

전방신호기가 교통사고에 미치는 영향 연구

Impacts of Pre-signals on Traffic Crashes at 4-leg Signalized Intersections

김 병 은 Kim, Byeongeun
이 영 인 Lee, Youngihn

정회원 · 도로교통공단 안전개선처 선임과장 · 교신저자 (E-mail : goldbe220@koroad.or.kr)
서울대학교 환경대학원 교수 (E-mail : yilee@snu.ac.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : This study aimed to analyze the impact the operation of pre-signals at 4-leg signalized intersections and present primary environmental factors of roads that need to be considered in the installation of pre-signals.

METHODS : Shift of proportions safety effectiveness evaluation method which assesses shifts in proportions of target collision types to determine safety effectiveness was applied to analyze traffic crash by types. Also, Empirical Bayes before/after safety effectiveness evaluation method was adapted to analyze the impact pre-signal installation. Negative binomial regression was conducted to determine SPF(safety performance function).

RESULTS : Pre-signals are effective in reducing the number of head on, right angle and sideswipe collisions and both the total number of personal injury crashes and severe crashes. Also, it is deemed that each factor used as an independent variable for the SPF model has strong correlation with the total number of personal injury crashes and severe crashes, and impacts general traffic crashes as a whole.

CONCLUSIONS : This study suggests the following should be considered in pre-signal installation on intersections. 1) U-turns allowed in the front and rear 2) A high number of roads that connect to the intersection 3) Many right-turn traffic flows 4) Crosswalks installed in the front and rear 5) Insufficient left-turn lanes compared to left-turn traffic flows or no left-turn-only lane

Keywords

pre-signal, traffic crashes(accidents), traffic safety, empirical bayes, shift of proportions safety effectiveness evaluation, SPF(safety performance function)

Corresponding Author : Kim, Byeongeun, Manager
Traffic Safety Improvement Dept., Korea Road Traffic Authority,
407, Wangsimni-ro, Jung-gu, Seoul, 100-789, Korea
Tel : +82.2.2230.6484 Fax : +82.2.2230.6113
E-mail : goldbe220@koroad.or.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ksre.or.kr/
ISSN 1738-7159 (print)
ISSN 2287-3678 (Online)

1. 서론

교통안전 선진국에서는 교차로 내의 교통사고를 줄이기 위하여 전방신호기를 설치하거나 또는 신호기를 교차로 전·후방에 병행 설치하고 있다. 반면에 우리나라를 포함한 일부 국가에서는 교차로 후방에 신호기를 설치하도록 규정하고 있었다. 이와 같이 신호기 설치위치 등에 관한 기준은 국가별 도로교통 특성과 효율성을 고

려하여 다양하게 규정된 것으로 보여 진다.

그러나 국내의 도로교통 여건에서 교통사고 다발, 빈번한 법규위반, 과도한 혼잡비용, 온실가스 배출 등과 같은 많은 문제점들의 주요 원인으로 교통신호와 도로 운영체계가 불합리한 측면이 있으며 현실에 맞지 않는 부분도 있다는 지적이 지속적으로 제기됨에 따라 지난 2009년 4월 교통운영체계 선진화 방안이 수립되었다.

이에 따라 전방신호기를 2009년 7월부터 단계적으로 설치하고 있는 추세이나 이의 효과나 안전성 등 전방신호기가 교통사고에 미치는 영향에 관한 연구는 아직까지 충분하지 못한 실정이다. 또한 전방신호기를 설치함으로써 교통사고를 감소시킨다는 분명한 목표는 제시되어 있으나 다소 포괄적이며 대상지점을 선정하고 우선순위를 결정하는 방법에 대해서는 보다 구체화될 필요성이 있다.

이에 본 연구에서는 전방신호기가 교통사고에 미치는 영향을 살펴보고자 한다. 특히 교차로 내에서 발생하는 인피사고와 그 중에서도 심각도가 높은 중상 이상의 사고에 대하여 전방신호기 설치로 인한 영향을 분석하고자 한다. 또한 이를 통해 전방신호기 설치 시 우선적으로 고려되어야 할 도로환경 측면의 특성을 제시하고자 한다.

2. 선행연구 고찰

2.1. 기존연구

2.1.1. 신호기 설치 위치와 안전성

김정현 외(2008)는 C-G Method를 활용하여 신호기 위치에 따른 교통사고 개선효과를 분석한 결과 전방신호기 설치 후 19%의 교통사고 개선효과가 있는 것으로 나타났다. 사고유형별로는 정면충돌 17%, 직각측면(직각+측면충돌) 42%, 후미추돌 61%, 그리고 차대사람 사고는 89% 감소한 것으로 분석하였다. 교차로 규모별로는 대규모 교차로의 경우 19% 증가한 반면, 소규모 교차로에서는 54% 감소한 것으로 나타났다. 대규모 교차로에서는 후미추돌(53%), 차대사람(80%) 사고가 감소하였고, 정면충돌(52%), 직각측면(27%) 사고가 증가한 것으로 나타났다. 소규모 교차로에서는 정면충돌(70%), 직각측면(61%), 후미추돌(42%), 차대사람(67%) 사고가 감소한 것으로 나타났다. 류창남 외(2008)는 신호기 위치에 따른 안전율을 분석하였다. 신호기 위치가 교차로에 접근하는 운전자의 주행행태에 미치는 영향을 분석하여 딜레마존의 안전율을 평가한 결과 신호기를 정지선 근처에 설치하거나 또는 이설하는 것이 바람직하다는 결론을 도출하였다. 김균조 외(2005)는 예각교차로에서의 신호기 설치위치를 연구한 결과 운전자 시인성을 향상시켜 교통안전을 증진시키기 위해서는 예각교차로의 교통신호기를 각 접근로별 정지선 부근에 설치하는 것이 타당하다는 결론을 도출하였다. 삼성교통안전문화연구소(2006)는 신호기 위치에 따른 운전자 반응에

관한 연구 결과 전방신호기를 설치할 경우 차대사람 사고가 약 12% 감소하는 것으로 분석하였다. 정광복 외(2005)는 정지선 준수율을 분석한 결과 정지선으로부터 신호기 위치가 가까울수록 정지선 준수율이 높아지는 경향이 있는 것으로 나타났다.

