

야간 황색점멸신호 운영에 따른 안전성 평가

백태현¹ · 박병호^{2*}

¹충북대학교 대학원, ²충북대학교 도시공학과

Safety Evaluation of Flashing Yellow Operation at Night

BEAK, Tae Hun¹ · PARK, Byung Ho^{2*}

¹ Graduate School, Chungbuk National University, Chungbuk, 361-763, Korea

² Department of Urban Engineering, Chungbuk National University, Chungbuk, 361-763, Korea

Abstract

This study deals with the relationships between flashing operation and traffic accident at signalized intersections. The objective of this study is to analyze safety effects of the yellow flashing operation at night. In pursuing the above, this study gives particular attention to evaluating the safety results from signal operation of Cheongju's 190 signalized intersections using before-after evaluation with comparison group that are categorized by highway function. The main results are as follow. First, the numbers of traffic accidents and of fatalities/injuries in two highway types (arterial and collector road) have increased after operating the yellow flashing signal at night. Second, the numbers of accidents, fatalities/injuries, severe accidents and of fatalities/severe injuries in group A(arterial) have increased by 19%, 36%, 15% and 14%, respectively. Finally, the numbers of accidents, fatalities/injuries, severe accidents and fatalities/severe injuries in group B (collector) have increased by 50%, 64%, 41% and 77%, respectively.

이 연구는 신호 교차로에서의 점멸 신호 운영과 교통사고와의 관계를 다루고 있다. 연구의 목적은 야간 황색 점멸 신호 운영의 안전효과를 분석하는데 있다. 이를 위해 이 연구는 청주시 190개 신호교차로를 비교그룹방법을 사용하여 도로기능별 신호운영의 안전성 평가에 중점을 두고 있다. 주요 결과는 다음과 같다. 첫째, 두 도로유형(간선기능과 집산기능) 모두 야간점멸신호 도입시 사고가 증가하는 것으로 분석되었다. 둘째, 그룹 A(간선기능)에서는 사고건수 19%, 사상자수 36%, 심각사고건수 15% 및 중상이상 사상자수 14%가 증가한 것으로 평가되었다. 셋째, 그룹 B(집산기능)에서는 사고건수는 50%, 사상자수는 64%, 심각사고건수 41%, 그리고 중상이상 사상자수는 77% 증가한 것으로 분석되었다.

Key Words

Before-After Evaluation, Comparison Group, Safety Evaluation, Traffic Accident, Yellow Flashing Signal
사전 · 사후평가, 비교그룹, 안전성 평가, 교통사고, 황색점멸신호

* : Corresponding Author
bhpark@cbungbuk.ac.kr, Phone: +82-43-261-2496, Fax: +82-43-264-2496

Received 15 May 2012, Accepted 15 April 2013

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

교통신호기의 설치 목적은 교통류가 상충되는 지점의 교통 혼잡해소와 사고방지에 있다. 하지만 교통신호기가 설치된 지점에서 시간대별로 교통량의 편차가 심한 경우에는 신호기의 원래 기능을 상실하게 된다. 특히, 교통량이 적은 야간 등 특정 시간대에 발생하는 신호운영은 오히려 지연시간을 증대시켜 차량 소통에 지장을 초래하며, 운전자의 신호위반을 조장한다. 이런 지점은 황색 점멸신호로 제어하여 신호운영의 효율을 증대시킬 수 있다.

이에 청주시는 ‘교통운영체계 선진화 방안(The National Police, 2009)’의 ‘1단계 점멸신호 운영확대’ 과제와 관련하여, 2009년 6월 청주시 교차로 전체를 대상으로 일제 점검을 실시한 뒤, 2009년 7월 1일 교차로의 점멸운영을 확대하였다.

하지만 이런 교차로의 점멸 운영은 여러 가지 문제점이 지적되고 있다. 특히, 야간에 발생하는 사고는 그 위험성이 주간에 발생하는 사고에 비해 크기 때문에 안전성 측면은 반드시 고려되어야 한다.

이런 야간 점멸 신호 운영의 안전성 측면의 문제점으로 지적되고 있는 사항은 운전자나 보행자의 심리적 불안감 조성과 사고 위험의 증가이다. 하지만 이런 문제점 때문에 교차로를 정상적으로 운영했을 경우, 불필요한 신호시간으로 운전자의 신호위반을 조장할 수 있으며, 이에 신호위반에 의한 사고위험도 증가할 수 있게 된다. 또한 야간 점멸 신호 운영의 안전성 측면은 도로등급에 따라 다른 결과를 나타낼 가능성을 내포하고 있지만, 이에 대한 연구는 거의 이루어지고 있지 않은 실정이다.

이에 이 연구는 현재 운영되고 있는 303개의 점멸교차로(전체 교차로의 63.3%) 중 2009년 점멸 운영으로 바뀐 지점 190개소를 대상으로 설치 전 사고와 설치 후 사고를 단순비교법과 비교그룹법을 사용하여 비교하여, 야간 점멸 신호 운영의 안전성 측면을 판단하는데 그 목적이 있다.

또한 점멸 운영 교차로를 도로등급 별로 나누어, 도로 등급에 따른 야간 점멸 신호 운영의 안전성을 평가 하고자 한다.

