

신호교차로 안전성향상을 위한 단속카메라의 효과분석 연구

-측면직각 충돌사고를 중심으로-

Effect Analysis on Red Light Camera for Signalized Intersection Safety

-Focused on Side Right-Angle Collision Accidents-

오 주택 Oh, Ju Taek
김 용 석 Kim, Yong Seok
이 용 철 Lee, Yong Chul

정회원 · 한국교통대학교 도시공학과 교수 · 교신저자 (E-mail : jutaek@ut.ac.kr)
도로교통공단 전북지부 교육홍보부장 (E-mail : roadsafe@naver.com)
한국교통대학교 도시공학과 석사과정 (E-mail : nobileyong@naver.com)

ABSTRACT

PURPOSES : Before-and-after studies of red light cameras were conducted with the aim of reducing the number of side right-angle collisions. Three different methods were used for the before-and-after studies, and the analysis results were compared.

METHODS : This research used the naive before-and-after method, the comparison-group method, and the empirical Bayes method to study the effects of red light cameras on side-angle collisions. The results of the three before-and-after methods were compared and interpreted in terms of safety indications at signalized intersections.

RESULTS : The research results showed that side right-angle collisions can be reduced by installing red light cameras at signalized intersections. All three methods guarantee safety improvements of 25~30% on average. With regard to the results of each method, the naive before-and-after method, the comparison-group method, and the empirical Bayes method showed safety improvements of 25.6%, 27.8%, and 29.7%, respectively.

CONCLUSIONS : It was concluded that red light cameras are an effective countermeasure to improve intersection safety. In particular, by installing red light cameras, side right-angle collisions can be reduced by up to approximately 25~30%.

Keywords

red light camera, side right-angle collisions, signalized intersection, safety, observational before-after studies, naive method, comparison group method, empirical bayes method

Corresponding Author : Oh, Ju Taek, professor
Department of Urban Engineering, Korea National University of
Transportation, 50, Daehak-ro Daesowon-myeon, Chungju-si,
Chungcheongbuk-do, 380-702, Korea
Tel : +82.43.841.5158 Fax : +82.43.841.5410
E-mail : jutaek@ut.ac.kr

International Journal of Highway Engineering

<http://www.ksre.or.kr/>

ISSN 1738-7159 (print)

ISSN 2287-3678 (Online)

Received Sep. 24, 2014 Revised Oct. 1, 2014 Accepted Jan. 26, 2015

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

경찰청(2013)의 교통사고통계에 따르면 2012년 교차로에서 발생한 교통사고건수는 총 97,002건으로 그 중

차대 차 사고가 81,367건 발생하여 83.9%로 가장 많았으며 사망자수는 798명(54.1%)으로 교차로에서 발생한 차대 차 사고 중에서 가장 심각성을 나타냈다. 또한 교차로에서 발생한 사고의 유형 중에서 측면직각 충돌사고가 42,135건으로 43.4%를 차지해 가장 비중이 높은

교통사고로 나타났고, 같은 사고로 인한 사망자수가 463명(58%)으로 가장 치명적인 사고로 집계되어 측면 직각 충돌사고에 대한 분석과 대책이 요구된다. 통계자료에 의하면 이러한 교통사고는 대부분 법규위반에서 비롯된 것으로 나타났으며, 그 중 신호위반 사고가 19,503건(24%)이었다.

신호위반 교통사고의 대다수는 운전자의 부주의에 의해 발생하고 있기 때문에 사고 예방과 안전을 위해 신호위반 단속이 무엇보다 시급하다. 그러나 현재 100% 인력에 의한 단속은 예산과 행정상의 문제점 등으로 지속성이 결여되고 있으며, 적발 후에도 운전자와 단속자간의 시시비비가 빈번히 발생하고 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 외국에서는 우리나라보다 먼저 신호위반 단속카메라(Red Light Camera)를 설치하여 단속의 효율성을 높이고 교통사고 감소에 효과를 보이는 것으로 나타났다. 이진호 외(2004)의 연구에서는 외국의 신호위반 단속시스템 도입효과에 대해 미국 샌프란시스코는 1996년 5개의 교차로에 시스템을 도입하여 위반율이 약 30~50% 감소하였고, 호주의 경우 직각충돌 사고는 32%, 전체 사고는 6.7%가 감소한 것으로 나타났다. 우리나라도 2001년부터 수도권에 20대의 신호위반 단속카메라 운영을 시작으로 현재 전국에 약 2,500여 대를 운영하고 있으며 단속카메라가 사고에 미치는 영향에 대한 보다 면밀한 효과분석이 요구된다고 하겠다.

본 연구에서는 신호교차로 중 신호위반 단속카메라가 설치된 교차로에 대하여 관찰적 사전·사후 평가방법 중 단순비교방법, 비교그룹방법, 경험적 베イズ 방법 세 가지를 각각 적용하였다. 특히 앞서 살펴본 통계자료를 토대로 교차로에서 일어나는 사고유형 중에서 사고비율이 가장 높은 측면직각 충돌사고에 대해 효과평가에 대한 연구를 수행하였으며 신호위반 단속카메라 운영에 의해 측면직각 충돌사고에 어떠한 영향을 미치는지 분석하였다.

1.2. 연구의 흐름

본 연구에서는 2009년부터 2010년 사이에 신호위반 단속카메라가 새롭게 설치된 신호교차로 중 임의로 59개 지점을 선정하여 해당 지점에서 일어난 교통사고자료와 교통운영 및 기하구조자료를 수집하였고, 2007년~2009년을 사전기간으로 2011년~2012년을 사후기간으로 정하여 사전·사후 분석을 수행하였다.

