한국ITS학회논문지 J. Korea Inst. Intell. Transp. Syst.

비교그룹방법을 이용한 공공데이터 기반 교통단속장비 사고감소 효과분석

Effect Analysis of Public Data-Based Automatic Traffic Enforcement Camera Installation Using the Comparison Group Method

이 윤 섭* · 한 여 희** · 김 영 찬***

* 주저자 : 서울시립대학교 교통공학과 석사과정
** 교신저자 : 서울시립대학교 교통공학과 연구교수
*** 공저자 : 서울시립대학교 교통공학과 교수

Yunseob Lee* · Yohee Han** · Youngchan Kim***

* Master's Student, Department of Transportation Engineering, University of Seoul
** Research Professor, Department of Transportation Engineering, University of Seoul
*** Professor, Department of Transportation Engineering, University of Seoul

† Corresponding author : Yohee Han, yeohee@gmail.com

Vol. 22 No.6(2023)
December, 2023
pp.168~181

pISSN 1738-0774
eISSN 2384-1729
https://doi.org/10.12815/kits.2023.22.6.168

Received 20 October 2023
Revised 1 November 2023
Accepted 27 November 2023

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

요 약

기존 연구들은 대부분 특정 유형, 시점, 장소를 분석할 수밖에 없기 때문에, 향후 정책 결정 근거로 이용하는데 한계가 있다. 이에 따라, 본 연구는 향후 정책 결정에 도움이 될 수 있도록 지속 가능하며, 신뢰도 높고, 다양한 효과분석 결과를 제시하는 것을 목표로 하였다. 공공데이터인 교통사고분석시스템(TAAS), 교통단속장비 관리업무시스템 (MTS) 데이터를 융합하여 광범위한 분석데이터를 수집하였고, 비교그룹 방법을 이용하여 효과분석하였다. 다양한 분석 결과를 제시하기 위해 교통단속장비의 제한속도 및 교통사고 유형별 사고감소 효과를 분석하였다. 2019년 서울시 신호위반 단속 장비 신규 설치 지점 87개소의 대상으로 분석한 결과 전체 사고 발생, 치명적 사고 발생이 각각 28.53%, 39.44% 감소하여 사고 심각도 개선에 큰 효과를 보였다. 제한속도 30km/h, 50km/h 단속 장비들은 전체사고에 대해 각각 42.23%, 25.85%의 사고감소율을 보였지만, 사고유형과 법규위반유형별로 상이한 분석 결과를 보였다. 이처럼 단속 장비는 제한 속도별, 교통사고 유형별로 상이한 사고감소 효과를 지니므로 향후 이를 고려한 정책 결정을 통해 교통안전 정책에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심어 : 공공데이터, 비교그룹 방법, 사고유형, 제한속도, 교통단속장비 효과

ABSTRACT

This study analyzed the effects of traffic enforcement on accident reduction. The results revealed a significant reduction in both overall accidents (28.53%) and fatal accidents (39.44%). Notably, enforcement equipment targeting speed limits of 30 km/h and 50 km/h demonstrated similar accident reduction rates of 42.23% and 25.85%, respectively. However, variations were observed based on accident types and types of traffic violations. Therefore, it is evident that enforcement equipment yields distinct accident reduction effects depending on speed limits and types of traffic accidents. This finding underscores the potential for making informed policy decisions to enhance traffic safety measures.

Key words : Traffic big data, Comparison group method, Accident type, Speed limit, Traffic enforcement camera effects

Ⅰ. 서 론

1. 개요

교통사고는 현대 사회의 큰 문제 중 하나로 지속적 관심을 받아왔다. 이러한 문제를 해결하기 위해 다양한 노력이 이루어져 왔는데, 그중 하나가 교통단속장비의 도입이다. 1997년 지점속도 위반단속시스템의 도입 이후 교통단속장비 설치는 꾸준한 증가 추세를 보여 왔다. 이에 따라 장비 설치로 인한 교통사고 감소 효과 분석의 중요성이 대두되었다. 그로 인해 현재까지 교통단속장비 설치로 인한 사고감소 효과분석 연구가 꾸준히 이루어지고 있다. 그러나 신뢰도 높은 효과분석 방법론을 활용하는 기존 연구들은 수동으로 진행되는 자료수집의 한계와 교통단속장비 위치정보, 사고자료 간의 정확한 연계가 어려운 이유로 한정된 분석 지점들을 대상으로 분석을 수행해 왔다. 분석 대상의 범위가 제한된다면 신뢰성은 필연적으로 저하 될 수밖에 없다. 더불어, 단속 장비 종류나 사고유형 같은 다양한 카테고리에 대한 충분한 데이터가 부족하므로 분석의 다양성 또한 감소하게 된다.

전국적인 교통단속장비 평가가 요구되는 경찰청은 제한적인 분석 지점의 한계로 인해 기존 연구의 신뢰도 높은 효과분석 방법론 채택에 어려움을 겪고 있다. 전국 단위의 평가는 인력, 시간 자원 소모 또한 크기 때문에 정기적으로 진행되기에도 한계가 있다. 결과적으로, 경찰청은 현재 단발적으로 단속 장비 설치 전과 후의 교통사고 건수를 단순 비교하여 교통사고 감소 효과를 평가하고 있다. 그러나 설치 전과 후의 사고 건수만을 단순히 비교하는 것은 정책 변화나 기하구조의 변화와 같은 단속 장비 외부의 여러 변수의 영향을 고려하지 못하는 한계를 가지고 있다. 또한, 단발적인 효과분석은 분석 당시 시점의 영향을 강하게 받으므로 분석 신뢰도에 한계가 존재한다.

