

□ 論 文 □

1990年 서울特別市 O/D資料를 利用한 重力模型適用에 關한 研究

A study on the Application of Gravity Model using 1990 Seoul O/D Data

任 聖 彬

(明知大學校 交通工學科 教授)

李 富 遠*

(明知大學校 交通工學科 大學院)

目 次

- I. 序論
- II. 資料分析
 - 1. O/D 調查資料
 - 2. 通行抵抗
- III. 重力模型의 構造
 - 1. BPR의 一般化된 重力模型
 - 2. 重力模型의 整算(Calibration)
- IV. 重力模型의 適用 및 檢證
 - 1. 模型의 整算(Calibration)結果
 - 2. 通行길이分布(Trip-length Distribution)
 - 3. 觀測O/D通行量과 推定O/D通行量의 結果分析
 - 4. 社會經濟的係數(Kij) 算定 및 特性分析
- V. 結論
- 參考文獻

ABSTRACT

Among trip distribution models, The BPR type Gravity Model is the one which is the most widely used. The key issue associated with this model is a functional form of friction factor which should be calibrated in the process, and interpretation for socioeconomic factor known as K-factor(Kij) which is used to adjust the difference between observed zone-to-zone trips and the estimated trips

In this study, the BPR type Gravity Model has been fitted to 1990 O/D data for Seoul. Two type of function form for friction factor has been employed: one is a form of Generalized function and the other is UTP function. With above two functions, the parameters for travel distance(Skim-tree) are prepared. The relationship between socioeconomic factor and trips is identified by calculating and analyzing the characteristics of Kij.

Consequently, both of the friction factor functions are statistically signified. However, it shows an overestimation tendency when estimated with UTP function. It is found that the Generalized function is suitable for the city of Seoul, and also, in case there are a lot of trips correlatively, the socioeconomic factor is close to 1, on the other hand if it's small, it shows a bias which is dispersed around 1.

* 서영기술단 교통계획팀

I. 序 論

持續的인 經濟成長으로 所得水準이 向上함에 따라 社會, 經濟, 文化活動을 위한 交通需要가 폭발적으로 增加하고 있다. 이로 인한 오늘날의 交通問題는 날로 深刻해지고 있다. 이를 解決하기 위해 다양한 交通政策이 施行되고 있으나 그 效果는 未洽한 實情이다. 效果的인 交通政策의 樹立 및 施行을 위해서는 通行者의 通行特性을 보다 精確히 把握할 수 있는 交通需要豫測이 가장 重要하고 必須的인 過程으로 인식되어 왔다.

交通需要豫測을 效率的이고 體系的으로 수행하는 데는 보다 精確한 通行特性分析 및 O/D通行量의 構築이 先行되어야 한다. 交通需要豫測에 있어서 지난 數年 동안 傳統的인 集團模型들이 널리 利用되어 왔으며 이의 改善을 위한 研究가 練續되고 있다. 우리나라에서는 傳統的인 集團模型을 適用한 研究 조차도 不足한 實情인 점을 考慮하면 集團模型에 대해 持續的이고 體系的인 보다 많은 研究와 O/D패턴을 糾明할 수 있는 係數에 대한 研究의 必要性이 提起되고 있다.

이런 맥락에서 本 研究의 目的은 1990年度 서울市 O/D資料를 交通需要 豫測의 通行分布模型 中 널리 利用되고 있는 BPR의 一般化된 重力模型에 適用함으로써, 適合한 通行抵抗函數式을 導出하고 社會經濟的係數 算定 및 特性을 分析하여 各 係數와 通行量과의 關係를 糾明하는 틀을 마련하는데 두었다.

울市の 交通現況 및 그 特性을 調査한 서울市 交通現況調査의 總 O/D通行量이다. 이 總O/D通行量은 3% Sample調査를 實施하여 원시자료로 삼고 이를 여러가지 過程을 통해 轉수화한 것이다(자세한 내용은 참고문헌 18참조). 이 資料에서는 Zone數를 市界流出入 Zone 44個와 市內 Zone를 行政洞別 494個로 區分하고 있으며 여기에 따른 社會經濟的 資料가 構築되어 있고 通行目的을 7가지 즉 登校, 出勤, 市場보기, 業務, 歸家, 餘暇活動, 親交 및 其他 로 나누어 調査하였으며 研究의 目的에 따라 Zone의 合成(Aggregation)이 容易하게끔 되어 있다.¹⁸⁾

本 研究에서는 研究의 正確性和 便易性과의 交互關係(Trade-off)를 고려하여 138個 Zone으로 서울市내지역만 나누어 分析하였는데, 이의 Zone 區分圖는 (그림 1)과 같다.



(그림 1) 交通地區(Zone) 區分圖

II. 資料分析

1. O/D調査資料

本 研究에서 利用한 O/D資料는 1990年度 서

2. 通行抵抗(Impedance)

本 研究에서는 BPR의 重力模型을 使用하였

는데 여기서는 通行抵抗函數로서 一般화된 費用에 대한 陰指數 즉 $\exp(-\beta C_i)$ 의 形態를 쓰고 있다.²⁾³⁾ BPR의 重力模型의 通行抵抗으로써는 通行時間(Travel-time factor)²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾ 이 가장 效果的인 尺度로 알려져 있으나 이의 將來推定이 容易하지 않고 通行時間 및 通行費用은 피설문자의 自意에 의해 정의된 것이 없기 때문에 通行패턴의 微視的인 觀點 보다는 巨視的인 觀點에서 Network을 기준으로한 通行距離를 利用하는 것이 容易할 것으로 思料되어 各 Zone間의 通行抵抗을 通行距離로 나타냈으며 이의 單位는 Km로 하였다. 일반화 費用函數를 사용하기에 앞서 원시조사자료의 항목이 不足하였다.

III. 重力模型의 構造

1. BPR의 一般화된 重力模型

通行分布를 推定하는 方法으로서 重力模型의 概念은 어떤 起終點사이의 通行數가 地域間 通行을 誘發하는 힘과 正比例하고 地域間 通行의 障礙 등에 反比例한다는 經驗的인 사실에 基礎를 두고 있다. BPR 模型은 一般적으로 다음과 같은 構造로 이루어져 있다.²⁾⁵⁾¹²⁾¹³⁾

$$T_i \propto C P_i A_j F_i K_i \quad (1)$$

어떤 出發 Zone i 에 있어서 常數 C 의 값은 C_i , 出發 Zone i 에 있어서 모든 T_i 의 합은 P_i 와 같다.

$$P_i = \sum_{j=1}^n T_{ij} = \sum_{j=1}^n [C P_i A_j F_i K_{ij}]$$

$$= C P_i \sum_{j=1}^n [A_j F_i K_{ij}] \quad i=1, 2, 3, \dots, n$$

따라서

$$C_i = \frac{1}{\sum_{j=1}^n [A_j F_i K_{ij}]} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2)$$

式(2)를 式(1)에 代入하여 다시 나타내면

$$T_{ij} = \frac{P_i A_j F_i K_{ij}}{\sum_{j=1}^n [A_j F_i K_{ij}]} \quad (3)$$

으로 나타낼 수 있다.

