

택시 GPS데이터를 활용한 신호제어용 혼잡상황 판단 알고리즘 개발

A Traffic congestion judgement Algorithm development for signal control using taxi gps data

이철기*	이상덕**	이용주***	이승준****
(Choul Ki Lee)	(Sang Deok Lee)	(Yong Ju Lee)	(Seung Jun Lee)
(Ajou Univ.)	(Ajou Univ.)	(Ajou Univ.)	(Ajou Univ.)

요약

서울시에서 실시간 신호제어를 위해 개발하였던 COSMOS 시스템은 도로의 교통상황을 판단하여 신호운영을 시행하도록 설계되었다. 하지만 COSMOS 시스템에서 사용하고 있는 정지선 검지거나 대기길이 검지기의 경우 도로의 과포화 상황을 정확하게 판단하지 못해 신호운영의 효율성이 떨어지는 문제점이 발생하고 있다. 따라서 본 연구에서는 기존의 정지선 검지기, 대기길이 검지기 체계에서 벗어나 서울시 법인택시 GPS 데이터를 가공하여 통행속도를 산출하였으며 또한 본 연구와 같이 진행한 「GPS 데이터를 이용한 대기행렬 길이 산출에 관한 연구」에서 산출한 대기행렬 길이를 기반으로 도로의 혼잡상황 판단 알고리즘을 수립하였다. 이를 도로의 혼잡상황이 지속적으로 나타나는 국기원 입구 → 강남역 사거리, 역삼역 사거리 → 국기원 입구로 구성된 실제 네트워크에 적용하여 실제 교통상황을 반영하고 있는지를 확인해 보았다.

핵심어 : GPS 데이터, 혼잡상황, 과포화, 대기길이, 통행속도

ABSTRACT

COSMOS system which was developed in Seoul for real-time signal control was designed to judge traffic condition for practicing signal operation. However, it occurs efficiency problem that stop line detection and queue length detection could not judge overflow saturation of street. For that reason, following research process GPS data of Seoul city's corporationowned taxi to calculate travel speed that excluded existing system of stop line detection and queue length detection. Also, "Research of calculating queue length by GPS data" which was progressed with following research expressed queue length. It is based on establishing algorithm of judging congestion situation. The algorithm was applied to a few areas where appeared congestion situation consistently to confirm real time traffic condition with established network. [Entrance of the National Sport Institute → Gangnam station Intersection, Yuksam station intersection → National Sport Institute

Key words : GPS data, congestion situation, overflow saturation, Queue length, travel speed

† 이 논문은 미래창조과학부 재원으로 경찰청과 치안과학기술연구개발사업단의 지원을 받아 수행된 치안과학기술연구개발사업 임(PA-A000001-2015-401).

* 주저자 : 아주대학교 교통시스템공학과 교수

** 공저자 : 아주대학교 교통공학과 석사과정

*** 교신저자 : 아주대학교 교통연구센터 전임연구원

**** 공저자 : 아주대학교 교통공학과 박사과정

† Corresponding author : Yong Ju Lee(Ajou University), E-mail atfc4@ajou.ac.kr

† Received 7 June 2016; reviewed 15 June 2016; Accepted 20 June 2016

I. 서 론

1. 배경 및 목적

1990년대에 개발된 COSMOS(cycle, offset, split model for seoul)시스템의 경우 접근로의 교통수요에 따라 주기, 녹색시간 등의 신호제어변수를 조절하여 신호운영을 하였으며, 접근로의 과포화시에는 형평윤셋 제어, 앞막힘 예방제어 등의 방안을 통해 대응할 수 있도록 설계되었다[1].

