

영상식 차량 검지기의 데이터 정확도 평가 방법

Evaluation Method of Vehicle Image Detector

류승기

(한국건설기술연구원, 선임연구원)

변상철

(한국건설기술연구원, 선임연구원)

Key Words : 키워드 : ITS, 영상식 검지기, 평가

목 차

- I. 서 론
 - 1. 연구의 배경 및 목적
 - 2. 연구의 방법 및 범위
- II. 평가방법
 - 1. 기존 연구사례
- III. 결론

I. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

ITS 구축 사례의 증가로 인하여 차량 검지기에 대한 수요가 급증하고 있으나, 차량 검지기의 성능 평가에 대한 기준은 시스템을 구축하는 기관에 따라서 달라지고 있다. 또한 평가를 위한 공인기관이 없는 관계로 차량 검지기 평가를 위해 비슷한 현장시험을 중복해서 시행하고 있는 실정이다.

교통상황에 대한 올바른 판단과 양질의 서비스를 제공하기 위해서는 무엇보다 원시 교통자료의 질이 무엇보다 중요하다. 원시 교통자료의 정확도는 높을수록 좋으나 이는 경제적인 문제인 장비의 가격과 직결된다.

따라서 본 연구에서는 차량 검지기의 평가방법, 평가지표, 평가기준 및 평가대상 변수의 설정 등에 대한 검토를 통하여 합리적인 평가방안을 제시하고자 했다.

2. 연구의 방법 및 범위

차량검지기의 평가에 있어 가장 중요한 요소 중 하나는 교통 파라메타별 기준값을 확보하는 것이다. 평가를 받는 차량 검지기의 정확도가 높은 관계로 기준값은 참값에 근사한 값이어야 한다. 따라서 1가지 기준 장비로 기준값을 만드는 것보다는 교통 파라메타별로 보다 유리한 기준 장비를 활용하여 기준값의 정확도를 높이는 것이 필수적이다.

교통 알고리즘에 입력되는 차량 검지기의 해당 교통 파라메타에 과대 또는 과소 계측함에 영향을 분석하고 이를 근거 설정할 필요가 있다. 그러므로 본 연구에서는 단속류와 연속류의 도로에서 통행시간 정보를 제공하기 위해서 일반적으로 채택되는 KHCM 모형(단속류)과 BPR 식 형태의 모형(연속류)에 대해서 차량검지기의 계측 오차에 대한 민감도를 분석하였다.

따라서 본 연구에서는 평가방법, 평가지표의 특성, 평가기준에 대한 검토를 통하여 합리적인 차량 검지기 평가방안을 제시하고 한다.

II. 평가방법

1. 기존 연구사례

외국의 교통시스템에 따른 장비의 계측 허용오차를 살펴보면 <표 1>과 같다. 과거의 교통공학 분석용으로 사용되는 교통 파라메타의 정확도를 보면 교통량은 2~5%, 속도는 5%, 차종분류는 10% 였으나, 최근 활발한 발전을 보이는 ITS의 모든 교통 파라메타의 정확도는 1~5%로 요구되고 있다.(Carlos Sun, Stephen G. Ritchie, 1999)

<표 1> ITS 시스템별 교통 파라메타 허용 오차

신호교차로 제어			
	파라메타	수집주기	허용오차
Tactical Parameters - Detection	점 유 율	20초	±2.5%@500veh/hr/lane
	교 통 량	20초	±1%
	속 도	20초	±1 mph
	통행시간	20초	± 5%
고속도로 사고 감지 및 관리			
	파라메타	수집주기	허용오차
Historical Parameters - Planning	점 유 율	15분 또는 1시간	±2.5%@500veh/hr/lane
	교 통 량	15분 또는 1시간	±2%
	속 도	15분 또는 1시간	±1 mph

고속도로 램프미터링 제어			
Strategic Parameters - Central Control	파라메타	수집주기	허용오차
	점 유 율	5분	±2%
	교 통 량	5분	±2.5% @500veh/hr/lane
	속 도	5분	± 5mph

