



사선형 센서를 이용한 저가 검지장비의 차량속도 추정방법 개발

Developing a method to estimate vehicle speeds in a low-cost vehicle detector with an inclined sensor

김형수* 오주삼**
Kim, Hyongssoo Oh, Jusam

Abstract

With the development of high-cost vehicle detectors, low-cost detectors have also been studied due to the advantage that more detectors are provided within limited budgets. This study proposed a method to estimate vehicle speeds using vehicles' track data from auto manufacturers and time stamps obtained when vehicles' tires pass an inclined sensor (here, a tape switch sensor). In speed estimation, small vehicles and large vehicles is distinguished according to the ratio of time stamps for a wheelbase and a rear track obtained from a tape switch sensor. In particular, speed estimation can be adjusted through a parameter to determine vehicles' size so as to take into account location properties such as vehicles' classification ratio. The low-cost vehicle detector with an inclined sensor proposed in this study is expected to be widely utilized to monitor traffic conditions thanks to low cost.

Keywords : vehicle speed estimation, low-cost vehicle detector, inclined sensor, tape switch

요 지

센싱 기술의 발달로 다양한 종류의 매체를 이용한 우수한 차량 검지장비들이 개발되고 있는 요즘, 간단한 구조의 저가형 검지장비 또한 적은 예산으로 여러 곳에 설치할 수 있다는 장점 때문에 지속적인 연구가 이루어지고 있다. 본 연구에서는 저가형 차량 검지장비로서 센서를 사선으로 설치하여 좌우 및 전후 바퀴의 통과시간 간격과 차량의 운거값을 적용하여 차량속도를 추정하는 방법을 제안하였다. 출고된 차량의 제원조사에서 얻어진 대표 운거값을 축거와 뒤운거의 비율에 따라 소형과 대형 차량으로 구분하여 적용하므로 기존의 연구보다 정확한 속도추정이 가능하도록 개선하였다. 특히, 소형과 대형차량을 구분하는 파라미터를 통하여 조사지점의 차종구성 비율을 고려한 정확도 보정이 가능하다. 간단하고 저가로 개발된 본 연구의 사선형 센서를 이용한 검지장비는 적은 비용으로 교통상황을 설명하는데 효율적으로 활용될 것으로 기대된다.

핵심어 : 차량속도추정, 저가 검지기, 사선형 센서, 테이프 스위치

* 비회원 · 한국건설기술연구원 첨단교통연구실 선임연구원
** 정회원 · 한국건설기술연구원 첨단교통연구실 선임연구원



1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

교통혼잡의 완화와 안전 및 시설의 효율증대를 위하여 첨단기술을 교통 시스템에 적용한 Intelligent Transportation Systems(ITS)는 다양한 기술의 통합된 형태로 미래의 교통 시스템을 이끌어 가고 있다. ITS의 확대와 함께 차량 감지를 위한 센싱 기술도 다양화되어 루프, 자기, 초음파, 초단파, 영상 등 여러 종류의 매체를 이용한 감지장비들이 개발되었으나, 대부분 가격이 비싼 것이 현실이다(한국ITS학회, 2008). 하지만, 항상 성능이 우수한 고가의 감지장비를 설치해야하는 것은 아니다. 예를 들어, 교통량이 적은 구간에는 저가형 감지장비를 사용한다면 같은 예산으로 더 넓은 범위의 도로망에 대한 교통관제가 가능할 것이다.

차량 감지를 위한 고가의 새로운 센서 개발과 함께, 기존의 간단한 구조의 차량 감지장비에 대한 성능을 개선하려는 노력도 병행되었다. Ye 외 2인(2006)은 Unscented Kalman Filter를 사용하여 기존에 설치되어 있는 단일 루프 감지기의 속도추정 정확도를 향상시켰다. Coifman 외 2인(2003)은 단일 루프 감지기의 속도추정에서 점유율 대신에 개별 차량의 점유시간에 대한 중앙값(median)을 사용하여 오차를 줄였다. Oh 외 2인(2002)은 단일 루프 감지기에서 차량을 인식하는 파형의 기울기를 이용하여 속도를 추정하였다.

