

■ 論 文 ■

지점검지자료 기반 신호교차로 운전자 안전서비스 개발

Development of a Driver Safety Information Service Model Using Point Detectors at Signalized Intersections

장 정 아 (한국전자통신연구원 연구원) 최 기 주 (아주대학교 환경건설교통공학부 교수) 문 영 준 (한국교통연구원 연구위원)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구의 배경
 - 2. 연구의 목적 및 내용
 - 3. 연구의 방법론
 - II. 이론적 배경
 - 1. 신호교차로 딜레마구간 문제
 - 2. 딜레마구간 관련 국내외 연구
 - III. 신호교차로 운전자 안전 서비스
 - 1. 지점검지 정보
 - 2. 서비스 모델
 - 3. 신호교차로 위험상황 분류 개념
 - IV. 신호교차로 위험상황 판단 방알고리즘
 - V. 모형의 적용 및 검증
 - 1. 모형의 적용 및 검증 방법
 - 2. 교통 시뮬레이션의 수행
 - 3. 모형의 적용 결과
 - 4. 모형의 검증 결과
 - VI. 결론 및 향후과제
- 참고문헌

Key Words : 신호교차로 안전, 지능형교통시스템, 딜레마존, 위험차량, 실시간 교통검지기
 signalized intersection safety, ITS, Dilemma zone, dangerous vehicle, real-time traffic detector

요 약

본 연구는 신호교차로에 접근하는 운전자에게 실시간 안전서비스를 제공할 수 있는 서비스와 방법을 다루고 있다. 특히 신호기가 녹색-황색-적색으로 변동되는 구간에 운전자가 고의적으로 신호위반을 하거나 혹은 교통공학적 딜레마구간에 차량이 있을 때의 상황을 고려하였다. 연구에서는 신호교차로의 진입로에 다수개의 지점검지기가 설치되어 차량의 속도, 존재시간 및 위치정보를 실시간으로 검지될 경우, 신호현시의 변화에 따라 상기 차량이 위험차량인지를 판단하는 방법을 개발하였다. 이러한 모델을 평가하기 위해 미시적 시뮬레이션인 VISSIM에 지점검지기를 다수개 설치하여 유입교통량의 변화, 설계속도의 변화, 운전자 인지반응시간을 변화하여 수행하였다. 모형의 검증결과 모형의 예측값과 실제 시뮬레이션에서의 주행결과가 동일한 정분류율은 약 98.5%를 보이고 있고 실제 위험차량 중에 약 88.5% 가량을 예측하는 예측률을 보이고 있었다. 또한, 유입교통량의 변화, 설계속도의 변화와 운전자 인지반응시간의 변화에 따른 민감도를 확인할 수 있다. 이러한 일련의 서비스는 신호교차로의 안전을 위한 신규서비스로서 활용이 가능할 것으로 사료된다.

This paper suggests a new approach for providing information for driver safety at signalized intersections. Particularly dangerous situations at signalized intersections such as red-light violations, accelerating through yellow intervals, red-light running, and stopping abruptly due to the dilemma zone problem are considered in this study. This paper presents the development of a dangerous vehicle determination algorithm by collecting real-time vehicle speeds and times from multiple point detectors when the vehicles are traveling during phase-change. For an evaluation of this algorithm, VISSIM is used to perform a real-time multiple detection situation by changing the input data such as various inflow-volume, design speed change, driver perception, and response time. As a result the correct-classification rate is approximately 98.5% and the prediction rate of the algorithm is approximately 88.5%. This paper shows the sensitivity results by changing the input data. This result showed that the new approach can be used to improve safety for signalized intersections.

1. 서론

1. 연구의 배경

신호교차로는 교차로에 진입하는 차량에게 신호(적색, 황색, 녹색)에 따라 차량의 통행우선권을 할당하여 교통류를 제어하는 도로 구간이다. 녹색표시는 교통류를 합법적으로 진행할 수 있도록 하는 것이며, 황색표시는 녹색표시에서 적색표시로 바뀌는 경과시간에 사용된다. 적색표시는 차량이 진행해서는 안 된다. 이러한 법적 구속력에도 불구하고 우리나라의 대다수의 교통사고는 신호위반으로 인하여 발생이 되고 특히 교통량이 적은 새벽에 발생할 경우는 치사율이 매우 높은 상황이다. 또한 교통량이 많은 시간대는 황색신호나 딜레마구간으로 인한 측면사고와 차량출발에 따른 연속차량의 후면추돌 사고가 높다. 즉 신호교차로에서는 녹색표시 시간 동안 안전하게 교차로를 통과하도록 통행권이 보장되어 있지만, 황색 및 적색 표시로 변경됨에 따라 신호위반 가능성이 발생이 되고, 실제적 신호위반으로 본인 차량 및 다음 현시를 대기하는 차량과의 측면 및 정면 충돌로 교통안전상 위험도가 높은 상황이다. 특히 2008년 교통사고통계에 의하면 교차로에서의 교통사고는 전체 211,662건의 교통사고 중 93,113건이 발생하여 44.0%가 발생하였으며, 이중 신호위반 사고는 25,624건으로 12.1%에 달한다(경찰청, 2008)

본 연구는 이러한 신호교차로를 대상으로, 신호교차로에 접근하는 운전자에게 실시간 운전자서비스를 제공할 수 있는 서비스와 그러한 기술에 대하여 다루고 있다. 특히 신호교차로의 접근로마다 설치될 수 있는 지점검지기를 이용하여 실시간 신호상황에 따라 운전자의 고의적 신호위반이나 딜레마 문제를 추정하고 이를 운전자들에게 실시간으로 제공할 수 있는 서비스를 중점으로 두고 있다. 최근에는 ITS(지능형 교통시스템; Intelligent Transport Systems, 이하 ITS)뿐만 아니라, USN(Ubiquitous Sensor Network, 이하 USN)의 기술의 발달로 도시내 신호교차로에서의 실시간 차량검지시스템의 기술적 확산이 널리 이루어지고 있다. 또한 V2I(Vehicle to Infrastructure, 차량-노변) 및 V2V(Vehicle to Vehicle, 차량-차량)의 무선 통신기술의 급속한 발전으로 향후 차량내 모바일 단말을 장착한 비율이 점차 높아질 것으로 예상되며, 운전자 안전서비스 기술도 현실화 될 것으로 예상된다. 이에 본 연구에서 다루고 있는 교차로의 접근 차량에게 실시간 안전 정보를 제공하는 서비

