

미시 교통류 모형을 이용한 단속류 교통정보 수집용 검지기의 최적 위치 결정

Optimum Detector Location for Collecting Traffic Information using Microscopic Traffic Simulator for Interrupted Flow

오 기 도

김 영 찬

(서울시립대학교 대학원 교통공학과) (서울시립대학교 도시공학과 부교수)

목 차

- | | |
|--------------------|--------------------|
| I. 서론 | 2. 시뮬레이션 모형의 개요 |
| II. 기존 연구의 검토 및 현황 | 3. 시뮬레이션 모형의 알고리즘 |
| 1. 국내의 검지기 설치 현황 | 4. 시뮬레이션 모형의 비교 |
| 2. 국외의 검지기 설치 현황 | IV. 검지기의 최적 위치 결정 |
| 3. 관련 연구 검토 | 1. 현장 검지기 자료 |
| III. 시뮬레이션 모형의 개발 | 2. 시뮬레이션을 통한 검지 특성 |
| 1. 기존 모형의 고찰 | V. 결론 |
-

ABSTRACT

본 논문에서는 추종 모형을 이용한 미시 교통류 시뮬레이션 모형을 개발하고, 이 모형을 통한 시뮬레이션을 통하여 단속류에서 검지기의 설치 위치에 따른 검지 특성을 알아보고, 교통정보 수집용의 검지기의 최적 위치에 대해 평가하였다.

검지기로부터 발생하는 교통량, 점유율, 속도 자료중 링크의 통행시간을 가장 잘 반영하는 것은 점유율이며, 점유율에 의한 검지기의 최적위치는 정지선으로부터 150~250m이다. 점유율 다음으로 통행시간을 잘 반영하는 자료는 지점속도로서 점유율보다는 상관관계가 낮지만, 양호한 설명력을 가지는 것으로 보인다. 교통량 자료는 상관관계가 낮으며, 교통량에 의한 위치 선정은 각 모의실험 결과에서 일관적이지 않아 적절한 설명변수가 아니라고 판단하였다.

모든 경우에서, 정지선이나 링크 최상류에 위치한 검지기로부터의 자료는 통행시간과 독립적이므로 이러한 검지기는 교통정보 수집용으로 사용할 수 없으며, 일반적인 검지기의 최적 위치는 정상상태의 교통류뿐만 아니라 대기행렬내에 존재하여 매우 혼잡한 상태를 경험할 수 있는 위치라고 할 수 있다.

1. 서론

교통정보에 대한 사회적 수요가 확대됨에 따라, 종전의 검지기 설치 목적이 교통량 및 포화 교통류를 계측 등의 교통관리적인 차원이었다면, 향후 요구되는 검지기의 역할은 교통 상태의 효율적인 파악과 정확한 교통정보 제공에 있다. 그러나, 도시 간선도로에서 검지기의 설치 위치는 단속류가 가지는 불확실성과 기존 검지기와는 상이한 목적 때문에, 교통정보 제공을 위한 검지기의 최적 위치를 선정하는 것은 매우 어려운 일이다.

특히, 단속류 시설에서는 신호 제어에 의한 대기행렬의 발생, 교통류의 주기적 단절 현상 및 과포화상태의 발생으로 인하여, 이와 같은 검지기 자료를 분석하고 이용하는데 어려움이 많으며, 검지기 자료 자체의 신뢰성도 낮아지는 경우가 발생한다. 따라서, 검지기의 주요 수집 자료인 교통량과 점유율 자료는 검지기의 링크 상 설치위치에 따라 매우 다양한 속성을 가지게 된다. 그러므로, 단속류에서 검지기 자료를 분석하기 위해서는 대기행렬내의 차량의 움직임과 과포화된 교통류 상태를 정확히 분석할 수 있어야 한다.

따라서, 본 연구에서는 추종이론(car-following model)을 적용한 미시 교통류 시뮬레이션 모형(microscopic traffic simulation model)을 개발하고, 이 모형을 이용하여 검지기의 위치에 따른 다양한 자료의 속성을 파악하며, 효율적인 정보 수집을 위한 검지기의 최적 위치를 제시하고자 한다. 또한, 검지기 자료와 통행시간과의 분석을 통하여 통행시간 추정 기법을 제시한다.

II. 기존 연구의 검토 및 현황

1. 국내의 검지기 설치 현황

현재 서울을 비롯한 대도시에는 교통제어용 또는 교통 자료 수집 용도의 루프 검지기(loop detectors)가 매설되어 운영중이다. 서울시의 경우, 신신호 시스템에 의한 검지기를 제외하고 97년 5월 현재 612개의 루프 검지기가 매설되어 있으며[9], 부산광역시에는 교차로의 소통상태를 파악하기 위한 목적으로 98년 2월 현재 1,420개의 루프 검지기를 운영중이며, 광주광역시에는 신호시간을 조정하고 교통량 자료를 수

집하기 위한 목적으로 98년 5월 현재 620개의 루프 검지기가 운영중이다[8].

최근에 설치된 광주광역시 검지기 설치 범위는 전체적으로 정지선으로부터 약 350m내에 설치되어 있으며, 부산 및 서울의 기존 검지기의 위치는 상류와 하류에 대한 구체적인 기준없이 유입부에 설치된 경우와 정지선 근처에 설치되어 있다. 구체적인 배치 원칙을 가지고 있는 신신호 시스템의 대기행렬 예측용 검지기의 위치는 250m이다[10].

2. 국외의 검지기 설치 현황

SCOOT 시스템에서 검지의 목적은 수요, 대기행렬(queue), 혼잡(congestion), 앞막힘(spill back)을 측정하는 것이며, 검지기의 위치는 상류 교차로 정지선으로부터 하류에 100~200m 거리에 두고 있다. 검지기로는 현재 루프 검지기(inductive loop detector)를 사용하고 있으며, 경우에 따라 링크의 중간 지점(mid-link)에 위치시키기도 한다.

