

■ 論 文 ■

## 두 지점의 지점검지기를 이용한 밀도측정방안 개발 및 측정간격에 따른 신뢰성 분석

Development of Density Measurement Technique Based on Two Point Detectors and  
Measurement Reliability According to Different Sensing Gaps

**이 청 원**

(서울시립대학교 교통공학과 교수)

**김 민 성**

(서울시립대학교 교통공학과 박사과정)

**박 재 영**

(서울시립대학교 교통공학과 석사과정)

**이 은 규**

(서울시립대학교 교통공학과 학사과정)

### 목 차

- |                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>I. 서론</p> <p>1. 연구의 배경 및 목적</p> <p>II. 기존문헌고찰</p> <p>1. 구간검지 기능을 이용한 밀도검지 방안</p> <p>2. 지점 검지기능을 이용한 밀도검지 방안</p> <p>3. 점유율을 측정하여 밀도로 변환하는 방안</p> <p>III. 순간밀도, 평균밀도, 측정간격(<math>\Delta</math>) 변수</p> <p>IV. 분석방법론</p> <p>1. In-Out Counting Method 소개</p> | <p>V. 밀도검지방안 제시</p> <p>1. 초기준재대수</p> <p>2. 초기준재대수 해결방안 제시</p> <p>3. 알고리즘 Logic 분석</p> <p>VI. 측정간격</p> <p>1. 측정간격의 중요성</p> <p>VII. 결론 및 향후과제</p> <p>참고문헌</p> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

**Key Words:** 밀도, 측정간격, 밀도검지 방안, 검증, 알고리즘  
Density, Sensing Gaps, Density Detector Measurement, Verification, Algorithm

### 요 약

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. 본 논문에서는 두 개의 지점검지기를 이용하여 밀도를 측정할 수 있는 방법을 제시하였다. 또한, 순간밀도, 평균밀도, 측정간격이라는 개념을 정리하고 가상시뮬레이션(Paramics Application Programming Interface) 기능을 활용하여 자료를 생성한 후 측정간격이 도로조건(측정구간길이별, 차로별, 서비수준별)별로 구간밀도정확도에 미치는 영향을 분석하였다.

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 point 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 Application Programming Interface function. We analyze the affect of segment density accuracy by sensing gap each road condition such as sensing segment length, lane and LOS after gathering data by Paramics Application Programming Interface.

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

## I. 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

도철웅(2005)에 따르면 교통량, 속도, 밀도의 3가지 교통류 지표 중 밀도는 혼잡을 잘 나타내는 지표이다. 밀도를 측정하는 방안은 직접적으로 수집하는 방안과 수집 자료를 활용하여 간접적으로 수집하는 방안이 있다.

직접적인 측정법은 대상구간의 교통류를 항공기나 고층건물에서 촬영하여 밀도를 측정할 수 있다. 본 측정법은 기상과 도로조건 및 비용상의 문제로 측정하는데 어려움이 있다.

밀도를 간접적으로 측정할 수 있는 방안은 2개의 지점검지기로부터 차량을 검지하여 밀도를 추정하는 것이나, 이 역시 초기준재대수과악, 측정구간길이, 측정간격, 적정수집주기, 적정가공주기, 평활화 존재유무 등과 같은 쟁점사항들로 인하여 현장 활용성이 확보되어 있지 않다.

본 논문에서는 두 개의 지점검지기를 이용하여 실시간으로 밀도를 측정할 수 있는 방법을 제시하였다. 순간밀도, 평균밀도, 측정간격이라는 개념을 정리하고 가상시뮬레이션을 활용하여 자료를 생성한 후 측정간격이 도로조건(측정구간길이별, 차로별, 서비스준별로 구간밀도정확도에 미치는 영향을 분석하였다.

## II. 기존문헌고찰

### 1. 구간검지 기능을 이용한 밀도검지 방안

Transportation Research Board(1997)에 따르면 0.5 km 이상 되는 긴 도로구간을 항공기나 고층건물에서 촬영한 사진을 이용하여 밀도나 통행시간을 구하여 밀도를 검지하는 직접적으로 구하는 방안은 기상과 도로조건 및 비용상의 문제로 밀도를 직접적으로 구하는 것이나, 기상과 도로조건 및 비용상 및 영상처리 정확도 문제로 인하여 지속적으로 실시간 자료생성에는 한계가 있다.

### 2. 지점 검지기능을 이용한 밀도검지 방안

Transportation Research Board(1997)에 따르면 지점검지기는 도로의 한 점을 통과하는 차량들에 대

한 교통정보를 수집하는 검지기이다. 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 교통류가 균일하다면 지점검지기자료가 구간을 대표할 수는 있으나, 현실적으로 한계가 있다.

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

여기서,  $q$  : 교통량(대/시)

$k$  : 밀도(대/km)

$u$  : 속도(km/시)

### 3. 점유율을 측정하여 밀도로 변환하는 방안

Transportation Research Board(1997)에 따르면 한 지점에서 밀도를 직접 측정하기는 불가능하기 때문에 감시(Freeway surveillance)에서는 차로점유율(Lane occupancy)이란 개념을 사용한다.

점유율은 차량의 길이가 일정할 때만 선형(Linear)관계를 가질 뿐 여러 차량이 혼합되면 상관성을 알기 어렵다는 것을 명확히 하고 있다.

### 4. 기존검지방안의 차별성

지점 검지기능을 이용한 밀도검지 방안과 점유율을 측정하여 밀도로 변환하는 방안은 어느 구간을 대표하지 못하므로 실제 구간정보로 활용하기에는 한계가 있다(Adolf 1990).

