

영상검지기 성능평가 및 분석에 관한 연구

A Study On Camera-Detector System for Traffic Control in Korea

권창희*

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구목적
 - 2. 연구범위 및 방법
- II. 우리나라 검지기 상황
 - 1. 검지기 평가실험
 - 2. 검지기 알고리즘
- III. 영상 검지기 평가
 - 1. 검지기 평가실험
 - 2. 자료분석 결과
 - 3. 종합평가
- IV. 결론
 - 참고문헌

Keywords: 영상검지기, 신호제어, 대체검지기

Abstract

우리나라의 경우 교통정보수집용 검지기는 루프검지기가 주종을 이루고 있으며, 지금까지 한국에서 루프검지기를 대체할 수 있는 영상 및 초단파검지기와 같은 대체검지기에 대한 평가는 단속류 보다는 연속류 상황에 대한 평가로 제한되어 왔다. 한편, 최근들어 점차 고속도로를 중심으로 영상검지기의 설치개소수가 급속히 증가하고 있는 추세이다. 이 영상검지기의 경우 연속교통류 상황의 15분 혹은 5분 단위의 점유율, 교통량, 속도 등의 교통변수 측정정확도는 검지시스템의 요구사항을 충족하는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 한국의 장래 교통관리 첨단화에 요구되는 교통자료 수집수준을 시가지도로 및 고속도로를 중심으로 파악하고, 루프검지기의 대체 검지기로써 영상검지기에 대한 성능평가 및 분석을 실시하였다.

I. 서론

1. 연구목적

한국은 지능형교통시스템의 성숙과 더불어 검지기의 설치량이 대폭 늘어나고 있으며, 다양한 기반 기술을 이용하는 검지기의 개발이 활성화되고 있다. 그러나 현재까지 교통류제어, 교통상황 감시 등 모든 용도에 일관된 우위를 점하는 최적의 검지기가 없다는 이유로 혼란이 발생하고 있다. 현재까지 교통관리시스템에서 사용되는 차량용 검지기는 자기 유도방식의 루프검지기가 압도적인 우위를 점하고 있다. 루프검지기는 적절히 설치하고 유지할 경우에 그 어떤 검지기보다 정확한 이력자료와 실시간 자료를 저렴한 비용에 제공할 수 있는 장점이 있다. 그러나 루프검지기는 다양한 차종구분과 같은 정보의 수집이 어렵고, 설치시 교통흐름을 방해하며, 포장상태의 변형에 따른 성능저하와 도로파손에 따른 유지보수 비용이 큰 단점이 있다. 이는 한국과 같이 도로굴착공사가 잦고 정체가 일상적으로 발생하는 도시 가로상에서는 상당한 단점으로 인식되고 있다.

한국은 이러한 루프검지기에 대한 문제점을 극복하고 첨단교통관리에 요구되는 교통정보의 양과 질을 충족시키기 위해 대안으로 고려되는 대체검지기에 대한 객관적인 정책결정 자료를 확보가 요구된다. 따라서 본 연구에서는 한국의 장래 교통관리 첨단화에 요구되는 교통자료 수집수준을 시가지도로 및 고속도로를 중심으로 파악하고, 루프검지기의 대안 검지기로서 영상검지기에 대한 성능평가 및 분석을 실시하였다.

2. 연구범위 및 방법

교통관리 기능을 고도화시킨 첨단교통관리체계(ATMS)는 도로에 감지장치를 설치하여 각종 교통정보를 실시간으로 수집 처리하는 기능을 갖는다. 교통정보의 수집처리는 ATMS 본연의 목표 달성을 위한 필수적인 기능일 뿐만 아니라 여기에서 형성된 데이터베이스는 기타 지능형교통시스템(ITS)의 제공서비스를 가능하게 하는 기반이 된다. 따라서 현대 교통관리시스템 나아가서 지능형교통시스템의 성패를 결정짓는 것이 교통정보이며, 이를 가능케 하는 핵심장비가 바로 차량용 검지기이다.

한국은 ITS 활성화와 함께 교통관리가 선진형으로 발전하는 단계에서 수많은 검지기의 설치가 요구되고 있으나, 교통시스템이 필요로 하는 교통정보의 수요나 검지기 성능에 관한 객관적인 평가자료가 결여되어 대체검지기의 시장확대에 제약이 되고 있다. 이에 본 연구의 내용적 범위는 우리나라의 교통관리시스템에서 요구된 검지기의 시장규모와 지금까지 수행된 현장평가결과를 분석하여 검지기술 알고리즘과 그 수준 및 대체검지기로서의 영상검지기의 가능성을 파악하고자 한다.

본 연구를 실시 순서는 다음과 같은 4단계로 되어 있다.

- (1 단계) 검지기 개발기술상황 및 개발수준을 검토.
- (2 단계) 첨단교통관리시스템 중에서 시가지도로 및 고속도로(도시고속도로 포함) 교통관리시스템의 주요 기능과 규모에 대한 구축 사례를 조사하여 교통정보의 수를 분석.
- (3 단계) 검지기 시장의 주요 수요처인 공공기관의 정책결에 있어서 영상검지기가 대체검지기로 선정 및 사용가능성을 객관적 평가자료를 제공.
- (4 단계) 영상검지기가 대체검지기로 적합성 평가.

II. 우리나라 검지기 상황

1. 검지기 설치현황

차량용 검지기를 용도별로 분류하면 단속류 교통관리용(신호제어용), 연속류 교통관리용, 교통정보수집용, 단속용 검지기로 구분할 수 있다. '97년 현재 서울시의 경우에는 루프검지기가 총 607개로서, 순수한 신호제어용 루프검지기는 586대(32각 158대, 8각 363대, 원형 65대)이며, 영상검지기는 8개소에 36대가 시범운영 중이다. 연속류 교통관리용은 '95년에 한국도로공사의 고속도로 교통관리시스템(FTMS)을 시작으로 대도시 도시고속도로를 중심으로 본격화되고 있으며, 운영기간은 '98년말 기준으로 총 8개 노선 814.4km에 이른다. 검지기 설치현황은 원형 루프검지기 496개소, 영상검지기 133개소, CCTV 143개소 등이다. 최근에는 서울시와 5대 광역시의 도시고속도로를 대상으로 교통관리시스템이 확장 설치되고 있다(서울시 올림픽대로와 내부순환도로, 인천시 국제공항 고속도로 등). 교통정보수집용 검지기는 관리용과 단속용을 제외한 모니터링용 검지기를 말한다. 모니터링용은 교통상황을 모니터링하기 위해 설치되는 것으로 주로 고정식과 이동식 교통량 조사장비이다. 고정식 조사장비는 '93년에 25대의 AVC(Automatic Vehicle Classification) 장비를 도입하여 운영하기 시작하여, 이후 '98년 WIM 장비를 포함하여 전국에 207대의 조사장비가 설치 운영되고 있다. 단속용 검지기는 속도위반, 전용차로위반, 신호위반 등의 지점 및 구간단속을 위해 설치되는 자동무인교통장비를 말하며, 고정식과 이동식으로 분류한다. 고정식 무인교통장비의 검지시스템은 매설형인 루프검지기가 주종

을 이루고 있으며, '99년 이후에 보다 정확도가 뛰어난 피에조 검지기가 도입되기 시작하였다. '99년 2월까지의 속도위반 단속용 루프검지기 설치현황은 총 174개에 이르고 있다. 단속류 교통관리용 검지기는 루프검지기가 주종을 이루고 있고, 대체 검지기로써 영상검지기가 일부 활용되고 있는 실정이다.

