

통계적 신뢰구간 개념을 도입한 검지기 성능평가

Detector Evaluation Scheme Including the Concept of Confidence Interval in Statistics

장 진 환* 김 병 화**
(Jin-Hwan Jang) (Byung-Hwa Kim)

요 약

본 논문은 기존의 단일값(점추정)으로 제시하던 검지기 성능평가 결과를 통계적 신뢰구간(구간추정)으로 제시하기 위한 검지기 성능평가 방안을 제시했다. 일반적으로 구간추정은 점추정에 비해 표본 통계의 더 많은 정보를 제공하기 때문에 기존 단일값으로 제시해 오던 검지기 성능평가 결과의 신뢰성을 향상시킬 수 있다. 방법론은 크게 표본 추출, 평가척도 분석, 평가결과 제시의 세 부분으로 나누어진다. 표본추출 방법에는 다양한 통계적 표본 추출 방법이 있지만 교통, 조도, 기상조건에 따라 변화하는 차량검지기 성능의 특성상 층화추출법이 통계적 신뢰구간 제시를 위한 가장 적합한 방법론으로 간주되었다. 또한 기존에 널리 사용된 검지기 성능평가 척도들의 특징을 면밀히 분석하여 평가자로 하여금 해당 검지자료에 적합한 평가척도를 선택할 수 있는 프로세스를 정립하였다. 마지막으로 평가기간 전체(예. 30분)와 개별분석 단위(예. 1분) 평가결과의 통계적 신뢰구간을 반영하기 위한 방법론을 제시했다. 본 연구는 기존 검지기 성능평가 결과의 단일값 제시로 인해 불가능 했던 신뢰구간 제시를 가능하게 함에 따라 검지기 성능평가 결과의 신뢰성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

Abstract

This paper presents a new test technique for evaluating performance of vehicle detectors with interval estimation, not the conventional point estimation, for presenting statistical confidence interval. The methodology is categorized into three parts; sampling plan, analysis on the characteristic of evaluation indices, and the expression of evaluation results. Even though many statistical sampling plans exist, stratified random sampling is regarded as the most appropriate one, considering the detector performance characteristics that varies with traffic, illumination, and meteorological conditions. No magic bullet exists for evaluation index for detector evaluation, hence the characteristics of evaluation indices were thoroughly analyzed and a reasonable process for choosing the best evaluation index is proposed. Finally, the methodology to express the result of detector evaluation for the entire evaluation period and individual analysis interval is represented, respectively. To overcome the existing drawbacks in point estimation, interval estimation by which statistical confidence interval can be represented is introduced for enhancing statistical reliability of traffic detector evaluation. This research can make vehicle detector scheme improve one step forward.

Key Words : Detector, performance evaluation, interval estimation, evaluation index, confidence interval

* 주저자 및 교신저자 : 한국건설기술연구원 전임연구원

** 공저자 : 한국건설기술연구원 연구위원

† 논문접수일 : 2011년 1월 25일

‡ 논문심사일 : 2011년 2월 23일

‡ 게재확정일 : 2011년 2월 25일

I. 연구의 배경 및 목적

ITS(지능형교통체계)란 교통체계의 효율성과 안전성을 향상시키기 위해 교통공학, 전기·전자·통신기술 등이 통합된 첨단 교통시스템이다[1]. 최근의 ITS 확대와 더불어 예전에는 단지 교통정보 제공 그 자체만으로도 도로이용자의 호응을 받았지만, 최근에는 점차 제공되는 교통정보의 질이 중요한 변수로 작용하고 있다. 이러한 이유로 각 ITS 사업주체들은 ITS 교통정보의 핵심이라고 할 수 있는 검지기의 성능평가에 관심을 갖고 되었고, 이러한 관심에 힘입어 국토해양부에서는 2010년 10월에는 “ITS 사업시행지침(차량검지기 성능평가편)”을 공표하였으며, 미국 및 유럽에서도 차량검지기 성능평가 표준을 제정했다[2-3].

원칙적으로 차량검지기 성능평가는 해당 검지가 운영되는 전체기간(모집단)에 대해서 평가해야 하지만 이는 현실적으로 불가능하기 때문에 일정기간(표본)에 대해서만 평가를 수행한다. 이 경우 표본에 대한 성능평가 결과(통계량)를 이용하여 모집단의 대표값(모수)에 대한 추정치로 표현해야 하는데 이를 위해서 기존에는 <표 1>과 같이 점추정치(단일값) 방법론을 사용했다. 그러나 점추정치는 단지 평균값으로써 실제 해당 검지기 오차를 의미하지는 않는다. 따라서 실제 검지기 오차에 대한 정보를 얻기 위해서는 구간추정을 이용한 검지기 오차의 통계적 신뢰구간 제시가 필요하다. 예를 들어 검지기 오차의 평균은 동일하지만 통계적 신뢰구간이 다를 경우 신뢰구간이 작은 검지기의 성능이 우수하다고 할 수 있다. 하지만 기존의 점추정치는 이를 판별할 수 있는 정보를 포함하고 있지 않다는 단점이 있다.

