

GPS 데이터를 이용한 대기행렬길이 산출에 관한 연구

Study on Queue Length Estimation using GPS Trajectory Data

이 용 주*	황 재 성**	이 철 기***
(Yong-Ju Lee)	(Hwang Jae-Seong)	(Choul-Ki Lee)
(Ajou Univ.)	(Ajou Univ.)	(Ajou Univ.)

요 약

기존 실시간 신호제어시스템은 과포화 상황, 지점검지 및 매설식 검지체계의 문제점이 제기됨에 따라 ITS의 활성화와 검지체계의 발전 등으로 진보된 차세대 신호제어시스템의 개발이 요구되고 있다. 본 논문은 차세대 신호제어시스템을 위해 신호제어 기초 변수를 기존 통과교통량이 아닌 교차로 대기행렬을 활용할 수 있도록 대기행렬길이의 산출을 목적으로 하였다. 기존 시스템의 한계로 나타난 과포화 상황에 중점을 두어 범위를 설정하였다. 실시간으로 수집되는 개별차량 위치 정보를 좌표로 변환하여 최소제곱법을 이용한 회귀모형에 적용하여 추출한 직선식을 충격파 모형에 적용하였다. 산출된 대기길이와 링크길이의 비교를 통해 대기길이가 링크를 초과하는 경우 상류부 대기차량이 하류부 교차로에 영향을 미친다고 판단하여 하류부 교차로 대기행렬까지 대기길이를 포함하였다. 추출된 대기행렬길이의 신뢰성을 판단하고자 링크 통행시간과의 상관분석을 실시한 결과 두 링크 모두 0.9이상의 수치를 나타내며 높은 상관관계를 보이는 것으로 판단되었다. 본 연구는 실시간으로 수집되는 데이터를 이용하여 대기행렬길이를 산출할 수 있다는 점과 이를 이용하여 신호제어시스템의 개선에 기여할 수 있다는데 의의가 있다.

핵심어 : 대기행렬길이, 충격파모형, GPS 데이터, 과포화

ABSTRACT

Existing real-time signal control system was brought up typical problems which are supersaturated condition, point detection system and loop detection system. For that reason, the next generation signal control system of advanced form is required. Following thesis aimed at calculating queue length for the next generation signal control system to utilize basic parameter of signal control in crossing queue instead of the volume of real-time through traffic. Overflow saturated condition which was appeared as limit of existing system was focused to set-up range. Real-time location information of individual vehicle which is collected by GPS data. It converted into the coordinate to apply shock wave model with an linear equation that is extracted by regression model applied by a least square. Through the calculated queue length and link length by contrast, If queue length exceed the link, queue of downstream intersection is included as queue length that upstream queue vehicle is judged as affecting downstream intersection. In result of operating correlation analysis among link travel time to judge confidence of extracted queue length, Both of links were shown over 0.9 values. It is appeared that both of links are highly correlated. Following research is significant using real-time data to calculate queue length and contributing to signal control system.

Key words : Queue length, Shockwave model. GPS data, Overflow saturation

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

* 주저자 : 아주대학교 교통연구센터 전임연구원

** 공저자 : 아주대학교 건설교통공학과 석사과정

*** 교신저자 : 아주대학교 교통시스템공학과 교수

† Corresponding author : Choul-Ki Lee(Ajou University), E-mail cklee@ajou.ac.kr

† Received 7 June 2016; reviewed 12 June 2016; Accepted 21 June 2016

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

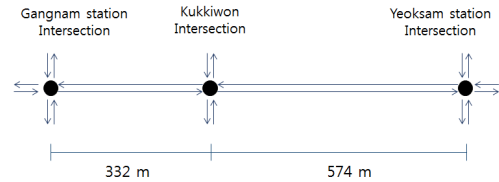
COSMOS 등 기존 실시간 신호제어 시스템은 교통 혼잡을 해소하는 방안으로 개발되었지만 지점검지체계의 한계, 검지체계의 유지관리 한계 등 다음과 같은 문제점이 제기되고 있다. 첫째, 정지선의 지점검지체계의 적용에 따라 교통수요가 아닌 통과교통량을 기준으로 신호제어를 수행하고 있어 과포화 상태에서도 점유율 1.0을 초과하지 않는 논리적 한계를 가지고 있다. 이를 개선하기 위해 대기행렬 기반의 신호제어를 수행하나 추가적인 검지기의 설치 필요하고, 지점검지를 통해 대기행렬을 추정할 정보이므로 정확도가 낮다. 둘째, 과도한 검지체계가 필요하며 설치 및 유지가 어려운 점이다. COSMOS에서는 매설식 루프검지체계의 이용과 추가적인 자료를 얻기 위해 과도한 검지체계를 설치해야 되므로 현장 장비의 유지관리에 어려움을 겪고 있는 실정이다[1].

