

□ 論 文 □

**確率的 平衡에 토대를 둔
Work-to-Home 通行配分模型 研究**

**A Study on Work-to-Home Trip Distribution Models Based on
A Stochastic Equilibrium: A Consumer Welfare Approach**

李 浩 秉

(韓國道路公社 先任研究員)

目 次

- | | |
|---|--|
| <p>I. 序言</p> <p>II. 分析模型</p> <p>III. 通行配分에 있어서 消費者福祉 理論</p> <p style="padding-left: 20px;">1. 累積分布函數</p> <p style="padding-left: 20px;">2. 單一制約 重力模型의 誘導</p> <p style="padding-left: 20px;">3. 消費者福祉 函數의 誘導</p> | <p style="padding-left: 20px;">4. 消費者福祉 函數의 또 다른 類型</p> <p>IV. 模型의 精算(Calibration) 및 解法(Solution Method)</p> <p>V. 結果分析</p> <p>VI. 結論 및 添言</p> |
|---|--|

ABSTRACT

The major concern of this paper is to investigate the properties of a stochastic equilibrium for each model system in terms of a consumer welfare measure. The primary assumption for this study is that a trip-maker would choose the trip from his origin zone which maximizes his personal welfare. This assumption, finally, leads to a singly constrained gravity model. The consumer welfare measure is derived from the concept of expected welfare of randomly sampled trip-makers.

Each of the four different models considered in this paper is differentiated depending on the complexity of its model or the definition of its travel function. In this study, three different regions are chosen for the purpose of taking into account the effects of different zone-systems on the properties of a stochastic equilibrium: (i) Archerville region (5 zones); (ii) San Francisco Bay regions (30 zones); (iii) Houston, TX region (199 zones).

It is concluded that almost identical, "global" consumer welfare values can be obtained in some cases of the gravity-type trip distribution models based on a stochastic equilibrium.

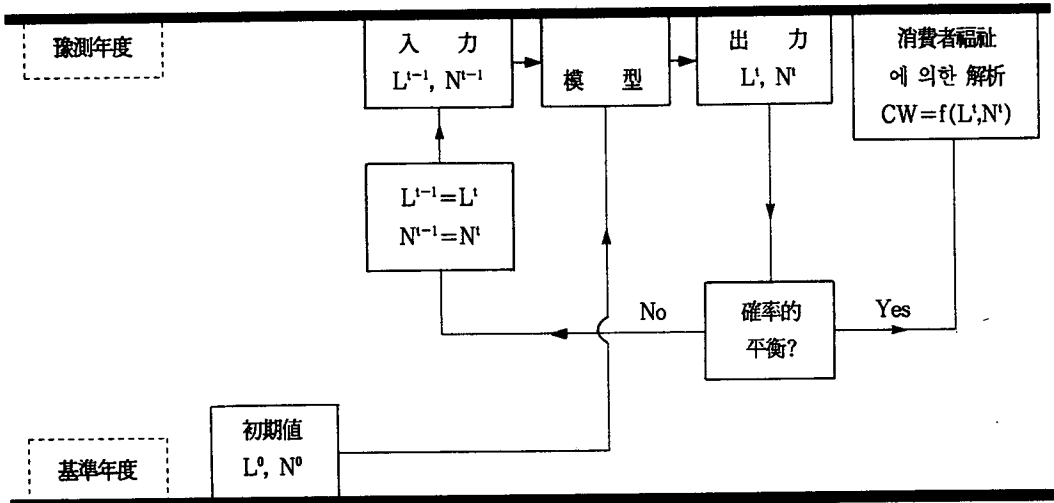
I. 序 言

通行配分模型의 한 유형으로서 重力模型에 대한 전통적인 방법은 通行目的別 특성을 세부적으로 고려함이 없이 주로 終點존의 通行量과 通行抵抗函數 혹은 通行抵抗係數(F-factor), 그리고 K-Factor에 의해 간단히 결정되어 왔다.

