



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2016年 8月

석사학위 논문

SSAM 모형을 이용한 LPI 분석

조선대학교 대학원

토목공학과

김 동 관

SSAM 모형을 이용한 LPI 분석

Analysis of Leading Pedestrian Interval Using Surrogate
Safety Assessment Model

2016년 8월 25일

조선대학교 대학원

토목공학과

김 동 관

SSAM 모형을 이용한 LPI 분석

지도교수 박 상 준

이 논문을 토목공학석사학위 신청 논문으로 제출함

2016년 4월

조선대학교 대학원

토목공학과

김 동 관

김동관의 석사학위논문을 인준함

위원장	조선대학교	교수	<u>차길택</u> (인)
위원	조선대학교	교수	<u>김영중</u> (인)
위원	조선대학교	교수	<u>박상준</u> (인)

2016년 5월

조선대학교 대학원

목 차

ABSTRACT

제 1 장 연구배경 및 목적	1
제 2 장 문헌 고찰	3
2.1 선행보행간격(LPI)	3
2.1.1 LPI의 개요	3
2.1.2 LPI의 적용의 적합성 고려 요소	4
2.1.3 LPI 지속시간 설정	4
2.1.4 LPI 사례 연구	5
2.2 상충이론(Conflict Theory)	8
2.2.1 상충이론의 개요	8
2.2.2 상황별 상충의 유형	9
2.3 대리안전척도 평가모형(SSAM)	16
2.3.1 SSAM의 개요	16
2.3.2 SSAM의 특징	16
2.3.3 미시교통시물레이션과 SSAM을 통한 분석 사례	20

제 3 장 LPI 평가모형 구축 및 요인분석	22
3.1 평가방법 개요	22
3.2 시뮬레이션 모형 구축	23
3.3 LPI 효과 요인분석	28
3.3.1 기준모형 설정 및 교통량의 영향	29
3.3.2 LPI 적용시간의 영향	34
3.3.3 보행량의 영향	35
3.3.4 교차로 기하구조의 영향	36
제 4 장 LPI 효과 분석	37
4.1 광주광역시 내 주요 교차로 현황	37
4.2 시나리오 설정	40
4.2.1 쌍촌역사거리	40
4.2.2 서방사거리	43
4.2.3 첨단하이마트사거리	46
4.3 시나리오별 영향산정	49
4.3.1 상충횟수 비교	49
4.3.2 대리안전척도 비교	50
제 5 장 결론 및 향후 연구과제	51
참 고 문 헌	53

표 목 차

표 2.1 LPI 기법 적용의 적합성 평가 항목	4
표 2.2 주요 안전 대리척도	17
표 3.1 시뮬레이션 모형 구축 요약	23
표 3.2 교통신호기 설치기준	29
표 3.3 교통신호기 설치기준 2	29
표 3.4 LPI 미적용시의 신호주기	30
표 3.5 LPI 적용시의 신호주기(5초)	30
표 3.6 교통량에 따른 평균지체 및 상충횟수 변화	31
표 3.7 교통량에 따른 대리안전척도 변화	32
표 3.8 신호교차로의 서비스 수준 기준	32
표 3.9 LPI 적용시간에 따른 영향	35
표 3.10 보행량에 따른 평균지체 및 상충횟수 변화	35
표 3.11 기하구조에 따른 평균지체 및 상충횟수 변화	36
표 4.1 광주주요교차로 61개소	39
표 4.2 접근로 차로수에 따른 교차로 유형 분포	40
표 4.3 유형별 대표 교차로 선정	40
표 4.4 LPI 미적용시의 신호주기	43
표 4.5 LPI 적용시의 신호주기	43
표 4.6 미적용시의 신호주기	46
표 4.7 LPI 적용시의 신호주기	46
표 4.8 LPI 미적용시의 신호주기	49
표 4.9 LPI 적용시의 신호주기	49
표 4.10 LPI적용에 따른 상충횟수 변화	50

표 4.11 LPI 적용에 따른 대리척도 평균 값 변화 50

그림 목 차

그림 2.1 LPI의 적용방법	3
그림 2.2 동일 진행방향 상충	10
그림 2.3 마주보는 방향 상충, 좌회전	11
그림 2.4 교차형 차량 상충, 우측	12
그림 2.5 교차형 차량 상충, 좌측	13
그림 2.6 마주보는 방향, RTOR 상충	14
그림 2.7 보행자 상충	15
그림 2.8 SSAM에서의 대리척도 산출	18
그림 2.9 상충각도 예시	19
그림 2.10 SSAM 네트워크 표시 기능	20
그림 3.1 LPI 기법 평가 절차	22
그림 3.2 링크설정	24
그림 3.3 커넥터 설정	25
그림 3.4 횡단보도 설치 기준	26
그림 3.5 우선순위 규칙1	27
그림 3.6 우선순위 규칙2	27
그림 3.7 LPI 적용 전 상충발생지점 시각화	33
그림 3.8 LPI 적용 후 상충발생지점 시각화	34
그림 4.1 광주광역시 주요 교차로 61개 지점	38
그림 4.2 쌍촌역사거리 차로수 구성	41
그림 4.3 쌍촌역사거리 방향별 교통량	42
그림 4.4 서방사거리 차로수 구성	44
그림 4.5 서방사거리 방향별 교통량	45

그림 4.6 첨단하이마트사거리 차로수 구성 47
그림 4.7 첨단하이마트사거리 방향별 교통량 48

ABSTRACT

The Impact Analysis of Leading Pedestrian Interval Using Surrogate Safety Assessment Model

Kim, Dongkwan

Advisor : Prof. Park, Sangjun, Ph.D.

Department of Civil Engineering

Graduate School of Chosun University

In this thesis, a methodology using the VISSIM simulation model and surrogate safety assessment model (SSAM) was utilized to quantify the impacts of the leading pedestrian interval (LPI). It was found that the modeling of right-turn vehicles and pedestrians is the most essential factor affecting the realistic behaviors. In order to model the realistic conflicts between right-turn vehicles and pedestrians in VISSIM, the properties of the links and connectors representing crosswalk and right-most lane should be properly set. Specifically, the connector on which right-turn vehicles run should be overlaid with the link representing crosswalk.

Given the developed simulation model, the impacts of the LPI were systematically quantified. After the runs of VISSIM simulation models, the conflict analysis was conducted by using SSAM. The results show that the number of conflicts between right-turn vehicles and pedestrians significantly decreases after the LPI is implemented. Additionally, It is noted that the 7 seconds of the LPI duration results in the most effective result that the other

LPI durations.

Finally, the impacts of the LPI were quantified when it is implemented in the major intersections in Gwangju. The impacts were varied based on the geometric features of the intersections. The average decrease in the number of conflicts was 84, which corresponds to 97%. There was a limitation in assessing the impacts of the LPI in Gwangju. That is the lack of the calibration of the simulation models in terms of the number of conflicts. For future research, this issue should be properly considered to precisely assess the impacts.

제 1 장 연구배경 및 목적

1913년 포드의 컨베이어 시스템으로 대량 조립 시간을 4분의 1수준으로 단축하여 대량생산의 혁신을 가져왔고, 약 100년의 시간이 흐른 지금 자동차가 생활 속에서 친숙한 교통수단으로 받아들여지게 되었다. 세계적으로 경제가 성장하면서 자동차의 수요 역시 증가해왔고 자동차 수요의 증가에 따라 교통사고의 발생도 지속적으로 증가하여왔다. 우리나라 역시 이와 마찬가지로, 교통사고의 발생 및 피해를 감소시키기 위해 많은 연구를 진행하고 기술 중심의 혹은 제도중심의 개선방안들을 시행중에 있다(윤일수 등, 2011). 하지만 이러한 노력에도 불구하고 우리나라에서 자동차 교통사고는 꾸준히 증가하여 2014년에는 총 223,552건의 교통사고가 발생하였으며, 그 중 총 4,762명이 사망하고, 337,497명이 부상을 당한 것으로 조사되었다(도로교통공단, 2015). 교통사고로 인한 경제적인 손실 역시 심각한 수준으로, 2009년 한 해에만 도로부문에서 11조 4천억 원의 사고비용이 발생하였다(심재익 등, 2011). 보행자-차량 교통사고는 2012년~2014년 발생한 전체 교통사고 중 그 발생 비율이 22.6%(총 662,562건 중 149,510건)로 나타났으며 사망자는 무려 37.8%(사상자 총 15,246명 중 사망 5,748명)에 달하는 것으로 보고되었다. 사고 유형을 차대차, 차대사람 사고로 구분하는 경우, 총 사고 중 보행자 사고(차대사람) 비율은 22.6%로 차대차 사고(72.4%)의 삼분의 일 수준으로 나타났으나 치사율(사망자/사고건수,%)은 3.84%로 차대차 1.25%와 비교할 때 두 배 이상 높게 나타나 이에 대한 대책이 시급한 것을 알 수 있다.

신호교차로에서 발생하고 있는 교통사고 중 우회전차량과 보행자의 추돌사고는 사망사고로 직결될 수 있다는 점에서 반드시 예방되어야 할 교통사고로 인식되고 있으며, 이를 예방하기 위하여 많은 노력을 기울이고 있다. 선행보행간격(Leading Pedestrian Interval: LPI) 기법은 우회전차량의 시거를 확보하여 보행자 추돌사고를 예방하고자 하는 기법으로 선진국을 중심으로 보행교통량이 많은 지역에서 시행되고 있다. 구체적으로 LPI는 차량의 신호보다 보행자 신호를 3~7초 선행하여 등화 시켜 우회전차량 운전자의 보행자에 대한 시인성을 향상시키는 기법이다.

전세계적으로 교통사고의 감소를 위해 많은 노력이 있어왔으며, 사고 발생 원리의 이해를 통해 해법을 찾고자하는 연구도 시행되어왔다. 그 중 대표적인 것으로 상충이론(conflict theory)이 있다. 이 이론은 1977년 노르웨이 오슬로에서 처음 발표되었으며,

90년대 교통상충을 이용한 사고예측기법(Traffic Conflict Technics; TCT)에 대한 연구로 이어지며 도로에서 발생하는 사고 유형 및 예측에 대한 연구가 현재까지 활발히 진행 중에 있다(윤일수 등, 2011).

2000년대에 들어 미국 연방도로관리청(Federal Highway Administration: FHWA)에서는 이러한 상충이론을 토대로 교통류의 안정성을 평가하기 위하여 Surrogate Safety Assessment Model(SSAM)을 개발하였다. SSAM모델은 상충이론에 기반을 두고 미시교통시뮬레이션모형(microscopic traffic simulation models)에서 모델링 된 개별 차량들의 경로 이력자료를 이용하여 상충을 분석하는 소프트웨어이다.

최근 컴퓨터 및 소프트웨어 기술의 발달로 미시적인 교통현상의 구현 및 분석 가능한 미시교통시뮬레이션 모형들이 여러 교통 분야에서 활용되고 있다. 미시교통시뮬레이션 모형을 통하여 실험실에서 다양한 교통상황을 반복적으로 구현할 수 있는 여건을 제공하고, 배기가스 배출량 및 통행시간, 지체 등 다양한 성과지표를 예측할 수 있다. 이러한 장점에도 불구하고 미시교통시뮬레이션 모형은 교통류의 안전성을 평가하는데 있어 한계가 있으나, SSAM모형과 결합하여 사용할 경우 보행자의 안전성을 향상 시킬 수 있는 다양한 시나리오의 효과를 사전에 분석할 수 있는 도구로서 활용할 수 있다고 판단된다.

본 연구의 목표는 1) FHWA에서 개발한 SSAM모형과 미시교통시뮬레이션 소프트웨어인 VISSIM을 이용하여 LPI 기법의 효과를 현실적으로 산정할 수 있는 기법을 개발하고, 2) 개발된 기법을 적용하여 LPI의 효과에 기여하는 요인들을 분석하고, 3) LPI 기법을 국내에 적용함에 따라 발생하는 효과를 산정한다.

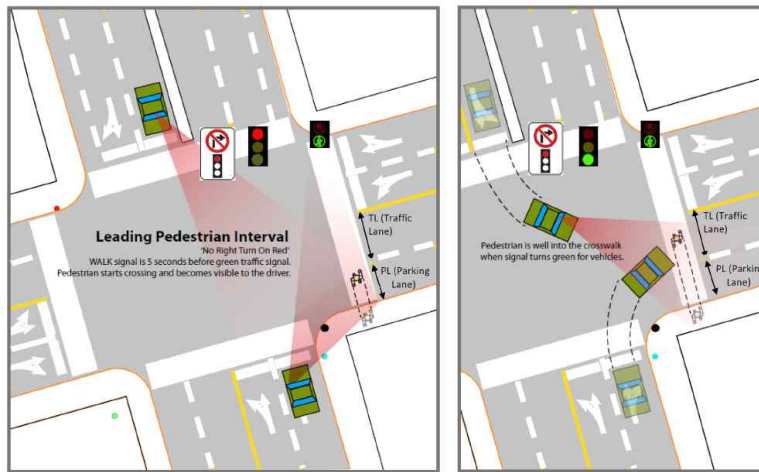
제 2 장 문헌 고찰

2.1 선행보행간격(LPI)

2.1.1 LPI의 개요

선행보행간격(Leading Pedestrian Interval: LPI) 기법은 우회전차량의 시거를 확보하여 보행자 추돌사고를 예방하고자 하는 기법으로 선진국을 중심으로 보행교통량이 많은 지역에서 시행되고 있다. 구체적으로 LPI는 차량의 신호보다 보행자 신호를 3~7초 선행하여 등화 시켜 우회전차량 운전자의 보행자에 대한 시인성을 향상시키는 기법이다. 특히 노약자의 통행이 빈번한 교차로에서 그 효과가 현저할 것으로 예상되는데, 이는 아동의 경우 가시성이 떨어지고, 노인과 장애인 그룹은 신호에 대한 반응이 느리기 때문에 교통약자들에게 자신의 가시성을 개선하는 효과를 줄 수 있기 때문이다.

그림 2.1은 LPI 기법을 적용하는 것을 보여주는 것으로, 왼쪽 그림에서는 LPI를 적용하여 보행자 녹색신호가 먼저 등화 되고 우회전 차량은 적색신호를 유지하고 있어 상충이 발생되지 않는 것을 보여주고 있으며, 오른쪽 그림에서는 LPI 기법 미적용시 보행자 녹색신호와 우회전 차량 녹색신호가 동시에 등화 되어 상충이 발생하는 것을 그림으로 보여주고 있다.



출처: Saneinejad, S., & Lo, J. (2015). Leading Pedestrian Interval Assessment and Implementation Guidelines.

그림 2.1 LPI의 적용방법

2.1.2 LPI의 적용의 적합성 고려 요소

Saneinejad 등(2015)은 LPI 기법을 적용하기 위해 우선적으로 대상교차로를 표 2.1과 같이 교통안전측면과 교통소통측면에서 검토하여야 한다고 하였다.