연구의 흐름으로 우선 신호위반 단속카메라, 단순비교방법, 비교그룹방법, 그리고 경험적 베イズ 방법과 관

련된 문헌의 고찰을 통하여 연구의 방향을 설정한 후 수집된 교통사고자료와 교통운영 및 기하구조와 관련된 변수를 정리하여 사고예측모형을 구축하였다. 본 연구에서는 수집한 교통사고자료 중 측면직각 충돌사고자료를 활용하였으며 단순비교방법, 비교그룹방법, 경험적 베イズ 방법을 적용하여 사고감소효과를 비교하였다. 이를 통해 각 평가방법이 가지는 장·단점을 파악하였고, 신호위반 단속카메라가 설치된 교차로에서 발생하는 사고 경향에 대해서 확인하고자 하였다. 이러한 연구 내용과 절차는 Fig. 1과 같다.

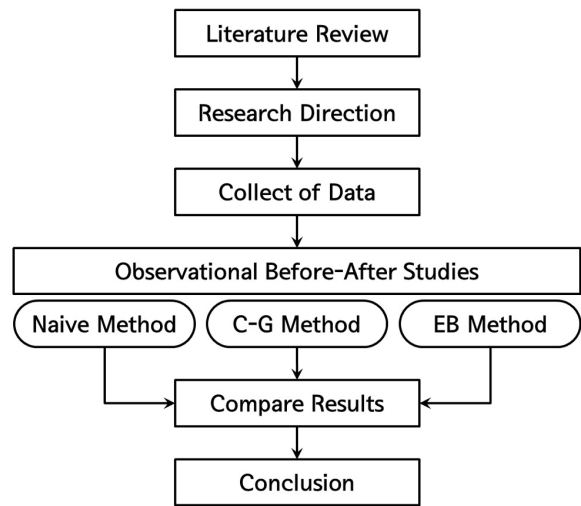


Fig. 1 Study Flow

2. 관련문헌고찰

관찰적 사전·사후 평가방법을 통한 효과평가에 관한 연구들을 살펴보면 임병인 외(2007)는 관찰적 사전·사후 방법 중의 하나인 Empirical Bayes Method(경험적 베イズ 방법)를 이용하여 2002년도와 2003년도 '교통사고 잦은 지점 개선사업' 보고서를 통해 도로부대시설물 개선에 가장 많이 적용된 개선기술인 미끄럼방지포장의 효과에 대해 연구하였다. 개선기술 적용 전과 후 3년 사고자료와 교통량자료를 통해 음이항모형을 활용하여 각 지점별로 사고모형을 구축하였고, 경험적 베イズ 방법을 통하여 사고감소율을 산정하여 감소효과를 평가하였다.

정성봉 외(2009)는 경험적 베イズ 방법을 이용해 사고 잦은 곳 개선사업 우선순위 판정기법에 관해 연구하였다. 정(2009)의 연구에서는 인천시 교통사고 잦은 지점으로 선정된 4지교차로의 3년간 사고자료를 이용해

사고예측모형을 개발하고, 지점별 실제사고건수를 이용하여 경험적 베イズ 방법을 통해 사고건수를 추정하였다. 정(2009)의 연구에서는 실제사고건수, 사고예측모형을 통해 추정된 사고건수, 경험적 베イズ 방법을 통해 추정된 사고건수를 지점별로 비교하였으며, 우선순위 산정을 통해 실제사고건수와 경험적 베イズ 방법을 통한 사고건수를 비교하였다.

이동민 외(2011)은 단순사고건수법, 한쌍비교분석, 비교그룹 분석방법을 이용하여 교통안전시설물 설치효과에 대해 시설유형별로 분석·비교하였고, 각각의 방법론의 장단점을 분석하였다. 이(2011)의 연구에서는 단순사고건수법과 한쌍비교방법은 사고건수가 일시적으로 증가하거나 감소할 수 있는 불확실성을 가진 반면 비교그룹방법은 참조그룹의 비교를 통해 불확실성에 대한 한계를 극복할 수 있다는 점에서 최적의 분석방법임을 도출하였다.

문승라 외(2013)는 영동고속도로의 안전진단사업에 대한 화교평가를 관찰적 사전·사후 평가를 통해 연구하였다. 앞서 살펴본 연구들에서는 한 가지 또는 두 가지 방법으로 사업을 평가한 것과는 달리 문(2013)의 연구에서는 단순비교법, 비교그룹방법, 경험적 베イズ 방법을 모두 적용하여 각 평가방법이 가진 장단점을 파악하였다. 문(2013)의 연구에 따르면 단순비교법은 분석기간 동안 사고의 감소추세에 따라 과대추정되었고, 비교그룹방법은 비교그룹의 사고의 영향에 의한 편이가 내재되었으며, 경험적 베イズ는 사고예측모형에 의해 평균적 사고추이가 분석에 반영되었다고 보았다. 이러한 결과의 차이를 평균으로의 회귀현상에 의한 것으로 해석하였다.

신호위반 단속카메라에 관한 연구로 이건호 외(2004)는 시스템 운영에 따른 교차로 교통사고유형을 시스템을 먼저 도입한 외국의 추세와 더불어 국내에 시스템 도입 전과 후의 사고자료를 분석·연구하였다. 사고유형으로는 직각충돌, 후미추돌, 정면충돌, 차대사람, 차로변경접촉 등으로 세분화하여 유형별로 분석하였다.