호주의 SCATS는 전적으로 루프 검지기를 사용하고 있으며, 모든 검지기는 보통 정지선이나 그 부근에 설치된다. 또한 검지기는 기능적으로 전략·전술적 검지기로 분류되며, 전략적 검지기는 각 차선마다 하나씩 설치되며 길이는 4.5m이다. 이와 함께 추가적인 전략적 검지기가 정지선에서 떨어진 위치에 설치되어 차량 대기행렬의 정보를 얻을 수 있으며, 보통은 녹색시간의 이용률과 포화교통류율을 측정하기 위하여 정지선 부근에 설치된다.

일본의 ATCS의 검지기 배치는 중요 교차로의 각 유입부마다 교통량이 많은 하나 이상의 차선에 두는데, 각 유입부의 정지선으로부터 상류 측 150m, 300m, 1000m에 설치하고 있다. 여기서 150m에 존재하는 검지기는 교통량, 대기행렬, 지체제어용이며, 300m이후의 검지기는 혼잡 측정에 목적이 있다.

주요노선에 대한 검지기의 배치는 다음과 같다. 즉, 대기행렬 제어용으로는 기본적으로 200~250m마다 설치하는 것이 바람직하며 일반적으로는 검지기 간격이 500m 이하가 되도록 설치한다. 그리고 여행시간 제어용으로는 여행시간 추정오차를 10%정도로 억제하기 위해 검지기 간격이 250m 이하가 되도록 설치한다[11].

3. 관련 연구 검토

Rouphail[1]은 현장에 대한 통행시간 측정(floating car technique)을 통하여 검지기 자료와 통행시간과의 관계를 실험하였다. 이 연구에서는 점유율의 증가함에 따라 통행시간과의 관계를 자유교통류 영역(free flow regime), 안정교통류 영역(stable flow regime), 용량 교통류 영역(capacity flow regime), 강제 교통류 영역(forced flow regime)의 4개 영역으로 구분하였다. 이 연구에서는 검지기의 적정 위치를 제시하는 것이 목적인 아니지만, 전술한 바와 같이 교통정보 제공을 위한 검지기의 자료는 4개 영역의 교통류에 대해 모든 자료를 경험해야 하며, 통행시간과 가장 밀접한 관계를 가지는 검지기 자료는 점유율이라는 것을 회귀분석을 통해 나타내고 있다.

III. 시뮬레이션 모형의 개발

1. 기존 모형의 고찰

본 모형과 같은 미시 교통류 시뮬레이션에서는 차량 발생과 추종이론이 가장 중요한 알고리즘이다. 여기서는 TRAF-NETSIM, GM, CARSIM모형에 대해 검토하였다.

(1) TRAF-NETSIM

TRAF-NETSIM(Traffic Simulation System in Network Simulation Model)은 도로망의 신호 제어, 버스, 주차, 차선 폐쇄 등이 교통 흐름에 미치는 영향을 분석하는 미시적 모형으로 미국 연방 도로청(FHWA)에서 1971년 개발되어 세계적으로 폭넓게 사용되고 있다.

TRAF-NETSIM은 네트워크를 미시적으로 분석할 수 있는 장점을 가지고 있으나, 추종 차량의 가감속을 선택하는데 있어 지나치게 결정적이고 이산적(discrete)이며, 가감속도의 범위가 차량의 가감속 성능을 위배하는 경우가 발생하며, 추종차량이 진행하는 동안 진동(oscillatory)하는 경향이 있으며, 이때의 가감속도의 변화가 매우 심하다. 특히, 선행차량의 속도가 0이 아닌 경우 추종 차량은 주어진 일정 속도(1ft/sec)로 주행하도록 설정되어 있어 현실적이지 못하다는 단점을 가진다. 또한, 회전 차량은 일정 속도로 주행하도록 설정되어 회전 차량의 가감속을 고려하지 못한다.

(2) GM 모형

GM(General Motors)의 추종모형은 선행차량

과 추종차량의 차두거리와 속도차에 대한 함수식에 의해 추종 차량의 가감속도를 결정하는 모형이다. 따라서, GM 모형은 항상 안정성(asymptotic stability)의 문제를 가지고 있으며, 불안정한 경우가 발생(increased oscillatory)한다[5]. 차량간의 작은 차두거리가 유지되는 단속류에서는 민감도를 크게 설정하면 추종차량이 진동(oscillatory)하거나 충돌하는 경우가 흔히 발생하므로 단속류의 추종모형으로는 적합하지 않다.

(3) CARSIM 모형

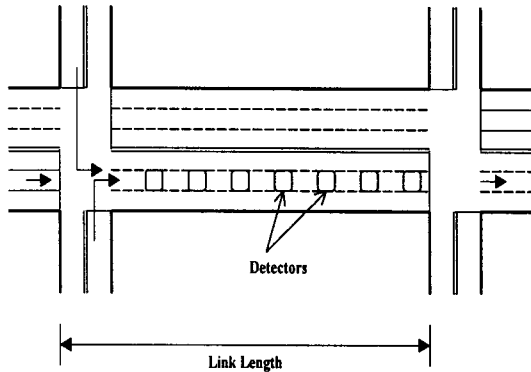
CARSIM 모형의 특징은 차량의 가속능력, 정상적인 주행 상태에서의 가속도, 선행차량과의 비충돌 제약에 대한 선행차량의 추종으로 요약될 수 있다. CARSIM 모형은 기존의 추종이론 모형과는 달리 매시점 추종차량에 대한 5개의 가속도를 계산하고, 선행차량과의 관계에 따라 가속도를 선택한다.

