

GPS수신정보에 의한 구간통행속도 예측 알고리즘 비교평가

Evaluation of the Estimate Algorithms for Link Travel Time from GPS Probe Data

김 동 효* 한 원 섭** 이 호 원***
(Dong-Hyo Kim) (Won-Sub Han) (Ho-Won Lee)

현 철 승*** 주 두 환**** 이 철 기*****
(Cheol-Seung Hyun) (Doo-Hwan Joo) (Choul-Ki Lee)

요 약

본 연구는 현재 사용되고 있는 수치지도 및 GPS의 오차 특성을 비교하고, GPS 프로브 차량에 의해 수집되는 구간통행속도 정보의 산출 방법을 비교·평가하여 신뢰성 있는 방안을 제시하는데 연구목적이 있다. GPS 신호가 불량한 지점에서 실험 결과 GPS에 사용된 Chipset별로 거리오차가 큰 것으로 분석되었으며, 수치지도의 오차 특성 분석 결과 실측길이와 수치지도와의 차이는 평균 4% 정도로 차이가 발생한 것으로 나타났다. 이러한 오차 특성을 고려하여 GPS수신 정보에 의한 구간통행속도 산출방법을 수치지도상의 진입진출 노드를 기중점으로 해당 링크 내에서 구간길이와 통행시간에 의한 산출 방법, 순간평균속도에 의한 산출 방법 및 이동거리 누적 및 통행시간에 의한 산출방법 등 세 가지 방법에 대한 알고리즘을 개발하고 이를 비교·평가하였다. 비교·평가결과, 구간길이와 통행시간에 의한 산출방법이 가장 신뢰성이 높은 것으로 분석되었다.

Abstract

This study analyzed errors of data received from GPS which showed different reception characteristics based on chipset at poor reception area. The digital map made from National Police Agency shows 4% errors of length on the average. The comparison of three different algorithms - Average Spot Speed, Cumulative Travel Length from GPS with Actual Travel Time, Travel Length from Digital Map with Actual Travel Time - have been conducted to find significant difference estimating travel time from GPS Data. The algorithm to estimate travel time from travel length and travel time showed the most reliable results from the others.

Key words: GPS, probe car, link travel time, traffic information collection, traffic information providing

* 주저자 : 도로교통공단 교통과학연구원 연구위원

** 공저자 : 도로교통공단 교통과학연구원 수석연구원

*** 공저자 : 도로교통공단 교통과학연구원 선임연구원

**** 공저자 : 도로교통공단 교통과학연구원 책임연구원

***** 공저자 : 아주대학교 ITS 대학원 교수

† 논문접수일 : 2008년 9월 1일

† 논문심사일 : 2008년 9월 16일(1차), 2008년 9월 24일(2차)

† 게재확정일 : 2008년 9월 24일

I. 연구개요

1.1. 연구 배경과 목적

교통정보제공은 도로정체, 공사, 사고 및 통제 등 교통상황에 따라 우회도로를 선택할 수 있도록 하여 교통량 분산에 따른 교통소통 증진과 최적경로 선택에 의한 여행시간 감소와 사고예방 등으로 직·간접 손실비용을 최소화할 수 있다. 정확한 교통정보를 예측하기 위한 루프검지기, 초음파검지기 등을 이용하고 있으며, 서울지방경찰청 종합교통정보센터의 경우 교통정보를 수집하기 위한 GPS를 장착한 프로브 차량을 2001년부터 년차별로 확장하여 현재 약 5,000여 대가 운행되고 있다. 그러나 도심 환경에서 GPS 프로브 차량 운행은 고층빌딩 등의 영향으로 위성수신호의 세기가 약화되어 위치 계산 시 오차발생 요인이 된다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 GPS 개발업체는 위성수신호의 세기가 약한 상황에서 위치좌표를 계산할 때 GPS 수신감도(Tracking Sensitivity)의 하드웨어나 소프트웨어적인 보상방법을 적용하고 있지만 한계가 있다. 본 연구에서는 GPS 프로브 차량에 의한 구간교통속도 정보를 정확하게 예측하기 위해서 GPS의 오차 특성 분석을 통해 전자지도 매칭과 속도 산출 방법에 따라 교통정보의 신뢰성을 제고시킬 수 있는 여러 방법을 제시하고, 이 들을 비교 평가하여 최적의 방안을 제시하고자 한다.

1.2. 연구방법

GPS 프로브 차량에 의한 구간통행속도를 수집하기 위해서는 단말기 내에 수치지도를 활용한다. 현재 교통정보수집용 수치지도는 국립지리원에서 제작한 1/5,000의 NGIS기반 국가수치지본도와 이를 활용하여 ITS부문에 필요한 네트워크 위상을 더하여 제작한 것이다. 수치지도는 실제 다양한 형태의 도로망을 평면구조로 모델링(Modeling)하여 컴퓨터에서 사용할 수 있도록 제작된 것으로 제작과정 및 기술적인 한계에 의하여 오차가 발생된다. 이러한

오차는 GPS로 구간통행속도 산출과정에 있어서 더 큰 오차로 연결되므로 정확한 구간통행속도 예측을 위해서는 수치지도의 오차특성이 고려되어야 한다. 현재 교통정보 수집용으로 제작되어 이용되고 있는 수치지도는 구간통행속도 산출의 주요 변수인 링크길이에 대하여 오차 특성을 현장조사를 통하여 분석할 필요가 있다.

본 연구에서는 구간통행속도 산출 시 GPS 오차, 수치지도 오차, 노드링크 구성방법과 신호대기 및 차량혼잡에 의한 교차로 내 정차 등에 대한 오차 원인을 분석하였다. 또한 링크길이의 부정확성과 고가차도와 지상도로가 공존하는 구간 및 램프구간과 터널구간 등 노드/링크의 수치지도 모델링 방법에 따라 오차가 크게 발생하므로 이에 대한 특성을 분석하였다. 최종적으로 GPS와 수치지도의 오차 특성 및 신호대기나 혼잡 등의 교통상황을 고려하여 구간통행속도 산출 방식 알고리즘을 비교·평가하여 최적의 구간통행속도 산출 알고리즘을 제시하였다.

II. 관련 연구 및 GPS 원리

2.1. 관련 연구

T. L. Graves는 통행시간 예측 가변성에 미치는 영향 연구를 통해 교통신호와 교통량을 제시하였다.

최기주 등은 GPS 프로브 원시데이터의 이상치 제거모형으로 시계열 모형이 적절히 이용 가능할 것으로 제시하였다 [1]. 최기주 등은 GPS와 GIS를 이용한 링크통행시간 예측기법을 개발하여 실측 링크통행시간과 비교한 결과, 오차범위가 10%내외로 판명되었다고 제시하였다 [2].

