

■ 論 文 ■

혼잡상황에서 링크미통과 GPS 프로브데이터를 활용한 링크통행시간 추정기법 개발

Link Travel Time Estimation Using Uncompleted Link-passing GPS Probe Data in Congested Traffic Condition

심 상 우

(아주대학교 일반대학원 건설교통공학과 박사과정)

최 기 주

(아주대학교 환경건설교통공학부 교통공학전공 교수)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구의 목적 및 필요성
 - 2. 연구의 내용 및 방법
 - II. 이론적 고찰
 - 1. GPS를 활용한 통행시간 추정
 - 2. 교통정보수집주기
 - III. 본론
 - 1. 기존연구의 문제점 및 링크미통과데이터 활용 필요성
 - 2. 링크미통과데이터 활용방안 검토
 - 3. 링크미통과데이터를 활용한 링크통행시간 추정 기법
 - 4. 제안기법 검증 및 평가
 - IV. 결론 및 향후연구과제
- 참고문헌

Key Words : 교통정보수집주기, 혼잡정보, GPS, 링크미통과데이터, 링크통행시간 Information Collection Interval, Congestion Information, GPS, Uncompleted Link Passing Data, Link Travel Time

요 약

신뢰성있는 통행시간정보제공과 교통정보센터의 효율적인 운영을 위해 통상 국내에서는 5분 주기로 통행시간자료를 수집하고 있다. 그러나 주기 단위로 수집할 경우 수집주기내에 링크를 통과하지 못하는 데이터는 사용할 수 없으며, 특히 혼잡시 이러한 데이터가 많이 발생하므로 혼잡정보가 늦게 제공되는 문제점이 있다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 대기행렬소멸길이와 신호현시 등을 추정하여 링크통행시간 추정하는 기법을 개발하였다. 현장실험을 기반으로 MAPE와 MAE를 사용하여 평가한 결과 제안기법의 정확도는 1.98%, 4.75초로 실측치와 큰 차이를 보이지 않았다. 제안기법은 혼잡할 경우에 GPS기반으로 부족한 데이터의 절대량을 보충해 줄 수 있는 대안으로 기대된다.

Data for travel information provision are regularly aggregated to provide travel time information in a reliable and convenient manner and to manage traffic data and information efficiently. In most of practices in Korea, the GPS based travel time data are mainly aggregated every 5 minutes. As a result, some probes can't pass by a link within aggregation interval and thereby create uncompleted link passing data. But these data are mostly generated during the congested times and therefore a method that uses such uncompleted link passing data are required. This study estimated queue dissipation length, green time and cycle that use GPS spot speed and developed a link travel time estimation method using such uncompleted link passing data. It also presents method and the overall process of using such data to estimate link travel time in a more accurate manner. As a result, MAPE 1.98% and MAE 4.75 sec of link travel time accuracy improvement has been reported, which is not much different from the real link travel time. The method proposed here would be an alternative to increase the amount of GPS probe data, especially in congested urban arterial case.

1. 서론

1. 연구의 목적 및 필요성

2003년 정보통신부에서 발표한 9대 국가성장엔진 중 '자동차용 차세대 정보제공 서비스' Telematics 사업이 포함되었다. Telematics는 자동차, 이동통신, 단말기, 콘텐츠와 애플리케이션이 유기적으로 연관되어 있으나 교통정보가 그 핵심에 위치하고 있어 정확한 교통정보 제공의 중요성은 크게 증대되고 있다.

현재 국내에서는 이러한 교통정보를 정확하고 빠르게 수집하기 위해 루프검지기, 영상검지기, 비콘, GPS(Global Positioning System) 등의 장비가 이용되고 이러한 각 검지체계는 기계특성 및 검지알고리즘에 의해 교통정보를 수집하고 있으나 루프검지기나 영상검지기와 같은 지점검지체계의 경우 한 지점의 정보를 구간 정보화하는 것이기 때문에 도시부에서는 정확한 교통정보를 제공하기 힘들다. 반면 GPS는 비용/효과 측면에서 우수성이 입증되었으며, 가장 큰 오차요인이었던 SA¹⁾(Selective Availability)가 2000년 5월 1일을 시점으로 사라져 정확도 역시 크게 증가하였다.

하지만 GPS는 단지 위치정보만을 수신하기 때문에 수집된 자료만으로는 교통정보를 산출하기 힘들며, 교통정보를 산출하기 위해서는 센터에서의 가공이 필요하다. 정확한 교통정보를 생성하기 위해서는 이러한 송신주기가 짧을수록 좋지만 송신을 위한 통신비용 및 방대한 자료를 처리할 수 있는 시스템이 요구된다. 따라서 GPS를 이용하여 교통정보를 제공하는 기업인 SK entrac의 경우 이러한 비용과 수집 자료의 정확성 등을 고려하여 일정 주기(5분) 단위로 송신이 이루어지고 있다. 이와 같이 일정주기로 자료를 수집할 경우 수집주기 내에 링크를 통과하지 못하는 데이터(이하 링크미통과데이터)가 발생하게 되며, 이러한 링크미통과 데이터는 서울시 주요 간선도로의 경우 하루 동안 수집된 전체데이터 중 평균 30%를 차지하고 있다. 링크미통과데이터가 단순히 수집주기에 의해 발생한 경우는 소통상태가 원활한 경우이므로 혼잡정보를 중요시하는 운전자행태를 고려하면 크게 중요하지 않으나 혼잡으로 인해 발생한 경우에는 상당히 중요하다. 왜냐하면 국내

대부분 신호교차로의 신호주기는 2분~3분이므로 혼잡시와 같이 1회 이상 신호대기를 하는 경우 현재와 같이 링크를 통과한 다음에 자료를 수집하여 운전자에게 제공할 경우 실제보다 1~2주기(5~10분) 늦게 제공되어 교통정보에 대한 운전자의 신뢰도 및 만족도를 떨어뜨리게 되기 때문이다.

따라서 혼잡시에 이러한 링크미통과데이터를 활용하여 보다 빠른 혼잡정보를 제공할 경우 운전자들의 경로 변경으로 인한 기회비용 감소 및 교통정보의 수집을 증대효과가 있을 것으로 판단된다.

2. 연구의 내용 및 방법

1) 연구 내용

본 연구에서는 기 발표된 논문 중에서 Keechoo Choi 외 2인(1998)에서 제시한 Circle-X 알고리즘(GPS 데이터를 GIS맵위에 원을 그려 통행시간을 구한다고 해서 작명)을 기반으로 하여 링크미통과데이터를 이용한 링크통행시간 추정 기법을 개발하고자 하였다.