또한 차량검지기 성능평가를 수행할 때에는 평가척도(evaluation index)에 대한 신중한 고려가 필요하다. 일반적으로 차량검지기 성능평가척도는 차량검지기의 성능을 대표할 수 있어야 하며, 수요자가 이해하기 쉬워야 하지만[4], 최적의 평가척도 선정에 관해서는 전문가들 사이에서도 여전히 논란이 되고 있다. 이에 따라 기존의 평가 사례에서는 특정한 기준설정 없이 상관계수, MAPE, 등가계수 등 다양한 평가척도가 병행하여 사용되었다[5-7].

이에 본 연구에서는 전술한 차량검지기 성능평가의 문제점을 해결하기 위하여 합리적인 표본추출을 통한 구간추정 방법론을 제시하고, 기존에 널리 사용된 평가척도들의 특성을 비교·분석하여 평가하고자 하는 검지기 자료 특성에 적합한 평가척도 선정 방법론을 제안하고자 한다.

II. 기존 검지기 성능평가 사례

국내사례로는 한국건설기술연구원에서 1999년과 2003년 두 차례에 걸쳐 국도 및 고속도로 ITS를 위한 차량검지기 성능평가를 실시했고 도로교통공단에서는 1999년 기존의 루프검지기를 대체할 수 있는 신호제어용 대체검지기기술의 객관적인 자료를 확보하기 위하여 차량검지기 성능평가를 수행했다[8].

외국사례로는 미국에서 90년대 후반부터 다양한 기관에서 기존의 루프검지기 대체용 비매설식 차량검지기 성능평가를 수행하였다[6-7]. 이러한 기존의 평가사례를 표본추출, 평가척도, 평가결과 제시로 나누어 요약하면 <표 1>과 같다. 전술했듯이 기존에는 차량검지기 성능평가 결과를 단일값(점추정)으로 제시했을 뿐, 결과값에 대한 어떠한 통계적 신뢰구간도 제시되지 않았다.

검지기 성능평가 관련 국내의 주요 논문에서는 주로 %오차 또는 MAPE(Mean Absolute Percent Error)를 사용하였다. 장진환은[9-10] MAPE를 활용하여 평가기준장비의 불확도(uncertainty)를 고려한 속도, 점유율 자료 평가 방법론을 제시했고 차량속도에 따른 검지기 성능을 분석하였다[11]. Coifman, B.는[12-13] 개별차량 단위의 루프검지기, 레이더검지기 등의 자료를 영상녹화 기반의 기준

<표 1> 국내외 기관별 검지기 성능평가 사례
(Table 1) Detector evaluation cases by agencies

구분	한국건설 기술연구원	도로교통 공단	TTI	Minnesota DOT
표본추출	일출·몰, 주·야간	주·야간	침투시	24시간
평가척도	MAPE, 등가계수, 상관계수	MAPE, 등가계수, 상관계수	%오차	%오차, 상관계수, 표준편차
평가결과 제시	단일값	단일값	단일값	단일값

자료 수집을 통해 단일값의 %오차를 사용하여 평가하였다. 이렇듯 기존의 검지기 성능평가 연구결과 또한 표본자료의 평가결과를 활용하여 모집단 오차의 신뢰구간을 제시한 사례는 없는 것으로 조사되었다.

III. 표본추출 방안 및 평가척도 특성 분석

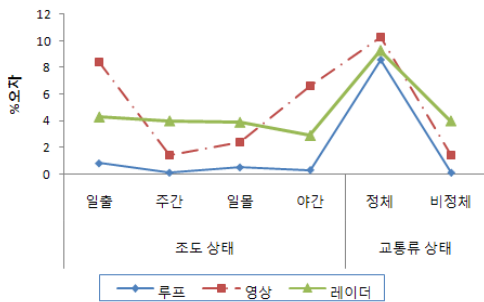
1. 표본추출 방안

검지기 성능평가 결과의 통계적 신뢰구간 제시를 위해서는 표본추출에 대한 세심한 주의를 기울여야 하고 이러한 표본은 모집단을 대표할 수 있어야 한다. 만약 검지기 성능특성이 상이한 집단에서 수집한 자료를 이용해서 구간추정 방법론 적용을 통한 신뢰구간을 제시할 경우, 즉 표본이 모집단을 대표하지 않을 경우 이는 통계적 신뢰구간으로써의 유의성을 잃게 된다. 따라서 검지기 성능평가 결과의 합리적인 신뢰구간 제시를 위해서는 검지기 성능에 대한 면밀한 분석을 통해 동질적인 성능집단으로 분류하는 작업이 선행되어야 한다.

