

구간통행시간정보 수집을 위한 적정 프로브차량 대수 산정 연구

A Study on Calculating the Optimal Number of Probe Vehicles for Gathering the Link Travel Time Information

이정철

(서울대학교 환경대학원 석사과정)

이영인

(서울대학교 환경대학원 교수)

목 차

I. 서론	3. 프로브 차량 대수 결정
II. 선행 연구 검토	IV. 실험 결과 및 분석
1. 관련 이론 고찰	1. 구간 통행 시간 분포
2. 선행 연구 고찰	2. 적정 프로브 차량 대수
III. 연구 방법	V. 결론 및 연구의 한계
1. 데이터 구축 방법	
2. 신뢰성 있는 교통정보	참고문헌

I. 서론

지능형교통체계(Intelligent Transportation System, ITS)는 도로와 차량 등 기존 교통의 구성요소에 첨단 전자·정보·통신 기술을 적용시켜 교통시설을 효율적으로 운영하고, 통행자에 유용한 정보를 제공하여 안전하고 편리한 통행과 전체 교통체계의 효율성을 기하도록 하는 차세대 교통체계이다. ITS는 도로 상에서 수집되는 차량 통행 시간, 속도 및 포화도 등을 실시간으로 수집, 가공, 분석하여 교통정보 제공 및 실시간 신호제어, 교통류 제어 등을 수행한다. 이를 위하여 주요 도로에 루프 검지기를 설치하여 통행 속도 및 점유율을 수집하고, 주요 교차로에 CCTV를 설치하여 교통상황을 감시하고 있다.

그러나 기존의 루프 검지기를 통한 지점 교통정보는 오차 및 고장 등으로 인해 결측 정보가 다수 존재하고, 지점 교통정보를 구간 교통정보로 변환하는 과정에서 오류가 발생하는 등 실제 교통상황을 제대로 반영하지 못하는 문제가 발생하고 있다. 이에 대한 대안으로 구간 검지를 통한 구간 교통정보 수집 방식이 대두되었다. 구간 교통정보는 지점 교통정보에 비하여 속도나 소통 정보에 관하여 더욱 정확한 정보를 포함하여, 적절한 교통 대응 정책을 수립할 수 있게 된다.

프로브 차량을 통하여 구간 교통정보를 생산하기 위해서는 교통정보 제공 주기 동안에 프로브 차량이 통과하여야 한다. 또한 신뢰성 있는 교통정보를 생산하기 위해서는 많은 프로브 차량이 해당 구간을 통과하여야 한다. 그러나 차량단말기의 설치에 따른 비용 때문에 프로브 차량을 제한 없이 확대할 수는 없다.

또한 현재 한국에서는 택시 등 대중교통 수단이 도시 전체를 계속해서 운행하고, OBE 설치에 용이하므로 (주)로티스, (주)SK와 같은 사업체에서 대중교통 수단을 프로브 차량으로 하여 교통정보를 수집, 생산하고 있다. 그러나 택시 등 대중교통 수단을 통해 수집된 교통정보는 도로 이용자의 대부분을 차지하는 일반차량과는 다르기 때문에 별도의 보정 과정이 필요하고, 또한 오류도 상당히 크다. 그러므로 신뢰성 있는 구간 교통정보를 생산 및 제공하기 위해서는 일반차량을 프로브 차량으로 하여 교통정보를 수집해야 할 필요가 있다.

이에 본 연구는 일반 프로브 차량을 이용하여 구간 교통정보를 수집할 때 신뢰성 있는 교통정보를 생산하기 위하여 필요한 적정(최소) 프로브 차량의 대수를 산정하고자 한다.

II. 선행 연구 검토

1. 관련 이론 고찰

1) 링크 당 필요한 정보 개수

링크 당 필요한 정보의 개수란 교통정보 제공 주기 동안에 신뢰할만한 교통정보 생산을 위하여 최소한도로 수집되어야 할 프로브 차량의 대수를 의미한다. 산정 주기 동안 해당 링크를 통과한 전체 차량의 운행 특성을 잘 반영하고, 연구자가 미리 지정한 오차 한계를 넘지 않아야 한다.

