

영상정합을 이용한 교통밀도 수집방법과 수집 데이터 비교분석

A study on the Traffic Density Collect System using View Synthesis and Data Analysis

박 범 진* · 노 창 균**

* 주저자 : 한국건설기술연구원 미래융합연구본부 수석연구원

** 교신저자 : 한국건설기술연구원 미래융합연구본부 수석연구원

Bumjin Park* · Chang-gyun Roh*

* Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Department of Future Technology and convergence

† Corresponding author: roheg@kict.re.kr

Vol.17 No.5(2018)

October, 2018

pp.77~87

ISSN 1738-0774(Print)

ISSN 2384-1729(On-line)

<https://doi.org/10.12815/kits.2018.17.5.77>

2018.17.5.77

Received 14 August 2018

Revised 11 September 2018

Accepted 17 September 2018

© 2018. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.

요 약

교통밀도는 교통수요와 가장 직접적인 관계가 있으므로 거시적인 지표 중에서 가장 중요하다고 알려져 있으며(Traffic Engineering, 2004), 특정시각 주어진 거리 안의 존재하는 차량의 대수로 정의한다. 하지만, 밀도는 기상과 도로조건 및 비용 상의 문제로 인하여 현장에서 직접 수집이 어렵다. 이런 이유로 속도와 교통량보다 상대적으로 연구가 활발하게 이루어지지 않는 수집방법에 관한 다양한 시도뿐만 아니라 측정된 값의 정확도에 관한 연구가 많이 부족하다. 이에 본 논문에서는 밀도를 측정할 수 있는 방법으로 여러 대의 카메라 영상을 정합(synthesis)하는 기술을 활용하였다. 이러한 밀도수집시스템으로 수집한 밀도를 정의에 기반한 참값으로 선정하고, 이 값을 전통적인 측정방법들로 산출한 밀도와 비교하였다. 비교결과, 관계식(fundamental equation)을 이용한 산출방법으로 산출한 밀도 값이 참값과 비교하여 RMSE(Root Mean Square Error)가 1.8-2.5로 가장 참값에 가깝다. 또한 향후 밀도를 직접 수집할 때 유의하여야 할 수집 간격 등의 간과하기 쉬운 이슈사항을 순간밀도와 평균밀도를 산출하여 알아보았다. 실험 사이트의 실제 교통상황은 LOS B임에도 불구하고, 초 당 순간밀도는 최대(16veh/km)에서 최소 2(veh/km)의 값이 다양하게 관측되어 교통상황의 판단이 어려웠다. 하지만 30초 간격으로 15분 평균밀도는 8.3-7.9(veh/km)로 정확하게 LOS B를 판단하였다.

핵심어 : 밀도수집시스템, 순간밀도, 평균밀도, 밀도, 영상정합

ABSTRACT

Traffic Density is the most important of the three primary macroscopic traffic stream parameters, because it is most directly related to traffic demand(Traffic Engineering, 2004). It is defined as the number of existing vehicles within a given distance at a certain time. However, due to weather, road conditions, and cost issues, collecting density directly on the field is difficult. This makes studies of density less actively than those of traffic volume or velocity. For these reasons, there is insufficient attempts on divers collecting methods or researches on the accuracy of measured values. In this paper, we used the 'Density Measuring System' based on the synthesise technology of several camera images as a method to measure density. The collected density value by the 'Density Mesuring System' is selected as the true value based on the density define, and this value was compared with the density calculated by the traditional measurement methods. As a result of the comparison, the density value using the fundamental equation method is the closest to the true value as RMSE shows

1.8 to 2.5. In addition, we investigated some issues that can be overlooked easily such as the collecting interval to be considered on collecting density directly by calculating the moment density and the average density. Despite the actual traffic situation of the experiment site is LOS B, it is difficult to judge the real traffic situation because the moment density values per second are observed max 16.0 (veh/km) to min 2.0 (veh/km). However, the average density measured for 15 minutes at 30-second intervals was 8.3-7.9 (veh/km) and it indicates precisely LOS B.

Key words : Density Measuring System, Moment Density, Time Average Density, Density, view synthesis

I. 서론

교통상황을 표현하는 거시적인 지표 중에 하나인 교통밀도(이하, 밀도)는 특정시각 주어진 거리 안의 존재하는 차량의 대수로 정의(Traffic Engineering, 2004)한다. 밀도는 현장에서 직접수집이 어려운 이유로 다른 거시적인 지표인 속도와 교통량보다 상대적으로 연구가 활발하게 이루어지지 않는 것이다. 그럼에도 불구하고 여러 연구에서 밀도를 다루고 있다. Highway Capacity Manual(2000, 이하 HCM)은 밀도를 고속도로의 서비스수준(Level of Service, 이하 LOS)을 판단하는 지표로 사용하며, May(1990)는 많은 교통류 모델에서 밀도를 기반으로 정체와 비정체 사이의 경계값을 결정하며, 도로 네트워크에서의 정체 시 대기행렬의 길이와 전과속도를 예측하는 경계값으로도 활용되는 쓸모가 다양한 지표라고 하였다. Traffic Engineering(2004)는 밀도가 교통수요와 가장 직접적인 관계가 있으므로 거시적인 지표 중에서 가장 중요하다고 주장했다. 또한 밀도는 검지기술의 발달로 그 활용이 많아질 것이라고 예측된다. May(1990)는 밀도가 첨단교통체계의 진화를 위해서 교통량과 속도와 같이 현장에서 직접 수집할 수 있어야 하며, 향후 주요한 지표로 활용될 것을 예상하였다. 밀도는 혼잡을 표현하는 가장 좋은 지표(Lee, 2009)이며, 이에 Park(2015)은 도심지의 정체가 사라지는 시점을 정확하게 예측하기 위해서 정체와 비정체의 경계를 지표에 의하여 판단하여야 하며 그 지표로 밀도를 활용한다고 하였다. 그럼에도 불구하고, 아직도 밀도는 그 수집방법에 관한 시도와 측정된 값의 정확도에 관한 연구가 많이 부족한 것이 현실이다.