CARSIM에서는 이러한 5가지의 가속도를 선택하는데 최소값을 선택하도록 제시하고 있으며 감속시에는 정상감속도 AC를 도입하여 감속도를 선택하도록 하고 있다[3]. 그러나, 이러한 방식의 가감속도 선택은 다소 모호한 경우가 발생하며, 대기행렬이 정상적으로 형성되지 않는다. 또한, 추종차량의 가감속도의 선택은 연속적이지만, 선행차량과 추종차량의 위치에 따라서는 A5의 해가 존재하지 않는 경우가 있으므로 구현상에 어려움이 있다. 연속류를 대상으로 개발된 모형이기 때문에, 차량 발생 초기에 차량간의 차두거리가 작은 경우는 추종이 적절히 일어나지 않고 추종차량의 가속도가 음수가 되는 경우가 발생한다. 그러나, CARSIM 모형은 기존의 추종 모형이 가지는 안정성(stability)의 문제를 극복할 수 있으며, 사용자의 사용 목적에 따라 차량간의 최소 차두거리를 지정할 수 있는 장점을 가진다.

2. 시뮬레이션 모형의 개요

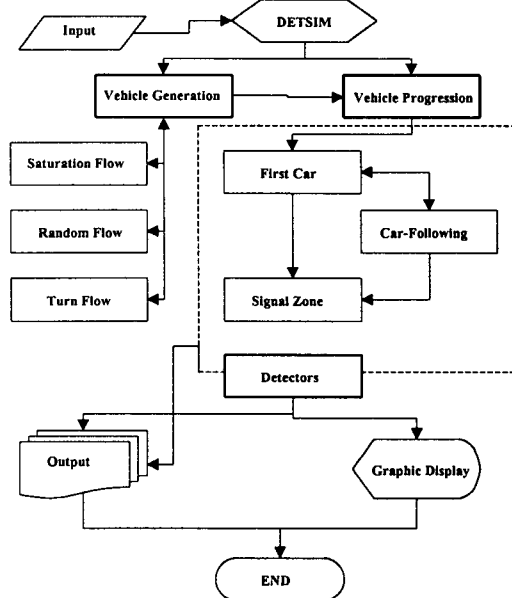
본 시뮬레이션 모형(Detector Simulation, DETSIM)은 신호교차로간의 링크에서 차량의 움직임을 추종이론을 통해 미시적으로 표현하고, 이에 따르는 검지기 자료를 산출하는 것이 목적이기 때문에 다른 미시 교통류 모형보다는 공간적으로 제한이 있으며, 검지기의 검지 원리를 정확히 나타내기 위해 0.1초 간격의 시간분

할(time slice)을 가진다. 본 시뮬레이션 모형은 크게 차량 발생, 차량 진행 및 검지기 부분으로 크게 구분될 수 있으며, 본 모형의 시뮬레이션 공간은 다음 <그림 1>에서 화살표에 의해 표시된 부분이다. 본 모형의 시뮬레이션 공간은 2개의 신호교차로 사이의 1방향 및 1차선만을 고려하며, 구배에 의한 영향은 고려하지 않는다.



<그림 2> 시뮬레이션 공간

본 모형의 교통류는 승용차로만 구성되며 상류교차로에서 발생하는 차량은 3가지로 구분되며, 하류교차로에서 차량은 모두 직진한다. 시뮬레이션의 기본 구조는 다음 <그림 2>와 같다.



<그림 3> DETSIM의 구조

3. 시뮬레이션 모형의 알고리즘

본 모형에 입력되는 입력 자료는 시뮬레이션

수행이름, 결과가 기록될 3개의 파일이름 (filenames)과 공간 정의 자료로서 링크 길이, 교차로 폭, 시뮬레이션하고자 하는 검지기의 수 및 위치이다. 3개의 출력 파일을 대기행렬의 길이를 포함한 검지기 검지 결과, 시뮬레이션의 입력 변수, 차량 발생 및 통행시간 결과 출력, 차량의 시공도를 제공하기 위한 출력으로 나누어진다. 교통 특성 자료로서는 자유속도(free flow speed), 주기, 녹색신호시간, 황색신호시간, 오프셋(offset)이며, 시뮬레이션 주기 수와 각 주기단위의 직진교통량과 회전교통량을 입력하여야 한다.

(1) 차량 발생

본 모형에서 차량 발생(vehicle generation module)은 3개로 나누어진 교통량에 대해 기본적으로 균일하게 발생된다. 입력된 직진교통량은 본 모형내에서 녹색신호시간 동안 발생되며 포화교통량(saturation flow)과 연속진행교통량(random flow)로 나누어지며, 입력된 회전교통량(turn flow)는 적색신호시간 동안 균일하게 발생한다.

포화교통량(saturation flow)의 의미는 대기행렬을 이루고 있는 차량이 정지선을 통과하는 경우이다. 입력된 직진 교통량에서 포화교통량을 결정하는 과정은 직진교통량이 주기 전체에 균일하게 도착한다고 가정하고, 적색신호에 도착한 차량들과 대기행렬 소거시간 이전에 도착하는 차량이 포화교통량으로 통과하는 차량 대수가 된다. 본 모형에서 출발손실시간(start-up lost time)을 1.3초[5]로 가정하고 있으므로 n대의 차량이 통과하는데 걸리는 시간 G는 다음과 같이 계산된다.

$$G = 1.3 + 1.7n \quad \text{for } n \geq 1$$

연속진행 교통량(random flow)는 입력된 직진교통량중 포화교통류율로 통과한 차량을 제외한 차량으로서 포화교통류율로 통과한 시간 직후로부터 녹색신호 종료시점까지의 시간을 차량대수로 나누어 균일하게 분할하여 발생시킨다. 회전 교통량(turn flow)는 직진교통류에 대한 적색신호시간에 해당 링크로 진입하는 회전교통량을 적색신호시간으로 나누어 균일하게 발생시킨다. 차량 발생시의 초기 조건은 발생되는 교통량에 따라 상이하다.

