

# 무선통신 기반 교통정보시스템의 차내 교통정보 가공기법 개발 및 현장적용성 평가

## Methodology for Processing In-Vehicle Traffic Data in Wireless Traffic Information Systems and Experimental Evaluation

박 준 형\*      오 철\*\*      강 경 표\*\*\*      김 태 형\*\*\*\*  
(Joon-Hyeong Park)    (Cheol Oh)    (Kyeong-Pyo Kang)    (Tae-Hyeong Kim)

### 요 약

기술 및 환경적 요인으로 수집이 어려웠던 다양한 교통자료의 수집이 가능해져 보다 다양하고 유의미한 교통정보의 생성과 제공이 가능하게 되었다. 본 연구에서는 유비쿼터스 환경기반의 교통정보시스템을 구성하는 요소들의 역할을 설명하고 차내단말기에서 교통정보 생성을 위한 자료처리 프로세스를 제시하였다. 자료의 수집, 정보생성, 무선통신을 통한 송수신, 수신정보와 생성정보의 융합을 통한 저장 등의 과정으로 구성된 프로세스를 바탕으로 실제 수집한 개별차량 주행 궤적자료를 이용하여 제안된 방법론의 현장 적용성 평가를 수행하였다. 수인산업도로의 약 17km구간에서 20대의 Probe차량이 주행하며 수집한 개별차량주행궤적자료를 이용하여 구간통행시간을 산출하고 이를 평가하였다. 구간정보의 생성 및 평가는 구간 내에 존재하는 차량들의 속도자료를 이용하여 통행시간을 산출하고 이를 구간에 진입하는 차량의 실제 통행 시간과 비교하여 정확도를 평가하였다. 전체 분석대상구간을 2개, 4개의 구간으로 구분하여 분석을 수행하였으며, 전체적으로 추정된 구간통행시간의 정확도는 90%내외로 산출되었다. 또한, 유비쿼터스 환경기반 교통정보시스템이 현장에 적용될 경우 무선통신, 교통환경, 정보생성방법 측면에서 고려되어야 할 사항에 대해 서술하였다. 본 연구는 현장에서 수집한 실제자료를 이용하여 차량에 탑재된 차내단말기에서 교통정보를 생성하고 이를 평가하는 방법론과 프로세스를 제시하였다는 점에서 의의가 있으며, 향후 유비쿼터스 환경기반의 교통정보시스템의 성공적인 개발 및 현장적용을 위한 기초연구가 될 것으로 판단된다.

### Abstract

Collection of invaluable real-time traffic data becomes available under ubiquitous transportation sensor networks (UTSN). Various research efforts have been made to utilize such useful data for deriving more accurate and reliable traffic information. This study presented a novel concept of decentralized traffic information and method to process traffic data which are obtained from inter-vehicle communications under the UTSN. In addition, an experimental evaluation to investigate the feasibility of the proposed method using probe vehicle data. Predictive travel times were estimated and evaluated for the feasibility investigation. Technical issues were derived and discussed to fully implement the proposed system. The outcomes of this study would be used as a guideline in designing better next-generation traffic information systems.

**Key words:** Traffic information system, predictive travel time, probe vehicle, link travel time, experimental evaluation

† 본 연구는 국토해양부 교통체계효율화사업 2008년도 연구개발과제인 “u-Transportation 기반기술개발” 연구의 지원으로 수행되었음.

\* 주저자 : 한양대학교 교통시스템공학과 석사과정

\*\* 공저자 : 한양대학교 교통시스템공학과 교수(교신저자)

\*\*\* 공저자 : 한국교통연구원 첨단교통연구실 책임연구원

\*\*\*\* 공저자 : 한국교통연구원 첨단교통연구실 책임연구원

† 논문접수일 : 2009년 7월 2일

† 논문심사일 : 2009년 8월 5일

† 게재확정일 : 2009년 8월 7일

## I. 서 론

### 1. 연구의 배경 및 목적

통신(Communication), 측위(Positioning), 센싱(Sensing) 기술 및 컴퓨터의 자료처리 능력의 발전은 기존의 교통정보시스템에서 수집하지 못하던 다양한 교통자료의 보다 정확한 획득이 가능하도록 하였다. 다양하고 정확한 교통자료의 수집은 교통시스템을 이용하는 이용자에게 보다 유의미한 교통정보를 제공할 수 있게 할 것이며, 이에 따라 이용자의 교통시스템 내에서의 편의성이 더욱 증대될 것으로 판단된다.

본 연구에서는 무선통신 기반 교통정보시스템의 구성요소들이 자체적으로 교통정보를 수집 및 생성하여 이를 무선통신 장비를 통해 구성요소 간에 송수신하는 유비쿼터스 환경이 현장에 구축된다고 가정할 때 현장에서 수집된 정보를 이용하여 구간통행시간을 산출하고 이를 평가하는 기법을 제시하였다.

기존의 교통시스템에서는 인프라에서 수집되는 교통자료가 교통관리센터로 중앙집중화되고 센터에서 생성된 교통정보를 인프라를 통해 차량에게 제공하는 체계이다. 이와 달리 무선통신 기반 교통정보시스템에서는 차량 및 인프라가 자체적으로 교통정보를 생성하고 이를 양방향 무선통신으로 송수신할 수 있으므로 산출된 구간통행시간을 신속히 다른 이용자에게 제공할 수 있다. 차내에서 교통정보를 생성·제공·평가하는데 있어 무선통신 기반 교통정보시스템에서 구현할 때 보다 정확한 정보생성 및 평가가 가능하다.

본 연구에서는 차량이 개별적으로 교통정보의 생성이 가능하여 차내단말기에서 생성된 정보를 무선통신으로 구간에 진입하는 차량에게 제공하여 신속한 교통정보 생성 및 제공이 가능한 교통정보시스템을 제시하고 이를 위해 적용될 수 있는 자료처리 알고리즘을 제시하였다. 차량에서 자체적으로 생성된 교통정보를 차량간 무선통신으로 제공이 가능하게 되면 센터로의 교통자료 전송 및 센터에서의 교통정보 생성에 소요되는 시간이 단축되므로 보다 신속한 교통정보 제공과 돌발상황 발생 시에 보다 빠른 교

통상황 인지가 가능할 것으로 판단된다.

구간통행시간의 평가는 개별차량이 실제로 주행하며 수집한 주행계적 자료를 이용하여 구간정보를 생성하고 이를 구간에 진입하는 차량의 실제 구간통행시간(Ground Truth Travel Time)과 비교하여 정확도를 산출하였다.

## II. 기존 연구 고찰

### 1. Probe Vehicle을 이용한 통행시간 산출 관련 연구

Chen과 Chein(2000)은 Probe 차량을 이용하여 자료수집 및 교통정보 생성방법론을 제시하고 정보 생성 시 적정수준의 정확도를 확보하는데 최소로 필요한 Probe vehicle의 대수를 도출하는 연구를 수행하였다 [1]. 또한 Chen과 Chein(2001)은 정상교통류에서 Probe vehicle 자료를 이용하여 링크기반의 구간통행시간 산출방법론보다 경로기반 또는 이동상태 기반의 구간통행시간 산출방법론이 우수하다는 결론을 얻었다 [2]. Quiroga와 Bullock(1998)은 GPS와 GIS를 이용하여 자료를 수집하는 자료수집(Data collection)단계, 수집자료를 필터링하고 집계하여 구간통행시간을 산출하는 자료처리(Data reduction)단계, 산출된 정보를 표와 색깔로 맵에 표시하는 자료보고(Data reporting)단계로 구성된 알고리즘을 제시하고 이를 평가하였다. 또한 정보생성 시 Parameter가 되는 segment의 길이, 정보집계간격, 중심경향치에 대한 분석을 수행하였다 [3].

