

## 레이더검지기의 차량 궤적 정보를 이용한 고속도로 공간평균속도 산출방법 비교

### Comparison of the Methodologies for Calculating Expressway Space Mean Speed Using Vehicular Trajectory Information from a Radar Detector

한 음*	김 상 범**	노 정 현***	윤 일 수****
(Eum Han)	(Sang Beom Kim)	(Jeong Hyun Rho)	(Ilsoo Yun)
(Ajou University)	(Hanyang University)	(Hanyang University)	(Ajou University)

#### 요 약

본 연구에서는 고속도로 VDS에서 수집된 시간평균속도를 이용하여 공간평균속도를 산출하는 방법들의 성능을 비교하고자 한다. 이를 위해서 먼저, 이전 연구들에서 제시된 시간평균속도를 이용한 공간평균속도 추정방법들을 정리하였다. 현장에서 수집된 시간평균속도와 공간평균속도 자료는 기계 혹은 측정 상의 오차로 정확한 값을 보장하기 힘들다. 따라서 미시교통시뮬레이션모형을 이용하여 이상적인 상황에서 공간평균속도 값을 산출한 후, 본 연구에서 선정된 공간평균속도 산출방법론을 통해 산출된 추정값과 비교하였다. 비교 결과, 개별차량의 시간평균속도 자료를 이용하는 경우, 조화평균 값과 교통량-거리가중 조화평균 값이 공간평균속도 값에 가장 근사하게 분석되었다. 그리고 30초 단위 시간평균속도를 사용하는 경우에는 교통량-거리가중 조화평균 값이 가장 유사하였다. 현장에서 공간평균속도를 구하는 것이 매우 어렵기 때문에 본 연구에서는 중부고속도로에 레이더검지기를 설치하여 개별 차량의 경로자료를 수집한 후, 경로자료를 이용하여 공간평균속도를 산출하였다. 분석 결과, 교통량-거리가중 조화평균을 이용한 추정값이 공간평균속도에 비교적 유사한 것으로 나타났다.

핵심어 : 고속도로, 시간평균속도, 공간평균속도, 레이더 검지기

#### ABSTRACT

This study was initiated to evaluate the performance of methodologies to estimate the space mean speed(SMS) using the time mean speed(TMS) which was collected from the vehicle detection system(VDS) in expressways. To this end, the methodologies presented in prior studies were firstly summarized. It is very hard to achieve exact SMSs and TMSs due to mechanical and communication errors in the field. Thus, a microscopic traffic simulation model was utilized to evaluate the performance. As a result, the harmonic mean and volume-distance weighted harmonic mean were close to the SMS in the case in which the TMSs of individual vehicles were used. However, when the 30-second-interval aggregated TMS were used, the volume-distance weighted harmonic mean was outstanding. In this study, a radar detector was installed in the Joongbu expressway to collect the SMS. The trajectory of individual vehicles collected from the detector were used to calculate the SMS, which was compared with the estimates using other methodologies selected in this study. As a result, the volume-distance weighted mean was turned out to be close to the SMS. However, as the congestion becomes severe, the deviation between the two speed becomes bigger.

Key words : expressway, time mean speed, space mean speed, radar detector

† 본 연구는 국토교통부 국토교통기술사업화지원의 연구비지원(15TBIP-C073332-02)에 의해 수행되었습니다.

\* 주저자 : 아주대학교 건설교통공학과 석박사 통합과정

\*\* 공저자 : 한양대학교 대학원 도시공학과 박사수료

\*\*\* 공저자 : 한양대학교 도시대학원 교수

\*\*\*\* 교신저자 : 아주대학교 교통시스템공학과 부교수

† Corresponding author : Ilsoo Yun(Ajou University), E-mail ilsooyun@ajou.ac.kr

† Received 20 April 2016; reviewed 9 May 2016; Accepted 25 May 2016

## I. 서 론

### 1. 배경 및 필요성

교통류(traffic flow)의 특성을 나타내는 기본적인 변수에는 속도(speed), 통행시간(travel time), 교통량(volume), 교통류율(traffic flow rate), 교통류의 밀도(density), 차두시간(headway), 차두거리(spacing) 등이 존재한다. 이러한 교통류를 설명하는 변수들은 Greenshield 모형과 같이 교통류 이론에 의해서 모형화가 가능하며, 모형을 이용하여 고속도로의 현재의 상태를 평가하거나 추정할 수 있다. 이 중에서 속도는 일반적으로 개별차량의 지점속도를 산술평균한 값으로 나타내는 시간평균속도(time mean speed, TMS)를 사용하나, 교통흐름을 나타내는 교통류 모형에 적용되는 속도는 공간평균속도(space mean speed, SMS)를 이용한다[1].

한국도로공사는 1993년 고속도로 교통관리시스템(Freeway Traffic Management System, FTMS)을 구축하였다. FTMS에서는 루프검지기, 영상검지기, 레이더검지기 등과 같은 지점검지체계와 공간정보 추출이 가능한 구간검지체계가 혼합되어 운영되고 있다. 구체적으로는 고속도로상의 차량들의 속도, 교통량, 불발상황에 대한 정보들은 지점검지체계인 Vehicle Detection System(VDS)과 구간검지체계인 Dedicated Short Range Communication(DSRC)로 수집되어지고 있다.

지점검지체계인 VDS의 경우 루프검지기와 영상검지기를 기반으로 자료를 수집한다. 루프검지시스템은 1920년대에 그 기본원리가 개발되어 이후 오랫동안 세계적으로 가장 대표적인 차량검지기술로 이용되어 왔지만 포장체의 소성변형과 같은 도로 파손에 의한 단선으로 인한 데이터 누락이나 보수를 위한 차로폐쇄 등이 단점으로 존재한다. 또한 영상검지시스템은 루프검지기의 대표적인 문제점인 노면 훼손, 유지보수 비용 및 편리성 문제를 해결할 수 있는 대안으로 주목받았으나, 실제 운영 시 안개·황사·주야 교차시간대 등의 경우 정보 신뢰성이 크게 저하되는 문제가 있다. 공간기반인 DSRC기반의 하이패스 교통정보 시스템의 경우 하이패스 단말기가 설치된 일부 차량으로부터 수집되기 때문에 대표성이 떨어지는 단점이 존재한다.

