

과포화 교통상태에의 적용을 위한 시뮬레이션 모형개발

Development of a Traffic Simulation Model Applicable for Oversaturated Conditions

안계형

Ahn, Gye-Hyeong

Abstract

Many studies have been performed and applied successfully for the control of undersaturated intersections, but most of them have been ineffective or invalid in oversaturated conditions. There has been relatively limited research in traffic control for oversaturated environments, and most has been too theoretical to be applied in a real system. Therefore, a traffic simulation model specifically designed for oversaturated arterial networks was developed. Two control objectives of traffic signal timing in oversaturated conditions were taken into consideration. One was to maximize the throughput, or the number of vehicles processed during a given time period. The other was to prevent queue spillback or to minimize the occurrence of queue spillback if inevitable.

Key Words : oversaturation, traffic simulation model, traffic signal timing

1. 서론

교차로의 교통류를 제어하는 방식을 개발하기 위하여 수많은 연구가 수행되어 왔으나 과포화된 교차로에 적용하는 데에는 현실적으로 많은 한계를 가지고 있다. 일반적으로 미포화상태에서의 교통신호 제어목적은 통과폭(bandwidth)을 극대화하거나 또는 지체시간을 최소화하는 것이었다. 그렇지만 교통수요가 극도로 많을 때에는 과포화 교통상태의 다른 교통류 특성 때문에 제어전략도 바뀌어야 한다. 과포화조건하에서의 적용을 위한 시뮬레이션 모형을 개발하기 위해 두 가지 교통신호계획 제어목적이 고려되었다. 첫째, 시스템 내

에서 처리되는 총 차량의 수를 극대화한다. 둘째, 대기차량으로 인한 앞막힘(Queue spillback)을 방지하거나, 불가피한 경우에는 이를 최소화시킨다.

대기차량으로 인한 앞막힘의 영향을 고려할 수 있는 네트워크 교통 시뮬레이션 모형에는 TRANSYT-7F와 TRAF-NETSIM이 있다. 그러나 전자는 대기차량으로 인한 앞막힘을 명확히 처리하지 못하고 후자도 과포화 조건에 본격적으로 적용하기에는 적절치 못한 실정이다. 따라서 이 연구에서는 과포화 조건에서 적용할 수 있는 교통 시뮬레이션 모형을 개발하는 것을 목적으로 한다.

2. 자료수집

본 시뮬레이션 모형에서 쓰여지는 가장 중요한 두 가지 자료는 출발차두간격(departure headway)과 차량 속도(vehicle speed)이다. 출발차두간격은 Efstathiadis[1]의 연구결과를 이용하였고 차량속도자료는 미국 텍사스주 오스틴시 도심에서 수집되었다.

2.1 출발차두간격

출발차두간격은 신호가 녹색으로 바뀐 후 교차로의 정지선을 연속으로 출발하는 차량간의 시간간격으로 정의된다. 출발차두간격에 관한 가장 최근 연구 중의 하나가 Efstathiadis에 의해서 수행되었는데 그는 오스틴시 도심의 수 많은 교차로의 접근로에서 특별히 고안된 Stop Watch로 출발차두간격을 측정하였다. 그의 자료는 총 5,915개의 현장실측자료를 포함하고 있다. 따라서 Efstathiadis의 연구에 제시된 각 대기행렬위치에 대한 평균출발차두간격이 본 연구에서 사용되었다.

$$hdwy(n) = 1.82 \text{ for } n \geq 4 \quad (1)$$

여기서

$hdwy(n)$ = (n-1) 번째 차량과 n 번째 차량사이의 출발차두간격

$$hdwy(1) = 2.04, \quad hdwy(2) = 2.46, \quad hdwy(3) = 2.12$$

출발차두간격에 변화성(variability)을 도입하기 위하여 다음과 같은 과정이 채택되었다. 이 과정은 같은 확률분포를 갖는 다른 모수(parameter)에도 적용될 수 있다.

- Step 1. Random number generator (output: $m(i)$):
Generate uniform random deviates between 0.0 and 1.0.
- Step 2. Random normal (0, 1) deviate generator (output: $vnor(i)$): Generate normally distributed deviates with zero mean and unit variance by transforming uniform deviates to normal deviates.
- Step 3. Random normal (m, s^2) deviate generator (output: $hdwy(i)$): Generate normal random

deviates with a mean m and a standard deviation s by transforming the output of step 2 according to:

$$hdwy(i) = vnor(i) * s + m \quad (2)$$

where

$vnor$ = random normal (0, 1) deviates

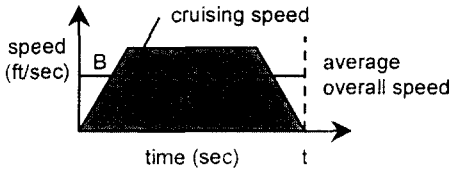
s = standard deviation of departure headways

m = mean of departure headways

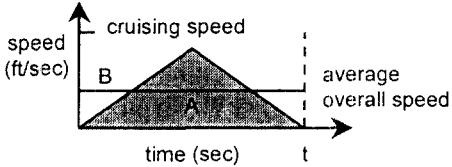
2.2 차량속도

교통 시뮬레이션 모형에서 차량의 움직임을 모의실험 하기 위해서는 적절한 감·가속도율(acceleration and deceleration rates) 및 주행속도(cruising speed) 자료가 필요하다. 만약 적절한 경험자료들을 얻을 수 있다면 이러한 자료들을 각 차량에 적용하는 것이 차량 움직임을 모의실험 하는 가장 좋은 방법일 것이다. 그러나 이러한 경험자료들은 보통 구하기가 어렵기 때문에 일정한 감·가속도율이 가정되어 적용된다. <그림 1>에서처럼 빗금친 면적 A가 직선 B아래의 면적과 같다면 시간 t동안의 차량의 가속, 주행(필요시) 및 감속에 의한 통행거리와 시간 t동안에 평균일반속도(average overall speed)로 통행한 거리가 같게 된다. 따라서 현장에서 실측·수집된 적절한 평균일반속도를 적용하는 것이 가정된 일정한 감·가속도율 및 주행속도를 각 차량에 적용하는 것보다 통행시간을 계산하는 데 더 정확 할 수도 있다. 더구나 적절한 평균일반속도를 적용함으로써 모형이 차량의 움직임을 더 빨리(계산시간상) 모의실험 할 수 있게 되는데 이것은 네트워크 시뮬레이션 모형으로서는 중요한 장점이 될 수 있다. 따라서 가정된 일정한 감·가속도율 및 주행속도를 각 차량에 적용하는 것 대신에 평균일반속도의 개념이 본 연구에서 사용되었다.

본 모형에서는 event-based 스캐닝(scanning)방법이 채택되었기 때문에 차량의 도착 및 출발시간과 같이 시뮬레이션 과정을 통하여 추적되어야 하는 사건들의 확인(identification)은 중요하다. 시뮬레이션 모형에서 도착시간은 차량이 대기차량에 합류하면서 링크에 도착



a) case 1: vehicles reach a cruising speed before decelerating



b) case 2: vehicles never reach a cruising speed before decelerating

〈그림 1〉 평균일반속도(average overall speed)

하는 시간 또는, 대기차량이 없는 경우에는 교차로 기준선(intersection reference line)을 통과하는 시간으로 정의된다. 출발시간은 차량이 기준선을 통과하여 교차로에 진입하는 시간으로 정의된다. 만일 녹색신호시간에 링크에 대기중인 차량이 없을 경우에는 교차로 도착시간은 출발시간과 같게된다. 교차로 도착시간은 다음 관계식에 의해 결정된다:

$$arr = depp + dist / speed \quad (3)$$

여기서

arr = 하류부 링크 도착시간 (sec)

depp = 상류부 교차로 출발시간 (sec)

dist = 상류부 교차로 기준선으로부터 하류부 링크까지의 통행거리 (ft)

speed = 평균일반속도 (fps)

실험적인 속도자료를 수집하기 전에 차량의 속도는 출발시 차량의 대기차량에서의 위치(vehicle queue position)와 교차로 하류부 통행가능거리(available downstream clear space)에 의해 결정된다는 가설이 설정되었다. 주어진 하류부 링크길이에 대해서 하류부 통행가능거리는 하류부의 대기차량길이에 의해 결정된다. 그러므로 가설에 따르면 출발부터 도착까지의 차량속도종단면도(vehicle speed profile)는 출발시 차량의 상류부 대기차량에서의 위치와 교차로 하류부 대기차량의

유무와 길이에 의해 결정되는 통행가능거리에 의해 결정되어야 한다. k가 상류부 링크에서 차량의 대기차량에서의 위치를 나타내고 (녹색신호가 시작되었을 때 대기차량 중 k번째 차량) nq가 차량이 하류부 링크에 도착했을 때 대기차량의 수를 나타낸다면 〈그림 2〉에 나타난 것처럼 여섯 개의 차량속도종단면도가 가능하다. 편의상 일정한 감·가속도율이 여기서 가정된다.

