

주행차량 안전벨트 착용 감지시스템 교통안전 효과 분석

Analysis of Traffic Safety Effectiveness of Vehicle Seat-belt Wearing Detection System

박지원* · 박수빈** · 강상철*** · 오철****

* 주저자 : 한양대학교 스마트시티공학과 박사과정

** 공저자 : 한국건설기술연구원 도로교통연구본부 박사후연구원

*** 공저자 : ㈜지엔티솔루션 대표이사

**** 교신저자 : 한양대학교 교통물류공학과 교수

Ji won Park* · Su bin Park** · Sang cheol Kang*** · Cheol Oh****

* Dept. of Smart City Eng., Univ. of Hanyang

** Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

*** GnT Solution, Inc.

**** Dept. of Transportation and Logistics Eng., Univ. of Hanyang

† Corresponding author : Cheol Oh, cheolo@hanyang.ac.kr

Vol. 22 No.5(2023)
October, 2023
pp.53~73

pISSN 1738-0774
eISSN 2384-1729
<https://doi.org/10.12815/kits.2023.22.5.53>

Received 22 May 2023
Revised 14 June 2023
Accepted 10 August 2023

© 2023. The Korea Institute of
Intelligent Transport Systems. All
rights reserved.

요약

교통사고로 인한 인체 상해를 최소화할 수 있는 안전벨트의 착용이 전 좌석에서 의무임에도 불구하고, 안전벨트를 착용하지 않은 교통사고 사상자수는 여전히 많은 비율을 차지한다. 주행차량 내 전 좌석 안전벨트 착용 감지시스템은 탑승자의 안전벨트 착용 여부를 판단하고 착용을 유도하는 시스템으로 안전벨트 미착용 사상자수 감소를 위한 유용한 기술적 대응방안이 될 수 있다. 본 연구에서는 첫 번째로 순서형프로빗 모형을 활용한 교통사고 상해심각도 영향요인 평가를 통해 시스템 도입에 대한 타당성을 제시하였다. 분석결과, 안전벨트 착용 여부는 교통사고 상해심각도에 통계적으로 유의한 영향을 미치며 안전벨트 착용 시 사망 및 치명상에 이를 확률이 0.054배 감소하는 것으로 나타났다. 두 번째로 안전벨트 및 교통사고 상해와 관련된 선행연구를 기반으로 메타분석을 수행하여 시스템 도입 시 기대되는 사고심각도 감소효과를 추정하였다. 사고심각도 감소효과 분석결과, 안전벨트 착용 시 사망사고가 63.3% 감소할 것으로 분석되었으며 앞좌석은 75.7%, 뒷좌석은 58.1%의 사망사고 감소효과를 갖는 것으로 나타났다. 마지막으로 메타분석 결과와 교통사고 통계자료를 기반으로 시스템 도입 시 기대되는 교통사고 사상자수 감소효과를 도출하여 시스템의 교통안전 측면 효과를 분석하였다. 시스템 도입률이 증가함에 따라 안전벨트 미착용 교통사고 사상자수가 감소하였으며 시스템 도입률이 60%일 경우 사망자수는 현재 대비 3배 이상 감소할 것으로 예상되었다. 분석결과를 활용하여 안전벨트 착용률을 높이고 사고심각도를 저감시킬 수 있는 시스템 운영 방안을 제시하였다.

핵심어 : 교통사고 상해심각도, 안전벨트, 감지 시스템, 교통사고자료 분석

ABSTRACT

Although it is mandatory to wear a seat belt that can minimize human injury when traffic accident occurs, the number of traffic accident casualties not wearing seat belts still accounts for a significant proportion. The seat belt wearing detection system for all seats is a system that identifies whether all seat passengers wear a seat belt and encourages their usage, also it can be a useful technical

countermeasure. Firstly, this study established the viability of system implementation by assessing the factors influencing the severity of injuries in traffic accidents through the development of an ordered probit model. Analysis results showed that the use of seat belts has statistically significant effects on the severity of traffic accidents, reducing the probability of death or serious injury by 0.054 times in the event of a traffic accident. Secondly, a meta-analysis was conducted based on prior research related to seat belts and injuries in traffic accidents to estimate the expected reduction in accident severity upon the implementation of the system. The analysis of the effect of accident severity reduction revealed that wearing seat belts would lead to a 63.3% decrease in fatal accidents, with the front seats showing a reduction of 75.7% and the rear seats showing a reduction of 58.1% in fatal accidents. Lastly, Using the results of the meta-analysis and traffic accident statistics, the expected decrease in the number of traffic accident casualties with the implementation of the system was derived to analyze the traffic safety effects of the proposed detection system. The analysis demonstrated that with an increase in the adoption rate of the system, the number of casualties in accidents where seat belts were not worn decreased. Specifically, at a system adoption rate of 60%, it is anticipated that the number of fatalities would decrease by more than three times compared to the current scenario. Based on the analysis results, operational strategies for the system were proposed to increase seat belt usage rates and reduce accident severity.

Key words : Crash severity, Seatbelt, Detection system, Traffic crash analysis

I. 서 론

교통사고로 인한 인명피해를 최소화하기 위해서는 차내 충격완화장치인 안전벨트 착용이 필수적이다. 특히 안전벨트는 교통사고 발생 시 충격을 신체의 여러 곳으로 분산시켜 인체상해를 줄이는 데에 효과적인 기능을 한다. 안전벨트는 차량 탑승자의 신체를 직접적으로 보호할 수 있으므로 차량 탑승 시 운전석과 조수석, 뒷좌석 탑승자까지 필수적으로 착용해야 하는 장치이다. 현재 우리나라에서는 2018년 9월부터 도로교통법 제50조에 근거하여 모든 도로에서 전좌석 안전벨트 착용을 의무화하고 있다. 그러나 도로교통법 개정 이후 최근 3년간 고속도로 교통사고 사망자 526명 중 안전벨트 미착용 사망자는 151명으로, 전체의 28.7%에 해당하는 수치이다. 최근 3년간 고속도로 안전벨트 착용률은 2019년 91.4%, 2020년 89.1%, 2021년 86.9%로 소폭 감소하는 경향을 보이고 있다. 좌석별 안전벨트 착용 현황을 살펴보면 운전석 89.7%, 조수석 94.2%, 뒷좌석 71.0%로 전좌석 안전벨트 착용은 잘 지켜지지 않고 있다(Korea Transportation Safety Authority, 2022).

안전벨트 미착용 교통사고 사상자수 감소를 위해서는 안전벨트 미착용에 대한 단속이 시행되어야 한다. 그러나 도로 위 모든 차량 탑승자의 안전벨트 착용 여부를 단속하는 것은 현실적으로 어려움이 있으며 교통 흐름에 방해가 될 수 있다. 따라서 기존 단속방법의 한계를 해결하기 위하여 주행 중인 차량 내 전 좌석 안전벨트 착용 여부를 검지하고 안전벨트 착용을 유도하는 기술이 개발 중이다.

주행차량 내 전 좌석 안전벨트 착용 검지시스템은 적외선 투과 영상촬영 및 딥러닝 영상인식 모델을 활용하여 차량 내부 인원에 대한 안전벨트 착용 여부를 검지하도록 개발된다. 적외선 카메라와 일루미네이터 조명을 이용하여 차량 유리 영역을 투과하여 촬영하며, 인공지능 딥러닝 모델을 활용하여 촬영된 이미지를 기반으로 안전벨트 착용 여부를 판단한다(Korea Technology & Information Promotion Agency for SMEs, 2022).

우리나라는 1997년 국가 ITS 기본계획 수립 이후 도로, 차량 등 교통의 구성요소에 첨단 기술을 적용해 교통시설을 효율적으로 운영하고, 안전하고 편리한 통행과 전체 교통체계의 효율성을 갖도록 하는 지능형교통체계(ITS, Intelligent Transport System) 사업을 활발히 추진하고 있다. 자동단속시스템(ATES, Automatic Traffic Enforcement

System)은 ITS의 구성요소 중 하나로 과속, 신호위반, 불법주차, 버스 전용 차로 위반행위 등을 자동으로 단속하여 교통안전과 교통체계의 질을 향상시키기 위한 시스템이다. 주행차량 내 전 좌석 안전벨트 착용 금지 시스템이 향후 ITS의 자동단속 시스템 및 교통센터와 연계되어 단속을 자동화하고 교통안전을 증가시킴으로써 ITS를 고도화할 수 있을 것으로 전망된다.

본 연구에서는 주행차량 내 전 좌석 안전벨트 착용 금지시스템 개발의 필요성을 평가하고 시스템 도입 시 예상되는 교통사고 사상자수 감소효과를 추정하였다. 우선 통계적 방법론을 기반으로 고속도로 상해심각도 분석을 수행하여 안전벨트 착용 여부가 상해심각도에 미치는 영향을 평가하였다. 이후 안전벨트 및 교통사고 심각도와 관련된 선행연구를 기반으로 메타분석을 수행하여 안전벨트 착용에 따른 탑승위치별 사망, 중상, 경상 교통사고 심각도 감소효과를 도출하였다. 마지막으로 메타분석을 통하여 도출된 교통사고 심각도 감소 효과를 이용하여 탑승위치 및 사상자 유형별 안전띠 미착용 교통사고 사상자수 감소율을 추정하였다.