어지는 단점이 존재한다.

최근 국외에서는 비교적 정확한 정보 수집이 가능하고, 비접촉식으로 유지보수가 편리한 레이더 기반의 차량검지 기술의 활용이 증가하고 있는 추세이며, 교통정보 수집, 터널 돌발검지, 보행자 검지, 교통량 기반 신호제어 등의 목적으로 레이더 기반 차량검지 시스템이 활용되기 시작하고 있다. 한국도로공사에서는 스마트하이웨이사업에서 돌발상황 검지시스템으로 레이더검지기를 사용한 사례가 존재하나 차량검지시스템으로서의 활용사례는 부족한 실정이다.

따라서 본 연구는 레이더검지기 시스템으로 수집된 차량 궤적 자료를 이용하여 교통 특성변수인 SMS를 산출하여보고 현재 운영 중인 고속도로 VDS에서 수집된 TMS를 이용한 추정된 SMS와 비교를 통한 VDS 기반 SMS 산출방법의 개선방향을 검토하고자 한다. 본 연구를 통해 고속도로와 같은 연속류에서보다 정확한 속도를 산출함으로써 고속도로를 이용하는 운전자에게 더욱 유용한 교통정보를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

### 2. 연구 방법론

고속도로의 소통상황 판정 등을 위해 사용되는 VDS 속도자료는 개별 차량의 지점속도를 이용하여 산출되는 TMS이기 때문에 교통류 이론 적용 등을 위해서는 보다 정확한 SMS를 산출하는 방법이 필요하다. 일반적으로 지점속도 자료를 조화평균 하여 SMS를 산출하며 다른 방법론 또한 존재한다[1].

하지만, 현실에서는 기계 및 통신 오류 등으로 인하여 정확한 TMS와 SMS를 산출하는 것이 어렵다. 따라서 본 연구에서는 미시교통시물레이션 도구인 VISSIM에서 toy network를 구성하여 개별 차량 궤적 정보를 이용하여 산출한 SMS를 참값으로 가정하고 지점속도인 TMS를 SMS로 변환하는 기존의 방법들의 성능을 고속도로 교통상황에 따라 비교하였다.

또한 중부고속도로에 개별 차량의 궤적정보를 생성할 수 있는 레이더검지기를 설치하여 SMS를 산출하였으며, 주변 VDS 검지기 자료를 이용하여 추정된 SMS 값들을 레이더검지기를 이용하여 산출한 SMS 값과 비교하였다.

## II. 관련 이론 및 연구 동향

### 1. 공간평균속도

SMS는 어느 시간 동안 도로구간을 통과한 모든 차량들이 주행한 거리를 걸린 시간으로 나눈 속도로 정의되며, 각 차량의 속도가 전부 같지 않은 한 SMS는 TMS보다 항상 적게 나타나는 경향이 있다[2].

$$\bar{u}_t = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u_i \quad (1)$$

$$\bar{u}_s = \frac{1}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{u_i}} \quad (2)$$

여기서,

$\bar{u}_t$ : 시간평균속도,  $\bar{u}_s$ : 공간평균속도

$n$ : 차량 대 수

### 2. VDS 기반 공간평균속도 산정 방법

VDS는 어느 지점 또는 짧은 구간의 순간속도를 수집하기 때문에 통행시간 또는 구간길이의 개념은 존재하지 않는다. 반면에 SMS는 비교적 긴 도로구간의 통행속도를 나타내는데 사용된다.

그러나 도로구간의 길이가 길 경우 각 차량의 통행시간을 측정하기가 매우 어렵거나 비용이 많이 든다. 따라서 그 구간 내의 어느 대표적인 지점에서 각 차량들의 지점속도를 이용하여 다양한 방법으로 SMS를 예측한다.

#### 1) 조화평균 방법

개별 차량의 지점속도인 TMS가 그 구간의 구간통행속도(overall travel speed)와 같다는 가정에 근거를 두고 개별 차량의 TMS 값을 조화평균하여 SMS를 구하는 방법이다. 이는 구간 내에서 속도변화가 있더라도 전 구간 평균통행시간은 그 지점속도로 그 구간을 달린 시간과 같다는 가정을 전제로 하고 있다[1-4].

#### 2) 예측식을 이용하는 방법

Wardrop은 TMS값과 TMS의 분산값을 이용하여 SMS값을 추정하였다[5, 6].

$$\bar{u}_s = \bar{u}_t - \frac{\sigma_t^2}{\bar{u}_t} \quad (3)$$

$$\bar{u}_t = \bar{u}_s + \frac{\sigma_s^2}{\bar{u}_s} \quad (4)$$

여기서,

$\bar{u}_t$ : 시간평균속도,  $\bar{u}_s$ : 공간평균속도

$\sigma_t^2$ : 시간평균속도 분산

$\sigma_s^2$ : 공간평균속도 분산

이 식들은 이론적인 식이 아니고 경험식이다. 여기서  $\sigma^2$ 은 분산의 불편추정치이며, 교통량이 많을수록 분산이 적을수록 관계식이 정확하다는 특징이 존재한다[1].

### 3) 한국도로공사 방법

한국도로공사의 지점속도 산출방식은 VDS검지기를 30초 동안 통과된 차량의 속도 값들을 산술평균한 TMS를 기본속도 자료로 사용한다. 기본 자료 10개를 다시 산술평균하여 5분 TMS 자료를 생성한다. 5분 TMS 3개를 이용하여 15분, 15분 TMS 4개를 이용하여 1시간 TMS를 제공한다.