최기주와 신치현(1998)은 GPS Probe차량의 주행계적을 GIS자료에 매핑시키는 Circle X라는 기법을 적용하여 구간통행시간을 산출하는 방법론을 제시하였다 [4]. 정연식과 최기주(1999)는 GPS Probe 차량의 주행계적을 GIS에 매핑시키고 링크통행시간을 산출하였다. GPS Probe vehicle 자료와 루프 검지기 자료에 Voting technique, Fuzzy regression, Bayesian 기법을 적용하여 알고리즘을 개발하였으며, 분석 결과로 소통상황이 원활한 경우에는 자료융합 알고리즘의 효과가 적었으나, 소통상황이 원활하지 못한 경우에는 자료융합 알고리즘을 적용한 결과가 우수하게 나타

났다 [5].

김영찬과 김태용(2001)은 지점검지체계와 구간검지체계에서 수집한 자료의 합성을 통해 도시간선도로의 통행시간을 실시간으로 추정하는 모형을 제시하였다. 사용된 검지체계로는 GPS Probe차량기법, 초음파검지기, 영상검지기가 사용되었으며, 자료합성은 퍼지이론과 인공신경망 모형을 이용하였다 [6]. 심상우와 최기주(2006)는 링크를 아직 완전히 통과하지 않은 차량의 GPS자료에서 순간속도를 이용하여 차량의 이동상태를 파악하고 통행시간을 산출하는 방법을 제시하였다. 또한 단속류의 신호주기, 녹색시간, 적색시간 길이 등을 산출하여 차량이 앞으로 주행하는 동안 대기해야 할 신호주기횟수 등의 정보까지도 산출하는 방법론을 제시하였다 [7].

## 2. 차량-인프라간 연계(VII: Vehicle-Infrastructure Integration) 관련 연구

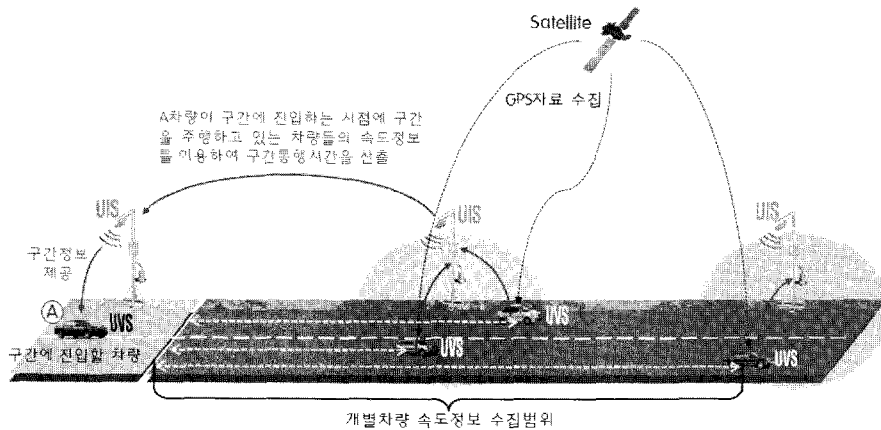
Tanikella(2007)는 차량-인프라간의 정보교환이 가능한 교통시스템에서 장비장착 차량의 비율(MPR : Market Penetration Rate)에 따른 네트워크의 모니터링 성능을 비교 및 평가하였다. 노면에 설치되어 인프라의 기능을 수행하는 RSE(Roadside Equipment)의 간격은 고정시키고 분석을 수행하였으며, 개별차량에 저장되어있는 RSE의 영향권 외의 영역에서 수집된 자료를 RSE로 전송할 경우 낮은 장비장착차량의 비율(MPR)에서도 높은 모니터링 수준을 얻을 수 있었다 [8]. Shladover(2008)는 미시적 교통류 시뮬레이터를 이용하여 수집한 VII probe 차량자료에서 샘플링한 차량들로 구간정보를 생성하고 모든 차량들의 개별 주행자료에서 참값자료로 산출하여 모형을 평가하였다. 구축된 모형을 기상조건검지, Incident 검지, 실시간 적용형 신호제어에 적용한 결과, 기상조건은 낮은 MPR에서도 잘 검지된 반면, 실시간 적용형 신호제어는 높은 MPR이 요구되었다 [9]. Zirker(2008)는 기존의 VII(Vehicle-Infra Integration)에 관련된 연구가 개인 차량 위주의 연구에 집중됨을 제기하고 대중교통 또는 준대중교통 시스템에 VII를 적용하여 여행정보 제공, 신호제어, 유고관리 등을 통해 경비절감, 운영

측면에서의 효율성 증대, 이용자의 편의 증대를 실현하는 방안에 대해 연구하였다 [10].

Li(2008)는 VII를 적용하여 구간통행시간을 MOE로 설정한 VPD(VII probe data)모형과 지점검지기 자료를 이용한 인공신경망 모형인 PBD(Point-based Detection) 모형을 MAPE로 비교하였다. 분석결과, VPD모형이 PBD모형보다 더 우수한 결과를 나타내었으며, MPR 값이 커질수록 두 모형은 더 정확한 결과를 산출하였다 [11]. Lee(2008)는 VII를 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, 경로제공전략을 적용했을 때가 전략 미적용 시보다 구간통행시간이 감소되었으며 그중에서도 평균 구간통행시간(ATG: averaged link travel time-based guidance)을 적용할 경우 가장 우수한 결과를 나타내었다 [12].

김형수(2007)는 Ad-hoc network를 이용한 차량간 무선통신시스템에서 교통정보를 생성 및 제공하는 Simulation framework를 제시하였다. 미시적 교통 시뮬레이터인 Paramics와 통신 시뮬레이션 프로그램인 Qualnet을 이용하여 차량간 무선통신시스템을 구현하는 교통정보제공 Simulation framework를 구축하고 생성된 구간교통정보로 혼잡상황을 고려한 동적통행 경로설정 방법론을 제시하였다. MPR, 전체 통신정보량, 통신에 사용된 최대 대역폭, 정보 전달속도 및 전달거리로 제시한 simulation framework를 평가하였다 [13].

본 연구에 적용된 무선통신 기반의 교통정보시스템에서 생성 및 평가하는 방법론은 기존의 방법과 비교하여 무선통신기능을 활용한다는 점에서 차별성이 있다. 무선통신기술을 이용하여 보다 신속하고 정확하게 교통정보를 생성 및 제공, 평가할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 시스템을 구성하는 인프라 또는 센터에서의 교통정보 생성이 아닌 차내에서 교통정보를 생성하고 이를 제공하는데 적용가능한 정보처리 프로세스를 제시하였다.