본 논문에서는 밀도를 측정할 수 있는 방법으로 수대의 CCTV의 영상화면을 영상정합(synthesis)기술을 활용하여 이어붙이기(stitching)는 방식으로 실시간으로 정합하여 영상 안의 차량을 자동으로 카운트하는 방법을 소개하였다. 이렇게 수집된 밀도 값을 전통적인 밀도 산출 방법으로 수집된 값과 비교하였다. 또한, 향후 밀도를 직접 수집할 때 수집주기와 수집횟수 등의 밀도수집의 방법을 알아보았다. 이는 향후 검지기술의 발전으로 1km 안의 차량대수로 정의되는 밀도를 현장에서 직접 수집하게 될 때, 유의해야 하는 사항을 미리 논의하여 이를 통해 합리적 밀도활용의 기반이 조성할 수 있을 것으로 기대된다.

II. 문헌고찰

본 문헌고찰에서는 밀도를 수집하는 방법에 대한 문헌위주로 정리하였다. 밀도를 수집하는 기존의 대표적인 방식은 직접 수집하는 방법과 다른 변수와의 관계를 이용하여 계산하는 방법이 있다. 이중 밀도를 수집하는 방법은 크게 단위 구간내 차량의 수를 카운트하는 방법(구간을 검지하는 방법, Park, 2014)과 특정 지점을 통과하는 차량의 수를 카운트 하는 방법(지점기능을 이용한 방법, Lee, 2009)이 있다. 이중 보다 정확한 밀도를 수집하는 방법인 구간을 검지하는 방법은 항공기나 고층건물에서 1km이상의 구간을 촬영하여 차량을 카

운트하는 것이다. 그러나 이는 지속적인 측정을 시행하기에는 기상과 도로조건 및 비용 상의 한계가 있다. 실제로 Koshi(1983), Park(2015)등은 항공사진 관독으로 밀도를 수집하여 이를 분석한 사례가 있으나, 지속적인 데이터 수집보다는 특정 상황의 데이터 분석 정도로만 그쳤다. 지점기능을 이용한 방법은 검지기의 등장으로 손쉽게 데이터를 수집할 수 있는 환경이 구현되어 구간을 검지하는 방법보다는 비교적 많은 연구가 진행되었다. 하지만 대부분의 연구는 Greensheild의 기본관계식(fundamental equation)의 검증연구에 한정되거나, 밀도변수 자체보다는 신뢰도 높은 타 변수(교통량, 속도 등)의 수집을 위해서 주로 사용되었다.

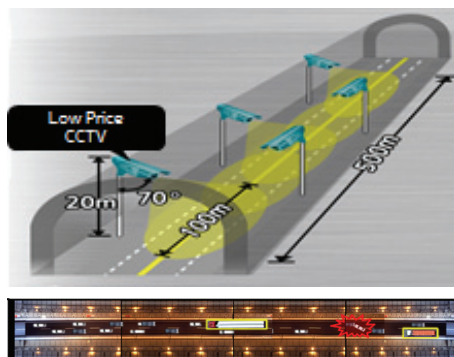
관계식에 의해 밀도를 추정하는 대표적인 방법으로는 점유율(occupancy)과 밀도 변수간의 상관관계를 이용하여 밀도를 추정하는 방법이 있으나 점유율을 이용해 산출된 밀도의 정확성은 점유율 정보의 부정확성으로 인하여 실제의 값과 많은 차이가 있다고 알려져 있다(Hall, 1986). Lee(2009)는 진입-진출검지방법(In-Out counting Method)를 제안하였으나 이는 기준값이 되는 초기차량의 대수산정의 어려움으로 교통량이 증가할 경우 오차가 커지는 경향이 나타났다. 이와 같은 이유로 실제 밀도의 활용이 많을 것으로 예상되는 정체구간에서는 오히려 밀도 측정이 어려운 것으로 판단된다. Ozkurt(2009)는 비디오 영상을 칼만필터 방식으로 분석하여 밀도를 추정하였다.

이와 같이 밀도를 수집 및 추정하는 연구는 아직까지는 다양한 방식으로 시도되고 있으나, 정확한 실측 밀도값을 수집하고 활용되기 위해서는 많은 한계가 존재한다. 즉, 정의기반의 밀도수집시스템의 개발, 적정 수집주기, 적정가공주기, 밀도정보의 서비스 형태 등의 기본적으로 합의하고 논의될 내용이 많다.

