

■ 技術研究 ■

# 차량검지기 성능평가 방안에 관한 연구

(내부순환로 교통관리시스템 영상검지기를 중심으로)

A study on testing the ability of Vehicle Detection System in ATMS

김 대 호

(서울특별시 교통관리실 교통운영개선기획단장)

김 승 일

(서울특별시 교통관리실 교통운영개선기획단)

## 목 차

- I. 서론
  - II. 차량검지기 성능평가 사례 분석
    - 1. 해외사례
    - 2. 국내사례
  - III. 내부순환로 교통관리시스템 영상검지기 평가방안
    - 1. 내부순환로 교통관리시스템
    - 2. 영상검지기 설치현황
    - 3. 영상검지기 평가방안
  - IV. 영상검지기 튜닝 및 정확도 제고추진
    - 1. 튜닝과정
    - 2. 주요 오차발생 원인 분석
    - 3. 정확도 제고방안 추진
    - 4. 성능 유지관리 방안
  - V. 내부순환로 영상검지기 평가결과
  - VI. 결론 및 향후 연구과제
- 참고문헌

Key Words : 검지기, 영상검지기, 지능형교통시스템, 내부순환로, 첨단교통관리체계(ATMS), 성능평가

## 요 약

현재 다양한 교통정보 서비스와 소통수준 제고를 목표로 국내 여러 도시에서 진행중인 첨단교통관리체계(ATMS)사업이 운영 또는 구축중에 있으며 도로상의 교통정보를 보다 정확히 수집하기 위해 다양한 종류의 차량검지시스템이 도입되고 있으나 기존 국내의 사례를 볼 때 제반 검지기의 성능평가 방안이 사업별로 상이한 기준으로 진행되었으며 객관적인 성능수준을 제시하지는 못하고 있는 것으로 나타났다.

이에 검지시스템의 성능을 평가하기 위한 과정을 최근의 서울시 내부순환로 교통관리시스템의 사례를 토대로 고찰한 결과 시공단계에서 지속적인 튜닝과 성능제고방안을 추진한다면 상당한 수준의 정확도 확보를 기대할 수 있음을 알 수 있었다. 또한 제시된 평가방안은 향후 보완을 거쳐 타 시스템에 있어 초기설치시 또는 유지관리시 성능의 척도로서 목표를 선정하고 활용하는 데 있어 하나의 대안으로 제시할 수 있을 것이다.

이에 제반 ATMS관련 연구기관에서는 시스템의 성능과 정확성을 좌우한다 해도 과언이 아닌 차량 검지기에 대한 성능평가 기준의 표준화 방안에 대한 연구를 진행하여, 검지기 성능제고를 위한 객관적인 기준목표와 각 검지기별 평가기준의 표준화 방안을 제시한다면 통행시간, 속도 등 제공정보의 신뢰성을 상당수준 향상시킴과 동시에 사업시행에 따른 시행착오를 최소화할 수 있을 것으로 기대한다.

## 1. 서론

현재 다양한 교통정보 서비스와 소통수준 제고를 목표로 국내 여러 도시에서 진행중인 첨단교통관리체계(ATMS)사업이 운영 또는 구축 중에 있으며 도로상의 교통정보를 보다 정확히 수집하기 위해 다양한 종류의 차량검지시스템이 도입되고 있다. 이에 검지시스템의 성능을 평가하기 위한 기준을 서울시 내부순환로 교통관리시스템의 사례를 토대로 고찰하여 향후 사업과 시스템에 있어 객관적이고 체계적인 성능평가기준 마련에 기여하고자 한다.

### 1. 차량검지기의 종류

현재 교통관리시스템에 설치되는 차량검지기는 정보수집방식에 따라 지점검지 방식과 공간검지 방식이 있으며 지점검지방식의 장비는 검지센서 종류, 검지원리, 매설여부 등에 따라 <표 1>과 같이 구분할 수 있다.

또한 비컨, 차량 영상인식장치, DSRC 등을 이용한 통행시간을 기반으로 정보를 얻는 AVI(Automatic Vehicle Identification)로 주로 통칭되는 구간검지 방식에는 <표 2>와 같은 종류가 있다.

<표 1> 지점식 차량검지기의 종류<sup>1)</sup>

분류방식	종류
검지센서	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 압력식 검지기(Pressure Detectors)</li> <li>· 초음파 검지기(Ultrasonic Detectors)</li> <li>· 적외선 검지기(Infrared Detectors)</li> <li>· 루프검지기(Inductive Loop Detectors)</li> <li>· 초단파 검지기(Microwave Detectors)</li> <li>· 영상 검지기(Image Detectors)</li> </ul>
검지원리	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 기계적 신호를 전기신호로 변환시켜 검지(압력식 검지기, 피에조 검지기, 누름식 검지기 등)</li> <li>· 전자기계적 신호를 전기신호로 변환시켜 검지(루프, 초음파, 영상, 자기검지기 등)</li> </ul>
검지센서 매설여부	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 매설형 : 루프검지기, 피에조검지기 등 WIM(Weigh in Motion) 검지기</li> <li>· 비매설형 : 초음파, 초단파, 적외선, 영상검지기 등</li> </ul>

<표 2> 공간(구간)검지체계의 종류

구분	개요
GPS 방식	<ul style="list-style-type: none"> <li>· GPS 단말기를 장착한 차량의 위치 및 시간정보를 이용하여 도로구간의 통행시간을 추정</li> <li>· 전송된 차량의 좌표형 정보를 도로 네트워크에 매칭시키는 map matching 작업으로 수행</li> </ul>
Probe 차량방식 (비컨, DSRC)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 단말기를 탑재한 차량이 주행을 하여 위치비콘을 통과한 시간을 통해 센터로 송신하는 방식을 취함</li> <li>· 기록된 시간차를 이용하여 특정구간의 통행시간 및 통행속도를 추정함</li> <li>· 비컨방식은 현재 국내 민간업체에서 주로 택시 등 다수의 법인차량을 probe차량으로 활용하여 정보를 생성중</li> <li>· DSRC(Dedicated short Range Communication) 방식은 양방향 통신으로 센터와 차량간 상호정보교환이 가능</li> </ul>
이미지 인식방식	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 이미지프로세싱으로 번호판을 인식 정보 수집</li> <li>· 구간 진출입부에서 통과차량 번호판을 인식을 하고 센터로 송신하여 평균 통행시간을 산출</li> </ul>

## 2. 차량검지기별 특성 분석

각 검지기 시스템은 가격, 정확도, 설치요건, 유지관리의 편리성 등에서 다소 차이를 보이기 때문에 각 사업별로 현장여건과 경제성을 고려하여 설치할 수 있다. 국내에서는 1980년대 서울시 전자신호체계를 도입하면서 루프검지기를 주로 활용하고 있으며 최근 영상검지기를 도입하여 활용하는 중이다.

공간검지기는 최근 국내 각종 ATMS시스템에 본격적으로 도입이 되고 있는데 주로 프로브 차량의 제한으로 인한 샘플수의 한계가 문제점으로 제시되고 있다. GPS나 비컨을 활용한 시스템은 국내에서는 주로 민간 교통정보업체에서 활용중에 있으며 최근 대전시에서 DSRC를, 서울 남산권 교통관리시스템에서 이미지 인식방식을 이용한 정보를 활용중에 있다.

### 3. 내부순환로 교통관리시스템 영상검지기 선정사유

내부순환로 교통관리시스템의 경우 상기 여러 종의 검지기를 비교하여 다음과 같은 사유로 영상검지시스템을 도입하였다.

