

구간 통행시간정보 평가를 위한 기준장비 개발 및 평가 방법 연구

Method and Reference Equipment for Evaluation of Travel Time Information

전 현 명* · 조 용 성** · 안 선 영** · 임 성 한***

* 주저자 : 한국건설기술연구원 건설시험인증본부 ITS 성능평가센터 박사후연구원

** 공저자 : 한국건설기술연구원 건설시험인증본부 ITS 성능평가센터 전임연구원

*** 교신저자 : 한국건설기술연구원 건설시험인증본부 ITS 성능평가센터 센터장

Hyeonmyeong Jeon* · Yong-Sung Cho* · Sun-Young Ahn* · Sung Han Lim*

* ITS Performance Evaluation Center, Construction Test & Certification Department, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

† Corresponding author : Sung Han Lim, atdaya@kict.re.kr

Vol.21 No.1(2022)

February, 2022
pp.64~75

pISSN 1738-0774
eISSN 2384-1729
<https://doi.org/10.12815/kits.2022.21.1.64>

Received 15 November 2021
Revised 24 November 2021
Accepted 10 December 2021

© 2022. The Korea Institute of
Intelligent Transport Systems. All
rights reserved.

요 약

현재 ITS 성능평가는 교통정보 수집 장비에 대한 평가를 중심으로 시행하고 있다. 하지만 교통정보 수집 장비에 대한 평가만으로는 도로 이용자에게 제공되는 교통정보의 신뢰성을 보장할 수 없기 때문에 ITS 서비스를 평가할 수 있는 제도적인 뒷받침이 필요하다. 본 연구에서는 도로 이용자가 제공받는 구간 통행시간정보의 정확도를 평가할 수 있는 방법을 검토하였다. 그리고 실제 도로에서 데이터를 수집하기 위하여 이동식 평가 기준장비를 개발하였다. 개발한 평가 기준장비에 대한 성능평가와 현장 여건을 고려한 평가 방법을 마련하기 위해, 서울청 관할 국도 2개 구간에서 시범평가를 수행하였다. 평가 결과, 서울청에서 제공하는 통행시간정보는 90% 이상의 정확도로 높게 나타났다. 시범평가 결과를 바탕으로 표본수를 늘리기 위한 기준장비 검지 방식 개선과 수집지점 위치 조정에 대한 사항을 논의하였다.

핵심어 : 구간 통행시간정보, ITS 서비스, ITS 성능평가, 평가 기준장비

ABSTRACT

The ITS performance evaluation has been performed in the evaluation of traffic data collection equipment. However, evaluation of the data collection equipment alone cannot guarantee the reliability of the traffic information. So, ITS service evaluation has to be implemented institutionally. In this study, an evaluation method has been prepared to evaluate the accuracy of travel time information in road sections. In addition, a piece of portable reference equipment was developed to collect travel time data on the road. Field tests were performed on two national road sections managed by the Seoul Construction and Management Administration (SCMA) to prepare an evaluation method considering field conditions and evaluate the reference equipment's performance. Based on the test results, the improvement of the reference equipment to collect more samples and the adjustment of collection points were discussed.

Key words : Road Section Travel Time Information, ITS Service, ITS Performance Evaluation, Reference Equipment

I. 서론

우리나라의 지능형교통체계(Intelligent Transport Systems; ITS) 사업은 「국가통합교통체계효율화법」에 규정한 바에 따라 시행되고 있다. 이 법에서 정하는 「자동차·도로교통분야 ITS 성능평가기준」에 따라 ITS 사업시행자는 ITS 장비, 시스템, 서비스의 성능 및 신뢰도를 평가하여야 한다. 현재 ITS 성능평가는 교통정보를 수집하는 장비(차량검지기, 차량번호인식장치(Automatic Vehicle Identification; AVI), 단거리전용통신(Dedicated Short Range Communication; DSRC), 돌발상황 검지시스템 등)에 대한 성능평가만을 시행하고 있으며(Chung and Yoon, 2009; Kang and Lee, 2018; KICT, 2013; Lee and Ma, 2011), ITS 서비스에 대한 평가는 이루어지지 않고 있다. ITS 구축 초기부터 지금까지 ITS 성능평가가 장비 성능평가 중심으로 시행된 이유는 도로망을 계획하고 공급하기 위해서 현재 도로망의 교통량과 속도가 중요하고(KDI, 2021), 이 정보의 정확도를 높이기 위해서는 데이터 수집 장비의 정확도를 확보하는 것이 중요하기 때문이다. 과거의 ITS 계획은 도로 공급, 운영, 관리에 초점을 맞추어 시행되었기 때문에 ITS 성능평가는 교통정보 수집 장비의 정확도를 평가하는 것에 초점을 맞추어 왔다(MOLIT, 2017).

ITS 성능평가를 통해 교통정보 수집 장비의 정확도를 유지하고 관리할 수 있으나, 현재의 평가만으로는 ITS를 통해 제공되는 교통정보 서비스의 신뢰성을 보장할 수 없다. ITS 서비스는 도로 현장에서 데이터를 수집한 후, 도로를 관할하는 교통정보센터에서 데이터 저장, 분석, 연계, 가공 등의 절차를 거쳐 정보제공이 이루어지기 때문이다. 여러 교통정보센터에서 구축하는 데이터베이스(Database; DB) 내 항목이 서로 상이하고, 교통정보센터 간 DB 연계 과정에서 서버의 성능문제와 통신서버 부족 등으로 인해 정보의 오차가 발생하며, 이에 따라 교통정보 서비스의 신뢰도가 저하될 수 있다(Lim, 2014; MOLIT, 2013). 따라서 ITS 전반에 대한 성능평가를 위해서는 교통정보를 위한 기초자료 수집 단계부터 정보가 제공되는 서비스 단계까지 평가가 이루어져야 한다.

