

■ 論 文 ■

일반국도 통행특성을 고려한 지점검지기의 적정설치지점 선정에 관한 연구

A Study for Optimized Detector Location Considering the Traffic Characteristics in National Highway

변 상 철

(한국건설기술연구원 첨단도로시스템연구센터
선임연구원)

이 승 재

(서울시립대학교 교통공학과 부교수)

목 차

I. 서론	1. 선정방법론
II. 선행연구의 고찰	2. 최적설치지점 선정
1. 선행연구의 고찰	3. 적정설치지점 선정기준
2. 선행연구의 한계 및 극복방안	V. 적정설치지점의 검증
III. 자료수집 및 대상구간 특성	1. 검증방법론
1. 자료수집	2. 검증결과
2. 대상구간 특성	VI. 결론 및 향후 연구과제
IV. 적정설치지점의 선정	참고문헌

Key Words : ITS, 일반국도, 지점검지기, 통행특성, 적정설치지점

요 약

본 연구는 일반국도의 통행특성을 고려한 지점검지기의 적정설치지점 선정을 다루고 있다. 일반국도에서의 ITS 구축은 활발히 진행되고 있으나, 자료수집 구간에서의 통행시간 추정 신뢰도에 가장 큰 영향을 미치고 있는 지점검지기의 설치지점에 관해 적절한 기준이 제시되지 못하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 일반국도의 구간 통행시간의 추정을 위해 대표성을 확보할 수 있는 지점검지기의 적정설치지점을 선정하여 제시하고자 한다. 이를 위하여 GPS 프로브 차량과 지점검지기를 이용하여 대상지역의 통행특성을 수집하고, 지점속도와 구간통행시간의 상관분석을 통하여 적정설치지점을 선택한다.

분석결과 일반국도의 구간별 적정설치지점의 특성은 다음과 같다.

첫째, 구간 통행시간과 지점 속도와와의 상관관계는 구간의 시점에서부터 높아지다가 일정시점이 지나서는 낮아지는 U자형 형태를 보이고 있다. 둘째, 최적설치지점은 분석구간마다 상이하게 존재하나, 대부분 구간연장을 기준으로 중류부 및 중·하류부에 존재한다. 셋째, 구간의 적정설치지점은 구간의 중류부에서 하류부로 넘어가는 지점이 적절하며, 일반적으로 자료수집 구간 연장을 기준으로 시점부로부터 55~60%가 되는 지점이다. 넷째, 종단경사는 적정설치지점과 관련하여 중요한 결정인자가 되며, 종단경사가 큰 경우에 있어서 검지기의 설치는 배제되어야 한다.

끝으로, 본 연구의 결과를 토대로 한 지점검지기의 현장적용을 통해, 정보제공 구간내 통행시간 추정 및 예측력의 개선을 기대한다.

This study deals with the optimized detector location considering the traffic characteristics in National Highway. Although there are many construction works for ITS in National Highway, there is not specific criteria for detector location which can effect the accuracy of traffic information. This study, therefore, aims to provide the optimized detector location criteria which can represent the traffic characteristics of National Highway. It collects traffic factors of study area by GPS probe-car and detector, and presents the optimized detector location by the correlation analysis between spot-speed and link-travel-time.

The main results of this study are as followings:

First, the correlation between the spot-speed and link-travel-time presents the opposite bell shape of the graph (U-type curve) which is increased from the upstream then, declined through some unspecified point of the link. Second, the optimized detector location usually distributes around midstream of link, even though it does not have a consistency. Third, therefore, the optimized detector location generally should be located between 55~60% of total link length. Forth, high level of vertical slope is one of the most important factors of detector location, so it should be excluded for determination of optimized detector location.

Finally, expecting that the results of this study would improve the accuracy of travel time estimation and forecasting.

I. 서론

오늘날 심각한 교통문제를 완화하기 위해 기존의 교통시설에 대한 이용을 극대화할 수 있는 방안이 요구되고, 더불어 시간에 대한 가치가 급증함에 따라 통행시간을 최소화하기 위한 노력들이 지속적으로 이루어지고 있다. 이에 최근 교통정보를 도로 이용자에게 제공함으로써 교통시설의 이용 극대화 및 통행시간을 최소화하는 ITS(Intelligent Transport Systems : 지능형 교통체계)의 도입이 활발히 진행되고 있다.

통행시간 정보를 제공하기 위해서는 무엇보다 현장에서 자료 수집이 우선되어야 하며, 이러한 정보제공에 있어 가장 중요한 것은 수집 자료의 신뢰성이다. 따라서 현재 이와 같은 신뢰성을 높이기 위한 연구가 지속적으로 진행되고 있다.

교통자료를 수집에는 주로 지점검지기와 구간검지기가 이용되고 있다. 특히 정보제공 구간내 설치되는 지점검지기는 그 구간의 대표 통행속도를 제공할 수 있는 적절한 지점에 설치되어야 한다. 구간내 통행특성을 가장 잘 반영하는 적정 검지점의 선정은 모든 구간에 검지기를 설치할 수 없는 비용적인 문제점을 해결할 수 있을 뿐 아니라, 정확성 높은 구간통행시간 추정을 위해서도 반드시 연구되어야 할 과제라고 할 수 있다.

하지만 ITS의 지속적인 구축에도 불구하고 국내에 설치되는 지점검지기의 경우, 일반적으로 원활한 소통 상황을 보이는 지점 및 설치가 용이한 지점 등을 별도 고려사항 없이 일괄적으로 선정하여 설치하고 있어 구간 내 차량 통행특성을 반영하지 못하고 있다. 이러한 한계로 지점검지기에서 수집된 통행특성은 구간의 통행시간(속도)을 반영하기 어려우며, 통행시간의 추정 및 예측력 저하로 이어지고 있다.

따라서 본 연구는 일반국도를 대상으로 구간의 통행시간(속도)을 적절히 대표할 수 있는 지점을 선정하고 검지기의 설치 기준을 제안한다. 이러한 지점에서의 검지기 설치운영은 통행시간 추정 및 예측의 신뢰성 향상에 중요한 역할을 담당할 것으로 기대한다.

II. 선행연구의 고찰

1. 선행연구의 고찰

그 동안 적정설치지점¹⁾ 선정에 대해 다양한 연구가

진행되어 왔는데, 가장 일반적인 연구방법론은 구간의 교통특성 변수와 구간 통행시간을 산출하고 이들 간의 상관분석을 통해 구간 통행시간을 가장 잘 반영하고 있는 교통특성 변수와 그 변수를 추출할 수 있는 적정설치지점을 선정하는 방식이라 할 수 있다.

