

# 국도 단속류 구간에서 DSRC를 활용하여 수집한 개별차량 통행시간의 최적 수집 간격 결정 연구

박현석<sup>1</sup> · 김영찬<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>한국건설기술연구원 ICT융합연구소, <sup>2</sup>서울시립대학교 교통공학과

## Determination of the Optimal Aggregation Interval Size of Individual Vehicle Travel Times Collected by DSRC in Interrupted Traffic Flow Section of National Highway

PARK, Hyunsuk<sup>1</sup> · KIM, Youngchan<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>ICT Convergence and Integration Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Gyeonggi 10223, Korea

<sup>2</sup>Department of Transportation Engineering, The University of Seoul, Seoul 02504, Korea

\*Corresponding author: yckimm@uos.ac.kr

### Abstract

The purpose of this study is to determine the optimal aggregation interval to increase the reliability when estimating representative value of individual vehicle travel time collected by DSRC equipment in interrupted traffic flow section in National Highway. For this, we use the bimodal asymmetric distribution data, which is the distribution of the most representative individual vehicle travel time collected in the interrupted traffic flow section, and estimate the MSE(Mean Square Error) according to the variation of the aggregation interval of individual vehicle travel time, and determine the optimal aggregation interval. The estimation equation for the MSE estimation utilizes the maximum estimation error equation of t-distribution that can be used in asymmetric distribution. For the analysis of optimal aggregation interval size, the aggregation interval size of individual vehicle travel time was only 3 minutes or more apart from the aggregation interval size of 1-2 minutes in which the collection of data was normally lost due to the signal stop in the interrupted traffic flow section. The aggregation interval that causes the missing part in the data collection causes another error in the missing data correction process and is excluded. As a result, the optimal aggregation interval for the minimum MSE was 3~5 minutes. Considering both the efficiency of the system operation and the improvement of the reliability of calculation of the travel time, it is effective to operate the basic aggregation interval as 5 minutes as usual and to reduce the aggregation interval to 3 minutes in case of congestion.

**Keywords:** DSRC, estimation of the travel time, interrupted traffic flow section, ITS, optimal aggregation interval size of data

### 초록

연구는 국도 단속류 구간에서 DSRC로 수집한 개별차량 통행시간의 대푯값 산정 시 신뢰도를 높이는 최적 수집 간격을 결정하는데 목적이 있다. 이를 위하여, 단속류 구간에서 수집되는 가장 대표적인 개별차량 통행시간의 분포인 양봉형태의 비대칭 분포를 따르는 수집데이터를

J. Korean Soc. Transp.  
Vol.35, No.1, pp.63-78, February 2017  
<https://doi.org/10.7470/jkst.2017.35.1.063>  
pISSN : 1229-1366  
eISSN : 2234-4217

Received: 6 October 2016

Revised: 8 December 2016

Accepted: 28 February 2017

Copyright ©  
Korean Society of Transportation

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

활용하고 개별차량 통행시간의 수집 간격 크기를 변화시켜 MSE(Mean Square Error)를 추정함으로써 오차가 최소화 되는 최적 수집 간격 크기를 결정한다. MSE 산정을 위한 편의 추정식은 비대칭 분포에서도 활용이 가능한 t-분포의 최대 추정 오차식을 활용하였다. 최적 수집 간격 분석을 위한 데이터 수집 간격은 단속류 구간에서 신호정지로 데이터 수집이 정상적으로 결측 되는 1-2분 수집 간격은 제외하고, 3분 이상의 수집 간격만을 대상으로 하였다. 데이터 수집 시 결측을 발생시키는 수집 간격은 결측 데이터 보정처리 과정에서 또 다른 오차를 유발하게 되어 배제하였다. 분석결과 MSE가 최소가 되는 최적 수집 간격은 3-5분이며, 통행시간 증가 시 최적 수집 간격은 3분으로 짧아짐을 확인하였다. 시스템 운영의 효율성과 통행시간 대푯값 산정의 신뢰도 향상을 모두 고려할 때 기본 수집 간격은 기존과 같이 5분으로 운영하고, 정체 시는 3분으로 수집 간격을 줄여 운영하는 것이 효과적일 것으로 사료된다.

**주요어:** DSRC, 통행시간 추정, 단속 교통류 구간, ITS, 통행시간 최적 수집 간격

## 서론

수도권 국도 ITS(Intelligent Transport Systems)는 교통혼잡 완화를 목적으로 1997년 국도 3호선 성남-이천 약 30km구간 시범사업을 시작으로 현재 수도권 국도의 약 65%인 827.1km에 설치되어 운영 중이다(Park and Kim, 2014).

초창기 수도권 국도 ITS는 영상식 차량검지기로 지점 교통정보만을 수집하여 구간 교통정보로 가공·제공하였다. 지점 교통정보를 이용자에게 제공하기 위해 구간정보를 가공할 때 발생하는 근본적인 오차는 교통정보 신뢰도의 한계를 가져왔다. 2000년부터는 직접 구간 교통정보를 실시간 수집하는 구간검지기를 설치하여 구간 교통정보 신뢰도 개선을 시도한다. AVI(Automatic Vehicle Identification) 구간검지기를 약 5-10km 간격으로 단차로 또는 전차로에 설치하여 지점검지기 데이터에 융합하는 방식으로 활용한 것이다.

IT 기술의 발전과 더불어 고속도로의 자동 요금징수를 위해 5.8GHz DSRC(Dedicated Short Range Communication)가 2000년부터 도입되고 2007년 이후 전국으로 확대되자 이용자 증가로 OBU(On-Board Unit) 장착차량이 급증하였다. 수도권 고속도로의 우회로인 국도에도 실시간 교통정보 수집을 위한 충분한 OBU 수집 대수가 확보되어 2009년에 DSRC를 활용한 국도 ITS 시범사업이 국도77호선 고양시계~자유IC 27.6km 구간을 대상으로 시작 되었다(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, 2009).

DSRC는 기존 AVI 구간검지기 보다 장비 운영 측면에서 안정성이 입증되었고 비용면에서도 저렴하여 2010년 이후부터는 기존 수집 장비 노후 시 DSRC로 교체하는 등 확대 활용된다. 2017년 현재는 국도 1호선 외 10개 노선 약 425km 구간에 약 1-5km 간격으로 설치하여 ITS 교통정보 생성의 주요 수집 시스템으로 운영되고 있다(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, 2016).

DSRC로 수집한 개별차량 데이터는 교통정보 이용자에게 제공하기 위해서는 대푯값으로 산정하여 제공해야 하는데, 데이터의 수집 간격에 따라 대푯값의 신뢰도가 달라지므로 오차가 최소가 되는 수집 간격 결정이 중요하다. 국도 단속류 구간의 개별차량 통행시간은 신호 정지 유무에 의하여 대부분 비정규분포를 따르고 있으나, 대푯값 산정을 위한 통행시간 수집 간격은 단속류 구간에 적용 가능한 최적 수집 간격 결정 연구 부재로 통행시간이 정규분포를 따르는 연속류 구간 개별차량 통행시간의 최적 수집 간격인 5분을 고정 활용하고 있어 교통정보의 신뢰도를 저하시키고 있다. 단속류 구간은 비정체시 신호정지로 차량이 반복적으로 도착하지 않고 정체 시는 이러한 반복 결측 패턴이 소멸되는 등 통행시간 도착패턴이 연속류 구간과 상이하여 최적 수집 간격도 달라져야 한다. 통행시간이 양봉형태로 비정규분포를 따르는 단속류 구간의 최적 수집 간격을 정체유무 조건에 따라 제시하여 DSRC를 활용하여 수집한 단속류 구간 통행시간 대푯값의 신뢰도 향상을 모색한다.

## 국도 DSRC 구간 및 교통류 특성

본 장에서는 수도권 일반국도의 DSRC 구간 현황과 DSRC를 활용하여 수집한 국도 단속류 구간의 통행시간 데이터 특성을 분석하여 통행시간 최적 수집 간격 결정의 고려사항을 고찰한다.