구체적인 연구내용으로는 크게 두 가지로 구분할 수 있으며 그 내용은 다음과 같다.

첫째 GPS로 수집된 순간속도의 변화를 이용하여 정차상태, 녹색시작 및 종료, 주기 등을 추정할 수 있는 기법을 개발하였다.

둘째 GPS 좌표변화 및 추정된 녹색시작과 종료시점을 이용하여 대기행렬소멸길이를 추정할 수 있는 기법을 개발하였다.

최종적으로 위 두 가지 세부연구내용을 바탕으로 링크미통과데이터를 이용하여 링크통행시간을 추정할 수 있는 기법을 연구결과로 산출하였다.

2) 연구방법 및 절차

본 연구에서는 SK entrac에서 하루 평균 수집율이 18시간(90%) 이상인 도로를 중심으로 혼잡으로 인한 링크미통과데이터의 비율을 알아보았다.

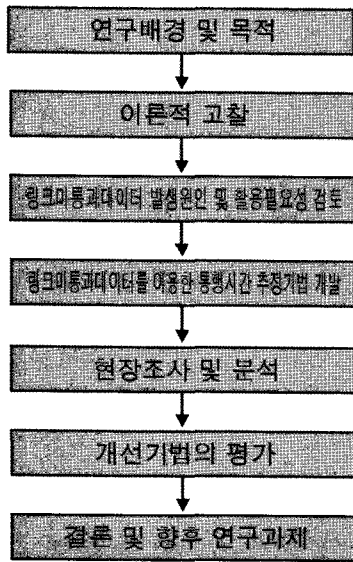
문헌조사 단계에서는 GIS/GPS 통행시간 추정방안에 관련된 논문을 검토하여 해당 기법들의 장단점을 분석하였으며, 현재 도시부도로에서 이루어지고 있는 교통정보수집주기에 대하여 알아보았다.

본론에서는 기존기법을 개선하여 링크미통과데이터

1) 미 국방부에서 군사목적 이외의 GPS 자료에 대한 정확도를 낮추기 위해 고의로 삽입한 오차

를 활용한 통행시간 추정 기법을 개발하였으며, 개발된 기법의 평가를 위해 혼잡구간에서 현장조사를 실시한 후 제안기법에 의해 산출된 통행시간과 기존 기법에 의해 산출된 통행시간 그리고 실측 통행시간을 비교하여 그 오차를 비교하여 개선효과를 알아보고 그 결론 및 향후 연구과제에 대하여 제시하였다.

이러한 연구과정은 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 연구수행흐름도

II. 이론적 고찰

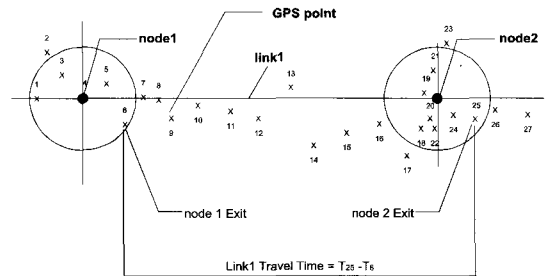
1. GPS를 활용한 통행시간 추정

통행시간 데이터 수집기법은 도로변 방식 (Road side technique)와 차량방식 (Vehicle technique)으로 구분할 수 있다. 도로변방식은 연구노선 상에 배치된 물리적 검지장치를 사용하는 반면 차량방식은 차량 내부에 장착된 검지장치를 사용한다. GPS의 경우는 차량방식에 속하며, 현재 여러 분야에서 그 사용이 크게 증가하고 있다. 또한 GPS는 기존의 전통적인 기법에 비해 통행시간이나 속도를 측정하는데 있어서 보다 나은 정확도를 제공하며, 나아가 GIS 기반의 데이터베이스를 가지고 통행시간 데이터를 처리하거나 통합하는데 매우 용이한 장점을 가지고 있다(Cesar A 외 2명, 1999).

1) Buffer를 이용한 경우: Circle-X 알고리즘

GPS 신호에 포함된 에러는 주기적이지 않고, 방향성도 없으므로, GPS 신호로 수신된 좌표는 실제 Probe 차량의 위치에 대한 참값이 아니고 오차의 범위반경을 가지는 원안에 존재한다고 볼 수 있다. Circle-X 알고리즘은 수신된 GPS 좌표를 버퍼를 이용해 통과차로에 매칭시키고 교차로통과시간을 구한 후 두 노드간의 시간차를 이용해 통행시간을 산출하는 것이다(최기주의 2인, 1998).

구체적으로 Circle-X 알고리즘은 도로중심선의 교차점에 GPS 최대오차를 반경으로 하는 Circle (Buffer)을 생성한 후 수신된 GPS 데이터를 인접한 교차로에 맵핑시키기 위해 버퍼 안에 존재하는 GPS 포인트를 선택한다. GPS 포인트가 2개의 노드버퍼에 매칭되면 차량은 시간의 순서에 따라 주행링크와 방향을 확인할 수 있으며, 이 때 각 GPS 포인트가 버퍼를 벗어나는 시간차이를 교차로 통과시간이라고 간주하여 통행시간을 추정한다.



<그림 2> Circle-X 알고리즘의 적용의 예

2) Circle-X 알고리즘의 개선안

기존 버퍼를 이용한 통행시간 추정기법은 GPS 데이터의 특성을 반영하여 단순명료하게 구간통행시간을 산출해 낼 수 있는 적절한 기법이지만 도로의 소통상태가 혼잡한 경우에는 문제가 발생하게 된다. 특히 앞막힘현상(Spill-back)이 발생할 경우 실제 차량은 교차로를 통과했지만 GPS 포인트는 여전히 버퍼 내부에 존재하기 때문에 실제보다 과추정되는 문제가 발생하게 된다.

김동환(2000)은 이를 개선하기 위해 버퍼내부의 순간속도패턴을 이용하여 차량 정차여부 및 혼잡상태를 판단하여 정상류일 경우에는 기존 기법을 이용하고 혼잡이 있을 경우에는 차량의 주행행태특성과 누적거리를 이용해서 교차로 통과시간을 추정하였다.

링크통행시간 추정에 앞서 GPS 오차, 디지털맵 허용

오차, 기타 오차 및 도로폭을 고려하여 버퍼의 반경을 결정하였으며, 버퍼내부의 순간속도 중 차량의 정차상태(10km/h 이하)가 없는 경우는 정상상태, 1회 이상 정지패턴이 발생하는 경우에는 혼잡상태로 판단하였다.

