

■ 論 文 ■

# 복합 통행행태모형을 이용한 동적 기·종점 통행량 추정

Dynamic OD Estimation with Hybrid Discrete Choice of Traveler Behavior in Transportation Network

김 채 만

(경기개발연구원 교통정책연구부 책임연구원)

조 종 래

(명지대학교 교통공학과 교수)

## 목 차

- I. 서론
  - II. 기존연구고찰 및 연구방향 설정
  - III. 모형의 개발
    - 1. 초기기종점 통행량 생성
    - 2. 동적시물레이션 모형
    - 3. 동적 기·종점 통행량 생성
  - IV. 모의실험
    - 1. 모의실험 조건
  - 2. 출발시간/통행수단 선택모형
  - 3. 출발시간/통행수단/통행경로 선택모형
  - V. 모형의 적용
    - 1. 출근시차제
    - 2. 교통시설변화
  - VI. 결론 및 향후연구과제
- 참고문헌

**Key Words :** 동적기종점 통행량, 시물레이션모형, 출발시간/수단선택, 경로선택, 선호도착시간  
 Dynamic O/D Trip, Simulation Model, Departure Time/Mode Choice, Route Choice, Prefer Arrival Time

## 요 약

정적 기·종점 통행량을 가정함으로써 갖는 동적 시물레이션 모형의 현실 모사 능력의 한계를 극복하기 위하여 동적 기·종점 통행량 추정 모형을 개발하였다. 동적 기·종점 통행량 추정은 통행자의 출발시간, 통행수단, 통행경로 선택 행태모형을 결합한 복합통행행태 수요시물레이션 모형을 이용하였다. 본 연구에서 개발된 수요 시물레이션 모형과 기 개발된 공급 시물레이션 모형인 LiCROSIM-P를 결합하여 통합 시물레이션 모형을 구축하였다. 단속류/연속류가 공존하는 다경로 가로망에서 출발시간/수단선택/통행경로 선택모형은 AGtt(기·종점통행시간의 시물레이션 시간과 기대치의 차이 백분율)은 수렴하지 않고, 평균스케줄지체는 안정 상태로 수렴하는 것으로 나타났다. 통합 시물레이션 모형은 교통시설공급 변화와 통행자의 속성 변화에 따른 기·종점 통행량 변화 추정과 효과분석이 가능함을 모형의 적용을 통해 제시하였다. 따라서 통합시물레이션 모형은 수요관리정책, 교통시설변화, 교통정보제공 등이 가져오는 출발시간, 통행수단, 통행경로변화를 반영한 시스템의 효과분석이 가능하다

The purpose of this paper is to develop a dynamic OD estimating model to overcome the limitation of depicting real situations in dynamic simulation models based on static OD trip. To estimate dynamic OD matrix we used the hybrid discrete choice model( called the 'Demand Simulation Model'), which combines travel departure time with travel mode and travel path. Using this Demand Simulation Model, we deduced that the traveler chooses the departure time and mode simultaneously, and then choose his/her travel path over the given situation. In this paper, we developed a hybrid simulation model by joining a demand simulation model and the supply simulation model(called LiCROSIM-P) which was previously developed. We simulated the hybrid simulation model for dependent/independent networks which have two origins and one destination. The simulation results showed that AGtt(Average gap expected travel time and simulated travel time) did not converge, but average schedule delay gap converged to a stable state in transportation network consisted of multiple origins and destinations, multiple paths, freeways and some intersections controlled by signal..

We present that the hybrid simulation model can estimate dynamic OD and analyze the effectiveness by changing the attributes of the traveler and networks. Thus, the hybrid simulation model can analyze the effectiveness that reflects changing departure times, travel modes and travel paths by demand management policy, changing network facilities, traffic information supplies, and so on.

### 1. 서론

교통상황은 시·공간상에서 끊임없는 변화의 대상이다. 교통상황 변화는 교통공급(시설) 측면에서 변화와 교통수요측면에서의 변화에 기인한다. 교통공급과 교통수요의 변화에 따른 영향을 사전에 분석하고 대책을 수립하기 위하여 교통 시뮬레이션 모형들이 개발되었다. 지금까지 개발된 시뮬레이션 모형은 주로 공급측면에서의 변화를 예측하는 것으로 교통수요는 고정된 것으로 가정하였다.

그러나 교통공급 변화는 교통수요를 변화시키므로 교통수요가 고정되었다는 가정하의 시뮬레이션 모형은 현실 모사(模寫)능력에 한계를 가지고 있다. 특히, 최근 국내에서는 대규모 구조물의 노후화에 따른 개보수 공사로 인한 차로 축소와 구조물 철거가 이루어지고 있다. 공사로 인한 차로 축소 및 교통시설의 철거는 교통공급변화에 따른 기·중점 통행시간의 변화를 유발하고, 기·중점 통행시간의 변화는 출발시간, 통행경로, 목적지의 변화와 통행의 포기 등 교통수요측면에서의 변화를 수반한다. 이에 따라 교통수요와 교통공급 변화의 순환과정을 모두 시뮬레이션 할 수 있는 모형의 필요성이 증가하고 있다.

따라서 본 연구는 시뮬레이션 모형의 현실 모사능력 제고와 활용 영역 확장을 위해 교통수요측면에서 변화를 예측할 수 있는 시뮬레이션 모형을 개발하여 공급측면의 시뮬레이션 모형과 결합함으로써, 교통공급변화로 수반되는 동적 기·중점 통행량을 추정하는 방법을 제시하였다.

### II. 기존연구고찰 및 연구방향설정

교통수요측면 시뮬레이션 모형에 관한 국외연구는 Small(1982)이 스케줄지체를 비용에 포함한 출발시간 선택 모형을 도입한 이후, 출발시간선택과 경로선택의 결합(Ben-Akiva et al(1986), Mahmassani et al(1984), De Palma et al(1997))과 출발시간과 통행수단의 결합(Hendrickson et al(1984))으로 발전하였다.

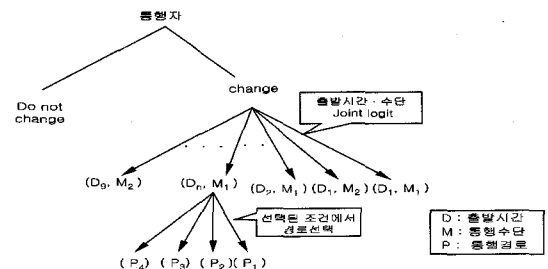
국내에서는 이인원 등(1993)이 출발시간, 통행수단, 통행경로 선택 등을 모형화 하였으며, 윤대식(2001)은 등교통행의 출발시간과 수단선택모형의 결합 모형을 정산을 하였다. 김현명(2001)은 지하철의 시뮬레이션모형과 출발시간의 선택변화를 휴리스틱 선택행태로 모형

화 하였다. 신동호 등(1998)은 출발시간 선택 문제를 가로배분 식에 도입하여 사용자 균형 해를 찾는 알고리즘을 제시하였으며, 노정현 등(2000)은 출발시간-경로 선택모형을 결합한 가로배분 식을 도입하여 사용자 균형 해를 찾는 알고리즘을 제시하였다. 또한, 박준식 등(2001)은 통행수단/출발시간/경로선택 모형을 동시에 고려하고 출발시간 선택이후 경로선택을 순차적으로 선택하는 사용자 균형 해를 찾는 알고리즘을 제시하였다.

기존 연구에서는 출발시간, 통행수단, 통행경로에 대한 동시선택상황을 구현하지 못하였으며, 3가지 선택상황을 반영한 연구도 거시적인 균형 해를 찾는 모형으로 구축되어 일간 교통수요변화가 진행되는 상황을 시뮬레이션 할 수 없는 한계를 갖고 있다.

