

## 비매설형 차량 검지기 성능 분석에 관한 연구

류승기, 문학룡, 임혁규, 최도혁, 홍규장  
한국건설기술연구원

### A Study on the Performance Analysis of Non-Intrusive Detector

Seung-Ki Ryu, Hak-Yong Moon, Hyuk-Kyu Lim, Do-Hyuk Choi, Gyu-Jang Hong,  
Korean Institute of Construction Technology

**Abstract** - 본 연구에서는 도로 교통 정보검출을 위하여 사용되는 검지기 가운데 비매설형 차량검지 기술에 대한 분석을 통하여 국내환경에 적합한 검지기술의 기본 기능을 설정하였다. 분석된 검지기는 15개의 국내의 검지시스템으로 검지 성능 분석과 국내 적용시 발생하는 문제점을 파악하여 설계시 필요한 기본 계획을 설정하였다.

#### 1. 서 론

교통류 관리와 교통 정보의 제공을 주요 기능으로 하는 교통 관리 시스템의 성패는 교통 흐름의 특성을 정확히 파악하는 데 달려 있다. 교통 흐름의 특성을 파악하기 위해서는 다양한 검지 기술이 적용되고 있으며 교통 관리 시스템의 성능 요구는 검지기의 성능 및 설치와 올바른 운영이 전제되어야 한다. 검지 기술(Detection Technology)은 설치 형태에 따라 매설형과 비매설형으로 구분되고 있다. 각각의 특징을 살펴보면 매설형 타입의 검지기는 검지 성능면에서는 우수하지만 설치 공사와 유지보수의 어려움이 단점으로 지적되고 있다. 비매설형 타입의 검지기는 설치와 제공 정보의 다양성, 유지보수 및 경제성에서 장점이 있으나, 검지기 종류별 오차와 함께 환경요소에 영향을 받는 것이 단점으로 지적되고 있다.

본 논문에서는 설치환경과 유지보수 및 경제성에서 장점으로 지적되고 있는 비매설형 타입의 검지기 가운데 초단파 검지기와 영상 검지기를 대상으로 각 검지기의 특성 및 성능 분석을 수행하여 교통 관리 시스템 구성 시 시너지 효과를 발휘할 수 있도록 하였다. 검지기의 성능 분석 방법은 도로 현장에 직접 설치하여 검지기별 정밀도 평가와 기능 평가를 분리하여 수행하였으며, 특히 악천후와 외부 조도 등을 고려하여 분석을 수행하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 검지 기술의 고찰

##### 2.1.1 검지기별 특성 고찰.

##### 가. 초단파 검지기

초단파 검지기는 도플러 효과(Doppler Effect)를 이용하는 방법과 레이더 원리를 이용하는 방법으로 구분되며 2종류 모두 교통량, 속도, 점유 시간 등의 교통정보를 검출할 수 있다. 초단파 검지기는 주간, 야간 및 악천후에 구별 없이 교통정보 검출이 가능하나, 검지기 주변의 전자 기기나 통신 장비의 영향으로 인한 전자기 장애(Electromagnetic Interference, EMI)로 인하여 오동작의 우려가 있다.

##### 나. 영상 검지기

영상 검지기는 영상 처리 기술(Image Processing Technology)을 이용하여 도로를 통행하는 차량들의 속도, 점유 시간, 차두 시간 등과 같은 교통 매개변수를 측정하는 검지기이다. 특히, 영상 검지기는 카메라를 정보의 입력 수단으로 사용하기 때문에 차량의 검지 기능과 모니터링 기능을 동시에 수행하여 차종 분류가 가능하고 차량의 존재 유무와 교통량, 점유 시간, 차종별 속도, 차선별 속도 측정이 가능하다. 그러나 주간, 야간 및 악천후의 영향을 받으므로 기술적인 보완이 필요하다.

