

딜레마 구간 검지를 위한 지점교통센서 배치에 관한 연구

A Study on Point Traffic Sensors' Placement for Detecting the Dilemma Zone Problem

장 정 아* 최 기 주** 이 상 수***
(Jeong-Ah Jang) (Kee-Choo Choi) (Sang-Soo Lee)

요 약

본 연구에서는 USN 환경하에서 다수 개의 지점교통센서를 신호교차로의 접근로에 설치되어 운전자 안전서비스를 제공할 경우 딜레마구간 검지를 위한 센서의 배치 방법에 대하여 다룬다. 교통 신호가 녹색-황색-적색으로 변동되는 시점에서 딜레마구간에 존재하는 위험차량을 검지하는 시스템에서, 센서의 배치 간격과 초기 위치를 확인하기 위해 미시적 시물레이션인 VISSIM을 이용하여 평가하였다. VISSIM에 지점검지기를 다수 개 설치하여 유입교통량의 변화, 설계속도의 변화, 운전자 인지반응시간의 변화를 수행하였다. 그 결과 지점교통센서는 20~27m의 간격으로, 도로의 설계속도에 따라 초기 센서의 위치를 변화하여 설치할 필요성이 있음을 알 수 있었다. 또한 교통량의 변화에 따라 센서의 딜레마구간 검지 추세가 다를 수 있었다. 본 연구로 미시적 교통시물레이션 기반으로 지점교통센서의 배치를 평가하는 방법의 유용성을 확인할 수 있었고, 향후 USN 서비스의 실현에 있어 기초 자료로 사용될 수 있음을 알 수 있었다.

Abstract

This paper suggests a sensor's placement method for detecting the dilemma zone problem when real-time driver's safety service is provided at signalized intersections by multiple pointed traffic sensors using USN environments. For detecting the dangerous situations from vehicles accelerating through yellow intervals, red-light running and stopping abruptly like as dilemma zone problem, VISSIM(microscopic, behavior-based multi-purpose traffic simulation program) is used to perform a real-time multiple detection situation by changing the input data like as various inflow-volume, design speed change, driver perception and response time. As a result, the optimal interval of traffic sensors is 20~27m, and the initialized sensor location from stop-line is different according to road design speed. Moreover, the pattern of detection about dilemma zone is also different according to inflow-volumes. This paper shows that the method is useful to evaluate the sensor's placement problem based on micro-simulation and the results can be used as the basic research for USN services.

Key words: USN(Ubiquitous Sensor Network), detector placement, dilemma zone problem, intersection safety warning, traffic detector

* 주저자 : 한국전자통신연구원 융합기술연구부문 텔레매틱스연구부 연구원

** 공저자 : 아주대학교 환경건설교통공학부 교수, ITS대학원 부원장

*** 공저자 : 아주대학교 환경건설교통공학부 부교수

† 논문접수일 : 2009년 7월 15일

† 논문심사일 : 2009년 9월 18일

† 게재확정일 : 2009년 9월 21일

I. 서 론

정보통신기술의 급격한 발전은 교통분야에 ITS(지능형교통시스템; Intelligent Transport Systems, 이하 ITS)의 도입을 가져왔고, 수송로 및 터미널시스템, 차량 그리고 운전자(통행자)로서의 인간의 세 가지 주요 요소에 정보(information)와 기술(Technology)의 요소를 부가하여 교통문제를 해결할 수 있도록 다양한 도움을 주고 있다. 최근 유비쿼터스(Ubiquitous; 이하 U-)라는 “언제”, “어디서나”, “접근 가능한” 개념을 기존의 ITS와 병행 혹은 차별화하여 접근함으로써 교통시스템에 적용하기 위한 시도들이 진행되고 있다. 이러한 사용자 중심으로 지속적이고, 유비쿼터스적인 교통서비스가 성공하기 위해서는 ITS에서 확보된 수집기술, 통신기술 및 정보기술 등과 함께 신규의 USN(Ubiquitous Sensor Network, 이하 USN) 기술과의 적절한 접목이 요구되는 바이다.

본 연구에서는 신호교차로의 안전에 위협요인 중 하나인 딜레마 구간 문제(dilemma zone problem)에 초점을 두고, 딜레마 구간을 지점교통센서가 검지할 경우 요구되는 센서의 배치간격 및 구간에 대하여 확인하고자 하였다. 최근 USN 기술이 도로환경에 적용될 경우 기존 검지기보다 더욱 경제적이고, 유지보수가 용이한 형태로 지점교통센서로 활용될 수 있다. 이러한 지점교통센서 기술을 접목한 연구의 한 예로써 본 연구가 도출되었다. 이러한 교통센서가 다수개로 교차로의 진입로에 설치되어 이러한 센서의 정보를 교차로에 접근하는 차량들에게 실시간으로 제공함으로써 교차로의 교통안전에 도움이 되는 형태로 활용이 될 수 있다. 이 경우는 기존의 신호감응 및 교통정보 제공을 위한 루프 검지와 차별화 있는 형태로 사용되는 서비스의 한 사례가 된다. 물론 USN 기술을 적용한 지점교통센서들도 기존의 신호감응이나 교통정보수집에서도 동일하게 활용이 가능하다.

본 연구는 현재 도로에서 적용되는 서비스를 토대로 연구가 진행되지 않고, 향후에 연구에서 활용할 신규 서비스를 가정하고 진행하였기 때문에, 연구에서 지향하는 서비스의 의미 및 가정조건을 살펴볼

필요성이 있다. 먼저 USN 지점교통센서가 다량으로 교차로의 진입로에 설치될 경우 이를 활용한 신호교차로 안전서비스가 가능하다. 여기서, 안전서비스라 함은 신호현시가 녹색-황색-적색으로 변동되는 구간에 딜레마 구간 문제로 인해 본인과 다른 차량에게 위험이 될 수 있는 차량을 추정하여 관련차량들에게 경고메시지를 줄 수 있도록 하는 서비스를 의미한다. 둘째로, USN 지점교통센서는 USN 통신망을 통해 무선으로 실시간 교통정보를 수집하고 전달하는 검지기로서, 경제적이고, 신뢰성이 확보가 되어 다량으로 교차로에 설치할 수 있다. 따라서 이를 실제로 도로 운영시에는 최소한의 센서를 배치함으로써 서비스가 가능하도록 검토되어야 한다. 셋째로 지점교통센서를 실제 도로에 설치 및 운영하기 전에 교통 및 도로 환경을 미시적 시뮬레이션 툴을 이용하여 시나리오를 구성하고 이를 기반으로 지점센서의 위치 및 간격을 설정하는 방법론을 취한다.