적정설치지점 선정과 관련한 대표적인 초기연구로는 Rouphail(1993)과 Sisiopiku(1994) 등의 연구를 들 수 있다. Rouphail의 1인(1993)은 5개의 링크에 대해 15분 간격의 루프 검지기 자료와 주행차량을 이용한 구간 통행시간 측정을 통하여 검지기 자료와 통행시간과의 관계를 연구하였으며, Sisiopiku 외 2인(1994)은 모의 실험과 현장조사를 통하여 간선도로 통행시간과 검지기 자료와의 상관관계에 대하여 연구하였다.

이상의 연구들은 교통특성 변수와 통행시간과의 관계분석을 통해 통행시간에 영향을 미치는 교통특성 변수를 찾는데 중점을 두고 있다. 비록 적정설치지점을 제시하고 있지는 않지만, 적정설치지점 선정에 필요한 평가지표를 제시한 초기의 연구들은 향후 연구에 많은 영향을 미쳤다.

한편 지점검지기의 적정설치지점에 관련한 최근 연구사례들을 살펴보면 다음과 같다.

Thomas(1998)는 시뮬레이션을 사용하여 지방부 도로의 적정검지위치에 관한 연구를 수행하였다. 연구 결과 네트워크의 개별 링크마다 개별적인 구간통행 특성을 갖고 있으며, 단순한 관계식으로 이러한 특성을 예측할 수 없음을 제시하고 있다.

오기도(1999)는 교통정보 수집용 검지기의 최적 위치를 결정하기 위해 미시 교통류 시뮬레이션 모형(DETSIM)을 개발하였다. 이 연구는 통행시간에 영향을 미치는 인자로서 교통량 보다는 점유율, 지점속도의 영향력이 높은 것으로 제시하였다. 한편, 검지기의 최적위치는 링크의 길이와는 무관하게 정지선으로부터 200m에 설치하는 것을 제안하고 있으며, 침투시에 과도한 지체가 발생하는 링크에서는 400m에 검지기를 추가적으로 설치하여야 한다고 제안하고 있다.

이진호(2002)는 신뢰성 있는 통행시간 정보제공을 위해서 해당 링크의 특징을 가장 잘 반영할 수 있는 검지기의 적정위치에 대해 일반국도를 대상으로 연구를 수행하였다. 연구결과 최대 대기행렬 길이와 구간 통행시간 간의 양의 상관관계를 밝혀내었고, 선행연구와의 결과비

1) 선행연구에서는 지점검지기의 적정설치지점을 적정검지위치, 적정위치, 최적위치 및 적정검지지점 등의 다양한 용어로 사용하고 있는데, 본 연구에서는 이를 적정설치지점으로 통일하여 사용하며 다만 선행연구의 고찰에서는 기존 연구에서 사용한 용어를 그대로 적용하여 기술한다.

교를 통해 검지기의 적정위치 선정에 있어 최대 대기행렬 길이의 적용은 타당한 것으로 결론 내리고 있다.

Oh, Sungho와 2인(2003)은 도시부 간선도로의 통행시간 추정을 위한 적정검지지점에 관한 연구를 시행하였다. 연구결과 최적검지위치는 모든 요소들에 골고루 영향을 받지만 주로 구간 길이에 많은 영향을 받는 것으로 나타났으며, 결과적으로 2,000ft(1.2km)의 구간길이 가진 링크의 경우, 최적의 검지위치는 하류부 교차로로부터 200ft(120m)되는 지점인 것으로 제시하였다.

2. 선행연구의 한계 및 극복방안

지점검지기에서 수집된 자료(교통량, 속도, 점유율)를 이용하여 통행시간을 추정할 경우, 수집된 자료는 구간 내 통행시간을 반영할 수 있어야 한다. 따라서 통행시간을 가장 잘 반영한 변수 및 수집 지점의 선정은 매우 중요한 과제이다.

이를 위해 기존 연구에서는 구간 통행시간과 지점 통행특성(교통량, 속도, 점유율)의 관계에서 상관관계가 가장 높은 변수를 이용하여 통행시간을 추정하는데 중점을 두고 있다. 그러나 지점검지기의 설치지점에 따라 자료수집 구간에서의 통행시간과 지점 통행특성과의 상관관계가 달라지는 것에 대한 고려는 미흡한 실정이다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 오기도, 이진호, Thomas 등이 적정 지점에 대한 연구를 진행한 바 있다. 그러나 이들 연구들은 다음과 같은 한계를 갖고 있다.

첫째, 기존 연구는 지점검지기의 적정 설치지점선정을 위해 교통량, 최대대기행렬길이, 구간길이, 신호주기, 녹색신호시간비, 오프셋 등을 고려하고 있는데, 여기서 교통량 및 최대대기행렬길이의 경우 실시간으로 변화하게 되며, 그에 따른 적정 설치지점 또한 변화하게 된다. 그러나 지점검지기의 경우, 설치 후 이설이 제한되게 되어 실제 지점검지기의 적정설치지점의 선정을 위해서는 한계가 있다.

둘째, 대부분의 기존연구에서 시뮬레이션 모형을 이용한 분석을 실시하여 국내 교통여건을 반영하지 못하는 한계점을 가지고 있다.

따라서 본 연구는 실제 일반국도를 대상으로 수집한 통행특성 자료를 기반으로 적정설치지점 선정기준을 제안함으로써 기존연구의 한계점을 극복하고자 한다. 이를

위해 일반국도 3호선 곧지암 IC~장지 IC의 10.72km 지점을 대상구간으로 선정하고, GPS 프로브 차량운행을 통해 1초 단위로 지점별 통행속도를 산출한다.

이를 토대로 교통특성별로 구간 통행시간을 가장 잘 반영할 수 있는 적정설치지점을 분석·선정하며, 이를 바탕으로 적정설치기준을 제안한다. 또한 도로기하구조 및 교통여건 등 다양한 현장 여건을 반영하여 보다 일반화된 적정설치범위를 제안하고자 한다. 이에 따른 연구 수행과정은 다음과 같다.

첫째, 대상구간(곧지암 IC~장지 IC)의 기하구조와 시설특성 및 GPS 장착차량과 지점검지기를 이용하여 구간특성을 수집 분석한다.

둘째, 구간내 10m 단위별로 지점속도를 산출하여 실제 구간통행시간과 지점별 통행속도와의 상관분석을 통하여 최적설치지점을 선정한다.

셋째, 도로유형 및 특성별 비교분석을 통하여 적정 설치지점 선정기준을 제시한다²⁾.

넷째, 선정된 지점 및 기타 지점간 통행시간 추정력 검증을 통하여 제시된 지점의 적정성을 검증한다.

