

□ 論 文 □

交通需要豫則과 街路網設計의 效率化

Toward the Efficient Integration of Travel Demand Analysis with Transportation Network Design Models

李 仁 遠 *

(弘益大 都市計劃學科 副教授)

目 次

- | | |
|---------------------------|-------------------|
| I. 序 論 | IV. 街路網設計의 效率化 方案 |
| II. 交通網設計와 交通需要豫測模型의 綜合考察 | V. 結 論 |
| III. 交通需要豫測作業의 效率性 | |

ABSTRACT

In recent years, significant advances have been made enabling travel demand analysis and network design methods to be used as increasingly realistic evaluation tools. What has been lacking is the integration of travel demand analysis with network design models. This paper reviews some of advanced (integrated) modeling approaches and presents future research directions of integrated modeling system.

To design urban transportation networks, it is argued that the travelers' free choice of mode, destination and route should be introduced into transportation network design procedure instead of assuming that trips from a zone to a workplace are fixed or deriving them in a normative procedure to achieve hypothetical system optima.

I. 序 論

現在 우리나라 都市街路들은 機能的 體系가 缺如된 채 巾員中心으로 (廣路 - 大路 - 中路 - 小路 等으로 區分) 設計되고 있다. 都市計劃圖面을 作成할 경우 高速道路 - 幹線道路 - 補助幹線道路 - 集分散道路 - 地區道路等과 같은 機能的 分類보다 優先하고 있는 이러한 巾員中心의 接近方式은 道路交通容量分析, 平均

運行速度 및 遲滯度分析, 機能別 街路體系의 效率分析 等を 무시한 非交通學者的 發想의 代表的 產物의 하나라 볼 수 있다. 그리고 土木學者들이 中心이 되어서 設計・建設되고 있는 都市交通시스템들도 正確한 需要豫測結果에 準하여서 路線의 位置가 比較 評價되고 시스템의 容量과 所要車線數가 決定되기보다는 時代に 뒤떨어진 簡便式에 依하여 處理되고 있는 實情이다.

* 本學會理事・交通計劃學博士

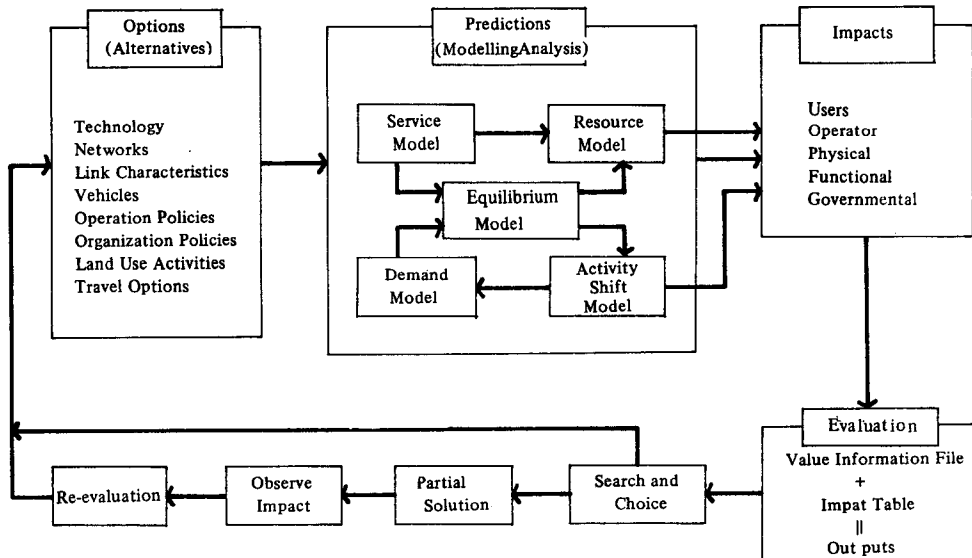
一年에 서울市民이 버스와 택시에 支拂하고 있는 交通費만도 1兆億원에 達하고 있으며 地下鐵 1個路線의 建設費만도 1兆億원에 內薄하고 있는 實情인데 交通「네트워크」의 體系的인 整備와 效率的인 設計研究, 그리고 科學的인 交通需要의 分析과 豫測에 우리가 너무나 인식해 왔다고 생각된다. 그간 잘 訓練된 專門家들이 不足하였고, 先進外國에서 開發· 定立된 方法論들을 우리나라에 直接 接木하기 에 어려움이 많았기 때문이라는 변명이 可能하였겠으나 交通學會가 創立된 이 視點에서 볼 때 더이상 구차스러운 변명이나 구실을 찾는 것이 어렵게 되었다. 이러한 座標認識下에서 筆者가 그동안 우리나라에 接木하려고 試圖하여 왔던 交通需要豫測方法論과 交通網 設計方案에 關한 몇가지 接近方法을 要約 整理해서 討論의 資料로 提供하고자 하며 앞으로 研究 座標設向과 方向提示에 寄與코져 한다.

本橋는 크게 3가지로 構成되어 있는데 첫

째 部分에서는 街路網設計와 交通需要豫測模型의 開發歷史와 發展過程을 綜合·檢討해 보았으며, 둘째 部分에서는 우리나라에 適用 가능한 效率的인 交通需要豫測方案을 定立·提示하였고, 셋째 部分에서는 街路網設計(Network Design) 方案을 最新의 傾向에 따라 方向設定하여 보았다. 交通需要豫測과 街路網設計를 하나로 묶어서 그 效率化方案을 檢討하여 본 것은 양자를 분리하여 다룸으로써 일어나는 方法上의 一貫性 缺如問題와 目的指向性 缺乏問題를 克服하여 보지는데 所以를 둔 때문이다.

II. 交通網設計와 交通需要豫測模型의 綜合考察

體系分析的인 方法에 따라 交通網을 設計하고 交通需要를 豫測하는 過程을 Manheim 教授는 <圖II-1>과 같이 例示하고 있다(17).



<圖 II - 1> 交通網設計 및 交通需要分析의 綜合過程

즉 代案(Options)을 만들고 交通需要를 模型으로 分析한 다음 (Modeling Analysis) 影響分析和 價值基準의인 評價段階를 거쳐서 다시 代案을 再檢討하는 典型的인 環流設計過程 (Feedback Design Process)을 推薦하고 있다. 이러한 方法의 長點으로서는 交通網設計의 客觀化와 交通需要豫測의 合理化를 들 수 있겠으며 環流設計過程에서 惹起될 수 있는 分析費用의 過多한 分析作業에 要하는 時間이 크게 增加한다는 點이 短點으로 指摘될 수 있다. 따라서 交通學者들은 交通需要豫測過程의 效率化와 함께 代案定立(Alternative Generation)過程의 效率化를 解決해야 하는 當面課題로 안고 있다고 볼 수 있겠는데 이에 關한 本論에 들어가기 앞서 우리의 現在 技術 開發狀況 (Present State-of-the Art)을 먼저 整理해 보기로 한다.