김태영 외(2009)는 신호위반 단속장비의 설치로 인한 사고감소효과를 경험적 베イズ 방법을 적용하여 연구하였다. 김(2009)의 연구에서는 기존의 연구들보다 많은 표본을 활용하여 유의한 결과를 제시하고자 하였다. 경험적 베イズ 방법을 적용하기 위해 교차로의 사고자료와 교통량 및 기하구조자료 등의 변수로 사고예측모형을 구축하였고, 이 모형을 이용하여 추정된 기대사고건수와 설치 후 실제사고건수의 비를 이용하여 사고감소

효과를 산정하였다.

위에서 살펴본 바와 같이 대부분의 기존연구에서는 사전·사후 분석을 통한 신호위반 단속카메라의 효과분석이 모든 교통사고를 대상으로 주를 이루고 있으나 신호교차로 사고의 경우, 사고유형별 사고건수의 차이가 확연하며 특히, 교차로에서 측면직각 충돌사고가 가장 빈번하고 치명적이기 때문에 측면직각 충돌사고에 대한 보다 다양한 연구를 통해 교차로 안전향상을 도모하는 것이 무엇보다 중요하다.

3. 연구방법론

3.1. 사고예측모형 이론고찰

교통사고의 특징은 불연속적이고 산발적으로 발생하기 때문에 포아송 회귀모형은 이러한 특징을 반영할 수 있는 대표적인 모형이다. 하지만 포아송 회귀모형은 평균과 분산이 같아야 하는 조건이 있지만 실제 사고에서는 과분산 현상이 발생하게 된다. 따라서 본 연구에서는 교통사고의 특성을 반영할 수 있는 음이항분포를 따르는 모형을 사용하였으며 모형식은 Eq. (1)과 같고 그 분산은 Eq. (2)로 나타낸다.

$$\hat{Y} = \exp(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_i X_i + \epsilon_i) \quad (1)$$

$$Var(y) = E[y_i] + \phi E[y_i]^2 \quad (2)$$

여기서, ϕ : Overdispersion Parameter

과분산계수는 모형계수의 분산을 실제보다 과소하거나 과다하게 예측되는 것을 나타낸다. 과분산계수가 1보다 작으면 음이항회귀모형 0에 가까우면 포아송 회귀모형이 적절하다. 우도비(ρ^2)는 개발된 모형의 적합성 검증을 위해 사용하며 0과 1사이의 값을 가진다. 1에 가까울수록 적합성이 높은 모형이지만 교통사고분석에서는 0.2~0.4 값만으로도 높은 설명력을 가진 것으로 판단할 수 있다.

3.2. 단순비교방법(Naive Before-After Study)

단순비교방법은 분석대상지점의 사업 전과 후의 사고건수만을 가지고 비교하는 방법으로 Eq. (3)과 같이 계산한다. 다만, 방법을 적용함에 있어서 사전기간과 사후

기간의 서로 다른 경우가 발생할 수 있는데, 이 때 Hauer(1997)는 사후기간-사전기간의 비(r_d)인 Eq. (4)를 제안하였고, Eq. (5)을 통해 기간을 보정하였다.

$$ARF = \frac{(K-L)}{K} = 1 - \frac{L}{K} \quad (3)$$

여기서, ARF = 사고감소효과

K = 개선 전 사고건수

L = 개선 후 사고건수

$$r_d = \frac{\text{after period}}{\text{before period}} \quad (4)$$

여기서, r_d = 사후기간-사전기간의 비

$$K' = r_d \times K \quad (5)$$

여기서, K' = 기간이 보정된 사전건수

ARF 는 해당 지점에서 사업시행 후에 시행 전보다 발생한 사고의 감소된 양으로 ARF 가 0보다 크면 사고가 감소한 것으로 보고 ARF 가 0보다 작으면 사고가 증가한 것으로 본다.

그러나 단순비교방법은 교통사고의 원인이 되는 여러 가지 요인들을 감안하지 않고 우연한 교통사고까지 비교할 가능성을 안고 있으며 평균으로의 회귀(Regression to the mean) 문제를 포함하고 있는 통계적 한계 역시 포함하고 있다.

3.3. 비교그룹방법(Comparison-Group, C-G)

비교그룹방법은 대상지점과 비교할 그룹을 선정 후 둘의 사고건수의 변화율을 활용해 대상지점에서 사업이 시행되지 않았을 때 기대사고건수(π)를 추정하고 대상지점에서 사업 후 발생한 실제사고건수(λ)와 비교하는 방법으로 π 와 λ 는 각각 Eq. (6)과 Eq. (7)로 산정한다. 비교그룹은 대상지점과 비슷한 특성을 가지며 개선 사업이 시행되지 않은 그룹을 선정해야 한다.

$$\pi = r_c K \quad (6)$$

$$\lambda = L \quad (7)$$

여기서, $r_c = N/M$

K : 사전기간 대상지점의 사고건수

L : 사후기간 대상지점의 사고건수

M : 사전기간에 비교지점의 사고건수

N : 사후기간에 비교지점의 사고건수

대상지점의 사고감소효과는 오즈비(Odds Ratio, θ)로 분석할 수 있으며 오즈비(Odds ratio)는 대상지점에서 사업이 시행되지 않았을 때 기대사고건수(π)와 사업 시행 후 실제사고건수(λ)의 비율로 Eq. (8)을 통해 계산한다. θ (Odds ratio)가 1보다 작을 때는 사고가 감소하여 사업 후 효과가 나타난 것이며, θ (Odds ratio)가 1보다 크면 사업의 효과가 없는 것이다.

