

■ 論 文 ■

# 차량-인프라 연계(VII) 기반 교통정보시스템의 RSE 설치간격 결정 방법론 (연속류를 중심으로)

## Methodology for Determining RSE Spacing for Vehicle-Infrastructure Integration(VII) Based Traffic Information System (Focused on Uninterrupted Traffic Flow)

**박 준 형**

(한양대학교 교통시스템공학과 석사과정)

**오 철**

(한양대학교 교통시스템공학과 교수)

**임 희 섭**

(한양대학교 교통시스템공학과 석사과정)

**강 경 표**

(한국교통연구원 첨단교통연구실 책임연구원)

### 목 차

I. 서론	구간통행시간 산출 방법론
II. 관련 문헌 고찰	1. 몬테카를로 시뮬레이션 기법을 이용한 MPR의 반영
1. 구간정보 생성을 위한 검지기의 적정 설치간격 관련 연구	2. 구간통행시간의 산출 방법론
2. VII(Vehicle-Infrastructure Integration) 관련 연구	3. 구간통행시간 산출 결과
3. 문헌 고찰 결과	4. 제시된 구간통행시간 산출방법론과 시간차집
III. VII기반 교통정보시스템	VI. RSE 적정 설치간격의 도출
IV. 자료수집 및 가공과정	1. RSE의 적정 설치간격
1. 개별차량 주행궤적 자료 수집	2. RSE 설치 시 고려사항
2. 원시자료의 가공과정	VII. 결론
V. 차량-RSE간 무선통신을 이용한	참고문헌

**Key Words :** 교통정보시스템, 차량-인프라 연계, 구간통행시간, 장비장착차량비율, 개별차량 주행궤적, Traffic Information System, Vehicle-Infrastructure Integration, Link travel time, Market Penetration Rate, Individual vehicle trajectory

### 요 약

실시간 교통자료 수집 기술의 혁신을 위해 유비쿼터스 환경기반의 교통정보시스템을 구성하는 인프라(RSE)의 적정 설치간격을 설정하는 방법론을 연구하였다. 적정설치간격을 도출하기 위해 연속류 교통상황 모니터링에 효과적으로 사용될 수 있는 구간통행시간을 평가척도로 설정하고, 인프라(RSE)의 통신반경 내에 위치하는 개별차량의 주행자료에서 속도자료를 추출하여 구간통행시간을 산출하였다. 교통상황에 따른 생성정보의 정확도와 적정 설치간격을 분석하기 위해 정상교통류와 교통사고로 인한 혼잡교통류 상황을 설정하여 개별차량 주행궤적을 수집하였다. RSE 설치간격, MPR(Market Penetration Rate), Time window를 주요변수로 정의하고 산출된 구간통행시간의 정확도를 MAPE(Mean Absolute Percentage Error)를 이용하여 평가하였다. 인프라(RSE) 설치간격 값은 1km에서 0.5km씩 증가시키면서 2.5km까지 적용하였다. 구간통행시간의 평가결과 2.5km의 간격으로 인프라(RSE)를 설치할 때 생성된 구간정보의 정확도가 급격히 감소되었다. 분석결과와 통계적 유의성을 평가하기 위해 분산분석을 수행하였다. 적정수준의 정확도가 확보된 구간정보의 생성이 가능하면서 인프라(RSE)를 최대간격으로 설치하기 위한 RSE 적정간격 설치방법론을 제시하였다. 본 연구에서 제시한 RSE의 적정설치간격 도출 방법론은 향후 차세대 교통수집체계인 유비쿼터스 환경기반 교통정보시스템의 요구사항 수립을 위해 효과적으로 사용될 것으로 기대된다.

A variety of research efforts, using advanced wireless communication technologies, have been made to develop more reliable traffic information system. This study presents a novel decentralized traffic information system based on vehicle infrastructure integration (VII). A major objective of this study was also to devise a methodology for determining appropriate spacing of roadside equipment (RSE) to fully exploit the benefits of the proposed VII-based traffic information system. Evaluation of travel time estimation accuracy was conducted with various RSE spacings and the market penetration rates of equipped vehicle. A microscopic traffic simulator, VISSIM, was used to obtain individual vehicle travel information for the evaluation. In addition, the ANOVA tests were conducted to draw statistically significant results of simulation analyses in determining the RSE spacing. It is expected that the proposed methodology will be a valuable precursor to implementing capability-enhanced next generation traffic information systems under the forthcoming ubiquitous transportation environment.

## I. 서론

무선통신 기술, 컴퓨터의 연산능력, 센서 기술의 발달로 기존의 ITS (Intelligent Transportation System) 환경하의 교통기술의 발전은 물론 유비쿼터스 환경 기반의 교통정보수집체계 개발이 가속화되고 있다.[1][2]

본 연구에서는 유비쿼터스 환경에서 실시간으로 차량에 탑재된 단말기와 인프라간의 무선통신을 통해 교통자료가 수집되고 차량 또는 인프라가 생성한 교통정보를 공유하는 u-TSN(ubiquitous-Transportation Sensor Network)기반의 교통정보시스템이 구축된다고 가정할 때 인프라에 해당하는 Road-Side Equipment(RSE)의 적정 설치간격을 도출하고 이를 평가하는 방법론에 대해 연구하였다. RSE와 UVS(Ubiquitous Vehicle Sensor)는 유비쿼터스 환경기반 교통정보시스템의 구성요소로서, RSE는 도로변에 설치되어 차량과의 무선통신을 통해 생성된 정보를 수집하고 재가공한다. UVS는 차량에 탑재된 단말기를 이용하여 차량의 주행상태 및 위치자료를 정보화하고 무선통신장비를 이용하여 RSE와 같은 인프라에 송수신하는 역할을 수행한다.

기존의 ITS기술 기반의 교통정보 수집체계에서는 인프라에서 수집된 교통자료가 교통관리센터(TMC: Transportation Management Center)로 집중화되고 다시 정보제공 장치 및 시설로 전송되어 이용자에게 제공되는 등의 여러 과정을 단계별로 수행하는 시간이 필요하였다. 그리고 정보가 중앙으로 집중화되기 때문에 교통관리센터에서는 매우 높은 정보 저장 및 처리능력이 요구된다. 유비쿼터스 환경의 교통정보시스템에서는 시스템의 각 구성요소가 개별적으로 교통정보를 수집 및 생성하고 생성된 정보를 무선통신을 이용해 중앙의 교통관리 센터를 거치지 않고 바로 인접한 차량 또는 인프라에게 제공할 수 있어 이용자가 교통정보를 수신하는데 소요되는 시간이 단축될 것으로 예상된다.

본 연구에서는 유비쿼터스 환경의 교통정보시스템에서 산출된 구간통행시간의 정확도를 평가하여 Road-Side Equipment(RSE)의 적정 설치간격을 도출하는 방법론을 제시하였다. 산출된 구간정보의 정확도는 정보생성 시 사용된 UVS장착차량의 수와 차량에서 수집된 자료의 수가 많을수록 높아지며 적정 수 이상이 되면 더 이상 정확도가 증가하지 않을 것이므로 생성된 정보가 기 설정된 기준값 이상의 정확도를 확보하면서 도로에 RSE를 최대 간격으로 설치하기 위한 연구를 수행하였다. 본 연구에서는 RSE 설치간격,

RSE 통신반경, MPR(Market Penetration Rate)을 통신환경 변수로 설정하였으며 RSE의 영향권 내에 존재하는 개별차량의 주행정보를 수집하는 정보추출 범위인 Time Window값을 변화시키면서 구간통행시간을 산출하였다. MPR은 분석대상구간을 주행하는 전체 차량들 중에서 개별차량의 주행정보를 생성할 수 있는 UVS장비를 장착한 차량의 비율이다. 교통상황에 따른 구간통행시간의 정확도를 분석하기 위해 정상교통류인 상황과 교통사고가 발생한 혼잡교통류인 상황에서 수집한 개별차량 주행궤적을 분석에 사용하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 구간정보생성, 검지기 설치간격, 차량-인프라간 무선통신과 관련된 연구에 대한 문헌고찰 내용을 제시하고 3장에서는 VII(Vehicle Infrastructure Integration)기반 교통정보시스템에 대해서 서술하고 4장에서는 구간통행시간 산출 과정에 사용된 입력자료의 수집 및 가공 과정에 대해 서술하였다. 5장에서는 차량-RSE간 무선통신을 이용한 구간통행시간 산출방법론에 대해 서술하였으며, 6장에서는 산출된 구간통행시간 정확도를 평가하여 RSE의 적정 설치간격을 도출하는 방법론을 제시하였다. 7장에서는 결론과 향후 연구 과제를 제시하였다.

## II. 관련 문헌 고찰

본 연구에서는 검지기의 적정 설치간격, 차량-인프라간 무선통신을 이용한 구간정보생성과 관련된 기존연구에 대해 문헌고찰을 수행하였다.

### 1. 구간정보생성을 위한 검지기 적정 설치간격 관련 연구

Quiroga(1998)는 Baton Rouge, Shreveport, New Orleans에서 수집된 자료를 이용하여 공간적 정보수집 단위인 Segment 길이와 시간적 정보수집 단위인 정보집계간격, 가중치 부여기준인 중심경향치(Central tendency)를 중요변수로 설정하고 이를 분석하였다. 분석과정은 GPS와 GIS를 이용한 자료수집단계(Data collection), 수집자료를 필터링하고 집계하여 구간통행시간을 산출하는 자료정리 단계(Data reduction), 산출된 정보를 표와 색깔로 맵에 표시하는 정보표시단계(data reporting)로 구성된 프로세스로 수행되었다. Smith(2004)는 검지기의 위치를 구간통행시간 산출 시 중요 변수로 설정하고 분석구간을 램프진입

구간, 기본구간, 램프진출구구간으로 구분하고 진출입 교통량을 변화시키며 분석을 수행하였다.