여기서,

T_{ij} : 出發 Zone i와 到着 Zone j間 通行量

P_i : 出發 Zone i에서 發生되는 通行流出量

A_j : 到着 Zone j로 到着되는 通行流入量

F_i : 出發 Zone i와 到着 Zone j間 通行의 通行抵抗으로 표시되는 通行에 대한 抵抗係數

K_{ij} : 出發 Zone i와 Zone j間의 調整係數 또는 社會經濟的 係數

C : 常數

이 模型은 經驗的으로 導出된 抵抗係數 (Friction factor)로서 通行抵抗(Impedance)을 代置시키는 役割을 하며 이는 通行抵抗을 導出하기 힘들기 때문에 計算過程을 單純化시켜 보려는 의도로 解析할 수 있고 또한 여기에서 Zone間 調整係數 K_{ij} (Zone-to-zone adjustment factor)는 抵抗係數 만으로 나타낼 수 없는 어느 特定 Zone 間 通行量에 대한 두 Zone의 社會經濟的 特性을 反映시키기 위한 것인데 이것을 社會經濟的 調整係數(Socioeconomic adjustment factor)라 하며 이 係數의 適用은 꼭 必要한 것으로 되어 있지만 K_{ij} 와 Zone의 社會經濟的 特性과의 關係는 回歸分析에 의해 求할 수 있으리라는 程度 이외에는 거의 밝혀진 바가 없어 基準年度의 K_{ij} 를 구하더라도 將來 目標年度에 있어서의 K_{ij} 를 推定 할 수가 없기 때문에 큰

變動이 있는 都市에 있어서는 이의 適用이 別意味가 없기에 BPR模型을 좀 더 合理的으로 利用할 수 있게 되기 위해서는 將來 目標年度에 있어서 K_{ij} 를 推定할 수 있는 方法이 研究되어야 한다.⁶⁾¹⁷⁾ 이런 노력으로 1981년에 任聖彬은 K_{ij} 를 推定할 수 있는 函數式을 開發하였는데, 說明變數를 土地利用에 관련된 各 Zone別 用途別 延面積比率를 選定하여 多衆回歸分析方法에 의해 구해진 模型이었다.¹⁷⁾

2. 模型의 整算(Calibration)

(1) 抵抗函數(Friction factor function)의 設定

$$F_{rk} = \alpha \exp(-\beta I_r) \quad r = 1, 2, \dots, f \quad (4)$$

$$F_{rk} = \alpha I_r^\gamma \exp(-\beta I_r) \quad r = 1, 2, \dots, f \quad (5)$$

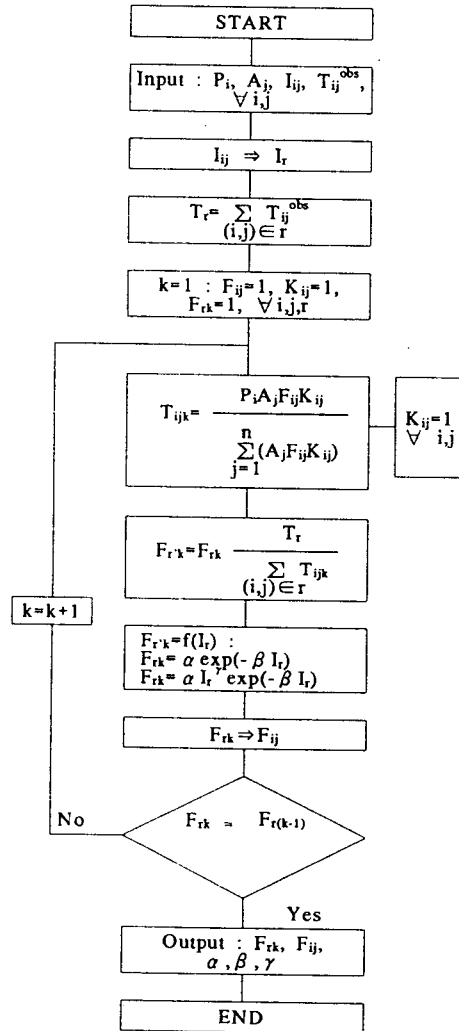
α, β, γ : 抵抗係數와 通行抵抗에 의해 最小自 乘法으로 求함.

I_r : Zone間 通行그룹 r에 該當하는 Impedance의 값

本 研究에서는 BPR 重力模型에 Evan (1971), Hyman(1969) 등이 導入한 一般化函數式 形態 11)인 式 (7)과 美國 U.S.DOT, Batty(1976), Cesario(1975) 등이 提示하고¹⁾²⁾¹¹⁾ 있는 UTP函數式 形態인 式(5)을 比較對象으로 設定하였다. 여기서 基準年度 O/D패턴과 通行抵抗函數 사이의 關係式을 導出하여야 하는데 이 關係式은 파라메타에 따라 通行패턴이 定義될 수 있다. 여기서 各 파라메타인 β, γ 은 平均通行距離와 密接한 關係를 가지고 있으며 이의 特性은 平均通行距離가 增加하면 이의 파라메타값은 減少하는 性質을 갖고 있다.⁴⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾¹⁶⁾²³⁾

(2) 抵抗係數(Friction Factor) 整算

重力模型의 整算은 이 模型에 포함되어있는 抵抗函數의 파라메타들을 決定하기 위한 과정으로 本 研究에서는 (그림 2)에서 와같이 소위 BPR方法을 使用하였다.



