

개별차량 주행정보를 이용한 차로별 구간대표통행시간 산출기법

A Novel Method for Estimating Representative Section Travel Times Using Individual Vehicle Trajectory Data

임희섭* 오철** 강경표***
(Hee-Sub Rim) (Cheol Oh) (Kyeong-Pyo Kang)

요약

유비쿼터스 환경을 기반으로 하여 돌발상황 발생 시 신뢰성 있는 통행시간 예측을 위해 새로운 개념의 노드-링크 설정 기법을 활용한 대표통행시간 산출기법을 연구하였다. 본 연구에서 제시한 방법론은 교통류의 특성에 따라 링크를 구분하여 개별적인 통행시간을 산출하는 기법이며, 개별차량의 특성을 반영하기 위해 일정 속도단위로 차량분류군을 구분하여 통행시간을 산출하는 방법을 제시하였다. 사고영향권과 사고영향권 상류부, 사고영향권 하류부를 독립적인 링크로 설정하였으며, 돌발상황 발생 시 나타나는 차로별 통행시간의 특성을 반영하기 위해 통행시간 제공 방법을 차로별로 독립적인 통행시간 제공으로 설정하고, 차로별 통행시간을 산출하였다. 제안된 방법론의 정확도를 MAPE (Mean Absolute Percentage Error)를 이용하여 평가하였고, 프로브차량비율(Percentage of Probe Vehicles: PPV)에 따른 정확도의 변화를 분석하였다. 분석 결과 PPV가 20% 이상 확보될 경우 오차율 10% 미만의 정확도를 가지는 것으로 분석되었다. 본 연구는 도래하는 유비쿼터스 교통환경에서 보다 신뢰성 있고, 실시간성 있는 교통정보 생성에 도움이 될 것으로 판단된다.

Abstract

This study proposes a methodology for estimating representative section travel times using individual vehicle travel information under the ubiquitous transportation environment (UTE). A novel approach is to substantialize a concept of dynamic node-links in processing trajectory data. Also, grouping vehicles was conducted to obtain more reliable travel times representing characteristics of individual vehicle travels. Since the UTE allows us to obtain higher accuracy of vehicle positions, travel times for each lane can be estimated based on the proposed methodology. Evaluation results show that less than 10% of mean absolute percentage error was achievable with 20% of probe vehicle rate. It is expected that outcome of this study is useful for providing more accurate and reliable traffic information services.

Key words: 돌발상황, 차로별 구간대표통행시간, 유비쿼터스, 무선통신, UIS, UVS

† 본 연구는 국토해양부 교통체계효율화사업의 연구비 지원(06-교통핵심-A01-01)에 의해 수행되었습니다.

* 주저자 : 한양대학교 교통시스템공학과 석사과정

** 교신저자 : 한양대학교 교통시스템공학과 교수

*** 공저자 : 한국교통연구원 첨단교통연구실 책임연구원

† 논문접수일 : 2009년 10월 15일

† 논문심사일 : 2009년 12월 8일

† 게재확정일 : 2009년 12월 10일

I. 서 론

무선통신기술과 정보생성 기술의 발달로 인해 교통분야에서도 유비쿼터스화가 가속되고 있다. 유비쿼터스라 함은 시스템 구성요소가 언제 어디서든 실시간성을 가지고 유기적으로 네트워킹하는 환경을 뜻하며, 각각의 구성요소는 자신이 필요로 하는 정보를 시간과 장소에 대한 제약 없이 제공받을 수 있다. 교통시스템에서는 차량, 보행자, 인프라가 구성 요소에 속한다. 최근 교통분야에서도 유비쿼터스 환경 구축을 위한 다양한 기반 및 응용기술 개발이 활발히 진행되고 있다.

운전자가 제공받는 교통정보에는 주행경로정보, 교통사고정보, 교통안전정보, 통행시간정보 등이 있다. 본 연구의 목적은 유비쿼터스 환경에서 통행시간을 산출하는 기법을 개발하는 것이다. 유비쿼터스 환경이 구현된 교통시스템에서는 개별차량의 주행 궤적 자료의 수집이 가능하고, 이를 이용한 자료처리 과정을 거쳐 보다 정확하고, 다양한 교통정보를 생성할 수 있다. 프로브차량비율(Percentage of Probe Vehicles: PPV)에 따라 수집되는 자료의 양이 정해지며, PPV가 높아질수록 보다 많은 자료를 이용하여 정확한 교통정보를 생성할 수 있다. 특히, 돌발상황이 발생하였을 경우에는 링크내의 교통상황이 안정적이지 않고, 급격히 변화하기 때문에 기존의 검지 체계나 통행시간 산출 방법론을 이용할 경우 교통상황을 실시간적으로 반영하기 어렵다. 개별차량 주행 궤적자료를 이용할 경우 링크 전체구간의 주행자료를 사용가능하기 때문에 보다 정확하고 실시간성을 갖는 자료를 이용하여 정보를 처리할 수 있다.

본 연구에서는 보다 정확한 통행시간 산출을 위해 동적으로 링크와 노드를 구분하는 기법을 제시하였다. 사고와 같은 돌발상황이 발생하였을 때에는 사고영향권과 비 영향권의 교통류의 특성이 차이를 보이게 된다. 사고영향권의 경우 용량감소로 인한 통행속도의 감소와 잦은 차로 변경으로 인해 교통류가 불안정한 상태로 변하게 된다. 따라서 미리 설정된 (Pre-defined) 노드링크체계에만 의존하는 것이 아니라, 교통류의 특성에 따라 구분하여 교통류의 상태

를 보다 정확하고 상세하게 반영해야 한다. 또한, 사고의 발생 위치에 따른 차로별 교통류 특성도 차이를 보이게 된다. 사고발생 차로의 경우 차로의 통제가 일어나므로 차량의 통행이 불가하게 되며, 사고차로에 인접한 차로 일수록 평균 주행속도가 낮아지게 된다. 본 연구에서는 이러한 교통류의 변화특성을 보다 능동적으로 반영할 수 있는 교통정보 제공을 위해 동적 노드-링크 기법의 제안과 더불어 차로별 통행시간을 산출하는 기법을 제안하였다.

