

신호위반 단속카메라 운영에 따른 서울시 신호교차로 교통사고 건수 감소효과 연구

오주택* · 이용철**

Traffic Accident Reduction Effects of Red Light Camera Operation at Signalized Intersections in Seoul

Ju Taek Oh* · Yong Chul Lee**

요약 : 본 연구에서는 교통안전에 대한 신호위반 단속카메라의 효과를 분석하고자 하였으며, 이를 위해 사고 유형 중 전체 사고와 후미추돌 사고에 대한 효과 분석으로 관찰적 사전·사후방법인 비교그룹방법(Comparison Group Method)과 경험적 베이즈 방법(Empirical Bayes Method)을 적용하였다. 분석 결과 신호교차로의 전체 사고는 비교그룹방법과 경험적 베이즈 방법에 따라 각각 -7.98%와 -6.63%로 사고가 감소한 것으로 분석되었으나, 후미추돌 사고는 각각 4.3%와 1.22%로 나타나 사고가 오히려 증가한 것으로 분석되었다. 이러한 연구결과는 교통안전대안으로서 신호위반 단속카메라가 전체적으로 사고를 감소시킬 수 있는 효과적인 대책이 될 수는 있지만, 후미추돌 사고에 대해서는 추가적인 안전대책도 같이 강구되어야 함을 의미한다.

주제어 : 교통안전, 신호위반 단속카메라, 신호교차로, 후미추돌 사고, 관찰적 사전·사후 연구

ABSTRACT : Safety effects of red light camera operation at signalized intersections were analyzed in this study. In this research, comparison group(C-G) method and empirical bayes(EB) method were applied to study the safety effects of red light cameras on total accidents and rear-end accidents. The research results show that total accidents can be reduced in the C-G method by -7.98% and in the EB method by -6.63%. However, rear-end accidents can be increased in the C-G method by 4.3% and in the EB method by 1.22%. These results show that red light camera can be an effective countermeasure to raise the safety of signalized intersections in general, but at the same time, there should be additional countermeasure for rear-end accidents.

Key Words : safety, red light camera, signalized intersection, rear-end accident, observational before-after studies

* 한국교통대학교 도시·교통공학과 부교수(Associate Professor, Department of Urban·Transportation Engineering, Korea National University of Transportation), 교신저자(E-mail: jutaek@ut.ac.kr, Tel: 043-841-5185)

** 한국교통대학교 도시·교통공학과 석사과정(Master's Course Student, Department of Urban·Transportation Engineering, Korea National University of Transportation)

I. 서론

도시부 단속류 도로에서 신호교차로는 가장 많은 사고 발생건수를 나타내는 사고다발지점이다. 경찰청(2014)의 교통사고통계에 따르면 2013년 신호교차로에서 발생한 교통사고 건수는 총 95,816건이었다. 이 중 차 대 차 사고는 79,339건이 발생하여 82.8%로 가장 많았으며 사망자 수는 726명(37.6%)으로 신호교차로에서 차 대 차 사고가 아주 심각함을 보여주고 있다. 그런데 경찰청의 교통사고 분석 자료에 따르면 신호교차로에서 발생하는 신호위반 교통사고의 대다수는 운전자의 부주의에 의한 것으로 결론짓는다. 물론 교통사고의 최종 관련자가 운전자라는 점에서 운전자의 부주의는 교통사고의 원인적 요소로서 큰 의미를 갖고 있지만, 동시에 교통공학적 접근으로 교통사고의 위험을 어느 정도 감소시킬 수 있다는 점에서 전문가들은 교통사고를 줄일 수 있는 방법에 대해 보다 고민하고 연구해야 한다.

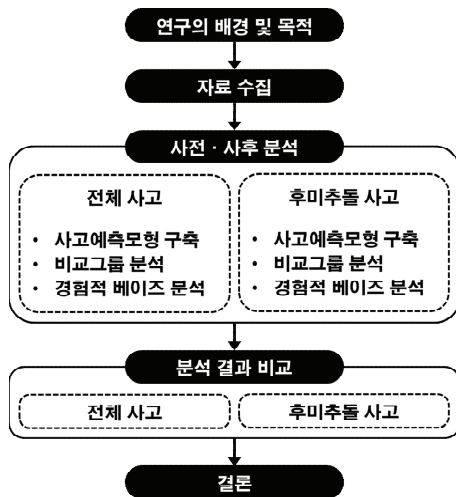
교통사고와 관련한 국내외 연구들을 살펴보면, 신호교차로에서 교통사고를 줄이기 위한 노력 중 신호위반 단속카메라(Red Light Camera)의 효과 분석에 대한 연구결과들이 주목할 만하다. 단속카메라에 대한 필요성을 살펴보면, 현재 100% 인력에 의한 단속이 예산과 행정상의 문제점 등으로 지속성이 결여되고 적발 후에도 운전자와 단속자 간의 시시비비가 빈번히 발생하는 현실적인 문제들을 단속카메라를 통해 극복하려는 행정적인 고민도 찾아볼 수 있다.