본 논문은 目的通行類型중 Work-to-Home

통행에 대한 重力模型 豫測技法의 새로운 시도로써, 確率的 平衡(stochastic equilibrium)을 토대로 한 통행배분기법에 관한 것이다 ((그림 1.1) 참조). 이 기법에서는 각 존에 대한 將來 通行費用뿐 아니라 將來 土地利用패턴 및 通行者 所得階層別 分布패턴이 同一時點에서 고려된다. 특히 基準年度(base year)의 토지이용분포패턴은 토지이용모형을 이용하여 豫測年度의 時點으로 投

(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).

射(projection)되고, 통행자 소득계층별 분포는 基準年度의 분포패턴 혹은 임의의 初期值(starting values)를 이용하여 豫測年度의 時點으로 投射된다. 이때 Cochrane(Cochrane, 1975)이 정립한 중력모형과 관련된 消費者福祉(consumer welfare)理論을 부분적으로 보완하여 본 연구의 平衡結果에 대한 해석시 이용하였다.

II. 分析模型

본 연구에서 다루어지는 模型의 基本式은 式

(2.1)과 같다.

$$T_{ij} = E_i P_{j|i} \dots\dots\dots (2.1)$$

여기서

T_{ij} = i존과 j존간의 期待(expected) 通行量

E_i = i존으로부터 발생하는 期待(expected) 通行者數

$P_{j|i}$ = i존으로부터 발생하는 어떤 통행이 j존으로 유입될 조건부 확률(conditional probability).

이 $P_{j|i}$ 는 존의 誘引力(measure of attractiveness)과 존간 통행비용을 의미하는 변수들의 함수로서 式(2.2)와 같이 표현될수 있다.

$$P_{j|i} = \frac{W_j g(c_{ij})}{\sum_j W_j g(c_{ij})} \dots\dots\dots (2.2)$$

여기서

W_j = j권의 유인력(measure of attractiveness)

$g(c_{ij})$ = i권과 j권간의 통행비용함수.

W_j 를 다음과 같이 j권의 土地利用(land use)과 所得分布(income distribution)를 나타내는 여러개의 변수들의 함수로 定義하고(Putman, 1983), 式(2.2)를 式(2.1)에 대입하면 式(2.3)이 도출된다.¹⁾

$$T_{ij} = E_i \frac{W_j g(c_{ij})}{\sum_j W_j g(c_{ij})} \dots \dots \dots (2.3)$$

여기서

$$W_j = \prod_m L_{mj}^{\gamma_m} \prod_n N_{nj}^{\delta_n} \dots \dots \dots (2.4)$$

여기서 L_{mj} = j권의 m개의 토지이용 관련변수

N_{nj} = j권에 있어서 각 소득집단(n개의 소득집단) 통행자수의 총통행자수에 대한 비율

γ_m, δ_n = 매개변수(parameters).

본 연구와 관련하여 式(2.3)은 i권 직장의 통행자의 j권 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 토지이용 모형은 다음의 두가지 類型(Putman, 1991)으로 구분된다.

제1유형에서는 통행자가 각권에 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 용도별 토지이용식은 <표 2.1>과 같다.

<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	$L_{b'j}^t = L_{b'j}^{t-1} \left[\frac{E_{b'j}^t}{E_{b'j}^{t-1}} \right]$
商業用 土地利用式	$L_{c'j}^t = L_{c'j}^{t-1} \left[\frac{E_{c'j}^t}{E_{c'j}^{t-1}} \right]$

註) t-1 = 기준년도, t = 예측년도

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

$L_{b'j}$ = j권의 기본산업용지(basic industry land) 면적

$L_{c'j}$ = j권의 상업용지(commercial land) 면적

N_j = j권 거주자의 총통행자수

$E_{b'j}$ = j권 직장의 기본산업용 고용자수(basic industry employments)

$E_{c'j}$ = j권 직장의 상업용 고용자수(commercial employments).

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

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

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

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.

