

두 개의 지점 검지기를 이용한 연속류 구간의 밀도측정 방안

Density Measurement for Continuous Flow Segment Using Two Point Detectors

김민성* 엄기종** 이청원***
(Min-Sung Kim) (Ki-Jong Eom) (Chung-Won Lee)

요약

교통량, 속도, 밀도의 3가지 교통류 지표 중 밀도는 혼잡을 잘 나타내는 지표이다. 밀도를 측정하는 방안은 직접적으로 수집하는 방안과 수집자료를 활용하여 간접적으로 수집하는 방안이 있다. 직접적인 측정법은 대상구간의 교통류를 항공기나 고층건물에서 촬영하여 밀도를 직접적으로 구하는 것이나, 기상과 도로조건 및 비용상의 문제로 인하여 광범위한 사용에는 한계가 있다. 밀도를 간접적으로 측정할 수 있는 방안은 지점검지기를 이용하여 속도와 교통량을 측정하여 $q = \mu k$ 식을 이용하여 밀도를 추정하는 방법이다. 하지만 이 역시 지점의 밀도값을 추정할 수 있을 뿐 구간의 밀도값을 대표할 수는 없다. 본 논문에서는 두 개의 지점검지기를 이용하여 밀도를 측정할 수 있는 방법을 제시하였다. 또한 순간밀도, 평균밀도, 측정간격이라는 개념을 정리하고 Paramics API 기능을 활용하여 자료를 생성한 후 측정간격이 밀도 정확도에 미치는 영향을 분석하였다. 또한 밀도측정장비의 탑재를 위한 지수평활화 등의 프로세스가 포함된 밀도측정알고리즘도 제시하였다.

Abstract

Density is the most important congestion indicator among the three fundamental flow variables, flow, speed and density. Measuring density in the field has two different ways, direct and indirect. Taking photos with wide views is one of direct ways, which is not widely used because of its cost and lacking of proper positions. Another direct density measuring method using two spot detectors has been introduced with the concept of instantaneous density, average density and measurement interval. The relationship between accuracy and measurement interval has been investigated using the simulation data produced by Paramics API function. Finally, density measurement algorithm has been suggested including exponential smoothing for device development.

Key words: Instantaneous density, average density, measurement interval, density measurement algorithm, paramics API

† 본 논문은 교통정보혁신을 위한 제공.관리.평가 기술개발의 연구단 과제와 1세부과제 이동식 기준검지기 알고리즘 개발의 연구지원으로 수행되었음

* 주저자 : 서울시립대학교 교통공학과 석사과정

** 공저자 : 서울시립대학교 교통공학과 석사과정

*** 공저자 : 서울시립대학교 교통공학과 교수(교신저자)

† 논문접수일 : 2009년 1월 13일

† 논문심사일 : 2009년 2월 20일

† 게재확정일 : 2009년 2월 23일

I. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

교통량, 속도, 밀도의 3가지 교통류 지표 중 밀도는 혼잡을 잘 나타내는 지표이다. 밀도를 측정하는 방안은 직접적으로 수집하는 방안과 수집자료를 활용하여 간접적으로 수집하는 방안이 있다. 직접적인 측정법은 대상구간의 교통류를 항공기나 고층건물에서 촬영하여 밀도를 직접적으로 구하는 것이나, 기상과 도로조건 및 비용상의 문제로 인하여 광범위한 사용에는 한계가 있다. 밀도를 간접적으로 측정할 수 있는 방안은 2개의 지점검지기로부터 차량을 검지(Counting)하여 밀도를 추정하는 것이나, 이 역시 초기준재대수과약, 측정구간길이, 측정간격, 적정수집주기, 적정가공주기, 평활화 존재유무 등과 같은 쟁점사항들로 인하여 현장 활용성이 확보되어 있지 않다. 본 논문에서는 두 개의 지점검지기를 이용하여 밀도를 측정할 수 있는 방법을 제시하였다. 또한 순간밀도, 평균밀도, 측정간격이라는 개념을 정리하고 가상시뮬레이션(Paramics API) 기능을 활용하여 자료를 생성한 후 측정간격이 밀도정확도에 미치는 영향을 분석하였다. 또한 밀도측정장비의 탑재를 위한 지수평활화 등의 프로세스가 포함된 밀도측정알고리즘도 제시하였다.

