

교통사고 가해자의 연령에 따른 여름철 일조시간과 교통사고의 연관성 분석

박종철¹ · 채여라^{2*}

¹공주대학교 지리학과 부교수

²한국환경연구원 기후대기안전연구본부 선임연구위원

(2021년 11월 4일 접수, 2021년 12월 24일 최종 수정, 2021년 12월 27일 게재 확정)

Analysis of the Association between Sunshine Duration and Traffic Accidents by Age of Traffic Accident Offender in the Summer Season

Jongchul Park¹ · Yeora Chae^{2*}

¹Associate Professor, Department of Geography, Kongju National University

²Senior Research Fellow, Climate, Air Quality and Safety Research Group, Korea Environment Institute

(Received 4 November 2021, Revised 24 December 2021, Accepted 27 December 2021)

Abstract : This study first analyzed the association between sunshine duration and traffic accidents, and then investigated whether the association between the two variables differs by ages (≤ 59 and $60 \leq$). We only used traffic accident data of the perpetrator driver during the summer (June-August) of 2018-2020 in five research areas (Seoul-Incheon, Busan, Daegu, Daejeon, and Gwangju). We separately employed generalized additive models for each city, and then we derived comprehensive results using the meta-analysis. In the statistical analysis, seasonal and annual changes of traffic accident, maximum daily temperature, precipitation, maximum daily wind speed, duration of heat waves, duration of tropical nights, and days of the week were used as confounding variables. As a result, the relative risk (RR) of traffic accidents increased with increases in the duration of sunshine in all cities and ages. It was not clear who is the more vulnerable group, however, the RRs of young drivers in Seoul and Busan were significantly higher than that of the elderly. The RRs of young drivers were 1.07 (1.09 to 1.05) and 1.06 (1.10 to 1.02) at the 95% percentile of sunshine hours, respectively. The results of the study showed that it is necessary to warn drivers of the risk of traffic accidents when daylight hours increase.

Key Words : sunshine duration, traffic accident offender, relative risk, age

주요어 : 일조시간, 교통사고 가해 운전자, 상대적 리스크, 연령

*Correspondence: yrchae@kei.re.kr
© KU Climate Research Institute

1. 서론

자동차 수가 증가하면서 교통사고는 20대 이하의 어린이와 젊은 층의 사상자 발생에서 주요한 원인이 되고 있다(WHO, 2018). 우리나라의 자동차 등록대수와 교통사고 건수 역시 지속적으로 증가하는 추세를 보인다(Lee *et al.*, 2018; Choi *et al.*, 2019). 교통사고는 인명뿐 아니라 사회·경제적 피해도 유발하는데, 우리나라에서 교통사고로 인한 물적, 인적, 사회적 비용은 2018년 약 205억 USD를 기록하였고, 이는 GDP 1,549조 USD의 1.32%이었다(KoROAD, 2018).

교통사고는 교통 요인, 환경 요인, 정책 요인, 운전자의 부주의 등 매우 다양한 원인에 의해 발생하며(Theofilatos and Yannis, 2014; Malin *et al.*, 2019), 기상은 환경 요인으로 다뤄져 왔다(Park *et al.*, 2021). 기존 연구들에 의하면, 강우와 강설로 인한 시야 저해 및 노면상태 불량(Keay and Simmonds, 2006; Qiu and Nixon, 2008; El-Basyouny and Kwon, 2012; Hambly *et al.*, 2012; Bergel-Hayat *et al.*, 2013; Jaroszweski and McNamara, 2014), 극한 고온으로 인한 운전자의 집중력 저하(Deschênes and Moretti, 2009; Basagaña *et al.*, 2015), 저온으로 인한 노면 결빙(Lee *et al.*, 2014; Choi and Yoon, 2020; Lu *et al.*, 2020)이 주로 교통사고 위험을 높이는 것으로 밝혀졌다. 몇몇 연구의 결과에서 일조시간이 증가할 때도 교통사고가 증가하는 것으로 나타났지만(Hermans *et al.*, 2006; Brijs *et al.*, 2008; Kim *et al.*, 2012) 아직까지 증거가 충분하지는 않다.

기존 연구들에서 일조시간이 증가할 때 교통사고가 증가하는 원인으로는 첫째, 눈부심으로 인한 운전자의 시야 방해를 들고 있다. Brijs *et al.*(2008)은 벨기에에서 태양 고도가 낮을 때, 특히 일출과 일몰

시간에 나타나는 일조는 운전자의 눈부심을 야기한다고 언급하였다. Hermans *et al.*(2006)은 벨기에에서 직광 외에도 일조시간이 많은 날의 눈부심이 운전자에게 영향을 미친다고 하였다. 우리나라에서는 일조시간을 직접적으로 다루지는 않았지만, Kim *et al.*(2012)가 고속도로 터널 출구부에서의 교통사고가 직광에 의한 눈부심 현상과 연관되어 있다고 하였다. Lee *et al.*(2009)와 Kim *et al.*(2013)에 의하면, 고층 건물의 태양광 경면반사가 운전자의 시야에 일부 영향을 미치고 있었다. 둘째 원인은 일조시간이 증가할 때 나타나는 교통강도 증가와 안전 운전 감소를 들고 있다. Cools *et al.*(2010)은 맑은 날과 일조시간이 많은 날 교통강도가 증가함으로 인해 교통사고가 유발된다고 하였다. Leard and Roth(2015) 역시 기상 조건이 좋은 날 보행자, 자전거 및 오토바이 또는 초경량 차량의 운행이 증가하고, 야외 활동과 레저 활동 등이 증가하여 교통사고 위험이 증가한다고 하였다. 마지막으로 안전상제가설(safety offset hypothesis) 측면에서 일조시간이 많은 날, 즉 악천후가 없을 때 오히려 교통사고가 증가한다는 시각도 있다. Edwards(1999), Eisenberg and Warner(2005), Hermans *et al.*(2006) 등은 악천후에서는 안전 운전으로 인해 교통사고가 감소하고, 오히려 맑은 날 교통사고가 증가한다고 주장하였다. 이와 같이 일조시간은 복합적 경로를 통해 교통사고를 유발할 수 있는 것으로 알려져 있지만, 일조시간과 교통사고와의 관계에 관한 연구는 국외에서도 매우 제한적이며, 우리나라에서는 일조시간과 교통사고의 관계에 관해 통계데이터를 기반으로 분석한 사례는 찾아보기 어렵다.

