

구간검지체계 도입을 통한 교통검지체계 설치기준 연구

A Study on Optimal Traffic Detection Systems by Introduction of Section Detection System

김낙주*
(Nak-Joo Kim)

이승준**
(Seung-Jun Lee)

오세창***
(Sei-Chang Oh)

손영태****
(Young-Tae Son)

요약

교통검지체계는 도로상에서 교통자료 및 정보수집체계로 이해될 수 있는데, 이는 도로 상에서 교통량, 속도 및 점유율 정보를 수집하여 현 상태에서 도로상의 교통소통정보 즉, 혼잡 또는 비혼잡 등의 교통류상태, 또한 이보다 더 구체적인 내용으로서 LOS A~F로 표현되어지는 교통류 상태의 질 등을 파악하여 현 교통체계가 문제가 있는지 없는지에 관한 판단, 그리고 문제가 있다면 어느 지점(또는 구간)이 문제가 있는지, 그리고 문제의 원인은 무엇인지, 문제로 인해 발생되고 파급된 영향은 어느 정도인지, 또한 이를 해결하기 위한 방안은 무엇인지 찾고자하는데 있어서 매우 중요한 역할을 담당하는 체계로 볼 수 있다.

그러나 지점검지체계가 주를 이루고 있는 현재의 교통검지체계는 많은 한계점을 지니고 있으며, 이의 보완을 위해 본 연구에서는 구간검지체계의 이론적 구조 검토, 현장조사를 통한 검지체계별 자료특성 비교, 그리고 최적 구간검지간격 결정을 위한 분석을 수행하였다. 또한, 교통정책, 교통관리 및 이용자서비스 측면의 기능강화를 위해 기존 검지체계의 보완을 위한 새로운 교통검지체계 설치기준을 제시하였다.

Abstract

A traffic detection system can be deemed as a traffic data and information collection system to serve traffic policies, traffic management, and user services. The system plays a crucial role in verifying whether or not the current traffic system has issues or problems by checking out traffic data. In addition, the system does so in finding out a point or a section where an issue or a problem has occurred, if any, and in examining the causes of the issue or problem, the extent of its impact that has occurred and spread, and a method for resolving it. However, the existing point detection system of Korea has too many flaws. In order to fix the flaws, in this paper, the theoretical characteristics of the section detection system were researched in relation to the calculation of travel time. In addition, the travel time of probe cars was obtained by field survey, and it was compared to that of spot and section detection data. Then, simulation was performed to determine the optimal section detection interval. In conclusion, introduction of optimal section detection system was examined in order to achieve the advanced road management including traffic policy, traffic management, and user services.

Key words : Traffic detection system, section detection, optimal detection distance, travel time, information provision

* 주저자 : 한국도로공사 해외사업처장

** 공저자 및 교신저자 : 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원

*** 공저자 : 아주대학교 건설교통공학과 교수

**** 공저자 : 명지대학교 교통공학과 교수

† 논문접수일 : 2011년 5월 12일

† 논문심사일 : 2011년 6월 7일

† 게재확정일 : 2011년 6월 8일

I. 서 론

교통검지체계는 도로상에서 교통자료를 수집하는 정보수집시스템으로 이해될 수 있는데, 이는 도로 상에서 교통자료를 수집하여 현 소통상태의 파악, 혼잡 등이 유발되는 문제지점(또는 구간)의 파악, 문제의 원인 진단, 문제로 인해 발생되고 파급되는 영향 분석, 그리고 이를 해결하기 위한 방안을 찾는 데 있어서 현상의 파악, 진단 및 분석을 위한 기초자료를 제공하는 매우 중요한 체계로 볼 수 있다. 이러한 교통검지체계는 보다 큰 틀에서 교통정책, 교통운영관리, 이용자서비스라는 세 가지 측면에서 그 역할과 기능을 정의할 수 있다.

첫째, 교통정책적 측면에서, 국가발전에 있어 중요한 도로교통정책을 결정할 경우, 새로운 도로의 신설, 기존 도로의 확장, 간선도로망의 구성, 등급이 다른 도로 간의 연계체계 구축 등에 관한 고찰이 선행되어야 할 것이며, 이를 위해서는 현재의 통행에 대한 정보, 교통량 수준, 교통특성, 교통류상태 등에 대한 정확한 정보수집이 요구된다.

둘째, 교통운영관리 측면에서 볼 때, 가장 중요하게 다루어지는 핵심 분야는 기존 교통체계의 문제점을 대대적인 시설 개량에 의존하지 않고 교통운영제어를 통해 반복혼잡을 해소하고 기존 교통체계를 건강하게 유지하는 노력이라 볼 수 있다. 이를 위해서 현 소통상태의 진단 즉, 교통혼잡에 관한 정보, 소통상태의 질 등에 관해 정확히 알고 있어야 이를 어떻게 개선하고 향후 개선된 소통상태가 현재의 상태보다 얼마나 개선된 것인지 비교할 수 있게 되므로, 이러한 교통혼잡 및 소통상태의 질에 관한 정보를 제공해주는 교통검지체계의 역할은 매우 중요하다고 할 수 있다.

셋째, 이용자서비스측면에서 볼 때, 도로상에 교통검지체계가 구축되어 있지 않다면, 현재 상태의 교통상태를 알 수 없을 뿐만 아니라 어떠한 종류의 교통정보도 생성할 수가 없다. 따라서 이용자서비스를 강화한 교통검지체계가 구축되어 있어야만 보다 정확하고 유용한 교통정보를 이용자에게 제

공할 수 있다.

우리나라에서는 1993년 FTMS(Freeway Traffic Management Systems) 도입이후 현재까지 교통관리측면 위주의 교통검지체계가 주를 이루어왔다. 기존의 지점검지체계는 교통량, 속도, 점유율 데이터를 수집할 수 있어 고속도로 본선의 교통상태변화를 파악할 수 있다는 장점을 지니고 있다. 그러나 고속도로 본선의 교통운영관리 목적 이외에 교통정책 및 이용자서비스 측면의 목적을 달성하기 위해서는 기존 지점검지체계의 보완이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 기존 교통검지체계의 문제점 진단 및 긍정적인 측면으로의 보완에 대한 필요성을 인식하고 이를 바탕으로 교통검지체계의 역할 및 기능 정립을 통해 고속도로 교통정책, 교통운영관리, 그리고 이용자서비스 구현을 위한 구간검지체계의 도입 방향을 제시하고자 한다.

II. 검지체계 현황 및 관련연구 고찰

1. 국내 고속도로 교통검지체계 설치현황

우리나라에서 교통검지체계는 1993년 고속도로 교통관리시스템을 시작으로 구축되었으며, 도로의 포장형식에 따라 콘크리트 포장도로에는 루프검지기, 아스팔트 포장도로에는 영상검지기가 주로 설치되어 있다. 현재 고속도로에 설치되어 있는 검지기는 총 2,425개이며, 루프검지기가 1,666개(69%)로 가장 많이 설치되어 있으며, 영상검지기가 710개(29%), 그리고 자석식이 49개(2%)이다.

한편 고속도로 구간검지체계는 전자요금수납시스템(ETCS)을 이용한 것으로 RSE를 요금소 이외의 구간에 설치하여 구간 교통정보를 수집할 목적으로 구축 중에 있다. 이 때, 고속도로 노변에 설치된 RSE의 무선통신 반경은 약 100m로 DSRC(Dedicated Short Range Communications) 방식을 이용한 것이다. 구간검지기의 노변기지국은 경부고속도로 양재IC ~ 안성IC 구간에 DSRC 방식의 RSE를 시범적으로 구축해 운영하고 있다.

2. 교통검지체계 설치기준

1) 국내고속도로 교통검지체계 설치기준

지점검지체계의 설치기준은 크게 고속도로 기본 구간, 엇갈림구간, 유출입 구간으로 분류하고, 여기에 세부적으로 기본구간은 직선구간, 곡선구간 및 지하차도구간, 터널구간으로 구분된다. 엇갈림구간은 본선에서의 엇갈림구간과 유출입 엇갈림구간으로 구분하여 제시하고 있다. 또한, 교통제어 목적으로 램프미터링을 시행할 경우의 지점검지체계 설치기준이 제시되어 있다[1].

구간검지체계 설치기준은 고속도로 평균 IC 간격을 12km로 가정하여 수집정보의 활용 목적에 따라 정보수집용과 정보제공용으로 구분하여 제시되고 있다. 정보수집용의 구간검지 설치간격은 본선 교통정보 수집을 목적으로 소통상태에 따라 상습 지정체구간의 경우 1~2km, 지정체구간의 경우 3~6km, 소통원활구간은 6~10km로 제시된다. 또한 경로전환교통량의 파악을 위해 JC 및 IC 전후방에 구간검지기를 설치하고, 특별관리목적용으로 터널 및 안개구간 등 사고다발구간에 대하여 해당구간의 전후방에 구간검지기를 설치하도록 제시되어 있다. 한편, 정보제공 목적으로는 전술한 JC 및 IC 구간, 그리고 특별관리목적용으로 설치된 구간검지기를 이용한다[2].