김성현(2006)은 지점검지기의 효율적인 배치를 위해 동질구간 결정로직을 정립하였다. 동질구간의 결정은 도로 및 운영 조건과 실시간 교통패턴의 변동을 고려하여 시간대별 동질구간 및 최종 동질구간을 제시하였다. 김재진(2007)는 출발시각기준 실시간 통행시간 정보제공을 위한 공간적 설계와 관련된 연구를 수행하였다. 적정 링크길이를 평가하기 위해 실시간 통행시간 정보제공 오차를 정의하고 실시간 통행시간 제공방법을 제시하였다. 신뢰도 높은 구간정보를 생성하기 위해서는 동적특성을 반영하고 경로단위보다는 링크단위를 적용한 공간적 설계가 효과적이라는 결과를 도출하였다.

## 2. VII (Vehicle-Infrastructure Integration) 관련 연구

Tanikella(2007)는 RSE의 설치간격을 10mile로 고정시키고 OBU(On-Board Unit)장착 비율(MPR)에 따른 네트워크의 모니터링 수준을 비교분석하였다. 개별차량에 저장되어있는 RSE의 영향권 외의 영역에서 수집된 자료를 RSE에 전송할 경우 낮은 UVS 장착차량의 비율(MPR)에서도 높은 모니터링 수준을 얻을 수 있었다. 김형수(2007)는 Ad-hoc network를 이용한 차량간 무선통신시스템에서 교통정보를 생성 및 제공하는 Simulation framework를 구현하기 위해 미시적 교통 시뮬레이터인 Paramics와 통신 시뮬레이션 프로그램인 Qualnet을 이용하였다. 교통정보제공 Simulation framework를 구축하여 구간교통정보를 생성하고 혼잡상황을 고려하여 동적으로 통행경로를 설정하였다. MPR, 전체 통신정보량, 통신에 사용된 최대 대역폭, 정보 전달속도 및 전달거리 등으로 제시한 framework를 평가하였다.

Shladover(2008)는 미시적 시뮬레이션을 통해 수집한 VII probe data에서 샘플링한 차량들로 구간정보를 생성하고 전체 차량들의 개별주행자료로 실제 구간정보를 산출하여 모형을 평가하였다. 구축된 모형을 기상조건검지, Incident 검지, 실시간 적응형 신호제어에 적용한 결과, 기상조건은 낮은 MPR에서도 잘 검지된 반면, 실시간 적응형 신호제어는 높은 MPR이 요구되었다. Li(2008)는 VII(Vehicle-Infrastructure Integration)를 적용하여 구간통행시간을 평가지표로 설정한 VPD(VII probe data)모형과 지점검지기 자료를 이용한 인공신경망 모형

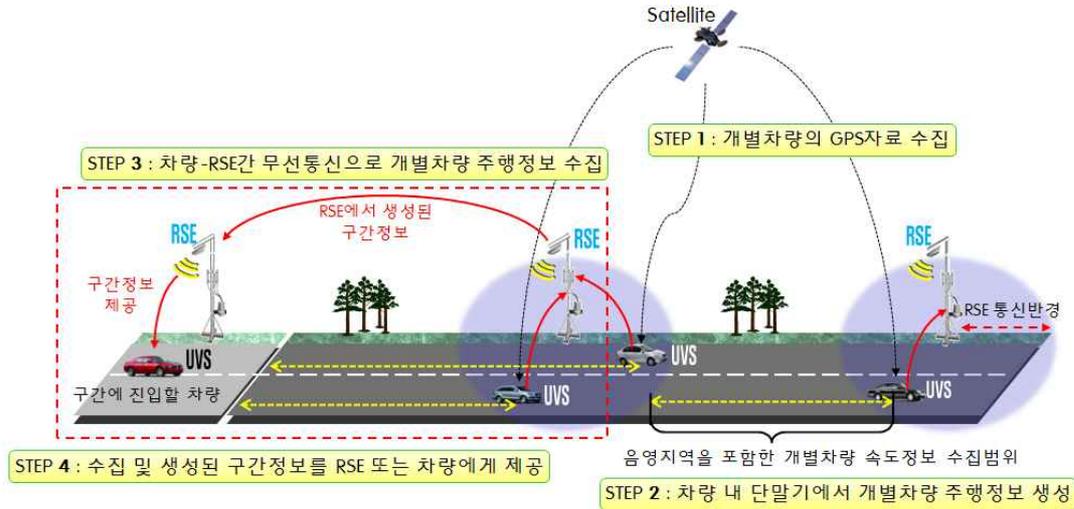
인 PBD(Point-based Detection)모형을 MAPE로 비교하였다. 분석결과, VPD모형이 PBD모형보다 더 우수한 결과를 나타내었으며, MPR값이 커질수록 두 모형은 더 정확한 결과를 산출하였다.

Lee(2008)는 VII(Vehicle-Infrastructure Integration)를 이용하여 교통사고 발생으로 도로가 혼잡상황이 될 경우 혼잡구간을 진입할 차량이 우회하여 통과할 수 있도록 하는 경로제공전략(Route Guidance Strategies)을 제시하였으며, MPR, 네트워크의 혼잡정도, 정보갱신간격, 운전자의 순응정도 등의 다양한 변수를 적용하여 분석을 수행하였다. 분석결과, 경로제공 전략을 적용했을 때가 전략 미적용 시보다 구간통행시간이 감소되었으며 그중에서도 평균 구간통행시간(ATG: averaged link travel time-based guidance)을 적용할 경우 가장 우수한 결과를 나타내었다.

Zirker(2008)는 기존의 VII(Vehicle-Infra Integration)에 관련된 연구가 개인차량 위주의 연구에 집중됨을 제기하고 대중교통 또는 준대중교통 시스템에 VII(Vehicle-Infra Integration)를 적용하여 여행자정보 제공, 신호제어, 유고관리 등을 통해 경비절감, 운영측면에서의 효율성 증대, 이용자의 편의 증대를 실현하는 방안에 대해 연구하였다.

## 3. 문헌 고찰 결과

기존의 구간정보 생성 방법론에서는 지점검지기 또는 영상검지기를 이용한 교통자료 수집을 통해 구간정보를 산출하거나 인공신경망, 칼만필터링, 패턴분석 등의 예측기법을 적용하여 구간정보를 예측하는 방안을 제시하였다. 그러나 현재 도로에 설치된 검지기 및 교통정보 수집장비의 한계성으로 인해 시간차집현상과 비정상교통류에서의 구간정보생성 시의 정확도 감소에 대해 신뢰성 높은 해결방안을 제시하지 못하였다. VII기반 교통정보 시스템에서는 시스템의 구성요소인 차량 또는 인프라(RSE)간에 무선통신이 가능하여 각 구성요소에서 생성한 정보를 송수신 할 수 있다. 이는 인프라(RSE) 또는 차량의 통신반경 즉, 정보수집 가능영역에 제한되지 않고 넓은 구간에 걸쳐 정보 수집 및 제공이 가능하다는 것을 의미한다. 인프라(RSE)는 통신가능영역 내에 존재하는 차량의 정보를 수집하고 이를 재가공하여 해당 구간의 교통정보를 필요로 하는 차량 또는 다른 RSE에게 제공할 수 있다. RSE는 차량간 통신만으로는 수집할 수



<그림 1> 차량-RSE간 무선통신을 이용한 교통정보시스템의 개념도

없는 장거리 구간의 정보를 RSE-RSE간의 정보교환으로 광범위한 영역에서 수집한 자료를 이용하여 다양한 교통정보를 제공할 수 있다. 차량과 인프라(RSE)간의 정보수집 및 통신체계를 이용한 구간통행시간의 산출은 보다 높은 정확도와 실시간성의 확보가 가능할 것으로 판단된다. 구간통행시간을 구간의 교통상황을 대표하는 평가척도로 설정하고 이를 평가함으로써 RSE의 적정 설치간격을 설정하는 연구는 기존에 없었다. 본 연구의 주목적은 효과적인 VII(Vehicle-Infrastructure Integration) 기반 교통정보시스템의 구현을 위한 RSE(Road-side Equipment)의 기능을 정립하고 RSE에서 생성된 정보와 설치간격을 평가하여 유비쿼터스 기반의 교통정보시스템의 효과적인 현장구현을 위한 기초자료로 활용하기 위한 것이다.

### III. VII(Vehicle-Infrastructure Integration) 기반 교통정보시스템

차량-RSE간 무선통신을 이용한 교통정보시스템에서는 <그림 1>과 같이 개별차량이 차내에 탑재된 GPS 수신기를 이용하여 차량의 위치자료를 실시간으로 수집하고 이를 기반으로 속도를 산출한다. 그리고 RSE는 차량과의 무선통신을 통해 RSE 통신반경 내에 위치하는 개별차량의 주행정보를 수집할 수 있다. 차량-RSE간 무선통신을 이용한 교통정보시스템의 정보 수집 및 제공과정을 <그림 1>에 도식화하고 다음과 같이 제시하였다.