TMS 자료를 이용하여 SMS를 계산하는 방식은 검지기의 일정한 거리가 주어졌을 경우(검지기와 검지기 사이의 거리, 평균 약 1km) SMS 산출 시 산술평균을 적용하면 과대 추정되는 문제가 발생하여 속도 추정에 신뢰성을 저하시키므로, 교통량-거리가중 조화평균을 사용하여 산출하는 것이 합리적이라고 판단하고 구간평균속도를 다음과 같이 생성한다[7, 8].

$$\nu(SMS) = \frac{D}{T} = \frac{(q_1 d_1 + q_2 d_2)}{(t_1 + t_2)} = \frac{(q_1 d_1 + q_2 d_2)}{\left(\frac{q_1 d_1}{v_1} + \frac{q_2 d_2}{v_2}\right)} \quad (5)$$

여기서,

$D$ : 총통행거리

$q_1$ : 지점1의 통과교통량

$d_1$ : 구간1의 거리

$v_1$ : 구간1의 TMS

$T$ : 총통행시간

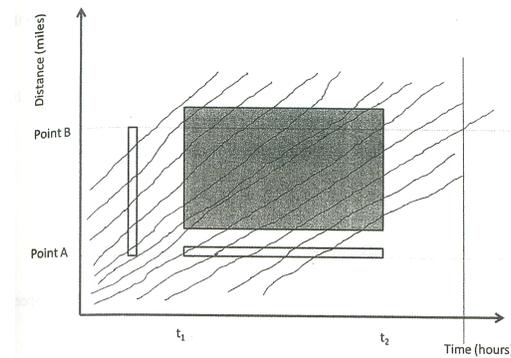
$q_2$ : 지점2의 통과교통량

$d_2$ : 구간2의 거리

$v_2$ : 구간2의 TMS

### 3. 차량 궤적 정보 기반 공간평균속도 산정

Eddie(1963)는 차량 궤적 정보를 이용하여 밀도, SMS, 교통류율 산정방법을 기술하였다. 차량 궤적 정보로부터 검지 영역 안에서 y-축 방향으로 이동한 거리의 합 (total distance traveled by trajectories in region A)과 그 시간간 안에서 x-축 방향으로 이동한 거리(시간)의 합(total time spent by trajectories in region A)를 구하여 계산하였다[2, 8].



source: Eddie(1963)

〈Fig. 1〉 Space Mean Speed calculate concept

### 4. 연구 동향

Park and Kim(1997)의 연구에서는 TMS와 SMS의 예측식을 교통 흐름의 구분에 따라 연속류와 단속류로 구분하여 검증하였다. 검증결과 연속류의 안정류 상태에서는 Wardrop과 Yule & Kendall이 제시한 SMS 예측식과 실측값의 차이가 없으나 불안정류에서는 차이가 크게 나타났으며 단속류에서는 차이가 없는 것으로 분석되었다[9].

Lim and Kim(2001)의 연구에서는 catastrophe 이론을 이용한 SMS를 추정하였다. 남산 1호 터널을 대상으로 분석결과 catastrophe 모형이 분석대상구간의 SMS를 잘 추정하였으며, 혼잡시에서도 좋은 추정 결과를 나타낸 것으로 제시하였다[10].

Lee et al.(2003)의 연구에서는 지점속도의 산술평균 모형과 교통량 가중평균 모형으로 추정된 속도를 이용하여 대기행렬을 추정하였다. 분석 결과, 가중평균 모형이 산술평균 모형보다 현장 상황을 합리적이고 안정

적으로 나타내는 대기행렬 추정값을 산출하였다[11].

Sin et al.(2006)의 연구에서는 루프검지기 자료를 이용하여 속도 산출시 문제점을 지적하고, 새로운 방법론을 개발하였다. 지점속도 자료를 이용하여 SMS 산출 시에는 교통량가중 조화평균, 여러 지점의 지점검지기를 이용하여 SMS 산출 시에는 교통량가중 조화평균 자료를 이용한 교통량-거리가중 조화평균으로 산출하는 것이 기존방법 보다 합리적인 결과를 도출하였다[12].

Kim and Kim(2011)의 연구에서는 단속류에서 SMS를 추정하기 위하여 TMS와 TMS의 편차를 가공한 값의 관계식을 회귀분석을 통하여 도출하였다. 그 결과 단속류의 상황에 따라 예측식의 계수값이 달라지기 때문에 정확한 산출을 위해서는 추가적인 설명변수가 필요한 것으로 분석하였다[13].

### 5. 기존 연구와의 차이점

기존 연구들은 현장의 지점검지 자료를 이용하여 SMS를 추정하였고, 비디오촬영 자료를 분석하여 참값을 가정하였다. 본 연구에서는 차량의 궤적 정보를 이용한 공간평균속도를 참값으로 가정하고 검지장비의 오차를 최소화하기 위하여 시뮬레이션을 구축하여 기존의 SMS 산출방법론과 비교하였다.

또한 현장에 레이더검지기를 설치하여 차량 궤적 자료를 이용한 SMS 산출 결과와 VDS를 이용한 SMS 결과를 시뮬레이션 결과와 비교함에 있어 기존 연구들과 차이를 나타내고 있다.

## III. 공간평균속도 산출방법론 비교

### 1. 시뮬레이션 분석 개요

TMS 및 차량 궤적 산출이 가능한 미시교통시뮬레이션 도구인 VISSIM을 이용하여 SMS 산출 방법론에 대하여 비교하고자 하였다. 레이더검지기나 루프검지기의 경우 정보수집 시 오차가 발생할 가능성이 존재한 반면 시뮬레이션에서는 정확한 값을 검지할 수 있기 때문에 SMS 산출 방법론에 대한 평가가 가능하다는 장점이 있다.

네트워크 구성은 제한속도 100km/h의 편도 2차로 고속도로로 설정하고 2km의 구간을 구현하였다. 실제 자료수집 구간은 레이더검지기의 검지영역인 200m를 설정하여 차량궤적정보를 1초 간격으로 습득하였으며, 지점속도 산출을 위해서 50m와 150m 두 개 지점에 VDS를 설치하였다.