### 1. 수도권 일반국도 DSRC 구간 현황

수도권 일반국도 ITS 구간 중 DSRC로 교통정보를 수집하는 구간은 Table 1과 같이 국도 1호선 외 10개 노선 구간 총 425km 구간이며 구간 내 DSRC 수량은 219개, 신호교차로 수는 437개이다. 평균 DSRC 구간 길이는 2km이며 호선별로 산정하면 약 1-6km 범위이다. 이중 연속류 구간인 국도 46, 77호선을 제외하면 평균 DSRC 구간 길이는 약 1-2km 범위로 축소된다. DSRC 구간 내 신호교차로 수 현황을 분석해 보면 평균 신호교차로 수는 2개이나, 수도권 주요 축으로 정체가 가장 빈번한 국도 1, 3호선의 DSRC 구간 내 신호교차로 수는 평균 4개 존재하는 것으로 분석되었다.

Table 1. DSRC section of national highway in metropolitan area

Line	Section Length (km)	Number of DSRC	Number of intersections	DSRC Section Length(km)	Number of intersections in DSRC Section
1	35	24	81	1.5	4
3	62	30	102	2.1	4
17	30	14	13	2.3	1
37	2	2	5	2.0	5
38	96	53	106	1.9	2
39	48	23	22	2.2	1
42	51	27	54	2.0	2
43	35	23	35	1.6	2
45	15	9	19	1.9	2
46	21	8	0	3.0	0
77	29	6	0	5.8	0
Sum or Average	425	219	437	2.0	2

### 2. 구간 길이에 따른 통행시간 분포 변화

구간 길이에 따른 통행시간 분포 변화를 파악하기 위해 수도권 일반국도에서 DSRC로 교통정보를 수집하는 구간을 대상으로 구간연장 및 신호개수 변화에 따라 국도 단속류에 존재하는 다양한 유형 구간을 선정한다. Table 2, Table 3과 같이 구간연장과 신호교차로수의 6가지 조합으로 구간을 분류하였다.

Table 2. Selection of test sections by type

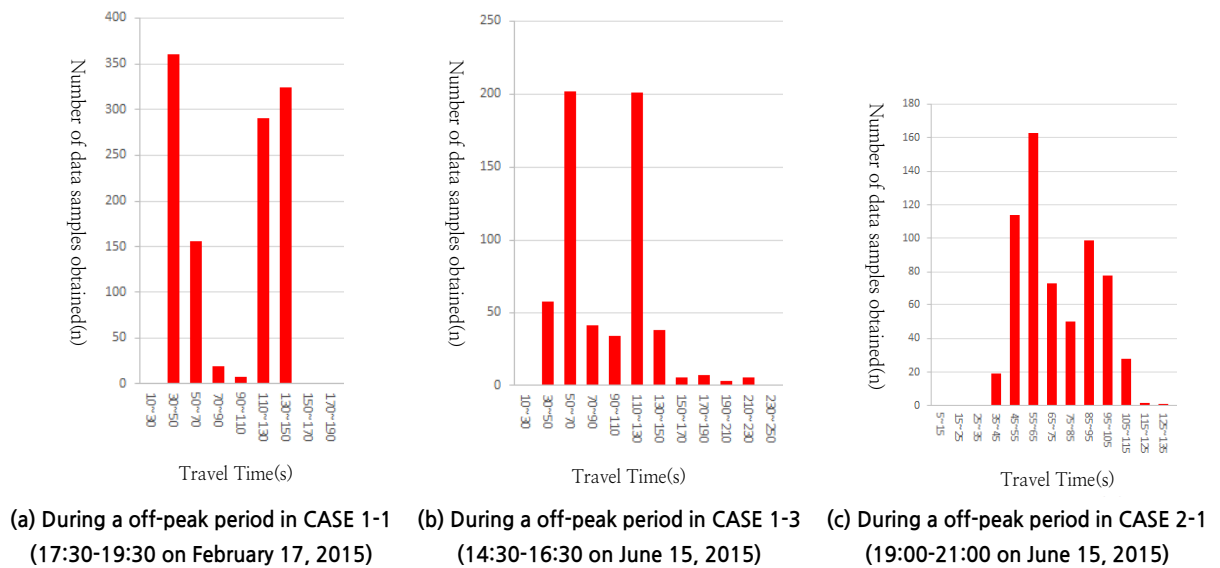
Length(km)	Intersection(n)	
	1	≥3
≤ 1	CASE1-1 (Section ID:T010020)	CASE1-3 (Section ID:T030070)
≤ 2	CASE2-1 (Section ID:T030130)	CASE2-3 (Section ID:T030110)
> 2	CASE3-1 (Section ID:T430090)	CASE3-3 (Section ID:T030350)

※ A criteria for setting CASE ID : CASE (Section length) - (The number of intersection)

**Table 3.** Status of test sections

Division	Line	Section ID	Start point name (Equipment ID)	End point name (Equipment ID)	Section Length(m)	Number of interstions
CASE 1-1	1	T010020	342 Yoochon-dong, Pyeongtaek (12001RSE00202)	340 Yoochon-dong, Pyeongtaek (12001RSE00102)	872	1
CASE 1-3	3	T030070	Sadongri, Icheon City (12003DSE00402)	Amiri, Icheon City (12003DSE00502)	910	4
CASE 2-1	3	T030130	Shinhari, Icheon City (12003DSE00702)	Jinri-dong, Icheon City (12003DSE00802)	1,085	1
CASE 2-3	3	T030110	544 Shinhari, Icheon City (12003DSS00602)	631 Shinhari, Icheon City (12003DSE00702)	1,436	8
CASE 3-1	43	T430090	Neungwonri, Yongin City (12043DSE00502)	Donglimri, Yongin City (12043DSE00602)	2,121	1
CASE 3-3	3	T030350	Saniri, Gwangju City (12003DSE01802)	Ssangdongri, Gwangju City (12003DSE01902)	2,232	3

구간길이가 2km 이하인 구간은 비첨두시 Figure 1과 같이 통행시간 도착분포가 2개의 봉우리(bimodal)를 갖는 비대칭 분포를 보인다. 구간길이가 늘어나면 2개 봉우리 형태는 변화하여 2km를 초과하면 단일봉(unimodal) 형태를 나타낸다. 구간길이가 짧으면 Figure 2의 (a)와 같이 하류부 교차로를 기준으로 신호정지로 대기한 높은 도착통행시간 차량군이 도착하고 낮은 도착통행시간 차량군이 뒤를 이은 후 신호정지로 일정시간 간격으로 차량이 도착하지 않는 형태가 반복된다. 구간길이가 길어지면 (b)와 같이 신호정지에 의한 단속영향이 상쇄되어 반복되는 도착과 결측의 일정 시간간격이 와해된다.



