서울도시연구 제9권 제3호 2008. 9, 논문 -Original Paper- pp. 107~118. 107

신호 및 좌회전 처리방법에 따른 교차로 안전성 평가*

김도경** · 박정순*** · 이점호****

Evaluation on Intersection Safety with Respect to Signalization and Left-Turn Treatments*

Do-Gyeong Kim** · Jeong-Soon Park*** · Jeomho Lee****

요약 : 교차로에 교통 신호기를 설치하는 주요 이유 중의 하나는 교차로에 접근하는 차량과 교차로를 횡단하는 보행자의 흐름에 대해 독립적인 통행권을 제공함으로써 교차로에서 발생하는 모든 흐름을 효율적으로 제어할 수 있다는 것이다. 뿐만 아니라 교통 흐름 제어를 통해 교차로 내에서 발생하는 차량 간 상충 기회를 최소화시킴으로써 교차로의 안전성 증진을 도모하는 목적으로 사용되기도 한다. 하지만 최근의 연구 결과에서는 교차로에 신호기를 설치한다고 해서 교차로의 안전성이 반드시 증진되지는 않는다는 것을 보여주고 있다. 따라서, 본 연구에서는 신호기의 설치 및 좌회전 교통류 처리 방법에 따라 교차로의 안전성이 어떻게 달라지는지 등을 보편적 통계방법인 가설 검정 방법을 통해 평가해 보았다. 95% 유의수준에서 가설을 검정한 결과 일평균 교통량이 비교적 적은 교차로의 경우 신호 교차로에서 발생하는 평균 사고건수가 비신호 교차로 보다 더 많은 것으로 나타나 안전성이 떨어지는 것으로 분석되었으며, 보호 좌회전으로 운영되는 교차로와 비보호 좌회전으로 운영되는 교차로의 안전성에는 별 차이가 없는 것으로 나타났다. 좌회전 전용차로 제공 유무에 따른 안전성 평가에서도 역시 좌회전 전용차로가 제공된 교차로와 제공되지 않은 교차로의 안전성에 별 다른 차이가 없는 것으로 분석되었다.

주제어 : 교차로 안전성, 신호/비신호 교차로, 보호/비보호 좌회전, 좌회전 전용차로, 가설 검정

ABSTRACT : One of the main reasons to install traffic signal at intersections is to enhance safety by controlling traffic movements and minimizing traffic conflicts between vehicles. However, recent researches show that the installation of traffic signals at intersections does not guarantee the improvement of intersection safety. The objective of this paper, therefore, is to assess intersection safety with respect to the installation of traffic signals and left-turn treatments (i.e., protected/permissive left-turn phasing and the presence of left-turn lanes) through a hypothesis test. On the basis of the data used in this study, the results show that the number of crashes occurred at signalized intersections is greater than that of crashes occurred at non-signalized intersections, which indicates signalized intersections are not much safer than non-signalized intersections. Regarding left-turn treatments, results indicate that protected left-turn operation does not improve intersection safety relative to permissive left-turn operation. In addition, it is also found that the presence of left-turn lanes does not improve safety, which is opposite to our expectation.

Key Words : intersection safety, signalized/non-signalized intersection, protected/permissive left-turn, left-turn lanes, hypothesis test

* 이 논문은 2007년도 서울시립대학교 학술연구조성비에 의하여 연구되었음.

** 서울시립대학교 교통공학과 조교수(Assistant Professor, Department of Transportation Engineering, University of Seoul), E-mail: dokkang@uos.ac.kr, Tel: 02-2210-5739.

*** 도로교통안전관리공단 충남지부 공학박사(Ph.D., Road Traffic Safety Authority)

**** 전북도시경영연구원 원장(President, Jeonbuk City Management Institute)

Ⅰ. 서 론

교통 신호기를 설치하는 주요 이유 중의 하나는 교차로에 접근하는 차량과 교차로를 횡단하는 보행자의 흐름에 대해 독립적인 통행권을 제공함으로써 교차로에서 발생하는 모든 흐름을 효율적으로 제어할 수 있다는 것이다. 뿐만 아니라 교통흐름 제어를 통해 교차로 내에서 발생하는 차량간 상충 기회를 최소화시킴으로써 교차로의 안전성 증진을 도모하는 목적으로 사용되기도 한다.

이런 이유 때문에 미국 FHWA에서 발행된 "Manual on Uniform Traffic Control Devices(2003)"와 경찰청에서 발행된 "교통신호기 설치·관리 매뉴얼(2005)"에서는 차량 교통량과 보행자 교통량을 고려하여 교통 신호기를 설치하도록 권장하고 있으며, 그 외에도 통학로, 교통사고 기록 또는 좌회전 교통량 등을 교통 신호기 설치의 기준으로 제시하고 있다. 하지만, 이런 기준들은 교통 신호기의 설치가 필요한지를 판단할 때 고려되는 하나의 판단기준일 뿐 반드시 따라야 할 사항이 아니기 때문에 교통 신호기의 설치 준거(warrants)라 한다.

위에서 언급된 두 매뉴얼 중 MUTCD에는 신호기가 적절하게 설계·설치되고 운영되면 교차로의 용량을 증가시킬 뿐 아니라 교차로에서 발생하는 사고건수 및 사고 심각도의 감소 등 여러 가지 효과가 있다고 명시되어 있다. 이처럼 신호기의 설치는 교차로의 안전성을 증진시킬 수 있기 때문에, 연간 5회 이상의 사고건수를 가진 교차로에는 신호기의 설치를 검토하도록 권장하고 있다.