따라서 본 연구의 방향은 교통상황변화에 따른 교통수요측면의 변화를 시뮬레이션 할 수 있는 모형을 구축하는 것이다. 공급시뮬레이터는 공급시설의 규모 및 운영변화에 따른 통행시간 변화 예측이 가능하고, 수요 시뮬레이터는 출발시간, 통행수단, 통행경로의 변화를 분석 가능한 것이어야 한다. 이와 같은 조건을 모두 만족하는 시뮬레이터는 De Palma가 개발한 METROPOLISE와 Ben-Akiva 등이 개발한 DynaMIT이 있다. 기존 시뮬레이터는 선택대상이 단위시간동안의 집계된 통행량이며, 수단선택, 출발시간, 경로선택이 순차적으로 이루어지며, 경로선택대안이 실시간최단경로에 한정된다는 한계가 있다.

본 연구는 METROPOLIS와는 다음 3가지측면, DynaMIT과는 2가지(둘째와, 셋째) 측면에서 차별화된다. 첫째, 수요 시뮬레이터의 선택주체를 현실의 선택상황과 유사하게 구현하기 위하여 개별차량을 대상으로 하였다. 둘째, 현실의 선택상황에서 동시선택이 이루어지고 있는 출발시간과 수단선택을 동시에 이루어지게 구현하였다. 셋째, 경로선택에서 선택대안을 최단시간, 최단거리, 광로, 교차로최소경로로 다양화 하였다.



〈그림 1〉 본 연구의 수요모형 구조

### III. 모형의 구축

본 연구는 기존의 1일이나, 첨두시 기·종점 통행량 자료(OD자료)를 동적 시물레이션 분석의 입력 자료로 사용하기 위한 초기 기·종점 통행량 생성, 초기 기·종점 통행량을 입력 자료로 사용하여 동적 시물레이션(공급모형)수행, 동적 시물레이션 결과 생성된 통행시간과 스케줄 지체를 바탕으로 동적 기·종점 통행량을 생성하고, 생성된 동적 기·종점 통행량과 입력 자료의 차이를 이용하여 수렴여부를 판단하여 수렴되면 종료하고 아니면 생성된 동적 기·종점 통행량을 동적 시물레이션 모형의 입력 자료로 하여 반복수행이 이루어진다.

연구에 사용하기 위한 공급측면 동적 시물레이션 모형은 결과에 대한 신뢰성이 확보되고 수요모형과 접목을 위해 프로그램 코드가 공개되어 있어야 한다.

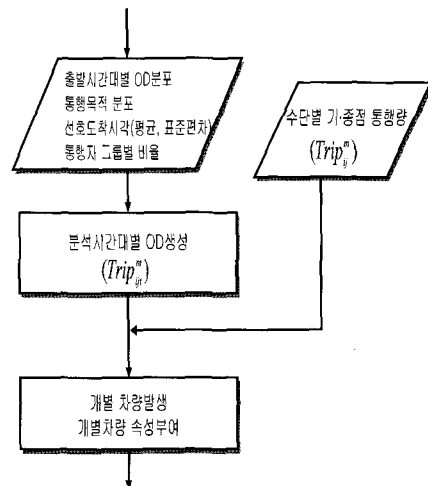
조중래 등(2001)이 개발한 LiCROSiM-P는 Cell Transmission 이론을 이용하여 연속/단속류의 차량전이 행태를 설명하도록 개발된 모형으로 이와 같은 조건을 만족한다.

LiCROSiM-P는 거시모형에서 사용하는 Network 자료를 5node×9link type으로 구분하여 전이모듈을 차별화 하였으며, 입력 자료는 네트워크자료, 시간대별 기·종점자료, 신호시간자료 등이다. 이 시물레이터는 교차로의 Spill-back현상 및 대기행렬 구현이 가능하며, 실시간 교통정보의 제공, 신호시간변화, 교통시설

용량변화 등에 대한 효과를 분석할 수 있다(상세내용은 참고문헌7 참조). 본 연구에서 공급측면 동적 시물레이션 모형은 LiCROSiM-P를 사용하였다.

#### 1. 초기 OD생성

초기 OD생성은 교통수요에서 일반적으로 사용하는 수단별 OD와 시간대별 분포, 통행목적분포, 희망도착 시각(평균, 표준편차), 통행자그룹 비율 자료를 입력 자료로 사용하여 개별 차량을 발생시키고, 발생한 차량에 출발지, 도착지, 출발시각, 통행목적, 선호도착시각, 통행자그룹 등 속성을 부여한다.



〈그림 3〉 초기 기·종점 통행량 생성 과정

#### 1) 분석시간대별 OD생성

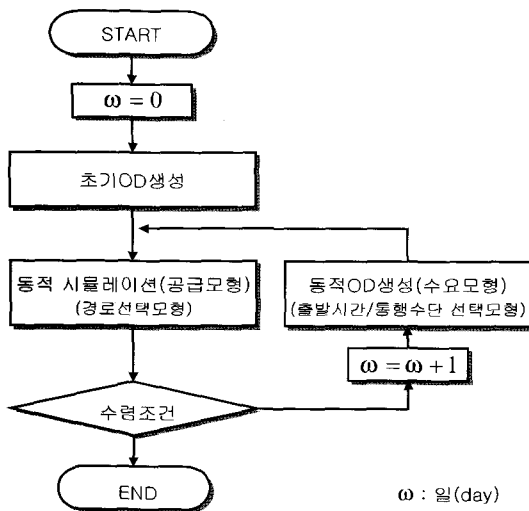
기존OD자료는 1일이나, 첨두시 기준으로 구분되어 있다. Micro시물레이션은 개별차량의 출발시각을 가지기 때문에 좀 더 현실성 있는 결과를 얻기 위해서는 더 작은 시간단위로 OD를 세분화 할 필요가 있다.

세분화된 분석시간대별 차량OD생성을 위해서 수단별 기·종점 통행량과 수단별 재차인원을 입력 자료로 받고, 산출된 출발시간대 분포를 이용하여 시간대별 수단별 차량OD를 산출한다.

$$car TRIP_{ijm}^l = iTRIP_{ijm} \times DDT_{ijm}^l \div OCC_m \quad (1)$$

여기서  $car TRIP_{ijm}^l$  :  $i, j, m, l$ 의 차량통행량

$iTRIP_{ijm}$  :  $i, j, m$ 의 차량통행량



$\omega$  : 일(day)

〈그림 2〉 개발모형의 전체구성

- $DDT_{ijm}^l$  :  $i, j, m$ 의 출발시간대  
( $l$ )별 통행량 분포
- $OCC_m$  : 수단별 재차인원
- $i, j$  : 기점, 종점
- $m$  : 통행수단
- $l$  : 출발시간대

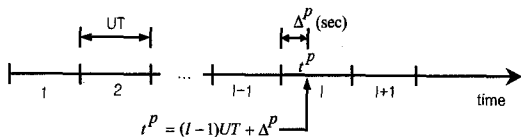
2) 차량 속성부여

차량속성은 차량 일련번호, 차종, 기·종점, 출발시간/출발시간대, 통행목적, 선호도착시각, 통행자그룹 속성을 가진다.

일련번호는 발생하는 순서에 따라 개별차량에 부여된다. 이는 개별차량 MOE를 산출하는 기준이 된다. 차종은 입력된 수단별 OD를 기초로 하여 생성된다. 이는 차량의 속성 길이, 가속능력 등을 감안한 공급측면의 시물레이션 수행이 가능하게 한다. 개별 차량은 기점과 종점을 부여받으며 시물레이션 수행 시 경로를 선택하는 인자로서 작용한다.

연속적인 시간을 단위시간(UT)으로 구분한 시간대(1, 2, ...,  $l$ , ...)내에서 초 단위로 차량이 발생한다. 따라서 발생한 차량은 출발시간대와 출발시간대의 시작 지점부터 실제차량발생시간까지의 시간간격을 동시에 갖게 된다. 그림에서  $p$ 차량은 출발시간대  $l$ 과 출발시각  $t^p$ 를 갖는다.

통행목적 생성은 통행목적별 통행량분포에 의해 확률적 모형을 통해 차량에 부여된다.



