

■ 論 文 ■

## 일반국도 통행시간 추정을 위한 동질구간 기반 지점검지기 배치에 관한 연구

A Study on Placement of Point Detectors Based on Homogeneous Section  
for Travel Time Estimation in National Highway

**김 성 현**  
(한국건설기술연구원 선임연구원)

**임 강 원**  
(서울대학교 환경대학원 교수)

**이 영 인**  
(서울대학교 환경대학원 부교수)

### 목 차

- |   |   |
|---|---|
| <p>I. 서론</p> <p>1. 연구의 필요성 및 목적</p> <p>2. 연구의 내용 및 범위</p> <p>II. 기존연구고찰</p> <p>1. 도로용량편람(2001) 동질구간 분할방법</p> <p>2. 교통자료의 통계분석 기반 그룹화방법</p> <p>3. 기존연구의 한계 및 극복방안</p> <p>III. 모형의 정립</p> | <p>1. 동질구간의 정의</p> <p>2. 동질구간 결정기법의 정립</p> <p>IV. 모형의 적용 및 평가</p> <p>1. 대상구간 현황</p> <p>2. 수집방법 및 내용</p> <p>3. 모형의 평가</p> <p>V. 결론</p> <p>참고문헌</p> |
|---|---|

**Key Words** : 동질구간, 도로 및 운영조건, 교통조건, 통행시간추정, 지점검지기 배치

### 요 약

본 연구는 지점검지기의 효율적 배치기준인 동질구간 결정 로직을 정립하고자 수행되었다. 동질구간의 결정은 도로 및 운영조건과 실시간 교통패턴의 변동을 고려하여 시간대별 동질구간 및 최종 동질구간을 결정하였다. 교통조건 동질구간 결정은 실시간 자료에 기반한 군집분석을 이용하였다.

동질구간의 검증에 위해 모든 링크에 검지기를 설치하는 경우와 동질구간에 검지기를 설치하는 경우에 대하여 각각 통행시간 추정력을 비교한 결과 동질구간의 효과가 입증되었다.

본 연구결과는 향후 국도교통관리 및 정보제공시스템에 유용하게 적용될 것으로 기대된다. 본 연구결과에 의하면 본 연구에서 제안한 동질구간 결정 로직을 대규모 국도 ITS 구축사업에 적용할 경우, 통행시간 추정력의 향상과 함께 지점검지기의 효율적 배치를 통한 구축 및 운영비용의 절감이 예상된다.

This study was carried out to set up the logic to determine lengths of the homogeneous sections effectively in order to provide dynamic travel time on real time base for the application of the model.

First, considering real time traffic pattern fluctuation, lengths of the homogeneous sections for each time period and the final homogeneous sections were determined. In order to determine lengths of the homogeneous sections according to traffic condition, the cluster analysis was used based on real time data.

In order to verify the homogeneous section, the case with detectors in all links and the case with detectors in homogeneous section for each time period are used. As the results of verification, each cases showed similar estimation results.

The results of this study are expected to be used for National Highway traffic management and the system to provide a traffic information in the future. According to this study, when the homogeneous section decision model are used to the ITS project for National Highway, operation cost is expected to be cut by effectively establishing point detectors.

## 1. 서론

### 1. 연구의 필요성 및 목적

개별링크 단위로 통행시간을 추정하는 경우 각 개별 링크에 검지기가 설치되어야 한다. 또는 검지기 미설치 링크에 대한 결측 보정이 별도로 필요하게 된다. 현장 설치 여건의 제약, 구축 및 운영비용의 한계 등으로 모든 링크에 검지기를 설치하는 것은 특히, 국도 ITS와 같은 대규모 광역 ITS 사업의 경우 거의 불가능하다. 따라서, 실시간 정보제공을 고려하여 검지기를 효율적으로 배치하고, 동적인 교통패턴의 변화에 탄력적으로 대응할 수 있는 동질구간 결정 로직의 개발이 필요하다.

동질구간 결정 모형의 경우, 기존의 도로용량편람의 동질구간 결정 기준은 도로 및 운영조건, 즉 도로용량 혹은 공급측면만을 고려함으로써 통행시간 추정을 위한 동질구간 결정 로직으로서는 한계가 있다. 또한, 교통량 조사 지점 결정을 위한 그룹핑 기법은 정태적이고, 거시적인 통계 자료를 이용함으로써 실시간 정보제공을 위한 기법으로서는 적합하지 않다. 따라서, 실시간 정보제공에 적합한 실시간 동적자료에 기반한 링크 그룹핑 기법의 개발이 필요하다. 따라서, 본 연구의 목적은 실시간 동적 통행시간 정보를 제공하기 위해 지점 검지기의 효율적 배치기준인 실시간 자료에 기반한 동질구간 결정 로직을 정립하는 것이다.

### 2. 연구의 내용 및 범위

#### 1) 공간적, 시간적 범위

본 연구에서는 일반국도 3호선 곧지암IC~장지IC 구간을 대상으로 하였다. 대상구간의 연장은 10.7km로서 도시 및 교외간선도로 특성 구간과 다차로도로 특성 구간으로 구성되어 있다.

본 연구에서 사용하는 자료의 시간적 범위는 '04년 7월 20일~22일 3일간의 자료를 대상으로 오전, 전이, 오후 시간대에 대하여 자료를 수집하였다.

#### 2) 내용적 범위

제2장에서는 그룹핑 모형에 관한 기존 연구들을 고찰하고, 연구의 한계를 고찰하였으며, 제3장에서는 지

점검지기 배치를 위한 모형의 정립 부분으로서, 도로 및 운영조건과 함께 실시간 교통조건의 변동을 함께 고려한 동질구간 결정 로직을 정립하였다. 제4장에서는 모형의 적용 및 검증을 위한 현장조사 및 자료정리에 관한 내용을 기술하였다. 제5장에서는 지점검지기의 효율적 배치를 위해 도로 및 운영조건과 실시간 교통자료의 군집분석을 이용하여 최종 및 시간대별 동질구간을 결정하였다. 동질구간의 검증은 최적화 융합모형을 이용하여 전체 링크에 모두 지점검지기를 설치할 경우와 동질구간에 검지기를 설치하는 경우에 대하여 융합모형의 추정력 비교를 통해 동질구간의 효과를 검증하였다.

## II. 기존 연구 고찰

동질구간에 선정에 대한 기존의 연구는 첫째, 연속 교통류와 단속 교통류의 특성을 함께 가지고 있는 다차로도로의 서비스 수준을 분석하기 위해 다양한 도로 및 교통 조건을 가지는 대상 도로 구간을 분할하는 방법, 둘째, 현장의 개별 링크에서 수집된 교통자료를 통계적으로 분석하여 일정한 특성을 갖고 있는 링크 그룹별로 유형화하여 하나의 구간으로 묶는 방법으로 구분할 수가 있다. 이들에 대해서 자세히 살펴보면 아래와 같다.

### 1. 도로용량편람(2001) 동질구간 분할 방법

연속류와 단속류의 특성이 혼재하는 다차로도로의 서비스 수준을 분석하기 위해서 분석 구간의 여러 링크를 대상으로 통행속도에 영향을 미치는 변수들일 일정한 구간을 대상으로 조사하여 이들을 유형별로 분할해서 동질구간으로 선정하게 된다. 이 때의 변수로는 도로주변개발현황(도시 지역과 지방 지역), 교통량, 신호 교차로, 도로 조건 등이 포함된다.