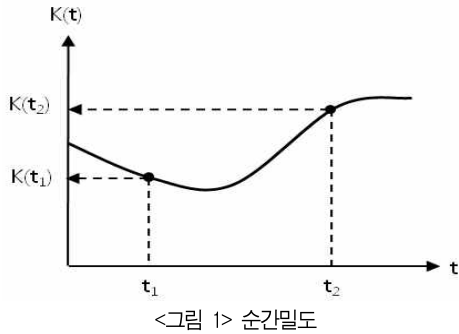
또한 구간검지 기능을 이용한 밀도검지방안은 항공영상기반의 경우는 영상처리가 주가 되므로 정확도에 있어서 영상처리 정확도에 매우 의존적일 것으로 추정되며, 실시간성 운용을 위해서는 수집주기 단축이 매우 중요한 관건일 수 있을 것이고, 기상조건 및 주야간 시간대에 따라 정확도 차이가 크게 날 가능성도 있을 것으로 추정된다(Coifman, 2004).

본 밀도추정방안은 두 개의 지점검지기를 활용하여 시간단위별로 밀도를 수집할 수 있는 방안을 제시하였다.

### III. 순간밀도, 평균밀도, 측정간격(Δ) 변수

#### 1. 순간밀도

어느 특정 시각의 밀도를 그 시각의 순간밀도라고 정의한다. <그림 1>에서 보는 바와 같이  $t_1$ 에서의 순간밀도는  $K(t_1)$ 를 의미하며,  $t_2$ 에서의 순간밀도는  $K(t_2)$ 를 의미한다.

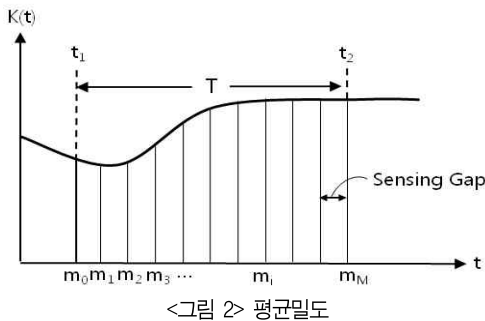


#### 2. 평균밀도

평균밀도( $\bar{K}$ )는 밀도의 시간변동을 고려한 평균값으로 적분으로 정의할 수 있으며, <그림 2>에서 보는 바와 같이  $t_1 \sim t_2$ 사이의 측정간격( $\Delta$ )을 충분히 작게 하면 다음과 같이 Operational Equation으로 정의할 수 있다.

$$\bar{K}(t) = \frac{1}{(t_2 - t_1)} \int_{t_1}^{t_2} K(t) dt \cong \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M K(m_i) \quad (2)$$

여기서,  $\bar{K}(t)$  : 시각( $t$ )에서의 평균밀도값  
 $T$  : 시각  $t_1 \sim t_2$ 사이의 수집주기  
 $m_i$  :  $i$ 번째의 측정시각  
 $m_M$  : 수집주기( $T$ )동안의 관측횟수



### 3. 측정간격(Δ)

측정간격이란 검지기가 관측할 수 있는 간격을 의미한다. <그림 2>에서 보는바와 같이 수집주기( $T$ )사이에 관측되고있는  $m_i$ 간의 간격을 측정간격이란 한다. 예를 들면 수집주기 30초동안에, 측정간격이 1초(1초, 2초, 3초, ... 30초)이면 30개의 순간밀도가 측정되어진다.

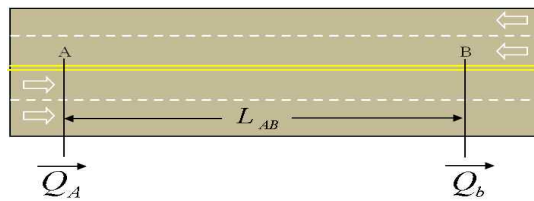
### IV. 분석방법론

#### 1. In-Out Counting Method

본 논문에서는 기존의 In-Out Counting method방안을 이용하여 밀도를 측정하였다. In-Out Counting Method는 측정구간 도중에 출입교통이 없는 두 지점간의 존재대수 즉 밀도값을 구하는 방법이다. <그림 3>에서 보는 바와 같이 어느 동일시각의 단위시간에 상류지점 A에서의 교통량은 AB구간의 증가차량대수이고, 반대로 하류지점 B에서의 교통량은 AB구간으로부터 감소차량대수이다. 그러므로 AB(LAB)구간에 있어서 존재대수의 변화량은 입량( $Q_A$ )과 출량( $Q_B$ )의 차이이다. 이 방식은 지점검지기능을 이용하여 초기존재대수가 구해지면 단위별로 밀도측정이 가능하다. 구체적으로 초기존재대수 산정방안을 제시하지 않았으며, 실제 적용된 사례도 없었다. 본 논문에서는 초기존재대수 해결방안을 제시하고 시간단위별로 밀도를 수집할 수 있는 방안을 개발하였다.

$$K(t) = \frac{Q_A(t) + Inv(t_0) - Q_B(t)}{L_{AB}} \quad (3)$$

여기서,  $K(t)$  : 밀도  
 $Q_A(t)$  : 진입검지기 누적 검지 대수  
 $Q_B(t)$  : 진출검지기 누적 검지 대수  
 $Inv(t_0)$ : 초기존재대수  
 $L_{AB}$  : 측정구간길이



<그림 3> In-Out Counting Method

## V. 밀도검지 방안 제시

### 1. 초기존재대수

본 연구는 두 개의 지점검지기를 이용하여 밀도를 수집하는 방안이다. 밀도를 측정 시 측정개시이전에 머문 차량대수를 산정하는 것이 초기존재대수이다. In-Out Counting 방식은 진입구간 누적대수 진출구간 누적대수를 구해서 밀도를 산정하는 것이므로 초기존재대수 오차가 발생하면 이후의 수집결과에 계속해서 영향을 미치게 된다.