이용자 관점에서는 도로의 교통량과 속도가 아닌 통행하고자 하는 경로와 구간의 소통정보 정확도가 우선시 된다. 즉, 도로 이용자에게는 통행시간정보가 중요하다(Lin et al., 2005; Turner et al., 1996). 따라서 본 연구에서는 ITS 서비스 중 도로 구간의 통행시간정보에 초점을 맞추어 이를 평가하고자 하였다. 최근에는 도로 소통정보와 통행시간에 대한 정보제공매체가 발달함에 따라 도로 이용자는 도로전광표지(Variable, Message Signs; VMS), 교통정보방송, 내비게이션, 웹페이지, 모바일 서비스 등 다양한 매체를 통해 통행시간정보를 제공받는다. 도로관리주체와 정보제공주체들은 다양한 경로로 부터 수집된 교통정보(ITS, 통신정보 등)와 알고리즘을 기반으로 예상 통행시간정보를 제공하고 있다. 예를 들어, 한국도로공사는 고속도로의 영업소 통행정보, 차량검지기, DSRC로부터 수집된 교통정보를 기반으로 구간 통행시간을 산출하고, 이를 통해 예측 통행시간정보를 제공한다(Han et al., 2018; Korea Expressway Corporation, 2006). 도로 이용자들에게 신뢰할 수 있을만한 통행시간정보를 제공하기 위해서는 정보에 대한 체계적인 평가가 뒷받침되어야 한다.

이러한 통행시간정보의 정확도와 신뢰도에 대한 평가 필요성을 인식하고, 평가 방법에 대한 많은 연구가 진행되어 왔다(Han, 2018; Han et al., 2018; KICT and KOTI, 2011). 하지만 아직까지 통행시간정보를 제도적인 성능평가 기준에 도입하기 위한 세부사항이 부재하여 이를 마련하기 위한 지속적인 연구가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 도로 구간 통행시간정보 평가제도 마련에 기여하고자, 선행연구에서 제시한 평가 방법을 검토하고 평가에 필요한 기준장비를 개발하였다. 여기서, 평가 기준장비란 평가하고자 하는 항목의 기준값을 측정하는 장비를 의미한다. 또한, 현장 시범평가를 통해 평가 방법의 개선사항을 제시함으로써 향후 평가 기준 수립 시 고려할 수 있는 평가 방법을 논의하였다.

II. 구간 통행시간정보 평가 방법

1. 정보제공구간

우리나라 도로망 체계는 표준 노드(Node)/링크(Link) 체계로 구성되며, 이를 기반으로 정보제공구간이 정해져 있다. 노드란 교차로, 교량 시·종점, 고가도로 시·종점, 도로의 시·종점 등 도로시설물을 구분하는 구분지점이다. 링크는 노드와 노드를 연결한 최하위 구간을 의미하며, 도로, 교량, 고가도로, 지하차도, 터널 등으로 구분된다. 정보제공구간은 여러 개의 링크가 포함된 구간으로, 주요 지점사이의 도로 구간을 의미한다.

도로관리주체(지방국토관리청, 한국도로공사, 지자체 등)는 표준 노드/링크 체계에 기반을 둔 정보제공구간을 기준으로 정보를 수집하고 생성하지만, 통신사, 인터넷 서비스 등 민간 정보매체는 각기 다른 기준으로 정보제공구간을 설정할 수 있다. 따라서 통행시간정보를 평가할 때에는 해당 매체에서 기준으로 하는 정보제공구간의 시·종점 위치정보를 명확하게 파악하여야 한다.

2. 평가지표 및 표본수

1) 평가지표

도로 구간의 통행시간정보를 평가하기 위해서는 제공된 정보가 실제 통행시간과 얼마나 정확하게 일치하는지 평가하여야 한다. Han(2018)과 「자동차·도로교통분야 ITS 성능평가기준」에서는 교통 자료 정확도를 평가하기 위한 평가지표로 평균절대오차백분율(Mean Absolute Percentage Error; *MAPE*)을 제시하고 있다. *MAPE*는 기준값과 평가 대상값 간의 오차율을 나타내는 지표로서 식 (1)과 같이 정의한다. 일반적으로 교통 자료 분석시간 간격은 5분으로 설정한다.

$$\begin{aligned} \text{Accuracy}(\%) &= 100 - \text{MAPE} \\ \text{MAPE}(\%) &= \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n \left| \frac{X_i - Y_i}{Y_i} \right| \right) \times 100 \dots\dots\dots (1) \end{aligned}$$

여기서, X_i = 제공되는 구간 통행시간,
 Y_i = 실제 구간 통행시간(관측값),
 i = 분석시간 간격 5분,
 n = 평가 대상 시간 간격의 수.

평가에서 기준이 되는 실제 통행시간은 초(second) 단위로 측정되는데, 제공되는 통행시간정보가 초 단위로 제공될 경우 식 (1)을 이용하여 분석이 가능하지만, 분(minute) 단위로 제공될 경우, 자료의 변환 과정에서 발생하는 오차를 고려하여 식 (2)와 같은 *mMAPE*를 사용하여 평가할 수 있다. 이 때, 초 단위 자료를 분 단위로 분석하는 과정에서 발생하는 오차를 제거할 수 있도록 허용오차 범위를 설정하여야 한다(± 30 초).

$$\begin{aligned} \text{Accuracy}(\%) &= 100 - m\text{MAPE} \\ m\text{MAPE}(\%) &= \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n \left| \frac{E_i}{Y_i} \right| \right) \times 100 \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

$$E_i = \begin{cases} 0, & |X_i - Y_i| \leq AE \\ |X_i - Y_i| - AE, & |X_i - Y_i| > AE \end{cases}$$

여기서, AE = 허용오차 (30 seconds).