(그림 2) 抵抗係數의 計算흐름圖(BPR)

$$F_{rk} = F_{rk} \frac{T_r}{\sum_{(i,j) \in r} T_{ijk}} \quad (6)$$

$$F_{rk}(\min) \geq 1 \text{ 이면 } F_{rk} = F_{rk} \quad (7)$$

$$F_{rk}(\min) < 1 \text{ 이면 } F_{rk} = \frac{F_{rk}}{F_{rk}(\min)} \quad (8)$$

여기서,

F_{rk} : k 번째 整算(Calibration)에서 Zone間 通行그룹 r에 關係되는 抵抗係數

T_r : Zone間 通行그룹 r에 주어진 總通行量 (基準年度)

$\sum_{(i,j) \in r} T_{ik}$: 重力模型에 F_{rk} 를 適用시켜 k(회) r번째 Calibration에서 計算된 Zone間 通行그룹 r의 總通行量

F_{rk} : 위 式(6)에서 計算된 값

$F_{rk(\min)}$: 위 式(6)에서 計算된 값들 中 最小值

r : 같은 抵抗係數를 適用하게 되는 Zone間 同一한 通行그룹 $r=1, 2, 3, \dots, f$

f : Zone間 通行그룹數

k : 整算(Calibration)回數 $k=1, 2, 3, \dots, m$

m : 總 整算(Calibration)回數

(3) 流入調整係數의 整算

實際 要求하는 바람직한 값을 얻기 위해서는 流入量 調整이 必要하다. 이는 다음과 같은 反復過程으로 調整할 수 있으며, 近似程度의 滿足水準은 $|A_j - A_{j(k+1)}| \leq e$ 로 決定할 수 있다.²²⁾

$$A_{j(k+1)} = \frac{A_j}{C_{jk}} A_{jk} \quad (9)$$

다음 (그림 3)과 같은 절차를 통해 수행하였다. 여기서,

A_{jk} : k 번째 反復의 流入 Zone j의 流入調整係數 $A_{jk} = A_j$ ($k=1$ 일때)

$A_{j(k+1)}$: 式(9)에 의한 流入 Zone j의 流入調整係數

C_{jk} : k번째 反復의 重力模型에 流入調整係數를 適用한 流入 Zone j의 流入量的 合

$$C_{jk} = \sum_{i=1}^n T_{ij}$$

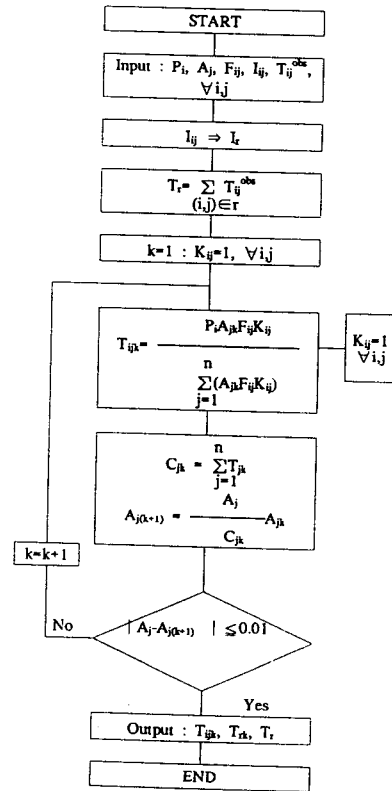
A_j : 流入 Zone j의 要求하는 流入量的 合 (基準年度)

j : 流入 Zone 番號 $j = 1, 2, 3, \dots, n$

n : Zone 數

k : 反復回數(Iteration) $k = 1, 2, 3, \dots, m$

m : 總 反復回數



(그림 3) 流入調整係數의 計算흐름圖(BPR)

IV. 重力模型의 適用 및 檢證

1 模型의 整算(Calibration)結果

원래 整算이 通行目的別로 이루어짐이 타당하나 本 研究에서 사용한 O/D資料에는 各목적 別로는 0 Cell이 과다하게 존재하여 總通行量만

을 대상으로 整算하였다. 本 研究에서는 式(4)을 A Type 式(5)를 B Type으로 區分하고 이 函數式들을 對象으로 相對的 比較를 통해 서울시에 適合한 函數式을 導出하고자 하였는데, 이의 整算結果는 다음과 같다.

■ A Type의 경우【 $F_i = \alpha \exp(-\beta i)$ 】

A Type의 경우, 整算過程에서 反復回數 (Iteration) 8回 때 數值가 收斂하였으며 이때 R^2 값이 0.9295, 各 Parameter 有意確率 0.0001로 有意水準 1 %未滿에서 有意性이 檢定되었으며. 이에 대한 抵抗係數 結果는 <表 1>과 같고 抵抗係數의 結果圖는 (그림 4)와 같다.

<表 1> A Type 抵抗係數의 結果

區 分	α	β	R^2
Parameter	1445.50	0.14022	0.9295
T for H_0 : Parameter=0	50.169	-22.095	
Prob > T	0.0001	0.0001	

■ B Type의 경우【 $F_i = \alpha i^\gamma \exp(-\beta i)$ 】

B Type의 경우, 整算過程에서 反復回數 (Iteration) 10回 때 數值가 收斂하였으며, 이때 R^2 값이 0.9339, 各 Parameter 有意確率は α, β 값이 0.0001로 有意水準 1% 未滿, γ 값은 0.0338로 有意水準 5% 未滿에서 有意性이 檢定되었으며 이에 대한 抵抗係數 結果는 <表 2>와 같고 抵抗係數의 結果圖는 (그림 5)와 같다.

<表 2> B Type 抵抗係數의 結果

區 分	α	β	γ	R^2
Parameter	432418.9	0.03068	-2.1732	0.9339
T for H_0 : Parameter=0	36.547	7.072	-2.207	
Prob> T	0.0001	0.0001	0.0338	

앞의 結果에서 A Type의 경우 R^2 가 0.9295이

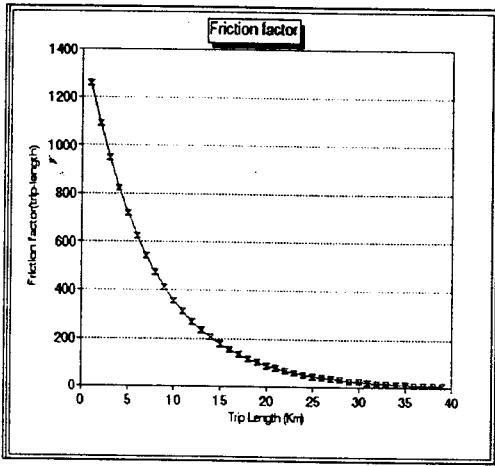
고 B Type의 경우 R^2 가 0.9339로써 B Type의 경우가 說明力이 높게 나타나고 있는데 이는 函數式의 構造上 變數가 많아지면 높게 나타나는 것으로 解析할 수 있다. 또한 抵抗係數의 結果圖를 보면 A Type의 경우 보다 B Type의 경우가 通行距離에 대해 敏感하게 나타나고 있는데 이 또한 函數式 構造에 따른 것이라 解析할 수 있다. 以上の 結果로 通行抵抗으로 通行距離가 說明力이 있는 것을 쉽게 判斷할 수 있다.

