

현실제약조건을 이용한 설비배치안 개발 방법 연구

A Study on the development of facility layout using practical constraints

문 기 주*

Moon Gee ju*

Abstract

This paper presents a possible methodology to develop a facility layout using practical constraints. Those factors considered in the system are not only used for the evaluation of layout but also for the search to solution on the design process. Necessarily, this method develops practically feasible solutions with less iterations since the infeasible alternative layouts are rejected by the practical constraints before evaluations. The suggested method is implemented in FORTRAN for experimental purposes and the results are discussed in detail.

1. 序 論

전형적인 조합형폭발적증가문제(combinatorially explosive problem)를 풀어내는 것은 지금까지 OR(operations reserach)분야에 있어서 흥미로운 연구 과제가 되어오고 있다. 한가지 예로서, 생산의 흐름이 다양한 job shop의 경우를 보면 단지 20개의 부서나 혹은 기계를 배치하는데 있어서도 608조(兆)개 이상의 가능한 경우들의 조합이 있을 수 있는데, 이런 문제에 있어서 수없이 많은 대안 중 과연 어느 것이 최선의 배치안인지를 찾아내는데 매우 큰 어려움이 따른다고 하겠다. 정확한 최선의 배치안을 찾고자 한다면 이 수많은 대안들을 모두 목적함수값에 비추어 계산해 보아야 하기 때문에 용량이 큰 현대의 컴퓨터로도 그 해결에는 현실성이 없다고 하겠으며, 결국 이러한 종류의 문

제를 해결하기 위해서는 발견적 기법(heuristic)을 사용하는것이 일반적이라 하겠다. 이러한 측면에서 TSP(traveling salesman problem)에 대한 Lin과 Kernighan[5]의 최적해 탐색기법이나 혹은 널리 알려진 전산화된 설비배치기법 중의 하나인 CR-AFT[1]는 상호교체에 의한 발견적 기법의 좋은 예들이라고 하겠다. 100개의 도시방문 TSP문제들과 같이 문제의 크기가 큰 경우에는 이것이 최선의 방책중 하나라고 하겠다.

이러한 부류의 발견적 기법에 있어서 한가지 지적되어야 할 문제점은 모형화단계에서 사용하는 필요 이상의 '가정'과 그에 따른 '지나친 현실 제약조건들의 단순화'라고 하겠다. CRAFT의 경우를 예로 들어보면, 목적함수의 값이 감소만 되는 배치안이면 어떤 상황 하의 부서위치 교체도 이루어지게 되는데 현실에서는 부서교체가 그렇게 간단히 될 수 없는 것이다. 왜냐하면, 어떤 한 부서는 근접한 이웃 부서와의 관계 때문에 그 위치에서 멀어지거

* 동아대학교 산업공학과

나 혹은 근접되는 것이 현실적으로 불가능할 수도 있기 때문이다. 문제의 모형화 시에 설정하게 되는 가정이라는 것은 복잡한 현실의 제약조건이나 또는 반드시 고려되어야 할 사항들을 존재하지 않는다고 가정함으로써 간략화하여 용이하게 컴퓨터상에서 최선의 안을 찾아보고자 하는 것인데, 또 다른 측면에서 볼 때 이것은 오히려 평가해야할 수 많은 대안들을 만듦으로서 문제의 해결을 어렵게하고, 찾아진 대안도 실행불가능한 해일 가능성을 높게 하는 문제점을 가지고 있다.