2) 최소 표본수

FHWA(1998)은 도로구간의 통행시간 데이터 수집 시 필요한 적정 표본수 산정 방법을 통계학에 기반하여 설명하고 있다. 이 편람에서 제시하는 적정 표본수 산출식 유도과정은 식 (3) - (4)와 같다. 이 산출식에 따라 통행시간의 변동계수(Coefficient of Variation; CV)와 분석에서 가정하는 상대오차를 기준으로 하여 표본수를 산정할 수 있다.

$$\text{Standard Sample Size, } n = \left(\frac{t \times s}{\varepsilon} \right)^2 \dots\dots\dots (3)$$

$$c.v. = \frac{s}{\bar{x}}, e = \frac{\varepsilon}{\bar{x}}$$

$$n = \left(\frac{t \times s}{\varepsilon} \right)^2 = \left(\frac{t \times (c.v. \times \bar{x})}{(e \times \bar{x})} \right)^2 = \left(\frac{t \times c.v.}{e} \right)^2 \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{Sample Size, } n = \left(\frac{t \times c.v.}{e} \right)^2 \approx \left(\frac{z \times c.v.}{e} \right)^2, \text{ if estimated sample size is greater than 30}$$

- 여기서, t = 특정 신뢰구간에서의 t 분포 통계량,
- s = 통행시간의 표준편차,
- ε = 최대 허용오차,
- $c.v.$ = 변동계수,
- e = 상대오차, Relative Error,
- \bar{x} = 통행시간의 평균,
- z = 특정 신뢰구간에서의 z 분포 통계량.

KICT and KOTI(2011)은 교통정보 수집과 관련한 선행연구에서 제시한 변동계수를 조사하고, 통계적으로 유의미성을 갖는 최소 표본수를 산정하였다. FHWA(1998), KICT(2008), Seoul Development Institute(2008)에서 수집된 통행시간 데이터의 변동계수의 평균과 그에 따른 최소 표본수는 <Table 1>과 같다. 신뢰수준 90%에서의 최소 표본수는 침두시 3 veh/5-min, 비침두시 4 veh/5-min이 적정 수준으로 나타났다. 신뢰수준 95%에서는 이보다 더 많은 수의 표본이 필요할 것으로 산정되었다. 그 결과, 다양한 도로의 특성과 현장 여건 등을 고려하여 최소 표본수는 5 veh/5-min이 적당하다고 제시하였다. 본 연구에서는 실제로 시범평가 구간에서 수집된 통행시간 데이터를 바탕으로 최소 표본수를 산정하여 선행연구에서 제시한 값과 비교하였다.

<Table 1> Estimates of the minimum sample size to collect travel time

	Time period	CV	Minimum sample sizes (veh/5-min)
90% Confidence, 10% Error	Peak period	0.175	3
	Non-peak period	0.203	4
95% Confidence, 5% Error	Peak period	0.175	16
	Non-peak period	0.203	22

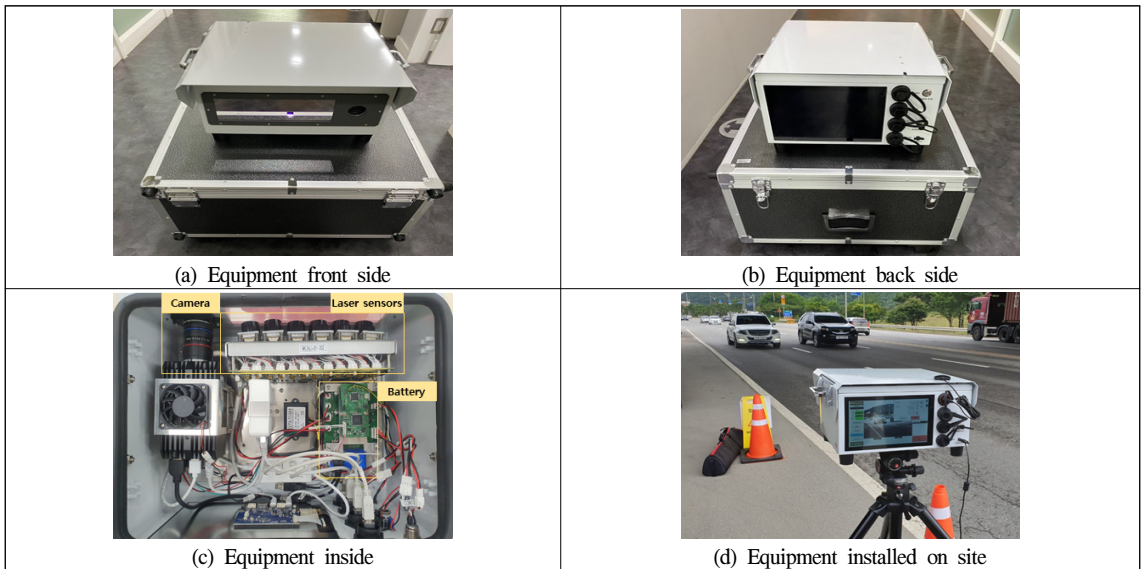
Note: CVs are calculated with 15-min time intervals, and the minimum sample sizes are estimated with 5-min time intervals. Source: KICT and KOTI(2011), ITS Service Certification-Evaluation Method.