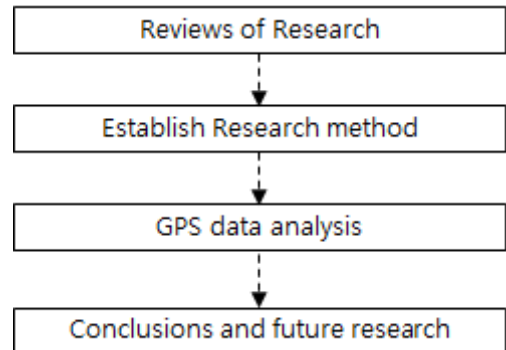
하지만 COSMOS 시스템에서 도로의 교통상황을 판단하기 위해 사용하는 정지선 검지기, 대기길이 검지기의 경우에는 차량의 점유율을 기반으로 도로의 교통상황을 판단하고 있으며 이로 인해 도로의 과포화 상황을 정확하게 파악하지 못하는 문제가 발생하고 있으며 이로 인해 효율적인 신호운영에 차질이 발생하고 있다.

따라서 본 연구에서는 기존의 교통상황 판단방안에서 벗어나 서울시에 등록된 법인택시 GPS 데이터의 가공을 통한 구간통행속도 산출 및 본 연구와 동시에 진행한 「GPS데이터를 이용한 대기행렬 길이 산출에 관한 연구」에서 산출된 대기길이를 기반으로 도로의 혼잡상황을 판단하는 방안을 수립하고자 한다.

2. 연구 방법

본 연구에서는 도로의 소통상황 판단, GPS 데이터를 이용한 교통정보 산출 방안에 대한 연구사례 및 GPS 데이터의 링크 매칭과 관련된 방안을 고찰하였다.

이를 바탕으로 하여 서울시 법인택시 GPS 데이터를 가공하여 도로의 교통상황을 판단하는 알고리즘을 수립하였으며 수립된 알고리즘을 실제 네트워크에 적용하여 도로상황을 제대로 표현하는지를 확인하였다.



〈Fig. 1〉 Flow chart of research process

II. 관련 문헌 고찰

1. GPS 데이터를 이용한 통행속도 산출

Jeong(2003)은 기존의 루프검지기가 가지고 있는 한계성을 극복하고 보다 신뢰성 있는 교통정보를 수집하기 위한 방안을 마련하고자 GPS 데이터를 통해 수집할 수 있는 시간, 위도, 경도 등의 정보를 이용하여 링크통행속도를 산출하는 알고리즘을 제안하였다[2].

또한, 산출된 링크통행속도를 세 개의 변수(속도, 요일, 시간)로 이루어진 퍼지추론 시스템에 적용하여 보다 신뢰성 있는 링크통행속도를 산출하였다.

마지막으로 추정된 구간통행속도의 정확성 평가를 위해 GPS의 정보 수집주기를 1초 단위로 변경하여 시뮬레이션 하였으며 그 결과, 정보수집주기가 빠를수록 구간통행속도의 오차값이 가장 낮게 나타났으며 10초의 정보수집 주기까지는 비교적 정확한 결과값을 도출할 수 있는 것으로 조사되었다.

2. 도시부도로의 정성적 소통상황 판단

Cho(2011)은 도시부 도로의 소통상황을 정성적으로 판단하기 위한 알고리즘을 개발하였다[3].

이 때, 도시부 도로의 정성적 소통상황을 분류하기 위해 미국의 HCM 및 한국의 KHCM을 참고하여 도로의 서비스수준을 판별하였으며 이를 도로용량 편람에 따른 교통류 안전성에 따라 원활, 서행, 정

체 3가지로 구분하여 도로의 소통상황을 정성적으로 나타내었다.

3. 제한된 GPS정보를 활용한 통행시간 추정

Yoo(2014)은 서울시에서 제공하는 서울시 법인택시 GPS데이터 기반의 통행시간 정보의 정확도 문제를 개선하기 위해 택시 GPS데이터 중 일부 이동 경로가 삭제된 GPS데이터를 복원시켜 GPS데이터의 정확도를 향상시키는 연구를 진행하였다[4].

결합이 있는 GPS데이터 기반으로 구성된 시계열 모형에서 프로브 차량의 진행방향과 위상정보를 결합하여 결손된 링크들 중에서 가장 근접한 링크를 후보 링크로 선정하여 복원한 후, 이를 기반으로 산출되는 통행량 및 통행시간의 정확도를 향상시키는 방안을 사용하였다.

