

SSAM을 이용한 신호교차로 안전성 평가 (감응식 교통제어 도입사례를 중심으로)

Safety Assessment of Signalized Intersection Using SSAM : A Case of Actuated Signal Control

윤 일 수*
(Il-Soo Yun)

이 철 기**
(Choul-Ki Lee)

최 진 형***
(Jin-Hyung Choi)

고 세 진****
(Se-Jin Ko)

요 약

미국 FHWA에서 개발한 Surrogate Safety Assessment Model(SSAM)은 상충이론을 기반으로 미시교통시뮬레이션모형(microscopic traffic simulation models)에서 생산된 개별 차량 경로 데이터를 이용하여 상충(conflict)의 발생을 분석하는 소프트웨어이다. 본 연구에서는 SSAM을 이용해 교통신호 제어 유형별 안전도를 비교하였다. 이를 위해 현장 조사를 기반으로 미시교통시뮬레이션모형을 구축한 후, 신호 제어 유형 별로 세 가지 신호운영 시나리오에 대하여 TTC, PET, DR, MaxS, DeltaS 등의 대리척도(surrogate measures)를 산출한 후, 직각충돌형(Crossing), 추돌형(Rear-end), 그리고 차로변경형(Lane Change) 상충 횟수를 추정하였다. 분석 결과 감응식 신호운영이 정주기식 신호운영보다 상충횟수가 많았으며, 그 중 추돌형 상충횟수가 다른 상충 유형에 비해 많은 것으로 분석되었다. 향후 SSAM 활용을 통해 교차로 및 다양한 교통 대안에 대한 안전도 평가가 신속하고 안전하게 수행될 수 있어 SSAM이 도로교통의 안전성 향상에 기여할 것으로 기대된다.

Abstract

The surrogate safety assessment model which was developed based on the conflict theory by FHWA in the US is software to analyze traffic conflicts using the individual vehicle trajectory data from a microscopic traffic simulation model. This study aims at assessing the safety of different signal control strategies, including pre-time and actuated signal control, using the SSAM. To this end, this study effort has developed a microscopic traffic simulation model using VISSIM through a field study, and then produced the surrogate measures, including TTC, PET, DR, MaxS and DeltaS, and the numbers of conflicts, including rear-end, right angle and lane-changing conflicts. The assessment results indicated that the actuated signal control may produce more conflicts in terms of rear-end conflicts. The use of SSAM in the safety assessments for diverse traffic alternatives in a safe and fast way may contribute to the improvement of safety in the roadway transportation.

Key words : Conflicts, SSAM, surrogate safety measures, actuated signal control, pedestrian push button

* 주저자 및 교신저자 : 아주대학교 환경건설교통공학부 조교수

** 공저자 : 아주대학교 환경건설교통공학부 부교수

*** 공저자 : 아주대학교 건설교통공학과 석사과정

**** 공저자 : (주)서돌전자통신 신호SW팀 과장

† 논문접수일 : 2011년 7월 20일

† 논문심사일 : 2011년 9월 26일

† 게재확정일 : 2011년 10월 28일

I. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

1913년 포드사의 포드 모델 T가 컨베이어식 조립라인 도입으로 대량생산이 가능해지며 자동차가 생활 속에서 친숙한 교통수단으로 접어든 지 약 100년의 시간이 흘렀다. 그 시간 동안 세계적인 경제 성장 및 이에 따른 자동차 수요의 증가에 맞춰 교통사고의 발생도 꾸준히 증가하여 왔다. 우리나라도 이와 다를 수 없어, 교통사고 발생 및 그 피해를 감소시키기 위한 많은 연구를 진행하고 또 기술적이나 제도적으로 여러 장치들을 시행 중에 있다. 하지만 이러한 노력에도 불구하고 우리나라에서의 자동차 교통사고는 꾸준히 증가하여 2008년에는 총 215,822건의 교통사고가 발생하였다. 그로 인해 총 5,870명이 사망하고, 338,962명이 부상을 당하였다[1]. 또한 교통사고로 인하여 2009년 한해에만 총 11조 7774억 원의 사고비용을 지불하였다[2].

교통사고를 줄이기 위한 노력의 일환으로 교통사고 발생 메커니즘의 이해를 통해 그 해법을 찾고자 하는 많은 노력이 그간 있어 왔다. 그 중 대표적으로 상충이론(conflict theory)이 있다. 이 이론은 1977년 노르웨이 오슬로에서 처음 발표되었으며, 90년대 교통상충을 이용한 사고예측기법(Traffic Conflict Technique; TCT)에 대한 연구로 이어지며 도로에서 발생하는 사고 유형 및 예측에 대한 연구가 현재까지 활발히 진행 중이다[3-5].

2000년대에 들어 미국 FHWA에서는 이러한 상충이론을 토대로 Surrogate Safety Assessment Model(SSAM)을 개발하였다. SSAM은 상충이론에 기반을 두고 미시교통시물레이션모형(microscopic traffic simulation models)에서 생산된 개별 차량 경로자료를 이용하여 상충을 분석하는 소프트웨어이다[6].

최근 컴퓨터 및 소프트웨어 기술의 발달에 따라 여러 미시교통시물레이션모형들이 다양한 교통 분야에서 활용되고 있다. 미시교통시물레이션모형은 미시적인 교통현상을 시물레이션으로 구현해볼 수

있는 모형으로, 안전한 실험실에서 여러 가지 시나리오를 반복적으로 시물레이션을 할 수 있는 여건을 제공하고, 화려한 3D 애니메이션 및 통행시간, 지체, 대기오염물질 배출량 등 다양한 성과지표를 출력할 수 있다. 물론 미시교통시물레이션모형이 현실에서 발생하고 있는 교통사고를 묘사하거나 구현하는 데 한계가 존재하지만, 이러한 미시교통시물레이션모형을 SSAM과 결합하여 사용할 경우 미시교통시물레이션모형을 활용하여 다양한 시나리오를 사전에 분석할 수 있는 새로운 도구로서 활용할 수 있다고 판단된다.

따라서 본 연구에서는 FHWA에서 개발한 SSAM을 교통신호운영 전략 변경에 적용하여 국도 상에 위치한 4지 신호교차로에서 정주기식 교차로 운영과 감응식 교차로 운영에 따른 안전도 차이를 SSAM을 통해 분석하고자 한다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 4지 교차로의 교통신호운영 전략에 따른 교통안전성을 평가하기 위해 현재 정주기식으로 운영 중인 4지 교차로 한 곳을 선정해 VISSIM 5.2을 이용하여 네트워크 및 개별차량 경로 자료를 생산하였다. 여기서 생산된 경로자료를 SSAM 2.1.6을 통해 각 시나리오별 상충 횟수를 산출하여 서로 비교하였다. 또한 해당 교차로의 신호 운영전략을 완전감응식 및 반감응식 전략으로 수정하였을 경우의 경로자료도 함께 생산해, SSAM을 통해 잠재적 교통사고 위협의 변화를 분석하였다. 이를 통해 각 신호운영전략 간에 안전성을 미시적으로 분석 및 평가하였다.

