

## 밀도측정을 위한 구간영상 최적 수집주기 결정 연구 (서울 외곽순환도로 사패산 터널구간을 대상으로)

### A Case Study of Panoramic Section Image Collection Method for Measuring Density - with matched images in the Seoul Beltway Sapaesan Tunnel -

박 범 진\*  
(Bumjin Park)

노 창 균\*\*  
(Chang-Gyun Roh)

김 지 수\*\*\*  
(Jisoo Kim)

#### 요 약

거시적인 3대 교통변수(교통량, 속도, 밀도)와 고속도로 서비스 수준의 효과척도(밀도, 교통량 대 용량비) 모두 해당되는 변수는 밀도이다. 특히 도로의 서비스 수준을 평가함에 있어 가장 정확하고 우수한 효과척도로 알려져 있다. 이러한 중요성에도 불구하고 측정방법의 어려움으로 인해 다 변수에 비해 밀도를 활용한 연구가 상대적으로 부족하였다. 기존 밀도추정방법의 경우 측정시각에 따라 동일한 교통류의 밀도값이 변화하는 등의 한계가 있다. 본 연구에서는 서울외곽순환고속도로 사패산 터널 내부의 CCTV 영상을 정합하여 파노라마 영상을 제작한 후, 제작된 파노라마 영상을 이용하여 실제 밀도를 측정하는 방법을 연구하였다. 중심극한정리를 이용하여 분석한 결과, 1 km 사진 24개(혹은 24초)를 이용하여 밀도를 측정하면 당시 교통상황을 잘 반영할 수 있었다. 즉, 본 연구에서 제시한 밀도 수집 주기를 준수하여 수집한 구간영상으로 밀도를 측정할 경우 측정시각에 관계없이 평균적인 밀도값을 측정할 수 있으며, 현실 교통류를 대변하는 현실적인 밀도를 취득할 수 있다.

핵심어 : 밀도, CCTV, 정합영상, 중심극한정리, 수집주기

#### ABSTRACT

Density is applied both three major macroscopic traffic variables (traffic volume, speed, and density) and two measures of effectiveness (MOE) for level of service (LOS) on highway (density and V/C). Especially, it is known for the most accurate MOE on evaluating the LOS of highway. Despite such importance, there is a lack of study on density relatively than other variables for its difficulty of measurement. Existing density estimation methods have some limitations such as density values of same traffic flow vary with collecting time. In this study, we researched actual density measuring method with panoramic image, after each CCTV images in the Sapaesan Tunnel on Seoul Ring Expressway are matched into one panoramic image. Analysis through the Central Limit Theorem shows that density of 24 1 km-images, which means 24 second, applies traffic situation well. That is to say that reasonable density value regardless of collecting time, and practical density which represents actual traffic flow can be taken in case of measuring density by suggested collecting cycle.

**Key words** : density, CCTV, matched image, Central Limit Theorem, collecting cycle

† 본 연구는 한국건설기술연구원 주요사업(차세대 도로교통정보 서비스 고도화 기술개발)의 연구비 지원으로 수행하였습니다.

\* 주저자 : 한국건설기술연구원 SOC성능연구소 도로교통연구실

\*\* 공저자 및 교신저자 : 한국건설기술연구원 SOC성능연구소 도로교통연구실

\*\*\* 공저자 : 한국건설기술연구원 SOC성능연구소 도로교통연구실

† 논문접수일 : 2014년 06월 17일

† 논문심사일 : 2014년 07월 23일

† 게재확정일 : 2014년 07월 23일

## I. 서 론

### 1. 배경

거시적인 교통변수에는 교통량, 속도, 밀도가 있다. 이들 중 밀도는 혼잡을 잘 나타내는 지표이다. ([1]). 또한 밀도는 도로의 서비스 수준(Level of Service, 이하 LOS)을 판단하는 기준으로 활용되며 ([2]), 많은 교통모형에서 혼잡과 비 혼잡의 경계 값으로 밀도를 활용하여 대기행렬의 길이와 혼잡의 전과속도를 추정한다. ([3]) 도로용량편람 [2]에서는 이러한 밀도를 특정 시각, 단위 구간에 들어 있는 차량의 대수, 특정 시각에 한 차로를 점유하고 있는 차량의 수를 구간 길이로 나눈 값으로 정의하며, 단위는 1km 구간 안의 차량의 대수로 정의하며, 단위는 pc/km/pl로 표시한다. 밀도가 향후 첨단교통체계(Intelligent Transportation Systems, 이하 ITS)의 진화를 위해서 교통량과 속도와 같이 현장에서 직접 수집할 수 있어야하며, 더욱 중요한 지표로 활용될 것을 예상하고 있다. ([3])