Ⅲ. 구간 통행시간 평가 기준장비

구간 통행시간정보를 평가하기 위해서 평가의 기준이 되는 실제 통행시간 자료를 확보해야 한다. 실제

통행시간은 도로 현장에서 수집해야 하므로, 본 연구에서는 데이터 수집을 위해 이동이 가능한 평가 기준장비를 개발하였다(Fig. 1). ITS 성능평가에서 사용하는 기존의 이동식 평가 기준장비는 도로의 한 지점에서 교통량과 차량의 속도를 수집하도록 설계되어 개별 차량의 지점 간 통행시간을 수집하는 것이 불가능하다. 본 연구에서 개발한 평가 기준장비는 AVI와 같이 개별 차량번호와 통과시각을 수집하고, 평가 대상 구간의 시점과 종점에서 수집한 차량번호를 매칭하여 구간 통행시간을 산출한다(Moon et al., 2003). 현재 ITS 사업에서는 AVI 구축 시 도로 상부 시설물에 설치하는 고정식 장비를 주로 활용하고 있다. 본 연구에서는 기준장비를 도로 노변에 설치하는 이동식 AVI로 구현하고, 실시간 데이터 수집현황을 확인할 수 있도록 하였다. 또한, 기존 평가 기준장비는 노트북을 연결해야만 기능 구현이 가능하고 수집된 데이터 또한 연결된 노트북에 저장되는 반면, 본 연구의 기준장비는 터치식 디스플레이를 탑재하여 직관적인 조작이 가능하고, 노트북 연결 없이 외장 USB 메모리에 검지된 차량 정보를 저장할 수 있어 현장 활용이 용이하다.

본 연구에서 개발한 평가 기준장비는 개별 차량의 지점속도를 측정할 수 있도록 레이저 센서를 장착하였다. 레이저 센서의 작동원리는 45m - 55m부터 이동하는 차량을 검지·추적하여 이동거리와 속도를 계산하고, 35m 지점에서의 속도와 차량 이미지를 함께 저장한다. 이후에 별도 소프트웨어를 통해 차량 이미지로부터 차량번호를 추출할 수 있도록 소프트웨어를 포함하여 개발하였다. 기준장비의 검지 영역은 2개 차로를 대상으로 하며, 각 차로별로 세 개의 레이저 검지영역이 설정되어 차량이 한쪽으로 치우쳐도 검지가 가능하도록 설계하였다. 또한, 장비 구성에는 GPS 정보를 수집할 수 있는 수신기가 포함되며, 비상전원 공급을 위한 배터리도 포함된다.



<Fig. 1> Reference equipment for evaluation of road section travel time

IV. 현장 시범평가

도로 구간 통행시간정보 평가 방법의 적절성 평가와 개선사항 도출, 그리고 평가 기준장비 성능평가를 위해 실제 도로에서 시범평가를 실시하였다. 서울지방국토관리청(이하 서울청)이 관리하는 일반국도 중 2개 정

보제공구간을 대상으로 현재 제공되고 있는 통행시간정보에 대한 정확도를 평가하였다. 평가 기준값을 수집하기 위해 현장조사를 통해 정보제공구간의 실제 통행시간을 수집하였으며, 평가 대상 데이터는 서울청에서 제공하는 통행시간 데이터를 대상으로 하였다.

1. 구간 통행시간 정확도 평가

1) 평가 구간 선정 및 평가 일정

시범평가를 위한 평가 대상 구간을 선정하기 위해 몇 가지 선정 기준을 마련하였다. 첫 번째로 평가 기준 장비의 다차로 검지 기능을 평가하기 위하여 편도 2차로 이상인 구간을 선정하였고, 다음으로 구간 통행시간이 5분 미만일 경우, 경미한 시간 오차에도 정확도가 과소 추정될 수 있으므로 최소 통행시간이 5분 이상인 구간을 선정하였다(예로써 제한속도 60 km/h 도로의 경우 5km 이상, 제한속도 70 km/h 도로의 경우 5.8km 이상 구간). 그리고 도로변에 기준장비를 설치할 수 있는 공간을 확보하고, 데이터 수집 중 교통사고 방지를 위해 도로변 여유폭(길어깨, 비상주차대 등 도로변에 위치한 여유 공간)이 3m 이상인 구간을 대상으로 하였다. 마지막으로, 시·중점을 통행하는 적정 수준 이상의 차량 표본을 확보하기 위해, 교통류율 1,000 veh/h 이상인 구간을 선정 기준으로 정하였다. 이 기준을 충족하는 구간으로 <Table 2>와 같이 2개 구간을 선정하였다.

시범평가에서는 평일 오후 침두시를 포함하여 통행시간 정확도를 평가하였다(<Table 3>). 데이터 수집 시 도로 구간의 시점을 통과한 차량이 중점을 통과하는데 소요되는 시간을 고려하여, 중점에서는 평가하고자 하는 시간대보다 구간 통행시간만큼 연장하여 데이터를 수집하여야 한다.

<Table 2> Road sections for field test

Road Sections	Length (km)	Number of Lanes	Flow rate (veh/h)
(National Route 42) Mapyeong IC → Yangji Intersection	5.17	2	1,590
(National Route 39) Ssanghak IC → Yangchon IC	6.71	2	2,740

Note : The traffic flow rates refer to the traffic volumes at 17:00 - 18:00 in the 2020 Annual Traffic Volume Report (Traffic Monitoring System).

