

소급성과 신뢰구간 개념을 적용한 개별차량단위 검지기 성능평가

Individual Vehicle Level Detector Evaluation with Application of Traceability and Confidence Interval Concepts

장 진 환*
(Jinhwan Jang)

최 동 원**
(Dongwon Choi)

요 약

실시간 교통정보는 현장에 설치된 차량검지기 가 수집하는 교통량, 속도, 점유율 자료를 기반으로 생성된다. 따라서 검지기 성능을 일정수준으로 유지시키는 것이 중요하다. 이를 위해 ITS 관리기관에서는 주기적으로 검지기에 대한 성능평가를 수행한다. 일반적으로 검지기 성능평가는 기준값을 생성하는 장비(기준장비)와 평가대상 검지기가 수집하는 자료를 상호 비교함으로써 수행된다. 여기서 유의할 점은 기준장비 수집값 역시 평가대상 검지기 자료와 같이 오차 및 불확도를 포함하고 있다는 것이다. 또한 검지기 평가가 표본집단에 대해 이루어지기 때문에 이를 모집단의 결과로 표현하기 위해서는 신뢰구간 개념이 적용되어야 한다. 그러나 현재 국내 검지기 성능평가는 합리적인 방법론 부재로 인해 기준값 불확도 및 신뢰구간 개념을 적용하지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 기준값 불확도 및 신뢰구간 개념을 적용한 성능평가 방법론을 제시했고, 이를 루프, 영상, 레이더 검지기 성능평가에 적용했다. Over-count, Under-count 상쇄효과를 제거하기 위해 개별차량단위 자료를 평가하였고 그 결과, 제시된 방법론이 검지기 성능평가에 효과적으로 적용될 수 있음을 입증하였다.

핵심어 : 소급성, 신뢰구간, 루프 검지기, 영상 검지기, 레이더 검지기

ABSTRACT

Due to the importance of vehicle detector which plays an essential role in generating real-life traffic information, maintaining detector data quality is preeminent in advanced traffic management and information systems (ATMIS). To this end, agencies periodically conduct performance tests on detectors. Detector evaluation is generally performed by comparing baseline data with corresponding detector data. Here, two important things need to be addressed; one is errors (or uncertainties) included in baseline data and the other is the confidence interval concept to represent evaluation results of sample data to corresponding ones of population. To resolve these problems, a new detector evaluation scheme is introduced and the scheme is applied to individual level detector evaluations of loop, video image, and radar detectors. The purpose of individual level evaluation is to eliminate the balancing (or cancelling-out) effects of over- and under-counts. As a consequence, the proposed scheme is proven to be effectively applied to real-world detector evaluations.

Key words : Traceability, Confidence Interval, Loop detector, Video Image detector, Radar detector

* 주저자 : 한국건설기술연구원 전임연구원
** 공저자 : 한국건설기술연구원 석사후연구원
† 논문접수일 : 2014년 06월 20일
† 논문심사일 : 2014년 10월 06일
† 게재확정일 : 2014년 10월 21일

I. 서론

최근 들어 차량-도로간 무선통신을 통한 능동형 교통안전시스템 구현을 위해 C-ITS(Cooperative ITS)가 도입되고 있기는 하지만, 차량 검지기는 여전히 많은 교통관리센터에서 실시간 교통정보를 생성하는 중요한 장비이다. 교통정보 신뢰성 확보를 위해서는 이러한 검지기 자료 정확도가 중요한데, 이를 위해서는 검지기 성능평가가 중요하다.

국내 검지기 성능평가는 국토해양부 지침에 의거하여 구매 전 기술시험, 구매/설치 후 준공평가, 2년 단위 정기평가가 체계적으로 이루어지고 있다[1]. 국내와 같은 법적 지침은 존재하지 않지만 국외에서도 검지기 자료 정확도 확보를 위해 많은 검지기 평가가 이루어졌다. Klein 등은 1996년 다양한 센서 및 환경에서 광범위한 검지기 성능평가를 수행했고[2], 텍사스 및 미네소타 교통부에서도 2000년대 초 비매설식 검지기 도입 타당성 검증을 위해 성능평가를 수행했다[3,4]. 검지기 성능평가 방법론에 관해서는 Coifman 등이 검지기 성능의 정밀한 평가를 위해 수행한 개별차량단위 성능평가 방법론이 주로 사용되고[5], 효율적인 검지기 평가시스템에 관해서는 장진환 등과 MacCarely의 성능평가 시스템 구축 연구가 있다[6,7]. 텍사스 교통부는 검지기 센서기술의 진보성 검증을 위해 2007년 또 한번의 대규모 성능평가를 수행했다[8].

이처럼 국내외 많은 성능평가가 이루어졌지만 여전히 성능평가와 관련한 세 가지 이슈가 있다. 첫째, 기준값 오차와 불확도 고려 필요성이다. 비교적 정확하기는 하지만 기준값(속도, 점유율) 역시 센서로부터 수집된 자료이므로 오차와 불확도를 갖고 있다. 따라서 검지기 평가시 기준값에 포함된 오차 및 불확도를 고려해 주어야 한다. 둘째, 신뢰구간 개념 적용 필요성이다. 원칙적으로 검지기 평가는 검지기가 운영되는 전체기간에 대해 이루어져야 하지만 이는 현실적으로 타당하지 않기 때문에 일부기간(예. 30분, 1시간) 동안 평가가 이루어진다. 이 경우 일부기간(샘플)의 평가결과를 전체기간(모집단)의 평가결과를 표현하기 위해서는 신뢰구간 개념이 적용되어야 한다.