1) 차량용 대체검지기 활용방안 연구, 건설기술연구원, 1999.2) 차량용 대체검지기 활용방안 연구, 건설기술연구원, 1999

〈표 3〉 지점검지기별 장단점<sup>2)</sup>

검지기	구분					장단점
	신뢰도	설치 난이도	수명	차로 구분	존재 검지	
루프	◎	△	○	○	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>노면강도 따라 수명 좌우</li> <li>유지관리가 어렵다</li> <li>설치시 교통방해</li> </ul>
초음파	○	○	○	○	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>강풍의 영향에 민감</li> <li>상대적 구매설치비 과다</li> </ul>
초단파	-	○	○	○	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>설치 쉽고 교통통제 불필요</li> <li>설치시 전문인 필요</li> </ul>
영상	○	○	○	○	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>설치 쉽고 교통통제 불필요</li> <li>대기행렬, 돌발사태 검지우수</li> <li>야간, 일출, 일몰시 검지 능력 저하</li> </ul>

〈표 4〉 공간(구간)검지체계 별 장단점

구분	장단점
GPS 방식	<ul style="list-style-type: none"> <li>현장 정보수집 시설물의 설치가 불필요</li> <li>차량의 위치 추적이 가능하여 BIS 등의 ITS사업에 폭넓게 이용이 가능</li> <li>도로 Network의 선형이 좋지 않은 구간에선 Map Matching에 어려움</li> <li>GPS단말기를 장착한 차량이 충분치 않을 경우 정보의 신뢰성 확보 어려움</li> </ul>
Probe 차량방식	<ul style="list-style-type: none"> <li>DSRC 방식은 운전자에 실시간 정보제공 가능</li> <li>차량의 위치 추적이 가능하여 BIS 등의 ITS사업에 폭넓게 이용이 가능</li> <li>정보수집대상구간 주행 프로브차량 댓수가 적정수준 이상이어야 신뢰성있는 통행시간 정보 수집가능</li> </ul>
이미지 인식방식	<ul style="list-style-type: none"> <li>번호판 인식을 저하시 신뢰성 낮은 경우 발생                         <ul style="list-style-type: none"> <li>정체로 차간간격 짧은 곳</li> <li>엇갈림현상이나 차선 미준수현상이 심한 곳</li> </ul> </li> </ul>

- ① 설치 및 유지보수가 용이하고 설치시 교통통제로 인한 영향이 적다.
- ② 전송되는 화면을 통해 돌발상황 경보 및 소통상황의 즉각적 확인이 가능하다.
- ③ 별도의 구조물이 필요 없이 기존의 가로등, 터널의 경우 환기구 등의 시설물에 설치가 가능하며 이 경우 사업구간 전차로인 3~5차로의 검지가 가능하다

지속적으로 진행되고 있으며 설치되는 검지기 또한 다양한데 최근의 사례를 살펴보면 미국의 경우 Georgia 주 교통국에서 실시한 영상검지기 성능평가의 사례와 홍콩 Cheung Tsing터널에 설치한 영상검지기 성능평가의 사례가 있다.

두 경우 역시 각 사업의 현장여건과 특성에 따라 자체적인 검수기준을 적용한 것으로 나타났으며 오히려 전체 누적교통량을 실측치와 비교하는 방법으로 국내사례에 비해 다소 관대한 검수기준을 적용한 것으로 조사되었다.

## II. 차량검지기 성능평가 사례 분석

국내에서는 루프검지기의 대표검지기로서 영상검지기 외에 다양한 검지기를 사용한 사례가 드물며 이에 대한 성능평가방안 또한 각 사업 및 설치주체별로 다양하게 나타났다. 이에 국내외의 영상검지기 성능평가 자료를 비교 조사하여 다양한 방안을 고찰하기로 한다.

### 1. 해외사례

세계 각국에서도 지능형교통관리시스템의 도입이

### 2. 국내사례

국내에서 각 검지기의 성능을 검토한 사례는 한국도로공사의 FTMS시스템, 올림픽대로 교통관리시스템, 건설기술연구원의 차량용 대체검지기 활용방안 연구 등의 3건이 있는 것으로 파악되었다.

한국도로공사의 FTMS 성능평가(1999년)의 경우

2) 차량용 대체검지기 활용방안 연구, 건설기술연구원, 1999.

<표 5> 해외사례 분석

구분		Georgia주(GDOT I-285, 2001년)	홍콩 Cheung Tsing 터널(2001년)
검수대상		• 영상검지기 14개소(전체 140개소 중 10%)	• 영상검지기 24개소(전체 터널내부)
시간대		• 검지기별 1일 4시간 (오전, 오후점두시, 일출시, 일몰시 포함)	• 검지기별 무작위 약 5분
분석 방법	교통량	• 4시간 전검지기 누적 교통량비교(약 10만대) • 평가지표 (이상조건 95%, 기타구간 90%) (시간당 500대/차로, 총 1,000대 이상일 경우)	• 전 검지기 전시간대 누적교통량 비교 (방향별 1시간 누적교통량)
	속도	• 검지기 개별차량 자료와 실제차량 주행속도 (시험차량) 비교 • 평가지표(이상조건: 90%, 기타구간 85%)	• 미세시
평가		• 누적된 전체 교통량을 비교함으로써 분단위로 정보를 제공하는 본 시스템의 성능평가 방안으로써 불합리 • 시험차량 주행으로 속도 표본수의 한정	

<표 6> 국내사례 분석

구분	FTMS 영상검지기 성능평가(1999)	올림픽대로 시스템 학술연구(2001)	차량용 대체검지기 활용방안 연구(1999)
기관	한국도로공사	시정개발연구원	건설기술연구원
목적	대체검지기 선정용 영상 검지기비교	올림픽대로 시스템 성능평가	차량검지기별 성능평가(신호교차로)
검수 수량	영상검지기 4종	17개소 전수	영상검지기 3종 초단파, 자석검지기
검수 시간대	검지기당 연속된 50시간	검지기당 1분	오전점두, 비점두시 오후점두, 비점 두시 일출, 일몰시간대
검수 단위	5분	차로별 1분	시나리오별 약 50주기 및 개별차량 점유시간
검수 대상	교통량, 속도, 점유율	교통량, 속도	교통량, 점유시간, 대기행렬, 속도
평가 지표	등가계수 평균95%이상 선정조건	%오차율(별도 합격기준 없음)	등가계수, %오차, 상관계수 종합분 석(단순 비교분석)
비교 기준	루프검지기 측정치	시험차량 주행자료	비디오 프레임 분석검증(루프)후 루프검지기 측정치 활용(기타검지기)

기존의 루프검지기를 대체할 수 있는 장비를 채택하기 위해 각 제조사의 영상검지기의 성능을 동일한 위치의 루프검지기와 비교테스트를 실행하였으며 올림픽대로 시스템 학술연구(시정개발연구원, 2001년)에서는 1997년 구축된 올림픽대로 교통관리시스템에 설치된 영상검지기의 성능을 조사하고자 전체 17기의 성능을 실측을 통해 조사하였다.

차량용 대체검지기 활용방안 연구(건설기술연구원)에서는 기존에 널리 활용되고 있는 루프검지기의 대체검지기로서 영상검지기뿐만 아니라 초단파, 자석 등 다양한 검지기에 대한 비교 평가를 실시한 바 있다.

