 피하기 위해 새벽 또는 저녁 해질 무렵에 작업을 수행하는 경향이 있다. 따라서 본 연구에서 나타난 시간대에 따른 사고량의 변화는 이와 같은 인구 유동 특성에서 기인하는 차량통행량의 변화와 연관되어 있을 수 있다. 이와 유사한 패턴은 본 연구의 기초통계에서 제시한 요일별 교통사고 비교에서도 볼 수 있었다. 본 연구의 기초통계에서는 요일에 따른 교통사고량에 뚜렷한 차이가 있었는데, 한국교통안전공단은 요일에 따른 교통사고량의 변화를 교통량 변화와 연관지어 설명하고 있었다. 하지만 고온에 의한 인구 유동 패턴 변화가 교통사고 증가에 영향을 준다는 것을 직접적으로 증명하기 위해서는 추후 시간대별 교통량을 이용한 연구가 필요할 것이다.

본 연구의 결과는 고온에 의해 주로 영향을 받는 사고유형이 있으며 각 사고유형이 받는 영향이 시간대에 다르다는 것을 보여주었다. 특히 본 연구에서 나타나는 아침 시간대 차대사람 사고의 변화 패턴은 폭염 기간에는 아침 시간대 교통안전 활동이 강화될 필요가 있다는 것을 시사한다.

기온이 인간에게 미치는 영향은 인구·사회·경제적 특성, 도시와 농촌(Park *et al.*, 2019), 기후(Anderson and Bell, 2009)에 따라 상이한 것으로 알려져 있다. 인구 유동 패턴 역시 인구·사회적 특성과 각 지역의 기후 환경에 따라 다르게 나타날 수 있으므로 추후 기온과 교통사고의 관계에 대한 이해를 증진시키기 위해서는 지역 단위의 연구가 반드시 필요할 것이다. 나아가 다양한 유형의 기온과 지연 효과, 연령, 그리고 더욱 세분화된 교통사고 유형과 사고의 규모 등을 고려한 연구도 필요할 것이다.

본 연구에서 정량적으로 제시된 기온과 교통사고의 관계는 기후변화로 인한 교통 부문의 리스크를 정량적으로 평가하는데 기초 정보로 활용될 수 있을 것이다. 시간대별 기온의 영향과 임계기온에 대한 정보는 영향예보의 과학적 근거로 활용될 수 있으며, 고온 발생 시의 사고 예방 지침 및 가이드라인 작성에 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

사사

이 연구는 기상청 <자연재해대응 영향예보 생산 기술 개발>(KMI2018-01410)의 지원으로 수행되었습니다.

References

- Anderson, B. G. and Bell, M. L., 2009, Weather-related mortality: how heat, cold, and heat waves affect mortality in the United States, *Epidemiology (Combridge, Mass)*, 20(2), 205.
- Basagaña, X., Escalera-Antezana, J. P., Dadvand, P., Llatje, Ò., Barrera-Gómez, J., Cunillera, J., Medina-Ramon, M., and Pérez, K., 2015, High ambient temperatures and risk of motor vehicle crashes in Catalonia, Spain (2000-2011): a time-series analysis, *Environmental Health Perspectives*

- tives, 123(12), 1309-1316.
- Deschenes, O. and Moretti, E., 2009, Extreme weather events, mortality, and migration, *The Review of Economics and Statistics*, 91(4), 659-681.
- Hong, S.-Y., Oh, S.-G., Suh, M.-S., Lee, D.-K., Ahn, J. B., and Kang, H. S., 2013, Future climate changes over north-east Asian region simulated by RegCM4 based on the RCP scenarios, *Journal of Climate Research*, 8(1), 27-44 (in Korean with English abstract).
- IPCC, 2013, *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*, Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Kim, J.-A., Kim, K. R., Lee, C. C., Sheridan, S. C., Kalkstein, L. S., and Kim, B.-J., 2016, Analysis of occurrence distribution and synoptic pattern of future heat waves in Korea, *Journal of Climate Research*, 11(1), 15-27 (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.
- Kwak, H.-Y. and Joh, C.-H., 2015, A study on the impact of rainfall and traffic volume on traffic accidents: a case of donghae and yeongdong expressways, *Journal of Climate Research*, 10(3), 263-272 (in Korean with English abstract).
- Lee, G.-W., Kim, T.-H., Do, S., Jun, H.-J., and Moon, Y.-J., 2017, Utilizing integrated public big data in the database system for analyzing vehicle accidents, *Journal of the Korea Society of Computer and Information*, 22(9), 99-105 (in Korean with English abstract).
- Lee, H.-B., 2018, A comparative study on traffic safety facilities of traffic accident scene in the school zone, *Korean Journal of Convergence Science*, 7(4), 222-240 (in Korean with English abstract).
- Lee, S., Lee, H., Myung, W., Kim, E. J., and Kim, H., 2018, Mental disease-related emergency admissions attributable to hot temperatures, *Science of the Total Environment*, 616, 688-694.
- 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, *Climatic Change*, 110(3-4), 959-976.
- Lim, J.-K., Park, J. U., and Choi, J., 2018, *A Study on Traffic Safety to Reduce Traffic Accidents of the Elderly Pedestrians in Korea*, The Korea Transport Institute (in Korean with English abstract).
- Mora, C., Counsell, C. W., Bielecki, C. R., and Louis, L. V., 2017, Twenty-seven ways a heat wave can kill you: deadly heat in the era of climate change, *Cardiovascular Quality and Outcomes*, 10(11), doi:10.1161/CIRCOUTCOMES.117.004233.
- Obradovich, N., Migliorini, R., Paulus, M. P., and Rahwan, I., 2018, Empirical evidence of mental health risks posed by climate change, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(43), 10953-10958.
- Park, B. H. and Han, S. S., 2012, Accident models of circular intersections by weather condition in Korea, *Journal of the Korean Society of Safety*, 27(6), 178-184 (in Korean with English abstract).
- Park, B. H. and Kim, J. Y., 2010, Developing the accident models of Cheongju arterial link sections using ZAM model, *International Journal of Highway Engineering*, 12(2), 43-49 (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.
- 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).
- Smoyer-Tomic, K. E., Kuhn, R., and Hudson, A., 2003, Heat wave hazards: an overview of heat wave impacts in Canada, *Natural Hazards*, 28(2-3), 465-486.
- Sohn, C., Kim, G., and Kim, K., 2014, Changes in inbound traffic volume of a heavy snowfall impacted area: a case study on the heavy snowfall event of the Youngdong region in 2011, *Journal of Climate Research*, 9(4), 331-343 (in Korean with English abstract).
- Zander, K. K., Botzen, W. J. W., Oppermann, E., Kjellstrom, T., and Garnett, S. T., 2015, Heat stress causes substantial labour productivity loss in Australia, *Nature Climate Change*, 5(7), 647.
- <http://stat.molit.go.kr>
- http://www.koroad.or.kr/kp_web/safeBiz6.do
- TS NAVER Post, 2018.04.05., Daily accidents, be aware on Friday! (in Korean)
- 책임편집: 허인혜
- 영문교열: 이용균