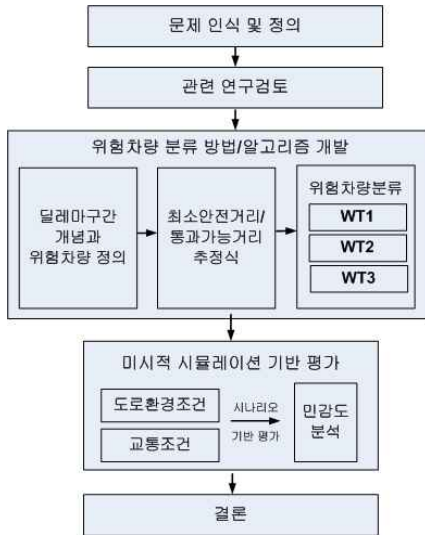
스와 방법에 대한 것으로, 신호교차로의 안전도를 높이는 데 일익을 담당할 것으로 사료된다. 본 연구는 미래의 교통시스템의 한 사례로서 신호교차로의 접근로에 다수의 지점검지기를 설치 및 운영함으로써 차량의 속도 및 통과정보를 다수개 이상 실시간으로 검지할 경우를 가정하였고, 교차로에 접근하는 모든 차량이 실시간 정보 단말(ITS단말 및 텔레매틱스 단말 등)을 장착한 상태에서, 도로소통정보외에 접근 차량에게 실시간으로 안전서비스를 제공 받을 수 있음을 가정하였다. 이러한 연구는 향후 급격한 정보통신기술의 발달로 인한 교통시스템의 변화와 기존 ITS 서비스의 지속적 발전과 더불어 국내외 기술 경쟁력이 획기적으로 발전되는데 기여할 것으로 판단된다.

2. 연구의 목적 및 내용

본 연구는 신호교차로에 지점검지기가 다수 개 설치될 경우 실시간으로 검지된 차량의 속도, 시각 및 위치정보와 신호정보를 기반으로 안전상 위험차량을 추정하여 접근하는 차량들에게 제공할 수 있는 서비스와 주요 알고리즘을 개발하는데 주요 목적이 있다. 안전상 위험차량은 고의적 신호위반 차량과 딜레마 문제에 직면하게 되는 차량에 대하여 고려하였으며, ITS 지점검지기의 위치와 그 지점을 통과하는 차량의 속도, 그리고 실시간 신호정보에 따라 위험차량으로 판단하는 방법을 알고리즘화 하였다. 또한 이러한 알고리즘이 교통조건 및 도로 환경조건에 따른 적용 결과를 분석하였다. 이러한 알고리즘의 개발을 위하여 신호교차로에서의 딜레마 구간 문제에 대하여 관련 기존 연구들을 살펴본 후 알고리즘을 개발하였고, 이후 미시적 시뮬레이션 수행을 통한 적용 및 검증 결과를 제시하였다. 이러한 연구는 기존 ITS 지점검지 인프라가 운전자 안전 서비스로 활용될 수 있음을 확인할 수 있었고, 향후 비용이 저렴하여 다수개 설치 가능한 무선 USN 교통 센서 등이 도로에 설치 운영될 경우 더욱 현실성이 있을 것으로 예상되는 연구이다.

3. 연구의 방법론

연구의 주요 방법론은 딜레마구간의 이론을 토대로 운전자 안전서비스 알고리즘을 개발하여 이를 미시적 시뮬레이션으로 적용 및 검증하는 방법으로 구성이 되며 그 일련의 흐름은 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 연구의 흐름도

II. 이론적 배경

1. 신호교차로 딜레마구간 문제

딜레마구간(Dilemma zone)은 황색신호가 시작되는 것을 보았지만 임계감속도로 정지선에 정지하기가 불가능하여 계속 진행할 때, 황색신호 이내에 교차로를 완전히 통과하지 못하게 되는 경우가 생기는 구간이다 (FHWA, 2006). 이는 잔여 황색시간동안 운전자가 정지할 수 있는 최소정지거리(minimum safe stopping distance, 이하 SSD)와 운전자가 안전하게 교차로를 통과할 수 있는 거리(critical crossing distance, 이하 CCD)와의 관계로, $SSD > CCD$ 일 경우 딜레마구간이 존재하게 된다. 이에 비해 황색시간이 적정황색시간 보다 길어 $SSD < CCD$ 일 경우는 옵션구간(option zone)이 생기게 되어, 이 구간에 있는 운전자는 그대로 진행을 하더라도 황색신호 동안에 교차로를 횡단할 수 있고, 또 정지를 하더라도 임계감속도 이내에서 정지선에 어려움이 없이 정지할 수 있다. FHWA(2006)에서는 운전자의 정지율¹⁾로 인해 차량의 접근속도가 56~88km/h로 접근할 경우 <표 1>과 같이 다양하게 분포될 수 있음을 알려주고 있다. 여기서 교차로까지의 거리는 정지선으로부터

<표 1> 딜레마구간 범위

접근속도(km/h)	90%정지율에서의 교차로 거리(m)	10%정지율에서의 교차로 거리(m)
56	77	31
64	87	37
72	100	46
80	108	52
88	118	71

터의 거리로 접근속도 88km/h에서는 운전자의 정지율에 따라 71~118m까지 딜레마 구간의 범위가 변동될 수 있음을 보여준다. 또한 이러한 딜레마구간 문제는 도로포장조건, 차량특성, 교차로형태, 구배, 플래툰에서의 위치, 차량속도, 정지선으로부터 거리, 운전자특성에 따라 변화가능하다(Panagiotis Papaioannou, 2007).

이처럼 딜레마 구간 문제는 변수에 따라 변동되는 값으로서 ITS의 도입으로 도로인프라부터 차량속도, 거리 정보 등을 실시간검지로 알 수 있다면 딜레마구간 문제는 실시간으로 극복 가능한 문제로 판단된다. 이러한 부분이 본 연구에서 주안점을 둔 문제인 것이다.

2. 딜레마구간 관련 국내외 연구

딜레마 구간 문제를 풀기 위한 현재까지의 방법은 딜레마 구간에 차량이 존재할 경우 녹색시간을 늘리거나, 전적색(All-red)과 같이 신호 운영으로 해결하기도 했고, PTSWF 방법들이 있었다. 딜레마구간 관련 국내외 연구자의 내용을 간략히 살펴보면 다음과 같다. 장영규(2000)는 검지된 속도를 기반으로 딜레마구간을 파악하여, 차량이 딜레마 구간의 시작점에 도착하는 시점에서 녹색시간을 연장하여 딜레마구간을 제거하도록 유도하는 신호제어 알고리즘을 제안하였다. 박주남(2002)는 신호교차로 황색신호 등화시 교차로에 접근하는 차량들의 운전자 행태 분석을 위해 정지감속률, 운전자 인지반응시간 및 딜레마 구간과 정지율의 관계를 고찰하고, 이를 바탕으로 신호교차로의 정지율에 따른 딜레마 구간 범위를 도출하였다. 이를 위해 제한속도가 80km/h인 신호교차로 3개소를 조사하여, 평균 $1.67m/sec^2$ 의 정지감속률²⁾, 85th 백분위수 $2.22m/sec^2$ 을 확인하고, 운전자 인지반응시간은 1.27초³⁾임을 확인하였다.