**Figure 1.** Distribution of travel time according to section length(during a off-peak period)

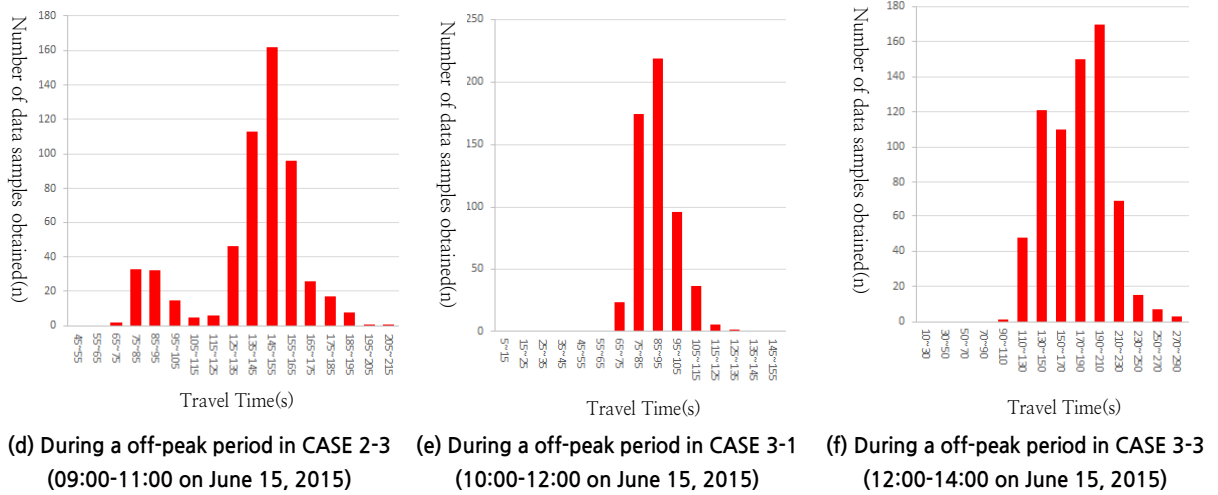
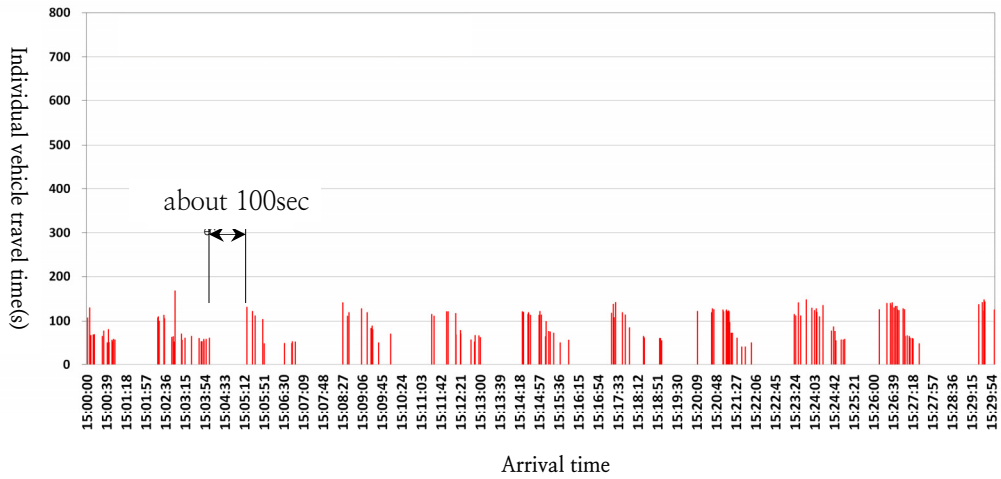
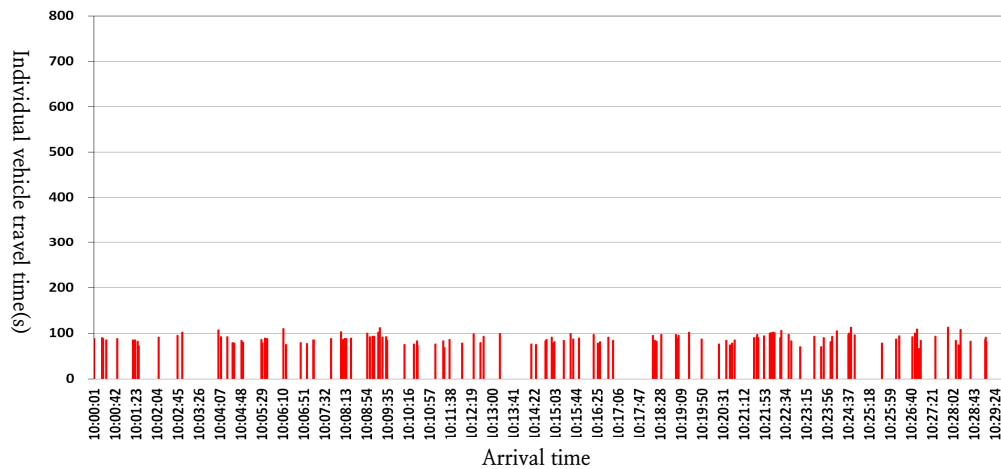


Figure 1. Distribution of travel time according to section length(during a off-peak period) (Continued)



(a) During a off-peak period in CASE 1-3(15:00-15:30 on July 24, 2015)



(b) During a off-peak period in CASE 3-1(10:00-10:30 on June 15, 2015)

Figure 2. Distribution of individual vehicle arrival times according to section length(during a off-peak period)

## 2. 정체 유무에 따른 통행시간 분포 변화

비첨두시 구간길이가 짧을 때 통행시간은 양봉형태의 비대칭 분포를 따르는 것으로 분석되었으나, 첨두시는 Figure 3과 같이 통행시간 분포가 도로여건 변화와 상관없이 단일봉 형태로 가까워진다.

단속류의 통행시간 분포가 교통상황에 따라 변화하는 특성을 고려할 때 대푯값 산정을 위한 데이터 최적 수집 간격도 교통류 상황에 따라 상이해야 할 것이다.

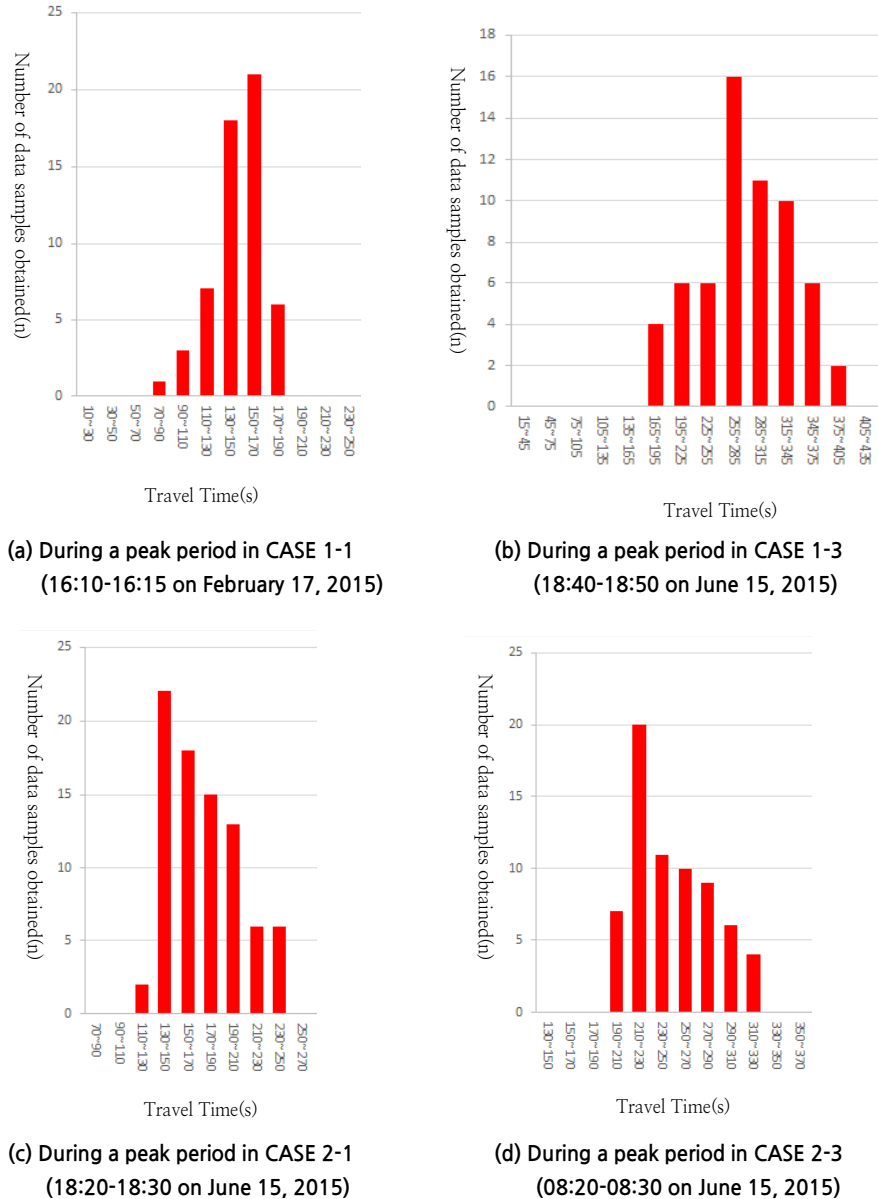


Figure 3. Distribution of travel time according to congestion(during a peak period, 2km or less)

## 기존 연구 고찰

### 1. 수집 간격에 따른 오차 개념(Kim and Kim, 2013)

모수를  $\theta$ 로 하고,  $\theta$ 의 추정량을  $\hat{\theta}$ 이라 하면 추정량의 기대치를 취하면 모수에 일치하는 추정량을 불편추정량(unbiased estimator) 또는 불편추정치(unbiased estimate)라 하여 Equation 1의 관계가 성립한다.

$$E(\hat{\theta}) = \theta \quad (1)$$

현장 DSRC 수집데이터의 추정량( $\hat{\theta}$ )은 모평균( $\theta$ )과 유사할 수 있지만, 일반적으로 표본추출오차 및 잔여 이상치 등에 기인하여 Equation 1이 성립하지 않아 편향의 추정량(biased estimator)이 된다.

