

혼잡시 통행시간 산정을 위한 Flow Simulation 개발

박 중 일* · 이 인 원**

Development of Flow Simulation to Estimate Peak-Hour Travel Time

Jong-Il Park* · In-Won Lee**

요약 : 정보통신분야의 발달은 유비쿼터스(Ubiquitous) 환경을 구축함으로써 교통분야에 지능형 교통체계(ITS: Intelligent Transportation System)의 핵심적인 부분인 첨단교통정보체계(ATIS: Advanced Traveller Information System)를 더 빠르고 정확하게 운전자에게 제공할 수 있는 환경을 제공하게 되었다. 그러나 교통 혼잡시 교통네트워크의 통행시간 산정기법은 교통량과 통행시간의 관계를 통한 단순증가함수를 사용하고 있다. 이는 통행배분모형에서 수리적 계산을 용이하게 하기 위해 단순화시킨 것으로 혼잡시의 교통류 상황이나 용량와해현상 등 현실에서 관찰되는 현상을 반영하지 못하고 있다. 따라서, 본 논문에서는 혼잡시 보다 현실적으로 통행시간을 산정하는 새로운 Flow Simulation을 개발하고자 한다. 본 논문에서 개발한 모형에서는 새롭게 대기행렬을 반영한 통행시간산정식을 모형에 적용하고 동적통행배분방법을 구축하여 가상의 Network에서 시뮬레이션 후, 그 모형치를 비교·분석하여 각 모형의 유용성 및 한계를 제시하고자 한다.

주제어 : 시뮬레이션, 동적통행배분, 대기행렬, 통행시간

ABSTRACT : The development in the information technology area has enabled drivers to use the ATIS (Advanced Traveller Information System) more easily by establishing ubiquitous environment where users may access the network at any place and time. The ATIS is the central part of the ITS (Intelligent Transportation System). The travel time of a transportation network at rush hours, however, has been calculated based on a simple proportional function between the traffic volume and travel time. This simplified method has been adopted in the trip assignment model for technical reasons with the result that the actual traffic flow at rush hours has not been properly reflected. Therefore, the objective of this study is to develop new type of flow simulation for more practical travel time estimation at peak-hour. Against this background, a new flow simulation model has been developed in this study. The travel time calculation formula reflecting the queue has been applied to this model and a dynamic flow distribution method has been constructed. Finally, the values and limits of each model have been presented after simulating in the imaginary network.

Key Words : flow simulation, queue, travel time

* 국토연구원 SOC-건설경제연구실 연구원 (Researcher, Infrastructure & Construction Economics Research Division, Korea Research Institute for Human Settlements), 논문주작성자임.
 ** 홍익대학교 도시계획학과 교수(Professor, Department of Urban Planning, Hong-ik University)

I. 서론

정보통신분야의 발달은 유비쿼터스(Ubiquitous : 사용자가 장소에 상관없이 자유롭게 네트워크에 접속할 수 있는 정보통신환경) 환경을 구축함으로써 교통분야에 지능형 교통체계(ITS : Intelligent Transportation System)의 핵심적인 부분인 첨단교통정보체계(ATIS : Advanced Traveller Information System)를 보다 빠르고 정확하게 운전자에게 제공할 수 있는 환경을 제공하게 되었다. 그러나 교통 혼잡시 교통네트워크의 통행시간 산정기법은 주로 교통량과 통행시간의 관계를 통한 단순증가함수를 사용하고 있다. 이는 통행배분모형에서 수리적 계산을 용이하게 하기 위해 단순화시킨 것으로 혼잡시의 교통류 상황이나 용량와해현상 등 현실에서 관찰되는 현상을 반영하지 못하고 있다. 따라서 실시간으로 변하는 교통여건변화 및 단기예측에 대한 근본적인 한계를 드러내고 있다.

또한 교통류의 통행배분방법에서 주로 사용되고 있는 정적통행배분은 안정적인 상태이며, 시간의 변화에 의해 변하지 않는다는 가정을 전제한다. 이러한 전제에 의해 정적통행배분은 비교적 긴 시간대에 대한 평균적인 교통류 행태를 예측할 수는 있지만 시간에 따라 변화하는 교통류의 특성을 묘사할 수는 없다. 또한 교통류가 대상 지역에 균일한 분포를 갖는다는 가정도 내재하고 있어 여러 연구자들은 이러한 가정들을 정적통행배분기법의 한계로 지

적하였으며, 교통 네트워크의 교통현상을 동적(dynamic)으로 분석하는 기법들이 제시되고 있다.

따라서, 본 논문에서는 Flow Simulation 기법을 선정하고 통행시간산정에서는 기존 BPR식에 대기행렬을 반영한 통행시간산정식을 Flow Simulation 모형에 적용하여 가상의 Network에서 시뮬레이션 후, 그 모형치를 비교·분석하여 각 모형의 유용성 및 한계를 제시하고자 한다.

II. 대기행렬을 반영한 Flow Simulation 모형 개발

1. 통행시간 산정기법의 선정

1) 단순증가식¹⁾

BPR(Bureau of Public Roads)식은 교통량이 증가하면 이에 비례해서 통행시간도 증가한다는 단조증가함수이다. 여기서 교통량이 교통수요로 정의된다면 물론 이론적으로 타당하다. 그러나 BPR식에 적용된 교통량 V 와 교통용량 C 는 교통수요가 아닌 시간당 통과교통량의 측정을 통해 이루어졌다. 교통량이 시간에 따른 통과교통량으로 정의된다면 수학적 오류가 발생한다. 교통상황이 혼잡에서 비혼잡상황으로 전이될 때 교통량이 증가함에 따라 동시에 속도도 증가한다. 따라서, BPR식의 문제점을 해결하기 위한 여러 시도들이 이루어졌다. 그 시도들 중의 하나가 대기행렬을 반영한 통행시간산정식이다.