또한 BPR重力模型의 構造는 流出制約模型으로서 抵抗係數를 決定하여 通行量을 計算하면 流出量의 合은 같으나 流入量의 合은 같지 않을 수가 있어 流入調整係數를 구해 調整하여야 한다.²³⁾¹¹⁾ 따라서 本 研究에서는 流入係數 調整의 近似程度를 $|A_i - A_{jk}|$ 0.01 로 設定하여 調整하였다.²⁾ 이에 대한 調整結果 A Type의 경우 反復回數는 2回 때 收斂하였으며 B Type의 경우는 流入係數 調整이 3回 때 收斂하였다.

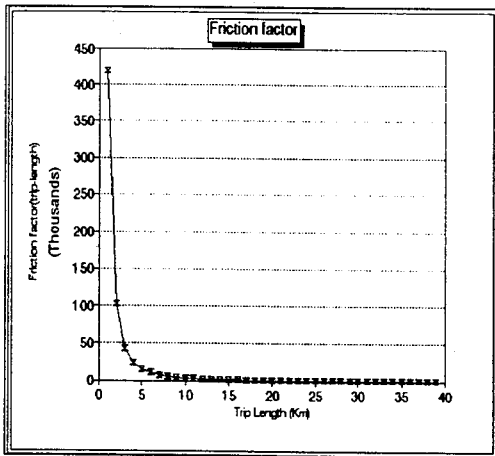
2. 通行길이分布(Trip-length Distribution)

以上の 整算過程을 통해 通行抵抗函數式이 適合하게 定立되었는지를 檢證하기 위해서는 觀測通行數와 推定通行數로 比較하는 방법을 사용할 수 있는데,⁷⁾⁹⁾¹¹⁾ 本 研究에서는 通行길이 分布를 算出하여 어떤 函數式이 適合한 지를 判斷하도록 하였다.

즉 基準年度 O/D通行量과 整算(Calibration)에 의해 決定된 파라메타를 適用한 抵抗係數를 推定된 通行量의 通行길이분포 (Trip-Length Distribution) 을 比較하여 基準年度 通行패턴과 類似한지를 判斷할 수 있다.²³⁾⁷⁾⁹⁾¹¹⁾ 誤差測定은 觀測值와 推定值 차이의 中央값에 대한 分散程度는 RMS, PRMS로 平均값에 대한 分散程度는



(그림 4) A Type의 抵抗係數 結果圖



(그림 5) B Type의 抵抗係數 結果圖

SD, PSD로 評價할 수 있다.¹⁴⁾¹⁸⁾ 이들의 計算結果는 誤差水準을 나타내며 相對的인 正確度의 指標으로써 널리 利用되고 있으며 數值가 작을 수록 보다 精確한 推定值를 나타낸다. 또한 χ^2 -test는 統計的인 絶對的 評價方法이라 할 수 있다.⁵⁾⁹⁾¹⁰⁾

$$RMS = (\sum (T_r^{est} - T_r^{obs})^2 / N)^{1/2}$$

$$PRMS = (RMS / \sum T_r^{obs} / N) \times 100$$

$$SD = ((\sum (T_r^{est} - T_r^{obs})^2 / N) - (\sum (T_r^{est} - T_r^{obs}) / N)^2 / N)^{1/2}$$

$$PSD = (SD / \sum T_r^{obs} / N) \times 100$$

$$\chi^2 = \sum (T_r^{est} - T_r^{obs})^2 / T_r^{obs}$$

T_r^{est} : 通行그룹 r의 推定通行數

T_r^{obs} : 通行그룹 r의 觀測通行數

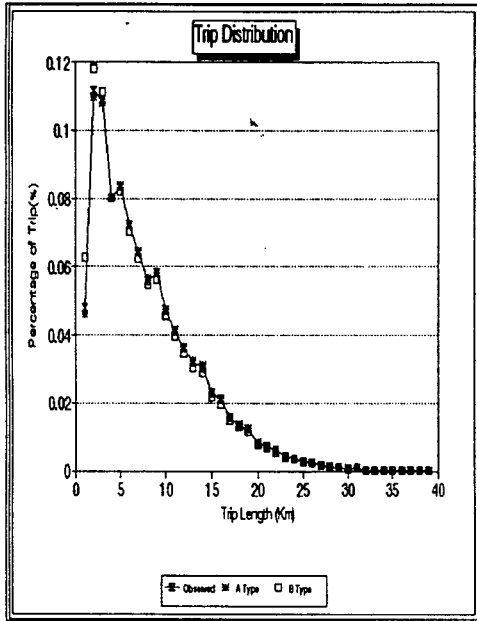
N : 通行그룹數

本 研究에서의 χ^2 -test는 SAS의 PROC FREQ의 節次에 의해 遂行하였다. 相對的인 比較에 있어서 通行길이分布의 推定值와 觀測值의 誤差는 A Type의 경우가 RMS 106533.5, PRMS 24.761, SD 106533.5, PSD 24.761로 B Type의 경우의 RMS 181545.0, PRMS 42.195, SD 181545.0, PSD 42.195 보다 작게 나타났으며 이로써 A Type의 경우가 보다 더 適合함을 알 수 있다. 또한 絶對的 比較인 χ^2 -test에서 A Type 有意確率이 0.238, B Type의 有意確率이 0.08로 有意水準 5%에서 推定值가 觀測值를 잘 模寫하고 있음을 檢定할 수 있다. 그러나 여기서 A Type의 경우가 더욱 더 有意하다는 結論을 내릴 수 있다. 이에 대한 結果는 <表 3>과 같다.

<表 3> 通行길이分布 觀測值와 推定值의 比較

區分	RMS	PRMS	SD	PSD	χ^2 - test	
					有意確率	有意水準
A Type	106533.5	24.761	106533.5	24.761	0.238	0.05
B Type	181545.0	42.195	181545.0	42.195	0.08	0.05

Type別 通行길이分布圖는 다음(그림 6)와 같으며, 이 그림에서도 A Type의 경우가 相對的으로 觀測值를 잘 模寫을 알 수 있다. 따라서 本 研究에서의 通行抵抗函數式은 A Type의 경우가 서울시에 適合한 것으로 結論을 얻을 수 있었으며 이를 對象으로 推定O/D통행량을 추정하였다.



