

Quadratic Assignment Problem의 解法 및 應用

(A Heuristic Algorithm for the Quadratic Assignment Problem and its Application)

黃 鶴*
全 治 赫**

Abstract

This paper presents a heuristic solution procedure for the quadratic assignment problem, ranking procedure, which can handle the case where not all of the facilities have the same size of area. The ranking procedure is found more efficient than two other existing heuristic procedures from results of computational experience.

Based on the out-patients flow pattern and the procedure developed, an improved layout of the three existing general hospitals is developed with the objective of minimizing the total distance travelled by patients in the central and the out-patient clinic.

I. 序 論

建築 設計나 施設 配置에 있어서, 部門 間의 相互 位置의 決定은 상당히 重要한 部分을 차지한다.

病院 建築에서도 例外는 아니다. 특히 우리 나라와 같이 人口數에 比하여 病床數가 적은 곳에서는 現施設의 效率의 利用이 要求되며 많은 病院의 新築을 要하기 때문에 部門間의 配置 問題는 큰 當面한 일이라 할 수 있다.

지금까지 平面的 性格을 띤 工場配置 問題는 많이 論議되어 왔으나, 比較的 機能이 複雜한 病院의 配置에 對하여서는 활발한 研究가 별로 없었다.

Rosenfield[8]는 以前까지 구체적으로 言及되지 않았던 病院 各 部門 間의 相互關係에 對하여 그 動要性을 力說하고 있다.

部門 間의 相互關係, 즉 隣接性을 充分히 理解하고 適切한 部門 配置에 의하여 이를 圓滑히 維持함으로써 患者들에게는 물론, 醫師, 看護員 및 기타 職員들에게

便宜를 提供할 수 있다.

一般의 配置 問題를 解決하기 위하여서는 많은 研究가 進行되어 왔으며 특히 電算機의 開發로 인하여 有力한 解法들이 發表되었다.

本 研究는 QAP(Quadratic Assignment Problem)를 解決하는 데 有用하게 使用할 수 있는 새로운 發見의 解法(Heuristic Procedure)을 提案하며, 이 개발된 解法과 既存의 技法의 調整 補完에 의하여 綜合病院에서 의 患者의 動線(walking distance)을 短縮시킬 수 있는 再配置案을 提示하여 新築 病院에 대한 參考資料를 提供하는 데 그 目的이 있다.

II. 配置問題의 QAP 定式化

1. 配置 問題의 一般의 考察

Muther[7]는 配置 問題를 圖表 및 圖解에 의하여 定性的으로 分析하는 方法을 體系의으로 定立한 SLP (Systematic Layout Planning) 節次를 提案하였다.

最近에는 電算化된 配置 問題의 프로그램이 多數 開發되었는데 이 중에서 配置案構成解法(construction algorithm)인 ALDEP(Automated Layout Design Pro-

* 韓國科學院

** 韓國熱管理試驗研究所

gram)과 CORELAP(Computerized Relationship Layout Planning), 그리고 配置案을 改善시키는 改善解法(improvement algorithm)으로 CRAFT(Computerized Relative Allocation of Facilities Technique)가 代表的이다.

配置 問題를 QAP로 定式化하여 解決하려는 研究의 結果로 지금까지 많은 發見的 解法이 發表되었으며 Gilmore [5]와 Lawler [6]에 의한 Branch and Bound 解法 등의 最適 解法(Optimal Procedure)도 研究되었다.

그러나 最適 解法은 問題가 커지면 計算上 適用이 어려우므로 發見的 解法이 많이 使用된다.¹⁾

Elshafei[3]는 外來診療部의 17個의 診療 各科에 對한 配置 問題를 QAP로 定式化하여 患者의 動線을 最小化시키려는 發見的 解法을 提示하였다. 그러나 여기서는 各 部門의 面積이 서로 同一한 경우를 다루었다.

各 部門의 面積이 同一하지 않을 경우에 QAP 解法을 適用할 때는 部門의 面積 問題나 多層建物 問題에 對하여 調整이 必要하다.