심상우 등은 혼잡상황에서 링크 미통과 GPS 프로브 데이터를 활용한 링크통행시간 추정기법 개발을 통해 부족한 데이터의 절대량을 보존해줄 수 있는 방법을 제시하였으나, 도심지역 혼잡구간의 기법을 제안하지 못한 한계점을 갖고 있다 [3].

이영우 등은 GPS 수집 자료를 이용한 링크통행시간 분포 특성 연구를 통해 링크통행시간의 경우 평균통행시간에 의한 결과 보다는 신호지체가 발생

하지 않는 통행시간과 신호지체가 발생하는 통행시간으로 구분하는 것이 교통상황을 인식하는 것이 효과적일 것이라 하였다 [4].

정연식 등은 루프검지기자료와 GPS 차량의 실시간 교통정보를 이용하여 통행시간을 산출하는 알고리즘을 개발하였다. 그 결과, 소통이 원활한 경우에는 데이터 퓨전 알고리즘 효과는 미미하였지만, 소통이 원활하지 못한 경우 효과가 큰 것으로 분석하였으나, 소통상황의 LOS (Level of Service)를 고려하지 못한 한계점을 가지고 있다 [5].

김동환은 GPS 및 전자지도의 오차를 고려하여 버퍼크기를 설정하고 지점속도 패턴을 이용하여 혼잡상황을 판단하는 기법을 개발하였으며, 버퍼내부에서 교차로 통과시점을 추정할 수 있는 기법을 개발하였다. 또한 링크통행시간, 교차로 정지지체시간, 구간정지지체시간 등을 추정하는 기법을 개발하였으나, 신뢰성 있는 교통정보를 수집하기 위한 적정 프로브 차량의 대수, 정보수집주기 등을 제시하지 못하였다 [6].

2.2. GPS 원리

GPS 프로브 차량에 의한 위치정보는 GPS 수신기로 3개 이상의 위성으로부터 시간과 거리를 측정하여 3개의 각각 다른 거리를 삼각측정방법에 따라 위치를 정확히 계산할 수 있다. 현재 3개의 위성으로부터 거리와 시간 정보를 얻고 1개 위성으로 오차를 수정하는 방법을 가장 널리 쓰고 있다 [7]. GPS에 의한 위치측정방법에는 단독측위(Point positioning), DGPS (Differential GPS) 측위와 상대측위(Relative positioning) 등으로 구분할 수 있다. 단독측위는 주행안내시스템(Car-Navigation System)에서 일반적으로 적용되는 것으로, 하나의 수신기로 위성이 방송하는 코드를 이용하여 공간에서의 삼변측량(trilateration) 방법으로 위치를 산출하는 것이다. DGPS 측위는 잡음에 의한 단독측위의 정확도 저하 문제점을 해결하기 위한 기술로 좌표를 알고 있는 기지점에 GPS 수신기를 설치하고, 위성들을 모니터하여 개별 위성의 거리 오차 보정치를 정밀하게 계

산한 후 이를 작업 현장의 이동국용 수신기의 오차 보정에 이용하는 방식이다. 상대측위는 GPS 위성이 방송하는 코드 이외에 반송파의 파장을 이용하는 것으로 반송파 위상(carrier phase) 관측에 의한 상대측위 모드는 높은 정확도를 획득할 수 있다.

GPS 오차는 잡음(noise), 편기(bias), 실수(blunders)의 조합으로 발생된다. 잡음오차는 PRN(Precise Code)¹⁾ 코드 잡음(약 1m)과 수신기내 잡음(약 1m)의 결합효과이다. 편기오차는 Selective Availability와 다른 요인에 기인하고, 약간의 실수는 수 백km의 오차를 발생시킬 수 있다 [7]. 관제소에서의 컴퓨터나 인간의 오작동에 의한 오차는 1m에서 수백km의 오차를 발생시킬 수 있고, 부정확한 측지원점의 선택을 포함한 사용자의 잘못된 1m에서 수백m의 오차를 발생시킨다. 소프트웨어 또는 하드웨어의 고장에 의한 수신기의 오차 또한 실수에 의한 오차를 발생시킨다. 또한 잡음과 편기오차의 결합은 통상적으로 위치해석에 사용된 각 위성에 대하여 약 15m의 거리 오차를 발생 시킨다

III. GPS 및 수치지도 오차특성

3.1. GPS 오차 특성

<표 1>과 같이 현재 사용되고 있는 GPS 제품에 대하여 다양한 도로환경에서 GPS의 신뢰도를 조사하였다. 주요 변수인 위성으로부터 GPS 신호를 수신할 수 있는 채널 수는 8~32개로 분포되어 있고, 위치 정확도는 3m와 7m 원내에 존재 확률 (3m CEP)은 모두 50%와 90%로 같으나, 거리오차는 0.05~0.1m 범위 내에 있고, 수신감도는 -147~-159 dBm 범위 내에 있다. GPS로부터 데이터를 수신하는 통신프로토콜은 GPS 통신의 국제표준인 NMEA (National Marine Electronics Association) 0183인 인터페이스를 활용하였다.

1) 반송파 주파수 (L1, L1/L2), PRN 코드C/A code (1.023MHz) C/A code, P code (10.23MHz) 수평위치오차 36m (95% 2drms), 22m (95% 2drms), 수직위치오차 77m (95% 2drms), 28m (95% 2drms)

<표 1> 실험에 사용된 GPS 제품별 주요 사양
 <Table 1> Comparison of specification for the GPS products

구분	N	X	M	S
Chipset	N-Chipset	X-Chipset	M-Chipset	S-Chipset
채널수	16	8	32	20
Code (수신주파수)	L1, C/A Code			
Update Rate	1s	1s	1s	1s
위치정확도	3m CEP	3m CEP	3m CEP	3m CEP
	50%	50%	50%	50%
	7m CEP	7m CEP	7m CEP	7m CEP
	90%	90%	90%	90%
	0.1m,w/o, S/A	0.05m, typical	0.05m, typical	0.05m, typical
안테나	built-in Active or on-board Patch			
수신감도	-147dBm	-143dBm	-158dBm	-159dBm

종류별 GPS 수신기를 수신양호지점, 수신불량지점, 자동차 및 DGPS 기지국 지점에 일정시간동안 데이터를 수집하여, 수집된 데이터가 어떤 특성을 보이는지를 분석하였다. 수집된 자료의 X, Y 평균 위치 좌표, 임의의 기준점 또는 DGPS 기지국에서 벗어나는 거리에 대한 평균값, 분산 등에 대해 제품별 특성을 비교하였다. <표 2>와 <표 3>은 장소별, DGPS 기지국 위치별 GPS 오차 특성 수집방법 및