<Table 3> Data collection periods in field test

Road Sections	Data Collection Period
(National Route 42) Mapyeong IC → Yangji Intersection	2021. 06. 15. (Tue.) 16:30 - 19:10
(National Route 39) Ssanghak IC → Yangchon IC	2021. 06. 16. (Wed.) 16:30 - 19:10

2) 시범평가 결과

도로 이용자는 통행시간정보를 도로 구간의 시점에서 제공받는다 가정하고, 서울청 집계시각 기준과 시범평가 구간 시점의 수집시각을 매칭하여 평가하였다. 이 때, 서울청에서 제공하는 구간 통행시간 데이터는 1분 단위로 집계하여 제공하므로, 5분 간격으로 데이터를 추출하여 시범평가 데이터와 비교/분석 하였다. 시범평가 결과, 구간 통행시간정보 정확도는 <Table 4>와 같이 분석되었다. 일반적으로 도로교통 부문의 통행

시간정보의 정확도를 평가할 때, 정확도가 80% 이상이면 적절한 수준, 90% 이상이면 매우 정확하다고 판단한다(Ahn et al., 2014; CATT, 2010; KICT and KOTI, 2011). 평가 결과, 국도 42호선 마평교차로에서 양지사거리 구간 사이에는 8개의 신호교차로가 위치하여 개별 차량의 통행시간 편차가 상대적으로 크게 나타남에도 불구하고 평가 정확도가 92%로 높은 값으로 산출되었다. 국도 39호선 쌍학교차로와 양촌IC 구간은 평가 정확도가 91%로 나타났다(<Tables 4 - 5>). MOLIT(2010) 연구에 제시된 통행시간 정확도가 평균 73.6% 수준으로 나타난 것과 비교하였을 때 본 시범평가의 통행시간정보 정확도가 높게 나타났는데, 이는 교통정보를 수집하는 ITS 인프라 구축 확대와 통행시간 예측 기술 향상의 영향으로 판단된다.

시범평가에서 수집한 데이터를 바탕으로 통행시간의 변동계수와 최소 필요 표본수를 재산정하였다(<Table 5>). 평가 구간에서 수집된 통행시간 데이터 변동계수는 각각 0.15, 0.05로 나타났다. 연속류 구간인 쌍학교차로 - 양촌IC 구간에서 통행시간의 변동계수가 신호교차로의 영향을 받는 마평교차로 - 양지사거리 구간보다 그 값이 낮은 것으로 분석되었다. 산정된 변동계수를 표본수 산정식에 대입하여 표본수를 계산한 결과, 마평교차로 - 양지사거리 구간에서는 7 veh/5-min, 쌍학교차로 - 양촌IC구간은 1 veh/5-min으로 나타났다. KICT and KOTI(2011)에서는 최소 표본수를 5 veh/5-min을 제시하였는데, 이와 비교하였을 때 신호교차로의 영향을 받을 경우 더 많은 표본이 필요한 것을 알 수 있다. 하지만 이 또한 시범평가 구간에 국한된 최소 표본수이므로 다양한 교통상황을 포괄적으로 제시하기에는 어려움이 있다. 따라서 향후 더 많은 현장조사 결과를 통해 연속류·단속류 등 도로특성을 구분하여 최소 표본수를 제시해야 할 것으로 판단된다. 그리고 제시한 표본 산정식에 의한 최소 표본수는 평가를 위한 최소한의 기준으로, 더 많은 수의 표본을 확보할수록 평가 결과의 신뢰도를 더 높일 수 있다. 따라서 최소 표본수뿐만 아니라 충분한 표본을 확보하기 위한 방안을 함께 제시하여야 한다.

<Table 4> Evaluation results of travel time accuracy

Road Sections	Average Travel Time (Average Travel Speed)	Accuracy	Sample Sizes
(National Route 42) Mapeong IC → Yangji Intersection	6.7 minutes (46.5 km/h)	92%	9 veh/5-min
(National Route 39) Ssanghak IC → Yangchon IC	9.5 minutes (42.71 km/h)	91%	11 veh/5-min

Note: Evaluation time periods are 16:50 - 18:50 at starting point.

<Table 5> Statistical analysis results for section travel time

Road Sections	Average Travel Time	Average Standard Deviation	CV	Minimum Sample Sizes
(National Route 42) Mapeong IC → Yangji Intersection	6.7 minutes	1.01 minutes	0.15	7 veh/5-min
(National Route 39) Ssanghak IC → Yangchon IC	9.5 minutes	0.43 minutes	0.05	1 veh/5-min

Note: Minimum sample sizes are estimated with a t-Statistic of 1.812 at a level of confidence of 90% and 10 degrees of freedom, and relative error 0.1(10%). CVs are calculated in 5-min intervals.