그러나 최근의 연구 결과를 살펴보면 교차로에 신호기를 설치한다고 해서 교차로의 안전성이 반드시 증진되지는 않는다는 것을 알 수 있다. Greibe(2003)의 연구에 의하면 신호 제어가 교통사고 발생에 미치는 영향은 유의하지 않은 것으로 나타났다. 이런 결과를 통해 Greibe는 비슷한 수준의 교통량을 가진 신호 교차로와 비신호 교차로에서는 장래 발생할 총 사고건수가 거의 유사한 것으로 해석할 수 있으며, 다른 말로 하면 비신호 교차로도 교통량 수준이 비슷한 신호 교차로만큼 안전하다고 말할 수 있다고 결론지었다.

또 다른 연구(Persaud et al., 1997)에서는 미국 필라델피아 지역에 위치한 교차로 중 일방통행으로 운영되고 있는 신호 교차로를 four-way stop controlled 교차로로 전환시켰을 때 교차로에서 발생하는 사고건수 및 사고 심각도가 어떻게 변하는지를 평가하였다. 본 연구결과에 의하면 비신호 교차로로 운영할 때가 신호 교차로로 운영하였을 때 보다 약 24% 정도의 사고 감소 효과가 있는 것으로 나타났다.

Pernia et al.(2004)에 의해 수행된 연구에서는 플로리다 주에 새롭게 설치된 502개의 신호 교차로를 대상으로 사전·사후기간 동안 발생한 교통사고 건수 및 사고 심각도를 쌍체 t-검정(paired t-test)을 이용하여 신호 제어가 교차로 사고에 미치는 영향을 분석하였다. 분석 결과 교차로에서 발생하는 사고건수는 신호기를 설치한 이후에 증가한 것으로 나타났으며, 사고 심각도의 경우 사망사고는 감소한 반면에 부상사고 및 대물피해 사고는 오히려 증가한 것으로 나타났다. 그러므로 이 논문의 결과로부터 신호기의 설치는 사망사고와 같은 치명적인 사고를 줄이는 데에는 효과적이지만 총 사고건수는 오히려 증가시킨다는 것을 알 수 있다.

교통 신호기의 설치가 교차로의 교통사고를 증가시키는 이유에 대해 MUTCD에서는 신호기가 부적절하게 설치된 경우 교차로에서의 지체도 증가 및 신호위반 등의 부정적 효과 때문이라고 설명하고 있다. 따라서, 교차로에 신호기를 설치하는 것은 긍정적 효과 및 부정적 효과를 동시에 수

반하기 때문에 엔지니어 입장에서 주의깊고 면밀하게 검토한 후에 설치하도록 권장하고 있다.

이상과 같이 국외에서는 다양한 연구를 통해 교통 신호기의 설치가 교차로 교통사고에 미치는 영향을 규명해 왔으나, 국내의 경우에는 이와 유사한 연구가 현재까지 진행되어 오지 못한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 신호기의 설치가 교통사고에 어떠한 영향을 미치는지를 규명해 보고자 한다. 그 외에도 좌회전 교통류 처리 방법에 따라 교차로의 안전성이 어떻게 달라지는지 등을 고찰해 보고자 한다.

Ⅱ. 분석방법

본 연구에서는 4지 교차로를 대상으로 신호 및 좌회전 처리방법이 사고에 미치는 영향을 다음과 같이 크게 3가지 경우로 구분한 후 가설 검정(Hypothesis test)을 통해 분석하였으며, 각 경우별로 설정된 가설은 <표 1>과 같다.

- Case Ⅰ: 신호 교차로 대 비신호 교차로
- Case Ⅱ: 보호 좌회전 대 비보호 좌회전
- Case Ⅲ: 주도로에 좌회전 전용차로 제공 대 비제공

Case Ⅰ은 교차로가 신호기에 의해 제어를 받는지의 여부에 따라 구분한 것으로 다음과 같은 이유로 가설이 정립되었다. 보통 안전성 측면을 고려할 때 신호 교차로가 비신호 교차로보다 더 안전한 것으로 여겨지는데, 서론에서 언급된 기존 연구에서 보여지듯이 신호 교차로가 사고 심각도 측면에서는 더 안전하다고 말할 수 있지만 사고 빈도수에 있어서는 비신호 교차로보다 안전하다고 말할 수 없다. Pernia et al.(2004)은 교통 신호기를 설치함으로써 오히려 추돌사고의 빈도수가 증가하기 때문에 교차로의 총 사고건수는 증가한다고 밝혔다. 따라서, 과연 우리나라에서도 신호 교차로가 비신호 교차로보다 사고 발생 빈도가 더 높은지를 규명하고자 한다.

<표 1> 각 경우별로 정립된 가설

구분	가설(Hypothesis)
Case Ⅰ	H_0: 신호 교차로와 비신호 교차로에서 발생한 평균 사고건수는 동일하다. H_A: 신호 교차로에서 발생한 평균 사고건수는 비신호 교차로에서 발생한 평균 사고건수보다 많다.
Case Ⅱ	H_0: 보호 좌회전과 비보호 좌회전으로 운영되는 교차로들의 평균 사고건수는 동일하다. H_A: 비보호 좌회전으로 운영되는 교차로의 평균 사고건수는 보호 좌회전으로 운영되는 교차로보다 많다.
Case Ⅲ	H_0: 신호 교차로의 주도로에 좌회전 차로가 제공되는지 여부에 상관없이 평균 사고건수는 동일하다. H_A: 신호 교차로의 주도로에 좌회전 차로를 설치하지 않은 교차로의 평균 사고건수가 더 많다.