각 사례는 검수목적과 시기, 여건 등으로 성능 검수를 위해 각기 다른 다양한 시나리오 및 평가지표, 비교자료 추출방법을 보이고 있음을 알 수 있다.

<표 7> 국내사례별 결과 요약

구분	결과
FTMS 영상검지기 성능평가	4개 업체별 등가계수 평가로 제품 선정 • 교통량 : 업체별 0.94~0.97 • 속 도 : 업체별 0.94~0.96 • 점유율 : 업체별 0.76~0.96
올림픽대로 시스템학술연구	• 교통량 : 8.3~38.2 % 오차 • 속 도 : 0~240%오차 (저속시)
차량용 대체검지기 활용방안 연구	• 영상검지기 - 점유 및 비점유시간 : 34~46% - 교통량: 32~106% • 초단파검지기 - 점유 및 비점유시간 : 10~39% • 자석검지기 - 교통량 : 평균 2.2% - 점유 및 비점유시간 : 5~30% ※ 각종 대안별 상세 결과는 생략함

### 3. 사례분석 종합

국내의 상기 사례들을 살펴보면 각 사업별로 또한 목적별로 각기 다른 검수기준과 시나리오, 표본수 등을 각각 적용하여 평가를 한 것으로 판단되며, 평가를 위한 기준값 또한 루프검지기를 활용한 경우와 주행차량 시험법, 영상프레임 분석 등 다양한 방법을 사용하였다.

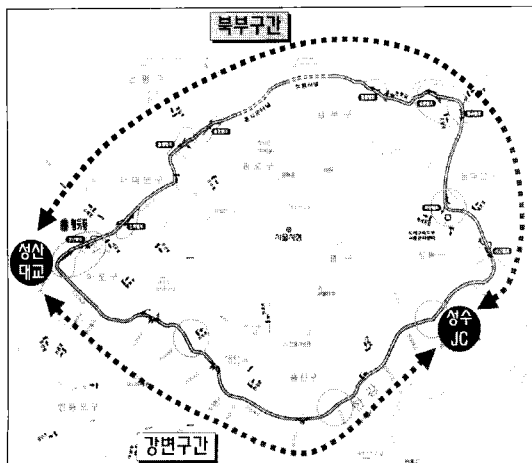
이는 각 시스템의 성격과 현장 및 기하구조 등 특성상 평가방안에 따라 어느 정도의 차이는 있을 수 있으나, 향후 추진될 각종 지능형 교통시스템 사업에 있어 정보수집체계인 검지기의 성능의 목표치를 설정하고 구현해 가는데 객관적이고 통일된 정보수집시스템의 성능평가 기준을 제시하지는 못하고 있는 실정이라 말할 수 있다.

## II. 내부순환로 교통관리시스템 차량검지기 평가방안

### 1. 내부순환로 교통관리시스템

서울시는 2002년 5월 준공을 목표로 내부순환로 40.1km에 교통관리시스템을 설치하여 교통정보 제공, 소통수준 관리, 돌발상황관리를 수행중에 있다.

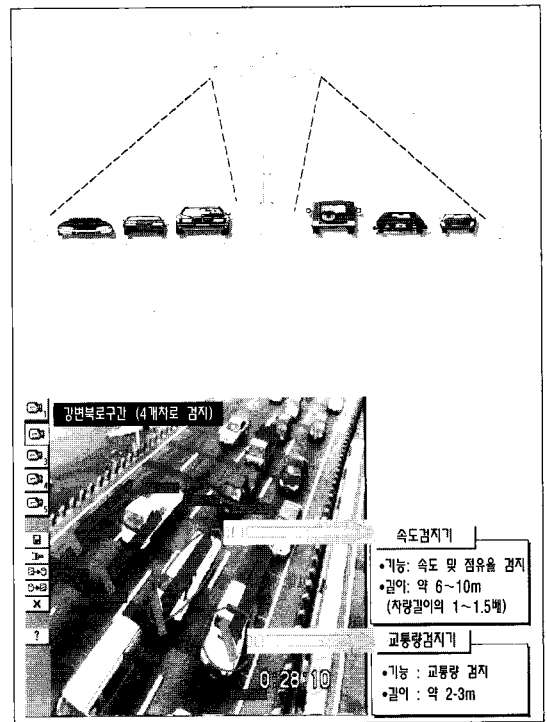
내부순환로 교통관리시스템 내역	
• 차량검지기 : 228개소(영상 : 216개소, 루프: 12개소)	
• 도로전광표지 : 65개소	• CCTV : 38개소
• 인터넷 및 ARS/FAX 서비스	• 무인단속시스템 : 26개소
• 진출입연결로제어시스템 : 12개소	



〈그림 1〉 내부순환로 현황

### 2. 내부순환로 교통관리시스템 영상검지기 현황

내부순환로 교통관리시스템에서는 교통정보 수집을 위해 신뢰도가 양호하며 생성정보의 신뢰성을 즉각 확인할 수 있고 설치 및 유지관리가 용이한 영상검지기를 도입하여 본선부에 500m, 터널부 250m 간격으로 설치하였다.(총216기 - 본선부 184개, 램프부 32기). 설치위치는 본선부의 경우 가로등에(높이 10m), 터널내부의 경우 천정 환기구(높이 5.25m)에 설치하여 전차로의 교통정보를 수집하도록 구현되어 있다.



〈그림 2〉 본선부 설치위치 및 영상검지화면

### 3. 내부순환로 교통관리시스템 영상검지기 평가방안

내부순환로의 검지기는 전체 검지기의 설치여건이 동일하지 않기 때문에 전체 검지기에 대해 현장설치 후 화면에서 검지기를 셋팅 → 실측자료와 비교분석 → 기준미달시 검지기 재튜닝하는 과정으로 진행하였다.

영상검지기 화면을 통해 교통량은 실측, 속도는 (1/30초)비디오프레임 분석과정을 거쳐 216개 전체 검지기에 대하여 평가기준에 만족하도록 반복적으로

재튜닝을 실시 성능을 제고하도록 하였다.

평가기준은 전문가의 자문을 거쳐 영상검지기의 가장 취약한 4개 시간대를 선정하고 각 시간대는 정보 생성 최소단위인 30초를 당초 고려하였으나 야간에 표본이 적어지는 상황이 발생할 우려가 있어 정보제공단위인 1분 단위 정보 30개(30분)의 실측치와 검지자료를 비교하는 방안을 선정하였으며 평가지표는 등가계수를 적용하는 방안과 %오차를 적용하는 방안이 있는데 각 지표는 다음과 같이 산정한다.

