

서울시 점멸신호 운영에 따른 교통사고 분석 및 개선방안에 관한 연구

Analysis of Accident Characteristics and Improvement Strategies of Flash Signal-operated Intersection in Seoul

| | | | |
|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 김 승 준* | 박 병 정** | 이 진 학*** | 김 옥 선**** |
| (Seung-Jun Kim) | (Byung-Jung Park) | (Jin-Hak Lee) | (Ok-Sun Kim) |
| (The Seoul Institute) | (Myongji University) | (The Seoul Institute) | (The Seoul Institute) |

· Corresponding author : Byung-Jung Park(Myongji University), E-mail bjpark@mju.ac.kr

요 약

우리나라 교통사고의 심각성은 OECD 회원국 평균보다 굉장히 높은 수준이며 보행자 사고는 이보다 더 심각한 상황이다. 그럼에도 불구하고 경찰청은 야간의 불필요한 신호대기를 최소화하고 운전자의 운전편의를 개선하기 위하여 점멸신호운영을 확대하고 있는 추세이다. 비록 경찰청은 점멸신호운영이 사고감소에도 긍정적인 영향을 미친다고 발표하고 있지만, 대부분의 해외연구들은 이와는 상반되는 결과를 제시하고 있다.

본 연구에서는 서울시내 54개 점멸신호 운영 교차로를 대상으로 점멸신호운영이 교통사고에 미치는 영향을 분석하고 이에 대한 개선방안을 제시하였다. 분석자료는 점멸신호가 운영되고 있는 교차로의 3년(2011-2013) 동안 사고자료와 사고에 영향을 미칠 것으로 판단되는 교통량과 교차로 기하구조(교차로면적, 좌회전차로, 차선수 등)를 바탕으로 하였다. 평균보다 분산이 큰 교통사고자료의 고유특성을 반영하기 위하여 음 이항 회귀모형(Negative Binomial Regression Model)을 사용하였으며, 모형구축 결과 보행과 관련된 횡단보도 면적 및 버튼식 보행신호기 개수가 사고와 밀접한 연관이 있는 것으로 나타났다. 또한 기존 연구결과와는 달리 일반신호운영교차로에 비해 점멸신호운영교차로의 사고안전성이 더 취약한 것으로 분석되었으며, 그 격차는 약 9% 정도로 나타났다.

핵심어 : 점멸신호, 신호운영, 교통사고, 음이항 회귀모형, 보행자사고

ABSTRACT

Traffic accident frequency and severity level in Korea are known to be very serious. Especially the number of pedestrian fatalities was much worse and 1.6 time higher than the OECD average. According to the National Police Agency, the flash signals are reported to have many safety benefits as well as travel time reduction, which is opposed to the foreign studies. With this background of expanding the flash signal, this research aims to investigate the overall impact of the flash signal operation on safety, investigating and comparing the accident occurrence on the flash signal and the full signal intersections. For doing this accident prediction models for both flash and full signal intersections were estimated using independent variables (geometric features and traffic volume) and 3-year (2011-2013) accident data collected in Seoul. Considering the rare and random nature of accident occurrence and overdispersion (variance > mean) of the data, the negative binomial regression model was applied. As a result, installing wider crosswalk and increasing the number of pedestrian push buttons seemed to increase the safety of the flash signal intersections. In addition, the result showed that the average accident occurrence at the flash signal intersections was higher than at the full signal-operated intersections, 9% higher with everything else the same.

Key words : Flash Signal, Full Signal, Traffic Accident, Negative Binomial Regression Model, Pedestrian Safety

† 본 연구는 국토교통과학기술진흥원 연구과제(11교통체계-기능01) 지원에 의해 수행하였습니다.

† 본 논문은 2014 ITS 국제학술발표회에 발표되었던 논문을 수정·보완하여 작성하였습니다.

* 주저자 : 서울연구원 교통시스템 연구실 연구위원

** 교신저자 : 명지대학교 교통공학과 조교수

*** 공저자 : 서울연구원 교통시스템 연구실 연구원

**** 공저자 : 서울연구원 교통시스템 연구실 연구원

† Received 24 October 2014; reviewed 6 November 2014; Accepted 18 November 2014

I. 서 론

1. 연구 배경 및 목적

우리나라의 교통사고 발생률과 심각도는 OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) 회원국 평균보다 훨씬 높은 수준이다. 2011년 기준 인구 10만명당 교통사고 발생건수는 전체 3위 (445.4건)로 OECD 회원국(313.1건) 평균보다 1.4배나 높게 나타났다. 특히 사망자수는 1.6배로 그 격차가 더 큰 것으로 알려져 있다. 또한 사고 시 심각한 결과를 초래하는 보행사고의 경우 OECD 회원국 보다 3배, 그 범위를 취약대상인 65세 이상 노인으로 국한할 경우 5배나 높아 충격을 안겨주고 있다.