〈表Ⅱ-1〉은 傳統的인 交通需要豫測模型 (Aggregated-Macro)과 最近에 急激히 研究開發되고 있는 行態分析의 模型 (Disaggregated-Micro)을 Manheim 教授의 分類法

에 따라 代表的인 네가지 模型論으로 整理하여 본 것이다.¹⁾ 經濟學者, O·R 專攻人 等の 影響을 받아서 研究되어 왔던 效用函數極大化 方法論이 既存資料의 不備, 行態의인 可變性, 主要 影響指標의 計量性不足 또는 定性的인 면 등으로 因하여 決定論的인 模型方法에서 推計的 (Stochastic)인 模型方法으로 一次分離되었다고 볼 수 있다. 그러나 우리나라에서는 아직도 決定論的인 模型方法이 試圖되고 있는데 이들의 非成功의 事例를 연유로 模型의 無用論까지 대두될 形便에 있다.

특히 線型計劃法 (Linear Programming)을 利用하여 交通혼분로 (即, Deterministic Aggregated Approach) 交通需要를 分析하려 한적이 있었는바(38) 決定論的인 模型技法을 우리나라에 接木하려 할때 發生하는 問題點들을 잘몰랐던 所致였던것 같다. 目的函數의 任意性, 交通서비스變數와 交通需要變化關係의 非行態性 및 非彈力性 그리고 엄청나게 要求되는 資料要求를 充足시키지 못하는 點(Data

〈表Ⅱ-1〉 交通需要豫測模型의 四大分類

Approach Method / Modelling Techniques	Deterministic	Stochastic
Micro (Disaggregated)	Utility Maximization Consumer Behavior Model I (Classical Models)	Ignorance Maximization (Error Minimization) Consumer Behavior Model II (Logit Type Models)
Macro (Aggregated)	Objective Function Maximization (Linear Programming Models)	Maximum Likelihood Function Maximization (Joint Destination and Mode choice Models)

1) Manheim 教授의 分類를 가지고 適當한 既存模型을 代入해 본 것임.

Hungriness) 등이 앞으로 우리나라에 적합한 技法選定에 考慮되어야 할 事項들일 것이다. 다행히도 最近들어와서는 從前의 非行態의 이며 機械的인 模型論들이 漸次 去勢되기 始作하고 있으며 Fratar Method, Detroit Method, 그리고 簡便式에 依한 Modal Split Analysis 등이 서서히 「로-짓」 型態의 模型들(Logit Type Models)에 밀려날 것으로 보인다. 「로-짓」 型態의 模型을 우리나라에서 導入活用할 때 생각될 수 있는 理論上의 問題로는 美國에서와 같이 IAA(Independence from Irrelevant Alternatives)가 指摘될 수 있겠으나 여러가지로 그 克服이 可能할 뿐 아니라(36) 導入時 얻을 수 있는 長點이 큰 關係上 앞으로 流行의 活用이 期待된다 하겠다. 特히 通行距離를 基準으로 重力式模型(Gravity Model)의 파라메타를 決定하는 方法論(Distance Oriented Calibration Technique)이 實際適用時 많은 問題點을 내포하고 있음에 따라 交通宗別로 「로-짓」 型態의 確率模型을 開發하여 (Intervening - Opportunity Model 보다 理論적으로 훨씬 改良된 模型임. Wilson 教授論文(32) 參考) 重力模型을 改良코져 할 것으로 보이며 한걸음 더 나아가서 交通需要推定過程이 모두 「로-짓」 一色의 推計의 接近(Stochastic Approach)으로 될 것으로도 展望되고 있다.

Wilson 은 交通手段選擇行態分析(Mode Choice Analysis) 과 交通의 目的地選擇行態分析(Destination Choice Analysis)이 모두 Logit Function 으로 處理될 수 있음을 數理的으로 잘 보여준바 있다(32).

이러한 動向에 따라 1979年 首道圈交通研究와 1980年 釜山市 綜合交通計劃研究(39) 를 보면 既存의 決定論의 模型들을 제치고 Logit 型態의 同時的인 行態分析模型이 活用되었는데 交通網設計를 爲하여 交通서비스變數를 一貫

性있게 代入할 수 있었고 交通需要豫測作業의 效率이 增進될 수 있었음을 實際事例로서 잘 말해주고 있다. 따라서 앞으로 微視的인(Disaggregated - Micro) 巨視的인(Aggregated - Macro) 推計의 模型技法 (Stochastic Modeling Technique) 쪽으로 重點的인 研究開發이 試圖되어야 할 것으로 判斷된다(2).

〈表 II - 2〉는 代案定立을 爲한 體系的인 方法論의 發展史를 筆者나름대로 要約整理하여 본 것이다. 1960年의 Quandt 模型을 始點

〈表 II - 2〉 交通網設計技法의 發展過程

Area of Innovation	Contributors
Linear Programming Method	Quandt [1960]
Integer or Mixed Integer Programming Method	Weingartner [1964] Scott [1967] Morlok [1969, 1970]
Application of Implicit Enumeration Method	Ridley [1968] Ochoa-Rosso [1968] Scott [1969]
Network Optimization with Predictive Assignment	Ochoa-Rosso, Silva [1968], Chan [1969]
Introduction of Multiple Objective Functions	Kapur [1970] Agarwal [1973]
Utilization of Consumer's Surplus	Smith [1970] Neuberger [1971]
Network Optimization with a Variable O-D Trip Interchange Table	MacKinnon, Hodgson [1970], Boyce, Soberranes [1977]
Multi-Mode Choice Approach	Hay, Morlok, Charnes [1966], Morlok [1975]
Uncertainty Consideration	Hurter [1968, 1972] Schofer [1976]
Heuristic Formulation of Complex Design Problem	Manheim [1966] Scott [1969] Hoang [1973]
Solution of non-convexity problem arising from Capacity-Travel Time Inter-relationship	Groninger [1971] Leblanc [1975]
Relocation of Economic & Land Use Activity	Mills [1972] Lundquist [1973] Los [1975]
Interdependent Projects Approach	Pearman [1974]

