

유비쿼터스 환경에서 돌발상황 발생 시 예측적 통행시간 추정기법

Estimation of Predictive Travel Times Using Ubiquitous Traffic Environment under Incident Conditions

박 준 형* 홍 승 표** 오 철*** 김 태 형**** 김 원 규*****
(Joon-Hyeong Park) (Seung-Pyo Hong) (Cheol Oh) (Tae-Hyeong Kim) (Won-Kyu Kim)

요 약

지점검지기에서 수집되는 교통량, 점유율, 속도 자료로는 구간의 교통상황을 명확히 설명하기에는 한계가 있다. 근래 통신, 센싱, 측위기술의 발달과 유비쿼터스 환경 구축에 대한 연구가 활발히 진행되면서 기존에는 수집하지 못했던 개별 차량의 각종 교통자료 수집이 용이해짐에 따라 새로운 방법의 구간정보의 생성이 가능하게 되었다. 본 연구에서는 GPS를 통해 개별차량 주행자료가 수집이 가능하고 차량간 또는 차량-인프라간 통신이 가능한 유비쿼터스 교통정보시스템 하에서 Predictive Travel Time 기법이라는 새로운 구간 정보생성기법을 이용하여 구간통행시간을 추정하고 검증하는 방법론을 제시하였다. 구간정보의 생성 시에는 정보의 실시간성 및 정확성과 연관되는 시간차집현상이 항상 존재하며 도로에서 Incident가 발생했을 때 시간차집현상은 더욱 크게 발생하게 된다. 본 연구에서는 유비쿼터스 환경에서 Incident가 발생 시 시간차집 현상의 영향을 최소화하면서 구간통행시간이 산출 가능한 기법을 제시하였다. 미시적 교통류 시뮬레이션 모델인 AIMSUN으로부터 개별차량주행궤적 자료를 수집하고 Predictive Travel Time을 산출하는 알고리즘에 다양한 통신환경 조건을 반영하여 생성정보의 정확도를 산출하였다. 또한 통신환경 변수에 따른 정보의 정확도 관계모형을 회귀분석 기법을 적용하여 도출하였다. 도출된 통신환경변수와 생성정보의 신뢰도 관계모형은 본 연구에서의 구상하는 미래형 교통정보 시스템의 요구사항 분석에 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

Abstract

This study presented a novel method to estimate travel times under incident conditions. Predictive travel time information was defined and evaluated with the proposed method. The proposed method utilized individual vehicle speeds obtained from global positioning systems (GPS) and inter-vehicle communications(IVC) for more reliable real-time travel times. Individual vehicle trajectory data were extracted from microscopic traffic simulations using AIMSUN. Market penetration rates (MPR) and IVC ranges were explored with the accuracy of travel times. Relationship among travel time accuracy, IVC ranges, and MPR were further identified using regression analyses. The outcomes of this study would be useful to derive functional requirements associated with traffic information systems under forthcoming ubiquitous transportation environment

Key words: Predictive travel time, probe vehicle, link travel time, V2V(vehicle to vehicle) communication, mpr(market penetration rate)

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

* 주저자 : 한양대학교 교통시스템공학과 석사과정

** 공저자 : (주)유신코퍼레이션 교통계획부

*** 공저자 : 한양대학교 교통시스템공학과 교수(교신저자)

**** 공저자 : 한국교통연구원 첨단교통연구실 책임연구원

***** 공저자 : 한국항공대학교 항공교통물류학부 교수

† 논문접수일 : 2008년 12월 30일

† 논문심사일 : 2009년 3월 3일

† 게재확정일 : 2009년 3월 5일

I. 서 론

현재 국내의 도로에 설치된 대표적인 검지기로는 지점의 교통자료수집에 Loop detector가 가장 보편적으로 설치되어 있으며, 구간검지기로는 현재 영상처리기법 기반의 AVI(Automated Vehicle Identification)가 운영 중에 있다. Loop detector에서 수집되는 교통자료로는 교통량, 점유율, 속도가 있으며, 지점의 교통자료만으로는 구간의 교통상황을 명확히 표현하기에는 한계가 있었다. 그리고 영상기반 구간검지체계는 시간처짐 현상과 시거제약 시 현저히 감소되는 검지력 등의 문제를 해결하기 위해 다양한 연구가 수행중이다.

차량간 통신기술 및 차량위치 추적기술의 발전에 따라 개별차량의 교통자료를 수집하기가 용이해져 기존의 정보생성과 관련된 연구에서 사용된 교통자료보다 양질로 우수한 교통자료의 수집이 가능하게 되었다. 그리고 수집된 교통자료는 차량의 이동을 보다 세밀하게 기록하고 있으므로 기존과는 다른 방법을 적용한 정보생성이 가능하게 되었다. 본 연구에서는 구간을 통과하는 차량들의 개별차량주행체적 자료를 실시간으로 수집가능한 교통자료 수집시스템 하에서의 구간통행시간 산출방법론을 제시하였다.

도로의 링크 내에 교통사고, 돌발상황 등의 Incident가 발생할 경우 지점의 자료만을 모니터링해서는 급변하는 교통상황의 다이내믹스를 효과적으로 검지하고 대응하기에 한계가 있었다. 구간에 발생한 Incident 상황을 신속히 검지하고 대응할 수 있는 변수로서 최근 구간통행시간이라는 변수가 각광받고 있다. 구간통행시간 정보를 통해 링크 내 차량들의 소통상황을 파악할 수 있으며, 구간에 진입할 차량들의 요구도가 높은 정보로서 교통운영 및 전략 수립 시 매우 유용하면서도 중요한 교통변수이다.

구간통행시간 정보는 차량이 구간의 기점과 종점을 통과해야만 생성되므로 정보를 생성하는데 구간을 통과하는 동안의 시간이 필요하다. 그러므로 구간통행시간 정보가 생성되는 데 사용된 교통자료의 교통상황과 생성된 정보를 제공받는 차량이 실제 구간을 통과할 때의 교통상황에는 시간차가 존재하게

된다. 이러한 시간처짐으로 인한 실시간 정보의 유효성 상실은 자료수집 대상구간의 길이가 길어질수록, 그리고 구간 내에 Incident가 발생한 경우에 차량이 구간을 통과하는데 소요되는 시간이 증가하게 되므로 시간처짐현상이 크게 발생한다. 정보의 실시간성 감소는 생성되는 정보의 정확도와 깊은 관련이 있으므로 구간통행시간 산출 시에 필히 고려되어야 한다.