<그림 4> 출발시간대 및 출발시각

차량 선호도착시각은 실제도착시간과의 관계를 이용하여 출발시각 선택에 영향을 미치는 스케줄지체를 생성하는 요소이다. 출근·등교 통행은 업무(수업) 시작 시각과 전날 도착시각의 차이에 의해 지각시간 또는 선착시간에 대한 벌점(penalty)에 따라 다음날 선호도착시각이 결정된다. 차량의 기점·종점·통행목적별 선호도착시각은 통행자를 대상으로 직접조사 분석하여 생성

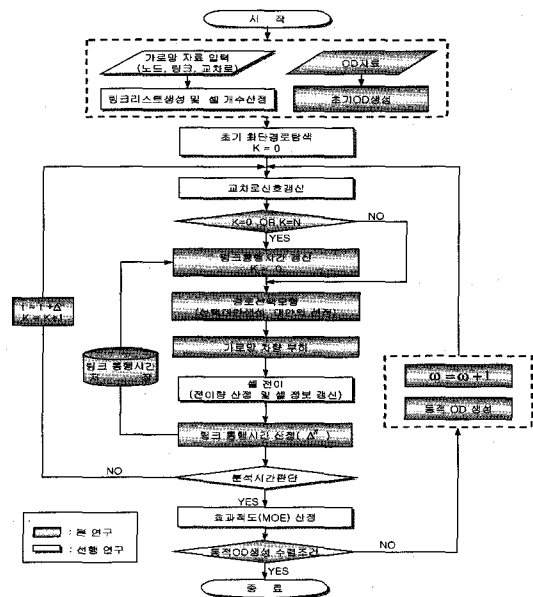
하여야 한다. 그러나 국내에서는 선호도착시각 항목을 조사항목에 포함하여 조사한 선례가 없다. 따라서 가구통행실태조사」의 기·종점간 평균통행시간과 표준편차를 이용하여 간접적으로 선호도착시각을 생성하였다.

통행자는 서로 다른 기호 및 상황을 갖고 있다. 기호 및 상황이 상이한 통행자는 선택대상 및 선택기준이 상이하다. 이런 상황을 반영하기 위해서 본 연구에서는 5개의 통행자 그룹을 설정하였다. 통행자그룹1은 초기 설정치를 계속 유지하는 통행자, 통행자그룹2는 출발시간/통행수단을 선택하는 통행자, 통행자그룹3은 출발시간만 선택하는 통행자, 통행자그룹4는 통행경로만 선택하는 통행자, 통행자그룹5는 모든 선택대상(출발시간, 통행수단, 통행경로)을 선택하는 통행자로 구분하여 설정하였다.

2. 동적시물레이션 모형

동적 시물레이션 모형(공급모형)은 조중래 등(2001) 선행연구에서 구축된 모형을 이용하였다. 기존모형에 동적OD생성을 위해 경로선택모형을 추가하였다.

가로망 및 셀 구조, 신호개신, 가로망에 차량을 부하하는 법 등은 기존연구를 참고로 하고, 본 연구 목적을 위해 추가된 경로선택모형에 대해서만 설명하였다.

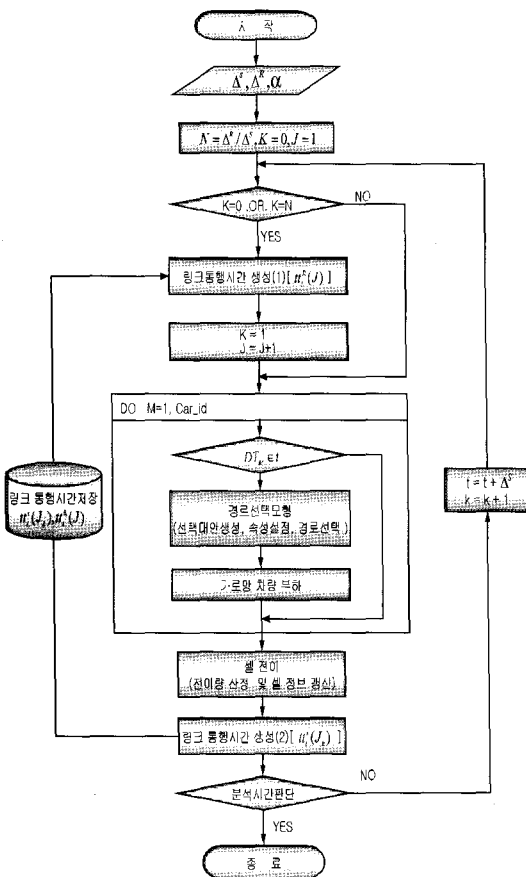


<그림 5> 동적 시물레이션 모형구조

1) 경로선택모형

통행자의 경로선택 모형은 3단계로 이루어진다. 첫째, 선택 대안 경로 생성이다. 둘째, 대안 경로의 속성과악이다. 셋째, 선택기준을 설정하여 최적 경로를 선택하는 것이며 본 연구는 이와 같은 과정을 모형화 하였다.

출발시간, 통행수단 선택이 완료된 상태에서, 승용차를 선택한 통행자만 경로선택이 이루어지는 것으로 가정하였다. 또한, 통행자는 출발시간 전에 선택대안경로에 대한 완전한 정보를 갖고 있는 것으로 가정하였다. 경로선택모형의 전체흐름은 <그림 6>과 같이 동적 시뮬레이션 분석단위시간( $\Delta^*$ ), 최단경로탐색 단위시간( $\Delta^R$ )과 시간대별 링크통행시간을 Smoothing하기 위하여 사용되는 평활화 계수( $\alpha$ )를 입력받아 링크통행시간생성, 링크통행시간저장, 경로선택모형을 구축하는 과정으로 구성되어 있다.



<그림 6> 경로선택모형의 전체과정

(1) 선택대안생성

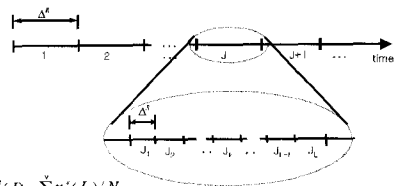
경로선택의 선택대안은 이론적으로 무한한 것으로 인식되고 있으나, 현실적으로 선택확률이 높은 것으로 판단되는 최단거리, 최단시간, 광로, 교차로최소경로를 선택대안집합으로 설정하였다.

(2) 속성

① 링크통행시간

동적 시뮬레이션 단위시간간격( $\Delta^*$  : 1~5초)은 매우 짧은 시간이다.  $J_k$ (동적 시뮬레이션 단위시간으로 구분된 시간대)별 링크통행시간은 시간대별 변동이 심하여 경로탐색에 사용하기는 부적합하다. 따라서  $\Delta^*$ 의 배수인 경로탐색 단위시간( $\Delta^R$  : 2~5분)을 도입하였다.  $\Delta^R$ 은  $\Delta^*$ 의 N배수로 이루어진다. 어떤 경로탐색 시간대 J의 링크통행시간( $tt_i^R(J)$ )은 J시간대내의 동적 시뮬레이션 시간대 k의 링크통행시간( $tt_i^*(J_k)$ )의 산술 평균으로 정의하였다.

경로탐색 단위시간이 짧을 경우 링크통행시간은 시간대별로 변동이 심하다. 따라서 본 연구에서는 경로탐색 및 경로선택을 위한 정보인 링크통행시간은 지수 평활화법으로 가공(smoothing)하여 생성하였다



$$tt_i^R(J) = \sum_{k=J}^{J+N} tt_i^*(J_k) / N$$

$$tt_i^R(J) = \alpha \cdot tt_i^*(J) + (1-\alpha) \cdot tt_i^R(J-1)$$

$$N = \Delta^R / \Delta^*$$

$\Delta^*$  : 시뮬레이션 단위시간  
 $\Delta^R$  : 경로탐색 단위시간  
 $J_k$  : J 시간대 내 시뮬레이션 단위시간으로 구분된 k번째 시간대  
 $J$  : 경로탐색 단위시간으로 구분된 시간대  
 $\alpha$  : 평활화 계수  
 $tt_i^*(J_k)$  : 시뮬레이션 시간대  $J_k$  의 링크통행시간  
 $tt_i^R(J)$  : 경로탐색 시간대 J의 링크통행시간

<그림 7> 경로선택모형의 링크통행시간 개념도

② 통행비용

모형에서 모든 비용을 현실과 부합하게 산출하는 것은 불가능하므로, 본 연구에서는 경로선택대안의 통행거리와 단위 거리당 통행비용을 적용하여 경로통행비용을 산출하였다.