<표 2> 장소별 GPS 오차특성 수집 및 분석방법
 <Table 2> GPS performance test method at area

장 소	수집 방법	분석 방법
수신 양호 지점	건물우상 도심외곽 도로 ○ 수신에 장애가 없는 지점 ○ Chip Set별 5분간 수집	○ X, Y 좌표의 평균좌표 산출 ○ 평균좌표로부터 각 좌표간 거리 산출 ○ 거리의 대한 평균 및 표준편차 산출
수신 불량 지점	도심빌딩 지역 고가 밑 터널진출 입부 ○ 수신에 장애가 없는 지점 ○ Chip Set별 5분간 수집 ○ 차량 앞과 뒤쪽에서 수집	
자동차	실내전방, 실내후방 차량지붕 ○ 자동차 내·외에 안테나 위치 ○ Chip Set별 5분간 수집	

<표 3> DGPS 기지국 위치에서 GPS 오차특성 수집 및 분석방법

<Table 3> GPS performance test method at DGPS area

장 소	수집 방법	분석 방법
서울산업대 (국토지리 정보원)	○ DGPS 기지국 위치에서 수집 ○ 각 Chip Set별로 5분간 수집	○ X, Y좌표의 평균 좌표 산출 ○ 평균좌표로부터 각 좌표간 거리산출 ○ 거리의 대한 평균 및 표준편차 산출
대전 (한국천문 연구원)	○ DGPS 기지국 위치에서 수집 ○ 각 Chip Set별로 5분간 수집	

<표 4> 평균위치좌표 중심으로 수집된 데이터의 거리분포 비교

<Table 4> Test results of data difference

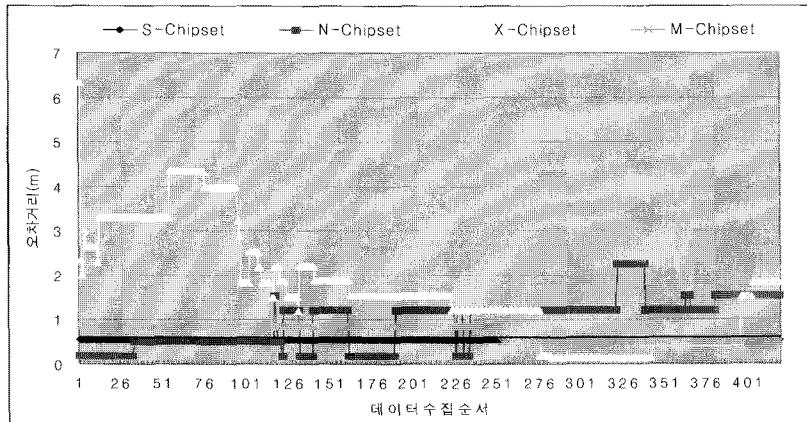
구 분	N-Chipset	X-Chipset	M-Chipset	S-Chipset
최대거리 차 (m)	0.1	0.2	0	0
최소거리 차 (m)	1.6	1.6	2.6	0
평균(m)	0.6	0.7	0.0	0

분석방법을 요약한 것이다.

GPS 수신양호지점에서는 4개의 GPS 모두 3m 이내의 거리편차를 보이는 것으로 나타났다. M-Chipset의 경우는 대부분의 데이터가 동일위치의 좌표 값으로 수집되다가 후반에 수집된 데이터에서 거리차를 보이는 것으로 조사되었다 (<표 4> 참조).

고가도로, 터널 진입 또는 진출부근과 고층빌딩이 있는 도심지역 등 GPS 신호수신불량지점에서는 GPS 종류별로 거리오차가 큰 것으로 분석되었다. 고층건물이 위치한 구간에서는 평균적으로는 8~62m 범위의 오차를 갖고, 최대 137m까지 오차가 발생하였다. 터널부근에서는 평균적으로는 8~13m 범위의 오차를 갖고, 최대 67m까지 오차가 발생하였고, 터널부근에서는 평균적으로는 8~88m 범위의 오차를 갖고, 최대 500m까지 오차가 발생하였다. 즉, GPS 신호수신 불량지점에서는 GPS 측정오차가 평균적으로 약 10~90m정도인 것으로 분석되었다.

GPS 기지국지점에서 <표 5>와 <그림 1>과 같이



<그림 1> 서울산업대 GPS 기준점과 거리오차

<Fig. 1> GPS standard criterions and length error at the Seoul Industrial University

<표 5> GPS 기준점에서 GPS-칩셋별 거리오차 특성
<Table 5> Test results of data difference at GPS area

조사지점	N-Chipset	X-Chipset	M-Chipset	S-Chipset
서울산업대 기지국(m)	3.3	7.7	2.3	1.0
한국천문원 기지국(m)	0.9	1.7	0.8	0.6

4개의 GPS 칩셋 거리오차는 1~8m 범위내로 10m 이내의 오차를 갖는 것으로 분석되었다. 대전에 한국천문원에 GPS 기준점에서 데이터도 1m 이내의 오차특성을 갖는 것으로 분석되었다.

3.2. 수치지도 오차 특성

서울지방경찰청 중앙교통정보센터 시스템에서 교통정보 수집용으로 이용되는 수치지도를 대상으로 수치지도 링크길이와 실제 도로의 링크길이를 비교하였다 [8]. 도심, 부도심과 도심외곽으로 구분하고 강·남북지역에서 44개 도로를 대상으로 550개 링크를 조사하였으며, 직선, 커브와 경사구간으로 링크를 구분하여 특성을 검토하였다. 조사결과 <표 6>과 같이 실제 링크길이와 수치지도 링크길이 차이는 전체적으로 약 4% 정도로 차이가 나는 것으로 조사되었다. 100m이하 링크에서는 7.5%, 100~200m에서는 4.2%, 200~300m에서는 2.8%, 300~400m에서

<표 6> 수치지도의 오차 특성 분석
< Table 6> Detail errors of digital map

링크길이 구분	거리 오차 (m)	거리 오차 율(%)	최대거리 차(m)	최대거리 차율(%)	최소거리 차(m)	최소거리 차율(%)
100 m 미만	5.6	7.5	26.3	27.2	0.0	0.0
100-200 m	6.2	4.2	30.1	21.2	0.0	0.0
200-300 m	9.5	2.8	79.8	29.8	0.1	0.0
300-400 m	11.5	3.3	108.7	30.6	0.8	0.2
400-500 m	10.0	2.2	40.0	9.4	1.0	0.2
500 m 이상	23.5	3.6	405.2	60.2	0.5	0.1
평균	11.1	3.9	115.0	29.7	0.4	0.1

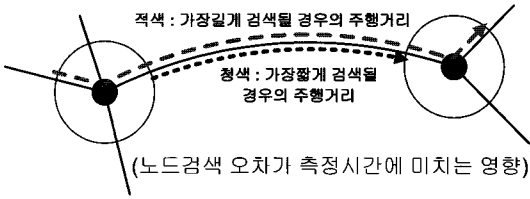
는 3.3% 이고, 400~500m 링크길이에서는 2.2%, 500m이상 링크길이에서는 3.6% 차이가 났다.