본 연구의 주요 내용은 다음과 같다. 2장에서는 기존 연구의 고찰로 신호교차로 안전문제의 중요성과 함께 검지기 설치 위치 및 관련 IT 시스템들을 살펴보았다. 3장에서는 USN환경하의 지점교통검지센서 기술의 개념을 설명하고, 이를 신호교차로에 적용한 사례가 될 수 있는 신호교차로의 딜레마 구간 문제의 개념을 살펴보았다. 4장에서는 서비스를 시행시 요구되는 지점검지센서의 배치 문제를 확인하기 위해 미시적 교통시뮬레이션인 VISSIM을 통해 시나리오를 구성하고, 수행한 결과를 제시함으로써 초기센서의 위치와 센서간격에 대한 결론을 도출하고 있다. 이를 통해 미시적 교통시뮬레이션 기반으로 지점교통센서의 배치를 평가하는 방법의 유용성을 확인할 수 있었다.

본 연구의 결과는 다수의 지점검지가 가능한 USN 환경 하에서의 새로운 형태의 교통서비스를 위한 설치간격 및 설치위치를 분석하여, 향후 서비스의 구현을 위한 기초자료로 활용하는데 그 기여가 있다고 하겠다.

II. 관련 연구 고찰

1. 신호교차로에서 안전과 딜레마구간 문제

신호교차로에서는 녹색표시 시간은 안전하게 교차로를 통과하도록 통행권이 보장되어 있지만, 황색 및 적색 표시로 변경됨에 따라 신호위반 가능성이 있는 차량들이 존재하게 된다. 또한 실제적으로 신호를 위반하는 차량이 발생함으로써, 본인 차량 및 다른 방향에 대기하는 차량과의 측면 및 정면 충돌의 가능성이 높은 상황이다. 2008년 교통사고통계에 의하면 교차로에서의 교통사고는 전체 211,662건의 교통사고 중 93,113건이 발생하여 44.0%에 달하며, 이중 신호위반 사고는 25,624건으로 12.1%에 달한다 [1]. 여기서 신호위반 사고는 크게 운전자의 고의적인 신호위반에 대한 상황과 신호시간에 따른 딜레마구간 문제에 직면하여 발생하는 사고로 구분할 수 있다. 실제 각 비율이 어느 정도 되는지는 확인되지 않은 사항이지만 교통안전상 딜레마 구간문제를 해결하기 위한 연구들이 지속적으로 추진되고 있는 실정이다.

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 [2]. 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 적정황색시간보다 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. 이러한 딜레마구간 문제는 도로포장조건, 차량특성, 교차로형태, 구배, 플래툰에서의 위치, 차량속도, 정지선으로부터 거리, 운전자특성에 따라 변화가능하다 [3]. 딜레마구간 문제는 변수에 따라 변동되는 값으로써 ITS의 도입으로 도로인프라부터 차량속도, 거리 정보 등을

실시간검지로 알 수 있다면 딜레마구간 문제는 실시간으로 극복 가능한 문제로 판단된다.

2. 신호교차로 안전을 위한 관련 서비스 시스템

신호교차로의 안전을 위한 서비스 시스템으로는 크게 국내·외 연구로 나눈다. 1999년 건설교통부 주관의 『ITS 연구개발사업(II)』의 과제로 수행된 “도로와 차량간 RF통신을 이용한 속도제한 경보시스템 기술” 개발을 통해 단거리 전용 무선통신시스템(Dedicated Short Range Communication; DSRC)을 활용한 차내경보장치가 개발되어 도로상에서 차량의 과속을 경고함으로써 사고를 방지하는 기술이 확보되었지만, 그 외 안전운전 지원을 위한 사고예방시스템에 대한 연구는 아직 본격적으로 이루어지지 않고 있다 [4]. 또한 교통개발연구원(2000)의 “신호교차로 내 딜레마구간 차내경고시스템 개발”에서는 신호제어기의 신호변경정보를 근거리통신체계를 통해 실시간으로 사전에 차량내 운전자에게 신호변경의 경고를 미리 내리주어 의사결정을 안전하게 할 수 있도록 차내경고시스템을 개발하고자 관련 연구를 진행하였다 [5].

또한 황색신호등화시 발생하는 딜레마 차량 문제를 해결하기 위해 많은 경우에는 신호제어방법을 택하였다 [6-9]. 이외에도, 신호제어가 아닌 방법인 PTSWF(Prepare to Stop When Flashing, 이하 PTSWF)를 활용하여 교차로의 신호기 전에 우선적으로 경고를 주는 표지판을 활용하기도 했다. McCoy와 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 [10]. Sunkar 등(2005)는 PTSWF로 적색신호주행을 약 40%정도 감소함을 제시한 바 있다 [11]. 이러한 연구들을 볼 때 딜레마 차량문제는 충분히 극복가능하다고 판단된다.

3. 교통검지기 설치 위치에 대한 연구

일반적으로 교통검지기에 대한 문제는 설치 개수,

설치 감지기 유형, 설치위치, 설치 효과, 설치 비용에 대한 것을 확인하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 이중 설치 위치와 간격의 문제를 중점으로 고려하고 있다. 현재까지의 교통감지기(특히 지점감지기)의 설치 위치에 대한 문제는 크게 감응식 신호운영을 위한 설치 위치에 대한 연구와 구간통행시간을 산정하기 위한 설치 위치에 대한 문제로 나누어서 진행되었다.