마지막으로, 개별차량단위 자료 평가가 필요성이다. 과대 또는 과소 측정(Under-/Over-count) 현상을 정확하게 평가하기 위해서는 일정 집락간격(예. 5분)이 아닌 개별차량단위로 이루어져야 한다.

상기의 문제점을 해결하기 위해서 본 연구에서는 저자가 국제표준기구(ISO) 지침서 및 통계적 이론을 기반으로 기 제시한 검지기 성능평가 방법론[9]을 이용하여 국내에 널리 설치된 루프, 영상, 레이다 검지기에서 수집한 개별차량단위 자료를 평가함으로써 평가 방법론의 유의성 및 검지기 성능에 대한 세밀한 정보를 제공하고자 한다.

II. 평가 방법론

1. 소급성

ISO는 소급성(Traceability)을 “국가표준과 연결된 불확도가 제시된 기준값을 이용하여 측정된 결과값의 특성”이라고 정의하고 있다[10]. 검지기 평가에서 소급성이란 합리적인 방법론에 의거하여 기준값의 불확도를 측정하고, 측정된 기준값 불확도를 반영하여 평가결과를 제시해야 함을 의미한다.

불확도(Uncertainty)란 측정값이 합리적으로 분산된 정도를 측정하는 값인데 이는 오차(Error)와는 다른 개념이다[11]. 오차는 개별 측정값과 기준값의 차이이고, 불확도는 장비가 고유하게 가지고 있는 분산 정도이다. 다시 말해서, 개별 측정값마다 오차는 가변적이지만 해당 장비의 불확도는 고유한 값을 갖는다.

불확도에는 A, B형 표준 불확도, 합성 표준불확도, 확장 불확도가 있다. 불확도에 대한 세부적인 설명은 참고문헌[12]에 설명되어 있으므로 본 논문에서는 간략히 제시하고자 한다. A형 표준불확도는 반복된 측정을 통한 통계적 분석에 의해 식 (1)과 같이 구해지고, B형 표준불확도는 센서의 특성에 의거한 과학적 판단으로 구해지는 불확도로서, 센서 측정값의 분포를 균일 분포(직사각형 분포)로 가정할 경우(차량검지기 센서의 경우 대부분 직사각

형 분포로 가정), 식 (2)에 의해 구해진다. 합성 표준불확도는 민감도 계수를 곱한 A, B형 표준불확도의 합성 제곱근으로써, 식 (3)에 의해 구해지고, 마지막으로 확장 불확도는 합성 표준불확도에 범위 계수(*k factor*)를 곱하여 식 (4)에 의해 구할 수 있다.

$$u_A(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x - \bar{x})^2} / \sqrt{n} \quad (1)$$

$$u_B(x_i) = a / \sqrt{3} \quad (2)$$

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N [c_i \times u_{A \text{ or } B}(x_i)]^2} \quad (3)$$

$$U = k u_c(y) \quad (4)$$

여기서,

- $u_A(x_i)$ = A형 표준불확도
- n = 표본수
- $u_B(x_i)$ = B형 표준불확도
- a = 센서 측정오차 최대범위($a^+ \sim a^-$) 절대값
- $u_c(y)$ = 합성 표준불확도
- c_i = 민감도 계수($\partial f / \partial x_i$)
- U = 확장 불확도
- k = 범위계수

2. 신뢰구간

개별 방법론의 유도과정 및 자세한 설명은 참고 문헌[9]에 기술되어 있으므로 본 논문에서는 수식을 중심으로 한 핵심적인 내용만 다루고자 한다.

교통량, 속도, 점유시간 자료를 평가하는 검지기 성능평가에서 표본 평가결과의 신뢰구간은 크게 두 가지 경우가 존재한다. 첫째, 총 평가기간(예. 30분) 결과값에 대한 신뢰구간(식 5, 6)이고 둘째, 개별차량자료의 신뢰구간(식 7)이다. 검지기 구매자 관점에서는 총 평가기간 평균오차에 대한 신뢰구간도 뿐만 아니라 개별차량단위 오차에 대한 신뢰구간도 유용한 정보가 될 수 있다. 총 평가기간 신뢰구간을 구하는 방법은 계수분포인 교통량 오차 신뢰구간(식 5)과 구간분포인 속도, 점유시간 오차 신뢰구간(식 6)으로 나누어진다.

$$CIM_v = \bar{x} \pm (t_{p,n} \times \frac{\sqrt{F+M}}{n}) \quad (5)$$

$$CIM_{s,o} = \bar{x} \pm (t_{p,n} \times \frac{s}{\sqrt{n}}) \quad (6)$$

$$CII_{s,o} = \bar{x} \pm \sqrt{(t_{p,n} \times \frac{s}{\sqrt{n}})^2 + (z_p \times s)^2} \quad (7)$$