- Step 1 : 개별차량에 탑재된 GPS수신기를 이용하여 위치 및 주행자료를 수집하고 차량단말기(UVS)에 저장
- Step 2 : 차량단말기에서 수집한 개별차량 주행자료를 이용하여 정보 생성함
- Step 3 : 개별차량에 탑재된 무선통신장비를 이용하여 RSE로 생성정보를 전송함
- Step 4 : RSE에서는 차량으로부터 수집된 정보를 재가공하여 인접한 RSE 또는 상류부 지역을 주행하는 차량에게 제공함

RSE에서는 RSE 영향권을 통과하는 UVS로부터 수신한 교통자료를 이용하여 구간정보를 무선통신으로 차량에게 제공이 가능하며, 분석구간을 진입하는 차량이 제공받은 정보는 정보수신차량이 실제로 주행하게 될 도로구간에 존재하는 차량들의 주행자료로 생성한 정보이므로 기존의 구간통행시간 산출방법론과 비교할 때 높은 정확도와 실시간성을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

도로의 전체 구간이 RSE의 영향권일 경우 통신가능한 모든 차량의 주행정보를 수집할 수 있으나 교통정보수집체계를 구축하는데 많은 비용이 소요될 것이다. 그러므로 RSE가 도로의 전체 구간에서 정보를 수집하지 못하더라도 개별차량이 RSE의 영향권 외의 지역인 음영지역에서 수집한 정보를 RSE 영향권에 진입할 때 전송한다면 RSE가 조밀하게 설치되지 않더라도 신뢰성 높은 구간정보를 생성할 수 있을 것으로 기대된다. 이를



<그림 2> 분석대상구간과 사고발생지점

구간통행시간 산출 시에 반영하여 구간정보를 생성하고 구간에 진입하는 차량의 실제 주행궤적을 이용해 산출한 실제구간정보와 비교하였다. 산출된 구간정보의 정확도를 분산분석을 통하여 RSE의 적정 설치간격을 도출하는 방법론을 제시하였다.

IV. 자료수집 및 가공과정

본 연구에서는 미시적 교통시뮬레이션 프로그램인 VISSIM을 이용하여 개별차량의 주행궤적자료를 수집하였다. 다양한 교통상황에서 구간통행시간 산출방법론을 평가하기 위해 시뮬레이션을 이용한 자료수집 시 정상교통류와 혼잡교통류 시나리오를 적용하여 원시자료를 수집하였다.

<표 1> 개별차량 주행궤적 자료수집 시나리오

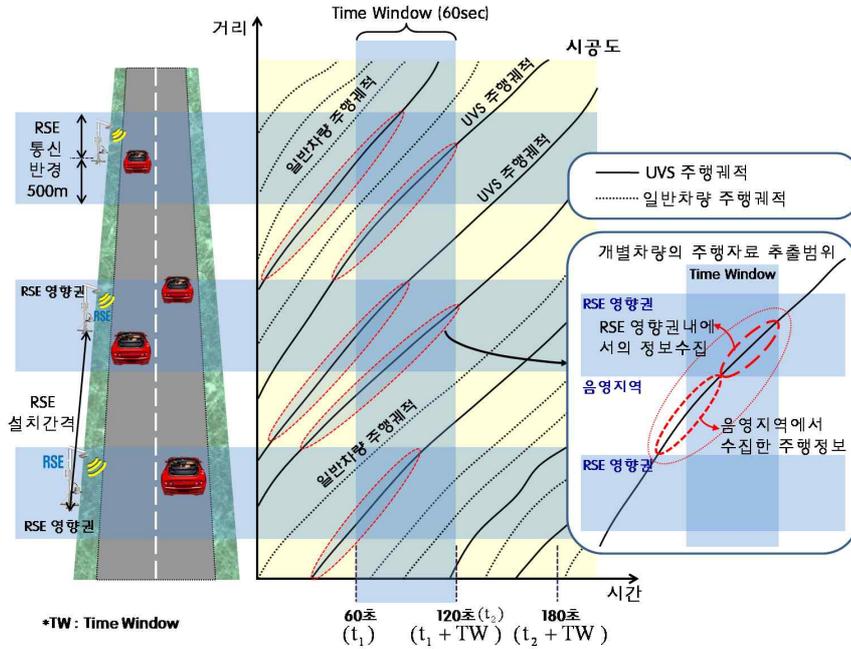
시나리오	시나리오 1	시나리오 2
교통상황	정상교통류	혼잡교통류
도로유형	자동차전용도로	
도로길이	7421m	
차로수	편도 4차로	
교통량	전체	1200대/시/차로수
	승용차	80%
	버스	10%
	트럭	10%
LOS	C	
사고시간	사고없음	3000초
사고발생위치		2800m지점
사고처리시간		900초
사고발생차로		1, 2차로

1. 개별차량 주행궤적 자료 수집

본 연구에서는 교통류 소통상황에 따른 구간정보의 정확도를 분석하기 위해 정상교통류와 교통사고로 인한 혼잡상황에서 구간통행시간을 생성하고 평가하여 교통상황에 따른 RSE의 적정설치간격을 도출하였다. 보다 현실적인 도로교통상황을 반영하기 위해 수인산업도로에서 직선구간과 곡선구간이 포함되어 있으며 연속류인 약 7.42km구간을 분석대상구간으로 설정하였다. 수인산업도로는 편도 4차로의 다차로 도로에 급격한 커브가 없고 출퇴근 시간외에는 차량들이 원만하게 통행하는 도로로 향후 유비쿼터스 기반 교통정보시스템의 요구사항과 관련된 다양한 연구를 추진할 수 있을 것으로 판단되어 분석대상구간으로 설정하였다. 시뮬레이션 수행 시에는 분석대상구간의 도로기하구조를 동일하게 반영하여 개별차량주행궤적 자료를 수집하였다. 교통상황에 따른 자료수집 시나리오를 <표 1>에 제시하였다. 차로수, 도로길이, 평면선형은 실제도로와 동일하게 적용하였으며, 시간당 차로당 1200대의 교통량이 통행하는 것으로 설정하였다. 시나리오1은 교통상황을 정상교통류로 설정하고 시나리오2는 <그림 2>에서와 같이 교통사고 발생으로 인한 혼잡교통류로 설정하였다. 교통사고 발생지점은 전체 분석대상구간에서 중앙부에 해당하는 지점을 설정하였다.

2. 원시자료의 가공과정

수집된 원시자료의 개별차량 주행정보는 속도, 가속도, 주행차로, 차량고유ID, X좌표, Y좌표로 구성되어



<그림 3> 차량-RSE간 무선통신을 이용한 RSE의 정보수집 개념도 및 자료추출 범위

있다. 개별차량의 위치를 나타내는 X좌표와 Y좌표를 이동거리로 변환하는 과정을 수행하고 이를 산출한 결과 분석대상구간의 연장은 총 7421m로 산출되었다.

차량과 RSE간 무선통신을 이용하여 정보를 송수신하는 과정을 프로그램으로 구현하기 위해 VISSIM으로 수집된 전체 주행궤적자료를 개별차량의 주행궤적 자료파일로 나누는 과정을 수행하였다. 본 연구에서는 RSE가 차량의 주행정보를 수집하는 과정을 통행시간 산출프로그램이 개별차량의 주행자료 파일을 읽는 과정으로 구현하였다. 그리고 매 Time Window마다 RSE의 영향권 내에 존재하여 무선통신이 가능한 차량들의 고유ID 목록인 자료수집대상목록을 개별차량의 주행파일을 생성할 때 함께 작성하였다. 작성된 자료수집대상목록은 개별차량의 주행파일을 읽을 때 보다 쉽게 자료를 추출하여 구간통행시간을 산출할 수 있도록 하는 역할을 하였다.

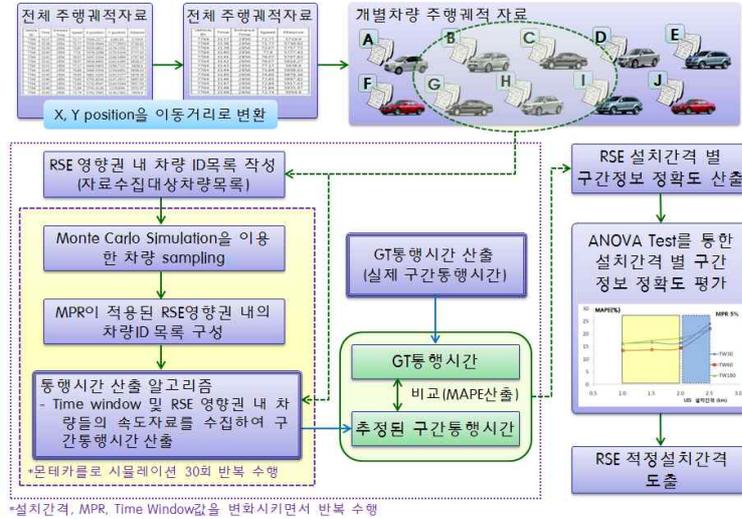
### V. 차량-RSE간 무선통신을 이용한 구간통행시간 산출 방법론

본 연구에서는 차량과 RSE간의 무선통신이 가능한 교통정보수집시스템에서 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 RSE의 통신반경 내의 차량들을 확률적으로 추출하고

선택된 개별차량의 주행궤적에서 수집한 속도자료를 이용하여 구간통행시간을 산출하였다. 차량-RSE간의 무선통신을 통해 RSE가 개별차량에서 생성한 주행자료를 추출하는 시공간적 범위를 <그림 3>에 도식화하였다.