- 등가계수(Equality Coefficient) : 등가계수란 기준값에 대하여 측정값이 얼마나 접근하고 있는지 판별하기 위한 계수로서 만일 기준값과 측정값이 일치할 경우에는 등가계수가 1에 근접하며, 이 값의 범위는 0과 1사이의 값을 가진다.

$$\text{등가계수} = 1 - \frac{\sqrt{\sum_i [f_i - f_d]^2}}{\sqrt{\sum_i f_i^2} + \sqrt{\sum_i f_d^2}}$$

여기서,

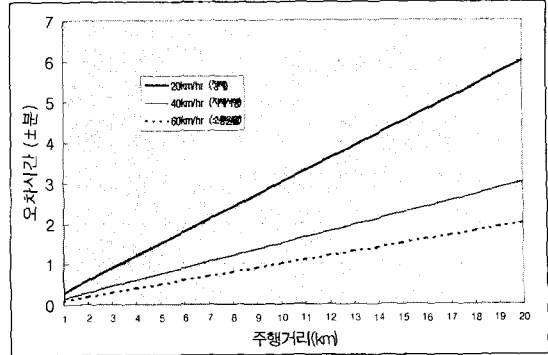
- $i$  :  $i$ 번째 단위시간
- $I$  : 얻어진 자료의 총 주기수
- $f_i$  :  $i$ 번째 단위시간에서의 실측자료 값
- $f_d$  :  $i$ 번째 단위시간에서의 대상자료 값

- 오차율(MAPE: Mean Average Percentage Error) : 실측치가 기준치에 대해 어느 정도의 오차를 나타내는지를 평가하는 방법임

$$\%오차율 = \frac{\sum \sqrt{(\text{검지자료} - \text{실측치})^2}}{\text{자료수}}$$

여기서 두 평가지표는 동일한 값을 적용하여도 그 값은 차이가 나타나는데, 등가계수의 경우 그 통계적 근거와 단위가 다소 모호하며 %라는 지표와 혼동하여 활용될 경우 우려가 있고 일반적으로 0.9이상의 수치를 제공하여 %오차에 비하여 상대적으로 상당히 수치변화의 민감도가 떨어지는 문제점이 있다.

이에 내부순환로 교통관리시스템에서는 등가계수가 아닌 평균%오차를 계산하여 전 시나리오에서 10%미



〈그림 3〉 평균통행속도별 10%오차시 절대오차시간

만을 합격기준으로 선정하였다.

오차율의 합격기준은 많은 논의가 있었으나 내부순환로의 경우 다음과 같이 선정하였다.

우선 이용자가 제공받는 정보의 절대적인 오차는 운전자가 납득할 만한 수준인 '5분'을 넘지 않도록 함을 목표로 하였는데, 이는 시스템 설계측의 직관적인 결정으로 향후 운전자의 설문조사 등의 연구를 통해 필요시 보완해야 할 것으로 보인다.

이에 따라, 내부순환로 시스템의 주요 정보제공 매체인 각 도로전광표지가 교통정보를 제공하게 되는 '관리구간'은 최대 약 20km이기 때문에 10%이하의 오차를 인정할 경우에는 〈그림 3〉에서처럼 전구간의 평균속도 20km/hr로 정체시(그 이하 속도의 극심한 정체의 경우 통행시간의 의미가 희박함)인 경우에도 표출되는 통행시간은 60분에서 최대 ±6분의 오차를 기록하게 되고 될 것이며, 20km 구간에 있어 약 500m 간격으로 설치한 검지기 약 40개 전 검지기가 모두 + 또는 -오차를 가질 때 가능한 상황으로 실제 오차는 5분 미만인 되기에 10%이상의 오차를 인정하지 않기로 하였다.

또한 타 도시고속도로 시스템에 있어도 관리구간은 20km내외로 이같은 기준을 적용할 수 있을 것으로 본다.

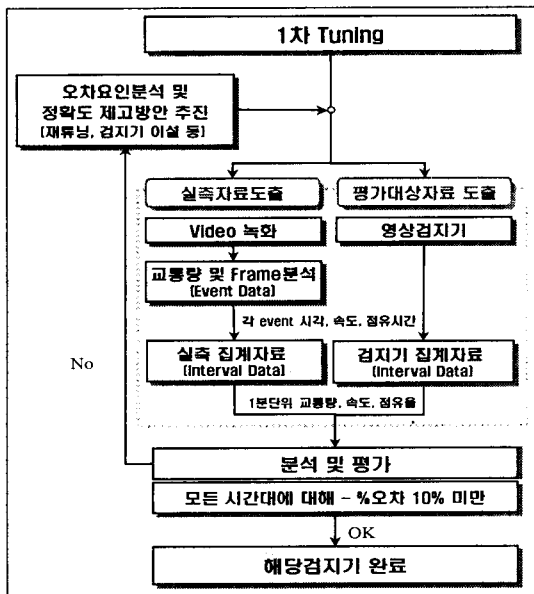
### III. 영상검지기 튜닝 및 정확도 제고추진

#### 1. 내부순환로 영상검지기의 튜닝과정

2001년 9월부터 2002년 3월까지 약 7개월에 걸쳐 진행된 정확도 검수과정에서 미개통램프 2개소를 제외한 214개 검지기는 평균 1.7회의 튜닝작업을 거쳐

〈표 8〉 내부순환로 영상검지기 평가방안

구분	평가기준	세부사항
평가 시간대	• 4개 시간대	• 일출전이, 주간혼잡, 일몰전이, 야간비혼잡(터널 내부의 경우 혼잡 및 비혼잡시간대) ※ 주간비혼잡, 야간혼잡시간대를 고려하였으나 일출전이와 주간비혼잡시간대가, 일몰전이와 야간혼잡시간대가 중복되어 제외
대상항목	• 교통량, 속도, 점유율	• 점유율의 경우 본선부, 터널부만 조사하되 검지기 특성상 속도 검증으로 대체
평가단위	• 시간대 시나리오별 각 30분	• 각 시간대별 1분 단위 표본 30개 ※ 30초 단위로 자료를 생성하나 야간의 경우 적은 교통량으로 20개 미만의 표본이 발생하므로 1분 단위 적용
평가지표	• %오차 10%미만	• MAPE. (Mean Average Percentage Error) 적용 $\%오차율(MAPE) = \frac{\sum \sqrt{(\text{검지기자료} - \text{실측치})^2}}{\text{자료수}}$



〈그림 4〉 검지기 튜닝절차

전체 검지기의 전체 시나리오가 10% 미만의 오차를 나타낼 수 있었다.

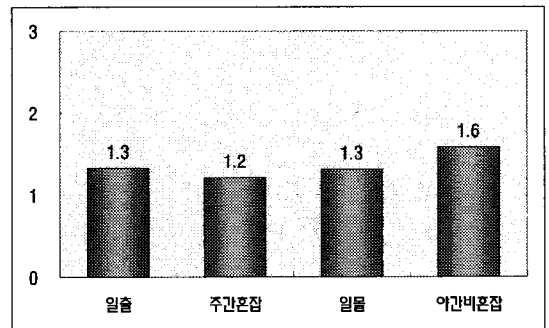
평가기준에 부합하지 않은 검지기에 대하여 조도 및 검지기 위치, 파라미터 조정 등의 튜닝기법을 활용하여 평가기준에 부합하도록 지속적 재튜닝을 실시한 결과 다음과 같이 오차율이 현저히 낮아지는 것으로 나타났으며 일정수준의 성능을 확보할 수 있었다.

구간별로는 램프부의 튜닝횟수가 평균 2.4회로 가장 많았는데 이는 진출입램프의 구배로 인한 햇빛반사 및 야간에 조도가 낮은 지역이 상대적으로 많은 점등이 요인으로 작용하였으며 교통량이 상대적으로 적어 표본의 수가 적은데도 기인한다고 볼 수 있다.

