

# 개선형 탐색법에 의한 기계공장 배치안 작성시 고려요소별 가중치의 크기에 관한 연구

文 基 柱\*

## A Study on Weight of Consideration Factors in Layout Development for Machinery Industries using Improvement-type Heuristics

Geeju Moon\*

### Abstract

Weight of the factors to be considered in layout development with improvement-type heuristics is discussed in this paper. Determination of weight is especially important if it is designed to be used with an improvement-type heuristic. It is same as the value of variable coefficients in a multi-objective function as well as indices for departmental switching orders in the heuristic. Various weights are examined through computer simulation to verify whether the numerical values collected from machinery industries can be used as weights. And then a method to be used for searching an optimum or optimum-tending layout for machinery industries is presented using the weight.

### 1. 서론

본 논문은 차량부품의 생산과 같은 기계적인 가공 및 조립을 수행하는 공장에서의 적정배치안을 찾는 문제를 다루고 있다. 이들 공장들은 생산성 향상을 위해 값비싼 자동화 기기 혹은

간이 자동화 기기들을 도입하여 생산에 임하고 있으나 생산의 형태가 과거와는 달리 소품종다량생산에서 다품종소량생산으로 바뀔에 따라 여러 가지 어려움에 직면해 있다. 그 중 한 가지 들 수 있는 문제가 설비재배치의 필요성이다. 설비의 배치 혹은 재배치 문제는 생산계획이 바뀔에 따라 생산성의 향상을 위해서는 필수적으

\* 동아대학교 산업공학과 부교수

로 고려해야 하는 것이나 지금까지 개발된 설비배치 방법들이 여러 가지 문제점들을 안고 있기 때문에 제대로 활용되지 못하고 있는 실정이다.

현재의 전산화된 설비배치안 개발 방법 중 가장 널리 쓰이고 있고 또 효율적인 것으로 알려진 CRAFT나 그것의 수정 보완판들은 적정 배치안을 찾는 방법 자체가 계량화하기에 부적당하거나 또는 복잡한 현실 제약조건들을 존재하지 않는다고 가정하여 해를 찾기 때문에 실현가능성이 없는 비현실적인 배치안을 만드는 문제점을 안고 있다. 이러한 문제의 해결을 위해 기계공장 배치안의 작성 과정에 있어서 현실에서 요구되는 여러 고려요소 혹은 제약조건들을 현장관리자들이 원하는 중요도에 따라 적정배치안을 탐색해 나감으로써, 찾아진 최종 배치안이 현장에서 원하는 중요도에 따른 것이며 동시에 실현 가능한 배치안일 수가 있게 된다. 그러나 이 방법을 적용함에 있어서 현장에서 고려하고자 하는 여러 가지 요소들 간의 적절한 중요도의 크기를 결정해야하는 문제가 있다. 이 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 개선형 탐색의 기본적인 절차는 Moon과 McRoberts[7]이 제시한 교체 대상 설비 혹은 부서를 선정하여 다른 것과 교체해 나가는 방식을 사용하나 구체적인 탐색순서와 고려요소별 중요도는 기계 가공 및 조립 공장의 관리자가 원하는 현장의 조사결과를 바탕으로 결정하였다. 이 고려요소별 가중치의 크기와 탐색방법의 타당성을 검증하기 위해 다양한 경우의 모의실험을 한 후 그 결과를 분석·정리하였다.

## 2. 설비배치와 기계공장에서의 고려요소별 중요도

### 2.1 설비배치 문제의 개요

생산 설비의 배치에 관한 문제는 공장 내부의 기계나 시설물을 적절하게 배치함으로써 작업물, 작업자, 공구, 생산정보 등의 흐름을 경제적이며 원활하게 하고, 제반 시설물 및 공간의 효율을 극대화함과 동시에 작업자에게는 편안하고 안전한 작업환경을 제공하는 데 그 목적이 있는 것이다. 이 배치문제는 OR분야에서 오랫동안 해결하고자 하고 있는 전형적인 조합형최적화(combinatorial optimization) 문제의 한 가지 형태로도 볼 수 있다. 배치문제의 구체적인 예를 들자면 사무실, 창고, 병원의 배치문제와 PCB(printed circuit board), VLSI(very-large-scale integrated)회로 설계를 들 수 있으며, 나아가 신문이나 잡지의 편집 기사들의 배치에도 활용될 수 있는 유용한 연구과제 중의 한가지라고 하겠다.

설비배치 문제를 해결하기 위해 개발된 여러 가지 계량화된 도구들을 보면 이들은 크게 2차원 모형을 만들어 끼워 맞추어 보는 방법, 수학적 모형화 기법, 그래프 기법, 컴퓨터 이용 기법 등으로 분류해 볼 수 있다. 그러나 이들 중 어느 것도 만족할 만한 해를 내놓는 것으로 평가받지 못하고 있다. 특히 근래에 들어와 소비자의 다양화해 가는 기호와 업체간의 극심한 경쟁으로 제품의 수명이 짧아지면서 생산의 형태가 소품종다량생산에서 다품종소량생산 체제로 바뀌어 가고 있기 때문에 생산설비의 구성은 더욱 복잡해져 가고 있으며 이런 문제에 적용가능한 유일한 방법은 컴퓨터를 이용한 배

치기법 뿐이라고 여러 사람들이 평가하고 있다. [4,9]

컴퓨터를 이용한 설비배치 기법을 연구하고 있는 동향은 크게 다음의 3가지로 나누어 볼 수 있다. 첫째, 산업공학 분야에서 행하고 있는 CRAFT의 수정·보완 또는 다목적함수 채택에 관련된 연구를 들 수 있겠고, 둘째로 기존의 설비배치 기법들을 사용하기 편리하도록 컴퓨터를 활용하여 보조해 주는 종류의 연구를 들 수 있다. 마지막으로 전산학 분야에서 행해진 연구를 들 수 있는데 주로 전산 관련 기기들의 배치방법을 다루고 있다.