이에 따라, 본 연구는 광범위한 범위의 단속 장비를 분석 대상으로 하고, 높은 신뢰도를 보임과 동시에 자동화가 가능한 효과분석을 목표로 하였다.

Ⅱ. 기존 연구 및 효과분석 방법론 고찰

1. 기존 연구 고찰

교통단속장비 설치 효과분석 대한 국내연구는 1997년 지점속도 위반단속시스템 도입 이후 시작되었다. Korea Road Traffic Authority(1997)은 단속 장비 설치 지점 38대를 대상으로 설치 전후 1년에 대한 사고 건수, 사망자 수를 단순 비교하여 각각 40%, 57%의 감소 효과가 있는 것으로 분석하였다. 이후 단속 장비 종류를 구분하고, 분석 기간을 1년 이상으로 하는 연구가 시행되었다. Korea Road Traffic Authority(2004)은 신호위반 단속 장비 20대를 대상으로 설치 전·후 2년에 대해 사고 건수, 사망자 수를 단순 비교하여 각각 21.7%, 28.6%의 감소 효과가 있는 것으로 분석하였다. Joo et al.(2009)은 2006년 설치한 과속 단속 장비 205대를 대상으로 설치 전후 1년에 대해 평균, 표준편차를 반영한 단순 비교 분석기법을 제시하여 사고 건수가 27.4% 감소하였다는 결론을 도출했다. Lee et al.(2013)은 미시령동서관통도로 5개의 구간에 대하여 구간속도 위반 단속 장비 설치 전 31개월, 설치 후 2개월, 철거 후로 구분하여 월 단위로 발생한 교통사고 건수를 단순 비교하여 사고 건수가 45.9% 감소하였다는 결론을 도출하였다. Park et al.(2019)은 도로구간을 클러스터링을 통해 분류하고, 무인단속시스템(AESs) 설치 전후의 충돌 통계와 발생 패턴을 단순 비교 분석하여 AES 설치 효과

를 분석하였다. 분석 결과 신호 단속과 과속 단속을 동시에 진행하는 지점에서 충돌수가 증가하는 경향을 보였고, 충돌 심각성은 완화되었다는 것이 관찰되었다. 단순 비교 방법은 직관적이고, 많은 표본을 대상으로 분석하기 쉽다는 장점이 있다. 하지만 단순 비교 방법은 단속 장비 이외 외부 변수들의 영향을 고려하지 못한다는 한계로 인해 신뢰성이 떨어진다.

단순 비교 방법의 한계성을 극복하기 위해 비교그룹 방법, 경험적 베이즈 방법을 이용하여 단속 장비의 사고감소 효과를 분석하는 다양한 기존 연구들이 존재한다. Yun et al.(2011)은 비교그룹 방법을 이용하여 구간 과속 단속 장비 3개소 설치 전후 1년간에 대하여 분석하여 사고 건수가 49.97% 감소한다는 결론을 도출하였다. Lee(2019)은 전주시 내 신호위반 카메라 설치 교차로 8개소, 미설치 교차로 8개소에 대해 비교그룹 방법을 이용하여 교통사고 감소 효과를 분석하여 교차로 전 범위, 단속 장비 영향권 각각에 대해 38%, 65%의 사고감소 효과가 있는 것으로 분석하였다. Kim et al.(2012)은 경험적 베이즈 방법을 이용하여 신호위반 카메라 설치 교차로 24개소에 대해 비선형 회귀모형을 개발하여 교통사고 변화를 예측하였다. 분석 결과 카메라 미설치 지점 40개 지점 중 33개 지점에서 사고감소 효과가 있을 것으로 예측하였다. Kim et al.(2009)은 경험적 베이즈 방법을 이용하여 도로 환경 요인, 교통사고 및 교통단속 현황의 상관관계분석을 토대로 하는 사고모형을 개발하였다. 무인 신호위반 단속 장비 설치·운영 중인 28개소에 대해 교통사고 감소 효과를 분석한 결과 20.7%의 사고감소율을 보인다는 결론을 도출하였다. Ko et al.(2017) 경험적 베이즈 방법을 이용하여 텍사스주 휴스턴에 있는 48개 교차로에서 신호등 카메라 시스템(RLC) 설치 및 그 후 비활성화에 따른 안전 영향을 분석하였다. 분석 결과 전반적으로 약 40%의 사고감소 효과를 보였지만, 추돌과 관련된 사고는 증가된 것으로 나타났다. Martínez-Ruíz et al.(2019)은 경험적 베이즈 방법을 이용하여 콜롬비아 칼리의 38개 교통단속장비를 분석하였다. 혼합 음이항 회귀 모델을 구축하여 분석한 결과 모든 사고가 19.2%, 부상 및 사망사고가 24.7% 감소한 것으로 나타났다.

비교그룹 방법과 경험적 베이즈 방법은 단순 비교 방법에 비해 신뢰성이 높다는 장점이 있다. 하지만 분석 과정이 복잡하고 교통단속장비의 위치자료 이외에 단속 장비가 설치되어 있지 않은 비교 대상 혹은 사고 예측 모형 적용 대상의 위치자료가 필요하므로 많은 표본을 대상으로 분석하기 어렵다. 이처럼 기존 연구들은 대부분 특정 유형, 시점, 장소를 분석할 수밖에 없기 때문에 향후 정책 결정의 근거로 삼기에는 한계가 있다. 이에 따라, 본 연구는 향후 정책 결정에 도움이 될 수 있도록 지속 가능하며, 신뢰도 높고, 다양한 효과 분석 결과를 제시하는 것을 목표로 하였다. 지속 가능한 자동화된 분석을 위해 공공데이터인 교통사고분석시스템(TAAS), 교통단속장비 관리업무시스템(MTS) 데이터를 융합하여 광범위한 분석데이터를 수집하였다. 외부 변수의 영향을 배제하여 교통단속장비만의 효과를 알 수 있는 비교그룹 방법(Comparison Group Method)을 이용하여 신뢰도 높은 사고감소 효과를 분석하였다. 다양한 분석 결과를 제시하기 위해 광범위한 분석데이터를 바탕으로 교통단속장비의 제한속도 및 교통사고 유형별 사고감소 효과분석이 가능하게 하는 것을 목표로 하였다. 비교그룹 방법을 이용하는 이유는 아래 효과분석 방법론 고찰에서 자세히 기술하였다.