2. 연구의 수행과정

이 연구는 야간 점멸운영의 확대에 따른 안전성의 차이를 평가하고자 하는 연구로 청주시 야간점멸운영 중인

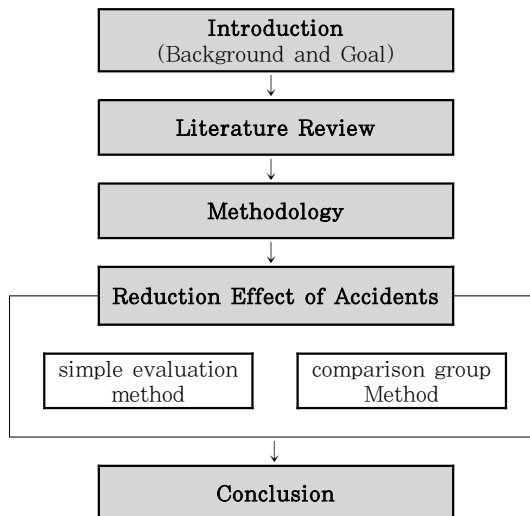


Figure 1. Study flowchart

교차로 중 2009년에 야간점멸신호가 도입된 교차로를 대상으로 한다. 또한 분석 대상지의 개선 전과 개선 후의 사고를 분석하기 위하여 2007-2011년도 사고 자료를 사용하였다. 이 연구의 수행과정은 다음과 같다.

첫째, 기존연구를 검토하여 황색점멸신호운영 및 분석방법론을 고찰한다. 둘째, 청주시 야간점멸운영 교차로 중 2009년도에 운영방식이 바뀐 교차로를 선정하여 사전-사후 자료를 구축한다. 셋째, 야간 점멸 운영 교차로를 도로등급별로 나누어, 단순비교법과 비교그룹법으로 야간점멸신호 운영의 안전성을 평가한다. 넷째, 연구 결과를 정리하고 향후 연구과제를 제시한다.

II. 관련문헌 검토

1. 기존 문헌 고찰

교차로에 관한 사고관련 논문으로 Kim et al.(2002)은 신호교차로와 비신호교차로를 안전성 측면에서 비교하여, 비신호교차로가 사고발생 및 사망사고 발생에서 위험할 수 있다고 판단하였다. 또한 이러한 비신호교차로의 사고 감소방안으로 교차로 시거의 향상, 교통안전 표지판의 설치, 통행 우선권 위반 차량에 대한 단속강화 및 회전교차로의 도입을 제시하였다.

Kim et al.(2008)은 교차로 운영방법을 신호/비신호교차로, 보호/비보호 좌회전, 좌회전 전용차로 제공/비제공으로 나누고, 가설검정을 통해 안전성을 분석하였다. 분석

결과 교통량이 적은 지점에서는 신호기의 설치가 오히려 사고발생을 증가시키는 것으로 분석하였다. 또한 보호 좌회전 운영과 좌회전전용차로 설치는 교차로 안전성 측면에서 통계적인 차이가 없는 것으로 분석하였다.

Lee et al.(2010)은 대전시의 사례를 중심으로 교통운영체제 개편 중 좌회전 금지 및 비보호좌회전의 효과에 대해 분석하였다.

So(2011)은 안양시 8개 교차로를 대상으로 전직진 후 행좌회전의 운영효과에 대해 분석하였다. 그 결과 신호체계변경은 주행속도, 지체시간, 정지율 등에서 개선 효과가 없는 것으로 분석하였으며, 분석 결과를 토대로 교차로 기하구조, 회전교통량 등 교차로별 특성을 감안하여 신호운영 체계를 개선할 것을 제안하였다.

Lee et al.(2011)은 교통운영체제 선진화 방안의 추진 효과를 분석한 결과, 교통소통 및 교통안전측면에서 효과가 있다고 분석하였다. 하지만 교통사고의 위험 및 정체가중, 교차로 꼬리 물기 위반행위 발생 등의 문제점도 도출되었으며, 이런 문제점 해결방안으로 과제의 복잡도입을 제안하였다.

MUTCD(2000)의 매뉴얼에서는 점멸 신호 운영은 에너지 및 통행비용의 절감효과가 있지만, 교통량 및 보행교통량이 많은 지점에서의 점멸 운영은 신중한 검토를 필요로 한다고 밝히고 있다.

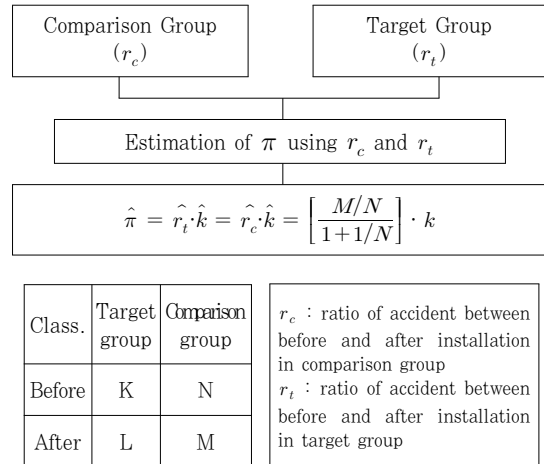
Polanis(2002)는 간단한 전후 분석을 통해 19개 교차로에서 야간 점멸 신호를 제거 한 뒤 78%의 직각 충돌 사고 감소 효과가 있는 것으로 분석하였다.

FHWA(2009)의 연구 보고서에 의하면, 노스캐롤라이나 지역의 8개 신호교차로의 야간 점멸신호운영을 정상적인 신호 운영으로 전환 하였을 때, 평균 30.9 (min: 18.8, max:51.6)%의 사고건수 감소효과가 있는 것으로 분석하였다. 또한 사상자 수 측면에서 60.1%, 직각 충돌 사고에서는 88.8%의 사고 감소 효과가 있는 것으로 분석하였다.

Srinivasan et al.(2007)은 EB 방법을 통해 야간점멸신호 운영을 정상 신호 운영으로 개선하였을 때의 사고 감소효과를 분석하였다. 분석 결과, 총 사고는 35%, 측면직각사고는 34% 감소효과가 있는 것으로 나타났다.