### 2. 교통자료의 통계분석에 기반하여 링크를 그룹화하는 방법

분석대상이 되는 현장의 개별 링크에서 미리 수집된 교통자료를 통계적으로 분석하여 유사한 특성을 갖고 있는 링크를 몇 개의 그룹별로 유형화하여 동질구간으로 산정하는 방법은 국내·외적으로 많은 연구가 진행되어 왔는데 이를 구분하여 살펴보면 다음과 같다.

1) 국내 사례

국내의 그룹핑에 관련된 연구는 1979년 건설부의 '도로 교통량 조사 제도 및 전산화 방안 연구보고서', 1986년 국토개발연구원의 '도로 교통량 조사 체계 및 자료 처리의 합리화 방안 연구', 1987년 한국교통문제 연구원의 '도로 교통량 조사 분석 및 전국 O-D 조사 계획 수립에 관한 연구', 1993년 국토개발연구원의 '도로 교통량 조사 및 관리제도 개선 연구 - 최종보고서' 등을 거치면서 이론적으로 배경을 지니게 되었다.

이 분야에 대한 국내의 사례 연구는 주로 전역조사 지점의 AADT 추정을 위한 교통량 조사 지점의 그룹핑을 중심으로 이루어졌고 여기에 사용되는 그룹핑 과정은 크게 최초 그룹핑, 그룹핑 결과의 재검토, 새로운 관측값을 배정하는 세 개의 과정으로 나타난다.

그리고 국내 사례에서 발견되는 특징은 그룹핑 과정에서 최초 그룹핑은 경험적 방법 혹은 Nearest Neighbor 방법을 통해 이루어지고 판별 함수를 통해 그룹핑을 재검토하는 과정을 거쳤다는 점이다.

2) 미국 사례

미국의 그룹핑은 연방정부와 FHWA의 주도하에 발전을 해왔으며 'Guide for Traffic Volume Counting Manual', 'Traffic Monitoring Guide'에서 그룹핑에 대한 기본 방향을 제시하였다. 이를 기본으로 하여 실제 사례를 적용하는 형태로 지금까지 여러 가지 방법론이 적용되어 왔는데 이들의 구체적인 사례는 다음과 같다.

Pant & Wegmer.(1969)은 'A Multiple Linear Discriminant Function Analysis'에서 트럭 중량 조사 지점을 그룹핑하는 데에 교통 측정 자료를 이용하면서 초기에 5개의 군집을 설정하였고 이후 4개로 숫자를 감소시켰다. Lieder(1971)는 'A Grouping Procedure'에서 이 결과를 검증하고 더욱 확장시켜 텍사스 트럭 중량 조사(Texas truck weight)와 Maryland 교통 자료에 적용시켰다. Sharma & Werner(1981)는 45개의 상시조사 지점을 계층적 군집분석법을 사용하여 그룹핑하였다. 또한 Sharma & Werner는 상시조사 지점에 대해 3년간의 자료를 이용하여 군집 분석을 적용하였다. Hartgen & Lemmerman(1982) 뉴욕 주에서 전역조사 지점의 수를 감소시키기 위해 군집 분석 기법을 AADT 추정에 적용하였다.

3. 기존 연구의 한계 및 극복방안

앞에서 살펴본 바와 같이 동질구간 결정 모형에 관

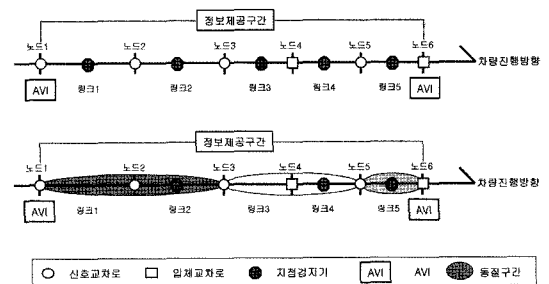
한 기존연구들은 각각 나름대로의 한계를 지니고 있다. 기존의 도로용량편람의 동질구간 결정 기준은 도로 및 운영조건, 즉 도로용량 혹은 공급측면만을 고려함으로써 통행시간 추정을 위한 동질구간 결정목적으로서는 한계가 있다. 또한, 교통량 조사 지점 결정을 위한 동질구간 결정기법은 정태적이고, 거시적인 통계 자료를 이용함으로써 실시간 정보제공을 위한 기법으로서는 적합하지 않다.

<표 1> 기존 연구의 한계 및 극복방안

모형	연구의 한계	극복방안
도로용량편람 동질구간 결정로직	도로 및 운영조건으로 결정함으로써, 공급측면만 고려함.	1. 도로조건 및 운영조건 등 공급측면만 고려 → 교통조건을 함께 고려함
교통량 조사지점 그룹핑	교통자료를 이용한 거시적, 정태적 통계 분석임.	2. 정태적, 거시적 분석 → 실시간 동적자료를 이용하여, 실시간 정보제공을 위한 구축 및 운영을 고려함

III. 모형의 정립

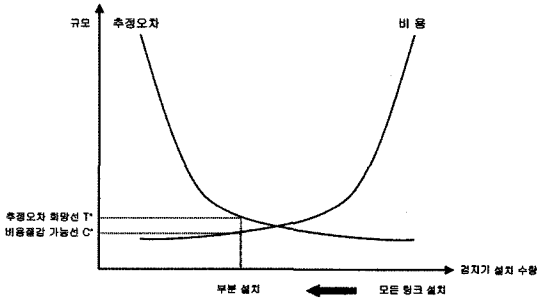
본 연구에서 대상으로 하는 정보제공구간과 검지기 위치에 대한 일반적인 개념도는 <그림 1>과 같다. 정보제공구간은 지명 인지도가 높으며, 정보제공의 기본 단위가 되는 구간이다. 지점검지기는 해당 검지기가 위치한 링크의 교통량과 속도, 점유율을 특정 시간주기로 수집하며, 번호판 인식 AVI는 노드 1에서 노드 6까지 즉, 정보제공구간을 통행하는 개별차량의 통행시간 자료를 수집한다.



<그림 34> 정보제공구간, 동질구간 및 검지기 개념도

1. 동질구간의 정의

동질의 사전적 의미는 '같은 성질'로 정의된다. 즉, 동질구간은 같은 성질을 가지고 있는 구간으로 정의할



〈그림 2〉 검지기 배치 수와 통행시간 추정오차 및 비용 관계

수 있다. 이를 실시간 통행시간 추정을 위한 검지기 배치 측면에서 살펴보면, '같은 성질'을 가지고 있는 구간이란 곧, '단위구간 당 통행시간의 실시간 변동패턴이 유사한 구간'이라고 할 수 있다. 이는 곧 '통행속도의 실시간 변동패턴이 같은 구간'으로 정의된다. 그리고, 이러한 관점에 의해 동질구간이 결정되면, 그 동질구간에 설치된 지점검지기에서 수집되는 자료는 그 구간의 실시간 변동을 대표하게 된다.

또한, 동질구간 끝 지점검지기의 설치 수량과 통행시간 추정오차, 비용의 관계는 〈그림 2〉와 같은 형태로 나타날 것이다. 일반적으로 검지기 설치 수량이 증가하면 비용은 증가하지만, 통행시간 추정오차는 감소할 것이다. 이 때, 검지기 설치수량의 결정은 희망하는 통행시간 추정오차 이하의 추정력을 만족시키는 범위 내에서 결정하여야 할 것이다. 일반적으로 동일한 수량의 검지기를 설치하더라도 설치 위치에 따라 통행시간 추정력은 각각 상이할 것이다.