II. 기존 문헌 고찰

본 연구의 문헌 검토는 순서형 프로빗 모형을 활용한 교통안전 관련 연구와 선행연구를 대상으로 하나의 결과물을 도출하는 메타분석을 활용한 교통안전 관련 연구를 대상으로 실시하였다. 문헌 조사를 통해 교통사고 심각도 분석을 위한 순서형 프로빗 모형의 활용성을 파악하고, 새로운 시스템을 도입할 시 기대되는 효과를 추정하기 위한 메타분석의 필요성을 확인하였다.

1. 순서형 프로빗 모형을 활용한 교통안전 연구

순서형 프로빗 모형을 활용한 교통사고 심각도 분석은 국내외에서 다양하게 연구되어왔다. Ha et al.(2005)는 순서형 프로빗 모형을 이용한 교차로 교통사고를 대상으로 한 심각도 분석 모형을 제안하였다. Choi et al.(2013)은 보행자 교통사고 영향요인 평가를 위하여 순서형 프로빗 모형을 사용하였으며, Yoon et al.(2016)은 순서형 프로빗 모형을 활용하여 고속도로 공사구간 교통사고 심각도 영향요인을 도출하였다. Choi and Kim(2014)과 Kim and Chung(2018)은 순서형 프로빗 모형을 이용하여 이륜차의 사고심각도에 미치는 영향요인을 파악하였다. Park et al.(2022)는 택시 및 버스 운전자의 사고심각도에 영향을 미치는 요인을 순서형 프로빗 모형을 통해 평가하였다. 분석결과 평균 수면시간, 일주일 근로시간, 효율적인 여가시간의 사용 등이 사고심각도 영향요인으로 도출되었다.

국외 연구로는 Gray et al.(2008)이 치명적인 부상, 중경상, 단순 타박상을 종속변수로 하여 순서형 프로빗 모형을 통해 사고심각도 분석 모델을 구축하였다. Abdel-aty and Pemmanaboina(2006)는 순서형 프로빗 모형을 활용하여 교통사고와 기상상태의 관계를 규명하였다.

2. 메타분석을 활용한 교통안전 연구

메타분석은 기존에 수행된 개별 연구 결과물을 종합하여 하나의 효과크기로 통합하여 평가하는 통계적 분석방법이며, 메타분석을 수행하기 위해서는 통합하고자 하는 연구주제와 관련된 선행연구들의 수가 충분하여야 한다(Shin et al., 2015; Kang, 2015). 교통안전 분야에서는 가드레일과 충격흡수쿠션(Elvik, 1995), 자동 과속단속 시스템(Elvik, 1997), 도심 정온화기법(Elvik, 2001) 등 교통안전시설물 및 안전장치에 대한 효과를

정량적으로 평가한 연구를 시작으로 현재까지 다수 활용되고 있다.

Kim et al.(2022)는 화물차 군집주행 도입 시 기대되는 도로용량 증대, 연료 소비량 절감, 교통안전 증대 등의 효과를 메타분석을 활용하여 평가하였다. 평가결과 군집주행 도입 시 도로용량이 13.93% 증가하고 교통상충이 38.76% 감소하며 연료 소비량 또한 8.13% 감소할 것으로 분석되었다.

Oh et al.(2017)은 메타분석을 활용하여 차체자세제어장치(ESC) 시스템의 교통안전 효과를 평가하였으며 사고율, 사망 사고율, 통제 상실 사고율을 평가지표로 설정하였다. ESC 시스템을 적용할 경우 사고율이 10% 감소하고 사망 사고율이 27% 감소할 것으로 분석되었다. Jo et al.(2016)은 공사구간에 가변속도제한 시스템(VSL)을 적용할 시 예상되는 교통 운영효율성과 교통 안전성 향상 효과를 메타분석을 이용하여 평가하였다. 교통 운영효율성 평가지표는 통과교통량, 교통안전성 평가지표는 주행속도 감소량으로 설정하여 가변속도제한시스템의 공사구간 내 적용 가능성을 제시하였다.

Park et al.(2015)은 2008년부터 2012년까지 부산광역시 도심형 중앙분리대 구간에서 중앙분리대 설치 전후 발생한 교통사고 건수를 기반으로 메타분석을 이용하여 교통안전 효과를 평가하였다. 평가결과 도심형 중앙분리대 설치 이후 인근 지역 교통사고 건수가 증가한 것으로 나타났다.

3. 시사점

다수의 연구자가 교통사고 심각도 영향요인에 관한 연구를 수행하였지만 주로 교통사고 한 건당 집계되는 사상유형별 사상자수를 사고심각도로 정의하여 종속변수로 활용하였으며 교통사고 당사자 1명당 상해 정보를 활용한 사고심각도를 다루는 연구는 미흡하다. 일반적으로 활용되는 교통사고 자료의 경우 운전자 및 탑승자 인적요인의 수집이 잘 이루어지고 있지 않으며, 특히 상해 정보를 취득하는 데에 큰 어려움이 있다. 본 연구에서는 한국형 자동차사고 심층조사 분석자료(KIDAS)와 고속도로 교통사고 자료를 통합한 데이터셋을 구축하여 교통사고 당사자별 인체 상해심각도에 영향을 미치는 요인을 평가하였다.

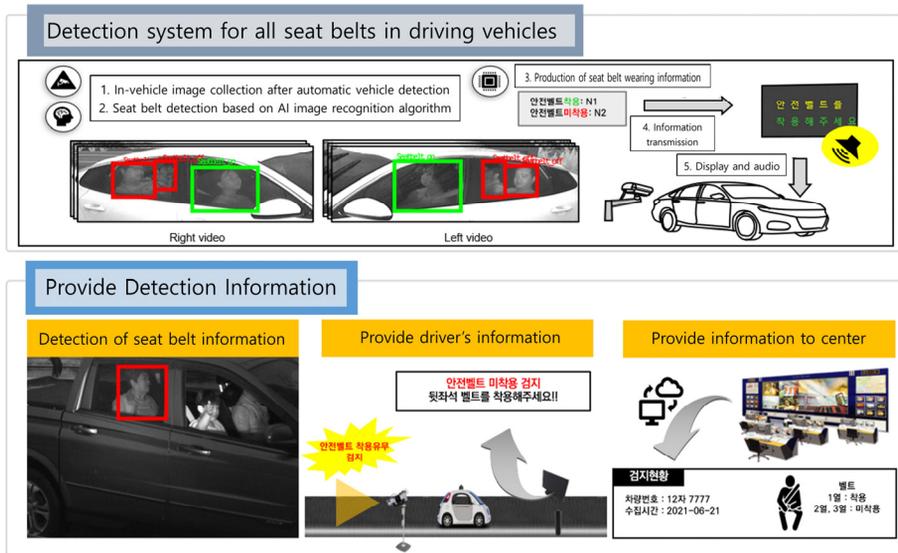
또한 주행차량 내 안전벨트 착용 검지시스템 도입에 앞서 메타분석을 활용하여 다수의 선행연구 결과물을 정리하고 교통사고 심각도 감소효과를 추정하였다. 메타분석을 통해 도출된 승산비의 효과크기를 교통사고 심각도 감소효과로 정의하고, 실제 교통사고 사상자수 및 시스템 도입률에 적용하여 교통사고 사상자수 감소효과를 추정하였다. 본 연구는 통계적 방법론을 사용하여 한가지 요인에 대한 상해심각도 영향도를 관찰하고, 메타분석을 통한 효과크기를 활용하여 실제 통계자료를 기반으로 한 교통사고 사상자수 감소효과를 추정하였다는 점에서 기존 연구와 차별성을 갖는다.

Ⅲ. 주행차량 내 전 좌석 안전벨트 착용 검지시스템

주행차량 내 전 좌석 안전벨트 착용 검지시스템은 Lee et al.(2021)에서 제시한 차량 내 승차 인원 검지시스템의 기술을 고도화하여 개발되고 있으며 <Fig. 1>에 시스템 개념도를 제시하였다. 인공지능 영상 검지기술을 통해 고속도로 주행 차량을 자동으로 검지하여 내부 영상 촬영을 통해 승차 인원을 검지하고 안전벨트 착용 여부를 검지하는 시스템이다. 안전벨트 착용 여부 검지 이후 안전벨트 미착용 탑승자에게 착용을 유도하고 검지 정보를 유관기관으로 전송함으로써 교통사고 및 사망사고 최소화를 목적으로 한다.

본 시스템은 영상 촬영부, 차량검지부, 차량 이미지 추출부, 판단부, 표출부, 통신부로 구성되어 있으며 최종적으로 통신부에서 센터시스템으로 안전벨트 검지 정보를 전송한다. 기존 승차 인원 검지시스템의 약 5천

건의 차량 및 승차 인원 이미지와 영동고속도로에서 수집한 약 1만 7천 장의 이미지를 학습데이터로 하여 객체 인식 알고리즘을 통해 안전벨트 착용 여부를 판단하는 순서로 구동된다. 경기도 화성시 K-city, 서울 방향 죽전휴게소, 대왕 관교 톨게이트 상행선에 주행차량 내 전 좌석 안전벨트 착용 감지 시스템을 설치하여 알고리즘 및 감지 정확도 테스트를 완료하였다.