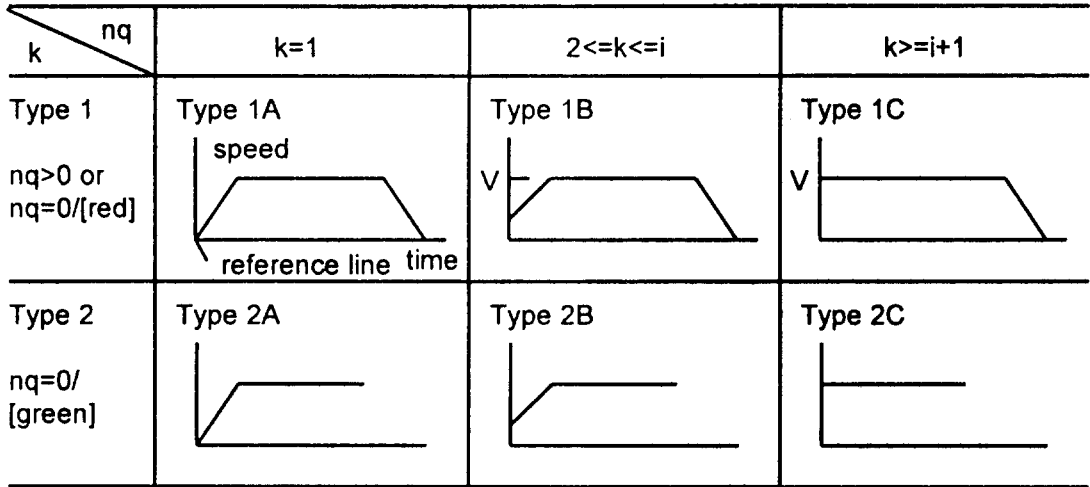
만일 하류부 링크에 대기차량이 있다면(nq>0) 하류부 링크로 진행중인 차는 정지하여 이 대기차량에 합류하여야 한다. 비록 대기차량이 없다 하더라도(nq=0) 적색신호 중에 도착하는 차량은 정지하여야 한다. 위의 둘 중의 어느 경우라도 감속에서 정지에 이르는 부분이 〈그림 2〉의 Type 1 에 나타난 바와 같이 차량속도종단면도에 포함되어야 한다. 만일 녹색신호 중에 하류부 링크에 대기차량이 없다면 하류부 링크로 진행중인 차는 하류부 교차로를 정지하지 않고 통과하게 된다. 이 경우 차량속도종단면도는 〈그림 2〉의 Type 2 중 하나가 된다.

만일 k 값이 1이면(대기차량중 첫 번째 차량) 전체 가속부분(속도 0에서 속도 V까지)이 차량속도종단면도에 포함된다. 출발하는 대기차량의 두 번째 차량부터 i 번째 차량까지(2 ≤ k ≤ i)는 기준선을 통과할 때의 차량속도가 0 보다 크다. 출발하는 대기차량의 (i+1) 번째 차량부터 마지막 차량까지(k ≥ i+1)는 기준선속도가 주행속도인 V가 된다. 이 경우 차량속도종단면도에는 〈그림 2〉에서와 같이 가속부분이 포함되지 않는다.

시뮬레이션 모형의 적절한 평균일반속도 분포자료는 미국 텍사스주 오스틴시 중심상업지역(CBD)의 6차로 간선도로에서 수집되었다. 자료수집 대상지역은 〈그림 3〉에 나타난 바와 같고 2 페이즈(phase) 운영과 고정식 교통신호시간이 사용되었다.

Type 1 속도

남쪽방향 교통류에 대한 예비조사에 의하면 6가(Sixth Street) 기준선 A를 통과하여 가속하는 대부분의 차량들이 5가(Fifth Street) 교통신호의 옴셋 때문에 하류부 링크에 정지하였다. 따라서 6가와 5가 사이의 남쪽방향 컨그레스 애비뉴(Congress Avenue)의 가운데 차선이 Type 1 속도자료수집을 위해 채택되었다. 이 대상지역은 컨그레스 애비뉴와 3가(Third Street)에 위치



〈그림 2〉 차량속도종단면도(vehicle speed profiles)

한 22층 빌딩의 옥상에서 비디오 촬영되었다. 여기서 수집된 Type 1 속도자료의 하류부 통행가능거리(370 ft 까지)가 짧기 때문에 4가(Fourth Street)와 2가(Second Street) 사이의 남쪽방향 키크레스 애비뉴의 가운데 차선이 하류부 통행가능거리가 긴(730 ft까지) Type 1 속도자료수집을 위해 추가되었다. 4가와 2가에서의 다른 신호주기길이 때문에 Type 1 속도 및 Type 2 속도종단면도가 함께 관찰될 수 있었다. 이 대상지역은 키크레스 애비뉴와 6가에 위치한 빌딩의 32층에서 비디오 촬영되었다. 비디오 테이프 재생 중에 기준선 A와 C를 통과할 때의 출발시간과 하류부 링크에서의 도착시간이 0.01초 단위까지 각 차량에 대해서 측정되었다. 또한 평균일반속도가 계산될 수 있도록 각 차량의 통행거리도 측정되었다. 중차량이나 하류부 교차로를 서지 않고 통과하는 차량들은 수집대상에서 제외되었다.

현장자료수집 결과는 표 1에 요약되었다. 이 자료는 앞에서 설정된 가설- 차량의 속도는 하류부 통행가능거리와 대기차량위치(queue position)의 함수다- 을 검증하기 위해 사용되었다. 표 1에 나타난 것처럼 각 대기차량위치에 대한(k 값) 속도들이 매우 비슷하고 각 자료 세트의 네 대기차량위치별 평균값(표 1-a, b)이 각 총 평균(grand mean)값의 99 퍼센트 신뢰구간(confidence interval) 내에 포함된다. 따라서 대기차량위치가 차량속도에 대해 통계적으로 유의한 영향을 미치지 않

음을 나타내고 있다. 그렇지만 하류부 통행가능거리와 속도는 통계적으로 유의한 관계를 갖는 것처럼 보인다. 이 관계를 회귀식(regression equation) (4)로 나타내 보았고 이 식을 모든 데이터와 함께 〈그림 4〉에 나타냈다. 이 식은 하류부 통행가능거리(downstream clear space)를 변수로 사용하여 평균일반속도를 예측한다. 통행가능거리와 속도간의 상관계수는 1 퍼센트 유의수준을 초과하는 통계적으로 유의함을 나타내고 있다. 따라서 모든 데이터(데이터 수: 1,061)를 포함하는 다음 관계식이 하류부 통행가능거리의 함수로서 Type 1 속도를 예측하는 데 사용된다:

$$y = 13.033 + 0.026584x \quad (4)$$

$$(x \leq 730 \text{ ft}, R = 0.894)$$

여기서

y = 평균일반속도 (ft/sec)

x = 하류부 통행가능거리 (ft)