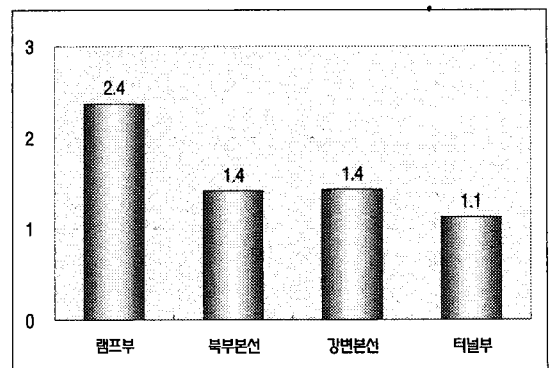
처음에는 터널 측면에 설치되어 정확도가 매우 낮

〈표 9〉 구간별 시나리오별 평균튜닝횟수

구분	일출	주간 혼잡	일몰	야간 비혼잡	총평균 튜닝횟수
램프부	1.5	1.5	1.7	2.0	2.4회
북부구간본선	1.2	1.1	1.2	1.4	1.4회
강변구간본선	1.2	1.1	1.2	1.4	1.5회
터널내부	-	1.1	-	1.1	1.1회
총평균	1.3	1.2	1.3	1.6	1.7회



〈그림 5〉 시나리오별 평균 튜닝횟수



〈그림 6〉 구간별 평균 튜닝횟수

있던 터널내부의 경우 1회 평가 후 즉시 터널상부로 이설작업이 진행된 후 합격률이 현저히 높아져 평균 튜닝횟수가 1.1로 매우 낮게 나타났다.

북부구간 본선부는 안정된 교통류와 엇갈림 현상이 적은 관계로 평균1.4회 튜닝을 시행하였으며 강변구간의 경우 북부구간 본선부와 유사하나 엇갈림현상 및 4차로 이상 검지로 인해 북부구간보다는 높은 튜닝횟수를 보였다.

시나리오별로는 야간비혼잡이 검지 가장 높은 평균 1.6회의 튜닝을 시행하여 영상검지기의 특성상 상대적으로 취약한 시간대임을 반영하였으며 일출 및 일몰시의 경우 햇빛에 의한 일시적인 장애로 1.3회의 튜닝을 진행하였다.

총평균 튜닝횟수는 각 시나리오별 튜닝횟수보다 항상 높음을 보이는데 이는 모든 시나리오가 평가기준을 만족할 때까지 재튜닝을 하는 평가방법과, 한 시나리오에 대해 튜닝된 결과는 기타 시나리오의 정확도에 영향을 주며 기인함을 알 수 있다.

## 2. 주요 오차발생 원인 분석

### 1) 주요 오차발생원인 종합

검수 진행결과 교통량, 속도의 오차발생원인을 종합적으로 파악한 결과, 영상검지기의 일반적 문제점과 함께 단위시간대 교통량이 적은 경우 등 검수방안 적용시 오차율이 왜곡되는 경우도 검수결과에 영향을 미치는 것으로 파악되었다.

### 2) 구간별 시간대별 오차발생 원인 분석

내부순환도로 검수 결과 구간별 오차원인은 다음과 같으며, 강변북로의 경우 대형차량의 차로간섭 현상으로 인한 오차가 발생하며 설치지점의 각도 및 일조의 영향 외에 램프부와 같이 단위시간당(1분) 교통량이 10대 내외로 낮을 경우 평가방법에 의한 %오차율 왜곡현상으로 평가기준에 못 미치는 경우가 다수 발생하였다.

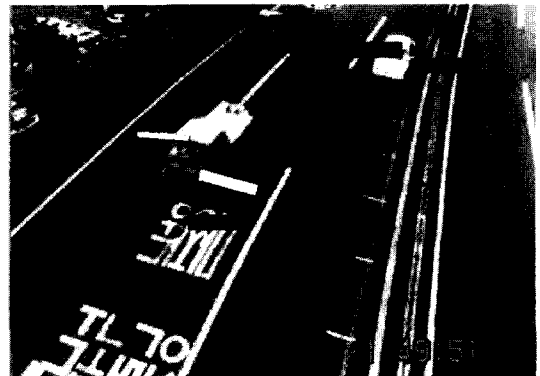
교통량의 경우 평균오차 방안을 적용할 경우 예를

〈표 10〉 주요오차원인분석

주요 오차원인	내용	비고
1. 대형차량의 차로간섭 및 차로변경차량	강변북로 등 대형차량의 교통량이 많은 구간에서 옆차로의 교통량에 영향을 줌	영상 검지기의 일반적 문제점
2. 광량의 급격한 변화	일출, 일몰시 등 광량의 변화가 심할 경우 또는 일조각도에 따라 검지기에 직사광선이 비칠 경우 검지율 저하	
3. 가로수 및 방음벽에 의한 그림자	위치에 따라 가로수 및 방음벽의 그림자에 따른 검지율 저하현상 발생	
4. 낮은조도	야간에 조도가 낮은 지역에 설치한 검지기의 성능저하	
5. 극심한 정체시	교통량은 실질적 성능으로 감안해야 하나 속도의 경우 검수기준 조정시 고려 필요	향후 검수 기준의 연구 필요
6. 낮은 교통량 및 속도시 상대적으로 큰 %오차율	교통량이 적을 경우 램프부에서 주로 발생	
7. 프레임분석에 의한 오차	차량속도에 따라 차별화된 기준 적용 필요	



〈그림 7〉 대형차량의 차로간섭

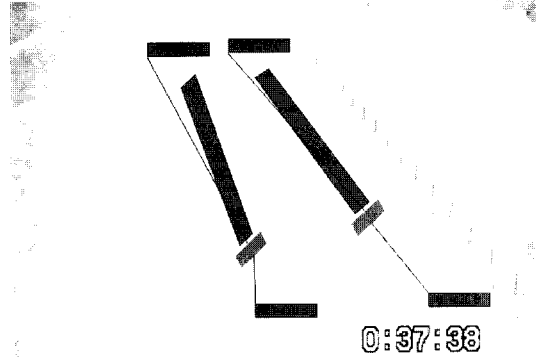


〈그림 8〉 차로 변경으로 인한 중복 검지

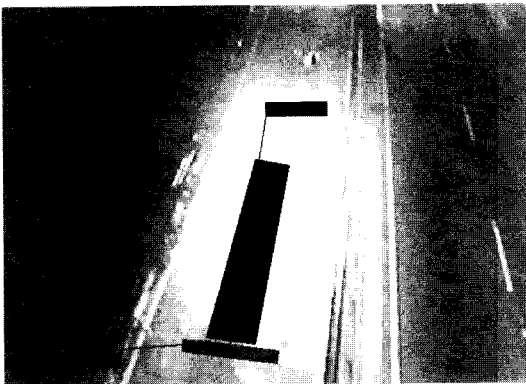




〈그림 9〉 가로수 그림자로 인한 광량 변화



〈그림 12〉 일출시 햇빛으로 인한 영향



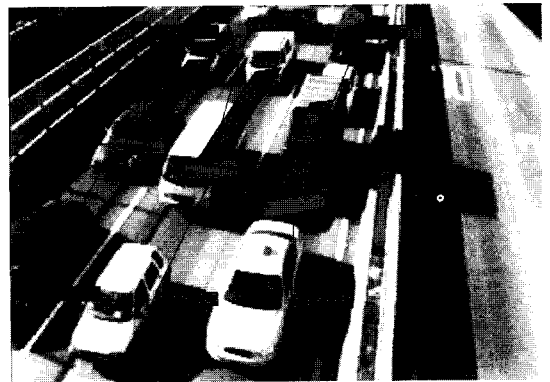
〈그림 10〉 헤드라이트로 인한 광량 변화



〈그림 13〉 야간의 낮은 조도



〈그림 11〉 방음벽 그림자로 인한 광량 대비



〈그림 14〉 심한 정체로 인한 중복검지

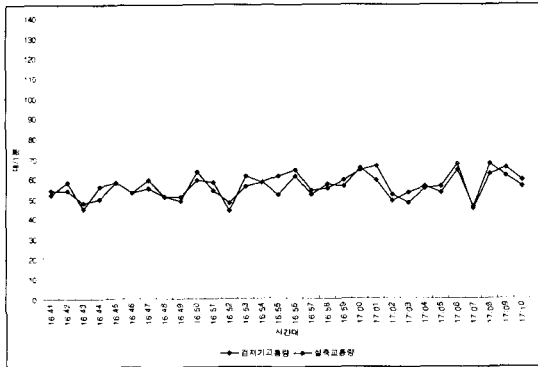
들어 야간비혼잡시 및 교통량이 적은 램프부의 경우 1분 단위시간당 교통량이 10대 내외인 경우가 다수 발생하는, 자료가 상관성을 보이면서도 오차율이 높아지는 현상을 보이는 왜곡현상이 발생하는 것으로 나타나 이런 경우의 평가지표에 대한 연구가 필요할 것으로 판단되었다.