<표 2>는 3일간의 일출, 주간, 일몰, 야간에 대해 각 30분 동안 1분 수집주기로 수집된 루프, 영상, 레이더검지기 교통량 자료에 대한 성능평가 결과

<표 2> 조도 및 교통류 상태별 검지기 평가
(Table 2) Detector evaluation results by Illumination and traffic flow states

검지 센서	검지기 성능(%오차)					
	조도 상태				교통류 상태	
	일출	주간	일몰	야간	정체	비정체
루프	0.8	0.1	0.5	0.3	8.6	0.1
영상	8.4	1.4	2.4	6.6	10.3	1.4
레이더	4.3	4.0	3.9	2.9	9.3	4.0



<표 3> 조도상태별 검지기 성능(%오차)차이 분산분석
(Table 3) ANOVA for Detector Performances by Illumination

구분	자유도	N	제곱평균	F비	F임계치(α=0.05)
루프	3	30	2.47	0.56	2.68
영상	3	30	333.2	2.87	2.68
레이더	3	30	10.2	0.32	2.68

<표 4> 교통류상태별 검지기 성능(%오차)차이 t-검정
(Table 4) T-tests for detector performances by flow states

구분	오차 평균		오차 분산		N	t	t임계치(α=0.05)
	정체	비정체	정체	비정체			
루프	8.6	0.1	456	0.5	30	2.15	1.70
영상	10.3	1.4	130	16.4	30	3.76	1.70
레이더	9.3	4.0	55.9	21.1	30	3.37	1.70

파이며 <표 3> 및 <표 4>는 이러한 평가결과(MAPE)가 조도 및 교통류 상태별로 차이가 존재하는가에 대한 분산분석 및 t-검정을 수행한 결과이다. 전체적으로 타 센서에 비해 루프검지기 오차가 작았고 조도 상태별 성능차이는 영상검지기에서만 존재하는 것으로 분석되었으며 교통류 상태별로는 루프, 영상, 레이더 모두 성능차이가 존재하는 것으로 분석되었다. 본 연구에서 교통류 상태 판정은 1분 평균속도 30kph(고속도로 소통상태 판정 기준)를 기준으로 정체, 비정체를 구분했다.

이상의 분석결과를 종합하면 차량검지기 성능평가는 <표 5>와 같이 교통류 상태별로 평가되어야 하고 특히 조도에 민감한 영상센서를 사용하는 검지기는 조도상태별로 평가가 수행되어야 하는 것으로 분석되었다. 그러나 본 연구에서는 현실적인 제약조건으로 인해 다양한 환경(비, 안개,

<표 5> 차량검지기 성능평가를 위한 표본추출(층) 기준
(Table 5) Sampling criteria for detector evaluation

조건	루프, 레이더 센서	영상 센서
조도	미구분	일출, 일몰, 주간, 야간
교통	정체, 비정체*	
기상	맑음, 비, 안개, 눈 등	

* 정체, 비정체의 판단은 평균통행속도 30kph를 기준으로 함

는 등)하에서 평가하지 못했지만 미국의 ASTM 규정은 다양한 기상환경 조건하에서도 평가하도록 권고하고 있다[2]. 종합하면, 검지기 성능평가는 다양한 통계적 표본추출 방법[14] 중 증화추출법이 가장 적합한 방법론인 것으로 사료된다.

2. 평가척도 특성 분석

전술했듯이 평가척도(評價尺度)는 차량검지기의 성능을 합리적으로 계량할 수 있어야 하고, 수요자의 이해가 용이해야 한다. 본 연구는 기존의 국내·외 차량검지기 평가사례에서는 주로 사용된 상관계수, MAPE, 등가계수를 중심으로 이들 세 종류의 평가척도에 대한 면밀한 특성을 분석하였다.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (1)$$

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{|Y_i - X_i|}{Y_i}}{n} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{등가계수} = 1 - \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - X_i)^2}}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i^2} + \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i^2}} \quad (3)$$

$$U_m = \frac{(\bar{Y} - \bar{X})^2}{(1/n) \sum_{i=1}^n (Y_i - X_i)^2} \quad (4)$$

$$U_s = \frac{(\sigma_Y - \sigma_X)^2}{(1/n) \sum_{i=1}^n (Y_i - X_i)^2} \quad (5)$$

$$U_c = \frac{2(1-r)\sigma_Y\sigma_X}{(1/n) \sum_{i=1}^n (Y_i - X_i)^2} \quad (6)$$