한편, 운전자의 연령은 인지 능력, 반응 속도, 운전 경력, 위험한 상황에 처한 경험, 운전 습관 등의 측면에서 교통사고와 연관된 중요한 요소이다. 고령의 운전자는 시각적 탐지 능력, 인지 능력, 그리고 위험한 상황에 대한 반응 속도가 젊은 운전자

에 비해 떨어진다(Bromberg *et al.*, 2012; Isabelle and Simon, 2020). 이에 더하여 고령의 운전자는 젊은 운전자에 비해 운전으로 인한 피로를 더 느낀다(Susilowati and Yasukouchi, 2012). 하지만 많은 연구들이 고령의 운전자에 비해 젊은 운전자에게 사고 리스크가 오히려 높다고 지적하였다. 고령의 운전자들은 교차로에서의 회전 사고, 음주 운전, 미끄러짐 사고, 동물 또는 보행자와 관련된 사고에서 젊은 운전자에 비해 사고 위험이 현저히 적었다(Moore *et al.*, 1982). 고령의 운전자들은 경험을 통해 안전에 위협이 되는 상황을 회피하는 경향이 있기 때문이다(Sullivan *et al.*, 2011). 고령의 운전자들은 젊은 운전자에 비해 스스로의 부족함을 인지하고 부상 위험을 줄이기 위해 속도 감속과 같은 전략을 마련한다(Bromberg *et al.*, 2012; Isabelle and Simon, 2020). 운전자들이 경험을 통해 얻은 운전기술과 위험한 상황에 대한 인식은 나이가 들어도 감퇴하지 않는다(Parker *et al.*, 2000). 반면 젊은 운전자들은 공격적이고 위험한 운전(Constantinou *et al.*, 2011)과 경험 부족(Curry *et al.*, 2015)으로 인해 사고 발생률이 높다. 기존의 연구결과들은 일조시간과 교통사고의 관계에서도 연령에 따른 차이가 있는지에 대해 확인할 필요가 있음을 시사한다.

본 연구는 교통사고 빅데이터를 기반으로 일조시간이 교통사고에 미치는 영향을 분석하였다. 이를 통해 기존 연구들에서 충분히 다뤄지지 않은 일조시간과 교통사고의 관계에 대한 정보를 제공하고자 하였다. 나아가 본 연구는 일조시간과 교통사고의 관계에서 연령에 따른 차이의 유무를 분석함으로써 위험 정보의 커뮤니케이션이 필요한 연령대를 식별하고자 하였다. 이를 위해 가해 운전자의 연령에 따라 교통사고 자료를 구분하여 분석하였다.

2. 연구 자료 및 방법

1) 연구 자료

교통사고 자료는 도로교통공단의 도로교통사고 통합DB로부터 획득하였다. 도로교통사고 통합DB는 경찰, 손해보험사, 공제조합의 자료를 통합한 자료로 사고일자, 사고지역(시군구), 사고원인, 사상자 수 등에 대한 정보를 포함한다(KoROAD, 2021). 연구에는 사상자가 발생한 교통사고 중 가해 운전자에 대한 데이터만을 선택하여 사용하였다. 2018년부터 2020년까지 3년 동안의 여름철(6~8월), 낮 시간대(06~20시)에 발생한 총 69,336건의 자료를 분석에 사용하였다. 원본 자료의 가해 운전자 연령은 10세 간격으로 구분되어 있어 본 연구에서는 이를 60세 이상과 59세 이하로 구분하여 사용하였다.

기상 자료는 각 도시의 기상청 종관기상관측장비로부터 획득한, 기온, 강수량, 풍속, 일조시간 자료를 활용하였다. 서울(관측지점번호: 108), 인천(112), 부산(159), 대구(143), 대전(133), 광주(156) 관측지점의 값을 이용하였으며, 서울과 인천의 관측 값은 평균하여 사용하였다.

연구 지역은 5개 권역으로, 우리나라의 인구 상위 도시와 그 인접 시군들을 포함하는 서울-인천 권역, 부산 권역, 대구 권역, 대전 권역, 광주 권역이다. 최근 도시와 농촌 공간을 이분화하는 시각에서 벗어나 도시의 공간구조를 2차 도시의 네트워크를 포함하는 연속적인 구조로 이해하려는 시각이 있다. 교통과 경제 활동이 연속적인 공간 구조 내에서 인접 지역들과 밀접하게 관련되어 있기 때문이다(Rodrigue, 2020). Rodrigue(2020)의 기능적 공간 단위에 따르면 서울-인천은 MUR(mega-urban region), 그 외 지역은 EMR(extended metropolitan region)로 구분할 수 있다.

Park and Jwa(2009)에 의하면, 수도권 지역의 학업, 통근, 쇼핑을 위한 통행이 활발하였으며,

특히 학업을 위해 주변 도시들로부터 서울로 움직이는 경향이 과거에 비해 강해지고 있었다. 사무직에서도 서울로의 통근이 강하게 나타났다. 20대와 40대에서는 쇼핑을 위해 서울로 가는 경향이 강하였다. 이와 같이 수도권에서는 생활권 측면에서 밀접한 교통 네트워크를 형성하고 있다. 이에 더불어 서울과 인천, 경기 지역은 물동량이 집중되고 지속적으로 증가하고 있다. 특히 서울과 인천 간은 수도권에서 지역 간 물동량이 가장 많다(Ahn and Shin, 2010). Kim(2008)에 의하면, 대전, 부산, 광주, 대구는 인접 지역들과 통근·통학 측면에서 강한 네트워

크를 형성하고 있다. 교통사고는 인접한 도시들과의 교통흐름 속에 발생하므로, 본 연구는 연구 지역을 각 도시의 인접 지역을 포함한 권역으로 설정하였다(Figure 1). 인접 지역 현황과 각 지역의 연평균 자동차 등록대수는 Table 1과 같다. 자동차 등록대수는 MOLIT Statistics system으로부터 획득하였다.

연구 지역에서 총 교통사고는 69,336건이었고, 서울-인천 권역에서 37,067건, 부산 권역에서 10,277건, 대구 권역에서 8,754건, 대전 권역 5,099건, 그리고 광주 권역에서 8,139건의 교통사고가 발

