

# 고속도로의 교통 특성을 고려한 구간검지기 설치에 관한 연구

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

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

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

## 1. 서 론

1991년에 도입된 고속도로 교통관리시스템(FTMS : Freeway Traffic Management System)에서는 교통자료의 주요 수집원으로 검지기를 사용하고 있다. 기존에는 지점검지기를 이용하여 교통정보를 수집하였으나 최근 구간검지기를 이용한 교통정보 수집방안 연구가 확대되고 있다.

한국도로공사에서 사용하고 있는 구간검지기는 DSRC기반으로 고속도로 톨게이트(ETC : Electronic Toll Collection), 본선에 설치하는 노변기지국(Road Side Equipment, RSE)을 이용하여 하이패스 단말기(On Board Equipment, OBE) 장착차량의 본선 통행시간을 수집한다.

구간검지기의 경우 비록 모든 차량에 대한 전수조사가 아닌 하이패스 단말기 차량에 대한 표본조사이긴 하나 속도를 이용하여 통행시간을 재 산출해야 하는 지점검지기과 달리 각각의 구간검지기를 통과하는 시간을 직접 수집하여 통행시간을 조사하므로 제공되는 통행시간에 대한 정확도가 높을 것으로 판단되며, 지점검지기에 비해 비교적 설치비용이 저렴하고 관리가 편리한 장점이 있다.

또한 하이패스 이용차량의 증가추세(2008년 10월 현재 30.45%의 전국이용률)로 볼 때 DSRC기반 구간검지기는 계속 확대될 것으로 전망되므로 고속도로의 교통 특성을 고려한 구간검지기의 설치기준에 대한 정립이 필요하다.

## 2. 기존문헌고찰

### 2.1 구간검지기(DSRC) 특징

구간검지기로 수집되는 정보는 차량의 통행시간 및 구간 통행속도로 구간검지기의 경우 ETC(Electronic Toll Collection)와 연계하여 적용할 수 있으며, 운전자에게 실시간 교통정보를 제공할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 또한 구간검지기는 8차로에서 10차로까지 검지가 가능하므로, 한 방향에만 설치하더라도 양방향 모두 검지가 가능한 특징을 가진다. 이는 1식의 안테나로 다차로 정보수집이 가능하기 때문에 차선 수 증가에 따른 추가비용이 소모되지 않아 차로 수가 많거나, 지점 및 구간 검지기의 설치 효과가 비슷하다고 판단되는 경우 구간 검지기를 설치하는 것이 효율적이라 할 수 있다.

그러나 통신망을 위한 인프라 투자비가 상대적으로 많이 소요되며, 정보수집대상구간 주행 프로브차량의 수가 적정수준 이상이어야 신뢰성 있는 통행시간 정보 수집이 가능하다는 단점이 있다.

\* 정희원 · 명지대학교 교통공학과 교수 · 공학박사 · 031-330-6504(E-mail : son@mju.ac.kr)

\*\* 비희원 · 명지대학교 산학협력단 연구원 · 공학박사 · 031-330-6504(E-mail : ssangtangboru@hanmail.net)

\*\*\* 정희원 · 명지대학교 교통공학과 석사졸업 · 공학석사 · 031-338-6504(E-mail : maryco@hanmail.net)

\*\*\*\* 정희원 · 도로교통연구원 책임 연구원 · 공학박사 · 031-371-3427(E-mail : samuellee@ex.co.kr)

### 2.2 구간 검지기 설치기준

현재 한국도로공사는 구간검지기에 대한 기준이 정립되어 있지 않으나, 약 3km 간격으로 설치하고 있다. 이에 따라 본 논문에서는 2008년 8월에 한국도로공사에서 발간한 "DSRC를 활용한 도로교통정보 검지시스템 실용화 기술개발"의 자료에 제시되어 있는 구간검지기 설치간격 기준을 검토하였다.

