

신호위반 단속시스템 설치로 인한 효과분석에 관한 연구

Red Light Camera System Installation Study on the Effects Analysis

김명규* · 최재성** · 김상엽*** · 성현진****

Kim, Myung Kyu · Choi, Jai Sung · Kim, Sang Youp · Sung, Hyun Jin

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

2004~2008년의 5년간 범규위반 내용별 교통사고를 살펴보면 교통사고의 원인은 안전운전 불이행 55.9%, 신호위반 11.5%, 안전거리미확보 9.4%, 교차로통행방법위반 7.8%, 중앙선침범 6.7%등으로 분석되었다. 이처럼 신호위반은 교통사고 발생원인 중 높은 비율을 차지하고 있으며, 신호위반시 차량의 주행속도는 녹색신호 현시 때보다 높은 것으로 조사되고 있다. 신호교차로에서의 신호위반 방지를 위해서는 교통경찰에 의한 단속이 가장 효과적인 방안이나, 인력에 의한 신호위반 단속은 효율성에 있어서나 증거력 확보 및 공정성 등에 있어서 문제점이 많이 제기되고 있다. 외국에서는 대안으로 신호위반 단속시스템을 설치 운영하여 큰 효과를 얻고 있으며 점차 확대하는 추세이다. 국내에도 2001년 수도권에 신호위반 단속시스템 설치를 시작으로 점차 확대하고 있다.

ITS(Intelligent Transport System)의 하위시스템인 신호위반 단속시스템은 시스템 설치로 인한 기대효과를 산출하는 명확한 방법론 없이 시스템 설치 후 발생한 효과분석으로만 수행되어 왔다. 즉, 신호위반 단속시스템 설치 전에 교통사고 감소 효과를 예측하기보다 시스템 설치 전·후 교통사고비용편익을 비교하여 시스템의 효과 분석만이 수행되어 왔다. 따라서 본 연구에서는 신호위반 단속시스템의 설치를 통한 교통사고 감소의 기대효과를 분석하는 방법론을 제시하고자 한다.

1.2 연구의 내용 및 방법

본 연구는 신호교차로에서 신호위반 단속시스템 설치효과를 분석하기 위해 시스템이 설치된 지역을 통과하는 운전자들의 행태를 분석하였다. 그리고 신호위반 단속시스템의 설치로 인한 신호위반 건수의 변화를 파악하고 신호위반과 교통사고의 상관관계를 분석하여 효과를 검증하였다. 이를 통해 신호위반 단속시스템의 설치를 통한 기대효과를 분석하는 방법론을 제시한다.

먼저 기존문헌을 조사하여 지금까지 수행된 신호위반 단속시스템의 효과를 분석한다. 선행연구를 통해 현재 시스템 설치 전·후 효과를 분석하는 방법론을 검토하고, 이를 바탕으로 본 연구의 방향을 설정한다.

둘째로, 신호위반 단속시스템의 신호위반 자료를 분석한다. 서울·경기지역 신호교차로 20개 지점의 신호위반 단속시스템 설치 전·후 신호위반 자료 및 교통사고 자료를 수집하여 분석을 수행하였다.

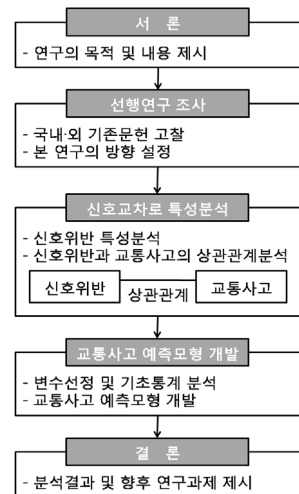


그림 1. 연구 수행과정

* 서울시립대학교 교통공학과 석사과정 · 공학사 · 02-2210-2990(E-mail : stealdevil@nate.com)

** 서울시립대학교 교통공학과 정교수 · 공학박사 · 02-2210-2522(E-mail : traffic@uos.ac.kr)

*** 서울시립대학교 교통공학과 박사수료 · 공학석사 · 02-2210-2990(E-mail : road@uos.ac.kr)

**** 서울시립대학교 교통공학과 석사과정 · 공학사 · 02-2210-2990(E-mail : ekart98@nate.com)

마지막으로 신호위반 단속시스템 설치로 인한 편익을 산출하기 위해 음이항 모형을 사용하여 교통사고 예측모형을 정립한다.