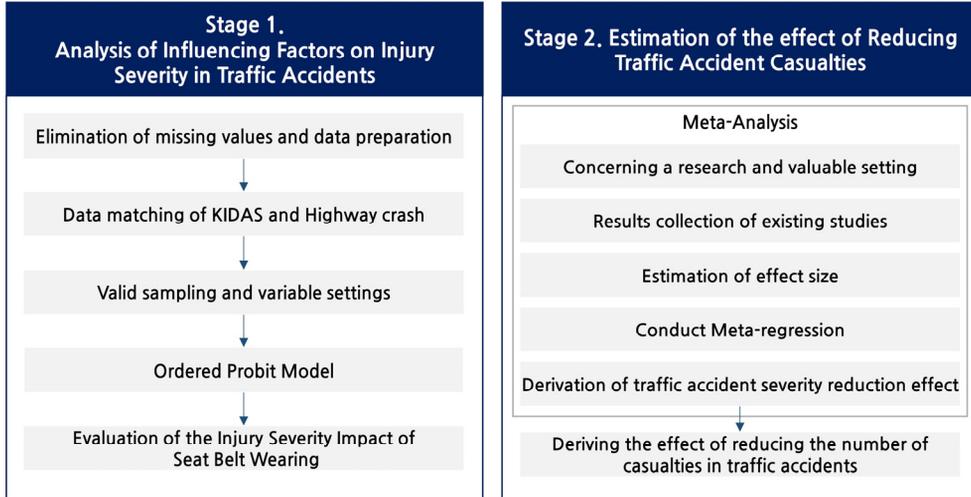


<Fig. 1> Working procedure of vehicle seat-belt wearing detection system

시스템의 안전벨트 착용 감지 정확도는 영상수집 시스템에 의해 수집된 영상을 기준으로 차량 내 탑승한 유효인원수 대비 시스템 예측 안전벨트 착용 인원수의 비율을 의미한다. 시스템 성능 평가 결과 앞좌석 감지 정확도는 98.71%, 뒷좌석 감지 정확도는 94.85%로 평균 96.78%의 감지 정확도를 갖는 것으로 나타났다. 시스템의 궁극적인 목적은 안전벨트 미착용자를 대상으로 착용 유도 메시지를 제공하여 안전벨트 착용률을 높이는 것이다. 본 연구에서는 96.78%의 감지 정확도를 갖는 주행차량 내 전 좌석 안전벨트 착용 감지시스템이 도입될 경우 안전벨트 미착용자가 시스템이 제공하는 착용 유도 메시지에 모두 순응하는 것을 가정하였다.

IV. 방법론

본 연구는 <Fig. 2>에 제시한 바와 같이 교통사고 상해심각도 영향요인분석, 교통사고 심각도 감소효과 추정, 교통사고 사상자수 감소효과 추정으로 구성된다. 우선 KIDAS 자료와 고속도로 교통사고 자료의 통합을 통하여 교통사고와 관련된 차량, 도로 환경, 기상, 운전자 요인, 사고 특성과 관련된 변수 후보군을 선정하였다. 이후 순서형 프로빗 모형 구축을 통하여 상해심각도 영향요인을 도출하고 요인별 영향도를 파악하였으며 안전벨트 관련 요인이 상해심각도에 미치는 영향을 제시하였다. 메타분석을 활용하여 안전벨트 및 교통사고 사상자수와 관련된 선행연구 결과물을 분석하였으며, 교통사고 심각도 감소효과를 추정하였다. 추정된 교통사고 심각도 감소효과와 기존 교통사고 통계자료를 활용하여 최종적으로 주행차량 내 전 좌석 안전벨트 착용 감지 시스템 도입 시 기대되는 교통사고 사상자수 감소효과를 추정하였다.



<Fig. 2> Overview of analysis procedure

1. 순서형 프로빗 모형 (Ordered Probit Model)

교통사고 분석을 위하여 전통적으로 포아송모형(Poisson Model), 로짓모형(Logit Model), 프로빗 모형(Probit Model), 음이항 모형(Negative Binomial Model) 등 다양한 모형이 적용되어왔다. 특정 순서를 가진 종속변수를 대상으로 분석하는 경우에는 프로빗 또는 로짓모형을 활용할 시 오류를 범할 가능성이 있다. 또한 회귀분석의 경우 종속변수(y)가 $y = 0, y = 1$ 일 경우와 $y = 1, y = 2$ 인 경우에 대하여 종속변수 y의 값 차이를 동일한 것으로 인식하는 한계점이 존재한다(Ju, 2000). 종속변수가 순서나 등급을 의미하고 그 값에 의미가 있는 경우에는 일반적으로 순서형 프로빗 모형을 사용하며 교통 분야에서는 사고심각도 영향요인 분석에 주로 활용된다.

본 연구에서는 KIDAS 자료의 손상중증척도 변수를 활용하여 개개인별 상해심각도를 상, 중, 하로 정의하고 순서형 프로빗 모형을 적용한 교통사고 상해심각도 모형을 개발하였다. 순서형 프로빗 모형은 Equation 1 과 같이 표현된다.

$$y = \beta X_n + \varepsilon_n, \varepsilon_n \sim N[0,1] \dots\dots\dots (1)$$

$$y = 0, \text{ if } y \leq 0$$

$$y = 1, \text{ if } 0 < y \leq \mu_1$$

$$y = 2, \text{ if } \mu_1 < y \leq \mu_2$$

$$\dots$$

$$y = J, \text{ if } y \geq \mu_{J-1}$$

여기에서, y는 잠재 효용으로 측정 가능한 효용과 측정이 불가능한 효용으로 나타낼 수 있다. μ 는 각 독립변수의 추정계수 β 와 함께 추정하는 한계값으로, $\mu_0 = 0$ 과 함께 $J-1$ 개의 값을 갖는다. 이를 통하여 대안에 대한 선택확률을 계산하는 데 이용할 수 있으며, 대안별 선택확률은 Equation 2와 같이 누적확률분포로 표현된다.

$$\begin{aligned}
 Prob[y = 0] &= \Phi(-\beta X_n) \dots\dots\dots (2) \\
 Prob[y = 1] &= \Phi(\mu_1 - \beta X_n) - \Phi(-\beta X_n) \\
 Prob[y = 2] &= \Phi(\mu_2 - \beta X_n) - (\mu_1 - \beta X_n) \\
 \dots \\
 Prob[y = J] &= 1 - \Phi(\mu_{J-1} - \beta X_n)
 \end{aligned}$$

$$\Phi(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{1}{2}w^2}$$

최종적으로 도출된 추정 모형의 적합성을 검증하기 위해서는 모형 전체의 적합도를 나타내는 ρ^2 (likelihood ratio index)를 사용한다. ρ^2 는 회귀분석에서의 R^2 와 마찬가지로 0과 1 사이의 값을 가지며, 1에 가까울수록 좋은 적합도를 의미한다.

순서형 프로빗 모형을 통해 도출된 모형은 각 독립변수에 대해 편미분을 적용하여 독립변수가 종속변수에 미치는 한계효과(Marginal Effect)를 활용하여 해석한다. 한계효과는 독립변수의 한 단위 증가, 더미변수의 경우 0에서 1로 변하는 것에 따른 종속변수의 변화량을 추정한 것이다. 예를 들어 더미변수인 경우, 한계효과는 다른 독립변수를 고정한 상태에서 해당 더미변수가 1인 경우의 확률과 0인 경우의 확률 차이를 의미한다. 따라서 각 독립변수에 대한 한계효과의 합은 0을 나타낸다.

본 연구에서는 안전벨트 착용 여부가 교통사고 상해심각도에 영향을 미치는 요인임을 확인하기 위하여 순서형 프로빗 모형을 구축하였다. 순서형 프로빗 모형 구축을 위하여 KIDAS 자료와 고속도로 교통사고 자료에서 수집이 가능한 차량, 운전자, 도로, 기상 및 환경요인과 사고 일반특성 자료를 독립변수로 설정하였다. 또한 KIDAS 자료에서 수집이 가능한 교통사고 당사자별 손상중증척도 자료를 기반으로 정의한 상해심각도 상, 중, 하를 종속변수로 설정하였다. 순서형 프로빗 모형 구축을 통하여 교통사고 당사자의 상해심각도 영향요인을 도출하고, 요인별 한계효과를 산출하여 상해심각도 증가 및 감소에 대한 요인별 효과를 분석하였다.

2. 메타분석 (Meta Analysis)

메타분석은 선행연구를 분석하는 방법으로 동일하거나 유사한 주제로 수행된 연구결과를 통합하여 하나의 연구 결과물을 산출하는 기법이다. 즉, 메타분석은 일관적이지 않은 연구 결과들 속에서 모든 연구결과를 융합하여 거시적이며 포괄적으로 일반적인 결론을 도출하는 통계적 방법을 의미한다 (Kontopantelis and Reeves, 2009). 메타분석을 통하여 동일한 연구주제에 대해 다양한 연구결과를 체계적으로 통합하여 일반화된 신뢰성 높은 효과 추정치를 도출할 수 있으며, 실험환경에 차이가 있는 독립적인 연구들을 종합하여 일반화된 결론을 도출할 수 있다(Jin, 2015). 또한 메타분석으로 도출된 실험결과는 연구결과들의 집합이므로 개별 연구의 표본 크기보다 큰 표본 크기를 갖게 되고, 이는 한정된 결과값보다 신뢰성과 통계적 검증력이 높다는 장점을 갖는다(Pillemer and Light, 1980).