간단한 구조의 감지장비의 활용 증대를 위한 노력으로서 센서에서 얻어지는 기타 정보를 이용하여 다른 교통변수를 얻어내는 연구도 진행되었다. Zhang 외 2인(2006)은 인공신경망이론(Artificial Neural Network)을 이용하여 단일 루프 감지기의 자료로부터 차종분류방법을 제시하였다. Ki와 Baik(2006)은 차량종류에 따라 루프 주파수의 파형 변화율이 다르다는 것을 이용하여 차종분류가 가능하다는 것을 보여주었다. 오철(2005) 및 Oh와 Ritchie(2007)는 이

동식 블레이드 타입 루프 센서로부터 얻어진 자기 파형을 해석하여 차량의 차량길이, 축거, 윤거 등을 추정하였다. 특히, 기존의 센서 설치방법과 달리 사선으로 설치하여 더 많은 정보를 추출할 수 있도록 하였다.

루프 센서에 의한 차량 감지는 발생하는 파형을 분석하여 차량진출입 시점을 결정해야 하지만, on-off로 작동하는 테이프 스위치 센서를 사용할 경우 인식 시점이 명확하게 얻어진다. 그런 장점을 이용하여 오주삼과 김종훈(2006)은 테이프 스위치 센서를 이용하여 속도를 추정하였다. 그들은 테이프 스위치 센서를 차량의 진행방향에 사선으로 설치하여 통과차량의 우측과 좌측 바퀴가 시간차를 가지고 센서를 밟도록 설치하였다. 여기서 얻어진 시간차와 윤거(오른쪽 바퀴와 왼쪽 바퀴의 간격)값을 이용하여 속도를 추정하는 방법을 제시하였다. 하지만, 그들의 연구에서 전 차종에 대하여 하나의 대표 윤거값을 사용하므로 소형차와 대형차간의 윤거 차이로 인한 오차를 줄이지 못하였다.

본 연구에서는 사선으로 설치된 테이프 스위치 센서를 이용하여 저가 감지장비의 차량속도 추정방법을 개발하였다. 본 연구를 위하여, 출고된 차량의 제원을 조사하여 차종별 교통량 비율을 고려한 윤거 분포로부터 대표 윤거값을 얻었다. 사선으로 설치된 테이프 스위치 센서를 통과할 때 추출되는 각 좌우 및 전후 바퀴의 감지시간 간격을 이용하여 차량의 종류를 추정하였다. 감지장비를 통과하는 차량의 종류에 따라 다른 대표 윤거값이 적용되어 좌우 바퀴의 감지시간 간격과 함께 속도가 추정되었다. 본 연구는 오주삼과 김종훈(2006)의 것을 바탕으로 이루어졌으며, 대표 윤거값의 적용을 개선하여 더 정확한 속도 추정이 가능하도록 하였다. 본 연구의 방법은 오철(2005) 및 Oh와 Ritchie(2007)의 사선형 루프와 달리 on-off로 작동하는 테이프 스위치 센서를 이용하여 차량 제원값을 적용하여 속도를 추정한 것이다. 간단하고 저가로 개발된 사선 감지장비는 적은 비용으로 교통상황을 설명하는데 효율적으로 활용될 것



으로 기대된다.

다음 장에서는 본 연구를 위하여 개발된 테이프 스위치 센서를 이용한 사선형 차량속도 검지장비의 원리 및 구조가 소개된다. 제 3장에서 차량의 제원 자료를 바탕으로 차량의 속도추정에 사용되는 대표 윤거값이 산정된다. 현장 실험을 통한 사선형 검지장비의 성능평가가 제4장에서 다루어지고, 평가결과를 바탕으로 결론이 언급된다.

끝은 제어기와 연결되어 각 바퀴가 통과하는 시간을 기록하고 차량의 속도를 계산한다. 차량의 진행 방향에 사선으로 설치하기 위한 센서로써 교통량 측정에 사용되는 테이프 스위치 센서가 선택되었다. 이 센서는 바퀴의 두께, 마모정도, 모양과 상관없이 바퀴가 밟으면 즉각적으로 on-off의 신호를 발생시키므로 차량의 인식시점이 분명하게 얻어진다. 그림 2는 차량이 검지장비를 통과할 때, 각 바퀴가 검지되는 과정을 보여준다.

2. 사선형 센서를 이용한 검지장비

본 연구에서는 단순한 구조의 저가형 검지장비를 사용하여 차량의 속도를 측정하였다. 이 검지장비에서 센서를 사선으로 설치하여 좌우 바퀴가 센서를 통과하는 시간이 다르게 기록되도록 하였다. 좌우 바퀴간의 기록된 시간의 차이는 결국, 좌우 바퀴의 중심선간 거리인 윤거와 함께 차량의 속도로 표현된다. 그림 1은 본 연구에서 사용되는 검지장비의 구성을 보여준다.