2. 선행연구 조사

2.1 기존문헌 조사

신호위반 단속시스템 설치효과에 대하여 기존문헌을 통해 분석하였다. 국내·외 문헌분석을 통해 시스템 설치로 인한 신호위반 변화 및 교통사고 변화를 조사하였다.

Maccubbin et al.(2001)은 신호위반 단속시스템 설치 후 미국에서 전반적으로 20~87%의 신호위반이 감소되었고, 많은 지역에서 40~62%의 신호위반 감소가 있었다고 분석하였다. 이는 오스트레일리아, 싱가포르, 캐나다, 영국에서도 비슷한 수준을 나타냈다고 설명하고 있다.

Retting et al.(1999)의 연구에 의하면, 캘리포니아에서는 40%의 신호위반 감소가 있었으며, 시스템이 설치되지 않은 인접한 신호교차로에서도 신호위반 감소효과가 있는 것으로 분석하였다.

Ruby, Hobeika(2003)의 연구에 의하면, 신호위반 단속시스템 설치 후 신호위반 감소가 초기 3개월 동안은 36%, 6개월 후에는 69%로 나타났으며, 지역주민들의 시스템 설치에 대한 지지율이 설치 전 75%에서 설치 1년 후에는 84%까지 상승한 것으로 분석하였다.

Michael Griffith(2005)의 연구에 의하면, 신호위반 단속시스템 설치 후 신호교차로 교통사고의 유형이 변화하였으며 시스템 설치 지역마다 연간 \$28,000~\$50,000의 교통사고비용 편익이 발생한 것으로 분석하였다.

도로교통공단(2004)의 연구에서는 신호위반 단속시스템 설치 전·후 교통사고를 분석한 결과 교통사고는 21.7%, 교통사고 중 사망사고는 28.6%가 감소한 것으로 분석하였다.

김명석(2006)의 연구에 의하면, 서울시 신호위반 단속시스템 설치 전·후 교통사고 자료를 분석하여 설치 후 약 15.9%의 교통사고 감소가 있었으며 인명피해에서는 중상자 16.3%, 경상자 14.9%가 감소한 것으로 분석하였다.

도로교통공단(2009)의 연구에서는 신호교차로 교통사고 건수가 신호위반 단속시스템 설치 후 21.7~54.8%의 감소가 있었다고 분석하였고, 매년 교통사고가 감소하는 추세를 나타내는 것으로 분석하였다.

김형준(2009)은 신호위반 단속시스템 설치에 따른 교통사고 특성모형으로 분석한 결과 교통사고가 20.7% 감소된 것으로 분석하였다.

2.2 본 연구 방향

기존 국내·외 연구를 바탕으로 신호위반 단속시스템의 설치로 인해 신호위반과 교통사고가 감소한다는 사실을 알 수 있다. 그러나 이는 신호위반 단속시스템으로 인해 발생하는 신호위반 감소효과와 이로 인한 교통사고 감소효과의 연관성을 분석하지 못하였으며, 시스템 설치 후 신호위반 및 교통사고의 변화에 대해서만 분석하였다. 따라서 본 연구에서는 신호위반 단속시스템으로 인해 신호위반 이 감소한다고 판단하고, 신호위반 감소가 교통사고에 미치는 영향을 분석하였다.

본 연구에서는 서울·경기지역 신호교차로 20개 지점에서의 신호위반 단속시스템의 설치 전·후 신호위반 건수를 분석하여 신호교차로에서의 시스템 설치 효과를 분석하였다. 그리고 시스템 설치 전·후의 교통량, 속도, 차로수 등의 자료를 통하여 교통사고에 영향을 미치는 변수를 판단하고, 변수들의 조건에 따른 교통사고 예측모형을 정립하였다.

