

# 환경에 따른 영상식 차량검지기의 성능 특성에 관한 연구

## A Study on the Performance Characteristics of Image Vehicle Detectors Depending on the Environment

오주삼, 김진우

한국건설기술연구원 미래융합연구본부

Ju-Sam Oh(jusam@kict.re.kr), Jin-Woo Kim(jwkim@kict.re.kr)

### 요약

교통정보를 생성하기 위한 가장 전형적인 방법은 차량검지기를 도로에 설치하여 각종 교통변수를 수집하는 방법으로 차량검지기의 수집 정확성에 따라 생성되는 교통정보의 신뢰성에 영향을 미친다. 가장 범용적인 차량검지기는 영상검지기이며, 본 연구에서는 지자기검지기를 영상검지기와 동일 지점에 설치하여 장기간, 다양한 환경에 대해 교통량, 속도 자료에 대한 정확성 평가를 수행하였다.

평가결과 영상검지기는 카메라에서 멀어질수록 오차가 많이 발생하며, 주간보다는 야간에 오차가 많이 발생하는 것으로 분석되었다. 또한 강우량은 교통량 수집에는 영향을 미치지 않으나 속도 수집에는 악영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서 현재 운영 중인 영상검지기의 성능을 높이기 위해서는 설치위치 및 높이에 따른 카메라 화각분석 및 이에 따른 화각의 최적화가 요구되며, 악천후 시에는 별도의 성능평가기준이 마련되어야 할 것으로 판단된다.

■ 중심어 : | 지자기검지기 | 영상검지기 | 교통량 | 속도 | 성능평가 지표 |

### Abstract

The most typical method to generate traffic information is installing vehicle detectors and collecting various traffic variables. The information collection accuracy of a vehicle detector affects the reliability of the generated traffic information. The most universal vehicle detector is an image detector. This study installed a magnetic detector in the same position as an image detector and evaluated the accuracy of traffic volume and speed data depending on a variety of environment. Based on the evaluation, more errors occurred as the image detector was placed farther from the camera, whereas more errors were found to occur during the night rather than the day. Although rainfall did not affect the collection of traffic volume, it negatively affected speed data collection. Therefore, an analysis of the camera's view angle and its optimization depending on the camera installation position and height are required to enhance the currently operated image detector performance. It is judged that a separate performance evaluation criterion should be prepared in a bad weather environment.

■ keyword : | Magnetic Detector | Image Detector | Volume | Speed | Performance Evaluation Index |

\* 본 연구는 국토교통부 스마트 도로조명 플랫폼 개발 및 실증 연구 개발사업의 연구비지원(과제번호 20PQWO-B153369-02)에 의해 수행되었습니다.

접수일자 : 2020년 09월 01일

수정일자 : 2020년 10월 14일

심사완료일 : 2020년 10월 19일

교신저자 : 오주삼, e-mail : jusam@kict.re.kr

## I. 서론

매일 아침 TV나 라디오 뉴스에서는 그날의 일기예보와 같이 주요 도로의 실시간 교통정보를 제공하고 있다. 이는 교통정보가 일기예보와 같이 사람의 일상생활을 계획하고 실행하는데 중요한 요소로 작용하고 있다는 것을 의미한다.

교통정보를 생성하기 위한 가장 전형적인 방식은 도로에 차량검지기를 설치해서 교통량, 속도, 점유시간 등과 같은 교통파라미터를 수집하고 이를 다양한 알고리즘을 적용하여 구간단위의 교통정보를 생성하는 방법이다.

차량검지기는 도로 종류에 따라 서로 다른 기준으로 설치하는데 연속류인 고속도로의 경우 2km간격으로, 단속류인 일반국도의 경우 1km간격으로 설치하고, 30초 간격으로 수집자료를 집계하며, 집계된 수집자료를 활용하여 5분 주기의 교통정보를 생성하고 있다. 따라서 교통정보의 정확도는 차량검지기에 수집되는 자료의 정확도에 좌우된다.

교통시스템을 운영하는 주체들은 운영 중인 차량검지기가 어느 정도의 정확도를 유지하고 있는지에 대한 확인과정이 반드시 필요하며, 이에 자동차·도로교통분야 ITS 성능평가기준(2015)에 의거하여 정기 평가 절차에 따라 성능평가를 수행하고 있다.

차량검지기의 성능을 평가하기 위해서는 기준이 되는 참값 또는 기준값의 확보가 필수적이며, 많은 경우 이동식 장비를 동일 지점에 설치하여 수집된 자료를 기준값으로 활용한다. 그러나 이동식 장비를 설치하는 경우에도 설치방식, 전원공급 등으로 인하여 장기간에 걸쳐서 기준값을 확보하는 것은 쉽지 않은 실정이다.

따라서 본 연구에서는 기준장비(지자기검지기)와 평가대상 차량검지기(영상검지기)를 동일한 지점에 설치하여 다양한 환경에 따른 교통량, 속도 자료를 수집하여, 통계적 방법으로 비교·평가하고자 한다.

## II. 기존 연구사례

### 1. 차량검지기 성능평가

김대호(2002)는 서울시 내부순환로 교통관리시스템의 사례를 토대로 영상검지기는 지속적인 튜닝을 통해 상당 수준의 정확도를 확보할 수 있을 것으로 기대한다고 주장하였으며, 성능평가 기준의 표준화방안을 제시한다면 사업시행에 따른 시행착오를 최소화 할 수 있을 것으로 기대하였다[1].