2. 기준값 확보방안

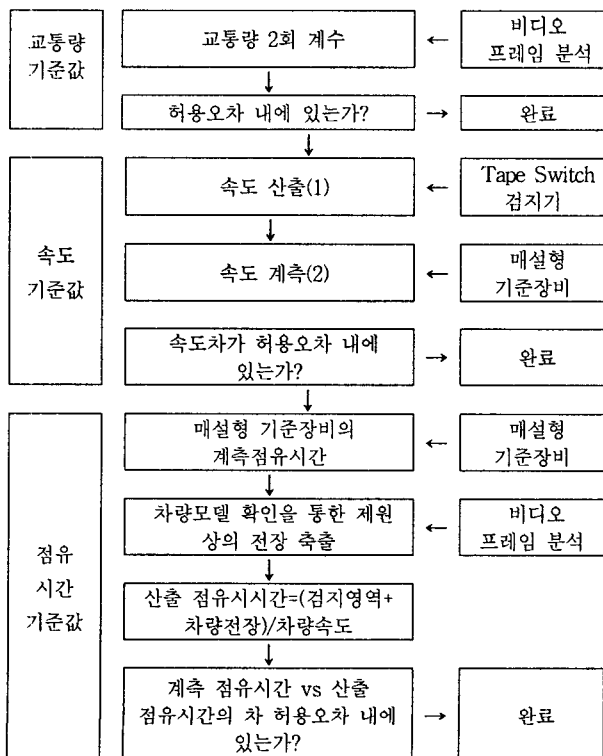
높은 정확도의 차량검지기를 평가하기 위해서는 기준이 되는 값은 매우 높은 정확도를 요구한다. 따라서 비매설형 차량검지기의 평가의 경우 주로 매설형 차량검지기를 기준장비로 채택하여 활용하고 있다.

그러나, 매설형 차량검지기도 오차를 발생할 여건이 많으며, 현재까지는 이러한 오차를 최소화하는 시스템 구성이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 교통 파라메타별 최대한 참값에 근사한 기준값을 도출하기 위해서 복합적인 방안을 제시하고 한다.

<그림 1>에서 제시한 바와 같이 교통량의 경우 비디오 프레임 분석을 기준으로 하였다. 또한 속도의 경우는 Tape Switch 센서를 활용한 이동식 장비를 활용하였다. Tape Switch 센서의 경우 2피에조+1루프의 매설형 차량검지기와 동일한 센서 방식이나 Tape Switch 센서의 특성상 차량바퀴가 지날 때 on-off 동작을 함으로써 기준의 피에조 센서가 발생할수 있는 차량 바퀴가 지나는 시점에 대한 임계치 설정값에 대한 오차를 줄일 수 있다는 장점을 갖고 있다.

또한 점유율의 경우는 최종 결정된 차량의 속도와 비디오 프레임 분석에 의한 모델의 확인을 통한 차량 제원 상의 차량길이 활용하여 산출한 산출 점유시간과 장비의 계측 점유시간이 차가 허용오차 내에 있을 때 이를 기준값으로 채택한다.



<그림 1> 교통 파라메타별 기준값 확보 방안

3. 평가지표 선정

국내의 경우 등가계수가 주로 사용되었으며, 이외에도 오차율, 상관계수 등이 사용되었다. 국외의 경우 %오차, 분산, 산포도, 상관계수 등의 지표가 사용되고 있다.

1) 평균 절대 오차백분율(MAPE : Mean Absolute Percentage Error)

평균 절대 오차백분율(MAPE)은 개별 차량 또는 분석 시간 간격에 따른 오차백분율의 평균을 의미한다.(John E. Hanke, Arthur G, 1992)

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

여기서,

Yi = 기준값 또는 참값, Xi = 검지기 관측값

2) 상관계수(Correlation Coefficient)

상관계수는 -1.0~1.0까지 무차원의 값을 가지는 지표로 참값에 대한 관측값의 상관계수가 1에 가까울수록 참값에 가까운 값을 뜻한다. 상관계수는 다음과 같이 구한다.

$$r = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X_i - \bar{X})^2 \sum(Y_i - \bar{Y})^2}} \quad \dots \dots (2)$$

여기서,

r = 상관계수, n = 자료 수집 주기의 총 개수,

Yi = 기준값 또는 참값, Xi = 검지기 관측값

3) 등가계수

그 동안 국내에서 사용된 등가계수는 "1-Theil의 부등계수" 한 값으로 부등계수는 다음과 같다.