## 2.2 설비배치안 작성 방법 및 평가

기존의 설비배치안 작성 방법들 중 먼저 CRAFT의 수정·보완 관련 연구들을 살펴보면 Malakooti와 O'souza[6]에 의한 것을 대표적인 것으로 들 수 있다. 이 연구는 CRAFT에서 목적함수에 운반비만 고려하고 있는 것을 생산율, 유연성 등을 추가로 고려해 주자는 것이다. 그리고 생산율과 유연성, 운반비의 가중치는 경험적으로 여러 번 다르게 할당하여 찾아보도록 추천하고 있다. 이와 같이 CRAFT처럼 단순한 운반비만을 고려한 목적함수에 대해 Konz[4]가 한 비판과 같이 자동운반설비가 발달한 지금은 고려해야 할 요소를 다양한 항목으로 넓혀 감은 바람직한 것이라고 하겠다. 그러나 이 방법은 근본적으로 CRAFT를 그대로 사용하고 있는 것으로 배치안 작성시 고려해야 할 다양한 요소들을 고려하지 않으며 특히 물리적 제약으로 불가능한 배치도 인정하게 되는 문제점이 그대로 남아있는 것이라고 하겠다. 부서의 형상이 비현실적으로 만들어지는 문제점은 이 방법으로 해결될 수 없으며, 배치안

작성시 고려하지 못한 요소만큼 최종적으로 작성된 배치안에 문제점으로 남게 된다는 것을 염두에 두어야 할 기법이다.

다음으로는 전문가시스템 기법을 응용한 연구인데 FADES(Facilities Design Expert System)라고 불리는 Fisher[2]에 의한 연구를 그 대표적인 것으로 들 수 있다. 이것은 CRAFT[1]나 CORELAP [5] 등 전산화된 배치 기법들이 안고 있는 문제점을 해결하기보다는, 이런 여러 프로그램 중 어느 경우에 어떤 것을 사용해야 하고 또 쉽게 사용할 수 있도록 필요 자료의 자동 준비 등과 같이 사용자들이 기존 기법들을 쉽게 쓸 수 있도록 돕고자 설계된 것으로 기존 전산화된 배치기법들이나 OR 분야의 할당기법을 수정없이 그대로 사용하는 것이기 때문에 만들어진 배치안은 기존 방법으로 만들어진 배치안의 문제점을 그대로 안고 있게 된다.

세 번째 분류에 속하는 것으로는 DPS(Design Problem Solver)[10]를 들 수 있다. 이것은 전산학 분야에서 행해진 설비배치 관련 연구들의 전형적인 한 형태로 볼 수 있는데 일련의 제약조건들을 만족하는 가구나 시설물, 특히 컴퓨터의 적절한 배치안을 찾고자 하는 것이다. 엄밀한 의미에서는 공장배치와는 차이가 있으나 현실의 제약조건들을 고려한다는 점에서 설비배치 분야에 중요한 위치를 차지하고 있는 연구라고 하겠다. 생산설비의 배치가 아니기 때문에 생산요소의 흐름이 전혀 고려되지 않고 있으며, 최적화해야 할 목적함수가 없는 것이 여기에서 다루는 설비배치의 연구와 차이점이라고 하겠다. 또한 배치물이 DPS에서는 고형물인데 반하여 공장 설비배치 시에는 그 대상이 부서일 수가 있기 때문에 부서의 모양이 바뀔 수 있는 유연성으로 인하여 설비배치

문제가 훨씬 복잡한 조합형최적화 문제라고 하겠다.

### 2.3 배치안 개발시 고려요소 및 기계 공장에서의 중요도

배치안 설계시 고려되어야 할 요인들로는 Tomkins와 White[11]의 35개 평가인자, Muther[8]의 20가지 항목, Bennett[4]의 작업 설계에 대한 4가지 기준 설정시의 고려 우선 순위 등을 들 수 있다. 이와 같은 배치안 설계시 고려해야 하는 요인들은 Bennett의 작업자의 건강과 안전, 조직이나 개인의 작업성(performance), 편리성, 선호도(higher wants) 등 4가지의 기본 분류에 따라 정리가 가능하다. 이렇게 정리된 것을 바탕으로 생산 현장의 126명의 실무자를 대상으로 그 중요도에 대한 비중을 조사한 것이 최효돈과 문기주[12]에 나와 있다. 최와 문은 정성적 방법으로 공장배치를 할 때 반드시 있어야 하는 부서간의 관련도 작성에 설문조사의 결과를 활용하는 방법을 제시하였다. 그러나 본 연구에서는 정성적인 방법에서 필요로 하는 부서간의 근접도 결정이 아닌 CRAFT류의 방법에서와 같이 초기 혹은 기존배치안에 대한 목적함수를 계산하고 설비 혹은 부서의 위치를 교체해 가며 목적함수 값의 개선 여부에 중점을 둔 방법을 개발하고자 한다. 여기에서 고려된 요소들의 항목별 내용과 중요도는 <표 1>과 같다. 그러나 <표 1>에서 나타난 가중치의 크기는 금액이 아닌 상대비적인 중요도의 성격을 띠고 있는 것으로 다른 항목에 대한 상대적인 중요성을 주로 나타내고 있다. 이 가중치의 크기가 중요도의 순위와 고려하고자 하는 요소들의 상대적 크기를 잘 대변하고 있으나 개선형 탐색법에 있어서

목적함수에 사용되기에는 조사시 수치적 기준의 불명료성등으로 상대적 크기의 비가 적합한지에 대해서는 의문이 제기된다. 이 수치들의 크기가 상대적으로 증감될 적합한 탐색순서를 결정하고 또한 탐색효율에 그 변화가 어떤 영향을 미치는지를 알아보기 위해 가중치 값의 상대적 변화에 따른 다양한 경우가 시험되었다.