1) 교차로로 진입하는 운전자가 황색신호를 보고 교차로 정지선에 정지 혹은 교차로를 통과할 확률을 나타내는 것

2) ITE $1.47m/sec^2$

3) ITE 1초, 기타연구 $1.3\sim 3.0$ 초

Azhar Al-Mudhaffa(2006)는 고속도로 주행하는 도로상에 있는 신호교차로에서 정지되는 차량의 수와 손실시간을 줄이고, 안전을 높이기 위한 LHOVRA⁴⁾ 기법을 개발하였다. 이 기법에서 딜레마 구간의 차량을 줄이기 위한 신호제어 전략을 제시하였다. 80m와 130m 에 위치하는 검지기를 이용하여 녹색현시 끝을 지속하거나 황색을 시간을 변동하는 형태를 제안하였다. 이러한 딜레마 구간의 차량에 대한 안전을 보장하기 위해, 신호제어가 아닌 PTSWF(Prepare to Stop When Flashing, 이하 PTSWF)를 활용하여 교차로의 신호기 전에 우선적으로 경고를 주는 표지판을 활용한 경우가 있다. McCoy and Pesti(2003)은 다수의 검지기를 활용하여 딜레마 구간을 예방하는 방법과 PTSWF를 이용하는 방법을 설계하여 딜레마 구간에 있는 속도 범위내의 차량을 인지하여 우선 경고를 주는 것이 효과가 있음을 보여주었다. Sunkar 등(2005)는 PTSWF가 적색신호주행을 약 40%감소함을 제시하였다. 다른 형태로 검지-제어 시스템의 도입으로 딜레마 구간의 차량의 수를 감소시킬 수 있는데, 전통적인 다수의 검지시스템으로도 Bonneson 등(2001)의 연구에서는 약 2-3%의 차량의 수가 감소될 수 있음을 보여주었고, Zimmerman 등(2003)의 연구에서는 정지수의 6.1%감소, 적색시간 주행의 0.8%감소 그리고, 딜레마구간의 차량의 3.7%가 감소됨을 보여주었다. 그 외에 다른 연구들은 Steven L. Jones Jr. and Virginia P. Sisiopiku(2007)에서 살펴볼 수 있다.

3. IT기반 안전정보 제공 관련 연구

IT 기반 운전자 안전정보 제공을 위한 연구로서, 신호교차로와 관련된 연구는 교통개발연구원(2000)의 연구가 있다. 이는 신호제어기의 신호변경정보를 근거리통신체계를 통해 실시간으로 사전에 차량내 운전자에게 신호변경의 경고를 미리 내려주어 의사결정을 안전하게 할 수 있도록 차내경고시스템을 개발하고자 관련 연구이다.

또한 고속도로에 대한 적용으로 오철 등(2007)은 영상기반 실시간 후미추돌 위험도 분석기법을 개발하였다. 그들의 연구에서는 실시간 모니터링 환경하에서 안전도

평가 방안을 제시하기 위해, 차량 영상 이미지 트래킹을 통해 추출되는 개별 차량의 주행정보와 기존의 교통상충 분석기법을 응용하여 교통 안전도를 평가할 수 있는 방법을 개발하였다. 이때 차량간 안전거리 개념을 반영한 RSI(Real-time Safety Index) 개념과 TTC(Time to Collision) 개념을 제시하고 고속도로에서 적용하였다.

III. 신호교차로 운전자 안전서비스

1. 지점검지정보

본 연구는 교차로 접근로에 설치될 수 있는 다수의 ITS 지점검지정보(위치, 차량속도, 검지시각)에 국한한다. 이는 최근에 국내외적으로 USN기술의 도로교통상의 적용하고자 하는 움직임이 활발히 이루어지고 있고 <그림 2>와 <그림 3>과 같은 u-교통센서가 개발이 되어 무선 USN 통신망(802.15.4 등)으로 다수의 지점검지정보를 수집가능한 상황이며(장정아(2007)(2008)) 본 연구에서는 이를 고려한 운전자 안전서비스를 제시하고자 한다.



<그림 2> 센서노드



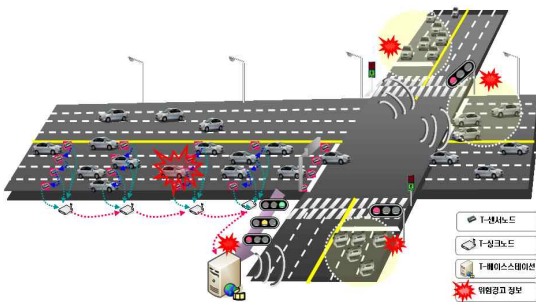
<그림 3> 싱크노드

4) L: Truck, bus and platoon priority,
H: Main Road priority
O: Incident reduction
V: Variable amber time
R: Red driving control(variable red time)
A: All red turning

2. 서비스 모델

신호교차로 운전자 안전서비스는 신호교차로에 진입하는 차량이 신호교차로 접근로 설치된 지점검지기, 신호정보(주기정보, 현시정보, 현시분할정보), 국지서버(local server), V2I 무선 통신기술의 융합으로 교차로의 운전자에게 실시간 안전서비스를 제공할 수 있도록 하여, 교차로 사고를 미연에 방지하도록 하고자 하는데 목적을 둔 새로운 형태의 실시간 정보서비스이다. 이러한 서비스의 흐름은 다음과 같으며, 주요 서비스 개념도는 <그림 4>와 같다.