밀도는 그 중요성과 활용에 비하여 측정 방법의 어려움으로 타 변수들에 비하여 활발히 연구되지 않았다. 실제 밀도는 항공사진이나 고층빌딩에서 측정 구간을 지속적으로 촬영하고 촬영된 영상 안의 차량을 개수하여 수집한다. 이러한 방법은 기술적으로도 구현하기 어려울 뿐만 아니라 비용도 많이 소요되는 것으로 알려져 있다. 이에 밀도 연구시 현장에서 직접 구한 밀도보다는 타 변수간의 관계식을 이용하여 산출한 밀도를 이용하는 경우가 빈번하다. 하지만, 현장에서 직접 구하는 밀도의 활용성이 꾸준히 언급되고 있다. 실제로 신규 검지기에서는 교통량, 지점속도, 점유율뿐만 아니라 영상을 판독하여 밀도를 산출하여 도시부의 정체 정도를 판단하거나 목적지까지 가는데 소요되는 평균통행시간을 산출하는 기능을 구현하였다. 이는 카메라의 발전과 영상 판독 및 인식 기술의 결과이다. 그러나 밀도 측정시 어떤 기준으로 측정을 해야 하는지, 얼마나 신뢰성 있는 밀도가 측정되었는지 등은 사례가 거의 없다. Haberman [4]은 밀도를 수

집하기 위해서 구간 안에 차량을 집계할 때, 구간의 거리(측정거리)와 측정시각에 따라 그 값이 실제 교통상황과 크게 다를 수 있음을 언급하였다. 이는 기준 없는 밀도 측정의 문제점을 경고한 것이다.

### 2. 목적 및 분석절차

본 연구의 목적은 밀도 측정시 예상되는 문제점인 측정 시각에 따라 밀도의 값이 차이가 발생하는 현상을 실제 데이터로 확인하는 것이다. 또한 이를 극복하기 위하여 밀도 측정을 위한 구간영상 수집 방법으로 영상의 수집주기를 결정하는 것이다.

연구의 분석절차는 다음과 같다. 우선 대상지에 설치된 루프검지기로 수집한 교통량과 속도를 통하여 분석 당시의 대상구간의 교통흐름을 알아보았다. 그 다음 1km 구간을 촬영한 폐쇄회로 카메라(Closed-Circuit Television, 이하 CCTV) 동영상을 특정 시각에 파노라마 영상으로 변경하여 구간 안의 차량의 대수를 집계, 밀도를 측정하였다. 특정 시각에 측정한 밀도 값이 연속적으로 얼마나 변동되는지를 알아본 후, 중심극한정리를 통하여 실제 교통흐름을 알기 위하여 밀도 측정을 어떤 수집주기로 측정하여야 하는가를 알아보았다.

## II. 밀도측정 방법 검토

도로용량편람 [2]에 따르면 밀도는 특정시각에 단위 구간에 들어 있는 차량 대수를 의미하며, 운전자들이 원하는 대로 움직일 수 있는지의 여부 또는 고속도로의 안전 측면에서 매우 중요한 앞뒤 차량과의 거리를 나타낼 수 있는 좋은 기준으로 소개하며, 고속도로 서비스 수준을 나타내는 주 효과적도로 제시하고 있다.

<표 1>과 같이 연속류 도로 기본구간의 서비스 수준 기준표에 제시된 값으로 밀도, 교통량 및 교통량 대 용량비 (volume per capacity ratio, 이하 v/c비) 등 3가지 값을 기준으로 LOS를 구분하고 있다. 이중 교통량 및 v/c비의 경우, 설계속도에 따라 다른 값을 적용하는 반면 밀도는 설계속도와 관계없이

LOS를 결정할 수 있는 교통류 소통상태에 대한 설명력이 높은 효과적이다. 기존의 밀도를 측정하는 방법은 다음과 같다.

〈표 1〉 교통류 특성  
〈Table 1〉 Characteristics of Traffic Flow

LOS	density (pc/km/l)	Design speed					
		120kph		100kph		80kph	
		volume (pc/h/l)	V/c ratio	volume (pc/h/l)	V/c ratio	volume (pc/h/l)	V/c ratio
A	≤ 6	≤ 700	≤ 0.30	≤ 600	0.27	≤ 500	≤ 0.25
B	≤ 10	≤ 1,150	≤ 0.50	≤ 1,000	≤ 0.45	≤ 800	≤ 0.40
C	≤ 14	≤ 1,500	≤ 0.65	≤ 1,350	≤ 0.61	≤ 1,150	≤ 0.58
D	≤ 19	≤ 1,900	≤ 0.83	≤ 1,750	≤ 0.80	≤ 1,500	≤ 0.75
E	≤ 28	≤ 2,300	≤ 1.00	≤ 2,200	≤ 1.00	≤ 2,000	≤ 1.00
F	> 28	-	-	-	-	-	-

(source: KHCM, MOLIT, 2013)

### 1. 차량검지기 데이터를 이용한 방법

차량검지기에 의해 수집되는 정보를 적용하여 다음 식에 의해 밀도를 추정할 수 있다.