여기서,

CIM_v = 총 평가기간 교통량 평균오차 신뢰구간

\bar{x} = 총 평가기간 평균오차

$t_{p,n}$ = 표본수 n , 신뢰수준 p 일 때, t -값

F, M = Over-count(M) 및 Under-count(M) 수

n = 표본 수

$CIM_{s,o}$ = 총 평가기간 속도, 점유시간 평균오차 신뢰구간

s = 표준편차

$CII_{s,o}$ = 개별차량단위 속도, 점유시간 평균오차 신뢰구간

z_p = 신뢰수준 p 일 때, z -값

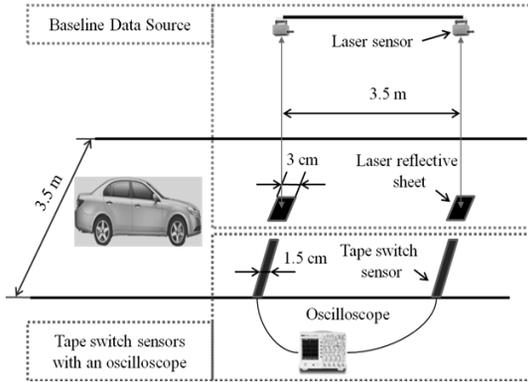
여기서 유의할 점은 교통량(개별차량) 자료 평가의 경우 계수분포 특성상(성공, 실패로 구분) 개별차량단위 오차의 신뢰구간 제시가 불가능하고, 속도, 점유시간 개별차량단위 평균오차 신뢰구간은 z -값(정규분포)을 사용하므로 신뢰구간의 유효성을 확보하기 위해서는 개별차량단위 오차의 정규성 검증이 선행되어야 한다.

III. 검지기 평가

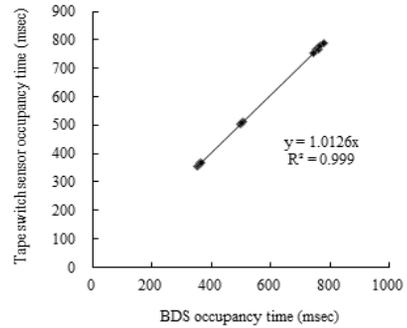
1. 기준값 오차 및 불확도

본 연구에서 사용한 기준장비는 검지기 성능평가를 위해 현재 경기도 곤지암에 설치·운영 중인 레이저 센서 기반의 검지기를 사용했고, <그림 1>과 같이 기준장비의 오차 및 불확도 산출을 위해 테이프스위치 센서와 오실로스코프를 이용했다.

소급성 확보를 위한 기준장비의 오차, 불확도 산출 과정에 관한 세부적인 내용은 참고문헌[9]에 세부적으로 제시되어 있으므로 본 연구에서는 루프, 영상, 레이더 검지기 평가를 위해 필요한 오차 및 불확도 산출 결과만을 <표 1~2> 및 <그림 2~3>과 같이 제시하였다.



〈그림 1〉 기준장비 오차 및 불확도 측정 실험도
 〈Fig. 1〉 Experimental layout of devices for measuring error and uncertainty of baseline data source

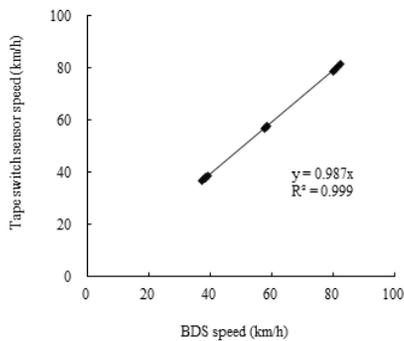


(b) Occupancy time

〈그림 2〉 기준장비 오차 및 회귀직선
 〈Fig. 2〉 Baseline data source error superimposed by regression line

〈표 1〉 기준장비 오차
 〈Table 1〉 Error of baseline data source(BDS)

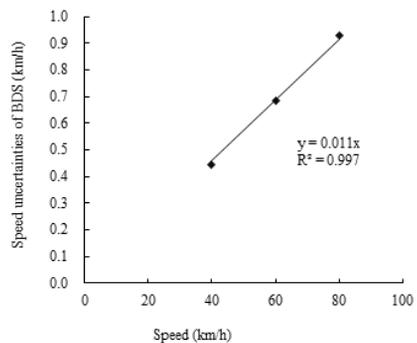
Spd. (km/h)	Probe runs	Tape switch sensor (A)		BDS (B)		Absolute Percent Error (APE) (B-A /B*100)	
		Spd. (km/h)	Occ. time (ms)	Spd. (km/h)	Occ. time (ms)	Spd. (%)	Occ. time (%)
40	1	38.0	764	38.5	755	1.35	1.23
	2	37.8	769	38.3	760	1.42	1.13
	3	37.3	780	37.9	768	1.59	1.51
	4	36.9	788	37.3	780	1.14	1.01
	5	38.5	754	39.1	745	1.53	1.20
60	1	57.5	505	58.6	498	1.88	1.39
	2	56.6	514	57.5	507	1.68	1.31
	3	57.5	505	58.4	498	1.45	1.36
	4	57.2	508	57.9	502	1.38	1.24
	5	57.2	508	57.9	502	1.25	1.12
80	1	79.3	366	80.3	361	1.25	1.44
	2	81.5	357	82.5	351	1.26	1.57
	3	80.8	359	81.6	355	0.98	1.24
	4	79.8	364	80.7	360	1.12	1.06
	5	78.6	369	79.9	365	1.60	1.21