일반적인 통계 기법으로 링크 당 필요한 정보의 개수를 구하면 다음과 같다.

$$n \geq \left(\frac{t_{\alpha} \cdot \sqrt{n-1} \cdot s}{\epsilon_{\alpha}} \right)^2$$

또한, 오차 한계를 절대치로 하지 않고 각 링크별로 상대적인 오차로 필요 프로브 차량을 산정할 수 있다. Shrinivasan 과 Jovanis(1996)는 다음과 같은 적정 표본수를 제안하였다.

$$n_{lt} \geq \left\{ \frac{\Phi^{-1}[(1+r)/2]}{\epsilon_{\max} \cdot (\mu_{lt}/\sigma_{lt})} \right\}^2 = n_{plt}$$

2) 누락 링크 허용률

① 모든 링크를 주행할 확률이 같은 경우

프로브 차량이 모든 링크에서 주행할 확률이 같다고 하면, 임의의 한 링크에 산정주기 동안 x 대의 프로브 차량이 위치할 확률은 다음과 같이 이항분포로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \Pr\{X=x, i=1,2,\dots,x\} &= {}_N C_x p^x q^{N-x} \\ &= {}_N C_x \left(\frac{L_p}{L}\right)^x \left(1 - \frac{L_p}{L}\right)^{N-x} \end{aligned}$$

이항분포에서 N 의 값이 커지면 푸아송분포로 근사화되므로, 임의의 한 개의 링크에 단 한 대의 프로브 차량도 진행하지 않았을 확률은 다음과 같다.

$$\Pr(X=0) \simeq e^{-Np}$$

② 모든 링크를 주행할 확률이 다를 경우

산정 주기 동안 L_j 링크를 통과한 프로브 차량 대수를 X_j 라 하면,

$$\Pr[X_j = x_j, j=1,2,\dots,k] = \frac{N!}{x_1!x_2! \dots x_k!} \prod p_j^{x_j}$$

이때, L_j 를 통과한 프로브 차량의 대수가 n_{\min} 대 이상일 확률이 적어도 β_{\min} 이상이 되기 위해서는 아래를 만족하는 최소의 N 을 찾는다.

$$\Pr[X_j \geq n_{\min}, j=1,2,\dots,k] \geq \beta_{\min}$$

③ 링크 길이 및 도로 유형 반영

위의 모형들은 링크의 특성을 일반화 하고, 프로브 차량의 통과 여부를 통해 프로브 차량 대수를 산정하였다. 그러나 Li 등(2005)은 기존에 Chris Drane 등(2001)이 링크의 밀도와 길이를 반영한 $\bar{E} = 1 - e^{-\alpha\rho L}$ 에 도로 유형 계수와 GPS 위치 정확도를 추가하여 새로운 모형을 제시하였다.

$$F_Q(t) = \sum_{i=1}^N e^{-\alpha\rho_i(t)L_i[1-h_i p_i]}$$

위의 공식을 통하여 누락 링크 허용률을 이용한 프로브 차량 산정에서 링크의 길이 및 위계, 위치 정확성까지 모두 반영할 수 있게 된다.

2. 선행 연구 고찰

1) 네트워크 대상 연구

고승영(2002)은 '교통정보 수집을 위한 프로브 차량대수 모형 개발'에서 링크당 평균 통행시간 자료수, 프로브 차량 밀도의 최소확률, 자료 미수집 링크의 허용비율의 3가지 결정기

준을 제시하여 서울시의 사례에 비추어 적정 프로브 차량을 구하였다. 이 때 시스템의 신뢰도와 링크 통행시간 정보의 갱신 주기, 프로브 차량의 한 주기 당 통과 링크 숫자, 링크 교통 상태 등을 고정하였고, 통행시간 자료수, 프로브 차량의 밀도, 미수집 링크의 비율이 클 수록 더 많은 프로브 차량이 필요한 것을 나왔다.

Cheu 등(2002)은 'Probe Vehicle Population and Sample Size for Arterial Speed Estimation'에서 시뮬레이션 툴인 INTEGRATION을 이용하여 싱가포르의 Clementi town을 대상으로 교통량, 프로브 차량 비율, 차두간격을 조작하면서 적정 프로브 차량의 수를 구하였다. 그 결과 프로브 차량의 비율이 15%를 넘어가게 되면 더 이상 증가하여도 신뢰도가 높아지지 않게 됨을 나타냈다.