Case Ⅱ는 신호 교차로에서의 좌회전이 독립된 신호에 의해 이루어지는지의 여부에 따라 구분한 것이다. 현재 우리나라의 경우 대부분의 교차로가 좌회전 교통류를 위한 독립된 신호를 제공하는 4현시로 운영되고 있는 반면, 미국, 일본 및 유럽의 도시들에서는 교차로 교통량이 많은 교차로를 제외하고는 대부분이 좌회전을 위한 별도의 신호를 제공하지 않은 채 2현시로 운영하고 있다. 4현시로 운영되는 교차로는 2현시로 운영되는 교차로보다 교차로의 총 지체시간이 증가한다는 단점이 있다. 그럼에도 불구하고 4현시로 운영하는 이유는 좌회전 및 직진 교통류에 대해 독립적인 통행권을 부여함으로써 교차로 내에서 발생하는 차량간 상충을 최소화시킬 수 있고, 그 결과 교차로의

안전성을 증진시킬 수 있다고 생각되기 때문이다. 그렇기 때문에 Case Ⅱ의 가설은 보호 좌회전으로 운영되는 교차로가 비보호 좌회전으로 운영되는 교차로에 비해 더 높은 안전성을 제공하는지를 평가해 보기 위해 설정되었다.

마지막으로 Case Ⅲ은 주도로 상에 좌회전 전용차로를 설치하는 것이 교차로의 안전성을 증진시키는지를 검증하기 위해 설정된 가설이다. Kim and Washington(2006)의 연구에 의하면 좌회전 전용차로와 교통사고 간에는 서로 내재적(endogenous)인 관계가 존재하기 때문에 좌회전 전용차로의 설치가 교통사고에 미치는 영향은 일관적이지가 않고 혼재되어 있다고 하였다. 그래서 기존의 어떤 연구결과(Foody and Richardson, 1973; Gluck et al., 1999; Parker et al., 1983; Lacy, 1972; Dale, 1973)에서는 좌회전 전용차로의 설치가 교통사고 감소에 효과가 있다고 나타나기도 하고, 반면에 어떤 연구(McCoy and Malone, 1989; Poch and Mannering, 1996; Kim et al., 2006)에서는 오히려 교통사고를 증가시킨다는 결과를 도출하기도 하였다. 이처럼 혼재된 결과를 나타내는 좌회전 전용차로의 설치가 교통사고에 어떤 영향을 미치는지를 규명해 보고자 함이 마지막 가설 검정의 목적이다.

Case Ⅰ~Ⅲ별로 가설을 설정한 후에는 각 경우별로 통계적 방법인 t-검정 방법을 이용하여 가설검정을 실시하였는데, 본 연구에서는 가설 검정 실시 전 각 경우별로 서로 다른 두 집단 간의 교통량이 서로 비슷한지의 여부를 검토하였다. 예를 들어 신호 교차로와 비신호 교차로에서 발생하는 평균 사고건수의 차이를 규명하기 위해서는 교차로 교통량이 서로 비슷한 수준의 교차로를 토대로 분석하여야 한다. 그렇지 않으면 왜곡된 결과를 얻을 가능성이 높은데, 그 이유는 교통량과 교통사고 간에는 정(positive)의 관계가 있어 교통량이 많은 교차로에서는 그만큼 상대적으로 사고가 많이 발생할 가능성이 크기 때문이다. 일반적으로 신호 교차로는 비신호 교차로에 비해 교통량이 많아 교통 신호기를 설치하게 되므로 교통량이 비슷한 정도의 교차로를 대상으로 분석하지 않으면 잘못된 결과를 얻게 된다. 따라서, 본 연구에서는 가설 검정에 앞서 각 경우별로 집단간의 교통량 유사 정도를 검토하였고, 교통량이 서로 다른 경우에는 표본 중 극단값(extreme value)을 삭제하여 교통량이 비슷한 수준의 교차로만을 대상으로 가설 검정을 시행하였다.

각 집단 간 교통량 수준이 비슷한 교차로를 선정한 후에는 2-표본 t-검정(2-sample t-test)을 사용하여 가설 검정을 실시하였다. 보다 정확한 결과를 얻기 위해서는 각 교차로별로 신호기가 설치되기 전에 발생한 교통사고 건수와 신호기가 설치된 이후에 발생한 교통사고 건수를 토대로 쌍체 t-검정(paired t-test)을 수행하는 것이 바람직하다. 하지만, 본 연구에서는 이러한 유형의 자료 수집에 어려움이 많아 서로 다른 교차로를 대상으로 실시하는 2-표본 t-검정 방법을 사용하였다.

2-표본 t-검정 방법에도 두 가지 유형이 있다. 하나는 두 집단 간의 분산이 같을 경우에 사용하는 방법이고, 다른 하나는 두 집단 간의 분산이 서로 다를 경우에 사용하는 방법이다. 그러므로, 2-표본 t-검정 방법은 두 집단 간의 분산을 비교한 후 각 경우에 해당하는 방법을 사용하여 검정하였다.

본 연구에서 사용한 2-표본 t-검정 방법은 보편적으로 사용되는 모수적 방법(parametric method)으로 두 집단에 속해 있는 표본의 분포가 모두 정규분포를 따라야 사용할 수 있는 방법이다. 만일 두 집단의 표본 중 어느 하나라도 정규분포를 따르지 않는다면 모수적 방법 대신에 비모수적 방법(nonparametric method)을 사용해야 한다. 중심극한의 정리에 의하면 표본의 크기가 30보다 클