2) 국외 교통검지체계 설치기준

(1) 미국[3]

미국 캘리포니아 주에서는 캘리포니아 주교통국(Caltrans)과 버클리대학 교통연구소 연구진과의 공동연구로 구축된 고속도로 차량검지시스템을 2002년부터 운영하고 있다. PeMS에서 활용하고 있는 지점검지기(루프검지기)는 고속도로 본선구간의 경우 1mile 간격으로 설치되어 운영되고 있으며 램프미터링을 위해 유출입 램프에도 지점검지체계가 설치되어 있다. 구간검지체계로 미국의 VII(Vehicle Infrastructure Integration) 프로젝트는 교통안전 확보 및 지·정체 감소를 위해 차량 간 통신 혹은 차량과 노변장치간의 통신이 가능한 무선통신기술을 개발

하여 미국 전역에 무선통신 기반시설을 구축하고자 하였으며, 미국 전역의 주요간선도로에 5.9GHz DSRC 기술을 활용하고 있으며, 일반적으로 2.2km로 설치한다. 이외에 미국의 휴스턴(4.0km), 샌안토니오(2.0km), 뉴욕/뉴저지(2.4km) 및 시애틀(2.6km) 등에서는 각각의 검지간격기준에 따라 구간검지기를 설치하고 있다.

(2) 일본

일본의 VICS에서는 주요 교차점마다 지점검지기(적외선검지기)를 설치하고 있다. 전파방식의 지점검지기는 IC 전방 2km마다 설치하고 있으며, 교통량수준 및 교차점의 간격에 따라 설치간격이 변화되는데, 도쿄 도심부의 경우는 300m 간격, 수도 고속도로의 경우는 500m 간격, 그리고 원거리 고속도로의 경우는 2km 간격으로 설치되어 있다. 또한 한신고속도로의 경우는 지점검지기의 한 종류인 초음파검지기를 고속도로 본선구간에 500m 간격으로 설치하고 있다.

한편, 구간검지체계로 한신고속도로의 교통관리 시스템에서는 구간검지체계인 차량번호인식시스템이 설치되어 있으며, 정보제공을 위해 비콘을 설치하는데 정보제공주기에 비례하여 설치간격의 조정 필요성을 지적하고 있다. 차세대 서비스 테스트 시비콘의 간격은 IC간 평균 간격인 10km에 1개씩 설치하도록 권장하고 있으며, 실질적으로 5km 간격 설치가 효과적인 것으로 파악하고 있다. 한편, 돌발/정체정보 수집을 위한 비콘의 설치간격으로는 통상 10km의 간격을 3km 또는 5km 등으로 축소하는 방안을 검토하고 있다.

3. 관련연구 고찰

1) 구간검지체계를 이용한 통행시간 산출 연구

(1) 통행시간 산출 및 이상치제거 연구

구간검지체계로부터 획득한 자료는 고장, 불법주정차, 과속, 휴게소 체류 등 여러 가지 요인에 의해 이상치가 발생할 수 있어 통행시간 산출시 이를 제외시킬 필요가 있다. 이처럼 구간검지시스템

의 통행시간 자료에 대한 이상치제거 연구로는 SwRI(South west Research Institute, 1998) 알고리즘과 한국도로공사(2000), 강진기 외(2001) 등의 연구가 있다.

SwRI(1998)에서 개발한 알고리즘은 종점검지기와 시점검지기의 통과시간 차를 이용하여 구간의 통행시간을 산출하고 도로의 혼잡수준을 고려한 통행시간 조정계수를 이용하여 이상치를 제거하여 교통자료 집계간격별 통행시간 대푯값을 산출한다. 또한, 한국도로공사(2000)의 연구에서는 고속도로 TCS자료를 이용하여 통행시간을 산출함에 있어 중위절대편차(Median Absolute Deviation, MAD)를 이용하였으며, 강진기 외(2001)의 연구에서는 비매설식 AVI 자료의 이상치를 제거하기 위해 신뢰 구간 추출법을 적용하였다[4-6].

한편, Dion과 Rakha(2003)는 낮은 샘플링 비율과 급격하게 혼잡이 발생하면 추정 능력이 저하되는 이들 알고리즘의 결점을 보완하기 위하여 개별차량 통행시간이 로그분포를 이루는 특성을 고려하여 적응지수평활화 알고리즘을 제시하였다[7].

(2) 통행시간 대푯값 설정 연구

이상치가 제거된 개별차량의 통행시간 자료는 특정 시간집계간격 당 하나의 대푯값으로 산출되어 통행시간 추정 및 예측을 목적으로 하는 모형에 이용된다. 대부분의 통행시간 추정 및 예측 연구들은 통행시간 대푯값으로 평균 값을 적용하고 있으며, 김남선 외(2000)와 이의은 외(2002)의 연구에서는 고속도로의 TCS 자료를 이용하여 통행시간 예측모형을 개발하면서 통행시간 대푯값으로 최빈값을 적용하였다[8-9].

2) 구간검지체계 통행시간 추정 및 예측 연구

1990년대 초반부터 시작된 구간검지체계 관련 연구들은 주로 AVI태그를 장착한 프로브 차량의 자료를 이용하여 통행시간을 추정하거나 예측하는 연구들이 대부분이다.

국내 연구로는 출발시각을 기준으로 고속도로 TCS 자료를 이용하여 시간차집현상을 해결하기

위한 통행시간 예측모형개발 및 평가 연구가 수행되었으며, 국외 연구로 AVI자료를 이용한 통행시간 추정 및 예측 연구들이 수행된 바 있다. 이들 연구들은 통행시간 예측 및 평가, 그리고 최적 시간집계간격에 관한 내용이 주를 이루었고, 출발시각기준 온라인 통행시간 정보제공 측면의 연구는 구간검지자료의 시간차집현상 및 과거자료라는 속성 때문에 실효성 있는 연구가 제시되지 못하고 있는 실정이다[10].

3) 구간검지체계 통행시간자료 운영 연구

구간검지체계의 통행시간자료 운영과 관련한 연구는 크게 구간검지체계의 공간적 설계와 최적 시간집계간격 결정에 관한 연구들로 구분된다. 구간검지체계의 공간적 설계와 관련된 연구들은 검지기 적정위치 결정 연구가 대부분이다. 이들 연구들은 O-D 쌍을 최대한 커버하기 위한 AVI 시스템의 적정 설치 개수 결정모형을 개발하였다.

최적 시간집계간격 결정 연구로는 Gajewski 등(2001)의 연구가 대표적인데, 연구 결과에 의하면, 점 추정기법인 CVMSE(Cross Validated Mean Square Error) 방법이 구간 추정기법인 F-검정보다 시간집계간격 결정에 민감하게 작용하며, 교통류 측면에서 구체적인 설명이 가능한 것으로 평가되었다[11]. 유소영 외(2004)는 루프검지기 자료를 이용하여 링크 통행시간 추정을 위한 적정 시간집계간격 결정모형을 개발하였는데, 이를 통해 기존의 CVMSE가 최소화 되는 시간집계간격을 적정 시간집계간격으로 바꾸어 제시하였다[12].

4) VDS 와 AVI 자료융합과 기중치에 대한 연구

Tarko 등(1993)은 실시간 자료융합을 위하여 ADVANCE 프로젝트 3단계에서 VDS, AVI 및 Historical 자료를 회귀식과 Bayesian method에 기초하여 VDS 통행시간과 AVI 통행시간 추정 알고리즘을 연구하였다[13]. 이현재(2005)는 VDS 자료와 AVI자료를 이용하여 구간통행시간 추정모형을 각각에 대해 개발하고, 이 두 자료의 구간통행시간 이력 자료를 융합하여 실시간 교통정보제공용 최

적 구간통행시간을 추정하였다[14].

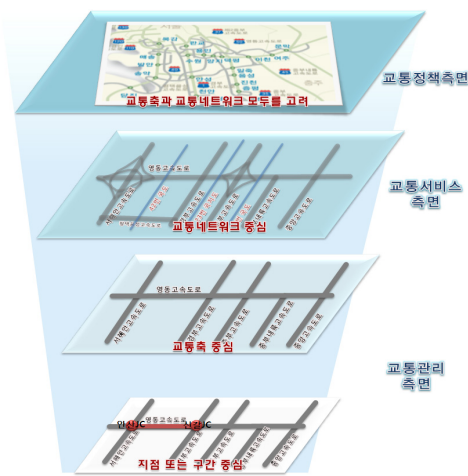
Ⅲ. 구간검지체계 역할 및 기능 검토

1. 구간검지체계의 역할

지점검지체계는 수집자료로 교통량, 속도, 점유율 등을 수집하고 모든 차량에 대하여 그리고 차로별 검지가 가능하지만 구간정보의 수집은 다소 부정확한 단점이 있다. 이에 비해, 구간검지체계는 차량단말기 장착차량에 한해서 교통량, 통행시간 등의 정보를 수집하지만 운전자에게 지점검지보다 정확한 구간정보의 제공이 가능하다. 따라서 구간검지체계는 네트워크 측면에서 고속도로 JC나 IC 부근에서 차량을 검지하여 경로전환교통량이나 경로통행시간을 파악하는데 있어서 보다 효과적이다. 이러한 특징을 지닌 구간검지체계의 도입은 기존 지점검지체계의 단점을 보완하여 교통정책, 교통운영관리 및 이용자서비스 측면에서 보다 나은 교통검지체계의 구축을 가능하게 할 수 있다.

