

## 레이더검지기의 차량궤적 정보기반의 고속도로 밀도산출방법에 관한 비교

### Comparison of Estimation Methods for the Density on Expressways Using Vehicular Trajectory Data from a Radar Detector

김상구	Kim, Sang-Gu	전남대학교 물류교통학전공 교수 (E-mail : kim-sg@jnu.ac.kr)
한 음	Han, Eum	아주대학교 건설교통과 석·박 통합과정 (E-mail : hano3106@ajou.ac.kr)
이 환 필	Lee, Hwan-Pil	정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 선임연구원 (E-mail : pogijay@ex.co.kr)
김 해	Kim, Hae	한국도로공사 ICT 센터 과장 (E-mail : kimhae@ex.co.kr)
윤 일 수	Yun, Ilsoo	정회원 · 아주대학교 교통시스템공학과 부교수 · 교신저자 (E-mail : ilsooyun@ajou.ac.kr)

#### ABSTRACT

**PURPOSES :** The density in uninterrupted traffic flow facilities plays an important role in representing the current status of traffic flow. For example, the density is used for the primary measures of effectiveness in the capacity analysis for freeway facilities. Therefore, the estimation of density has been a long and tough task for traffic engineers for a long time. This study was initiated to evaluate the performance of density values that were estimated using VDS data and two traditional methods, including a method using traffic flow theory and another method using occupancy by comparing the density values estimated using vehicular trajectory data generated from a radar detector.

**METHODS :** In this study, a radar detector which can generate very accurate vehicular trajectory within the range of 250 m on the Joongbu expressway near to Dongseoul tollgate, where two VDS were already installed. The first task was to estimate densities using different data and methods. Thus, the density values were estimated using two traditional methods and the VDS data on the Joongbu expressway. The density values were compared with those estimated using the vehicular trajectory data in order to evaluate the quality of density estimation. Then, the relationship between the space mean speed and density were drawn using two sets of densities and speeds based on the VDS data and one set of those using the radar detector data.

**CONCLUSIONS :** As a result, the three sets of density showed minor differences when the density values were under 20 vehicles per km per lane. However, as the density values become greater than 20 vehicles per km per lane, the three methods showed a significant difference among on another. The density using the vehicular trajectory data showed the lowest values in general. Based on the in-depth study, it was found out that the space mean speed plays a critical role in the calculation of density. The speed estimated from the VDS data was higher than that from the radar detector. In order to validate the difference in the speed data, the traffic flow models using the relationships between the space mean speed and the density were carefully examined in this study. Conclusively, the traffic flow models generated using the radar data seems to be more realistic.

#### Keywords

*Density, Space Mean Speed, Traffic Flow, Expressway, VDS, Radar Detector*

Corresponding Author : Yun, Il-soo, Associate Professor  
Department of Transportaion System Engineering, Ajou University,  
206 Worldcup-ro, Yeongtong-gu, Suwon-si, 16499, Korea  
Tel : +82.31.219.3610 Fax : +82.31.215.7604  
E-mail : ilsooyun@ajou.ac.kr

International Journal of Highway Engineering

<http://www.ksre.or.kr/>

ISSN 1738-7159 (print)

ISSN 2287-3678 (Online)

Received May, 30, 2016 Revised Aug, 29, 2016 Accepted Sep, 06, 2016

# 1. 서론

## 1.1. 배경 및 필요성

한국도로공사는 고속도로를 통행하는 모든 차량의 교통흐름을 제어하고 정보제공 및 안전하고 쾌적한 도로 이용 서비스를 위하여 고속도로교통관리시스템(Freeway Traffic Management System, FTMS)을 1993년에 도입하여 현재까지 운영 중이다.

FTMS는 정보수집체계, 정보가공체계, 정보제공체계에 구성되어 있다. 정보수집체계는 도로상에 설치된 검지장치를 이용하여 교통정보를 실시간 수집하고, 정보가공체계는 수집된 자료를 가공하며 의미있는 교통정보를 생성하고, 정보제공체계는 고속도로 이용자를 대상으로 교통정보를 가변전광판(Variable Message Sign, VMS) 등을 통해 제공하거나 직·간접적으로 교통류를 제어하는 역할을 한다.

정보수집체계는 Vehicle Detection System(VDS), Dedicated Short Range Communication(DSRC), CCTV, 민원정보 등을 통하여 고속도로 시설의 교통정보를 수집한다. 대표적인 정보수집 수단인 VDS에서는 교통량(volume), 점유율(occupancy), 속도(time mean speed) 등의 차로별 자료를 30초 단위로 수집하고 있다. 수집되는 자료는 교통류 변수인 교통류율(traffic flow rate), 밀도(density), 공간평균속도(space mean speed)로 변환하는 과정이 필요하다. 이러한 교통류를 설명하는 변수들은 교통류 이론에 근거하여 모형화에 이용할 수 있으며, 구축된 모형을 이용하여 고속도로의 현재의 상태를 평가하거나 미래의 상태를 추정할 수 있다.