$\theta$ 의 불편추정량  $\hat{\theta}_1, \hat{\theta}_2$ 가 있다면, 2개의 추정량 중 좀 더 유효한 추정량 산정을 위한 척도로 분산을 고려할 수 있다.  $\hat{\theta}$ 의 분산이 작을수록  $\theta$ 에 밀집되어 분포하고 있기 때문에 분산이 작을수록 좋은 추정량으로 볼 수 있다. 분산이 최소가 되는 불편추정량을 최량불편추정량(best unbiased estimator) 또는 최소분산 불편추정량(minimum variance unbiased estimator)이라고 한다.

DSRC 수집데이터의 추정량과 같이 편향(Bias)을 허용하면 분산만 비교하는 것은 의미가 없게 되고, Equation 2와 같이 분산과 (편향)<sup>2</sup>를 합한 평균제곱오차(mean square error :MSE)를 활용하여 유효성을 평가하여야 한다. 즉, DSRC 데이터의 수집 간격 별 추정량으로 각각 MSE를 산정·비교하여 값을 가장 작게 하는 수집 간격을 최적의 수집 간격으로 판정할 수 있다.

$$MSE[\hat{\theta}] = E[\hat{\theta} - \theta]^2 = E[\{\hat{\theta} - E(\hat{\theta})\}^2] + \{E(\hat{\theta}) - \theta\}^2 = V[\hat{\theta}] + [B(\hat{\theta})]^2 \quad (2)$$

MSE 식에 불편추정량을 적용하면 편향이 0이 되어 분산이 최소가 되는 불편추정량 산정식으로 정리된다.

### 2. 통행시간 최적 수집 간격 결정 연구

Park(2000) 통행시간 산정 및 예측을 위한 적정 수집 간격 설정 방법론으로 MSE(Mean Square Error)가 최소가 되는 수집 간격으로 분산과 편향의 제곱 합으로 정의하였다. 미국 휴스턴 도시고속도로(US-290)의 구간 AVI 수집 데이터를 활용하여 Gaussian kernel 기법을 이용하여 수집 간격별 MSE를 산정한 결과 최적 수집 간격이 5분으로 도출되었으며, 정체 정도가 증가하면 최적 수집 간격도 변화할 수도 있음을 시사하였다.

Lim(2005)은 지방부 간선도로 중 통행시간이 정규분포를 따르는 구간을 대상으로 AVI 구간 데이터를 활용하여 최적 수집 간격을 제시하였다. 수집 간격별로 MSE를 산정하기 위해 적률법, 최우추정법, F검정 기법을 사용한 결과 적률법과 최우추정법은 최적 수집 간격이 5분으로 도출되었다. F검정 기법은 시간대별로 1분, 5분, 30분으로 변동이 심하게 나타나, 적률법 및 최우추정법에 의한 최적 수집 간격이 좀 더 설명력이 뛰어난 것으로 분석하였다.

Choi(2012)은 강원권 국도 ITS 구간 중 통행시간이 정규분포를 따르는 구간을 대상으로 AVI 구간점지기 일일 자료를 활용하여 적률법으로 MSE가 최소가 되는 일일 고정 수집 간격을 산정하였다. 일교통량이 적을수록 도시부에 비해 지방부 도로가 상대적으로 긴 수집 간격을 가지는 것으로 분석되었다. 다만, 일교통량 5,000대 이하 구간에 대하여는 통계적인 기법의 적용상 어려움으로 분석에서 제외하였다.

이외에도 구간점지기 아닌 지점점지기 구간의 최적 수집 간격 연구도 고속도로를 대상으로 점 추정 기법(CVMSE), F-검정기법 등을 활용하여 MSE가 최소가 되는 수집 간격을 최적 수집 간격으로 산정하는 연구가 수행하였다(Gajewski et al., 2001; Yoo et al., 2004).

### 3. 기존연구 한계

기존 연구들은 통행시간이 정규분포를 따르는 구간만을 대상으로 데이터 최적 수집 간격을 결정하였다. 신호정지 경험유무에 의해 통행시간 도착분포가 2개의 봉우리(bimodal) 형태의 비대칭 분포를 보이는 단속류 구간의 수집 간격으로 활용할 수 없다.

단속류 구간의 수집 간격 별 MSE를 산정하여 최소가 되는 최적 수집 간격을 결정하기 위해서는 편의 값을 추정하여야 한다. 기존 연구에서 편의의 추정을 위해 활용한 적률법 등은 통행시간이 정규분포를 따르는 구간에만 적용가능하다. 통행시간이 비정규분포를 따르는 구간에 적용 가능한 편의의 추정 식 결정이 필요하다.

국도 ITS 센터의 데이터 수집 간격은 기존 연구(Prak, 2000; Lim, 2005) 결과들과 동일하게 일중 5분으로 고정 운영되고 있다. 앞장의 내용과 같이 단속류 구간이 비침두시와 침두시 통행시간 분포가 변화하는 특성을 고려한다면 신뢰도 높은 통행시간 대푯값 산정을 위한 데이터 수집 간격은 교통상황별로 상이하야 할 것이다.

### 통행시간 최적 수집 간격 결정

국도 단속류 구간에서 수집되는 개별차량 통행시간의 최적 수집 간격을 결정하기 위해 Figure 4의 국도 3호선 T030070 구간(12003DSE00402(이천시 사동리)~12003DSE00502(이천시 아미리), 910m)을 대상으로 MSE가 최소가 되는 최적 수집 간격을 결정한다. MSE 산정을 위해 통행시간이 비정규분포를 따르는 구간에 적용 가능한 편의의 추정식을 우선 결정한다.

T030070 구간은 Figure 1에 보이는 바와 같이 신호단속 영향으로 통행시간이 극명하게 양봉형태의 비대칭 분포를 따르는 구간길이가 1km 이하인 전형적인 일반국도 단속류 구간이며, 반복 정체를 가지고 있어 교통류 특성에 따른 최적 수집 간격 변화 분석이 가능하다. 또한 구간 내 신호교차로 수가 4개로 Table 1에서와 같이 수도권 주요 축으로 정체가 가장 빈번한 국도 1, 3호선에서 가장 많은 교차로 개수 분포를 보이는 대표적인 구간이다.

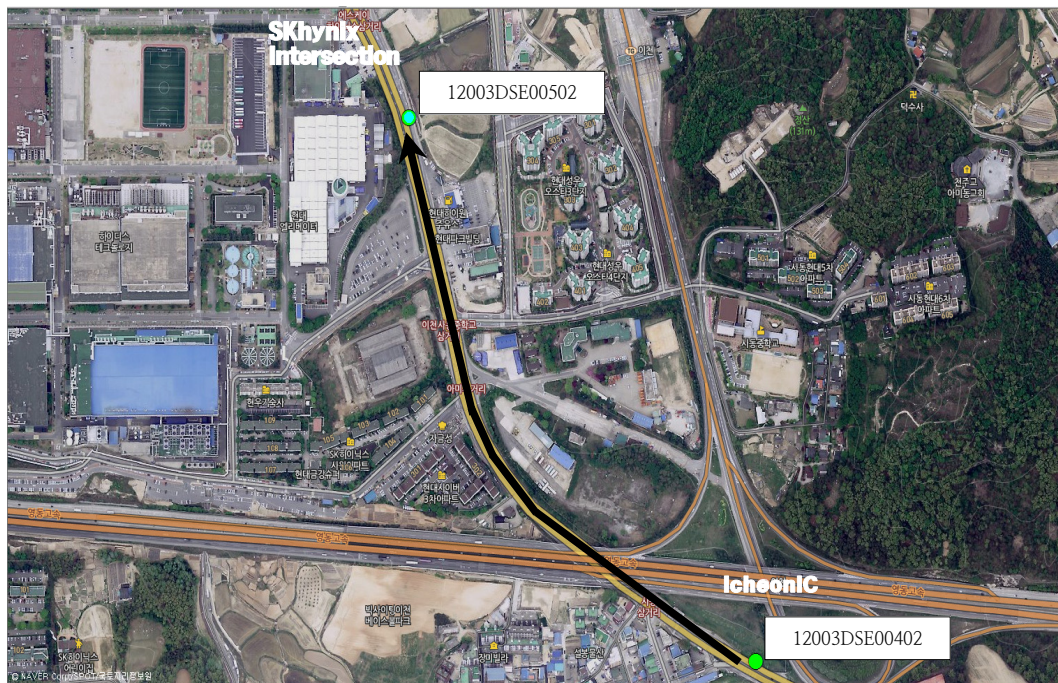


Figure 4. Status of target section



### 1. 평균제곱오차 편의 추정식 결정

통행시간 최적 수집 간격은 앞장의 Equation 2와 같이 분산과 (편의)<sup>2</sup>를 합한 평균제곱오차(mean square error :MSE)를 활용하여 유효성을 평가할 수 있다. 기존 연구들이 MSE 산정을 위해 활용한 편의 추정식은 통행시간이 정규분포를 따르는 구간에 적용가능 한 적률법 등이므로 통행시간이 양봉형태의 비대칭 분포를 따르는 단속류 구간에 적용 가능한 편의 추정식을 우선 결정해야 한다.