본 연구에서는 차량 대 차량간, 차량 대 인프라간 통신으로 정보교환이 가능하고 각 교통정보시스템 구성요소가 자체적으로 정보를 생성 및 수집할 수 있는 유비쿼터스 교통네트워크 환경에서 구간통행시간 산출 시 시간처짐 현상을 완화시키고 사용자의 요구사항을 반영할 수 있는 Predictive Travel Time 산출방법론을 제시하였다. 그리고 몬테카를로 시뮬레이션 기법을 통해 다양한 통신환경변수에 대해 생성 정보의 정확도를 산출하였다. 산출된 생성정보의 신뢰도를 회귀분석을 통해 통신반경, MPR(Market Penetration Rate)에 따른 구간통행시간의 신뢰도 모형을 구축하였다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 구간통행시간의 산출방법론에 대해 고찰하고 기존연구의 방법론과 본 연구에서 제시한 방법론을 비교하였다. 3장에서는 본 연구에서 제시하는 Predictive Travel Time을 정의하고 산출방법에 대해 서술하였다. 4장에서는 Predictive Travel Time 산출알고리즘과 몬테카를로 시뮬레이션을 이용하여 구간통행시간을 산출하고 그 결과로 통신반경과 MPR에 따른 정보의 신뢰도의 관계모형을 도출하였다. 5장에서는 본 연구의 결론 및 향후연구과제에 대해 서술하였다.

II. 관련연구 및 자료 고찰

본 연구에서의 기존문헌고찰은 통행시간을 산출하기 위해 사용한 검지기 및 수집자료의 종류에 따라 구분하여 수행하였다. 수집방법과 수집자료에 따라 다양한 통행시간 산출방법론은 어떤 방법론이 가장 우수하다고 하기 보다는 각 방법론마다의 장단점이 있으므로 환경에 따라 적절한 통행시간 산출 방

법론을 적용하여야 할 것으로 판단된다.

1. 루프검지기를 이용한 통행시간 산출

Hobeika와 Dhulipala(2004)는 루프검지기 자료를 이용하여 병목현상과 혼잡발생으로 인한 지체에 영향을 주는 요소들을 고려한 통행시간 산출 알고리즘을 개발하였다 [1]. Petty 등(1998)은 단일루프검지기 자료를 수집하여 속도가 아닌 점유율과 교통량을 이용한 통행시간을 산출하였다 [2]. Lint와 Zijpp(2003)는 Dual 루프검지기의 상류부와 하류부 검지기 데이터를 이용하여 piece-wise constant-speed-based(PCSB) trajectory method와 piecewise linear-speed-based(PLSB) trajectory method를 통해 통행시간을 산출하고 두 방법의 결과를 비교한 결과 PLSB가 상대적으로 더 정확하게 산출되었다 [3]. Cortes 등(2001)은 개별차량의 지점속도와 집계된 검지기자료를 이용하여 통행시간을 산출하는 방법을 제시하였다 [4]. Smith 등(2003)은 혼잡상황에서 검지기의 위치가 통행시간 예측 시에 중요한 변수가 되는 것에 대해 분석구간을 램프진입구간, 기본구간, 램프진출구간으로 구분하고 진출입 교통량을 변화시키며 분석을 수행하였다 [5]. 박준형 등(2008)은 Loop Detector에서 수집한 개별차량의 차량 자기신호로 차량길이, 검지기통과시간대, Interpolation 값 등의 개별차량고유특성을 산출하여 상류부 및 하류부 검지기를 통과한 차량을 개별인식하는 알고리즘을 제시하였다. 상류부를 통과한 차량을 하류부에서 재인식하고 검지기 통과시간을 이용해 구간통행시간을 산출하였다. 그리고 Parameter정산과정을 통해 산출된 구간통행시간과 실제 구간통행시간을 비교하여 차량 재인식 알고리즘의 정확도를 최대화 하는 최적 Parameter를 산출하였다 [6].

2. AVI를 이용한 통행시간 산출

임형석 등(2005)은 단속류구간에서 AVI를 이용하여 수집된 자료를 이용해 구간통행시간을 산출하고 통계적 결정방법을 통해 가장 신뢰도가 높을 때의 적정계개간격을 산정하였다 [7]. 장진환 등(2003)은

분석구간의 잦은 유출입으로 인한 원시자료의 이상치를 제거하는 알고리즘을 제시하고 칼만필터링 기법을 이용하여 구간통행시간을 예측하였다 [8]. 문학룡 등(2004)은 검지율과 인식율, 차량 매칭율을 통한 구간통행시간 산출에 관한 연구를 수행하였다 [9].

3. TCS(Toll Collection System)를 이용한 통행시간 산출

남궁성 등(1999)은 TCS자료를 이용한 구간통행시간 예측 시 발생하는 시간차집현상을 극복하기 위해 칼만필터기법, 인공신경망, 패턴매칭 기법 등의 다양한 기법을 적용하고 그 결과를 비교하였다. 단거리구간의 예측 시에는 칼만필터가 우수하고, 장거리구간의 예측 시에는 인공신경망 모형이 우수한 것으로 나타났다 [10]. 김남선 등(2000)은 TCS자료를 수집하고 인공신경망 모형으로 구간통행시간을 예측하였다. 구축된 신경망 모형에 칼만필터기법을 적용하여 단위시간동안에 향상된 통행시간정보를 제공할 수 있는 통행시간 예측 알고리즘을 제시하였다 [11]. 남궁성 등(2005)은 기종점간에 2개 이상의 경로가 존재할 경우 경로선택에 대한 정보를 얻을 수 없고 휴게소체류시간, 램프 통행시간, 요금정산대기시간 등이 포함되어 정확한 통행시간 산출이 어려운 TCS자료의 단점을 해결하기 위해 경로통행시간 및 각 톨게이트와 센터 간 자료통신량을 대폭 줄일 수 있는 전진반복 전후방탐색법을 개발하였다 [12]. 이의은과 김정현(2002)은 검지기 및 TCS자료를 이용하여 구간통행시간 추정 시 시간차집현상을 극복하기 위해 인공신경망 모형을 적용하였다. 알고리즘에서는 대상구간 지점까지의 TCS통행시간 자료, 과거의 TCS통행시간자료, 최근접한 검지기의 교통량자료를 입력자료로 하여 대상구간의 종점까지의 통행시간과 종점에 가장 근접한 검지기의 교통량을 추정하였다 [13]. 강정규와 남궁성(2002)은 TCS에서 수집되는 톨게이트 간 통행시간 자료를 기반으로 자료특성과 시계열적 패턴을 도출하고, 이를 모듈라 신경망 모형에 적용하여 구간통행시간 예측모형을 제시하였다 [14].

