

신호위반 단속시스템 설치에 따른 교통사고 감소 효과와 편익산정 기법 연구

Analysis of the Crash Reduction Effects of the Red Light Camera Systems and Determination of the User Benefits

김 상 업* 최 재 성** 김 명 규*** 성 현 진****
 (Sang-Youp Kim) (Jai-Sung Choi) (Myung-Kyu Kim) (Hyun-Jin Sung)

요 약

신호위반 단속시스템은 신호교차로에서 운전자들이 신호를 위반해서 통과하는 것을 방지하기 위해 설치하는 지능형교통체계 사업의 한 형태로서 지난 십여년간 우리나라에서 큰 호응을 얻어 설치되는 중이다. 그 동안 사람들은 대개 신호위반 단속시스템을 설치하면 당연히 운전자 안전이 제고될 것으로 받아들였기 때문에 신호위반 단속시스템을 설치하는데 문제가 없었다. 그러나 향후 신호위반 단속시스템을 설치할 때 보다 효율성을 더 높이고 일반인들로부터 보다 큰 호응을 끌어내기 위해서는 신호위반 단속시스템 설치 효과를 좀 더 정확히 분석할 수 있는 방법이 요구된다. 이 요구를 만족시키기 위해, 이 연구는 다음과 같은 연구를 수행했다. 첫째, 신호위반 단속시스템의 효과를 밝히기 위해 신호위반 단속시스템 설치 이후 나타난 운전자들의 신호위반 건수를 분석했다. 둘째, 신호위반 단속시스템 설치 이후 나타난 교통사고 발생건수를 수집해서 신호위반 건수와 비교했다. 셋째, 신호위반 건수와 교통사고 발생건수 간 관계식을 규명하기 위해 음이항분포를 적용한 통계분석을 수행했으며, 교통사고 건수는 신호위반 단속시스템 설치여부, 교통량, 차량속도, 신호현시 수, 주도로 직진 차로 수와 밀접한 관계가 있는 것으로 밝혀졌다. 끝으로, 이 연구에서 산출한 분석결과를 토대로 하여 신호위반 단속시스템 설치 이후 나타나는 안전성 효과를 분석할 수 있는 기법을 제시했는데, 이 기법은 신호위반 단속시스템이 나타낼 경제적 효과를 분석하는데 기여할 것이다.

Abstract

The RLC systems is one of the intelligent transportation systems that has gained a nation-wide support for last decades and being installed to discourage motorists from running the red lights at signalized intersections. It is taken for granted that the RLC will provide motorists with increased safety, so that their installments are always justifiable. However, in order to acquire more efficiency and wider supports from the general public in future RLC installments, an improved methodology for analyzing the effects of the RLC systems is required. In order to satisfy this requirement, this research performed the following tasks. First, the number of signal violations after the RLC systems were investigated in order to check its resulting effects. Second, the number of crashes after the RLC systems were collected and compared with the number of signal violations. Third, a statistical analysis was carried out to develop the relationships between the signal violations and the crashes based on negative binomial distribution. The analysis revealed that the number of crashes has a close relationship with the RLC placement, traffic volume, vehicle speed, the number of phases, and the number of lanes for major approaches. Finally, based on the results found in this analysis, this research presents a methodology for analyzing the safety effects of placing the RLC that should be of service when investigating the economic consequences of the RLC systems.

Key words : The RLC(Red Light Camera), feasibility, signal violations, crash reductions, negative binomial distribution

† 본 연구는 국토해양부 R&D사업(07교통체계-지능08) 지원으로 수행하였습니다.

* 주저자 : 서울시립대학교 교통공학과 박사

** 공저자 및 교신저자 : 서울시립대학교 교통공학과 교수

*** 공저자 : 서울시립대학교 교통공학과 석사과정

**** 공저자 : 서울시립대학교 교통공학과 석사과정

† 논문접수일 : 2010년 12월 9일

† 논문심사일 : 2011년 1월 23일(1차), 2011년 1월 28일(2차)

† 게재확정일 : 2011년 2월 2일

I. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

우리나라 경찰청에서 분석한 법규위반 내용별 교통사고에서 2005~2009년의 5년간 교통사고 원인은 안전운전 불이행 55.3%, 신호위반 11.8%, 안전거리 미확보 10.2%, 교차로통행방법위반 7.8%, 중앙선침범 6.6% 등으로 나타났으며, 이 중에서 신호위반은 교통사고 발생원인 중 두 번째로 높은 비율을 차지하고 있다[1]. 따라서 경찰청에서는 신호위반을 막기 위해 교통경찰을 통해 신호위반 운전자들을 단속하고 있으나, 단속인력 부족으로 인해 효과적으로 단속하지 못하고 있다. 한편 외국에서는 운전자의 신호위반을 보다 효과적으로 막기 위해 적색 신호위반 단속카메라(Red Light Camera)를 설치하고 있다. 또한 신호위반 단속카메라를 설치하면 9~51%의 교통사고 감소효과가 나타나는 것으로 미국과 캐나다에서 밝혀졌다[2]. 이에 우리나라도 외국의 설치효과를 인식하여 2001년 서울 경기 지역에 처음으로 20대 정도 신호위반 단속시스템을 설치한 바 있다. 특히 2000년대 들어와 우리나라에서 지능형교통체계사업(ITS)이 활성화되면서 신호위반 단속카메라는 이 사업의 중요 항목이 되었고 2009년 자료에 의하면 우리나라에서 신호위반 단속시스템 설치개소는 전국에 1,112대로 급격히 늘어났다[3].

신호위반 단속시스템은 설치가격이 상당히 비싸다. 우리나라의 경우 이를 설치하는데 필요한 비용은 5,404만원에 이른다[4]. 이렇게 고가의 장비를 국가 예산을 갖고 설치하기 위해서는 설치비용에 비해 더 많은 경제적 효과가 나타나야 하는 것은 당연한 일이다. 그러나 우리나라의 경우 신호위반 단속시스템이 크게 늘어난 반면 그 설치로 인한 효과는 명확히 알려져 있지 않다. 앞으로 우리나라에서 신호위반 단속시스템을 보다 효과적으로 설치하려면 이 문제는 해소되어야 한다.

우리나라에서 지금까지 신호위반 단속시스템을 설치하는 부서에서 관심 있게 검토한 것은 주로

신호위반 단속시스템을 설치한 이후 설치지점에서 나타난 교통사고 감소다. 이는 도로교통공단(2004)과 국토해양부(2004)의 평가사례를 보면 잘 알 수 있는데, 이들 사례에 나타난 신호위반 단속시스템 설치 효과 분석 결과는 이를 설치한 전·후의 교통사고 발생 자료에 불과하다. 즉 이들 연구 결과에서는 신호위반 단속시스템을 설치한 후, 조사팀을 해당 지점에 투입하여 그 지점의 교통사고 감소건수를 조사하고, 이를 경제적 편익으로 제시한 정도다[4, 5]. 문제는 이 교통사고 건수 감소가 신호위반 단속시스템 설치로 인한 것인지, 아니면 다른 영향 요소의 변화로 인한 것인지 알 수 없는 상황에서 교통사고 감소가 모두 신호위반 단속시스템에 의해 발생했다고 생각하는 것은 무리한 분석이라 할 수 있다.