Ⅲ. 영상 정합기술을 활용한 밀도 수집 시스템

1. 영상 정합기술을 활용한 밀도 수집 시스템의 구성

본 연구에서 밀도 수집은 밀도의 사전적 정의에 기반하여 정의하였다. 밀도는 특정시각 1km안의 차량의 대수로 정의된다. 도로영역을 주시하는 각 카메라의 중첩되는 영상 수개를 이어붙여(stitching)서 1km영상을 동시에 볼 수 있는 시스템을 <Fig. 1>와 같이 구성하였다. 1km의 영상을 정합하는 카메라의 대수는 총 8기이며, 카메라는 사패산 터널 일산방향에 설치하였다. 사패산 터널 사업소의 협조를 얻어서 터널 내부에 설치된 유선망을 활용하여 실시간으로 영상은 전달되었으며 각각의 카메라는 미리 시간을 동기화하여 영상을 정합(Image Synthesis)하였다. 이를 통해 1km 내 존재하는 차량의 수를 카운트 할 수 있는 기반을 마련하였다.



<Fig. 1> System summary

2. 정합 영상 취득 절차

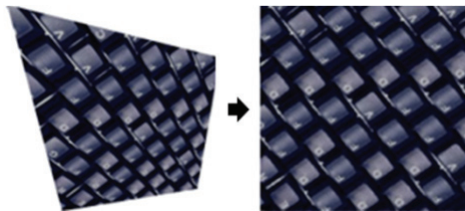
밀도수집시스템을 구성하는 8기의 카메라는 미리 중첩되는 영역을 정하여 이들을 특징점(Feature Point)를 설정하여 영상이어붙이기(Image Stitching)방식으로 1km 영상을 취득하였다. 세부적인 방법은 다음의 4단계를 따른다.

1) Overlapping Area 선정 및 처리 단계

영상정합의 첫 번째 단계로 각각의 영상들의 중첩되는 영역에 특징점을 선정하고, 특징점을 기준으로 하여 정합될 영상의 접합부를 결정하였다. 그리고 이어붙이기 위해 중첩되는 정합부들 간의 해상도를 맞추었다. 해상도를 결정하는 카메라의 픽셀 수는 정합하고자하는 두 개의 영상을 한 픽셀 단위로 자동으로 움직여서 가장 작은 값을 기준으로 두 개의 영상을 정합한다. 본 시스템에서는 미리 특징점을 선정하여 특징점의 영역의 해상도를 낮지 않게 유지하여 정합영상의 품질을 높였다.

2) Image Rectification 단계

1km를 이어붙이기 위해서 단일 1개의 카메라가 최소 120m-130m의 영역을 확보하여야 하므로 직각으로 설치할 수는 없다. 따라서 카메라의 영상은 촬영 각도에 따라 영상의 원근감이 발생된다. <Fig. 2>는 컴퓨터 키보드를 촬영한 영상으로 왼쪽은 촬영 각도를 꺾어서 찍은 영상이며 오른쪽은 왼쪽의 왜곡된 영상을 보정하여 직각으로 만든 영상이다. <Fig. 1>의 하단과 같은 도로부의 직각 영상을 만들기 위해서는 이러한 왜곡된 영상을 보정해줘야 하며, 본 시스템에서는 영상을 펴고 회전하여 보기 좋게 영상을 만드는 과정이다. 정합영상의 품질에 영향을 가장 많이 미치는 과정이다.



<Fig. 2> Example of Image Rectification

3) Color Blending 단계

Image Rectification과정이 완료되면, 두 영상을 정합하는 과정이 남는다. 이때, 정합영상의 품질을 높이고, 자연스러운 파노라마 영상 생성을 위해 Color Blending 처리가 필요하다. Color Blending이란, 정합하고자 하는 영상 간의 밝기 값이나, 컬러 값을 일치시켜주는 과정으로 Blending 처리가 이루어지지 않을 경우 부자연스러운 영상이 생성될 수 있다. 본 밀도수집시스템에서는 중첩 되는 두 개의 영상 중 한 개 픽셀의 밝기 값으로 선택하여 표현하는 방법을 사용하였다. 가장 간단한 방법이지만 터널 부 도로의 밝기가 항상 일정하여 선택하였다. 이는 쓸데없는 부하를 줄이며 최종적으로 연산량을 줄이는 역할을 하였다.

4) Image Stitching 단계

Image Stitching은 Image Rectification과 Color Blending 처리가 완료된 두 영상을 Overlapping Area 영역을

중첩하여 하나의 영상으로 붙이는 과정이다. 본 밀도수집 시스템은 <Fig. 3>의 왼쪽 영상과 같이 미리 격자 모양(<Fig. 3>의 왼쪽 그림 중 빨간 동그라미)의 흑백마크를 도로위에 설치하여 특징 점을 임의로 선정한 후, Stitching과정을 수행하였다. 이는 도로 위의 영상은 항상 비슷한 장면을 표현하게 되므로 서로 너무 멀리 떨어진 특징점들의 대응 특징점을 선별하는 과정을 제외시켜, 불필요한 연산량을 감소시킬 수 있고 잘못된 대응 특징점을 잡는 오류를 최소한으로 하였다. <Fig. 3>의 오른쪽 영상은 최종 정합된 영상이다.