- Step 1 : 교차로 접근로별로, 차로별로 설치된 다수 개의 지점검지기에서 차량의 존재 시각정보와 속도 정보를 실시간으로 검지한다.
- Step 2 : 검지된 차량 정보는 유무선 통신으로 노변장치인 국지서버로 전송한다.
- Step 3 : 신호제어기는 실시간으로 신호정보(신호주기, 신호현시, 현시분할시간)를 국지서버에 유무선 통신으로 전송한다.
- Step 4 : 국지서버의 센서 및 신호정보 수집모듈은 실시간 신호기 정보(신호주기, 신호현시, 현시분할시간)와 Step 2의 실시간 차량운행정보를 수집한다.
- Step 5 : 국지서버의 안전서비스제공을 위해 두 가지의 실시간 정보(신호기정보, 센서정보)를 기반으로 후술하게 될 알고리즘을 기반으로 위험차량의 존재유무를 판단한다.
- Step 6 : 위험차량의 존재유무에 상황에 따라 운전자들에게 I2V 무선통신을 이용하여 즉시적으로 운전자 안전서비스를 제공한다.



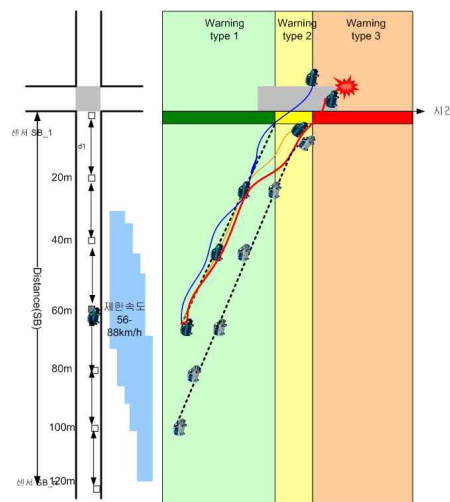
<그림 4> 신호교차로 진입 위험경고서비스 개념도

3. 신호교차로 위험상황 분류 개념

신호교차로의 운전자 안전서비스의 제공을 위하여 안전정보로서 신호교차로에서의 위험상황에서의 위험차량 정보를 정의하고 이를 제공할 것을 제안한다. 여기서 위험상황과 위험차량에 대하여 정의하면 다음과 같다. 위험상황은 크게 신호위반에 의해 야기되는 위반사항과 녹색-황색-적색구간에 존재하는 딜레마 구간에 의한 위반사항으로 구분된다. 또한 위험차량이라 함은 신호위반 가능성 있는 차량(녹색-황색-적색의 신호현시 가운데 적색 현시가 주어질 경우 교차로를 통과하게 될 차량)을 의미하며, 다음의 두 가지 경우로 발생할 수 있다.

- 운전자의 운전성향에 의해 고의적으로 신호를 위반하여 신호교차로를 적색현시에 통과하려는 차량
- 황색 신호를 보고도 정지선에 정지하거나 교차로를 통과하기 힘든 교통 공학적 딜레마 구간에 존재하는 차량

이러한 두 가지 위험차량을 판단하기 위해 시간의 흐름에 따라 신호현시가 녹색-황색-적색으로 지속적으로 변화될 경우, <그림 5>에서와 같이 3가지로 분류한다. 분류한 기준은 신호현시(녹색, 황색, 적색)에 따르며, 분류된 상태에서 각 지점 검지별로 검지된 차량의 속도와 위치정보를 기반으로 차량이 정지가능한지, 통과가능한지를 판단하여 황색시간 종료 후 교차로 안에 존재할 수 있는 가능성이 있는지 판단하는 형태를 취한다.



<그림 5> 위험차량유형 결정 개념

- Warning type 1 (이하 WT1) : 남아 있는 녹색시간(remain_g)이 존재하는 경우로 녹색시간과 황색의 진행연장시간을 고려하여 차량상황 판단
- Warning type 2 (이하 WT2) : 남아있는 황색시간(remain_y)이 존재하는 경우, 이를 고려하여 차량상황 판단
- Warning type 3 (이하 WT3) : 적색신호가 시작된 경우, 정지선 검지기로부터 차량의 신호위반 유무 판단

이러한 세 가지 유형의 위험차량 판단은 지점검지기로부터 수집되는 실시간 속도와 위치를 기반으로 판단하며 식(1)과 식(2)와 같은 다음의 운전자가 정지할 수 있는 최소정지거리(SSD)와 운전자가 안전하게 교차로를 통과할 수 있는 거리(CCD)의 변형된 개념으로 판단 알고리즘을 구성한다.

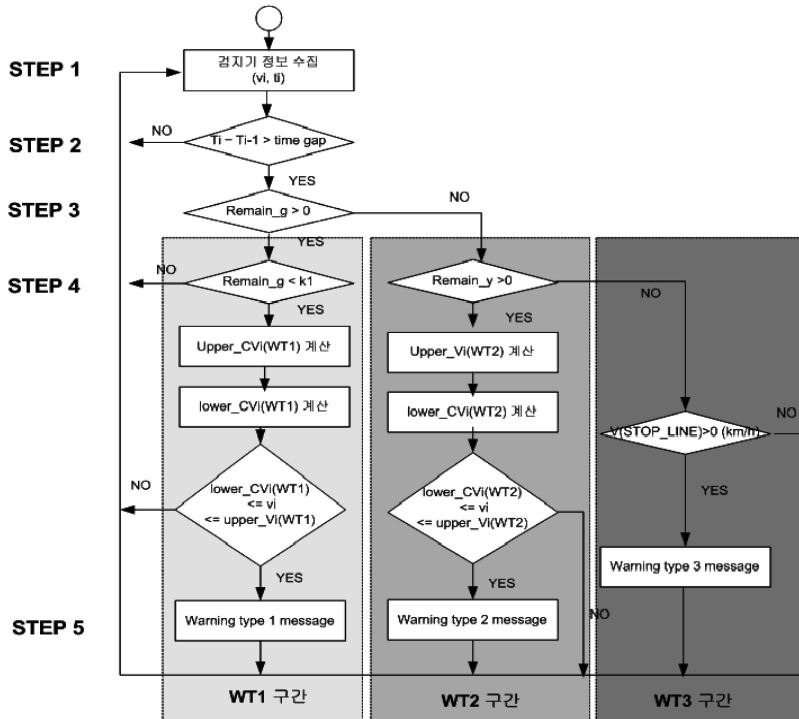
$$SSD = v_i \times t_{PRT} + \frac{v_i^2}{2g(f + G)} = v_i \times t_{PRT} + \frac{v_i^2}{2 * (d + G * g)} \quad (1)$$

$$CCD = v_i * t + \frac{1}{2}at^2 - (W + L) \quad (2)$$

이러한 SSD와 CCD기반으로 교차로 접근로에 설치된 지점검지기로부터 실시간으로 수집된 차량 속도인 v_i 을 판단할 수 있도록 각 지점별 위치인 x_i 와 시간에 따른 t 을 동시에 고려한 알고리즘을 개발하였다.



