

□ 論 文 □

Stochastic Dynamic Assignment 模型的開發과 活用

(Toward Stochastic Dynamic Traffic Assignment Model :
Development and Application Experiences

李 仁 遠

(弘益大學校 都市計劃科 教授)

鄭 蘭 姬

(弘益大學校 大學院)

目 次

- | | |
|------------------|-------------------------|
| I. 序論 | IV. 經路選擇行態의 模型化 |
| II. 選擇理論 | V. 經路 및 時間選擇의 模型化와 活用事例 |
| III. 時間選擇行態의 模型化 | VI. 結論 |
-

ABSTRACT

A formulation of dynamic traffic assignment between multiple origins and single destination was first introduced in 1987 by Merchant and Nemhauser, and then expanded for multiple destination in the late 1980's (Carey, 1987). Based on behavioral choice theory which provides proper demand elasticities with respect to changes in policy variables, traffic phenomena can be analysed more realistically, especially in peak periods. However, algorithms for these models are not well developed so far (working with only small toy network) and solutions of these models are not unique. In this paper, a new model is developed which keeps the simplicity of static models, but provides the sensitivity of dynamic models with changes of O-D flows over time. It can be viewed as a joint departure time and route choice model, in the given time periods (6-7, 7-8, 8-9 and 9-10 am). Standard multinomial logit model has been used for simulating the choice behavior of destination, mode, route and departure time within a framework of the incremental network assignment model. The model developed is workable in a PC 386 with 175 traffic zones and 3581 links of Seoul and tested for evaluating the exclusive use of Namsan tunnel for HOV and the left-turn prohibition. Model's performance results and their statistical significance are also presented.

I. 서론

1. 연구의 목적

交通政策은 交通施設擴大供給(CIP)뿐 아니라 交通需要管理(TDM)를 적절히 병행함으로써 그 효과를 극대화할 수 있다. 우리나라에서도 최근에 이에 관심을 가지고 새로운 접근과 기법들이 많이 개발 제시되고 있으나 기존 모형들을 가지고는 새롭게 제시되고 있는 다양한 交通政策들을 비교 평가하기가 어렵다는 것이 문제다. 즉, 交通需要管理를 위한 정책들을 분석하고 비교 평가하기 위하여는 특정시간대별 交通與件에 대한 模擬實驗이 가능해야 하는데, 현재 일반적으로 이용되고 있는 4단계 교통수요 예측모형에서는 이러한 분석이 거의 불가능하다. 이러한 문제인식하에서 본 연구에서는 기존의 정태적인 분석에서 다룰 수 없었던 출발시간, 목적지 및 交通手段을 선택하는 同時選擇模型을 개발하여 時間帶別 街路交通量, 시간대별 O/D변화, 시간대별 수단분담을 변화 등을 예측하여 需要管理를 위한 자료를 제시하고, 교통시설물의 계획과 설계, 교통체계관리(TSM)에 필요한 시간대별 교통량을 예측하고자 하였다.

일반적인 通行配分 알고리즘은 주어진 經路의 通行時間과 費用을 算定하고 算定된 通行時間과 通行費用을 이용하여 각 알고리즘이 갖고 있는 특성에 따라 O/D 교통량을 링크에 配分하는 것인데, 이때 통행이 배분된 經路가 실제 운전자가 선택하는 다양한 경로와 相異하여 우회교통량에 관한 탄력도 분석이 어렵고, 실제로 통행자가 주로 이용하는 주요 경로에 통행량이 배분되지 않는 문제가 발생하고 있다. 본 研究에서는 이를 극복하기 위해 결정론적(deterministic) 經路配分方法 대신에 多經路選擇의 配分(Stochastic Assignment)方法을 사용하여 보다 行態의인 관점에서 분석을 시도하여 보았다.

2. 연구의 범위 및 방법

動態的 通行配分을 위한 研究는 1978년 Merchant와 Nemhauser가 단일목적지까지의 통행을 動態的으로 配分하여 본 것을 효시로하여 최근 10년 동안 꾸준히 이루어져 왔다. (de Palma, Ben-Akiva 1983, Carey 1987, Janson 1991)그럼에도 불구하고 動態的 通行配分을 위한 프로그램이 개발되지 못한 이유는 수행상에 몇 가지 제약점이 있기 때문이다. 우선 動態的 通行配分을 위해서는 막대한 컴퓨터용량이 필요하여 특정 교통축 같은 작은 지역의 분석에는 실제 적용이 가능하나 都市廣域圈에 적용하는데에는 제약이 크다. 또한, 動態的 通行配分을 수행하기 위해서는 각 O/D pair의 出發時間 通行패턴을 알아야 하는데 현실적으로 모든 O/D pair의 時間別 通行分布를 연속함수로 대입하여 분석하는데도 무리가 있다. 따라서 많은 연구에서는 연속적으로 발생하는 통행을 시간대별로 한 묶음하여서 出發時間帶를 선택하는 수법(piecewise discrete choice)을 이용하여 동태적 분석을 도모하고 있다. 본 연구에서는 시간대를 분할하는데 용량의 제한으로 인해 출발시간을 기준 1시간 단위로 하여 오전 6-7, 7-8, 8-9, 9-10時帶로 묶은 후 四中擇一 교통출발시간 선택모형을 개발하고 실제 적용하여 보았다.

反面에 經路選擇行態의 模型化 方案 研究에서는 理論的 次元에서 다음과 같은 문제가 개선되어질 수 있도록 하였다. 첫째, 選擇 決定 行爲의 不合理性이 감안될 수 있을 뿐 아니라 選擇 결정자인 운전자가 전체 街路網과 經路에 대한 不完全한 情報를 가지고 있다는 것도 고려될 수 있도록 한다. 둘째, 選擇 가능한 代案數의 過多문제 또는 전체 街路網上에서 選擇할 수 있는 經路는 무수히 많은 이론상의 문제가 현실적으로 처리될 수 있도록 한다. 셋째, 두개의 經路가 대부분의

경우에서 겹칠 경우 별도의 經路로 인정해야할지의 문제로서 經路가 많아질 경우 더욱 복잡한 문제인데 이에 대한 배려도 강구한다. 넷째, 컴퓨터 記憶容量의 限界性으로 인한 문제로서 模型에서 설정한 經路를 컴퓨터가 어떻게 인지할 수 있는지의 문제이다. 가로망의 링크 수가 算術級數적으로 증가할 경우 경로의 수는 幾何級數적으로 증가하게 되며, 따라서 대규모 가로망체계를 인식시키는 데에는 컴퓨터의 記憶容量 한계 문제가 자연히 따르게 된다. 이러한 문제들을 고려하여 본 연구에서는 출발 존에서 선택할 수 있는 4개의 노드와 도착 존에서 선택할 수 있는 4개의 노드를 연결하는 16개 경로를 찾게 한 다음, 이 16개 경로의 교통시간을 각 O/D pair에 관하여 추정해 확률적으로 통행량을 배분하는 推計的 通行配分方法의 실제적 有用性을 검토해 보았으며 有用性이 인정될 경우 이러한 事前指定經路方式은 더욱 개설될 수 있다고 보았다.

有用性 검증을 위하여 본 논문에서는 우선 개별적으로 出發時間選擇과 經路選擇을 각각 모형화한 후 이들 각각의 모형을 기존 모형과 비교하여 모형의 설명력이 어느 정도 개선 되었는지 판단한 다음, 출발시간선택과 경로선택을 결합한 綜合模型(SDI모형)으로 개발하고 그 분석 결과를 제시하여 보았다. 既存 模型, 出發時間選擇模型(departure Time Choice Model), 推計的 經路選擇模型(Stochastic Route Choic Model), SDI모형(Stochastic Dynamic Incremental Assignment Model)의 결과는 기존 도로의 관찰된 교통량과의 비교를 통하여 분석하였으며 정책변화에 따른 탄력도 평가를 위하여 幹線道路 右回轉 禁止, 多人乘車輛(HOV : High Occupancy Vehicle)전용도로화 방안과 같이 우리에게 익숙한 交通流 管理, 交通需要管理방안에 시험 적용하여 보았다.

로짓모형의 문제점으로 지적되고 있는 IIA 문제는 앞으로 數式 變경을 가지고 개선될 수 있다

고 보고 본 연구에서는 간편한 MNL(Multinomial Logit)모형을 그대로 사용하였으며 모형의 평가와 검증을 위해서는 시간대별 수단별 통행량 자료의 求得이 가능한 서울시를 대상으로 하였다. 분석상의 존수는 175개이며 1312개의 노드와 3581개의 링크로 이루어진 서울시 주요 간선 가로망을 가지고(그림 1, 2참조) RUSH HOUR 4시간(6-10시)을 1시간대로 나누어 출근통행, 통학통행 및 기타통행 O/D를 수단별로 작성하여 配分交通量을 구하였다.