본 연구에서는 시스템의 목적과 교통상황에 따라 설치간격을 정의해야 한다고 제안하였으며, 이는 교통에서 실시간 교통정보의 개념을 5분주기로 간주하여, 평균속도별 5분간 이동거리를 산출하였을 때의 최대 검지간격을 다음과 같이 정의하였다.

- 정체상황 : 5분 이내에 두 지점을 통과, 최대 1.67km 이하이어야 통과 가능
- 지체상황 : 5분 이내에 두 지점을 통과, 최대 4.58km 이하이어야 통과 가능
- 소통원활 : 5분 이내에 두 지점을 통과, 최대 7.5km 이하이어야 통과 가능

또한 제한속도로 지정되어 있는 10~110km/h까지를 속도의 경계로 가정하였으며, 이때 현재 한국도로공사의 평균 IC 간격이 약 12km이므로 이를 최대 설치간격으로 설정하였을 경우 다음과 같이 설치간격(안)을 제시하였다.

표 2.1 노선별 DSRC 교통정보시스템 설치간격(안)

구분	시스템명 및 목적	설치간격(안)	
		기 구축	신설
정보수집용	본선의 교통정보수집용(본선 구간 모니터링용)	상습 정체구간 : 1~2km	V/C 0.8 이상 : 1~2km
		지정체구간 : 3~6km	V/C 0.61 ~ 0.8 : 3~6km
		소통원활 구간 : 6~10km	V/C 0.45 이하 : 6~10km
	교통량 및 경로변경정보 수집용(IC, JC, 휴게소 등)	IC/JC, 휴게소 전·후방	
	특별관리목적용(반복정체, 사고다발, 터널, 안개구간 등)	1안 : 해당 구간의 전후방	
정보제공용	교통량 및 경로변경정보 제공용(IC, JC, 휴게소 등)	IC/JC, 휴게소 전방(수집용과 중복)	
	특별관리목적용(반복정체, 사고다발, 터널, 안개구간 등)	해당 구간의 전방(수집용과 중복)	

### 2.3 결론 및 문제점 도출

현재 도로공사에서 사용하고 있는 구간 검지기의 설치간격은 약 3km로 검지기 통과시간의 차이를 이용해 통행시간을 가공하고 있다. 이렇게 가공된 통행시간은 엄밀히 말해 과거의 통행시간으로 구간의 시점을 통과하는 차량에게 제공될 경우 소통이 원활한 경우에는 제공된 통행시간 정보는 구간 시점을 출발하는 운전자의 실제 통행시간과 거의 유사하나, 교통 혼잡이 진행 중인 경우 혼잡을 경험하지 않은 또는 혼잡상태를 덜 겪은 차량의 통행시간 정보를 출발 차량에게 제공하기 때문에 시간 처짐 현상으로 인한 통행시간의 오차가 발생한다.

본 연구에서는 시간 처짐 현상으로 인한 통행시간 오차를 최소화하기 위해 교통특성(정체)을 고려하여 구간검지기 적정 설치간격을 산정하고자 하였으며, 이를 위해 구간 및 정체 길이, 통행속도 등을 이용하여 시·공간도를 작성하고, 검지기 설치간격에 따른 통행시간 오차를 계산하였다. 산정된 적정 수준 이하이면서 구간 간격의 축소에도 통행시간 오차율의 변화가 적은 경우를 파악하여 적정 설치간격을 도출하였다.

### 3. 교통특성을 고려한 고속도로 구간검지기 설치기준 수립

#### 3.1 구간검지기 적정 설치간격 도출을 위한 기본 개념

구간검지기 적정 설치간격을 도출하기 위해서는 다음과 같이 용어 정의가 필요하다.