이런 결과가 나타난 원인은 여러 개가 있겠지만, 그 중에서 신호위반 단속시스템 설치 사업의 정량적 평가를 설치 전·후 분석에 의한 교통사고 절감편익으로만 제시하고 있는 현행 규정이 가장 문제이다[6]. 이 문제를 해소할 수 있는 방안은 신호위반 단속시스템을 설치하기 이전에 경제적 효과를 계량화한 후 설치비용과 비교해 볼 수 있는 기회를 갖는 것이다. 또한 신호위반 단속시스템 설치로 인한 경제적 효과를 계량화할 때는 단순히 교통사고 감소 건수만을 반영하는데 그치지 말고 신호위반 건수도 고려하여 신호위반 건수 감소의 교통사고 감소 효과도 반영해야 한다. 그리하여 향후 우리나라에서 지능형 교통체계사업을 지속적으로 추진하는 과정에서 보다 적극적으로 신호위반 단속시스템을 설치하고, 동시에 꼭 필요한 지점에만 이 장비를 설치하여 투자 효율성을 확보하기 위해서는 신호위반 단속시스템 설치 이전에 그 설치 타당성을 명확히 분석할 수 있는 방안이 모색되어야 한다.

본 연구에서는 신호위반 단속시스템 설치로 인한 경제적 효과를 객관적으로 평가할 수 있는 방법론을 제시하여 보다 높은 투자 효율성을 확보하는데 기여하고자 한다.

2. 연구의 내용 및 방법

본 연구의 가장 큰 목적은 신호위반 단속시스템 설치에 따른 주요 효과를 분석하고, 이를 바탕으로 시스템 설치효과를 사전에 평가할 수 있는 방법론을 제시하는 것이다. 따라서 본 연구에서는 우선적으로 기존문헌을 조사하여 지금까지 알려진 국내외 시스템 설치효과 및 평가방법에 관한 연구결과를 분석하였다. 다음으로 분석대상지점의 시스템 설치효과인 신호위반 건수와 교통사고 건수에 대해 분석하고, 신호위반 건수와 교통사고 건수와의 상관성을 살펴보았다. 또한 시스템 설치효과 평가방법을 제시하기 위해 포아송 회귀모형과 음이항 회귀모형을 사용하여 교통사고 예측모형을 정립하였으며, 사고 심각도를 고려하여 시스템 설치 전·후의 교통사고 1건당 사고비용 원단위를 산출하였다. 끝으로 교통사고 예측모형을 통해 나타난 시스템 설치 전·후의 교통사고 건수와 교통사고비용 원단위를 통해 신호위반 단속시스템 설치에 따른 교통사고 절감편익을 산출하는 방법을 제시하였다.

II. 선행연구 조사

1. 기존문헌 조사

본 연구에서는 먼저 신호위반 단속시스템 설치에 따른 제반 효과를 탐색하기 위해 국내외 유사 연구결과를 조사해 보았다.

미국에서는 신호위반 단속시스템을 설치하기 이전에 그 사전 타당성을 미리 검토하고 있다. 또한 사전 타당성을 분석하기 위해 사고비용 원단위 산출, 비용 산출을 위한 EB방법론, 시스템 설치에 영향을 주는 요인 분석의 절차를 통해 사전평가를 수행하고 있다[7]. 미국의 Griffith 외(2005)의 연구에 따르면 분석대상 지점의 신호위반 단속시스템 설치에 따른 교통사고 절감편익은 50,015달러이다[7].

한편 신호위반 단속시스템 설치와 관련해서 본 연구에서는 미국의 Retting 외(1999), Maccubin 외(2001) 및 Ruby 외(2003)의 연구를 검토했다. 미국

의 Retting은 이 분야에서 가장 적극적으로 연구 결과를 발표하고 있는데, 그는 주로 신호위반 단속시스템 설치효과로 시스템 설치 전·후 신호위반 건수의 변화에 대해 분석하였다[8-10]. 우리나라 현행 신호위반 단속시스템 설치의 평가기준에서 교통사고 감소만을 제시하도록 요구하는 것에 비해 Retting의 결과처럼 신호위반 건수 자체를 검토하도록 요구하는 것은 매우 합리적인 것이라 할 수 있다. 왜냐하면 신호위반 단속시스템의 설치 목적이 교통사고 발생을 줄이기 위한 것이 아니고, 신호위반을 단속하여 신호위반에 따른 교통사고 발생을 줄이기 위한 것이기 때문이다.

우리나라의 관련 연구결과로는 도로교통공단(2009), 김명석(2007) 및 김형준 외(2009)의 연구가 대표적이다. 이들 연구에서는 신호위반 단속시스템 설치효과로 시스템 설치 전·후 교통사고 건수 변화 및 사고 심각도 변화에 대해 분석하였는데, 이들 연구결과에 따르면 신호위반 단속시스템 설치 후 신호위반 건수 감소효과, 교통사고 건수 감소효과와 사고 심각도 감소효과가 뚜렷하다[3,11,12]. 그 결과를 토대로 우리나라의 도로교통공단(2004)에서는 신호위반 단속시스템 설치에 따른 편익을 9,636만 원으로 제시한 바 있다[4].

III. 신호위반 단속시스템 설치효과 분석

본 연구에서는 먼저 신호위반 단속시스템 설치효과는 운전자들의 신호위반 건수 감소라고 판단하여 신호위반 건수가 감소하는지 분석하였다[8-10]. 그 다음 절차로서 신호위반 건수의 변화는 교통사고 건수에 영향을 미치는지 확인하기 위해 신호위반 건수와 교통사고 건수와의 상관관계 분석을 하였으며, 끝으로 신호위반 단속시스템 설치 후 교통사고 건수가 얼마나 감소하는지 실증적으로 분석하였다.

1. 자료수집

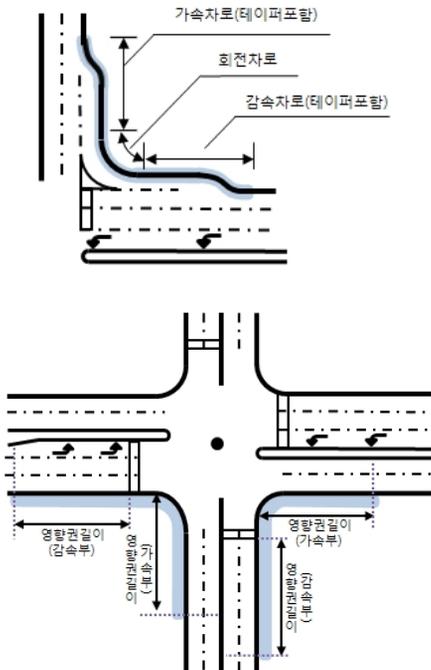
본 연구는 신호위반 단속시스템의 효과를 실증적

〈표 1〉 본 연구의 조사 지점 개요
 〈Table 1〉 Characteristics of the analysis sites

지역	지점수	교차로 유형	제한속도(km/h)				
			50	60	70	80	
서울시	영등포구	7	4지	1	5	1	-
	강남구	6	4지	1	3	2	-
	송파구	5	4지	1	3	1	-
	마포구	4	4지	-	2	2	-
경기도	수원시	1	4지	-	1	-	-
	부천시	1	4지	-	-	1	-
	의왕시	1	4지	-	-	-	1
	광주시	1	3지	-	1	-	-
	안산시	1	3지	-	-	-	1
	고양시	2	4지	-	1	1	-
	성남시	1	4지	-	-	-	1
	총계	30개 지점					

으로 분석하기 위하여 신호위반 건수 및 교통사고 건수 자료를 수집하였다. 조사 지점 수는 통계학에서 표본의 분포 특성이 정규분포일 때 일반적으로 적용하는 최소 표본 수인 30개 지점을 넘도록 선정하였으며 자료 수집 위치는 <표 1>과 같다[13].