2) 교통류 특성 반영 연구

Shrinivasan 등(1996)는 미국 California주 Sacramento시의 440.3km²에 설치된 174개의 노드와 248개의 링크(고속도로 73개, 간선도로 175개)에 대하여 필요 프로브 차량 숫자를 산정하였다. 이 때 전체 프로브 차량의 대수 및 산정주기, 산정주기 당 필요한 프로브 차량 대수를 변화시키면서 분석하였다.

그 결과, 고속도로는 간선도로에 비하여 속도가 빨라 프로브 차량이 해당 링크를 통과할 확률이 높기 때문에 프로브 차량의 숫자가 적어도 문제가 되지 않음을 밝혔다. 또한 산정주기를 10분으로 했을 때 가장 신뢰할만한 결과가 나왔으며, 산정주기 10분, 링크를 통과하는 최소 프로브 차량 대수 3대로 고정하였을 경우, 전체 링크의 40%에서 정보를 수집하기 위해서는 900대, 60%는 1200대, 80%는 3500대의 프로브 차량이 필요한 것으로 나타났다.

이정희 등(2002)은 '교통정보제공을 위한 구간통행시간 산출 방법론 연구'에서 연속류와 단속류, 그리고 대구간의 교통통행 특성을 살펴보고, 중심극한정리를 통한 통계적 표본결정식과 변이계수 추정을 통하여 적정표본수를 구하였다.

III. 연구 방법

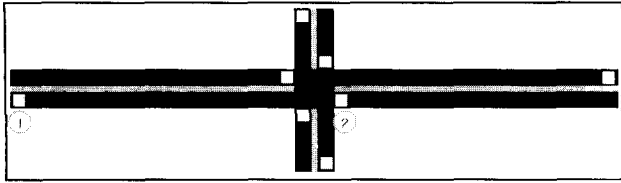
1. 데이터 구축 방법

1) DSRC(Dedicated Short Range Communication)

DSRC(근거리 전용 통신)는 노변장치라고 불리는 도로변에 위치한 소형기지국과 차량 내에 탑재된 차량 탑재장치 간의 단거리 전용통신으로서 ITS의 서비스를 제공하기 위한 통신수단의 하나이다. DSRC는 노변과 차량 간에 양방향 근거리 통신(반경 100m 이하), 일 대 다수의 통신기능, LOS (Line of Sight)를 유지할 수 있는 통신환경, 고속전송(~1Mbps) 기능, 값싸고 단순한 변조기술을 사용하는 특징을 갖고 있다.

본 연구에서 이용한 교통정보는 아래의 그림과 같이 수집된다. 노변기지국은 각 링크의 상류부에 위치하여 프로브 차량이 새로운 링크에 진입하게 되면 그 차량이 통과한 시각을

기록하게 된다. 이렇게 수집된 링크 진입시각은 차량 ID 매칭을 통하여 해당 링크 통행 시간을 산정하게 된다.



<그림 1 DSRC 시스템 내의 RSE 위치>

2) CORSIM(CORridor SIMulation)

CORSIM은 미연방도로국(FHWA)의 미시적 교통시뮬레이션 모형으로 TSIS의 핵심적인 부분이다. CORSIM은 간선 가로망의 시뮬레이션에 널리 이용되고 있는 NETSIM모형과 고속도로나 고속화도로에 적용되는 FREESIM 모형이 통합된 교통 시뮬레이션 툴이다. 이 프로그램은 사용자가 교통환경에 따라 많은 인자들을 지정할 수 있게 하여 상황에 맞춰 모형을 조정하기에 상당히 편하게 설계되어 있다. 하지만, NETSIM의 경우 신호시간 설계기능이 없어 교통상황에 대한 실험만이 가능하다. 그러나 CORSIM-RTE를 이용하여 프로 그래밍을 하면, COSMOS와 같은 실시간 신호제어나 CYCLE FREE도 구현 가능하다. CORSIM은 매우 신뢰할 수 있는 모 의시험 분석도구로 검증되어 많은 연구에서 활용되고 있다.

본 연구에서는 NETSIM으로 분석 대상 네트워크를 구현하고, CORSIM-RTE를 이용하여 DSRC 시스템을 구축하여 교통정보를 수집하기로 한다.