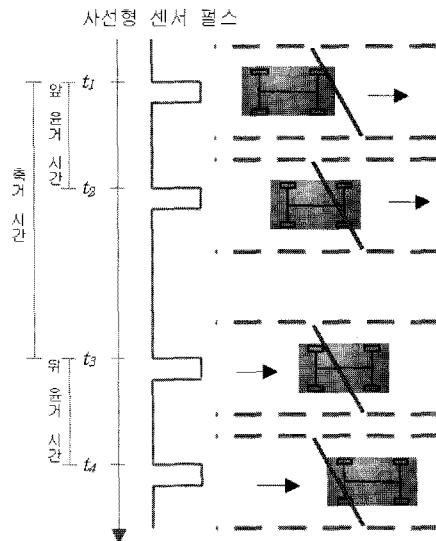


그림 2. 차량의 바퀴가 검지된 시간

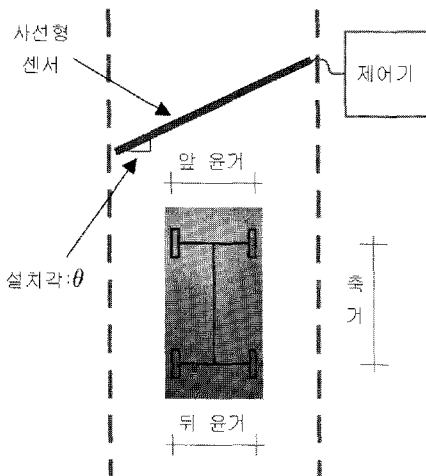


그림 1. 사선형 센서 검지장비의 구성

그림 2에서 보는 바와 같이, 검지장비를 통과하는 차량은 (2축 차량의 경우) 네 번 테이프 스위치 센서를 밟게 된다(왼쪽과 오른쪽 앞바퀴 및 뒷바퀴). 통과 차량의 바퀴가 센서를 밟을 때 마다 시간이 기록되므로 한 대의 차량에 대하여 네 개의 통과시각 자료 t_1, t_2, t_3, t_4 가 얻어진다. 이 자료를 이용하여 앞윤거시간, 뒤윤거시간, 축거시간을 정의하고 그 값을 이용하여 속도를 산정하면 다음과 같다.

그림 1에서 보는 것과 같이, 검지장비에서 사용된 센서는 기존의 유사한 검지장비들과 달리, 도로의 횡방향에 일정각도 θ 를 기울여 설치한다. 센서의 한쪽

$$\text{앞윤거시간} = t_2 - t_1 \quad (1)$$

$$\text{앞윤거시간} = t_4 - t_3 \quad (2)$$

$$\text{축거시간} = t_3 - t_1 \text{ 또는 } t_4 - t_2 \quad (3)$$



$$\text{차량의 속도} = \frac{\text{윤거} \cdot \tan(\theta)}{\text{윤거시간}} \quad (4)$$

$$\text{또는} \quad \frac{\text{축거}}{\text{축거시간}}$$

식 (1)과 (2)에서와 같이, 윤거시간은 왼쪽 바퀴가 센서를 통과한 때부터 오른쪽 바퀴가 통과할 때까지의 시간차로 정의하였다. 이는 통과속도를 정속으로 가정하면 윤거시간은 윤거에 비례하게 되고, 윤거 · tan(θ)는 그 시간 동안의 이동거리가 된다. 식 (3)에서 축거 시간 또한 윤거시간과 같은 개념이다. 즉, 검지영역을 통과하는 동안 차량의 속도변화가 없다고 가정할 때, 통과차량의 윤거 또는 축거를 안다면 식 (4)를 이용하여 차량의 속도를 계산할 수 있다. 다음 장에서는 본 연구의 검지장비에서 속도를 얻기 위하여 국내 출고차량의 축거와 윤거를 조사하여 대표값을 산정하였다.

3. 윤거의 산정

본 연구에서는 차량의 속도를 산정할 때 필요로 하는 차량의 길이(윤거 또는 축거)에 대한 대표값을 결정하기 위하여 국내에 출고된 차량의 제원을 조사하였다. 주로 자동차 제작사에서 발간한 자료와 인터넷에서 자료를 수집하여 차량 모델에 따라 정리하였다. 총 1,116 가지 다른 모델의 차량제원이 수집되었고, 국토해양부에서 지정한 12 차종 분류에 근거하여 조사 모델을 분류하였다. 국토해양부의 12 차종 분류 방법은 도로의 계획과 건설, 유지관리, 교통류 분석을 위하여 2006년부터 시행한 것으로 차량의 용도, 축수, 단위 등을 중심으로 구분한 방법이다(국토해양부, 2008). 그림 3은 조사된 차량 모델의 12 차종별 모델수를 보여 준다.