본 연구에서 제시한 방법론을 이용해 운전자에게 제공할 수 있는 정보의 종류는 사고위치 정보, 사고영향권까지의 거리, 사고영향권 상류부의 통행시간 정보, 사고영향권의 통행시간 정보 등이 있다. 보다 신뢰성 있는 정보의 제공은 교통정보서비스 품질의 향상에 기여한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 통행시간 산출기법과 관련된 연구에 대한 문헌을 고찰하고, 3장에서는 본 연구를 수행하기 위한 자료수집 및 입력자료 구축에 관련된 내용을 기술하였다. 4장에서는 동적인 노드-링크 기법이 적용된 구간 대표통행시간을 산출하는 기법을 제시하였고, 5장에서는 제안된 방법론에 의해 산출된 통행시간을 분석 및 평가하였다. 6장 결론에서는 연구의 성과를 정리하여 설명하고 향후 연구계획과 본 연구의 활용방안을 제시하였다.

II. 기존연구 고찰

1. 루프검지기 자료를 이용한 통행시간 산출기법

Petty(1998)는 단일루프검지기 자료를 이용하여 통행시간 산출 시 일반적으로 사용되는 속도 자료가 아닌 점유율과 교통량을 이용하여 통행시간을 산출하는 알고리즘을 개발하였다 [1]. Lint(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 산

출되었다 [2]. Hobeika(2004)는 루프검지기를 이용한 자료수집을 통하여 지체에 영향을 주는 요소들을 고려하여 병목현상 및 혼잡 발생 시 통행시간을 산출하는 알고리즘을 개발하였다 [3]. Cortes(2001)는 개별차량의 지점속도와 집계된 검지기자료를 이용하여 통행시간을 산출하는 방법을 제시하였다 [4]. Smith(2003)는 램프진입구간과 진출구간, 기본구간의 진출입 교통량을 변화시키면서 혼잡교통류에서 검지기의 위치가 통행시간 예측 시에 중요한 변수가 되는 것에 대한 분석을 수행하였다 [5]. 박준형(2008)은 루프검지기에서 수집한 개별차량의 차량자기신호를 이용하여 차량길이, 검지기통과시간대, Interpolation값 등의 개별차량고유특성을 산출하였으며, 상류부를 통과한 차량의 자기신호와 하류부에서 수집된 자기신호의 매칭 알고리즘을 통하여 통행시간을 산출하였다 [6].

2. 개별차량 주행궤적을 이용한 통행시간 산출기법

최기주(1998)는 GPS를 장착한 차량의 주행궤적을 Circle X라는 기법을 이용하여 GIS자료에 매핑시키고 통행시간을 산출하는 기법을 제시하였다 [7]. 김영찬(2001)은 GPS Probe 차량기법, 초음파검지기, 영상검지기를 이용하여 지점검지기에서 수집한 자료와 구간검지기에서 수집한 자료의 합성을 통해 통행시간을 추정하는 모형을 제시하였다. 자료의 합성은 퍼지이론과 인공신경망 모형을 이용하였다 [8]. 심상우(2006)는 개별차량 주행궤적자료에서 순간속도를 산출하여 차량의 이동행태를 예측하는 기법을 통해 통행시간을 예측하는 기법을 제시하였다 [9]. Mei Chen(2001)은 정상교통류(Normal traffic condition)에서 개별차량 주행궤적자료를 이용하여 링크기반의 구간통행시간 산출방법론보다 경로기반 또는 이동상태 기반의 구간통행시간 산출방법론이 우수하다는 결론을 도출하였다 [10]. 박준형 등(2009)은 교통시뮬레이터인 AIMSUN을 이용하여 수집한 개별차량주행궤적자료를 이용하여 유비쿼터스 환경에서 예측적 구간통행시간 산출기법을 제안하였다 [11].

3. 기존 연구와의 차별성

기존의 연구에서는 다양한 검지체계를 이용하여 자료를 수집하고 통행시간을 산출하는 방법론을 제시하였다. 본 연구에서는 차량과 인프라 간의 통신을 이용하여 개별차량 주행궤적 자료를 수집하며, 차로별 통행시간 정보를 생성하여 개별차량에게 제공하는 방법론을 구상하였다. 통행시간을 산출하는 과정에서 노드와 링크를 새롭게 생성하는 기법을 적용하여 보다 정밀한 교통류 상황의 반영이 가능하도록 하였다. 본 연구에서 제시한 방법론은 보다 신뢰성있는 교통정보의 생성에 도움이 될 것으로 판단된다.

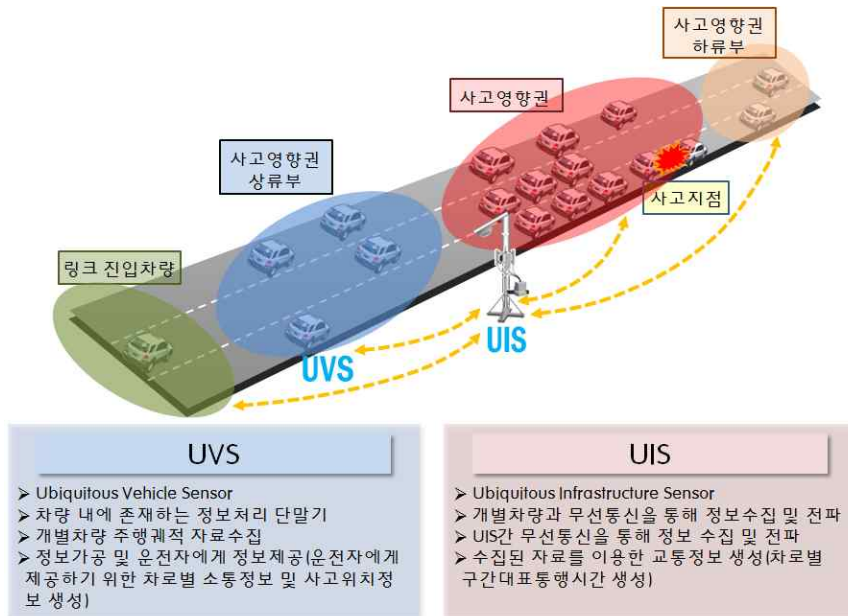
III. 자료수집 및 가공과정

본 연구에서는 돌발상황 발생 시 나타나는 개별차량의 주행궤적자료를 수집하기 위해서 미시적 교통시뮬레이션 프로그램인 VISSIM을 이용하여 일정기간동안 교통사고를 발생시켜 개별차량의 주행궤적을 수집하였다.