이에 본 연구에서는 기존 신호제어시스템의 문제점으로 제기된 지점검지체계를 이용한 포화도 기반의 신호제어 방식을 탈피하고, 매설식 지점검지기의 한계를 극복하기 위해 구간정보 기반의 대기행렬길이 예측에 중점을 두었다. 즉 구간정보를 수집할 수 있는 새로운 데이터 기반의 구간정보를 통해 기존 통과교통량기준이 아닌 접근로 대기행렬 길이를 바탕으로 교차로 전체의 소통상황을 반영한 신호제어 전략에 적용할 수 있도록 대기행렬길이의 산출을 목적으로 하였다.

2. 연구의 범위 및 방법

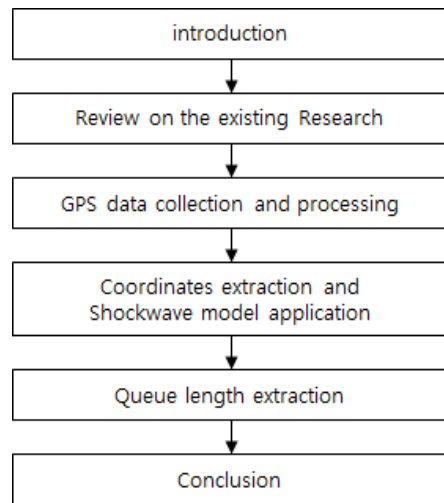
본 연구의 범위는 기존 실시간신호제어 시스템의 문제점으로 드러난 과포화 상황을 중점으로 연구의 범위를 설정하였다. 서울시 과포화 상황이 빈번하게 일어나는 강남역 ~ 역삼역 구간의 교차로를 대상으로 강남역 사거리 ~ 국기원 입구 사거리 ~ 역삼역 사거리(총 연장 약 879m) 를 공간적 범위로 설정하였다. 또한 차량의 수요가 집중되는 첨두시

인 18시 ~ 19시로 시간적 범위를 설정하였다.



〈Fig. 1〉 Spatial range of the study

연구의 방법은 법인택시에서 수집되는 GPS 데이터를 기반으로 과포화 상황의 개별차량들의 시공도를 추출하였다. 그 과정에서 강남역 일대의 고층빌딩 등으로 인한 GPS 데이터의 오차가 발생하는데 이를 줄이기 위해 맵매칭 방식을 적용하여 오차를 줄였으며, 택시의 특성 상 승객이 타지 않은 차량은 주·정차의 확률이 높고 택시 승강장의 여부에 따라 장기 주차를 하는 경우가 발생한다. 이를 방지하기 위해 승객을 태운 차량만 필터링하여 연구를 진행하였다. 수집된 데이터를 기반으로 개별차량의 시공도를 작성한 뒤 과포화 상황에서 일어나는 현상을 확인하였고 이후 충격파 모형을 적용하여 대기행렬길이를 산출하였다. 연구의 수행과정은 아래 그림과 같다.

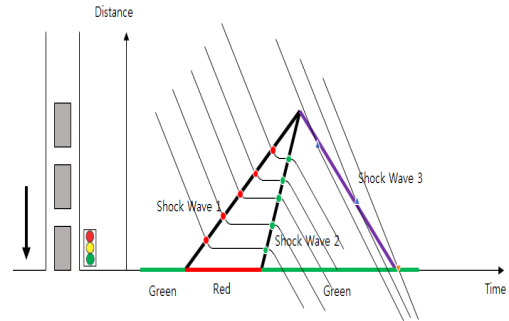


〈Fig. 2〉 Research methods

II. 기존 이론 및 선행연구의 고찰

충격파란 교통류를 유체와 같은 것으로 보고 이에 대한 수리역학적인 원리를 적용시킨 것으로 밀도와 교통량 변화의 전파운동을 말한다. 예를 들어 신호교차로에서 정지신호로 인해 정지선에서 정지를 하게 된다. 시간이 지날수록 정지선에서부터 대기하는 차량은 증가하게 되는데 대기하는 차량이 늘어날수록 대기행렬의 후미에 접근하기 위해 감속하는 지점은 상류부로 이동하게 되며, 감속하는 지점의 이동이 충격파의 이동을 의미한다. 충격파의 해석은 위의 예시와 같이 어떤 교통류가 어떤 제약 조건을 만나면 차량군이 생성되고, 그 제약조건이 해소되면 차량군의 하류부가 와해되면서 차량군이 소멸되는 과정을 해석하는 것이다[2].