II. 기존문헌조사

1. 기존검지체계의 한계성

0.5km 이상 되는 긴 도로구간을 항공기나 고층건물에서 촬영한 사진을 이용하여 밀도나 통행시간을 구하여 밀도를 검지하는 직접적으로 구하는 방안은 기상과 도로조건 및 비용상의 문제로 인하여 측정하기에는 한계가 있다 [1]. 상당히 긴 구간의 밀도를 지점에서 직접 측정할 수는 수집체계는 현재 없으며 지점검지기를 활용한 이동식 밀도기준검지는 다차로의 경우 초기준재대수 과약, 추월에 관한 사항, 적정수집주기산정, 적정가공주기산정 등의 다양한 쟁점

사항으로 인하여 실용화하기가 매우 어렵다. 지점검지기로부터 습득되는 자료는 다양하나 크게 보면 속도와 교통량이 있다. 이를 이용하면 간접적이거나 밀도를 추정할 수 있지만 지점검지기에 의한 밀도추정치는 관측이 되는 지점(길어야 5m이내)에 대한 밀도 값이므로 사실상 활용가치가 없다. 물론 교통류균일(Homogeneous)하다면 지점자료가 구간을 대표할 수는 있으나 현실적으로 성립의 한계가 있다.

2. 기존검지체계 현황검토

1) 구간검지기 기능을 이용한 밀도검지 방안

긴 구간 관측방식 (Measurement along a length of road)은 주로 0.5km 이상 되는 긴 도로구간을 항공기나 고층건물에서 촬영한 사진을 이용하여 밀도나 통행시간을 구하는 방식이다 [2]. 밀도는 한 장의 사진에서 직접 측정이 가능한 반면 속도나 여행시간은 여러장에서 계산해내야 한다.

긴 구간 관측에서 얻어지는 가장 유용한 자료는 실제 통행시간 자료이나 자동차량인식(AVI)과 같은 최신기술로 보다 용이하게 구할 수 있기 때문에 긴 구간 관측방법은 거의 사용되지 않는다. 두지점간 차량고유의 검지기 신호나 차량군을 인식하여 통행시간을 구하는 방법도 제안되고 있으나 실용화는 이루어지지 못하고 있다.

2) 지점 기능을 이용한 밀도검지 방안

지점검지는 도로의 한 점을 통과하는 차량들에 대한 각각의 교통정보를 수집하는 검지기를 지점검지기라고 한다. 현재 국내뿐 아니라 국외에서 가장 많이 활용하고 있는 검지기이다. 지점 검지기의 가장 대표적인 것은 루프(loop)검지기가 있으며, 영상(Image Processing)기법을 활용한 검지기, 마이크로웨이브검지기, 초음파검지기, 적외선검지기, 자기검지기 등이 국내에 도입되어 사용되고 있다. 현재 지점검지기로부터 습득되는 자료에 가중치 적용 또는 평균값을 산정하여 해당구간을 대표하는 값으로 사용하고 있는 실정이다 [3]. 지점 검지기에서 수집되는 정보는 속도, 교통량이며 이 자료를 식 (1)을 통해 밀도를 구

할 수 있다 [4, 5]. 그러나 지점검지기는 어느 일정시간 동안 도로상의 한 지점에서 필요한 정보를 측정하는 것이므로, 지점검지기는 한 지점의 밀도값을 측정할 뿐, 어떤 구간을 대표하지는 못한다. 따라서 구간 밀도의 활용에는 제약이 따른다.

$$q = u \cdot k \quad (1)$$

여기서, q = 교통량(vph)

k = 밀도(대/km)

u = 속도(km/h)

3) 점유율을 측정하여 밀도로 변환하는 방안

밀도와 점유율은 차량의 길이가 일정(Constant)할 때만 선형(Linear) 관계를 가질 뿐 여러 차량이 혼합되면 상관성을 알기 어렵다는 것을 명확히 하고 있다 [2, 6]. 식 (2)는 차량길이가 일정(uniform)한 경우에 유도된 관계식이다.