IV. 구간통행속도 예측 알고리즘 개발

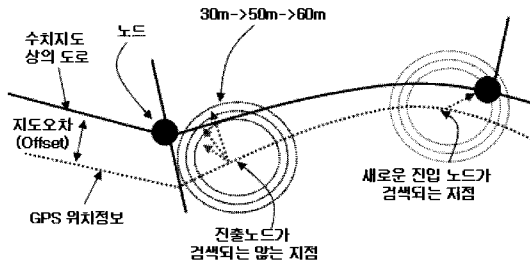
4.1. 구간 통행속도 예측 알고리즘 추정

4.1.1. GPS 오차특성을 반영한 노드-링크 매칭

앞에서 검토한 바와 같이 고가도로, 터널부근 및 고층빌딩이 있는 GPS 신호수신 불량지점에서는 GPS 측정오차가 평균적으로 약 10~90m정도임을 감안할 때, GPS 및 수치지도 오차를 연계하여 구간통행속도를 산출할 경우, <그림 2>와 같이 노드 검색 범위에 따라 산출되는 구간통행속도 오차가 달라질



<그림 2> 노드 검색 방식에서의 오류 예
<Fig. 2> An error of node inspection method

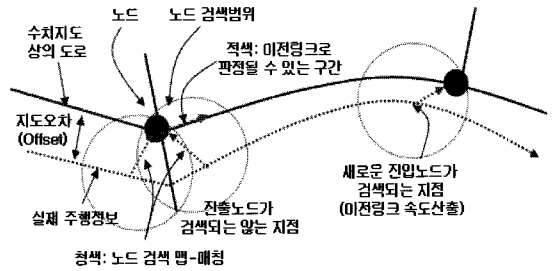


<그림 3> 노드검색범위 설정에 의한 노드 진출 확인 방법
<Fig. 3> Node export method using node range inspection

수 있다. 따라서 프로그램 개발 시 노드 검색범위를 사용자가 변경할 수 있도록 구성하였다 (<그림 3> 참조). GPS 위치정보를 이용하여 수치지도 상에서 주행 중인 링크를 검색하는 맵 매칭 방법이다. 즉, ‘노드 검색에 따른 링크 매칭 방법’으로 해당노드를 마지막으로 검색한 시점까지는 이전링크 정보로 구성하고, 해당노드가 더 이상 검색되지 않는 구간부터 현재 주행 중인 링크로 판정하여 구분하였다. 본 연구에서는 노드검색범위를 50m로 설정하여 검색 범위 내에서 진출노드가 검색되지 않은 시점을 찾는 것으로 하였다 (<그림 4> 참조). 링크 구간통행속도 산출시점은 특정 링크의 진출노드가 마지막으로 검색되고 이탈여부가 확인된 시점에 이전 링크의 구간통행속도를 산출하는 것으로 하였다.

4.1.2. 수치지도 오차를 고려한 알고리즘 개발

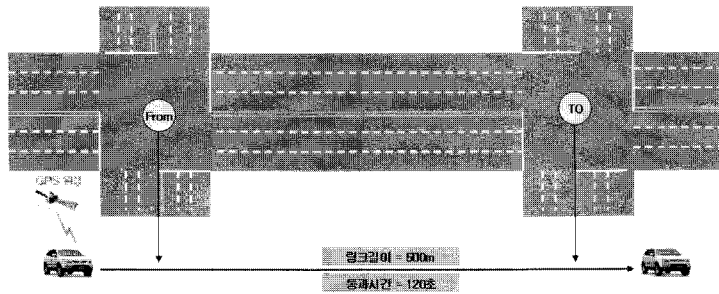
수치지도는 항공사진 또는 위성영상으로부터 지형·지물 등을 측정하여 그 좌표를 컴퓨터에 수록하여 도화파일을 작성하고, 편집장치(그래픽워크스테



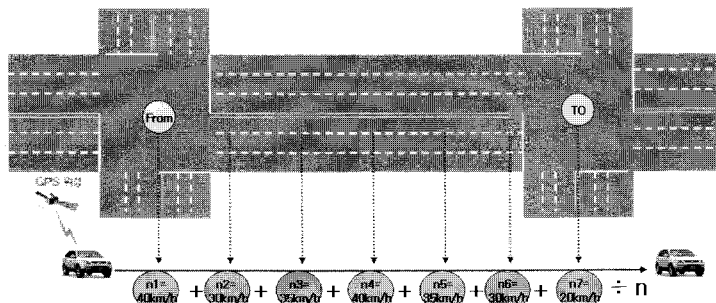
<그림 4> GPS오차를 고려한 링크정보판정 및 구간통행속도 산출방법
<Fig. 4> Link travel time algorithm using the GPS error

이션)를 이용하여 도화파일을 수정하고 지리조사 및 현지보완측량자료 등을 추가하여 정위치 편집을 실시하는 과정으로 진행된다. 따라서 축적에 따라 화소수의 변환과정과 위치측정의 오차 등으로 제작상의 오차를 갖는다. 앞에서 조사 분석한 바와 같이 서울지방경찰청에서 종합교통정보센터시스템에 적용되고 있는 수치지도의 링크길이는 실제자료와 비교 시 약 4% 정도로 차이가나는 것으로 조사되었다.