그 중 밀도는 특정 시각, 단위 구간에 들어 있는 차량의 대수를 말하며, 보통 차로별로 표시된다(MLTM, 2013). 운전자들이 원하는대로 움직일 수 있는지의 여부 또는 고속도로 통행의 안전 측면에서 매우 중요한 앞뒤 차량과의 거리를 나타낼 수 있는 좋은 지표이므로 고속도로 서비스수준을 나타내는 주 효과적으로 사용되고 있다(MLTM, 2013). 또한 앞으로 더욱 그 역할이 확대될 것으로 기대된다. 하지만 이러한 밀도의 중요성과 달리 수집에 어려움이 존재한다. 밀도를 구하기 위해서는 항공사진이나 고지대에서 특정 구간을 지속적으로 사진 촬영하여 추출하여야 한다(May, 1990). 현재 드론을 이용하여 항공사진을 지속적으로 촬영할 수는 있으나 근본적인 대안이 되고 있지 못하는 실정이다. 하지만 최근 기술의 발전으로 레이더검지기의 차량궤적 정보를 이용하여 별도의 변환 과정 없이 밀도 추출이 가능하게 되었다(Han et al., 2016).

본 연구에서는 기존에 사용되어진 VDS 자료를 이용하여 밀도를 산출하는 과정을 살펴보기 위하여 레이더검지기 차량궤적정보를 이용한 밀도 산출값과 비교해보았다. 또한 레이더검지기 차량궤적 정보를 이용하여 산출된 교통변수(공간평균속도 및 밀도)와 VDS를 이용하여 산출한 교통변수를 가지고 교통류모형을 개발하여 각 방법의 성능을 검정하였다.

이러한 교통류 모형의 개발은 레이더검지기의 차량궤적 자료와 VDS 자료를 이용하여 현재 적용중인 교통상황 판단기준의 적합성을 파악함으로써 고속도로 운영 측면에서 보다 적극적인 교통류 관리 및 안내를 통하여 원활한 교통소통에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

## 1.2. 연구방법론

고속도로의 교통류 모형개발을 위해 사용되는 VDS 자료는 교통량, 시간평균속도, 점유율이 있으며 이러한 자료를 교통류 모형에 입력변수로 활용하기 위해서는 교통량은 교통류율로, 시간평균속도는 공간평균속도로, 점유율은 밀도로 각각 전환하는 과정이 필요하다. 밀도를 구하는 일반적인 방법은 교통류 이론을 기반으로 교통량과 속도를 이용하여 밀도를 역산하여 계산하는 방법을 주로 이용하지만 다른 방법론 또한 존재한다.

분석대상지에 설치된 VDS 자료의 교통량과 시간평균속도를 이용하여 분석 당시의 교통흐름을 살펴보고, VDS 점유율 자료를 이용하여 밀도로 전환하는 공식들을 적용하였으며, 그 결과를 레이더검지기 차량궤적 정보를 이용하여 산출한 밀도와 비교하였다.

또한 VDS 자료와 레이더검지기 차량궤적 자료를 이용하여 교통류 모형을 개발하였다. 개발된 교통류 모형의 단절점으로 교통상황의 판단기준을 살펴보고 현재 적용중인 판단기준과 분석대상지의 VDS 자료를 이용한 판단기준 그리고 레이더검지기 차량궤적 정보를 이용한 판단기준을 비교함으로써 각 방식의 성능을 검정하였다.

# 2. 관련 이론 및 연구 동향

## 2.1. 교통류 모형의 정의

교통류(traffic flow)는 고속도로와 같은 연속교통류(uninterrupted traffic flow)와 신호교차로인 단속교통류(interrupted traffic flow)로 나누어진다(Do, 1989). 연속교통류의 교통 분석을 위해서 그 교통류의

특성을 나타내는 변수들의 상관관계를 이해할 필요가 있다. 교통류의 3가지 변수로는 교통류율, 공간평균속도, 밀도가 있다. 이들의 상관관계를 교통류 모형이라 부르며 이들 간의 관계식은 다음과 같다(May, 1990).

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

where,

$q$  : average traffic flow rate (vehicle per hour)

$u$  : space mean speed (km per hour)

$k$  : average density (vehicle per lane-km)

## 2.2. 루프검지기 자료를 이용한 밀도 산정 방법

May(1990)에 따르면, 밀도 측정을 위해서 1950년까지는 주로 사진촬영 기법이 이용되었다. 그 후 검지장치의 발달에 힘입어 1960년대부터는 다음 세 가지 기법들이 같이 사용되어져 왔다.