$$k(\text{density}) = q(\text{flow rate})/v(\text{speed}) \quad (1)$$

$$k = \frac{O}{C_k} \quad (2)$$

여기서,  $k = \text{Density}$ ,  $q = \text{Flow Rate}$ ,  $v = \text{Speed}$

$O = \text{Occupancy}$

$C_k = \text{차량길이(Constant)} + \text{검지시간}$

그러나 이러한 방법은 어느 일정시간 동안 도로상의 한 지점에서 필요한 정보를 측정하는 것이므로 단위구간의 특성을 설명하는 변수인 밀도를 설명하는데 어려움이 있으며, 산출된 값 또한 어떤 구간의 상황을 대표한다고 할 수 없다. 점유율을 이용하여 밀도를 측정하는 방법은 차량길이가 일정하다는 가정에 의해 도출된 식이며, 따라서 이러한 가정을 벗어난 현실 교통류 상태에서는 산출된 밀도값에 오차가 발생한다.

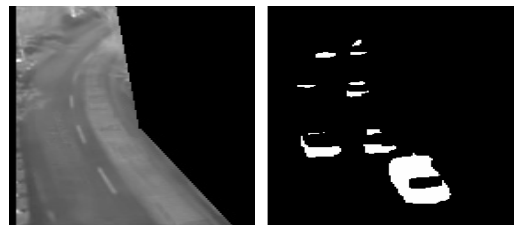
이러한 한계는 Adolf [3]의 연구에도 제시되어 있다. 이를 극복하기 위해 Adolf [3] 및 이 연구를 Paramics API로 실험한 김민성 외 2인 [1]의 연구는

두 개의 지점검지기를 이용하여 밀도를 산출하는 Input-output count algorithm을 제시하였다.

그러나 Input-output count algorithm 또한 교통량의 증가 또는 측정 시간 간격이 늘어날수록 오차가 증가하는 등 밀도를 측정함에 있어 여전히 한계가 있으며, 이에 따라 도출된 밀도값이 해당 도로구간 해당시간의 교통류를 대변하기에는 무리가 있다.

### 2. 영상을 이용하여 밀도를 측정하는 방법

교통공학원론 [5]에 항공기나 고층건물에서 0.5 km 이상의 도로구간을 촬영하고, 촬영된 사진을 분석하여 해당 구간의 밀도를 산정하는 방법을 제시하고 있다. 최근 국외연구에서는 움직임 감지(Motion Detection)기능을 활용하여 밀도를 측정하는 연구가 진행되었다. 움직임 감지기능에 의해 수집된 영상정보를 바탕으로 배경 도로정보를 사전에 구축하고, 차량의 움직임을 추출하여 차량의 밀도를 측정하는 방법이다. 배경정보와 차량을 구분하고, 영상의 오류(Noise)를 최소화 하여 정확도를 향상시키기 위한 기법으로는 주로 칼만 필터링(Kalman filtering(KF))을 활용하고 있다. 대표적인 연구로는 Wang과 Papageorgiou [6]의 연구와 Ajitha 외 2인 [7]의 연구가 있다. 이 이외에도 Ozkurt와 Camci [8]의 연구에서는 영상정보를 분석하는 기법으로 신경 회로망(Neural Networks)을 적용하여 산출된 밀도의 정확도를 높이는 방안을 제시하였다.



(a) Dynamic background

(b) Difference between the current frame and background

〈그림 1〉 밀도산출을 위해 수집한 영상정보  
〈Fig. 1〉 Image for Density Estimation  
(source: Ozkurt and Camci(2009))

그러나 정지영상을 이용하는 이러한 밀도 추정방법은 도로 기하구조 및 선형 등의 제약으로 인해 현실적으로 적용에는 한계가 있다.

또한 차량군(platoon)의 형태로 이동하는 교통류 특성상 측정된 밀도는 오차가 발생한다. 정체발생 시점의 경우에는 촬영시점 및 구간에 관계없이 균일(homogeneous)한 형태의 영상을 얻을 수 있다. 그러나 소통상태가 원활(LOS A 또는 B)한 경우 촬영시점 및 지점에 차량군이 형성되어 있을 경우 밀도가 높게 측정되며, 해당 차량군의 이전 또는 이후의 사진을 분석할 경우 밀도가 낮게 측정되는 등 촬영시점에 따라 밀도값이 다르게 나타나는 산출된 밀도값 활용에 한계가 있다.

따라서 본 연구는 이러한 밀도추정 방법의 한계를 극복하기 위해 적절한 영상정보의 수집주기를 도출하고자 하였다.

### III. 사패산터널 교통류 특성 분석 결과

본 연구는 서울외곽순환고속도로의 사패산 터널에서 수집한 구간 영상자료를 이용하였다. <그림 2>는 분석 대상 구간의 위치를 표시한 것이다.

