

측정불확도를 적용한 차량검지기 속도측정 성능평가방법 개발

Development of an Performance Evaluation Method for Vehicle Detector Speed Measurement Applying Uncertainty in Measurement

이 환 필	Lee, Hwan Pil	정회원 · 한국도로공사 교통정보통합활용지원센터 Post-doc. (E-mail: hplee@ex.co.kr)
김 용 만	Kim, Yong Man	도로교통공단 단속장비처 선임과장 (E-mail: jamskim@koroad.or.kr)
강 동 윤	Kang, Dong Yun	한국도로공사 도로교통연구원 연구원 (E-mail: dongyun@ex.co.kr)

ABSTRACT

In this study, a method for evaluating the performance of speed measurements was developed to assess the qualities of a vehicle detector. The evaluation method considers measurement errors that are reflected in a reference speed. For this, the concept of uncertainty in measurement was applied to the development method. Other factors such as precedent study, statistical processing techniques, and speed measurement performance method of traffic enforcement equipment and vehicle detection systems were also reviewed. Through this process, the problems of the existing evaluation methods were derived and developed for the new performance evaluation method. Vehicle detectors that are installed in the field were evaluated using the traditional assessment methods and the developed method. As a result, for traditional assessment methods, it was found that evaluation criteria are acceptable, while developed method's criteria are not acceptable. This means that traditional assessment methods do not sufficiently consider errors in measurement, so it has potential to over-estimate for performance of evaluation equipment. On the other hand, it was represented that the developed method should include variable factor such as errors in measurement and more precise compared to traditional assessment methods.

KEYWORDS

uncertainty, speed measurement, loop detector, evaluation method, vehicle detector

요지

본 연구에서는 차량검지기의 속도측정 성능평가방법을 개발하였다. 개발된 성능평가방법에서는 오차요인들을 기준속도에 반영하며 측정불확도의 개념을 적용하였다. 기존연구, 통계적 처리기법, 기존교통단속장비 및 차량검지시스템의 속도측정 성능평가방법 등에 대한 고찰을 통해 기존평가방법의 문제점을 도출하고 개선된 성능평가방법을 개발하였다. 실제 현장에 설치된 차량검지기에 대해서 기존평가방법과 개발방법을 적용해본 결과 기존평가방법은 평가기준에 적합하나 개발방법은 평가기준을 만족시키지 못하고 있다. 이러한 결과는 기존성능평가방법이 측정 시의 오차요인들을 충분히 고려하지 못해서 평가대상장비의 성능을 고평가할 가능성이 있음을 의미하며, 반면에 개발모형은 측정 시의 변동요인인 오차를 고려하므로 기존평가방법 보다 정확함을 나타낸다.

핵심용어

측정불확도, 속도측정, 루프검지기, 성능평가방법, 차량검지기

1. 연구배경 및 목적

한정적인 도로용량을 효율적으로 운영하기 위한 ITS 시스템은 대부분의 지자체에 도입되어 적용되고

있다. ITS 시스템의 궁극적 목적인 교통류 관리와 교통정보제공 신뢰성 확보를 위해서는 교통정보 수집장치 성능확보가 선결되어야 한다. 현재 다양한 교통정

보 수집장치 중 차량검지기는 필수적 구성장치로 사용되고 있다.

차량검지기는 교통정보수집용 뿐만 아니라 교통단속 장비에도 적용되며 국내에서는 국토해양부 ITS성능평가요령(교통정보수집용)과 경찰청 규격서(교통단속용)에 따라 장비의 성능평가가 이루어지고 있다. 국토해양부 및 경찰청에서 정의한 차량검지기 속도측정 성능평가방법에서는 기준장비와 평가대상장비의 속도 비교를 통해 오차를 산출하는 방식으로 평가가 이루어지고 있다. 하지만, 속도오차를 산출하여 평가하는 기존방법은 기준속도가 포함하고 있는 불확실성에 대한 요인들이 고려되지 않아 평가대상 차량검지기의 성능이 고평가될 가능성이 높으며 성능에 비해 고평가된 검지기로 인해 ITS 수집정보 신뢰성이 저하될 우려가 있다.

본 연구에서는 기존 차량검지기 신뢰성평가방법을 개선할 수 있도록 성능평가 시 발생될 수 있는 모든 오차 및 불확실한 요인들을 포함하여 평가할 수 있는 속도측정 성능평가방법을 개발하는 것을 목적으로 한다.

2. 선행연구 및 기존사례와 측정불확도 개념

2.1. 선행연구검토

박대현(2000)의 영상검지기 평가방법에 관한 연구에서는 교통량, 속도, 점유율에 대한 평가지표로 등가계수, %차이, 상관계수, RMSE(Root Mean Square Error)와 T-test를 이용하여 타당성이 있는 평가지표에 관하여 연구를 수행하였다. 연구결과 등가계수와 % 차이가 가장 타당한 평가지표로 나타났다.

김대호 외(2002)의 연구에서 국내 검지기 평가방법에 대한 사례분석을 실시하였으며 결과는 표 1과 같다.