I. 選擇理論

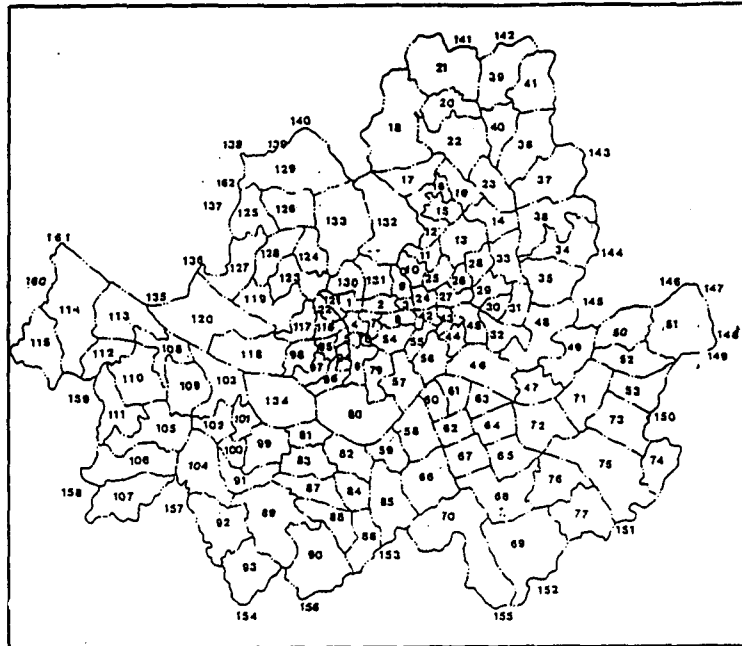
소비자행태에 관한 전통적이론에 따르면, 경제적으로 합리적인 消費者는 주어진 제약조건하에서 이용가능한 각 대안들의 特性에 加重值를 두어 효용을 극대화하는 대안을 선택한다. 그러나, 각 개인의 價値體系에는 個人的 기호와 같은 관측이 불가능한 요소가 있고 선택대안들이 갖고 있는 측정할 수 없는 특성들이 고려되어야 한다. 이러한 측면에서 선택주체가 갖는 效用函數(utility function)는 $\mu = U(X, S : \epsilon)$ 로 정의될 수 있다. 여기서 X는 선택대안의 특성「벡터」이고, S는 선택주체의 관측된 社會·經濟的 특성「벡터」이며, ϵ 는 각 대안의 관찰되지 않는 모든 특성벡터와 관찰이 불가능한 개인의 특성을 나타내는 항이다. 이는 동일한 社會經濟的 特性을 가졌다고해서 반드시 동일한 대안을 선택한다고 볼 수 없고 개인의 선택대안을 명시적으로 설명할 수 없는 부분, 즉 개인의 기호나 특성 그리고 선택대안의 관찰되지 않는 특성이 존재함을 나타낸다.

확률선택모형에 있어 總效用函數는 다음과 같은 두 부분의 합으로 표시된다.

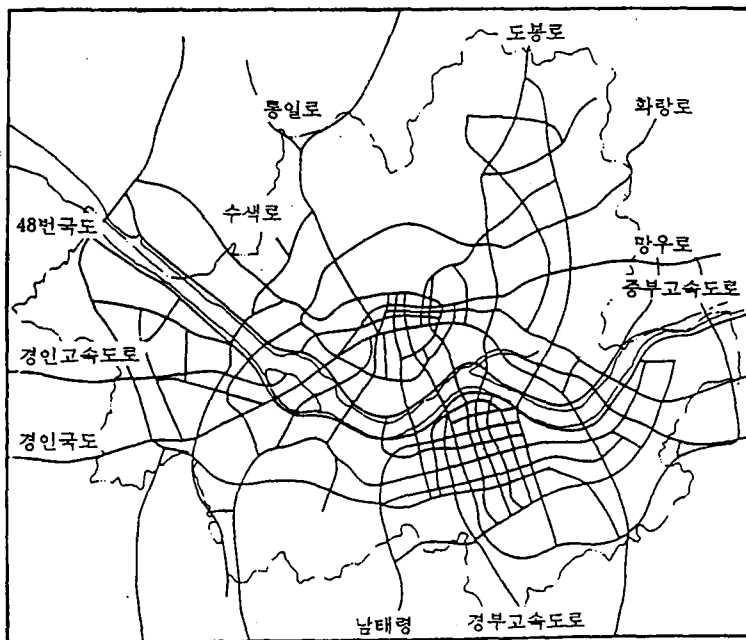
$$U(X, S) = V(X, S) + e(X, S) \dots \dots (1)$$

본 연구는 III장에서 목적지, 수단 및 출발시간

〈그림 1〉 존 구분도



〈그림 2〉 분석 가로망도



여기서, $V(X, S)$ 는 대안을 선택함으로써 얻어지는 비확률적인 개인의 대표적 취향을 나타내는 향으로써 代表的效用 또는 可視效用(mesurable utility)이라 하고, $e(X, S)$ 는 확률적인 개인의 개별적 취향과 대안별로 관측되지 않는 특성을 나타내는 향으로서 확률적효용 또는 非可視效用이라 한다. 따라서 각 개별 消費者的 대안선택행위가 효용극대화 이론을 따른다고 할때 한 소비자가 대안 i 를 선택할 확율은

$$P_i = \text{Prob} [U(X_i, S) > U(X_j, S), \text{ for all } j=1, 2, \dots, J \text{ and } j \neq i] \dots\dots\dots(2)$$

이 되며, 식(1)의 관계를 이용하여 식(2)를 다시 쓰면

$$P_i = \text{Prob} [e(X_j, S) - e(X_i, S) < V(X_i, S) - V(X_j, S)] \dots\dots\dots(3)$$

만약 확률효용 e 가 정규분포를 따른다고 가정하면 確率選擇函數는 프로빗모형으로 나타나게 되며, e 가 Weibull분포를 따른다고 가정하면 確率選擇函數는 로짓모형으로 나타나게 된다. 프로빗 모형은 대안들의 대체성과 관련한 모형의 융통성면에서는 우수하지만 대안의 수가 많을 경우 복잡해지므로 대안이 2개로 구성되는 二項프로빗 모형만이 주로 사용되고 있다. 반면 로짓모형은 대안들의 대체성과 관련한 모형의 융통성면에서는 열등하지만 모형의 단순성과 계산면에서 우수하고 결과의 해석이 용이한 장점을 가지고 있다.

따라서 본 연구에서는 일반적으로 사용되는 다음과 같은 다항로짓모형을 선택행태분석에 활용코져 하였다.

$$P_i = \frac{\exp V_i}{\sum_{j=1}^J \exp V_j} \dots\dots\dots(4)$$

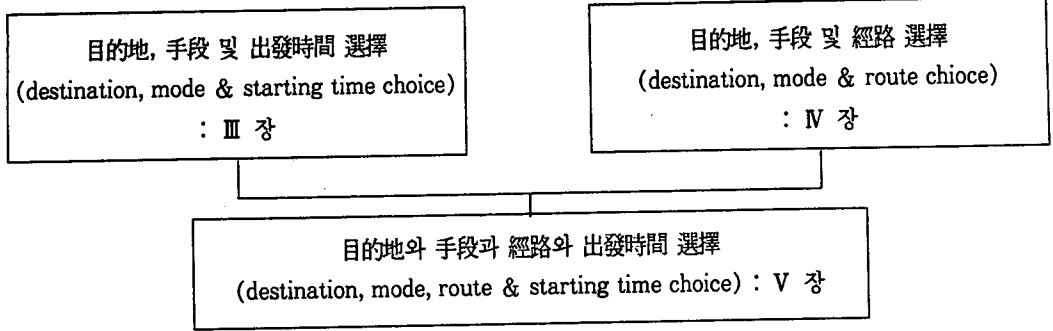
즉, 交通을 諸般事項의 選擇問題로 보고 目的地를 選擇하고, 이용할 交通手段을 選擇하고, 어느 길을 통해 여행할 것인지 하는 經路 選擇 문제를 하나의 수식으로 표현해 보고자 하였다. 우리의 選擇行爲를 模型化하는 방안은 크게 順次的 選擇

模型(Sequential choice model)과 結合選擇模型(Joint choice model)의 두가지로 나눌수 있다. 順次的模型은 目的地와 交通手段과 經路의 選擇이 順次的으로 이루어진다는 이론으로 실용상에 몇 가지 단점이 있다. 첫째, 비용이 많이 든다. 순차적선택모형은 결합선택모형보다 分析時 시간과 비용이 많이 든다. 둘째, 誤差가 누적된다. 分布交通量 산정시 模型에 代入되는 交通時間과 交通費用에 관계되는 자료가 重力模型의 경우, 이용되는 交通手段에 관계없이 너무 개략적으로 산정되기 때문에 分布交通量 推定과 手段別 分擔率 推定에 一貫性이 없고 手段別 分擔率 推定시에도 O/D Pair別로 이용가능한 手段이 다름에 대한 고려가 없으므로 인해 생기는 誤差가 있는데, 이러한 誤差들이 곱해짐으로 인해 誤差가 더욱 커진다.