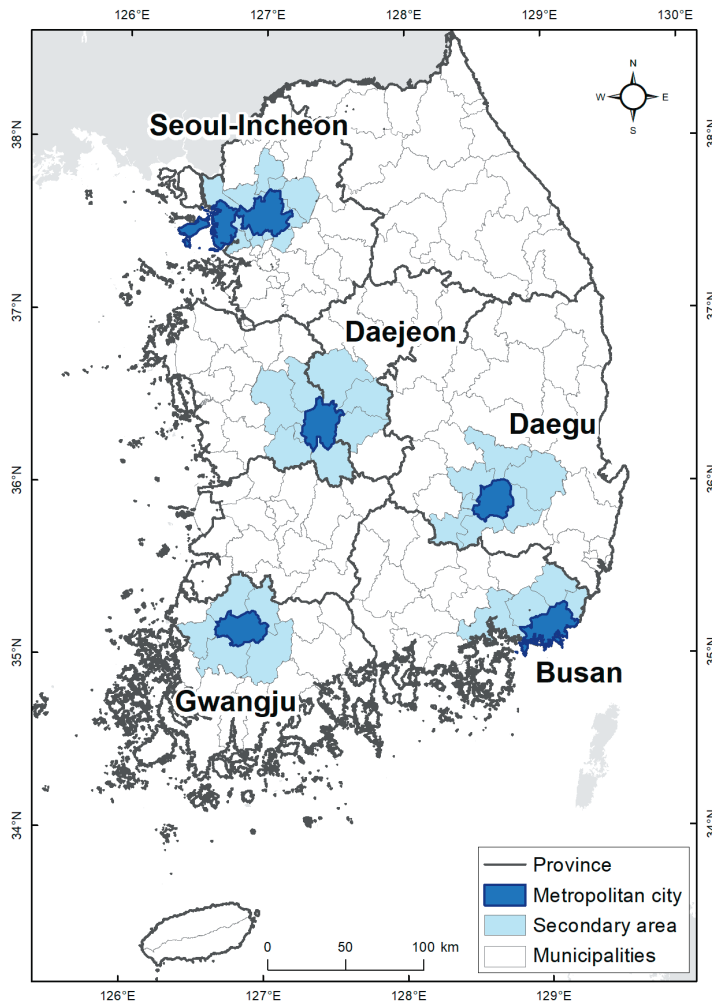


Figure 1. Study areas.

Table 1. Annual average number of vehicle registrations during the study period.

Functional spatial unit	Metropolitan area	Secondary area	Number of vehicles
MUR	Seoul-Incheon	Gimpo, Goyang, Yangju, Uijeongbu, NamYangju, Guri, Hanam, Bucheon, Gwangmyeong, Siheung, Anyang, Gwacheon, Seongnam	7,264,956
EMR	Busan	Changwon, Gimhae, Yangsan, Gijang	2,410,140
	Daegu	Gunwi, Gyeongsan, Yeongcheon, Goryeong, Chilgok, Dalseong	1,428,178
	Daejeon	Sejong, Cheongju, Boeun, Okcheon, Geumsan, Nonsan, Gyeryong, Gongju	1,469,662
	Gwangju	Jangseong, Damyang, Hwasun, Naju, Hampyeong	865,320

Table 2. Total number of traffic accidents by age of perpetrators in the summer of 2018-2020.

Age	MUR	EMR				
	Seoul-Incheon	Busan	Daegu	Daejeon	Gwangju	Total
≤59	27,627	7,627	6,335	3,708	5,908	51,205
60≤	8,731	2,522	2,243	1,314	2,142	16,952
Unknown	709	128	176	77	89	1,179
Total	37,067	10,277	8,754	5,099	8,139	69,336

Table 3. Summer climatic characteristics of the study area during the period from 1991 to 2020.

Study area	Duration of sunshine (hour)			Average of Tmax (°C)	Rainy days of summer
	Mean	90 th	Max		
Seoul-Incheon	5.6	11.6	14.1	28.2	38.9
Busan	6.0	12.0	13.5	27.3	35.9
Daegu	5.5	11.2	13.6	30.2	37.8
Daejeon	5.8	11.6	13.9	29.3	41.1
Gwangju	5.2	10.8	13.5	29.6	40.4

* Tmax: daily maximum temperature

생하였다. 60세 이상의 교통사고는 16,952건으로 전체 교통사고의 24.4%를 차지하였고, 60세 미만의 교통사고는 73.9%를 차지하였다(Table 2).

1991년부터 2020년까지의 30년간 연구 지역에서 일조시간은 평균적으로 부산 권역에서 가장 길었고(6.0시간), 광주 권역에서 가장 짧았다(5.2시간). 가장 긴 시간의 일조시간은 서울-인천 권역에서 관측되었다(14.1시간). 여름철 일최고기온은 평

균적으로 대구 권역에서 30.2℃로 가장 높았고, 부산 권역에서 27.3℃로 가장 낮았다. 여름철 평균 강우일수(0.1mm/day 이상)는 대전 권역에서 41.1일로 가장 많았고, 부산 권역에서 35.9일로 가장 적었다(Table 3).

2) 연구 방법

분석은 두 단계로 진행하였다. 첫 번째 단계에서

는 각 지역 및 연령대별로 일조시간과 교통사고와의 관계를 분석하여 지역적인 차이를 살펴보았다. 일조시간과 교통사고와의 관계를 분석하는 통계적인 방법으로는 포아송 분포를 사용하는 일반화가법 모형(Generalized Additive Model, GAM)을 활용하였다. GAM은 시계열적인 변화와 관찰하고자 하는 변수 외에 다른 요인들의 영향을 잠재적인 교란 변수로 고려함으로써 관찰하고자 하는 변수의 영향을 분석할 수 있다(Gasparrini *et al.*, 2015; Sahay, 2018). 본 연구에서 사용한 GAM의 공식은 다음의 식 1과 같다.

$$\begin{aligned} \ln[E(Y)] = & \beta_0 + s(V_{\text{sunshine}}) + \text{offset}(\log(V_{\text{carnum}})) \\ & + s(V_{\text{tmax}}) + s(V_{\text{wind}}) + s(V_{\text{prcp}}) + s(V_{\text{hwd}}) + s(V_{\text{tnd}}) \\ & + s(V_{\text{doy}}) + f(F_{\text{year}}) + f(F_{\text{holiday}}) \end{aligned} \quad (1)$$

여기에서 $E(Y)$ 는 각 시군에서의 일별 기대 교통사고 건수이다. s 는 평활화 함수로 변수의 비선형적인 영향을 고려할 때 사용되며, f 는 범주형 변수를 나타낸다. V_{sunshine} 은 하루 동안의 일조시간(hour), V_{carnum} 은 각 시군에서의 연도별 자동차 등록대수, V_{tmax} 는 일 최고기온($^{\circ}\text{C}$), V_{wind} 는 일 최대풍속(m/s), V_{prcp} 는 일 강수량(mm), V_{hwd} 는 폭염 지속기간, V_{tnd} 는 열대야 지속기간, V_{doy} 는 줄리안 데이를 의미한다. F_{year} 은 연도 구분이며, F_{holiday} 는 휴일 여부를 의미한다.