4. Probe Vehicle을 이용한 통행시간 산출

최기주와 신치현(1998)은 GPS Probe차량의 주행궤적을 GIS자료에 매핑시키는 Circle X라는 기법을 적용하여 구간통행시간을 산출하는 방법론을 제시하였다 [15]. 정연식과 최기주(1999)는 GPS Probe 차량의 주행궤적을 GIS에 매핑시키고 링크통행시간을 산출하였다. GPS Probe vehicle 자료와 루프 검지기 자료에 Voting technique, Fuzzy regression, Bayesian기법을 적용하여 알고리즘을 개발하였으며, 분석 결과로 소통상황이 원활한 경우에는 자료융합 알고리즘의 효과가 적었으나, 소통상황이 원활하지 못한 경우에는 자료융합 알고리즘을 적용한 결과가 우수하게 나타났다 [16]. 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 인공지능망 모형을 이용하였다 [17]. 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 대기해야할 신호주기횟수 등의 정보까지도 산출하는 방법론을 제시하였다 [18]. Quiroga와 Bullock(1998)은 GPS와 GIS를 이용하여 자료를 수집하는 Data collection단계, 수집자료를 필터링하고 집계하여 구간통행시간을 산출하는 Data reduction단계, 산출된 정보를 표와 색깔로 맵에 표시하는 Data reporting단계로 구성된 알고리즘을 제시하였다. 또한 정보생성 시 Parameter가 되는 segment의 길이, 정보집계간격, 중심경향치에 대한 분석을 수행하여 제시한 방법론을 평가하였다 [19]. Chen과 Chein(2000)은 실시간으로 Probe Vehicle을 이용하여 자료를 수집하고 정보를 생성할 때 정보의 정확도를 만족하는 최소로 필요한 Prove vehicle의 대수에 대한 분석을 수행하였다 [20]. 또한 Chen과 Chein(2001)은 정상교통류에서 Probe vehicle 자료를 이용하여 링크

기반의 구간통행시간 산출방법론보다 경로기반 또는 이동상태 기반의 구간통행시간 산출방법론이 우수하다는 결론을 얻었다 [21].

5. Research Opportunity

기존의 연구에서는 구간통행시간을 산출하는데 다양한 검지체계를 통해 자료를 수집하고 다양한 산출방법을 적용하여 구간통행시간 정보를 생성하였다. 생성정보의 정확도 및 실시간성 확보를 위해 자료융합, 패턴분석, 칼만필터링, 인공지능망 등의 주로 예측을 통해 구간통행시간 정보를 생성하는 방안을 제시하였다. 본 연구에서는 유비쿼터스 환경에서 차량간 또는 차량 대 인프라간 통신기능과 차량 및 인프라의 정보생성·제공 기능을 이용하여 개별차량에 탑재된 정보수집장치에서 구간교통정보를 생성하고 이를 신속하게 구간 진입부의 주위의 차량이나 인프라에 전달하는 구간정보 생성 및 제공 방법론을 구상하였다. 제시한 방법론은 기존의 검지 및 교통정보수집 체계에서는 제공할 수 없는 사용자의 요구사항을 반영할 수 있을 것으로 판단된다.

Ⅲ. 연구방법론

구간통행시간 산출 시 시간처짐 현상을 완화시킬 수 있는 Predictive Travel Time기법의 정의와 산출방법을 제시하고 몬테카를로 시뮬레이션 기법을 이용해 통신환경 변수에 따른 Predictive Travel Time의 정확도를 산출하였다.

1. 시간처짐과 Predictive Travel Time

본 연구에서는 기존의 구간통행시간을 산출하는 방법과는 다른 새로운 방법으로 구간통행시간을 산출하는 방법론을 제시하였다. 차량이 검지대상구간의 기점과 종점을 통과해야만 정보가 생성되는 기존의 구간통행시간을 산출하는 방법에서는 정보를 생성하는데 검지된 차량의 구간진입시점과 생성된 정보를 제공받는 차량이 구간에 진입하는 시점 간에

차이가 존재한다. 이를 시간처짐 현상이라 하며 정상적인 교통류 상태에서는 시간처짐 현상의 발생이 미비하지만 Incident로 인한 혼잡상황이 발생할 경우 구간에 진입한 차량이 구간의 종점을 완전히 통과하는데 시간이 많이 걸리게 되므로 시간처짐 현상도 크게 발생한다. 이렇게 혼잡상황에서 생성된 정보가 제공될 때에는 이미 정보의 실시간성이 감소된 후이므로 유용한 교통정보로서의 가치가 크게 감소된다.

Predictive Travel Time 생성기법은 교통자료 수집 기술의 발달을 배경으로 개별차량의 위치 및 속도정보가 실시간으로 수집하여 정보산출간격 사이에 발생한 개별차량의 이동상황을 구간통행시간 정보로 가공하고 차량간 통신 또는 차량-인프라간 통신을 통해 신속하게 후미차량에게 전달하는 방법이다. 정보산출 간격마다 개별차량의 이동거리 또는 속도자료만으로 구간통행시간 정보를 생성하므로 차량이 자료수집 대상구간 전체를 통과하지 않아도 정보를 생성할 수 있으며 차량간 통신 또는 차량-인프라간 통신을 통해 정보가 전달되므로 구간에 진입하는 차량에게 더욱 신속하게 정보를 제공할 수 있다.

기존의 검지체계에서도 본 연구에서 제시하는 **Predictive Travel Time** 생성기법을 적용할 수 있으나 실시간 정보교환의 한계성과 자료수집 범위의 제약, 방대한 수집자료의 처리과정 등과 관련된 문제점이 있다. 유비쿼터스 환경기반 교통정보 수집시스템에서는 시스템의 구성요소들이 자체적으로 교통정보를 생성할 수 있으며, 유·무선통신이 가능하여 생성한 정보를 실시간으로 송수신할 수 있다. 이는 구성요소간의 정보교환을 통해 광범위한 영역에서의 정보수집과 신속한 정보제공이 가능하다. 유비쿼터스 환경기반 교통정보시스템의 구현과 관련된 여러 **Technical Issue**들이 해결된다면 사용자 개개인이 원하는 다양한 교통정보를 제공할 수 있으며, 교통사고의 발생 시 신속한 검지와 대응이 가능할 것으로 기대된다.

