

지방부 간선도로 단속류 통행시간 추정을 위한 적정 집락간격 결정에 관한 연구

A Study on the Optimal Aggregation Interval for Travel Time Estimation on the Rural Arterial Interrupted Traffic Flow

임형석*
(Houng-Seak, Lim)

이승환**
(Seung-Hwan, Lee)

이현재***
(Hyun-Jae, Lee)

요약

본 논문에서는 지방부 간선도로 단속류 구간(국도 42호선 양지~용인구간 6km)의 통행시간정보에 관한 체계적인 수집·분석을 위해 현재 국도교통관리시스템(RTMS : Rural Traffic Management System)상에서 운영중인 차량 번호판 매칭방식 AVI 수집자료에 대한 신뢰성 검증 및 단속류 구간 통행시간 자료의 적정집락간격에 관한 연구가 수행되었다. 우선 AVI 수집자료 신뢰성 검증을 위하여 번호판 매칭방식 AVI 표본수집자료와 전수조사자료를 Kolmogorov-Smirnov 검증기법을 이용하여 분석한 결과 AVI 자료는 통과위주의 대표차로상에서 수집되는 관계로 전차로에 대한 수집자료와 교통특성에 차이가 있어 현재의 번호판 매칭방식 AVI 표본수집자료를 통해 산출된 구간통행시간을 구간의 대표값으로 적용하는 문제는 추가 검토가 필요하다. 그리고 적정집락간격을 산출하기 위하여 통계적 추정 개념인 점추정과 구간추정을 적용하여 모형을 개발하여 적용한 결과 점추정기법이 구간추정기법보다 집락간격결정에 민감하고, 보다 정확한 적정집락간격 선정이 가능한 것으로 밝혀졌으며, 적정집락간격은 5분으로 산정되어 현재 적용되고 있는 5분 집락간격은 적절한 것으로 판단된다.

Abstract

In this paper, we conduct the research about optimal aggregation interval of travel time data on interrupted traffic flow and verify the reliability of AVI collected data by using car plate matching method in RTMS for systematic collection and analysis of link travel time data on interrupted traffic flow rural arterial. We perform Kolmogorov-Smirnov test on AVI collected sample data and on entire population data, and conclude that the sample data does not represent pure random sampling and hence includes sample collection error. We suggest that additional review is necessary to investigate the effectiveness of AVI collected sample data as link representative data. We also develop statistical model by applying two estimation techniques namely point estimation and interval estimation for calculating optimal aggregation interval. We have implemented our model and determine that point estimate is preferable over interval estimate for exactly selecting and deciding optimal aggregation interval. Our final conclusion is that 5-minute aggregation interval is optimal to estimate travel time in RTMS, as is currently being used our investigation is based on AVI data collected from Yang-ji to Yong-in 42nd National road.

Key Words : AVI, Aggregation Interval, Travel Time Estimation, Interrupted Traffic Flow

* 회원 : 아주대학교 대학원 건설교통공학과 석사과정

** 회원 : 아주대학교 대학원 건설교통공학과 교수

*** 회원 : 아주대학교 대학원 건설교통공학과 박사과정

† 논문접수일 : 2004년 10월 4일

I. 서 론

지능형 교통체계(ITS : Intelligent Transport Systems)의 발달로 인하여 도로이용자들은 보다 편리한 교통시설의 이용이 가능하게 되었다.

특히, 여행자 정보제공 시스템(ATIS : Advanced Traveler Information System)의 발달은 도로를 이용하는 운전자에게 다양한 형태의 정보를 실시간으로 제공하는 단계에까지 이르게 되었으며, 이러한 정보제공 서비스가 가능하기 위해서는 다양한 수집체계와 정밀한 산출알고리즘 개발이 필요하다.

여행자 정보제공 시스템중 도로구간 통행시간정보는 운전자가 경로를 선택하는데 있어서 직접적인 영향을 미치는 중요한 판단요소이며, 최근들어 도로구간의 통행시간정보는 구간검지체계를 이용하여 구하고 있다.

구간의 통행시간정보를 제공함에 있어서 우선 고려되어야 할 것은 정보의 신뢰성이며, 정보의 신뢰성을 확보하기 위해서는 교통정보를 체계적으로 수집하고 분석해야 한다.

최근 한국도로공사는 고속도로의 교통량을 국도로 우회시키기 위하여 국도교통관리시스템(RTMS : Rural Traffic Management System)상에 번호판 매칭방식 AVI 구간검지기를 150개 구간에 설치·운영중에 있다.

하지만, 현재까지 이 분야에서 많은 연구가 이루어지고 있지 않은 실정이며, 특히, 번호판 매칭방식 AVI 수집정보에 대한 신뢰성검증이 이루어지지 않고 있다.

또한, 구간 통행시간 정보는 수집된 자료를 일정집계간격으로 집락하여 대표치를 제공하기 때문에 집락간격을 얼마로 하느냐에 따라 제공되는 정보의 차이가 나타난다.

현재는 일반적으로 5분 집락간격을 적용하고 있으나, 이에 대한 국내연구는 미흡한 실정이다. 최근 이러한 구간통행시간 정보제공시스템의 집락간격 결정에 관한 연구가 지속적으로 이루어지고 있으나, 연속류에 대한 연구에 그치고 있어 단속류에서의 구간통행시간자료 집락간격에 대한 연구가 시급히 요청된다고 하겠다.

본 연구는 현재 설치되어 있는 번호판 매칭방식

AVI를 통하여 수집된 구간통행시간자료의 특성을 분석하고, 현장조사를 통해 얻어진 전수조사자료와의 비교를 통해 표본자료의 적합성을 판단하였고, 또한, 현재 연속류에 대한 집락간격의 연구는 이루어졌으나, 단속류에 대한 집락간격연구가 이루어지지 않음으로 인해 단속류에 대한 적정 집락간격을 산출하는데 연구의 목적이 있다.

II. 관련 연구의 검토

1. 구간 통행시간자료 집락간격 결정

현재까지 집락간격에 관한 연구는 연속류에 대하여만 진행되었으며, 박동주와 Gajewski(2001)에 의해 연구가 수행되었다.