2. 구간검지체계의 기능

구간검지체계의 기능은 일반적으로 교통검지체계가 기능하는 세 가지 측면에서 정의할 수 있는



〈그림 1〉 교통검지체계 역할 및 기능 구분
 〈Fig. 1〉 Roles and functions of traffic detection systems

데, 이를 간략히 예를 들어 살펴보면 다음과 같다. 우선, 교통정책 측면에서는 중점관리대상구간에 대한 모니터링과 장래 통행수요예측을 통한 정책 수립 등에 활용할 수 있다. 교통운영관리 측면의 예로는 램프미터링 시행을 위한 기초자료로서, 반복정체 등 교통혼잡구간의 관리에 활용할 수 있으며, 이용자서비스 측면에서는 경로통행시간 파악 및 정보제공을 통해 이용자의 경로전환 선택에 도움을 줄 수 있다.

<그림 1>은 교통검지체계의 기능을 세 가지 측면에서 정의할 때, 각각의 기능에 부합한 교통자료의 수집 및 활용에 해당하는 공간적 범위를 나타낸 것이다.

Ⅳ. 구간검지체계 이론적 구조특성 검토

1. 교통정보 수집 및 제공 특성

구간검지체계는 최초 구간검지기를 통과한 차량의 ID를 인식하고 다음 구간검지기를 통과할 때 차량의 ID를 인식하여 이를 매칭시켜 두 검지기간의 통행시간을 산출하는 방식을 취한다. 따라서 구간검지기는 두 검지기 사이의 구간에서 교통류의 변화가 어떠한 간에 구간의 통행시간을 정확하게 수집할 수 있다는 장점을 지녔으며, 이 때문에 지점검지기보다 정확한 통행시간(또는 속도)을 산출할 수 있다고 여겨진다. 그러나 이용자서비스 측면에서 바라보면, 이용자에게는 출발 전 교통정보 또는 출발지에서 목적지까지 도착하는데 걸리는 정확한 통행시간정보의 제공이 중요한데, 구간검지체계에서는 이미 앞선 차량의 과거정보를 이제 출발하는 운전자에게 제공함으로써 통행시간의 부정확성을 초래하고 부정확성이 커질수록 교통정보를 제공받는 운전자들의 불만이 커지게 된다.

<그림 2>의 예를 통해 구간검지체계의 이론적 특성을 보다 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

IC-1에서 차량 A가 출발하여 IC-6까지 5개 IC 구간을 주행한다고 가정할 때, 첫 번째로, 구간검지기가 IC-1과 IC-6에만 설치되어 있다고 한다면,

차량 A의 통행시간은 <그림 2>에서 보는 바와 같이 2시간으로 측정된다.

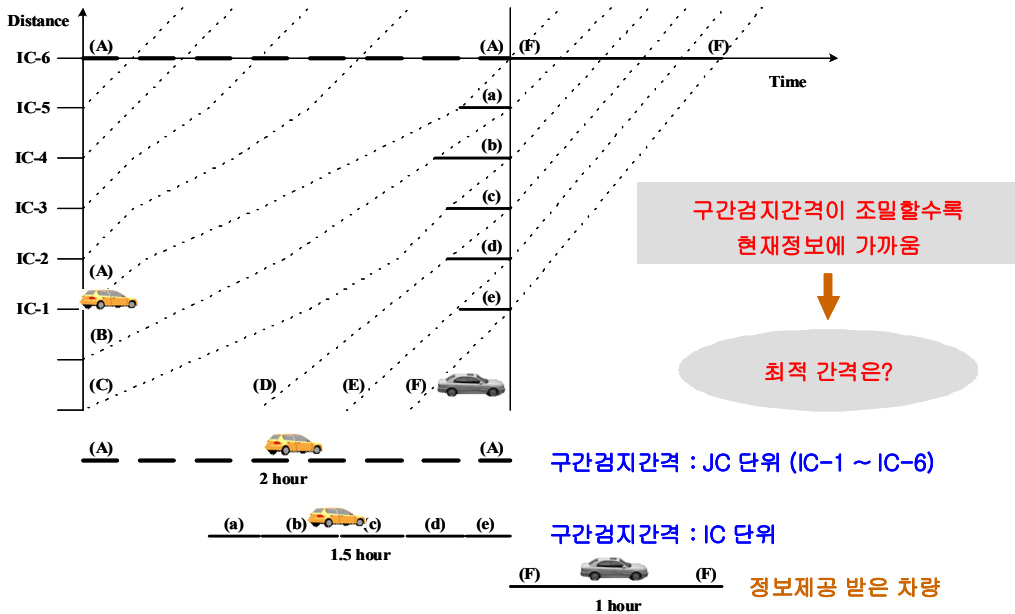
만약, 구간검지기가 IC 마다 설치되어 있고 동일한 상황에 대하여 IC간에 통행시간이 측정된다면, 이 때 수집된 IC-1부터 IC-6까지의 통행시간은 각 구간의 통행시간 (a)부터 (e)까지의 합으로 표현된 1시간 30분으로 수집될 것이다. 이 경우의 통행시간은 차량 A의 실제 통행시간이 아니라 동일한 교통자료 집계간격(time interval) 내에서 각각의 5개 구간에서 수집된 통행시간의 합이 된다.

한편, 차량 A가 IC-6에 도착한 시점에 차량 F가 출발한다면, 이 때 차량 F가 얻게 되는 IC-1

부터 IC-6까지의 구간통행시간 정보는 앞에서 구해진 2시간 또는 1시간 30분 중의 하나로 제공될 것이다. 그러나 <그림 2>에서 보는 바와 같이, 차량 F의 통행시간은 이후 소통상태가 개선되어 1시간 밖에 소요되지 않아 구간검지기로부터 제공된 과거 통행시간 정보는 부정확하게 된다. 여기서 얻을 수 있는 한 가지 중요한 사항은, 구간검지기의 간격이 좁아질수록 보다 실시간에 가까운 통행

시간을 수집할 수 있다는 것이다. 즉, 구간검지간격이 조밀할수록 구간검지기로부터 수집되는 통행시간의 특성이 과거자료에서 보다 실시간성에 가깝게 된다는 것이다. 그러나 모든 도로구간에 빈틈없이 구간검지기를 설치하더라도 실시간성 이외에는 미래 교통정보를 수집할 수 없고, 현재 약 1km 간격으로 설치된 지점검지기와 중복성문제, 그리고 1km 보다 조밀한 간격으로 구간검지기를 설치할 때의 효용성 및 경제성의 문제는 구간검지기의 한계로 남는다.

이와는 다른 측면에서 구간검지기의 특성을 살펴본다면, 구간검지기의 간격을 조밀하게 할수록 지점검지기(약 10m)처럼 짧은(또는 순간의) 통행시간을 수집하므로 실시간성에 가까워지고, 이 때 수집되는 교통자료 한 차량 또는 차량군의 정보가 아닌 여러 지점에서 동일 수집주기 내에서 수집된 차량들의 정보를 더하거나 평균을 내는 개념이 된다. 여기서 중요한 것은 IC-1 ~ IC-6 사이의 5개 구간에 존재하는 차량들을 동시(또는 같은 수집주기)에 검지하여 통행시간을 산출하게 되는 것인데, 이를 IC-6 부근의 교통류의 관점에서 바라본다면,



<그림 2> 교통검지체계별 이론적 특성 개념도(통행시간 기준)
 <Fig. 2> Theoretical characteristics of section detection system based on travel time

IC-1 부근에서 검지된 차량은 미래에 IC-6에 도착하게 될 미래 교통류 자료이며, IC-6 부근에서 수집된 차량의 정보는 곧 통행을 마치게 될 실시간성(현재시간)의 교통류 자료가 되므로, 구간을 여러 개로 나누어 교통정보를 수집하는 방식이 보다 현재 교통류 자료에 가까운 정보를 생성해 낼 수 있는 특징이 있다. 여기서, 본 연구의 초점은 기존의 지점검지체계를 보완하여 보다 정확한 정보의 생성과 경제성을 확보할 수 있는 구간검지간격의 결정에 맞추어진다.

2. 교통검지 특성과 관련된 주요 변수 고찰

구간검지체계의 이론적 특징을 토대로 교통정보수집 및 교통정보제공 정확도에 관하여 살펴본 바와 같이, 교통정보수집의 경우는 과거통행정보를 검지할 때 측정의 정확도와 관련이 있고, 교통정보제공의 경우는 과거에 검지된 통행정보를 미래 통행자에게 제공할 때 시간차에 의해 발생하는 오차와 관련이 깊다.