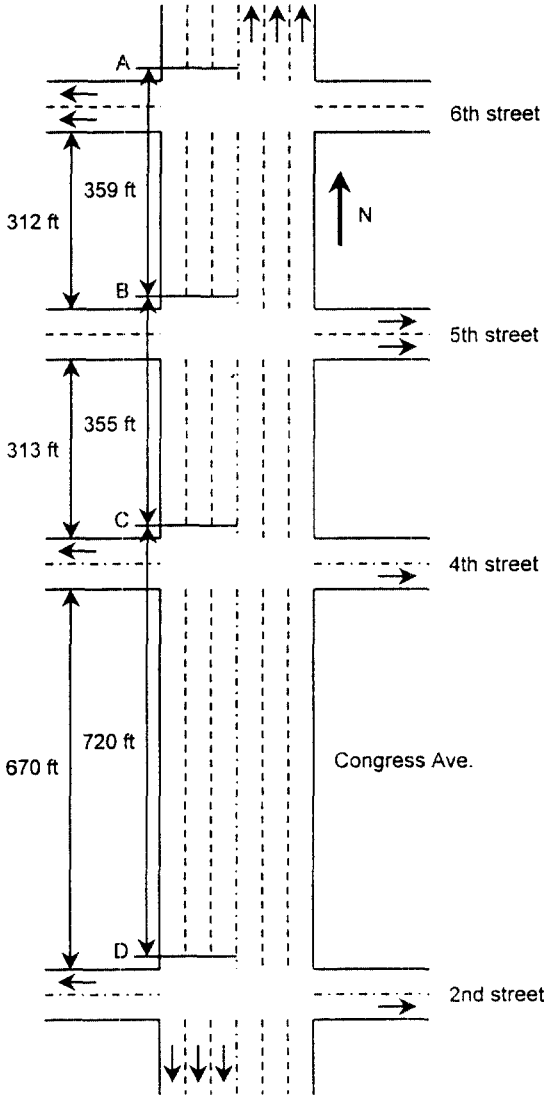
R = 상관계수

하류부 통행가능거리와 대기차량에 의한 앞막힘 현상은 〈그림 5〉에 예시된 바와 같다. 하류부 통행가능거리는 i 차선에서 기준선을 출발하는 차량의 통행거리로 정의된다. 식 (4)에서와 같이 차량 A(〈그림 5-a〉

<표 1> Type 1 속도 현장자료수집 결과

위치(k)	관측수	평균(fps)	평균(mph)	표준편차(fps)
a. 하류부 통행가능거리가 짧은 경우				
1	85	17.8	12.1	2.78
2	53	17.5	11.9	2.44
3	38	17.3	11.8	2.66
>4	412	18.3	12.5	3.48
합계	588	18.1	12.3	3.27
b. 하류부 통행가능거리가 긴 경우				
1	66	29.1	19.8	3.55
2	61	29.4	20.1	3.02
3	52	28.9	19.7	2.75
>4	294	28.9	19.7	3.70
합계	473	29.0	19.7	3.50

- 1) 하류부 통행가능거리 ≤ 370 ft
- 2) 350 ft \leq 하류부 통행가능거리 ≤ 730



<그림 3> 평균일반속도 자료수집 대상지역

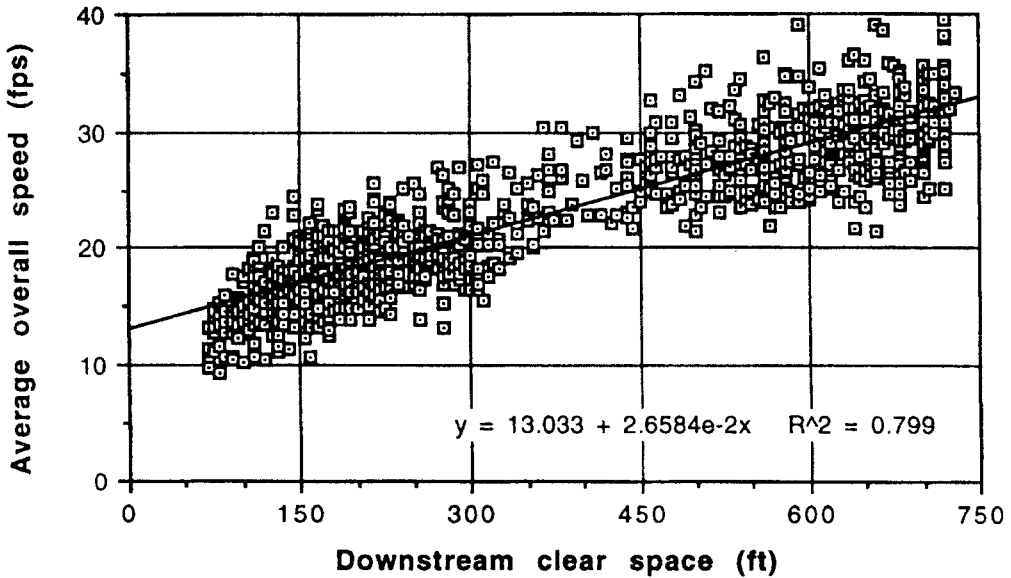
참조)의 평균일반속도는 하류부 통행가능거리의 함수로 나타내진다. 하류부 통행가능거리가 짧아질수록 평균일반속도는 감소하게 된다.

상류부의 녹색신호 중에 하류부 링크가 꽉 찼을 때 예는 <그림 5-b>의 간선도로 차선 $2(i=2)$ 참조. 한 대의 차량 B만이 하류부 대기차량에 합류할 수 있게 되는데 이 때 대기차량에 의한 앞막힘 현상이 일어나게 된다(<그림 5-b>의 간선도로 차선 $1(i=1)$ 참조). 하류부

링크에 대기차량에 의한 앞막힘이 발생하기 전에는 상류부 교차로를 출발하는 차량에 0이 아닌 속도가 주어지게 된다. 하류부 링크에 대기차량에 의한 앞막힘이 발생한 경우에는 차량 C(<그림 5-b> 참조)가 전진할 수 없기 때문에 속도는 주어지지 않는다. 차량 C는 하류부 링크에 공간이 생기자마자 식 (4)에 의해서 정해진 속도로 움직이게 된다.

하류부 링크가 대기차량들로 차 있을 때 상류부에 있는 차량들은 녹색신호에 때로는 교차로로 전진하여 대기차량에 합류함으로써 앞막힘을 일으킨다(교차로 전체를 막음). 다른 때에는 위와 같은 조건에서 상류부에 있는 차량들이 교차로를 막는 것을 피하기 위해 전진하기 전에 하류부에 공간이 생길 때까지 기다린다. 이 운전자의 행태적 특성은 신뢰성 있게 예측되기 힘들기 때문에 절충안이 제시되었다. 즉, 하류부 링크가 상류부 교차로의 녹색시간에 차 있을 때 교차로에 한 대 차량길이 만큼의 공간이 진행되는 차량들에게 항상 주어진다. 이 개념은 하류부 링크가 차 있을 때 전혀 움직이지 않는 것과 교차로 전체를 항상 막는 양극단 사이의 합리적인 행태적 절충안이라고 할 수 있다.

따라서 대기차량들이 사용가능한 하류부 링크길이는 교차로를 제외한 링크길이와 교차로의 한 대 차량 길



<그림 4> Type 1 속도와 하류부 통행가능거리의 관계(data points: 1061)

이를 포함한다. 만일 이 모든 공간이 찻을 때에는 한 대가 교차로를 막고 있는 것이고 상류부 교차로를 출발하려는 차량에게는 0의 속도가 주어진다. 반대로 이 공간이 차지 않았을 때에는 상류부 교차로를 출발하는 차량들에게 0이 아닌 속도들이 식(4)에 의해 주어진다.