사패산 터널 일산방향 4차로도로의 출구 쪽에서

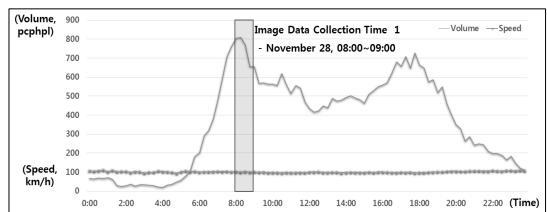


<그림 2> 분석 대상 구간 위치  
<Fig. 2> Data Collection and Analyzed Area

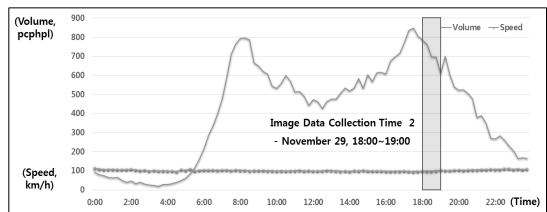
터널방향으로 1 km 구간에는 연구개발 목적)으로 8기의 CCTV가 설치되어 있다. 8기의 CCTV의 영상을 1개의 파노라마 영상으로 영상들을 정합하여 1km의 28일과 29일의 구간 영상을 취득(자세한 구간 영상 취득일시는 <표 5> 참조)하였다.

구간 영상을 분석하기에 앞서 본 연구에서는 사패산 터널의 교통류 특성을 파악하기 위해 사패산 터널 일산(송추 IC)방향 출구부에서 700 m 상류지점에 설치되어 있는 루프검지기를 이용하여 2013년 11월 28일과 29일 총 2일간 교통량, 속도 및 점유율 등 교통류데이터를 수집하였고, 밀도는 교통류 상관관계식(Relationship)에 의해 산출하였다. 이때 사용한 지점 검지기의 신뢰도는 95% 이상으로 알려져 있다.

수집된 데이터를 분석한 결과, 다음 <그림 3 ~ 4>와 같이 교통량은 19(veh/h/l)에서 최대 847(veh/h/l)의 분포를 보이며 속도는 평균 102(km/h), 분산이 15.4(km/h)로 변화가 거의 없이 일정하게 나타났다.



<그림 3> 2013년 11월 28일 교통량 및 속도 변화  
<Fig. 3> Fluctuation of traffic volume and speed at November 28, 2013



<그림 4> 2013년 11월 29일 교통량 및 속도 변화  
<Fig. 4> Fluctuation of traffic volume and speed at November 29, 2013

- 1) 한국건설기술연구원 주요사업 “폐쇄구간용 다중영상 기반 교통검지기술 개발”에서 차세대 교통검지기를 연구개발 중에 있으며, 이를 위해 사패산 내 일산방향 터널출구 1 km에 8개의 CCTV를 설치하였다.

시간대별 교통량, 속도 및 밀도는 <표 4>와 같으며, 4차로 교통량을 기준으로 사패산 터널의 LOS를 분석한 결과 28일 08 ~ 09시, 29일 17 ~ 19시에는 LOS B로, 이를 제외한 시간대에서는 모두 LOS A로 분석되었다. 관계식에 의해 도출된 밀도에 의한 LOS분석 결과 또한 교통량에 의해 도출된 LOS와 유사하다. 28일 08 ~ 09시, 29일 16 ~ 19시에만 LOS B로 분석되었다.

<표 4> 수집일의 교통류 특성  
<Table 4> Data Characteristics of Traffic Flow

	November 28			November 29		
	Volume (veh/h/4lane)	Speed (km/h)	Density (veh/h/lane)	Volume (veh/h/4lane)	Speed (km/h)	Density (veh/h/lane)
mean	370	102.0	3.7	414	102.3	4.1
Var.	57,909	14.7	5.9	66,675	15.4	6.9
S.D.	240.6	3.8	2.4	258.2	3.9	2.6
Max	810	111.3	7.4	847	114.3	8.4
Min	19	94.5	0.3	19	95.0	0.2
~1:00	268	108.0	0.6	314	109.4	0.7
~2:00	186	104.5	0.4	214	106.1	0.5
~3:00	124	102.6	0.3	147	104.4	0.4
~4:00	118	100.9	0.3	100	100.4	0.2
~5:00	132	99.6	0.3	145	99.7	0.4
~6:00	425	104.3	1.0	426	103.2	1.0
~7:00	1,203	102.0	2.9	1,250	103.9	3.0
~8:00	2,568	103.7	6.2	2,557	103.7	6.2
~9:00	3,022	101.8	7.4	3,052	101.7	7.5
~10:00	2,353	100.1	5.9	2,403	101.1	5.9
~11:00	2,302	97.6	5.9	2,270	99.3	5.7
~12:00	2,068	97.8	5.3	1,961	100.8	4.9
~13:00	1,724	100.5	4.3	1,817	100.3	4.5
~14:00	1,884	98.4	4.8	1,995	99.6	5.0
~15:00	1,968	98.7	5.0	2,173	99.6	5.5
~16:00	2,046	99.2	5.2	2,401	99.3	6.0
~17:00	2,431	99.6	6.1	2,697	97.5	6.9
~18:00	2,755	98.4	7.0	3,269	96.9	8.4
~19:00	2,456	99.2	6.2	2,933	99.0	7.4
~20:00	1,924	103.7	4.6	2,457	102.4	6.0
~21:00	1,225	105.3	2.9	2,023	103.9	4.9
~22:00	943	105.9	2.2	1,389	106.4	3.3
~23:00	752	107.8	1.7	1,029	109.1	2.4