2. 신뢰성 있는 교통정보

1) 이상치 제거

프로브 차량에 의한 교통정보가 실제 교통류의 특성을 반영하는지를 확인하기 위해서는 실제 교통류의 대표값을 알아야 한다. 하지만 일정 시간을 정차한 차량이나 통행 흐름을 저해하는 고속 혹은 저속 주행하는 차량이 있으면, 실제 교통류의 대표값을 심각히 왜곡하게 되어 신뢰성 판단을 저해하게 된다. 또한 프로브 차량에 의한 정보의 경우 수집되는 정보의 개수가 적으므로 이상치를 제거하지 않고 정보를 수집할 경우 필요 프로브 차량 숫자가 과다 추정되는 등의 문제가 발생할 수 있다. 특히, 본 연구에서 사용하는 교통 정보는 구간 통행 시간으로 특정 이상치 수개가 평균 통행 시간을 심각하게 왜곡할 수 있다.

이를 위하여 본 연구에서는 이상치를 제거하는 새로운 방안을 제시한다. 단일 신호교차로의 경우 정상치의 최소값은 $\left(\frac{\text{링크길이}}{\text{자유속도}}\right)$ 가 되고, 최대값은 경험적인 수치로서 85percentile 안에 들지 못한 통행시간을 신호주기로 나누어 n 주기의 형태로 나타낸다.

$$\frac{\text{링크길이}}{\text{자유속도}} < \text{정상치} < n \text{신호주기}$$

프로브차량의 경우 프로브 차량으로 지정이 되었다 하더라도 위의 정상치에 포함이 되지 않는다면 정보를 삭제하는 것

으로 한다.

단, 본 연구에서는 돌발상황에 의한 갑작스런 지체 증가는 반영하지 않으므로, 돌발상황에 의한 통행시간 증가는 고찰하지 않는다. 그러나 실제 교통상황에서는 교통사고나 갑작스런 통행량 증가로 인한 돌발상황이 빈번히 발생하므로 이에 대한 대책이 필요하다. 이를 위하여 해당 네트워크에 대한 historic pattern data를 구축하여 분석하는 과정이 필요하다.

2) 신뢰구간 산정

전체 교통량에 의해 생성된 통행시간과 프로브 차량에 의해 생성된 통행시간이 완전히 일치하기는 거의 불가능하다. 그러므로 프로브 차량에 의한 정보가 신뢰할 만한 것인지에 대한 판단을 위해서는 신뢰구간을 정하여야 한다. 만약 차량의 통행시간 분포가 정규분포를 띠면, 평균과 표준편차를 이용한 신뢰구간을 선정할 수 있다. 그러나 차량의 통행시간 분포는 항상 정규분포인 것은 아니며, 매 산정 주기마다 신뢰구간이 변경되어 이용자의 신뢰를 얻을 수 없다.

선행 연구들은 신뢰 구간에 대하여 오차값을 미리 지정하여 필요 프로브차량 대수를 산정하여 왔다. 오차값은 절대적인 오차값과 상대적인 오차값이 있을 수 있다. 만약 교통정보가 구간 통행 속도라고 하면 링크의 길이에 따른 변화가 발생하지 않으므로 절대적인 오차값을 반영할 수 있으나, 본 연구에서는 생성되는 교통정보가 구간 통행시간이므로 링크의 길이에 따라 허용할 수 있는 오차의 폭이 달라져야 한다. 그러므로 본 연구에서는 신뢰구간을 상대적 오차(ϵ_r, \bar{x} : ϵ_r 은 오차 허용 비율, \bar{x} 는 구간 평균 통행시간)를 사용하며, 오차 허용 비율은 Shrinivasan 등(1996)의 연구에서 지정한 10%로 한다.