이에, 본 연구에서는 모든 링크에 검지기를 설치하는 경우와 추정력이 동일하거나 혹은, 근사한 추정력을 확보할 수 있도록 하기 위해 효율적 지점검지기 배치의 기준이 되는 동질구간 결정 방법을 제안하였다.

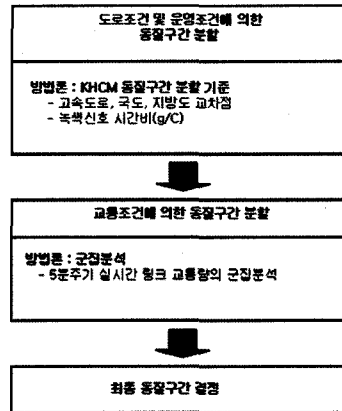
## 2. 동질구간 결정기법의 정립

통행시간 정보를 제공하기 위한 차량검지기 설치 목적은 실시간적으로 변화하는 도로의 소통상황을 정확히 파악하기 위한 것이다. 도로의 소통상황은 일반적으로 세 가지 요인 즉, 도로조건과 운영조건, 교통조건에 의해 결정된다. 기하구조에 해당하는 도로조건은 고정요소의 특성을 지닌 반면, 교통조건은 교통량과 같이 시간에 따라 변화하는 가변요인

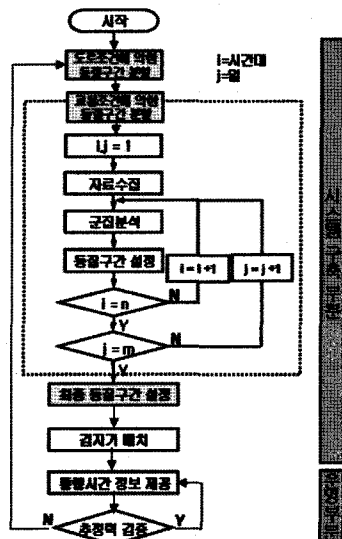
이다. 따라서, 실시간적 소통상황은 곧 고정요인인 도로조건, 운영조건과 실시간적 변동요인인 교통조건에 의해 결정된다.

$$\text{소통상황} = f(\text{도로조건, 운영조건, 교통조건})$$

본 연구에서는 동질구간을 도로조건 및 운영조건, 교통조건(변동요소, 수요측면)이 동질적인 구간으로 정의하였다. 따라서, 동질구간의 결정 과정은 〈그림 3〉과 같이 우선 도로 및 운영조건에 의해 동질구간을 분할한다. 다음으로 교통조건 즉, 대상구간 교통량의 실시간 변동패턴을 군집분석을 이용한 링크 그룹핑을 통해 동질구간을 분할한다. 이렇게 결정된 동질구간은 〈그림 4〉와 같



〈그림 3〉 도로조건과 교통조건을 고려한 동질구간 결정 과정



〈그림 4〉 구축과 운영을 고려한 동질구간 결정과정

이 동질구간 내 대표링크에 지점검지기를 배치하여 정보 제공시스템을 운영한다. 만일, 모형의 추정력이 목표수준을 만족하지 못하거나 기하구조 변화나 수요유발요인의 생성·소멸 등 동질구간에 영향을 미치는 변화가 발생할 경우 변화요인을 고려하여 동질구간에 대한 평가 및 조정이 가능하다.

1) 도로 및 운영조건에 의한 동질구간 분할

도로용량편람(2001)은 연속 교통류와 단속 교통류가 혼재하는 다차로도로의 서비스수준 특성을 고려하기 위해 분석 대상 구간을 동질성을 갖는 유형별로 분할한다. 분할 기준은 통행 속도(혹은 통행시간)에 영향을 미치는 변수들의 특성이 일정한 구간 단위로 분할한다. 도로 주변 개발 현황(도시 지역과 지방 지역), 교통량, 신호교차로, 도로 조건 등이 동질구간 분할 기준에 포함된다. 다음은 도로용량편람 다차로도로의 동질구간 분할 과정이다.

- 1단계 도로 주변 개발 현황에 따라 도시 지역과 지방 지역으로 구분한다.
- 2단계 지방 지역으로 구분된 구간은 먼저, 교통량 수요 패턴이 변동되는 주요 신호교차로(일반국도나 지방도 교차 지점)를 중심으로 재분할한다.
- 3단계 앞 단계에 의해 분할된 구간은 다시 직진 주 방향 녹색시간비(g/C)비가 0.6 미만의 신호교차로, 또는 각 신호교차로간의 거리가 3.0km 이상인 경우를 다시 세분한다.
- 4단계 최종적으로 세분된 구간은 평균 녹색시간비(g/C)와 신호밀도를 토대로 다차로도로 유형(I, II, III)과 도시 및 교외 간선도로를 결정한다.

본 연구에서는 도로용량편람의 동질구간 분할기준을 도로 및 운영조건 동질구간 기준으로 사용하였다.(신호밀도가 0.3이하이면 유형 I, 0.3 초과~ 0.7 이하는 유형 II, 0.7 초과는 유형 III)

2) 교통조건에 의한 동질구간 분할

본 연구에서는 개별링크에 설치된 지점검지기의 실시간 5분 교통량 자료를 이용하여 군집분석을 시행한다. 실시간 교통량 자료는 일과 시간대로 구분하여 군집분석을 시행한다. 분석에 사용되는 자료와 결정된 동질구간의 구조는 <표 2>, <표 3>과 같다. 표에서 시간대는 i, 자료 수집일은 j, 각 시간대에 수집된 개별 관

<표 2> 실시간 교통량 수집자료의 구조

i \ j	1	...	m
1	$X_{11}^k$	$X_{1j}^k$	$X_{1m}^k$
...	$X_{i1}^k$	$X_{ij}^k$	$X_{im}^k$
n	$X_{n1}^k$	$X_{ni}^k$	$X_{nm}^k$

<표 3> 결정된 교통조건 동질구간의 구조

i \ j	1	...	m	시간대별 동질구간
1	$HS_{11}$	$HS_{1j}$	$HS_{1m}$	$HS_i$
...	$HS_{i1}$	$HS_{ij}$	$HS_{im}$	$HS_i$
n	$HS_{n1}$	$HS_{ni}$	$HS_{nm}$	$HS_n$
교통조건 동질구간				HS

주:  $HS_{ij}$  = i시간대, j일의 동질구간,  $HS_i$  = i시간대 동질구간  
 $HS$  = 교통조건 동질구간

찰점의 수는 k로 표현된다.

군집분석(cluster analysis)은 모집단 또는 범주에 대한 사전정보가 없는 경우에 관측치들 사이의 유사성(거리 혹은 상관관계)을 이용하여 전체를 몇 개의 군집(cluster)으로 나누는 통계적 분석 기법이다. 결과적으로 그룹 내에서 동일한 특성을 나타내고, 그룹 간에는 서로 상이한 특성을 나타내도록 모집단을 여러 그룹으로 나누는 방법이라 할 수 있다.

군집분석의 방법은 각 관측치 사이의 유사성의 척도로써 무엇을 사용하느냐에 따라 여러 가지로 분류될 수 있다. 유사성의 척도로 사용되는 것에는 각 측정치 사이의 상관계수와 거리(distance)가 있다. 유사성의 척도로 거리에 의한 것이 많이 사용되는데, 두 객체간의 속성이 유사할수록 유사성거리는 가깝게, 두 객체간의 속성이 상이할수록 유사성 거리는 멀게 측정되어야 한다. 거리의 측정 방법으로서 본 연구에서는 제곱유클리디안 거리를 사용하였다.