II. 이론적 고찰

1. 교통안전 및 상충이론

일반적으로 교통사고는 차량요인, 인적요인, 환경적요인 등의 상호 복합적 작용에 의해 발생한다. 하지만 사고는 일반적으로 개개의 요인에 의해 발

생되기 보다는, 불완전한 인적, 차량, 도로 및 환경 조건이 결합될 경우 사고 위험은 커지게 된다. 이러한 복합적인 요인에 의해 나타나는 교통사고의 발생 메커니즘을 이론적으로 구현한 것이 바로 상충이론(conflict theory)이다.

상충(conflict)은 2개 이상의 교통류가 동일한 도로 공간을 사용하려고 할 때 발생하는 교통류의 교차, 합류 및 분류되는 현상을 말한다. 일반적으로 교통상충은 어떤 운전자가 다른 차량과의 충돌을 피하기 위해 제동이나 엇갈림에 의한 회피행동을 할 때 발생하는 현상으로 본다. 1977년 노르웨이 오슬로에서 개최된 International Co-operation on Theories and Concepts in Traffic Safety(ICTCT)회의에서 합의된 바로는 상충은 “둘 또는 그 이상의 도로 이용자들이 현 상태를 유지할 때 충돌의 위험을 갖는 공간과 시간의 범위로 서로 접근하는 모습이 관찰 가능한 상황”으로 정의되었다[3].

교차로에서 발생하는 상충에는 분류 방법에 따라 몇 가지 유형으로 나뉜다. 우선 상충 위치에 따라 교차지점의 합류 상충 및 분류 지점의 상충으로 구분할 수 있으며, 또 상충 상황에 따라 추돌형 상충(rear-end conflict), 차로변경형 상충(lane-change conflict), 직각충돌형 상충(crossing conflict) 등의 형태로 분류할 수도 있다. 교차로에서 교차하는 링크의 수가 많아질수록 교차로 내에서 교차, 합류 및 분류하는 교통류의 수가 기하급수적으로 증가하기 때문에 교통처리에 큰 어려움을 겪게 될뿐더러 실제 사고 가능성 또한 증가한다.

최근 상충이론의 연구는 상충을 객관적으로 판단하는 방법론, 상충 유형에 대한 정의 문제, 상충과 심각도와와의 관계성, 사고 자료와 상충발생 결과와의 관계성, 사고 유형과 상충과의 관계, 조사방법의 표준문제 및 교통시설의 운영상 비교될 수 있는 상충지표에 대한 표준 등 여러 각도에서 이루어지고 있다. 연구의 주안점은 상충 정보를 교통위험정보로 연결시킬 수 있는지, 특히 어느 지점이 위험한지, 위험에 영향을 주는 요인을 운영상에서 분석할 수 있는지에 대한 문제들에 집중되어 있다.

2. 국내외 관련 연구

1) 교통상충기법 관련 연구

도철용 등(1999)은 신호교차로 교통상충 측정방법 개발과 평가 연구에서 신호교차로의 안전도를 측정하기 위해 교통사고 자료를 이용하는 기존의 방식은 사고 자료를 수집하는데 많은 기간이 소요되고 자료의 정확도 측면에서 문제점이 있다고 지적하고, 이를 보완하는 방법으로 “교통상충기법”을 제시하였다. 교통공학 이론을 배경으로 객관적이고 정확한 교통상충의 기준을 정립하기 위해 사고 자료와 교통상충 자료를 순위상관분석 기법을 도입하여 분석하였고, 이를 이용하여 여러 교차로의 위험도를 측정하는 방법을 제안하였다[7].

이수범 등(1999)은 상충기법을 이용한 교차로 안전진단에 관한 연구에서 스웨덴의 상충분석기법을 기반으로 하여 국내에 적용할 수 있는 모형을 개발하였다. 상충의 심각도에 따라 교차로를 4개 zone로 분류하여 위험순위를 평가할 수 있는 방법을 제시하였으며 국내의 3개 교차로를 대상으로 모형을 적용하였다[8].

김원철 등(2002)은 퍼지추론을 적용한 교통상충기법 개발 연구에서 조사원에 의해 수집된 상충자료가 조사원의 개인적 특성과 지식 정도에 따라 다르게 나타나는 오류를 최소화하기 위해 퍼지추론이론을 기존의 교통상충 모형에 적용하여 새로운 교통상충 모형을 개발하였다[9].

2) 시뮬레이션 기반 교통안전 관련 연구

해외 연구 중 시뮬레이션을 활용한 대표적인 연구 중 하나는 SINDI 프로젝트이다. SINDI 프로젝트는 “Safety INDicators”의 약자로 스웨덴 국립도로교통연구소(Swedish National Road and Transport Research Institute)에 의해 추진된 연구이다. 이 연구에서 Archer(2005)는 교통사고 관련 대리척도(surrogate measures)를 공간적/시간적 사고라는 이벤트를 계량화한 지표로 정의하고, 교통사고와 밀접한 관련성이 있음을 밝혔다. 이러한 대리척도에서

TA(Time to Accident: 운전자가 사고를 피하기 위해 행동을 취하기 시작한 시점으로부터 사고에 이르는 시간), TTC(Time To Collision: 2대의 차량이 각각 동일한 속도로 제적을 유지한 채 접근할 경우 충돌할 때까지의 시간), PET(Post Encroachment Time: 회전교차 차량이 직진차량 우선권의 침해가 종료되는 시점과 통과차량이 잠재적 상충지점에 실제로 도착한 시점 사이의 시간) 등을 포함한다. 이 연구에서 이러한 지표들의 특성을 비교하였고, 또한 안전도 비디오 분석 프로그램(semi-automatic video analysis)인 SAVA 소프트웨어를 개발하여 평가하였다. SINDI 프로젝트에서는 HUTSIM이라는 미시적 시물레이션모형을 통하여 운전자의 행태 모델에 대한 nanoscopic 시물레이션을 개발하였으며 운전자의 행태에 따른 반응시간 등을 묘사하였다[10].

Pirdavani 등(2010)은 Paramics를 이용하여 시물레이션을 구축한 후, 여기서 추출된 개별 차량의 속도 등의 자료를 이용하여 PET를 산출하였다. 이 연구를 통해 PET 값만으로도 비신호교차로에서의 안전성을 평가하는 데에는 아무런 지장이 없을 수 있다는 연구 결과를 제시하였다[11].

이와 달리 Kim 등(2006)은 Superstreet라는 변형된 u-turn 기법을 적용한 교차로에서의 운영 및 안전성 성능 연구에서 미시교통시물레이션 프로그램인 VISSIM과 SSAM을 활용하였다. 이 연구에서 u-turn 차로가 하나인 Superstreet은 기존의 교차로에 비해 안전성이 높았으나 u-turn 차로가 두 개인 superstreet은 이와 반대로 안전도가 낮은 것으로 분석하였다[12].

또한 김기준과 설재훈(2009)은 교차로에서의 교통사고 위험 평가모형을 개발하기 위해 SSAM을 이용하여 성남시 내 3곳의 주요 교차로의 안전도를 평가하였다. 이를 통해 통행속도가 60kph에서 70kph로 증가할 때 상충의 발생이 증가한다는 결론을 얻었다. 그리고 이 연구를 통해 SSAM 모형의 설정된 값을 보정하는 연구가 더욱 활발해져야 한다고 주장하였다[13].