2 QAP 定式化 및 解法

設備 間의 相互 位置의 交換이 可能할 때 이 設備들을 定해진 場所(site)에 配置하는 問題를 QAP라 할 수 있다.

設備가 配置될 場所의 數가 有限하며 n 個의 設備와 場所가 있다고 假定하면 QAP는 다음과 같이 定式化된다.

$$\begin{aligned} \text{minimize } f(x) &= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{h=1}^n W_{ij} d_{kh} x_{ik} x_{jh} \\ \text{s.t. } \sum_{i=1}^n x_{ik} &= 1, \quad k=1, \dots, n \\ \sum_{k=1}^n x_{ik} &= 1, \quad i=1, \dots, n \\ x_{ik} &= \begin{cases} 1 & (\text{設備 } i \text{ 가 場所 } k \text{ 에 配置될 때}) \\ 0 & (\text{그밖의 경우}), \end{cases} \\ &\text{for all } i, k \end{aligned}$$

여기서 W_{ij} 는 設備 i 에서 設備 j 로의 흐름量(flow)을 나타내며 d_{kh} 는 場所 k 로부터 場所 h 까지의 距離를 表示한다.

만약 設備 i 가 場所 $a(i)$ 에, 設備 j 가 場所 $a(j)$ 에 配置된다면 目的函數의 값 TC 는 다음과 같이 된다.

$$TC = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} d_{a(i), a(j)}$$

QAP에서 各 場所들은 그 面積이 서로 同一하여야 하므로 設備들의 面積이 同一하지 않을 경우에는 다음

1) Branch and Bound 解法으로 볼 때 設備의 數가 15보다 크면 계산이 거의 不可能하다.

의 방법으로 해결하도록 한다. 各 設備의 面積의 最大 公約數를 한 場所의 面積으로 하여 이를 面積素라 하고, 이 面積素에 의하여 分割된 設備의 一部分을 設備元素라고 하여 設備元素의 總數와 場所(또는 面積素)의 總數가 一致하도록 한다.

多層建物의 경우에는 그 內部에 하나의 主要垂直通路(階段 또는 엘리베이터)를 갖고 있으며 各層에서의 그 位置는 同一하다고 假定한다. 또한 모든 距離는 面積 中心間의 距離이며 直角直線距離(rectilinear distance)로 假定하며 理論 展開에 必要한 記號들을 다음과 같이 定義한다.

- m ; 設備의 總數
- n ; 場所의 總數 ($n \geq m$)
- (x_k, y_k) ; 場所 k 의 位置 ($k=1, \dots, n$)
- W_{ij} ; 設備 i 에서 設備 j 로의 흐름量
- $(i, j=1, \dots, m), W_{ij}=W_{ji}$
- d_{ij} ; 設備 i 에서 設備 j 까지의 距離
- $(i, j=1, \dots, m), d_{ij}=d_{ji}$
- N_i ; 設備 i 의 面積素의 個數 ($i=1, \dots, m$)

$$s_j = \sum_{i=1}^m N_i, \quad j=1, \dots, m$$

(設備 j 까지의 面積素의 總合)

단, $s_0=0$ 라 한다.

$a=(a(1), a(2), \dots, a(n))$; 配置 벡터(Assignment Vector)

여기서 $a(k)$ 는 設備元素 k 가 配置된 場所番號를 나타낸다. 場所番號는 1層부터 最高層까지 차례로 定하는 것으로 가정한다.

F ; 建物의 層數

f_i ; i 層에 있는 場所의 最大番號 ($i=1, \dots, F$)

$f_F=n$, 단 $f_0=0$ 라 한다.

h ; 建物 한 層의 垂直距離

(x, y) ; 垂直通路의 位置

SF ; 同一距離의 垂直 移動과 水平 移動間의 難易를 나타내는 加重值(Subjective Factor)로서 보통 3으로 보면 타당하다[1].

r_i ; 設備 i 가 屬해 있는 層數 ($i=1, \dots, m$)

設備 i 의 面積 中心의 x 座標 x_i^0 와 y 座標 y_i^0 는 다음과 같이 된다.

$$x_i^0 = \sum_{k=s_{i-1}+1}^{s_i} x_{a(k)} / N_i, \quad i=1, \dots, m$$

$$y_i^0 = \sum_{k=s_{i-1}+1}^{s_i} y_{a(k)} / N_i, \quad i=1, \dots, m$$

配置 벡터 a 가 주어졌을 때 設備 i 가 속해 있는 層數는 다음과 같이 求할 수 있다. 즉, 한 設備를 構成하고 있는 面積素들의 位置가 서로 이웃하여 있다고 하면 $f_{r-1} < a(s_i) \leq f_r$ 일 때 $r_i=r$ 가 된다.