표 2.1 LPI 기법 적용의 적합성 평가 항목

안전 측면	소통 측면
<ul style="list-style-type: none"> - 운전자가 좌회전 시에 양보에 대한 필요성을 느끼지 않고 회전을 진행하는 교차로(즉, T형 교차로나 일방로에 접속하는 교차로) - 넓은 회전반경이나 불규칙한 기하구조, 횡단보도의 위치, 건물이나 교각, 태양이 수평선에 가까울 때 눈부심을 발생시키는 경우 등으로 인해 가시성의 문제가 있는 곳 - 횡단하는 보행자가 많은 곳 - 상층 분석을 통해 보행자와 회전차량의 충돌 등급이 높은 곳이나 비 양보 행위가 관찰되는 곳 또는 근거리 접촉 사고가 발생하는 곳 - 학교 근방인 곳 - 노인의 활동이 많은 곳 	<ul style="list-style-type: none"> - 차량 지체 증가 - 차량의 서비스 수준에 부정적인 영향 - 높은 교통량에 부정적인 영향

2.1.3 LPI 지속시간 설정

LPI 지속시간 설정은 회전차량 운전자의 보행자에 대한 시인성에 영향을 가장 많이 미치는 요인으로서 LPI 기법 적용의 효율성에 많은 영향을 미칠 것으로 판단된다. 문헌을 통해 살펴본 LPI 지속시간은 3초~6초 혹은 그 이상의 시간을 사용하는 것이 바람직한 것으로 보고되었다(Saneinejad 등. 2015). 예를 들면, 토론토시의 LPI 지속시간 기준은 다음 식(2.1)과 같다.

$$LPI = 5\text{초 이상 또는 } (TL/2 + PL)/W \tag{2.1}$$

여기서,

- LPI : 보행자의 보행신호의 시작과 차량 녹색신호 시작의 시간차이(초)
- TL(Traffic Lane) : 주차선을 포함하지 않는 횡단보도의 총 횡단거리
- PL(Parking Lane) : 순수 주차선 길이
- W : 보행속도 (1.0 m/s)

위 공식은 회전차량에 대한 보행자의 시인성이 증가할 수 있도록 보행자가 횡단보도를 적어도 절반을 횡단할 수 있는 시간을 보장하기 위해 산정된 것이다. 또 최소 5 이상을 적용하도록 하는 이유는 LPI 시간이 최소 5초 이상이어야 보행자가 주어진 보행신호를 방해 받지 않는다는 토론토 지역의 실제 조사 결과를 통한 것이다. 이와 유사하게 뉴욕에서도 최소 6초 또는 절반을 횡단할 수 있는 시간으로 정하고 있다.

추가로 Ontario Traffic Manual Book (OTM) 12 에서는 LPI시간을 4~6초 사이로 범위로 설정하고 있고 미국 FHWA에서는 LPI시간이 최소 3초 이상이어야 회전 교통량이 도착하기 전에 보행자가 횡단을 시작할 수 있다고 명시하고 있다.

2.1.4 LPI 사례 연구

우리나라에서 LPI기법의 적용의 타당성 및 효과 산정에 앞서 미국, 캐나다 등과 같은 선진국의 도시에서 LPI 기법을 적용한 연구 사례를 살펴보았다.

토론토 2개 교차로에서 LPI의 적용 결과 University Ave-Adelaide 교차로에서는 보행자에게 운전자가 양보하지 않는 상황이 34% 감소하였고 St. George-Habord 교차로에서는 기울어진 기하구조로 인해 반대로 양보하지 않는 상황이 증가하였다(City of Toronto, 2005).

샌프란시스코 3개 교차로에서는 65~76% 보행자 앞에서 회전하는 차량이 감소한 결과가 나타났다. 그러나 보행자-차량의 상충 감소효과는 각 교차로의 특성에 따라 상이한 것으로 조사되었다(Hua 등, 2009).

마이애미 2개 교차로에서는 조사 결과 우회전차량에 대한 변화는 없었지만 좌회전 차량이 보행자에게 양보하는 비율이 9~18% 증가하였고, 보행자 신호 시작 후 처음 4

초간 횡단을 시작하는 보행자가 21~31% 증가한 것으로 나타났다(Saneinejad 등, 2015, 재인용).

뉴욕 26개 교차로에서는 10년간의 사고기록과 대조군을 통하여 적용 결과를 조사하였다. 차량-보행자 충돌의 절대 수치의 변화가 12% 감소하였고, 충돌 심각도는 55% 감소하였다. 심각도를 고려하여 적용 결과를 비교하면 64% 감소한 것으로 조사되었다. 뉴욕 시내에 14,000건의 사고 중 36%는 보행자가 도로 횡단 중에 발생하는데 LPI 적용으로 인해 12%가 감소한다면 연간 514건의 사고를 줄일 수 있을 것으로 전망했다(King, 1999).

플로리다 St. Petersburg 3개 교차로 적용 결과 보행자가 횡단을 시작하는 때에 충돌할 가능성이 95% 감소한 것으로 나타났다. 3개 교차로에서 LPI 적용 전 44번의 관찰기간을 두고 적용 후와 비교 결과 평균적으로 보행자 100명당 2~3명 정도로 발생하던 상충이 41번의 관찰기간 중 34번은 상충이 발생하지 않았고 나머지 관찰기간에는 상충이 100명당 2명이 넘지 않는 것으로 집계되었다. 상충의 감소뿐만 아니라 보행 가능 시간도 증가하였는데 보행자 신호의 선행으로 인한 보행자 통행권이 증가한 원인이다. 결과적으로 보행자의 편의와 안전도의 향상이 있는 것으로 결론 내렸다(Houten 등, 2000).

펜실베이니아 대학가 10개 교차로에서 적용 결과 46~71% 충돌이 감소하였고 보행자가 많은 교차로에서는 큰 차이가 없었다. 결과적으로 LPI는 적용 비용이 저렴하기 때문에 비용-고효율적이며, 사고 비용-편익비를 달성하기 위한 사고 감소 효과는 충분히 달성할 것으로 전망했다(Saneinejad 등, 2015, 재인용).

캘리포니아의 Anaheim 교차로에 LPI를 적용한 연구 사례에서는 적신호시우회전(Right Turn On Red : RTOR)을 제한하지 않는 교외지역에서 도심에서 만큼의 효과가 나타나지 않을 수 있다는 것과 RTOR 회전 차량과 보행자의 상충을 해결하기 위해서는 최소 LPI 신호 기간 동안만이라도 RTOR을 제한해야 할 것으로 결론을 내렸다(City of Toronto, 2005).

이 외에도 Hubbard 등(2007)은 회전차량에 의한 보행자서비스 수준의 영향을 평가했으며, 회전차량에 의해 손상된 보행자 횡단의 비율이 횡단의 15% 비율을 초과하면 LPI 기법을 적용하는 것이 적절한 것으로 판단하였다.

Saneinejad 등(2015)은 토론토 교차로를 기준으로 LPI 적용에 대한 가이드라인을 제안하였다. 또 신호로 보호 받는 좌회전 차량에 대한 LPI 적용의 불필요성, 미국 고속

도로 안전 매뉴얼을 기초로 한 RTOR의 제한 (RTOR 제한이 없는 교차로의 경우 CrashMeasF 값을 1.7로 고려하고 있는데 이것은 보행자 및 자전거의 충돌이 70% 더 높다는 것을 의미한다.), LPI적용의 적합성 고려요소, LPI 적용 전·후 상충분석에 대한 내용에 대해서도 언급하였다. 본 연구에서 구현한 모델의 LPI 운영에 참고하였다.

위 선행 연구사례들을 통해 LPI의 적용은 신호로 보호 받는 좌회전의 경우에는 필요하지 않고 보행자 안전을 위해 RTOR을 제한하는 것이 좋다고 판단되며, 위의 연구 사례들은 실제 교차로에 LPI적용을 하여 그 전·후 효과를 분석한 것으로 LPI적용 교차로의 교통여건이나 물리적인 특징과 같은 제반여건에 따라 그 효과의 정도가 다른 것을 알 수 있었다. 본 연구에서는 LPI 기법의 국내 적용을 검토를 위해 현장조사를 통한 시행 전후 효과분석에 앞서, 제반여건에 따른 LPI 효과를 현실적으로 분석할 수 있는 시뮬레이션 모형을 개발하는 것을 목표로 한다.

2.2 상충이론(Conflict Theory)

2.2.1 상충이론의 개요

교통사고는 차량, 인간, 환경 등 다양한 요인들이 복합적으로 작용하여 발생하게 된다. 그러나 사고는 각개의 요인들 보다는 불완전한 요인들이 결합될 경우 그 위험은 증가하게 된다. 이러한 교통사고 발생 매커니즘의 이해를 통해 교통사고 감소의 해법을 찾고자 하였고, 이를 이론적으로 구현한 것이 바로 상충이론이다. 교통상충이론이 논의된 배경으로는 데이터의 수집과 관련된 문제점이 있었기 때문이다. 이 전까지의 교차로에서 사고예측방법은 다년간 누적된 사고 기록 자료를 토대로 하여 위험 정도를 판단하였고, 이 데이터는 실질적인 사고가 일어난 뒤에야 얻을 수 있었으며 불완전한 데이터로 인해 정확한 위험도를 판단하기 힘들었다. 상충이론은 이러한 문제를 해결하고 실제 교통사고가 일어나지 않은 교차로의 위험도를 어떻게 판단할 것인지 체계적으로 관측하기 위한 방법으로써 고안되었다(Parker Jr 등, 1989).

교통상충이론은 1977년 노르웨이 오슬로에서 처음 발표되었다. 교통상충(traffic conflict)은 2개 이상의 도로 이용자가 동일한 도로 구간을 사용하려고 할 때 즉, 사고에 임박한 상황에서 발생하는 교통류의 교차, 합류, 분류되는 현상 등의 회피행동을 발생시키는 사건이라고 정의한다(윤일수 등, 2011). 교통상충은 분류 방법에 따라 몇 가지 유형으로 구분할 수 있는데, 교차로 내에서의 상충위치에 따라 교차지점의 합류 상충과 분류상충으로 구분할 수 있으며, 상충 상황별로 추돌형 상충(rear-end conflict), 교차형 상충(crossing conflict), 차로 변경형 상충(lane changing conflict) 등으로 구분할 수 있다. 특히 교차로에서 교차로에 유입하는 도로의 수가 많아지면 교차로 내에서 교차, 합류, 분류하는 교통류의 수가 기하급수적으로 늘어나 교통처리가 매우 복잡하고 사고 위험이 증가되기에 도로설계편람(2013)에서는 그 수를 최소가 되도록 하고 있다. 90년대에는 이러한 교통상충을 이용해 사고발생의 잠재적 지점과 사고발생지점의 안전도를 진단하는 교통상충기법(traffic conflict technique; TCT)에 대한 연구로 이어지게 되었고, 도로에서 발생하는 사고 유형 및 예측에 대한 연구가 현재까지 진행 중이다(윤일수 등, 2011). 교통상충기법은 관찰을 통해 교차로에 대한 평가를 가능하게 하며 이 때 수집된 정보는 실제 사고 기록으로부터 얻어진 정보보다 포괄적인 성격을 지니고 있다. 특히 짧은 관찰기간 동안 한정된 공간에서 조사를 통하여 자료를 취득하고

분석할 수 있는 장점이 있으며, 상충수를 측정함으로써 교통안전 변화의 효율성을 판단하기 위한 비교적 빠른 방법이다. 결론적으로 실제 사고 수집을 통한 방법에 비하여 보다 짧은 관찰기간 동안 도로 기하구조 및 교통조건의 변화 등 교통 환경 변화에 대해 양적 및 질적으로 평가할 수 있는 방법이다.

2.2.2 상황별 상충의 유형

추가적으로 미국 FHWA에서 발행한 Traffic Conflict Techniques For Safety and Operations-Observers Manual(1989)에 따르면 교통상충이 발생할 수 있는 상황을 관측자의 관측위치를 기준으로 기본적인 14가지의 유형으로 정의 하고 있다

1) 동일 진행방향 상충

(1) 동일 진행방향 좌회전 차량에 의한 상충

같은 진행방향의 선행 차량이 좌회전을 위해 속도를 줄이면서 후행차량이 추돌형상충을 발생할 수 있는 상황이다(그림 2.2 (a)).

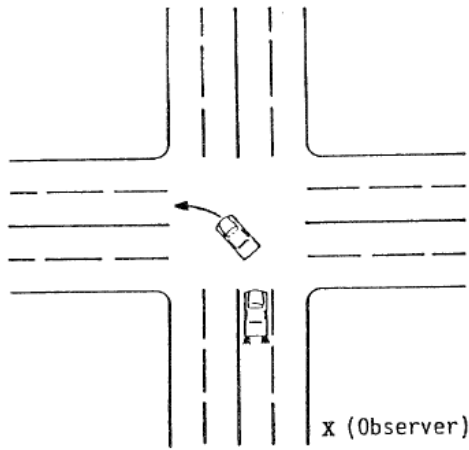
(2) 동일 진행방향 우회전 차량에 의한 상충

같은 진행방향의 선행 차량이 우회전을 위해 속도를 줄이면서 후행차량이 추돌형상충을 발생할 수 있는 상황이다(그림 2.2 (b)).

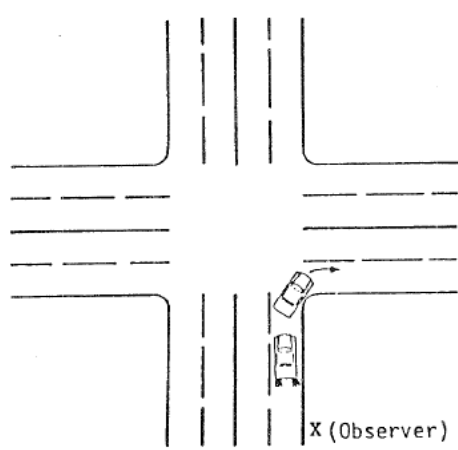
(3) 동일 진행방향 서행 차량에 의한 상충

같은 진행방향의 선행 차량이 교차로에 접근하거나 통과할 때 속도를 줄이면서 후행 차량이 추돌형 상충을 발생할 수 있는 상황이다(그림 2.2 (c)).

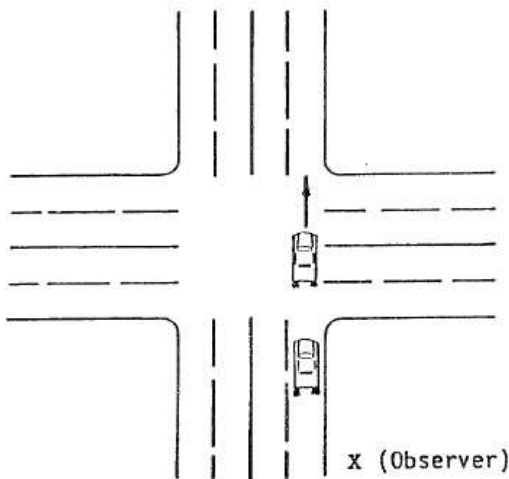
(4) 차로변경, 그림2.5와 같이 선행 차량이 하나의 차선에서 다른 차선으로 차로 변경 시 후행 차량이 존재하면 추돌형 상충이나 차로변경형 상충이 발생할 수 있다. 더불어 이후 차량에 이차적인 상충을 유발할 수 있는 상황이다(그림 2.2 (d)).