그 외에도 SSAM을 이용한 다양한 연구들이 시도되었다[14-15].

3. SSAM 개요 및 주요 특징

FHWA에서 개발한 대리안전평가모형(Surrogate Safety Assessment Model: 이하 SSAM)은 미시교통시물레이션모형과 자동화된 상충분석기법이 결합된 모형이다. FHWA에서는 교통사고 분석과 관련하여 다양한 사고관련 변수를 고려하여 자동적으로 상충분석 작업을 수행하고, 이러한 접근을 통한 각종 시나리오 또는 설계 대안에 대한 안전성을 검증하기 위한 도구(tool)로써 SSAM을 개발하였다. SSAM은 VISSIM, AIMSUN, TEXAS, Paramics 등의 미시교통시물레이션모형으로부터 생산된 개별 차량의 경로정보(시물레이션 시간, 차량 ID, 위치, 속도, 가속도 등)를 이용하여 교통류의 움직임 속에서 차량과 차량이 상충이라고 표현할 수 있는 위험 범위 내에 접근하는 경우의 수와 특성을 분석한다. 따라서 교통전문가는 이러한 분석 결과를 통해 실제로 사고가 발생하지 않더라도 잠재된 사고 발생 가능성을 이용하여 그 시설의 안전을 평가할 수 있게 된다[6].

SSAM의 첫 번째 특징은 SSAM은 시물레이션이 구현되는 동안 생산된 개별차량들의 경로를 이용한다는 점이다. 이 경로자료는 네트워크에 생성된 개별 차량의 시물레이션 시간, 차량의 위치, 속도, 및 가속도 등을 제공한다. 참고로, 미시교통시물레이션 모형마다 차량 경로를 저장하는 방식이 다르다. 하지만 SSAM은 다양한 차량 경로자료를 읽어 개별 차량의 경로를 분석한다.

SSAM의 두 번째 특징은 이렇게 개별 차량 경로 자료 분석을 통해 대리 척도(surrogate measure)를 생산한다는 것이다. 대리 척도란 현재 공용 중인 도로 상에서 발생하는 실제 사고로 안전도를 측정하기 위한 한계를 극복하기 위해 차량 움직임에 따른 수치 또는 미시교통시물레이션 등을 통해 구현이 된 안전도를 나타낼 수 있는 척도를 의미한다. 현재 설계 및 건설되고 있거나 운영 중인 도로시설에서 안전성을 평가하기 위해 실제로 사고가 일정수준 이상 발생할 때 까지 기다리는 것이 불가능하기 때문에 이를 대신할 척도로서 경로자료를 통해 산출된

상충을 대리 척도로 사용하는 것이다. SSAM에서 사용하는 대리 척도에는 발생된 상충의 횟수와 TTC(Time to Collision), PET(Post Encroachment Time), DR(Deceleration Rate) 등이 있다.

SSAM의 또 다른 특징은 경로자료를 분석하며 발생하는 상충지점을 상충유형별, 또는 TTC 데이터 값의 범위에 따라 네트워크상에 표시할 수 있다. 또한, SSAM에서는 각 경우 별 상충발생결과를 보다 쉽게 비교하기 위해 프로그램 내부에 t-검정 기능을 삽입하여 서로 다른 두 가지 경우에 대한 통계적 분석을 다른 통계 패키지를 이용하지 않고도 쉽게 비교할 수 있다. 상충지점을 더블클릭하면 개별 상충의 발생 방향에 대해 확인할 수 있다.

4. SSAM 사용법

SSAM의 소프트웨어 패키지는 SIEMENS에서 제작하였으며, 현재 버전 2.1.6을 SIEMENS 웹사이트 (<http://www.itssiemens.com/research/ssam>)에서 무료로 배포 중에 있다.

SSAM 프로그램 실행을 위해서 가장 중요한 입력자료는 어떠한 미시교통시물레이션모형에서 저장된 개별 차량 경로(trajectory) 기록이다. VISSIM을 예로 들면, VSSIM 메뉴 중 evaluation 설정 등을 통해 *.trj 파일 형태로 그 기록을 생산할 수 있다. 또한 상충지점의 시각화를 위해서는 VISSIM 네트워크 파일인 *.inp을 SSAM에 삽입하여 시물레이션 후 상충지점의 위치를 직접 확인할 수 있다.

SSAM 프로그램 실행에서 미시교통시물레이션모형을 통해 생산된 차량 경로 파일을 삽입하고 각 파라메타의 범위 등을 설정한 후 분석을 수행하면, 각 시나리오 별로 발생한 개별 상충 한건 한건에 대해 <표 1>에서 제시한 상충척도 값들을 출력한다. 또 이를 정리하여 보다 이해하기 쉬운 안전척도인 상충 횟수를 산출한다.

위에서 제시한 대리안전척도 이외에도 상충 발생을 판단하는 데에 도움을 주는 CPL(Conflict Point : 상충지점), CLSP(Conflict Line Starting Point : 상충상황의 시점), CLEP(Conflict Line Ending Point : 상

<표 1> 주요 대리 안전 척도
(Table 1) Important surrogate safety measures in SSAM

상충 척도	설명
Time to Collision(TTC)	두 차량이 현재의 속도와 동일한 경로로 진행될 경우 상충까지 예상되는 시간
Post Encroachment Time(PET)	회전교차 차량이 직진차량 우선권의 침해가 종료되는 시점과 통과차량이 잠재적 상충지점에 실제로 도착한 시점 사이의 시간
Deceleration Rate(DR)	뒤 차량이 감속하는 데에 걸리는 거리 대비 시간의 길이
Max Speed(MaxS)	두 차량 중 속도가 높은 차량의 최고 속도
Delta Speed(DeltaS)	두 차량의 상대속도

충 상황의 종점) 등의 보조적인 척도도 함께 수집된다. 이러한 대리안전척도들의 값들은 상충 가능성의 정도와 충돌에 의해 발생한 차량 파괴나 인명 피해 등의 피해 심각도를 가리키는 데에 사용된다. 심각도는 충돌에 의해 발생 가능한 피해의 규모로 정의할 수 있다. 매뉴얼에 제시된 위의 척도들의 일반적으로 결과에 미치는 영향은 다음과 같다[4].

- TTC 값이 낮을수록 충돌 확률이 높음
- PET 값이 높을수록 충돌 확률이 높음
- DR 값이 높을수록 충돌 확률이 높음
- DeltaS 값이 높을수록 충돌 시 심각도가 높음
- MaxS 값이 높을수록 충돌 시 심각도가 높음

SSAM에서 대표적인 대리안전척도로 사용되는 상충횟수는 각 차량경로파일 별로 총 횟수, 직각충돌형 상충(crossing conflict), 추돌형 상충(rear-end conflict), 차로변경형 상충(lane-change conflict)로 구분된다. 이렇게 발생한 상충횟수는 실제 예상되는 사고발생 예상 건수라기보다는 유형별 사고 발생 가능성으로 해석할 수 있다.

