

거시교통류 모니터링 지표산출을 위한 적정 프로브차량 비율 결정에 관한 연구

An Application of Sampling to Determine a Proper Rate of Probe Vehicles for Macroscopic Traffic Flow Monitoring Indices

심정숙* 허현무** 엄기종*** 이청원**** 안수한*****
(Jung-Suk Shim) (Hyun-Moo Heo) (Ki-Jong Eom) (Chung-Won Lee) (Soo-Han Ahn)

요약

본 논문에서는 거시교통류 모니터링을 위한 세 가지 지표를 다루고 신뢰성 있는 지표산출에 필요한 적정 프로브차량 비율을 결정하기 위해 샘플링 기법을 이용하는 방법에 대하여 연구한다. 모니터링 세 가지 지표로는 Travel Time Index(TTI), Acceleration Noise(AN) 그리고 Two Fluid(TF)를 살펴보고, 적정 프로브 차량 비율의 결정방법으로는 절대오차를 이용한 표본크기의 결정방법과 상대오차를 이용한 표본크기의 결정방법에 대하여 고찰한다. 그리고 표본추출비율에 따른 지표 값 변동을 비교 검토하기 위해 서울시 강남지역의 대규모 자료를 이용하여 모의실험을 실시하였다. 모의실험 결과 교통수요 단계(Demand Level)가 증가함에 따라 상대오차를 이용한 표본 추출비율이 줄어들며, 추출비율은 허용오차, 링크통과차량의 수와 반비례 관계이므로 추출비율을 증가시킬수록 허용오차를 줄일 수 있음을 알 수 있었다.

Abstract

In this paper, we consider three macroscopic traffic flow monitoring indices, Travel Time Index(TTI), Acceleration Noise(AN) and Two Fluid(TF) and investigate how to determine a proper rate of probe cars for producing reliable values of these indices. For the analysis, we use classical sampling theories and provide numbers of probe rates using simulation data.

Key words: Acceleration noise, macroscopic traffic flow, rate of probe cars, sampling, travel time index, two fluid.

1. 서론

교통류의 특정한 변화에 대한 원인과약 및 대응의

중요성이 증대되고 있으며 궁극적으로는 관리구간의 이동성 보전과 이용자 정보제공체계 확산이 요구되고 있다. u-T기반의 TMC(Transportation Management

† 본 연구는 교통체계효율화사업 “u-Transportation 기반 기술개발” 연구단 과제 중 3세부과제(u-Transportation 운영관리 기술개발)의 지원으로 수행되었음.

* 주저자 : 서울시립대학교 컴퓨터통계학과 박사과정

** 공저자 : 서울시립대학교 컴퓨터통계학과 석사과정

*** 공저자 : 서울시립대학교 교통공학과 석사과정

**** 공저자 : 서울시립대학교 교통공학과 부교수

***** 공저자 및 교신저자 : 서울시립대학교 통계학과 부교수

† 논문접수일 : 2010년 3월 29일

† 논문심사일 : 2010년 4월 20일

† 게재확정일 : 2010년 4월 23일

Center)는 GPS 등을 이용한 개별 차량의 단위시간당 발생하는 자료를 기반으로 한다. 따라서 이를 활용한 거시 교통류 모니터링 방법을 도출해내고 이를 위한 타당성, 정확성 및 유용성을 갖춘 지표의 산출은 중요한 문제이다. 하지만 현실적으로 모든 차량에 교통정보 수집 장치를 설치하여 정보를 얻는 것은 불가능하며 따라서 적정 수의 프로브 차량을 통하여 정보를 산출하는 것이 현실적인 대안이다. 본 논문에서는 최근 제안된 거시교통류 모니터링을 위한 세 가지 지표를 소개하고 이러한 지표들의 구조로부터 적정 프로브 수를 산출하는 기법을 소개하고자 한다. 이러한 기법은 샘플링(sampling) 이론에 바탕을 두고 있으며 시물레이션 자료를 이용하여 제안된 기법의 타당성과 실제 자료에 대한 적용 방법에 대하여 논하였다. 이에 대한 내용을 다음 장에서 자세히 고찰하도록 한다.