<Fig. 3> Image Stitching of field feature point

3. 정합 영상 내 교통정보 산출 시험

<Fig. 4>는 정합 영상의 취득절차에 따라 정합된 영상의 예이며, 3개의 카메라를 이어붙인 영상이다. <Fig. 4>의 정합영상은 도로영역 180m 연장을 포함하는 영상을 실시간으로 정합한 결과이며, 각각의 개별차량을 자동으로 추적(Object Tracking)하여 차량의 속도(공간평균속도)뿐만 아니라 교통량을 수집할 수 있다. 본 논문에서는 <Fig. 4>와 같이 사패산 터널부에 시간동기화된 CCTV 8기를 이어붙여 1km의 정합 동영상을 생성하였고, 다시 정합영상을 초단위의 영상으로 낱장(still)화하고, 그 다음 영상 안의 차량을 카운트하여 초당 변화하는 밀도값을 만들었다. 이는 Traffic Engineering(2004)에서 제시한 밀도의 정의대로 밀도를 산출한 것으로 이를 본 논문에서는 밀도의 참값으로 보았다.



<Fig. 4> Example of the Synthesis Image of Cameras

IV. 밀도 수집 및 분석 결과

1. 밀도 수집 개요¹⁾

1) 대상 구간 개요

사패산 터널관리사무소의 협조를 얻어 사패산 터널 일산방향으로 8기의 영상정합을 위한 카메라를 설치

1) Park(2014)에서 기 활용하였던 데이터 개요를 재편집하였음

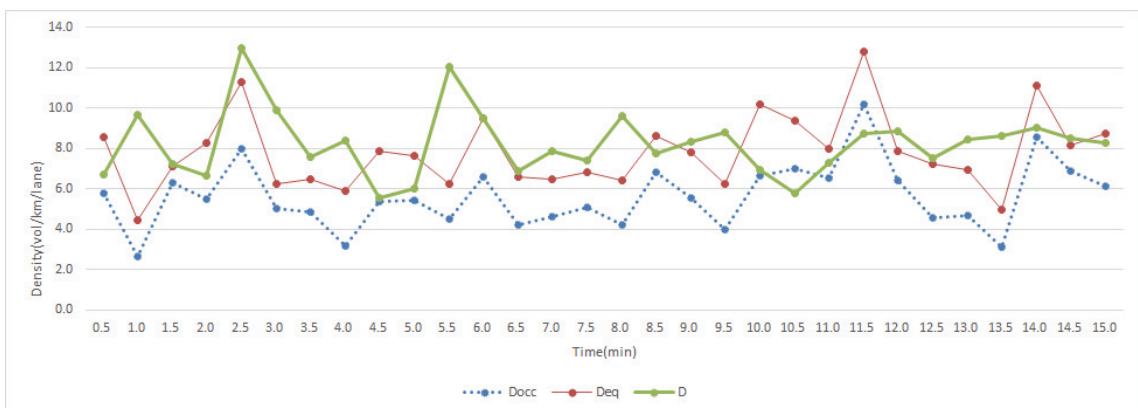
하였다. 취득한 각각의 동영상들을 이용하여 미리 언급한 밀도수집시스템의 과정을 모두 거쳐서 1km의 도로 영역을 포함하는 동영상으로 저장하였다. 동영상의 취득 일시는 2013년 11월 28일 08시부터 09시까지 오전 첨두 1시간과 29일 18시부터 19시까지 오후 첨두 1시간을 취득하였다.