<그림 6> 알고리즘 기능적 흐름도



<그림 7> 서비스 알고리즘 구성도

IV. 신호교차로 위험차량 판단 방법

신호교차로에서의 운전자에게 제공하는 안전정보로서 신호현시에 따른 위험차량에 대한 판단하고 이를 제공하는 주요 알고리즘을 설명하면 <그림 6>과 <그림 7>과 같다. 먼저 지점별 검지기 정보가 수집되면 일차적으로 수집된 접근로의 차로별로차량의 간격을 고려하고, 이후 신호현시에 따라 녹색현시는 WT1 알고리즘을, 황색현시는 WT2 알고리즘을 그리고 적색현시에서는 WT3 알고리즘으로 위험상황을 판단한다. WT1, WT2, WT3의 판단 수식은 다음과 같다.

<WT1의 경우 판단 알고리즘>

WT1의 경우는 해당 접근로의 녹색현시 종료 이전에, 모든 지점검지센서에서 올라오는 차량의 속도를 근거로 SSD와 CCD의 상황판단을 한다. 식(2)를 근간으로 차량 속도가 상기 신호시간내에 교차로를 통과할 수 없는 소거거리내에 존재하는 속도인지를 판단하는 $upper_CV_i^{WT1}$ 를 식(3)과 같이 도출하였다. 여기서 식(2)에서의 차량진행시간 t 는 녹색현시시점이기때문에 잔여녹색시간(remain_y)와 진행연장시간(extend_y)의 합으로 구성이 될 수 있다. 지점검지위치 X_i (m)에 따라 검지된 속도(v_i)가 계산된 식(3)의 $upper_CV_i^{WT1}$ 이내에 존재할 수 있는지를 판단하는 임계치가 된다.

$$upper_CV_i^{WT1} = \frac{X_i + (W + L) - \frac{a(remain_g + Extend_y - t_{PRT})^2}{2}}{remain_g + Extend_y} \quad (3)$$

또한, 식(1)을 근간으로 차량 속도가 상기 신호시간내에 교차로에 멈출 수 있는지에 대한 속도인지를 판단하는 $lower_CV_i^{WT1}$ 를 식(4)와 같이 도출하였다.

$$lower_CV_i^{WT1} = \frac{-t_{PRT} + \sqrt{t_{PRT}^2 + \frac{2X_i}{d + G * g}}}{\frac{1}{(d + G * g)}} \quad (4)$$

지점검지기 i에서 산출된 v_i 와 식(3)과 식(4)의 임계 속도와 비교하여 $lower_CV_i^{WT1} \leq v_i \leq upper_CV_i^{WT1}$ 이면 위험차량으로 판단한다.

<WT2의 경우 판단 알고리즘>

WT1의 로직과 동일하게 각 지점검지기에서 올라오는 차량의 속도인 v_i 와 비교할 수 있는 소거가능속도 임계치인 $upper_CV_i^{WT2}$ 와 정지가능 속도 임계치인 $lower_CV_i^{WT2}$ 를 식(5)와 식(6)과 같이 도출하였다.

$$upper_CV_i^{WT2} = \frac{X_i + (W + L) - \frac{a(remain_y - t_{PRT})^2}{2}}{remain_y} \quad (5)$$

$$lower_CV_i^{WT2} = \frac{-(t_{PRT} + remain_y - Y) + \sqrt{(t_{PRT} + remain_y - Y)^2 + \frac{2X_i}{d + G * g}}}{\frac{1}{(d + G * g)}} \quad (6)$$

식(5)의 경우는 차량진행시간 t 는 남아있는 황색시간(remain_y)만을 고려하여 판단한다. 식(6)의 경우 t_{PRT} 의 고정값을 $t_{PRT} + remain_y - Y$ 로 변동하여 고려하였다. 이는 황색신호시간동안 차량의 운전자는 황색시간(Y)이 지속적으로 줄어들어 0(초)로 변동되는 상태이기 때문에 차량이 정지하기 위한 운전자 인지반응시간을 현실적으로 고려할 수 없을 수도 있다. 이를 속도 임계치에 반영하기 위해 잔여 황색시간(remain_y)의 변수값과 고정값인 황색시간(Y)를 고려하도록 수식화하였다. 즉 황색이 진행됨에 따라 운전자 인지반응시간이 적용이 되어 남아 있는 황색시간내에 정지 가능한지에 대한 추가 판단을 하도록 하였다. 이후, 각 지점검지기에서 수집된 v_i 를 식(5)와 식(6)을 비교하여 $lower_CV_i^{WT2} \leq v_i \leq upper_CV_i^{WT2}$ 이면 위험차량으로 판단한다.

현재 개발된 모형은 지점검지 정보를 기반으로 해당 지점을 통과하는 속도가 다음 지점 전까지 동일할 것으로 가정하고 있다. 이러한 부분은 지점검지의 간격이 커지면 커질수록 확률적 오차를 더 많이 가질 수 있다는 한계가 있다.

5) 진행연장시간: 운전자들이 정지선에서 급정거를 할 수 없으므로 이와 같은 시간의 일부분을 불가피하게 이용함으로 발생하는 연장시간 (교통공학원론 Page 75)
 6) 본 연구에서 수행한 시뮬레이션의 경우는 지점검지간격이 5m 임으로 5m 내에서는 동일한 속도와 감속도를 가정하게 됨

<WT3의 경우 판단 알고리즘>

WT3는 적색현시때의 위험차량 판단 방법으로, 적색 신호가 표시됨에도 불구하고 차량이 교차로에 진입하는 지를 정지선의 지점검지기로 판단하도록 고려하였다. 즉 만약 정지선 검지기의 속도가 $0m/sec^2$ 이상이면 위험차량으로 판단한다.

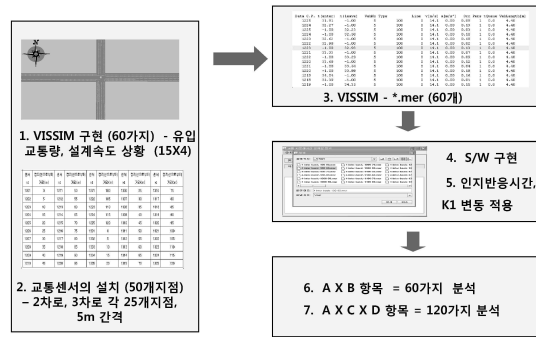
식(1)~식(6)에서 사용된 수식에서의 주요 변수 및 기호의 설명은 다음과 같다.