셋째, 이론적인 妥當性이 의심스럽다. 서비스수준(level of service)變化에 민감하지 못하고 條件附確率(conditional probability)이 적절히 사용되지 못한다. 그리고, 交通計劃에서 주로 다루고 있는 中·長期 計劃에서는 目的地와 交通手段을 동시에 고려해서 選擇하는 경향이 있다. 이처럼 選擇이 同時的(simultaneous)으로 일어나는 것으로 보아 選擇하는 것을 結合選擇模型(Joint Choice Model)이라 하며 본 研究에서는 結合選擇模型을 택해 研究를 수행하였다.

본 연구에서는 結合選擇模型으로 다음의 3가지를 고려하였다. 그 중, 目的地와 手段 結合選擇模型(destination & mode joint choice model)에 대하여는 지금까지 이미 많은 연구가 있어왔다. 따라서 본 연구에서의 模型 開發 방향은 다음과 같다.

본 연구는 III장에서 목적지, 수단 및 출발시간 선택모형의 개발에 대해, IV장에서는 목적지, 수단 및 경로 선택모형의 개발에 대해 연구를 진행하였고, V장에서 통합모형으로 발전시켜 목적지, 수단, 경로 및 출발시간 선택모형을 개발하였다.



III. 時間選擇行態의 模型化

1. 모형화 방안

動態的 結合選擇模型은 既存의 모형이 全日 또는 피크시 3시간 交通量을 豫測해내는 것을 時間帶別로 細分化시키고자 하는 것이다. 이러한 目的을 위해서는 두 가지 接近方法이 있을 수 있다. 첫째, O/D를 미리 時間帶別로 細分化시킨 다음 通行配分을 하는 方法(Piecewise method). 둘째, 出發時間, 目的地, 手段, 經路를 同時에 選擇하는 方法(Joint choice method). 다시 말해서, 첫번째 방법은 出發時間選擇, 目的地選擇, 手段選擇, 經路選擇이 順次的으로 이루어지는 模型이다. 이 방법은 단계별 분할에 따라 발생되는 문제로 인하여 交通수요의 탄력도(elasticity)가 왜곡되기 쉽다. 따라서 본 研究에서는 出發時間, 目的地, 手段, 經路를 同時에 選擇하는 動態的 結合選擇模型(Dynamic Joint Choice Model)을 선택하여 開發하고 그 적용의 유용성을 검토하였다.

O/D표를 구축할 때 順次的的模型은 通行發生, 通行分布 단계를 거쳐 T_{ij} (i존에서 j존으로 가는 통행량)을 구한 다음, 手段別 分擔率 豫測 段階에서 P_k (k수단을 이용할 확률)를 구해서 곱하는 방법을 취해왔다. 그리고, 기존의 결합선택모형은 목적지와 수단선택이 동시에 이루어지므로 P_{ijk} 를 구한후 T_{ijk} 를 구하게 된다. 그러나, 본 연구에서 개발한 動態的結合選擇模型은 출발시간, 목적지,

수단선택이 동시에 이루어져 P_{ijk} 를 구한 후 T_{ijk} 를 구하게 된다. P_{ijk} 는 다음과 같다.

$$P(i, j, k, t) = \frac{\exp [\alpha \ln T_{ijkt} + \beta \ln C_{ijkt} + bt]}{\sum_j \sum_k \sum_t \exp [\alpha \ln T_{ijkt} + \beta \ln C_{ijkt} + bt]} \dots\dots (5)$$

$P(i, j, k, t)$ 는 i존에서 j존으로 t시간대에 k수단을 이용해 통행할 확률

T_{ijkt} 는 i존에서 j존으로 t시간대에 k수단을 이용해 통행할 때 소요되는 通行時間

C_{ijkt} 는 i존에서 j존으로 t시간대에 k수단을 이용해 통행할 때 소요되는 通行費用

α, β 는 媒介常數(parameter)

bt 는 출발시간에 대한 더미변수

2. 전산화 방안

動態的 結合選擇模型의 構造를 살펴보면, i존에서 j존으로 k수단을 이용해 6~7시에 통행할 확률은 다음과 같다.

$$P_{ijk, 6-7} = \frac{\exp U_{ijk, 6-7}^{6-7}}{\exp U_{ijk, 6-7}^{6-7} + \exp U_{ijk, 6-7}^{7-8} + \exp U_{ijk, 6-7}^{8-9} + \exp U_{ijk, 6-7}^{9-10}} \dots\dots\dots(6)$$

여기서, $U_{ijk, 6-7}^{6-7}, U_{ijk, 6-7}^{7-8}, U_{ijk, 6-7}^{8-9}, U_{ijk, 6-7}^{9-10}$ 은 통행자가

6~7시에서 볼 때, 6~7, 7~8, 8~9, 9~10시에 통행할 때 얻을 수 있다고 예상하는 효용이다. P_{ijk} , 6~7을 구하기 위해서는 6~7시 時間帶의 通行時間뿐만 아니라 7~8, 8~9, 9~10시 時間帶의 通行時間도 미리 알고 있어야 한다. 그러나, 7~8시의 通行時間은 6~7시에 配分되는 통행량에 따라 변하게 되므로 미리 계산하기가 곤란하다. 그래서, 위와 같이 단순히 계산할 경우에는 7~8, 8~9, 9~10시 時間帶의 通行時間에 잘못 계산된 값이 들어가기 때문에 確率의 합이 1이 안되는 문제점이 있다. 그러므로, 이 모형은 Pseudo-Dynamic 이라 부르기로 한다. 이러한 문제점을 개선하기 위한 방법으로는 다음과 같은 두가지 방법을 제시할 수 있다.

첫째, Pseudo-Dynamic에서 時間帶別로 通行配分한 區間交通量(link volume)을 入力資料(input data)로 읽어 들인 후, 각 時間帶의 通行時間을 다시 계산해서 모형을 다시 한 번 수행하는 방법이다. 둘째, Pseudo-Dynamic에서 나온 時間帶別 通行時間을 入力資料로 읽어 들인 후, 그 通行時間을 사용해서 모형을 다시 한번 수행하는 방법이다.

그런데, 첫번째의 방법은 기억용량(dimension)이 4*링크수(4, link)만큼 필요하고, 두번째 방법은 기억용량이 4*존수(4, zone)만큼 필요하다. 모형화방안에는 반복 횟수를 늘리는 방안과 기억용량을 늘리는 방법이 있는데, 대상지역이 커진다면 존수에 비해 링크수의 증가폭이 더 크므로 時間帶別 通行時間을 入力資料로 읽어 들이는 방법이 더 효율적이라 생각되어 다음과 같은 방법으로 모형을 개선해 보았다.

$$P_{ijk, 8-9} = \frac{\text{EXP}(UTOT^{8-9}/4)}{\text{EXP}(UTOT_{6-7}^{8-9}/4 + UTOT_{7-8}^{8-9}/4 + UTOT_{8-9}^{8-9}/4 + UTOT_{9-10}^{8-9}/4)} \dots\dots\dots(7)$$

여기서,

$$UTOT_{8-9} = U_{8-9}^{6-7} + U_{8-9}^{7-8} + U_{8-9}^{8-9} + U_{8-9}^{9-10}$$

$$UTOT^{8-9} = U_{6-7}^{8-9} + U_{7-8}^{8-9} + U_{8-9}^{8-9} + U_{9-10}^{8-9}$$

$UTOT_{8-9}$ 는 8~9시 시간대에서 6~7, 7~8, 8~9, 9~10시에 통행함으로 얻을 수 있다고 예상되는 효용이고, $UTOT^{8-9}$ 는 6~7, 7~8, 8~9, 9~10시 시간대에서 8~9시에 통행함으로 얻을 수 있다고 예상되는 효용이다.

위의 방법은 전산기억용량(computer memory space)을 확장하지 않고 반복횟수를 늘려 계산하기 위해 사용된 방법이나, 분모에 들어가는 16개의 效用중에서 실제로 유용한 것은

$$U_{6-7}^{6-7}, U_{7-8}^{7-8}, U_{8-9}^{8-9}, U_{9-10}^{9-10} \text{ 4개이다. 그러므로, 유}$$

용한 값만을 이용하여 계산하면

$$P_{ijk, 8-9} = \frac{\text{exp } U_{ijk, 8-9}^{8-9}}{\text{exp } U_{ijk, 6-7}^{6-7} + \text{exp } U_{ijk, 7-8}^{7-8} + \text{exp } U_{ijk, 8-9}^{8-9} + \text{exp } U_{ijk, 9-10}^{9-10} + \dots\dots\dots(8)}$$

그런데, 이와같이 한다면 전산기억용량을 4배로 확장해야 한다. 앞에서 말한 바와같이 반복횟수를 늘리는 방안과 전산기억용량을 늘리는 방안 중 기억용량이 커질 경우에는 반복 횟수를 늘리는 방안이 더 효율적이므로 다음과 같은 방안을 제안한다.