네트워크의 시나리오는 일반적인 고속도로 상황과 사고 등으로 인한 정체가 발생한 상황으로 구분하여 분석하였다. 첫 번째 시나리오는 일반적인 고속도로 상황으로 가정하였으며, 고속도로 서비스수준별 입력 교통량 기준으로 LOS A, LOS C, LOS E, LOS F 상황을 구현하였다. 두 번째 시나리오는 사고상황을 가정하기 위하여 네트워크 레이더검지기 검지영역 전방에 사고를 발생시켰다. 사고가 발생하게 되면 하나의 차로가 폐쇄되어 병목현상이 일어나 차로별 속도값의 분산이 커지게 하였다. 사고는 2차로에 발생시켜 각각 5분, 4분, 3분간 차로를 폐쇄하였다.

수집된 개별차량 속도자료는 5분단위로 가공하였다. 차량 궤적 정보를 이용한 Edie 방법을 본 연구에서는 SMS 참값으로 가정하여 개별 차량의 속도 값의 산술평균, 조화평균, 교통량·거리가중 조화평균, Wardrop 방법론을 이용하여 산출된 SMS 값과 비교하였다. Edie 방법을 참값으로 가정한 이유는 가장 이론적인 산출방법이기 때문이다. 또한 한국도로공사에서 VDS 지점속도산출 방법을 적용하기 위하여 개별차량 속도자료를 30초 단위 산술평균으로 변환하고, 다시 5분 단위 산술평균, 조화평균, 교통량·거리가중 조화평균을 산출하였다.

## 2. 공간평균속도 산출방법론 비교

### 1) 고속도로 서비스 수준에 따른 비교

고속도로 서비스수준에 따라 분석을 실시한 결과, LOS A, LOS C, LOS E의 경우 개별차량 속도자료를 이용해서 산출한 산술평균, 조화평균, 교통량·거리가중 조화평균, Wardrop 방법, Edie 방법 모두 유사한 값을 산출하였다. 또한 한국도로공사 VDS 추출방식과 같은 30초 산술평균 속도자료를 이용하여 산술평균, 조화평균, 교통량·거리가중 조화평균

을 적용하였을 때도 산출된 SMS 값들의 차이가 크게 나타나지 않음을 알 수 있다.

반면 LOS F의 경우 개별차량 속도자료를 이용한 산술평균은 81.27km/h로 나타났으며 조화평균 방법은 70.17km/h로 11km/h 이상 차이가 발생하였다. 30초 산술평균 속도자료를 이용하는 경우도 비슷한 차이가 나타났다.

(Table 1) Compare of Space Mean Speed calculation methodology by LOS

Classification	Scenario			
	A	C	E	F
Vehicle inputs	1,000veh/h	2,300veh/h	4,000veh/h	5,000veh/h
5min Average Throughput	128veh	340veh	610veh	717veh
Arithmetic Mean	106.56 km/h	105.02 km/h	102.46 km/h	81.27 km/h
Harmonic Mean	106.16 km/h	104.72 km/h	102.21 km/h	70.17 km/h
Traffic-Distance Weighted Harmonic Mean	106.16 km/h	104.71 km/h	102.20 km/h	70.62 km/h
30sec VDS data-based Arithmetic Mean	106.85 km/h	105.24 km/h	102.81 km/h	80.24 km/h
30sec VDS data-based Harmonic Mean	106.34 km/h	104.89 km/h	102.36 km/h	77.84 km/h
30sec VDS data-based Traffic-Distance Weighted Harmonic Mean	106.32 km/h	104.86 km/h	102.29 km/h	76.12 km/h
Wardrop Method	106.16 km/h	104.71 km/h	102.21 km/h	77.21 km/h
Edie Method	<b>106.49 km/h</b>	<b>104.78 km/h</b>	<b>102.21 km/h</b>	<b>68.96 km/h</b>

개별차량 속도와 30초 속도자료를 이용하는 경우를 비교해 보면 LOS A, C, E에서는 큰 차이가 발생하지 않았다. 하지만 LOS F 상태에서는 30초 속도자료를 이용하였을 때는 산술평균자료와 조화평균이나 교통량·거리가중 조화평균의 차이가 개별차량 자료를 사용했을 때 보다 적게 나타난 것으로 분석되었으나 공간평균속도 산출의 참값으로 가정한 Edie 방법과의 차이는 더 크게 나타난 것으로 분석되었다. 이는 개별차량자료를 사용하지 않고 30초 집락자료를 사용했기 때문에 산술평균과 조화평균, 교통량·거리가중 조화평균의 차이가 낮아졌지만 참값과는 오히려 오차 발생가능성이 커진 것이다. 또한 Wardrop 방법론의 경우 산술평균과 산술평균의 분산값을 이용하다보니 산술평균 쪽에 가까운 값이 나타나는 것으로 분석되었다.

## 2) 정체상황에 따른 비교

정체의 경우 한 차선에 사고를 가정하여 차량의 차로변경 및 병목현상을 유발하여 차로별 속도차이가 나타나게끔 세가지 상황(사고1, 사고2, 사고3)을 구현하였다. 사고1, 사고2, 사고3 모두 Edie 방법과 가장 비슷한 값을 나타내는 것은 개별차량 정보를 이용한 조화평균과 교통량·거리 가중 조화평균으로 나타났다. 또한 30초 속도자료를 이용한 결과를 살펴보면 교통량·거리 가중 조화평균이 가장 유사하게 분석되었다.

〈Table 2〉 Compare of Space Mean Speed calculation methodology by accident scale

Classification	Scenario		
	Accident 1	Accident 2	Accident 3
Vehicle inputs	4,000veh/h	4,000veh/h	4,000veh/h
5min average Throughput	359veh	582veh	624veh
VDS data Arithmetic Mean	30.44 km/h	52.84 km/h	63.69 km/h
Harmonic Mean	15.57 km/h	36.54 km/h	51.32 km/h
Traffic·Distance Weighted Harmonic Mean	15.52 km/h	36.50 km/h	51.37 km/h
30sec VDS data-based Arithmetic Mean	31.78 km/h	52.61 km/h	64.88 km/h
30sec VDS data-based Harmonic Mean	23.26 km/h	43.40 km/h	58.22 km/h
30sec VDS data-based Traffic·Distance Weighted Harmonic Mean	23.04 km/h	43.42 km/h	55.64 km/h
Wardrop Method	17.19 km/h	45.23 km/h	57.14 km/h
Edie Method	<b>15.50 km/h</b>	<b>35.93 km/h</b>	<b>50.34 km/h</b>

고속도로에 사고를 발생시켜 지·정체 상황을 유발하여 분석한 결과 개별차량 속도정보를 이용하였을 때와 30초 속도자료를 이용하였을 때의 산출평균의 비교는 큰 차이가 없었으나, 조화평균과 교통량·거리 가중 조화평균의 경우 30초 속도자료를 이용했을 때 과대추정 하는 것으로 분석되었다.