III. 자료수집 및 대상구간 특성

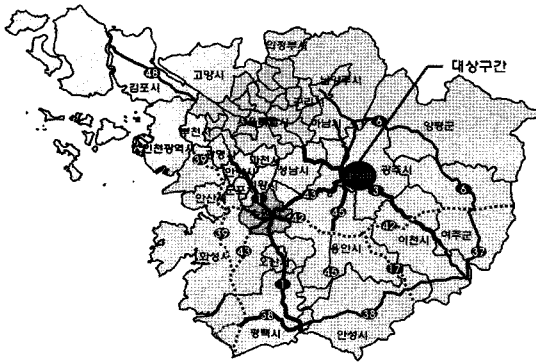
1. 자료수집

본 연구는 일반국도의 통행특성을 반영한 지점검지기의 적정설치지점 선정을 다루고 있다. 따라서 연구결과가 대표성을 가지기 위해서는 일반국도의 특성을 잘 나타낼 수 있으며, 아울러 ITS 구축구간 중 대표성을 지닐 수 있는 지점이 연구 대상지역으로 선정되어야 한다.

일반국도의 특성과 수도권 ITS 구축사업 지역을 대상으로 고려한 결과, 본 연구는 일반국도 3호선 곧지암 IC~장지 IC의 10.72km 구간을 대상구간으로 선정하고, 자료 수집을 통해 연구를 진행한다.

대상지역의 선정배경은 대상지역의 단위구간들이 연속류와 단속류의 특성을 모두 지니고 있으며, 연접지역 토지이용 패턴의 경우도 도시부와 지방부의 특성을 모두 가지고 있기 때문이다. 더불어 일반국도 ITS 구축사업이 완료된 구간의 시설, 교통 및 장비설치 특성을 반영할 수 있는 구간이기 때문이다. 물론 모든 조건을 만족하는 대상구간을 선정하는 것은 매우 어려운 일이

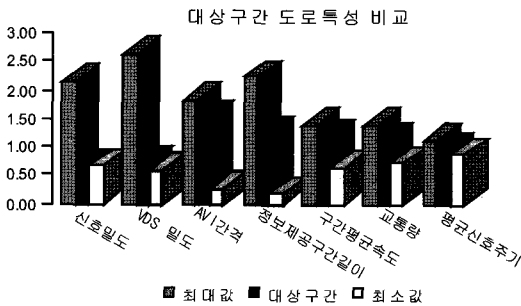
2) 자료수집 구간에서의 최적설치지점은 구간별로 상이하게 존재하게 되며, 이러한 최적설치지점의 선정을 위해서는 모든 구간에서 조사가 필요하게 된다. 이는 현실적인 어려움이 존재하기 때문에 일반화된 설치지점의 선정기준이 필요하다.



〈그림 1〉 대상구간 도로특성 비교

지만, 본 연구의 대상구간은 시설특성, 통행특성 및 장비설치특성에 있어 전체 평균과 비교하여 유사한 특성을 나타내고 있다.

〈그림 2〉는 일반국도 ITS 구축구간에서 분석된 각 지표들의 최대값과 최소값을 본 연구의 대상구간과 비교하여 나타내고 있다. 지표 값들의 편차가 큰 것을 감안하여 해당 지표의 평균을 1로 하고 그에 따른 상대비를 나타내었는데, 신호밀도를 제외한 모든 지표가 기 구축된 구간의 최대 최소 범위 안에 분포하고 있으며, 정보제공 구간 길이, 구간 평균속도, 교통량 및 평균 신호주기는 평균에 근사함을 알 수 있다.



〈그림 2〉 대상구간 도로특성 비교

대상구간은 왕복 4차로로 구성되며, 일부 신호교차로 유입부에서는 3차로로 이루어졌다. 또한 대상지 양 끝단(곤지암 IC, 장지 IC)과 대상지 중간부분(경안 IC)에 3개의 입체교차로와 9개의 신호교차로 등 총 12개의 교차로로 구성되어 있다. 본 연구는 대상구간에 대해 교차점을 기준으로 하여 11개 구간으로 구분하여 자료 수집 및 분석을 진행하며, 〈표 1〉은 대상구간 현황을 나타내고 있다.

한편 현장자료는 GPS 프로브차량의 운행을 통한 구

〈표 1〉 대상구간 현황

구간	시점	종점	거리(m)	접속도로
1	곤지암 IC	삼리 2리 (빙그레입구)	500	중부고속도로
2	삼리 2리 (빙그레입구)	신이리 (나이키앞 3가)	460	지방도 337호선교차
3	신이리 (나이키앞 3가)	레미콘 공장 (고려산업개발3가)	640	
4	레미콘 공장 (고려산업개발3가)	쌍동1리	550	
5	쌍동 1리	롯데 아파트 앞	502	
6	롯데 아파트 앞	용수리 (초월파출소앞3가)	1,728	
7	용수리 (초월파출소앞3가)	선린촌 (소방파출소앞3가)	510	지방도337교차
8	선린촌 (소방파출소앞3가)	도평리 (남촌폴장앞3가)	400	
9	도평리 (남촌폴장앞3가)	쌍령2리	1,490	
10	쌍령2리	경안 IC	1,540	구 일반국도 43,4 5호선교차
11	경안 IC	장지 IC	2,400	일반국도 43, 45호선교차
계	총 12개 교차로, 11개구간		10,723	

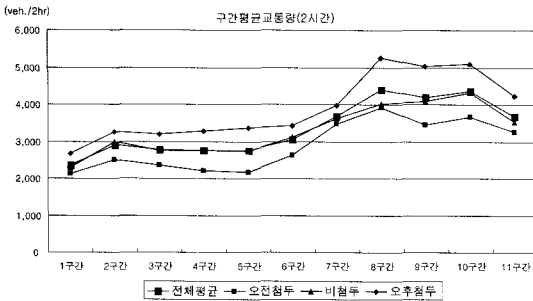
간 통행특성정보 수집과 지점검지기를 통한 지점 통행정보의 수집으로 이루어진다. GPS 프로브차량은 구간 내 시범주행을 통해 개별차량의 지점통과속도와 구간통행시간을 산출하는데 목적이 있으며, 지점검지기 자료는 해당 지점의 통과속도, 점유율 및 교통량을 수집하는데 그 목적이 있다.

자료수집은 2005년 7월 23일(토)~26일(화)에 걸쳐 총 4일간 이루어 졌으며, 오전첨두(07:00~09:00), 오후첨두(17:00~19:00) 및 비첨두(12:00~14:00)로 구분하여 수집되었다. GPS 장비를 장착한 차량은 4대를 운영하여 4일 동안 총 139개의 자료를 수집하였고, 이중 장비이상 등의 이유로 활용 불가능한 자료를 제외하고 104개의 속도 프로파일을 사용하였다.