- a. 교통류 이론을 이용한 방법
- b. 점유율을 이용한 방법
- c. 입력-출력 교통량 관측(input-out counts)을 이용한 방법

### 2.2.1. 교통류 이론을 이용한 방법

밀도  $k$ 는 도로구간의 단위길이 내에 있는 차량대수로 나타낼 수 있다. 만약 전체 교통류가 무작위  $n$ 개의 차량그룹으로 구분되어지고 차량그룹에 속하는 차량의 속도가 일정하다면 교통류 이론을 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다(Eddie, 1963).

$$k = \frac{q}{u} \quad (2)$$

where,

$q$  : average traffic flow rate (vehicle per hour)

$u$  : space mean speed (km per hour)

$k$  : average density (vehicle per lane-km)

하지만 실제도로에서 차량그룹내의 차량들의 속도가 일정하지 않기 때문에 차량그룹의 속도 분산이 클수록 오차가 커질 가능성이 존재한다(May, 1990).

### 2.2.2. 점유율을 이용한 방법

한 지점에서 밀도를 직접 측정하기는 불가능하기 때문에 고속도로에서는 시간점유율이란 개념을 사용한다.

May(1990)은 퍼센트 점유율을 이용하여 밀도를 계산하는 식을 다음과 같이 제안하였다.

$$k = \frac{52.8}{L_V + L_D} \% OCC \quad (3)$$

where,

$k$  : density (vehicle per lane-mile)

$\overline{L_V}$  : average vehicle length (feet)

$L_D$  : detection zone length (feet)

$\% OCC$  : percent occupancy

Gerlough et al.(1997)는 수집되는 점유율을 이용하면 통과차량의 차종별 비율을 알 경우 다음 식에 의해 밀도를 추정할 수 있다고 제안하였다.

$$k = \frac{N}{N_c L_c + N_t L_t + \dots} \left( \frac{\sum t_0}{T} \right) \times 1,000 (veh/km) \quad (4)$$

where,

$N$  : number of passing vehicle

$N_c L_c$  : average vehicle length by vehicle class (meter)

$T$  : a collection cycle (seconds)

$t_0$  : occupancy (seconds)

점유율을 이용한 밀도 변환 또한 차량의 종류별 평균 길이를 이용하기 때문에 오차가 발생할 가능성이 존재한다.

### 2.2.3. 두 지점검지기를 이용한 방법

Kim et al.(2009)의 연구에서는 출입교통이 없는 고속도로 구간에서 일정거리가 떨어진 두 지점검지가 있을 때 지점 사이의 차량대수를 이용하여 밀도를 산출하는 방법을 다음과 같이 제시하였다.

$$k(t) = \frac{Q_A(t) + Inv(t_0) - Q_B(t)}{L_{AB}} \quad (5)$$

where,

- $Q_A(t)$  : no. of entering vehicles during t (vehicles)
- $Q_B(t)$  : no. of exiting vehicles during t (vehicles)
- $Inv(t_0)$  : no. of initial existing vehicles (vehicles)
- $L_{AB}$  : length of the segment (km)

초기존재대수가 구해지면 단위 시간별로 밀도측정이 가능하지만 초기 존재대수를 모를 경우 오차가 발생할 가능성이 존재한다.

### 2.3. 영상검지기를 이용한 밀도 산정 방법

Do(1989)에 따르면 영상검지기를 이용하여 비교적 긴 도로구간을 지속적으로 촬영하여 다음과 같이 밀도 산출방법을 제시하고 있다.

$$k = \frac{N}{L} \quad (6)$$

where,

- $N$  : no. of vehicles in the segment (vehicles)
- $L$  : length of the segment (km)

### 2.4. 차량궤적정보 기반 밀도 산정 방법

Edie(1963)는 밀도 추정을 위하여 차량궤적을 이용하는 방법을 제안하였다. 차량궤적정보로부터 검지 영역 안에서 x-축 방향으로 이동한 시간(total travel time), 검지영역의 길이(length of segment) 그리고 수집시간을 이용하여 계산된다. 이러한 계산방법은 시간점유율 개념과 비슷하며 다음 식과 같이 도출하였다.

$$k_{AB} = \frac{\sum \text{travel time}}{\text{space region}} \quad (7)$$

where,

- $k_{AB}$  : density between Point A and Point B
- $\text{space region}$  : duration of data collection time( $t_2 - t_1$ ) $\times$ distance between Point A and Point B
- $\sum \text{travel time}$  : sum of travel times of individual vehicles within space region

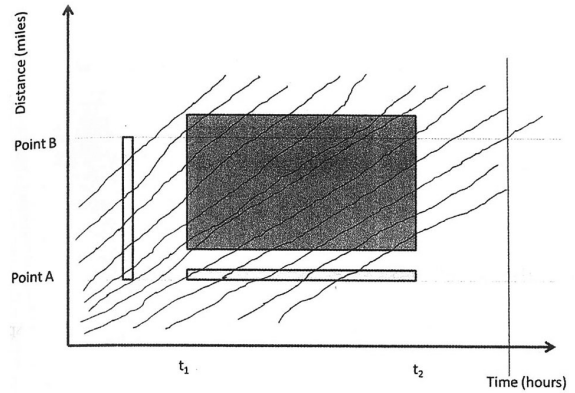


Fig. 1 Calculation Concept of Space Mean Speed

### 2.5. 최근 연구 동향

Lee et al.(1999)은 고속도로에서 밀도와 점유율간의 관계를 살펴보고 대체관계가 가능한지 검토하였다. 검토 결과, 밀도와 점유율은 비정체류 영역에서는 대체로 일치하고 균등함을 보였으나, 정체류 영역에서는 분산이 상당히 큰 것으로 분석하였다. 따라서 정체류 영역에서 점유율을 정체의 준거로 사용하는데 주의가 필요하다고 주장하였다.