II. 본 론

본 장에서는 거시교통류 모니터링을 위한 세 가지 지표를 정의하고, 신뢰성 있는 거시교통류 모니터링 지표 산출을 위한 적정 프로브 차량을 결정하기 위한 샘플링 기법에 대하여 알아보고, 적정 표본크기를 결정하는 방법에 대하여 고찰한다. 또한 강남대 규모 시물레이션 자료를 이용하여 표본 추출비율을 계산하는 모의실험을 실시한다.

1. 거시교통류 모니터링 지표의 정의

본 논문에서는 주어진 교통 ‘네트워크를 운행하는 모든 개별차량이 주어진 시간 간격 Δ (여기서는 1초)의 주기로 자료를 산출하는 것을 가정한다. 이러한 가정 하에서 거시 교통류 모니터링 지표 산출을 위한 다양한 지수를 정의한다. 이에 앞서 모니터링 지표 변수 산정을 위한 주요 변수를 정의한다.

- $U = l_1, \dots, l_K$: 네트워크에 속해 있는 링크들의 집합
- T_c : 수집주기, 본 논문에서는 $T=60$ 초로 설정함

- Δ : 프로브 차량의 자료수집 간격, 본 논문에서 1초로 가정함
- $C^l = i_1, \dots, i_{N^l}$: $(0, T)$ 에서 링크 l 에 속한 차량들의 집합
- $N = \sum_{l \in U} N^l$: $(0, T)$ 에서 네트워크에 속한 차량의 수
- $J = \frac{T_c}{h}$
- $V_{i,j}$: i -차량의 j 시각에서의 속도
- $A_{i,j}$: i -차량의 j 시각에서의 순간가속도
- $S_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{if } V_{i,j} > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$
- $L_{i,j}$: j 시각에서의 i -차량이 속한 링크
- $V_{i,j}^l = \begin{cases} V_{i,j} & \text{if } L_{i,j} = l \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$
- $A_{i,j}^l = \begin{cases} A_{i,j} & \text{if } L_{i,j} = l \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$
- $S_{i,j}^l = \begin{cases} S_{i,j} & \text{if } L_{i,j} = l \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$
- $M_i^l = \sum_{j=1}^J I(L_{i,j}=l)$,
 $M^l = \sum_{i \in C^l} \sum_{j=1}^J I(L_{i,j}=l)$,
 $M = \sum_{l \in U} M^l$
- $\overline{V}_i^l = \sum_{j=1}^J V_{i,j}^l / M_i^l$,
 $\overline{\overline{V}}^l = \frac{1}{N^l} \sum_{i \in C^l} \overline{V}_i^l$,
 $\overline{\overline{\overline{V}}}_1 = \frac{1}{N} \sum_{l \in U} \left(\sum_{i \in C^l} \overline{V}_i^l \right)$,
 $\overline{\overline{\overline{V}}}_2 = \frac{1}{M} \sum_{l \in U} \left(\sum_{i \in C^l} \sum_{j=1}^J V_{i,j}^l \right)$
- $\overline{A}_i^l = \sum_{j=1}^J A_{i,j}^l / M_i^l$,
 $\overline{\overline{A}}^l = \frac{1}{N^l} \sum_{i \in C^l} \overline{A}_i^l$,
 $\overline{\overline{\overline{A}}}_1 = \frac{1}{M} \sum_{l \in U} \left(\sum_{i \in C^l} \sum_{j=1}^J A_{i,j}^l \right)$,
 $\overline{\overline{\overline{A}}}_2 = \frac{1}{N} \sum_{l \in U} \left(\sum_{i \in C^l} \overline{A}_i^l \right)$
- $\overline{S}_i^l = \sum_{j=1}^J S_{i,j}^l / M_i^l$,

$$\overline{S^l} = \frac{1}{N^l} \sum_{i \in C^l} \overline{S_i^l},$$

$$\overline{\overline{S}}_1 = \frac{1}{N} \sum_{l \in U} \left(\sum_{i \in C^l} \overline{S_i^l} \right),$$

$$\overline{\overline{S}}_2 = \frac{1}{M} \sum_{l \in U} \left(\sum_{i \in C^l} \sum_{j=1}^J S_{i,j}^l \right)$$

- v_l : 링크 $l \in U$ 의 볼륨(volume), 차선수와 링크 길이의 곱으로 정의함
- V_f^l : 링크 l 의 제한속도

1) Network Travel Time Index(nTTI)

TTI는 Urban Mobility Report(2002)[1]에 제안된 지수로 미국 75개 도시로부터 수집되는 자료로써 지표 값을 산출하여 이동성 수준을 진단하는데 활용되었다. TTI 지표는 링크 TTI와 네트워크 TTI(nTTI)로 구분되는데 nTTI는 네트워크에 속한 각 링크의 차로수와 길이 및 제한속도, 그리고 네트워크의 링크를 주행 중인 개별차량의 속도와 위치로부터 산출되며 네트워크의 이동성 수준을 진단하는데 활용되는 지수이다. 이에 대한 구체적인 정의는 다음과 같다.