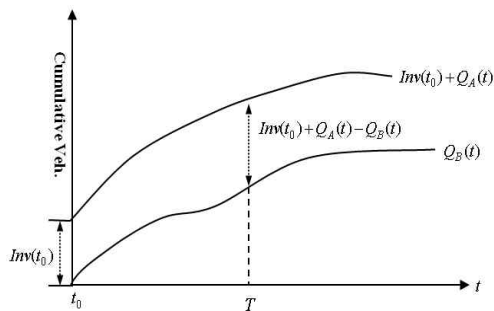
즉, 초기존재대수의 오차 전파로 인한 정확도 향상에 가장 큰 걸림돌이 될 것으로 추정된다. 수시로 초기존재대수를 재설정 할 수 있는 방안을 모색하는 것이 중요점 사항이다. 현재 초기존재대수를 파악하거나 재설정에 대한 방안을 구체적으로 제시한 문헌 및 실제 교통운영에 활용된 사례도 없다(Adolf, 1990).

초기존재대수는 도로조건에 따라 많은 영향을 받는다. 단차로의 경우 추월이 발생하지 않아 비교적 초기존재대수 산정이 용이하나, 다차로의 경우 추월로 인하여 초기존재대수 산정이 어렵다. 본 논문에서는 단차로, 다차로 구간의 초기존재대수를 산정할 수 있는 대안을 제시하였다.

### 2. 초기존재대수 해결방안 제시

#### 1) 단차로 초기존재대수 산정방안

두 개의 지점검지기를 이용하여 측정개시시각이후 진입구간에서 맨 먼저 검지된 차량 또는 운영자가 지정한 임의의 “차량A” 한 대를 선정하고, “차량A”가 진입한 시각부터 진입/진출구간 차량대수누적 검지하고, “차량A”가 진출구간을 통과한 시각을 기점으로 측정이전에 존재



<그림 4> In-Out Counting Method

했던 차량대수를 파악하는 방안이다.

즉 이 방안은 차량A진출시각일 때 진입검지기 누적대수(차량 A진출시각)일 때 검지된 존재대수를 진입검지기 누적대수(차량 A진입시각)일 때의 존재대수의 차이를 구해 초기존재대수를 산정하는 방식이다. 이 방안은 추월이 없는 단차로구간에서 초기존재대수 산정이 적용이 가능하다.

$$Inv(t_1 + T) = Q_A(t_1 + T) - Q_A(t) \tag{4}$$

여기서,  $Inv(t_1 + T)$ : 재설정된 초기존재대수

$Q_A(t_1 + T)$ : 진입검지기 누적 대수  
(임의의 차량 진출시각)

$Q_A(t_1)$ : 진입검지기 누적대수  
(임의의 차량 진입시각)

#### 2) 다차로 초기존재대수 산정방안

다차로에 단차로의 적용한 방안을 적용한다면 임의의 차량 A가 추월하거나 추월 당하는 경우로 인하여 초기존재대수 파악/재설정 오차가 발생할 수 있다. 추월에 따른 오차 보정값( $\delta$ )이 필요하게 된다. 단차로 추월은 발생하지 않으므로 보정값( $\delta$ )은 필요로 하지 않으며, 다차로의 경우에는 추월에 따른 오차 보정값[ $\delta = On(\text{추월한대수}) - Pn(\text{추월당한대수})$ ]값이 필요로 하게 된다. 본 논문에서는 추월로 인한 오차를 보정할 수 있는 방안을 제시하였다.

#### (1) Floating Car를 이용하는 방안

실험자가 Floating Car에 탑승하여 진입구간에 진입한다. Floating Car가 측정구간을 주행하는 동안 Floating Car를 추월한대수( $O_n$ )와 Floating Car가 추월한대수( $P_n$ )를 산정하여 보정값( $\delta$ )을 생성하게 된다. Floating Car가 진출구간을 통과한 기점으로 추월로 인한 보정값( $\delta$ )을 적용하여 초기존재대수를 산정하는 방안이다. 여기서 임의의 차량을 이용하는 방안과 Floating Car와의 다른점은 실험자가 탑승하여 측정구간을 운행하면서 추월로 인한 보정값( $\delta$ )을 산정하는 것이 다르다고 볼 수 있다.

$$Inv(t_1 + T) = Q_A(t_1 + T) - Q_A(t) + \delta(O_n - P_n) \tag{5}$$

여기서,  $Inv(t_1 + t)$ : 재설정된 초기존재대수

- $Q_A(t_1 + T)$  : 진입검지기 누적 대수
- $Q_A(t_1)$  : 진입검지기 누적대수
- $\delta$  : 추월로 인한 보정계수
- $O_n$  : Floating Car를 추월한 차량대수
- $P_n$  : Floating Car가 추월한 차량대수

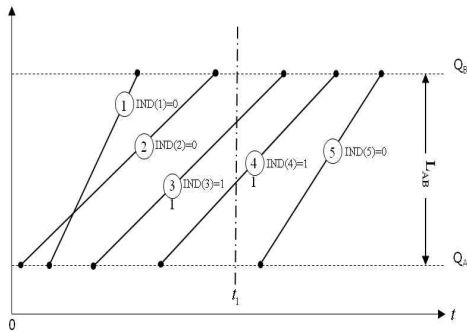
(2) 진입/진출구간의 개별차량ID를 모두 검지하는 방안

측정개시이후 진입/진출구간의 검지되는 모든 차량 ID 검지 및 ID를 기억하여 초기존재대수 프로세스 없이 밀도 측정이 가능하다. 추월로 인한 오차 검지는 측정개시시각 이후 진출구간의 ID가 측정개시시각 이후 진입구간누적 ID에 검지되지 않으면 측정이전에 머문 차량은 선행차량으로 간주하여 측정시각부터 현재수집 된 값까지 자료 보정할 수 있다.