유사성의 척도에 기초해 그룹 내의 변량에 대한 그룹간의 변량을 최소화시키는 알고리즘에 따라 계층적(Hierarchical)방법과 비 계층적(Nonhierarchical or Disjoint) 방법, 중복(Overlapping)군집, 퍼지(Fuzzy)군집 방법이 있다. 계층적 방법은 유사성이 가까운 개체끼리 차례로 묶거나 멀리 떨어진 개체를 차례로 분리해 가는 군집방법으로서, 한번 병합된 개체는 다시 분리되지 않는 것이 특징이다. 계층적 방법에는 최단연결법, 최장연결법, 평균연결법 등이 있다. 본 연구에서는 계층적 방법인 최단연결법, 최장연결법, 평균연결법을 사용하였다.

대부분의 군집 방법은 특이값(outlier)에 굉장히 민

감하므로 특이값들은 사전에 면밀히 검토하여 제거하는 것이 바람직하다. 또, 자료에 대한 개괄적인 구조가 명백하지 못할 경우 군집 분석기법에 따라 상이한 결과를 얻게 되므로 일단 발견된 군집의 타당성검토는 상당히 중요하다 하겠다. 본 연구에서는 계층적 군집분석의 최단연결법, 최장연결법, 평균연결법에 의한 군집분석 결과를 서로 비교하여 군집의 타당성을 검토하였다.

3) 지점검지기 배치 링크 선정

최종 동질구간이 결정되면 각 동질구간에 소속된 개별링크의 실시간 통행속도와 정보제공구간 통행시간의 상관관계가 가장 높은 링크를 대표링크, 즉 지점검지기 설치 링크로 선정한다. 이는 동질구간에 포함된 링크들 중에서 정보제공구간에 대한 상관성이 가장 높은 링크가 정보제공구간에 대한 설명력이 가장 높으며, 통행시간 추정 시 가장 효과적이라고 판단하기 때문이다.

IV. 모형의 적용 및 평가

1. 대상구간 현황

대상구간은 일반국도 3호선 곤지암IC~장지IC(10.72km)를 대상으로 하였다. 본 구간은 12개의 개별링크로 구성된다. 주요 교차점으로서 곤지암IC에서 중부고속도로와 교차하며, 경안IC와 장지IC에서 43번국도와 입체 교차한다. 337번 지방도는 신이리와 초월파출소앞에서 교차한다. 대상구간은 크게 곤지암IC~초월파출소앞 구간과 초월파출소앞~장지IC 구간으로 구분하여 분석을 위한 2개

<표 4> 대상구간 현황

구간	시점 → 종점		접속도로	구간거리 (km)	정보제공 구간	
1	곤지암 IC	→	삼리2리	0.50	I	
2	삼리2리	→	신이리	지방도337교차		0.46
3	신이리	→	벽산아파트	0.24		
4	벽산아파트	→	고려산업개발앞	0.40		
5	고려산업개발앞	→	쌍동1리	0.55		
6	쌍동1리	→	롯데아파트앞	0.40		
7	롯데아파트앞	→	초월파출소앞	지방도337교차		1.83
8	초월파출소앞	→	소방파출소앞	0.51	II	
9	소방파출소앞	→	남촌폴장앞	0.40		
10	남촌폴장앞	→	쌍경2리	1.49		
11	쌍경2리	→	경안 IC	국도43교차		1.54
12	경안 IC	→	장지 IC	2.40		

의 정보제공구간으로 분할하였다. 정보제공구간 I (곤지암IC~초월파출소앞)은 전체적으로 단속류 특성이 강한 구간이다. 링크 7(롯데아파트앞~초월파출소앞)을 제외하면 모든 링크들이 0.55km 이하이며, 신호밀도는 약 1.36(개/km)이다. 반면, 정보제공구간II(초월파출소앞~장지IC)는 신호교차로의 밀도가 약 0.78(개/km)로서 단속류 특성이 상대적으로 강한 구간이다.

2. 수집 방법 및 내용

현장조사는 2004년 7월 20일~22일 3일 동안 시행하였으며, 수집자료는 지점검지기 1분 교통량과 속도, 번호판조사에 의한 5분주기 정보제공구간 통행시간이다. 조사시간대는 오전첨두(07:00~09:00)와 오후 비첨두(12:00~14:00), 오후첨두(17:00~19:00)로 구분하여 조사를 시행하였다. 오전첨두시는 이천, 광주 등에서 성남, 서울로 출근하는 차량으로 인해 교통량이 증가하여 부분적으로 첨두 현상이 발생한다. 오후 비첨두시에는 교통량 집중이 발생하지 않으며, 오후 첨두시에는 성남 및 서울로 귀경하는 교통량의 집중되어 상시적인 정체가 발생하는 시간대이다.

3. 모형의 평가

1) 모형의 검증 시나리오 및 지표

(1) 검증시나리오

대상구간은 다차로구간과 도시 및 교외간선도로를 대상으로 하며, 소통상황은 오전(부분정체), 전이(소통 원활), 오후(반복정체) 3가지 경우, 검지기 배치는 전체검지기 설치 시의 추정력과 동질구간 결정에 따른 검지기 설치시의 추정력을 비교한다.

(2) 검증지표

본 연구에서는 다음 3가지 평가지표를 사용하였다.

① MARE (Mean Absolute Relative Error)

$$MARE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|x(i) - \widehat{x(i)}|}{x(i)} \quad (1)$$

여기서,  $x(i)$  : 통행시간 참값,  $\widehat{x(i)}$  : 통행시간 추정치,  $N$  : 자료 개수

② RMSE (Root Mean Squared Error)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |x(i) - \widehat{x(i)}|^2} \quad (2)$$

③ EC (Equality Coefficient)

$$U = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N |x(i) - \widehat{x(i)}|^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^N x(i)^2} + \sqrt{\sum_{i=1}^N \widehat{x(i)}^2}}$$

$$EC = 1 - U \quad (3)$$

2) 동질구간의 결정

대상구간을 도로 및 운영조건에 의한 동질구간 결정 방법에 따라 구간을 분할한 결과 <표 5>와 같이 4개의 동질구간으로 분류되었다. 대상구간을 도로조건에 의해 분할한 결과 대상구간의 차로 수가 모두 편도 2차로 구간이기 때문에 차로 수 변화 혹은 불일치에 의한 병목지점은 발견되지 않았다. 따라서, 국도 및 지방도와의 교차점을 주요 요인으로 하여 분할되었다. 신호현시 기준인 녹색시간비(g/C) 0.6이하 기준에 의해서는 신이리가 0.59로서 주요 결절점으로 분할되었다. 또한, 신호 교차로 밀도에 의해서 도시 및 교외간선도로 구간(A,B 구간)과 다차로도로 구간(C,D구간)으로 분류되었다.