### 3. 현장 조사 가중치에 의한 개선형 탐색법

조합형 최적화 문제는 최적안을 찾기 위해 평가해야 할 대안의 개수가 여러 경우의 조합으로 만들어지기 때문에 조합이 될 개수가 많아질 경우에는 대안의 수가 기하급수적으로 증가하므로 해결에 어려움이 따른다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 임의의 실행가능해에서 시작하여 개선해 나가는 교체식 개선형 방법이 가장 효율적인 것으로 알려져 있다. 설비 배치용 컴퓨터 프로그램중 가장 널리 알려진 CRAFT도 역시 이 부류 중의 한가지이다. 이 방법은 목적함수의 값에 더 이상의 개선이 일어나지 않을 때까지 부서의 위치를 교체하여 여러 가지 대안들을 만들어 봄으로써 가장 나은 배치안을 찾고자 하는 휴리스틱(heuristic)이다. 그러나 이 방법의 목적함수에 대해서는 바람직한 것으로 평가받지 못하고 있다. 그 첫째 이유로 설비배치안 개발시 고려해야 할 요소들을 전부 고려하지 못하고 운반비만 고려하기 때문에 현실성이 없는 해를 찾아낸다는 문제점이 있기 때문이다. 또한 이 방법은 모형화의 편리와 초기해를 찾는 과정을 단순화하기

〈표 1〉 기계공장에서 고려요소별 가중치

중요도 순위	고려요소별 내용	가중치	중요도 역순위
1	운송비용	6830	14
2	출구 필요 부서를 출구 쪽 배치	4830	13
3	환기구 필요 부서 환기구 쪽 배치	4350	12
4	관리해야 할 열 발생 부서의 격리 배치	4350	11
5	위험물의 안전 위치 배치	4200	10
6	열 에너지 절약형 배치	4060	9
7	소음 발생 부서의 작업자와 격리	2750	8
8	동력 필요 부서 공급 가능 위치에 배치	2630	7
9	급수/배수 필요 부서 가능 위치에 배치	2580	6
10	폭발물/인화물 격리 배치	2570	5
11	압축공기 필요 부서 공급 가능 위치에 배치	2550	4
12	진동 발생 부서 격리 배치	2480	3
13	장래 확장 용이형 배치	1710	2
14	사용자 선호형 배치	560	1

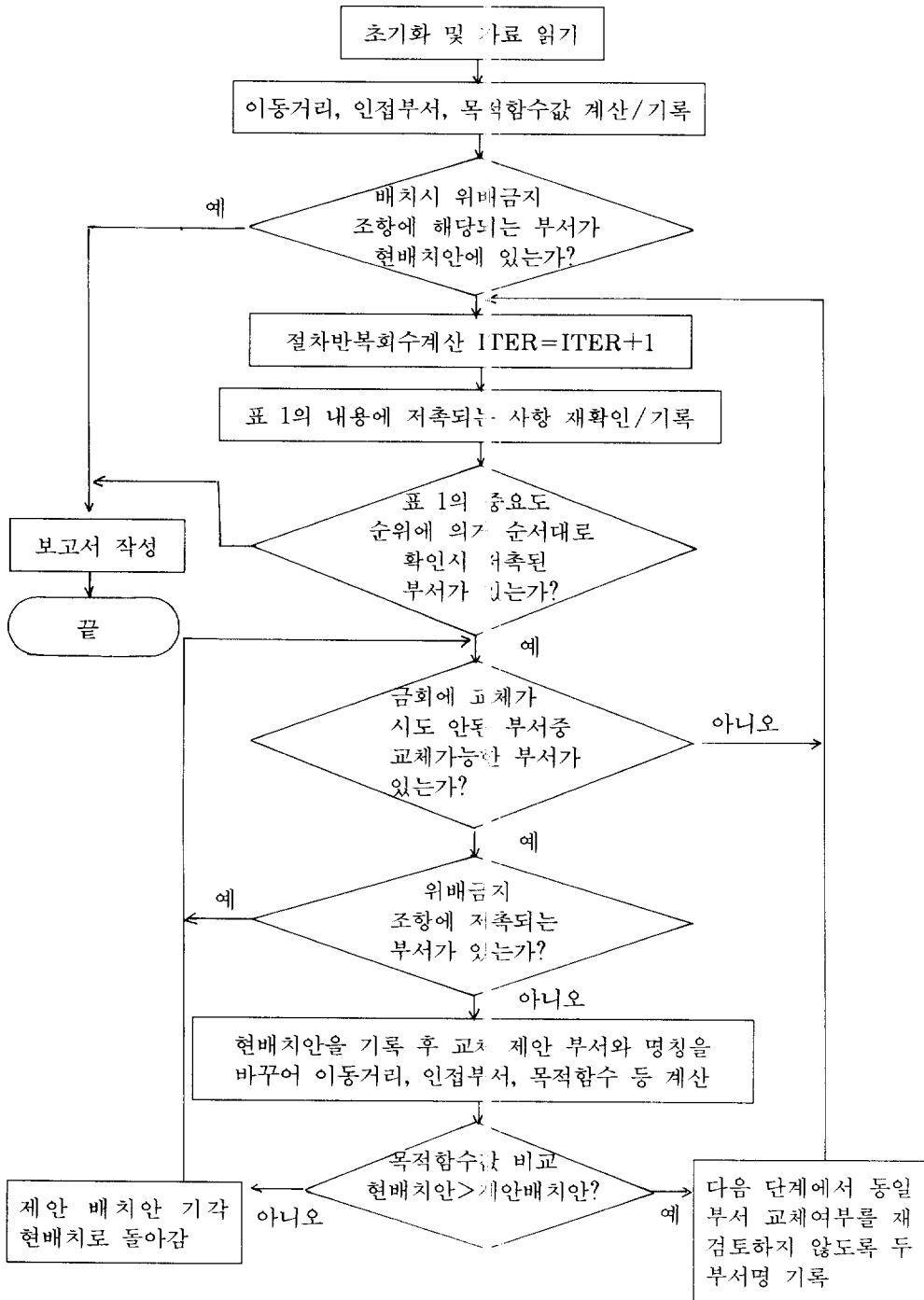
위하여 많은 현실적인 고려요소들을 없다고 가정함으로써 수식화는 간략화 했으나 상대적으로 평가해야 할 대안의 숫자는 엄청나게 증가시킨다. 이 두 가지 문제점은 최종해를 찾지까지 소요되는 계산시간을 증가시키고, 동시에 최종적으로 찾아진 배치안도 실행 불가능한 것에 지나지 않는 것을 찾아내게 한다.

이와 같은 문제점을 해결하고 최종해에 도달하는 시간도 단축하기 위해 설비배치 담당자가 설비배치를 행해 나가듯이 초기의 배치안에서 개선이 되어질 것으로 믿어지는 부서들에 대한 위치를 교체하여 최적해를 찾아가는 방법을 사

용하고자 한다. 이 시스템의 기본적인 탐색은 3가지의 단계로 나누어 구성되어진다. 제 1단계에서는 초기배치안의 현실제약조건 충족여부를 점검하여 충족되지 않을 시 초기안을 기각시킨다. 만약 초기안이 현실제약조건을 만족시키면 제2, 3단계를 반복 시행하여 최종해를 찾는다. 최종해의 탐색은 일반적인 휴리스틱에서처럼 더 이상의 개선이 일어나지 않을 때 정지하도록 하였다. 이 탐색의 절차를 단계별로 간략히 설명하면 다음과 같다.