표 1. 검지기 평가 국내사례 및 평가지표 분석

구분	FTMS 영상검지기 성능평가	올림픽대로 시스템 학술연구	차량용 대체검지기 활용방안 연구
연구년도	1999	2001	1999
검수단위	5분	차로별 1분	시나리오별 50주기 / 개별차량 점유시간
검수대상	교통량, 속도, 점유율	교통량, 속도	교통량, 점유시간, 대기행렬, 속도
평가지표	등가계수	%오차	등가계수, %오차, 상관계수 종합분석
비교기준	루프검지기 측정치	시험차량 주행자료	루프 검증 후 측정치 활용

류승기 외(2003)의 연구에서는 영상검지기 데이터 정확도 평가방법에 관한 연구를 수행하였고 평가지표로 등가계수인 “1-Theil의 부등식 계수”값과 이와 관련된 3가지 부지표를 활용하는 방법을 제시하였다.

장진환 외(2004)의 연구에서는 검지기 성능평가방법론에 관한 연구를 수행하였으며 평가지표로 등가계수, MAPE(Mean Absolute Percent Error), %오차, 상관계수, RMSE, APE(Absolute Percent Error)가 국내 외에서 사용되고 있는 것으로 언급하고 있다.

2.2. 기존검지기 평가기관의 평가방법 고찰

2.2.1. 차량검지시스템 장비 성능평가방법

ITS장비의 차량검지시스템(이하 VDS) 성능평가는 국토해양부 ITS 성능평가 전담기관인 한국건설기술연구원에서 ITS 성능평가요령에 의거 이루어지고 있다.

성능평가시스템은 통과차량 녹화용 카메라와 속도측정을 위한 레이저식 차량검지센서, 검지신호를 가공하기 위한 속도측정장비, 분석용 노트북으로 구성된다. 통과차량 영상과 속도자료를 수집하며 차량진입여부를 검지하는 2개의 레이저센서를 3m 간격으로 설치한다. 1, 5분 단위 MAPE를 산출, 분석하며 ITS용 VDS의 성능평가를 위한 이동식 기준장비는 그림 1과 같다.



그림 1. ITS VDS 성능평가용 이동식 기준장비

$$MAPE(\%) = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{|Y_i - X_i|}{Y_i}}{n} \times 100 \quad (1)$$

여기서, Y_i : i 번째 분석단위시간의 기준값

X_i : i 번째 분석단위시간의 대상장비 측정값

n : 분석단위시간 개수

2.2.2. 교통단속장비용 차량검지기 성능평가방법

교통단속장비 성능평가는 경찰청 산하기관인 도로교통공단에서 성능평가를 실시하며 속도, 신호, 구간속도 위반 단속장비의 평가방법은 동일하다.

평가항목은 속도이며 기준속도 측정장비와 평가대상 장비의 측정속도 비교를 통해 평가지표인 오차율을 식 (2)와 같이 산정하고 산정값 중 최대값을 사용한다.

$$\text{속도오차율}(\%) = \frac{\text{대상속도} - \text{기준속도}}{\text{기준속도}} \times 100 \quad (2)$$

여기서, 대상속도 : 평가대상장비 측정속도
 기준속도 : 기준장비 측정속도

평가대상장비는 상위 정밀도를 가진 장비를 통해 일 정주기로 교정한 결과를 평가 시에 반영, 신뢰성을 확보 하고 있으며 세부사항은 표 2와 같다.

표 2. 교통단속장비 성능평가용 기준장비

장비명	주요 기능	비 고
Tape식 센서	• 도로면에 부착된 센서로 차량진입부 를 차량과 센서가 접촉 시 전기적 신호 가 ON이 됨을 검지하여 차량 진출입 신호를 속도측정장비에 전달	속도 측정 센서
LOOP식 센서	• 전기적 신호를 감지하는 센서로 차량 진 입여부를 신호변화량으로 검지하여 진출 입신호를 속도측정장비에 전달	속도 측정 센서
시간간격 측정장비	• 도로상에 설치된 속도측정용 센서의 신호 를 입력받아 통과차량의 진입, 진출 시점 에 대한 시간자료를 수집	시간 간격 측정
노트북	• 속도측정장비의 진출입 시간간격 자료를 입력, 저장하여 고정된 센서 설치간격을 이용 자동으로 속도를 계산	운영 프로그램 탑재

2.3. 기존 차량검지기 평가방법 문제점 분석

선행연구 및 평가사례를 통해 기존 차량검지기 평가 방법의 문제점을 분석한 결과 평가방법상의 큰 차이 없이 개별데이터 수집과 평가지표에 맞는 데이터를 처리 하여 평가결과를 도출하고 있다. 즉, 발생할 수 있는 오 차요인 및 속도측정 시 불확실한 요인에 대한 고려 없이 평가를 진행하므로 평가결과도 일정수준의 오차를 내포 하고 있다. 이에 따라 최종평가결과에 신뢰도에 대한 의 문제기가 발생할 수 있는 가능성이 항상 존재하는 것을 가장 큰 문제점으로 지적할 수 있다.

2.4. 측정불확도의 개념

불확도는 오차를 포함한 결과의 신뢰도에 대한 지 표로서 측정결과와 관련해서 측정량을 추정할 수 있는

값들의 분산상태를 나타내는 파라미터이다.

이러한 개념에서 측정불확도는 어떤 값을 측정할 시 의 불확도이며 ISO의 Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement(1993)에서는 측정불 확도를 측정결과와 관련하여 측정량을 합리적으로 추 정한 값의 분산상태를 표현하는 파라미터로 정의하고 있다. 다시 말하면, 측정기를 이용, 측정을 행함에 있 어 측정결과에 영향을 미칠 수 있는 값들을 분산특성화 한 변수, 즉 참값이 존재하는 범위를 나타내는 측정값 이다.