$$Cost_i = L_i \times C_{unit} \tag{2}$$

- 여기서  $Cost_i$  : 경로  $i$ 의 통행비용(원)
- $L_i$  : 경로  $i$ 의 통행거리(km)
- $C_{unit}$  : 단위거리당 통행비용(원/km)

**(3) 선택원칙**

다항로짓은 모든 대안의 독립성을 가정한 모형이나, 경로선택에서는 대안경로의 중복링크에 의해 독립성이 확보되지 않는 문제점이 발생한다. 이 문제를 해결하기 위해 Cascetta 등(1997)은 C-Logit, Ben-Akiva 등(1999)은 Path-Size-Logit을 개발하였다. 두 모형은 모두 대안경로의 공유길이를 모형에 반영한 형태이다. 본 연구에서는 공유길이를 반영한 기본모형인 C-Logit을 사용하여 경로선택모형을 구축하였다.

$$V_i = \mu(\beta_1 time_i(J) + \beta_2 Cost_i - \beta_{CF} CF_i) \quad (3)$$

- 여기서  $Time_i(J)$  :  $J$ 경로탐색시간대의  $i$ 경로 통행시간
- $Cost_i$  :  $i$ 경로 통행비용

$$CF_i = \ln \sum_{j \in C_n} \left( \frac{L_{ij}}{\sqrt{L_i L_j}} \right)^r$$

- $CF_i$  : 경로 $i$ 의 Commonality Factor
- $L_{ij}$  : 경로 $i$ 와  $j$ 가 공유한 부분의 길이
- $L_i, L_j$  : 각각 경로 $i$ 와  $j$ 경로의 총 길이
- $r$  : 모수( $r=1$ 로 가정)
- $\beta_1, \beta_2$  : 모수
- $\mu$  : 스케일 모수(파라미터)

경로별 선택확률은 대안별 결정적 효용함수를 이용하여 식(4)으로 산출한다.

$$P(i) = \frac{e^{V_i}}{\sum_{j \in P} e^{V_j}} \quad (4)$$

**3. 동적OD생성**

본 연구는 초기OD생성, 공급시물레이터, 기대통행시간생성, 수요시물레이터로 이루어졌다. 동적OD생성은 기대통행시간생성과 수요시물레이터로 정의할 수 있다. 기대기중점통행시간은 공급시물레이터 수행결과 산출된 출발시간대별 기중점통행시간 자료 학습을 통해 생성된다.

수요시물레이터는 기중점통행시간 정보를 이용하여

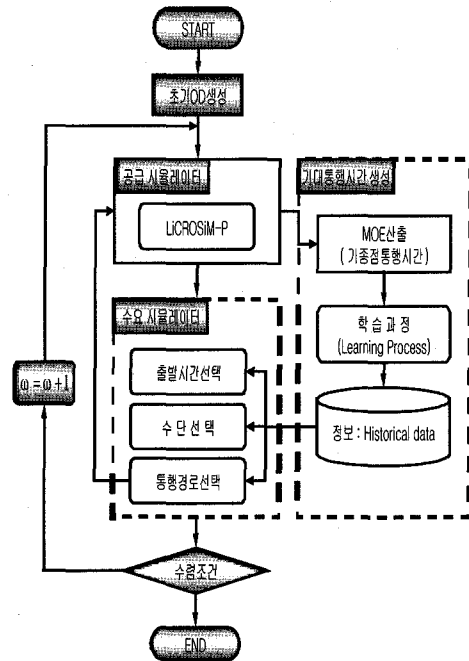
출발시간/통행수단 선택이 이루어진다. 새로 통행시간과 통행수단이 선택된 자료를 동적OD라 정의한다. 이런 과정은 수렴조건을 만족할 때까지 반복된다.

**1) 기대통행시간**

학습과정을 통행행태에 도입하는 방안은 Mahmassani et al(1986)에 의해 이루어 졌다. 지금까지 사용된 학습과정의 형태는 지수형, 선형, 2차식형, 유전형 등이 있다. 본 연구는 지수형 학습과정을 통해 기대기중점통행시간을 생성하였다. 사용된 자료는 전날 기대통행시간과 전날의 공급시물레이션 결과 기중점통행시간을 이용하였다.

$$TT_{im\omega}^E = \lambda TT_{im\omega-1}^S + (1-\lambda) \cdot TT_{im\omega-1}^E \quad (5)$$

- 여기서  $TT_{im\omega}^E$  : 기대통행시간
- $TT_{im\omega-1}^S$  :  $\omega-1$ 일 시물레이션결과 통행시간
- $TT_{im\omega-1}^E$  :  $\omega-1$ 일 기대통행시간
- $\lambda$  : 학습속도( $0 < \lambda < 1$ )
- $\omega$  : 반복횟수



(그림 8) 동적 OD생성 과정도

2) 출발시간/통행수단 선택모형

(1) 선택대안

출발시간과 통행수단의 선택은 독립적이지 않다. 희망도착시간을 가진 통행자의 경우 출발시간에 따라 통행수단이 제한된다. 이 같은 상황을 구현하기 위하여 본 연구에서는 2가지 선택을 결합한 모형을 채택하였다. 결합모형은 다차원적 선택상황이며, 선택대안은 개별선택대안의 곱으로 구해진다. 출발시간과 통행수단 선택상황에서 통행자 p의 선택대안집합( $C^p$ )은 출발시간 선택대안집합( $T_\omega^p$ )과 통행수단 선택집합( $M$ )의 곱으로 표시된다.

$$C_\omega^p = T_\omega^p \times M = \left\{ (t_{\omega-1}^p - 4, Auto), (t_{\omega-1}^p - 4, Transit), \dots, (t_{\omega-1}^p, Auto), (t_{\omega-1}^p, Transit), \dots, (t_{\omega-1}^p + 4, Auto), (t_{\omega-1}^p + 4, Transit) \right\} \quad (6)$$

- 여기서  $C_\omega^p$  : p의  $\omega$ 일 다차원 선택대안집합
- $T_\omega^p$  : p의  $\omega$ 일 출발시간 선택대안집합
- M : 통행수단 선택대안집합
- $t_{\omega-1}^p$  : p가  $\omega-1$ 일 선택한 출발시간
- p : 통행자

(2) 선택대안의 속성

총통행시간(TT), 선호도착시각(PAT)보다 빠른 도착시간(SDE), 선호도착시각 보다 늦은 도착 시간(SDL), 총통행비용(COST), 승용차 대안특성상수( $C_{auto}$ )를 속성으로 설정하여 모형을 구축하였다.

(3) 결정원칙

본 연구에서는 결합선택상황을 구현하기 위하여 결합로짓 모형을 사용하였다. 결합로짓(Joint Logit)모형은 효용함수 확률함( $\epsilon_{tm}$ )의 IID분포를 가정한 모형이다. 출발시간/통행수단 결합모형의 결정적 효용은 스

캐줄지체, 통행시간, 통행비용, 승용차 대안특성상수를 도입하였다. 본 연구에서 사용할 결합모형의 결정적 효용함수는 식(7)과 같다.

$$V_{m\omega}^p(t) = \mu \left( \alpha_1 TT_{m\omega}^E(t) + \alpha_2 COST_m(t) + \beta_1 SDE_{m\omega}^E(t) + \beta_2 SDL_{m\omega}^E(t) + \gamma D_{auto} \right), \quad \forall t \in l \quad (7)$$

- 여기서  $V_{m\omega}^p(t)$  : p가 t, m,  $\omega$ 의 결정적 효용
- $TT_{m\omega}^E(t)$  : l, m,  $\omega$ 날 기대통행시간
- $SDE_{m\omega}^E(t) = Max[(PAT^p - IB - t - TT_{m\omega}^E(t)), 0]$
- $SDL_{m\omega}^E(t) = Max[(t + TT_{m\omega}^E(t) - PAT^p - IB), 0]$
- $D_{auto} = \begin{cases} 1, & \text{if } m = Auto \\ 0, & \text{if } m = Transit \end{cases}$
- $PAT^p$  : 개인p의 선호도착시간
- $COST_m(t)$  : m수단 l시간을 출발시간으로 했을때 비용
- IB : 무차별 폭(선호도착시간과 효용이 동일한 시간간격)
- $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2, \gamma$  : 변수의 파라미터
- $\mu$  : 스케일 파라미터
- p : 통행자, m : 통행수단
- l : 출발시간대, t : 출발시간

결합로짓모형에서 어떤 통행자 p가 출발시간 t 와 통행수단m을 선택할 확률은 식(8)과 같다.