2. 시범평가를 통한 개선사항 도출

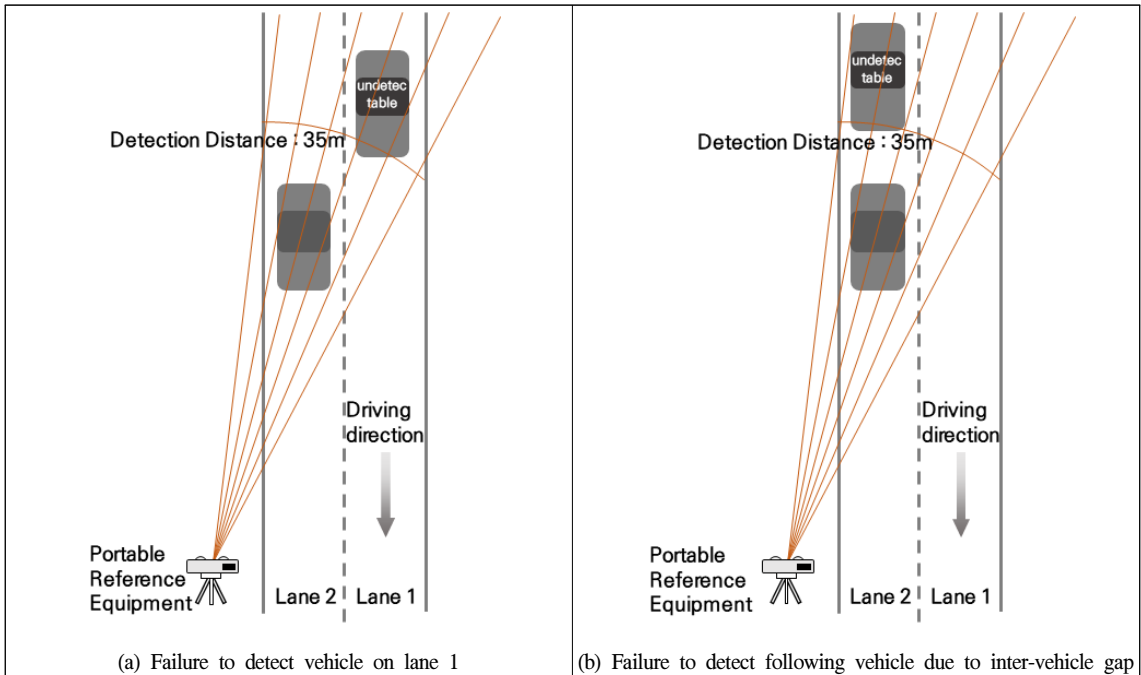
1) 시범평가 한계점

시범평가 결과, 구간을 통행하는 교통량에 비해 수집된 표본수가 적은 것이 중요한 한계점으로 나타났다.

평가의 신뢰성을 높이기 위해서는 충분한 표본이 확보되어야 하므로 이러한 한계가 나타난 원인을 분석하여 이를 극복할 수 있는 방안을 마련하여야 한다. 표본수가 적게 수집된 원인을 분석한 결과, 평가 기준장비의 인식률에 따른 영향과 데이터 수집지점 위치에 따른 영향으로 나눌 수 있었다.

먼저, 평가 기준장비의 차량 인식률은 차량 간 간격이 좁은 교통류에서 인식률 저하가 나타났다. 인식률 저하는 <Fig. 2>와 같이 2차로 주행차량의 레이저 검지 영역 방해로 인한 1차로 주행차량 미검지(Fig. 2(a)), 동일 차로 주행차량 간의 차간 간격으로 인한 미검지로 인해 발생한다(Fig. 2(b)). 이러한 미검지는 신호교차로의 출발지점이나 교통정체 시에 차간 간격이 짧은 교통류에서 주로 발생하였다.

교통정체로 인한 인식률을 비교하기 위해, 쌍학교차로 비혼잡/혼잡 시간대의 인식률을 분석한 결과 <Table 6>와 같이 나타났다. 비혼잡 시간대의 차량 인식률은 70% 이상이며, 2차로 주행차량의 영향으로 1차로 주행차량 인식률이 2차로에 비해 낮게 나타났다. 반면, 혼잡 시간대의 차량 인식률은 1차로 7%, 2차로 45%이며, 2차로 정체차량으로 인해 1차로 주행차량 인식률이 급격히 저하되었다. 따라서 정체 시에 차량 인식률 향상, 즉 표본 확보를 위해서는 차간 간격의 영향을 극복할 수 있는 검지 방식으로서의 보완이 필요할 것으로 판단된다.



Note: The red lines represent the line-of-sight region of the laser sensors.

<Fig. 2> Limitations of the Reference Equipment with Laser Sensors

다음으로, 데이터 수집지점 위치 영향으로 인해 표본 확보가 계획보다 낮은 수준으로 나타났다. 그 원인은 수집구간 내에서 합류 및 분류하는 교통류로 인하여 시점과 종점을 모두 통과하는 차량의 비율의 낮아 구간을 통행하는 교통량 수준보다 통행시간 산출 대상이 되는 차량의 수가 적게 나타나기 때문이다. 마평교차로 - 양지사거리 구간에서는 시점에서 데이터 수집지점 이후 입체교차로를 통해 합류하는 차량이 표본에서 제외되는 문제가 발생하였다. 그리고 쌍학교차로 - 양촌IC 구간에서는 시점 데이터 수집지점 이후 비봉IC교차

로에서 합류하는 차량과 중점 데이터 수집지점 이전에 양촌IC에서 분류하는 차량이 표본에 포함되지 않아 표본수가 적어지는 것으로 나타났다. 데이터 수집지점 위치에 따라 시·중점 통과차량 수가 결정되기 때문에 합류/분류 영향을 고려하여 수집지점을 조정하여야 한다. 이후 내용에서 데이터 수집지점 보완 방안에 대해 논의하였다.

<Table 6> Vehicle identification rate at Ssanghak IC

Point	Time period	Lane	Flow rate (veh/5-min/lane)	Speed (km/h)	Identification Rate
Ssanghak IC	16:30 - 16:50 (Non-congestion)	1	114	78.9	73%
		2	53	73.3	86%
	17:30 - 17:50 (Congestion)	1	80	19.6	7%
		2	72	27.5	45%

2) 평가 기준장비 개선사항

구간 통행시간정보 평가의 신뢰도를 높이기 위해서는 표본 확보가 중요하고, 충분한 표본 확보를 위해서는 평가 기준장비의 차량 인식률을 높여야 한다. 레이저 센서 방식을 이용한 기준장비의 특성상 레이저 측정 영역에서 차량 간 방해가 생길 경우 차량 번호판이 시야에 확보되더라도 차량이 검지되지 않는 문제가 발생하였다. 레이저 센서는 특정 검지거리(본 연구의 기준장비는 35m)에서 검지된 차량만을 인식하게 되는데, 검지거리 이전이나 이후에 통과하는 차량을 측정하는 방식을 도입하여 레이저 센서 방식의 검지방식을 보완할 수 있다. 정해진 검지거리에 대한 제약을 해소하고, 물리적인 시야에 확인된 차량 번호판을 인식할 수 있다면 더 많은 표본을 확보할 수 있을 것으로 판단하였다. 이러한 판단에 근거하여 영상(이미지) 기반의 차량인식 방법을 추가하였다.

