非線型 最適化技法에 의한 街路網設計

Network Design with Non-Linear Optimization Method

張 玹 峰*
Jang, Hyun Bong
朴 昌 浩**
Park, Chang Ho

Abstract

An optimal network design method using continuous form of design variables is considered. Modified Hooke-and-Jeeves algorithm has been implemented in order to solve nonlinear programming problem which is approximately equivalent to the real network design problem (NDP) with system efficiency criteria(i.e. travel time and costs) and construction cost as objective function. Various forms of construction cost function, locations of initial solution, and dimension of initial step size of link improvement are taken into account to show the validity of this approach. The results obtained are quite promising in terms of the numbers of evaluations in solving NDP, and the speed of convergence. Finally, some techniques in choosing efficient intial solution, initial step size and approximation are given.

要 旨

道路網의 新設 및 改良事業의 適正化를 위하여, 連續的 設計變數를 採擇한 街路網 設計技法을 提示하였다. 이를 위하여 修正된 Hooke-and-Jeeves 알고리듬을 使用함으로써, 通行時間 및 通行費用과 道路建設費用의 合으로 構成되는 街路網 設計問題의 解를 풀었다. 여러 가지 形態의 建設費用函數와 初期解의 位置, 道路區間別 改善程度의 初期値別로 이 技法의 適用度를 檢討하였다. 本 論文의 硏究結果, 街路網 設計의 評價回數를 크게 줄였으며, 效率的인 初期解, 初期容量增減値, 近似技法 등이 提示되었다.

1. 序 論

1-1. 硏究 目的

街路網은 地域이나 都市의 中樞的인 外形體系로서, 交通需要를 處理하는 한편, 交通需要패턴에도 影響을 주면서 形成된다. 이러한 街路網의 利用率이 높아짐에 따라 科學的인 街路擴充計劃의 必要性이 대두되었으며, 이에 대한 合理的인 模型化가 進行되어 왔다.

이 分野에서 이제까지 重點的으로 硏究되었던 것은 道路區間의 改善規模를 의미하는 設計變數(design variables)가 離散的(discrete)인 경우

* 正會員・先進엔지니어링 交通硏究室長
** 正會員・서울大學校 工科大學 敎授

가 主宗을 이뤄왔고, 나름대로의 交通需要와 施設供給의 兩面을 同時에 考慮하고 있으나, 對象區間의 改善規模가 미리 固定된다는 點에서 需給의 均衡上 施設의 過剩이나 不足狀態가 發生할 수 있으며, 計算上의 막대한 組合數로 인하여 實際規模의 街路網 設計에 效果的으로 適用되지 못하는 問題點이 있다.

最近들어, 街路區間의 施設容量에 대한 連續的 表現이 現實化되고 있으며(例, T.S.M 혹은 service volume 等), 이에 따라 連續設計變數(continuous design variables)를 導入한 街路網 設計에 대한 試圖가 이뤄지고 있다[1,2].

本 論文에서는 이러한 背景에서 設計變數를 連續變數로 놓을 경우에 대한 街路網 設計模型을 定立하고, 그 效果的인 適用方法을 提示하는 것을 그 目的으로 하였다.

1-2. 硏究方法 및 範圍

本 論文에서는 주어진 起終點 通行表와 街路網 資料에 대하여 改善對象區間의 設計變數를 連續的 形態로 두어서 最適의 區間別 改善規模를 決定하게 된다.

이 過程에서 해결해야 할 最適化 問題는 交通效率과 建設費의 合을 目的函數로 하는 非線型 最適化 問題로서 Hooke-and-Jeeves[3] 技法을 重點的으로 檢討하였고, 그 效率的인 適用方法과 問題點, 그리고 近似技法을 提示하였다. 한편 모든 探索地點에서의 交通流解는 使用者平衡原理에 따라 Frank-Wolfe[4] 技法을 利用하여 구하였다.