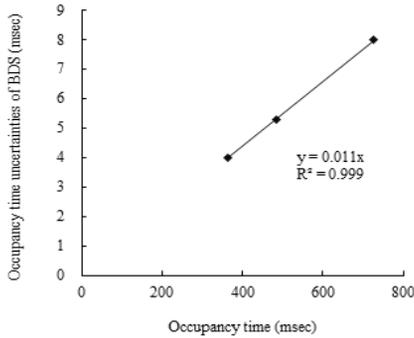
(a) Speed

〈표 2〉 기준장비 불확도
 〈Table 2〉 Uncertainty of baseline data source

Type	Spd. (km/h)	Detection area length		$u(x_i)$		Prob. dist.	c_i		$ c_i \times u(x_i)$		Deg. of free.
		Spd.	Occ. time	Spd.	Occ. time		Spd.	Occ. time	Spd. (km/h)	Occ. Time (ms)	
A	40	3.5 m		0.017		Rec.	11.4	208	0.20	3.6	∞
	60						17.1	138	0.30	2.4	
	80						22.9	104	0.40	1.8	
B	40	3.5 m		0.009		Rec.	11.4	208	0.10	1.8	∞
	60						17.1	138	0.15	1.2	
	80						22.9	104	0.20	0.9	
C	40	40.5	717	0.03	0.65	t	-	-	0.03	0.65	4
	60	60.9	478	0.06	0.24		0.06	0.24			
	80	81.0	358	0.08	0.31		0.08	0.31			
D	40	0		0.00029		Rec.	127	151	0.04	0.04	∞
	60						286	67	0.08	0.02	
	80						508	38	0.15	0.01	
Combined standard uncertainty				$u_c(y)$			40	726	0.23	4.07	-
							60	484	0.35	2.69	
							80	363	0.47	2.03	
Expanded uncertainty				U (k=1.96)			40	726	0.44	7.98	-
							60	484	0.68	5.27	
							80	363	0.93	3.98	



(a) Speed



(b) Occupancy time

<그림 3> 기준장비 불확도 및 회귀직선
<Fig. 3> Baseline data source uncertainty superimposed by regression line

<그림 2~3>의 기준값 오차 및 불확도 회귀직선은 검지기 평가시 오차를 보정하거나 불확도를 고려하여 검지기를 평가하는데 사용된다. 결정계수가 1에 근접함에 따라 회귀직선의 설명력은 매우 우수하다고 할 수 있다.

2. 루프, 영상, 레이더 검지기 평가

본 절에서는 전절에 제시된 기준값 오차 및 불확도를 이용하여 국내기술로 개발되어 고속도로, 국도 등을 중심으로 많이 보급되어 있는 루프, 영상, 레이더 검지기 성능평가를 수행했다. 평가된 검지기들은 평가 전 제조사 전문 엔지니어로부터 정밀한 교정 작업을 거쳤다. 자료 수집은 경기도 광주

곤지암(양방향 4차로)에서 2011년 맑은 날 주간시간대 30분 동안 이루어졌다. 평가기간 동안 하류부 신호 교차로 영향으로 장비별로 1~수회 정체(속도 30km/h 이하)되는 경우가 발생하였다. 분석 편의상 평가는 1개 차로에 대해서만 이루어졌으며 수집 교통량은 검지기별로 150~370대 수준이었다.

<표 3>은 검지기 평가를 위한 데이터 처리절차를 보여준다. 첫째, 기준값과 평가대상 검지기 값은 사전에 동기화된 시각을 이용해 개별차량별로 매칭한 후 교통량 평가(Vol. check)를 수행하고 요약값(평균, 표준편차)을 계산한다. 교통량 평가 표준편차는 식 (8)에 의해 산출한다. 교통량 오차가 포아송 분포를 따른다는 가정 하에 도출된 식 (8)에 대한 상세한 설명한 참고문헌[9]에 기술되어 있다. 둘째, <그림 2>에서 제시된 속도, 점유시간 오차 회귀식을 이용하여 보정값(Adj. value) 산출하고, <그림 3>에서 제시된 불확도 회귀식을 이용하여 상·하한값(Upper and lower limit)을 구한다. 셋째, 산출된 속도, 점유시간 상·하한값에 대응하는 평가대상 검지기 데이터를 비교한 후 평가결과 요약값(평균, 표준편차)을 계산한다.