- 차량의 도착시간 기준 통행시간( $T_{Dep}$ ) : T시점에 구간의 종점에 도착한 차량의 구간 통행시간
- 차량의 출발시간 기준 통행시간( $T_{Arr}$ ) : T시점에 구간의 시작점을 출발한 차량의 전 구간 통행시간
- 통행시간 오차 = 출발시간 기준 통행시간( $T_{Dep}$ ) - 도착시간 기준 통행시간( $T_{Arr}$ )

이러한 개념을 이용하기 위해 시공간도를 작성하고, 도착 및 출발시간 기준의 통행시간, 통행시간 오차 등을 정의하였다. 그림 3.1은 30km 구간에 일정 간격(10km)으로 구간 검지기가 설치된 경우, 구간 내에 정체가 발생한 것을 가정한 시공간도를 나타낸 것으로 그림 3.1에서의 셀 색깔은 차량이 시간대별 이동한 궤적을 나타낸 것이며, 셀의 기울기는 차량의 속도를 나타내는데, 정체가 발생시 셀의 기울기가 낮아짐을 보인다.

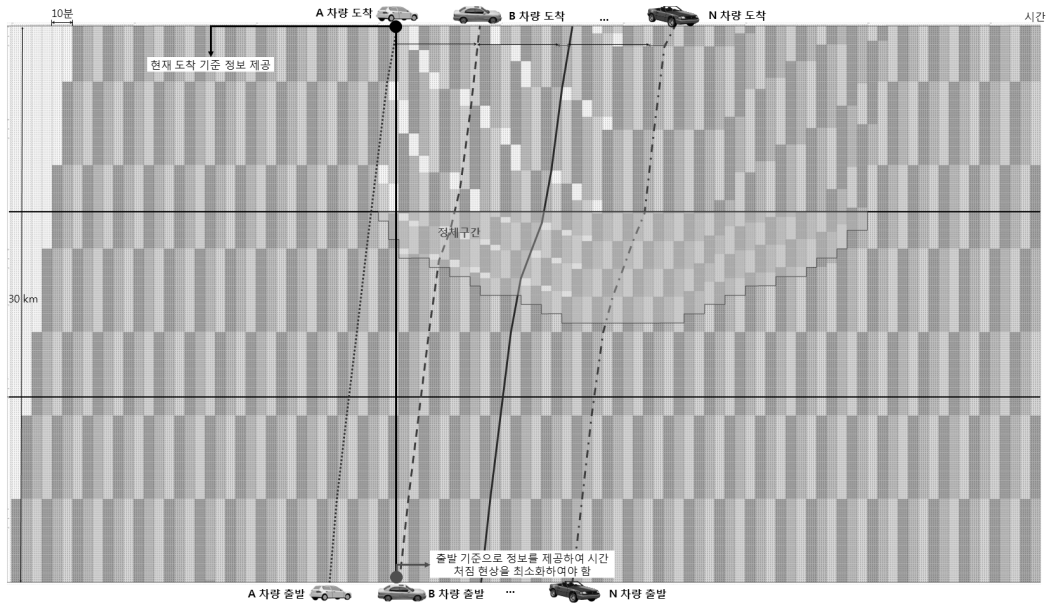


그림 3.1 시간차집 현상의 개념

시간 차집 현상을 최소화하기 위해서는 현재 도착시간 기준의 통행시간을 출발시간 기준의 통행시간과 유사한 값으로 제공할 수 있도록 검지기를 설치하여야 한다. 도착시간 기준의 통행시간은 동일시간 내 해당 검지기의 설치위치에 도달한 차량의 통행시간을 산출하기 때문에 검지기 설치간격에 의해 영향을 받게 된다.

통행시간 변화에 따른 오차의 변화를 파악하기 위해 다음의 (식 3.1)을 이용하여 통행시간 오차율을 계산할 수 있다.

$$\text{통행시간 오차율(\%)} = \frac{T_{Arr} - T_{Dep}}{T_{Arr}} \times 100 \quad (\text{식 3.1})$$

구간 검지기 설치간격에 따른 평균 통행시간 오차율은 다음의 (식 3.2)를 이용하여 산출할 수 있다.