속도오차의 경우 교통량과 마찬가지로 저속시 %오차가 왜곡되는 현상과 함께 고속 주행하는 차량의 속도 실측자료 도출시 프레임 분석에 의한 오차가 증가하는 현상이 빈번히 발생하였다.

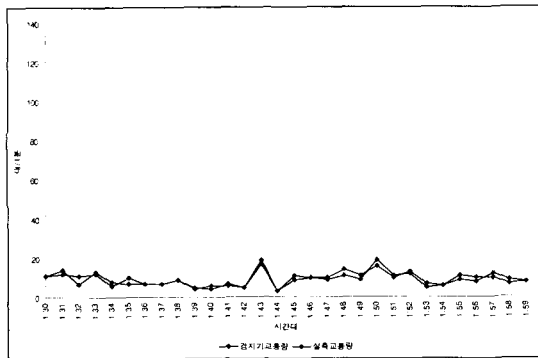
속도를 실측하기 위해 1/30초 프레임을 지원하는 비디오 장비로 분석할 경우, 조사원의 수동측정시 오

〈표 11〉 시간대별 오차발생 주요원인

구간	일출전이	주간혼잡	일몰전이	야간비혼잡	
램프	<ul style="list-style-type: none"> <li>낮은 교통량 %오차율 왜곡</li> <li>비디오 분석오차</li> <li>일부구간 햇빛에 노출</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>비디오 분석오차</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>일부구간 햇빛노출</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>낮은 교통량 %오차율 왜곡</li> <li>차량전조등 속도 오감지</li> <li>비디오 분석오차</li> <li>일부구간 낮은 조도</li> </ul>	
본선	강변	<ul style="list-style-type: none"> <li>양호</li> <li>가로수 영향</li> <li>비디오 분석오차</li> <li>일부구간 햇빛에 노출</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>대형차량 차로간섭 (4차로로 대형차량 통행이 많음)</li> <li>차로변경</li> <li>가로수 영향</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>대형차량 차로간섭</li> <li>차로변경</li> <li>가로수 영향</li> <li>햇빛에 노출</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>차량전조등</li> <li>일부구간 낮은 조도</li> <li>비디오 분석오차</li> </ul>
	북부	<ul style="list-style-type: none"> <li>양호</li> <li>비디오 분석오차</li> <li>일부구간 햇빛에 노출</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>양호</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>양호</li> <li>일부구간 햇빛에 노출</li> </ul>	

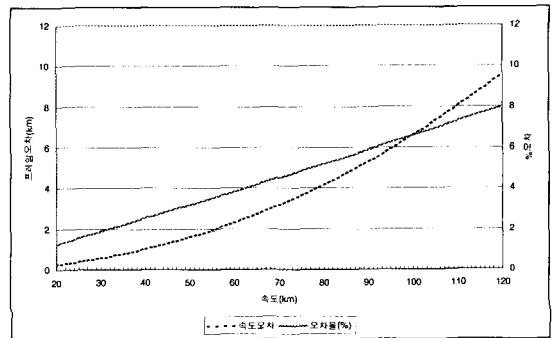


〈그림 15〉 주간혼잡시(%오차 : 5.6, 상관계수 : 0.91)  
: 합격



〈그림 16〉 야간비혼잡시(%오차 : 14.6, 상관계수 : 0.88)  
: 불합격

차가 발생할 수 있는데 차량당 평균 1프레임의 오차를 가진다 할 경우 그 영향은 측정상황이 고속일수록 측정오차는 증가한다. 즉 속도가 높아질수록 %오차의 변화량은 커지게 되므로 고속으로 주행하는 야간비혼잡의 경우 오차 범위가 더욱 커지게 된다.(시속



〈그림 17〉 1프레임 측정오차 발생시 속도에 따른 오차의 증가곡선

100km의 경우 약 6.5km의 속도 차이가 나게 되며 이 오차율은 약 6.5%에 이르게 됨) 속도에 따른 절대 속도 차이와 그에 따른 오차율의 변화량은 〈그림 17〉과 같다.

### 3. 정확도 제고방안 추진

#### 1) 지속적인 튜닝

앞서와 같이 영상검지기의 성능은 재튜닝을 진행함에 따라 성능이 현저히 향상함을 알 수 있다. 튜닝이란 영상의 각도 및 조도의 조정, 화면상 검지기의 설치위치 및 검지장비 고유의 옵션, 계수의 조정을 의미하는 것으로 영상검지기가 설치된 지점의 차량통행 패턴에 맞는 튜닝이 시행착오를 거쳐 정확히 이루어져야 함을 나타내며 튜닝과정에서 조정되는 내용에 따라 성능에 많은 차이를 나타낼 수 있음을 알 수 있다.

다음은 평가기준에 미치지 못하는 검지기의 튜닝단계별 평균 오차율 변화를 나타내는데 3차의 튜닝이 진행되었을 경우 오차율이 약 50% 저하됨을 보였다.

〈표 12〉 재튜닝 검지기 검증결과

구분	오차율(%)		합격율
	교통량	속도	
1차튜닝	9.8	10.5	15%
2차튜닝	8.0	9.0	41%
3차튜닝	5.6	5.8	100%

검지기 설치위치에 따라 본선 및 램프부도 뒤에서 언급할 터널부 검지기과 같이 overhead로 위치 조정 시 검지율이 향상될 수 있지만 튜닝만으로 일정수준의 정확도를 확보하여 시행하지는 않았으나 가능한 현 높이의 도로 중앙상부에 검지기를 설치할 수 있다면 상당수준 정확도와 안정성을 확보할 수 있을 것이다.

2) 터널부 검지기 위치조정

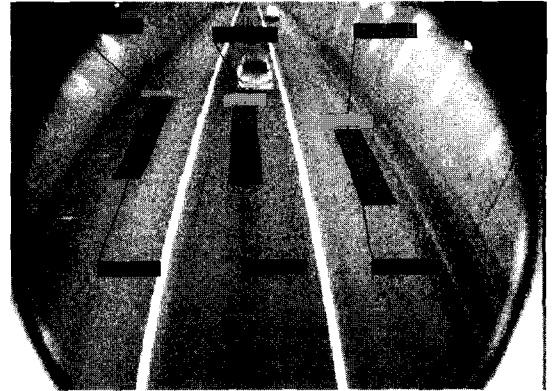
내부순환로의 터널 내부에 설치된 영상검지기는 초기에는 측벽에 설치되어 낮은 설치위치로 인한 차로 간섭 및 화면각도불량, 맞은편 조명으로 인한 간섭으로 검수결과 교통량 12%, 속도16% 이상의 매우 낮은 정확도를 보였다.