Kim et al.(2009)은 천호대교 연속류 램프구간에서 미시교통시물레이션을 기반으로 두 지점의 지점검지기를 이용하여 밀도를 관측하는 방안을 개발하였다. 개발 결과, 연속류 구간에서 밀도검지가 가능하였으며, 측정구간길이가 짧을수록 측정간격에 따른 밀도 변동이 심해지며 측정구간길이가 길수록 측정간격에 따른 밀도 변동이 완만해지는 것으로 분석하였다.

Lee et al.(2010)은 두 지점의 검지기를 이용한 밀도 측정 방안 개발 연구에서 순간밀도, 평균밀도, 측정간격이라는 개념을 정리하고 미시교통시물레이션 모형을 이용하여 측정간격에 따른 도로조건별로 구간밀도정확도에 미치는 영향을 분석하였다. 여러 개의 측정구간길이 시나리오에서 다양한 측정간격을 적용하여 평균밀도 값을 추정한 후 미시교통시물레이션에서 생성된 참값과 비교한 결과 측정간격이 커질수록 %오차가 커지는 것으로 분석되었다.

Lee et al.(2006)의 연구에서는 점유율, 교통량, 속도 등의 실시간 교통자료를 분석하고 교통흐름을 수학적 모형으로 나타내었다. 그 결과 안정 교통류와 불안정 교통류를 구분하는 기준으로서 점유율의 변화 크기가 혼잡상황을 구분하는 지표로 사용이 가능하며 점유율-속도의 관계는 안정류와 불안정류 2개의 영역으로 명확

히 구분할 수 있다고 제시하였다.

Kim and Kim(2006)의 연구에서는 속도-점유율 관계도를 가지고 교통류 상태를 분석하여 정체류로 전이 되고 안정류로 회복하는 이력현상과 전이과정에 대한 자세한 관찰을 통해 돌발상황 감지 알고리즘을 개발하였다. 속도-점유율 관계도를 이용하여 안정류와 정체류의 교통류 영역 구분을 명확히 함으로써 교통류 상태 결정을 용이하게 제시하였다.

## 2.6. 기존 연구와의 차이점

기존 연구들은 대부분 현장의 지점감지 자료를 이용하여 밀도를 추정하였고, 참값으로 가정한 비디오 분석결과와 비교하였다. 본 연구에서는 현장에 레이더검지기를 설치하여 차량의 궤적자료를 이용한 밀도 값을 산출하고, VDS 자료를 이용하는 방법 중 교통류이론 방법 및 점유율 방법을 이용하여 산출한 밀도와 비교하였다.

산출된 밀도 추정값을 이용하여 속도-밀도 그래프를 살펴보고 안정류와 불안정류의 구분 지점을 파악하였다. 구분 지점은 고속도로 운영 측면에서 보다 적극적인 교통류 관리 및 안내를 할 수 있는 지표로 원활한 교통 소통에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

## 3. 밀도 산출방법론 비교

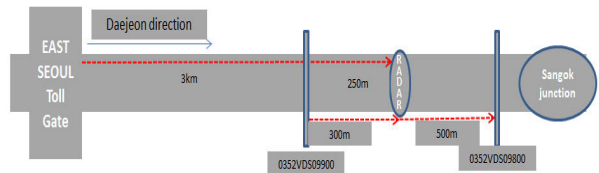
### 3.1. 자료 수집 개요

본 연구에서는 밀도 산출 방법론의 성능 비교를 위하여 중부고속도로 358.2km 지점(대전방향)에 레이더검지기를 설치하여 차량궤적 자료를 수집하였다. 레이더검지기의 유효 감지영역은 250m이며 조사각에 의한 오차를 방지하고, 정확한 자료 획득을 위하여 Overhead 방식으로 설치된 VMS 옆에 설치하였다(Han et al., 2016).

한국도로공사에서 운영 중인 기존 VDS 검지기들은 본 연구에서 설치한 레이더검지기 후방 300m(VDS ID: VDS09900)와 전방 500m(VDS ID: VDS09800) 지점에 존재하였다. 하지만 VDS09900 검지기의 경우 간헐적으로 수집의 문제가 발생하여 VDS09800 검지기만을 이용하여 분석하였다(Han et al., 2016).

레이더검지기 및 VDS 자료의 수집시간은 2016년 3월 1일 화요일 00시00분00초부터 2016년 3월 7일 23시59분59초까지 일주일간 수집하였다. 레이더검지기 자료는 0.05초 간격의 차량ID, X좌표(레이더검지기와의

거리), Y좌표(차로위치), X속도(순간속도), Y속도(차로변경속도), 차량길이(소형, 중형, 대형)로 구성되어 있다(Han et al., 2016).