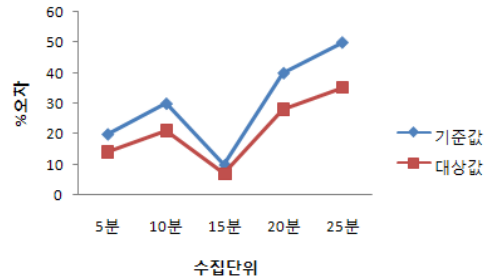
여기서, Y_i = 기준값, X_i = 관측값, r = 상관계수
 σ_Y = Y의 표준편차, σ_X = X의 표준편차

상관계수는(R) -1~1까지의 무차원의 값을 가지는 지표로서 기준값에 대한 관측값의 상관계수가 1에 가까울수록 성능이 양호한 장비로 평가된다. MAPE는 관측값이 기준값에 대해 어느 정도 오차를 나타내는가를 나타내는 척도로써 개별차량 또

〈표 6〉 상관계수 특성

〈Table 6〉 A characteristic of correlation coefficient

구분	기준값	대상값	평가결과	
			구분	평가결과(%)
5분	20대	14대	상관계수	100%
10분	30대	21대		
15분	10대	7대	MAPE	70%
20분	40대	28대	등가계수	82%
25분	50대	35대		



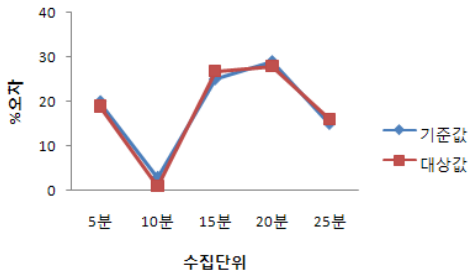
는 수집주기에 따른 오차백분율의 평균을 의미한다. 등가계수는 타일(Theil)의 부등계수에 의해 도출되는 값으로서 기준값에 대한 관측값의 불일치 정도를 나타내 주는 0과 1사이의 값으로 표현되는데 0일 때는 두 자료가 완전히 불일치함을 의미한다. 타일의 부등계수는 3개 항으로 분리할 수 있으며, U_m 은 편기비율, U_s 는 분산비율, U_c 는 공분산 비율을 의미한다[15]. 따라서 U_m , U_s 는 0이고, U_c 가 1에 가까울수록 기준값과 관측값이 일치함을 의미한다.

상관계수(r)는 X(독립변수)는 증가하는데 Y(종속변수)가 감소하면 負(-)의 값을 가지며, X가 증가함에 따라서 Y도 증가하면 正(+)의 값을 가진다. 따라서 <표 6>과 같이 평가대상값이 평가기준값과 동일한 비율(30%)만큼 떨어져서 측정될 경우, 실제로 오차가 발생함에도 평가결과는 100%의 정확도를 갖는 것으로 분석되는 단점이 있다.

MAPE(%오차)는 평가 도에 대한 이용자의 이해가 쉽고 <표 7>과 같이 교통량이 적은 수집주기(음영부분)에 대한 작은 오차까지도 엄격하게 평가할 수 있기 때문에 가장 널리 사용되었다. 하지만 <표 8>에서 보듯이 평가기준값(Y_i)이 0(음영부분)인 경우에는 수학적으로 정의되지 않은 경우로써 계산자체가 불가능하다는 단점이 있다.

〈표 7〉 MAPE 특성1
 〈Table 7〉 A characteristic of MAPE

구분	기준값	대상값	평가결과	
			구분	평가결과(%)
5분	20대	19대	MAPE	82%
10분	3대	1대		
15분	25대	27대		
20분	29대	28대		
25분	15대	16대	상관계수	99%
			등가계수	96%



〈표 8〉 MAPE 특성2
 〈Table 8〉 Another characteristic of MAPE

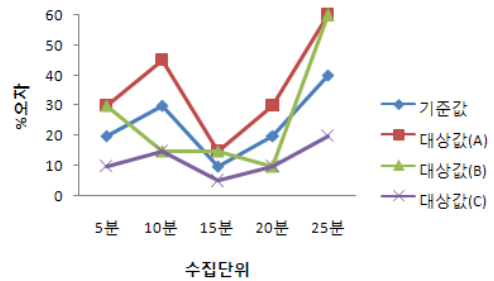
구분	기준값	대상값	평가결과	
			구분	평가결과(%)
5분	10대	9대	MAPE	계산 불가
10분	0대	1대		
15분	8대	7대		
20분	4대	4대		
25분	5대	4대	상관계수	99%
			등가계수	93%