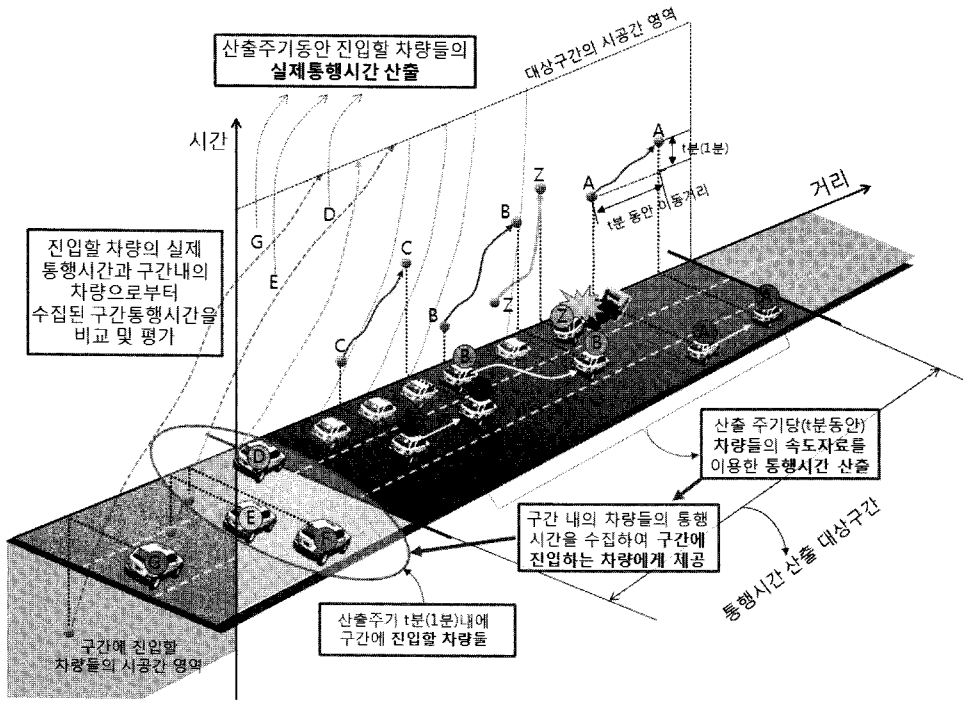
2. Predictive Travel Time의 정의

Predictive Travel Time 생성기법은 분석대상구간에 위치하는 차량 및 인프라의 통신반경 내에서 주행하

고 있는 차량들의 정보산출간격 동안의 이동상황자료를 가공하여 정보산출간격 사이에 분석대상구간에 진입하는 차량들에게 산출된 구간통행시간을 제공하는 방법이다.

본 연구에서 제시하는 기법이 정상교통류 뿐만 아니라 혼잡교통류에서도 시간처짐현상의 완화와 정보의 신뢰도를 확보할 수 있는가를 분석하기 위해 <그림 1>과 같이 분석 시나리오의 상황을 Incident가 발생한 것으로 설정하였다. <그림 1>에서와 같이 분석대상구간 내를 주행하고 있는 A, B, C차량들과 Incident를 발생시킨 Z차량, Z차량의 후방으로 대기행렬을 형성한 차량들의 t분(본 연구에서는 1분을 적용) 동안의 속도자료를 이용하여 구간통행시간을 산출하고 정보를 산출하는 t분 동안에 구간에 진입할 차량인 D, E, F차량에게 산출된 구간통행시간 정보를 제공하는 방법이다. 본 연구에서 적용한 정보산출간격인 1분은 임의로 설정하였으며 정보산출간격에 따라 생성되는 구간정보의 신뢰성이 달라질 수 있으므로 향후 이에 대한 연구가 수행 되어야 한다.

Predictive Travel Time을 산출하는 방법에 시간적 개념을 적용하여 설명하면 <그림 1>과 같이 구간통행시간을 산출하는 시점이 10시 00분 00초이고 정보산출간격이 1분이라면 인프라의 통신반경 내에 존재하며 무선통신이 가능한 차량들인 A, B, C, Z차량, Z차량의 후미차량들의 10시 00분 00초에서 10시 01분 00초까지 1분 동안의 속도자료를 이용하여 구간통행시간을 산출하고 10시 00분 00초에서 1분 동안에 구간에 진입할 차량들인 D, E, F차량들에게 산출된 통행시간정보를 차량간 통신 또는 차량-인프라-차량간 통신으로 제공한다는 개념이다. 이 방법은 어떤 차량이 도로구간에 진입할 때 제공받는 통행시간 정보가 먼저 완전히 구간을 통과한 차량의 통행시간이 아닌 구간을 통과하고 있는 차량의 통행시간을 이용하여 산출된 정보이기 때문에 차량이 종점을 통과할 때까지 기다릴 필요가 없어 정보산출 시 소요되는 시간이 단축될 뿐만 아니라 실시간으로 교통상황이 반영된 정보를 생성할 수 있다. 구간의 상류부에 위치하여 막 진입하려는 차량이 하류부에서 주행하고 있는 선행차량의 구간통행시간 정보를 실시간으로



<그림 1> Incident상황에서의 Predictive travel time 산출 기법
 <Fig. 1> Method to derive predictive travel times under incident conditions

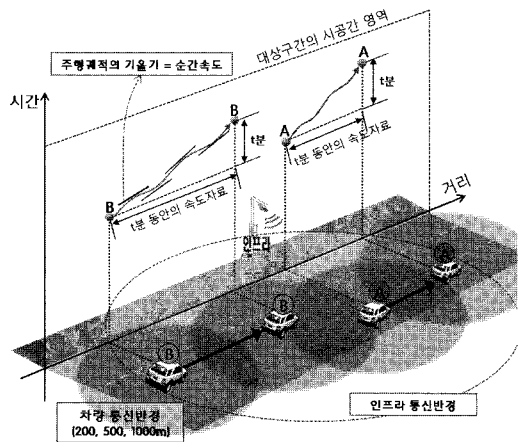
전달받음으로써 “예측적 통행시간”이라는 개념이 적용될 수 있다.

추정된 Predictive Travel Time의 검증과정은 차량 간 또는 차량-인프라간 통신을 통해 구간정보를 제공받은 차량이 실제 구간을 통과하는 데 소요되는 시간으로 정의되는 GT(Ground Truth)통행시간과의 비교로 수행될 수 있다. 본 연구에서는 AIMSUN을 통해 수집한 개별차량 주행궤적 자료를 이용하여 구간통행시간의 추정 및 검증을 수행하였다.