이환필(2012)은 오차요인들을 기준속도에 반영하며 측정불확도의 개념을 적용한 차량검지기의 속도측정 성능평가방법을 개발하였다. 기존성능평가방법은 측정시의 오차요인들을 충분히 고려하지 못해 평가대상 장비의 성능을 높게 평가할 가능성이 있는 반면, 개발모형은 측정 시의 변동요인인 오차를 고려하므로 기존평가방법과 비교하여 개선된 정확도를 보인다는 결론을 도출하였다[2].

권창희(2004)는 교통자료 수집수준을 시가지도로 및 고속도로를 중심으로 파악하고, 루프검지기의 대체 검지기로써 영상검지기에 대한 성능평가 및 분석을 실시하였다. 연구결과 영상검지기는 연속류 교통류 상황의 15분 혹은 5분 단위의 점유율, 교통량, 속도의 측정정확도는 요구사항을 충족하는 것으로 나타났으나, 단속류 상황의 경우 15분 단위의 이력자료나 5분단위의 전락자료 수집에는 활용성이 높으나 신호주기별 또는 이보다 짧은 주기는 측정정확도가 루프 검지기 수준에 미치지 못하는 것으로 판단하였다[3].

최운혁(2013)은 고속도로를 대상으로 영상검지기와 루프 검지기의 수집된 교통량과 실측 교통량을 비교하여 통계적 분석을 수행하였으며, 수행결과 루프 검지기가 영상검지기보다 오차가 낮고, 구간 교통량 산정시 루프 검지기의 자료를 활용하는 것이 좀 더 높은 신뢰성을 유지할 수 있다고 주장하였다[4].

Jang et al.(2014)은 검지기 성능평가 시 기준장비가 수집한 기준값 불확도 및 신뢰구간 개념을 적용한 성능평가 방법론을 개발하고 다양한 차량검지기 성능평가에 적용한 결과, 제시된 방법론이 성능평가에 효과적인을 입증하였다[5].

Mohammed(2015)는 지방부 2차로 도로에서 PRT (Pneumatic Road Tubes : 이동식 튜브 검지기)를 기준장비로 선정하고, 평가대상 장비로는 ICone(휴대용 레이더센서 검지기), Radar Recorder, Wavetronix

SmartSensor HD(측주식 이동형 레이더센서 검지기)를 선정하여 교통량, 속도자료에 대한 정확성 분석을 수행하였다(그림 1 참조).

정확성 분석 결과 PRT 대비 교통량 오차는 Wavetronix SmartSensor HD가 가장 낮게 나타났으며, 이에 따라 ITS용 차량검지기는 Wavetronix SmartSensor HD로 사용할 것을 권장하였다[6].



그림 1. Mohammed(2015)의 연구 대상 차량검지기[6]

## 2. 성능평가 지표

성능평가 지표는 성능평가 항목에 대한 성능을 나타내는 지표로 국내외에서는 ±오차율(%), 등가계수, 상관계수, 평균절대백분율오차(MAPE) 등이 사용되고 있으며, 각각의 지표 산정식은 다음과 같다.

오차율은 측정값이 기준값에 대해 어느 정도의 오차를 보여주는지를 백분율로 나타낸 계수이다.

$$\text{오차율}(\%) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^I \frac{f_d(i)}{f_t(i)} \times 100 \quad (1)$$

여기서,  $i$  =  $i$ 번째의 단위시간  
 $I$  = 얻어진 자료의 총 주기 수  
 $f_t(i)$  =  $i$ 번째의 기준자료 값  
 $f_d(i)$  =  $i$ 번째의 대상자료 값

등가계수는 기준값에 대하여 측정값이 얼마나 유사한지에 대한 판별계수로 기준값과 측정값이 유사할수록 1에 근접한다.

$$\text{등가계수} = 1 - \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^I (f_t(i) - f_d(i))^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^I f_t(i)^2} + \sqrt{\sum_{i=1}^I f_d(i)^2}} \quad (2)$$

여기서,  $i$  =  $i$ 번째의 단위시간  
 $I$  = 얻어진 자료의 총 주기 수  
 $f_t(i)$  =  $i$ 번째의 기준자료 값  
 $f_d(i)$  =  $i$ 번째의 대상자료 값

상관계수는 기준값에 대한 측정값의 상관계수가 1에 가까울수록 기준에 가까운 값을 의미한다.

$$\text{상관계수} = \frac{\sum_{i=1}^I (f_t(i) - \bar{f}_t)(f_d(i) - \bar{f}_d)}{\sqrt{\sum_{i=1}^I (f_t(i) - \bar{f}_t)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^I (f_d(i) - \bar{f}_d)^2}} \quad (3)$$

여기서,  $i$  =  $i$ 번째의 단위시간  
 $I$  = 얻어진 자료의 총 주기 수  
 $f_t(i)$  =  $i$ 번째의 기준자료 값  
 $f_d(i)$  =  $i$ 번째의 대상자료 값  
 $\bar{f}_t$  = 기준자료의 평균값  
 $\bar{f}_d$  = 대상자료의 평균값