등가계수는 일정한 비율만큼의 오차가 양(+)의 방향으로 발생할 경우, 다시 말해서 오차의 방향이 일정하여(오차의 분산이 작아서) 평가대상 값에 일정한 값이 보정 계수를 적용할 경우, 평가대상값이 평가기준값에 가까워질 수 있는 경우에 대해서는 보다 더 나은 평가 결과를 도출한다. 다시 말해서 등가계수는 평가대상값 오차의 특성이 무작위 오차인 <표 9>의 대상값 (B) 보다 계통적 오차인 <표 9>의 대상값 (A)에 가까울 경우, 인센티브를 주는 효과가 있다. 이는 자료수집 후 합리적인 보정계수 적용을 통하여 평가대상값의 정확도를 증가시킬 수 있는 차량검지기 자료의 특성을 고려할 때, 합리적인 결과로 판단된다.

그러나 동일한 계통오차가 음(-)의 방향으로 발생하는 경우인 <표 9>의 대상값 (C)에 대해서는 무작위 오차보다 열등한 평가결과가 도출되는 단점이 있다. 또한 등가계수는 수식이 복잡하여 평

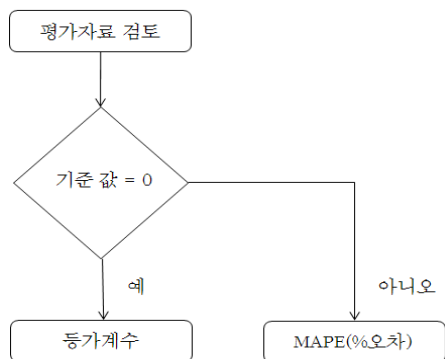
〈표 9〉 등가계수 특성
 〈Table 9〉 A characteristic of equality coefficient

구분	기준값	대상값 (A)	대상값 (B)	대상값 (C)	평가결과			
					구분	평가결과(%)		
5분	20대	30대	30대	10대	등가계수	80%	77%	67%
10분	30대	45대	15대	15대				
15분	10대	15대	15대	5대				
20분	20대	30대	10대	10대	MAPE	50%	50%	50%
25분	40대	60대	60대	20대	상관계수	100%	73%	73%



가결과에 대한 수요자의 이해가 쉽지 않다는 단점이 있을 뿐만 아니라 분모 부분에 평가기준값 뿐만 아니라 평가대상값도 포함시키기 때문에(식 3) 분모에 기준값만 포함시키는 MAPE(식 2)에 비해 항상 좋거나 같은 평가결과를 도출하는 특징이 있다.

본 연구에서는 이상에서 분석한 평가척도들의 특성을 고려하여 검지기 평가시 최적의 평가척도 선정 프로세스를 <그림 1>와 같이 제안했다. 즉, 일반적인 경우에는 사용자의 이해가 용이하고 보



〈그림 1〉 최적의 평가척도 선정 프로세스
 〈Figure 1〉 Optimal procedure for selection of evaluation index

다 엄격한 평가가 가능한 MAPE를 사용하고 기준 값에 0인 포함된 경우(분석단위시간 동안 교통량이 존재하지 않는 경우)에는 차선의 평가척도인 등가계수를 사용한다.

IV. 신뢰구간을 반영한 평가결과 제시

전술했듯이 검지기가 운영되는 전체기간에 대한 성능평가는 현실적으로 불가능하기 때문에 평가자는 일부기간(표본) 동안의 평가결과를 합리적인 통계적 방법론을 이용하여 전체기간(모집단)의 평가결과에 대한 구간 추정치로 제시하여야 한다. 이러한 구간 추정치는 중심극한정리를 기반으로 하는 식 (7, 8)에 의해 산출된다.

$$CI_{M_p} = \bar{x} \pm (t_{p,n} \times \frac{s}{\sqrt{n}}) \quad (7)$$

$$CI_{I_p} = \bar{x} \pm (t_{p,n} \times \frac{s}{\sqrt{n}}) \pm (z_p \times s) \quad (8)$$