1) 박성균(1999) 참조

2) Point Queue 에 의한 접근²⁾

이주현(1998)은 링크 누적교통량을 적용하는 통행시간 산정기법을 제시하였다. 먼저 유출입누적차와 통행시간의 관계를 선형으로 보는 직선식과 곡선관계로 보는 곡선식을 제시하였다. 혼잡 증가시와 해소시의 비가역적 특성을 반영하여 T_0 를 BPR식의 형태로 보정하는 형식을 취하여 유출입누적차와 유출입비를 결합하는 모형을 제시하였다.

$$\text{직선식: } T(k) = T_0 + \alpha \left[\sum_{k=0}^k \{u(k) - v(k)\} \cdot \Delta k \right]$$

$$\text{곡선식: } T(k) = T_0 + \alpha \left[\sum_{k=0}^k \{u(k) - v(k)\} \cdot \Delta k \right]^m$$

여기서, $T(k)$: k 시간대 평균통행시간(초)
 T_0 : 자유교통류에서의 통행시간(초)
 $u(k)$: k 시간대 유입교통량(대/분)
 $v(k)$: k 시간대 유출교통량(대/분)
 $\Delta(k)$: time slice(분)

3) Physical Queue 에 의한 접근³⁾

유출입누적차식의 경우 혼잡대기차량의 증가 및 감소에 따라 계수값 γ 가 변화할 수 있는 것을 고정하고 있기 때문에 문제가 발생한다. 이성렬(2004)은 교차로 지체도 산정시 교차로 정지지체를 접근지체로 변환할 때 곱하여 산정하는 방법을 적용하였다. 정지지체를 의미하는 누적교통량에 의한 통행시간에 접근지체(Physical Queue)를 반영하는 보정계수를 도출

하여 그 비율만큼의 증가분을 반영하였다.

$$T(k) = T_0 + \gamma \left[\sum_{k=0}^k \{u(k) - v(k)\} \cdot \Delta k \right] + \delta \left[\gamma \left[\sum_{k=0}^k \{u(k) - v(k)\} \cdot \Delta k \right] \right]$$

$$T(k) = T_0 + \gamma \left[\sum_{k=0}^k \{u(k) - v(k)\} \cdot \Delta k \right] (1 + \delta)$$

여기서, $T(k)$: k 시간대의 평균통행시간(초)
 T_0 : 자유교통류에서의 통행시간(초)
 $u(k)$: k 시간대의 유입교통량(대/분)
 $v(k)$: k 시간대의 유출교통량(대/분)
 Δt : time slice
 γ, δ : parameter

그는 유출입누적차식(방안 1)과 혼잡누증현상식(방안 2)을 적용하여 강변북로의 한강철교~한강대교 560m 구간의 자료를 분석하였다. 연구결과는 <표 1>와 같다.

<표 1> 방안 1과 방안 2의 시뮬레이션 결과

	적용모형	결정계수 (R^2)	MRSS (초)	MAPE (%)	평균 오차(초)
방안 1	유출입누적교통량 모형	0.956	226.05	42.23	±15.03
방안 2	혼잡누증현상 모형	0.983	102.28	13.11	±10.12

방안 2는 결정계수가 0.983으로 방안1 보다 크게 도출되었고, 관측치에 대한 모형오차의 백분율을 나타내는 평균절대백분비오차율(MAPE : Mean Absolute Percentage Error)은 13.11%

2) 이주현(1998) 참조

3) 이성렬(2004) 참조

로 분석되었으며, 잔차의 평균적인 크기를 나타내는 잔차제곱평균(MRSS : Mean Residual Sum of Square)은 102.28초로 방안 1 보다 작은 값을 도출하였다. 또한 모형오차는 ± 10.12 초로 분석되었다. 따라서 혼잡누중계수 적용식이 혼잡 진행과정 전체에 걸쳐 통행시간을 비교적 정확히 예측하며 이는 혼잡누중계수의 특성이 유출입누적차 직선식의 비혼잡시 통행시간 과대추정 보정 및 혼잡시의 대기행렬 길이에 따른 통행시간의 증감을 반영해 준다는 모형의 개념이 통계적으로 유의하다는 것을 의미한다고 주장했다.

4) 통행시간 산정기법의 선정

앞에서 제시한 대기행렬을 반영한 통행시간 산정기법 중 Physical Queue에 관한 접근이 가장 이론적으로 타당하나 제시된 식의 검증이 단일 링크의 연속류를 대상으로 하여 이루어진 것으로서 합류부와 분류부의 특성을 반영하지 못하는 점, 차선변경이 없다는 가정하에 1개 차로를 기준으로 연구가 진행되었다는 점 등 앞으로 좀 더 많은 연구와 검증을 거쳐야 할 것이다.

따라서 본 모형에서는 많은 연구가 있었으며 어느 정도 검증이 이루어진 Point Queue(유출입누적차식)를 반영한 통행시간 산정식을 적용할 것이다. 이주헌(1998)에 의해 제시된 식을 그대로 적용하지 않고 혼잡 미발생시에는 BPR식을 그대로 사용하고 혼잡이 발생하여 대기행렬이 생길 때는 유출입누적차를 더하는

형태의 식을 새롭게 제안하여 통행시간을 산정할 것이다. α, β, γ 의 값은 이주헌의 연구에서 쓰인 계수값을 그대로 이용하였다. III장의 검증에서는 15분 단위로 분석하였기 때문에 V와 C는 한 시간이 아닌 15분 단위의 값을 적용하였다.

$$T(k) = T_0 \left[1 + \alpha \left(\frac{V}{C} \right)^\beta \right] + \gamma \left[\sum_{k=0}^k \{u(k) - v(k)\} \cdot \Delta t \right]$$

여기서, $T(k)$: k 시간대 통행시간(초)

T_0 : 자유교통류에서의 통행시간(초)

V : 교통량, C : 도로용량

$u(k)$: k 시간대 유입교통량(대/분)

$v(k)$: k 시간대 유출교통량(대/분)

Δt : 단위시간(분)

α, β, γ : parameter ($\alpha=0.15, \beta=4, \gamma=1, 9122$)

2. Flow Simulation의 개발

1) 개요

본 논문에서 개발한 모형은 SDI(Stochastic Dynamic Incremental) 모형⁴⁾을 바탕으로 하고 있으나 많은 부분에서 변화와 개량이 이루어졌다. 중심으로 연구가 이루어진 부분은 통행시간산정기법과 Queue에 의한 제약이다.

첫째, 모형의 수행 과정에서 변화가 이루어졌다.