최근 야간 또는 교통량이 적은 주말과 공휴일에 점멸신호운행을 점진적으로 확대하고 있다. 서울시의 경우 2014년 4월부터 점멸운영신호기를 172개소 확대하여 현재 2,636개소를 운영 중에 있으며, 주말과 공휴일에는 183개 교차로에서 항시점멸신호를 운영하고 있다. 이와 함께 서울지방경찰청¹⁵⁾은 점멸신호 운영이 통행시간 감소와 운전편의 개선 등 교통편익뿐 아니라 사고추진에서도 긍정적인 결과를 보이는 것으로 제시하고 있다. 교통사고와 관련하여 서울지방경찰청은 2012년과 2013년에 점멸신호로 전환된 교차로를 대상으로 하여 신호운영형태가 사고에 미치는 영향을 분석하였고, 그 결과 사고건수가 89건에서 71건으로 감소하였다고 발표하였다. 그러나 신호운영이 교통사고에 미치는 영향은 단순히 점멸의 유무와 사고건수 비교만으로 판단하기 어렵다. 이는 교차로별 운영상황이 상이하기 때문인데, 즉 교차로 통과교통량과 좌회전차로 등의 기하구조가 상이하기 때문이다. 따라서 사고에 영향을 미치는 주요변수를 복합적으로 고려하는 전제하에서, 점멸신호운영이 교통사고에 미치는 영향을 정량적으로 연구할 필요가 있다.

과거 ITS(Intelligent Transportation Systems) 융합기술이 교통시스템의 효율을 개선하는데 중심을 두었다면 최근에는 교통사고와 피해를 획기적으로 감소시켜 안전하고 편안한 교통환경을 조성하는데 집중

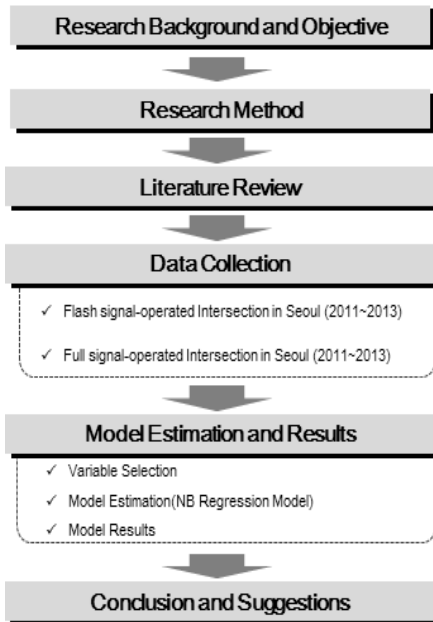
되고 있다. 2011년부터 시작된 R&D, “통합제어기 독립형 교통관리전략 개발” 사업에서는 현장에서 개별적으로 설치·운영되고 있는 ITS 시설물의 제어부를 물리적으로 통합하여 하나의 제어기로 구축하는 연구를 진행하고 있다. 기존제어기와 달리 R&D의 산출물인 통합제어기에서는 각각의 검지기에서 수집되는 개별수집 자료들을 함께 모아, 과거에 불가능했던 다양한 교통관리전략을 구현하려 하고 있다. 예를 들어 교통안전과 관련된 제어전략은 CCTV 영상검지기기술과 신호운행을 연계하여 점멸신호운영 시 교차로의 횡단보행자를 적극적으로 보호하거나, 미처 횡단보도를 통과하지 못한 보행자를 검지하여 대기차량의 녹색신호 등화를 자동으로 지연시킴으로써 보행자의 안전을 확보하는 것이다.

본 연구에서는 향후 교통관리전략이 적용될 수 있는 서울시 점멸신호운영 교차로를 대상으로 하여 일반신호운영 교차로와의 사고특성이 어떻게 차이가 나는지를 규명하고, 그 결과를 바탕으로 점멸신호운영 시 사고안전성을 개선할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

2. 연구의 수행방법

최근 점멸신호로 전환된 서울시의 355개 교차로를 대상으로 본 연구는 진행되었다. 비교대상군으로는 점멸신호운영 교차로에 인접하면서 비슷한 수준의 교통량과 기하구조를 가진 일반신호운영 교차로를 선정하였다. 점멸신호 운영여부에 따른 교통사고모형을 추정하기 위해 3년(2011년~2013년)동안 교차로 반경 50m 이내에서 발생한 교통사고자료와 설명변수로 판단되는 교통량 및 기하구조정보를 수집하였다. 빈번하게 발생하지 않고 평균보다 분산이 큰 교통사고자료의 특성을 반영하기 위하여 음이항 회귀모형(Negative Binomial Regression Model)을 적용하여 추정하였으며, 그 결과를 바탕으로 점멸신호운영 교차로와 일반신호운영 교차로의 사고특성을 비교·분석하였다.

본 연구의 수행과정은 아래의 <그림 1>과 같다.



〈그림 1〉 연구수행 과정
 〈Fig. 1〉 Study Procedure

II. 관련 문헌 고찰

1. 기존 문헌고찰

1) 점멸신호운영과 교통사고에 관한 국내·외 연구

Mahale et al.(1985)은 점멸신호운영이 사고에 미치는 영향을 계량화하기 위하여 위험한 상황을 회피하기 위한 운전자의 반응을 교차로에서 직접관찰을 통하여 분석하였다. 후방추돌사고가 많은 일반신호운영과 달리 교차로 통과 시 또는 합류 시 차량 간 상충(conflict)이 빈번히 관찰되었다.

James(1987)은 점멸신호운영과 정지제어(stop control)을 비교하여 사고에 미치는 영향을 연구하였으며, 전체적으로 점멸신호운영이 교통안전에 취약하다고 언급하였다.

Polanis(2002)는 야간 점멸신호운영을 일반신호운영으로 전환 시 사고감소효과를 19개 교차로를 대상으로하여 분석하였으며, 그 결과 29~100% 범위 내에서 직각충돌이 감소되는 것으로 제시하였다.

