

교통수요예측 모형에 있어서 평형방법에 관한 연구

1994년 10월

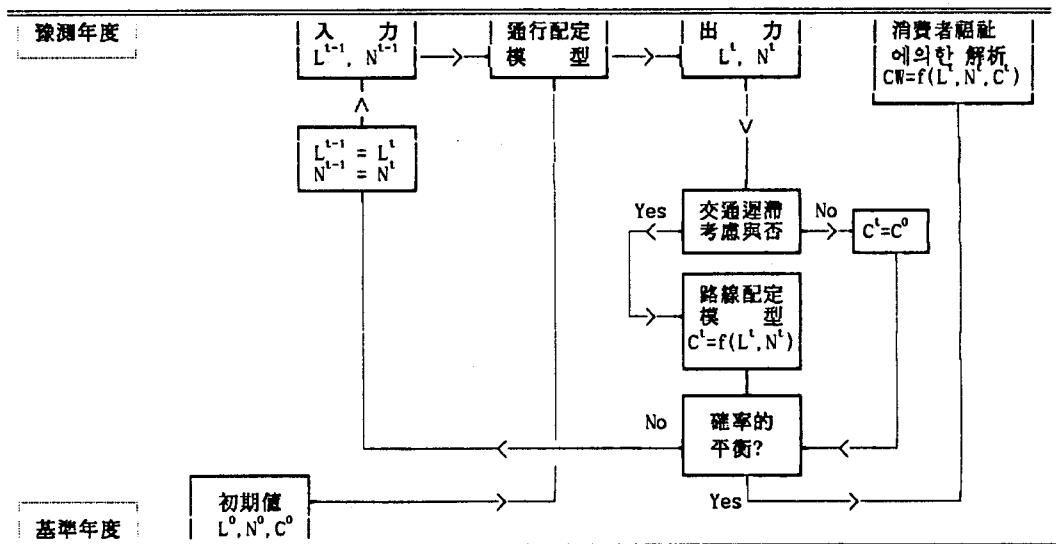
한국도로공사 도로연구소
선임연구원 이호병

교통수요예측 모형에 있어서 평형방법에 관한 연구

한국도로공사 도로연구소 선임연구원 이 호 병

1. 序 言

본 논문은 目的通行 類型중 Work-to-Home 통행에 대한 새로운 시도로서, 確率의 平衡(stochastic equilibrium)을 토대로 한 통행배분기법에 관한 것이다. (그림 1.1)에서 보듯이 전통적인 중력모형과는 달리 각 존에 대한 通行費用뿐 아니라 土地利用패턴 및 通行者 所得階層別 分布패턴이 고려된다. 이 기법에서는 基準年度(base year)의 토지이용분포패턴은 토지이용식을 이용하여 豫測年度 時點으로 投射(projection)



(그림 1.1) 분석틀

註) CW(消費者福祉), 0(初期值), t(Iteration t), L(土地利用分布 變數들), N(居住者分布 變數들), C(通行費用).

되고, 통행자 소득계층별 분포는 基準年度の 분포패턴 혹은 임의의 初期值(starting values)를 이용하여 豫測年度の 時點으로 投射된다. 이때 교통지체를 고려했을 경우와 그렇지 않을 경우에 대한 평형달성여부를 분석한다. 본 연구의 平衡結果에 대한

해석은 Cochrane(Cochrane, 1975)이 정립한 중력모형과 관련된 消費者剩餘(consumer surplus)理論을 부분적으로 보완하여 활용하였다.

2. 分析模型

2.1 交通遲滯 未考慮時

본 연구에서 다루어지는 模型의 基本式은 式(2.1)과 같다.

$$T_{ij} = E_i \frac{W_j g(c_{ij})}{\sum_j W_j g(c_{ij})} \quad (2.1)$$

여기서 T_{ij} = i존과 j존간의 期待(expected) 通行量
 $g(c_{ij})$ = i존과 j존간의 通行비용함수.
 E_i = i존으로 부터 발생하는 期待(expected) 通行量
 $W_j = \prod_m L_{mj}^{\gamma_m} \prod_n N_{nj}^{\delta_n}$ (2.2)

여기서 L_{mj} = j존의 m개의 토지이용 관련변수
 N_{nj} = j존에 있어서 각 소득집단(n개의 소득집단) 通行자수의
 총通行자수에 대한 비율
 γ_m, δ_n = 매개변수(parameters).

본 연구와 관련하여 式(2.1)은 i존 직장의 通行자의 j존 거주에 대한 需要側面을 나타내며, 모형의 確率的 選擇(stochastic choice)을 표현하고 있다. 이에 대해 供給側面을 나타내는 토지이용모형은 다음의 두가지 類型(Putman, 1991)으로 구분된다.