여기서,

CI_{M_p} = 신뢰수준(p)에서 평가기간 전체 평균 오차의 신뢰구간

CI_{I_p} = 신뢰수준(p)에서 개별 분석단위 오차의 신뢰구간

\bar{x} = 평가기간 전체 오차의 평균

s = 평가기간 전체 오차의 표준편차

z_p = 신뢰수준(p)에 해당하는 z-값

$t_{p,n}$ = 신뢰수준(p), 표본수(n)에 해당하는 t-값

평가기간 전체(예. 30분)의 평균오차에 대한 신뢰구간은(식 7) 중심극한정리를 기반으로 하기 때문에 개별 분석단위(예. 1분) 오차의 정규성 가정이 필요하지 않다. 하지만 (식 8)과 같이 개별 분석단위 오차의 신뢰구간 추정을 위해서는 개별오차의 정규성 가정이 전제되어야 한다. 그런데 일반적으로 APE(Absolute Percent Error)의 경우에는 개별오차 절대값에 대한 평균이므로 개별오차를 절대치로 변환하는 과정에서 개별오차의 정규성 가정이 사라지게 된다.

따라서 본 연구에서는 절대치 변환과정이 없는 퍼센트 오차(PE)와 절대치 변환과정을 포함하는 절대 퍼센트 오차(APE) 두 지표를 활용하여 평가

결과를 산출하는 방법을 제시하였다. 평가에 사용된 자료는 양호한 기상상태에서 비정체시 30분 동안 수집한 경기도 곤지암 IC 부근 일반국도 3호선 소재 레이더검지기 자료(평가대상값)와 비디오 녹화에 의한 수동 카운트 자료(평가기준값)이며 분석 단위 1분에 대한 평가결과는 <표 10>과 같았다.

1. 퍼센트오차(PE) 활용한 개별 분석단위 오차 신뢰구간 추정

전술했듯이 PE를 사용한 개별오차의 신뢰구간 산정시 우선 개별오차가 정규분포를 따르는지 검증해야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 적합도 검

<표 10> 레이더 검지기(맑음, 비정체) 평가결과
<Table 10> Evaluation result of a microwave detector under clear weather and uncongested traffic condition

표본	시간	교통량(대)		평가결과	
		평가기준값	평가대상값	PE(%) [*]	APE(%) [*]
1	8:00	13	13	0.00	0.00
2	8:01	38	37	-2.63	2.60
3	8:02	50	48	-4.00	4.00
4	8:03	8	9	12.50	12.50
5	8:04	40	38	-5.00	5.00
6	8:05	37	38	2.70	2.70
7	8:06	14	12	-14.29	14.30
8	8:07	47	51	8.51	8.50
9	8:08	25	27	8.00	8.00
10	8:09	10	10	0.00	0.00
11	8:10	47	46	-2.13	2.10
12	8:11	21	21	0.00	0.00
13	8:12	14	15	7.14	7.10
14	8:13	41	41	0.00	0.00
15	8:14	20	21	5.00	5.00
16	8:15	19	16	-15.79	15.80
17	8:16	55	53	-3.64	3.60
18	8:17	12	12	0.00	0.00
19	8:18	28	26	-7.14	7.10
20	8:19	38	38	0.00	0.00
21	8:20	4	4	0.00	0.00
22	8:21	25	27	8.00	8.00
23	8:22	40	39	-2.50	2.50
24	8:23	6	6	0.00	0.00
25	8:24	31	30	-3.23	3.20
26	8:25	26	26	0.00	0.00
27	8:26	6	6	0.00	0.00
28	8:27	48	48	0.00	0.00
29	8:28	24	22	-8.33	8.30
30	8:29	20	20	0.00	0.00
계/평균		875	887	-0.56	4.01
표준편차		-	-	6.12	4.59

* (APE : (Absolute) Percent Error

<표 11> 개별(1분)오차의 정규성 검증(K-S test)
<Table 11> Normality test on the percent error
by kolmogorov-smirnov static at
95% confidence interval