따라서 고속도로에서 차량의 속도가 느려지는 지·정체상황에서는 VDS를 이용하여 공간평균속도를 산출하는 것은 Edie 방법보다 높게 나타나며 개별차량 속도 자료보다 30초 단위의 속도자료를 사

용했을 때 오차가 커짐을 알 수 있었다.

## 3) 시뮬레이션 분석 결론

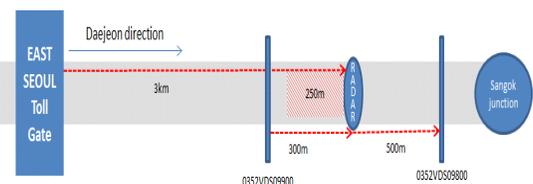
현장에서 수집된 차량의 속도자료는 기계 혹은 측정상의 오차로 정확한 값을 측정하기 어렵기 때문에 시뮬레이션을 이용하여 공간평균속도 산출방법론을 평가하였다. 평가결과 개별차량 속도정보를 이용하여 SMS를 산출하였을 때보다 30초 속도자료를 이용하였을 때 오차가 더 커지는 것으로 분석되었다. 따라서 한국도로공사에서 사용하는 VDS 지점속도 자료는 개별 차량의 정보를 사용하지 않고 30초 단위의 속도자료를 사용하기 때문에 SMS 산출에 큰 한계점을 지니고 있는 것으로 분석되었다.

차량의 궤적 정보를 이용한 Edie 방법을 이용하여 각 방법론의 차이는 분석한 결과 소통원활 상태에서는 각 방법론의 차이가 크지 않았으나 정체상황에서는 차량 개별정보를 이용한 조화평균과 교통량·거리가중 평균이 가장 근접하게 산출되었다. 또한 30초 속도자료를 이용하였을 시에는 조화평균보다 교통량·거리가중 평균이 가장 유사하게 도출되는 결과를 나타내었다.

## IV. 레이더검지기를 이용한 공간평균속도 산출방법론 비교

### 1. 자료 수집 및 가공

본 연구에서는 중부고속도로 대전방향 358.2K에 레이더검지기를 설치하여 자료를 수집하였다. 레이더검지기의 유효 검지영역은 250m이며 정확한 자료획득을 위하여 최대한 조사각을 확보할 수 있는 지점에 설치하였다(Fig. 2 참조).



〈Fig. 2〉 Radar Detector installation diagram

레이더검지기 수집시간은 2016년 3월 4일 금요일 00시00분00초부터 2016년 3월 6일 23시59분59초까지 72시간을 수집하였다. 레이더검지기 자료는 0.05초 간격으로 측정하여 차량ID, X좌표(레이더검지기와의 거리), Y좌표(차로위치), X속도(순간속도), Y속도(차선변경속도), 차량길이(소형, 중형, 대형)를 텍스트 파일로 저장하게 된다.(Fig. 3 참조)

[00:00:00.0306] Detected Object Count : 9							
ID	10 X	25.632 Y	0.928 SpeedX	-2.6 SpeedY	0 Length	4.4	
ID	31 X	25.76 Y	-2.56 SpeedX	-6.5 SpeedY	0 Length	4.4	
ID	37 X	40.32 Y	-2.208 SpeedX	-6.2 SpeedY	0 Length	4.4	
ID	35 X	53.184 Y	-0.192 SpeedX	-4 SpeedY	0 Length	4.4	
ID	29 X	61.92 Y	1.664 SpeedX	-5.6 SpeedY	0 Length	8.6	
ID	30 X	62.336 Y	-1.856 SpeedX	-6.7 SpeedY	0 Length	4.4	
ID	34 X	77.664 Y	-2.048 SpeedX	-8.3 SpeedY	0 Length	4.4	
ID	18 X	81.888 Y	1.76 SpeedX	-5.1 SpeedY	0 Length	8.6	
ID	33 X	112.704 Y	-1.152 SpeedX	-4.7 SpeedY	0 Length	4.4	

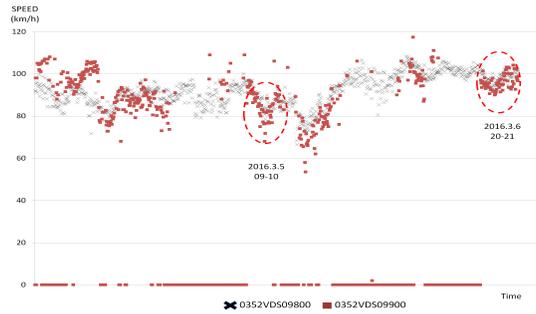
[00:00:00.0775] Detected Object Count : 9							
ID	10 X	25.568 Y	0.928 SpeedX	-2.6 SpeedY	0 Length	4.4	
ID	31 X	25.6 Y	-2.56 SpeedX	-6.5 SpeedY	0 Length	4.4	
ID	37 X	40.224 Y	-2.24 SpeedX	-6.2 SpeedY	0 Length	4.4	
ID	35 X	53.088 Y	-0.192 SpeedX	-4 SpeedY	0 Length	4.4	
ID	29 X	61.76 Y	1.664 SpeedX	-5.6 SpeedY	0 Length	8.6	
ID	30 X	62.176 Y	-1.856 SpeedX	-6.7 SpeedY	0 Length	4.4	
ID	34 X	77.472 Y	-2.048 SpeedX	-8.4 SpeedY	0 Length	4.4	
ID	18 X	81.76 Y	1.76 SpeedX	-5.1 SpeedY	0 Length	8.6	
ID	33 X	112.576 Y	-1.152 SpeedX	-4.7 SpeedY	0 Length	4.4	

(Fig. 3) Row data sample of Radar Detector

저장된 텍스트 파일은 Edie 방법을 적용할 수 있도록 5분 동안의 통과차량의 총 이동거리와 총 이동시간으로 가공하여야 한다. 본 연구에서는 Visual Basic으로 소스코드를 작성하여 산출하였다.