〈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	$L_{Rj} = k_0 L_{ij}^{k_1} L_{bj}^{k_2} L_{cj}^{k_3} N_{1j}^{k_4} N_{2j}^{k_5} L_{ij}^{k_6}$
基本産業用 土地利用式	$L_{Bj} = g_0 L_{ij}^{g_1} E_{1j}^{g_2} L_{bj}^{g_3} L_{cj}^{g_4} L_{ij}^{g_5}$
商業用 土地利用式	$L_{Cj} = p_0 L_{ij}^{p_1} E_{2j}^{p_2} L_{bj}^{p_3} L_{cj}^{p_4} L_{ij}^{p_5}$

註) L_{Rj} = j존 거주의 單位 通行者當 平均 住居用地 面積
 L_{Bj} = j존의 單位 基本産業雇傭者當 平均 基本産業用地 面積
 L_{Cj} = j존의 單位 商業雇傭者當 平均 商業用地 面積
 L_{ij} = j존의 開發地 면적
 L_{1j} = j존에 있어서 基本산업용지 비율
 L_{2j} = j존에 있어서 상업용지 비율
 L_{3j} = j존에 있어서 주거용지 비율
 L_{ij} = j존의 총토지면적
 N_{1j} = j존 거주자에 있어서 저소득집단(low income group) 통행자수의 총통행자수에 대한 비율
 N_{2j} = j존 거주자에 있어서 고소득집단(high income group) 통행자수의 총통행자수에 대한 비율
 E_{1j} = j존에 있어서 j존소재 職장의 基本산업고용자수의 총고용자수에 대한 비율
 E_{2j} = j존에 있어서 j존소재 職장의 상업고용자수의 총고용자수에 대한 비율
 $k_0, 1, \dots, 6, g_0, \dots, 5, p_0, \dots, 5$ = 媒介變數(parameters).

〈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	$L_{r,j}, N_{1j}$	第2類型
複雜模型 II	$L_{r,j}, N_{1j}$	第1類型 + 第2類型 ³⁾
複雜模型 III ²⁾	$L_{r,j}, N_{1j}$	第1類型 + 第2類型 ³⁾

註) $L_{r,j} = (L_{1j}, L_{2j}, L_{3j})$
 $N_{1j} = (N_{1j}, N_{2j}, N_{3j}, N_{4j})$
 L_{1j} = j존의 개발가능지(vacant developable land) 면적
 L_{2j} = j존에 있어서 개발지(developed land) 면적 비율
 L_{3j} = j존의 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.

Ⅲ. 通行配分에 있어서 消費者福祉理論(Consumer Welfare Theory)

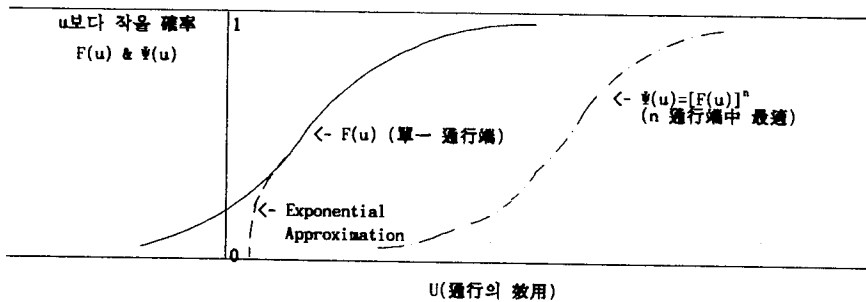
Marshallian 消費者剩餘 理論은 Holtelling (1938)에 의해 n 財貨의 價格에 있어서 同時의 인 變化(simultaneous changes)가 일어나는 경우를 고려하는 一般平衡(general equilibrium)理論으로 발전시켰다. 그후 交通分野에서는 단일 토지이용계획하에서 두개의 交通計劃案의 비교를 목적으로 消費者剩餘 理論이 전개되었는데, 주요 학자들로는 Tresidder et al. (1968), Neuburger(1971), Cochrane(1975), Williams(1977), Wilson et al. (1981) 등을 들 수 있다. 본 논문

은 Cochrane에 의해 제시된 이론을 본 연구의 목적에 맞게 수정, 보완하였다.

1. 累積分布函數(Cumulative Distribution Function)

어떤 共通의인 基礎分布(common underlying distribution)으로 부터 n개의 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 通行의用이 u보다 작거나 같을 確率을 의미한다.

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



〈그림 3.1〉 通行效用의 累積分布函數

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

여기에 自然로그를 취하고 다시 Series Expan-

sion을 이용하면

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

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.

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

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

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

註2) 단순모형, 복잡모형 I, II는 통행저항함수로 $\exp(-\beta c_{ij})$ 물, 복잡모형 III은 $c_{ij}^{-\alpha}$ 으로 구성되어 있다. 여기서, c_{ij} 는 존i와 j간의 통행비용을, α, β 는 매개변수를 나타낸다.