으로하여 Manheim, Scott, Morlok, Ochoa-Rosso, Boyce, Leblanc 등으로 이어져 내려왔던 여러 종류의 교통망設計方法을 그 技術革新的側面에서 整理해 본 것이다. [參考文獻 4, 11, 16, 20, 24, 26, 29 參照] 輸送問題를 Linear Programming 으로 定立하여 푸는 特殊한 경우의 問題가 交通施設投資問題와 關聯을 맺고 定數計劃法(Integer Programming)으로 넘어갔으며 이들과 關聯해서 여러가지 交通手段을 同時에 考慮해야하는 問題, 多目的 函數의 問題, 未來의 不確實性을 考慮하는 問題, 計算作業의 效率를 增進시키는 問題, 土地 利用과 關聯시키는 問題 등이 하나 하나씩 풀려나아가는 過程을 研究功勞者 中心으로 엮어본 것이다. 아직도 連續變數를 가지고 代案을 定立할 것인가 아니면 定數計劃法에 依하여 交通網을 設計할 것인가가 結論이 난 狀態가 아니기는 해도 現在의 研究推勢로 볼때 Manheim 教授가 提示한 還流設計過程을 效率化시키는 方法論이 定數計劃法에서 發展시킨 Branch-and Bound Method 와 잘 調和시키는 方向으로 定着되지 않을까 展望된다(12).

Ⅲ. 交通需要豫測作業의 效率化

地域間道路의 交通量을 豫測할 때나 地下鐵과 電鐵의 交通需要를 豫測할 때 우리나라에서 흔히 使用하는 方法論으로 直接法(Direct Demand Method)이란 것이 있다. 交通존으로 나누어서 交通존간에 交叉되는 O-D 通行量을 가지고 作業하기에는 計算作業이 너무 방대하고(Computer를 活用하지 않고는 거의 不可能) 또 어려워 地下鐵의 경우 驛勢圈을 設定하여 路線 周邊에서 發生되는 地下鐵利用

需要를 直接 判定하는 方式이다. 道路交通量을 推定할 경우에는 過去의 交通量資料와 周邊의 人口, 雇傭等과 相互分析을 하여 回歸分析模型(Regression Analysis Model)을 定立한 다음 通過交通量을 直接 算出해 내고 있다. 이러한 方法論들은 豫測作業의 簡便性이라는 側面에서 볼때 가장 손쉽고 또 생각에 따라서는 가장 效率化된 方法이라고 볼 수 있겠다. 그러나 轉換交通量을 豫測하기가 어렵고 競爭交通手段을 考慮한 綜合的인 政策分析과 交通網設計方法으로 制限이 많기때문에 一般化된 方法으로 받아들이기 어려운 바 交通網設計를 爲한 效率化方案을 前章에서 舉論된 傳統的인 需要豫測方法論을 中心으로 論하여 보기로 한다.

Wilson 教授는 典型的인 綜合交通模型을 開發할 경우 考慮되어야 할 點으로 다음 7가지를 提示하고 있다(32).

- 1) 模型開發의 目的을 明確히 할 것.
- 2) 計量化變數를 適切히 設定할 것.
- 3) 政策變數를 適切히 選定하여 獨立變數로 包含할 것.
- 4) 時間變數에 對한 適切한 配慮.
- 5) 利用可能資料와 合成範圍(Aggregation)를 現實的으로 할 것.
- 6) 代表理論을 適切히 選定할 것.
- 7) 模型의 定立技法과 Parameter 導出(Calibration)技法을 잘 選定할 것.

交通需要豫測作業의 效率化 첫걸음으로 以上の 7가지를 열거한 것은 많은 경우에 模型開發의 目的이 의곡되고 이로 因하여 開發된 交通模型의 效率的 活用이 공염불이 되고 있기 때문이다. 이제까지 우리나라에 提示된 많은 交通模型들을 놓고 以上の 觀點에서 다시 한번 檢討해 볼때 前章에서 論議된 模型技法中 交通존을 中心으로 한 確率模型 즉 Macro(A-

ggregated) - Stochastic Approach의 有用性이 새삼 돋보일 것이다.

一 例로서 Cobb-Douglas 效用函數를 「로-짓」 型態의 模型에 代入하여 交通手段의 選擇과 交通目的地選擇行態를 式(1)과 같이 同時的으로 處理할 때 (Joint Destination and Mode Choice) 交通網設計를 爲하여는 다음과 같은 利點이 있다.

同時的模型의 利點

1) 利用交通手段과는 關係없이 通行分析模型 (Trip Distribution Model)에서 代入되던 交通時間 (t_{ij})과 交通費用 (C_{ij})이 同時的模型에서는 現實感있게 t_{ijk} 및 C_{ijk}로 處理될 수 있다.

2) 通行分布와 交通手段別割當의 二段階로 分離되어 作業되던 模型分析作業을 한 段階로 統合할 수 있기 때문에 模型開發과 模型利用에 要하는 時間과 努力을 半感시킬 수 있다.

3) 一貫性있는 效用函數를 代入하여 最新의 「파라메타」 導出技法 (Parameter Calibration Technique)을 活用할 수 있기 때문

에 交通手段選擇뿐 아니라 交通目的地選擇에 關한 行態分析을 行할 수 있으며 이에 따라 E = α(1 - MS)와 같은 彈力式을 直接法 代身 使用할 수 있다.

4) 適切한 政策變數와 獨立變數를 하나의 模型公式에 調和있게 使用할 수 있게 됨에 따라 豫測의 正確度를 높일 수 있을 뿐아니라 政策判斷資料를 提供하기가 容易하다.

以上과 같은 長點에도 不拘하고 同時的模型 (Joint Destination and Mode Choice

Model)이 우리나라에 널리 活用되고 있지 못한 첫째 理由는 既存의 固定觀念에서 볼 때 理論的으로 完全히 수궁하기 어렵다는 점이며 둘째 理由로는 「파라메타」의 導出作業過程이 最新의 統計的理論을 理解하기 前에는 容易하지 않다는 점이다. 理論的인 側面에서 提起되고 있는 同時的模型의 問題點은 앞으로 學術大會 등을 通하여 繼續 糾明될 것으로 보이며 模型開發과 定立의 效率化 즉 파라메타導出上의 作業의 效率化가 優先的인 研究對象이 된다고 하겠다.