VDS 검지기는 레이더검지기 설치위치 후방 300m(VDS09900)와 전방 500m(VDS09800) 지역에 설치되어 있다. <Fig. 4>에서 제시된 바와 같이, 검지기의 5분 지점데이터를 이용하여 시간대 별 속도를 살펴본 결과 VDS09900 검지기의 결측자료가 간헐적으로 나타나고 있음이 확인되었다.

따라서 결측이 발생하지 않은 시간대인 2016년 3월 5일 토요일 09시~10시의 정체상황과 2016년 3월 6일 일요일 20시~21시의 소통원황상황의 데이터를 이용하여 분석하였다. 분석데이터는 한국도로공사에서 제공되는 최소 단위인 30초 차로별 데이터를 이용하였다.



(Fig. 4) 5min VDS data Time-Speed diagram

## 2. 레이더검지기 교통량 분석

레이더검지기의 단점으로 지적된 중요사항은 검지 특성상 큰 물체로 인하여 사각지역이 발생한다는 점이다. <Table 3>에서 제시된 레이더검지기에서 수집된 교통량과 VDS09800 검지기에서 수집된 교통량을 비교해 보면 VDS 교통량과 근사하게 나타났다. VDS 교통량보다 레이더검지기의 교통량이 조금 차이나는 이유는 레이더검지기과 VDS의 위치가 500m 떨어져 위치하기 때문인 것으로 판단된다.

(Table 3) Compare traffic volume 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
⋮	⋮	⋮	

VDS 자료를 이용하여 공간평균속도를 살펴보기 전에 시뮬레이션에서 수집된 차량 ID에 랜덤변수를 적용하여 20~100% 표본 추출 대비에 따라서 레이더검지기를 이용하여 산출한 SMS가 어떻게 변하는지 살펴보았다. <Table 4>에서 제시된바와 같이, 시뮬레이션에서 수집된 차량경로자료의 표본 추출 대

비에 따른 SMS를 비교해 보면 LOS A ~ F까지 표본 추출 20%에서도 1km/h 미만의 오차가 발생해 SMS가 크게 차이나지 않는 모습을 나타내고 있다.

<Table 4> Comparison of SMS by different sample rates at LOS A, C, E, F

Classification	Level of Service			
	A	C	E	F
100%	106.49 km/h	104.78 km/h	102.21 km/h	68.96 km/h
80%	106.941 km/h	104.81 km/h	101.07 km/h	68.96 km/h
60%	106.57 km/h	104.68 km/h	102.41 km/h	69.15 km/h
40%	106.75 km/h	104.16 km/h	102.56 km/h	67.81 km/h
20%	107.37 km/h	105.18 km/h	103.29 km/h	68.20 km/h

<Table 5>에서 보인 정체상황에 따른 결과를 살펴보면 사고가 발생하지 않은 상황보다 오차율이 높아졌으나 표본 추출 100% 대비 1.5km/h 미만의 오차가 나타나는 것으로 분석되었다.

<Table 5> Comparison of SMS by different sample rates at accidents #1, #2, #3

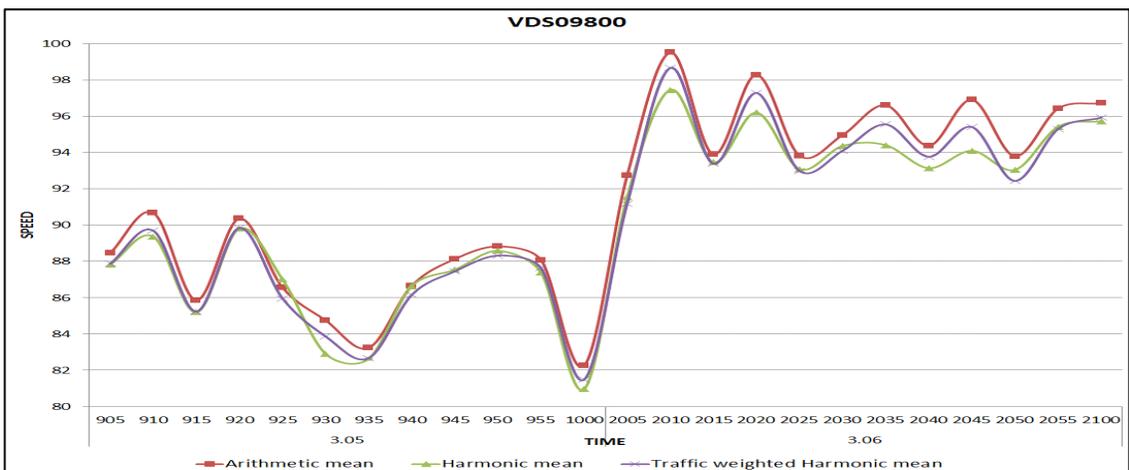
Classification	Scenarios		
	Accident 1	Accident 2	Accident 3
100%	15.50 km/h	35.93 km/h	50.34 km/h
80%	15.99 km/h	35.76 km/h	50.07 km/h
60%	16.07 km/h	36.00 km/h	50.42 km/h
40%	14.51 km/h	34.73 km/h	50.00 km/h
20%	14.07 km/h	35.16 km/h	49.28 km/h