1) 연구문제 설정 및 변수의 정의

본 연구에서 수행한 메타분석에서는 ‘안전벨트 착용 여부는 교통사고 사상자 수에 영향을 미치며 안전벨트 착용은 교통사고 심각도를 개선하는 데에 효과가 있다.’라는 연구가설을 검증하기 위해 선행연구를 조사하였다. 선행연구에서 안전벨트 착용의 효과로 나타난 종속변수를 메타분석을 위한 종속변수로 일반화하여 정의하였다. 예를 들어 선행연구의 종속변수가 교통사고 사망자수일 경우 메타분석 종속변수를 사망으로 설

정하였다. 또한 선행연구의 종속변수가 머리 상해, 손상중증척도 16점~24점, 심각한 부상, 척추부상 등일 경우 메타분석 종속변수를 중상으로 설정하였다. 마지막으로 선행연구의 종속변수가 안면부상, 하지 부상 등일 경우 메타분석 종속변수를 경상으로 설정하였다.

2) 선행연구 결과물 수집

차량 안전벨트 착용과 관련된 국내외 연구 결과물을 대상으로 사고심각도 감소효과에 대한 주요 키워드를 선정하였다. 선정된 키워드를 중심으로 선행연구를 고찰한 결과, 사상자 유형별 안전벨트 관련 선행연구 결과물을 총 133건 수집하였다. 사상자 유형별 선행연구 검토 결과를 <Table 1>에 제시하였다.

<Table 1> Summary of collected studies related to seat belts by type of casualty

Dependent variable	Main keyword	Number of studies
Decease	Fatal, Death toll, Death rate, Fatal risk	31
Serious Injury	Head injury, Injury Severity Score(ISS) 16~24 score, Serious injury, Spinal injury, Chest injury, Neck injury	55
Minor Injury	Facial injury, Lower body injury, Visible injury	47

차량 탑승위치별 사상자별 안전벨트 관련 선행연구 결과물을 총 64건 수집하였으며, 선행연구 검토 결과를 <Table 2>에 제시하였다.

<Table 2> Summary of collected studies related to seat belts by vehicle boarding location

Dependent variable	Main keyword	Number of studies	
		Front seat	Back seat
Decease	Fatal, Death toll, Death rate, Fatal risk, Death	5	6
Serious Injury	Head injury, Injury Severity Score(ISS) 16~24 score, Serious injury, Spinal injury, Chest injury, Neck injury	13	9
Minor Injury	Facial injury, Lower body injury, Visible injury	14	17

3) 효과크기 산출

효과크기란 동일한 주제를 대상으로 수행된 연구결과를 비교 및 통합할 수 있도록 표준화된 척도로 정량화한 수치이다. 효과크기가 0이면 비교 집단 간의 차이가 없다는 것을 의미한다. 수집된 선행연구의 다양한 결과값을 표준화된 공통 단위 효과크기로 도출하기 위하여 효과크기 산출 시 상관계수와 승산비를 제시하였다. 상관계수는 두 가지 변수의 관계를 의미하는 지수이며 승산비는 비교 대상 간의 관계를 수량화한 값이다. 승산비(Odds Ratio)는 Equation 3과 같이 1을 기준으로 1보다 클 경우 효과 척도와 주행차량 안전벨트 착용 검지 시스템의 관계가 양의 관계를 나타내며 1보다 작을 경우에는 음의 관계를 나타내는 것으로 해석하였다.

$$Odds Ratio = \frac{P}{1-P}, (P = \text{사건발생확률}) \dots\dots\dots (3)$$

효과 크기를 직관적으로 이해하기 위하여 평균 차이, 상관계수 및 승산비를 이용하여 효과크기의 표현방식별로 큰 효과크기, 중간 정도 효과크기, 작은 효과크기로 구분하였다(Lipsey, 1992; Oh, 2002). <Table 3>에 효과크기 표현방식별 효과크기의 종류를 제시하였다.

<Table 3> Classification of Effect Size

Classification	Mean difference (d)	Correlation coefficient (r)	Odds Ratio(OR)
Large	$0.50 \leq d \leq 0.80$	$0.24 \leq r \leq 0.37$	$2.50 \leq OR \leq 4.30$
Medium	$0.20 \leq d \leq 0.50$	$0.10 \leq r \leq 0.24$	$1.50 \leq OR \leq 2.50$
Small	$d \leq 0.20$	$r \leq 0.10$	$OR \leq 1.50$

4) 통계적 모형 선택

메타분석에서는 각 연구의 효과크기들을 결합하고 통합효과크기를 추정하기 위한 통계적 모형이 요구된다. 통계적 모형의 종류에는 고정효과모형(Fixed Effect Model)과 랜덤효과모형(Random Effect Model)이 존재한다. 고정효과모형은 각 연구의 효과크기는 같은 모집단에서 취득하였다는 동질성을 가정한다. 또한 개별 연구결과의 차이는 표본추출에서 발생하는 표준편차로부터 기인한다고 가정한다. 따라서 고정효과 모형은 연구 내 분산만을 고려하기 때문에 도출된 통합 효과크기는 분석에 사용된 연구에 한정하여 설명이 가능하다. 랜덤효과모형은 개별 연구마다 효과크기가 하나씩 존재한다는 가정을 기반으로 하는 통계적 모형이다. 연구 간의 이질성을 고려하고 연구 내 분산뿐만 아니라 연구간 분산을 효과크기에 반영한다.

메타분석의 통계적 모형을 선택할 시 효과크기가 동질하다고 도출되어도 분석가가 연구 특성의 차이를 고려하여 랜덤효과모형을 선택할 수 있다(Choi, 2016). 따라서 본 연구에서는 수집한 연구 간 이질성이 존재함을 가정하여 랜덤효과모형을 사용하였다.

5) 승산비의 통합 효과크기 산출

본 연구에서는 주행차량 안전벨트 착용 검지 시스템의 도입으로 인한 사망, 중상, 경상 교통사고 감소율을 교통사고 심각도 감소 효과 평가지표로 설정하여 이에 대한 승산비를 이용하여 효과크기를 산출하였다. 산출된 개별 효과크기를 승산비의 통합 효과크기로 변환하여 최종 결과물을 도출하였다. 통합 효과크기를 산출하기 위해 개별 연구 결과를 승산비로 산출하고 Equation 4를 통하여 표준화된 상관계수로 변환하였다.

$$r = \frac{OR^{\frac{1}{2}} - 1}{OR^{\frac{1}{2}} + 1} \dots\dots\dots (4)$$

여기서,
 r : 표준화된 상관계수
 $OR(Odds Ratio)$: 승산비

위 식에서 산출된 표준화된 상관계수와 가중치를 활용하여 통합 효과크기를 산출한다. 가중치는 개별 연구 별 표본의 크기, 연구 가정사항 등이 상이하므로 부여된다. 가중치와 통합상관계수 효과크기 산출식은 Equation 5와 같다.

$$w = \frac{1}{STD^2} \dots\dots\dots (5)$$

$$ES_r = \frac{1}{STD^2} \times r$$

여기서,

w : 가중치

STD : 표준편차

ES_r : 통합 상관계수 효과크기

r : 표준화된 상관계수

마지막으로 표준화된 상관계수로 표시된 통합 상관계수 효과크기를 승산비로 나타낸 통합 효과크기로 변환하였다. 통합 승산비 효과크기 변환 식은 Equation 6과 같다.

$$ES_{OR} = \left(\frac{1 + ES_r}{1 - ES_r} \right)^2 \dots\dots\dots (6)$$

여기서,

ES_{OR} : 통합 승산비 효과크기

ES_r : 통합 상관계수 효과크기

3. 분석 데이터

본 연구에서는 2011년 1월부터 2016년 8월까지 수집된 한국형 자동차 심층 사고조사 자료와 해당 기간의 고속도로 교통사고 자료를 활용하여 상해심각도 영향요인 분석을 위한 기초자료를 구성하였다. 한국형 자동차 사고 심층조사 분석자료(KIDAS)는 독일의 실사고 조사체계(German In-Depth Accident Study)를 벤치마킹하여 구축된 우리나라 교통환경에 적합한 실사고 심층조사 분석자료이다. KIDAS는 교통사고 발생 이후 심층적인 실사고 조사와 의무기록을 통하여 구축된 데이터이며 교통사고에 대한 의료기관의 탑승자 상해자료와 사고 재현 분석자료로 구성된다. KIDAS 데이터베이스는 충청, 강원, 경기 지역의 4개의 대학병원에 내원한 교통사고 당사자의 인체 손상 정도를 진료한 병원 기록 자료를 바탕으로 수집되었다.

교통사고 당사자 1명당 수집되는 KIDAS 자료는 환자 인적정보, 차량 탑승 위치, 안전장치, 차종, 도로 유형 등의 정보가 포함되어 있다. 그러나 이중 사고시간, 날짜, 사고원인 등에 대한 자료는 결측치가 많아 본 연구에서는 고속도로 사고 자료와 매칭하여 분석에 활용하였다. 두 자료의 통합 방법은 사고장소에 이점이 기재되어있고 그 이점이 정확할 경우 우선적으로 이점을 기준으로 하였으며, 날짜, 노선, 사고시간, 운전자 정보 등 사고상황이 일치하는 사고를 1대1 확인 과정을 통하여 진행하였다. 최종적으로 총 160건의 데이터를 본 연구에서 사용하였으며, 교통사고 당사자를 기준으로 데이터를 정리하였다.