여기서 使用된 街路網은 Leblanc[5]; Poorzahedy 와 Turnquist[6]等의 街路網 設計家들이 자주 다루어온 Sioux Falls 의 資料를 使用했고, 이에 대하여 建設費用函數의 形態(線型 및 Concave 型), 初期解, 初期容量增減値, 收斂限界 그리고 近似計算法을 밝혔다.

2. 街路網 設計模型

街路網 設計 關聯分野의 理論은 먼저 通行發生密度 등을 假定하여, 街路網의 適正配置間隔이나 交叉角度, 位階等을 決定하는 幾何構造側面의 理論이 있고, 이 결과를 收容하여 具體的 交通需要에 대하여 選定된 改善對象區間의 適正改善規模를 定하는 것을 通常 街路網 設計(network design)로 分類하고 있다.[7,8]

街路網 設計模型의 一般的 表現은 다음과 같다. 먼저 街路網은 node 集合 N과 link 集合 A로 構成되며, 各 link(區間)는 一定範圍의 容量을 갖는다고 본다.

$$\min\ \phi(f, y) \qquad \cdots(1)$$

subject to

$$\sum_{j\in N} f_{ij}^k-\sum_{l\in N} f_{li}^k=\begin{cases} R_k \text{ if } i=O(k) \\ -R_k \text{ if } i=D(k), k\in K \\ 0 \text{ therwise} \end{cases} \qquad \cdots(2)$$

$$f_{ij}\equiv\sum_{k\in K} f_{ij}^k\le K_{ij}y_{ij},\quad (i,j)\in A \qquad \cdots(3)$$

$$(f, y)\in S \qquad \cdots(4)$$

$$f_{ij}^k\ge 0,\ y_{ij}\in Y_{ij},\quad (i,j)\in A, k\in K \qquad \cdots(5)$$

여기서 k는 $k\in K$인 手段이며, R_k는 k手段의 通行量, $O(k)$는 起點, $D(k)$는 終點, y_{ij}는 設計變數(容量), f는 區間交通量이다.

模型의 主要變數는 arc(i,j)上의 交通量 f_{ij}^k와 設計變數 y_{ij}이며, y_{ij}의 集合 Y_{ij}가 $Y_{ij}=\{0,1\}$로 二變數選擇型이 되어 arc(i,j)의 취사여부만을 결정하는 것이라면 目的函數는

$$\phi(f, y)=\sum_{k\in K}\sum_{(i,j)\in A} C_{ij}^k f_{ij}^k+\sum_{(i,j)\in A} F_{ij}y_{ij}\cdots(6)$$

와 같이 表示되며 여기서 C_{ij}^k는 i,j間의 k手段의 單位通行費用으로 이 模型은 線型混合整數模型(linear mixed integer programming)이 된다.

여기서 交通效率項의 通行時間을 固定値로 보지 않고, 交通混雜에 따른 非經濟性을 考慮하기 위하여 非線型 通行費用函數를 適用할 수 있고 그 代表的인 例로 美聯邦道路局(Bureau of Public Road)의 다음과 같은 아래로 볼록한 通行費用函數를 들 수 있다.

$$t_{ij}=t_{ij0}[1+\alpha_{ij}(f_{ij}/K_{ij}y_{ij})^{\beta_{ij}}] \qquad \cdots(7)$$

여기서 α_{ij} β_{ij}는 區間別 媒介常數, t_{ij0}는 自由交通流狀態의 通行時間이며, i,j區間의 通行時間(費用), t_{ij}는 式 (6)의 C_{ij}^k에 감안된다.

한편 街路改善事業에 財政的 限界를 고려하면 다음과 같다.

$$\sum_{(i,j)\in A} g_{ij}(y_{ij})\le B \qquad \cdots(8)$$

여기서 g_{ij}는 設計變數 y_{ij}에 대한 建設費用

이며, B는 調達可能한 總財源規模이다.

