

■ 論 文 ■

# 기종점 기반 대규모 가로망 교통류 시뮬레이션 모형

A Path-based Traffic Flow Simulation Model for Large Scale Network

조 중 래

(명지대학교 교통공학과 교수)

홍 영 석

(명지대학교 교통공학과 박사과정)

손 영 태

(명지대학교 교통공학과 부교수)

## 목 차

- I. 서론
  - II. 기존 연구 고찰 : Cell Transmission
  - III. 시뮬레이션 모형 개발
    - 1. 가로망 입력 자료 및 셀 특성 구분
    - 2. 통행발생, 신호갱신, 경로변경 규칙
    - 3. 교통류 전이 규칙
    - 4. 셀 정보 갱신
  - IV. 모의실험
    - 1. 가로망 구성 및 데이터 구조
    - 2. 모의실험 분석결과
    - 3. 사례분석(서울시 4대문 가로망)
  - V. 결론 및 향후 연구과제
- 참고문헌

Key Words : 교통류 시뮬레이션, 행태적 분석, Cell Transmission, Large-Scale Network, 경로기반 모형

## 요 약

본 연구에서는 기존의 정적 모형의 문제점을 극복하고, ITS사업 등 새로이 제시되고 있는 다양한 정책분석을 위한 기본 틀을 마련하기 위해 대규모 가로망 교통류 시뮬레이션 모형을 제시한다. 교통류 시뮬레이션을 위해서는 기존의 Cell Transmission 이론을 원용하였으며, 분류부와 합류부 및 교차로 부분에서의 차량 전이 행태를 설명하도록 모형을 구성하였다. 또한, 본 연구에서 개발한 모형은 연속류와 단속류가 혼재되어 있는 도심 가로망을 분석할 수 있도록 설계되었다.

모의실험에서는 연속류의 분류부와 합류부에서 기존의 정적 모형에서 분석하지 못하였던 혼잡에 의한 후방 지체 현상을 분석하고 그 결과를 제시하였으며, 교차로 접근 도로에서 신호에 의한 지체가 전체 통행시간에 미치는 영향과 전체 통행시간에 대한 지체 비율을 분석하였다. 또한, 사례연구를 통한 서울시 4대문안 가로망(74개 존, 133개 신호교차로, 395개 노드, 1110개 링크, 145천대 차량) 교통류 시뮬레이션 결과를 통하여 기존의 동적통행배정모형 및 미시적 시뮬레이션 모형에서 다루기 힘들었던 중규모 이상의 가로망 분석이 가능한 것을 확인하였다.

본 모형은 연속류의 분류부와 합류부 그리고 단속류의 교차로에 대한 교통류 정밀분석이 가능하기 때문에 도로 계획 및 교차로 계획시 본 모형이 적용된다면 보다 정확한 분석이 가능할 것으로 판단된다. 또한 정보 제공에 대한 효과와 교통 사고 및 도로 공사 등이 가로망에 미치는 영향을 분석할 수 있도록 설계되어 있어, 향후 ITS 사업 평가 및 공사 중 처리 계획등에 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

## I. 서론

최근에 미국, 프랑스, 이탈리아, 일본 등의 선진국가에서는 기존의 거시적 모형인 전통적인 4단계 교통계획 방법의 한계를 극복하기 위하여 차량의 행태를 설명하는 미시적 모형에 대한 개발이 활발히 이루어지고 있으며, 우리나라에서도 이에 대한 개발이 추진 중에 있다. 또한, 최근에는 새로운 교통류 이론인 Cell Transmission 이론과 Cellular Automata 이론 등 새로운 접근 방법들이 제시되고 있다. 특히, Cell Transmission 이론은 Daganzo(1993)에 의해 제시되었으며, 하나의 링크를 동일한 특성을 가지는 구간으로 세분하여 거시적인 접근기법으로 교통류를 해석하는 방법이다. Cellular Automata는 가로망을 차량 1대가 점유하는 공간으로 나누어 차량의 추종과 차로 변경 등 차량 한대 한대를 미시적인 접근기법으로 분석하는 방법이다. 다른 한편으로 우리나라의 경우 일부 도시를 대상으로 ITS 사업을 시범적으로 추진하고 있으며 향후 전국적으로 ITS 사업이 확대될 것으로 기대되고 있다. 이러한 ITS 사업을 계획함에 있어 그 사업의 정확한 평가가 이루어져야 하나, 현재까지 ITS 사업의 정확한 사업 평가가 이루어지고 있지 않다. 따라서 ITS 사업의 정확한 사업 평가를 위한 방법 또는 모형의 필요성이 대두되고 있다.

기존의 전통적인 4단계 교통계획 프로그램들은 거시적 모형으로 실제 가로망에서 차량의 미시적 행태를 설명할 수 없으며, 특히 교차로에서의 신호에 의한 대기나 분류·합류 부에서 차량 행태를 설명할 수 없었다. 또한 일부 개발된 미시적 모형들은 가로망의 규모와 수행시간에 대한 문제점의 한계를 갖고 있다. 이러한 문제점들을 극복하기 위하여 일부 선진국에서는 다양한 접근방법을 이용하여 가로망의 미시적 분석이 가능한 모형을 개발하고 있다. 특히, 미국에서는 Cellular Automata 이론을 이용한 TRANSIMS와 DYNAMIT, DYNASMART, INTEGRATION 등의 개발이 완료되었거나 개발 중에 있으며, 프랑스에서는 METROPOLIS 라는 시뮬레이션 모형을 개발하여 테스트를 하고 있다.

본 연구는 기존 시뮬레이션 모형의 문제점을 보완하고 ITS 사업에 대한 평가 틀을 제공하기 위하여 Daganzo의 Cell Transmission 이론을 이용한 가

로망 시뮬레이션 모형을 개발하였다. 이 모형은 연속류와 단속류가 동시에 존재하는 도시부 가로망에 적용 가능하도록 계획하였으며, ITS 사업 중 여행자 정보 시스템을 평가할 수 있도록 정보 제공에 따른 통행시간 변화를 분석할 수 있도록 계획하였다. 기존 Cell Transmission 모형에서는 일반셀, 분류셀, 합류셀로 나누어서 가로망을 해석하였으며, 이때 분류셀과 합류셀은 수학적 접근방법을 통하여 차량의 전이 현상을 설명하였다. 본 연구에서 개발한 시뮬레이션 모형에서는 기존 모형에서 제시한 셀 구분을 보다 세밀하게 구분하였으며, 기존의 수학적 접근 방법과는 다른 경험적 접근 방법으로 차량의 전이 현상을 설명하였다.

## II. 기존 연구 고찰 : Cell Transmission

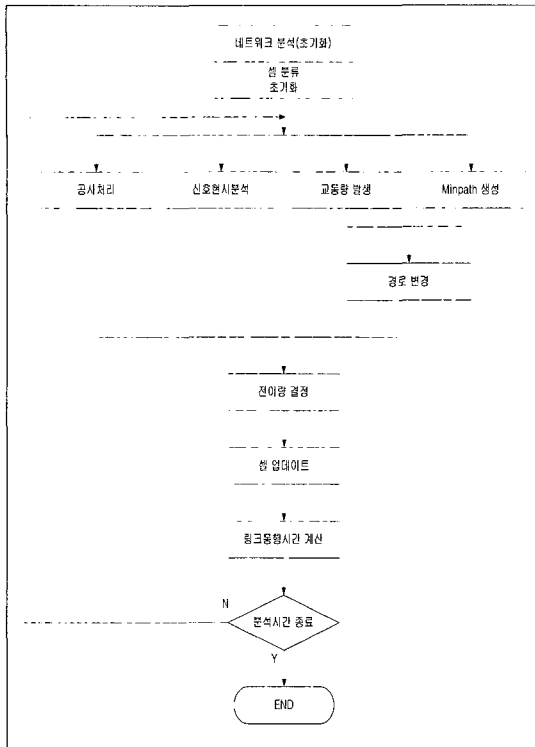
Daganzo(1993)의 Cell Transmission 모형은 가로망에 대해 모든 교통상태 하에서 각각의 링크를 동일한 특성을 가지는 구간으로 구분하여 교통류의 거시적인 방법에 기초한 교통류 이론을 제시한 모형이다.

셀의 길이는 한 Time interval(기본시간)동안 셀이 포함되어 있는 링크의 자유속도(낮은 수준의 교통류)로 주행할 수 있는 거리를 셀의 길이로 설정하다. 또한, 하나의 셀은 교통류율, 채널도 등의 기초 교통류 특성을 셀이 포함된 링크에서 그대로 이어받는다.

교통류 전이규칙은 이전 시간의 상류부 밀도와 하류부의 진입 교통류율, 하류부 셀의 여유밀도(후방 충격파를 고려한) 중에서 가장 작은 값만큼 상류부에 존재하는 차량이 하류부로 이동하게 된다. 합류셀의 전이과정은 본선과 연결로에 통행우선권을 어떻게 부여할 것인가와 통행우선권비율에 의해 전이량이 결정된다. 분류셀에서 분류되는 교통량은 분류셀에서 진행시킬 수 있는 최대교통량과 회전비율에 따른 하류부 셀에 진입할 수 있는 최대교통량 중 가장 작은 값으로 결정된다. 회전비율은 각 차량의 O/D 경로로 회전비율이 결정된다.