STEP1. BPR식에 의거해 주어진 출발존의 최소시간경로를 정립하고 t_{ijk} 를 추정 계산.

STEP2. $P(i, j, k, t)$ 계산을 위하여 t_{ijk} 를 활용.

$$t_{ijk,t} = \text{시간대별 통행시간 보정계수} * t_{ijk}$$

STEP3. V_{ijk} 를 계산하고 최소시간경로에 점진적으로 배분.

STEP4. GO TO 1. 모든 존에 관하여 반복후 링크별 교통량 계산 완료.

STEP5. 링크별 교통량을 다음 시간대의 최소시간경로를 계산하는 기본 교통량으로 치환

STEP6. 모든 시간대가 반복되었으면 STOP.
그렇지 않으면 GO TO STEP1.

위의 algorithm에서 사용된 確率의 형태는 Pseudo-Dynamic에서 사용된 確率의 형태와 같다. 여기서, 效用函數에 들어가는 통행시간은 통행자의 實際通行時間이 들어가야 하는데 Pseudo-Dynamic의 效用函數에 들어간 통행시간은 컴퓨터의 계산에 의해 만들어진 기계적인 통행시간(engineering travel time)이므로 본 연구에서는 기계적인 통행시간을 통행자의 실제통행시간으로 보정해서 계산하였다. 보정계수들은 실제 가로망에서 조사하여 계산된 값들이 쓰일수도 있고 황금분할법이나 피보나치방법에 의해 추정될 수도 있는데, 본 연구에서는 황금분할법에 의해 추정하여 보았으나 값들이 수렴되지 않아 모형 실행에 의해 도출된 $t_{ijk, 6\sim7}$, $t_{ijk, 7\sim8}$, $t_{ijk, 8\sim9}$, $t_{ijk, 9\sim10}$ 의 값들의 비교에 의해 추정된 계수를 사용하였다.

본 연구에서 기계적인 통행시간을 실제통행시간으로 보정한 보정계수는 다음과 같다.

$$t_{ijk, 6\sim7} = t_{ijk}^{6\sim7}$$

$$t_{ijk, 7\sim8} = 1.20 * t_{ijk}^{6\sim7}$$

$$t_{ijk, 8\sim9} = 1.20 * 1.30 * t_{ijk}^{6\sim7}$$

$$t_{ijk, 9\sim10} = 1.20 * 1.10 * t_{ijk}^{6\sim7}$$

$t_{ijk, 7\sim8}$ 은 자유교통류(free flow)상태에서 결정된 통행시간인 $t_{ijk}^{6\sim7}$ 보다 20%의 시간이 더 소요됨을 의미한다.

3. 模型의 整算

模型의 整算(calibration)方法은 最小自乘法(least square method)과 最尤推定法(Maximum Likelihood Estimation)을 이용해 模型樹立時 同時에 整算하는 方法과 통행 패턴으로 얻는 方法 두 가지로 크게 나눌 수 있는데, 본 연구에서는 통행패턴에 의해 얻는 방법을 사용하였다. 서울시에서 1989년에 조사하여 작성한 『서울시 교통현황조사』에 따르면 통행목적별·시간대별 통행분포는 다음과 같다.

출발시간에 대한 더미변수인 bt 는 手段別 目的別로 모두 12개이다.

이중 출근통행에 대한 추정해야할 시간대별 dummy 상수는 $bw, 6\sim7, bw, 7\sim8, bw, 8\sim9, bw, 9\sim10$ 이다. 그리고, $bw, 6\sim7 + bw, 7\sim8 + bw, 8\sim9 + bw, 9\sim10 = 0$ 이 되어야 한다. $bw, 6\sim7, bw, 7\sim8, bw, 8\sim9, bw, 9\sim10$ 의 양은 황금분할법이 피보나치방법을 사용해 search 할 수 있다. 그런데, 출발시간에 대한 더미변수인 bt 는 통행목적에 따라 다르다. 즉, 출근통행, 통학통행, 기타통행의 피크(peak)시는 다르다. 또한, 로짓 모형의 效用函數안의 통행시간과 통행비용에 따른 媒介常數 α 및 β 도 시간대별, 목적별로 다를

〈표 1〉 통행목적별 시간대별 분담율

	출근	통학	기타
6 ~ 7시	8.0%	15.0%	10.0%
7 ~ 8시	45.0%	47.0%	21.0%
8 ~ 9시	39.0%	35.0%	30.0%
9 ~ 10시	8.0%	3.0%	39.0%
	100.0%	100.0%	100.0%

자료 : 서울시 교통문제연구원, 『서울시 교통현황조사』, 1990.

	6 ~ 7시	7 ~ 8시	8 ~ 9시	9 ~ 10시
출근	bw, 6~7	bw, 7~8	bw, 8~9	bw, 9~10
통학	bs, 6~7	bs, 7~8	bs, 8~9	bs, 9~10
기타	bo, 6~7	bo, 7~8	bo, 8~9	bo, 9~10

〈표 2〉 推定된 時間帶別 目的別 더미변수(bt)

	6 ~ 7시	7 ~ 8시	8 ~ 9시	9 ~ 10시
출근	-0.80	0.87	0.77	-0.84
통학	-0.30	0.89	0.60	-1.28
기타	-0.75	-0.05	0.27	0.53

것이다. 그러므로, 좀 더 정확한 모형의 推定을 위해서는 標本調査(sampling)를 수행하여 整算을 수행하였으며 표본조사에 의한 모형의 推定은 추후 연구과제로 남겨두었다.

통행패턴에 의해 추정된 係數는 다음과 같다.

예를 들어, 출근통행의 시간대별 통행분포를 보면 8.0%, 45.0%, 39.0%, 8.0%로서 크기대로 배열해 보면 7~8시, 8~9시, 6~7시, 9~10시 순이다. 〈표 2〉에 보면 출근통행에 대한 매개상수 bw, 6~7, bw, 7~8, bw, 8~9, bw, 9~10가 -0.80, 0.87, 0.77, -0.84로서 7~8시, 8~9시, 6~7시, 9~10시 순으로 되어 있음을 알수 있다.

4. 적용 결과

개발된 모형이 현실을 豫測하는데 얼마나 適合한지를 評價하기 위해 관찰치와 모형치를 비교분석하게 된다. 그러나, 既存의 모형치는 通過交通量(flow rate : 가로용량에 의해 저항을 받게 되어 실제로 통과할 수 있는 교통량)이 아닌 需要

(demand : 모형에서 예측된 결과로써 그 가로를 통과하고자 하는 교통량)였다. 그러므로, 더욱 정확한 모형의 評價를 위해 모형에서 通過交通량을 구해 비교한다.

만약 需要가 容量보다 작다면 需要가 모두 通過交通량이 될 것이다. 그러나, 需要가 容量보다 클 경우는 오히려 通過交通량이 감소하게 된다. 이 경우의 通過交通량을 다음 식에 의해 계산하였다.

$$frpl(i) = 162.5 * speed(i) / 1.6 * \exp\left(-\frac{speed(i) / 1.6}{26.8}\right) \dots\dots\dots(9)$$

$$fr(i) = \begin{cases} \text{연속류 : } fr(i) = lane(i) * frpl(i) \\ \text{단속류 : } fr(i) = lane(i) * frpl(i) * (g/c) * (c-y)/c \end{cases}$$

fr(i) : 링크 i의 通過交通量 (flow rate)
 frpl(i) : 링크 i의 차선당 通過交通量
 speed(i) : 링크 i의 속도(speed)

註) 본 공식은 J. S. Drake(1967)가 제시한 공식이며 앞으로 우리나라의 실정에 맞는 공식의 개선연구가 필요하다.

- lane(i) : 링크 i의 차선수
- c : 신호주기(cycle time)
- g : 녹색시간(green time)
- y : 황색시간(yellow time)

그리고, 需要와 通過交通量의 차이로 인한 부분은 街路網에 남아 있어야하므로 대기차량으로 계산하였다. 계산된 待機車輛은 다음 시간대의 通行量이 配分되기 전에 미리 街路網상에 負荷되어 있게 했다.

시간선택모형을 대상가로망에 적용해 본 결과는 다음과 같다.