박동주(2001)는 통행시간 산정 및 예측을 위한 적정 집락간격을 산출하였으며, 방법론으로는 점추정기법을 적용하여 집락간격별 관측값을 기준으로 참값을 추정하여 두값의 차이인 MSE(Mean Square Error)가 최소가되는 집락간격을 최적의 값으로 결정하였다.

이 연구는 미국 휴스톤의 TranStar System에서 수집된 자료를 적용하였으며, 검지장치는 프로브 차량을 이용한 AVI를 이용하였다.

이 연구에서는 프로브 차량의 표본자료가 적기 때문에 Gaussian kernel 기법을 이용하여 모수값을 추정하였으며, 모형 적용결과 적정 추정 집락간격을 3분~5분으로 선정하였다.

Gajewski(2001)는 통행시간 산정을 위한 적정집계시간간격을 산출함에 있어서 점추정과 구간 추정 기법을 적용하였다.

점추정 기법으로는 MSE가 최소가 되는 지점의 집락간격을 결정하는방법을 채택하였으며, 구간 추정기법으로는 F-검정을 이용하여 가설을 만족하는 집락간격의 범위를 구하였다.

이 연구는 미국 샌안토니오의 TransGuide 센터에서 수집한 자료를 적용하였으며, 검지장치는 지점검지기인 루프검지기를 이용하였다.

연구의 결과 점추정이 구간추정보다 훨씬 설명력이 뛰어난을 알 수가 있었다.

2. 단속류와 연속류상의 통행시간 특성비교

이영인, 이정희(2001)의 연구에서 단속류와 연속류상의 통행시간 특성을 비교하였다.

이 논문에서는 구간통행시간을 모든 통과차량들의 평균통행시간으로 정의되는 한 개의 대표치가 아닌 신호주기에 의한 정지여부에 따라 분리되는 주행시간과 지체시간 또는 주행속도와 통행속도 개념의 세분화된 정보형태를 설정하였다.

이 논문에서는 올림픽대로(도시고속도로)와 천호대로(도시간선도로)상에서 구간통행시간을 측정하여 개별차량의 시공도를 작성하였고, 그 결과 연속류 구간과 단속류 구간 중 수개의 신호교차로를 포함하는 구간에서 통행시간분포는 비슷한 형태를 보이나, 단일 신호교차로를 대상으로 한 구간에서는 신호의 영향으로 쌍봉형태의 구간통행시간분포가 나타난다는 결론을 얻었다.

3. 기존연구의 한계

위에서 보듯이 현재 집락간격에 관한 연구는 연속류에 대해서만 연구되었으며, 단속류에 대한 연구가 필요한 시점이다.

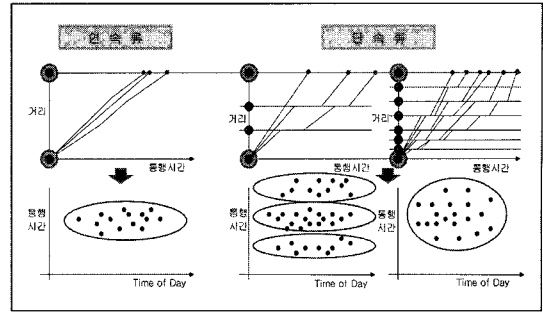
특히, 박동주의 논문은 연속류에서 유효한 결론을 도출하였으나, 단속류 구간에 대한 증명은 이루어지지 않았고, 단속류 구간 수집자료 이용시 고려되어야 할 표본자료의 적합성에 대해 고려하지 못하였다.

또한, 지점검지기인 루프검지기와 구간검지기 중 Beacon 방식의 AVI에 대한 적정 집락간격 결정 모형이 만들어졌지만, 번호판 매칭방식의 AVI에 대한 연구가 추가로 필요하다.

Ⅲ. 구간 통행시간자료 특성

1. 구간 통행시간의 정의

구간통행시간은 대상차량이 주어진 도로구간을 통과하기위해 소요되는 총시간을 말한다. 다시 말



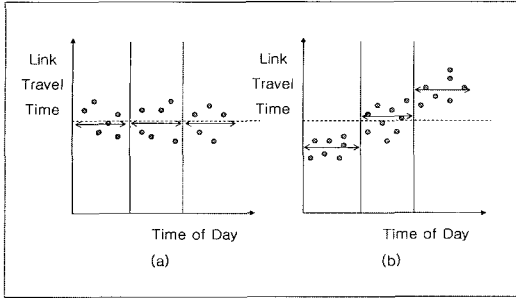
〈그림 1〉 단속류와 연속류 통행시간 비교

해, 통행시간은 차량이 구간을 주행하는데 소요된 시간과 구간내에서 경험한 지체시간을 더한 시간 개념이다. 특히, 아래 <그림 1>에서 보는 바와 같이 통행시간은 단속류와 연속류에서 각각 다른 특성을 보이며, 이로 인해 단속류에서 수집된 통행시간 데이터는 연속류 데이터보다 훨씬 데이터의 분산이 크고 범위가 넓게 형성된다. 특히, 단속류 구간에서도 구간내 신호교차로의 수에 따라 데이터의 특성이 변화하게 되는데 아래 그림과 같이 구간내 신호교차로의 수가 적은 경우에 통행시간 데이터는 신호영향에 의한 몇 개의 그룹으로 뚜렷하게 나누어진다. 하지만, 구간내 신호교차로의 수가 많을 경우에는 신호에 의한 영향이 상쇄됨으로써 연속류 데이터와 같은 형태를 보인다.