$$\begin{aligned} \text{Occupancy} &= \frac{1}{T} \sum_i \frac{L}{h} u_i + d \cdot k \\ &= \frac{1}{h} \cdot L \cdot \frac{1}{N} \sum_i u_i + d \cdot k \quad (2) \\ &= L \cdot \frac{q}{u_s} + d \cdot k \\ &= (L+d)k = C_k k \end{aligned}$$

여기서, T = 수집주기

L = 차량길이(Constant)

u = 차량속도

q = 교통량

N = 차량대수

h = 차두거리

d = 검지기 길이

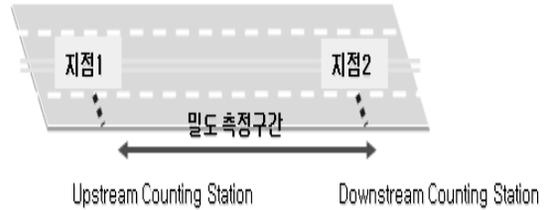
k = 밀도

C_k = 차량길이(Constant) + 검지기구간

III. 밀도측정방안

1. 밀도검지방안 선정

본 논문에서는 두 지점에서 차량을 검지하여 구간



<그림 1> In-Out counting method

<Fig. 1> In-Out counting method

밀도를 측정하기 위한 기본 알고리즘을 개발하였다. 우선 교통조건은 연속류, 단차로 구간을 대상으로 알고리즘을 개발하였으며 차선변경이 불가능한 기본 구간을 전제로 하였다. <그림 1>에서 보는 바와 같이 측정 지점1 구간과 지점2 구간 사이에 측정시간(t)동안 머문 차량수를 검지하는 진입-진출검지 방법(In-Out counting method)를 제시하였다.

2. 변수정의

1) 수집주기(T), 측정간격(Δ)

수집주기(T)에서 측정간격(Δ)이 좁아질수록 측정 횟수 M은 증가하고, 측정간격이 넓어질수록 M은 감소한다.

$$\text{측정간격}(\Delta) = T/M \quad (3)$$

여기서, T = 수집주기

M = 측정횟수

2) 순간밀도(k)

순간밀도(k)는 측정시간 m_i 의 관측된 밀도값을 나타낸다. 즉, 어떤 측정시간 동안 차량대수(N)를 파악하여 구간길이 [L]로 나눈 값을 말한다.

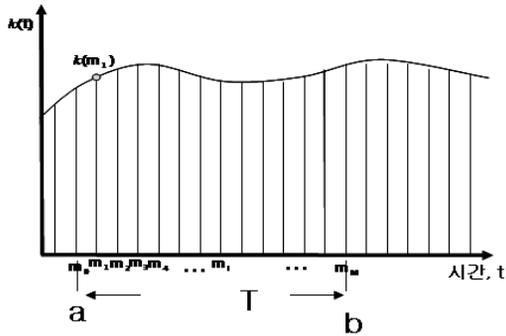
$$k(m_i) = N/L \quad (4)$$

여기서, $k(m_i)$ = m_i 시점에서의 순간밀도

m_i = 측정시간

N = 차량대수

L = 측정구간길이



<그림 2> 밀도의수집주기 및 관측시각의 개념
 <Fig. 2> Concept of collection cycle and observation time of density

3) 평균밀도(K)

평균밀도는 수집주기(T)동안 측정간격(Δ)로 순간 밀도를 M번 관측하여 평균한 밀도값이다.

$$\text{평균밀도}(K) = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^M k(m_i) \quad (5)$$