##### 다. 적외선 검지기

적외선 검지기는 검지 방식에 따라 능동형(Active)과 수동형(Passive)으로 나눌 수 있다. 능동형 타입은 검지 대상에 광선을 발사한 후 반사되어 되돌아오는 빛을 감지하여 검지 대상을 인식하는 방식의 검지기이며, 수동형 타입은 검지 대상이 방출하는 에너지를 통해 검지 대상을 인식하는 방식의 검지기이다. 본 검지기는 타 검지기보다 정확한 차종을 구분할 수 있는 장점이 있는 반면에, 능동형은 대기의 영향을 많이 받기 때문에 빛 에너지를 송수신하는 과정에서 산란현상(scatter)이 자주 발생하며 햇빛으로 인해 혼신(crosstalk)이 야기되기도 한다. 또한, 검지기에서 발사되는 빛 에너지는 연기나 먼지 등 오염 물질 뿐만 아니라 안개나 강우에도 매우 민감하게 작용하므로 기술적인 보완이 필요하다.

##### 2.1.2 검지기별 설치방법 고찰

비매설형 검지기에서 설치 위치는 정확한 교통 정보를 획득하는 데 중요한 요소로 설치 위치가 좋지 못할 경우 인접 차선의 차량들에 의해 검지 시선이

차단될 수 있으며 속도와 차량 길이의 측정에 있어 오차가 커지게 되므로 다음과 같은 3가지의 요소가 고려되어야 한다.

□ 경사각(Inclination) 측면

- 경사각이 90° 인 경우를 제외하고는 항상 실제 차량 길이보다 검지된 차량 길이가 크게 검지됨.
- 경사각은 90° 보다 작은 경우에도 차량의 길이 측정은 오차를 포함하게 됨.

□ 높이(Height) 측면

- 검지기에 포착되는 차량들의 실제 길이가 정확히 검출되는 높이
  - 중첩 효과(Collating Effects)가 발생하지 않는 높이
- 도로에 대한 검지기의 위치(position) 측면
- 검지 대상이 되는 모든 차량들이 가시화 되는 위치
  - 검지 대상 이외의 물체(그림자 등)가 검지되어서는 안되는 위치
  - 선행 차의 후미와 후행 차의 선두 부분이 중첩되지 않는 위치

2.2 검지기 성능 평가

2.2.1 현장조건

- 일시 : 1997 . 11 . 12 ~ 1997 . 11 . 28
- 위치 : 일반국도 3호선 곤지암 인터체인지 부근

표 1. 현장 조건

실험 일자	실험 조건			대상 검지기 (제조사)
	일기 조건*		조명 조건**	
	온도(°C)	습도(% RH) 강우(mm)	조도(LUX)	
11.21.	평균: 6.1 최저: 1.2 최고: 9.1	습도: 73 강우: 13	최저: 0.6 최고: 6,750	초단파-B,C 영 상-B
11.25.	평균: 9.0 최저: 3.8 최고: 12.4	습도: 83 강우: 15	최저: 0.5 최고: 0.7	초단파-A,F 영 상-C
11.26.	평균: 9.7 최저: 5.3 최고: 12.9	습도: 79 강우: 1.0	최저: 0.6 최고: 8,810	영 상-B,C,F 초단파-A,B,C,F
11.27.	평균: 5.2 최저: 0.2 최고: 10.0	습도: 65 강우: 0	최저: 0.5 최고: 92,500	영 상 -A,B,C,D,E,F 초단파-A,B,C,F
11.28.	평균: 7.7 최저: 3.2 최고: 12.5	습도: 68 강우: 6.5	최저: 16,500 최고: 27,400	영 상-A,E

\* 자료 제공 : 기상청(이천 관측소)  
\*\* 조도는 : 현장에서 실측

2.2.2 성능 평가 설정

성능 평가는 다음 사항에 중점을 두고 실시되었다.

- 검지기의 신뢰성(Reliability)에 대한 검정
- 수집 자료의 정확성
- 검지기의 유지 및 보수의 용이성

가. 비교 분석 및 통계적 검정 항목의 선정

각 검지기에 대한 신뢰도의 비교 분석과 통계적 검

정을 위한 평가 항목은 교통량, 속도, 점유율(%)이며, 영상 검지기와 루프 센서에서 측정된 교통량과 속도에 대해 신뢰도 비교 분석 및 통계적 검정을 실시하였으며 점유율은 실측이 불가능한 관계로 루프 센서에서 측정된 값이 기준 값으로 사용되었다. 각 항목에 대한 평가는 주간과 야간으로 나누어 실시하였다.