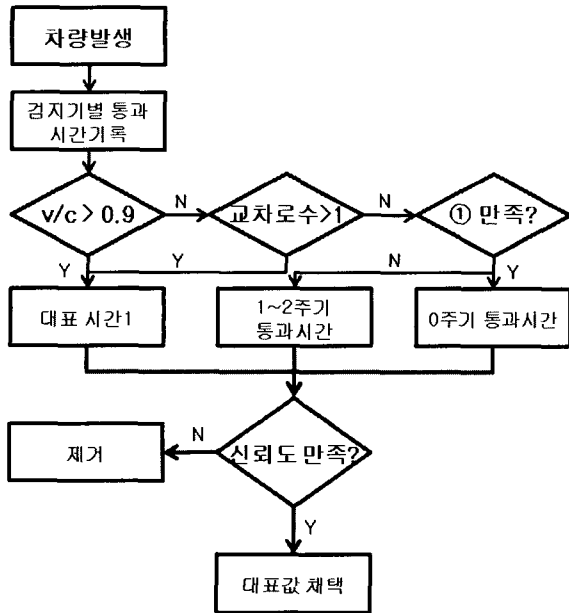
3. 프로브 차량 대수 산정

1) 링크 통행시간 산정

링크 통행시간을 산정하는 방법은 이정희 등(2002)의 연구를 수용하여 통행시간 분포에 따라 통행시간 결정 방식을 달리한다. 즉, 비포화시의 단일교차로 구간 경우에는 0주기에 통과한 차량들과 1주기 이상에 통과한 차량들을 구분하여 통행시간을 산출한다. 즉, 프로브 차량을 통하여 2종류의 통행시간을 산출하여야 한다. 그리고 다른 경우, 다시 말하면 2개 이상의 교차로를 지나는 구간이나, 포화 상태의 단일 교차로를 대상으로는 프로브 차량을 이용하여 1개의 대표값을 산출한다.

- 0주기 통과 차량 $\left(\frac{\text{링크길이}}{\text{자유속도}}\right) \leq \text{통행시간} \leq \text{녹색시간} - \text{오펙} \dots \dots \textcircled{1}$
- 1주기 후 통과 차량 $\text{적색시간} \leq \text{통행시간} + \text{지체시간} \leq \text{신호주기} \dots \dots \textcircled{2}$
- 1~2주기 후 통과차량 $\text{적색시간} \leq \text{통행시간} + \text{지체시간} \leq 2 \times \text{신호주기} \dots \dots \textcircled{3}$

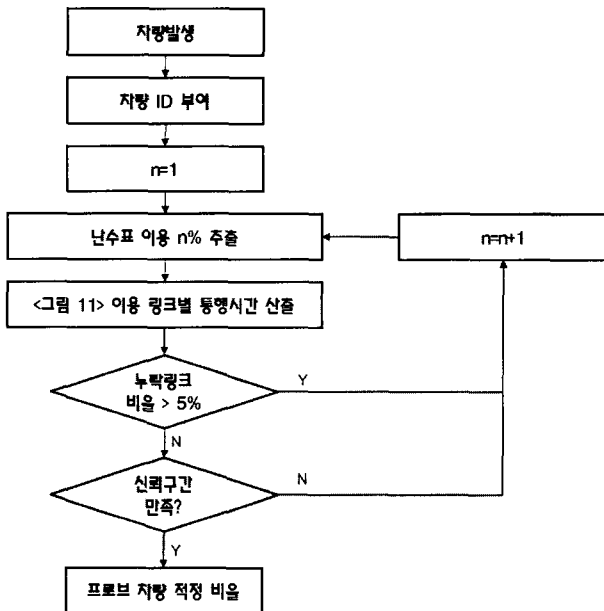
아래의 순서도에 따라 포화상태이거나 다구간 교통정보를 산출할 때에는 대표 시간 정보 1개로 교통정보를 제공하며,



<그림 2 링크 통행시간 판단 순서도>

비포화 단일 교차로에서는 0주기에 통과한 차량의 시간과 1 주기 이상에 통과한 차량의 시간으로 나누어 산출을 한다. 이 방법을 통하여 전체 통과 차량의 통행시간은 물론 비교 대상은 프로브 차량의 통행시간도 산출한다.