제 1단계는 자료 읽기와 위배 금지 제약조건에 대한 평가요소의 점검을 한다. 위배 금지

[그림 1] 가중치에 의한 개선형 탐색법의 흐름도



조항에서 확인하는 것으로는 설비하중의 제약과 배치안 작성자의 개인적인 선호 조항을 들 수 있다. 도입하는 설비가 매우 무겁고 또 이 하중을 견딜 수 없는 공장의 부분이 있을 때 하중제약조건을 적용할 수 있다. 기타 현실에서 발생 가능한 다양한 금지사항 혹은 우선적 충족 사항들은 배치안 작성자의 개인적 선호조항으로 처리할 수 있다. 이 단계를 통과하면 제 2단계에서는 목적함수값의 빠른 개선을 위해 이동 및 교체해야 할 부서를 선정하게 된다. 그 순서는 목적함수값에 가장 나쁜 영향을 미치는 부서부터 선정하여 그것과 다른 부서와의 교체 가능성을 점검한다. 교체가능성의 점검시 교체했을 때의 목적함수 값의 개선여부를 확인한다. 앞의 <표 1>에 나와 있는 고려요소 및 가중치들이 현재의 배치안에서 각 부서를 제거하고 상호 교체할 대상을 선정할 때 고려하는 내용이다. 목적함수값의 더이상 개선이 없어 전체 부서에 대한 교체여부의 점검이 끝났으면 탐색을 멈춘다. 제 3단계는 부서의 이동 확정 및 위배될 수 없는 조건의 위배 여부를 확인하는 과정이다. 이 단계에서는 부서의 위치를 실제 바꾸고 제반사항에 대한 확인을 한다. 이러한 제 2단계와 3단계에서 행해지는 내용을 보다 자세히 살펴보면 다음과 같다. 이 단계들에서는 앞의 <표 1>에 나와 있는 항목들이 운반비만 제외하고는 하나 하나씩 순서대로 확인된다. 각 부서의 현 배치 상황이 표에 있는 내용에 저촉되는 것이 있으면 교체 대상 부서로 선정되어 현 위치에서 제거된다. 이 제거된 부서와 교체 가능한 부서를 찾기 위해 나머지 부서들이 하나하나씩 순차적으로 선정되어 교체 가능여부를 확인한다. 만약 특정부서와의 교체안이 제약조건에 위배되면 바로 그 교체안은 기각되며 제약조건에 위배되지 않더라도 목

적함수의 값을 나쁘게 만들면 교체안은 채택되지 않는다. 만약 현실 제약조건에 위배되지 않고 또한 목적함수값이 개선되면 그 교체안은 채택되게 된다. CRAFT에서는 목적함수가 운반비 단일 항목이며 교체대상이 처음부터 순차적으로 하나하나 선정되어 나간다. 그러나 이 탐색법은 <표 1>에서와 같이 14가지 항목을 고려하며 무의미하게 왼쪽에서 오른쪽으로 하나 하나 교체여부를 확인하는 것이 아니라 중요도 순위 2에서 14까지 항목중 가장 큰 가중치의 값을 발생시킨 부서부터 교체 대상이 되어 나간다는 차이가 있다. 이들 단계를 흐름도로 나타낸 것이 [그림 1]에 나와 있다.

## 4. 가중치 크기의 영향 분석

### 4-1. 시험방법과 조건

가중치에 의한 개선형탐색방법에 대한 평가를 하기 위해서는 일반적으로 CRAFT등에서 필요로 하는 자료에 부가하여 기타 다른 여러 가지 자료들도 필요로 한다. 필요로 하는 자료에는 초기배치안, 운반물량의 크기, 단위당 운반비용 외에 <표 1>에 나와있는 기타 현실에서 고려하고자 하는 안전/건강, 작업도, 편리성, 선호도 등에 관련된 것들이다. 이러한 자료들중 초기배치안의 표현과 운송비용 등을 나타내기 위해서는 어떤 방식으로 배치안을 나타낼 것인가가 한가지 문제가 된다. 이것을 표현하는 방법에는 여러 가지가 있으나 CRAFT에서 사용하는 바닥 면을 정방형으로 나누고 배치해야 할 부서를 같은 크기의 정방형으로 나누어 그 개수대로 배치하는 방법을 택했다. 그리고

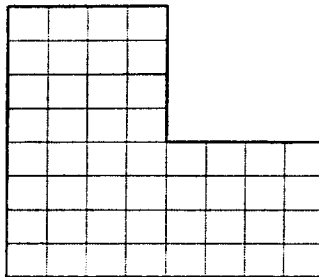
그 개수대로 배치하는 방법을 택했다. 그리고 본 연구에서는 설비배치의 대상을 공장의 형태나 특성에 따라 고려요소의 내용과 가중치에 많은 차이가 있을 수 있기 때문에 기계 가공 및 조립공장으로 한정하고 그 시스템에서 요구하는 요소별 가중치를 구하여 그에 따라 탐색 순서를 정했다.

CRAFT등에 비해 다양한 현실계약조건을 자료로 입력하여 확인하는 방법론상의 특성 때문에 제약조건에 위배되는 것이 있으면 바로 교체안이 기각된다. 특히 CRAFT에서 부서 교체 후 부서 모양이 심하게 왜곡되는 것도 점유비율의 개념을 도입하여 미리 기각을 하기 때문에 실행불가능해에 대한 불필요한 평가를 피할 수 있게 되어 최종해에 빨리 도달하게 되며 또한 얻어진 해가 실행가능해가 된다. 여기에서 점유비율이라고 하는 것은 [그림 2]에서 보는 것과 같이 작은 정사각형 여러 개가 모여서 구성된 한 부서가 배치후 (가)의 형태를 띠면 그것을 포함하는 가장 작은 사각형을 구하여 그 사각형의 점유비율을 구하여 형태의 정형여부를 판정한다. 만약 0.7이란 값을 사용자가 원하는 비율척도로서 주었을 경우 이것보다 작은 비율이 얻어진다면 그 안은 기각되게 된다. 이 척도의 도입으로 부서의 형상을 정형화할 수 있기 때문에 [그림 3]과 같은 CRAFT 출력의

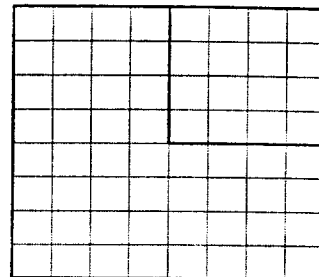
문제점을 보완할 수 있다. 한 예로 부서 'L'이 2개의 부분으로 나누어져 있는 데[3] 현장 적용시 수작업으로 수정을 가할 수는 있으나 수정시 찾아낸 배치안이 너무 많이 변해버리기 때문에 최종배치안을 찾기 위해 노력한 의미가 없어져 버린다고 하겠다.