감응식 신호운영을 위한 설치 위치에 대한 연구의 경우 FHWA의 “traffic detector handbook”에 정형화되어 제시되고 있다. 특히 딜레마 문제와 관련한 문제는 녹색연장시스템, 연장신호검지시스템, 다중검지기시스템 등의 기능적인 측면으로 나누어서 제시하고 있고, 특히 딜레마 구간효과의 감소를 위해 루프 검지기의 여러지점의 위치를 <그림 1>에서와 같이 제안하고 있다. 이 경우 설계속도에 따라 각기 다른 위치에 감지기 설치가 요구된다 [12].

다른 연구의 한축은 구간통행시간을 산정하기 위한 설치 위치에 대한 문제이다. 일반적으로 통행시간 추정을 위한 배치문제의 경우 설치수량과 통행시간 추정오차와 비용의 문제로 보았다. 일반적으로 검지기 설치수량이 증가하면 통행시간 추정오차는

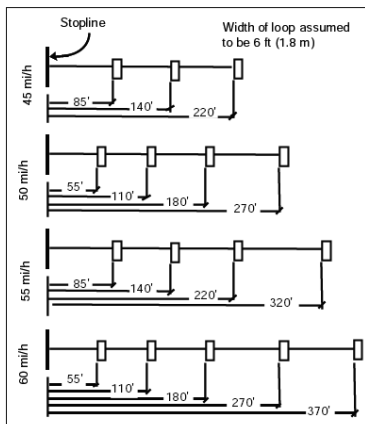
감소하나, 설치비용의 증가라는 상쇄효과(tradd-off)를 제공한다. 이와 관련하여 여러 형태로 연구가 진행되어 왔는데 그 사례를 살펴보면 다음과 같다. 김성현 등(2006)은 실시간 통행시간 추정을 위한 감지기 배치 측면에 대한 검토를 위해 같은 성질을 가진 “동질구간”을 군집분석으로 분석하여, 지점감지기 배치 기준으로 활용하였다. 그 결과 대상구간인 국도에서는 지점감지기 평균배치간격을 1.8 km 로 제안하였다 [13]. 또한 Ozbay 등(2004)은 최적의 센서 위치 선정 문제를 센서위치와 통행시간추정의 결과의 관계에 대하여 혼잡과 비혼잡 상황에서 연구하였다 [14]. 또한 Fujito 등(2006)은 통행시간지표가 설치감지기 간격이 증가함에 따라 이 또한 감소되지는 않음을 보였다 [15]. 또한 Thomas(1999) 및 Oh 등(2003)(2004)는 센서위치의 문제를 미시적 시뮬레이션을 기반으로 여러 케이스에 대한 검토를 통해 그 위치를 찾는 연구를 진행한 바 있다 [16-18].

III. USN 환경에서의 USN교통센서

1. USN 환경에서 적용할 수 있는 USN 교통센서

유비쿼터스센서네트워크(USN) 환경은 <그림 2>와 같이 주변 모든 사물에 센서를 부착하고, 새로운 정보를 센싱하고, 무선 네트워크를 통하여 실시간 서비스를 제공하거나 인터넷과 연결하여 다양한 정보를 서비스 할 수 있는 환경을 의미한다 [19].

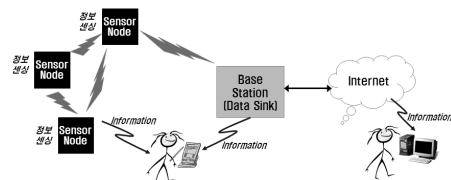
이러한 USN 개념을 도시 내 도로교통시스템에 접목하게 되면 통행이라는 교통행태를 저가의 다량의 USN 지점교통센서들에 의해 취득이 되고, 사용자의 상황에 적절한 교통서비스를 제공될 수 있다.



출처: FHWA[2]

<그림 1> 딜레마 구간효과의 감소를 위한 multiple inductive loop detector 위치

<Fig. 1> Multiple inductive loop detector's placement for reducing the dilemma zone



<그림 2> USN 환경

<Fig. 2> USN environments

현재 개발된 USN 지점교통센서의 사례를 살펴보면 다음과 같다. USN 지점교통센서는 도로면에 설치되어 차량의 흐름을 검지하는 T-센서노드와 도로변에 설치되어 무선통신을 수행하는 T-싱크노드로 구성이 된다. T-센서노드는 직접적으로 차량의 존재 유무 및 속도를 수집하고, T-싱크노드는 수집된 센싱 데이터를 T-베이스스테이션까지 전달하는 relay 기능을 수행한다. 이를 위해 T-센서노드는 RF(Radio Frequency) 통신 및 프로토콜, 차량 감지를 위한 센싱 장치, 데이터 처리를 위한 MCU(microcontroller unit) 및 O/S 모듈, 시스템 관리 등으로 구성되었다. 여기서 USN 통신망은 T-센서노드부터 T-싱크노드 사이의 통신망(802.15.4 등)과 T-싱크노드와 T-베이스스테이션간의 유무선망(RS232C 등) 등의 다양한 통신 채널을 포함하고 있다.

이러한 T-센서노드는 차량이 통과해도 파손이 되지 않은 형태로 도로에 매설하도록 개발되었는데, <그림 3>는 도로위에 약 15cm의 원형 형태로 설치한 사례이다. 또한 노변에 설치할 수 있는 T-싱크노드는 <그림 4>와 같다. 이러한 내용에 대한 추가 내용은 장정아(2008)등의 관련 문헌에서 살펴볼 수 있다 [20].



<그림 3> T-센서노드
<Fig. 3> T-sensor node



<그림 4> T-싱크노드
<Fig. 4> T-sink node

2. 딜레마구간 검지를 통한 위험경고서비스

딜레마구간 검지를 통해 기존 연구에서 살펴본 것과 같이 신호감응이나, 운전자에게 위험경고를 제공하는 형태로 활용될 수 있다. 본 연구에서는 이중 운전자에게 실시간으로 위험경고를 제공하는 형태를 제안한다. 딜레마구간 검지를 통한 위험경고서비스는 신호교차로에 진입하는 차량이 도로에 매설된 USN 지점교통센서로부터 차량존재시각과 속도 정보를 실시간으로 전달받고, 신호교차로 교차로에 설치된 신호제어기로부터의 신호 정보(주기정보, 현시정보, 현시분할정보)와 융합하여 녹색신호시간에서 위험차량으로 인한 교통사고를 미연에 방지하도록 하고자 하는데 목적을 둔 형태의 운전자정보서비스라 할 수 있다.