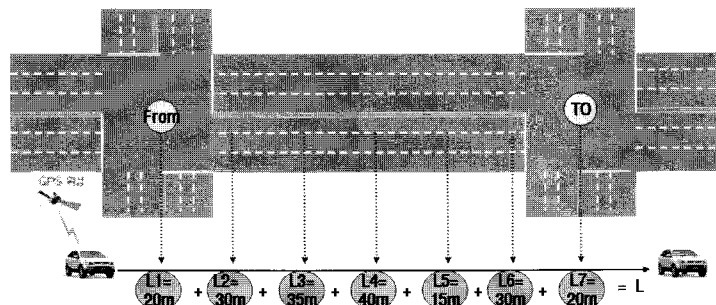
본 연구에서는 구간통행속도산출 알고리즘 개발 전략으로 세 가지 방안을 마련하였다. 첫 번째는 ‘구간길이와 통행시간에 의한 산출’방안으로 기존 수치지도의 링크길이를 적용하여 GPS로 분석된 기점과 종점 노드를 통과한 통행시간으로 구간통행속도를 산출하는 이다. 이와 같은 방안은 수치지도가 갖는 링크길이 오차를 포함하여 구간통행속도를 산출하게 된다. 두 번째는 ‘순간평균속도에 의한 산출’방안으로 GPS에서 1초단위로 수집되는 순간속도를 평균한 값을 구간통행속도로 적용한다. 기점과 종점 노드 즉, 링크 구간 내에서 수집된 GPS 순간속도의 평균을 산출하는 것으로 수치지도가 갖는 링크길이의 오차를 배제할 수 있다. 세 번째는 ‘이동거리 누적 및 통행시간에 의한 산출’방안으로 GPS의 이동거리를 누적하여 구간통행속도를 산출하는 방안이다. 기점과 종점 노드 구간 내에서 일정 시간단위로 단위로 GPS의 위치를 분석 이동거리를 누적 산출하여 가상의 링크길이를 산출하는 방안으로, 수치지도상의 오차를 배제할 수 있는 특성을 갖는다. 이와 같은 세 가지 구간통행속도산출 방안의



<그림 5> 링크길이와 통과시간에 의한 구간통행속도 산출
 <Fig. 5> Link travel time using the link length and link travel time



<그림 6> 순간평균속도에 의한 구간통행속도 산출
 <Fig. 6> Link travel time using spot speed average



<그림 7> 이동거리 누적 및 통행시간에 의한 구간통행속도 산출
 <Fig. 7> Link travel time using the sum link length and link travel time

알고리즘을 프로그램으로 개발하여 현장조사를 통하여 비교분석하였다.

4.1.3. 구간통행속도 산출 방법

가. 구간길이와 통행시간에 의한 산출

GPS 위치좌표를 이용하여 수치지도상에 맵 매칭을 통하여 주행하는 링크를 확인한다. 확인된 특정 링크에서 시작과 종점노드를 확인한 후 통행시간

계산하고, 링크길이를 적용하여 구간통행속도를 산출한다 <그림 5>는 구간길이와 통행시간에 의한 구간통행속도 산출 개념을 나타낸 것이다.

나. 순간평균속도에 의한 산출

링크의 시작과 종점노드를 통과하는 동안에 GPS에서 위치정보를 수신할 때마다 산출된 속도 값들의 평균을 구간통행속도로 사용하는 것이다. 순간

평균속도에 의한 산출방법은 GPS에 의한 순간이동 거리를 적용하고 있어 GPS 오차가 클 경우와 순간 평균속도 샘플수가 적을 경우 산출되는 구간통행속도의 신뢰도가 낮아질 수 있다. <그림 6>은 순간평균속도에 의한 구간통행속도 산출 개념을 나타낸 것이다.

다. 이동거리 누적 및 통행시간에 의한 산출

GPS 엔진부에서 1초단위로 산출되는 거리를 이용하는 것으로 링크에 소속된 기종점 노드를 통과할 때까지의 이동거리 누적과 통행시간을 이용하여 구간통행속도를 산출하는 방법이다. 이동거리 누적은 링크구간 내에서 GPS에서 수신되는 이전 좌표점과 현재 좌표 점과의 거리를 누적하고, 종점 노드를 이탈할 경우 누적거리와 통행시간에 의해 구간통행속도를 산출한다. <그림 7>은 이동거리 누적 및 통행시간에 의한 구간통행속도 산출 개념을 나타낸 것이다.

4.2. 현장 실험 및 평가

4.2.1. 실험 장치 구성

NMEA 0183에는 5개 Sentence로 구분되는데, 본 연구에서는 GPS속도 및 경로정보 등이 포함된 GPRMC Sentence 프로토콜을 적용한다. GPS 데이터 관리 및 수치지도와 연계한 구간통행속도 산출 장치는 노트북을 이용하였으며, 프로그램을 개발하여 차량에 탑재 후 현장시험 하였다. 노트북 내에 프로그램은 Windows XP 운영체제 하에 USB를 통한 GPS 통신프로그램, GPS 데이터에 의한 구간통행속도 산출 프로그램과 수치지도와 연계한 위치표출 프로그램으로 구성한다. 관련 응용프로그램을 지원하는 데이터는 수치지도 도로망 데이터와 수치지도 배경도 등으로 구성된다. 도로망 데이터는 서울지방경찰청에서 운영되는 수치지도 데이터를 이용한다.

4.2.2. 실험 방법

세 가지 구간통행속도 산출 알고리즘을 비교·평

가하기 위하여 주행조사 대상구간은 도심지역과 외곽지역이 모두 포함될 수 있도록 선정하였다. 교통 상황에 따른 영향이 반영될 수 있도록 교통혼잡 시간대와 소통이 원활한 시간대를 포함하여 조사를 실시하였다. 현장조사 한 링크 수는 389개이다. 분석은 실측된 구간통행속도를 기준으로 세 가지 구간통행속도 산출 방법별로 실측자료와 오차를 분석한다. 전체 자료 및 링크 길이별로 속도오차의 평균과 표준편차 등을 분석하고, 데이터의 유의성에 대한 통계적 검증을 실시한다.

4.2.3. 결과 평가

가. 교통소통 상태별 비교

실측 구간통행속도를 기준으로 알고리즘별 구간통행속도의 속도 차 평균, 표준편차 및 오차 등을 파악하였으며 그 결과는 <표 7> 및 <그림 8> ~ <그림 10>과 같다. 구간길이와 통행시간에 의한 산출 방법의 경우 평균 속도오차가 2.8km/h이고, 표준편차가 6.8, 속도오차 범위는 최소/최대값이 0~61.1km/h로 나타났다. 순간평균속도에 의한 산출 방법의 경우 평균속도오차가 4.4km/h이고, 표준편차가 8.0, 속도오차 범위는 최소/최대값이 0~63km/h로 분석되었다. 이동거리누적 및 통행시간에 의한 산출 방법의 경우 평균 속도오차가 4.0km/h이고, 표준편차가 7.4, 속도오차 범위는 0~61.5km/h로 나타났다.

속도 오차율의 크기로 비교한 결과, 구간길이와 통행시간에 의한 산출 방법은 속도오차를 평균이 8.9%이고, 표준편차가 18.8, 속도오차율의 최소/최대값이 0~123.3%로 분석되었다. 순간평균속도에 의한 산출 방법의 평균속도오차율은 22.4%이고, 표준편차가 69.6, 속도오차율의 최소/최대값이 0~649%로 나타났다. 이동거리 누적 및 통행시간에 의한 산출 방법은 속도오차율 평균이 14.1%이고, 표준편차가 27.3, 속도오차크기의 최소/최대값이 0~252.9%이다. 따라서 구간통행속도 산출방법에 있어서 구간길이와 통행시간에 의한 산출 방법이 순간평균속도에 의한 산출 방법과 이동거리 누적 및 통행시간에 의한 산출 방법에 비해 속도오차 크기 및 오차율에서 신뢰성이 높은 것으로 평가되었다.