본 시험의 주된 목적은 가중치 값의 변화와 또 가중치 크기에 의한 탐색 순서의 유효성을 검증하기 위한 것이므로 교체의 빈도를 높이고 새로운 초기배치안이 컴퓨터 상에서 자동생성이 용이하도록 부서의 크기를 정방형으로 모두 같게 만들었다. 입력자료는 운반량, 운반거리 외에 공장 바닥을 36개의 정방형으로 나누고 9개의 부서를 각 4개의 정사각형으로 하여 배치한 초기안을 작성했으며 <표 1>의 자료에 대한 각 부서별 또 부서간 특성과 공장 건축물 자체의 특성 등을 입력하였다.

이 시험은 IBM PC 호환기종 중 386DX-40에 math-coprocessor를 장착한 컴퓨터 상에서 시행하였으며, CPU시간을 확인하였다. 프로그램은 FORTRAN을 사용하여 작성했고, 몇 개의 다른 초기배치안 및 기타 기본 입력자료와 난수 등을 바탕으로 각각 100가지의 다른 초기배치안을 자동 생성하여 각 경우별로 최종해를 찾고 또 그 결과를 종합할 수 있도록 설계하였다.



(가)부서형태



(나)점유비율 = 48/ 64

[그림 2] 비율척도



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6
1	A	A	A	A	A	A	A	L	L	L	J	J	J	I	I	I
2	A					A	A	L	L	J	J	I	I	I		
3	A					A	L	L	L	J	J	J	I	I		
4	A					A	L	L	L	L	L	L	I	I		
5	A					A	G	G	G	L		L	I	I		
6	A	A	A	A	A	A	G	G	G	L		L	I	I	I	
7	B	B	B	B	B	B	G	G	L	L		L	K	K	K	
8	B					B	B	C	C	L		L	L	L	K	K
9	B					B	C	C	C	L		L	H	H	H	H
0	B					B	C	L	L	L	L	L	H			
1	B	B	B	B	B	C	C	C	L	F	F	F	H			
2	D	D	D	D	E	C	C	F	F	F	F	F	H	H	H	H
3	D		D	E	E	E	F	F	F	F	F	M	M	M	M	M
4	D		D	E		E	M	M	M	M	M					M
5	D		D	E		E	M									M
6	D	D	D	E	E	E	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M

[그림 3] CRAFT 출력 예

#### 4-2. 평가내용 및 결과 분석

이 시스템을 이용하여 다양한 경우를 모의실험한 후 그 결과를 종합하였다. 본 연구에서 시행한 모의실험의 결과는 목적함수값의 개선된 정도와 탐색절차의 반복횟수, 교체대상부서의 수, 이동대상 부서의 수, 그리고 수행시간의 길이를 비교해 볼 수 있도록 설계되었으며, 항목별 간추린 내용은 다음과 같다.

##### 1) 목적함수의 값

<표 2>의 초기안의 목적함수값은 입력자료 별로 무작위 하게 만들어진 100가지의 초기배치안들의 목적함수 값의 평균치이다. 최종안의 목적함수값은 무작위 하게 만들어진 초기안을 바탕으로 찾아낸 최종배치안의 목적함수값의 평균치이다. 이 두 값을 비교해 보면 얼마나 개선이 된 배치안인지를 알 수 있다. 감소%는 목적함수값의 감소된 비를 나타내며  $[(\text{초기안의 목적함수값} - \text{최종안의 목적함수값}) / \text{초기안의 목적함수값}]$ 으로 계산한 개선비율이다. 최종

안의 표준편차는 개선안들의 표준편차의 평균 값을 나타내고 있다.

이 표에서 목적함수 값은 각 배치안에서 고려요소별 위배사항의 발생빈도를 산출한 후 주어진 가중치를 곱하여 계산한 것이며 계산에 사용한 수식의 프로그램 부분을 따온 것은 [그림 4]와 같다.

단 운반비는 (운반단위수×단위당운반비×이동거리)에 해당 가중치를 곱하여 계산한 후 목적함수값에 포함시킨 것이다.

##### 2) 교체/ 반복횟수와 수행시간

보다 개선된 목적함수값을 가진 배치안을 찾아내는 것도 중요하나 그 값에 도달하기까지 소요되는 시간의 길이도 방법론의 수행도 평가에 중요한 항목이 된다. <표 2>와 <표 3>을 보면 CPU시간, 절차반복횟수, 이동대상, 교체대상 등의 항목이 나와 있다. CPU시간은 요소별 가중치 경우마다 100회의 모의실험에서 각각 최종해에 도달하기까지 소요된 컴퓨터시간을 초로 표시한 것이다. 절차반복횟수는 알고리즘의 탐색단계의 반복횟수이다. 이동 대상은 현 배치안에서 다른 부서와 바뀌기 위해 제거된 부서의 개수이며, 교체 대상은 그 제거된 부서와 바뀌도록 고려한 부서의 개수를 의미한다.