式 (1)~(5)의 模型을 基本形態로 하여 設計變數 y_{ij}의 形態別(連續變數 혹은 離散變數), 交通混雜의 考慮有無別, 財政制約 有無別로 여러 가지의 設計模型이 있다. 이를 特性別로 보면 最短多重經路問題(minimal spanning tree), 最短經路問題(shortest path), 多種通行問題(multi-commodity flow), 交通平衡街路網設計(traffr equilibrium network design), 우체부 模型(traveling salesman model), 車輛路線模型(vehicle routing), 施設立地問題(facility location) 等을 들 수 있다[1]. 이 중에서 특히 街路網設計에 관한 模型을 分類해 보면 다음과 같다.

◦ 設計變數別 分類
- 離散的 模型(Discrete Model)
- 連續的 模型(Continuous Model)

◦ 接近方式別 分類
- 最適化形 模型(Optimization Based Model) : Bender의 分割法, Branch-and-Bound法, Steenbrink의 分割法
- 經驗形(Heuristics for Network Design); Add, Delete, Add-Delete, Interchange 等

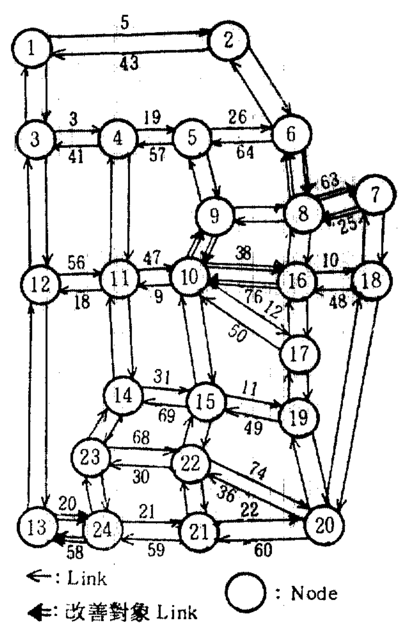
◦ 通行時間函數別 分類
- 固定費用(Fixed Costs)
- 非線型函數(Convex Travel Cost Function)

◦ 建設費用函數別 分類
- 固定型
- 線型函數(Linear Construction Cost Function)
- 非線型函數(Convex or Concave Construction Cost Functions)

以上에서 各 形態別로 長·短點이 있으며, 離散的 模型의 問題點은 前述한 바와 같이 交通의 需給上 不均衡狀態에서 設計案이 導出될 가능성이 있으며, 解의 正確度를 유지하기 위해서는 設計變數에 대하여 幾何級數的인 評價回數를 치뤄야 한다는 것이다. 이에 대하여 設計變數를 連續的 形態로 취하여 街路改善代案의 解集合을 連續空間으로 設定하여 模型內部에서 自體的으로 通行패턴과 街路改善의 相互影響을 考慮하면서 最適解를 구하는 方式이 連續的 模型이며 이에 의하면 目的函數의 評價回數를 算術級數의 水準으로 줄일 수 있고, 交通의 需給上 均衡點에서의 設計案의 導出可能性이 높다. 이러한 관계로 Steenbrink[9], Dantzig[10], Abdulaal과 Leblanc[11], Los[12] 等이 連續的 設計模型을 定立하였고, 이들은 대체로 볼록한 建設費用函數를 취함으로써, 目的函數의 Convexity를 維持하여 最適化 過程을 容易하게 하였다. 實際의 建設費用函數는 規模의 經濟가 존재하여 위로 볼록한(concave) 형태를 취하는 것이 現實的이며, 이를 취하면 目的函數의 形態가 不分明하게 된다. 이에 대하여 解의 空間에 다소의 局部最適地點(local optima)이 존재하여도 비교적 最適解에의 到達可能性이 높은 技法이 要求된다. 한편 最適解의 探索地點마다 풀어야 할 交通流問題는 現實에의 說得力이 가장 높다고 받아들여지고 있는 平衡原理(equilibrium principles)에 따르는 것이 合理的인 것으로 判斷된다.

3. 適用街路網

本 論文에서 適用한 街路網은 Sioux Falls 街



註) Link의 數字는 Link의 일련번호임.