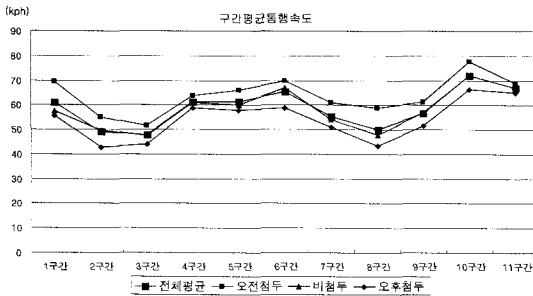
대상구간 내 지점검지기는 9개소에서 설치 운영 중에 있으며, 11개의 자료수집구간 7개 구간에서 운영 중에 있다. 이중 최근에 장비의 Calibration이 이루어지지 않았거나 장비의 이상이 있는 지점에 대하여 이동식 조사 장비인 NC-97을 활용하였다.

2. 대상구간 특성

본 단락은 수집된 자료를 바탕으로 대상구간의 특성



〈그림 3〉 구간별 평균교통량(2시간)



〈그림 4〉 구간별 평균통행속도

을 분석하고, 도로특성에 따라 도로 유형을 구분한다.

〈그림 3〉은 NC-97과 VDS로 수집된 구간별 평균 교통량(2시간 단위)추이를 나타내고 있다. 구간평균교통량은 오후첨두, 비첨두, 오전첨두 순으로 나타나고 있으며, 구간별로 살펴보면 1~7구간에 비하여, 지방도 337호선과 교차하는 8구간부터 일반국도 43호선 및 45호선과 교차하는 11구간까지는 비교적 높은 교통량을 나타내고 있다.

〈그림 4〉의 구간별 평균통행속도를 살펴보면, 오전첨두의 평균통행속도가 가장 높고 다음으로 비첨두, 오후첨두 순으로 나타나고 있다. 또한 구간길이가 상대적으

로 긴 6구간, 10구간 및 11구간의 평균통행속도가 기타 구간에 비해 높게 나타나는데, 6구간의 경우 긴 구간길이에 의하여 신호에 의한 지체가 구간통행시간에 미치는 영향이 상대적으로 낮기 때문에 나타나는 현상으로 판단되며, 10구간과 11구간은 하류부가 입체교차로로 구성되어 있어 신호의 영향이 없기 때문이라 판단된다.

〈표 2〉는 GPS에서 수집되는 고도자료를 이용하여 대상구간의 구간별 고도변화 및 종단경사를 나타내고 있다. 대부분 구간은 고도 90~100m 수준을 유지하는 평지부를 이루고 있으며, 종단경사가 거의 없거나 ± 2.0 이하의 수준을 나타내고 있다. 반면, 9구간과 11구간의 경우는 ± 3.5 이상의 높은 종단경사를 나타내고 있다.

한편 본 연구는 11개로 구분되어지는 단위구간의 도로특성분석을 통하여 도로의 유형을 구분하고 유형별로 분석을 실시한다. 이는 결과해석 및 적정설치지점 선정 기준 제안을 보다 효과적으로 진행하기 위함이다.

도로용량편람(건설교통부, 2004)에서는 시설적 관점에서 도로시설의 유형을 크게 두가지로 구분하고 있다. 하나는 연속류 시설과 단속류 시설로 구분하는 방법이며, 다른 하나는 도시부 도로시설과 지방부 도로시설로 구분하는 방법이다.

이에 본 연구는 대상도로의 도로특성에 따라 연속류와 단속류로 도로 유형을 구분한다. 신호교차로로 운영되어지는 1~9구간을 단속류 구간으로 구분하고 입체교차로로 운영되는 10~11구간을 연속류 구간으로 구분한다. 단속류 구간은 대상구간의 길이에 따라 1,000m 미만 구간과 1,000m 이상 구간으로 구분한다.

〈표 3〉은 분석대상구간의 도로 유형구분 및 신호교차로의 특성을 나타내고 있다. 신호교차로 특성은 표에서 나타나는 바와 같이 지방도 337호선과 교차하는 2구간

〈표 2〉 구간별 고도변화 및 종단경사

구간	1구간	2구간	3구간	4구간	5구간	6구간	7구간	8구간	9구간	10구간	11구간
최고(m)	98	99.6	97.1	90.4	97.8	109.1	90.2	101.4	114.5	78.5	115.3
최저(m)	91.1	95.1	95.1	87.1	90.4	88.6	88.6	90.2	78.5	65.5	65.5
종단경사(%)	+1.4	-2.1~+0.6	-1.3	+0.6	-0.3~+2.4	-1.9~+1.8	+0.3	+2.8	-3.6~+3.2	-0.8	-2.1~+4.5

〈표 3〉 대상구간 도로 유형구분 및 신호교차로 특성

구간	단속류 구간										연속류 구간
	1,000m 미만					1,000m 이상					
거리(m)	500	460	640	550	502	1,728	510	400	1,490	1,540	2,400
신호주기(초)	150	150	150	150	150	140~160	124~144	140~156	231	-	-
유효녹색시간(초)	125	88	107	125	118	124~144	140~159	124~144	175		
녹색시간비(g/C)	0.83	0.59	0.71	0.83	0.77	0.78	0.88	0.78	0.76		

을 제외하고는 대부분의 신호교차로는 녹색시간비 0.7 이상을 나타내고 있어 직진교통류의 흐름을 보장하고 있으며, 신호주기의 경우 150초 수준을 나타내고 있다.

Ⅳ. 적정설치지점의 선정

1. 선정방법론

본 연구는 지점검지기의 적정설치지점을 선정하기 위한 지표로 상관분석을 통한 상관계수를 이용한다. 상관분석이란 두 변수간에 상관관계가 존재하는가를 파악하고, 상관관계의 정도를 측정하는 것이다. 즉, 두 변수의 선후관계가 명백하지 않아 종속관계를 정의할 수 없는 경우에 상호의존도를 직선적으로 정량화하는 방법이며, 이들 변수간의 상관관계는 상관계수라 불리우는 지표를 이용하여 수치적으로 판단한다(노형진, 2001).

일반적으로 지점속도와 구간통행시간과의 음의 선형 관계가 가장 잘 나타날수록 지점속도가 구간통행시간을 가장 잘 반영한다고 할 수 있다. 따라서 본 연구는 대 상구간을 주행하는 개별 프로브 차량의 10m 단위 지점속도와 해당차량의 구간통행시간과의 상관분석을 통해 두 변수간의 상관계수가 높은 지점을 적정설치지점(혹은 최적설치지점)으로 정의한다.