#### 1. 몬테카를로 시뮬레이션 기법을 이용한 MPR(Market Penetration Rate)의 반영

분석대상구간을 주행하는 모든 차량들이 RSE와 통신이 가능하여 모든 개별차량들의 속도자료를 수집하는 것은 매우 이상적인 상황이다. 분석대상구간을 주행하는 차량들 중에서 RSE와 통신 가능한 장비를 탑재한 차량들의 비율(MPR)을 구간정보 생성과정에 반영하기 위해 몬테카를로 시뮬레이션 기법을 적용하였다. 몬테카를로 시뮬레이션 기법은 모의적 표본추출법으로서 입력되는 변수의 확률밀도 함수가 존재한다고 가정하고 다양한 parameter값에 따른 결과를 통계적으로 산출할 수 있다. 본 연구에서는 확률적인 결과를 얻기 위해 난수를 발생시켜 RSE의 통신반경 내에 존재하는 차량들의 ID에 난수를 부여하고 미리 설정해 놓은 기준값(threshold)보다 작을 경우 해당 차량을 정보생성을 위한 자료수집대상목록에 포함시켰다. 자료수집대상목록에 포함된 개별



<그림 4> 구간통행시간 산출 알고리즘을 이용한 적정 RSE 간격 산출과정

$$V_{mean}^{(t)} = \frac{\sum_{i=1}^N V_i^{(t)}}{N} \quad \bullet \quad TT = \frac{L}{V_{mean}^{(t)}} \tag{1}$$

$TT$  : time window(t)의 구간통행시간  
 $L$  : 분석구간길이  
 $V_{mean}^{(t)}$  : time window(t) 및 UIS 영향권 내 차량들의 속도자료의 평균  
 $N$  : time window(t) 및 UIS 영향권 내 정보수집대상차량의 대수

$$TT = \frac{L_{Section1}}{\hat{V}_{Section1}^{(t)}} + \frac{L_{Section2}}{\hat{V}_{Section2}^{(t)}} + \frac{L_{Section3}}{\hat{V}_{Section3}^{(t)}} \tag{2}$$

$$\hat{V}_{Section1}^{(t)} = \frac{\sum_{i=1}^N V_{i-Section1}^{(t)}}{N_{Section1}}, \quad \hat{V}_{Section2}^{(t)} = \frac{\sum_{i=1}^N V_{i-Section2}^{(t)}}{N_{Section2}}, \quad \hat{V}_{Section3}^{(t)} = \frac{\sum_{i=1}^N V_{i-Section3}^{(t)}}{N_{Section3}}$$

$TT$  : Time window (t)의 구간통행시간  
 $L_{Section1}$  : Incident영향권 상류부 구간길이  
 $L_{Section2}$  : Incident영향권 구간길이  
 $L_{Section3}$  : Incident영향권 하류부 구간길이  
 $V_{i-Section1}^{(t)}$  : Incident영향권 상류부에서 time window (t) 및 UIS 통신반경 내 차량들의 속도자료  
 $V_{i-Section2}^{(t)}$  : Incident영향권에서 time window (t) 및 UIS 통신반경 내 차량들의 속도자료  
 $V_{i-Section3}^{(t)}$  : Incident영향권 하류부에서 time window (t) 및 UIS 통신반경 내 차량들의 속도자료  
 $\hat{V}_{Section1}^{(t)}$  : Incident영향권 상류부에서 time window (t) 및 UIS 통신반경 내 차량들의 평균속도  
 $\hat{V}_{Section2}^{(t)}$  : Incident영향권에서 time window (t) 및 UIS 통신반경 내 차량들의 평균속도  
 $\hat{V}_{Section3}^{(t)}$  : Incident영향권 하류부에서 time window (t) 및 UIS 통신반경 내 차량들의 평균속도  
 $N_{Section1}$  : Incident영향권 상류부에서 time window (t) 및 UIS 통신반경 내 정보수집 대상차량의 대수  
 $N_{Section2}$  : Incident영향권에서 time window (t) 및 UIS 통신반경 내 정보수집 대상차량의 대수  
 $N_{Section3}$  : Incident영향권 하류부에서 time window (t) 및 UIS 통신반경 내 정보수집 대상차량의 대수

차량들의 주행속도 자료를 추출하여 구간통행시간을 산출하고 이를 차량들의 실제 구간통행시간과 비교하여 MAPE를 산출하였다. 산출된 구간통행시간의 정확도 평가 시 MPR의 영향을 통계적으로 분석하기 위해 몬테카를로 시뮬레이션은 각 주요 변수값의 변화에 따라 30 회씩을 반복하여 수행하였다. MPR은 자료수집대상목록에서 장비장착차량을 확률적으로 선택하기 위한 선택기준이 되는 기준값(threshold)으로 적용하였으며 5%, 10%, 20%, 30%, 50%의 값을 적용하여 구간통행시간을 산출하였다.

2. 구간통행시간의 산출 방법론

본 연구에서는 RSE의 영향권 내에 위치하며 무선통신이 가능한 개별차량의 주행자료에서 속도자료를 추출하여 <그림 4>에 제시한 과정으로 구간통행시간을 산출하였다. 구간통행시간을 산출하는 방법은 2가지를 적용하였으며 식(1)과 식(2)에 제시하였다. 식(1)을 이용한 구간통행시간 산출방법[Ⅰ](Method 1)은 RSE 영향권 내에 존재하는 차량의 속도자료를 평균하고 분석대상구간의 길이를 나누어 산출하였다. 식(2)를 이용한 구간통행시간 산출방법[Ⅱ](Method 2)은 돌발상황 발생 시에 차량의 정체와 병목현상이 발생하는 돌발상황 영향권(Section2)과 돌발상황 영향권의 상류부 구간(Section1) 및 하류부 구간(Section3)을 설정하여 Section별로 구간통행시간을 산출하였다. 본 연구에서는 돌발상황에 최근접하는 RSE와 상류부 방향으로 인접한 RSE를 돌발상황 영향권인 Section2로 설정하였다. 그리고 Section2의 상류부 방향에 위치하는 RSE들을 Section1으로 설정하고, 하류부 방향에 위치하는 RSE들을 Section3로 설정하였다. 각 Section내에 위치하는 RSE 별로 영향권 내 주행차량들의 속도자료를 이용하여 구간통행시간을 산출하고 이를 돌발상황의 영향권(Section)별로 합산하여 구간전체의 통행시간을 산출하였다.

(t)시간대와 (t+Time Window)시간대에서 수집하는 개별차량의 속도자료 추출범위를 <그림 3>에 나타내었다. RSE의 영향권 내에 위치한 차량들만을 정보수집 대상으로 설정한 본 연구에서는 개별차량의 주행자료를 추출하는 범위에 음영지역의 주행정보가 포함되며 정보 추출 시 각 차량이 위치에 따라 정보수집범위가 달라진다. 그러므로 RSE의 통신반경이 일정한 상태에서 도로에 설치되는 RSE의 간격이 넓을수록 RSE 통신반경 외

의 지역도 넓어지게 된다. 이를 음영지역이라 하며 차량과 RSE의 무선통신이 불가능하므로 개별차량의 교통자료를 수집할 수 없는 구간이 발생한다. 개별차량이 음영지역에서 수집한 자료를 정보생성 시에 이용하기 위해 <그림 1>과 <그림 3>에서와 같이 차량이 RSE의 영향권을 통과하면서 인접 RSE에 자료를 전송하고 음영지역에서 수집한 교통자료는 다음 RSE의 영향권에 진입할 때 RSE에게 전달하는 방법을 적용하였다.

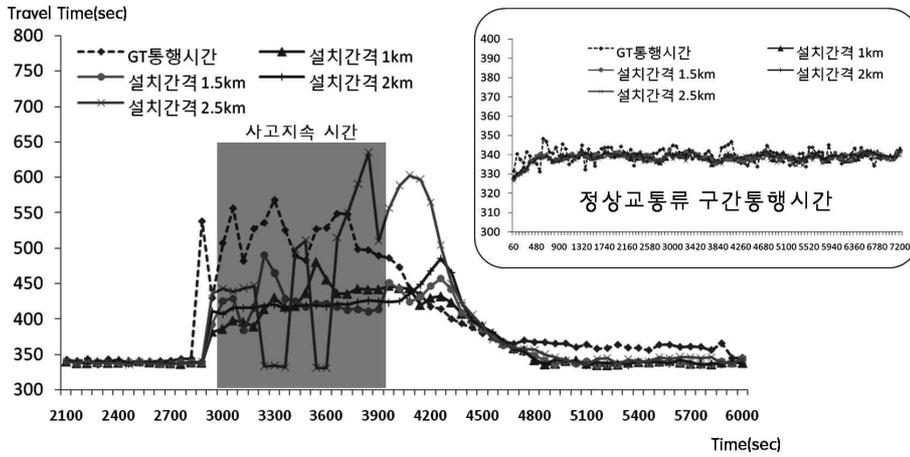
Time Window 값은 30초, 60초, 180초로 설정하여 정상교통류와 혼잡교통류에 각각 적용하여 구간통행시간을 산출하였다. 그리고 설정된 Time Window마다 추정된 구간통행시간을 평가할 실제구간통행시간 개념의 GT통행시간(GTTT: Ground Truth Travel Time)을 산출하였다. GT통행시간은 Time Window의 마지막 시점에서 분석대상구간 시작점에 진입하는 차량들의 실제 주행궤적을 이용하여 분석대상구간 전체를 통과하는데 소요되는 시간을 산출하였다. 교통류 시뮬레이션 상에서는 개별차량의 기준점간 주행궤적 자료를 수집할 수 있으므로 시종점에서의 통과시간을 이용하여 GT통행시간을 산출하였다. 산출된 구간통행시간의 평가시점은 GT통행시간 산출에 사용된 차량들의 구간 진입시점이 되며, 구간의 교통상황정보를 후행차량에게 신속하게 제공하여 구간통행시간 정보제공 시 실시간성 확보에 기여할 수 있을 것으로 판단된다. RSE의 설치간격은 1km에서 2.5km까지의 간격을 적용하였으며 길이가 7.42km인 분석대상구간에서 RSE들을 1km간격으로 설치할 경우 설치되는 RSE의 갯수는 7개이며, 2.5km간격으로 설치할 경우 3개의 RSE설치가 가능하다.