1회 이상 정지패턴이 발생하는 혼잡상태의 경우에는 매초 수신되는 좌표를 이용해서 버퍼내부의 누적주행거리(PCDD: Probe Cumulative Driving Distance)를 계산하고 이를 이용하여 교차로통과시점 GPS 포인트를 구별할 수 있는 기준값을 산출한 후 계산된 값과 버퍼내부 포인트별 누적주행거리를 비교하여 값이 크거나 같은 포인트의 시간(P)을 통과시간으로 추정하여 통행시간을 추정한다.

2. 국내의 교통정보수집주기

국내에서 교통정보를 수집하여 제공하는 기관 및 업체는 한국도로공사, 건설교통부, 서울시, (주) SK, (주) 리얼텔레콤, (주) ROTIS 등이 있으며, 이들 기관 및 업체의 수집장비 및 주기는 <표 1>과 같다.

<표 1>과 같이 지점검지체계(루프검지기 등)의 경우는 30초 단위로 자료를 수집하여 5분 단위로 교통정보를 생성하고 있으며, 구간검지체계(GPS 등)의 경우는 5분 단위로 교통정보를 수집하여 생성하고 있다.

<표 1> 기관별 교통정보 수집 장비 및 주기

기관명	수집 장비	수집 및 생성 주기
한국도로공사	루프검지기 영상검지기	30초 단위로 수집 5분 단위로 생성
건설교통부	루프검지기 AVI	상동
서울시	루프검지기 영상검지기	상동
(주) SK	GPS	5분
(주) 리얼텔레콤	GPS	5분
(주) ROTIS	비콘	5분

III. 본론

1. 기존 연구의 문제점 및 링크미통과 데이터 활용 필요성

신뢰성있는 통행시간정보제공과 교통정보센터의 효율적인 운영을 위해 국내에서는 대부분 5분 주기로 교통정보를 수집하여 제공하고 있다. 그러나 이와 같이 일정시간마다 수집 자료를 센터로 송신하면 링크를 통

과하지 못한 경우에도 교통정보를 송신하게 되며, 이러한 데이터는 기존 기법으로는 통행시간을 추정할 수 없는 문제점이 발생하게 된다. 왜냐하면 기존 기법은 수집주기를 고려하지 않고 단순히 통과시점의 차이로만 통행시간을 추정하기 때문이다. 따라서 현재와 같이 일정 주기로 교통정보를 수집하는 체계에서 필연적으로 발생하는 링크미통과데이터를 활용할 필요가 있다.

또한 혼잡정보를 중요시하는 운전자 입장을 고려할 때 링크미통과데이터 활용은 더욱 요구된다. 왜냐하면 혼잡시에 기존 기법을 적용할 경우 원래 시간대보다 1~2주기(5분~10분) 늦게 자료가 수집되어 교통정보 제공 역시 실제보다 늦게 되므로 운전자의 교통정보에 대한 신뢰도 및 만족도를 감소시키게 되기 때문이다. 수집되지 않은 경우 이전 3주기(15분)의 이동평균 또는 DB에 저장된 이력데이터를 제공하는 방법도 있으나 이는 실시간성이 떨어지며, 유고와 같은 경우를 반영하기 힘들다는 단점이 있다. 그러나 링크미통과데이터를 활용할 경우 이러한 문제를 해결할 수 있으며, 혼잡정보 역시 보다 빨리 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

링크미통과데이터를 활용해야하는 또 다른 이유는 수집율의 증가 및 시스템 효율성 향상이다. 현재 링크미통과데이터로는 통행시간을 산출할 수 없기 때문에 가공 시 이용되지 않고 있으나 하루에도 상당히 많은 링크미통과데이터가 발생하고 있다. <표 2>는 (주) SK에서 교통정보를 수집하는 도로 중 18시간 이상 자료가 수집되는 강남대로, 도봉로, 도산대로, 신촌·양화로, 종로에서 1주일(4월 19일~25일)동안 발생한 링크미통과데이터 건수 및 비율이며, <표 3>은 혼잡으로 인해 발생하는 링크미통과데이터 건수 및 비율이다.

<표 2>와 같이 현재 서울시 주요 도로에서 발생하고 있는 링크미통과데이터는 하루에 수집되는 전체 교통정보의 평균 30%를 차지하고 있으며, 이중 혼잡으로 인해 발생하는 링크미통과데이터의 비율은 평균 12.75%이며, 이는 수집된 전체 데이터의 약 4%에 해당하며, 그 내용은 <표 3>과 같다.

현재 데이터 1개를 수집하는데 통신비용 및 센터운영비 등을 포함하여 약 17원((주) SK 기준)의 비용이 소요되므로 혼잡으로 인한 링크미통과데이터로

인해 비효율적으로 사용되는 비용은 위 링크와 비슷한 링크들을 고려할 때 연간 약 9억원(17원/건×624건/링크/일×365일×230링크) 정도 되므로 이를 활용하면 시스템의 효율성도 증가할 것으로 판단된다.

〈표 2〉 서울시 주요도로의 1일 링크미통과데이터 발생건수 및 비율(%)

도로	4월 19일		4월 20일		4월 21일		4월 22일		4월 23일		4월 24일		4월 25일	
	전체	미통과	전체	미통과	전체	미통과	전체	미통과	전체	미통과	전체	미통과	전체	미통과
강남대로	16,457	5,396 (32.79)	18,059	6,259 (34.66)	19,193	6,351 (33.09)	20,830	6,865 (32.96)	12,656	4,279 (33.81)	13,875	4,761 (34.31)	12,664	3,652 (28.84)
도봉	20,137	6,084 (30.21)	21,434	6,428 (29.99)	21,885	6,450 (29.47)	21,242	6,409 (30.17)	22,559	6,800 (30.14)	21,922	6,740 (30.75)	17,686	5,256 (29.72)
도산대로	10,876	3,992 (36.70)	12,218	4,566 (37.37)	12,441	4,653 (37.40)	11,940	4,458 (37.34)	12,186	4,550 (37.34)	11,646	4,231 (36.33)	8,790	2,928 (33.31)
신촌양화	18,943	4,943 (26.09)	20,086	5,188 (25.83)	21,114	5,538 (26.23)	20,611	5,496 (26.67)	20,505	5,499 (26.82)	21,058	5,808 (27.58)	18,286	4,545 (24.86)
종로	14,540	3,515 (24.17)	15,080	3,846 (25.50)	16,088	4,006 (24.90)	15,560	3,770 (24.23)	16,095	4,269 (26.52)	14,830	3,905 (26.33)	12,057	2,449 (20.31)