2. 분석방법론 고찰

교통시설물의 사전-사후 효과 분석은 단순비교방법(simple before-after evaluation method), 일대일비



* Recited in the study of Lee, S. B.(2008)

Figure 2. Concept of comparison group method

교방법(one to one matching with yoked comparisons), 비교그룹방법(before-after evaluation with comparison group) 및 Bayes 방법(before-after evaluation with the Bayes approach)의 4가지 방법론이 대표적이다(Hauer, 1997).

단순비교법은 계산이 용이하다는 장점을 가지고 있지만, 단순한 수치만을 비교하기 때문에 우연 발생 사고를 포함하거나 평균으로 회귀 문제가 존재하는 단점을 가지고 있다. 일대일 비교법도 개념이 단순하여 적용이 용이하다는 장점이 있지만, 사고건수가 0을 내포한 지점에서는 사용이 불가능하고 평균으로 회귀 문제가 존재하는 단점이 있다.

비교그룹방법의 경우 유사 특성을 지닌 지점을 비교그룹으로 분류하여 외적요인을 보정함으로써, 한 지점을 선택함으로써 발생할 수 있는 오류를 보완하는 장점이 있지만, 비교 그룹 산정의 난해함과 평균으로의 회귀(RTM) 문제가 발생하는 단점이 있다. 마지막으로 Bayes 방법을 이용한 사전-사후 분석은 비교대상 사고 건수의 대표성을 높이고, RTM문제를 해결할 수 있는 장점이 있지만, 모형구축이 복잡하고 많은 자료가 필요하다는 단점이 있다.

이에 이 연구는 외부변화 요인에 따른 분석 오류를 방지하기 위해 비교그룹법을 활용하여 분석을 시행하였다. 이 연구에서는 자료수집의 한계로 인하여 Bayes 방법은 적용하지 못하였다. 하지만 야간 점멸 운영을 하지 않은 인근 신호교차로를 선정하여 비교대상 그룹으로 활용함으로써, 유사성에 따른 문제를 극복 하고자 하였다.

Table 1. Study flow of comparison group method

| Step | Purpose | Equations of Comparison Group Method |
|--------|--|--|
| Step 1 | Forecasting λ, π | $\hat{\sigma} = L$ $\hat{\pi} = \hat{r}_c \cdot \hat{k} = \hat{r}_c \cdot \hat{k} = \frac{N/M}{1+1/M} \cdot K$ |
| Step 2 | Forecasting $\hat{\sigma}^2[\hat{\lambda}],$ $\hat{\sigma}^2[\hat{\pi}]$ | $VAR[\hat{\lambda}] = L$ $VAR[\hat{\pi}] = \hat{\pi}^2 \cdot \left[\frac{1}{K} + \frac{VAR[\hat{r}_c]}{\hat{r}_c} \right]$ or $= \hat{\pi}^2 \cdot \left[\frac{1}{K} + \left(\frac{1}{M} + \frac{1}{M} + \frac{VAR[\omega]}{E^2[\omega]} \right) \right]$ $\therefore VAR[\hat{r}_c] \cong \hat{r}_c^2 \cdot \left(\frac{1}{M} + \frac{1}{M} + \frac{VAR[\omega]}{E^2[\omega]} \right)$ |
| Step 3 | Forecasting δ, θ | $\hat{\delta} = \hat{\pi} - \hat{\lambda} = K - L$ $\hat{\theta} \cong \frac{(\hat{\lambda}/\hat{\pi})}{1 + (VAR[\hat{\pi}]/\hat{\pi}^2)} = \frac{(L/K)}{1 + (K/K^2)}$ |
| Step 4 | Forecasting $\hat{\sigma}^2[\hat{\delta}],$ $\hat{\sigma}^2[\hat{\theta}]$ | $\hat{\sigma}^2[\hat{\delta}] = \hat{\pi} + \hat{\lambda} = K + L$ $\hat{\sigma}^2[\hat{\theta}] \cong \frac{(VAR[\hat{\lambda}]/\hat{\lambda}^2) + (VAR[\hat{\pi}]/\hat{\pi}^2)}{[1 + (VAR[\hat{\pi}]/\hat{\pi}^2)]^2}$ $= \frac{\hat{\theta}^2 \cdot [(L/L^2) + (K/K^2)]}{[1 + (K/K^2)]^2}$ |

* Recited in the study of Lee, S. B.(2008)

비교그룹을 이용한 사전-사후 분석방법의 기본개념은 특정 사업이 시행된 지점에서 사업 시행 후 발생한 사고건수와 동일한 조건아래 사업이 시행되지 않았을 경우에 발생할 사고건수를 예측하여 비교하는 것이다.

비교그룹방법의 기본개념은 Figure 2와 같고, 수행과정은 Table 1과 같다. 일반적으로 비교그룹방법에서의 효과척도는 사고변화건수(δ), 혹은 사고변화율(θ)이 사용되며, $\theta < 1$ 이면, 시행된 교통안전사업은 교통사고감소에 효과가 있는 것으로 결론 내린다(Hauer, 1997(Lee(2008)의 연구에서 재인용)).