평균절대백분율오차(MAPE)는 기준값과 측정값의 절대적인 백분율 오차의 평균값이며, 정확도의 판단기준을 즉각적으로 알 수 있으며, 정확도의 기준이 명시된 계수이다.

$$\text{MAPE}(\%) = \frac{\sum_{i=1}^I \frac{|f_t(i) - f_d(i)|}{f_t(i)}}{I} \times 100 \quad (4)$$

여기서,  $i$  =  $i$ 번째의 단위시간  
 $I$  = 얻어진 자료의 총 주기 수  
 $f_t(i)$  =  $i$ 번째의 기준자료 값  
 $f_d(i)$  =  $i$ 번째의 대상자료 값

고광용(2015)은 FMCW 레이더 검지기의 신호교차로 적용성 평가를 위해 성능평가 지표를 등가계수, 평

균절대백분율오차(MAPE)를 선정하여 분석하였다[7].  
 자동차·도로교통분야 ITS 성능평가기준(2017)에서는 성능평가 지표를 평균절대백분율오차(MAPE)를 적용하여 정확도를 100-MAPE로 산출된 값에 따라 [표 1]과 같이 구체적인 등급을 제시하였으며, 합격 기준은 상급 이상이다[8].

표 1. VDS 성능평가의 평가등급별 성능기준(2017)

평가항목	교통량 정확도(%)	속도 정확도(%)	
평가 등급	최상급	≥95 %	≥95 %
	상 급	95>, ≥90	95>, ≥90
	중 급	90>, ≥80	90>, ≥80
	중하급	< 80 %	< 80 %

이상에서 살펴본 연구들은 차량검지기 성능평가의 기준값 확보를 위한 다양한 검지기기술의 활용방안을 제시하고 있으며, 성능평가의 결과를 가장 잘 표현할 수 있는 성능평가 지표 선정에 관한 연구로 요약될 수 있다. 특히, 대부분의 연구는 기준값 확보의 어려움, 현장 설치여건, 전원공급 문제 등으로 인해 단기간, 정상적인 환경 등 제한된 상황에서의 방법론을 개발하고자 노력하였다.

그러나 차량검지기의 성능은 정상적인 환경뿐만 아니라 다양한 환경조건에 영향을 받는다.

특히, 영상검지기의 경우는 영상처리 기술을 통해 교통량, 속도자료를 수집하므로 설치조건, 주·야간 및 악천후와 같은 환경적인 요인에 더 많은 영향을 받는다.

따라서 본 연구에서는 다양한 환경적 조건이 충족할 수 있도록 기본적으로 장기간 평가를 수행하며, 설치조건이 영상검지기의 성능에 미치는 영향을 확인하기 위해 차로별로 구분하여 정확성 평가를 수행한다.

또한 기상조건이 영상검지기의 성능에 미치는 영향을 파악하기 위해 주·야간 차로별, 강우등급에 따른 차로별로 구분하여 정확성 평가를 수행한다.

### 3. 차량검지기의 특성

#### 3.1 영상검지기

영상검지기는 비매설형 검지기의 종류로 영상 처리 기술을 이용하여 도로의 특정지점(또는 짧은 구간)을 통과하는 차량들의 속도, 점유시간, 차두시간과 같은 교

통변수를 측정하는 검지기이다.

영상검지기는 카메라의 설치 위치에 따라 차로별 차량 검지 및 속도 측정에 오차가 커질 수 있다.

[그림 2]은 영상검지기의 설치 높이에 따라 발생하는 은폐효과로 인해 차량이 검지되지 않는 상황이며, 일반 국도의 경우 영상검지기 설치높이는 12m이다.

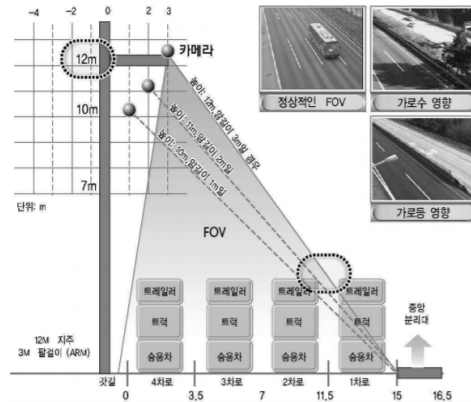


그림 2. 영상검지기 설치 높이에 따른 은폐효과

[그림 3]은 설치 높이 및 화각으로 인해 차량의 길이가 실제보다 길어 보이게 되므로 여러 대의 차량이 한 대로 검지되는 중첩효과로 인해 차량이 실제보다 적게 검지되는 상황이다.

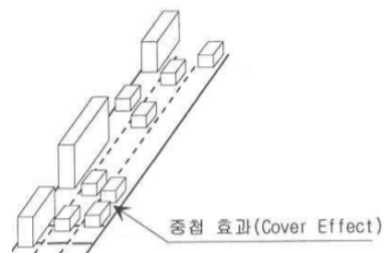


그림 3. 영상검지기 설치 높이 및 화각에 따른 중첩효과

따라서 교통류를 고려한 카메라의 높이, 카메라 화각, 도로변에서의 카메라 위치가 영상검지기 설치의 중요한 고려 요소가 된다.

또한 영상검지기는 기상악화나 하루 중 일몰과 일출과 같은 환경적인 영향으로 인해 차량 검지의 성능이 저하된다.