2. 효과분석 방법론 고찰

Korea Road Traffic Authority(2022)는 시설물의 효과를 평가하기 위한 사전·사후분석 방법을 단순 사고 건수 비교 방법, 일대일 비교 방법, 비교그룹 방법, 경험적 베이즈 방법 4가지로 분류하여 설명하였다.

1) 단순 사고 건수 비교 방법

단순 사고 건수 비교 방법은 개선 효과를 분석 대상 구간의 사업 전과 후의 사고 건수만을 단순 비교하는 방법이다.

$$ARE = \frac{(N_b - N_a)}{N_b} \quad \cdots\cdots (1)$$

여기서,

ARE:accident reduction effect
N_a :number of accidents after improvement
N_b :number of accidents before improvement

ARE>0이면 개선으로 인한 사고감소 효과가 있는 것으로, ARE<0이면 개선 효과가 없는 것으로 해석할 수 있다. 하지만 교통사고를 유발하는 다양한 요인들이 고려되지 않고 단순히 개선 사업 전·후의 사고 건수만을 비교하기 때문에 문제점이 제기되고 있다.

2) 일대일 비교 방법

일대일 비교 방법은 개선된 구간과 개선되지 않은 구간의 일대일 비교를 통해 사고감소 효과를 도출하는 방법이다. 이때 개선되지 않은 구간은 개선된 구간과 지역 유형, 도로 유형, 도로선형, 교통량 등 여러 가지 특성이 유사한 구간으로 선정되어야 분석 결과의 유의성을 확보할 수 있다. 사고감소 효과는 개선된 구간의 기대 사고와 실제 개선 후의 사고의 비율로 평가된다.

$$\hat{\pi} = K_i\left(\frac{N_i}{M_i}\right) \quad \cdots\cdots (2)$$

$$\hat{\theta_i} = \hat{\lambda}/\hat{\pi} = \frac{L_i M_i}{K_i N_i}$$

여기서,

$\hat{\pi}$:estimated number of accidents in the improvement section
K_i :number of accidents before improvement in the improvement section
M_i :number of accidents before improvement in the comparison section
N_i :number of accidents after improvement in the comparison section

$\hat{\theta_i} < 1$이면 교통안전시설 개선 사업으로 인한 사고감소 효과가 있으며, $\hat{\theta_i} > 1$이면 개선 사업으로 인한 사고감소 효과가 없는 것으로 해석된다. 하지만 비교 지역 대상 범위가 좁아 비교 지역 선정 시 신뢰성 문제가 발생할 수 있으며, 사고 건수가 0인 지점의 사고감소 효과를 도출하기 어렵다.

3) 비교그룹 방법

비교그룹 방법은 여러 지점을 비교 대상으로 선택하여 교통사고 개선 대책의 효과를 비교·평가하는 방법이다. 교통안전 시설물이 설치되지 않는 도로 중 분석 대상 도로와 유사한 도로를 비교 대상 도로로 선정하여 분석기간동안의 교통 및 도로 조건 변화 등의 외적 요인들의 변화를 고려하여 분석 대상 도로의 사고 현황을 분석한다.

$$\delta = \pi - \lambda \quad (3)$$
$$\theta = (\lambda/\pi)[1 + var(\hat{\pi})/\pi^2]$$

여기서,

δ :number of accidents changing
π :predicted number of accidents on the road at the post-period, assuming no project was carried out
λ :actual number of accidents investigated on the road at the post-period
θ :efficiency measure
$var(\hat{\pi})$:variance of the predicted number of accidents

비교그룹 방법은 일대일 비교 방법의 단점인 교통사고 변화의 일반적 추세와 외부 변화 요인에 의한 오류를 방지할 수 있다는 장점이 있지만 여전히 평균으로의 회귀라는 문제점은 극복하지 못한다. 또한 분석 대상 도로와 유사한 특성을 가진 비교 지점을 찾는 것이 쉽지 않다는 한계점이 있다. 하지만 비교그룹 방법은 여러 지점을 비교 대상으로 선택하여 교통사고 감소 효과를 비교함으로써 평가하고자 하는 사업효과에 다른 주변 요인들에 의해서 사고의 변화가 발생할 수 있는 외적 요인들의 변화를 고려하여 대상 사업의 효과만을 분석할 수 있는 장점이 있다.

4) 경험적 베이즈방법

경험적 베이즈 방법은 참조그룹(Reference Group)을 사용함으로써 개선 효과를 평가할 때 사용되는 기존 방법들의 다양한 문제점, 특히 교통사고 관련 정보의 불확실성 문제를 보완하고 극복하기 위해서 개발된 방법이다. 경험적 베이즈 방법은 평균으로의 회귀 문제를 해결할 수 있으나, 모형구축이 복잡하며 분석을 위해 많은 자료가 필요하다. 개선 효과분석 방법은 개선 전 분석 구간의 사고 건수를 바탕으로 개선 후 기대 사고 건수를 예측하고, 이에 대해서 분석 구간의 개선 후 사고 건수와 비교하여 개선 사업의 효과를 평가한다. 해당 지점과 참조지점으로부터의 사고 이력 자료의 결합은 가중평균을 이용하여 산출된다.