3. 교차로의 분류

도로유형의 국내 분류기준을 살펴보면 크게 관할권과 기능에 따른 구분이 있다. 행정관할법에 따른 구분은 「도로법」 제8조에 명시되어 있으며, 기능별 구분은 「도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙」 제3조에서 분류하고 있다. 이 연구에서는 도로유형에 따라 간선도로(arterial road : 주간선도로 + 보조간선도로), 집산도로(collector

Table 2. Classification of intersection

| Classification | Definition |
|---------------------------|-------------------------------------|
| Arterial intersection(A) | Arterial road + Collector street |
| Collector intersection(B) | Collector street + Collector street |
| | Collector street + Local street |

street) 및 지구내도로(local street)로 구분하였다. 또한 교차하는 도로 중 높은 등급의 도로를 기준으로 간선도로 교차로와 집산도로 교차로 두 그룹으로 분류하였다. 교차로의 유형구분은 Table 2와 같다.

4. 연구의 차별성

이 연구는 국내에서 실시되고 있는 교통선진화 방안 중 하나인 야간점멸신호 확대의 안전성을 평가하고자 하는 연구로 차별성은 다음과 같다.

첫째, 기존의 국내 신호운영체계에 대한 연구는 신호와 비신호교차로를 비교하는 연구가 주를 이루고 있으나, 이 연구는 교통선진화방안 과제 중 야간점멸운영에 대한 안전성을 분석하고 있다. 둘째, 교통선진화방안의 사후 평가는 여러 개선사업을 모두 포함시켜 운영 효율성 측면을 평가하는 것이 주를 이루고 있다. 하지만 이 연구에서는 야간점멸운영 지점만 따로 분류하여, 그의 안전성 측면을 분석하고 있다. 셋째, 야간점멸신호 설치 지점을 도로 기능에 따라 분류하여 적절한 점멸 운영 위치를 분석하고자 하였다.

III. 분석 범위 및 자료 수집

1. 분석 범위 설정

이 연구는 이 중 기존 점멸 구간과 신설교차로를 제외한 190개 야간 점멸 신호 운영 교차로를 분석대상으로 한다. 분석대상그룹으로 선정된 교차로의 사고는 주도로를 기준으로 간선도로와 집산도로로 구분하였다.

비교대상그룹은 분석대상그룹과 교통량, 속도 및 기하구조 등의 변수가 최대한 유사한 그룹을 구성하기 위하여 분석대상교차로의 주도로상 상부교차로와 하부교차로로 지정한다. 비교대상그룹의 교차로 구성 방법은 Figure 3과 같다.

수집된 자료를 교차로 등급별로 나누어 사고건수, 사상자수, 심각사고건수와 중상이상 사상자 수로 나누어 단순비교법과 비교그룹법을 사용하여 분석하였다. 또한 야간에 발생하는 사고는 주간에 비해 위험성이 높다고 판단되어 심각사고를 따로 분류하여 분석하였다. 여기서 심각사고란 중상이상의 사상자를 포함한 사고를 말한다. 분석대상 그룹과 비교대상 그룹의 분류는 Table 3과 같다.

Table 3. Target and comparison groups

| | | |
|------------------|--------|---|
| Target group | Before | Accident data of 190 intersections (2007-2008) before operating the yellow flashing signal at night |
| | After | Accident data of 190 intersections (2010-2011) after operating the yellow flashing signal at night |
| Comparison group | Before | Accident data (2007-2008) of upper and lower signal intersection of the target groups |
| | After | Accident data (2010-2011) of upper and lower signal intersection of the target groups |

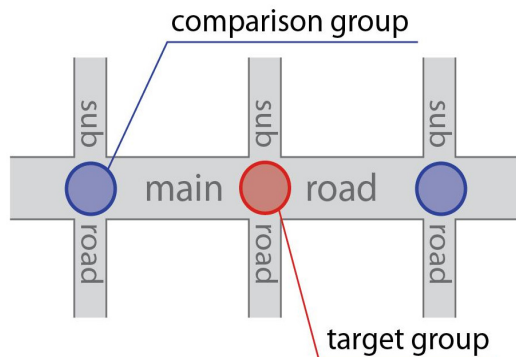


Figure 3. Composition of comparison groups

2. 자료 수집

사고 자료의 수집은 도로교통공단의 자료를 활용하였으며, 운영체제 개선 전·후 6개월의 자료를 제외하고 개선 전 24개월(2007-2008년)과 개선 후 24개월(2010-2011년)의 자료를 수집하였다. 자료의 수집시점은 Figure 4와 같다.

또한 청주시의 야간점멸신호 운영은 0시에서 4시까지 4시간을 운영하는 지점이 대부분인바, 분석대상그룹 및 비교대상그룹에서의 사고자료 수집은 대부분 0시에서 4시까지의 4시간 동안 발생한 사고를 대상으로 실시하였다(분석대상지점 190개소 중 14개소는 23:00-05:00의 6시간 동안 점멸운동을 하고 있어 이들 지점의 사전·사후 사고 자료 및 비교대상지점의 사전·사후 사고 자료는 6시간 동안의 사고 자료를 수집하여 연구 결과에 미치는 영향을 최소화하도록 함).

분석대상 190개 지점 및 비교대상그룹을 선정하여 전술한 바와 같이 도로 등급에 따라 교차로를 구분하였다.

Table 4. Number of accident and fatal/Injury by group

(Unit : Number, Person)

| Classification | | 2007-2008 | | 2010-2011 | |
|------------------|-------------|-----------|----------------|-----------|----------------|
| | | Accident | Fatal & Injury | Accident | Fatal & Injury |
| Target Group | A(76) | 26 | 35 | 32 | 49 |
| | B(114) | 29 | 43 | 45 | 72 |
| | Total (190) | 55 | 78 | 77 | 121 |
| Comparison Group | A(82) | 33 | 64 | 41 | 67 |
| | B(136) | 39 | 67 | 38 | 69 |
| | Total (208) | 72 | 131 | 79 | 136 |

* () is the number of survey point.