### 3.2 지자기검지기

지자기검지기는 매설형 검지기 형태로 다른 비매설형 검지기보다 성능이 우수한 것으로 알려져 있다[9].

차량 검지의 원리는 지구 자기장에 금속물체가 접근하면 자기장의 변화가 발생하며, 이를 통해 차량의 유무를 판별한다(그림 4 참조).

동일 차로에 일정거리 간격으로 2개의 지자기 센서를 설치하면 센서간 차량 검지의 시간차이를 통해 속도, 점유시간 등을 산출할 수 있다.

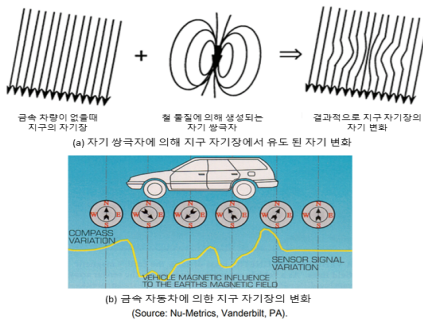


그림 4. 금속차량에 의해 유발된 지구 자기장 변화[10]

## III. 환경적 조건에 따른 영상검지기의 성능

### 1. 정확성 평가 방법

영상검지기의 환경적 조건에 따른 성능을 평가하기 위한 정확성 평가절차는 [그림 5]와 같이 총 5단계로 설계하였다.

첫 번째 단계는 정확성 평가를 위한 기준값을 선정하는 것으로 동일지점에 설치된 지자기검지기의 수집자료를 활용한다.

두 번째 단계는 정확성 평가를 위한 자료를 수집하는 단계로 두 검지기의 제어기에 저장된 차로별 30초 단위의 교통량, 속도자료를 센터에서 수집한다.

세 번째 단계는 수집된 자료를 집계하고 분류하는 것으로 집계단위는 15분을 적용하고, 주·야간 및 강우등급에 따라 분류한다.

네 번째 단계는 영상검지기의 정확성을 평가하는 것으로 먼저 주·야간 차로별 평균에 대한 개략적인 비교를 통해 차이를 확인한 후 차로별 대응표본 t 검정을 통

해 일치 여부를 검정한다.

정확성 평가는 지자기검지기 대비 영상검지기의 오차율에 대해 주·야간 차로별, 강우등급에 따른 차로별로 구분하여 산출하며, 정확성 지표는 MAPE를 적용한다.

다섯 번째 단계는 주·야간, 강우등급에 따른 평균절대백분율오차를 기준으로 영상검지기의 환경에 따른 성능의 특성을 도출한다.

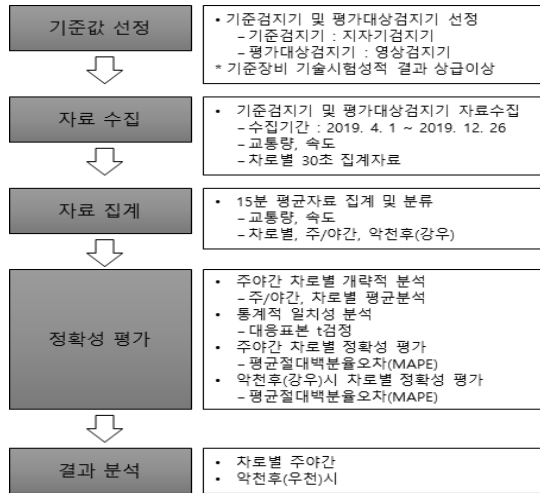


그림 5. 정확성 평가 절차

### 2. 검지기 운영 및 자료 수집 현황

지자기검지기와 영상검지기가 동일지점에 설치된 곳은 부산지방국토관리청 관할 일반국도 33호선에 설치되어 있다. 동일지점에 2가지의 검지기가 설치된 이유는 해당지점이 안개다발지역으로 이에 따른 영상검지기의 단점을 보완하기 위해서이다.

표 2. 차량검지기 설치 및 자료 수집 현황

구분	영상검지기	지자기검지기
설치지점	경상북도 구미시 고아읍 오로리 451-3	
설치연도	2011. 11. 20	2018. 12. 30
수집기간	2019. 4. 1 ~ 2019. 12. 26(269일간)	
수집차로	양방향 4차로	양방향 4차로 (차로별 2개 센서 설치)

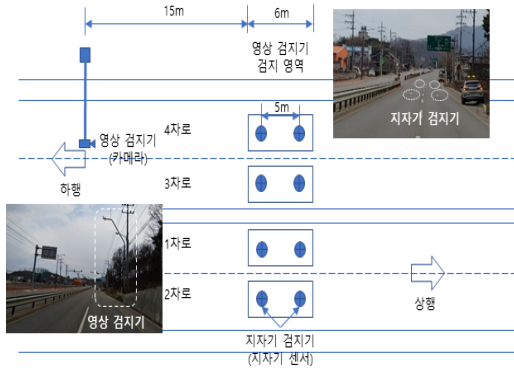


그림 6. 차량검지기별 검지차로 및 설치 현황

영상검지기와 지자기검지기의 세부사양은 [표 3]과 같다.