2. 교통관리시스템 검지기의 수요

일반적으로 교통관리시스템의 검지기는 교통관리용, 단속용 등의 사용 목적별로 적용 가능한 검지기가 다르며, 검지시스템의 성능 범위 및 규모(수요)에 따라서도 차이가 발생한다.

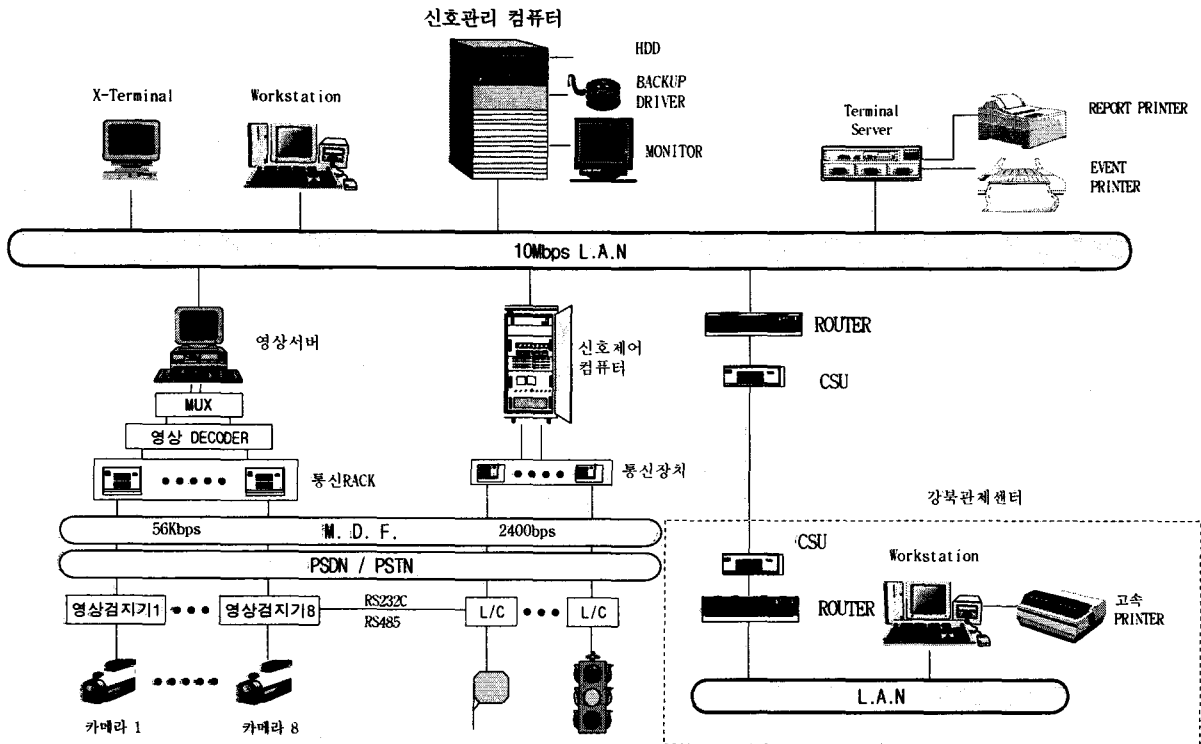
본 절에서는 우리나라의 단속류와 연속류 교통관리시스템의 대표적으로 구축 되어진 상황을 파악하여 정리하였다.

1) 시가지도로 교통관리시스템

서울, 대구, 부산 등의 5대도시에 매설된 신호제어용 루프검지기는 총 4천 4백여개로서 대부분 8각 형태가 주종을 이루고 있다. 모든 루프검지기가 신호제어용으로 운영되는 것은 아니며, 교통정보수집용도 포함한 것이다. 시가지도로 교통관리시스템은 5대도시 첨단신호제어시스템(ATCS; Advanced Traffic Control System)를 개발하였다([그림 1]). 서울시의 경우에는 기존의 전자신호제어시스템의 노후화와 기능상의 한계를 인식하고 '91년부터 3개년에 걸쳐 첨단신호제어시스템을 개발하였다. 첨단신호제어시스템은 '94년에 한국과학기술연구원을 주축으로 검증평가를 거쳐, 현재 서울시 강남지역을 중심으로 확장하고 있으며 한편, 건설교통부에서는 첨단모델도시 건설사업을 추진하면서 3개 주요도시(대전, 전주, 제주)에 첨

단신호제어시스템을 주축으로 한 통합교통시스템 구축 추진하고 있다.

서울시의 초기 교통관리시스템의 규모와 한계는 다음의 <표 2>와 같다.



[그림 1] 첨단신호제어시스템 구성도

<표 1> 서울시 첨단교통관리시스템

구분	내용	비고
시스템 규모	<ul style="list-style-type: none"> 중양컴퓨터 시스템 구성 및 기능 지역제어기(TOD제어모드, TBC기능, 감응식제어기능 보유) 통신장치 : 1초 단위 통신, 중앙처리장치당 8개 채널 수용, 1개 채널당 16개의 지역제어기 수용 통신 속도 : 1800bps 통신방식 : 16비트 단위 통신, 시분할(TDM) 주파수 변조방식 	<ul style="list-style-type: none"> 중양컴퓨터 3대 지역제어기 760여개
기타 (한계)	<ul style="list-style-type: none"> 교통변화에 따른 적응능력 부족 정보처리기능 부족 : 제어기당 3개 검지기 수용, 교통량/속도/점유율로 한정 교통수요 예측기능 부족 유고 및 돌발 상황 예측기능 부족 	

2) 고속도로 교통관리시스템

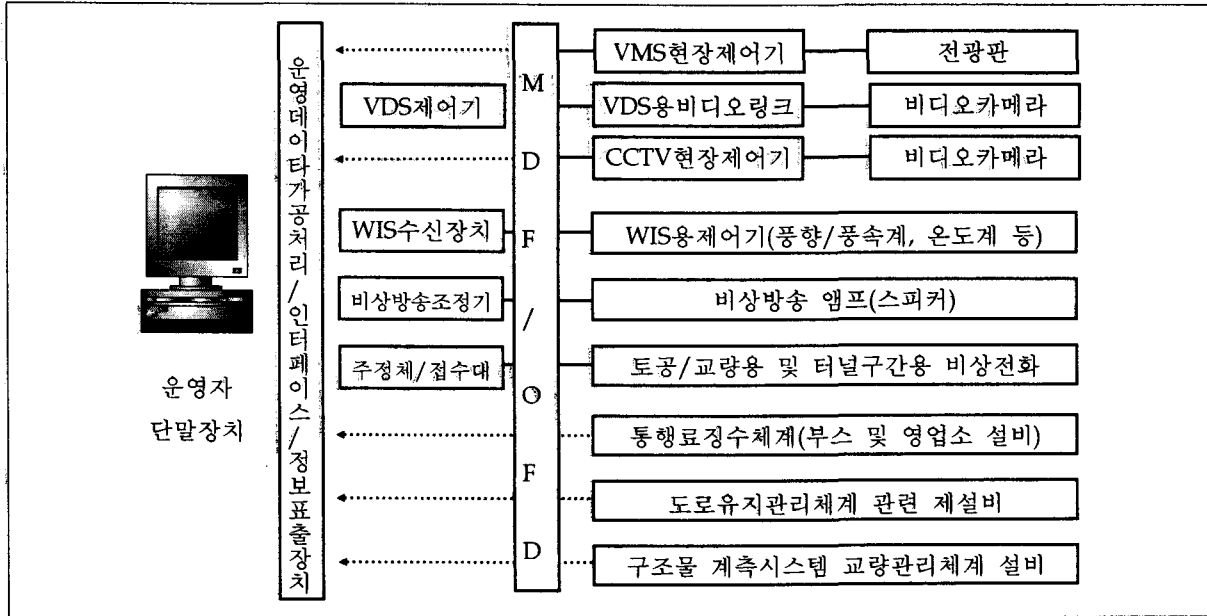
시스템(한국도로공사), 올림픽대로, 내부순환로, 신공항 고속도로 교통관리시스템 등이 대표적이다.