이러한 딜레마 구간 상의 위험차량을 판단하기 위해서 교차로의 접근로에 USN 교통센서를 n개 설치하여 실시간 신호정보에 따라 각 교통센서에서 검지된 차량의 속도와 위치정보를 기반으로 차량이 정지 가능한지, 통과가능한지를 판단하여 황색시간 종료 후 교차로 안에 존재할 수 있는 가능성이 있는지 판단한다. 즉 남아있는 신호시간(녹색시간이나 황색시간)이 존재하는 경우, 이를 고려하여 차량이 교차로 안에 존재할지 예측한다. 각 X_i 지점의 USN 교통센서 i 의 위험차량 판단 추정식은 식 (1)-식 (4)와 같다. 이 식은 지점센서기반으로 딜레마구간을 판단하는 알고리즘으로서 개발된 상세 알고리즘의 내용은 장정아(2008)의 관련 문헌을 참고로 한다 [21].

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

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

$$lower_CV_i^{WT2} = \frac{-(t_{PRT} + remain_y - Y) + \sqrt{(t_{PRT} + remain_y - Y)^2 + \frac{2X_i}{d+G*g}}}{\sqrt{(d+G*g)}} \quad (3)$$

$$upper_CV_i^{WT2} = \frac{X_i + (W+L)}{remain_y} \quad (4)$$

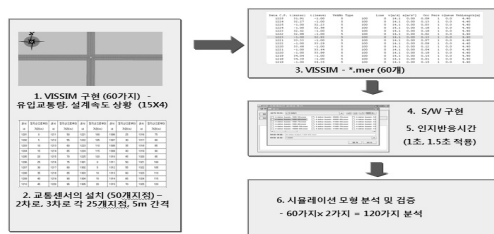
여기서, t_{PRT} : 인지반응시간, a: 가속도, t: 차량진행시간, W:교차로폭, L:차량길이, d: 감속도, G: 중력가속도, g: 구배, Xi: u-교통센서 위치(정지선으로부터 거리), remain_g: 잔여녹색시간, extend_y: 진행연장시간¹⁾, remain_y: 잔여황색시간, Y: 황색시간

IV. 지점검지센서의 배치문제

1. 방법론

신호교차로 딜레마구간 검지를 위하여 USN 교통센서를 신호교차로의 진입로에 설치할 경우 설치 초기 위치와 간격을 제시하는 것은 매우 중요하다. 실제 적용 현상이 결정되지 않은 상태에서 배치 문제를 모의실험하고 이를 기반으로 설치 운영을 하는 것은 경제적으로 효과적인 방법이다. 일반적으로 교통류의 흐름은 시시각각으로 변할 수 있고 이를 반영할 수 있는 도로 및 교통 환경의 변동을 고려하는 것은 센서의 배치의 일반화하는데 중요한 의미가 될 수 있다.

본 연구에서는 이러한 센서의 배치 문제를 살펴보기 위하여 시뮬레이션 시나리오를 구성하여 신호교차로 딜레마 검지 상황을 적용하여 보았다. 이를 위하여 미시적 교통시뮬레이션인 VISSIM을 사용하였다[22]. 시뮬레이션의 수행을 위해 <그림 5>와 같은 독립교차로의 교통상황을 모델링하고, 이후 시나리



<그림 5> 모형의 적용 및 검증 방법

<Fig. 5> Methodology of model application and verification

1) 진행연장시간: 운전자들이 정지선에서 급정거를 할 수 없으므로 이와 같은 시간의 일부분을 불가피하게 이용함으로써 발생하는 연장시간 (교통공학원론 Page 75)

오별로 약 120가지²⁾의 교통 및 도로상황에 대한 신호교차로 안전서비스에 대한 적용사례를 제시하였다. VISSIM에서 수행된 결과로 5 m 간격으로 설치된 지점검지기 데이터인 (*.mer)파일을 분석하는 절차를 진행하였으며, 개발된 식 (1)~식 (4)에 대해 신호시간과 연계하여 실시간으로 판단하기 위해 자동화된 S/W로 구현하여 평가결과를 제시하였다. 여기서 데이터의 분석 개수는 2차로와 3차로를 각각 다른 경우로 분석하였기 때문에 240개가 된다.

2. 입력데이터의 구성

주요 교통조건, 기하구조조건 및 신호운영 조건 등의 입력 조건은 <표 1>과 같다. 또한 딜레마 검지를 위해 사용된 주요 기본 변수는 다음과 같다.

- 인지반응시간(초), 1.5초 사용
- 감속도 (m/sec^2), 0 m/sec^2 사용³⁾
- 차량길이 (m), 4.5 m 사용
- 중력가속도 (m/sec^2), 9.8 m/sec^2 사용
- 구배 (%), 0% 사용

<표 1> 시뮬레이션 입력 조건
<Table 1> Input data for simulation

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%
기하구조 조건	차로수	4차로*4차로
	차로폭	3.5m
	차로운영	1차로: 좌회전 전용 2~3차로: 직진 전용 4차로: 우회전 전용
신호운영 조건	주기:120초, 녹색-황색-적색: 27초-3초-90초, 좌회전-직진 동시신호	
제한속도	50km/h, 60km/h, 70km/h, 80km/h	

2) 교통량변화 15가지 경우× 제한속도변화 4가지 경우× 전자인지반응시간 변화 2가지 경우

3) 감속도를 0 m/sec^2 를 사용한 의미는 운전자가 감속이라는 행동을 취하지 않을 경우까지 포함하여 정지가능한 속도를 추정하기 위함임

<표 2> 유입교통량, 설계속도 변화에 따른 센서간격 추정 결과(인지반응시간이 1.5초, 2차로 검지 경우)
 <Table 2> Results of sensor distance by input volume and design speed variation