◦ 구간 검지기 설치간격에 따른 평균 통행시간 오차율(%) = 
$$\frac{\sum^n \left( \frac{|T_{Arr} - T_{Dep}|}{T_{Arr}} \times 100 \right)}{n}$$
 (식 3.2)

여기서, n : 분석시간 수

또한 검지기 설치간격에 따른 통행시간 오차율의 변화는 다음의 (식 3.3)을 이용하여 산정할 수 있다. 검지기 설치간격은 검지기 설치개수에 따라 달라지므로 이를 이용하여 산정할 수 있다.

◦ 구간 검지기 설치간격에 따른 통행시간 오차율 변화율 = 
$$\frac{\Delta \text{평균통행시간오차율}}{\Delta \text{검지기 설치간격}}$$
 (식 3.3)

산출된 통행시간 오차율이 수렴하는 부분 또는 통행시간 오차율의 변화가 미비한 곳을 도출하여 구간 검지기 최적 설치간격 기준 수립에 활용하고자 한다.

### 3.2 교통특성을 고려한 구간 검지기 통행시간 자료 분석

정체발생시 출발시간 기준 통행시간과 도착시간 기준 통행시간의 차이가 정체 발생 과정에 따라 어떻게 변화하는지의 패턴을 파악하기 위해 특정한 형태의 정체를 가정하여 통행시간 오차율을 산정하였다. 가정된 구간 및 정체 상황은 다음과 같다. 전체 구간길이는 10km, 정체길이는 6km, 검지기 설치간격은 5km로 가정하였다.

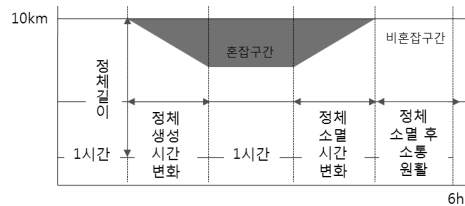


그림 3.2 정체길이 변화에 따른 시공간도

도착 및 출발시간 기준의 통행시간은 인텔 비주얼 포트란(Intel Visual Fortran)을 활용하여 프로그램을 작성 후, 산출하였다. 통행시간 산정을 위한 차량은 출발시간을 1분단위로 하여 산정하였고, 도착시간 기준의 통행시간은 검지기 설치개수에 따라 동일 시간 내 검지기에 도착하는 해당 차량의 통행시간, 통행속도 등이 산출된다. 그 결과 그림 3.3과 같은 산출된 통행시간의 오차율 변화 그래프가 나타났다.

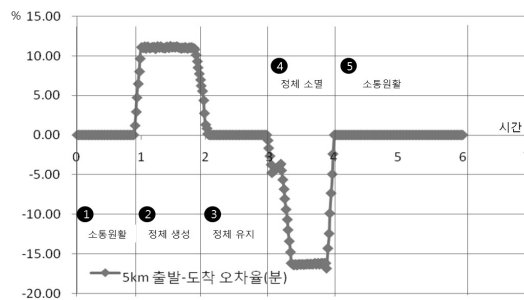


그림 3.3 구간검지기 설치위치에 따른 통행시간 오차율(검지기 5km 간격)