SDI 모형에서 점진적(Incremental) 배분을

4) 이인원(1995) 참조

위해 출발존의 유출구를 먼저 수행하고 출발존을 수행하던 것을 본 모형에서는 선택 확률의 분모값을 프로그램 내에서 산출하기 위해 출발존을 먼저 수행하고 출발존의 유출구를 수행하도록 하였다. 이 변화로 인해서 SDI 모형에서 분모값을 임의의 값을 넣어서 반복 수행하던 불편을 없애고 프로그램 내에서 수립된 분모값을 도출할 수 있게 되었다. Iteration을 거듭하면서 주어진 범위내의 오차로 줄어들거나 최대 Iteration 수를 지정하고 프로그램을 수행하여 분모값을 도출한다(그러나 본 모형에서는 통행시간 산정식에 대한 평가를 포함하고 있어서 오차의 범위를 줄이기 위해 고정된 O-D를 넣고 프로그램을 수행하였다.).

둘째, Minimum Time Path 알고리즘을 Moore 알고리즘에서 D'Esopo 알고리즘으로 바뀌 사용하였다. 이는 기억장소 절약과 수행시간의 절감을 위한 것이다.

셋째, 통행시간 산정식의 변화이다.

SDI 모형에서는 BPR식의 문제점을 극복하기 위해 링크의 통행특성을 가장 잘 나타낼 수 있는 밀도값을 도출하여 통행시간을 추정하였으나 본 모형에서는 대기행렬을 반영한 통행시간 산정식을 이용하여 통행시간을 도출한다.

넷째, 혼잡에 대한 제약 조건이다.

본 모형에서는 용량에 의한 제약과 Queue에 의해 제약을 받도록 하였다. 최단경로로 시간을 인식하며 점진적으로 배분을 하면서 매 Link마다 배분된 양이 용량을 초과하는지 또 Queue가 발생하는지 계산을 하면서 배분이 이루어진다. 이때 Queue가 발생하면 그만큼의 통행시간을 다음 시간대에 더하고 배분이 이

루어진다. 이 과정에서 후행링크의 용량을 초과하여 Queue가 발생하면 그 후행링크에 발생된 Queue만큼의 통행시간이 더해진다.

2) 모형의 이론적 배경

본 모형의 이론적 배경 및 목적은 다음과 같다.

- 교통에서 인간의 선택행위를 모형화한 선택모형은 크게 순차적 선택모형(Sequential Choice Model)과 결합선택모형으로(Joint Choice Model)나눌 수 있는데 본 모형은 인간의 선택행위가 동시적(Simultaneous)으로 일어난다는 결합선택모형을 전제로 한다.
- 출발시간(t), 목적지(j), 교통수단(k), 경로(r)의 선택을 로짓모형을 사용하고 있는데 로짓모형은 개인의 효용극대화에 따른 확률이론에 그 이론적 배경을 두고 있다.
- 최소비용경로(Minimum Cost Path)에 따라 O/D표의 일정한 양을 우선적으로 배분한 후 이를 기초로 하여 통행시간을 다시 구하고 존간 새로운 O/D표를 구축하여 다시 일정한 양의 통행을 배분하는 점진적 통행배분법을 사용한다.
- Traffic Assignment 방식은 결정론적(Deterministic) 경로 방식 대신에 다중경로 선택적 배분 방식을 사용하여 행태적 관점에서 분석을 수행한다.
- 기존 정태적 모형에서 통행시간 산출을 위해 사용한 BPR식의 문제를 극복하기 위하여 대기행렬을 이용하여 통행시간을 산출한다.

- 3) 동태적 결합선택모형의 이론(선택확률의 형태)
본 모형의 선택확률의 형태는 다음과 같다.

$$T(i, j, k, r, t) = ESO_j \times P(i, j, k, r, t)$$

$$P(i, j, k, r, t) = \frac{U_{ijkrt}}{\sum_j \sum_k \sum_r \sum_t U_{ijkrt}}$$

$$U_{ijkrt} = \exp(\alpha \ln T_{ijkrt} + \beta \ln C_{ijkrt} + b_t + a_k)$$

여기서,

$T(i, j, k, r, t)$: 출발존 i에서 도착존 j에서 t 시간대에 k수단으로 경로 r을 선택하여 통행하는 통행량

ESO_j : 외생변수로 도착존 j의 교통량흡인력으로 출근통행인 경우는 j존의 고용자수, 등교통행인 경우는 j존의 수용학생수, 기타통행인 경우는 인구, 고용자 및 상면적을 고려하여 결정된 값

$P(i, j, k, r, t)$: i존에서 j존으로 t시간대에 k수단을 이용해 경로 r로 통행하는데 소요되는 통행시간

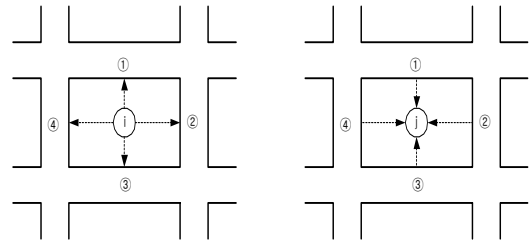
$C(i, j, k, r, t)$: i존에서 j존으로 t시간대에 k수단을 이용해 경로 r로 통행하는데 소요되는 통행비용

α, β : 매개상수(Parameter)

b_t, a_k : 더미변수(Dummy Variable)

4) 다중경로 선택적 배분방식

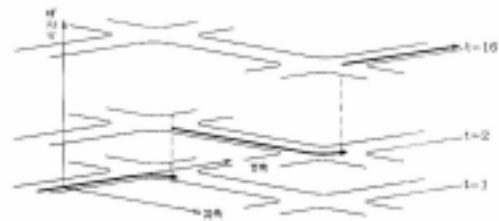
출발자가 출발존(i)과 도착존(j)에서의 진출입구 선택은 가능한 모든 노드에서 선택할 수 있도록 확률적으로 배분하며 i 존에서 j 존으로의 경로수는 총 16개이다.



