

# 고속도로 혼잡구간 특성을 고려한 지점검지기의 적정설치지점 선정에 관한 연구

A study on the optimal selection of installation of the point detector  
considered the characteristics in the congested section in freeway

이상화\*\* · 손영태\*\* · 이승준\*\*\* · 김다희\*\*\*\*

Lee, Sang Hwa · Son, Young Tae · Lee, Seung Jun · Kim, Da Hee

## 1. 서 론

1991년에 도입된 고속도로 교통관리시스템(FTMS : Freeway Traffic Management System)에서는 교통자료의 주요 수집원으로 검지기를 사용하고 있다. 검지기로부터 수집되는 교통자료들은 교통류 기본 특성을 가지는 교통량, 속도, 점유율(밀도)등이며, 이를 활용용도에 따라 필요정보로 가공하여 지점 속도, 구간속도, 구간통행시간 등 다양한 자료를 추출해 낼 수 있다. 검지기를 통해 직·간접으로 수집된 자료들은 고속도로 소통상황, 돌발상황, 차로 운영현황 등의 실시간 제공을 가능하게 하여 이용자의 편의성을 제고하고, 버스전용차로, 톨게이트 운영, 가변차로 등 교통운영에 필요한 제어요소로 활용되어 왔다.

그러나 현재 고속도로 상에 설치되어 있는 지점검지기는 본선을 대상으로 1km의 등 간격으로 설치되어 있어 설치된 지점만의 교통상태를 수집하게 된다. 이로 인해 설치지점 사이에서 발생하는 상황에 대한 정보를 얻기 어렵다. 뿐만 아니라 기하구조 특성을 고려한 등 간격의 설치기준은 교통 특성을 반영하지 못해 제공되는 교통정보와 실측자료는 혼잡구간에서 많은 오차를 보여 정확도가 저하된다. 또한 교통량이 적은 곳은 각 검지기마다 유사한 값을 보여 검지기 설치 비용 대비 정보의 효과적인 수집이 어렵다.

본 연구는 지점 검지기 수집 자료의 정확도를 향상시키고, 검지기 설치비용 대비 효과를 극대화하기 위한 방안으로 혼잡구간과 비혼잡 구간의 교통 특성을 고려하여 검지기 적정설치간격을 도출하고자 한다.

## 2. 지점검지기 수집자료의 특성 분석

### 2.1 대상구간 선정

교통자료 수집 대상구간은 지점검지기의 자료특성을 분석하기 위해 경부고속도로의 양재 IC~오산 IC 구간(37.44km)을 분석 대상구간으로 선정하였다. 이 구간은 지점 검지기가 설치되어 있고 혼잡 구간과 비 혼잡 구간이 혼재되어 속도 변화가 발생하고, 더불어 차로별 운영방식이 다른 곳이 존재하여 차로별 정보 제공의 정확도를 파악할 수 있는 곳이어야 한다.

\* 명지대학교 교통공학과 박사수료(E-mail:soboru2@hotmail.com)  
\*\* 정회원 · 명지대학교 교통공학과 교수공학박사(E-mail:son@mju.ac.kr)  
\*\*\* 한국도로공사 도로교통연구원 교통정책팀 책임연구원·공학박사(E-mail:samuell@ex.co.kr)  
\*\*\*\* 명지대학교 교통공학과 석사과정(E-mail:maryco@naver.com)



그림 1. 대상구간 위치 현황

## 2.2 대상 구간의 검지기 설치현황

대상구간의 검지기 설치현황을 파악한 결과 기존 지점 검지기는 루프식 검지기를 많이 구축해왔으나 최근에는 영상식검지기를 사용하고 있다. 이는 대상구간 내에 가변차로 설치 판교 IC 개선공사 등으로 인해 잦은 기하구조변경과 차선 변경 등으로 인한 검지기 재 설치시 교통흐름을 방해를 피하고, 유지 및 보수를 편의성을 높기 때문이다.