$$\theta = \frac{\lambda}{\pi} = \frac{L}{r_c K} = \frac{LM}{KN} \quad (8)$$

사고감소효과를 비율로 나타내기 위해 Eq. (9)의 E 를 산출한다. E 의 값이 0보다 작으면 사고율이 감소한 것으로 사업 후 효과가 있는 것이며, E 가 0보다 크면 사고율이 증가한 것으로 사업효과가 없는 것을 의미한다.

$$E = 100(\theta - 1) \quad (9)$$

이 결과를 토대로 지점 전체에 대한 평균효과를 산정하게 되는데, 전체 지점의 평균효과 계산은 가중평균을 이용하며 각 지점의 효과를 추정된 값이다. 각 지점의 가중치 α 는 R 의 표준오차 제곱의 역수이며, Eq. (10)과 Eq. (11)과 같이 계산되며, Eq. (12)는 로그 오즈비(Log Odds ratio)의 가중평균이다.

$$R^2 = \frac{1}{K} + \frac{1}{L} + \frac{1}{M} + \frac{1}{N} \quad (10)$$

$$\alpha = \frac{1}{R_{(se)}^2} \quad (11)$$

$$R' = \frac{\sum \alpha R}{\sum \alpha} \quad (12)$$

여기서, $R = \ln(\theta)$

따라서 Eq. (12)을 지수화 하면 평균 오즈비(θ')와 평균사고감소율 E' 이 산출되며 Eq. (13), Eq. (14)와 같다.

$$\theta' = e^{R'} \quad (13)$$

$$E' = 100(\theta' - 1) \quad (14)$$

비교그룹방법은 기본적인 전제조건 중 하나가 대상지점과 비교지점의 사전·사후의 교통량 및 분석기간이 동일해야하는 것이다. 그러나 이는 대부분의 교통량은 상이하고 분석기간도 다를 수도 있는데, 이러한 경우 각 지점별 오즈비(Odds ratio, θ)와 감소율(E)을 산출하기 전에 사전·사후의 교통량 및 분석기간의 차이를 보정한 후 산정한다. Harwood(2002)는 교통량 보정계수(Adj_1)와 분석기간 보정계수(Adj_2)를 Eq. (15)와 (16)을 통해 산출하였다.

$$Adj_1 = \frac{(ADT_{AT}/ADT_{BT})}{(ADT_{AC}/ADT_{BC})} \quad (15)$$

여기서, ADT_{BT} : 대상지점 사전기간 교통량(ved/day)

ADT_{AT} : 대상지점 사후기간 교통량(ved/day)

ADT_{BC} : 비교지점 사전기간 교통량(ved/day)

ADT_{AC} : 비교지점 사후기간 교통량(ved/day)

$$Adj_2 = \frac{(YEARS_{AT}/YEARS_{BT})}{(YEARS_{AC}/YEARS_{BC})} \quad (16)$$

여기서, $YEARS_{BT}$: 대상지점 사전기간(years)

$YEARS_{AT}$: 대상지점 사후기간(years)

$YEARS_{BC}$: 비교지점 사전기간(years)

$YEARS_{AC}$: 비교지점 사후기간(years)

3.4. 경험적 베이즈 방법(Empirical Bayes, EB)

경험적 베이즈 방법은 사고에 영향을 미치는 다양한 요인을 고려하여 분석할 수 있기 때문에 사고자료만을 사용하는 단순비교방법과 비교그룹방법보다 장점이 많은 방법이다(Hauer, 1997). EB방법에서는 사고예측모형을 구축한다는 점이 앞선 방법과 차별화 되는데 이는 비교그룹의 사고예측모형을 구축하고 대상지점에서 개선사업 미시행 시 사고건수를 추정하기 때문이다. 이를 위해서는 대상지점과 유사한 특성을 가지며 개선사업이 시행되지 않은 비교그룹을 선정해야한다. 추정된 사고건수와 대상지점의 실제 사고건수를 가중평균하고 대상지점의 사업시행 후 사고건수와 비교하여 효과를 분석

한다.

비교그룹을 통해 음이항분포를 따르는 사고예측모형을 구축한 후 추정된 평균사고건수 $E(\kappa)$ 와 과분산 계수(ϕ)를 활용해 가중치 α 를 Eq. (17)과 같이 산정한다.

$$\alpha = \frac{1}{1 + \frac{E(\kappa)}{\phi}} \quad (17)$$

산정된 가중치는 기대사고건수를 추정하기 위해 산출한 것으로 기대사고건수 $E(\kappa|K)$ 는 Eq. (18)을 통해 계산한다.

$$E(\kappa|K) = \alpha E(\kappa) + (1 - \alpha)K \quad (18)$$

EB방법에서는 효과를 평가하기 위해 효과지수를 산정하는데 이를 오즈비(Odds ratio, θ)라 하며 개선사업 실시 후 실제사고건수 L 을 위에서 산출한 기대사고건수 $E(\kappa|K)$ 로 나눈 값으로 Eq. (19)을 통해 알 수 있다. 비교그룹방법과 마찬가지로 θ (Odds ratio)가 1보다 작으면 사고가 감소하여 사업의 효과가 있는 것이고, θ (Odds ratio)가 1보다 크면 사고가 증가하여 사업의 효과가 없는 것이다. 또한 효과지수를 비율 E 로 환산하기 위해 Eq. (20)으로 계산할 수 있으며 E 가 0보다 작으면 사고가 감소한 비율이고, E 가 0보다 크면 사고가 증가한 비율이다.