2.1.2. 신호기 형태와 교차로 안전성

Bhesania(1991)는 6개소의 신호교차로를 대상으로 중앙주식을 지주와 부착대를 이용한 신호기로 교체한 결과 전체 추돌사고의 25%, 측면추돌사고의 63%가 감소한 것으로 나타났다. Polanis(2004)는 교차로 신호기에 헤드방식의 보조신호기를 설치할 경우 이륜차와의 추돌사고는 46.5% 감소하였으나 오히려 전체 추돌사고는 15% 증가하는 것으로 나타났다. Kerrie L. Schattler & Matthew Christ(2007)는 신호기 형태가 교차로 안전성에 미치는 영향을 분석한 결과 황색신호 시 신호위반 차량은 지주와 부착대 모두를 이용한 신호기, 중앙주식 신호기, 와이어를 이용한 신호기 순으로 높은 것으로 나타났다. 또한 적색신호 위반차량은 와이어를 이용한 신호기 설치 시 가장 낮은 것으로 분석하였다.

2.1.3. 기존 연구와 차별성

전주시, 안산시에서는 전방신호기 시범설치 후 그 효과를 분석한 사례가 있다. 전주시의 경우 '사고 잦은 곳 개선사업'의 일환으로 전방신호기를 설치하여 그 효과는 기타 교통안전대책과의 복합적 영향에 기인한 것으로 판단되며, 안산시의 경우 1개 교차로에 시범 설치하여 정지선 준수율 향상을 통한 교통사고 감소효과를 분석한 것으로 각 시마다 1차적인 설치목적이 다르고 범위가 특정지역으로 제한되어 있어 효과를 일반화하기엔 다소 무리가 있는 것이 사실이다. 또한 단순 물적 피해사고와 같은 경미한 사고를 포함한 전체 교통사고를 대상으로 분석이 이루어졌다. 그러나 본 연구에서는 분석 결과를 일반화 할 수 있도록 대상지점의 선정 범위를 전국으로 확대하였다. 또한 물적 피해를 제외한 인적 피해사고만을 대상으로 하여 교통사고 발생건수와 심각도가 높은 중상 이상의 사고에 대한 사고감소 변화율의 유의성과 효과를 분석하였다. 이를 통해 향후 전방신호기 설치 시 우선적으로 고려가 필요한 도로환경 측면의 특성을 제시한 것이 특징이라 할 수 있겠다. 다만 보다 많은 자료를 확보하는 것이 쉽지 않아 연구의 결과를 객관화·일반화하는 데에는 의견이 다를 수 있다.

3. 신호기 설치기준 및 주요 교통사고 유형

3.1. 신호기 설치기준

3.1.1. 국내 신호기 설치기준

국내에서는 「교통신호기 설치·관리 매뉴얼(2005), 경찰청」에 따라 신호기를 설치·관리하고 있다. 신호기의 설치목적은 도로에서의 위험을 방지하고 교통의 안전과 원활한 소통을 확보하기 위한 것으로 차량신호기 설치기준은 다음과 같다.

[기준 1] 평일의 교통량이 다음의 기준을 초과하는 시간이 모두 8시간 이상일 때 설치

Table 1. 8-hour Volumes

Number of lanes		Traffic volumes on main road (both directions) (veh/h)	Traffic volumes on minor road (dominant direction) (veh/h)
Main road	Minor road		
2	1	500	150
over 2	1	600	150
over 2	over 2	600	200
1	over 2	500	200

[기준 2] 평일의 보행자 교통량이 다음의 기준을 모두 초과할 때 설치

Table 2. Minimum Capacity and Pedestrian Volume

Traffic volume (8 hours, both directions : veh/h)	Pedestrians (1 hour, both directions, including bike : p/h)
600	150

이 밖에 통학로, 교통사고기록 및 비보호좌회전에 따른 기준이 있다. 또한 차량신호기 설치장소에 대한 기준과 권장사항은 다음과 같다.

〈신호기 설치장소 기준〉

- 신호등은 교차로 및 그 밖의 도로에 설치하되 차량의 진행방향에서 잘 보이도록 설치
- 신호등은 도로와 교통여건에 대한 공학적 판단에 근거하여 적절한 시계 내에서 계속 시인할 수 있는 위치에 설치

〈차량신호기 설치장소 기준〉

- 신호등의 설치높이는 노면으로부터 수직으로 그 하단이 450cm 이상, 500cm 이하에 위치하는 것을 원칙으로 함

이 밖에 교차로 접근차량이 정지선에 도달하기까지 주행속도에 따른 신호등 최소가시거리와 정지선으로부터 신호등 면까지의 적정 설치범위 등을 권장하고 있다.

Table 3. Minimum Visibility Distance to the Signal Depends on Approach Speed

85th percentile approach speed(km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100
Minimum visibility distance(m)	35	50	75	110	145	165	180	210

3.1.2. 외국의 신호기 설치기준

미국의 MUTCD(Manual on Uniform Traffic Control Devices)에서 신호기의 위치는 정지선으로부터 약 12~45m, 신호등 면까지의 높이는 4.5m, 진행방향으로부터 좌우 각각 20° 범위 내에 설치할 것을 권장하고 있다.

미국의 신호등 설치관련 권장사항은 다음과 같다.

- 신호등 면은 정지선으로부터 전방 12~45m범위에 설치
- 신호등이 정지선에서 45m보다 더 멀리 있는 교차로의 경우에는 교차로 건너기 전 측면에 신호등을 추가로 설치
- 보호 좌·우회전의 경우 정지선 1~2m지점에 신호등 설치
- 정지선의 중앙에서 3m 전방 지점을 운전자의 기준시각 위치로 설정하여 좌우 각각 20° 범위 내에 설치

영국에서는 각 접근로의 운전자들이 최소 두 개의 신호등을 시인할 수 있도록 하고 있다. 이를 위해 각 접근로별로 주신호등과 제2 신호등을 설치하고 있다. 제2 신호등은 접근로에서 주신호등의 시인성이 제한될 때나 접근로의 속도가 높을 경우 추가적으로 설치하도록 하고 있다. 신호등은 교통섬의 중앙에 설치하는 것이 원칙이나 교통섬이 없는 경우 우리나라와 달리 좌측통행 체계를 고려하여 차도의 좌측에 설치하도록 규정하고 있다.