4. GPS 데이터의 링크 매칭에 대한 연구

Chung(2000)은 GPS 데이터를 표준노드링크와 매칭하기 위한 방안을 3가지로 구분하였으며 각 방안별 장단점에 대하여 기술하였다[5].

또한, 최근 들어 미국 정부의 주도로 SA(selective availability)개념이 사라짐에 따라, GPS 데이터의 주행궤적과 주변 노드링크와의 기하구조 및 위상정보를 비교하여 가장 유사한 지점에 매칭시키는 방안을 제시하였다.

5. 국내의 혼잡교차로 제어전략

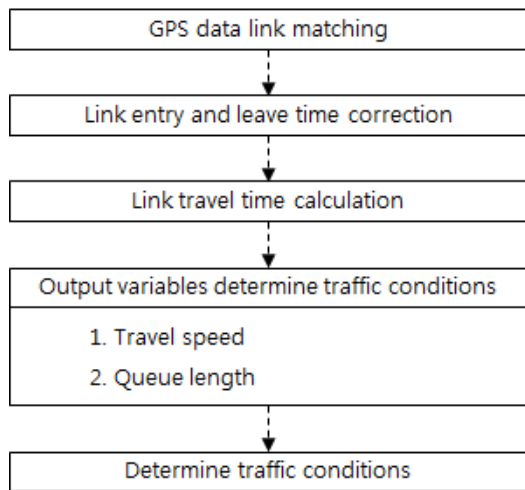
국내의 실시간 신호제어 시스템상에서 교차로 제어전략을 살펴보면 한산상태에서는 교통수요에 따라 녹색신호시간을 변동하여 차량군의 지체시간을 최소화하는 것을 목표로 운영하고 있다[1].

혼잡 교차로에 대해서는 혼잡정도에 따라 포화(안정), 포화(불안정), 과포화 상황으로 판정하고 있으며 각 상황에 따라 앞막힘 예방제어, 형평웁셋 제어 등의 내부미터링 기법 혹은 외부미터링 기법을 사용하여 교차로 신호제어를 수행하고 있다.

III. 교통상황 판단 방안 수립

1. 분석방법론

본 연구에서는 서울시 법인택시 GPS 데이터를 가공하여 프로브 차량의 구간통행속도, 대기길이를 산정하고 이를 기반으로 도로의 교통상황을 판단할 수 있는 알고리즘을 수립하고자 한다.



〈Fig. 2〉 Study performed procedures

2. 택시 GPS 데이터 소개

본 연구에서는 도로의 소통상황을 판단하고자 서울시 법인택시 26,000대에 부착되어 있는 GPS 데이터를 활용하였으며 94%의 높은 정보 정확도를 확보하고 있는 것으로 조사되었다[6].

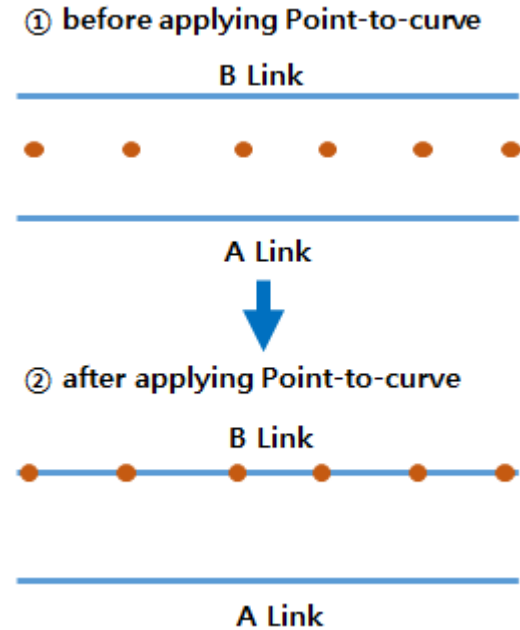
서울시 법인택시 GPS 데이터는 10초 당 1회 차량 위치를 데이터화하여 2분 30초(총 15회)마다 센터로 데이터를 전송하고 있으며, 개별 차량 ID, 차량의 위도 및 경도를 통한 위치정보, 방위각, 지점 속도, 차량의 주행궤적 등의 정보를 수집할 수 있다.