設備 間의 距離는 다음과 같이 表現된다.

i) $r_i = r_j$ 이면

$$d_{ij} = |x_i^0 - x_j^0| + |y_i^0 - y_j^0|, \quad i, j = 1, \dots, m$$

ii) $r_i \neq r_j$ 이면

$$d_{ij} = |x_i^0 - x_j^0| + |y_i^0 - y_j^0| + |x_i - x_j^0| + |y_i - y_j^0| + |r_i - r_j| \cdot h \cdot SF$$

이 때 目的函數의 값이며 實際 總費用인 $TC(a)$ 는 다음과 같다.

$$TC(a) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m W_{ij} d_{ij}$$

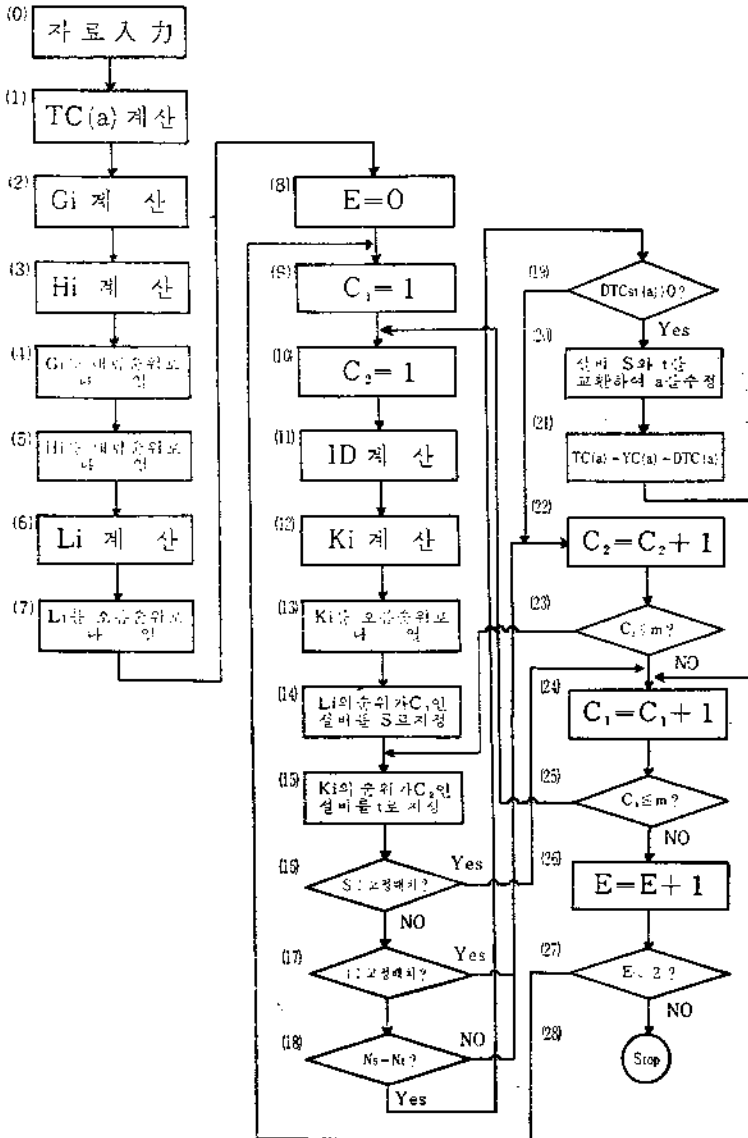
그리고 設備 k 에 對한 總費用 $P_k(a)$ 와 設備 u 와 設

備 v 를 交換하였을 때의 總費用의 변화량 $DTC_{uv}(a)$ 는 각각 다음과 같이 表現된다.