<표 7> 구간통행속도 산출 방법별 평균, 표준편차 및 오차

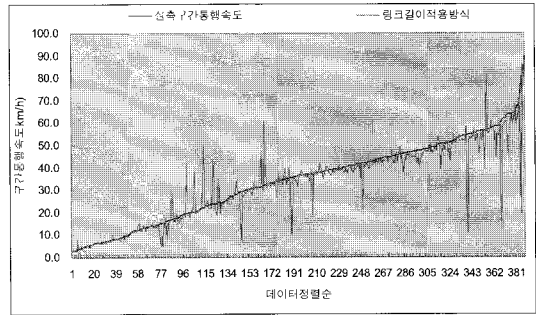
<Table 7> Average, standard deviation, error of link travel time

소통구분		구간길이와 통행시간 에 의한 산출	순간평균 속도에 의한 산출	이동거리 누적 및 통행시간 에 의한 산출
혼잡구간 (15km/h 이하)	평균속도(km/h)	8.8	11.9	9.6
	속도 오차(km/h)	0.5	5.2	1.6
	속도오차 표준편차	0.6	9.4	3.8
	속도오차율(%)	6.9	65.6	21.0
	속도오차율 표준편차	12.5	126.4	37.5
서행구간 (15~30k m/h)	평균속도(km/h)	22.7	22.6	23.6
	속도 오차(km/h)	3.3	4.2	3.9
	속도오차 표준편차	5.9	5.3	5.9
	속도오차율(%)	15.9	20.4	19.2
	속도오차율 표준편차	28.4	27.6	29.5
소통원 활구간 (30~50k m/h)	평균속도(km/h)	39.1	39.2	38.5
	속도 오차(km/h)	2.5	3.3	3.8
	속도오차 표준편차	4.4	4.4	5.7
	속도오차율(%)	6.5	8.6	9.7
	속도오차율 표준편차	12.8	12.5	14.5
교통한 산구간 (50km/h 이상)	평균속도(km/h)	54.3	52.7	53.9
	속도 오차(km/h)	5.4	6.2	7.0
	속도오차 표준편차	10.3	10.8	10.2
	속도오차율(%)	9.0	10.3	11.7
	속도오차율 표준편차	16.0	16.7	15.9

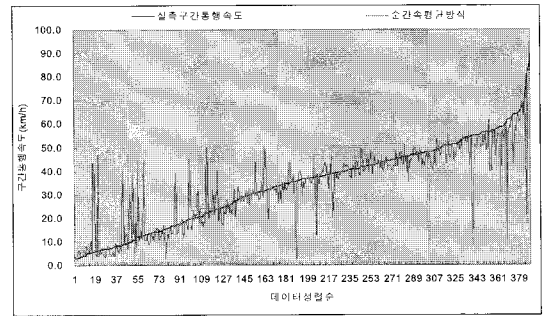
주) 오차 = |실측 구간통행속도 - 알고리즘별 구간통행속도|

나. 링크 길이별 분석

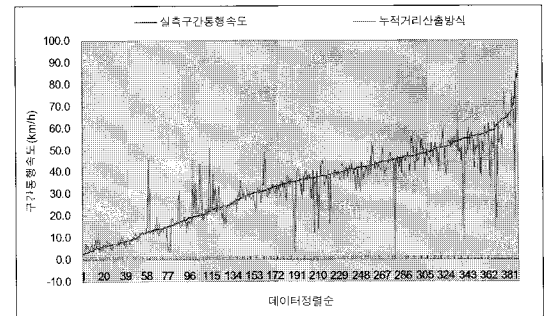
실측 구간통행속도를 기준으로 세 가지 알고리즘별 구간통행속도간 속도차를 링크길이별로 오차 평균, 표준편차 및 오차율 등을 분석한 결과는 <표 8>과 같다. 소구간(링크길이 150m 이하), 중구간(링크길이 150m~ 300m) 및 대구간(링크 길이 300m 이



<그림 8> 구간길이와 통행시간에 의한 산출 방법 결과
<Fig. 8> GPS travel time using the digital map length



<그림 9> 순간평균속도에 의한 산출 방법 결과
<Fig. 9> GPS spot speed average travel time



<그림 10> 이동거리 누적 및 통행시간에 의한 산출
방법 결과
<Fig. 10> GPS cumulate speed travel time

상)에서도 구간길이와 통행시간에 의한 산출 방법이 순간평균속도에 의한 산출 방법과 이동거리 누적 및 통행시간에 의한 산출 방법에 비해 평균속도 오차 크기 및 오차율에서 신뢰성이 높은 것으로 나타났다.

<표 8> 링크길이에 따른 구간통행속도 산출방법 오차 분석

<Table 8> Link travel time error of the link length

통계량	링크 길이 구분	구간통행속도(km/h)				속도오차(km/h) 분석			속도오차율(%) 분석		
		실측 통행 속도	구간 길이와 통행 시간에 의한 산출	순간 평균도에 의한 산출	이동 거리 누적통행 시간의 산출	구간 길이와 통행 시간의 산출	순간 평균도에 의한 산출	이동 거리 누적통행 시간의 산출	구간 길이와 통행 시간에 의한 산출	순간 평균도에 의한 산출	이동 거리 누적통행 시간에 의한 산출
평균	소	32.5	32.2	31.9	31.5	3.4	5.5	5.2	11.9	26.8	19.2
	중	33.8	32.2	33.3	32.7	2.3	4.1	3.5	7.1	24.1	13.0
	대	36.8	35.6	35.2	35.4	3.3	3.9	3.7	9.0	13.2	10.2
표준편차	소	16.0	16.3	15.6	16.3	5.7	7.0	6.5	22.4	57.6	26.1
	중	17.5	16.9	16.6	17.2	5.4	7.2	6.5	14.6	74.2	26.3
	대	19.7	19.1	19.0	18.9	7.9	8.2	7.6	17.0	30.7	16.1
최대 속도	소	85.3	80.9	82.5	84.6	28.2	32.3	31.3	132.3	510.8	135.2
	중	66.9	65.1	69.3	67.6	48.1	49.9	46.3	103.0	649.4	252.9
	대	89.8	87.5	86.0	89.6	61.1	63.0	61.5	90.0	269.1	76.3
최소 속도	소	2.7	2.8	1.0	3.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.3	0.3
	중	2.8	2.9	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0
	대	3.1	3.2	2.7	3.8	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1