III. 사례분석을 통한 안전도 분석

1. 자료수집

본 연구의 평가를 위한 대상교차로는 국도 1호선 구간 중 경기도 평택시 도곡동에 위치한 오산비행



〈그림 1〉 구간 위치도
 〈Fig. 1〉 Location of test site

장사거리로 선정하였다. 1번국도 상에 위치한 오산비행장사거리는 정주기 신호제어방식 중 TOD (Time of Day) 제어 방식으로 운영되고 있으며, 인접교차로와 약 550m, 300m정도 떨어진 교차로로써 그룹연동이 필요한 구간의 중앙에 위치하고 있다. 또한 부도로 교통량이 주도로 교통량의 약 15% 미만이고, 전 방향의 보행자가 하루 중일 거의 없는 사거리로써 감응식 신호제어전략을 적용하기에 적합하다고 판단하였다. 그리고 대상교차로의 연동에 따른 미터링 효과(metering effect)를 고려하기 위하여 인접한 한국번디삼거리와 송탄소방서사거리의 구간을 포함하여 네트워크를 구축하였다. 교통량 및 보행교통량 조사는 2010년 11월 15일(월요일) 오전에 비디오 촬영을 통하여 조사되었다. 또한 시물레이션 네트워크 정산을 위한 통행시간 자료는 GPS를 장착한 두 대의 차량을 이용하여 오전 10:00 ~ 11:00까지 실험차량법을 이용하여 조사하였다. 교통량 및 보행교통량 조사 시 기본적인 기하구조 등이 조사되었으며 부족한 부분은 위성사진 등을 이

용하여 보완하여 사용하였다. 연구대상 교차로의 효과적인 분석 및 최적화를 위하여 현재 운영 중인 신호운영 현황을 조사하였다. 대상교차로의 TOD 운영현황은 5개의 시간대와 2개의 현시패턴을 가지고 있었다. 통행시간 조사시간에 해당하는 비행장사거리의 교통신호시간은 다음 <표 2>와 같다.

2. 네트워크 구축 및 정산

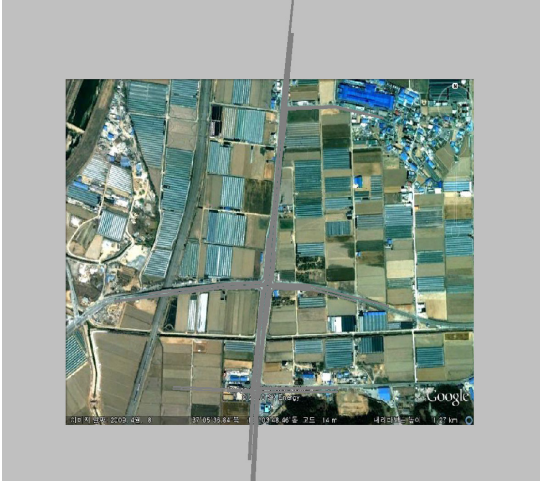
SSAM을 이용하기에 앞서 개별차량의 경로자료를 생성하기 위해서는 미시교통시물레이션모형을 이용해야 한다. 현재 국내에서 사용되고 있는 미시교통시물레이션모형으로는 CORSIM, TransModeller, SimTraffic, VISSIM, Paramics 등이 있다. 이 중 본 연구에서는 국내에서 폭넓게 사용되고 있으며, 감응식 제어와 보행자 작동신호기를 시물레이션에서 구현할 수 있는 VISSIM을 사용하였다.

미시교통시물레이션모형을 구축하기 위한 입력 자료는 기하구조, 교통상황, 그리고 신호운영 관련 자료가 있다. 기하구조 자료의 경우 Google Map과 네이버 지도 등을 이용하여 확보하였으며, 현장 조사 시 인터넷을 통해 수집된 자료를 확인하였다. 이를 통해 확보한 기하구조 자료로는 차로 수, 전용회전차로 길이, 가속 및 감속차로 길이 등이 있다. 차종별 가로 교통량, 차종별 회전교통량, 보행자 수 등의 교통상황 자료와 신호운영 관련 자료는 현장 조사를 통해 얻었다.

본 연구에서는 네트워크 구축을 위해, 네트워크 작성, 정산(calibration), 시물레이션 수행, 그리고 결과 해석 및 애니메이션 확인의 단계를 체계적으로

〈표 2〉 교차로 이동류 패턴과 현시시간
 〈Table 2〉 Traffic flow patterns and signal timing plan

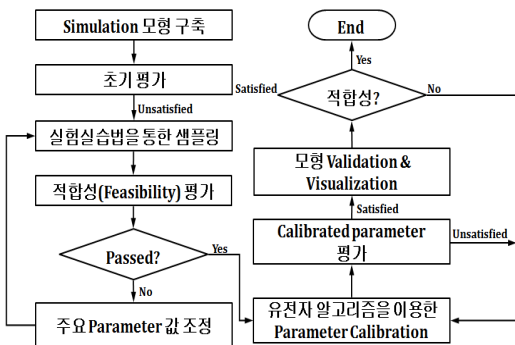
교차로	구 분		Φ1	Φ2	Φ3	Φ4	주기
오산비행장 사거리	이동류						150
	보행	녹색/점멸	12/16		9/14	9/13	
	차량	녹색/황색	72/3	17/3	25/3	24/3	



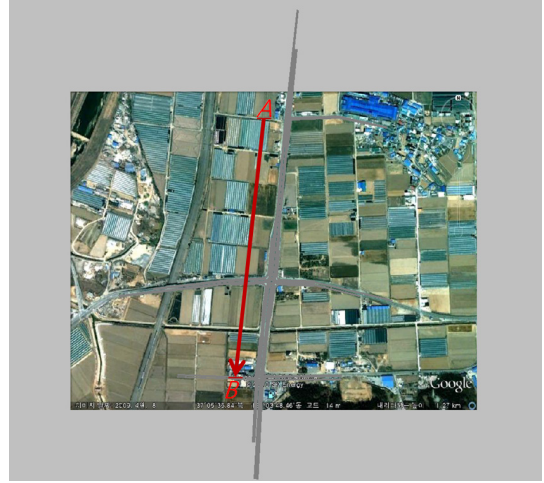
〈그림 2〉 VISSIM 네트워크 구축 모습
(Fig. 2) VISSIM network built on a background image

수행하였다. 네트워크 구축에는 VISSIM version 5.20 (Build 06)을 이용하였고, 정밀도 확보를 위한 지도 이미지로 Google Map을 이용하였다.

VISSIM과 같은 미시교통시물레이션모형은 다양한 파라미터를 이용하여 교통상황을 보다 현실적으로 상세하게 묘사하고 있다. 따라서 모형에서 구현되는 교통현상을 보다 현실적으로 표현하기 위해서는 각종 파라미터를 조정하여 현실에 맞추어야 한다. 이러한 과정을 정산(calibration)이라고 한다. 본 연구에서도 이러한 정산과정을 수행함으로써 실험 대상지의 교통현상을 보다 현실적으로 묘사하도록 노력하였다. 본 연구에서 적용한 정산 방법은 <그림 3>와 같이 Park 등(2006)이 제시한 방법을 사용하였다[16].