영상식 기반의 차량인식 방법은 카메라를 이용하여 짧은 주기로 사진을 찍어, 사진 프레임 내 번호판이 인식되면 사진을 저장하는 방법으로 작동하도록 하였다. 본 연구의 기준장비는 7 fps(frame/sec) 속도로 사진을 처리하도록 설정하였다.

레이저 센서 방식과 영상식 기반의 차량 인식률을 정량적으로 산출하기 위하여, 현장조사를 실시하고 인식률을 비교하였다. 2021년 9월 16일, 국도 42호선 안산 ITS 성능평가센터 옆 도로에서 테스트를 수행하였다. 해당 도로는 편도 4차로로 구성되어 있는데, 기준장비를 도로 가변에 설치하기 때문에 바깥쪽 2개 차로(3차로, 4차로)를 대상으로 평가하였다.

같은 위치, 같은 시간대에 레이저 센서 방식과 영상식 기반의 차량인식 방법을 사용하여 차량 인식률을 비교한 결과, <Table 7>과 같이 나타났다. 레이저 방식보다 영상식 장비의 인식률이 높게 나타났으며, 특히 안쪽차로인 3차로의 인식률이 18%p 증가하였다. 3차로 차량 인식률은 레이저 방식과 영상식 모두 앞선 시범 평가의 쌍학교차로 비혼잡 시간대의 1차로 인식률보다 낮게 나타났다. 그 이유는 쌍학교차로보다 이번 현장 조사 지점의 바깥차로 교통류율이 높고, 이 도로 상류부 약 1km 지점에 신호교차로가 위치하여 교통류가 차량군을 형성하기 때문에, 4차로 주행차량이 3차로 주행차량을 시야에서 방해하는 확률이 높아서 인식률이 저하된 것으로 판단된다.

이번 현장조사는 신호교차로 영향을 받는 도시부 도로에서 수행한 결과로써 모든 도로에서 영상식 기반의 검지방식이 유리하다고 판단하기는 어렵다. 영상식은 사진이 찍히는 속도보다 차량이 빠른 속도로 지나가게 되면 레이저 센서 방식보다 인식률이 낮아질 수 있다. 반면에 편도 2차로를 검지하는 레이저 방식에 비

해, 영상식은 더 많은 차로를 검지하도록 카메라 각도를 임의로 조정할 수 있어, 편도 3차로 이상의 다차로 도로에서 활용도가 높을 것으로 예상된다. 정리하면, 차간 간격이 넓고 고속주행 도로에서는 레이저 방식, 차간 간격이 좁고 차로수가 많은 도시부 도로에서는 영상식의 활용도가 높을 것으로 판단된다.

<Table 7> Vehicle identification rate by detection method

Detection Method	Lane	Flow rate (veh/5-min/lane)	Identification Rate
Laser	3	89	45%
	4	89	87%
Image	3	89	63%
	4	89	88%

Note: Evaluation time period is 15:40 - 17:10.

3) 데이터 수집 및 분석 방법 개선사항

구간 통행시간정보 평가 시 객관적인 기준값을 수집하기 위하여 표본 확보에 대한 노력이 중요하다. 이를 위해 앞서 평가 기준장비의 검지 방식을 보완하는 방안을 마련하였는데, 본 절에서는 데이터 수집지점 조정과 데이터 분석의 산술적인 계산법의 보완을 통해 표본수를 증가시킬 수 있는 방안을 제시하였다.

시험평가에서는 서울청 관할 정보제공구간의 시·중점 위치에서 데이터를 수집하였으나, 표본 확보를 위해 데이터 수집지점의 위치를 조정하고 수집한 통행시간 데이터를 보정하여 기준값을 산출할 수 있다. 입체교차로가 구간에 포함되어 있을 경우, 시점 이후 합류차량과 중점 이전 분류차량을 표본에 포함시킬 수 있는 수집지점 위치 조정이 필요하다. 조정된 수집지점과 정보제공구간 기준점 간 통행속도가 구간 평균 통행속도와 같다고 가정하면 식 (5)와 같은 데이터 보정 방법을 이용할 수 있다. 이러한 가정은 실제 도로의 교통상황에 따라 달라질 수 있으므로, 평가 전 도로 구간의 특성을 미리 파악하여야 한다.

$$T = T' + \frac{d_1 - d_2}{v} \dots\dots\dots (5)$$

여기서, T = 통행시간 기준값,
 T' = 조정된 위치에서 수집된 통행시간,
 d_1 = 정보제공구간의 출발 - 도착 지점 간 거리,
 d_2 = 정보제공구간의 실제 수집지점 간 거리,
 v = 구간 평균 통행속도.

V. 결론 및 시사점

본 연구에서는 도로 이용자가 제공받는 구간 통행시간정보를 평가하기 위해 통행시간정보 정확도 평가 방법을 검토하고, 실제 통행시간 기준값을 수집할 수 있는 평가 기준장비를 개발하였다. 「자동차·도로교통분야 ITS 성능평가기준」에서 사용하는 *MAPE* 지표를 준용하여 평가 방법을 제시하고, 실제 도로관리청의 정보제공구간의 시·중점에서 데이터를 수집하기 위하여 이동식 평가 기준장비를 개발하였다.