### 3. VDS의 산출방법론 비교 평가

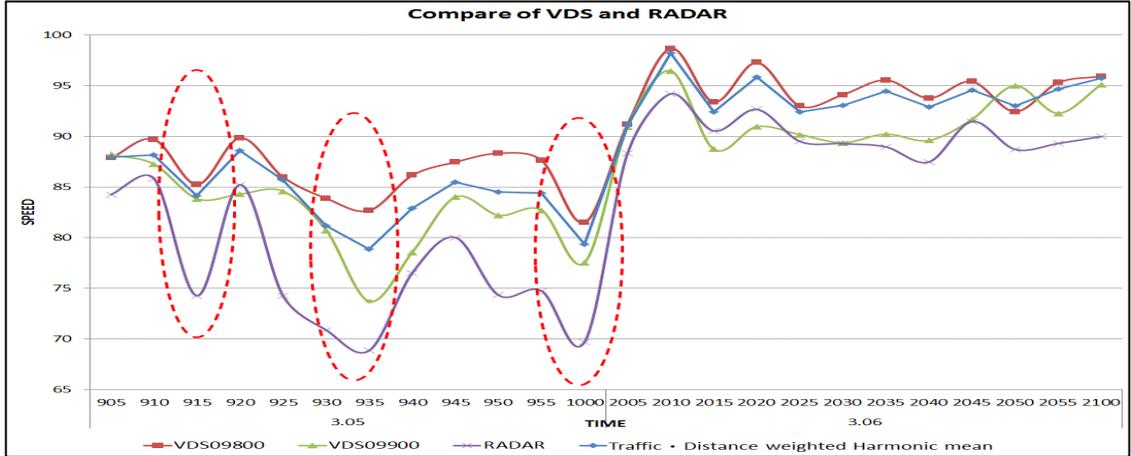
VDS09800 및 VDS09900 검지기 설치 지점의 산술평균, 조화평균, 교통량-거리가중 조화평균을 살펴보면 정체상황과 소통원활 상황 모두 값의 차이가 근소하게 나타나고 있다. <Fig. 5>은 VDS09800 검지기를 이용하여 산출한 SMS 값을 보여주고 있다. 이는 시뮬레이션 결과와 마찬가지로 개별차량의 속도자료를 사용하였을 때보다 30초단위의 속도 산술평균 자료를 이용하였을 때 산출된 SMS 값들의 차이가 적어지는 현상과 일치하였다.

산술평균과 조화평균을 살펴보면 이론적으로 산술평균이 조화평균보다 항상 높아야 하나 <Fig. 5>에서 제시된바와 같이 조화평균이 더 높은 값을 나타내는 경우가 발생하고 있다. 하지만 교통량 가중 조화평균의 경우 일정하게 산술평균보다 낮게 나타나고 있음을 확인하였다.

앞서 시뮬레이션을 통해 분석된 Edie 방법의 결과와 유사한 VDS09800 및 VDS09900 검지기의 교통량 가중 조화평균 자료와 차량제적정보를 이용한 레이더검지기의 SMS, 두 검지기의 교통량-거리가중 조화평균 방법을 <Table 6>과 <Table 7>에서 비교하였다. 정체상황이 발생하는 3월 5일 09시~10시 사이의 경우 레이더검지기를 이용한 공간평균속도와 각 지점의 교통량 가중 조화평균의 차이가 크게 나타나는 반면 3월 6일 20시~21시의 소통원활 상태에서는 비교적 낮게 나타났다.



<Fig. 5> Compare of Space Mean Speed use VDS09800 data



<Fig. 6> Compare Harmonic Mean Speed and Space Mean Speed

<Table 6> Compare of Space Mean Speed by VDS and RADAR at march 5 (km/h)

Date	Time	VDS09800 Traffic weighted Harmonic mean	VDS09900 Traffic weighted Harmonic mean	Two VDS Traffic-Distance weighted Harmonic mean	RADAR
3.05	9:05	87.87	88.20	84.26	87.94
	9:10	89.70	87.25	85.82	88.17
	9:15	85.24	83.83	74.25	84.14
	9:20	89.85	84.31	85.23	88.60
	9:25	85.96	84.58	74.21	85.68
	9:30	83.87	80.71	70.85	81.17
	9:35	82.67	73.70	68.85	78.87
	9:40	86.16	78.56	76.51	82.89
	9:45	87.46	84.00	80.01	85.50
	9:50	88.33	82.20	74.31	84.52
	9:55	87.64	82.70	74.73	84.42
10:00	81.48	77.53	69.68	79.34	

<Table 6>에서 첫 번째 열은 VDS09800 검지기의 차로 별 30초 단위 TMS 값 10개를 이용하여 차로별 교통량기중 조화평균하여 5분 단위 SMS를 산출한 것이다. 두 번째 열은 VDS09900 검지기의 30초 단위 TMS를 이용한 결과이다. 세 번째 열은 두 개의 검지기의 교통량과 레이더검지기까지의 거리를 이용한 교통량-거리기중 조화평균이다.

또한 <Fig. 6>과 같이 정체상황에서 VDS 지점속도가 낮아질 때 차량들의 공간평균속도는 더욱 심하게 떨어지는 모습이 분석되었다. 이는 차량의 속도가 낮아지면서 레이더 분석공간에서 차선변경과 브레이크 등으로 지점검지기로부터 수집할 수 없는 주행상황이 나타나는 것으로 판단된다.

<Table 7> Compare of Space Mean Speed by VDS and RADAR at march 6 (km/h)

Date	Time	VDS09800 Traffic weighted Harmonic mean	VDS09900 Traffic weighted Harmonic mean	Two VDS Traffic-Distance weighted Harmonic mean	RADAR
3.06	20:05	91.18	90.92	88.34	91.12
	20:10	98.68	96.47	94.20	98.21
	20:15	93.39	88.74	90.54	92.44
	20:20	97.29	90.96	92.67	95.85
	20:25	92.99	90.18	89.51	92.42
	20:30	94.11	89.38	89.28	93.05
	20:35	95.56	90.23	88.96	94.48
	20:40	93.77	89.60	87.47	92.91
	20:45	95.42	91.68	91.46	94.59
	20:50	92.45	95.01	88.72	92.99
	20:55	95.30	92.28	89.30	94.66
	21:00	95.93	95.11	89.98	95.75

#### IV. 결론 및 향후 연구과제

레이더검지기에서 수집 가능한 차량의 궤적정보는 교통류 이론에서 사용되는 변수에 가까운 밀도, 교통류율, 공간평균속도를 산출할 수 있는 중요한 자료이다. 따라서 본 연구는 레이더검지기 시스템으로 수집된 차량의 궤적정보를 이용하여 교통 특성변수인 공간평균속도를 산출하고 고속도로 VDS 자료를 이용한 결과와 비교를 통한 VDS 속도 자료의 개선방향을 검토하고자 하였다.