단속카메라의 효과에 대한 기존의 연구결과들을 살펴보면, 신호위반 단속카메라 설치가 단속의 효율성을 높이고 교통사고 감소에 효과를 보인다는 여러 연구결과들을 찾을 수 있다. 이 중 이진호

외(2004)의 연구에서는 외국의 신호위반 단속시스템 도입 효과에 대해 미국 샌프란시스코시는 1996년 5개의 교차로에 시스템을 도입한 결과 위반율이 약 30~50% 감소하였고, 호주의 경우 직각충돌 사고는 32%, 전체 사고는 6.7%가 감소한 것으로 나타나 신호위반 단속카메라의 효과를 증명하고 있다.

신호위반 단속카메라의 국내 운영현황에 대해 알아보면 2001년부터 수도권에 20대의 신호위반 단속카메라 운영을 시작으로 현재 전국에 약 2,500여 대를 운영하고 있지만, 외국의 사례에 비해 단속카메라가 사고 건수에 미치는 영향에 대한 연구가 미흡하여 면밀한 효과 분석을 위한 보다 많은 연구가 필요한 것으로 판단된다.

이에 본 연구에서는 서울시에 설치되어 있는 신호위반 단속카메라의 효과 분석을 위해 관찰적 사전·사후 평가방법을 사용하였다. 특히, 사전·사후방법론 중 비교그룹방법(Comparison Group Method)과 경험적 베이지스 방법(Empirical Bayes Method)을 적용하여 신호교차로에서 단속카메라가 교통안전에 어떤 영향을 미치는지 효과 평가를 실시하였고, 이에 대한 연구결과를 분석하고 설명한다. 특히 본 연구에서는 사고의 여러 유형 중 전체 사고 측면에서의 효과 분석과 후미추돌 사고로 유형을 두 개로 구분하여 단속카메라의 영향 분석을 실시하였다.



〈그림 1〉 연구절차

II. 관련 문헌 고찰

신호위반 단속카메라를 주제로 한 국내·외 기존 연구 사례들을 살펴보면 이진호 외(2004)는 신호위반 단속시스템 운영에 따른 교차로 교통사고 유형 분석 연구에서 국내보다 먼저 시스템을 운영한 외국의 도입효과와 도입 전과 후의 사고 건수를 분석하였다. 또한 국내의 경우 시스템을 도입하기 전과 후의 사고 자료를 사고 유형별(직각충돌, 후미추돌, 정면충돌, 차 대 사람, 차로변경 접촉 등)로 세분화하여 분석하였다.

김태영·박병호(2009)는 신호위반 단속장비의 설치로 인한 사고감소 효과를 평가하기 위해 경험적 베이지 방법을 활용하였으며, 교차로의 사고 자료와 교통량 및 도로환경자료 등으로 사고예측모형을 구축하였고, 이 모형을 통해 추정된 기대 사고 건수와 단속카메라 설치 후 발생한 실제 사고 건수의 비를 활용하여 사고감소 효과를 산정하였으며, 기존의 연구들보다 많은 표본을 활용하여 유의한 결과를 제시하고자 하였다.

김형준 외(2009)는 신호위반 단속장비의 설치 전과 후의 사고 유형 변화와 특성을 비교 분석하였고, 사고모형을 설치 전과 후로 나누어 개발하여 단속카메라 유무에 따라 사고 건수에 영향을 미치는 인자를 분석하였다.

김상엽 외(2011)는 신호위반 단속시스템 설치에 따른 교통사고 감소효과와 편익산정 기법 연구에서 포아송과 음이항 회귀모형을 통해 사고예측모형을 구축하고 단속카메라 설치 전과 후의 교통사고 1건당 사고비용 원단위를 산출하였으며, 교통사고 감소 편익과 시스템 운영 및 설치에 따른 비용을 고려한 분석을 통해 경제적 효과를 제시하였다.

이상혁 외(2012)는 교차로 신호위반 단속카메라 설치가 차량 사고에 미치는 영향에 대한 연구에서 교차로를 세 가지 유형으로 분류하였다. 교통량 및 사고 정보 등을 통해 사고예측모형을 구축하고 Empirical Bayes 분석을 시행하여 신호위반 단속카메라 설치 전과 후 교통사고 건수 및 심각도의 변화를 분석하였으며, 사고 유형별로 측면직각충돌, 후방추돌, 정면충돌 등의 사고에 대해 분석하였다.

Nicholas et al.(2005)은 미국 Virginia주의 도시(Fairfax County, Fairfax City, Falls Church, Town of Vienna)에 설치된 신호위반 단속카메라에 대해 사전·사후 비교분석, 경험적 베이지 방법 등을 활용하여 안전에 미치는 영향을 분석하고 통계적 유의성과 사고 유형별 증감률을 통해 단속카메라의 효과를 분석하였다.

Forrest et al.(2005)은 미국의 7개 도시(El Cajon, San Diego, San Francisco, Howard County, Montgomery County, Baltimore, Charlotte)에서 신호위반 단속카메라가 설치된 132개 지점에 대해

다양한 심각도 수준을 고려하기 위해 사고 유형별 비용을 산출하였고 경험적 베이지 방법을 활용하여 단속카메라의 사고감소효과에 대해 연구하였다.

Schneider(2010)는 미국 Louisiana주 Lafayette의 신호교차로 중 2007년 12월부터 2008년 3월까지 신호위반 단속카메라가 설치된 6개 교차로를 대상으로 사고 자료를 수집하고 2007년을 사전기간, 2008년 4월 1일부터 2009년 3월 31일을 사후기간으로 정하여 설치 전·후의 단속카메라 효과를 경험적 베이지 방법으로 분석하였다.