제1유형에서는 通行자가 각존에 대해 基準年度(t-1) 活動(activities)에 대한 예측년도(t) 활동비율에 비례하여 該當活動 用途의 土地를 이용한다고 가정한다. 각 用途별 토지이용식은 <표 2.1>과 같다.

註1) 본 연구에서 誘引力(measure of attractiveness) 및 通行費用函數의 변수 및 매개변수 각각에 대해 所得集團(저소득, 중저소득, 중고소득, 고소득)별로 細分化되어(disaggregated) 있으나, Notation의 단순화를 위해 이를 省略하겠음. W_j 에 대한 정의는 Putman(1983) 참조.

<표 2.1> 第1類型 土地利用模型의 用途別 土地利用式

用途 區分	土地利用式
住居用 土地利用式	$L_{rj}^t = L_{rj}^{t-1} \left[\frac{N_j^t}{N_j^{t-1}} \right]$
基本産業用 土地利用式	$L_{bj}^t = L_{bj}^{t-1} \left[\frac{E_{bj}^t}{E_{bj}^{t-1}} \right]$
商業用 土地利用式	$L_{cj}^t = L_{cj}^{t-1} \left[\frac{E_{cj}^t}{E_{cj}^{t-1}} \right]$

註) t-1 = 기준년도, t = 예측년도

L_{rj} = j권의 주거용지(residential land) 면적

L_{bj} = j권의 기본산업용지(basic industry land) 면적

L_{cj} = j권의 상업용지(commercial land) 면적

N_j = j권 거주 총통행자수

E_{bj} = j권 직장의 기본산업용 고용자수(basic industry employments)

E_{cj} = j권 직장의 상업용 고용자수(commercial employments).

제2유형은 <표 2.2>와 같이 각 용도별 토지이용식이 Log-Linear Multivariate式으로 구성되어 있다.

만일 각 존에서 이용된 토지면적이 이용가능한 토지면적보다 크면, 土地割當은 각 존의 총토지면적으로 再調整된다.

<표 2.2> 第2類型 土地利用模型의 用途別 土地利用式

用途 區分	土地利用式
住居用 土地利用式	$L_{Rj} = k_0 L_{d_j}^{k_1} L_{b_j}^{k_2} L_{c_j}^{k_3} N_{1j}^{k_4} N_{4j}^{k_5} L_{t_j}^{k_6}$
基本産業用 土地利用式	$L_{Bj} = g_0 L_{d_j}^{g_1} E_{b_j}^{g_2} L_{c_j}^{g_3} L_{r_j}^{g_4} L_{t_j}^{g_5}$
商業用 土地利用式	$L_{Cj} = p_0 L_{d_j}^{p_1} E_{c_j}^{p_2} L_{r_j}^{p_3} L_{t_j}^{p_4} L_{t_j}^{p_5}$

- 註) L_{Rj} = j촌 거주자의 單位 通行者當 平均 住居用地 面積
 L_{Bj} = j촌의 單位 基本産業雇傭者當 平均 基本産業用地 面積
 L_{Cj} = j촌의 單位 商業雇傭者當 平均 商業用地 面積
 L_{d_j} = j촌의 開發地 面積
 L_{b_j} = j촌에 있어서 基本산업용지 비율
 L_{c_j} = j촌에 있어서 상업용지 비율
 L_{r_j} = j촌에 있어서 주거용지 비율
 L_{t_j} = j촌의 총토지면적
 N_{1j} = j촌 거주자에 있어서 저소득집단(low income group) 통행자수의 총통행자수에 대한 비율
 N_{4j} = j촌 거주자에 있어서 고소득집단(high income group) 통행자수의 총통행자수에 대한 비율
 E_{b_j} = j촌에 있어서 j촌소재 직장의 基本산업고용자수의 총고용자수에 대한 비율
 E_{c_j} = j촌에 있어서 j촌소재 직장의 상업고용자수의 총고용자수에 대한 비율
 $k_0, 1, \dots, 6, g_0, \dots, 5, p_0, \dots, 5$ = 媒介變數(parameters).

본 연구는 모형의 複雜性(complexity) 정도가 확률적 평형 달성에 미치는 영향여부를 반영하기 위해 <표 2.3>과 같이 4종의 모형으로 구분하였다.

<표 2.3> 모형의 複雜性에 따른 區分

模 型	誘引力 變數의 構成	土地利用模型
單純模型	L_{3j}, N_{1j}, N_{4j}	第1類型($L_{R'j}$ 만 고려)
複雜模型 I	L_{*j}, N_{*j}	第2類型
複雜模型 II	L_{*j}, N_{*j}	第1類型 + 第2類型 ³⁾
複雜模型 III ²⁾	L_{*j}, N_{*j}	第1類型 + 第2類型 ³⁾

- 註) $L_{*j} = (L_{1j}, L_{2j}, L_{3j})$
 $N_{*j} = (N_{1j}, N_{2j}, N_{3j}, N_{4j})$
 L_{1j} = j촌의 개발가능지(vacant developable land) 면적
 L_{2j} = j촌에 있어서 개발지(developed land) 면적 비율
 L_{3j} = j촌의 주거지(residential land) 면적
 N_{1j} = 저소득(low income) 집단 통행자수

N_{2j} = 중저소득(low middle income) 집단 통행자수
 N_{3j} = 중고소득(high middle income) 집단 통행자수
 N_{4j} = 고소득(high income) 집단 통행자수.