3. GPS 데이터 링크 매칭

본 연구에서는 서울시 법인택시 GPS 데이터를 링크 매칭하기 위해 Point-to-curve 방법을 사용하였다.

Point-to-curve 방법을 쉽게 설명하자면 GPS데이터를 노드와 링크로 구성된 수치지도상에 투영시키면 GPS데이터가 가지고 있는 자체적인 오차로 인해 정확하게 매칭이 되지 않는 문제가 발생한다.

이 때, 각각의 GPS 데이터를 현재 위치한 지점에서 가장 가까운 링크로 매칭시키는 방안이 Point-to-curve 방법이다.



<Fig. 3> GPS data link matching

4. 링크 진출입 시각 보정을 통한 통행시간 산출

서울시 법인택시 GPS 데이터의 경우 10초 단위로 프로브차량의 위치를 검지하기 때문에 정확한 링크 진입시각 및 진출시각을 파악할 수 없다.

따라서 프로브차량의 링크 진입 및 진출시각을 산출하기 위해서는 프로브차량이 동일한 속도로 주행한다는 가정하에 링크 진출 및 진출 시각을 1초 단위로 보정할 필요성이 있다.

식 (1)을 통해 A'지점에서 A지점까지의 통행속도를 산출할 있으며 이를 통해 <Fig. 4>와 같은 1초단위 차량주행궤적을 표시할 수 있다.

이를 통해 링크의 진출입 시각을 1초단위로 파악할 수 있으며 산출된 링크 진출입 시각을 통해 링크를 주행하는 프로브차량의 통행시간을 산출할 수 있다.

$$\frac{L_{(A'-A)}}{T_{(A'-A)}} = V_{(A'-A)} \quad (1)$$

$L_{(A'-A)}$ = A'지점에서 A지점까지의 거리 (m)

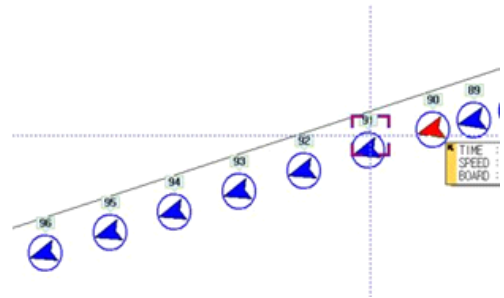
$T_{(A'-A)}$ = A'지점에서 A지점까지의 시간 (sec)

$V_{(A'-A)}$ = A'지점에서 A지점까지의 속도 (m/s)

① Prove Vehicle Trajectory (10 sec)



② Prove Vehicle Trajectory (1 sec)



<Fig. 4> Prove Vehicle Trajectory

5. 교통상황 판단방안

1) 교통상황 판단 변수 산출

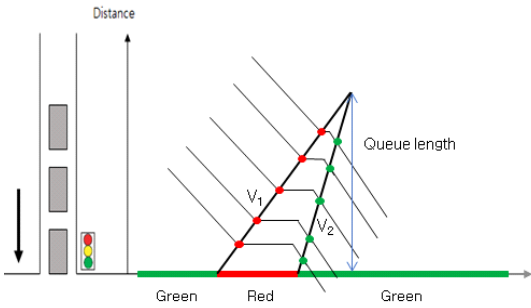
본 연구에서는 서울시 법인택시 GPS 데이터를 가공하여 구간통행속도 및 대기행렬길이를 산출함으로써 도로의 교통상황을 판단하는 변수로 활용하였다.

구간통행속도의 경우 앞서 산출된 링크 진출입 시간과 링크길이를 기반으로 하여 산출할 수 있다.

또 다른 교통상황 판단변수 중 하나인 대기행렬길이의 경우에는 본 연구와 같이 진행중인 「GPS 데이터를 이용한 대기행렬 길이 산출에 관한 연구」에서 수립한 방안을 이용하여 대기행렬 길이를 산출하였다.