if  $\in D(VEH-ID) = 1$ , (측정이전에 진입한 차량이 측정 이후에 진출했을 경우)  
 if  $\in D(VEH-ID) = 0$ , (측정 이후에 진입한 차량일 경우)

$$K(t) = \frac{\sum ID(VEH-ID)}{L_{AB}} \quad (6)$$

여기서,  $K(t)$  : 측정구간사이에 측정된 존재대수  
 $VEH-ID$ : 검지된 개별차량ID  
 $t_1$  : 측정개시시각  
 $L_{AB}$  : 측정구간길이



<그림 5> 진입/진출 개별차량ID를 검지 시 초기대수 산정

3. 알고리즘 Logic 분석

1) 시뮬레이션 분석개요

교통시뮬레이션 프로그램인 PARAMICS를 이용하여

알고리즘이 정확히 구현이 되는지 확인하기 위한 분석을 시행하였다.

2) 분석방법

본 논문에서 제시한 방안을 토대로 PARAMICS Application Programming Interface을 이용하여 구간밀도를 관측한 자료와 실제 가상시뮬레이션에서 제공하는 가상밀도참값을 각각 비교분석하였다.

시뮬레이션구간은 단차로의 경우 천호대로 구간 0.3Km 으로 선정하였고 다차로의 경우 0.5Km 2차로 영동 고속도로를, 3차로는 춘천고속도로지점을 선정하고 서비스수준 A, C, F와 C-F-A로 변화되도록 교통량을 달리하여 자료를 수집하여 알고리즘 Logic 분석을 시행하였다.

3) 분석결과

논문에서 제시한 밀도검지 알고리즘을 바탕으로 C Code를 작성하여 수집된 자료를 이용하여 수집한 알고리즘 밀도값, PARAMICS에서 제공되는 시뮬레이션상의 밀도참값을 서로 비교 분석한 결과 두 자료 모두 일치하는 것으로 확인되었다.

추가적인 검증으로 알고리즘 수식을 바탕으로 엑셀을 이용하여 수계산한 값도 역시 일치하는 것으로 확인되었다.

<표 1> Logic 분석결과(1차로, 2차로, 3차로)

LOS	수집주기30(Sec)	측정간격	일치
LOS A	30	1	Ok
	30	5	Ok
	30	10	Ok
	30	15	Ok
	30	30	Ok
LOS C	30	1	Ok
	30	5	Ok
	30	10	Ok
	30	15	Ok
	30	30	Ok
LOS F	30	1	Ok
	30	5	Ok
	30	10	Ok
	30	15	Ok
	30	30	Ok
LOS C-F-A	30	1	Ok
	30	5	Ok
	30	10	Ok
	30	15	Ok
	30	30	Ok

VI. 측정간격

1. 측정간격의 중요성

이청원의(2009)에 따르면 지속적인 밀도관측은 시간 변동에 따라 밀도 값이 변동하기에 1회 이상의 순간밀도를 측정하여 평균함으로써 수집주기 동안 변화하는 밀도의 대표값을 산정해야 할 것으로 판단되어 사전에 측정간격에 따라 평균밀도의 값이 어느 정도 영향을 주는지를 사전에 파악할 필요성이 제기 된다.

편도 1차로구간은 추월이 없고 옆차에 가리는 경우가 없으며 상류부와 하류부에서 각각 영상을 취득할 수 있었기에 현장자료 취득이 가능했기에 논문에 활용하였다.

편도2차로이상인 경우는 추월발생빈도와 촬영장비의 한계 등으로 실제 영상을 촬영해서 분석하기에는 한계가 드러나서 시뮬레이션방법을 적용하여 자료를 추출하였음.

원래 밀도측정 장비를 만드는데 있어서 측정간격이라는 개념이 필요하고, 이때 측정간격이 어느 정도로 평균 밀도 값에 어느 정도 영향을 주는지를 사전에 파악하여 장비설계의 방향설정에 도움을 주고자 하는 것이 본 연구의 의의이다.

1) 측정간격오차 분석

(1) 실험개요

이청원의(2009)에 따르면 밀도 수집주기 T 동안 충분히 작은 측정간격에서의 평균 밀도값인  $K_{기준값}$  을 산출하기 위한 시뮬레이션을 구현하였다. <표 2>에서 보는

<표 2> 측정간격 실험구간

1차로 (현장자료)	
2차로 (가상시뮬레이션 구간)	
3차로 (가상시뮬레이션 구간)	

바와 같이 측정간격을 1초, 5초, 15초, ..., T초로 다양하게 설정하고, 각각의 서비스 수준 LOS A, C, F의 평균밀도 값인  $K_{측정값}$  을 산출하는 시뮬레이션을 구현하여  $K_{기준값}$  과  $K_{측정값}$  을 분석하였다.

(2) 실험구간선정

단차로인 경우 천호대로 구간 0.1km, 0.2km, 0.3km로 선정하여 현장자료를 수집하였다.