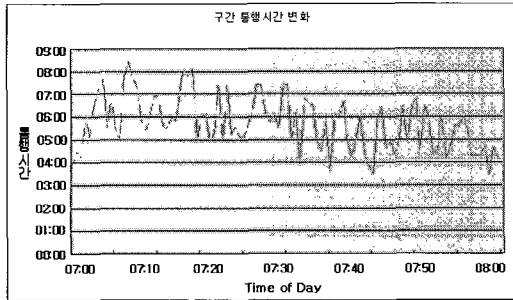
2. 집락간격 변화에 따른 영향

구간의 통행시간 정보를 제공하기 위해서는 구간을 통행하는 차량을 검지하여 수집된 자료를 일정 시간간격으로 집계하여 제공하는데, 혼잡의 발생여부에 따라서 아래 그림과 같은 특성을 나타낸다. 즉, 그림에서 보는바와 같이 통행상태가 혼잡하지 않고 일정한 안정적인 흐름을 보일 때 (a)는 집락간격 상관없이 제공되는 정보는 일정하지만, 혼잡상황이 발생하여 통행시간이 급격히 증가하거나 감소할 경우(b) 집락간격에 따라서 제공되는 구간통행시간도 틀려지게 된다.

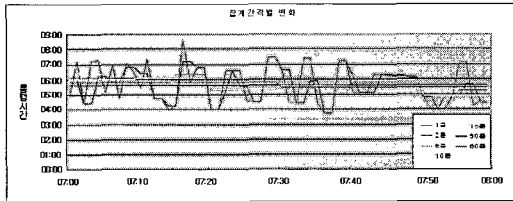
실제로 구간을 통과하는 차량의 통행시간 데이터 분포는 아래 그림과 같이 변화가 매우 심하다.



〈그림 2〉 통행상태에 따른 집계간격변화의 영향



〈그림 3〉 구간 통행시간의 변화



〈그림 4〉 집계시간간격 변화에 따른 변화

그러므로, 아래 그림의 경우에서 보는바와 같이 1분에서 60분까지의 다양한 집락간격에 따라 제공되는 구간 통행시간 값도 차이가 발생한다.

IV. 적정집락간격 결정모형

본 장에서는 단속류 구간에서 수집된 통행시간 자료로부터 정확한 통행시간을 추정하기 위해 적정 집계간격을 결정하는 모형을 통계적 추정이론에 기초하여 개발하였다.

1. 통계적 추정이론

통계적 추정이론은 크게 점추정과 구간추정으로

로 나누며, 점추정 기법은 적률법을 이용하였고, 구간추정 기법은 F-검정을 이용하였다.

본 논문에서는 적정집락간격을 구하기 위한 기본 개념으로 점추정은 관측치로 참값을 추정하여 오차가 최소가 되는 집락간격을 결정하였고, 구간추정은 가설검정을 통한 적정 집락간격을 결정하였다.

2. 적률법을 이용한 점추정 기법

점추정 기법을 이용한 적정 집락간격 결정 알고리즘은 가장 우수한 집락간격을 최소충분통계량을 충족시키는 값으로 정의하였고, 본 연구에서는 평균제곱오차(MSE)가 최소가 되는 추정량을 최적으로 선택하였다.

통계적인 관점에서 볼 때 가장 적합한 집계시간 간격은 수집된 자료의 오차를 최소가 되게 하는 집계간격이다. 여기에서 오차는 모수와 관측치 간의 오차를 말하며, 본 논문에서는 MSE 개념을 적용하였다.

MSE는 다시 모수와 관측치의 편의(Bias)와 관측치 자체의 중심으로 부터의 Variance로 나타낼 수 있다.

1) MSE(Mean Square Error) 산정

아래식에서 보는 바와 같이 MSE는 Bias와 Variance로 구성되어진다. Bias는 모수(참값)과 샘플 관측치와의 편의도를 나타내는 수치이고, Variance는 샘플 자료 자체의 중심으로 부터의 오차도를 나타내는 수치이다.

$$\begin{aligned} \text{MSE} &= \text{Variance} + \text{Bias}^2 \\ &= \left(\frac{\sum_{i=1}^n (x^i - \bar{X})^2}{n} \right) + (\bar{X} - \mu_{\bar{X}})^2 \end{aligned}$$

특정집계간격 h로 통행시간을 추정했을 때의 MSE는 다음식과 같이 정의 된다.

$$\text{MSE}(h) = E \left[\frac{\sum_{i=1}^{v(h)} (x^i(h) - \mu_{\bar{X}(h)})^2}{v(h)} \right]$$

$$\approx E \left[\frac{\sum_{i=1}^{v(h)} (x_i(h) - \bar{X}(h))^2}{v(h)} + (\bar{X}(h) - \mu_{\bar{X}(h)})^2 \right]$$

여기서

$v(h)$ = 시간간격 "h" 동안의 프로브 차량 수

$x_i(h)$ = 시간간격 "h" 동안의 i번째 프로브차량의 통행시간

$\mu_{\bar{X}(h)}$ = 시간간격 "h" 동안의 링크통행시간의 모 평균(참값)

$\bar{X}(h)$ = 시간간격 "h" 동안의 관측된 평균 링크 통행시간

위식의 첫 번째 부분은 Precision 으로써, 분석 대상인 관측치 자체의 정밀도를 나타내며 이 값은 관측치가 적을수록 오차가 적게 나오며 관측치가 많을수록 오차가 증가하게 된다. 즉, 집계간격이 길어질수록 오차는 증가하게 되며, 만일 집계기간동안 관측치가 1개만 수집되었다면 오차는 0이 된다.

두 번째 부분은 Bias 로써, 분석구간의 모집단(즉, 참값)과 관측치와의 차이를 나타내며 이 값은 관측치가 적을수록 차이가 크게 나타나고, 관측치가 많을수록 모집단과의 차이가 적게 된다. 즉, 집계간격이 길어질수록 오차가 감소하게 된다.

2) 모수 추정

MSE를 구하기 위해서는 모집단과 관측치간의 차이 즉, Bias를 구해야하며, 그러기 위해서는 구간의 참값을 정의해야한다.

본 연구에서는 적률법을 이용하여 모수 $\mu_{\bar{X}(h)}$ 를 추정하였다.