그림 3에서 1종 차량에는 승용차, SUV가 해당되므로 가장 많은 모델 수를 보여준다. 8종 이상의 경우 다양한 종류의 특수장비 차량이 해당되므로 모델 수가 많게 나타났다. 2종에는 버스가 포함되고, 소형

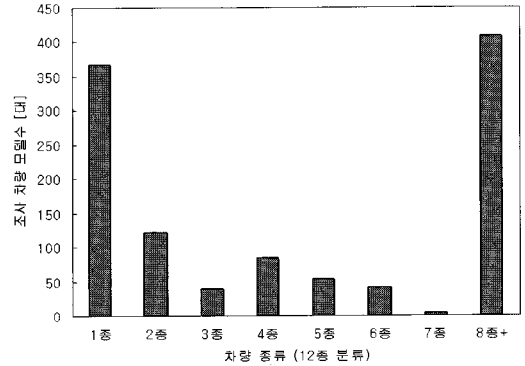


그림 3. 차종별 조사차량 모델수의 분포

트럭은 3종에, 2축 대형트럭은 4종에 포함된다. 5종부터는 3축 이상의 대형트럭이 해당되므로 실제 도로상에는 적은 수의 차량 비율을 차지한다. 조사된 차량 모델들의 축거와 윤거의 분포를 알아보기 위하여 각 차량의 축거에 대한 첫 번째 및 두 번째 윤거를 그림 4에 표출하였다. 실제 도로에서 운행 중인 차량의 대부분은 2축 차량이므로 앞과 뒤로 표현하여 두 번째 축까지 조사하였다.

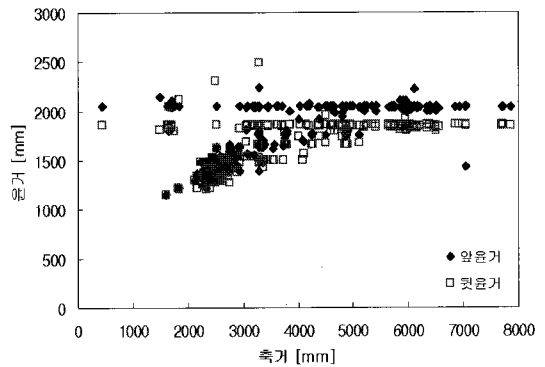


그림 4. 차량 모델의 축거에 대한 윤거의 분포

그림 4에서 보는 바와 같이, 차량의 축거는 다양하게 분포하고 있는 반면, 윤거는 축거와 비교하여 일부 값에 집중되어 있다. 예를 들어, 소형차량의 경우 앞윤거와 뒤윤거가 거의 유사하여 1,500mm에 집중되어 있으며, 대형차량의 경우 앞윤거는 2,000mm에 뒤윤거는 1,900mm에 집중되어 있다. 이는 대형차량



의 경우, 뒤축의 바퀴가 좌우 각각 두개씩으로 이루어져 바퀴의 중심선에서부터 측정하는 윤거가 짧아지기 때문이다. 사선형 검지장비를 통과하는 차량의 속도를 추정하기 위하여 축거나 윤거의 대표값을 적용할 경우, 국내에 출고된 차량의 제원조사자료를 고려할 때, 상대적으로 더 집중되어 있는 윤거를 사용하는 것이 오차를 줄일 수 있다고 판단된다.

윤거는 차량의 구조적 설계에 의하여 결정이 되므로 차량의 종류와 관련이 깊다. 특히, 실제로 도로를 이용하는 차량의 종류별 빈도를 고려할 때, 윤거를 차종별로 구분하여 적용하는 것이 타당하다. 표 1은 출고차량의 제원조사자료에서 각 차종에 해당하는 모델들의 앞윤거값을 보여준다.

표 1. 차종별 모델들의 앞윤거값(mm)

차종	평균	중간값	표준편차	최대	최소
1종	1,438	1,440	76	1,635	1,220
2종	1,965	2,000	135	2,220	1,340
3종	1,433	1,450	54	1,490	1,220
4종	1,786	1,754	211	2,230	1,390
5종	2,020	2,045	118	2,050	1,430
6종	2,059	2,045	29	2,140	2,040
7종	2,045	2,045	5	2,050	2,040
8종+	1,815	1,795	252	2,098	1,154

표 1에서 1종과 3종의 윤거는 평균 1,438mm 및 1,433mm로 소형차량(승용차와 트럭)에 해당되고 표준편차도 작게 나타났다. 2종에는 버스가 해당되는데, 소형과 대형 버스가 포함되므로 큰 표준편차를 보여주었다. 4종은 2축까지의 트럭이 포함되므로 모양이 다양하여 표준편차가 크게 나타났다. 8종 이상의 경우, 다양한 특장차의 모델 때문에 평균은 1,815mm지만 표준편차가 가장 크게 나타났다.