그림 1. Sioux Falls 街路網

路網으로 그림 1과 같이 24個 zone(node)과 76個 link로 구성된다. 이에 대한 通行量의 資料는 對稱性이 있는 것과 非對稱性이 있는 것이 있고, 이 중에서 計算時間은 몇 배 더 걸리나, 現實에 가까운 非對稱的 通行量을 使用하였다.

한편 街路區間別 通行時間函數의 媒介變數는 Poorzahedy와 Turnquist[6]의 離散的 模型에서 使用한 資料를 適用하였다.

4. Hooke-and-Jeeves 技法에 의한 街路網 設計

4-1. 目的函數의 構成

街路網 設計變數를 y, 平衡交通流를 x라 할 때, 最適街路網을 찾는 連續的 模型의 目的函數는 다음과 같이 표시된다.

$$\min_{x,y} \sum_{(i,j)\in P} [C_{ij}(x_{ij}, y_{ij})+\theta g_{ij}(y_{ij})] + \sum_{(i,j)\in E} C_{ij}(x_{ij}) \quad \cdots(9)$$

$$y_{ij}\geq 0,\quad (i,j)\in P$$

$$x\in X,$$

여기서 x_{ij}는 (i,j)區間의 交通量, P는 改善對象區間集合, E는 旣存區間集合. θ는 建設費의 通行時間에 대한 換算係數이다.

먼저 建設費用의 項을 보면 그림 2와 같이 대체로 3個의 類型으로 建設費用函數를 表示할 수 있다. 이중 ①의 convex 型은 最適化過程은 容易하게 하여 자주 사용되어 왔으나 非現實的이며, 가장 現實에 가까운 形態는 ③의 concave 型이라고 할 수 있으나, 이 경우 式 (9)의 目的函數가 凸凹狀態가 되어 最適化에는 어려움이 따른다. 이러한 ①과 ③의 問題를 절충하여 ③의 concave 型에 近似시킨 直線式을 사용하는 방법을 생각할 수 있으며 이 중 ②는 하나의 近似式을 ②′는 여러개의 近似式을 適用한 경우이다. ②′의 경우는 concave 型에 좀더 가까우나, 그 連結點에서의 傾斜選擇 등에 따라 最適性이 問題時될 수 있다. 따라서 本 論文에서는 ②의 直線近似式을 中心으로 다양한 街路網設計를 試圖하고, ③의 concave 型에 대해서도 이를 遂行하기로 한다.

4-2. Hooke-and-Jeeves 技法[3]의 適用

式 (9)에서 交通流 x는, 크게는 設計變數가

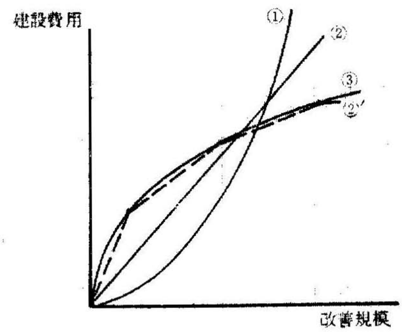


그림 2. 建設費用函數形態

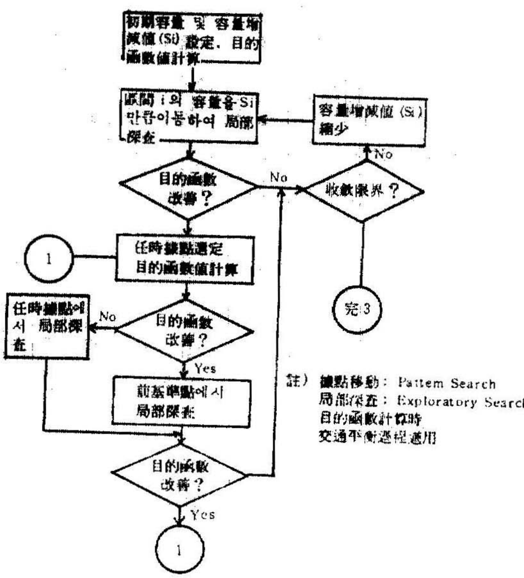


그림 3. Hooke-and-Jeeves Algorithm의 過程

변하고, 이에 따라 區間通行費用이 變化함에 따라 變動되어, 그 正確한 函數形態를 把握할 수 없고, 여기에 建設費用函數形態가 concave 型인 경우는, 더욱 導函數를 利用하는 非線型最適化技法을 사용할 수 없게 된다. 그 대신에 共軛方向(conjugate direction)을 利用하는 技法을 適用할 수 있으며, 그 중 代表的인 것으로 據點移動(pattern search)과 局部探索(exploratory