3. 구간통행시간 산출 결과

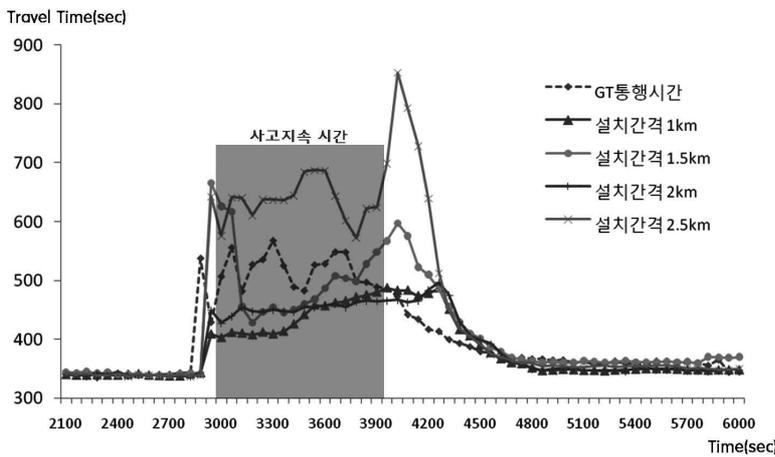
교통상황 및 구간정보 산출방법별로 산출된 구간통행시간을 GT통행시간과 비교하여 MAPE를 산출하였다. 구간통행시간 산출 알고리즘에 사용된 주요 Parameter값을 <표 2>에 제시하였다. <표 2>에 제시된 주요 변수값을 변화시키면서 구간통행시간을 산출하고 RSE 설치간격에 따른

<표 2> 구간통행시간 산출 알고리즘의 주요 Parameter

RSE 설치간격	1km, 1.5km, 2km, 2.5km
Time Window	30초, 1분, 3분
MPR	5%, 10%, 20%, 30%, 50%
RSE 통신반경	500m



(a) Method 1을 이용하여 산출된 구간통행시간 (MPR : 30%, Time window : 60초)



(b) Method 2를 이용하여 산출된 구간통행시간 (MPR : 30%, Time window : 60초)

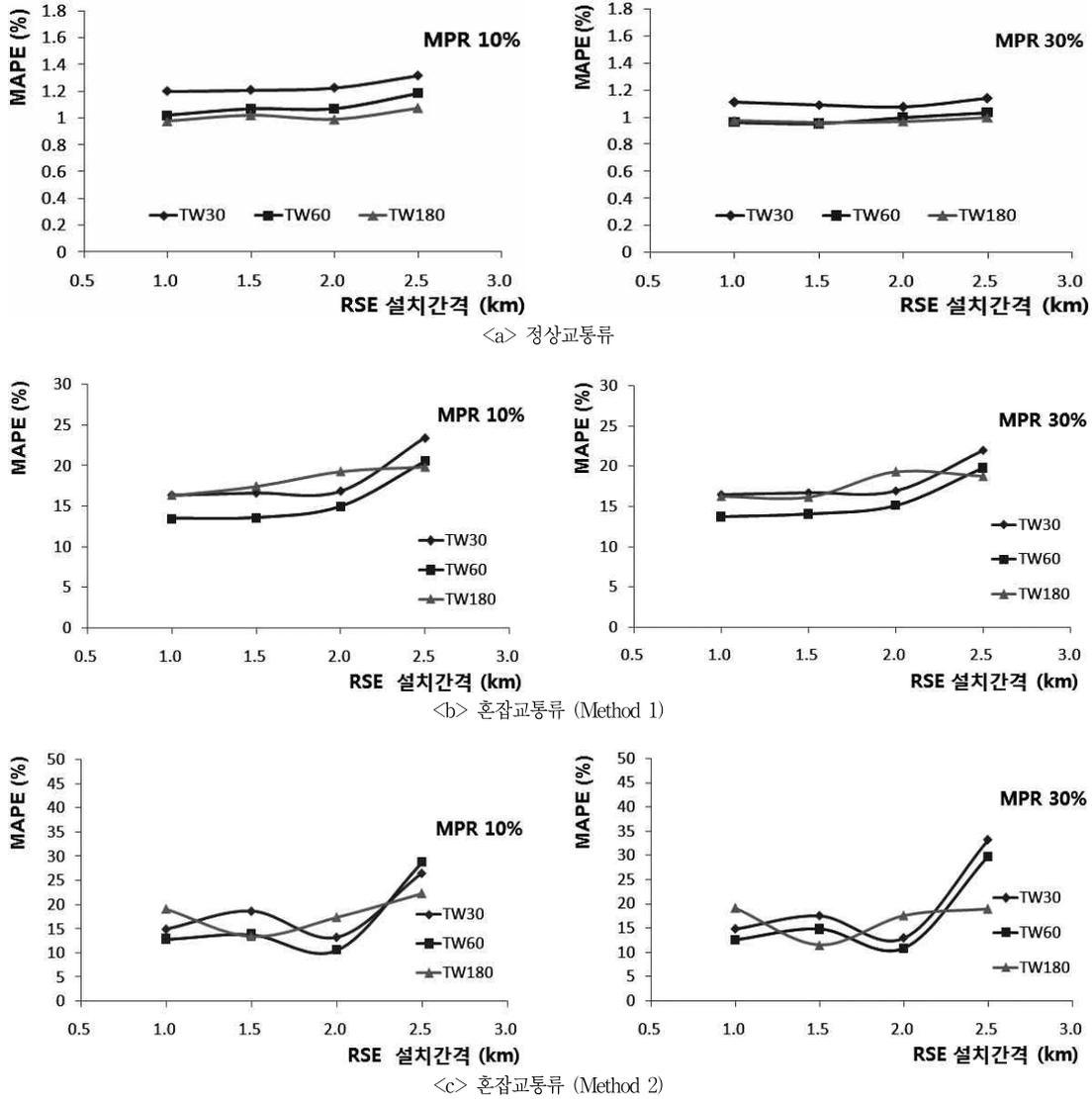
<그림 5> 혼잡교통류에서의 RSE 설치간격에 따른 구간통행시간 산출 예

구간통행시간의 변화를 <그림 5>에 제시하였다. <그림 5-a>에는 구간통행시간 산출방법 [I](Method 1)을 이용하여 정상 및 혼잡교통류의 교통상황에서 산출된 구간통행시간을 제시하였으며, <그림 5-b>에는 구간통행시간 산출방법 [II](Method 2)를 이용하여 혼잡상황 발생 시 RSE설치간격에 따른 구간통행시간 산출결과를 제시하였다. 산출된 구간통행시간을 실제 구간통행시간인 GT통행시간과 비교하여 MAPE를 산출하고 MPR이 10%, 30%일 때를 예로 <그림 6>에 제시하였다.

정상교통류 상황에서 산출된 구간통행시간의 정확도는 Time window가 30초이며, RSE의 설치간격이 2km, MPR이 50%일 때 가장 높았다. Time window가 60초와 180초일 경우, RSE의 설치간격이 1.5km, MPR이

50%일 때 산출된 구간통행시간의 정확도가 가장 높았다. 그리고 RSE의 설치간격이 넓어질수록 산출되는 구간정보의 정확도가 낮아지는 경향을 보였다. 정상교통류에서 MPR, Time Window, RSE 설치간격에 따라 구간통행시간의 정확도를 나타내는 MAPE값은 0.9%~1.5% 범위의 값을 가지며 서로 근소한 차이를 보였다.

혼잡교통상황에서 산출된 구간통행시간의 정확도는 전체적으로 정상교통류 상황에서 산출한 구간통행시간의 정확도보다 떨어지는 결과를 보였다. 전체 분석시간에서 교통사고로 인한 혼잡상황에서 산출되는 구간통행시간의 정확도만을 분석하기 위해 사고발생 시간대인 3000초~3900초에서 전후 10분의 자료인 2700초에서 4200초에 해당하는 자료로 MAPE를 산출하였다. 구간통행시

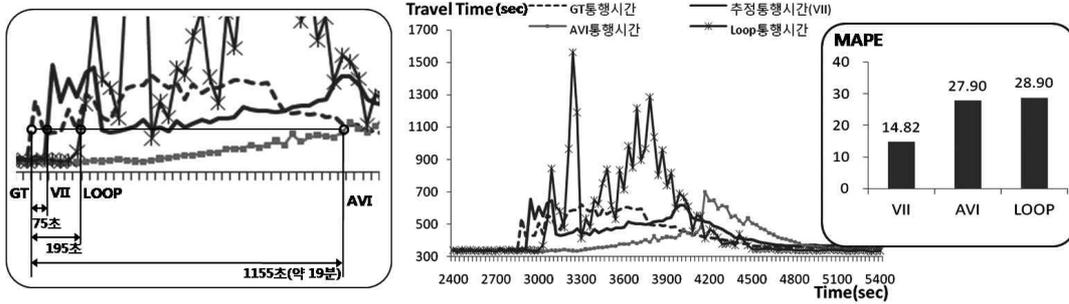


<그림 6> RSE 설치간격 및 Time Window값에 따른 구간통행시간 MAPE (예 : MPR : 10%, 30%)