신호위반 단속카메라와 관련된 국내·외 문헌은 대부분 단속카메라 설치 전과 후의 효과 분석이 주를 이룬다. 그러나 단순히 사고 건수만을 비교하거나 사고예측모형을 통해 사고요인을 분석하였음을 알 수 있었고, 대부분의 연구결과에서 단속카메라의 효과에 대해 긍정적인 결론을 도출하고 있음을 확인하였다.

III. 연구방법론

Hauer(1997)는 그의 저서 *Observational Before-After Studies in Road Safety*에서 안전대안(Countermeasure)의 관찰적 사전·사후 평가 방법으로 단순비교방법, 비교그룹방법, 경험적 베이지 방법의 세 가지를 제시한다. Hauer는 이러한 평가 방법들은 정책에 따라 도로의 구조 및 시설의 변경이나 확충으로 인한 환경의 변화를 관찰하여 분석 연구에 활용할 수 있다고 주장하면서, 그동안 전통적으로 많이 사용되어온 단순비교방법의 과도한 영향력분석에 대한 문제점을 지적한다. 그는 단순비교방법의 대안으로 비교그룹방법과 경험적 베이지 방법을 통한 효과 분석을 제시하고 있으며, 이들 방법론의 자세한 분석과정을 설명하고 있다.

1. 비교그룹방법(Comparison-Group)

비교그룹방법은 대상지점에서 사업이 시행되지 않았을 때 기대 사고 건수(π)를 추정하기 위해 식 (1)과 같이 대상지점과 비교지점의 사고 변화율을 활용해 산출한다. 추정된 기대 사고 건수(π)와 사업 시행 후 대상지점에서 발생한 실제 사고 건수($\lambda(=L)$)의 비교를 통해 분석한다. 이때, 사고 건수가 0인 경우 분모가 0이 되어 계산이 불가능한 문제가 발생하는데 본 연구에서는 사고 건수 0을 0.5로 치환하는 방법을 택하였다. Harwood et al.(2002)과 문승라·이영인(2013)의 연구에서도 이 방법을 활용하여 문제점을 해결하였으며 결과에도 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

$$\pi = K \times \frac{N}{M} \quad (1)$$

여기서, K (사전), L (사후) : 대상지점 사고 건수

M (사전), N (사후) : 비교지점 사고 건수

식 (2)의 오즈비(θ)는 식 (1)에서 추정한 기대 사고 건수(π)와 실제 사고 건수(λ)의 비율이며, 사고감소효과를 나타낸다. $\theta < 1$ 인 경우 사고가 감소한 것이며, $\theta > 1$ 인 경우 사고가 증가하여 사업 효과가 없는 것으로 해석한다. 사고효과비율 E 는 식 (3)을 통해 산출하며 $E < 0$ 인 경우 사고가 감소한 것이고, $E > 0$ 인 경우 사고 증가로 사업의 효과가 없는 것으로 해석한다.

$$\theta = \frac{\lambda}{\pi} = \frac{LM}{KN} \quad (2)$$

$$E = 100(\theta - 1) \quad (3)$$

평균효과 계산은 가중평균을 활용하며 식 (4), 식 (5)와 같이 R 의 표준오차 제곱의 역수로 가중치 α 를 산출한다. 식 (6)은 로그 오즈비의 가중평균을 의미하고 지수화를 통해 식 (7), 식 (8)을 통해 각각 평균 오즈비(θ')와 평균사고감소율(E')이 산출된다.

$$R^2 = \frac{1}{K} + \frac{1}{L} + \frac{1}{M} + \frac{1}{N} \quad (4)$$

$$\alpha = \frac{1}{R_{(se)}^2} \quad (5)$$

$$R' = \frac{\sum \alpha R}{\sum \alpha} \quad (6)$$

여기서, $R = \ln(\theta)$

$$\theta' = e^{R'} \quad (7)$$

$$E' = 100(\theta' - 1) \quad (8)$$

2. 경험적 베이지 방법(Empirical Bayes)

경험적 베이지 방법은 단순히 사고 자료만을 활용한 분석보다 다양한 사고 영향 인자를 고려하여 분석할 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러한 요인을 반영하기 위해 비교지점을 통해 음이향 분포를 따르는 사고예측모형을 구축한 후 사업 시행 전의 대상지점 사고 건수를 추정한다. 기대 사고 건수를 뜻하는 $E(\kappa|K)$ 를 산출하기 위해 식 (9)를 통해 가중치(α)를 산정하며 이때 $E(\kappa)$ 는 평균사고 건수, ϕ 는 과분산 계수이다. 기대 사고 건수 $E(\kappa|K)$ 는 식 (10)을 통해 계산한다.

$$\alpha = \frac{1}{1 + \frac{E(\kappa)}{\phi}} \quad (9)$$

$$E(\kappa|K) = \alpha E(\kappa) + (1 - \alpha)K \quad (10)$$

사고감소효과를 나타내는 오즈비(θ)는 식 (11)과 같이 사업 후 실제 사고 건수 L 을 기대 사고 건수 $E(\kappa|K)$ 로 나눈 값이다. 비교그룹방법에서 θ 와 마찬가지로 $\theta < 1$ 인 경우 사업 효과가 있고, $\theta > 1$ 인 경우 사업의 효과가 없는 것으로 분석한다. 식 (12)는 효과비율을 나타내며 $E < 0$ 인 경우 사고가 감소한 것이고, $E > 0$ 인 경우 사고가 증가한 것으로 해석한다.