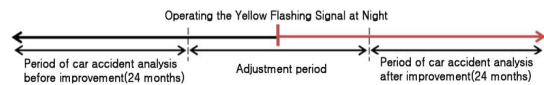


Figure 4. Selection of analysis periods

구분한 그룹별 사고건수와 사상자수를 요약하면 Table 4와 같다.

IV. 사전·사후 비교 분석

1. 단순비교법

단순비교법으로 분석대상 그룹 및 비교대상 그룹을 교차로 등급별로 비교한 결과는 Table 5와 같다.

분석대상 그룹 A의 총 사고건수는 26건에서 32건으로 6건(23.1%) 증가하였고, 사상자 수는 35명에서 49명으로 14명(40.0%) 증가하였다. 또한 심각사고 건수는 19건에서 23건으로 4건(21.1%) 증가하였고, 중상 이상 사상자 수는 28명에서 33명으로 5명(17.9%) 증가하였다. 반면 동 기간 동안 비교대상 그룹 A의 사고건수는 33건에서 41건으로 8건(24.2%) 증가하였고, 사상자 수는 64명에서 67명으로 3명(4.8%) 증가하였다. 또한 심각사고 건수는 22건에서 18건으로 4건(18.2%) 감소하였으며, 중상 이상 사상자 수는 37명에서 33명으로 4명(10.8%) 감소하였다.

분석대상 그룹 B의 총 사고건수는 29건에서 45건으로 16건(55.2%), 사상자 수는 43명에서 72명으로 29명(67.4%) 증가하였다. 또한 심각사고 건수는 16건에서 24건으로 8건(50.0%) 증가하였고, 중상 이상 사상자 수는 21명에서 39명으로 18명(85.7%) 증가하였다. 반

Table 5. Result of simple before-after evaluation method

| Classification | | Target Group | | Comparison Group | |
|---------------------------|-------------------|--------------|-------|------------------|-------|
| | | A | B | A | B |
| Number of Accident | Before | 26 | 29 | 33 | 39 |
| | After | 32 | 45 | 41 | 38 |
| | simple evaluation | 23.1% | 55.2% | 24.2% | -2.6% |
| Fatal & Injury | Before | 35 | 43 | 64 | 67 |
| | After | 49 | 72 | 67 | 69 |
| | simple evaluation | 40.0% | 67.4% | 4.8% | 3.0% |
| Number of Severe Accident | Before | 19 | 16 | 22 | 23 |
| | After | 23 | 24 | 18 | 26 |
| | simple evaluation | 21.1% | 50.0% | -18.2% | 13.0% |
| Fatal & severity Injury | Before | 28 | 21 | 37 | 44 |
| | After | 33 | 39 | 33 | 47 |
| | simple evaluation | 17.9% | 85.7% | -10.8% | 6.8% |

면 동 기간동안 비교대상 그룹 B의 사고건수는 39건에서 38건으로 1건(2.6%) 감소하였고, 사상자 수는 67명에서 69명으로 2명(3.0%) 증가하였다. 또한 심각사고 건수는 23건에서 26건으로 3건(13.0), 중상이상 사상자 수는 44명에서 47명으로 3명(6.8%) 증가하였다.

단순비교법으로 비교해 본 결과 분석대상 그룹은 A와 B 모두 모든 지표(사고건수, 사상자수, 심각사고건수 및 중상이상 사상자수)에서 증가하였다. 하지만 비교대상 그룹은 그룹 A에서는 사고건수와 사상자수가 증가하고, 나머지 지표에서는 감소하였고, 그룹 B에서는 사고건수 지표에서 감소하였다.

2. 비교그룹법

1) 간선도로 교차로

간선도로 교차로(그룹 A)에서 야간신호점멸 도입 전·후 사고 건수를 분석한 결과, 단순비교법에는 6건의 사고가 증가한 반면 비교그룹법에서는 0.65건의 사고가 증가한 것을 알 수 있다. 효과를 척도는 1.19로 야간점멸신호가 도입된 이후 19%의 사고 증가가 이루어진 것으로 분석된다.

간선도로 교차로(그룹 A)를 사상자 수 측면에서 분석한 결과 단순비교법에서는 14명의 사고가 증가한 것으로 분석되었으나, 비교그룹법으로 계산한 결과 12.92명이 증가한 것으로 분석되었다. 또한 효과를 척도는 1.36

Table 6. Result of before-after analysis in total accident (Group A)

| Classification | Accident | Fatal & Injury |
|---|--------------|----------------|
| Number of accident in target group (Before) | 26 | 35 |
| Number of accident in target group (After) | 32 | 49 |
| Number of accident in comparison group (Before) | 33 | 64 |
| Number of accident in comparison group (After) | 41 | 67 |
| λ | 32 | 49 |
| $\hat{\pi}$ | 31.35 | 36.08 |
| Reduction in accident(δ) | -0.65 | -12.92 |
| Measure of effectiveness (θ) | 1.19 | 1.36 |
| Variation of reduction in accident($\hat{\sigma}^2[\delta]$) (Std. deviation) | 63.35 (7.96) | 85.08 (9.22) |
| Variation of measure of effectiveness ($\hat{\sigma}^2[\theta]$) (Std. deviation) | 0.09 (0.30) | 0.09 (0.30) |

Table 7. Result of before-after analysis in severe accident (Group A)

| Classification | Accident | Fatal & Injury |
|---|--------------|----------------|
| Number of accident in target group (Before) | 19 | 28 |
| Number of accident in target group (After) | 23 | 33 |
| Number of accident in comparison group (Before) | 22 | 37 |
| Number of accident in comparison group (After) | 18 | 33 |
| λ | 23 | 33 |
| $\hat{\pi}$ | 14.87 | 24.32 |
| Reduction in accident(δ) | -8.13 | -8.68 |
| Measure of effectiveness (θ) | 1.15 | 1.14 |
| Variation of reduction in accident($\hat{\sigma}^2[\delta]$) (Std. deviation) | 37.87 (6.15) | 57.32 (7.57) |
| Variation of measure of effectiveness ($\hat{\sigma}^2[\theta]$) (Std. deviation) | 0.14 (0.37) | 0.09 (0.30) |

으로 야간점멸신호 도입 이후 36%의 사고 증가가 된 것으로 분석된다.