영상식 검지기는 4개 차로 정도를 검지할 수 있어 방향별로 설치되어야 하기 때문에 교통자료 수집 및 분석 구간인 양재IC~오산IC에는 단방향 23개, 양방향 총 46개의 영상식 검지기가 설치되어 있다. 총 연장 37.44km내에 설치된 검지기는 방향별 23개소로 검지기별 평균 간격은 1.62km로 설치간격 기준인 1km를 초과하고 있으나 이는 현재 기하구조 개선 공사 중인 서울영업소~판교 JC간에 검지기가 미설치된 것에 영향을 받은 것으로 보인다.

## 2.3 수집 자료 유형 및 수집시간

분석 대상구간에서 수집되는 자료는 크게 실측 통행시간 조사 자료와 검지기 자료로 구분된다. 실측 통행시간 조사 자료는 일반차량 통행시간 조사 자료인 주행차량 조사 자료와 버스의 통행시간 조사 자료인 버스탑승 조사 자료로 구분되며, 검지기 자료는 지점검지기를 이용한 자료로 구분된다.

표 1. 수집 자료 유형 및 수집시간

구분	자료 내용	자료 수집 방법	수집 자료 범위
실측 조사자료	· 버스 및 일반 차량의 통행 시간 및 통행 속도 자료	· 주행차량조사 · 버스탑승조사	· 공간적 범위 : 반포IC~오산IC · 시간적 범위 : 2009년 10월 7, 9, 12일( 오전 6시~ 오후 22시)
지점 검지기자료	· 한국도로공사 FTMS 자료	· FTMS 가공 자료(5분, 15분)	· 공간적 범위 : 반포IC~천안IC · 시간적 범위 : 2009년 10월 7, 9, 12일(오전 0시~ 오후 23시 55분)

실측 통행시간 조사 자료(일반차량 및 버스)와 지점검지기 수집 자료가 시간적·공간적으로 차이가 보이므로 보다 정밀도 높은 분석을 위해 이를 시간 및 공간적으로 통일하여 분석하였다.

## 2.4 지점검지기 자료 분석 결과

본 연구에서는 첨두시와 비첨두시의 통행시간 실측 통행시간 수집 자료와 검지기 수집 자료의 패턴을 분석하기 위해 조사자료 시간대 중 첨두시와 비첨두시의 통행시간 자료를 비교·분석하였다.

그림 2는 2009년 10월 7일 오전 9시 20분 오산 IC를 출발하여 경부선을 상행하는 실측차량의 구간별 통과

시간을 기준으로 하여 비첨두시의 구간별 누적 통행시간을 수집 자료별로 나타낸 것이다. 그림 2.에서 보는 바와 같이 각 구간별로 통행시간 차이는 그리 크지 않은 것으로 보여 비첨두시의 경우에는 지점검지기의 경우 신뢰할 만한 정보를 제공하고 있다고 판단되어진다.

그림 3은 2009년 10월 7일 오후 17시 20분 오산 IC를 출발하여 경부선을 상행하는 실측차량의 구간별 통과시간을 기준으로 하여 실측(통합), 지점검지기(통합) 구간별 누적 통행시간을 그래프로 나타낸 것이다.

그림 3에서 나타난 바와 같이 실측(통합)이 지점검지기(통합)에 비해 높은 값을 보이고 있으며, 신갈JCT 이후 그 차이가 두드러지게 남을 알 수 있다. 이는 검지기 자료가 혼잡이 심할수록 오차가 커질 수 있음을 확인시켜 주는 것으로 현 검지기가 비혼잡 구간과 혼잡 구간에서 동일한 설치간격을 적용하는 것이 정확도에 영향을 미치고 있음을 의미한다고 볼 수 있다.