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

그러면 j 존으로의 居住에 대해

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

본 연구에서 i 존으로부터 j 존으로 最適⁴⁾通行(optimal trip)에 의한 消費者 福祉(consumer welfare)는 그 통행에서 발생하는 效用 u 와 費用 c 의 차이로 정의하기로 한다. 이에 따라 $s_{ij} = u_i - c_{ij}$ 를 이용하면 式(3.5)는 다음과 같이 표현될 수 있다(Cochrane, 1975).

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

2. 單一制約 重力模型의 誘導

소비자복지 이론의 관점에서 i 존으로부터 最適決定에 의해 j 존으로 통행이 이루어질 確率은 j 존으로 통행할 경우 제공되는 最大福祉水準이 어떤 다른 존에 의해 제공되는 최대복지수준보다 클 확률과 같다. 따라서 그 確率은

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

式(3.7)을 정리하면

$$Pr = \frac{W_j e^{-\beta c_{ij}}}{\sum_k W_k e^{-\beta c_{ik}}} \dots\dots\dots (3.8)$$

i 존으로부터 발생하는 總通行數를 E_i 로 정의하면, i 존으로부터 j 존으로의 期待通行數는 다음과 같은 單一制約 重力模型이 된다.

$$T_{ij} = E_i \frac{W_j e^{-\beta c_{ij}}}{\sum_k W_k e^{-\beta c_{ik}}} \dots\dots\dots (3.9)$$

따라서 式(3.9)는 제2장의 式(2.1)에 式(2.2)를 대입한 것과 같은 형태다.

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

$$\Psi_i(s) = \prod_j \Psi_{ij}(s) \dots\dots\dots (3.10)$$

$$\Psi_i(s) = \exp[-e^{-\beta s} \rho e^{\beta \tau} \sum_j W_j e^{-\beta c_{ij}}] \dots (3.11)$$

式(3.10)에서 $Q = \rho e^{\beta \tau} \sum_j W_j \exp(-\beta c_{ij})$ 그리고 $x =$

βs 로 代置하면 $\Psi_i(x) = \exp[-Qe^{-x}]$ 그리고 $\Psi_i(x) = Qe^{-x} \exp[-Qe^{-x}]$ 를 얻을 수 있다. Moment Generating 函數와 Gamma 函數의 성질을 이용하여 x 의 평균값을 구하면

$$G_x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{tx} Qe^{-x} \exp(-Qe^{-x}) dx \dots\dots\dots (3.12)$$

$$\frac{\partial G_x(t)}{\partial t} = [\ln Q + \lambda + \sum_{v=2}^{\infty} \left\{ \sum_{\gamma=1}^{\infty} \gamma^{-v} \right\} t^{v-1}] G_x(t) \dots\dots\dots (3.13)$$

소비자복지 함수의 평균은 式(3.14)에 의해 얻어진다.

$$\left[\frac{\partial G_x(t)}{\partial t} \right]_{t=0} = \lambda + \ln Q \dots\dots\dots (3.14)$$

여기서 $\lambda (=0.5772\dots) =$ Euler 常數.

따라서 i 존으로부터 어떤 통행에 대한 平均消費者福祉는

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

그리고 모든 통행에 대한 總消費者福祉(Cochrane, 1975)는

$$CW = \frac{1}{\beta} \sum_i E_i [\lambda + \ln \{ \rho e^{\beta \tau} \sum_j W_j e^{-\beta c_{ij}} \}] (3.16)$$

여기서 $E_i =$ i 존 직장의 통행자수. 式(3.16)는 다음과 같이 정리될 수 있다.

$$CW = \left[\frac{1}{\beta} \sum_i E_i [\lambda + \ln \{ \rho e^{\beta \tau} \}] \right] + \frac{1}{\beta} \sum_i E_i \ln \left[\sum_j W_j e^{-\beta c_{ij}} \right] \dots\dots (3.17)$$

式(3.17)에서 $\lambda, \rho, \beta, \tau, \sum_j E_i$ 는 常數이므로 다음과 같이 재정리될 수 있다.

$$CW = \theta(\text{常數}) + \frac{1}{\beta} \sum_i E_i \ln \left[\sum_j W_j e^{-\beta c_{ij}} \right] \dots\dots\dots (3.18)$$

註4) 통행자는 기점존(origin zone)으로 부터 자신의 복지(welfare) 수준을 최대화하는 종점존(destination zone)을 선택한다는 것.