2.2 交通遲滯 考慮時

본 연구는 Florian et al. (1975)에 의해 제안된 바 있는 통행배분/노선배정 결합 모형을 교통지체 고려시에 대한 통행배분에 적용하였다. 그 목적함수는 식(2.3)와 같다.

$$Min : V = \frac{1}{\beta} \sum_i \sum_j T_{ij} \log T_{ij} + \sum_a \int_0^{x_a} t(x_a) dx \quad (2.3)$$

첫번째 항은 통행배분모형이며, 둘째 항은 UE(user equilibrium) 노선배정 모형을 나타낸다. 이 결합모형의 제약조건은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 s.t : \quad & \sum_j T_{ij} = E_i \\
 & \sum_i T_{ij} = N_j \\
 & -T_{ij} + \sum_k F_{k,ij} = 0 \\
 & F_a = \sum_k \sum_i \sum_j \delta_{a,k,ij} F_{k,ij} \\
 & T_{ij} \geq 0, F_{k,ij} \geq 0
 \end{aligned}$$

여기서 T_{ij} = i존과 j존간의 기대통행량
 E_i = i존으로 부터 발생하는 기대통행량

註2) 단순모형, 복잡모형 I, II는 통행저항함수로 $\exp(-\beta c_{ij})$ 를, 복잡모형 III은 $c_{ij}^{-\alpha}$ 으로 구성되어 있다.

여기서, c_{ij} 는 존i와 존j간의 통행비용을, α, β 는 미개변수를 나타낸다.

註3) 기준년도부터 예측년도까지 특정존에서의 활동(activities)이 기준년도의 수준을 넘지않는 경우 기존의 토지이용 용도별 단위 고용자(통행자)당 평균토지면적비율(제1유형)로 토지이용패턴이 그대로 유지되나, 만일 새로운 활동이 이 존으로 추가된다면 이 추가활동은 기존의 토지이용패턴이 아닌 새로운 토지이용패턴(제2유형)에 의해서 행해진다는 의미임.

N_j = j존으로 유인되는 기대통행량
 $F_{k,ij}$ = i존과 j존간의 통행중 k경로를 이용하는 통행량
 F_a = a링크상의 통행량
 t_a = a링크상의 통행시간
 $\delta_{ak,ij}$ = 1, 만일 a링크가 i존과 j존간의 k경로상에 있는 경우
 = 0, 그렇지 않는 경우

3. 通行配分模型에 있어서의 消費者福祉理論(Consumer Welfare Theory) ⁴⁾

3.1 累積分布函數(Cumulative Distribution Function)

어떤 共通的인 基礎分布(common underlying distribution)으로 부터 n個의 獨立標本(independent samples)중에서 가장 큰 效用 u값의 累積分布函數(cumulative distribution function)는 $\Psi(u) = [F(u)]^n$ 에 의해 주어지며, 이때 F(u)는 어떤 통행의 效用이 u보다 작거나 같을 確率을 의미한다.

$\Psi(u)$ 는 標本の 수가 두자리수 이상이 될때 F(u)의 상단꼬리 부분에 의해 결정되므로, 單純 Exponential 函數에 의한 F(u)함수의 Approximation이 가능하므로 식(3.1)과 같이 표현된다.

$$\Psi(u) = [F(u)]^n = [1 - e^{-\beta(u-\tau)}]^n \quad (3.1)$$

여기에 自然로그를 취하고 다시 Series Expansion을 이용하면

$$\ln[\Psi(u)] = -n[e^{-\beta(u-\tau)} + \frac{1}{2}e^{-2\beta(u-\tau)} \dots] \quad (3.2)$$

註4) 본 논문은 Cochrane(1975)에 의해 제시된 이론을 본 연구의 목적에 맞게 수정, 보완하였다.