1) 손상중증척도(ISS, Injury Severity Score)

KIDAS 데이터를 통하여 수집 가능한 인체 상해 관련 자료는 약식상해등급(AIS, Abbreviated Injury Scale)과 손상중증척도(ISS, Injury Severity Score)가 존재한다. AIS는 교통사고 발생 이후 신체 상해 정도를 신체 부

위별로 1에서 6점 척도로 구분한 지표이다. AIS가 1일 경우 사망률은 0%이며 두통 또는 현기증, 늑골 1개 골절 등이 이에 해당된다. AIS가 5일 경우 사망률은 약 60%이며 24시간 이상 의식불명 상태, 대동맥의 심한 열상 등이 이에 해당된다. AIS가 6일 경우 사망률은 100%에 수렴하며 사실상 생존하기 힘든 인체 상태로 판단된다.

ISS는 AIS 점수가 가장 높은 신체 부위 3곳의 제곱합으로 산출되는 지표로, 0점에서 75점 사이의 값을 갖는다. 일반적으로 ISS가 15점을 초과하는 경우를 중증의 손상(Severe injured)으로 분류하고 있다(Champion et al.,1990). 본 연구에서는 기존문헌에서 제시한 바와 같이 ISS 점수에 따른 상해심각도를 3가지로 분류하여 교통사고 심각도 영향요인 분석의 종속변수로 활용하였다(Peitzman et al., 2012). ISS가 0에서 15점에 해당하는 경우 상해심각도 하(Minor), 16에서 24점에 해당하는 경우 상해심각도 중(Moderate), 25점 이상인 경우를 상해심각도 상(Critical)으로 분류하였다.

2) 독립변수 후보군 설정

KIDAS 데이터와 고속도로 교통사고 자료를 매칭한 기초자료를 대상으로 데이터 유효성을 검토하여 분석에 활용 가능한 변수 후보군을 설정하였으며 <Table 4>에 총 16개의 변수 후보군을 제시하였다.

<Table 4> Independent variables

Characteristics	Variable	Details	Data source
Weather and environmental factors	Accident time	Day/Night	Highway crash data
	Weather	Sunny/etc.	Highway crash data
	Road condition	Wet/Dry	Highway crash data
road factors	Accident point	Main road/etc.	Highway crash data
	Road alignment	Straight/Curved	Highway crash data
	Road grade	Slope/Flatness	Highway crash data
	Fence for roadside	Guardrail/No facilities	Highway crash data
	Road pavement	Concrete/Asphalt	Highway crash data
Accident information	Accident type	Single/Car-to-dar/Car-to-facility	KIDAS
	Main cause of accident	Driver/etc.	Highway crash data
Driver factors	Gender	Male/Female	KIDAS
	Age group	Child/Teenager or youth/Middle-aged/Aged/Elders	KIDAS
	Vehicle boarding location	Front seat/Back seat	KIDAS
	Wearing seat belt	Wearing/Not wearing	KIDAS
Vehicle factors	Vehicle type	Passenger car or van/Large vehicle or truck	KIDAS
	Crash vehicle type	Passenger car or van/Large vehicle or truck	KIDAS

V. 분석결과

1. 교통사고 상해심각도 영향요인 도출

순서형 프로빗 모형을 활용하여 고속도로 교통사고 상해심각도 영향요인을 평가하였다. 선정된 독립변수

가 전체 자료의 설명력을 얼마나 높이는 지를 의미하는 우도비(ρ^2)는 0.175로 도출되었다. KIDAS와 고속도로 교통사고 자료에서 수집 가능한 교통사고 관련 요인을 독립변수로, 사고 당사자의 상해심각도를 종속변수로 설정하여 구축한 고속도로 교통사고 상해심각도 영향요인 도출 결과를 <Table 5>에 제시하였다.

<Table 5> Factors affecting accident injury severity

Independent variable	Coef.	Std. Err.	T	$p > t $
Road alignment	0.653	0.390	1.67	0.094
Teenager or youth/(Age group)	0.526	0.302	1.75	0.081
Wearing seat belt	-0.648	0.279	1.13	0.052
Accident time	1.247	0.244	5.11	0.000
Road grade	0.531	0.351	1.51	0.097

Log likelihood=-92.588, $\rho^2=0.145$, LR chi2(5)=31.42, Prob>chi2=0.000

신뢰수준 90%를 기준으로 통계적으로 유의한 변수를 추출하였으며, 추출된 변수에는 도로선형, 청소년 및 청년 여부, 안전벨트 착용 여부, 사고시간, 중단경사가 포함되었다. 도로선형이 곡선구간이고 경사구간 도로 일수록 상해심각도가 증가하는 것으로 나타났다. 교통사고 당사자의 연령대가 14세 이상 30세 미만인 청소년 및 청년일수록 상해심각도가 증가하며 안전벨트를 착용하면 상해심각도가 감소하는 것으로 나타났다. 야간에 발생한 교통사고일수록 상해심각도가 증가하는 것으로 나타났다.

순서형 프로빗 모형을 활용하여 도출된 고속도로 교통사고 상해심각도 영향요인별 한계효과에 대한 분석 결과를 <Table 6>에 제시하였다. 도로선형이 곡선일수록 사망 및 치명상에 이를 확률이 0.131배 증가하고, 청소년 및 청년일수록 사망 및 치명상에 이를 확률이 0.948배 증가하는 것으로 나타났다. 차량 탑승자가 안전벨트를 착용하면 교통사고로 인해 사망 및 치명상에 이를 확률이 0.054배 감소하고 야간에 발생한 교통사고 일수록 사망 및 치명상에 이를 확률이 0.264배 증가하는 것으로 나타났다. 또한 경사가 있는 도로에서 발생한 사고일 경우 사망 및 치명상에 이를 확률이 0.059배 증가하는 것으로 도출되었다.

<Table 6> Marginal effects of factors affecting accident injury severity

Independent variable	Minor	Moderate	Critical
Road alignment	-0.210	0.079	0.131
Teenager or youth/(Age group)	-0.160	0.065	0.948
Wearing seat belt	0.097	-0.043	-0.054
Accident time	-0.398	0.134	0.264
Road grade	-0.120	0.060	0.059

2. 안전벨트 착용 여부에 따른 교통사고 심각도 감소 효과 도출

앞서 수행한 순서형 프로빗 모형 구축결과로 인하여 교통사고 상해심각도에 안전벨트 착용 여부가 통계적으로 유의한 영향을 미치는 요인임을 확인하였으며 안전벨트 착용 여부에 대한 관리 및 규제 등의 방안이 필요할 것으로 판단된다. 안전벨트 착용 여부가 교통사고로 인한 상해 심각도를 감소시키는 데에 어떤 영향을 미치는지 분석하기 위하여 메타분석을 활용하였다. 메타분석을 위하여 안전벨트 및 카시트 등 보호장구

착용 여부에 따른 사망, 중상, 경상사고 관련 기존 연구 결과물을 수집하였으며 보호장구 착용 여부, 보호장구 위치별 교통사고 사상 정도에 대한 연구 결과물을 정리하였다.

1) 교통사고 심각도 메타분석 결과

차량 안전벨트 및 상해심각도와 관련된 선행연구 결과물을 기반으로 랜덤효과모형 메타분석을 수행하였다. 종속변수를 사망으로 설정하여 랜덤효과모형 분석을 수행한 총 31건의 메타분석 결과를 <Table 7>에 제시하였다. 사망 교통사고의 통합 효과크기는 0.122로 95% 신뢰구간은 (0.103~0.141)의 범위를 갖는다. 승산비의 효과크기는 1.633으로 차량 안전벨트 착용 시 사망 교통사고가 63.3% 감소하는 것으로 분석되었다. 관련성 검정을 통한 유의확률은 $z=12.64$, $p=0.000$ 으로 안전벨트 착용 시 사망 교통사고의 감소는 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

<Table 7> Average effect size by fatal accident

Classification	Effect size	95% Confidence Interval	
		Lower	Upper
Average effect size	0.122	0.103	0.141
Odds Ratio effect size	1.633	1.512	1.764
Heterogeneity chi-squared=49.167 (d.f.=30). p=0.015			
I-squared (variation in ES attribute to heterogeneity)=39.0%			
Test of ES=0. z=12.64. p=0.000			

중속변수를 중상으로 설정하여 랜덤효과모형 분석을 수행한 총 55건의 메타분석 결과를 <Table 8>에 제시하였다. 중상 교통사고의 통합 효과크기는 0.133으로 95% 신뢰구간은 (0.125~0.141)의 범위를 갖는다. 승산비의 효과크기는 1.708로 차량 안전벨트 착용 시 중상 교통사고가 70.8% 감소하는 것으로 분석되었다. 관련성 검정을 통한 유의확률은 $z=33.18$, $p=0.000$ 으로 안전벨트 착용 시 중상 교통사고의 감소는 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

<Table 8> Average effect size by serious injury accident

Classification	Effect size	95% Confidence Interval	
		Lower	Upper
Average effect size	0.133	0.125	0.141
Odds Ratio effect size	1.708	1.653	1.764
Heterogeneity chi-squared=38.68 (d.f.=54). p=0.943			
I-squared (variation in ES attribute to heterogeneity)=0.0%			
Test of ES=0. z=33.18. p=0.000			

중속변수를 경상으로 설정하여 랜덤효과모형 분석을 수행한 총 47건의 메타분석 결과를 <Table 9>에 제시하였다. 경상 교통사고의 통합 효과크기는 0.144로 95% 신뢰구간은 (0.102~0.125)의 범위를 갖는다. 승산비의 효과크기는 1.786으로 차량 안전벨트 착용 시 경상 교통사고가 78.6% 감소하는 것으로 분석되었다. 관련성 검정을 통한 유의확률은 $z=19.33$, $p=0.000$ 으로 안전벨트 착용 시 경상 교통사고의 감소를 통계적으로 유의한

것으로 나타났다.