#### 4-3. 고려요소간의 가중치 크기의 영향

<표 1>에 나와 있는 고려요소별 가중치는 상대적인 것으로 그 크기에 따라 탐색 효율이나 탐색방법의 유효성, 최종해의 질에 영향을 미칠 수 있기 때문에 세밀한 평가가 있어야 하겠다. 그리고 설문에 대한 응답자에 따라서 그

C

C\*\*\* COMPUTE NEW OBJECTIVE FUNCTION VALUE  
 COEMHC = INTCR+14\*INTVL (운송비)  
 COENDO = INTCR+13\*INTVL (출구필요)  
 COENVT = INTCR+12\*INTVL (환기구필요)  
 COENHT = INTCR+11\*INTVL (열발생 격리)  
 COENDG = INTCR+10\*INTVL (위험물 안전)  
 COENHS = INTCR+9\*INTVL (열에너지 절약)  
 COENNS = INTCR+8\*INTVL (소음 격리)  
 COENPW = INTCR+7\*INTVL (동력원 근접)  
 COENWT = INTCR+6\*INTVL (급배수 가능)  
 COENEX = INTCR+5\*INTVL (인화불 격리)  
 COENAR = INTCR+4\*INTVL (압축공기 근접)  
 COENVB = INTCR+3\*INTVL (진동 격리)  
 COENBK = INTCR+2\*INTVL (장래 확장성)  
 COENUP = INTCR+INTVL (사용자 선호)

C \*\*\*

C \*\*\* MHC, NUP, NBK 등의 변수는 해당 조항별 위배건수를 나타냄  
 337 TEMOBJ = COEMHC\*MHC+ COENUP\*NUP+ COENBK\*NBK+ COENNS\*NNS+  
 1 COENVB\*NVB+COENEX\*NEX+COENAR\*NAR+COENVT\*NVT+COENPW\*NPW+  
 2 COENWT\*NWT+COENHT\*NHT-COENHS\*NHS+COENDO\*NDO+COENDG\*NDG

[그림 4] 목적함수의 계산

값의 상대적 크기가 달라 질 수 있기 때문에 그 비례적 크기가 어떤 영향을 미치는지 분석되어야 함은 필수적이라 하겠다. 이 목적을 위해 <표 2>에서 보는 바와 같이 10가지의 경우를 각각 100회씩 무작위 하게 초기안을 만들어 가중치의 변화가 탐색방법에 미치는 영향을 시험하였다. 표 2에서 요소별 가중치라고 되어 있는 것은 각 요소별로 가중치를 임의로 적용함에 있어서 그 상대비가 수치적 표현의 난이성으로 하여 잘못 결정되었을 때의 영향을 분석해 보기 위한 것이다. 각 요소별 가중치는 (100+중요도역순위 편차)로 계산했는데 이 식에서 편차는 고려요소별로 상대적인 차이를 두어야 할 값의 크기를 나타내고 있으며 중요도역순위라는 것은 <표 1>의 마지막 난에 나와 있는 것으로 중요도순위 난의 값과는 반대되는

값이다. 실제 프로그램에서 계산된 부분은 그림 4에 나와 있다. INTCR은 여기에서 100으로 고정시켰고 INTVL이 편차를 나타내고 있다.

<표 2>의 요소별 가중치는  $100 \pm 10$ 의 형태로 나와 있는데  $\pm$  부호 뒤의 수치는 10에서부터 기본이 된 100 보다 충분히 큰 값인 300까지로 하였다. 가중치의 값이 계산되는 예를 들면  $100 \pm 10$ 의 경우 각 고려요소별 가중치를 100에 편차인 10과 <표 1>에 나와있는 고려요소의 중요도의 역순위값으로 계산하여 110, 120, 130, ...으로 한 것이고,  $100 \pm 100$ 이라고 되어 있는 줄은 200, 300, 400, ...으로 했다는 의미이다. <표 2>에서 볼 때 초기안의 목적함수값과 최종안의 목적함수값은 가중치 난의 값에 따라 큰 편차를 가진 가중치로 갈수록 증가되어있다.

그러나 최종안과 비교하여 최종안이 초기안에 비해 개선된 비를 보면 모든 경우가 표 하단의 평균값인 42.28%를 중심으로 유사한 값을 나타내고 있고, 반복횟수나 CPU시간도 거의 차이들을 보이지 않으므로 가중치의 비례적 크기가 탐색방법 자체의 수행도에는 영향을 미치지 않는다고 말할 수 있다.

〈표 2〉에는 요소별가중치난에 있는 10가지의 경우별로 각 100개씩 무작위 하계 만들어진 초기배치안을 바탕으로 계산한 값들의 평균치가 항목별로 나와 있다. 각 경우 100회씩 계산된 값들을 어떤 모집단에서 100개 씩 표본 조사한 값이라고 하면 두 모집단간에 차이가 있는 것 인지를 검정해 볼 수 있을 것이다. 〈표 2〉에는 각 100회씩 10가지 경우를 시험한 결과가 나와 있는데 10가지 모두를 각각 비교해 보는 시간을 절감하기 위해 차이를 크게 보이고 있는 두 가지 경우만 비교검토함으로써 전체검정을 대신하고자 한다. 입력자료1을 이용한 요소별 가

중치  $100 \pm 10$ 과 입력자료2를 이용한  $100 \pm 200$ 의 결과치가 감소%에서 41.92%와 42.33%, 교체대상수에서 146.9와 155.6의 큰 차를 보이므로 검정 대상자료로 선정하였다.

MINITAB을 이용하여 각 항목들을 비교하였는데 출력결과들을 모은 것은 그림 5에 정리되어 있다. 이 출력 분들은 두 모집단간의 차이에 대한 가설을 검정하기 위한 MINITAB의 TWOSAMPLE-T 명령을 사용하여 95%의 신뢰도로 얻은 것이다. 두 모집단의 모평균은 차이가 없다는 즉 같은 모집단에서 나온 것이라는 가설에 대해 t통계량을 산출하였다. t통계량은 [그림 5]에서 TTEST 줄에서 T 값으로 나와 있다. 그리고 DF는 자유도를 의미한다. 여기에 나와 있는 t통계량의 절대값이 모든 경우 t 임계치보다 적으므로 두 모집단의 평균의 차이는 없다는 귀무가설을 받아들일 수 있으며 이 두 가지는 동일한 모집단에서 나온 것이라고 할 수 있다. 그러므로 감소%, 이동대상수,