○ Type-1 TTI

- 링크 l 에서의 TTI 정의

$$TTI_1^l = \frac{V_f^l}{\sum_{i \in C^l} \left(\frac{M_i^l}{\sum_{i \in C^l} M_i^l} \right) \overline{V}_i^l}$$

- 네트워크 TTI (nTTI)의 정의

$$nTTI_1 = \sum_{l \in U} \left(\frac{v_l}{\sum_{l \in U} v_l} \right) TTI_1^l$$

○ Type-2 TTI

- 링크 l 에서의 TTI 정의

$$TTI_2^l = \frac{V_f^l}{1 + \overline{V}^l} = \frac{V_f^l}{1 + \frac{1}{N^l} \sum_{i \in C^l} V_i^l}, \quad l \in U$$

- 네트워크 TTI (nTTI)의 정의

$$nTTI_2 = \sum_{l \in U} \left(\frac{v_l}{\sum_{l \in U} v_l} \right) TTI_2^l$$

정의로부터 알 수 있듯이 차량의 속도가 감소할수록 TTI 값은 증가한다. Type-1 TTI의 경우 이론상 0에서부터 무한대의 값을 가질 수 있어 지수 값에 기반 한 교통류 상태의 파악이 어려움을 갖는다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 Type-2 TTI를 고려한다. Type-2 TTI 역시 속도의 증가에 따라 단조 감소하는 성질을 가지며 링크의 모든 차량이 정지 상태인 경우 링크의 자유 상태 (free flow velocity) 값을 가진다. 따라서 네트워크 내 모든 차량이 정지한 경우 Type-2 nTTI는 1값을 가지게 된다.

2) Network Acceleration Noise (nAN)

Gerlough와 Huber(1975)[2]에 의해 제시된 이론인 Acceleration Noise는 개별차량의 속도변화를 감가속도의 표준편차로 표현하여 교통류의 안정성을 진단하는 지수이다. 구체적인 정의는 다음과 같다.

○ Type-1 AN

- 링크 l 에서의 AN 정의

$$AN_1^l = \left(\frac{1}{M^l - 1} \sum_{i \in C^l} \sum_{j=1}^J (A_{i,j}^l - \overline{A}^l)^2 \right)^{1/2}$$

- 네트워크 AN 정의 (nAN)

$$nAN_1 = \left(\frac{1}{M - 1} \sum_{l \in U} \sum_{i \in C^l} \sum_{j=1}^J (A_{i,j}^l - \overline{\overline{A}}_1)^2 \right)^{1/2}$$

○ Type-2 AN

- 링크 l 에서의 AN 정의

$$AN_2^l = \left(\frac{1}{N^l - 1} \sum_{i \in C^l} (\overline{A}_i^l - \overline{A}^l)^2 \right)^{1/2}$$

- 네트워크 AN 정의 (nAN)

$$nAN_2 = \left(\frac{1}{N - 1} \sum_{l \in U} \sum_{i \in C^l} (\overline{A}_i^l - \overline{\overline{A}}_2)^2 \right)^{1/2}$$

차량을 표본으로 한다는 측면에서는 Type-2 지수가 적절하지만, Type-1 지수의 각 링크를 주행한 시간에 비례해서 가중치를 주는 것은 유용성 면에서 타당하다. 전시 지수는 Type-1 지수를, 적정 프로브 차량 비율 산정 등의 이론적 전개에서는 Type-2를 사용하는 것도 고려할 필요성이 있다.

3) Two Fluid(nFS)

Two Fluid는 Herman과 Prigogine(1979)[3]에 의해 제 시되었으며 도시부 교통류를 Moving Flow와 Stopped Flow로 구별하여 도시부 가로망의 거시적 교통류를 설명한다. TF는 개별차량의 속도 자료를 입력받아 정 지 차량수와 전체차량의 비율로 나타낸다.