<그림 1> 다중경로 선택적 배분방식

5) 미시 동태적 배분(Temporal Micro-Assignment)

오전 혼잡시간 4시간(6~10시)을 15분 단위로 16개의 출발시간 통행수용(departure time traffic demand)과 평면의 가로망 data를 아래 그림과 같이 16개의 가로망으로 확장시켜 사용한다. 점진적 배분원칙과 다중경로 배분원칙에 의하여 기점과 종점사이의 16개의 Route로 배분시킴으로써 차량을 비교적 적은 꾸러미(2대 이하)로 배분시키고 차량군이 기점과 종점사이의 주행시간 및 각 node의 진행시간을 인지하여 차량군의 공간-시간상의 위치를 정하여 배분한다.



<그림 2> 미시 동태적 배분의 개념

6) 모형의 수행과정

본 모형의 수행과정은 다음 그림에서 보는 바와 같이 준별 사회·경제지표(인구, 고용자수, 학생수)와 Network자료가 입력(Input)자

료로 구축되어야 한다. Iteration 과정은 선택확률의 분모값을 수렴하기 위한 것으로 모형에서는 최대 Iteration 횟수는 50회, 수렴조건은 0으로 설정되어 있다(본 논문에서는 O-D를 고정하여 이 부분은 프로그램에서 제외하였다.).

프로그램 내부에서는 수형망 알고리즘(Tree Building Algorithm)에 의해 최소비용 경로를 구축하고 시간대, 도착존, 출발존, 수단 및 경로를 선택한 후 T_{ijkt} 를 로짓 모형에 의해 추정하는 다음 Traffic Assignment 및 Flow Simulation을 수행한다.



<그림 3> 모형의 수행과정

7) 교통류율(Flow Rate) 추정 방법론

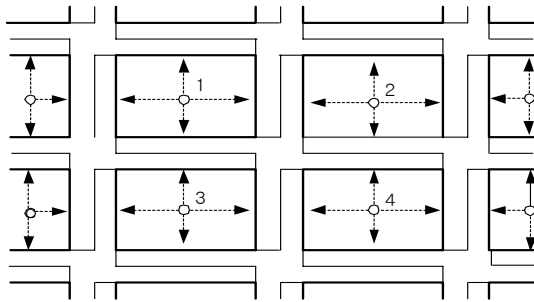
교통류율 산출을 위한 기본적인 전제로 주어진 시간대에 유입교통량이 그 링크의 용량 이상 유출될 수 없으며 그 링크에서 유출되지 못한 교통량은 다음 시간대에 유출된다는 것이다. 또 다른 전제는 교통량을 배분할 때 통행시간의 누적 시간을 인지하여 누적시간이 Simulation의 최소 Time Interval을 넘는 경우 다음 시간대에 Assignment 되도록 제약하였다. 용량제약, Queue, 통행시간의 제약으로 교통류율(Flow Rate)을 산출하도록 하였다.

8) 입력 데이터

입력 데이터는 총 5개로 zone data, link data, 교통수요자료, node의 XY 좌표값, zone의 가분모값이다. 전술한 바와 같이 본 논문의 사례연구에서는 O-D를 입력하였기 때문에 교통수요자료, zone의 가분모값의 두 data는 입력 자료로 활용하지 않았다.

(1) Zone의 표현방법

다음 그림에서와 같이 Zone 체계는 도로로 둘러 쌓여있는 Block을 하나의 Zone으로 구분하여 도로망 위주로 Zone 체계를 구축한다. 각 Zone Centroid에서 네 방향으로 유출입 할 수 있는 네 개의 결절점을 선정한 후 Zone Centroid에서 각 결절점간의 거리를 측정하여 입력한다.



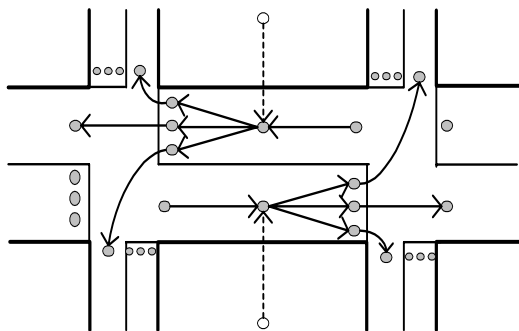
<그림 4> 존 및 Centroid체계

<표 2> 존 및 Centroid체계 코딩방법

존 번 호	노드번호	거 리 (m)
1	245	358.0
1	245	258.0
1	257	530.0
1	257	520.0
2	232	479.0
2	247	497.0
:	:	:

(2) Node의 표현방법

블록내의 교통상황을 좀 더 현실에 가깝게 표현하기 위해 아래 그림과 같이 교차로 접근부에 회전 방향별로 Node를 부여하여 Network를 코딩한다.



<그림 5> Node 체계

<표 3> Network 코딩방법

상류노드	하류노드	거리(m)	차로수	MS	G/C비
1	1,370	200.0	5.0	4	1.00
2	1	30.0	1.0	18	1.00
2	13	30.0	1.0	18	1.00
3	9	30.0	5.0	4	1.00
:	:	:	:	:	:

(3) 교통수요자료

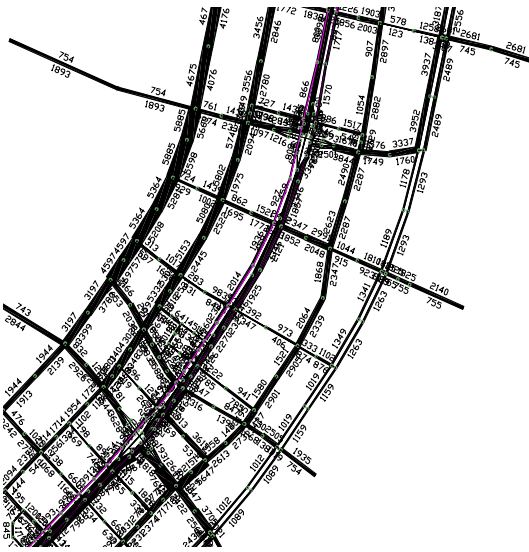
교통수요자료는 각 블록존별 외생변수로 인구, 고용자수, 학생수이다.