여기서, T= 수집주기
 m_i = 측정시각

4) 밀도변동 및 %오차

가상시뮬레이션 (Paramics API)에서 수집되는 밀도값의 가장 작은 단위 측정간격 0.1초일 경우를 $K_{기준값}$ 으로 정의하고 관측간격을 1초, 5초, 10초, 15초, 30초로 설정하였다. 각각의 서비스수준 LOS A, C, F와 시간에 따라 수요가 변하는(LOS C→F→A인 경우의) $K_{측정값}$ 을 산정하여 $K_{기준값}$ 과 $K_{측정값}$ 의 그래프로 나타냈다. 또한 식 (5)의 수식을 사용하여 %오차(각각의 수요량과 관측간격의 변화에 따른 관측간격에서의 오차의 정도)를 파악하였다.

$$\%오차 = \frac{K_{측정값} - K_{기준값}}{K_{기준값}} * 100 \quad (6)$$

여기서, $K_{기준값}$ = 측정간격이 0.1초일 때 평균밀도
 $K_{측정값}$ = 측정간격이 1초, 5초, 10초, 15초, 30초 일 때 평균밀도

IV. 밀도자료 생성을 위한 Paramics API 실험

1. 실험개요

Paramics API(사용자가 원하는 기능을 Microsoft Visual C++등을 이용하여 Plug-in file에 담아 Paramics 연결시켜 실행할 수 있는 기능)을 통해 밀도 수집주기 T 동안 충분히 작은 측정간격에서의 평균 밀도값인 $K_{기준값}$ 을 산출하기 위한 Simulation을 구현하였다. 또한 관측간격을 1초, 5초, 10초, ..., T초로 다양하게 설정하고, 각각의 서비스 수준 LOS A, C, F와 시간에 따라 LOS C→F→A로 변화하는 경우의 평균밀도값인 $K_{측정값}$ 을 산출하는 Simulation을 구현하여 $K_{기준값}$ 과 $K_{측정값}$ 을 분석하였다.

2. 실험구간선정

가상시뮬레이션의 현실성을 최대한 주어지기 위하여 현재 천호대교의 연속류 램프구간을 선정하였다. 이 구간의 실험조건은 연속류 램프구간이며, 측정구간길이 200m인 천호대교 진출램프 구간을 근거로 하여 지점을 선정하였다.

3. 자료분석

1) 측정간격이 1초일 때(Δ=1초)

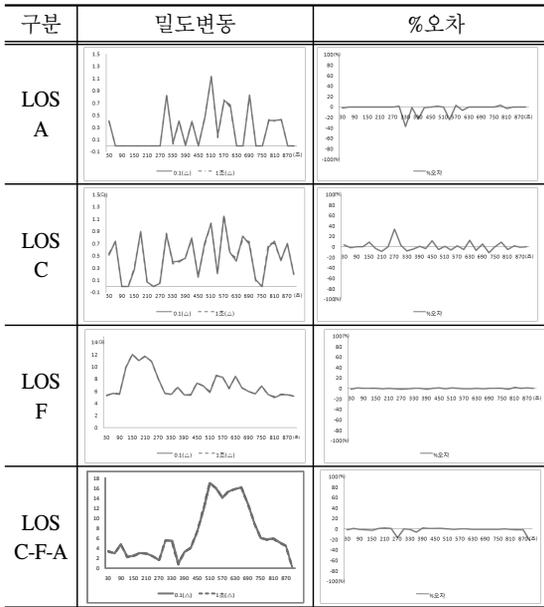
수집주기 30초 동안 측정간격이 0.1초일 때의 $K_{기준값}$ 과 측정간격이 1초일 때의 $K_{측정값}$ 을 수요변화



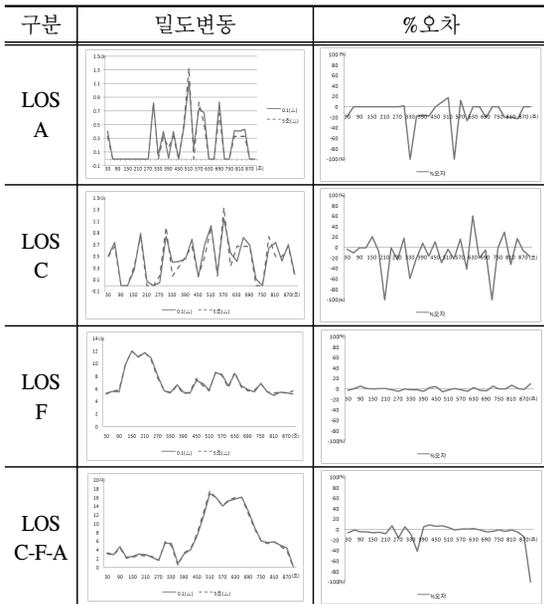
<그림 3> 실험구간(천호대교 램프구간)
 <Fig. 3> Background of study area

에 따라 비교분석한 결과, 수요가 증가할수록 %오차는 적어진다.