3. 신호교차로 특성분석

3.1 신호위반 특성분석

신호위반 단속시스템의 효과를 분석하기 위하여 서울·경기지역 신호교차로 20개 지점의 신호위반 건수 자료와 교통사고 자료를 수집하여 분석을 하였다. 신호위반 단속시스템 조사대상 20개 지점의 설치 전 신호위반 건수는 432건이 발생하였다. 시스템 설치 후의 신호위반 건수는 322건으로, 약 25.4%의 신호위반 건수가

감소하였다. 신호위반 단속시스템 설치로 인한 신호위반 건수 및 교통사고 건수, 교통량의 특성을 분석한 결과를 종합해보면, 표 1과 같다.

표 1. 교차로의 신호위반 특성분석

	설치 전	설치 후	증감률
신호위반 건수(건/년)	432	322	-25.4%
사고건수(건/년)	33	25	-21.2%
교통량(대/일)	60,021	59,555	-0.8%

신호위반 단속시스템 설치를 통해 신호위반이 감소하는 효과가 있는지 분석하기 위해서 T-test를 수행하였다. T-test를 수행하기 위해서는 표 2와 같이 F검정을 통해 분산이 동일한 지 파악하여야 한다.

표 2. F-test(신호위반)

	T-test
귀무가설(H_0)	$\sigma_1^2 = \sigma_2^2$
대립가설(H_A)	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$
유의수준	0.05
t통계량	2.222
t기각치	2.168
P-value	0.045

P-value 값이 0.044로 유의수준 0.05보다 작으므로 귀무가설을 기각한다. 그러므로 T-test를 통한 이분산 가정 두 집단 분석을 수행해야 한다. T-test의 결과는 표 3과 같다.

표 3. T-test(신호위반)

	T-test
귀무가설(H_0)	$\mu_1 = \mu_2$
대립가설(H_A)	$\mu_1 \neq \mu_2$
유의수준	0.05
t통계량	2.094
t기각치	2.035
P-value	0.044

T-test의 결과 P-value값이 0.044로 유의수준 0.05보다 작으므로 귀무가설을 기각한다. 즉, 시스템 설치 전·후의 신호위반 건수는 같지 않다는 결과가 나와 시스템 설치를 통해 신호위반 건수가 감소하는 효과가 있다고 볼 수 있다.

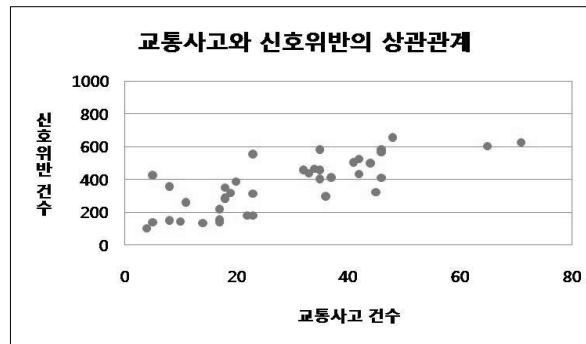
3.2 신호위반과 교통사고의 상관관계 분석

교차로의 교통사고 원인 중에서 신호위반에 의한 교통사고의 비율이 가장 높다. 그러므로 신호위반 단속시스템 설치 후 신호위반을 하는 차량이 줄어들었다면 시스템 설치가 교통사고 감소에 효과가 있다고 판단하였다. 본 연구에서는 서울·경기지역 신호교차로 20개 지점의 신호위반과 교통사고의 상관관계를 분석하였다. 표 4는 신호위반 건수와 교통사고 건수의 상관분석 결과이다.

표 4. 신호위반 건수와 교통사고 건수의 상관분석 결과

	신호위반 건수	교통사고 건수
신호위반 건수	1	0.6871
교통사고 건수	0.6871	1

그 결과 상관계수가 0.6871로 신호위반 건수와 교통사고 건수가 서로 상관성이 있는 것으로 나타났다. 따라서 신호위반 건수가 감소하면 교통사고 건수가 감소한다고 판단한다.