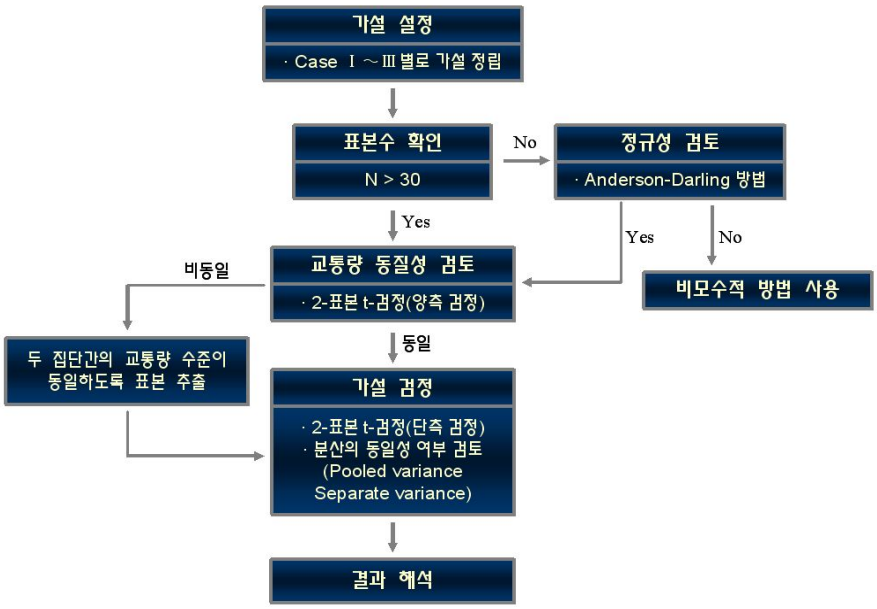
경우에는 표본의 평균 및 분산이 정규분포를 따른다고 가정할 수 있지만, 30보다 작은 경우에는 표본이 정규분포를 따르는지를 판단하기 위해 정규성 검토를 해야 한다. 따라서, 본 연구에서는 2-표본 t-검정 방법을 사용하기 전에 각 집단에 속해 있는 표본의 크기가 30보다 작은 경우를 대상으로 Anderson-Darling의 정규성 검정 방법을 이용한 정규성을 검토한 후 가설 검정을 실시하였다. 신호 및 교차로 운영방법이 사고에 미치는 영향을 분석하는 과정은 <그림 1>과 같으며, 가설 검정은 Minitab 15를 이용하여 분석하였다.

Ⅲ. 자료수집

신호 및 좌회전 처리방법이 교통사고에 미치는 영향을 분석하기 위해 교통사고 및 교차로 운영변수에 대해 자료를 수집하였다.

본 연구에 사용된 자료는 크게 청주시와 전라북도에 위치한 4지 신호 및 비신호 교차로로부터 수집되었다. 청주시에서는 2004년부터 2005년까지 2년간 발생한 교통사고 자료를 수집하였으며, 전라북도에서는 2005년부터 2006년까지 2년간 발생한 자료를 수집하였다. 교통사고 관련 자료는 충북지방경찰청과 전북지방경찰청의 교통사고관리시스템(TAMS)에서 수집되었고, 교차로 신호 및 기하구조 관련 자료는 각 지역의 도로교통안전관리공단에 구축되어 있는 자료로부터 수집되었다. 청주시는 대부분 도시부 교차로이며, 전라북도의 경우에는 도시부와 지방부 교차로가 혼재되어 있다.

본 분석에 사용된 신호 및 비신호 교차로의 차로수는 주도로 및 부도로 모두 1~3차로를 가지는 비교적 소규모 교차로이며, 자료 수집 결과 청주시는 143개의 신호 교차로와 15개의 비신호 교차로에서 각각 1183건과 51건의 교통사고 자료가 수집되었고, 전북의 경우에는 43개의 신호 교차로와 18개의 비신호 교차로에서 각각 312건과 66건의



<그림 1> 신호 및 좌회전 처리방법에 따른 교차로 안전성 평가 절차

교통사고 자료가 수집되었다(<표 2> 참조).

<표 2> 수집 자료의 기술 통계

지역	구분	표본수 (개소)	사고건수 (건)	사고비율 (%)
청주시	신호 교차로	143	1,183	73.4
	비신호 교차로	15	51	3.2
전라북도	신호 교차로	43	312	19.3
	비신호 교차로	18	66	4.1
총계		234	1612	100

신호 및 좌회전 처리방법별로 교통사고 발생 현황을 살펴보면 <표 3>과 같다. 먼저 교통 신호기 설치 유무에 따라 구분한 신호 교차로와 비신호 교차로의 평균 사고발생 건수는 각각 8.04건과 3.55건으로, 평균 사고건수로만 비교해 보면 신호 교차로에서 더 많은 사고가 발생했음을 알 수 있다.

또한 보호 좌회전으로 운영되는 신호 교차로에서는 약 7.98건의 사고가 발생했으며, 비보호 좌회전으로 운영되는 신호 교차로에서는 약 5.29건의 사고가 발생한 것으로 나타났다. 마지막으로 주도로의 양방향 모두 좌회전을 위한 전용차로가 설치된 교차로에서는 평균적으로 약 9.43건의 사고가 발생했으며, 양방향 모두 좌회전 전용차로가 설치되지 않은 교차로에서는 약 5.5건의 사고가 발생했다.

유형 Ⅱ와 Ⅲ의 경우 표본수가 상이한데 그 이유는 유형 Ⅱ와 Ⅲ의 특성상 신호 교차로만을 대상으로 하기 때문이며, 또한 전라북도를 대상으로 수집한 자료의 경우 좌회전 운영방법에 관한 자료가 누락되어 있어 청주시에서 수집된 신호 교차로만을 분석 대상으로 하였기 때문이다. 그리고 유형 Ⅲ에서 "좌회전 전용차로 제공"이란 주도로 양방향 모두 전용차로가 제공되는 경우를 말하며. "좌회전 전용차로 비제공"이란 양방향 모두 전용차로가 제공되지 않는 경우를 말한다.