<표 1> 관측간격이 1초일 때 밀도변동 및 %오차
<Table 1> Density fluctuation and percent error at 1sec of measurement interval



<표 2> 측정간격 5초일 때 밀도변동 및 %오차
<Table 2> Density fluctuation and Percent error at 5sec of Measurement interval



2) 측정간격이 5초일 때 ($\Delta=5$ 초)

수집주기 30초 동안 측정간격이 0.1초일 때의 $K_{기준값}$ 과 측정간격이 5초일 때의 $K_{측정값}$ 을 수요변화에 따라 비교분석한 결과, 수요가 증가할수록 %오차는 적어진다.

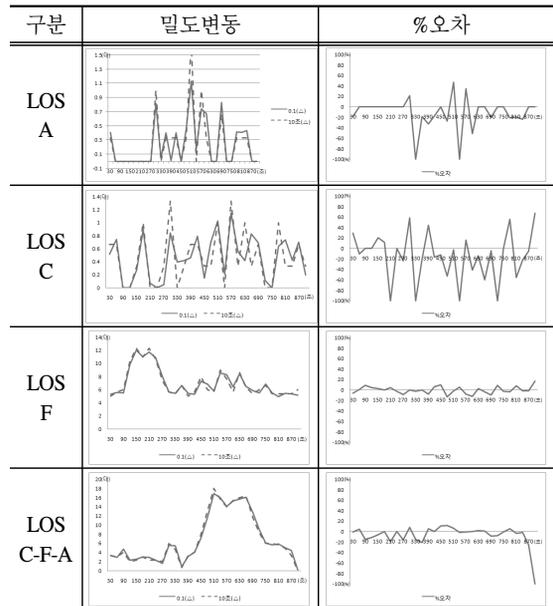
3) 측정간격이 10초일 때 ($\Delta=10$ 초)

수집주기 30초 동안 측정간격이 0.1초일 때의 $K_{기준값}$ 과 측정간격이 10초일 때의 $K_{측정값}$ 을 수요변화에 따라 비교분석한 결과, 수요가 증가할수록 %오차는 적어진다.

4) 측정간격이 15초일 때 ($\Delta=15$ 초)

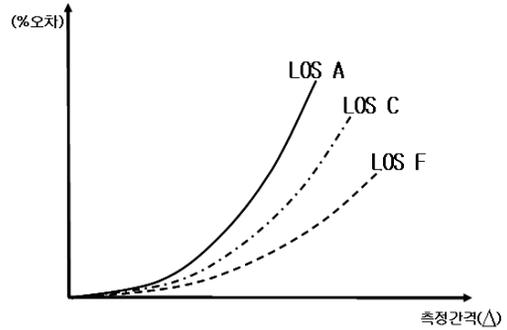
수집주기 30초 동안 측정간격이 0.1초일 때의 $K_{기준값}$ 과 측정간격이 15초일 때의 $K_{측정값}$ 을 수요변화에 따라 비교분석한 결과, 수요가 증가할수록 %오차는 적어진다.

<표 3> 측정간격이 10초일 때 밀도변동 및 %오차
<Table 3> Density fluctuation and percent error at 10sec of measurement interval



<표 4> 측정간격이 15초 일 때 밀도변동 및 %오차
 <Table 4> Density fluctuation and percent error at 15sec of measurement interval

구분	밀도변동	%오차
LOS A		
LOS C		
LOS F		
LOS C-F-A		



<그림 4> 측정간격에 따른 %오차변화 추이
 <Fig. 4> Percent error transition at measurement interval

5) 측정간격이 30초일 때 ($\Delta=30$ 초)

수집주기 30초 동안 측정간격이 0.1초일 때의 $K_{기준값}$ 과 측정간격이 30초일 때의 $K_{측정값}$ 을 수요변화에 따라 비교분석한 결과, 수요가 증가할수록 %오차는 적어진다.

