

차량검지기 성능평가 방법론 연구

Study on Vehicle Detector Performance Test Method

장진환

(한국건설기술연구원, 연구원)

백남철

(한국건설기술연구원, 선임연구원)

강원의

(한국건설기술연구원, 수석연구원)

Key Word : 차량검지기, ITS, 교통량, 속도, 점유율, 평가지표

목차

I. 서론	III. 평가항목 및 방법
1. 연구의 배경 및 목적	1. 평가항목 선정
2. 연구의 범위 및 방법	2. 평가방법 제시
II. 기존연구 고찰	IV. 결론 및 향후과제
1. 국내 사례	참고 문헌
2. 국외 사례	

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

현재 많은 지자체에서 지능형 교통체계(ITS, Intelligent Transportation Systems)를 구축·운영 중이거나 구축을 계획하고 있다. 지능형 교통체계(ITS)란 교통체계의 효율성과 안전성을 향상시키기 위해 교통공학, 소프트웨어, 하드웨어, 통신기술 등이 통합된 교통시스템이다.[5]

이러한 ITS를 위해서는 도로상의 차량흐름에 대한 자료수집이 필수적이다. 따라서 ITS 구축시 도로상에 교통자료(traffic data)를 수집할 수 있는 많은 차량검지기가 설치된다. 일반적으로 도로상에 설치된 차량검지기는 교통량, 속도, 점유율 등의 교통자료를 수집하여 통신선을 통해 교통관리센터(TMC, Traffic Management Center)로 전송하고 교통관리센터에서는 수집된 자료를 적절한 알고리즘으로 가공(process)하여 실시간으로 최적의 교통제어(traffic control)를 하거나 도로이용자에게 유용한 교통정보(traffic information)를 제공하고 있다.

최적의 교통제어 및 신뢰성 있는 교통정보 제공을 위해서는 차량검지기가 수집하는 교통자료의 정확도가 중요하다. 그러나 현재 우리나라에서는 대부분의 지자체에서 ITS 구축시 차량검지기가 수집하는 교통자료에 대한 정확도(accuracy) 평가를 실시하지 않고 있으며, 일부 기관에서 실시하더라도 평

가기관별로 평가기간, 수집주기, 평가지표가 상이함으로 인해 평가를 의뢰한 기관에서 평가결과에 대한 이해도 및 신뢰도가 저하되고 있는 실정이다.[1] 따라서 본 연구에서는 평가기관별로 상이한 차량검지기 성능평가(performance test) 방법에 대한 국내·외의 사례 고찰을 통해 차량검지기 성능평가 방법론의 표준안을 제시하고자 한다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 ITS에서 사용하는 차량검지기의 자료 중 일반적으로 널리 사용되는 교통량, 속도, 점유율 등의 교통자료에 대한 평가방법의 표준안 제시를 연구 범위로 설정했으며, 이를 위해 국내·외의 차량검지기 교통자료의 수집현황 및 차량검지기 평가사례 고찰을 통해 우리나라에 적합한 평가방법을 제시했다.

II. 기존연구 고찰

1. 국내 사례

국내에서 차량검지기에 대한 성능평가는 한국건설기술연구원 및 도로교통안전관리공단 등에서 실시했다. 한국건설기술연구원에서는[2] 1999년과 2003년 두 차례에 걸쳐 차량검지

기 성능평가를 실시했다. 1997년에는 수도권 남부 일반국도 교통관리시스템 구축을 위해 영상검지기, 초단파검지기, WIM 등의 차량검지기에서 수집한 교통량과 속도 자료에 대해 평가했다. 평가는 5일 동안 주간과 야간에 대해 실시되었으며, 평가를 위한 교통자료 수집주기는 교통량과 속도 모두 1분으로 분석했고, 평가지표로는 퍼센트 오차와 상관계수를 사용했다. 2003년에는 고속국도 우회도로 ITS 구축을 위한 영상 및 루프검지기에서 수집한 교통량, 속도, 점유시간 등의 교통자료에 대한 평가를 수행했으며, 평가기간은 1일 동안 일출, 주간, 일몰, 야간 등의 자료를 평가했고, 수집주기는 5분, 평가지표는 등가계수를 사용했다.