<그림 1> 제안된 무선통신 기반 교통정보시스템 개념도  
 <Fig. 1> The proposed wireless traffic information system

### Ⅲ. 무선통신 기반 교통정보시스템

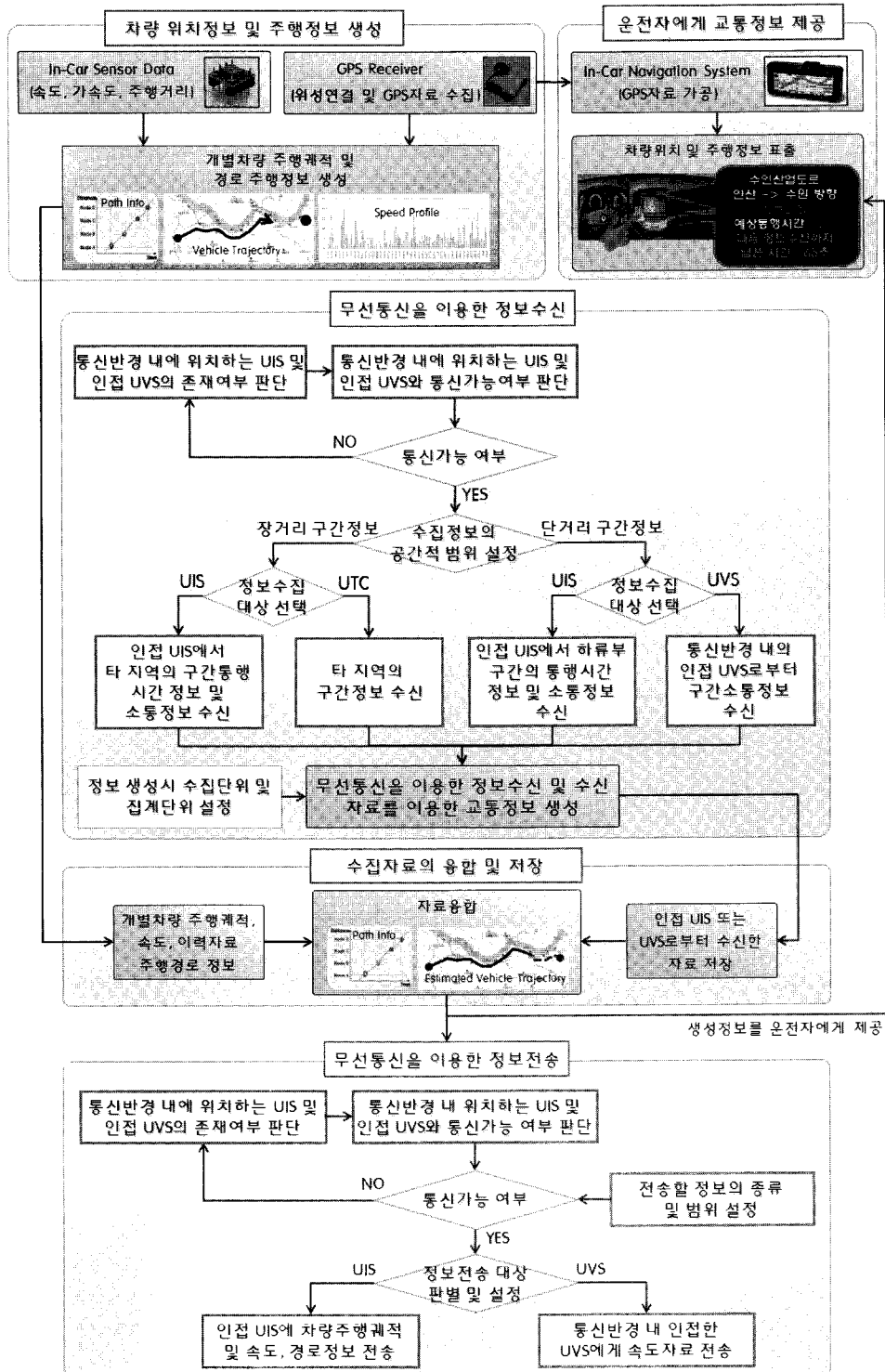
#### 1. 제안된 시스템의 구성요소

유비쿼터스 환경에서 구성요소간의 무선통신을 이용하여 구간통행시간을 산출하는 개념도를 <그림 1>에 제시하였다. 분석구간에 진입할 차량 A에게 정보를 제공하기 위해 분석구간 내에 존재하는 차량들은 주행하는 동시에 자료수집 및 정보생성 과정을 수행하며 UIS(Ubiquitous Infrastructure Sensor)는 통신반경 내에 위치하는 차량들의 주행레적 정보를 수집하여 영향권의 교통상황을 대표하는 교통정보를 생성한다. UVS(Ubiquitous Vehicle Sensor)는 차량의 주행정보가 생성 및 저장되는 차량단말기와 GPS수신기, 무선통신기기가 탑재된 차량을 의미하며, 주행을 하는 동시에 자차의 주행정보를 이용하여 교통정보를 생성하고 이를 인접한 UIS 또는 UVS에게 제공한다. UIS(Ubiquitous Infra Sensor)는 도로의 노변에 설치되어 통신반경 내의 차량들의 주행정보를 수집하고 이를 UIS의 영향권의 교통상황을 대변하는 교통정보로 재가공하여 인접한 UIS 또는 UVS에게 제공하는 역할을 한다. UTC(Ubiquitous Transportation Center)에서는 담당하는 관할지역 내의 교통관리를 담당하고 돌발상황 정보, 장거리주행정보 제공, 도로상황정보 제공 등의 역할을 수행한다. 본 논문에서 제시하는 교

통정보시스템 구성요소의 기능 및 역할에 대한 자세한 내용은 u-Transportation 기반기술개발연구의 보고서에 기술되어 있다 [14].

#### 2. 차내단말기(UVS)에서의 자료처리 프로세스

차량(UVS)에서는 차체에 탑재된 차내단말기를 이용하여 주행자료를 수집하고 교통정보를 생성한다. 또한, UVS의 통신반경 내에 존재하는 UIS, UVS와의 무선통신으로 생성한 교통정보를 송수신할 수 있다. 교통정보의 생성과 영향권 내 통신대상의 유무에 따른 자료처리 프로세스, 정보제공 과정을 <그림 2>에 제시하였다. 차량은 주행을 시작함과 동시에 속도, 가속도, 위치 등의 주행정보를 수집 및 생성하게 되고 무선통신모듈에서는 통신반경 내의 UVS, UIS를 검색하여 정보의 송수신 여부를 결정한다. 수신된 교통정보는 차내에 탑재된 차내단말기의 정보표출 모듈에 의해 화면, 음성 등으로 운전자에게 제공되고 이력자료로 저장된다. 인접차량으로부터 수신한 교통자료를 이력자료로 저장할 때는 도로의 이점 또는 시간을 기준으로 자차에서 생성한 교통정보와 비교하는 정보융합과정을 수행하여 주행구간의 교통상황을 대표할 수 있는 정보를 생성·저장한다. 또한 정보융합과정에서는 저장하는 교통정보의 정확성을 확보하기 위해 차량이 링크 내에 존재하지 않아 교