$$s = \sqrt{(F+M)/n} \tag{8}$$

여기서,

s = 표준편차, n = 표본 수
 F, M = Over-count(F) 및 Under-count(M) 수

<표 3> 검지기 평가를 위한 데이터 처리절차
<Table 3> Data processing for detector evaluation

No.	Time	Baseline data (A)								Detector data (B)			Error [(A-B)/A*100]				
		Speed (km/h)				Occupancy time (ms)				Time	Speed (km/h)	Occ. Time (ms)	Vol. check*	Speed		Occ. Time	
		Raw data	Adj. value	Lower limit (k=1.96)	Upper limit (k=1.96)	Raw data	Adj. value	Lower limit (k=1.96)	Upper limit (k=1.96)					Lower limit (k=1.96)	Upper limit (k=1.96)	Lower limit (k=1.96)	Upper limit (k=1.96)
1	5:00:03	65	64.2	63.4	64.9	409	414	410	419	5:00:03	66.61	411	C	-5.0%	-2.7%	-0.3%	1.8%
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
-										5:04:26	89.54	246	F				
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
102	5:20:19	65.6	64.7	64.0	65.5	371	376	372	380				M				
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
153	5:29:47	82.55	81.5	80.6	82.4	355	359	356	363	5:29:47	78.77	369	c	2.2%	4.4%	-3.8%	-1.5%
Number of missed (M) and falsely detected (F) vehicles													5	-	-	-	-
Mean													3.3%	-6.2%	-3.9%	-0.6%	1.6%
Standard deviation													18.1%	5.5%	5.3%	4.8%	4.7%

* C: Correctly detected, M: Missed, F: Falsely detected

1) 루프 검지기 평가

루프 검지기는 차량이 노면에 매설된 루프코일 위를 통과할 때 발생하는 인덕턴스 변화값을 센싱하여 교통자료를 수집하는 장비로써 초기 ITS 도입 시 고속도로를 중심으로 널리 설치된 검지기이다. 설치 및 유지관리 단점이 존재함에도 검지자료의 정확도 및 6차로 이상 다차로 설치시 비용절감 등을 이유로 현재까지도 전 세계적으로 가장 많이 설치되고 있는 검지기 유형 중 하나이다.

본 연구에서 평가한 루프 검지기의 평가결과는 <표 4>와 같이 모든 자료에서 평균오차가 3% 이내로 나타났다. <표 4>는 <표 3>과 같은 원시 수집 자료의 비교를 통해 산출된 값으로써 교통량 신뢰구간은 식 (5)에 의해 산출되었고, 속도, 점유시간 신뢰구간은 식 (6~7)에 의해 산출되었다. 한편, 점유시간 오차는 K-S 정규성 검정 결과, <표 5>와 같이 정규성 가정이 위배됨(p 값이 유의수준인 0.05보다 작음)에 따라 개별차량단위 오차의 신뢰구간은 제시하지 못했다.

<표 4> 루프 검지기 평가결과

<Table 4> Result of loop detector evaluation

Classification	Vol. error (%)	Spd. error (%)		Occ. time error (%)	
		Low. limit	Up. limit	Low. limit	Up. limit
Point esti.	Mean 1.3 Std. dev. 11.6	-1.1	1.1	-2.3	-0.1
Int. esti. at k=1.96	0.2 to 2.5	-1.2 to -0.9	1.0 to 1.2	-2.6 to -1.9	-0.4 to 0.3
Agg. (30 m) level		-1.2 to 1.2		-2.6 to 0.3	
Indi. veh. level	N/A	-3.3 to 1.2, -1.1 to 3.4		N/A (Normality assumption violated)	
		-3.3 to 3.4			

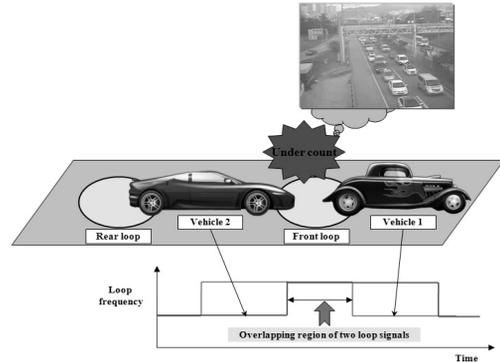
<표 5> 루프 검지기 오차 정규성 검증결과

<Table 5> Result of the Normality test on error of loop detector

Classification	Parameters		K-S test (p-value)
	Lower limit	Upper limit	
Spd.	Mean=-1.1%, Std. dev.=1.2%		0.46
	Mean=1.1%, Std. dev.=1.1%		0.46
Occ. time	Mean=-2.3%, Std. dev.=3.4%		0.02
	Mean=-0.1%, Std. dev.=3.3%		0.02

전체적으로 루프검지기는 정확한 데이터를 수집하지만 <그림 4>와 같이 하나의 루프코일 위에 두 대의 차량이 존재할 경우 전방차량의 점유시간이 과대 계측되고 후방차량은 검지하지 못하는 것으로

관측되었다. 이는 그림 하단에 표시한 루프검지기 펄스파형으로 설명이 가능하다. 즉, 전·후방차량의 중첩된 파형으로 인해 오차가 발생하는 것으로 분석되었다. 이러한 오차는 개별 루프센서가 차량별로 진입(rising pulse)·진출(falling pulse)시각을 별도로 계측한다면 해결이 가능하지만, 이를 위해서는 펌웨어 수정 등 별도의 프로그래밍 작업이 필요하다.



<그림 4> 루프 검지기 오차 발생 사례

<Fig. 4> An example of loop detector error

2) 영상 검지기 평가

전 절에서 언급한 루프 검지기 단점으로 인해 국내에서는 2000년대 초부터 국도 ITS를 중심으로 영상검지기가 많이 설치되었다. 영상 검지기는 초당 30 프레임의 아날로그 비디오 영상을 처리하여 교통 데이터를 수집한다. 이는 루프검지기와 같이 노면파손, 유지관리 어려움 등 문제점은 발생하지 않지만 조도에 따라 가변적인 비디오 영상의 고유한 특성으로 인해 악천후, 야간시에 검지성능이 저하될 가능성이 있다.