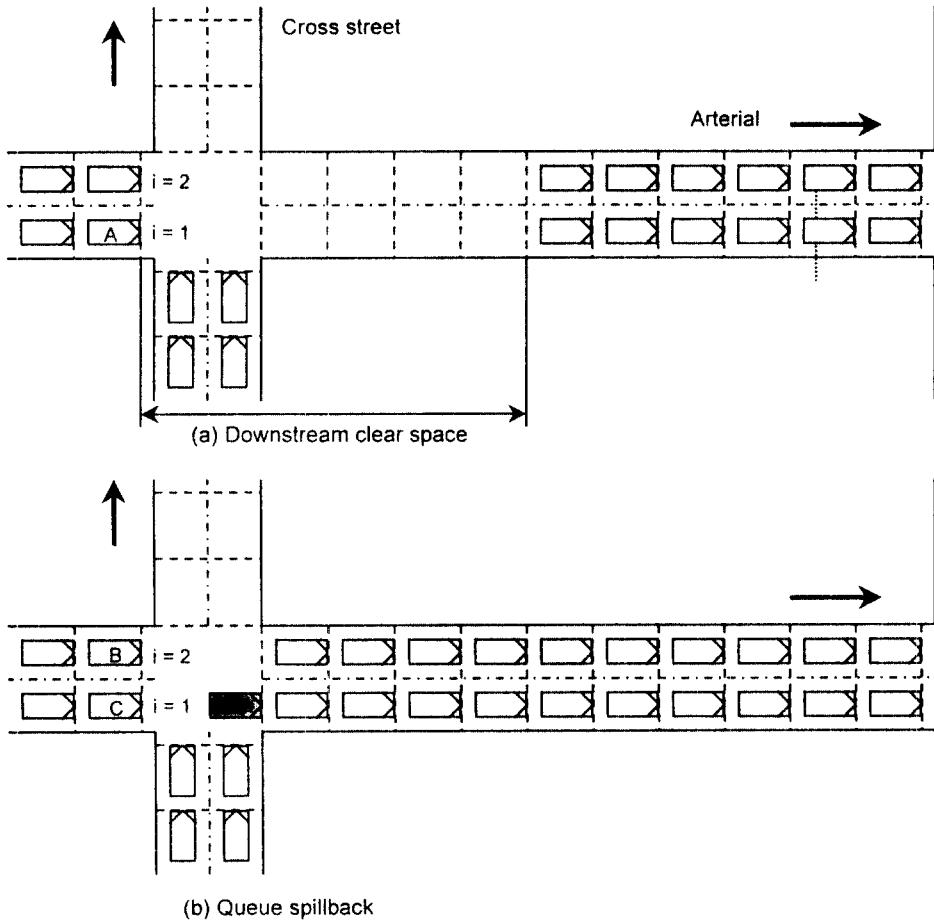
Type 2 속도

<그림 2>에 나타난 바와 같이 Type 2 속도종단면도를 가지는 차량들은 하류부 교차로를 정지하지 않고 통과한다. Type 2C 속도종단면도를 가지는 차량들은 기준선을 통과하기 전이나 기준선을 통과할 때 주행속도 V에 도달하게 된다. 속도자료 적용을 위하여 Type 2C 속도종단면도는 두 가지로 분류되었다: 1) Type 2C-1, 차량들이 대기차량에 합류한 뒤 기준선을 통과하는 경우와 2) Type 2C-2, 차량들이 상류부 교차로와 기준선을 서지 않고 통과하는 경우로 구분되었다.

앞에서 설명된 바와 같이 기준선 C(<그림 3> 참조)를 지나는 차량들 중 일부는 신호주기길이의 차이로 인해 하류부 교차로를 서지 않고 통과한다. 이것은 Type 2 속도종단면도에 해당되기 때문에 4가와 2가 사이의 남쪽방향 컨그레스 애비뉴의 가운데 차선이 Type

2 속도자료수집을 위해 채택되었다. 이 대상지역은 컨그레스 애비뉴와 6가에 위치한 빌딩의 32층에서 비디오 촬영되었다. 기준선 C에서의 출발시간과 여섯 지점(기준선으로부터 80, 160, 240, 360, 500, 640 ft 지점)에서의 통과시간이 비디오 테이프 재생 중에 각 차량에 대해서 측정되었다. 하류부 교차로를 서지 않고 통과하는(Type 2 속도종단면도) 차량들만 측정되었다. 중차량이나 감속도율이 큰 차량들은 수집대상에서 제외되었다.

현장자료수집 결과는 표 2에 요약되었다. Type 2 속도종단면도는 차량이 하류부 교차로를 정지하지 않고 통과할 때에만 존재할 수 있으므로 속도와 통행가능거리간의 가설관계는 성립하지 않는다. 표 2에 나타난 바와 같이 통행거리가 짧을 때에는(80 ft 또는 160 ft) 내 대기차량위치($k = 1, 2, 3$, 또는 $k \geq 4$)에 대한 평균속도(Types 2A/2B/2C-1)간에 차이가 있었고 그 차이는 0.01 수준에서 통계적으로 유의하였다. 반면에 통행거리가 길 때에는(500 ft 또는 640 ft) 내 대기차량위치($k = 1, 2, 3$, 또는 $k \geq 4$)에 대한 평균속도(Types 2A/2B/2C-1)들이 0.01 수준에서 통계적으로 다르지 않았다. 따라서 속도에 대한 대기차량위치의 영향은 통



〈그림 5〉 하류부 통행가능거리와 대기차량에 의한 앞막힘

행거리에 따라 변하게된다. 즉 통행거리가 짧을 때에는 속도에 대한 대기차량위치의 영향은 통계적으로 유의하나 통행거리가 길 때에는 속도에 대한 대기차량위치의 영향은 통계적으로 유의하지 않다.

과포화된 교통상황에서는 Type 2 속도종단면도는 드물게 관측된다. 통행거리가 짧을 때에는(80 ft 또는 160 ft) 각 대기차량위치에 대한 평균속도들이 다르지만 실제로 Type 2 속도에 적용될 최소통행거리는 200 ft 가 넘는다. 통행거리가 중간일 때에는(240 ft 또는 360 ft) 각 대기차량위치에 대한 평균속도들이 그렇게 많이 다르지 않다. 물론 통행거리가 길 때에는 각 대기차량위치에 대한 평균속도들간의 차이가 0.01 수준에서 통계적으로 유의하지 않다. 따라서 각 통행거리와 대기차

량위치에 대해 각각 다른 값들을 사용하는 것 대신에 각 통행거리에 대해 하나의 평균값과 표준편차를 사용하기로 한다. 표 2의 $5k=n$ 참조.

표 2에 나타난 바와 같이 Type 2C-2 속도는 통행거리에 관계없이 거의 일정하다. Type 2C-2 속도종단면도는 차량이 상류교차로와 그 다음 교차로를 서지 않고 통과할 때에만 존재하기 때문에 앞에서의 속도와 대기차량위치간의 관계에 관한 가설은 여기서 성립하지 않는다. 여섯 개의 평균값들이 총 평균 42.8 ft/sec의 99퍼센트 신뢰구간(confidence interval) 내에 존재한다. 따라서 이 경우 속도에 대한 통행거리의 영향이 통계적으로 유의하지 않다.

〈표 2〉 Type 2 속도 현장자료수집 결과

k	거리 ¹⁾ (ft)	80	160	240	360	500	640
a) Types 2A/2B/2C-1 (No. of observations: 612)							
1)k=1 (26)	평균(fps)	19.6	25.3	28.5	31.7	34.6	36.2
	평균(mph)	13.4	17.3	19.4	21.6	23.6	24.7
	표준편차(fps)	2.36	2.71	2.77	3.02	3.42	3.62
2)k=2 (25)	평균(fps)	23.6	28.4	30.6	32.9	35.1	36.1
	평균(mph)	16.1	19.3	20.9	22.4	23.9	24.6
	표준편차(fps)	2.55	2.60	2.61	2.81	3.20	3.18
3)k=3 (21)	평균(fps)	27.0	31.0	32.6	34.3	36.0	36.9
	평균(mph)	18.4	21.1	22.2	23.4	24.5	25.2
	표준편차(fps)	2.46	2.63	2.90	3.11	3.22	3.46
4)k=4 (30)	평균(fps)	30.2	32.6	33.4	34.3	35.8	36.6
	평균(mph)	20.6	22.2	22.8	23.4	24.4	24.9
	표준편차(fps)	3.05	2.83	2.93	3.21	3.56	3.47
5)k=n (102)	평균(fps)	25.2	29.4	31.3	33.3	35.3	36.4
	평균(mph)	17.2	20.0	21.3	22.7	24.1	24.8
	표준편차(fps)	4.85	3.90	3.38	3.19	3.36	3.40
b) Types 2C-2 (No. of observations: 534)							
6)k=n (89)	평균(fps)	42.8	43.7	43.0	42.2	42.6	42.4
	평균(mph)	29.2	29.8	29.3	28.8	29.0	28.9
	표준편차(fps)	6.66	6.50	6.34	6.23	6.24	5.91

1) 기준선으로부터의 통행거리

2.3 연속적인 차량출발반응 평균시간간격

George와 Heroy[2]의 연구에 의하면 차량이 정지상태에서 연속적으로 출발하려고 움직이기 시작할 때 차량들 간의 움직이기 시작하는 시간간격이 대략 1.4초(1966년 데이터)였다. 그렇지만 이 데이터가 수집된 이후 30여년간의 평균 승용차 크기의 감소, 더욱 적극적으로 변한 운전행태, 자동기어차량의 양산 등으로 인하여 정지상태에서 출발하는 데 걸리는 반응시간이 줄었다. 따라서 본 연구에서는 현재의 교통상황을 적절히 반영하기 위하여 연속적인 차량출발반응 평균시간간격을 1.1초로 조정하였다. 이 값은 대기차량에 있던 차량이 녹색신호가 시작된 후 앞으로 움직이기 시작하는 시간을 계산하는 데 사용된다.