※ source : Han et al.(2016)

Fig. 2 Layout of Test Site

### 3.2. VDS 자료를 이용한 교통류 변수 산출

VDS 자료는 한국도로공사에서 운영하는 고속도로 공공데이터 포털(<http://data.ex.co.kr/>)에서 제공되는 5분 지점데이터를 이용하였다. 공간평균속도를 산출하기 위해서 5분 지점데이터 3개를 이용하여 15분 지점데이터로 변환하는 과정을 실시하였다. 교통량의 경우 15분 지점데이터로 변환 시 합산하였으며 속도는 시간평균속도이기 때문에 15분 지점데이터로 변환 시 조화평균을 실시하여 공간평균속도로 바꾸었다.

밀도의 경우 교통류이론식을 이용하는 방법과 점유율을 이용하는 방법 두 가지를 사용하여 산출하였다. 교통류이론식의 경우 간단하게 계산이 되는 반면 점유율을 이용하는 방법은 차중비율과 평균차량길이가 필요하였다.

본 조사 구간은 동서울TG를 진입한 뒤 다른 IC나 JC가 존재하지 않기 때문에 차중비율을 산정하기 위해서 3/1일부터 3/7일까지의 동서울TG 진입교통량 TCS 자료를 이용하여 차중비율을 다음과 같이 산정하였다.

Table 1. Volume Comparison by Vehicle Types at the Throughtput of Dong-Seoul Tollgate

Vehicle types	Type 1&6	Type 2	Type 3	Type 4	Type 5	Sum
No. of vehicles	396,822	19,849	26,278	12,077	7,814	642,840
Rates	84%	4%	6%	3%	2%	100%

Table 1과 같이 1종(Type 1)부터 5종(Type 5)까지의 차중비율을 산정하였으며, Rhy(2014)의 연구에 따라 Table 2와 같이 1종부터 5종까지의 평균차량길이를 산정하였다.



Table 2. Average Vehicle Length by Vehicle Types

Vehicle types	Average vehicle length
Type 1&6	4.8 m (ex., passenger car)
Type 2	8 m (ex., minivan)
Type 3	11 m (ex., bus)
Type 4	12 m (ex., semi-trailer)
Type 5	15 m (ex., full-trailer)

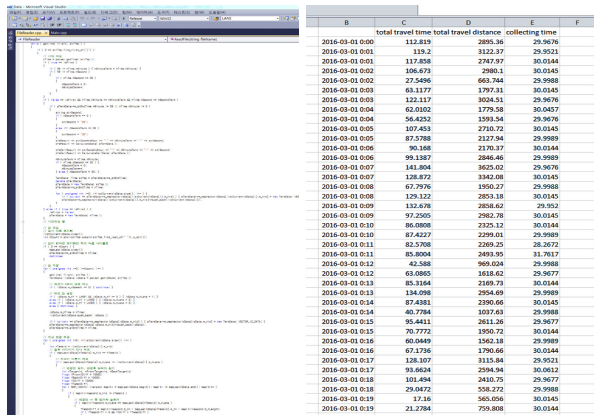
### 3.3. 차량계적 자료를 이용한 교통류 변수 산출

수집된 차량계적 파일은 앞서 살펴본 Edie(1963)가 제안한 방법을 적용할 수 있도록 15분 동안의 통과차량의 총 이동시간을 다음과 같이 Visual Basic으로 소스 코드를 작성하여 산출하였다.

산출에 앞서 레이더검지기의 단점으로 지적된 중요사항은 검지 특성상 큰 물체로 인하여 사각지역이 발생한다는 점이다. 레이더검지기에서 수집된 교통량과 VDS09800 검지기에서 수집된 교통량을 비교해 보면 VDS 교통량과 근사하게 나타났다.

Table 3. Comparison Volumes of VDS and Radar Detector

Time interval		VDS09800 volume	Radar detector volume
:		:	:
3/5	09:00~09:05	356	359
	09:05~09:10	305	304
	09:10~09:15	381	378
:		:	:
3/6	20:00~20:05	224	225
	20:05~20:10	204	202
	20:10~20:15	263	262
:		:	:



(a) Example of Source Code (b) Example of Analysis Result

Fig. 3 Example of Radar Detector Data Analysis

### 3.4. 밀도 산출결과 비교

교통류이론 방법을 이용하여 산출한 밀도와 점유율 자료를 이용하여 산출한 밀도 그리고 차량계적 자료를 이용하여 산출한 밀도를 Fig. 4와 같이 나타내었다.