〈표 13〉 터널부검지기 이설 전/후 평균 오차율 비교 (단위:%, 오차)

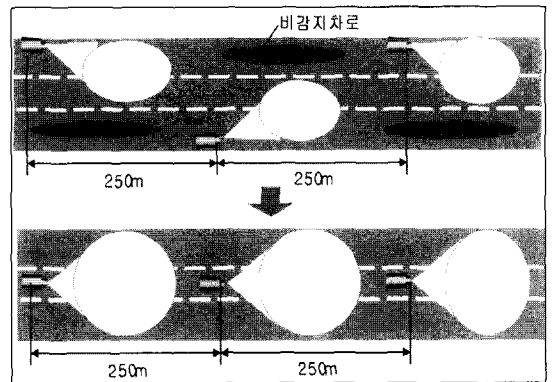
시나리오	측면 설치		중앙설치	
	교통량	속도	교통량	속도
주간혼잡	12.72	18.20	3.54	6.49
야간비혼잡	11.22	14.80	5.05	5.56
평균	11.97	16.50	4.29	6.02



〈그림 18〉 이설전 측면설치 영상 - 높이 4.0m



〈그림 19〉 이설후 중앙상부 설치화면-높이5.25m



〈그림 20〉 터널부 검지기 이설전후 개념도

이에 전 검지기를 터널중앙상부의 환기구로 이동 설치하여 성능을 평가한 결과 속도 및 교통량 각각 평균 4.3%, 6.0%로 성능이 현저히 향상되었음을 나타내었으며 영상검지기의 성능은 터널부라도 설치높이 및 화면의 각도에 따라 성능을 유지할 수 있는 것으로 판단되었다.

또한 중앙부 이설로 인해 250m 간격으로 전차로 교통상황을 감시할 수 있어 이전에 2개 차로씩 감지하던 기존 설계와는 달리 차별화된 집중적인 관리(신속한 유고감지) 목적을 달성할 수 있게 되었다.

IV. 내부순환로 영상검지기 평가결과

1. 교통량 평가결과

교통량의 평균 오차율은 5.7%로 주간혼잡의 평균 오차율이 낮고 야간비혼잡이 오차율이 높는데 이는

〈표 14〉 교통량 통계치 (단위:%, 오차)

구분	시간대				평균	
	일출전이	주간혼잡	일몰전이	야간 비혼잡		
램프부	2.55	2.44	5.02	5.79	3.95	
본선	북부 구간	5.38	5.01	6.92	8.01	6.33
	강변 북로	6.95	3.93	5.79	7.58	6.06
터널입구	5.54	6.86	6.39	9.07	6.96	
터널내부	-	3.54	-	5.05	4.29	
총 평균	5.45	4.09	6.12	7.16	5.70	

〈표 16〉 전체 속도 평균오차 (단위:%, 오차)

구분	시간대				평균	
	일출전이	주간혼잡	일몰전이	야간 비혼잡		
램프부	6.55	6.07	6.51	7.84	6.74	
본선	북부 구간	4.36	4.28	4.41	5.45	4.62
	강변 북로	3.94	4.66	4.84	5.79	4.81
터널입구	6.33	4.80	5.48	6.51	5.78	
터널내부	-	6.49	-	5.56	6.02	
총 평균	4.65	4.98	4.98	5.99	5.17	

〈표 15〉 내/외선 시나리오별 교통량 오차율 (단위:%, 오차)

구분		시간대				평균
		일출전이	주간혼잡	일몰전이	야간 비혼잡	
북부 구간	내선	5.69	5.55	7.13	7.81	6.55
	외선	5.08	4.49	6.71	8.20	6.12
강변 북로	내선	7.38	3.68	5.66	7.59	6.08
	외선	6.53	4.18	5.91	7.57	6.05

〈표 17〉 내/외선 시나리오별 교통량 오차율 (단위:%, 오차)

구분		시간대				평균
		일출전이	주간혼잡	일몰전이	야간 비혼잡	
북부 구간	내선	4.38	4.46	4.47	5.33	4.66
	외선	4.34	4.10	4.34	5.55	4.59
강변 북로	내선	3.86	4.47	4.55	5.82	4.67
	외선	4.03	4.85	5.12	5.77	4.94

교통량에 의한 요인이 큰데, 교통량이 많은 일몰전이의 경우는 빛이 바뀌는 3~5분동안 검지율이 낮아 상대적으로 주간혼잡에 비해 오차율이 높은 것으로 보이며 램프부는 교통량이 적당한 일출전이에 오차율이 낮으며 주간혼잡 및 일몰전이는 정체로 인해 차량간격이 좁아 검지율이 떨어지는 영상검지기의 특성을 반영하는 현상이 빈번히 발생하였다.

## 2. 속도 평가결과

속도는 평균 오차율이 5.17으로 일출전이의 오차율이 가장 낮으며 야간비혼잡의 오차율이 가장 높으며 야간의 경우 전조등 불빛의 영향으로 다른 시나리오에 비해 오차율이 높음.

램프의 경우 교통에서와 마찬가지로 경사로인 특성상 속도의 오차율이 타 지점에 비해 높은 편이며 강변북로 구간의 경우 4차로 이상의 구간이어서 카메라에서 먼 차로의 속도를 제대로 감지 못하는 경우가 있으며, 이로 인해 오차율이 북부구간에 비해 높게 나타남.

본선구간을 내선과 외선으로 나누어 속도 오차를 살펴보면 북부구간은 외선이 오차율이 낮으며 강변구간은 내선이 오차율이 낮는데 이는 교통량의 경우와 같이 정체가 영상검지기의 성능에 영향을 미치는 것을 나타낸다.

## 3. 정확도 검수 결과 종합

내부순환로 영상검지기는 전체 216개 지점에 대해 평가한 결과 10% 미만의 오차율로 평가기준을 만족하는 것으로 나타났으며 검증항목별 분석결과의 %오차의 평균은 교통량이 5.70%, 속도가 5.17%로 분석되었다.

구간별로 보면 램프부의 교통량 오차율이 3.88%로 가장 낮고, 속도는 강변북로 본선부 구간이 4.81%로 상대적으로 높은 것으로 분석되었다. 램프부의 경우 초기에는 높은 오차율을 보였으나 집중적인 조정으로 오차율을 현저히 낮출 수 있었으며 램프의 특성상 경사로이거나 곡선부인 경우가 많아 속도는 다른 지점에 비해 높은 오차율을 나타내었다.

〈표 18〉 구간별 교통량 및 속도 평균오차율  
(단위:%, 오차)

구분	교통량	속도	
램프부	3.95	6.74	
본선	북부구간	6.33	4.62
	강변북로	6.06	4.81
터널입구	6.96	5.78	
터널내부	4.29	6.02	
총 평균	5.70	5.17	

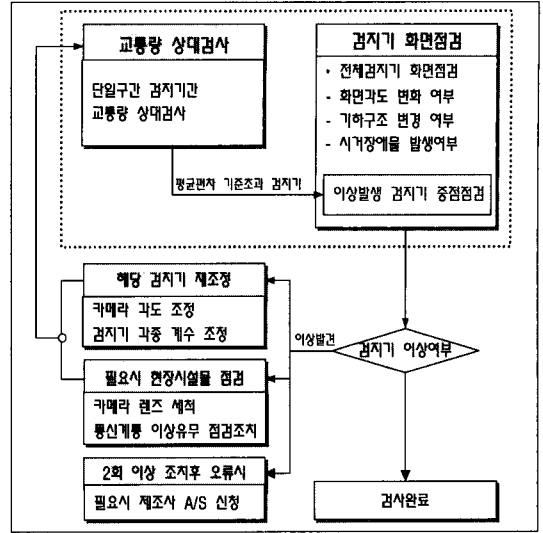
북부구간은 대체로 3차로 구간이 많고 극심한 혼잡이 많지 않아 속도 오차율은 강변구간에 비해 낮았으나 강변구간이 북부구간에 비해 교통량이 많아 교통량 오차율은 근소한 차이로 강변구간이 더 낮았다.