주: 링크미통과데이터는 소통상황에 관계없이 GPS Probe가 링크를 통과하지 못한 모든 데이터를 말함

〈표 3〉 링크미통과데이터 중 혼잡으로 인한 발생건수 및 비율

도로	4월 19일		4월 20일		4월 21일		4월 22일		4월 23일		4월 24일		4월 25일	
	건수	비율 (%)	건수	비율 (%)	건수	비율 (%)	건수	비율 (%)	건수	비율 (%)	건수	비율 (%)	건수	비율 (%)
강남대로	1,037	19.22	1,302	20.80	1,241	19.54	1,328	19.34	830	19.40	965	20.27	622	17.03
도봉로	419	6.89	458	7.13	484	7.50	508	7.93	414	6.09	479	7.11	403	7.67
도산대로	676	16.93	817	17.89	813	17.47	760	17.05	781	17.16	679	16.05	416	14.21
신촌양화	491	9.93	426	8.21	553	9.99	575	10.46	516	9.38	521	8.97	411	9.04
종로	418	11.89	537	13.96	470	11.73	430	11.41	515	12.06	407	10.42	151	6.17

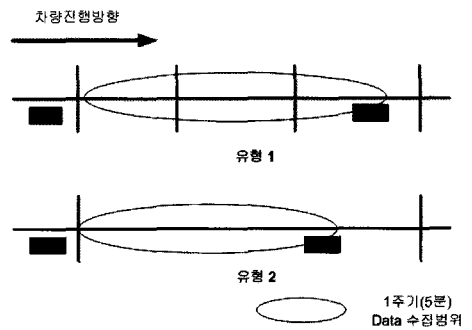
주: 혼잡으로 인한 링크미통과데이터는 GPS Probe 차량이 혼잡으로 인해 링크를 하나도 통과하지 못한 경우를 말함

2. 링크미통과데이터 활용방안 검토

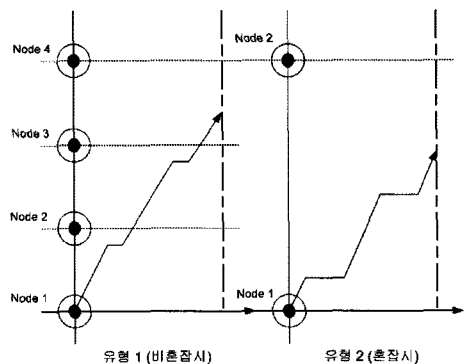
링크미통과데이터는 크게 두 가지 유형으로 나눌 수 있는데 하나는 소통상황이 원활하여 여러 개의 링크를 통과하였으나 수집주기 때문에 마지막 링크를 통과하지 못한 경우이고 다른 하나는 혼잡으로 인해 수집 주기 동안 링크를 하나도 통과하지 못한 경우이며, 이러한 유형을 그림으로 나타내면 〈그림 3〉와 같으며, 이를 시공도로 나타내면 〈그림 4〉과 같다.

전술한 바와 같이 링크미통과데이터는 크게 두 가지 유형으로 분류할 수 있다. 이 중 혼잡정보를 중요시하는 운전자들의 성향을 고려할 때 유형 1은 굳이 교통정보를 제공하지 않아도 큰 무리가 없으나 유형 2는 운전자의 교통정보 신뢰도 및 만족도를 감소시킬 수 있으므로 활용할 수 있는 방안이 필요하다. 따라서 본 연구는 유형 2 즉, 혼잡으로 인해 발생하는 링크미통과데이터를 이용하여 통행시간을 추정하는 방법에 대하여 연구하였다.

링크미통과데이터를 이용하여 링크통행시간을 추정하기 위해 본 연구에서는 GPS의 순간속도의 변화를 이용하였다. 이미 대기행렬이 형성된 경우 GPS Probe는 정차하게 되고 그 때 순간속도는 0이 된다. 녹색현



〈그림 3〉 링크미통과데이터 유형

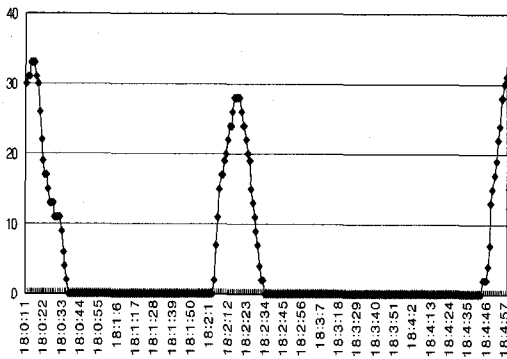


〈그림 4〉 링크미통과데이터 유형별 시공도 예시

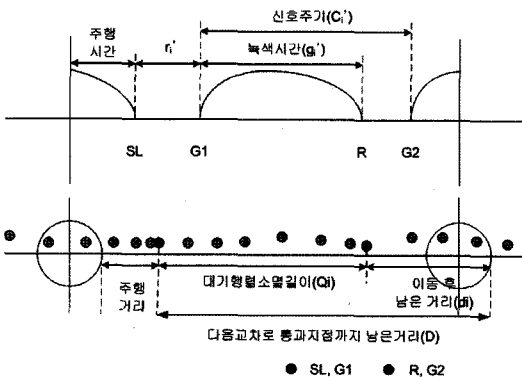
시에는 대기행렬이 소거되면서 GPS Probe도 이동을 시작하고 순간속도는 증가한다. 반대로 적색현시에는 이동 중인 차량들이 다시 정차하면서 GPS Probe도 감속 후 정차하므로 순간속도는 감소하다가 다시 0이 된다. 혼잡시에는 하나의 링크에서 1주기 이상 대기하기 때문에 이러한 패턴변화가 반복적으로 이루어진다. 이러한 변화를 그림으로 나타내면 <그림 5>와 같다.

<그림 5>는 이마트~터미널사거리 구간의 GPS Probe의 순간속도변화로서 이마트삼거리를 통과한 GPS Probe가 형성된 대기행렬로 인해 1차 정지한 이후 녹색현시에 이동을 하다가 적색현시에 다시 정지한 이후 다음 주기 녹색현시에 통과한 것을 보여준다.

