□論 文□

非線型計劃模型을 利用한 大衆交通料金構造評價

A Nonlinear Programming Model for Evaluating Public Transit Fare Structure

趙 重 來
(漢陽大學校 交通工學科, 敎授)

目 次

ABSTRACT

A nonlinear programming model for evaluating public transit fare system is proposed. The model finds transit fare level and the structure that maximizes gross fare−box revenue subject to constraints on minimum ridership and the form of the fare equations. It is assumed that the demand for transit is a function of fare and its own−fare elasticity. It is also assumed that the conditions including fare of the other modes are unchanged ; i.e., partial equilibrium..

Empirical study has been performed for the case of Seoul subway system. This study includes an analysis of fare structure ; flat fare system and distance−based fare system. Sensitivity and comperative static analysis for elasticity has been also demonstrated.

Ⅰ. 序 論

1970年代 중반이후 우리나라는 急激한 經濟成長과 이에 따른 國民所得水準의 向上으로 社會 각 部門에 있어 많은 變化를 經驗하고 있다. 交通은 都市 空間環境部門에 있어 이러한 變化가 가장 急激하게 進行되고 있는 部門중의 하나이다.

지난 4~5年동안, 自家用 乘用車의 急激한 增加는 우리나라 交通部門, 특히 都市交通部

門에 커다란 衝激을 가하고 있다. 버스, 地下鐵 등의 大衆交通手段에 비하여 相對的으로 輸送效率이 낮은 自家用 乘用車의 急激한 增加는 서울을 비롯한 우리나라 大都市의 路面交通與件을 急激히 惡化시키고 있으며, 이에 따른 交通事故와 交通公害는 중요한 社會問題로 擡頭되기에 이르렀다.

問題는 이와같이 自家用의 급격한 普及에 따라 路面交通需要가 繼續 增加하고 있는데 반하여, 地價의 上昇과 都市民의 權利意識이 강화되면서 施設物 供給側面에 있어 道路의 供給與件은 계속 惡化되어 가고 있다는 事實이다. 이것은 결국 道路 등 路面交通施設物의 供給擴大를 통하여는 우리나라 大都市 交通問題가 解決되기 어렵다는 것을 시사한다. 이렇게 볼 때 앞으로 都市交通問題의 관건은 大衆交通手段의 供給擴大와 合理的 運營與否에 달려있다해도 過言이 아닐 것이다.

英國, 프랑스 등 우리나라와 地理的 與件이 類似한 外國에서는 이미 십여년 전부터 大衆交通手段의 重要性을 認識하고 大衆交通手段의 供給方案과 더불어 그 運營方案에 대한 활발한 硏究가 進行되어 있는 바, 그중에서 가장 重點的인 硏究分野는 大衆交通의 料金體系에 관한 것과 大衆交通手段에 대한 政府 補助金政策에 관한 것이었다. 그 理由는 한편으로는 自家用 乘用車의 普及擴大에 따라 大衆交通의 需要가 급격히 減少됨으로써 大衆交通運營主體의 經營 惡化와 이로인한 大衆交通體系의 崩壞조짐이 나타나기 시작하였으며, 다른 한편으로는 自家用 增加로인한 交通難을 解決하기 위하여는 低廉한 料金構造를 계속 유지해 나가야 한다는 이중의 苦悶을 안고 있었기 때문이다.

특히, 막대한 初期 建設資本이 投入되어야 하는 地下鐵의 경우, 運營主體의 慢性的인 運營赤字問題는 매우 심각하다 하겠다. 이러한 理由로 인하여 地下鐵의 運營主體는 通常 運營費用의 節減과 地下鐵料金의 引上을 통하여 運營赤字問題를 解消하려 한다. 그러나, 一般的으로 地下鐵은 그 需要가 料金에 대하여 매우, 非彈力的인 限界交通手段이기 때문에(May-worm et al., 1980 ; Cervero, 1982 ; 조중래, 이현구, 1989) 料金을 引上함으로써 運營主體의 料金收益은 增大되나 地下鐵의 需要는 減少하게 되어 公共交通手段으로서의 機能을 低下시키게 된다. 이렇게 볼 때 料金收益(Revenue)의 增大와 地下鐵 利用者(Ridership)의 增大는 政策 立案者가 주어진 狀況하에서 選擇하여야 할 서로 다른 두가지 政策目標일 수 밖에 없을 것이다.

運營主體는 慢性的인 赤字로 허덕이고 있는 반면, 地下鐵 용량이 不足할 정도로 그 需要는 擴大되어 있는 現 서울의 地下鐵 實情을 考慮할 때, 現在의 서울시 地下鐵 體系에 있어 料金水準 및 그 構造와 關聯된 政策目標는 料金收益의 增大에 두는 것이 妥當할 것이다. 이러한 점에서 本 硏究는 地下鐵, 버스 등 大衆交通의 料金構造를 評價하기 위한 非線形計劃模型을 開發하고자 하는 것인 바, 본 모형에서는 政策的으로 決定되는 最低 利用客數의 制約條件 하에서 料金收益을 最大化하는 料金構造와 水準을 決定한다. 여기에서 다루는 料金構造는 均一料金制(Flat Fare System)과 距離比例料金制(Distance-Based Fare System) 등 두가지 이다. 한편, 이러한 最適化 問題에 대한 制約條件은 基本的으로 最低利用客 數에 관한 制約式 외에도 最高 및 最低 料金水準에 관한 制約式이 要求되고, 模型의 運用目的에 따라 여러가지 다른 形態의 制約式이 더해질 수 있다.