차량의 종류별 윤거값에 빈도를 가중시키기 위하여 실제 도로를 주행하는 차종별 빈도를 조사하였다. 차종별 구성비율은 도로교통량 통계연보(국토해양부, 2008)에서 제공하는 2007년 값을 사용하였다.

표 2는 도로의 종류에 따른 차종별 구성비율을 보여준다.

표 2. 2007년 차종별 구성비

차종	고속국도	일반국도	국지도	지방도	평균
1종	0.651	0.673	0.719	0.660	0.666
2종	0.044	0.026	0.030	0.036	0.035
3종	0.104	0.169	0.165	0.200	0.148
4종	0.097	0.068	0.042	0.047	0.074
5종	0.035	0.023	0.022	0.028	0.028
6종	0.018	0.018	0.013	0.016	0.017
7종	0.017	0.007	0.004	0.005	0.010
8종+	0.035	0.015	0.006	0.007	0.021

표 2에서 도로의 종류는 고속국도, 일반국도, 국가지원지방도, 지방도로 구분되었다. 이는 본 연구에서 소개되는 사선형 차량 검지장비를 어디에서 사용하는냐에 따라 그 도로에 맞는 차종 구성비율을 달리 적용하여 사용할 수 있다. 본 연구에서는 일반국도에 해당하는 비율을 사용하여 각 차종별로 조사된 차량 모델의 수에 교통량을 가중하여 윤거분포를 작성하였다. 그림 5는 2007년 일반국도의 평균 차종비율을 가중한 윤거의 분포를 보여준다.

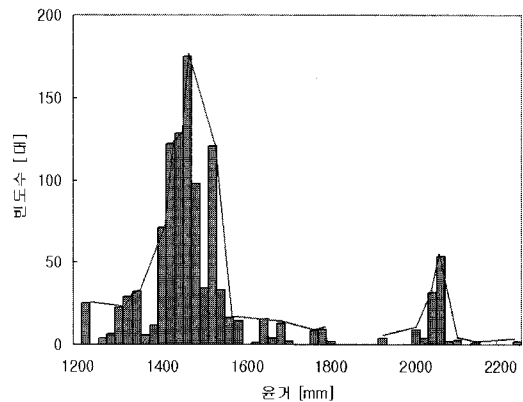


그림 5. 2007년 일반국도의 윤거분포

그림 5에서 교통량이 가중된 윤거의 도수분포에 두개의 분포가 존재하는 것을 확인할 수 있다. 첫 번



제 분포는 1,200~1,800mm로 전체의 84.2%를 차지하는 1종과 3종의 소형 차량들이 대부분을 차지하고 있다. 두 번째 분포는 1,940~2,240mm로 나머지 대형차량들에 의하여 형성된 것으로 보인다. 가장된 윤거분포에 근거하여 윤거의 대표값으로 두 분포의 중간값(median)인 1,450mm와 2,050mm를 선택하였다.

위에서 선택된 소형차량용 윤거값과 대형차량용 윤거값을 알맞게 적용시키기 위하여, 뒤윤거에 대한 축거의 비율을 조사하였다. 차종별 구성비의 대부분을 차지하는 4종 이하(2축) 차량에서 대형차량은 축거가 길고 뒤축 좌우에 타이어가 두개씩 사용되므로 뒤윤거가 앞윤거 보다 짧다는 특징을 이용하여 소형과 대형차량을 구분하려는 것이다. 그림 6은 차량의 제원조사자료로부터 윤거와 축거/뒤윤거의 관계를 차종별로 보여주고 있다.