<표 4> 사회경제지표 데이터 코딩방법

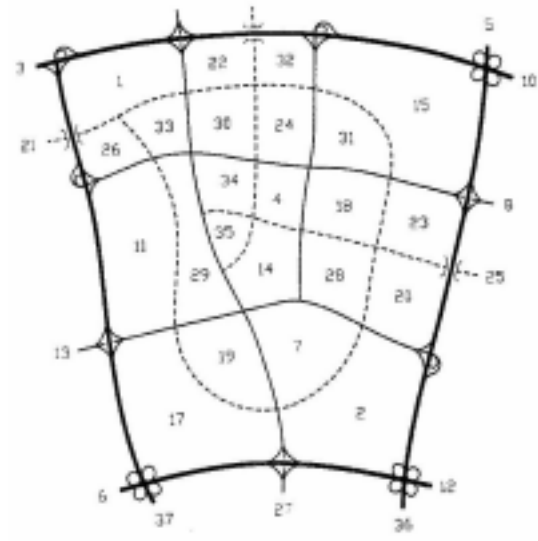
존 번호	인구수	고용자수	학생수
1	9,126	9,732	1,319
2	2,454	3,427	366
3	10,429	4,077	1,674
:	:	:	:

9) 출력결과물

모형 수행을 통해 생성된 출력파일에는 Output 파일, Demand, Flowrate 등이 표현된 네트워크 Map등이 있다. Output 파일에는 각 결절점간의 용량, 수요(Demand), 교통량(Flowrate), 속도, O-D 등이 포함되며, 분석대상 네트워크 전체의 시간대별 총 통행거리, 총 통행시간 및 분석시간 전체에 대한 총 통행거리, 총 통행시간 등이 포함된다.



<그림 6> Flowrate가 표현된 Network Map 의 예



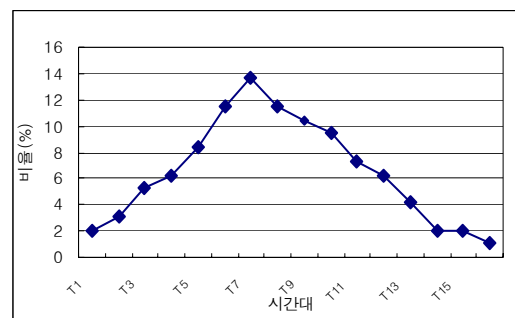
<그림 7> 가상 Network

III. 개발된 모형의 검증

1. 가상 네트워크 적용

아래 그림과 같이 가상 네트워크를 설정하여 검증하여 보았다. 가상 Network의 작성은 Homburger(1988)에 있는 주거지역의 도로망 설계 가로망을 사용하였다. Zone 수는 37개, Node 수는 629개, Link 수는 828개이다. 도로의 위계는 고속도로, 간선도로, 집분산도로이다.

O-D의 작성은 먼저 37개 Zone의 4시간 동안의 유입량과 유출량을 만든 다음 각 Zone간 거리 Table을 작성하여 Entropy Maximization Program을 이용 4시간 총 O-D를 작성하였고 16개의 시간으로의 분배는 아래 그림과 같은 비율로 작성하였다.



<그림 8> 시간대별 출발 O-D 의 비율

2. 모형의 수행결과 및 평가

모형의 수행결과를 관찰하기 위해 828개의 Link중 4개 Link를 추출하여 비교·분석하였다. 추출된 Link의 정보는 <표 5>와 같다.

<표 5> 추출된 Link의 정보

Link 번호	상류 Node	하류 Node	용량	차선수	도로의 기능	G/C 비
15	12	15	242	1	6	0.6
54	45	40	1500	3	1	1.0
113	94	107	1500	3	1	1.0
151	126	113	500	1	1	1.0

주 : 도로의 기능 중 1은 도시고속도로 본선부, 5는 주간선도로 직진, 6은 주간선도로 우회전을 의미한다. 각 기능별로 용량, 자유속도 등이 control 파일에 저장되어 있다.

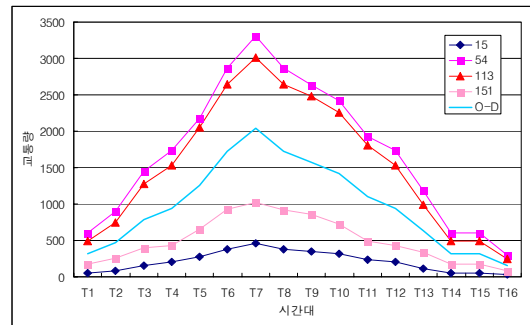
Demand의 계산은 Flow Simulation을 수행하는 과정, Network의 구성 및 배분할 O-D의 양 등은 모두 동일하나 Flowrate와는 별개로 수행된다. 즉 Demand는 Link 용량 저항함수의 하나인 BPR식을 이용하여 Link 통행시간을 구하고 Update된 시간을 이용하여 다시 최단 경로를 구하며 누적시간을 이용하여 배분될 시간대를 결정하였다. 즉, Flowrate와 Demand의 차이점은 용량 제약과 Queue의 제약이 이루어졌는가이며 또한 Link 통행시간 산정식도 다르다.

1) 시간대별 출발 O-D의 비율과 Demand의 비교

분석결과 시간대별 출발 O-D의 그래프의 형태와 Demand의 그래프 곡선의 형태는 거의 유사한 것으로 나타났다. 비교를 위해 삽입된 O-D그래프는 비교의 편의를 위해 일정량을 Y

축으로 확장하였다.

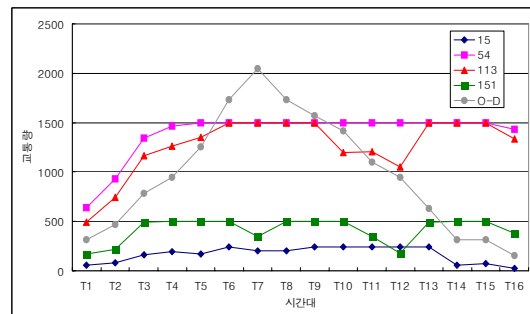
Demand는 용량과 Queue의 초과를 제약하지 않았으며 따라서 그래프와 같이 용량을 초과하여 수요가 발생하였다.