2) 대상 구간의 교통특성 분석

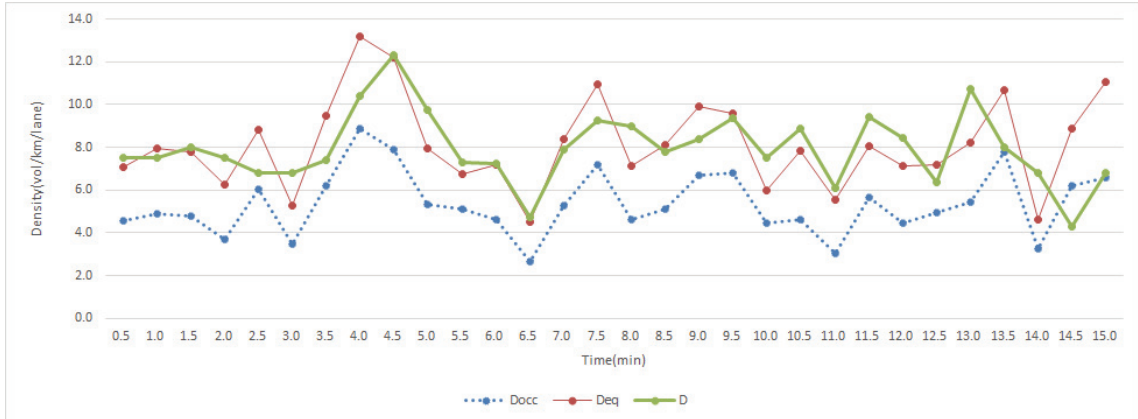
밀도 수집 결과를 설명하기 앞서, 밀도수집시스템으로 밀도를 수집한 동일한 시간 동안의 사패산 터널의 교통류 특성을 분석하였다. 특성 파악을 위한 데이터 수집은 사이트 안에 설치되어 있는 루프검지기를 활용하였다. 동영상 취득 일시와 동일한 시간의 교통량, 속도 및 점유율의 등 루프검지기에서 수집하는 교통데이터를 분석하였다. 분석결과는 다음과 같다. 28일 8시부터 9시까지 시간대의 교통류를 756(veh/h), 평균속도 102(km/h)로 HCM에서 제시된 고속도로 LOS 기준으로 B이다. 29일 18시부터 19시까지 시간대는 교통류를 733(veh/h), 평균속도 99(km/h)로 고속도로 LOS 기준으로 B이다. 데이터 수집 사이트의 교통상황은 정체 없이 원활한 상황으로 판단된다. 추가적으로 사이트 구간의 일반적인 특징을 설명하면, 외곽순환고속도로의 한 구간인 사패산 터널은 제한속도가 100km/h이고, 특별한 이벤트가 없을 때는 고속도로 서비스수준은 HCM기준으로 LOS A에서 C사이에 항상 위치하며 전체적으로 안정적으로 운영되는 고속도로 구간이다.

2. 밀도 추정값 비교 분석

전통적인 밀도 추정방법은 점유율(occupancy)을 환산하여 생성하는 방법과 거시변수간의 관계(fundamental equation)를 이용하여 생성하는 방법이 있다(Park(2014)). 본 연구에서는 밀도 수집시스템으로 수집한 밀도를 참값으로 하고, 점유율 변환방법과 변수간의 관계 이용방법으로 추정된 밀도를 각각 비교하였다. <Fig. 5>와 <Fig. 6>은 0.5분(30초)단위의 밀도값을 비교한 그래프이다. 여기서, D는 밀도 수집 시스템을 통해 수집한 밀도값(이하, D)이며, D_{occ} 는 점유율 변환방법으로 산출된 밀도값(이하, D_{occ})이며, D_{eq} 는 변수간의 관계 이용방법으로 산출한 밀도값(이하, D_{eq})이다. 그래프에서 표현되는 밀도수집 시간은 28일, 29일 각 1시간을 수집하였지만, 15분 단위로 거의 흡사한 그래프 유형을 나타내는 바 편의상 15분 데이터만 plot하여 제시하였다.



<Fig. 5> Comparison of each of Density values(on Nor. 29, 18:00 - 18:15)



<Fig. 6> Comparison of each of Density values(on Nor. 28, 08:00 - 08:15)

비교결과는 다음과 같다. 그래프를 관찰해보면 동 시간대의 밀도 값은 변수간의 관계 이용방법으로 산출한 밀도값(D_{eq})이 점유율 변환방법으로 산출한 것(D_{occ})보다 참값에 해당하는 D에 가깝다. 이는 RMSE(Root Mean Square Error)을 비교해보아도 알 수 있다(<Table 1>). 변수간의 관계 이용방법의 밀도와 참값과의 RMSE는 Nor. 29일 경우, 1.8로 참값에 근접하게 분석되었다. 또한, 그래프의 변화 추세는 3개 밀도 유형 모두 비슷한 패턴을 갖지만 값의 차이가 발생되었다. 참값 D는 15분 동안 최대 12(veh/km/lane)-최소 4(veh/km/lane)의 값을 가지며, 이는 LOS A에서 C에 해당된다. D_{eq} 는 D와 비교하여 그래프의 모양은 비슷한 패턴을 가지며 값도 크게 차이가 나지 않는다. 반면에 D_{occ} 는 그래프의 모양 패턴은 비슷하지만 과소 추정되는 것으로 판단된다.

<Table 1> Root Mean Square Error

	RMSE	
	D_{occ}	D_{eq}
Nor. 28 (08:00-15)	3.4	2.5
Nor. 29 (18:00-15)	3.0	1.8

3. 밀도의 활용을 위한 논의(순간밀도와 평균밀도)와 활용방안

밀도는 어떤 특정시각에 1km안의 차량을 의미한다. 밀도는 교통량과 속도와는 다르게 시간에 종속된 지표가 아니다(Park, 2015). 따라서 어떤 특정시각(순간)에 측정하는가에 따라 서비스수준은 실제 서비스수준과 크게 차이가 날 수 있다(Haberman, 1997). <Fig. 7>과<Fig. 8>은 1초 단위의 밀도를 0.5분(30초) 동안 30회 연속적으로 관찰하여 초당 밀도변화를 나타낸 그래프이다. 자세히 설명하면 <Fig. 7>의 (a)는 Nor. 28일 08시 3분(181초)에서 3.5분(210초)까지이며, (b)는 Nor. 28일 08시 5분(301초)에서 5.5분(330초)까지의 초당밀도의 변화를 관측한 그래프이다. 앞서 언급한 바와 같이 28일 조사당일 1시간 동안의 검지기 데이터 분석결과는 LOS B이며, HCM 기준 LOS B에 해당하는 밀도는 7-11 (veh/km/lane)에서 형성된다. 하지만, 관측된 밀도는

2) 논문의 지면관계상 15분(900초)을 모두 표현하지 않았으며, 900초중 최대 값과 최소 값이 관찰되는 30초를 찾아 그래프로 표현하였다.