그에 앞서 개별차량 궤적정보와 지점속도 산출이 가능한 미시교통시뮬레이션인 VISSIM을 이용하여

공간평균속도를 산출방법론을 비교하였다. 비교 결과 개별차량의 속도자료를 이용한 조화평균과 교통량-거리가중 조화평균이 가장 근사하게 분석되었으며 30초 단위로 속도산출 시에는 교통량-거리가중 조화평균이 가장 유사하였다.

이러한 결과를 바탕으로 중부고속도로에 레이더 검지기를 설치하여 자료를 분석하였다. 분석결과 시뮬레이션 결과와 유사하게 차량의 간격의 좁은 혼잡상황에서는 고속도로 VDS 자료와 레이더검지기 간의 공간평균속도 차이가 발생하는 것을 확인하였다. 개별차량의 자료를 이용하여 공간평균속도를 산출한다면 좀 더 정확한 정보를 산출할 수 있으며 산술평균이나 조화평균보다 교통량-거리가중 조화평균을 이용하여 지점데이터의 속도 산출시 보다 정확한 정보 제공이 가능할 것이다.

본 연구를 바탕으로 보다 정확한 공간평균속도를 산출할 수 있다면 고속도로의 소통상황 판정 및 통행시간 예측에 도움일 될 것으로 판단된다.

현재 레이더검지기의 교통정보 제공 측면에서의 공간평균속도가 하나의 대안이 될 수 있을 것으로 판단되며 추후 차량과 통신이 발전함에 따라 다양한 방식의 차량궤적 정보를 이용한 교통변수 산출이 가능할 것으로 기대된다.

## REFERENCES

- [1] Do C.(1989), Principle of Transportation Engineering, Cheongmoongak, pp.57-58.
- [2] May A. D.(1990), Traffic Flow Fundamentals, Prentice Hall, pp.127-130.
- [3] Roess R. P., Prassas E. S. and Mcshane R. W.(2004), Traffic Engineering, Pearson, pp.110-111.
- [4] Bastian J. S., Christopher M. C., Daniel J. F., Joseph E. H. and Robert S. F.(2010), Manual Of Transportation Engineering Studies, *Institute of Transportation Engineers*, pp.77-78.
- [5] Wardrop J. G. and Charlesworth G.(1954), "A method for Estimating Speed and Flow of Traffic from a Moving vehicle," *Institute of Civil Engineers Proceedings*, London, Part II, no. 2, pp.158-171.
- [6] Yule Undy G. and Kendall M. G.(1950), "An Introduction to the Theory of Statistics," *The Economic Journal*, vol. 60, no. 240, pp.788-790.
- [7] Korea Expressway Corporation(2006), Improvement of Traffic Data Collection, Analysis and Utilization form Vehicle Detection System on Freeway, pp.294-301.
- [8] Edie L. C.(1963), Discussion of Traffic Stream Measurements and Definitions, Port of New York.
- [9] Park Y. and Kim J.(1997), "A Comparative Study of Time Mean Speed and Space Mean Speed," *Bull. I.I.S.*, vol. 20, pp.353-361.
- [10] Lim S. and Kim Y.(2001), "The Estimation of Space Mean Speed and Link Travel Time Using Catastrophe Model," *Proceedings of the KOR-KST Conference*, vol. 2001, no. 3, pp.209-214.
- [11] Lee S., Lee S., Oh Y. and Song S.(2003), "Speed Estimation by Applying Volume Weighted Average Methods in COSMOS," *The Journal of Korean Institute of Transport System*, vol. 2, no. 1, pp.63-73.
- [12] Sin S., Park D., Kim H., Back S., Nam S. and Lee Y.(2006), "Estimating Spot and Space Mean Speeds form Loop Detector Data," *Proceedings of the KOR-KST Conference*, vol. 52, pp.571-578.
- [13] Kim M. and Kim H.(2011), "A comparative study of space-mean-speed and time-mean-speed at interrupted flow," *Proceedings of The Journal of Korean Institute of Transport System Conference*, vol. 2011, no. 2, pp.113-116.

저자소개



한 음 (Han, Eum)

2012년 2월 : 아주대학교 환경건설교통공학부 교통시스템공학 학사  
2012년 2월 ~ 현재 : 아주대학교 일반대학원 건설교통공학 석박사통합과정  
e-mail : hano3106@ajou.ac.kr



김 상 범 (Kim, Sang Beom)

2006년 8월 : 한양대학교 대학원 도시공학 박사수료  
1993년 2월 : 한양대학교 대학원 도시공학 석사  
1989년 2월 : 한양대학교 공과대학 도시공학과 학사  
2004년 3월 ~ 현재 : 서울특별시 도시교통본부 교통운영과  
(보행자전거과, 교통정보센터, 교통시설과)  
1994년 2월 ~ 2004년 3월 : 서울지방경찰청 교통관리과(교통개선기획실)  
e-mail : ksb66@seoul.go.kr



노 정 현 (Rho, Jeong Hyun)

1988년 : University of Illinois at U-C 지역계획 박사  
1984년 : 고려대학교 대학원 산업공학과 석사  
1976년 : 한양대학교 공과대학 도시공학과 학사  
1988년 ~ 현재 : 한양대학교 도시공학과/도시대학원 교수  
e-mail : jhrho@hanyang.ac.kr



윤 일 수 (Yun, Ilsoo)

2006년 : University of Virginia 교통공학 박사  
1995년 : 한양대학교 대학원 도시공학 석사  
1993년 : 한양대학교 공과대학 도시공학 학사  
현재 : 아주대학교 교통시스템공학과 부교수  
e-mail : ilsooyun@ajou.ac.kr