表 1. 設計變數 및 建設費用函數의 設定

設計變數(區間)	建 設 費($)	區 間 容 量(千臺/日)		建設費用函數의 係數	
		下限(既存)値	上 限 値	線 型	Concave 型
x_1 (24, 62)	650,000	4.899	5.94	691.489	619.351
x_2 (16, 54)	625,000	13.916	15.96	255.012	432.921
x_3 (20, 58)	850,000	5.091	5.92	923.913	891.660
x_4 (38, 76)	1,200,000	4.855	5.95	1,263.158	1,121.402
x_5 (25, 63)	1,000,000	7.842	8.92	764.225	929.202

註) Concave 型 建設費用函數에서는 $d_i=\frac{\text{建設費}}{\text{容量增加值}^R}$로 $R=0.5$인 경우이다.

search)로 構成되어 函數表面에 多少의 굴곡이 있는 경우에 대해서도 信頼度가 比較的 높은 Hooke-and-Jeeves 技法을 適用하기로 한다.

이에 따라 遂行되는 街路設計의 過程은 그림 3과 같고, 各 探索地點마다 Frank-Wolfe 技法[4]에 의한 使用者平衡通行配定을 行하였다.

4-3. 設計變數 및 建設費用函數 設定

本 論文에서는 表 1과 같이 改善對象區間別로, 設計變數의 上, 下限値와 建設函數形態를 設定하였다.

4-4. 街路網 設計 結果

前述한 바와 같이 Hooke-and-Jeeves 技法에 의한 街路網設計模型은 그 初期解의 位置, 初期容量增減値, 收斂限界 등에 따라 그 效率이 크게 좌우되므로 이에 대한 다양한 경우별로 街路網 設計를 試圖하였고, 아울러 建設費用函數가 concave 인 경우와 通行量이 增加되는 경우, 그리고 近似計算法을 살펴보았다. 여기서 代表的인 初期解의 位置는 各 變數의 上下限値間隔의 $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$되는 지점으로 各各 X_0^1, X_0^2, X_0^3를 擇하였고, 初期容量增減値는 上, 下限間隔의 $\frac{1}{10}$을 基準으로 0.1～0.8의 값을 취하였다.

(1) 收斂限界와 初期容量增減値

目的函數의 收斂限界와 初期容量增減値의 各

表 2. 收斂限界 및 初期容量增加値別 設計結果

收斂限界 (千時間/日)	初期容量 增減値	設計變數 (千臺/日)					評價回數	目的函數 (千時間/日)
		x_1	x_2	x_3	x_4	x_5		
1.0	0.1	5.950	15.555	5.091	4.855	7.842	402	477.4
	0.2	5.200	14.716	5.091	4.855	8.142	411	422.6
	0.3	5.700	14.082	5.101	4.855	7.842	405	409.8
	0.4	5.850	14.150	5.150	5.030	7.842	76	455.4
	0.5	4.899	13.916	5.215	4.855	7,842	635	359.6
5.0	0.1	5.950	15.550	4.991	4.855	7.842	72	479.1
	0.2	5.200	14.716	5.091	4.855	8.142	105	425.5
	0.3	4.899	14.217	5.091	4.855	7.856	280	350.6
	0.4	5.850	14.150	5.150	5.030	7.842	76	455.4
	0.5	4.899	14.847	5.174	4.855	7.435	42	413.2
10.0	0.1	5.950	15.555	4.991	4.885	7.842	72	479.1
	0.2	5.200	14.716	5.091	4.855	8.142	105	425.5
	0.3	4.899	15.116	5.091	4.855	8.098	63	437.0
	0.4	5.850	14.150	5.150	5.030	7.842	43	455.4
	0.5	5.123	13.937	5.568	4.855	7.842	87	418.4