독일에서는 「Guidelines for Traffic Signals」(RiLSA, 2003)에 따라 정지선 전방 6m 이내에 신호등을 설치하도록 규정하고 있다. 또한 회전지시가 있는 경우와 없는 경우로 나누어 신호등 설치기준을 규정하고 있다.

〈회전지시가 없는 경우〉

- 편도 2차로 일방통행 : 도로 양측의 중앙지주식 신호등에 차량과 보행자 신호등을 통합하여 설치·운영
- 편도 2차로 양방통행 : 우측 측주식 신호등에 차량 신

호등, 차량용 보조신호등, 보행자용 신호등을 설치하고 필요한 경우 좌측 측주식 신호등에 차량용 보조신호등을 설치·운영

〈회전지시가 있는 경우〉

- 중앙분리대 설치 시 : 중분대측 중앙지주식 신호등에 좌회전 전용 차량용 신호등, 보행자용 신호등을 설치·운영
- 중앙분리대 미설치 시 : 도로 좌측에 설치된 측주식 신호등에 좌회전 및 직진 전용 신호등, 차량용 보조신호등, 보행 신호등을 설치하고 도로 우측에 좌회전 전용 신호등을 추가 설치·운영

3.2. 주요 교통사고 유형

경찰청에서는 교통사고의 유형을 차대사람, 차대차, 차량단독 및 건널목 사고와 같이 크게 4가지로 분류하고 있다. 이 중 차대차 사고는 정면충돌, 측면직각충돌, 추돌(진행 중, 주정차 중) 및 기타로 세분화되어 있다. 국토교통부의 교통사고원인조사 지침에서는 교통사고에 대한 원인규명과 종합적인 묘사가 가능하도록 사고 형태를 단독사고(주행사고), 진출회전사고, 진입회전사고, 보행횡단사고, 주정차사고, 일직선상사고 및 기타 사고 7가지로 분류하고 있다.

4. 전방신호기 설치 영향 분석 방법론

4.1. 주요 교통사고 유형 분류

교차로 내 전방신호기 설치가 교통사고에 미치는 영향의 분석을 위해 경찰청에서 작성된 실황조사서를 분석하여 사고의 유형을 세분화한다. 즉, 경찰청의 대분류 기준인 4가지 유형 중 차량단독과 건널목 사고를 제외한 차대사람, 차대차 사고를 지점별 발생빈도를 고려하여 정면추돌, 측면직각, 측면추돌, 후미추돌 및 차대사람 사고로 분류한다.

4.2. 교통사고 감소 유형 분석

앞서 분류된 교차로의 주요 교통사고 유형에 대하여 전방신호기 설치 후 심각도가 높은 중상 이상 사고의 변화율이 통계적으로 유의한 유형을 분석한다. 이를 위해 교통사고 효과분석 방법 중 목표(target) 교통사고 유형의 변화율 평균이동 추정치가 가능한 Shift of proportions safety effectiveness evaluation 방법을 적용한다. 이를 위해 전체 대상사고로는 물피를 제외한 인피사고만으로 제한한다.

4.3. 교통사고의 감소효과 분석

전방신호기 설치지점의 인피사고와 이 중 심각도가 높은 사고에 대하여 각각의 효과를 분석하기 위하여 교차로 특성이 유사하고 전방신호기가 설치되지 않은 비교그룹을 활용하지 않는 대신, 대상지점의 관측 사고건수와 SPF-예측 사고건수를 이용하여 전방신호기 설치 후 평균으로의 회귀 문제를 최소화 할 수 있는 Empirical Bayes before/after safety effectiveness evaluation method를 적용한다. 이를 위해 우선적으로 SPF(Safety Performance Function) 모형 구축은 전 단계의 교통사고 감소유형 분석 결과를 이용한다. 즉, 심각도가 높은 사고의 변화율이 통계적으로 유의한 유형에 영향을 미치는 요인들을 독립변수로 설정하고 전체 사고건수와 심각도가 높은 사고건수를 종속변수로 하여 각각의 SPF모형을 구축한다. 모형구축을 위해서는 STATA 통계 소프트웨어를 이용한 음이항회귀분석(negative binomial regression)을 실시한다.

4.4. 전방신호기 설치 시 고려해야 할 교차로의 특성

SPF모형의 독립변수로 사용된 각각의 영향요인들은 전체 인피사고와 심각도가 높은 사고와의 상관성이 높고 교통사고에 미치는 영향 또한 크다고 볼 수 있다. 따라서 이와 같은 영향요인들을 참조하여 향후 전방신호기 설치 시 우선적으로 고려가 필요한 교차로의 특성을 제시한다.

4.5. 연구를 위한 가정

대상지점별 교통사고의 변화는 전방신호기 설치에 따른 독립적 효과로 그리고 통계적 유의성 평가를 위한 HSM, ASSHTO 각각의 기준은 국내 환경에 적합한 것으로 가정한다.

5. 교통사고 영향분석

5.1. 자료 수집

교통운영체계 선진화방안 시행 이전의 경우 일부 시에서 시범적으로 전방신호기를 설치한 것을 제외하고는 그 사례가 충분하지 못한 실정이다. 따라서 2009년 설치된 지점을 대상으로 전국의 47개 지점에 대한 자료를 수집하였다. 이 중 4지 교차로인 25개 지점을 대상으로 설치 전·후 각 3년, 1년에 대하여 다음과 같은 자료를 조사 및 수집하였다.

- 전체 인피(물피 제외) 사고건수

- 유형별(정면충돌, 측면직각, 측면추돌, 후미추돌, 차대사람) 사고건수
- 교통사고 건별 실태조사서
- 첨두시간교통량(직진, 좌회전, 우회전)
- 교차로의 규모
- 신호시간(직진, 좌회전)
- 보행자 안전시설(횡단보도)
- 차로 수(직진, 좌회전, U-turn) 등

선정된 4지 교차로의 지역별 분포현황은 Table 4, 대상지점별·주요 유형별 교통사고 발생현황은 Table 5와 같다.