<그림 9> 시간대별 출발 O-D의 비율과 Link별 Demand의 비교

2) 시간대별 출발 O-D의 비율과 Flowrate의 비교

시간대별 출발 O-D와 Flowrate의 그래프 형태는 많은 차이를 보이고 있다. 이것은 혼잡으로 인해 통과 못한 양이 Queue로 남아 다음시간대로 이동, 배분되었기 때문이다. 따라서 Flowrate곡선의 모양이 불규칙적인 형상으로 나타난다. 특히 교통량이 많은 링크의 경우 Queue의 생성·소멸에 따라 물결치는 형상을 나타내는 경우가 많다.



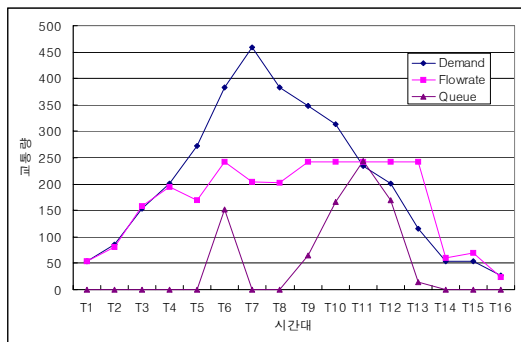
<그림 10> 시간대별 출발 O-D의 비율과 Link별 Flowrate의 비교

3) Link별 비교

5개의 링크 각각의 T1~T16 시간대에 걸친 Demand, Flowrate, Queue, Static LTT(Demand의 링크통행시간), Dynamic LTT(Flowrate의 링크통행시간)의 변화를 비교하여 분석하였다.

(1) 15번 Link

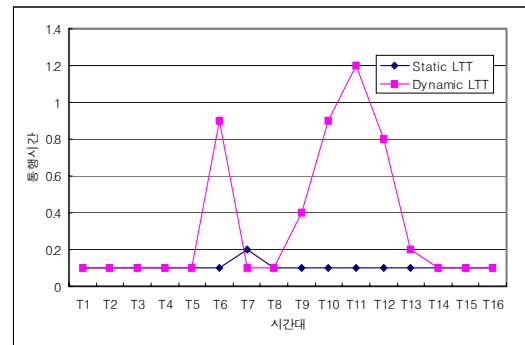
다음 그림에서 Demand는 O-D와 비슷한 형태를 취하고 있으며 Static LTT 역시 링크의 용량과 Queue를 고려하지 않고 있기 때문에 시간대에 걸쳐 Demand와 비슷한 형태를 나타내고 있다. 그러나 링크 용량과 Queue를 고려한 Flowrate와 Dynamic LTT는 다른 형태를 보이고 있다. 시간이 지남에 따라 O-D량이 증가하여 Flowrate는 점점 용량에 접근하고 T6 시간대부터 용량에 도달한다. 따라서 이 시간대부터 Queue가 발생하는 것을 알 수 있다. 즉, Flowrate의 증·감에 따라 Queue가 생성·소멸함을 알 수 있다.



<그림 11> Demand, Flowrate, Queue의 비교(15번 Link)

통행시간에 있어서 Static LTT와 Dynamic LTT의 값이 큰 차이를 보이는 것은 통행시간 산정에서 Queue를 반영하는 γ 의 계수값을 이

주현(1998)이 『동적통행배분 모형을 위한 통행시간 산정기법의 정립 및 검증』에서 제시한 값을 그대로 사용하였기 때문으로 생각된다. 추후 모형의 적용시 계수값을 Calibration의 과정을 거쳐 적용한다면 보다 개선될 것으로 생각된다.

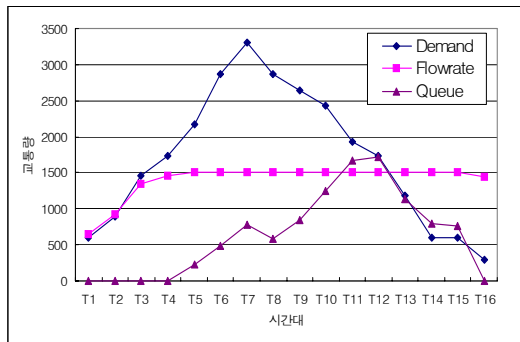


<그림 12> Static LTT, Dynamic LTT의 비교(15번 Link)

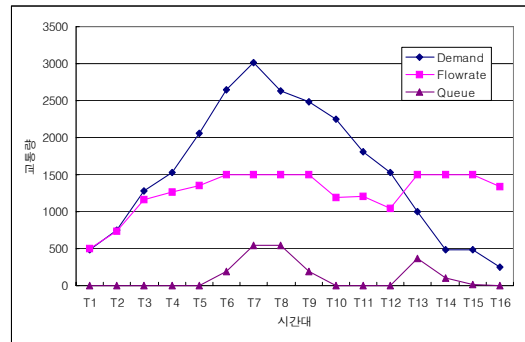
(2) 54번 Link

54번 링크의 경우 T11~T12에서 Queue가 링크의 용량을 초과하는 현상을 나타내고 있다. 이 경우 이 링크에 연결된 뒷 링크의 용량에 영향을 주어 링크 용량 초과분의 Queue만큼 통행시간을 더한다. 그러나 뒷 링크가 하나가 아닌 2~3개의 링크인 경우(삼거리, 사거리) 통행시간이 더해지는 링크가 불특정하게 나타나고 있었다.

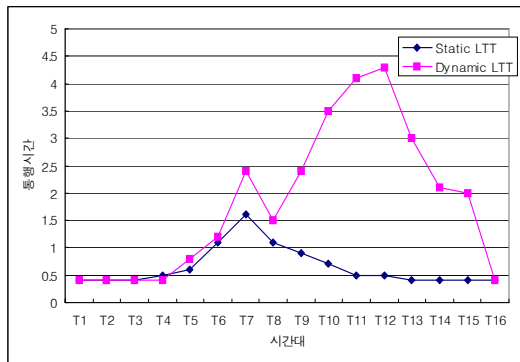
또한 Static LTT의 경우 T7에서 통행시간이 가장 높게 나타나고 이후 감소하지만 Dynamic LTT의 경우 T8 이후 꾸준히 증가하는 것으로 나타난다. 이는 수요(Demand)로 통행시간을 추정할 때와 교통량(Flowrate)으로 통행시간을 추정할 때의 차이가 극명하다는 보여준다.