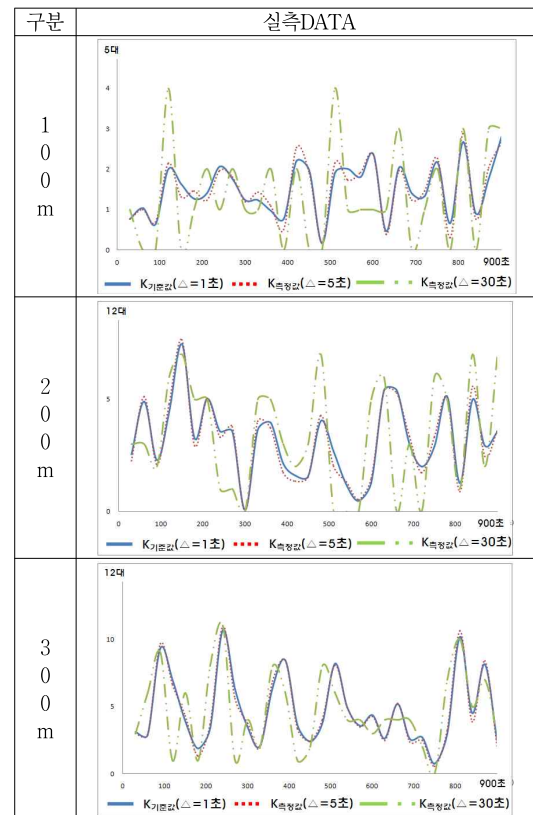
다차로인 경우 가상시뮬레이션 측정구간을 2차로구간은 영동 고속도로, 3차로구간은 춘천고속도로지점을 각각 0.1km, 0.2km, 0.3km, 0.4Km구간으로 선정하였다.

(3) 분석결과

① 단차로 (편도 1차로)

수집주기 30초 동안 측정간격이 1초일 때의  $K_{기준값}$  과 측정간격이 5초, 30초일 때의  $K_{측정값}$  을 수요변화에 따라 비교분석한 결과, 측정구간길이, 교통수요가 증가할수록 %오차는 적어진다.

<표 3> 측정간격 %오차(편도 1차로)



② Multi Lane(편도 2차로)

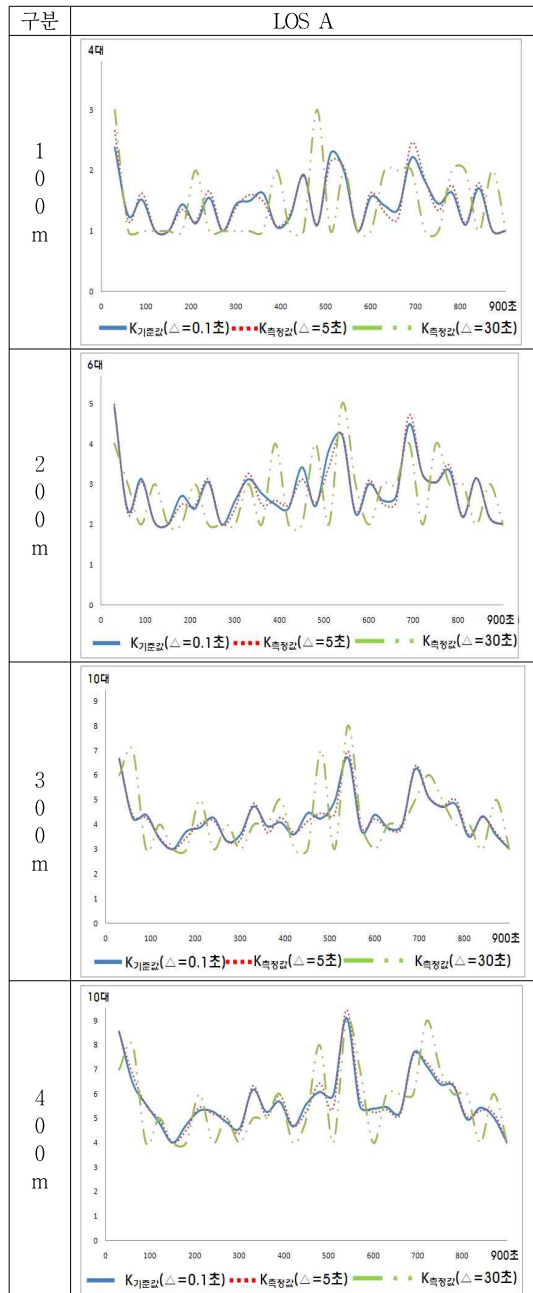
LOS A일 경우 수집주기 30초 동안 측정간격이 0.1초 일 때의  $K_{기준값}$  과 측정간격이 5초, 30초일 때의  $K_{측정값}$  을 수요변화에 따라 비교분석한 결과, 측정구간길이 증가할수록 %오차는 적어진다.