#### 4. 성능 유지관리방안

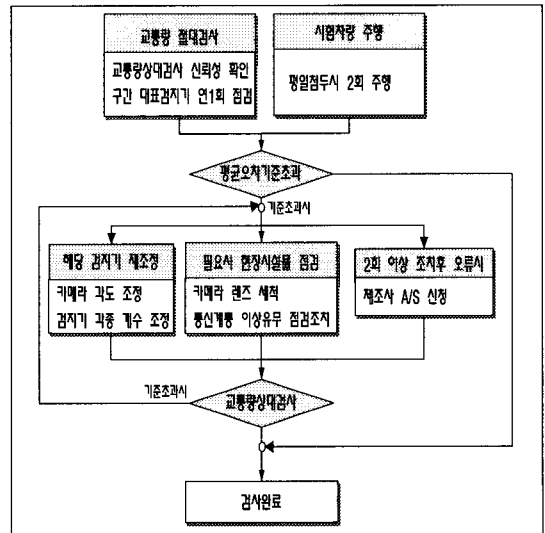
검지기 설치시 시행한 전수 교통량, 속도 절대측정의 경우 많은 인력과 시간이 소요되어 운영시 정기적으로 이를 시행하기는 어려움이 있으므로 장기적인 검수방안으로 전수검사 방안을 추진하되 설치시 확보한 정확도를 유지관리하는 단기, 중기검사 방안으로 다음과 같이 추진할 수 있다.

설치당시의 정확도를 저하시키는 가장 큰 요인으로 검지화면 각도 변경 및 화면불량으로 인한 오정보 표출이 있는 바 이를 방지할 수 있도록 설치당시 화면과 검지센서 설치 셋업자료를 보존하여 오차발생시 초기자료로 셋팅하는 방안이 있다.(화면대조) 또 오류여부를 신속히 감지하기 위해 연속류의 동일구간상 설치된 검지기 교통량 자료를 비교하여 오차정도를 점검하여 오류여부를 판단하는 방안(교통량 상대검사) 주기적으로 (1개월) 추진하여 정확도를 유지한다.

또한 분기별로 실제 교통량을 점검하는 방안과 시험차량을 주행하는 방안을 병행하여 이용자 측면의



〈그림 21〉 단기검사방안 수행절차 (월1회)



〈그림 22〉 중기검사방안 수행절차 (분기1회)

신뢰수준을 점검할 수 있다.

각 방안의 내용과 수행절차는 〈표 19〉와 같다.

〈표 19〉 단기, 중기 성능 유지관리방안

구분	검사방법	목적
단기 검사 (월1회)	화면 대조법	화면각도 변화, 각종 parameter, Noise 발생여부, 교통량 Counter 정상작동여부 시거장애물 발생여부(가로수, 표지판, 렌즈세척 필요여부 등), 기하구조 변경여부
	교통량 상대검사	동일구간상 교통량 자료 상대검사로 화면대조법과 상호보완
중기 검사 (분기1회)	교통량 절대검사	상대검사법의 신뢰성 점검 목적 대표 검지기 선정 비디오 녹화 후 실측 (1분단위 30분 또는 1시간) 평균오차 점검
	시험차량 주행법	시험차량을 운행하여 링크별 속도자료와 비교 점검하여 운전자측면 신뢰성 점검

## V. 결론 및 향후 연구과제

국내의 ATMS 산업분야에서 활용되고 있는 차량 검지시스템은 현재 루프검지기가 주종을 이루고 있었으나 유지보수 등 제반문제로 대안으로서 영상검지기의 활용이 늘고 있는 추세이다 그러나 향후 도시고속도로 또는 간선도로 등 사업의 성격과 교통특성에 맞는 다양한 검지기의 적용을 검토해야 하는 시점이라 할 수 있다.

그러나 국내의 사례를 볼 때 제반 검지기의 성능평가 방안이 사업별로 상이한 기준으로 진행되어 각 정보수집시스템의 객관적인 성능수준을 파악하기 어려웠다.

이에 내부순환로 교통관리시스템에서는 기존 사례의 분석과 전문가의 자문을 거쳐 영상검지기의 평가방법과 기준을 재선정, 성능평가 및 정확도 제고를 추진하였으며 진행과정에서 지속적인 튜닝과 성능제고방안을 추진한다면 목표한 상당한 수준의 정확도의 확보가 가능함을 알 수 있었다.

또한 제시된 정보제공주기를 평가단위로 취약시간대인 일출, 일몰, 혼잡시간대 등의 시나리오 선정하여 %오차를 도출하는 방안은 향후 보안을 거쳐 타 시스템에 있어 초기설치시 또는 유지관리시 성능의 척도로서 목표를 선정하고 활용하는 데 있어 하나의 대안으로 제시할 수 있을 것이다.

그러나 양적으로는 전수평가를, 평가기준으로는 취약시간대를 기준으로 %오차율을 선정하여 목표한 성능을 확보하는데 약 7개월의 긴 시간이 소요되었으며 전체평균 약 2회의 튜닝을 위해 예상치 못했던 많은 인력이 투입된 현실적 문제점이 대두되었다.

또한 야간비혼잡시 및 일출전이지 교통량, 혼잡시 속도 등 낮은 수치에 대해 %오차가 자료의 상관성과 무관하게 높은 오차를 보이는 점에 대한 보완과 연구가 필요할 것이며 성능을 지속적으로 유지관리하는 방안에 대하여도 보다 심도 있는 연구가 진행되어야 한다고 본다.

이에 제반 ATMS관련 연구기관에서는 시스템의 성능과 정확성을 좌우한다 해도 과언이 아닌 차량 검지기에 대한 성능평가 기준의 표준화 방안에 대한 연구를 진행하여, 검지기 성능제고를 위한 객관적인 기준목표와 각 검지기별 평가기준의 표준화 방안을 제시한다면 통행시간, 속도 등 제공정보의 신뢰성을 상당수준 향상시킴과 동시에 사업시행에 따른 시행착오를 최소화할 수 있을 것으로 기대한다.

## 참고문헌

1. 한국도로공사(1999), 영상식 차량감지장치 성능평가 한국도로공사.
2. 서울시정개발연구원(2001), 올림픽대로 교통관리 시스템 관리보고서.
3. 한국건설기술연구원(1999), 차량용 대체검지기 활용방안 연구.
4. Georgia Dep. of Transportation(2001), Acceptance Test Report Interstate Highway 28, Greater Atlanta Area.
5. Transport Dep. of Hong-Kong(2001), Video Image Processing System at Cheung-Tsing Tunnel.

✉ 주 작 성 자 : 김승일

✉ 논문투고일 : 2002. 5. 17

논문심사일 : 2002. 7. 10 (1차)

2002. 7. 28 (2차)

2002. 8. 27 (3차)

심사판정일 : 2002. 8. 27

✉ 반론접수기간 : 2003. 2. 28