본 연구에서 개발한 방법론은 개별차량의 주행정보가 실시간으로 수집·전달될 수 있는 무선통신기반 교통정보시스템 환경에서 구현가능한 것이다. 본 연구에서 구상한 무선통신기반 교통정보시스템의 개념과 시뮬레이션을 이용한 자료 수집방법은 다음과 같다.

1. 무선통신기반 교통정보시스템

무선통신기반 교통정보 시스템의 구성요소에는 UIS(Ubiquitous Infrastructure Sensor)와 UVS(Ubiquitous Vehicle Sensor)가 존재한다. UIS는 도로변에 설치된 장비로 개별차량 또는 인접 UIS와의 무선통신을 통해 자료를 수집하고 정보를 가공하는 역할을 한다. 본 연구에서는 수집된 개별차량 주행궤적을 이용하여 링크의 대표통행시간을 산출하고, 링크의 진입차량에게 통행시간 정보를 제공하는 역할을 한다. UVS는 차량내에 설치되는 단말기로 GPS수신기를 이용한 개별차량 주행궤적자료를 수집하고, 통신반



<그림 1> 무선통신기반 교통정보시스템 구성도

<Fig. 1> Conceptual illustration of traffic information system based on wireless communications

경 내에 존재하는 다른 차량과 무선통신, UIS와의 무선통신을 통하여 정보를 수집하고 가공하는 역할을 담당한다. 정밀측위 기술의 발달로 인해 측위 오차 1m이하의 정밀도를 가지는 개별차량 주행궤적자료를 수집이 가능하게 되어 차로별 개별차량 주행궤적자료 수집이 가능하다. 또한, UVS는 운전자에게 교통정보를 전달해주는 매개체로 사용되며, 음성·영상을 통해 제공한다. 무선통신기반 교통정보시스템의 구성도를 <그림 1>에 제시하였으며, 구성요소의 역할을 정의하였다.

2. 개별차량 주행궤적자료 수집

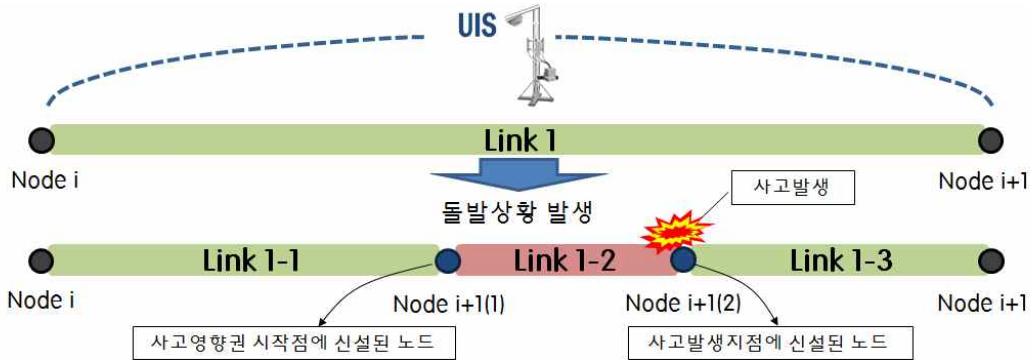
본 연구에서는 UIS에서 개별차량의 주행궤적자료를 수집하여 대표통행시간을 산출하고 정보를 운전자에게 제공하는 방법론을 제시하였다. 네트워크 구축 시 보다 현실적인 도로기하구조와 도로교통상황을 반영하기 위하여 수인산업도로의 약 7.42km구간을 표본으로 하여 네트워크를 구축하였다. 수인산업도로는 곡선부와 직선부가 존재하는 국도로, 제한속도는 80kph이다.

자료수집 시 적용된 교통상황을 <표 1>에 제시하였다. 차로수는 편도 4차로이며, 차로별 교통량은 시간당 1300대로 설정하였다. 총 시뮬레이션 시간은 1시간30분(5400초)이며, 사고발생 시각은 시뮬레이션

<표 1> 시뮬레이션 수행 시나리오

<Table 1> Simulation scenario

도로유형	자동차전용도로	
도로길이	7421m	
차로수	편도 4차로	
제한속도	80kph	
교통량	승용차	80%
	버스	10%
	트럭	10%
	전체	1300 veh/h/ln
LOS	C	
전체 시뮬레이션 시간	5400초	
사고발생시각	1000초	
사고처리시간	1800초	
사고발생위치	6727m	
사고발생차로	1차로	



<그림 2> Dynamic Node-Link 개념도
 <Fig. 2> Concept of dynamic node-link

시작 후 1000초가 경과한 시점이다. 사고처리가 완료되는 시점은 사고발생 후 30분(1800초)이 경과된 시점으로 시뮬레이션 시작 후 2800초가 경과된 시점이다. 교통사고는 1차로에서 발생한 것으로 설정하였다.

3. 입력자료 가공

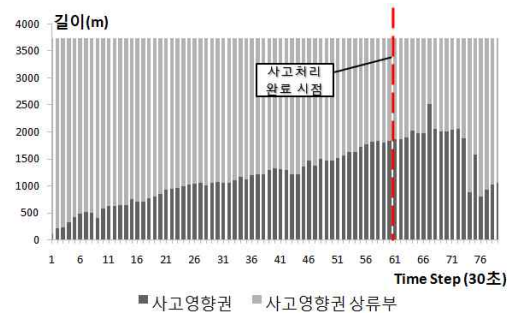
수집된 개별차량 주행궤적자료의 원시자료에는 차량번호, 시뮬레이션 진행시간, 각 차량의 시뮬레이션 진입시간, 주행차로, 속도, 차량의 위치좌표(X, Y)가 존재한다. 실제 GPS를 이용하여 개별차량 주행궤적자료를 수집 할 경우 차량의 위치정보는 위도와 경도를 이용하여 산출된다. 본 연구에서 사용한 개별차량 주행궤적자료에서는 차량의 X좌표와 Y좌표가 위도와 경도를 대신한다. X좌표와 Y좌표의 변화량을 이용해 차량의 이동경로를 추적하게 된다.