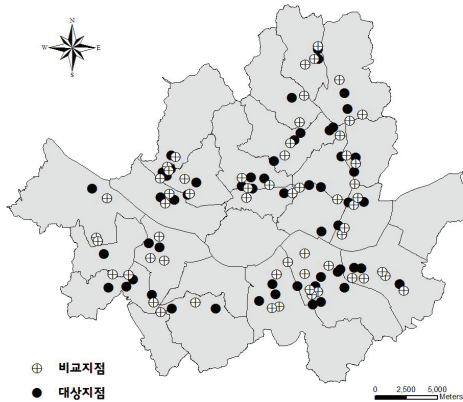
$$\theta = \frac{L}{E(\kappa|K)} \quad (11)$$

$$E = 100(\theta - 1) \quad (12)$$

IV. 분석

1. 자료수집

본 연구에서는 2009년부터 2010년 사이 신호위반 단속카메라를 설치한 서울시 신호교차로 중 자료수집이 가능한 59개 지점에 대해 사고 자료와 교통량 등 설명변수 자료들을 수집하였으며 신호교차로의 대상지점과 비교지점의 위치는 <그림 2>를 통해 확인할 수 있다.



〈그림 2〉 대상지점 및 비교지점 위치도

비교그룹은 Hauer(1997)의 비교그룹 조건(사전/사후기간, 사고발생요인, 사고발생패턴, 비교그룹의 사고 건수)을 고려하여 비교그룹을 선정하고자 하였으며 신호위반 단속카메라를 설치한 교차로와 교통 및 도로환경이 비슷한 지점 중에서 신호위반 단속카메라가 설치되지 않은 지점을 선정하여 비교지점 자료를 구축하였다. 전체 사고의 대상지점과 비교지점의 사고 자료는 〈표 1〉, 후미추돌 사고의 대상지점과 비교지점의 사고 자료는 〈표 2〉와 같다. 여기서 전체 사고는 후미추돌 사고와 측면직각 충돌 사고를 제외하고 발생한 모든 사고 자료이다.

〈표 1〉 전체 사고 자료

지점	대상지점		비교지점	
	사전(3년)	사후(2년)	사전(3년)	사후(2년)
1	46	17	36	14
2	94	65	99	59
3	96	68	81	56
4	70	47	52	34
5	107	61	73	39
6	97	47	95	59
7	71	39	51	26
...				
59	117	50	110	55
합계	3,593	2,101	3,106	1,961

〈표 2〉 후미추돌 사고 자료

지점	대상지점		비교지점	
	사전(3년)	사후(2년)	사전(3년)	사후(2년)
1	8	3	6	3
2	14	10	23	18
3	36	25	32	15
4	12	14	21	7
5	28	14	14	10
6	29	11	20	8
7	3	7	6	7
...				
59	35	21	11	6
합계	722	457	598	364

경험적 베이지 방법에 활용할 사고예측모형 구축을 위해 설명변수는 동·북·서·남쪽 접근로의 교통량, 주·부도로의 교통량, 단속카메라 설치지점의 교통량, 중차량 교통량, 차로 수, 좌회전 차로 수, 신호주기, 신호현시, 전 적색시간 횡수 및 시간, 교차로면적, 버스정류장 수, 접근부 경사로 총 26개의 자료를 수집하였다. 교통량은 LN(Log)로 환산하고 면적은 단위를 ha로 환산하여 활용하였다. 이와 같은 설명변수는 〈표 3〉에 정리하였다.

〈표 3〉 교통량 및 기하구조 자료

설명변수		Min.	Max.	Avg.
교통량	동	0.00	11.02	9.44
	북	7.15	11.01	9.63
	서	6.98	11.03	9.59
	남	0.00	10.95	9.37
	주도로	9.10	11.72	10.67
	부도로	7.15	11.65	9.97
	주+부도로	9.66	12.38	11.11
	RLC	8.45	10.95	9.94
중차량	주도로	1.00	25.00	7.33
	부도로	0.40	18.18	4.76
신호	주기	110	220	151.02
	현시	2.00	4.00	3.56
황색신호	주도로	3.00	4.00	3.22
	부도로	3.00	4.00	3.29
전 적색	횡수	0.00	4.00	0.71
	시간	0.00	2.00	0.68
차로 수	주도로	3.00	7.00	4.41
	부도로	1.00	6.00	3.48
좌회전 차로 수	주도로	0.00	3.00	1.03
	부도로	0.00	3.00	1.31
교차로 면적		0.11	1.39	0.42
버스정류장 수		0.00	4.00	1.88
접근부 경사	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

2. 전체 사고 분석

1) 사고예측모형 구축

경험적 베이스 방법을 활용하기 위한 사고예측 모형은 비교그룹의 사고 자료와 도로환경 및 기하구조 자료를 토대로 모형을 구축한 후 신호위반 단속카메라를 설치하지 않았을 경우 발생할 기대 사고 건수를 추정하였다. p 값은 제1종 오류(Type I error)와 제2종 오류(Type II error)를 고려하여

신뢰수준 90%($\alpha=0.10$)에서 음이항 회귀모형으로 개발하였다.