연속류 교통관리시스템은 고속도로 교통관리시

고속도로 교통관리시스템은 실시간 교통상황 정보

를 가변전광판(VMS), ARS/FAX, Internet 등의 매체를 통하여 도로이용자에게 제공하는 서비스체계, 차량흐름 상태 및 차량정보의 실시간 수집과 처리, 각 교통기법의 통합 및 분석, 정보제공 등의

능력을 갖추고 있다. 여기서는 신공항 고속도로 교통관리시스템의 기본기능과 규모에 대하여 요약하면 다음과 같다.



[그림 2] 신공항 고속도로 교통관리체계 구축 개념도(신공항)

<표 2> 교통관리시스템의 서브시스템별 구축 내용

시스템	구분	설비 구축 내용
CCTV 시스템	설치기준	○ 전구간 감시(2km 간격, 현장여건에 따라 간격조정)
	설치수량	○ 33개소
	설치규격	○ 칼라방식, 줌 및 팬틸트 기능(센터 집중제어)
	통신방법	○ 영상 및 제어 데이터신호를 1:1 광신호로 변환
차량검지기 (VDS)	검지기종류	○ 영상검지기(기본), 루프검지기(보완)
	설치수량	○ 영상검지기 90개소, 루프검지기 7개소
	제어기	○ 영상은 센터 통합 설치, 루프검지기는 현장설치
	통신방법	○ 영상신호 및 검지데이터를 1:1 광신호로 변환
가변정보 표지판 (VMS)	설치기준	○ 본선상의 중요지점과 영업소에 설치
	설치수량	○ 9개소
	설치규격	○ 본선(3, 4차로용)은 3행×16열(2.4×12.8m) ○ 영업소용은 3행×20열(3.0×20.0m)
기상관측 설비 (WIS)	설치기준	○ 해수, 강에 의한 안개 상습 예상지역
	설치수량	○ 2개소(방화대교와 영종대교 부근)
	관측내용	○ 풍향/풍속, 온도/습도, 시정(눈/비/안개 등), 노면
	통신방법	○ 데이터신호를 1:1 광신호로 변환 전송

3. 루프검지기와 영상검지기의 비교

검지기로부터 획득된 자료를 1차 가공하는 L/C에서는 가공된 정보를 어느 시점에 R/C로 전송하여야 하는가가 중요한 안건이 된다. 일반적인 루프 및 영상검지기에서 제공되는 정보의 종류와 L/C에서 1차 가공되어진 정보의 R/C로의 전송시간 단위는 표 3 과 같다.

〈표 3〉 검지자료 종류 및 전송시간 단위××

또한, 포화도는 R/C에서 주기길이를 산정하는데

다. 그러나, 영상검지기를 활용하여 DS를 산정할 경우에는 DS의 개념이 V/C를 나타내는 X값으로 변환하게 되는데, 교통흐름의 제어에서 주 관심이 되는 것이 바로 이 X값이며, 루프검지기를 사용할 경우에는 X값을 직접적으로 구해낼 수 없다는 단점 때문에 대안으로 DS를 이용한 교통흐름제어에 활용하고 있다. 따라서 영상검지기를 이용하여 X값을 산출하고, DS = F(X)의 개념을 이용함으로써, 기존의 신호변수 산정 알고리즘을 수정하지 않고 사용할 수 있다. 직진과 좌회전의 DS 산정방식은 다음과 같다.

검지기 자료		포화도	포화교통유율	포화비점유	속도	점유율	정상작동상태	종합정보상태	교통량	승용차환산교통량	대기길이
검지기 종류											
루프검지기	정지선(직진)	○	○	○	×	○	○	○	○	×	×
	정지선(좌회전)	○	×	×	×	○	×	○	○	×	×
	상류부(대기행렬)	×	×	×	○	○	×	○	○	×	×
	상류부(앞막힘)	×	×	×	○	○	○	○	○	×	×
영상검지기	정지선(직진)	△	○	△	×	×	△	△	○	○	×
	정지선(좌회전)	△	○	×	×	×	△	△	○	○	×
	상류부(대기행렬)	×	×	×	○	×	△	△	○	○	○
	상류부(앞막힘)	×	×	×	△	×	△	△	○	○	×
전송시간단위		주기	주기	주기	30초/주기	주기	event 발생시	주기	주기	발생시	30초/주기

- ※ ○ : 정보전송, △ : 정보전송 가능, × : 정보전송 불필요
- ※ 앞막힘 예방제어는 발생시마다 R/C로 전송함
- ※ 30초단위 전송 : 일률적인 30초 동기시점을 뜻함
- ※ 포화비점유시간 및 포화교통유율 : L/C에서 포화비점유시간을 자동으로 Update하지만, 그 결과는 R/C로 전송하여 MMI 상에서 모니터링 및 운전자 개입 가능
- ※ event 발생시: 정상작동상태 판정은 차량대수별로 그때 그때 R/C로 통신(초단위 통신상에서 구현)

사용하기 위하여 산출된다. 일반적으로 점유/비점유시간을 사용하여 산출하는 SCATS(호주) 방식이 있으나, SCATS 방식의 녹색시간 항목을 녹색시간에 황색시간동안의 End-Lag(보통 약 1초)를 더한 값으로 대치하고, 차량수를 의미하는 N은 이 유효 녹색시간(엄밀하게는 출발손실시간이 포함된)동안 계측된 비점유시간수를 사용하는 DS 방식을 따른

$$\circ \text{ 직진포화도 산정 : } DS = \frac{EG - (\sum \text{Space} - N * t)}{EG}$$

여기서, DS = 포화도

$$EG = \text{유효 녹색시간(녹색시간 + End-Lag, sec)}$$

$$\sum \text{Space} = \text{비점유시간의 합(sec)}$$

$$N = \text{비점유시간의 수(veh)}$$

$$t = \text{평균 포화비점유시간(sec)}^1$$

1) 포화비점유시간 : 교통량이 포화상태일 때 나타나는 비점유시간

또한, 속도산출 알고리즘은 상류부 루프검지기 및 영상검지기에 적용되는 알고리즘으로서 교통상태를 직/간접적으로 설명해 주는 정보이며, 대기행렬을 산출할 때 고려되는 전략적 측면에서 매우 중요한 요소이다. 본 알고리즘에서 속도산출은 R/C에서의 대기행렬 산정에 사용된다. 그러나 대기행렬의 용도가 앞막힘 제어 허용권 제공여부와 녹색시간 산정에 사용되므로 이 두가지 용도에 맞는 속도자료가 필요하다. 따라서, 앞막힘 제어용 속도자료는 매 30초마다 R/C로 제공되며, 신호제어를 위해서는 녹색현시 시작시점의 30초 속도자료를 제공하게 된다. 속도 산출 기본식은 다음과 같다.