5) 시사점 도출

단순 사고 건수 비교 방법과 일대일 비교 방법은 계산 방법이 단순하고 적용하기 쉬운 장점이 있지만 신뢰도가 떨어진다는 한계점으로 인하여 본 연구에서 배제하였다. 경험적 베이즈 방법은 분석의 신뢰도가 가장 높지만 정확한 사고 건수 예측을 위해서 교통량, 속도 등의 다양한 자료를 요구하므로 본 연구에서 배제되었다. 따라서 본 연구의 단속 장비 효과분석은 비교그룹 방법을 이용하였다.

비교그룹 방법은 단속 장비 이외에도 교통안전 시설물의 설치 효과를 분석하기 위해 이용된다. Lee et al.(2007)은 서해안고속도로 일부 구간에 설치된 길어깨-노면 요철 포장의 교통사고 감소 효과를 분석하기 위해 비교그룹 방법을 이용하였다. 분석 결과 길어깨에 도로 요철 포장을 설치한 도로는 설치하지 않은 도로에 비해 차도 이탈 사고가 연간 2.43건 정도 감소한 것으로 나타났다. Kim et al.(2008)은 비교그룹 방법을 이용하여 전방신호등 설치에 따른 교통사고 유형의 변화 및 전방 신호기의 설치가 적합한 교차로 유형에 대한 분석 결과를 제시하였다. 분석 결과 소규모 교차로에서는 교통사고 유형별로 모두 감소 효과가 나타났지만, 대규모 교차로의 경우 정면충돌 및 측면직각 사고가 증가하는 부정적인 결과를 초래하였다. Jung et al.(2008)은 수도권에 위치한 어린이 보호구역을 601개소를 대상으로 비교그룹 방법을 이용하여 교통사고 감소 효과

를 평가하였다. 분석 결과 사고감소율은 약 39%로 나타났고, 주거지역, 아파트 지역, 주상 복합지역의 사고 감소 건수는 각각 2.41건, 3.8건, 0.5건으로 나타났다. 이처럼 비교그룹 방법은 단속 장비뿐 아니라 전반적인 교통안전 시설물의 설치 효과를 분석하는데 널리 쓰이므로, 본 연구의 효과분석 신뢰도를 높일 수 있다고 판단하였다.

Ⅲ. 분석 과정

본 연구는 광범위한 범위의 단속 장비를 분석 대상으로 하고, 높은 신뢰도와 동시에 자동화가 가능한 효과분석을 목표로 하였다. 공공데이터 기반의 자동화 가능한 효과분석을 위해 교통단속장비 관리업무시스템(MTS), 교통사고분석시스템(TAAS) 데이터를 융합하여 분석 자료를 수집하였다. 수집된 2019년, 2022년 서울시 신호위반 단속 장비 신규 설치 지점의 사고자료를 바탕으로 비교그룹 방법을 이용하여 설치 전·후 2년간 교통사고 감소 효과를 분석하였다. 데이터 융합은 지리 정보 시스템(GIS) 프로그램인 Q-GIS를 이용하였다.

1. 데이터 개요

1) 교통사고분석시스템(TAAS)

교통사고분석시스템(TAAS)은 경찰, 손해보험사, 공제조합의 교통사고 데이터를 수집하고 통합 및 정제 과정을 거친 사고자료를 GIS 분석시스템과 연계되도록 구축한 시스템으로 교통사고 위치, 사고정보 등에 대한 자료를 손쉽게 검색하고 표출할 수 있다. TAAS에 입력된 교통사고 자료는 사고 발생 지점의 위치 좌표, 사고 발생 시점, 사고유형, 사망자 수, 부상자 수 등의 정보가 저장된다. 이러한 교통사고 자료가 교통단속장비 위치정보와 연계된다면 설치 효과에 대한 분석이 가능할 것으로 판단되었다.

2) 교통단속장비 관리업무시스템(MTS)

교통단속장비 관리업무시스템(MTS)은 2011년부터 무인 교통단속장비 운영·관리를 위해 전국 지부 및 시·도 경찰청에서 사용되고 있다. MTS는 장비 기본 정보(설치 정보, 위치정보 등), 장비 운영 상태(장애·원인자, 점검 등)등을 제공하는 시스템이다. <Fig. 1, 2>에서 알 수 있듯이 TAAS의 교통사고 위치정보(EPSG:5179)와 MTS의 장비 위치정보(EPSG:4326) 좌표계는 다르지만, GIS 프로그램을 통해 좌표계를 변경한다면 융합이 가능할 것으로 판단되었다.

Accident number	X	Y
2017010100100001	956504	1948319

Fatality count	Count of seriously injured	Count of lightly injured
0	0	3

Major accident type	Secondary accident type	Offender's traffic law violations
Car to Car	Side-impact collision	Failure to drive safely

<Fig. 1> TAAS Data Configuration

Number	Enforcement type	Installation date
G1221	Traffic signal violation	2019-02-26