2. 최적설치지점 선정

1) 단속류 구간

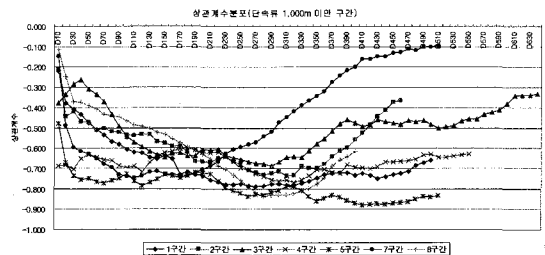
대상구간 내 단속류구간은 1~9구간까지 총 9개 구간이며, 구간길이는 400~1,728m 까지 다양하게 분포하고 있다. 따라서 전술한바와 같이 구간길이가 400~720m에서 형성되고 있는 1, 2, 3, 4, 5, 7 및 8구간을 단속류 1,000m 미만 구간으로 구분하고, 구간길이가 1,000m 이상에서 형성되는 6, 9구간을 단속류 1,000m 구간으로 구분하여 분석한다.

(1) 단속류 1,000m 미만 구간

〈그림 5〉는 단속류 1,000m 미만 구간의 지점속도와 구간통행시간과의 상관계수를 거리별로 나타내고 있다. 두 변수간의 상관관계는 지점속도가 늘어날수록 구간통행시간이 줄어드는 음의 상관관계를 나타내고 있으며, 지점별로 그 값에 차이가 있는 것으로 분석된다.

상관계수값의 추세를 살펴보면 자료수집구간 상류부에서 낮은 값을 나타내던 상관계수는 점차적으로 높아지다가 일정시점이 지나서 다시 낮아지는 형태를 나타내고 있다. 즉, 차량이 구간을 주행함에 따라 상관계수는 점차 높아지다가 다시 낮아지는 U자형 형태를 나타내고 있다.

최적설치지점을 결정하기 위하여 구간별로 상관관계가 가장 높게 나타난 지점들을 살펴보면, 7구간을 제외하고 대부분 구간의 중류부에서 하류부로 이어지는 구

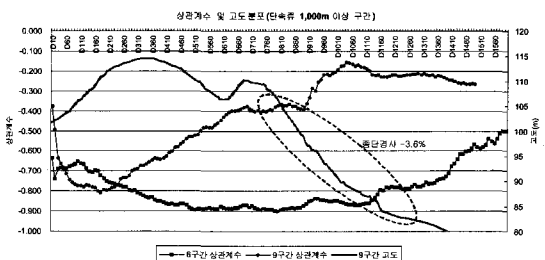


〈그림 5〉 상관계수분포(단속류 1,000m 미만 구간) 간에 존재하고 있다.

(2) 단속류 1,000m 이상 구간

〈그림 6〉은 단속류 1,000m 이상 구간의 두 변수간 상관분석 결과를 나타내고 있다. 6구간의 경우 1,000m 미만 구간과 마찬가지로 구간의 중류부로 갈수록 상관계수가 높아지다가 다시 낮아지는 U자형의 형상을 띄고 있다. 한편 해당 구간의 경우 상관계수 값이 우수한 지점 또한 넓게 분포되어 있는데, 이는 긴 구간길이로 인하여 신호등에 의해 늘어나는 지체가 전체 구간통행시간에 미치는 영향이 상대적으로 적기 때문이라고 판단된다. 즉, 평지부의 경우 구간길이가 길수록 적정설치지점의 선택의 폭이 넓어짐을 알 수 있다.

한편, 9구간의 경우 상관계수의 분포가 U자형의 형상을 띄고 있지만, 이러한 형태는 구간의 상류부에서만 나타나고 있으며 중류부를 넘어서면서 상관계수가 급격히 낮아지고 있어 기존과는 상이한 형상을 나타내고 있다. 이는



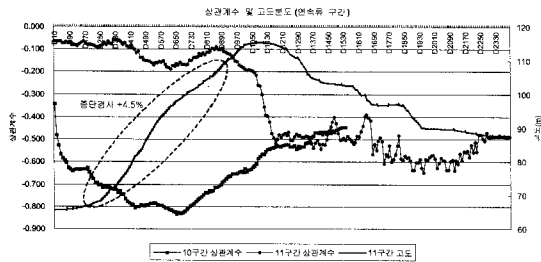
〈그림 6〉 상관계수 및 고도분포(단속류 1,000m 이상 구간)

구간의 중하류부가 -3.6%의 높은 종단경사를 나타내는데 기인한 현상이다. 따라서 해당구간의 종단경사는 적정설치지점 선정에 있어 중요한 결정요인이 된다고 판단된다.

2) 연속류 구간

연속류 구간의 상관분석 결과는 <그림 7>과 같다. 10구간의 경우 앞서 단속류 구간과 마찬가지로 구간 중류부의 상관계수가 가장 높게 나타나고 있어, 구간통행 시간을 가장 잘 반영하는 지점으로 판단된다. 한편 11구간의 경우는 상이한 결과를 나타내는데 구간 상류부에서 중류부 까지 상당히 낮은 상관 계수값을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이는 해당 지점이 종단경사 +4.5%의 높은 값을 나타내고 있기 때문으로 판단된다.

<표 4>와 <표 5>는 이상의 분석을 토대로 대상구간의 구간별 최적설치지점을 단속류와 연속류로 구분하여 나타내고 있다.



<그림 7> 상관계수 및 고도분포(연속류 구간)

<표 4> 단속류 구간의 최적설치지점

구간	구간길이(m)	최적설치지점(m)	상관계수(m)
1구간	500	270	-0.790
2구간	460	310	-0.736
3구간	640	290	-0.688
4구간	550	320	-0.770
5구간	502	410	-0.879
6구간	1,728	900	-0.898
7구간	510	110	-0.745
8구간	400	280	-0.836
9구간	1,490	180	-0.809

<표 5> 연속류 구간의 최적설치지점

구간	구간길이(m)	최적설치지점(m)	상관계수(m)
10구간	1,540	650	-0.834
11구간	2,400	1,950	-0.648

최적설치지점은 구간통행시간과 가장 높은 상관계수 값을 나타내는 지점을 선정하였는데, 대부분의 최적설치지점은 상관계수 0.7이상의 고 상관을 나타내고 있다.