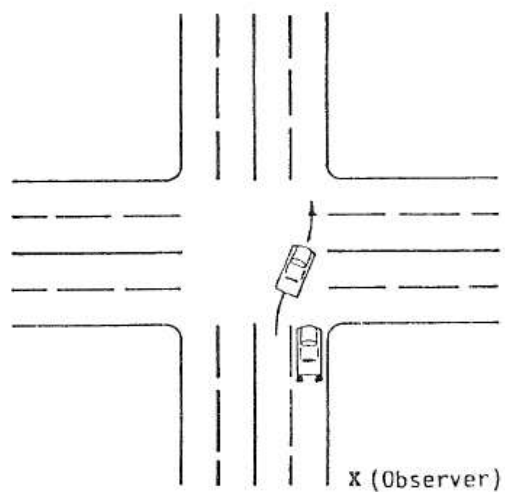
(a) 좌회전



(b) 우회전



(c) 서행차량



(d) 차로변경

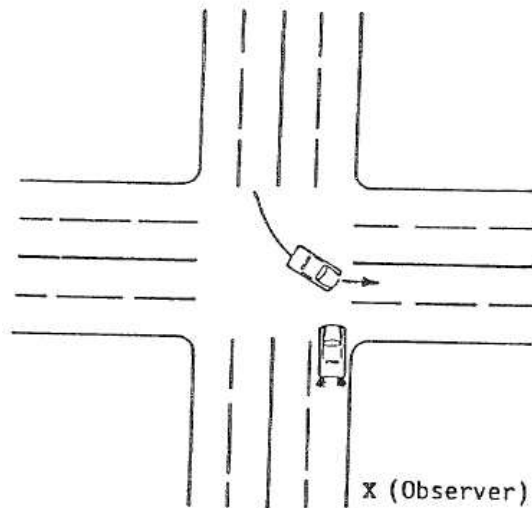
출처: Parker Jr, M. R., & Zegeer, C. V. (1989). Traffic Conflict Techniques for Safety and Operations. Observers Manual

그림 2.2 동일 진행방향 상충

2) 마주보는 방향 상충

(1) 마주보는 방향 좌회전 차량에 의한 상충

마주보는 차량이 좌회전 시 후행차량이 진행 중에 정면 혹은 측면을 들이받는 상충이 발생할 수 있는 상황이다(그림 2.3).



출처: Parker Jr 등 (1989).

그림 2.3 마주보는 방향 상충, 좌회전

3) 교차형 상충

(1) 우측 우회전 차량에 의한 상충

선행차량이 우측 접근로에서 우회전을 할 때 후행 차량이 추돌형상충 또는 측면을 들이받는 상충이 발생할 수 있는 상황이다(그림 2.4 (a)).

(2) 우측 좌회전 차량에 의한 상충

선행차량이 우측 접근로에서 좌회전을 할 때 후행 차량이 추돌형상충 또는 측면을 들이받는 상충이 발생할 수 있는 상황이다(그림 2.4 (b)).

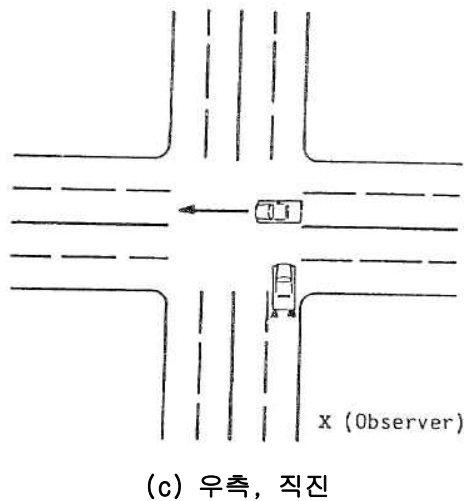
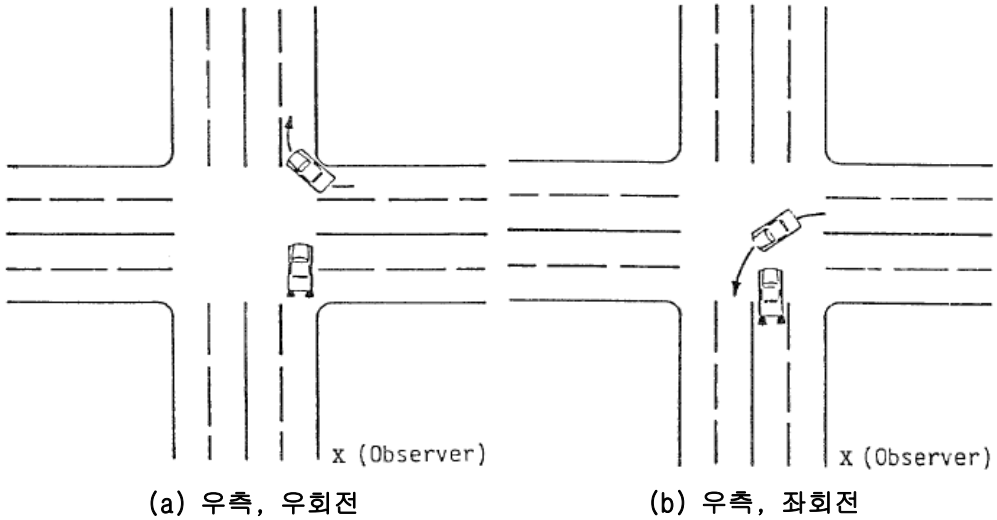
(3) 우측 직진 차량에 의한 상충

선행차량이 우측 접근로에서 직진을 하여 통과할 때 후행 차량이 측면을 들이받는 상충이 발생할 수 있는 상황이다(그림 2.4 (c)).

(4) 좌측 우회전 차량에 의한 상충

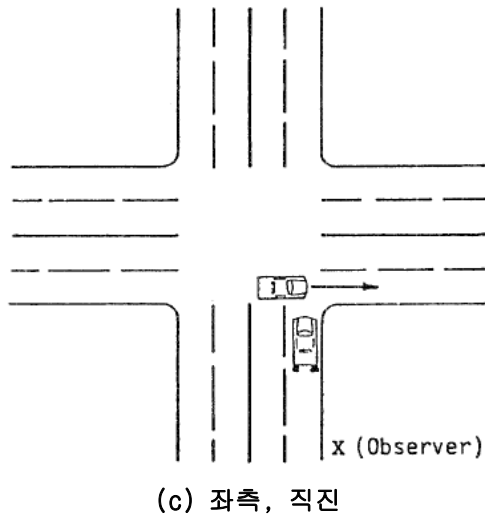
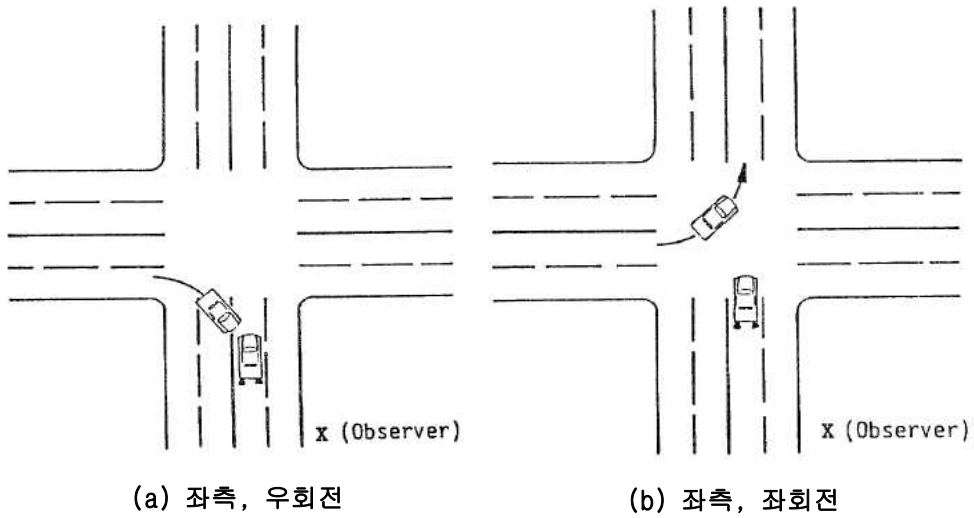
선행차량이 좌측 접근로에서 우회전을 할 때 회전반경이 큰 트럭 또는 버스 차량일 경우에 후행 차량이 정면을 들이받는 상충이 발생할 수 있는 상황이다(그림 2.5 (a)).

이하 우측접근로의 경우와 같다.



출처: Parker Jr 등 (1989).

그림 2.4 교차형 차량 상충, 우측



출처: Parker Jr 등 (1989).

그림 2.5 교차형 차량 상충, 좌측

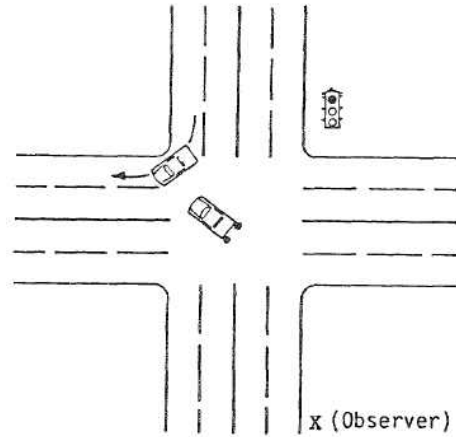
4) RTOR 상황에서 상충

(1) 마주보는 방향 적신호시 우회전 차량에 의한 상충

선행차량이 마주보는 접근로에서 적신호시 우회전을 할 때 후행차량이 좌회전을 하는 경우 정면 혹은 추돌형 상충이 발생할 수 있는 상황이다(그림2.6).

(2) 우측 적신호시 우회전 차량에 의한 상충

교차형 상충 유형중 우측 접근로에서 우회전을 할 때와 같은 유형이다(그림2.4 (a)).

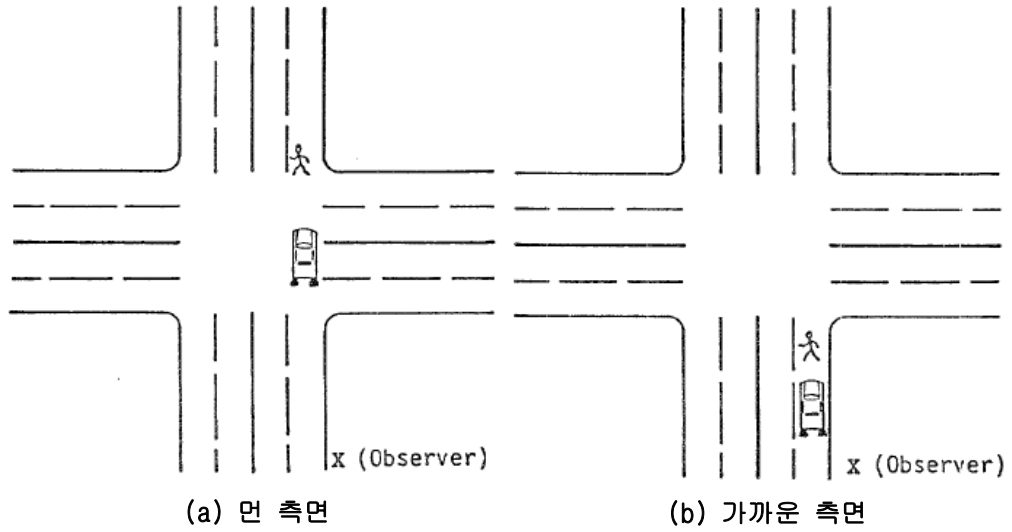


출처: Parker Jr 등 (1989).

그림 2.6 마주보는 방향, RTOR 상충

5) 보행자 상충

도로이용자는 주로 차량이지만 차량 앞을 횡단하는 보행자에 의한 상충이 발생할 수 있다. 교차로에서 마주보는 방향의 접근로를 횡단하는 보행자에 관한 먼 측면 상충과 같은 접근로를 횡단하는 보행자에 관한 가까운 측면 상충유형이 있다(그림2.7). 일반적으로 좌·우측 접근로의 상황은 고려되지 않으며 자전거를 이용하는 보행자의 상충 유형도 이 상황에 해당한다.



출처: Parker Jr 등 (1989).

그림 2.7 보행자 상충

2.3 대리안전척도 평가모형(SSAM)

2.3.1 SSAM의 개요

SSAM(Surrogate Safety Assessment Model)은 미국 FHWA에서 상충이론을 기반으로 교통사고 분석과 관련된 사고관련 변수를 고려하여 자동적으로 상충분석 작업을 수행하며, 이를 통해 다양한 시나리오 또는 설계 대안에 대한 안전성을 검증하기 위한 도구로써 개발하였다. SSAM은 VISSIM, TEXAS, AIMSUN 등과 같은 미시시물레이션 모델(microscopic traffic simulation model)로부터 시물레이션 된 차량들의 개별 경로자료를 입력 자료로 하여 자동화된 상충분석기법을 적용시키는 모델로 이 경로자료는 네트워크에 생성된 개별 차량의 위치, 속도, 및 가속도와 시물레이션 시간 등을 포함한다(윤일수 등, 2011). 이러한 개별차량의 경로자료 분석을 통해 SSAM은 안전성 효과를 대리(Surrogate)할 수 있는 척도인 상충횟수, Time To Collision (TTC), Post Encroachment Time (PET), Maximum Speed (MaxS), 및 Delta Speed (DeltaS)등을 산출하는데 이 대리안전척도는 실제 사고 자료 수집을 통한 안전도를 측정하는 방법의 한계를 극복하기 위한 방편으로, 미시교통시물레이션 등을 통해 구현된 차량 움직임에 따른 안전도를 정량화할 수 있다. 위에 언급한 주요 대리척도 외에 상충발생시 그 판단에 도움이 되는 차량의 Conflict Starting Point(CSP), Conflict Ending Point(CEP)와 차량관련 정보인 차량의 길이, 넓이 대향방향, 상충각도, 예상충돌속도 등의 보조적인 척도 자료 역시 함께 수집된다. 이러한 대리안전척도들의 값은 상충 가능성과 심각도를 표현하는데 사용되며, 심각도는 충돌시에 발생 가능한 피해의 정도로 볼 수 있다. 추가적으로 SSAM에서 산출하는 상충횟수는 차량경로파일별로 총 횟수, 교차형 상충 횟수, 추돌형 상충 횟수, 차로변경형 상충 횟수로 구분된다. 이 상충의 발생 횟수는 사고 발생 예상 건수의 의미보다는 사고 발생 가능성을 나타낸다.

2.3.2 SSAM의 특징

SSAM은 네 가지 특징이 있다. 첫째로 시물레이션이 구현되는 동안 생성된 차량 경로자료를 이용한다는 점이다. 이 경로자료는 네트워크에 생성되는 개별 차량의 속도 및 가속도와 차량의 위치 시물레이션의 시·종시간 등을 포함한다. 추가적으로, 각 미시교통시물레이션 마다 차량 경로자료의 저장 방식이 다르지만 SSAM은 여러 저장방식

의 경로자료를 읽어 분석할 수 있다.

두 번째 특징은 개별 차량 경로 분석을 통해 대리척도를 산출 및 요약 기능이 있다. 대리척도는 도로상에서 발생하는 실제 사고로 안전도를 측정하는 방식의 한계를 극복하기 위한 대안으로, 미시교통시물레이션을 통해 구현된 차량 움직임에 따른 위험도 및 안전도를 정량화할 수 있는 척도이다. 현재 설계 및 건설 중인 도로나 공용중인 도로의 평가를 위해 실제 사고 자료가 일정 수준 이상 수집 될 때까지 기다리는 것이 비효율적이기에 이를 대신할 대리안전척도로서 이용하는 것이다. 표 2.2에 SSAM에서 산출하는 대표적인 대리안전척도를 설명하였으며, 그림 2.8 SSAM에서 대리안전척도를 산출한 화면 예로 주요 대리안전척도와 충돌 심각도를 고려할 수 있는 보조대리척도가 집계된 것을 보여주는 화면이다.