Table 4. Status of Selected Sites

Classification	Total	Busan City	Daegu City	Gyeonggi-do	Chungcheongnam-do	Jeollanam-do	Gyeongsangbuk-do
Number of sites	25	5	7	3	5	1	4

5.2. 교통사고 감소유형 분석

5.2.1. 주요(target) 교통사고 유형의 평균변화율 추정

주요 교통사고 유형의 전체 인피사고 중 심각도가 높은 중상 이상의 사고를 대상으로 특정 교통사고 유형의 평균변화율 평가에 적합한 Shift of proportions safety effectiveness evaluation 방법을 적용하여 변화율의 유의성을 분석하였다. 이를 위해 3년간 평균 교

Table 5. The Number of Traffic Crashes for Each Site

Number of sites	Name of sites	The number of traffic crashes																																																	
		Before															After																																		
		2006						2007						2008						2010																															
		H	R	S	RE	VR	E	H	R	S	RE	VR	E	H	R	S	RE	VR	E	H	R	S	RE	VR	E																										
		S	P	S	P	S	P	S	P	S	P	S	P	S	P	S	P	S	P	S	P	S	P	S	P																										
Total	25	5	4	5	7	40	17	20	39	40	20	8	3	8	10	4	5	7	46	19	23	35	50	25	11	12	4	5	2	45	42	23	28	41	52	30	17	6	13	6	6	29	36	8	28	21	45	19	17	7	17
Busan	5	Yachting Center 4: 2 3 7 1 1 1 2 1 4 1 3 2 2 1 2 3 1 1 2 2 2 3 1 2 2 3 1 2 2 3 1 1 2 2 2 3 1 Namsan Gas Sta.: 5 3 1 1 3 1 2 1 1 1 1 2 3 1 2 2 1 2 1 Daechong 4: 6 4 1 2 1 1 2 2 1 3 1 1 1 1 1 2 1 Toseong 4: 5 5 3 2 1 1 2 4 2 2 1 Beomil telephone com.: 4 2 2 2 1																																																	
	Daegu	7	Industrial high school 4: 6 4 5 5 1 4 2 3 2 1 2 1 2 1 1 2 2 2 3 2 3 5 1 2 1 2 1 1 2 1 1 2 1 1 1 2 2 1 1 1 Bisan elementary school 4: 1 1 4 2 4 1 1 1 3 2 2 1 3 1 1 1 1 2 2 2 2 1 2 1 1 1 1 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 Gwangmyeong 4: 3 3 3 1 2 2 4 3 1 3 2 2 1 1 1 1 5 2 2 2 4 1 1 1 2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 Dongseong school 4: 2 2 2 1 1 1 1 4 1 2 1 2 2 1 2 5 3 2 3 3 4 1 1 3 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 Seongdang 4: 1 3 1 4 7 2 5 7 1 1 10 6 5 4 3 5 3 2 2 3 2 6 4 7 6 11 2 1 2 1 8 3 9 4 7 1 6 1 1 1 1 6 Songji elementary school 4: 1 3 1 2 3 2 3 1 1 1 2 1 1 1 2 2 5 1 1 1 2 2 5 1 1 2 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 Airport 4: 1 3 1 3 1 1 2 1 2 2 1 1 1 1 2 2 4 1																																																
		Gyeonggi-do	3	Animation Bridge 4: 1 2 1 1 2 2 1 1 1 4 3 1 1 1 1 4 3 1 Suseong Bridge 4: 2 1 3 1 2 2 1 4 1 Shinwon Ebenezer 4: 1 2 1																																															
			Chungcheongnam-do	5	Dongbu 4: 3 3 2 1 2 1 2 1 2 2 5 1 5 3 1 3 6 2 6 3 3 4 1 1 1 2 5 3 1 3 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 Inswachang 4: 2 3 1 1 5 5 1 2 1 1 3 1 1 1 3 1 1 1 3 4 3 1 1 3 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 E-mart 4: 2 2 1 2 3 2 2 1 1 1 4 2 1 4 1 1 3 1 2 1 4 1 1 3 1 2 1 1 1 1 2 4 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 Jupoo 4: 1 Sinheung jugong APT 4: 1 1 1 1 1 2 4 3 1 1 2 1																																														
				Jeollanam-do	1	Yemiwon 4: 1 2 6 1																																													
Gyeongsangbuk-do		4		Oksan 4: 1 1 2 1 1 1 2 1 1 1 2 1 1 1 2 2 2 1 4 1 Hwangsang 4: 1 3 1 1 1 3 1 1 1 2 1 8 1 2 1 3 4 1 1 1 1 1 2 1 2 4 3 1 Tax office 4: 3 4 1 5 3 1 1 4 1 4 6 3 2 3 1 Namsam elementary school: 2 1																																															

*H: head-on, R: right-angle, S: sideswipe, RE: rear-end, VR: vehicle-to-road user, E: etc., S: severity crash, P: personal injury

통사고 발생건수가 5건 이상인 14개 지점을 선정하여 전방신호기 설치 전·후 심각도가 높은 사고의 비율을 Eq. (1), (2)를 이용하여 각각 산정하였다.

$$P_{i(CT)B} = \frac{N_{observed,B,CT}}{N_{observed,B,total}} \quad (1)$$

$$P_{i(CT)A} = \frac{N_{observed,A,CT}}{N_{observed,A,total}} \quad (2)$$

여기서,

$P_{i(CT)B/A}$ = Before/After treatment proportion of observed crashes of a specific target collision type(CT) relative to total crashes at treatment site i

$N_{observed,B/A,CT}$ = Observed number of CT crashes of a specific crash type at treatment site i over the entire before/after treatment period

$N_{observed,B/A,total}$ = Observed number of total crashes at treatment site i over the entire before/after treatment period.