3. 시뮬레이션모형

이 장에서는 차량을 진행시키는 데 사용된 기본가정과 로직, 시뮬레이션모형의 구조, 중요한 서브루틴들, 시뮬레이션 실행 예, 시뮬레이션모형의 validation과 calibration 등이 기술된다.

3.1 시뮬레이션모형의 기본사항

Random Number Generation

본 시뮬레이션 모형에서는 모수(parameter)들에 실제적인 변화성(variability)을 도입하기 위해서 random number generating routine을 적용하였다. 시스템에 제공된 random number generators의 단점을 극복하기 위하여 Press[3] 등이 만든 개선된 random number generator가 사용되었다. 개선된 random number generator는 무한주기(indefinite period)를 가지며 감지할 수 있는 연속관계(sensible sequential correlations)를 가지지 않는다.

Scanning and Updating

디지털 컴퓨터는 모의실험 차량들을 동시에 또는 계속적으로 조사하기는 불가능하다. 따라서 각 차량단위들이 조사되는 스캐닝방법을 정의할 필요가 있다. 채택될 수 있는 기본적인 스캐닝방법에는 time-based와 event-based 스캐닝방법이 있다. Time-based 시스템에서는 미리 정해진 시뮬레이션 시간증가분(predetermined increment of simulation time, 보통은 1초)마다 모의실험 차량들이 스캔되고 경신(updated)된다. Event-based 시스템에서는 다음 사건이 일어나는 시간을 결정하기 위해 스캔을 하는데 이 시간간격이 모의실험 경신시간이 된다. 과포화된 교통운영특성에서는 event-based 스캐닝방법이 좀더 효율적이기 때문에 선택되었는데 time-based 스캐닝방법도 부분적으로 쓰이게 된다.

Bookkeeping

교통 시뮬레이션 bookkeeping에서 저장배열(storage array)의 구조에는 두 가지 다른 체계가 있다. 하나는 각 차선을 일정한 수의 공간으로 분할한 다음 계산배열요소(computational array elements)들을 각 공간에 할당한다. 차량의 위치(position)는 배열(array)내의 위치

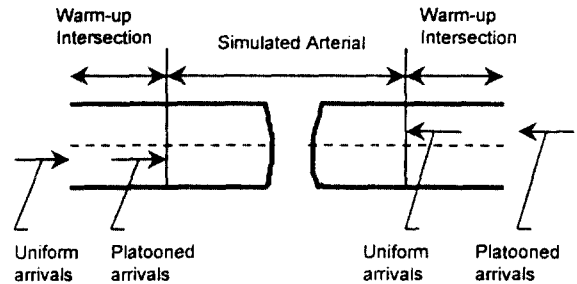
(location)로 표시되고 위치경신(position updating)은 각 차량을 적절한 배열요소(array elements)에 나타내는 정보를 전달함으로써 이루어진다. 다른 하나는 차량에 기초한 배열(vehicle-based arrays)을 사용하는 데 본 시뮬레이션 모형에서는 이 방법이 쓰였다. 차량의 특정한 정보뿐만이 아니라 차량위치(vehicle position)가 각 차량에 영구히 할당된 배열요소(array elements)에 저장된다. 이 두 가지 시스템 내에는 여러 가지 선택의 종류가 있는데 어떤 특징들은 혼합되기도 한다. 스캐닝과 정보검색(information retrieval)과정은 저장방법(storage method)에 관련돼 있기 때문에 bookkeeping 체계는 한 통합적인 시뮬레이션 로직요소(integral simulation logic component)로서 간주되어야 한다.

Assigning Driver/Vehicle Characteristics

각 모의실험 운전자 및 차량단위에는 일정수의 모수(parameter)들이 배정되어야 하고 이 모수들은 시뮬레이션 내에서의 적절한 반응과 행태를 결정하는 데 사용된다. 본 시뮬레이션모형에 적용된 방법은 모든 모수들을 random이라고 간주하고 평균일반속도와 신호화교차로에서의 출발차두간격 같은 모수들의 특정확률분포(specified probability distributions)에서 무작위로 추출된 단위특성들을 배정하는 것이다.

The Entry Process

모의실험 차량들의 흐름은 모의실험 간선도로구간의 각 끝에서 적절한 도착분포를 가지고 생성되어야 한다. Warm-up교차로는 모의실험 간선도로의 입구에서 플래툰 도착과정(platooned arrival process)을 만드는 데 사용된다. <그림 6>에서 보여진 것과 같이 warm-up교차로라는 가설적인 교차로가 모의실험 간선도로의 각 끝에 더해지고 차량들은 warm-up교차로의 입구에서 도착차두간격(arrival headway, 본 모형에서는 2.0초)에 의해 생성된다. 이 차량들은 현실적으로 녹색시간내에 처리될 수 없기 때문에(특히 적색시간에 도착하는 차량들) 플래툰을 형성하게 된다. 각 warm-up교차로의 상류부에는 차량들이 무한으로 저장될 수 있다고 가정한다.



<그림 6> Warm-up 교차로

Warm-up Time

본 시뮬레이션 모형은 간선도로체계의 초기상태를 빈(empty) 상태로 가정하기 때문에 시뮬레이션이 시작한 이후에 간선도로체계가 차량으로 채워지기 위해서는 일정시간이 필요하다. 세 교차로로 이루어진 포화 간선도로망에서 교차로에 진입하는 통행량과 교차로에서 진출하는 통행량을 각각 입력(input)과 출력(output)으로 표시할 수 있다. 입력과 출력이 같을 때에는 대기차량에 의한 앞막힘은 일어나지 않는다. 그렇지만 간선도로 적색시간 동안에 간선도로로 들어오는 회전교통량이 많아질 때에는 상황이 달라지기 때문에 이 회전교통량은 대기차량에 의한 앞막힘을 일으키는 중요한 요소이다.

잔여(leftover)차량은 도착한 교차로의 첫 청색시간 동안에 하류부 교차로로 진행하지 못하는 차량으로 정의된다. 한 링크 안에서 잔여차량의 수는 녹색시간 중 입력과 출력이 같을 경우 회전차량 수의 함수이다. 대기차량에 의한 앞막힘은 잔여차량과 도착차량의 수가 링크용량을 초과할 때 발생한다. 모수의 변화성(variability)이 없다고 가정할 때 이러한 종류의 대기차량에 의한 앞막힘은 첫 번째 대기차량에 의한 앞막힘이 발생한 이후 전체 시뮬레이션 기간동안 계속 발생하게 된다. 따라서 warm-up시간 t_w 은 다음과 같이 계산될 수 있다:

$$t_w = (\text{dist}/X)/\min(nlt, nrt) \quad (5)$$

여기서

l = warm-up 시간 (주기 수)

dist = 링크길이(ft)

X = 공간차두간격(ft/veh)

nlt = 주기당 좌회전교통량

nrt = 주기당 우회전교통량

이 warm-up시간은 잔여차량들로 링크가 차게되는 데 걸리는 시간과 거의 비슷하다.

3.2 모형의 기본 가정과 로직

- 본 모형은 과포화 교통상태를 위하여 특별히 고안되었다. 간선도로 입구에서의 교통수요는 용량보다 크고 수요는 첫 번째 교차로에서의 도착차두간격으로 주어진다. 하류부 교차로의 교통수요는 상류부 교차로의 녹색신호시간에 의해 조절된다. 간선도로 도착차두간격은 차량 당 2초로 주어지는 데 이 값은 차선·차량 당 1800대와 같다. 만일 포화교통류율이 1,800 vphpl 이라면 간선도로입구는 항상 과포화 상태가 된다.

- 교차도로 입구에서의 교통수요는 교차도로 포화도가 녹색시간 신호 비(green ratio)에 의해서 결정될 수 있도록 정해진다. 교차도로 도착차두간격은 차량 당 7.2 초로 주어지는 데 이 값은 차선·차량 당 500대와 같다. 따라서 교차도로 녹색시간이 전체녹색시간의 27.7% (=500/1800)보다 짧으면 교차도로입구는 과포화 상태가 된다.

- 시물레이션 과정을 통하여 추적되는 가장 중요한 사건에는 각 차량의 도착과 출발시간이 있다. 모형에서 각 차량의 움직임은 주로 출발차두간격과 평균일반속도에 의해 결정된다. 각 차량의 출발시간은 주로 출발차두간격에 의해 결정된다. 각 차량의 도착시간은 주로 출발차두간격과 평균일반속도에 의해 결정된다. 따라서 본 모형에서 출발차두간격과 평균일반속도 자료는 필수적이다.