○ Type-1 nFS

$$nFS_1 = \frac{\sum_{i \in U} \left(\sum_{j=1}^J S_{i,j}^t \right)}{M}$$

○ Type-2 nFS

$$nFS_2 = \frac{\sum_{i \in U} \left(\sum_{i \in C^i} \bar{S}_i^t \right)}{N}$$

nFS 지수 역시 차량을 표본으로 한다는 측면에서 는 Type-2 지수가 적절하지만, Type-1 지수의 각 링 크를 수행한 시간에 비례해서 가중치를 주는 것은 유용성 면에서 타당하다.

2. 샘플링 기법과 적정 프로브 차량 비율의 결정

이 절에서는 신뢰성 있는 지표산출에 필요한 적정 프로브차량 비율 결정하기 위해 샘플링 기법을 이용 하는 방법에 대하여 다룬다. 샘플링 기법(Lohr, 1999)[4]이란 전체 집단에서 부분 집합을 뽑는 행위 로 표본추출방법이라고도 한다. 샘플링 기법은 진수 조사가 불필요하거나 불가능할 경우, 최소의 비용과 시간으로 정확한 결론을 도출할 경우, 오히려 진수 조사 보다 정확도가 증가하는 경우에 유용한 통계적 방법이다.

본 논문에서는 SAS 통계프로그램의 Surveyselect [5]프로시저를 이용하여 각 수집구간을 층으로 하고 차량을 무작위로 추출하는 층화표본추출법을 사용하 여 표본을 추출하여 모의실험 하였다.

거시류 모니터링 지수 산출을 위한 적정 프로브 차량의 표본추출비율을 결정하는 방법을 논하기에 앞서 사용하는 기호에 대하여 소개한다.

- 모집단 $\{y_1, \dots, y_N\}$, y_i 는 $\bar{V}_i^t, \bar{A}_i^t, \bar{S}_i^t$ 등을 나타냄

- 모평균 $\bar{Y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i$

- 모분산 $\sigma^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{Y})^2$

- 모변이계수 $C = \frac{\sigma}{\bar{Y}}$

- 표본 $\{y_1, \dots, y_n\}$, y_i 는 프로브 차량의 $\bar{V}_i^t, \bar{A}_i^t, \bar{S}_i^t$ 등을 나타냄

- 표본평균 $\bar{y}_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$ (모평균의 불편추정량)

- 표본분산 $\hat{\sigma}_n^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_n)^2$ (모분산의 불편 추정량)

- 표본평균의 분산 $V(\bar{y}_n) = \frac{\sigma^2}{n} \left(1 - \frac{n}{N}\right)$

- 추출비율 $f = \frac{n}{N}$

- \bar{y}_n 상대표준오차

$$C_n = \frac{\sqrt{V(\bar{y}_n)}}{E[\bar{y}_n]} = \frac{C}{\sqrt{n}} \sqrt{1-f}$$

1) 절대오차를 이용한 표본크기의 결정

절대오차를 이용한 표본크기는 주어진 허용오차 d 와 신뢰수준 $\alpha(0 < \alpha < 1)$ 에 대해서 다음을 만족하도 록 결정한다. 여기서 허용오차 d 는 미리 정해진 값 이다.

$$P(|\bar{y}_n - \bar{Y}| > d) = \alpha$$

이때 추출비율 f 는

$$f = \frac{t_\alpha^2}{t_\alpha^2 + d^2 \frac{N}{\sigma^2}}$$

이고, 여기서 t_α 는 α 에 의존하는 값으로 보통 정 규분포의 $z_{\alpha/2}$ 값을 취한다. 여기서 표준정규분포의 분포함수를 $\Phi(x)$ 라고 했을 때 $\Phi(-z_\alpha) = \alpha$ 를 만족한 다. 따라서 추출비율 f 는 목표허용오차 d , 링크통과 차량의 수, 자료 값의 분산에 의존하게 된다. 따라서

교통량과 링크 특성에 따라서 적정 프로브차량의 비율이 달라지게 된다.