시군의 자동차 등록대수는 지역 간 교통사고의 건수 차이를 보정하기 위해 사용하였고, 최고기온, 강수량, 일 최대풍속 등의 기상 변수는 일조시간 외의 기상 요소의 영향을 고려하기 위해 사용하였다. 폭염 기준은 각 지역의 최근 30년(1991~2020년) 90th 퍼센타일 일 최고기온으로 정의하였고(서울-인천: 32.4°C ; 부산: 31.8°C ; 대구: 35.2°C ; 광주: 33.8°C ; 대전: 33.3°C), 열대야는 일 최저기온 25°C 이상으로 정의하였다. 줄리안 데이는 기상요인에

관계없이 일 년 중에 나타나는 교통사고의 시계열적 변화를 고려하기 위해 사용하였으며, 연도 구분 변수는 교통사고의 연도별 차이를 고려하기 위해 사용하였다. 요일은 Choi *et al.*(2019)의 연구를 참고하여 휴일(토요일, 일요일, 공휴일), 휴일 다음날, 그리고 그 외의 요일로 구분하였다. GAM의 분석에는 R의 mgcv 패키지(Wood, 2021)를 활용하였다.

현재 기상청의 폭염 기준은 기온과 사망자 발생의 역학적 분석 결과를 토대로 결정되었다(Park and Chae, 2021). 하지만 폭염의 영향이 나타나는 임계기온은 사회·경제적 여건뿐 아니라 기후에 따라서 상이하기 때문에 지역적인 임계기온을 설정할 필요가 있다(PHE, 2018; Park *et al.*, 2019). 지역적 임계기온은 다양한 방식으로 결정되는데, 기후학적인 퍼센타일도 그 중 한 가지 방법이다(Casanueva *et al.*, 2019). 각 지역에서 교통에 대한 임계기온이 확인되지 않은 상황에서 폭염의 지속기간을 고려하기 위해 본 연구는 기후학적 퍼센타일을 폭염의 기준으로 사용하였다.

두 번째 단계에서는 각 지역의 분석 결과를 이용하여 메타 분석을 통해 연령대에 따른 일조시간과 교통사고의 관계에 대한 종합적인 해석을 시도하였다. 메타분석은 두 개 이상의 연구 결과를 종합하여 일반화시키고, 표본수를 증가시켜 신뢰도 높은 추정치를 획득하기 위해 사용된다. 메타분석에서는 동일한 모집단을 가정하여, 각 모수들의 변화량은 연구 추정치의 변동량으로만 설명하는 고정효과모형(fixed effect model)과 연구 추정치 간의 변동량을 추가로 고려하여 분석하는 임의효과모형(random effect model)이 있으며, 일반적으로 모형의 선택은 입력 자료(기존 연구의 추정치)들의 이질성 검사 결과를 토대로 결정한다(Schwarzer *et al.*, 2015). 본 연구에서는 연구 결과에 대한 동질성 검사를 선행한 후 연구 결과의 이질성이 없음을 확인하고 고정효과모형을 연구에 사용하였다. 메타

분석에는 R의 metafor package(Schwarzer *et al.*, 2015)를 이용하였다.

3. 연구 결과

1) 전체 연령 분석 결과

전체 연령에 대한 분석 결과에서 일조시간은 광주 권역을 제외한 4개 권역에서 교통사고의 증가와 연관되어 있었다. Figure 2는 각 지역에서 일조시간과 전체 연령 교통사고와의 관계를 보여준다. 상대적 위험도가 1.0을 넘으면 기대되었던 것 보다 많은 교통사고가 발생하였다는 것을 의미한다. 서울과 부산 권역에서는 일조시간과 교통사고 사이에 선형적인 관계가 있었으며, 일조시간이 약 7시간을 넘어서면 교통사고가 평소에 비해 증가하는 경향이 있었다. 대구 권역에서는 교통사고가 증가하는 일조시간의 임계치가 10시간 부근에서 나타났다. 대전 권역에서는 일조시간이 12시간을 넘어서면서 교통사고가 증가하는 경향이 있었지만, 95%의 신뢰구간을 고려하면 증가경향이 뚜렷하지는 않았다. 광주 권역은 다른 지역들과 달리 일조시간이 교통사고에 미치는 영향이 분명하지 않았다.

광주 권역의 다른 지역에서는 교통사고의 상대적 리스크가 1.0을 넘는 임계 일조시간이 7시간부터 11시간까지 다양하다. 이 일조시간의 범위는 과거 30년(1991년부터 2020년)의 일조시간 분포(Table 3)에서 평균 보다는 크고 90th 퍼센타일 보다는 작다. 따라서 일조시간의 증가에 따른 교통사고의 상대적 리스크를 정략적으로 살펴보기 위해 각 지역의 75th, 90th, 95th 퍼센타일 일조시간에서의 상대적 리스크를 살펴보았다.

서울-인천, 부산 권역에서는 75th 퍼센타일의 일조시간에서부터 상대적 리스크가 각각 1.025(1.017~1.034), 1.039(1.018~1.061)로 통계적으로 유의

미하게 증가하였다. 대구에서는 95th 퍼센타일의 일조시간에서 상대적 리스크가 1.068(1.018~1.117) 증가하였다. 대전에서는 상대적 리스크가 95th 퍼센타일의 일조시간까지는 유의한 증가를 보이지 않았고, 일조시간이 13시간에 달할 때 증가 패턴이 나타났다(Table 4).

2) 연령 및 지역별 분석 결과

지역별 분석 결과에서는 60세 이상과 59세 이하의 연령대 모두에서 일조시간에 의한 교통사고의 리스크 증가가 관찰되었다. 서울-인천 권역에서는 59세 미만에서 뚜렷한 교통사고 리스크의 증가가 나타난 반면 60세 이상에서는 그러한 경향이 분명하지 않았다. 부산 권역에서는 두 연령대 모두에서 교통사고 리스크의 증가가 나타났으며, 상대적 리스크가 60세 이상에서 상대적으로 높게 나타났다. 대구에서는 95th 퍼센타일의 일조시간에서 59세 이하의 교통사고 리스크가 유의미하게 증가하였고, 대전에서는 90th 퍼센타일의 일조시간에서부터 60세 이상의 교통사고 리스크가 증가하였다(Table 5).

3) 메타 분석 결과

메타 분석 결과에 의하면(Figure 3), 두 연령대에서 모두 일조시간이 많아질수록 교통사고 리스크가 점차 증가하는 경향을 보였다. 59세 이하에서는 교통사고의 상대적 리스크가 75th, 90th, 95th 퍼센타일의 일조시간에서 각각 1.018(1.001~1.035), 1.037(1.011~1.062), 그리고 1.049(1.024~1.075)로 점진적으로 증가하였다. 60세 이상에서는 상대적 리스크가 각 일조시간에서 각각 1.031(1.002~1.060), 1.051(1.007~1.096), 그리고 1.055(1.005~1.105)이었다.