3. 적정설치지점 선정기준

앞 절에서는 대상구간 내 11개 구간의 실제 차량통행 데이터를 기초로 하여 지점속도와 구간통행시간의 상관분석을 통한 최적설치지점을 선정하였다. 상관계수는 차량의 이동에 따라 상류부에서부터 점차적으로 높아지다가 중류부를 지나면서 서서히 낮아지는 U자형의 형태를 나타내고 있다. 그러나 유사하게 분포하는 상관계수의 특성과 달리 가장 높은 상관계수값을 나타내는 최적설치지점의 분포는 구간별로 상이하게 나타난다. 검지기의 설치는 최적설치지점에서 이루어져야 하나 그럴 경우 모든 구간에서 설치 지점을 조사하여야 하기 때문에 현실적으로 어려움이 있다.

따라서 결론을 일반화하여 검지기의 설치시 일반적으로 적용 가능한 적정설치지점 선정기준이 설정되어야 한다. 이에 본 연구는 적정설치지점 선정기준을 설정하기 위해 대상구간의 구간길이를 백분율로 환산한 뒤, 일반적으로 상관관계가 있다고 정의되는 상관계수 -0.6 이상을 나타내는 지점의 분포를 분석한다³⁾.

이를 통해 구간별로 공통적으로 존재하는 구간내 지점을 선정하여 적정설치지점 선정기준으로 제시한다. 분석은 도로유형별로 구분하여 진행된다.

한편 종단경사에 영향을 받는 9구간과 11구간의 경우는 해당구간에서 높은 종단경사로 구성된 구간을 분석에서 제외한 뒤 분석한다. 즉 구간길이 1.49km인 9구간의 경우 하류부 770m를 분석에서 제외한 상류부 720m를 기준으로 분석하고, 2.4km의 11구간의 경우도 상류부 1.05km를 제외한 하류부 1.35km를 기준으로 분석한다.

상관계수 분포를 단속류와 연속류로 구분하여 분석하면, 단속류 구간(1~9구간)의 경우 구간에 따라 고상관계수가 분포하는 범위에는 차이가 있지만 대부분 중류부를 전후(50~60%)해서 공통적으로 분포하고 있다. 연속류 구간(10, 11구간)의 경우도 유사한 특성을 나타내고 있으나 중류부에서 하류부로 넘어가는 지점(55~65%)이 상대적으로 우수한 상관계수분포를 나타

3) 상관계수에 따른 상관관계는 ① ±0.8 이상 : 강한 상관관계 있음, ② ±0.6~±0.8 : 상관관계 있음, ③ ±0.4~±0.6 : 약한 상관관계 있음, ④ ±0.4 미만 : 거의 상관관계 없음 등으로 정의된다(노형진, 1999).

내고 있다(〈표 6〉).

한편 구간별 상관계수 분포를 구간길이에 구분하여 비교하면, 1,000m 미만 구간(1~5구간, 7~9구간)의 경우 앞서 단속류 구간과 마찬가지로 구간의 중류부(50~60%)를 전후해서 공통적인 높은 상관구간이 존재하고 있으며, 1,000m 이상의 구간(6, 10, 11구간)은 중류부에서 하류부로 넘어가는 지점(55~65%)의 상관계수 분포가 우수하다(〈표 7〉).

〈표 8〉은 단위구간별 상관계수의 분포를 종합하여 백분위한 구간길이에 기준하여 나타내고 있다. 구간의 특성에 따라 상관계수값 및 그 분포는 다양하게 나타나

고 있으나, 대부분의 대상구간은 전체구간의 55~60% 지점에서 높은 상관관계를 나타내는 것을 알 수 있다.

이러한 결과를 토대로 본 연구는 구간내 적정설치지점 선정기준을 다음과 같이 선정한다.

구간내 적정설치지점은 평지부를 기준으로 하여 구간의 중류부에서 하류부로 넘어가는 지점, 즉 구간장을 기준으로 55%~60% 지점이 가장 적절한 것으로 판단된다.

구간내 적정설치지점 선정기준을 적용한 대상구간의 구간별 적정설치지점은 〈표 9〉와 같다⁴⁾. 여기서 해당 구간의 최적설치지점과 적정설치지점간에 거리차이가 생기고 있는데, 이는 최적지점에서의 지점점지기 설치

〈표 6〉 구간별 상관계수 분포(단속류, 연속류)

- 단속류

구분(%)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
1구간																						
2구간																						
3구간																						
4구간																						
5구간																						
6구간																						
7구간																						
8구간																						
9구간																						

- 연속류

구분(%)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
1구간																						
2구간																						

주: ■ : 상관계수 0.7 이상, ▨ : 상관계수 0.65 이상, □ : 상관계수 0.6이상

〈표 7〉 구간별 상관계수 분포(구간 길이)

- 1,000m 미만

구분(%)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
1구간																						
2구간																						
3구간																						
4구간																						
5구간																						
7구간																						
8구간																						
9구간																						

- 1,000m 이상

구분(%)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
6구간																						
10구간																						
11구간																						

4) 구간 내 종단경사의 변화 폭이 큰 9, 11구간은 종단경사가 높은 지점을 제외한 뒤 기준을 적용하였다.

〈표 8〉 단위구간별 상관계수 분포종함

- 단속류

구분(%)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
1구간																						
2구간																						
3구간																						
4구간																						
5구간																						
6구간																						
7구간																						
8구간																						
9구간																						
10구간																						
11구간																						

〈표 9〉 구간별 적정설치지점

구간	구간장(m)	최적설치지점		적정설치지점	
		위치(m)	상관계수	위치(m)	상관계수
1구간	500	270	-0.790	300	-0.775
2구간	460	310	-0.736	276	-0.729
3구간	640	290	-0.688	384	-0.479
4구간	550	320	-0.770	330	-0.756
5구간	502	410	-0.879	301	-0.808
6구간	1,728	900	-0.898	1,037	-0.862
7구간	510	110	-0.745	306	-0.447
8구간	400	280	-0.836	240	-0.734
9구간	1,490(720)	180	-0.809	370	-0.672
10구간	1,540	650	-0.834	924	-0.665
11구간	2,400(1,350)	1,950	-0.648	1,890	-0.635

를 제한할 경우, 모든 구간에서의 설치지점이 상이하게 되고 그에 따라 현장에서의 검지기 설치시 실제 조사를 통한 지점선정이 이루어져야 하기 때문에 현실성이 결여되는 문제가 있다. 따라서 본 연구에서는 보다 실용적인 연구결과 도출을 위해 일정수준의 오차를 감수하며 가장한 것으로, 설명 이러한 과정 중 거리의 편차는 커지더라도, 상관계수의 편차를 고려하여 최대한 객관성을 유지하였으며 다음 장에서 두 지점간의 추정력을 비교하여 검증한다.