한국계량측정협회(2005), 한국인정기구(2007)에서 측정불확도 기여성분은 모두 표준불확도로 변환하여 동 일 신뢰수준으로 표현할 필요가 있고, 표준불확도는 어 떤 평균값의 불확도로 정의한다고 제시하고 있다.

오차와 불확도의 구분은 오차는 측정대상의 측정값과 참값간 차이이며 불확도는 측정결과의 신뢰정도를 수치 로 표현한 것으로 구간과 신뢰수준으로 표현된다.

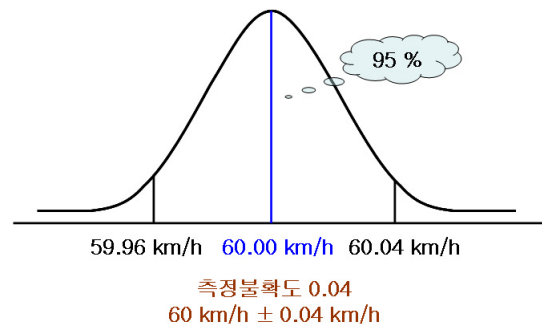


그림 2. 측정불확도 표현방법

불확도는 A, B형으로 구분된다. A형 표준불확도는 취득한 일련의 관측값을 통계적으로 분석하여 구한 불 확도로서 반복측정 평균값의 표준편차를 구하여 측정횟 수의 제곱근으로 나눈값을 적용한다.

$$u(x_i) = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

여기서, $u(x_i)$: 표준불확도

n : 측정횟수

S : 측정값의 표준편차

B형 표준불확도는 관측값의 통계적 분석이 아닌 다른 방법(정보, 경험 등)으로 평가되는 불확도로서 규격 및

시방, 교정보고서상의 제공데이터에 할당된 불확도 등이 있다. B형 표준불확도는 Rectangular, Triangular, Normal, Trapezoid 등 4가지로 구분할 수 있으며, 분포형태별 산출식을 통해 B형 표준불확도를 평가할 수 있다.

A, B형 불확도는 산출방법에 따라 요인별로 합성 가능하며, RSSM(Root Sum Square Method)에 따라 합성한 것이 합성표준불확도이고 식(4)와 같이 표현된다.

$$u_c(y) = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2 \dots} \quad (4)$$

여기서, $u_c(y)$: 합성표준불확도

a, b, c : 각 요소의 표준불확도

확장불확도는 측정값에 대한 합리적 추정값을 이루는 분포에 대해서 측정값의 대부분을 포함할 것으로 기대되는 구간을 정의한 양이며 신뢰수준에 따라 포함인자 k 값을 다르게 적용하며 식 (5)와 같이 표현한다.

$$U = ku_c \quad (5)$$

여기서, U : 확장불확도

k : 포함인자

u_c : 합성표준불확도

산출된 확장불확도를 적용시키는 과정이 불확도 보고 과정이며 산출된 불확도 값을 통해 평가항목의 기준에 대한 적용은 식 (6)과 같이 이루어진다.

$$Y = y \pm U (k = 2, CL = 95\%) \quad (6)$$

여기서, y : 측정값

U : 확장불확도

CL : 신뢰구간

불확도 산출은 그림 3의 절차에 따라서 이루어진다.

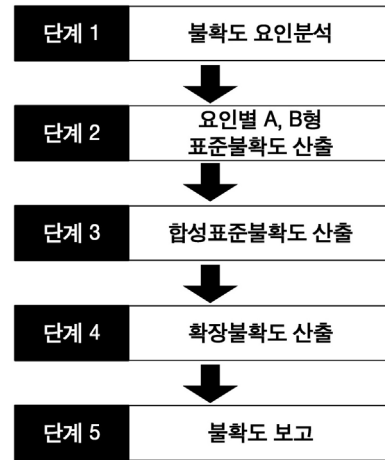


그림 3. 불확도 산출절차

3. 적용성 검증을 위한 불확도 산출

3.1. 기준장비 표준불확도 산출

3.1.1. 불확도 요인분석

기준장비의 불확도 요인에는 거리, 시간을 측정하는 기준장비들이 해당하며 세부요인은 표 3과 같다.

표 3. 성능평가용 기준장비 불확도 요인 분석

구분	기준장비	불확도 요인	유형
시간(t)	기준속도 측정장비	시간간격 측정 불확도	B형
		시간측정 분해능 ¹⁾	B형
거리 (L)	거리측정 줄자	줄자 불확도	B형
		줄자 분해능	B형
		두 센서간 거리측정 불확도	A형
	기타	두 센서간 거리측정 평행각도	B형

3.1.2. 표준불확도 산출

기준장비를 통한 속도산출은 식 (7)과 같이 세부요인의 산출을 통해 이루어진다.

$$v = \frac{L}{t} \quad (7)$$

여기서, v : 기준속도(m/s)

L : 이중 루프검지기 설치거리(m)

t : 검지기를 통과하는데 걸리는 시간(sec)

1) 분해능은 측정단위의 표현방식에 따라 결정되며 평가용 시간간격 측정장비 소수점 두 자리까지 표현

기준장비 측정불확도는 속도산출 세부요인인 거리와 시간에 감도계수를 반영하여 식 (8)과 같이 산정한다.