3.3 일반적인 정체 상황에서의 구간 검지기 적정 설치간격 산정

3.3.1 검지기 적정 설치간격에 영향을 주는 요소 도출

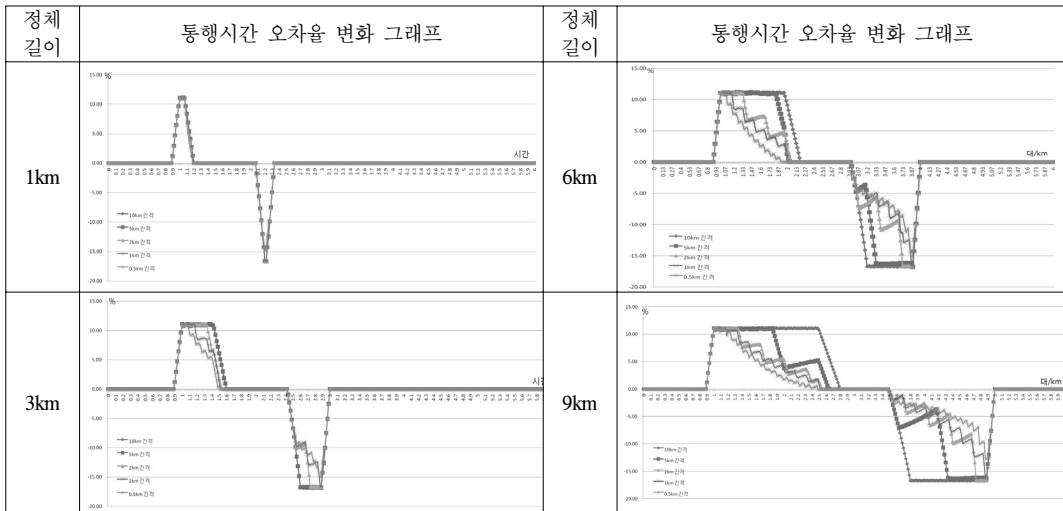
구간 검지기 설치간격에 따른 통행시간 오차율을 산정하고, 정체길이 변화에 따른 통행시간 오차율의 변화를 검토하였다. 이를 위해 전체 구간길이는 10km, 정체길이는 1, 3, 6, 9km, 검지기 설치간격은 계산을 용이하게 하기 위해 0.5km, 1km, 3km, 5km, 10km로 정의하였다.

표 3.1 구간 검지기 설치간격에 따른 통행시간 오차율 산정을 위한 시공간도 요약

구분	내용	구분	내용
구간 길이(s)	10km	비혼잡구간 속도(Vn)	90km/h
정체길이(Q)	1, 3, 6, 9km	정체 생성 및 소멸속도(Qc)	6km/h
검지기 설치간격	0.5, 1, 2, 5, 10km	정체지속시간(QI)	1시간
혼잡구간 속도(Vq)	30km/h	분석시간(a)	6시간

그 결과 정체길이 변화에 따라 통행시간 오차율의 변화를 분석한 결과 검지기를 정체길이보다 적은 간격으로 설치한 결과 통행시간 오차율이 감소함을 알 수 있었다. 또한 정체길이 증가에 따라 통행시간 오차 발생 구간의 거리 및 시간도 증가하였다. 이는 정체길이가 통행시간 오차율에 영향을 미치는 것을 의미한다.

표 3.2 정체길이 변화에 따른 통행시간 오차율 그래프 변화



평균 통행시간 오차율은 (식 3.2)를 이용하여 다음의 표 3.3에 제시하였다. 표 3.3을 보면 정체길이가 짧은 (소통상황이 원활한 경우: 정체길이 1, 3km)의 경우 평균통행시간 오차율의 변화가 미비함을 알 수 있으며, 정체길이가 긴 경우(혼잡한 경우: 정체길이 6km, 9km) 평균오차율 변화가 확연한 차이를 보임을 알 수 있다. 이를 정리하면 정체길이 변화에 따라 평균 통행시간 오차율은 검지기 설치를 정체길이보다 적게 설치한 경우 평균 통행시간 오차율이 감소함을 볼 수 있다.

**표 3.3 구간 검지기 설치간격 변화시 정체길이에 따른 평균 통행시간 오차율 변화**

정체길이	검지기 설치간격(km)	평균 통행시간 오차율	평균 통행시간 오차율 변화
1km	10	7.83	0.00
	5	7.83	
	2	7.83	
	1	7.90	
	0.5	7.24	
3km	10	10.60	0.03
	5	10.57	
	2	9.16	
	1	8.27	
	0.5	7.49	
6km	10	11.53	1.55
	5	9.98	
	2	7.74	
	1	6.32	
	0.5	5.26	
9km	10	11.88	3.47
	5	8.41	
	2	6.09	
	1	5.59	
	0.5	4.40	