本 硏究에서는 이러한 模型開發과 더불어 開發된 模型을 실제 서울시의 地下鐵體系에 適用함으로써 效率的 料金構造가 어떠한 것인지 分析하고, 나아가 料金의 彈力性에 대한 感應度 分析(Sensitivity Analysis)을 수행한다.

II. 料金構造의 一般的 評價에 대한 檢討

大衆交通 料金構造에는 모든 驛間의 通行에

대하여 均一한 料金을 부과하는 均一料金制(Flat Fare System), 通行距離에 따라 料金을 賦課하는 距離比例制(Distance-based Fare System), 現在 서울시 地下鐵 區間에서 施行되고 있으며 全體 路線體系를 몇개의 區域으로 分轄하여 區域單位로 料金을 精算하는 區域制(Zone Fare system) 등이 있다[1]. 이러한 料金構造는 一般的으로 料金制度 運營上의 便利性에 관한 側面, 利用者에 대한 社會的 公正性에 관한 側面, 그리고 料金收益에 관한 效率性의 側面 등 크게 세가지 觀點에서 評價되고 있다[2]. 즉, 運營上의 便利性이나 料金收益에 관한 效率性의 觀點에서는 均一料金制가 距離比例制 보다 優越하며, 社會的 公正性의 側面에서는 距離比例制가 均一料金制보다 優越하다는 것이 一般的인 評價이다. 그러나 이 중에서 效率性 側面에서 均一料金制가 距離比例制 보다 優越하다는 判斷에는 몇가지 問題가 따른다.

大衆交通의 料金收益(Fare-Box Revenue)은 利用客 數와 料金의 곱으로 表現된다. 均一料金制의 경우 간단히 總 利用客數를 料金에 곱하면 總 收益(Gross Revenue)이 되나, 距離比例制의 경우 驛間 料金과 각 驛間의 利用客數를 곱한 것을 全體 驛間 O/D쌍에 대하여 合算한 것이 總 收益으로 表現된다. 한편 利用客 數는 料金에 대한 需要彈力性의 函數로 표현되는 바, 따라서 效率性 側面에서 均一料金制와 距離比例制에 대한 比較를 위하여는 料金에 대한 彈力性의 槪念-특히 通行距離에 따른 彈力性의 差異와 路線體系, 그리고 利用者의 通行 特性등이 考慮되어야 한다. 美國 CTA(Chicago Transit Authority)의 路線에 대한 料金構造 分析을 施行한 Daskin et, al.의 硏究結果에 의하면 料金에 대한 彈力性이 通行距離에 影響을 받지 않는 경우에는 均一料金制가 距離比例制보다 效率性의 側面에서 優越하지만 料金에 대한 彈力性이 通行距離에 따라 상이할 경우[3] 그반대 結果가 나타난다(Mark S. Daskin et al., 1988). 따라서 效率性의 側面에서 均一料金制가 距離比例制보다 優越하다고 하는 一般的인 評價에는 彈力性에 대한 分析이 缺如되어 있다고 할 수 있을 것이다.

以下에서는 料金構造에 대한 非線型計劃模型을 構築하고 이를 서울시 地下鐵 區間에 適用함으로써 效率性 側面에서의 均一料金制와 距離比例制를 比較, 檢討하기로 한다.

III. 模 型

1. 模型의 槪念

大衆交通 料金構造의 分析을 위한 非線形計劃模型의 核心은 目的函數(Objective Function)의 設定에 있다 하겠다. 本 硏究에 있어 사용될 수 있는 目的函數로는 크게 總 利用者 數를 最大化(Maximize Ridership)하는 方案과 總 料金收益을 最大化(Maximize Gross Fare-Box Revenue)하는 方案, 그리고 運營主體의 總 利潤을 最大化(Maximize Gross Profit)하는 方案 등 세가지가 있다. 그러나 總 利用者 數를 最大化할 경우, 만약 料金收益에 대한 制約條件이 없다면 그 해는 當然解(Trivial Solution)로서 最適料金(Optimal Fare)은 영이 되어야 한다는 結論에 到達하게 되며, 最低 料金收益이 制約條件으로 包含된다 하더라도 그 해는 最低 料金收益에 到達하는 선에서 구해지게 되어 最適化 問題(Optimization Problem)로서의 意味를 喪失하게 된다. 한편, 運營主體의 利潤을 最大化하기 위하여는 費用函數(Cost Function)을 導出해야 하는 어려움이 따르게 된다. 이러한 점에서 본 硏究에서는 總 料金收益을 最大化하는

1) 이외에도 均一料金制와 距離比例制를 混用하는 지대제와 地下鐵을 몇개의 區間으로 區分하여 각 區間을 料金算出의 單位로 하는 區間制 등이 있다.

2) 韓國交通問題硏究院, 서울시 地下鐵運營 輸送 計劃硏究, 1986, p. 314-320 參照.

3) 通行距離가 增加할수록 料金에 대한 需要彈力性이 減少하는 경우를 이야기 함.

接近方法을 採擇하는 바, 이는 앞에서도 言及되었듯이 현 서울시 地下鐵 運營現實을 考慮할 때 妥當한 目標設定이라 하겠다.

料金收益 最大化 模型을 使用함으로서 豫想될 수 있는 需要減少現象을 補完하기 위하여 需要의 最低水準을 制約條件(Constraint)으로 使用한다. 이와같이 料金收益 最大化 模型을 使用할 경우 그 目的函數의 形態는 다음과 같이 表現될 수 있다.

$$\text{Max} \sum\sum F_{ij} \cdot D_{ij}(F_{ij}, e_{ij}) \cdots\cdots 1)$$

여기에서 F_{ij} = i 역에서 j 역까지의 料金,

D_{ij} = i 역에서 j 역까지의 利用客數,

e_{ij} = i 역에서 j 역까지의 通行距離에 대한 料金 彈力性(Own-Fare Elasticity).