(그림 6) Type別 通行길이分布圖

3. 觀測 O/D通行량과 推定 O/D通行량의 結果分析

앞절의 結果로 A Type을 적용하여 O/D通行량을 推定하였으며 이 推定 O/D通行량과 觀測 O/D 通行량의 誤差를 分析하였다. 이런 誤差의 評價方法으로는 分散의 中心에 對한 偏向程度를 測定할 수 있는 다음에서 說明되는 平均差異(MD) 등이 있다.²⁴⁾

$$MD = \sum (T_i^{est} - T_i^{obs}) / N$$

$$RMS = (\sum (T_i^{est} - T_i^{obs})^2 / N)^{1/2}$$

$$PRMS = (RMS / \sum T_i^{obs} / N) \times 100$$

$$SD = ((\sum (T_i^{est} - T_i^{obs})^2 / N) - (\sum (T_i^{est} - T_i^{obs}) / N)^2 / N^2)^{1/2}$$

$$PSD = (SD / \sum T_i^{obs} / N) \times 100$$

T_i^{est} : 推定 O/D通行量
 T_i^{obs} : 觀測 O/D通行量
 N : ZONE 雙數

推定 O/D通行량의 觀測 O/D通行량에 對한 誤差는 Zone雙間 MD가 -0.661로 약간의 左側偏向이나 平均通行량이 1077通行으로 PRMS가 0.00034로 推定值가 觀測值를 잘 模寫하고 있는 것으로 나타났으며 이의 結果는 다음(表 4)와 같다.

〈表 4〉 觀測 과 推定 O/D通行량의 比較 分析結果

區分	MD	RMS	PRMS	SD	PSD	존雙間의 平均通行量
結果值	- 0.661	91.196	0.00034	91.193	0.00034	1077

위에서 볼 수 있듯이 通行길이分布로 판단할 때 推定值가 觀測值를 잘 模寫했다는 結果를 얻었지만 各 Zone雙 間에는 通行量 차이가 발생할 수 있는데,²³⁾⁶⁾ 이는 존쌍간 보정(Zone-to-zone Adjustment)이라는 概念으로 解決할 수 있다.²³⁾⁶⁾¹⁷⁾²²⁾ 이를 위해 一般化된 重力模型에서는 各 Zone雙間 調整係數 K_i 를 利用 調整하도록 권고하고 있다. 또한 이 調整係數를 求해 將來에도 똑같은 값을 適用하여 豫測하도록 하고 있다. 그러나 여기서 이 調整계수를 將來에도 똑같은 값을 適用하면 各 Zone雙間에 通行패턴의 變化에 對應할 수 없는 結果를 招來할 수 있다 라는 문제점이 대두된다.⁶⁾¹⁷⁾²²⁾ 그렇지만 一般적으로 基準年度에 對해 求한 係數를 將來에도 適用하던가 아니면 1 을 適用하여 推定하고 있는 實情이다.²³⁾ 이 係數는 觀測值를 通行抵抗 만으로 說明할 수 없는 것으로 規定하고 特定地域間의 調整이 必要한 地域을 區分하여 係數를 求해 이를 調整해 준다는 概念으로 Zone-to-zone Adjustment Factor라 하며, 또한 特定地域間에 社會經濟的 要因이 있지 않을까 하는 側面에서 社會經濟的係數(Socioeconomic Factor)라 한다.¹⁷⁾ 이런 觀點에서 이 係數係數로써 各 Zone間에 將來에 變化하는 社會經濟的的特性을 反映시켜 보다 精確한 推定을 위한 模型開發에 對한 研究가 이

루어지기도 하였는데 多衆回歸分析에 의해 계수 추정이 가능함을 밝히고 있다.¹⁷⁾

本 研究에서도 精確한 O/D를 推定하기 위해 이를 위한 調整이 要求되어 推定 O/D通行量과 觀測 O/D通行量에서 이 係數를 算定하여 將來에 變化하는 特性를 反映하기 위해 우선 이 係數에 대한 特性分析을 實施하였다.

4. 社會經濟的係數(K_{ij}) 算定 및 特性分析

(1) 社會經濟的係數 算定

BPR方法에서는 各 ZONE別 社會經濟的 係數를 다음과 같은 方法으로 求하도록 하고 있다.²¹⁾¹³⁾¹⁶⁾¹⁷⁾

- ㉞ 어느 ZONE을 出發하는 總通行量을 10%~40% 補整할 경우

$$K_{ij} = R_{ij} \frac{1 - X_i}{1 - X_i R_{ij}} \quad (11)$$

- ㉞ 어느 ZONE을 出發하는 總通行量을 10% 以下, 40% 以上 補整 할 경우

$$K_{ij} = \frac{T_{ij}^{obs}}{T_{ij}^{est}} = R_{ij} \quad (12)$$

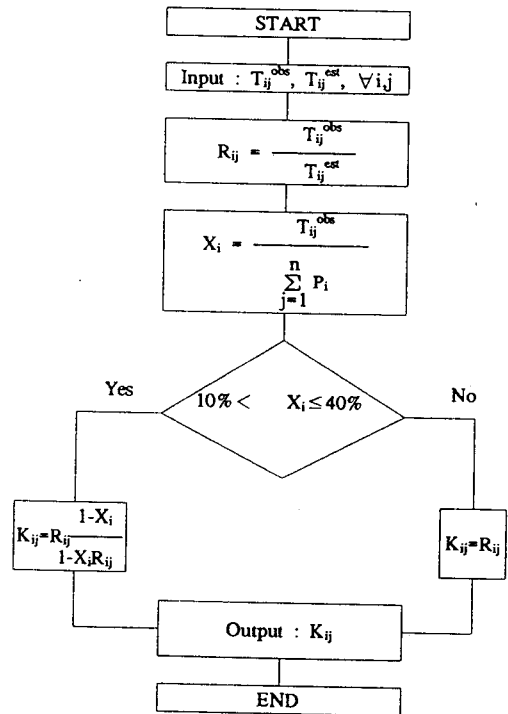
여기서,

K_{ij} : 出發ZONE i와 到着ZONE j 間 通行에 適用시키는 社會經濟的調整係數(zone-to-zoneadjustment factor)

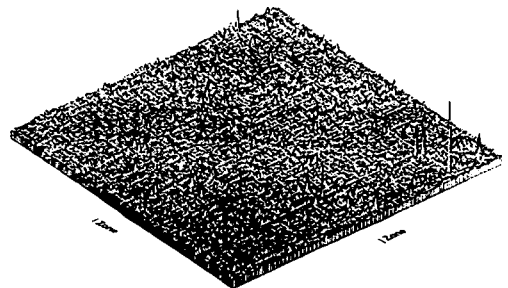
R_{ij} : 出發 ZONE i와 到着 ZONE j 間 通行에 대한 觀測 O/D通行量과 推定 O/D通行量の 比 T_{ij}^{obs} / T_{ij}^{est}

X_i : 出發 ZONE i 을 出發하는 總通行量에 대한 出發 ZONE i와 到着 ZONE j 間 通行量の 比 T_i^{obs} / Σ P_i

本 研究의 경우 全體 Zone쌍間에는 式(11)에 해당되는 경우는 없었고 式(12)의 경우만 존재하여 이 式에 의해 算定하였으며, 結果는 (그림 8)과 같았다. 그림에서 볼 수 있듯이 總量의 合은 推定值가 觀測值에 近似하게 推定되었지만 各 Zone雙 間의 結果는 차이가 있음을 알 수 있다. (그림 8)은 K_{ij}의 값을 나타내며 뾰족하게 나타나는 것은 K_{ij}의 크기를 나타내는 것이다.