신호교차로에서 발생하는 충격파의 종류는 적색 신호호의 등화로 정지선 후방으로 차량들이 대기행렬을 형성함에 따라 정지선 후방으로 발생하는 충격파와 녹색신호의 등화로 차량들이 정지선을 통과하며 발생하는 충격파, 차량군의 상대속도와 밀도 차로 인해 발생하는 충격파 세가지로 구분된다. 일반적으로 차량 대기행렬의 생성은 적색신호의 등화로 정지선 후방으로 차량들이 대기행렬을 형성함에 따라 정지선 후방으로 발생하는 충격파(u_1 : Shock wave 1)와 녹색신호 등화로 차량들이 정지선을 통과하며 발생하는 충격파(u_2 : Shockwave2)에 의해 접근로 후방으로 생성된 두 개의 충격파 중 u_2 의 속도가 u_1 의 속도보다 빠르므로 특정 지점에서 두 충격파가 만나게 되며, 만나게 되는 지점이 최대 대기행렬이 생성되는 지점이 된다[3]. 차량군의 속도와 밀도차이로 발생하는 충격파(u_3 : Shockwave3)는 u_1 과 u_2 가 만나는 지점 이후 정지하지 않고 대기행렬이 해소되는 차량군 후미에 감속하며 합류하는 경우에 발생한다. u_3 는 비포화 상황에서 교차로를 정지하지 않고 감속만하며 통과하는 차량군들에서 나타나는 행태로 2주기 이상 정체 후 통과하게 되는 과포화 상황에서는 나타나지 않는 충격파로 본 논문에서는 u_3 의 상황을 제외하였다.



(Fig. 3) Velocity of shock wave following gps trajectory

앞서 정지선 후방으로 생성된 두 개의 충격파 u_1 과 u_2 가 만나는 지점이 최대 대기행렬이 생성되는 지점이 된다고 설명하였다. u_1 은 도착 교통량의 수요에 따라 속도가 달라지며 측정된 차량들의 정지시간과 정지위치에 의해 산정되는 기울기로 속도를 추정할 수 있다. u_2 는 전방에 교통량과 밀도가 0인 제약조건과 만나 생성되는 속도이며, 이때 통과하는 차량들의 주행속도는 GPS 데이터로 측정이 가능하지만 충격파 속도를 산정하기 위한 상류부의 밀도와 교통량이 0인 상태의 속도는 측정이 불가능하기 때문에 자유속도로 주행한다는 가정이 필요하다. 이렇게 산정된 충격파의 속도로 아래와 같이 직선 모형을 산정할 수 있다[4].

$$\text{Shockwave 1 : } y = u_1(x - T_r) \text{ ----- (식 1)}$$

$$\text{Shockwave 2 : } y = u_2(x - T_g) \text{ ----- (식 2)}$$

여기서 T_r 과 T_g 는 각각 적색신호 등화시간, 녹색신호 등화시간을 의미한다.

Shockwave 1과 Shockwave 2를 이용한 대기행렬 길이는 아래와 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$y = u_1 u_2 (T_g - T_r) / (u_2 - u_1) \text{ ----- (식 3)}$$

III. 대기행렬길이 산출

1. GPS 데이터

기존 실시간신호제어 시스템의 한계를 극복하기

위해서는 다음과 같은 성격을 가진 데이터가 필요하다. 첫째, 실시간성. 둘째, 정확성. 셋째, 데이터 수집률, 마지막으로 실용화 가능성이다.

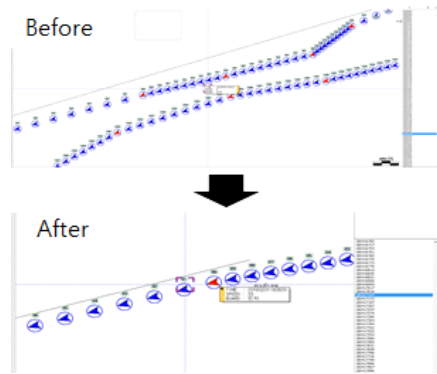
GPS데이터는 실시간성을 가지며 10초단위의 수집 정보를 2분30초(150초) 마다 센터에 전송한다. 현재 서울시에서는 통행속도 산출을 위해 법인택시에서 수집되는 정보를 사용하고 있으며, 서울시 분석결과에 따르면 GPS 위치 값을 활용해 생산한 속도 정보의 정확성을 약 94%수준에 이른다고 한다 [5]. 향후 택시운행정보 관리시스템의 확장 등으로 택시 GPS 데이터는 수집률이 높아질 전망이다. 이를 종합해보아 법인택시 GPS 데이터는 위에 제시한 기존의 시스템을 극복할 수 있는 데이터로 판단되며 이를 기반으로 연구를 진행하였다.