1) 교통류 상태의 동질성(또는 이질성)

교통정보 수집 및 제공과 관련된 최적 검지간격 결정에 영향을 주는 요인들은, 첫 번째로 분석대상 공간영역상에서 검지영역과 비검지영역의 교통류 상태가 동질적인가 아니면 이질적인가 하는 문제와 관련이 깊다. 이는 교통정보 수집시, 극단적인 경우에, 혼잡교통류를 정상교통류로, 또는 그 반대의 경우로 검지하게 될 수 있기 때문이다. 또한, 분석대상 공간영역상에서 이질적인 교통류의 상태가 크게 확대될수록 정보수집 및 제공시 오차가 크게 발생하게 된다. 이는 두 교통류 상태의 편차가 크게 발생하기 때문이며, 만약 분석대상 공간영역상에서 교통류의 상태가 모두 정상교통류 또는 혼잡교통류인 경우에는 모든 교통류가 동질성을 띠게 되기 때문에 교통정보 수집과 제공시 오차는 전혀 발생되지 않게 된다. 물론 이러한 논거는 동질적인 교통류에서 통행속도 편차가 전혀 없다는 가정을 전제로 하는 것이다.

2) 교통자료 집계간격

교통자료 집계간격은 앞서 살펴본 바와 같이, 구간검지체계의 시간차집현상과 밀접한 관계가 있다. 물론, 교통자료 집계간격 자체가 구간검지체계의 시간차집현상을 유발하는 것은 아니지만, 교통자료 집계간격이 길어질수록 시간차집으로 인한 정보수집 및 제공 오차가 커지게 된다. 따라서 본 연구에서는 구간검지체계 최적 검지간격 도출과 관련하여 교통자료 집계간격의 영향을 구체적으로 검토하였다.

3) 혼잡교통류 속도

최적 구간검지간격에 영향을 미치는 또 다른 요인으로 이질적 교통류의 속도를 들 수 있다. 여기서 말하는 이질적 교통류란 혼잡교통류로 해석될 수 있는데, 그 이유는 주로 대부분의 경우에 정상교통류의 상태가 분석 시공간을 차지하고 일부의 경우에 혼잡이 발생되기 때문이다. 따라서 혼잡이 발생하게 될 때, 과거와 동일한 교통류의 상태가 유지되지 못하고 흐름이 깨지게 되어 정보수집 및 제공시 오차가 발생하게 된다. 이와 더불어 혼잡교통류의 속도가 정상교통류의 속도와 차이가 크게 날수록 두 교통류간의 통행시간 차이가 크게 발생하게 된다. 따라서 최적 구간검지간격 도출을 위한 분석과 더불어, 혼잡교통류의 속도가 다양하게 변화할 때, 통행시간 정보수집 및 제공 오차에 미치는 영향과 최적 구간검지간격에 미치는 영향을 함께 분석하여 제시하였다.

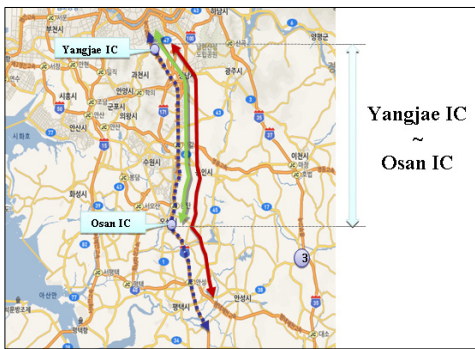
V. 현장조사 및 분석

1. 현장조사 개요

교통검지체계를 통해 수집되는 자료와 실제로 도로를 주행하여 수집한 실측자료와의 오차를 및 통행시간 등을 비교하여 지점 및 구간 검지체계가 어떠한 특성을 보이는지 알아보기 위해 현장조사를 수행하였다. 비교·분석을 위한 대상구간은 시간대별로 소통상황의 변화가 있고 버스전용차로가

존재하여 차로별로 운영방식이 다른 곳을 선택하였다. 현장조사 대상구간은 경부고속도로 양재IC~오산IC이며, 시간적 범위는 2009년 10월 7, 9, 12일 오전 6시에서 오후 22시까지 이다.

수집된 교통자료는 실측 통행시간자료와 검지기 자료로 구분된다. 실측 통행시간조사는 일반차량 통행시간조사를 위한 주행차량조사와 버스의 통행시간조사를 위한 버스탑승조사로 구분되며, 검지기 자료는 지점검지를 이용한 자료와 구간검지를 이용한 자료로 구분된다.



<그림 3> 현장조사 구간
(Fig. 3) Field Survey Site

2. 분석결과

<표 1>은 경부선 오산IC→양재IC 구간에 대해 현장조사 자료와 지점 및 구간 검지기의 평균 통행시간을 나타낸 것이다. 현장조사 자료 및 지점검지 자료는 차로별로 자료가 존재하여 버스차로와 나머지 일반차로의 통행시간 구분이 가능하고 이를 합한 전체차로의 통행시간 자료가 존재하는 반면, 구간검지 자료는 차로별 구분이 불가능하여 전체차로 통행시간 자료만 존재한다.

현장조사 자료와 지점 및 구간검지 자료를 비교해 보면, 버스차로에 대하여는 지점검지 자료가 구간검지 자료보다 더 정확한 결과를 보였으며, 버스차로를 제외한 나머지 차로와 차로전체에 대하여는 구간검지 자료가 지점검지 자료보다 더 정확한 결과를 보였다. 이는 구간 정보에 대한 검지기의 특성 및 성능을 반영한 결과로서 일반적인 측면에서 구

간검지기가 지점검지기보다 정확도가 높으나, 교통혼잡시 일반차로와 소통상태가 크게 달라지는 버스차로에 대하여는 차로별 구분이 가능한 지점검지기의 정확도가 더 높게 나타나기 때문이다. 각 구간 및 오산IC→양재IC 전 구간에 대한 현장조사 자료 대비 지점 및 구간 검지자료의 통행시간 및 통행시간 오차율이 <표 1> 및 <표 2>에 제시되어 있다.

<표 1> 현장조사 자료 대비 지점 및 구간 검지자료의 통행시간 비교

(Table 1) Comparison of average travel time between spot and section detection data and field survey data

| 구간 | 통행시간 (초) | | | | | | 구간 검지 (전체 차로) |
|-------|----------|------|-------|------|------|-------|---------------|
| | 현장조사 | | | 지점검지 | | | |
| | 버스 | 일 반 | 전체 차로 | 버스 | 일 반 | 전체 차로 | |
| 오산→기흥 | 347 | 390 | 385 | 327 | 397 | 374 | 371 |
| 기흥→수원 | 189 | 216 | 214 | 192 | 214 | 208 | 218 |
| 수원→신갈 | 90 | 112 | 111 | 79 | 98 | 92 | 106 |
| 신갈→판교 | 474 | 627 | 616 | 421 | 441 | 436 | 513 |
| 판교→양재 | 308 | 598 | 571 | 315 | 348 | 339 | 369 |
| 오산→양재 | 1409 | 1941 | 1896 | 1333 | 1497 | 1449 | 1577 |

<표 2> 현장조사 자료와 지점 및 구간 검지자료의 평균통행시간 오차율 비교

(Table 2) Comparison of error rate of average travel time between spot and section detection data and field survey data

| 구분 | 버스차로 | 일반차로 | 전체차로 |
|------|-------|-------|-------|
| 지점검지 | 5.4% | 22.9% | 23.6% |
| 구간검지 | 11.9% | 18.8% | 16.8% |

VI. 교통검지체계 설치간격 결정 방법론

현장조사 결과에서 살펴보았듯이, 버스전용차로가 존재하는 경우와 같이 차로별로 이질적인 교통류가 존재하는 경우를 제외한 일반적인 경우에 대해서는 구간검지체계가 지점검지체계보다 정확한 통행시간을 측정(검지)하는 것으로 파악되었다.

이에 본 연구에서는 정보제공 측면에서 정확한 통행시간 정보를 측정(검지)하고 제공하기 위한 최적 구간검지간격 결정 방법론을 개발하였고 이와 함께 통행시간 정보수집 및 제공 정확도에 영향을 미치는 요인들에 대한 분석을 실시하였다.