도로교통안전관리공단에서는[3] 1999년 기존의 루프검지기를 대체할 수 있는 신호제어용 대체검지기기술의 객관적인 자료를 확보함으로써 대체검지기의 선정 및 활용에 요구되는 정책자료를 제시하기 위해 영상검지기, 초단파검지기, 자기검지기에 대한 현장평가를 실시했다. 영상검지기의 경우 교통량, 점유시간, 비점유시간, 대기행렬 등의 자료를 평가했으며, 초단파 및 자기검지기는 교통량, 속도, 점유율 자료를 평가했다. 오차의 평활화를 방지하기 위해 자료를 일정주기별로 집계하지 않고 개별 차량에 대해 평가했으며, 평가지표는 등가계수, 퍼센트 오차, 상관계수 등을 사용하였다.

2. 국외 사례

차량검지기 성능평가에 대한 국외 사례로는 미국 교통부의 FHWA(Federal Highway Administration), 텍사스 주 교통부와 미네소타 주 교통부에서 실시한 차량검지기 평가사례 등이 있다. FHWA에서는[6] IVHS(Intelligent Vehicle and Highway Systems)를 위한 차량검지기기술을 파악하기 위해 미네소타, 플로리다, 아리조나 등지에서 다양한 차량검지기에 대한 실험실 평가(lab test) 및 현장 평가(field test)를 실시했다. 평가방법은 5분 수집주기의 교통량, 속도, 점유율 자료에 대해 퍼센트 오차를 사용하여 평가했다.

텍사스 주 교통부에서는[7,8] 2000년과 2002년 두 차례에 걸쳐 산하 연구기관인 TTI(Texas Transportation Institute)에 의뢰하여 기존의 루프검지기의 대체용 검지기기술의 파악을 위해 다양한 차량검지기에 평가를 실시했다. 2000년에는 마이크로루프검지기, 영상검지기, 자기검지기, 음향검지기 등을 평가했으며, 2002년에는 초단파검지기를 추가로 평가했다. 평가는 1일 동안의 수집자료에 대해 07시~09시, 16시~18시 자료를 분석했고, 자료 수집주기는 15분이었고, 평가지표는 퍼센트 오차를 사용했다.

미네소타 주 교통부에서도[9,10] 텍사스 주 교통부와 동일한 목적으로 차량검지기에 평가를 실시했다. 평가대상 차량검지기는 영상검지기, 음향검지기, 적외선검지기, 자기검지기 등이었고, 1일 동안 수집한 자료를 15분 수집주기의 교통량과 속도 자료로 분류한 후 평가지표로는 APE(Absolute Percent Error)를 사용하여 평가했다.

III. 평가항목 및 방법

1. 평가항목 선정

<표 1>에서와 같이 차량검지기에서 수집 가능한 자료는 검지기별로 다소 상이하지만, 공통적으로 수집하는 자료는 교통량, 속도, 점유율 등이고, 이러한 자료를 이용하여 생성되는 대표적인 교통정보는 통행시간, 소통상황, 유고상황 감지 등이 있다.

<표 1> 차량검지기별 수집자료

차량검지기 종류	수집자료
루프검지기	교통량, 속도, 점유율, 대기행렬 등
WIM	교통량, 속도, 점유율, 차중, 축거 등
자기검지기	교통량, 속도, 점유율 등
초음파검지기	교통량, 속도, 점유율, 대기행렬 등
초단파검지기	교통량, 속도, 점유율 등
적외선검지기	교통량, 속도, 점유율 등
영상검지기	교통량, 속도, 점유율, 대기행렬, 주행패턴

통행시간은 연속류 시설에서는 차량검지기에서 일정시간 동안 수집되는 지점평균속도의 역수로 산출하고, 단속류시설에서는 차량검지기에서 수집되는 일정시간 동안 지점평균속도의 역수에 의한 링크통행시간과 교통량에 의한 교차점의 지체의 합으로 산출한다.