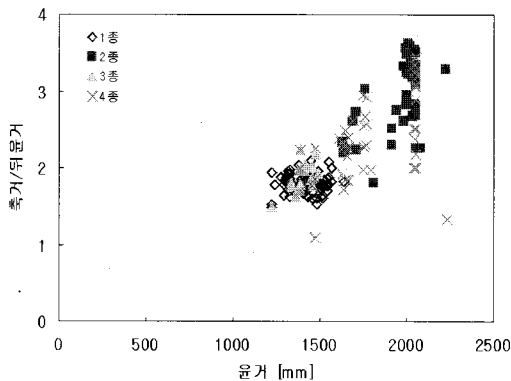


그림 6. 축거/뒤윤거 비율과 윤거의 관계

그림 6에서 대부분의 1종과 3종 차량은 축거와 뒤윤거의 비율이 낮고 윤거는 1,450mm에 몰려있고, 2종과 4종은 축거/뒤윤거가 높고 윤거는 2,000mm 주변에 분포되어 있다. 본 연구에서 구상하는 사선형 속도검지장비에서 소형과 대형차량을 구분하기 위하여 새로운 파라미터 a 를 정의하였다. 즉, 축거와 뒤윤거 비율이 파라미터 a 보다 작으면 소형차량으로 구분하여 1,450mm를, 크면 2,050mm를 대표 윤거값으로 적용한다. 그림 7은 그 과정을 보여준다.

```

if(축거/뒤윤거 <= a)
    윤거 = 1,450mm;
else
    윤거 = 2,050mm;

```

그림 7. 윤거 결정을 위한 과정

실제로, 사선형 속도검지장비에서는 시간자료만을 얻으므로 축거와 뒤윤거 대신에 축거시간과 뒤윤거 시간을 이용하여 비율을 구할 수 있다. 결국, 본 연구에서 다루는 장비는 파라미터 a 를 통하여 속도 조사 지점의 특성을 반영하도록 구성되었다. 예를 들어, 그 지점의 차종비율이 다른 지역과 현저히 다를 경우, 파라미터 a 를 추정하는 과정에서 조정이 되어 정확도를 유지할 수 있다. 파라미터의 추정은 사전 샘플 조사 또는 유사 점 결과분석 등을 통하여 가능하다. 다음 장에서 실제 조사된 자료를 이용하여 본 연구에서 개발된 방법의 평가가 이루어진다.

4. 정확도 평가

본 연구 방법의 성능을 검증하기 위하여, 실제 도로에서 주행하는 차량의 속도를 조사하여 사용하였다. 본 조사는 2008년 3월 13일 경기도 현리에서 청평간 일반국도 37호선에서 이루어졌다. 조사지점은 왕복 2차로 도로로 차로폭이 3.5m에 1.1m 측방여유폭을 확보하고 있다. 2008년 도로교통량통계연보에 따르면 2007년 연평균일교통량(AADT)이 10,711대/일로 혼잡이 심하지 않은 도로로 정상적인 주행속도를 얻을 수 있는 구간이다(국토해양부, 2008).

본 실험결과의 검증을 위한 기준값을 추출하기 위하여 조사지점에 설치되어 있는 고정식 교통량조사장비(AVC; Automatic Vehicle Classification)가 사용되었다. AVC 장비는 국도의 연평균일교통량을 얻기 위하여 국토해양부에 의하여 설치·운영되는 장비로 루프와 피에조 센서의 조합으로 구성되어 있다.



본 장비는 도로의 포장면 내에 매설되어 운영되므로 정확도의 변화가 적고 특히, 본 조사를 위하여 장비 운영자가 정확도 조정을 마친 후 조사를 시작하였다. AVC 장비가 설치되어 있는 곳에 테이프 스위치 센서가 차량의 진행방향에 사선으로 설치되었다. Tapeswitch사의 RB-S road switch 센서가 사용되어졌으며, 센서를 도로면에 밀착시켜 차량의 주행에 영향을 주지 않기 위하여 피복을 제거한 내부 테이프 스위치만을 사용하였다.

AVC 장비와 사선형 센서를 이용한 속도검지장비로부터 추출된 개개 차량의 속도자료를 매칭시켰다. 검지구간 내에서 차로변경에 의한 일부 불확실 자료를 제외한 총 1,232개의 차량속도 자료가 얻어졌다. 그림 8은 기준속도로 사용되는 AVC 장비에서 얻어진 1,232개의 차량속도 자료의 분포를 보여준다.

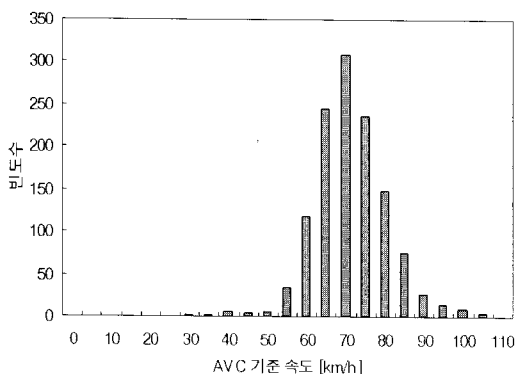


그림 8. AVC에 의하여 추출된 기준속도의 분포

사선형 센서를 이용한 검지장비에서는 제어기에 기록된 시간정보와 평균 윤거값을 적용하여 속도를 추정하였다. 오주삼과 김중훈(2006)의 방법에서는 모든 차량에 대하여 평균 윤거값 1,950mm 만을 적용하였으나, 본 연구에서는 소형과 대형차량의 대표 윤거 두개의 값을 파라미터 α (여기서, 2.5)와 함께 사용하였다. 사선형 센서의 기울기는 30도로 이전 연구와 같게 하였다. 표 3은 AVC 장비, 기존방법(오주삼과 김중훈, 2006), 본 연구방법을 통하여 얻어진 세 종류의 속도자료를 비교하기 위하여 기초