1. 기초 분석

1) 교통상태 설정

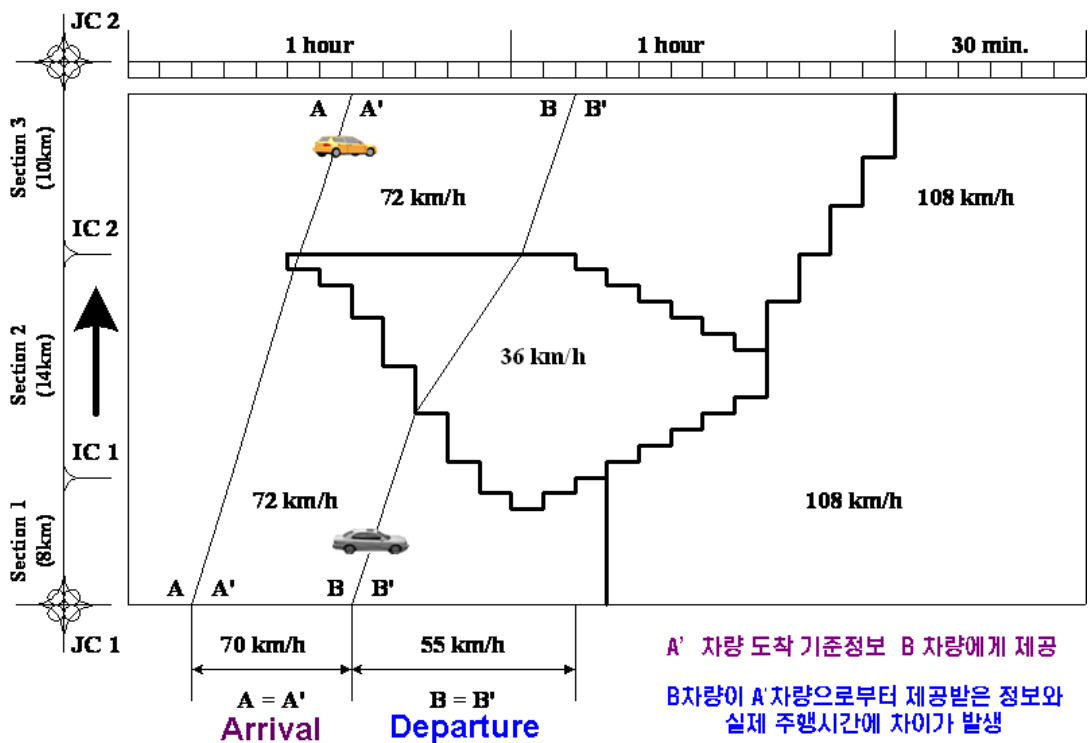
통행시간 오차율에 기반하여 최적 구간검지체계 설치간격을 평가하기 위한 기초분석구간은 32km이며, 분석시간은 2시간 30분으로 설정하였다. 분석효과적도로는 평균절대오차비율 (MAPE, Mean Absolute Percent Error)을 사용하였으며, 목적함수로는 MAPE가 최소화되는 조건의 구간검지간격을 찾도록 설정하였다.

교통상태 설정은 고속도로에서 일반적인 출근통

행에 근사하도록 설정하였다. 즉, 오전시간에 출근 통행이 발생하여 교통혼잡이 시작되고 출근 첨두 시간이 지나면서부터 통행수요가 감소하고 혼잡이 사라지는 조건을 반영하였다. 이때, 혼잡이 발생되기 전의 조건으로는 평균통행속도가 72km/h가 되도록 하였으며, 혼잡시에는 36km/h, 이후 혼잡이 사라지고 정상류상태에서는 108km/h가 되도록 설정하였다. 또한, 혼잡이 발생될 병목구간으로는, 기점 기준 22km 지점의 IC 2로 설정하였으며, 교통자료 집계간격은 5분으로 설정하였다.

2) 분석 방법

수집된 통행시간 정보와 이를 제공받고 통행하는 이용자의 실제통행시간을 비교하기 위해 구간 검지기로부터 수집된 통행시간 자료를 통행속도로 환산하여 도착기준 통행속도와 출발기준 통행속도로 구분하여 비교하였다. <그림 4>의 예에서 보듯



<그림 4> 출발기준 및 도착기준 통행속도 산출 개념도

<Fig. 4> Conceptual diagram on the calculation of travel speed based on departure and arrival

이, 차량 A(또는 차량 A')는 2번째 time interval의 시작과 동시에 출발한 차량이며 실제 통행속도는 72km/h로서 <표 3>에서 출발기준의 2번째 time interval에 해당되는 값으로 표현된다. 차량 B(또는 차량 B')는 8번째 time interval에서 출발하여 14번째 time interval에 도착한 차량으로 출발기준 및 도착기준에 의해 각각 8번째 및 14번째 time interval에 표시되었다.

이 예에서 강조할 한 가지 중요한 사항은, 출발기준의 차량 데이터는 5분의 time interval 내에서 출발한 차량을 대상으로 하며, 도착기준의 차량 데이터 역시 5분의 time interval 내에 도착한 차량을 대상으로 한다는 것이다. 따라서 혼잡이 발생하지 않고 교통류가 안정된 상태에서는 차량간의 간격이 평균적으로 일정하게 유지되어 출발기준 및 도착기준 모두 동일하게 같은 수의 차량 데이터를 갖게 되나, 교통상태가 변하는 혼잡구간을 통과하게 될 때는 후행차량들이 혼잡의 영향으로 선두차량보다 통행시간이 길어져 선두차량 보다 뒤의 time interval에 도착하게 된다.

즉, <그림 4> 및 <표 3>에서 보는 바와 같이, 차량 A와 차량 B(또는 차량 A'과 차량 B')는 출발시 6개의 time interval 차이가 있었으나, 도착시에는 7개의 time interval 차이가 발생하였다. 이처럼 혼잡이 증가하거나 감소하는 상황에서는 같은 크기의 집계간격 내에서 출발기준 차량과 도착기준 차량의 데이터의 수가 달라진다.

구간검지체계의 최적 검지간격을 결정하기 위해서는 출발기준 통행속도와 도착기준 통행속도의 MAPE가 최소가 되는 조건을 구하였다. 이는 <그림 4> 및 <표 3>에서 보는 바와 같이, 7번째 time

interval에 도착한 차량 A'의 통행시간 정보가 8번째 time interval에 출발하는 차량 B에게 제공되기 때문에 두 차량의 통행시간 오차가 가장 작게 되는 구간검지 간격을 결정하기 위한 것이다. 본 연구에서는 <그림 4>에서 보는 바와 같이 총 32km 구간에 대하여 구간검지 간격을 JC 단위(32km), IC 단위(10km, 14km, 8km), 그리고 이후 8km, 5km, 4km, 3km, 2km, 1km 그리고 0.5km 간격으로 설정하여 최적 검지간격을 구하였다. MAPE 산출식은 식 (1)과 같다.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{S_{A(t)} - S_{D(t+1)}}{S_{D(t+1)}} \right| \times 100 \quad (1)$$

여기서,

MAPE = 평균절대오차비율 (%)

SA(t) = t번째 도착기준 통행속도 (km/h)

SD(t+1) = (t+1)번째 출발기준 통행속도 (km/h)

t = 교통자료 집계간격

n = 총 교통자료 집계간격 수

3) 분석 결과

구간검지체계 최적 검지간격 평가를 위한 기초 분석 결과는 평균 3km 간격의 검지기 설치간격이 가장 평균절대오차율이 작게 나타나는 결과를 보였다. 3km 이하의 간격에서는 <표 4>에서 보는 바와 같이, MAPE 값이 변하지 않음을 확인 할 수 있다. 이는 분석조건에서 혼잡구간의 평균 통행속도가 36km/h로 정해져 있어서, 5분 동안 3km를 주행

<표 4> 최적 구간검지간격 평가 결과
<Table 4> Evaluation results of the optimal section detection distance

| 검지기 설치간격 | MAPE (%) |
|----------------|----------|
| JC 단위 (총 32km) | 17.4 |
| IC 단위 (약 10km) | 13.5 |
| 8km | 12.0 |
| 5km | 11.6 |
| 4km | 11.3 |
| 3km | 11.0 |
| 2km | 11.0 |
| 1km | 11.0 |
| 0.5km | 11.0 |

<표 3> 출발기준 및 도착기준 통행속도 비교 예
<Table 3> Example - Comparison of travel speed based on departure and arrival

| | Time Interval | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|---------------|----|---|---|---|---|----|----|---|----|----|----|----|----|---|---|----|---|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | · | · | · | · | 30 |
| 출발 기준 | | 72 | | | | | | 55 | | | | | | | | | | | |
| 도착 기준 | | | A | | | | | | B | | | | | | | | | | |
| 출발 기준 | | | | | | | 70 | | | | | | | 55 | | | | | |
| 도착 기준 | | | | | | | | A' | | | | | | | | | B' | | |

하는 혼잡구간의 속도는 한 시간으로 환산할 경우 36km/h의 통행속도를 나타내기 때문이다. 따라서 이러한 경우, 구간검지간격을 더 작게 설정하더라도 혼잡구간의 통행속도가 더 낮아지지 않는 한 통행시간 산출정확도는 개선되지 않는다.

2. 구간검지체계 설치간격 및 통행시간 영향인자 분석

1) 분석 CASE 설정

최적 구간검지간격 및 통행시간 정확도에 영향을 주는 요인으로는 혼잡속도, 교통자료 집계간격 및 혼잡규모를 들 수 있다. 이에, 본 연구에서는 이러한 인자들의 영향범위 및 정도를 파악하여 다양한 도로 및 교통환경 하에서 최적의 구간검지체계 설치간격을 결정하기 위한 일반화된 방법론을 찾고자 한다. <표 5>는 이러한 일반화 방법론을 찾기 위해 수행할 분석 CASE들을 영향인자별로 구분하고 그 내용을 다룬 것이다.