$$P_k(a) = \sum_{i=1}^m W_{ki} d_{ki}$$

$$DTC_{uv}(a) = \sum_{i=1}^m (W_{iu} - W_{iv})(d_{iu} - d_{iv}) - 2 W_{uv} d_{uv}$$

面積이 同一한 두 設備의 位置를 交換할 때, 그 設備을 이루고 있는 面積素들의 位置를 모두 서로 交換하여야 한다. 즉, 設備 u 와 設備 v 가 交換될 때에 $a(s_{u-1}+1), a(s_{u-1}+2), \dots, a(s_u)$ 와 $a(s_{v-1}+1), a(s_{v-1}+2), \dots, a(s_v)$ 가 各各 바뀌어야 한다.



<그림 1> 順位 解法의 흐름圖

QAP의 發見的 解法中 SDPI 解法(Steepest-Descent Pairwise-Interchange Procedure)[4]과 Vollmann, Nugent 및 Zartler[9]에 의한 VNZ 解法(Vollmann, Nugent, Zartler Procedure)이 比較的 使用에 便利한 데, 以上과 같은 方法으로 이 解法들을 調整하여 使用할 수 있다.

配置되지 않아도 좋은 自由空間(free space)이 있을 경우에는 이 곳에 假想 設備(dummy facility)를 만들어 配置시키며, 이때 假想設備 間의 흐름량이나 假想設備에서 다른 設備로의 흐름량은 없는 것으로 한다.

3. 順位 解法

이 解法의 概念은 다른 設備와의 相互關係와 흐름량이 많은 設備의 順序로 다른 設備와의 距離가 가장 짧은 設備와 그 位置를 서로 交換하자는 데 있다.

順位解法을 段階의으로 說明하면 다음과 같다.

〈解法 節次의 諸段階〉

0. $A, W=(W_{ij}), D=(d_{ij})$ 등의 資料 入力
1. $TC(A)$ 計算
2. 設備 i 로의 흐름이 있는 ($W_{ij} > 0$) 設備 j 의 數, G_i 計算 ($i=1, 2, \dots, m$)
3. $H_i = \sum_{j=1}^m W_{ij}$ 계산 ($i=1, \dots, m$)
4. G_i 를 내림 順位(descending order)로 羅列
5. H_i 를 내림 順位로 羅列
6. $L_i = G_i$ 의 順位(ranking) + H_i 의 順位, 計算 ($i=1, \dots, m$)
7. L_i 를 오름 順位(ascending order)로 羅列
8. $E=0$
9. $C_1=1$
10. $C_2=1$
11. 距離行列(distance matrix), $D=(d_{ij})$ 計算
12. $K_i = \sum_{j=1}^m d_{ij}$ 計算 ($i=1, \dots, m$)
13. K_i 를 오름 順位로 羅列
14. L_i 의 順位가 C_1 인 設備를 s 로 指定
15. K_i 의 順位가 C_2 인 設備를 t 로 指定
16. s 가 固定配置(preassign) 되어 있으면 Step 24 로, 그렇지 않으면 Step 17 로
17. t 가 固定配置되어 있으면 Step 22 로, 그렇지 않으면 Step 18 로
18. 設備 s 와 設備 t 의 面積이 같으면 ($N_s = N_t$) Step 19 로, 그렇지 않으면 Step 22
19. $DTC_{st}(A)$ 를 計算하여 0보다 크면 Step 20 으로 그렇지 않으면 Step 22 로
20. 設備 s 와 設備 t 를 交換하여 A 를 修正
21. $TC(A) = TC(A) - DTC_{st}(A)$ 計算

그리고 Step 24 로

22. C_2 를 한 單位 增加시킴. ($C_2 = C_2 + 1$)
23. $C_2 \leq m$ 이면 Step 15 로, 그렇지 않으면 Step 24 로
24. C_1 을 한 單位 增加시킴 ($C_1 = C_1 + 1$)
25. $C_1 \leq m$ 이면 Step 10 으로, 그렇지 않으면 Step 26.