Ⅳ. 분석결과

4지 교차로를 대상으로 신호 및 좌회전 처리방법이 교통사고에 어떤 영향을 미치는지를 유형별로 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 신호 및 비신호 교차로의 안전성 평가

Ⅱ장에서 기술하였듯이 교차로가 신호기에 의해 운영이 된다는 것은 그만큼 교차로를 이용하는 교통량이 많은 것으로 해석할 수 있다. 그렇기 때문에 교차로 내에서 발생하는 차량간 상충을 최소화시키기 위해 신호기를 설치하는 것이다. 일반적

<표 3> 신호 및 교차로 운영형태별 사고 현황

구분		표본수	교통량(대/시)				사고건수(건/년)			
			평균	표준편차	최소값	최대값	평균	표준편차	최소값	최대값
Case Ⅰ	신호 교차로	186	3,152	1,558	378	9,164	8.04	6.37	1	43
	비신호 교차로	33	1,522	1,171	194	3,888	3.55	1.84	1	9
Case Ⅱ	보호 좌회전	122	3,320	1,365	925	6,918	7.98	5.48	1	43
	비보호 좌회전	21	2,860	959	1,319	4,659	5.29	3.54	1	14
Case Ⅲ	좌회전 전용차로 제공	100	3,524	1,267	1,319	6,913	9.43	7.12	1	43
	좌회전 전용차로 비제공	30	2,280	848	925	4,660	5.50	4.45	1	17

으로 신호 교차로는 비신호 교차로보다 교통량이 훨씬 많으므로 교통사고 발생 가능성이 그만큼 더 높으며, 실제 발생한 평균 교통사고 건수도 더 높은 것으로 나타나고 있다(<표 3> 참조). 그러므로 신호 교차로와 비신호 교차로의 교통사고 발생건수를 직접 비교할 경우 왜곡된 결과를 얻을 수 있기 때문에 교통량 수준이 비슷한 신호 교차로와 비신호 교차로를 대상으로 분석하는 것이 타당하다.

우선 신호 교차로 186개소와 비신호 교차로 33개소의 평균 교통량을 비교해 보면 각각 3,152대와 1,522대였다(<표 4> 참조). 신호 및 비신호 교차로의 평균 교통량이 서로 비슷한지를 95% 유의수준에서 2-표본 t-검정을 실시한 결과 평균 교통량이 서로 같지 않음을 알 수 있다. 분석에 사용된 교통량은 일평균교통량(ADT)으로 첨두시간 동안 조사된 교통량 자료에 일평균 보정계수를 적용하여 산출한 값을 사용하였다.

<표 4> 교통량 동질성 검토 결과(신호 교차로 대 비신호 교차로)

구분	표본수	평균	표준편차
신호 교차로	186	3,152	1,558
비신호 교차로	33	1,522	1,171

차이 = mu (교통량(신호)) - mu (교통량(비신호))
차이 추정치: 1629
차이의 95% CI: (1161, 2098)
차이의 T-검정 = 0 (대 not =):
T-값 = 6.97, P-값 = 0.000, DF = 54

주) 2-표본 t-검정을 이용한 양측검정 결과임.

따라서, 두 교차로 유형의 교통량 수준을 비슷하게 맞추기 위해 신호 교차로 교통량이 비신호 교차로의 평균과 표준편차의 합($\mu_{비신호}+\sigma_{비신호}$) 보다 큰 교차로는 표본에서 제외시켰다. 그 결과 총 85개의 신호 교차로가 분석에 사용되었으며, 교차로 평균 교통량의 동일성 검정 결과 표본에 속한 신호 교차로와 비신호 교차로의 평균 교통량은 비슷한 수준으로 나타났다(<표 5> 참조).

<표 5> 극단값 제거 후의 교통량 동질성 검토 결과
(신호 교차로 대 비신호 교차로)

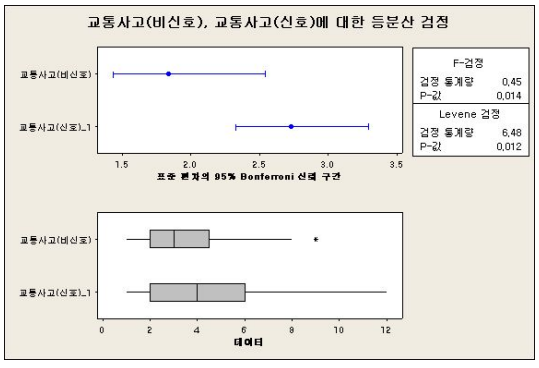
구분	표본수	평균	표준편차
신호 교차로	85	1,856	544
비신호 교차로	33	1,522	1,171

차이 = mu (교통량(신호)) - mu (교통량(비신호))
차이 추정치: 334
차이의 95% CI: (-96, 764)
차이의 T-검정 = 0 (대 not =):
T-값 = 1.57, P-값 = 0.124, DF = 37

주) 2-표본 t-검정을 이용한 양측검정 결과임.

마지막으로 비신호 교차로에서 발생하는 평균 사고건수가 신호 교차로에서 발생하는 평균 사고건수보다 많은지를 검정하였다. 이 때 두 집단의 분산값이 동일한지의 여부에 따라 검정 통계량을 산출하는 방법이 달라지기 때문에 두 집단의 등분산 여부를 검토하였다. <그림 2>에서 보여지듯이 F-검정과 Levene 검정 모두 95% 유의수준에서 귀무가설이 기각되므로 두 집단의 분산은 서로 동일하지 않음을 알 수 있다. 따라서, 가설 검정을 위해 분리된 분산을 이용한 2-표본 t-검정을 사용하였다.

검정 결과 95% 유의수준에서 귀무가설이 기각(p-값=0.034)되어 비신호 교차로보다 신호 교차



<그림 2> 등분산 검정 결과

로에서 발생하는 평균 교통사고가 더 많은 것을 알 수 있다. 이는 기존의 연구결과(Persaud et al., 1997; Pernia et al., 2004)와 일치하는 것으로 교통량이 비교적 적은 교차로(일평균 교통량이 2000대 미만)에서는 신호기의 설치가 반드시 교차로의 안전성을 증진시키지는 않는다는 것을 시사해 준다.