2) 상대오차를 이용한 표본크기의 결정

상대오차를 이용한 표본크기는 주어진 허용오차 d 와 신뢰수준 $\alpha(0 < \alpha < 1)$ 에 대해서 다음을 만족하도록 결정한다. 여기서 허용오차 d_0 는 미리 정해진 값이다.

$$P\left(\frac{|\bar{y}_n - \bar{Y}|}{\bar{Y}} > d_0\right) = \alpha$$

이때 추출비율 f 는

$$f = \frac{t_\alpha^2}{t_\alpha^2 + d_0^2 \frac{N}{C^2}}$$

이고, 여기서 t_α 는 α 에 의존하는 값으로 보통 정규 분포의 $z_{\alpha/2}$ 값을 취한다. 따라서 추출비율 f 는 목표 상대오차 d_0 , 링크통과차량의 수, 자료의 모변이계수 C 에 의존하게 된다. 이 방법 역시 교통량과 링크 특성에 따라 적정 프로브차량의 비율이 달라지게 된다.

3. 모의실험

본 절에서는 앞에서 설명한 샘플링 기법과 적정 프로브 차량 추출비율의 결정방법 및 추출비율에 따른 지표의 변화를 시뮬레이션 자료에 적용하여 모의 실험 하였다. 시뮬레이션 자료는 격자형 단속류 구간인 강남구의 6x6 주요 간선도로 구간을 분석대상 네트워크로 선정하여 u-TSN 환경에서 수집될 수 있는 가상의 자료를 수집하였다. 교통수요는 [2007 서울특별시 교통량 조사자료]에서 시간대별 교통량을 참고하여 첨두시 교통량을 기준으로 원활(단계1) : 지체(단계2) : 혼잡(단계3) = 1 : 3 : 7 비율로 3가지 수요 단계(demand level)로 구성 하였다.

1) 적정 프로브 차량 비율의 결정

적정 프로브 차량 추출비율의 결정방법에 대한 모

의실험으로 시뮬레이션 자료를 이용하여 상대오차를 이용한 표본크기를 산출해보았다. 이 모의실험에서는 교통수요별 적정 프로브 차량의 비율을 동일조건 신뢰수준 95%에서의($\alpha=0.05$) $t_\alpha = 2$, 허용오차 10% ($d_0 = 0.1$) 하에서 계산하였다. 또한 모변이계수 C 와 링크통과 차량의 수 N 은 매 수집주기 별로 구한 후 각각의 중앙값을 찾아 표본크기 결정에 사용하였다. <표 1>을 보면 교통수요에 따라 상대오차를 이용한 표본 추출비율이 변한다. 즉, T수집구간 차량 수 N 이 클수록 추출비율이 줄어들을 알 수 있다. 이는 교통량이 많을수록 추출해야 하는 표본의 수가 작아진다는 사실을 보여준다.

2) 추출비율에 따른 분석결과

본 절에서는 추출비율 즉, 프로브차량의 비율에 따른 거시 모니터링 지표 값과 참값의 차이를 살펴 보았다. 그 결과가 다음의 <표 2>부터 <표 4>에 주어 져 있다.

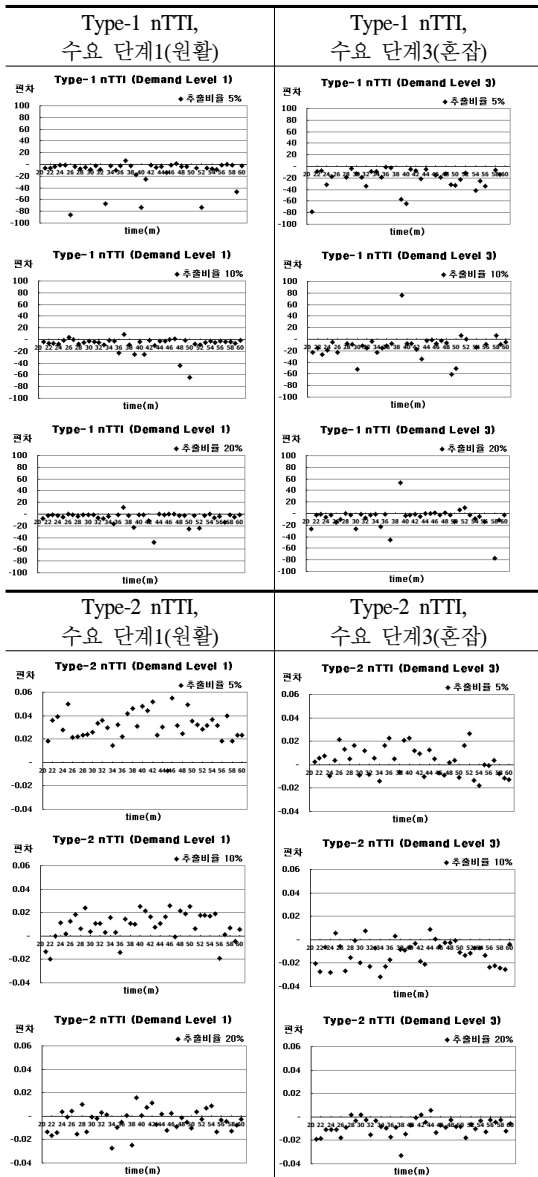
Type-1 nTTI에서 참 값과의 차이는 추출비율이 증가할수록 0에 가깝게 나타나고 있다. 그러나 추출비율에 따라 차이가 크게 발생하는 수집구간이 일정하게 나타나지 않음을 볼 수 있다. Type-1 nTTI는 교통수요가 늘어날수록 정지차량이 증가하여 무한대의 링크 TTI값이 산출되는 특성을 갖고 있어 표본에 따라 지표 변동성이 매우 크게 나타나므로 신뢰성 있