59세 이하 운전자의 교통사고 리스크는 지역적인 차이가 60세 이상의 리스크에 비해 상대적으로 컸다. 일례로, 59세 이하 운전자의 교통사고 리스크는

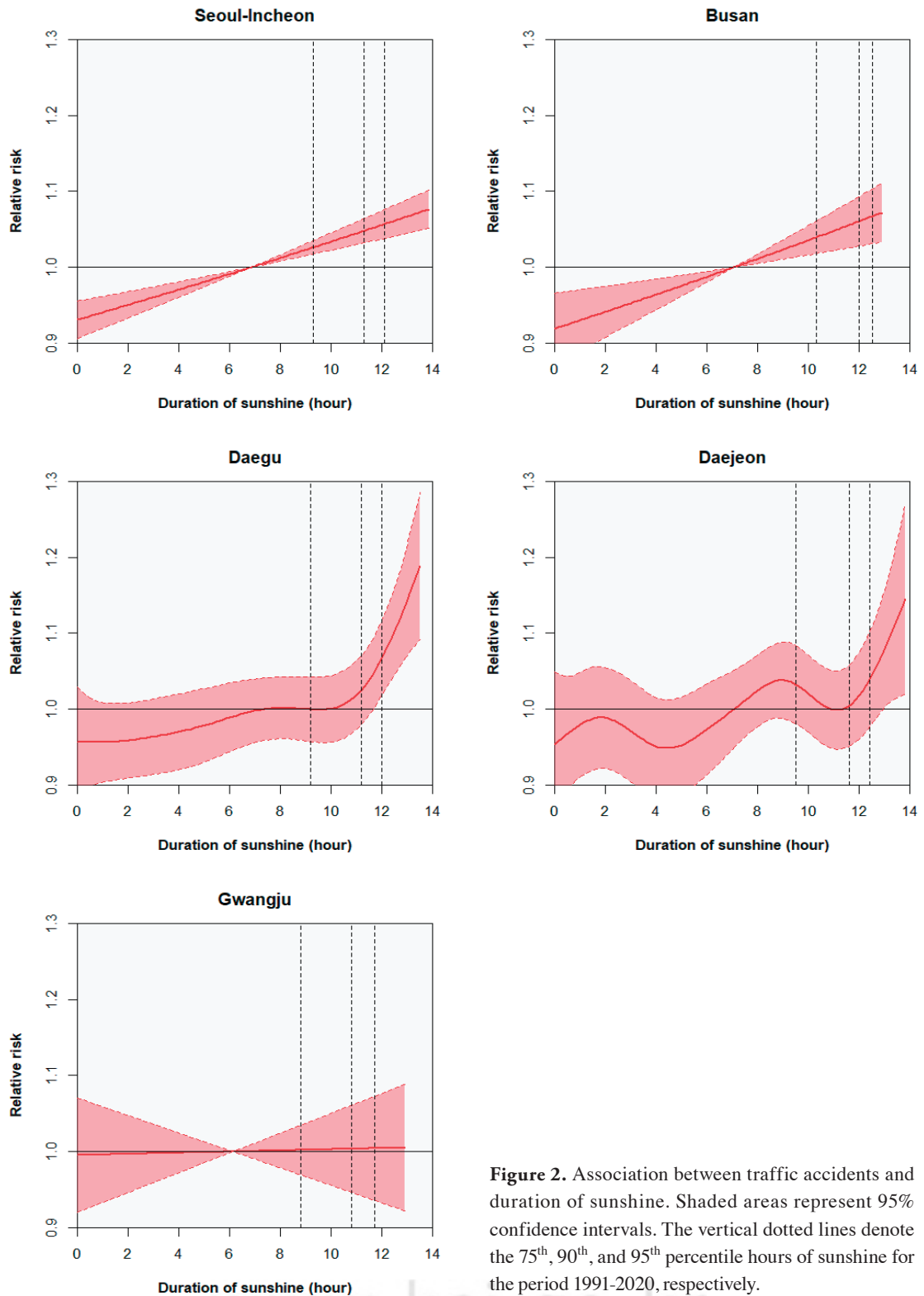


Figure 2. Association between traffic accidents and duration of sunshine. Shaded areas represent 95% confidence intervals. The vertical dotted lines denote the 75th, 90th, and 95th percentile hours of sunshine for the period 1991-2020, respectively.

Table 4. Relative risk of traffic accidents at the 75th, 90th, and 95th percentiles of the duration of sunshine. The parentheses indicate the 95% confidence interval.

Study area	Percentile for the duration of sunshine		
	75 th	90 th	95 th
Seoul-Incheon	1.025(1.017-1.034)	1.048(1.032-1.065)	1.056(1.037-1.075)
Busan	1.039(1.018-1.061)	1.060(1.028-1.093)	1.067(1.031-1.103)
Daegu	1.000(0.957-1.042)	1.025(0.980-1.071)	1.068(1.018-1.117)
Daejeon	1.033(0.982-1.084)	1.004(0.950-1.057)	1.039(0.976-1.102)
Gwangju	1.002(0.969-1.036)	1.004(0.946-1.061)	1.004(0.936-1.073)

Table 5. Relative risk of traffic accidents by ages at the 75th, 90th, and 95th percentiles of the duration of sunshine. The parentheses indicate the 95% confidence interval.

Study area	Age	Percentile for the duration of sunshine		
		75 th	90 th	95 th
Seoul-Incheon	≤59	1.031(1.022-1.041)	1.060(1.042-1.078)	1.069(1.048-1.090)
	60≤	0.994(0.971-1.017)	0.993(0.955-1.031)	0.993(0.949-1.037)
Busan	≤59	1.034(1.009-1.058)	1.052(1.014-1.089)	1.057(1.016-1.099)
	60≤	1.052(1.010-1.095)	1.082(1.016-1.147)	1.091(1.018-1.163)
Daegu	≤59	0.996(0.950-1.043)	1.026(0.976-1.075)	1.061(1.006-1.117)
	60≤	1.035(0.996-1.075)	1.063(0.993-1.134)	1.075(0.992-1.158)
Daejeon	≤59	1.006(0.978-1.034)	1.011(0.962-1.061)	1.013(0.955-1.071)
	60≤	1.043(0.999-1.088)	1.082(1.004-1.161)	1.098(1.005-1.191)
Gwangju	≤59	0.990(0.949-1.030)	0.982(0.914-1.051)	0.979(0.898-1.061)
	60≤	1.080(0.990-1.170)	1.081(0.971-1.191)	1.058(0.920-1.196)

90th 퍼센타일의 분석 결과에서 지역에서 따라 점진적으로 낮아지는 경향이 뚜렷하였다. 반면 60세 이상에서는 4개 도시의 리스크가 비록 95% 유의수준에서 1.0 이하의 값이 나타나지만 리스크 값은 1.08을 중심으로 형성되어 있다. 이는 개별적 분석에서 통계적으로 유의한 증가를 보인 사례가 59세 이하 운전자의 분석 결과 더욱 많이 나타났음에도 불구하고, 메타 분석에서는 60세 이상에서 다소 높은 상대적 리스크를 보이는 원인이 되었다.