〈표 4〉 전체 사고 사고예측모형

Variables	Coeff. (p-value)
상수	2.7 (0.00)
주도로 차로 수	0.21 (0.00)
부도로 차로 수	0.1 (0.08)
ϕ (overdispersion)	0.14

전체사고에 대한 사고예측모형은 〈표 4〉와 같으며 주도로 차로 수와 부도로 차로 수가 선정되었고 두 변수에 대해서 모두 양(+)적 영향을 나타냈다. 주도로와 부도로의 차로 수가 많을수록 전체적으로 교차로에서 사고가 자주 발생하는 것으로 나타났으며 이는 차량의 노출과 상충의 빈도가 증가하기 때문인 것으로 판단된다.

2) 비교그룹방법 분석

전체 사고에 대한 비교그룹분석 결과는 〈표 5〉와 같으며 평균 효과비율이 -7.98%로 총 59개 지점 중에서 34개 지점이 감소한 것으로 나타났다. 가장 높은 감소율을 보인 지점은 -66.25%, 가장 적게 감소한 지점은 -0.62%로 나타나 신호교차로에서 발생한 전체 사고는 신호위반 단속카메라의 영향을 받아 사고 감소에 효과가 있는 것으로 판단된다. 또한 평균 효과비율인 -7.98%보다 많이 감소한 지점이 27개 지점으로 나타나 이들 지점에서는 보다 큰 단속카메라 효과를 확인할 수 있었다.

〈표 5〉 전체 사고에 대한 비교그룹 분석 결과

지점	대상지점		비교지점		θ	E
	K	L	M	N		
1	30.7	17	24	14	0.95	-4.97
2	62.7	65	66	59	1.16	16.03
3	64	68	54	56	1.02	2.46
4	46.7	47	34.7	34	1.03	2.69
5	71.3	61	48.7	39	1.07	6.71
6	64.7	47	63.3	59	0.78	-21.98
7	47.3	39	34	26	1.08	7.75
...						
59	78	50	73.3	55	0.85	-14.53
평균	-				0.92	-7.98

 θ : Accident Reduction Factors E : Accident Reduction(%)

〈표 6〉 전체 사고에 대한 경험적 베이지 분석 결과

지점	L	$E(\kappa)$	$E(\kappa K)$	θ	E
1	25.5	42.6	42.9	0.59	-40.65
2	97.5	52.6	57.9	1.68	68.41
3	102	98.8	98.2	1.04	3.87
4	70.5	109.5	100.4	0.7	-29.75
5	91.5	109.5	108.9	0.84	-16.01
6	70.5	98.3	97.9	0.72	-28.06
7	58.5	64.7	65.7	0.89	-10.9
...					
59	75	79.9	86.7	0.87	-13.45
평균	-			0.93	-6.63

 θ : Accident Reduction Factors E : Accident Reduction(%)

3) 경험적 베이지 방법 분석

경험적 베이지 분석 결과는 〈표 6〉에 정리하였다. 평균 효과비율이 -6.63%로 총 59개 지점 중에서 37개 지점에서 사고가 감소했고 가장 높은 감소율을 보인 지점은 -91.64%이며 가장 낮은 감소율을 보인 지점은 -1.31%로 나타났다. 이는 비교그룹 방법을 적용한 분석과 마찬가지로 경험적 베이지 분석을 통해서도 신호위반 단속카메라의 운영이 전체 사고의 감소에 긍정적으로 기여하는 것을 의미한다.

3. 후미추돌 사고 분석

1) 사고예측모형 구축

후미추돌 사고 모형 역시 신뢰수준 90%($\alpha=0.10$)를 기반으로 음이항 회귀모형으로 사고모형을 구축하고 신호위반 단속카메라 설치 전의 기대 사고 건수를 추정하였다.

〈표 7〉 후미추돌 사고 사고예측모형

Variables	Coeff.(p-value)
상수	-5.14 (0.00)
주도로 교통량	0.48 (0.00)
신호현시 수	0.41 (0.00)
부도로 차로 수	0.22 (0.00)
ϕ (overdispersion)	0.16

후미추돌 사고의 사고예측모형은 〈표 7〉과 같으며 주도로 교통량, 신호현시 수, 부도로 차로 수가 유의한 변수로 선정되었고 모두 양(+)적 영향을 나타냈다. 교통량은 많을수록 차량의 상충이 발생할 확률이 높으며 이로 인해 후미추돌 사고가 증가하는 것으로 판단된다. 신호현시의 경우 김상엽 외(2011)의 연구에서도 주요 변수로서 예측모형을 정립하였고 현시 수가 많으면 신호의 변화가 잦기 때문에 신호위반이 증가할 수 있다고 제시하였으며 본 연구에서도 잦은 신호의 변화는 차량의 급정거 빈도가 높아져 후미추돌 사고가 증가할 것으로 판단하였다. 부도로의 경우 차로 수가 많으면 그만큼 사고에 노출될 가능성이 높고 후미추돌의 경우 신호위반 단속카메라를 뒤늦게 발견하거

나 신호변동으로 인한 딜레마 발생 시 앞 차량의 급정거에 의해서 발생되므로 차로 수가 적을 때보다 많을 때 후미추돌 사고에 더 자주 노출되는 것으로 판단된다.