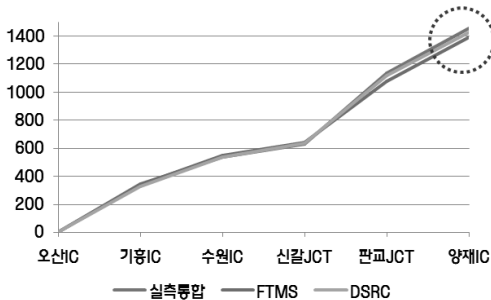


그림 2. 비첨두시간 분석 결과

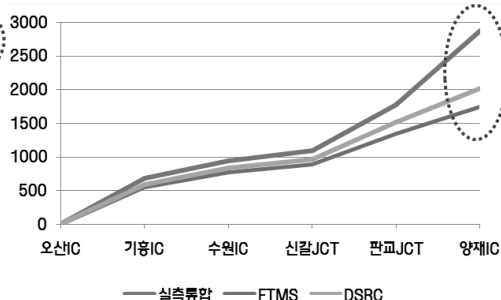


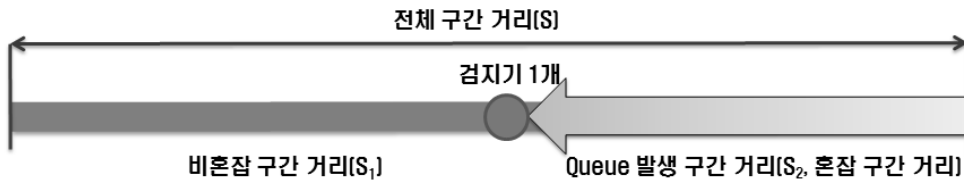
그림 3. 첨두시간 분석 결과

### 3. 검지기 적정설치간격 산정

#### 3.1 통행시간 오차와 교통 특성을 이용한 관계식 도출

교통 수집 정보의 정확도는 도로의 교통 특성을 잘 반영할 수 있도록 검지기를 설치했는지 여부에 따라 달라진다. 기존의 검지기 설치간격에서는 도로 기하구조 특징에 따라 분류하고 있어 교통 상황 변화시 교통 정보 통행시간 오차가 크게 발생한다. 이러한 개념을 적용하여 본 연구에서는 고속도로 본선의 경우 통행시간 오차에 따른 혼잡 및 비혼잡구간의 속도와 정체길이와의 관계를 도출하여 교통 상황에 따른 검지기 설치간격을 제시하고자 한다.

다음의 그림 4는 지점검지기 설치간격 산출을 위해 필요한 요소들을 정의한 것이다.



- S : 전체 구간 거리
- T<sub>0</sub> : 검지기 측정 통행시간(초)
- V<sub>1</sub> : 비혼잡 구간에서의 통행속도(km/h)
- Q : Queue의 길이(혼잡 구간 거리)
- T<sub>Q</sub> : 주행시 통행시간(초)
- V<sub>2</sub> : 혼잡구간에서의 통행속도(km/h)

그림 4. 검지기 1개 설치가 필요한 요소 정의

통행시간 오차는 Queue의 길이가 검지기 설치 구간까지 밀려오는지 여부에 따라 달라지게 되므로 검지기 수에 따른 Queue 길이와 통행시간과의 관계를 알아보기 위해 다음과 같이 검지기 설치 개수를 1, 2, ..., N 개까지 증가시켜 통행시간 오차를 계산해본 결과 다음의 표 2와 같은 식이 도출되었다. 검지기 설치개수를



변화시켜본 결과 통행시간 오차는 혼잡 및 비혼잡구간의 속도와 정체길이에 따라 변화하는 관계를 도출할 수 있었다.