15분(900초) 평균값이 8.3(veh/km/lane)이나, 0.5분(30초)만을 관측한 밀도 평균값은 최대값 12.9(veh /km/lane), 최소값 5.5(veh/km/lane)이다.

<Fig. 8>의 (a)는 Nor. 29일 18시 3.5분(211초)에서 4.0분(240초)까지이며, (b)는 Nor. 29일 18시 13.5분(811초)에서 14.0분(840초)까지의 초당밀도의 변화를 관측한 그래프이다. 앞서 언급한 바와 같이 29일도 28일과 동일하게 조사당일 1시간 동안의 검지기 데이터 분석결과는 LOS B이며, HCM 기준 LOS B 밀도는 7-11(veh/km/lane)에서 형성된다. 하지만, 관측된 밀도는 15분(900초) 평균값이 7.9(veh/km/lane)이며, 0.5분(30초)만을 관측한 밀도 평균값은 최대값 4.7(veh/km/lane), 최소값 12.3(veh/km/lane)이다.

이와 같이 밀도수집은 어떤 순간에 밀도를 어느 간격으로 얼마나 많은 관측횟수를 가지느냐에 따라 차이가 발생한다. 이에 Lee(2009)는 어떤 순간적인 시각에 측정된 순간밀도와 이러한 순간밀도를 M번 관측하여 평균한 밀도값인 평균밀도의 개념을 아래의 수식으로 제시하였다.

$$D(m_i) = \frac{N}{L} \tag{1}$$

여기서, $D(m_i)$ = m_i 시점에서의 순간밀도,
 m_i = 측정시간,
 N = 차량대수,
 L = 측정구간길이

$$D = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^M D(m_i) \tag{2}$$

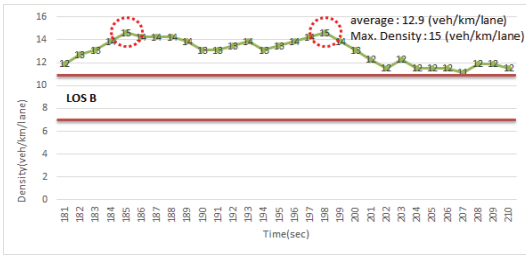
여기서, D = M번 관측한 평균밀도,
 T = 수집주기,
 M = 관측횟수,
 m_i = 측정시간

Lee(2009)가 제시한 개념으로 본 논문에서 제시한 밀도를 대입하면, 초당 밀도를 표현한 <Fig.7>과 <Fig. 8>은 초당 밀도의 변화인 순간밀도의 변화를 plot한 그래프이며, <Fig. 5>와 <Fig 6>는 15분 평균밀도를 plot한 결과이다. 평균밀도의 측면에서 28일 평균밀도 8.3(veh/km/lane)과 29일 평균밀도 7.9(veh/km/lane)는 검지기로 파악한 분석구간의 LOS B(<Fig. 9>HCM의 LOS 기준)를 정확하게 판단하고 있으나, 순간밀도의 측면에서는 28일 최대 15(veh/km/lane)와 최소 2(veh/km/lane)와 29일 최대 13(veh/km/lane)과 최소4(veh/km/lane)를 가지므로 LOS A에서 C까지 다양하게 관찰된다. 즉 교통량이 흔히 15분 이상을 측정하여 이를 평균하여 교통류율을 만들어 사용하듯이 밀도 역시 측정구간의 교통상황을 정확하게 알기 위해서는 수집 간격(관측 간격)이나 수집 횟수(관측횟수)에 대한 추가적인 연구와 합의에 대한 논의사항이 존재함을 알 수 있다. 실제로 Park(2014)은 연속류의 특별한 구간에 한하여 이러한 수집 횟수를 중심극한정리를 통하여 제시한 바 있다. 본 연구에서 제시하는 수집 간격은 최소 15분 이상이며, 관측 횟수 30회는 실제 교통상황과 다른 밀도값이 산출될 수 있음을 그래프를 통하여 알아보았다.

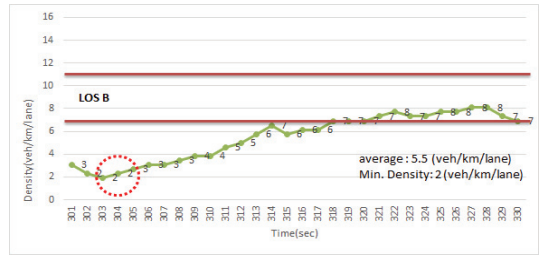
현재는 밀도수집의 어려움으로 인하여 교통정보 산출시 직접 측정하지도 않고, 이를 적극적으로 활용하지도 않는 실정이다. 하지만 앞으로 검지기기술의 발달로 인하여 밀도 역시 현장에서 쉽게 수집될 것이 예상된다. 그럼에도 불구하고 밀도를 수집하여 변수로 직접 활용하는데 있어서의 기본적인 연구내용 조차 아직 정해져 있는 실정이다. 특히 시간에 종속되지 않은 변수로 언제 얼마만큼 수집하여야 해당구간의 교통 상황을 정확하게 예측할 수 있을지 아직은 알 수 없다. Hall(2001)은 실제로 운전자에게 가장 유용한 교통정보는 이동시간(Travel Time)임을 주장하였으며, 또한 정확한 이동시간을 제공하기 위해서는 밀도 기반의 공간