수집된 GPS 데이터는 개별차량의 정보를 통해 차량의 위치, 순간속도를 얻을 수 있으나 이는 정보 수집 주기인 10초 단위로 측정되기 때문에 순간 정보가 아닌 통행 정보를 알기 위해서는 맵과의 매칭을 통해 링크를 주행한 거리, 통행시간, 통행속도를 산출할 수 있다.

GPS 데이터의 약점으로 고층빌딩 등의 영향으로 위성신호의 세기가 약화되어 위치 계산시 오차가 발생하게 되는데 이런 오차를 줄이기 위해 ‘Point-to-curve’ 매칭 기법을 적용하여 맵 매칭 시뮬레이션을 이용하여 데이터의 오차를 줄였다. ‘Point-to-curve’ 방식은 10초 단위의 정보를 1초 단위로 균등 분할하여 각 데이터를 가까운 노드, 또는 링크에 매칭시키는 방식이며[6] <Fig. 4>는 데이터 맵매칭 전·후의 데이터 화면이다.

대기행렬 길이 산출과정에서 GPS데이터의 장점은 개별차량의 행태를 반영할 수 있다는 점에 있다. 기존 연구에서는 충격파의 시작은 신호제어에 의해 이루어지고 있다. 하지만 차량의 대기행렬이 전체 가로구간을 채우고 인접가로까지 영향을 미치는 경우를 말하는 과포화 상태[6]에서는 상류부 교차로 대기행렬로 인해 차량의 진입이 불가능한 상황이 발생한다. 이런 경우에는 신호제어시간을 충격파 모형에 적용할 수 없다. 하지만 GPS 데이터에서는 차량의 정지시간, 정지위치, 출발시간, 출발위치 등

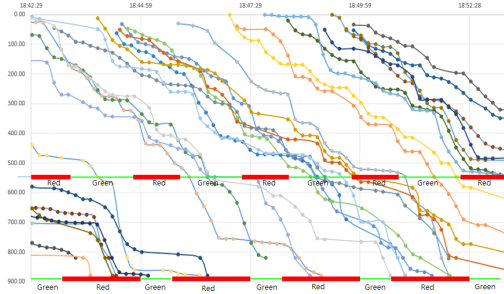
의 정보를 얻을 수 있기 때문에 과포화 상황에서도 충격파 모형을 적용할 수 있다.



<Fig. 4> GPS data occurring error and adapting way of matching

2. 혼잡 상태에서의 대기행렬길이 산출

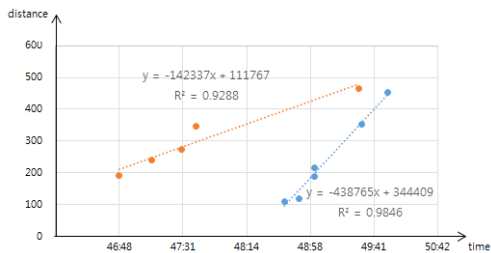
포화상태와 과포화상태의 차이는 포화상태는 대기행렬 길이가 교차로 자체에만 영향을 미치는 경우이며, 과포화상태는 대기행렬길이가 링크 전체를 채우고 인접 교차로까지 영향을 미치는 경우를 말한다[7]. 도시부 도로에서는 도착 교통량이 교차로의 용량을 초과하여 시간이 지날수록 대기행렬의 길이가 증가하여 해당 링크를 초과하는 과포화 현상을 보인다. 일반적인 교차로에서는 하류부 교차로를 통과한 차량군은 상류부 교차로에 도착하여 연동 값에 의한 정체없이 통과하거나 신호시간에 의해 교차로를 정지 후 통과하는데 과포화 상황에서는 이미 교차로를 통과하지 못한 차량들로 인해 하류부 교차로를 통과한 차량군은 상류부 교차로의 대기행렬 하단부에 합류하게 되며 이런 현상이 지속되어 상류부 교차로에서 발생한 대기행렬이 하류부 교차로까지 이어지는 스�필백(Spillback) 현상, 즉, 하류부 교차로에서는 직진신호임에도 불구하고 직진하지 못하는 현상이 일어난다. 이런 현상을 고려하여 기존 충격파 모형의 적용을 신호등의 등화 여부에 따르지 않고 개별차량들의 정지, 출발에 의해 발생한 충격파를 적용하였다.