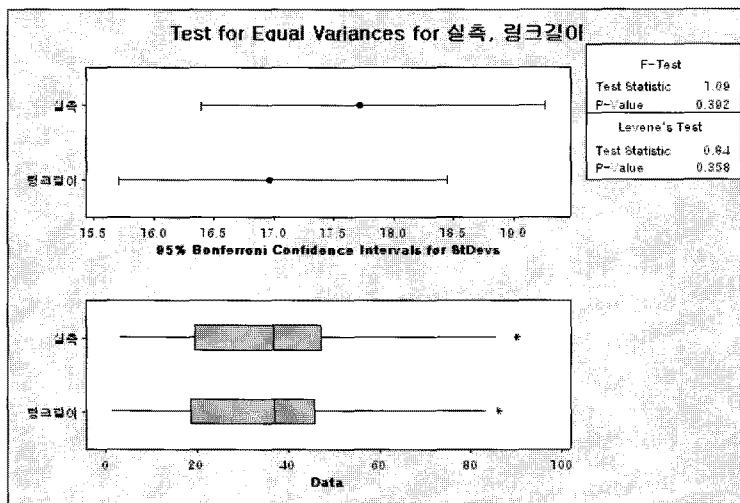
4.3. 통계적 검증

실측에 의한 구간통행속도와 제안된 구간길이와 통행시간에 의한 산출 방법 의한 구간통행속도가 통계적으로 유의한 차이가 있는지를 분석하기 위하여 범용적 통계분석 프로그램인 Minitab을 이용하여 통계분석을 실시하였다.

분석은 각 집단이 정규분포를 따른다는 가정하에 평균의 유의성 검증을 위해 T-test를 실시하였다. 평균에 대한 유의성 검증에 앞서, 두 집단에 대한 분산의 동일성을 확인하기 위하여 F-test를 실시하여 분산검정을 수행한다. F-test(유의수준, $\alpha=0.05$)를 위한 가설을 다음과 같다.

- H_0 : 실측에 의한 구간통행속도와 제안된 구간길이와 통행시간에 의한 산출 방법에 대한 구간통행속도의 분산이 동일하다.
- H_1 : 실측에 의한 구간통행속도와 제안된 구간길이와 통행시간에 의한 산출 방법에 대한 구간통행속도의 분산이 동일하지 않다.(양측검정)

두 집단의 분산이 같은지를 검증한 결과는 [그림 11]과 같고, P-value값이 0.358로 유의수준 0.05보다 크므로 H_0 를 기각할 수 없다. 즉, 실측에 의한 구간통행속도와 제안된 구간길이와 통행시간에 의한 산출 방법에 대한 구간통행속도의 분산이 동일하다고 판단하였다.



<그림 11> 데이터 등분산성 F-test 결과
<Fig. 11> The F-test results of equal variance

따라서 두 집단의 분산이 동일하다는 가정 하에 실측에 의한 구간통행속도와 제안된 구간길이와 통행시간에 의한 산출 방법에 대한 구간통행속도의 평균에 대한 유의성 검증을 위해 T-test(유의수준, $\alpha = 0.05$)를 실시하였다. 구간통행속도에 대한 T-test를 위한 가설을 다음과 같다.

- H_0 : 실측에 의한 구간통행속도와 제안된 구간길이와 통행시간에 의한 산출 방법에 대한 구간통행속도의 평균이 동일하다.
- H_1 : 실측에 의한 구간통행속도와 제안된 구간길이와 통행시간에 의한 산출 방법에 대한 구간통행속도의 평균이 동일하지 않다 (양측검정).

실측에 의한 구간통행속도와 제안된 구간길이와 통행시간에 의한 산출 방법에 대한 구간통행속도에 대한 T-test를 실시한 결과는 <그림 12>와 같다.

<그림 12>에서 제시된 바와 같이 두 집단의 구간통행속도 평균값을 검증한 결과 P-value값이 0.514로 유의수준 0.05보다 크므로 두 집단의 평균값이 같다는 가설을 5% 유의수준에서 기각할 수 없다. 즉, 두 집단의 구간통행속도 평균값이 통계적으로 동일하다고 할 수 있으므로, 제안된 구간길이와 통행시간에 의한 산출 방법에 대한 구간통행속도를 실측값으로 예측할 수 있다.

V. 결 론

GPS 단말기에 의한 구간통행속도 산출은 검지기

와 같이 특정링크에 대하여 연속적으로 교통정보를 수집되는 것이 아니고, 프로브 차량이 도로를 운행 시 산발적으로 수집되었다. 따라서 단속류 구간에서 신호시간(적색신호 대기, 녹색신호 통과 및 신호변환 도착 등)의 영향으로 수집되는 데이터의 안정성에 문제점이 있는 것으로 조사되었다. 본 연구에서는 GPS 프로브 차량에 의해 수집되는 구간통행속도 정보의 신뢰성을 높이기 위해 현재 사용되고 있는 수치지도 및 GPS의 오차 특성을 비교하였다. GPS 오차 특성 비교 결과, GPS 신호가 불량한 지점에서 GPS 종류별로 거리오차가 큰 것으로 분석되었다. 고층건물이 위치한 구간에서는 평균적으로는 8~62m 범위의 오차를 갖고, 최대 137m 까지 오차가 발생하였다. 터널부근에서는 평균적으로는 8~13m 범위의 오차를 갖고, 최대 67m 까지 오차가 발생하였다.

수치지도의 오차 특성 분석결과, 실측길이와 수치지도와의 차이는 전체적으로 4% 정도로 차이나는 것으로 조사되어졌다. 100 m이하의 링크에서는 7.5%, 100~200 m에서는 4.2%, 200~300 m에서는 2.8%, 300~400 m에서는 3.3% 이고, 400~500m 링크 길이에서는 2.2%, 500m이상 링크길이에서는 3.6% 차이가나는 것으로 조사되었다.