만일 前述한 것처럼 $e^{-\beta(u-\tau)}$ 이 작다면, Series에서 제1項 이후의 項은 무시될 수 있으므로 $\Psi(u)$ 는 다음과 같이 정리된다.

$$\Psi(u) = \exp[-ne^{-\beta(u-\tau)}] \quad (3.3)$$

만일 어떤 j존에 대해 終點機會(destination opportunities)의 수 n_j 가 다음과 같이 誘引力(measure of attraction)을 나타내는 W_j 에 比例하는 것으로 가정된다면

$$n_j = \rho W_j \quad (3.4)$$

그러면 j존으로의 居住에 대해

$$\Psi(u) = \exp[-\rho W_j e^{-\beta(u-\tau)}] \quad (3.5)$$

본 연구에서 i존으로부터 j존으로 最適⁵⁾通行(optimal trip)에 의한 消費者 福祉(consumer welfare)는 그 通行에서 발생하는 效用 u와 費用 c의 차이로 정의하기로 한다. 이에 따라 $s_{ij} = u_i - c_{ij}$ 를 이용하면 式(3.5)는 다음과 같이 표현될 수 있다 (Cochrane, 1975).

$$\Psi_{ij}(s) = \exp[-\rho W_j e^{-\beta(s-\tau+c_{ij})}] \quad (3.6)$$

3.2 單一制約 重力模型의 誘導

소비자복지 이론의 관점에서 i존으로부터 最適決定에 의해 j존으로 通行이 이루어질 確率은 j존으로 通行할 경우 제공되는 最大福祉水準이 어떤 다른 존에 의해 제공되는 최대복지수준보다 클 확률과 같다. 따라서 그 確率은

$$\Pr = \int_{-\infty}^{\infty} \Psi_{ij}(s) \left[\prod_{r \neq j} \Psi_{jr}(s) \right] ds \quad (3.7)$$

註5) 通行자는 기점존(origin zone)으로 부터 자신의 복지(welfare) 수준을 최대화하는 종점존(destination zone)을 선택한다는 것.

式(3.7)을 정리한후 i 존으로부터 발생하는 總通行數를 E_i 로 정의하면, i 존으로부터 j 존으로의 期待通行數는 式(3.8)과 같은 單一制約 重力模型이 된다.

$$T_{ij} = E_i \frac{W_j e^{-\beta c_{ij}}}{\sum_k W_k e^{-\beta c_{ik}}} \quad (3.8)$$

3.3 消費者福祉(consumer welfare) 函數의 誘導

i 존으로부터 最適通行에 의해 이루어지는 消費者福祉에 대한 累積分布函數(cumulative distribution function)는

$$\Psi_i(s) = \prod_j \Psi_{ij}(s) \quad (3.9)$$

$$\Psi_i(s) = \exp[-e^{-\beta s} \rho e^{\beta \tau} \sum_j W_j e^{-\beta c_{ij}}] \quad (3.10)$$

Moment Generating 函數와 Gamma 函數의 성질을 이용하면, i 존으로부터 어떤 통행에 대한 平均 消費者福祉는

$$CW_i = \frac{1}{\beta} [\lambda + \ln \{ \rho e^{\beta \tau} \sum_j W_j e^{-\beta c_{ij}} \}] \quad (3.11)$$

그리고 모든 통행에 대한 總消費者福祉(Cochrane, 1975)는

$$CW = \frac{1}{\beta} \sum_i E_i [\lambda + \ln \{ \rho e^{\beta \tau} \sum_j W_j e^{-\beta c_{ij}} \}] \quad (3.12)$$

여기서 $E_i = i$ 존 직장의 통행자수.

$\lambda, \rho, \beta, \tau, \sum_i E_i$ 는 常數이므로 式(3.12)는 다음과 같이 재정리될 수 있다.

$$CW = \theta(\text{常數}) + \frac{1}{\beta} \sum_i E_i \ln \left[\sum_j W_j e^{-\beta c_{ij}} \right] \quad (3.13)$$

3.4 消費者福祉 函數의 또다른 類型

만일 式(3.5)에서 消費者福祉, $s_{ij} = u_i - \ln(c_{ij})$ 라 가정하면, i 존으로부터 j 존으로의 期待通行量 T_{ij} 는 다음과 같이 誘導된다.

$$T_{ij} = E_i \frac{W_j c_{ij}^{-\beta}}{\sum_k W_k c_{ik}^{-\beta}} \quad (3.14)$$

i 존으로부터의 어떤 통행에 대한 平均 消費者福祉(mean consumer welfare)는

$$CW_i = \frac{1}{\beta} [\lambda + \ln \{ \rho e^{\beta \tau} \sum_j W_j c_{ij}^{-\beta} \}] \quad (3.15)$$

그러므로 모든 통행에 대한 消費者福祉는 式(3.16)과 같이 정리된다.

$$CW = \theta(\text{常數}) + \frac{1}{\beta} \sum_i E_i \ln [\sum_j W_j c_{ij}^{-\beta}] \quad (3.16)$$

4. 模型의 精算(Calibration)과 解法(Solution Method)