대기행렬 길이를 산출하는 방안으로는 신호교차로에서 정지 및 출발로 인해 발생하는 충격파를 이용하였으며 2개의 충격파가 만나는 지점을 대기행렬 길이로 정의하였다.

이 때, 차량들의 정지 및 출발 당시의 위치를 시공도상에 나타내었으며 이를 통해 2개의 충격파의 이동을 파악하여 2개의 충격파가 만나는 지점을 산정하였다.



〈Fig. 5〉 Queue estimation using the shock wave

2) 혼잡여부 판단

접근로의 혼잡상태를 파악하기 위한 방안으로 통행속도, 대기길이를 고려하여 판단하는 방안을 수립하였다. 식 (2), (3)와 같이 링크를 한 주기 동안 통과하기 위한 통행속도보다 낮은 통행속도를 나타내고 주기당 주행거리(distance per cycle)가 대기길이보다 짧은 경우에는 도로의 혼잡상태로 판단하였으며 그 외의 경우에는 비혼잡상태로 판단하였다.

$$\frac{Link\ length}{Cycle\ time} > Travel\ speed \text{ -----(2)}$$

$$Queue\ length > distance\ per\ cycle \text{ -----(3)}$$

3) 대기행렬의 성장여부 고려

혼잡상태로 판단된 접근로의 대기행렬의 성장여

부를 판단하여 접근로의 포화상태 여부를 자세하게 표현하고자 하였다.

대기행렬의 성장여부를 파악하기 위해 식(4)의 이동평균법을 활용하였으며 이를 통해 과거 10분간의 데이터를 5분단위로 롤링하여 대기행렬의 증감추세를 파악하였으며 이 과정에서 대기행렬이 성장하지 않았으면 포화(비성장) 상황으로 판단하였다.

$$Z_{N+1} = \frac{1}{m} (Z_N + Z_{N-1} + \dots + Z_{N-M+1}) \text{ -----(4)}$$

m = 특정기간

Z_N = 가장최근 시점

4) 과포화 여부 판단

접근로의 과포화 여부 판단은 식 (5)와 같이 대기행렬의 길이가 링크를 초과하여 상류부 교차로에 영향을 미치고 있는지 여부를 판단하여 대기행렬 길이가 링크를 초과할 경우 과포화(성장), 초과하지 않는 경우 포화(비성장)으로 판단하였다.

$$Queue\ length > Link\ distance \text{ -----(5)}$$

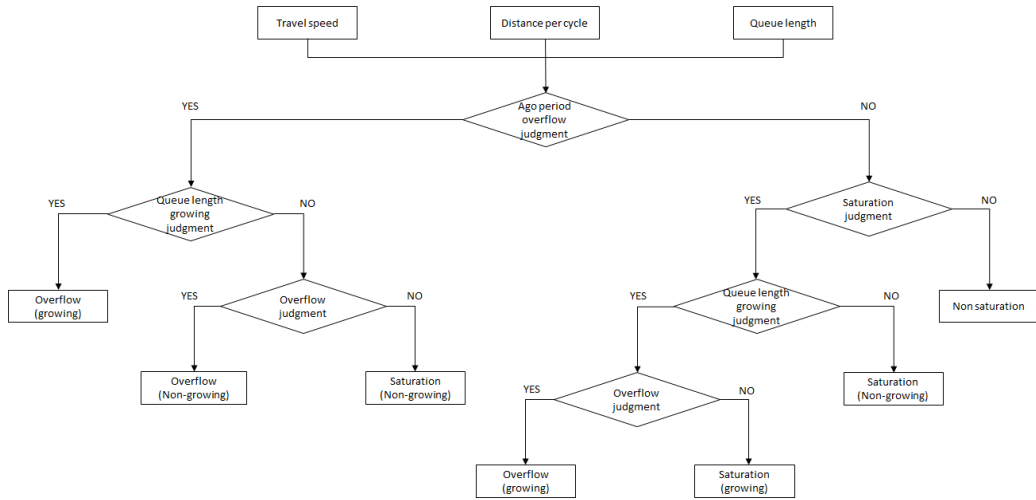
5) 전주기에서의 과포화 접근로의 교통상황 판단

전주기에서의 과포화상황으로 판단된 접근로의 경우 대기행렬의 성장여부를 판단하여 대기행렬이 성장하였다면 과포화(성장)단계로 판단하였으며 성장하지 않았다면 다시한번 과포화 상태여부를 점검하였다.

