

■ 論 文 ■

### 차량 속도별 영상검지기 성능분석

Analysis on Video Image Detection System Performance by Vehicle Speed

**장 진 환**

(한국건설기술연구원 도로연구부 연구원)

**박 창 수**

(경주대학교 건설환경공학부 부교수)

**백 남 철**

(한국건설기술연구원 도로연구부 선임연구원)

**이 미 영**

(한국건설기술연구원 도로연구부 선임연구원)

#### 목 차

- I. 서론
  - II. 영상검지기 개요
  - III. 영상검지기 성능분석
    - 1. 자료수집 조건
    - 2. 기준자료 수집
    - 3. 성능분석 결과
  - IV. 성능개선 방안
    - 1. 설치높이별 검지능력
    - 2. 속도별 차간거리 산출
    - 3. 최적 설치높이
  - V. 결론 및 향후과제
- 참고문헌

Key Words : ITS, 영상검지기, 레이저검지기, 성능분석, 최적 설치높이

#### 요 약

본 논문은 현재 고속국도와 일반국도 ITS를 위한 핵심 검지장비인 영상검지기에 대한 성능이 차량의 속도그룹별로 분석했고, 통과차량의 속도저하에 의한 검지자료의 부정확성의 원인을 규명한 후, 이에 대한 해결책을 제시했다. 분석 결과, 속도 자료의 경우에는 차량의 통과속도가 50kph 이하로 떨어질 때부터 성능이 저하되고, 교통량과 점유율의 경우에는 30kph 이하일 때부터 성능이 저하되는 것으로 분석되었다. 그러나 속도의 경우에는 최저 성능그룹의 정확도가 88%였으나, 교통량과 점유율의 경우에는 각각 75%와 73%로 나타나 상대적으로 속도 정확도가 크게 감소했다. 통과차량의 속도저하에 의해 영상검지기 자료가 부정확한 이유는 속도가 감소할 경우 차간거리가 감소하여 영상검지기가 연속한 두 차량을 구별하지 못함으로 인해 발생하는 것으로 분석되었다. 영상검지기의 이러한 성능저하를 방지하기 위한 최적 설치높이는 현실적인 여건을 감안하여 17m~21m로 제안했다.

This paper not only tests VIDS(Video Image Detection System) performance by vehicle speed group but also suggests optimal VIDS height considering road and cost condition. The VIDS spreads over freeway and national highway and plays an important role in ITS(Intelligent Transportation Systems). As a result, speed data accuracy drops form 50kph vehicle speed and volume and occupancy data accuracy drop from 30kph. Lowest speed data accuracy is only 88%, but volume and occupancy accuracy are 75% and 77% respectively. The reason VIDS data accuracy drop by vehicle speed is gap distance decrease between vehicles. Therefore, this paper suggests 17m~20m for optimal VIDS height considering road and cost condition.

### I. 서론

날로 심각해지는 교통문제를 효율적이고 효과적으로 해결하기 위해 첨단교통체계(ITS)가 확대 구축되고 있다. ITS란 첨단인 전자·정보통신기술을 이용하여 교통체계를 효율적으로 운영하기 위한 시스템으로 이를 위해서는 도로상에 많은 차량검지기를 설치할 통한 교통자료 수집이 필수적이다.

ITS를 위한 차량검지기는 루프, 영상, 극초단파, 자기, 초음파 등 다양한 센서기술을 이용한다. 이중에서 루프검지기는 전통적으로 가장 많이 사용되어온 검지기로써, 검지자료의 정확도는 비교적 우수한 것으로 알려져 있다. 그러나 검지센서를 해당 검지차로의 가운데에 설치해야 하기 때문에 설치나 유지보수 시 교통흐름을 방해하고, 작업자의 안전이 위협받을 수 있다. 또한 각종 도로공사, 노면상태 및 중차량 등으로 인해 센서가 파손되어 많은 자료가 누락된다. 미국의 TTI 보고서에 따르면 루프검지기의 연간 자료 수집율은 16%~93%이며, 평균적으로 67%자료만 수집하는 것으로 나타났다(Turner, S.M et al., 2001).