<그림 2> 차내단말기에서의 자료처리 프로세스  
 <Fig. 2> Procedure for in-vehicle data processing

통정보를 생성하지 못하였을 경우 결측정보를 차차에서 생성한 정보와 인접한 차량에서 수집한 교통정보를 이용하여 보정한다. UVS의 정보수집 시에는 수집정보의 공간적 범위가 장거리인지 단거리인지에 따라 정보수집과정이 다르게 적용된다. 즉, 운전자가 장거리 운행을 계획하여 원거리에 위치한 도착지까지의 구간정보를 요청할 경우 도착지까지의 예상주행경로 상에 위치하는 교통정보시스템의 구성요소들로부터 교통정보를 수신해야 할 것이다. 장거리 정보생성을 위해 예상 주행경로 상에 위치하는 모든 UVS, UIS와의 통신은 비효율적이므로 UTC 혹은 지역을 대표하는 UIS와의 통신으로 정보를 수집하는 것이 높은 정확도와 실시간성을 확보할 수 있을 것이다. 주행거리가 단거리일 경우에는 인접한 UIS, UVS와의 통신으로 교통정보 수신이 가능하므로 <그림 2> 하단부의 정보수집 과정에서와 같이 수집정보의 공간적 범위에 따라 정보수집과정이 달라져야 할 것이다.

#### IV. 자료수집 및 가공

##### 1. 개별차량 주행궤적 자료 수집

본 연구에서는 수인산업도로의 북고개 삼거리에서 서수원터미널까지의 왕복 약 17.3km구간을 분석대상구간으로 설정하고 20대의 Probe Vehicle이 분석대상구간을 주행하면서 개별차량주행궤적 자료를 수

집하였다. 20대의 Probe Vehicle에 차량의 측위자료를 수집할 수 있는 GPS수신기와 수신된 측위를 저장하는 자료저장장치를 설치하고 <그림 3>과 같이 개별차량의 주행궤적과 속도자료를 수집하였다. 수집된 개별차량의 주행궤적 자료는 차량ID, 위도, 경도, 속도자료로 구성되어 있다.

##### 2. 자료수집 시나리오

본 연구에서는 20대의 차량들을 분석대상구간에 1분 간격으로 진입시켜 주행하도록 하였으며, 구간에 진입이후부터는 특별한 제한없이 자유롭게 주행하도록 하였다. 자료를 수집하는 Probe 차량의 대수에 비해 분석대상구간의 길이가 길어 분석대상구간 내에 고루 분포하도록 하기 위해 1분 간격으로 차량들을 출발시켰다. 이는 차량들이 분석대상구간 내에 고르게 분포하여 분석대상구간 전체의 교통상황을 반영한 교통정보를 산출하기 위함이다.

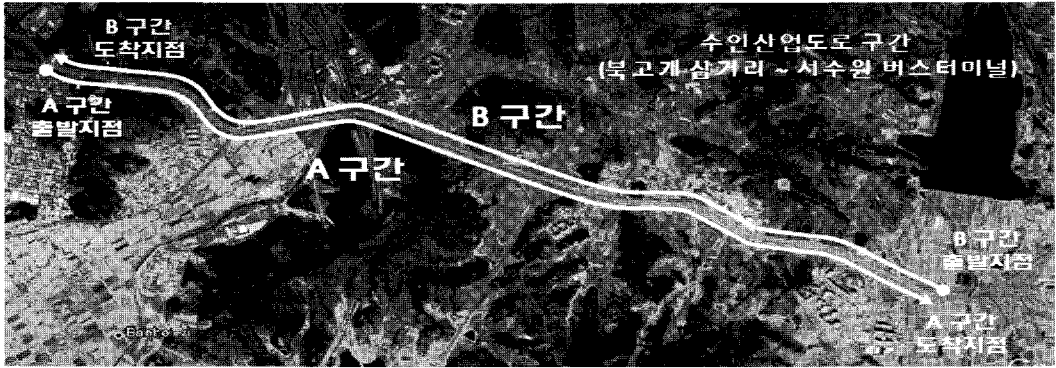
##### 3. 수집자료의 가공

본 연구에서는 구간의 길이와 수집대상차량 대수에 따른 구간정보의 정확도를 평가하기 위해 약 17.3km의 분석대상구간을 <그림 4>와 같이 A구간, B구간의 2개 구간으로 나누어 분석하고 <그림 5>와 같이 1번, 2번, 3번, 4번 구간의 4개 구간으로 나누어