- t : 차량진행시간(초)
- vi : i 지점에서의 차량속도(m/sec^2)
- $time_gap$: 연속차량의 시간간격(초)
- t_{PRT} : 운전자인지반응시간 (초)
- f : 도로마찰계수
- a : 가속도 (m/sec^2)
- d : 정상감속도 (m/sec^2)
- W : 교차로 폭(m)
- L : 차량길이(m)
- G : 중력가속도, $9.8m/sec^2$
- g : 구배(%)
- $Extend_y$: 진행연장시간 (초)
- Y : 황색시간 (초)
- $Remain_g$: 녹색시간 중 황색시간까지의 잔여시간(초)
- $Remain_y$: 황색시간 중 적색시간까지의 잔여시간(초)
- X_i : 지점검지기 i 와 정지선까지의 거리(m)
- $lower_CV_i^{WT1}$: WT1에서의 정지가능 판단속도
- $upper_CV_i^{WT1}$: WT1에서의 소거가능 판단속도
- $lower_CV_i^{WT2}$: WT2에서의 정지가능 판단속도
- $upper_CV_i^{WT2}$: WT2에서의 소거가능 판단속도

V. 모형의 적용 및 검증

1. 모형의 적용 및 검증 방법

개발된 지점검지데이터를 근간한 신호교차로용 안전 서비스 모델의 시험검증을 위하여 실제 도로에 적용하기 전에 먼저 미시적 교통 시뮬레이션을 기반으로 적용하였다. 일반적인 미시적 시뮬레이션 모형은 지점을 통과하는 차량의 통행패턴이 동일하지 않다는 특성에 근거하여 설정된 모형으로, 개별 차량 단위로 수집되는 교통상황(속도 및 위치자료 등)을 바탕으로 차량과 차량의 통행특성



<그림 8> 모형의 적용 및 검증 방법

영향을 모형에 반영하여 효과척도를 산출하는 기능을 가진다. 본 연구에서는 미시적 교통 시뮬레이션인 VISSIM을 사용하였다(PTV, 2006). 또한 시뮬레이션의 수행을 위해 test case로서 <그림 8>과 같은 독립교차로의 교통 상황을 모델링하고, 이후 시나리오별로 약 120가지의 교통 및 도로상황에 대한 신호교차로 안전서비스에 대한 적용사례를 제시하였다. VISSIM에서 수행된 결과로 5m 간격으로 설치된 지점검지기 데이터(*.mer)파일을 분석하는 절차를 하였으며, 개발된 식(3)~식(6)에 대해 신호시간과 연계하여 실시간으로 판단하기 위해 자동화된 소프트웨어로 구현하여 평가결과를 제시하였다.

2. 교통 시뮬레이션의 수행

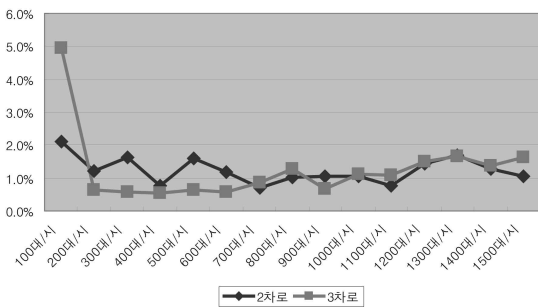
시뮬레이션 수행을 위한 주요 교통조건, 기하구조조건 및 신호운영 조건 등의 입력 조건은 <표 2>와 같으며, 초기 입력 데이터는 다음과 같다.

- 인지반응시간(초), 1.5초 사용
- 가속도 (m/sec^2), $0 m/sec^2$ 사용
- 차량길이 (m), 4.5 m 사용
- 중력가속도 (m/sec^2), $9.8m/sec^2$ 사용
- 구배 (%), 0% 사용
- 진행연장시간 (초), 2초 사용
- 정지선 속도(m/sec^2), $1m/sec^2$ 사용

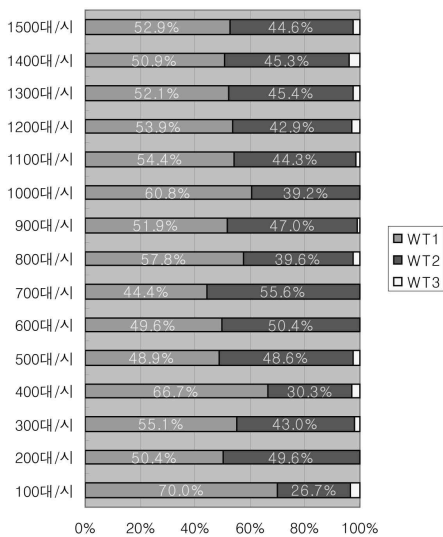
여기서, 수행된 주요 시나리오는 설계속도의 변화, 유입교통량의 변화 및 운전자 인지반응시간의 변동에 따라 120가지의 경우를 수행하였다. 단 여기서 데이터의 분석 개수는 2차로와 3차로를 각각 다른 경우로 분석하였기 때문에 240개가 된다.

<표 2> 시뮬레이션 입력 조건

구분	상세내용	
교통조건	유입교통량	진입로별 100대/시 ~1500대/시의 15가지 상황
	회전비율	좌회전-직진-우회전 비율(15-70-15)
	차종구분	승용차 90%, 기타 차종 10%
기하구조조건	차로수	4차로*4차로
	차로폭	3.5m
	차로운영	1차로: 좌회전 전용 2·3차로: 직진 전용 4차로: 우회전 전용
신호운영조건	주기:120초 녹색-황색-적색: 27초-3초-90초 좌회전-직진 동시신호	
지점검지기 위치	2, 3차로에 5m 간격으로 120m 지점까지 총 50지점에 설치	



<그림 9> 유입교통량의 변화에 따른 위험차량판단 비율



<그림 10> 유입교통량에 따른 WT1, WT2, WT3 판단비율(2차로)

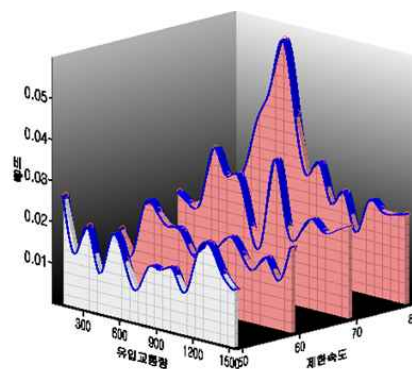
3. 모형의 적용 결과

1) 유입교통량의 변화에 따른 안전서비스 제공비율(위험차량 판단 비율)

접근로별 유입교통량을 100대/시~1500대/시로 변화시켰을 경우 총 위험차량의 발생은 <그림 9>에서 볼 수 있듯이 0.8~2.3%로 분포하고 있다. 이 값은 각 검지기에서 검지된 “총 위험차량발생건수/총 누적차량수”를 의미한다. 이때, 전체 “WT2시 위험차량발생건수/총 위험차량발생건수”인 황색시간동안의 위험차량 발생비율은 <그림 10>에서 볼 수 있듯이 유입교통량에 따라 24%~51%를 보이고 있으며, 평균적으로 약 35.8%의 차량이 황색시간 동안 위험차량으로 분류되고 있다.