으로 한 구간통행시간추정과 비교함으로써 적정설치지점의 선정 타당성을 검증한다.

구간통행시간 추정을 위해서는 KHCM 모형을 이용한다. KHCM에서 평균통행속도는 식(1)과 같이 정의되며, 구간통행시간은 구간길이를 평균통행속도로 나누어주면 된다. 한편 구간통행시간은 km당 순행시간과 교차로충접근치제의 합으로 구성되는데, GPS를 통해 수집된 차량의 구간통행시간은 교차로충접근치제를 포함하는 구간통행시간이므로 지체에 대한 추가적인 고려는 필요하지 않다.

V. 적정설치지점의 검증

1. 검증방법론

적정설치지점의 선정목적은 보다 정확한 구간통행시간 추정에 있다. 따라서 분석을 통해 제시된 적정설치지점에서의 지점통행속도를 토대로 구간통행시간을 추정하여 이를 참값 및 기타 지점에서의 수집자료를 기반

$$\text{평균통행속도} = \frac{3600 \times \text{구간장}}{\text{km당 순행시간} \times \text{구간장} + \text{교차로지체}} \quad (1)$$

여기서,

- 평균통행속도 : 간선도로의 전체 또는 일부 구간의 평균통행속도(kph)
- 구간길이 : 간선도로의 전체 또는 일부 구간의 연장(km)

km당 순행시간 : 간선도로 전체 또는 일부 구간의
km당 총 순행시간(sec/km)
교차로총접근지체 : 간선도로 전체 또는 일부 구간으
로 분석대상범위내의 모든 교차
로에서의 총접근지체(s)
3600 : 속도를 kph로 환산하기 위한 환
산계수

한편, 통행시간 추정값의 정확도를 평가하기 위해 평
가지표로는 오차율과 절대값을 모두 알아보기 위하여 일
반적으로 사용되는 평가지표인 MAE(평균절대오차, Mean
Absolute Error)와 MARE(평균절대상대오차, Mean
Absolute Relative Error)를 사용하며, 각 지표별 수
식은 다음과 같다.

- MAE(Mean Absolute Error)

$$\frac{\sum_{t=1}^N |x(t) - \hat{x}(t)|}{N} \tag{2}$$

- MARE(Mean Absolute Relative Error)

$$\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \frac{|x(t) - \hat{x}(t)|}{x(t)} \tag{3}$$

여기서, $x(t)$: 참값(실제 구간통행시간)
 $\hat{x}(t)$: 추정값(구간통행시간 추정값)

2. 검증결과

구간통행시간 추정력을 상호비교하기 위해서 이 연
구는 3가지 시나리오를 가정한 모형을 설정하여 모형

〈표 10〉 모형별 지점위치

구간	구간장(m)	모형1	모형2	모형3
		최적설치지점(m)	적정설치지점(m)	저상관지점(m)
1구간	500	270	300	30
2구간	460	310	276	30
3구간	640	290	384	30
4구간	550	320	330	30
5구간	502	410	301	30
6구간	1,728	900	1,037	30
7구간	510	110	306	30
8구간	400	280	240	30
9구간	1,490(720)	180	370	30
10구간	1,540	650	924	30
11구간	2,400(1,350)	1,950	1,890	30

별 비교를 실시한다. 설정기준은 다음과 같으며, 〈표
10〉은 모형별 지점위치를 나타내고 있다.

- 모형 1(최적설치지점) : 상관분석을 통해 결정된
최적설치지점의 지점 통행속도 이용
- 모형 2(적정설치지점) : 적정검지지점 선정기준에
의해 결정된 설치지점의 지점 통행속도 이용
- 모형 3(저상관지점) : 일반적으로 상관계수값이
낮게 나타나고 있는 구간 상류부 30m 지점의 지
점 통행속도 이용

한편 구간통행시간 추정에 관한 모형별 검증은 다음
의 두 가지 관점에서 실시한다.

첫째, 모형 1, 모형 2, 모형 3과의 비교이다. 본 연
구는 적정검지지점 선정을 위한 평가지표로서 지점별
통행속도와 구간통행시간과의 상관계수를 이용하였다.
상관계수가 높은 순은 모형 1, 모형 2, 모형 3이다. 따
라서 상관계수가 높게 분석되는 모형 1, 중간인 모형
2, 상관계수가 낮은 모형 3의 데이터를 통해 추정되는
결과를 비교함으로써 연구 방법론의 타당성을 입증한다.

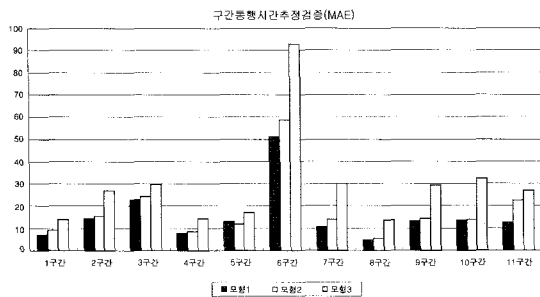
둘째, 모형 1과 모형2의 비교이다. 본 연구는 대상
구간별로 각기 다르게 존재하는 최적검지지점에 대한
분석을 통하여 적정설치지점 선정에 대한 기준을 제시
하고 있다. 따라서 모형 1과 2의 비교분석을 통해 이
연구에서 제시하고 있는 적정설치지점의 선정기준의 타
당성을 검토한다.

전체적으로 나타나는 모형별 추정력은 MAE와
MARE를 기준으로 최적검지지점에서 수집되는 지점통
행속도를 기반으로 추정한 모형 1이 가장 우수하게 나
타나고 있으며, 모형 2가 다음 순의 추정결과를, 상관계

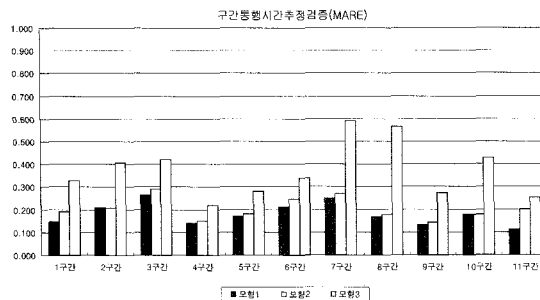
수가 낮은 상류부지점을 대상으로 한 모형 3의 추정결과가 가장 낮은 것으로 나타나고 있어 상관계수를 통한 적정설치지점 선정방법론의 타당성을 입증하고 있다.