## III. 시뮬레이션 모형 개발

본 연구에서 개발하는 가로망 시뮬레이션 모형은 앞장에서 살펴본 교통류 이론인 Cell Transmission



〈그림 1〉 시뮬레이션 모형의 흐름도

이론을 이용하여 연속류 및 단속류가 혼합된 도시 가로망을 분석할 수 있는 모형을 개발하였으며, 개발된 시뮬레이션 모형의 분석과정은 〈그림 1〉과 같다.

### 1. 가로망 입력 자료 및 셀 특성 구분

#### 1) 가로망 입력 자료

본 연구에서 개발한 가로망 시뮬레이션 모형은 기존의 4단계 교통계획 시뮬레이션 모형에 비해 매우 많은 자료의 입력을 요구하게 된다. 따라서, 기존에 개발된 전통적인 4단계 교통 계획 프로그램인 4통8달의 가로망 자료와 호환되도록 데이터 구조를 설계하였다. 또한, 사용자의 편리성을 위하여 기존의 교통 운영 프로그램인 T7F와 유사한 입력 구조를 갖도록 하여 설계하였다.

가로망의 구성은 노드와 링크 자료를 기본 입력자료로 한다. 노드는 총 5가지로 구분하였다. 우선 통행의 발생·도착이 이루어지는 지점인 존센트로이드 노드(Type 0)와 존 센트로이드와 일반 노드를 연결

하는 존 연결노드(Type 9), 신호에 의해 링크의 교차를 허용하는 교차로 노드(Type 1), 신호 없이 링크의 분류·합류를 허용하는 분기 노드(Type 2), 노드와 노드를 연결하는 연결노드(Type 3)로 구분하였다.

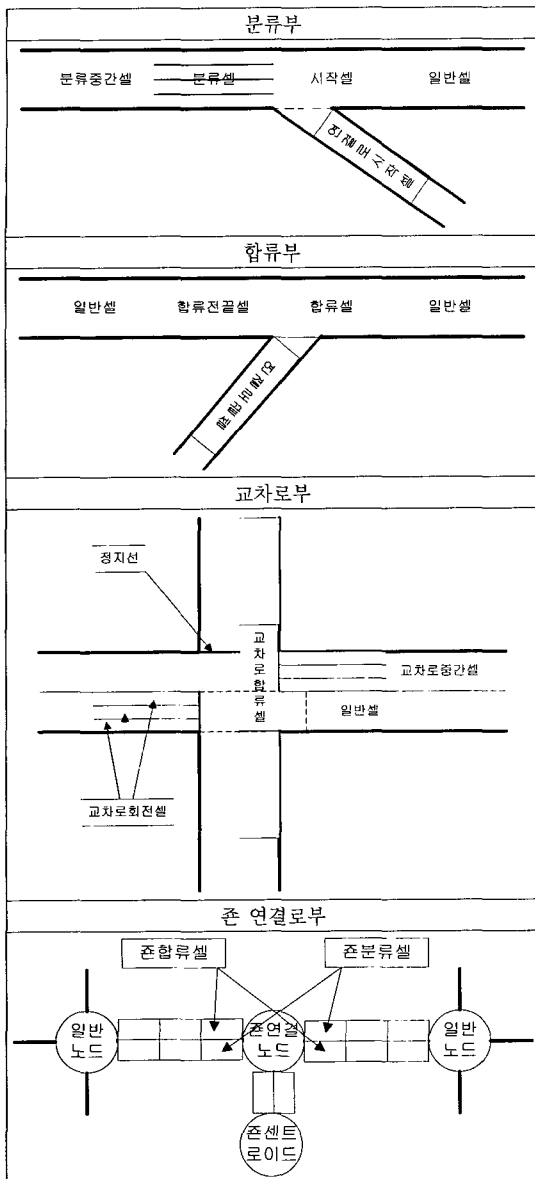
링크의 종류는 5종류의 노드를 연결하는 형태에 따라 9가지로 구분하였다. 우선 존 센트로이드 노드와 존 연결노드를 연결하는 링크는 존 연결 링크(Type 0), 분류·합류가 존재하지 하지 않는 일반 링크(Type 1), 링크의 끝이 2개의 방향으로 분류되는 분류링크(Type 2), 링크의 시작이 2개의 방향에서 합류되는 합류링크(Type 3), 두 개의 링크를 연결하는 Ramp 개념의 연결링크(Type 4), 합류링크의 이전에 존재하는 2개의 링크 중 본선부분인 합류전 링크(Type 5), 링크의 시작은 합류 끝은 분류인 합류·분류링크(Type 6), 링크의 시작은 합류 끝은 합류전인 합류·합류전 링크(Type 7), 특수한 형태의 분류와 합류가 존재하는 지하·고가링크(Type 9)로 분류한다.

#### 2) 셀 구분

기존의 모형에서는 연속류 가로망을 모델로 함에 따라 셀을 일반셀, 분류셀, 합류셀로 구분하였다. 그러나, 본 연구에서는 단속류와 연속류가 결합된 보다 복잡한 가로망을 시뮬레이션 하기 때문에 셀을 보다 세밀하게 구분하였다.

우선, 셀의 구분은 링크의 시작과 끝 부분의 특성에 따라 셀이 분류된다. 우선 링크의 시작 부분은 크게 4가지 형태로 구분하였는데, 시작부분이 교차노드일 경우는 교차로 합류셀, 연결로에 의한 합류로 시작되는 경우는 합류셀, 존 연결노드로 시작하면서 합류될 경우 존 합류셀, 단일 링크로 연결될 경우 시작셀로 구분하였다.

링크의 끝부분도 시작부분과 마찬가지로 4가지로 구분하였으며, 끝부분이 교차로일 경우 교차로 회전셀, 연결로에 의해 분류될 때 분류셀, 존 연결노드에 의해 분류될 때 존분류셀, 단일 링크에 연결될 경우를 끝셀로 구분하였다. 링크의 중간부분은 링크의 끝부분 형태에 따라 3가지로 구분하였는데 끝셀이 교차로 회전셀일 경우 교차로 중간셀, 끝셀이 분류셀일 경우 분류중간셀, 나머지 경우는 중간셀(일반셀)로 구분하였다.



〈그림 2〉 셀 구분도

2. 통행발생, 신호갱신, 경로변경 규칙

1) 통행발생

본 연구에서 사용되는 O/D는 수단별 차량 O/D 중 버스 및 화물차에 중차량 보정계수를 적용하여 만든 pcu O/D를 사용하고 있다.

통행발생은 분석대상 시간 O/D를 분석 Interval 수만큼 균일하게 나누어 발생시킨다. 이때 발생하는 차량은 항상 정수로 발생된다. 이는 차량 이동시 기

본 단위를 차량 1대를 기본단위로 하여 모든 정보를 부여하기 때문에 정수로 발생된다. 발생된 차량은 임시 저장 셀에 저장되며, 이때 차량들은 출발지, 도착지, 출발시간에 대한 정보 등을 부여받는다.

$$U_{ij} = INT\left(\frac{OD_{ij}}{Nt}\right) \quad (1)$$

여기서,

- $U_{ij}$  : 단위시간에 출발지  $i$ 에서 도착지  $j$ 로 출발하는 차량 대수
- $OD_{ij}$  : 출발지  $i$ 에서 도착지  $j$ 로 향하는 총 OD량
- $Nt$  : Interval 개수

2) 신호 갱신

본 연구에서 사용되는 신호 교차로는 3지와 4지 교차로까지만 적용가능하며, 신호는 6현시까지 사용할 수 있도록 설계되었다. 신호 입력자료는 신호주기, Offset, 현시시간을 입력받으며, T7f의 Standard numbering에 맞게 현시에 따른 이동번호를 입력자료로 받는다.

신호갱신은 입력받은 초기 신호시간 또는 최적화된 신호시간을 현재 Interval 시간에 운영되는 현시를 찾아 이 현시에 이동 가능한 이동류 번호를 합류셀에 전달한다.

$$Ph_i^t = j, \quad \text{if } \frac{t \times St}{C_i} \leq P_{ij} \quad (2)$$

여기서,

- $Ph_i^t$  :  $t$ 시점의  $i$ 번 교차로의 현시 순서 번호를 기억시키는 임시저장공간
- $P_{ij}$  :  $i$ 번 교차로의  $j$ 번째 현시 시간
- $C_i$  :  $i$ 번 교차로의 신호주기
- $St$  : Interval의 크기(신호 입력단위에 맞게 5초 또는 10초 정도를 사용함)
- $i$  : 교차로 번호
- $j$  : 현시 순서
- $t$  : 현재 Time Interval

3) 경로변경

경로변경은 정보를 받는 차량과 정보를 받지 않는

차량을 분리하여 경로 정보를 제공하며, 진입 링크의 첫 번째 셀에 차량이 진입할 때 제공받는다. 정보를 받는 차량은 진입한 링크의 끝 노드의 속성이 교차로 노드 또는 분류 노드일 경우에 이 노드에서 새로운 최적 경로를 탐색하여 새로운 경로정보를 제공한다. 이외의 링크에서는 연결된 다음 링크의 경로정보를 제공한다. 반면에 정보를 받지 않는 차량은 초기에 제공된 최적경로를 이용하여 경로 데이터를 갱신하게 된다.

본 연구에서 현재까지 정보를 받지 않는 차량은 1개의 최적 경로를 통하여 경로를 변경하였으나, 향후에는 여러 대안 경로를 제공하여 각 순간 순간의 교통상황에서의 대안 경로 중 최적 경로를 이용하는 방법을 제시할 것이다.