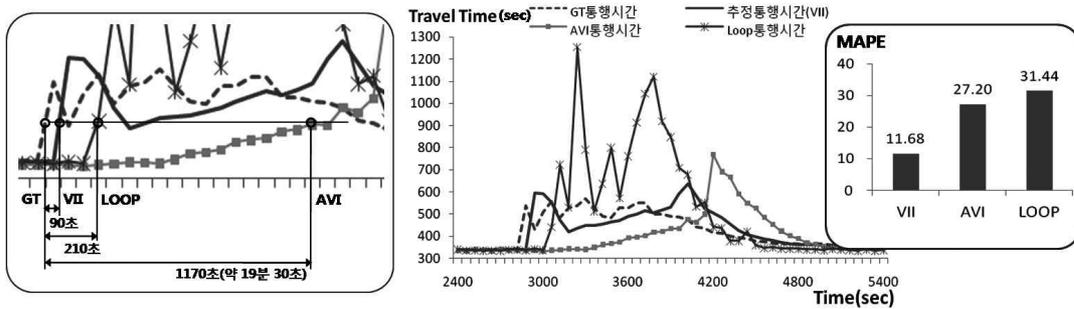
간 산출방법 [I](Method 1)을 이용한 구간정보 산출결과에서는 전체 분석시간을 대상으로 5%~8%의 MAPE 값이 산출되었으며, 사고발생 전후 10분간에는 13%~24%의 MAPE값이 산출되었다. 구간통행시간 산출방법 [II](Method 2)를 이용한 구간정보 산출결과에서는 전체 분석시간을 대상으로 4%~12%의 MAPE값이 산출되었으며, 사고발생 전후 10분간에는 10%~33%의 MAPE값이 산출되었다. 혼잡상황 시 구간통행시간 산출방법간의 정확도를 비교할 경우 RSE의 설치간격이 1km에서 2km까지는 Method2의 정확도가 Method1

보다 높은 결과를 보였으나, RSE의 설치간격이 2.5km 이상일 경우 Method2를 이용하여 산출된 구간정보의 정확도가 급격히 떨어지는 결과가 산출되었다.

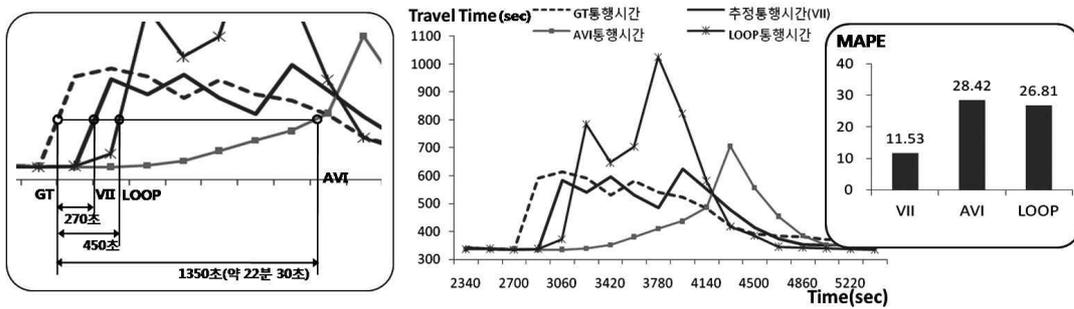
정상 및 혼잡상황에서 MPR에 따른 구간통행시간의 정확도 변화가 미비한 것을 볼 수 있다. 전체적으로 MPR값이 높아질수록 MAPE는 감소하는 경향을 보이거나 MPR값에 따라 MAPE값이 큰 변동을 보이지 않았다. 이는 구간정보생성 시 필요한 정보수집 및 통신가능 차량이 전체차량에서 10%이상 존재할 경우 생성되는 구간정보의 정확도는 크게 차이가 없다는 것으로 판단된다.



(a) TW30sec-MPR30%-Method2-1500m



(b) TW60sec-MPR10%-Method2-1500m



(c) TW180sec-MPR10%-Method2-1500m

<그림 7> 돌발상황 시 교통자료수집체계에 따른 구간통행시간의 변화 (Time Window-MPR-Method-RSE설치간격)

4. 제안된 구간통행시간 산출방법론과 시간처짐

본 연구에서 제시한 구간통행시간 산출·제공방법론은 RSE에서 수집한 개별차량의 주행속도자료를 이용하여 구간통행시간을 산출하고 이를 차량-인프라간의 무선 통신을 이용하여 구간에 진입하는 차량에게 제공한다. VII기반 교통정보시스템에서는 생성한 교통정보를 무선 통신으로 신속히 제공하므로 돌발상황 발생 시 다른 검지기기를 이용한 돌발상황 검지 및 구간통행시간 산출방법론 보다 높은 정확도와 실시간성을 확보할 수 있을 것

으로 판단된다. 본 연구에서 추정된 구간통행시간과 AVI(Automated Vehicle Identification)를 이용하여 산출한 구간통행시간, Loop검지기기를 이용하여 산출한 구간통행시간을 비교하여 <그림 7>에 제시하였다. 전체 분석시간에서 돌발상황으로 인한 혼잡상황에서 산출되는 구간통행시간의 정확도를 비교하기 위해 돌발상황 발생 전 5분 자료, 돌발상황 지속시간 동안의 자료, 돌발상황 종료 후 15분의 자료만을 이용하여 MAPE를 산출하고 <그림 7>에 제시하였다. AVI통행시간은 개별차량의 ID를 이용하여 구간을 통과하는데 소요되는 시간을

산출하였으며, Loop검지기에서 수집되는 교통량 및 속도자료를 이용하여 교통량 가중 조화평균속도를 산출하여 구간통행시간을 산출하였다.

분석대상구간 내에서 돌발상황이 발생한 경우 차로폐쇄 및 병목현상에 의해 교통류는 혼잡상태가 되고 구간의 통행시간은 증가하게 된다. 본 연구에서 제시한 방법론으로 추정된 구간통행시간과 AVI 및 Loop검지기를 이용하여 산출한 구간통행시간이 돌발상황 발생 시에 증가하는 그래프를 <그림 7>에 제시하였다. 실제 구간통행시간인 GT통행시간이 증가할 때 본 연구에서 제시한 방법론으로 산출한 추정통행시간이 빠르게 GT통행시간의 증가패턴을 추적하는 것으로 나타났다. GT통행시간이 증가할 때 이를 추적하는 증가패턴은 교통자료 수집체계별로 차이가 있었으며, AVI를 이용한 통행시간이 가장 느리게 GT통행시간의 증가패턴을 추적하였다. VII를 이용하여 추정된 구간통행시간은 11%~14%의 MAPE값을 가지며, AVI와 Loop검지기를 이용한 구간통행시간의 MAPE는 26%~31%의 값을 보였다.

교통자료 수집체계별로 생성되는 교통정보의 시간차점 정도를 <그림 7>과 같이 개략적으로 비교하였다. 돌발상황의 시작으로 GT통행시간의 증가패턴이 발생할 때 최저점과 최고점의 평균값을 기준으로 설정하고 교통자료수집체계 별로 산출되는 구간통행시간이 설정된 기준에 도달하는데 소요되는 시간을 측정하였다. VII를 이용한 방법론은 75초에서 270초, Loop검지기를 이용한 방법론은 195초~450초, AVI를 이용한 구간통행시간 산출방법론은 19분~23분의 시간이 소요되었다. 교통정보가 생성되고 제공되는 데 소요되는 시간은 집계간격과 제공간격의 설정과 깊은 관련이 있으며, 본 연구 결과에서도 Time Window값에 따라 소요시간이 다르게 산출되었다.

## VI. RSE 적정 설치간격의 도출

### 1. RSE의 적정 설치간격

RSE의 설치간격별로 산출되는 구간통행시간의 정확도를 비교하기 위해 <그림 6>과 같이 구간통행시간의 MAPE를 그래프로 나타내었다. 정상교통류에서의 MAPE는 0.9%에서 1.5%사이의 값을 보이며 RSE설치간격, MPR, Time window값에 따라 큰 차이가 없는 것으로 판단되나, <그림 6-b>에서와 같이 혼잡교통류에서 Method1을 이용

한 구간정보 생성 시에는 MAPE가 13%~24%의 값을 가지고, <그림 6-c>와 같이 혼잡교통류에서 Method2를 이용한 구간정보 생성 시에는 MAPE가 10%~33%의 값이 산출되었다. 정상교통류일 때에는 RSE의 설치간격이 교통정보의 정확도에 미치는 영향이 미미하나 혼잡교통류 상황에서 RSE의 설치간격이 2.5km이상일 경우 생성되는 구간정보의 정확도가 감소되는 것을 볼 수 있다.

혼잡교통류에서 RSE의 설치간격에 따른 구간정보 정확도의 이질성을 통계적으로 분석하기 위해 RSE 설치간격을 기준으로 ANOVA Test(분산분석)를 수행하였다. 귀무가설은 RSE의 설치간격별로 산출되는 구간정보의 정확도에 차이가 없다는 것으로 설정하고 대립가설은 RSE의 설치간격에 따라 생성되는 구간정보의 정확도에 유의미한 차이가 있다는 것으로 다음과 같이 설정하였다.

$$H_0 : \mu_{1.0km}^{MAPE} = \mu_{1.5km}^{MAPE} = \mu_{2.0km}^{MAPE} = \mu_{2.5km}^{MAPE}$$

$$H_1 : \mu_{1.0km}^{MAPE} \neq \mu_{1.5km}^{MAPE} \neq \mu_{2.0km}^{MAPE} \neq \mu_{2.5km}^{MAPE}$$

정상교통류 상황에서 구간통행시간 정확도의 ANOVA Test결과 예를 <표 3>에 제시하였다. MPR이 10%일 경우 RSE 설치간격에 따른 분산분석 결과, 유의확률(0.584)이 유의수준인 0.05보다 크므로 귀무가설이 유의한 것으로 판단되며 RSE 설치간격별 그룹이 모두 동일집단군으로 분류되어 정상교통류에서는 구간통행시간 산출 시 RSE 설치간격은 큰 영향이 없는 것으로 분석되었다.