모분산을 모르고 비정규분포를 보이는 통행시간이 근사적으로 t-분포를 따르는 특성(Yoo and Oh, 1999)을 고려하여 t-분포의 최대 추정 오차식을 편의 추정에 활용한다. t-분포의 최대 추정 오차는 신뢰수준을 어떻게 설정하는가에 따라 값이 달라지므로 모수조사를 통해 얻은 MSE 참값을 비교하여 수집 간격 별 MSE 순위가 일치하고 상관도가 높은 신뢰수준을 결정하여 편의 점추정 식을 완성한다.

#### 1) 참값 MSE 산정

T030070의 비첨두 2시간 동안(2015년 7월 24일 13시 50분~15시 50분) DSRC 시·중점을 통과하는 차량 번호판을 조사하고 개별차량을 매칭한 통행시간으로 수집 간격 별 MSE 참값을 산정한다. MSE 산정 시 결측 기준 대수를 어떻게 정하는가에 따라 값이 달라질 수 있어 결측 기준 대수 별, 수집 간격 별 MSE 값 변화를 우선 확인한다. 결측 기준 대수는 앞장의 Equation 2와 같이 MSE가 평균과 개별차량 데이터의 편차를 기본으로 산정되는 식이므로 산출 가능한 최소 기준인 3대와 5대 미만으로 한다.

결측 기준 대수를 증가시켜(3대→5대) MSE를 산정하면 Table 4와 같이 수집 간격 별 MSE가 22-56초<sup>2</sup> 증가하였다. 연산되는 수집데이터수의 최소 기준이 3대에 5대로 증가하면서 Figure 5와 같이 분산이 24-55초<sup>2</sup>로 크게 증가하기 때문이었다. 분석결과를 근거로 MSE 산정 시 결측 기준 대수는 오차가 상대적으로 적은 3대 미만으로 결정하고, 산정한 MSE 값을 참값으로 활용한다.

**Table 4.** MSE and missing rate changes due to missing criteria and aggregation interval size

Missing Standard	MSE according to the aggregation interval size(sec <sup>2</sup> ) / Missing rate(%)						
	1min	2min	3min	4min	5min	6min	7min
Less than 3/ Aggregation interval size	480 / 38%	712 / 5%	1,055 / 0%	1,041 / 0%	962 / 0%	1,055 / 0%	1,047 / 0%
Less than 5/ Aggregation interval size	536 / 50%	740 / 17%	1,077 / 3%	1,041 / 0%	962 / 0%	1,055 / 0%	1,047 / 0%
Missing Standard	8min	9min	10min	15min	20min	25min	30min
Less than 3/ Aggregation interval size	1,086 / 0%	1,081 / 0%	1,046 / 0%	1,065 / 0%	1,077 / 0%	1,089 / 0%	1,079 / 0%
Less than 5/ Aggregation interval size	1,086 / 0%	1,081 / 0%	1,046 / 0%	1,065 / 0%	1,077 / 0%	1,089 / 0%	1,079 / 0%

※ Missing data in shadow area

#### 2) 편의 추정식 결정

DSRC로 수집한 데이터를 입력데이터로 t-분포 최대 추정 오차식에 추정량의 표준편차인 표준오차( $S/\sqrt{n}$ ) 신뢰수준(68%)과  $2S/\sqrt{n}$  신뢰수준(95%)을 대입하여 MSE를 추정하고, 참값 MSE를 Figure 6과 같이 비교한다. 신뢰도 높은 비교·분석을 위해 데이터 결측이 발생하지 않은 동일한 조건의 수집 간격을 비교 대상으로 한다.

신뢰수준을 68%로 하였을 때 참값 MSE와 추정 MSE의 증감 패턴이 상당히 유사하고, 참값과의 상관계수( $R^2$ )를 Figure 7과 같이 확인한 결과 0.98로 상관도도 상당히 높았다. 따라서, Equation 3과 같은 68% 신뢰수준의 t-분포

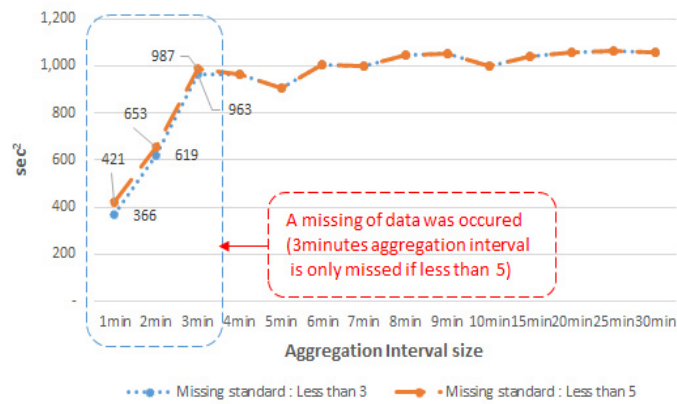


Figure 5. Variance by missing criterion

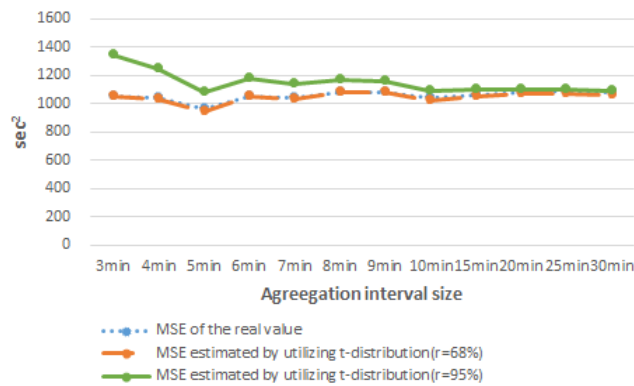


Figure 6. MSE of the real value Vs. MSE estimated by utilizing t-distribution (r=68%, 95%)

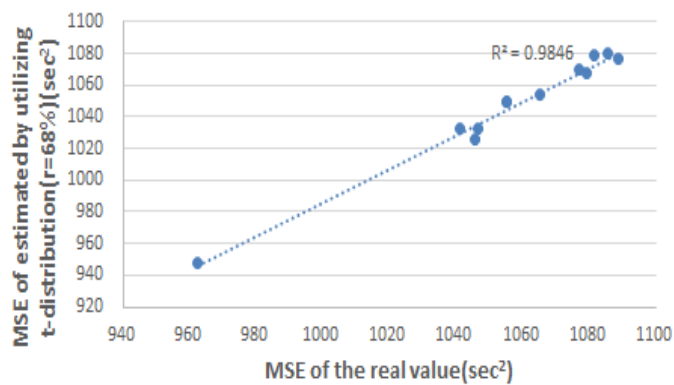


Figure 7. R<sup>2</sup> between MSE of the real value and MSE estimated using the t-distribution (r=68%)

최대 추정 오차식을 양봉형태의 비대칭 분포를 보이는 통행시간의 편의 추정식으로 결정한다.

$$\text{편의 } (\mu - \bar{X}) = |t_{0.32}(n-1) \frac{S}{\sqrt{n}}| \quad (3)$$

## 2. 최적 데이터 수집 간격 결정

### 1) 시간대별 데이터 결측 및 정체발생 현황

T030070 구간의 최적 수집 간격 결정을 위한 분석은 분석결과의 신뢰성을 고려하여 모수 조사일인 7월 24일 외에 동요일 이전 2주간 데이터를 분석대상으로 한다. 다만, 7월 10일은 주간시간에 수집대수 감소가 아닌 시스템 이상에 기인한 데이터 누락이 발생하여 7월 3일 데이터로 분석하였다.