LOS B로 분석된 28일 08 ~ 09시 및 29일 16 ~ 19시의 교통량 및 밀도값 또한 LOS A의 한계치인 교통량 700(veh/h/l) 및 밀도 6(veh/h/l)에 가까운 수준으로 서비스 수준의 차이가 거의 없는 것으로 분석되었다. 사패산 터널의 교통류 특성을 검토한 결과 전 시간 동안 LOS A에서 B 수준으로 속도의 변화가 거의 없는 등 소통상태의 변화가 거의 없이 안정적인 분포를 보인다. 밀도측정을 위해 본 연구에서는 <그림 3>, <그림 4> 와 <표 4>에 음영으로 표기한 바와 같이 오전 첨두에 해당하는 28일 08 ~ 09시 및 오후 첨두시간대인 29일 18 ~ 19시의 구간영상 데이터를 수집하였다. 해당 시간대의 서비스 수준은 LOS B에 해당한다. 분석시간대를 보다 상세히 살펴보면, 28일 08 ~ 09시의 경우 5분 평균 교통량 253(veh/l/5min)에 표준편차 25.9 및 평균속도 101.8(km/h)에 표준편차 2.42의 분포로 나타났으며, 29일 18 ~ 19시는 5분 교통량이 245(veh/l/5min)이며 표준편차 19.7 및 98.9(km/h)에 표준편차 2.24의 속도 분포로 도출되었다. 분석시간대 모두 서비스 수준이 좋을 뿐만 아니라 교통량 및 속도의 편차가 작아 안정적인 교통류 상태라 할 수 있다.

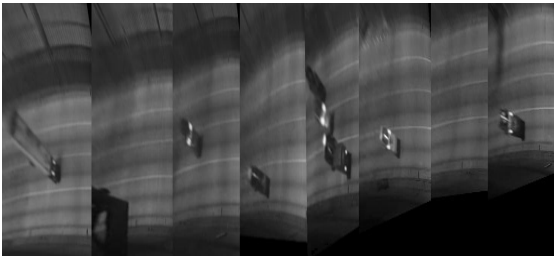
#### IV. CCTV 구간영상을 이용한 밀도 측정

##### 1. 정합영상

밀도는 1 km 안의 차량의 대수로 정의된다. 본 연구에서는 파노라마 영상을 만들어 차량의 대수를 정확하게 계수하였다. 파노라마 영상은 한국건설기술연구원에서 개발한 영상정합용 CCTV를 사용하여 촬영하였다. 일산방향 터널 출구방향으로 설치한 8기의 CCTV의 개별영상을 영상정합 알고리즘을 이용하여 시간을 동기화한 후, 파노라마 동영상으로 만들었다. 이를 다시 초당 1장의 1 km 거리를 한 번에 볼 수 있는 파노라마 사진으로 만들어서 차량의 대수를 계수하였다. 파노라마 사진의 취득 일시는 다음의 <표 5>와 같으며, 파노라마 사진의 예는 <그림 5>와 같다.

〈표 5〉 파노라마 사진 취득 일시  
 〈Table 5〉 Panoramic Photo Recording Date and Time

Classification	Description
CCTV video recording date	November 28, 2013 08:00 ~ 09:00 November 29, 2013 18:00 ~ 19:00
panoramic photo recording date	November 28, 2013 08:00 ~ 08:05 November 29, 2013 18:00 ~ 18:05
Number of obtaining panoramic photo	November 28: 300cut (cut/sec) November 29: 300cut (cut/sec)



〈그림 5〉 파노라마 사진의 예  
 〈Fig. 5〉 Example of Panoramic Photo

## 2. 밀도 측정 결과

파노라마 사진을 이용하여 사진 속의 차량을 직접 계수(Manual Counting) 하였으며 중차량 보정 계수를 사용하여 PC(Passenger Car, 이하 pc)단위로 보정하여 밀도를 측정하였다. 아래의 표는 11월 28일 08:00 ~ 08:05과 11월 29일 18:00 ~ 18:05 동안 획득한 600장(날짜별 300장)의 파노라마 사진 속의 차량을 계수하여 측정한 밀도이다.

28일 08:00 ~ 08:05 사이의 검지기데이터 분석에서 언급하였듯이 분석시간의 속도는 100(km/h), 교통량도 약 700(veh/h) 수준으로 교통상황이 일정한 LOS B이다. 밀도의 정의(특정시각에 구간을 지나가는 차량의 수, pc/km)에서와 같이 교통량이나 속도와 같이 시간적인 개념은 측정 시 고려하지 않아도 된다. 28일의 데이터로 설명한다면, 특정 시각 08:00:01의 밀도는 10.4(pc/km/l)이고, 08:00:03 시각의 밀도는 9.2(pc/km/l)이며, 08:04:60의 밀도는 4.6(pc/km/l)이다. 여기서 밀도 사용 시의 문제점을 알 수 있다.