$$u_c(v) = \sqrt{c_L^2 u^2(L) + c_t^2 u^2(t)} \quad (8)$$

여기서, $u_c(v)$: 속도산출의 합성표준불확도

$u(L)$: 거리측정의 표준불확도

$u(t)$: 시간간격측정의 표준불확도

c_L : 거리측정 감도계수²⁾

c_t : 시간측정 감도계수

A형 불확도인 거리측정에 대한 표준불확도는 식 (3)과 같이 반복측정한 평균값의 표준편차를 구하여 측정횟수의 제곱근으로 나눈값을 취한다.³⁾

표 4. 루프검지기 설치거리 측정에 의한 표준불확도 산출

측정값	보정후 측정값
6.0100m	6.0103m
5.9900m	5.9903m
6.0000m	6.0003m
6.0100m	6.8103m
5.9800m	5.9803m
평균값	5.9983m
표준편차	0.0130m
표준불확도	0.0058m

기준속도 측정장비의 불확도는 B형 표준불확도이며 기존 교정성적서를 활용하여 불확도를 산출하였다.

표 5. 기준속도 측정장비 표준불확도

기준속도	보정값	확장불확도 (신뢰수준 95%, k=2)	표준불확도
40km/h	-0.0004s	0.0005s	0.0003s
60km/h	-0.0004s	0.0004s	0.0002s
80km/h	-0.0002s	0.0003s	0.0001s
100km/h	-0.0001s	0.0003s	0.0002s
120km/h	-0.0002s	0.0002s	0.0001s
140km/h	0.0001s	0.0003s	0.0001s
160km/h	0.0000s	0.0002s	0.0001s

2) 감도계수는 불확도 크기를 결정하는 변수이며 입력변수의 변화에 대한 측정값의 변화를 의미

3) 거리측정은 5회 실시, 측정값은 기준줄자 교정결과상의 오차값 0.0003m로 보정한 값을 측정값으로 사용

기준속도 측정장비 표준불확도는 교정성적서의 확장불확도에 k값을 나누어 산출하며 불확실요인인 상, 하한값 범위를 알 수 있는 분해능 관련 표준불확도는 Rectangular분포를 따르므로 표준불확도는 식 (9)와 같다.

$$u = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (9)$$

여기서, u : 직각확률분포의 표준불확도

a : 반 범위값(semi-range)

식 (9)에 의해 표준불확도를 산출, 소수점 자리는 소수점 5째 자리에서 반올림하여 수치맺음 한다.

표 6. 기준속도 측정장비 분해능에 대한 표준불확도

분해능	표준불확도
0.001s	0.0003s

거리측정 줄자도 교정성적서상의 확장불확도를 통해 표준불확도를 산출하였다.

표 7. 기준줄자의 표준불확도 산출

보정값	확장불확도	표준불확도
0.0003m	0.0005m	0.0003m

기준줄자 분해능에 대한 표준불확도도 시간간격 측정 장비와 동일하게 식 (9)를 이용, 산정하였다.

표 8. 기준줄자의 분해능에 대한 표준불확도

분해능	표준불확도
0.001m	0.0003m

센서간 거리측정 평행각도에 대한 표준불확도는 그림 4와 같이 센서간 거리측정이 정확하게 90°로 측정되지 않을 경우 발생한다.

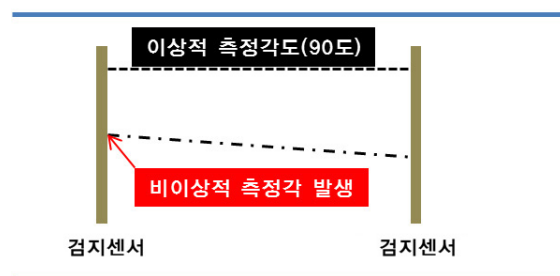


그림 4. 검지센서간 측정각도 오차발생 요인

최대 3° 이상 각도 오차가 발생하지 않는 경험적 결과를 B형 불확도에 적용, 이 때 거리오차를 표준불확도로 적용하며 식 (10)를 통해서 산정하며 산출된 표준불확도는 0.0082m이다.

$$u = |L - L \cdot \cos 3^\circ| \quad (10)$$

여기서, u : 센서평행각 오차에 의한 표준불확도

L : 센서간 거리(6m)

3.1.3. 합성표준불확도 산출

요인별로 산출된 표준불확도를 거리, 시간별로 합성하여 속도에 관한 표준불확도를 산출한다. 거리측정 표준불확도의 합성은 식 (11)을 통해 산출한다.

$$u(L) = \sqrt{u^2(L_1) + u^2(L_2) + u^2(L_3) + u^2(L_4)} \quad (11)$$

여기서, $u(L_1)$: 기준출자 교정결과에 따른 표준불확도

$u(L_2)$: 기준출자 측정분해능의 표준불확도

$u(L_3)$: 루프검지센서 거리반복 측정의 표준불확도

$u(L_4)$: 루프검지센서 거리측정 평행각도의 표준불확도

식 (11)에 근거, 거리측정에 대한 전체 표준불확도를 산출하면 식 (12)와 같다.

$$u(L) = \sqrt{0.0003^2 + 0.0003^2 + 0.0058^2 + 0.0082^2} \approx 0.0101m \quad (12)$$

시간측정 표준불확도는 기준속도 측정장비와 시간측정 분해능의 표준불확도로 구성되며 식 (13)과 같다.

$$u(t) = \sqrt{u^2(t_1) + u^2(t_2)} \quad (13)$$

여기서, $u(t_1)$: 기준속도 측정장비의 표준불확도

$u(t_2)$: 기준속도 측정장비 분해능의 표준불확도

식 (13)에 근거하여 시간간격 측정에 대한 표준불확도를 기준속도별로 산출하면 표 9와 같다.