적률법을 적용하기 위해서는 우선 자료의 분포모형을 정의해야 하고, 추정량은 모집단 적률을 표본적률로 대체할 수 있기 때문에 자료가 정규분포를 따를 경우 아래와 같이 정의할 수 있다.

$$\hat{\mu}_{\bar{X}(h)} = \bar{X}(h) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n X_i$$

3) 최적 집계간격 결정

위의 방법을 통해 각각의 집계간격 h동안의 MSE가 구해졌으면, 이를 동일 수준에서 서로 비교하기 위해 아래식과 같이 1시간 기준의 평균치로 변환하는 과정을 거쳐야 한다.

$$\widehat{MSE}(H) = \frac{\sum_{i=1}^N \widehat{MSE}(h) \cdot v(h)}{\sum_{i=1}^N v(h)}$$

이는 각각의 관측치를 가중 평균하여 1시간 단위의 평균값을 만들면 된다.

이렇게 구해진 각각의 데이터들 중에 가장 최소가 되는 값을 선정하여 이때 적용한 집계시간간격을 적정 집계시간간격으로 선정하면 된다.

따라서, 적정집계간격을 확인하기 위한 목적함수는 다음과 같다.

$$Minimize = \frac{\sum_{i=1}^N \widehat{MSE}(t) \cdot v(t)}{\sum_{i=1}^N v(h)}$$

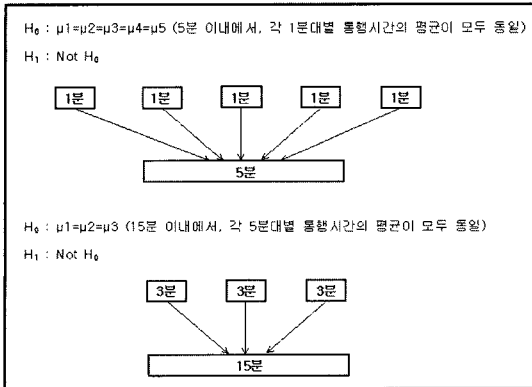
3. F-검정을 이용한 구간추정 기법

구간추정 기법을 이용한 적정 집계간격 결정 알고리즘은 구간추정 기법인 F-검정을 이용하여 각각 집계간격의 자료변화특성을 검정하여 단위시간의 자료특성에 변화가 발생할 때 적절한 집계간격으로 선택하였다.

이 방법은 집계간격의 변화에 따라 한 시간 동안에 단위 집계간격동안 수집된 통행시간 값들간에 변화정도를 계산한다.

F-검정은 2개 이상의 집단간 평균차이를 검정할 때 사용되며, 이는 집단간/집단내의 평균분산의 비율을 사용하여 구할 수 있다.

F-검정을 이용한 적정 집계간격 결정 알고리즘의 절차는 다음과 같다.



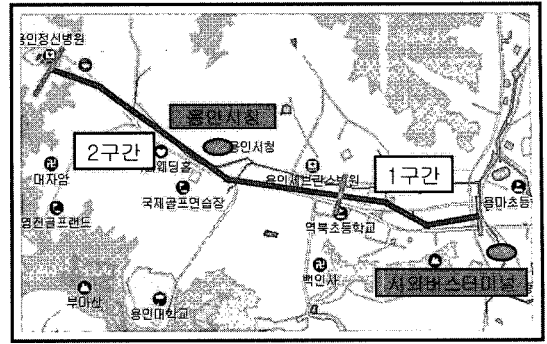
〈그림 5〉 F-검정 이용한 적정 집락간격 결정 알고리즘 개념

- 1단계 : 1분집락 자료에 관한 F-검정을 실시하여 F 값과 유의확률값을 도출한다.
- 2단계 : 그 외 5분집락 자료(12개 그룹)에 대해 F-검정을 한다.
- 3단계 : 12개의 그룹에 대해서 F-검정 결과, 유의확률이 (유의수준/12)값보다 작은 것이 존재하면 H_0 기각한다. 즉, 여기서 1분 Interval이 적정 Interval으로 채택한다.
- 4단계 : 만약 유의확률이 (유의수준/12)값보다 작은 것이 존재하지 않는다면 H_0 를 기각할수 없어 다음단계의 검정을 한다.
- 5단계 : 다음 15분 그룹(4개)에 대해서 같은 방법으로 반복한다.
- 6단계 : 검정결과 H_0 가 기각되면 해당집락간격을 선정하고, H_0 가 채택되면 다음단계 검정을 한다.
- 7단계 : 다음 30분 그룹(2개), 60분 그룹(1개)에 대해서 같은 방법으로 반복한다.

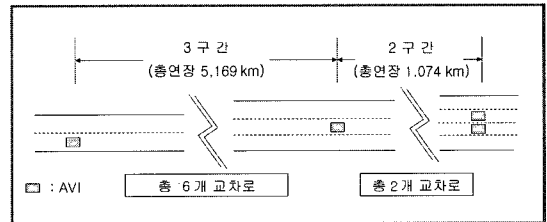
V. 자료 수집

본 연구의 분석대상자료는 다음 지도상에 위치한 대상구간에서 수집하였다. 본 연구에서의 대상구간은 국도 42호선 양지부터 용인까지의 구간으로 총연장 6km이고, 검지체계로는 차량 번호판 매칭방식 AVI를 이용하였다.

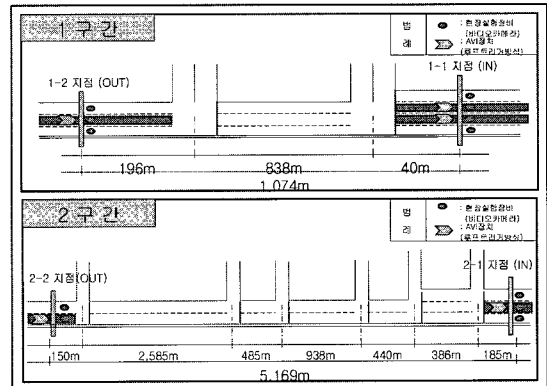
수집자료는 센터에서 수집된 구간 차량번호판



〈그림 6〉 대상구간 위치도



〈그림 7〉 대상구간 구성도(I)



〈그림 8〉 대상구간 구성도(II)

매칭방식 AVI 샘플자료와 구간을 통행하는 전차량을 직접 조사한 현장 전수조사 자료이다. AVI 샘플자료는 아래 그림에서 보는바와 같이 AVI 수집장치가 설치된 구간의 일부 차량의 데이터를 수집하였다.