즉, 특정시각에 측정된 밀도는 측정 당시의 교통상황을 정확하게 표현할 수 없다는 것이다. 차량분

〈표 6〉 11월 28일 08:00 ~ 08:05 측정된 밀도  
 〈Table 6〉 Density at November 28, 2013 08:00 ~ 08:05

Time	Volume per lane (veh)				Density (pc/km/l)
	#1	#2	#3	#4	
08:00:01	8	7	7	5	10.4
08:00:02	7	7	7	4	9.6
08:00:03	6	7	8	3	9.2
}					
08:04:58	5	4	1	3	5.0
08:04:59	4	5	2	2	5.0
08:05:00	4	5	2	1	4.6
Average					8.4

〈표 7〉 11월 29일 18:00 ~ 18:05 측정된 밀도  
 〈Table 7〉 Density at November 29, 2013 18:00 ~ 18:05

Time	Volume per lane (veh)				Density (pc/km/l)
	#1	#2	#3	#4	
18:00:01	7	6	4	5	8.5
18:00:02	7	6	7	3	8.9
18:00:03	7	6	6	3	8.5
}					
18:04:58	7	7	5	1	7.7
18:04:59	7	8	5	1	8.1
18:05:00	7	7	5	1	7.7
Average					7.4

포의 특성상 균일하게 차량이 움직이지 않으며 확률적으로 차량군(Platoon)을 이루어 다닌다는 것이다. 그래서 밀도는 별다른 교통상황의 변화가 감지되지 않음에도 불구하고, 측정하는 특정시각에 따라 4.6 ~ 10.4(pc/km/l)까지 크게 차이가 있다. 이러한 현상은 다음의 <그림 6 ~ 7>의 그래프를 보면 보다 명확히 이해할 수 있다.



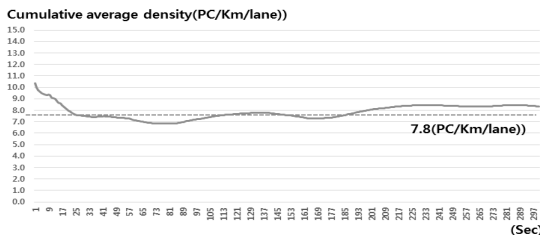
〈그림 6〉 28일 5분 동안의 초당 밀도 변화  
 〈Fig. 6〉 Density Fluctuation per Second During 5min at 28



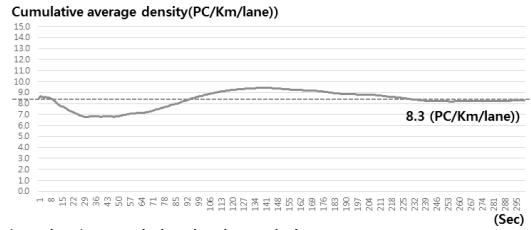
<그림 7> 29일 5분 동안의 초당 밀도 변화  
<Fig. 7> Density Fluctuation per Second During 5min at 29

그래프는 밀도의 초당변화를 보여준다 밀도는 고속도로의 LOS를 결정하는 척도를 사용된다. 연구의 대상지는 고속도로 기본 구간으로 밀도가 6이하인 A등급이며, 28이상은 F등급이다. 하지만, 28일 그래프에서와 같이 특정시각에 따라 최대 14.6(pc/km/l)에서 최소 3.6(pc/km/l)까지 변화된다. 이는 측정시간의 교통상황은 B등급이지만, 밀도는 특정시각에 차량군의 형성에 따라 D등급에서 A등급까지 변화됨을 알 수 있다. 밀도 측정 시 예상되는 문제점인 측정 시각에 따라 밀도의 값이 차이가 크게 발생하는 현상이다.

이에 본 논문에서는 5분 동안 각 시각(초당)에 취득한 밀도 300개를 평균하였다. 평균한 값은 28일은 7.8(pc/km/l)이며, 29일은 8.3(pc/km/l)이다. 평균한 값은 모두 당시의 교통상황인 LOS B등급이다. 특정시각에 1 km 구간 안의 차량 대수로 정의된 밀도 측정 시 예상되는 문제점을 해결하기 위해서는 반복적인 측정과 수집주기가 필요하다. 이는 김민성 외 2인 [1]이 제시한 평균밀도(수집주기 동안 밀도를 N번 관측하여 평균한 밀도 값)에서도 제시한 바 있다. 다음의 <그림 8 ~ 9>의 그래프는 5분 동안



<그림 8> 28일 누적 밀도 변화  
<Fig. 8> Fluctuation of Cumulative Density at 28



<그림 9> 29일 누적 밀도 변화  
<Fig. 9> Fluctuation of Cumulative Density at 29

각 시각(초당)마다 측정된 밀도를 누적한 것이다.