〈그림 3〉 정산 절차도(16)
(Fig. 3) Calibration process(16)



〈그림 4〉 통행시간 조사대상 구간
(Fig. 4) Section for travel time measurement

단, 실험실습법을 통한 샘플링 및 적합성 평가(feasibility test)는 생략하였다. 그 이유는 <표 4>에서 보인 바와 같이 실측 통행시간과 정산 전 시물레이션 모형에서 생산된 통행시간 간에 큰 차이를 보이지 않기 때문에 별도의 정산 변수들의 검색범위의 적절성 평가를 위한 적합성 평가는 필요 없는 것으로 판단되었기 때문이다.

VISSIM에서는 아주 다양한 정산 파라미터 값이 존재한다. 그 중 본 연구의 정산을 위해서 다음과 같은 대표적인 정산 파라미터를 선정하였다.

- Desired speed distribution
- Emergency stop distance
- Look ahead distance
- Observed vehicles
- Look back distance
- Waiting time before diffusion

정산을 위해서는 시물레이션에서 생산된 지표(Measures of effectiveness)와 실제 지표를 비교하여야 한다. 본 연구에서는 정산을 위한 지표로 통행시간을 선정하였으며, 현장 조사 시 통행시간을 조사하였다. 통행시간은 GPS 장착한 두 대의 차량을 이용하여 추출하였으며 통행시간은 오전 10:00부터 11:00까지 조사되었다.

통행시간 조사는 번디삼거리(<그림 4>에서 A 지

점)에서 송탄소방서사거리(<그림 4>에서 B 지점)까지 약 820m 구간의 남쪽방향 통행시간을 조사하였으며 평균 통행시간은 71.03초이다.

정산과정을 통해 선정된 정산 파라미터의 값은 <표 3>와 같다. 정산과정을 통해 추출된 상기 구간의 통행시간은 <표 4>과 같으며, 다음 표에서 보인 바와 같이 정산 후에 시뮬레이션에서 추출된 통행시간이 실제 통행시간을 보다 현실적으로 구현하고 있음을 알 수 있다. 또한 정산된 네트워크의 차량움직임을 애니메이션을 통해 확인한 결과 이상 행태는 없는 것으로 나타났다.

<표 3> 정산 전후 정산 파라미터 값
<Table 3> Calibration parameters

구분	정산 전	정산 후
Desired speed distribution (kph)	최소값: 75 최대값: 85	최소값: 60 최대값: 70
Emergency stop distance (m)	5	20
Lane changing distance (m)	200	350
Look ahead distance (m)	250	500
Observed vehicles (대)	4	8
Look back distance (m)	150	150
Waiting time before diffusion (초)	60	50

<표 4> 통행시간
<Table 4> Travel times used for calibrations

구분	통행시간(초)		
	실측치	정산 전	정산 후
평균	71.03	65.18	69.54
중위수	-	65.00	69.7
표준편차	-	1.15	0.84

3. 시나리오 구성 및 시뮬레이션 수행

감응식 제어와 보행자 작동신호기 효과분석을 위하여 본 연구는 총 세 가지 시나리오를 설정하였다. 첫 번째 시나리오는 현재 실험 대상 교차로들에서 사용되는 신호운영 설정을 그대로 이용하는 대

안이다. 참고로, 현재 실험 대상 교차로들은 정주기식 신호 제어 하에서 운영되고 있다. 두 번째 시나리오는 조사된 세 개의 교차로 중에서 중간에 위치하고 있는 비행장 사거리의 좌회전 현시에 감응식 제어를 적용하는 대안이다. 즉, 네 개 방향 좌회전 현시를 모두 감응식으로 제어하는 것이다. 이러한 방법은 보통 국내에서 반감응제어라고 불리며, 좌회전 교통량이 적거나 시간에 따른 급격한 변화를 보이는 교차로에 적용되기도 한다. 이 경우 모든 방향의 직진 현시는 비감응식 제어로 운영된다. 감응식 제어를 위해서는 우선 검지기를 해당 차로군에 설치하고 그에 따른 몇 가지 신호 설정을 하여야 한다. 대표적인 신호 설정은 최소녹색시간(minimum green interval)과 신호연장시간(extension interval 또는 passage time)이다. 이들 값의 설정을 위하여 Roess의 Traffic Engineering(2004)[17]에서 제시하고 있는 방식 중에 하나를 사용하였다. 본 연구에서는 부도로에서 진입하는 차량과 부도로로 진입하는 좌회전 차량의 수가 많지 않기 때문에 최소녹색시간을 최소화시킬 수 있는 검지기 설정(즉, 검지기 위치 및 길이)을 사용하였다. 따라서 본 연구에서는 6m의 지점검지기를 정지선 앞에 설치하는 것으로 가정하였으며, 그에 따라서 최소녹색시간을 6초로 설정하였다.

$$G_{min} = 6.0 = 4.0 + 2.0 \text{Int} \left[\frac{d}{20} \right] \quad (1)$$

여기서,

$$G_{min} = \text{최소녹색시간(초)}$$

$$4.0 = \text{assumed start-up lost time}$$

$$d = \text{검지기 길이(20ft, 즉 약 6m로 가정)}$$

$$20 = \text{평균차량 길이(ft)}$$

또한, 신호연장시간의 경우는 상기 참고문헌에서 제시하고 있는 30mph이하 3.0초를 준용하였다.

세 번째 시나리오에서는 두 번째 시나리오에 부도로 직진 감응식 운영 및 보행자 작동신호기를 추가하였다. 즉, 시나리오 2와 마찬가지로 비행장 사거리의 모든 좌회전 현시가 감응식으로 제어되며, 여기에 부도로 직진의 경우 감응식으로 조정되며 또한 보행

자가 있는 경우에만 보행신호를 점등하는 것으로 하였다. 이러한 운영을 함으로써 부도로 직진의 경우도 보행자가 없을 경우 교통량에 따라 녹색신호시간이 단축될 수 있으며, 이 경우 남은 녹색시간은 주도로 현시에서 사용될 수 있다. 다시 정리하면 각 시나리오 오는 다음 사항을 가정하여 설정되었다.

- 시나리오 1: 정주기(fixed time) 신호 운영
- 시나리오 2: 반감응 신호 운영
(모든 좌회전 감응식 제어)
- 시나리오 3: 반감응 신호운영
(모든 좌회전 및 부도로 직진 감응식 제어 + 보행자 작동신호기)

시뮬레이션은 각 시나리오별로 30번씩 수행하였고, 각 수행별로 개별차량의 경로를 생산하였다.

4. SSAM을 이용한 안전도 평가 및 결과

SSAM 2.1.6 패키지를 구현하기 위해서 다음과 같은 조건을 설정하였다. 우선 기본 설정과 마찬가지로 추돌형 상충(rear-end) 각을 30도 이하, 직각충돌형 상충(crossing)의 각은 85도 이상으로 설정하였다. 본 연구에서 비교 분석 대상이 되는 SSAM의 주요 output으로는 상충횟수와 TTC, PET, DR, MaxS, DeltaS이다.