(2) 차량 진행

차량 진행(vehicle progression)은 선행차량(first car), 추종(car-following), 신호기에 의해 차량의 움직임이 결정되는 부분(signal zone)으로 구분된다. 본 모형과 같은 단속류 모형에서는 동일 시점에서도 여러 대의 선행차량이 발생할 수 있다. 본 모형에서 선행차량의 정의는 링크내에 차량이 존재하지 않거나, 대기행렬이 발생하여 선행차량과 같은 행태를 가지는 경우이며, 선행차량을 결정하기 위해 안전 정지거리(safe stopping distance)를 자유속도에 따라 계산한다. 안전 정지거리란 자유속도로부터 정상 감속도로 안전하게 정지할 수 있는 거리로서 차량간에 안전 정지거리보다 큰 차두거리를 가지는 차량은 선행차량의 속성을 가진다고 가정한다. 선행차량은 정상가속도로 주행을 시작하며, 자유속도에 도달하면 더 이상 가속하지 않는다.

차량 진행에서 가장 핵심이 되는 부분은 추종에 의한 차량 진행이다. 본 모형에서 추종 차량의 가감속도 결정은 CARSIM의 추종모형과 GM의 2번째 모형을 결합한 형태로서 각각의 단점을 극복하여 단속류에 적합한 추종이론 모형을 완성하였다.

CARSIM 모형에서는 전술한 바와 같이, A5에 해당하는 가감속도의 해가 존재하지 않는 경우가 발생하므로, 본 모형에서는 비충돌 제약을 만족하는 또 하나의 조건식을 추가하였다. A6의 계산식은 다음과 같다.

$$A6 \leq \frac{X_L - X_F - L_L - K - V_F(DT - BRT)}{DT(BRT + 0.5 + DT)}$$

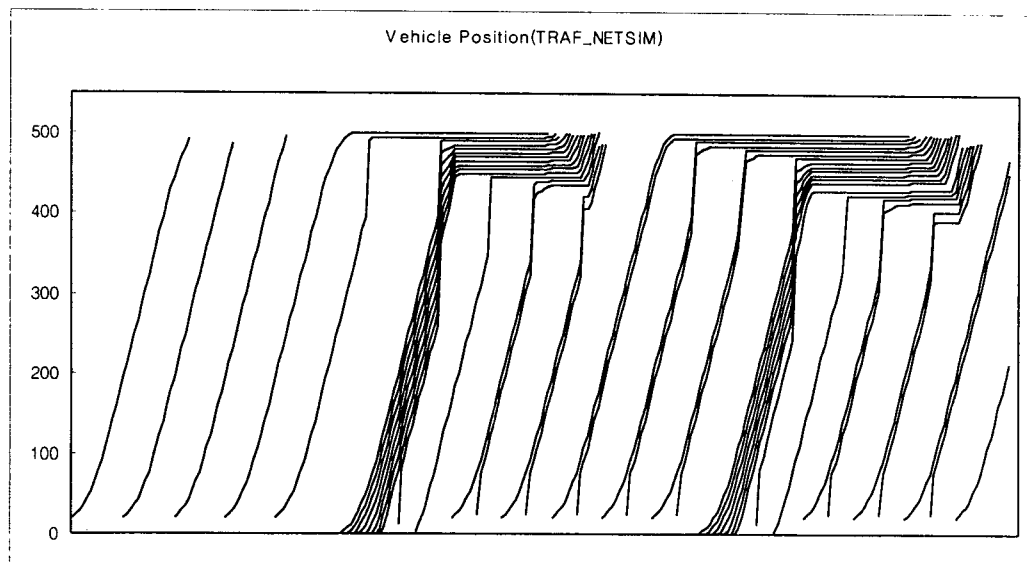
그러나, CARSIM 모형에서는 포화교통량에 의해 차량이 발생되는 경우, 비충돌 제약을 가지는 가속도 결정식에 의해 발생된 차량의 가속도는 음수가 되어 서로 떨어지려고 하기 때문에, 선행차량이 추종차량의 속도보다 큰 경우에는 선택적으로 GM의 2번째 모형으로 가속도를 결정하도록 하였다. 본 모형에서 사용된 GM의 추종 모형식[6]은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \ddot{x}_{n+1}(t + \Delta t) \\ = a_1 \text{ or } a_2 [\dot{x}_n(t) - \dot{x}_{n+1}(t)] \end{aligned}$$

여기서, a_1, a_2 는 민감도 값으로서 GM의 모형에서는 차량간의 거리가 가까운 경우 높은 민감도 값을 사용하고, 차량간의 거리가 먼 경우 낮은 민감도를 사용하는 것으로 제시하고 있다. 그러나, 본 모형에서는 선행차량의 속도가 추종차량의 속도보다 큰 경우에 한하여 0.5의 민감도를 적용하고, 그렇지 않은 경우는 0값을 적용하여 CARSIM에 의해 진행하도록 한다.

진행 차량은 전방의 신호기에 도달함에 따라 신호에 따라 가감속을 결정하게 된다. 진행 차량이 신호의 영향을 받는 범위를 본 연구에서는 정지선으로부터 안전정지거리까지로 정의하였으며, 선행차량의 조건을 만족하는 차량이 이 구간내에 진입하면 하류의 신호에 따라 가감속을 결정하게 된다.