4. 토의 및 결론

본 연구는 일조시간이 많아질수록 교통사고 리스크가 연령대에 관계없이 점차 증가한다는 것을 확인하였다. 아울러 운전자 연령대에 따른 리스크 증가 경향의 차이는 뚜렷하지 않았다. 59세 이하의 운전자에서 나타나는 일조시간과 교통사고 리스크의 증가 경향은 지역에 따른 차이가 뚜렷한 반면, 60세 이상의 운전자에서는 그 경향의 지역적 차이가 뚜렷하지 않았다.

기준에 많은 연구들이 연령대에 따른 교통사고 리스크의 차이를 언급하였고, 고령의 운전자의 취

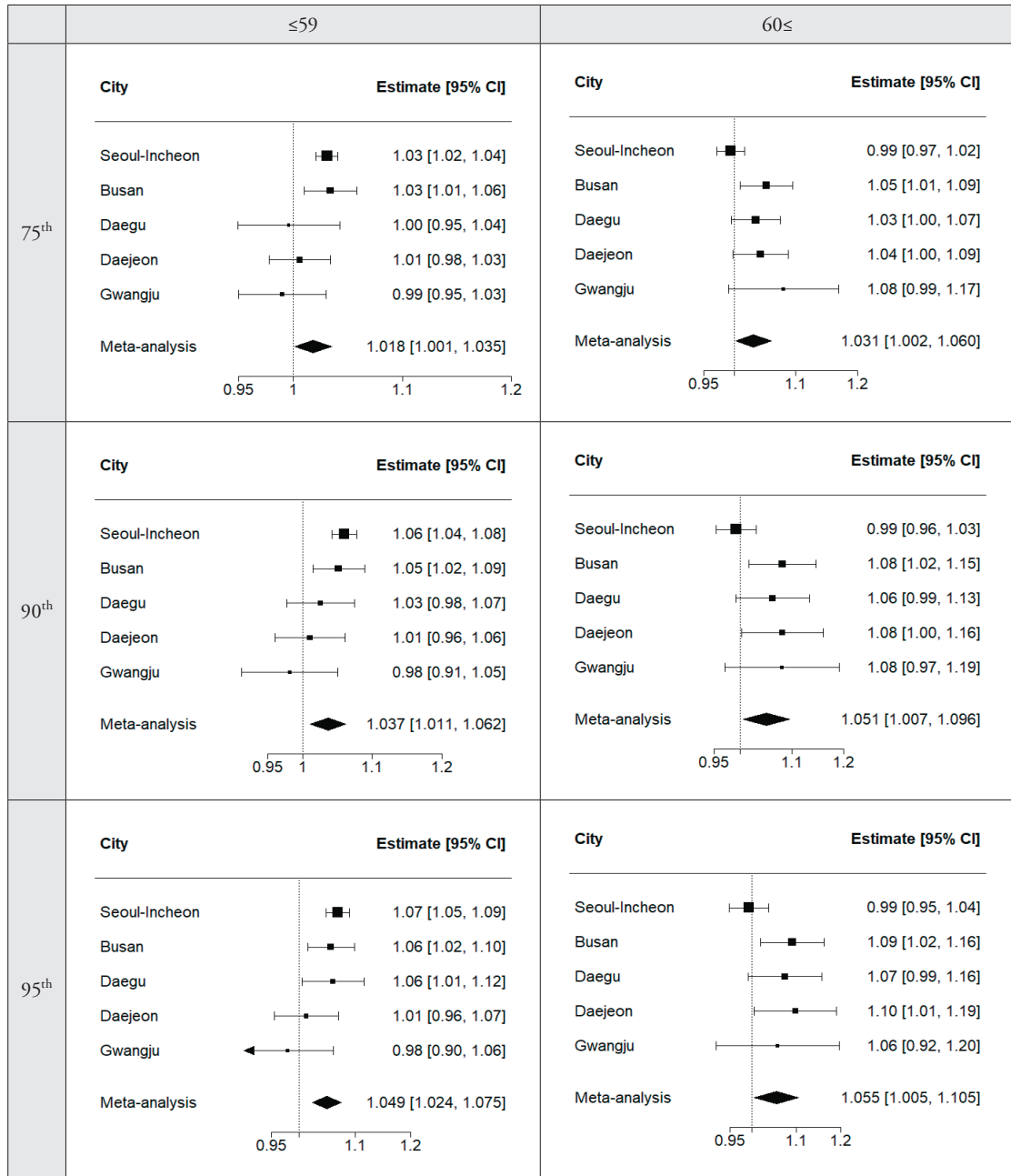


Figure 3. Meta-analysis result of traffic accident risk according to the duration of sunshine considering the age of traffic accident offender (columns: ages; rows: percentile for the duration of sunshine).

약 요인으로서는 반응속도(Bromberg *et al.*, 2012; Isabelle and Simon, 2020)와 피로도(Susilowati and Yasukouchi, 2012)가 취약요인으로 지적되었

다. 본 연구의 메타 분석 결과에서 고령 운전자의 교통사고 리스크가 젊은 운전자에 비해 높게 나타난 것은 일조시간이 많아질 때 눈부심으로 인한 고령

운전자의 반응속도가 저하, 눈부심과 교통강도 증가에 따른 피로도 증가 때문일 수 있다. 하지만 지역별 분석 결과에서는 젊은 운전자의 교통사고 리스크가 고령 운전자의 교통사고 리스크 보다 통계적으로 유의미하게 높은 사례들이 있었기 때문에 고령 운전자와 젊은 운전자 사이의 리스크 차이를 일반화하기는 어려운 것으로 판단되었다. 따라서 본 연구의 결과는 일조시간이 많아질 때 특정 연령대에 집중하여 경고와 정책을 펼치는 것 보다는 모든 운전자들에게 교통사고의 위험성을 알리는 것이 중요하다는 것을 의미한다.

개별 지역별 분석에서 60세 이상의 리스크가 통계적으로 유의미한 결과를 보인 사례가 제한적이었던 것은 샘플 부족으로 인해 발생했을 가능성도 배제할 수는 없다. 지역별 분석에서 59세 이하 운전자에서는 통계적으로 유의한 리스크 증가 패턴이 다수 확인된 것에 비해 60세 이상에서는 그 경향이 뚜렷하지 않았다. 60세 이상의 경우 59세 이하에 비해 높은 상대적 리스크 값을 나타내는 사례가 많았지만 대부분의 경우에 95th 퍼센타일 유의구간이 1.0을 넘지 않았다. 이는 연령에 따른 사고건수의 차이 때문에 발생한 분석의 한계일 가능성이 있다. 59세 이하의 사고건수는 전체 사고건수의 73.9%이었지만 60세 이상의 사고건수는 24.4%이었다(Table 2). 따라서 샘플 부족으로 인한 불확실성이 통계적 유의성을 확인하는데 어려움으로 작용한 것일 수 있다. 이러한 연구의 한계에 대해서는 추후 지속적인 관심과 연구를 통해 보완할 필요가 있다.