式 1)에서 均一料金制의 경우 F_{ij}는 모든 (i, j) 쌍에 대하여 同一한 값을 가지며, 距離比例制의 경우 F_{ij}는 通行距離에 關係없이 一定한 固定料金(Fixed Charge)과 通行距離에 따라 增加하는 距離割增料金(Mileage Charge)의 합으로 표현되게 된다. 즉,

$$F_{ij} = \alpha + \beta \cdot d_{ij} \cdots\cdots 2)$$

여기에서, α = 固定料金

β = 距離割增 料金

d_{ij} = i 역에서 j 역까지의 거리

한편, 本 模型에 있어서의 制約條件으로는 앞에서 言及된 需要의 最低水準에 관한 것 이외에 現實的 與件을 勘案하여 料金의 最大値와 最少值, 그리고 距離比例制의 경우 固定料金과 距離割增料金 각각에 대한 最大値와 最少値가 制約條件으로 包含될 수 있다. 이를 式으로 표현하면,

$$\sum_i\sum_j D_{ij} \geqq D^0 \cdot R \cdots\cdots (3.1)$$

$$\text{Min}\{F_{ij}, \forall(i, j)\} \geqq F^l \cdots\cdots (3.2)$$

$$\text{Max}\{F_{ij}, \forall(i, j)\} \leqq F^u \cdots\cdots (3.3)$$

$$\alpha^l \leqq \alpha \leqq \alpha^u \cdots\cdots (3.4)$$

$$\beta^l \leqq \beta \leqq \beta^u \cdots\cdots (3.5)$$

여기에서, D^0 = 現 料金體系下에서의 總 利用客 數,

R = 許容可能한 最低需要水準率(現在의 總 利用客 數(D^0)에 대한 料金構造 變化후의 總 利用客 數의 比率),

F^l, F^u = 許容 可能한 最低料金 水準 및 最大 料金水準,

α^l, α^u = 許容 可能한 最低 固定料金 및 最大 固定料金,

β^l, β^u = 許容 可能한 最低 距離割增 料金 및 最大 距離割增 料金.

料金構造 分析을 위한 本 模型의 模型 構成상의 核心은 式 (3.5)에 있다. 즉, 式 2)의 料金函數(Fare Function)에 있어 만약 $\beta^u = 0$일 경우, 料金構造는 均一料金制가 된다. 따라서, 制約式 (3.5)에서 $\beta^l = \beta^u = 0$을 使用하면 全體의 模型은 均一料金模型이 되며, 반면에 $\beta^l < \beta^u$가 되게 β^l과 β^u를 策定하면 全體의 模型은 距離比例 模型이 된다. 이와같이 本 模型은 制約式 (3.5)에 包含된 두개의 外生變數만을 調節함으로써 두가지 料金構造를 同時에 分析할 수 있는 長點을 지닌다.

2. 模型의 定立

式 1)에서 料金函數 F_{ij}를 위하여는 式 2)를 그대로 適用한다. 問題는 需要函數 D_{ij}로서 本 硏究에서는 式 1)에 표현된 바와같이 料金에 대한 需要彈力性 函數로부터 大衆交通의 需要函數를 導出한다. 理論的인 料金 彈力性은 點 彈力性(Point Elasticity)으로 아래와 같이 표현된다.

$$e = (\partial D/\partial F) \cdot (F/D) \cdots\cdots 4)$$

여기에서 D는 利用客 數, F는 料金을 가리킨다. 그러나 點 彈力性을 구하기 위하여는 大衆交通 利用者의 限界效用函數(Marginal Utility Function)이 요구된다. 이러한 技術的 어려움을 克服하기 위하여 使用되고 있는

것이 料金이 變化하기 전과 후의 利用客 數를 관찰하여 그것을 利用하여 料金에 대한 需要 彈力性을 구하는 方法이다. 이와같은 近似 彈力性(Approximated Elasticity)을 구하는 데에는 크게 세가지 方法이 있는 바, 그것을 要約하면 다음과 같다.

i) 線型 彈力性(Line Elasticity : e_l)

$$e_l = \left(\frac{D-D_0}{D_0}\right) \Big/ \left(\frac{F-F_0}{F_0}\right) \cdots\cdots \quad (5.1)$$

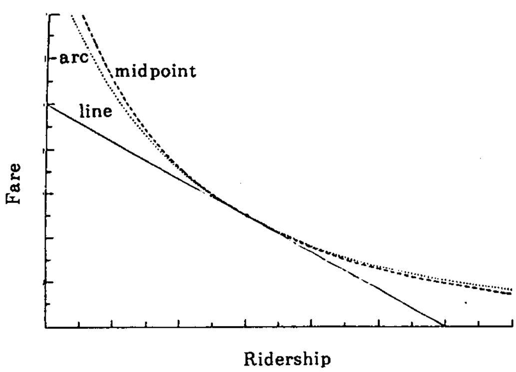
ii) 中點 彈力性(Midpoint Elasticity : e_m)

$$e_m = \left[\frac{D-D_0}{0.5(D+D_0)}\right] \Big/ \left[\frac{F-F_0}{0.5(F+F_0)}\right] \cdots\cdots (5.2)$$

iii) 弧型 彈力性(Arc Elasticity : e_a)

$$e_a = (\log D - \log D_0) / (\log F - \log F_0) \cdots \quad (5.3)$$

式 (5.1), (5.2) 그리고 (5.3)에서, D_0와 F_0는 각각 요금이 변하기 전의 利用客 數와 料金을 나타내며, D와 F는 料金이 변한 후의 利用客 數와 料金을 가리킨다.