〈표 2〉 고려요소별 가중치의 비례적 증가에 따른 영향 평가

구 분	요 소 별	초기안의 목적함수값	최종안의 목적함수값	감소 %	최 종 안 의 표준편차	이동 대상수	교체 대상수	반복 횟수	CPU 시간
입력 자료 1	$100 \pm 10$	9655293	5607465	41.92	254162	29.83	146.9	9.00	0.845
	$100 \pm 50$	32182426	18574826	42.28	736921	30.35	148.7	9.27	0.854
	$100 \pm 100$	60341044	3475692	42.40	1339922	30.71	149.6	9.15	0.863
	$100 \pm 200$	117000000	67239264	42.53	2613167	30.51	149.8	9.06	0.858
	$100 \pm 300$	173000000	99699240	42.37	3874701	30.51	149.8	9.06	0.861
입력 자료 2	$100 \pm 10$	9654729	5579342	42.21	204524	30.94	151.3	9.18	0.900
	$100 \pm 50$	32181060	18570956	42.29	645150	31.16	151.5	9.26	0.897
	$100 \pm 100$	60338972	34820016	42.29	1209703	31.16	151.5	9.26	0.901
	$100 \pm 200$	117000000	67479152	42.33	2376327	32.00	155.6	9.43	0.922
	$100 \pm 300$	173000000	100000000	42.20	3523537	32.00	155.6	9.43	0.923
평균	-	-	-	42.28	-	30.92	151.0	9.21	0.882

TWOSAMPLE T FOR C10 VS C20 [감소%의 비교]  
 N MEAN STDEV SE MEAN  
 C10 100 40.3 10.8 1.1  
 C20 100 40.5 10.7 1.1  
 95 PCT CI FOR MUC10 -MU C20: (-3. 2, 2. 8)  
 TTEST MU C10=MU C20(VS NE):T=-0.15 P=0.88 DF=198.0

WOSAMPLE T FOR C6 VS C16 [이동대상수의 비교]  
 N MEAN STDEV SE MEAN  
 C6100 29.83 9.87 0.99  
 C16 100 32.0 10.3 1.0  
 95 PCT CI FOR MU C6 -MU C16: (-4. 96, 0. 7)  
 TTEST MU C6 = MU C16 (VS NE): T=-1.51 P=0.13 DF=197.7

TWOSAMPLE T FOR C7 VS C17 [교체대상수의 비교]  
 N MEAN STDEV SE MEAN  
 C 7 100 146.93 55.4 5.5  
 C17 100 155.6 58.1 5.8  
 95 PCT CI FOR MU C7 -MU C17: (-24.5, 7.2)  
 TTEST MU C7 = MU C17 (VS NE): T=-1.08 P=0.28 DF=197.5

TWOSAMPLE T FOR C5 VS C15 [반복횟수의 비교]  
 N MEAN STDEV SE MEAN  
 C5 100 9.00 3.03 0.30  
 C15 100 9.43 2.96 0.30  
 95 PCT CI FOR MU C5 -MU C15: (-1.27, 0.41)  
 TTEST MU C5 = MU C15 (VS NE): T=-1.01 P=0.31 DF=197.9

TWOSAMPLE T FOR C8 VS C18 [CPU시간의 비교]  
 N MEAN STDEV SE MEAN  
 C 8 100 0.845 0.320 0.032  
 C18 100 0.922 0.344 0.034  
 95 PCT CI FOR MU C8 -MU C18: (-0.170, 0.015)  
 TTEST MU C8 = MU C18 (VS NE): T=-1. 65 P= .110 DF=197.0

[그림 5] 가중치 변화에 따른 모집단 평균의 차이 가설검정

교체대상수, 반복회수, CPU시간 등은 두개의 경우 모두 같은 것이라고 결론 지을 수 있다.

[그림 5]에서 보면 각 경우 TWOSAMPLE T FOR 줄에 어떤 값을 시험한 것인지 [ ]안에 설명이 붙어 있다. 이 중 제일 첫째 항목인 감소%의 비교는 MEAN의 값이 <표 2>에 나와 있는 41.92와 42.33과는 다른 40.3과 40.5를 보이고 있다. 이 두 값이 다른 이유는 <표 2>에서는 초기안의 목적함수값과 최종안의 목적함수값의 각 100개에 대한 평균을 계산한 후 평균값을 이용하여 감소%를 계산한 것이고, [그림 5]에서는 각 100회씩 계산된 개개 자료별로 초기안의 목적함수값과 최종안의 목적함수값을 이용하여 감소%를 계산한 후 평균한 것이기 때문이다.

#### 4-4. 목적함수값이 증가일 때 교체와 미교체의 영향

교체형 탐색법에서 고려되어야할 또 한가지

사항으로 교체안과 현재안의 목적함수값을 비교했을 때 동등한 경우의 처리문제를 들 수 있다. 가중치의 크기 문제는 앞에서 가중치의 비례적 변동에 대한 영향을 평가하였으므로 등가일 때 교체 혹은 미교체의 영향평가에서는 가중치의 값을 현장 관리자들이 요구하는 크기인 <표 1>의 값을 사용한다. 본 시험에서는 4가지의 초기배치안과 조건을 각각 다르게 만든 입력자료를 준비하여 이 4가지 자료마다 각각 100회씩 시험하였다. <표 3>에서 EQ, GT라고 되어 있는 것은 목적함수값의 개선을 위해 교체여부를 결정시 새로운 안이 현재안과 같은 값의 목적함수를 가질 때 새로운 안을 채택할 것이냐 아니면 기각할 것이냐를 결정하기 위한 것이다. EQ는 두 값이 같은 경우에도 교체한 경우의 결과이고 GT는 새로운 안이 작은 경우에만 교체한 경우의 결과이다. <표 3>에 정리된 결과에 따르면 동등할 때도 새로운 안을 채택하는 편이 목적함수의 값이 낮은, 다시 말해서 미약하기는 하나 보다 나은 배치안을 찾아

내는 것으로 나타났다. 그러나 이동대상의 값은 동등할 때에도 채택한 경우가 크게 나타났는데 이것은 동등안까지 전부 채택해 줄 것으로 하여 보다 많은 경우가 평가된 것에 기인하는 것으로 판단된다. 다른 부서와 교체되기 위해 현 위치에서 제거된 부서와 교체 가능성이 고려된 부서의 개수는 교체나 미교체 모두 유사한 값을 보이고 있다.