Srinivasan et al.(2008)의 연구는 노스캐롤라이나

지역의 야간 점멸신호운영과 일반신호운영이 사고 발생에 미치는 영향을 EB 방법을 사용하여 분석하였다. 점멸신호운영과 비교하여 일반신호운영의 경우 사고건수와 측면직각사고가 각각 35%, 34% 감소하는 것으로 분석되었다.

백태훈 외 1명(2013)은 청주시를 대상으로 야간 점멸신호운영에 따른 안전효과분석을 도로위계(간선기능과 집산기능)에 따라 비교그룹법으로 분석하였다. 그 결과 점멸신호운영으로 간선도로에서 사고건수와 사상자수가 각각 19%, 36% 증가하였으나, 집산도로의 사고건수는 50%, 사상자수는 64%가 증가되어 집산도로에서 영향이 더 크다는 것을 발견하였다.

점멸신호에 대한 연구는 사고에 미치는 영향보다는 교통량 변화에 대응하여 효율적으로 교차로를 제어하는 측면에서 검토되어 왔다. 1980년부터 사고율, 사고형태 등과 관련된 몇몇 연구가 진행되었으나, 점멸신호운영이 상대적으로 보편화되어 있는 해외에서조차 관련연구는 매우 제한적이다. 특히 국내의 경우 관련연구는 백태훈의 연구가 사실상 유일한 정도로 많은 연구가 이루어지고 있지 못하다.

2) 점멸신호운영과 교통사고에 관한 국내·외 보고서

MUTCD(2000) 메뉴얼에서는 점멸신호운영은 에너지 및 통행비용의 절감효과가 있지만, 교통량 및 보행교통량이 많은 지점에서의 점멸신호운영은 신중한 검토를 필요로 한다고 밝히고 있다.

FHWA(2009)의 연구보고서는 8개의 신호교차로를 대상으로 야간 점멸신호운영을 일반신호운영으로 전환하는 경우, 사고감소효과를 분석하였다. 그 결과 최소 18.9%, 최대 51.6%, 평균 30.9%의 사고감소효과가 있는 것으로 나타났으며, 사상자수는 60.1% 감소하여 교통안전이 크게 개선되었음을 제시하고 있다. 특히 시야가 제한적인 야간에 운전자의 반응행태에 교차로의 안전을 맡기기 보다는 신호제어를 통한 적극적인 안전확보를 제언하고 있다.

교통운영체계 선진화연구(2010)에서는 단기적으로 국내 교통법규를 크게 정비 않고 시행할 수 있는 미국 플로리다주(주·부도로 200대)의 운영방법을

제안하였다. 반면 장기적으로는 독일식 점멸신호 운영방법을 도입하고, 통행우선권을 명확히 하기 위하여 국제연합(UN) 표지를 도입할 것을 제시하고 있다. 이철기 외 3명(2011) 및 김원철 외 1명(2012)은 교통운영 선진화의 시행효과를 분석하였으나, 교통소통, 탄소감축, 교통문화 등을 중심으로 진행되었고 교통안전에 대해서는 총량적인 사고건수의 비교만 수행되었다.

2. 사고빈도 모형에 대한 이론적 고찰

사고빈도와 교통량, 도로환경 등 영향요인의 관계를 규명하기 위하여 다양한 통계모형이 적용되어 왔다. 최근에는 사고건수를 이산적 확률변수(Discrete Random Variable)로 해석하고 단순선형 회귀식에 비해 합리적인 모형인 포아송 회귀식과 음이항 회귀식이 적용되고 있다. 포아송 회귀식은 식 (1)과 같다.

$$P(n_i) = \frac{\lambda_i^{n_i} \exp(-\lambda_i)}{n_i!} \quad (1)$$

여기서, $P(n_i)$: 사고 n 이 교차로 지점 i 에서 발생할 확률

λ_i : 평균사고건수

$$\lambda_i = \exp(\beta X_i) \quad (2)$$

여기서, X_i : 사고에 영향을 미치는 교차로 i 의 도로환경 등의 설명변수

β : 추정될 계수

일반적으로 β 를 추정하기 위해서는 표준최우추정법(Standard Maximum Likelihood)을 사용하며 이때 우도 함수($L(\beta)$)는 식 (3)과 같다.

$$L(\beta) = \prod_i \frac{\exp[-\exp(\beta X_i)] [\exp(\beta X_i)]^{n_i}}{n_i!} \quad (3)$$

그러나 포아송모형은 분산과 평균이 같다는 기본적인 전제조건이 만족되어야 하나, 일반적으로

사고분포는 분산이 평균보다 큰 과분산(Overdispersion)의 문제를 가지게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 분산이 평균보다 크다는 성질을 가진 음이항 회귀모형(Negative Binomial Regression Model)이 사용되고 있다. 음이항 분포는 λ_i 항에 오차항(ϵ_i)이 포함되며 식 (4)와 같이 표현될 수 있다.

$$\lambda_i = \exp(\beta X_i + \epsilon_i) \quad (4)$$

여기서, 오차항인 $\exp(\epsilon_i)$ 은 평균이 1이고 분산이 $1/\theta$ 인 감마분포를 따른다고 가정한다면, 조건부확률은 식 (5)와 같다.

$$P(n_i|\epsilon) = \exp[-\lambda_i \exp(\epsilon_i)] [\lambda_i \exp(\epsilon_i)]^{n_i} \quad (5)$$