다 오히려 수요의 적합도가 높음을 알 수 있다. 그러므로, 通過交通量 예측의 적합도가 높은 동태적인 모형이 需要管理를 위한 수요예측모형으로 유용하게 사용될 수 있으리라 생각된다. 그러나, 공급을 위한 수요예측에는 通過交通量이 아닌 수요가 분석되어야하므로 정태적인 모형의 유용성을 부인하는 것이 아님을 밝혀둔다. 다만 정태적인 모형의 通過交通量의 R²가 낮은 것으로 보아 정태적인 모형으로 분석할 경우에는 通過交通量을 구하는 공식을 개선해야 하리라 본다.

(표 4)에 의하면 시간대별로 모형치와 관찰치

〈표 3〉 동태적 통행배분 모형의 통계분석 결과(총량비교)

		R ²		F value		prob>F	
		교 량	지 점	교 량	지 점	교 량	지 점
기존의 결합선택 모형	demand	0.700	0.628	28.002	11.795	0.0002	0.0109
	fr	0.457	0.283	9.901	2.766	0.0084	0.1402
Pseudo-Dynamic	demand	0.725	0.785	31.614	26.513	0.0001	0.0013
	fr	0.827	0.726	57.447	18.556	0.0001	0.0035
동태적 통행배분 모형	demand	0.612	0.795	21.968	27.069	0.0005	0.0012
	fr	0.769	0.863	40.014	44.243	0.0001	0.0003

〈표 3〉은 기존의 결합선택 모형과 본 연구에서 제시한 Pseudo-Dynamic, 동태적 통행배분 모형에서 도출된 모형치를 교량과 서울시의 임의의 지점에서 비교한 통계분석 결과이다. 〈표 3〉에 의하면 동태적인 모형은 대부분 通過交通量임을 생각해 볼때 타당한 결과라고 생각된다. 그러나, 기존의 정태적인 결합선택 모형은 通過交通量보

를 비교해 본 결과 Pseudo-Dynamic은 수요의 R²가, 동태적 통행배분모형은 通過交通量의 R²가 조금씩 높음을 알 수 있다. 〈표 3〉과 비교해 보면 동태적인 모형들이 총량예측에 있어서는 높은 R²를 나타내었으나 시간대별 예측에 있어서는 총량 예측에 비해 R²가 떨어짐을 알 수 있다. 동태적인 모형을 사용하는 목적이 총량보다는 시간대별 통

〈표 4〉 동태적 통행배분모형의 통계분석 결과(시간대별 비교)

		R ²		F value		prob>F	
		교 량	지 점	교 량	지 점	교 량	지 점
Pseudo-Dynamic	demand	0.629	0.584	35.129	35.129	0.0001	0.0001
	fr	0.564	0.434	49.417	39.819	0.0001	0.0001
동태적 통행배분 모형	demand	0.567	0.515	70.822	26.606	0.0001	0.0001
	fr	0.629	0.549	91.522	30.501	0.0001	0.0001

행량을 예측함에 있으므로 시간대별로 변하는 교통여건과 통행자들의 행태를 모형에 더 정확히 적용하는 방안이 연구되어야 할 것이다. 그리고, 본 연구에서는 통행시간과 통행비용에 대한 이용자의 탄력도를 시간대별로 동일하게 보았는데, 이를 시간대별로 추정하여 다르게 분석한다면 이용자들의 시간대별 통행분포를 더 민감하게 분석할 수 있을 것이다.

IV. 經路選擇行態의 模型化²⁾

1. 모형화 방안

起·終點間을 연결하는 수많은 經路들 중에서 실제로 운전자가 選擇하는 經路選擇行態를 반영하는 것은 운전자 자신의 가치체계와 선택대안의 측정 불가능한 요소들을 고려해야 하므로 단순한 작업은 아니다. 그러나, 운전자의 行態를 가장 현실과 유사하게 표현하려면 운전자가 선택가능한 모든 경로를 고려하여야 하며 그 經路에 대하여 운전자의 選好度를 감안하여 確率의으로 配分해야 한다. 그러나, 일반적으로 행해지고 있는 기존의 통행배분 모형은 출발존의 노드 하나와 도착존의 노드 하나만을 연결하는 단일경로 통행배분이므로 실제 통행자가 선택하는 다양한 경로를 고려하지 못하는 문제가 있다. 그러므로, 본 연구에서는 통행자가 출발존과 도착존에서의 출입구 선택을 가능한 모든 노드들에 대해 할 수 있도록 하였다. 연구에서 제시한 推計的 經路選擇 모형의 구조는 다음과 같다.

$$P(i, j, k, r) = \frac{\exp(\alpha \ln T_{ijkr} + \beta \ln C_{ijkr} + \sigma r)}{\sum_j \sum_k \sum_r \exp(\alpha \ln T_{ijkr} + \beta \ln C_{ijkr} + \sigma r)} \dots\dots(10)$$

$P(i, j, k, r)$: 출발지 i 에서 도착지 j 를 k 수단을 통해 r 經路로 통행할 확률

이때 경로 r 은 출발지와 도착지를 연결하는 여러 개의 링크를 의미하며 $P(i, j, k, r)$ 은 특정 출발지와 도착지 사이를 연결하는 여러 개의 經路 r 에 대해, 특정 經路 r 을 選擇하여 통행할 운전자의 행태를 표현하는 확률식이다. 교통시간과 비용에 대한 계수인 α, β 는 통행시간에 영향을 주는 요인들을 말하며 이에 대하여, α 값이 클수록 확률식 P_{ijkr} 은 점진적인 통행배분이 수행되며, α 값이 작으면 추계적인 통행배분이 된다.

推計的 經路選擇 모형의 실용화를 위하여 個人의 行態를 정확히 再現하기에는 어려운 무작위적 요소(Random elements)가 있어 Micro(disaggregate) 하기보다는 Macro(aggregate)한 분석을 하고자 한다. 全體的으로는 Macro(aggregate)한 通行分析을 하나 이용자가 入口選擇과 出口選擇의 行態를 실제와 類似한 分析이 되도록 한다면 보다 행태적인 모형이라 말할 수 있을 것이다. 또한 推計的 經路選擇 모형은 출발 존과 도착 존을 연결하는 모든 경로에 대해 운전자가 선택할 확률만이 아닌 존에서 도로로 접근 가능한 모든 노드들과 도착 존으로 접근하는 모든 노드들에 대해서 그 각각을 선택할 확률을 함께 구하여 운전자의 선택행태를 보다 행태적으로 한다.

2. 전산화 방안

우선 推計的 經路選擇 모형 實用化를 위한 기본적 방법으로 3가지를 들어보면, 출발노드 중심, 도착노드 중심, 출발-도착노드 중심으로 나눌 수 있다. 출발노드 중심은 I존에서 출발하는 노드 ①, ②, ③, ④중 어떤 노드를 선택하느냐에 따라 시간이 변하며 그 변화된 시간에 따라 經路選擇을 確率的으로 선택한다. 도착 노드 중심은 각 출발존에서 J존의 ⑤, ⑥, ⑦, ⑧ 노드 각각으로 들어올 확률은 ⑤, ⑥, ⑦, ⑧에서 J존의 중심

註) 本章은 弘益大學校 碩士學位論文(김 호정)中 일부를 재정리한 것임.

(Centroid)까지의 거리로 시간을 각각 산정하여 확률적으로 선택한다. 또한 출발-도착 노드의 가능 선택행태를 모두 고려하는 세번째 방법이 있다. 첫번째 방법과 두번째 방법은 경로를 찾을 때에 한정된 경로에 대하여만 통행량을 배분하므로 본 연구에서는 출·입구 선택의 다양한 경로를 고려하는 세번째 방법을 택하였다.

推計的 經路選擇 모형의 전산화 방안은 다음과 같다.

STEP1 : 출발 존 I를 選擇.

STEP2 : 출발 존 I에서 나갈수 있는 노드 4개를 選擇한다.

STEP3 : 출발 존 I에서 나갈수 있는 4개의 노드 각각에 대해 도착 존 J로 들어가는 4개의 노드를 연결하는 16개의 經路를 決定한다. 이러한 정해진 經路에 대해 출발 존 I에서 도착가능한 모든 존 J에 대한 경로별 통행시간을 구한다.

STEP4 : STEP3에서 결정된 16개의 經路에 대한 통행시간을 이용하여 目的別, 手段別, 經路別 0-D를 구한다.

STEP5 : STEP3에서 결정된 16개의 經路에 대해 STEP4에서 구한 需要를 도착 존에서 각 경로의 연결 노드를 기억하고 있는 IPATHS를 이용하여 Backward로 配分한다.