상기와 같은 루프검지기의 단점 때문에 미국에서는 90년대 초반부터 대체검지기에 관한 연구·개발이 활발히 진행되었다. 이중에서 영상검지기는 비디오 영상자료를 이용해 통과차량에 대한 교통자료를 수집하는 비매설식 검지기로써, 우리나라에서도 90년대 후반부터 고속국도와 일반국도 ITS를 위한 검지장비로써 널리 사용되고 있다. 일반적으로 영상검지기는 노측에 지주를 이용하여 설치함으로 인해 루프검지기가 지니는 단점을 해결한다.

그러나 영상검지기는 검지센서로써 카메라에 의한 영상자료를 이용하기 때문에 카메라 영상에 영향을 미치는 요소인 조도, 날씨, 교통류 상태에 따라 검지자료 정확도가 달라진다(Minnesota DOT, 2002). 조도는 일출, 주간, 일몰, 야간 등의 각 시간대에 따라 변하기 때문에 영상검지기의 검지능력을 저하시킬 수 있고, 날씨의 경우 안개나 강우, 강설시 성능저하 현상을 발생시킬 수 있다. 또한 통과차량이 속도가 낮을 경우 차간거리(gap distance)가 좁아져서 카메라 영상이 연속한 차량을 분리하지 못하기 때문에 검지능력이 저하된다.

이러한 영상검지기의 단점은 단지 이론적일 것들 뿐

실제로 국내에 설치된 영상검지기에 대해 다양한 속도별로 성능을 평가한 사례는 아직 없었다. 따라서 본 연구에서는 국내에서 널리 설치되어 있는 영상검지기를 이용하여 속도에 따른 영상검지기 성능분석을 통해 속도에 의한 영상검지기 성능저하 원인을 분석한 후 이를 해결할 수 있는 방안을 제시했다.

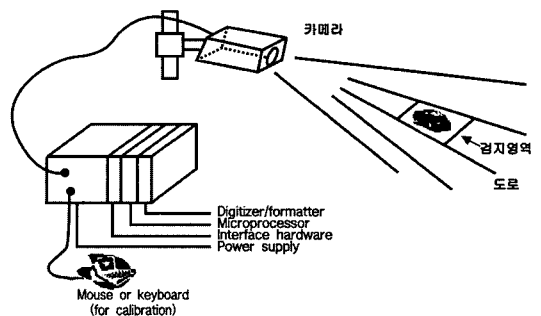
### II. 영상검지기 개요

현재 영상검지기는 선진국 뿐 아니라 국내에서도 가장 활발하게 개발되고 있으며, 컴퓨터에 의한 영상처리기술의 발달에 따라 영상처리 속도가 크게 향상되었다.

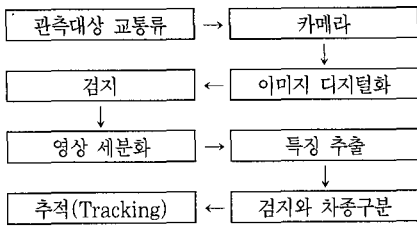
영상검지는 각각 대응하는 화소(pixel)나 블록(block)간의 밝기 차를 구하고 일정한 임계치(threshold value)을 기준으로 밝기 값 차이가 한계치 이상이면 물체가 존재한다고 가정하여 교통자료를 산출한다.(박창수, 2003, 한국건설기술연구원, 1997, L. A. Klein, 2002) 다시 말해서 검지 할 영역에서의 화소 값들의 분포를 미리 인식하고, 차량이 진입할 때 화소 값들의 변화에 의하여 차량진입 여부를 판단하며, 검지원리는 <그림 1>과 같다.

영상검지기는 단일 검지기로 여러 차로를 검지할 수 있을 뿐만 아니라 실제 교통여건을 영상으로 확인할 수 있는 장점이 있는 반면, 검지 영역의 화소 값의 변화에만 의존하여 인식하므로 약간의 환경 변화에 매우 민감하게 반응한다는 단점이 있다.

영상검지기의 영상처리 알고리즘으로는 주로 인공신경망이나 칼만필터링 알고리즘을 이용하는데 일반적인 수행과정은 <그림 2>와 같다.