이와 같이 산정된 심각도 높은 사고의 비율을 Eq. (3), (4)에 적용하여 각 지점별 및 전체 지점에 대한 전·후 비율간의 차이를 산정하였다. 이 차이는 전방신호기 설치로 인한 심각도 높은 사고의 변화정도를 나타낸다.

$$P_{i(CT)diff} = P_{i(CT)A} - P_{i(CT)B} \quad (3)$$

$$AvgP_{i(CT)diff} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} P_{i(CT)diff} \quad (4)$$

5.2.2. 주요(target) 교통사고 유형의 평균변화율에 대한 통계적 유의성 평가

앞서 산정된 전방신호기 설치 전·후 비율간의 차이를 오름차순으로 정렬 후 절대 값을 산정하였다.

$$Z_i = abs(P_{i(CT)diff}) \quad (5)$$

여기서,

Z_i = Absolute value of $P_{i(CT)diff}$

$i=1, \dots, n^*$, with n^* representing the (reduced) number of treatment sites with non-zero differences in proportions

그리고 이 값들의 순서에 따라 각각의 순위를 부여하였다. 순위 값에 대해 전·후 비율간의 차이가 음의 값일 경우 0으로 하고 나머지 양의 값은 그대로 순위 값을 취하여 순위 값에 대한 합을 산정하였다.

$$T^+ = \sum_{i=1}^{n^*} R_i^+ \quad (6)$$

순위 값에 대한 합을 이용하여 90%의 신뢰수준에서 양측검정(two-sided significance test)을 통한 통계적 유의성을 평가하였다. 이를 위해 Eq. (7)과 HSM의 upper tail probabilities for the Wilcoxon Signed Rank를 이용한 최소, 최대 한계기준은 각각 26, 79로 산정되었다. 그리고 T^+ 값이 최소, 최대 한계 기준 범위 밖에 존재하면 통계적으로 유의한 것으로 간주하였다.

$$T^+ \geq t(\alpha_2, n^*) \text{ or } T^+ \leq \frac{n^*(n^*+1)}{2} - t(\alpha_1, n^*) \quad (7)$$

여기서, $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2$

그 결과 정면충돌, 측면직각추돌 및 추돌사고가 각각 20.0%, 26.3%, 24.1%의 감소율을 나타냈고, T^+ 값이 각각 24, 22, 16으로 통계적으로도 90%의 신뢰수준에서 유의한 것으로 나타났다. 반면 후미추돌과 차대사탑 사고의 T^+ 값은 각각 34, 45로 통계적으로 유의하지 못한 것으로 나타났다.

지금까지의 절차에 따라 교통사고 유형별로 산정된 값들을 Table 6~Table 10에 나타내었다.

5.3. 교통사고에 미치는 영향 분석

5.3.1. SPF(Safety Performance Function) 모형 구축 및 검정

주요 교통사고 유형 중 심각도가 높은 사고의 변화율이 유의한 정면충돌, 측면직각추돌 및 측면추돌 사고에 영향을 미치는 요인들을 실태조사서 분석 및 관련문헌 고찰을 통해 설정하였다. 여기서 영향 요인과 관련하여 자료수집이 가능한 11개 지점을 이용하였다.

Table 6. Before and After Period Total and Fatal and Injury Crash Frequencies for Given Sites and T⁺ (head on)

Site No.	Crash frequency in before period (3 years)		Crash frequency in after period (1 years)		Proportion of FI/total crashes		Difference in proportion	Site No.	Difference in proportion	Absolute difference in proportion	Rank	Rank corresponding to positive difference
	Total	FI	Total	FI	Before	After						
1	1	1	1		1.00		-1.00	4	0.00	0.00	1	0
2	2	1			0.50		-0.50	5	0.00	0.00	2	0
3			1	1		1.00	1.00	7	0.00	0.00	3	0
4	4	2	2	1	0.50	0.50	0.00	12	0.00	0.00	4	0
5			1				0.00	13	0.00	0.00	5	0
6	5	5	1		1.00		-1.00	14	0.00	0.00	6	0
7	1	1	1	1	1.00	1.00	0.00	11	-0.33	0.33	7	0
8	3	3			1.00		-1.00	2	-0.50	0.50	8	0
9	2	2			1.00		-1.00	1	-1.00	1.00	9	0
10			1	1		1.00	1.00	3	1.00	1.00	10	10
11	3	1	1		0.33		-0.33	6	-1.00	1.00	11	0
12	2						0.00	8	-1.00	1.00	12	0
13	1	1	1	1	1.00	1.00	0.00	9	-1.00	1.00	13	0
14	2	2	1	1	1.00	1.00	0.00	10	1.00	1.00	14	14
Total	26	19	11	6			-2.83	Total			105	24

Table 7. Before and After Period Total and Fatal and Injury Crash Frequencies for Given Sites and T⁺ (right angle)

Site No.	Crash frequency in before period (3 years)		Crash frequency in after period (1 years)		Proportion of FI/total crashes		Difference in proportion	Site No.	Difference in proportion	Absolute difference in proportion	Rank	Rank corresponding to positive difference
	Total	FI	Total	FI	Before	After						
1	10	7	4	2	0.70	0.50	-0.20	11	0.00	0.00	1	0
2	12	9	3	2	0.75	0.67	-0.08	7	0.03	0.03	2	2
3	19	11	2		0.58		-0.58	5	0.07	0.07	3	3
4	10	6			0.60		-0.60	2	-0.08	0.08	4	0
5	20	12	3	2	0.60	0.67	0.07	9	-0.17	0.17	5	0
6	14	11	4	1	0.79	0.25	-0.54	1	-0.20	0.20	6	0
7	25	16	3	2	0.64	0.67	0.03	12	0.23	0.23	7	7
8	10	7	3	1	0.70	0.33	-0.37	14	-0.33	0.33	8	0
9	10	5	3	1	0.50	0.33	-0.17	8	-0.37	0.37	9	0
10	18	7	2		0.39		-0.39	10	-0.39	0.39	10	10
11	16	8	4	2	0.50	0.50	0.00	6	-0.54	0.54	11	0
12	11	3	2	1	0.27	0.50	0.23	3	-0.58	0.58	12	0
13	4	3			0.75		-0.75	4	-0.60	0.60	13	0
14	9	6	3	1	0.67	0.33	-0.33	13	-0.75	0.75	14	0
Total	188	111	36	15			-3.68	Total			105	22

Table 8. Before and After Period Total and Fatal and Injury Crash Frequencies for Given Sites and T⁺ (sidewipe)