3. Predictive Travel Time의 산출방법

Predictive Travel Time의 산출은 정보산출간격 T동안 차량 및 인프라의 통신반경 내에서 주행하는 차량을 대상으로 매초 수집된 속도자료를 이용하여 구간통행시간을 추정한다. Predictive Travel Time 산출 시 적용되는 계산식을 식 (1)과 <그림 2>로 제시하였다. <그림 2>에서와 같이 T분으로 설정된 정보산출간격 동안에 주행차량 A, B의 속도자료를 이용하여

통행시간을 산출하였다. Predictive Travel Time기법으로 추정된 통행시간을 검증하기 위해 정보산출간격 동안에 구간으로 진입하는 차량들의 실제 구간통행



<그림 2> 분석구간 내 주행차량들의 구간통행시간 추정
 <Fig. 2> Estimation of individual vehicle travel times

시간을 GT 구간통행시간으로 정의하고 식 (2)를 이용하여 산출하였다. 본 논문에서의 분석방법에서는 GT 구간통행시간을 정보수신 대상차량의 주행체적으로부터 산출하여 비교하였다.

$$V_i = \frac{V_{t+1} - V_t}{T_{t+1} - T_t} \quad V_m = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n} \quad T^{est} = \frac{L}{V_m} \quad (1)$$

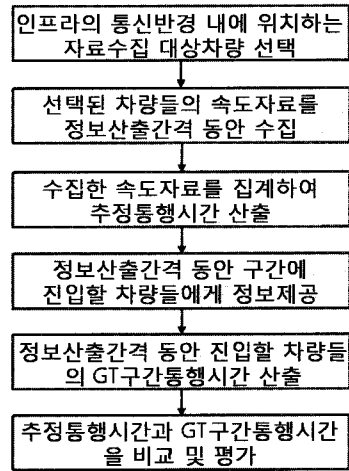
V_i = 차량 ID가 i 인 차량의 $T_{t+1} - T_t$ 동안의 속도
 V_t = 매초 차량의 속도
 V_m = T 동안 구간의 평균통행속도
 n = T 동안 선택된 차량들의 통행속도 샘플수
 T^{est} = T 동안 추정된 통행시간
 L = 분석구간(km)

$$T^{G.T} = \frac{\sum_{i=1}^n (T_{out} - T_{ent})_i}{n} \quad (2)$$

$T^{G.T}$: GT 구간통행시간
 T_{out} : 구간진출시간
 T_{ent} : 구간진입시간
 i = 차량 ID n = T 동안 진입한 차량수

4. Predictive Travel Time의 Technical Issue

Predictive Travel Time의 산출개념은 기존의 자료 수집체계에서는 산출하기 어려운 통행시간 산출방법으로써 구간 내에 존재하는 차량의 이동거리 및 속도를 실시간으로 수집하기 어렵기 때문이다. Predictive Travel Time의 산출과정을 <그림 3>과 같이 제시하였다. <그림 1>과 <그림 3>에서 알 수 있듯이 Predictive Travel time은 차량 간 통신이 가능하고 차량과 도로변에 설치된 인프라와의 통신도 가능한 교통정보시스템 내에서 산출이 가능하다. 구간을 통과하고 있는 개별차량이 정보를 생성하는 간격마다 이동거리 및 속도를 이용하여 Predictive Travel Time을 산출하고 이를 주위의 차량이나 인프라에 전송함으로써 구간통행시간 정보를 필요로 하는 차량에게 제공이 가능하다. 또한 교통정보시스템 내에서 개별차량은 정보를 생성하고 수집하는 주체가 되어 기존의 중앙집중식 정보수집체계와는 다르게 시스템의 구성요소로서 피동적인 아닌 능동적으로 역할을 수행해야 한다. 그러므로 개별차량의 정보생성 및



<그림 3> Predictive Travel Time 산출 과정
 <Fig. 3> Procedure for predictive travel time estimation

차량간통신과 관련하여 여러 가지 기술적 이슈들이 존재한다.

Predictive Travel Time 기법이 높은 신뢰도를 확보하기 위해서는 개별차량의 이동상태 자료를 세밀하고 정확하게 수집하는 장비가 차량에 탑재되어야 한다. 그리고 정보생성구간 내에 차량간 통신과 개별 차량주행정보 수집이 가능한 차량이 전체 차량에서 일정수준 이상으로 존재해야 한다. 이를 MPR(Market Penetration Rate)이라하고 차량간 통신 시 정보교환이 가능한 공간적 범위인 통신반경과 함께 Predictive Travel Time 생성기법으로 추정된 구간통행시간의 정확도와의 관계를 도출하였다.

Predictive Travel Time 생성기법에서 실제 구간통행시간과 오차가 크게 발생할 수 있는 상황은 추정 통행시간의 검증 시 산출된 실제 구간통행시간 정보가 Incident의 발생으로 교통상황이 급격하게 변화되었을 경우이다. 정보산출간격 동안에 발생한 Incident에 의해 일시적으로 오차가 크게 발생할 수 있으며 정보산출간격값이 크게 설정될수록 이런 상황에서의 정보의 정확도는 크게 감소할 수 있다.

분석대상구간 내에 교통류의 진출입이 있을 경우 차량이 인프라와의 통신 중에 분석대상구간을 진출하여 통신두절이 될 수 있으며 이를 자료처리과정에 반영하는 과정이 고려되어야 할 것이다. 분석대상구간

에 진출입구간이 있을 경우 생성정보를 교환을 하는 차량 또는 인프라는 진출입구간에 진입하기 전에 미리 정보교환을 종료하고 다른 정보수집대상을 검색 및 연결하여 다양한 정보수집경로를 확보하도록 할 수 있다. 또한, 진출입구간을 고려하여 인프라의 설치 위치를 조정하는 방법도 고려되어 질 수 있을 것이다.

5. 자료수집 및 수집 시나리오

본 연구에서는 미시적 시뮬레이션 모델의 하나인 AIMSUN으로 개별차량의 궤적자료를 수집하였고, 차량간통신이 가능한 교통정보시스템의 통신환경변수와 정보신뢰도의 관계 도출을 위해 몬테카를로 시뮬레이션 기법을 활용하였다. 자료수집과정을 통해 수집되는 자료는 개별차량이 주행궤적 자료로서 차량ID, 차종, 주행차로, 초당 위치, 초당 X좌표, 초당 Y좌표, 속도, 이동거리 등의 자료가 수집되었다. 수집된 개별차량 주행궤적자료는 몬테카를로 시뮬레이션에 사용되며, 또한 Predictive Travel Time 산출기법에 의해 추정된 통행시간의 정확도를 평가하기 위한 구간통행시간의 GT(Ground Truth)값을 산출하기 위해 사용되었다.