또한, 본 연구에서는 경찰청 내부자료를 통해 선



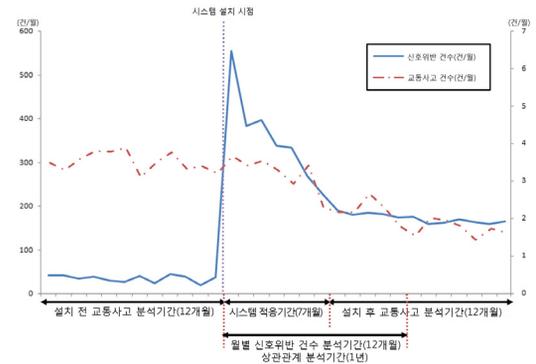
〈그림 1〉 본 연구의 교차로 영향권의 범위
 〈Fig. 1〉 Intersection of the range of influence

〈표 2〉 본 연구의 교차로 영향권 길이
 〈Table 2〉 Influence the length of the intersection

제한속도(km/h)	50	60	70	80
영향권 길이(m)	30	40	60	80

정지점의 신호위반 건수를 수집하였으며, 경찰청의 사고관리자료(TAMS)를 활용하여 교통사고 건수를 추가적으로 수집하였다. 교통사고 자료 수집시 교차로 교통사고 영향권 범위는 <그림 1>과 같이 국토해양부령의 교차로 영향권 기준을 사용하였다[14]. 영향권 설정시 변속차로가 있는 경우는 감속테이퍼시점부터 가속차로 테이퍼의 종점까지로 정하였으며, 변속차로가 없는 경우는 제한속도에 따라 <표 2>와 같이 교차로 영향권 길이를 설정하였다.

본 연구에서 사용한 자료수집 기간은 <그림 2>와 같이 신호위반 건수의 경우 신호위반 단속시스템 설치 후 1년간 월별 신호위반 건수로 분석하였으며, 이 때 교통사고 건수는 시스템 설치 전 1년의 자료와 시스템 설치 적응기간 이후 1년의 자료를 사용하였다. 한편 시스템 설치에 따른 효과 분석 기간은 월별 신호위반 건수가 안정화가 되는 기간을 생각하여 신호위반 단속시스템 설치 7개월 후 1년 동안을 사용하였다[4].



〈그림 2〉 본 연구의 신호위반 및 교통사고 분석기간
 〈Fig. 2〉 Signal violation and traffic accidents analysis period

1) 교통사고관리자료(TAMS : Traffic Accident Management System)

2. 신호위반 건수 감소효과

본 연구에서 조사한 자료를 통해 볼 때, 조사대상 지점의 설치 전 1년간 신호위반 건수는 465(건/년/지점)이 발생하였으나, 신호위반 단속시스템 설치 후 1년간 신호위반 건수는 2,422(건/년/지점)으로 신호위반 건수가 증가하였다. 이는 신호위반 건수의 경우 신호위반 단속시스템 설치 전에는 경찰이 단속을 실시하는 동안에만 신호위반을 하는 차량들이 적발되며, 시스템 설치 후에는 일시적인 단속이 아니라 시스템에 의해 지속적인 단속을 실시하기 때문이다. 따라서 경찰청에서 갖고 있는 자료를 갖고 시스템 설치 전·후의 신호위반 건수를 비교해서 이를 신호위반 단속시스템의 설치효과라고 단정 지을 수는 없다. 따라서 본 연구에서는 신호위반 단속시스템의 설치효과를 판단하기 위해 이 시스템을 설치 한 후 1년 동안의 월별 신호위반 건수 변화를 분석해서 설치효과를 판단했다. 이 때 사용한 1년간 월별 평균 신호위반 건수의 변화는 이미 설명한 대로 <그림 2>와 같다.

<그림 2>에 따르면 신호위반 단속시스템의 설치 후 신호위반 건수는 시간이 지남에 따라 감소하였으며, 이는 Retting 외(1999)의 연구에서 제시하는 분석결과와 일치하였다[8]. 이는 운전자들이 신호위반 단속시스템의 존재를 인식하여 신호를 위반하지 않게 되었기 때문이며 이는 신호위반 단속시스템의 설치 목적에 부합하는 것이며 바람직한 현상이다. 한편 이 시스템 설치 후 운전자들의 신호위반 건수 감소가 무한정 지속되지는 않았으며 약 7개월이 되면 일정 수준의 신호위반 건수를 유지하는 것으로 나타났다.

3. 신호위반과 교통사고의 상관관계 분석

다음 절차로 본 연구에서는 신호위반 건수와 교통사고 건수에 대해 상관성을 분석하였다. 이미 전절에서 언급한대로, 신호위반 단속시스템을 설치하더라도 운전자들의 신호위반 건수는 서서히 나타나게 되고, 또한 신호위반 단속시스템 설치 전·후의 신호위반 단속방법이 다르기 때문에 신호위반 건수

〈표 3〉 본 연구의 상관성 분석자료 개요
 〈Table 3〉 Correlation analysis data

지점	신호위반 건수(건/년)	교통사고 건수(건/년)	지점	신호위반 건수(건/년)	교통사고 건수(건/년)
1	2,004	15	16	2,291	24
2	2,012	15	17	2,317	16
3	2,024	11	18	2,324	25
4	2,026	15	19	2,547	33
5	2,033	17	20	2,948	32
6	2,037	17	21	2,805	27
7	2,042	23	22	2,876	25
8	2,064	18	23	2,962	33
9	2,067	18	24	2,889	30
10	2,113	19	25	2,892	17
11	2,124	21	26	2,896	30
12	2,145	22	27	2,777	27
13	2,172	22	28	2,955	23
14	2,194	30	29	2,880	29
15	2,220	26	30	3,012	41

와 교통사고 건수를 1:1로 대응시키려면 신호위반 단속시스템 설치 후 자료를 사용하는 수밖에 좋은 방법이 없다. 따라서 본 연구에서는 신호위반 단속시스템 설치 후 1년간 조사 대상지점에서 발생한 신호위반 건수와 교통사고 건수를 조사하여 분석했으며 이들 자료들의 개요는 <표 3>과 같다.

본 연구에서 신호위반 건수와 교통사고 건수간의 상관관계 분석은 통계 프로그램인 SPSS를 사용하였으며, 신뢰수준은 95%($\alpha=0.05$)이었다. 또한 상관분석 수행 시 상관관계의 정도를 통계적으로 측정하는 방법 중 가장 많이 사용하는 Pearson 상관계수를 사용하였다. Pearson 상관계수인 r 의 통계식은 식 (1)과 같다.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{(n-1)S_X S_Y} \quad (1)$$

여기서, n : 표본의 크기

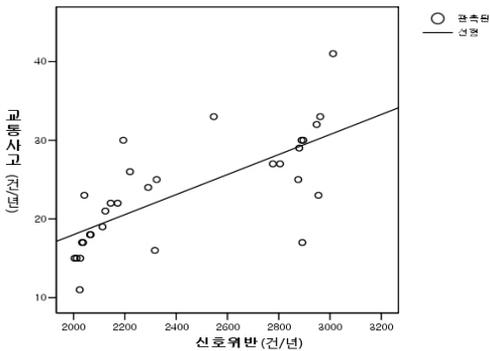
S_X, S_Y : 변수 X와 Y의 표준편차

본 연구에서 산출한 신호위반 단속시스템 설치

〈표 4〉 신호위반 단속 시스템 설치에 따른 신호위반과 교통사고의 상관분석 결과

〈Table 4〉 Signal violation and traffic accident of the correlation analysis

상관분석		교통사고 건수(건/년)	신호위반 건수(건/년)
교통사고 건수(건/년)	Pearson 상관계수	1	0.712
	유의확률(양쪽)		0.000
신호위반 건수(건/년)	Pearson 상관계수	0.712	1
	유의확률(양쪽)	0.000	



〈그림 3〉 신호위반 건수와 교통사고 건수의 산점도
〈Fig. 3〉 Correlation of traffic accident and signal violation

후의 운전자 신호위반 건수와 교통사고 건수의 상관분석 결과는 <표 4>와 같으며 <그림 3>은 이 두 변수간의 상관성을 그림으로 나타낸 것이다.