심각사고는 전술한 바와 같이 중상이상의 사상자를 포함한 사고를 말한다. 간선도로 교차로(그룹 A)의 심각 사고는 단순비교법에서는 4건의 사고가 증가한 반면, 비교그룹법에서는 8.13건의 사고가 증가한 것으로 분석된

다. 또한 심각사고의 효과율 척도는 1.15로 야간점멸신호 도입 후 15%의 사고증가가 일어난 것으로 분석된다.

간선도로 교차로(그룹 A)의 중상이상 사상자 수는 28명에서 33명으로 증가하였다. 이는 단순비교법에서는 5명 증가한 것으로 분석되었고, 비교그룹법에서는 8.68명 증가한 것으로 분석되었다. 또한 효과율 척도는 1.14로 도입 후 14%의 사고 증가가 일어난 것으로 나타났다.

간선도로 교차로(그룹 A)를 4가지 측면에서 분석한 결과, 사고건수는 19%, 사상자수는 36% 증가한 것으로 분석되었고, 심각사고건수는 15%, 중상이상 사상자수는 14% 증가한 것으로 분석되었다.

2) 집산도로 교차로

집산도로 교차로(그룹 B)에서 야간신호점멸 도입 전·후 사고 건수를 분석한 결과, 단순비교법에는 16건의 사고가 증가한 반면 비교그룹법에서는 17.45건의 사고가 증가한 것을 알 수 있다. 효과율 척도는 1.50로 야간점멸신호가 도입된 이후 50%의 사고 증가가 이루어진 것으로 분석된다.

집산도로 교차로(그룹 B)를 사상자 수 측면에서 분석한 결과 단순비교법에서는 29명의 사고가 증가한 것으로 분석되었으나, 비교그룹법으로 계산한 결과 28.37명이 증가한 것으로 분석되었다. 또한 효과율 척도는 1.64로 야간점멸신호 도입 이후 64%의 사고 증가가 된 것으로 분석된다.

집산도로 교차로(그룹 B)의 심각사고건수는 단순비교법에서는 8건의 사고가 증가한 반면, 비교그룹법에서는 11.48건의 사고가 증가한 것으로 분석된다. 또한 심각사고의 효과율 척도는 1.41로 야간점멸신호 도입 후 41%의 사고증가가 일어난 것으로 분석된다.

집산도로 교차로(그룹 B)의 중상이상 사상자 수는 21명에서 39명으로 증가하였다. 이는 단순비교법에서는 18명 증가한 것으로 분석되었고, 비교그룹법에서는 17.07명 증가한 것으로 분석되었다. 또한 효과율 척도는 1.77로 도입 후 77%의 사고 증가가 일어난 것으로 나타났다. 이는 연구에서 고려한 4가지 측면 중 가장 크게 증가되는 수치이며, 이에 따라 집산도로 교차로에서의 야간점멸신호운영은 중상자 이상의 피해가 크게 증가될 수 있으며, 이에 대한 안전 대책의 마련이 필요하다고 분석된다.

집산도로 교차로(그룹 B)를 4가지 측면에서 분석한

Table 8. Result of before-after analysis in total accident (Group B)

| Classification | Accident | Fatal & Injury |
|---|--------------|----------------|
| Number of accident in target group (Before) | 29 | 43 |
| Number of accident in target group (After) | 45 | 72 |
| Number of accident in comparison group (Before) | 39 | 67 |
| Number of accident in comparison group (After) | 38 | 69 |
| λ | 45 | 72 |
| $\hat{\pi}$ | 27.55 | 43.63 |
| Reduction in accident(δ) | -17.45 | -28.37 |
| Measure of effectiveness (θ) | 1.50 | 1.64 |
| Variation of reduction in accident($\hat{\sigma}^2[\delta]$) (Std. deviation) | 72.55 (8.52) | 115.63 (10.75) |
| Variation of measure of effectiveness ($\hat{\sigma}^2[\theta]$) (Std. deviation) | 0.13 (0.36) | 0.10 (0.31) |

Table 9. Result of before-after analysis in severe accident (Group B)

| Classification | Accident | Fatal & Injury |
|---|--------------|----------------|
| Number of accident in target group (Before) | 16 | 21 |
| Number of accident in target group (After) | 24 | 39 |
| Number of accident in comparison group (Before) | 22 | 44 |
| Number of accident in comparison group (After) | 18 | 47 |
| λ | 24 | 39 |
| $\hat{\pi}$ | 12.52 | 21.93 |
| Reduction in accident(δ) | -11.48 | -17.07 |
| Measure of effectiveness (θ) | 1.41 | 1.77 |
| Variation of reduction in accident($\hat{\sigma}^2[\delta]$) (Std. deviation) | 36.52 (6.04) | 60.93 (7.81) |
| Variation of measure of effectiveness ($\hat{\sigma}^2[\theta]$) (Std. deviation) | 0.23 (0.48) | 0.22 (0.47) |

결과, 사고건수는 50%, 사상자수는 64% 증가한 것으로 분석되었고, 심각사고건수는 41%, 중상이상 사상자수는 77% 증가한 것으로 분석되었다. 집산도로 교차로(그룹 B)에서는 사고 건수 측면보다는 사상자 수 측면에서 높은 증가가 이루어 졌기 때문에 이를 감소시키는 노력이 필요할 것으로 판단된다.