구간 소통상황 판정은 구간평균속도에 의한 방법과 소구간의 지점평균속도에 의한 혼잡정도를 판정 후 이에 따라 구간의 혼잡을 판정하는 방법으로 나누어진다.

유고감지 알고리즘이란 차량검지기에서 수집되는 교통자료를 통해 특정지점의 유고상황을 자동으로 감지하는 알고리즘으로 연속류시설에 적용되고 있는 대표적인 알고리즘은 APID, DES, McMaster 알고리즘 등이 있고, 최근에는 단속류시설에 적용하기 위한 각종 알고리즘에 대한 연구가 진행 중이며, 활용 중인 대표적인 알고리즘으로는 Advance 알고리즘이 있다. 이러한 유고알고리즘의 입력변수는 교통량, 속도, 점유율 등이 있다.

<표 2> 차량검지기 성능평가항목 설정

교통정보	입력 교통변수		
	교통량	속도	점유율
통행시간 산출	○	○	-
소통상황 판정	-	○	-
유고감지 알고리즘	○	○	○
성능평가 항목	●	●	●

상기에서 살펴본 바와 같이 ITS에서 교통정보 생성을 위해 요구되는 교통자료를 정리하면 <표 2>와 같다. <표 2>에서와 같이 ITS에서 필요한 일반적인 교통정보인 통행시간, 소통상황, 유고감지 등을 위해서 필요한 차량검지기의 교통자

료는 교통량, 속도, 점유율 등이 있다. 따라서 본 연구에서도 <표 1>에서와 같은 차량검지기의 수집자료 중 교통량, 속도, 점유율을 평가항목으로 설정했다.

2. 평가방법 제시

차량검지기 평가를 위해서는 평가기간, 수집주기, 평가지표의 설정이 필요하다. 평가기간이란 차량검지기 평가시 차량검지기의 성능을 보다 정확하게 평가하기 위한 기간을 말하는 것으로써, 기존의 국·내외 성능평가 사례의 평가기간은 <표 3>과 같다. <표 3>의 성능평가 사례를 통하여 알 수 있듯이 평가의 목적별, 평가수행기관별 서로 상이한 평가기간을 선정하여 평가했다. 교통조건과 환경조건에 대한 영향을 평가하기 위해 시간대별 구분을 통해 실시하고 있다는 측면과 1회(1일) 평가가 아닌 최소 2회(2일) 이상 평가하고 있다는 공통적인 특성이 있으며, 미네소타 DOT에서는 정확한 성능평가를 위해서는 장기간의 평가를 권장하고 있다.[10]

<표 3> 차량검지기 평가기간 비교

수행기관	목적	평가기간
한국건설기술연구원	RTMS용 최적검지기 선정	5일
	FTMS용 도입 전·후 평가	2일
교통과학연구원	교차로용 루프대체검지기 기술 평가	4일
미네소타 교통부	루프대체검지기 기술 평가	7일
텍사스 교통부	루프대체검지기 기술 평가	2일

검토 결과, 성능평가기간 선정에 대한 구체적인 이론적 근거는 찾을 수 없으며, 단기간 평가를 위해 각종 교통조건, 환경조건에 따라 시간대별 분류를 통해 수행하고 있으며, 장비의 자료수집의 안정성, 정확성 평가를 위해서는 최소 5일 이상의 평가기간을 선정하는 것이 바람직하다고 판단된다.

수집주기란, 차량검지기 평가를 위해서 차량검지기로부터 자료를 집계 또는 평균하기 위한 주기를 말하는 것으로써, 수집주기가 길 경우 해당 수집주기 내에서 과잉 및 과소 측정된 값들이 서로 상쇄됨으로 인해 차량검지기에 대한 평가가 정확히 이루어질 수 없는 반면 개별차량단위로 평가할 경우 평가기간에 따라 평가자체가 어려워지는 경우가 발생할 수 있다. <표 4>는 기존의 교통정보센터 및 평가사례의 수집주기를 나타낸 것으로 대부분 1분~15분 단위로 수집하여 교통정보를 제공하거나 평가함을 알 수 있다.