그림 2. 교통사고와 신호위반의 상관관계

4. 교통사고 예측모형 개발

4.1 변수선정 및 기초통계 분석

본 연구에서는 교통사고 예측모형을 정립하기 위하여 포아송 회귀모형과 음이항 회귀모형을 고려하였다. 이 때, 어떠한 변수가 선정 되었는가에 따라 모형의 설명력은 큰 차이가 난다. 그러므로 변수들 간의 상관분석을 통해 유의한 변수를 선정해야 한다. 변수들과의 상관성을 분석한 결과 교통량은 주도로 직진차로수, 부도로 직진차로수와 다중공선성의 문제를 발생시켰다. 신호위반 건수의 경우, 시스템 설치 전 자료는 단속에 의한 자료이기 때문에 자료의 정확도가 부족하다고 판단하였다. 표 5는 본 연구에서 모형을 정립하기 위하여 선정한 변수를 나타낸 것이며, 표 6은 기초통계량을 나타낸 것이다.

표 5. 변수의 선정

구 분	변 수	
종속변수	- Y_1 : 교통사고 건수(건/년)	
독립변수	- X_1 : 시스템 설치여부("0" or "1")	- X_2 : 교통량(대/일)
	- X_3 : 속도(km/h)	- X_4 : 신호현시 수(phase)
	- X_5 : 교차로 면적(m^2)	- X_6 : 교차각($^\circ$)
	- X_7 : 주도로 황색시간(초)	- X_8 : 부도로 황색시간(초)

표 6. 변수의 기초통계 분석

변수	최소값	최대값	평균	표준편차
교통사고 건수	4	71	28.4	16.21
시스템 설치여부	0	1	0.5	0.51
교통량	30,573	91,453	59,788	19,176.29
속도	49.6	61.3	55.72	3.26
신호현시 수	3	6	4.5	0.88
교차로 면적	660	8,395	3,096.95	2,266.87
교차각	65	90	85.1	6.30
주도로 황색시간	3	5	4.3	0.85
부도로 황색시간	3	4	3.6	0.50

4.2 교통사고 예측모형 개발

4.2.1 모형개발 및 결과분석

본 연구에서는 과대산포 검정을 위하여 우도비(Likelihood Ratio, LR) 검정을 시행하였다. 과대산포 모수인 k 의 유의성을 검정함으로써 포아송과 음이항모형 중 최적의 모형을 선택하였다. 과대산포 검정의 귀무가설 (H_0)과 대립가설(H_1)은 식(1)과 같다.

$$H_0 : k = 0 \quad vs \quad H_1 : k > 0 \tag{1}$$

과대산포 검정을 시행하기 위하여 각 모형의 로그우도함수(Log Likelihood, $\ln L$)를 이용한 우도비 검정을 시행하여 최적 모형을 선택하였으며, 우도비 검정은 식(2)와 같다.

$$LR = -2(\ln L(P) - \ln L(NB)) \tag{2}$$

표 7. 교통사고 예측모형개발 결과

변수	Poisson			Negative Binomial		
	계수	표준오차	P-value	계수	표준오차	P-value
상수	5.11078	1.4902	0.001	6.02977	2.7337	0.027
시스템 설치여부	-0.36631	0.0676	0.000	-0.38086	0.1224	0.002
교통량	0.00020	0.0000	0.000	0.00002	0.0000	0.022
속도	0.04307	0.0147	0.003	0.05901	0.0297	0.047
신호현시 수	-0.12581	0.0584	0.031	-0.08590	0.1147	0.454
교차로 면적	0.00007	0.0000	0.001	0.00009	0.0000	0.053
교차각	-0.00219	0.0069	0.749	-0.00041	0.0136	0.976
주도로 황색시간	0.08217	0.1360	0.546	0.23689	0.2457	0.335
부도로 황색시간	0.13322	0.1205	0.194	0.13111	0.1756	0.455
Number of Obs	40			40		
k						
$\ln L$	-163.69			-143.80		
LR	39.78 > 0.0158 ($\chi^2_{0.90,1}$)					
ρ^2	0.4292			0.1321		

표 7은 본 연구에서 구축한 모형의 결과이며, 신뢰수준 90%에서 분석하였다. 우도비 접근분포(Asymptotic

Distribution)는 자유도가 1인 카이제곱분포를 따르기 때문에 우도비 검정통계량과 유의수준 α 에서 자유도가 1인 카이제곱분포의 임계값과 비교한다. 분석결과 모든 경우에서 우도비 검정통계량의 값이 매우 크기 때문에 귀무가설을 기각하고 포아송 모형보다 음이항 모형을 선택하였다.