<표 2.2>의 제2유형 토지이용모형식은 소위 Log-Linear Regression에 의해 매개변수를 결정하며, 式(2.1)에 대한 각 모형별 정산은 Putman과 Ducca(Putman, 1980과 Putman & Ducca, 1978a, 1978b)에 의한 통행단(trip end) 모형의 정산방법을 적용하여 수행되었다. 이는 Gradient Search로 알려진 Non-Linear Optimization Procedure를 사용하고 있다. <표 2.3>의 단순모형을 토대로 정산과정을 설명하면 다음과 같다.

$$T_{ij} = E_i \frac{W_j \exp(-\beta c_{ij})}{\sum_j W_j \exp(-\beta c_{ij})} \quad (4.1)$$

$$\text{여기서 } W_j = L_j^{\gamma_1} N_j^{\delta_1} N_{ij}^{\delta_2} \quad (4.2)$$

여기서 사용된 변수 및 매개변수의 내용은 전술한 바와 동일함.

式(4.1)에 대한 정산은 式(4.3)과 같은 Likelihood 함수를 이용하여 수행된다.

$$L = \prod_j P_j^{N_j} \quad (4.3)$$

$$\text{여기서 } P_j = \frac{N_j^*}{\sum_j N_j^*} \quad (4.4)$$

여기서 $N_j = \sum_i T_{ij}$ = j존 거주 통행자의 觀測된 數

$N_j^* = \sum_i T_{ij}^*$ = j존 거주 통행자의 評價된 數.

만일 式(4.3)에서 N_j^* 가 P_j 에 代替된다면 式(4.5)로 표현된다.

$$L = \prod_j N_j^{N_j} \quad (4.5)$$

다시 式(4.5)에 自然로그를 취하면

$$\ln L = \sum_j N_j \ln N_j \quad (4.6)$$

그리하여 N_j 의 觀測值와 評價值 사이에 완전한 合致(perfect fit)를 위해 0인 L' 값을 낳는 Likelihood Criterion Function을 만드는 것이 가능하다. 즉,

$$L' = \sum_j N_j \ln N_j^* - \sum_j N_j \ln N_j \quad (4.7)$$

이 함수는 $N_j = N_j^*$ 그리고 $L' = 0$ 인 조건에서 최대치를 갖는다. 따라서 매개변수 각각의 편미분(partial derivatives)값이 0가 되는 L' 의 최대값을 구하는 과정에서 매개변수의 값이 결정된다.

다음으로 본 연구에서 다루어지는 통행배분모형의 해법(solution method)을 살펴보기로 한다. 式(2.1)의 解(solution)는 존수가 많을 경우 풀이가 용이하지 않다. 이를테면 Houston, Texas지역 자료는 199존으로 구성되며, 4종류의 通行者 所得階層類型으로 구성되어 결국 796개의 等式을 가진 非線形(non-linear) 模型이 된다. 이를 풀기 위한 代案으로서 Successive Substitution Method가 사용된다(Pearson, 1986). 이 방법에 의하면 우선 4종류의 통행자 소득계층에 대해 제1번째 豫測年度 通行者 住居分布值인 $T_{i,j}^1$ 의 값들을 푼다. 이후 基準年度의 通行者 住居分布值인 $T_{i,j}^0$ 을 토대로 푼 이들 제1번째 Iteration값들은 式(2.1)에 대체되고 이 式은 $T_{i,j}^2$ 에 대해 푼다. 이 과정

은 k번째와 k+1번째 값들의 차이가 어떤 既指定된 基準值(prespecified tolerance) 以下로 떨어질때까지 계속된다. 만일 이 방법이 수렴에 실패할 경우도 있는데, 이 경우 Newton's Method와 같은 복잡한 접근법이 사용되어야 한다(Pearson, 1986).

5. 結果分析

본 연구의 분석결과를 종합하여 보면, 교통지체 미고려시(UAL/CTC 조건) 單純模型의 경우 厶別 居住 通行者 分布를 나타내는 HH Iterations와 厶別 用度別 土地利用 分布를 나타내는 LU Iterations 각각의 Adjustment Speed에 따라 여러개의 각각 다른 값으로 收斂된 消費者福祉값을 산출한 반면((그림 5.1) 參照), 複雜模型 I, II, III의 경우 MAPD(Maximum Absolute Percentage Deviation) 0.5%이하 수준에서 불때 初期값 설정에 관계없이 거의 同一한 Global 消費者福祉값을 산출하였다 ((그림 5.1) 및 <표 5.2> 참조). 또한 주목할 것은 複雜模型 III에서 Houston, TX지역(199년)의 경우 미세한 진동을 보이고 있는 것은 大型 Network 入力時 초래되는 Error에 基因할 가능성이 있는 것으로 판단된다.