$$\theta = \frac{L}{E(\kappa|K)} \quad (19)$$

$$E = 100(\theta - 1) \quad (20)$$

4. 분석

4.1. 자료수집

2009년~2010년 동안 신호위반 단속카메라가 새롭게 설치된 신호교차로 59개 지점에 대해 단속카메라 설치 전인 2007년~2009년 교통사고 유형별 사망 및 부상건수와 단속카메라 설치 후인 2011년~2012년 교통사고 유형별 사망, 부상건수 자료를 수집하였다. 사전·사후 평가에서는 사망건수와 부상건수의 합을 사용하였고, 지점 51번부터 59번 신호교차로의 사전기간은 2년(2007년~2008년)이다.

비교그룹은 본 연구에서 분석하고자 한 대상교차로와

교통과 도로환경이 비슷한 지점 중 신호위반 단속카메라가 설치되지 않은 지점을 선정하여 자료를 구축하였으며, 이러한 고려사항들로 Hauer(1997)가 주장한 비교그룹 조건의 부합여부(사전·사후기간, 사고발생요인, 대상지점과 비교그룹의 사고발생패턴, 비교그룹의 사고건수)에서 출발하였다. 본 연구에서 분석을 위해 사용한 대상지점과 비교지점의 사고자료는 Table 1과 같다.

Table 1. Accident Data

	Treatment					Comparison				
	Before			After		Before			After	
	'07	'08	'09	'11	'12	'07	'08	'09	'11	'12
1	4	2	2	2	2	2	5	1	2	0
2	8	6	7	5	7	4	4	5	3	5
3	1	4	7	0	2	2	3	3	7	7
4	8	5	4	7	6	3	1	0	6	4
5	4	8	2	1	1	9	8	0	2	3
...
55	5	4	-	1	6	2	1	-	1	1
56	2	0	-	0	3	3	4	-	4	1
57	2	5	-	1	4	2	4	-	6	4
58	8	12	-	2	7	4	5	-	10	4
59	16	16	-	6	6	3	2	-	3	3

4.2. 사고예측모형 구축

경험적 베이스 방법을 활용하기 위해 선정된 비교그룹의 사고데이터와 기하구조로 사고예측모형을 구축하고 개선사업을 시행하지 않았을 때 기대사고건수를 추정하였다. 변수들의 값은 제1종 오류(Type I error)와 제2종 오류(Type II error)를 고려하여 신뢰수준 90%($\alpha=0.10$)에서 음이항회귀모형으로 개발하였다.

사고예측모형 구축 시 필요한 설명변수는 Table 2와 같다. 동·북·서·남쪽 접근로의 교통량, 주·부도로의 교통량, 신호위반 단속카메라 설치지점의 교통량, 중차량 교통량, 차로 수, 좌회전차로수와 신호주기, 신호현시, 전적색시간 횡수 및 시간, 교차로면적, 버스정류장 수, 접근부 경사로 총 26개의 변수이며 교통량은 LN(Log)을 사용하였고, 면적은 단위를 ha로 환산하였다.

측면직각 충돌사고 사망·부상건수에 대한 사고예측모형의 결과는 Table 3과 같으며, 부도로 교통량, 부도로 좌회전차로수, 교차로 면적이 변수로 채택되었다. 이외 23개의 추가변수들도 사고에 대한 설명력을 검사하였으나 신뢰수준에는 미치지 못하였다. 모형의 적합성을 나타내는 우도비(ρ^2)는 0.271로 나타나 모형이 적합한

것으로 분석된다.

교차로에서 차량이 좌회전할 때 일어날 수 있는 사고에 대해서 부도로 교통량과 교차로 면적은 양(+)적 영향을 나타냈다. 이는 부도로 교통량이 많아질수록 직각 충돌 사고가 일어날 확률이 높다는 것을 의미하며 교차로 면적이 넓다는 것은 교차로 통과 시 다른 접근로에서 진

Table 2. Summary Statistics of Main Variables

Variables		Min.	Max.	Avg.	
AADT	East	0.00	11.02	9.44	
	North	7.15	11.01	9.63	
	West	6.98	11.03	9.59	
	South	0.00	10.95	9.37	
	Road	Major	9.10	11.72	10.67
		Minor	7.15	11.65	9.97
		SUM	9.66	12.38	11.11
Red light camera		8.45	10.95	9.94	
Heavy vehicle	Major	1.00	25.00	7.33	
	Minor	0.40	18.18	4.76	
Signal	Cycle	110	220	151.02	
	Phase	2.00	4.00	3.56	
Yellow signal	Major	3.00	4.00	3.22	
	Minor	3.00	4.00	3.29	
All-red	Number	0.00	4.00	0.71	
	Time	0.00	2.00	0.68	
Lane	Major	3.00	7.00	4.41	
	minor	1.00	6.00	3.48	
Left lane	Major	0.00	3.00	1.03	
	minor	0.00	3.00	1.31	
Intersection area		0.11	1.39	0.42	
Number of bus stop		0.00	4.00	1.88	
Slope	1	0.00	6.74	0.89	
	2	0.00	7.50	0.64	
	3	0.00	3.49	0.33	
	4	0.00	4.99	0.16	