시간, 거리 합성표준불확도를 통해 식 (14)와 같이 표준불확도를 산출하였으며 이 때 감도계수는 시간, 거리

의 변수가 속도에 미치는 영향 정도를 나타낸다.

표 9. 기준속도 측정장비 표준불확도 산출

기준속도	$u(t_1)$	$u(t_2)$	$u(t)$
40km/h	0.0003s	0.0003s	0.0004s
60km/h	0.0002s	0.0003s	0.0003s
80km/h	0.0001s	0.0003s	0.0003s
100km/h	0.0002s	0.0003s	0.0003s
120km/h	0.0001s	0.0003s	0.0003s
140km/h	0.0001s	0.0003s	0.0003s
160km/h	0.0001s	0.0003s	0.0003s

$$u_c(v) = \sqrt{c_L^2 u^2(L) + c_t^2 u^2(t)} \quad (14)$$

여기서, c_L : 거리측정 감도계수

$u(L)$: 거리측정 표준불확도

c_t : 시간간격측정 감도계수

$u(t)$: 시간측정 표준불확도

거리측정 감도계수 c_L 은 속도산출식의 거리 L 에 대한 편미분 값인 $1/L$, 시간간격측정 감도계수 c_t 는 시간 t 에 대한 편미분 값으로 $-L/t^2$ 로 정의된다. 기준속도별 감도계수는 표 10과 같으며 식 (14)를 통해 산출한 기준장비 표준불확도는 표 11과 같다.

표 10. 거리측정 및 시간측정 감도계수

기준속도	c_L	c_t
40km/h	$1.8505s^{-1}$	$-20.55m/s^2$
60km/h	$2.7745s^{-1}$	$-46.19m/s^2$
80km/h	$3.7009s^{-1}$	$-82.18m/s^2$
100km/h	$4.6282s^{-1}$	$-128.52m/s^2$
120km/h	$5.5500s^{-1}$	$-184.82m/s^2$
140km/h	$6.4843s^{-1}$	$-252.27m/s^2$
160km/h	$7.4093s^{-1}$	$-329.38m/s^2$

표 11. 기준장비 표준불확도 산출

기준속도	기준장비 측정속도	표준불확도	자유도
40km/h	39.97km/h	0.07km/h	∞
60km/h	59.93km/h	0.10km/h	∞
80km/h	79.94km/h	0.14km/h	∞
100km/h	99.97km/h	0.21km/h	∞
120km/h	119.88km/h	0.28km/h	∞
140km/h	140.06km/h	0.36km/h	∞
160km/h	160.04km/h	0.43km/h	∞

산출 표준불확도의 정밀분석을 위해 속도단위 중간값에 대한 보정값을 산출하고 이에 대한 보정값 및 표준불확도는 속도구간의 인접값 중 절대값이 큰 값을 적용, 보정해서 재분류한 결과는 표 12와 같다.

표 12. 기준장비 표준불확도 재분류표

설정 속도	보정값	표준불확도
40km/h	0.03km/h	0.07km/h
50km/h	0.07km/h	0.10km/h
60km/h	0.07km/h	0.10km/h
70km/h	0.07km/h	0.07km/h
80km/h	0.06km/h	0.06km/h
90km/h	0.06km/h	0.06km/h
100km/h	0.03km/h	0.03km/h
110km/h	0.12km/h	0.12km/h
120km/h	0.12km/h	0.12km/h
130km/h	0.12km/h	0.12km/h
140km/h	-0.06km/h	-0.06km/h
150km/h	-0.06km/h	-0.06km/h
160km/h	-0.04km/h	-0.04km/h

3.2 평가대상장비 확장불확도 산출

3.2.1. 수집자료 분석⁴⁾

평가대상장비의 확장불확도를 산출하기에 앞서 1:1로 매칭데이터⁵⁾를 이용, 기준장비 속도측정 오차가 고려된 실제 기준속도 보정값을 적용, 최종 기준속도로 활용하였다. 표 12의 속도별 보정값을 추세선 분석을 통해 보정식을 산정하여 기준속도를 보정하였다.

$$y = -0.0007x + 0.1032 \quad (15)$$

여기서, y : 기준속도 보정값

x : 기준장비 측정속도

대상장비 속도측정 오차 표준불확도 산출을 위해 보정 기준속도와 대상장비 속도를 10km/h단위로 분류, 속도오차 절대값 표준편차를 구간별로 산출하였다.⁶⁾

4) 적용성 평가에 활용한 현장수집 동일 데이터를 통해 평가대상장비의 확장불확도를 산출

5) 음인시 기흥읍 마북리 마북터널 전방에 설치된 고정식 속도위반 단속 장비로부터 수집(수집샘플 100대 이상, 수집시간 30분, 대상차량은 60km/h 이상 속도차량)

6) 산출결과는 <표 14>에 수록하였음

3.2.2. 평가대상장비 확장불확도 산출

평가대상장비의 불확도를 산출하기 위해 평가대상장비의 불확도 요인을 분석, 요인별 표준불확도 및 합성표준불확도를 산출하였으며, 기준장비 표준불확도와 합성하여 평가대상장비의 합성표준불확도를 산출하였다. 분석된 평가대상장비 불확도 요인은 표 13과 같다.