IV. 제안된 방법론

1. Dynamic Node-Link 개념정립

교통사고 발생 시 사고영향권과 비 영향권의 교통상황은 차이를 보이게 된다. 정상교통류 상황에서는 하나의 링크로 구분되는 도로를 돌발상황이 발생하였을 경우에는 교통류의 특성에 따라 링크를 세분화하였다. 본 연구에서는 이러한 동적인 교통류 특성

변화에 능동적으로 새로운 노드와 링크를 생성하는 방법(Dynamic Node-Link: DNL)을 고안하였다. DNL의 개념을 <그림 2>에 도식화 하였다. 사고발생지점과 사고영향권 시작점에 <그림 2>의 Node i+1(1), Node i+1(2)와 같이 새로운 노드가 생성된다. Node i+1(2)의 위치는 사고발생지점에 고정되어 있고, Node i+1(1)의 위치는 사고영향권의 변화에 따라 지속적으로 변하게 된다. 사고발생 시 수집된 개별차량들의 속도 분포의 분석을 통하여 링크의 특성을 분류하였다. 본 연구에서는 교통류의 상태를 소통상태를 기준으로 하여 소통원활, 서행, 정체 3단계로 구분하였다. 교통류 상태가 정체인 경우를 사고영향권으로 정의하였고, 수치적 구분을 하기위해 수집된 속도자료 중 백분위수 33%에 해당하는 속도 자료인



<그림 3> 사고영향권과 사고영향권 상류부의 길이변화
 <Fig. 3> Variable formation of incident influence zones

25kph를 추출하였다. 사고발생 지점부터 수집된 개별차량의 속도자료 중 25kph이하로 검지된 자료가 존재하는 지점까지를 사고영향권으로 정의하였다. 본 연구에서 제안한 Dynamic Node-Link기법에 의한 사고영향권과 사고영향권 상류부의 길이 변화를 <그림 3>에 제시하였다. Time Step 1시점에 사고가 발생하였다. 사고발생 후 사고영향권의 길이가 점차적으로 증가하는 것을 관찰 할 수 있으며, 사고처리 완료 시점 이후에도 충격파에 의해 약 5분간 사고영향권의 길이가 늘어나는 것을 관찰할 수 있다.

2. 대표통행시간 산출 방법론 및 시나리오

1) 수집된 자료의 특성분석

대표통행시간을 산출하기 위하여 UIS에서 수집한 개별차량 주행궤적자료의 특성을 분석하였다. 개별차량 주행궤적자료에는 매초마다의 차량의 위치와 속도자료가 존재한다. 사고영향권의 범위가 약 5000m 지점에서 시작되는 시간대에 수집된 속도자료의 분포도를 <그림 4>에 제시하였다. 사고영향권과 사고영향권 상류부의 속도분포의 특성차이는 크게 나타나는 것으로 분석되었다. 또한 각 구간 내부에서도 사고영향권 상류부의 경우 약 70~90kph까지의 속도자료가 분포하고, 사고영향권의 경우 0~60kph까지 다양한 속도자료가 분포한다.

사고영향권과 사고영향권 상류부에서 수집된 자료의 기술통계량을 <표 2>에 제시하였다. 사고영향권의 경우 사고차로인 1차로에 가까운 차로 일수록 많은 자료수가 수집되고 있으며, 이는 속도가 느린 차량들이 많이 분포하기 때문에 차량이 조밀하게 분

<표 2> 차로별 30초간 수집된 속도자료의 기술통계량
<Table 2> Descriptive statistics of speed data by lane

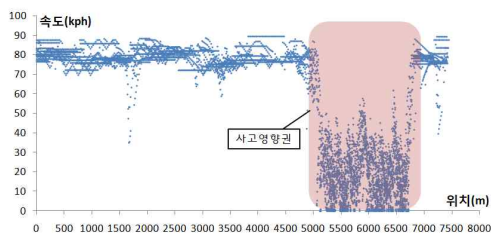
	자료수 (개)	평균 (kph)	85%값 (kph)	최소값 (kph)	최대값 (kph)	표준 편차
사고영향권 2차로	3017	17.79	30.70	0	63.68	12.26
사고영향권 3차로	2912	18.86	32.46	0	71.86	13.58
사고영향권 4차로	2684	20.91	37.01	0	62.91	14.36
사고영향권 상류부 2차로	2730	78.89	83.70	53.64	89.65	4.30
사고영향권 상류부 3차로	2733	79.42	84.69	25.36	89.94	4.99
사고영향권 상류부 4차로	2480	78.65	83.69	43.38	89.99	4.92

포함을 의미한다. 사고영향권의 경우 표준편차가 약 12~14로 나타났다. 이는 개별차량들이 다양한 특성을 가지고 주행하고 있음을 보여주고 있다.

2) 방법론 및 시나리오

정상교통류(Normal Traffic)의 경우에는 지점검지기에서 수집된 속도자료와 링크 길이를 이용해 통행시간을 산출하여도 대체로 정확한 산출이 가능하다. 반면 혼잡교통류의 경우에는 혼잡상태의 변화에 따라 통행시간의 차이가 크게 존재한다. 사고가 발생하였을 때 통행시간에 영향을 미치는 요인으로는 개별차량들의 속도분포 비율, 특정 속도로 주행한 길이, 대기행렬의 길이, 다차로 도로의 경우 사고발생 차로 등이 있다.

가장 일반적인 대표통행시간 산출기법은 전체구간의 길이를 루프검지기에서 수집된 속도자료를 집계하여 산출된 평균속도로 나누어 산출하는 것이다. 루프검지기에서 수집된 자료의 경우 특정 지점에서 수집된 자료이기 때문에 링크내의 교통상황을 반영하는데 한계가 존재한다. 유비쿼터스 환경에서는 개별차량의 주행궤적자료의 수집이 가능하므로, 일정구간의 통행시간 산출을 위해 사전에 정의된 두 지점을 통과하는 차량의 검지시간과 두 지점간의 거리를 이용하여 통행시간을 산출할 수 있다. 그러나 이



<그림 4> 30초간 수집된 속도자료의 분포도
<Fig. 4> Patterns of individual vehicle speed data

방법론의 경우 링크를 진입한 차량이 링크를 완전히 통과해야지만 통행시간 산출이 가능하기 때문에 실시간성이 감소하게 된다. 따라서 본 연구에서는 보다 높은 실시간성 및 신뢰성을 확보할 수 있는 정보를 생산하기 위해 현재 링크내에 존재하는 차량들의 속도자료를 수집하고 속도의 분포를 분석하여 링크의 교통상황을 반영할 수 있는 방법론을 제안하였다.