Site No.	Crash frequency in before period (3 years)		Crash frequency in after period (1 years)		Proportion of FI/total crashes		Difference in proportion	Site No.	Difference in proportion	Absolute difference in proportion	Rank	Rank corresponding to positive difference
	Total	FI	Total	FI	Before	After						
1	6	5	5	2	0.83	0.40	-0.43	8	-	0.00	1	0
2	4	3	1		0.75		-0.75	13	-	0.00	2	0
3	18	8	2	1	0.44	0.55	0.06	3	0.06	0.06	3	3
4	11	8	3	1	0.73	0.33	-0.39	11	0.17	0.17	4	4
5	9	1	2	1	0.11	0.50	0.39	12	-0.25	0.25	5	0
6	8	5	1		0.63		-0.63	10	-0.27	0.27	6	0

7	30	15	8		0.50		-0.50	14	-0.33	0.33	7	0
8	4	2	2	1	0.50	0.50		4	-0.39	0.39	8	0
9	7	3			0.43		-0.43	5	0.39	0.39	9	9
10	15	4	5		0.27		-0.27	1	-0.43	0.43	10	0
11	3	1	2	1	0.33	0.50	0.17	9	-0.43	0.43	11	0
12	4	1	1		0.25		-0.25	7	-0.50	0.50	12	0
13	4		1					6	-0.63	0.63	13	0
14	3	2	3	1	0.67	0.33	-0.33	2	-0.75	0.75	14	0
Total	126	58	36	8			-3.37	Total			105	16

Table 9. Before and After Period Total and Fatal and Injury Crash Frequencies for Given Sites and T⁺ (rear end)

Site No.	Crash frequency in before period (3 years)		Crash frequency in after period (1 years)		Proportion of FI/total crashes		Difference in proportion	Site No.	Difference in proportion	Absolute difference in proportion	Rank	Rank corresponding to positive difference
	Total	FI	Total	FI	Before	After						
1	18	13	1	1	0.72	1.00	0.28	8	0.00	0.00	1	0
2	10	7	1		0.70		-0.70	9	0.00	0.00	2	0
3	13	4	2		0.31		-0.31	4	0.04	0.04	3	3
4	13	6	2	1	0.46	0.50	0.04	12	0.10	0.10	4	4
5	11	5	1	1	0.45	1.00	0.55	7	-0.18	0.18	5	0
6	10	6			0.60		-0.60	11	-0.27	0.27	6	0
7	28	12	12	3	0.43	0.25	-0.18	1	0.28	0.28	7	7
8	15	5	3	1	0.33	0.33		3	-0.31	0.31	8	0
9	1							14	0.36	0.36	9	9
10	15	6	3		0.40		-0.40	10	-0.40	0.40	10	0
11	12	5	7	1	0.42	0.14	-0.27	5	0.55	0.55	11	11
12	13	3	6	2	0.23	0.33	0.10	6	-0.60	0.60	12	0
13	7	5	2		0.71		-0.71	2	-0.70	0.70	13	0
14	19	4	7	4	0.21	0.57	0.36	13	-0.71	0.71	14	0
Total	185	81	47	14			-1.85	Total			105	34

Table 10. Before and After Period Total and Fatal and Injury Crash Frequencies for Given Sites and T⁺ (vehicle to road users)

Site No.	Crash frequency in before period (3 years)		Crash frequency in after period (1 years)		Proportion of FI/total crashes		Difference in proportion	Site No.	Difference in proportion	Absolute difference in proportion	Rank	Rank corresponding to positive difference
	Total	FI	Total	FI	Before	After						
1	2	1			0.50		-0.50	12	-0.10	0.10	1	0
2	3	2	1	1	0.67	1.00	0.33	3	-0.22	0.22	2	0
3	9	8	3	2	0.89	0.67	-0.22	5	0.24	0.24	3	3
4	2		1	1		1.00	1.00	11	0.25	0.25	4	4
5	7	3	3	2	0.43	0.67	0.24	2	0.33	0.33	5	5
6	9	7			0.78		-0.78	13	0.36	0.36	6	6
7	26	21	11	4	0.81	0.36	-0.44	7	-0.44	0.44	7	0
8			1	1		1.00	1.00	1	-0.50	0.50	8	0
9	2	1			0.50		-0.50	9	-0.50	0.50	9	0
10	12	9	4	1	0.75	0.25	-0.50	10	-0.50	0.50	10	0
11	4	3	2	2	0.75	1.00	0.25	14	-0.75	0.75	11	0
12	5	3	2	1	0.60	0.50	-0.10	6	-0.78	0.78	12	0
13	7	1	2	1	0.14	0.50	0.36	4	1.00	1.00	13	13
14	4	3	1		0.75		-0.75	8	1.00	1.00	14	14
Total	92	62	31	16			-0.62	Total			105	45

Table 11. Cause of Severe Traffic Crashes

Types of traffic crash	Influence factors	Description of influence factors
Head on	Alignment	Alignment of cross roads
Right angle	A number of turning lanes	A number of left turn, U-turn lanes
	Signal timing	Signal timing of left turn and through movement
	Size of intersection	A size of intersections
Sideswipe	Turning lanes	Right turn lanes
	A number of lanes	A number of through movement
Others	Traffic volume	Traffic volume of all directions

앞서 설정된 심각도 높은 사고에 대하여 변화율이 유의한 교통사고의 주요 영향 요인들 중 교통사고 발생건수와 상관관계가 높은 요인들을 찾아내어 전방신호기 설치 시 우선적으로 고려가 필요한 교차로 특성을 제시하기 위하여 상관분석을 실시하였다.

Table 12. The Result of Correlation Analysis on Target Collision

Causes		A number of crashes	Causes		A number of crashes
Alignment	Coefficient of correlation	-0.141	A number of right turn lanes	Coefficient of correlation	0.044
	Significance probability	0.287		Significance probability	0.739
A number of left-turn lanes	Coefficient of correlation	0.071	A number of through movement	Coefficient of correlation	0.549**
	Significance probability	0.595		Significance probability	0.000
A number of U-turn lanes	Coefficient of correlation	0.678**	Traffic volume of through movement	Coefficient of correlation	0.609**
	Significance probability	0.000		Significance probability	0.000
Signal timing of left turn	Coefficient of correlation	0.071	Traffic volume of left turn	Coefficient of correlation	0.078
	Significance probability	0.593		Significance probability	0.560
Signal timing of through movement	Coefficient of correlation	0.360**	Traffic volume of right turn	Coefficient of correlation	0.341**
	Significance probability	0.005		Significance probability	0.008
Size of intersection	Coefficient of correlation	0.429**	A number of crosswalks	Coefficient of correlation	0.296**
	Significance probability	0.001		Significance probability	0.023

SPF 모형 구축을 위해 전체 인피사고와 심각도가 높은 사고를 각각 종속변수로 하고 상관분석 결과 교통사고 발생건수와 상관관계가 높은 6가지의 영향 요인들을 독립변수로 하여 음이항 회귀분석(negative binomial regression)을 실시하여 구축된 최적의 SPF 모형은 Table 13과 같다.