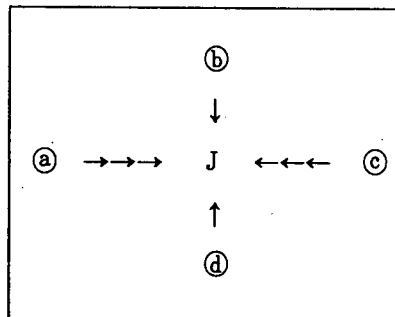
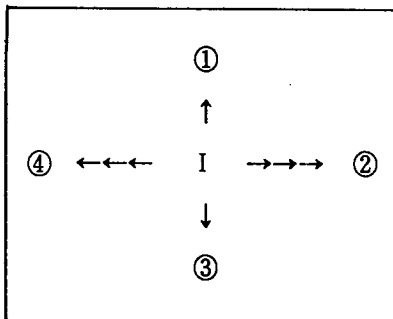
STEP6 : 각 존에 配分된 需要를 바탕으로 通行時間과 費用을 다시 계산하고, 그에 따른 모든

존에 대해 각 16개의 經路를 결정하는, STEP3부터 反復하여 施行한다.

STEP7 : 한 출발 존에 대한 通行配分段階인 STEP6까지 수행되었으면, 대상지의 모든 교통 존을 출발 존으로 하여 STEP1-STEP6까지를 반복하여 수행한다.

4. 적용 결과 분석

기존의 점진적 통행배분 모형과 推計的 經路選擇 모형을 比較分析한 결과 실제 통과 교통량 R^2 는 낮은 값을 보이나, F값을 보면 추계적 모형이 관측치를 설명하는 모형으로 적합함을 알 수 있다. 또한 교통수요를 보면 推計的 經路選擇 모형이 기존모형보다 향상된 適合性을 보여주고 있다. 그러나, 推計的 經路選擇 모형을 전체적으로 검증되어지는 적합도만으로 평가하기보다는 각 링크의 관측교통량과 모형치 교통량의 비율 결과로 비교하여 보았다. 관측교통량에 대한 모형치 교통량의 비율(V_e/V_o)을 보면 평균 V_e/V_o 는 두 모형의 通過交通量이 각각 0.88, 0.88로 관측치보다 적은 교통량이 예측되었음을 알 수 있으며, 두 모형치의 평균 V_e/V_o 는 차이가 없음을 알 수 있다. 내부편차도 1.57, 1.39로 큰 차이가 없다. 그러나, 두 모형의 교통수요를 비교할때 3.65, 2.22로 차이가 큰데 이는 기존모형이 링크에 대한 過大 혹은 過小 配分되는 不安定이 內在되고 있음



〈표 5〉 推計的 經路選擇 모형의 總計分析 結果比較

		R ²		RMS		prob>F	
		교 량	지 점	교 량	지 점	교 량	지 점
기존의 점진적 통행배분모형	demand	0.7000	0.6280	3149.1	5636.1	0.0002	0.0109
	fr	0.4570	0.2830	4479.1	6701.1	0.0084	0.1402
추계적 경로선택모형	demand	0.7214	0.7446	2935.3	4078.6	0.0001	0.0006
	fr	0.4759	0.4360	4030.2	6061.2	0.0064	0.0270

〈표 6〉 관측 교통량과 모형치 교통량의 비교

		최대 Ve/Vo*	최소 Ve/Vo	평균 Ve/Vo	내부편차**
기존의 점진적 통행배분모형	demand	3.81	0.17	1.53	3.65
	fr	1.60	0.13	0.88	1.57
추계적 경로선택모형	demand	2.43	0.21	1.17	2.22
	fr	1.58	0.19	0.88	1.39

* Ve : 모형치 교통량 Vo : 관측 교통량

** 내부편차 : (최대 Ve/Vo) - (최소 Ve/Vo)

을 의미한다. 또한 교통수요에 대한 평균 Ve/Vo
를 비교해 보면 推計的 經路選擇 모형의 교통수
요가 보다 관측치에 가까운 값을 갖는다는 것을
알 수 있다.

V. 經路 및 시간선택의 모형화와 활용사례

〈표 3〉과 〈표 5〉를 통해 출발시간 선택모형과
推計的 經路選擇 모형이 적합함을 알 수 있기에,
본 장에서는 III장에서 제시한 출발시간 선택모형
과 IV장에서 제시한 推計的 經路選擇 모형을 통
합하여 Stochastic Dynamic Incremental As-
signment 모형을 제시하여 적합성을 검토해 보았
다. 본 연구에서 제시한 SDI 모형의 선택확율의
형태는 다음과 같다.

$$P(i, j, k, r, t) = \frac{\exp [\alpha \ln T_{ijkrt} + \beta \ln C_{ijkrt} + bt + \sigma r]}{\sum_j \sum_k \sum_r \sum_t \exp [\alpha \ln T_{ijkrt} + \beta \ln C_{ijkrt} + bt + \sigma r]}$$

.....(11)

P(i, j, k, r, t)는 i존에서 j존으로 t시간대에 k
수단을 이용해 경로 r로 통행할 확율

T_{ijkrt}는 i존에서 j존으로 t시간대에 k수단을
이용해 경로 r로 통행하는데 소요되는 通行時間

C_{ijkrt}는 i존에서 j존으로 t시간대에 k수단을
이용해 경로 r로 통행하는데 소요되는 通行費用

α, β는 媒介常數(parameter)

bt, σr는 출발시간과 經路대안의 더미변수

P(i, j, k, r, t) = ESO(j)*

$$\frac{\exp [\alpha \ln T_{ijkrt} + \beta \ln C_{ijkrt} + bt + \sigma r]}{\sum_j \sum_k \sum_r \sum_t \exp [\alpha \ln T_{ijkrt} + \beta \ln C_{ijkrt} + bt + \sigma r]}$$

.....(12)

P(i, j, k, r, t)는 출발존 i에서 도착존 j를 t시
간대에 k수단으로 경로 r를 선택하여 통행하는
통행량

ESO(j)는 외생변수로 도착존 j의 교통량 흡인
력

출근통행인 경우는 j존의 고용자수

〈표 7〉 개별모형과 통합모형의 통계분석 결과

		R ²		F value		prob>F	
		교 량	지 점	교 량	지 점	교 량	지 점
기존의 정태적 점진적 경로선택모형	demand	0.700	0.628	28.002	11.795	0.0002	0.0109
	fr	0.457	0.283	9.901	2.766	0.0084	0.1402
동태적 통행배분모형	demand	0.612	0.795	21.968	27.069	0.0005	0.0012
	fr	0.769	0.863	40.014	44.243	0.0001	0.0003
추계적 경로선택모형	demand	0.721	0.744	37.211	30.216	0.0001	0.0006
	fr	0.475	0.436	10.012	9.202	0.0064	0.0270
SDI 모형	demand	0.649	0.755	25.635	28.221	0.0004	0.0006
	fr	0.775	0.811	35.224	33.253	0.0001	0.0005

통학통행인 경우는 j종의 학생수
기타통행인 경우는 j종의 인구, 고용자 및 상면적
등을 고려하여 결정된 값.

기존의 정태적이고 점진적인 통행배분모형과
동태적 통행배분모형과 推計的 經路選擇 모형과
이를 통합한 추계적이고 동태적인 통행배분모형
의 결과를 비교분석한 결과는 다음과 같다.

〈표 7〉에 의하면 기존 모형의 R²는 0.700, 0.
628, 0.457, 0.283으로 나타났고, F값은 0.0002,
0.0109, 0.0084, 0.1402로 나타났으며, 본 연구
에서 제시한 SDI 모형은 R²가 0.649, 0.755, 0.
775, 0.811로 나타났으며, F값은 0.0004, 0.
0006, 0.0001, 0.0005로 나타나 기존의 정태적이
고 점진적인 모형보다 관측치를 예측하는데 적합
함을 보였다. 그러므로, 본 연구에서 제시한 SDI
모형으로 交通流管理, 交通需要管理 방안에 적용
해 보았다.

1. 남산 1호 3호 터널의 다인승차량 (HOV : High Occupancy Vehicle) 전용화 도로

극심한 교통혼잡이 일어나고 있는 서울시 출퇴
근시간대의 혼잡을 완화하기 위해 강남과 도심을

연결하고 있는 남산 1호터널과 3호 터널의 2인
이하 승용차의 통행을 출퇴근시 2시간 동안 제한
해 교통혼잡의 주원인이 되고 있는 1인 승용차의
수요를 억제 하려고 한다. 그러나, 소득계층간 불
형평성, 지역간 불형평성, 강제성의 문제를 제외
하더라도 우회도로가 부족한 서울시 교통체계상
에서는 터널을 통과하지 못하는 자가운전자들의
차량이 인접한 주변도로로 전환되므로 극심한 혼
잡이 예상되기에 본 연구에서 제시한 SDI모형으
로 분석하여 보았다.

분석시 SDI모형에서 용량제약함수로 사용하고
있는 BPR식의 매개상수인 α , β 값을 다르게하여
분석하여 보았다. 모형 1의 $\alpha=0.15$, $\beta=4$ 로 모형
2의 α , β 값은 도로의 기능별로 다르게 하였다.