표 13. 평가대상장비의 불확도 요인분석

구분	불확도 요인	
속도	평가대상장비 속도측정 분해능	B형
	평가대상장비 속도측정오차 불확도	A형

평가대상장비 속도측정 구간별 보정값 오차의 표준불확도 산출결과는 표 14와 같다.

표 14. 대상장비 속도측정 오차 표준불확도 산출결과

속도구간	표준편차	측정수	산식	표준불확도
60km/h~70km/h	0.40	26	$\frac{S}{\sqrt{n}}$	0.10km/h
70km/h~80km/h	0.53	44		0.10km/h
80km/h~90km/h	0.35	8		0.10km/h
90km/h~100km/h	1.20	13		0.30km/h
100km/h~110km/h	0.89	9		0.40km/h

평가대상장비 측정분해능 산출결과는 표 15와 같다.

표 15. 대상장비 측정분해능에 대한 표준불확도 산출결과

측정분해능	표준불확도
1km/h	0.29km/h

산출된 요인별 표준불확도를 이용하여 식 (16)을 통해 평가대상장비의 합성표준불확도를 산출한다.

$$u(v_d) = \sqrt{u^2(v_1) + u^2(v_2) + u^2(v_3)} \quad (16)$$

여기서, $u(v_1)$: 기준장비 속도측정 구간별 표준불확도⁷⁾

$u(v_2)$: 속도측정 구간별 보정값에 오차의 표준불확도

$u(v_3)$: 평가대상장비 측정분해능에 대한 표준불확도

7) 앞서 산정한 기준속도 측정장비 표준불확도 재분류표상의 속도구간별 표준불확도를 동일하게 적용

평가대상장비의 합성불확도는 식 (16)을 통해 표 16과 같이 산출된다.

표 16. 대상장비 속도측정 구간별 합성불확도 산출결과

속도측정구간	$u(v_1)$	$u(v_2)$	$u(v_3)$	$u(v_d)$
				유효자유도
60km/h~70km/h	0.14km/h	0.10km/h	0.29km/h	0.34km/h 3340
70km/h~80km/h	0.14km/h	0.10km/h	0.29km/h	0.34km/h 5746
80km/h~90km/h	0.21km/h	0.10km/h	0.29km/h	0.37km/h 1311
90km/h~100km/h	0.21km/h	0.30km/h	0.29km/h	0.47km/h 5855
100km/h~110km/h	0.28km/h	0.40km/h	0.29km/h	0.57km/h 32

합성표준불확도 산출 후 자유도 합성공식에 의거, 속도측정구간별 자유도 및 유효자유도를 산출하고 이를 참조하여 신뢰수준과 포함인자 k 를 결정한다. 유효자유도는 합성표준불확도가 측정값의 표준편차를 얼마나 추정하는지를 나타내는 것으로 불확도 전파에 따른 Welch-Satterthwaite 공식을 이용, 개별 표준불확도 인자들을 합성하여 산출한다.

유효자유도가 10보다 큰 경우, 한국인정기구의 지침(2007)에서는 통상적으로 95% 수준에서 포함인자 $k=2$ 를 적용하도록 권장하고 있으며 산출된 유효자유도가 모두 10보다 크므로 확장불확도는 합성표준불확도에 $k=2$ 를 적용, 속도구간별 확장불확도를 산출한다.

$$U_d = 2 \times u(v_d) \quad (17)$$

여기서, U_d : 확장불확도

$u(v_d)$: 평가대상장비 합성불확도

표 17. 평가대상장비 확장불확도 산출결과

속도측정 구간	확장불확도(신뢰수준 95%, k=2)
60km/h~70km/h	0.68km/h
70km/h~80km/h	0.68km/h
80km/h~90km/h	0.74km/h
90km/h~100km/h	0.94km/h
100km/h~110km/h	1.14km/h

4. 개발방법의 적용성 평가

산출된 기준장비와 평가대상장비 표준불확도를 현장 데이터에 적용, 결과를 도출하였다. 기존검지기 평가방법도 동일기준으로 적용, 개발방법과 비교를 수행하였다. 적용성 평가를 위한 세부단계는 아래와 같다.

- 1단계 : 현장자료 수집 및 분석
- 2단계 : 측정불확도 적용에 따른 자료분석⁸⁾
 - 기준장비 합성표준불확도 산출
 - 평가대상장비 표준불확도 산출
 - 기준장비, 평가대상장비 확장불확도 산출
- 3단계 : 기존 성능평가방법 적용에 따른 자료분석
- 4단계 : 각 성능평가방법 적용, 분석결과비교

4.1. 데이터 처리

기존 성능평가방법과 개발평가방법을 동일조건 비교를 위해 수집자료를 개별 성능평가방법에서 제시하고 있는 데이터 처리방식과 동일하게 처리하였다. 처리 데이터는 불확도산출 시 활용하였던 1:1매칭데이터를 활용하였다.