Table 13. Determination of Safety Performance Function by Main Types

Classification	Safety performance function
Personal injury	$\exp(0.215+0.214X1+0.008X2-0.064X3+0.280X4)$
Severity crash	$\exp(-0.842+0.018X2+0.217X3+0.186X5+0.289X6)$

여기서,

X1: traffic volume of right turn

X2: size of intersection

X3: a number of left-turn lanes

X4: a number of U-turn lanes

X5: traffic volume of left turn

X6: a number of crosswalks

5.3.2. 전방신호기 설치 전 평균사고건수 추정

SPF 모형을 이용하여 전방신호기 설치 전 3년간의 지점별 평균 교통사고 발생건수를 추정(predict)하였다. 이렇게 추정된 값과 Eq. (8)에 weighted adjustment 값을 적용하여 기대(expected) 사고건수를 산정한 결과는 Table 14와 같다.

$$N_{expected, B} = w_{i, B} N_{predicted} + (1 - w_{i, B}) N_{observed, B} \quad (8)$$

여기서,

$N_{expected, B}$ = Expected average crash frequency, for each site i, summed over the entire before period

$$w_{i, B} = \frac{1}{1 + k \times \sum_{\text{Before years}} N_{predicted}}$$

$w_{i, B}$ = weight for each site i

$N_{observed, B}$ = Observed crash frequency at site i for the entire before period

k = Overdispersion parameter for the applicable SPF

Table 14. Expected Average Crash Frequency for Each Site

site no.	Predicted before total crash frequency by year (crashes/year)								Overdispersion parameter (k)		weighted adjustment (w)		Expected average crash frequency in before period (3years)	
	Personal injury				Severity crash				Personal injury	Severity crash	Personal injury	Severity crash	Personal injury	Severity crash
	Y1	Y2	Y3	계	Y1	Y2	Y3	계						
1	12.9	12.9	12.9	38.96	5.34	5.34	5.34	16.02	0.062	0.178	0.293	0.260	37.57	24.15
2	10.1	10.1	10.1	30.38	5.90	5.90	5.90	17.69	0.062	0.178	0.347	0.241	30.78	20.96
3	16.5	16.5	16.5	49.48	7.99	7.99	7.99	23.97	0.062	0.178	0.246	0.190	58.92	30.47
4	10.0	10.0	10.0	30.09	4.69	4.69	4.69	14.07	0.062	0.178	0.349	0.285	37.19	19.73
5	14.9	14.9	14.9	44.72	5.08	5.08	5.08	15.25	0.062	0.178	0.265	0.269	47.86	20.18
6	23.6	23.6	23.6	70.85	8.15	8.15	8.15	24.44	0.062	0.178	0.185	0.187	50.60	32.21
7	16.5	16.5	16.5	49.44	4.81	4.81	4.81	14.44	0.062	0.178	0.246	0.280	59.66	22.76
8	10.5	10.5	10.5	31.63	6.42	6.42	6.42	19.26	0.062	0.178	0.338	0.226	35.84	18.28
9	15.9	15.9	15.9	47.67	5.97	5.97	5.97	17.92	0.062	0.178	0.253	0.239	38.20	11.89
10	6.94	6.94	6.94	20.82	7.49	7.49	7.49	22.48	0.062	0.178	0.437	0.200	23.17	13.29
11	9.97	9.97	9.97	29.91	2.70	2.70	2.70	8.11	0.062	0.178	0.350	0.409	34.51	13.36
Total	147.98	147.98	147.98		64.55	64.55	64.55							

5.3.3. 전방신호기 미설치 시 기대평균사고건수 추정

각 지점별 전방신호기 설치 전·후의 차이를 설명하기 위한 조정계수(r_i)를 산정 후 지점별로 전방신호기가 설치되지 않았을 경우 예상되는 기대평균사고건수를 산정하였다.

$$N_{observed, A} = N_{expected, B} \times r_i \quad (9)$$

여기서,

$$r_i = \frac{\sum_{\text{After years}} N_{predicted, A}}{\sum_{\text{Before years}} N_{predicted, B}}$$

r_i = 조정계수(adjustment factor)

Table 15. Expected Average Crash Frequency in After Period

site no.	Predicted average crash frequency in after period		Adjustment factor (r)		Expected average crash frequency in after period in the absence of pre-signals	
	Personal injury	Severity crash	Personal injury	Severity crash	Personal injury	Severity crash
1	12.99	5.34	0.333	0.333	12.52	8.05
2	10.13	5.90	0.333	0.333	10.26	6.99
3	16.49	7.99	0.333	0.333	19.64	10.16
4	10.03	4.69	0.333	0.333	12.40	6.58
5	14.91	5.08	0.333	0.333	15.96	6.73
6	23.62	8.15	0.333	0.333	16.87	10.74
7	16.48	4.81	0.333	0.333	19.89	7.59

8	10.54	6.42	0.333	0.333	11.95	6.09
9	15.89	5.97	0.333	0.333	12.73	3.96
10	6.94	7.49	0.333	0.333	7.72	4.43
11	9.97	2.70	0.333	0.333	11.51	4.45
Total					151.45	75.77

5.3.4. 전방신호기 설치 효과 분석

전방신호기 설치 효과를 분석하기 위하여 지점별 안전성 효과(safety effectiveness)를 오즈비(odds ratio) 형태로 나타냈다. 이 값을 이용하여 지점(i)별 사고변화에 의한 개선효과를 산정하였다. 여기서 양(+의 값은 교통사고 감소, 반대로 음(-)의 값은 교통사고의 증가를 나타낸다.