Latitude	Longitude	Speed limit
37.514383	127.007717	50

Route name	Road type
Jamwon-ro	Intersection

<Fig. 2> MTS Data Configuration

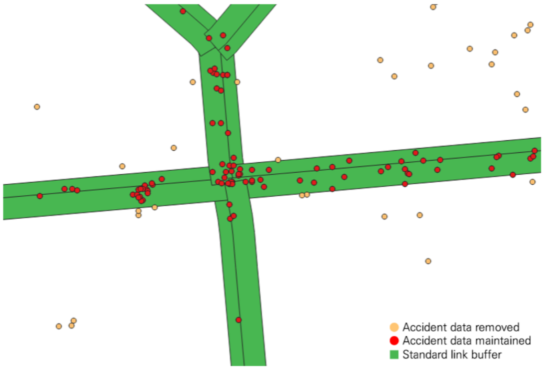
2. 데이터 융합

1) TAAS 데이터 전처리

본 연구는 단속 장비 영향권을 반경 50m 이내로 설정하여 영향권 내의 사고데이터를 대상으로 분석하였다. 하지만 이러한 방법은 단속 장비에 영향을 받지 않는 도로에서 일어난 사고데이터까지 포함한다는 한계를 지닌다. 따라서 TAAS - 전국 표준 노드 링크 융합을 통해 불필요한 사고데이터를 제거하여 단속 장비 영향권 내에 존재하는 사고데이터만 유지하였다. <Fig. 3>과 같이 TAAS 데이터의 사고 위치 좌표, 전국 표준 노드 링크 데이터의 위치 좌표를 이용하여 맵매칭한 후, 전국 표준 노드 링크 기준으로 20m 사각형 버퍼를 생성하여 버퍼 외부의 사고데이터는 모두 제거하였다.

2) TAAS, MTS 데이터 융합

단속장비 설치 지점 기준 반경 50m 이내 위치하는 사고데이터를 추출하기 위해 앞서 불필요한 데이터를 제거한 TAAS 데이터와 MTS 데이터를 위치 좌표 기준으로 융합하였다. 반경 50m를 사용하는 이유는 교차로에 신규 단속장비를 설치하는 경우 접근로별 정지선 후방 30m까지의 사고를 고려한다고 명시되어 있기 때문이다(Korean National Police Agency, 2020). 정지선 후방 30m, 교차로 내부의 크기를 고려했을 때 반경 50m가 평균적으로 정지선 후방 30m까지의 사고자료를 가장 잘 포함하였다. <Fig. 4>와 같이 단속 장비 설치 전·후 2년간 발생하지 않은 사고는 제거한 후, 남은 데이터를 설치 전 2년간 발생한 사고데이터와 설치 후 2년간 발생한 사고데이터를 분류하였다. 단속 장비 설치 전 2년은 2017부터 2018년까지, 설치 후 2년은 2020년부터 2021년까지로 설정하였다. 단속 장비가 설치된 2019년은 설치로 인한 변수가 있을 수 있으므로 분석에서 제외하였다.



<Fig. 3> TAAS data preprocessing

<Fig. 4> TAAS – MTS fusion

3. 분석 데이터 추출

비교그룹 방법을 이용하기 위해 2019년, 2022년 서울시 신호위반 단속 장비 신규 설치 지점 각각 분석대상, 비교 대상으로 선정하였다. 비교그룹은 단속 장비가 설치되어 있지 않고, 분석 대상과 유사한 특성을 보이는 지점을 선정해야 한다. 그러므로 분석 대상과 유사한 특성(서울시, 교차로, 사고다발지점)을 보이고, 분석 기간인 2017년~2021년 동안 단속 장비가 설치되지 않은 2022년 서울시 신호위반 단속 장비 신규 설

치 지점을 비교 대상으로 하였다. 분석 대상은 해당 장비만의 효과를 분석하기 위해서는 인근에 다른 단속 장비가 존재하면 안 된다. 비교 대상은 분석 기간 내에 단속 장비가 설치되지 않아야 한다. 따라서 분석, 비교 대상인 2019년, 2022년 신규 설치 지점 중 반경 50m 이내에 과거 설치되어 21년까지도 운영 중이거나, 분석 기간 내에 제거된 단속 장비가 존재하는 경우는 분석에서 제외하였다. 최종적으로, 87개소의 분석 대상과 172개소의 비교 대상은 <Table 1>과 같이 지점 선정 기준만 다르고, 공간적, 시간적, 내용적 범위는 모두 같다.

<Table 1> Range for the analysis and comparison targets

Header	Analysis targets	Comparison targets
Targets	2019 Seoul city new installation locations for red light camera	2022 Seoul city new installation locations for red light camera
Spatial range	Installation locations of red light camera within a 50-meter radius	
Temporal range	Pre-installation 2 years : 2017, 2018 Post-installation 2 years : 2020, 2021	
Content range	Traffic accident data	

이후 융합데이터를 이용하여 분석 대상, 비교 대상 각각의 설치 전·후 2년간 사고데이터를 추출하였다. 이때 추출되는 사고데이터 개수가 교통사고 발생 건수이다. <Table 2>와 같이 분석 대상의 설치 전 사고 건수(K) , 설치 후 사고 건수(L), 비교 대상의 설치 전 사고 건수(M), 설치 후 사고 건수(N)을 산출하였다.

<Table 2> Description of analysis variables

Variable	Description
K	Number of accidents before installation in the analysis targets
L	Number of accidents after installation in the analysis targets
M	Number of accidents before installation in the comparison targets
N	Number of accidents after installation in the comparison targets

4. 비교그룹 방법을 이용한 유형별 효과분석

본 연구의 목적은 교통단속장비 제한속도별, 교통사고 유형별 교통사고 감소 효과를 분석하는 것이다. 이를 위해 MTS 데이터 중 신뢰도가 높고 단속 장비를 분류할 수 있는 제한속도 데이터를 30km/h, 50km/h 두가지 유형별로 분류하였다. 제한 속도별 분석 대상, 비교 대상 수는 다음과 같다.

<Table 3> Number of analysis and comparison targets

Speed limit	Analysis target	Comparison target
Total	87	173
30km/h	32	83
50km/h	55	90

TAAS 데이터 중 교통사고 유형을 분류할 수 있는 사고유형, 법규위반유형 데이터를 <Table 4>와 같이 세부 카테고리에 따라 분류하였다.