본 모형에서는 차종에 따라 시뮬레이션되지 않으므로, 모든 차량의 가감속능력은 동일하다.



<그림 4> TRAF-NETSIM의 추종모형에 의한 차량 궤적

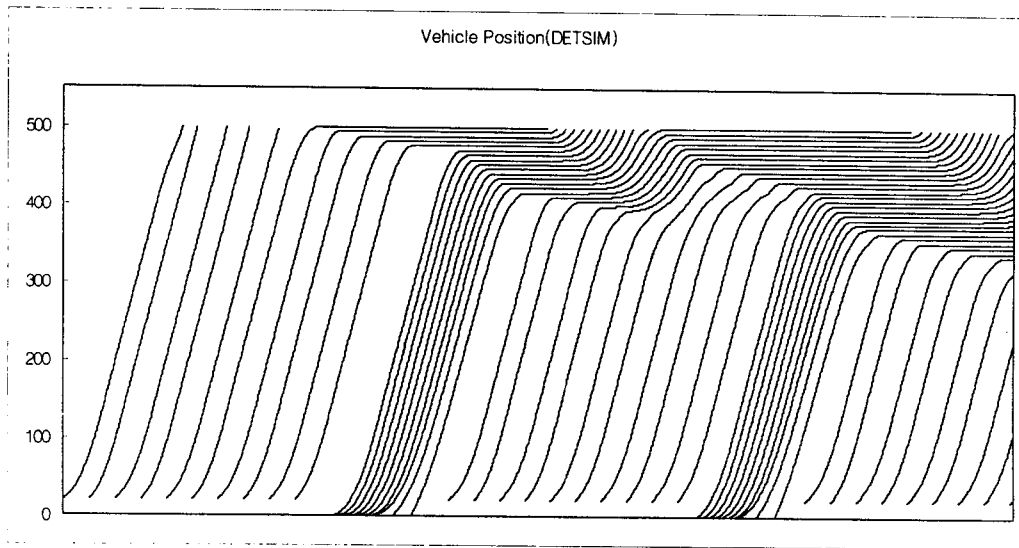
(3) 검지기

본 모형의 검지기 시뮬레이션은 일반적으로 사용되는 1.8m의 루프 검지기이며, 실제 검지기 와 동일한 검지 방식으로 차량을 검지한다. 검 지기의 자료는 주기 또는 일정시간 단위로 출 력이 가능하며, 주기 단위로 최대 대기행렬 길 이의 시뮬레이션 차량들의 검지기 상에서의 평 균 지점속도가 동시에 기록된다.

대기행렬 길이의 탐색은 녹색신호가 켜지고 선행차량이 이동하기 직전에 하류로부터 상류 로 탐색이 이루어지며, 여기서 계측되는 대기행 렬의 길이는 미리 설정된 대기행렬내의 속도 (0.1m/sec)이하의 연속된 차량들의 길이이다.

다음 <그림 5>는 남부순환로에서 측정한 통 행속도와 이 때의 검지기 자료의 관계를 나타 낸 그림이다. 여기서 검지기 자료는 신신호 시 스템으로부터 수집되었으며, 주기 단위로 수집 되었다. 대체적으로 점유율과 통행속도의 관계 가 반비례함을 보여준다.

다음 <그림 6>은 본 모형의 시뮬레이션 결과 에 의한 검지기 자료와 통행속도 자료를 나타 낸 그림이다. <그림 5>와 동일한 자료와 신호 주기가 사용되지는 않았으며, 주기 단위의 출력 이 아니라 1분 단위의 출력 결과이므로 다소 차이는 발생하나, 현장에서 수집된 자료와 매우 유사한 형태를 나타내고 있다.

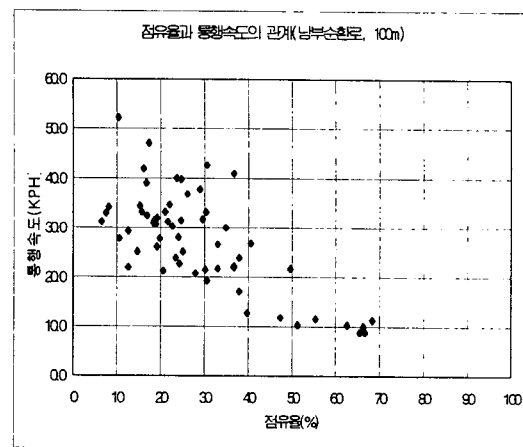


<그림 5> DETSIM에 의한 차량 궤적

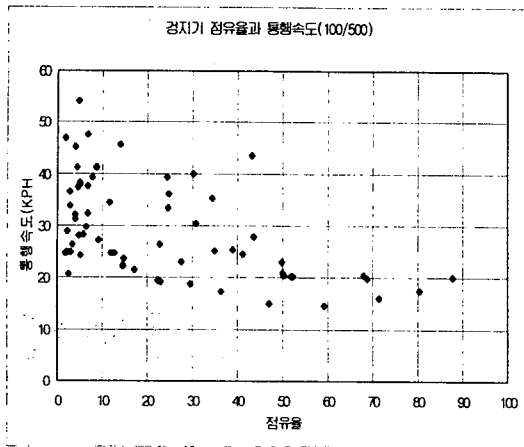
통행시간의 계측은 차량이 링크로 진입한 시 점을 기준으로 하여 하류의 정지선을 빠져나갈 때까지의 시간을 통과한 차량으로 나눈 값이다.