표 2.2 주요 안전 대리척도

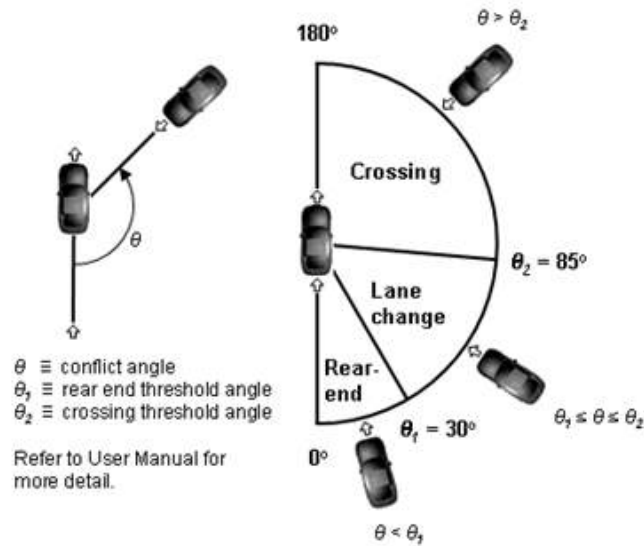
대 리 척 도	설 명
Time to collision (TTC)	후행차량이 동일한 속도로 주행했을 때 선행차량의 위치에 도착하는 시간 (값이 작을수록 충돌 확률 높다.)
Post Encroachment Time (PET)	선행차량이 상충지점을 도착한 시간과 후행차량이 도착한 시간의 차이 (값이 0인 경우는 실제 충돌한 상황이다.)
Deceleration Rate (DR)	후행차량이 감속하기 위해 필요한 거리 대비 시간의 비율 (값이 클수록 충돌 확률 높다.)
Max Speed (MaxS)	선행차량이 상충지점을 통과한 시점부터 두 차량이 충돌경로를 벗어난 시점의 차량속도 중 최고속도 (값이 클수록 충돌 시 심각도가 높다.)
Delta Speed (DeltaS)	선행차량과 후행차량의 속도차이 (값이 클수록 충돌 시 심각도가 높다.)

trjFile	tMinTTC	xMinPET	yMinPET	TTC	PET	MaxS	DeltaS
7692 - yale ...	112.10	-500.21	-253.30	1.50	3.90	5.44	
7692 - yale ...	158.90	-529.85	-220.14	1.40	2.90	6.38	
7692 - yale ...	435.10	-505.45	-292.99	1.40	2.20	5.72	
7692 - yale ...	565.60	-520.45	-260.19	0.00	0.00	13.89	
7692 - yale ...	578.40	-518.53	-258.41	0.00	0.00	15.85	
7692 - yale ...	888.70	-534.40	-270.12	1.30	2.50	4.79	
7692 - yale ...	941.90	-505.12	-298.49	1.50	2.70	6.14	
7692 - yale ...	1,355.30	-500.73	-253.33	1.40	3.60	5.73	
7692 - yale ...	1,526.80	-529.29	-262.68	1.10	2.50	7.32	
7692 - yale ...	1,640.20	-500.86	-253.33	1.30	2.40	6.22	
7692 - yale ...	1,640.70	-500.56	-256.82	1.40	2.00	6.39	
7692 - yale ...	1,692.40	-500.23	-260.38	1.40	3.80	5.62	
7692 - yale ...	1,965.30	-516.69	-253.98	1.30	1.80	5.86	
7692 - yale ...	1,968.40	-500.31	-256.81	1.50	3.30	5.57	
7692 - yale ...	2,080.80	-501.01	-253.34	1.50	2.20	5.66	
7692 - yale ...	2,082.20	-493.95	-256.46	1.50	2.10	6.22	
7692 - yale ...	2,131.60	-504.36	-340.10	1.50	4.10	5.33	
7692 - yale ...	2,138.00	-500.76	-253.33	1.50	4.10	5.26	
7692 - yale ...	2,144.30	-495.67	-255.53	0.60	0.70	6.12	
7692 - yale ...	2,197.90	-528.44	-266.03	1.50	1.90	6.84	
7692 - yale ...	2,255.40	-529.20	-262.67	1.40	2.90	5.63	
7692 - yale ...	2,297.80	-520.05	-244.21	1.40	2.30	5.62	
7692 - yale ...	2,316.50	-500.69	-253.32	1.50	2.20	5.70	
7692 - yale ...	2,428.80	-534.59	-270.14	1.50	2.60	4.88	
7692 - yale ...	2,481.10	-500.14	-260.37	1.50	2.40	5.32	

출처: Pu, L., & Joshi, R. (2008). Surrogate safety assessment model (SSAM): software user manual.

그림 2.8 SSAM에서의 대리척도 산출

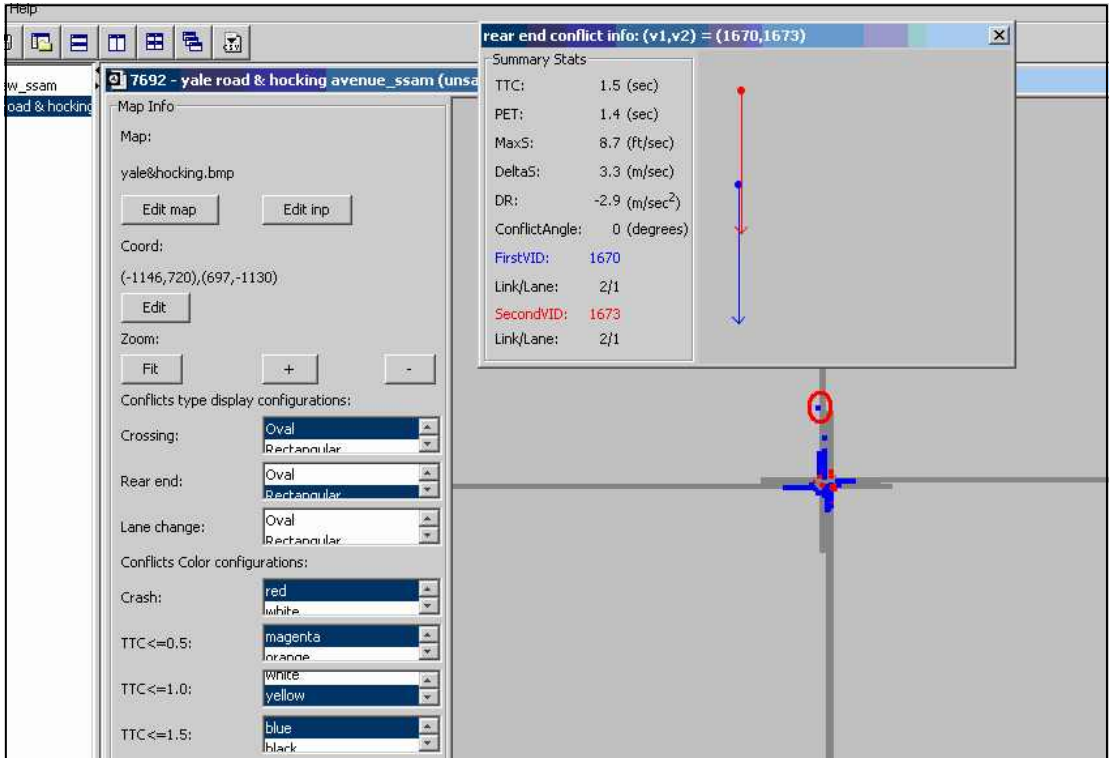
세 번째 특징은 경로자료를 분석하기에 용이한 필터 기능을 제공한다. 경로자료를 분석하여 산출된 대리척도를 각각 알고자하는 범위 값으로 지정하거나, 특정 링크의 자료, 특정 상충유형별로 구분하여 추출할 수 있다. 추가적으로 경로자료 분석 시 상충유형(교차형 상충, 추돌형 상충, 차로 변경형 상충)은 상충각도에 따라 결정되는데 그림 2.9에서 보는 바와 같다. θ 값은 두 차량의 상충각도를, θ_1 은 추돌형상충 각도의 상한, θ_2 는 교차형상충 각도의 하한 값으로 그림에서는 각각 30° , 85° 로 되어있지만 그 상충유형을 결정하는 각도 범위 값은 사용자가 변화시킬 수 있다.



출처: Pu, L 등 (2008).

그림 2.9 상충각도 예시

네 번째 특징은 개별차량 경로 자료 분석을 통해 상충이 발생하는 지점을 상충유형별, 또는 TTC 값의 범위에 따라 색과 모양을 달리하여 표시할 수 있으며, 이때 네트워크의 모형을 배경화면으로 하여 네트워크상에 나타낼 수 있다. 상충지점을 시각화할 때 상충 지점별로 개별 상충의 발생 방향에 대해서도 나타내는데, 시각적인 이해 및 분석에 편의를 제공하며 그 내용은 그림 2.10에서 보는 바와 같다. 그림 상에 팝업창은 네트워크상의 상충지점 중 예시로 한 지점을 확인한 것으로 화살표는 두 차량의 진행방향 및 상충방향을 나타내는 것이며, 그 지점의 대리척도 역시 같이 표시한다.



출처: Pu, L 등 (2008).

그림 2.10 SSAM 네트워크 표시 기능

2.3.3 미시교통시물레이션과 SSAM을 통한 분석 사례

윤일수 등(2011)은 SSAM을 이용하여 대리척도를 통해 신호교차로에서 교통신호 제어 유형별 세 가지 시나리오에 대하여 차량 기준의 교차로 안전도 평가를 실시하였다.

Parr, S 등(2013)은 공항 Landside에서 교통운영을 평가하는 수단으로 VISSIM과 SSAM을 이용하여 차량효율과 보행자의 안전성을 평가하였다. 보행자 경로에 따른 2가지 방안을 선정하고 VISSIM과 SSAM을 이용하여 TTC, Conflict 등 대리안전척도가 더 효과적인 방안을 채택하였다.

Agarwal, N. K(2011)은 신호 및 비신호교차로에서 횡단하는 보행자의 안전을 미시교통시물레이션 소프트웨어와 대리안전척도를 이용하여 추정하였다.

정영호 등(2015)은 LPI의 분석을 위해 SSAM과 VISSIM을 이용한 방법론을 제시하였고 시뮬레이션을 이용해 전·후 비교를 하여 그 방법의 타당성을 밝혔다.

선행 연구 사례를 확인한 결과 특정지역의 현장 측정을 통한 분석이 주를 이루었고 SSAM과 미시교통시뮬레이션을 조합하여 분석한 사례 중 차량에 대한 분석과 보행자에 대한 분석이 선행 되었으나, LPI의 효과척도를 산정한 사례는 없었다.

제 3 장 LPI 평가모형 구축 및 요인분석

3.1 평가방법 개요

본 연구에서 LPI 기법의 적용 효과를 평가하기 위해 적용한 절차는 그림 3.1과 같다. 일반적으로 SSAM 모형을 이용하여 안전성을 평가하는 방법으로 마이크로시뮬레이션모형을 이용하여 교통류를 구성하고 있는 개별차량들의 움직임을 모델링하고 그 결과를 SSAM 모형의 입력자료로 하여 상충분석을 시행하는 것이다. 미시교통시뮬레이션은 VISSIM, Paramics, CORSIM, TransModeller 등이 있으며, 본 연구에서는 국내에서 널리 쓰이는 VISSIM("VerkehrInStädten- SIMulationsmodell"; 도시 교통 "에 대한 독일어 - 시뮬레이션 모델 ")을 이용하여 교통류를 모델링하였다.

본 연구에서 적용한 절차를 활용하여 LPI 기법의 실질적 효과를 측정 가능하도록 만들기 위해서는 VISSIM 소프트웨어를 이용하여 구축하는 모형이 우회전차량과 보행자간의 상충을 현실적으로 묘사 가능하여야 한다. 다음 절에서는 현실감 있는 VISSIM 모형을 구축을 위해 링크, 커넥터와 같은 모형의 구성요소들의 속성을 구체적으로 어떻게 설정하였는지에 관하여 논한다.

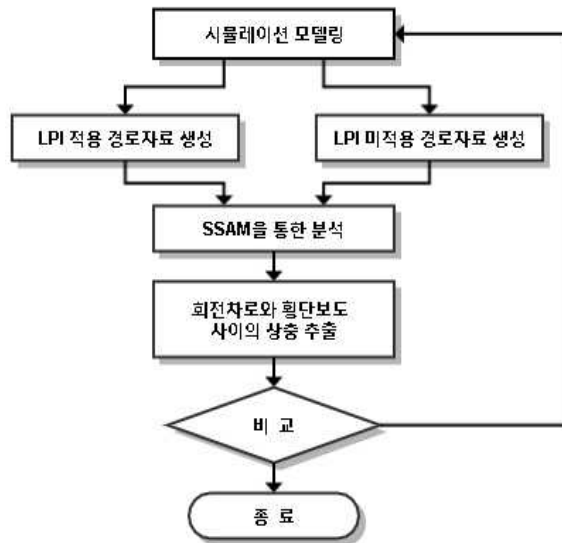


그림 3.1 LPI 기법 평가 절차

3.2 시뮬레이션 모형 구축

시뮬레이션모형 개발의 일반적인 과정은 네트워크 구축, 교통류 파라미터 모델링, 경로 설정, 회전에 대한 감속 설정, 상충지역에서의 우선순위 할당 및 신호운영 설계 등을 포함하고 있다. 본 절에서는 우회전차량과 보행자간의 상충을 현실적으로 묘사하는 것을 목표로 비교적 단순한 형태의 T형 3지교차로를 대상으로 시뮬레이션모형을 구축하였다. 교차로 및 횡단보도의 설계는 도로설계편람의 내용을 반영하였으며, 접근로 길이는 500m로 설정하였다. 또, 상충 양상의 단순화를 위해 T형 3지 교차로에서 횡단보도는 부도로에만 1개소 설치하였다. 주도로와 부도로의 차로 수는 접근로별로 2차로 즉, 양방 4차로로 구현하였다. 교차로 기하구조와 교통상황 등과 관련된 사항은 표 3.1에 요약하였으며, 기타 시뮬레이션 모형 구축에 관한 세부 사항을 아래에 기술하였다. 그 외에 추가적인 변수들은 다음절에 기술하였다.

표 3.1 시뮬레이션 모형 구축 요약

기하구조		교통관련 설정	
형태	T형 3지 교차로	차량 설정	희망속도 70km/h (범위 68.0~78.0km/h) 상대흐름 값 0.980
차로 수	주도로 부도로 양방 2차로	보행자 설정	희망속도 5km/h (범위 4.0~6.0km/h)
교각	직각	차종	승용차 고정

1) 링크 설정

네트워크 모형 모델링에 링크는 그림 3.2와 같이 1부터 9까지 총 9개, 차로는 각 방향 2차로로 설정하였다. 접근로별 차로의 최소길이는 500m로 설정하였으며, 횡단보도는 7번, 8번 링크가 서로 겹치게 하여 양방 통행하는 보행자를 구현하도록 설치하였다.

링크 9번은 우회전 차량과 보행자의 관계를 확인하기 위해 우회전 전용 차로로 설정하였으며, 커넥터 1000번을 통해 6번과 9번 링크를 연결하였다. 여기에서 주목할 점은 커넥터 1000번의 설정에 따라 LPI 효과의 현실성이 좌우되는 것으로 분석되었다. 일반적으로 VISSIM에서 모형 구축 시 커넥터는 링크를 연결함에 있어 가장 짧게 설정하는 것이 장려되어 연구 초기에는 이를 짧게 설정하였으나 차량과 보행자의 상충을 현실적으로 묘사하기 어려워 SSAM 분석결과 의미 있는 결과를 도출할 수 없었다. 그림 3.3은 VISSIM 상에서 링크의 중심선(Center line)을 표시한 것으로 수차레의 시행착오를 통하여 최종적으로 그림 3.3과 같이 커넥터 1000번이 횡단보도를 넘어서까지 연결한 방법이 SSAM을 통한 분석 시 가장 우회전차량과 보행자간의 상충을 현실적으로 묘사할 수 있다는 결과를 도출하였다.