<Table 4> Description of accident type

<table>
<tr><th colspan="3">Category</th></tr>
<tr><td colspan="2">Accident details</td><td>All accidents, Fatal and Serious injuries accidents</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Accident type</td><td>Car-to-Car</td><td>Head-on collision, Rear-end collision, Side-impact collision</td></tr>
<tr><td>Car-to-Pedestrian</td><td>Walking on the sidewalk, Walking on the roadway, Street crossing</td></tr>
<tr><td colspan="2">Type of traffic violation</td><td>Failure to drive safely, Signal violation, Failure to maintain a safe distance, Failure to yield to a pedestrian, Violation of centerline</td></tr>
</table>

유형별 효과분석을 위해 <Table 2> 변수들인 K, L, M, N을 유형별로 분류하여 제한속도가 i, 사고 유형이 j 유형일 때의 변수 $K_{ij}, L_{ij}, M_{ij}, N_{ij}$을 산출하였다. 이후 비교그룹 방법을 적용하기 위해 식 (2),(5)를 이용하여 <Table 5>와 같이 π_{ij}, $var(\widehat{\pi_{ij}})$, θ_{ij}를 산출하였다. 단속 장비가 설치되지 않았을 경우의 기대 사고 건수인 π_{ij}, 비교 대상별 기대 사고 건수의 분산인 $var(\widehat{\pi_{ij}})$를 이용하여 효과척도인 θ_{ij}를 산출하였다. 효과분석 결과를 표현하기 위해 식 (4)를 이용하여 사고감소율 E_{ij}를 산출하여 분석 결과를 제시하였다.

$$E_{ij} = 100 \cdot (1 - \theta_{ij}) \quad (4)$$

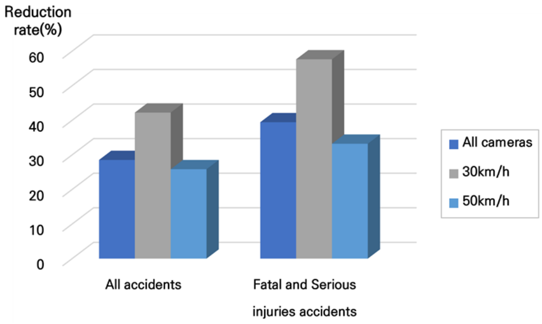
<Table 5> Description of variables when speed limit i, accident category j

Variable	Description
K_{ij}	Number of accidents before installation in the analysis target
L_{ij}	Number of accidents after installation in the analysis target
M_{ij}	Number of accidents before installation in the comparison group
N_{ij}	Number of accidents after installation in the comparison group
π_{ij}	Estimated number of accidents in the analysis target
$var(\widehat{\pi_{ij}})$	Variance of the predicted number of accidents in the analysis target
θ_{ij}	Efficiency measure
E_{ij}	Accident reduction rate

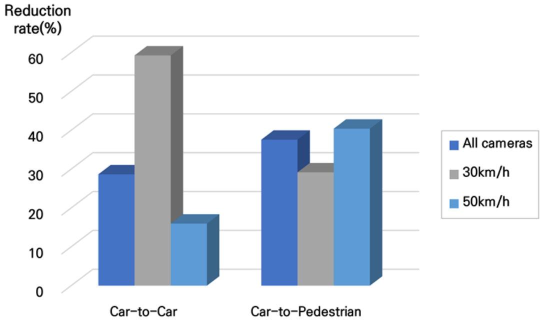
Ⅳ. 분석 결과

본 연구는 2019년 서울시 신호위반 단속장비 신규 설치 지점 100개소의 설치 전후 2년간 교통사고 감소효과를 교통단속장비 제한 속도별, 교통사고 유형별로 분석하였다. 사고 내용별 분석 결과는 <Fig. 5>와 같이 전체 사고에서 모든 단속 장비, 제한속도 30km/h 장비, 제한속도 50km/h 장비는 각각 비교 지점에 비해

28.53%, 42.23%, 25.85%의 사고감소율을 보였다. 사망·중상 사고에서는 39.44%, 57.63%, 33.22%의 사고감소율을 보였다. 즉, 사고 심각도 개선에 더 높은 효과를 보였다. 사고유형별 분석 결과는 <Fig. 6>와 같이 차대차 사고에서 모든 단속 장비, 제한속도 30km/h 장비, 제한속도 50km/h 장비는 각각 28.66%, 59.26%, 15.98%의 사고감소율을 보였다. 차대사람 사고에서는 37.57%, 29.17%, 40.4%의 감소율을 보였다. 전체 장비의 차대차, 차대사람 효과는 유사하였지만, 30km/h 장비는 차대차 사고감소에 큰 효과를, 50km/h 장비는 차대사람 사고감소에 큰 효과를 보였다.