$$p_occ(\%) = \frac{occ_time(sec)}{30(sec)} * 100$$

$$speed(km/hr) = \frac{volume(veh/30sec) * [r * l_1 + (1-r) * l_2]}{occ_time(sec)}$$

$$= \frac{volume(veh/30) * [r * l_1 + (1-r) * l_2] * 100}{p_occ * 30(sec)}$$

$$speed(km/hr) = speed(m/sec) * 3.6$$

여기서,
 occ_time : 30초중 점유시간
 p_occ : 30초중 점유시간이 차지하는 백분율
 r : 대형차량 혼입율
 l₁ : 대형차량 평균 길이(m)
 l₂ : 승용차 길이(m)

4. 검지기 현장평가 기존연구사례

한국의 검지기 기술 동향은 연구기관이나 산업체에서 진행된 연구개발 현황을 파악하기 어렵기 때문에 '96년 이후 실시된 각 기관의 검지기 현장평가 실험 결과를 토대로 제시한다. 대부분의 현장평가 실험은 교통변수 측정정확도 평가에 중점을 두고 수행되었다. 현장평가실험을 통해 제시되었던 특징과 문제점을 요약하면 다음과 같으며, 대표적인 교통변수 측정정확도 평가결과는 <표 1>과 같다.

- 대부분의 자료수집기간이 24시간(1일) 이하로써 다양한 기후조건 및 교통조건에 대한 평가가 이루어지지 못하였다.
- 검지시스템의 수집 가능한 교통변수에 대한 측정정확도에 비중을 둠으로서 시스템 H/W와 S/W, 구동절차, 통신, 인터페이스, 알고리즘, 노이즈 등의 시스템 전반에 대한 종합적인 평가가 결여되었다.
- 검지시스템의 측정정확도를 판단하는 지표로는 등가계수가 주로 사용되었으며, 오차율, 상관계수 등이 부가적인 평가지표로 한정되어 있다.

- 대부분의 현장평가실험은 개별차량 단위의 분석보다는 1분 또는 그 이상의 분석단위를 사용하여 평가결과에 대한 지속적이고 명확한 신뢰도를 제공하지 못하고, 동일한 검지시스템이라도 평가기관마다 평가결과의 차이가 나타났다.
- 현장평가실험은 대부분 고속도로나 지방국도의 연속류 교통상황에서 수행되었으며, 신호제어용 검지기를 대상으로 한 도심가로에서의 평가는 매우 제한적이었다.

〈표 3〉 검지시스템의 현장평가결과 요약

가능하며, 점유시간과 비점유시간을 이용하여 점

구분	평가대상 검지기	평가 장소	평가 기준	비교 항목	분석 단위	평가결과				평가 기관
						교통량	속도	점유율	대기행렬	
검지기 실용화 검증 및 확 대방안	영상검지기	고속 도로	검지율 오차율	q, V, Occ	2분/ 5분	95.5 (검지율)	2.4 (오차율)	1.8 (오차율)	-	도로교통 안전관리 공단('96)
		서울 강남구	검지율 오차율	q, V, Occ, Q	주기	88.4 (검지율)	12.9 (오차율)	11.5 (오차율)	5.76m (평균 오차)	
건설 기술 연구원	영상,초단파, WIM 등 총 19개	국도 3호선	%차이 /상관 계수	q, V	1분	생략				건기원 ('97)
오리 엔탈	영상검지기	고속 도로	등가 계수	q, V, Occ	5분	0.97	0.96	0.96	-	아주대 ('97)
영상 검지기 평가	3개업체	외곽 순환로	등가 계수	q, V, Occ	5분	94.4	95.7	82.5	-	아주대 ('98)
						88.2	93.8	83.5	-	
						93.3	84.5	90.1	-	
SK 교통 정보	5개업체 영상검지기	영동 대로	등가 계수/ 오차율	q, V, Occ	1분/ 5분	0.90/8.54	0.90/6.66	-	-	시립대 ('98)
						0.94/5.25	0.92/5.22	-	-	
						0.92/7.95	0.92/5.29	-	-	
						0.91/7.29	0.92/4.76	-	-	
						0.56/32.9	0.77/13.2	-	-	

주) q = 교통량, V = 속도, Occ = 점유율, Q = 대기행렬 길이

Ⅲ. 영상검지기 성능평가

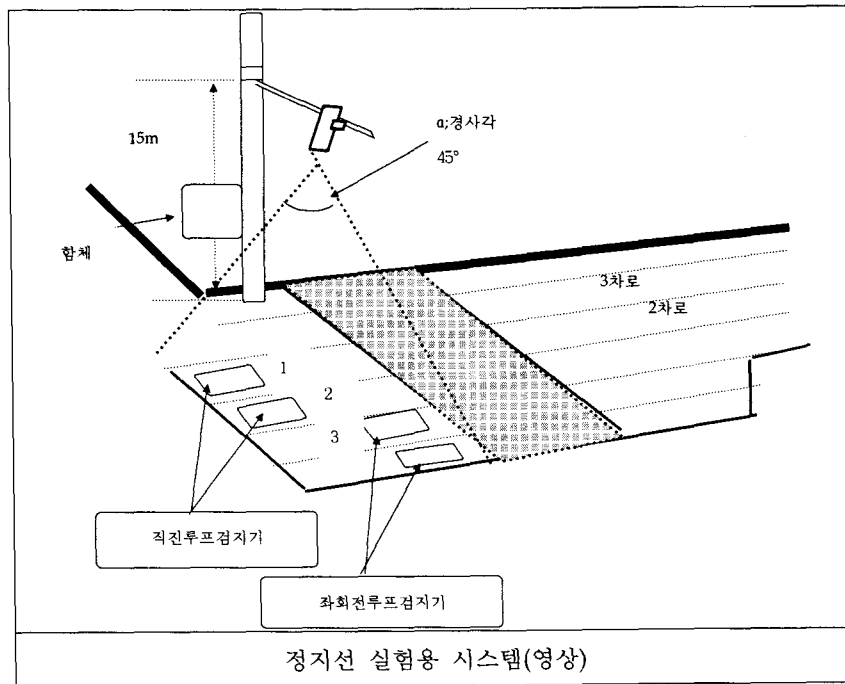
1. 평가환경 설정

검지기 현장실험은 서울시 주요 간선도로인 양재대로 교차로 접근로에서 실시하였다. 정지선의 폴형 지주에는 3개사의 영상검지기를 [그림 2]와 같이 설치하였다. 영상검지기 현장실험에서 교차로 정지선에 설치한 지주에는 높이 12m에서 15m까지 1m 간격으로 암을 설치하여 참여업체가 동시에 실험할 수 있도록 하였다.