평가 기준장비에 대한 성능과 평가 방법의 적절성을 평가하기 위해 서울청 관할 국도 2개 구간에서 시험

평가를 수행하였다. 평가 결과, 서울청에서 제공하는 통행시간정보는 90% 이상의 정확도로 높게 나타났다. 그리고 최소 표본수를 검토하기 위해 실제 도로에서 수집한 통행시간 데이터로 최소 표본수를 재산정한 결과, 평가 방법에서 제시한 최소 표본수 5 veh/5-min보다 신호교차로를 포함하는 도로 구간에서는 7 veh/5-min으로 더 많은 표본이 필요한 것으로 분석되었다. 시범평가 결과만으로는 향후 교통정보 서비스 평가 기준으로 제시할 수 있는 최소 표본수를 확정하기에는 한계가 있었다. 따라서 본 연구에서는 기준장비의 차량 인식률을 향상시켜 최대한 많은 표본을 확보할 수 있는 방안에 초점을 맞추어 연구를 수행하였다. 실제 통행하는 교통량에 비해 수집된 표본수가 적어 표본수를 늘리기 위한 기준장비 검지 방식 보완과 수집지점 위치 조정에 대한 사항을 논의하였다. 본 연구에서 수집한 도로 구간별 통행시간 데이터를 기반으로 향후 다수의 현장 평가를 통해, 도로 특성을 고려한 최소 표본수 등 평가 기준 정립이 필요할 것으로 판단된다.

현재 ITS 성능평가는 도로 현장에서 교통정보를 수집하는 장비에 대한 평가를 중심으로 시행되고 있다. 하지만 교통정보 수집 장비 평가만으로는 도로 이용자에게 제공되는 통행시간정보의 신뢰성을 보장할 수 없다. 따라서 이용자에게 제공되는 정보를 체계적으로 평가할 수 있는 제도적인 뒷받침이 필요하다. 도로 이용자들이 더 신뢰할 수 있는 교통 서비스를 제공받을 수 있도록 지속적인 연구를 통해 ITS 서비스 평가 기준을 수립해 나가야 할 것이다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 한국건설기술연구원 평가인증 사업(2021년 ITS장비 성능평가 사업)의 지원을 받아 수행하였습니다.

REFERENCES

- Ahn, G. H. and Hyun, C. S. et al.(2014), *UTIS based Traffic Congestion Alleviation Time Forecast*, The Road Traffic Authority, p.66.
- Center for Advanced Transportation Technology(CATT)(2010), *Traffic Flow Measures Implementation Guide, White Paper*.
- Chung, S. H. and Yoon, Y. H.(2009), “A Study on Policy Research in Improvement of ITS Performance Tests and Methods”, *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 8 no. 6, pp.98-111.
- Federal Highway Administration(FHWA)(1998), *Travel Time Data Collection Handbook*.
- Han, D.(2018), *A Study on the Reliability of the Forecast about the Time Required of the Traffic on the Expressway*, Master's Thesis, Yonsei University, Seoul.
- Han, D., Kim, J. and Kim, S.(2018), “Evaluation of Travel Time Prediction Reliability on Highway Using DSRC Data”, *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 17, no. 4, pp.86-98.
- Kang, T. G. and Lee, S. B.(2018), “A Study on Performance Evaluation of ITS Detectors using UAV”, *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 17, no. 6,

pp.111-120.

Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology(KICT)(2008), *ITS Information Reliability Improvement and Evaluation*.

KICT(2013), *Development of the Universal Portable Reference Equipment for the Efficient ITS System Performance Evaluation*.

KICT and Korea Transport Institute(KOTI)(2011), *ITS Service Certification·Evaluation Method*.

Korea Development Institute(KDI)(2021), Detailed Guideline for Preliminary Feasibility Study on Road & Railway Projects. *Research Report*, KDI Public and Private Infrastructure Investment Management Center.

Korea Expressway Corporation(2006), *Improvement of Traffic Data Collection, Analysis and Utilization from Vehicle Detection System on Freeway*, Korea Expressway Corporation, Highway Research Center.

Lee, S. H. and Ma, C. Y.(2011), “A Study on Suitability of the USN-Based Portable Reference Equipment for ITS Systems Performance Evaluation”, *Journal of The Korean Society of Civil Engineers*, vol. 31, no. 6D, pp.765-769.

Lim, S. H.(2014), “Improvement of Information Connection System among Traffic Information Centers”, *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 13, no. 2, pp.34-41.

Lin, H. E., Zito, R. and Taylor, M.(2005), “A review of travel-time prediction in transport and logistics”, *In Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, vol. 5, pp.1433-1448.

Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT)(2013), *A Study on the Improvement of Traffic Information Connection and Provision System for Integrated Traffic Management*, KICT.

Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs(Present. MOLIT)(2010), *A Study on the Activation of Traffic Information Provision-Focusing on TPEG*.

MOLIT(2017), *Intelligent Transportation System(ITS) Master Plan 2020*, Modified Version.

Moon, H. Y., Ryu, S. K., Kim, S. H. and Park, H. S.(2003), “Calculation of travel time using automatic vehicle identification systems”, *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 2, no. 2, pp.23-29.

Seoul Development Institute(2008), *A Study on Collecting Traffic Information Using Brand Call Taxi in Seoul*.

Traffic Monitoring System, <http://www.road.re.kr/>, 2021.06.07.

Turner, S. M., Best, M. E. and Schrank, D. L.(1996), Measures of Effectiveness for Major Investment Studies, *Research Report 467106-1*, Southwest Region University Transportation Center.