VI. 단속류 AVI 자료 특성 분석

실험대상구간의 일주일간의 평균 교통량 추이를

살펴보면 그림과 같이 오전 및 오후첨두를 나타내었다. 본 연구에서는 하루중 혼잡이 가장심한 환경에 대해 분석하기 위해 자료수집은 일일첨두시간인 오전 7시~9시(2시간), 오후16시~18시(2시간)의 총 4시간씩 일주일간 자료를 측정하였으며, 이중 자료의 상태가 가장 양호한 요일의 자료를 대상으로 분석하였다.

다만, 18시 이후에도 높은 교통량을 나타내었지만, 일몰로 인한 기기의 오류가 발생할 가능성이 높아 조사시간에서 제외하였다.

모형적용에 사용된 자료는 전체 자료중 오류가 없는 일부 양질의 자료만을 선정하여 분석하였다.

1. 단속류 구간 통행시간 자료 분석

통행시간은 차량이 주어진 도로구간을 통과하기 위하여 소요되는 시간으로서, 차량이 구간을 통과하는 동안 혼잡에 의한 영향, 도로기하구조에 의한 영향, 운전자의 운전형태에 의한 영향 등을 모두 포함한 시간을 말한다. 특히, 단속류에서는 연속류와는 달리 신호에 의해 발생하는 각종 지체시간에 대한 영향을 포함한다. 단속류에서는 구간내에 신호의 영향을 받는 신호교차로가 존재 하므로 속도와 거리의 개념만을 이용하여 구간의 통행시간을 분석할 수가 없으며 데이터의 분산이 연속류에 비해 훨씬 크고 범위가 넓게 나타난다.

2. 표본자료의 적합성 검증

표본자료는 대상구간을 전수조사 하지 않고 일부만을 조사한 데이터를 말하며, 표본자료는 전수조사에서 얻은 데이터의 특성을 충분히 반영하여야 한다.

이에 실험대상 구간 전체에 대한 전수조사자료와 샘플수집 자료의 동일성검증을 통하여 수집된 표본자료가 실제로 구간을 대표하기에 적합한 표본데이터인가를 검증하였다.

검증방법은 Kolmogorov - Smirnov 동일성 검증방식을 이용하였으며, 유의수준은 95%를 적용하였다.

데이터 검증결과 총 8개 대상 자료 중 2개는 모

(표 1) Kolmogorov - Smirnov 검증기법에 의한 본 AVI 샘플자료와 전수자료간의 동일성 검증

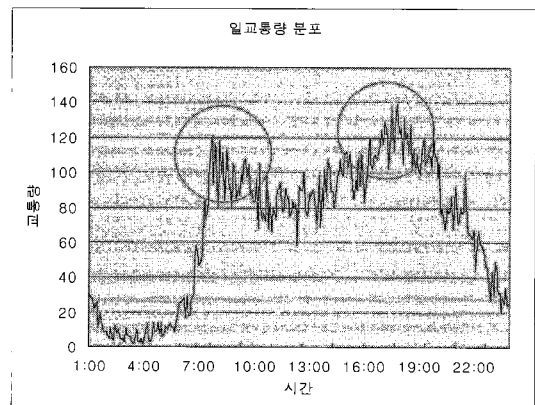
구간	측정시간	Kolmogorov - Smirnov	Pr > KS	비고
1	7 - 8	3.517	< 0.0001	기각함
	8 - 9	4.474	< 0.0001	기각함
	16 - 17	2.175	0.0002	기각함
	17 - 18	4.654	< 0.0001	기각함
2	7 - 8	0.738	0.6471	동일집단
	8 - 9	0.851	0.4639	동일집단
	16 - 17	1.804	0.0030	기각함
	17 - 18	2.054	0.0004	기각함

집단이 동일함을 알 수 있으나, 6개는 전혀 다른 집단임을 확인할 수 있다. 이는 표본 수집된 데이터가 구간을 대표하기에 적합하지 않다는 것을 말한다.

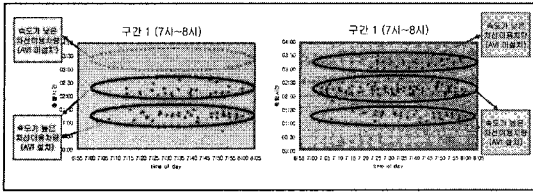
3. 단속류 구간 표본수집오차 분석

위의 Kolmogorov - Smirnov 검증을 통하여 얻은 결론에서 보는 바와 같이 차량 번호판 매칭방식 AVI 샘플자료는 구간을 대표할 수 없다. 아래 <그림 9>에서 보는 바와 같이 샘플자료는 특성이 다른 일부자료를 반영하지 못함으로써 구간의 통과 차량 전체를 대표할 수 없기 때문이다.

<그림 9>은 1구간 7시부터 8시까지의 자료이며, AVI를 통하여 얻어진 데이터는 전수 자료의 30%에 미치지 못하고, 특히, 샘플자료는 2개 부분으로 구성되어 전수 자료가 나타내는 3개 부분 중 1개



(그림 9) 대상구간 일 교통량



<그림 10> AVI 샘플자료와 구간통행시간 전수자료 비교

부분을 전혀 수집하지 못하였다.

이러한 특성은 차로가 많고, 통행량이 높은 지역에서 더욱 분명히 나타난다. 왜냐하면, AVI 장치가 일부차로에만 설치되었기 때문에 차로가 많은 경우 차로별로 통과 차량의 속도차가 매우 크게 나타나므로 AVI가 설치되지 않은 차로의 데이터가 수집되지 않을 경우 샘플자료는 구간의 통행시간을 대표할 수 없기 때문이다.