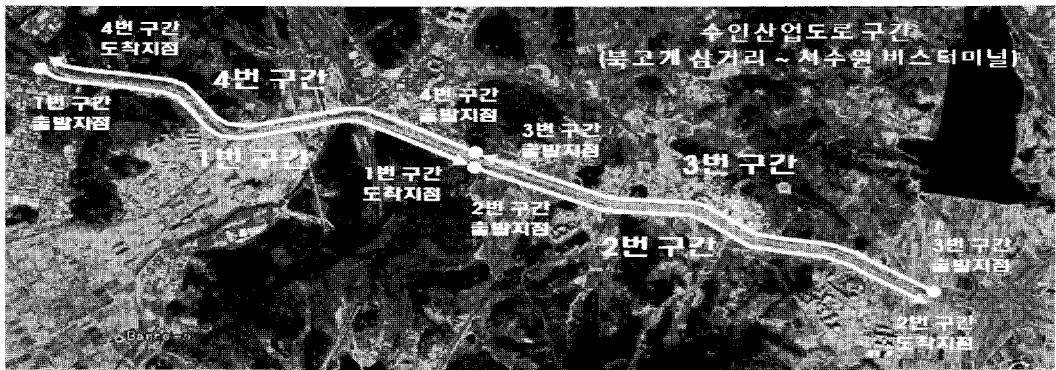


<그림 3> 개별차량 주행궤적 자료의 수집

<Fig. 3> Collection of individual vehicle trajectory data



<그림 4> A, B 분석 대상 구간  
 <Fig. 4> Analysis zone A, B



<그림 5> 1번, 2번, 3번, 4번 분석 대상 구간  
 <Fig. 5> Analysis zone 1, 2, 3, 4

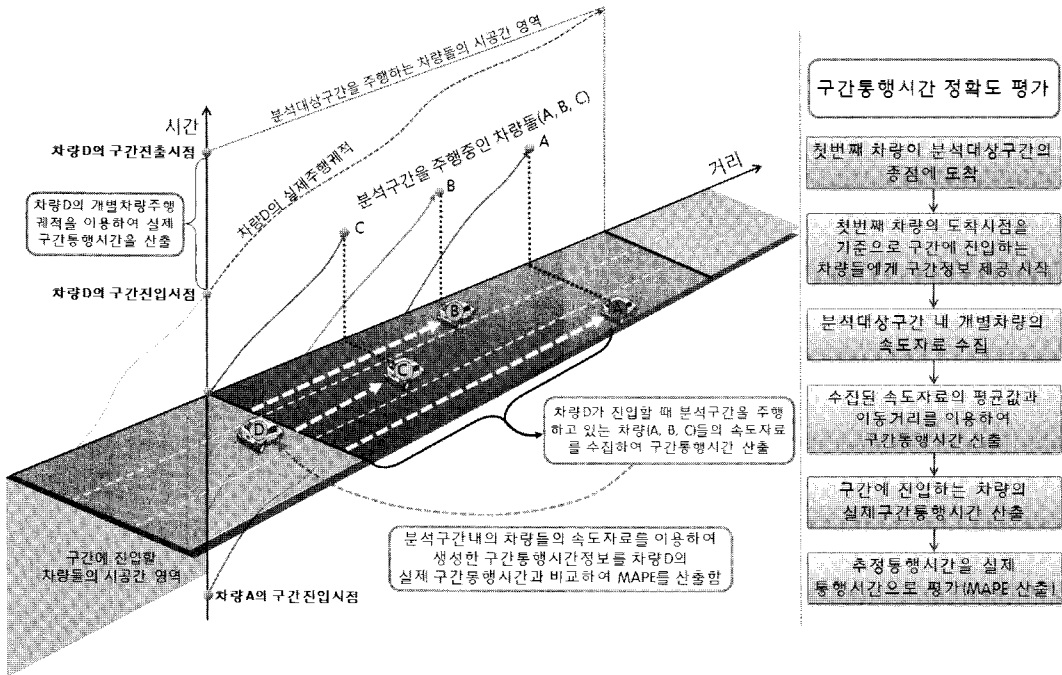
분석하였다. 분석대상구간이 짧아짐에 따라 구간 내에 존재하는 차량의 대수가 적어져 구간정보를 생성하는 데 사용되는 자료의 샘플수가 적어진다.

GPS수신기로 수집되는 개별차량의 주행자료에서 차량의 위치는 위도와 경도로 표현되나 분석의 용이성을 위해 주행자료의 속도자료를 이용하여 초당 이동거리를 산출하고 이를 누적하여 분석대상구간에서의 차량의 위치를 산출하였다.

GPS수신자료는 도로에 존재하는 고가도로, 터널, 고층건물 등에 영향을 받아 결측자료가 발생할 수 있다. 본 연구에서 수집한 개별차량의 주행궤적 자료에 존재하는 결측자료를 결측지점에 인접한 전후의 자료를 평균하여 보정하는 과정을 수행하였다.

## V. 제안된 구간통행시간 산출 및 제공방법론

본 연구에서의 구간통행시간 산출 및 제공기법은 분석대상구간에 존재하는 차량 및 인프라의 통신반경 내에서 주행하고 있는 차량들의 주행정보를 수집하여 구간정보를 산출하고 이를 분석대상구간에 진입하는 차량에게 제공하는 기법이다. 분석대상구간에 진입하는 차량에서 가장 요구도가 높은 정보는 차량이 주행할 구간의 사고발생 정보와 구간을 통과하는데 소요되는 통행시간 정보라 할 수 있다. 구간에 진입하는 차량의 요구도가 높은 구간통행시간 정보를 예상 주행경로를 선행하는 차량들의 주행정보를 이용하여 산출하고 이를 차량-차량간 또는 차량-



<그림 6> 구간통행시간 산출기법의 개념도와 구간정보 평가절차  
 <Fig. 6> Conceptual illustration of section travel times and data processing

인프라간의 무선통신으로 구간에 진입하는 차량에게 실시간으로 제공하는 기법이다. 이 기법은 정보를 제공받는 차량의 입장에서 볼 때 주행할 구간의 통행시간 정보를 수신하여 자차의 통행시간을 예측하게 되므로 예측적 통행시간이라는 개념이 적용될 수 있다.

구간을 주행하고 있는 차량들의 주행자료를 이용하여 구간정보를 생성하고 이를 무선통신으로 신속하게 구간에 진입하는 차량에게 제공할 수 있어 기존의 교통정보시스템보다 신속히 구간정보를 제공할 수 있다. 이는 제공되는 교통정보의 정확도에 영향을 주는 시간차집현상을 완화시킬 수 있어 높은 실시간성과 보다 정확하게 교통상황이 반영된 구간정보를 생성 및 제공할 수 있을 것으로 판단된다. 구간통행시간 산출기법의 개념도와 산출과정을 <그림 6>에 제시하였다. 본 연구에서 적용한 구간통행시간 산출 및 제공방법론의 정의와 산출기법에 대한 자세한 기술은 박준형과 오철(2009)의 연구에 기술되어 있다 [15].

## VI. 현장수집자료를 이용한 구간통행시간 산출 결과

차량-차량간 통신 또는 차량-인프라간 통신을 현장에서 완벽히 구현하기에 물리적으로 한계가 있어 정보 생성 시 분석대상구간 내를 주행하는 개별차량의 주행자료를 모두 수집한다는 가정 하에 분석을 수행하였다. 개별차량의 주행속도를 이용한 예측적 통행시간의 산출은 다음과 같은 수식을 사용하였다.

$$V_{mean} = \frac{\sum_{i=1}^N V_i}{N} \cdot PTT = \frac{L}{V_{mean}} \quad (1)$$

PPT: Predictive Travel Time

L = 분석대상구간 길이

$V_{mean}$  = 분석대상구간 내 차량들의 속도자료의 평균

N = 분석대상구간 내 정보수집대상차량의 대수

분석대상구간을 2개 구간, 4개 구간으로 구분하여



분석하였을 때의 결과를 <표 1>과 <표 2>에 제시하였다. 실제통행시간은 현장실험 시 차량이 실제로 구간을 통행하는 데 소요된 시간이며, 추정통행시간은 구간을 주행하는 차량들의 속도자료를 이용하여 산출한 구간통행시간이다. 결과표에 제시된 수집차량(대)은 추정통행시간을 산출하는 위해 분석대상구간 내에 존재하는 차량의 수이며 수집된 교통자료의 표본수와 동일하다.

### 1. 2개 구간에서의 구간통행시간 산출 결과

분석대상구간을 2개 구간으로 구분하고 구간을 주행하는 차량의 속도자료를 이용하여 구간통행시간을 추정하고 이를 평가한 결과를 <표 1>에 제시하였다. 정보생성을 위해서는 첫 번째 차량이 분석구간의 종점에 도착해야 하므로 첫 번째 차량의 도착시점 이후 구간에 진입하는 차량들의 실제 구간통행시간과 추정된 통행시간을 비교하여 MAPE를 산출하였다. A구

간에서 차량들의 추정된 평균 주행속도는 77.49kph이며, 실제 평균속도는 79.48kph였다. 추정통행시간과 실제통행시간의 비교결과, MAPE값이 8.45%로 산출되었다. B구간에서 차량들의 추정된 평균 주행속도는 83.33kph이며, 실제 평균속도는 79.73kph였다. 추정통행시간과 실제통행시간의 비교결과, MAPE값이 4.92%로 산출되었다.