시간대별로 데이터가 결측 없이 모두 수집되는 수집 간격은 Table 5, Table 6과 같이 8시-21시는 3분 이상 수집 간격이며, 그 외 시간은 데이터 결측이 심해져 4분에서 30분 초과 수집 간격까지 변화한다. 모든 시간대 2분 이하 수집 간격에서 발생하는 데이터 결측은 단속류 구간에서는 신호정지에 기인한 정상적인 상황이다.

**Table 5. Missing rate by aggregation interval size and time zone**

(scale: %)

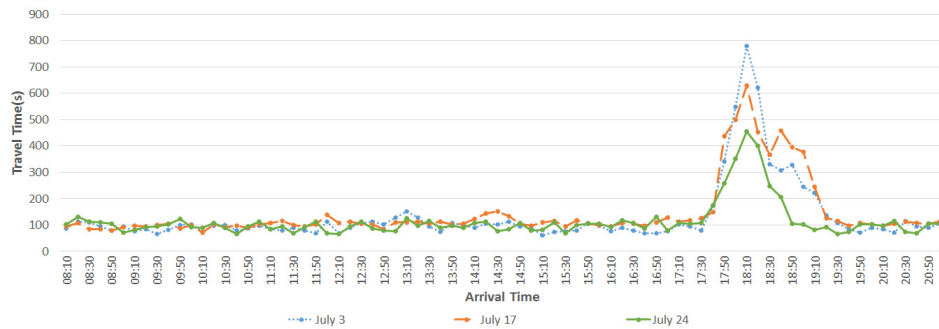
Data	Time	1min	2min	3min	4min	5min	6min	7min	8min	9min	10min	15min	20min	25min	30min
July 3	00	95	86	79	72	66	62	57	51	48	45	28	17	6	0
July 17	-01	97	92	84	72	63	53	44	30	15	12	0	0	0	0
July 24	-01	98	97	84	65	50	40	33	30	27	24	13	0	0	0
July 3	01	100	100	98	93	88	83	77	70	63	58	30	8	0	0
July 17	-02	98	97	95	93	92	90	88	85	75	63	22	3	0	0
July 24	-02	98	93	85	78	70	62	50	42	35	27	3	0	0	0
July 3	03	100	100	100	98	97	95	93	92	90	88	82	67	35	5
July 17	-04	100	100	98	95	93	92	90	85	83	83	77	65	53	37
July 24	-04	100	100	100	100	100	100	100	98	97	92	67	32	7	0
July 3	04	100	100	98	95	90	83	75	67	63	58	37	22	10	0
July 17	-05	100	100	100	98	93	85	77	67	55	43	8	0	0	0
July 24	-05	100	98	97	95	93	92	88	83	77	68	33	13	0	0
July 3	05	93	82	65	55	50	47	43	40	35	30	5	0	0	0
July 17	-06	97	83	62	47	33	22	20	20	17	15	7	0	0	0
July 24	-06	100	98	93	85	77	72	62	55	52	48	23	3	0	0
July 3	06	72	38	7	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
July 17	-07	73	42	15	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
July 24	-07	77	48	20	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
July 3	07	47	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
July 17	-08	52	17	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
July 24	-08	47	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
July 3	08	35	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
July 17	-09	47	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
July 24	-09	47	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
July 3	09	43	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
July 17	-10	57	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
July 24	-10	47	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
July 3	10	38	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
July 17	-11	48	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
July 24	-11	48	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
July 3	11	38	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
July 17	-12	47	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
July 24	-12	43	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
July 3	12	42	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
July 17	-13	47	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
July 24	-13	42	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
July 3	13	33	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
July 17	-14	32	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
July 24	-14	42	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

※ Missing data in shadow area

8-21시까지 시간대별 정체 발생 현황은 Figure 8과 같이 17-20시는 평균 통행시간이 최대 450초 이상까지 증가하는 정체가 발생하였으며, 13-15시는 간헐적으로 평균 통행시간이 150초 이상 증가하였다.

**Table 6.** Aggregation interval size with no missing data

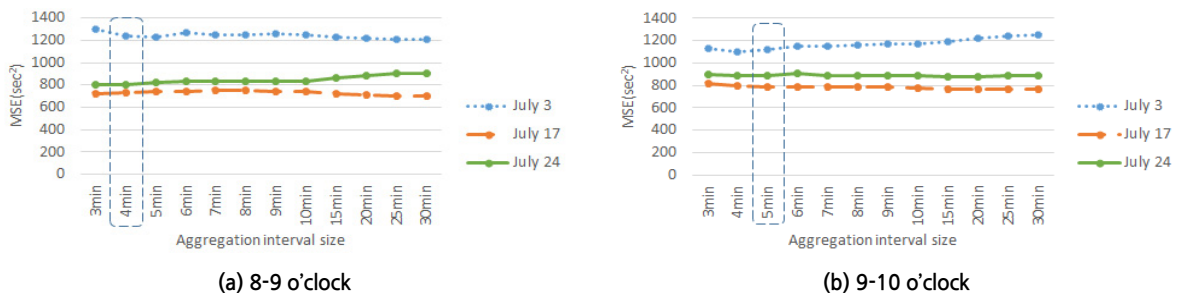
Time	00-01o'clock	01-02o'clock	02-03o'clock	03-04o'clock	04-05o'clock	05-06o'clock
aggregation interval size	more than 30minutes	more than 25minutes	more than 30minutes	excess of 30	more than 30minutes	more than 25minutes
Time	06-07o'clock	07-08o'clock	08-09o'clock	09-10o'clock	10-11o'clock	11-12o'clock
aggregation interval size	more than 5minutes	more than 5minutes	more than 3minutes	more than 3minutes	more than 3minutes	more than 3minutes
Time	12-13o'clock	13-14o'clock	14-15o'clock	15-16o'clock	16-17o'clock	17-18o'clock
aggregation interval size	more than 3minutes	more than 3minutes	more than 3minutes	more than 3minutes	more than 3minutes	more than 3minutes
Time	18-19o'clock	19-20o'clock	20-21o'clock	21-22o'clock	22-23o'clock	23-24o'clock
aggregation interval size	more than 3minutes	more than 3minutes	more than 3minutes	more than 4minutes	more than 5minutes	more than 10minutes



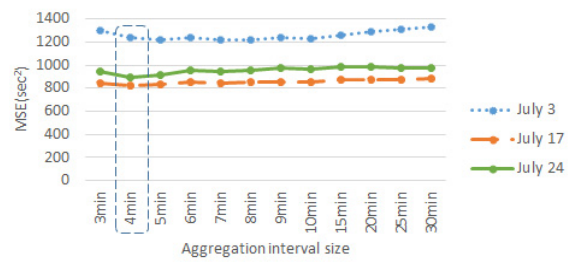
**Figure 8.** Change of travel time(8-21 o'clock)

## 2) 시간대별 최적 데이터 수집 간격 결정

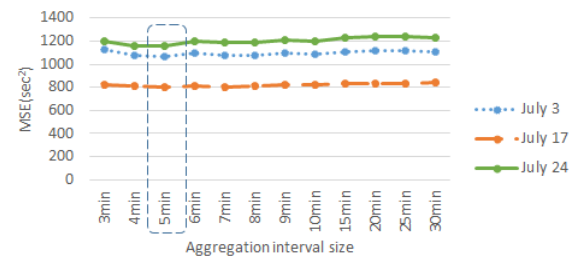
수집 간격 별 MSE의 신뢰성 있는 비교를 위해 신호정지에 의해 개별차량 수집이 정상적으로 반복 결측되는 수집 간격 1, 2분을 제외한 3분 이상 수집 간격에서 결측이 없는 8-21시를 분석 대상 시간대로 하였다. 데이터 수집 시 결측을 발생시키는 수집 간격 1, 2분은 결측 데이터 보정처리 과정에서 또 다른 오차를 유발하게 되어 배제한다. 3분 이상 수집 간격의 MSE를 산출한 결과 Figure 9, Table 7과 같이 MSE가 최소가 되는 최적 수집 간격이 3-5분으로 분석되었다. 다만, 통행시간 증가로 정체가 발생한 17-20시와 통행시간이 일부 증가한 전이시는 3분으로 최적 수집 간격이 짧아지는 것으로 분석되었다.