교통조건에 의한 동질구간은 하루를 오전(7:00~9:00), 전이(12:00~14:00), 오후(17:00~19:00)

3가지 시간대로 분류하였으며, 3일간의 자료를 기초로 군집분석을 시행하였다. 교통조건에 의한 동질구간은 총 6개 구간으로 결정되었으며, 시간대별로 오전은 3개구간, 전이와 오후시간대는 4개의 구간으로 분할되었다. 도로 및 운영조건과 교통조건을 함께 고려하여 최종 동질구간을 <표 6>과 같이 결정되었다. 전체 시간대를 함께 고려할 경우 곤지암IC~신이리, 신이리~용수리, 용수리~도평리, 도평리~쌍령리, 쌍령리~경안IC, 경안IC~장지IC 총 6개의 구간으로 분할되었다.

시간대별로 분할된 동질구간은 각 시간대별로 동질적인 링크 그룹의 정보를 알려줌으로써, 시간대별 통행 패턴의 특성에 따라 어떠한 지점검지기 정보를 채택해야 하는지에 관한 정보를 알 수 있다. 따라서, 시스템 구축 후, 실제 운영 시 동질구간의 변화 및 그에 따른 지점검지기 정보를 통행시간 추정에 반영할 수 있게 된다. 이러한 시간대별 동질구간을 고려하여 최종 분할된 동질구간의 특성을 살펴보면 다음과 같다.

동질구간 A-a는 곤지암IC~신이리 구간으로서, 곤지암IC와 신이리는 각각 중부고속도로와 337번 지방도가 교차하는 주요 교차점이다. 구간 시점인 곤지암IC는 중부고속도로와 연결되어 고속도로와 국도 전환 교통 및 장거리 교통 수요가 큰 주요 결절점이다. 종점인 신이리의 경우 직진 주방향 교통량이 양적으로는 다른 구간과 큰 차이가 없다고 하여도 항상 교통량 변동의 가능성을 내재하고 있으며, 부도로에서 진출하거나,

<표 5> 도로 및 운영조건에 의해 결정된 동질구간

구간	시점 → 종점		접속 도로	구간거리 (km)	차로수 (편도)	신호주기 (초)	유효녹색시간 (초)	녹색시간비 (g/C)	신호등밀도 (개/km)	동질구간	정보제공 구간
1	곤지암 IC	→	삼리2리	0.50	2	150	125	0.83	2.1	A	I
2	삼리2리	→	신이리 지방도337교차	0.46	2	150	88	0.59			
3	신이리	→	벽산아파트	0.24	2	150	107	0.71			
4	벽산아파트	→	고려산업개발	0.40	2	150	125	0.83			
5	고려산업개발	→	쌍동1리	0.55	2	150	113	0.75			
6	쌍동1리	→	롯데아파트앞	0.40	2	150	122	0.81			
7	롯데아파트앞	→	초월파출소앞 지방도337교차	1.83	2	140~160	124~144	0.78	1.2	B	
8	초월파출소앞	→	소방파출소앞	0.51	2	140~160	140~159	0.88			
9	소방파출소앞	→	남촌풀장앞	0.40	2	140~160	124~144	0.78	0.76	C	II
10	남촌풀장앞	→	쌍령2리	1.49	2	231	175	0.76			
11	쌍령2리	→	경안 IC 국도43교차	1.54	2	-	-	-			
12	경안 IC	→	장지 IC 신국도43교차	2.40	2	-	-	-	0.41	D	

주 : 1) A,B : 도시 및 교외 간선도로 유형, C,D: 다차로도로 유형

2) 초월파출소앞, 소방파출소앞, 남촌풀장앞 3개 교차로는 2002년 7월 이후 신신호시스템이 구축되어 시험운영 중에 있다. 평상시에는 TOD모드로 운영되며, 시험운영 시 실시간 제어 및 좌회전감속제어로 운영되고 있다.

〈표 6〉 도로 및 운영조건과 교통조건을 고려한 최종 동질구간

구간	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
구간별거리(km)	0.5	0.46	0.21	0.42	0.55	0.50	1.73	0.51	0.4	1.49	1.54	2.4	
정보제공구간	I (도시 및 교외간선도로)							II (다차로도로)					
도로조건동질구간	A		B				C			D			
교통조건 동질구간	전체	a		b			c		d	e		f	
	오전	a											
	전이	a					b		c		d		
	오후	a		b			c		d			e	
최종 동질구간	전체	A-a (0.96km)		B-b (3.42km)			C-c (0.91km)		C-d (1.49km)	C-e (1.54km)		D-f (2.4km)	
	오전	A-a (0.96km)		B-a (3.42km)			C-a (2.4km)		C-b (1.54km)		D-c (2.4km)		
	전이	A-a (0.96km)		B-a (3.42km)			C-b (0.91km)		C-c (3.03km)		D-f (2.4km)		
	오후	A-a (0.96km)		B-a (3.42km)			C-c (0.91km)		C-d (3.03km)		D-e (2.4km)		
주요결절점	큰지암IC -신이리		신이리-용수리 (조월파출소앞)			초월파출소앞-도평리		도평리 -쌍령리	쌍령리 -경안IC	경안IC -장지IC			

부도로로 진입하는 차량들로 인해 질적으로도 상이한 교통류 특성을 가진다. 특히, 오후 정체시의 경우 신이리~도평리 구간과 상이한 교통특성을 가지게 된다. 동질구간 B-b는 신이리~용수리(조월파출소앞) 구간으로서 대상구간 내에서 가장 정체가 심한 구간이다. 초월파출소앞 교차로는 337번 지방도와의 교차점으로서 직진교통량의 증가 및 부도로에서 유입되는 차량과의 상충 등으로 인해 혼잡이 빈번히 발생하는 지점이다. 이 교차로에서 발생한 대기행렬은 심각한 경우 상류부의 신이리까지 파급되기도 한다. 동질구간 C-c는 용수리(조월파출소앞)~도평리(남촌폴장앞) 구간으로서 신호연동 제어가 이루어지며, 소방파출소앞과 남촌폴장앞 교차로의 부도로 유출입교통량이 많지 않아 교통특성이 동질적인 구간으로 판단된다. 동질구간 C-d는 도평리(남촌폴장앞)~쌍령리 구간으로서, 도평리~경안IC구간과 동질적인 특성을 나타내지만, 오전 시간대에 서울

방향으로 출근하는 교통류에 있어 쌍령리~경안IC 구간과 차별화 된다. 동질구간 C-e는 쌍령리~경안IC 구간으로서 주요 결절점인 경안IC까지 동질적인 교통패턴을 보여준다. 동질구간 D-f는 경안IC~장지IC 구간으로서 외부 교통량의 유출입이 없는 전형적인 연속류 구간이다. 시점과 종점이 입체교차로이며 회전 교통량이 많은 주요 결절점으로서 타 구간과 차별화 되는 교통패턴을 나타낸다.

3) 지점검지기의 배치

앞 절에서 결정된 최종 동질구간에 기초하여 동질구간 내 검지기를 배치하기 위한 대표링크를 선정하였다. 대표링크의 선정은 개별링크의 통행속도와 정보제공구간 통행시간의 상관성이 가장 높은 링크로 결정하였다. 〈표 7〉을 살펴보면 정보제공구간 I의 경우, 각 시간대에 따라 링크 2와 링크 7이 대표링크로 일관성 있게

〈표 7〉 각 동질구간의 대표링크 선정 및 지점검지기의 배치

구간	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
구간별거리(km)	0.5	0.46	0.21	0.42	0.55	0.50	1.73	0.51	0.4	1.49	1.54	2.4	
정보제공구간	I (도시 및 교외간선도로)							II (다차로도로)					
최종 동질구간	전체	2		7			8		10		11		12
	오전	2		7			8				11		12
	전이	2		7			8		10		12		
	오후	2		7			8		10		12		
검지기 배치	대안1	2		7			8		10		11		12
	대안2	2		7			8				11		12
	대안3	2		7			8		10		12		
주요결절점	큰지암IC -신이리		신이리-용수리 (조월파출소앞)			초월파출소앞-도평리		도평리 -쌍령리	쌍령리 -경안IC	경안IC -장지IC			



결정되었다. 반면, 정보제공구간 II의 경우는 오전시간대가 링크 8과 링크 11로 결정되었으며, 전이시간대와 오후시간대는 링크 8과 링크 10으로 결정되었다. 따라서, 각 시간대에 따른 대표 링크를 종합하면 링크 2, 7, 8, 10, 11, 12로 결정된다. 즉, 시간대에 따라 정보제공구간 통행시간과 가장 상관성이 높은 링크의 지점검지기 자료를 사용할 수 있게 된다.