다만 서울과 부산에서는 59세 운전자에 대한 보다 강화된 경고와 사고 저감 정책이 필요할 것으로 판단된다. 서울과 부산에서 59세 이하 운전자들이 일조시간의 영향을 뚜렷하게 받고 있었기 때문이다. 두 지역에서 젊은 운전자의 교통사고 리스크가 뚜렷하게 나타난 원인, 그리고 59세 이하 운전자에서 나타나는 교통사고 리스크의 지역적 차이에 대

한 원인은 추가적인 연구를 통해 밝힐 필요가 있을 것으로 판단된다. 일조시간의 영향은 도로망의 구조에 의해 나타날 수도 있고(Kim and Baik, 2010), 운전 문화, 전체 운전자 중에서 이제 막 운전을 배우기 시작한 운전자들이 차지하는 비율 등 다양한 원인에 의해 영향을 받을 수 있을 것으로 여겨지기 때문이다.

연구 결과에서 대구와 대전의 일조시간 임계값이 서울-인천과 부산에 비해 높았다. 기존 연구에서 기상의 임계값이 공간적으로 차이를 보이는 이유는 기후 또는 사회·경제적 여건 등에 의한 차이로 검토되었다(Kim *et al.*, 2017; Park *et al.*, 2019; 2021). Table 3에서 지역 간 일조시간에 뚜렷한 차이가 나지 않고, 임계값이 낮은 부산에서 일조시간의 평균이 다른 지역에서 긴 것을 고려하면, 기후 적응 측면에서 일조시간의 임계값을 설명하기는 어려운 것으로 판단된다. 따라서 임계값의 공간적 차이를 이해하기 위해서는 구조적인 관점에서는 교통체계, 교통량, 도로의 발달 방향 등을 살펴볼 필요가 있고, 구성적인 관점에서는 운전 행태와 운전자의 연령 구성, 운전 경력 등을 살펴볼 필요도 있다. 또한 고층건물의 태양광 경면반사에 의한 눈부심(Lee *et al.*, 2009)이 발생하기 때문에 도시 건물의 특성도 고려해 볼 필요가 있다. 따라서 임계값의 공간적 차이에 대한 원인을 파악하기 위해서는 추가적인 연구를 필요로 한다.

본 연구의 결과는 일조시간이 많은 날에는 연령대를 구분하지 않고 모든 운전자들을 대상으로 하는 리스크 저감 대책이 필요하다는 것을 시사한다. 다만 일부 지역에서는 젊은층에 대한 보다 강화된 경고와 대응 정책도 필요하며, 젊은 운전자의 취약성이 높은 지역에서는 그 원인에 대한 관심과 추가적인 연구가 필요하다. 최근 기상청에서는 일기예보에서 한발 나아가 그로 인한 영향을 예보하기 위해 노력하고 있으며, 교통 부문도 그 대상 중 하나이

다. 본 연구 결과에 의하면, 영향예보에서 일조시간을 고려하는 것은 교통부문에서 영향예보의 효과를 증진시키는데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

사사

본 연구는 한국기상산업기술원의 「자연재해대응 영향예보 생산기술 개발」 사업(KMI2021-00411)의 지원을 받아 한국환경연구원(KEI 2021-034(R))이 수행하였습니다.

References

- Ahn, K. and Shin, S., 2010, *How to Improve the Efficiency of Logistics and Distribution between Seoul and Incheon?*, SD Policy Report, Seoul Development Institute (in Korean).
- Basagaña, X., Escalera-Antezana, J. P., Dadvand, P., Llatje, Ó., Barrera-Gómez, J., Cunillera, J., Medina-Ramón, 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*, 123(12), 1309-1316.
- Bergel-Hayat, R., Debbarh, M., Antoniou, C., and Yannis, G., 2013, Explaining the road accident risk: weather effects, *Accident Analysis and Prevention*, 60, 456-465.
- Brijs, T., Karlis, D., and Wets, G., 2008, Studying the effect of weather conditions on daily crash counts using a discrete time-series model, *Accident Analysis and Prevention*, 40(3), 1180-1190.
- Bromberg, S., Oron-Gilad, T., Ronen, A., Borowsky, A., and Parmet, Y., 2012, The perception of pedestrians from the perspective of elderly experienced and experienced drivers, *Accident Analysis and Prevention*, 44(1), 48-55.
- Casanueva, A., Burgstall, A., Kotlarski, S., Messeri, A., Morabito, M., Flouris, A. D., Nybo, L., Spirig, C., and Schwierz, C., 2019, Overview of existing heat-health warning systems in Europe, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(15), 2657.
- Choi, S., Chae, Y., and Park, J., 2019, Effects of high temperatures on traffic accidents during summer daytime, *Journal of Climate Research*, 14(3), 171-181 (in Korean with English abstract).
- Choi, Y. W. and Yoon, D. K., 2020, A time-series study on the impacts of low temperature on traffic accidents in winter, *Journal of climate research*, 15(4), 213-227 (in Korean with English abstract).
- Constantinou, E., Panayiotou, G., Konstantinou, N., Loutsiou-Ladd, A., and Kapardis, A., 2011, Risky and aggressive driving in young adults: Personality matters, *Accident Analysis and Prevention*, 43(4), 1323-1331.
- Cools, M., Moons, E., and Wets, G., 2010, Assessing the impact of weather on traffic intensity, *Weather, Climate, and Society*, 2(1), 60-68.
- Curry, A. E., Pfeiffer, M. R., Durbin, D. R., and Elliott, M. R., 2015, Young driver crash rates by licensing age, driving experience, and license phase, *Accident Analysis and Prevention*, 80, 243-250.
- Deschênes, O. and Moretti, E., 2009, Extreme weather events, mortality, and migration, *The Review of Economics and Statistics*, 91(4), 659-681.
- Edwards, J. B., 1999, The temporal distribution of road accidents in adverse weather, *Meteorological Applications*, 6(1), 59-68.
- Eisenberg, D. and Warner, K. E., 2005, Effects of snowfalls on motor vehicle collisions, injuries, and fatalities, *American Journal of Public Health*, 95(1), 120-124.
- El-Basyouny, K. and Kwon, D. W., 2012, Assessing time and weather effects on collision frequency by