- 본 모형에서는 event-based 스케닝방법이 채택되었으므로 두 연속적인 사건 사이에 무슨 일이 일어나는지 확인할 필요는 없다. 일단 차량이 교차로의 정지선을 출발하면 확인되어야 할 다음 사건은 하류부 링크에서 그 차량의 도착시간이다. 따라서 예를 들면 평균일반속도만 제대로 적용된다면 출발과 도착시간 사이의 어떤 점에서의 가속도, 감속도, 또는 주행속도는 확

인될 필요가 없다. 차량은 기준선(reference line)을 출발하여 하류부 링크가 비어 있을 때에는 언제나 녹색시간동안 주어진 평균일반속도로 움직이게 된다. 만일 대기차량에 의한 앞막힘이 하류부 링크에 발생한다면 상류부의 차량들은 하류부 링크에 빈 공간이 생길 때까지 기다려야 한다.

- 차량이 기준선을 출발할 때 하류부의 통행가능거리에 기초한 평균일반속도가 각 차량에 주어진다. 그 다음에는 주어진 평균일반속도로 하류부 교차로로 움직이게 된다. 따라서 각 차량은 움직일 때 앞차 및 뒤차와 각각의 공간 및 시간차두간격 관계를 갖게되는데 이 것은 플래튼 분산모형이 사용된다는 것을 의미한다. 그렇지만 본 모형에서는 event-based 스케닝방법이 채택되었으므로 이 현상이 하나의 사건으로 확인될 필요는 없다.

- 과포화 조건의 특성상 추월은 허락되지 않는다.
- 우(좌)회전차량은 회전 후 가장 오른(왼)쪽 차선으로 진입한다.
- 승용차 또는 승용차 크기의 차량만 고려된다.
- 황색신호시간은 녹색신호시간에 포함된다.
- 간선도로나 교차로 접근로에 경사는 없다.
- 녹색신호시간 중에 하류부 링크가 꽉 찼을 때에는 하류부 대기차량 뒤의 차량 한 대길이의 공간이 항상 진행차량을 위해 주어진다. 따라서 대기차량에 의한 앞막힘은 진행차량이 녹색시간에 꽉 찬 하류부 대기차량 뒤에 합류했을 때 발생한다. 만일 대기차량에 의한 앞막힘이 발생하면 대기차량 뒤에 합류한 차량은 앞에 빈 공간이 생길 때까지 그 교차로를 막게 된다.
- 실제 시물레이션은 warm-up시간 후에 시작하는 데 warm-up시간은 일정 수의 신호주기로 정해진다.
- 시물레이션 기간은 시물레이션에서 처리될 차량의 수로 표시된다.

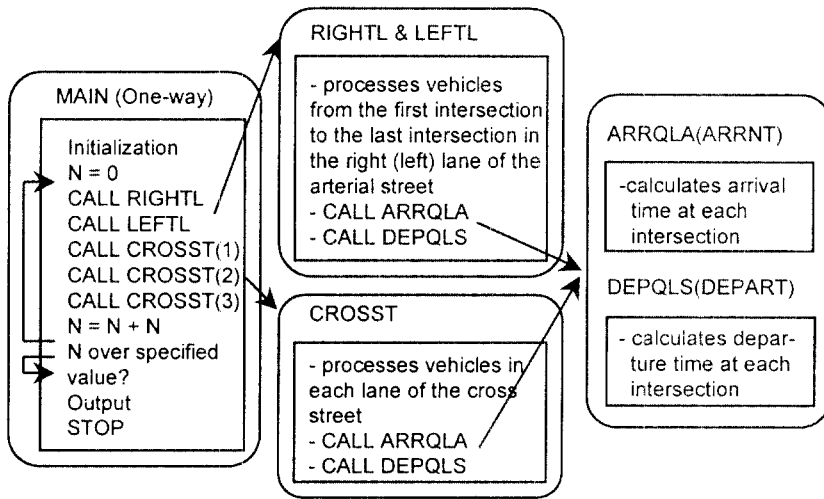
3.3 시물레이션모형의 구조

본 시물레이션 모형은 하나의 MAIN 루틴과 여러 서브루틴으로 구성된다. MAIN 루틴은 세 주요 서브루틴을 포함한다(RIGHTL, LEFTL, CROSST). 두 서브루틴, RIGHTL과 LEFTL은 간선도로 통행을 진행하기 위해 수행된다. 양방향통행 운영(two-way operation)에서는 위

의 두 서브루틴은 MAIN 루틴에서 두 번씩 사용된다. 각 교차도로에 대해서는 CROSST라는 서브루틴이 교차도로 통행을 진행하기 위해 수행된다. 시뮬레이션 프로그램 실행의 개념적인 흐름도는 <그림 7>에 나타난 바와 같다.

량이 모의실험을 마칠 때까지 수행된다 (warm-up 시간이 끝난 후 간선도로와 교차도로에서 진행된 차량의 수 포함). Warm-up 시간은 일정 신호주기 수로 지정된다.

시뮬레이션과정 중에서 교차로에서의 도착시간과 출



<그림 7> 시뮬레이션 프로그램 실행의 개념적 흐름도

MAIN 프로그램은 간선도로 기하구조, 교통신호시간, 교통수요 및 시뮬레이션 기간 등의 시뮬레이션 입력자료를 읽어 들인다. 배열(array)의 초기화와 입력자료를 변환하기 위해 필요한 계산을 하면서 시뮬레이션은 시간 0에서 시작한다. 시뮬레이션이 시작될 때 간선도로체계에는 차량은 없고 링크는 비어 있는 것으로 가정된다. RIGHTL 서브루틴은 간선도로 오른쪽 차선에서 차량들을 생성·진행시킬 때 수행된다. RIGHTL 서브루틴에서 어느 교차로의 녹색시간이라도 끝나게 되면 LEFTL 서브루틴이 간선도로 왼쪽 차선에서 차량들을 생성·진행시키기 위해 수행된다.

첫 번째 CROSST 서브루틴은 LEFTL 서브루틴 수행 중 어느 교차로의 녹색시간이라도 끝나게 되면 세 교차도로 중 첫 번째 교차도로의 각 차선에서 차량들을 생성·진행시키기 위해 수행된다. CROSST 서브루틴에서는 왼쪽 차선의 차량들이 먼저 진행되고 그 다음에 오른쪽 차선의 차량들이 진행된다. 둘째 및 셋째 교차도로에 대해서도 CROSST 서브루틴은 첫 번째와 같은 방법으로 수행된다. MAIN 루틴은 지정된 수의 차

발시간은 주요 사건이다. 교차로에서의 도착시간은 대기차량의 유무에 따라 다르게 정의된다. 만일 링크에 대기차량이 없다면 차량이 교차로 정지선(기준선)에 도달하는 시간이 도착시간이고 그렇지 않다면 대기차량에 합류하는 시간이 도착시간이 된다. 교차로 출발시간은 차량이 교차로 정지선을 통과할 때의 시간이다. 만일 링크에 대기중인 차가 없다면 그 교차로에서의 도착시간과 출발시간은 같게된다.

세 차량진행 서브루틴은 각 교차로에서 도착 및 출발 서브루틴을 부르게 된다. 도착 서브루틴(ARRQLA와 ARRNT)은 각 교차로에서 각 차량의 도착시간을 계산한다. ARRQLA 서브루틴은 교차도로에서 간선도로의 회전교통량이 있을 경우에 사용되고 그렇지 않은 경우에는 ARRNT 서브루틴이 사용된다. 출발 서브루틴(DEPQLS와 DEPART)은 각 교차로에서 각 차량의 출발시간을 계산한다. DEPQLS 서브루틴은 하류부 링크에 대기차량에 의한 압박힘이 일어났을 때 차량의 출발을 지연시키는 기능을 가지고 있다. 하류부 링크가 꽉 찼을 때에는 상류부 교차로 정지선으로부터 오

직 한 대의 차량만이 하류부 링크의 대기차량에 합류할 수 있는데 이 때 대기차량에 의한 앞막힘이 일어난다. 이 경우에 뒤따르던 차량들은 교차로에 걸린 차량이 움직여서 하류부 링크에 공간이 생길 때까지 기다려야 한다. 만일 이 대기차량에 의한 앞막힘이 현재 녹색시간 내에 해소되지 않는다면 이 것이 해소될 때까지 이 교차도로의 통행은 막히게 된다.