### 3. 교통류 전이 규칙

#### 1) 일반 전이 규칙

하나의 셀에는 기본적으로 단위시간 교통류율, 잼 밀도, 밀도 값을 기억하게 된다. 또한, 셀에는 잼밀도만큼의 차량 정보 공간이 주어지며, 이 차량 정보 공간에는 차량의 출발지, 도착지, 다음 경로의 노드번호, 출발 시간, 셀 누적시간, 정체에 의한 누적 시간, 주행 거리 누적, 정보 제공 여부 등 총 8가지의 정보를 저장하게 된다. 차량 정보 중 출발지와 도착지 및 출발시간 정보는 차량이 발생될 때 저장되며, 나머지 정보들은 새로운 셀 또는 새로운 링크에 진입할 때 새로이 갱신된다.

교통류 전이 규칙은 II장에서 언급한 바와 같이 이전 셀의 교통량과 교통류율과 현재 셀의 교통류율, 여유밀도에 의해 전이량이 계산된다.

이때, 계산되는 전이량과 교통류율 값은 실수 값을 가지며, 잼밀도와 교통량은 정수 값을 갖는다. 따라서, 전이량 중 소수 값을 제외한 정수 값만큼만 실제 차량 전이시 이동하며 나머지 소수부분은 다음 단위 시간에 누적된다. 따라서, 기본 전이 규칙을 수식(3)과 같이 변경하였다.

$$Y_i^t = \min \{ n_i^{t-1}, Q_i^{t-1} + YR_i^{t-1}, Q_i^{t-1} + YR_i^{t-1}, \alpha_i \times (N_i - n_i^{t-1}) + YR_i^{t-1} \} \quad (3)$$

여기서,

$Y_i^t$  :  $t$  interval에 cell  $i$ 로의 진입 전이량

$YR_i^{t-1}$  :  $t-1$  interval에서 cell  $i$ 의 전이량 중

정수를 제외한 소수값

$n_i^{t-1}$  :  $t-1$  interval에서 cell  $i$ 의 밀도 (교통량)

$Q_i^{t-1}$  :  $t-1$  interval에서 cell  $i$ 의 단위시간 교통류율

$N_i$  : cell  $i$ 의 Jam Density

$\alpha_i$  : cell  $i$ 를 포함하는 링크  $l$ 의 충격과 계수

$i$  : cell의 번호

$t$  : Time Interval

#### 2) 링크의 시작부분

앞에서 살펴본 바와 같이 링크의 시작부분에는 시작셀과 연속류 합류셀, 교차로 합류셀, 존합류셀이 존재한다. 이중 시작셀과 존 합류셀은 일반 전이 규칙과 거의 유사하기 때문에 연속류 합류셀과 교차로 합류셀의 전이 규칙만 살펴보기로 하겠다.

##### (1) 교차로 합류셀

링크의 시작부분이 교차로에 접해 있는 경우(즉 시작노드가 교차노드인 경우)로 이 링크의 시작부분의 셀을 교차로 합류셀이라 정의하였다. 교차로 합류셀은 교차로를 통과한 차량의 행태적 특성을 보다 자세하게 설명하기 위하여 교차로의 기하구조 형태에 따라 4가지 형태로 구분된다.

Type 1 : IML-BLLL < 2 and IML-BLTL < 2

Type 2 : IML-BLLL < 2 and IML-BLTL >= 2

Type 3 : IML-BLLL >= 2 and IML-BLTL < 2

Type 4 : IML-BLLL >= 2 and IML-BLTL >= 2

여기서, IML : 교차로 합류셀 차로수

BLLL : 이전 링크 좌회전 차로수

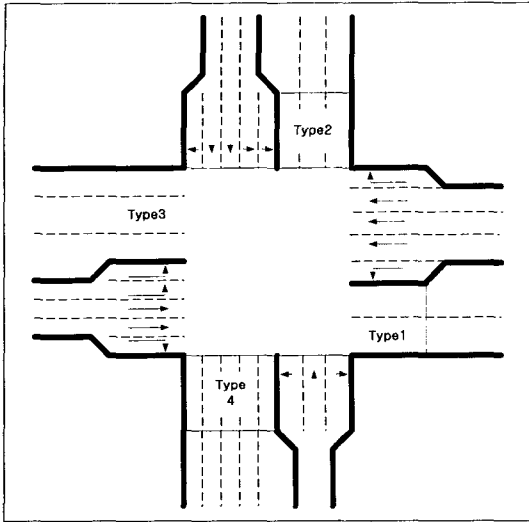
BLTL : 이전 링크 직진 차로수

교차로 합류셀의 전이 규칙은 앞에서 살펴본 교차로 Type에 의해 구분된 합류셀의 전이 규칙이 적용된다.

Type 1 : 좌·직진 진입 후 우회전 진입

Type 2 : 좌회전 후 우 진입, 직·우회전 동시진입

Type 3 : 좌·우회전 동시 진입, 직진 후 우회전 진입  
 Type 4 : 좌·우회전, 직·우회전 동시 진입



<그림 3> 교차로 합류셀의 형태

- Step 0 : 교차로 상태 파악 ( Spill-back 파악 )
- Step 1 : 현재시점의 현시 파악
  - 현재시점의 현시에서 이동 가능한 교통류 중 선택된 합류셀에 진입 가능한 교통류를 검색한다.
- Step 1-1 : 좌회전 신호시
  - 좌회전 또는 우회전 차로에서 진출 가능한 차량군 범위에서 좌회전 차량 또는 우회전 차량을 검색하여 각 Type에 맞게 전이량을 결정한다.
- Step 1-2 : 직진 신호시
  - 직진 또는 우회전 차로에서 진출 가능한 차량군 범위에서 차량을 추출하여 각 Type에 맞게 전이량을 결정한다.
- Step 1-3 : 보조적으로 우회전이 가능한 경우
  - 우회전 차로의 우회전 가능차량과 U턴 차로의 진출 가능한 차량군 중 U턴 차량을 추출하여 전이량을 결정한다.
- Step 2 : 전이량만큼 이전 링크의 각 회전셀에서 차량 정보를 현재 셀로 전이한다.

**(3) 합류셀**

연속류와 단속류를 연결해주는 연결로에 의해 합류되는 링크의 시작부분 셀을 합류셀로 정의하였다. 기존 모형에서 합류셀의 합류특성은 합류되는 지점에서의 차로수 또는 교통량 비율에 의해 최적 전이량을

결정하였으나, 본 연구에서는 합류셀의 특성을 연결로와 본선과의 합류로 분석함에 따라 합류차로와 비합류 차로를 구별하여 전이량을 결정하였다. 따라서, 『도로용량편람, 1991. 건설부』에서 제시하고 있는 합류이전 링크의 마지막 차로 교통량 예측 방법을 이용하여 합류부의 차량 행태를 설명하였다.

- Step 1 : 두 개의 진입링크에서 진출 가능한 차량 전이량 산정
- Step 2 : 본선의 마지막 차로 교통량 예측 및 나머지 차로 진출 가능 차량 산정
- Step 3 : 현재 셀의 밀도에서 마지막 차로 밀도와 나머지 차로 밀도 산정
- Step 4 : 본선 링크의 나머지 차로 교통량과 현재 셀의 나머지 차로 교통량으로 전이량 계산
- Step 5 : 본선 링크의 합류 차로 교통량과 연결로 교통량 및 현재 셀의 마지막 차로 교통량으로 전이량 계산

Step 6 : 차량 전이

- 합류셀의 교통량 상태가 정상 상태일 경우는 본선의 마지막 차로 예측 교통량 먼저 합류셀에 전이하고 합류셀의 나머지 용량만큼을 연결로의 차량이 전이된다. 반면, 합류셀이 막혀있는 경우는 본선 1차로 차량과 연결로 차량이 합류셀에 번갈아 진입한다.

**3) 링크의 중간부분**

링크의 중간부분에서도 분류부 중간셀과 교차로 중간셀의 전이 규칙만을 살펴보았다.

**(1) 분류 중간셀**

링크의 끝부분이 연결로로 분류되는 링크의 중간부분에 존재하는 셀을 분류 중간셀이라 정의하였다. 분류 중간셀의 특성은 연결링크로 Exit 하려는 차량들에 의해 본선 차로가 점유되어 본선 차로에 영향을 미친다. 분류 중간셀에서 Exit 차량에 의해 점유되는 최대 차로는 3차로까지 정의하였다.

- Step 0 : 현재 셀 및 이전 셀의 방향별 차량 분류 및 상태 파악
- Step 1 : 현재 셀 및 이전 셀의 상태에 맞는 전이량

계산

- Step 1-1 : Exit 차량이 차로를 점유하지 않는 경우
- Step 1-2 : Exit 차량이 차로를 점유하는 경우
- Step 2 : 이전 셀의 차량 정보 전이

(2) 교차로 중간셀

링크의 끝 부분이 교차로 노드인 링크의 중간부분에 존재하는 셀을 교차로 중간셀이라 정의하였다. 교차로에서 차량들의 특성은 링크 내에서 같은 방향의 차량은 진행방향이 이용하는 차로에 같이 존재하려는 특성을 갖는다. 이러한 특성을 교차로 중간셀에서 설명할 수 있도록 계획하였다.