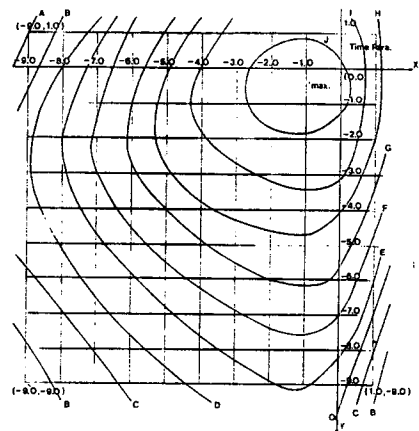
$$P(i, j, k) = \frac{\exp\{\alpha \cdot \ln t_{ijk} + \beta \cdot \ln C_{ijk} + \gamma \cdot I_{ij} + a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots\}}{\sum_j \sum_k \exp\{\alpha \cdot \ln t_{ijk} + \beta \cdot \ln C_{ijk} + \gamma \cdot I_{ij} + a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots\}} \dots (1)$$

- 여기서 P(i, j, k)는 존 i에서 존 j까지 交通手段 k를 利用하여 通行할 確率
- α, β, γ는 統計的인 方法으로 導出되어야 하는 媒介變數(Parameter)
- ln t_{ijk}는 존 i에서 존 j까지 交通手段 k를 利用할 때 所要되는 時間을 自然代數 취한값(分)
- ln C_{ijk}는 존 i에서 존 j까지 交通手段 k를 利用할 때 支拂해야 되는 交通費用을 自然代數 취한값(원)
- I_{ij}는 존 i에서 존 j로 通行하는 사람의 平均所得(원)
- a₁, a₂ ...는 「더미」變數(Dummy Variable)의 係數로서 남겨진 效用(Utility)을 測定키 爲하여 必要한 常數
- X₁, X₂ ...는 더미變數로서 X₁ + X₂ + ... + X_n = 1의 關係를 가짐.

直接法等으로 交通需要豫測模型을 開發할 경우에 SPSS 나 SAS와 같은 一般的 統計電算팩키지가 있어 몇십분내에 파라메타를 導出해 낼 수 있는데 反하여 重力式模型의 Friction Factor 指數를 導出하거나 多項「로-짓」(Multinomial Logit) 模型의 「파라메타」를 찾고저할 때에는 特殊한 컴퓨터프로그램에 의해야 하는 短點이 開發向上된 模型의 效率의 活用을 가로막고 있는 問題이다. 特히 重力式模型이나 多項「로-짓」模型등은 一次式으로 轉換될 수 없기 때문에 最小自乘法 (Least Square Method)을 適用하면 「파라메타」가 偏寄되는 問題(Biased Parameter Estimation)가 생긴다. 따라서 自然히 非線型模型을 爲한 最尤推定法(Maximum Likelihood Estimation)이 式(2)의 形態로 極大化問題(Maximization)가 一般의 理解를 어렵게 하고 이로 因하여 交通需要豫測作業의 效率化가 안되고 있는 것으로 思料된다.

P_{ijk} 를 推定하는 模型의 「파라메타」가 두개일 경우에는 <圖 III - 1>에서 보는 바와 같이 X - 座標에는 交通時間에 關한 「파라메

Maximum Likelihood Estimation Contours



<圖 III - 1> Maximum Likelihood Estimation Contours

타」, Y - 座標에는 交通費用에 關한 「파라메타」를 잡고 等高線으로 나타낸 Z - 座標를 MLI (Maximum Likelihood Index)로 하여 그림으로 찾아내는 方法이 可能하다. 그러나 「파라메타」의 數가 두개 이상일 경우에는 어쩔수 없이 非線型適正化技法(Non-Linear Optimization Techniques)을 利用해야 되는데 이를 爲하여 開發된 方法論들로는 Newton-Rapson 技法, Quasi-Newton 技法, Fletcher-Reeves 技法등이 있으며 컴퓨터팩캐지화

$$MLI = \text{MAX}_{ijk} \pi_{ijk} (\hat{P}_{ijk})^{\hat{P}_{ijk}} * N \dots\dots\dots \text{式 (2)}$$

- | | | |
|-----|-------------------|---|
| 여기서 | MLI 는 | Maximum Likelihood Index |
| | π_{ijk} 는 | 모든 項 ijk 를 乘하는 뜻 |
| | \hat{P}_{ijk} 는 | 존 i 에서 존 j 까지 交通手段 k 를 利用하는 實際通行한 確率 |
| | \hat{P}_{ijk} 는 | 존 i 에서 존 j 까지 交通手段 k 를 利用하여 通行할 것으로 模型에서 豫測한 確率 |
| | N 는 | 總調査標本數 (Trip 數) |

된 電算프로그램들도 손쉽게 얻을 수 있다. 이들 패키지프로그램의 利用性을 배우고 이들 패키지프로그램들이 要求하는 偏導函數를 프로그램으로 直接 짜서 같이 돌리면 「파라메타」가 導出된다. 이에 關한 보다 詳細한 內容은 KIST 報告書 및 學術研究論文 등을 參考하여 주시기 바란다.(39).

最近에 들어와서 「로-짓」模型的의 파라메타 導出(Parameter Calibration) 專用 프로그램이 導入 普及되고 있는데 (THEIL, QUAIL 등) 同時的模型 (Joint Destination and Mode Choice Model) 과 같이 函數型態가 조금만 변하면 使用하지 못하는 問題等 適應力 (Flexibility) 上에 限界가 있는바 앞으로 交通學會가 주축이 되어서 우리 實情에 알맞는 「패키지프로그램」을 開發하기를 建議하며 이것이 바로 交通需要豫測作業의 效率化를 위한 捷徑이 될 것이다.

IV. 街路網設計의 効率化方案

新都市를 設計할 경우 街路의 適正配置 特別히 街路間의 適正間隔에 關하여 많은 計劃家들이 苦心하여 왔다. 個中에는 CATS(Chicago Area Transportation Studies) 의 都市高速道路 適正配置間隔研究나 同一한 研究員이 Northwestern 大學 博士學位 論文으로 提出한 것을 援用하기도 하지만 우리나라 實情과는 달라서 適當히 臨時變通하고 있다. 우리나라에서 使用되고 있는 道路工學敎材中 하나에서는 日本의 藤井氏公式을 다음과 같이 소개하고 있다(34).

$$d_o = K_o \sqrt{P}$$

$$d_o = K_v \sqrt[4]{N} \dots\dots\dots (3)$$

여기서

- d_o : 道路密度 (m/km^2)
- P : 人口密度 ($人/km^2$)
- N : 車輛數 (臺)

K_o, K_v : 地域의 特性에 따라 決定되는 係數

즉, 人口密度가 높으면 높을수록 地域의 車輛保有臺數가 많으면 많을수록 道路를 充충히 配置해야 한다는 理論인데 사람의 경우는 平方根에 比例하고 車輛의 경우는 四乘根에 比例한다는 것이 재미있는 發想이다. 아직까지 우리나라에 適合한 K_o 나 K_v 가 提示되고 있지 못한點 그리고 經濟成長과 所得增大에 따라 通行頻度가 變하기 때문에 K_o 와 K_v 도 豫測되어야 한다는 點等이 以上の 簡便式的 接近을 어렵게 하고 있다.