이러한 순간속도변화를 이용하게 되면 신호변화 및 주기를 추정할 수 있게 된다. 즉, 차량의 순간속도가 증가하는 시점이 녹색현시 시점이 되며, 다시 정차한 경우가 적색현시 시점이므로 이러한 시간차이는 녹색시간이 되며, 녹색현시 시점간의 시간차이는 신호주기로 볼 수 있다. 또한 이러한 신호변화에 따른 차량의 이동을 고려하면 녹색시점



<그림 5> 혼잡시 신호변화에 따른 순간속도변화 (이마트~터미널사거리)



<그림 6> 순간속도변화와 차량이동거리의 관계

과 적색시점 사이에 차량이 이동한 거리는 녹색현시동안 소멸된 대기행렬길이이므로 이 때 이동거리를 구하면 대기행렬소멸길이를 추정할 수 있다. 따라서 이러한 관계를 그림으로 나타내면 <그림 6>과 같이 나타낼 수 있을 것이다.

3. 링크미통과데이터를 활용한 링크통행시간 추정 기법

링크미통과데이터를 이용하여 링크통행시간을 추정할 때 여러 가지의 데이터가 요구된다. 이러한 데이터를 추정하기에 앞서 링크미통과데이터를 이용한 링크통행시간 추정기법의 기본적인 가정은 다음과 같다.

■가정

- 시간대에 관계없이 모든 운전자는 Probe 차량과 동일한 운전행태를 가짐
- 현재는 각 버퍼를 통과할 시점의 위치 및 시간을 기록할 수 있는 데이터구조이나 본 연구에서는 주행시간 및 거리, 차량정지위치, 녹색시점시간, 적색시점시간 및 위치, 신호주기를 기록할 수 있는 데이터구조가 구축됨
- Probe 차량은 차로변경없이 선행차량을 따라 주행함
- 링크 중간에 횡단보도와 같이 차량군을 분산시키는 요인이 없음

위의 내용을 기반으로 단말기에서는 링크미통과데이터일 경우 다음의 자료를 구축하여 센터로 송신하게 되며, 그 순서는 다음과 같다.

- [Step 1]** 링크 진입 이후 GPS의 순간속도가 최초로 5초 이상 0이 된 시점(SL)까지의 주행거리 및 시간을 기록함
- [Step 2]** 정지한 시점(SL) 이후 GPS의 순간속도가 5초 이상 0보다 큰 수치가 나타나는 시점(G1)의 시간 및 위치 기록
- [Step 3]** GPS의 순간속도가 다시 5초 이상 0이 된 시점(R)까지의 시간과 위치를 기록
- [Step 4]** 정지한 시점(R) 이후 GPS의 순간속도가 5초 이상 0보다 큰 수치가 나타나는 시점(G2)의 시간 기록

【Step 5】 기록된 데이터를 이용하여 녹색시간(g')과 신호주기(C')를 추정

$$g' = T_R - T_{G1} \quad (1)$$

여기서, T_R : 첫 번째 적색현시시점 시간
 T_{G1} : 첫 번째 녹색현시시점 시간

$$C' = T_{G2} - T_{G1} \quad (2)$$

여기서, T_{G2} : 두 번째 녹색현시시점 시간
 T_{G1} : 첫 번째 녹색현시시점 시간

【Step 6】 추정된 녹색시간동안 소거되는 대기행렬 길이(Q) 추정

$$Q = \sqrt{(X_R - X_{G1})^2 + (Y_R - Y_{G1})^2} \quad (3)$$

여기서, X_R, X_{G1} : 적색현시시점과 첫 번째 녹색현시시점의 X 좌표
 Y_R, Y_{G1} : 적색현시시점과 첫 번째 녹색현시시점의 Y 좌표

【Step 7】 SL까지의 주행거리 및 시간, G1의 시간 및 위치, 추정녹색시간(g'), 추정신호주기(C'), 대기행렬소멸길이(Q)의 자료를 센터로 송신

【Step 8】 송신된 자료 중 대기행렬소멸길이, 추정녹색시간 및 신호주기는 DB에 저장하고 조사된 실측값을 기반으로 녹색시간 및 신호주기에 대한 보정계수 산출(단, 2주기 이상 대기한 경우 녹색시간 및 신호주기는 각 추정치의 평균을 사용함)

이렇게 단말기에서 송신된 자료를 이용하여 링크통행시간을 추정하는 절차는 다음과 같다.

【Step 1】 링크미통과데이터가 발생한 경우 최초로 정지한 시점(SL)까지의 주행시간 및 거리 산출

【Step 2】 단말기에서 송신된 녹색현시 시점(G1)과 최초 정차한 시점(SL)을 이용하여 정차시간(r'_i)을 산출

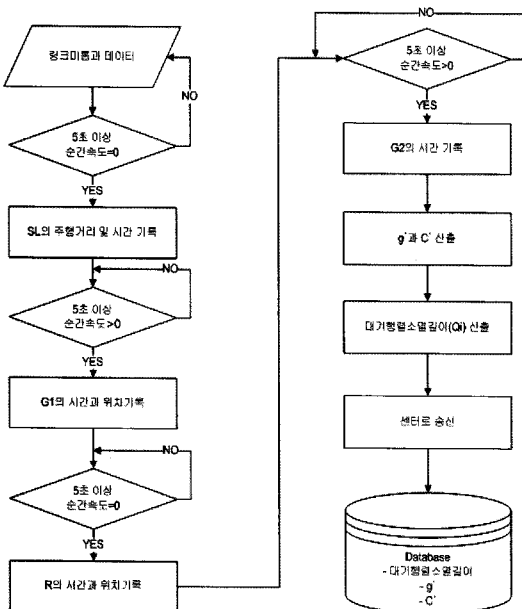
$$r'_i = T_{G1} - T_{SL} \quad (4)$$

여기서, T_{G1} : 녹색현시 시점 시간
 T_{SL} : 링크미통과데이터가 발생한 이후 최초로 정지한 시간

【Step 3】 Database에 저장된 대기행렬소멸길이(Q_i)와 다음 교차로 통과지점까지 남은 거리(D)와 DB의 대기행렬소멸길이를 이용하여 링크를 통과할 때까지 경험해야할 신호주기 수를 산출

【Step 4】 녹색시간(g'_i), 신호주기(C'_i) 등을 이용하여 링크통행시간 산출함

- 방안 1 : 주행시간, 정차시간(r'_i), 신호대기 시간을 추정한 후 녹색시간(g'_i)과 대기행렬소멸길이를 이용하여 초당 차량이동거리를 산출하여 녹색시간 동안 이동한 이후 남은 거리를 통과하는데 필요한 시간을 더하여 링크통행시간을 산출함