본 모형에서 유의한 변수는 시스템 설치여부, 교통량, 속도, 교차로 면적으로 나타났다. 교통량, 속도, 교차로 면적, 주도로 황색시간의 경우 그 값이 커질수록 교통사고가 증가하는 것으로 나타났다. 교통량의 경우 교통량이 늘어날수록 차량 간의 상호작용이 높아져서 사고가 증가하는 것으로 판단한다. 속도의 경우 교차로 진입시 속도가 높으면 적색신호로 바뀔 때 차량이 정지하지 못하고 신호위반을 하게 되는 경우가 많아지기 때문으로 판단한다. 교차로 면적의 경우 교차로 면적이 넓을수록 차량이 교차로 내에서 머무는 시간이 증가하기 때문으로 판단한다. 시스템 설치여부는 설치 후 교통사고가 감소하는 것으로 나타났다. 이는 운전자가 신호위반 단속시스템이 설치된 신호교차로에서는 적색 신호 시 교차로를 통과하지 않고 정차하며, 이는 평균적으로 신호위반이 감소하고 교통사고를 줄이는 것으로 판단한다.

4.2.2 교통사고 예측모형 정립

교통사고에 영향을 미치는 요인을 찾기 위해서는 수집 가능한 모든 자료를 구하여 모형을 구축해야 한다. 교통사고는 다양한 요인이 복합적으로 작용하여 발생하고, 모형의 개발시 각 독립변수들이 서로 영향을 미쳐 추정되는 계수 및 유의수준이 달라지기 때문이다. 그러나 실제 모형 개발 시 모든 변수가 교통사고에 영향을 끼치는 것으로 분석하는 것은 불가능하며, 많은 변수들이 유의하지 않는 것으로 분석된다. 본 연구에서는 상관성이 높은 변수를 선별하여 8개의 독립변수를 선정하였다. 수집된 모든 변수를 이용하여 모형을 개발하고, 추정된 계수로 발생하는 사고수를 예측할 경우 올바르게 않은 결과가 도출될 수 있다. 따라서 통계적 기법을 이용하여 유의한 변수를 선정하고, 최적 모형을 도출하는 과정이 필요하다. 본 연구에서는 후진(Backward) 방식을 이용하여 각 단계별 종속변수에 대한 설명력이 낮은 순서로 제거하였다. 변수의 제거시 기준은 P-value를 이용하였다. 표 8은 모형의 정립 결과이다.

표 8. 교통사고 예측모형의 정립 결과(음이항 회귀모형)

변 수	Negative Binomial		
	계 수	표준오차	P-value
상 수	4.45310	1.6033	0.005
시스템 설치여부	-0.35414	0.1224	0.004
교통량	0.00002	0.0000	0.004
속도	0.03977	0.0255	0.098
교차로 면적	0.00008	0.0000	0.052
$\ln L$	-145.27		
ρ^2	0.1232		

표 7의 결과에 비해 변수들의 크기가 다소 변화하였으나 부호의 변화는 없었다. 5개의 독립변수가 최종모형의 변수로 선정되었으며 우도비(Log Likelihood)가 0.1232로 모형의 설명력이 있는 것으로 나타났다.

4.2.3 교통사고 편익산출

본 연구에서는 신호위반 단속시스템의 설치로 인한 교통사고 감소를 예측할 수 있는 모형을 정립하였다. 한국교통연구원의 결과에 의해 1건당 교통사고비용을 산출하면 표 9와 같다.