신호제어시스템의 루프검지기에서 수집되는 교통변수는 교통량, 점유율, 비점유수, 비점유시간 등이며, 이는 방향별(좌회전과 직진) 포화도 산정을 위해 필요하다. 그러나 점유시간은 속도로 환산

유율을 계산할 수 있기 때문에 본 현장실험에서는 용도별 교통변수 중에서 직진차로의 주기별 교통량과 개별차량의 점유 및 비점유시간 자료에 대한 측정정확도를 평가하기로 하였다. 또한 신호제어 시스템에서 유용한 교통변수는 대기행렬 길이이다.

현재 서울시 신호제어시스템에서는 상류부 루프검지기에서 수집되는 점유시간, 점유율, 교통량 등을 기반으로 대기행렬 길이를 추정하고 있다. 그러나 영상검지기는 이미지를 이용하여 대기행렬 길이를 직접 관측할 수 있기 때문에 현장실험에서는 영상검지기의 뷰(View)를 접근로 하류부 방향으로 변경하여 대기행렬 길이의 측정정확도 평가도 병행하였다.

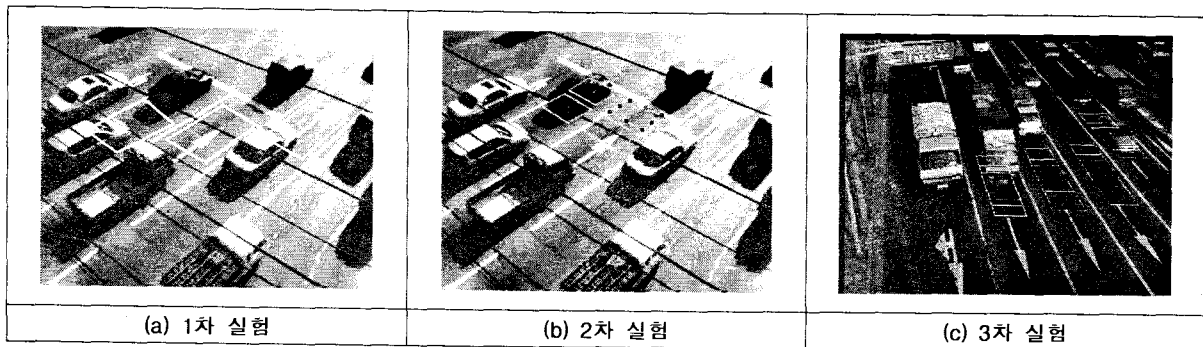


[그림 3] 현장실험 환경 구축도

2. 실험 내용

현장실험은 3개 업체를 대상으로 직진차로의 주기별 교통량, 개별차량의 점유와 비점유시간 자료에 대한 측정정확도를 평가하였으며, 교통조건(첨두와 비첨두시간대), 주야간, 전이시간대로 구분하여 실시하였다. 다음의 [그림 3]과 같이 3차실험의 검지영역의 변경은 전선에 의한 악영향과 교통상

황 및 실험장소의 기하구조 등을 고려하여, 참여업체가 충분히 검지기 처리 알고리즘(S/W)에 대한 수정이 가능하도록 유도하였다. 영상검지기 검지 알고리즘 수정내용은 업체별 노하우에 대한 것이지만 대부분 현장의 영상 이미지 특징을 고려한 검지 알고리즘의 파라메타 수정과 검지영역 설정 및 영상처리 방법 등이다. 3차에 걸친 현장실험 실시 현황은 <표 4>와 같다.



[그림 4] 영상검지기 검지영역

〈표 4〉 현장실험 실시현황

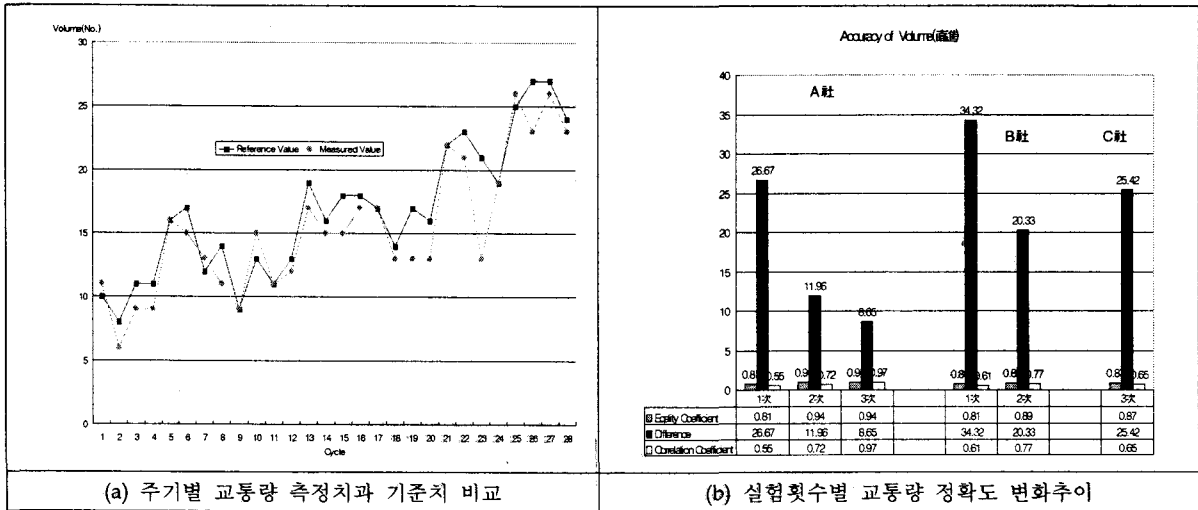
구분	일자	실험 회수	자료수집 시간대	참여업체			비고(날씨)
				A사	B사	C사	
1차 실험	10월 21일	㉠-1	오후 비첨두시간(14:37~15:20)	○	○	×	구름끼고 약간흐림
		㉠-2	오후 전이시간(17:43~18:24)	○	○	×	
		㉠-3	오후 첨두시간(18:35~19:39)	○	○	×	
	10월 22일	㉠-4	오전 전이시간(06:08~07:00)	○	○	×	안개 약간
		㉠-5	오전 첨두시간(07:05~07:58)	○	○	×	안개 약간
		㉠-6	오후 비첨두시간(13:25~14:25)	○	○	×	맑음
		㉠-7	오후 전이시간(17:34~18:16)	○	○	×	흐림
2차 실험	11월 1일	㉡-1	오전 전이시간(06:10~07:10)	○	○	×	비
		㉡-2	오전 첨두시간(07:25~08:25)	○	○	×	
		㉡-3	오후 비첨두시간(13:45~15:10)	○	○	×	
		㉡-4	오후 전이시간(17:05~18:07)	○	○	×	
		㉡-5	오후 첨두시간(18:08~19:00)	○	○	×	
3차 실험	11월 19일	㉢-1	오전 전이시간(06:00~07:00)	○	×	○	흐림
		㉢-2	오전 첨두시간(07:25~08:25)	○	×	○	
		㉢-3	오후 비첨두시간(13:41~14:41)	○	×	○	맑고, 구름짙
		㉢-4	오후 전이시간(16:40~17:40)	○	×	○	약간 흐림
		㉢-5	오후 첨두시간(17:40~18:40)	○	×	○	

○ 교통량 측정정확도 평가결과
 영상검지기의 교통량 정확도 평가를 위하여 직진과 좌회전차로에 대한 분석을 실시하였다. 교통량 분석자료는 342주기, 8,673대 자료를 분석하였으며, 3차의 17회 실험중 등가계수, % 차이, 상관관계 등의 평가지표에 대한 측정정확도 평가결과

과는 다음의 〈표 5〉와 같았다. [그림 4(a)]는 전체 실험중에서 샘플링한 1회 실험의 측정치와 기준치를 비교한 것이며, [그림 4(b)]는 실험횟수별 점유와 비점유시간의 정확도 변화추이를 참여업체별로 나타낸 것이다.