으로

26. E 를 한 單位 增加시킴 ($E = E + 1$)
27. $E < 2$ 이면 Step 9 로, 그렇지 않으면 Step 28 로
28. Stop

이 解法의 흐름圖表(flow chart)는 〈그림 1〉과 같다. Step 27 에서 2라는 數値는, 經驗의으로 解法의 節次를 두번 反復한 것으로 充分하였기 때문에 도출되었으며 必要에 따라 增加시킬 수 있다.

Ⅲ. 既存 綜合病院의 部門 配置

1. 部門의 分類

綜合 病院을 機能上 病棟部, 外來診療部, 中央診療部, 管理部, 서어비스部로, 分類할 수 있는 데, 本 研究에서는 K病院(300 病床), H病院(600 病床), Y病院(612 病床)을 對象으로 하여 各 病院의 外來·中央診療部の 診療 各科들의 配置 問題를 다루었다.

대부분의 綜合病院에서의 外來·中央診療部는 대체로 22個의 診療各科로 構成되어 있다.

즉 外來接受와 外來診療部の 14個 診療各科, 그리고 中央診療部の 7個 診療各科로 分類할 수 있는데 이들의 固有番號와 機能을 〈表-1〉에 나타내었다.

여기서 No. 2에서 No. 15까지는 外來診療部の 診療各科를, No. 16에서 No. 22까지는 中央診療部の 診療各科를 表示한다.

그리고 QAP 解法을 適用할 때 固有番號 23으로써 出入口를 한 部門으로 添加시켰다.

〈表-1〉 診療各科의 固有番號 및 機能

固有番號	機能	固有番號	機能
1	外來接受	12	皮膚科
2	內科	13	泌尿器科
3	神經·精神科	14	耳鼻咽喉科
4	一般外科	15	應急部
5	胸廓外科	16	中央檢査部
6	神經外科	17	放射線部
7	整形外科	18	同位元素部
8	成形外科	19	手術部
9	產婦人科	20	分娩部
10	小兒科	21	再活醫學部
11	眼	22	藥局

2. 入力資料의 分析

各病院의 設計圖로 부터 直接 診療各科의 實際面積을 求한 다음, 面積素의 概念에 입각하여 診療各科의 面積을 面積素의 個數로 表示한 結果를 使用하였다. [11]

場所의 位置決定에 있어서는 여기서 다루고 있는 23個 診療各科들이 現在 配置되어 있는 곳을 有用한 空間으로 看做하여 各病院의 場所(site)를 決定하였다. 出入口는 面積이 없으므로 이의 場所를 點으로 表示하였다.

그리고 Y病院에서 調査한 “外來患者의 흐름 類型(flow pattern)”과 “科別 外來患者 集計”[10]를 使用하여 다음과 같은 方法으로 各病院의 흐름 行列(flow matrix) $W=(W_{ij})$ 를 算出할 수 있다.

診療科 i에서 診療科 j로 가는 患者의 比率를 P_{ij} 라 하고, W_i 를 診療科 i로 오는 患者의 總數라 하면 W_{ij} 는 다음과 같이 표현된다.

$$W_{ij} = W_i \cdot P_{ij}$$

여기서 W_i 즉, 外來接受로 오는 患者의 總數는 外來患者 總數와 同一한 것으로 간주하여 그밖의 診療科에 對한 W_i 는 $W_i = \sum_{k=1}^{i-1} W_{ki}$ 와 같이 求할 수 있다. 그리고 W 를 대칭행렬로 간주하므로 $W_{ji} = W_{ij}$ 가 된다.

3. 現 配置案과 改善案의 比較

現 配 置 案										改 善 案									
FIRST FLOOR										FIRST FLOOR									
			22	22									2	2					
11			1	1						12			1	1					
14	6	12	1	1	10	7				11	22	22	1	1	10	14			
			23										23						
SECOND FLOOR										SECOND FLOOR									
17	17	17		18	18					17	17	17		21	21				
17	17	17			18					17	17	17			21				
	9	4	2	2	5	8	13	3		16	16	16	16	16	6	8	5		
THIRD FLOOR										THIRD FLOOR									
21	21	21		15						18	3	4		15					
16	16									18	9								
16	16	16								18	13	7							
FOURTH FLOOR										FOURTH FLOOR									
20	20		19	19	19					20	20		19	19	19				
20	20		19	19	19					20	20		19	19	19				
			19	19	19	19							19	19	19	19			

※ 各 숫자는 진료 각과의 고유 번호를 나타낸다.