다음으로 교통지체 고려시를 보면, 예측년도의 통행배분이 기준년도의 토지이용패턴 및 통행자 소득계층별 분포패턴 그리고 예측년도의 통행비용(endogenous variable)에 의해 결정하되 CCM(convex combination method) 알고리즘을 이용했을 경우는 (CAL/VTC 조건) 시스템의 복잡성에 관계없이 평형이 달성되었다. 그러나 예측년도의 통행배분이 예측년도의 토지이용패턴 및 통행자 소득계층별 분포패턴 그리고 예측년도의 통행비용에 의해 동시적으로 결정될 경우(UAL/VTC 조건) 예외없이 평형이 달성되지 않았다.

<표 5.1> UAL/CTC 조건에서의 模型別 소비자복지 수렴분석 결과치

모형 구분	SM	CM I	CM II		CM III
대상 지역	A	A	S	H	H
MAPD	0%	0%	0%	0.11%	0.22%

註) UAL/CTC(Unconstrained Activity Location/Constant Travel Cost) 조건이란 외생변수로서 예측년도의 통행비용(exogenous variable)은 고정된 값으로 주어진 채, 예측년도의 토지이용 패턴 및 통행자 소득계층별 분포패턴에 의해 예측년도의 통행비분이 동시에 결정됨. MAPD(Maximum Absolute Percentage Deviation)는 존별 거주통행자 분포를 나타내는 HH Iterations와 존별 용도별 토지이용 분포를 나타내는 LU Iterations간의 구성형태(configuration type)별 APD값중 최대치를 의미하며, 표에서 제시된 값은 67번째 및 68번째 Iteration에 대한 값임. 지면 제약상 각 경우에 대한 모든 Iterations의 소비자복지치는 생략하기로 함. SM(단순모형) CM(복잡모형), A(Archerville지역: 5존), S(San Francisco Bay지역: 30존), H(Houston, Texas지역: 199존).

<표 5.2> CAL/VTC 조건에서의 模型別 소비자복지 수렴분석 결과치

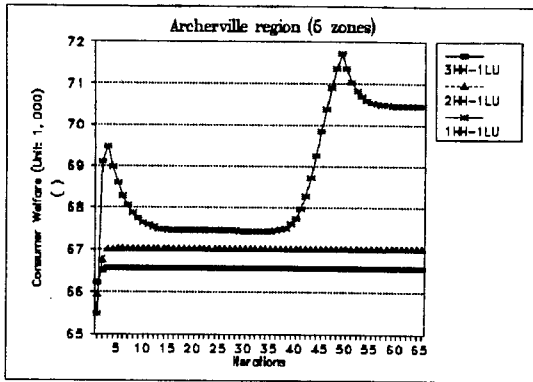
모형 구분	SM	CM I	CM II	CM III
대상 지역	A	A	S	H
MAPD	0%	0%	0%	0%

註) CAL/VTC(Constrained Activity Location/Variable Travel Cost) 조건이란 기준년도의 토지이용 패턴 및 통행자 소득계층별 분포패턴 그리고 예측년도의 통행비용(endogenous variable)에 의해 예측년도의 통행비분이 결정되며, 수정된 Evans기법인 CCM(convex combination method) 알고리즘을 사용했음. 이외의 약어의 내용은 <표 5.1>과 같음.

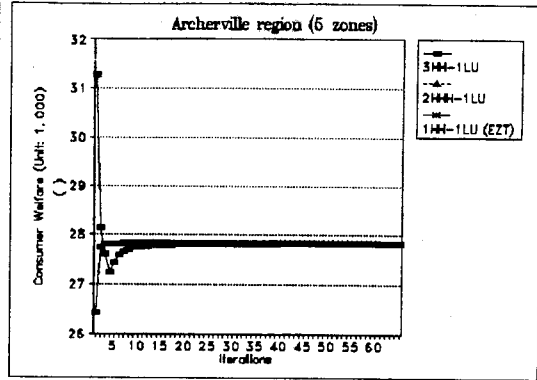
<표 5.3> UAL/VTC 조건에서의 模型別 소비자복지 수렴분석 결과치

모형 구분	SM	CM I	CM II	CM III
대상 지역	A	A	S	S
MAPD	진동	진동	진동	진동

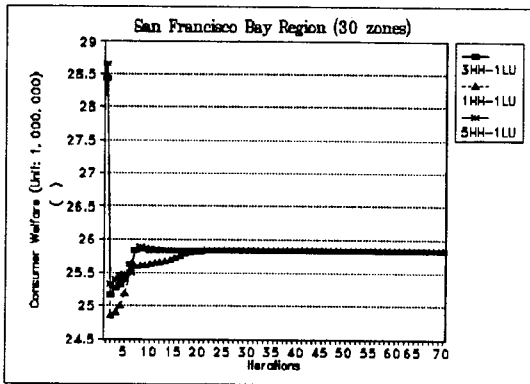
註) UAL/VTC(Unconstrained Activity Location/Variable Travel Cost) 조건이란 예측년도의 토지이용패턴 및 통행자 소득계층별 분포패턴 그리고 예측년도의 통행비용(endogenous variable)에 의해 예측년도의 통행비분이 결정되며, 수정된 Evans기법인 CCM(convex combination method) 알고리즘을 사용했음. 표에서 진동은 MAPD 20% 이상을 나타냄. 이외의 약어의 내용은 <표 5.1>과 같음.