2) 비교그룹방법 분석

비교그룹방법을 적용한 후미추돌 사고 분석 결과는 〈표 8〉과 같다. 평균 효과비율이 +4.3%로 평균적으로 사고가 증가한 것으로 나타났으며 총 59개 지점 중 29개 지점에서 사고가 증가하고 3개 지점에서 변화가 없었다. 우선 사고가 감소한 지점은 총 27개로 가장 높은 감소율을 보인 지점은 -90%이고, 가장 적게 감소한 지점은 -5.17%로 나타났다. 반면 사고가 증가한 지점은 29개 지점으로 최소 5.56%에서 최대 700%까지 증가하였다. 이 중 일부 지점의 경우 비정상적인 증가값(최대 700%의 경우)을 보이고 있지만, 분석지점 전체 측면에서 살펴보면 증가한 29개 지점의 효과비율이 모두 평균보다 큰 것으로 나타나 신호위반 단속카메라는 후미추돌 사고 증가에 영향을 주는 것으로 판단된다.

〈표 8〉 후미추돌 사고에 대한 비교그룹 분석 결과

지점	대상지점		비교지점		θ	E
	K	L	M	N		
1	5.3	3	4	3	0.75	-25
2	9.3	10	15.3	18	0.91	-8.73
3	24	25	21.3	15	1.48	48.15
4	8	14	14	7	3.5	250
5	18.7	14	9.3	10	0.7	-30
6	19.3	11	13.3	8	0.95	-5.17
7	2	7	4	7	2	100
...						
59	23.33	21	7.33	6	1.1	10
평균	-				1.04	4.3

θ : Accident Reduction Factors

E : Accident Reduction(%)

〈표 9〉 후미추돌 사고에 대한 경험적 베이지 분석 결과

지점	L	$E(\kappa)$	$E(\kappa K)$	θ	E
1	4.5	10.1	9.7	0.47	-53.39
2	15	5.3	6.4	2.36	135.93
3	37.5	19.4	25.1	1.49	49.19
4	21	25.5	19.9	1.05	5.19
5	21	10.9	14.8	1.42	41.63
6	16.5	14.4	18.5	0.89	-10.84
7	10.5	16.4	12.2	0.85	-14.63
...					
59	31.5	11.9	17.6	1.79	79.31
평균		-		1.01	1.22

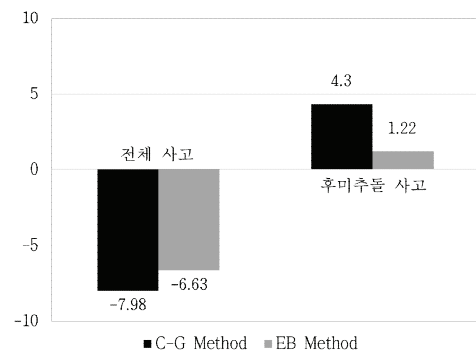
 θ : Accident Reduction Factors E : Accident Reduction(%)

3) 경험적 베이지 방법 분석

경험적 베이지 방법을 적용한 후미추돌 사고 결과는 〈표 9〉와 같다. 평균 효과비율이 1.22%로 도출되었으며 비교그룹분석보다 3.08% 적은 수치지만 사고는 여전히 증가한 것으로 분석되었다. 총 59개 지점 중에서 28개 지점이 증가하였고 31개 지점이 감소하여 감소지점이 더 많았지만 증가 지점의 평균 증가 비율이 51.04%이며 감소지점의 평균 감소 비율이 -43.78%로 나타났다. 또한 증가 범위가 0.18~191.47%로 대부분의 지점에서 큰 증가율을 보여 신호위반 단속카메라는 후미추돌 사고에 취약한 것으로 판단되지만 사고가 증가한 지점과 감소한 지점이 뚜렷하게 구분되기 때문에 각 지점에 대한 심도 있는 관찰이 필요해 보인다.

V. 비교 분석

비교그룹방법과 경험적 베이지 방법에 의한 신호위반 단속카메라의 효과평가 결과는 전체 사고는 감소한 반면, 후미추돌 사고의 경우는 오히려 사고가 증가한 것으로 나타났다. 두 분석 방법의 효과비율을 비교한 결과는 〈그림 3〉과 같다.



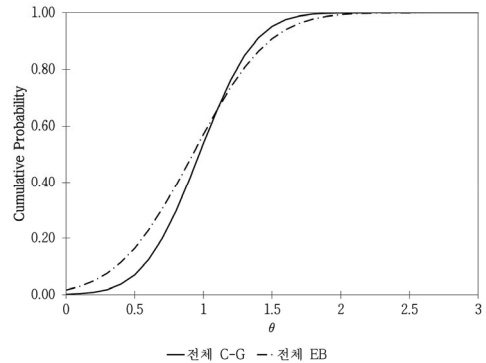
〈그림 3〉 결과 비교

전체 사고의 경우, 이진호 외(2004)의 연구에서도 신호위반 단속카메라 설치 전과 후의 사고를 분석한 결과 사고 유형별로 정면충돌 사고가 증가한 것을 제외하면 대부분의 사고 유형에서 감소한 것으로 분석하였으며 특히 모든 사고를 합산한 후의 증감률이 -18%로 분석되어 신호위반 단속카메라의 운영이 교통사고 감소에 영향을 주는 것으로 판단하였다. 김태영·박병호(2009)의 연구에서도 신호위반 단속카메라의 사고감소 효과를 분석하였는데, 총 28개 지점 중에서 변화 없는 지점이 2개, 사고가 증가한 지점이 7개로 나머지 19개 지점에서 사고가 감소하였다. 이는 본 연구결과에서

도 확인할 수 있었는데, 비교그룹방법이 -7.98%, 경험적 베イズ 방법이 -6.63%로 신호위반 단속카메라에 의해 사고가 감소한 것으로 나타났다.