### 2. 4개 구간에서의 구간통행시간 산출 결과

분석대상구간을 4개 구간으로 구분하고 구간을 주행하는 차량의 속도자료를 이용하여 구간통행시간을 추정하고 이를 평가한 결과를 <표 2>에 제시하였다. 1번 구간을 주행한 차량들의 추정된 평균 주행속도는 74.17kph이며, 실제 평균속도는 77.07kph였다. 추정통행시간과 실제통행시간의 비교결과, MAPE값이 9.982%로 산출되었다. 2번 구간에서 차량들의 추정된 평균 주행속도는 86.61kph이며, 실제 평균속도

<표 1> 구간통행시간 산출 및 평가 결과(2개 구간: A, B)

<Table 1> Evaluation results of estimating section travel times (2 segments: A, B)

A 구간 (구간길이 : 8603.56m)							B 구간 (구간길이 : 8771.31m)						
차량	실제통행 시간(초)	추정통행 시간(초)	수집차량 (대)	MAPE (%)	실제평균 속도(kph)	추정평균 속도(kph)	차량	실제통행 시간(초)	추정통행 시간(초)	수집차량 (대)	MAPE (%)	실제평균 속도(kph)	추정평균 속도(kph)
1	411				75.21		1	336				93.01	
2	369				81.98		2	351				89.01	
3	332				88.82		3	345				90.03	
4	410				75.39		4	375				83.34	
5	395				77.48		5	435				72.80	
6	368				82.12		6	373				79.22	
7	406				75.86		7	404				74.28	
8	428	383.62	5	10.368	72.14	80.74	8	373	393.86	5	5.593	78.19	80.17
9	369	417.01	6	13.012	81.29	74.27	9	396	390.27	6	1.448	74.97	80.91
10	369	411.74	5	11.583	81.29	75.22	10	373	390.93	4	4.807	78.41	80.77
11	406	399.27	6	1.658	74.31	77.57	11	369	392.00	6	6.234	78.81	80.55
12	359	413.57	5	15.201	83.94	74.89	12	368	392.10	7	6.550	78.94	80.53
13	436	402.84	7	7.605	70.99	76.89	13	353	383.98	6	8.777	80.23	82.24
14	334	401.96	6	20.347	89.10	77.05	14	355	373.05	6	5.083	81.51	84.65
15	371	397.33	6	7.098	82.54	77.95	15	403	371.55	5	7.804	75.41	84.99
16	378	396.87	5	4.991	81.14	78.04	16	384	357.73	5	6.842	76.36	88.27
17	414	388.08	6	6.260	74.93	79.81	17	367	369.68	4	0.731	79.59	85.42
18	388	387.11	5	0.229	78.72	80.01	18	397	369.72	5	6.872	76.32	85.41
19	356	394.24	5	10.741	85.95	78.56	19	372	366.82	4	1.391	77.05	86.08
20	402	405.41	6	0.849	76.50	76.4	20	372	379.00	6	1.882	77.05	83.32
평균	385.05	399.93		8.457	79.48	77.49	평균	375.05	379.28		4.924	79.73	83.33

<표 2> 구간통행시간 산출 및 평가 결과(4개 구간: 1,2,3,4)  
 <Tabel 2> Evaluation results of estimating section travel times (4 segments: 1,2,3,4)

1번 구간 (구간길이 : 4292.57m)							2번 구간 (구간길이 : 4293.38m)						
차량	실제통행 시간(초)	추정통행 시간(초)	수집차량 (대)	MAPE (%)	실제평균 속도(kph)	추정평균 속도(kph)	차량	실제통행 시간(초)	추정통행 시간(초)	수집차량 (대)	MAPE (%)	실제평균 속도(kph)	추정평균 속도(kph)
1	214				72.13		1	197				78.55	
2	190				81.25		2	179				84.03	
3	170				89.25		3	162				90.46	
4	218				70.88		4	192				80.08	
5	203	200.29	2	1.334	77.27	77.15	5	192	161	2	16.145	79.92	96
6	189	239.65	2	26.797	82.35	64.48	6	179	179.19	2	0.106	84.17	86.26
7	214	214.65	3	0.305	72.66	71.99	7	192	186.26	3	2.988	80.04	82.98
8	217	207.64	3	4.315	70.96	74.42	8	211	180.12	3	14.633	73.50	85.81
9	195	214.28	4	9.887	78.12	72.12	9	174	180.12	3	3.520	84.07	85.81
10	195	209.54	3	7.455	78.12	73.75	10	174	184.46	3	6.010	84.07	83.79
11	226	207.57	3	8.156	67.55	74.45	11	180	182.21	2	1.226	81.37	84.83
12	177	204.12	2	15.321	84.47	75.71	12	182	183.94	3	1.068	81.22	84.03
13	233	212.49	3	8.804	66.19	72.73	13	162	179.08	2	10.540	86.79	86.31
14	172	209.93	2	22.054	85.06	73.61	14	203	173.64	3	14.465	75.32	89.01
15	181	204.61	2	13.044	82.32	75.53	15	190	173.04	2	8.924	79.88	89.32
16	199	201.41	2	1.211	76.88	76.73	16	179	183.65	2	2.600	83.22	84.16
17	228	188.6	2	17.280	68.18	81.94	17	186	179.53	2	3.479	80.75	86.09
18	198	196.77	2	0.622	78.22	78.54	18	190	176.04	2	7.349	79.65	87.8
19	177	216.01	3	22.039	87.62	71.54	19	179	179.1	3	0.054	84.54	86.3
20	217	214.64	3	1.089	71.96	72	20	185	177.09	3	4.277	81.25	87.28
평균	200.65	208.89		9.982	77.07	74.17	평균	184.4	178.65		6.087	81.64	86.61

3번 구간 (구간길이 : 4451.17m)							4번 구간 (구간길이 : 4439.83m)						
차량	실제통행 시간(초)	추정통행 시간(초)	수집차량 (대)	MAPE (%)	실제평균 속도(kph)	추정평균 속도(kph)	차량	실제통행 시간(초)	추정통행 시간(초)	수집차량 (대)	MAPE (%)	실제평균 속도(kph)	추정평균 속도(kph)
1	168				93.04		1	178				88.05	
2	158				98.33		2	183				85.30	
3	158				98.81		3	187				83.70	
4	188				82.53		4	187				84.15	
5	215	287.3	1	33.626	74.99	55.78	5	220	167.9	1	23.682	70.67	95.2
6	181	221.88	2	22.588	83.24	72.22	6	192	175.64	2	8.520	75.30	91
7	202	205.36	3	1.663	77.31	78.03	7	202	196.8	3	2.573	73.29	81.22
8	185	203.55	3	10.025	81.86	78.73	8	188	202.01	5	7.450	77.16	79.12
9	192	195.78	3	1.968	79.90	81.85	9	188	196.43	4	4.486	77.16	81.37
10	185	200.91	3	8.601	82.09	79.76	10	204	197.12	3	3.374	73.61	81.09
11	168	196.81	2	17.147	89.49	81.42	11	201	190.41	2	5.270	74.09	83.94
12	167	197.26	3	18.122	90.09	81.23	12	201	190.25	3	5.347	73.95	84.01
13	162	194.95	2	20.340	89.52	82.2	13	191	191.14	2	0.071	77.66	83.62
14	171	191.95	2	12.252	90.81	83.48	14	184	192.56	2	4.652	77.93	83
15	202	189.16	1	6.355	80.07	84.71	15	201	186.73	3	7.098	73.18	85.6
16	193	194.84	2	0.952	78.30	82.24	16	191	189.29	2	0.894	77.57	84.44
17	180	196.12	1	8.955	84.57	81.71	17	187	188.67	2	0.892	78.29	84.72
18	193	197.29	2	2.221	83.71	81.22	18	204	185.35	3	9.142	72.35	86.23
19	168	200.61	1	19.408	85.59	79.88	19	204	190.45	2	6.643	76.42	83.93
20	176	195.45	3	11.050	85.68	81.99	20	196	184.14	3	6.050	75.76	86.8
평균	180.6	204.33		12.205	85.50	79.15	평균	194.45	189.06		6.009	77.28	84.71

는 81.64kph였다. 추정통행시간과 실제통행시간의 비교결과, MAPE값이 6.08%로 산출되었다. 3번 구간에서 차량들의 추정된 평균 주행속도는 79.15kph이며, 실제 평균속도는 85.5kph였다. 추정통행시간과 실제통행시간의 비교결과, MAPE값이 12.2%로 산출되었다. 4번 구간에서 차량들의 추정된 평균 주행속도는 84.71kph이며, 실제 평균속도는 77.28kph였다. 추정통행시간과 실제통행시간의 비교결과, MAPE값이 6%로 산출되었다.