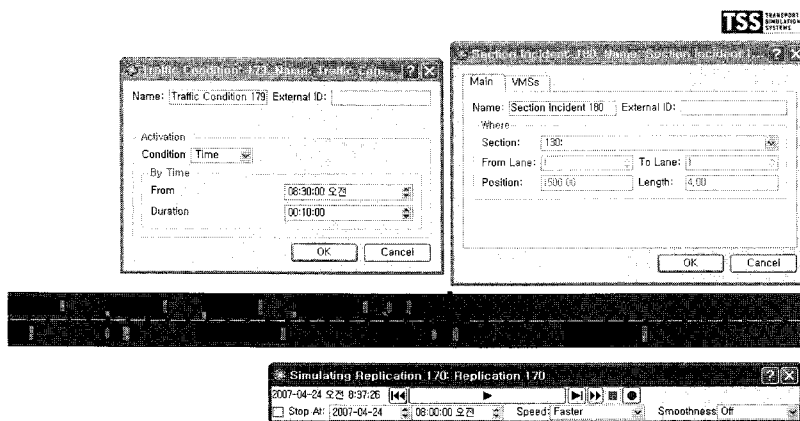
AIMSUN을 이용한 자료수집은 다음과 같은 시나리오로 수행되었으며 자료수집화면을 <그림 4>에 제시하였다.

- Traffic Condition : Incident Condition의 고속도로 3km구간(2차로)에서 LOS D(V/C 0.61~0.8)의 교통류 상황
- Incident상황은 시뮬레이션 시작 후 30분경에 기점으로부터 1.5km지점에서 10분간 발생
- 전체 분석시간은 1시간
- 승용차 교통량 : 2100 veh/h
- Truck 교통량 : 1000 veh/h

6. 분석방법

몬테카를로 시뮬레이션 기법은 불확실성 추정기법으로 다른 알고리즘과는 달리 통계학적인 문제를 난수를 사용한 무작위적인 표본을 이용하여 해결하는 비결정적인 방법이다. 교통정보의 신뢰도가 다양한 통신환경변수에 따라 다른 결과를 보이므로 본 연구에서 제시하려는 정보의 신뢰도와 통신환경변수의 관계 도출에 효과적인 도구라 판단된다.

AIMSUN을 이용하여 추출한 개별차량 주행자료는 매초 분석구간에 진입할 때 마다 고유ID를 부여 받는다. 차량간 통신성능은 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 추출된 차량을 대상으로 측정되며 추출된 차량으로 추정된 Predictive Travel Time은 개별차량의 분석구간을 완전히 주행한 궤적자료로부터 산출된 실제 구간통행시간과 비교하여 MAPE(Mean



<그림 4> AIMSUN을 이용한 개별차량주행궤적 자료수집 화면
 <Fig. 4> Collection of individual vehicle trajectories using AIMSUN

Absolute Percentage Error)를 산출하였다.

본 연구에서는 차량간 통신이 가능한 교통시스템 내에서의 구간통행시간 산출하는 상황을 가정하여 구간통행시간의 추정에 영향을 줄 것으로 예상되는 통신 환경 변수를 설정하였다. 분석구간 내에 차량간 통신 장비가 장착된 차량이 전체 교통류에서 차지하는 비율인 MPR(Market Penetration Rate)을 통신환경 변수로 설정하고 또한 차량의 통신반경 변수에 따라 전달되는 정보의 신뢰도가 변화할 것이라 판단하였다. MPR은 전체 차량에서 장비장착차량의 비율로 5%, 10%, 20%, 30%, 50%의 값을 적용하였다. 통신반경은 차량 간에 통신이 가능한 거리로서 200m, 500m, 1000m의 값을 적용하였다. 구간통행시간을 산출하는 간격은 임의로 1분으로 설정하였다. 추정된 구간통행시간의 정확도는 개별차량주행패적에서 산출된 구간통행시간 GT(Ground Truth)값과 비교하여 MAPE로 산출하였다.

7. 분석결과

통신반경 변수와 MPR에 따른 구간통행시간 정보

〈표 1〉 분석결과
〈Table 1〉 Analysis results

MPR	통신반경	MAPE
5	200	20.47
5	500	19.39
5	1000	19.15
10	200	18.46
10	500	17.02
10	1000	17.00
20	200	17.35
20	500	15.64
20	1000	15.62
30	200	16.95
30	500	15.56
30	1000	15.50
50	200	16.60
50	500	15.23
50	1000	15.40

* 구간통행시간 정보 산출간격 : 1분

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{T_i^{est} - T_i^{G.T}}{T_i^{G.T}} \right| * 100 \quad (3)$$

T_i^{est} : 추정통행시간

$T_i^{G.T}$: 대표통행시간 n: 관측수8.5

의 정확도 산출결과를 <표 1>에 제시하였다. 전체차량 중에서 차량 간 통신을 통해 구간통행시간을 공유하는 차량이 많을수록 MAPE값이 감소되는 것을 볼 수 있다.

IV. 통신환경 변수에 따른 산출정보의 정확도 관계 모형

1. 모형의 구축 및 결과분석

MAPE로 산출된 구간통행시간의 정확도와 통신환경변수로 적용된 MPR과 통신반경 변수의 관계를 모형으로 도출하기 위해 회귀분석을 수행하였다. 모형구축결과를 <표 2>에 제시하였다. 모형의 R-square는 0.635로 산출되었으며 모형전체의 유의성은 F-Test결과 유의한 모형으로 판단되었다. MPR(Market Penetration Rate)과 통신반경 변수의 부호가 음의 부호를 가지는 것은 통신반경과 MPR이 증가할수록 MAPE는 감소하여 추정되는 구간통행시간 정보의 신뢰도가 높아진다는 결론을 얻을 수 있었다.

2. 민감도 분석

회귀분석 시 독립변수로 사용된 MPR과 통신반경 변수가 MAPE에 주는 개별적 영향을 알아보기 위해

〈표 2〉 모형 구축결과
〈Table 2〉 Modeling results

모형의 R-square	0.635
모형의 유의성 검정 (F-TEST)	0.002

$$H_0 = \beta_0 = \beta_1 = \beta_2 = 0$$

$$H_1 = \beta_0 \neq \beta_1 \neq \beta_2 \neq 0$$

$$f = \frac{SSR}{s^2}$$

Reject H_0 at the α -level significance when $f > f_\alpha(2, 14)$

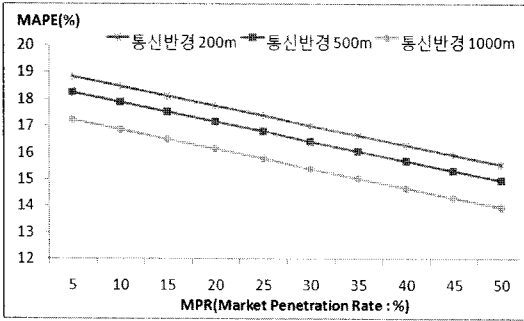
*유의수준 : 0.05

계수(a)	B	표준오차	t	유의확률
(상수)	19.606	0.685	28.608	0.000
통신반경	-0.002	0.0008	-1.903	0.081
MPR	-0.073	0.017	-4.159	0.001