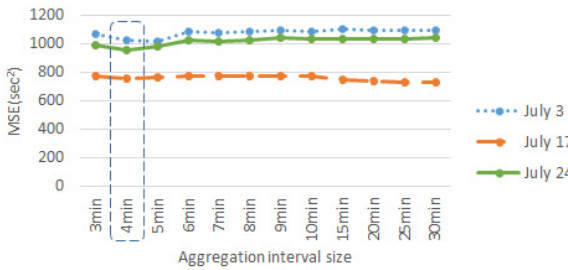
**Figure 9.** MSE according to the aggregation interval size in each time zone(8-21 o'clock)



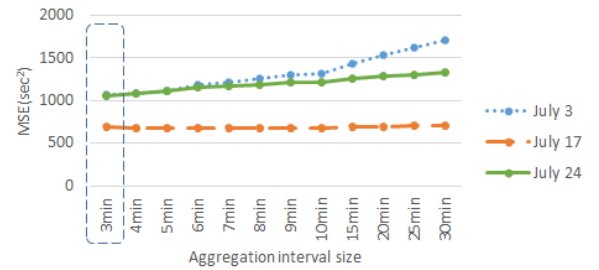
(c) 10-11 o'clock



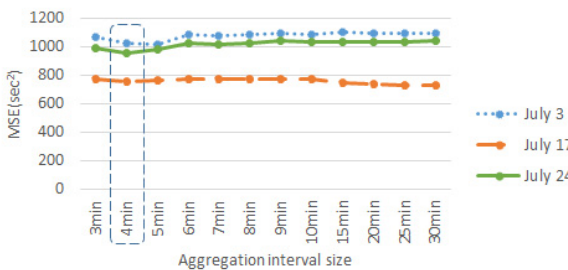
(d) 11-12 o'clock



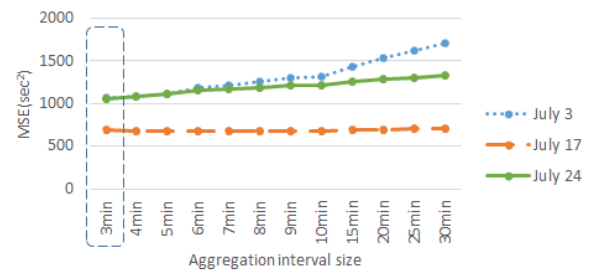
(e) 12-13 o'clock



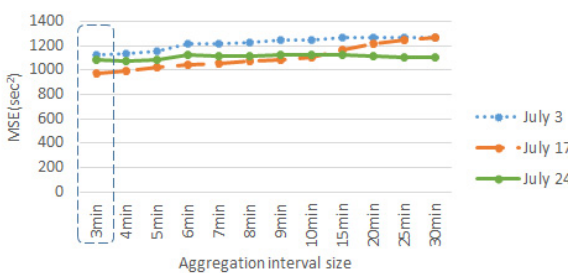
(f) 13-14 o'clock



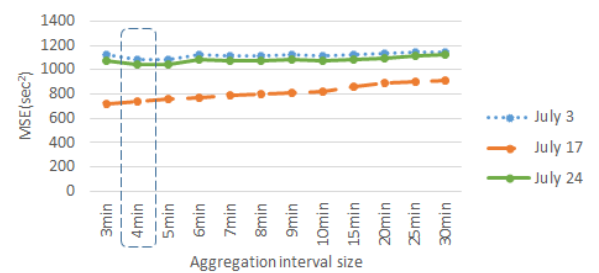
(e) 12-13 o'clock



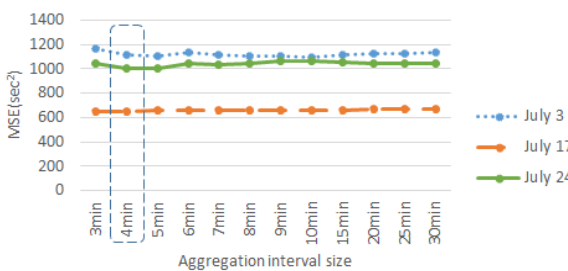
(f) 13-14 o'clock



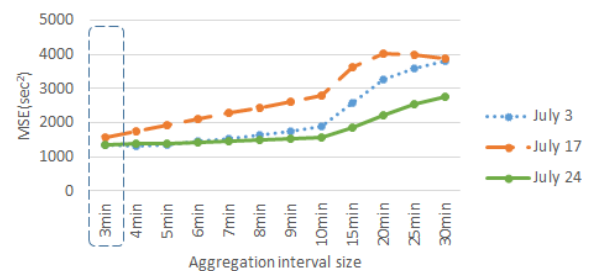
(g) 14-15 o'clock



(h) 15-16 o'clock



(i) 16-17 o'clock



(j) 17-18 o'clock

Figure 9. MSE according to the aggregation interval size in each time zone (8-21 o'clock) (Continued)

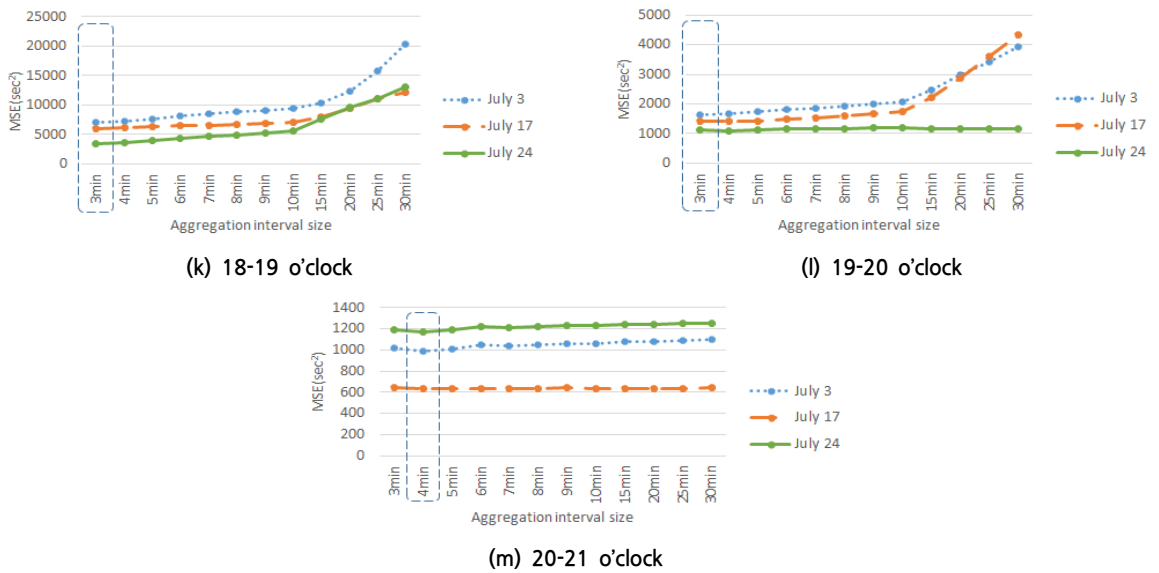


Figure 9. MSE according to the aggregation interval size in each time zone (8-21 o'clock) (Continued)

Table 7. Optimal aggregation interval size in each time zone

Time	08-09 o'clock	09-10 o'clock	10-11 o'clock	11-12 o'clock	12-13 o'clock
aggregation interval size	4minutes	5minutes	4minutes	5minutes	4minutes
Time	13-14 o'clock	14-15 o'clock	15-16 o'clock	16-17 o'clock	17-18 o'clock
aggregation interval size	3minutes	3minutes	4minutes	4minutes	3minutes
Time	18-19 o'clock	19-20 o'clock	20-21 o'clock	-	
aggregation interval size	3minutes	3minutes	4minutes	-	

※ Dark shaded area : Congestion time zone

※ Light shaded area : Conversion time zone with slightly increased travel time

통행시간이 증가하는 시간대는 Figure 10과 같이 신호정지로 일정한 시간간격 차량의 도착과 결측이 반복되는 시간간격이 와해되고 총 통행시간 내 신호정지시간 비중이 줄어들게 되어, Figure 11과 같이 통행시간 분포가 양봉형태의 비대칭 분포에서 단일봉 형태로 변화한다. 이러한 이유로, 가장 짧은 수집 간격인 3분이 MSE가 최소가 되는 최적 수집 간격으로 변화한다.