Table 3. SPF Model

Variables		Model
Constant	Coeff.	-1.25
	p-value	0.19
Minor AADT	Coeff.	0.35
	p-value	0.00
Minor left lane	Coeff.	-0.32
	p-value	0.01
Intersection area	Coeff.	1.49
	p-value	0.00
ϕ (overdispersion)		0.30
ρ^2		0.271

행하는 차량에 대해서 인지해야할 범위가 넓어 사고발생 가능성이 높은 것으로 판단된다. 반면 부도로 좌회전 차로수는 음(-)적 영향을 나타냈는데, 좌회전차로수가 확보되는 만큼 직각 충돌에 있어서 사고건수가 낮아지는 것으로 분석되었다.

4.3. 사전·사후분석결과

4.3.1. 단순비교방법

단순비교방법에 의한 사고감소효과는 Table 4에서 사고감소효과를 나타내는 ARF 값이 0보다 클 때 대상 지점에서 단속카메라 설치 후 사고건수가 감소한 것을 의미한다. 사고감소율은 ARF(사고감소효과)에 대한 비율로 나타낸 것으로 (-)는 사고가 감소한 것이다. 단순비교방법은 사전·사후의 사망·부상건수만을 비교하기 때문에 증감율의 구분이 뚜렷하며 일부 교차로를 제외하고는 대부분 사고건수가 감소하였다. 이는 전체 사고감소율이 -25.6%로 나타난 것을 통해 확인할 수 있다.

Table 4. Navie Before-After Study Result

Site	<i>K</i>	<i>L</i>	<i>ARF</i>	<i>E</i> (%)
1	5.33	4	0.3	-25
2	14	12	0.1	-14.3
3	8	2	0.8	-75
4	11.33	13	-0.2	14.7
5	9.33	2	0.8	-78.6
6	10	4	0.6	-60
7	8.67	4	0.5	-53.9
8	16	20	-0.3	25
9	6	2	0.7	-66.7
10	5.33	5	0.1	-6.3
...
50	11.33	17	-0.5	50
51	25	10	0.6	-60
52	36	26	0.3	-27.8
53	4	10	-1.5	150
54	0.5	1	-1	100
55	9	7	0.2	-22.2
56	2	3	-0.5	50
57	7	5	0.3	-28.6
58	20	9	0.6	-55
59	32	12	0.6	-62.5
All	493.5	367	0.3	-25.6

K : Before accidents
L : After accidents
ARF : Accident reduction factors
E : Accident reduction(%)

이건호 외(2004)에 따르면 신호위반 단속시스템 운영에 따라 사고유형별 연평균 사고건수에 대해 비교·연구하였는데, 교통사고에서 중대형 사고로 볼 수 있는 측면 직각사고가 25% 감소하였다고 분석하였다. 또 다른 연구인 이상혁 외(2012)는 EB 방법을 통해 미국 Illinois 주 Chicago시의 교차로 신호위반 단속카메라 설치차량사고에 미치는 영향을 분석한 결과 단속카메라 설치 후 전체교통사고에서 사망사고는 26.1%, 부상사고는 20.5% 감소하는 것으로 나타났고, 단속카메라에 영향을 많이 받는 교통사고유형인 측면직각추돌, 후방추돌, 정면충돌사고의 경우 사망사고는 38%, 부상사고는 25.9% 감소한다고 결론지었다.

위의 선행연구들은 본 연구의 분석유형과 비슷한 교통사고유형인 측면직각 충돌사고로써 분석지점들은 상이하지만, 본 연구에서도 평균감소율이 -25.6%로 선행연구들과 비슷하거나 조금 낮은 수준으로 분석되었다. 대부분의 교차로에서 개선효과가 있는 것으로 판단되나 몇몇 교차로는 단속카메라 설치에도 불구하고 오히려 사고가 증가한 것으로 나타났다. 이견호 외(2004)의 연구에서도 신호위반 단속카메라를 설치했음에도 불구하고 사고가 증가한 것을 발견하였는데, 이는 사고 잦은 지점으로 선정된 교차로에서 기하구조가 변경되는 점을 간과하고 신호위반 단속카메라를 설치하여 사고가 증가한 것으로 분석했기 때문에 신호위반 단속카메라의 위치선정 또한 중요하다는 것을 시사한다. 이러한 요인 외에도 여러 외부 요인들에 대한 조사를 통해 사고가 증가한 지점들은 조금 더 명확한 분석이 필요해 보인다.

4.3.2. 비교그룹방법

비교그룹방법 분석과정에 있어서 사고건수가 0인 경우, 관련 계산식의 분모가 0이 되어 계산이 불가능한 문제점을 해결하고자 Harwood 외(2002)와 문승라 외(2013)의 연구에서와 같이 사고건수 0을 0.5로 바꾸어 계산하는 방법을 활용하였으며 결과에는 큰 영향을 미치지 않는 것을 확인할 수 있었다. 대상지점의 사고감소효과(θ)는 신호위반 단속카메라 설치 전 기대사고건수(λ)와 설치 후 발생한 실제사고건수(π)의 비율로써 여기서는 단속카메라가 없을 시 발생하게 될 사망·부상 1건당 설치 후 사고건수로 해석할 수 있다. 결과 값이 0에 근접할수록 단속카메라의 효과가 나타나는 신호교차로이며 1보다 크면 오히려 사고건수가 더 증가한 것으로 설치 후에도 효과가 없는 것이다. 이러한 분석결과를 요약한 것이 Table 5이다.