<그림 1> 영상검지기 검지 원리



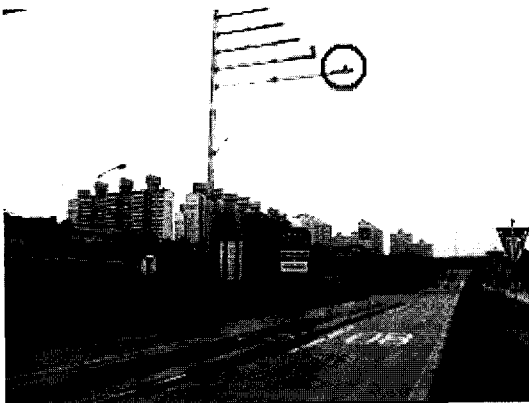
〈그림 2〉 영상검지기기의 영상처리 알고리즘 수행절차

### III. 영상검지기 성능분석

#### 1. 자료수집 조건

속도에 따른 영상검지기의 성능을 평가하기 위해 현재 〈그림 3〉과 같이 일반국도 3호선 곤지암 IC 인근에 설치되어 있는 영상검지기에서 수집한 자료를 이용했다.

평가대상 영상검지기는 전문 엔지니어에 의해 정밀하게 교정(calibration)되었으며, 수집 시간대는 조도 조건을 동일하게 하기 위해 기상상태가 양호한 날의 주간(2005년 5월 6일 12시~17시)으로 설정했고, 센서의 설치높이는 현재 고속국도 및 일반국도 영상검지기 센서 설치높이(10m~12m)와 동일하게 하기 위해 노면으로부터 12m 위치에 설치했으며, 도로조건은 평지부 직선 구간이다. 따라서 차량의 속도를 제외하고 영상검지기 성능에 영향을 미치는 타 조건은 이상적인 환경을 조성했다.



〈그림 3〉 영상검지기 설치사진

#### 2. 기준자료 수집

영상검지기 평가를 위한 기준자료(baseline data)는 〈그림 4〉와 같은 레이저검지기 자료를 이용했다.

〈그림 4〉의 레이저검지기는 문형식 구조물에 설치된

overhead 설치방식으로 설치되었으며 차로별로 2개의 레이저센서가 설치되어 2개 레이저 센서 통과시간 차이에 의해 식(1) 및 식(2)와 같이 속도와 점유시간을 산출한다.

$$V(\text{km/h}) = \frac{1}{2} \left( \frac{d}{t_2 - t_1} + \frac{d}{t_4 - t_3} \right) \left( \frac{3,600}{1,000} \right) \quad (1)$$

여기서,

$V$ : 차량 주행 속도(km/h)

$d$ : 센서 간격(m)

$t_1$ : 첫 번째 센서의 검지 시작 시각

$t_2$ : 두 번째 센서의 검지 시작 시각

$t_3$ : 첫 번째 센서의 검지 종료 시각

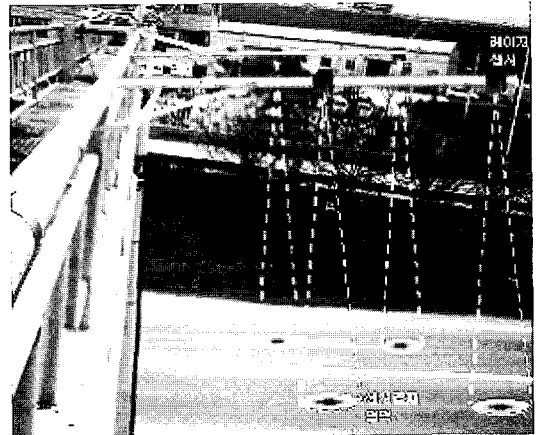
$t_4$ : 두 번째 센서의 검지 종료 시각

$$O_c = \frac{L(m) + D(m)}{V(m/s)} \quad (2)$$

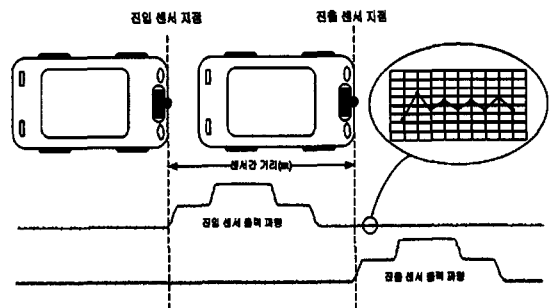
여기서,  $O_c$ : 점유시간(초)