<표 6> 신호기 유무에 따른 교통사고 영향 분석

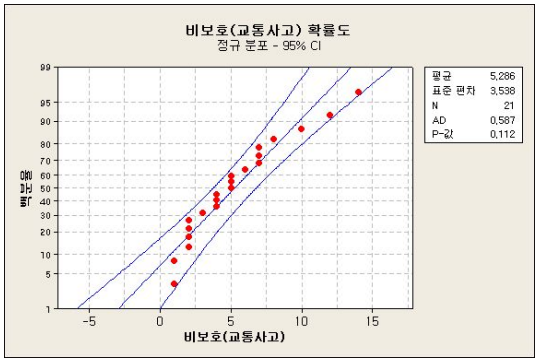
구분	표본수	평균	표준편차
신호 교차로	85	4.49	2.73
비신호 교차로	33	3.55	1.84

차이 = mu(교통사고(비신호)) - mu(교통사고(신호))
차이 추정치: -0.949
95% 차이 상한: -0.094
차이의 T-검정 = 0 (대 <):
T-값 = -1.84, P-값 = 0.034, DF = 116

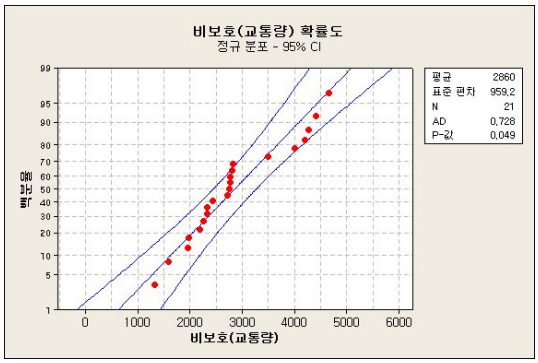
주) 분리된 분산의 2-표본 t-검정을 이용한 좌단측검정 결과임.

2. 보호 및 비보호 좌회전의 안전성 평가

보호 및 비보호 좌회전 운영방식이 교차로의 안전성에 어떠한 영향을 미치는지를 평가하기 위해 비보호 좌회전 교차로 21개, 보호 좌회전 교차로 122개의 표본을 사용하였다. 비보호 좌회전 교차로의 경우 표본수가 30개 미만이기 때문에 가설 검정에 앞서 교통량 및 교통사고 건수에 대한 정규성 검토를 하였다. 정규성 검토 결과 <그림 3>에 제시된 것처럼 비보호 좌회전 교차로의 교통사고 건수는 정규분포를 따르는 것으로 나타났다[1]. 하지만 교통량의 경우 정규분포를 따르지 않는 것으로 나타났다(<그림 4>의 p-값 참조). 따라서, 비보호 좌회전 그룹에 속한 표본의 정규성을 확보하기 위해 1개의 표본을 제외한 20개의 표본을 대상으로 분석하였다.



<그림 3> 교통사고 건수의 정규성 검토 결과



<그림 4> 교통량의 정규성 검토 결과

정규성을 검토한 후 두 집단 간의 교통량 동질성 여부를 확인하였다. 그 결과 두 집단 간의 평균 교통량 정도가 비슷한 수준인 것으로 나타났다(<표 7>과 <그림 5> 참조).

마지막으로 비보호 좌회전 교차로에서 발생하는 평균 사고건수가 보호 좌회전 교차로에서 발생하는 평균 사고건수보다 많다라는 가설을 검증하였다. 가설 검정 결과 95% 유의수준에서 귀무가설을 기각할 수가 없기 때문에(P-값=0.999) 비보호 좌회전으로 운영되는 교차로에서 더 많은 교통사고가 발생하는 것으로 결론 내릴 수가 없다(<표 8> 참조). 환언하면 보호 좌회전으로 운영되는 교

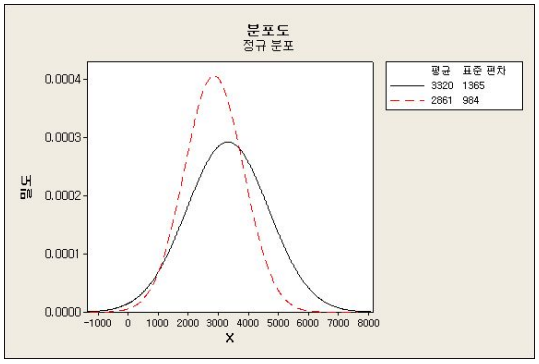
1) Anderson-Darling 검정 방법의 경우 귀무가설(Ho)은 "표본의 분포는 정규분포를 따른다"로 설정한다. 그러므로 AD 검정방법에 의해 산출된 p-값은 0.112로 귀무가설을 기각할 수 없기 때문에 사고건수 표본은 정규분포를 따른다고 할 수 있다.

<표 7> 교통량 동질성 검정 결과(보호 대 비보호)

구분	표본수	평균	표준편차
보호 좌회전	122	3,320	1,365
비보호 좌회전	20	2,861	984

차이 = mu(보호(교통량)) - mu(비보호(교통량))
차이 추정치: 458
95% 차이 상한: (-56, 972)
차이의 T-검정 = 0 (대 not =):
T-값 = 1.82, P-값 = 0.079, DF = 32

주) 분리된 분산의 2-표본 t-검정을 이용한 양측검정 결과임.



<그림 5> 두 집단 간 분포의 비교

차로와 비보호 좌회전으로 운영되는 교차로의 안전성은 서로 비슷한 정도임을 의미한다. 이런 결과는 아마도 보호 좌회전으로 운영되는 교차로에서는 지체시간이 증가함에 따라 신호를 위반하려는 경향이 높아지고 그 결과 사고발생 건수도 많아지기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 비보호 좌회전 교차로도 보호 좌회전 교차로와 비슷한 수준의 안전성을 확보할 수 있으므로 모든 교차로를 4현시로 동일하게 운영하는 것보다는 교차로의 효율성을 고려하여 교차로 교통량 정도에 따라 비보호 좌회전을 탄력적으로 운영하는 것도 가능하다는 시사점을 제시해 준다.