(그림 7) 社會經濟的係數(K_{ij})의 計算흐름圖



(그림 8) 社會經濟的係數(K_{ij}) Table圖

(2) 社會經濟的係數(K_i)의 一般統計分析

기존의 연구 결과는 一般的으로 K_i 는 1 또는 이에 가까운 값을 가지는 것이 理想的인 것이라고 분석되었지만,²¹⁾³⁾²¹⁾²²⁾ 本 研究에서는 K_i 自體에 대해서 뿐만 아니라 $\text{Log}K_i$ 에 대해서도 統計分析을 施行하여 K_i 값의 特性을 보다 면밀히 분석하였다. 이를 위해 SAS의 UNIVARIATE PROCEDURE 라는 Subprogram을 이용하였다.

가. K_i 에 對한 統計分析

K_i 의 크기는 99%가 5 以下의 값을 갖고 最大值가 57.10, 資料의 10% 程度가 0 이며 資料의 25%~75% 範圍안에 즉 K_i 가 0.255 1.188값에 密集되어 있으며 平均值가 0.88로 分析되었다. 또한 平均值를 中心으로 集中分布하고 있었다. 統計的 意味에서 왜도(Skewness)가 14.04447로 極右側偏重되어 있으며 첨도(Kurtosis)가 465.9887로 뽀족한 모양을 하고 있다. 따라서 分布모양은 對數-正規分布(Log-normal distribution) 또는 이와 비슷한 分布特性을 가지고 있다고 判斷할 수 있다. 이에 대한 結果는 다음 <表 5>와 같다.

나. $\text{Log}K_i$ 에 對한 統計分析

K_i 는 對數-正規分布 또는 이와 類似한 分布特性을 갖는다는 것을 뒷받침하기 위해 $\text{Log}K_i$ 에 대해 一般統計分析을 行할 수 있다.¹⁹⁾ 여기서 $\text{Log}K_i$ 는 0 (즉 $K_i = 1$)에 가까운 값을 平均으로 하고 있으며 다음 <表6>에서 보는 바와 같이 分布는 正規分布와 매우 類似한 分布特性을 나타내고 있다. 이는 統計的 意味에서 왜도(Skewness)와 첨도(Kurtosis)가 0 에 가까우면 對稱 및 正規性을 나타내는데 $\text{Log}K_i$ 는 왜도가 -0.65956로서 左側偏重이나 對稱에 가까우며 또한 첨도(Kurtosis)에서도 $\text{Log}K_i$ 는 1.0973으로 K_i 의 465.9887 보다는 正規性을 갖는다고 볼 수

있다. 따라서 K_i 는 對數-正規分布(Log-Normal Distribution)의 特性을 가지고 있으며 K_i 그 自體 보다는 $\text{Log}K_i$ 形態로 다루어지는 것이 本來의 特性을 더 잘 나타낼 수 있다라는 結論을 얻을 수 있다.

<表 5> K_i 의 統計分析 結果

SAS UNIVARIATE PROCEDURE

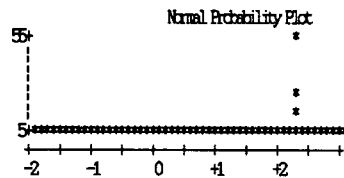
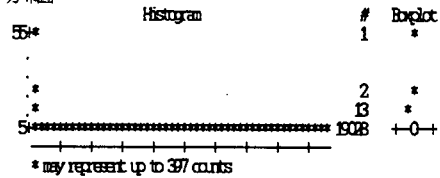
① 基礎統計值

Moments			
N	19044	Sum Wgts	19044
Mean	0.884914	Sum	16862.3
Std Dev	1.035325	Variance	1.200176
Skewness	11.05046	Kurtosis	411.8637
USS	37767.78	CSS	22854.95
CV	123.8002	Std Mean	0.007999
T-Mean=0	111.4699	Prob> T	0.0
Sign Rank	69418038	Prob> S	0.0
Num ^=0	16653		
D:Normal	0.209616	Prob>D	<.01

② 百分位數

Quantiles(Def=5)			
100% Max	57.109	99%	4.601
75% Q3	1.188	95%	2.514
50% Med	0.64	90%	1.898
25% Q1	0.255	10%	0
0% Min	0	5%	0
		1%	0
Range	57.109		
Q3-Q1	0.933(25%에서 75%내의 자료범위)		
Mode	0		

③ 分布圖



① 基礎統計值

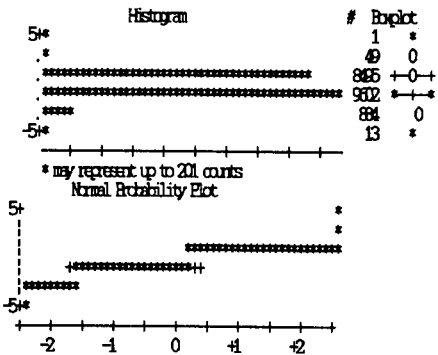
SAS UNIVARIATE PROCEDURE

Moments			
N	19044	Sum Wgts	19044
Mean	-0.32945	Sum	-6273.96
Std Dev	0.879968	Variance	0.774327
Skewness	-0.65956	Kurtosis	1.097315
USS	16812.44	CSS	14745.5
CV	-267.103	Std Mean	0.006377
T-Mean=0	-51.6665	Prob> T	0.0
Sign Rank	-2.85187	Prob> S	0.0
Num ^=0	16654		
D:Normal	0.095752	Prob>D	<.01