$L$ : 차량길이

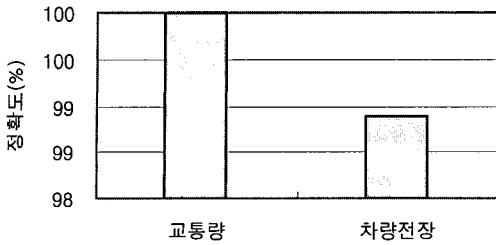
$D$ : 검지영역(3m)



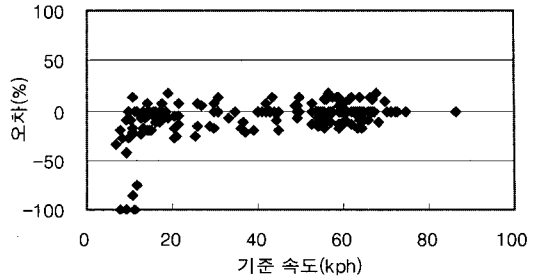
〈그림 4〉 레이저검지기



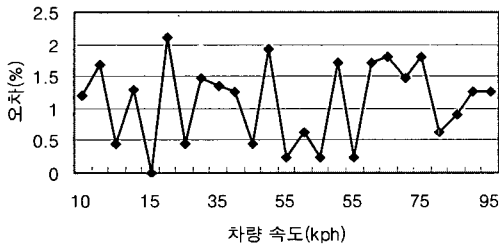
〈그림 5〉 레이저 센서에 의한 속도 검지원리



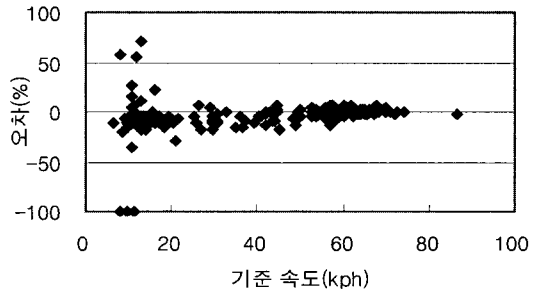
〈그림 6〉 레이저검지기 평가결과



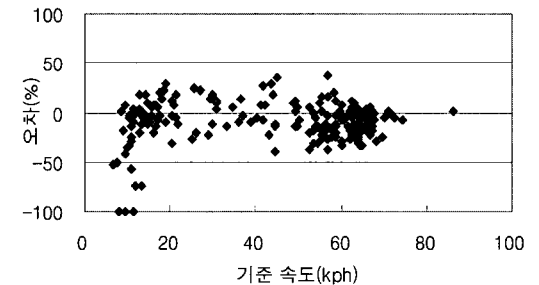
〈그림 8〉 기준자료 속도별 교통량 평가결과



〈그림 7〉 속도에 따른 레이저 검지기 전장 오차



〈그림 9〉 기준자료 속도별 속도 평가결과



〈그림 10〉 기준자료 속도별 점유율 평가결과

레이저 센서의 scanning rate는 2khz(0.5ms)로써 현존하는 차량검지기 중 이론상으로는 가장 정확하기 때문에 수집자료 정확도 평가를 위해 타 검지기나 영상 프레임 분석(scanning rate : 33.3ms) 적절하지 못할 것으로 판단된다. 따라서 교통량 자료의 경우 비디오 녹화를 통한 인력식 자료를 이용했고, 속도와 점유시간의 경우에는 참값의 산출이 어렵기 때문에 레이저검지기의 속도와 점유시간 자료를 이용하여 산출되는 차량전장을 이용하여 평가했다. 평가결과, 〈그림 6〉 및 〈그림 7〉과 같음으로 인해 레이저검지기 자료는 영상검지기 평가를 위한 기준자료로 사용하는 데는 별 무리가 없을 것으로 판단된다.

### 3. 성능분석 결과

레이저검지기 기준자료를 용해 영상검지기 자료를 기준속도에 따라 평가한 결과, 〈그림 8〉~〈그림 10〉과 같았다. 평가의 정확성을 위해 두 개의 검지기간 시각 동기화를 수행했고, 자료수집주기는 1분, 평가지표는 퍼센트 오차를 사용했다.