<Table 9> Average effect size by minor injury accident

Classification	Effect size	95% Confidence Interval	
		Lower	Upper
Average effect size	0.144	0.102	0.125
Odds Ratio effect size	1.786	1.620	1.653
Heterogeneity chi-squared=180.85 (d.f.=46). p=0.000			
I-squared (variation in ES attribute to heterogeneity)=74.6%			
Test of ES=0. z=19.33. p=0.000			

2) 차량 탑승 위치별 교통사고 심각도 메타분석 결과

차량 탑승 위치, 안전벨트 및 상해심각도와 관련된 선행연구 결과물을 기반으로 랜덤효과모형 메타분석을 수행하였다. 앞좌석 탑승자와 관련된 총 5건의 선행연구 결과물을 기반으로 종속변수를 사망으로 설정하여 메타분석을 수행한 결과를 <Table 10>에 제시하였다. 앞좌석 탑승자 사망 교통사고의 통합 효과크기는 0.140으로 95% 신뢰구간은 (0.112~0.167)의 범위를 갖는다. 승산비의 효과크기는 1.757로 앞좌석 탑승자의 차량 안전벨트 착용 시 사망 교통사고가 75.7% 감소하는 것으로 분석되었다. 관련성 검정을 통한 유의확률은 $z=9.88$, $p=0.000$ 으로 앞좌석 탑승자의 안전벨트 착용에 따른 사망 교통사고의 감소는 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

<Table 10> Average effect size by front seat fatal accident

Classification	Effect size	95% Confidence Interval	
		Lower	Upper
Average effect size	0.140	0.112	0.167
Odds Ratio effect size	1.757	1.568	1.963
Heterogeneity chi-squared=3.02 (d.f.=4). p=0.555			
I-squared (variation in ES attribute to heterogeneity)=0.0%			
Test of ES=0. z=9.88. p=0.000			

앞좌석 탑승자와 관련된 총 13건의 선행연구 결과물을 기반으로 종속변수를 증상으로 설정하여 메타분석을 수행한 결과를 <Table 11>에 제시하였다. 앞좌석 탑승자 증상 교통사고의 통합 효과크기는 0.108로 95% 신뢰구간은 (0.080~0.136)의 범위를 갖는다. 승산비의 효과크기는 1.543으로 앞좌석 탑승자의 차량 안전벨트 착용 시 증상 교통사고가 54.3% 감소하는 것으로 분석되었다. 관련성 검정을 통한 유의확률은 $z=7.59$, $p=0.000$ 으로 앞좌석 탑승자의 안전벨트 착용에 따른 증상 교통사고의 감소는 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

<Table 11> Average effect size by front seat serious injury accident

Classification	Effect size	95% Confidence Interval	
		Lower	Upper
Average effect size	0.108	0.080	0.136
Odds Ratio effect size	1.543	1.378	1.729
Heterogeneity chi-squared=25.53 (d.f.=12). p=0.013			
I-squared (variation in ES attribute to heterogeneity)=53.0%			
Test of ES=0. z=7.59. p=0.000			

앞좌석 탑승자와 관련된 총 14건의 선행연구 결과물을 기반으로 종속변수를 경상으로 설정하여 메타분석을 수행한 결과를 <Table 12>에 제시하였다. 앞좌석 탑승자 경상 교통사고의 통합 효과크기는 0.115로 95% 신뢰구간은 (0.088~0.141)의 범위를 갖는다. 승산비의 효과크기는 1.587로 앞좌석 탑승자의 차량 안전벨트 착용 시 중상 교통사고가 58.7% 감소하는 것으로 분석되었다. 관련성 검정을 통한 유의확률은 $z=8.42$, $p=0.000$ 으로 앞좌석 탑승자의 안전벨트 착용에 따른 중상 교통사고의 감소는 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

<Table 12> Average effect size by front seat minor injury accident

Classification	Effect size	95% Confidence Interval	
		Lower	Upper
Average effect size	0.115	0.088	0.141
Odds Ratio effect size	1.587	1.423	1.764
Heterogeneity chi-squared=25.20 (d.f.=13). p=0.022			
I-squared (variation in ES attribute to heterogeneity)=48.4%			
Test of ES=0. z=8.42. p=0.000			

뒷좌석 탑승자와 관련된 총 6건의 선행연구 결과물을 기반으로 종속변수를 사망으로 설정하여 메타분석을 수행한 결과를 <Table 13>에 제시하였다. 뒷좌석 탑승자 사망 교통사고의 통합 효과크기는 0.114로 95% 신뢰구간은 (0.097~0.131)의 범위를 갖는다. 승산비의 효과크기는 1.581로 뒷좌석 탑승자의 차량 안전벨트 착용 시 사망 교통사고가 58.1% 감소하는 것으로 분석되었다. 관련성 검정을 통한 유의확률은 $z=13.24$, $p=0.000$ 으로 뒷좌석 탑승자의 안전벨트 착용에 따른 사망 교통사고의 감소는 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

<Table 13> Average effect size by back seat fatal accident

Classification	Effect size	95% Confidence Interval	
		Lower	Upper
Average effect size	0.114	0.097	0.131
Odds Ratio effect size	1.581	1.476	1.694
Heterogeneity chi-squared=3.26 (d.f.=5). p=0.659			
I-squared (variation in ES attribute to heterogeneity)=0.0%			
Test of ES=0. z=13.24. p=0.000			

뒷좌석 탑승자와 관련된 총 9건의 선행연구 결과물을 기반으로 종속변수를 중상으로 설정하여 메타분석을 수행한 결과를 <Table 14>에 제시하였다. 뒷좌석 탑승자 중상 교통사고의 통합 효과크기는 0.147로 95% 신뢰구간은 (0.109~0.184)의 범위를 갖는다. 승산비의 효과크기는 1.808로 뒷좌석 탑승자의 차량 안전벨트 착용 시 중상 교통사고가 80.8% 감소하는 것으로 분석되었다. 관련성 검정을 통한 유의확률은 $z=7.68$, $p=0.000$ 으로 뒷좌석 탑승자의 안전벨트 착용에 따른 중상 교통사고의 감소는 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

<Table 14> Average effect size by back seat serious injury accident

Classification	Effect size	95% Confidence Interval	
		Lower	Upper
Average effect size	0.147	0.109	0.184
Odds Ratio effect size	1.808	1.549	2.105
Heterogeneity chi-squared=2.05 (d.f.=8). p=0.979			
I-squared (variation in ES attribute to heterogeneity)=0.0%			
Test of ES=0. z=7.68. p=0.000			

뒷좌석 탑승자와 관련된 총 17건의 선행연구 결과물을 기반으로 종속변수를 경상으로 설정하여 메타분석을 수행한 결과를 <Table 15>에 제시하였다. 뒷좌석 탑승자 경상 교통사고의 통합 효과크기는 0.132로 95% 신뢰구간은 (0.109~0.156)의 범위를 갖는다. 승산비의 효과크기는 1.701로 뒷좌석 탑승자의 차량 안전벨트 착용 시 경상 교통사고가 70.1% 감소하는 것으로 분석되었다. 관련성 검정을 통한 유의확률은 $z=11.05$, $p=0.000$ 으로 뒷좌석 탑승자의 안전벨트 착용에 따른 경상 교통사고의 감소는 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

<Table 15> Average effect size by back seat minor injury accident

Classification	Effect size	95% Confidence Interval	
		Lower	Upper
Average effect size	0.132	0.109	0.156
Odds Ratio effect size	1.701	1.549	1.876
Heterogeneity chi-squared=5.35 (d.f.=16). p=0.994			
I-squared (variation in ES attribute to heterogeneity)=0.0%			
Test of ES=0. z=11.05. p=0.000			

메타분석을 통하여 추정되는 다양한 효과는 차량 안전벨트 착용의 교통안전 효과이며 본 연구에서는 이를 사고심각도 감소효과로 정의하였다. 즉 도출된 승산비의 효과크기로 하여금 안전벨트 착용 시 교통사고 심각도 감소 정도에 대한 예측이 가능하다. 메타분석의 효과크기 분석결과를 기반으로 종속변수인 상해심각도와 좌석 위치별 교통사고 심각도 감소 효과를 <Table 16>과 같이 정의하였다. 예를 들어 사망사고의 경우 승산비의 효과크기는 1.633으로 분석되었으며 안전벨트 착용 시 사망사고가 63.3% 감소할 것으로 예상된다. 상해심각도에 따른 교통사고 심각도 감소효과 분석결과 차량 탑승자의 안전벨트 착용은 78.6%의 경상사고 감소효과를 갖는 것으로 분석되었다. 차량 탑승위치별 교통사고 심각도 감소효과 분석결과 앞좌석의 안전벨트 착용은 사망사고를 75.7% 감소, 뒷좌석의 안전벨트 착용은 중상사고를 80.8% 감소시킬 것으로 예상되었다.