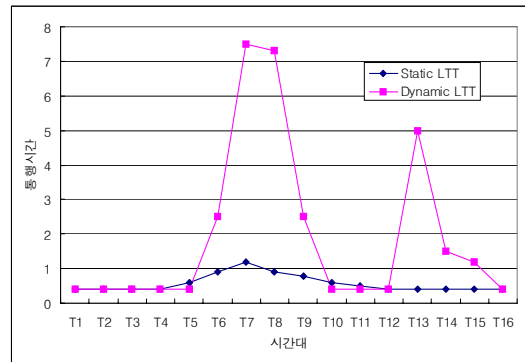
<그림 13> Demand, Flowrate, Queue의 비교(54번 Link)



<그림 15> Demand, Flowrate, Queue의 비교(116번 Link)



<그림 14> Static LTT, Dynamic LTT의 비교(54번 Link)



<그림 16> Static LTT, Dynamic LTT의 비교(116번 Link)

(3) 116번 Link

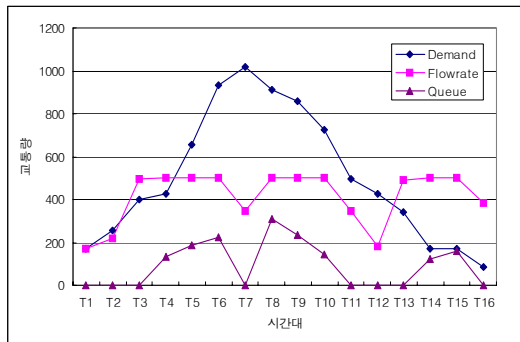
116번 링크에서는 앞·뒤 링크의 Queue의 영향이 없이 116번 링크자체만의 용량과 Queue의 제약을 받는 모습을 보이고 있다. Flowrate가 용량에 도달하면서 Queue가 생성되며 Flowrate가 감소하면서 Queue도 소멸하는 모습을 보이고 있다.

T13 시간대 이후에 Demand는 감소하지만 Flowrate는 용량에 도달하고 있어 Demand와 Flowrate의 차이를 분명하게 보여주고 있다.

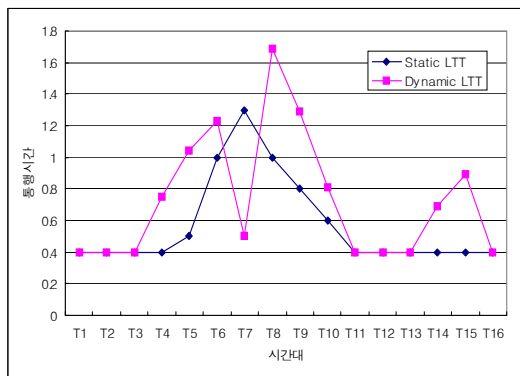
통행시간 추정에서는 Static LTT와 Dynamic LTT의 최고점이 모두 T7 시간대에서 나타났으나 T13 시간대에서는 큰 차이를 보이고 있다.

(4) 151번 Link

151번 링크에서는 T7 시간대에서 Demand가 최고점인데 반해 Flowrate는 낮은 값을 나타내고 있다. 따라서 통행시간에서도 T7 시간대에서 Static LTT는 최고점인데 반해 Dynamic LTT는 아주 낮은 값을 나타내고 있다. 이는 단기적인 교통계획에서는 Demand를 이용한 수요예측이 실제 현상을 제대로 반영하지 못하는 등의 문제가 발생할 수 있음을 보여준다. 또한 T13 시간대 이후에서는 Static LTT는 아주 낮은 반면 Dynamic LTT는 높게 나타나고 있다.



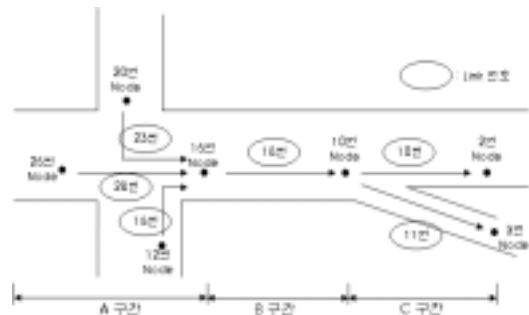
<그림 17> Demand, Flowrate, Queue의 비교(151번 Link)



<그림 18> Static LTT, Dynamic LTT의 비교(151번 Link)

4) 구간 분석

이번 절에서는 단일 링크가 아닌 연결된 여러 링크의 구간을 대상으로 분석하여 보았다.



<그림 19> 분석 구간의 Node · Link 체계

분석 구간의 6개 링크의 정보는 <표 6>과 같으며 가장 교통량이 많은 T9~T13 시간대를 대상으로 하였다.

<그림 19>와 <표 6>을 보면 여러 링크 중 Flowrate가 용량에 도달하여 Queue가 발생하고 있는 링크는 15번, 11번 링크이다. 이 두 링크의 Flowrate와 Queue의 변화가 이 구간에 어떤 영향을 미치고 있는지 분석하였다.

먼저 11번 링크의 경우 구간의 가장 앞 링크인 10, 11번 링크의 합을 보면 18번 링크의 Flowrate가 모두 흘러가지 못하고 Queue로 쌓이고 있음을 알 수 있다. 가령 T10 시간대에서 18번 링크의 Flowrate는 1,217대이나 10과 11번 링크의 Flowrate의 합은 948대로 269대는

<표 6> 시간대별, 링크별 Flowrate

Link 번호	From Node	To Node	용량	T9	T10	T11	T12	T13
15	12	15	242	242	241	241	241	241
23	20	15	500	483	484	483	483	483
28	25	15	1,000	317	491	565	571	589
합 계(15,23,28번 Link)			1742	1,042	1,216	1,289	1,295	1,313
18	15	10	1,500	1,043	1,217	1,290	1,296	1,315
10	10	2	1,000	418	448	718	698	1,000
11	10	3	500	499	500	500	500	500
합계(10,11번 Link)			1,500	917	948	1,218	1,198	1,500

11번 링크의 Queue로 쌓이고 있다. 이 경우 본 선부(10번 링크)는 용량의 여유가 있으나 램프부(11번 링크)의 정체가 발생하는 점을 정확하게 알 수 있다.