식 (4)와 식 (5)를 합쳐 n_i 의 비조건분포를 식 (6)과 같이 산출할 수 있다.

$$P(n_i|\epsilon) = \frac{\Gamma(\theta + n_i)}{[\Gamma(\theta) \cdot n_i!]} \cdot U_i^\theta (1 - U_i)^{n_i} \quad (6)$$

여기서, $U_i = \theta / (\theta + \lambda_i)$

이때 우도함수는 식 (7)과 같으며, 이를 최대화할 수 있는 α , β 를 추정하게 된다.

$$L(\beta) = \prod_i \frac{\Gamma(\theta + n_i)}{\Gamma(\theta) \cdot n_i!} \left[\frac{\theta}{\theta + \lambda_i} \right]^\theta \left[\frac{\lambda_i}{\theta + \lambda_i} \right]^{n_i} \quad (7)$$

여기서, n_i : 교차로 i 에서 단위시간당 사고건수

식 (6)의 음이항 확률분포의 평균과 분산은 다음과 같이 표현된다.

$$E[n_i] = \lambda_i, \quad Var[n_i] = E[n_i] [1 + E[n_i]/\theta] \quad (8)$$

여기서, θ 가 매우 큰 값(∞)을 가지면 평균과 분산이 거의 같은 포아송 회귀식을, θ 값이 작을수록 분산이 평균보다 큰 음이항 회귀식을 적용하는 것이 바람직하다.

III. 자료구축

1. 자료수집

점멸신호운영이 교통사고에 미치는 영향을 비교·분석하기 위하여, 경찰청 자료를 바탕으로 서울시 내 54개 교차로를 대상으로 자료를 수집하였다. 교통사고자료는 도로교통공단에서 운영하는 교통사고분석시스템(TAAS)의 3년간(2011년~2013년) 자료를 활용하였다. 사고자료는 차대차, 차대사람, 차량단독 등등 사고유형을 기준으로 구분이 가능하나, 점멸신호가 야간이라는 특정시간대에 운영되고 동시간대의 자료가 매우 제한적이므로 사고유형을 구분하지 않고 구축하였다.

사고자료가 수집된 동일교차로를 대상으로 하여 사고발생에 영향을 미칠 것으로 판단되는 교통량, 교차각, 교차로형태, 차로수, 차로폭, 횡단보도면적, 교차로면적, 좌회전 차로수, 우회전 차로수, 버튼식 보행자신호기를 설명변수로 선정하였고, 자료수집

에는 서울시에서 운영 중인 교통안전시설물관리시스템(T-GIS)이 활용되었다.

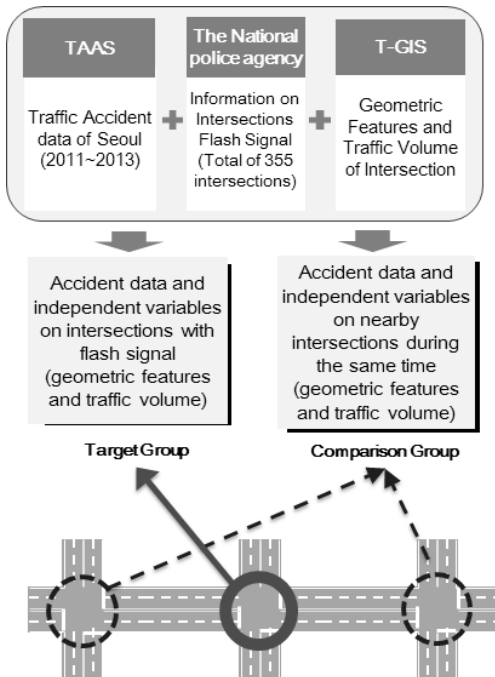
비교대상군인 일반신호운영 교차로에 대한 정보는 야간시간대에 발생한 교통사고건수와 설명변수(교통량과 기하구조)를 동일한 방법으로 수집하였다. 이는 점멸신호 운영교차로 특성상 낮은 도로등급에서 주로 운영이 되고 있기 때문에 355개 점멸신호운영교차로의 세부 방향별 교통량 자료를 구축하는데 어려움이 있다. 따라서 T-GIS상에서 방향별 교통량 자료를 수집 가능한 50개 점멸신호 운영교차로와 비교를 위한 일반신호운영 교차로 54개의 총 104개를 대상으로 분석을 수행하였다.

아래의 <그림 2>는 자료를 구축하는 과정을 보여주고 있다.

2. 변수설정

모형구축에는 앞서 설명한 바와 같이 사고와 밀접한 연관이 있다고 판단되는 교통량, 교차각, 교차로형태, 전체 차로수, 평균 차로폭, 횡단보도면적, 교차로면적, 좌회전 전용차로수, 우회전 전용차로수, 버스정류장 개수, 버튼식 보행자 신호 개수, 점멸신호운영여부 등이 포함되었다.