<표 4> 차량검지기 수집주기 비교

수행기관	수집주기	
	교통정보센터	평가사례
한국건설기술연구원	1분	5분
교통과학연구원	-	신호주기
한국도로공사	5분	-
제주시	5분	-
텍사스 및 미네소타	-	15분

기존 사례로 살펴본 바와 같이 평가의 용이성을 감안해 기본적으로 차량검지기 평가를 위한 수집주기는 5분이 타당할 것으로 판단되며, 보다 정확한 평가를 위해서는 개별차량에 대해서도 평가해야 할 것으로 사료된다.

평가지표는 평가결과에 대한 통계량의 개념으로 차량검지기의 성능을 대표할 수 있어야 하며, 수요자가 이해하기 쉬운 지표가 선정되어야 한다. <표 5>에서와 같이 기존의 국내·외 평가사례에서는 주로 등가계수, MAPE(Mean Absolute Percent Error), 퍼센트 오차, 상관계수, RMSE(Root Mean Square Error), APE(Absolute Percent Error) 등을 사용했다.

<표 5> 차량검지기 평가지표 비교

수행기관	수행연도	평가지표
한국도로공사	2000	등가계수
한국건설기술연구원	1997	퍼센트 오차, 상관계수
도시과학연구원	1998	등가계수, RMSE
교통과학연구원	1996	RMSE
텍사스 교통부	2002	퍼센트 오차
미네소타 교통부	2003	APE

각각의 평가지표는 식 (1)~(9)과 같다. 식 (1)의 등가계수는 타일(Theil)의 부등계수에 의해 도출되는 값으로써, 부등계수(U)는 기준값에 대한 관측값의 불일치 정도를 나타내 주는 0과 1사이의 값으로, 0일 때는 두 자료가 완전히 불일치함을 의미한다. 부등계수의 분자항은 식 (2)~(4)와 같이 3개 항으로 분리할 수 있으며, 식 (2)의 U^M 은 편기비율, 식 (3)의 U^S 는 분산비율, 식 (4)의 U^C 는 공분산 비율을 의미한다. 따라서 U^M , U^S 는 0이고, U^C 가 1에 가까울수록 기준값과 관측값이 일치함을 의미한다. 식 (5)의 MAPE는 관측값이 기준값에 대해 어느 정도 오차를 나타내는가를 나타내는 지표로써 개별차량 또는 수집주기에 따른 오차백분율의 평균을 의미한다. 식 (6)의 퍼센트 오차는 기준값과 관측값 차이를 기준값에 대한 퍼센트로 나타낸 것이고, 식 (7)의 상관계수는 -1~1까지의 무차원의 값을 가지는 지표로써 기준값에 대한 관측값의 상관계수가 1에 가까울수록 기준에 가까운 값을 의미한다. 식 (8)의 RMSE는 오차의 표준편차를 의미하고, 식 (9)의 APE는 퍼센트 오차의 절대값을 의미한다.

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

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

$$U^S = \frac{(\sigma_Y - \sigma_X)^2}{(1/n) \sum_{i=1}^n (Y_i - X_i)^2} \quad (3)$$

$$U^c = \frac{2(1-r)\sigma_Y\sigma_X}{(1/n)\sum_{i=1}^n (Y_i - X_i)^2} \quad (4)$$