<표 5> 분석 CASE 구분
(Table 5) Classification of analysis cases

| 구분 | 구분 | 내용 |
|----------|--|---|
| 혼잡속도 | 12~60km/h (집계간격 5분) | 구간검지 간격별 혼잡속도 변화에 따른 교통검지(관측) 및 정보제공 정확도 비교 |
| 자료 집계 간격 | 2.5분, 5분, 10분 (혼잡속도 24km/h) | 구간검지 간격별 교통자료 집계간격에 따른 교통검지(관측) 및 정보제공 정확도 비교 |
| 혼잡 구간 범위 | 극소~포화 (전구간 혼잡) (총 8가지 CASE) | 구간검지 간격별 혼잡구간 범위에 따른 교통검지(관측) 및 정보제공 정확도 비교 |
| 구간 검지 간격 | 공통 (총 9개 구간검지 간격 구분) : JC(32km), IC(10km-14km-8km), 8km, 5~1km, 0.5km | |

2) 분석 결과

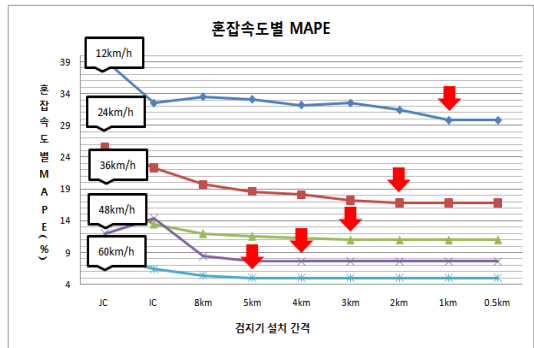
(1) 혼잡속도 영향 분석

분석에 적용된 혼잡속도는 12~60km/h의 5가지 종류이며, 교통자료 집계간격은 5분으로 고정되었다. 각 혼잡속도별 구간검지간격을 달리 설정하였을 때 나타나는 통행시간 오차율을 계산한 결과가

<표 6>에 제시되어 있다. 분석결과를 살펴보면, 혼잡속도에 비례하여 최적 구간검지간격이 변화됨을 볼 수 있는데, 최적 구간검지간격은 교통자료 집계간격(5분) 동안 혼잡구간을 이동할 수 있는 거리 (또는 간격)가 됨을 알 수 있다. <그림 5>는 혼잡속도별 최적 구간검지간격을 보여준다.

<표 6> 혼잡속도별 최적 구간검지간격
(Table 6) Optimal section detection distance on each congestion speed

| 검지기 설치간격 | 혼잡속도 별 MAPE (%) | | | | |
|----------|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| | 12kph | 24kph | 36kph | 48kph | 60kph |
| JC 단위 | 39.3 | 25.6 | 17.4 | 12.0 | 8.3 |
| IC 단위 | 32.5 | 22.3 | 13.5 | 14.4 | 6.4 |
| 8km | 33.5 | 19.7 | 12.0 | 8.4 | 5.4 |
| 5km | 33.1 | 18.6 | 11.6 | 7.7 | 5.0 |
| 4km | 32.2 | 18.1 | 11.3 | 7.6 | 5.0 |
| 3km | 32.5 | 17.2 | 11.0 | 7.6 | 5.0 |
| 2km | 31.4 | 16.8 | 11.0 | 7.6 | 5.0 |
| 1km | 29.8 | 16.8 | 11.0 | 7.6 | 5.0 |
| 0.5km | 29.8 | 16.8 | 11.0 | 7.6 | 5.0 |



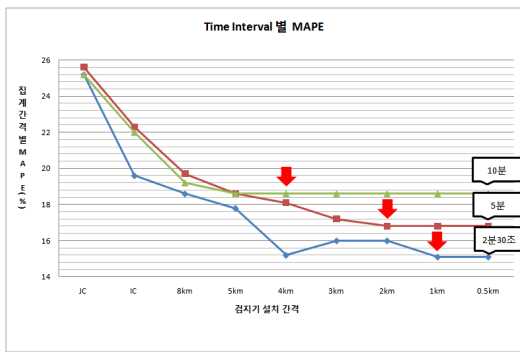
<그림 5> 혼잡속도별 최적 구간검지간격
(Fig. 5) Optimal section detection distance on each congestion speed

(2) 교통자료 집계간격(Time Interval) 영향 분석

분석에 적용된 교통자료 집계간격은 2.5분, 5분, 그리고 10분의 세 종류가 사용되었다. 이 때 기준 혼잡속도는 24km/h가 적용되었으며, 각 교통자료 집계간격별 구간검지간격을 달리 설정하였을 때 나타나는 통행시간 오차율을 계산한 결과가 <표 7>에 제시되어 있다. 분석결과를 살펴보면, 교통자료 집계간격에 비례하여 최적 구간검지간격이 변

〈표 7〉 교통자료 집계간격별 최적 구간검지간격
 〈Table 7〉 Optimal section detection distance on each time interval

| 검지기 설치간격 | Time Interval별 MAPE (%) | | |
|----------|-------------------------|------|-------|
| | 2분30초 | 5분 | 10분 |
| JC 단위 | 25.2 | 25.6 | 25.20 |
| IC 단위 | 19.6 | 22.3 | 22.02 |
| 8km | 18.6 | 19.7 | 19.19 |
| 5km | 17.8 | 18.6 | 18.62 |
| 4km | 15.2 | 18.1 | 18.57 |
| 3km | 16.0 | 17.2 | 18.57 |
| 2km | 16.0 | 16.8 | 18.57 |
| 1km | 15.1 | 16.8 | 18.57 |
| 0.5km | 15.1 | 16.8 | 18.57 |



〈그림 6〉 교통자료 집계간격별 최적 구간검지간격
 〈Fig. 6〉 Optimal section detection distance on each time interval

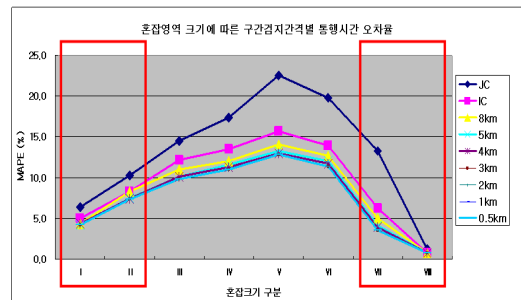
화됨을 볼 수 있으며, 최적 구간검지간격은 혼잡속도 24km/h로 교통자료 집계간격(2.5분, 5분, 10분) 동안 혼잡구간을 이동할 수 있는 거리가 됨을 알 수 있다. <그림 6>은 이러한 교통자료 집계간격별 최적 구간검지간격을 보여준다.

(3) 혼잡규모(시공간적) 영향 분석

구간검지 통행시간 정확도에 영향을 미치는 혼잡규모의 영향을 분석하기 위해 총 8가지 CASE의 혼잡규모를 설정하였다. 이 때 적용된 혼잡속도는 36km/h이며, 교통자료 집계간격은 5분이다. 각 혼잡규모별 분석 결과가 <표 8> 및 <그림 7>에 제시되어 있는데, 이를 자세히 살펴보면, 혼잡규모가 작은 경우와 아주 큰 경우에는 통행시간 오차율이 작게 나오는 것을 볼 수 있다.

〈표 8〉 혼잡규모 영향 분석
 〈Table 8〉 Impact of congestion scale

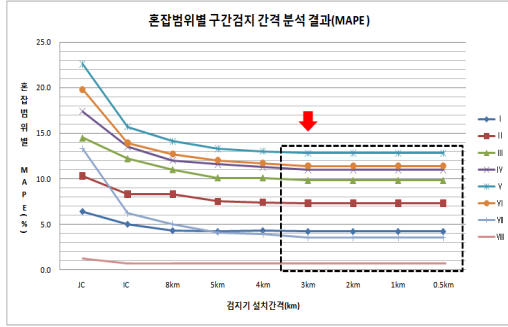
| 검지기 설치간격 | 혼잡규모별 MAPE (%) : 혼잡속도 36km/h, 집계간격 5분 | | | | | | | |
|----------|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 小 → 中 → 大 | | | | | | | |
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII |
| JC 단위 | 6.4 | 10.3 | 14.5 | 17.4 | 22.6 | 19.8 | 13.3 | 1.2 |
| IC 단위 | 5.0 | 8.3 | 12.2 | 13.5 | 15.7 | 13.9 | 6.2 | 0.7 |
| 8km | 4.3 | 8.3 | 11.0 | 12.0 | 14.1 | 12.7 | 5.0 | 0.7 |
| 5km | 4.2 | 7.5 | 10.1 | 11.6 | 13.3 | 12.0 | 4.1 | 0.7 |
| 4km | 4.3 | 7.4 | 10.1 | 11.3 | 13.0 | 11.7 | 3.9 | 0.7 |
| 3km | 4.2 | 7.3 | 9.8 | 11.0 | 12.8 | 11.4 | 3.5 | 0.7 |
| 2km | 4.2 | 7.3 | 9.8 | 11.0 | 12.8 | 11.4 | 3.5 | 0.7 |
| 1km | 4.2 | 7.3 | 9.8 | 11.0 | 12.8 | 11.4 | 3.5 | 0.7 |
| 0.5km | 4.2 | 7.3 | 9.8 | 11.0 | 12.8 | 11.4 | 3.5 | 0.7 |



〈그림 7〉 혼잡규모 영향 분석
 〈Fig. 7〉 Impact of congestion scale

이는 교통류상태가 모두 비혼잡상태이거나 혼잡상태인 경우에 교통류상태의 동질성이 확보되어 통행시간 오차율이 적게 나타나는 것으로 이해되며, 혼잡규모가 중간상태일 때, 교통류상태의 이질성이 극대화되어 통행시간 오차율도 커지는 것으로 이해할 수 있다.