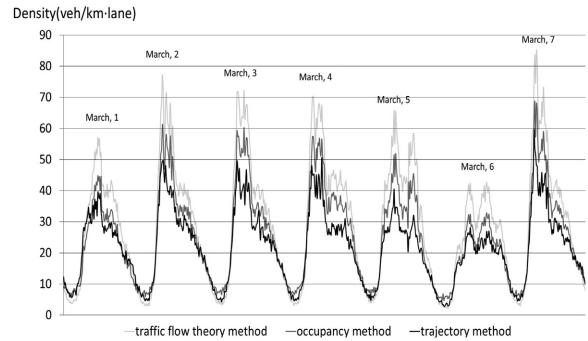


Fig. 4 Comparison of Calculated Densities by Methods

밀도가 20(veh/km·lane) 미만일 경우 세 가지 방법의 차이가 비교적 크게 나타나지 않는 모습을 보이고 있다. 하지만, 자세히 살펴보면 교통류 이론을 이용한 방법이 가장 낮은 밀도 값을 보이고, 그 다음이 차량계적 방법, 점유율을 이용하는 방법 순으로 추정된 밀도 값이 높아지는 모습을 나타내고 있다. 이러한 이유는 점유율 방법의 경우 차량의 숫자가 적다보니 평균차량길이의 오차 발생확률이 더 높기 때문인 것으로 판단된다.

밀도가 20(veh/km·lane) 이상일 때는 참값으로 사용되는 차량계적 자료를 이용한 방법이 다른 방법들과 차이가 크게 나타나는 모습을 나타낸다. 앞서 관련 이론(Edie, 1963)을 고찰하였을 때 언급한 바와 같이 밀도가 높아져 차량그룹들의 속도 분산이 커짐에 따라서 오차가 커지는 것으로 판단된다. 교통류 방법과 점유율 방법 그리고 차량계적 방법의 밀도 패턴은 비슷하게 나타나는 경향은 존재하나 밀도 값의 크기에 따라 차이가 발생하는 것으로 나타났다.

### 3.5. 밀도 산출결과 비교 소결론

앞서 살펴본 교통류이론 방법, 점유율 방법, 차량계적 방법을 이용하여 밀도를 산출하여 보았다. 그 결과 밀도가 20 이하에서는 큰 차이가 발생하지는 않았지만 20 이상에서는 차량계적 방법과 교통류이론 방법 및 점유율 방법 간의 차이가 발생하였다. 이는 교통류이론 방법을 기준으로 살펴보았을 때 차량계적 자료와 교통량은 비슷하였으나 공간평균속도의 차이로 인하여 밀도 값의 차이가 나타나는 것으로 분석된다. VDS 자료의 공간평균속

도는 30초 산술 평균된 자료를 5분 지점자료로 다시 산술평균하는 전처리과정으로 인하여 오차가 발생한다.

다음 Fig. 5는 VDS 자료를 이용한 공간평균속도와 레이더검지기 차량궤적 자료를 이용한 공간평균속도를 비교한 것이다. 7일 동안의 공간평균속도를 비교한 결과 VDS 자료의 경우 80km/h 밑으로 내려간 자료가 희박한 반면 레이더검지기 차량궤적 자료의 경우 일요일을 제외하고 모두 나타나고 있음을 알 수 있다.

따라서 교통류이론 방법과 점유율 방법으로 밀도를 산출하는 방법이 방법론적인 문제가 아닌 VDS 자료의 한계의 문제로 해석해야 할 것으로 판단된다. 가장 중요한 원인은 밀도를 산출하는 과정에서 이용한 VDS 자료가 각 개별 원시자료가 아니라 30초의 집계화된 자료가기 때문이다.