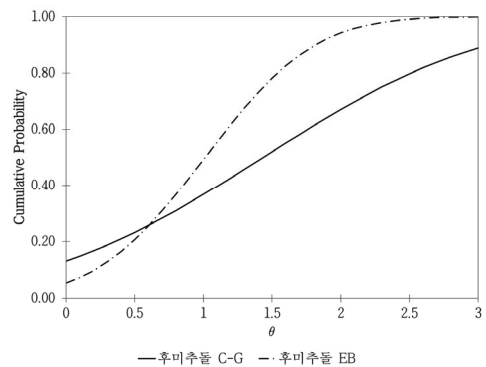
후미추돌 사고의 경우, 본 연구에서 비교그룹, 경험적 베イズ 방법에서 모두 사고가 증가하는 것으로 나타났다. Nicholas et al.(2005)의 연구에서는 Fairfax County의 사고 자료를 바탕으로 경험적 베イズ 방법으로 분석한 결과 후미추돌과 신호위반 단속카메라의 상관관계에서 사고 증가가 50~71%의 범위를 나타내는 것으로 분석하였고, Schneider(2010)는 교차로 6개소에 대한 사전·사후 사고 자료를 분석한 결과 후미추돌 사고는 -1.5%로 감소하였으나 직각충돌 사고 감소율(-33.3%) 등 기타 사고에 비하면 적은 감소율이며 사전기간 전체 127건의 사고 중 66건, 사후기간 전체 111건의 사고 중 65건이 후미추돌 사고로 나타나 한 달 평균 5.5건의 후미추돌 사고가 발생한 것으로 분석하였다. 본 연구결과에서도 후미추돌 사고는 비교그룹분석에서 4.3%, 경험적 베イズ 방법에서 1.22% 증가함을 보였다. 이는 신호위반 단속카메라의 효과가 후미추돌 사고유형에는 오히려 부정적인 결과를 나타낼 수 있음을 의미한다.

이러한 결과는 <그림 4>, <그림 5>의 누적 확률 그래프를 통해서도 확인해볼 수 있는데 여기서 효과 지수를 의미하는 θ 가 1 이하일 경우 사고가 감소함을 나타내며, 1 이상일 경우 사고가 증가함을 나타낸다. <그림 4>의 전체 사고의 경우 약 0.7~1.1 사이의 θ 값을 가진 지점이 많기 때문에 기울기가 급격하게 나타났고 실제로 59개 지점의 평균이 0.92와 0.97을 보이고 있어 사고가 감소한 것을 알 수 있다.



<그림 4> 전체 사고 누적 확률 그래프

반면 <그림 5> 후미추돌 사고의 경우 θ 값이 1보다 큰 지점이 많고 59개 지점의 평균이 1.01과 1.43을 나타내고 있으며 평균 이상의 값을 갖는 지점이 존재하기 때문에 기울기가 완만하게 형성되었다. 따라서 분석 결과와 마찬가지로 신호위반 단속카메라로 인해 전체 사고는 감소하고 후미추돌 사고는 증가하는 것을 나타낸다.



<그림 5> 후미추돌 사고 누적 확률 그래프

본 연구의 결과들을 살펴보면, 분석방법론에 따라 같은 사고 자료를 사용함에도 사고 증감률의 차이를 보이고 있는데, 전체 사고의 경우 방법 간 1.35%의 차이를 보이며 비교그룹방법의 사고감소 효과가 가장 큰 것으로 분석되었고, 후미추돌 사

고의 경우 방법 간 3.08%의 차이를 보여 비교그룹 방법을 통한 분석에서 사고가 더 증가함을 보였다. 이는 비교그룹 분석에서 효과 비율이 +700%로 나타난 지점 이외에도 15개 지점에 대한 효과 비율이 100% 이상을 나타내 비정상적인 증가 값을 보이기 때문으로 판단되며 이러한 지점들에 대해서는 보다 면밀한 관찰이 필요하다. 문승라·이영인(2013)의 연구에서는 비교그룹 수를 충분히 확보하면 편위의 발생을 줄일 수 있으며 비교지점 선정 시 기준의 명확성과 적합성 여부, 비교그룹의 개수는 비정상적 결과값을 줄이는 데 중요한 요소로 작용한다고 제시하고 있다. 경험적 베이스 분석에서는 사고 발생 인자를 고려한 사고예측모형을 바탕으로 분석함으로써 비교그룹방법보다 사고 현장에 대한 실질적인 설명요인들이 반영된 것으로 판단된다(Hauer, 1997).