〈표 5〉 영상검지기 교통량 정확도 평가결과

구분	교통조건별	교통량 측정정확도(직진 차로)									교통량 측정정확도(좌회전 차로)					
		A사			B사			C사			A사			B사		
		등가 계수	% 차이	상관 계수	등가 계수	% 차이	상관 계수	등가 계수	% 차이	상관 계수	등가 계수	% 차이	상관 계수	등가 계수	% 차이	상관 계수
1차	오전 전이시간	0.87	20.86	0.90	0.78	36.93	0.62				0.77	36.71	0.61	0.58	97.47	0.65
	오후 전이시간	0.80	27.87	0.10	0.83	29.71	0.37				0.78	35.21	0.33	0.65	77.91	0.16
	오전 비첨두시간															
	오후 비첨두시간	0.96	6.30	0.96	0.76	56.18	0.70				0.78	33.86	0.16	0.48	194.0	-0.04
	오전 첨두시간	0.65	42.62	0.32	0.87	23.74	0.73				0.71	51.67	-0.01	0.40	271.7	0.49
	오후 첨두(야간)	0.77	35.71	0.47	0.85	25.07	0.66				0.65	55.05	-0.04	0.55	93.40	-0.15
	소계	0.81	26.67	0.55	0.81	34.32	0.61				0.73	42.50	0.21	0.53	146.9	0.22
2차	오전 전이시간	0.93	10.26	0.93	0.89	13.67	0.87				0.70	34.57	0.46	0.56	95.38	-0.07
	오후 전이시간	0.95	7.19	0.95	0.91	16.13	0.86				0.79	25.86	0.56	0.77	46.55	0.71
	오전 비첨두시간															
	오후 비첨두시간	0.94	9.15	0.49	0.88	24.43	0.71				0.79	27.32	0.10	0.76	43.87	0.02
	오전 첨두시간	0.95	8.53	0.32	0.92	14.27	0.54				0.78	37.37	0.45	0.65	95.96	0.45
	오후 첨두(야간)	0.93	11.96	0.93	0.85	33.15	0.87				0.72	47.06	0.12	0.72	43.14	0.12
	소계	0.94	9.41	0.72	0.89	20.33	0.77				0.75	34.43	0.33	0.69	64.98	0.24
3차	오전 전이시간	0.95	5.25	0.97				0.94	29.37	0.28	0.87	17.81	0.87			
	오후 전이시간	0.93	10.59	0.95				0.81	32.14	0.84	0.83	25.70	0.83			
	오전 비첨두시간															
	오후 비첨두시간							0.87	20.03	0.67						
	오전 첨두시간	0.94	9.67	0.98				0.88	20.16	0.83	0.88	21.67	0.81			
	오후 첨두(야간)	0.95	9.12	0.99							0.87	17.5	0.80			
	소계	0.94	8.65	0.97				0.87	25.42	0.65	0.86	20.67	0.82			
총계		0.90	14.91	0.75	0.85	27.33	0.69	0.87	25.42	0.65	0.78	32.53	0.45	0.61	105.94	0.23



[그림 5] 교통량의 측정치와 기준치 비교 및 실험횟수별 정확도 변화추이

직진차로의 교통량 측정정확도는 A사의 경우에 등가계수가 0.90, % 차이가 약 15%로 가장 좋았으며, 다음으로는 C사, B사 순이다. 참여업체의 제품간 차이는 있지만 A사의 1차 실험결과를 제외하고는 영상검지기술의 교통조건별 정확도는 첨두시와 비첨두시의 성능 차이는 없었다. 주야간 구분과 전이시간대의 교통량 정확도는 1차의 경우에 야간이나 전이시간에 성능이 떨어지는 것으로 나타났다. 검지 알고리즘을 보완한 3차 실험에서는 야간시간대의 성능이 주간보다 등가계수나 % 차이에서 다소 떨어지긴 하지만 주야간 측정정확도에 차이를 나타내지 않았다.

○ 점유시간과 비점유시간 정확도 평가결과

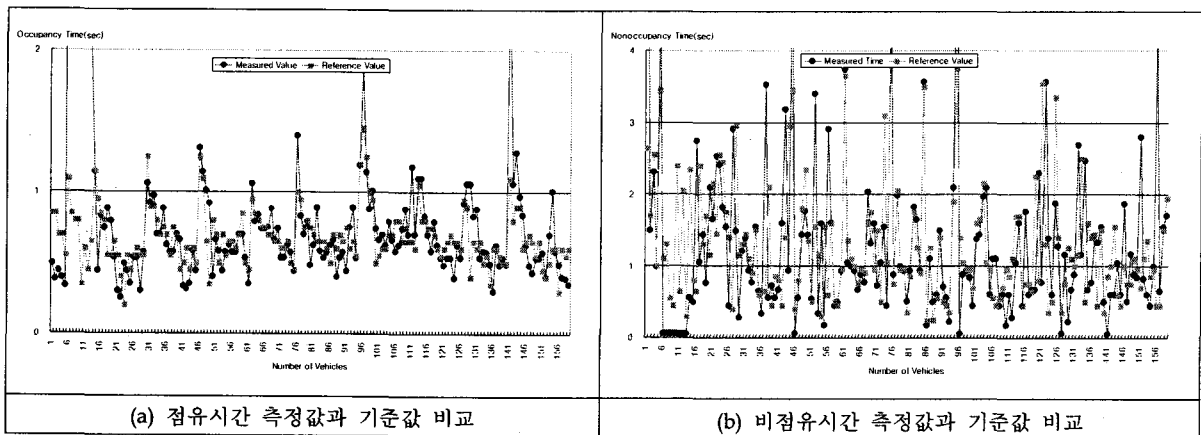
점유와 비점유시간 정확도 평가는 교통조건별, 주야별, 그리고 전이시간대로 구분하였으며, 분석 자료는 교통량 정확도 결과를 토대로 주기별 개별 차량이 일치하는 주기를 추출하였다. 주기별 교통량이 달라 개별차량의 측정치와 기준치를 일치시키기 어려운 주기는 제외시켰다. 측정정확도 분석은 총 15회 실험에서 추출한 212주기 3,687대를 분석하였으며, 교통조건별, 주야별, 그리고 전이시

간대의 점유와 비점유시간 분석결과는 <표 6>과 같았다. [그림 5]는 전체 실험중에서 샘플링한 1회 실험의 점유와 비점유시간의 측정치와 기준치를 비교한 것이며, [그림 6]은 실험횟수별 점유와 비점유시간의 정확도 변화추이를 참여업체별로 나타낸 것이다.