〈Fig. 5〉 Time space table of the analysis intersection

1) 충격파 모형 적용

충격파 모형을 적용하기 위해서는 개별 차량들의 정지·출발하는 시간과 위치를 좌표화하여 충격파의 추세를 산출해야 한다. 추세선은 GPS 데이터를 통해 추출된 차량들의 정지시간과 위치를 각각 x, y 좌표로 설정한 뒤 회귀모형을 이용하여 정지에 의한 충격파(Shockwave 1)과 출발에 의한 충격파(Shockwave 2)에 대한 직선식을 구하였다. 두 충격파가 만나는 특정 지점을 대기행렬의 길이로 측정하였다.



〈Fig. 6〉 Graph of the Shockwave models

2) 대기행렬길이 산출 결과

대기길이 측정 교차로는 국기원 입구 사거리로 결과 분석의 주기는 5분으로 설정하였다. GPS 데이터의 정보제공 주기는 2분 30초이지만 혼잡 상황에서는 링크길이에 따라 차이가 있지만 연구 대상 교

차로를 통과하는 시간이 2분 30초를 초과한다. 따라서 충격파 모형을 적용하기 위해서 정지시간이 충분히 측정되어야 하며, 동일한 패턴을 보이는 차량들의 궤적이 파악이 되어야하므로 5분 단위로 분석을 진행하였다.

강남역 사거리 ~ 국기원 입구의 대기행렬길이는 최소 351.08m에서 최대 515.34m로 산출되었으며, 국기원 입구 ~ 역삼역 사거리의 대기행렬길이는 최소 378.41m에서 최대 488.63m로 산출되었다. 분석 대상 링크의 길이는 강남역 사거리 ~ 국기원 입구는 334m이며, 국기원 입구 ~ 역삼역 사거리는 547m이다. 강남역 사거리 ~ 국기원 입구의 경우 예측된 대기행렬 길이가 링크의 길이보다 길게 예측되었다.

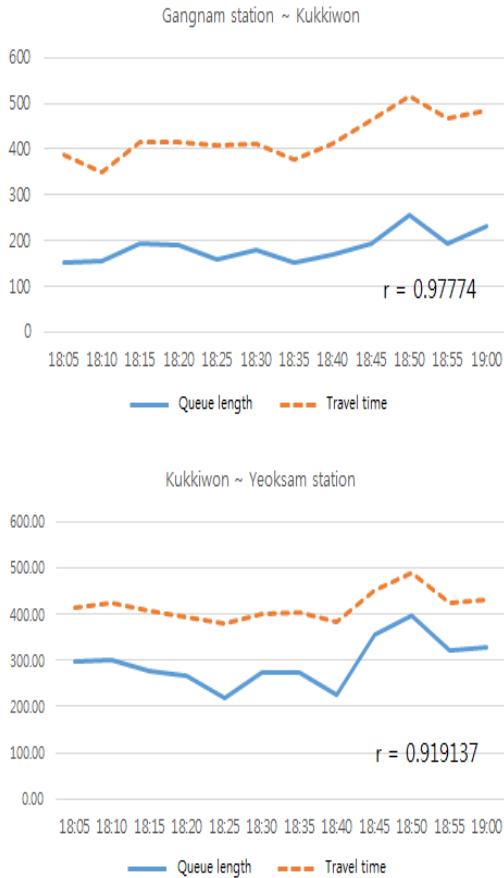
일반적으로 대기행렬의 길이가 길면 통행시간도 증가한다. 이에 수집된 통행시간과 산출된 대기행렬의 길이를 상관분석한 결과 강남역 ~ 국기원 입구의 상관계수 (r)은 0.978, 국기원 입구 ~ 역삼역의 상관계수 (r)은 0.919로 두 값에 대한 상관관계가 높게 측정되어 산출된 대기길이의 신뢰도 또한 높다고 볼 수 있다.