<Table 16> Traffic accident severity reduction effect

Classification	Odds Ratio effect size	crash severity reduction effect	Classification	Odds Ratio effect size	crash severity reduction effect	Classification	Odds Ratio effect size	crash severity reduction effect
Fatal	1.633	0.633	Fatal (Front seat)	1.757	0.757	Fatal (Back seat)	1.581	0.581
Serious injury	1.708	0.708	Serious injury (Front seat)	1.543	0.543	Serious injury (Back seat)	1.808	0.808
Minor injury	1.786	0.786	Minor injury (Front seat)	1.587	0.587	Minor injury (Back seat)	1.701	0.701

3) 교통사고 사상자수 감소 효과 추정

본 연구에서는 도로교통공단 교통사고분석시스템(TAAS)을 통해 수집된 우리나라 전체를 대상으로 한 안전벨트 미착용 교통사고의 사망자수, 중상자수, 경상자수를 활용하여 교통사고 사상자수 감소효과를 추정하였다. 메타분석을 통해 도출된 사상유형 및 탑승위치별 효과크기를 교통사고 심각도 감소효과로 정의하여 교통사고 사상자수 감소효과 도출을 위한 지표로써 활용하였다. 최종적으로 주행차량 내 전 좌석 안전벨트 착용 검지시스템의 도입률을 20%, 40%, 60%, 80%, 100%로 설정하여 현재의 교통사고 사상자수, 사고심각도 감소효과, 시스템 도입률을 반영한 사상자수 감소효과를 추정하였다. 교통사고 사상자수 감소 효과 추정을 위한 대상 교통사고는 교통사고분석시스템에서 수집이 가능한 사고 중 안전벨트를 착용하지 않은 사상자가 존재하는 교통사고이다.

주행차량 내 전 좌석 안전벨트 착용 검지시스템이 도입될 경우 단속시스템과의 연계를 통해서 안전벨트 미착용 탑승자 수가 집계 가능할 것으로 가정하였다. 본 연구에서는 시스템 도입을 통한 안전벨트 미착용 교통사고 사상자수의 최대효과를 산출하였다.

메타분석을 통하여 도출된 사망, 중상, 경상 교통사고 감소효과를 사고심각도 감소효과로 정의하고 Equation 7을 활용하여 교통사고 사상유형별 사상자수 감소효과를 추정하였다. i 는 교통사고 사상유형인 사망, 중상, 경상을 의미한다. k_i 는 메타분석 결과에 따라 사망일 경우 0.633, 중상일 경우 0.708, 경상일 경우 0.786을 의미한다. α 는 시스템 도입률을 의미하며 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0으로 설정하였다. e 는 시스템 검지 정확도로 시스템 성능평가 결과를 참고하여 평균 96.78%를 적용하였다.

$$I_i^\alpha = A_i \times k_i \times (1 - \alpha) \times e \dots\dots\dots (7)$$

여기서,

- I_i^α : 안전벨트 미착용 교통사고 사상자수 추정치(명)
- A_i : 현재 안전벨트 미착용 교통사고 사상자수 (명)
- k_i : 교통사고 심각도 감소효과
- α : 시스템 도입률(%)
- e : 시스템 검지 정확도(%), 0.9678

사상유형별 교통사고 사상자수 감소효과 추정 결과를 <Table 17>에 제시하였다. 시스템 도입률이 증가함에 따라 안전벨트를 착용하지 않은 교통사고 사상자수는 감소하는 것으로 분석되었다. 2021년 기준 안전벨트

트 미착용 교통사고 사망자수는 150명이며 시스템 도입률이 60%일 경우 예상되는 사망자수는 36.8명으로 기존값 대비 3배 이상 감소할 것으로 예상된다. 시스템 도입률 100%의 경우는 시스템 도입 후 안전벨트 미착용 탑승자를 검지하여 착용을 유도한 후 모두 착용하는 상황이 해당되며 기대되는 최대효과로 안전벨트 미착용 교통사고 사상자수가 0명으로 예상되었다.

<Table 17> Traffic accident casualty reduction effect by injury type

구분	A_i (people)	k_i	$\alpha=0.2$ (people)	$\alpha=0.4$ (people)	$\alpha=0.6$ (people)	$\alpha=0.8$ (people)	$\alpha=1.0$ (people)
Decease	150	0.633	73.5	55.1	36.8	18.4	0
Serious injury	1,618	0.708	886.9	665.2	443.5	221.7	0
Minor injury	6,659	0.786	4052.4	3039.3	2026.2	1013.1	0

VI. 결 론

주행 중인 차량에서 안전벨트를 착용하는 것은 기본이자 의무이며, 전 좌석 안전벨트 착용은 2018년 9월부터 모든 도로에서 의무적으로 시행되고 있다. 안전벨트 착용으로 인한 효과는 교통사고 발생 시 인체에 가해지는 충격을 최소화하여 인체 상해의 심각도를 저감시키는 것이다. 안전벨트 착용의 중요성을 제시하고 올바른 착용을 유도하기 위해서는 안전벨트가 상해심각도에 미치는 영향을 평가하고, 안전벨트를 착용할 시 감소되는 교통사고 심각도를 분석할 필요성이 있다.

주행차량 내 전 좌석 안전벨트 착용 검지시스템은 현재 개발 중인 신기술로, 차량 내 탑승자별 안전벨트 착용 여부를 검지하고 미착용 탑승자에게 안전벨트 착용을 유도하기 위한 시스템이다. 해당 시스템의 궁극적인 목적은 안전벨트 착용률을 높여 교통사고 발생 시 상해심각도를 최소화하는 것이다. 본 연구에서는 주행차량 내 전 좌석 안전벨트 착용 검지시스템 도입에 앞서 시스템 개발의 타당성을 정립하고 시스템 도입 시 기대되는 교통안전 효과를 추정하였다. 먼저 차량 탑승자의 신체와 물리적으로 밀착되어있는 안전벨트 착용에 대한 교통사고 심각도 영향도를 평가하기 위하여, 한국형 자동차사고 심층조사 분석자료(KIDAS)를 바탕으로 데이터셋을 구축하였다. KIDAS 자료는 교통사고 당사자별로 수집되는 의료기록과 교통사고에 대한 심층조사를 통하여 구축되는 자료로 인체 상해와 관련된 손상중증척도(ISS) 수집이 가능하다. 그러나 KIDAS 자료를 통한 도로 환경 및 기상요인 등의 수집은 어려움이 존재한다. 따라서 본 연구에서는 KIDAS 자료와 고속도로 교통사고 자료를 매칭한 데이터셋을 통하여 운전자 요인, 차량 요인, 도로 환경요인, 기상 요인 등의 독립변수 후보군을 설정하였으며 종속변수는 기존문헌에 근거하여 ISS 점수에 상, 중, 하로 분류된 상해심각도 등급으로 설정하였다.

순서형 프로빗 모형을 통한 고속도로 교통사고 상해심각도 분석결과 안전벨트 착용 여부, 도로선형, 청소년 및 청년 여부, 사고시간, 종단경사가 상해심각도에 통계적으로 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 안전벨트 착용 여부는 교통사고 발생 이후 인체의 상해 심각도에 주요한 영향을 미치는 변수로 평가되며, 주행차량 내 전 좌석 안전벨트 착용 검지시스템을 통해 안전벨트 미착용 탑승자에게 착용을 유도하여 궁극적으로 교통사고로 인한 상해심각도를 저감시킬 수 있을 것으로 판단된다.

차량 안전벨트 착용과 관련된 국내외 선행연구를 바탕으로 메타분석을 실시하였다. 메타분석 종속변수를 사망, 중상, 경상으로 설정하여 주요 키워드를 선정하였고 총 144건의 선행연구 결과를 수집하였다. 또한 총

64건의 차량 탑승위치별 안전벨트 관련 선행연구를 수집하여 메타분석 데이터셋을 구축하였다. 메타분석의 승산비 효과크기 산출 결과를 이용하여 교통사고 심각도 감소효과를 산출하였으며 안전벨트 착용 시 사망사고가 63.3%, 중상사고가 70.8%, 경상사고가 78.6% 감소할 것으로 추정하였다.

메타분석을 통해 도출된 교통사고 심각도 감소효과를 이용하여 교통사고 사상자수 감소효과를 추정하였다. 교통사고 심각도 감소효과, TAAS 자료 기반 안전벨트 미착용 교통사고 사상자수, 시스템 도입률과 검지 정확도를 이용한 산출식을 통하여 시스템 도입률에 따른 안전벨트 미착용 사상자수 감소효과를 추정하였다. 분석결과 시스템 도입률이 40%에 달할 경우 교통사고 발생 시 안전벨트를 착용하지 않은 사망자수, 중상자수, 경상자수가 현재와 비교하여 2배 이상 감소할 것으로 예측되었다.