평균속도를 사용해야 함을 제시하는 등 정확한 밀도 측정이 필수임을 감안한다면 밀도수집의 기본적인 연구와 전문가의 논의가 조속히 이루어져야 한다.

교통밀도 정의 기반의 교통밀도수집시스템의 활용으로 교통밀도의 현장 수집이 가능하게 되면 현재의 지점검지체계 위주의 지점평균속도를 기본으로 산출되는 교통정보시스템에서 제공하는 교통정보인 이동시간(Travel Time)정보의 정확도가 향상될 것으로 기대된다. 또한 도심지의 혼잡예측에도 적극적으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

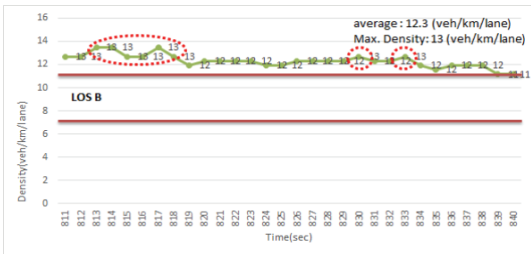


(a) 3.0min(181sec)-3.5min(210sec)

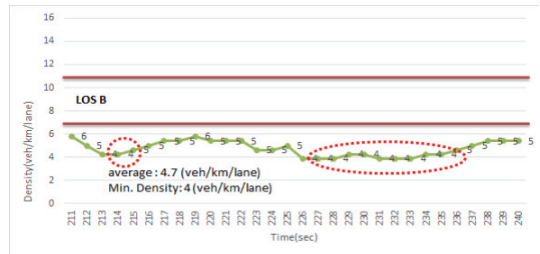


(b) 5.0min(301sec)-5.5min(330sec)

<Fig. 7> Variability of Density per Second on Nor. 28

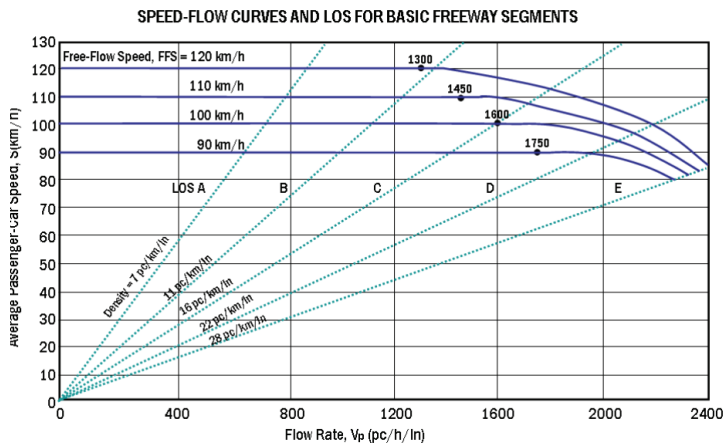


(a) 13.5min(811sec)-14.0min(840sec)



(b) 3.5min(211sec)-4.0min(240sec)

<Fig. 8> Variability of Density per Second on Nor. 29



<Fig. 9> Speed-Flow Curves and LOS for Basic Freeway Sections (HCM(2000))

V. 결 론

기존 차량검지기를 대체할 수 있는 영상처리 기술을 포함한 새로운 형태의 검지기술은 조만간 밀도의 자유로운 현장 수집을 가능하게 할 것이다. 운전자에게 더 나은 교통정보를 제공하기 위한 여러 시도 중에 하나인 밀도의 수집은 밀도가 도로상의 혼잡정도를 가장 잘 표현한다(Lee, 2009)는 측면에서 중요시 다루어질 전망이다. 이와 같은 환경이 마련될 것임을 전제로, 본 연구에서는 밀도의 정의(단위구간 1km안의 차량의 수)기반으로 측정하는 밀도수집시스템을 소개하였다. 밀도수집시스템은 중첩되는 영역을 가지는 도로위의 CCTV의 영상을 (1)Overlapping Area 단계→(2)Image Rectification 단계 →(3)Color Blending 단계→(4)Image Stitching 단계를 거쳐 정합(synthesis)하며, 각각의 단계마다 특징과 시스템 구축시 더욱 간편하고 연산량을 줄일 수 있는 방안을 제시하였다.