GPS 오차 특성을 고려하여 구간통행속도 산출 알고리즘을 구간길이와 통행시간에 의한 산출 방법, 순간평균속도에 의한 산출 방법 및 이동거리 누적 및 통행시간에 의한 산출 방법 등 세 가지 방법

Two-Sample T-Test and CI: 실측, 링크길이

Two-sample T for 실측 vs 링크길이

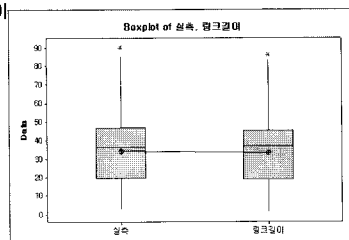
	N	Mean	StDev	SE Mean
실측	389	34.1	17.7	0.90
링크길이	389	33.3	17.0	0.86

Difference = mu (실측) - mu (링크길이)

Estimate for difference: 0.811671

95% CI for difference: (-1.628889, 3.252231)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 0.65 P-Value = 0.514 DF = 776
Both use Pooled StDev = 17.3390



<그림 12> 평균속도 T-test 결과

<Fig. 12> The T-test results of average travel time

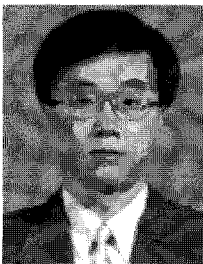
으로 비교 평가하였다. 구간길이와 통행시간에 의한 산출 방법이 GPS 순간평균속도에 의한 산출 방법과 이동거리 누적 및 통행시간에 의한 산출 방법에 비해 신뢰성이 높은 것으로 분석되었다. 또한 통계검증을 통해 구간통행속도 실측값과 구간길이와 통행시간에 의한 산출방식의 구간통행속도값 두 집단이 평균이 같다고 검증되었다.

이와 같이 GPS 및 수치지도 오차 특성을 고려하여 알고리즘을 비교분석한 결과, 구간길이와 통행시간에 의한 산출방법이 우수한 것으로 분석되었다. GPS 및 수치지도 오차를 개선할 경우, 보다 더 신뢰성 있는 구간통행속도를 구할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 이에 대한 보완 및 개선 노력이 요구된다.

참고문헌

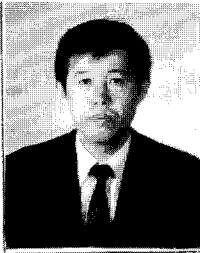
- [1] 최기주, 장정아, “시계열기반의 GPS 프루브 자료의 이상치 제거 알고리즘 개발 연구,” *대한교통학회지*, 제22권, 제6호, pp. 67~75, 2004. 12.
- [2] 최기주, 신치현, “GPS와 GIS를 이용한 링크통행시간 예측기법,” *대한교통학회지*, 제16권, 제2호, pp. 197~207, 1998. 4.
- [3] 심상우, 최기주, “혼잡상황에서 링크 미통과 GPS 프로브 데이터를 활용한 링크통행시간 추정기법 개발,” *대한교통학회지*, 제24권, 제5호, pp. 7~18, 2006. 8.
- [4] 이영인, 이정희, “구간통행속도 제공을 위한 최소 표본수 결정에 관한 연구,” *대한교통학회지*, 제20권, 제3호, pp. 55~67, 2002. 6.
- [5] 정연식, 최기주, “GPS probe 및 루프검지기 자료의 융합을 통한 통행시간추정 알고리즘 개발,” *대한교통학회지*, 제17권, 제3호, pp. 97~116, 1999. 8.
- [6] 김동환, *혼잡교통류에서 GPS/GIS를 활용한 링크 통행시간 및 정지지체 추정기법 개발*, 아주대학교, 석사학위논문, 2000.
- [7] 김규철, *모바일 위치확인방법과 GPS*, (주)아이작 소프트웨어연구소 (모바일 자바 세미나), 2004. 6.
- [8] 도로교통안전관리공단, *서울지방경찰청 종합교통 정보센터 수집장치별 신뢰성 분석 연구*, 2004. 8.

저자소개



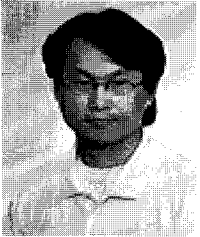
김 동 효 (Kim, Dong-Hyo)

2002년 12월 ~ 현재 : 도로교통안전관리공단 연구위원
 1999년 3월 ~ 2003년 3월 : 명지대학교 겸임교수
 1995년 9월 ~ 2002년 12월 : 교통개발연구원 책임연구원
 1989년 9월 ~ 1996년 12월 : Northwestern University 토목공학과 졸업(박사)
 1986년 3월 ~ 1989년 8월 : 교통개발연구원 연구원
 1983년 12월 ~ 1986년 2월 : 한국과학기술연구원 연구원
 1982년 3월 ~ 1984년 2월 : 서울대학교 토목공학과 졸업(석사)
 1976년 3월 ~ 1982년 2월 : 서울대학교 조경학부 졸업(학사)



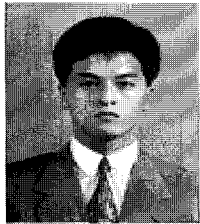
한 원 섭 (Han, Won-Sub)

1984년 3월 ~ 현재 : 도로교통공단 수석연구원
 1987년 2월 : 연세대학교 전자공학과 석사 졸업
 1985년 3월 ~ 1987년 2월 : 연세대학교 산업대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 1978년 3월 ~ 1980년 2월 : 숭실대학교 전자공학과 졸업(공학학사)



이 호 원 (Lee, Ho-Won)

2005년 아주대학교 박사과정 수료(건설교통공학부)
 1995년 6월 ~ 현재 : 도로교통안전관리공단 선임연구원
 1994년 7월 ~ 1994년 12월 : 교통개발연구원 위촉연구원
 1993년 3월 ~ 1995년 2월 : 아주대학교 일반대학원 석사(교통공학 전공)
 1985년 3월 ~ 1993년 2월 : 아주대학교 공과대학 학사(산업공학 전공)



현 철 승 (Hyun, Cheol-Seung)

1995년 6월 ~ 현재 : 도로교통공단 선임연구원
 2003년 2월 : 성균관대학교 기계설계과 박사 졸업
 1994년 2월 : 성균관대학교 기계설계과 석사 졸업
 1992년 2월 : 성균관대학교 기계설계과 학사 졸업



주 두 환 (Joo, Doo-Hwan)

2003년 9월 ~ 2008년 8월 : 연세대학교 일반대학원 도시공학과 졸업(박사)
 1992년 5월 ~ 현재 : 도로교통안전관리공단 책임연구원
 1990년 3월 ~ 1992년 2월 : 성균관대학교 산업대학원 전자공학과 졸업(석사)
 1987년 8월 ~ 1992년 5월 : 동양정밀(OPC) 연구원
 1981년 3월 ~ 1987년 2월 : 성균관대학교 공과대학 금속공학 졸업(학사)



이 철 기 (Lee, Choul-Ki)

1991년 : 아주대학교 대학원(석사)
 1998년 : 아주대학교 대학원(교통공학박사)
 2000년 : 미국 Texas A&M University TTI(Texas Transportation Institute) Visiting Scholar 과정
 2004년 : 서울지방경찰청 교통개선 기획실장 및 COSMOS 추진 기획단장
 현 재 : 아주대학교 교통연구센터 부센터장
 현 재 : 아주대학교 ITS 대학원 교수