6) 분석결과

수집주기 30초에서 $K_{기준값}$ 과 $K_{측정값}$ 을 수요변동별로 비교분석한 결과 측정지점에 수요량이 많을수록 %오차는 작아지며, 측정간격(Δ)이 커질수록 오차는 높아지는 것으로 분석되었다.

<표 5> 관측간격이 30초 일 때 밀도변동 및 %오차
 <Table 5> Density fluctuation and percent error at 30sec of measurement interval

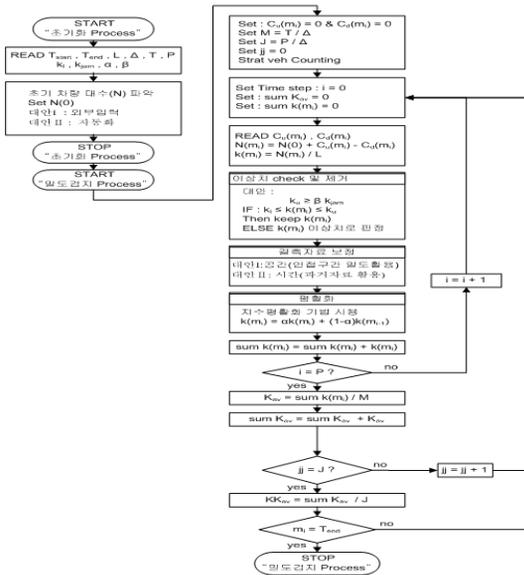
구분	밀도변동	%오차
LOS A		
LOS C		
LOS F		
LOS C-F-A		

V. 밀도 측정 알고리즘

1. 연속류 단차로 알고리즘

앞절에서 밀도측정방안과 순간밀도 평균밀도 개념을 적용하고 평활화 및 가공주기등의 과정을 포함한 밀도 측정 알고리즘을 다음과 같이 제시한다.

단차로 밀도검지알고리즘은 밀도검지를 위하여 측정시각에 초기대수 파악하는 과정을 수행한 후 밀도를 실제로 검지해 낼 수 있는 과정으로 알고리즘을 구성하였다. 본 알고리즘은 수집주기, 가공주기 Setting 가능하도록 알고리즘을 재구성하였으며, 평활화 기법은 지수 평활화 기법을 선택하였으며, 사용자를 고려하여 평활화 계수는 선택 가능하게 작성하였다.



〈그림 5〉 밀도측정 알고리즘
 〈Fig. 5〉 Density measurement algorithm

- T_{start} : 측정 시작 시각
- T_{end} : 측정 종료 시각
- L : 구간길이(m)
- Δ : 측정간격
- T : 수집주기
- P : 가공주기
- $N(0)$: 초기존재대수
- $C_u(m_i)$: Upstream Cumulative Veh. Counting up to time m_i
- $C_d(m_i)$: Downstream Cumulative Veh. Counting up to time m_i
- $k(m_i)$: m_i 시점에서의 순간밀도
- k_l : 이상치 판정을 위한 밀도의 Lower Bound 즉, $k_l = 0$
- k_u : 이상치 판정을 위한 밀도의 Upper Bound 즉, $k_u > \beta k_{jam}$
- β : Upper Bound Factor
- k_{jam} : 포화밀도
- α : 평활화상수, [0,1]
- K_{av} : 수집주기 T시간동안의 평균밀도
- KK_{av} : 가공주기 P에 따른 평균밀도

2. 알고리즘 Logic 분석 실험

〈표 6〉에서 보는 바와 같이 밀도 측정 알고리즘을 바탕으로 C++을 구성하여 수집된 자료를 이용하여 알고리즘값을 직접산출한 값과 진입구간과 진출구간에 차량을 각각 검지하여 수집되어진 값을 엑셀로 수계산값과의 비교를 통해 알고리즘 Logic 분석을 해보았다. 분석결과 측정간격(Δ) = 0.1초, (수집주기 = 30초)로 설정하여 알고리즘 값과 수계산값을 비교 분석한 결과 100% 일치하는 것으로 나타났다. 추가적으로 측정간격(Δ)과 서비스 수준을 달리하여 알고리즘 Logic분석을 실시한 결과 역시 100%일치하는 결과가 도출되었다.