경우별로 街路網 設計를 行한 結果는 表 2와 같다. 收斂限界가 1.0千時間/日인 때에는 0.5의 初期容量增減值로 할 경우에, 그리고 收斂限界가 5.0千時間/日 일 때에는 0.3의 初期容量增減值로 할 경우에 각각 最適解에 到達하며, 이와 같은 探索結果, 收斂限界는 대체로 目的函數值의 1% 미만으로 하는 것이 效果的인 것으로 思料된다.

(2) 初期解와 初期容量增減值別 設計結果

表 3의 세가지 初期解에서 初期容量增減值를 0.1, 0.2 등으로 너무 적게 잡으면 最適解에 到達하기 어렵고, 반면에 0.5~0.8인 때는 대체로 最適解에 接近하고 있다. 이것은 解集合에 群小의 部分最適地點(Local Optima)이 놓여 있음을 의미하며, 이 경우 初期段階에서 設計變數의 變化可能範圍를 모두 포함하도록 하고, 據點移動時 容量增減值를 減少시키는 探索方法이 效果的이라고 할 수 있다.

最適解를 얻기까지의 目的函數의 改善程度를 보면 그림 4와 같은데 대체로 評價回數가 150~200回까지는 目的函數가 크게 改善되나, 그 이후에는 그 幅이 점차 줄어들고 있음을 알 수 있다. 여기서 初期解의 位置設定이 가장 重要하

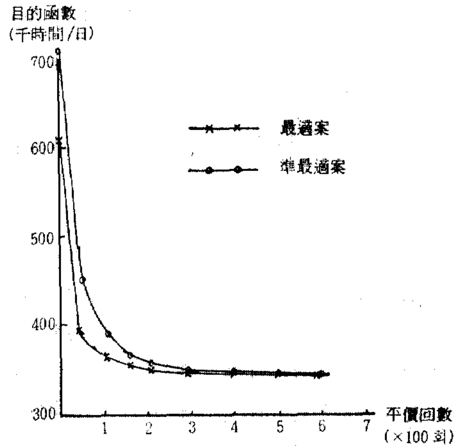


그림 4. 評價回數에 따른 目的函數의 改善程度

表 3. 初期解와 初期容量增減值別 設計 結果

初期解	初期容量增減值	設計變數 (千臺/日) x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	評價回數	目的函數 (千/時間日)
X_0^1	0.1	5.424	14.837	5.118	5.144	8.056	622	471.9
	0.2	5.399	14.037	5.318	5.141	7.842	591	449.3
	0.3	5.435	14.137	5.618	5.141	8.030	643	512.2
	0.4	4.899	15.600	5.091	5.141	7.861	624	443.1
	0.5	5.123	13.937	5.566	4.855	7.842	626	412.1
	0.6	4.899	13.916	5.168	4.855	7.842	615	349.1[1]
	0.8	4.949	13.916	5.312	4.861	7.842	614	372.5[3]
X_0^2	0.1	5.950	15.550	5.091	4.855	7.842	653	471.8
	0.2	5.200	14.716	5.091	4.855	8.142	675	417.8
	0.3	4.899	14.217	5.091	4.855	7.856	709	350.6[3]
	0.4	5.850	14.150	5.150	5.030	7.842	571	455.4
	0.5	4.899	13.916	5.215	4.855	7.842	635	359.6[4]
X_0^3	0.1	5.825	15.279	5.823	5.814	8.710	611	769.2
	0.2	5.099	14.116	5.291	4.856	7.842	665	386.9
	0.3	5.101	14.563	5.091	4.855	7.842	643	378.3[5]
	0.4	4.899	14.716	5.091	4.855	7.898	347	369.0[6]
	0.5	5.500	13.916	5.091	4.855	7.842	184	394.2
	0.6	5.480	13.916	5.091	4.874	7.842	652	387.1
	0.8	4.899	13.916	5.135	4.880	7.842	636	355.2[7]

註) 1)~7)은 最適目的 函數值에서 10% 이내에 드는 경우임.