LOS C일 경우 수집주기 30초 동안 측정간격이 0.1

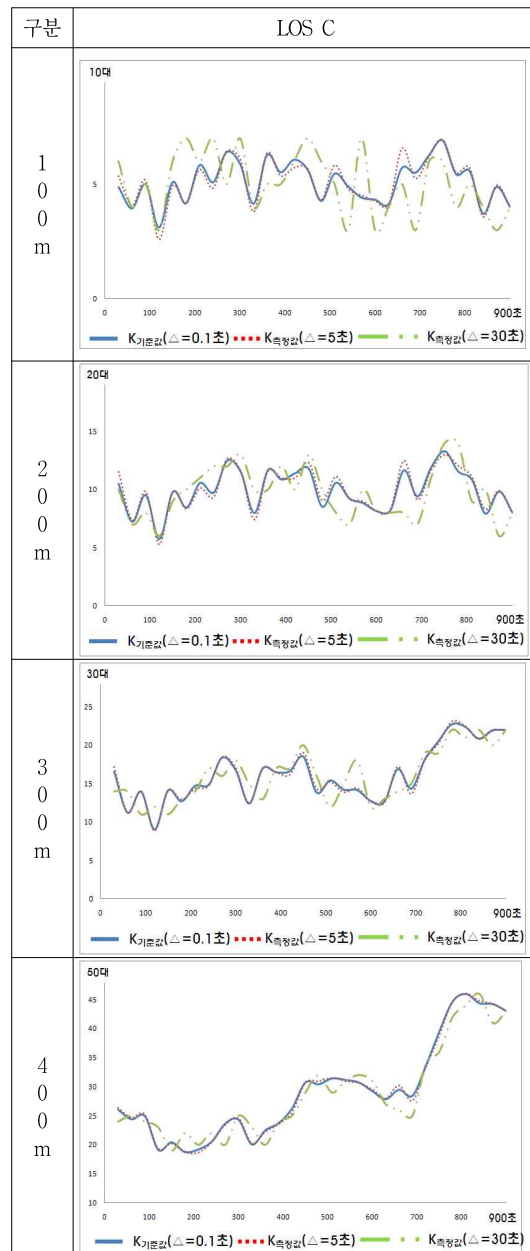
초일 때의  $K_{기준값}$  과 측정간격이 5초, 30초일 때의  $K_{측정값}$  을 수요변화에 따라 비교분석한 결과, 측정구간길이 증가할수록 %오차는 적어진다.

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

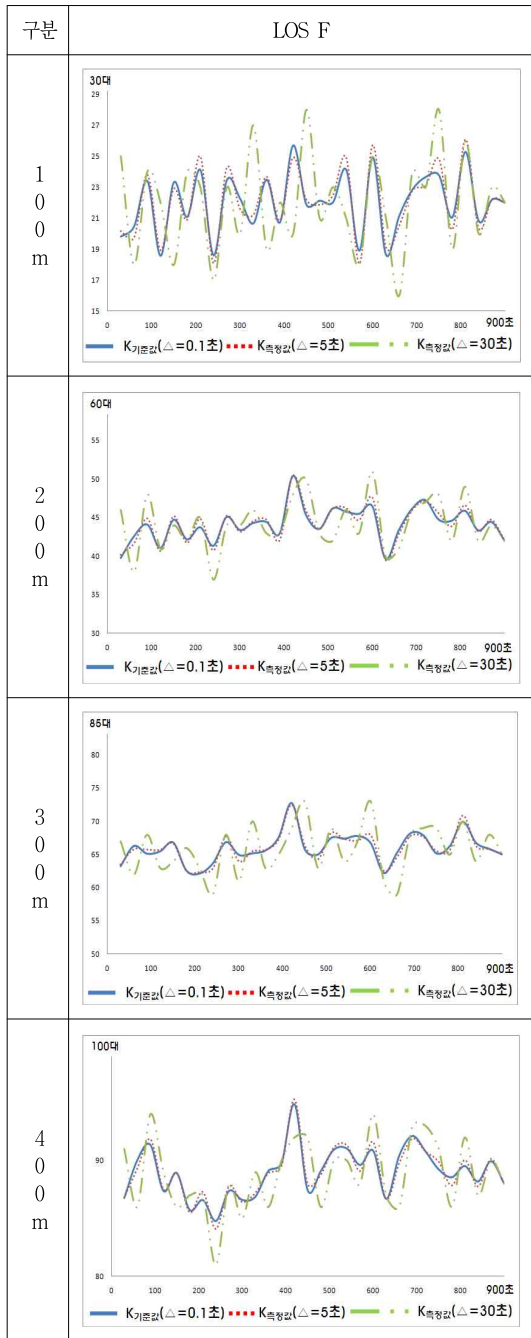
<표 4> LOS A일 때(편도 2차로)



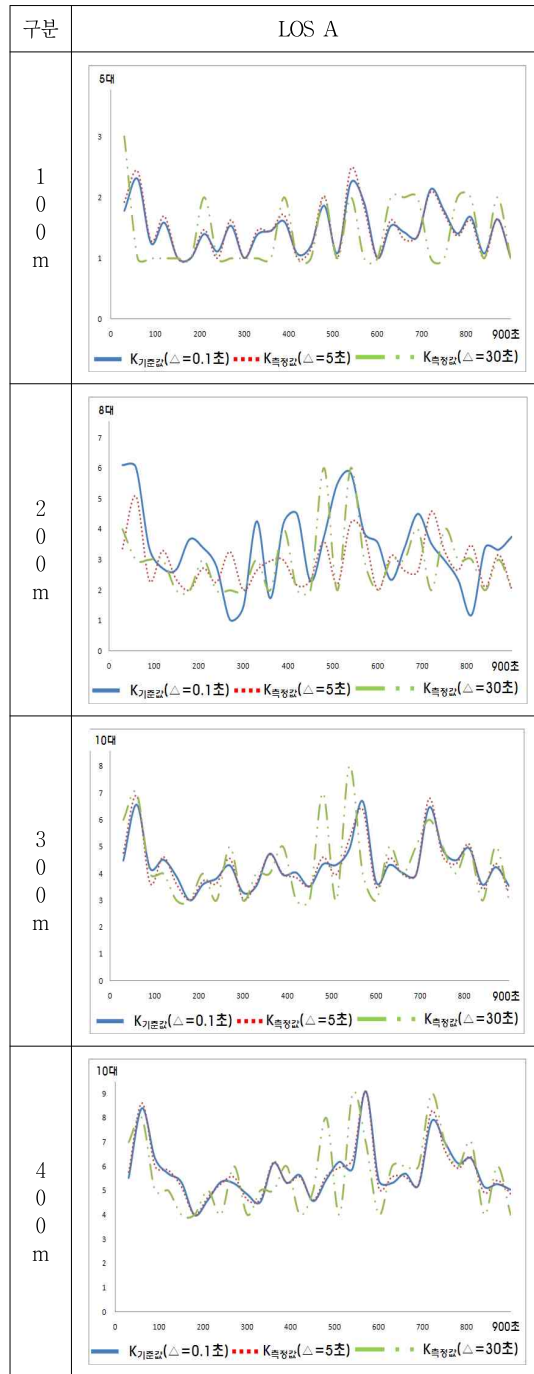
<표 5> LOS C일 때(편도 2차로)