본 연구에서 평가한 영상 검지기의 평가결과는 <표 6>과 같이 나타났다. 속도 평균 오차의 경우 2% 이내로 루프 검지기와 유사했지만 점유시간 오차의 경우 최대 7.3%로 나타나 루프 검지기(3% 이내)에 비해 다소 높았다.

특이한 점은 속도 오차의 경우에도 총 평가기간(30분)의 경우에는 루프 검지기 오차와 크지 않았지만, 개별차량단위 오차의 신뢰구간의 경우에는 루

프 검지기에 비해 약 6배가 높은 것으로 나타났다. 이는 평균 오차는 유사하더라도 오차의 표준편차가 큼으로 인해 개별차량단위 오차는 크게 발생할 수 있음을 의미한다. 따라서 총 평가기간의 평균 오차만 제공하는 것보다 개별차량단위 오차의 신뢰구간까지 제시할 경우 검지기 사용자 입장에서는 보다 우수한 성능의 검지기를 선정하는데 도움을 줄 수 있다. <표 7>과 같이 영상 검지기 오차는 속도, 점유율 오차 모두 정규성 가정이 충족(p 값이 유의수준 0.05보다 큼)됨을 알 수 있다.

기준값 불확도를 고려한 영상 검지기 점유시간 오차는 -7.3~-4.9%로 나타났다. 기존의 평가방법(단일값을 평가값 제시)을 적용할 경우 -7.3%와 -4.9%의 평균값인 -6.1%로 제시할 것이다. 만약 합격기준을 $\pm 5\%$ 정할 경우 불합격으로 판정하게 될 것이다. 그러나 이 경우 평가대상 검지기 공급자(판매자)는 기준값에 포함된 오차 및 불확도를 이유로 판정결과를 쉽게 수용하지 못하는 문제가 발생할 수 있다. 그러나 본 연구 방법론 적용시 최소 오차가 -4.9%임에 따라 합격으로 판정할 수 있는 논리적 근거를 확보할 수 있다.

<표 6> 영상 검지기 평가결과
<Table 6> Result of video image detector evaluation

Classification	Vol. error (%)	Spd. error (%)		Occ. time error (%)	
		Low. limit	Up. limit	Low. limit	Up. limit
Point esti.	Mean 7.5 Std. dev. 27.3	-1.6	0.6	-7.3	-4.9
Int. esti. at k=1.96	Agg. (30 m) level 0.2 to 2.5	-3.2 to -0.2	-0.7 to 1.9	-9.7 to -4.9	-7.3 to -2.6
	Indi. veh. level N/A	-19.8 to 16.5	-17.2 to 18.4	-39.0 to 24.4	-36.0 to 26.1

<표 7> 영상 검지기 오차 정규성 검증결과
<Table 7> Result of the Normality test on error of video image detector

Classification		Parameters	K-S test (p-value)
Spd.	Lower limit	Mean=-1.6%, Std. dev.=9.2%	0.65
	Upper limit	Mean=0.6%, Std. dev.=9.0%	0.65
Occ. time	Lower limit	Mean=-7.3%, Std. dev.=16.2%	0.26
	Upper limit	Mean=-4.9%, Std. dev.=15.8%	0.26

본 평가에서 영상 검지기는 주로 <그림 5>의 경우에 오차를 발생시키는 것으로 분석되었다. 다시

말해서, 전후 차량이 근접해서 주행할 경우 루프 검지기 오차에서와 같이 전·후 차량을 1대로 검지하는 경우가 많았고, 대형차량 통과시 그림자 영향으로 인접차로의 주행차량이 검지되는 경우가 발생하였다. 이러한 오차를 줄이는 방법으로 영상 센서의 설치 높이를 높이거나 암(arm)을 길게 하여 비디오 영상 내 차량 중첩현상(occlusion)을 최대한 줄이는 방법이 있다. 실제로 교통관리센터에서 정기평가시 일정수준 이하의 성능을 보이는 검지기 성능향상 방법으로 암을 길게 하는 경우가 고속도로를 중심으로 다수 존재하는 것으로 조사되었다.



<그림 5> 영상 검지기 오차 발생 사례
<Fig. 5> An example of video image detector error

3) 레이더 검지기 평가

조도의 영향을 민감하게 받는 영상 검지기 단점을 극복하기 위해 2008년부터 레이더 검지기가 설치되기 시작했다. 특히 경기도 자유로의 경우 안개 등의 영향을 최소화하기 위해 레이더 검지기가 많이 설치되어 있다. 레이더 센서의 특성상 조도나 날씨의 영향을 적게 받는 장점이 있지만, 우수한 성능 유지를 위해서는 설치 지점별로 전문가의 정밀한 교정(튜닝) 작업이 필요하다. 국내에서 사용되는 레이더 검지기 주파수는 64/24Ghz가 사용되기 때문에 만약 해당 주파수를 사용하는 차량이 통과할 경우 전파 간섭이 발생하여 오검지될 가능성이 있다.