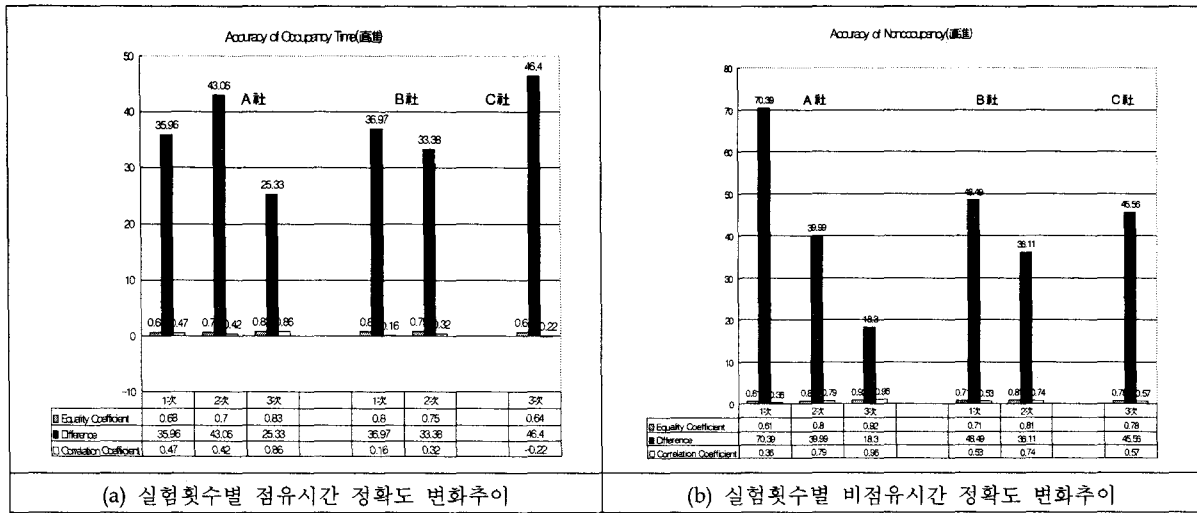
점유시간 측정정확도는 3개사의 등가계수 평균이 0.72이며, % 차이는 39%로서, 기존의 연속류 상황의 평가결과보다는 매우 낮았다. 그러나 3차에 걸친 단계별 평가결과는 실험횟수가 증가할수록 점유시간의 정확도가 A사의 경우 등가계수는 0.83, % 차이는 23%까지 향상되었다. 참여업체간 차이는 있지만 교통조건별 점유시간의 정확도는 첨두시와 비첨두시의 성능 차이가 거의 없었으며, 주야간 구분에서는 야간이 취약한 것으로 나타났다. 또한 전이시간대의 정확도는 다소 낮으나 큰 차이는 없었다. 비점유시간 측정정확도는 점유시간 평가결과와 유사하였으며, 특히 3차에 걸친 단계별 실험중에서 3차 실험은 등가계수가 0.92, % 차이가 18%로 나타나 기존의 연속류 평가결과에 거의 근접하는 것으로 나타났다.

〈표 6〉 점유와 비점유시간 정확도 평가결과

구분	교통조건별	점유시간 측정정확도(직진 차로)									점유시간 측정정확도(직진 차로)									
		A사			B사			C사			A사			B사			C사			
		등가 계수	% 차이	상관 계수	등가 계수	% 차이	상관 계수	등가 계수	% 차이	상관 계수	등가 계수	% 차이	상관 계수	등가 계수	% 차이	상관 계수	등가 계수	% 차이	상관 계수	
1차	오전 전이시간	0.5	52.54	0.24	0.77	53.94	0.38	-			0.5	52.54	0.24	0.77	39.24	0.79				
	오후 전이시간	0.79	28.69	0.48	0.77	44.66	0.03			0.79	28.69	0.48	0.77	66.92	0.37					
	오전 비침두시간																			
	오후 비침두시간	0.85	16.86	0.57	0.83	23.08	0.21			0.85	16.86	0.57	0.83	42.86	0.54					
	오전 침두시간	0.60	30.90	0.58	0.86	22.52	0.24			0.60	30.90	0.58	0.86	27.79	0.75					
	오후 침두(야간)	0.68	50.84	0.48	0.78	40.66	-0.03			0.68	50.84	0.48	0.78	65.65	0.21					
	소계	0.68	35.96	0.47	0.80	36.97	0.16			0.68	35.96	0.47	0.80	48.49	0.53					
2차	오전 전이시간	0.67	48.21	0.34	0.82	25.46	0.50			0.67	48.21	0.34	0.82	12.04	0.97					
	오후 전이시간	0.73	41.23	0.56	0.76	34.99	0.42			0.73	41.23	0.56	0.76	27.64	0.91					
	오전 비침두시간																			
	오후 비침두시간	0.75	33.02	0.30	0.64	43.84	0.15			0.75	33.02	0.30	0.64	65.66	0.52					
	오전 침두시간	0.81	29.29	0.54	0.79	29.32	0.04			0.81	29.29	0.54	0.79	44.96	0.45					
	오후 침두(야간)	0.56	63.58	0.36	0.78	33.29	0.53			0.56	63.58	0.36	0.78	30.27	0.86					
	소계	0.70	43.06	0.42	0.75	33.38	0.32			0.70	43.06	0.42	0.75	36.11	0.74					
3차	오전 전이시간	0.78	29.43	0.86				0.5	59.64	-0.01	0.78	29.43	0.86				0.94	17.46	0.99	
	오후 전이시간	0.91	11.04	0.89				0.69	41.57	0.04	0.91	11.04	0.89				0.63	77.33	0.27	
	오전 비침두시간																			
	오후 비침두시간							0.68	39.28	0.07								0.68	62.27	0.04
	오전 침두시간	0.87	34.01	0.96				0.71	45.14	-0.99	0.87	34.01	0.96					0.89	25.20	0.99
	오후 침두(야간)	0.79	26.87	0.75							0.79	26.87	0.75							
	소계	0.83	25.33	0.86				0.64	46.40	-0.22	0.83	25.33	0.86					0.78	45.56	0.57
총계	0.74	34.78	0.58	0.78	35.18	0.24	0.64	46.40	-0.22	0.74	34.78	0.58	0.78	42.30	0.64	0.78	45.56	0.57		



[그림 6] 점유와 비점유시간의 측정치와 기준치 비교(영상검지기)



[그림7] 점유와 비점유시간의 실험횟수별 정확도 변화추이

○ 대기행렬 평가결과

대기행렬 현장실험은 총 50주기(2분 30초 주기)의 자료를 수집하였다. 기상조건은 흐린 날씨였으며, 30주기 이후부터는 비가 내려 차량들이 라이트를 켜는 상황이었다. 대기행렬 평가지표는 % 차이를 사용하였으며, 대기행렬 길이 산정은 주기 끝에 정지한 마지막 차량까지의 길이를 기준으로 하였다. 영상검지기의 대기행렬 평가결과는 다음의 <표 7>과 같다.

<표 7> 영상검지기 대기행렬 평가결과

구분	% 차이(%)		비고
	직진 2차로	직진 3차로	
A사	40.6	39.7	50주기자료 기준
B사	36.1	-	28주기자료 기준

3. 종합평가

현장평가실험은 단속류 교통상황에서의 신호제어용 평가항목인 교통량, 점유시간, 비점유시간에 대한 검지기별 측정정확도 평가와 시스템 설치 및 운영에 대한 정성적인 평가를 실시하였다. 현장평

가 실험을 토대로 대체검지기에 대한 종합적인 평가내용을 요약하면 다음과 같다.