4. 시뮬레이션 모형의 비교

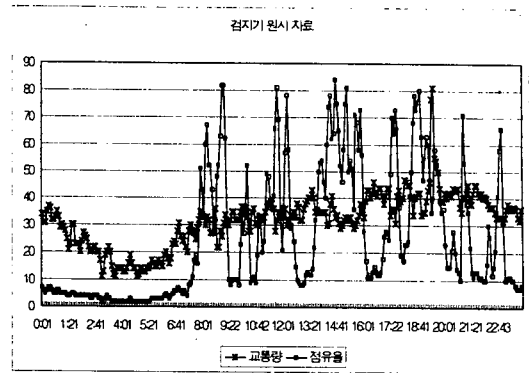
본 모형의 추종이론의 적합성을 비교하기 위 해, 본 모형의 차량 발생 부분은 그대로 유지하 고 TRAF-NETSIM의 source code[7]를 해석하 여 본 모형에 탑재한 후, 차량의 궤적을 <그림 3>에 나타내었다. TRAF-NETSIM의 source code는 1990년에 최후로 수정된 것이다. 그러 나, 여기에서는 단순히 TRAF-NETSIM의 추종 모형만을 적용하였기 때문에 <그림 3>이 TRAF-NETSIM 모형을 동일하게 시뮬레이션 하였다고 단언할 수는 없다. <그림 4>는 DETSIM에 의한 차량 궤적이다.



<그림 6> 검지기 현장 자료



<그림 7> 시뮬레이션 결과에 의한 검지기 자료



<그림 8> 하류부에 위치한 검지기 자료(24시간, 5분 간격)

IV. 검지기의 최적 위치 결정

1. 현장 검지기 자료

여기서는 검지기의 실제 자료를 가지고 위치에 따른 검지 특성을 알아보기로 한다.

(1) 검지기가 링크 하류부에 위치하는 경우

일반적으로 링크상을 주행하는 차량의 순간속도는 0~100kph 사이에 존재한다. 그러나, 주행차량조사를 통해 볼 때, 링크의 교통상황이 정상적인 상태라면 주행하는 차량의 순간속도는 40kph 이상이다. 따라서, 차량의 길이를 4.5m라고 하고, 검지 영역의 길이를 1.8m라고 하면,

- 차량은 최소 40kph의 속도로 검지기를 통과한다.(즉, 차량당 점유시간은 0.57초)
- 5분간 실제로 통과할 수 있는 최대 교통량은 120대이다.(즉, 5분간 총점유시간은 68.04초)

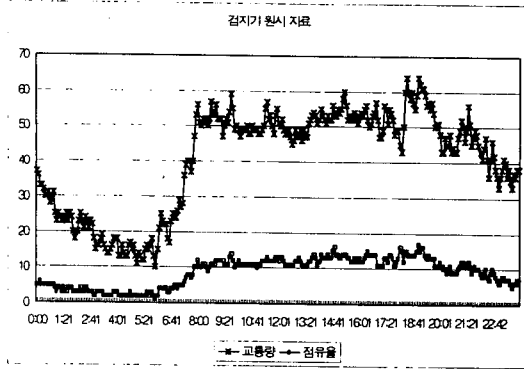
따라서, 대기행렬이 발생하지 않는 정상상태에서의 최대 점유율은 22.68%를 초과할 수 없다. 그러나, 대기행렬을 흔히 경험하게 되는 하류에 위치한 검지기의 경우는 이러한 점유율값을 초과하는 경우가 흔히 발생한다. 따라서, 하류에 위치한 검지기에서 점유율값이 최대점유율보다 작다면, 이 때의 교통상황은 연속진행상태이거나 교통상황이 한산하여 해당 이동류에 대한 녹색신호시간에 여유가 있는 상황이라고 판단할 수 있다.

정상상태에서의 위에서 제시한 점유율 이상이 관측되는 경우는 대기행렬이 검지기상에 존재하는 경우이다. 이런 경우 점유율이 크면 대기행렬의 발생시간이 길다는 것을 나타내며, 밀도가 크다는 것을 암시하므로 링크의 혼잡정도를 나타낼 수 있다. 이러한 검지기에서 교통량 자료는 한산한 상태에서 정상적인 상태까지는 일반적으로 증가하지만, 해당 이동류의 녹색신호시간동안 통과할 수 있는 용량 이상이 관측되지 않는 것이 일반적인 현상이다. <그림 7>은 하류에 위치한 현장 검지기의 자료이다. 점유율이 매우 높게 발생하는 경우는 검지기의 위치까지 대기행렬이 도달하여 링크가 혼잡함을 나타낸다.

(2) 검지기가 링크 상류부에 위치하는 경우

앞에서 설명한 것처럼, 검지기가 링크 상류부에 존재하는 경우 앞에서 제시한 점유율값(22.68%)이상은 발생하기 어려우며, 이보다 큰 점유율값이 발생한다면 링크 전체가 매우 혼잡한 경우(즉, 대기행렬이 링크의 상류까지 도달한 경우)일 것이다. 다음 <그림 8>은 상류부에 위치한 검지기의 자료이다.

점유율의 경우 20%를 초과하는 경우는 없으며, 교통량의 경우는 유입되는 교통량을 그대로 계속하기 때문에 하류부에 위치한 검지기보다 큰 값을 가진다.



<그림 9> 상류부에 위치한 검지기 자료(24시간, 5분 간격)

2. 시뮬레이션을 통한 검지 특성

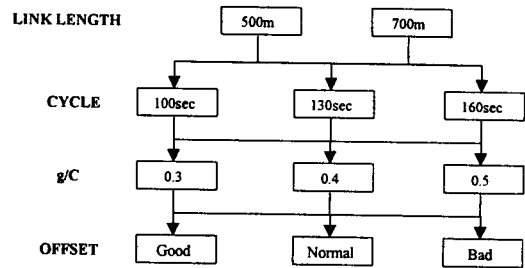
(1) 최적 위치에 대한 평가 척도

본 연구에서는 시뮬레이션 결과로부터 얻어지는 교통량, 점유율, 지점속도와 통행시간과의 상관분석(correlation analysis)을 통하여 가장 상관정도가 높은 검지기 자료가 발생하는 검지기의 위치를 최적 위치로 결정한다.