점멸운영시간대의 교통량은 서울시에서 배포하는 지점별 침두시간 교통량을 바탕으로 하여, 서울시 월변동계수와 서울시 도심지역 시간변동계수(양



<그림 2> 데이터 수집과정
<Fig 2> Data Collection

<표 2> 서울시 평균 월 변동계수
<Table 2> Monthly variation factor in Seoul

| Months | Two way | Inflow | Outflow |
|--------|---------|--------|---------|
| Jan. | 0.95 | 0.96 | 0.97 |
| Feb. | 0.94 | 0.94 | 0.94 |
| Mar. | 1.02 | 1.01 | 1.01 |
| Apr. | 1.04 | 1.03 | 1.02 |
| May. | 1.03 | 1.01 | 0.99 |
| Jun. | 1.02 | 1 | 0.99 |
| Jul. | 1 | 0.98 | 0.97 |
| Aug. | 0.99 | 1 | 1.02 |
| Sep. | 0.98 | 0.98 | 0.98 |
| Oct. | 1.02 | 1.03 | 1.05 |
| Nov. | 1.03 | 1.04 | 1.05 |
| Dec. | 1 | 1 | 1 |

data : www.seoul.go.kr

방향기준)를 적용하여 추정하였다.

교차로면적은 김정현외 1명(2003)^[5]이 제시한 상층지역이라는 정의에 따라 각각의 접근로에서 교차로를 통과하는 과정에서 다른 교통류에 의해 영향을 받는 지역으로, 횡단보도가 존재하면 횡단보도를 기준으로 하고, 횡단보도가 존재하지 않는 경우 기하구조에 따라 설정하였다.

〈표 1〉 서울시 도심지역 시간변동계수
〈Table 1〉 Hourly variation factor in Seoul

| Times | Two way | Inflow | Outflow |
|-------|---------|--------|---------|
| 0-1 | 0.62 | 0.58 | 0.66 |
| 1-2 | 0.47 | 0.45 | 0.49 |
| 2-3 | 0.35 | 0.32 | 0.38 |
| 3-4 | 0.26 | 0.25 | 0.28 |
| 4-5 | 0.26 | 0.27 | 0.25 |
| 5-6 | 0.39 | 0.44 | 0.34 |
| 6-7 | 0.78 | 0.93 | 0.63 |
| 7-8 | 1.34 | 1.6 | 1.09 |
| 8-9 | 1.47 | 1.67 | 1.26 |
| 9-10 | 1.37 | 1.48 | 1.26 |
| 10-11 | 1.31 | 1.37 | 1.24 |
| 11-12 | 1.29 | 1.33 | 1.25 |
| 12-13 | 1.19 | 1.2 | 1.18 |
| 13-14 | 1.25 | 1.26 | 1.25 |
| 14-15 | 1.28 | 1.28 | 1.28 |
| 15-16 | 1.27 | 1.25 | 1.28 |
| 16-17 | 1.26 | 1.23 | 1.29 |
| 17-18 | 1.29 | 1.22 | 1.35 |
| 18-19 | 1.29 | 1.16 | 1.42 |
| 19-20 | 1.2 | 1.04 | 1.35 |
| 20-21 | 1.09 | 0.98 | 1.21 |
| 21-22 | 1.11 | 0.99 | 1.22 |
| 22-23 | 1.03 | 0.92 | 1.14 |
| 23-24 | 0.85 | 0.78 | 0.92 |

data : www.seoul.go.kr

그 외의 설명변수를 살펴보면 교차각은 방향별 차선이 만나는 지점에서 시거제약이 크게 발생할 것으로 판단되는 대표적인 예각을 고려하였고, 교차로형태는 3지교차로의 경우는 1, 4지교차로의 경우는 2로 구분하여 자료를 작성하였다. 또한 차로수는 전체 차로수의 합, 차로 폭은 평균 차로폭, 횡단보도면적은 전방향 횡단보도 면적의 합, 좌회전·우회전 전용차로는 전방향 차로수의 합, 버스정류

장은 교차로를 중심으로 반경 50m 이내 존재 하는 전체 버스정류장 개수, 버튼식 보행자 작동신호기는 전방향 설치개수, 점멸신호운영여부는 운영하지 않는 경우는 0, 운영하는 경우는 1로 구분하여 변수를 설정하였다. 각 설명변수에 대한 정리는 아래의 <표 3>과 같다.

〈표 3〉 모형의 설명변수
〈Table 3〉 Independent variable

| No | Independent Variables | Notation | Unit |
|----|-----------------------------------|----------|---|
| 1 | Traffic volume | X1 | veh / 7 hours |
| 2 | Intersecting angle | X2 | degree |
| 3 | Intersection type | X3 | 3-leg intersection=1, 4-leg intersection=2 |
| 4 | Total number of lanes | X4 | lane |
| 5 | Average lane width | X5 | m |
| 6 | Pedestrian crosswalk area | X6 | m2 |
| 7 | Intersection area | X7 | m2 |
| 8 | Number of left-turn bays | X8 | bays |
| 9 | Number of right-turn bays | X9 | bays |
| 10 | Number of Bus stops | X10 | stops |
| 11 | Number of pedestrian push-buttons | X11 | push-buttons |
| 12 | Signal operation type | X12 | full signal = 0 , flash signal = 1 |

IV. 모형의 추정 및 결과

본 연구에서는 사고에 영향을 미치는 다양한 변수를 복합적으로 고려하여, 점멸과 일반신호운영이 교차로에서 발생하는 교통사고에 어떠한 차이를 유발하는지를 확인하기 위하여 음이항 회귀모형(Negative Binomial Regression Model)을 적용하였으며, 분석에는 통계패키지 R이 사용되었다.