<표 6> LOS F일 때(편도 2차로)



<표 7> LOS A일 때(편도 3차로)



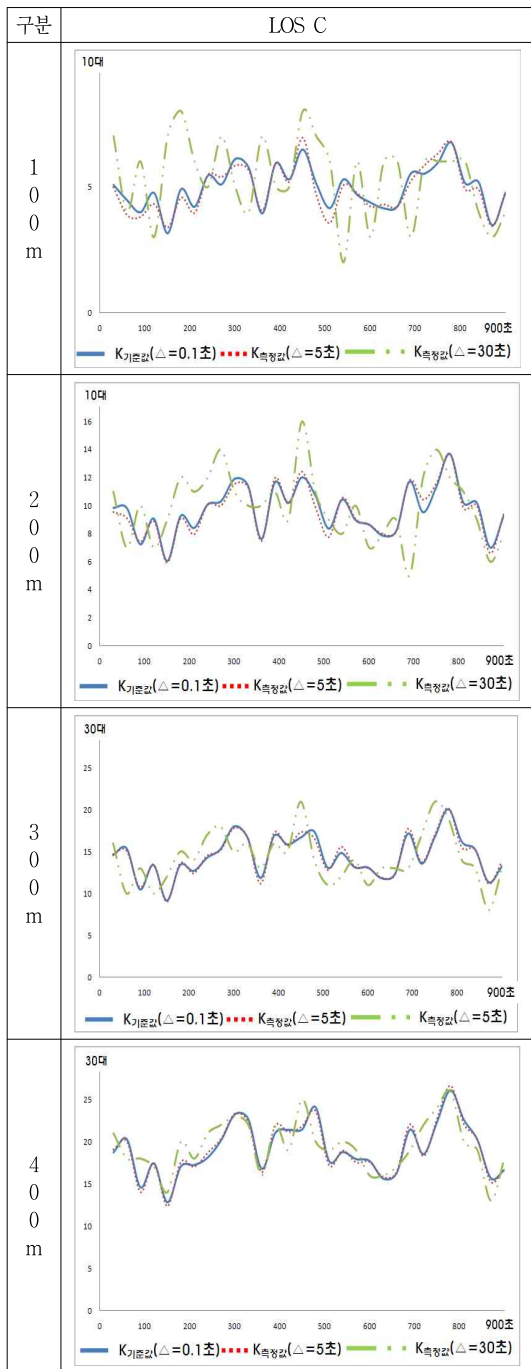
③ 다차로(편도 3차로)

LOS A일 경우 수집주기 30초 동안 측정간격이 0.1초 일 때의  $K_{기분값}$  과 측정간격이 5초, 30초일 때의  $K_{측정값}$  을 수요변화에 따라 비교분석한 결과, 측정구간길이가 증가할수록 %오차는 적어진다.

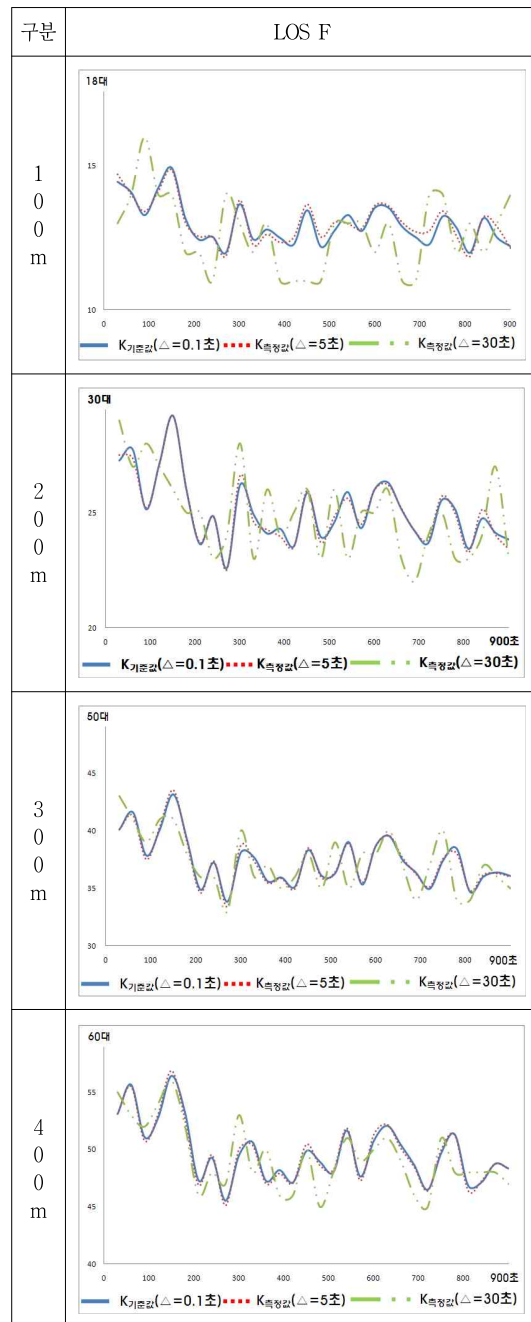
LOS C일 경우 수집주기 30초 동안 측정간격이 0.1초 일 때의  $K_{기분값}$  과 측정간격이 5초, 30초일 때의  $K_{측정값}$  을 수요변화에 따라 비교분석한 결과, 측정구간길이가 증가할수록 %오차는 적어진다.