순번	유입교통량 (대/시)	설계속도 (km/h)	총차량 검지 건수 (건)	위험차량 검지건수 (건)				위험차량 발생비율 (%)	실제 위험차량 대수 (대)			위험차량이 평균적으로 검지된 센서수		한 대의 차량이 평균적으로 지나간 거리 (센서간격, m)	
				WT1	WT2	WT3	총발생 건수		WT1	WT2	WT3	WT1 (#sensor)	WT2 (#sensor)	WT1 (#dis)	WT2 (#dis)
1	100	50	1434	29	8	1	38	2.6499	5	3	1	5.80	2.67	29.00	13.33
2	100	60	1411	17	4	0	21	1.4883	2	1	0	8.50	4.00	42.50	20.00
3	100	70	1423	15	14	0	29	2.0379	2	2	0	7.50	7.00	37.50	35.00
4	100	80	1295	16	9	0	25	1.9305	1	1	0	16.00	9.00	80.00	45.00
5	200	50	2476	17	15	0	32	1.2924	4	3	0	4.25	5.00	21.25	25.00
6	200	60	2510	19	4	0	23	0.9163	2	1	0	9.50	4.00	47.50	20.00
7	200	70	2361	30	13	0	43	1.8213	4	3	0	7.50	4.33	37.50	21.67
8	200	80	2273	49	6	0	55	2.4197	3	1	0	16.33	6.00	81.67	30.00
9	300	50	3273	43	23	1	67	2.0471	7	5	1	6.14	4.60	30.71	23.00
10	300	60	3168	51	19	0	70	2.2096	6	3	0	8.50	6.33	42.50	31.67
11	300	70	3281	35	29	1	65	1.9811	5	4	1	7.00	7.25	35.00	36.25
12	300	80	3035	90	21	0	111	3.6573	7	3	0	12.86	7.00	64.29	35.00
13	400	50	4228	30	10	1	41	0.9697	5	3	1	6.00	3.33	30.00	16.67
14	400	60	4358	62	32	0	94	2.157	8	6	0	7.75	5.33	38.75	26.67
15	400	70	4277	96	45	1	142	3.3201	11	9	1	8.73	5.00	43.64	25.00
16	400	80	3764	117	50	0	167	4.4368	10	6	0	11.70	8.33	58.50	41.67
17	500	50	5029	58	39	2	99	1.9686	13	11	2	4.46	3.55	22.31	17.73
18	500	60	5078	64	28	1	93	1.8314	9	7	1	7.11	4.00	35.56	20.00
19	500	70	5068	90	49	0	139	2.7427	12	11	0	7.50	4.45	37.50	22.27
20	500	80	4529	176	82	0	258	5.6966	17	13	0	10.35	6.31	51.76	31.54
21	600	50	5886	51	35	0	86	1.4611	8	8	0	6.38	4.38	31.88	21.88
22	600	60	6193	71	41	0	112	1.8085	12	11	0	5.92	3.73	29.58	18.64
23	600	70	5641	120	39	0	159	2.8186	17	7	0	7.06	5.57	35.29	27.86
24	600	80	5377	144	69	1	214	3.9799	20	14	1	7.20	4.93	36.00	24.64
25	700	50	6789	27	26	0	53	0.7807	5	6	0	5.40	4.33	27.00	21.67
26	700	60	6814	53	34	0	87	1.2768	11	6	0	4.82	5.67	24.09	28.33
27	700	70	6494	72	34	1	107	1.6477	16	6	1	4.50	5.67	22.50	28.33
28	700	80	5819	92	55	0	147	2.5262	22	11	0	4.18	5.00	20.91	25.00
29	800	50	7639	76	31	2	109	1.4269	14	9	2	5.43	3.44	27.14	17.22
30	800	60	7465	85	24	1	110	1.4735	12	5	1	7.08	4.80	35.42	24.00
31	800	70	7371	63	39	1	103	1.3974	25	13	1	2.52	3.00	12.60	15.00
32	800	80	6691	116	79	1	196	2.9293	24	14	1	4.83	5.64	24.17	28.21
33	900	50	8566	78	43	1	122	1.4242	19	13	1	4.11	3.31	20.53	16.54
34	900	60	8492	81	55	3	139	1.6368	18	12	3	4.50	4.58	22.50	22.92
35	900	70	7969	185	86	2	273	3.4258	29	16	2	6.38	5.38	31.90	26.88
36	900	80	7068	90	44	6	140	1.9808	34	18	6	2.65	2.44	13.24	12.22
37	1000	50	9342	105	38	0	143	1.5307	19	9	0	5.53	4.22	27.63	21.11
38	1000	60	9181	119	59	3	181	1.9715	30	13	3	3.97	4.54	19.83	22.69
39	1000	70	8607	116	45	1	162	1.8822	32	15	1	3.63	3.00	18.13	15.00
40	1000	80	7740	126	53	4	183	2.3643	41	17	4	3.07	3.12	15.37	15.59
41	1100	50	9862	66	34	1	101	1.0241	13	8	1	5.08	4.25	25.38	21.25
42	1100	60	9816	97	57	3	157	1.5994	28	16	3	3.46	3.56	17.32	17.81
43	1100	70	8423	111	34	0	145	1.7215	42	17	0	2.64	2.00	13.21	10.00
44	1100	80	6843	68	29	2	99	1.4467	40	16	2	1.70	1.81	8.50	9.06
45	1200	50	10790	149	67	5	221	2.0482	36	20	5	4.14	3.35	20.69	16.75
46	1200	60	10177	76	54	3	133	1.3069	26	18	3	2.92	3.00	14.62	15.00
47	1200	70	7178	108	48	2	158	2.2012	43	18	2	2.51	2.67	12.56	13.33
48	1200	80	6506	104	41	2	147	2.2595	36	17	2	2.89	2.41	14.44	12.06
49	1300	50	9292	144	71	4	219	2.3569	42	22	4	3.43	3.23	17.14	16.14
50	1300	60	8194	88	47	3	138	1.6842	37	20	3	2.38	2.35	11.89	11.75
51	1300	70	7457	83	60	3	146	1.9579	33	16	3	2.52	3.75	12.58	18.75
52	1300	80	6447	102	33	4	139	2.156	48	14	4	2.13	2.36	10.63	11.79
53	1400	50	8340	93	48	4	145	1.7386	32	19	4	2.91	2.53	14.53	12.63
54	1400	60	7787	63	30	0	93	1.1943	27	12	0	2.33	2.50	11.67	12.50
55	1400	70	7151	100	46	1	147	2.0557	37	14	1	2.70	3.29	13.51	16.43
56	1400	80	6910	92	50	3	145	2.0984	38	17	3	2.42	2.94	12.11	14.71
57	1500	50	7686	68	36	2	106	1.3791	36	16	2	1.89	2.25	9.44	11.25
58	1500	60	8046	103	60	6	169	2.1004	45	22	6	2.29	2.73	11.44	13.64
59	1500	70	8217	118	63	3	184	2.2393	45	20	3	2.62	3.15	13.11	15.75
60	1500	80	7131	99	52	4	155	2.1736	32	17	4	3.09	3.06	15.47	15.29