혼잡상황에서 구간통행시간 정확도의 ANOVA Test

<표 3> 정상교통류 시 설치간격에 따른 구간 통행시간 정확도의 분산분석 결과 예 (MPR 10%)

· 분산분석

	계포합	자유도	평균제곱	F	유의확률
집단-간	0.027	3	0.009	0.689	0.584
집단-내	0.105	8	0.013		
합계	0.132	11			

· 동일집단군

분석방법	GROUP	유의수준=0.05에 대한 부집단
		Group 1
Duncan	1(1km)	1.068
	2(1.5km)	1.097
	3(2km)	1.102
	4(2.5km)	1.195
	유의확률	0.237

결과 예를 <표 4>에 제시하였다. MPR이 10%일 경우 RSE 설치간격에 따른 분산분석 결과, 유의확률(Method 1 : 0.022, Method 2 : 0.006)이 유의수준보다 작아 RSE 설치간격별로 산출되는 구간정보의 정확도가 통계적으로 다른 것으로 판단되며, 동일집단군 분류는 RSE

설치간격이 1km, 1.5km, 2km인 Group 1과 2.5km인 Group 2가 형성되었다. ANOVA Test결과, 설치간격을 최대한 하면서 적정 수준의 정확도를 확보하기 위한 RSE의 설치간격은 <그림 8>과 같이 2km가 적절하다고 판단 된다.

<표 4> 혼잡상황 시 설치간격에 따른 구간 통행시간 정확도의 분산분석 결과 예 (MPR 10%)

- 구간통행시간 산출방법[I] (Method 1)
- 분산분석

	제공합	자유도	평균제공	F	유의확률
집단-간	64.089	3	21.363	5.667	0.022
집단-내	30.156	8	3.769		
합계	94.245	11			

- 동일집단군

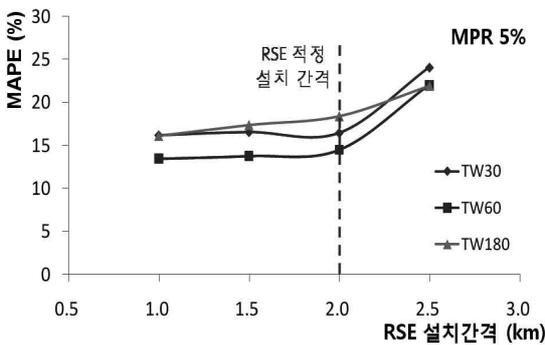
분석방법	GROUP	유의수준=0.05에 대한 부집단	
		Group 1	Group 2
Duncan	1(1km)	15.417	
	2(1.5km)	15.913	
	3(2km)	17.058	
	4(2.5km)		21.286
	유의확률	0.350	1.000

- 구간통행시간 산출방법[II] (Method 2)
- 분산분석

	제공합	자유도	평균제공	F	유의확률
집단-간	277.245	3	92.415	9.028	0.006
집단-내	81.889	8	10.236		
합계	359.134	11			

- 동일집단군

분석방법	GROUP	유의수준=0.05에 대한 부집단	
		Group 1	Group 2
Duncan	1(1km)	15.646	
	2(1.5km)	15.324	
	3(2km)	13.780	
	4(2.5km)		25.897
	유의확률	0.513	1

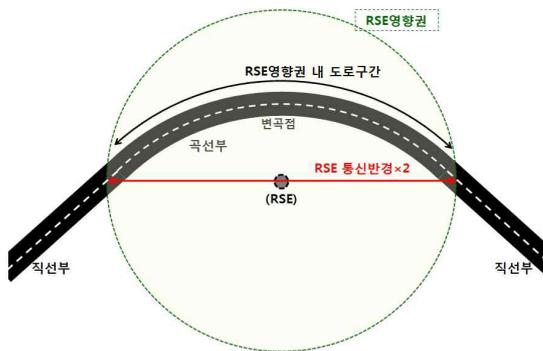


<그림 8> 구간정보의 정확도 평가를 통한 RSE 적정설치간격의 도출

## 2. RSE 설치 시 고려사항

본 연구의 결과에서는 생성된 교통정보의 정확도를 확보하면서 RSE를 최대한 설치할 수 있는 간격이 2km로 도출되었다. 이는 교통량 및 속도 등의 교통상황, RSE 및 차량의 통신반경, 장비장착비율인 MPR값에 따라 달라질 수 있으나 RSE의 적정설치간격을 도출하는 방법론을 제시하는 데 의의가 있다. 본 논문의 결과는 분석대상구간에 유출입로가 없고 거의 직선일 경우에 한해 도출된 결과이며 향후 도로기하구조가 곡선일 경우 또는 유출입이 있는 경우에 대한 RSE의 적정설치간격 도출방법론 연구가 수행되어야 할 것이다. 이에 대해 곡선이나 유출입로 부근에 RSE를 설치할 때 고려사항을 <그림 9>와 함께 제시하였다.

- RSE의 변곡점 설치(1) : 평면곡선반경이 작아 차량이 급격히 회전하는 기하구조일 경우 RSE는 도로의 변곡점 부근에 설치되어야 할 것이다. RSE를 변곡점 부근에 설치하여 개별차량 주행체적의 수집 및 제한속도 정보를 제공할 수 있으며, 시거확보가 어려운 산악지역의 급커브 곡선부에서 안전한 진입속도 정보와 대향차량 진입정보 등을 제공할 수 있다. 이와 같이 RSE가 곡선부 변곡점에 설치될 경우 운영적 측면과 안전적인 측면을 고려한 다양한 교통정보의



<그림 9> 곡선부에서의 RSE설치

제공이 가능하다. 그리고 곡선부에서 발생할 수 있는 교통사고를 포함한 돌발상황을 차량-인프라간의 무선통신으로 신속히 검지하고 이를 교통관리센터로 보고할 수 있다.

- RSE의 변곡점 설치(2) : 도로의 평면선형이 직선일 경우 RSE 영향권에 포함되는 도로의 길이는 RSE의 통신반경과 동일하다. 그러나 도로의 평면선형이 곡선일 경우에는 직선일 때보다 RSE 영향권에 포함되는 도로의 길이가 길어진다. 곡선부에서 RSE의 통신반경이 1km라면 RSE 영향권에 포함되는 도로의 길이는 1km 이상이 되며 도로의 평면곡선반경이 작을수록 영향권의 길이와 통신반경의 차이는 커진다. RSE의 통신반경 내에 들어가는 도로의 길이가 길어질수록 보다 긴 구간에서 교통자료 수집이 가능하다.
- RSE의 변곡점 설치(3) : 직선부에서는 RSE가 도로변에 가까이 위치할수록 통신반경과 영향권의 차이가 가장 작다. 그러나 곡선부에서는 RSE와 도로의 이격거리에 따라 통신반경과 RSE 영향권의 차이가 달라진다. RSE의 통신반경이 일정할 때 가장 넓은 도로면적을 영향권으로 포함하기 위해서는 평면곡선부의 곡선반경 크기에 따라 RSE와 도로간의 이격거리가 달라져야 한다. 개략적인 도형으로 분석해보면 <그림 9>와 같이 RSE의 통신반경이 정방원이라 가정할 때 곡선부 도로와 통신반경의 두 접점을 잇는 직선이 통신반경의 지름과 일치할 때 가장 넓은 면적의 도로가 RSE의 통신반경 내에 들어간다.
- RSE의 진출입부 설치 : 연속류의 진출입부에서 차량-인프라간의 무선통신으로 합류 및 분류지원정보, 우회정보, 경로정보 등의 교통정보를 제공하기 위해 진출입부에 RSE가 1개 이상 설치되는 것이 바람직하다고 판단된다. 진출입부에 RSE를 설치하여 진출 및 진입하는 차량과 본선을 주행하는 차량간의 상충을 최소화하기 위해 진출입 지원 정보를 차량에게 제공할 수 있다. 진출입 지원시스템은 진출입 차량이 필히 수행해야하는 차로변경 정보를 제공하며 본선을 주행하는 차량의 차두시간과 속도자료를 수집하여 진입차량에게는 본선진입 속도와 차로변경 진행시점 정보를 제공하고 본선주행 차량에게는 감속 및 가속지시정보를 제공할 수 있다. 또한, 진출입부에서 발생하는 돌발상황을 신속히 검지할 수 있어 사후처리를 신속히 하고 혼잡상황에 따른 우회도로 정보 제공도 가능하다.

본 연구에서는 VII기반 교통정보시스템 구성요소인 RSE의 적정 설치간격을 도출하는데 교통정보의 정확도를 기준으로 적용하였다. 무선통신환경에서는 지형, 도로기하구조, 통신반경, 통신용량 등의 통신환경 변수들이 정보의 송수신 성공에 큰 영향을 미치므로 향후 이에 대한 고려와 함께 RSE의 설치간격이 도출되어야 할 것이다. 또한 RSE는 경고정보, 기상정보, 도로정보 등의 다양한 교통 및 도로환경과 관련된 정보를 차량에게 제공하는 역할도 수행해야 하므로 이와 같은 기능과 역할을 고려하여 RSE가 설치되어야 할 것이다.