<그림 10>의 경우 AVI가 설치된 중심차로를 통과한 차량인 비교적 높은 속도의 차량의 통행시간은 검지되었으나, AVI가 설치되지 않은 차로를 통과한 차량의 통행시간은 반영되지 않았다.

이는 표본 수집된 자료가 표본수집오차를 내재하고 있음을 나타내는 것이다. 즉, AVI 시스템을 통해 얻어진 샘플자료는 일부 차로의 데이터가 수집되지 않음으로서 <그림 9>에서 보듯이 AVI 샘플자료는 저속차로의 샘플이 생략된 채 수집되어서 이를 통하여 모수를 추정하더라도 실제 모집단(참값)을 대표하지 못하는 결과를 얻게 된다.

이러한 문제를 해결하기 위해서는 첫째, 대상구간 전 차로에 AVI 장치를 설치하여 표본조사를

함으로써 전차로에 대한 샘플을 수집하는 방안이 있을 수 있다. 둘째, 차로별로 통행에 미치는 목적 함수를 규명하여 일부차로에만 AVI 장치를 설치하여 샘플을 수집한 경우 함수를 통한 모수추정이 가능하도록 알고리즘을 개발해야 하겠다.

VII. 모형적용 결과분석

본 장에서는 앞장에서 정의한 적정 집락간격 산출 모형에 국도 42호선 양지~용인구간의 실제 데이터를 적용한 후 결과를 분석하였다.

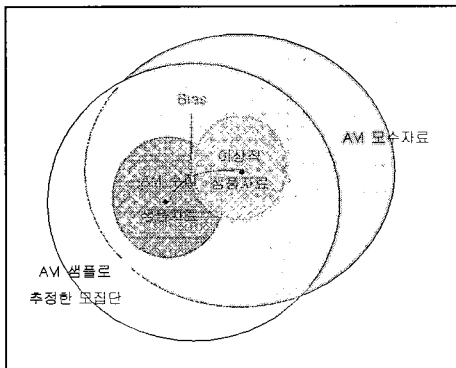
모형 적용 데이터는 AVI 샘플자료가 표본수집오차를 포함하고 있기 때문에 구간 통행차량 전수조사 데이터를 이용하였다.

1. 적률법을 이용한 점추정 기법

적률법에 의한 모수의 점추정기법을 이용한 모형을 적용하기 위하여 자료의 분포모형을 정의해야 하기 때문에 우선 자료의 정규성 여부를 검증하기 위해 Shapiro - Wilk 검증을 시행하여 아래와 같은 결과를 얻었다.

Shapiro - Wilk 검증결과 유의수준 90%에서 통행시간 변수는 모든 구간 시간대에서 정규성을 보인다라는 결과를 얻었다.

현장조사를 통하여 얻어진 구간을 통과한 전체 차량을 조사하여 수집된 자료를 바탕으로 4장에서



<그림 11> 표본수집오차의 개념

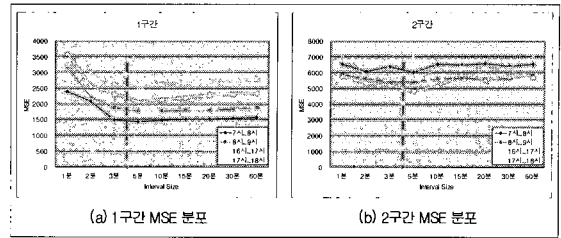
<표 2> Shapiro-Wilk 정규성 검증 결과

구 간	시 간 대	Shapiro- Wilk	Pr < W
1 구간	7시~8시	0.9254	< 0.0001
	8시~9시	0.9304	< 0.0001
	16시~17시	0.9480	< 0.0001
	17시~18시	0.9478	< 0.0001
2 구간	7시~8시	0.8723	< 0.0001
	8시~9시	0.9349	0.0007
	16시~17시	0.9396	0.0004
	17시~18시	0.9777	0.0908

제안한 적정 집계간격 결정방법론에 집계간격 1분, 2분, 3분, 5분, 10분, 15분, 30분, 60분순으로 적용하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

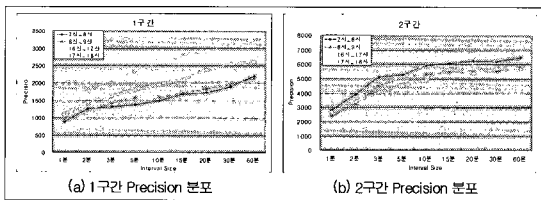
그림 8에서 보듯이 Precision은 집계간격이 증가하면서 값이 증가하는 경향을 보였고, 그림9에서 보듯이 Bias는 집계간격이 증가하면서 감소하다가 집계간격이 대상 시간과 일치하는 60분에 0이 되었다.

위의 두 가지 항목을 tradeoff하여 가장 평균한 결과 MSE는 그림 10과 같이 도출되었고, 집계시간간격 5분에서 오차가 최소가 되는 경향을 나타내었다.



〈그림 14〉 MSE 비교

결론적으로 적률법에 근거한 점추정을 통한 모형을 적용한 결과 현재 사용 중에 있는 5분 집계시간간격이 적절하다는 결론이 도출되었다.



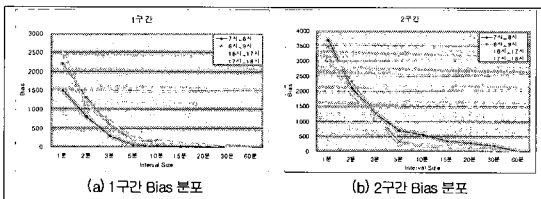
〈그림 12〉 Precision 비교

2. F - 검정을 이용한 구간추정 기법

구간추정 기법을 적용한 방법으로 현장 전수조사 자료를 이용하여 앞장에서 정의한 F-검정을 이용한 적정 집락간격결정 모형을 적용한 결과 아래와 같은 결과를 얻었다.

기본적으로 이모형은 집락간격의 변화에 따라 한 시간 동안에 단위 집락간격동안 수집된 통행시간 값들 간에 변화정도를 계산하는 것으로, 한 시간 동안 해당 집락간격 단위의 통행 시간 값들의 변화가 없으면 최대 60분까지 변화가 심하면 최소 1분까지의 집락간격을 결정하게 된다.