<표 1> 교통수요별 추출비율

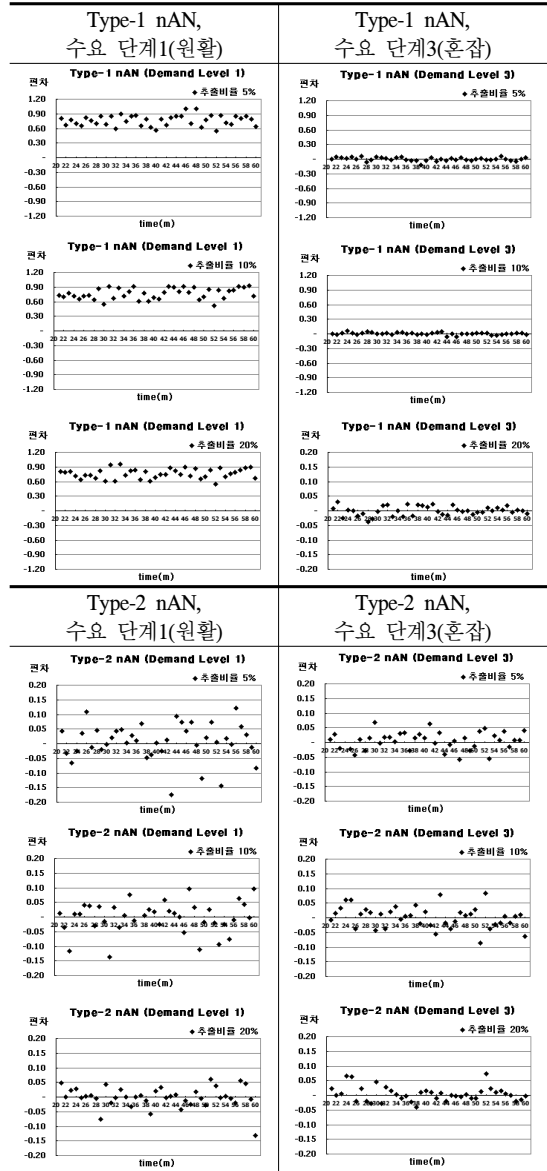
<Table 1> Sampling rate according to Traffic demand level

	T 수집 구간 차량 수 (N)	T 수집 구간 차량별 속도 평균 (\bar{Y})	T 수집 구간 차량별 속도 표준 편차 (σ)	T 수집 구간 C (= $\frac{\sigma}{\bar{Y}}$)	상대 오차를 이용한 추출 비율 (f)
원활	1,569	7.88	5.46	0.69	0.1092
지체	3,455	5.08	5.11	1.01	0.1051
혼잡	4,622	4.11	4.75	1.15	0.1033