2) 도로설계속도의 변화에 따른 안전서비스 제공비율(위험차량 판단 비율)

설계속도⁷⁾를 50km/h, 60km/h, 70km/h, 80km/h로 변경시켰을 경우 유입교통량의 변화에 따른 위험차량발생건수의 변화를 살펴보면 <그림 11>과 같다. 유입교통량-위험차량 발생비율, 설계속도-위험차량 발생비율의 상관계수를 살펴보면 양(+)의 상관계수로 유의하였다. 이는 설계속도가 높아질수록 위험차량발생 비율은 높아진다. 또한 240개의 분석 데이터 중에 위험차량 발생비율이 높은 상위의 위험차량 발생 상황 경우를 살펴보면, 설계속도가 80km/h 등으로 높고 유입교통량이 400대/시~600대/시인 상황에서 높게 나타났다.



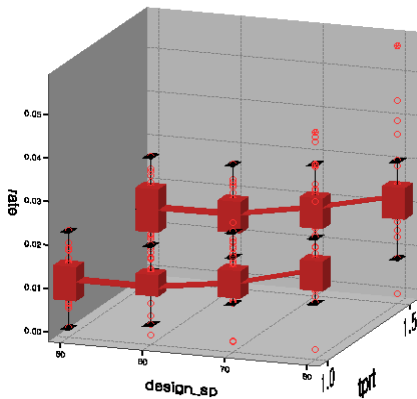
<그림 11> 설계속도, 유입교통량의 변화에 따른 위험차량 발생비율 변화

7) design speed, 어느 특정구간에서 모든 조건이 만족스럽고 속도가 단지 그 도로의 물리적 조건에 의해서만 좌우되는 최대안전속도로서 설계의 기준이 되는 속도(교통공학원론 상)

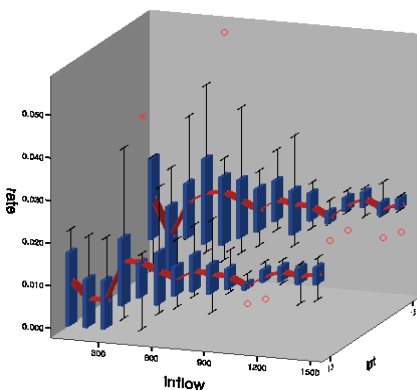
3) 운전자 인지반응시간의 변화에 따른 안전서비스 제공비율(위험차량 판단 비율)

위험경고 판단시에 운전자 변수로 입력이 되는 운전자 인지반응시간(t_{PRT})는 국내의 조사치에 근거 약 1.5초와, ASSHTO 기준에서는 이 값을 신호교차로에서는 1.0초를 사용할 것으로 권고하고 있어, 두 가지의 상황에 대하여 위험상황 발생건수의 변화를 확인하였다.

그 결과 <그림 12>에서 볼 수 있듯이 인지반응시간이 낮고 설계속도가 낮은 경우 보다, 인지반응시간이 높고 설계속도가 높은 경우에 위험상황 발생비율이 높아짐을 알 수 있었다. 또한 <그림 13>에서 볼 수 있듯이 인지반응시간이 낮고, 교통량이 낮은 상황이 다른 때보다 위험상황 발생빈도가 낮게 나타남을 알 수 있다. 단 교통량이 많아진다고 위험상황 발생빈도가 높다고는 볼 수 없기 때문에, 인지반응시간이 낮은 경우가 보다 위험상황을 빨리 대처하여 위험상황 발생 빈도가 보다 낮을 수 있음을 시사하고 있다.



<그림 12> 설계속도와 인지반응시간의 변화관계



<그림 13> 유입교통량과 인지반응시간의 관계

<표 3> 모형 적용 결과

구분		실제 주행 결과 (대)(%)		합계 (대)(%)
		위험차량입	위험차량아님	
모형의 적용 결과 (대)(%)	위험차량입	253 (46%)	5.1(0.9%)	30.4(5.5%)
	위험차량아님	3.3(0.6%)	521.1(93.9%)	524.4(94.5%)
합계 (대)(%)		286 (5.1%)	526.3(94.9%)	549(100%)

4. 모형의 검증 결과

개발된 신호교차로 위험차량 추정 모형의 알고리즘의 유의성 검증(validation)은 크게 두 가지 측면에서 가능하다. 하나는 시뮬레이션 기반으로 위험차량으로 추정된 예측결과와 실제 모의시험의 주행결과에서 위험상황에 직면한 차량을 비교하는 방법이다. 다른 하나는 실제 교통상황과 도로에서 위험차량이 발생하는 상황에 대하여 현장 시험을 통해 검증하는 방법이다. 연구에서는 첫 번째 방법으로 VISSIM을 수행하는 각 시나리오에 추가 검지기를 설치하여 실제 위험으로 분류되는 차량을 검지기 정보를 통해 수집하고, 알고리즘의 적용결과물을 확인하여, 위험으로 예측된 차량과 실제 주행 차량이 동일한 차량번호인지를 비교 분석하였다. 이것은 수집 검지기(*.mer)에 개별 차량 id가 수집이 되기 때문이며, 황색신호 종료 직전 시점(1초)과 적색신호 시작시점(시작 후 5초) 사이에 교차로에 존재하게 되는 실제 주행결과와 추정모형에 따른 판별결과에 대하여 비교하여 보면 <표 3>과 같다. 시나리오 전체 차량의 주행 대수에 대하여 위험차량으로 예측된 것과 그렇지 않은 것 등을 평균화한 것이다. 예를 들어 모형 적용에 따라 위험차량으로 판별된 것은 약 30대이고, 그렇지 않은 것은 524대이다. 이중 실제 주행결과 위험차량으로 분류되는 것은 약 25대로 분류되어 전체 위험차량의 88.5%를 예측하고 있다. 그리고, 위험차량을 위험차량으로 분류하거나 위험차량이 아닌 것을 아닌 차량으로 올바르게 분류하는 정분류율은 4.6%+93.9%로 전체의 98.5%를 보이고 있음을 알 수 있다. 이에 현재 모형은 매우 유의한 수준으로 판단된다.