본 연구에서 다양한 교통사고 관련 자료와 방법론을 통하여 주행차량 내 전 좌석 안전벨트 착용 검지 시스템의 교통안전 효과를 분석하였으나, 교통사고 상해심각도 영향요인 분석을 위한 유효표본이 약 160건으로 분석결과를 일반화하는 데에 어려움이 있었다. 향후 교통사고 당사자의 인체 상해 정보, 차량 탑승위치 등의 자료를 체계적으로 수집하고 관리하여 교통사고 상해심각도 분석에 최대한 활용이 가능하게 하는 것이 중요한 것으로 판단된다. 메타분석의 경우 안전벨트 착용 여부, 좌석별 안전벨트 착용 여부를 주제로 하여 연구 결과물을 수집하였다. 그러나 앞좌석 사망사고와 관련된 연구는 5건, 뒷좌석 사망사고와 관련된 연구는 6건, 좌석별 중경상 사고와 관련된 연구는 20건 미만으로 수집 가능한 연구 결과물 개수가 현저히 적다. 향후 좌석별 안전벨트 착용 여부 및 교통사고 상해 정도에 대한 충분한 연구 결과물이 수집된다면 메타분석 결과에 대한 신뢰도를 높일 수 있을 것으로 사료된다.

또한 메타분석을 통해 차량 탑승위치별 교통사고 심각도 감소효과를 추정하였으나, 기존의 교통사고 통계 자료에는 탑승위치별 사상자수가 집계되지 않아 탑승위치별 안전벨트 미착용 사상자수 감소효과 추정에 한계가 존재하였다. 현재 TAAS 교통사고 통계자료는 안전벨트를 착용하지 않은 사망, 중상, 경상자수만 제시되며 고속도로 교통사고 자료 또한 사망자수에 한해서 차량 탑승위치를 제공하고 있다. 교통사고 심각도란 일반적으로 교통사고 1건의 사상유형별 사상자수를 집계하여 정의되지만, 차량 탑승자에게 교통안전에 대한 교육을 수행하고 범규위반에 대한 경각심을 높이기 위해서는 운전자요인과 관련된 자료를 활용한 교통안전 분석이 기초가 되어야 하는 것으로 고려된다.

본 연구에서는 시스템 성능평가 결과를 기반으로 검지 정확도를 96.78%로 설정하고, 안전벨트 미착용자가 시스템에 모두 순응하는 것을 가정하였다. 그러나 현실적으로 안전벨트 미착용자의 시스템 순응도를 100%까지 확보하는 데에는 어려움이 있으며, 실제 순응도를 측정하는 것에 한계가 있다. 또한 시스템 순응에 따라 증가하는 안전벨트 미착용자의 착용률도 함께 고려해야 할 사안이다. 향후 시스템의 검지 정확도와 안전벨트 착용률과의 관계에 대한 현장 실험에 기반한 분석이 필요할 것으로 판단된다.

주행차량 내 전 좌석 안전벨트 시스템 도입 시 자동단속시스템 및 교통센터와의 연계를 통하여 안전벨트 미착용 탑승자에 대하여 법적으로 규제하고 교통법규 위반에 대한 자료를 구축할 수 있을 것이라 사료된다. 특히 안전벨트 미착용으로 심각한 교통사고가 빈번하게 발생하는 지점을 대상으로 시스템을 우선적으로 도입할 필요성이 있다. 시스템 내 안전벨트 착용 유도 메시지를 통하여 지속적으로 탑승자의 안전벨트 착용을 독려하고 착용률을 높임으로써 탑승자의 교통사고 상해 정도를 감소시킬 수 있을 것이라 판단된다. 향후 주행차량 내 전 좌석 안전벨트 착용 검지시스템 도입 사전, 사후 교통안전 효과 분석을 통하여 객관적인 시스템 도입 효과에 대한 평가를 수행하고 시스템 도입 확대 방안을 수립하는 기초자료의 구축이 필요하다.

REFERENCES

- Abdel-Aty, M. A. and Pemmanaboina, R.(2006), “Calibrating a Real-time Traffic Crash-prediction Model Using Archived Weather and ITS Traffic Data”, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 7, no. 2, pp.167-174.
- Champion, H. R., Copes, W. S., Sacco, W. J., Lawnick, M. M., Keast, S. L. and Frey, C. F.(1990), “The Major Trauma Outcome Study: Establishing national norms for trauma care”, *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, vol. 30, no. 11, pp.1356-1365.
- Choi, J. H.(2016), *A Meta Analysis on the Effectiveness of Road Safety Features and Turn Signal: Focusing on Signalized Intersection*, Master’s Thesis, Seoul National University.
- Choi, J. W. and Kum, K. J.(2014), “Analysis of Factors Influencing Severity of Motorcycle Accidents Using Ordered Probit Model”, *Korean Society of Road Engineers*, vol. 16, no. 5, pp.143-154.
- Choi, S., Jeong, E. and Oh, C.(2013), “Comparison of methodologies for characterizing pedestrian-vehicle collisions”, *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 31, no. 6, pp.53-66.
- Elvik, R.(1995), “The Safety Value of Guardrails and Crash Cushions: A Meta-analysis of Evidence from Evaluation Studies”, *Accident Analysis & Prevention*, vol. 27, no. 4, pp.523-549.
- Elvik, R.(1997), “Effects on Accidents of Automatic Speed Enforcement in Norway”, *Transportation Research Record*, vol. 1595, no. 1, pp.14-19.
- Elvik, R.(2001), “Area-wide Urban Traffic Calming Schemes: A Meta-analysis of Safety Effects”, *Accident Analysis & Prevention*, vol. 33, no. 3, pp.327-336.
- Gray, R. C., Quddus, M. A. and Evans, A.(2008), “Injury severity analysis of accidents involving young male drivers in Great Britain”, *Journal of Safety Research*, vol. 39, no. 5, pp.483-495.
- Ha, O. K., Oh, J. T., Won, J. M. and Sung, N. M.(2005), “The study on the accident injury severity using ordered probit model”, *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 23, no. 4, pp.47-55.
- Jin, Y. A.(2015), *Meta-analysis Using Stata*, Korea University Press, pp.9-131.
- Jo, Y., Yoon, S. M. and Oh, C.(2016), “Effectiveness Analysis of Variable Speed Limit Systems(VSL) in Work Zones based on Meta-analysis”, *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 15, no. 4, pp.91-103.
- Ju, M. Y.(2000), “Probit and ordered probit analysis and its application”, *Journal of Governmental Studies*, vol. 6, no. 1, pp.24-49.
- Kang, H.(2015), “Statistical considerations in meta-analysis”, *Hanyang Medical Reviews*, vol. 35, no. 1, pp.23-32.
- Kim, S. J. and Chung, Y. S.(2018), “Injury Severity Analysis of Cyclists in Two Wheeler to Taxi Crashes: An Application of Vehicle Black Box Data in Incheon Korea”, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, vol. 38, no. 6, pp.917-923.
- Kim, Y. J., Jeong, H. R., Ko, W. R., Park, J. G. and Yun, I. S.(2022), “Analysis of the Effects of the Truck Platooning Using a Meta-analysis”, *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 21, no. 1, pp.76-90.
- Kontopantelis, E. and Reeves, D.(2009), “MetaEasy: A meta-analysis add-in for Microsoft Excel”,

- Journal of Statistical Software*, vol. 30, pp.1-25.
- Korea Technology & Information Promotion Agency for SMEs(2022), *Development of a detection system for all seat belts in driving system*, pp.6-30.
- Korea Transportation Safety Authority(2022), *Report on Transport Culture Index of Korea*, pp.40-41.
- Lee, J., Kang, S., Lim, J., Kim, S. G. and Kim, C.(2021), “Enhancing the performance of vehicle passenger detection under adverse weather conditions using augmented reality-based machine learning approach”, *Transportation Research Record*, vol. 2675, no. 12, pp.741-758.
- Lipsey, M. W.(1992), “Juvenile delinquency treatment: A meta-analytic inquiry into the variability of effects”, *Meta-analysis for explanation*.
- Oh, M. S., Yoon, S. M., Jeong, E. B. and Oh, C.(2017), “Evaluating Traffic Safety Benefits of Electronic Stability Control System Using a Meta Analysis: Focused on Accident Rates”, *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 35, no. 4, pp.307-320.
- Oh, S. S.(2002), *Meta-analysis: Theory and Practice*, Konkuk University Press, pp.16-19.
- Park, J. S., Oh, Y. P., Kim, H. K. and Ahn, W. S.(2015), “Experimental Investigation of Macroscopic Analysis of Traffic Safety Using Meta Analysis Focused on Busan Metropolitan City”, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, vol. 35, no. 6, pp.1339-1345.
- Park, J. W., Cho, E. S., Kim, Y. J. and Oh C.(2022), “Analysis of Factors Affecting Commercial Vehicle Driver Crash Severity using Wellness Data: Focused on the Comparison of Elderly Drivers and Non-Elderly Drivers”, *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 40, no. 4, pp.431-448.
- Peitzman, A. B., Fabian, T. C., Rhodes, M., Yealy, D. M. and Schwab, C. W.(Eds.)(2012), *The trauma manual: Trauma and acute care surgery*, Lippincott Williams & Wilkins.
- Pillemer, D. and Light, R.(1980), “Synthesizing outcomes: How to use research evidence from many studies”, *Harvard Educational Review*, vol. 50, no. 2, pp.176-195.
- Shin, H., Jo, S. J., Kim, D. H., Kwon, O. and Myung, S. K.(2015), “Efficacy of interventions for prevention of chemotherapy induced alopecia: A systematic review and meta analysis”, *International Journal of Cancer*, vol. 136, no. 5, pp.E442-E454.
- Yoon, S. M., Oh, C., Park, H. J. and Chung, B. J.(2016), “Identification of Factors Affecting the Crash Severity and Safety Countermeasures Toward Safer Work Zone Traffic Management”, *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 34, no. 4, pp.354-372.