이렇게 측정한 밀도를 전통적인 밀도를 측정한 결과와 값을 비교하여 보았다. 그 결과 관계식을 이용하여 구한 밀도의 RMSE가 2.5와 1.8로 점유율을 이용하여 구한 밀도보다 우수함을 확인하였으며 관계식을 밀도의 수집시간별 그래프의 패턴도 유사함을 보았다. 이는 분석구간인 연속류 비혼잡시에 한정된 결과로 볼 수 있으며, 단속류 또는 혼잡시에는 다른 양상이 나타날 수 있다. 이와 같은 부분은 향후 연구를 통해 보완되어야 할 것이며, 이를 통해 밀도 실측이 불가능한 장소 또는 환경을 대상으로 밀도를 최소 오차로 추정할 수 있는 방법을 제시할 수 있을 것으로 기대한다.

단순히 단위시간과 단위구간으로 한정된 밀도의 측정방법에 있어, 밀도의 순간밀도와 평균밀도로 구분하여 비교해 봄으로서 단위시간에 대한 유의사항 및 논의를 제시하였다. 측정시간대의 순간밀도는 실제로 그 구간의 현황과는 다르게 과소 혹은 과대 측정이 될 수 있음을 보았으며, 순간밀도는 초당 LOS가 급변하는 것을 확인할 수 있었다. 이와 같이 초당으로 변화하는 지표는 교통소통상황 판정 및 교통류 해석을 위해 적용하기에 어려움이 있으므로, 이를 올바르게 모두가 공감할 수 있는 방법으로 정제 및 정온화하여 적용해야 할 필요가 있다. 본 연구에서는 데이터 누적 분포를 통해 30번의 관측횟수로 밀도를 측정하면 순간적인 교통상황 변화에 따라 다양한 값이 산출되어 해당 시간대의 교통상황 진단이 어려운 반면, 최소한 15분 정도의 시간간격을 기준으로 산출한 평균 밀도가 해당 시간 구간의 현황과 가장 흡사한 값을 나타냄을 확인하였다.

본 연구는 한정된 시간 및 장소에서 실측한 밀도값을 기준으로 분석하였다는 한계가 있다. 또한 차량을 자동으로 카운트하는데 S/W의 오차도 있을 수 있다. 하지만 상기 제시한 바와 같이, 밀도를 실측하는 방법론을 제시하였으며 밀도 추정시 오차를 최소화 할 수 있는 방법 및 순간밀도와 평균밀도와 관련된 방향을 제시하였다는 점에서 의의가 있다고 할 수 있다.

밀도 변수의 중요성은 교통류의 해석 및 운전자 제공 정보를 포함하여 아무리 강조하여도 지나침이 없을 만큼 중요한 변수이다. 이와 같은 측면에서 향후 지속적인 밀도 관련 연구가 연구가 지속적으로 이루어져야 하며, 이러한 지속적인 현장값을 바탕으로 연구가 미래에 예상되는 합리적인 밀도활용의 기반으로 활용될 것으로 기대한다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 한국건설기술연구원 주요과제 “약천후 대응 스마트도로 기술 개발 - 우천시.” 지원으로 수행하였습니다.

REFERENCES

- Haberman R.(1997), *Mathematical Models*, Prentice Hall: Upper Saddle River, N. J., pp.265 - 394.
- Hall F. L.(1986), “The relationship between occupancy and density,” *Transportation Forum*, 3-3, pp.46-51.
- Hall F. L., Wakefield S. and Al-kaisy A.(2001), “Free quality of service - what really matters to drivers and passengers?,” *Transportation Research Record*, 1776, pp.17-23.
- KICT(2015), *Development of Realtime Traffic Tracking Technology Based on View Synthesis (5th year)*.
- Kim M.-S., Eom K.-J. and Lee C.-W.(2009), “Density Measurement for Continuous Flow Segment Using Two Point Detectors,” *Journal of Korean Society of Intelligent Transportation Systems*, vol. 8 no. 1, pp.37-44 .
- Koshi M., Iwasaki M. and Ohkura I.(1983), “Some findings and an overview on vehicular flow characteristics,” *In Proceedings of the Eighth International Symposium on Transportation and Traffic Theory*, Toronto, Canada, pp.403-426.
- May A. D.(1990), *Traffic Flow Fundamentals*, Prentice-Hall: Upper Saddle River, N. J., pp.192-226.
- Newell G. F.(1992), “A simplified theory of kinematic waves in highway traffic, part I: general theory,” *Transportation Research*, vol. 27, no. 4, pp.281-287.
- Ozkurt C. and Camci F.(2009), “Automatic traffic density estimation and vehicle classification for surveillance systems using neural networks,” *Mathematical and Computational Applications*, vol. 14, no. 3, pp.187-196.
- Park B. J., Kim T. H., Yang I. C., Heo J. Y. and Son B. S.(2015), “A Method for Measuring accurate traffic density by aerial photography,” *Journal of Advanced Transportation*, vol, 49, pp.568-580.
- Park B. J., Roh C.-G. and Kim J. S.(2014), “A Case Study of Panoramic Section Image Collection Method for Measuring Density -with matched images in the Seoul Beltway Sapaesan Tunnel-,” *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 13, no. 4, pp.20-29.
- Roess R. P., Prassas E. S. and McShane W. R.(2004), *Traffic Engineering, third edition*, Pearson Prentice Hall: Upper Saddle River, N. J., pp.112-115.
- Transportation Research Board(2000), *Highway Capacity Manual*, Washington, DC, USA.