〈그림 1〉 近似彈力性의 比較

이제 料金에 대한 需要彈力性이 e로 주어졌다(Given)고 假定하면, 식(5.1), (5.2), (5.3)을 利用하여 각각의 近似 彈力性에 대한 需要函數를 導出할 수 있다. 이중 線型 彈力性과 弧型 彈力性에 대한 需要函數는 각각 다음과 같이 표현된다.

$$D_l = D_0 \left[1 + e\frac{F-F_0}{F_0}\right] \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (6.1)$$

$$D_a = K \cdot F^e, \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (6.2)$$

여기에서 D_l, D_a = 線型 및 弧型 彈力性에 대한 需要函數,

$K = D_0 \cdot F_0^{-e}$로 표현되는 상수

〈그림 1〉은 이러한 세가지 近似 彈力性에 대한 需要函數를 나타낸 것이다.

式 (6.1)과 (6.2)에서 보듯이 線型 彈力性에 대한 需要函數는 線型函數로, 弧型 彈力性에 대한 需要函數는 指數函數로 표현된다. 最近에 Daskin et al.은 線型 彈力性에 대한 線型需要函數를 利用하여 大衆交通料金구조 分析을 위한 2次計劃模形(Quadratic Programming Model)을 開發한 바 있다(Mark S. Daskin et al., 1988). 그러나 Frenkena (1978), Kemp(1974), McFadden(1974), Nelson(1972), Schmenner(1976)등은 그들의 經驗的 硏究를 통하여 料金과 需要사이에는 大數線型關係(Log-linear Relationships)가 存在하며, 따라서 料金에 대한 需要彈力性은 中點彈力性이나 弧型 彈力性이 線型 彈力性보다 現實을 더욱 잘 反映한다고 지적한 바 있다(Cervero, 1982).

本 硏究에서는 弧型 彈力性으로부터 導出된 指數 需要函數를 利用하여 料金 收益函數(Revenue Function)을 導出한다. 이를 위하여 式 2)를 式 6)에 대입하여 각각의 O/D 짝에 대한 需要函數를 구하면 다음과 같다.

$$D_{ij} = K_{ij}(\alpha + \beta d_{ij})^{e_{ij}} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad 7)$$

여기에서, D_{ij} = i 역에서 j 역까지의 通行者 數,

e_{ij} = 式 1)에서 정의된 바와 같음

$K_{ij} = D^0_{ij}[F^0_{ij}]^{-e_{ij}}$,

d_{ij} = i역에서 j까지의 距離.

이제 式 7)과 式 2)를 곱하여 i 역에서 j 역까지의 通行者에 대한 料金收益, R_{ij}를 구하면 다음과 같다.

$$R_{ij}=K_{ij}(\alpha+\beta d_{ij})^{1+e_{ij}} \quad \cdots\cdots 8)$$

앞에서도 言及된 바와같이 大衆交通의 料金에 대한 需要는 매우 非 彈力的인 바, 式 8)에서 모든 (i, j)쌍에 대하여

$$-1<e_{ij}<0, \forall(i, j) \quad \cdots\cdots 9)$$

을 假定할 수 있다. 따라서 式 8)에서 모든 (i, j)쌍에 대하여 $0<1+e_{ij}<1$이 成立한다.

이제 式 8)을 통하여 본 模型의 目的函數를 구하면,

$$\underset{\{\alpha,\beta\}}{\mathrm{Max}} \sum_i\sum_j R_{ij}=\sum_i\sum_j K_{ij}(\alpha+\beta d_{ij})^{1+e_{ij}} \quad \cdots\cdots 10)$$

이 된다. 한편 式 8)의 料金收益函數에 대한 Hessian Matrix를 구하면, 아래와 같다.

$$\frac{\partial^2 R_{ij}}{\partial\alpha^2}=K_{ij}e_{ij}(1+e_{ij})(\alpha+\beta_{ij}))^{e_{ij}-1} \quad (10.1)$$

$$\frac{\partial^2 R_{ij}}{\partial\beta^2}=K_{ij}e_{ij}(1+e_{ij})d^2_{ij}(\alpha+\beta d_{ij}),^{e_{ij}-1} \quad (10.2)$$

$$\frac{\partial^2 R_{ij}}{\partial\alpha\cdot\partial\beta}=K_{ij}e_{ij}(1+e_{ij})d_{ij}(\alpha+\beta d_{ij}).^{e_{ij}-1} \quad (10.3)$$

式 9)에서 $-1<e_{ij}<0$로 가정되었기 때문에 式 (10.1), (10.2), (10.3)에서

$$\frac{\partial^2 R_{ij}}{\partial\alpha^2}<0, \quad (11.1)$$

$$\frac{\partial^2 R_{ij}}{\partial\alpha^2}\cdot\frac{\partial^2 R_{ij}}{\partial\beta^2}-\left[\frac{\partial^2 R_{ij}}{\partial\alpha\cdot\partial\beta}\right]^2=0 \quad (11.2)$$

가 된다. 式 (11.1)과 (11.2)는 R_{ij}의 Hessian Matrix가 Negative Definite임을 의미하며 따라서, R_{ij} 가 볼록함수(Concave Function)임을 가리킨다. 총 요금수익(Gross Revenue)은 각(i, j)짝에 대한 R_{ij}의 합으로 표현되므로 식 10)의 目的函數 역시 볼록함수가 된다. 따라서 본 모형의 모든 制約式이 線型函數로 표현될 경우 본 모형은 Conex Programming Problem이 되어 一般均一解(Unique Grobal Solution)을 갖는다.