이 과정을 통해 접근로의 교통상황이 아직 과포화 상태에 머물러 있다면 과포화(비성장)상황으로 판단하였으며 과포화 상태를 벗어났다면 포화(비성장)상황으로 판단하였다.

6) 신호제어용 혼잡상황 판단 알고리즘 개발

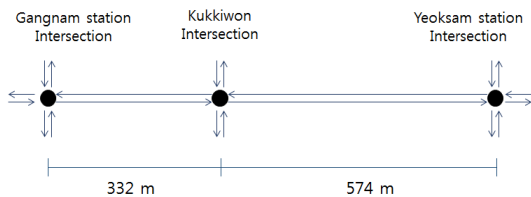
통행속도, 주기당 이동거리, 대기길이를 이용하여 혼잡여부를 판단한 뒤 혼잡상황으로 판단된 접근로의 대기행렬 길이의 성장여부를 점검하여 포화(비성장)을 구분하였으며 마지막으로 과포화 여부를 판단함으로써 과포화(성장), 포화(성장)을 최종적으로 판단하는 알고리즘을 개발하였다.



〈Fig. 6〉 Traffic situation decision algorithm

IV. GPS 데이터 분석

앞서 수립한 도로의 소통상황 판단 방법론에 따라 2016년 02월 01일 18:00~19:00 사이에 국기원 입구→강남역 사거리(링크 1), 역삼역 사거리→국기원 입구(링크 2)를 지나는 서울시 법인택시 GPS 데이터를 바탕으로 시간대별 교통상황을 조사해 보았다.



〈Fig. 7〉 Spatial range of the study

링크1인 국기원 입구~강남역 사거리의 소통상황의 경우 18:00~19:00에 과포화(성장), 과포화(비성장) 상황을 반복적으로 나타내는 등 계속해서 과포화 상황을 유지하고 있는 것으로 나타났다.

〈Table 1〉 5 minutes determine traffic conditions(Link 1)

Time Zone	Travel speed (kph)	Queue length (M)	traffic conditions
18:00	7.85	387.76	overflow saturation

Time Zone	Travel speed (kph)	Queue length (M)	traffic conditions
18:05	7.72	351.08	overflow saturation (growing)
18:10	6.22	416.07	overflow saturation (Non-growing)
18:15	6.33	414.08	overflow saturation (Non-growing)
18:20	7.45	410.16	overflow saturation (growing)
18:25	6.71	412.77	overflow saturation (Non-growing)
18:30	7.81	375.70	overflow saturation (growing)
18:35	7.09	411.07	overflow saturation (Non-growing)
18:40	6.20	464.57	overflow saturation (Non-growing)
18:45	4.69	515.34	overflow saturation (Non-growing)
18:50	6.15	467.17	overflow saturation (growing)
18:55	5.18	485.78	overflow saturation (growing)

링크2의 역삼역 사거리→국기원 입구의 교통상황을 분석해 본 결과, 포화(비성장)에서 포화(성장)상황을 반복적으로 나타내고 있는 것으로 조사되어 링크 1에 비해 상대적으로 교통상황이 덜 혼잡한 것으로 나타났다.