분석을 하였다.

표 3. 추출된 속도자료 기초분석 (km/h)

구분	평균	중간값	표준 편차	최대	최소
AVC 장비	69.3	68.0	9.3	105	26
기존 방법	86.3	86.2	12.5	139.8	26.0
본 연구 방법	65.2	64.1	8.7	103.9	27.3

표 3에서 전체자료에 대한 결과는 본 연구의 방법이 기존의 방법을 크게 개선하는 것으로 나타났다. 평균속도를 비교할 때, AVC 장비와 기존방법에서는 17km/h의 차이가 나타난 반면, 본 연구의 방법은 4.1km/h의 차이를 보여 주었다. 그림 9에서는 AVC 장비에서 추출된 속도자료를 기준으로 기존방법에 의한 속도자료의 관계를 그래프로 표현하였다.

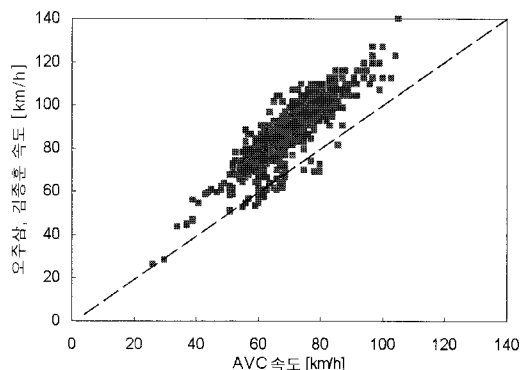


그림 9. 기준값과 기존방법에 의한 속도

그림 9에서 기존방법은 대부분 기준값보다 높게 나타났다. 이는 계산상에 사용된 평균 윤거값이 차종 구성비율에 높게 차지하는 승용차의 것 보다 크기 때문이다. 그림 10에서는 AVC 장비에서 추출된 속도자료를 기준으로 본 연구의 방법에 의한 속도자료의 관계를 그래프로 표현하였다.

그림 9와 달리, 그림 10에서는 AVC 속도와 본 연구에서 개발한 방법에 의한 속도는 비교적 잘 맞는 것으로 나타났다. 또 다른 평가지표로서 상관계수, MAPE(Mean Absolute Percentage Error), RMSE(Root Mean Squared Error), Theil 부등계



수가 사용되었다. 상관계수와 Theil 부등계수는 작을수록 MAPE와 RMSE는 클수록 설명력이 높다고 할 수 있다. 표 4는 기준값과 두 가지 속도추정방법에 의한 속도값 간의 관계를 보여준다.

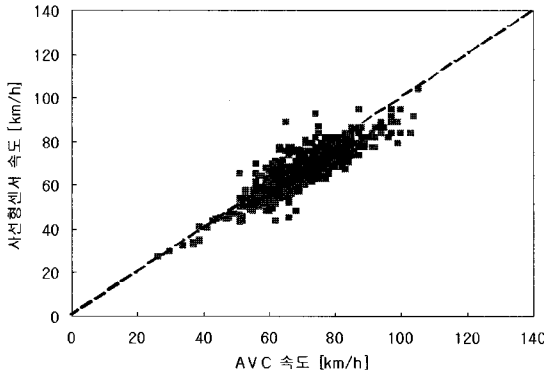


그림 10. 기준값과 본 연구의 방법에 의한 속도와 관계

표 4. 기준속도에 대한 추정값의 평가결과

차종	상관계수	MAPE [%]	RMSE [km/h]	Theil
기존 방법	0.873	25.0	18.17	0.116
본 연구의 방법	0.883	7.1	6.02	0.044

표 4에서 기존방법과 비교하여 본 연구의 방법은 모든 평가지표에서 더 우수한 것으로 나타났다. 상관계수의 경우, 기존방법으로 얻어진 속도값이 기준값과 차이는 있지만, 본 연구방법의 값과 유사한 분포를 나타내고 있어 결과에는 큰 차이를 보이지 않았다(그림 9, 10 참조). 하지만, MAPE에서는 25%에서 7.1%로 크게 향상된 결과를 얻었으며, RMSE와 Theil 부등계수도 본 연구의 방법이 우수하다는 것을 보여주었다.