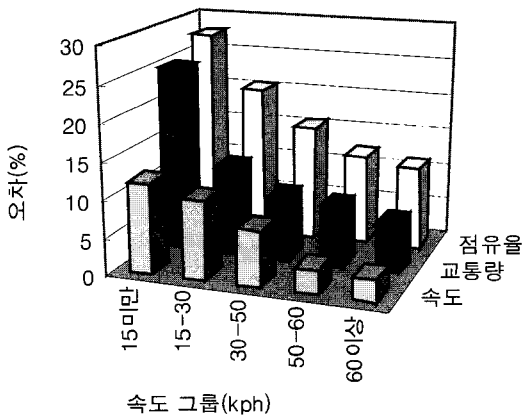
평가결과에서 보듯이 속도가 낮아질수록 영상검지기 자료의 오차가 커짐을 알 수 있다. 특히 교통량과 점유율의 경우에는 속도가 낮아질수록 음의 오차가 발생하

는데 이는 정체 시에는 차간거리(gap distance)가 감소하여 영상검지기가 연속한 차량을 구분하지 못하여 교통량을 누락시키기 때문이다.

속도변화에 따른 오차를 세부적으로 살펴보기 위해 속도그룹별로 영상검지기 자료의 오차율을 살펴본 결과 〈표 1〉 및 〈그림 11〉와 같이 60kph 이상의 그룹에서는 교통량, 속도, 점유율 오차가 각각 7%, 2%, 11%이지만, 15kph 미만의 그룹에서는 각각 25%, 12%, 27%의 오차가 나타남으로 인해 기존의 평가사례(L. A. Klein, 2002 TTI and Texas A&M University, 2000 & 2002, Dr. Peter et al., 2003)와 같이 속도가 낮아질수록 오차가 크게 나타났다. 또한 점유율

〈표 1〉 속도그룹별 영상검지기 자료 오차 (단위 : %)

속도 (kph)	교통량			속도			점유율		
	평균	표준편차	표본수	평균	표준편차	표본수	평균	표준편차	표본수
15미만	25	30	35	12	7	35	27	30	35
15-30	12	10	34	10	6	34	20	20	34
30-50	9	9	31	7	5	31	15	15	31
50-60	8	8	53	3	3	53	12	13	53
60이상	7	8	77	2	1	77	11	12	77



〈그림 11〉 속도그룹별 영상검지기 자료 오차

오차의 경우 교통량 오차와 비슷한 수준으로 감소하지만, 속도 오차의 경우 오차의 변화율이 적은 것으로 나타났는데 이는 속도의 경우에는 평균값을 사용함으로써 1분 수집주기 내에서 교통류 상황이 크게 변하지 않는 한 교통량 누락에 따른 영향을 크게 받지 않기 때문인 것으로 판단된다.

60kph이상인 그룹의 차간거리의 최소값이 〈그림 15〉에서 보듯이 10m 이상이므로 현재의 설치높이 (12m)에서 중차량(10m)과 승용차(4m) 모두 검지할 수 있다. 따라서 60kph 이상그룹을 최고성능 그룹으로 가정할 후 수집자료 항목별로 영상검지기 성능이 저하되는 시점을 알아보기 위해 60kph이상인 그룹을 기준으로 속도그룹별 오차평균 차이에 대한 통계적 분석(Z-검정, 표본수 30개 이상)을 실시한 결과, 〈표 2〉와 같이 95% 신뢰수준(one-tail Z-값 : 1.645)에서 교통량과 점유율의 경우에는 속도가 30kph이하로 떨어질 때 성능이 저하되고, 속도의 경우에는 50kph이하로 떨어질 때 성능이 저하되는 것으로 분석되었다.