### 3. Predictive Travel Time 산출 결과 분석

분석대상구간을 2개 구간으로 구분하여 약 8km구간 내에 존재하는 차량들의 속도자료를 수집하여 구간통행시간을 산출하고 이를 평가한 결과 약 6%의 MAPE가 산출되었다. 그리고 분석대상구간을 4개 구간으로 구분하여 약 4km구간 내에 존재하는 차량들의 속도자료를 수집하여 구간통행시간을 산출하고 이를 평가한 결과 약 8%의 MAPE가 산출되었다. 전체적으로 분석대상구간을 2개 구간으로 설정하여 산출된 구간정보의 정확도보다 4개 구간에서 산출된 구간정보의 정확도가 더 낮게 산출되는 것은 자료수집구간이 짧을수록 구간 내에 존재하는 차량 수가 적어지며, 수집되는 속도자료의 샘플수도 적어져 생성되는 구간정보가 보다 세밀하게 교통상황을 반영하지 못하는 것으로 판단되었다.

## VII. 기술적 이슈

본 연구에서 제시한 무선통신 기반 교통정보시스템에서의 교통정보 생성방법론이 현장에서 높은 정확도와 실시간성을 확보하기 위해서는 다음에 제시하는 다양한 기술적인 이슈들이 해결되어야 한다. 첫 번째로 차량-차량간, 차량-인프라간의 통신과 관련되는 통신환경변수들이 생성되는 교통정보의 정확도에 큰 영향을 미칠 것이다. 통신환경 변수에는 차량(UVS) 및 인프라(UIS)의 통신반경, 인프라(UIS)의 설치간격, 시간당 통신량 등이 있다. 통신반경은 각 구성요소와의 통신하는 빈도, 정보의 전송가능 거리,

무선통신을 통한 정보의 이동속도 등과 관련되어 전체 시스템의 성능에 큰 영향을 미친다. UIS의 설치간격은 UIS의 통신반경과 함께 전체 도로에서 자료수집이 가능한 구간을 결정하게 되며, 자료를 수집하지 못하는 지역인 음영지역의 면적과 관련된다. 각 변수들의 값에 따라 생성된 정보의 정확도가 달라질 것이며 다양한 값을 방법론에 적용하여 최적값을 찾는 연구가 향후 수행되어야 할 것이다.

두 번째로 교통환경변수에는 정보를 생성 및 제공하는 시간적인 간격인 정보생성간격, 전체 교통류에서 통신가능한 차량의 비율인 MPR, 하나의 구간정보가 나타내는 구간의 단위길이 등이 있다. 정보생성간격은 생성되는 교통정보의 실시간성과 직접적으로 관련되어 정보생성주기가 너무 짧을 경우 불필요한 정보생성이 많아지고 너무 길 경우에는 운전자에게 실효된 교통정보가 제공될 것이다.

세 번째로 수집한 교통정보를 이용하여 구간정보를 생성하는 최적 방법론을 도출해야 할 것이다. 구간정보 생성을 위해 개별차량으로부터 수집한 속도자료를 이용하여 산술평균, 조화평균, 중앙값, Kernel smoothing, Neural network, Locally weighted regression 등의 다양한 방법론을 적용할 수 있다. 도로 및 교통상황에 따라 적절한 방법론을 도출하여 현장평가시에 적용해야 할 것이다.

## VIII. 결 론

본 연구에서는 무선통신 기반 교통정보시스템에서 차내단말기의 정보처리 및 무선통신에 의한 구간정보 생성·제공 방법론을 제시하고 차내단말기에서의 정보처리 프로세스를 제시하였다. 현장에서 수집한 20대의 개별차량주행체적 자료를 이용하여 구간정보를 생성하고 이를 평가하여 제시한 방법론의 현장적용성을 평가하였다. 약 17.3km의 분석대상구간을 약 8.7km의 2개 구간과 약 4.3km의 4개 구간으로 나누어 구간정보를 생성하고 이를 평가하였다. 2개 구간에서 생성한 구간통행시간정보의 정확도를 산출한 결과 MAPE가 약 6%로 산출되었으며, 4개 구간에서는 MAPE가 약 8%로 산출되었다. 전체적으로

추정된 구간통행시간을 실제 통행시간과 비교했을 때 90% 내외의 정확도를 보였다.

보다 정확하고 실시간성이 확보된 구간정보를 생성하기 위해서는 다음과 같은 향후 연구가 추진되어야 할 것으로 판단된다. 첫째, 본 연구의 개별차량의 주행계획은 20대의 Probe Vehicle이 실제 도로를 주행한 결과 수집된 자료이며, 구간의 교통상황을 대표하는 구간정보의 정확도는 수집대상 및 수집자료의 샘플수와 연관된다. 본 연구의 분석결과, 분석대상구간의 길이에 비해 투입된 Probe차량의 대수가 다소 부족하여 보다 짧은 구간에서의 구간정보 정확도 평가가 수행되지 못한 점을 고려하여 향후에는 필요한 유효 샘플수에 대한 통계학적인 분석 후에 본 연구에서 보다 많은 차량들의 개별차량 주행계획 자료를 분석을 수행해야 할 것이다.

둘째, 본 연구에서는 개별차량의 속도자료를 추출하여 구간정보를 산출하였으며, 속도자료를 수집하여 산술평균하는 과정에서 통행시간이 과대추정 될 수 있다. 수집된 주행계획자료를 이용하여 속도자료 이외에 다양한 교통자료를 산출할 수 있으며, 높은 정확도의 교통정보를 생성할 수 있는 교통자료를 도출하고 이를 이용한 구간정보 생성방법론에 대한 연구가 향후 추진되어야 할 것이다. 또한 본 논문의 Technical Issue에서 기술한 바와 같이 속도자료를 평균하는 방법 이외에 국지다항회귀분석, 평활화 기법, 인공지능망 등의 다양한 기법을 적용하여 높은 구간정보의 정확도를 확보하기 위한 산출 방법론에 대한 연구가 필요하다.

셋째, 교통자료를 집계하는 대표적인 방법이며 본 연구에서 적용한 방법인 평균법 이외에 다양한 자료 집계 방법론을 적용하여 보다 높은 정확도의 정보를 생성하는 방법론과 관련된 연구가 수행되어야 할 것이다. 그리고 수집한 교통정보를 집계하는 간격에 따라 교통정보의 정확도가 달라질 것이며, 다양한 집계간격을 적용한 연구가 필요하다.