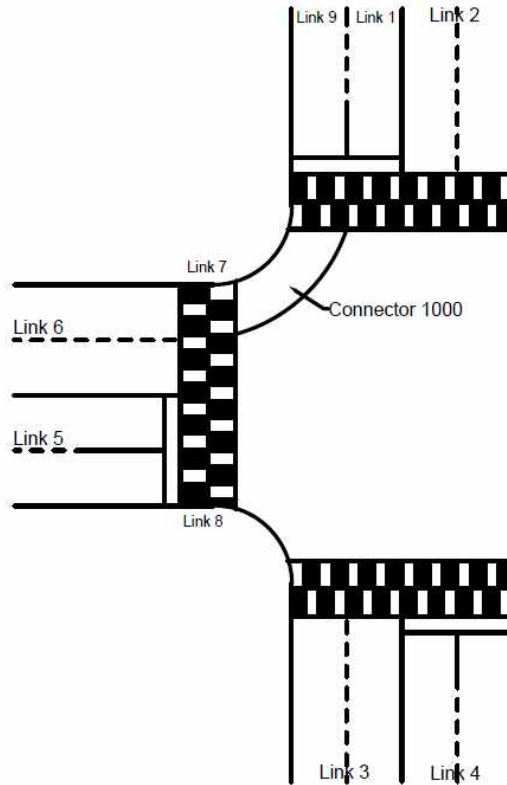


그림 3.2 링크설정

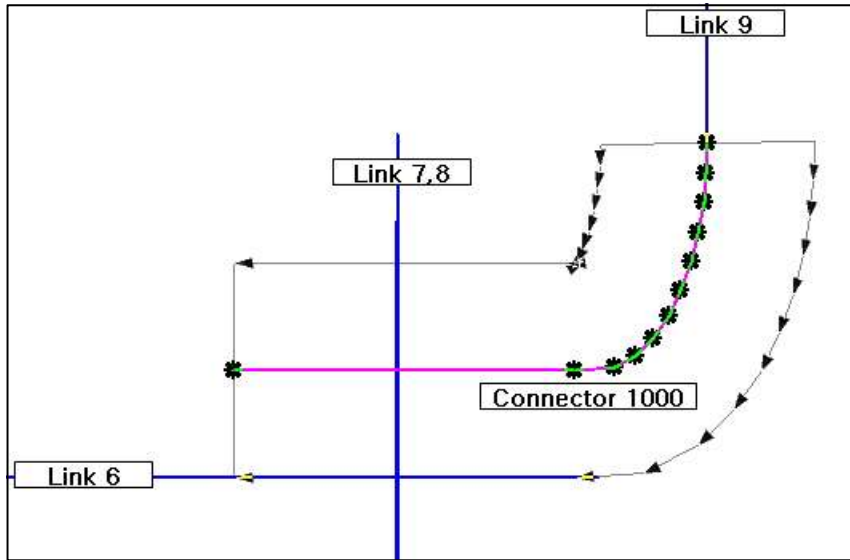


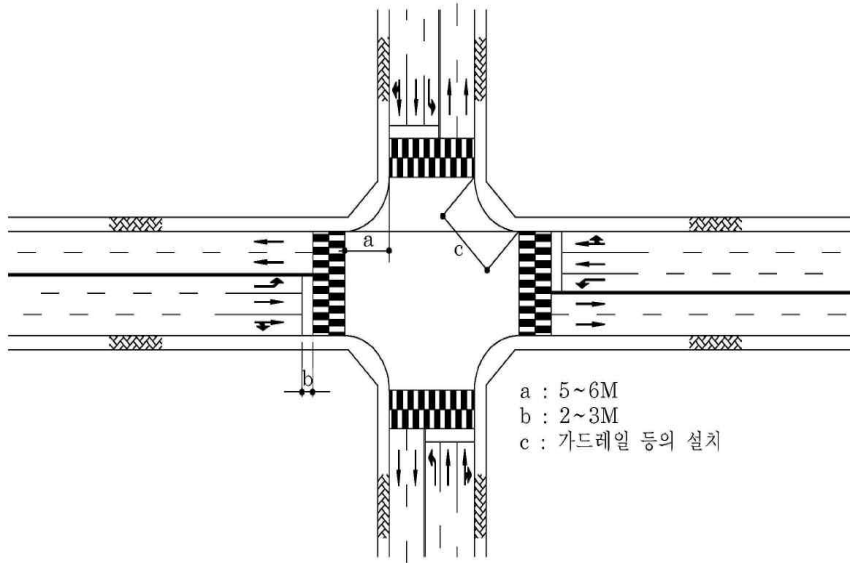
그림 3.3 커넥터 설정

2) 적신호시 우회전(RTOR) 제한 설정

우리나라에서는 1968년 도로교통에 관한 국제표준(UN 비엔나협약)을 따르지 않고 있으며 RTOR 역시 특수한 교차로를 제외하고 허용을 하고 있다(김동효, 2010). 적신호시 우회전을 허용할 경우 차량의 서비스수준 향상에 도움이 된다. 하지만 선행 연구 사례를 통하면 보행자 및 자전거 이용 보행자에게는 위험한 것으로 판단을 하고 있다. 미국 고속도로 안전 매뉴얼의 경우 RTOR 제한이 없는 교차로에서 충돌보정계수(Crash Modification Factors : CMF) 값을 1.7로 고려하고 있는데 이것은 RTOR을 허용하는 경우 보행자 및 자전거의 충돌이 70% 높다는 것을 의미한다(Saneinejad 등, 2015). 이를 근거로 하여 모델 설계 시에는 RTOR을 제한하여 구현하였다.

3) 보행자 시설 및 기하구조

보행자 시설의 경우 도로설계편람(2012)에서 제시한 내용에 따라 횡단보도의 폭을 4m, 그 위치는 보차도 경계선의 연장선의 5m 뒤로 설치하였다. 교차로 접근로는 직각으로 교차 하도록 하였다.



출처: 국토교통부 (2012).

그림 3.4 횡단보도 설치 기준

4) 우선순위 규칙 (Priority Rule)

커넥터의 설정 뿐 아니라 VISSIM 상에서의 설정 항목인 우선순위 규칙 역시 우회 전차량과 보행자간의 상충을 현실적으로 묘사할 수 있는 방법 중 하나이다. VISSIM 매뉴얼에 따르면 비신호 교차로에서 상충지점 진입의 우선순위를 설정할 수 있는 항목으로 그림 3.5, 3.6과 같이 횡단보도의 양쪽에서 횡단을 시작하는 보행자가 횡단보도 위의 설정 구역에 진입하는 경우 차량이 커넥터 위의 선에 정지하도록 설정하였다. 우선순위의 규칙은 차간시간 및 차두간격을 통해 그 설정구역의 범위를 지정하는데 여기서는 기본 값인 3초와 5m를 적용하였다.

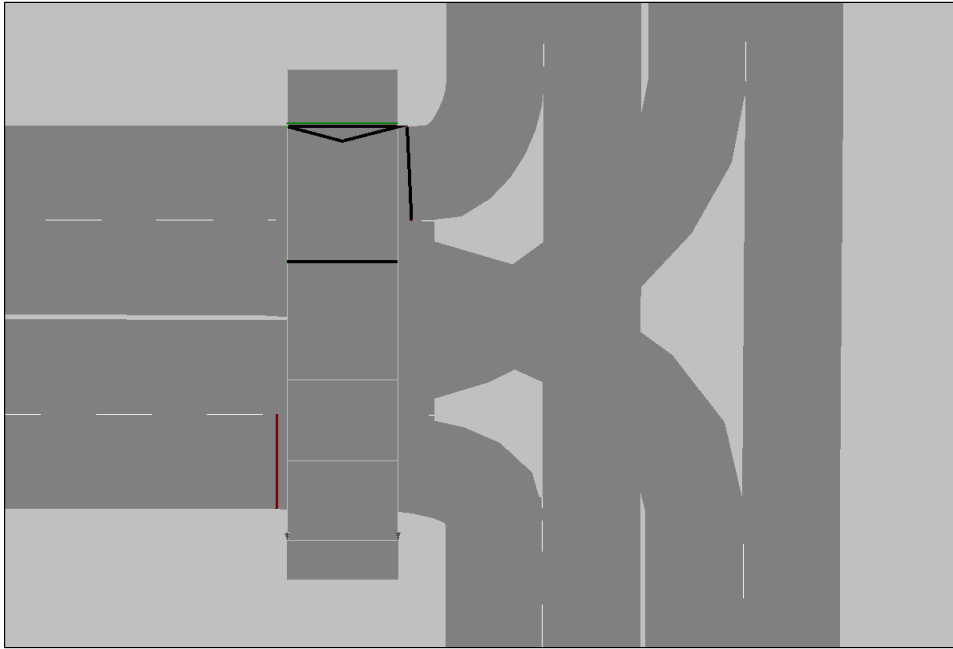


그림 3.5 우선순위 규칙1



그림 3.6 우선순위 규칙2

3.3 LPI 효과 요인분석

앞 절에서의 설정을 토대로 하여 기준이 되는 시뮬레이션 모형을 구축한 후 교통량, LPI적용시간, 보행량, 기하구조의 변화에 따라 LPI의 효과가 어떤 요인에 따라 어떻게 변화하는지 관찰하면서 시나리오별로 시뮬레이션을 수행 하였다. 수행 결과에 따라 생성된 차량의 경로자료를 SSAM에 입력하여 LPI 적용에 따른 보행자의 안전도를 대리 척도의 변화와 SSAM 기능 중 하나인 상층의 시각적 구현을 관찰하며 VISSIM을 통해 교차로의 평균지체를 산출하여 각 시나리오를 비교하였다. 동일 시나리오는 결과의 신뢰도를 높이기 위하여 다른 난수를 이용하여 총 5회 반복적으로 수행한 후 평균 값을 사용하였다.

3.3.1 기준모형 설정 및 교통량의 영향

1) 기준모형 설정

3.2 시뮬레이션 모형 구축에서 기술된 모형에 교통량 관련 설정은 도로설계편람 (2012) 교통신호기 설치기준에 의거 접근로별 교통량을 600 대/시간 이상인 경우부터 1600 대/시간 까지 200 대/시간 단위로 변경하여 총 6가지 교통량에 대하여 LPI 적용 전·후의 지체 및 상층횟수의 변화를 관찰하였다. 이 때, LPI 시간은 5초를 적용하였고 차량은 승용차로 일관되게 설정하였으며, 회전 교통량의 비율은 1:1:1로 하였다. 보행자는 양방 200 명/시간 으로 설정하였다. 기준모형 교통량의 경우는 교통량 변화에 따른 평균지체의 결과를 확인하여 설정하였다.

표 3.2 교통신호기 설치기준

차량교통량(8시간, 양방향 : 대/시간)	횡단보행자(1시간, 양방향, 자전거포함 : 명/시간)
600대	150명

출처: 국토교통부 (2012).

표 3.3 교통신호기 설치기준 2

접근로 차로 수		주도로 교통량(양방향) (대/시간)	부도로 교통량 (교통량이 많은 쪽) (대/시간)
주도로	부도로		
1	1	500	150
2이상	1	600	150
2이상	2이상	600	200
1	2이상	500	200

출처: 국토교통부 (2012).

2) 신호 운영 설정

신호현시 설정은 도로설계편람(2012)을 참고하여 주기를 권장 값인 120 초로 하여 현시별 신호에 황색신호를 포함하여 각각 40초를 부여 하였으며, 차량 신호의 황색시간은 3초로 고정하였다. 보행자녹색시간은 녹색고정시간 7초와 도로 폭 변화 및 차량 녹색시간을 고려하여 시간을 결정하였으며, 이 네트워크 모형에서는 27 초를 적용하였다. LPI 시간은 적용 시간에 따라 첫 번째 현시의 차량신호 시작을 늦추는 방식으로 운영하였고 그 내용은 표 3.5, 3.6에 요약하였다.

표 3.4 LPI 미적용시의 신호주기

구 분		1	2	3	주 기
신호현시		↓ ↑	↙ ↑	↗	120 초
보행	녹색/ 점멸	1~7/20 (27초)	0	0	
차량	녹색/ 황색	1~37/3 (40초)	41~77/3 (40초)	81~117/3 (40초)	

표 3.5 LPI 적용시의 신호주기(5초)

구 분		1	2	3	주 기
신호현시		↓ ↑	↙ ↑	↗	120 초
보행	녹색/ 점멸	1~7/20 (27초)	0	0	
차량	녹색/ 황색	6~37/3 (35초)	41~77/3 (40초)	81~117/3 (40초)	

3) 교통량의 영향

SSAM은 경로자료를 통해 상충횟수와 대리안전척도를 산출하는 기능이 있으며 상충 횟수는 해당 도로에서 사고 가능성을 나타내며 가장 간편하게 위험도를 판단할 수 있는 척도이며 대리안전척도는 사고발생의 위험 및 심각도를 실제 사고 사례가 발생하지 않고도 대리적으로 판단할 수 있는 척도이다. 상충횟수는 상충각도에 따라 3가지 유형으로 산출 되는데 본 연구에서는 보행자와 차량의 상충을 확인하기 위하여 유형에 무관하게 차량과 보행자 링크만의 상충을 추출하여 횟수를 산정하였다.

교통량을 증가하며 LPI의 적용 전·후 상충횟수 및 대리척도 평균값의 변화와 교통소통 측면에서 지체를 관찰한 결과는 표 3.6, 3.7과 같이 나타났다. 대리안전척도의 경우 TTC값 및 PET값이 증가하여 긍정적인 영향이 나타났으나 그 변화가 미비할뿐더러 LPI적용 후의 상충횟수가 90%이상의 감소효과를 보여 그 수가 많지 않기 때문에 실제적으로 큰 의미가 없고 상충횟수의 변화를 통한 효과 비교가 타당하다는 결론을 얻었다. 여기서 상충 횟수는 실제 사고 예상 횟수의 의미라기보다는 사고 발생 가능성을 가늠해 볼 수 있는 척도라 할 수 있다.

신호교차로의 서비스 수준은 교차로의 평균지체를 통해 판단하게 되는데 구축한 시뮬레이션 모형에서 교통량의 증가에 따라 평균지체 값이 증가하였다. 이 평균지체를 도로용량편람(2013)의 서비스수준 기준과 비교하여 1400 대/시간 의 경우가 용량상태에 가까운 서비스수준 E로 분석 되었다. 3.3.2~3.3.4 의 요인분석에서 침두시 혼잡 상황을 가정하여 용량상태에 근접한 교통량 1400 대/시간을 기준모형(Base case)으로 설

정하여 분석을 수행하였다.