〈Table 1〉 Result of estimated queue length

analysis time	Queue length (m)	
	Gangnam sta. ~ Kukkiwon	Kukkiwon ~ Yeoksam sta.
00~05min.	387.76	413.90
06~10min.	351.08	424.43
11~15min.	416.07	407.04
16~20min.	414.08	393.01
21~25min.	410.16	378.41
26~30min.	412.77	399.99
31~35min.	375.70	402.44
36~40min.	411.07	384.06
41~45min.	464.57	452.16
46~50min.	515.34	488.63
51~55min.	467.17	425.36
56~60min.	485.78	429.71

<Table 2> Queue length of Gangnam intersection influence due to overflow saturation

analysis time	Queue length (m)
00~05min.	745.9
06~10min.	756.43
11~15min.	739.04
16~20min.	725.01
21~25min.	710.41
26~30min.	731.99
31~35min.	734.44
36~40min.	716.06
41~45min.	784.16
46~50min.	820.63
51~55min.	757.36
56~60min.	761.71



<Fig. 7> Correlation analysis of Queue length - travel time

강남역 사거리 ~ 국기원 입구 링크의 경우 산출된 대기행렬이 분석시간 전체에 걸쳐 해당 링크를 초과하였다. 이런 경우 대기행렬의 길이가 하류부 교차로에 영향을 미치는 경우로 하류부 교차로에서는 상류부 대기차량들로 인해 교차로를 통과하지 못하기 때문에 충격파 모형의 Shockwave 1의 기준점을 차량의 정지 및 출발시간으로 판단하여야 한다. 따라서 하류부 교차로의 대기행렬길이에 상류부 교차로의 링크길이를 더한 길이가 하류부 교차로 영향권의 대기행렬길이가 된다.

VI. 결론 및 향후 연구방향

본 연구는 국가개발 연구사업 <스마트 신호운영 시스템 개발>의 일환으로 진행되었다. 연구의 목표는 구간소통정보 기반 실시간 신호제어 개발이며 현재 1차 년도 진행 중이다. 본 논문은 방법론 및 가용데이터 분석에 관한 연구를 마친 결과로 새로운 가용데이터인 GPS 데이터를 활용하여 실시간 개별차량의 속도, 위치정보를 이용하여 신호제어의 변수로 활용될 대기길이를 산출하였다.

과포화시 인접 교차로까지 영향권으로 확장하여 하류부 교차로에 부가되는 대기차량길이를 산출하였다. 또한, 산출된 대기행렬 길이는 통행시간과 상관관계를 확인한 결과 높은 상관관계를 보이며 산출된 통행시간의 신뢰도를 밀받침하고 있다.

본 연구는 과거 이력자료를 기반으로 방법론을 추정하여 적용한 결과로 CCTV를 통한 대기행렬의 추세는 확인되었으나 현장 조사를 통해 얻는 실측치에 대한 검증이 이루어지지 않았다. 이에 향후 현장조사를 통해 얻은 데이터와 현장조사 당시의 데이터를 수집하여 산출한 대기길이를 비교하여 검증할 필요가 있다. 또한, 혼잡상황에서 국한되지 않은 다양한 소통상황에서 적용할 수 있는 방법론의 개발이 필요하며, 대상 교차로처럼 수집률이 높은 지

역 이외에 수집률이 부족한 상황 또한 고려하여 연구할 필요가 있다.

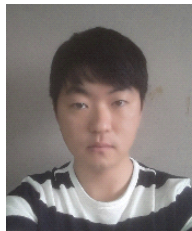
REFERENCES

- [1] Korean National Police Agency(2014), "Development of Signal control algorithm using big data on traffic information".
- [2] Doh T. W.(2012), "The theory of traffic engineering," chungmungak, pp.112-122.
- [3] Lee M. H.(2012), "Queue length estimation algorithm for signalized intersection using sectional travel time information".
- [4] Yang C. et. al.(2011), "cycle-by-Cycle Queue length estimation for signalized intersections using sampled trajectory data," *Journal of the transportation research board*, no. 2257, pp.87-97.
- [5] The City Hall of Seoul, <http://traffic.seoul.go.kr/archives/10280>, 2016.05.19.
- [6] Chung Y. S. et. al.(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
- [7] NCHRP.(1978), Traffic control in oversaturated street network.

저자소개



이 용 주 (Lee, Yong-Ju)
2014년 9월 ~ 현 재 : 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



황 재 성 (Hwang, Jae-Seong)
2016년 3월 ~ 현 재 : 아주대학교 석사과정
2008년 3월 ~ 2015년 8월 : 아주대학교 학사
e-mail : hwang256@ajou.ac.kr



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