교차로 중간셀은 상류부 및 현재 셀의 소통상태에 따라 전이 규칙이 바뀌게 된다. 셀의 소통상태가 원활한 경우는 일반셀 전이규칙을 따르게 되나, 셀의 소통상태가 일부 방향의 차량에 의해 차로가 점유되는 경우는 이들 차량들에 의해 점유되는 차로를 결정하여 전이량을 산정하게 된다. 회전 차량들에 의해 점유되는 차로 수는 최대 회전 포켓 + 2차로까지 회전 차량들이 차로를 점유할 수 있도록 계획하였다.

- Step 0 : 현재 셀 및 이전 셀의 방향별 차량 분류 및 상태 파악
- Step 1 : 현재 셀 및 이전 셀의 상태에 맞는 전이량 계산
  - Step 1-1 : 좌회전 또는 우회전 차량이 차로를 점유하지 않을 경우
  - Step 1-2 : 좌회전 차량이 차로를 점유하는 경우
  - Step 1-3 : 우회전 차량이 차로를 점유하는 경우
  - Step 1-4 : 좌회전과 우회전 차량이 동시에 차로를 점유하는 경우
- Step 2 : 이전 셀의 차량 정보 전이

3) 링크의 끝부분

(1) 분류셀

분류셀은 연결로가 존재하는 형태의 전형적인 분류 형태의 링크에 존재하는 셀이다. 분류셀은 링크의 마지막 셀을 차로 별로 나누어 차량을 차로 별로 전이시킨다. 전이 규칙은 다음의 규칙을 따른다.

- Step 0 : 이전 셀의 상태 파악 및 방향별 차량 분류

- Step 1 : 이전 셀 상태에 따른 전이량 계산
  - Step 1-1 : Exit 차량이 적은 경우
    - 본선 차량을 마지막 1차로를 제외한 나머지 차로에 Random 배정
    - Exit 차량은 마지막 1차로에만 순차적으로 배분
  - Step 1-2 : Exit 차량이 차로를 점유한 경우
    - Exit 차량을 2개 차로에 Random 배정
    - 본선 차량은 나머지 차로에 Random 배정
- Step 2 : 이전셀 차량의 차량 정보 전이
- Step 3 : 분류셀의 진출량 결정
  - Step 3-1 : 분류셀에서 방향별 차량 분류
  - Step 3-2 : 본선과 연결로로의 진출 전이량 계산
  - Step 3-3 : 분류셀에 존재하는 진출 차량 정보를 본선과 연결로의 시작셀에 전이

(2) 교차로 회전셀

교차로 회전셀은 교차로에서 회전 차로에 해당하는 부분으로 교차로에 진입하는 차량을 방향별로 분리하여 차량들을 저장하는 셀이다. 교통류 전이량은 이전 셀에서 차량들을 방향별로 분리하여 분리된 차량들을 각각의 회전 차로에 전이시킨다.

- Step 0 : 이전 셀의 상태를 파악.
  - 셀 상태 파악은 현재시점에 이동 가능한 차량 군내에서 좌회전 차량 또는 우회전 차량이 셀 누적시간이 2 Time interval 이상 존재하고 회전 차량의 수가 한 차로 교통류를 이상 존재할 경우 차로가 점유되는 것으로 인식한다.
- Step 1 : 상태에 따른 전이량 계산.
  - Step 1-1 : 정상 상태인 경우
    - 이전 셀의 진입 가능한 차량군내에서 방향별 차량을 추출하여 전이량 계산
  - Step 1-2 : 좌회전 차량에 의해 차로가 점유된 경우
    - 이전 셀에서 방향별 차량을 추출하는 데 있어 직진 및 우회전 차량은 점유된 차로가 줄어든 상태의 교통류를 범위내에서 추출하게 된다.
  - Step 1-3 : 우회전 차량에 의해 차로가 점유된 경우
    - 이전 셀에서 방향별 차량을 추출하는 데 있어 좌회전 및 직진 또는 U턴 차량은 점유된 차로가 줄어든 상태의 교통류를 범위내에서 추출하게 된다.
  - Step 1-4 : 좌회전 및 우회전 차량이 각각 차로

를 점유하고 있는 상태

- 이전 셀에서 방향별 차량을 추출하는 데 있어 직전 차량은 점유된 차료가 줄어든 상태의 교통류를 범위내에서 추출하게 된다.

Step 2 : 전이량 만큼 이전 셀에서 차량 정보를 각각의 회전 셀로 전이한다.

#### 4. 셀 정보 갱신

앞에서 설명한 교통류 전이 규칙에 따라 각 셀들은 진입 전이량 또는 진출 전이량이 결정된다. 셀 정보 갱신 단계에서는 진입한 전이량과 진출한 전이량을 통하여 셀의 밀도를 새로이 갱신하게 된다.

한 Time slice에서 진출하지 못한 차량은 셀 누적시간에 1을 더하여 셀에서 누적된 Time interval 수를 기억한다. 또한, 셀에 새로이 진입한 차량은 셀 누적시간을 1로 초기화한다. 이때, 셀이 새로운 링크의 시작셀이면 진행 거리를 누적하게 된다.

$$n_{ii}^t = n_{ii}^{t-1} - Y_{ii+1}^{t-1} + Y_{ii}^{t-1} \quad (4)$$

여기서,

$n_{ii}^t$  :  $t$ 시점에서  $l$ 번째 링크의  $i$ 번째 셀의 차량 대수(밀도)

$Y_{ii}^{t-1}$  :  $t-1$  시점에서  $l$ 번째 링크의  $i$ 번째 셀의 진입 전이량

$Y_{ii+1}^{t-1}$  :  $t-1$  시점에서  $l$ 번째 링크의  $i+1$ 번째 셀의 진입 전이량으로  $i$ 번째 셀의 진출 전이량

#### 5. 통행시간 갱신

본 연구에서 매 time slice 마다 최적경로를 탐색하기 위하여 링크의 평균 통행시간을 갱신하여야 한다. 링크의 평균 통행시간이라 함은 링크를 빠져나간 차량의 평균 링크 통과시간을 의미한다. 이때의 통행시간은 현시점의 링크의 통행시간이 아닌 이전시간에 링크에 진입한 차량의 통행시간이라 할 수 있다. 이때 이전시간에 진입한 차량에 의한 통행시간은 이 차량이 진입한 후 링크에서의 유고와 같은 상태변화를 반영하지 못하는 문제점이 존재한다. 따라서, 본 모형에서는 링크 통행속도를 링크 내에 존재하는 셀 통행속도의 합으로 표현했으며, 셀 통행속도는 셀에 존재

하는 차량들의 셀 누적시간을 통하여 링크 통행시간을 산출하였다.

$$T_l = \sum_i \frac{\sum_k CT_{lik}}{n_{li}} \quad (5)$$

여기서,

$T_l$  : 링크  $l$ 의 평균 통행시간

$CT_{lik}$  : 링크  $l$ , 셀  $i$ 의  $k$ 번째 차량의 셀 누적시간

$n_{li}$  : 링크  $l$ , 셀  $i$ 의 차량 대수(밀도)

기존의 Cell Transmission 모형에서는 차량이 셀에 진입하는 시간을 선형 함수로 표현하여 한 time slice에 진입한 차량의 진입시간을 다르게 계산하여 누적시간 및 대기시간을 계산하였다. 본 연구에서는 Time slice의 크기를 5초 정도의 매우 짧은 시간으로 가정하였기 때문에 한 time slice에 진입한 차량의 누적시간 및 대기시간은 모두 같은 것으로 가정하였다. 이때 발생하는 오차는 전체 가로망에서 무시할 수 있을 정도로 판단되며 이는 대규모 가로망에 적용시 수행시간을 단축시킬 것으로 판단된다.

또한, 링크의 끝 부분이 교차로인 경우 끝 셀을 회전 차로별로 셀을 추가로 분리하였으므로 각 회전 방향별로 통행시간을 계산하였다. 분류부의 경우도 끝 셀을 차로 수만큼 분리하여 본선 진행 차량과 Exit 차량을 구별하여 통행시간을 계산하였다.

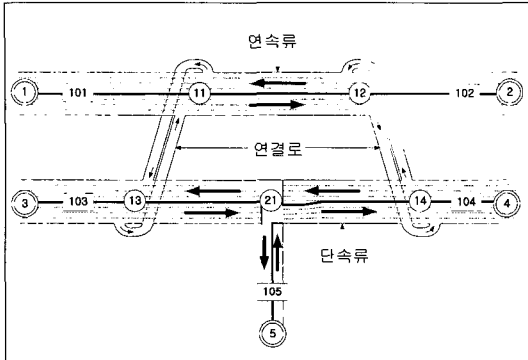
### IV. 모의실험

#### 1. 가로망 구성 및 데이터 구조

모의실험에 사용될 가로망은 분류부와 합류부가 존재하는 연속류와 교차로가 존재하는 단속류가 혼재되어 있는 가로망으로 <그림 4>와 같으며 가로망의 구성은 다음과 같다

- 존 수 : 13개
- 노드 수 : 13개(존 포함)
- 링크 수 : 30개(양방향 도로구조임)
- 교차로 수 : 1개(3지 교차로)
- 단위시간 : 5초
- 분석시간 : 1시간(720 interval)





〈그림 4〉 모의실험 가로망

〈표 1〉 시나리오 별 O/D 교통량 (단위:pcu/시간)

출발 존	도착 존	분류부		합류부		교차로부	
		시나 리오1	시나 리오2	시나 리오3	시나 리오4	시나 리오5	시나 리오6
1	2	2,000	2,000	5,000	6,000	2,000	2,000
1	4	1,000	2,000	1,000	1,000	1,000	1,000
2	1	2,000	2,000	5,000	6,000	2,000	2,000
2	3	1,000	2,000	1,000	1,000	1,000	1,000
3	2	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
3	4	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
3	5	400	400	400	400	400	800
4	1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
4	3	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
4	5	400	400	400	400	400	800
5	3	400	400	400	400	400	400
5	4	400	400	400	400	400	400

주 : 음영부분은 두 개의 비교 시나리오에서 수요가 변화된 부분이며, 시나리오1과 시나리오 5는 동일한 O/D로 구성됨.