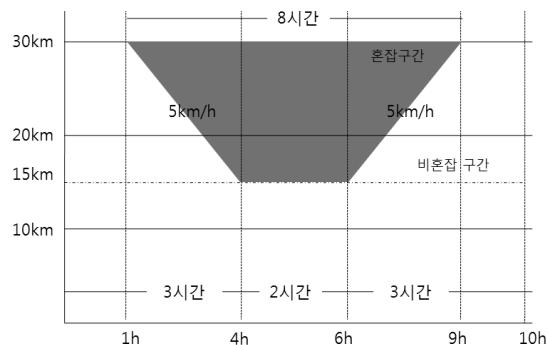
**3.3.2 일반적인 정체 상황에서의 구간 검지기 적정 설치간격 산정**

정체가 발생하는 형태는 정체길이가와 정체 생성 및 소멸속도, 정체지속시간 등에 따라 매번 다르게 나타나고 이에 따라 통행시간 오차는 변하게 되므로 고속도로상에서 발생할 수 있는 정체 상황 중 가장 전형적인 경우를 한국도로공사의 협조를 받아 2009년 4월 1일~30일간 신갈~안성 JC 구간의 FTMS 자료를 수집하여 정체길이, 정체 생성 및 소멸 속도, 정체지속시간 등을 파악하였다.

그 결과 바탕으로 시공간도를 작성하기 위한 조건을 요약한 결과를 표와 시공간도로 표현하면 다음과 같다.

**표 3.4 시공간도 정의**

구 분	내용	구 분	내용
구간 길이(s)	30km	비혼잡구간 속도(Vn)	90km/h
정체길이(Q)	15km	정체 생성 및 소멸속도(Qc)	5km/h
검지기 설치간격	0.5, 1, 2, 5, 10, 15km	정체지속시간(QI)	2시간
혼잡구간 속도(Vq)	30km/h	분석시간(a)	10시간


**그림 3.4 시공간도 정의 요약**

앞서 정의한 시공간도를 바탕으로 통행시간 오차율을 분석한 결과는 그림 3.5와 같다. 그림 3.5에서 보듯이 검지기 간격이 감소함에 따라 오차율도 감소하는데, 특히 검지기 간격이 정체길이보다 적어지면, 통행시간 오차율이 크게 감소하는 경향을 보인다.

또한 평균 통행시간 오차율이 5% 이내인 검지기 설치간격은 10km구간이나, 평균 통행시간 오차율의 변화를 살펴보면 검지기 설치간격이 3km 이하인 경우 그 차이가 미비함을 알 수 있다.

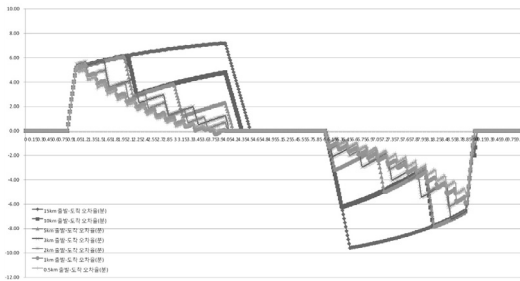


그림 3.5 검지기 설치간격 변화에 따른 통행시간 오차율(%); 정체길이 15km 대상

표 3.5 구간 검지기 설치간격 변화에 따른 평균 통행시간 오차율 변화

검지기 설치 간격 (km)	평균 통행시간 오차율 (%)	평균 통행시간 오차율 변화
15	6.59	1.93
10	4.66	
5	3.81	0.85
3	3.16	0.65
2	2.81	0.35
1	2.50	0.31
0.5	2.18	0.32

구간 검지기 설치간격 변화에 따른 평균 통행시간 오차율의 변화를 파악하기 위해 다음과 같이 구간 검지기 설치간격(대/km)에 따른 변화율을 산정한 결과는 그림 3.6과 같다. 이를 활용하여 구간 검지체계 설치간격에 따른 통행시간 오차율의 변화를 분석한 결과 다음과 같은 결과를 도출하였다.