표 3. 차량검지기별 세부사양

구분	영상검지기	지자기검지기
제어부	<ul style="list-style-type: none"> <li>CPU : Pentium IV 2.4Ghz</li> <li>Memory : 512MB</li> <li>HDD : 40GB</li> <li>Image Buffer : 30frame/sec</li> <li>통신방식 : TCP/IP</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>CPU : 32bit Arm processor</li> <li>RAM : 32MB</li> <li>Ethernet : 4Port</li> <li>Serial : 4Port</li> <li>통신방식 : TCP/IP, Serial</li> </ul>
센서부	<ul style="list-style-type: none"> <li>상도                             <ul style="list-style-type: none"> <li>CCD 카메라</li> <li>- 1/2" CCD,</li> <li>- NTSC 흑백, 786×494 해</li> </ul> </li> <li>렌즈                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 0.02 lux 조도</li> <li>- 집적거리 6~12mm</li> <li>- 구경비 1vs1.4</li> <li>- Iris : F1.4~Close</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>CPU : 16bit Micro Controller</li> <li>통신방식 : 무선-IEEE 802.15.4</li> <li>주파수대역 : 2400.0MHz ~ 2483.5MHz (Zigbee)</li> <li>배터리 교체 타입</li> <li>동작온도 : -40℃ ~ 80℃</li> </ul>
등급*	<ul style="list-style-type: none"> <li>교통량 : 최상급</li> <li>속도 : 최상급</li> <li>점유율 : 상급</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>교통량 : 최상급</li> <li>속도 : 최상급</li> <li>점유율 : 상급</li> </ul>

\* 국토교통부 기본성능평가 결과

### 3. 주야간 차로별 차량검지 특성

지자기검지기와 영상검지기의 개략적 수집 특성을 살펴보기 위해 차로별 주야간의 교통량(15분) 및 평균 속도(15분)를 [표 4]와 같이 산출하였다.

지자기검지기와 영상검지기의 주간 및 야간의 차로별 15분 평균 교통량은 유사하나, 15분 평균 속도는 차로별로 차이가 발생한다. 특히 2차로에서 15분 평균 속도의 차이(주간 : 4.28km/h, 야간 : 6.64km/h)가 가장 많이 발생한다.

표 4. 차량검지기별 수집자료 현황

구분	차로	표본수 (N)	15분 평균 교통량 (대/15분)		15분 평균 속도 (km/hr)	
			지자기검지기	영상 검지기	지자기 검지기	영상 검지기
주간	1	10,795	85	86	66.45	63.63
	2	10,797	74	75	63.98	59.70
	3	10,799	79	79	65.94	63.07
	4	10,798	74	73	60.05	58.46
야간	1	10,792	22	22	69.70	65.00
	2	10,983	22	23	66.53	59.89
	3	10,981	22	22	65.42	61.33
	4	11,007	25	25	61.22	59.48

차량검지기별 15분 교통량의 관계를 산점도를 통해 살펴보면 [그림 7]과 같이 대부분 지자기검지기의 15분 교통량이 영상검지기보다 높게 나타난다.

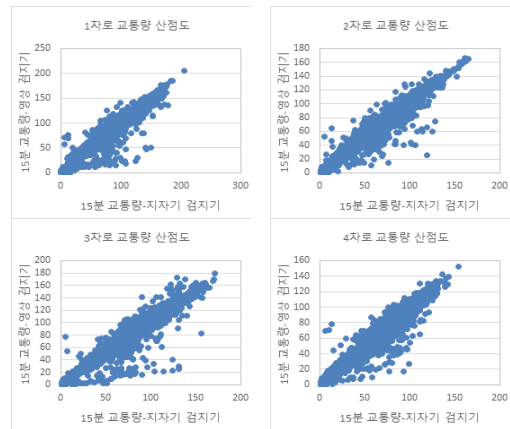


그림 7. 차로별 지자기검지기와 영상검지기의 15분 교통량 관계

검지기별 15분 평균속도의 관계를 산점도를 통해 살펴보면 [그림 8]과 같이 나타나며 2, 4차로를 제외한 나머지 차로의 15분 평균속도는 관계성이 낮은 것으로 나타났다.

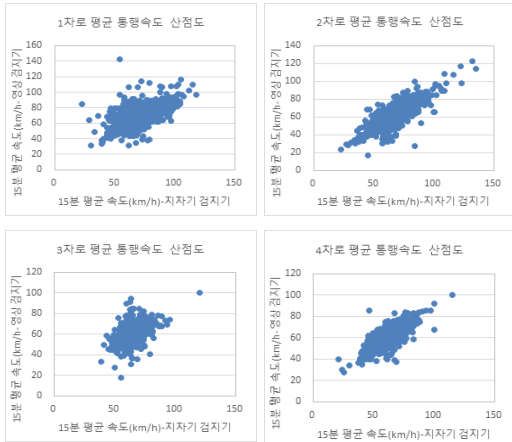


그림 8. 차로별 자자기검지기와 영상검지기의 15분 평균속도 관계

4. 차로별 수집자료의 통계적 일치성 평가

자자기검지기와 영상검지기의 수집되는 자료의 일치성을 통계학적으로 분석하기 위해 차로별 대응표본 t 검정을 실시하였다.

첫 번째는 15분 평균 교통량에 대한 가설검정, 다음으로 15분 평균 속도에 대한 가설검정을 수행하였다.