또한, O/D 교통량은 분류부와 합류부 및 교차로의 교통류 상태를 분석할 수 있도록 6개의 시나리오를 구성하였으며 〈표 1〉과 같다.

시나리오 1 : 분류구간에 지체가 발생하지 않을 것으로 예상되는 O/D

시나리오 2 : Exit 연결로에서 용량을 초과하는 수요가 발생할 것으로 예상되는 O/D

시나리오 3 : 합류구간에 지체가 발생하지 않을 것으로 예상되는 O/D

시나리오 4 : 합류구간에 지체가 발생할 것으로 예상되는 O/D

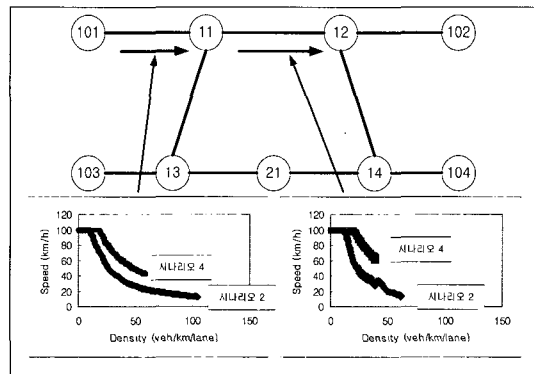
시나리오 5 : 교차로에서 회전셀에 지체가 발생하지

않을 것으로 예상되는 O/D  
 시나리오 6 : 교차로에서 회전셀에 지체가 발생할 것으로 예상되는 O/D

2. 모의실험 분석결과

1) 밀도-속도 관계

모의실험의 결과, 밀도-속도 관계를 〈그림 5〉를 통하여 살펴보면, 시나리오 2와 시나리오 4에서 링크(⑩→⑪), 링크(⑪→⑫)에서 하나의 밀도에 대해서 두개의 속도가 존재하는 것으로 분석되었다. 이는 기존의 전통적인 밀도-속도 관계에 위배되는 현상이다. 물론 본 모형에서 실험한 경우의 수가 매우 적기 때문에 두개의 속도가 존재하는 것으로 분석되었지만, 이러한 현상에 대한 보다 정밀한 연구가 필요할 것으로 판단된다.



〈그림 5〉 밀도-속도 관계

2) 기종점 통행시간 및 통행속도 비교분석

모의실험 가로망에서 각 기·종점간의 통행시간 분석결과를 통하여 분류부, 합류부 및 교차로부의 영향을 살펴보았다.

시나리오 1과 시나리오 2를 통하여 분류부의 영향을 살펴보면(〈표 2〉), 시나리오 2에서 연결로에 용량을 초과하는 수요를 발생시킴으로 인해 분류링크(⑪↔⑫)에 후방지체를 발생시켜 그 영향으로 통행시간이 평균적으로 96% 증가하였다. 특히 연결링크(⑪→⑬, ⑫→⑭방향)를 통과하는 기종점 통행시간은 약 320% 증가하였다. 이로인해 통행속도도 평균 60% 정도 감소하였으며, 연결링크(⑪→⑬, ⑫→⑭방향)를

통과하는 기종점 통행속도는 77% 정도 감소하였다. 분류링크(⑪→⑫)의 후방지체가 상류링크(⑩→⑪, ⑬→⑪, ⑩→⑫ ⑭→⑫)까지 미치게 되어 이 링크들을 통과하는 기종점 통행시간의 증가 및 통행속도의 감소가 나타났다. 반면, 동일한 조건으로 기존의 정적 모형 배정 결과를 살펴보면, 시나리오 2의 경우 연결로 링크에서만 약간의 통행속도가 감소하였을 뿐 큰 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었다.

시나리오 3과 시나리오 4를 통하여 합류부의 영향을 살펴보면(〈표 3〉), 시나리오 4에서 합류되는 지점

(노드 ⑪, ⑫)에 용량 상태에 가까운 수요를 발생시킴으로 인해 상류링크(⑩→⑪, ⑩→⑫)에 후방지체를 발생하여 그 영향으로 통행시간이 평균적으로 38% 증가하였다. 특히 합류 지점(노드 ⑪, ⑫)을 통과하는 기종점 통행시간은 125% 정도 증가하였다. 또한, 통행속도도 평균 24% 정도 감소하였으며, 합류 지점(노드 ⑪, ⑫)을 통과하는 기종점 통행속도는 약 30~50% 감소하였다. 기존의 정적 모형 배정 결과를 살펴보면, 시나리오 4의 경우 합류전 링크(⑩→⑪, ⑩→⑫)에서만 약간의 통행속도가 감소하였을 뿐 큰

〈표 2〉 시나리오 1과 시나리오 2의 통행시간 및 통행속도 분석결과 (단위:pcu/시간)

출발존	도착존	시나리오1			시나리오2			증감(%)			평형배정시 속도	
		교통량	속도	통행시간	교통량	속도	통행시간	교통량	속도	통행시간	시나리오1	시나리오2
1	2	1939	98.18	110	1554	34.13	277	-19.9	-65.2	151.9	99.67	99.01
1	4	953	75.43	165	1297	17.17	696	36.1	-77.2	320.9	76.39	74.16
2	1	1939	98.18	110	1547	33.43	277	-20.2	-66.0	152.5	99.67	99.01
2	3	951	74.95	165	1291	17.14	696	35.8	-77.1	321.1	76.39	74.16
3	2	951	75.48	165	852	14.68	334	-10.4	-80.6	102.7	76.39	74.16
3	4	934	56.21	202	549	20.29	202	-41.2	-63.9	0.0	60.00	59.76
3	5	386	55.20	130	225	16.70	130	-41.7	-69.7	0.0	60.00	59.85
4	1	954	74.92	165	832	14.35	334	-12.8	-80.8	102.7	76.39	74.16
4	3	933	56.22	202	542	18.76	202	-41.9	-66.6	0.0	60.00	59.76
4	5	376	42.61	169	218	15.39	171	-42.0	-63.9	1.1	60.00	59.85
5	3	386	42.61	168	387	42.72	169	0.3	0.3	0.6	60.00	59.85
5	4	386	57.53	125	386	57.53	125	0.0	0.0	0.3	60.00	59.85

주 : 평형배정시 BPR식의 파라메타는 모든 링크에 대해  $\alpha$ 는 0.15  $\beta$ 는 4를 적용함.

〈표 3〉 시나리오 2과 시나리오 4의 통행시간 및 통행속도 분석결과 (단위:pcu/시간)

출발존	도착존	시나리오 3			시나리오 4			증감(%)			평형배정시 속도	
		교통량	속도	통행시간	교통량	속도	통행시간	교통량	속도	통행시간	시나리오1	시나리오2
1	2	4843	96.35	112	5345	43.66	253	10.4	-54.7	125.4	96.46	93.46
1	4	951	74.68	165	878	42.61	297	-7.7	-42.9	79.5	75.34	74.32
2	1	4841	96.36	112	5344	43.59	256	10.4	-54.8	128.3	96.46	93.46
2	3	953	74.66	166	879	42.55	300	-7.8	-43.0	80.9	75.34	74.32
3	2	951	72.64	170	905	46.13	207	-4.8	-36.5	21.7	75.34	74.32
3	4	933	56.14	202	922	49.98	203	-1.2	-11.0	0.2	60.00	74.32
3	5	386	55.32	130	386	55.30	130	0.0	0.0	0.0	60.00	60.00
4	1	953	72.92	170	901	45.82	207	-5.5	-37.2	21.9	75.34	74.32
4	3	932	56.23	202	923	49.93	202	-1.0	-11.2	0.1	60.00	60.00
4	5	376	42.09	171	376	42.21	171	0.0	0.3	0.0	60.00	60.00
5	3	387	42.61	169	386	42.37	170	-0.3	-0.6	0.6	60.00	60.00
5	4	386	57.49	126	386	57.53	126	0.0	0.1	0.0	60.00	60.00

주 : 평형배정시 BPR식의 파라메타는 모든 링크에 대해  $\alpha$ 는 0.15  $\beta$ 는 4를 적용함.

<표 4> 시나리오 5과 시나리오 6의 통행시간 및 통행속도 분석결과 (단위:pcu/시간)

출발존	도착존	시나리오 5			시나리오 6			증감(%)			평형배정시 속도	
		교통량	속도	통행시간	교통량	속도	통행시간	교통량	속도	통행시간	시나리오1	시나리오2
1	2	1939	98.18	110	1938	98.18	110	-0.1	0.0	0.0	99.67	99.67
1	4	953	75.43	165	950	75.11	165	-0.3	-0.4	0.0	76.39	76.39
2	1	1939	98.18	110	1939	98.18	110	0.0	0.0	0.0	99.67	99.67
2	3	951	74.95	165	954	75.56	226	0.3	0.8	36.8	76.39	76.39
3	2	951	75.48	165	953	74.89	165	0.2	-0.8	0.0	76.39	76.39
3	4	934	56.21	202	930	56.14	202	-0.4	-0.1	0.0	60.00	59.88
3	5	386	55.20	130	773	54.66	132	100.3	-1.0	1.1	60.00	59.85
4	1	954	74.92	165	805	41.43	242	-15.6	-44.7	46.2	76.39	76.39
4	3	933	56.22	202	732	34.13	342	-21.5	-39.3	68.8	60.00	59.88
4	5	376	42.61	170	426	8.05	894	13.3	-81.1	427.0	60.00	59.85
5	3	386	42.61	169	386	42.74	168	0.0	0.3	-0.3	60.00	60.00
5	4	386	57.53	125	386	57.53	125	0.0	0.0	0.1	60.00	60.00

주 : 평형배정시 BPR식의 파라메타는 모든 링크에 대해  $\alpha$ 는 0.15  $\beta$ 는 4를 적용함.