1) 상충횟수 비교

각 시나리오별로 SSAM을 이용하여 상충횟수를 분석한 결과, <표 5>에서 보인 바와 같이 정주기 신호로 모든 현시를 운영하는 시나리오 1에서 상충 발생횟수가 평균 297.6으로 가장 적었다. 이에 비해 반감응 운영과 보행자 감응제어를 한 시나리오에서 상충 발생횟수가 평균 331.5로 가장 많았다. 또한 시나리오 1을 자세히 살펴보면 전체 297.6건의 총 상충횟수 중에서 직각충돌형 상충이 2.2건으로 0.7%, 추돌형 상충이 80.8%, 그리고 차로변경형 상충이 18.4%로 나타나, 추돌관련 상충 위험이 가장 높은 것으로 나타났다.

각 시나리오별로 직각충돌형 상충 횟수에 대해 ANOVA 분석을 실시한 결과 <표 6>에서 보인 바와

<표 5> 시나리오별 상충별 평균 발생 횟수
<Table 5> Average number of conflicts by scenarios

시나리오	합계	직각충돌형 상충 (Crossing)	추돌형 상충 (Rear-end)	차로변경형 상충(Lane Change)
1	297.6	2.2	240.6	54.8
2	314.4	2.3	254.4	57.7
3	331.5	3.2	267.7	60.6

같이 p값이 0.050로 산출되었다. 따라서 신뢰수준 95%에서 p값이 5%보다 크거나 같기 때문에 귀무가설을 기각할 만큼 충분한 자료가 없는 것으로 분석되었다[18]. 즉, 시나리오 간에 직각충돌형 상충 횟수에는 차이가 없는 것으로 분석되었다.

<표 6> 시나리오 별 직각충돌형 상충 횟수 ANOVA 분석결과
<Table 6> Number of conflicts of crossing crashes by scenarios and the results of ANOVA

시나리오	평균값	표준편차	p값
시나리오 1	2.200	1.730	0.050
시나리오 2	2.267	1.639	
시나리오 3	3.167	1.663	

각 시나리오별로 추돌형 상충 횟수에 대해 ANOVA 분석을 실시한 결과 <표 7>에서 보인 바와 같이 p값이 0.05보다 작은 것으로 산출되었다. 이러한 결과로 보아 유의수준 5%보다 작으므로 귀무가설을 기각하고 대립가설을 채택할 수 있다. 즉, 시나리오 1~3의 추돌형 상충 발생 위험에 차이가 있는 것으로 분석되었다. 시나리오 2와 3이 시나리오 1(정주기식 신호운영)보다 추돌형 상충 위험이 높은 것은 감응식 운영에 따른 녹색신호시간 조기단축(gap-out)으로 인한 것으로 판단된다. 또한 시나리오 3이 시나리오 2보다 추돌형 상충 위험이 높은 것은 시나리오 3이 더 많은 현시에 감응식 신호운영을 적용하였기 때문인 것으로 판단된다.

<표 7> 시나리오 별 추돌형 상충 횟수 ANOVA 분석결과
<Table 7> Number of conflicts of rear-end crashes by scenarios and the results of ANOVA

시나리오	평균값	표준편차	P값
시나리오 1	240.63	21.40	0.000
시나리오 2	254.43	14.72	
시나리오 3	267.73	19.32	

각 시나리오별로 차로변경형 상충 발생횟수에 대해 ANOVA 분석을 실시한 결과 <표 8>에서 보인 바와 같이 p값이 0.076로 산출되었다. 이러한 결과로 보아 유의수준 5%보다 크거나 같기 때문에 귀무가설을 기각하고 대립가설을 채택할 수 없다. 즉, 시나리오 1~3 사이에 직각충돌형 상충 횟수에는 차이가 없는 것으로 분석되었다.

<표 8> 시나리오 별 차로변경형 상충 횟수 ANOVA 분석결과
<Table 8> Number of conflicts of lane change crashes by scenarios and the results of ANOVA

시나리오	평균값	표준편차	P값
시나리오 1	54.800	9.499	0.076
시나리오 2	57.700	9.484	
시나리오 3	60.600	10.207	

2) 각 대리척도별 분석 결과

TTC값은 낮을수록 더 높은 상충 확률을 가진다. 각 시나리오별로 TTC 값을 시나리오별로 ANOVA 분석을 실시한 결과, <표 9>에서 보인 바와 같이 p값이 0.325로 산출되었다. 이러한 결과로 보아 유의수준 5%보다 크거나 같기 때문에 귀무가설을 기각할 충분한 근거가 없는 것으로 분석되었다. 즉, 시나리오 간에 TTC값은 차이가 없는 것으로 분석되었다.

<표 9> 시나리오 별 TTC 값
<Table 9> Values of TTC by scenarios

시나리오	TTC 평균값	표준편차	P값
시나리오 1	1.0703	0.0344	0.399
시나리오 2	1.0620	0.0328	
시나리오 3	1.0730	0.0305	

PET값은 낮을수록 더 높은 상충 확률을 갖는다. 각 시나리오별로 SSAM 시뮬레이션을 구현하여 추출된 모든 발생된 개별 상충의 PET 값을 시나리오별로 ANOVA 분석을 실시한 결과, <표 10>에서 보인 바와 같이 p값이 0.400으로 산출되었다. 이러한 결과로 보아 유의수준 5%보다 크거나 같기 때문에 귀무가설을 기각할 충분한 근거가 없는 것으로 분석되었다. 즉, 시나리오 간에 PET값은 차이가 없는 것으로 분석되었다.

<표 10> 시나리오 별 PET 값
<Table 10> Values of PET by scenarios

시나리오	PET 평균값	표준편차	P값
시나리오 1	2.5413	0.0880	0.591
시나리오 2	2.5330	0.1075	
시나리오 3	2.5580	0.0908	

초기감속도 DR은 값이 높으면 높을수록 더 높은 상충 확률을 갖는다. 각 시나리오별로 SSAM 시뮬레이션을 구현하여 추출된 모든 발생된 개별 상충의 DR 값을 시나리오별로 ANOVA 분석을 실시한 결과, <표 11>에서 보인 바와 같이 p값이 0.325로 산출되었다. 이러한 결과로 보아 유의수준 5%보다 크거나 같기 때문에 귀무가설을 기각할 충분한 근거가 없는 것으로 분석되었다. 즉, 시나리오 간에 DR값은 차이가 없는 것으로 분석되었다.

<표 11> 시나리오 별 DR 값
<Table 11> Values of DR by scenarios

시나리오	PET 평균값	표준편차	P값
시나리오 1	-2.6733	0.1420	0.001
시나리오 2	-2.6250	0.1916	
시나리오 3	-2.5150	0.1457	

두 차량 중에서 나타나는 최대속도값인 MaxS는 높을수록 큰 상충확률을 갖는다. 각 시나리오별로 SSAM 시뮬레이션을 구현하여 추출된 모든 발생된 개별 상충의 MaxS 값을 시나리오별로 ANOVA 분석을 실시한 결과, <표 12>에서 보인 바와 같이 p값이 0.05로 산출되었다. 따라서 신뢰수준 95%에서 p값이 5%보다 크거나 같기 때문에 귀무가설을 기각할 만큼 충분한 자료가 없는 것으로 분석되었다[18]. 즉, 시나리오 간에 MaxS값에는 차이가 없는 것으로 분석되었다.