통행시간(travel time)은 링크가 혼잡할수록 선형적으로 증가하지만, 통행속도(travel speed)는 통행시간을 링크의 길이로 나눈 값이므로 높은 속도에서는 링크의 혼잡정도에 따라 민감하지만 낮은 속도에서는 혼잡의 정도에 따라 둔감한 변화를 보인다.

(2) 시뮬레이션 수행 시나리오

본 연구에서는 링크 길이, 신호주기(cycle length), 녹색신호시간비(g/C), 오프셋(offset)이 검지기의 위치와 검지 자료에 가장 큰 영향을 주는 것으로 판단하고, 시뮬레이션 수행 시나리오(scenarios)를 작성하였다. 시나리오 작성의 규칙은 다음 <그림 9>와 같다. 본 연구에서 오프셋에 따른 시뮬레이션은 모든 경우에 수행하지 않는다. 그 이유는 대기행렬이 발생하고 과포화상태가 되면 통행시간에 대한 연동정도에 대한 영향은 극히 미약해지고 녹색신호시간비에 의해 크게 영향을 받기 때문이다. 이러한 시나리오 작성 규칙에 의한 시나리오를 정리하면 <표 1>과 같다.



<그림 10> 시나리오 작성 규칙

(3) 시뮬레이션 수행 결과

본 연구에서는 1분 단위로 시뮬레이션 결과를 출력한 후, 산술평균하여 5분 동안의 검지기 자료를 생성하였으며, 입력된 교통량은 한산한 상태에서 혼잡한 상태로 전이되고, 이후에 용량 이하의 교통량이 유입되는 것으로 가정하여 입력하였으며, 시나리오의 녹색신호시간의 길이에 따라 교통량을 가감하여 수행하였다.

<표 3> 시뮬레이션 수행 시나리오

Cas e	링크 길이	신호 주기	녹색 신호 시간비	녹색 신호 시간	연동 정도	오프셋
4	500	130	0.3	39	Normal	75
5	500	130	0.4	52	Good	30
6	500	130	0.4	52	Normal	69
7	500	130	0.4	52	Bad	108
8	500	130	0.5	65	Normal	65
15	700	130	0.3	39	Normal	86
16	700	130	0.4	52	Normal	94
17	700	130	0.5	65	Normal	73
18	700	160	0.3	48	Normal	96
19	700	160	0.4	64	Normal	88
20	700	160	0.5	80	Normal	80

현재까지 수행한 시나리오를 종합하여 볼 때, 통행시간을 가장 잘 설명하는 변수는 점유율이며, 두 번째로 설명력이 높은 변수는 지점속도이다. 교통량의 경우는 수행경우(case)마다 상이한 결과를 나타내고 다른 2개의 자료보다 상관정도도 낮으며, 일관되지 않은 검지기 위치를 나타낸다. 다음 <표 2, 3, 4>는 시뮬레이션 결과를 요약한 결과이다.

<표 4> 점유율과 통행시간의 상관관계에 따른 검지기 위치

Case	최적 위치	상관 계수	2順 위치	상관 계수
4	150	0.971	50	0.833
5	200	0.958	100	0.924
6	200	0.892	150	0.829
7	200	0.905	250	0.886
8	250	0.986	350	0.960
15	150	0.874	250	0.861
16	200	0.941	250	0.941
17	250	0.877	200	0.864

점유율의 경우에는 녹색신호시간비가 커짐에 따라 최적 위치도 점차 상류부로 가는 경향이 있으며, 최적 위치의 값의 범위는 150~250m이 내로서 지점속도나 교통량 자료보다는 최적 위치의 범위가 좁다.

지점속도의 경우, 최적 위치의 범위가 50~300m에 위치하며, 이에 따른 상관관계수도 점유율보다는 작은 경우가 일반적이다. 대부분의 경우에서 최적 또는 2순 위치가 점유율에 의한 최적 위치와 일치하는 경우가 있으므로, 동일지점에서 설명력이 높은 2개의 자료를 얻을 수 있는 가능성이 매우 높아진다.

<표 5> 지점속도와 통행시간의 상관관계에 따른 검지기 위치

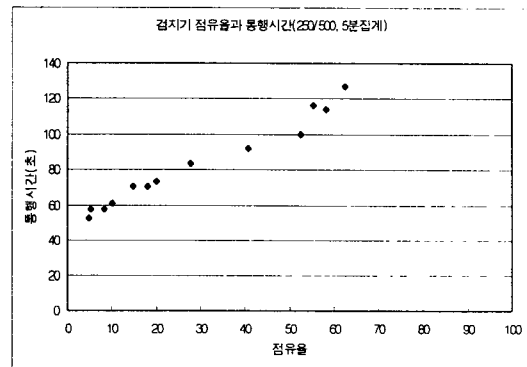
Case	최적 위치	상관 계수	2順 위치	상관 계수
4	150	-0.923	50	-0.845
5	200	-0.964	50	-0.877
6	50	-0.794	350	-0.753
7	300	-0.89	250	-0.878
8	250	-0.978	400	-0.92
15	150	-0.894	100	-0.887
16	200	-0.920	250	-0.912
17	200	-0.881	250	-0.862