표 3.6 교통량에 따른 평균지체 및 상충횟수 변화

구분	600(대/시)		800(대/시)		1000(대/시)		1200(대/시)		1400(대/시)		1600(대/시)	
	비적용	적용	비적용	적용	비적용	적용	비적용	적용	비적용	적용	비적용	적용
평균지체(초)	36.52	38.4	41.04	42.62	59.22	63.24	73.42	79.5	84.92	89.76	87.12	92.28
상충횟수(횟수)	54.8	2.2	60	3	50.6	0	52.8	0	52.6	1.6	54.8	1

표 3.7 교통량에 따른 대리안전척도 변화

구분	600(대/시)		800(대/시)		1000(대/시)		1200(대/시)		1400(대/시)		1600(대/시)	
	비적용	적용	비적용	적용	비적용	적용	비적용	적용	비적용	적용	비적용	적용
TTC	0.19	0.67	0.18	0.57	0.22	0.69	0.24	0.06	0.23	0.59	0.21	0.4
PET	0.19	0.89	0.15	0.72	0.2	1.34	0.25	0.12	0.21	0.98	0.22	0.93
MaxS	7.7	7.26	7.74	6.05	7.71	6.04	7.66	7.71	7.43	5.86	7.64	6.65
DeltaS	3.81	5.34	3.86	4	3.81	4.65	3.82	5.05	3.77	4.47	3.79	4.05
DR	0.55	-0.52	0.49	-0.19	0.17	-0.59	0.15	0	0.1	-0.49	0.1	-0.79
MaxD	0.54	-0.76	0.49	-0.21	0.15	-0.65	0.14	0	0.1	-0.49	0.05	-0.79
MaxDeltaV	3.66	4.38	3.73	3.74	3.66	4.02	3.67	4.89	3.65	4.18	3.66	3.64

표 3.8 신호교차로의 서비스 수준 기준

서비스수준	차량당 제어지체
A	≤ 15초
B	≤ 30초
C	≤ 50초
D	≤ 70초
E	≤ 100초
F	≤ 220초
FF	≤ 340초
FFF	> 340초

출처: 도로용량편람 (2013)

4) LPI 적용 결과 시각화

추가적으로 SSAM을 통해 LPI 적용 전·후 결과 중 한 사례를 그림 3.7, 3.8과 같이 시각화 하였다. 팝업창의 좌측 화살표는 보행자이며 우측 화살표는 차량의 진행 방향을 나타낸다. 그림에서 네트워크 모형 위의 사각형은 각 상층의 위치를 표시한 것으로 횡단보도와 차량의 상층을 보여주고 있다. SSAM의 필터 기능을 통해 차량과 보행자의 상층만을 표시한 결과이며 LPI 적용 전 횡단보도에서 발생한 상층들이 LPI 적용 후 많이 감소한 것을 확인할 수 있다.

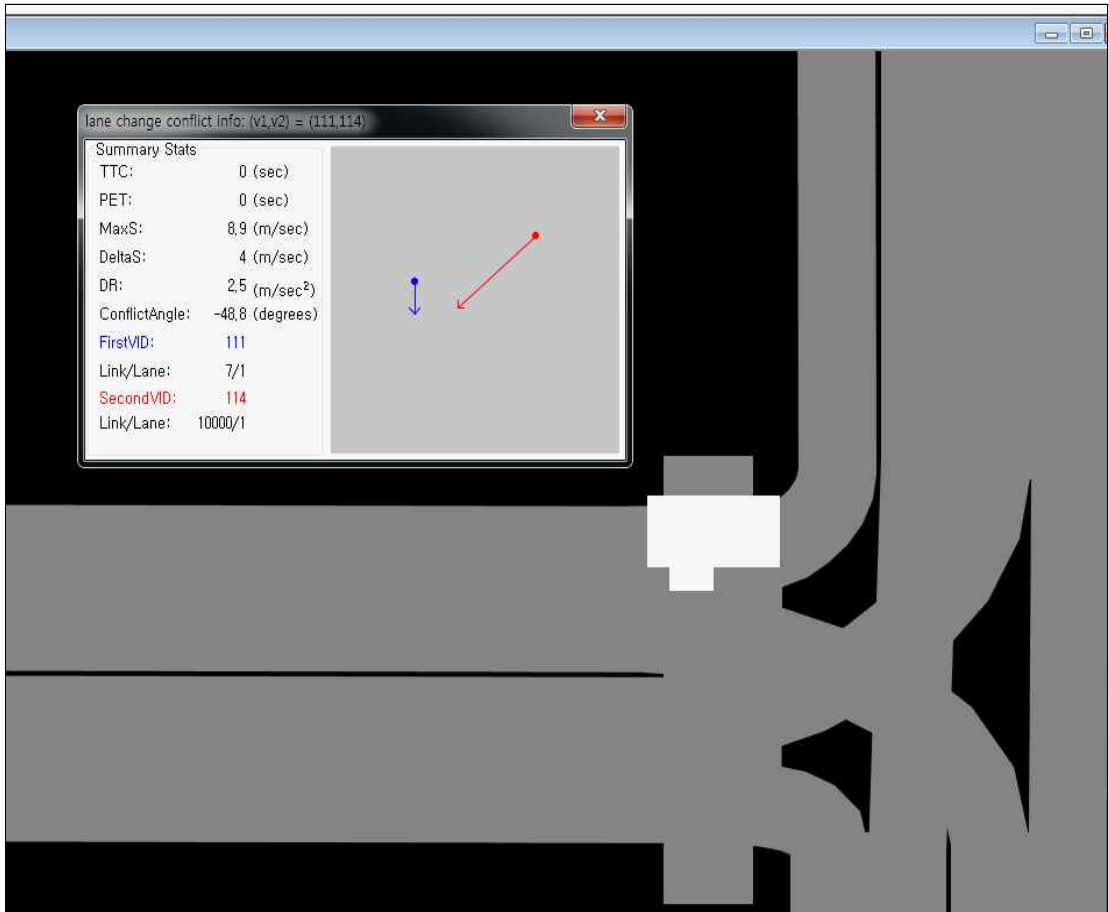


그림 3.7 LPI 적용 전 상충발생지점 시각화

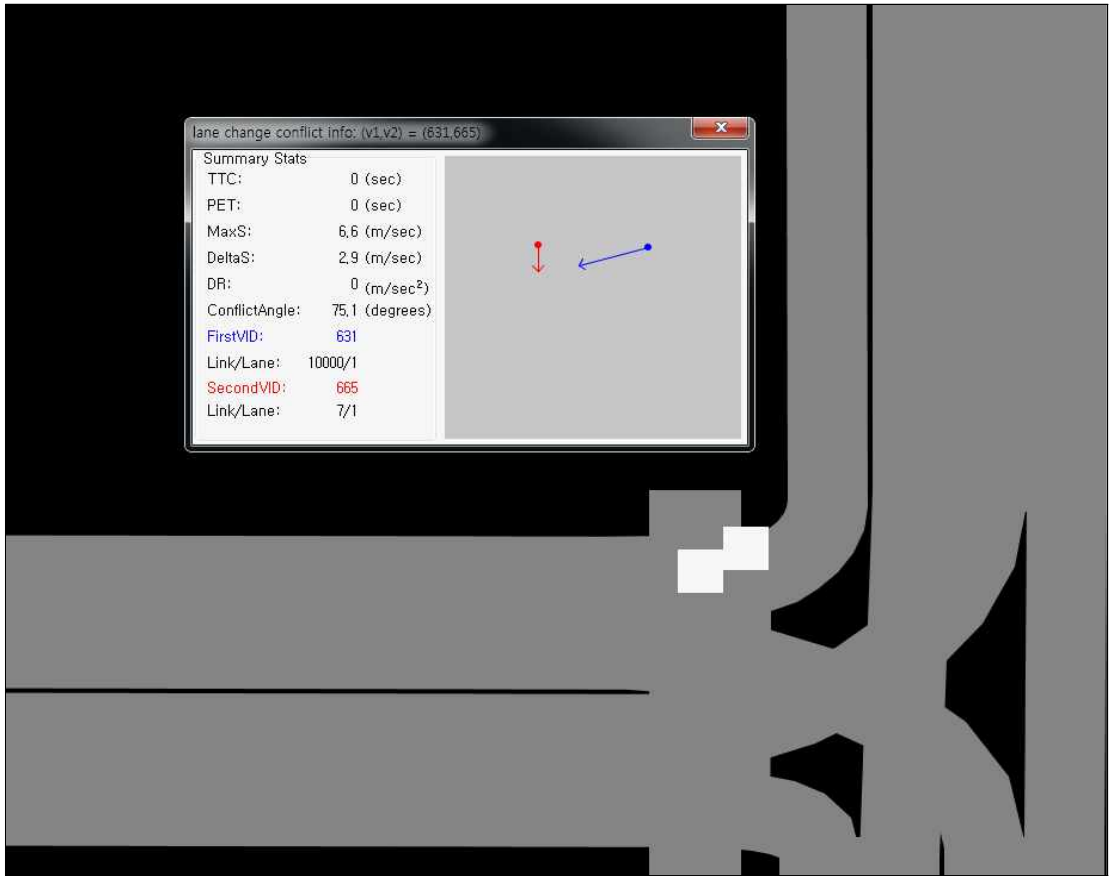


그림 3.8 LPI 적용 후 상충발생지점 시각화

3.3.2 LPI 적용시간의 영향

문헌조사 결과 LPI의 적용시간은 최소 5초 또는 그 이상(횡단보도를 절반 횡단할 수 있는 시간)으로 하도록 제안하고 있으며, 기준모형에서는 5초를 임의로 설정하였다. LPI 적용시간에 따른 안전측면과 교통소통 측면에서의 영향을 산정하기 위하여 LPI 적용시간을 3초에서 8초까지 1초씩 증가시키면서 평균지체와 상충횟수를 비교하였으며, 그 결과는 표 3.9와 같다. 적용시간의 증가에 따라 상충횟수의 감소양상을 보였으나 적용 시간에 구분 없이 적용 전·후 감소 효과는 약 40~50여회로 비슷한 결과가 산출되었다. 전체적인 경향을 확인한 결과 선행 연구사례와 마찬가지로 LPI의 적용시간은 표 3.9에서 보는 바와 같이 5초에서 현격히 감소되는 것으로 보아, 최소 5초 또는

그 이상을 적용하는 것이 타당한 것으로 판단되었다. 또 적용시간이 증가하면 차량의 평균지체가 증가하였는데 이 부분을 감안하지 않고 안전도 측면만 고려하면 현 기준모형에서의 효과가 가장 크게 나타난 적용시간은 7초로 나타났다.

표 3.9 LPI 적용시간에 따른 영향

구분	비적용	3초	4초	5초	6초	7초	8초
평균지체(초)	84.92	87.32	87.78	89.76	92.66	94.42	94.18
상충횟수(횟수)	52.6	9.2	7.8	1.8	1	0.2	0.4

3.3.3 보행량의 영향

기준 모형을 통한 보행자의 교통량의 영향을 관찰하기 위하여 보행자의 교통량을 양방 100 명/시간부터 300 명/시간까지 50 명/시간 간격으로 증가시키며 LPI 적용 전·후로 시뮬레이션 하였고 그 결과는 표 3.10과 같다. 보행자의 증가에 따라 상충횟수의 변화는 뚜렷한 경향을 보이지 않았으나 LPI 적용 후의 상충횟수 결과는 역시 90% 이상 감소하였다. 이는 보행자와 우회전차량이 주로 보행신호가 등화된 초기에 발생하기 때문으로 판단되며, LPI 기법은 보행자수가 적어도 LPI 효과가 유효하다는 것을 의미한다.

표 3.10 보행량에 따른 평균지체 및 상충횟수 변화

구분	100(명/시)		150(대/시)		200(대/시)		250(대/시)		300(대/시)	
	비적용	적용	비적용	적용	비적용	적용	비적용	적용	비적용	적용
평균지체(초)	82.3	88.56	83.64	89.54	84.92	89.76	85.3	90.96	84.98	90.14
상충횟수(횟수)	38.8	1.4	47.2	1.2	52.6	1.6	41.6	2	56.6	2.2

3.3.4 교차로 기하구조의 영향

교차로의 기하구조에의 영향을 산정하기 위하여 총 네 가지의 시나리오를 비교하였다. 구체적으로 기본모형은 주도로 접근로 2차로와 부도로 접근로 2차로인 경우이며, 여기에 표 3.11과 같이 주도로의 차로수를 한 차로 증가시킨 경우와 부도로의 차로수는 한차로 감소시키거나 두 차로 증가시켰을 경우와 비교하였다. 표에서 2×1은 주도로의 접근로의 차로수가 2차로이고 부도로의 접근로 차로수가 1차로인 것을 의미한다. 횡단보도의 경우 3.2 1)에서 명시한 것과 같이 부도로 상에 설치하였는데, 부도로의 차로수가 많아질수록 즉, 횡단거리가 길어질수록 상충횡수가 현저히 증가하는 것으로 나타났다. LPI의 적용 전·후의 결과는 역시 90%이상 감소하는 것으로 확인되었다.

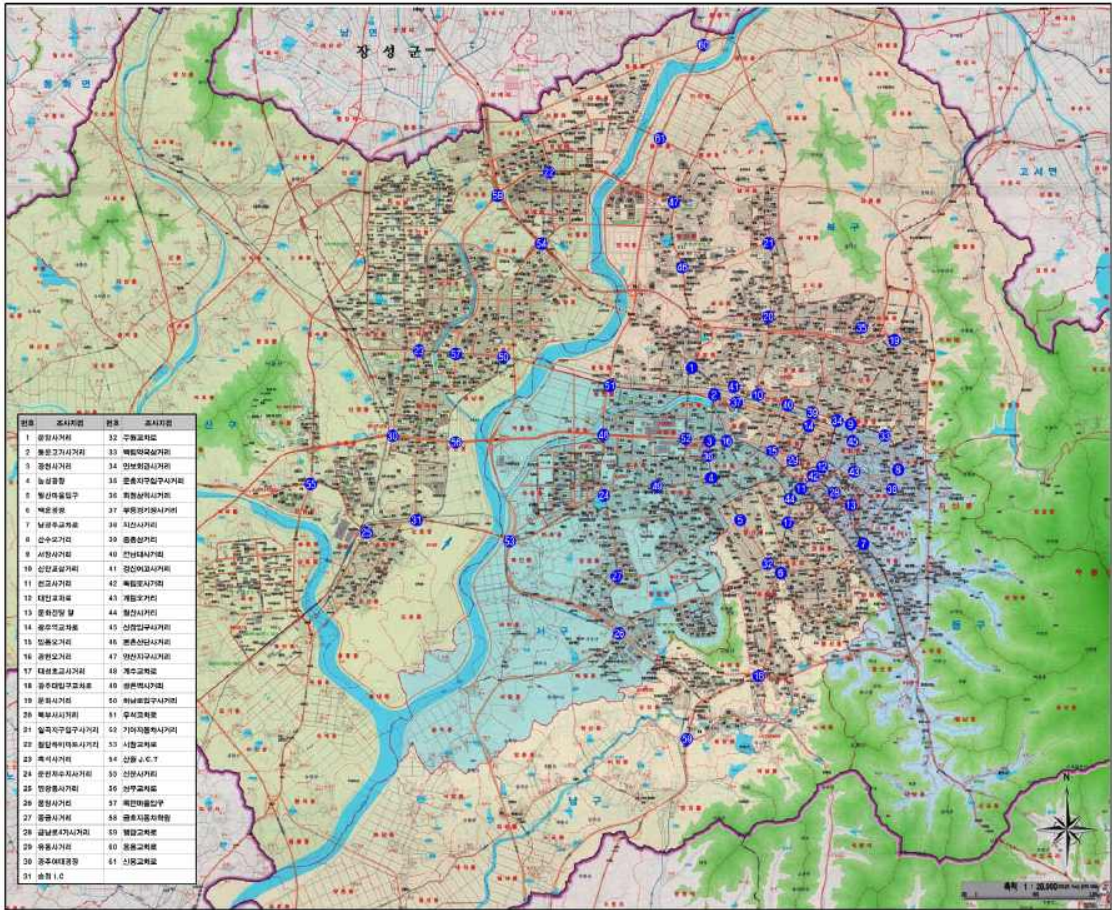
표 3.11 기하구조에 따른 평균지체 및 상충횡수 변화

구분	2×1		2×2		3×2		3×3	
	비적용	적용	비적용	적용	비적용	적용	비적용	적용
평균지체(초)	85.9	92.84	84.92	89.76	81.46	84.42	80.62	82.42
상충횡수(횡수)	16.8	0	52.6	1.6	56	0	85.6	1

제 4 장 LPI 효과 분석

4.1 광주광역시 내 주요 교차로 현황

광주광역시의 LPI 도입효과를 개략적으로 산정하고자 표 4.1과 그림 4.1에서 보는 바와 같이 광주광역시(2014)에서 수행한 교통관련 기초조사 보고서에서 선정된 61개 교차로를 대상으로 LPI기법이 적용 가능한 곳을 선별하였다. 구체적으로 지하차도와 고가차도와 같이 입체교차로로 운영되는 곳은 대상에서 제외하였으며, 교통섬이 설치되어 우회전 차량이 분리 되는 교차로 또한 대상에서 제외하였다. 조사결과는 표 4.2에서 보는 바와 같이 적용 가능한 교차로는 총 8개소이며, 이 중 주도로의 접근로 차로수가 4차로, 부도로의 접근로 차로수가 3차로로 운영되는 곳이 3개소로 가장 많은 비중을 차지하는 것으로 조사되었다.