α , β 를 추정할 때 BPR식을 이용하였는데, T
 $=T_0[1+\alpha(v/c)\beta]$ 에서 T_0 는 초기시간이므로 거
리/최대속도로 나타낼 수 있다. 도로 기능별로
최대속도를 알 수 있다면 α , β 값을 구할 수 있다.
본 연구에서 사용한 도로 기능별 속도는 다음과
같고 위의 속도를 이용해 구한 도로 기능별 α , β
값은 다음과 같다.³⁾

또한 SDI 모형으로 남산 1호 3호 터널의 다인
승 전용도로화 방안을 분석해 본 결과는 〈표 8〉과
같다.

사업시행후 남산 1호 3호 터널과 터널로의 접근로는 교통수요와 대기차량수가 감소하였으나

주변의 인접도로는 교통수요와 대기차량수가 증가하는 경향을 보여 남산터널의 다인승용차전용

	최대속도	v/c=0.7일때 속도	v/c=0.9일때 속도
도시고속도로	100KPH	67KPH	51KPH
주간선도로	82KPH	49KPH	27KPH
보조간선도로	77KPH	45KPH	25KPH
집분산도로	72KPH	42KPH	23KPH
국지도로	65KPH	28KPH	20KPH

자료 : 도로용량편람, 1992년, 건설부

	α	β
도시고속도로	0.9091	4.2537
주간선도로	3.2201	4.3870
보조간선도로	3.2597	4.2688
집분산도로	3.3661	4.3463
국지도로	2.8116	2.1169

〈표 8〉 사업시행 전후 결과 비교(대기차량수)

	모형 1		모형 2	
	사업시행 전	사업시행 후	사업시행 전	사업시행 후
1호터널	4665	2746	2845	1118
3호터널	8202	1406	4729	1504
반포로	7895	9758	4522	3271
한남로	7513	7708	8523	9600
장충단로	8523	9600	2586	3034
이태원로	13525	10854	4317	3704
한강로	8458	8840	3786	4617
청파로	7808	7857	642	2337
용호로	13343	13513	1974	2096

도로화 사업은 우회도로가 충분하지 못한 가로망 상태에서는 주변 인접도로의 교통혼잡을 가중시키는 결과를 낳음을 알 수 있다. 그리고, BPR식

의 매개상수를 변화시켜 분석한 모형 2가 모형 1보다 더 탄력적임을 알 수 있으므로 분석대상 가로망에 적합한 매개상수를 사용하면 더 정확하고

註 3) 이 방안을 전산화한 경우 CPU 시간이 11분 증가한다.

현실적인 분석을 할 수 있음을 알 수 있다.

2. 강남구 주요간선도로의 좌회전금지

간선도로는 전체 도로 면적에 있어서 6~8%

에 불과하나 처리교통량면에서는 전체 발생교통량의 60~80%를 담당하는 도시내 도로의 동맥과 같은 역할을 하고 있다. 그러나, 현재 서울시의 간선도로는 잦은 교통류의 단절과 연속성의 결여로 인한 소통능력의 상실로 교통 정체의 주

〈표 9〉 좌회전 금지 전후의 통과교통량 변화

도로명	대안 시간대	좌회전 금지 전				좌회전 금지 후			
		6~7	7~8	8~9	9~10	6~7	7~8	8~9	9~10
강 남 대 로		487	1453	1863	984	425	2050	2272	800
논 현 로		196	1587	1251	252	235	2101	1878	270
언 주 로		279	1621	737	63	422	2301	971	179
선 룡 로		53	1345	718	39	246	1946	1191	149
삼 성 로		203	1479	781	79	246	1603	1002	122
영 동 대 로		550	1653	1087	447	1027	2626	1442	554
테 헤 란 로		345	1548	1177	502	393	1719	1116	290
봉 은 사 로		637	1299	1080	291	512	1500	955	282
학 동 로		273	1326	647	59	227	1486	955	180
도 산 대 로		375	1134	784	119	49	799	872	73

〈표 10〉 좌회전 금지 전후의 속도 변화⁴⁾

도로명	대안 시간대	좌회전 금지 전				좌회전 금지 후			
		6~7	7~8	8~9	9~10	6~7	7~8	8~9	9~10
강 남 대 로		69.7	51.1	32.4	66.8	69.9	66.8	65.2	69.8
논 현 로		70.9	23.4	41.3	70.9	70.9	62.6	65.5	70.9
언 주 로		71.6	22.1	67.0	71.7	71.7	59.9	71.3	71.7
선 룡 로		69.2	34.9	65.1	69.2	69.2	63.1	68.4	69.2
삼 성 로		71.7	50.4	69.9	71.7	71.7	44.7	66.6	71.7
영 동 대 로		72.3	43.1	65.8	72.6	72.5	64.3	72.0	72.7
테 헤 란 로		71.5	25.4	46.4	70.8	71.4	18.5	50.0	71.6
봉 은 사 로		68.4	38.5	51.5	70.8	69.9	27.4	58.2	70.8
학 동 로		69.1	35.9	66.5	69.2	69.2	67.1	68.9	69.2
도 산 대 로		74.2	68.8	72.4	74.2	74.2	74.2	74.1	72.4

註 4) 좌회전 금지 후 地點에 따라 속도의 增減이 있는 것은 존까지의 進出入口 變化에 따라 교통량이 크게 變化하기 때문이며 존을 細分하기 전까지는 대체적인 效果분석에 한하여 有用함.

원인이 되고 있다. 분석대상인 강남구내의 신호교차로는 점점 2현시 또는 3현시화 되는 추세에 있으나 대부분의 교차로는 4현시이다. 현 신호운영 체계하에서 야기되는 교통소통면의 문제는 다음과 같다. 첫째, 주요 교차로에 있어서 방향별 v/c 비가 1.0 이상되는 교차로가 존재하며, 둘째, 4현시로 신호가 운영되어 손실시간이 크며, 셋째, 정체시 교차로내 막힘 현상(spill back)의 빈번한 발생으로 유출교통량이 저하되며, 넷째, 좌회전신호의 비감응제어로 필요 없는 좌회전 현시 및 좌회전 신호 동안 처리되지 못한 좌회전 대기행렬이 직진차량 통행의 저해요인이 되고 있다. 그러므로, 강남구의 주요 간선도로에서 좌회전을 금지시킴으로 교통류의 흐름을 원활히 할 수 있는지를 분석해 보았다.

〈표 9〉와 〈표 10〉을 통해 주요 간선도로에서

의 좌회전 금지로 통과교통량과 속도가 향상됨을 알 수 있다. 그러나, O/D간 교통시간, 소비자 잉여를 비교하여 보면 좌회전 금지가 有利한 것으로 나타나지 않는다. 〈표 11〉과 〈표 12〉는 SDI 모형에서 나온 총량결과를 대비하여 본 것이다. 총차량 운행거리(VKT)는 시행 후 1.18% 증가하였으며, 이를 교통시간으로 계산하면 160426 시간 증가하였음을 알 수 있다. 그리고, 이용자잉여를 수단별로 모든 zone에 관하여 합산해 본 결과 자가용 이용자는 0.98% 손실, 택시는 0.81% 손실을 좌회전 금지로 인해 감수해야 하는 것으로 나타났다. 시간대별로 보면 7~8시까지가 가장 큰 손실이 있는 것으로 나타났다. 따라서 교차로의 통행여건개선 또는 직진방향 통행량 증가가 곧바로 교통이용자 편익이 되고 있지 못함에 특별히 유의해야 할 것이다.

〈표 11〉 좌회전 금지 전후의 Vehicle Operation 변화

효과 척도		6~7	7~8	8~9	9~10	TOT
총동행거리	전	1161298.	3229488.	2985264.	2001846.	9377896.
	후	1166776.	3274049.	3027344.	2020675.	9488843.
총통행시간	전	42113.	1467777.	2375325.	1350031.	5235246.
	후	41994.	1511838.	2487076.	1354765.	5395672.
운영 비용	전	164162.	791764.	802709.	590537.	2349172.
	후	165794.	802720.	814599.	596636.	2379749.

〈표 12〉 좌회전 금지 전후의 이용자 잉여 변화

		6~7	7~8	8~9	9~10	TOT
자가용	전	10838.	27796.	16729.	4659.	60021.
	후	10816.	27462.	16543.	4606.	59427.
택시	전	6239.	15765.	8952.	2524.	33480.
	후	6230.	15610.	8869.	2502.	33210.
버스	전	38812.	109580.	58797.	14527.	221716.
	후	38815.	108874.	58765.	14470.	220924.
기타	전	42017.	116589.	61199.	17471.	237275.
	후	42019.	116174.	61079.	17425.	236696.