본 연구에서 제시한 방법론은 구간 내에 존재하는 차량들의 주행궤적 자료를 이용하여 구간을 세분화하여 통행시간을 산출하는 것이다. 정상교통류의 경우에는 기존의 표준노드링크를 사용하여 링크의 구간을 정적으로 하지만 사고 발생과 같은 돌발상황이 발생 하였을 경우에는 링크 내 교통류의 특성에 따라 동적으로 노드와 링크를 설정하게 된다. 사고가 발생하였다고 가정하면 구간은 크게 3구간으로 나누어진다. 사고 영향권과 사고영향권의 상류부, 사고영향권의 하류부로 나뉘게 된다.

크게 세분화된 구간 내에서도 다양한 특성의 개별 차량들이 존재하게 된다. 개별차량의 특성을 반영하기 위해 본 연구에서는 차량들을 일정한 속도단위로

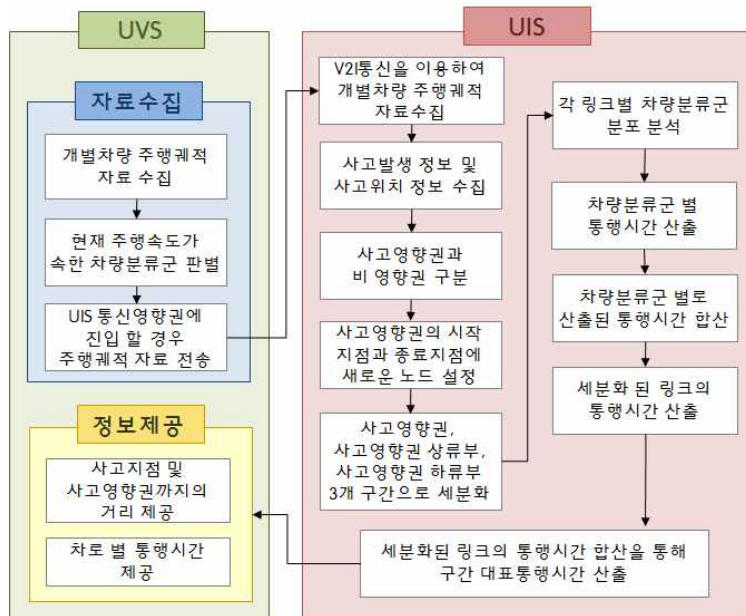
<표 3> 차량분류군 구분

<Table 3> Classification of vehicle groups by speed range

차량분류군	1단위	2단위	3단위
속도범위	30 이하(kph)	31-60(kph)	61 이상(kph)

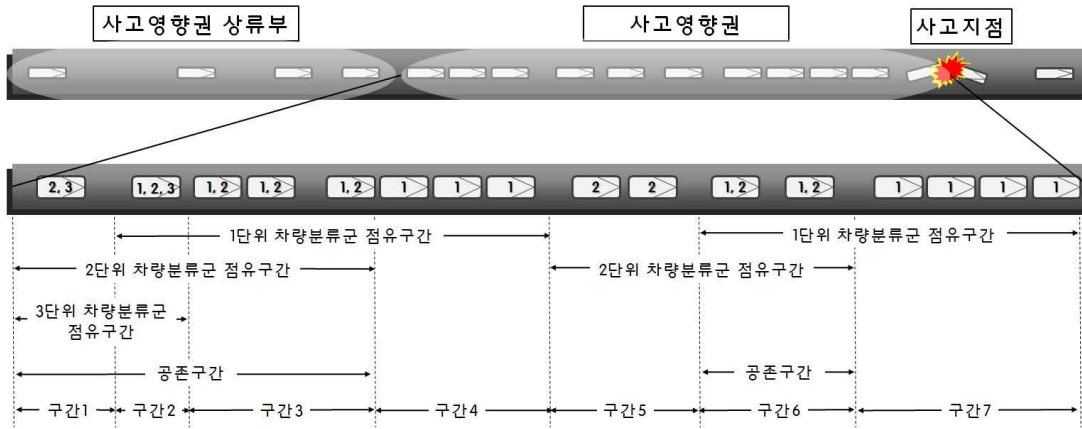
나누어 차량분류군을 설정하였다. 차량분류군을 설정하기 위한 기준 속도단위를 30kph으로 설정하였으며, 분석에 사용된 차량분류군을 <표 3>에 제시하였다. 미리 설정된 속도 구분단위에 속하는 차량들은 각 차량분류군의 특성을 대표하게 된다.

대표통행시간은 일정 주기를 가지고 정보가 갱신된다. 본 연구에서는 30초 간격으로 새로운 정보를 생성하는 것으로 설정하였다. 30초간 수집된 자료를 이용하여 대표통행시간을 산출하고, 다음 30초 동안 링크를 진입하는 차량에게 정보를 제공하게 된다. 산출된 통행시간의 정확도 평가를 위해 참값인 GT (Ground Truth)를 통행시간 산출 시 자료수집 대상차량으로 선정된 개별차량의 실제 통행시간으로 정의하였으며, 본 연구에서는 30초 동안 링크를 통과한



<그림 5> 자료처리 흐름도

<Fig. 5> Procedure for estimating representative section travel times



<그림 6> 차량분류군을 이용한 링크세분화 개념도
 <Fig. 6> Conceptual illustration of link separation by vehicle groups

차량들의 실제 통행시간으로 설정하였다.

본 연구에서는 차로별로 통행시간을 산출하는 기법을 제시하였다. 따라서 GT통행시간도 차로별로 산출되어야 한다. 이상적인 GT산출은 차로변경을 하지 않고 단일 차로를 이용하여 구간을 통과하는 차량의 통행시간을 이용하여 산출하는 것이다. 그러나 해당 구간의 길이와 교통상황에 따라 차로변경을 하지 않는 차량의 비율이 달라지며, 수집된 개별차량 주행데이터 중에는 존재하지 않는 것으로 분석되었다. 본 연구에서는 각 정보산출주기 별로 정의된 링크를 통행하는데 90%이상 한 차로를 이용한 차량을 GT값을 산출하기 위한 대상차량으로 선정하였다.