15분 평균 교통량에 대한 가설 검정의 귀무가설은 “차로별 15분 평균 교통량은 동일하다.”이며 대립가설은 “차로별 15분 평균 교통량은 동일하지 않다.”로 설정하였다.

$$H_0(\text{귀무가설}) : \bar{V}_m = \bar{V}_v \quad (5)$$

$$H_1(\text{대립가설}) : \bar{V}_m \neq \bar{V}_v \quad (6)$$

여기서,  $\bar{V}_m$  = 자자기검지기의 15분 평균 교통량  
 $\bar{V}_v$  = 영상검지기의 15분 평균 교통량

차로별 15분 평균 교통량의 대응표본 t검정 결과 [표 5]와 같이 유의수준 0.05에서 모든 차로의 자자기검지기의 15분 평균 교통량과 영상검지기의 15분 평균 교통량이 같다는 귀무가설을 기각하므로, 모든 차로의 자자기검지기의 15분 평균 교통량과 영상검지기의 15분 평균 교통량이 같지 않다는 것은 통계학적으로 타당하다.

표 5. 차로별 15분 평균 교통량의 대응표본 t 검정 결과(신뢰수준 95%)

차로	대응차			t	자유도	유의확률 (양측)
	평균	표준 편차	평균의 표준오차			
1	-0.19	4.30	0.03	-6.57	21,586	0.000
2	-0.70	3.36	0.02	-30.60	21,779	0.000
3	-0.16	4.08	0.03	-5.88	21,779	0.000
4	0.23	3.87	0.03	8.84	21,804	0.000

차량검지기의 속도자료 수집 성능에 통계적인 검정은 15분으로 집계된 자료들 중에서 교통량의 차이로 인한 속도 영향을 배제하기 위해서 교통량이 동일한 자료를 대상으로 가설검정을 수행한다.

15분 평균 속도에 대한 가설 검정의 귀무가설은 “차로별 15분 평균 속도는 동일하다.”이며 대립가설은 “차로별 15분 평균 속도는 동일하지 않다.”로 설정하였다.

$$H_0(\text{귀무가설}) : \bar{S}_m = \bar{S}_v \quad (7)$$

$$H_1(\text{대립가설}) : \bar{S}_m \neq \bar{S}_v \quad (8)$$

여기서,  $\bar{S}_m$  = 자자기검지기의 15분 평균 속도  
 $\bar{S}_v$  = 영상검지기의 15분 평균 속도

차로별 15분 평균 속도에 대한 대응표본 t검정 결과는 [표 6]과 같다. 유의수준 0.05에서 모든 차로의 자자기검지기의 15분 평균 속도와 영상검지기의 15분 평균 속도가 같다는 귀무가설을 기각하게 되므로, 모든 차로의 자자기검지기의 15분 평균 속도와 영상검지기의 15분 평균 속도는 동일하지 않다는 것이 통계학적으로 타당하다.

따라서, 자자기검지기와 영상검지기의 수집 자료인 차로별 교통량과 속도는 서로 차이가 있으며, 이는 두 종류의 검지기 성능이 서로 다르다고 판단할 수 있다.

표 6. 차로별 15분 평균 속도의 대응표본 t 검정 결과(신뢰수준 95%)

차로	대응차			t	자유도	유의확률 (양측)
	평균	표준 편차	평균의 표준오차			
1	4.34	3.45	0.04	110.56	7,703	0.000
2	6.02	2.88	0.03	177.07	7,166	0.000
3	3.79	2.38	0.03	144.34	8,229	0.000
4	1.79	1.96	0.03	68.73	5,682	0.000

### 5. 주·야간 영상검지기의 정확성

이전 단락에서 지자기검지기와 영상검지기의 성능이 차이가 있다는 것을 확인하였으며, 두 검지기의 성능 차이를 확인하기 위해 다양한 환경에서 정확성을 평가한다.

기준장비는 상대적으로 성능이 우수한 것으로 입증된 지자기검지기, 평가대상장비는 영상검지기로 선정하였다.

성능평가지표는 다양한 지표 중 정확도를 즉시 확인할 수 있는 MAPE로 선정하였다.

주·야간 차로별 15분 교통량에 대한 정확성은 [표 7]과 같이 분석되었으며, 영상검지기는 주간이 야간보다 상대적으로 평균절대백분율오차가 낮으며, 차로는 가장 안쪽 차로(4차로, MAPE : 8.20%)의 평균절대백분율오차가 가장 높으며, 다음으로 가장 바깥 차로(2차로, MAPE : 7.40%)가 높은 것으로 분석되었다.

표 7. 주·야간 차로별 15분 교통량 정확성

구분	차로	1	2	3	4
주간	표본수(N)	10,795	10,797	10,799	10,798
	MAPE(%)	3.05	3.15	3.07	4.54
야간	표본수(N)	10,792	10,783	10,981	11,007
	MAPE(%)	6.91	<b>7.40</b>	5.89	<b>8.20</b>

15분 평균 속도의 정확성은 교통량 차이로 인한 오차가 중복으로 반영되는 것을 방지하기 위해 15분 교통량이 동일한 집계단위에 대해 정확성을 평가하였으며, 평가 결과는 [표 8]과 같다. 영상검지기 15분 평균 속도의 평균절대백분율오차는 야간이 주간보다 높게 나타났으며, 차로별로 평균절대백분율오차를 살펴보면 가장 바깥 차로(2차로), 바깥 차로(1차로), 안쪽 차로(3차로), 가장 안쪽 차로(4차로) 순으로 높게 나타났다.