式 (3.1)부터 (3.5)에 표현되어 있듯이 본 모형은 7개의 제약식을 갖는다. 식 (3.1)의 需要函數 D_{ij}를 위하여는 目的函數에 사용된 需要函數 式 7)이 使用되어야 한다. 그러나 이 경우 최적해의 存在與否와 해의 均一性問題가 發生하게 된다. 이러한 점을 극복하기 위하여 본 모형에서는 式(3.1)의 制約條件式을 위한 需要函數로는 線型 彈力性으로 부터 導出된 線型需要函數－式(6.1)을 이용한다.

한편 식 2)을 利用하여 制約式 (3.2)와 (3.3)을 다시 정리하면,

$$\mathrm{Min}\{F_{ij}, \forall(i, j)\}=\alpha+\beta(d_{min}), \quad \cdots\cdots(12.1)$$

$$\mathrm{Max}\{F_{ij}, \forall(i, j)\}=\alpha+\beta(d_{max}), \quad \cdots\cdots(12.2)$$

가 된다. 여기에서,

$$d_{min}=\mathrm{Min}\{d_{ij}, \forall(i, j)\}, \quad \cdots\cdots(13.1)$$

$$d_{max}=\mathrm{Max}\{d_{ij}, \forall(i, j)\}, \quad \cdots\cdots(13.2)$$

로 표현되어 d_{min}과 d_{max}는 역간 거리중 最少距離와 最大距離를 각각 意味한다.

以上에서 얻어진 結果를 종합하여 본 模型의 最終的인 形態를 정리하면 다음과 같다.

$$\underset{\{\alpha,\beta\}}{\mathrm{Max}} \sum_i\sum_j K_{ij}(\alpha+\beta d_{ij})^{1+e_{ij}}$$

subject to

$$① \sum_i\sum_j\left\{\frac{(D^0_{ij}e_{ij})\alpha+(D^0_{ij}e_{ij}d_{ij})\beta}{F^0_{ij}}\right\} \geq \sum_i\sum_j(R+e_{ij}-1)D^0_{ij},$$

$$② \ \alpha+\beta(d_{min})\geq F^l$$

$$③ \ \alpha+\beta(d_{max})\leq F^u$$

$$④ \ \alpha \geq \alpha^l$$

$$⑤ \ \alpha \leq \alpha^u$$

$$⑥ \ \beta \geq \beta^l$$

$$⑦ \ \beta \leq \beta^u,$$

여기에서 R, F^l, F^u, α^l, α^u, β^l, β^u는 식(3.1)부터 (3.5)까지에서 정의된 바와 같다. 마지막으로 만약 需要彈力性이 通行距離에 影響을 받는다고 가정할 경우, 본 모형에서 彈力性 變數 e_{ij}는 다음과 같이 置換될 수 있다.

$$e_{ij}=\delta\cdot d^{\phi}_{ij}, \ \forall(i, j) \quad \cdots\cdots 14)$$

여기에서 $\delta<0$, $\phi\leq 0$. 만약 $\phi=0$이면 모든 (i, j)짝에 대하여 $e_{ij}=\delta$가 되며, $\phi<0$일 경우 通行距離가 增加할수록 需要彈力性은 減少한다는 것을 意味한다. 〈表 1〉은 여러가지 形態의 모형운용을 위하여 요구되는 외생변수 β^l, β^u, ϕ의 條件을 要約한 것이다.

〈表 1〉 模型運用에 따른 β^l, β^u, ϕ의 條件

彈力性 \ 料金構造	均一料金制	距離比例制
通行距離에 無關할 경우	$\beta^l=\beta^u=0$ $\phi=0$	$\beta^l<\beta^u$ $\phi=0$
通行距離의 增加에 따라 減少할 경우	$\beta^l=\beta^u=0$ $\phi<0$	$\beta^l<\beta^u$ $\phi<0$

Ⅳ. 事例硏究

1. 適用範圍

本 模型을 適用하기 위한 對象으로는 서울시의 地下鐵 區間을 選定하였다. 서울시의 地下鐵 區間의 總 驛數는 102개로서 이중 資料의 未備關係로 3號線의 충무역은 除外하였으며, 또한 도착역은 충무역을 제외한 3호선의 역으로 限定하였다. 따라서 本 硏究에서는 총 101개의 出發驛과 22개의 到着驛을 分析對象으로 하였다.

2. 資料源 및 資料의 特性

本 模型을 運用하기 위하여 必要한 資料로는 다음과 같은 것들이 있다.

(D.1) 101×22의 現 料金構造 하에서의 地下鐵 驛間 通行 O/D表

(D.2) 101×22의 地下鐵 驛間 距離 O/D 表

(D.3) 101×22의 現 料金構造 하에서의 地下鐵 驛間 料金表

(D.4) 地下鐵 料金에 대한 需要의 直接彈力性

(D.1)은 1987年度의 地下鐵 公社 一日運營報告 電算資料를 使用하였으며[4], (D.2)는 각 驛間의 通行者가 가능한 地下鐵 路線중 驛間 最短距離路線(Minimum Path)을 利用한다는 假定하에 現 地下鐵 路線圖를 利用하여 作成하였다[5]. (D.3)는 各 역이 속해있는 區域과 區域間 料金表를 利用하여 作成되었다. (D.4)에 대해서는 현 우리나라 地下鐵의 料金彈力性에 대한 資料가 충분치 않아, 模型의 運用過程에서 彈力性의 變化에 대한 感應度 分析을 實施하였다.

위의 資料 이외에 政策的 外生變數로 入力되는 R, α^l, α^u, β^l, β^u, δ, ϕ는 아래에 나타난 바와 같은 값들을 使用하였다.