이 상관분석 결과, 신호위반 건수와 교통사고 건수의 상관계수가 0.712로 신호위반 건수와 교통사고 건수는 강한 양의 상관관계로 상관성이 있는 것으로 나타났다. 그리고 유의확률이 0.000으로 유의수준 0.05보다 작으므로 신뢰수준 95%에서 유의하다. 즉, 신호위반 건수가 감소하면 교통사고 건수가 감소한다고 볼 수 있다.

4. 교통사고 건수 감소효과

전절에서 신호위반 건수와 교통사고 건수의 상관분석을 통해 신호위반이 감소하면 교통사고가 감소하는 것을 알 수 있었다. 따라서 본 연구에서는 조사 대상지점에서 시스템 설치 후 신호위반 건수가 감소하였으므로 교통사고 건수가 감소할 것이라

〈표 5〉 본 연구의 T-test 분석자료

〈Table 5〉 T-test data

지점	설치 전 교통사고 건수(건/년)	설치 후 교통사고 건수(건/년)	지점	설치 전 교통사고 건수(건/년)	설치 후 교통사고 건수(건/년)
1	44	12	16	42	26
2	18	11	17	23	16
3	22	10	18	71	20
4	8	4	19	35	28
5	17	17	20	48	30
6	65	20	21	42	28
7	17	10	22	42	28
8	20	18	23	51	36
9	14	5	24	44	28
10	32	19	25	48	18
11	23	26	26	55	30
12	18	10	27	41	28
13	48	19	28	49	20
14	46	25	29	51	36
15	46	23	30	52	35

고 판단하였다. 그러나 이는 가설일 뿐 실제로 어떤 결과가 나타나는지 밝히기 위해 본 연구에서는 신호위반 단속시스템 설치 후 교통사고 감소 효과를 확인하기 위해 조사 지점에서 얻은 교통사고 자료를 갖고 T-test를 수행하였으며, 본 연구에서 사용한 T-test는 전·후 비교를 위해 동일한 표본의 시점을 달리하여 검정하는 대응표본 T-test를 사용하여 수행하였다.

교통사고 자료는 <그림 2>와 같이 시스템 설치 전 1년과 설치 7개월 후 1년의 교통사고 건수를 비교하였으며 분석에 사용한 자료는 <표 5>와 같다.

또한 본 연구에서 T-test를 수행하기 위해 사용한 T-test 식은 식 (2)과 같다.

$$t = \frac{\bar{d} - d_0}{\frac{S_d}{\sqrt{n}}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_s - \bar{d})^2}{n-1}} \quad (2)$$

여기서, \bar{d} : 각 표본요소의 값들의 차이의 평균값

d_0 : 영가설로 설정된 차이의 평균값

S_d : 표본요소들의 차이값들의 표준편차

한편 대응표본 T-test를 수행하기 위해 사용한 귀무가설(H_0)과 대립가설(H_1)이다.

- H_0 : 신호위반 단속시스템 설치 전·후의 교통사고 건수의 차이가 없다.
- H_1 : 신호위반 단속시스템 설치 전·후의 교통사고 건수의 차이가 있다.

본 연구에서 T-test를 수행한 결과 <표 6>를 얻었으며, 이 때 95% 신뢰구간에서 유의확률이 0.000에 근접하는 것으로 나타났으며, 이 값은 유의수준 0.05보다 작은 값을 가지기 때문에 본 연구에서 분석하고자 했던 신호위반 단속시스템 설치 전·후의 교통사고 건수는 감소한다고 판단할 수 있다.

<표 6> T-test 분석 결과
<Table 6> Analysis of T-test

		T-test
유의수준		0.05
교통사고 건수(건/년/지점)	설치 전	37.47
	설치 후	20.93
평균		16.53
표준편차		12.38
평균의 표준오차		2.26
차이의 95% 신뢰구간	하한	11.91
	상한	21.16
t		7.314
자유도		29
유의확률		0.000

IV. 사전평가 방법

이미 언급한 대로 본 연구에서는 신호위반 단속시스템 설치효과를 신호위반 건수의 감소라고 생각했고 이를 근거로 신호위반 단속시스템의 설치효과를 사전에 분석할 수 있는 기법을 정립할 생각이었다. 그러나 조사 분석과정에서 드러난 문제점으로서 다음과 같은 조사 자료의 특성을 지적할 수 있다.

- 설치 전: 경찰의 단속에 의한 신호위반 건수
- 설치 후: 신호위반 단속시스템에 의한 무인 단속 신호위반 건수

이 두 자료에서, 경찰의 단속에 의한 건수와 신호위반 단속시스템 설치로 인해 무인으로 얻는 건수는 전혀 다른 특성을 갖게 된다. 왜냐하면 경찰의 단속에 의한 건수는 실제 신호위반 건수가 많더라도 경찰이 단속을 느슨하게 하면 그 건수가 많지 않을 수 있으며, 신호위반 단속시스템의 건수는 모든 신호위반 건수를 전부에 해당하기 때문이다. 따라서 이 두 가지 신호위반 건수는 서로 1:1로 비교할 수 없는 자료임을 알 수 있다.

따라서 본 연구에서 신호위반 단속시스템 설치효과를 평가하기 위해 어쩔 수 없이 신호위반 단속시스템이 나타낼 여러 유형의 효과 중 하나인 교통사고 건수 감소에 의한 교통사고 절감편익 산출방법을 선택했다[6]. 그리고 이 방법은 그 동안 신호위반 단속시스템의 효과를 분석한 국내외 여러 연구에서 많이 사용했던 방법이기도 하다.

본 연구에서는 이를 위해 교통사고 예측모형을 정립 및 시스템 설치 전·후 교통사고 1건당 사고비용 원단위를 산출하였다. 또한 교통사고 예측모형을 정립하기 위해 포아송 회귀모형과 음이항 회귀모형을 이용하여 분석을 수행하였다. 포아송 회귀분석의 주요 특징은 조건부 평균이 커질수록 분포의 밀도가 오른쪽으로 이동하며, 평균과 분산이 같은 등산포의 가정이 있다는 것이다. 그러나 실제 교통사고 자료는 분산이 평균보다 큰 과대산포의 문제가 발생한다. 따라서 본 연구에서는 교통사고 모형 정립 시 이 점에 매우 주의했다.

끝으로, 본 연구에서는 과대산포 검정 및 회귀분석 과정에서 회귀식에 포함시킬 독립변수의 정확한 선정을 위해 후진법(Backward elimination)을 적용했고, 일단 교통사고 예측모형을 정립하고, 예측모형을 통해 교통사고 건수를 예측하여 시스템 설치 전·후 발생한 교통사고 비용의 차이를 시스템 설치 편익으로 산출하는 순서로 분석을 수행했다.

1. 사고모형의 이론적 고찰

1) 포아송 회귀모형

Jovanis 외(1986)에서는 교통사고 발생 건수를 이

산적 확률변수로 해석하는 포아송 회귀모형을 도입 하였으며, 이는 선형회귀식에 비해 합리적인 모형 이다. 포아송 분포의 확률 모형식은 식 (3)과 같으 며 포아송 회귀모형은 식 (4)와 같다[15].

$$P(y) = \frac{\lambda^y \exp(-\lambda)}{y!} \quad (3)$$

여기서, $P(y)$: 사고 n 이 발생할 확률
 y : 사고발생빈도
 λ : 평균사고 수

$$\lambda = e^{\beta_0 + \beta_1 x + \dots + \beta_m x_m} \quad (4)$$

여기서, x : 사고와 관련된 속성
 β : 추정계수

본 연구에서는 평균 교통사고 발생 건수(λ)에 포 함되어 있는 설명변수의 추정계수인 β 를 추정하기 위해서 최우추정법(Maximum Likelihood)을 사용했다.