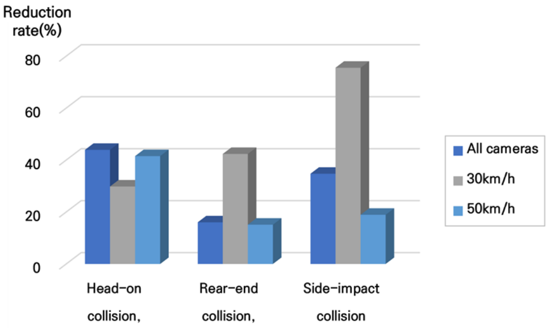


<Fig. 5> Analysis results of accident details

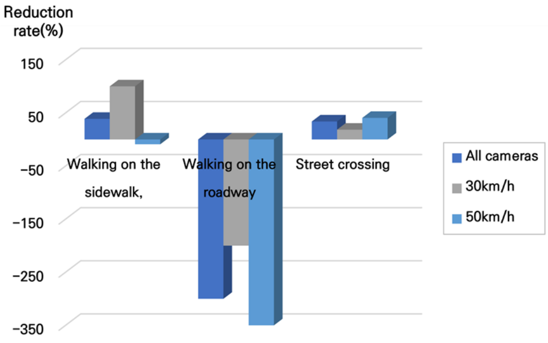


<Fig. 6> Analysis results of accident types

사고유형을 더 상세히 분석하기 위해 차대차, 차대사람 사고의 세부 유형을 분석하였다. <Fig. 7>와 같이 모든 단속 장비와, 50km/h 단속 장비에서 차대차 사고의 세부 유형인 정면충돌, 추돌, 측면 충돌에 대해 사고감소 효과가 있는 것으로 나타났고, 특히 정면충돌 사고에 대해 효과가 가장 높았다. 30km/h 장비 역시 정면충돌, 추돌, 측면 충돌에 대해 사고감소 효과를 보였고, 측면 충돌 사고에 대해 가장 높은 효과를 보였다. <Fig. 8>은 차대 사람 사고의 세부 유형인 길 가장자리 구역 통행 중, 보도 통행 중, 횡단 중 사고분석 결과이다. 모든 단속 장비, 30km/h 장비, 50km/h 장비는 공통적으로 길 가장자리 구역 통행 중, 횡단 중 사고감소에 효과를 보였지만, 보도 통행 중 사고는 오히려 크게 증가하는 것으로 나타났다.



<Fig. 7> Analysis results of Car to Car



<Fig. 8> Analysis results of Car to Pedestrian

<Fig. 9>은 가해자 법규 위반 유형별 분석 결과를 나타내었다. 모든 단속 장비, 30km/h 장비, 50km/h 장비

는 공통적으로 안전운전 의무 불이행, 신호위반, 안전거리 미확보, 보행자 보호의무 위반 사고에서 효과를 보였다. 반면, 50km/h 단속 장비는 교차로 통행 방법 위반 사고가 증가하는 결과를 보였다.

<Fig. 9> Analysis results of traffic violation type

분석 결과 교통단속장비는 전체 사고보다 치명적 사고에 더 높은 사고감소율을 보였다. 이는 치명적 사고를 유발하는 정면충돌 사고와 횡단 중 사고, 보행자 보호의무 위반 사고에서 높은 사고감소율을 보인 것이 원인으로 예상된다. 제한 속도별 분석 결과는 교통사고 유형별, 법규 위반 유형별로 상이한 결과를 보였다. 이는 제한 속도별 주행패턴이 상이하다는 이유도 있지만, 특히 대부분의 제한속도 30km/h 장비가 설치된 어린이 보호구역의 특수성으로 인해 생기는 차이로 예상된다.

Ⅴ. 결론 및 한계점

1. 결론

교통사고는 현대 사회의 큰 문제 중 하나로 지속적인 관심을 받아왔으며, 이로 인해 교통단속장비의 도입을 통한 사고감소 효과에 대한 중요성 역시 증가하였다. 그러나 선행연구의 한계, 그로 인한 현재 교통사고 감소 효과 평가 방법의 한계점을 극복하기 위해 본 연구는 비교그룹 방법을 이용한 빅데이터 기반 교통단속장비 설치 효과를 분석하였다. 보다 높은 신뢰성과 다양성을 위해 교통단속장비 제한 속도별, 사고유형별 교통사고 감소 효과를 분석하였다. 분석 결과 모든 단속 장비, 제한속도 30km/h 장비, 제한속도 50km/h 장비는 비교 지점들에 비해 각각 27.44%, 34.29%, 26.18%의 유사한 사고감소율을 보였다. 사망·중상 사고 역시 37.24%, 42.86%, 33.54%의 유사한 감소율을 보여 단속장비는 모든 교통사고 감소에 효과가 있지만, 그 중 사고 심각도 개선에 더 높은 효과를 보인다는 결론을 도출하였다. 상세 유형별로 분석한 결과에선 제한속도 별로 상이한 분석 결과를 보였다. 사고유형별 분석에서 30km/h 장비는 차대차 사고감소에 큰 효과를, 50km/h 장비는 차대사람 사고감소에 큰 효과를 보였다. 차대차 사고 상세 유형 분석에서는 30km/h 장비는 정면충돌, 측면 충돌에 대해서는 높은 사고감소 효과를 보였고, 50km/h 단속 장비는 차대차 사고의 세부 유형인 정면충돌, 추돌, 측면 충돌에 대해 사고감소 효과가 있는 것으로 나타났다. 가해자 법규위반 유형별 분석 결과에서 30km/h 장비는 교차로 통행방법 위반 사고에서 가장 높은 효과를 보였지만, 50km/h 장비는 오히려 사고

가 증가하는 결과를 보였다. 이처럼 본 연구는 비교그룹 방법을 이용한 공공데이터 기반 효과분석을 통해 단속장비의 효과를 입증하였다. 동시에 제한속도와 교통사고 유형별 분석 결과를 제공함으로써 유형별로 어떠한 효과가 있는지, 어떠한 차이가 있는지 확인하였다. 이처럼 단속 장비는 제한 속도별, 교통사고 유형별로 상이한 사고감소 효과를 지니므로 향후 이를 고려한 정책 결정을 통해 교통안전 정책에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

2. 한계점 및 향후 연구과제

본 연구는 단속장비 영향권 내 데이터만 남기기 위한 사각형 버퍼 20m를 생성하여 사고데이터를 전처리하였다. 하지만, 20m 버퍼가 모든 도로에 정확히 일치하지는 않기 때문에 전처리 정확도에 한계를 가졌다. 향후 연구에선 전국표준노드링크 차로수 데이터를 활용하여 각 도로에 맞는 버퍼를 생성한다면 더욱 정확도 높은 전처리가 가능할 것으로 판단된다.