〈그림 7〉 단말기에서의 링크미통과데이터 처리 순서도

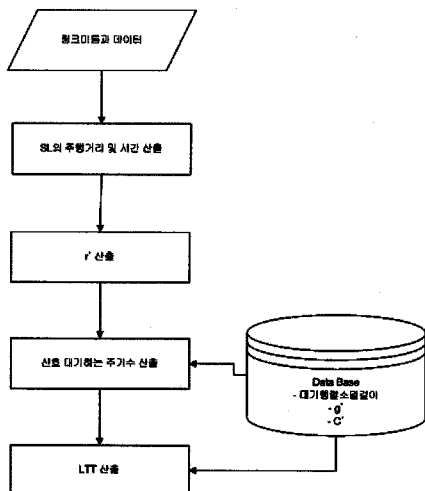
$$LTT_i = T_{run} + r' + INT(D/Q_i) \times C'_i \times \alpha + d_i / (Q_i / (g'_i \times \beta)) \quad (5)$$

여기서,

- LTT_i : 링크 i의 통행시간
- T_{run} : 링크 i의 주행시간
- r'_i : 링크 i의 정차시간
- D : 링크 i의 다음 교차로 통과지점까지 남은 거리
- Q_i : DB에 저장된 링크 i의 대기행렬소멸길이
- C'_i : DB에 저장된 링크 i의 신호주기
- α : 신호주기 보정계수
- g'_i : DB에 저장된 링크 i의 녹색시간
- d_i : 이동 후 남은 거리
($d_i = D - Q_i \times INT(D/Q_i)$)
- β : 녹색시간 보정계수

- 방안 2 : 주행시간, 정차시간(r'_i)은 방안 1과 동일하나 신호대기시간과 이동후 남은거리에 대한 통행시간을 신호주기에 남은거리와 대기행렬소멸길이의 비율을 곱하여 산출함

$$LTT_i = T_{run} + r' + D/Q_i \times C'_i \times \alpha \quad (6)$$



〈그림 8〉 링크미통과데이터 발생 시 링크통행시간 추정 순서도

방안 1과 2는 주행시간, 정차시간, 신호대기시간을 반영하는 점은 동일하나 방안 1의 경우는 이동후 남은 거리에 대한 통행시간을 다시 추정하는 반면 방안 2는 단순히 비율을 적용하여 추정하는 것이 서로 틀린 점이다.

4. 제안기법 검증 및 평가

1) 실험개요

제안기법의 효과를 검증하기 위해 실험통행시간, 기존 기법을 적용한 경우와 제안기법을 적용한 경우의 통행시간을 비교하였으며, 이에 앞서 추정기법에 이용되는 대기행렬소멸길이, 녹색시간 등을 실측치와 추정치를 비교하였다.

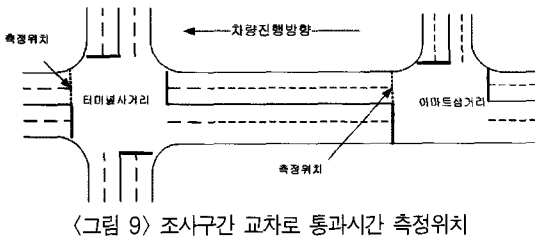
실험구간의 선정은 빈번한 혼잡으로 1주기 이상 대기한 후 통과할 수 있는 구간 중 맑은 기상조건에서의 데이터수 신상태가 양호하여 GPS의 대류권 굴절, 다중경로오차 등과 같은 오차를 최소화할 수 있는 구간을 선정하였다.

데이터 수집방법은 (주) SK의 GPS 단말기를 차량에 장착하고 이를 노트북에 연결하여 병렬포트를 이용한 데이터를 일괄 저장하여 후처리하여 통행시간을 산출하였다.

조사는 운전자 2명, 교차로통과시간 측정요원 2명, 대기행렬소거길이 측정 및 신호시간 조사인원 1명으로 총 5명의 조사원으로 조사를 수행하였다. 이 때 교차로 통과시간은 진행방향의 접근로에 들어갔을 때를 기준으로 측정하였으며, 대기행렬소멸길이는 최초 정지한 지점부터 녹색시간동안 이동한 이후 정지한 지점까지 Walking Measure를 이용하여 측정하였다.

〈표 4〉 현장실험 개요

항목	내용
실험구간	이마트 삼거리~터미널사거리 (구간길이 314m)
GPS 수집주기	1초
기상상태	맑음
주변지형	10층 이상의 고층빌딩이 없어 GPS 데이터 수신이 양호한 지역
수집시간	5월 1일과 6일 오후 2시~6시 (총 8시간)
표본개수	20개
주행방법	교통류의 흐름과 유사하게 주행 (차로변경 없음)
조사장비	차량 2대, GPS 단말기 2대, 초시계 3개, Walking Measure 1개
조사인원	5명(운전자 2명, 통행시간조사 2명, 대기행렬소멸길이조사 1명)



2) 정확도 평가 지표

추정치에 대한 정확성을 측정하는 지표로는 MAPE (Mean Absolute Percentage Error)와 절대오차평균(Mean Absolute Error: MAE)를 사용하였다.

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{|x_i - f_i|}{x_i}}{n} \quad (7)$$

여기서, x_i : 실측치
 f_i : 추정치

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - f_i|}{n} \quad (8)$$

여기서, x_i : 실측치
 f_i : 추정치

3) 제안기법 평가

(1) 대기행렬소멸길이

GPS 포인트의 순간속도패턴분석을 통해 추정된 대기행렬소멸길이와 조사원이 Walking Measure로 측정한 실측 대기행렬소멸길이를 비교하였으며, <표 5>은 5월 1일과 5일에 수집한 20개의 표본에 대한 대기행렬소멸길이의 추정치와 실측치, 오차이다.

<표 5>를 보면 추정치와 실측치가 약간의 차이를 보인다. 이는 GPS 오차를 최소화하는 구간을 선정하였으나 약간의 오차는 포함하고 있기 때문이다. 그러나 MAPE는 2.16%, MAE는 3.15m로 추정치의 정확도는 상당히 높은 것을 알 수 있다.

(2) 녹색시간 및 신호주기

녹색시간 및 신호주기의 정확도 역시 MAPE와 MAE를 이용하여 알아보았다. 진행방향인 터미널 사거

<표 5> 대기행렬소멸길이의 실측치와 추정치 비교

회수	5월 1일			5월 5일		
	추정치 (m)	실측치 (m)	오차 (m)	추정치 (m)	실측치 (m)	오차 (m)
1	139	141	2	149	143	6
2	142	139	3	188	184	4
3	145	142	3	149	149	0
4	138	139	1	132	125	7
5	142	138	4	138	134	4
6	166	170	4	145	142	3
7	151	146	5	160	159	1
8	148	151	3	155	152	3
9	165	163	2	162	158	4
10	160	157	3	128	129	1

리의 신호현시는 접근로의 녹색시간(직진)은 38초, 신호주기는 180초로 조사되었다.