- severity in Edmonton using multivariate safety performance functions, *Transportation Research Board 91st Annual Meeting*.
- Gasparrini, A., Guo, Y., Hashizume, M., Lavigne, E., Zanobetti, A., Schwartz, J., Tobias, A., Tong, S., Rocklöv, J., Forsberg, B., Leone, M., De Sario, M., Bell, M. L., Guo, Y. L. L., Wu, C., Kan, H., Yi, S. M., Coelho, M., Saldiva, P., Honda, Y., Kim, H., and Armstrong, B., 2015, Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study, *THE LANCET*, 386(9991), 369-375.
- Hambly, D., Andrey, J., Mills, B., and Fletcher, C., 2012, Projected implications of climate change for road safety in Greater Vancouver, Canada, *Climatic Change*, 116(3-4), 613-629.
- Hermans, E., Wets, G., and Van den Bossche, F., 2006, Frequency and severity of Belgian road traffic accidents studied by state-space methods, *Journal of Transportation and Statistics*, 9(1), 63-76.
- Isabelle, M. P. and Simon, M., 2020, Comparison between elderly and young drivers' performances on a driving simulator and self-assessment of their driving attitudes and mastery, *Accident Analysis and Prevention*, 135, 105317.
- Jaroszweski, D. and McNamara, T., 2014, The influence of rainfall on road accidents in urban areas: a weather radar approach, *Travel Behaviour and Society*, 1(1), 15-21.
- Keay, K. and Simmonds, I., 2006, Road accidents and rainfall in a large Australian city, *Accident Analysis & Prevention*, 38(3), 445-454.
- Kim, H., 2008, The change of inter-regional network structure in metropolitan area in Daejeon, Gwangju, Daegu, Busan-Ulsan, *The Korea Spatial Planning Review*, 59, 263-280 (in Korean with English abstract).
- Kim, H. Y. and Baik, H. J., 2010, Analysis of highway hazardous area by sun glare intensity using GIS simulation, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 13(4), 91-100 (in Korean with English abstract).
- Kim, J., Song, K. J., Hong, K. J., and Ro, Y. S., 2017, Trend of outbreak of thermal illness patients based on temperature 2002-2013 in Korea, *Climate*, 5(4), 64.
- Kim, J. H., Kim, I. T., Song, K. D., and Choi, A. S., 2013, A study on the evaluating method for daylight glare due to solar specular reflection from a high-rise buildings using the RADIANCE program, *Journal of Korean Living Environment System*, 20(1), 64-71 (in Korean with English abstract).
- Kim, Y., Kim, S., Choi, J., and Lee, D., 2012, A study for influence of sun glare effect on traffic safety at tunnel hood, *International Journal of Highway Engineering*, 14(6), 103-110 (in Korean with English abstract).
- Leard, B. and Roth, K., 2015, *Weather, Traffic Accidents, and Climate Change*, Discussion Papers dp-15-19, Resources For the Future.
- Lee, J., Chae, J., Yoon, T., and Yang, H., 2018, Traffic accident severity analysis with rain-related factors using structural equation modeling : a case study of Seoul City, *Accident Analysis and Prevention*, 112, 1-10.
- Lee, J. Y., Lee, J. Y., Kim, J. H., and Song, K. D., 2009, Evaluating glare in due to solar specular reflection from a high-rise building skin, *Journal of the Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems*, 3(1), 23-30 (in Korean with English abstract).
- Lee, W. K., Lee, H. A., Hwang, S., Kim, H., Lim, Y. H., Hong, Y. C., Ha, E. H., and Park, H., 2014, A time series study on the effects of cold temperature on road traffic injuries in Seoul, Korea, *Environmental Research*, 132, 290-296.
- Lu, H., Chen, M., and Kuang, W., 2020, The impacts of abnormal weather and natural disasters on transport and strategies for enhancing ability

- for disaster prevention and mitigation, *Transport Policy*, 98, 2-9.
- Malin, F., Norros, I., and Innamaa, S., 2019, Accident risk of road and weather conditions on different road types, *Accident Analysis and Prevention*, 122, 181-188.
- Moore, R. L., Sedgley, I. P., and Sabey, B. E., 1982, Ages of car drivers involved in accidents, with special reference to junctions, *Accident Analysis and Prevention*, 14(6), 488-489.
- Park, J. and Chae, Y., 2021, Analysis on effectiveness of impact based heatwave warning considering severity and likelihood of health impacts in Seoul, Korea, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(5), 2380.
- 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 Environmental Research and Public Health*, 16(9), 1561.
- Park, J., Choi, Y., and Chae, Y., 2021, Heatwave impacts on traffic accidents by time-of-day and age of casualties in five urban areas in South Korea, *Urban Climate*, 39, 100917.
- Park, K. and Jwa, S. H., 2009, *A Study on the Spatial Structure of the Seoul Metropolitan Area using O/D Trips*, Gyeonggi Research Institute (in Korean with English abstract).
- Parker, D., McDonald, L., Rabbitt, P., and Sutcliffe, P., 2000, Elderly drivers and their accidents: the aging driver questionnaire, *Accident Analysis and Prevention*, 32(6), 751-759.
- PHE(Public Health England), 2018, *Heatwave Plan for England: Protecting Health and Reducing Harm from Severe Heat and Heatwaves*, London, UK.
- Qiu, L. and Nixon, W. A., 2008, Effects of adverse weather on traffic crashes: systematic review and meta-analysis, *Transportation Research Record*, 2055(1), 139-146.
- Rodrigue, J. P., 2020, *The Geography of Transport Systems (5th Edition)*, Routledge.
- Sahay, S., 2018, Climatic variability and dengue risk in urban environment of Delhi (India), *Urban Climate*, 24, 863-874.
- Schwarzer, G., Carpenter, J. R., and Rücker, G., 2015, *Meta-Analysis with R*, Springer.
- Sullivan, K. A., Smith, S. S., Horswill, M. S., and Lurie-Beck, J. K., 2011, Older adults' safety perceptions of driving situations: towards a new driving self-regulation scale, *Accident Analysis and Prevention*, 43(3), 1003-1009.
- Susilowati, I. H. and Yasukouchi, A., 2012, Cognitive characteristics of older Japanese drivers, *Journal of Physiological Anthropology*, 31(1), 2.
- Theofilatos, A. and Yannis, G., 2014, A review of the effect of traffic and weather characteristics on road safety, *Accident Analysis and Prevention*, 72, 244-256.
- WHO, 2018, *Global Status Report on Road Safety 2018: Summary* (WHO/NMH/NVI/18.20), World Health Organization.
- Wood, S., 2021, *Package 'mgcv': Mixed GAM Computation Vehicle with Automatic Smoothness Estimation*.
- KoROAD, 2018, '17. Estimation and Evaluation of Road Traffic Accident Costs (http://taas.koroad.or.kr/web/bdm/srs/selectStaticReportsList.do?menuId=WEB_KMP_IDA_SRS_RTE) (in Korean with English abstract).
- KoROAD, 2021, https://www.koroad.or.kr/kp_web/safeBiz6.do (accessed on 1 Feb 2021).

책임편집: 허인혜
영문교열: 정지훈