VI. 결론 및 향후 과제

본 연구는 신호교차로에 지점검지기가 다수 설치되어 차량의 속도 및 통과시간 정보를 실시간으로 검지할 경

우, 시간의 흐름에 따라 신호현시 기반으로 위험차량을 판단하는 주요 알고리즘과 시뮬레이션을 통한 적용 결과를 보여주고 있다. 여기서, 위험차량은 신호위반과 같은 고의적 운전자의 과실로 인해 발생할 수도 있고, 신호교차로 운영과 관련하여 필연적으로 발생하는 딜레마 구간 문제로 발생하는 두가지 경우를 포함한다.

제시된 알고리즘은 녹색잔여시간이 얼마 남지 않은 녹색현시동안의 위험판단방법인 WT1의 경우, 황색현시 동안 차량이 위험하게 되는 것을 판단하는 WT2의 경우 그리고, 적색현시가 주어짐에 따라 정지선 검지기로부터 위험차량을 판단하는 WT3에 따라 다르게 수식화하였다. 개발된 알고리즘에 대하여 미시적 교통시뮬레이션인 VISSIM에 약 120가지의 경우를 적용하여 보았다. 모형의 검증결과 모형의 예측값과 실제 시뮬레이션에서의 주행결과가 동일한 정분류율은 약 98.5%를 보이고 있고 실제 위험차량 중에 약 88.5% 가량을 예측하는 예측률을 보이고 있었다. 또한 교통량의 변화(유입교통량 100대/시~1500대/시), 설계속도의 변화(50km/h, 60km/h, 70km/h, 80km/h), 운전자 인지반응시간의 변화(1초, 1.5초)에 따라 각각 수행함으로써 민감도 분석을 실시할 수 있었다. 그 결과 편도 4차로*편도 4차로의 표준 교차로에서 전체 유입 교통량이 100대/시~1500대/시 등에 따라 0.8~2.3%가량 위험차량으로 분류되는 것을 볼 수 있었다. 이러한 전체 위험차량 중 약 35.8% 가량이 황색현시에서의 위험차량으로 분류된 차량이다. 또한 신호교차로의 도로설계속도가 높아질수록 위험차량발생 비율은 높아짐을 알 수 있었다. 그리고, 운전자 인지반응시간의 검토를 통해 실제 위험차량 발생 빈도보다는 시스템의 검지 위치와 관련된 문제로 확인할 수 있었다.

이러한 일련의 연구 결과는 지점검지기 기반에서 실시간으로 검지된 속도, 거리, 시각정보를 기반으로 신호교차로에서 위험차량을 분류하여 이를 이용한 운전자 정보제공서비스에 활용이 가능함을 보여주고 있다. 특히 지점검지기가 다수개 설치가 되었을 경우를 살펴봄으로써 향후 USN 교통센서와 같이 비용이 저렴하여 다수개 설치가 가능한 상황에서의 교통안전응용서비스로 활용 가능성을 모색할 수 있었다. 향후 본 연구의 결과물은 실제 현장 시험을 통해 고의적 신호위반 차량이나, 비정상적인 차량들을 적절하게 위험차량으로 분류되는 것을 확인함으로써 현실적 적용 가능성을 타진해볼 필요성이 있다.

참고문헌

1. 경찰청(2008), “교통사고통계”, 승인번호 제13202호.
2. 교통개발연구원(2000), “신호교차로 내 딜레마구간 차내경고 시스템개발”, 2000년도 지능형교통시스템 연구개발사업 최종보고서, 건설교통부.
3. 도철웅(1998), “교통공학원론(상)”, 청문각.
4. 박주남(2002), “신호교차로 황색현시에서의 운전자 행태 및 딜레마 구간 연구”, 아주대학교 공학석사학위논문.
5. 오철 · 조정일 · 김준형 · 오주택(2007), “영상기반 실시간 후미추돌 위험도 분석기법 개발”, 대한교통학회지, 제25권 제5호, 대한교통학회, pp.173~182.
6. 장영규(2000), “딜레마구간 제거를 위한 검지기 설계 방안 및 신호제어 전략 개발”, 아주대학교 석사학위논문.
7. 장정아, 장병태, 박종현(2007), “USN기반 교통수집 기술에 관한 연구”, 한국 ITS학회 제 6회 추계학술대회.
8. 장정아, 장병태(2008), “자동차 안전을 위한 USN 차량무선검지센서 및 서비스 기술 개발”, 오토저널 6월호, 자동차공학회.
9. Bonneson, J., and Zimmerman, K. (2006). “In-service evaluation of detection-control system for isolated high-speed signalized intersections.” Proc., Transportation Research Board 85th Annual Meeting, Transportation Research Board, National Academy of Sciences.
10. FHWA(2006), “Traffic Detector Handbook third edition Volume I”, Publication No. FHWA-HRT-06-108.
11. McCoy, P., and Pesti, G.(2003), “Improving dilemma zone protection of advance detection with advance warning flashers.” Transportation Research Record. 1844, Transportation Research Board, pp.11~17.
12. Azhar Al-Mudhaffa(2006), “Impacts of traffic signal control strategies”, Doctoral Thesis in Traffic and Transport Planning, Infrastructure and Planning, Royal Institute of Technology.
13. Steven L. Jones Jr. and Virginia P. Sisiopiku (2007), “Safety treatments at Isolated High-Speed Signalized intersections: Synthesis”, Journal of Transportation Engineering, ASCE, pp.523~

- 528.
14. Sunkari, S., Messer, C., and Charara, H. (2005) "Performance of advance warning for end of green system for high-speed signalized intersections." Transportation Research Record. 1925, Transportation Research Board, pp.176~184.
 15. Panagiotis Papaioannou(2007), "Driver behaviour, dilemma zone and safety effects at urban signalised intersections in Greece", Accident Analysis and prevention 39, pp.147~158.
 16. PTV(2006), "VISSIM 4.2 Manual", PTV Planung Transport Verkehr AG.
 17. Zimmerman, K., Bonneson, J., Middleton, D., and Abbas, M. (2003). "Improved detection and control system for isolated high-speed intersections." Transportation Research Record. 1856, Transportation Research Board, pp.212~219.

✉ 주 작성자 : 장정아

✉ 교신처자 : 최기주

✉ 논문투고일 : 2008. 9. 16

✉ 논문심사일 : 2008. 12. 8 (1차)

2009. 6. 16 (2차)

2009. 7. 30 (3차)

✉ 심사판정일 : 2009. 7. 30

✉ 반론접수기한 : 2010. 2. 28

✉ 3인 익명 심사필

✉ 1인 abstract 교정필