녹색시간 및 신호주기의 추정치 및 오차는 <표 6>, <표 7>와 같으며, 녹색시간의 MAPE와 MAE는 22.24%, 8.45초이며, 신호주기의 MAPE와 MAE는 12.53%, 22.55초로 나타났다.

녹색시간 및 신호주기와 대기행렬소멸길이 모두 GPS의 순간속도를 이용하여 추정하였으나 녹색시간 및 신호주기의 추정오차가 대기행렬소멸길이의 추정오차보다 큰 이유는 논리적으로 녹색시점을 판단하기 때문에 일정 속도 이상 속도가 증가하는데 걸리는 시간 및 조사차량 앞에 형성된 대기행렬의 영향으로 인한 손실시간 때문에 나타난 것으로 판단된다.

신호주기와 녹색시간에 따라 링크통행시간의 변화가 발생하므로 이러한 오차를 줄이기 위해 보정계수를 적용하였으며, 실측치를 기반으로 할 때 조사지역의 녹색시간 보정계수는 1.29, 신호주기는 1.14의 보정계수를 적용하였다.

<표 6> 녹색시간 추정치 및 실측치 비교

회수	1일(초)	5일(초)	실측치(초)	1일 오차(초)	5일 오차(초)
1	30	28	38	8	10
2	25	34	38	13	4
3	28	30	38	10	8
4	31	31	38	7	7
5	28	27	38	10	11
6	33	29	38	5	9
7	26	31	38	12	7
8	27	29	38	11	9
9	35	33	38	3	5
10	32	24	38	6	14

〈표 7〉 신호주기 추정치 및 실측치 비교

회수	1일(초)	5일(초)	실측치(초)	1일 오차(초)	5일 오차(초)
1	160	155	180	20	25
2	155	157	180	25	23
3	157	158	180	23	22
4	162	153	180	18	27
5	160	154	180	20	26
6	157	157	180	23	23
7	156	154	180	24	26
8	162	161	180	18	19
9	157	156	180	23	24
10	159	159	180	21	21

(3) 링크통행시간

링크통행시간은 순간속도변화를 통해 추정된 대기행렬소멸길이, 녹색시간 및 신호주기 외에 단말기에서 수신한 주행거리 및 시간, 정차시간을 이용하여 추정하게 된다. 주행거리 및 시간과 정차시간의 경우 수집한 데이터의 후처리를 통해서 산출하였으며, 추정치들은 DB에 저장되게 된다. 본 연구에서는 DB에 저장된 추정치들의 평균을 적용하여 링크통행시간을 추정하였다. 〈표 8〉은 제안기법의 방안별 링크통행시간 추정치를 나타낸다.

링크통행시간의 추정치 역시 MAPE와 MAE를 이용하여 정확도를 평가하였다. 이 때 제안기법의 최적방안 도출을 위해 실측치와 비교하여 평가하였으며, 추가

적으로 해당 차량이 링크를 통과한 이후에 기존기법으로 추정한 결과와 최적 방안과 비교분석하였다.

제안기법의 방안 1은 MAPE와 MAE가 각각 1.98%, 4.75초로 나타났고 방안 2는 31.34%, 76.90초로 나타났다. 이와 같이 방안 2의 오차가 큰 이유는 신호주기 산출 시 기준시점이 적색시점이 아닌 녹색시점이기 때문인 것으로 판단된다. 즉, GPS Probe는 신호주기동안 대기한 후 이동을 시작하므로 신호대기시간 외에는 남은거리를 통과하는데 필요한 시간만 고려되어야 하나 방안 2는 적색시간동안 대기하는 시간도 같이 반영되기 때문에 실측치보다 큰 통행시간이 산출되게 된다. 반면 방안 1은 이동에 필요한 시간만 고려하므로 방안 2보다 정확도가 높게 나타나며, 오차 역시 큰 차이가 없었다. 또한 기존기법의 MAPE(0.85%)와 MAE(2.05%)와 방안 1을 비교해 볼 때 거의 유사하게 나타난다.

정확도 분석과 더불어 방안 1을 이용하여 추정한 결과와 실측치 및 기존 기법과의 차이 여부를 T 검정을 이용하여 수행한 결과 〈표 10〉과 같이 두 통행시간이 동일한 것으로 나타났다.

따라서 제안기법의 방안 1을 이용할 경우 실제 통행시간과 유사한 통행시간을 산출할 수 있으며, 이를 활용할 경우 수집을 향상 및 시스템 효율성 증대와 같은 효과를 얻을 수 있으며, 혼잡정보를 보다 빨리 제공할

〈표 8〉 제안기법의 방안별 링크통행시간 추정결과

일자	회수	주행거리(m)	남은거리(m)	주행시간(초)	정차시간(초)	대기행렬소멸길이(m)	녹색시간(초)	신호주기(초)	방안1(초)	방안2(초)
1일	1	97	217	25	86	150	30	157	281	338
	2	32	282	14	25	150	30	157	222	334
	3	82	232	24	42	150	30	157	239	309
	4	61	253	21	67	150	30	157	266	353
	5	130	184	34	13	150	30	157	211	240
	6	89	225	25	48	150	30	157	245	309
	7	43	271	15	53	150	30	157	249	352
	8	59	255	19	65	150	30	157	262	351
	9	76	238	25	39	150	30	157	239	313
	10	108	206	30	47	150	30	157	245	293
5일	1	71	243	21	53	150	30	157	250	328
	2	45	269	16	97	150	30	157	294	395
	3	78	236	23	32	150	30	157	229	302
	4	51	263	19	39	150	30	157	238	333
	5	70	244	16	49	150	30	157	241	320
	6	80	234	24	43	150	30	157	241	312
	7	42	272	15	64	150	30	157	260	364
	8	62	252	20	52	150	30	157	249	336
	9	148	166	30	9	150	30	157	199	213
	10	76	238	22	61	150	30	157	258	332