- 진행연장시간(초), 2초 사용
- 정지선 속도(m/sec^2), $0m/sec^2$ 사용
- 센서의 위치: 50개 지점, 교차로 정지선으로부터 5m 간격으로 총 120m까지 25지점에, 4차선 도로의 2차로와 3차로에 설치

3. 시뮬레이션 적용 결과

1) 분석 결과

지점교통센서를 정지선위치로부터 5m 간격으로 설치하여 설치 지점별로 차량 id, 차량 속도, 차량 검지 시각의 데이터를 수집하였다. 유입교통량이 100대/시~1500대/시, 차량속도 50km/h~80km/h에서 신호시간에 따라 녹색현시인 WT1, 황색현시인 WT2 그리고 적색현시인 WT3⁴⁾일 때의 위험차량 검지건수를 실제 차량의 번호(시뮬레이션에서 제공하는 고유 차량 번호)를 기반으로 위험차량 대수를 확인해보았다. 또한 동일 차량이 평균적으로 도로구간을 주행하면서 지점에서 검지된 센서의 수(WT1(#sensor), WT(#sensor))와 한 대의 차량이 평균적으로 지나간 거리(WT1(#dis), WT2(#dis))를 확인하였다.

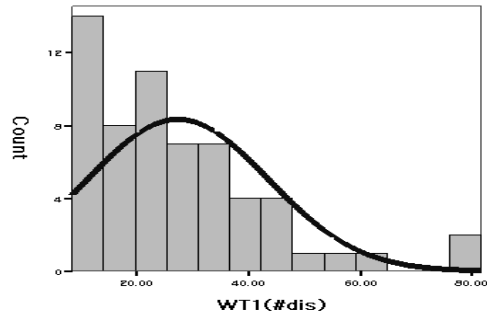
여기서, 운전자 인지반응시간이 1.5초일때, 2차로에서 검지된 위험차량검지건수 및 센서간격은 <표 2>와 같다.

2) 지점교통센서 배치간격 문제

센서의 배치간격 문제와 연결하여 한 대의 차량이 평균적으로 지나간 거리(WT1(#dis), WT2(#dis))를 살펴보면 WT1일 경우 평균 27.38m, 표준편차 16.14m, WT2일 경우 평균 20.95m, 표준편차 7.89m가 된다. <그림 6>은 WT1일 경우 위험차량의 평균주행거리의 분포를 보여주고 있다.

이때, 운전자반응시간 1.5초일 경우 센서설치 간격과 유입교통량, 설계속도와의 관계를 수식으로 추정하면 <표 3>의 회귀분석결과와 <표 4>의 ANOVA 분석결과에 근거하여 다음과 같이 추정되었다.

4) WT3는 정지선에서 적색현시에 차량이 통과한(속도가 0km/h이상인) 차량을 확인함



<그림 6> 위험차량의 평균주행거리의 빈도분포 (WT1 경우)

<Fig. 6> Frequency distribution of mean travel distance of dangerous vehicle at WT1

<표 3> 설치간격 추정을 위한 통계분석 결과
<Table 3> Statistics analysis of sensor's placement distance prediction

	비표준화된 계수		표준화된 계수	t 값	유의 수준
	B	Std. Error	Beta		
상수	25.458	5.296		4.807	.000
유입교통량	-2.028E-02	.002	-.674	-10.228	.000
설계속도	.230	.077	.197	2.999	.003

<표 4> ANOVA 분석 결과
<Table 4> ANOVA analysis results

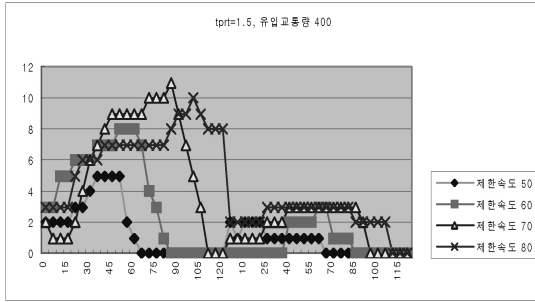
모델	Sum of Squares	자유도	Mean Square	F 값	유의수준
Regression	10003.165	2	5001.583	56.805	.000
Residual	10301.630	117	88.048		
Total	20304.795	119			

$$\text{설치간격(m)} = (-0.00203) * \text{유입교통량} + 0.230 * (\text{설계속도}) + 25.458$$

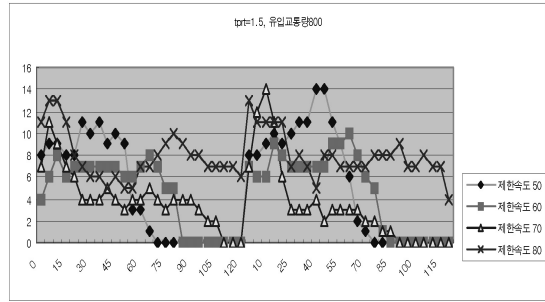
본 모델의 R-제곱 값은 0.702 값이 나타났다.