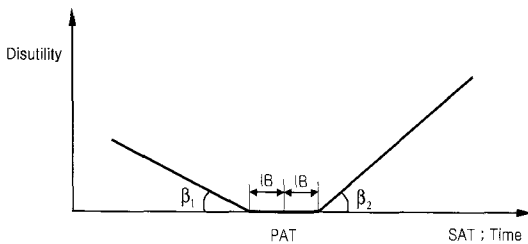
$$Pr^p(t, m) = e^{V_{m\omega}^p(t)} / \sum_{(t', m') \in C^p} e^{V_{m\omega}^p(t', m')} \quad (8)$$

IV. 모의실험

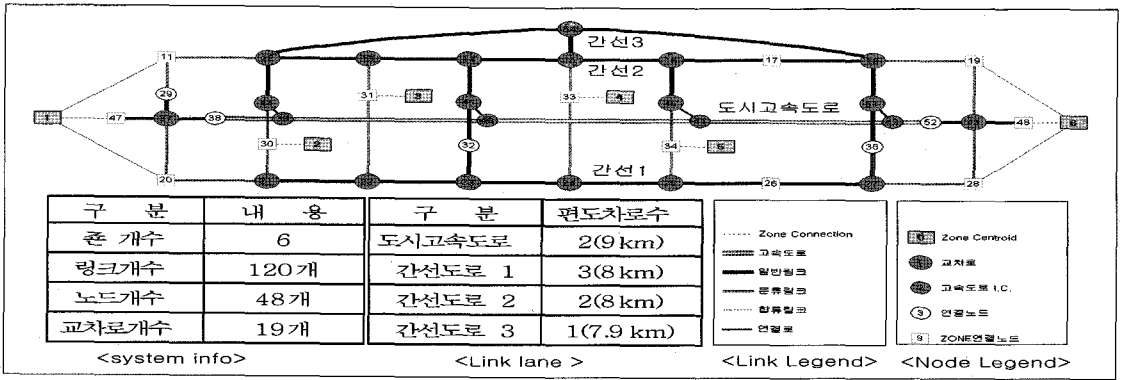
1. 모의실험 조건

1) 가로망

모의실험 대상 가로망은 총 6개의 존으로 구성되어 있으며, 6번 존은 도심의 업무중심지(CBD) 또는 공업단지 로 통근통행의 도착이 집중되는 특성을 갖는 지역이다. 6번 존을 기준으로 2km간격으로 총 5개의 존이 존재하고, 각 존은 주거지로서 통근통행의 발생지이다. 도심업무지역과 가장멀리 떨어져 있는 1존과 6존을 연결하는 4개의 도로가 있다. 중앙에 도시고속도로가 위치하고, 고



<그림 9> 출발시간 효용함수의 형태



<그림 10> 가로망 구성도

속도로와 나란히 양쪽으로 간선도로가 위치하고 있다. 도시고속도로 남·북측 동서간 도로는 모두 간선도로이며, 간선도로와 고속도로를 연결하는 남·북간 집산도로는 1km간격으로 설치되어 있다.

14개 교차로, 4지 5개 교차로 구성되어 있다. 교차로별 신호운영은 <표 2>와 같다.

<표 1> 모의실험 가로망 정보

구분	1-6존 거리 (km)	차로수 (편도)	용량 (pcu/차로·시간)	자유속도 (km/h)	
동서	도시고속도로	9.0	2	2,000	90
	간선도로1	8.0	3	2,000	80
	간선도로2	8.0	2	2,000	80
	간선도로3	7.9	1	2,000	60
남북	집산도로	-	1	2,000	60
연결로	-	1	2,000	60	

3) 대중교통 가로망

도로망에 대한 시뮬레이션과 대중교통 가로망 시뮬레이션이 동시에 이루어져야 통행수단간 전환을 반영할 수 있다. 그러나 본 연구는 대중교통 가로망 시뮬레이션 수행 없이 대중교통의 특성을 반영하여 시간대별 통행시간의 변화가 없는 것으로 가정하여 모의실험을 수행하였다. 대중교통의 기종점간 통행시간은 <표 3>과 같다.

2) 신호

신호로 운영되는 교차로는 총 19개 교차로이며 3지

<표 3> 대중교통 기·종점 통행시간

기점	종점	통행시간 (분)	기점	종점	통행시간 (분)
1	6	30	6	1	30
2	6	27	6	2	27
3	6	25	6	3	25
4	6	23	6	4	23
5	6	20	6	5	20

<표 2> 모의실험 교차로 신호운영

교차로	1현시	2현시	3현시	4현시	주기
13,14 16,64	↔	↙	↘		90초
	60초	15초	15초		
44,45 46,51	↕	↘	↘		90초
	60초	15초	15초		
21,22,23 24,25,27	↔	↕	↘		90초
	60초	15초	15초		
12,15,18 37,43	↔	↙	↕	↕	120초
	50	20	30	20	

4) 총통행수요

모의실험에 사용한 통행량은 기점 1~5존에서 통행량이 발생하여 종점을 6존으로 설정하였으며, 반대방향으로는 기점 6존에서 발생한 통행량이 종점 1~5존으로 통행하는 것으로 설정하였다. 모의실험에 사용된 OD는 오전 06:30에서 09:30으로 3시간으로 가정하였다. 모의실험 가로망 용량은 승용차 기준으로 편방향 15,900대/3시간이다. 승용차의 재차인원을 1통행/대로 가정하여 용량의 105%수준으로 승용차 통행량을 설정하였다. 대중교통 통행량은 분담률이 30%가 유지되게 설정하였다.



〈표 4〉 모의실험 통행수요 (단위 : 통행/3시간)

기점	종점	총통행량		
		승용차 <sup>1)</sup>	대중교통	합계
1	6	5,600	2,400	8,000
2	6	2,800	1,200	4,000
3	6	2,800	1,200	4,000
4	6	2,800	1,200	4,000
5	6	2,800	1,200	4,000
6	1	5,600	2,400	8,000
6	2	2,800	1,200	4,000
6	3	2,800	1,200	4,000
6	4	2,800	1,200	4,000
6	5	2,800	1,200	4,000
합계		33,600	14,400	48,000

주 : 1) 승용차는 재차인원 1.0으로 가정

5) 출발시간 및 선호도착시간 분포

결과해석을 용이하게 하기 위하여 출발시간 분포는 모든 셀이 동일한 것으로 가정하였다. 또한 모든 통행이 출근통행이고, 모든 통행자의 선호도착시간을 08:30분으로 가정하였다.

6) 모수의 설정

공급측면의 시뮬레이션모형과 출발시간/통행수단선택 모형 수행을 위해 요구되는 모수를 민감도 분석결과 가장 합리적인 값으로 설정하였다.

〈표 5〉 모수의 설정

구분	내용		설정 값
수행시간(시간)	시뮬레이션 수행시간 (분석 : 3 + 소거 : 1)		4
단위시간(초)	시뮬레이션 시간간격		5
경로선택 선택 집합	최단시간, 최단거리, 광로, 교차로최소		4개
최단경로탐색 단위시간(분)	최단경로 갱신 시간 간격		2분
평활화 계수	지수식		0.8
경로 선택 효용 함수	통행시간(분)	효용함수의 계수	-0.2
	통행비용 (100원)	통행비용 (=150원/km적용)	-0.12
	스케일 파라미터		1.0
경로선택원칙	결정적 or 확률적		확률적

2. 모의실험 분석결과

1) 수렴조건

본 연구에서는 기대 기종점 통행시간과 시뮬레이션

기종점 통행시간의 차이 백분율(AGtt)과 지각 및 선착 스케줄지체를 산술평균한 평균스케줄지체를 수렴조건으로 분석하였다. 모의실험결과 반복수행에 따라 AGtt는 변동이 계속되는 것으로 나타났으나, 평균스케줄지체는 10회까지 급격히 감소 후 일정한 폭으로 변동이 일어나는 안정 상태로 접근해 가는 것으로 나타났다.