3. 신뢰구간 추정 결과분석

비교그룹법으로 야간황색점멸신호 운영에 대한 사고 감소 효과를 추정해 본 결과, 간선도로 교차로(그룹 A)에서는 사고건수 19%, 사상자수 36%, 심각사고건수 15% 및 중상이상 사상자수 14%가 증가한 것으로 분석되었다.

또한 집산도로 교차로(그룹 B)의 비교그룹법 분석 결과, 사고건수는 50%, 사상자수는 64% 증가한 것으로 분석되었고, 심각사고건수는 41%, 중상이상 사상자수는 77% 증가한 것으로 분석되었다.

야간점멸신호의 도입은 전반적으로 교차로 교통사고율을 증가시키며, 이는 간선도로 교차로보다 집산도로 교차로에서 더 큰 것으로 나타났다.

이에 따라 야간점멸에 의한 사고는 차량의 횡단 길이나 교통량 같은 외부적 요소보다는 운전자의 부주의에 더 큰 영향을 받는 것으로 판단된다.

신뢰구간의 추정은 비교그룹법을 통해 추정된 분산을 이용하여 동일 사업 시행시의 효과를 추정해 보기 위하여 도출하는 것이다. 즉, 본 연구에서 산출된 결과 값은 평균 값이고, 이 값에 정산된 표준편차를 사용하여 추정된 값이 신뢰구간의 범위이다. 이에 자료의 분산이 크면 평균적인 결과 값과는 상이한 범위가 신뢰구간에 포함된다.

간선도로 교차로의 95% 신뢰구간을 추정한 결과는 Figure 4와 같다. 사고건수는 0.61-1.76(-39%~76% 사고 증가), 사상자수는 0.78-1.94(-22%~194% 사고 증가), 심각사고는 0.41-1.89(-59%~189%), 중상이상 사상자 수는 0.55-1.73(-45%~173%)로 분석된다.

또한 집산도로 교차로의 95% 신뢰구간을 추정한 결과는 Figure 5와 같다. 사고건수는 0.8-2.2(-20%~120% 사고 증가), 사상자수는 1.02-2.24(2%~124% 사고 증가), 심각사고는 0.47-2.35(-53%~135%),

Table 10. Result of before-after evaluation with comparison group

| Classification | Group A | Group B |
|---------------------------|---------|---------|
| Number of Accident | 19% | 50% |
| Fatal & Injury | 36% | 64% |
| Number of Severe Accident | 15% | 41% |
| Fatal & severity Injury | 14% | 77% |

중상이상 사상자 수는 0.85-2.69(-15%~169%)로 분석된다.

집산도로 교차로의 사상자 수를 제외한 나머지 지표에서는 신뢰구간이 1을 포함하고 있어 사고가 감소할 가능성도 존재하는 것으로 분석되었다. 1.0 이상의 수치는 사고가 증가함을 나타내고, 1.0이하의 수치는 사업 시행 후 사고가 감소함을 나타냄에 따라 대체적으로 사고가 증가하지만, 자료의 분산이 커 사고가 감소할 수도 있는 것으로 판단된다.

이는 분석에 사용한 사고자료가 사전과 사후 모두 2년의 자료만을 활용하여 표본 수가 적고, 자료의 분산 값이 커 신뢰성이 낮아지기 때문인 것으로 판단된다. 하지만 통계적으로 유의한 방법론을 통해 야간황색점멸 확대에 따른 안전성을 여러 지표를 통해 추정해 보았다는 점에 이 연구의 의의가 있다고 할 수 있다.

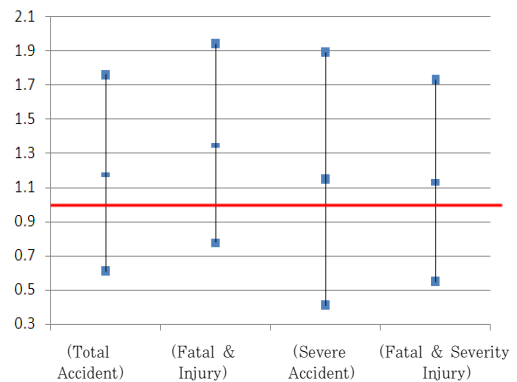


Figure 5. 95% Confidence interval of measure of effectiveness (Group A)

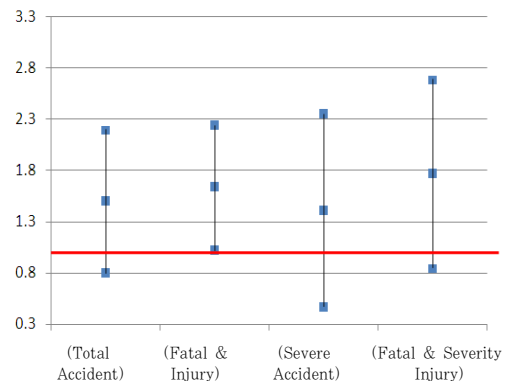


Figure 6. 95% Confidence interval of measure of effectiveness (Group B)

V. 결론

이 연구는 교통신전화방안의 일환으로 도입된 야간점멸운영에 대한 안전성을 사고와 관련하여 단순비교법과 비교그룹법을 사용하여 분석하였다. 연구의 결과에 확실적인 기준을 정해서 일반화시키기는 어렵지만 야간점멸운영이 안전성면에서는 좋지 않은 것으로 나타났다. 연구의 주요 결과는 다음과 같다.