4) 동질구간 결정 모형의 검증

(1) 통행시간 추정모형의 선정

① 지점검지기 모형

지점검지기 모형은 KHCM(한국도로용량편람, 2001) 간선도로 링크 통행시간 추정모형을 이용하여 개별링크 통행시간을 추정하고, 칼만필터를 이용한 다주기 예측모형으로 구간통행시간을 산정하였다.

② 구간검지기 모형

구간검지기 모형은 AVI 통행시간 칼만필터 2주기 예측 모형을 적용하였다. 통행시간 참값과 AVI 통행시간은 일정 시간간격(Time-lag)이 존재하게 된다. 따라서, 수집된 AVI 자료를 가공하지 않고 사용할 경우 이러한 시간차에 의한 오차가 발생하게 된다. 따라서, 본 연구에서는 칼만필터를 이용하여 실제 통행시간에 대한 예측치를 산정하였다.

③ 융합모형

최적화 융합모형은 크게 2 단계로 이루어진다. 첫 번째 단계는 AVI에 의해 실시간으로 수집되는 과거 시간대의 참값과 각 검지기의 추정 통행시간 자료와의 오차 패턴에 따라 최적 융합비를 결정하는 것이다. 두 번째 단계는 앞서 결정된 융합비를 현재 시간대의 융합비로 적용하여 현재, 추정된 각 검지기의 통행시간을 융합하여 현재의 실제 통행시간에 대한 추정치를 산출하는 것이다. 지점검지기 통행시간 자료를  $X_1$ , AVI 통행시간 자료를  $X_2$ 라 할 때, 두 수집체계를 융합한 통행시간과 참값과의 오차를 최소화하는  $\alpha^*$ 는 식(4)와 같다.

$$\alpha^* = \frac{\sum_{k=i-m-n}^i [-2 \cdot \{Y_k \cdot (X_{1k} - X_{2k}) - X_{2k} \cdot (X_{1k} - X_{2k})\}]}{2 \cdot \sum_{k=i-m-n}^i (X_{1k} - X_{2k})^2} \tag{4}$$

최적화 융합모형의 실시간 적용을 위한 융합비율 추정치  $\hat{\alpha}$ 는 다음 식(5)에 의해 계산된다.

$$\hat{\alpha}_i = \frac{\sum_{k=i-m-n}^i [-2 \cdot \{Y_k \cdot (X_{1k} - X_{2k}) - X_{2k} \cdot (X_{1k} - X_{2k})\}]}{2 \cdot \sum_{k=i-m-n}^i (X_{1k} - X_{2k})^2} \tag{5}$$

$m$  : 참값의 시간차검 간격(time-lag)

$n$  : 융합비 결정에 사용하는 과거자료의 범위

$X_{1k}$  : 수집체계 1의  $k$ 시간대 통행시간추정치

$X_{2k}$  : 수집체계 2의  $k$ 시간대 통행시간추정치

(2) 동질구간의 검증

동질구간의 검증은 최적화 융합모형을 이용하여 검지기를 링크 전체에 설치할 경우와 동질구간에 설치할 경우에 대하여 정보제공구간 I과 II를 대상으로 각각 오전, 전이, 오후 시간대에 대하여 통행시간 추정력을 비교하였다.

평가척도는 융합모형의 검증에 이용한 MARE, RMSE, EC를 동일하게 사용하였다. CASE 1은 모든 링크에 지점검지기를 설치하는 경우이며, CASE 2는 전체시간대를 고려하여 결정된 최종 동질구간에 지점검지기를 설치하는 경우이다. CASE3는 시간대별 동질구간에 지점검지기를 설치하는 경우이다.

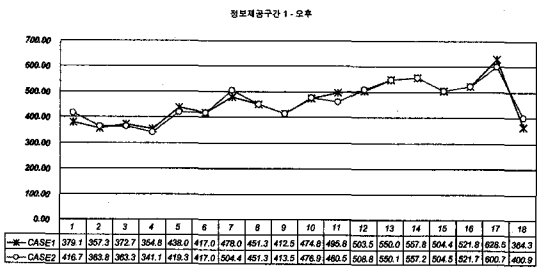
동질구간의 검증결과는 <표 8>과 같다. 정보제공구간 I의 경우, 오전과 전이시간대는 예상대로 CASE 1이 CASE 2에 비하여 근소한 수준으로 추정력이 높게 나타났다. 그러나, 오후 시간대에는 오히려 CASE 2가 CASE 1보다 RMSE와 EC가 추정력이 높게 나타난 것을 알 수 있다. 반면, MARE는 CASE 1이 좋게 나타났다. 그 이유는 최적화 융합모형의 효과에 의해 설명될 수 있다.

일반적으로 CASE 1이 CASE 2보다 추정력이 우수하지만, 실시간 융합비 변동패턴의 상태에 따라 CASE 2의 융합비가 우수한 경우가 나타날 수 있다. 이러한 결과는 CASE 1과 CASE 2의 추정력의 차이가 없음을 입증하는 결과라 할 수 있으며, 본 연구에서 제안한 동질구간 결정 로직에 의해 검지기를 효율적으로 배치하는 것이 효과적임을 입증하는 것이다.

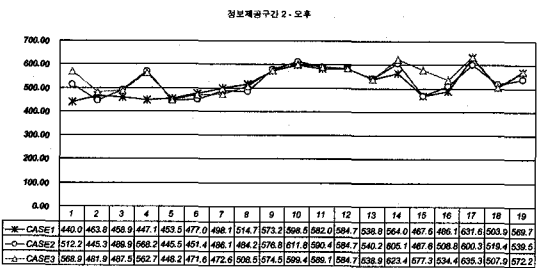
정보제공구간 II의 경우, 오전과 전이시간대는 예상과 반대로 CASE 1이 CASE 2, CASE 3에 비하여 근소한 수준으로 추정력이 낮게 나타났다. 그러나, 전

〈표 8〉 동질구간 검증결과

구간	검지기배치링크	시간대	평가척도	전체	동질
정보제공구간 I (도시 및 교외간선도로)	2.7	오전	MARE	0.07	0.08
			RMSE	33.39	34.12
			EC	0.95	0.95
		전이	MARE	0.05	0.05
			RMSE	21.62	23.37
			EC	0.97	0.97
		오후	MARE	0.11	0.11
			RMSE	72.49	69.22
			EC	0.92	0.93
정보제공구간 II (다차로도로)	전체 동질 구간 8,10,11,12	오전	MARE	0.14	0.14
			RMSE	60.49	57.38
			EC	0.91	0.92
		전이	MARE	0.07	0.07
			RMSE	32.58	32.04
			EC	0.96	0.96
		오후	MARE	0.09	0.10
			RMSE	58.01	64.17
			EC	0.95	0.94
	시간 대별 동질 구간 8,11,12	오전	MARE	0.14	0.14
			RMSE	60.49	57.49
			EC	0.91	0.92
		전이	MARE	0.07	0.09
			RMSE	32.58	38.47
			EC	0.96	0.95
		오후	MARE	0.09	0.09
			RMSE	58.01	59.40
			EC	0.95	0.95