위의 모형 적용결과에서는 1구간에서는 모두 한 시간 동안 변화가 심하게 감지되어 1분 집락간격



〈그림 13〉 Bias 비교

〈표 3〉 F-검정 이용 적정 집락간격 결정 모형 적용결과 <구간 1>

시간대/집락간격		Group												분석결과									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12										
7시 ~ 8시	1분	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	HO 기각 (확정-1분)			
		0.9	0.4800	2.32	0.0792	9.59	<.0001	0.29	0.8805	1.55	0.2620	1.26	0.3207	4.46	0.0418	0.54	0.7124	5.19	0.0337		0.13	0.7405	163.37
8시 ~ 9시	1분	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	HO 기각 (확정-1분)			
		53.2	0.0867	2.22	0.168	1.06	0.4128	0.79	0.4822	2.28	0.133	3.38	0.03	8.02	0.0003	1.21	0.3327	2.29	0.1023		10.3	<.0001	3.86
16시 ~ 17시	1분	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	HO 기각 (확정-1분)			
		12.1	0.0078	1.47	0.2763	31.6	0.0002	1.02	0.4928	2.79	0.2066	150.3	<.0001	0.07	0.9729	4.73	0.0416	0.85	0.5217		1.67	0.2217	1.36
17시 ~ 18시	1분	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	HO 기각 (확정-1분)			
		0.68	0.6151	1.46	0.2603	15.2	<.0001	1.91	0.1467	1.91	0.1279	2.1	0.1163	0.55	0.7016	2.58	0.0609	3.11	0.0280		2.36	0.1077	0.07

<구간 2>

시간대		Group																				분석결과					
		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12			
7시 ~ 8시	5분	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	HO 채택	
		0.87	0.4921	1.43	0.3774	491	0.0319	0.82	0.6487	1.42	0.3675	6.59	0.0798	2.2	0.313	0.75	0.4958	1.09	0.4038	4.84	0.1138	10.87	0.0422	1.04	0.5701		
	15분	1				2				3				4				HO 채택									
		F값		유의 확률		F값		유의 확률		F값		유의 확률		F값		유의 확률			F값		유의 확률		F값		유의 확률		
	30분	1				2				3				4				HO 채택									
		F값		유의 확률		F값		유의 확률		F값		유의 확률		F값		유의 확률			F값		유의 확률		F값		유의 확률		
	60분	1				2				3				4				HO 기각 (확정-30분)									
		F값		유의 확률		F값		유의 확률		F값		유의 확률		F값		유의 확률			F값		유의 확률		F값		유의 확률		
	8시 ~ 9시	1분	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	HO 채택
			2.48	0.1761	0.15	0.7188	0.31	0.8562	0.21	0.8175	0.17	0.9077	5.1	0.0247	0.22	0.8548	2.45	0.1823	0.45	0.7751	2.76	0.2093	0.88	0.6028	2.22	0.4287	
		15분	1				2				3				4				HO 채택								
			F값		유의 확률		F값		유의 확률		F값		유의 확률		F값		유의 확률			F값		유의 확률		F값		유의 확률	
30분		1				2				3				4				HO 채택									
		F값		유의 확률		F값		유의 확률		F값		유의 확률		F값		유의 확률			F값		유의 확률		F값		유의 확률		
60분		1				2				3				4				HO 기각 (확정-30분)									
		F값		유의 확률		F값		유의 확률		F값		유의 확률		F값		유의 확률			F값		유의 확률		F값		유의 확률		
16시 ~ 17시		5분	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	HO 채택
			0.7	0.6923	0.64	0.5889	2.68	0.1541	0.22	0.8151	1.21	0.4533	2.78	0.11	0.32	0.8113	0.26	0.8532	0.69	0.6389	0.25	0.8965	0.63	0.6265	0.87	0.4756	
		15분	1				2				3				4				HO 기각 (확정-30분)								
			F값		유의 확률		F값		유의 확률		F값		유의 확률		F값		유의 확률			F값		유의 확률		F값		유의 확률	
	30분	1				2				3				4				HO 기각 (확정-30분)									
		F값		유의 확률		F값		유의 확률		F값		유의 확률		F값		유의 확률			F값		유의 확률		F값		유의 확률		
	60분	1				2				3				4				HO 기각 (확정-30분)									
		F값		유의 확률		F값		유의 확률		F값		유의 확률		F값		유의 확률			F값		유의 확률		F값		유의 확률		
	17시 ~ 18시	1분	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	F값	유의 확률	HO 기각 (확정-1분)
			36.8	0.0077	3.43	0.0928	0.19	0.8367	0.94	0.5539	1.24	0.3874	1.24	0.3875	0.72	0.6016	2.11	0.2166	0.52	0.6856	2.54	0.2321	0.18	0.9073	0.56	0.6624	

이 적절한 것으로 판단되었고, 2구간에서는 시간대의 차량혼잡의 변화에 따라 30분, 5분, 1분으로 적정 집락간격이 다양한 결론이 도출되었다.

결론적으로 모형적용결과 점추정기법을 이용한 모형에서는 5분 집락간격이 적절한 것으로 판단되었고, 구간추정기법을 이용한 모형에서는 30분, 5분, 1분으로 다양한 결론이 도출되었다. 여기서 구간추정기법을 이용한 모형은 최적의 적정 집락간격을 산출하지 못하고, 신뢰 수준 내에서 구간내 집락간격단위 통행특성의 변화만을 감지하는 방법이기 때문에 최적 집락간격을 산출할 수 없으며,

이로 인해 보다 구체적인 적정 집락간격에 대한 근거를 제시하기가 곤란하다.