4.1.1. VDS 성능평가방법의 데이터 처리과정

VDS 성능평가방법에서는 평가지표로 속도오차율 절대값에 대한 평균값인 MAPE를 사용하며, 기준속도 측정장비의 보정없이 측정속도를 기준속도로 적용한다.

수집데이터를 5분 단위 분류 및 100%-MAPE를 산출한 후 전체 데이터의 100%-MAPE를 산출하였다.

4.1.2. 교통단속장비 성능평가방법 데이터 처리과정

교통단속장비 성능평가방법에서는 기준속도 측정장비 교정성적서상의 측정오차를 적용하여 보정된 데이터를 사용하고 있다.⁹⁾ 보정 데이터에 대한 최대속도오차율(%)을 산정하여 기준오차율과 비교를 수행한다.

동일방법 적용을 위해 교정성적서상 측정결과에 대해 추세를 이용하여 개별 기준속도를 보정하였다. 이후에 평가지표인 최대속도오차율(%)을 산출하였다.

8) 불확도 산출단계에서 산출된 일부내용은 준용

9) 3.2.1의 수집자료 분석과 동일한 데이터이므로 식(15)를 동일하게 적용하여 보정

4.2. 적용성 평가결과

4.2.1. 개발평가방법 적용결과

개발평가방법의 평가지표는 오차율을 적용하였다. 이를 위해 속도구간별 산출 최대속도오차율 중 절대값이 가장 큰 구간의 최대속도오차율을 기준으로 해당 구간에 확장불확도를 적용, 평가하였다.

표 18. 불확도 적용 평가대상장비 최종평가 결과표

구 간	최대속도오차 (km/h)	최대속도 오차율(%)	보정기준 속도(km/h)	확장 불확도 ¹⁰⁾
60~70km/h	2.30	3.73	61.70	0.68km/h
70~80km/h	3.08	4.22	72.92	0.68km/h
80~ 90km/h	0.72	1.37	82.28	0.74km/h
90~100km/h	4.63	4.80	96.37	0.94km/h
100~110km/h	-4.35	-4.17	104.35	1.14km/h

표 18에서 90~100km/h의 최대속도오차율은 4.8%이며, 최대속도오차값은 4.63km/h이다. 최대속도오차 범위는 최대속도오차값에 확장불확도값을 가감한 3.69~5.57km/h가 된다. 최대속도오차구간 상, 하한값을 보정기준속도 96.37km/h로 나누어 최종평가기준값 범위인 최대속도오차율에 대한 구간을 산정하면 3.83~5.78%로 산출되며, 절대값이 큰 값인 상한값 5.78% 최대속도오차율로 평가기준값으로 적용한다.

4.2.2. VDS 평가방법 분석결과

VDS 평가방법에 따른 평가결과 산출을 위해 5분단위 MAPE를 평균하여 최종 100-MAPE를 산출하였다. 산출결과 전체 100%-MAPE는 98.95%이며 세부 결과는 표 19와 같다.

표 19. 차량검지시스템(VDS) 평가방법 분석결과

시간	MAPE(%)	전체 MAPE(%)	100%-MAPE(%)
5분	0.7	1.05	98.95
10분	1.1		
15분	0.9		
20분	0.9		
25분	0.9		
30분	1.8		

4.2.3. 교통단속장비 평가방법 분석결과

교통단속장비 평가방법에 따라 산출된 최대속도오차

율은 4.9%이며 세부 결과는 표 20과 같다.

표 20. 교통단속장비 평가방법 분석결과

순번	기준속도 (km/h)	보정기준 속도(km/h)	대상속도 (km/h)	오차 (km/h)	절대값 (km/h)	최대속도 오차율(%)
39	96.33	96.37	101	4.63	4.63	4.9

4.2.4. 평가결과 분석

개발평가방법 및 기존평가방법을 적용하여 동일 수집 데이터에 대한 검지기 성능에 대한 평가결과는 표 21과 같다.

표 21. 평가결과 비교표

구 분	교통단속장비 평가방법	VDS 평가방법	측정불확도적용 평가방법
평가기준	최대속도오차율 : ±5% 이하	100%-MAPE 95%이상(최상급)	최대속도오차율 : ±5% 이하 ¹¹⁾
분석결과	4.7 %	98.95 %	5.78%
평가결과	적합	적합	부적합

분석결과 평가대상검지기는 교통단속장비 및 VDS 평가방법을 적용시에는 평가기준에 부합하지만 개발평가방법을 적용한 결과 평가기준에 부합하지 않는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 기존방법이 측정 시의 다양하고도 불확실한 요인을 반영하지 못함으로 인해서 측정환경 및 기준장비의 측정변동량이 가산되지 않음으로 해석된다.

이에 따라 기존평가방법 적용 시 성능이 적절하지 않은 평가대상장비에 대한 적합판정 등의 부적절한 판정을 할 수 있을 가능성이 내포되어 있는 것으로 판단된다.

그림 5 ①의 경우와 같이 평가기준값이 확장불확도를 포함하고도 적합기준값 내에 존재할 경우 적합으로 판정하며 측정값의 판정기준 ②, ③의 경우와 같이 확장불확도를 포함한 평가기준값의 범위가 적합기준값을 초과할 경우 부적합으로 판정한다.

평가대상장비의 적합기준이 최대속도오차 ±5% 이하라고 가정할 경우 측정불확도 개념을 적용하지 않는 경우 4.7%로 적합한 것으로 판정되지만, 측정불확도 개념을 적용한 평가기준값 범위의 최대값이 5.78%로 적합기준 ±5%를 초과하기 때문에 부적합한 것으로 판정되는 경우가 좋은 예라고 할 수 있다.