<표 12> 각 시나리오 별 MaxS 값
<Table 12> Values of MaxS by scenarios

시나리오	PET 평균값	표준편차	P값
시나리오 1	9.3750	0.3371	0.005
시나리오 2	9.2430	0.3584	
시나리오 3	9.0777	0.3311	

두 차량의 상대속도를 나타내는 DeltaS는 높을수록 상충확률이 높다. 각 시나리오별로 SSAM을 통해 추출된 DeltaS 값을 시나리오별로 ANOVA 분석을 실시한 결과, <표 13>에서 보인 바와 같이 p값이 0.018로 산출되었다. 이러한 결과로 보아 유의수준 5%보다 작으므로 귀무가설을 기각하고 대립가설을 채택할 수 있다. 즉, 시나리오 간에 DeltaS값은 차이가 있는 것으로 분석되었다.

<표 13> 각 시나리오 별 DeltaS 값
(Table 13) Values of DeltaS by scenarios

시나리오	평균값	표준편차	P값
시나리오 1	-2.6773	0.1420	0.001
시나리오 2	-2.6250	0.1916	
시나리오 3	-2.5150	0.1457	

3) 추돌형 상충에 영향을 주는 척도 분석

분석 결과 다른 상충 유형과는 달리 추돌형 상충이 시나리오별 상충 횟수 비교에서 서로 차이가 있는 것으로 나타났다. 이에 따라 이러한 추돌형 상충이 어떤 대리척도에 영향을 받아 각 시나리오별로 차이를 만드는지에 대해 분석을 실시해보았다. 이를 위해 각 추돌형 상충의 데이터를 추출하여 시나리오별로 각 대리척도별로 ANOVA 분석을 실시하였다. 이 결과 <표 14>과 같은 값으로 나타났다. 추돌형 상충 발생에 관련 있는 대리척도들 중 TTC, PET, MaxS, DeltaS는 시나리오별 상충 발생 건수에 영향을 주지 않은 것으로 나타났다. 이에 비해 DR은 시나리오별 상충 발생에 영향을 주는 것으로 나타났다.

<표 14> 각 대리척도 별 추돌형 상충에 영향 주는 척도 비교
(Table 14) Comparison of the effects of each surrogate safety measures on rear-end conflicts

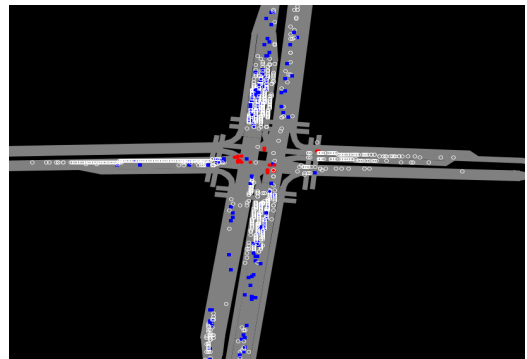
구분	TTC	PET	MaxS	DeltaS	DR
P값	0.241	0.564	0.514	0.560	0.002
귀무가설	기각하지 않음	기각하지 않음	기각하지 않음	기각하지 않음	기각

이를 통해 DR(뒤 차량이 감속하는 데에 걸리는 거리 대비 시간의 길이 비)이 높을수록 더 높은 추돌 가능성을 갖는 것으로 분석되었다. 이는 대표적인 감응식 신

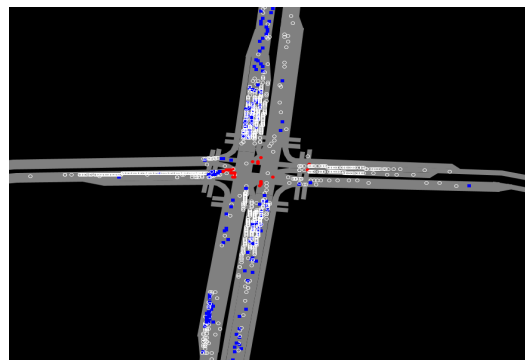
호운영의 결과인 신호조기종결(gap-out)으로 인하여 선행차량이 급격히 속도를 줄이고 추종차량들이 이에 반응하는 과정에서 상충을 유발할 수 있음을 시사한다고 판단된다. 결과적으로, 감응식 신호운영 적용을 위해서는 신호조기종결과 가장 관련이 많은 신호 파라미터인 신호연장시간(vehicle extension time 또는 passage time)의 선정에 주의할 필요가 있는 것으로 판단된다.

4) 안전도 평가결과의 시각화

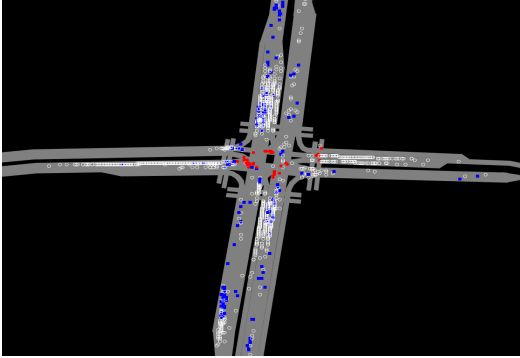
SSAM을 이용할 경우 안전도 평가결과를 시각화할 수 있다. <그림 5>~<그림 7>에서 보는 바와 같이 직각충돌형 상충은 주로 교차로 안에서 발생하며, 추돌형 상충은 주로 정진선 부근에서 많이 발생하고, 마지막으로 차로변경형 상충은 주로 합류부 및 분류부에서 많이 발생함을 알 수 있다.



<그림 5> 시나리오 1 상충발생지점도
(Fig. 5) Diagram showing conflict locations of scenario 1



<그림 6> 시나리오 2 상충발생지점도
(Fig. 6) Diagram showing conflict locations of scenario 2



〈그림 7〉 시나리오 3 상충발생지점
(Fig. 7) Diagram showing conflict locations of scenario 3

*속이 채워진 적색 원: 직각충돌형 상충; 속이 채워진 청색 사각형: 차로변경형 상충; 속이 빈 백색 원: 추돌형 상충

IV. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 SSAM을 이용해 신호 제어 방법별 안전도를 대리안전척도인 상충 발생 건수에 따라 비교, 분석하였다. 이를 위해서 우선 상충이론 등 관련 이론에 대해 연구하고 이와 관련된 연구들을 살펴보았다. 또한 현장 조사 등을 통해 미시교통 시뮬레이션모형 구축을 위한 자료를 획득하였다. 미시교통시뮬레이션모형인 VISSIM 5.20 패키지를 사용하여 네트워크를 구축하여 이를 통해 발생한 차량 경로 파일을 SSAM에 삽입하여 TTC, PET, DR, MaxS, DeltaS 등과 같은 대리척도를 산출하였다. 또한 이와 함께 직각충돌형, 추돌형 그리고 차로변경형 등 각 상충유형별 상충횟수 값을 얻을 수 있었다.