〈그림 5〉 CASE 1과 CASE 2 추정치 비교 - 정보제공구간 I (오후)



〈그림 6〉 CASE 1과 CASE 2, CASE 3 추정치 비교 - 정보제공구간 II (오후)

이와 오후 시간대에는 오히려 CASE 1이 CASE 2와 CASE 3보다 추정력이 근소하게 높게 나타난 것을 알 수 있다. 결국, 정보제공구간 II의 경우에도 본 연구에서 제안한 동질구간 결정 로직에 의해 검지기를 효율적으로 배치하는 것이 효과적임이 입증된 것이라 판단된다.

(3) 통계적 검정(대응표본 t-검정)

앞에서 추정결과의 정확도를 평가하였다면, 본 절에서는 추정결과에 대한 신뢰성 검정으로서 대응표본 t-검정을 시행하였다. 대응표본 t-검정은 대상표본간의 차이 유무를 검정하는 것으로서 본 연구에선 참값과 각 CASE에 대하여, 각 CASE간의 대응표본 t-검정을 〈표 9〉와 같이 시행하였다.

우선 참값과 CASE 1, CASE 2, CASE 3의 t-검정

〈표 9〉 대응표본 t-검정 결과

구간	시간대	대응표본	차이의 95% 신뢰구간		t	자유도	유의확률
			하한	상한			
정보 제공구간 I	오전	참값-CASE1	-14.2	22.3	0.49	9	0.631
		참값-CASE2	-0.28	41.0	2.23	9	*0.053
		CASE1-CASE2	2.1	30.5	2.60	9	**0.028
	전이	참값-CASE1	-2.1	19.6	1.71	15	0.106
		참값-CASE2	-9.7	15.7	0.50	15	0.624
		CASE1-CASE2	-9.4	-2.0	-3.31	15	***0.005
	오후	참값-CASE1	-21.7	52.7	0.87	17	0.392
		참값-CASE2	-19.6	49.5	0.91	17	0.375
		CASE1-CASE2	-10.0	8.9	-0.12	17	0.903
정보 제공구간 II	오전	참값-CASE1	-42.3	42.9	0.01	10	0.988
		참값-CASE2	-37.9	42.8	0.13	10	0.896
		참값-CASE3	-40.1	43.4	0.08	10	0.931
	전이	CASE1-CASE2	-1.0	5.3	1.47	10	0.172
		CASE1-CASE3	-3.7	6.4	0.60	10	0.562
		CASE2-CASE3	-7.4	6.0	-0.24	10	0.811
	오후	참값-CASE1	-36.8	-12.1	-4.26	14	***0.001
		참값-CASE2	-33.2	-8.7	-3.68	14	***0.002
		참값-CASE3	-43.9	-16.0	-4.60	14	***0.000
CASE1-CASE2		-0.7	7.67	1.77	14	*0.097	
CASE1-CASE3		-11.0	0.04	-2.12	14	*0.052	
CASE2-CASE3		-16.0	-1.8	-2.7	14	**0.017	
오후	참값-CASE1	4.4	54.0	2.47	18	**0.024	
	참값-CASE2	-10.1	50.2	1.39	18	0.180	
	참값-CASE3	-25.7	33.0	0.26	18	0.797	
	CASE1-CASE2	-27.4	9.1	-1.05	18	0.308	
	CASE1-CASE3	-47.5	-3.5	-2.44	18	**0.025	
	CASE2-CASE3	-30.9	-1.9	-2.37	18	**0.029	

주: \*는 90% 신뢰수준, \*\*는 95% 신뢰수준, \*\*\*는 99% 신뢰수준에서 대응표본간 평균의 차이가 없다는 귀무가설이 기각됨

〈표 10〉 각 CASE 1,2의 시간대별 표준편차(정보구간 I)

CASE \ 시간대	오전	전이	오후
1	20.7	21.3	78.6
2	32.1	24.1	73.4

결과를 살펴 본 결과, 정보제공구간 I의 경우 전이시간대와 오후 시간대의 경우 90%, 95%, 99% 신뢰수준에서 CASE 1과 CASE 2 모두 참값과 평균의 차이가 없다는 귀무가설을 기각할 수 없었다. 즉, 참값과 평균의 차이가 없었다. 오전시간대의 경우, 참값과 CASE 2 즉, 동질구간 설치 시 90% 신뢰수준에서 참값과 평균의 차이가 없다는 귀무가설이 기각되었다. 즉, 90% 신뢰수준에서 유의미한 평균의 차이를 나타냈다. CASE 1과 CASE 2의 대응표본 검정에서 오전시간대의 경우, 귀무가설이 95% 신뢰수준에서, 오후시간대의 경우 99%의 신뢰수준에서 기각됨을 알 수 있다. 하지만, 전이시간대의 경우 참값과 각 CASE의 대응표본의 검정은 귀무가설을 기각할 수 없었으며, 앞에서 살펴본 바와 같이 오전 시간대에 참값과 CASE 2의 대응표본 t-검정 결과, 90% 신뢰수준에서 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다. 이로써 알 수 있는 사실은 첫째, CASE 1과 CASE 2 모두 95% 신뢰수준에서 참값과 다르다고 할 수 없으며, 둘째, CASE 1과 CASE 2의 경우 각 추정치의 표준편차를 살펴보면 〈표 10〉에서 알 수 있듯이 오전과 전이의 경우 오후에 비하여 표준편차가 매우 작음을 알 수 있다. 즉, 추정정확도는 높지만, 샘플의 표준편차가 작은 이유로 인해 참값과의 신뢰도 검정에서 귀무가설이 기각된 것을 알 수 있다. 만일, 추정 정확도가 낮고, 신뢰도 검정에서도 귀무가설이 기각된다면 문제가 될 것이다. 하지만, 이 경우, 추정정확도가 높은 데 반해 각 샘플의 표준편차가 적어 귀무가설이 기각된 것으로 보아야 한다. 따라서, CASE 1과 CASE 2의 비교에 있어서 평균의 차이가 있다는 신뢰도 검정결과에 대하여 인정은 하지만, 추정력에는 큰 문제가 없는 것으로 해석할 수 있다.

정보제공구간 II의 경우에도 위와 동일한 원인에 의해 귀무가설이 기각되었음을 알 수 있다. 정보제공구간 II의 경우, 오전시간대는 참값과 각 CASE가 90%, 95%, 99% 신뢰수준에서 평균의 차이가 없음을 알 수 있다. 전이시간대의 경우 참값과 각 CASE간 대응표본 검정에서 99% 신뢰도에서 유의미한 차이가 존재하여, 참값과 각 CASE간 평균의 차이가 없다는 귀무가설이 기각되는 것으로 나타났다. CASE 1과 CASE 2, CASE 3간의 검정에서도 90%

〈표 11〉 각 CASE 1,2,3의 시간대별 표준편차(정보구간 II)

CASE \ 시간대	오전	전이	오후
참값	48.4	22.2	48.8
1	57.7	24.4	59.5
2	54.4	21.4	57.0

신뢰수준에서 유의미한 차이가 나타났다. CASE 2와 CASE 3의 경우 95% 신뢰수준에서 유의미한 차이가 나타나 두 표본 간 평균의 차이가 있는 것으로 나타났다.