3. 자료처리 알고리즘

본 연구에서 제시한 대표통행시간 산출 방법론에 사용되는 자료의 수집은 각 개별차량에서 수행된다. 개별차량은 UIS의 통신반경에 진입할 경우 이전 UIS와 통신한 이후 수집된 주행데이터를 현재 영향권의 UIS에 전송하게 된다. UIS는 사고발생정보와 사고 위치 정보를 수집한다. 수집된 사고위치는 사고영향권의 종료지점 설정에 사용된다. 개별차량에서 전송받은 주행데이터 자료를 이용하여 사고영향권의 시작지점을 설정하고, 새로운 노드를 생성한다. 사고영향권 상류부, 사고영향권, 사고영향권 하류부, 크

게 3부분으로 링크를 세분화 한다.

각 링크 내에 존재하는 개별차량들의 차량분류군 분포를 분석하여 각 차량 분류군이 점유하고 있는 구간의 길이를 산출한다. 산출된 구간 길이와 각 차량분류군의 평균 속도를 이용하여 구간별 통행시간을 산출한다. 구간별 통행시간을 합산하여 링크 통행시간을 산출하며, 링크통행시간을 합산하여 구간 대표통행시간을 산출하게 된다. 자료처리과정을 <그림 5>에 제시하였으며, 차량분류군을 이용한 링크 세분화 개념도를 <그림 6>에 제시하였다. 사고영향권, 사고영향권 상류부 각 구간을 <그림 6>와 같이 차량분류군 별로 세분화 하였다. 세분화 하는 과정에서 차량분류군 단위가 공존하는 구간이 발생하는데, 이 구간을 공존구간으로 정의하였으며, 개별적으로 분리하였다.

$$RTT^l(t) = TT_{inc}^l(t) + TT_{Ninc}^l(t) \quad \dots\dots\dots \text{식(1)}$$

$RTT^l(t)$: time step t 에서 차로 l 의 대표통행시간

$TT_{inc}^l(t)$: time step t 에서 돌발상황 영향권 내에서 차로 l 의 통행시간

$TT_{Ninc}^l(t)$: time step t 에서 돌발상황 비영향권 내에서 차로 l 의 통행시간

$$TT_{inc}^l(t) = \sum_{j=1}^n \left(\frac{L_j}{V_j} \right) \quad \dots\dots\dots \text{식(2)}$$

L_j : 사고영향권의 차량분류군에 의해 세분화된 $Link_j$ 의 길이

\widehat{V}_j : 사고영향권의 차량분류군에 의해 세분화된 $Link_j$ 를 대표하는 속도

n : 사고영향권의 차량분류군에 의해 세분화된 링크의 개수

$$TT_{Ninc}^t(t) = \sum_{p=1}^q \left(\frac{L_p}{\widehat{V}_p} \right) \dots\dots\dots \text{식(3)}$$

L_p : 사고영향권 상류부의 차량분류군에 의해 세분화된 $Link_p$ 의 길이

\widehat{V}_p : 사고영향권 상류부의 차량분류군에 의해 세분화된 $Link_p$ 를 대표하는 속도

q : 사고영향권 상류부의 차량분류군에 의해 세분화된 링크의 개수

$$\widehat{V} = \frac{\sum_{k=1}^r \left[\sum_{i=1}^m u_i^k / m \right] \times w_k}{\sum_{k=1}^r w_k} \dots\dots\dots \text{식(4)}$$

\widehat{V} : 사고영향권과 사고영향권 상류부의 차량분류군에 의해 세분화된 $Link_j$, $Link_p$ 를 대표하는 속도

r : 차량분류단위의 개수

m : 차량분류단위 k 에 속하는 개별차량 i 의 속도자료의 개수

u_i^k : 차량분류단위 k 에 속하는 개별차량 i 의 속도자료

w_k : 차량분류단위 k 에 적용되는 가중치

대표통행시간은 식(1)과 같이 각 시간대 별로 산출된 사고영향권 통행시간과 사고영향권 상류부 통행시간의 합으로 산출된다. 사고영향권 및 사고영향권 상류부의 통행시간은 식(2), 식(3)을 이용하여 산출하게 된다. 식(2), 식(3)은 차량분류군에 의해 세분화된 링크의 통행시간을 산출하여 합산하는 과정을 나타내고 있다.

세분화된 링크를 대표하는 속도를 구하기 위해 식(4)을 사용하였다. 본 연구에서는 식(4)의 차량분류단위 k 에 적용되는 가중치 w_k 에 초기값으로 $[w_1, w_2, w_3] = [0.25, 0.25, 0.5]$ 를 적용하였다. 연속류 도로를 이용하는 운전자들은 일반적으로 현재 주행환경에서 제한속도 범위 내에서 중 가장 빠른 속

도로 주행하려는 특성을 지니고 있다고 가정할 수 있다. 따라서 본 연구의 대상구간과 같은 다차로 도로에서는 차로변경 혹은 기타 다른 요인에 의해 주행속도의 감소와 회복단계가 반복된다. 본 연구에서 제시한 방법론은 개별차량들의 자료를 이용하여 통행시간을 산출하기 때문에 주행궤적자료를 제공해준 각 개별차량들의 속도변화 특성이 모두 반영된다. 예를 들어, 한 차량이 링크를 통과하는데 평균적으로 차로변경을 3번 한다고 가정하면, 수집된 링크내 속도자료 중에는 차로변경에 의해 속도가 감소되는 경우가 약 ‘차량대수×3’만큼 존재하게 된다. 따라서 차량분류군이 중복되는 구간에서는 상위수준(속도가 높은 차량분류)의 차량분류군에 높은 가중치를 주어 계산하는 방법이 구간을 통행하는 차량의 주행특성을 대표하는데 보다 합리적이다.

V. 분석결과

본 연구에서 제시한 방법론을 이용하여 산출된 구간대표통행시간과 GT값의 비교를 통해 방법론을 평가하였다. 또한, 차량내 단말기 보급률을 반영하는 변수인 PPV의 변화에 따른 통행시간 산출의 정확도를 분석하였다.

1. 통행시간 산출 방법론 평가

차로별로 산출된 구간 대표통행시간과 GT값의 오차율(Mean Absolute Percentage Error: MAPE)을 이용하여 방법론을 평가 하였다. 차로와 PPV의 변화에 따른 MAPE값을 <표 4>에 제시하였다. PPV이 증가하면서 오차율이 감소되는 것을 관찰할 수 있다.