비교 대상으로 삼은 서울시 2022년 신규 설치 지점은 분석 대상인 2019년 신규 설치 지점은 같은 지역(서울시), 동일한 도로형태(교차로), 단속장비가 설치되야 할 정도의 사고다발지점이라는 점은 유사하지만, 교통량과 차로수는 고려할 수 없는 한계가 존재하였다. 현재 MTS는 단속장비 설치 지점의 교통량이 DB화 되어있지 않다. 차로수는 DB화 되어있지만 2022년 신규 설치지점에 대한 데이터가 누락되어 있어 본 연구에서 사용하지 못하였다. 이로 인해 본 연구는 MTS 데이터로 단속 장비를 분류할 수 있는 가장 정확한 데이터인 제한속도만을 기준으로 분류하여 분석하여 분석 대상과 비교 대상의 유사성에 대한 한계가 존재하였다. 향후 연구에서는 유사한 단속장비 설치 지점끼리 묶을 수 있는 관련 데이터가 추가된다면 더욱 신뢰도 높고 다양한 연구가 가능할 것으로 판단된다.

마지막으로, MTS는 단속 장비의 방향성이 DB로 구축되어 있지 않고, 장비 위치 데이터는 실제 위치인 차로 위가 아닌 조사원이 위치한 인도 위로 기록된 경우가 많아 단속장비 위치 데이터의 정확도에 한계가 존재하였다. 정확한 위치 데이터와 방향성을 알 수 있다면 향후 단속장비 설치 구간과 설치 전·후 구간으로 나누어 좀 더 넓은 범위의 효과를 분석하거나, 단속 장비가 단속하는 방향의 링크에 대해서만 분석하여 보다 신뢰도 높은 분석 결과를 얻을 수 있을 것이라 판단된다.

ACKNOWLEDGEMENTS

이 논문은 2023년도 정부(경찰청)의 재원으로 과학기술일자리진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임 (1711174176, 영상분석 기술기반 교통단속장비 및 운영플랫폼 개발)

REFERENCES

Joo, D. H., Hyun, C. S., Lee, H. W., Han, W. S. and Lee, C. K.(2009), “Study on the Analysis for the Effects of the Automated Speed Enforcement System Application”, *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 8, no. 6, pp.55-63.

Jung, D. Y., Kim, D. K. and Lee, S. B.(2008), "Evaluation on the Effects of Installing School Zones on Crash Reduction with Respect to Land Use Characteristics", *Journal of the Korean Society of Transportation*, vol. 26, no. 3, pp.109-117.

Kim, H. J., Kim, T. Y. and Park, B. H.(2009), "Characteristics and Models of Traffic Accidents According to the Installation of Red Light Cameras", *National Land Use Plan*, vol. 44, no. 2, pp.161-170.

Kim, J. H., Kim, G. H., Kim, J. W. and Lee, S. B.(2008), "Estimation of accident effectiveness based upon the location of traffic signal using CG Method", *Korean Society of Civil Engineers Journal of Civil and Environmental Engineering Research*, vol. 28, no. 6D, pp.775-789.

Kim, T. Y., Beak, T. H. and Park, B. H.(2012), "Prediction on the Accident Reduction Effects of the Red Light Cameras Installation", *International Journal of Highway Engineering*, vol. 14, no. 6, pp.67-73.

Ko, M., Geedipally, S. R., Walden, T. D. and Wunderlich, R. C.(2017), "Effects of red light running camera systems installation and then deactivation on intersection safety", *Journal of Safety Research*, vol. 62, pp.117-126.

Korea Road Traffic Authority(1997), *Analysis of the Effects of Installing a Traffic Signal Violation Monitoring System*, pp.2, 29.

Korea Road Traffic Authority(2004), *A Study on Installation Standards and Effect Analysis of Unmanned Surveillance Systems*, pp.2, 45.

Korea Road Traffic Authority(2022), *Analysis of the Effectiveness of the New Introduction of Unmanned Enforcement Systems*, pp.23-25.

Korean National Police Agency(2020), *Automated Traffic Enforcement Equipment Operations Manual*, pp.21-22.

Lee, D. M., Kang, J. H., Sung, N. M. and Chung, B. J.(2007), "A safety evaluation of shoulder rumble strips on freeway using CG Method", *International Journal of Highway Engineering*, vol. 9, no. 2, pp.77-87.

Lee, H. W., Joo, D. H., Hyun, C. S., Jeong, J. H., Park, B. H. and Lee, C. K.(2013), "A Study on the Analysis for the Effects of the Section Speed Enforcement System at the Misiryeong tunnel section", *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 12, no. 3, pp.11-18.

Lee, J. H.(2019), *Safety Effect and Characteristic Analysis of Red Light Running Camera*, Doctoral Dissertation, Ajou University Graduate School of Transportation ITS.

Martínez-Ruíz, D. M., Fandiño-Losada, A., De Leon, A. P., Arango-Londoño, D., Mateus, J. C., Jaramillo-Molina, C., Bonilla-Escobar, F. J., Vivas, H., Vanlaar, W. and Gutiérrez-Martínez, M. I.(2019), "Impact evaluation of camera enforcement for traffic violations in Cali, Colombia, 2008-2014", *Accident Analysis & Prevention*, vol. 125, pp.267-274.

Park, S. H., Park, S. H., Kwon, O. H. and Sung, Y.(2019), "Continuous risk profile and clustering-based method for investigating the effect of the automated enforcement system on

urban traffic collisions”, *The Journal of Supercomputing*, vol. 75, pp.4350-4371.

Yun, I. S., Park, S. H., Oh, B. S. and Oh, Y. T.(2011), “Study of the Effect of the Point-to-Point Speed Enforcement System Using a Comparison-Group Method”, *International Journal of Highway Engineering*, vol. 13, no. 4, pp.177-185.