- 단속류 상황에 대한 개별차량의 교통변수 측정정확도는 루프검지기보다 상당히 낮았으며, 기존의 평가에서 수행된 연속류 상황의 평가 결과보다도 매우 낮게 나타났다. 따라서 영상검지기는 현 검지기 기술 단계에서는 신호제어용 정지선 검지기의 역할을 수행하기에는 이르다.
- 그러나 3차에 걸친 검지시스템의 알고리즘을

수정하고 보완한 결과 그 정확도가 개선되는 것을 확인할 수 있기 때문에 단속류 교통상황에 맞는 알고리즘 개발시 신호제어용 대체검지기로서 그 가능성이 높다고 판단된다.

- 전반적으로 정확도 평가결과, 교통조건별, 주야별, 그리고 전이시간대의 영상검지기의 % 차이가 심하지만, 기존 연구결과에서 취약성

을 나타낸 야간 및 전이시간대의 성능이 주간 시간대와 큰 차이를 나타내지는 않았다. 이는 기존의 평가실험에서 연속류 교통상황에 기반한 하드웨어 및 소프트웨어 개발에 주력한 결과이며, 검지 알고리즘, 검지영역 설정방법, 영상처리 방법 등의 개선으로 충분히 극복할 수 있을 것으로 판단된다.

- 단, 본 현장실험에서는 다양한 기상조건하에서 발생할 수 있는 영상검지기의 성능저하 측면에 대한 실험이 충분히 수행되지 않아 전체적인 대체 가능성에 대하여는 판단하기 곤란하였다.
- 영상검지기에 대한 대체 가능성 판단은 추후 단속류 상황에 적용할 수 있는 검지시스템 개발과 기상조건 등의 영향에 대한 지속적인 현장실험을 통하여 결정할 필요가 있다.

위와 같은 평가실험 결과를 토대로 우수한 대체 검지기를 한국의 검지기시장에 확대하기 위해서는 먼저 성능평가지침의 제정이 필요하며, 이외에도 평가방법론 정립, 공인평가기관 지정, 상시평가설비 구축 등의 작업이 선행되어야 한다고 지적하고 있다. 이를 통해 향후 검지시스템의 성능향상을 유도되고 공신력 있는 장비가 설치될 것으로 기대된다.

IV. 결론

현재까지 검지기 시장은 국내외를 막론하고 루프검지기의 점유율이 가장 높다. 그러나 일본의 경우 거의 전적으로 초음파 검지기에 의존하고 있으며, 기타 국가들에서는 영상과 초단파검지기로 급속히 대체되고 있다. 한국은 고속도로를 중심으로 영상검지기의 설치개소수가 급속히 증가하고 있는 추세이다. 지금까지 한국에서 이루어진 검지기 종류별 평가는 단속류 보다는 연속류 상황에 대한 평가로 제한되어 왔다. 영상검지기의 경우 연속교통류 상황의 15분 혹은 5분 단위의 점유율, 교통량, 속도 등의 교통변수 측정정확도는 검지시스템의 요구사항을 충족하는 것으로 나타났다. 기존의 현장실험과는 달리 특정 검지기 자체에 대한 평가가 아닌 검지기반기술에 대한 적용 가능성 평가에 주안점을 두고, 단속류 상황의 주기별 전술자료의 측정정확도를 평가하였다. 그러나 평가결과 역시 15분 단위의 이력자료나 5분단위의 전락자료 수집에는 활용가능성이 높으나, 신호주기별 또는 그보다 짧은 시간대에 걸쳐 수집되는 측정정확도는 아직까지 루프검지기의 수준에 미치지 못하는 것으로 나타났다. 이에 대한 개선점은 앞으로의 연구과제로 남겨야 둔다.

참 고 문 헌

1. 한국도로공사, 영상식 차량감지장치 성능평가 평가 보고서, 1999. 9.
2. 서울특별시 지방경찰청, 교통신호제어시스템 개발 연구용역 시행 1차년도 결과보고서, 1991. 10.
3. 서울지방경찰청, 첨단교통신호시스템 시범 설치공사 설계사양 및 공사시방서, 1996. 7.
4. 서울시립대, 도시 가로상에서 교통정보수집을 위한 비매설형 검지기의 성능평가 연구, 1998. 11.
5. 아주대학교 교통연구센터, 노측용 차량감지장치 현장시험 정확도 측정 평가, 1998. 11.
6. 아주대학교 교통연구센터, 고속도로 교통관리시스템(FTMS)을 위한 MCD 평가실험, 1998. 7.
7. 오리엔탈 전자시스템(주), 영상검지기 검정, 1997. 11.
8. 도로교통안전관리공단, 영상검지체계 실용화 검증 및 확대방안 연구, 1996. 12.
9. 도로교통안전관리공단, 첨단도로교통체계 기본계획(안) 수립 연구, 1995. 12.
10. 도로교통안전관리공단, 도시고속도로 안전관리 종합대책, 1997. 12.
11. 도로교통안전관리공단, 첨단도로교통체계 구축에 관한 연구, 1996. 12.
12. 건설교통부, 수도권 도로 교통정보관리체계 구축 기본설계 및 평가연구, 1997. 12.
13. 국토개발연구원, 도로교통량 조사체계 및 장비에 관한 연구, 1993. 4.
14. LG산전(주), 마이크로웨이브(Microwave) 검지기 특성에 관한 실험, 1994. 11.
15. 김수희, (교통공학 석사논문), 자석검지기를 이용한 차종인식 알고리즘 개발, 1999. 8.
16. 도로교통안전관리공단, 신교통신호제어시스템 개선에 관한 연구, 1994. 12.
17. 도로교통안전관리공단, 첨단교통신호제어 관리시스템 공동개발사업, 1997. 12.
18. 서울지방경찰청, 신신호시스템 기능개선 용역, 1999. 11.
19. 교통개발연구원, 과천 ITS 시범사업 사례를 통한 ITS사업의 발전적 추진방안에 관한 연구. 1999. 12.
20. Japan Traffic Management Technology Association, ITS Developed by Japanese Police, 1999.

21. Transport Technology Publishing, Advanced Traffic Detection, 1995.
22. FHWA, Detection Technology for IVHS(Executive Summary), 1995.
23. FHWA, Non-Intrusive Technologies(NIT) Phase I & II, 1998.
24. California Polytechnic State University, Evaluation of Video Image Technology Application in Highway Operation(Phase II), 1994. 12.
25. FHWA, Detection Technology(IVHS Volume 1), 1996. 6.
26. ITS International, Detection Systems Elemental Approach, 1999. 9.
27. City of Lincoln Traffic Studies, Traffic Studies Evaluation for Lincoln's Arterial Street System, 1999. 1.
28. TRB, Annual Meeting, Deployment of State-of-the-Art Technology for Incident Management(The Gowanus Expressway Project), 1999.
25. Traffic Technology International, Video Detection the Atlanta Experience, 1997. 1.
26. ASCE, Recent Advances in Implementation of Machine Vision Technology in Freeway, 1998. 1.
27. Traffic Technology International, Marriage Made in Michigan (Autoscope TM and SCATS together in FAST-TRAC), 1997. 9.
28. Cal Poly University, Machine Vision Technology, 1998.
29. California Polytechnic State University, Evaluation of Video Image Processing Technology(Application in Highway Operation, Phase II), 1998.
30. Image Sensing Systems, Inc., AUTOSCOPE TM Wide Area Video Vehicle Detection System, 1991.
31. Ljubisa Ristic, Artech House, Sensor Technology and Devices, 1994.