첫째, 교차로를 도로등급별로 나누어 단순비교법과 비교그룹법을 사용하여 야간점멸운영에 대한 안전성을 평가해 본 결과, 두 방법 모두 야간점멸신호 도입시 사고가 증가하는 것으로 분석되었다.

둘째, 비교그룹법으로 야간황색점멸신호 운영에 대한 사고감소 효과를 추정해 본 결과, 간선도로 교차로(그룹 A)에서는 사고건수 19%, 사상자수 36%, 심각사고건수 15% 및 중상이상 사상자수 14%가 증가한 것으로 분석되었다.

셋째, 집산도로 교차로(그룹 B)의 비교그룹법 분석 결과, 사고건수는 50%, 사상자수는 64% 증가한 것으로 분석되었고, 심각사고건수는 41%, 중상이상 사상자수는 77% 증가한 것으로 분석되었다.

넷째, 야간점멸신호의 도입은 전반적으로 교차로 교통사고율을 증가시키며, 이는 간선도로 교차로보다 집산도로 교차로에서 더 큰 것으로 나타났다. 또한 가장 크게 증가추세를 나타낸 지표는 집산도로 교차로의 사상자수와 중상이상 사상자수로 나타났으며, 이를 고려한 야간점멸신호의 도입이 필요하다고 판단된다.

이 연구는 교통신전화의 일부인 야간점멸신호 운영의 안전성 측면만을 평가하였다. 연구의 결과에 따라 야간점멸신호 운영은 안전성 측면에서는 좋지 못한 것으로 판단되었다. 하지만 야간황색점멸신호의 도입은 야간에 발생하는 불필요한 정체 시간을 줄여 통행속도 개선 측면에서는 좋은 방안이 될 수 있다. 이에 향후 안전성과 교차로 운행속도 등의 효율성 측면을 포함한 포괄적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

이 연구에서는 시행 전과 후 각각 2년만을 분석 자료로 사용한 한계성이 있다. 따라서 향후 자료를 보완하여 신뢰성을 높인 연구가 필요할 것으로 판단된다. 또한 인접교차로를 비교그룹으로 설정함으로써, 분석그룹과의 동질성 높은 비교그룹을 구성하고자 하였으나, 인접교차로는 부도로 교통량, 교차로 기하구조 등이 다를 수 있기

때문에 분석대상그룹과 완전한 동질성을 가진다고 할 수 없다. 이는 연구의 한계성으로 향후 이를 보완한 연구를 진행하여 연구 결과의 신뢰성을 높일 필요가 있다.

REFERENCES

- FHWA (2000), Manual on Uniform Traffic Control Devices.
- FHWA (2009), Removal Of Signal Flashing Mode During Late-Night / Early-Morning Operation, FHWA-SA-09-012.
- Hauer E. (1997), Observational Before-After Studies on Road Safety, Pergamon.
- Kim D. G., Park J. S., Lee J. H. (2008), Original Paper: Evaluation on Intersection Safety with Respect to Signalization and Left-Turn Treatments, Seoul Development Institute, 9(3), 107-118.
- Kim S. K., Lee Y. J. (2002), Operating Characteristics and Improvements of Unsignalized Intersections in Korea, Chung-Ang Journal of Environmental Science, 13(1), 15-27.
- Lee C. K., Yun I. S., Oh Y. T., Kim S. H. (2011), Study on the Effectiveness Analysis of Policies for the Advancement of Traffic Control and Operation Systems, 10(2), 35-41.
- Lee J. B., Lee B. K. (2010), Analysis of the Effects of Traffic Signal Operation Methods, The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems, 9(4), 60-67.
- Lee S. B., Jung D. Y., Kim D. G. (2008), The Effects of a School Zone Improvement Project on Crash Reduction Regarding Land Use Characteristics, J. Korean Soc. Transp, 26(3), 109-117.
- Polanis S. (2002), Right-Angle Crashes and Late-Night/ Early-Morning Flashing Operation: 19 Case Studies, ITE Journal, 72(4), 26-28.
- Presidential Council on National Competitiveness (2009), Advanced Methods of Traffic Operation System for Establishing the Basic Orders.
- Road Traffic Authority (2008), A Study on the Technology and Operation of Traffic Signal System.

Road Traffic Authority, TAAS(Traffic Accident Analysis System), <http://taas.rota.or.kr>.

So K. S. (2011), Evaluation of Operational Effectiveness of Lagging Left-Turn Signal System at Signalized Intersections, Ajou University Thesis for Degree of Master.

Srinivasan R., Council F., Lyon C., Gross F., Lefler N., Persaud B. (2008), Safety Effectiveness of Selected Treatments at Urban Signalized Intersections, TRB 2008 Annual Meeting CD-ROM, 2056, 70-76.

The National Police (2009), Project for Advancement of Traffic Control and Operation Systems (교통운영체계 선진화방안).

알림 : 본 논문은 대한교통학회 제66회 학술발표회(2012. 02.18)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

♣ 주 작성자 : 백태현

♣ 교신저자 : 박병호

♣ 논문투고일 : 2012. 5. 15

♣ 논문심사일 : 2012. 8. 29 (1차)

2013. 1. 11 (2차)

2013. 3. 5 (3차)

2013. 4. 15 (4차)

♣ 심사판정일 : 2013. 4. 15

♣ 반론접수기한 : 2014. 2. 28

♣ 3인 익명 심사필

♣ 1인 abstract 교정필