2) 프로브 차량 대수 산정



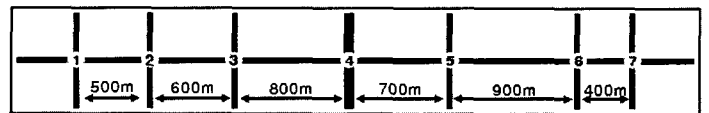
<그림 3 적정 프로브 차량 대수 산정 순서도>

앞의 과정을 통해 얻어진 각 링크별 통과시간 자료를 토대로 <그림 3>과 같은 순서도를 통해 적정 프로브 차량의 비율을 산정한다. 시뮬레이팅한 전체 시간 동안 발생된 차량 전체에 ID를 부여하고, 전체 차량 중 n% 만큼의 프로브 차량을 추출한 후, 각 링크별로 통행시간 자료를 수집한다. 이때 전체 링크 중에서 누락 링크의 비율이 5%를 초과하거나 프로브 차량을 통해 얻어진 구간 통행시간 자료가 앞에서 설정한

신뢰구간 안에 포함되지 않으면 (n+1)%의 프로브 차량을 새롭게 추출하며, 이 과정을 반복 수행하여 최종적으로 누락링크 비율과 신뢰구간의 두 가지 조건을 모두 만족하는 프로브 차량의 비율을 구하게 된다.

단, 본 연구는 임의성(randomness)을 전제로 이루어지는 연구이므로 임의에 의한 잘못된 결과가 발생할 수 있다. 그러므로 1회의 실험만으로는 적정 프로브 차량의 대수를 산정하였다고 할 수 없다. 그래서 본 연구에서는 위의 과정을 10회 반복 실험을 수행하며, 20회 반복 실험 중에 6~8회 이상을 만족하는 최소의 프로브 차량 비율을 최종적으로 선택하고자 한다.

IV. 실험 결과 및 결과 분석

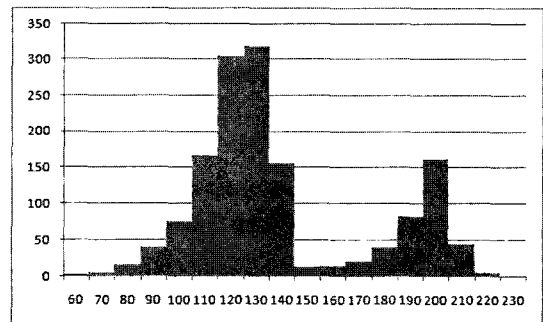


<그림4> 대상 네트워크

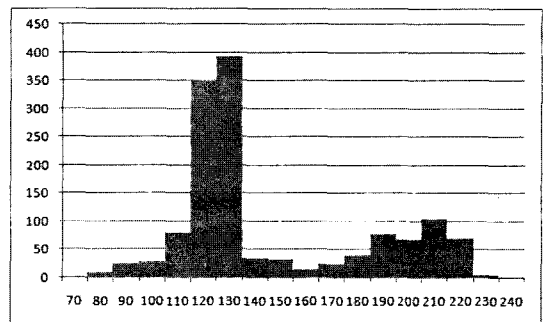
본 연구는 <그림4>와 같은 네트워크를 구축한 후, 단일교차로 3개(②→③, ④→③, ③→②)와 다중교차로 1개(②→⑥)를 분석하였다. 교통량은 V/C 0.6, 0.8으로 설정하여 총 8개의 네트워크 교통정보를 수집하였다. 그러나 일부 교차로 구간에서 기존의 연구와 다른 결과가 나오므로, 이를 감안하여 결과를 분석하도록 한다.

1. 링크 통행 속도 분석

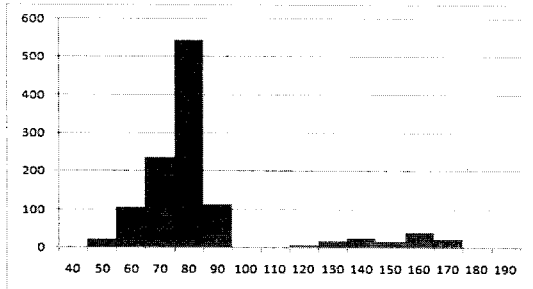
1) 단일교차로 분석



<그림 5 v/c 0.6 ④→③ 통행시간분포>



<그림 6 v/c 0.6 ②→③ 통행시간분포>



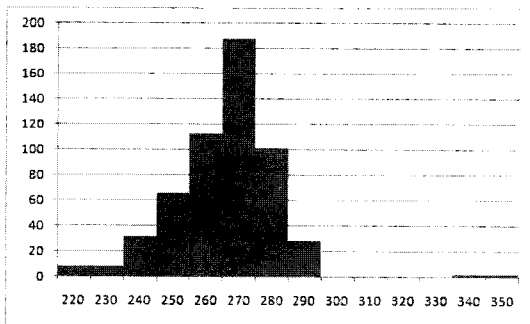
<그림 7 v/c 0.6 ③→② 통행시간분포>

위의 교차로들을 자유속도로 진행했을 경우 45초 내외의 링크 통행 시간이 나온다. v/c 0.6일 경우에는 0주기에 통과하는 차량이 다수 존재함을 알 수 있다. 특히 오프셋이 잘 맞는 ③→② 구간의 경우에는 차량의 대부분이 0주기에 통과하고 있다. v/c 0.8일 경우에는 대부분이 red에 도착하여 대기하다가 1주기 안에 통과하는 분포를 보이고 있다.