표 8. 주·야간 차로별 15분 평균 속도 정확성

구분	차로	1	2	3	4
주간	표본수(N)	2,551	2,615	2,533	1,353
	MAPE(%)	4.13	6.73	4.28	2.71
야간	표본수(N)	5,153	4,552	5,697	4,330
	MAPE(%)	<b>7.94</b>	<b>10.44</b>	<b>6.66</b>	<b>3.61</b>

영상검지기의 교통량의 평균절대백분율오차는 야간에 상대적으로 높게 나타나며, 차로별로 살펴보면 2차

로와 4차로에서 높게 나타난다. 또한 영상검지기의 속도 오차는 교통량과 마찬가지로 야간이 상대적으로 높게 나타나며, 차로별로 살펴보면 2차로(MAPE : 10.44%), 1차로(MAPE : 7.94%), 3차로(MAPE : 6.66%), 4차로(MAPE : 3.61%) 순으로 높게 나타났다.

영상검지기가 야간 성능이 낮게 나오는 원인은 전조 등 또는 후미등으로 차량을 감지하고 속도를 산출하므로 주간의 차량외형으로 산출하는 것보다 당연히 높은 것으로 사료된다.

차로별 속도 오차는 영상검지기의 카메라 위치와 멀어질수록 크게 나타나며, 교통량은 중앙에 위치한 차로의 오차가 상대적으로 크게 나타난다. 이는 영상검지기의 화각에 의한 영향으로 판단되며, 이는 태생적인 한계로 판단된다.

### 6. 강우에 따른 영상검지기의 정확성

영상검지기의 성능에 영향을 미치는 요소는 환경적인 요소 중 기상적인 요인 즉, 강우에 대한 영향을 살펴보기 위해 강우의 강도에 따라 차로별 오차를 분석하였다.

강우의 강도는 3단계로 구분하였으며, 단계별 강우량의 구분은 [표 9]와 같다.

표 9. 강우 강도 구분

강우 단계	1	2	3	4
강우량	0mm	≤15mm	≤30mm	>30mm

영상검지기의 15분 평균 교통량 및 15분 평균 속도에 대한 차로별 평균절대백분율오차를 산정한 결과는 [표 10]과 같다.

표 10. 강우에 따른 차로별 평균절대백분율오차(MAPE)

차로	강우 단계	표본수(N)	15분 평균 교통량 MAPE(%)	15분 평균 속도 MAPE(%)
1	1	19,093	5.04	5.93
	2	2,019	4.47	6.59
	3	173	4.40	6.90
	4	302	4.62	<b>7.48</b>
2	1	19,273	5.36	8.32
	2	2,035	4.77	9.53
	3	170	4.41	10.00
	4	302	4.64	<b>10.75</b>



3	1	19,268	4.43	5.49
	2	2,044	4.93	5.64
	3	185	4.87	5.98
	4	283	<b>5.21</b>	<b>6.41</b>
4	1	19,338	6.42	3.29
	2	2,029	6.13	3.24
	3	168	5.24	3.15
	4	270	6.28	<b>3.77</b>

15분 평균 교통량에 대한 차로별 강우의 영향은 3차로를 제외한 나머지 차로에서 평균절대백분율오차는 오히려 낮게 나타나므로 강우에 대한 영향은 미비한 것으로 분석되었다.

15분 평균 속도에 대한 차로별 강우의 영향은 모든 차로에서 강우량에 비례하여 평균절대백분율오차가 높게 나타났다.

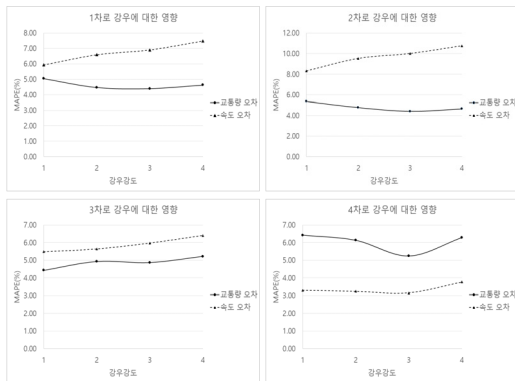


그림 9. 강우가 차로별 정확성에 미치는 영향

따라서, 강우는 영상검지기의 교통량 측정에는 영향이 거의 없으나 속도의 측정에는 악영향을 미치는 것으로 분석되었다(그림 9의 참조).

## IV. 결론

### 1. 결론

영상검지기는 현장여건(가로수, 표지판 등)에 따른 설치 시 제약사항이 많으며, 검지 방식의 특성인 화각을 고려하면 정체(약 10km/h)와 그림자 및 우천 시에 오검지 및 미검지의 문제가 있으나 설치·유지보수의 용이성으로 인해 널리 사용되고 있다.

본 연구에서는 지자기검지기 대비 영상검지기의 환경적인 특성에 따른 정확도 분석을 수행한 결과 다음과 같은 결과를 도출하였다.