목적함수값의 평균 안에서 초기치는 같은 초

기입력자료와 같은 난수를 사용했으므로 같고 EQ나 GT 모두 최종안의 평균에 있어서는 탐색방법이 다르기 때문에 약간의 차이를 보이고 있다. 이 값들을 4가지 경우 각각 EQ 100회, GT 100회씩의 출력 분이 있으므로 EQ와 GT의 차이 여부를 결정하기 위해 유의성검정을 한 결과가 <표 4>에 요약되어 있다. <표 4>에는 두모집단의 모평균의 차이가 없다는 가설에 대해 검정하기위해 MINITAB의 TWOSAMP-

<표 3> 비교안 목적함수값이 동일시 교체 시와 미교체 시의 비교 평가

	목적함수값의 평균			최종 표준편차		이동대상 수		교체대상 수		반복횟수		CPU 시간	
	초기	EQ	GT	EQ	GT	EQ	GT	EQ	GT	EQ	GT	EQ	GT
1	28558	22907	22200	509	557	35.80	33.30	181.8	170.5	10.63	9.84	1.097	1.033
2	27461	21380	21315	877	893	31.34	31.00	154.0	152.3	9.81	10.11	0.960	0.954
3	25733	18709	18724	880	880	31.75	31.37	154.4	152.5	11.06	11.04	0.972	0.957
4	25765	19106	19106	941	941	33.20	33.20	167.4	167.4	10.11	10.11	1.002	1.003

<표 4> 등가일 때 채택/기각의 차이 유의성 검정

구분	목적함수값	이동대상수	교체대상수	반복횟수	CPU시간
1	T=-1.37 P=0.17 DF=196.4	T=1.62 P=0.11 DF=195.6	T=1.22 P=0.22 DF=95.8	T=1.57 P=0.12 DF=196.9	T=1.15 P=0.25 DF=195.8
2	T=0.52 P=0.60 DF=197.9	T=0.23 P=0.82 DF=197.1	T=0.21 P=0.34 DF=96.8	T=0.68 P=0.50 DF=196.4	T=0.12 P=0.90 DF=196.7
3	T=-0.13 P=0.90 DF=197.2	T=0.31 P=0.75 DF=198.0	T=0.29 P=0.78 DF=98.0	T=0.04 P=0.97 DF=197.0	T=0.33 P=0.74 DF=198.0
4	T=0.00 P=1.0 DF=198.0	T=0.00 P=1.0 DF=198.0	T=0.00 P=1.0 DF=98.0	T=0.00 P=1.0 DF=198.0	T=-0.02 P=0.98 DF=198.0

LE-T 명령을 사용하여 95%의 신뢰도로 얻은 것의 요약이다. 여기에 나와있는 t통계량의 절대값은 모든 경우 t 임계치보다 적으므로 두 모집단의 평균의 차이는 없다는 귀무가설을 받아들일 수 있다. 그러므로 어떤 방법도 무관하다고 하겠다.

## 5. 결론

새로운 기계의 도입으로 재배치를 하거나 신규 기계공장의 배치안을 개발하는 데 있어서 현장에서 원하는 가중치를 이용하여 적정배치안을 작성할 수 있는 방법을 찾기 위해 다양한 경우를 시험·분석하였다. 얻어진 결과대로 교체순서는 <표 1>에서의 가중치가 큰 값의 조항에 위배되는 부서부터 선택하여 시행해 나가며 새로운 배치안이 현 배치안과 동등한 목적함수 값을 갖는 경우는 기각 또는 채택 여부가 최종 배치안에 미치는 영향이 미미하므로 어느 쪽을 택해도 무관하겠다. 그리고 <표 1>의 가중치는 고려요소간 상대비의 개념으로 얻어진 수치이나 그 비례적 크기 정도가 최종해의 탐색 과정에 미치는 영향은 없는 것으로 평가되었으므로 <표 1>의 값을 그대로 사용할 수 있음도 입증되었다. 이와 같은 현실고려요소들을 배치안 작성단계에서 미리 확인하며 그것을 바탕으로 최종해를 찾아나가는 방법은 실행 불가능해를 미리 기각하므로써 최종해에 도달하는 수행시간을 짧게 해 준다. 아울러 탐색에 사용되는 고려요소별 가중치를 기계공장에서 실제 요구하는 값을 사용하기 때문에 현장의 요구안이 배치안 작성에 잘 반영될 수 있다는 장점이 있다. 그러나 여러 가지 현장의 제약 및 고려요

소들을 감안하여 최종해를 찾아내는 방법이므로 필요로 하는 입력정보가 많은 것이 실행가능해를 만들기 위한 필요악적인 요소가 있고 또 보다 효율적인 탐색과 정확한 배치도 작성을 위한 부서의 표현 방법은 여전히 연구과제로 남는다고 하겠다.

## 참고문헌

- [1] Armour, G. C., E. S. Buffa and T. E. Vollman, "Allocating Facility with Craft", *Harvard Business Review*, 42 (1964), pp. 136-158.
- [2] Fisher, E. L., *Knowledge-Based Facilities Design*, Unpublished Ph. D. Thesis. Purdue University, West Lafayette, IN, 1984.
- [3] Francis, R., L. McGinnis and J. White, *Facility Layout and Location: an analytical approach*, Prentice Hall, New Jersey, 1992.
- [4] Konz, Stephan A., *Facility Design*, John Wiley & Son, Inc., New York, 1985.
- [5] Lee, L. C. and J. M. Moore, "CORELAP-Computerized Relationship Layout Planning", *Journal of Industrial Engineering*, 18, No. 3 (1967), pp. 195-200.
- [6] Malakooti, B. and G. I. D'Souza, "Multiple objective programming for the quadratic assignment problem", *Int. J. Prod. Res.*, 25, No. 2 (1987), pp. 285-300.

- [7] Moon, G. and K. L. McRoberts, "Combinatorial optimization in facility layout", *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 17, Nos 1-4 (1989) pp. 43-48.
- [8] Muther, R., *Systematic Layout Planning*, Cahnners Books, Boston, 1973.
- [9] Nicol, L. M. and R. H. Hollier, "Plant Layout in Practice", *Material Flow*, 1, No. 3 (1983), pp. 177-188.
- [10] Pfefferkorn, C. E., *Computer Design of Equipment Layout using the Design Problem Solver [DPS]*. Unpublished Ph. D. thesis. Carnegie-Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania, 1970.
- [11] Tompkins, J. A. and J. A. White, *Facilities Planning*, Wiley, New York, 1984.
- [12] 최효돈, 문기주, "A study on the closeness ratings among departments for the block layout development", [공업경영학회지], Vol. 17, No. 30 (1994), pp. 1-9.