R = 0.8, 0.9, 1.0

$F^l=100$, $F^u=600$

$\alpha^l=100$, $\alpha^u=600$

$\beta^l=0$, $\beta^u=\begin{cases}0 \ (\text{均一料金制}) \\ 100(\text{距離比例制})\end{cases}$

e = −0.1부터 −1.0까지 0.1씩 감소(10개)

$\delta=-1$

$\phi=0.0$부터 −1.0까지 0.1씩 감소(11개).

〈表 2〉는 本 硏究에서 사용된 資料의 特性을 나타내는 것으로 現行 料金構造하에서 101개 出發驛과 22개 到着驛間의 總 利用客 數는 약 28만명이며 이에 따른 料金收益은 약 6천만원 가량으로 1通行當 平均料金은 211원 정도이다. 또한 總 利用客중 약 60% 정도는 5~15㎞정

〈表 2〉 資料의 特性

總 利用客數	279,098(명)	
總 料金收益	58,940(천원)	
	총 101개出發驛중	총 22개 到着驛중
1구역 역수(%)	50(49.5)	9(40.9)
2 〃 〃	8(7.9)	0(0.0)
3 〃 〃	24(23.8)	7(31.8)
4 〃 〃	13(12.9)	0(0.0)
5 〃 〃	6(5.9)	6(27.3)
	通行距離 分布(千名 : %)	
0~ 2㎞	15.5(6.6)	
2~ 5	46.7(16.7)	
5~10	83.2(29.8)	
10~15	81.8(29.3)	
15~20	38.0(13.6)	
20~25	11.6(4.2)	
25~30	2.2(0.8)	

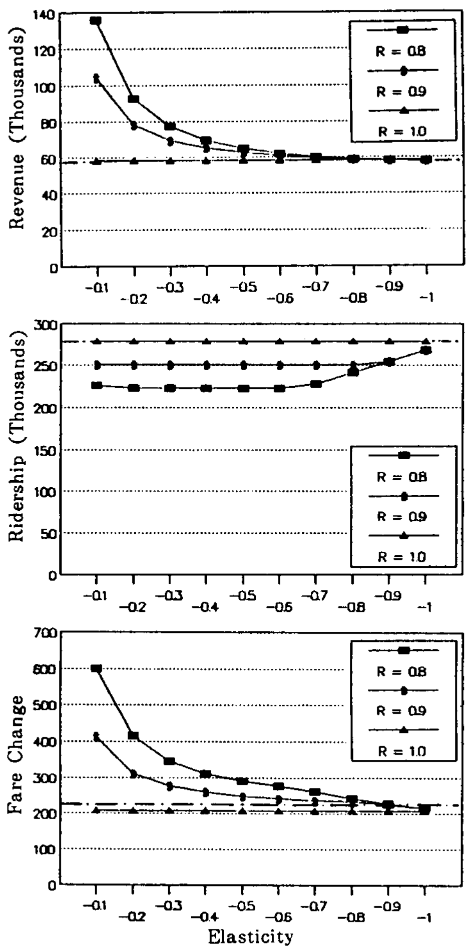
4) 1987년 6월 18일의 24시간 地下鐵 通行量 集計表.
5) 단, 환승에 대한 Penalty는 고려치 않았음.

도의 距離를 通行하고 있다.

3. 分析結果

가. 彈力性이 通行距離에 關係없이 일정 할 경우(Distance-Independent Elasticity Case : DIE)

DIE의 경우에 대한 均一料金制와 距離比例의 料金構造에 대한 比較分析은 〈그림 2〉부터 〈그림 5〉까지에 나타나 있는 바, 그림에서의 일점쇄선은 現況値들을 나타낸 것이다. 結果를 要約하면 다음과 같다.



〈그림 2〉 Distance-Independent Elasticity 의 경우 均一料金制에서의 料金收益, 利用客數, 最適 料金水準.

(R1) 均一料金制에 있어 最低 需要水準이 낮을수록 料金收益은 增大되며, 이러한 傾向은 料金에 대한 需要彈力性이 낮을수록 더욱 顯著하게 나타난다. 그리고 政策的으로 需要의 減少가 전혀 許容되지 않을 경우 料金收益은 彈力性과 無關하며, 그 水準은 現在의 料金收益과 同一하다〔〈그림 2.a〉 參照〕. 이것은 〈그림 2.b〉 및 〈그림 2.c〉에서 보여지듯이 最低需要水準이 낮을수록, 그리고 料金에 대하여 需要가 非 彈力的일수록 需要減少로 인한 料金收益의 減少效果보다 料金增加로 인한 收益增大效果가 더욱 강하게 나타나기 때문이다.

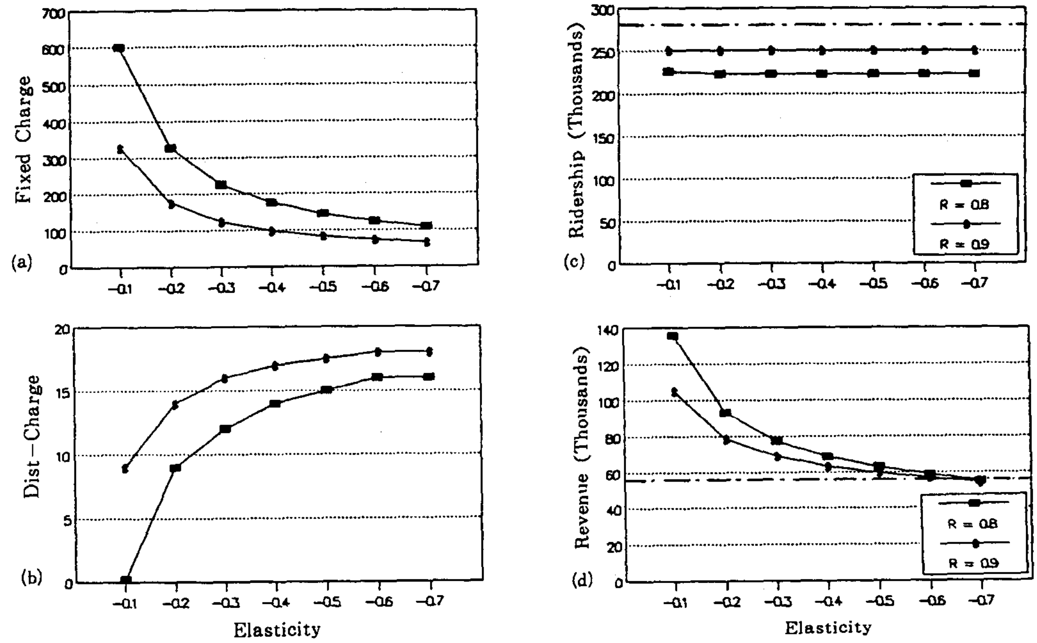
(R3) 均一料金制의 경우 需要가 料金에 대하여 非彈力的일 수록, 그리고 最低需要水準이 낮을수록 最適 料金水準은 增加한다〔〈그림 2.c〉 參照〕.