2) 음이항 회귀모형

Lum 외(1993)은 분산이 평균보다 크다는 가정에서 출발하는 음이항 회귀식을 사용하는 것이 바람 직하다고 보았다. 음이항 회귀분석은 각 분포의 분 산이 같아야 한다는 포아송 회귀분석의 제약조건을 완화시키는데 사용할 수 있다. 교통사고예측모형에 서 포아송 회귀분석은 과대산포의 문제가 나타날 수 있는데 이런 경우 음이항 회귀모형을 쓰면 그 문제를 없앨 수 있다. 음이항 분포식은 식 (5)와 같 다[16].

$$\lambda = e^{\beta_0 + \beta_1 x + \dots + \beta_m x_m + \epsilon} \quad (5)$$

여기서, e^{ϵ} : 오차항으로 평균이 1이고 분산이 α 인 감마분포로 가정

포아송 회귀모형과 음이항 회귀모형의 모형적합 도 판정을 위하여 과대산포계수 k 가 이용되며 일반 적으로 과대산포계수 k 가 0에 가까우면 포아송모형 이 적합하고, 0과 차이가 크면 음이항모형을 사용

하는 것이 바람직하다.

이러한 이론적 배경을 토대로 본 연구에서는 최 적의 교통사고 발생 모형을 정립하고자 했으며, 다 음 절은 그 정립과정을 설명하고 있다.

2. 자료수집

1) 변수 선정 및 분석

일반적으로 모형 개발단계에서 어떤 변수가 선 정되었는가에 따라 모형의 설명력은 큰 차이가 나 므로 변수 간 상관분석을 통해 유의한 변수를 선정 하는 것은 매우 중요한 절차이다. 또한, 교통사고에 영향을 미치는 요인을 찾기 위해서는 수집 가능한 모든 자료를 구하여 모형을 구축해야 하나, 실제 모 형 개발 시 교통사고에 영향을 끼칠 것으로 예상되 는 모든 변수를 처음부터 고려하는 대신 본 연구에 서는 상관성이 높은 변수만을 고려했으며 <표 7>은 그 과정을 통해 선정된 14개 독립변수다.

본 연구에서 이 결과를 산출하게 된 배경은 다 음과 같다. 먼저 교통량이 많을수록 차량 간의 상 충이 증가하므로 교통량은 교통사고를 일으키는 요인으로 판단하였다. 또한, 주행속도가 높을수록 적색 신호시 차량이 정지하지 못하며, 이는 교통사 고에 영향을 미칠 수 있다고 판단하였다. 신호현시

<표 7> 본 연구에서 고려한 변수의 유형
 <Table 7> Selection of variables

구 분	변 수
종속변수	- Y : 교통사고 건수(건/년)
	- X ₁ : 시스템 설치여부("0" or "1")
독립변수	- X ₂ : 교통량(1,000대/일)
	- X ₃ : 속도(km/h)
	- X ₄ : 신호현시 수(phase)
	- X ₅ : 주도로 직진차로수(개)
	- X ₆ : 부도로 직진차로수(개)
	- X ₇ : 주도로 좌회전차로수(개)
	- X ₈ : 부도로 좌회전차로수(개)
	- X ₉ : 주도로 좌회전신호 유무("0" or "1")
	- X ₁₀ : 부도로 좌회전신호 유무("0" or "1")
	- X ₁₁ : 주도로 황색신호시간(초)
	- X ₁₂ : 부도로 황색신호시간(초)
	- X ₁₃ : 교차로면적(m ²)
	- X ₁₄ : 교차각(°)

수의 경우 현시가 많으면 신호의 변화가 잦아 신호위반을 일으키는 상황이 증가하기 때문에 교통사고가 일어날 확률이 증가할 것으로 판단하였다. 주·부도로 직진차로수의 경우 차로수가 증가할수록 교차로의 면적이 증가하고 상층에 노출되는 시간이 늘어나므로 교통사고의 위험이 증가한다고 판단하였다. 좌회전 차로가 있는 경우 직진하는 교통류와 분리되어 두 교통류간의 상호작용이 줄어들어 교통사고의 위험이 감소한다고 판단하였다. 황색시간의 경우 황색시간이 적정하지 못할 경우 차량을 멈추지 못하고 신호위반을 하게 되며 교통사고의 위험이 증가할 것으로 판단하였다. 교차로 면적이 증가할 경우 상층에 노출되는 시간이 늘어나기 때문에 교통사고의 발생 확률이 증가한다고 판단하였다. 교차각의 경우 예각으로 교차하는 도로는 회전부에 많은 도로부분이 소모되어 운전자는 시야를 확보하지 못하며 둔각으로 교차하는 경우 운전자의 한쪽 시야를 확보하지 못한다. 그러므로 직각에 가까울수록 안전을 확보할 수 있다고 판단하였다.

2) 기초자료수집

본 연구에서는 신호위반 단속시스템의 효과를 실증적으로 분석하기 위하여 교통사고 건수 및 관련변수 자료를 수집하였다. 자료 수집 위치는 <표 1>과 같이 신호위반 단속시스템이 설치된 교차로 30개 지점을 선정하였으며, 교통량, 신호주기, 기하구조 자료 등은 현장조사를 통해 추가로 수집하였다. 현장조사를 통한 자료 수집은 <표 8>과 같은 유형으로 수집하였으며 <표 9>는 수집한 자료의 기초 통계 분석 결과이다.

3. 교통사고 예측모형 개발

1) 모형개발 및 결과

본 연구에서 분석한 결과 포아송 모형과 음이항 모형 중에서 우도비를 통해 볼 때, 포아송 회귀모형은 0.4823, 음이항 회귀모형은 0.3206으로 포아송 회귀모형의 설명력이 음이항 회귀모형의 설명력보

<표 8> 본 연구에선 사용한 조사지점 입력자료 양식
<Table 8> Analysis of input data for the sites

교차로유형	4지 교차로	조사기간	2010.08.11(수)									
신호교차로 교통량 및 기하구조												
접근로 및 이동류	EB	WB	NB	SB								
	LT TH RT	LT TH RT	LT TH RT	LT TH RT								
일교통량 (대/일)	2,354	7,438	1,957	2,678	7,011	1,768	2,105	5,971	921	2,462	5,174	776
신호현시 및 좌회전 형태												
현시	01	02	03	04	05	06						
신호 시간	G=32 Y=3	G=32 Y=3	G=32 Y=3	G=32 Y=3								
교차로면적(m ²) = 739.59	보호좌회전			비보호좌회전			주기, C = 140초					

<표 9> 본 연구에서 수집한 자료의 기초통계 분석 결과
<Table 9> Basic statistical analysis

변수	평균	표준편차	최소값	최대값
Y	29.2	15.186	4	71
X ₁	0.5	0.504	0	1
X ₂	58.88	15.819	30	91
X ₃	56.35	4.856	48.6	66.8
X ₄	4.57	1.095	3	6
X ₅	3.95	1.064	2	5
X ₆	3.15	0.840	1	4
X ₇	1.23	0.998	0	3
X ₈	0.6	0.558	0	2
X ₉	0.70	0.462	0	1
X ₁₀	0.50	0.504	0	1
X ₁₁	3.47	0.812	3	5
X ₁₂	3.1	0.543	3	5
X ₁₃	1,324.71	297.106	739.59	2,354.380
X ₁₄	83.717	6.737	65	90

다 높은 것으로 나타났다. <표 10>은 포아송 회귀 모형과 음이항 회귀모형을 통한 교통사고 예측모형의 결과이다.