교차로면적이 넓을수록 사고건수도 늘어난다는 것을 가정하고, 교차로면적을 읍셋변수(사고노출변수)로 설정하여 모형에 포함하였다.

$$\lambda_i = A_i \times F_i^\alpha \times \exp\left(\beta_0 + \sum_{k=1}^m \beta_k x_{ik}\right), i = 1, 2, \dots, n$$

여기서, λ_i = 교차로 i의 평균 사고건수 (건/3년)

A_i = 교차로 i의 면적(m²)
 F_i = 교차로 i의 점멸신호 운영시간대 교통량(대/점멸운영시간)
 $\alpha, \beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$ = 추정해야 할 파라미터

<표 4>는 음이항 회귀모형을 이용하여 3년간 점멸신호운영 여부에 따라 교차로에서 발생한 교통사고와 설명변수간의 모형추정결과를 보여주고 있다.

먼저 과분산 파라미터(Overdispersion parameter)가 1.027로, 사고자료의 분산이 평균보다 매우 큰 경향을 나타내고 있어 음이항 회귀모형(Negative Binomial Regression Model)의 사용이 적합함을 알 수 있다.

다음으로 모형에 포함된 다양한 설명변수 중에서 횡단보도면적(X_6)과 버튼식 보행자 신호기 개수(X_{11})가 유효한 것으로 나타났다. 각각 P-value 값이 0.0275, 0.0987로 90% 통계적 유의수준에 도달하였으며 횡단보도면적(X_6) 파라미터의 추정 값은 -0.0014, 버튼식 보행자 작동신호기 개수(X_{11}) 파라미터의 추정 값은 -0.3085로 즉, 횡단보도 면적이 넓고 버튼식 보행자 신호가 많을수록 점멸신호 운영시 사고위험은 감소한다고 분석되었다.

교차로 운영형태(점멸신호운영 여부)에 대한 파라미터(X_{12}) 추정값은 양의 값(0.0534)으로 점멸신호 운영 교차로가 일반신호운영 교차로보다 평균사고 건수가 더 높은 것을 알 수 있다. 하지만 이 파라미

터의 P-value 값은 통계적으로 유효하지 않은 것으로 나타났다. 이것은 자료수집의 한계로 인해 전체 서울시 점멸신호운영교차로 2,636개 지점 중 극히 일부인 50개 지점에 대해서만 분석이 수행되었기 때문인 것으로 추정된다. 현재 구축 운영되고 있는 교통사고분석시스템(TAAS)에서는 점멸신호운영여부에 따른 사고구분이 이루어져 있지 않고, 또한 교차로 신호운영을 책임지고 있는 경찰청의 자료구분이 TAAS 및 T-GIS와 상이하여 통계적 분석을 위한 자료를 수집하는데 많은 노력과 비용이 소요되는 실정이다. 따라서 향후 점멸신호운영 교차로에서 발생하는 교통사고에 대한 완전한 자료구축이 가능하다면 교차로운영형태가 교통사고에 미치는 영향을 좀 더 명확히 살펴볼 수 있을 것이다.

<표 5> 사고건수 추정 모형
 <Table 5> Estimates of the average number of accidents by signal operation type

| | |
|--------------|--|
| Flash Signal | $\lambda_i = A_i F_i^{0.4593} \exp(-9.5666 - 0.0014x_6 - 0.3085x_{11} + 0.0534)$ |
| Full Signal | $\lambda_i = A_i F_i^{0.4593} \exp(-9.5666 - 0.0014x_6 - 0.3085x_{11})$ |

모형추정결과를 바탕으로 점멸신호운영과 일반신호운영의 사고발생모형을 정리하면 아래의 <표 5>와 같다.

<그림 3>은 점멸신호운영 유무에 따른 사고빈도

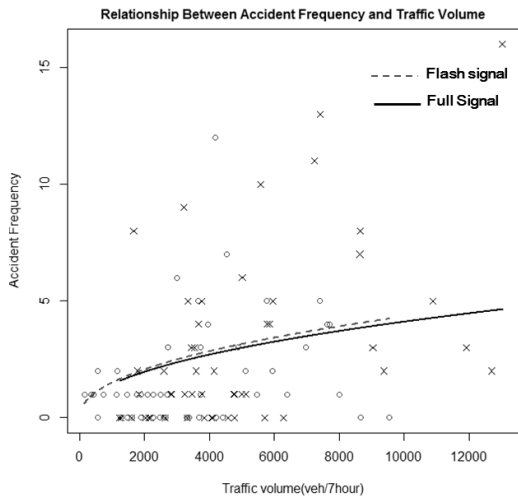
<표 4> 추정 모형 결과
 <Table 4> Model Estimation and Results

| Parameter | Parameter Estimates | | | |
|---|---------------------|----------------|---------|----------|
| | Estimate | Standard Error | z value | Pr(> z) |
| Intercept | -9.5666 | 1.9173 | -4.990 | 6.05e-07 |
| Traffic volume(x1) | 0.4593 | 0.1887 | 2.434 | 0.0149 |
| Pedestrian crosswalk area (X6) | -0.0014 | 0.0006 | -2.204 | 0.0275 |
| Number of pedestrian push buttons (X11) | -0.3085 | 0.1868 | -1.651 | 0.0987 |
| Signal type (X12) | 0.0534 | 0.25560 | 0.209 | 0.8344 |
| Over dispersion parameter | 1.027 | 0.242 | | |

Criteria for Assessing Goodness of Fit

Null deviance: 121.64 on 100 degrees of freedom
 Residual deviance: 109.99 on 96 degrees of freedom
 AIC: 412.69
 2 x log-likelihood: -400.687

와 모형의 원시사고자료를 함께 도식화한 것이다. 교통량에 상관없이 모든 조건이 동일한 경우 점멸 신호운영 교차로의 사고빈도가 더 상위에 위치하여, 사고안전성이 상대적으로 취약한 것을 알 수 있다. 또한 두 운영형태에 따른 사고빈도의 차이는 약 9%, 35% 수준의 해외의 연구^[3]와 비교하여 차이가 크지 않은 것으로 나타났다.