i	$X_{(i)}$	Z	$F_o(X_{(i)}) = \Phi(Y_{(i)})$	$\frac{i}{n} - F_o(X_{(i)})$	$F_o(X_{(i)}) - \frac{i-1}{n}$
1	-15.79	-2.49	0.006	0.027	0.006
2	-14.29	-2.24	0.012	0.054	-0.021
3	-8.33	-1.27	0.102	-0.002	0.035
4	-7.14	-1.08	0.141	-0.008	0.041
5	-5.00	-0.73	0.234	-0.067	0.101
6	-4.00	-0.56	0.287	-0.087	0.120
7	-3.64	-0.50	0.308	-0.074	0.108
8	-3.23	-0.44	0.332	-0.065	0.098
9	-2.63	-0.34	0.368	-0.068	0.101
10	-2.50	-0.32	0.376	-0.042	0.076
11	-2.13	-0.26	0.399	-0.032	0.066
12	0.00	0.09	0.536	-0.136	0.170
13	0.00	0.09	0.536	-0.103	0.136
14	0.00	0.09	0.536	-0.070	0.103
15	0.00	0.09	0.536	-0.036	0.070
16	0.00	0.09	0.536	-0.003	0.036
17	0.00	0.09	0.536	0.030	0.003
18	0.00	0.09	0.536	0.064	-0.030
19	0.00	0.09	0.536	0.097	-0.064
20	0.00	0.09	0.536	0.130	-0.097
21	0.00	0.09	0.536	0.164	-0.130
22	0.00	0.09	0.536	0.197	-0.164
23	0.00	0.09	0.536	0.230	-0.197
24	2.70	0.53	0.703	0.097	-0.064
25	5.00	0.91	0.818	0.015	0.018
26	7.14	1.26	0.896	-0.029	0.063
27	8.00	1.40	0.919	-0.019	0.052
28	8.00	1.40	0.919	0.014	0.019
29	8.51	1.48	0.931	0.036	-0.003
30	12.50	2.13	0.984	0.016	0.017
-	-	-	-	$D^- = 0.230$	$D^+ = 0.170$

정에서 일반적으로 사용되는 K-S(Kolmogorov-Smirnov) 통계량(D)을 이용하여 PE의 정규성 검증(귀무가설 : PE는 정규분포를 따른다.)을 수행했다. 그 결과, <표 11>에서와 같이 $D = \max(0.230, 0.170) = 0.230$ 로 산출되었고, 이는 95% 신뢰수준(양측검정)에서의 $D(0.025, 30) = 0.242$ 값보다 작기 때문에 1분 분석단위 개별오차(%)는 $N(-0.56, 6.12)$ 인 정규분포를 따르는 것으로 분석되었다.

따라서 식 (8)을 이용하여 개별오차의 신뢰구간을 산정하면 식 (9)와 같이 산출된다.

$$\begin{aligned}
 CII_{95\%} &= -0.56 \pm (2.04 \times \frac{6.12}{\sqrt{30}}) \pm (1.96 \times 6.12) \\
 \therefore -14.84\% &\leq CII_{95\%} \leq 13.72\% \quad (9)
 \end{aligned}$$

식 (9)와 같이 PE를 사용하여 동질적인 샘플(기상상태 양호, 비정체시 레이다 검지기 자료)을 이용하여 1분 분석단위 개별오차를 평가한 결과, 모집단(기상상태 양호, 비정체시 해당 검지기가 운영되는 전체기간)의 1분 수집단위 오차가 -14.84%와 13.72% 사이에 존재할 확률이 95%인 것으로 분석되었다.

2. 절대퍼센트오차(APE)를 활용한 평가기간 전체 평균오차의 신뢰구간

일반적으로 APE의 경우에는 PE를 절대값으로 변환하는 과정에서 정규성 가정이 위배되기 때문에 PE처럼 개별 분석단위 오차의 신뢰구간 산정은 이론적으로 명확하지 않다. 따라서 모집단 오차의 신뢰구간 추정시 개별오차의 정규성이 가정이 필요로 하지 않는 식 (7)을 이용하여 평가기간 전체(30분) 평균오차(MAPE)의 신뢰구간을 추정할 결과, 식 (10)과 같았다.

$$\begin{aligned}
 CIM_{95\%} &= 4.01 \pm (2.04 \times \frac{4.59}{\sqrt{30}}) \\
 \therefore 2.30\% &\leq CIM_{95\%} \leq 5.72\% \quad (10)
 \end{aligned}$$

식 (10)에서 알 수 있듯이 본 평가에 사용된 레이다검지기 30분 평균오차(MAPE)의 95%는 2.30%와 5.72% 사이에 존재함을 알 수 있다. 이상과 같이 본 논문에서 제시한 구간추정 방법론을 이용하여 검지기 성능평가를 수행할 경우 샘플에 대한 평가결과를 모집단의 평가결과로 제시하는 데 있어 일정한 신뢰구간을 합리적으로 제시할 수 있기 때문에 기존 점추정에 비해 이론적 근거가 명확할 뿐만 아니라 검지기 성능에 대한 보다 상세한 정보를 획득할 수 있다는 장점이 있다. 이에 따라 평균오차 10%이하로만 규정한 기존의 검지기 성능평가 기준을 평균오차 10% 이하에서 개별 분석단위 오차 20% 이하(95% 신뢰수준) 또는 평가기간 전체 평균오차 15% 이하(95% 신뢰수준)등으로 규정할 수 있을 것이다. 이 경우, 사용자는 기존 점추정치에 비해 해당 검지기의 오차에 대한 보다

상세한 정보를 획득할 수 있다는 장점이 있다.