(R4) 距離比例制의 경우 最適固定料金은 需要가 料金에 대하여 非 彈力的일수록, 그리고 要求되는 最低需要水準이 낮을수록 增加되나, 距離割增料金은 그 反對現象-즉, 需要가 料金에 대하여 彈力的일수록, 그리고 最低需要水準이 높을수록 增大된다. 彈力性 및 最低需要水準의 變化에 대한 이와같은 相反되는 두가지 效果중 固定費用의 效果가 더 강하게 나타나는 바, 그것은 DIE의 特性 때문이다. 따라서 距離比例制의 경우 全體的인 料金水準은 需要가 料金에 대하여 非 彈力的일 수록, 그리고 要求되는 最低需要水準이 낮을 수록 더욱 增加한다〔〈그림 3.a〉 및 〈그림 3.b〉 參照〕.

(R5) 距離比例制의 경우 彈力性과 利用者數 사이에는 거의 相關關係가 存在하지 않는다〔〈그림 3.c〉 參照〕.

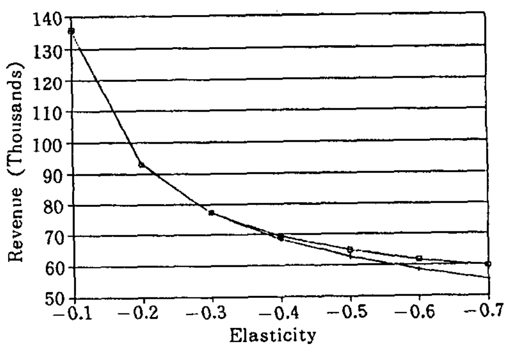
(R6) (R4)와 (R5)로 부터 距離比例制의 경우 需要가 料金에 대하여 非 彈力的일수록, 그리고 要求되는 最低 需要水準이 낮을 수록 料金收益은 增大된다는 結論을 導出할 수 있는 바, 그것은 〈그림 3.d〉에 나타난 바와 같다.

(R7) DIE의 경우 彈力性에 關係없이 均一料金制 하에서의 料金收益이 距離比例制 하에서의 料金收益보다 항상 많으며 따라서 DIE

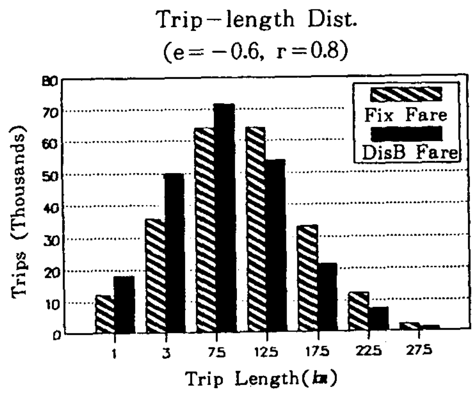


〈그림 3〉 Distance-Independent Elasticity의 경우 距離比例制에서의 料金收益, 利用客數, 最適 固定料金 및 距離割增料金

의 경우에 있어 均一料金制는 距離比例制에 대하여 效率性의 側面에서 優越하다(〈그림 4〉 參照). 그 理由는 〈그림 5〉에서 보여지는 바와같이 距離比例制 하에서는 均一料金制 하에서에 비하여 短距離 通行은 相對的으로 많은 반면, 長距離 通行은 적기 때문인 것으로 判斷된다.



〈그림 4〉 Distance-Independent Elasticity의 경우 均一料金制와 距離比例制의 料金收益比較(R=0.8).



〈그림 5〉 Distance-Independent Elasticity의 경우 均一料金制와 距離比例制의 料金構造下에서의 通行距離 分布比較

나. 通行距離에 따라 彈力性이 변할 경우(Distance-Dependent Elasticity : DDE).

DDE의 경우에 대한 均一料金制와 距離比

〈表 3〉 Distance−Dependent Elasticity의 경우 均一料金制와 距離比例制의 比較分析(R=0.8).

ϕ	料金收益(百萬원)			利用客 數(千名)			料 金 (원)		
	均一料金 (a)	距離比例 (b)	b−a	均一料金 (a)	距離比例 (b)	b−a	均一料金	距 離 比 例	
								固定料金	距離割增
−1.0	970	1,051	81	223	223	0	434	396	7
−0.9	904	991	87	223	223	0	405	356	8
−0.8	844	932	88	223	223	0	378	318	9
−0.7	789	874	85	223	223	0	354	281	11
−0.6	740	817	77	223	223	0	332	246	12
−0.5	697	760	63	223	223	0	312	213	13
−0.4	660	705	45	223	223	0	295	184	14
−0.3	627	649	22	223	223	0	281	155	15
−0.2	599	602	3	223	223	0	268	115	16

例制의 料金構造에 대한 比較分析은 〈表 3〉 및 〈表 4〉에 나타난 바와 같다. DIE의 경우와 동일한 特性을 나타내는 結果를 除外하고 DIE의 경우와 다른 特性을 나타내는 結果만을 정리해 보면 다음과 같다.