## VII. 결론

본 연구에서는 미시적 교통 시뮬레이터인 VISSIM을 이용하여 개별차량의 주행궤적을 수집하고 RSE의 영향권 내에 위치하는 개별차량의 주행자료를 이용하여 구간정보를 산출하는 방법론을 제시하였다. 몬테카를로 시뮬레이션 기법으로 MPR(Market Penetration Rate)을 반영하고 RSE 영향권 내 차량들을 대상으로 속도자료를 추출하여 구간통행시간을 산출하였다. RSE의 설치간격, MPR, Time Window값을 변화시키면서 구간통행시간을 산출하고, 실제 주행궤적자료를 이용하여 산출한 GT통행시간과 비교하여 MAPE를 산출하였다. 주요 Parameter별로 산출된 구간통행시간의 MAPE를 ANOVA Test를 통해 통계적으로 비교하여 RSE 적정설치간격을 도출하였다. RSE 적정설치간격은 RSE를 분석대상구간에 최대간격으로 배치하면서 구간정보 산출 시 적정수준의 정확도를 확보하도록 하였다.

본 논문에 제시된 구간정보 산출·제공 방법론을 다른 교통자료수집체계를 이용한 구간정보 산출방법론과 비교하여 돌발상황 발생 시 시간차점 현상에 대한 대응 결과를 비교하였다. 또한 자료수집구간이 직선부가 아닌 곡선부, 유출입부 일 경우 RSE 설치 시 고려사항을 제시하였다.

본 연구의 한계점을 보완하고 구간의 정보생성 시 더 높은 신뢰도와 실시간성을 확보하기 위해 다음과 같은 향후연구가 필요하다.

첫째, 본 연구에서는 RSE의 통신반경을 고정값으로 설정하고 RSE의 영향권 내의 차량들의 속도자료를 평균하여 구간통행시간을 산출하였다. 구간정보의 산출 시 다양한 산출방법론과 통신반경 값을 적용하여 정확도를 분석하고 신뢰성 있는 정보를 산출하기 위한 RSE 통신

반경 값과, 산출방법론을 개발하는 연구가 필요하다. 또한, 전체차량에서 차량단말기를 탑재한 차량의 비율인 MPR을 몬테카를로 시뮬레이션 기법을 이용하여 적용하였으나 제시한 방법론의 현장적용성 평가 시에는 현재 차량들에 탑재된 Navigator와 같은 단말기의 탑재율을 참고하여 보다 현실적인 값의 MPR을 분석에 반영시켜야 할 것이다.

둘째, 시뮬레이션 자료가 아닌 실제 Probe차량이 도로를 주행하여 수집한 GPS자료를 이용하여 구간정보생성 알고리즘의 가용성을 분석하고 구간정보 생성 시의 중요 Parameter들이 실제 도로환경에서의 분석을 통해 보정하는 과정이 필요하다. 그리고 본 연구의 분석대상 구간이 연속류이며 차량의 진출입이 없는 구간이므로 향후 차량-인프라간 통신을 이용하여 높은 정확도의 교통정보를 생성하기 위해서는 진출입부, 합류부, 급커브 선형 등 도로기하구조 및 현장조건을 적절히 반영할 수 있도록 방법론을 보완해야 할 것이다.

셋째, 본 연구의 교통정보 생성방법론은 예측적 통행시간 산출기법으로 구간을 진입하는 차량에게 현재 구간 내의 차량들의 주행정보를 이용하여 산출한 교통정보를 제공하는 방법이다. 이는 차량-인프라간 통신을 이용하여 신속한 정보제공이 가능하여 기존의 방법론에 비해 시간차집 현상을 완화시킬 수 있을 것으로 판단되며, 실제 현장에서 정상교통류, 혼잡교통류 등의 다양한 교통상황 하에서의 현장적용성 평가과정이 수행되어야 할 것이다.

넷째, 본 연구에서는 제시한 방법론을 평가하기 위해 정상교통류와 혼잡교통류에서 수집한 자료를 이용하여 분석을 수행하였다. 혼잡요인과 교통사고 발생위치, 사고의 심각도, 혼잡도에 따라 차량의 주행패턴 및 정체 생성/소멸 과정이 다양하게 나타날 수 있다. 따라서 향후 다양한 혼잡교통류에 대한 시나리오를 구축하여 방법론을 평가하는 과정이 수행되어야 할 것이다. 또한, 혼잡상황 발생의 원인이 되는 돌발상황 또는 교통사고가 발생하였을 때 이를 신속히 감지하는 알고리즘에 대한 연구가 필요하다. 혼잡상황의 신속한 감지는 이용자에게 제공하는 교통정보의 실시간성과 밀접한 관련이 있으므로 이에 대한 충분한 고려가 요구된다.

다섯째, 유비쿼터스 환경에서는 교통정보시스템을 구성하는 각 구성요소 간에 양방향 무선통신이 가능하므로 본 연구에서 제시한 차량-RSE간 통신뿐만 아니라 차량-차량간 통신, RSE-RSE간 통신이 가능한 상황에서 구

간정보를 생성하여 이를 평가하는 연구가 필요하다. 본 연구에서 제시한 구간정보 생성 방법론에 차량-차량간 통신을 이용한 정보수집 방법론을 반영한다면 더 높은 정확도와 실시간성이 확보된 정보생성이 가능할 것으로 기대된다.

본 연구는 제시한 유비쿼터스 환경기반의 교통정보시스템에서 생성되는 교통정보의 정확도를 이용하여 교통정보시스템의 구성요소 중 하나인 RSE의 적정설치간격을 도출하고 이를 평가하는 방법론을 제시한 것에 의의가 있으며, 현장에서 수집된 개별차량의 주행자료와 유비쿼터스 환경에서의 통신실험 결과를 이용하여 기존의 교통정보생성 시스템의 한계점을 극복하고 보다 정확하고 실시간성이 확보된 구간정보 산출방법론을 개발할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 한국교통연구원(2008), “u-Transportation 자료 수집통합기술 개발”, 국토해양부 교통체계효율화사업 u-Transportation 기반기술 개발 제2차년도 최종보고서.
2. 홍승표 · 오철 · 김원규 · 김현미 · 김태형(2008), “V2V기반 교통정보수집체계 설계 및 요구사항분석”, 대한교통학회지, 제26권, 제4호, 대한교통학회, pp.251~264.
3. 김성현 · 임강원 · 이영인(2006), “일반국도 통행시간 추정을 위한 동질구간 기반 지점검지기 배치에 관한 연구”, 대한교통학회지, 제24권, 제1호, 대한교통학회, pp.73~84.
4. 김재진 · 노정현 · 박동주 · 남궁성(2007), “출발시간 기준 링크통행시간 정보의 공간적 설계 (연속류를 중심으로)”, 대한교통학회지, 제25권, 제2호, 대한교통학회, pp.145~155.
5. Antoine Hobeika et al.(2004), “Estimation of Travel Times on Urban Freeways Under Incident Conditions”, Journal of the Transportation Research Board, No.1867, National Research Council, Washington D.C. pp.97~106.
6. Brian L. Smith et al.(2004), “Travel Time Estimation for Urban Freeway Performance Measurement: Understanding and Improving

- Upon the Extrapolation Method”, 83th Transportation Research Board Annual Meeting.
7. Cesar A. Quiroga and Darcy Bullock, “Travel time studies with global positioning and geographic information systems: an integrated methodology”, Transportation research part C, Vol 6., No 1/2, pp.101~127.
  8. Hema Tanikella, Brian L. Smith, Guimin Zhang, Byungkyu Park, William T. Scherer (2007), “Simulating VII-enabled operations application traffic monitoring case study” In Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board, No. 2000, TRB, National Research Council, Washington D.C..
  9. Hyoungsoo Kim(2007), “A Simulation Framework for Traffic Information Dissemination in Ubiquitous Vehicular Ad-hoc Networks”, in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, Dissertation submitted to the Faculty of the Graduate School of the University of Maryland.
  10. Jyoung Lee, Byungkyu Park(2008), “Evaluation of Vehicle Infrastructure Integration (VII) Based Route Guidance Strategies under Incident Conditions”, In Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board, No. 2086, TRB, National Research Council, Washington D.C..
  11. Margaret Zirker, Sean Peirce, Jane Lappin, Michael Baltes, Yehuda Gross(2008), “Vehicle-Infrastructure Integration: Applications for Public Transit”, TRB 87th Annual Meeting, TRB, National Research Council, Washington D.C..
  12. Meng Li, Zhi-jun Zou, Fanping Bu, Wei-bin Zhang (2008), “Application of Vehicle-Infrastructure Integration (VII) Data on Real-Time Arterial Performance Measurements”, TRB 87th Annual Meeting, TRB, National Research Council, Washington D.C..
  13. Mohammad (Ashkan) Sharafsaleh, Joel VanderWerf, James A. Misener, Steven E. Shladover(2008), “Implementing Vehicle-Infrastructure Integration: Real World Challenges”, In Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board, No. 2086, TRB, National Research Council, Washington D.C..

☞ 주 작성자 : 박준형

☞ 교신저자 : 오철

☞ 논문투고일 : 2009. 3. 11

☞ 논문심사일 : 2009. 5. 27 (1차)

2009. 8. 3 (2차)

2009. 11. 3 (3차)

☞ 심사판정일 : 2009. 11. 3

☞ 반론접수기한 : 2010. 4. 30

☞ 3인 익명 심사필

☞ 1인 abstract 교정필