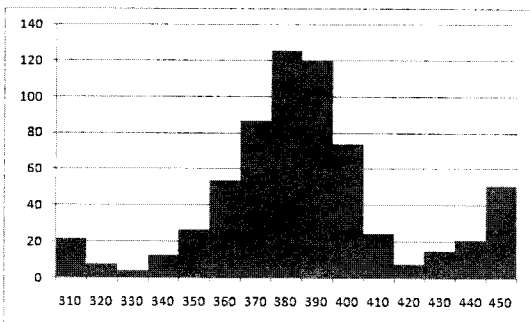
전체적으로 봤을 때 오프셋이 잘 맞는 ③→②구간의 경우 1개의 대표값을 채택하며, 그 외의 구간은 대표값을 2개 채택한다.

2) 다중교차로 분석

기존 문헌을 살펴보면 다중교차로의 경우 신호 대기 횟수가 거의 비슷하여 단일봉의 정규분포에 비슷한 분포를 보이는 것으로 나타난다. 실제로 CORSIM에서 시뮬레이팅 한 결과 역시 이와 비슷한 분포를 보인다. 단, 신호가 탄력적으로 운영되지 않아 때로는 3개의 봉이 나타나기도 한다.



<그림 11 v/c 0.6 ②→⑥ 통행시간분포>



<그림 12 v/c 0.8 ②→⑥ 통행시간분포>

2. 적정프로브 차량 대수 산정

적정 프로브 차량 대수를 산정하기 위하여 위의 <그림 3>

과 같은 순서도를 이용한다. 본 연구의 결과는 5분, 10분, 15분, 30분 주기에 따라 프로브 차량 1%~15%까지 추출한다. 이렇게 프로브차량으로부터 얻어진 통행시간이 신뢰구간 안에 분포 여부를 60%, 70%, 80%로 각각 나누어 분석을 실시하였다.

1) 단일교차로 분석

단일교차로의 경우 v/c 0.6일 경우에는 산정 주기 10분 또는 15분으로 신뢰율 60%의 경우 5% 내외, 신뢰율 70%의 경우 6~7% 내외의 프로브 차량을 통하여 신뢰할만한 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 30분 산정주기의 경우 신호 운영의 비탄력성으로 인하여 도리어 신뢰율이 많이 떨어지는 것으로 나타났다. v/c 0.8의 경우에는 전체적으로 일정한 경향을 나타내지 않고 있고, 특히 ④→③ 링크의 경우 단 한 경우도 신뢰할만한 결과가 나오지 않았고, ②→③ 링크의 경우 유일하게 산정주기 5분에서도 7%의 프로브 차량으로도 교통정보를 수집할 수 있는 것으로 나타났다.

2) 다중교차로 분석

다중교차로의 경우 구간의 길이가 2km가 넘는 관계로 짧은 산정주기 안에는 적절한 프로브 차량이 통과하지 않아 신뢰할만한 결과를 얻지 못했다. 특히 v/c 0.6의 경우에는 산정주기 30분 이상, 4% 이상의 프로브 차량 비율이 있어야만 신뢰할만한 결과를 얻었으나, v/c 0.8의 경우에는 산정주기 15분에서는 3% 이상, 30분 이상에서는 1%의 프로브 비율로도 신뢰할만한 결과를 도출할 수 있었다.

3) 소결

본 연구 결과 단일교차로의 경우 적정 산정주기는 10분~15분이며, 프로브 차량의 비율은 6% 내외이다. 단, 본 연구가 시뮬레이터 상에서 이루어져 실제로는 교통량이 많을수록 더 적은 프로브 차량의 비율로도 교통정보를 수집할 수 있으나, 본 연구에서는 교통량이 많을수록 신뢰율이 더 떨어지는 것으로 나타났다. 그리고 다중교차로의 경우 산정주기는 15분 이상이 되어야 하며, 교통량이 많을수록 더 적은 프로브 차량으로도 교통정보를 수집할 수 있었다.