〈Table 2〉 5 minutes determine traffic conditions(Link 2)

Time Zone	Travel speed (kph)	Queue length (M)	traffic conditions
18:00	6.64	413.90	saturation
18:05	6.53	424.43	saturation (Non-growing)
18:10	7.09	407.04	saturation (growing)
18:15	7.36	393.01	saturation (growing)
18:20	9.02	378.41	saturation (growing)
18:25	7.21	399.99	saturation (Non-growing)
18:30	7.19	402.44	saturation (Non-growing)
18:35	8.74	384.06	saturation (growing)
18:40	5.56	452.16	saturation (Non-growing)
18:45	4.98	488.63	saturation (Non-growing)
18:50	6.15	425.36	saturation (growing)
18:55	6.01	429.71	saturation (growing)

V. 결론 및 향후 연구과제

이 연구에서는 도로의 혼잡상황을 보다 자세하게 판단하기 위한 방안 중 하나로 서울시 법인택시 GPS 데이터를 가공하여 도로의 교통상황을 판단하는 방안을 수립하였다.

세부 연구내용은 서울시 법인택시 GPS 데이터 가공하기 위해 링크 매칭 및 링크 진출입 시간 산정을 위한 방안을 수립하였으며 이를 기반으로 구간통행속도를 산출하였다.

또한 본 연구와 같이 진행된 「GPS 데이터를 이용

한 대기행렬 길이 산출에 관한 연구」의 대기행렬 길이 데이터를 활용하여 도로의 교통상황을 판단하기 위한 알고리즘을 수립하였으며 이를 실제 네트워크에 적용해 보았다.

향후 연구과제로는 GPS데이터의 취약점인 고가도로 및 터널을 표기할 수 없다는 단점을 극복하기 위한 연구를 진행할 필요성이 있다.

또한, 본 연구에서는 이미 지난시점의 GPS데이터를 통해 교통상황 판단을 하였기에 현장조사를 통한 실측치와의 비교분석을 시행하지 못하였으나 향후 연구에서는 사전에 현장조사를 시행하여 실측치와의 비교분석을 시행해 볼 필요성이 있다.

REFERENCES

- [1] Seoul Metropolitan Police Agency(2002), Seoul Metropolitan Police Agency, real-time signal control system improved reports.
- [2] Jeong W. J.(2003), "Development of algorithms for judgment of traffic status using FIS and GPS data," Proceedings of KFIS Fall Conference. vol. 27, no. 1, pp.257-260.
- [3] Cho J. H.(2011), "Development Of Qualitative Traffic Condition Decision Algorithm On Urban Streets," *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 10, no. 6, pp.39-51.
- [4] Yoo N. H.(2014), "A Study on Algorithm for Travel Time Estimation using Restricted GPS Data," *The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 12, pp.1373-1379.
- [5] Chung Y. S.(2000), "Classification of Map-matching Techniques and A Development," *Journal of the Korean society for geospatial information system*, vol. 8, no. 1, pp.73-84.
- [6] Cityhall of SEOUL, <http://traffic.seoul.go.kr/archives/10280>, 2016.05.19.

저자소개



이 철 기 (Lee, Choul-Ki)
2015년 2월 ~ 현재 : 아주대학교 교통-ITS대학원 원장
2011년 9월 ~ 현재 : 아주대학교 교통시스템공학과 교수
1991년 2월 : 아주대학교 석사(교통공학 전공)
1998년 2월 : 아주대학교 박사(교통공학 전공)
e-mail : cklee@ajou.ac.kr



이 상 덕 (Lee, Sangl-Deok)
2014년 8월 ~ 현재 : 아주대학교 석사과정
e-mail : ob0504sc@ajou.ac.kr



이 용 주 (Lee, Yong-Ju)
2014년 9월 ~ 현재 : 아주대학교 교통연구센터 전임연구원
2014년 8월 : 아주대학교 박사 수료(교통공학 전공)
2007년 5월 ~ 2012년 3월 : 화성시청 교통행정과 주무관
2006년 2월 : 아주대학교 석사(교통공학 전공)
e-mail : atfc4@ajou.ac.kr



이 승 준 (Lee, Seung-Jun)
2015년 3월 ~ 현재 : 아주대학교 박사과정
2012년 9월 ~ 2015년 2월 : KSM기술(주) 교통계획부 대리
2010년 8월 ~ 2012년 8월 : 교통안전공단 안전연구처 연구원
2009년 8월 : 서울시립대학교 석사(교통공학 전공)
e-mail : cvl511@ajou.ac.kr