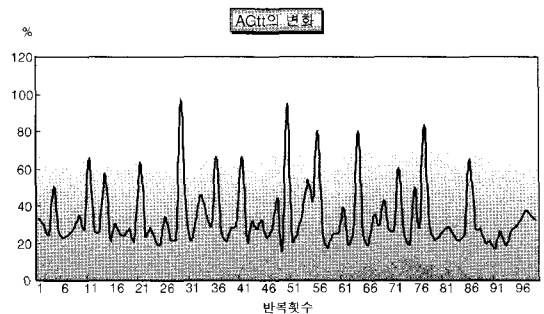
$$AGtt_{\omega} = \sum_{i=1}^N \left( \frac{|TT_{i\omega}^E - TT_{i\omega}^S|}{TT_{i\omega}^E} \right) / N \quad (9)$$

여기서  $TT_{i\omega}^E$  :  $\omega$ 일 시간대  $i$ 의 기대통행시간

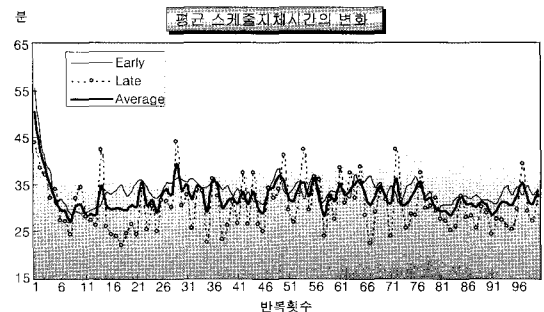
$TT_{i\omega}^S$  :  $\omega$ 일 시간대  $i$ 의 시뮬레이션 통행시간

통행학습으로 얻은 정보로 산출한 기대통행시간과 실제 통행시간의 차이가 AGtt이다. 현실 상황에서 통행자는 매일 수단선택과 경로선택 행위가 이루어짐에 따라 도로통행수요의 변화가 발생하고 이 변화가 기대 통행시간과 실제통행시간의 차이를 발생시킨다. 이와 같은 이유로 AGtt는 수렴하지 않는다.

평균스케줄지체는 초기에 급격히 감소하여 안정 상태에서 일정한 소폭의 변동이 일어나고 있다. 이는 수



〈그림 11〉 시스템전체 AGtt의 변화



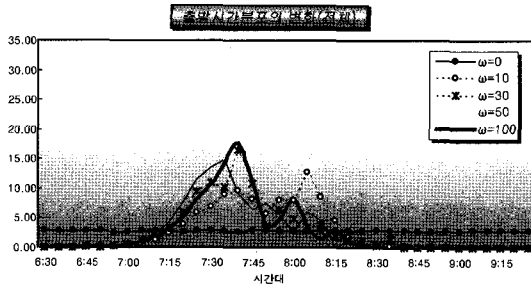
〈그림 12〉 평균스케줄 지체의 변화

단선택과 경로선택의 모형을 확률적으로 구현하였기 때문인 것으로 분석된다.

따라서 본 연구에서는 평균스케줄지체 변동이 일정 수준이하로 감소하면 수렴한다고 정의하였다.

2) 출발시간 분포의 변화

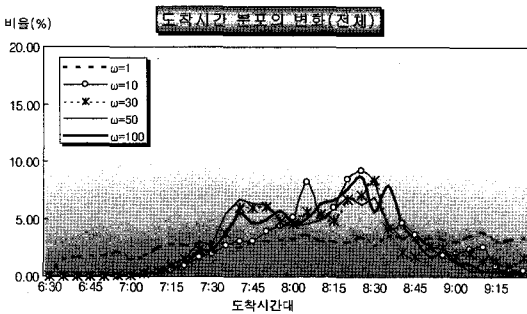
출발시간분포의 변화는 기·종점 통행량의 변화를 의미한다. 초기에 시간대별로 균일한 분포를 보인 출발시간분포가 반복수행시 07:40~07:45대로 통행량이 17.65%가량 집중되면서 첨두가 나타나는 것으로 분석되었다. 도심통행의 첨두 현상을 잘 설명하고 있다.



〈그림 13〉 출발시간분포의 변화

3) 도착시간분포의 변화

모든 통행자의 선호도착시각을 08:30분으로 고정시킨 조건하에서 반복수행 결과 08:30분경에 도착하는 통행 첨두가 발생하는 것으로 나타났다. 반복수행 될 수록 선호도착시간내 도착통행의 비율이 증가하는 것으로 분석되었다.

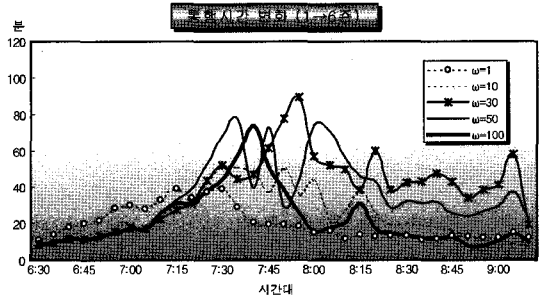


〈그림 14〉 도착시간분포의 변화

4) 기·종점 통행시간의 비교

본 연구의 모의실험에서 사용한 네트워크는 가상으로

로 현실상황과 상이하므로 결과 또한 현실상황과 직접적으로 비교할 수 없다. 모의실험 상황에서 반복수행에 따라 혼잡으로 인해 기·종점 통행시간이 급격히 증가하는 시간대가 생성된다. 그러나 시간대별 기·종점 통행시간은 반복수행시 변동이 일어난다.



〈그림 15〉 기종점 통행시간의 변화

V. 모형의 적용

본 연구에서 구축한 모형은 복합선택 모형으로, 각 선택모형은 확률적 개념이 도입되어 안정 상태로 완전한 수렴이 이루어지지 않고 일정한 변동 폭을 유지한다. 따라서 정책 효과 분석은 평균스케줄지체가 일정수준이하에서 여러 번 반복 수행한 평균치를 이용하는 것이 합리적이다. 분석결과는 안정 상태에서의 마지막 20회(81~100번)에 대한 평균치이다.

1. 출근시차제 효과분석

1) 시나리오 설정

구축한 모형에서는 출근시차제를 선호도착시각의 생성에 도입함으로써 효과를 분석할 수 있다. IV장에서 사용한 가로망 자료와 통행수요 자료를 기본안으로 설정하였다. 통행자의 선호도착시각이 기본안과 다른 상황을 시나리오로 설정하기 위하여 이질적인 선호도착시각 통행자를 가정하였다. 이질적인 통행자는 선호도착시각이 07:30, 08:30분인 그룹이다.

통행자그룹의 구성에 따라 3가지 시나리오를 설정하였다. 시나리오 I은 선호도착시각이 07:30분인 통행자가 10%, 시나리오 II는 선호도착시각이 07:30분인 통행자가 20%, 시나리오 III은 선호도착시각이 07:30분인 통행자가 33%를 차지하는 것으로 설정하였다.