〈그림-2〉 現配置案과 改善案 (H病院)

II-2,3에서 논한 調整된 SDPI 解法과 VNZ 解法, 그리고 順位解法을 使用하여, 初期 配置案을 變動시켜 보면서 動線이 가장 短縮되는 改善案을 摸索하였다.

또한 改善의 過程에서 외래접수, 응급부, 수술부, 분만부, 약국, 출입구 등과 같이 交換이 아니거나 반드시 現位置에 있어야 할 設備들을 미리 對象이 固定配置(preassign) 시켰으며, 이밖에 現配置가 가장 適合하여 交換이 될 必要가 없는 設備들도 計算時間의 節約을 위하여 미리 固定配置시켰다.

配置案 改善 過程의 結果, H病院이 경우는 〈그림-2〉과 같은 改善案을 얻을 수 있었으며 이때 使用한 解法의 結果가 모두 같았다. 그리고 K病院과 Y病院에서는 順位解法이 結果가 가장 좋으므로 이를 改善案으로 채택할 수 있겠다.

對象病院의 現 配置案과 改善案에서의 II-2의 方法에 의한 外來患者에 대한 動線의 길이는 〈表-2〉와 같으나, 一般적으로 病床數가 많음에 따라 그病院의 施設 規模가 크게 마련이므로 그만큼 外來患者의 動線 길이도 늘어나게 되어, 〈表-2〉에서의 1人당 平均 動線길이로써 各病院의 配置 狀態를 比較하기는 不合理하다.

이러한 不合理點을 除去하기 위해 正規計數(Normalizing Parameter)를 使用하여 動線을 正規化한 후 이를 對象病院間의 配置 優位를 比較하는 基準으로 삼

〈表-2〉 外來患者의 動線 比較 [11]

	外來患者 延人員 (名)	現 配 置 案		改 善 案		改善率 (%)
		總 距 離 (m)	1人當 距 離 (m)	總 距 離 (m)	1人當 距 離 (m)	
K 病院	169,149	22,767,862	134.25	19,082,326	112.81	16.0
H 病院	208,944	31,271,543	149.66	27,449,858	131.37	12.2
Y 病院	305,593	45,259,826	148.10	42,191,061	138.06	6.8

았다.

여기서 正規計數는 對象病院 間의 面積의 차이를 經由距離의 차이로 換算한 것으로, 比較對象의 面積이 基準病院의 m 배이면 比較對象의 正規計數는 \sqrt{m} 이다. [10] 基準病院의 正規計數는 1로 하며 以上과 같이 正規化한 各病院의 外來患者의 動線은 〈表-3〉과 같다.

〈表-3〉 正規化된 動線의 比較

	外來·中央 診療部面積 (m ²)	正規計數	正規化된 1人當平均距離	
			現 配 置 案	改 善 案
K 病院	4,400	1.000	134.25	112.81
H 病院	6,292	1.196	125.13	109.84
Y 病院	7,520	1.307	113.31	105.63

正規化된 距離로써 對象病院을 서로 比較하여 볼 때 K病院의 現 配置狀態가 가장 잘 되어 있지 못하여 비록 改善은 많이 될 수 있으나 改善案에 있어서도 動線의 길이가 가장 길다.

Y病院의 경우가 改善率이 가장 적은 데 이 理由는 〈表-3〉에서 알 수 있듯이 이病院의 現 配置狀態가 가장 좋지 못한 것으로 判斷되며, 이病院이 改善案에 따라 再配置되었을 때 動線의 길이가 가장 짧아질 수

있다고 생각된다.

H病院은 K病院과 Y病院의 中間의 性格을 띠고 있다.