나. 비교 분석 방법의 선정

각 검지기로 측정된 교통량, 속도, 점유율(%)의 비교 분석을 위한 지표로 오차율(%)과 등가 계수가 선택되었다.

□ 오차율(Error Rate)

각 검지기에서 측정된 교통량, 속도, 점유율(%)이 각 항목별 기준 값에 대해 어느 정도의 오차를 나타내는지 평가하였다.

$$\text{오차율(\%)} = \frac{\sum_{i=1}^I |f_i - f_a|}{\sum_{i=1}^I f_i} \times 100$$

여기서, i = i 번째 주기

I = 얻어진 자료의 총 주기의 개수

f<sub>i</sub> = i 번째 주기에서의 정보

f<sub>a</sub> = i 번째 주기에서 검지기 정보

□ 등가 계수(Equality Coefficient)

각 검지기에서 측정된 자료들이 기준 값에 어느 정도 근접한지 평가하기 위하여 등가 계수를 사용하였다. 등가 계수는 다음과 같이 구한다.

$$\text{등가계수} = 1 - \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^I [f_i - f_a]^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^I f_i^2} + \sqrt{\sum_{i=1}^I f_a^2}}$$

여기서, i = i 번째 주기

I = 얻어진 자료의 총 주기의 개수

f<sub>i</sub> = i 번째 주기에서의 정보

f<sub>a</sub> = i 번째 주기에서의 검지기 정보 값

□ 통계적 검정 방법의 선정

각 검지기에서 측정된 교통 매개변수의 통계적 검정을 위해 대응 비교 검정법(Paired Difference Test)을 사용하였다. 대응 비교 검정법은 실험 자료를 동일한 실험 단위(1분 단위)끼리 묶어서 쌍으로 관측 값을 얻은 후 그 효과를 비교하는 검정법이다.

I 개의 주기에 대한 자료가 (x<sub>1</sub>, y<sub>1</sub>), (x<sub>2</sub>, y<sub>2</sub>), ..., (x<sub>I</sub>, y<sub>I</sub>)이며, 그 차이(Difference)를 D<sub>1</sub> = x<sub>1</sub> - y<sub>1</sub>, ..., D<sub>I</sub> = x<sub>I</sub> - y<sub>I</sub> 라고 할 때의 검정 통계량은 다음과 같다.

$$T = \frac{\bar{D}}{\sqrt{V_D/I}}$$

여기서, T = 검정 통계량

I = 얻어진 자료의 총 주기 개수

$$V_D = \text{불편 분산}$$

$$\bar{D} = D_i \text{의 평균}$$

### 2.2.2 평가 결과

#### 가. 정밀도 평가 결과

통과 차량수에 대한 측정 정확도 평가를 개별 검지기에 대한 평가와 방향별로 설치된 검지기를 대상으로 하는 동시 평가로 나누어 실시하였으며, 속도에 대한 측정 정확도 평가에서는 시험 차량의 속도를 기준값(보정)으로 하는 시험 차량 방법을 사용하였다. 또, 성능 평가 기간에 비가 많이 내려 다양한 일기 조건을 얻을 수 있었으며, 교통 자료는 주간과 야간으로 나누어 수집하였다. 일반적으로 검지기의 성능은 기기 자체의 성능이 큰 비중을 차지하지만, 그에 못지 않게 검지기의 설치와 운용 조건도 큰 비중을 차지한다