출처: 광주광역시. (2015). 2014 교통관련 기초조사.

그림 4.1 광주광역시 주요 교차로 61개 지점

표 4.1 광주주요교차로 61개소

번호	교차로명
1	운암사거리
2	동운고가사거리
3	광천사거리
4	농성광장
5	월산마을입구
6	백운광장
7	남광주교차로
8	산수오거리
9	서방사거리
10	신안교사거리
11	천교
12	대인교차로
13	문화전당 앞
14	광주역교차로
15	임동오거리
16	광천오거리
17	대성초교사거리
18	광주대입구교차로
19	문화동사거리
20	북부서사거리
21	일곡지구입구사거리
22	침단하이마트사거리
23	흑석사거리
24	운천저수지사거리
25	영광통사거리
26	풍암사거리
27	풍금사거리
28	금남로4가사거리
29	유동사거리
30	광주여대광장
31	송정 I.C

번호	교차로명
32	주월교차로
33	백림약국삼거리
34	안보회관사거리
35	문흥지구입구사거리
36	화정삼익사거리
37	무등경기장사거리
38	지산사거리
39	중흥삼거리
40	전남대사거리
41	경신여고사거리
42	독립로사거리
43	계림오거리
44	월산사거리
45	산장입구사거리
46	본촌산단사거리
47	양산지구사거리
48	계수교차로
49	쌍촌역사거리
50	하남로입구사거리
51	우석교차로
52	기아자동차사거리
53	서창교차로
54	산월 J.C.T
55	선운사거리
56	상무교차로
57	목련마을입구
58	금호자동차학원
59	행암교차로
60	응용교차로
61	신용교차로

출처: 광주광역시 (2015)

표 4.2 접근로 차로수에 따른 교차로 유형 분포

유형	개수	비고
4차로×3차로 교차로	3	쌍촌역사거리 등 3 개소
4차로×4차로 교차로	2	서방사거리 등 2 개소
5차로×2차로 교차로	1	지산사거리
5차로×3차로 교차로	1	첨단하이마트사거리
5차로×5차로 교차로	1	운천저수지사거리

4.2 시나리오 설정

선별된 8개의 교차로 중 대표적인 유형을 고려하여 표 4.3과 같이 분석대상 교차로를 선정하였다. 유형 중 가장 많은 비중을 차지하는 4×3 교차로 1개소, 추가적으로 4×4 교차로 1개소와 5×3 교차로 1개소를 선정하였다. 또한 차로수에 따른 유형별로 선정한 교차로의 네트워크 모델링 시 차로수를 제외한 실제 교차로의 기하구조 요소들은 반영하지 않았으며, 차로 폭은 기본 값인 3.5m, 접근로의 교차 각도는 직각으로 가정하여 구현하였다.

표 4.3 유형별 대표 교차로 선정

유형	선정 교차로
4×3 교차로	쌍촌역사거리
4×4 교차로	서방사거리
5×3 교차로	첨단하이마트사거리

4.2.1 쌍촌역사거리

4×3 유형 중 대표 교차로로 선정된 쌍촌역사거리의 차로수는 그림 4.2 와 같으며, 동일한 네트워크 모델에서 LPI 적용 여부만 달리하여 LPI 적용 전·후 두 가지의 경우로 시나리오를 설정하여 분석을 실시하였으며, 이 때 교통량은 조사된 첨두시간교통량을, 신호운영은 개략적으로 차로군 별 소요 현시율을 계산하여 적용하였다.

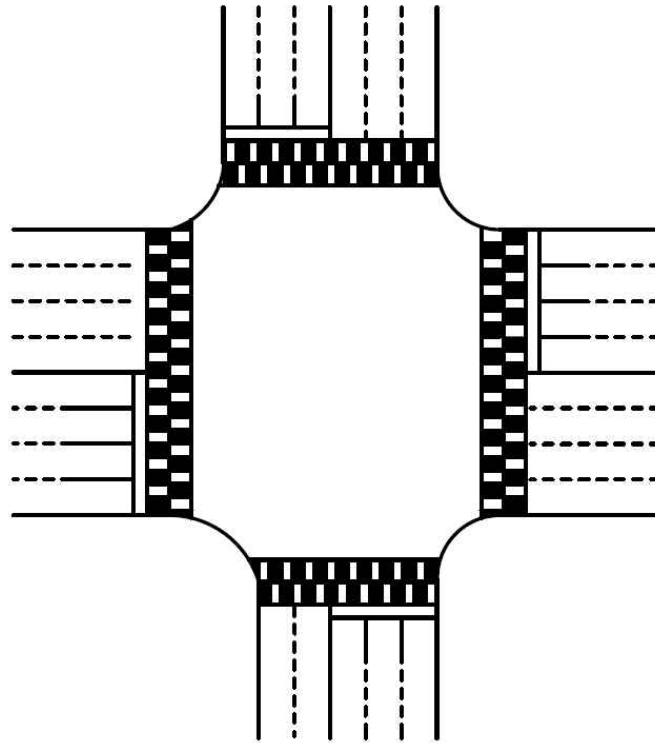
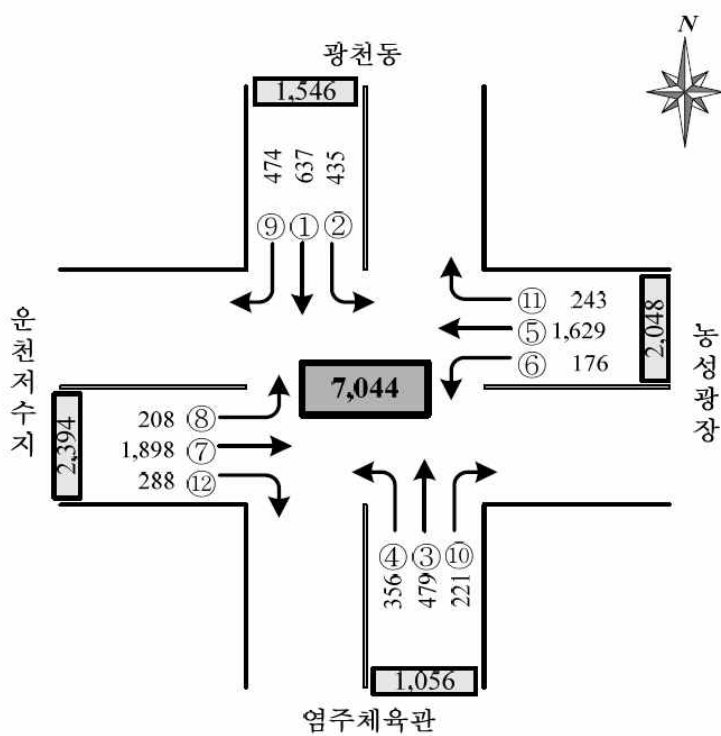


그림 4.2 쌍촌역사거리 차로수 구성

1) 교통량 관련 설정

보행자 교통량은 3지교차로와 마찬가지로 200명/시간으로 임의적으로 할당하였고, 차량 관련 교통량은 광주광역시 교통관련 기초조사의 조사 결과를 토대로 교차로의 교통량 및 회전 교통량의 비율을 반영하여 설정하였다. 조사 된 교통량 중 오전 칠두시 (08:00~09:00)의 교통량을 기준으로 하였으며, 그 방향별 교통량의 세부 사항은 그림 4.3 과 같다.



출처: 광주광역시 (2015)

그림 4.3 쌍촌역사거리 방향별 교통량
 (오전 첨두시08:00~09:00, pcph)

2) 신호 운영 설정

실제 해당 교차로의 신호운영에 관한 조사가 이루어지지 않아 신호현시는 문헌(교통공학원론, 2013)을 참고하여 설정하였다. 우리나라 신호교차로에서 가장 많이 사용되는 신호 현시 방식인 선형 좌회전 방식으로 하여 주기를 120초, 황색시간은 3초로 설정하였다. 신호현시는 그림 4.3의 교통량을 토대로 임계교통비(v/s비)를 2200vph라 가정하여 소요 현시율을 계산 및 할당하였고, 보행자 신호시간은 녹색고정시간 7초와 도로횡단길이를 반영하여 결정하였다. LPI의 적용시간은 평가방법 검증 시 가장 효과가 좋았던 7초로 설정하였으며 신호운영 및 LPI 적용 세부 내용은 표 4.4~4.5에 요약하였다.

표 4.4 LPI 미적용시의 신호주기









구 분		1	2	3	4	주 기
신호현시						120초
보행	녹색/점멸	-	28~35/21 (28초)	-	77~84/20 (28초)	
차량	녹색/황색	1~25/3 (28초)	28~59/3 (34초)	62~74/3 (15초)	77~117/3 (43초)	

표 4.5 LPI 적용시의 신호주기

구 분		1	2	3	4	주 기
신호현시						120초
보행	녹색/점멸	-	28~35/21 (28초)	-	77~84/20 (28초)	
차량	녹색/황색	1~25/3 (28초)	35~59/3 (27초)	62~74/3 (15초)	84~117/3 (36초)	

4.2.2 서방사거리

4×4 유형 중 회전 차량의 비율이 비교적 높은 교차로로 LPI적용 효과를 관찰하기에 적합한 교차로로 판단되어 선정하였다. 시나리오 설정은 다른 교차로 마찬가지로 LPI 적용 전·후 두 가지로 설정하였으며, 서방사거리의 접근로별 차로수 구성은 그림 4.4에서 보는 바와 같다.

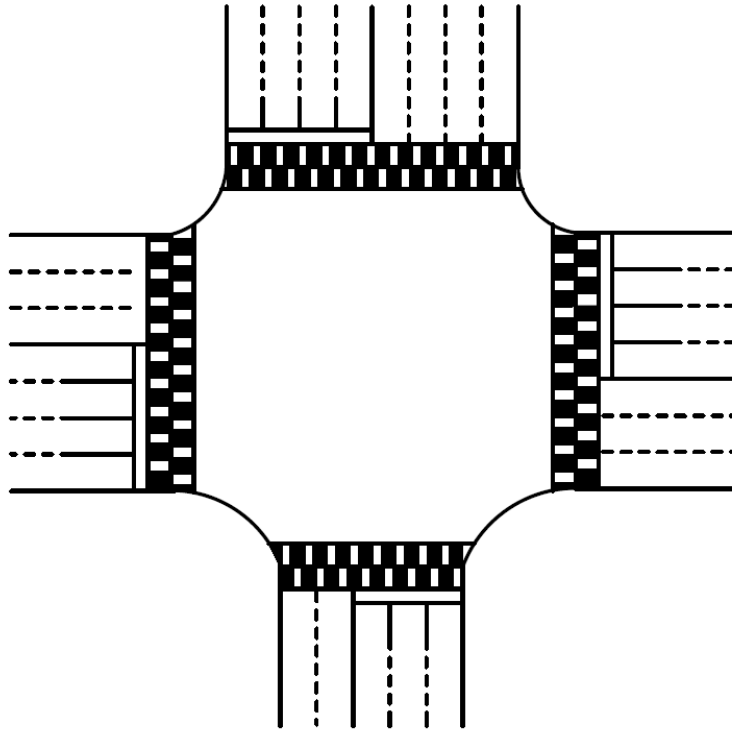
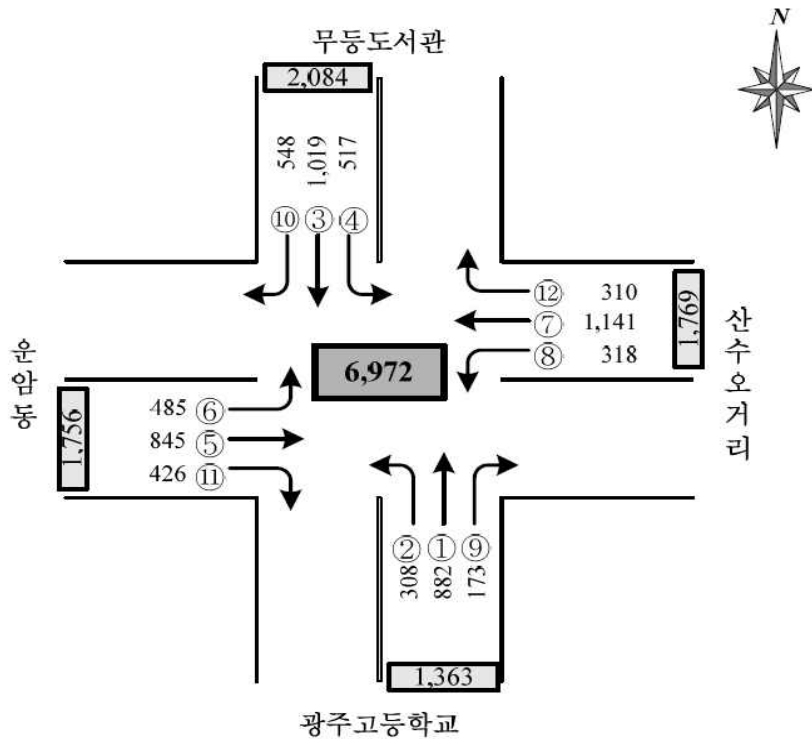


그림 4.4 서방사거리 차로수 구성

1) 교통량 관련 설정

쌍춘역사거리와 마찬가지로 보행자 교통량은 200 명/시간으로 설정하였고, 조사 된 차량 교통량 중 그림 4.5와 같이 오전 침두시(08:00~09:00)의 방향별 교통량을 반영하여 시나리오를 구현하였다.



출처: 광주광역시 (2015)

그림 4.5 서방사거리 방향별 교통량
(오전 첨두시08:00~09:00, pcph)

2) 신호 운영 설정

신호 운영 역시 쌍춘역사거리와 같이 선형 좌회전 방식을 토대로 주기를 120초, 황색시간은 3초로 설정하였으며, 신호현시는 조사 된 교통량을 토대로 소요 현시율을 계산하여 적용하였다. 보행자 신호시간 또한 녹색고정시간 7초와 도로횡단길이를 반영하여 결정하였으며, LPI의 적용시간은 7초로 설정하여 2번째, 4번째 현시의 차량의 신호 시간을 감소시켜 적용하였다. 신호운영 및 LPI 적용 세부 내용은 표 4.6~4.7과 같다.