〈表 4〉 Distance-Dependent Elasticity의 경우 均一料金制와 距離比例制下에서 通行距離 比較分析(R=0.8)

(單位 : 百名)

통행거리 (km)	$\phi=-0.3$			$\phi=-0.5$		
	균일요금 (a)	거리비례 (b)	b−a	균일요금 (a)	거리비례 (b)	b−a
0−2	98	174	76	78	135	57
2−5	333	462	129	319	395	76
5−10	649	679	30	662	664	2
10−15	671	565	−106	692	625	−67
15−20	342	252	−90	346	297	−49
20−25	117	85	−32	114	98	−16
25−30	23	15	−8	22	18	−4

(R8) 〈表 3〉에서 보여지듯이 DDE하에서는 料金構造나 彈力性에 關係없이 需要는 要求되는 最低需要水準과 同一하다(단, 最低需要水準이 現在의 需要보다 작을 경우).

(R9) 〈表 3〉에서 보는 바와 같이 DDE하에서는 DIE의 경우와는 반대로 彈力性에 關係없이 距離比例制 하에서의 料金收益이 均一料金制 하에서의 料金收益보다 항상 많으며, 따라서 DDE의 경우, 距離比例制는 均一料金制에 대하여 效率性의 側面에서 優越하다. 그 理由는 〈表 4〉에서 보는 바와 같이 DDE 하에서도 DIE 하에서와 같이 距離比例制의 경우 均一料金制에 비하여 相對的으로 短距離通行이 많아지기는 하나 料金自體가 거리에 比例하는 特性을 지니고 있어 이 效果가 상쇄되기 때문인 것으로 判斷된다.

V. 結 論

本 硏究에서는 大衆交通의 料金構造중 均一料金制와 距離比例制를 比較, 分析하기 위해 非線型計劃 模型을 開發하였고, 이를 서울시 地下鐵에 適用함으로써 實證的 分析을 施行하였다. 實證分析을 통하여 얻어진 重要한 結果중의 하나는 지금까지의 料金構造에 대한 一般的 評價와는 달리 料金에 대한 需要彈力性이 通行距離와 無關할 경우 均一料金制가

距離比例制에 비하여 效率的이나, 需要彈力性이 通行距離에 따라 變化될 경우 距離比例制가 均一料金制에 비하여 效率的이라는 事實이다. 그러나 本 硏究結果를 우리의 現實에 그대로 適用하는 데에는 어려움이 따르는 바, 그것은 本 硏究에서는 需要彈力性에 대한 現實的 分析過程이 排除되어 있기 때문이며, 이것은 앞으로 繼續 硏究되어야 할 重要한 課題이다. 이외에도 繼續 硏究되어야 할 內容으로는,

i) 首都圈 全體의 地下鐵/電鐵 體系에 관한 料金構造 分析,
ii) 區域制에 대한 料金構造分析
iii) 버스와 地下鐵/電鐵의 連繫體系 하에서의 料金構造分析.
iv) 通行時間帶別 差等料金制(Time－of－day Fare Structure)에 대한 料金構造分析
v) 料金構造 分析에 있어서의 均衡性의 導入

등이 있다.

參 考 文 獻

1. 조중래, 이현구, "네스티드 로짓모형을 利用한 쇼핑通行 行態分析 硏究", 大韓交通學會誌, Vol 7., No.1, 1989.
2. 韓國交通問題硏究院, 서울시 地下鐵運營輸送計劃硏究, 1986.
3. Athertin T.J. and E.S. Eder, CBD Fare－Free Transit Service, Albany, New York, U.S.D.O.T., UMTA Report No. *UMTA－NA－06－0016－82－2*, 1981.
4. Ballou D.P. and L.Mohan, A Decision Model for Evaluating Transit Pricing Policies, *Trans. Res. A, 15*, 125－138, 1981.
5. Cervero R., Efficiency and Equity Impacts of Current Transit Fare Policies, *Trans. Res. Rec. 799*, 7－15, 1981.
6. Cervero R., Flat Versus Differentiated Transit Pricing : What is a Fair Fare ?, *Transportation, 10*, 211－232, 1981.
7. Daskin M., J. Schofer and A. Haghani, A Quadratio Programming Model for Designing and Evaluating Distance-Based and Zone Fare for Urban Transit, *Trans. Res. B, 22B*. 25－44, 1988.
8. Donnelly E., Preference Elasticities of Fare Changes by Demographic Groups, *Trans. Res. Rec. 589*, 30－32, 1975.
9. Frankena M., The Demand for Urban Bus Transit in Canada. *J. Trans. Econ. Policy*. 12, 280－303., 1978.
10. Grey A., *Urban Fare Policy*. Saxon House, Heath, Ltd. Westmead, England., 1975
11. Kemp M., What are we learning from experiences with reduced transit fares ? The Urban Institute, Washington, D.C., 1974.
12. McFadden B., The measurement of urban travel demand. *J. Public Econ.* 3, 303－328., 1974.
13. Nelson G., An econometric model of urban bus operation. Institute of Defense, Washington, D.C., 1972.
14. Schemenner R., The demand for urban bus transit : A route-by-route analysis. *J. Trans. Econ. and Policy*. 10, 168－86., 1976.