- ① 검지기 설치 밀도를 증가시킬 경우 평균 통행시간 오차율이 감소한다.
- ② 검지기 설치 밀도를 증가시킬 경우 평균 통행시간 오차율의 변화가 급격하게 변화하는 구간은 검지기 간격을 정체길이 이하로 설치한 경우이다.
- ③ 또한 검지기 밀도가 증가함에 따라 평균 통행시간 오차율의 감소폭이 줄어드는 경향을 보였으며, 3km 이하로 검지기를 설치할 경우 오차율의 변화값이 수렴함을 알 수 있었다.

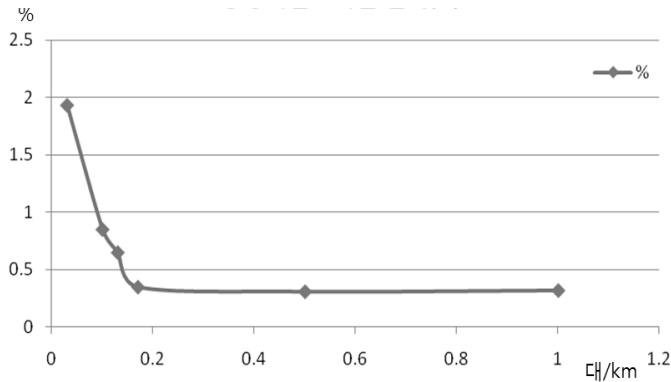


그림 3.6 구간 검지체계 설치간격에 따른 평균 통행시간 오차율 변화 분석 결과

따라서 통행시간 오차값을 일정 이하로 유지하면서, 검지기 설치 비용에 따른 효율을 감안할 때, 구간 검지체계 최적 설치간격은 2~3km 정도로 판단된다.

표 3.6 혼잡상황에 따른 구간 검지체계 최적 설치간격

구 분	최적 설치간격(km)
상습정체구간	2.0 ~ 3.0

#### 4. 결 론

구간 검지체계 설치기준은 시간 처짐 현상으로 인한 통행시간 오차를 최소화하기 위해 교통상황을 소통원활과 상습정체로 구분하여 산정하였으며, 이를 위해 구간 및 정체 길이, 통행속도 등을 이용하여 시·공간도를 작성하고, 검지기 설치간격에 따른 통행시간 오차를 계산하였다. 산정된 적정 수준 이하이면서 구간 간격의 축소에도 통행시간 오차율의 변화가 적은 경우를 파악하여 최적 간격을 도출하고자 하였다.

본 연구에서는 전형적인 정체상황을 가정하여 검지기 간격별 통행시간의 오차를 산정하여 최적 검지 간격을 설정하고자 하였으며, 정확도에 영향을 주는 요인으로는 검지기 설치간격, 정체길이, 정체 구간 길이이며, 검지 간격을 일정값 이하로 감소시키면 오차 변화율이 수렴하는 형태를 보였다. 따라서, 통행시간 오차값을 일정 이하로 유지하면서, 검지기 설치비용에 따른 효율을 감안하여 최적 설치간격으로서 2~3km를 선정하였다.

#### 참고 문헌

- [1] 김재진(2006), “구간검지체계를 이용한 On-Line 출발시간기준 링크 통행시간 추정(연속류를 중심으로)”, 대한교통학회지 제24권 제2호, 대한교통학회
- [2] 김재진(2006), “구간검지체계를 이용한 통행시간 정보의 공간적 설계-연속류를 중심으로”, 제53회 학술발표회 논문집, 대한교통학회
- [3] 한국도로공사(2008), “DSRC를 활용한 도로교통정보 검지시스템 실용화 기술개발”
- [4] 한국도로공사(2000), “고속도로 교통소통 통합관리체계 수립을 위한 조사분석”
- [5] 한국도로공사(2000), “고속도로 교통소통 통합관리체계 수립 연구”