Table 5. Comparison Group Result

Site	Treatment group		Comparison group		θ	E
	K	L	M	N		
1	8	6	8	3	2	100
2	21	18	13	12	0.9	-7.1
3	12	3	8	21	0.1	-90.5
4	17	19.5	4	15	0.3	-69.4
5	14	3	17	7.5	0.5	-51.4
...
55	9	7	3	2	1.2	16.7
56	2	3	7	5	2.1	110
57	7	5	6	10	0.4	-57.1
58	20	9	9	14	0.3	-71.1
59	32	12	5	6	0.3	-68.8
All	-	-	-	-	0.7	-27.8

θ : Accident reduction factors
 E : Accident reduction(%)

총 59개 신호교차로 중에서 18번 신호교차로의 오즈비(Odds ratio, θ)가 0.03으로 사고감소율(E)이 -96.8%를 나타내 측면직각 충돌사고에 대한 단속카메라의 효과가 가장 큰 교차로로 분석되었다. 반면 2번 신호교차로는 사고감소율이 -7.14%로 가장 적게 감소했다. 나머지 30개 지점에서는 사고변화율이 0~1,300%로 변화가 없거나 사고가 오히려 증가하였으며, 이 때 1,000% 이상의 비정상인 증가 값을 보이는 것으로 나타났는데 이는 방법을 적용할 때 계산상 수치가 일정한 기준에서 벗어난 것으로 이러한 지점들에 대해 서로 보다 면밀한 관찰이 필요하며 이동민 외(2004)의 연구에서도 이런 비정상적 지점들에 대한 문제점들이 제시되고 있다. 문승라 외(2013)는 비교그룹 수를 충분히 확보하는 것이 편의를 줄일 수 있다고 판단하기 때문에 비교지점선정 시 기준명확성과 적합여부, 비교그룹의 수는 비정상적 결과값을 줄이는데 중요한 요소로 작용한다고 제시하고 있다.

비교그룹방법에 의한 59개 지점의 평균 감소율은 27.8%로 단순비교방법에서 평균감소율인 25.6%와 비슷한 수준을 보이고 있으며, 이 결과는 이건호 외(2004), 이상혁 외(2012)의 연구결과와도 유사함을 알 수 있다.

4.3.3. 경험적 베이지 방법

경험적 베이지 방법은 분석과정에서 비교그룹방법과 달리 사고건수가 0인 지점에 대해서도 보정 없는 분석이 가능하다. 경험적 베이지 방법에 의한 분석결과는 Table 6과 같으며 8개 지점을 제외한 모든 지점에서 사고가 감

소한 것으로 분석되었다. 가장 높은 감소율을 보인 지점은 11번이며 가장 낮은 감소율을 보인 지점은 30번 지점이다. 사고가 감소한 지점들의 평균이 -111% 정도로 대부분의 감소율이 80~90%대로 단순비교방법과 비교그룹방법에 비해 모든 지점이 고른 감소율을 보이고 있으며, 평균 감소율은 경험적 베이지 방법 -29.7%, 비교그룹방법 -27.8%, 단순비교방법 -25.6%로 경험적 베이지 방법으로 분석 시 가장 높은 감소율을 보이고 있다. 이러한 결과값의 차이는 경험적 베이지 방법이 다른 방법들에 비해 사고예측모형을 통해 사고의 설명요인들을 최대한 반영하기 때문이다(Hauer, 1997).

Table 6. Empirical Bayes Result

Site	$E(\kappa)$	$E(\kappa K)$	L	θ	E
1	7.04	0.12	6	51.40	5040.28
2	15.16	8.19	18	2.20	119.75
3	15.72	29.11	3	0.10	-89.70
4	26.23	54.64	19.5	0.36	-64.31
5	26.63	65.20	3	0.05	-95.40
...
55	6.93	-35.90	10.5	-0.29	-129.25
56	9.24	45.27	4.5	0.10	-90.06
57	11.17	16.82	7.5	0.45	-55.41
58	17.46	-9.16	13.5	-1.47	-247.41
59	17.97	-43.55	18	-0.41	-141.33
All		801.23	564.5	0.70	-29.69

단속카메라의 효과적 측면에서 살펴보면, 본 연구의 세 분석방법 모두 평균 25~30%의 감소효과를 보이고 있다. 이러한 감소율은 김태영 외(2009)의 연구처럼 단속카메라 설치에 따른 측면직각 교통사고의 감소효과(-47.5%)보다는 적은 수치이지만, 단속카메라 설치각 직각 충돌사고를 예방하는데 기여를 할 수 있다는 점에서 같은 의미를 제시한다.

5. 결론

우리나라 교차로 교통사고 중 측면직각 충돌사고의 비중은 다른 사고유형보다 현저히 높다(총 교차로 사고의 43.4%). 측면직각 충돌사고유형을 줄이기 위해 신호위반 단속카메라 등 다양한 안전대책들이 제시되고 있지만, 이러한 안전대책들의 효과가 체계적으로 분석된 연구결과는 극히 일부에 지나지 않는다. 이에 본 연구에서는 신호위반 단속카메라의 효과분석을 사전·사후 평가의 방법들을 통해 실시하였다.