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.

$$T_{ij} = E_i \frac{W_j c_{ij}^{-\beta}}{\sum_k W_k c_{ik}^{-\beta}} \dots \dots \dots (3.19)$$

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

$$CW_i = \frac{1}{\beta} [\lambda + \ln(\rho e^{\beta t} \sum_j W_j c_{ij}^{-\beta})] \dots \dots (3.20)$$

그러므로 모든 통행에 대한 消費者福祉는 式(3.21)과 같이 정리된다.

$$CW = \theta(\text{常數}) + \frac{1}{\beta} \sum_i E_i \ln [\sum_j W_j c_{ij}^{-\beta}] \dots \dots \dots (3.21)$$

IV. 模型의 精算(Calibration) 및 解法(Substitution Method)

(표 22)의 제2유형 토지이용모형식은 소위 Log-Linear Regression에 의해 매개변수를 결정하며, 式(23)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 23)의 단순모형을 토대로 정산과정을 설명하면 다음과 같다.

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

$$\text{여기서 } W_j = L_j^{\gamma_1} N_j^{\delta_1} N_{4j}^{\delta_4} \dots \dots (4.2)$$

여기서 사용된 변수 및 매개변수의 내용은 전술한 바와 동일함.

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

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

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

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

$N_j^* = \sum_i T_{ij}^*$ = j 존 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.

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

다시 式(4.5)에 自然로그를 취하면

$$\ln L = \sum_j N_j \ln N_j + \sum_j N_j \ln P_j \dots \dots \dots (4.6)$$

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

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

이 함수는 $N_j = N_j^*$ 그리고 $L' = 0$ 인 조건에서 最大치를 갖는다. 따라서 매개변수 $\gamma_1, \delta_1, \delta_4, \beta$ 각각의 편미분(partial derivatives) 값이 0가 되는 L' 의 最大값을 구하는 과정은 다음과 같다.

$$\frac{\partial L'}{\partial \beta} = \sum_i \left[\frac{N_{ij}}{N_j^*} \right] \left[\sum_j T_{ij} (\ln c_{ij} - B_i \sum_k C_{kj} \exp(\beta c_{kj})) \right] \dots \dots \dots (4.8)$$

여기서 T_{ij} = 式(4.1)과 같음.

$$\frac{\partial L'}{\partial \gamma_1} = \sum_j \left[\frac{N_j}{N_j^*} \right] \left[\sum_i T_{ij} (\ln L_{ij} - B_i \ln L_{ij} \sum_k W_k \exp(\beta c_{kj})) \right] \dots \dots \dots (4.9)$$

$$\frac{\partial L'}{\partial \delta_1} = \sum_j \left[\frac{N_j}{N_j^*} \right] \left[\sum_i T_{ij} (\ln N_{1i} - B_i \ln N_{1i} \sum_k W_k \exp(\beta c_{kj})) \right] \dots \dots \dots (4.10)$$

$$\frac{\partial L'}{\partial \delta_4} = \sum_j \left[\frac{N_j}{N_j^*} \right] \left[\sum_i T_{ij} (\ln N_{4i} - B_i \ln N_{4i} \sum_k W_k \exp(\beta c_{kj})) \right] \dots \dots \dots (4.11)$$

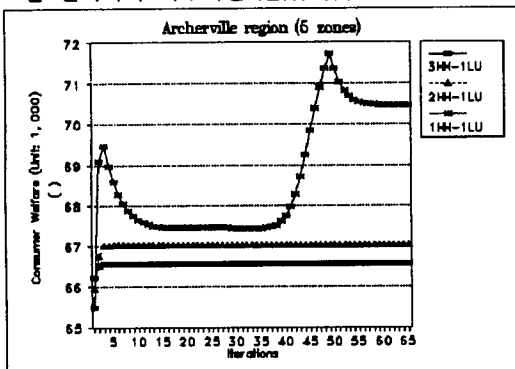
상기식에 해당변수의 값을 대입하여 L' 와 이에 대한 편미분(partial derivatives)을 계산하게 된다. 이때 편미분값이 陽의 값이면 L' 의 最大값을 가지도록 해당 매개변수(parameter)를 증가시키고, 반대로 陰數이면 해당 매개변수를 감소시키는 소위 Zigzag 방식