V. 결 론

본 논문은 평가결과의 단일값 제시로 인해 발생하던 기존의 검지기 성능평가 문제점을 해결하기 위하여 합리적인 표본추출 방안을 통한 구간 추정 방법론을 제시하였고 아울러 기존에 널리 쓰이는 평가척도에 대한 특성을 분석하였다. 검지 센서별로 차량검지기 성능특성을 분석하여 평가를 위한 합리적인 표본추출 방안으로 층화추출법을 제안하였고 각 층을 나누는 기준으로는 교통류, 조도, 기상조건을 제안했다. 통계적 신뢰성에 기반한 평가결과 제시 방법으로는 표본 평균과 표본 표준편차를 이용한 모집단 오차에 대한 신뢰구간을 추정하는 방법론을 제시했다.

본 연구 결과를 차량검지기 성능평가에 적용할 경우 기존의 표본에 대한 성능평가 결과를 단일값으로 제시함으로 인해 발생하던 통계적 신뢰성 부족의 문제점을 합리적으로 해결할 수 있을 것으로 기대된다. 아울러 국내의 차량검지기 성능평가 체계를 국제적 기준에 부합하거나 혹은 국제적 기준을 선도하는 수준으로 개선시킬 수 있을 것으로 판단된다.

그러나 본 논문은 다양한 검지센서(루프, 영상, 레이더, 초음파, 지자기 등) 중 국내에 주로 보급된 루프, 영상, 레이더검지기의 3일간 자료만을 이용하여 표본추출 방안(층화추출법)을 제시했고 다양한 기상조건별로는 타 문헌을 참고했을 뿐 실제 현장실험 결과를 제시하지 못했다는 한계가 있다. 따라서 향후에는 다양한 센서 및 환경조건 하에서 충분한 실험자료를 통한 본 연구결과의 추가적인 검증이 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] M. A. Chowdhury and A. Sadek, "Fundamentals of intelligent transportation systems planning," Artech House, pp.1, 2003.
 [2] ASTM, "Standard test method for evaluating performance of traffic monitoring devices,"

ASTM E 2532-06, 2006.
 [3] CEN, "Test specification for vehicle detectors," ENV13563-2000, 2000.
 [4] 한국건설기술연구원, "ITS 장비·시스템 성능평가 및 신기술 지정보호체계 구축 연구," 2004.
 [5] L. A. Klein, "Sensor technologies and data requirement for ITS," ISBN 1-58053-077-X, Artech House, pp.306~307, 2001.
 [6] Minnesota DOT, "Evaluation of Non-Intrusive technologies for traffic detection," Final Report, SRF no.3683, 2003.
 [7] Texas Transportation Institute, "Vehicle detector evaluation," FHWA/TX-00/1439-7, 2002.
 [8] 도로교통공단, "차량용 대체검지기 활용방안 연구," 1999.
 [9] J. Jang, N. Baik and H. Kim, "A new evaluation scheme for vehicle detectors including a traceability concept," *TRB Annual Meeting*, January 2009.
 [10] J. Jang and S. Byun, "Evaluation of traffic data accuracy using korea detector testbed," *17th ITS World Congress Busan*, October 2010.
 [11] 장진환, 박창수, 백남철, 이미영, "차량속도별 영상검지기 성능분석," *대한교통학회지*, 제23권, 제5호, August 2008.
 [12] B. Coifman and S. Dhoorjaty, "Event data-based traffic detector validation tests," *Journal of Transportation Engineering*, vol.130, ASCE, May 2004.
 [13] B. Coifman, "Vehicle level evaluation of loop detectors and the remote traffic microwave sensor," *Journal of Transportation Engineering*, vol.132, ASCE, March 2006.
 [14] 박우동, 김명호, "경영 및 경제를 위한 통계학," 세영사, pp.22, pp.186~192, 1996.
 [15] V. Punzo and F. Simonelli, "Analysis and comparison of microscopic traffic Flow models with real traffic microscopic data," *Transportation Research Record*, no.1934, 2005.
 [16] 장진환, 변상철, "통계적 신뢰성 확보를 위한 차량검지기 성능평가 방안," *대한교통학회 추계학술발표회 논문집*, October 2009.

저자소개



장 진 환 (Jang, Jin-Hwan)

2004년 : 서울시립대학교 교통공학 석사

2001년 ~ 현재 : 한국건설기술연구원



김 병 화 (Kim, Byung-Hwa)

2005년 : 한양대학교 기계공학 박사

1984년 ~ 현재 : 한국건설기술연구원