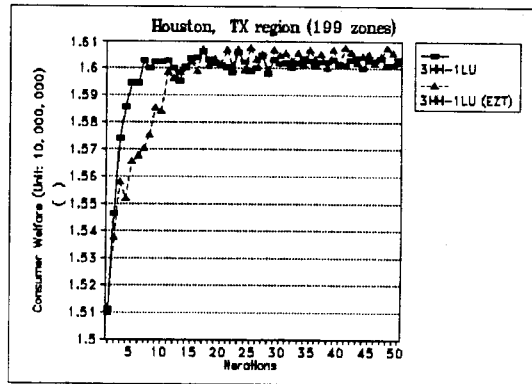
(a) UAL/CTC의 單純模型 - A



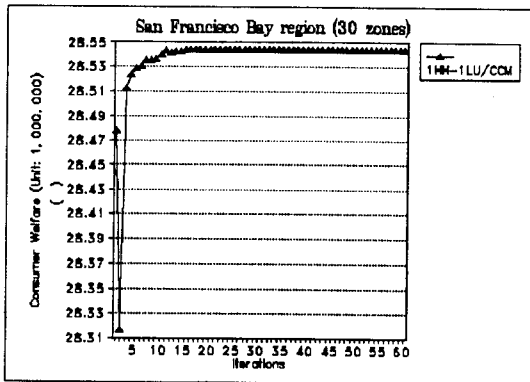
(b) UAL/CTC의 複雜模型 I - A



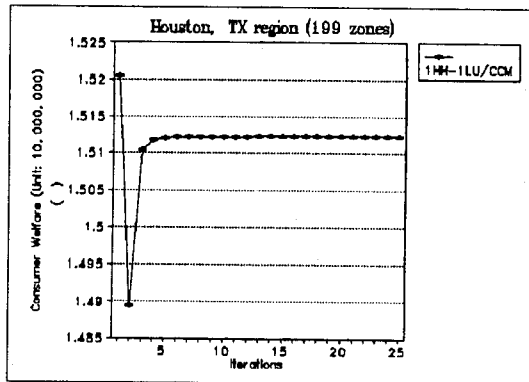
(c) UAL/CTC의 複雜模型 II - S



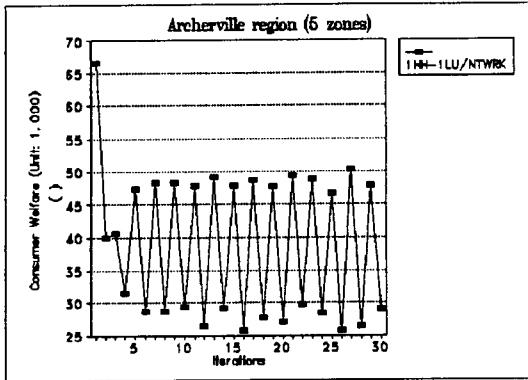
(d) UAL/CTC의 複雜模型 III - H



(e) CAL/VTC의 複雜模型 II - S



(f) CAL/VTC의 複雜模型 III - H



(g) UAL/VTC의 單純模型 - A

(그림 5.1) 모형별 소비자복지 수렴분석 결과도⁶⁾

6. 結論

지금까지 Work-to-Home 通行配分에 대해 살펴 보았다. 본 연구의 成果物은 크게 4가지로 요약된다.

첫째, 교통지체시에(UAL/CTC 조건) 대한 분석결과 단순모형의 경우 여러개의 각각 다른 값으로 수렴된 소비자복지치를 산출한 반면, 복잡모형 I, II, III의 경우 MAPD(Maximum Absolute Percentage Deviation) 0.5%이하수준에서 Global 소비자복지값을 산출하였다. 이 결과로 복잡모형 I, II, III의 경우 어떤 면에서 현실성이 더 높을 수 있는 가격이론분야의 Disequilibrium 접근법 적용시 기본자료로 활용이 가능하다는 점에서 본 연구의 의의를 찾을 수 있다. 그러나 본 연구의 결과가 어느 정도 현실을 반영하는 지에 대한 검증자료가 기준년도 및 예측년도간 자료의 일관성 결려로 현재 완비되어 있지는 못하다.

註6) 그림에서 EZT는 존별 거주통행자 분포에 대한 초기치로 Equal Zone Trip-Makers체계에서 실행됨을 의미함.