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{|Y_i - X_i|}{Y_i}}{n} \times 100 \quad (5)$$

$$PE = \frac{Y_i - X_i}{Y_i} \times 100 \quad (6)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (7)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - X_i)^2}{n}} \quad (8)$$

$$APE = \sum_{i=1}^n \frac{|Y_i - X_i|}{Y_i} \times 100 \quad (9)$$

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

기존 평가사례에서 사용한 평가지표 및 평가지표별 특성을 살펴본 결과, 사용자의 이해가 용이하고 차량검지기 성능을 대표할 수 있는 평가지표로는 <표 6>에서와 같이 MAPE가 적절할 것으로 판단되며, 수집주기가 개별차량일 경우에는 퍼센트 오차를 사용한다. 등가계수의 경우 대체로 MAPE에 비해 동일 오차에 대해 오차율이 적은 것으로 계산되고,[10] 사용자의 이해 또한 어렵다. 상관계수는 두 값 사이의 상관도를 측정하는 평가지표로써, 오차에 대한 개량화가 어렵다는 단점이 있다.

<표 6> 차량검지기 평가지표

수집주기	교통량	속도	점유율
5분	MAPE	MAPE	MAPE
개별차량	PE	MAPE	MAPE

III. 결론 및 향후과제

본 연구는 최근 ATMIS(Advanced Traffic Management and Information Systems)를 위해 많이 설치되고 있는 차량검지기 성능평가 방법을 제시했다. 성능평가 항목으로는 차량검지기 교통자료를 이용하여 생성하는 대표적인 교통정보인 통행시간, 소통상황, 유고상황 감지시 필요한 교통량,

속도, 점유율 등으로 설정했고, 평가기간은 차량검지기 수집하는 교통자료의 정확성 및 차량검지기 시스템의 안정성 평가를 위해 5일로 설정했다. 평가를 위한 수집주기는 평가의 용이성 및 정확한 평가를 위해 5분 수집주기와 개별차량에 대한 평가를 동시에 시행할 것을 주장했고, 다양한 평가지표 중 사용자의 이해가 쉽고 오차를 계량화할 수 있는 MAPE와 퍼센트 오차를 평가지표로 설정했다.

본 연구로 인해 기존에는 평가기관별로 상이한 평가방법으로 인해 평가를 의뢰한 수요기관에서 평가결과에 대한 이해의 어려움이 있었지만,[1] 향후 여러 기관에서 실시하게 될 차량검지기 성능평가 방법이 통일됨으로 인해 평가결과에 대한 이해도 및 신뢰도가 향상될 것으로 예상된다.

본 연구에서는 기존의 평가사례와 연구를 기초로 하여 평가기간은 5일, 수집주기는 5분과 개별차량, 평가지표는 MAPE와 퍼센트 오차로 설정했지만, 이에 대한 명확한 이론적 근거를 제시하지는 못했다. 따라서 향후 이러한 평가방법론에 대한 추가적인 분석을 통해 차량검지기의 성능을 보다 명확하고 신뢰성 있게 평가할 수 있는 평가방법론에 대한 연구가 추가로 진행되어야 할 것으로 사료된다.

참고 문헌

1. 건설교통부, ITS 장비·시스템 성능평가 및 신기술 지정 보호체계 구축 연구, 최종보고서, 2007, 7.
2. 건설교통부, ITS 장비·시스템 성능평가 및 신기술 지정 보호체계 구축 연구, 중간보고서, 2007, 1.
3. 도로교통안전관리공단, 차량용 대체검지기 활용방안 연구, 1999, 12.
4. 장진환 외 3인, 실시간 누락 교통자료의 대체기법에 관한 연구, 한국 ITS학회지, 2004.
5. Mashrur A. Chowdhury and Adel Sadek, Fundamentals of Intelligent Transportation Systems Planning, Artech House, 2003.
6. FHWA, Detection Technology for IVHS, 1996, 12.
7. TTI, Initial Evaluation of Selected Detectors to Replace Inductive Loops on Freeways, 2000, 4.
8. TTI, Vehicle Detector Evaluation, 2002, 10.
9. Minnesota Department of Transportation, Evaluation of Non-Intrusive Technologies for Traffic Detection, Volume One Report, Evaluation Plan, 2003, 10.
10. Minnesota Department of Transportation, Evaluation of Non-Intrusive Technologies for Traffic Detection, Final Report, 2002, 9.