<표 2> 참 값과 추출비율에 따른 nTTI와의 차이
 <Table 2> Difference of true nTTI and sample nTTI



<표 3> 참 값과 추출비율에 따른 nAN와의 차이
 <Table 3> Difference of true nAN and sample nAN



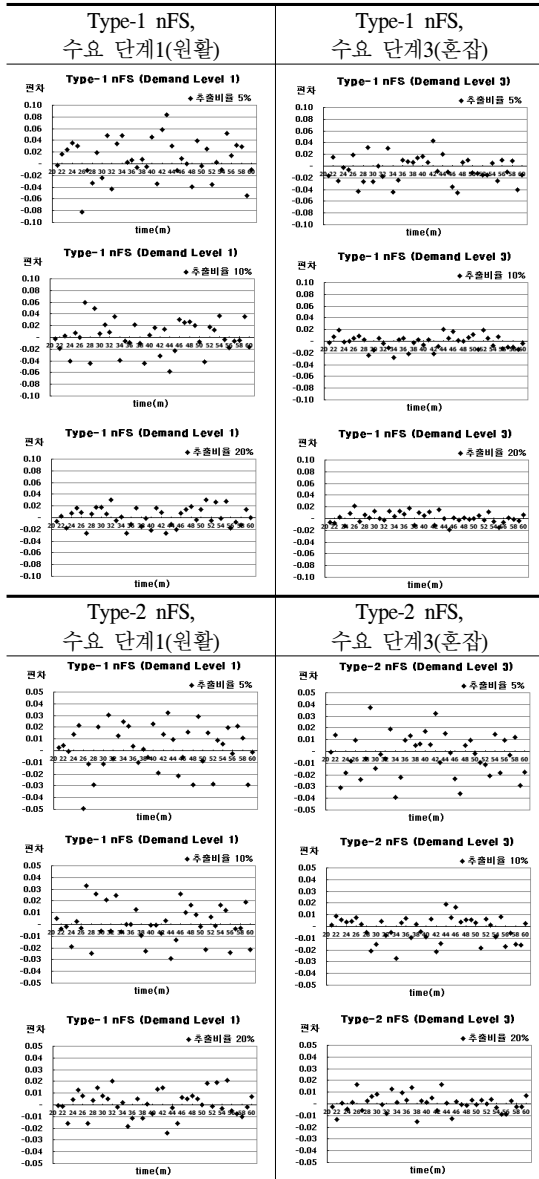
는 지표라 하기 어려워 보인다.

Type-2 nTTI의 경우에도 추출비율이 증가할수록 참 값과 추출비율에 따른 지표 값의 차이가 점점 줄어들고 있음을 알 수 있다. 이는 적정 프로브차량 추출비율의 결정방법에서 추출비율 f 가 허용오차 d 와 반비례 관계이므로 추출비율을 증가시킬수록 허용오차를 줄일 수 있음과 동일한 결론을 나타낸다.

마찬가지로 Type-1 nAN과 Type-2 nAN에서도 참 값과의 차이는 추출비율이 증가할수록 0에 가깝게 나타나고 있다. 또한 nAN 지표는 동일한 추출비율 하에서 수요 단계가 높아짐에 따라 개별차량 속도의 변동성이 줄어 차이가 0에 가까워짐을 알 수 있다.

또한 Type-1 nFS와 Type-2 nFS에서도 참 값과의 차이는 동일 수요 단계 하에서 추출비율이 증가할수

〈표 4〉 참 값과 추출비율에 따른 nFS와의 차이
 〈Table 4〉 Difference of true nFS and sample nFS



록 0에 가깝게 나타나며, 동일한 추출비율 하에서 수요 단계가 높아짐에 따라 차이가 줄어들고 있음을 알 수 있다.

III. 결 론

본 논문에서는 거시교통류 모니터링을 위한 세 가

지 지표를 살펴보고, 이러한 지표를 신뢰성 있는 지표로 산출하기 위한 적정 프로브차량 비율을 결정하기 위해 샘플링기법을 이용하는 방법에 대하여 연구하였다.