- 자자기검지기와 영상검지기가 수집하는 차로별 교통량 및 속도의 차이가 통계학적으로 유의하며, 성능의 차이가 있다.
- 지자기검지기 대비 영상검지기의 야간 성능은 주간보다 낮게 나타났으며, 오차율은 전반적으로 영상검지기의 카메라와 거리가 멀수록 높게 나타났다(차로별 오차율이 다르게 나타났다).
- 영상검지기는 강우에 대한 영향을 받으며, 특히 교통량보다는 속도측정에 영향을 받는다.

영상검지기의 경우 영상처리 기술을 기반으로 교통변수를 측정하는 장비로서 카메라의 화각, 야간 및 강우에 대한 영향을 많이 받는다. 따라서 현재 운영되고 있는 영상검지기의 성능을 높이기 위해서는 설치방식(오버헤드, 사이드 파이어) 및 높이에 따른 화각에 대한 면밀한 분석 및 최적화가 필요하다.

또한 영상검지기의 경우 현장설치 시 준공전 성능평가를 통해 상급 이상의 성능을 확보하고 있으나, 현장 운영기간이 증가함에 따라 카메라부의 오염, 진동의 영향에 따라 성능이 저하될 우려가 있으므로 유지관리 시 이를 고려한 별도의 점검기준 및 관리기준이 요구된다.

마지막으로 차량검지기는 다양한 센서 기술이 적용된 검지기가 개발되고 있으나, 성능평가의 기준은 정상적인 상황에 대해서만 평가를 수행하므로 설치지점의 기상조건과 센서의 특성이 반영된 세분화된 성능평가 기준을 마련할 필요가 있으며, 이를 통해 교통정보의 신뢰성을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

### 2. 연구의 한계 및 향후 연구과제

차량검지기의 성능은 적용되는 센서의 특성, 설치지점의 도로조건, 교통상황, 기상상황 등에 영향을 받으며, 설치 후 운영기간에 따라 성능은 저하한다.

본 연구에서는 부득이 장기간 평가를 위해 자자기검지기의 수집자료를 기준값으로 적용하여 영상검지기의 주-야간 차로별 수집 성능, 악천후 시 차로별 수집 성능

을 평가하였으나 기준값으로 적용된 지자기검지기의 수집자료 또한 오차가 포함된 값이라는 한계가 있다.

따라서, 향후 연구에서는 영상분석을 통한 인력식 기준값을 적용하여 대상검지기의 성능을 평가하여야 객관성이 제고된 결과를 도출할 것으로 판단된다.

그러나 장기간 평가에서는 인력식으로 기준값을 확보하기에는 현실적으로 어려운 상황이다. 이러한 경우 불가피하게 기준검지기를 활용하여야 하며, 이에 따른 기준검지기의 수집자료에 대한 오차율을 고려하여야 할 것으로 판단된다.

### 참 고 문 헌

- [1] 김대호, 김승일, “차량검지기 성능평가 방안에 관한 연구(내부순환로 교통관리시스템 영상검지기를 중심으로),” 대한교통학회지, 제20권, 제5호, pp.231-244, 2002.
- [2] 이환필, 김용만, 강동윤, “측정불확도를 적용한 차량검지기 속도측정 성능평가방법 개발,” 한국도로학회 논문집, 제14권, 제2호, pp.165-174, 2012.
- [3] 권창희, “영상검지기 성능평가 및 분석에 관한 연구,” 한국디지털정책학회 춘계학술대회 논문집, pp.539-608, 2004.
- [4] 최윤희, 이윤석, “지점검지기 신뢰도 비교를 통한 대표치 생성 개선방안 : 구간 교통량을 중심으로,” 한국ITS학회논문지, 제12권, 제5호, pp.22-35, 2013.
- [5] J. Jang and T. Nakatsuji, “Vehicle Detector Evaluation Based on Traceability and Confidence Interval Concepts,” 93rd Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington, D.C., 2014.
- [6] Hemin Jalal Mohammed, *Evaluating the Accuracy of Speed and Volume Data Obtained via Traffic Detection and Monitoring Devices*, Master's Thesis, University of Kansas, Lawrence, USA, 2015.
- [7] 고팡용, 김민성, 이철기, 정준하, 허낙원, “FMCW 레이더 검지기 신호교차로 적용성 평가,” 한국ITS학회 논문지, 제14권, 제1호, pp.1-12, 2015.
- [8] 국토교통부고시, 제2017-651호, “자동차·도로교통분야 ITS 성능평가기준,” 2017.

[9] 건설교통부, *ITS 정보수집기준 및 시스템 개선연구*, 2006.

[10] U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, *Traffic Detector Handbook : Third Edition—Volume I*, 2006.

### 저 자 소 개

오 주 삼(Ju-Sam Oh)

정회원



- 1991년 8월 : 중앙대학교 토목공학과(공학사)
- 1998년 2월 : 중앙대학교 토목공학과(공학박사)
- 2001년 3월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 미래융합연구본부(연구위원)

〈관심분야〉 : ITS, AI, 자율주행

김 진 우(Jin-Woo Kim)

정회원



- 1989년 2월 : 동아대학교 전산공학과(공학사)
- 2001년 12월 : 대우정보시스템 기술연구소(과장)
- 2002년 1월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 미래융합연구본부(연구위원)

〈관심분야〉 : ITS, 자율주행, AI