추가적으로 본 연구에서는 개발된 모형 중 최적의 모형을 선택하기 위하여 우도비(Likelihood Ratio, LR) 검정을 시행하였다. 우도비 검정은 과대산포를 검정하는 과정으로 모형의 과대산포모수인 k의 유의성을 검정하는 절차이다. 본 연구에서 사용한 과대산포 검정 귀무가설(H_0)과 대립가설(H_1)은 식 (6)과 같다.

$$H_0 : k = 0 \quad vs \quad H_1 : k > 0 \quad (6)$$

과대산포 검정을 시행하기 위하여 각 모형의 로그우도함수(Log Likelihood, lnL)을 이용한 우도비 검정을 시행하여 최적 모형을 선택하였으며, 우도비 검정은 식 (7)과 같다.

$$LR = -2(\ln L(P) - \ln L(NB)) \quad (7)$$

여기서, $\ln L(P)$: 포아송 회귀모형의 로그우도비

$\ln L(NB)$: 음이항 회귀모형의 로그우도비

우도비 접근분포(Asymptotic Distribution)는 자유도가 1인 카이제곱분포를 따르기 때문에 우도비 검정통계량과 유의수준 α 에서 자유도가 1인 카이제곱분포의 임계값과 비교하게 된다. 본 연구에서 분석한 결과 모든 경우에서 우도비 검정통계량의 값이 5.04로 크게 나타났다.

결론적으로 본 연구에서는 포아송 회귀모형은 설명력이 높지만 실제 평균보다 분산이 큰 과대산포의 문제가 발생하므로 귀무가설(H_0)을 기각하고 포아송 회귀모형보다 음이항 회귀모형을 선택하였다.

2) 교통사고 예측모형 정립 및 결과분석

교통사고 모형을 정립하는 단계에서 만약 선택한 모든 변수의 추정된 계수를 통해 교통사고 건수를 예측할 경우 오히려 왜곡된 분석 결과가 도출될 수 있다. 따라서 올바른 결과를 도출하기 위해서는 통계적 기법을 이용하여 유의한 변수를 선정하고, 최

<표 10> 예측모형 결과
<Table 10> Prediction model development results

변 수	Poisson				Negative Binomial			
	계 수	표준오차	Z	P-value	계 수	표준오차	Z	P-value
상 수	0.3198	0.6161	0.52	0.304	0.2311	0.6941	0.33	0.239
시스템 설치여부	-0.2557	0.0567	-4.51	0.000	-0.2545	0.0616	-4.13	0.000
교통량	0.0102	0.0023	4.48	0.000	0.0103	0.0025	4.10	0.000
속 도	0.0245	0.0084	2.91	0.004	0.0256	0.0094	2.73	0.006
신호현시 수	0.1353	0.0394	3.43	0.001	0.1371	0.0431	3.18	0.001
주도로 직진차로수	0.0967	0.0585	1.65	0.099	0.0859	0.0659	1.30	0.192
부도로 직진차로수	-0.0462	0.0574	-0.80	0.421	-0.0373	0.0644	-0.58	0.562
주도로 좌회전차로수	0.0516	0.0805	0.64	0.521	0.0445	0.0896	0.50	0.619
부도로 좌회전차로수	0.0037	0.1072	0.03	0.972	0.0050	0.1174	0.04	0.966
주도로 좌회전신호 유무	0.2151	0.1302	1.65	0.099	0.2170	0.1430	1.52	0.129
부도로 좌회전신호 유무	-0.1399	0.0835	-1.67	0.094	-0.1353	0.0916	-1.48	0.140
주도로 황색시간	0.0047	0.0465	0.10	0.920	0.0124	0.0516	0.24	0.810
부도로 황색시간	-0.0904	0.0667	-1.36	0.175	-0.1001	0.0745	-1.34	0.179
교차로 면적	0.0001	0.0000	0.64	0.520	0.0001	0.0000	0.72	0.469
교차각	0.0042	0.0043	0.98	0.329	0.0044	0.0048	0.92	0.357
Number of Obs	60				60			
ln L	-195.11				-192.59			
ρ^2	0.4823				0.3206			
LR	5.04 > 3.841($\chi_{0.95,1}^2$)							

<표 11> 본 연구의 예측모형 정립 결과(음이항 회귀모형)
<Table 11> Formulation of the model prediction results

변 수	Negative Binomial			
	계 수	표준 오차	Z	P-value
상 수	0.7507	0.483	1.55	0.020
시스템 설치여부	-0.2756	0.075	-3.66	0.000
교통량	0.0101	0.003	3.55	0.000
속도	0.0222	0.011	2.10	0.036
신호현시 수	0.1162	0.048	2.43	0.015
주도로 직진차로수	0.0952	0.046	2.07	0.038
$\ln L$	-207.37			
ρ^2	0.2608			

적 모형을 도출하는 과정이 필요하다. 본 연구에서는 회귀모형의 방법 중 독립변수의 선정을 위해 후진법을 이용하여 각 단계별 종속변수에 대한 설명력이 낮은 순서로 제거하였다. 이 때, 변수 제거의 기준은 P-value를 이용하였다.

본 연구에서 후진 방식을 이용한 교통사고 예측 모형의 정립 결과, 모형 식에서 유의한 변수는 시스템 설치여부, 교통량, 속도, 신호현시 수, 주도로 직진차로수로 나타났다. 교통사고의 건수는 교통량, 속도, 신호현시 수, 주도로 직진차로수 값이 커질수록 증가하는 것으로 나타났다. 신호위반 단속 시스템 설치여부는 교통사고 건수와 음(-)의 관계로 나타났다. 이는 신호위반 단속시스템 설치로 인해 운전자가 적색 신호시 신호를 위반하지 않고 정차하기 때문이다. <표 11>는 본 연구에서 후진 방식을 통해 음이항 회귀모형을 정립한 결과이다.

최종적으로 본 연구에서는 5개의 독립변수를 사용한 다음 식 (8)을 신호위반 단속시스템 설치로 인한 교통사고 감소 모형으로 선정하였다.

$$Y = \exp(0.7507 - 0.2756X_1 + 0.0101X_2 + 0.0222X_3 + 0.1162X_4 + 0.0952X_5) \quad (8)$$

여기서, Y : 예측 교통사고 건수(건/년)

X₁ : 시스템 설치여부("0"or "1")

X₂ : 교통량(1,000대/일)

X₃ : 속도(km/h)

<표 12> 신호위반 단속시스템 설치 전·후 교통사고 건수 예측 예

<Table 12> System installation before-after traffic accident

사례	AADT (1,000대/일)	속도 (km/h)	신호 현시 수(개)	주도로 직진 차로수(개)
A	30	50	3	2
교통 사고 건수 (건/년)	$Y_0 = \exp(0.7507 - 0.2756 \times 0 + 0.0101 \times 30 + 0.0222 \times 50 + 0.1162 \times 3 + 0.0952 \times 2) = 15$ $Y_1 = \exp(0.7507 - 0.2756 \times 1 + 0.0101 \times 30 + 0.0222 \times 50 + 0.1162 \times 3 + 0.0952 \times 2) = 12$			

X₄ : 신호현시 수(개)

X₅ : 주도로 직진차로수(개)

한편 식 (8)에 대한 우도비(Log Likelihood)는 0.2608로서 본 연구에서 정립한 신호위반 단속시스템의 설치 예측 분석 모형은 설명력을 확보하고 있는 것으로 나타났다.

다음으로 본 연구에서는 식 (8)을 갖고 신호위반 단속시스템의 설치 전·후 교통사고 건수(Y₀, Y₁)를 예측해보았으며, <표 12>는 그 예측 분석 결과이다.

따라서 신호위반 단속시스템 설치하기 전에 본 연구에서 정립한 설치 효과 분석 모형을 통해 그 효과를 분석한다면, 매년 15건에서 12건으로 약 20%의 교통사고 건수가 감소하는 효과가 발생하는 것으로 분석하는 것을 알 수 있다.

4. 교통사고 절감편익 산출

전 절에서 제시한 결과는 교통사고 감소 건수에 불과하며 이를 경제적 가치로 환산하기 위해서는 교통사고 건당에 해당하는 경제적 가치를 동시에 반영해야 한다. 이를 위해 본 연구에서 적용한 절차는 다음과 같다.