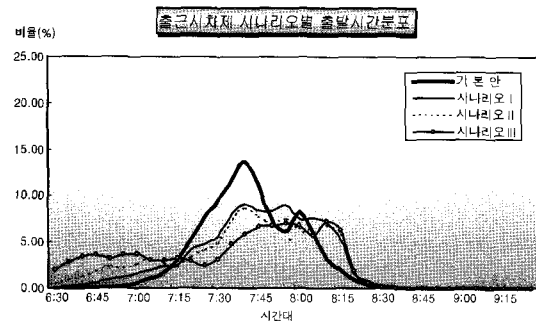
〈표 6〉 출근시차제 시나리오 설정

구분	통행자그룹1 (선호도착시간 : 07:30)	통행자그룹2 (선호도착시간 : 08:30)
기본안	0	100
시나리오Ⅰ	10	90
시나리오Ⅱ	20	80
시나리오Ⅲ	33	67

2) 출근시차제 효과분석결과

(1) 출발시간분포 변화

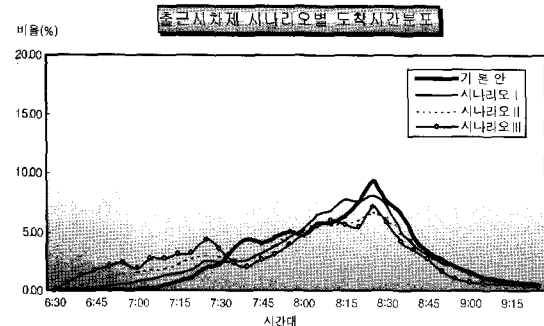
출근시차제 시행 시 5분 간격으로 구분된 시간대별 출발통행량의 첨두시 집중률이 기본 안 14%에서 시나리오Ⅰ은 9.17%, 시나리오Ⅱ는 8.76%, 시나리오Ⅲ은 6.83%로 낮아지는 것으로 분석되었다. 기·중점간 출발통행량의 첨두시 집중율도 시나리오Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ 순으로 낮아지는 것으로 나타났다.



〈그림 16〉 출근시차제에 따른 출발시간분포

(2) 도착시간분포 변화

선호도착시간이 07:30인 통행자의 비율이 33%인 시나리오Ⅲ이 가장 빨리 중점에 차량이 도착하고, 다음으로 시나리오Ⅱ,Ⅰ, 기본안 순으로 중점에 차량이 도



〈그림 17〉 출근시차제에 따른 도착시간분포

착하는 것으로 나타났다. 이는 선호도착시간이 빠른 차량은 스케줄지체 비효율을 감소시키기 위하여 출발시간을 앞으로 앞당긴 결과이다.

(3) 기·중점 통행시간 변화

시나리오Ⅰ은 전체 평균통행시간이 0.7분 감소하여 2.35%의 감소효과가 발생하고, 시나리오Ⅲ은 전체 평균통행시간이 1.46분 감소하여 4.91%의 통행시간 감소효과가 있는 것으로 분석되었다.

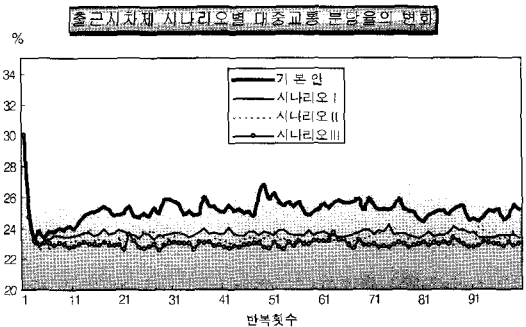
〈표 7〉 출근시차제 시나리오별 평균통행시간 변화

(단위 : 분, %)

기중점	기본안 통행시간	시나리오Ⅰ			시나리오Ⅲ		
		통행시간	증감량	증감률	통행시간	증감량	증감률
1-6	32.41	31.45	-0.96	▽2.96	32.5	+0.09	▽0.28
2-6	29.54	29.22	-0.32	▽1.08	26.3	-3.24	▽10.97
3-6	42.46	43.47	+1.01	▽2.38	43.5	+1.04	▽2.45
4-6	32.26	31.76	-0.5	▽1.55	28.6	-3.66	▽11.35
5-6	11.85	9.33	-2.52	▽21.27	8.8	-3.05	▽25.74
전체	29.76	29.06	-0.7	▽2.35	28.3	-1.46	▽4.91

(4) 대중교통 수단분담율 변화

출근시차제를 시행하면 승용차의 첨두시 통행량 집중률이 감소한다. 첨두시 통행량 감소는 도로교통의 정체를 감소시킨다. 상대적으로 승용차가 대중교통보다 통행비용이 적게 소요되어 기본안보다 대중교통 수단분담율이 감소한다.



〈그림 18〉 출근시차제에 따른 대중교통분담율 변화

2. 교통시설변화 효과분석

1) 시나리오 설정

교통시설변화 효과분석은 IV장 모의실험에서 사용한

가로망 자료와 통행수요 자료를 기본 안으로 설정하고 도시고속도로 시설규모에 대한 시나리오를 설정하였다. 도심방향의 도시고속도로 차로수를 기본안보다 1개 차로를 확폭하는 시나리오와 기본안보다 1개 차로를 축소하는 시나리오를 설정하였다.

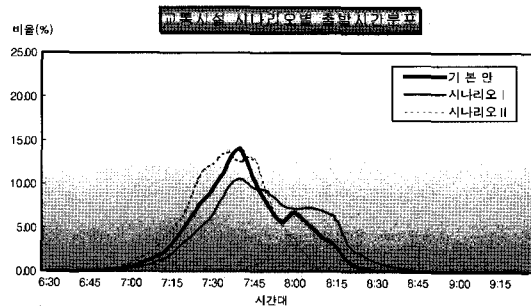
〈표 8〉 교통시설변화 시나리오 설정

구분	내용
기본안	도시고속도로 도심방향 편도2차로
시나리오 I	도시고속도로 도심방향 편도3차로
시나리오 II	도시고속도로 도심방향 편도1차로

2) 교통시설변화 효과분석결과

(1) 출발시간분포 변화

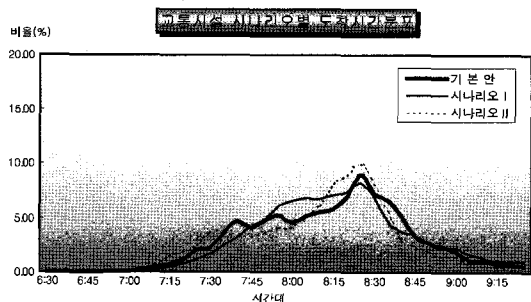
교통시설공급이 증가한 시나리오 I 은 기본안보다 출발통행 첨두율이 낮아지고, 교통시설공급이 감소한 시나리오 II 는 출발통행 첨두율이 기본안보다 높지 않지만 첨두 지속시간이 긴 것으로 나타났다.



〈그림 19〉 교통시설변화에 따른 출발시간분포 변화

(2) 도착시간분포 변화

교통시설 규모가 큰 시나리오 I 이 가장 늦게 종점에



〈그림 20〉 교통시설변화에 따른 도착시간분포 변화

차량이 도착하고, 시설규모가 가장 작은 시나리오 II 가 가장 빨리 종점에 차량이 도착하는 것으로 나타났다. 이는 시설규모가 감소하면 출발시간을 늦추고, 시설규모가 증가하면 출발시간을 앞으로 당긴 결과로 종점에 도착통행 분포가 나타난 것이다.

(3) 기종점 통행시간 변화

교통시설 규모가 증가하는 시나리오 I 은 모든 기·종점간 통행시간이 기본안보다 감소하고 전체 평균 통행시간이 6.07분이 감소하여 20.3%의 통행시간 감소 효과가 발생하고, 시설규모가 감소하는 시나리오 II 는 전체 평균 통행시간이 9.61분 증가하여 32.2%의 통행시간 증가효과가 발생하는 것으로 분석되었다.