3) 지점교통센서 설치 위치

센서위치 문제는 교차로로 접근하는 차량을 언제부터 검지하여 위험차량을 판단하는 것이 좋은 지에 대한 문제이다. 운전자 인지반응시간을 높게 설정할



<그림 7> 유입교통량 400대/시 경우, 설계속도의 변화에 따른 지점교통센서 위치별 위험차량 판단
 <Fig. 7> Results of dangerous vehicle at sensor's location by design speed variation at input volume = 400 veh/h



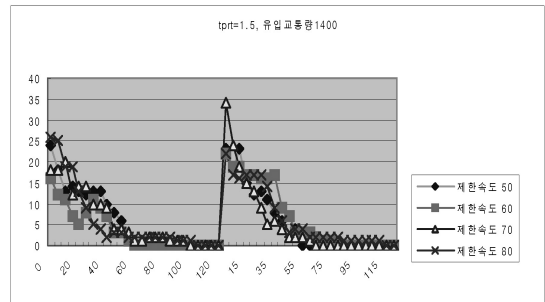
<그림 8> 유입교통량 800대/시 경우, 설계속도의 변화에 따른 지점교통센서 위치별 위험차량 판단
 <Fig. 8> Results of dangerous vehicle at sensor's location by design speed variation at input volume = 800 veh/h

경우는 정지선으로부터 먼 지점검지센서에서 먼저 검지되어야 함을 알 수 있었다.

또한 설계속도와 유입교통량과의 관계를 살펴보면 <그림 7>에서 살펴볼 수 있듯이 유입교통량 400대/시 경우, 설계속도의 변화에 따라 지점교통센서 위치별 위험차량 판단패턴은 설계속도가 높을 경우 정지선으로부터 120m까지의 모든 센서들이 위험차량 판단에 활용되는 상황을 알 수 있다. 이러한 패턴은 교통량이 약 100대/시~600대/시까지 유사하게 나타났다. 이때의 v/c비는 0.65이하일 경우이다.

이에 비해 유입교통량이 700대/시~1000대/시의 경우(v/c비가 0.76~1.09인 상황)에서는 <그림 8>에서 보는 바와 같이 유입교통량이 다르더라도 검지 패턴은 유사한 상황을 알 수 있었다. 또한 설계속도가 80km/h와 같이 높은 경우는 전 검지센서가 모두 활용되는 상황을 보이고 있다. 즉 교통량이 용량에 근접한 상황에서는 스피백(spill-back)과 같은 교차로안에 차량이 존재하는 상황이 매우 크게 연출 될 가능성이 높다.

또한 용량 상태를 지나 교통량이 1100대/시 이상인 상황(v/c비가 1.1이상인 상황)과 같이 차량이 지속적으로 막히는 상황이 되면 실제 유입되는 차량은



<그림 9> 유입교통량 1400대/시 경우, 설계속도의 변화에 따른 지점교통센서 위치별 위험차량 판단
 <Fig. 9> Results of dangerous vehicle at sensor's location by design speed variation at input volume = 1400 veh/h

일정 속도 이상으로 접근할 수 없다. 이에 딜레마 상황이 발생될 가능성이 있는 차량은 정지선으로부터 가까운 지점교통센서에서만 위험차량 유무를 판단하는 현상이 나타났다.

이러한 유입교통량과 설계속도의 변화에 따른 초기 센서의 위치를 살펴보면 <표 6>과 같이 나타났다. 설계속도가 50km/h에서는 약 62m 지점, 60km/h에서는 81m 지점, 70km/h에서는 103m 지점, 그리고 80km/h에서는 약 120m 지점부터 초기 검지가 시작되고 있다. 이에 따라 실제 도로의 지점교통센서는 실제 운용할 도로환경상의 설계속도에 따라 초기 위치를 변경하도록 하는 것이 바람직하다.

5) 여기서, 가로축은 2차로 0m~120m까지의 5m 간격 센서의 위치와 3차로에서의 센서 위치를 순차적으로 표기되어 있고, 세로축은 딜레마구간의 위험차량 검지비율을 나타낸 것이다.

<표 6> 유입교통량과 설계속도에 따른 초기 검지센서의 위치(m)
 <Table 6> Results of initialization sensor's location by design speed variation and input volume

유입교통량 (대/시)	설계속도(km/h)			
	50	60	70	80
100	60	80	105	120
200	65	75	100	120
300	65	85	105	120
400	60	80	105	120
500	60	85	115	120
600	60	85	105	120
700	60	85	100	120
800	65	80	105	120
900	65	85	110	105
1000	65	85	115	120
1100	65	80	100	120
1200	60	90	95	120
1300	65	85	100	120
1400	55	55	95	100
1500	60	80	90	60

V. 결 론

본 연구는 신호교차로에 USN 환경의 일환으로 다수개의 지점교통센서가 설치되어 이를 활용하여 딜레마 구간 검지를 할 경우 지점교통센서의 설치 간격 및 위치에 대하여 검토한 연구이다. 미시적 교통시뮬레이션인 VISSIM을 이용하여 USN 지점 교통센서를 5m 간격으로 신호교차로의 접근로에 설치한 후 유입교통량의 변화(100대/시~1500대/시), 설계속도의 변화(50km/h, 60km/h, 70km/h, 80km/h) 및 운전자 인지반응시간(1초, 1.5초)을 변화하여 센서의 초기설치 위치 및 간격문제에 대하여 살펴보았다.

먼저 유입교통량의 변화에 따라(v/c비의 변화와 같은 교통상황에 따라) 센서의 활용상황이 다르게 나타남을 알 수 있었다. 또한 초기 센서의 위치는 도로의 설계속도에 따라 크게 다르게 나타나는 경향을 보였고, 예를 들어 설계속도 50km/h는 약 62m 지점, 60km/h는 81m 지점, 70km/h는 103m 지점, 그리고

80km/h는 약 120m 지점부터 초기 검지가 시작되고 있었다. 이에 따라 실제 도로의 지점교통센서는 설계속도에 따라 초기위치를 변경하는 것이 바람직하다. 그리고 센서의 설치간격과 관련하여서는 설계속도와 유입교통량의 회귀식으로 “설치간격 = (-0.00203)*유입교통량 + 0.230*(설계속도) + 25.458” 형태의 유의한 회귀관계식을 도출하였다.