〈그림 3〉 교통량과 사고빈도의 관계
 〈Fig. 3〉 Relationship Between Accident Frequency and Traffic Volume

이러한 사고빈도차이는 서울시의 몇 가지 야간 운전행태와 밀접한 연관이 있을 것으로 판단된다. 첫째, 점멸신호운영은 주도로 교통량이 600대/시 보다 낮을 때 이루어지고 있으나, 일반적으로 점멸신호운영 교차로의 교통량은 이보다 더 낮아서 절대적인 사고빈도가 낮기 때문이다. 둘째, 우리나라의 운전자 중 상당부분이 점멸신호운영 시 통행우선권에 대하여 정확히 숙지하지 못하고 있다는 점이다. 적색이 점멸되는 부도로와 달리 반드시 정지할 필요가 없는 황색점멸의 주도로 운전자도 불필요하게 정지하거나 주춤거리면서 오히려 점멸 시 사고빈도에 영향을 미칠 수가 있다. 마지막으로 서울시의 경우 야간에 영업용 차량운행이 해외에 비해 높고 교차로의 신호주기가 상대적으로 길어, 일반신호운영 교차로에서 신호를 위반하여 진행하는 차량을 쉽게

발견할 수 있다. 이는 일반신호운영 교차로에서의 사고가능성을 높이는 결과를 초래하게 된다.

V. 결론 및 정책제언

점멸신호운영은 불필요한 가·감속과 신호대기 문제를 해소하여 궁극적으로 경제적 손실을 절감하고 원활한 교통흐름을 유도하기 위하여 도입되고 있다. 비록 보행자와 차량이 일정수준 이하인 교차로와 단일로를 대상으로 하고 있으나, 황색점멸신호와 적색점멸신호에 익숙하지 못한 우리나라 운전자들의 상황을 고려할 때 사고위험이 증가될 수 있다는 우려도 제기되고 있다. 이에 경찰청은 점멸신호운영 전후 교통사고가 약 20% 감소한다고 밝혔으나, 현장에서는 아직 점멸신호운영이 오히려 혼란을 야기한다는 목소리가 지속되고 있다.

점멸신호운영이 교통사고에 미치는 영향은 시행 전후 사고건수를 단순히 비교하여 개략적으로 판단할 수도 있다. 그러나 좀 더 정확한 판단을 위해서는 지점별로 상이한 교통량, 교차로 면적과 차로수 등 다양한 영향요인을 통제하는 상황에서 신호운영 형태가 사고에 미치는 영향을 전반적으로 검토할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 서울시에서 발생한 3년(2011년~2013년) 동안의 교통사고자료를 바탕으로 점멸신호운영이 교통사고에 미치는 영향을 추정하기 위하여 음이항 회귀모형을 적용하였다. 모형구축 결과, 점멸신호운영 시 사고위험이 더 높은 것으로 나타났다. 다만 점멸신호운영과 일반신호운영 시 사고빈도의 차이가 9%에 불과하여, 35%수준을 밝히고 있는 해외연구와 달리 그 격차가 크지 않은 것으로 분석되었다. 이는 점멸신호운영이 사고측면에서 안전하다기 보다는 빈번한 신호위반으로 일반신호운영 교차로에서의 사고빈도가 높기 때문으로 판단된다. 국내의 점멸신호 운영에 따른 교통사고의 좀 더 뚜렷한 차이를 밝히기 위해서는 교통사고 데이터 상에서 점멸신호 운영형태에 따른 사고구분을 가능하게 하고 신호운영을 담당하는 각 행정기관의 자료형태(교차로명 등)를 서로 일치시킨다면, 향후 데이터 수집의 양을 늘려 보다

심도 있는 연구가 가능할 것으로 사료된다.

또한 추정된 사고모형에서는 다양한 영향요인 중 횡단보도 넓이와 버튼식 보행자 신호기가 유효한 변수로 도출되었다. 보행관련 사고비율이 높은 서울시의 특성과 일치되는 결과로, 향후 횡단보도를 넓게 설치하고 신호기에 보행자 버튼을 설치하는 것이 사고예방에 매우 효과적인 방안이 되리라 판단된다.

점멸신호운영이 통행시간 감소, 연료비 절감 등 긍정적인 편익을 유발하는 것은 분명하지만, 점멸신호운영이 결코 사고측면에서 안전하지 않음을 간과해서는 안 될 것이다. 최근 교통효율성과 교통안전이라는 두 마리 토끼를 모두 잡기 위하여, ITS 융합기술이 활발히 교통부문에 적용되고 있다. 2011년부터 진행되고 있는 국가 R&D, “통합제어기 독립형 교통관리전략 개발” 사업에서는 도로교통정보와 보행자정보를 영상처리기술을 이용하여 검지하고 신호운영과 연계하는 방안을 모색하고 있다.

특히 과거 하드웨어 기술력의 한계로 인해 구현되지 못했던 보행자 검지는 향상된 기술력을 바탕으로, 향후 현장에 적용할 예정이다.