본 연구에서 레이더 검지기 평가는 <표 8>과 같았다. 전체적으로 레이더 검지기 성능은 루프와 영상 검지기 사이에 위치하는 것으로 나타났다. 오차의 정규성 검증 결과, 모두 정규성 가정이 위배되지 않는 것으로 분석되어 개별차량단위 속도, 점유시간 오차의 신뢰구간이 제시되었다.

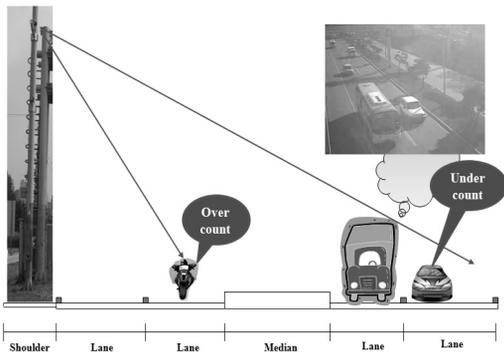
〈표 8〉 레이더 검지기 평가결과
 〈Table 8〉 Result of radar detector evaluation

Classification	Vol. error (%)	Spd. error (%)		Occ. time error (%)	
		Low. limit	Up. limit	Low. limit	Up. limit
Point esti.	Mean 3.3	-6.1	-3.8	-0.6	1.6
	Std. dev. 18.1	5.5	5.3	4.8	4.7
Int. esti. at k=1.96	Agg. (30 m) level 0.4 to 6.1	-6.9 to -5.2	-4.6 to -2.9	-1.4 to 0.2	0.8 to 2.3
		-6.9 to 2.9			
	Indi. veh. level	-16.8 to 4.7	-14.2 to 6.7	-10.0 to 8.8	7.6 to 10.8
		-16.8 to 6.7		-10.0 to 10.8	

〈표 9〉 레이더 검지기 오차 정규성 검증결과
 〈Table 9〉 Result of the Normality test on error of radar detector

Classification		Parameters	K-S test (p-value)
Spd.	Lower limit	Mean=-6.1%, Std. dev.=5.5%	0.09
	Upper limit	Mean=-3.8%, Std. dev.=5.3%	0.09
Occ. time	Lower limit	Mean=-0.6%, Std. dev.=4.8%	0.26
	Upper limit	Mean=1.6%, Std. dev.=4.7%	0.26

사전에 검지기와 시각 동기화를 수행하여 녹화된 비디오 영상을 이용하여 레이더 검지기 자료 오류 유형을 분석한 결과, <그림 5>와 같았다. 본 연구에서 평가한 side-fire 형식의 레이더 검지기 특성상 차량의 폭 검지가 어려움에 따라 이륜차량을 승용차로 검지하는 사례가 종종 발생하였고, 전파의 가시선(line-of-sight) 영향으로 대형차량과 나란히 주행하는 소형차량을 검지하지 못하는 경우가 발생하는 것으로 분석되었다.



〈그림 5〉 레이더 검지기 오차 발생 사례
 〈Fig. 5〉 An example of radar detector error

IV. 본 연구 성능평가 의의

1. 소급성 및 신뢰구간 적용

국내에서 검지기 성능평가는 법적인 제도로써 평가결과에 대한 영향이 막대하다. 기술시험에서 일정수준 이하로 평가될 경우 사업의 입찰참가자격을 가질 수 없게 되고, 준공/정기평가에서 불합격할 경우 추가적인 교정, 평가비용을 지불해야 할 뿐만 아니라 경우에 따라서는 해당 사업의 지체비용을 부담해야 하는 경우도 발생한다. 따라서 검지기 공급자는 검지기 평가결과에 민감하게 반응할 수밖에 없다.

검지기 허용오차가 10%인 사업에서 오차가 2%인 기준장비를 이용해 검지기를 평가한 결과, 11%의 오차가 발생하는 것으로 평가되었다고 가정해보자. 이 경우 해당 검지기 공급자는 기준장비의 오차를 이유로 평가결과에 이의를 제기할 가능성이 높다. 하지만, 기준값의 소급성을 적용하지 않은 기존의 방법에 의한 평가결과(단일 오차값으로 표시)로는 11% 오차 발생 검지기를 합격으로 판단할 수 있는 논리적 근거를 갖고 있지 않다. 하지만 소급성을 적용한 평가결과가 9~13%(95% 신뢰수준)로 나왔다고 한다면 최소 오차가 10%보다 작으므로 해당 검지기를 합격으로 판정할 수 있는 논리적 근거 확보가 가능하다.

전 장에서 살펴봤듯이 본 연구에서는 검지기 오차의 통계적 신뢰구간 방법론 적용을 통해 평균 오차가 유사하더라도 신뢰구간은 크게 차이가 나는 경우 등을 판별할 수 있었다. 이는 검지기 사용자 입장에서 신뢰성 있는 검지기 구매 및 검지기 자료 수집을 위한 귀중한 자료로 활용될 수 있다.

2. 센서유형별 개별차량단위 자료 평가

일반적으로 검지기 평가시 일정한 집락간격(예. 1분, 5분)으로 데이터를 집락(agggregation)하여 평가하게 된다. 이 경우 문제점은 Over- 및 Under-count 자료가 상쇄되는 영향에 대한 평가가 불가능하다는

것이다. 또한 전장에서 살펴본 검지기 유형별 오류 형태에 대한 세밀한 분석이 어렵다.