넷째, 개별차량에서 수집된 GPS측위자료에는 기술적인 오차가 존재하며 이를 효과적으로 보정하여 정확한 위치자료를 기반으로 정보를 생성하는 원시자료 처리기법에 대한 연구가 필요하다.

다섯째, 본 연구에서는 분석대상구간 내의 개별차량 주행자료를 수집할 때 차량간 통신 및 차량-인프라간 통신으로 차량의 모든 주행자료가 수집된다고 가정하였다. 무선통신을 통한 자료수집 시 매우 중요한 변수라 할 수 있는 UIS의 통신반경, UVS의 통신반경, MPR(Market Penetration Rate)을 적용하여 보다 현실적인 교통상황과 통신환경이 반영된 교통정보시스템에서 구간정보 생성방법론에 대한 연구가 필요하다고 판단된다.

여섯째, 개별차량 주행계획자료 수집 시 분석대상구간의 교통상황이 정상교통류(Normal Traffic Condition)인 점을 감안할 때 향후 정체 및 지체상황의 혼잡교통류에서 수집한 개별차량 주행계획을 이용하여 구간통행시간을 산출하고 본 연구의 방법론을 평가하는 과정이 수행되어야 할 것이다.

본 연구에서는 현장에서 수집한 개별차량 주행계획을 새로운 정보생성방법론에 적용하고 이를 평가했다는 점에서 의의가 있으며, 향후 유비쿼터스 환경기반 교통정보시스템의 성공적인 개발 및 현장적용을 위한 기초연구가 될 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

- [1] M. Chen and S. I. J. Chein, "Determining the number of probe vehicles for freeway travel time estimation by microscopic simulation," *Transportation Research Record 1719*, no. 00-1334, pp. 61-68, 2000.
- [2] M. Chen and S. I. J. Chein, "Dynamic freeway travel-time prediction with probe vehicle data," *Transportation Research Record 1768*, no. 01-2887, pp. 157-161, 2001.
- [3] C. A. Quiroga and D. 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. Feb. 1998.
- [4] 최기주, 신치현, "GPS와 GIS를 이용한 링크통행 시간 예측기법," *대한교통학회지*, 제16권, 제2호,

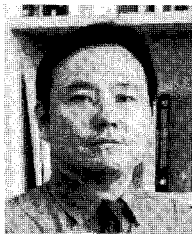
- pp. 197-207, 1998. 6.
- [5] 정연식, 최기주, “GPS probe 및 루프 검지기 자료의 융합을 통한 통행시간추정 알고리즘 개발,” *대한교통학회지*, 제17권, 제3호, pp. 97-116, 1999. 8.
- [6] 김영찬, 김태용, “검지자료합성을 통한 도시간선도로 실시간 통행시간 추정모형,” *대한교통학회지*, 제19권, 제6호, pp. 171-182, 2001. 12.
- [7] 심상우, 최기주, “혼잡상황에서 링크미통과 GPS 프로브데이터를 활용한 링크통행시간 추정기법 개발,” *대한교통학회지*, 제24권, 제5호, pp. 7-18, 2006. 8.
- [8] H. Tanikella, B. L. Smith, G. Zhang, B. K. Park, and W. T. Scherer, “Simulating VII-enabled operations application traffic monitoring case study,” *Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board*, no. 2000, 2007.
- [9] M. A. Sharafsaleh, J. VanderWerf, J. A. Misener, and S. E. Shladover, “Implementing vehicle-infrastructure iIntegration: real world challenges,” *Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board*, no. 2086, pp. 08-1377, 2008.
- [10] M. Zirker, S. Peirce, J. Lappin, M. Baltes, and Y. Gross, “Vehicle-infrastructure integration: Applications for public transit,” *TRB 87th Annual Meeting*, 2008.
- [11] M. Li, Z. J. Zou, F. Bu, and W. B. Zhang, “Application of vehicle-infrastructure integration (VII) data on real-time arterial performance measurements,” *TRB 87th Annual Meeting*, 2008.
- [12] J. Y. Lee and B. K. Park, “Evaluation of vehicle infrastructure integration (VII) based route guidance strategies under incident conditions,” *Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board*, no. 2086, 2008.
- [13] H. S. Kim, *A simulation framework for traffic information dissemination in ubiquitous vehicular ad-hoc networks*, Ph. D. Dissertation, University of Maryland, 2007.
- [14] 한국교통연구원, *u-Transportation 체계종합기술개발*, 국토해양부 교통체계효율화사업 u-Transportation 기반기술 개발 제3차년도 최종보고서, 2008. 6.
- [15] 박준형, 홍승표, 오철, 김태형, 김원규, “유비쿼터스 환경에서 돌발상황 발생 시 예측적 통행시간 추정기법,” *한국 ITS학회 논문지*, 제8권, 제2호, pp. 14-26, 2009. 4.

저자소개



박 준 형 (Park, Joon-Hyeong)

2002년 3월 ~ 2008년 8월 : 한양대학교 교통시스템공학과 공학사  
2008년 8월 ~ 현재 : 한양대학교 교통시스템공학과 석사과정



오 철 (Oh, Cheol)

1989년 3월 ~ 1993년 2월 : 한양대학교 교통공학과 공학사  
1993년 3월 ~ 1997년 8월 : 한양대학교 대학원 교통공학과 석사  
1999년 9월 ~ 2003년 12월 : University of California, Irvine, 토목환경공학과  
공학박사(교통시스템전공)  
1998년 9월 ~ 1999년 8월 : 한국건설기술연구원 도로연구부 연구원  
2004년 1월 ~ 2004년 3월 : Post-Doctorate Researcher, Institute of Transportation Studies,  
University of California, Irvine, CA, USA  
2004년 4월 ~ 2006년 2월 : 한국교통연구원 첨단교통기술연구실 책임연구원  
2006년 3월 ~ 현재 : 한양대학교 교통시스템공학과 교수



강 경 표 (Kang, Kyeong-Pyo)

1989년 3월 ~ 1996년 2월 : 한양대학교 교통공학과 공학사  
1996년 ~ 1997년 : 도로설계 삼보기술단 근무  
1997년 ~ 1998년 : 서울대 환경대학원 교통관리 석사  
1998년 ~ 2001년 : 서울시정개발연구원 근무  
2002년 ~ 2006년 : 메릴랜드 주립대 교통공학 박사  
2006년 : 서울시정개발연구원 근무  
2006년 ~ 현재 : 한국교통연구원 첨단교통연구실 책임연구원



김 태 형 (Kim, Tae-Hyeong)

1989년 3월 ~ 1993년 2월 : 한양대학교 교통공학과 학사  
1993년 3월 ~ 1995년 2월 : 한양대학교 대학원 교통공학과 석사  
1994년 4월 ~ 1998년 7월 : 서울시정개발연구원 도시교통연구부 연구원  
1998년 8월 ~ 2005년 8월 : University of Maryland, College Park, 토목환경공학과 공학박사  
(교통공학 전공)  
2005년 8월 ~ 현재 : 한국교통연구원 첨단교통연구실 책임연구원