5. 결론 및 향후 연구과제

첨단기술을 접목시킨 지능형 교통 시스템이 각광 받는 요즘, 간단한 구조의 저가형 검지기 또한 적은

예산으로 여러 곳에 설치할 수 있다는 장점 때문에 지속적인 연구가 이루어지고 있다. 본 연구에서는 기존의 오주삼과 김중훈(2006)의 논문에서 다루었던 사선형 테이프 스위치 센서를 이용한 속도추정방법을 개선하였다. 기존의 방법에서 모든 차량에 하나의 대표 윤거값을 사용하던 것을 차량통과시 기록되는 시간자료를 활용하여 소형차량을 위한 대표 윤거값과 대형차량을 위한 대표 윤거값으로 구분하여 적용하였다.

본 연구의 방법을 검증하기 위하여 국토해양부에서 연평균일교통량을 조사하기 위하여 사용하고 있는 고정식 교통량조사장비(AVC)의 속도자료를 기준값으로 활용하여 기존방법과 본 연구의 방법을 비교하였다. 실험의 결과에서 상관관계의 경우, 본 연구의 방법이 약간 더 우수하였으나 MAPE에서는 크게 향상된 것으로 나타났다. 그 이유는 오주삼과 김중훈의 방법은 1분 또는 5분의 집계자료(aggregate)를 산출시 그 값 내부에 오차가 흡수되어 어느 정도 타당한 값을 추정할 수 있으나, 본 연구의 방법은 정확도가 눈에 띄게 향상되었기 때문에 개별 차량속도자료의 추정에도 타당한 값을 제공하기 때문이다.

지금까지 소개된 속도추정방법은 저가의 단순한 구조로 이루어진 검지기장비를 이용한 것이다. 이 방법은 속도의 추정이므로 항상 정확한 값을 도출할 수 없지만, 특정구간의 교통상황 관제의 목적으로 충분한 역할을 할 수 있을 것이라 기대된다.

향후 연구과제로 다루어야 할 부분으로 더 많은 조사가 이루어져야 한다. 본 연구에서는 1,232개의 속도자료에 26~105km/h의 속도만을 다루었지만 조사 지점, 조사차로, 속도 등 다양한 조건에서의 검증이 필요하다. 특히, 저속자료의 조사는 향후 본 방법론의 실용화에 가장 중요하게 역할을 할 것으로 판단된다.

참고문헌

국토해양부 (2008). 도로교통량 통계 연보.



- 오주삼, 김종훈 (2006) “단일 센서를 활용한 차량속도 추정에 관한 연구”, 대한토목학회지, 대한토목학회, 26권 3D호, pp. 461-467.
- 오철 (2005) “개별차량의 고유특성을 이용한 구간통행 시간 산출기법 개발”, 대한교통학회지, 대한교통학회, 제23권 제1호, pp.83-91.
- 한국ITS학회 (2008). 교통정보공학론, 성문각.
- Coifman, B., Dhoorjaty, S., and Lee, Z. (2003) “Estimating median velocity instead of mean velocity at single loop detectors”, *Transportation Research Part C*, Vol. 11, pp. 211-222.
- Oh, C. and Ritchie, S. (2007) “Recognizing Vehicle Classification Information from Blade Sensor Signature”, *Pattern Recognition Letters* 28, Elsevire, pp. 1041-1049.
- Oh, S., Ritchie, S., and Oh, C. (2002) “Real-time traffic measurement from single loop inductive signatures”, *Journal of the Transportation Research Board*, No.1804, TRB, pp. 98-106.
- Ki, Y., and Baik, D. (2006) “Vehicle-classification algorithm for single-loop detectors using Neural Networks”, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 55, No. 6, IEEE, pp. 1704-1711.
- Ye, Z., Zhang, Y., and Middleton, D. (2006) “Unscented Kalman Filter method for speed estimation using single loop detector data”, *Journal of the Transportation Research Board*, No.1968, TRB, pp. 117-125.
- Zhang, G., Wang, Y., and Wei, H. (2006) “Artificial Neural Network method for length-based vehicle classification using single-loop outputs”, *Journal of the Transportation Research Board*, No.1945, TRB, pp. 100-108.

접 수 일: 2008. 8. 25
심 사 일: 2008. 8. 28
심사완료일: 2009. 1. 30