먼저 우리나라의 대표적 교통분야 연구기관인 한국교통연구원의 "교통사고비용 추정"에서 제시하는 사망자 1인당 순평균비용, 부상자 1인당 순평균 비용, 사고 1건당 물적피해 비용의 추이를 살펴본 있다[17]. <표 13>은 2004~2007년까지의 교통사고 비용을 통해 2010년 교통사고 비용을 나타낸 표이

〈표 13〉 본 연구에서 적용한 교통사고비용
 〈Table 13〉 Traffic accidents cost
 (단위 : 만원)

년도	사망자 1인당 순평균 비용	부상자 1인당 순평균 비용	사고 1건당 물적피해 비용
2004	36,460	443	87
2005	38,987	442	89
2006	37,205	351	101
2007	37,827	369	101
...
2010	39,245	383	117

주: 사회기관 비용과 PGS 비용을 제외하고 계산

다. 과거추세 연장법을 통해 당해년도 사고비용을 산출하며 본 연구에서 과거추세 연장법을 통해 나타난 2010년 사고비용은 사망자 1인당 39,245만원, 부상자 1인당 383만원, 사고 1건당 물적피해 117만원으로 산출하였다.

또한 본 연구에서는 기존 연구에서 나타난 결과와 같이 신호위반 단속시스템 설치 전·후의 교통사고 심각도가 달라질 것이라고 판단하였다[4]. <표 14>는 본 연구에서 선정한 지점의 신호위반 단속시스템 설치 전·후 교통사고 발생 심각도의 변화 자료인데, 이 결과를 보면 본 연구에서 짐작했듯이 신호위반 단속시스템을 설치하는 경우, 교통사고 패턴이 바뀌어 단순히 교통사고 건수가 감소하는 외에도 사망사고와 부상사고와 같은 심각한 교통사고가 현저히 감소하여 교통사고 비용 또한 감소하는 것을 알 수 있다.

<표 14>에서 보듯이 신호위반 단속시스템을 설치하면 교통사고 심각도가 낮아진다. 교통사고 심각도가 낮아지게 되면 동일한 건수의 교통사고가

〈표 14〉 신호위반 단속시스템 설치로 인한 교통사고
 심각도 변화 결과
 〈Table 14〉 Change in accident severity

구 분	시스템 설치 전	시스템 설치 후	증감
사고건수 (건/년)	950	713	-25.0%
사망(명/년)	12	6	-50.0%
부상(명/년)	1,193	917	-23.1%

〈표 15〉 신호위반 단속 시스템 설치 전·후 교차로
 교통사고비용 원단위
 〈Table 15〉 System installation before-after
 accident cost

구분	교통사고비용 원단위(만원/건)
설 치 전	$C_x = \frac{\sum_{i=1}^n (C_1 \times K_i + C_2 \times I_i + C_3 \times O_i)}{j}$ $= \frac{(39,245 \times 12 + 383 \times 1,193 + 117 \times 950)}{950}$ $= 1,094$
설 치 후	$C_x = \frac{\sum_{i=1}^n (C_1 \times K_i + C_2 \times I_i + C_3 \times O_i)}{j}$ $= \frac{(39,245 \times 6 + 383 \times 617 + 117 \times 713)}{716}$ $= 940$

발생해도 교통사고 비용은 당연히 작은 값을 나타내게 된다. 따라서 본 연구에서는 이 결과를 편익분석 과정에 반영하기 위해 신호위반 단속시스템 전후의 교통사고 비용을 새로이 산출했는데, 이 비용에 대한 산술적 수치는 식 (9)를 통해 산출하였다. <표 15>는 본 연구에서 산출한 교차로 교통사고비용 원단위이다.

$$C_x = \frac{\sum_{i=1}^n (C_1 \times K_i + C_2 \times I_i + C_3 \times O_i)}{j} \quad (9)$$

여기서, C_x : 교차로 교통사고비용 원단위(만원/건)

C_1 : 사망자 1인당 비용(만원/명)

C_2 : 부상자 1인당 비용(만원/명)

C_3 : 사고 1건당 물적피해 비용(만원/건)

K_i : i 지점에서의 사망자 수(명/년)

I_i : i 지점에서의 부상자 수(명/년)

O_i : i 지점에서의 사고건수(건/년)

i : 지점 번호

j : 대상지점 전체 교통사고 건수(건/년)

마지막으로, 신호위반 단속시스템 설치 전 교차로 특성자료와 교통사고 예측모형을 통해 나온 예측 교통사고 건수를 식 (10)에 사용하여 신호위반 단속시스템의 편익을 산출할 수 있다.

$$\Delta VIC = VIC_0 - VIC_1 \quad (10)$$

$$= C_0 \times Y_0 - C_1 \times Y_1$$

여기서, ΔVIC : 교통사고 절감편익(만원/년)
 $VIC_{0,1}$: 시스템 설치 전, 후 대상 교차로의 교통사고 비용(만원/년)
 $C_{0,1}$: 시스템 설치 전, 후 교차로 교통사고비용 원단위(만원/건)
 $Y_{0,1}$: 시스템 설치 전, 후 예측 교통사고 건수(건/년)

참고로 본 연구에서 제시하는 신호위반 단속시스템 설치 편익은 한 교차로에서 1년 동안 발생하는 편익이다. 예를 들어, 신호위반 단속시스템 설치 예정 교차로의 특성이 <표 10>의 사례 A와 같은 경우 식 (10)에 의해 교통사고 감소편익을 산출할 수 있으며, <표 16>은 그 분석 결과이다.

<표 16> 교통사고 감소편익 산출 예
 (Table 16) Benefits of traffic accident reduction

사례	교통사고 건수 (건/년)	설치 전 사고비용 (만원/건)	설치 후 사고비용 (만원/건)	교통사고 절감편익 (만원/년)
A	15→12	1,094	940	5,130
산출 과정	$\Delta VIC = VIC_0 - VIC_1 = C_0 \times Y_0 - C_1 \times Y_1$ $= 1,094 \times 15 - 940 \times 12$ $= 16,410 - 11,280$ $= 5,130$			

5. 신호위반 단속시스템의 편익산정

전 절에서는 신호위반 단속시스템 설치로 인한 1년간의 교통사고 감소 편익을 산정하였으며 설치비용을 고려한 시스템의 편익-비용을 산정하기 위해 본 연구에서 적용한 절차는 다음과 같다.

먼저 신호위반 단속시스템 설치에 따른 비용과 시스템 운영에 대한 비용을 조사하였다. 시스템 설치비용과 운영비용은 도로교통공단(2004)의 “신호위반 단속시스템 설치효과 분석연구”에서 제시한 비용을 사용하였으며 한국은행 경제통계시스템²⁾에서 제공하는 소비자 물가지수를 고려하여 2010년

2) 한국은행 경제통계시스템(<http://ecos.bok.or.kr/>)

<표 17> 편익-비용 산출 결과
 (Fig. 17) Benefit-cost ratio

()는 현재가치화 한 금액임. (단위 : 만원)

사례 A	설치비	운영비	교통사고 절감편익
설치년도	7,105	-	-
1년 후	-	2,413 (2,287)	5,130 (4,863)
2년 후	-	2,413 (2,168)	5,130 (4,609)
3년 후	-	2,413 (2,055)	5,130 (4,369)
4년 후	-	2,413 (1,948)	5,130 (4,141)
5년 후	-	2,413 (1,846)	5,130 (3,925)
6년 후	-	2,413 (1,750)	5,130 (3,721)
편익-비용 산출	$B/C = \frac{\sum_{t=0}^6 \frac{B_t}{(1+0.055)^t}}{\sum_{t=0}^6 \frac{C_t}{(1+0.055)^t}}$ $= 25,628/19,159$ $= 1.34$		

설치비용은 7,105(만원), 운영비는 2,413(만원/년)으로 산출하였다[4].