VI. 결론

본 연구에서는 신호위반 단속카메라 설치에 따라 동일한 자료를 토대로 전체 사고, 후미추돌 사고에 대해서 관찰적 사전/사후 평가 방법 중에서 비교그룹방법, 경험적 베이스 방법을 적용하여 단속카메라 설치의 효과 분석을 실시하였으며, 또한 효과 분석값들을 비교함으로써 두 방법론의 차이에 따른 분석결과의 상이성에 대해서 살펴보았다. 분석결과를 살펴보면, 전체 사고의 경우 비교그룹 분석과 경험적 베이스 분석 모두 사고를 감소시키는 것으로 분석되었지만 후미추돌 사고는 반대로 오히려 증가시키는 역할을 하고 있는 것으로 나타났다. 후미추돌 사고의 증가 원인은 사고예측모형 구축 시 사고 발생에 영향을 미치는 요인으로 채택된 주도로 교통량, 신호현시 수, 부도로 차로 수

로 설명할 수 있으며 신호위반 단속카메라 설치 시 이러한 요인을 고려한 설치 계획을 수립하고 신호위반을 염려한 선행차량의 급정거에 대한 대책이 필요할 것이다. 또한 본 연구에선 분석방법론에 따라 효과값들이 다소 차이를 보이는 것으로 나타났는데, 분석 결과 전체 사고는 비교그룹분석에서 -7.98%, 경험적 베이스 분석에서 -6.63%로 사고가 감소한 것으로 분석되었으며 후미추돌 사고는 비교그룹분석에서 4.3%, 경험적 베이스 분석에서 1.22%로 사고가 증가한 것으로 각각 분석되었다. 이러한 결과값들의 차이는 분석방법론의 차이에 따라 발생하는 자연적인 현상이지만, 안전 효과에 대한 분석을 하고자 하는 교통전문가는 같은 분석대상에 대해 어떤 방법론을 쓰느냐에 대한 보다 깊은 성찰이 필요하며 분석방법론에 따라 그 결과가 달라질 수 있다는 점을 특히 유의해야 할 것으로 보인다.

추후 연구로 교차로에서 발생하는 사고 유형을 세분화한 분석이 필요할 것으로 판단되며 특히 사고빈도에 비해 연구가 미흡한 심각도 등 교통안전 측면에서의 다양한 척도를 활용하여 다각적이고 면밀한 효과 분석이 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

- 경찰청, 2014, 「교통사고통계」, 서울: 경찰청.
- 김상엽·최재성·김명규·성현진, 2011, “신호위반 단속 시스템 설치에 따른 교통사고 감소 효과와 편익산정 기법 연구”, 「한국ITS학회논문지」, 제10권 제1호: 1~15, 한국ITS학회.
- 김태영·박병호, 2009, “경험적 베이스 방법을 이용한 무인 신호위반단속장비의 사고감소효과”, 「한국ITS학회 논문지」, 제8권 제6호: 46~54, 한국ITS학회.

- 김형준 · 김태영 · 박병호, 2009, “무인신호위반단속장비 설치에 따른 교통사고 특성 및 모형”, 『대한국토 · 도시계획학회지』, 제44권 제2호: 161~170, 대한국토 · 도시계획학회.
- 문승라 · 이영인, 2013, “관찰적 사전·사후 평가연구 방법의 비교 연구: 공용중인 고속도로 안전진단사업 효과 평가를 사례로”, 『대한교통학회지』, 제31권 제6호: 67~89, 대한교통학회.
- 이건호 · 유성준 · 김영찬 · 유정화, 2004, “신호위반단속시스템 운영에 따른 교차로 교통사고 유형 분석연구”, 『교통안전연구논집』, 제23호: 77~92, 도로교통공단 교통과학연구원.
- 이상혁 · 이용두 · 도명식, 2012, “교차로 신호위반 단속카메라 설치가 차량사고에 미치는 영향”, 『대한교통학회지』, 제30권 제6호: 93~102, 대한교통학회.
- Forrest, M. Council, Bhagwant, N. Persaud, Kimberly, Eccles, Craig, Lyon, and Michael, S. Griffith, 2005, *Safety Evaluation of Red-Light Cameras*, FHWA-HRT-05-048, U.S. Department of Transportation.
- Harwood, D. W., Bauer, K. M., Potts, I. B., Torbic, D. J., Richard, K. R., Rabbani, E. R. K., Hauer, E., Elefteriadou, L., 2002, *Safety Effectiveness of Intersection Left-and Right-Turn Lanes*, FHWA-RD-02-089, U.S. Department of Transportation.
- Hauer, E., 1997, *Observational Before-After Studies in Road Safety*, Emerald Group Publishing Limited, United Kingdom.
- Nicholas, J. Garber, John, S. Miller, Saeed, Eslambolchi, Rahul, Khandelwal, Kimberly, M. Mattingly, Kristin, M. Sprinkle, and Patrick L. Wachendorf, 2005, *An Evaluation of Red Light Camera (Photo-Red) Enforcement Programs in Virginia*, VTRC 05-R21, Virginia Transportation Research Council.
- Schneider, H., 2010, *Effectiveness of Red-Light Cameras for Reducing the Number of Crashes at Intersections in the City of Lafayette, La.*, Highway Safety Research Group.

원 고 접 수 일 : 2015년 3월 26일

1차심사완료일 : 2015년 4월 29일

최종원고채택일 : 2015년 7월 21일