본 연구에서는 관찰적 사전·사후 평가의 방법론 중 단순비교방법, 비교그룹방법, 경험적 베이즈 방법을 통해서 신호위반 단속카메라를 설치한 교차로의 사고감소 효과에 대해 분석하였다. 분석결과 단순비교방법은 -25.6%, 비교그룹방법은 -27.8%, 경험적 베이즈 방법은 -29.7%로 신호위반 단속카메라 설치 후 측면직각 충돌사고에 대해서 사고가 각각 감소한 것으로 나타나 사고에 대한 안전성 향상을 보장할 수 있다. 사고감소에 대한 상대적 효과분석에서는 세 가지 방법론 중 경험적 베이즈 방법이 무인신호 단속카메라의 효과가 가장 크고 비교그룹방법, 단순비교방법 순서로 효과가 감소하는 것으로 나타났다. 분석방법론별 효과적도가 다른 점에 대해서는 각 방법론이 갖고 있는 통계적 차이점에서 효과결과의 상이성을 찾을 수 있을 것이다.

신호위반 단속카메라의 도입은 단속의 효과뿐만 아니라 위반에 의한 사고를 방지하는 효과를 가졌다는 점에서 사고에 중요한 영향을 미치는 인자가 된다. 본 연구의 결과는 향후 신호위반 단속카메라의 설치 및 제거를 위한 정책적 결정에 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다. 다만, 교통전문가는 교통사고의 원인분석에 있어 같은 분석대상을 대할 때 어떤 방법론을 쓰느냐에 따라 그 결과가 달라질 수 있다는 점을 유의해야 할 것이다.

추후 연구로는 사고심각도에 대한 단속카메라의 효과 분석을 제시하고자 한다. 본 연구에서는 사고빈도를 가지고 효과분석을 수행하였다. 안전의 또 다른 지표인 사고의 심각도에 대한 연구는 그동안 사고빈도에 비해 상대적으로 미흡하게 이루어져 왔다. 본 연구에서 나타난 바와 같이 신호위반 단속카메라 설치가 사고의 빈도를 줄이는 데는 효과적이지만, 사고의 심각도 측면에서는 다른 효과분석 값을 제시할 수 있다. 따라서 사고의 심각도에 대해서 보다 면밀한 사전·사후분석이 추가되어야 할 것이다.

감사의 글

This work was supported by National Research Foundation of Korea Grant funded by the Korean Government(Ministry of Education(NRF-2012R1A1A4A01010102)).

BIBLIOGRAPHY

Jung, S. B., Hwang, B. H., Sung, N. M., Lee, S. H., 2009. "Development of Evaluation Model for Black Spot improvement Priorities by using Empirical Bayes Method",

Journal of Korean Society of Transportation, Vol. 27, No. 3, pp. 81-90.

Kim, T. Y., Park, B. H., 2009. "Effects of Accident Reduction according to the Installation of Red Light Camera by Accident Type Using EB method", 2009 National Academic-Industrial Cooperative Conference, Korea Planners Association, pp. 415-422.

Kim, T. Y., Park, B. H., 2009. "Effects on the Accident Reduction of Red Light Camera Using Empirical Bayes Method", The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems, Vol. 8, No. 6, pp. 46-54.

Kim, S. Y., Choi, J. S., Kim, M. K., Sung, H. J., 2011. "Analysis of the Crash Reduction Effects of the Red Light Camera Systems and Determination of the User Benefits", The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems, Vol. 10, No. 1, pp. 1-15.

Korean National Police Agency, 2013. "2013 Road Traffic Accident Statistics"

Lee, D. M., Kim, D. H., Song, G. S., 2011. "Analysis of Effects from Traffic Safety Improvement on Roadways using C-G Method", Journal of Korean Society of Transportation, Vol. 29, No. 3, pp. 31-40.

Lee, K. H., Yoo, S. J., Kim, Y. C., Yoo, J. H., 2004. "Analysis of accident type at intersection installed red light camera", Journal of Traffic Safety Research, Vol. 23, pp. 77-92.

Lee, S. H., Lee, Y. D., Do, M. S., 2012. "Safety Impacts of Red Light Enforcement on Signalized Intersections", Journal of Korean Society of Transportation, Vol. 30, No. 6, pp. 93-102.

Lim, B. I., Son, Y. T., 2007. "The Effect Analysis on the Rumble Strip Using Empirical Bayes Method", 57th Proceedings of the KOR-KST Conference, Korean Society of Transportation, pp. 412-417.

Mun, S. R., Lee, Y. I., 2013. "The Comparison Study on Observational Before-After Studies: Case Study on Safety Evaluation on Highways", Journal of Korean Society of Transportation, Vol. 31, No. 6, pp. 67-89.

Park, J. S., Park, G. S., Kim, T. Y., Park, B. H., 2008. "Characteristics and Severity of Side Right-Angle Collisions at Signalized Intersections", Journal of the Korean Society of Road Engineers, Vol. 10, No. 4, pp. 199-211.

Harwood, D. W., Bauer, K. M., Pots, I. B., Torbic, D. J., Richard, K. R., Rabbani, K. E. R., Hauer, E., Elefteriadou, L., 2002, "Safety Effectiveness of Intersection Left-and Right-Turn Lanes", Report FHWA-RD-02-089, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation.

Hauer, E., 1997. "Observational Before-After Studies in Road Safety", Emerald Group Publishing Limited, United Kingdom.