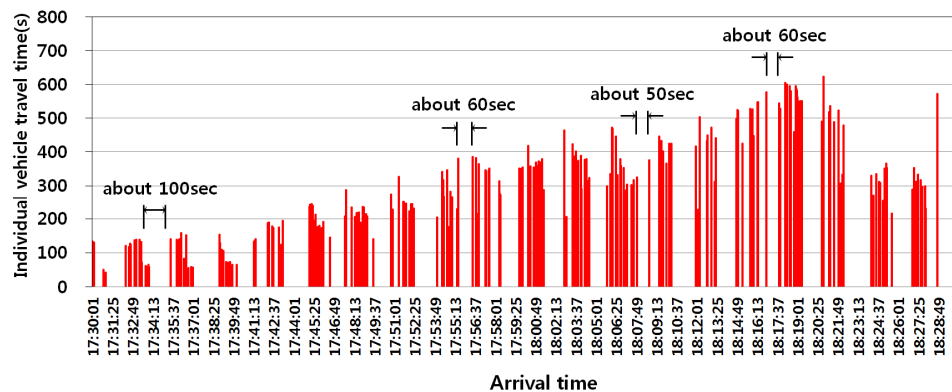


Figure 10. Distribution of arrival times of individual vehicles in congested time zone(17:30-18:30 on June 24)

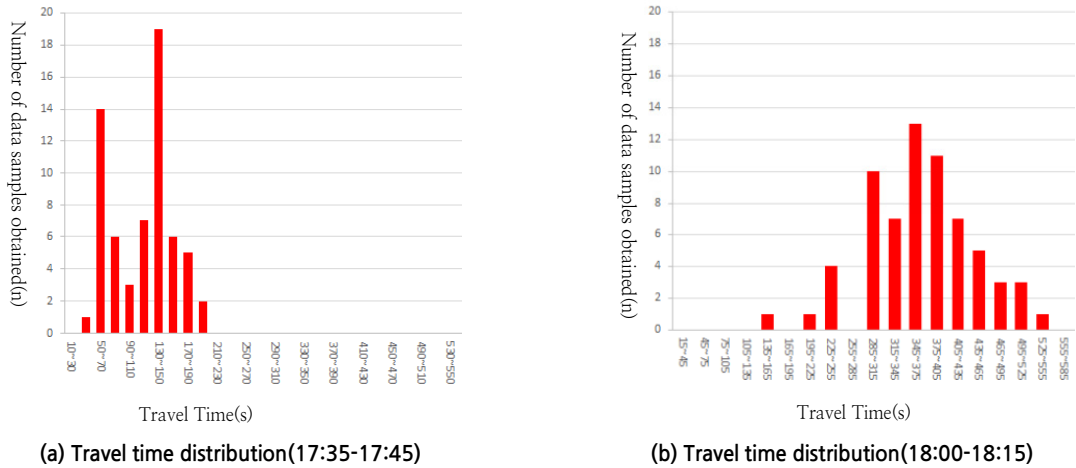


Figure 11. Change of travel time distribution of individual vehicles in congestion and conversion time zone(June 24)

### 3) 최적 수집 간격 운영 방안

통행시간이 양봉형태 비대칭 분포를 따르는 단속류 구간의 MSE가 최소가 되는 수집 간격은 3-5분으로 분석되었고, 통행시간이 증가하면 최소 수집 간격인 3분으로 짧아짐을 확인하였다. 통행시간 대푯값 산정 신뢰도 향상 및 운영의 효율성을 고려하여 기본 수집 간격은 기존과 같이 5분 수집 간격으로 운영하고, 정체 시는 3분으로 수집 간격을 줄여 운영하는 방안이 효율적일 것이다.

## 결론 및 향후 연구과제

DSRC로 수집한 개별차량 데이터의 대푯값으로 산정하여 교통정보 이용자에게 제공할 때 데이터 수집 간격을 어떻게 산정하느냐에 따라 대푯값의 신뢰도가 달라질 수 있다. 본 연구에서는 통행시간이 양봉형태의 비대칭 분포를 따르는 대표적인 단속류 구간을 대상으로 DSRC를 활용하여 수집한 통행시간의 MSE가 최소가 되는 최적의 수집 간격을 결정한다.

수집 간격 별 MSE를 산정하기 위하여 통행시간이 비정규분포를 따르는 구간에 적용 가능한 t-분포의 최대 추정 오차식을 편의 추정식으로 활용하고 적용되는 신뢰수준을 68%로 결정하였다. 신뢰도 높은 분석을 위하여 분석 시간대는 3분 이상 수집 간격에서 데이터가 모두 있는 시간대로 한다. 2분 이하 수집 간격은 신호정지에 의하여 일중 데이터 결측이 반복되어 분석 시 배제하였다.

MSE가 최소가 되는 최적 수집 간격은 3-5분으로 산정되었으며, 정체 시 또는 평균 통행시간이 다소 증가하는 전이시는 3분으로 최적 수집 간격이 짧아지는 것으로 나타났다. 통행시간이 증가하면, 신호정지로 차량의 도착과 결측이 반복되는 일정시간 간격이 와해되고 총 통행시간 내 신호정지시간 비중이 감소하여 가장 짧은 수집 간격에서 MSE가 최소가 되는 것으로 분석된다. 수집 간격 운영방안은 운영의 효율성과 통행시간 대푯값 산정의 신뢰도 향상을 고려하여 기본 수집 간격은 기존과 같이 5분으로 운영하고, 정체 시는 3분으로 수집 간격을 줄여 운영하는 것이 효과적일 것으로 사료된다.

본 연구의 기대효과는 다음과 같다. 기존 지방국토관리청 ITS 센터가 국도를 대상으로 교통정보를 수집 제공하면서 데이터 수집 간격 설정에 대한 근거가 부족하였으나, 이 논문을 통하여 논리적 근거를 확보하게 되었다. 또한, 향후 지방국토관리청 ITS 센터가 논문의 결과에 근거하여 교통상황에 따라 수집 간격을 가변적으로 변화시키도록 개선한다면 대국민 교통정보 제공의 신뢰도 향상에 기여할 것으로 기대한다.

향후 연구 과제로는 본 연구에서 통행시간이 양봉형태의 비대칭 분포를 따르는 구간에서 수집한 통행시간 이력 데이터를 활용하여 시간대별 최적 수집 간격을 결정하였는데, 추후에는 실시간으로 최적 수집 간격을 결정하는 연구가 필요하다. 수집대수, 통행시간 등을 변수로 하여 실시간으로 MSE가 최소화 되는 데이터 수집 간격을 산정하여 적용함으로써 통행시간 대푯값 산정의 신뢰도를 보다 효과적으로 개선할 수 있을 것이다. 또한, 본 연구에서 제시한 통행시간 수집 간격이 보다 다양한 유형의 국도 단속류 구간에서도 적정한지에 대하여 추가적인 분석 검증도 이루어져야 할 것이다.

## ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the 2016 Research Fund of the University of Seoul

## REFERENCES

- Choi D. W. (2012), Determine Optimal Aggregation Interval for Travel Time Estimation on Rural Interrupted Traffic Flow Considering Traffic Flow Characteristics, University of Science and Technology Master's Thesis.
- Gajewski B.J., Turner S.M., Eisele W.L., Spiegelman O.H. (2001), ITS Data Archiving: Statistical Technique for Inductance Loop Detector Speed Data, Transportation Research Record 1719.
- Kim H. J., Kim J. S. (2013), Lecture Statistics, Myung Jin.
- Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (2009), Final Report of Design Service for the National Highway ITS of Seoul Regional Construction Management Office 2009(2nd), Seoul Regional Construction Management Office.
- Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (2016), Final Report of ITS Operation Management of Seoul National Highway in 2016, Seoul Regional Construction Management Office.
- Lim H. S. (2005), A Study on the Optimal Aggregation Interval for Travel Time Estimation on the Rule Arterial Interrupted Traffic Flow, Ajou University Master's Thesis.
- Park D. J. (2000), Determining Optimal Aggregation Interval Size for Travel Time Estimation and Forecasting With Statistical Models, J. Korean Soc. Transp., 18(3), Korean Society of Transportation, 55-76.
- Park H. S., Kim Y. C. (2014), A Study on the Setting RSE Considering the Reliability of Traffic Information, Conference of Korean Society of ITS, Korean Society of ITS, 257-261.
- Yoo J. S., Oh C. S. (1999), Modern Statistics, Park Young Sa.
- Yoo S. Y., Rho J. H., Park D. J. (2004), Investigating Optimal Aggregation Interval Size of Loop Detector Data for Travel Time Estimation and Prediction, J. Korean Soc. Transp., 22(6), Korean Society of Transportation, 109-119.