이러한 결과는 실제 지점교통센서의 설치 운영 이전에 미시적 교통시뮬레이션 기반으로 모의실험하는 방법론이 유용하게 사용할 수 있음을 알 수 있다. 이는 향후 서비스의 실시함에 있어 기초자료로 활용하는데 그 기여가 있다고 하겠다.

참 고 문 헌

- [1] 경찰청, *교통사고통계*, 승인번호 제13202호, 2008.
- [2] FHWA, “Traffic Detector Handbook third edition,” vol. 1, FHWA-HRT-06-108, US DOT, 2006.
- [3] P. Papaioannou, “Driver behaviour, dilemma zone and safety effects at urban signalised intersections in Greece,” *Accident Analysis and Prevention*, vol. 39, no 1, pp. 147-158, 2007.
- [4] 교통개발연구원, *신호교차로 내 딜레마구간 차내 경고 시스템 개발, 2000년도 지능형교통시스템 연구개발사업 최종보고서*, 건설교통부, 2000.
- [5] 교통개발연구원, *도로와 차량간 RF통신을 이용한 속도제한 경보시스템 기술, 1999년도 지능형교통시스템 연구개발사업 최종보고서*, 건설교통부, 1999.
- [6] J. Bonneson and K. Zimmerman, “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, 2006.
- [7] K. Zimmerman, J. Bonneson, D. Middleton, and M. Abbas, “Improved detection and control system for isolated high-speed intersections,” *Transportation Research Record 1856*, Transportation Research

- Board, pp. 212-219. 2003.
- [8] 박주남, 신호교차로 황색현시에서의 운전자 행태 및 딜레마 구간 연구, 아주대학교 공학석사학위논문, 2002.
- [9] 장영규, 딜레마구간 제거를 위한 검지기 설계방안 및 신호제어 전략 개발, 아주대학교 석사학위논문, 2000.
- [10] P. McCoy and G. Pesti, "Improving dilemma zone protection of advance detection with advance warning flashers," *Transportation Research Record 1844*, Transportation Research Board, pp. 11-17, 2003.
- [11] S. Sunkari, C. Messer, and H. Charara, "Performance of advance warning for end of green system for high-speed signalized intersections," *Transportation Research Record 1925*, Transportation Research Board, pp. 176-184, 2005.
- [12] C. Shaflik, "Traffic signal detector locations-proper positioning increases efficiency and safety," *CIVIL 589-Traffic Flow Theory*, 1995.
- [13] 김성현, 임강원, 이영인, "일반국도 통행시간 추정을 위한 동질구간 기반 지점검지기 배치에 대한 연구," *대한교통학회논문지*, 제24권, 제1호, pp. 73-84, 2006. 02.
- [14] K. Ozbay, B. Bartin, and S. Chien, "South jersey real-time motorist information systems: Technology and practice," *Transportation Research Record 1886*, pp. 68-75, 2004.
- [15] I. Fujito, R. Margiotta, W. Huang, and W. A. Perez, "The effect of sensor spacing on performance measure calculations," *Proc. the 85th Annual Meeting of Transportation Research Board*, January 2006.
- [16] G. Thomas, "The relationship between detector location and travel characteristics on arterial streets," *Institute of Transportation Engineers Journal*, vol. 69, no. 10, pp. 36-42, 1999.
- [17] S. Oh, B. Ran, and K. Choi, "Optimal detector location for estimating link travel time speed in urban arterial roads," *Proc. 82nd Annual Meetings of the Transportation Research Board*, January 2003.
- [18] S. Oh and K. Choi, "Optimal detector location for estimating link travel speed in urban arterial roads," *J. Civil Engineering*, vol. 8, no. 3, pp. 327-333, May 2004.
- [19] 장정아, 장병태, 박종현, "USN기반 교통수집기술에 관한 연구," *한국 ITS 학회 추계학술대회 논문집*, 2007.
- [20] 장정아, 장병태, "자동차 안전을 위한 USN 차량 무선검지센서 및 서비스 기술 개발," *오토저널*, pp. 29-35, 2008. 6.
- [21] 장정아, 최정단, 문영준, 장병태, "고정형 USN 교통센서를 활용한 신호교차로용 위험차량 판단기법 연구," *대한교통학회 추계학술발표회 논문집*, 2008.
- [22] PTV, "VISSIM 4.2 Manual"

저자소개



장 정 아 (Jang, Jeong-Ah)

2000년 2월 : 아주대학교 환경도시공학부 졸업 (공학사)
2002년 2월 : 아주대학교 일반대학원 건설교통공학과 졸업 (건설교통공학석사)
2009년 2월 : 아주대학교 일반대학원 건설교통공학과 졸업 (박사)
2004년 5월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 텔레매틱스연구부 연구원



최 기 주 (Choi, Kee-Choo)

1984년 2월 : 서울대학교 공과대학 토목공학과 졸업 (도시공학사)
1986년 2월 : 서울대학교 공과대학 대학원 토목공학과 졸업 (교통공학석사)
1992년 12월 : University of Illinois (Urbana) 교통계획/정보체계 (박사)
1992년 12월 ~ 1994년 9월 : 서울시정개발연구원 도시교통연구부 책임연구원
2003년 9월 ~ 현재 : 아주대학교 환경건설교통공학부 교수
2003년 9월 ~ 현재 : 아주대학교 ITS대학원 부원장



이 상 수 (Lee, Sang-Soo)

2002년 ~ 현재 : 아주대학교 환경건설교통공학부 부교수
2005년 ~ 현재 : 한국 ITS학회 이사
2000년 : Texas A&M University 토목과 교통전공 졸업 (박사)