한편, <그림 8>에서 보듯이, 혼잡속도와 교통자료 집계간격이 36km/h와 5분으로 설정되어있는 조건이므로 혼잡규모가 변하여도 최적 구간검지간격은 변하지 않음을 알 수 있다.



〈그림 8〉 혼잡규모별 최적 구간검지간격
 (Fig. 8) Optimal section detection distance on each congestion scale

3. 최적 구간검지간격 산출방법 일반화

지금까지 정보제공 측면에서 구간검지체계를 통해 산출된 통행시간의 정확도에 영향을 미치는 요인들에 관하여 살펴보았다. 구간검지체계의 정확도에 영향을 미치는 요인들로는 혼잡구간 통행속도, 교통자료 집계간격, 그리고 혼잡규모를 들 수 있다. 이러한 요인들에 영향을 받는 구간검지체계는 지점검지체계와는 다르게 구간검지체계의 고유한 교통검지 특성에 기인하는 데, 이는 구간검지체계가 교통류의 시공간적 이동을 검지하는 특성을 지니기 때문이다. 즉, 구간검지체계로부터 교통검지 자료를 생성하기 위해서는 검지간격 사이에 시공간적 이동이 수반되어야 하며, 이를 통한 정보제공에 있어서는 검지시간의 경과라는 과거자료의 특성을 지님으로 인해 미래 교통상황과의 괴리가 발생하게 된다. 따라서 구간검지체계에 영향을 미치는 요인들 중 혼잡구간 통행속도와 교통자료 집계간격은 동일한 구간검지간격에서 교통자료의 시간치집현상과 집계량에 영향을 끼친다. 따라서 이러한 영향의 최소화를 위해서는 최적 구간검지간격의 설정이 중요하며, 이는 앞서 제시된 분석결과에서 살펴보았듯이, 주어진 혼잡구간 통행속도와 교통자료 집계간격에 의해 구간검지의 최적 간격이 결정될 수 있다.

한편, 동일한 혼잡구간 통행속도와 교통자료 집계간격의 조건에서 혼잡규모의 변화는 앞에서 살펴본 바와 같이, 제공정보에 대한 교통검지자료의

정확도에는 영향을 끼치나 최적 구간검지간격에는 영향을 주지 않는다. 식 (2)는 구간검지체계 최적 설치간격을 일반화된 식으로 표현한 것이며, <표 9>는 혼잡속도 및 교통자료 집계간격 별 최적 구간검지간격을 산출한 결과이다.

$$D_{SPACE} = V_{\cong ESTION} \times T_{\cap VAL} \quad (2)$$

여기서, D_{SPACE} = 최적 구간검지간격 (km)

$V_{CONGESTION}$ = 혼잡구간 통행속도 (km/h)

$T_{INTERVAL}$ = 교통자료 집계간격 (hour)

(표 9) 최적 구간검지간격 산출 결과
 (Table 9) Calculation of optimal section detection distance

| 구 분 | 교통자료 집계간격 | | | | | | |
|------------------|-----------|-----|-----|-----|-----|------|------|
| | 0.5분 | 1분 | 2분 | 5분 | 10분 | 15분 | |
| 혼 잡 속 도 | 10(km/h) | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.8 | 1.7 | 2.5 |
| | 20(km/h) | 0.2 | 0.3 | 0.7 | 1.7 | 3.3 | 5.0 |
| | 30(km/h) | 0.3 | 0.5 | 1.0 | 2.5 | 5.0 | 7.5 |
| | 40(km/h) | 0.3 | 0.7 | 1.3 | 3.3 | 6.7 | 10.0 |
| | 50(km/h) | 0.4 | 0.8 | 1.7 | 4.2 | 8.3 | 12.5 |
| | 60(km/h) | 0.5 | 1.0 | 2.0 | 5.0 | 10.0 | 15.0 |
| | 70(km/h) | 0.6 | 1.2 | 2.3 | 5.8 | 11.7 | 17.5 |
| | 80(km/h) | 0.7 | 1.3 | 2.7 | 6.7 | 13.3 | 20.0 |
| | 90(km/h) | 0.8 | 1.5 | 3.0 | 7.5 | 15.0 | 22.5 |
| | 100(km/h) | 0.8 | 1.7 | 3.3 | 8.3 | 16.7 | 25.0 |

VII. 교통검지체계 설치기준 수립

지금까지 구간검지체계의 도입 필요성을 현재의 교통검지체계가 안고 있는 문제점과 이를 극복하기 위한 방안으로서, 최적의 구간검지체계 설치간격 결정 방법론을 중심으로 고찰하였다. 궁극적으로 지금까지 수행한 일련의 연구과정은 최적의 교통검지체계 도입 및 구축을 위한 기초로서, 방법론의 실제 현장적용을 위해서는 보다 큰 틀에서 교통검지체계의 역할 및 기능적 요구사항을 고찰하고 그 활용을 위한 실질적 기준이 제시되어야 할 것이다. 이에, 본 연구에서는 새로운 교통검지체계 설치기준을 수립함에 있어서, 고속도로 교통혼잡 수준에 따라 지점 및 구간 검지체계가 동시에 적용될 경우의 중복성

및 비용효과적인 측면을 고려하여 최적 설치기준을 3가지 유형으로 구분하여 제시하였다.

1. 고속도로 구간검지간격 기준 검토

물리적 시설인 교통검지체계의 도입을 위해서는 다양한 교통상태와 교통운영조건 및 설치목적(상습정체 또는 돌발상황 관리 등)별 특정한 기준조건의 설정이 필요하다. 특히 고속도로 구간검지체계 최적 설치간격을 결정하기 위해서는, 교통상태구분, 혼잡규모 및 교통류특성(혼잡속도, 시공간적 범위 등), 교통자료 집계간격 등에 대한 정의가 필요하다. <표 10>은 통상적인 고속도로 교통상태 구분 기준과 교통자료 집계간격을 적용하여 최적 구간검지간격을 도출한 결과이다.

<표 10> 고속도로 최적 구간검지간격
(교통자료 집계간격 : 5분)

<Tabl 10> Optimal section detection distance on expressway

| 혼잡구분 | 통행속도 범위 | 최적 구간검지 간격 |
|------|-----------|------------|
| 혼잡 | 30km/h 이하 | 2.5km |
| 서행 | 30~70km/h | 4.0km |
| 소통원활 | 70km/h 이상 | 6.0km |

2. 새로운 교통검지체계 설치기준 기본 안

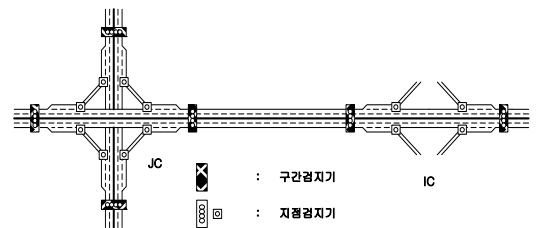
<표 11> 및 <그림 9>에 제시된 새로운 교통검지체계 설치기준 기본 안은 교통혼잡의 발생 여부와 상관없이 모든 고속도로 네트워크에 설치하는 것을 기본으로 하며, 그 주요한 특징을 살펴보면 다음과 같다.

- 지점검지체계의 경우, JC 및 IC부의 모든 연결로에 검지기를 설치하여 연결로 교통량을 파악할 수 있도록 하였으며, 본선교통량 파악을 위하여 분합류부가 위치한 본선에 지점검지기를 설치하도록 하였다
- 구간검지체계의 경우는, JC 및 IC부의 모든 방향에 설치하여 경로전환교통량 및 경로통행시간을 파악할 수 있도록 하여 통행시간 정보 수집 및 제공 정확도를 높이고 비용효과적인 설치가 가능하도록 제시하였다.

이러한 교통검지체계 설치기준 기본 안은 교통정책, 교통운영관리 및 이용자서비스 측면에서 필요한 교통자료의 획득이 가능한 형태로 고안된 것이 특징이라 할 수 있다.

<표 11> 교통검지체계 설치기준 기본 안
<Table 11> Basic standard for traffic detection systems

| | 설치 위치 | 본선 설치간격 |
|------|-----------------------------------|---------|
| 지점검지 | JC 및 IC부 모든 연결로 JC 및 IC부 전후 본선 | - |
| 구간검지 | JC 및 IC부 전후 본선 | - |



<그림 9> 교통검지체계 설치기준 기본 안
<Fig. 9> Basic standard for traffic detection systems

3. 교통혼잡 수준을 고려한 교통검지체계 설치기준 안

교통검지체계 설치기준 기본 안과 달리, 교통혼잡 수준을 고려한 교통검지체계 설치기준 안은 “1) 지방부 주말 지정체구간”과 “2) 도시부 상습 지정체구간”에 적용될 2가지 형태로 구분된다.