영향을 미치지 않는 것으로 분석되었다.

시나리오 5와 시나리오 6을 통하여 교차로의 영향을 살펴보면(<표 4>), 시나리오 6에서 교차로(노드 ⑫)의 좌회전 차로에 용량을 초과하는 수요를 발생시킴으로 인해 상류링크(⑭→⑰)에 후방지체를 발생하여 그 영향으로 통행시간이 평균적으로 48% 증가하였다. 특히 교차로 접근 링크(⑭→⑰)에서 좌회전 차로를 이용하는 기종점 통행시간은 400% 이상 증가하였으며, 그 외 상류 링크(⑩→⑭)를 통과하는 기종점 통행시간은 45~70% 정도 증가하였다. 또한, 통행속도도 평균 42% 정도 감소하였으며, 좌회전 차로를 이용하는 기종점 통행속도는 약 80% 감소하였으며, 상류링크를 통과하는 기종점 통행속도는 40% 정도 감소하였다. 기존의 정적 모형 배정 결과를 살펴보면, 시나리오 6의 경우 교차로의 지체를 분석하지 못함에 따라 시나리오 5와 시나리오 6의 기종점 통행속도가 동일하게 분석되었다.

### 3) 출발 시간에 따른 기종점 통행시간 분석

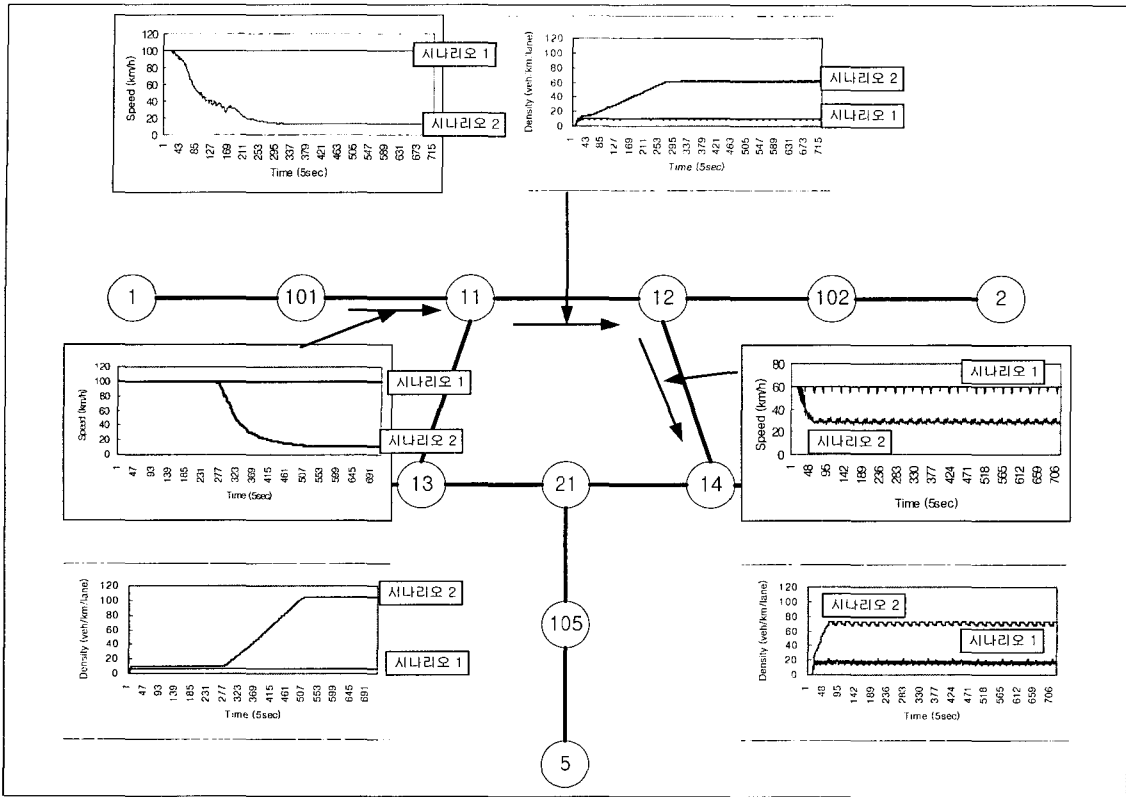
출발시간에 따른 기종점 통행시간의 변화를 살펴보면(<그림 7~8>), 시나리오 2의 경우는 분류링크의 지체로 인해 연속류의 본선 구간에 혼잡이 발생함에 따라 출발시간이 늦어질수록 통행시간이 증가하는 것으로 분석되었다. 특히, 수요가 용량을 초과하는 연결링크를 통과하는 기종점(1→4, 2→3)의 경우는 통행

시간이 계속적으로 증가하는 추세를 나타내고 있다. 반면, 연결링크의 영향을 받는 상류 분류링크(⑪→⑫)를 통과하는 기종점(1→2, 2→1, 3→2, 4→1)의 경우 분류링크가 어느 정도 혼잡에 도달한 뒤부터 영향을 받는 것으로 분석되었다.

시나리오 6의 경우 교차로(노드 ⑫)의 회전 차로의 지체에 의해 접근 링크(⑭→⑰)를 통과하거나 이 링크에 영향을 받는 링크(⑩→⑭)를 통과하는 기종점(4→1, 4→3, 4→5)의 통행시간이 시간이 지남에 따라 증가하는 것으로 분석되었다. 특히, 회전 차로를 직접 통과하는 기종점(4→5)의 경우 그 증가폭이 매우 크게 나타나고 있으며, 회전 차로의 영향을 직접적으로 받는 기종점(4→3)의 경우 그 증가폭의 변동이 심하게 나타나고 있다. 또한, 상류링크까지 후방지체가 발생하여 기종점(4→1)의 경우도 통행시간이 서서히 증가하는 것으로 분석되었다.

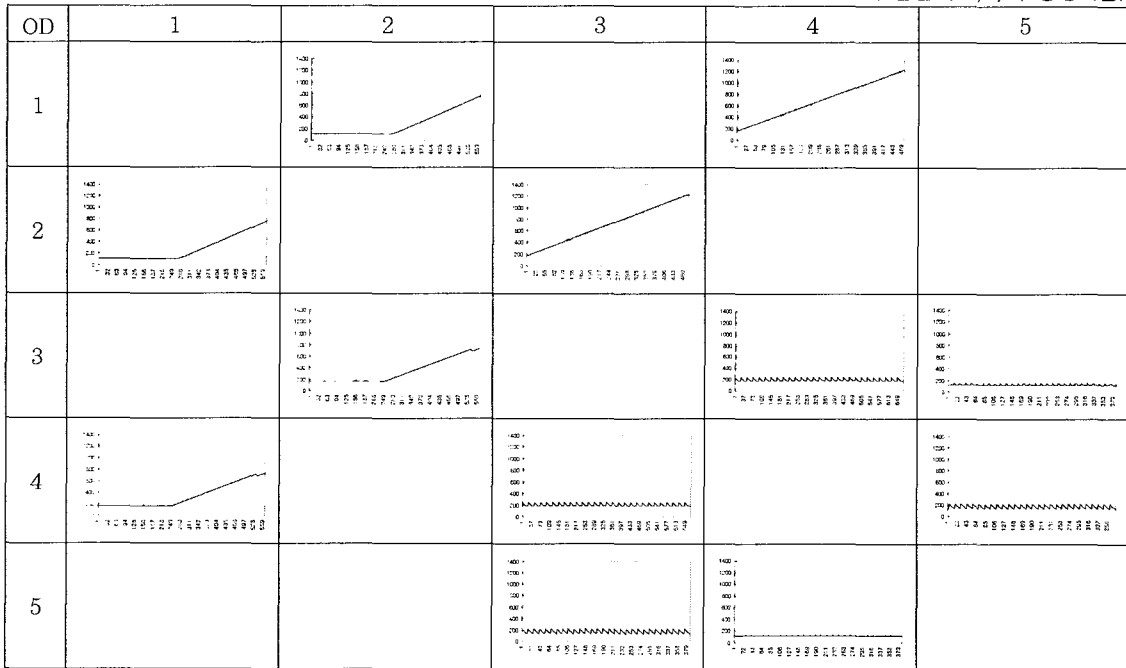
### 4) 시간에 따른 링크 통행속도 분석

시나리오 1과 시나리오 2의 링크 통행속도 및 밀도를 구간별로 비교하면(<그림 6>), 링크(⑫→⑭)에 혼잡이 형성된 뒤 상류부 링크(⑪→⑫)에 혼잡이 도달하는 것으로 분석되었다. 마찬가지로 링크(⑪→⑫)에 혼잡이 발생한 뒤 상류부 링크(⑩→⑪)에 혼잡이 도달하는 것으로 분석되었다. 즉, 연결된 구간에서 시간이 지남에 따라 지체가 후방으로 도달하는 것을 볼 수 있다.