VI. 결론

1. 결론

최근 交通需要管理를 평가하기 위하여 많은 교통모형 기법들이 개발 제시되고 있다. 본 연구에서는 기존의 정태적이고 決定論的인 교통모형을 動態的이고 推計的인 모형으로 개선하여 出發時間, 目的地, 交通手段 및 經路를 동시에 선택할 수 있는 모형을 개발하고 몇가지 交通需要管理를 위한 代案들을 분석 평가하였다.

본 연구를 통하여 얻어진 새로운 접근에 관한 경험을 요약하면 대략 다음과 같다. 첫째, 동태적인 모형은 交通需要보다 通過交通量(flow rate) 예측시 적합도가 더 높게 나타났다. 관찰치가 교통수요가 아닌 通過交通量임을 생각해 볼 때 수긍이 되는 결과라고 생각된다. 그러나, 기존의 정태적인 모형은 오히려 교통수요 예측시에 높은 적합도를 보여 주었다. 따라서 시설공급계획을 위한 교통수요예측(demand forecast)에는 기존 모형의 有用성이 인정될 수 있겠으나, 通過交通量의 분석을 위하여서는 정태적인 모형보다 動態的 모형을 사용해야 할 것으로 판단된다. 정태적인 모형을 가지고 通過交通量을 예측할 경우 R^2 가 매우 낮은 것으로 나타났는데 앞으로 정태적인 모형을 이용하여 교통수요관리 방안을 평가하고자 할 때 접근방식이 개선되어야 하리라 본다. 그리고, 시간대별 예측시 모형의 적합도가 총량예측시에 비해 떨어짐을 알 수 있는데 동태적인 수요 분석을 위하여서는 시간대별로 변하는 交通與件과 通行者의 行態를 모형에 더 정확히 적용하는 방안이 연구되어야 할 것이다.

둘째, 기존의 점진적 통행배분 모형과 推計的 經路選擇 模型을 比較分析한 결과 실제 통과 교통량의 R^2 는 두 방안 모두 낮은 값을 보이나, F 값을 보면 推計的模型이 관측치를 설명하는 모형으로 더 적합함을 알 수 있다. 또한 각 링크의 관측교통량과 모형치 교통량의 비율을 비교하였는

데, 그 결과 관측교통량(V_o)에 대한 모형치 교통량(V_e)의 비율(V_e/V_o)을 볼 때 두 모형의 예측치가 관측치보다 적게 예측되었음을 알 수 있으며, 평균 V_e/V_o 와 내부편차는 두 모형간에 큰 차이가 없다. 그러나, 교통수요를 비교해 보면 기존 모형의 V_e/V_o 의 내부편차가 더 큰데 이는 기존 모형이 링크에 따라 過大 혹은 過小 配分되는 不安定性이 內在되고 있음을 의미한다. 즉, 推計的 經路選擇模型이 既存模型보다 安定的인 通行配分이 이루어짐을 알 수 있다.

出發時間 選擇模型과 推計的 經路選擇 模型이 實際 活用に 有用함을 알 수 있기에, 出發時間 選擇模型과 推計的 經路選擇 模型을 綜合하여 SDI 모형을 제시하여 적합성을 검토해 보았다. 그 결과 기존의 정태적이고 점진적인 모형보다 관측치를 推定하는데 적합함을 보였다(표 7참조). 개별적으로 出發時間選擇과 經路選擇을 모형화하여 종전모형과 비교하였을 때 개선이 있다고 판단되었을뿐 아니라 두 접근을 통합하여 모형화하여 보면 그 개선효가가 더욱 上昇하였음을 발견하였다. 이에 따라 기존모형, 出發時間選擇模型, 推計的 經路選擇模型, SDI모형을 左回轉 禁止, 다인승차량 전용화도로 방안과 같은 交通流 管理, 交通需要管理 방안의 평가를 위하여 시험 적용하여 보았다.

주요 교차로 左回轉 禁止 방안은 교차로의 통과교통량을 向上시키고 待機車輛數를 減少시키는 것으로 나타났으며, 다인승 차량을 위한 남산 터널의 전용화방안은 일부 도로의 대기차량수를 감소시키나 여타 도로에는 대기차량수를 증가시키는 것으로 나타났다. 따라서 이들 방안의 有效性은 앞으로 더욱 잘 정립된 效果尺度(MOE)를 가지고 평가되어야 할 것으로 보인다. 참고로 좌회전 금지로 인한 總通行距離(VKT)變化和 利用者 剩餘(Consumer Surplus)를 분석한 결과 좌회전 금지 후 시민의 총통행거리가 증가하고 이용자잉여가 감소해서 좌회전 금지가 시민 교통에 오히

려 불리한 방안으로 판명되었다. 앞으로 이 분야에 관하여 더욱 세련된 검증의 절차를 거쳐서 본 연구에서 도출된 결과가 판별되기 바란다.

2. 앞으로의 연구과제

본 研究에서 제시한 SDI모형에는 다음과 같은 문제점이 남아있다. 첫째, 1시간 안에 통행을 끝내지 못한 통행을 다음 시간대로 넘겨야 하는데 이를 적절히 취급하기 어려워서 시간대별로 교통 수요와 통행한 교통량의 차이를 구하여 시간대별 대기차량수로 한 다음 이를 다음 시간대로 이전시키는 방법을 택하였다. 시간대별로 통과시키지 못한 수요를 다음 시간대에 넘김으로써 過負荷되는 문제가 있는데 이와같은 모형의 문제점을 극복하기 위한 방안으로는 通行配分을 30분이나 10분 간격으로 세분화하는 방법이 연구되어져야 할 것이다. 通行配分상의 문제는 이와 같이 시간

을 세분화하면 어느 정도 해결되리라 보나 전산 프로그램 상으로 볼 때 본 연구에서는 記憶容量이 너무 많이 필요해 PC에서 수행하기 곤란할 것으로 보여 추후 연구과제로 남겨둔다.

한편 推計的 經路選擇 모형의 實用化는 기존 모형보다 모든 링크에 교통량이 고루 配分할 수 있어 現實性이 큰 것으로 판단된다. 그러나, 推計的 經路選擇을 위하여 미리 정의된 16개의 經路를 증가시킬 경우 서울시와 같은 규모가 큰 지역에서는 프로그램의 기억용량이 크게 증가할 것으로 보여서 한계가 있는 방안이라 하겠다. 본 연구를 통하여 얻은 또 하나의 경험은 모형의 알고리즘을 개선함에 따른 예측성의 개선효과가 交通존(Zone)을 細分하는 것보다 크지 않다는 점이며 BPR식과, 통과교통량 산출공식(式 9)에 대한 보다 현실적인 연구가 매우 큰 효과를 지니고 있는 점이다.

參 考 文 獻

1. 건설부, 도로용량편람, 1992년
2. 김동녕, 다이알 모형에 의한 통행배정 및 응용기법에 관한 연구, 서울대학교 석사논문, 1982년
3. 김호정, 점진적 추계형 배분 방안에 관한 연구, 홍익대학교 석사논문, 1992년
4. 서울시 교통문제연구원, 서울시 교통현황조사, 1990년
5. 원제무, 이진영, 도시교통정책론, 박영사, 1989년
6. 이인원, 선택모형의 적용에 관하여, 대한교통학회지 제2권 제1호, 1984년.
7. 이인원, 교통수단선택 및 직주통행의 종점선택 행태분석을 위한 Logit Model 개발, 홍대논총, 1982년
8. 장성호, 복수 tree buliding에 의한 통행배정기법에 관한 연구, 홍익대학교 석사논문, 1991년
9. 정남희, 목적지, 교통수단, 출발시간 선택행태의 모형화에 관한 연구, 홍익대학교 석사논문, 1992년
10. 조성빈, 미시동태적 모형을 이용한 노선배정에 관한 연구, 서울대학교 환경대학원 석사논문, 1990.
11. M, Carey, Optimal time-varying flows on congested networks, OR vo135.1987
12. John W. Dickdy, Metropolitan Transportation Planning, McGRAW-HILL, New York, 1993. pp103.
13. Thomas A. Domencich and Daniel Mefadden, Urban Tranvel Demand : A Behavioral Analysis, North-Holland, 1975.

14. David A. Hensher and Lester W. Johnson, *Applied Discrete Choice Modelling*, Halsted Press, 1981.
15. B. N. Janson, *Dynamic Traffic Assignment for Urban road network*, *Transportation Research*, vol.25B, 1991.
16. Lee, Inwon, *A Model for External Metering*, *International Conference of on National Transportation Policies*, 大韓交通學會, 1992.
17. B. K. Merchant and B. L. Nemhauser, *A model and an algorithm for the dynamic traffic assignment problem*, *Transportation Science* vol.12, 1978.
18. A. de Palma, M. Ben-Akiva, C. Lefevre, N. Litinas, *Stochastic equilibrium model of peak period traffic congestion*, *Transportation Science*, vol.17, No. 4, 1983.
19. Roy Thomas, *Traffic Assignment Techniques*, Avebury Technical, 1991.