첫째, 야간 점멸신호운영 시 보행자 안전을 확보하는 제어전략이다. 영상검지기술로 횡단하는 보행자를 검지하고 검지한 정보를 통합제어기에 전달하여, 필요시 황색점멸신호를 적색점멸신호로 자동 변경시켜 운전자의 주의운전을 유도하는 전략이다.

둘째, 어린이보호구역 등 교통약자의 통행이 빈번한 지역의 단일로에서 횡단보행자의 안전을 개선하는 전략이다. 영상검지기술을 활용하여 보행점멸신호 시 횡단하는 보행자를 검지하고 보행속도와 횡단거리를 바탕으로 보행자 통과 가능여부를 판단한다. 필요 시 신호제어부에서 대기차량에 대한 적색신호를 연장시켜 횡단보행자와 차량의 상충을 사전에 예방하는 방안이다.

우리는 교통사고 사상자 절반 줄이기, 교통사고 사망자수 40% 감축과 같은 목표치를 쉽게 접할 수 있다. 이를 위해서는 교통시스템을 구성하는 이용자, 시설, 수단을 보다 밀접하게 상호연계하여 혁신적이고 근본적인 해결방안을 모색해야 하는 상황이

다. 점멸신호운영에 대한 이해는 이용자의 행태개선과 스마트한 교통인프라 구축을 위한 작은 걸음이 될 것이다.

REFERENCES

- [1] D. Mahalel, A. Peled, M. Livneh, “Safety Evaluation of Flashing Amber Operation at Signalized Intersections”, *Accident Analysis and Prevention*, vol. 17, no. 1, pp.57-65, 1985
- [2] Jamse C. Barbaresso, “Relative Accident Impact of Traffic Control Strategies During Low-Volume Nighttime Periods”, *ITE Journal*, vol. 57, no. 8, pp.41-46, 1987
- [3] Polanis S. “Right-Angle Crashes and Late-Night/Early-Morning Flashing Operation: 19 Case Studies”, *ITE Journal*, vol. 72, no. 4, pp.26-28, 2002
- [4] Srinivasan R., Council F., Lyon C., Gross F., Lefler N., Persaud B, “Safety Effectiveness of Selected Treatments at Urban Signalized Intersections”, *TRB 2008 Annual Meeting CD-ROM*, 2056. 2008
- [5] Jung-Hyun Kim, Young-Chan Kim. “Development of Methodology for the Analysis of Level-of-Service of Non-Controlled Intersection”, *Journal of Korean Society of Transportation* vol. 21, no. 5, pp.31-40, 2003
- [6] Choul-Ki Lee, Il-Soo Yun, Young-Tae Oh, Soo-Hee Kim, “Study on the Effectiveness Analysis of Policies for the Advancement of Traffic Control & Operation Systems”, *Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 10, no. 2, pp.35-41, 2011
- [7] Won-Chul Kim, Jin-Tae Kim, “Carbon Reduction Effect of Traffic Operational Methods Itemized in National Project for Advanced Traffic Operation and Management”, *KSCE Journal of Civil Engineering*, vol. 32, no. 1, pp.1-12, 2012

- [8] Tae-Hun BEAK, Byung-Ho PARK, "Safety Evaluation of Flashing Yellow Operation at Night", Journal of Korean Society of Transportation vol. 31, no. 5, pp.16-25, 2013
- [9] FHWA, *Removal Of Signal Flashing Mode During Late-Night/Early-Morning Operation*, FHWA-SA-09-012, 2009
- [10] *The National Police, Project for Advancement of Traffic Control and Operation Systems*, pp. III 1-III 23, 2010
- [11] KOROAD, *OECD Traffic Accident Report 2013*, pp.6-22, 2011
- [12] <http://www.seoul.go.kr>
- [13] <http://taas.road.or.kr>
- [14] <http://tgis.seoul.go.kr>
- [15] <http://smartsmpa.tistory.com/1310>

저자소개



김 승 준 (Kim, Seung-Jun)

2007년 5월 ~ 현재 : 서울연구원 교통시스템연구실 연구위원
 2006년 6월 ~ 2007년 5월 : Mid-America Transportation Center 연구원
 2006년 5월 : Texas A&M Univ. 교통공학박사
 E-mail : sjkim@si.re.kr
 연락처 : 02) 2149-1176



박 병 정 (Park, Byung-Jung)

2013년 9월 ~ 현재 : 명지대학교 교통공학과 조교수
 2010년 6월 ~ 2013년 8월 : 한국교통연구원 부연구위원
 2006년 9월 ~ 2010년 5월 : Texas Transportation Institute, Graduate Research Assistant
 2010년 5월 : Texas A&M Univ. 교통공학박사
 E-mail : bjpark@mju.ac.kr
 연락처 : 031) 330-6499



이 진 학 (Lee, Jin-Hak)

2013년 3월 ~ 현재 : 서울연구원 교통시스템연구실 연구원
 2012년 3월 ~ 2013년 3월 : 한국철도기술연구원 신 교통연구본부 연구원
 2012년 2월 : 한양대학교 석사 (교통공학과)
 E-mail : dakos514@si.re.kr
 연락처 : 02) 2149-1391



김 옥 선 (Kim, Ok-Sun)

2012년 8월 ~ 현재 : 서울연구원 교통시스템연구실 연구원
 2012년 8월 : 아주대학교 석사 (건설교통공학과)
 E-mail : oksan@si.re.kr
 연락처 : 02-2149-1082