<표 8> 보호 및 비보호 좌회전의 안전성 평과 결과

구분	표본수	평균	표준편차
보호 좌회전	122	8.79	6.89
비보호 좌회전	20	5.30	3.63

차이 = mu(보호(교통사고)) - mu(비보호(교통사고))
차이 추정치: 3.49
95% 차이 하한: 5.21
차이의 T-검정 = 0 (대 <):
T-값 = 3.41, P-값 = 0.999, DF = 45

주) 분리된 분산의 2-표본 t-검정을 이용한 좌단측검정 결과임.

3. 좌회전 전용차로의 제공 및 비제공의 안전성 평가

본 연구에서 사용된 표본 중 좌회전 전용차로를 제공하고 있는 교차로의 수는 100개, 그리고 좌회전 전용차로를 제공하고 있지 않은 교차로는 30개였다. 두 집단 모두 30개 이상의 표본을 가지고 있기 때문에 정규성 검토를 수행하지 않고 바로 가설 검정을 수행하였다. 우선 두 집단 간의 교통량이 동일한 수준인지를 검토한 결과 두 집단 간의 교통량에는 차이가 있음을 알 수 있다.

<표 9> 교통량 동질성 검정 결과(좌회전 전용차로 제공 유무)

구분	표본수	평균	표준편차
전용차로 무	30	2,280	848
전용차로 유	100	3,579	1,328

차이 = mu (전용차로무) - mu (전용차로유)
차이 추정치: -1298
차이의 95% CI: (-1807, -790)
차이의 T-검정 = 0 (대 not =):
T-값 = -5.05, P-값 = 0.000, DF = 128

주) 결합된 분산의 2-표본 t-검정을 이용한 양측검정 결과임.

따라서, 비교 대상이 되는 두 집단의 교통량 수준을 동일한 정도로 조정하기 위해 좌회전 전용차로가 제

공되어 있는 교차로 교통량이 그렇지 못한 교차로의 평균과 표준편차의 합($\mu_{\text{전용차로무}} + \sigma_{\text{전용차로무}}$) 보다 큰 교차로는 표본에서 제외시켰다. 그 결과 총 45개의 교차로가 표본에 포함되었으며, 교통량 수준의 동질성 여부를 검토한 결과 유사한 것으로 나타났다.

마지막으로 좌회전 전용차로가 제공되지 않은 교차로에서 발생한 평균 사고건수가 좌회전 전용차로가 제공된 교차로에서 발생한 평균 사고건수보다 많은지의 여부를 확인하기 위해 가설 검정을 수행하였다. 수행 결과 95% 유의수준에서 귀무가설을 기각할 수 없으므로(p-값=0.668), 본 분석에 사용된 자료를 통해서는 좌회전 전용차로가 제공되지 않은 교차로에서 발생한 평균 사고건수가 좌회전 전용차로가 제공된 교차로에서 발생한 평균 사고건수보다 많다라는 것을 입증할 만한 충분한 증거를 제시하지 못한다. 이러한 결과는 좌회전 전용차로의 설치가 교통사고에 미치는 영향에 관한 전문가적이고 공학적인 판단과는 상반되는 것으로 생각된다. 그 이유는 분석을 위해 사용된 자료가 특정 지역으로부터 수집된 제한된 자료이기 때문이라고 판단된다. 따라서, 두 변수 간의 관계를 보다 정확하게 규명하기 위해서는 사고 자료 수집 대상지역을 확대하여 많은 양의 자료를 토대로 분석하는 것이 필요하다.

<표 10> 좌회전 전용차로 유무에 따른 교통사고 영향 분석

구분	표본수	평균	표준편차
전용차로 무	30	5.50	4.45
전용차로 유	45	6.00	5.45

차이 = mu (전용차로무) - mu (전용차로유)
차이 추정치: -0.50
95% 차이 하한: -2.42
차이의 T-검정 = 0 (대 >):
T-값 = -0.44, P-값 = 0.668, DF = 69

주) 분리된 분산의 2-sample t-test를 이용한 우단측검정 결과임.

V. 결론 및 향후 연구과제

교차로에서는 다양한 교통류 흐름이 존재하기 때문에 다른 지점에 비해 상대적으로 차량간 상충이 많이 발생한다. 이러한 차량간 상충을 최소화시키기 위해 신호기를 설치하여 각 교통류 흐름에 독립적인 통행권을 부여하고, 이를 통해 교차로의 안전성 증진을 도모한다.

하지만 기존 연구 등에서는 신호 교차로가 비신호 교차로에 비해 사고 심각도는 낮지만 사고발생 건수는 더 높은 것으로 결론을 내리고 있다. 또한 좌회전 교통류를 보호 좌회전으로 처리할 경우 비보호 좌회전보다 좌회전 관련 사고건수는 감소하지만 추돌사고건수는 오히려 증가한다는 사실도 나타났다(Warren, 1985).

이처럼 교차로의 안전성을 증진시키기 위해 설치된 신호기 및 좌회전 교통류 처리방법은 기대와는 달리 교차로의 안전성 증진을 보장해주지는 못하는 것으로 나타나기 때문에 신호 및 교차로 운영방법 등이 교차로의 안전성에 미치는 실제 영향을 규명하는 것이 필요하다.

본 연구에서는 교차로 운영방법을 신호/비신호 교차로, 보호/비보호 좌회전, 그리고 좌회전 전용차로 제공/비제공과 같이 세 가지 유형으로 구분한 후 각 유형별 운영방법이 교차로의 교통사고 발생에 어떤 영향을 미치는지를 가설 검정을 통해 분석해 보았다.