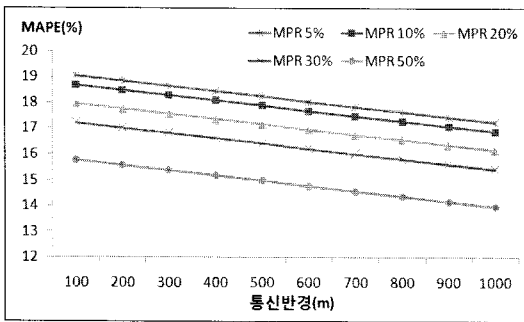
$$MAPE = 19.606 - 0.002R - 0.073MPR \quad (4)$$

R: 통신반경

MPR: Market Penetration Rate



<그림 5> MPR이 통행시간 정확도에 미치는 영향
<Fig. 5> Effects of MPR on travel time accuracy



<그림 6> 통신반경이 통행시간 정확도에 미치는 영향
<Fig. 6> Effects of Communication range on travel time accuracy

민감도 분석을 수행하였다. 도출된 회귀모형식에서 두 독립변수 중의 하나를 고정시키고 시뮬레이션에 적용된 Parameter값과 동일한 값을 적용시켜 MAPE 값을 산출하였다. 회귀식에 통신반경변수를 고정시키고 MPR값을 변화시켜 적용한 결과 <그림 5>와 같은 그래프가 도출되었다. 분석대상구간에 구간통행시간정보 생성과 차량간통신이 가능한 차량이 많을수록 추정되는 구간통행시간 정보가 실제 구간통행시간 정보와의 오차가 감소되는 결과를 보였다. 이는 구간통행시간 정보 생성 시 많은 차량들의 개별 속도자료를 수집할 수 있다면 높은 신뢰도의 교통정보를 생성할 수 있는 것으로 판단된다. 회귀식에 MPR값을 고정시키고 통신반경값을 변화시키면서 MAPE를 산출한 결과 <그림 6>과 같이 차량간 통신반경이 넓어질수록 추정되는 구간통행시간 정보의 정확도가 높아지는 결과가 산출되었다. 차량간 통신

반경이 클수록 정보수집 및 전달이 가능한 공간적 범위가 늘어나게 되고 생성된 정보를 원거리에 위치한 후미차량에게 신속하게 전달 하여 정보의 실시간 정확 확보에 기여하는 것으로 판단된다.

V. 결 론

본 연구에서는 Incident상황에서 유비쿼터스 환경에서 구간통행시간을 추정하는 기법을 제시하였다. 미시적 교통시뮬레이터인 AIMSUN에서 수집한 개별 차량 주행궤적자료에서 몬테카를로 시뮬레이션 기법을 이용하여 대상차량을 추출하고 Predictive Travel Time기법을 적용하여 구간통행시간을 추정하였다. 추정된 구간통행시간을 실제 구간통행시간 자료와 비교하여 MAPE를 산출하고 구간통행시간의 정확도 (MAPE)와 MPR과 통신반경 변수의 관계모형을 회귀 분석을 통해 제시하였다. 추정통행시간의 신뢰도와 통신반경 변수의 관계모형을 도출한 결과 분석대상 구간 내에 통행시간을 생성하고 차량간 통신이 가능한 차량이 많을수록 생성정보의 신뢰도가 증가하는 결과가 나타났으며 보다 광범위한 통신반경도 신뢰도 증가에 영향을 주는 것으로 분석되었다.

본 연구에서 수집한 자료가 미시적 교통류 시뮬레이션 모델을 이용하여 수집한 개별차량 주행궤적 자료이므로 도로의 기하구조, 교통환경 요인들의 영향이 배제되어 실제 차량의 이동과 주행환경을 완벽히 반영하는 데에는 무리가 있다. 향후 실제 도로에서 수집된 차량의 주행궤적을 이용하여 구간정보를 산출하고 동일한 도로환경을 시뮬레이션으로 구현하여 산출된 결과와 비교하는 연구를 추진해야 할 것이다. 또한, 적용된 분석대상구간의 길이가 3km로 개별차량 주행정보를 수집하는 범위와 장거리 구간정보의 생성에 한계가 있으므로 향후 연구에서는 더 긴 분석대상구간에서 교통정보를 생성하고 장거리 주행 시의 구간정보 생성과 관련된 자료융합과 같은 다양한 Technical Issue들을 도출해야 할 것이다.

본 연구에서는 Predictive Travel Time 산출방법론에서의 식 (1)과 같이 구간 내 주행차량들의 속도를 이용한 단순 계산으로 구간통행시간을 산출하는 방

법을 제시하였다. 분석결과에서의 MAPE와 같이 제시한 방법론에서 산출되는 정보의 정확도를 높이기 위해서는 보다 현실을 반영한 정보산출방법이 적용되어야 한다. 분석대상구간 내를 주행하는 차량의 속도가 아닌 이동거리를 이용하여 계산하거나 평균을 적용하는 방법 이외에 중앙값, 85th percentile값 등을 이용하는 다양한 집계방법을 적용할 수도 있으며, 상류부에 가까운 차량의 자료에 가중치를 부여한 계산방법도 적용할 수 있다. 이와 같은 다양한 통행시간 산출방법을 적용한 분석을 향후 추진해야 할 것이다.

실제 도로에서 Predictive Travel Time 생성기법을 적용 및 검증하기 위해서는 정보를 제공받은 차량이 구간을 통과하는데 소요되는 구간통행시간 자료가 필요하다. 본 연구에서 제시한 방법론에서의 검증과정은 정보를 제공받은 차량이 구간을 완전히 통과하여 구간의 주행체적이 완전히 수집되어야 수행될 수 있다. 정보의 생성에는 시간차집 현상이 크게 작용하지 않지만 생성정보의 검증에는 시간차가 발생한다고 볼 수 있다. 생성된 정보의 검증을 위해 GT구간통행시간 산출 시의 교통상황에서 Incident가 발생한 경우 GT구간통행시간과 추정된 구간통행시간의 오차가 순간적으로 크게 발생할 수 있다. Predictive Travel Time 생성기법이 시간차집 현상에 대한 완화를 목적으로 하고 있으나 순간적인 교통상황의 변화에 의한 정보의 신뢰도 감소를 보완할 수 있는 부분에 대한 연구가 필요하다.