〈표 6〉 알고리즘 Logic분석 일치여부
 〈Table 6〉 Algorithm logic test

LOS	구분	수집주기(초)	일치여부
	측정간격		
LOS A	1초(Δ)	30	일치
	5초(Δ)	30	일치
	10초(Δ)	30	일치
	15초(Δ)	30	일치
	30초(Δ)	30	일치
LOS C	1초(Δ)	30	일치
	5초(Δ)	30	일치
	10초(Δ)	30	일치
	15초(Δ)	30	일치
LOS F	1초(Δ)	30	일치
	5초(Δ)	30	일치
	10초(Δ)	30	일치
	15초(Δ)	30	일치
LOS C-F-A	1초(Δ)	30	일치
	5초(Δ)	30	일치
	10초(Δ)	30	일치
	15초(Δ)	30	일치
	30초(Δ)	30	일치

VI. 결론 및 향후과제

밀도관측은 시간변동에 따라 밀도 값이 변동하기에 1회 이상의 순간밀도를 측정하여 평균함으로써 수집주기 동안 변화하는 밀도의 대표값을 산정해야 할 것이다. 본 연구에서는 Paramics API를 적용한 실험환경을 통해 다양한 수요에 따른 밀도변동자료를 생성하였다. 생성된 자료에 다양한 측정간격을 적용하여 평균밀도값을 산정한 후, 참값에 해당하는 기준값과 비교하여 %오차의 변동 추이를 분석해 보았다. 교통량이 늘수록, 측정간격이 커져서 측정횟수가 적어질수록 %오차가 커지는 경향이 파악되었다. 또한 밀도 측정 알고리즘을 개발 및 제시하였고 이 알고리즘을 c++로 구성하여 밀도값을 추출하여 수계산된 값과 비교분석해 보았다. 향후 이를 활용하여 보다 다양한 교통환경자료와 다양한 밀도수집주기를 적용하여 일정범위내의 오차가 기대되는 밀도수집주기 및 측정간격을 찾는 연구는 추후 과제로 남긴다.

참고 문헌

- [1] 도철웅, 교통공학원론(상) 제3장 교통류 특성, 2005.
- [2] C. J. Messer, F. L. Hall, Traffic Flow Theory: a Monograph. 2. Traffic Stream Characteristics, Transportation Research Board, 1997.
- [3] FHWA · IP · 90 · 002, Traffic Detector Handbook, 1990.
- [4] B. D. Greenshields, "A study of traffic capacity," Highway Research Board Proceedings, vol. 14, pp. 448-477, 1935.
- [5] J. G. Wardrop, "Some theoretical aspects of road research," Proc. the Institution of Civil Engineers, Part II, vol. 1, pp. 325-362, 1952.
- [6] D. L. Gerlough and M. J. Huber, Traffic Flow Theory: a Monograph, Transportation Research Board, 1975.

저자소개



김 민 성 (Kim, Minsung)

2008년 ~ 현재 : 서울시립대학교 교통공학과 석사과정
2006년 2월: 관동대학교 교통공학과 공학사



엄 기 중 (Eom, Kijong)

2009년 2월 ~ 현재 : 서울시립대학교 교통공학과 석사과정
2009년 2월 : 서울시립대학교 교통공학과 공학사



이 청 원 (Lee, Chungwon)

2004년 ~ 현재 : 서울시립대학교 교통공학과 부교수
1999년 ~ 2004년 : 서울시정개발연구원 연구위원
1998년 : University of Texas at Austin, 토목공학과 (교통공학박사)
1988년 : 서울대 토목과 교통공학 석사
1986년 : 서울대 토목과 공학사