〈표 2〉 속도그룹별 오차평균 차이 검정 결과 (기준 : 60kph이상 그룹)

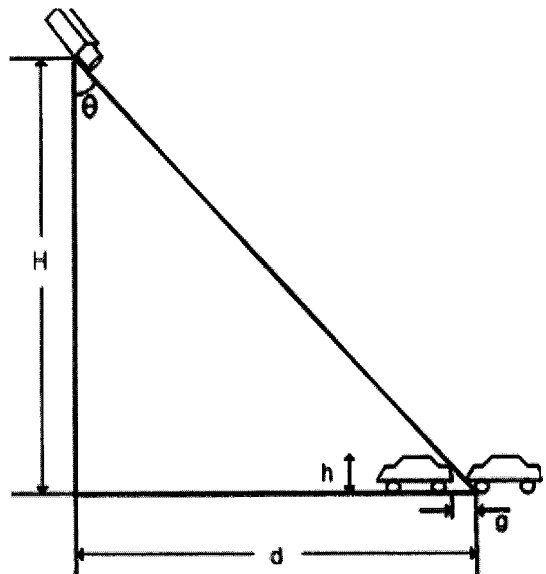
항목	15kph미만	15kph ~30kph	30kph ~50kph	50kph ~60kph
교통량	3.53	2.74	1.13	1.03
속도	7.44	6.85	4.65	0.84
점유율	3.08	2.43	1.38	0.43

#### IV. 성능개선 방안

본 연구에서 평가한 영상검지기는 차량의 속도가 30kph이하로 떨어질 때 극심한 성능저하 현상이 발생했다. 저속에서 성능이 저하되는 영상검지기의 이러한 특성은 현재 우리나라에서 설치·운영되는 영상검지기의 일반적인 특성으로 알려져 있다. 따라서 본 장에서는 저속에서 영상검지기 성능이 저하되는 현상을 해소하기 위한 방안을 제시했다.

##### 1. 설치높이별 검지능력

영상검지기는 검지센서로서 카메라에 의한 비디오 영상을 이용하기 때문에 〈그림 12〉에서 보는 바와 같이 카메라의 설치높이(H), 연속한 두 차량을 검지하기 위한 길이(d), 차량의 높이(h), 차간거리(g) 등에 따라 검지능력이 달라진다. 그러나 검지 알고리즘 변경이



〈그림 12〉 영상검지기 설치조건

없는 한 (d)는 변경이 불가능 하고, (h), (g) 역시 정해진 값이기 때문에 변경이 불가능하다. 따라서 개선방안으로 <그림 12> 및 식(3)을 통해서 적정 설치높이를 산출했다.

$$H = d \times \frac{h}{g} \tag{3}$$

여기서,

H : 설치높이

d : 차량검지를 위한 최대길이

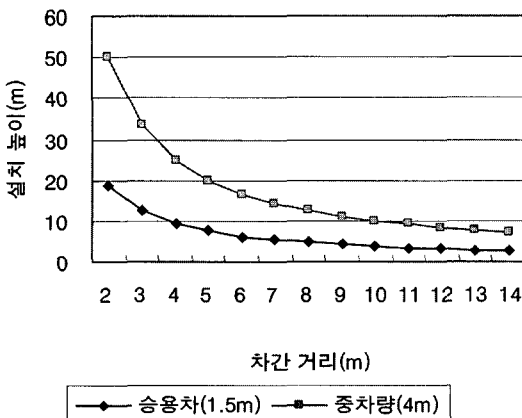
h : 차량높이

g : 차간거리

본 연구를 위해 설치한 영상검지기의 검지영역 길이 (d)는 25m, 설치높이(H)는 12m인데, 이는 현재 우리나라에 설치된 대부분의 영상검지기와 비슷하다. 따라서

<표 3> 차간거리별 영상검지기 설치높이

차간거리(m)	설치높이(m)	
	승용차(1.5m)	중차량(4m)
2	19	50
3	13	33
4	9	25
5	8	20
6	6	17
7	5	14
8	5	13
9	4	11
10	4	10
11	3	9
12	3	8
13	3	8
14	3	7



<그림 13> 차간거리별 영상검지기 설치높이

<표 3> 및 <그림 13>에서는 상기의 조건으로 차간거리 별 영상검지기의 설치높이를 승용차(높이 1.5m)와 중차량(높이 4m)으로 나누어서 산출했다. 그 결과, 현재 설치높이(12m)는 승용차의 경우에는 차간거리 약 3m까지 검지할 수 있지만, 중차량의 경우에는 약 8m까지만 검지할 수 있는 것으로 나타났다. 또한 영상검지기의 설치높이는 승용차와 중차량 모두에서 차간거리가 약 6m 이하로 줄어들며 따라 급격히 증가했고, 중차량은 승용차에 비해 증가폭이 크게 나타났다. 중차량의 경우에는 차간거리가 4m이하일 때, 적정 높이는 25m이상으로 이는 현실적인 도로 및 비용 여건상 타당하지 않아 보인다.