傳統學派에서는 이와같은 簡便式보다는 正攻法을 始終一貫 主唱하고 있는 實情인데 正確한 需要豫測에 따른 街路網-地下鐵·電鐵網-버스 路線網의 綜合設計를 그 目標로 하고 있다. 美 交通部(DOT)의 都市交通局이라 할 수 있는 UMTA에서는 傳統學派의 影響을 받아서 聯邦政府 投資補助事業 審査에 있어서 UTPS (Urban Transportation Planning Systems) 와 같은 電算需要豫測模型 Package 를 活用할 것을 勸奨하고 있으며 가급적 많은 路線代案을 運營 改善代案들 (TSM 代案等) 과 함께 考慮할 것을 明文化하고 있다 (31).

즉, 代案의 定立과 評價作業에 있어서 偏狹한 眼目과 主觀的인 判斷을 가급적 排除하여 街路網設計의 體系의 接近 (Systematic Approach) 과 이에 따른 投資效果의 極大化를 圖

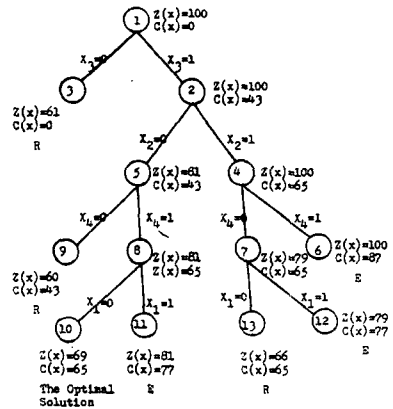
謀하고 있다.

投資效果를 測定하는 基準들(Criteria)로서는 一般의으로 利用者數(Patronage), 利用者乘餘(Consumer's Surplus), 移轉對像住宅數(Number of Houses Relocated), 環境影響(Environmental Impacts) 및 運營費와 에너지 節約(Operation Cost and Energy Saving) 등이 使用되고 있는데 이러한 多目的의函數下에서는 O.R 技法으로 開發된 線型計劃法이나 非線型計劃法(Linear or Non-Linear Programming) 또는 動的 計劃法(Dynamic Programming) 이 活用되기 어렵기 때문에 街路網設計가 效率化되지 못하고 있으며 억지로 使用된다 하더라도 그 實用性과 效果가 의문시 되고 있다. 따라서 Implicit Enumeration Method (默示的 列舉法) 등을 利用하여 가급적 많은 代案을 探索시켜 하고 있는 方案이 重點의으로 研究되고 있는데 <圖IV-1> 과 <表IV-1> 은 Implicit Enumeration Method에 의하여 주어진 事業費(65 百萬圓)을 가지고 利用者剩餘가 最大가 되는 路線代案들의 組合(Network)을 決定하는 例題를 보여주기 위한 것이다. 서울의 경우와 같이 4個의 地下鐵路線代案이 檢討될 경우에 (즉 代案數 1,2,3,4) 投資效果가 最大가 되는 路線의 組合(Network)을 選擇하는 方法으로 Balace, Ochoa-Rosso, Scott, Leblanc 등이 研究發展시킨 方案의 하나이다. 이 方案의 長點은 路線代案으로 만들 어볼 수 있는 모든 路線網(Network)을 일일이 評價하지 않고서도 몇개의 目的函數下에서도 最線의 交通網을 찾아낼 수 있다는 點이다. 특히 地下鐵과 같이 갈아타기가 일어나고 道路와 같이 轉換되고 誘發되는 交通量이 있을 경우에(즉 路線들이 相互依存的이고 獨立의이지 못할때) 適合한 路線網(Network) 設計技法이라 할 수 있다. 이 方案의 短點 또는 問題點으로 指適