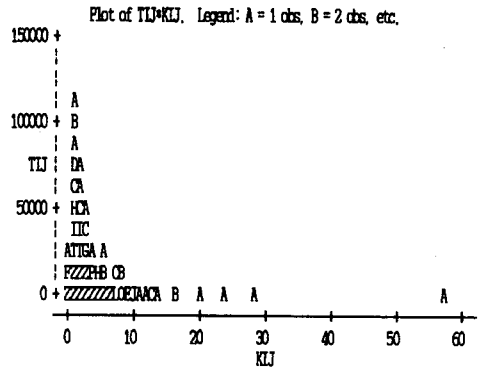
② 百分位數

Quantiles(Def=5)			
100% Max	4.044962	99%	1.526274
75% Q3	0.172271	95%	0.921875
50% Med	-0.12217	90%	0.640801
25% Q1	-0.81193	10%	-1.51413
0% Min	-4.96185	5%	-1.96511
		1%	-2.8647
Range	9.006807		
Q3-Q1	0.984202		
Mode	0		

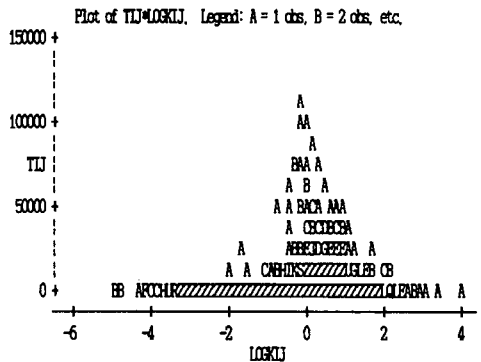
③ 分布圖



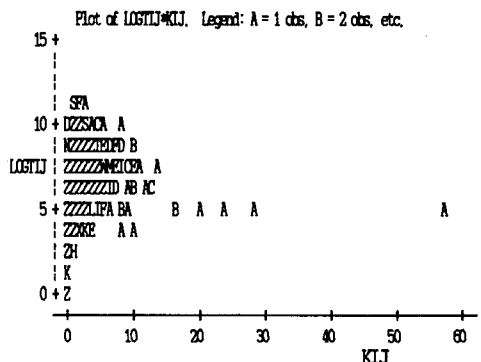
마지막으로 사회경제적계수와 O/D통행량의 관계를 분석하였는데, 이런 關係를 分析할 수 있는 方法으로는 散布圖(Scatter plot)를 그려보는 것등이 있다.¹⁵⁾²⁰⁾ 本 研究에서는 T_{ij} 와 K_{ij} , T_{ij} 와 $\text{Log}K_{ij}$, $\text{Log}T_{ij}$ 와 K_{ij} , $\text{Log}T_{ij}$ 와 $\text{Log}K_{ij}$ 로 區分하여 산포도를 그려보았는데, 이에 대한 結果(그림 9)~(그림 12)과 같으며 여기서 T_{ij} 와 K_{ij} 의 關係는 指數型分布를 나타내고 있음을 알 수 있었으며 T_{ij} 와 $\text{Log}K_{ij}$ 는 正規型, $\text{Log}T_{ij}$ 와 K_{ij} 는 $\text{Log}K_{ij}$ 에 대해 正規型, $\text{Log}T_{ij}$ 와 $\text{Log}K_{ij}$ 는 一般線型으로 나타나고 있다. 여기서 한쪽에 對數(Log)를 취했을때는 散布圖가 正規型으로 나타나고 있는 점을 생각할 수 있는데 이는 通行量과 K_{ij} 의 關係가 對數-正規分布임을 알 수 있고 또한 양쪽에 對數를 취했을때는 一般線型으로 解析이 可能함을 알 수 있다. 따라서 이 분석에서도 K_{ij} 는 對數(Log)를 취해 $\text{Log}K_{ij}$ 로 다루어야 함을 알 수 있고 通行量과 K_{ij} 의 關係는 對數-正規分布로 이루어져 있음을 알 수 있었다.



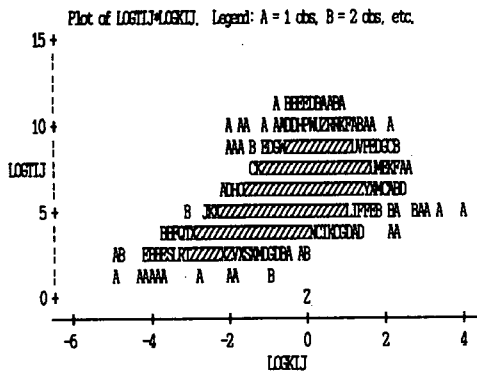
(그림 9) T_{ij} 와 K_{ij} 散布圖



(그림 10) T_{ij} 와 $\text{Log}K_{ij}$ 散布圖



(그림 11) $\text{Log}T_{ij}$ 와 K_{ij} 散布圖



(그림 12) $\text{Log}T_i$ 와 $\text{Log}K_i$ 散布圖

또한 O/D통행량 크기에 따른 사회경제적의 계수(K_i)의 특성을 분석하였다. 각각의 분류에 해당되는 K_i 의 값들의 최대값, 최소값, 평균값, 표준편차를 구하였는데, 여기서 0(Zero) Cell은 제외하였다. 이에 대한 결과는 다음<表 7>과 같다.

<表 7> 통행량(T_i)크기에 따른 사회경제적의 계수(K_i)

통행량크기	Cell수	Minimum	Maximum	Mean	SD
1,000 未滿	12,286	0.00689	57.10882	0.80245	1.03065
1,000~5,000	3,651	0.13331	13.28203	1.57095	1.14755
5,000~10,000	459	0.16232	7.69606	1.74452	1.04019
10,000~20,000	178	0.14517	8.58179	1.80928	1.20987
20,000~50,000	70	0.17759	5.51657	1.66112	0.78381
50,000 100,000	17	0.62315	1.60102	1.00404	0.28049
100,000 以上	2	0.82379	0.86910	0.84644	0.03208
全 體	16,663	0.00689	57.10882	1.01136	1.11525

주: "0" Cell除外

위 표에서 통행량이 많은 지역은 K_i 값이 1에 近似하며, 통행량이 적은 지역은 K_i 가 1을 中心으로 넓게 分布하고 있음을 알 수 있다. 이는 重力模型이 통행량이 많은 지역은 實際의 경우와 類似하게 推定될 수 있지만 그렇지 못한 경우는 偏倚가 生기고 있다는 것을 나타낸다. 또한 각 Zone쌍間 "0" Cell를 제외한 K_i 값의 平均이 1.011로 1을 中心으로 分布하고 있음을 알 수 있다.