表 4. 通行量規模別 最適設計案의 變化

通行量	設計變數(事業區間, 千臺/日)					目的函數
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	(千時間/日)
現在規模	4.899 (4.899)	14.217 (13.916)	5.092 (5.092)	4.855 (4.855)	7.856 (7.842)	350.6
現在規模 ×1.50	5.474	14.437	5.318	5.441	7.906	2,381.7
現在規模 ×2.00	5.774 (6.000)	15.037 (16.000)	5.760 (6.000)	5.741 (6.000)	9.000 (9.000)	8,647.3

註) (　) 안은 上下限値

며, 初期容量增減値는 變數範圍를 다 포함하도록 하는 것이 바람직하다.

表 3에서 最適解는 (20,58)區間에 76(臺/日)의 容量擴充을 하는 代案이며, 이때 目的函數는 349.1(千時間/日)로 아직은 通行量規模가 적어서 街路改善의 必要性이 적은 상태이다.

(3) 建設費用函數가 위로 볼록한 경우

表 1과 같은 變數設定에 따라 建設費用函數가 위로 볼록한 경우에 대하여 探索을 試圖하여 最適案으로는 $x_1=5.737$, $x_2=13.916$, $x_3=5.091$, $x_4=4,855$, $x_5=7.842$(千臺/日)의 結果를 얻었고, (24,62)區間에서 838(臺/日)의 容量擴充을 하는 것으로 나타났다. 이때의 目的函數値는 401.4(千時間/日)로 函數의 形態上 앞의 線型인 경우보다는 다소 높게 計算된다.

(4) 通行量이 增加하는 경우

(1)~(3)의 設計結果에서 通行量水準이 낮아 混雜이 심하지 않는 것으로 判斷되어 本技法의 交通混雜에 대한 作動性을 알아보기 위하여 表 4와 같은 通行量規模別 設計를 行하였다. 表 4에서 보면 通行量이 현재의 2배인 경우, 各 設計變數의 上限値까지 이르는 代案이 도출되며, 通行量이 1.50배인 경우는 대체로 그 中間水準의 設計規模로 결정되고 있다.

(5) 近似技法

앞의 最適街路網 導出을 위하여 計算時間(I/O time, CPU time)은 IBM 370/168로 約 1,800秒程度가 걸리며 이를 줄이기 위하여, 近似技法으로, Hooke-and-Jeeves 過程中 局部探査時의 交通流變化가 미소함을 考慮하여 據點移動時에만 平衡交通流問題를 풀도록 하였다.

이 方式에 의하면 目的函數가 500.4(千時間/日)로 이를 기준으로 正確解의 경우에 대하여 30%의 오차를 보이며, 計算時間은 23秒 정도로 단축된다. 이 경우는 特히 初期解의 位置가 技法의 效率을 左右한다.

5. 結　論

本 硏究에서는 交通의 需要와 供給의 兩面의 相互影響을 反映하는 統合模型(integrated supply and demand models)의 一環으로, 通行行態를 考慮하면서 最適街路網 設計代案을 導出하는 模型을 定立하였고, 主要한 結果를 要約하면 다음과 같다.

첫째, 連續設計變數에 의하면 交通需給의 均衡狀態에서의 探索이 가능하며, 離散的 模型의 幾何級數的 評價回數를 算術級數水準으로 감소시켜 준다.

둘째, 보다 現實的인 建設費用函數는 위로 볼록한(concave) 형태로서, 이 경우의 探索은 Hooke-and-Jeeve 技法의 適用性이 높다.

세째, 檢證街路網의 경우, 특히 初期解位置가 重要하며 初期容量增減値는 變數範圍를 모두 포함하는 것이 效率的이고, 近似計算法에 의하여 正確度는 떨어지나 效率은 80배 정도 증가한다.

한편 이같은 硏究 結果에서 向後 硏究되어야 할 內容은 다음과 같다.