전이시간대의 경우, 통행시간 추정치의 오차가 다른 시간대에 비하여 가장 작음에도 불구하고, 샘플의 표준편차가 작음으로 인해 상대적으로 귀무가설이 기각되었음을 〈표 11〉을 통해 알 수 있다. 그러나, 오후 시간대의 경우 제안모형 1의 구조적 단점으로 인해 참값과 다소 차이가 있다는 것이 신뢰도 검정에서 나타났다. 참값과 CASE 1의 경우 다소 차이가 있는 것으로 나타났으며, CASE 2와 CASE 3는 참값과 차이가 없는 것으로 나타났다. 이는, 동질구간의 효용성이 입증된 것이라 할 수 있다. 또한, CASE 1과 CASE 3, CASE 2와 CASE 3는 모두 95% 신뢰수준에서 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다. 〈표 11〉을 통해 오후시간대에는 표준편차가 크게 나타남을 알 수 있는데, 이러한 결과를 통해 동질구간 결정로직은 동질성의 패턴 변화가 심한 구간의 정제 시에는 추정력과 신뢰도가 떨어지는 것을 확인 할 수 있다.

전반적으로 대응표본 t-검정 결과를 요약하면, 정보제공구간 II의 오후시간대를 제외하면 모든 경우에 제안모형은 우수한 신뢰도를 보여주었다. 또한, 동질구간 결정로직에 의한 지점검지기 설치 시 정보제공구간 I의 오전, 정보제공구간 II의 오후시간대를 제외하고 우수한 신뢰도를 보여주었다.

## V. 결론

본 연구는 모형의 실제 적용 측면에서 실시간 동적 통행시간 정보를 제공하기 위해 지점검지기의 효율적 배치기준인 동질구간 결정 로직을 정립하고자 수행되었다. 우선, 동질구간의 결정은 도로 및 운영조건과 실시간 교통패턴의 변동을 고려하여 시간대별 동질구간을 결정하였다. 결정된 시간대별 동질구간을 기초로 하여 지점검지기 배치 기준으로 이용하였다. 교통조건은 동질구간 결정은 실시간 자료에 기반한 군집분석을 이용하였다. 다차로도로 특성 구간과 도시 및 교외간선도로

특성 구간을 대상으로 오전, 전이, 오후 시간대에 수집된 자료를 이용하여 동질구간 결정 로직에 대한 평가를 시행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

동질구간의 평가를 위해 모든 링크에 검지기를 설치하는 CASE 1과 최종 동질구간에 검지기를 설치하는 CASE 2, 시간대별(오전, 전이, 오후) 동질구간에 검지기를 설치하는 CASE 3에 대하여 최적화 융합모형을 이용하여 각각 추정력을 비교한 결과 CASE 1과 CASE 2, CASE 3의 추정력이 유사하게 나타나, 동질구간 결정 로직의 우수성을 확인하였다. 이는 국도의 경우 모든 링크에 검지기를 설치하는 것이 비효율적이라는 것을 보여준다. 즉, 링크의 기하구조 특성과 교통특성을 고려하여 동질적인 링크를 그룹화하여 그 그룹별로 검지기를 설치하면 검지기 설치 수량을 절감하면서 동일한 수준의 추정력을 확보할 수 있다.

본 연구결과는 향후 국도교통관리 및 정보제공시스템에 유용하게 적용될 것으로 판단된다. 본 연구결과에 의하면 지점검지기 평균 배치간격은 약, 1.8 km이며, 간격의 범위는 약 1 km~2.5 km로 나타났다. 본 연구에서 제안한 동질구간 결정로직을 대규모 국도 ITS 구축사업에 적용할 경우, 지점검지기의 효율적 배치를 통한 구축 및 운영비용의 절감이 예상된다. 즉, 본 연구결과 12개 링크에 5개의 동질구간에 검지기를 설치하게 되면(0.45개/km), 전체 링크에 검지기를 설치하는 경우(1.1개/km)에 비하여 약 58%의 지점검지기 설치 수량 절감 효과를 얻게 된다. 또한, 지점검지기의 효율적 배치를 통해 통행시간 추정력의 감소를 방지하면서, 시간대별 통행특성에 맞게 지점검지기 정보를 활용할 수 있으며, 비용절감 효과를 얻게 된다. 또한, 기존 검지기의 장애 시 동질구간 내 지점검지기를 대체 검지기로 활용하는 등, 결측 데이터 보정 등에 유용하게 이용될 수 있다.

그러나, 본 연구에서는 링크 내에서의 검지기 위치는 링크 중간에 설치하는 것을 전제로 하여 수행하였으며, 기존의 링크 내 검지기 설치위치에 관한 연구와 함께 보다 심도있는 연구가 필요하다. 또한, 본 연구에서는 실시간 분석주기를 5분으로 제한하였으나, 모형의 추정력을 향상시키고 정교한 모형을 개발하기 위해서는 보다 다양한 분석주기에 대한 연구가 필요하다.

## 참고문헌

1. 김성현 · 임강원 · 이영인(2005), "일반국도의 지점

및 구간검지기 자료의 융합을 통한 통행시간 추정 알고리즘 개발", 대한교통학회지, 제23권 제5호, 대한교통학회, pp.135~146.

2. 김주현 · 도명식 · 정재은(2002), "국도 기능 분류를 위한 그룹핑 방법론에 관한 연구", 대한교통학회지, 제20권 제5호, 대한교통학회, pp.131~144.
3. 도명식 · 김성현 · 문학룡 · 김명수(2004), "국도구간의 동질성 결정을 위한 방법에 관한 연구", 대한토목학회 논문집, 제24권 제4호, 대한토목학회, pp.523~533.
4. 백남철(2002), "베이지안 샘플링과 신경망 판별함수를 이용한 교통량 패턴 그룹 기반의 AADT 추정", 서울대학교 박사학위 논문.
5. 장진환(2004), "자동차량인식장치 자료 필터링 알고리즘 개발", 서울시립대학교 석사학위 논문.
6. 건설교통부(200), 한국도로용량편람.
7. Francois Dion, Hesham Rakha, Estimating Spatial Travel Times using Automatic Vehicle Identification Data, 2003 TRB Annual Meeting.
8. Stephen D. Clark, S. Grant-Muller, and Haibo Chen, Cleaning of Matched License Plate Data, TRR 1804.
9. Thomas, N. E.(1998), Multi-State and Multi-Sensor Incident Detection Systems for Arterial Streets. Transportation Research Part C, Vol. 6. No. 5/6, pp.337~357.
10. Young-ihn LEE, Seungjae LEE, Shinhae LEE, Juungg-yu Chon(2004), Development of A Dynamic Route Guidance Algorithm Using Multi-Step Ahead Travel Time Prediction, Behavior in Networks(BiNs).

✉ 주 작 성 자 : 김성현

✉ 교 신 저 자 : 김성현

✉ 논문투고일 : 2005. 10. 29

✉ 논문심사일 : 2005. 11. 30 (1차)

2005. 12. 15 (2차)

2006. 1. 6 (3차)

✉ 심사판정일 : 2006. 1. 6

✉ 반론접수기한 : 2006. 6. 30