여기서 5구간의 경우 모형 1이 모형 2보다 다소 높은 MAE를 보이고 있으나, MARE의 경우는 모형 1이 더 낮은 값을 보이고 있어 두 모형간의 우위 평가가 어렵다. 이는 두 모형에 적용된 속도값의 상관계수 차이가 크지 않은데 기인한 현상이라 판단된다. 모형 1과 모형 2와의 비교분석 결과, 대부분의 구간에서 오차의 차이가 크게 나타나고 있지 않아 본 연구에서 제안하고 있는 적정검지범위 내에서의 검지기 설치의 문제가 없다고 판단된다.

〈그림 8〉과 〈그림 9〉는 대상구간의 모형별 구간통행시간 추정값에 대한 MAE와 MARE의 추정결과이다.



〈그림 8〉 구간통행시간 추정검증(MAE)



〈그림 9〉 구간통행시간 추정검증(MARE)

VI. 결론 및 향후 연구과제

본 연구는 기존의 연구가 가지고 있던 한계점을 순차적으로 해결해 나아가는데 의의를 두고 있다.

이에 대부분의 기존연구들이 시뮬레이션을 통해 획득한 자료를 토대로 적정설치지점을 제안함으로써 도로 상황에 대한 반영이 부족한 한계를 실제 현장 자료의

수집과 분석을 통해 극복하고 있다.

연구결과를 토대로 구간별 적정설치지점에 대한 일반적인 특성을 요약하면 다음과 같다.

첫째, 구간 통행시간과 지점 속도와의 상관관계는 구간의 시점에서부터 높아지다가 일정시점이 지나서는 낮아지는 U자형의 형상을 보이고 있다. 이는 설치지점 선정에 있어 해당 구간의 시종점 근처에서 일정거리 이격된 지점에 검지기를 설치하여야 함을 시사하고 있다.

둘째, 최적설치지점은 분석구간마다 상이하게 존재하나, 대부분 구간연장을 기준으로 중류부 및 중하류부에 존재한다.

셋째, 구간의 적정설치지점은 구간의 중류부에서 하류부로 넘어가는 지점이 적절하며, 자료수집 구간 연장을 기준으로 시점부로부터 55~60%가 되는 구간이다.

넷째, 종단경사는 적정설치지점과 관련하여 중요한 결정인자가 되며, 종단경사가 큰 경우에 있어서 검지기의 설치 배제되어야 한다. 이는 종단경사에 의해 구간내 이동하는 차량량 및 차량의 통과속도 및 차두거리 등에 차이에 기인하는 현상이라 판단된다.

한편, 본 연구에서 구간의 적정설치지점으로서 구간연장을 기준으로 시점부로부터 55~60%라는 기준을 제시하게 된 배경은 대상구간 내 11개 구간에 대한 분석을 토대로 어느 지점에서라도 일관성있게 적용될 수 있는 기준을 제시하기 위함이다. 이에 따라 실제 단위 구간별로 분석되는 최적검지지점과는 약간의 차이가 발생하게 되는데, 이는 보다 실용적인 연구결과를 도출하기 위해 본 연구가 선택한 방법론에 기인하였다.

검증을 통해 최적검지지점과 적정검지지점과의 통행시간 추정력에는 크게 차이가 나지 않는 것으로 분석되었지만, 지점 검지기의 현장 적용에 있어 본 연구에서 수행한 조사방법을 적용할 수 있는 경우에는 조사를 통해 실제 최적지점에 검지기를 설치하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

한편 일반적으로 지점검지기의 적정 설치지점을 선정하기 위해서는 도로구간을 통행하는 교통류의 교통량, 최대대기행렬길이, 구간길이, 신호주기, 녹색신호시간비, 율셋 등이 영향인자들이 고려되어야 하는데, 이러한 영향인자들 중 교통량, 최대대기행렬길이 등은 그 값이 유동적이고, 신호주기, 녹색신호시간비, 율셋 등 몇몇 영향인자들도 추후 변화하게 될 가능성이 있다. 문제는 지점검지기의 경우 설치 후 이설이 제한되게 되어 실제 지점검지기의 적정설치지점의 선정을 위

해서는 한계가 있다는 점이다.

이러한 한계를 근본적으로 극복하기 위해서는 시간 대별·요일별로 달라지는 교통특성 및 향후 변화 가능한 영향인자들의 변화를 감안한 속도에 대한 가중치를 결정하는 연구를 수행함이 바람직 할 것으로 판단된다. 즉, 지점검지기의 위치는 고정된 것으로 가정하고, 여기서 통행시간 추정을 위해 수집되는 지점속도자료의 효율적인 활용을 위한 다양한 교통상황별 자료의 가중치에 대한 연구를 통해 이러한 문제점을 해결해 나아가야 한다.

또한, 본 연구에서는 일반국도의 특성을 대표할 수 있는 지점으로 일반국도 3호선 구간을 선정하여 분석하고 있지만, 표본수에 있어 한계가 있으며, 현장적용을 위해서는 보다 다양한 표본조사 및 분석을 통한 추가적인 연구가 필요하다.

참고문헌

1. Gary Brian Thomas(1998), "Optimal Detector Location on Arterial Streets for Advanced Traveler Information Systems", Ph. D. Dissertation, Arizona state university.
2. Oh Sungho, Ran Bin, Choi Keechoo(2003), "Optimal Detector Location for Estimating Link Travel Speed in Urban Arterial Roads", The 82nd TRB Annul Meeting.
3. Nagui M. Roupail and Virginia Sisippiku (1993), "Travel Time and Loop Detector Output Analysis on Dundee Road Closed-Loop Signal System", University of Illinois at Chicago.
4. Vriginia P. Sisiopiku, Naqui M. Roupail, and Alberto Santiago(1994), "Analysis of Correlation between Arterial Travel Time and Detector Data from simulation and Field Studies", TRR 1457.
5. 건설교통부(2004), "도로용량편람".
6. 김우철 외(2004), "현대통계학", 영지문화사.
7. 노형진(2001), "SPSS 10.0에 의한 조사방법 및 통계분석", 형설출판사.
8. 변완희, 김주현(2002), "교통시스템설계론", 청문각.
9. 오기도(1999), "단속류 교통정보 수집용 검지기의 적정 위치 선정 및 통행시간 추정", 서울시립대학교 석사학위 논문.
10. 이진호(2002), "운전자정보제공을 위한 검지기 적정위치결정에 관한 연구-일반국도를 대상으로", 서울대학교 석사학위논문.

✉ 주 작 성 자 : 변상철

✉ 교 신 저 자 : 이승재

✉ 논문투고일 : 2005. 11. 25

✉ 논문심사일 : 2005. 12. 16 (1차)
2006. 3. 28 (2차)

✉ 심사판정일 : 2006. 3. 28

✉ 반론접수기한 : 2006. 8. 31