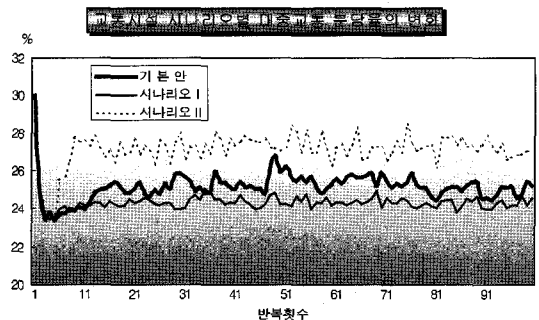
〈표 9〉 교통시설변화에 따른 평균통행시간 변화

(단위 : 분, %)

기종점	기본안		시나리오 I (3차로)		시나리오 II (1차로)		
	통행 시간 (A)	통행 시간 (B)	증감량 (C= B-A)	증감률 (C/A* 100)	통행시간 (E)	증감량 (F= E-A)	증감률 (E/A* 100)
1-6	32.41	25.08	-7.33	▼22.6	43.47	+11.06	▼34.1
2-6	29.54	20.90	-8.64	▼29.9	33.13	+3.59	▼12.1
3-6	42.46	35.10	-7.36	▼17.3	53.09	+10.63	▼25.0
4-6	32.26	28.53	-3.73	▼11.6	39.00	+6.74	▼20.9
5-6	11.85	9.29	-2.56	▼21.6	25.45	+13.60	▼114.7
전체	29.76	23.69	-6.07	▼20.3	39.37	+9.61	▼32.2

(4) 대중교통 수단분담율 변화

교통시설변화는 출발시간의 변화뿐만 아니라 수단 분담율의 변화를 유발한다. 도로교통시설 규모를 증가시키는 시나리오 I 은 대중교통 분담률을 감소시키고, 도로교통시설 규모를 감소시키는 시나리오 II 는 대중교통 분담률을 증가 시킨다.



〈그림 21〉 교통시설변화에 따른 대중교통수단분담율 변화

## V. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 공급측면 동적 시뮬레이션모형과 수요측면 시뮬레이션모형(선택모형)을 결합한 통합 시뮬레이션 모형을 개발하였다. 수요측면 시뮬레이션 모형은 출발시간, 통행수단 선택상황을 결합로짓 모형으로 구축하였으며, 선택된 승용차의 출발 시간 내에서 경로 선택모형을 다항로짓 모형으로 구축하였다. 통합 시뮬레이션 모형은 일간 시간대별 수단별 통행량의 변화를 예측함으로써 일별 동적 기·종점 통행량을 생성한다.

개발된 통합 시뮬레이션 모형의 현실적용가능성을 판단하기 위하여 3개의 출근시차제 시나리오와 2개의 교통시설 변화 시나리오에 대한 분석을 수행하였다. 분석결과 출근시차제와 교통시설 변화 시나리오에 대하여 동적 기·종점 통행량, 수단 분담율, 통행시간 등이 모두 논리적으로 타당한 값이 산출되었다.

따라서, 본 연구에서 개발한 통합 시뮬레이션 모형은 현재까지 정적 기·종점통행량으로 분석이 불가능한 교통 환경 변화에 대한 여러 가지 분석이 가능하다. 이를 정리하면 다음과 같이 크게 3가지 측면에서의 의의가 있다.

첫째, 도시교통문제의 근본적인 원인인 첨두시 통행량 집중을 완화시키기 위한 수요관리정책의 효과분석이 가능하다. 이는 개별통행자의 선호도착시간개념을 모형에 도입하였기 때문에 출근시차제 등에 따른 개인의 통행행태 변화 모사가 가능하기 때문이다.

둘째, 모든 선택상황을 동적 시뮬레이션 모형과 결합함으로써 현장의 교통류 상황에 따른 개별 차량의 도착시각이 여러 가지 선택에 영향을 미치므로 교통시설 및 운영변화(신호운영, 도로공사로 인한 차로 운영 변화, 교통시설 건설 및 철거 등)에 따른 통행량의 시간적, 통행수단간 변화 및 가로망상의 공간적 교통상태변화 분석이 가능하다

셋째, 정보를 받는 차량과 받지 않는 차량의 선택행태가 다르기 때문에 교통정보제공 등에 대한 효과분석이 가능하고, 이에 따라 효과적인 교통정보 제공전략 수립을 가능하게 한다.

향후연구 과제로는 첫째, 본 연구에서는 정산되지 않은 모수를 사용하였으므로 모형의 현실모사 능력을 향상시키기 위해서는 행태조사를 통해 여러 가지 모수 정산이 필요하다.

둘째, 교통현실의 선택상황은 본 연구에서 고려한

출발시간, 통행수단, 통행경로 이외에도 통행의 포기, 목적지의 선택 등이 있다. 모형이 현실상황을 더 잘 묘사하기 위해서는 본 연구에서 검토하지 않은 통행의 포기, 목적지의 선택 등을 추가적으로 포함한 선택상황을 모형화가 필요하다.

셋째, 현실상황는 선택주체의 기호 및 선호도에 선택결과 상이하다. 따라서, 모형에 선택주체의 이질성 반영이 필요하다.

## 참고문헌

1. 김현명·신동호·임용택·백승걸(2001) “이질적 지하철승객 기반의 동적 출발시간선택모형 개발 (도심을 목적지로 하는 단일 지하철노선을 중심으로)”, 대한교통학회지, 제19권 제5호, 대한교통학회, pp.119~134.
2. 노정현·김용석(2000), “통행시간 불확실성을 고려한 출발시간-경로선택 결합모형 개발”, 국토계획, 제35권 4호, 대한국토·도시계획학회, pp135~147.
3. 박준식·박창호·전경수(2001), “오전 첨두시의 동적 교통관리를 위한 동적 통행배정모형에 관한 연구”, 대한교통학회지, 제19권 제4호, 대한교통학회, pp.97~108.
4. 신동호·임용택·박정근(1998), “비반복적 도로혼잡시 교통정보제공에 따른 출발시간대별 통행수요 변화 연구”, 국토계획, 제33권 제4호(통권96호), 대한국토·도시계획학회, pp193~208.
5. 이인원·정난희(1993), “Stochastic Dynamic Assignment 모형의 개발과 활용”, 대한교통학회지, 제11권 제1호, 대한교통학회, pp68~86.
6. 윤대식·김상환(2001), “교통정보 제공에 따른 통행자의 통행행태 변화 분석”, 국토계획, 제36권 2호, 대한국토·도시계획학회, pp101~115.
7. 조중래·홍영석·손영태(2001), “기중점 기반 대규모 가로망 교통류 시뮬레이션 모형”, 대한교통학회지, 제19권 제3호, 대한교통학회, pp.115~131.
8. Small, K. A.(1982), “The scheduling of consumer activities : Work trips”. The American Economic Review, 72, No.3, pp 469~479.
9. Andre Depalma, Fabrice Matchal and Yurii Nesterov(1997), “METROPOLIS - Modular

- System for Dynamic traffic Simulation”, Transportation Research Record, 1607.
10. Antonio C.(1997), “Demand simulation for dynamic traffic assignment” SM Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Massachusetts Institute of Technology.
  11. Cascetta, E., A. Nuzzolo, F. Russo and A. Vitetta(1997), “A Modified Logit Route Choice Model Overcoming Path Overlapping Problems : Specification and Some Calibration Results for Interurban Networks”. Transportation and Traffic Theory. Proceeding from the Thirteenth International Symposium on Transportation and Traffic Theory, Lyon, France.
  12. Hendrickson.C. and Plank.E(1984), “The Flexibility of Departure Time for Work Trips”, Transportation Research A, Vol.18, No.1, pp.25~36.
  13. Hani Mahmassani. and Robert Herman(1984), “Dynamic User Equilibrium Departure Time and Route Choice on Idealized Traffic Aterial ”, Transportation Science, Vol.18 No.4.
  14. Moshe Ben-Akiva, Mychele Cyna and Andre De Palma (1984), “Dynamic Model of Peak Period Congestion”, Transp Res.-B Vol. 18B, No.4/5.
  15. Moshe Ben-Akiva, Michel Bierlaire(1999), “Discrete Choice Methods And Their Applications To Short Term Travel Decisions”, Handbook of Transportation Science, p5-33 Kluwer, Dordrecht.
  16. Moshe Ben-Akiva, Haris N. Koutsopoulos ,Joan Walker(2001), “DynaMIT-P : Dynamic Assignment Model System for Transportation Planning”, Submitted to 9th WCTR Conference Seoul, Korea, 2001.

✉ 주 작 성 자 : 김채만

✉ 교 신 저 자 : 김채만

✉ 논문투고일 : 2006. 1. 5

✉ 논문심사일 : 2006. 3. 23 (1차)

2006. 5. 17 (2차)

2006. 6. 28 (3차)

2006. 8. 16 (4차)

2006. 9. 4 (5차)

✉ 심사판정일 : 2006. 9. 4

✉ 반론접수기한 : 2007. 2. 28