<표 8> LOS C일 때(3차로)



<표 9> LOS F일 때(3차로)



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

(4) MAPE(%) 분석결과

국토해양부(2006)에서 검지기 성능평가는 교통량, 속도, 점유율에 대하여 평균절대오차백분율(MAPE)을 평가지표로 사용하였다, 본 연구에서도 동일한 지표로 적용하였다.

<표 10> 편도2차선, 3차선 MAPE(%)결과

\* 편도2차로, 3차로는 LOS A, C, F에 대한 수치임.

차로	측정 구간길이	측정간격	MAPE, (%)*			
편도 1차로	100m	5초	11.8			
		15초	39.7			
		30초	62.0			
	200m	5초	12.9			
		15초	35.5			
		30초	59.9			
	300m	5초	7.2			
		15초	23.5			
		30초	44.1			
편도 2차로	100m	5초	4.5	3.8	2.3	
		15초	12.5	13.1	6.9	
		30초	39.0	19.8	11.3	
	200m	5초	3.3	3.1	1.0	
		15초	11.4	7.9	3.0	
		30초	27.1	14.3	4.5	
	300m	5초	3.2	1.4	0.7	
		15초	11.3	4.1	2.4	
		30초	21.4	11.8	4.3	
	400m	5초	2.9	1.0	0.4	
		15초	9.6	2.9	1.3	
		30초	15.5	6.9	2.3	
	편도 3차로	100m	5초	4.5	4.6	1.3
			15초	13.4	11.5	4.0
			30초	25.2	33.7	8.4
200m		5초	13.6	2.7	0.7	
		15초	24.6	10.0	2.9	
		30초	42.5	20.3	5.5	
300m		5초	4.6	2.0	0.5	
		15초	12.5	5.7	1.8	
		30초	18.6	16.2	4.1	
400m		5초	3.0	1.9	0.5	
		15초	10.8	4.8	1.2	
		30초	17.8	9.3	3.1	

수요가 높거나 측정구간이 길어질수록 측정간격에 따른 오차는 줄어들었다. 5초의 측정간격은 거의 모든 경우에 10% 이내의 MAPE(%)값을 보이는 것으로 나타났다. 밀도 검지기를 구현할 때, 적정 수치간격으로 참고할 수 있을 것이다.

### VII. 결론 및 향후과제

본 논문에서는 In-Out Counting Method를 시간 단위별로 관측 시 쟁점사항인 초기존재대수의 단차로, 다차로의 해결대안을 제시하였다. 또한 대안의 정확함을 검증하기 위한 Verification 결과가 정확히 구현되었다. 본 연구에서는 PARAMICS Application Programming Interface를 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, 측정구간길이 길수록 측정간격오차변동이 영향이 적어지는 것으로 파악되었다.

지점정보가 아닌 구간정보를 실시간으로 제공함으로써, 효율적인 교통관리, 교통정보 활성화를 도모하고, 교통 혼잡으로 인한 시간적, 환경적, 경제적 손실을 최소화시킬 수 있을 것으로 판단된다. 적정측정간격을 산정하는 연구는 향후 연구로 남긴다.

### 참고문헌

1. 국토해양부(2006), "ITS 성능평가요령", pp.6~9.
2. 김민성·엄기중·이청원(2009), "두 개의 지점 검지기를 이용한 연속류 구간의 밀도측정 방안", 한국ITS학회 논문지, 제8권 제1호, 한국ITS학회, pp.37~44.
3. 도철웅(2005), "교통공학원론(상)", 청문각 p. 80.
4. 이청원·안계형·김원호(2007), "서울형통합교통 신호체계 구축", p.17.
5. 한국정보통신교육원(1997), "ITS기반기술", pp.1~9.
6. 한국ITS학회(2007), "교통정보공학론", 한국ITS학회, p.60.
7. Coifman, B., M McCord, R. G. Mishalani, and K. Redmill. (2004), "Surface Transportation Surveillance from Unmanned Aerial Vehicles", Transportation Research Board Meeting, p.1.
8. Daganzo, C. F.(1991), "The Cell Transportation

Model A Dynamic” Representation Research Record”, 1320, pp.58~64.

9. Greenshields, B. D.(1935), “A Study of Traffic Capacity”, Highway Research Board Proceedings, 14, pp.448~477.

10. May, A. D.(1990), “Density Measurement Techniques”, Traffic Flow Fundamentals, pp.197

~199.

11. Transportation Research Board(1997), “Traffic Flow Theory A Monograph”, pp.2.1~2.32.

12. Wardrop, J. G.(1952), “Some Theoretical Aspects of Road Research”, Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Part II, Volume I, pp.325~362.

- ☞ 주 작성 자 : 이청원
- ☞ 교 신 저 자 : 이청원
- ☞ 논문투고일 : 2010. 2. 25
- ☞ 논문심사일 : 2010. 4. 6 (1차)
- 2010. 4. 20 (2차)
- 2010. 4. 26 (3차)
- ☞ 심사판정일 : 2010. 4. 26
- ☞ 반론접수기한 : 2010. 10. 31
- ☞ 3인 익명 심사필
- ☞ 1인 abstract 교정필