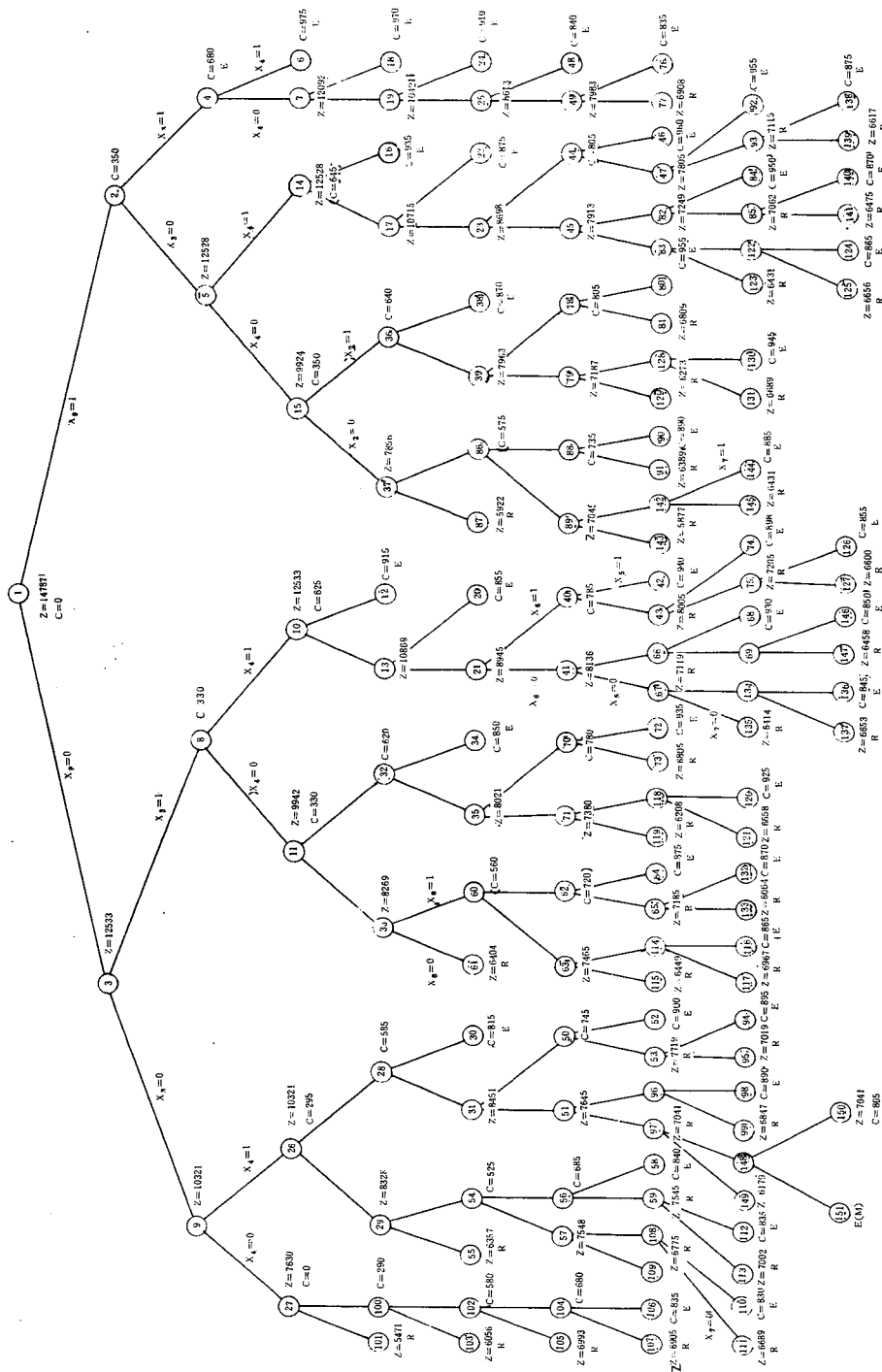
되는 것은 路線代案的 數가 增加함에 따라 路線의 可能 組合數(Number of Maximum Possible Networks)가 幾何級數의으로(Exponentially) 增加하며 이에 따라 UTPS 등으로 評價해야될 路線網의 數도 幾何級數의 이 된다는 點이다.

<表IV-1> Enumeration method 의 例

Alt. Links Assumed in Existence (可能한 代案들)	Network Benefit Estimated from Evaluation Package	Network Benefit Approximated by the sum of individual Link Benefit	Network Cost (總路線 代案建設費用)
1, 2, 3, 4	\$100	\$111	\$ 99
1, 2, 3	\$ 79	\$ 89	\$ 77
1, 2, 4	\$ 61	\$ 63	\$ 56
1, 3, 4	\$ 81	\$ 86	\$ 77
2, 3, 4	\$ 86	\$ 95	\$ 87
1, 2	\$ 40	\$ 41	\$ 34
1, 3	\$ 60	\$ 64	\$ 55
1, 4	\$ 35	\$ 38	\$ 34
2, 3	\$ 66	\$ 73	\$ 65
2, 4	\$ 47	\$ 47	\$ 44
3, 4	\$ 69	\$ 70	\$ 65



<圖IV-1> Implicit Enumeration Method 의 適用例(路線代案數4個일 경우)



〈圖 IV - 2〉 Implicit Enumeration Method 의 適用例 (路線代案數 9 個인 경우)

* OPTIMAL

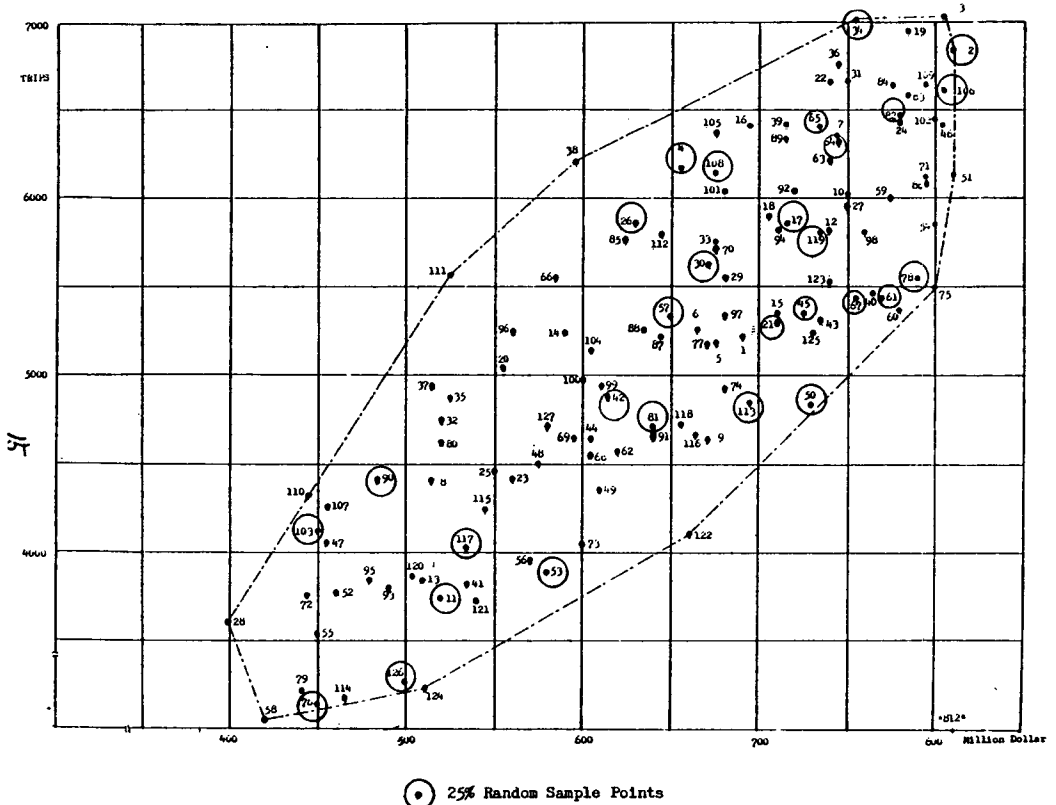
〈圖Ⅳ-2〉에서 보여주는 예題의 경우 目的函數 $Z(x)$ 를 새롭게 計算해야 할 回數는 ①, ③, ⑤, ⑦, ⑨, ⑩, ⑬의 7番인데 交通網設計을 위하여 檢討해야할 路綫의 數가 9個로 增加할 경우에는 〈圖Ⅳ-2〉에서 보여주는 바와같이 76個로 增加한다는 事實이다. 즉 路綫代案의 數가 4個에서 9個로 두배 조금 넘게 增加했을 뿐인데 交通網決定을 爲한 評價 Network 代案의 數는 7個에서 76個로 열 배이상 增加한다는 點이다.