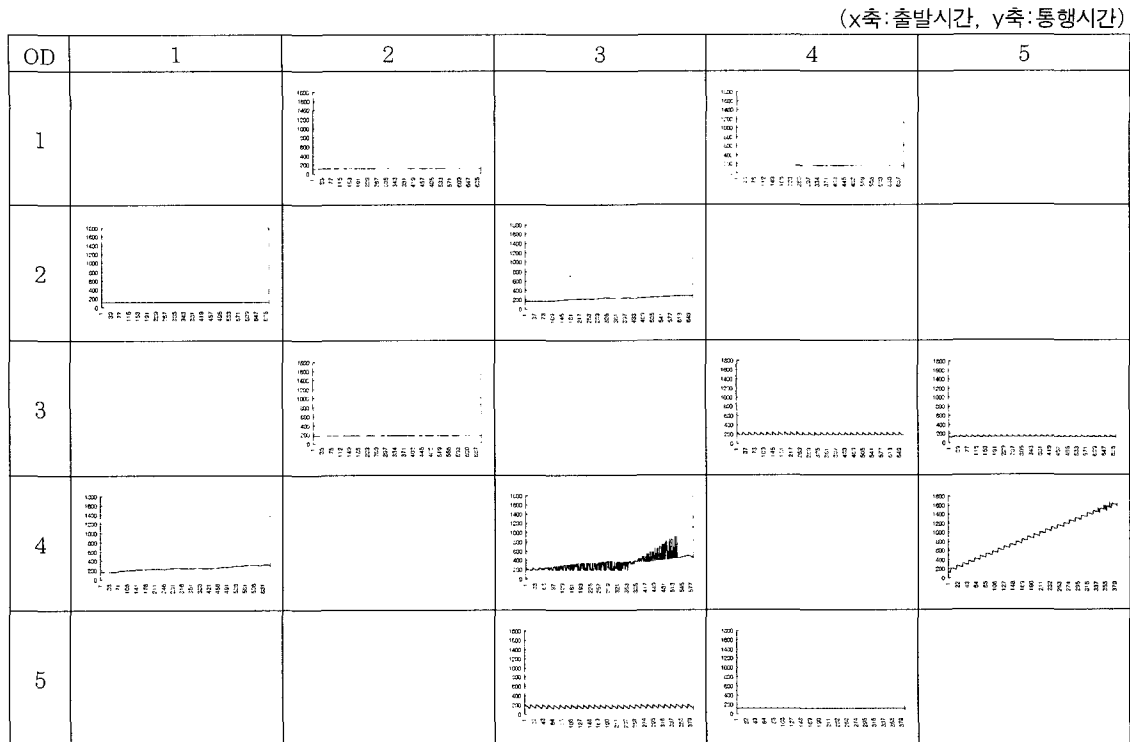


〈그림 6〉 시간대별 통행속도 및 밀도 변화 추세(시나리오 1과 시나리오 2)

(x축:출발시간, y축:통행시간)



〈그림 7〉 출발 시간에 따른 기종점 통행시간 변화 추세(시나리오 2)



〈그림 8〉 출발 시간에 따른 기종점 통행시간 변화 추세(시나리오 6)

5) 시간에 따른 진·출입 교통량과 밀도 분석

시나리오 2를 통하여 분류부에서의 링크의 진·출입 교통량과 밀도의 변화를 분석하였다(〈그림 9〉). 지점 ㉔로 진입하는 차량과 진출하는 차량은 거의 용량 상태를 유지하나 연결링크 ㉔의 용량을 초과하는 수요는 지점 ㉕에 혼잡을 초래하며 또한, 본선 차로를 점유하므로 인해 지점 ㉖로의 진입 교통량이 감소하여 낮은 밀도를 유지하는 것으로 분석되었다.

2의 경우 37.5초/대로 분석되었다. 시나리오 1의 경우 지체가 존재하지 않는 경우 교차로에서 약 26%의 지체가 발생하였다. 반면, 시나리오 2의 경우 연속류에서 60% 이상의 지체비율이 발생하였다. 시나리오 6의 경우 교차로에서의 혼잡으로 인해 교차로를 통과하는 기종점 중 최고 86% 까지 전체 통행 중 지체가 차지하는 것으로 분석되었다.

6) 통행시간 vs 지체시간 분석

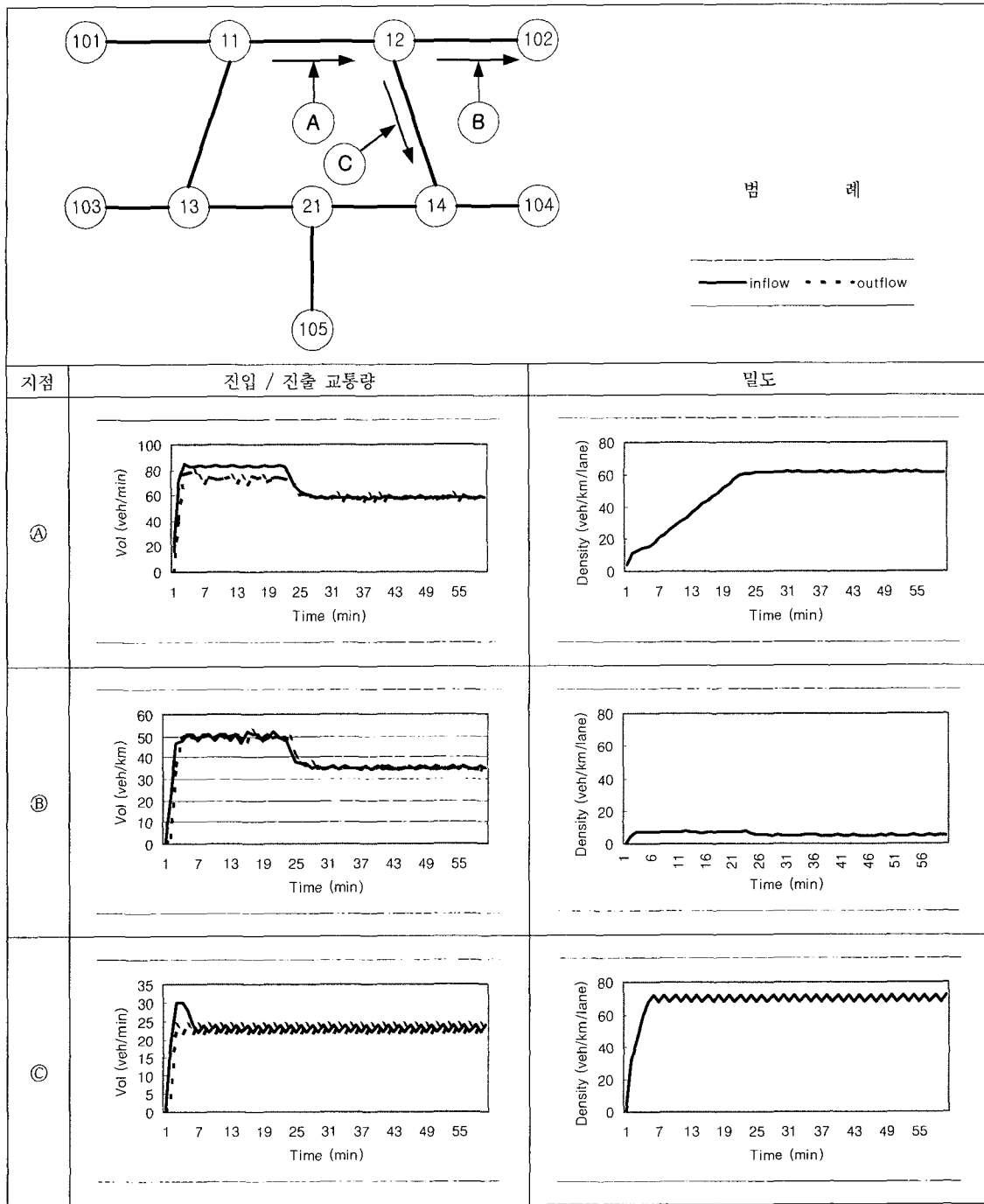
본 모형에서 지체란 차량이 자유속도(제한속도)로 진행할 수 없는 상황을 지체로 정의하였다. 이때 지체시간은 총 통행시간에서 자유속도로 이동할 경우의 시간을 뺀 나머지 시간을 의미한다. 본 연구에서는 기종점 평균 통행시간과 평균 지체시간을 구하여 지체의 비율을 분석하였다.

시나리오 1과 시나리오 2를 비교하여 보면(〈표 5~6〉) 시나리오 1의 경우 평균 6.2초/대, 시나리오

3. 사례분석(서울시 4대문 가로망)

서울시 4대문 가로망의 구성은 내부 및 외부 존 74개와 신호교차로 133개를 포함하여 총 395개의 노드와 1110개의 링크로 구성되어 있다. 133개의 교차로의 신호 및 회전 차로는 임의로 구성하였으며, 내·외부의 O/D는 4통8달에서 Cut O/D 기법을 통하여 구성하였다.