표 2. 성능 평가 결과

방식	통과 차량수								속도	
	% 차이				상관 계수				평균 % 차이	상관 계수
	1차선		2차선		1차선		2차선			
	주	야	주	야	주	야	주	야		
영 상-A	-	-	58.8 2	-	-	-	-	-	59.40	0.87
영 상-B	6.59	36.04	9.96	40.5	0.99	0.23	0.93	-0.1	24.98	0.41
영 상-C	12.36	11.01	4.09	23.8	-	-	-	-	39.45	0.07
영 상-D	20.33	-	34.4	-	0.86	-	0.85	-	-	-
영 상-E	0.37	-	1.26	-	-	-	-	-	24.08	0.86
영 상-F	0.26	14.56	0.65	10.3	-	-	-	-	17.01	0.86
초단파-A	13.18	14.41	-	-	0.97	0.98	-	-	-	-
초단파-B	-	-	11.8	5.43	-	-	-	-	-	-
초단파-C	33.66	27.15	-	-	-	-	-	-	2.71	0.96
초단파-D a)										
초단파-E a)										
초단파-F	-	-	0.40	2.87	-	-	-	-	5.83	0.96
초단파-G a)										
적외선-A a)										
적외선-B a)										

\* 개별 평가의 결과를 취합한 것임

- a) S/W 및 H/W 미작동으로 자료 검출이 불가능한 경우임
- b) 기타 공란은 검지기 특성상 관련 지표 도출이 불가능한 경우임

#### 나. 기능 평가 결과

##### ① 영상 검지기

- 주·야간시 정보의 오차율이 크며 야간 및 강우시 검출 정보의 신뢰성 및 정확도에 문제점 노출
- 주간(10,000 LUX 이상)시 그림자에 의한 오차 발생
- 도로 조건(표면색, 반사 정도)에 의한 오차 발생
- 초기 방법이 대체적으로 복잡하고 어려움
- 노이즈에 의한 화질 저하 현상 발생

##### ② 초단파 검지기

- 설치 높이, 각도에 따른 오차 발생
- 설치 형태(높이, Side-fire, Forward-looking)에 따라 검출 정보들간에 오차가 발생함
- 초단파 빔에 의해 생성되는 검지 영역이 옆 차선과 교차할 경우 오차 발생
- 대기 행렬 검지시 검출된 자료의 전송 간격이 일정하지 않음

### 3. 결 론

비 매설형 타입의 검지기에 대한 분석 결과 공통적으로 설치상의 어려움, 통신 접속 및 전송에러 발생, 검지기 자체 정밀성 등과 같은 공통적인 문제점을 내포하고 있으며 다음과 같은 대응 방안이 필요하다.

- 검지기별 설치 기준 표준화 방안을 제시한다.
- 통신 방식 및 접속에서 고려된 표준안은 다음과 같다.
  - 통신 방식 : RS-232, 모뎀 방식
  - 전송 속도 : 표준 9.6Kbps 이상
  - 전원 및 통신의 핀 번호를 일률적으로 선정하여 작업 및 유지 보수의 편의성을 도모한다.
- 현장 제어기 내에는 조명 시설을 설치하여 야간 작업시에도 불편함이 없도록 한다.
- 검지기별 제어기의 합체 크기를 표준화 한다.
- 전송 데이터 포맷의 표준화
- 전원안정화 대책과 낙뢰 및 지락 사고등을 방지하는 보호 시설을 갖추어야 한다.

이상의 기본 사항이 검지기 뿐만 아니라 유지보수 차원에서 고려가 되어야 하며 특히, 기후의 영향으로 인한 측정 정확도의 문제는 지속적인 연구와 기술 개발로 해결되어야 할 사항이고, 국내 환경에 안정적으로 운용될 수 있는 강인한 검지시스템의 적용이 무엇보다도 중요하다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 한국건설기술연구원, 최종보고서 “'97 수도권도로 교통정보·관리 체계 구축 기본설계 및 평가연구”, 1997. 12.
- [2] The Institution of Electrical Engineers, “Road Traffic Monitoring & Control”, Conference Publication No.391, 1994. 4.
- [3] S.M Smith, J.M. Brady, “ASSET-2:Real-Time Motion Segmentation and Shape Tracking”, IEEE Transation on PAMI VOL. 17 NO. 18 1995.8
- [4] Indiana DOT, Borman Expressway Advanced Traffic Management System, PhaseII Final Report, 1996.