시뮬레이션 자료를 이용하여 모의실험을 실시한 결과 목표 수준을 달성하기 위한 적정 추출비율은 교통수요가 증가함에 줄어들며, 이는 교통량이 많을수록 추출해야하는 표본의 수가 작아진다는 사실을 보여준다. 또한 표본추출비율에 따른 지표 값 변동을 비교 검토하기 위해 각 수집구간 T를 층(strata)으로 설정한 후 각 층에서 차량을 무작위로 5%, 10%, 20% 비율로 추출하여 거시모니터링 지표의 변동을 살펴보았다. Type-1 nTTI의 경우 참 값과의 차이가 매우 큰 값을 보여 신뢰성 있는 지표라 보기 어려웠으며, Type-2 nTTI의 경우 추출비율이 증가할수록 참 값과의 차이가 점점 줄어들고 있음을 알 수 있었다. Type-1 nAN와 Type-2 nAN, Type-1 nFS와 Type-2 nFS는 참 값과의 차이는 동일 수요 Level하에서 추출비율이 증가할수록 0에 가깝게 나타나며, 동일한 추출비율 하에서 수요 Level이 높아짐에 따라 참 값과의 차이가 줄어들고 있음을 확인하였다.

모의실험 결과에 의해 알 수 있듯이 거시 교통류 모니터링 지표 산출을 위한 적정 프로브차량 비율은 목표상대오차 d_0 , 링크통과차량의 수, 자료의 모변이 계수 C에 의존하므로 교통량과 링크 특성에 따라서 적정 프로브차량의 비율을 결정하여야 한다. 또한 추출비율이 증가할수록 원 자료와 더욱 유사해지므로 허용오차를 줄이기 위해서는 추출비율을 높이는 방안을 선택해야 한다.

참 고 문 헌

- [1] Texas Transportation Institute, *The 2002 Urban Mobility Report*, pp. 5~9, June 2002.
- [2] D. L. Gerlough and M. J. Huber, *Traffic flow theory*, A Monograph. Transportation Research Board, Special Report 165, 1975.
- [3] R. Hennan and I. Prigogine, "A two-fluid approach to town traffic," *Science*, vol. 204, pp. 148-151, Apr. 1979.

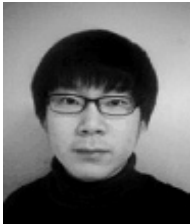
- [4] S. L. Lohr, *Sampling: Design and Analysis*, Duxbury Press, pp. 23-58, Jan. 1999.
- [5] 김종호 외 11명, *표본조사입문(개정판)*, 자유아카데미, pp. 239-243, Aug. 2006.

저자소개



심 정 숙 (Shim, Jung-Suk)

2009년 ~ 현재 : 서울시립대학교 컴퓨터통계학과 통계학전공 박사과정
2009년 2월 : 서울시립대학교 컴퓨터통계학과 통계학전공 석사
2005년 2월 ~ 2007년 12월 : (주) 씨아이씨 코리아, Data Analyst
2005년 2월 : 경기대학교 자연과학대학 수학전공 이학사



허 현 무 (Heo, Hyun-Moo)

2009년 ~ 현재 : 서울시립대학교 컴퓨터통계학과 통계학전공 석사과정
2008년 2월 ~ 2008년 12월 : (주) 다이나비전, Data Analyst
2008년 2월 : 수원대학교 자연과학대학 통계정보학과 이학사



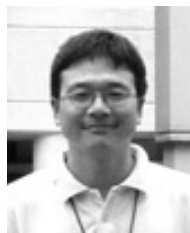
엄 기 중 (Eom, Ki-Jong)

2009년 2월 ~ 현재 : 서울시립대학교 교통공학과 석사과정
2009년 2월 : 서울시립대학교 교통공학과 공학사



이 청 원 (Lee, Chung-Won)

2004년 ~ 현재 : 서울시립대학교 교통공학과 부교수
1999년 ~ 2004년 : 서울시정개발연구원 연구위원
1998년 : University of Texas at Austin, 토목공학과 (교통공학박사)
1988년 : 서울대 토목과 교통공학 석사
1986년 : 서울대 토목과 공학사



안 수 한 (Ahn, Soo-Han)

2004년 3월 ~ 현재 : 서울시립대학교 통계학과 부교수
2003년 9월 ~ 2004년 2월 : IMA, The Univ. of Minnesota, Visiting Scholar
2001년 9월 ~ 2003년 8월 : AT&T Research Lab, Post-Doc.
2001년 3월 ~ 2001년 8월 : 서울대학교 복잡계통연구센터, 연구원
2000년 2월 ~ 2001년 2월 : 로티스연구소, 과장
2000년 : 서울대학교 통계학과 이학박사
1994년 : 서울대학교 계산통계학과 통계학전공 이학석사
1992년 : 서울대학교 계산통계학과 통계학전공 이학사