<표 6> 교통량과 통행시간의 상관관계에 따른 검지기 위치

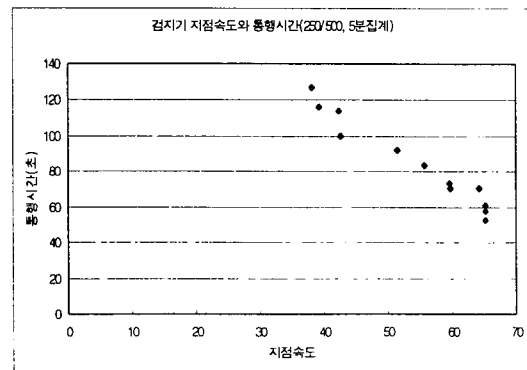
Case	최적 위치	상관 계수	2順 위치	상관 계수
4	450	0.553	200	0.551
5	150	0.654	200	0.640
6	100	0.761	150	0.758
7	5	0.598	450	0.587
8	100	0.687	5	0.687
15	50	0.687	450	0.685
16	500	0.755	600	0.751
17	350	0.479	300	0.474

교통량의 경우, 최적 위치는 각 경우(case)마다 다양하며, 일관적인 분포를 보이지 않는다. 또한, 이에 따른 상관관계수도 점유율과 통행시간의 상관관계수보다 작다.

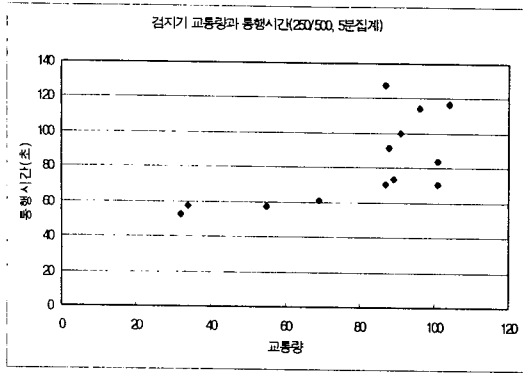
상관계수와 연동정도에 대한 영향은 현재까지의 수행결과로서는 매우 미미한 것으로 판단되며, 한산한 교통상태에서 절편값의 변화를 발생하는 원인이 된다.



<그림 11> 점유율과 통행시간의 관계(250m)



<그림 12> 지점속도와 통행시간(250m)



<그림 13> 교통량과 통행시간(250m)

다음 <그림 10, 11, 12>은 Case 8의 결과로부터 최적 위치에서 통행시간과 검지기 자료와의 관계를 그린 것이다.

V. 결론

단속류에서 검지기 자료는 검지기의 설치 위치에 따라 상이하며, 이에 따라 검지기 자료를 분석하는 것은 어려운 일이다. 지금까지의 연구 결과를 통해 볼 때, 다음과 같은 결론을 도출할 수 있다.

검지기가 정지선에 가깝거나 최상류에 위치하는 경우에는 검지기 자료와 통행시간과는 독립적이다. 통행시간을 가장 잘 설명하는 검지기 변수는 점유율이며, 두번째는 지점속도이다. 특히, 점유율이 통행시간과 가장 큰 상관관계를 보이는 지점은 정지선으로부터 150~250m이며, 이러한 위치는 녹색신호시간이 길어짐에 따라 상류로 이동하는 경향이 보이는 것으로 판단된다. 링크 길이, 입력 교통량 수준 및 연동의 효과는 큰 영향이 없는 것으로 판단된다.

일반적으로, 검지기는 대기행렬을 경험하는 지점에 위치해야만 검지기 자료와 통행시간이 밀접한 관계를 가지는 것으로 보이며, 이 위치에서의 점유율과 통행시간과는 선형관계가 존재하는 것으로 판단된다.

향후 연구에서는 좀더 많은 경우의 시뮬레이션을 통하여, 검지기의 위치에 따른 검지 특성과 교통정보 수집용 검지기의 일반적인 최적 위치를 제시하기로 한다. 또한, 최적 위치에서의 검지기 자료에 의한 통행시간 추정 기법을 제시하고자 한다.

참고문헌

- (1) Nagui M. Roupail and Virginia Sisiopiku, Travel Time and Loop Detector Output Analysis on Dundee Road Closed-Loop Signal System, University of Illinois at Chicago, ADVANCE Working Paper Series Number 24, June 1993.
- (2) Shui-Ying Wong, TRAF-NETSIM How It Works, What It Does, ITE journal, April 1990.
- (3) R. F. Benekohal and Joseph Treiterer, CARSIM: Car-Following Model for Simulation of Traffic in Normal and Stop-and-Go Conditions, Transportation Research Record 1194, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1988.
- (4) Qi Yang, A Simulation Laboratory for Evaluation of Dynamic Traffic Management Systems, Ph. D. Dissertation, MIT, June 1997.
- (5) Gye-Hyeong Ahn, Methodology for Traffic Signal Timing in Oversaturated Arterial Networks, Ph. D. Dissertation, The University of Texas at Austin, May 1997.
- (6) Adolf D. May, Traffic Flow Fundamentals, Prentice-Hall, 1990.
- (7) W. Lassalin, TRAF-NETSIM Source Code, Version 1.0.5, 1990.
- (8) 전남지방경찰청, 도로교통안전협회, 97 광주광역시 전자교통신호체계 중앙 및 지역장치 운영자료, 1998. 5.
- (9) 서울특별시 지방경찰청, 도로교통안전협회, 서울특별시 전자교통신호체계 중앙 및 지역장치 운영자료, 1997. 2.
- (10) 도로교통안전협회, 교통개발연구원, 서울특별시 교통신호제어시스템 기술개발(3차년도) 제어알고리즘 및 현장실험분석평가서, 1993. 12.
- (11) 도로교통안전협회, 교통개발연구원, 서울특별시 교통신호체계 시스템 개발에 관한 연구용역 1차년도 중간보고서, 1991. 5.