O/D는 서울시 1일 수단별 O/D에 중차량 보정 계수와 침투시간 계수(0.09)를 적용한 1시간 PCU O/D를 사용하였다. 또한, 정보를 받는 차량의 비율을



〈그림 9〉 링크 전·출입 교통량과 밀도의 변화(시나리오 2)

90%로 가정하였다. 이는 아직 정보를 받지 않는 차량의 최적 경로를 1개로 제안하였기 때문에 정보를 받지 않는 차량의 비율이 많을 경우 하나의 경로에 너무 많은 차량이 집중되는 것을 막기 위함이다.

사례연구 분석결과, 1시간 총 O/D 144,989pcu 중 34,064 pcu(23.5%)가 종점에 도착하는 것으로 분석되었다.

링크의 평균 통행속도는 『1999년도 정기속도

〈표 5〉 기종점 지체시간 및 비율(시나리오 1과 시나리오 2) (단위:초/대,%)

출발존	도착존	시나리오 1			시나리오 2			증감(%)	
		통행시간	지체시간	지체비율	통행시간	지체시간	지체비율	지체시간	지체비율
1	2	110	0	0.0	277	167	60.3	167	60.3
1	4	165	0	0.3	696	531	76.3	531	76.0
2	1	110	0	0.0	278	168	60.4	168	60.4
2	3	165	0	0.2	697	532	76.3	531	76.1
3	2	165	0	0.1	335	170	50.7	170	50.6
3	4	202	17	8.6	202	17	8.6	0	0.0
3	5	130	5	4.2	130	5	4.2	0	0.0
4	1	165	0	0.1	335	170	50.7	170	50.6
4	3	202	17	8.6	202	17	8.6	0	0.0
4	5	170	45	26.3	172	47	27.1	2	0.8
5	3	169	44	26.0	170	45	26.5	1	0.5
5	4	125	0	0.3	126	1	0.6	0	0.3

주 : 통행시간 및 지체시간은 평균 값임.

〈표 6〉 기종점 지체시간 및 비율(시나리오 5과 시나리오 6) (단위:초/대,%)

출발존	도착존	시나리오 5			시나리오 6			증감(%)	
		통행시간	지체시간	지체비율	통행시간	지체시간	지체비율	지체시간	지체비율
1	2	110	0	0.0	110	0	0.0	0	0.0
1	4	165	0	0.3	165	0	0.1	0	-0.2
2	1	110	0	0.0	110	0	0.0	0	0.0
2	3	165	0	0.2	226	61	27.1	61	26.9
3	2	165	0	0.1	165	0	0.1	0	0.0
3	4	202	17	8.6	202	17	8.4	0	-0.2
3	5	130	5	4.2	132	7	5.2	1	1.0
4	1	165	0	0.1	242	77	31.7	76	31.6
4	3	202	17	8.6	342	139	40.7	122	32.1
4	5	170	45	26.3	894	769	86.0	724	59.7
5	3	169	44	26.0	168	43	25.8	-1	-0.2
5	4	125	0	0.3	125	0	0.4	0	0.1

주 : 통행시간 및 지체시간은 평균 값임.

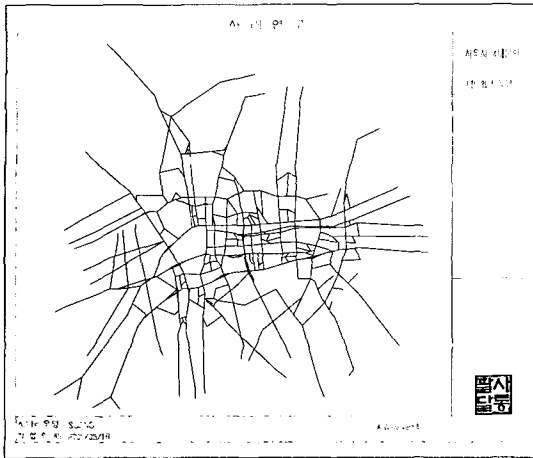
조사자료, 서울특별시』에서 도심 전체의 링크 평균속도가 21.19km/h로 조사되었으나, 사례연구의 결과 1시간 동안의 4대문 가로망의 평균속도는 35.6km/h로 분석되어 실제 조사 속도보다 높게 나타나고 있다.

또한, 청계천로 축과의 평균 링크 통행속도 비교 결과, 서울시 조사의 경우 양방향 평균 26.53km/h로 시뮬레이션 결과 38.6km/h와는 차이가 있는 것으로 분석되었다. 이는 사례연구에 적용된 가로망의

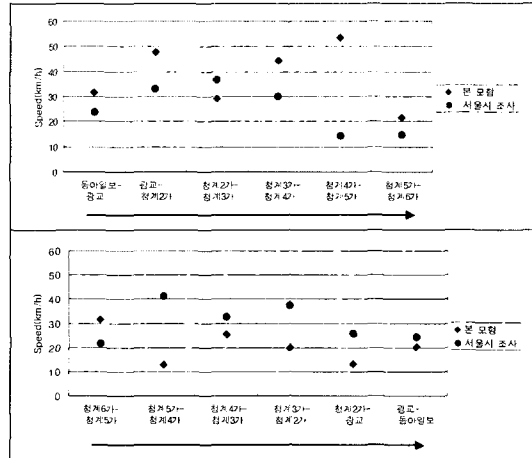
기하구조 및 신호 자료가 정확하지 못하기 때문에 나타나는 문제점으로 판단된다.

### V. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 Cell Transmission 이론을 이용하여 대규모 가로망을 분석할 수 있는 교통류 시뮬레이션 모형을 개발하였다. 본 모형은 기존 모형에서 적용한 수학적 접근방법이 아닌 경험적 접근 방법을 통



〈그림 10〉 사례연구(서울시 4대문안 가로망)



〈그림 11〉 청계천로의 링크통행시간 비교

하여 교통류의 전이 현상을 설명하였다. 특히, 분류부와 교차로 부분은 Exit 차량 및 회전 차량에 의한 차로 점유 행태를 통하여 분석하였다. 또한, 본 연구에서 개발한 모형은 기존 모형에는 없는 교차로 부분을 포함하여 단속류와 연속류가 혼재된 가로망을 분석할 수 있도록 하였다.

모의실험의 결과를 살펴보면 본 연구에서 개발한 모형이 합류·분류 및 교차로에서 차량의 행태 중 기존의 정적 모형에서 설명하지 못하였던 후방지체에 의한 영향을 설명함에 따라 실제 가로망에서 일어날 수 있는 현상을 분석할 수 있는 것으로 나타났다. 특히, 분류부의 경우 Exit 차량이 본선 진행 차로를 점유함으로써 본선 진행 차량에 영향을 미침으로 인한 링크의 통과 교통량 및 통행 속도 감소되는 현상을 설명하였으며, 교차로에서도 회전 차량들에 의한 영향이 직진 교통량의 감소 및 직진 통행 속도의 감소를 초래하는 것으로 분석하였다.

모의실험에서 보듯이 기존의 정적 모형으로 도로를 계획할 경우 연결로의 차로수 및 본선 차로수를 결정할 때 치명적인 오류를 범할 수 있음을 볼 수 있다. 따라서, 본 연구에서 개발한 모형을 통하여 도로 계획에 적용한다면 보다 효율적인 차로 설계가 가능할 것으로 판단된다. 또한, 정적 모형에서 교차로의 지체를 정확하게 분석하지 못하기 때문에 본 모형을 적용한다면 도로 계획시 고속도로와 일반도로가 대안노선일 경우 보다 정확하게 효과를 분석할 수 있을 것으로

판단된다.

사례연구(서울시 4대문 가로망)의 결과를 통하여 본 모형이 중규모 이상의 가로망에 적용 가능한 것으로 판단되었다. 그러나, 4대문안 신호현시자료 등 가로망에 대한 정확한 입력자료의 부족으로 인하여 실제 조사된 링크 통행속도 자료와는 차이가 나타나는 것으로 분석되었다.

**참고문헌**

1. 김주영 · 이승재 · 손의영, "Cell Transmission 이론을 이용한 동적통행배정기법 개발에 관한 연구", 대한교통학회지, 제17권 제4호, pp.71~84, 1999.
2. 조중래 · 홍영석, "가로망구조 및 통행수요 변화에 따른 통행중 교통정보제공 효과분석", 대한교통학회지, 제16권 제4호, pp.225~237, 1998.
3. 건설교통부, "광역교통계획평가 전산모형의 개발", 2001.
4. 건설부, "도로용량편람", 1992.
5. Carlos F. Daganzo, "The Cell Transmission Model, Part I: A Simple Dynamic Representation of Highway Traffic", UCB-ITS-PRR-93-7, 1993.
6. Carlos F. Daganzo, "The Cell Transmission Model : A Dynamic Representation of Highway Traffic Consistent with The Hydrodynamic



- Theory", Transportation Research, Vol. 28B, No. 4, 1994.
7. Carlos F. Daganzo, "Properties of Link Travel Time Functions under Dynamic Loads", Transportation Research, Vol. 29B, No 2, 1995.
8. Carlos F. Daganzo, "The Cell Transmission Model, Part II: Network Traffic", Transportation Research, Vol. 29B, No. 5, 1995.
9. Randall Cayford, Wei-Hua Lin, Carlos F. Daganzo, "The NETCELL Simulation package" : Technical description, UCB-ITS-PRR-97-23, 1997.
- ✉ 주 작 성 자 : 조중래
- ✉ 논문투고일 : 2001. 5. 25
- 논문심사일 : 2001. 6. 5 (1차)  
2001. 6. 8 (2차)
- 심사판정일 : 2001. 6. 8