다음으로, 15번 링크의 경우 15번, 23번, 28번 링크의 용량의 합은 1,742대로 18번 링크의 용량 1,500대를 초과하며 따라서 병목지점을 알 수 있다. 15번 링크의 앞 링크인 18번 링크에서는 Queue가 전혀 발생하지 않고 있으며 T9~T13 시간대에 걸쳐 용량의 70%~86% 정도의 교통량이 흘러가고 있다. 반면 15번 링크의 경우 Flowrate가 용량을 초과하여 Queue가 발생하고 있어 혼잡이 일어나고 있음을 알 수 있다. 전통적인 수요 예측 방법을 통하면 구간 A가 아닌 구간 B에서 혼잡이 예상되나 본 모형에서는 보다 현실을 잘 반영하여 구간 B가 아닌 구간 A에서 혼잡이 일어나고 있으며 15번 링크에서 Queue가 발생하여 혼잡이 일어난다고 있음을 알 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 크게 통행시간산정기법과 Flow Simulation 기법에 대해 각 기법의 장단점을 고찰하고 문제점에 대한 개선방안을 제시하고 이 개선방안을 적용하여 새로운 Flow Simulation 모형을 개발하였다. 또한 개발된 모형의 타당성을 검토하기 위해 가상 Network에 적용하여 수행결과를 분석하였다. 가상 Network에서 혼잡시 교통상황에 대해 사실적으로 표현할 수 있었으며 교통량과 통행시간의 단순증가하는 관계를 가정하는 기존의 기

법에서 확대하여 교통혼잡에 대해 보다 사실적인 분석이 가능하게 되었다.

그러나 가상의 네트워크를 대상으로 실험을 하였기 때문에 실제 적용성을 분석하기에는 부족한 점이 있다. 본 논문에서 현실의 네트워크를 적용하여 사례연구를 하지 않고 가상의 네트워크를 통해 모형을 검증한 것은 모형의 현실적인 적용에 앞서 모형의 이론적인 체계를 먼저 구축하는 것을 목적으로 하였기 때문이다. 모형의 이론적인 체계가 논리적이고 체계적으로 구성된 후 현실에 적용하여 개선하는 작업이 필요할 것이다.

추후 모형의 현실 적용을 위해서는 몇 가지 미진한 점의 개선이 필요하다.

첫째로, 승용차 교통류만을 대상으로 시뮬레이션 했기 때문에 대중교통수단을 포함하는 시뮬레이션이 필요하다. 선택확률에 있어서 수단선택에 대한 연구가 더 필요하다. 또한, 중앙버스전용차로를 반영하기 위해서는 노드 체계를 수정하면 가능할 것이다. 버스전용차로의 노드를 추가하고 그 링크는 버스만 통행이 가능하도록 하면 될 것이다.

둘째로, 정확한 통행시간 추정을 위하여 장기적이고 광범위한 자료의 구축을 통한 객관적인 계수의 검증이 필요하다. 본 논문에서 Dynamic LTT가 Static LTT에 비하여 혼잡 상황에서 다소 높게 추정되는 것은 이주현(1998)이 『동적통행배분 모형을 위한 통행시간산정기법의 정립 및 검증』에서 제시한 계수값을 그대로 적용하였기 때문이다. 앞으로 현실에 적용하기 위해서는 Calibration을 통해 계수값을 추정하여 사용하면 보다 정확한 통행

시간 추정이 가능할 것이다.

셋째로, Network 데이터 입력에 많은 시간이 소요되므로 노드 구조를 개선하거나 Network 구축을 일괄 처리하는 방법이 필요하다. 본 모형은 타 모형에 비하여 입력 데이터를 만드는데 너무 오랜 시간이 소요된다. 이점은 Node 체계를 개선하여야 할 것인데 새로운 노드 체계를 만들어내기 보다는 타 모형의 노드 체계를 고찰하여 반영하는 것이 좋을 것이다.

넷째로, 한 링크에서 발생한 Queue가 링크의 용량을 초과하여 발생하는 경우 뒷 링크의 용량을 감소시키고 있으나 연결된 링크가 두 개 이상일 경우(삼거리, 사거리) 불특정하게 감소시키는 현상이 발생하고 있다. 이를 용량이 가장 큰 링크에 영향을 미치도록 하는 등의 일관성을 지니도록 개선해야 할 것이다.

참고문헌

강명규, 1991, 『네트워크와 알고리즘』, 박영사.
 노정현, 1999, 『교통계획-통행수요이론과 모형』, 나남출판.
 도철웅, 2004, 『교통공학원론 상』, 청문각.
 박노봉, 1996, “Flow Simulation 모형개발에 관한 연구”,
 홍익대학교 대학원 석사논문.

박성균, 1999, “교통량과 통행시간의 후굴성·비가역성·다중성에 관한 연구”, 홍익대학교 대학원 석사논문.
 원제무, 2005, 『도시교통론』, 박영사.
 이성렬, 2004, “접근지체를 이용한 Link 통행시간 산정에 관한 연구”, 홍익대학교 대학원 석사논문.
 이인원·정난희, 1993, “Stochastic Dynamic Assignment 모형의 개발과 활용”, 『대한교통학회지』 제11권 제1호.
 이인원, 1995, “도시간선도로 교통류 관리를 위한 교통 모형의 개발 및 검증”, 『대한교통학회지』 제13권 제4호.
 이주현, 1998, “동적통행배분 모형을 위한 통행시간 산정 기법의 정립 및 검증”, 홍익대학교 대학원 박사논문.
 임강원, 1986, 『도시교통계획-이론과 모형-』, 서울대학교 출판부.
 Ran, B. and D. E. Boyce, 1994, *Dynamic Urban Transportation Network Models: Theory and Implications for IVHS*.
 Ran, B. and D. E. Boyce, 1996, *Modeling Dynamic Transportation Network : An Intelligent Transportation System Oriented Approach*, Springer, 306~308.
 Sheffi, Y., 1985, *Urban Transportation Network*, MIT.
 Homburger, Wolfgang S., 1988, *Fundermental of Traffic Engineering*.

원 고 접 수 일 : 2005년 12월 28일
 1차심사완료일 : 2006년 1월 11일
 최종원고채택일 : 2006년 1월 23일