표 2. 검지기 설치 개수에 따른 Queue 길이와 통행시간과의 관계

검지기설치 개수(N)	통행시간 오차(Queue 길이와 통행시간과의 관계)	
N=1		
	<p>S : 전체 구간 거리  <math>T_0</math> : 검지기 측정 통행시간[초]  <math>V_1</math> : 비혼잡 구간에서의 통행속도(km/h),</p>	<p>Q : Queue의 길이(혼잡 구간 거리)  <math>T_Q</math> : 주행시 통행시간[초]  <math>V_2</math> : 혼잡구간에서의 통행속도(km/h)</p>
	$Q < \frac{S}{2} : T_D = \frac{S}{V_1}$	$T_Q - T_D = \frac{V_2 - V_1}{V_1 V_2} (-Q)$
	$Q \geq \frac{S}{2} : T_D = \frac{S}{V_2}$	$T_Q - T_D = \frac{V_2 - V_1}{V_1 V_2} (S - Q)$
N=2		
	<p>S : 전체 구간 거리  <math>T_0</math> : 검지기 측정 통행시간[초]  <math>V_1</math> : 비혼잡 구간에서의 통행속도(km/h),</p>	<p>Q : Queue의 길이(혼잡 구간 거리)  <math>T_Q</math> : 주행시 통행시간[초]  <math>V_2</math> : 혼잡구간에서의 통행속도(km/h)</p>
	$Q < \frac{S}{3} : T_D = \frac{S}{V_1}$	$T_Q - T_D = \frac{V_2 - V_1}{V_1 V_2} (-Q)$
	$\frac{S}{3} \leq Q < \frac{2S}{3} : T_D = \frac{S}{2V_1} + \frac{S}{2V_2}$	$T_Q - T_D = \frac{V_2 - V_1}{V_1 V_2} (\frac{S}{2} - Q)$
	$Q \geq \frac{2S}{3} : T_D = \frac{S}{V_2}$	$T_Q - T_D = \frac{V_2 - V_1}{V_1 V_2} (S - Q)$
⋮	⋮	⋮
N=n	$\frac{\alpha S}{n+1} \leq Q < \frac{(\alpha+1)S}{n+1}$	$T_Q - T_D = \frac{V_2 - V_1}{V_1 V_2} (\frac{\alpha S}{n} - Q)$

### 3.2 정체시 지점 검지기 설치간격 산정

지점검지기의 최대설치간격을 산출하기 위해 혼잡과 비혼잡구간의 속도, 정체길이를 변화시켜 통행시간 오차를 산정하였다. 지점검지기를 증가시키면서 설치할 경우 특정 설치개수에서 통행시간 오차율은 더 이상 큰 변화를 갖지 못하는 지점이 존재한다.

이를 파악하기 위해 전체거리는 10km, 정체길이를 50m 간격으로 증가시켜 통행시간 오차율을 산정하였다. IC~IC간 사이의 거리가 약 10km로 이를 기준으로 전체 거리를 제시하였다.

표 3. 혼잡구간 속도 변화에 따른 통행시간 오차율을 산정하기 위한 전제조건

기본 전제조건	변화 조건
<ul style="list-style-type: none"> <li>· 전체 거리(S) : 10km</li> <li>· 혼잡구간 거리(Queue 거리, Q) : 50m~9,950m</li> <li>· 검지기 설치간격 : 100m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 비혼잡 구간 속도 : 100km/h</li> <li>· 혼잡구간 속도 : 10km/h~90km/h</li> </ul>

표 3을 바탕으로 다음과 같이 통행시간 오차율을 산정한 결과 평균 통행시간 오차율은 검지기를 일정 개수 이상 설치하게 되면 0에 수렴하는 결과를 나타냈다. 또한 혼잡구간의 속도가 높아짐에 따라 검지기 설치 개수는 감소한다는 것을 알 수 있었다.