그래프상의 표현된 300장의 밀도의 평균 값이 당시의 교통상황을 표현한다고 가정한다면, 28일 08시경에는 약 20개 정도(초당 한 개의 영상 취득이 가능하다면 수집주기는 20초임)의 파노라마 사진 영상 데이터를 평균하여야 하며, 29일 18시경에는 약 50개 정도(50초)의 데이터를 평균하여야 당시의 교통 상황이 반영된 밀도를 산출할 수 있다.

이를 좀 더 통계적으로 유의한 사진의 개수를 파악하기 위하여 본 연구에서는 중심극한정리를 사용하여 교통상황이 반영되는 1km 파노라마 사진의 개수(혹은 수집주기)를 알아보았다.

### 3. 중심극한 정리를 이용한 수집주기 결정

본 논문에서는 28일과 29일 동안 수집한 초당 1장, 약 300초 동안 1 km 사진 안의 차량대수를 알고 있다. 초당 1장의 사진이 각각 1번의 밀도를 수집한 것으로 본다면, 300번의 밀도를 측정하였다고 볼 수 있다. 다시 말해 교통상황이 변하지 않는 300개의 밀도 측정 샘플을 가지고 있는 것이다.

수집주기를 결정하기 위해서 본 논문에서는 중심극한정리(Central Limit Theorem, 이하 CLT)를 이용하였다. 1 km 구간의 차량대수를 집계한 표본 수가 많으면 많을수록 표본의 평균 차량대수( $\bar{d}$ )의 분포는 평균이  $\mu$ (모집단의 평균 차량대수), 분산이  $\sigma^2/n$ 인 정규분포에 근사한다는 것이다. CLT를 이용하면 ‘모집단 1 km 구간 평균 차량대수’( $\mu$ : pc/km/lane)는 측정된 표본에서 얻은 ‘표본집단 1 km 구간 평균 차량대수’( $\bar{d}$ : pc/km/lane)와 표본 수에 따라 달라지는  $\bar{d}$ 의 분산( $\sigma^2/n$ )을 이용하여 도출할 수 있다.

$$\bar{d} \sim N\left(\mu, \frac{\sigma^2}{n}\right) \quad (3)$$

where,  $\bar{d}$  = 표본집단 평균 차량대수(pc/km/lane)  
 $\mu$  = 모집단 평균 차량대수(pc/km/lane)  
 $\sigma^2$  = 모집단 평균 차량대수의 분산(pc/km/lane)  
 $\sigma^2/n$  = 표본집단 평균 차량대수의 분산(pc/km/lane)  
 $n$  = 표본집단 개수(개)

〈표 8〉 표본 집단의 개수  
 〈Table 8〉 Sample Count

Date	Population mean	Sample Count
November 28, 2013 08:00 ~ 08:05	7.8	24
November 29, 2013 18:00 ~ 18:05	8.3	20

CLT를 사용하여 28일과 29일의 모집단의 평균 차량대수(평균밀도 7.8, 8.3(pc/km/lane))에 근사하는 표본집단의 개수는 식을 이용하여 산출하였다.

$$n = \left(\frac{z_{\alpha/2} \sigma}{E}\right)^2 \quad (4)$$

여기서,  $E^2$  = limit of error(pc/km/lane)  
 $\alpha$  = Level of significance  
 $z_{\alpha/2}^3$  = Standard normal probability statistics

95% 신뢰구간에서 모집단에 근사시키는 표본집단의 개수는 28일 24개, 29일 20개를 산출하였다. 이는 현장의 교통상황을 반영시키는 위해서 밀도를 측정 시 최소한 24개(혹은 초당 1개씩 24초의 수집주기)의 1 km 안의 차량의 대수를 계수하여 평균하여야 한다는 것이다.

## V. 결론

본 연구에서는 기존 밀도 측정 방법의 활용 시 예상되는 문제점을 현장에서 직접 취득한 실제 데이터를 이용하여 알아보았다. 8개의 CCTV의 동영상을 정합하여 1 km의 파노라마 영상을 생성한 후, 영상 안의 차량의 대수를 직접 계수하여 밀도를 측정하였다. 또한 밀도는 초당 한 장씩 5분(300초)을 연속적으로 측정하였다. 영상을 이용한 데이터 분석시 발생할 수 있는 문제인 이미지의 중첩 및 영상의 질 등에 의해 발생할 수 있는 현상은 촬영 CCTV의 설치각도, 화소수 및 위치 등에 의해 발생 또는 해소될 수 있는 사항으로 본 연구에서는 이러한 문제점에 대해서는 다루지 않았다.