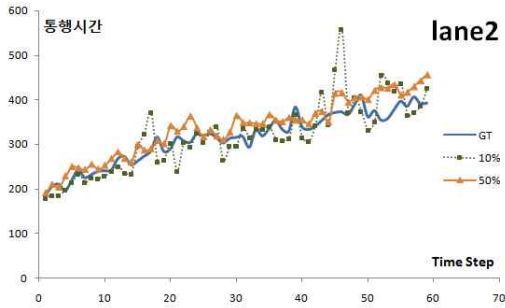
각 시간대별 GT통행시간과 산출된 구간통행시간의 변화를 <그림 7>에 제시하였다. 제안된 방법론은 GT값의 증가 추세와 유사하게 통행시간을 산출하고 있으며 PPV 10%의 경우에는 샘플링 되는 차량의 수가 상대적으로 적어 특정 시간대에서는 큰 오차를 보이는 것으로 나타났다. PPV 50%의 경우에는 큰 오차 없이 GT값의 증가 패턴과 유사하게 산출하고 있다.

<표 4> PPV 및 차로 별 MAPE

<Table 4> Analysis results

$$[w_1, w_2, w_3] = [0.25, 0.25, 0.5]$$

PPV(%)	2차로	3차로	4차로
10(%)	22.8578	16.09779	17.81001
20(%)	10.70908	8.921722	6.819709
30(%)	8.808849	7.451459	6.350734
40(%)	8.708096	7.364128	6.311112
50(%)	8.658016	7.331377	6.286932



<그림 7> 제안된 방법론과 GT값의 비교

<Fig. 7> Performance comparison of proposed method by different PPVs (10% and 50%)

2. 현장 적용성 평가

본 연구에서 제시한 방법론은 무선통신 기반 교통 정보시스템의 구성요소인 UVS의 장착 비율에 따라 다른 정확도를 가지게 된다. 따라서 UVS 장착 비율이 일정 비율 이상이 되어야 산출된 통행시간의 신뢰도를 높일 수 있다. PPV의 변화에 따른 차로별 구간대표통행시간의 MAPE를 <그림 8>과 같이 나타내었다. PPV가 10%에서 20%로 변할 때는 상대적으로 큰 감소폭을 보이고 있으며, 20% 이상에서는 그 변화량이 적은 것으로 관찰되었다. PPV의 변화에 따른 생성된 구간대표통행시간의 정확도의 이질성을 통계적으로 분석하기 위해 ANOVA test(분산분석)을 수행하였다. 귀무가설은 PPV의 변화에 따라 생성된 구간대표통행시간의 정확도는 차이가 없다는 것으로 설정하였고 대립가설은 PPV의 변화에 따라 생성된 구간대표통행시간의 정확도는 차이가 있다는 것으로 설정하였다.

$$H_0 : \mu_{10\%}^{MAPE} = \mu_{20\%}^{MAPE} = \mu_{30\%}^{MAPE} = \mu_{40\%}^{MAPE} = \mu_{50\%}^{MAPE}$$

$$H_1 : \mu_{10\%}^{MAPE} \neq \mu_{20\%}^{MAPE} \neq \mu_{30\%}^{MAPE} \neq \mu_{40\%}^{MAPE} \neq \mu_{50\%}^{MAPE}$$

<표 5> 구간대표통행시간 정확도의 분산분석 결과

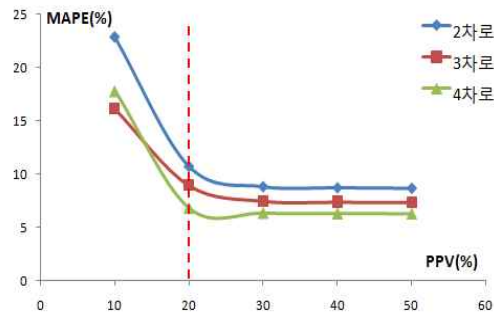
<Table 5> Results for ANOVA test

· 분산분석

	제곱합	자유도	평균제곱	F	유의확률
집단-간	300.405	4	75.101	18.305	0.0001
집단-내	41.027	10	4.103		
합계	341.431	14			

· 동일집단군

분석방법	GROUP	유의수준=0.05에 대한 부집단	
		Group 1	Group 2
Tukey HSD ¹⁾	1 (PPV 10%)		18.9219
	2 (PPV 20%)	8.8168	
	3 (PPV 30%)	7.5370	
	4 (PPV 40%)	7.4611	
	5 (PPV 50%)	7.4254	
	유의확률	0.911	1.000
Duncan ²⁾	1 (PPV 10%)		18.9219
	2 (PPV 20%)	8.8168	
	3 (PPV 30%)	7.5370	
	4 (PPV 40%)	7.4611	
	5 (PPV 50%)	7.4254	
	유의확률	0.450	1.000



<그림 8> PPV 변화에 따른 오차율

<Fig. 8> Variation rate for PPV

- 1) Tukey HSD 검정: 모든 집단의 사례수가 동일할 때 사용하며, 1대 1 짝의 비교를 할 때 사용되는 사후검정법. 분산분석 수행 시 유의한 차이가 존재하는 위치를 통계적으로 검정
- 2) Duncan 검정: 다중범위 검정이라고도 하며, 자료들의 평균이 어느 정도 유의한 차이를 가지는지 결정하는 사후검정법

구간대표통행시간 정확도의 분산분석 결과를 <표 5>에 제시하였다. 유의 확률(0.0001)이 기 설정했던 유의수준 0.05보다 작은 값이 나와 산출된 구간대표통행시간 정확도는 통계적으로 다른 것으로 분석되었다. 동일집단군 분석결과 PPV 20%, 30%, 40%, 50%가 속한 GROUP 1과 PPV 10%가 속한 GROUP 2로 집단이 분류되었다. 따라서 본 연구에서 제시한 통행시간 산출방법론은 차량내 단말기 보급률이 20%이상으로 확보되면 오차율 10%이하의 신뢰성 있는 차로별 구간대표통행시간을 산출 할 수 있는 것으로 나타났다.

VI. 결 론

본 연구에서는 미시적 교통 시뮬레이션 프로그램인 VISSIM을 이용하여 개별차량 주행패적 자료를 수집하고 돌발상황이 발생하였을 경우 대표통행시간을 산출하는 방법론을 제시하였다. 돌발상황의 발생을 구현하기 위하여 특정 지점에 일정 시간동안 사고를 발생시켜 주행패적을 수집하였다.