표 9. 교통사고 1건당 사고비용

(단위 : 만원)

년도	2003	2004	2005	2006
1건당 사고비용	6,274	6,440	6,572	6,775
1건당 사고비용 (심리적 비용 제외)	3,821	3,894	4,101	4,359

표 9의 2003~2006년까지의 사고비용을 통해 과거추세연장법을 사용하여 2010년 사고비용을 7,440(만원)으로 산출하였다. 만약 신호위반 단속시스템을 설치하여 교통사고 건수가 5건이 감소한다면 37,200(만원)의 교통사고 절감편익이 발생한다. 이를 비용화하여 37,200(만원/년)을 사용하면 시스템설치 전 편익분석에 적용할 수 있다.

5. 결 론

본 연구는 신호위반 단속시스템의 설치 전·후 교통사고의 특성을 분석하여, 이를 바탕으로 교통사고 예측 모형을 정립하는데 목적을 두었다. 이를 위해 서울·경기지역 교차로의 신호위반 건수와 교통사고 건수 자료를 분석하였다. 분석결과 신호위반 단속시스템을 설치하였을 때 신호위반이 25.4% 감소하였으며, 신호교차로 교통사고는 21.2%가 감소하였다. 그러나 교통량의 변화는 없는 것으로 분석되었다.

그리고 T-test를 통해 신호위반 단속시스템 설치 후 신호위반 건수가 감소한 것으로 판단하고, 신호위반과 교통사고의 상관분석을 통하여 신호위반 건수가 감소하면 교통사고 건수가 감소한다고 분석하였다.

또한, 추정된 교통사고 예측모형을 통하여 신호위반 단속시스템 설치 후 교통사고를 예측할 수 있는 모형식을 제시하였다. 이로 인하여 신호위반 단속시스템 설치 전 시스템을 통하여 감소하는 교통사고 건수를 산출할 수 있다. 이는 교통사고의 감소로 인한 교통사고 절감편익을 산출하여 편익을 제시할 수 있다.

마지막으로, 본 연구는 신호위반 단속시스템의 설치 전 평가를 위한 모형을 정립하여 시스템 설치효과를 예측하기 위한 목적을 가지고 수행되었다. 그러나 본 연구는 시스템 사전 평가를 위한 초기연구단계로, 자료가 다양하지 못하며, 방법론의 전문성도 부족한 형편이므로, 모형식을 그대로 사용하는 것은 바람직하지 못하다고 생각한다. 또한, 향후 연구과제로 교차로 사고의 심각도와 유형 등의 자료를 고려하여 모형을 정립해야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 성과는 국토해양부 교통체계효율화사업 교통정보 혁신을 위한 제공·관리·평가 기술 개발 연구단 과제의 연구결과의 일부입니다. 연구지원에 감사드립니다.

참고 문헌

1. 도로교통공단, "무인 신호위반 단속시스템의 효율적 운영방안에 관한 연구", 2000.
2. 도로교통공단, "신호위반단속시스템 설치효과 분석 연구", 2004.
3. 김명석, "무인다가능간속시스템 설치 전·후 교차로 교통사고 발생특성에 관한 연구", 서울산업대학원 석사 논문, 2006.
4. 김형준 외, "무인신호단속장비 설치에 따른 교통사고 특성 및 모형", 대한국토·도시계획학회지 제44권 제2호, 2009.
5. 도로교통공단, "무인교통단속장비 설치효과분석에 관한 연구(II)", 2009.



6. Maccubbin, et al. "Automated Enforcement of Traffic Signals : A Literature Review", Federal Highway November/December, Vol. 129, pp. 648~656, 2003.
7. Retting et al. "Evaluation of Red Light Camera Enforcement in Oxnard, California", Accident Analysis and Prevention, Vol. 31, pp. 169~174, 1999.
8. Ruby, D.E., Hobeika, A.G. "Assessment of Red Light Running Cameras in Fairfax County" virginia, TRB, 2003.
9. Michael Griffith, "Safety Evaluation of Red-Light Cameras", FHWA-HRT-05-048, 2005.