첫째, Hooke-and-Jeeves 技法을 위시하여 街路網設計에 效果的으로 適用될 수 있는 非線型技法의 開發 및 接木과,

둘째, 街路改善으로 인한 交通需要(通行分布等)와의 相互關係의 糾明이 필요하다. 여기서는 中·短期的으로 通行配定과 通行分布間의 相互影響을 밝혀주는 綜合模型(combined-distribution-assignment model)[13]의 適用을 考慮해 볼 수 있는 것으로 判斷된다.

그리고 이러한 技法은 街路網設計(network design)뿐만 아니라 信號體系 最適化(optimization of signal system), 車輛配車計劃(vehicle routing), 貨物輸送問題(shipper-carrier behaviour problems), 交通政策의 適正化(optimal policy control), 上下水道管網分析(analysis of water supply network) 등, 通行需要와 區間容量 槪念으로 解析되는 問題에 適用可能性이 높은 것으로 判斷된다[14,15].

謝 辭

本 研究는 韓國科學財團의 基礎研究支援에 의하여 이루어진 것으로 이에 感謝의 뜻을 表한다.

參 考 文 獻

1. 李勇宰, "네트워크平衡理論을 利用한 街路網體系의 設計", 國土計劃, 第22卷, 第2號, 1987, pp. 34~45.
2. Magnanti, T.L. and R.T. Wong, "Network Design and Transportation Planning-Models and Algorithms," *Transportation Science*, Vol. 18, 1984, pp. 181~197.
3. Hooke, R. and T.A. Jeeves, "Direct Search Solution of Nnmerical and Statistical Problems," *J. Ass. Comp. Mach.*, Vol. 8, 1961, pp. 212~229.
4. Frank, M. and P. Wolfe, "An Algorithm for Quadratic Programming," *Naval Res. Logist. Quart.* 3, 1956, pp. 95~110.
5. Leblanc, L.J., *Mathematical Programming Algorithms for Large Scale Network Equilibrium and Network Design Problems.* Ph. D. dissertation, Dpt. of IE and MS, Northwestern University, 1973.
6. Poorzahedy, H. and M.A. Turnquist, "Approximate Algorithms for the Discrete Network Design Problems," *Transportation Research* Vol. 16B, 1982, pp. 45~55.
7. Mackinnon, R.D. and G.M. Barber, "*Optimization Models of Transportation Network Improvement: Review and Future Prospects,*" Working Paper, IIASA, 1976, Luxemberg, Austria.
8. Wong, R.T., "*Introduction and Recent Advances in Network Design: Models and Algorithm,*" *in Transportation Planning Models,* (ed.) Florian, M., 1984, Elsevier Science Publishers.
9. Steenbrink, P.A., *Optimization of Transport Networks,* John Wiley and Sons, 1974.
10. Dantzig, G., Harvey, R., Lansdowne, Z., Robinson, D. and S. Maier, "Formulating and Solving the Network Design Problem by. Decomposition," *Tronsportation Research* Vol. 13B, 1979, pp. 5~17.
11. Abdulaal, M. and L.J. Leblanc," Continuous Equilibrium Network Design Models," *Transportation Reseearch B,* Vol., 13B, 1979, pp. 65~80.
12. Los, M. and C. Lardinois, "Combinatorial Programming, Statistical Optimization and the Optimal Transportation Network Problem," *Transportion Research* Vol. 19B, 1980, pp. 89~124.
13. Jörnsten, K.O. and S. Nguyen, "Estimation of an O-D Matrix from Network Data: Dual Approaches," *Conference on Structural Economic Analysis and Planning in Time and Space,* University of Umeå, Sweden, 1981.
14. 張玹峰, 連續設計變數에 의한 最適街路網設計, 博士學位論文, 서울大學校 土木工學科, 1987. 12.
15. Fisk, C., "A Conceptual Framework for Optimal Transportation Systems Planning With Integrated Supply and Demand Models," *Transportation Science,* Vol. 20, 1986, pp. 377~4.

(接受 : 1988. 1. 20)