으로 Gradient Search 과정을 수행한다.⁶⁾

다음으로 본 연구에서 다루어지는 통행배분 모형의 해법(solution method)을 살펴보기로 한다. 식 (2.3)의 解(solution)는 변수가 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 풀기위한 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_k^1 의 값들을 푼다. 이후 基準年度의 通行者 住居分布值인 T_k^0 을 토대로 푼 이들 제1번째 Iteration값들은 식 (2.3)에 대체되고 이 식은 T_k^1 에 대해 푼다. 이 과정은 k번째와 k+1번째 값들의 差가 어떤 既指定된 基準值(prespecified tolerance) 이하로 떨어질때까지 계속된다. 만일 이 방법이 수렴에 실패할 경우도 있는데, 이 경우 Newton's Method와 같은 복잡한 접근법이 사용되어야 한다(Pearson, 1986).

V. 結果分析

본 분석에서 다루어진 通行配分模型群과 對象



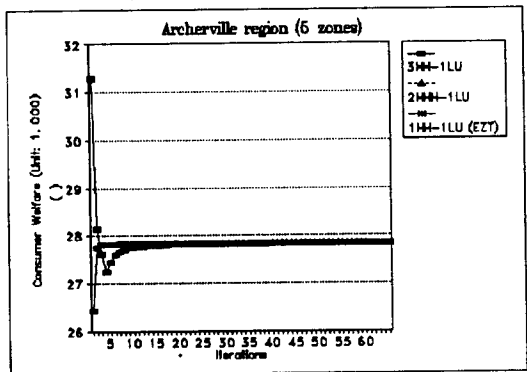
(a) 單純模型 - A

地域群간의 조합은 <표 5.1>과 같다. 이를 토대로 實行된 結果를 종합하여 보면 單純模型의 경우 존別 居住 通行者 分布를 나타내는 HH Iterations와 존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 II, III에서 Houston, TX지역(199존)의 경우 미세한 진동을 보이고 있는 것은 大型 Network 入力時 초래되는 Error에 基因할 가능성이 있는 것으로 판단된다.

<표5.1> 模型別 研究對象地域別 事例研究表

	SM	CM I	CM II	CM III
A	T1	T2	-	-
S	-	-	T3	-
H	-	-	T4	T5

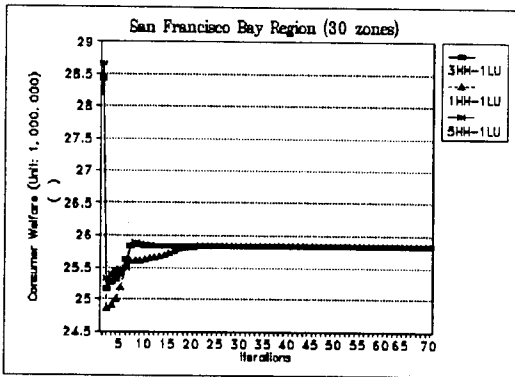
註) T(Test), SM(單純模型), CM(複雜模型), A(Archerville地域: 5존), S(San Francisco Bay地域: 30존), H(Houston, Texas地域: 199존).



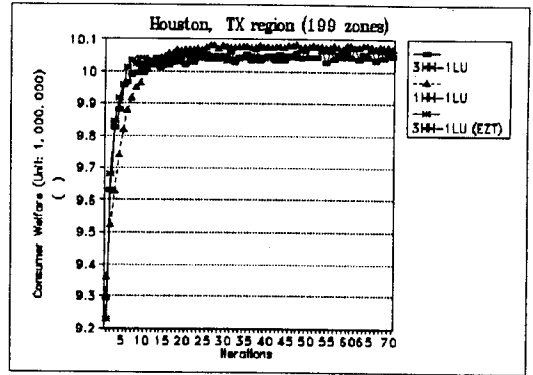
(b) 複雜模型 I - A

註5) 여기서는 β 의 음부호를 없앤채 Search Procedure가 음수값을 가지는 β 를 찾게된다.