V. 결과 및 향후 연구과제

본 연구는 CORSIM을 이용하여 모의적으로 교통량과 분석대상을 조작한 후 적정 프로브 차량 대수를 구하였다. 그 결과 단독 교차로의 링크는 신호 오프셋의 유무에 따라 속도분포가 쌍봉의 형태와 단일봉의 형태를 나타내는 것으로 나타났다. 그리고 교통정보 생산을 위한 프로브차량의 경우 링크의 특성에 따라 달라지지만 교통량이 적은 단일교차로의 경우 10~15분의 산정주기에서 5~7% 정도의 프로브 차량으로 교

<표 1 실험 결과>

산정주기		10분			15분			30분		
신뢰도		0.6	0.7	0.8	0.6	0.7	0.8	0.6	0.7	0.8
0	②→③	5%	8%		8%					
	④→③				5%	5%	14%	6%	10%	
6	③→②	3%	3%	7%	4%	6%	10%	7%		
0	②→③	3%	5%	7%	6%	13%				
	④→③							2%	2%	4%
8	③→②									
0.6 ②→⑥								4%	9%	
0.8 ②→⑥		4%			1%	3%	3%	1%	1%	1%

통정보를 수집할수 있으며, 다중교차로의 경우 산정주기는 교통량이 적으면 30분, 교통량이 많으면 15분 이상으로 해야 하고, 이 때의 프로브 차량의 비율은 1~4% 정도면 가능하다.

그러나 본 연구는 시뮬레이터 상에서 분석한 결과로 일반 운전자의 운행 행태를 정확히 반영하지 못함으로써 정확한 현실을 구현하였다고 할 수 없다. 또한 각 교차로 간 옴셋이 부정확하여, 전체적으로 신호에 의해 정지한 차량의 숫자가 매우 컸으며, 그에 따라 일부 단일 교차로의 경우 일반적인 쌍봉 형태의 통행 시간 행태를 보여주지 못하는 문제가 발생하였다.

그러므로 현재의 연구 결과는 실제 프로브 차량을 통하여 교통정보를 제공하고 있는 서울시를 대상으로 할 연구가 필요할 것으로 보이며, 실질적인 교통정보 제공을 위해서 신신호나 차세대형 신호가 운용 중인 네트워크를 대상으로 시뮬레이팅 할 필요가 있다.

또한

7. Wang Li, Wang Chuanjui, Shen Xiaorong, Fan Yuezuo / Probe Vehicle Sampling for Real-Time Traffic Data Collection / IEEE Conference / 2005. 9.
8. K.K.Srinivasan and P.P.Jovanis / Determination of Number of Probe Vehicles Required for Reliable Travel Time Measurement in Urban Network / Transportation Research Record 1537 pp.15-22 / 1999
9. M.A.Ferman, D.E.blumenfeld, X.Dai / An Analytical Evaluation of a Real-Time Traffic Information System Using Probe Vehicles / Journal of Intelligent Transportation Systems, vol.9 no.1 pp.22-34 / 2005

참고 문헌

1. 이영인, 이정희 / 교통정보제공을 위한 구간통행시간 산출 방법론 연구 - 적정 표본수 결정방법을 중심으로 / 대한교통학회지 2002. 6.
2. 고승영 / 교통정보 수집을 위한 프로브차량대수 모형 개발 / 대한교통학회지 / 2002. 8.
3. 고명수 / GPS를 이용한 링크 통행속도 수집 알고리즘에 관한 연구 / 서울시립대학교 / 2006. 8.
4. 신강원 / 프로브 도착 시간과 검지기 교통량을 이용한 링크 통행시간 추정 / 아주대학교 / 2003. 2.
5. 박성식, / 교통정보 수집을 위한 프로브차량대수 산정에 관한 연구 / 명지대학교 / 2001
6. Ruey Long Cheu, Chi Xie, Der-Horng Lee / Probe Vehicle Population and Sample Size for Arterial Speed Estimation / Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering 2002