본 연구에서 적용한 통신환경 변수들 값과 정보산출간격은 실제 도로에서 정보 생성 시의 최적값과 차이가 있을 수 있으므로 이에 대한 추가적인 연구가 필요하다. 차량-인프라간 통신 시 통신반경이나 인프라의 설치간격, 정보산출간격 등의 다양한 Parameter들이 추가적으로 분석되어야 할 것이며, 다양한 통신환경 변수값과 정보산출간격을 적용하여 정보의 신뢰도를 산출하고 정보의 정확도와 다양한 독립변수들 간의 관계를 도출하는 연구가 수행되어야 할 것이다.

개별차량의 주행체적을 통해 정보산출간격 동안의 통행시간을 산출하고 이를 구간을 진입하는 차량에게

제공하는 Predictive Travel Time의 생성기법은 유비쿼터스 환경에서 시스템의 요구사항을 도출하고 미래형 교통정보 수집시스템을 사용하는 사용자의 요구사항을 반영하는데 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] A. Hobeika and S. Dhulipala, "Estimation of travel times on urban freeways under incident conditions," *J. Transportation Research Board*, no. 1867, pp. 97-106, Jan. 2004.
- [2] K. F. Petty, P. Bickel, J. Jiang, M. Ostland, J. Rice, Ya'acov Ritov, and F. Schoenberg, "Accurate estimation of travel times from single-loop detectors," *Transportation Research, Part A (Policy and Practice)*, vol. 32A, pp. 1-17, 1998.
- [3] J. W. C. van Lint and N. J. van der Zijpp, "Improving a travel time estimation algorithm by using dual loop detectors," *Transportation Research Record 1510*, pp. 41-48, 2003.
- [4] C. Cortes, R. Lavanya, J. S. Oh, and R. Jayakrishnan, "General-purpose methodology for link travel time estimation with multiple-point detection of traffic," *Transportation Research Record*, no. 1802, pp. 181-189, 2002.
- [5] B. L. Smith, R. B. Holt, and B. Park, "Travel time estimation for urban freeway performance measurement: understanding and improving upon the extrapolation method," *Proc. 83rd Transportation Research Board Annual Meeting*, no. 04-2713, 2004. 11.
- [6] 박준형, 오철, 남궁성, "루프검지기 자기신호 패턴분석을 통한 차량재인식 알고리즘," *대한교통학회지*, 제27권, 제1호, pp. 179-190, 2009. 2.
- [7] 임형석, 이승환, 이현재, "단속류 통행시간 추정을 위한 적정 집락간격 결정에 관한 통계적 방법론 비교 연구," *대한교통학회지*, 제23권, 제3호, pp. 109-123, 2005. 6.
- [8] 장진환, 백남철, 김성현, 변상철, "AVI자료를 이

- 용한 동적 통행시간 예측,” *대한교통학회지*, 제 22권, 제7호, pp. 169-175, 2004. 12.
- [9] 문학룡, 류승기, 김성현, 박현석, “주행차량 자동 인식시스템을 이용한 구간통행시간 산출,” *한국 ITS학회 논문지*, 제2권, 제2호, pp. 23-29, 2004. 12.
- [10] 남궁성, 윤일수, 조범철, “TCS자료를 이용한 고속도로 통행시간 예측,” *대한교통학회*, 제36회 학술발표회 논문집, pp. 489-494, 1999. 10.
- [11] 김남선, 이승환, 오영태, “신경망을 이용한 고속도로 여행시간 추정 및 예측모형 개발,” *대한교통학회지*, 제18권, 제1호, pp. 47-59, 2000. 2.
- [12] 남궁성, “고속도로 경로통행시간 산출을 위한 전진반복 전후방탐색법(PIFAB)의 개발,” *대한교통학회지*, 제23권, 제5호, pp. 147-155, 2005. 8.
- [13] 이의은, 김정현, “시간차집현상을 고려한 장거리 구간 통행시간 예측 모형 개발,” *대한교통학회지*, 제20권, 제4호, pp. 51-61, 2002. 8.
- [14] 강정규, 남궁성, “고속도로 통행료수납자료를 이용한 통행시간 예측모형 개발,” *대한교통학회지*, 제20권, 제4호, pp. 151-162, 2002. 8.
- [15] 최기주, 신치현, “GPS와 GIS를 이용한 링크통행시간 예측기법,” *대한교통학회지*, 제16권, 제2호, pp. 197-207, 1998. 6.
- [16] 정연식, 최기주, “GPS probe 및 루프 검지기 자료의 융합을 통한 통행시간추정 알고리즘 개발,” *대한교통학회지*, 제17권, 제3호, pp. 97-116, 1999. 8.
- [17] 김영찬, 김태용, “검지자료합성을 통한 도시간선 도로 실시간 통행시간 추정모형,” *대한교통학회지*, 제19권, 제6호, pp. 171-182, 2001. 12.
- [18] 심상우, 최기주, “혼잡상황에서 링크미통과 GPS 프로브데이터를 활용한 링크통행시간 추정기법 개발,” *대한교통학회지*, 제24권, 제5호, pp. 7-18, 2006. 8.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 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.

저자소개



박 준 형 (Park, Joon-Hyeong)

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



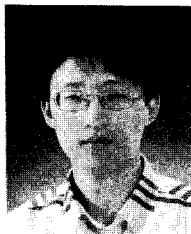
홍 승 표 (Hong, Seung-Pyo)

1998년 3월 ~ 2006년 2월 : 한양대학교 교통공학과 공학사
 2006년 3월 ~ 2008년 2월 : 한양대학교 대학원 교통공학과 석사
 2008년 3월 ~ 현재 : (주)유신코퍼레이션 교통계획부 근무



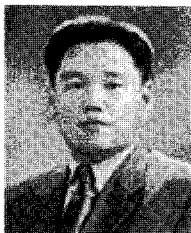
오 철 (Oh, Cheol)

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



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



김 원 규 (Kim, Won-Kyu)

1988년 2월 : 연세대학교 공과대학 건축공학과 공학사
 1990년 2월 : 연세대학교 대학원 건축공학과 도시 및 교통계획 전공 공학석사
 1996년 12월 : 미국 Virginia Tech, 토목공학과 교통공학 Division, 공학박사
 1995년 ~ 1996년 : Research Assistant, Transportation Engineering Div., Dept. of Civil Engineering,
 Virginia Polytechnic Institute and State University, USA
 1990년 ~ 1994년 : 교통개발연구원 교통계획실 연구원
 1996년 ~ 1998년 : 교통개발연구원 ITS 연구실 책임연구원
 1998년 ~ 1999년 : 교통개발연구원 교통계획부 교통모형 팀장
 1999년 ~ 현재 : 한국항공대학교 항공교통물류학부 부교수