상충횟수로 비교한 결과 교차로에서 모든 신호를 정주기로 제어한 시나리오 1이 상충횟수가 가장 적었다. 또한 상충을 유형별로 나누어 직각충돌형, 추돌형 그리고 차로변경형 상충으로 분류하여 ANOVA를 통해 통계분석한 결과, 직각충돌형 및 차로변경형 상충의 경우에는 시나리오 간에 통계적 차이가 없었으나, 추돌형 상충의 경우는 통계적 차이가 있는 것으로 분석되었다. 이는 감응식 운영에 따른 녹색신호시간 조기단축으로 인한 것으로 판단된다.

또한 시나리오 3 (모든 좌회전 및 부도로 직진 감응식 제어 + 보행자 작동신호기)이 시나리오 2 (모든 좌회전 감응식 제어)보다 추돌형 상충 위험이 높은 것은 시나리오 3이 더 많은 현시에 감응식 신호운영을 적용하였기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 교통감응식 신호운영을 적용할 경우 교통안전에 각별히 주의하여야 할 것으로 판단된다.

또한 상충횟수를 제외한 주요대리척도가 미치는 영향을 ANOVA를 통해 각 시나리오별로 분석한 결과 주요 대리척도 중 DR이 추돌형 상충의 발생에 영향을 끼치는 것으로 나타났다.

이와 같은 분석결과를 종합해 볼 때 교차로에서의 신호 제어방식에 따른 안전도는 감응식 운영에 비해 정주기 방식이 비교적 가장 안전하고 판단된다. 또한 추돌형 상충의 발생에는 대리척도 중 DR이 가장 많은 영향을 끼친다고 판단된다. 따라서 실제 도로상에서 발생 가능한 상충을 줄이기 위해서는 충분한 최소녹색시간 및 신호시간 연장(extension) 시간을 제공함으로써 갑작스런 급정거 등을 최소화할 필요가 있다. 따라서 향후 연구에서는 감응식 신호제어 파라미터 중에서 이러한 상충에 영향을 많이 끼치는 파라미터를 찾고 또한 이러한 영향을 줄일 수 있는 방안을 찾는 것이 필요할 것으로 사료된다. 또한, 향후에는 실제 사고 발생과 SSAM을 통한 시뮬레이션 결과 비교를 통해 보다 정밀한 사고 위험에 대한 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다. 또한 다양한 사고 관련 요인들과 상충이론을 접목시켜 연구를 진행할 필요가 있을 것으로 판단된다. 이러한 연구를 통해 앞으로 교차로에서의 안전도 평가 및 이를 통한 교차로 개선, 안전수칙 마련 등이 활성화되어 도로 이용자들의 안전성을 보다 높여줄 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] 국토해양부, “2008년 교통사고 현황,” 국토해양부, 2009
- [2] 도로교통공단, “2009년 도로교통사고비용의 추계와 평가,” 도로교통공단, 2010

- [3] F. H. Amundsen and C. Hyden, "Proceedings: First workshop on traffic conflicts," Lund, Tekniska Högskolan, January 1977.
- [4] D. Gettman and L. Head, "Surrogate Safety Measures from Traffic Simulation Models," FHWA, 2003.
- [5] 장정아, "유비쿼터스 환경 하에서 교차로 내 잠재적 교통상충예측모델 개발," 박사학위논문, 아주대학교, 2009.
- [6] FHWA, "Surrogate Safety Assessment Mode,1" FHWA, 2008.
- [7] 도철웅, 하태준, 김현상, "신호교차로 교통상충 측정방법의 개발과 평가," *대한토목학회논문집*, 제9권, 제III-1호, pp.9-15, 1999. 1.
- [8] 이수범, 강인숙, "상충기법을 이용한 교차로 안전진단에 관한 연구," *대한교통학회지*, vol. 17, no. 4, pp.9-17, 1999. 10.
- [9] 김원철, 이수범, 남궁문, 今田寛典, "퍼지추론을 적용한 교통상충기법(TCT) 개발," *대한교통학회지*, vol. 20, no. 1, pp.55-63, 2002. 2.
- [10] Jeffery Archer, "Indicators for traffic safety assessment and prediction and their application in micro-simulation modelling: A study of urban and suburban intersections," Doctoral Thesis, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2005.
- [11] Pirdavani, Brijs, Bellemans and Wets, "Evaluation of traffic safety at un-signalized intersections using microsimulation: a utilization of proximal safety indicators," *Advances in Transportation Studies an international Journal Section A* 22, April 2010.
- [12] Kim, Edara and Bared, "Operational and safety Performance of a Non-Traditional Intersection Design: The Superstreet," *Transportation Research Board 86th Annual Meeting, Transportation Research Board, Washington, D.C.*, May 2007.
- [13] Ki-joon Kim and Jaehoon Sul, "Development of intersection traffic accident risk assessment model" *4th IRTAD Conference*, Seoul, Korea, September 2009.
- [14] Frédérique Huguenin, Alexandre Torday and André-Gilles Dumont, "Evaluation of traffic safety using microsimulation," *5th Swiss Transport Research Conference*, 2005.
- [15] Si'en Zhou, Keping Li, Jian Sun and Pingchao Han, "Calibration and validation procedure for intersection safety simulation using SSAM and VISSIM," *Proceedings of the 10th International Conference of Chinese Transportation Professionals*, October 2010.
- [16] B. Park, J. Won and I. Yun, "Application of Microscopic Simulation Model Calibration and Validation Procedure: A Case Study of Coordinated Actuated Signal System," *Transportation Research Record (TRR) 1978, TRB, Washington D.C.*, November 2006.
- [17] Roess, Prassas and McShane, "Traffic Engineering", Fourth Edition, Prentice Hall, 2011.
- [18] Levine, David, Stephan, Krehbiel and Berenson, "Statistics for Managers Using Microscopic Excel," 6th edition, Prentice Hall, 2011.

저자소개



윤 일 수 (Yun, Il-Soo)

2006년 1월 : University of Virginia 교통공학 박사
1995년 2월 : 한양대학교 일반대학원 교통공학 석사
1993년 2월 : 한양대학교 도시공학과 학사
2009년 9월 ~ 현 재 : 아주대학교 환경건설교통공학부 조교수



이 철 기 (Lee, Choul-Ki)

2004년 : 서울지방경찰청 교통개선 기획실장 및 COSMOS 추진 기획단장
2000년 : 미국 Texas A&M University TTI(Texas Transportation Institute) Visiting Scholar과정
1998년 : 아주대학교 대학원(교통공학 박사)
현 재 : 아주대학교 환경건설교통공학부 부교수



최 진 형 (Choi, Jin-Hyung)

2010년 8월 : 아주대학교 환경건설교통공학부 교통시스템공학 학사
2010년 9월 ~ 현 재 : 아주대학교 일반대학원 교통공학 석사과정



고 세 진 (Ko, Se-Jin)

2011년 2월 : 아주대학교 ITS대학원 교통공학 석사
2004년 10월 ~ 현 재 : (주)서둘전자통신 SW개발팀 과장