본 연구에서와 같이 검지기 유형별(또는 설치 조건별)로 세밀한 분석이 가능할 경우 검지기가 설치되는 현장의 도로, 교통, 환경 조건에 적합한 검지기가 설치되도록 설계할 수 있을 것이다. 다시 말해서 안개 및 조도의 영향을 크게 받는 도로에는 영상 검지기 설치를 지양할 수 있고, 이륜 차량의 통행이 빈번한 도로나 대형차량에 따른 전파 가시선이 문제가 크게 고려되는 경우 레이더 검지기 설치를 지양하는 등으로 적용할 수 있을 것이다.

V. 결론 및 향후과제

검지기 자료 정확도 향상은 교통 모니터링 분야에서 가장 이슈가 되는 사항 중 하나이다. 사용자는 정해진 예산 범위 내에서 가장 정확도가 높은 검지기를 도입하고자 할 것이고, 제조사 입장에서는 최소의 비용으로 검지기 성능을 향상시키는 방안을 고심할 것이다. 이러한 이유로 인해 국내에서는 검지기 성능평가에 관한 제도적인 장치를 마련하였다.

신뢰성 있는 검지기 성능평가를 위해서는 기준 값에 포함되어 있는 오차 및 불확도를 고려해주어야 하고, 표본집단의 평가결과를 모집단의 평가결과로 확장하기 위한 신뢰구간 제시가 필요하다. 또한 과소/과대 계측 상쇄효과를 제거하기 위해서는 개별차량단위로 검지기 자료가 비교·평가되어야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 소급성 및 신뢰구간 개념을 포함한 검지기 성능평가 방법론을 이용하여 국내에 널리 설치되어 있는 루프, 영상, 레이더 검지기 개별차량단위 자료에 대한 평가를 수행했고, 검지기 유형별로 발생하는 오차를 세밀하게 분석함으로써, 검지기 특성에 대한 보다 정밀한 정보를 제공하였다.

본 연구에서는 실시간 교통정보시스템을 위해 국내에 주로 설치되어 있는 검지기에 대해 성능평가를 수행했다. 그러나 검지기 센서 기술은 나날이 발전되고 있기 때문에 향후에는 좀 더 다양한 센서 및 검지기 모델별로 다양한 기상, 교통조건 하에서

평가할 필요성이 있을 것으로 사료된다. 또한 최근에는 검지기를 이용해 차종까지 분류하는 사례가 증가함에 따라 차종 검지자료 평가시 소급성 및 신뢰구간을 제시할 수 있는 방법론에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

참고문헌

- [1] *Guidelines on ITS Project Enforcement: VDS and AVI Evaluation*, Ministry of Land Infrastructure and Transport, 2013.
- [2] L. A. Klein and M. R. Kelley, *Detection Technology for IVHS, Volume 1: Final Report Addendum*, FHWA-RD-95-100, FHWA, U.S. Department of Transportation, 1996.
- [3] D. Middleton and R. Parker. *Vehicle Detector Evaluation*, Texas Transportation Institute, 2002.
- [4] Minnesota DOT and SRF Consulting Group, *Evaluation of Non-Intrusive Technologies for Traffic Detection*, Final Report, SRF no. 3683, FHWA, U.S. DOT, 2002.
- [5] B. Coifman. Vehicle Level Evaluation of Loop Detectors and the Remote Traffic Microwave Sensor. *Journal of Transportation Engineering*, vol. 132, ASCE, 2006.
- [6] C. A. MacCarley. Adaptive Automatic Ground Truth Generation for Testing of Vehicle Detectors. 88th Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington, D.C., 2009.
- [7] J. Jang and S. Byun. Evaluation of traffic data accuracy using Korea detector test bed. *IET Intelligent Transport Systems*, vol. 5, Iss. 4, Institution of Engineering and Technology, 2011.
- [8] D. Middleton, R. Parker, and R. Longmire, *Investigation of Vehicle Detector Performance and ATMS Interface*, FHWA, U.S. DOT, 2007.
- [9] J. Jang and T. Nakatsuji. Vehicle Detector Evaluation Based on Traceability and Confidence Interval Concepts, 93rd Annual Meeting of

Transportation Research Board, Washington, D.C.,
2014.
[10] *International Vocabulary of Basic and General
Terms in Metrology: second edition*, International

Organization for Standardization, 1993.
[11] *Guide to the Expression of Uncertainty in
Measurement*, ISBN 92-67-10188-9, International
Organization for Standardization, 1995.

저자소개



장 진 환 (Jang, Jinhwan)

2012년 호카이도대학교 박사(교통공학전공)
2000년 10월~현재 : 한국건설기술연구원 도로교통연구실 전임연구원
e-mail : jhjang@kict.re.kr
연락처 : 031) 910-0684



최 동 원 (Choi, Dongwon)

2012년 과학기술연합대학원대학교 석사(ITS공학전공)
2012년 2월~현재 : 한국건설기술연구원 도로교통연구실 석사후연구원
e-mail : kictcdw@kict.re.kr
연락처 : 031) 995-0843