V. 結 論

本 研究에서는 通行分布模型으로써 重力模型의 推定能力을 提高시키기 위해 서울시를 對象으로 1990年 觀測 O/D通行量을 通行分布模型中 BPR의 一般化된 重力模型에 適用하여 模型의 適合性을 檢證하였다. 그 結果 適合한 通行抵抗函數式을 導出하였으며, 社會經濟的係數 算定 및 特性分析을 통해 社會經濟的係數와 通行量과의 關係를 糾明하였다. 結果를 要約하면 다음과 같다.

첫째, 重力模型 整算結果는 다음과 같다.

A Type $F_i = 1445.5 \exp(-0.14022I_i)$

$$R^2 = 0.9295$$

B Type $F_i = 432418.9I_i^{-2.17324} \exp(-0.03068I_i)$

$$R^2 = 0.9339$$

둘째, 通行길이分布의 觀測值와 推定值 比較한 結果, A Type의 通行抵抗函數가 서울시의 상황에 보다 適合하였다.

세째, 社會經濟的係數 算定結果, "0" Cell제외할 경우 K_i 가 1을 中心으로 分布하고 있음을 알 수 있었으며 그범위가 0.006~57.10으로 퍼져 있으며, "0" Cell을 포함할 경우 平均値가 0.88이고 大部分이 0.255~1.188의 값으로 密集되어 있었다. 또한 社會經濟的係數 K_i 는 對數-正規分布(Log-Normal Distribution)를 보임으로써, K_i 는 그 自體 보다는 $\text{Log}K_i$ 로 다루어져야 한다는 結論을 얻었다.

네째, 通行량이 많은 지역은 K_i 가 1에 近사하고 通行량이 적은 지역은 1을 中心으로 넓게 分布하고 있음을 알 수 있었다. 이는 서울特別市의 경우 重力模型을 適用할 때 各 Zone雙間 通行량이 많은 지역은 實際에 경우와 類似하게 推定될 수 있지만 그렇지 않은 경우는 偏倚가 生기고 있다는 사실을 의미한다.

一般化된 重力模型으로 通行分布量을 推定함

에 있어서 推定力을 향상시키기 위해서는 各 Zone雙間調整係數 K_i 를 適用함이 바람직할 것으로 판단되지만 基準年度에 대해 추정된 K_i 값을 將來에도 그대로 적용하여 보정하는 데는 將來의 變化을 反映할 수 없다는 측면에서 문제를 내포하고 있다.

이의 극복을 위해 社會經濟的係數를 說明할 수 있는 變數를 選定하여 函數式으로 定立하고자 한 바, 變數로 各 Zone別 土地利用度(用途別 延面積比率), 所得水準, 自動車保有率을 사용하여 K_i 의 任聖彬(1981年)模型(多衆回歸分析方法)에 의해 糾明하고자 하였지만 이 係數를 說明할 수 있는 全體的인 函數式的 統計的인 값은 有意하였으나 이것 만으로는 說明力이 不足하다는 한계를 여전히 露程하고 있다.

參 考 文 獻

- 1) Wilson A.G., "Urban and Reginal Models in Geography and Planning", John Willy & Sons, Inc., Bristol, Great Britain, 1974
- 2) FHWA, U.S.DOT. "PLANPAC/BACKPAC-GENERAL INFORMATION", U.S.DOT., Washington, D.C., U.S.A., 1977
- 3) FHWA, U.S.DOT., "Calibration & Testing a GRAVITY MODEL for Any Size Urban Area", 1983
- 4) Alastair Dick & Assorciates, "Alternative constraint procedures for predictive TRIP DISTRIBUTION MODELS", Gravel Hill, Leatherhead, Surrey, 1977
- 5) S.R. Wilson, "Statistical Notes on the Evaluation of Calbrated GRAVITY MODELS", T.R. p343 - 345, 1976
- 6) C. Fisk and G.R. Brown, "The role of Model Parameters in trip distribution Models", T.R. p143 - 148, 1975
- 7) Frank J. Cesario, "Least-Squares Estimation of Trip Distribution Prameters", T.R. p13 - 18, 1974
- 8) A.S. Maclean, "Maximum Likelihood and the Gravity Model", T.R. p287-297, 1976
- 9) D.P. Smith & B.G. Hutchinson, "Goodness of Fit Statistics for Trip Distribution Models", T.R. p295 - 303, 1980
- 10) David E.A. Giles and Peter Hampton, "Interval estimation in the Calibration of Certain Trip Distribution Models", T.R. p203 - 219, 1980
- 11) Robert H. Gray and Ashish K. Sen, "Estimation Gravity Model Parameter; A Simplified Approach Based on the odds Ratio", T.R. p117 -134, 1982
- 12) Marion R. Poole and James T. Newnam, JR., "North Carolina Procedure for Systhsizing Travel Movements", Transportation Reserch Record, 1139. p28 - 38, 1987
- 13) James R. Mekemson and Kumares C. Sinha, "Development and Evaluation of a Synthetically Self-Calibrating Gravity Model", Transportation Reserch Report, 807. p15 - 20, 1981
- 14) 佐佐木 綱, "都市交通計劃", 國民科學社, 日本, 1990
- 15) 朴聖炫, "回歸分析", 民英社, 1990
- 16) 任聖彬, "分布交通量의 推定에 따르는 GRAVITY MODEL 適用에 關한 研究", 서울大學校 土木工學科, 碩士學位論文, 1970
- 17) 任聖彬, "交通需要 豫測에 있어서 社會經濟的 係數에 關한 研究", 서울大學校 土木工學科, 博士學位論文, 1981

- 18) 韓國交通問題研究院, “서울市 交通現況 調査”, 서울市, 1990
- 19) 任聖彬, “標本O/D調査資料의 合理的인 全數化 및 O/D合成 方案에 關한 研究”, 大韓交通學會誌, 通卷 5號, p37~58, 1986
- 20) “李必榮外1人, ”統計學의 理解”, 法文社, 1993
- 21) Ian Williams, “A Comparison of Some Calibration Techiques for Doubly Constrained Model with an Exponential Cost function”, T.R. p91 104,1976
- 22) P.J. Hathaway, “Trip distribution and disaggregation”, Environment and Planning, Vol.7. p71~97, 1975
- 23) 張德亨, “高速道路 通行의 遲滯函數와 通行抵抗파라메타의 敏感度 分析에 關한 研究”, 서울大學校 土木工學科, 博士學位論文,1993
- 24) 鄭天秀, “需要豫測結果의 評價基準 및 評價方法에 關한 研究”, 大韓交通學會誌, 通卷22號, P25~42, 1994