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

여기서,

Yi : 기준값 또는 참값, Xi : 검지기 관측값,

n : 비교 자료의 개수를 의미

그리고 이러한 부등계수의 분자항은 다음과 같은 3개 항으로 분리할 수 있다. UM은 편기 비율, US는 분산 비율 그리고 UC는 공분산 비율이며, UM +US +UC =1과 같다. UM은 실제값과 예측값의 평균간의 크기를 알 수 있는 값이며, US는 관심의 대상이 되는 분산을, UC는 비시스템적인 오차를 측정하는 지표이다. 세 가지 지표를 분석할 경우 정확한 오차의 분석이 가능하다고 볼 수 있다.

$$U_M = \frac{(\bar{Y}_i - \bar{X}_i)^2}{(1/n)\sum(Y_i - X_i)^2}$$

$$U_S = \frac{(\sigma_y - \sigma_x)^2}{(1/n)\sum(Y_i - X_i)^2} \dots\dots (4)$$

$$U_C = \frac{2(1-\gamma)\sigma_y\sigma_x}{(1/n)\sum(Y_i - X_i)^2}$$

UM, US는 0이고, UC가 1에 가까울수록 기준값과 관측값이 잘 일치한다는 것을 의미한다.

4. 평가대상 파라메타 및 기준

ITS의 아키텍처의 시스템들은 시스템을 구축하는 주체에 따라서 자료의 수집주기, 가공주기, 교통정보제공 주기가 상이하다. 또한 차량검지기의 경우 정확도가 교통정보의 정확도 직접적인 관련은 있지만 동일하지는 않다. 따라서 시스템을 운영주체는 교통정보의 목표로 하는 정확도를 확보할 수 있는 차량검지기의 선택이 무엇보다 중요하다.

또한 차량검지기의 평가변수 경우 일반적으로는 교통량, 속도, 점유율, 차종분류의 정확도 등이 있다. 특히 ITS 목적으로 차량검지기의 평가에 있어서는 시스템에서 서비스하는 교통정보 예를 들면 통행시간, 돌발상황인지 등의 알고리즘에서 어떤 교통 파라메타를 사용하는가에 따라서 결정되어야 한다. 대부분의 경우 ITS 시스템에 따라서 그리고 운영주체에 따라서 서로 상이한 교통 알고리즘을 채택하고 있으므로 일률적으로 평가 대상 교통 파라메타를 설정하는 것은 어렵다.

- 1) 단속류에서 통행시간 추정 알고리즘의 경우 단속류의 통행시간 추정을 위해서 KHCM 모형을 사용하였다.

$$TT = \frac{L}{V} + D$$

$$TT = \frac{L}{V_t \pm V_e} + (D + D_e) \dots\dots (5)$$

여기서,

TT : 구간의 추정 통행시간(초),

L : 구간 길이(km),

V : 통행속도 참값 (V_t)과 검지기의 과대, 과소 계측 영향 성분 ($\pm V_e$),

D : 지체시간(초/대), D_e : 지체시간 오차성분

분석 조건은 다음과 같다.

- ① PF = 1, 주기 = 150초, 유효 녹색 시간비 = 0.6, 분석시간 T = 1/12시간, 속도 = 60kph, 구간 거리 = 1km
 - ② 도로는 이상적인 조건이며, 기본 포화 교통률은 1,800대/시로 함
- 장비 오차에 따른 통행시간 추정오차 백분율을 산정하기

위하여 속도오차와 교통량오차를 달리하여 8개의 시나리오를 가정하였으며, 각 시나리오별로 장비 오차에 따른 통행시간 추정오차 백분율을 분석하였다. 분석한 결과는 <표 4>와 같다. 통행시간 추정오차가 가장 크게 발생하는 경우는 시나리오 7로 속도를 과소 계측하고 교통량을 과대 계측하는 경우이다. 이때 발생하는 최대 통행시간 추정오차는 26.19%까지 발생할 수 있음을 보여 준다.

따라서 KHCM 모형을 이용하는 경우 속도 오차보다는 교통량 오차가 미치는 영향이 크며, 동일한 오차율일 경우라도 교통량이 많을 때 통행시간 추정오차가 큰 것을 알 수 있다. 이는 KHCM 모형에서는 포화도에 따라서 일정 V/C가 1.0 이하 수준 일때는 완만하게 증가하다가 그 이상일 때는 급격하게 증가하는 모형의 특성을 반영한 결과이다.

<표 4> 장비 오차에 따른 통행시간 추정 오차 백분율(단속류)