먼저 교차로의 교통 신호기 설치 유무를 기준으로 신호 교차로와 비신호 교차로로 구분한 후 신호 교차로가 비신호 교차로에 비해 교통사고 발생건수가 더 높은지를 가설 검정을 통해 검토해 보았다. 95% 유의수준에서 가설을 검정한 결과

교차로 일평균 교통량이 비교적 적은 경우에는 신호 교차로에서 교통사고가 훨씬 더 많이 발생하는 것으로 나타났다. 두 번째는 좌회전 교통류의 처리 방법에 따라 보호 좌회전과 비보호 좌회전으로 구분한 후 비보호 좌회전이 보호 좌회전보다 교통사고가 더 많이 발생하는지를 검토해 보았다. 검토 결과 보호 좌회전으로 운영되는 교차로의 안전성이 비보호 좌회전으로 운영되는 교차로의 안전성보다 더 좋다고 말할 수 있는 통계적 증거를 발견하지는 못하였다. 이 말은 비보호 좌회전이나 보호 좌회전 모두 안전성에 있어서는 그리 큰 차이가 없음을 의미한다. 그러므로 교통량이 적은 교차로의 경우 비보호 좌회전 방식을 탄력적으로 적용할 경우 효율적인 교차로 운영이 가능하다라는 시사점을 제시해 준다.

마지막으로 좌회전 전용차로를 제공하는 것이 안전성 증진에 도움이 되는지를 가설 검정을 통해 평가해 보았다. 평가 결과 분석에 사용된 자료를 통해서는 좌회전 전용차로가 설치되지 않은 교차로의 교통사고건수가 좌회전 전용차로가 설치된 교차로의 사고건수 보다 많다고 말할 수 있을 만한 충분한 증거가 제시되지 못하였다. 즉, 좌회전 전용차로가 설치된 교차로와 전용차로가 설치되지 않은 교차로에서 발생한 사고건수는 서로 비슷한 수준으로, 좌회전 전용차로가 설치된 교차로가 더 안전하다는 것을 의미하지는 않는 것으로 결론내릴 수 있다.

본 연구는 교차로의 안전성을 증진시키기 위해 실시되는 여러 대책들의 실제 영향을 가설 검정이라는 통계적 기법을 이용하여 평가해 보았다. 본 연구의 결과는 교차로 관련 사고건수의 예측을 위해 사용되는 사고조정계수(Accident Modification Factor) 개발에 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 가설 검정을 위해 본 연구에서는 횡단면 자료(cross-sectional data)인 서로 다른 지역에 위치한 교차로의 사고 및 교차로 운영방법에 관한 자료를 이용하였는데, 보다 더 정확한 분석을 위해서는 동일 교차로를 대상으로 대책 시행 전·후 기간 동안 수집된 자료를 이용하여 분석하는 것이 필요하다. 하지만, 현실적으로 이와 같은 쌍을 이루는 자료의 구득이 용이하지 않기 때문에 향후 자료 구득이 가능한 시점에 보다 더 정확한 분석을 실시할 필요가 있다.

참고문헌

경찰청, 2005, 「교통신호기 설치·관리 매뉴얼」.

Dale, C. W., 1973, *Cost-Effectiveness of Safety Improvement Project,* Federal Highway Administration, Washington, D.C.

FHWA, 2003, *Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways,* 2003 Edition.

Foody, T. J. and W. C. Richardson, 1973, *Evaulation of Left Turn Lanes as a Traffic Control Device,* Ohio Department Transportation

Gluck, J., H. S. Levinson, and V. Stover, 1999, "Impacts of Access Management Techniques", NCHRP Report 420, Transportation Research Board.

Greibe, P., 2003, "Accident Prediction Models for Urban Roads", *Accident Analysis and Prevention* 35, 273~285.

Kim, D., S. P. Washington, and J. Oh, 2006, "Modeling Crash Types: New Insights into the Effects of Covariates on Crashes at Rural Intersections", *Journal of Transportation Engineering,* American Society of Civil Engineers.

Kim, D. and S. P. Washington, 2006, "The Significance of Endogeneity Problems in Crash Models: An Examination of Left-Turn Lanes in Intersection Crash Models", *Accident Analysis and Prevention* 38, 1094~1100.

Lacy, J. D., 1972, “Traffic Operations Program to Increase Capacity and Safety”, *Traffic Quarterly,* Vol. 26, No. 3, 327~340.

McCoy, P. T. and M. S. Malone, 1989, “Safety Effects of Left-Turn Lanes on Urban Four-Lane Roadways”, Transportation Research Record 1239, TRB, National Research Council.

Parker, M. R., M. A. Flak, K. H. Tsuchiyama, S. C. Wadenstorer, and F. Hutcherson, 1983, *Geometric Treatments for Reducing Passing Accidents at Rural Intersections on Two-Lane Rural Highways: Vol. I Final Report,* Publication FHWA-RD-83-074, Federal Highway Administration.

Pernia, J., J. Lu, Y. Zhuo, and D. Snyder, 2004, “Effects of Traffic Signal Installation on Intersection Crashes”, *Advances in Transportation Studies,* an International Journal, Section B2.

Persaud, D., E. Hauer, R. Retting, R. Vallurupalli and K. Mucsi, 1997, “Crash Reductions Related to Traffic Signal Removal in Philadelphia”, *Accident Analysis and Prevention,* Vol. 29, No. 6, 803~810.

Poch, M. and F. L. Mannering, 1996, “Negative Binomial Analysis of Intersection Accident Frequencies”, Presented at the 75th Annual Meeting of the Transportation Research Board.

Warren, D. L., 1985, “Accident Analysis of Left-turn Phasing”, *Public Roads* 48, No. 4, 121~127.

원 고 접 수 일 : 2008년 4월 25일
1차심사완료일 : 2008년 6월 5일
2차심사완료일 : 2008년 7월 16일
최종원고채택일 : 2008년 7월 28일