초당 밀도의 변화를 분석한 결과, 밀도는 LOS A에서 D까지 큰 차이가 발생했다. 그 당시 교통상황을 알기 위해서 분석대상지 설치된 루프 검지기 데이터를 분석한 결과, 그 당시 상황은 교통량은 750(veh/h)수준에 평균속도는 100(km/h)로 LOS B등급 중에서도 상당히 좋은 상태이며 교통량과 속도의 분산도 작은 것을 확인하였다. 이는 밀도를 직접 수집할 때, 어떤 특정시각에 밀도를 수집하느냐에 따라 당시의 교통상황을 왜곡할 수 있는 문제점이 있음을 시사한다. 이에 본 논문에서는 CLT를 이용하여 몇 초(혹은 몇 개)의 1 km 사진을 지속적으로 관찰해야만 실제 교통상황이 반영되는 밀도를 측정할 수 있는가를 분석하였다. 그 결과 교통상황의 변화에 관계없이 일정한 수준의 평균밀도값을 산출하기 위해서는 1km사진 24개(혹은 24초)이상의 수집주기를 사용하여야 그 당시의 교통상황을 반영할 수 있는 밀도를 측정할 수 있음을 도출하였다.

교통검지 기술의 발전은 밀도를 현장에서 직접 수집하여 교통정보로 이용하려는 시도를 가능하게 하고 있다. 하지만, 밀도의 정의는 특정 시각에 1 km 안의 차량 대수로 정의되어 어떤 특정시각에 밀도를 측정하느냐에 따라 현실을 잘 반영할 수도 있고, 현실과는 다른 값이 측정될 수도 있다. 본 논문에서는 이러한 밀도측정 방법의 문제점을 실제 데이터를 통해 알아보고 적절한 수집주기를 시간적

2) 본 논문에서는 1.0대로 계산함  
 3) 본 논문에서는  $z_{\alpha/2}$ 는 유의수준  $\alpha$ 에서의 표준정규 확률 통계치로, 95%일 때의 1.96을 적용함



(혹은 사진개수)인 평균값을 사용하는 평균밀도의 개념으로 제시하였다.

본 논문은 연속류에 소통이 원활할 경우에 한하여 밀도수집 주기를 제시하였다. 향후 단속류와 정체시의 데이터를 관찰하여 수집주기를 알아본다면 영상을 활용한 밀도검지기의 활용성은 더욱 커질 것으로 예상되며, 현재의 지점 검지기 체계에서의 교통정보의 정확성을 더욱 높일 수 있을 것이다. 또한 기상의 영향 및 측정시간, 측정각도에 의해 발생할 수 있는 문제점 등을 보다 면밀히 검토하여 적용할 경우 보다 우수한 교통검지기 기술을 개발할 수 있을 것이라 판단된다.

## REFERENCES

- [1] Min-Sung Kim, Ki-Jong Eom, Chung-Won Lee, Density Measurement for Continuous Flow Segment Using Two Point Detectors, Journal of Korean Society of Intelligent Transportation Systems vol. 8 no. 1, 2009
- [2] Korea Highway Capacity Manual, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2013
- [3] Adolf D. May, Traffic Flow Fundamentals, Prentice Hall, 1990
- [4] Richard Haberman, Mathematical Models, , Prentice Hall, pp.265-394, 1977
- [5] Chul-woog Do, Traffic Engineering Principles, Chung-mungak, 2005
- [6] Yibing Wang, Markos Papageorgiou<sup>1</sup>, Real-time freeway traffic state estimation based on extended Kalman filter: a general approach, Transportation Research Part B: Methodological, Volume 39, Issue 2: pp.141 - 167, 2005
- [7] Ajitha, T., Vanajakshi, L., and Subramanian, S., Real-Time Traffic Density Estimation without Reliable Side Road Data, Journal of Computing in Civil Engineering, 2003
- [8] Celil Ozkurt, Fatih Camci, AUTOMATIC TRAFFIC DENSITY ESTIMATION AND VEHICLE CLASSIFICATION FOR TRAFFIC SURVEILLANCE SYSTEMS USING NEURAL NETWORKS, Mathematical and Computational Applications, vol. 14, no. 3, pp.187-196, 2009

저자소개



박 범 진 (Park, Bumjin)

2010년 2월 : 연세대학교 공학박사(도시공학과 교통공학 전공)

2003년 2월 : 연세대학교 공학석사(도시공학과)

2003년 4월~현재 : 한국건설기술연구원 수석연구원

e-mail : park\_bumjin@kict.re.kr

연락처 : 031) 910 - 0198



노 창 균 (Roh, Chang-Gyun)

2012년 2월 : 연세대학교 공학박사(도시공학과 교통공학 전공)

2008년 8월 : 연세대학교 공학석사(도시공학과)

2012년 3월~2014년 2월 : 연세대학교 전문연구원

2014년 2월~2014년 5월 : 한국교통연구원 박사후 연구원

2014년 5월~현재 : 한국건설기술연구원 박사후 연구원

e-mail : rohcg@kict.re.kr

연락처 : 031) 910 - 0335



김 지 수 (Kim, Jisoo)

2007년 2월 : 연세대학교 공학석사(도시공학과)

2007년 3월~2010년 3월 : 제일엔지니어링 교통·ITS 사업부 대리

2013년 6월~현재 : 한국건설기술연구원 석사후 연구원

e-mail : js.kim0331@kict.re.kr

연락처 : 031) 910 - 0218