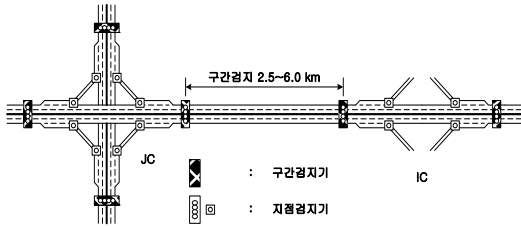
1) 지방부 주말 지정체구간

교통혼잡 수준을 고려한 교통검지체계 설치기준 안으로 지방부 주말 지정체구간에 대하여는 <표 12> 및 <그림 10>와 같이 고속도로 본선 기본구간에 대하여 구간검지체계를 추가 설치하고 설치간격은 교통혼잡 수준에 따라 결정한다. 지방부 주말 지정체구간은 이용자서비스 측면에서 도로이용자들에 의한 정확한 통행시간 정보제공 요구가 크기 때문에 혼잡수준에 따라 구간검지간격을 결정하여 설치할 필요가 있다.

<표 12> 교통검지체계 설치기준 안
(지방부 주말 지정체구간)

<Fig. 12> Standard for traffic detection systems
(rural congestion area)

| | 설치 위치 | 본선 설치간격 |
|------|-----------------------------------|------------|
| 지점검지 | JC 및 IC부 모든 연결로 JC 및 IC부 전후 본선 | - |
| 구간검지 | JC 및 IC부 전후 본선 | 2.5~6.0 km |



<그림 10> 교통검지체계 설치기준 안
(지방부 주말 지정체구간)

<Fig. 10> Standard for traffic detection systems
(rural congestion area)

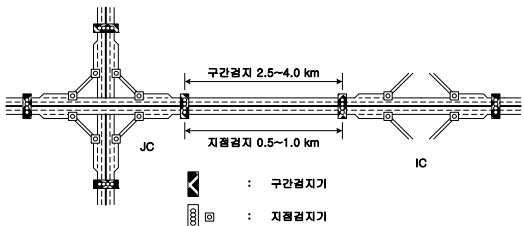
2) 도시부 상습 지정체구간

교통혼잡 수준을 고려한 교통검지체계 설치기준 안으로 도시부 상습 지정체구간에 대하여는 <표 13> 및 <그림 11>과 같이 고속도로 본선 기본구간에 대하여 지점 및 구간 검지체계를 추가 설치하

<표 13> 교통검지체계 설치기준 안
(도시부 상습 지정체구간)

<Table 13> Standard for traffic detection systems
(urban congestion area)

| | 설치 위치 | 본선 설치간격 |
|------|-----------------------------------|------------|
| 지점검지 | JC 및 IC부 모든 연결로 JC 및 IC부 전후 본선 | 0.5~1.0 km |
| 구간검지 | JC 및 IC부 전후 본선 | 2.5~4.0 km |



<그림 11> 교통검지체계 설치기준 안
(도시부 상습 지정체구간)

<Fig. 11> Standard for traffic detection systems
(urban congestion area)

고 설치간격은 교통혼잡 수준에 따라 결정한다. 도시부 상습 지정체구간은 이용자서비스 및 교통운영관리 측면에서 도로이용자들에 의한 정확한 통행시간 정보제공 및 적극적인 혼잡관리에 대한 요구가 큰 곳이므로 혼잡수준에 따라 지점 및 구간 검지체계의 설치간격을 조정하여 탄력적으로 대처할 필요가 있다.

VIII. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 교통정책, 교통관리 및 이용자서비스의 구현을 위한 최적 구간검지체계의 도입을 검토하였다. 구간검지체계는 통행시간 산출의 정확도가 높고 차량의 이동경로 파악을 통한 경로전환교통량의 산출 및 경로통행시간 제공이 가능하여 기존 지점검지체계 중심의 교통검지체계를 구간검지체계의 도입을 통해 보완가능하다. 이를 위해 본 연구에서는 교통검지체계의 이론적 특성을 고찰하고 현장조사를 통해 지점 및 구간 검지자료를 비교하였으며, 기존 교통검지체계의 보완을 위한 구간검지체계의 설치기준을 제시하였다.

다음은 고속도로 구간검지체계의 도입과 관련하여 추가로 추진되어야 할 향후 연구과제들이다.

첫째, 검지기 설치간격에 따른 비용 대비 정보의 신뢰도 평가를 위한 연구가 추진되어야 한다. 교통검지체계에 있어서 비용적 요소는 교통검지체계를 구축하는데 간과할 수 없는 중요한 요소이다. 따라서 향후 비용대비 교통검지체계의 효과성을 다루는 보다 심도 깊은 연구가 필요하다.

둘째, 보다 정확한 통행시간정보 산출 알고리즘의 개선 및 개발이 요구된다. 실시간성에 가까운 지점검지체계의 특성과 정확한 구간 통행시간 정보를 측정할 수 있는 구간검지체계의 특성을 잘 융합하여 보다 정확하고 신뢰성 있는 통행시간 교통정보를 생성해 낼 수 있어야 하겠다.

마지막으로, 교통검지체계를 활용한 다양한 교통정책, 교통관리 및 이용자서비스 구현을 위한 전략수립 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] 한국도로공사, *지능형 고속도로 운영관리기준 수립(고속도로 FTMS 구축편람 수립연구)*, 2000.
- [2] 한국도로공사, *DSRC를 활용한 도로교통정보 검지시스템 실용화 기술개발*, 2008. 8.
- [3] T. Choe, A. Skabardonis and P. Varaiya, "Freeway performance measurement system : operational analysis tool," *Transportation Research Record 1811*, pp.67-75, November 2002.
- [4] SwRI, "Automatic vehicle identification model development initiative system design document, report prepared for transguide," Texas Department of Transportation, Southwest Research Institute, San Antonio, TX, 1998.
- [5] 한국도로공사, *ITS 기술개발 연구(IV) 고속도로 통행시간 예측시스템 개발*, 2000. 12.
- [6] 강진기, 손영태, 윤여환, 변상철, "비매설식 자동차량인식장치를 이용한 구간교통정보 산출 방법 연구," *한국ITS학회논문지*, 제1권, 제1호, pp.22-32, 2002. 12.
- [7] F. Dion and H. Rakha, "Estimating spatial travel times using automatic vehicle identification data," *TRB 82th Annual meeting CD-ROM*, Washington D.C.
- [8] 김남선, 이승환, 오영태, "신경망을 이용한 고속도로 여행시간 추정 및 예측모형 개발," *대한교통학회지 논문지*, 제18권, 제1호, pp.47-59, 2000. 2.
- [9] 이의은, 김정현, "시간차집현상을 고려한 장거리구간 통행시간 예측모형 개발," *대한교통학회지*, 제20권, 제4호, pp.51-61, 2002. 8.
- [10] 김재진, "통행시간 정보 제공을 위한 구간 데이터 수집체계의 최적설계 및 운영(연속류를 중심으로)," 한양대학교, 박사학위논문, 2006.
- [11] B.J. Gajewski, S.M. Turner, W.L. Eisele and C.H. Spiegelman, "ITS Data Archiving: Statistical Technique for determining Optimal Aggregation widths for Inductive Loop Detector Speed Data," *Transportation Research Record 1719*, pp.85-93, October 2000.
- [12] 유소영, 노정현, 박동주, "통행시간 추정 및 예측을 위한 루프 검지기 자료의 최적집계 간격 결정," *대한교통학회지*, 제22권, 제6호, pp.109-118, 2004. 12.
- [13] A. Tarko and N.M. Rouphail, "Travel Time Data Fusion in Advance," ASCE Third International Conference on Applications of Advanced Technologies in Transportation Engineering, Washington D.C., pp.36-42, 1993.
- [14] 이현재, "VDS 와 AVI 기반의 최적 통행시간 추정모형 개발," 아주대학교 박사학위논문, 2005.

저자소개



김 낙 주 (Kim, Nak-Joo)

2009년 12월 ~ 현 재 : 한국도로공사 해외사업처장
2009년 2월 : 아주대학교 건설교통공학과 박사수료(교통공학전공)
2008년 12월 ~ 2009년 12월 : 한국도로공사 경영정책실장



이 승 준 (Lee, Seung-Jun)

2003년 7월 ~ 현 재 : 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원
2002년 8월 : 서울시립대학교 도시공학과 박사(교통공학전공)
1998년 2월 : 서울대학교 토목공학과 석사(교통공학전공)



오 세 창 (Oh, Sei-Chang)

1996년 3월 ~ 현 재 : 아주대학교 건설교통공학과 교수
1993년 2월 : 미국 매릴랜드주립대학교 토목공학과 박사(교통공학전공)
1988년 2월 : 미국 카네기멜론대학교 토목공학과 석사(교통공학전공)



손 영 태 (Son, Young-Tae)

1996년 3월 ~ 현 재 : 명지대학교 교통공학과 교수
1994년 2월 : 미국 퍼듀대학교 토목공학과 박사(교통공학전공)
1989년 2월 : 서울대학교 토목공학과 석사(교통공학전공)