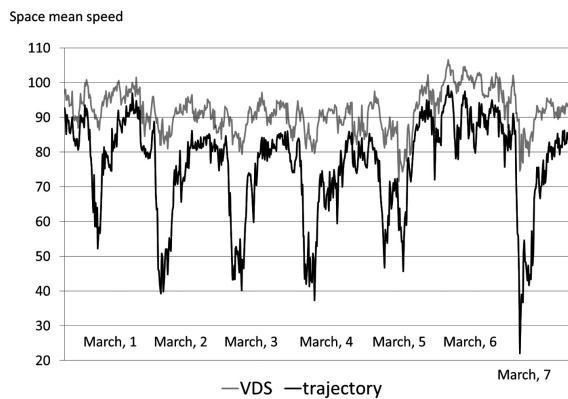


Fig. 5 Comparison of Space Mean Speed from VDS and Radar Detector

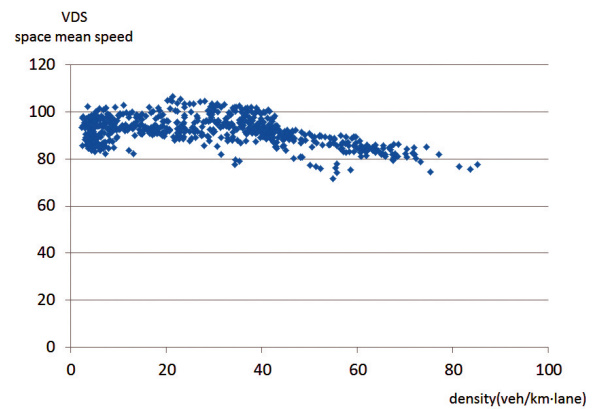
점유율을 이용하는 방법도 마찬가지로 참값으로 가정된 차량궤적을 이용하여 추정된 밀도 값과 상이한 밀도 값을 산출하였다고 판단된다. 다시 말해, 앞서 Fig. 5에서 확인할 수 있듯이 VDS 자료에서 추출된 속도자료는 레이더검지기에서 산출된 속도와 많은 차이를 보이는 것으로 분석되었다. 검지기에서 통과차량의 속도 또한 기본적으로 점유시간 자료를 이용하여 산출된다. 결론적으로 검지기에서 측정된 점유율 값에 의해서 속도 값이 결정되고, 그렇게 산출된 속도 값이 차이가 난다고 하는 것은 애초 측정된 점유시간 값의 오차에 기인한다. 결론적으로 VDS 자료를 이용하여 정확한 밀도를 산출하는 것에서는 오차가 존재할 수 있다.

#### 4. 추정된 밀도 값의 활용

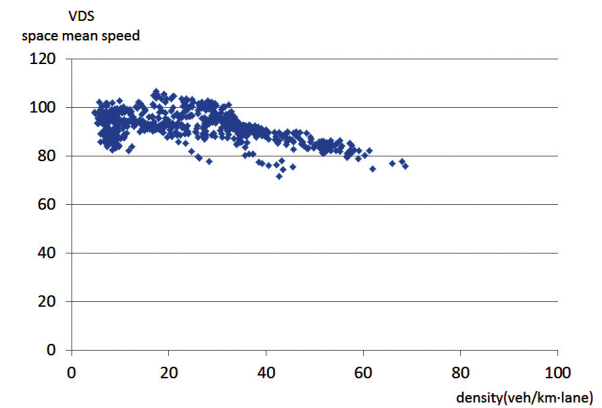
본 연구에서는 레이더검지기에서 추출된 차량궤적 자

료를 이용하여 추정된 밀도 값을 참값으로 가정하였다. 그리고 두 가지 다른 방법인 교통류 이론을 이용하는 방법과 점유율을 이용한 방법을 사용하여 추정된 밀도 값을 참 값과 비교하였다. 하지만 이러한 가정에 대한 충분한 검정이 필요하다.

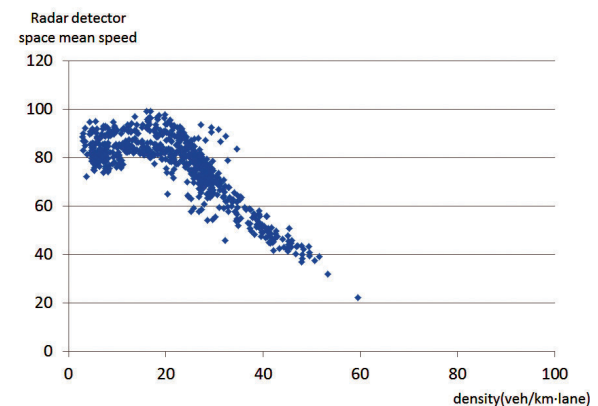
따라서 본 연구에서는 세 가지 방법을 이용하여 추정된 밀도 값들과 VDS 및 레이더검지기에서 추정된 속도 값을 이용하여 속도·밀도 그래프를 작성하였다.



(a) Traffic Flow Method



(b) Occupancy Method



(c) Trajectory Method

Fig. 6 Speed and Density Relationships by 3Methods

Fig. 6의 (a), (b), (c)의 그래프를 살펴보면 레이더검지기로부터 산출된 자료를 이용한 결과만 밀도의 증가에 따른 속도 감소가 나타나고 있다. 도로용량편람(MLTM, 2013)에 따르면 고속도로의 밀도가 28 이상일 때 서비스수준 F로 구분하고 있으며, 서비스수준 F는 대기행렬이 발생할 때로 정의하고 있다. 따라서 교통류 방법과 점유율 방법의 경우 정체류와 비정체류를 구분하는 단절점 분석이 불가능하였다.

차량궤적 방법론의 정체류와 비정체류의 구분점을 찾아내기 위하여 유전자 알고리즘을 적용하였다. 유전자 알고리즘의 최적해는 속도를 기준으로 자료를 구분하여 회귀분석을 실시하여 각 구간의 회귀분석의 R-square 값의 합이 가장 높은 속도값을 최적해로 산정하였으며, 유전자 알고리즘을 구현하는 방법은 Matlab 프로그램을 이용하였다.

분석결과 78km/h의 속도일 때가 최적해로 나타났다. 이는 현재 한국도로공사에서 적용중인 소통상황 판단 기준인 80km/h와 유사한 것으로 분석되었다.