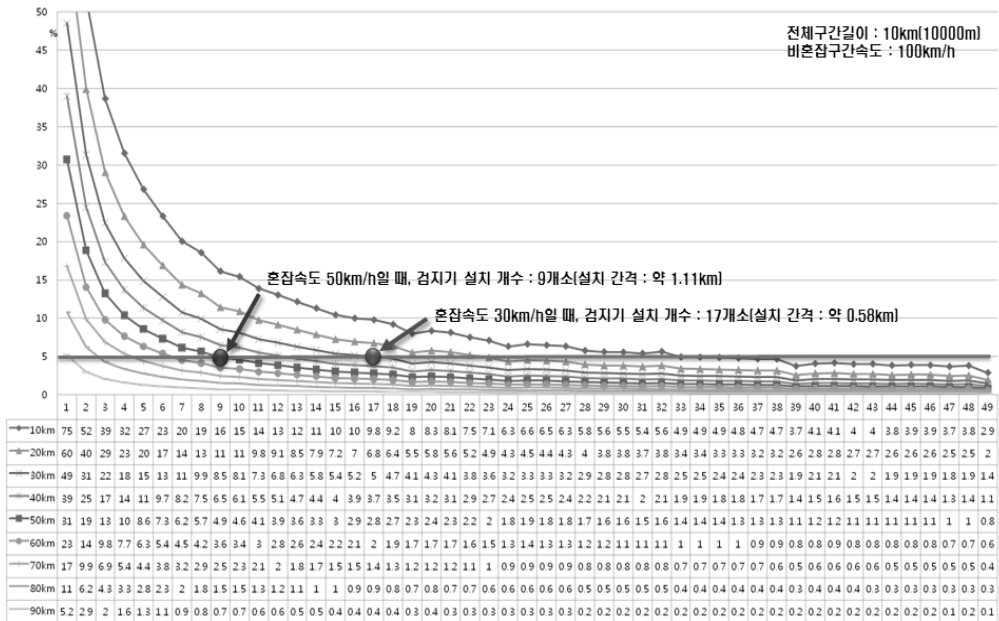


그림 5. 비혼잡 구간 속도 100km/h시 혼잡구간 속도 변화에 따른 검지기 설치 개수

따라서 검지기 적정 설치개수는 평균 통행시간 오차율이 5% 이내인 경우라 정의하고 이를 기준으로 검지기 최대 설치개수를 산출하였다. 검지기 설치간격은 다음의 식을 이용하여 산정하였다.

$$\text{검지기 설치간격} = \frac{\text{전체구간거리}}{\text{검지기 최대 설치개수}} \quad (1)$$

정체는 고속도로 소통상황 판단기준에 의해 30km/h 이하인 곳이므로 혼잡 구간의 속도를 10~30km/h인 경우 평균 통행시간 오차율이 5% 이내인 검지기 설치개수를 산정하고 그에 따른 검지기 설치간격을 산출하였다.



표 4. 정체구간의 지점 검지기 설치간격

혼잡구간 속도(km/h)	검지기 최대 설치개수	검지기 최대 설치간격(km)	혼잡구간 속도(km/h)	검지기 최대 설치개수	검지기 최대 설치간격(km)
10	33	0.30	60	7	1.43
20	23	0.44	70	5	2.00
30	17	0.59	80	3	3.33
40	13	0.77	90	2	5.00
50	9	1.11	-	-	-

### 5. 결론

본 연구는 기하구조 특성을 고려한 검지기 설치간격으로 인해 통행시간 정보의 오차를 보완하기 위해 혼잡구간의 교통특성을 고려하여 검지기 적정설치간격을 산정하였다. 그 결과 정체인 경우 0.30~0.59km 간격, 서행인 경우 0.77~1.43km, 소통원활의 경우 2~5km의 설치간격으로 혼잡구간 속도에 따라 다른 검지기 설치간격을 적용해야 함이 도출되었다.

본 연구에서 제시된 적정 검지기 설치간격은 한국도로공사의 다양한 교통 자료들을 활용하기 위해 설치기준으로 적용이 가능할 것이며, 통행시간 오차를 최소화시킴으로써 도로 이용자 및 운영자에게 신뢰성 높은 정보를 제공할 수 있을 것으로 기대되어진다. 그러나 정체, 서행, 소통원활 등의 교통상황을 판정할 수 있는 기준을 제시하지 못하여 이를 판단할 수 있는 방법론 개발이 필요하다. 또한 현재는 통행시간 오차 발생이 검지기 설치간격으로 한정되었으나, 검지기 내 알고리즘 상의 문제로도 오차는 발생할 수 있으므로 이를 보완하는 연구가 지속되어야 할 것이다.

### 참고 문헌

1. 국토연구원(2005), "검지기별 구간소통정보 산출 및 성능평가(Ⅱ) 최종보고서"
2. 도로교통안전관리공단(2004), "교통정보 수집체계별 신뢰성 검증 및 개선방안에 관한 연구"
3. 양충현·손영태, "고속도로 합류부 지점에서의 최적 검지기 설치 위치 산정에 관한 연구", 한국도로학회 논문집, 제 10권 1호 pp. 221~227
4. 유소영, 노정현, 박동주(2004), "통행시간 추정 및 예측을 위한 루프검지기 자료의 최적 집계간격 결정", 대한교통학회지, 제22권 제6호, pp. 109~119
5. 오세창, 차량검지기 교통량 데이터를 이용한 고속도로 통행시간 추정 및 예측모형 발에 관한 연구, 대한교통학회지: 21(5), 2003
6. 한국도로공사(2006), "차량검지기자료의 효율적 수집저장 및 관리체계 연구"