둘째, 교통지체 고려시는 예측년도의 통행배분이 기준년도의 토지이용패턴 및 통행자 소득계층별 분포패턴 그리고 예측년도의 통행비용(endogenous variable)에 의해 결정되 CCM(convex combination method) 알고리즘을 이용했을 경우(CAL/VTC 조건) 시스템의 복잡성에 관계없이 평형이 달성되었다.

세째, 교통지체 고려시 예측년도의 통행배분이 예측년도의 토지이용패턴 및 통행자 소득계층별 분포패턴 그리고 예측년도의 통행비용에 의해 동시적으로 결정될 경우(UAL/VTC 조건) 예외없이 평형이 달성되지 않았다.

네째, 본 연구의 결과로 얻어진 Global Equilibrium이 본 分析에서 取扱된 지역, 통행배분모형에 極히 限定된 結果일 가능성도 배제하지는 못한다.

한편, 國內에서 중력모형에 의한 通行配分이 이루어 지고 있는 것과 본 연구와 관련하여 장래 研究方向을 지적하면 다음과 같이 요약된다.

첫째, 우리나라의 경우 先進國과는 달리 都市內, 지역간 人口의 移動이 상대적으로 높은 데도 불구하고 通行配分을 路線配定模型에 비해 疏忽히 다루어져 온 것으로 사료되는 바 이에 대한 개선책이 필요하다.

둘째, 지금껏 국내에서 행해져온 통행배분기법이 주로 通行費用(時間)函數에만 의존하여 왔으나, 장래에는 우리의 通行實情에 맞는 Work-to-Home, Work-to-Shop, Home-to-Shop 등에 대해 각각의 모형에 적합한 Attraction Factors를 開發하여야 할 것이다.

<참고문헌>

1. Anas, A. (1982) *Residential Locational Markets and Urban Transportation*, Academic Press, New York.
2. Cochrane, R. A. (1975) "A Possible Economic Basis for the Gravity Model", *Journal of Transport Economics and Policy* 19: 34-49.
3. Gumbel (1958) *Statistics of Extremes*. Columbia University Press.
4. Hobung Lee (1991) "A Study on Spatial Interaction Models", An Independent Study, Urban Simulation Laboratory, Dept. of City and Regional Planning, Univ. of Pennsylvania, PA 19104, USA.
5. Hobung Lee (1992) "The Investigation of Equilibrium Methods in Spatial Interaction Models", unpublished Ph D dissertation, Dept. of City and Regional Planning, Univ. of Pennsylvania, PA 19104, USA.

6. Hotelling (1938) "The General Welfare in Relation to Taxation and of Railway and Utility Rates", *Econometrica*.
7. Mattsson L-G (1984) "Equivalence between Welfare and Entropy Approaches to Residential Location", *Regional and Urban Economics* 14: 147-173.
8. Mattsson L-G (1987) "Urban Welfare Maximization and Housing Market Equilibrium in a Random Utility Setting", *Environment and Planning A* 19:
9. Neuberger (1971) "User Benefit in the Evaluation of Transport and Land Use Plans", *Journal of Transport Economics and Policy*.
10. Pearson C (1986) *Numerical Methods in Engineering and Science* (Van Nostrand Reinhold, New York)
11. Putman SH, Ducca FW (1978a) "Calibrating Urban Residential Models 1: Procedures and Strategies", *Environment and Planning A* 10: 633-650.
12. Putman SH, Ducca FW (1978b) "Calibrating Urban Residential Models 2: Empirical Results", *Environment and Planning A* 10: 1001-1014.
13. Putman SH (1980) "Calibrating Urban Residential Models 3: Empirical Results for Non-US Cities", *Environment and Planning A* 12: 813-827.
14. Putman, S.H. (1983) *Integrated Urban Models: Policy Analysis of Transportation and Land Use*, Pion Limited London.
15. Putman, S.H. (1991) *Integrated Urban Models 2: New Research and Applications of Optimization and Dynamics*, Pion Limited, London.
16. Smith T.E. (1983) "A Cost-Efficiency Approach to the Analysis of Congested Spatial Interaction Behavior", *Environment and Planning A* 15: 435-464.
17. Tressider, J.O. et al (1968) "The London Transportation Study: Methods and Techniques", *Proceedings of the Institution of Civil Engineers* 39: 433-464.
18. Williams, HCWL (1977) "On the Formation of Travel Demand Models and Economic Evaluation Measures of User Benefit", *Environment and Planning A* 19: 34-49.
19. Wilson, A.G., J.D. Coelho, S.M. Macgil and H.C.W.L. Williams (1981) *Optimization in Location and Transport Analysis*, John Wiley & Sons, New York.
20. 이호병, "확률적 평형에 토대를 둔 Work-to-Home 통행배분모형 연구", *대한교통학회지*, 12권 1호, 1994.