## 2. 속도별 차간거리 산출

일반적으로 차량검지기의 검지오차는 식(4)에서와 같이 차량의 속도가 작아질수록 감소한다. 그러나 영상검지기의 경우 설치높이가 충분히 높지 않을 경우 차량의 속도가 작아짐으로 인해 발생하는 차간거리의 감소에 의해 <그림 14>에서 보는 바와 같이 앞 차량이나 뒤 차량에 의해 검지대상 차량이 가려지는 현상(occlusion)이 발생한다.

$$e = \frac{w}{d/v} \times 100 \tag{4}$$

여기서,

e : 검지오차(%)

w : 검지기의 sampling rate(sec)

d : 검지영역 길이(m)

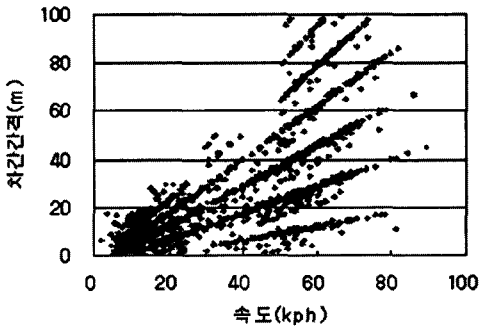
v : 차량속도(m/sec)



<그림 14> 저속에서 차량교합

〈표 4〉 속도그룹별 차간거리 (단위 : m)

속도그룹 (kph)	평균	표준 편차	최대값	최소값	10%값
15미만	8.2	4.4	19.5	0.7	2.8
15~30	13.0	6.2	29.8	1.2	5.4
30이상	41.1	23.5	99.4	1.2	11.8



〈그림 15〉 차량속도별 차간거리

상기와 같은 방법으로 본 연구에서 사용한 영상검지기의 이론적인 검지능력을 살펴보기 위해 평가기준검지기인 레이저검지기 자료를 이용하여 식(5)와 같은 방법(Adolf D. May, 1990)으로 속도그룹별로 차간거리를 산출한 결과, 〈표 4〉 및 〈그림 15〉에서와 같이 차간거리의 최소값은 0.7m까지 산출되었다. 〈표 4〉에서 10%값을 제시한 이유는 교통류 상황에 관계없이 영상검지기 성능을 90%이상으로 유지하기 위한 차간거리 값을 알아보기 위해서이다. 〈그림 15〉에서 차간거리가 여러 개의 선형패턴으로 나타나는 이유는 본 분석구간의 전·후 300m 지점에 신호교차로가 존재하기 때문에 대부분의 차량들이 차량군을 이루어 주행하기 때문인 것으로 판단된다.

$$g_{n-1} = h_{n-1} \bar{x}_n - L_n \quad (5)$$

여기서,

- $g_{n-1}$  : 후미 차량의 차간거리(m)
- $h_{n-1}$  : 후미 차량의 차두시간(초)
- $\bar{x}_n$  :  $h_{n-1}$  동안 선두 차량의 속도(mps)
- $L_n$  : 선두 차량의 전장

### 3. 최적 설치높이

이상의 분석결과를 종합하여 본 절에서는 본 연구에

사용된 영상검지기를 교통류 상황에 관계없이 90%이상의 성능을 유지하기 위한 설치높이에 대해서 알아 보았다. 〈표 4〉에서 보면 15kph미만, 15kph~30kph, 30kph이상의 그룹에 대해 90%이상의 정확도를 유지하기 위해서는 각각 2.8m, 5.4m, 11.8m의 차간거리를 유지한 차량까지 구별할 수 있어야 한다. 또한 〈표 3〉에서 보듯이 각각의 차간거리를 지닌 차량을 구별하기 위한 적정높이는 승용차의 경우에는 약 13m, 6m, 3m 이고, 중차량의 경우에는 33m, 17m, 8m이다.