本 研究에서 사용한 SDPI 解法, VNZ 解法 및 順位解法의 效率性을 서로 比較하기 위하여, 同一條件下에서 各 解法들에 의하여 얻어지는 最終配置案에서의 總動線 길이 및 이때의 計算時間을 〈表-4〉에 나타내었다.

SDPI 解法은 總費用(目的 函數의 값) 면에서 VNZ 解法과 同一하나 대체로 計算時間이 가장 많이 所要되므로 非效率的이며 本 研究 範圍內에서는 順位解法이 總費用 및 計算時間의 면에서 가장 效率的이라고 할 수 있겠다.

IV. 結 論

配置問題에 있어서, 특히 多層建物の 경우에 있어서는 이를 QAP로 定式化하여 解決하는 것이 適切하며, 設備間의 面積이 서로 同一하지 않은 경우에는 QAP 解法을 調整·補完할 必要가 있다.

本 研究에서 提示한 順位解法을 既存 綜合病院 配置問題에 適用하여 본 結果, 이 解法이 總費用 및 計算時間의 면에서 調整된 SDPI 解法 및 VNZ 解法보다 效率的이었다.

既存의 세 綜合病院을 對象으로 配置案을 分析하여 본 結果, 外來患者는 1人當 平均 124.23m(正規化된 거리)를 걷고 있는데 109.43m로의 단축이 가능하며, Y病院의 경우가 現 配置案이 가장 잘 되어 있고 改善案을 採擇할 때에도 動線길이가 가장 짧아질 수 있다.

앞으로의 연구과제로서 일정한 수의 병상을 保有하는 綜合病院의 部門配置를 고려할 수 있겠다.

〈表-4〉 各 解法의 比較

解 法 病 院	SDPI 解法		VNZ 解法		順 位 解 法	
	總 距 離 (m)	CPA 時間(초)	總 距 離 (m)	CPA 時間(초)	總 距 離 (m)	CPA 時間(초)
K 病 院	19,112,637	42.568	19,112,637	25.691	19,082,326	16.313
H 病 院	27,449,858	33.926	27,449,858	19.677	27,449,858	11.790
Y 病 院	42,271,763	15.849	42,271,763	17.966	42,191,061	14.570

* KIST의 CYBER 73(Control Data)의 CPA 時間임.

REFERENCES

1. Bailey & Norman, J. J., "Statistics in Hospital Planning and Design", *Applied Statistics*, Vol. 5, No. 3, 1956, pp. 146-157.
2. Charles, B., *Hospitals, Clinics, and Health Cen-*

ters: An Architectural Record Book, F.W. Dodge Co., N.Y., 1960.

3. Elshafei, A.N., "Hospital Layout as a Quadratic Assignment Problem", *Op. Res. Q.*, Vol. 28, No. 1, ii, 1977, pp. 167-179.
4. Francis, R.L., and J.A. White, *Facility Layout and Location, An Analytic Approach*, Prentice-Hall,

- Inc., Englewood Cliffs, N.J., 1974
5. Gilmore, P.C., "Optimal and Suboptimal Algorithms for the Quadratic Assignment Problem", *SIAM Journal*, Vol. 10, No. 2, 1962, pp. 305-313.
 6. Lawler, E.L., "The Quadratic Assignment Problem", *Management Science*, Vol. 9, 1963, pp. 586-599.
 7. Muther, R., *Systematic Layout Planning*, second ed., Cahners Books, Boston, Mass., 1973.
 8. Resenfield, I., *Hospital Architecture and Beyond*, Van Nostrand Reinhold Company, N.Y., 1969.
 9. Vollmann, T.E., C.E. Nugent, and R.L. Zartler, "A Computerized Model for Office Layout", *The Journal of Industrial Engineering*, Vol. 19, No. 7, 1968, pp. 321-329.
 10. 이국철, 종합병원내의 부문 배치에 관한 연구, 석사학위논문, 한국과학원, 1978.
 11. 전치혁, 종합 병원의 배치에 관한 연구, 석사학위논문, 한국과학원, 1979.
 12. 日本病院協會, 圖集 日本の病院建築, 鹿島出版會 1976.