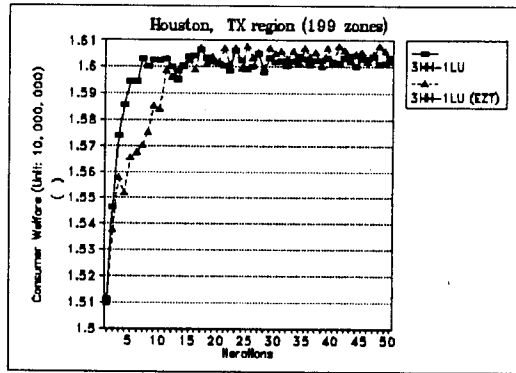
註6) 각 모형의 정산결과를 부록에 실려 있음.



(c) 複雜模型 II - S



(d) 複雜模型 II - H



(e) 複雜模型 III - H

〈그림 5.1〉 모형별 소비자복지 수렴분석 결과도⁷⁾

〈표 5.2〉 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%
	(Itr.69~70)	(Itr.69~70)	(Itr.69~70)	(Itr.69~70)	(Itr.69~70)

註) Itr. (Iteration). 이외의 약어 내용은 〈표 5.1〉과 동일함.

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 의미함. 지면제약상 각 경우에 대한 모든 Iterations의 소비자복지치는 생략하기로 함.

註7) 그림에서 EZT는 존별 거주통행자 분포에 대한 초기치로 Equal Zone Trip-Makers체계에서 실행된을 의미함.

IV. 結論 및 添言

지금까지 確率的 平衡에 토대를 둔 Work-to-Home 通行配分에 대해 살펴 보았다. 본 연구의 成果物은 크게 2가지로 요약된다.

첫째, 본 연구결과 단순모형의 경우 여러개의 각각 다른 값으로 수립된 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 결여로 현재 완비되어 있지는 못하다.

둘째, 본 연구의 결과로 얻어진 Global Equilibrium이 本 分析에서 取扱된 지역, 통행배분모형, 토지이용모형에 極히 限定된 結果일 가능성도 배제하지는 못한다.

한편, 國內에서 중력모형에 의한 通行配分이 이루어지고 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, 그리고 지역간 人口의 移動이 상대적으로 높은데도 불구하고 通行配分을 路線配分模型에 비해 상대적으로 疏忽히 다루어져 온 것으로 사료된다.

둘째, 지금껏 國內에서 행해져온 통행배분방법이 주로 通行費用(혹은 時間)函數와 종점존의 유입통행량에 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.

셋째, 본 연구 결과와 종점존의 유입통행량만을 유인력(measure of attractiveness)변수로 사용

하는 전통적인 Gravity 모형 결과를 비교하는 것 역시 의미가 있을 것이다.

참 고 문 헌

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. Hotelling (1938) "The General Welfare in Relation to Taxation and of Railway and Utility Rates", Econometrica.
6. Mattsson L-G (1984) "Equivalence between Welfare and Entropy Approaches to Residential Location", Regional and Urban Economics 14: 147-173.
7. Mattsson L-G (1987) "Urban Welfare Maximization and Housing Market Equilibrium in a Random Utility Setting", Environment and Planning A 19:
8. Neuberger (1971) "User Benefit in the Evaluation of Transport and Land Use Plans", Journal of Transport Economics and Policy.
9. Pearson, C. (1986) Numerical Methods in Engineering and Science (Van Nostrand Reinhold, New York)
10. Putman. S.H. and Ducca, F.W., (1978a) "Calibrating Urban Residential Models 1: Procedures and Strategies", Environment

- and Planning A 10: 633-650.
11. Putman, S.H. and Ducca, F.W. (1978b) "Calibrating Urban Residential Models 2: Empirical Results", Environment and Planning A 10: 1001-1014.
 12. Putman, S.H.(1978c) "Development of an Improved Integrated Transportation and Land Use Model Package" Report of Results of NSF Grant APR 73-07840-A02; Urban Simulation Laboratory, Department of City and Regional Planning, University of Pennsylvania, Philadelphia, PA.
 13. Putman, S.H. (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, H.C.W.L. (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 Woley & Sons, New York.