다음으로 분석기간 및 할인율을 설정하였다. 현재 ITS 장비에 따라 장비의 수명이 달라지며 장비의 발달로 인해 평가기간이 점점 장기화 되어가고 있다[6]. 본 연구에서는 신호위반 단속시스템의 수명을 도로교통공단(2004)에서 제시한 기간인 6년으로 생각했으며[4], 할인율은 한국개발연구원에서 제시하는 할인율인 5.5%를 사용하였다.

마지막으로, 신호위반 단속시스템 설치 후 나타난 교통사고 절감편익과 시스템 설치비용, 시스템 운영비용을 통해 편익-비용 비를 산출 할 수 있다. 본 연구에서는 <표 12>의 사례 A 지점을 선정하여 이 분석을 수행했으며 교통사고 절감편익은 <표 16>을 이용했다. 한편 식 (11)은 본 연구에서 편익-비용을 산출하는데 사용한 수식이며 <표 17>은 이 분석 결과를 요약한 표다.

$$B/C = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}} \quad (11)$$

여기서, B_t : t년도의 편익

C_t : t년도의 비용

r : 할인율

n : 분석기간

본 연구에서 선정된 사례 A 지점의 편익-비용비 분석 결과, 우리나라 신호위반 단속시스템의 설치에 따른 편익-비용비는 1.34인 것으로 나타났다.

V. 결 론

본 연구에서는 신호위반 단속시스템의 설치 전·후 나타나는 효과를 사전에 분석하여 신호위반 단속시스템 설치의 타당성을 정확히 평가할 수 있는 방법을 제시했다. 기존 연구들에서는 신호위반 단속시스템을 설치한 후 나타난 교통사고 감소건수를 조사하여 그 감소건수가 곧 신호위반 단속시스템의 설치효과라고 생각했지만, 본 연구에서는 이와 달리 신호위반 단속시스템을 설치한 후 신호위반 건수가 얼마나 발생하는지 먼저 분석하고, 그 후에 비로소 신호위반 건수 감소와 교통사고 발생 건수간의 상관성을 분석함으로써 교통사고 발생 건수 감소는 곧 신호위반 건수 감소에 따른 결과라는 것을 연결시켜 분석했다는 차이가 있다.

본 연구에서 산출한 결론은 다음과 같다.

- 조사 대상지점에서 나타난 결과를 통해 볼 때, 신호위반 단속시스템을 설치하면 운전자들의 신호위반 건수는 크게 감소한다.
- 조사 대상지점에서 수집한 신호위반 건수와 교통사고 건수를 서로 비교해 본 결과, 신호위반 건수가 감소하면 교통사고 건수도 감소하는 것으로 나타났다.
- 신호위반 단속시스템을 설치하면 해당지점의 교통사고 건수는 감소하게 되고, 그 감소 경향을 음이항 회귀분석을 사용하여 분석한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

$$Y = \exp(0.7507 - 0.2756X_1 + 0.0101X_2 + 0.0222X_3 + 0.1162X_4 + 0.0952X_5)$$

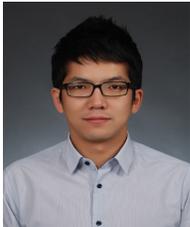
- 위의 교통사고 건수 예측 식과 함께 신호위반 단속시스템 설치 전·후의 사고 심각도 변화를 고려하여 교통사고 1건당 사고비용 원단위를 산출하였다.
- 이렇게 예측한 교통사고 건수와 교통사고비용 원단위를 사용하여 나타난 교통사고 감소 편익과 시스템 설치 및 운영비를 편익-비용비 분석을 통해 본 연구에서는 신호위반 단속시스템 설치에 따른 경제적 효과를 제시했다.

참 고 문 헌

- [1] 경찰청, "http://www.police.go.kr", 2010.
- [2] L. E. Decina, L. Thomas, R. Srinivasan and L. Staplin, "Automated enforcement : A compendium of worldwide evaluations," DOT-HS-810-763, September 2007.
- [3] 도로교통공단, "무인교통단속장비 설치효과분석에 관한 연구(II)," 2009.
- [4] 도로교통공단, "신호위반단속시스템 설치효과 분석 연구," 2004.
- [5] 국토해양부, "첨단교통모델도시 건설사업 효과 분석," 2004.
- [6] 한국교통연구원, "ITS 투자평가편람 작성을 위한 연구," 2007.
- [7] M. S. Griffith, F. M. Council, B. N. Persaud and K. A. Eccles, "Safety evaluation of red-light cameras," FHWA-HRT-05-048, April 2005.
- [8] R. A. Retting, A. f. Williams, C. M. Farmer and A. F. Feldman, "Evaluation of red light camera enforcement in oxnard, california," *Accident Analysis and Prevention*, vol.31, pp.169~174, May 1999.
- [9] R. P. Maccubbin, B. L. Staples and A. E. Salwin. "Automated enforcement of traffic signals : A literature review," *Federal Highway November/December*, vol.129, pp.648~656, November/December. 2003.
- [10] D. E. Ruby and A. G. Hobeika, "Assessment of red light running cameras in fairfax county," Virginia, *TRB*, January 2003.

- [11] 김명석, “무인 다기능단속시스템 설치 전·후 교차로 교통사고 발생특성에 관한 연구,” 서울산업대학원, 석사논문, 2007.
- [12] 김형준, 김태영, 박병호, “무인신호단속장비 설치에 따른 교통사고 특성 및 모형,” *대한국토·도시계획학회지*, 제44권, 제2호, pp.648-656, 2009. 4.
- [13] 김우철, “제4개정판 현대통계학,” 서울대학교 자연과학대학 통계학과, 2004.
- [14] 국토해양부령, “도로와 다른 도로 등과의 연결에 관한 규칙,” 제282호 제6조 제3호, 2010.
- [15] P. P. Jovanis and H. L. Chang, “Modeling the relationship of accidents to miles traveled,” *TRB*, 1986.
- [16] H. Lum and S. P. Miaou, “Modeling vehicle accident and highway geometric design relationships,” *Accident Analysis and Prevention*, vol.25, no.6, December 1993.
- [17] 한국교통연구원, “2007년 교통사고 비용 추정,” 2009.

저자소개



김 상 업 (Kim, Sang-Youp)

2004년 3월 ~ 현재 : 서울시립대학교 도시과학대학원 교통연구센터 상임연구원
 2006년 3월 ~ 2011년 2월 : 서울시립대학교 박사졸업예정(교통공학전공)
 2004년 3월 ~ 2006년 2월 : 서울시립대학교 공학석사(교통공학전공)
 1998년 3월 ~ 2004년 2월 : 서울시립대학교 공학사(교통공학전공)



최 재 성 (Choi, Jai-Sung)

1990년 ~ 현재 : 서울시립대학교 교통공학과 교수
 1988년 2월 ~ 1990년 8월 : 한국건설기술연구원 도로연구실 실장
 1984년 3월 ~ 1987년 12월 : 미국 위스컨신-매디슨 주립대 토목공학과(공학박사)
 1982년 3월 ~ 1984년 2월 : 서울대학교 공학석사(토목공학과)
 1975년 3월 ~ 1982년 2월 : 서울시립대학교 공학사(토목공학과)



김 명 규 (Kim, Myung-Kyu)

2010년 3월 ~ 현재 : 서울시립대학교 석사과정(교통공학전공)
 2004년 3월 ~ 2010년 2월 : 서울시립대학교 공학사(교통공학전공)



성 현 진 (Sung, Hyun-Jin)

2009년 3월 ~ 현재 : 서울시립대학교 석사과정(교통공학전공)
 2003년 3월 ~ 2009년 2월 : 서울시립대학교 공학사(교통공학전공)