현재 검지기가 설치된 높이가 12m이므로 승용차를 검지하기 위한 높이로는 적절한 것으로 판단되지만, 중차량의 경우에는 속도가 30kph이하로 떨어질 경우 검지능력이 상당히 저하된다. 그러나 속도 15kph이하 그룹의 중차량까지 90% 이상 검지하기 위해서는 높이가 33m이상이어야 하므로 현실적인 도로여건상 타당하지 않아 보인다. 따라서 본 연구에서 사용한 영상검지기의 적정 설치높이는 승용차의 경우에는 속도에 관계없이 90%이상 검지할 수 있고, 중차량의 경우에는 속도가 15kph 이상일 때만 90%이상 검지하는 높이인 17m~20m가 적절하다고 판단된다. 이는 미국 플로리다 주의 영상검지기 설치기준인 21m와도 비슷한 결과이다(Florida DOT, 2004).

### V. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 일반적으로 차량의 속도가 낮을 때 성능이 저하된다고 알려져 있는 영상검지기에 대해서 차량의 운행 속도에 따른 성능차이를 분석했고, 성능을 향상시킬 수 있는 방안을 제시했다.

차량의 운행 속도그룹별로 성능을 분석한 결과, 교통량과 점유율의 경우에는 속도가 30kph이하일 때 성능이 급격히 저하되고, 속도의 경우에는 50kph이하에서부터 성능이 상대적으로 완만하게 저하되는 것으로 분석되었다.

분석에 사용된 영상검지기 설치조건에서 차량간격별 검지능력을 살펴본 결과, 승용차의 경우에는 속도에 관계없이 90%이상 검지할 수 있는 반면, 중차량의 경우에는 30kph이하인 그룹에 대해서는 90%이상의 정확도를 유지할 수 없는 것으로 분석되었고, 이는 평가결과와도 일치했다. 따라서 분석에 사용한 영상검지기의 적정 설치높이는 영상검지기 성능과 현실적인 조건을

감안하여 17m~20m로 제안했다.

본 연구에서는 차량의 운행속도에 따른 영상검지기의 성능변화에 대해서만 분석했지만, 향후에는 다양한 요소(비, 눈, 안개 등) 등에 대해서도 분석이 뒤따르고 또한 이에 대한 해결방안이 제시되어야 할 것이다.

## 참고문헌

1. 한국건설기술연구원(2004), "ITS장비·시스템 성능평가 및 신기술 지정 보호체계 구축 연구(1단계)", 최종보고서.
2. 박창수(2003), "도시교통운영론".
3. 한국건설기술연구원(1997), "수도권 RTMS를 위한 검지기술".
4. Turner, S.M., Lomax, T., and Margiotta, R. (2001), "Monitoring Urban Roadway in 2000 : Using Archived Operations Data for Reliability and Mobility Measurement." Texas Transportation Institute, College, TX.
5. Minnesota DOT and SRF Consulting Group, Inc.(2002), "Evaluation of Non-Intrusive Technologies for Traffic Detection", Final Report.
6. L. A. Klein(2002), "Sensor Technologies and Data Requirements for ITS".
7. Lawrence A. Klein and Michael R. Kelley (1996), "Detection Technology for IVHS", Final Report.
8. Texas Transportation Institute and The Texas A&M University System College Station, Texas (2000), "Initial Evaluation of Selected Detectors to Replace Inductive Loops on Freeways".
9. Texas Transportation Institute and The Texas A&M University System College Station, Texas (2000), "Vehicle Detector Evaluation".
10. Dr. Peter T. Martin, Yuqi Feng and Xiaodong Wang(2003), "Detector Technology Evaluation".
11. Adolf D. May(1990), "Traffic Flow Fundamentals", Prentice-Hall.
12. Florida DOT(2004), "Video Image Detection System Specification".

✉ 주 작 성 자 : 장진환

✉ 논문투고일 : 2005. 6. 18

논문심사일 : 2005. 7. 18 (1차)

2005. 8. 17 (2차)

심사판정일 : 2005. 8. 17

✉ 반론접수기한 : 2005. 12. 31