이 問題點이 交通網設計를 體系的이고 客觀的인 方法으로 效率化하기 爲하여 꼭 克服되어야 할 어려운 課題가 되고 있는 것이다.

〈圖Ⅳ-3〉는 實際的인 경우에 所要事業費 (812百萬불) 內에서 9個 路綫代案으로 만

들어본 可能交通網들의 分布圖로서 X-座標에는 事業費, Y-座標에는 目的函數의 하나로 삼은 利用者數 (Patronage) 를 基準으로 한 것이다.

事業費의 增加에 따라 投資效果도 대체적으로 上昇하고 있음을 보여주고 있으나 그 增加率이 점점 遞減하고 있는 收穫遞減의 法測을 잘 보여주고 있다. 즉 한 地域에 몇개의 地下鐵路綫을 建設할 경우 처음 2~3個의 경우는 相乘作用을 보여주는듯 하다가 路綫이 많아지면 結局 投資效果가 遞減한다는 法測을 잘 나타내고 있다. 이와같이 投資效果가 投資規模에 따라 다른 比率로 變할 때 路綫 하나 하나를 單獨的으로 評價하여 投資의 範圍를 決定한다는 接近方法은 活用하기 어려운 것이



〈圖Ⅳ-3〉 投資事業費內의 可能交通網代案評價結果 分布

며 結局 Implicit Enumeration Method 에 따라 <圖IV - 3> 과 같이 分布圖를 그려서 最善의 投資代案을 찾아내야 할 것이다.

<圖IV - 3> 에서 동그라미(Circle)表를 한 것은 UTPS를 돌릴 수 있는 回數가 35 番으로 制限되었을 경우에 無作爲標本으로 最善의 代案을 찾는다면 어떻게 나타날 것인가를 보여주기 爲한 것이다. 靈感에 따라 藝術家모양 街路網이나 地下鐵網을 設計했을 경우보다 얼마나 有效한 方法인지 證明하기 어려운 일이 겠으나 Implicit Enumeration Method로써 可能路線網案을 짜고 UTPS를 위하여 Coding 하고 評價하기 前에 可能路線網案을 無作爲抽出하는 方法의 有用性을 그런대로 보여 주고있다 하겠다. 無作爲抽出方法以外에 路線代案의 數가 많을 경우 交通網을 設計할 수 있는 技法으로 提示될 수 있는 것들로서는 筆者가 開發한 몇가지 Heuristic Rule과 線型近似 解法에 依한 方法論을 들수 있겠다(13). <表 IV - 2>는 이러한 研究作業結果를 要約해 본 것으로서 交通網設計를 效率化할 수 있는 가장 有效한 方法으로 線型近似解法에 依한 새로운 效果的이지 않을까 생각된다.

V. 結 論

交通需要豫測作業과 交通網設計作業은 不可分の 關係로서 效率의인 統合을 要하고 있다. 이제까지 우리나라에 導入되고 開發提示된 交通計劃의 諸方法論들이 求心點을 찾아 統合하는 方向이라기보다는 各各의 領域에서 截然한 變化와 變身에 급급한 감 없지 않다.

이것은 交通學을 對象으로 하는 綜合學會가 이제까지 設立되어 있지 못한 까닭도 적지 않았지만 獨自의인 專門領域에 安住하려는 研究動向에도 問題가 있었다 하겠다.

本稿는 學會創立에 힘입어 專門領域間의 交流와 綜合化를 試圖하여본 것인데 그 未盡함을 이루다 說明할 길 없다고 느끼고 있으나 앞으로의 研究座標設定과 討論의 資料로써 導出된 몇가지 結論을 다음과 같이 要約·整理해 본다.

1) 交通需要豫測作業은 決定論的 方法論보

<表IV - 2> 交通網設計技法의 效率性比較

Method	N = 4	N = 9	Remarks
Implicit Enumeration Methods	7-8	76-122	Exponential Increase The globally optimal solution can always be found
Implicit Enumeration Method Modified by the Linear Approximation Technique	3-4	11-12	Non-exponential Increase The globally optimal solution can always be found
6.7 Percent Random Sampling Method	1	35	Exponential Increase 50 percent chance of finding one of the best ten solutions
Heuristic Methods	4	9-27	Polinomial Increase (Less than N^2) Non-dominated solutions, local optimal solutions, or the globally optimal solution are found depending upon the particular case

- 다는 確率論에 根據를 둔 推計的 方法 (Stochastic Approach) 으로 轉向되어야 하며 最近에 導入되고 있는 行態分析의 接近을 微視的 側面(Micro-Disaggregated) 과 함께 巨視的인 側面(Macro-Aggregated) 에서도 硏究開發시켜야 할 것이다.
- 2) 이를 위한 先決問題로는 行態分析模型의 「파라메타」를 손쉽게 導出할 수 있도록 (Calibration) 電算統計프로그램 패키지가 우리 실정에 알맞게 調整開發되고 널리 보급되어야 한다.
 - 3) 傳統的인 四段階交通需要分析過程을 效率化하기 위하여 한두 段階를 統合하는 硏究가 우리 現實에 맞추어 進行되어야 하며 이러한 作業의 첫걸음으로 交通目的地와 交通手段의 選擇을 同時的으로 보는 模型(Joint Destination and Mode Choice Model)에 관한 重點的인 檢討가 必要하다.
 - 4) 直接法에 의하여 簡略히 交通需要가 豫測되며 이를 基準으로 交通施設의 規模가 決定되어 投資 財源이 浪費되는 것을 막고 加급적 同時的模型等에서 導出될 수 있는 需要彈性公式(Demand Elasticity Equation)으로 簡便的인 方法이 補強되도록 해야 한다.
 - 5) 交通施設投資分析時에는 路線別(Link)로 行할 것이 아니라 全體의 交通網(Network)에 聯關된 評價가 되도록 해야 하며 이를 위하여 Implicit Enumeration Method 등이 더욱 硏究開發되어야 할 것이다.
 - 6) Implicit Enumeration Method 와 UTPS 또는 INAM (Incremental Network Assignment Model) 등이 結合使用되어질 수 있도록 電算 패키지 硏究에 注力해야 할 것이며 必要하다면 우리나라의 實情에 알맞는 새로운 패키지프로그램을 開發해야 할 것이다.