〈부록 1〉 유인력(measure of attractiveness)과 통행비용 매개변수의 정산결과

구 분		$\beta(\alpha)$	r_1	r_2	r_3	δ_1	δ_2	δ_3	δ_4	R ²	LC
단순모형 (A)	LI	0.2	-	-	0.90	2.00	-	-	0.90	0.91	0.90
	HI	0.1	-	-	1.50	0.20	-	-	3.00	0.94	0.92
복잡모형 (I)A	LI	0.7142	-0.2362	0.8768	0.7243	3.2504	-	-	2.5031	0.8524	0.8958
	HI	0.9946	0.1874	0.5230	0.4175	1.3808	-	-	4.8453	0.9935	0.9897
복잡모형 II (S)	LI	0.2300	-0.4524	-0.2784	0.9334	6.4197	1.0840	2.5775	-2.1109	0.9107	0.9016
	LMI	0.3340	-0.2644	-0.3106	0.7845	2.0278	5.1027	-1.5228	-1.2600	0.8954	0.8914
	HMI	0.5621	-0.2000	-1.0547	0.7631	2.4531	1.1708	4.4382	0.7465	0.9043	0.9031
	HI	0.4767	-0.2541	-0.5501	0.7727	2.5494	-2.5436	2.3293	3.6511	0.9306	0.9349
복잡모형 II (H)	LI	1.1459	0.1499	0.4492	0.7903	4.1829	3.0780	-1.2793	-1.2793	0.8353	0.8742
	LMI	1.0386	0.1400	0.5905	0.8129	-0.4132	5.8394	0.5943	-0.9088	0.8496	0.8795
	HMI	0.0939	-0.0455	0.8128	0.9200	-1.3338	2.8092	3.9091	-0.2905	0.8354	0.8651
	HI	0.1187	0.0260	1.0089	0.8653	-2.9102	3.7572	1.0410	3.8975	0.8086	0.8836
복잡모형 III (H)	LI	1.4145	0.1375	0.7528	0.8391	4.2088	3.0816	-0.4761	-1.4210	-	-
	LMI	1.3666	0.0994	0.6656	0.8771	-0.2716	5.8424	0.6008	-1.0795	-	-
	HMI	0.9546	0.0533	0.7767	0.8754	-1.2169	1.4949	3.9403	-0.6066	-	-
	HI	1.0500	0.1091	0.9055	0.8256	-2.9487	1.8645	1.0676	3.5153	-	-

註) LC(Likelihood Criterion), LI(Low Income Group), LMI(Low Middle Income Group), HMI(High Middle Income Group), HI(High Income Group), A(Archerville Region: 5 Zones), S(San Francisco Bay Region: 30 Zones), H(Houston, TX Region: 199 Zones). 복잡모형 III(H)의 정산 결과는 Urban Simulation Laboratory, Univ. of Pennsylvania의 자료임.

〈부록 2〉 토지이용함수(제2유형)의 매개변수 정산결과

구분	매개변수							R ²	
	k ₀	k ₁	k ₂	k ₃	k ₄	k ₅	k ₆		
RLUE	복잡도형 I(A)	0.002	1.192	-	-0.992	-0.125	-	-	0.949
	복잡도형 II, III(S, H)	-1.921	-0.127	-0.063	-0.278	0.047	0.108	0.169	-
RLUE		g ₀	g ₁	g ₂	g ₃	g ₄	g ₅		
	복잡도형 I(A)	0.010	-0.911	-0.600	-0.600	-	-	-	-
	복잡도형 II, III(S, H)	-6.800	-0.380	0.073	-0.976	0.953	0.264	-	-
RLUE		p ₀	p ₁	p ₂	p ₃	p ₄	p ₅		
	복잡도형 I(A)	0.003	0.271	-1.138	-	-	-	-	0.959
	복잡도형 II, III(S, H)	-5.687	-0.266	0.048	-0.847	0.382	0.371	-	-

註) RLCE(Residential Land Use Equations), BLCE(Basic Industry Land Use Equations), CLUE(Commercial Land Use Equations). 표에서 복잡모형 II, III의 정산결과는 Urban Simulation Laboratory, Univ. of Pennsylvania의 자료임.