3.4 시뮬레이션 실행 예

본 모형의 이해를 돕기 위해 시뮬레이션 실행 예를 자세히 기술하였다. 선택된 예는 일방통행 2차로 간선도로와 세 일방통행 2차로 교차도로, 짧은 링크길이 (200 ft), 짧은 신호주기(60초)를 포함하고 있다. 시뮬레이션 실행을 위한 대상 간선도로체계는 <그림 8>에 나타난 바와 같다. 오프셋2는 0초, 오프셋3은 45초, 공통 신호주기는 60초, 간선도로 녹색시간은 40초, 교차도로 녹색시간은 20초가 사용되었다. 간선도로에서 교차도로로의 회전교통량은 주기 당 2대이고 교차도로에서 간선도로로의 회전교통량은 주기 당 1대이다. 200ft 길이의 링크에는 10대의 차량이 들어갈 수 있고 40초 간선도로 녹색시간에는 21대까지의 차량이 다음 교차로로 진행할 수 있다. 20초 교차도로 녹색시간에는 10대까지의 차량이 다음 교차로로 진행할 수 있다. 사용된 간선도로와 교차도로의 폭은 각각 60ft와 40ft이다. 간선도로의 각 차선에서 차량들이 진행되는 방식이 비슷하기 때문에 간선도로의 오른쪽 차선에 대해 기술하기로 한다.

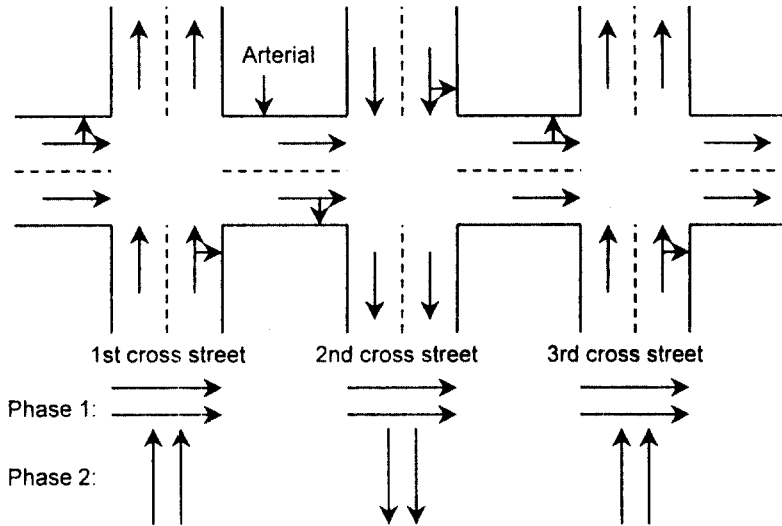
표 3은 시뮬레이션 실행 출력 예를 나타내고 있다. 이 표는 간선도로 오른쪽 차선에서의 부분적인 출력 (처음 30대의 차량에 대한)을 보여주고 있다. 세 번째 교차로에서 AT(도착시간)와 DT(출발시간)의 0 값은 두 번째 교차로에서 두 번째 교차도로로 나가는 차량을 나타낸다(out). 첫 번째 교차로에서 AT와 DT의 0 값은 첫 번째 교차로에서 간선도로로 들어오는 차량을 나타낸다(in). 첫 번째 교차로는 warm-up 교차로로 사용되기 때문에 정의에 의하여 여기서는 대기차량에 의한 앞막힘은 일어나지 않는다.

시뮬레이션은 $t = 0$ (t : simulation time)에서 첫 번째 교차로의 간선도로 적색신호(교차도로 녹색신호)로 시

작된다. 첫 번째와 두 번째 교차로의 간선도로 녹색신호는 $t = 20$ 에서 시작한다(시뮬레이션 시작 20초 후). 세 번째 교차로의 간선도로 녹색신호는 $t = 5$ 에서 시작한다 [20 (첫 번째 교차로의 간선도로 녹색신호 시작시간) + 45 (오프셋3) = 65 (두 번째 녹색신호 시작시간) - 60 (신호주기) = 5]. 대기차량에 있던 첫 번째 차량($m=1$)은 첫 번째 교차로를 $t = 22.0$ 에 출발하고(녹색신호 $t = 20$ 에 시작) 두 번째 교차로에 $t = 29.8$ 에 도착한다. 통행거리는 240 ft(200 ft(링크길이) + 40 ft(교차도로 폭))이고 적용된 평균일반속도(user-specifiable)는 30.9 ft/sec로서 첫 번째 차량이 두 번째 교차로에 도착하는 데 7.8 초 걸린다. 이 첫 번째 차량은 두 번째 교차로의 녹색시간에 대기차량이 없을 때 도착하기 때문에 이 교차로를 서지 않고 통과한다. 열 네대의 차량($2 \leq m \leq 15$)도 같은 이유로 두 번째 교차로를 서지 않고 통과한다. 다섯 번째 차량은 세 번째 교차로에 적색시간이 시작된 후에 도착한다. 그 다음 열대의 차량($6 \leq m \leq 15$)도 세 번째 교차로에 적색시간에 도착한다. 따라서 열 다섯 번째 차량($m=15$)이 세 번째 교차로의 대기차량에 합류했을 때 대기차량에 의한 앞막힘 현상이 발생하게 된다. 열 여섯 번째 차량($m=16$)은 열 다섯 번째 차량이 $t = 65 + 1.1 * 11 = 77.1$ (세 번째 교차로의 두 번째 녹색시간은 $t = 65$ 에 시작)에 앞으로 움직이기 시작할 때까지 두 번째 교차로의 정지선에서 기다려야 한다. 그렇지만 열 다섯 번째 차량이 앞으로 움직이기 전에 두 번째 교차로의 신호등은 $t = 60$ 에 적색으로 변하게 된다. 교차로에 걸린 열 다섯 번째 차량은 거의 전체 교차도로 녹색시간 동안 [20 초 ($60 < t < 80$) 중 17.1 초 ($60 < t < 77.1$)] 두 번째 교차도로의 한 (오른쪽) 차선을 막게 된다. 나머지 다섯대의 차량($17 \leq m \leq 21$)은 두 번째 교차로에 적색시간에 도착한다. 두 번째 교차로를 서지 않고 통과했던 첫 번째 차량은 세 번째 교차로에 $t = 37.6$ 에 도착하는 데 두 번째 교차로에서와 같은 이유로 서지 않고 통과한다. 세대의 차량($2 \leq m \leq 4$)도 세 번째 교차로에 서지 않고 통과하는데 이 중 둘은 두 번째 교차도로로 회전한다.

3.5 Validation and Calibration

교통 시뮬레이션 모형을 검증하는 한가지 방법은 모



〈그림 8〉 시뮬레이션 실행 간선도로체계

의 실험한 효과적도(measure of effectiveness)와 실제 관측된 효과적도를 비교하는 것이다. 독립교차로의 한 접근로나 또는 전체 독립교차로를 모의실험할 때에는 이 방법이 실행 가능하다(feasible). 시뮬레이션 결과는 현장에서 실측된 값과 적절히 비교될 수 있고 이 모형은 현장 실측값과 같은 값을 출력할 수 있도록 다듬어질 수 있다. 그렇지만 실측 효과적도와 모형 효과적도가 일치해도 이 것이 모든 시뮬레이션 모형 요소들이 실제 상황(real world)을 제대로 대리 실행(emulation)하는 지 보장하지는 못한다. 상호보완적인 모형요소간의 상당한 양의 오차(positive errors)와 음의 오차(negative errors)들이 서로 상쇄되어 최종 결과치들이 정확한 것처럼 보일 수도 있기 때문이다. 따라서 모형요소들의 calibration이 전반적인 결과 효과적도(overall output measures of effectiveness)를 점검하는 것보다 더 중요할 수도 있다.

전반적인 결과치에 의한 네트워크 교통 시뮬레이션 모형의 검증(validation)은 방대한 양의 자료수집을 필요로 하기 때문에 일반적으로 실행 가능하지가 않다. 비록 충분한 양의 적절한 네트워크 현장 자료가 구해줄 수 있다 하더라도 시뮬레이션 모형 요소들의 calibration은 필수적이다. 과포화된 간선도로에서의 교통 시뮬레이션 과정의 검증(validation)은 주로 모형 요소들의 calibration을 통해서 이루어졌다. 전반적인 모형의 결과

효과적도도 합리성을 위해 점검되었고 극한 또는 한계 조건의 적절성도 주의 깊게 조사되었다.