10) 신뢰수준 95%, k=2

11) 기존 고정식 교통단속장비 평가기준과 동일하게 적용

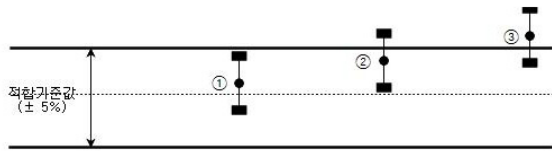


그림 5. 불확도를 적용한 평가결과 판정방법

5. 결론 및 향후 연구과제

5.1. 연구 결론

본 연구에서는 차량검지기 속도측정 성능평가 시 발생될 수 있는 모든 불확실한 변동요인들을 기준속도에 포함하여 적용할 수 있도록 불확도를 적용한 속도측정 성능평가방법을 개발하여 기존평가방법과의 비교를 수행하였다.

동일데이터를 통해 적용성 평가를 실시한 결과, 기존 평가방법은 성능평가기준을 만족시키고 있지만 개발평가방법은 평가기준을 만족시키지 못하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 기존평가방법에서는 기준측정장비 및 측정 시의 불확실한 요인으로 발생하는 오차나 변동요인들을 반영하지 못하므로 나타나는 결과로 분석할 수 있다. 반면, 개발평가방법에서는 측정 시 측정장비 및 불확실한 요인으로 발생하는 변동값을 반영한 평가 지수를 사용하기 때문인 것으로 분석된다.

개발평가방법은 측정 및 평가 시 발생할 수 있는 불확실한 변동요인을 평가단계에서 반영하기 때문에 기존 평가방법 보다 신뢰성 평가가 가능하다고 할 수 있다. 이러한 점에서 불확도를 적용한 성능평가방법은 수집정보 신뢰도에 의해 제공서비스의 질이 좌우되는 ITS 분야에 활용성이 높은 것으로 판단된다.

불확도 개념은 측정 및 평가분야에서 범용적으로 사용할 수 있으므로 기존측정 및 평가방법을 보완하여 적용할 수 있는 특징이 있다. 따라서, 기존평가방법에 불확도 개념을 적용, 단점을 보완할 수 있다면 기존평가방법의 특성을 유지하면서 현재보다 정확하고, 신뢰성 있는 평가결과의 도출이 가능할 것이라 사료된다.

5.2. 향후 연구과제

본 연구에서 적용한 불확도는 측정이나 교정, 평가에 범용적으로 적용이 가능한 특성이 있으며 현재의 교통

정보수집장비 성능평가방법은 개선할 여지가 있다고 판단된다. 따라서, 본 연구결과를 실제 실무에 적용하여 성능평가의 신뢰성을 높이기 위해서는 우선적으로 측정 불확도 개념이 적용된 새로운 성능평가절차에 관한 업무지침 수립이 요구된다. 이를 위해서는 ITS 장비에 대한 특성, 기능과 오차발생요인, 계측장비의 검교정 항목 등에 대한 관련 연구가 선행되어야 한다.

이와 함께, 현재의 성능평가절차에서는 교정절차에 대한 검토가 미흡하므로 세부적인 교정절차 및 방법 등에 대한 추가연구가 이루어진다면 교통정보수집수단의 성능평가결과의 신뢰도를 증대시킬 수 있으리라 판단된다.

참고 문헌

- 경찰청, *고정식 무인교통단속장비 규격서*, 2008년 개정
 - 국토해양부, *ITS 업무 요령 - 국토해양부훈령 제 142호*, 2009. 8.
 - 국토해양부, *ITS 장비·시스템 성능평가 및 검·교정 체계 실용화 연구*, 2006
 - 기술표준원 한국인정기구, *측정결과의 불확도 추정 및 표현을 위한 지침(KOLAS-G-005-2007)*, 2007
 - 김대호 외, "차량검지기 성능평가 방안에 관한 연구(내부순환로 교통관리시스템 영상검지기를 중심으로)", *대한교통학회지*, 2002
 - 김종상, "측정결과 불확도 산정을 위한 모델링과 전파에 관한 연구", 2006
 - 류승기 외, "영상식 차량검지기 데이터 정확도 평가방법", *한국 ITS학회 학술대회지*, 2003
 - 박대현, "고속도로상의 영상검지기 평가방법에 관한 연구", *아주대학교 일반 대학원 석사학위논문*, 2000
 - 장진한 외, "차량검지기 성능평가 방법론 연구", *한국 ITS학회 학술대회지*, 2004
 - 최주호, *측정불확도평가*, 한림원, 2006
 - 한국건설자재시험연구원, *측정불확도 추정과정 교재*, 2006
 - 한국계량측정협회, *시험분야 측정불확도 표현지침 개발*, 2005
 - 한국계량측정협회, *측정불확도 개념*, 2007
 - 한원섭 외, *무인교통단속시스템 검·교정시스템 개선방안 연구*, 도로교통안전관리공단 기본연구과제 보고서, 1999
 - International Organization for Standardization(ISO), *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement(GUM)*, 1993
- (접수일 : 2012. 2. 21 / 심사일 : 2012. 3. 2 / 심사완료일 : 2012. 3. 20)