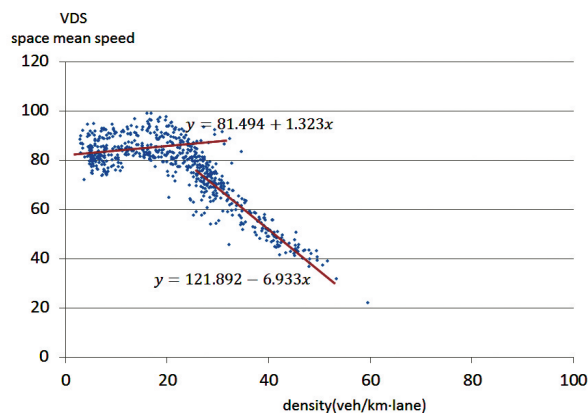


Fig. 7 Speed and Density Graph Using Vehicle Trajectory Data

이러한 분석은 고속도로 운영에 있어서 매우 중요한 지표로 작용할 수 있을 것으로 판단된다. 수도권 고속도로의 잦은 정체를 비롯한 고속도로 정체로 인한 사회적 비용을 줄이기 위하여 정확한 소통상황 판단기준으로 고속도로를 관리해야 한다.

## 5. 결론 및 향후 연구과제

최근 기술의 발전으로 레이더검지기의 차량궤적 정보를 이용하여 밀도를 별도의 변환과정 없이 추출이 가능하게 되었다. 따라서 본 연구에서는 교통류 이론으로 밀도를 산출하는 방법과 점유율을 이용하여 밀도로 변환

하는 과정을 살펴보고 레이더검지기 차량궤적정보를 이용한 밀도 산출값과 비교해 보았다.

그 결과 밀도가 20 이하에서는 큰 차이가 발생하지는 않았지만 20 이상에서는 차량궤적 방법과 교통류이론 방법 및 점유율 방법 간의 차이가 발생하였다. 이는 교통류이론 방법을 기준으로 살펴보았을 때 교통량은 차량궤적 자료와 비슷하였으나 공간평균속도의 차이로 인하여 밀도 값에 차이가 나타나는 것으로 분석되었다.

또한 차량궤적 자료를 이용하여 정체류와 비정체류를 살펴본 결과 78km/h의 속도일 때를 최적해로 나타났으며 현재 한국도로공사에서 적용중인 소통상황 판단 기준인 80km/h와 유사한 것으로 분석되었다.

본 연구는 향후 차량궤적 자료를 이용하여 실시간으로 밀도를 산출하고 서비스수준을 평가함으로써 고속도로 운영관리의 자료로 활용될 수 있는 기초연구가 되길 바라며 향후 참값을 산출할 수 있는 영상 검지기 등을 이용하여 레이더 검지기의 데이터 정확성 검증이 필요하다. 또한 레이더 검지기 특성상 설치 위치나 방법에 따른 데이터의 변동에 대한 결과와 소통원활과 정체상황의 전이구간에서의 결과에 대하여 자세히 살펴볼 필요성이 존재한다. 마지막으로 정체가 심하게 반복되는 지점에 대한 연구를 추가적으로 분석, 시행되어야 할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

이 논문은 국토교통부 국토교통기술사업화지원의 연구비 지원(15TBIP-C073332-02)에 의해 수행된 것임.

## REFERENCES

- Do, C. W., 1989. Principle of Transportation Engineering, Cheongmoongak, pp. 79-87.
- Edie, L. C. 1963. Discussion of Traffic Stream Measurements and Definitions, Port of New York.
- Gerlough, D. L., Huber, M. J., 1975. Traffic Flow Theory A Monograph. Transportation Research Board, Special report 165, pp.8-13.
- Han, E., Kim, S. B., No, J. H., Yun, I. S., 2016. Comparison of the Methodologies for Calculating Expressway Space Mean Speed Using Vehicular Trajectory Information a Radar Detector, The Journal of Korean Institute of Intelligent Transport System, coming soon.
- Kim, S. G. and Kim, Y. C., 2006. Development of Incident Detection Algorithm using Speed-Occupancy Relationship, Seoul Studies, Vol. 7, No. 3, pp.235-249.
- Kim, M. S., Yeom, G. J., Lee, C. W., 2009. Density Measurement for Continuous Flow Segment Using Tow point Detectors, The



- Journal of Korean Institute of Transport System, Vol. 8, No. 1, pp.37-44.
- Lee, C. W., Kim, M. S., Park, J. Y., L, E. G., 2010. Development of Density Measurement Technique Based on Tow Point Detectors and Measurement Reliability According to Different Sensing Gaps, Journal of Korean Society of Transportation, vol.29, no.3, pp.157-167.
- Lee, E. E., Cheon, H. Y., 1999. A Relationship between Density and Occupancy on Freeway, Journal of the Research Institute of Industrial Technology, pp.35-40.
- Lee, S. H., Ahn, W. Y., Kang, H. C., 2006. An Incident Detection Method for Using Speed-Density Relations, Journal of Korean Society of Transportation, vol.24, no.2, pp.127-137.
- May, A. D., 1990. Traffic Flow Fundamentals, Prentice Hall, pp. 116-159.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTM), 2013. Korea Highway Capacity Manual.
- Ryu, J. D., 2014. Study on the Criteria of Expressway Traffic Conditions Using Koshi's Method, Master's Thesis, Ajou University.