5 분 교 통 량	속도오차 0%		속도오차 +5%			속도오차 -5%		
	교통량 오차 +5%	교통량 오차 -5%	교통량 오차 0%	교통량 오차 +5%	교통량 오차 -5%	교통량 오차 0%	교통량 오차 +5%	교통량 오차 -5%
	시나 리오1	시나 리오2	시나 리오3	시나 리오4	시나 리오5	시나 리오6	시나 리오7	시나 리오8
25	1.41	-1.36	-3.16	-1.75	2.13	3.49	4.90	2.13
30	1.77	-1.69	-3.08	-1.31	1.71	3.40	5.17	1.71
35	2.17	-2.05	-3.00	-0.83	1.27	3.32	5.49	1.27
40	2.64	-2.45	-2.94	-0.29	0.80	3.25	5.89	0.80
45	3.20	-2.91	-2.88	0.32	0.28	3.18	6.38	0.28
50	3.88	-3.44	-2.83	1.05	-0.31	3.13	7.01	-0.31
55	4.74	-4.08	-2.80	1.95	-0.99	3.09	7.83	-0.99
60	5.89	-4.85	-2.77	3.11	-1.79	3.06	8.95	-1.79
65	7.50	-5.82	-2.77	4.73	-2.76	3.06	10.56	-2.76
70	9.96	-7.05	-2.80	7.16	-3.96	3.09	13.05	-3.96
75	14.16	-8.60	-2.90	11.27	-5.40	3.20	17.36	-5.40
80	22.67	-9.96	-3.18	19.49	-6.44	3.52	26.19	-6.44

- 2) 연속류에서 통행시간 추정 알고리즘의 경우

일반국도에 BPR 형태의 통행시간을 추정하는 모형에 대해서 기존에 제시된 연구 결과(1998)를 적용하였다.

$$T_a = T_0[1 + \alpha(V/C)^\beta]$$

$$= T_0[1 + \alpha(V_t/C)^\beta] + T_0[\alpha(\pm V_e/C)^\beta] \dots (6)$$

여기서,

T_a : 구간의 추정 통행시간(초),

V : 검지기 속도의 참값 + 검지기의 과대, 과소 계측 값,

V_t : 검지기 속도의 참값,

V_e : 검지기 속도 값, C : 도로용량(대/시간),

α : 0.93, β : 1.8(일반국도 4차로의 경우)

분석은 <표 5>에서와 같이 참값 교통량을 50대씩 증가하면서 분석하다. 통행시간 추정은 교통량이 -10% 과소 추정할 때 최대 -8.32% 과소 추정하고, +10% 과대 추정할 때 +9.02% 과대 추정하는 것을 알 수 있다. 이는 BPR 형태의 통행시간 함수가 V/C에 따른 단조 증가 함수이기 때문에 동일 오차 백분율에 대해서 동일하지는 않는다.

<표 5> 장비의 오차에 따른 통행시간 추정오차 백분율(연속류)

참값 교통량 (대/시간)	-10% 적용	-5% 적용	+5% 적용	+10% 적용
1,700	-6.71	-3.43	3.57	7.27
1,750	-6.93	-3.54	3.68	7.51
1,800	-7.14	-3.65	3.79	7.74
1,850	-7.35	-3.75	3.90	7.96
1,900	-7.55	-3.86	4.01	8.18
1,950	-7.75	-3.96	4.12	8.40
2,000	-7.95	-4.06	4.22	8.61
2,050	-8.14	-4.15	4.32	8.82
2,100	-8.32	-4.25	4.42	9.02

통행시간 추정오차는 교통량이 적을 때보다 교통량이 많을 때 장비오차의 영향이 큰 것을 알 수 있다. 또한 장비의 오차는 과대 계측하는 경우가 과소 계측하는 경우보다 통행시간 추정오차 크게 발생하며, 통행시간 추정오차를 $\pm 5\%$ 이내로 할 경우에 장비의 허용오차 역시 $\pm 5\%$ 이다.

III. 결 론

본 연구에서는 ITS 사업에서 교통자료의 수집시스템의 핵심인 차량검지기의 정확도 평가와 관련하여 필수적인 평가방법, 평가지표, 요구정확도에 대해서 살펴보았다. 차량검지기의 평가방법에서는 기존의 방법에 비해서 향상된 점으로는 차량 제원 상의 길이값을 활용하여 기준값의 정확도를 향상 할 수 있는 방법을 제시했다.

또한 평가지표에 대한 고찰을 통하여 하나의 평가지표를 활용하여 여러가지 통계 특성에 대해서 종합적으로 평가할 수 있는 타일의 부등계수와 3가지 부지표를 활용하는 방법을 제시했으며 정확도의 설정방법에 대한 제시하였다.

참고문헌

1. 유지성(1995), 박영사, 계량경제학원론.
2. 도로교통안전관리공단(1999), 차량용 대체 검지기 활용 방안 연구.
3. 이용구(1993), 을곡출판사, 통계학원론.
4. John E. Hanke, Arthur G (1992). Reitsch, Business Forecasting.
5. Robert S. Pindyck and Daniel L. Rubinfeld (1999), Econometric Models & Economic Forecasts.