$$OR_i = \frac{N_{observed, A}}{N_{expected, A}} \quad (10)$$

여기서,

OR_i =Odds ratio at site i

$N_{observed, A}$ =Observed crash frequency at site i for the entire after period

$$\text{Safety Effectiveness } i = 100 \times (1 - OR_i) \quad (11)$$

Table 16. Safety Effectiveness for Each Site

site no.	Odds ratio		safety effectiveness (%)		variance term	
	total crash	severe crash	total crash	severe crash	total crash	severe crash
1	0.878	0.621	12.17	37.89	2.953	1.987
2	0.682	0.429	31.78	57.06	2.234	1.767
3	0.611	0.492	38.90	50.78	4.937	2.743
4	0.645	0.608	35.47	39.20	2.690	1.567
5	0.627	0.892	37.32	10.82	3.909	1.639
6	0.474	0.093	52.58	90.69	4.580	2.910
7	0.855	0.395	14.52	60.46	4.999	1.821
8	0.837	0.984	16.31	1.56	2.638	1.573
9	0.942	1.009	5.77	-0.92	3.172	1.006
10	1.295	0.903	-29.46	9.74	1.451	1.182
11	1.304	1.572	-30.37	-57.17	2.492	0.877
Total					36.054	19.073

개선효과를 보다 객관적으로 예측하기 위해 Eq. (12)를 이용하여 오즈비를 조정하였다. 전체 사고와 심각도

가 높은 사고에 대한 조정된 오즈비는 각각 0.791, 0.631로 산정되었다. 여기서 오즈비가 1보다 작다는 것은 전방신호기 설치에 의한 교통사고 감소효과가 있는 것을 나타낸다.

$$OR = \frac{OR'}{1 + \frac{Var(\sum_{All\ sites} N_{expected, A})}{(\sum_{All\ sites} N_{expected, A})^2}} \quad (12)$$

여기서,

$$OR' = \frac{\sum_{All\ sites} N_{observed, A}}{\sum_{All\ sites} N_{expected, A}}$$

$$Var(\sum_{All\ sites} N_{expected, A}) = \sum_{All\ sites} [(r_i)^2 \times N_{expected, B} \times (1 - w_{i, B})]$$

전체 대상지점의 사고빈도변화율에 의한 총 개선효과를 산정한 결과는 전체 인피사고와 심각도가 높은 사고에 대하여 각각 20.9%, 36.9%로 나타났다.

$$Safety\ Effectiveness = 100 \times (1 - OR) \quad (13)$$

5.3.5. 개선효과의 정확성 추정

Eq. (14)와 같이 앞서 조정된 오즈비를 이용하여 예상 효과에 대한 분산을 산정한 결과는 전체사고와 심각도가 높은 사고 각각 0.006, 0.010이다.

$$Var(OR) = \frac{(OR')^2 \left[\frac{1}{N_{observed, A}} + \frac{Var(\sum_{All\ sites} N_{expected, A})}{(\sum_{All\ sites} N_{expected, A})^2} \right]}{\left[1 + \frac{Var(\sum_{All\ sites} N_{expected, A})}{(\sum_{All\ sites} N_{expected, A})^2} \right]} \quad (14)$$

분산 값과 Eq. (15)를 이용한 개선효과에 대한 표준오차는 0.077, 0.100으로 산정되었다.

$$SE(OR) = \sqrt{Var(OR)} \quad (15)$$

마지막으로 개선효과에 대한 통계적 유의성을 평가하기 위해 Eq. (16)을 이용하여 Abs[Safety Effectiveness/SE(Safety Effectiveness)]를 산정한 결과 전체 인피사고

와 심각도가 높은 사고에 대하여 각각 2.71, 3.69로 약 95% 신뢰수준에서 개선효과가 유의한 것으로 나타났다.

$$SE(Safety\ Effectiveness) = 100 \times SE(OR) \quad (16)$$

$$AASHTO\에서도\ Abs\ \frac{Safety\ Effectiveness}{SE(Safety\ Effectiveness)} \geq 2.0\ 인$$

경우 약 95% 신뢰수준에서 개선효과가 유의한 것으로 규정하고 있다. 이와 같은 긍정적 결과는 전체 인피사고와 심각도가 높은 중상 이상 사고에 대하여 각각 20.9%, 36.9%의 교통사고 감소효과가 있음을 보여준다.

6. 결론 및 향후 연구과제

6.1. 결론

최근 전방신호기가 확대 설치됨에 따라 4지 교차로에서 전방신호기가 교통사고에 미치는 영향을 분석하는 것을 목표로 하였다. 이를 위해 주요 교통사고 유형 중 심각도가 높은 중상 이상의 사고 변화율이 통계적으로 유의한 유형을 분석한 결과 정면충돌, 측면직각추돌 및 측면추돌사고에 효과적인 것으로 나타났다. 이와 같은 3가지 유형의 사고에 영향을 미치는 영향 요인들을 고려한 SPF 모형을 구축하여 EB 방법으로 분석한 결과 전체 인피사고 및 심각도가 높은 사고에 대한 각각의 교통사고 감소효과가 있는 것으로 분석되었다. 또한 SPF 모형의 독립변수로 사용된 각각의 영향 요인들은 전체 인피사고와 심각도가 높은 사고와의 상관성이 높고 교통사고에 미치는 영향이 크다고 볼 수 있다. 따라서 이러한 영향 요인들을 고려하여 향후 전방신호기 설치 시 우선적으로 고려가 필요한 교차로의 특성은 다음과 같다.

- 1) 전·후방에 U-turn이 허용되는 교차로
- 2) 교차로 규모(접속도로 차로수)가 큰 교차로
- 3) 우회전교통량이 상대적으로 많은 교차로
- 4) 전·후방에 횡단보도가 설치되어 있는 교차로
- 5) 좌회전신호는 있으나 좌회전교통량에 비해 좌회전 차로수가 상대적으로 부족하거나 또는 좌회전 전용 차로가 설치되어 있지 않은 교차로

6.2. 연구의 한계점 및 향후 연구과제

본 연구를 위해 교통사고 잦은 곳 개선사업 지점 중 전방신호기 설치지점을 대상으로 자료를 수집하였다. 몇몇 지점은 교통사고 잦은 곳 개선사업의 일환으로 전