앞에서 설명된 바와 같이 Efstathiadis의 연구의 출발 차두간격 자료가 사용 됐다. 그의 자료는 5,915개의 현장에서 실측된 자료를 포함하고 있고 미국 텍사스주 오스틴시의 5개의 교차로에서 수집되었다. 이 연구에 포함된 차종은 주로 승용차인데 미니밴과 작은 트럭도 포함되었다.

평균일반속도의 정의와 종류는 앞에서 설명한 바와 같다. 평균일반속도 자료도 텍사스주 오스틴시의 간선도로에서 수집되었다. Type 1 및 Type 2 속도자료는 실제 관측된 각각 1,061개 및 1,146개의 자료를 포함한다. 측정된 차량은 주로 승용차이고 물론 미니밴과 작은 트럭도 포함되었다.

또 다른 모형의 중요한 요소는 연속적인 차량출발반응 평균시간간격인데 이 자료는 대기차량에 있던 차량이 녹색신호가 시작된 후 앞으로 움직이기 시작하는 시간을 계산하는 데 사용되었다. George와 Heroy의 연구에 기초하여 현재의 교통상황을 적절히 반영하는 연속적인 차량출발반응 평균시간간격을 1.1초로 조정하였다.

모형이 실제상황을 얼마나 잘 나타내는지 보기 위하여 시뮬레이션 실행 예를 앞에서 자세히 기술하였다. 모형의 가장 중요한 두 가지 사건은 각 차량의 도

〈표 3〉 시뮬레이션 실행 출력 예

S ¹⁾	turn		1st Int.		2nd Int.			3rd Int.		
	in ²⁾	out ³⁾	AT ⁴⁾	DT ⁵⁾	AT	DT	NQ2 ⁶⁾	AT	DT	NQ3 ⁷⁾
1	0	0	2.0	22.0	29.8	29.8	0	37.6	37.6	0
2	0	1	4.0	24.5	32.3	32.3	0	.0	.0	0
3	0	1	6.0	26.6	34.4	34.4	0	42.2	42.2	0
4	0	2	8.0	28.6	36.4	36.4	0	.0	.0	0
5	0	2	10.0	30.4	38.2	38.2	0	46.0	67.0	0
6	0	2	12.0	32.3	40.0	40.0	0	49.8	69.5	1
7	0	2	14.0	34.1	41.8	41.8	0	51.1	71.6	2
8	0	2	16.0	35.9	43.7	43.7	0	52.4	73.6	3
9	0	2	18.0	37.7	45.5	45.5	0	53.6	75.4	4
10	0	2	20.0	39.5	47.3	47.3	0	54.7	77.3	5
11	0	2	22.0	41.4	49.1	49.1	0	55.8	79.1	6
12	0	2	24.0	43.2	50.9	50.9	0	56.8	80.9	7
13	0	2	26.0	45.0	52.8	52.8	0	57.7	82.7	8
14	0	2	28.0	46.8	54.6	54.6	0	58.5	84.5	9
15	0	2	30.0	48.6	56.4	56.4	0	59.2	86.4	10
16	0	2	32.0	50.5	58.2	82.0	0	84.8	88.2	11
17	0	3	34.0	52.3	62.1	84.5	1	.0	.0	2
18	0	3	36.0	54.1	63.4	86.6	2	95.9	95.9	2
19	0	4	38.0	55.9	64.6	88.6	3	.0	.0	0
20	0	4	40.0	57.7	65.8	90.4	4	98.2	98.2	0
21	0	4	42.0	59.6	67.0	92.3	5	100.0	100.0	0
22	1	4	.0	.0	79.4	94.1	6	101.8	101.8	0
23	1	4	44.0	82.0	87.9	95.9	7	103.7	103.7	0
24	1	4	46.0	84.5	97.2	97.7	5	105.5	127.0	0
25	1	4	48.0	86.6	97.7	99.5	1	109.3	129.5	1
26	1	4	50.0	88.6	98.4	101.4	1	110.6	131.6	2
27	1	4	52.0	90.4	99.7	103.2	2	111.9	133.6	3
28	1	4	54.0	92.3	101.5	105.0	2	113.1	135.4	4
29	1	4	56.0	94.1	103.4	106.8	2	114.2	137.3	5
30	1	4	58.0	95.9	105.2	108.6	2	115.3	139.1	6

1) S = 모의실험되는 차량의 총 수

2) in = 교차도로에서 간선도로로의 회전차량 수

3) out = 간선도로에서 교차도로로의 회전차량 수

4) AT = 도착시간(초)

5) DT = 출발시간(초)

6) NQ2 = (m-1)번째 차량이 두 번째 교차로에 도착했을 때 대기차량 수

7) NQ3 = (m-1)번째 차량이 세 번째 교차로에 도착했을 때 대기차량 수

차 및 출발시간이다. 각 차량의 출발시간은 주로 신호 시간과 출발차두간격에 의해 결정된다. 각 차량의 도착시간은 주로 출발차두간격과 평균일반속도에 의해 결정된다. 따라서 주어진 교통신호시간과 도로조건에서 각 차량의 움직임은 주로 출발차두간격과 평균일반속도에 의해 결정된다. 이 두 가지 요소 이외에도 연속적인 차량출발반응 평균시간간격은 대기차량에 의한 앞막힘이 발생하였을 때 그 교차로를 막고있던 차량이 앞으로 움직이기 시작하는 시간을 계산하는 데 사용된다. 모든 중요한 모형 요소들에 대해 현장에서 실제로 관측된 자료들이 사용되었고 대부분의 중요한 모형의 사건들이 주로 이런 요소들에 의해 결정되므로 본 모형은 실제 상황을 합리적으로 나타낸다고 할 수 있다.

4. 결론 및 향후 연구과제

기존의 네트워크 교통 시뮬레이션 모형들은 과포화 조건에 적용하는 데에는 적절치 못한 점들이 있었는데 본 연구에서는 이러한 과포화 조건에서 적용될 수 있는 교통 시뮬레이션 모형이 개발되었다. 이 모형은 기존의 교통조건을 평가하는 기본 시뮬레이션 기능 뿐 아니라 오프셋, 신호주기, 녹색신호비 등의 변수들에 대한 최적해(optimal solutions)를 찾을 수 있는 기능도 갖고 있다.

본 연구에서 개발된 모형은 과포화 교통상태에 적용하기 위해 처음으로 개발된 교통 시뮬레이션 모형이기 때문에 적용된 가정이나 간선도로 기하구조 등에 있어서 한계를 가지고 있다. 예를 들면, 교차도로에서는 일방통행만이 고려되었기 때문에(간선도로에서는 일방/양방통행 모두 처리 가능) 양방통행 교차도로까지 처리할 수 있게 모형이 확장될 필요가 있다. 하지만 양방통행 교차도로 운영방식은 신호 페이즈(phase) 수와 회전교통량의 복잡성을 증가시키기 때문에 주의를 필요로 한다. 과포화 교통상태의 특성상 교차로 제어방식은 고정식(pretimed signals)으로 제한되었다. 차량 및 운전자 종류 수(number of vehicle/driver classes) 등의 단순화된 가정들도 현실화 될 필요가 있다.

참고문헌

- [1] Efstathiadis, S., Variability of Departure Headways at Signalized Intersections, Master's thesis, The University of Texas at Austin, 1992.
- [2] George, Jr., E.T. and Heroy, Jr., F.M., "Starting Response of Traffic at Signalized Intersections", Traffic Engineering, 1966, pp.39-43.
- [3] Press, W.H., et al. Numerical Recipes, Cambridge University Press, Cambridge, 1986, pp.191-203.
- [4] Ahn, G.H., Methodology for Traffic Signal Timing in Oversaturated Arterial Networks, Ph. D. Dissertation, The University of Texas at Austin, 1997.

● 저자소개 ●



안계형

1984년

서울대학교 조경학과 학사

1986년

서울대학교 환경대학원 환경계획학과 석사

1986~1988년

서울대학교 환경대학원 환경계획연구소 연구원

1997년

University of Texas at Austin, Civil Engineering, Ph.D.

1997. 7.~현재

교통개발연구원 ITS연구실 책임연구원

관심분야

Traffic Simulation, Traffic Signal, Intelligent Transport Systems