돌발상황 발생 시 나타나는 교통류의 특성을 반영하기 위하여 동적으로 노드-링크를 구분하였으며, 차로별로 나타나는 특성을 반영하기 위해 통행시간 산출을 차로별로 수행하는 기법을 제시하였다. 또한, 개별차량의 주행특성을 반영하기 위해 일정 속도단위로 차량을 분류하여 차량분류군을 형성하였다. 통행시간의 산출주기를 30초로 설정하였으며 각 산출주기별로 산출된 구간대표통행시간을 GT값과 비교 분석하였다. 또한, PPV의 변화에 따른 생성정보의 정확도를 분석하였다.

분석결과 PPV이 20% 이상일 경우에는 약 6~8%의 오차율을 보이는 것으로 분석되었으며, PPV가 20% 이상 확보되면 10%이하의 오차율을 가지는 차로별 구간대표통행시간을 산출 할 수 있는 것으로 분석되었다.

본 연구에서 나타난 한계점을 보완하고, 보다 신뢰성 있는 차로별 대표통행시간산출 및 정보제공을 위해 통행시간 산출주기 및 정보제공 갱신주기, 대상구간의 길이, 사고영향권 산정기준, 그리고 차량분

류군별 최적 가중치 값에 대한 보다 체계적인 향후 연구수행이 필요하다.

구간대표통행시간을 산출하는 링크의 길이가 길 경우 생성된 정보를 제공받는 차량이 실제 링크를 주행 할 경우 링크 하류부로 갈수록 정보의 실시간성이 떨어지게 된다. 따라서 정보의 생성주기와 정보 갱신주기의 설정을 통해 구간을 통행하고 있는 차량에게 일정 주기별로 정보를 제공해 주는 방법론에 대한 연구가 필요하다. 또한, 보다 체계적인 사고영향권 산정기준은 사고영향권까지의 거리, 도달시간 정보를 생성 시 정보의 신뢰도를 향상 시킬 것으로 판단된다.

본 연구에서는 공존구간의 대표속도 산출 시 차량분류군 별 가중치를 초기값으로 적용시켜 방법론을 평가하였으나, 향후 연구에서 통행시간 오차율을 최소로 하는 최적 가중치값을 산출하는 연구수행이 필요하다. 또한, 수집된 각 차량분류군 별 속도자료 이용하여 해당구간을 주행하는 대부분의 운전자가 실제로 체감하는 통행시간을 최대한 반영할 수 있는 대표하는 값을 산출하는 방법론에 대한 연구도 필요하다.

본 연구는 링크와 노드를 동적으로 구분하여 링크내 교통류의 특성을 보다 정밀하게 반영하는 기법을 제시하는데 의의가 있으며, 링크 내에 존재하는 차량들을 일정 속도 단위로 구분함으로써 개별차량의 주행특성을 반영 할 수 있다는 점에서 의의가 있다. 또한, 차로별 통행시간정보 제공은 급변하는 교통상황에 대해 운전자의 능동적인 차로선택을 지원하게 될 것이다. 보다 효율적인 차로이용을 통해 전반적인 통행시간 감소 효과도 기대된다. 한편, 교통시스템운영자는 교통정체 감소 및 사고 예방을 위한 보다 효과적이고 진보된 교통류 관리전략을 개발하고 구현할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서 제시한 방법론은 기존의 검지체계를 이용한 방법론 보다 실시간성 있고 정확한 구간정보를 생성할 수 있으며, 정확한 교통정보는 교통서비스 품질 향상에 기여할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] K. F. Petty, P. Bickel, M. Ostland, P. Bickel, J. Rice, F. Schoenberg, J. Jiang, and Y. Ritov, "Accurate estimation of travel times from single-loop detectors," *Transportation Research, Part A (Policy and Practice)*, vol. 32A, no. 1, pp. 1~17, Jan. 1998.
- [2] 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*, vol. 1855, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp. 41~48, Jan. 2003.
- [3] A. Hobeika, and S. Dhulipala, "Estimation of travel times on urban freeways under incident conditions," *J. Transportation Research Board*, vol. 1867, National Research Council, Washington D.C., pp. 97~106, Jan. 2004.
- [4] C. E. Cortes, R. Lavanya, J. S. Oh, and, R. Jayakrishnan, "A general purpose methodology for link travel time estimation using multiple point detection of traffic," *80th Transportation Research Board Annual Meeting*, Washington D.C., pp. 181-189, 2001.
- [5] B. L. Smith, R. B. Holt, and B. B. Park, "Travel time estimation for urban freeway performance measurement: Understanding and improving upon the extrapolation method," *83rd Transportation Research Board Annual Meeting*, Washington D.C., 2003.
- [6] 박준형, 오철, 남궁성, "루프검지기 자기신호 패턴분석을 통한 차량재인식 알고리즘," *대한교통학회지*, 제27권, 제1호, pp. 179~190, 2009. 2.
- [7] 최기주, 신치현, "GPS와 GIS를 이용한 링크통행시간 예측기법," *대한교통학회지*, 제16권, 제2호, pp. 197~207, 1998. 4.
- [8] 김영찬, 김태용, "검지자료합성을 통한 도시간선 도로 실시간 통행시간 추정모형," *대한교통학회지*, 제19권, 제6호, pp. 171~182, 2001. 12.
- [9] 심상우, 최기주, "혼잡상황에서 링크미통과 GPS 프로브데이터를 활용한 링크통행시간 추정기법 개발," *대한교통학회지*, 제24권, 제5호, pp. 7~18, 2006. 10.
- [10] M. Chen and S. I. J. Chein, "Dynamic freeway travel-time prediction with probe vehicle data," *Transportation Research Record*, vol. 1768, no. 01-2887, pp. 157~161, Jan. 2001.
- [11] 박준형, 오철, 김태형, 김원규, "유비쿼터스 환경에서 돌발상황 발생 시 예측적 통행시간 추정기법," *한국ITS학회논문지*, 제8권, 제2호, pp. 14~26, 2009. 4.

저자소개



임희섭 (Rim, Hee-Sub)

2006년 3월 ~ 2009년 8월 : 한양대학교 교통시스템공학과 공학사
2009년 8월 ~ 현재 : 한양대학교 대학원 교통공학과 석사과정



오철 (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



강경표 (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