參 考 文 獻

1. Agarwal, S.K., Optimization Techniques for the Interaction Design of Transportation Networks under Multiple Objective, Ph.D. Dissertation, Dept of Civil Engineering, Northwestern University, Evanston, Illinois, 1973.
2. Alder, T.J. and Ben-Akiva, M. "Joint choice Model for Frequency and Destination and Travel Mode for shopping Trips", Transportation Research Record #569, 1976, pp.136-150.
3. Boyce, D., Farhi, A., and Weschiedel, R., "Optimal Network Problem: A Branch-and-Bound Algorithm," Environment and Planning 5, 1973, pp.519-533.
4. Boyce, D. and Soberanes, J., "Solutions to the Optimal Network Problem with Shipments Related to Transportation Cost", Network Design workshop paper, Department of Civil Engineering, University Illinois at Urbana Champaign, Urbana, Illinois, 1977.
5. Chan, Y., Aggregation in Transport Networks : An Application of Hierarchical Structure, Ph.D. Dissertation, Department of Civil Engineering, MIT, Cambridge, Mass, 1969
6. Groninger, K., An Algorithm for Synthesizing Optimal Transportation Networks, Ph. D. Dissertation, Cornell University, 1971.

7. Harris, B., "Generating Projects for Urban Research," *Environment and Planning J*, 1970, pp.1-22.
8. Hay, G., Morlok, E. and Charnes, A., "Toward Optimal Planning of a Two-Mode Urban Transportation System, A Linear Programming Formulation," *Highway Research Recad* 148, 1966, pp. 20-38.
9. Hoang, H.H., "A computational Approach to the Selection of an Optimal Network," *Management Science* 19, 1973 pp.488-498.
10. Kapur, K.C., *Mathematical Methods of Optimization for Multi-Objective Transportation systems*, Report CMR-965, General Motors Research Laboratories, Warren, Michigan, 1970.
11. Leblanc, L., "An Algorithm for the Discrete Network Design Problem," *Transportation Science* 9, No.3, 1975 pp.183-199.
12. Lee, I., "An Application of Branch and Bound Method to Optimize Interdependent Public Transit Network", *Proceeding of the Pacific the Pacific O.R. Conference*, 1979.
13. Los, M., *Simultaneous Optimization of Land Use and Transportation in New Town Design*, Ph.D. Dissertation, Department of City and Regional Planning, University of Pennsylvania, Pennsylvania, 1975.
14. Lundquist, L., "Integrated Location - Transportation Analysis: A Recomposition Approach," *Regional and Urban Economics*, No. 3, 1973 pp. 233-262.
15. Mackinnon, R. and Hodgson, M., "Optimal Transportation Networks: A Case Study of Highway systems," *Environmental Planning J*, 1970, pp.267-284.
16. Manheim, M.L., *Hierarchical structure: A Model of Design and Planning Process*, MIT press, Cambridge, Mass, 1966.
17. Manheim, M.L., *Fundamentals of Transportation systems (Vol1)*, Cambridge, the MIT Press, 1979, pp. 31-42.
18. Mills, E.S., "An Aggregative Model of Resource Allocation in a Metropolitan Area", *American Economic Review* 57, 1967, pp.197-210.
19. Mills, E.S. *Studies in the Structure of the Urban Economy*, The Johns Hopkins Press, Baltimore, Md, 1972.
20. Morlok, E. 4, et al., *The development of a Geographic Transportation Network Generation and Evaluation Model*, Report for Office of High Speed Ground Transportation, Northwestern University, 1969.
21. Morlok, E.K., "A Goal Directed Transportation Planning Model," *Transportation Research* 4, 1970, pp.199-213.
22. Neuburger, H., "User Benefit in the Evaluation of Transport and Land Use Plans," *Journal of Transport Economics and Policy* 5, No. 1, January, 1971.
23. Ochoa-Rosso, F., *Application of Discrete Optimization Techniquis to capital Investment and Network Synthesis Problems*, Ph. D. Dissertation, Department of Civil Engineering, MIT, Cambridge, Mass, 1968.
24. Ochoa-Rosso, F. and Silva, A., *Optimum Project Addition in Urban Transportation Network Via Descriptive Traffic Assignment Methods*, MIT Research Report PP68-44, Department of Civil Engineering, MIT, Cambridge, Mass, 1968.
25. Pearman, A., "Heuristic Approaches to Road Network Optimization," *Engineering Optimization* 1, 1974, pp.37-49
26. Quandt, R., "Models of Transportation and Optimal Network Construction," *Journal of Regional Science Z*, No 1, 1960, pp.27-45.

27. Schofer, J.L. "Evaluating Transportation Alternatives," paper presented at the seminar an Emerging Transportation Planning Methods, Daytona Beach, Florida, 1976.
28. Scott, A., "The Optimal Network Problem: Some Computational Procedures," Transportation Research 3, 1969, pp.201-210.
29. Scoh, A., Combinational Programming, Spatial Analysis and rPlanning, Methuen Book, London, 1971
30. Smith, J.S., "The Design of a Transportation study with Regard to the Evaluation of its Output", Regional studiy 4, No.2, August, 1970.
31. UMTA and FHWA, Urban Trasnportation Planning system, Office of Planning Methods and Support, U.S. DOT, Washington, Jaly,1977.
32. Wilson, A.G., Urban and Regional Models in Geography and Planning, London, John wiley and sons, 1974 p.209 and pp. 397-399.
33. Weigregartner, M.H. Mathematical Programming and the Analysis of Capital Budget problems, Ph. D. Dissertation, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh, Penn, 1964.
34. 權鎮東, 道路工學, 서울, 廣文出版社, 1982, pp.49-50.
35. 俞 沅, "選擇行爲의 特性모뎀", 大韓國土計劃學會誌, Vol.17-182, pp.68-77 및 pp.3-12, 1982.
36. 李仁遠, "Embedding the Joint Choice Travel Demand Model into Network Optimization Procedure," 大韓國土計劃學會誌, Vol.14-1, 1979.
37. 李仁遠, "Linear Approximation Techniques for the Discrete Network Design Problem ", 弘大論叢 (第13輯), 1981, pp.509-526.
38. 韓國科學技術研究所, 大量貨物輸送體制改善 및 交通投資最適化方案研究, 1980.
39. 韓國科學技術研究所, 釜山市綜合交通計劃樹立에 관한 研究, 1980.