표 4.6 미적용시의 신호주기









구 분		1	2	3	4	주 기
신호현시						120초
보행	녹색/점멸	-	31~38/21 (28초)	-	91~98/24 (31초)	
차량	녹색/황색	1~28/3 (31초)	31~59/3 (31초)	62~88/3 (29초)	91~117/3 (29초)	

표 4.7 LPI 적용시의 신호주기

구 분		1	2	3	4	주 기
신호현시						120초
보행	녹색/점멸	-	31~38/21 (28초)	-	91~98/24 (31초)	
차량	녹색/황색	1~28/3 (31초)	38~59/3 (24초)	63~88/3 (29초)	98~117/3 (22초)	

4.2.3 첨단하이마트사거리

첨단하이마트 사거리는 공업단지를 통하는 길목으로 주도로가 양방 5차로로 큰 규모를 가지고 있고 부도로는 양방 3차로로 이루어진 교차로이다. LPI적용이 가능한 교차로이고 주도로가 5차로인 교차로 중에서 주도로와 부도로의 차로수가 비교적 대칭을 이루는 교차로이기에 선정하였다. 실제 교차로의 경우 양방 10차로의 큰 폭으로 인하여 2단 횡단보도가 설치가 되어 있으나 네트워크 모델 구현 시에 이 점은 반영하지 않았으며, 접근로 별 차로수의 구성은 그림 4.6에서 보는 바와 같다.

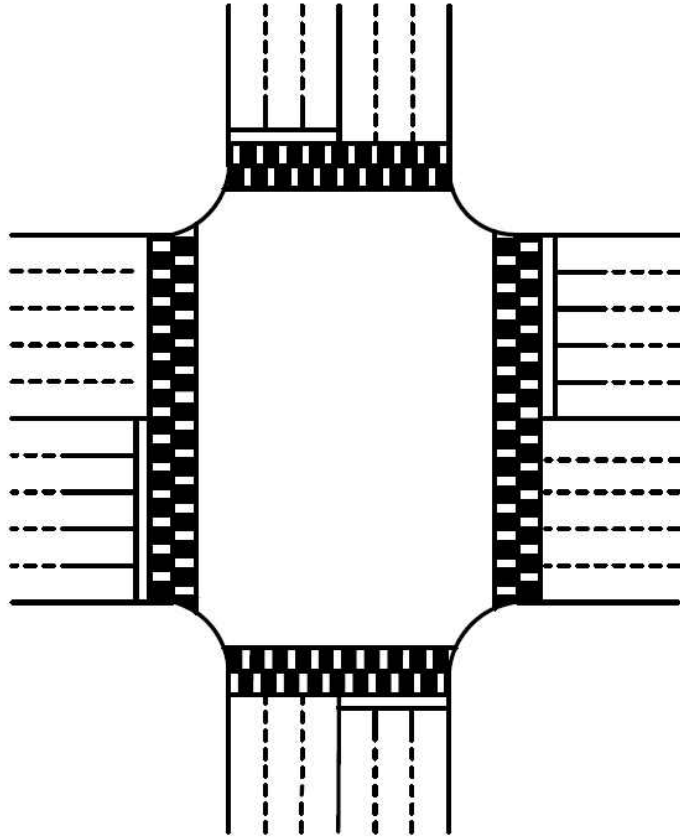
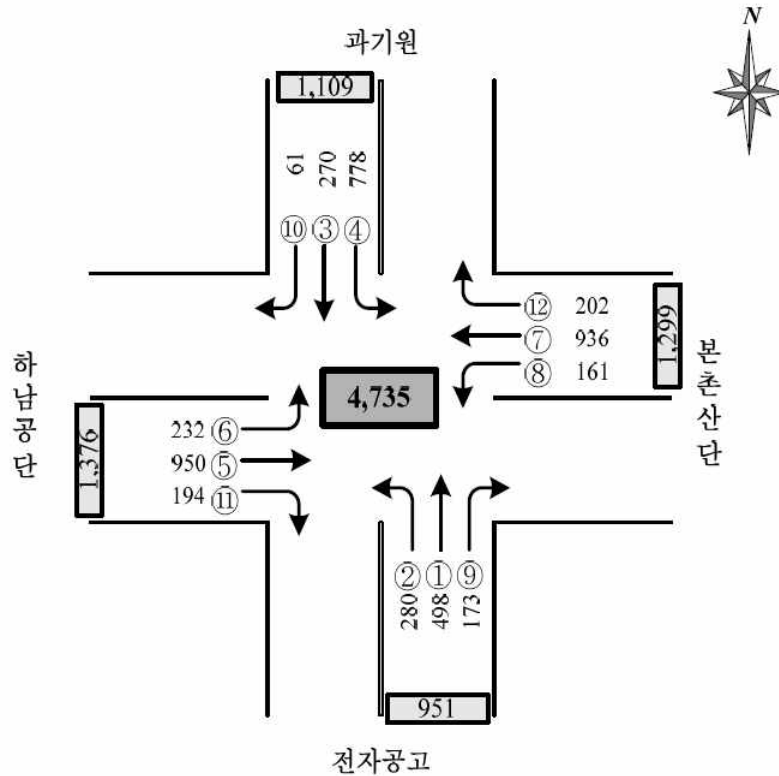


그림 4.6 첨단하이마트사거리 차로수 구성

1) 교통량 관련 설정

앞의 두 가지 유형의 교차로들과 같이 보행자 및 차량 교통량을 적용하였고 오전 첨두시의 방향별 교통량은 그림 4.7과 같다. 특히 사향으로는 우회전 교통량이 앞의 두 교차로에 비해 적어 LPI 적용 전의 경우에도 적은 상충횟수가 관찰될 것으로 판단되었다.



출처: 광주광역시 (2015)

그림 4.7 첨단하이마트사거리 방향별 교통량
(오전 첨두시08:00~09:00, pcph)

2) 신호 운영 설정

앞의 두 교차로와 마찬가지로 선형 좌회전 방식을 취하고 표 4.8~4.9에서 보는 바와 같이 주기 120초, 황색시간은 3초로 설정하였으며, 신호현시는 차로군 별 소요 현시율을 계산하여 적용하였다. 보행자 신호시간 또한 녹색고정시간 7초와 도로횡단길이를 반영하여 결정하였으며, LPI의 적용시간은 7초로 설정하여 2번째, 4번째 현시의 차량 신호를 감소시켜 적용하였다.

표 4.8 LPI 미적용시의 신호주기









구 분		1	2	3	4	주 기
신호현시						120초
보행	녹색/점멸	-	31~38/21 (28초)	-	91~98/24 (31초)	
차량	녹색/황색	1~28/3 (31초)	31~59/3 (31초)	62~88/3 (29초)	91~117/3 (29초)	

표 4.9 LPI 적용시의 신호주기

구 분		1	2	3	4	주 기
신호현시						120초
보행	녹색/점멸	-	31~38/21 (28초)	-	91~98/24 (31초)	
차량	녹색/황색	1~28/3 (31초)	38~59/3 (24초)	63~88/3 (29초)	98~117/3 (22초)	

4.3 시나리오별 영향산정

4.3.1 상충횟수 비교

광주광역시 61개 교차로 중 LPI 적용이 가능한 교차로를 선별하여 그 중 유형별로 3가지(4×3, 4×4, 5×3)의 교차로에 LPI를 적용시켜 보았다. 각각의 시나리오 별로 LPI 적용의 전·후를 5회 씩 구현하여 그 평균적인 데이터를 산출하였으며, 그 값을 비교한 결과 표 4.10 과 같이 적용 전의 상충횟수보다 전체적으로 97%이상, 평균적으로 약 84 회의 횟수가 LPI 적용 후 감소한 것을 확인할 수 있었다. 4지교차로에서도 역시 3지교차로와 마찬가지로 LPI 적용 후 안전적으로 긍정적인 결과가 나타났다.

표 4.10 LPI적용에 따른 상충횟수 변화

구 분	비적용(횟수)	적 용(횟수)
쌍촌역사거리	99.8	2
서방사거리	125.2	5.6
첨단하이마트사거리	35	1

4.3.2 대리안전척도 비교

SSAM을 이용한 대리척도 분석 결과 LPI 적용 후 대리척도의 양상이 긍정적으로 나타났으나 그 값의 변화가 적고 적용 후 상충이 많이 발생하지 않아 대리척도의 비교가 상충의 전체 경향을 반영한다고 보기에 무리가 있었다. 결론적으로 본 평가 방법을 통한 LPI 효과 분석은 충분한 상충횟수가 발생하지 않을 경우 대리척도의 평균 값 비교는 실제적으로 의미가 없는 것으로 판단된다.

표 4.11 LPI 적용에 따른 대리척도 평균 값 변화

구 분	쌍촌사거리		서방사거리		첨단하이마트	
	비적용	LPI적용	비적용	LPI적용	비적용	LPI적용
TTC	0.53	1.24	0.48	1.27	1.04	0.92
PET	1.03	2.82	0.79	2.73	1.54	2.07
MaxS	7.83	4.85	7.84	5.68	5.04	5.54
DeltaS	5.20	4.40	4.88	5.74	3.91	4.43
DR	0.26	-2.00	0.34	-2.35	-1.34	-0.76
MaxD	-0.81	-2.27	-0.12	-2.64	-2.10	-1.03

제 5 장 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서 LPI 기법 적용에 따른 영향분석을 위해 이용한 시뮬레이션모형과 SSAM모형을 통합한 상충분석방법에서 가장 중요한 요소는 우회전차량과 보행자 간의 상충을 현실감 있게 묘사할 수 있는 시뮬레이션 모형의 개발이다. 본 연구를 통해 VISSIM을 이용한 시뮬레이션 모형 개발 시 가장 핵심적인 것은 링크와 커넥터의 설정으로 본 연구에서는 시행착오를 통해 일반적인 커넥터의 설정과는 다르게 횡단보도 링크와 중첩되게 커넥터를 설정하여야 한다는 사실을 도출하였다. 이러한 사실은 향후 보행자와 차량 간의 상충분석에서 VISSIM 모형을 이용함에 있어 현실적인 도움이 될 것으로 예측된다.

개발된 방법을 통해 LPI 효과를 분석한 결과 LPI 기법 적용에 따른 영향분석에 있어 대리척도들의 평균값의 변화는 안전성이 향상된 것으로 판단할 수 있었다. 하지만, 그 값의 변화가 미미하여 이를 정성적으로 효과가 있는 것으로 판단할 수 없으며 영향 분석에는 효과척도 값의 변화보다는 상충횟수의 변화를 효과산정의 기준으로 사용하여야 할 것이다. LPI 효과에 영향을 주는 요인을 분석하기 위하여 교통량, 보행량, LPI지속시간, 교차로기하구조를 변경하며 시뮬레이션을 수행하고 상충횟수의 변화를 비교하였다. 비교 결과, 교통량과 보행량이 증가하더라도 보행자와 우회전차량과의 상충이 현저히 증가하지는 않았으며 LPI 효과는 교통량과 보행량의 수준과 관계없이 현저한 것으로 분석되었다. 이는 상충이 주로 보행신호등이 등화 되는 초기에 많이 발생하기 때문인 것으로 판단된다. 한편 LPI 지속시간의 경우 5초 이상에서 현저히 상충이 감소하는 것으로 분석되어 최소 5초로 설정하는 것이 바람직한 것으로 판단되며, 안전측면에서는 7초가 가장 바람직한 것으로 분석되었다. 교차로 기하구조의 경우 부도로의 차로수가 증가함에 따라 상충의 발생빈도가 증가하는 것으로 분석되었다.

광주광역시 주요교차로 중 LPI 기법이 적용 가능한 교차로를 대상으로 적용한 결과 교차로의 제반여건에 따라 LPI기법 적용전의 상충횟수에는 차이가 있는 것으로 분석되었다. 하지만 LPI 기법 적용에 따른 상대적인 효과를 살펴보면, 상충횟수가 평균적으로 97% 감소된 것으로 분석되어 안전측면에서의 효과가 매우 현저할 것으로 판단된다.

본 연구에서 광주광역시의 주요교차로 시뮬레이션 모형을 구축함에 있어 여러 가지

입력자료에 대하여 일반적인 값을 적용하였으며, 상충회수에 대하여 모형의 보정 (Calibration)과정이 생략되었다. 보다 현실적인 효과산정을 위해서는 현장조사를 통하여 시뮬레이션 모형에 요구되는 입력자료 들을 수집하고, 우회전 차량과 보행자간의 상충횟수와 상충의 특징을 수집하고 이를 모형에 반영하여야 할 것이다. 이러한 사항을 향후 연구과제로 남겨둔다.

【참 고 문 헌】

- 1) 광주광역시. (2015). 2014 교통관련 기초조사.
- 2) 국토해양부. (2012). 도로설계편람.
- 3) 김동효. (2010.8). 교통신호 운영의 선진화 방안. 월간교통, 19-25.
- 4) 도철웅. (2013). 교통공학원론(상) 제 2 개정판
- 5) 심재익, & 유정복. (2011). 2009 년 교통사고 비용 추정. 한국교통연구원 수시연구보고서, 1-100.
- 6) 윤일수, 이철기, 최진형, & 고세진. (2011). SSAM 을 이용한 신호교차로 안전성 평가 (감응식 교통제어 도입사례를 중심으로). 한국 ITS 논 문학회지, 10(6), 1-14.
- 7) 이수범, & 강인숙. (1999). 상충기법을 이용한 교차로 안전진단에 관한 연구. 대한교통학회지, 17(4), 9-17.
- 8) 정영호, 김충만, 박상준. (2015). Leading Pedestrian Interval 효과산정 방법론 개발. 대한토목학회 학술대회,3-4.
- 9) 조정일, 오철, 김남일, & 장명순. (2007). 보행자-차량 충돌사고 재현모형 비교분석 및 개선 연구. 대한교통학회지, 25(4), 69.
- 10) 한국교통연구원. (2009). 교통사고 비용 추정 방법론 정립.
- 11) Agarwal, N. K. (2011). Estimation of pedestrian safety at intersections using simulation and surrogate safety measures.
- 12) City of Toronto. Evaluation of Leading Pedestrian Intervals - We're all Pedestrians program. Prepared by iTrans, 2005. Hubbard, S.M.L, Bullock, D.M., & Thai, J.H. Trial Implementation of a Leading Pedestrian Interval: Lessons Learned. In Institute of Transportation Engineers ITE Journal: Oct 1, 2008
- 13) Fayish, A., & Gross, F. (2010). Safety effectiveness of leading pedestrian intervals evaluated by a before-after study with comparison groups. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, (2198), 15-22.
- 14) Federal Highway Administration (2008). Surrogate Safety Assessment Model. Federal Highway Administration, US Department of Transportation. (FHWA-HRT-08-049).
- 15) Hua, J., Gutierrez, N., Banerjee, I., Markowitz, F., & Ragland, D. R.. San Francisco Pedsafe II project outcomes and lessons learned. Safe Transportation Research &

Education Center. 2009

- 16) Houten, R., Retting, R., Farmer, C., & Houten, J. (2000). Field evaluation of a leading pedestrian interval signal phase at three urban intersections. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1734), 86-92.
- 17) Hubbard, S., Awwad, R., & Bullock, D. (2007). Assessing the impact of turning vehicles on pedestrian level of service at signalized intersections: a new perspective. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2027), 27-36.
- 18) King, M. R. . Calming New York City Intersections. In *Urban Street Symposium Conference* , Transportation Research Board, Washington, DC. 1999
- 19) Parker Jr, M. R., & Zegeer, C. V. (1989). *Traffic Conflict Techniques for Safety and Operations. Observers Manual* (No. FHWA-IP-88-027).
- 20) Parr, S. A., Mitrovic, N., & Stevanovic, A. (2013). Evaluating landside transportation operations for general aviation airports: estimating vehicle efficiency and pedestrian safety. *World Review of Intermodal Transportation Research*, 4(1), 1-22.
- 21) Pu, L., & Joshi, R. (2008). *Surrogate safety assessment model (SSAM): software user manual*. (No. FHWA-HRT-08-050).
- 22) Saneinejad, S., & Lo, J. (2015). *Leading Pedestrian Interval Assessment and Implementation Guidelines*. In *Proceedings of the 94th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington DC, USA.