Ⅷ. 결 론

본 논문에서는 통계적 추정기법을 이용하여 단속류에서의 구간통행시간을 산출하기 위한 적정 집계간격을 산출하였고, 단속류에서 AVI 장치를 이용한 구간통행 표본자료에 대한 표본수집오차에 대해 연구하였다. 본 연구에서 적용한 통계적 추정기법은 적률법을 이용한 점추정 기법으로 MSE가

최소가 되는 집락간격을 적정 집락간격으로 선정하는 방법과, F-검정을 이용한 구간추정기법으로 집락간격의 변화에 따라 수집된 통행시간 값들 간에 변화정도를 계산하는 모형을 적용하였다.

모형에 적용한 데이터는 국도 42호선 양지~용인구간에서 수집되었으며, 구간을 통행하는 전차량을 조사하였다. 적용결과 단속류에서 구간통행시간 추정을 위한 집계간격은 5분이 적절한 것으로 분석되었다.

따라서, 현재 구간의 통행시간정보제공시스템에서 적용 중에 있는 정확한 통행시간 추정을 위한 집계간격 5분 적용은 적절하다고 판단된다.

하지만, 본 연구에서 검토된 현재 운영 중인 AVI 장치를 이용한 구간 통행 자료는 구간 대푯값으로 사용할 것인지에 대한 향후검토가 필요하다고 본다.

즉, 현재 설치된 AVI 시스템은 대상 도로의 일부차로에만 설치되어있기 때문에, AVI 시스템을 통해 얻어진 샘플자료는 일부구간의 데이터가 수집되지 않음으로서 전 차로에 대한 대표성을 갖고 있지 못하다.

이러한 문제를 해결하기 위해서는 첫째, 대상구간 전 차로에 AVI 장치를 설치하여 표본조사를 함으로써 구간을 대표하는 자료를 수집할 수 있을 것이다. 둘째, 차로별로 통행에 미치는 목적함수를 규명하여 일부차로에만 AVI 장치를 설치하여 샘플을 수집한 경우 함수를 통한 모수추정이 가능하도록 알고리즘을 개발해야 하겠다.

본 연구는 단속류 통행시간 추정에 있어서 가장 기초적인 연구이며 여러 가지 측면에서 한계를 가지고 있다. 이 분야에 대한 연구가 기존에 활발하지 않은 관계로 앞으로 다양한 연구가 진행되어야 단속류에서의 보다 정확한 교통정보를 제공할 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구에 이어 연구되어야 할 부분은 다음과 같다.

첫째, 본 연구는 단속류에서 가장 중요한 변수인 신호주기에 의한 단속류 통행시간의 영향을 밝혀내지 못하였으므로, 이에 대한 연구가 필요하다.

둘째, 적정 집계간격에 대한 분석 방법론으로

동적 집락간격 모형을 개발하여야 한다. 본 연구에서는 점추정을 이용하여 MSE개념의 방법모형을 적용하였으나, 통계적으로 다양한 방법이 존재하기 때문에 다양한 관점에서 적정 집계간격을 분석하는 연구가 요구된다. 특히, 실시간의 보다 정확한 적정집락간격을 산출하기 위해서는 수집 자료의 특성을 고려하여 집락간격이 변화하는 동적 반응 알고리즘 개발이 필요하다.

셋째, AVI 장치를 일부차로에만 설치했을 경우 표본수집오차를 제거하기 위해서는 신호주기를 고려하여 대상구간내의 통행시간에 대한 특성을 정의하여 일부차로에서 수집하였을 경우에도 적용 가능한 알고리즘이 필요하기 때문에 이에 대한 연구도 진행되어야 할 것으로 판단된다.

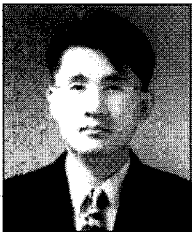
참 고 문 헌

- [1] Dongjoo Park(2001), Identifying Optimal Data Aggregation Interval Sizes for Link and Corridor Travel Time Estimation and Forecasting", Ph. D. Dissertation, Texas A&M.
- [2] Gajewski, B.J., Turner. SM, Eisele, WL., Spiegelman, O.H.,(2001) "ITS Data Archiving : Statistical Technique for Inductance Loop Detector Speed Data", Transportation Research Record 1719, pp. 85-93
- [3] Park, D., Rilett, LR, Pattanamekar(2002), "Estimating Travel Time Summary Statistics of Larger Intervals form Smaller Intervals without Storing Individual Data". Transportation Research Record 1804, pp. 39-47
- [4] 최영훈(1997), 비모수 통계학
- [5] 박병호(1995), 교통공학
- [6] 강병현(1995), 의사결정을 위한 현대통계학
- [7] 전명식(1994), 수리통계학
- [8] 심상우(2004), 링크미통과데이터를 활용한 링크 통행시간 추정기법개발, 아주대학교석사논문
- [9] 이영인, 이정희(2001), 교통정보제공을 위한 구간통행시간 산출방법론 연구 ; 적정표본수 결

정방법을 중심으로, 서울시립대학교석사논문
[10] 홍은주, 김영찬(2002), “지점검지체계를 이용한

남산 1호터널 구간통행시간 추정”, 한국ITS학
회, 제1회 학술대회, pp. 173-176

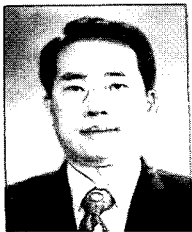
〈저자소개〉



임 형 석 (Houng-Seak, Lim)
1996년 2월 : 호남대학교 공과대학 도시공학과 학사
2003년 3월~현재 : 아주대학교 대학원 석사과정



이 승 환 (Seung-Hwan, Lee)
Polytech University 교통공학 박사
아주대학교 환경건설교통공학부 교수
아주대학교 ITS대학원 대학원장
한국 ITS 학회장



이 현 재 (Hyun-Jae, Lee)
1980년 2월 : 조선대학교 공과대학 전자공학과 졸업
1986년 2월 : 조선대학교 산업대학원 산업공학과 석사
1999년 2월 : 아주대학교 대학원 산업공학과 박사과정 수료
1991년~1996년 : 서울시 지방경찰청 교통연구실장
1996년~2003년 : 고속도로정보통신(주) ITS 사업본부장
2003년~현재 : 한국건설관리공사 정보통신처장