〈표 9〉 제안기법의 방안별 링크통행시간 추정치와 실측치 비교

일자	회수	방안 1 (초)	방안 2 (초)	기존기법 (초)	실측시간 (초)	방안 1 절대오차 (초)	방안 2 절대오차 (초)	기존기법 절대오차 (초)
1일	1	281	338	283	285	4	53	2
	2	222	334	210	214	8	120	4
	3	239	309	233	234	5	75	1
	4	266	353	264	267	1	86	3
	5	211	240	205	208	3	32	3
	6	245	309	247	251	6	58	4
	7	249	352	245	245	4	107	0
	8	262	351	264	267	5	84	3
	9	239	313	235	237	2	76	2
	10	245	293	247	248	3	45	1
5일	1	250	328	245	247	3	81	2
	2	294	395	282	283	11	112	1
	3	229	302	233	235	6	67	2
	4	238	333	240	241	3	92	1
	5	241	320	237	237	4	83	0
	6	241	312	242	245	4	67	3
	7	260	364	254	253	7	111	1
	8	249	336	241	245	4	91	4
	9	199	213	188	190	9	23	2
	10	258	332	253	255	3	77	2

〈표 10〉 실측치 및 기존기법과의 T 검정 결과

항목 \ 비교대상	실측치	기존기법
T-통계량	0.219	0.492
P-value	0.414	0.313

수 있어 뒤늦은 정보제공으로 인한 운전자의 기회비용 감소 및 교통정보에 대한 고객만족도 증가와 같은 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

IV. 결론 및 향후연구과제

1. 결론

본 연구에서는 혼잡 및 교통정보 수집주기로 인해 발생하는 링크미통과데이터를 활용하여 통행시간을 추정하는 기법을 개발하였으며, 본 연구의 전제조건은 혼잡시에는 차량이 1주기 이상 신호대기를 하며, 링크미통과데이터가 발생할 경우 1회 이상 정차를 한다는 것이며, 수집데이터의 분석은 GPS의 순간속도변화를 이용하였다.

링크미통과데이터가 발생할 경우 단말기에서는 주행거리 및 시간, 녹색현시시점 및 적색현시시점 시간 및 위치를 기록한 후 주행거리 및 시간, 정차시간, 대기행렬소멸길이, 녹색시간, 신호주기를 추정하여 센터로 송

신하게 되고 센터에서는 수신된 자료를 기반으로 링크 통행시간을 추정하게 된다.

방안별 제안기법을 검증하고 평가하기 위해 이마트 삼거리~터미널사거리 구간에서 현장실험을 수행하였으며, 정확도 평가지표는 MAPE와 MAE를 사용하였다. 제안기법을 비교한 결과 방안 1이 더 정확한 것으로 나타났으며, 그 오차는 1.98%, 4.75초로 실제 통행시간과 큰 차이가 나지 않았으며, 기존기법과도 큰 차이를 보이고 있지 않았다.

따라서 제안기법의 방안 1을 이용하여 통행시간을 추정할 경우 혼잡으로 인해 발생하는 링크미통과데이터를 활용할 수 있으므로 수집을 향상되며, 그 결과 시스템 효율성이 증대되는 효과를 얻을 수 있다. 또한 보다 빠른 혼잡정보의 제공을 통해서 운전자의 기회비용 감소 및 고객만족도를 증대 효과도 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

2. 향후연구과제

먼저, 본 연구는 링크미통과데이터를 이용하여 링크 통행시간을 추정하는 기법을 개발하였으나 현재 시스템에서 이용되는 데이터 및 DB구조와 다른 포맷을 가지고 있으므로 이에 대한 구축이 우선되어야 할 것이다.

둘째, 본 연구에서는 일반승용차량을 이용하여 현장

실험 및 제안기법의 정확도 평가를 수행하였다. 그러나 현재 국내에서는 일반승용차량이 아닌 택시와 버스를 이용하여 통행시간자료를 수집하여 제공하고 있으며, 택시와 버스는 일반승용차량과 다른 운행행태를 보이고 있다. 따라서 택시와 버스를 이용할 경우에 대한 연구가 추가적으로 이루어져야 할 것이다.

셋째, 본 연구는 GPS의 오차를 최소화하고 단시간에 많은 데이터를 수집하기 위해서 시외곽 혼잡구간을 대상으로 실험을 실시하였다. 그러나 고층빌딩이 많은 도심지역에서는 GPS 오차가 증가하므로 도심지역의 혼잡구간에 제안기법을 적용해 볼 필요가 있으며, 실험 역시 더욱 많은 구간에서 수행할 필요가 있다.

넷째, 본 연구에서 녹색시간 및 신호주기의 추정오차를 보정하기 위한 보정계수를 적용하였으나 실험지역의 한계로 인해 일반화된 보정계수를 제시하지 못하였다. 그러나 이러한 보정계수가 도로 및 교통상황에 따라 변화할 것으로 판단되므로 다양한 도로 및 교통상황에서 보정계수에 대한 민감도 분석을 실시하여 일반화된 값을 제시할 필요가 있다.

마지막으로 본 연구에 이용될 수 있는 링크미통과데이터는 1회 이상 정차하여야 하므로 링크를 주행하는 중에 수집주기에 의해 링크미통과데이터가 발생할 경우에는 이를 적용할 수 없다. 따라서 시스템의 효율성을 극대화하기 위해서는 이러한 경우에 적용할 수 있는 방법에 대한 연구가 필요할 것이다.

참고문헌

1. Bruce Grjesenbeck, Ken Gebert and Jer emy Fitch(1998), "Travel time and delay data collection using GPS and GIS".
2. Cesar Quiroga, Darcy Bullock(1999), "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.
3. Keechoo Choi, Chi-Hyun Shin, and Incheol Park(1998), "An Algorithm for Calculating Dynamic Link Travel Time Using GPS and Digital Road Map", Proceedings of the 5th World Congress on Intelligent Transport Systems, Seoul.
4. Douglas Robertson, Joseph Hummer and Donna Nelson(1994), "Manual of Transportation Engineering Studies", Prentice Hall.
5. TTI(1998), "Travel time data collection handbook", Texas A&M University System.
6. 김동환(2000), "혼잡교통류에서 GPS/GIS를 활용한 링크통행시간 및 정지지체 추정기법 개발", 공학석사학위논문, 아주대학교.
7. 정연식(1999), "GPS probe 및 루프검지기 자료의 융합을 통한 통행시간추정 알고리즘 개발", 공학석사학위논문, 아주대학교.
8. 서울시립대학교 부설 도시과학연구원(2000), "TSD 교통정보제공시스템 구축 자문보고서".

✉ 주 작 성 자 : 심상우

✉ 교 신 저 자 : 최기주

✉ 논문투고일 : 2006. 2. 7

✉ 논문심사일 : 2006. 5. 9 (1차)

2006. 6. 30 (2차)

✉ 심사판정일 : 2006. 6. 30

✉ 반론접수기한 : 2006. 12. 31