2. 관련연구 및 문제점

1960년 후반과 1970년 초 사이에서 부터 생산 형태가 소품종다량생산에서 다품종소량생산으로 전환됨에 따라 많은 생산현장의 설비배치가 job shop 형태를 띠게 되었는데, 이런 생산형태의 복잡성으로 말미암아 설비배치의 문제는 더욱더 복잡해지고, 최적배치안을 찾아낼 수 있는 보다 진보된 기법이 요구되게 되었다. 설비배치에 관련된 주요 연구들은 주로 네가지 정도로 분류할 수 있는데, 모형으로 끼워맞추기, 수학적모형, 그래픽기법 그리고 전산화된 배치기법 등을 들 수 있다. 그러나 이런 방법들은 간단한 배치문제를 제외하고는 만족스러운 해를 구하는데 도움이 되지 못한다[9]. 모형으로 끼워맞추는 방법은 복잡한 실제배치문제의 경우에는 유용하지 못하며, 수학적모형은 지나친 가정들로 인해 구해진 해가 비현실적이며, 그래픽 기법은 너무 많은 계산이 필요하여 15개 이상의 부서들을 배치하는 문제에서는 실제적으로 사용될 수가 없다고 하겠다. 마지막으로, 전산화된 배치기법의 부서의 위치, 모양, 혹은 공장전체형상이 비현실적인 배치를 발생시킨다[9].

전산화된 배치기법이 가지고 있는 '비현실적'이란 문제는 설비배치안을 만들어내는 과정에서 필요한 자료의 부족에서 기인한다고 할 수 있다. 여기에서 현실적인 제약조건들과 배치안 평가시에 고려되어야 할 요인들이 고려되지 않고 있는 이유는 필요한 자료들을 수학적인 형태의 식으로 변환시키기가 어렵기 때문이다. 예를들면, 어떤 부서의 특정 위치에 배치되어야 할 조건이 무시되었기 때문에

그 부서가 비현실적인 위치에 배치되게 되는 문제가 발생하는 것이다. 여러 대안들의 평가시 복잡함수에 고려되어야할 적절한 요소들을 찾아서 활용할 수 있는 방안을 고안해 내어야하는 것이 전산화된 배치기법을 포함한 거의 모든 배치기법에서 문제가 되고있는 점이다. 이것은 설비배치기법들의 대부분이 재료의 이동거리를 가장 중요한 요소로써 인식한 생각에서부터 기인하고 있다. Konz는 자동이송장치를 가진 공장이나 창고에서는 이동된 거리가 자재운반비용에 거의 무관하다는 것을 주장함으로써 이 불합리한 가정을 비판하고 있다[5].

3. 설비배치안 평가시의 고려요소

적절한 설비배치안을 찾아내기 위해 사용되어져야할 목적함수는 개괄적으로만 언급되어지고 있을 뿐 잘 정의되어져 있지는 않다[2]. 이 논문에서 제시한 설비배치안 탐색방법에서 사용된 목적함수와 제약조건들은 설비 배치관련 논문이나 서적에서 '설비배치를 위한 체크리스트(checklist for layout)'나 '배치안 평가를 위한 요소'(criteria for the evaluation of layout)란 제목하의 것들도 불문 선택되어져 있다.

배치안 평가를 위한 요소, 즉 '목적함수'나 '제약조건'에는 두가지 종류가 있다고 할 수 있다. 그중 하나는 '위배될 수 없는 제약조건/평가요소'이고, 다른 하나는 '위배될 수 있는 제약조건/평가요소'란 DPS(Design Problem Solver)에서 사용된 것과 같은 물리적인 제약조건의 일종이나[8]. 이 분류에 해당되는 요인은 실질적인 제약조건으로서 여기에 위배되어서는 해가될 수 없는 것이다. 다른 분류에 속하는 요인들은 CRAFT에서 사용되는 것과 같이 위배되어도 좋은 유연한 종류의 것으로서 목적함수의 개념에 보다 더 가까운 것이라 하겠다.

위배될 수 없는 제약조건/평가요소의 예로는 건축물 자체의 구조적인 제약이나 반드시 시행하고자 하는 사용자의 선호도등이 있으며, 위배될 수 있는 제약조건/평가요소로는 건강과 안전문제, 시설물 능력한도, 장래확장계획[7], 사용자의 선호도 그리고 자재운반비용 등이 있다. 그리고 부서구획이나 바닥위치, 소음, 폭발위험, 진동, 면적대비최소요구

길이, 이동성, 확장방향, 부서하중, 바닥지탱능력, 문/출구 유무, 압축공기유무, 전선, 상-하수배관시 설위치, 난방문제 등의 항목이 고려되어야 할 요소들이다. 이외에도 두 부서 사이의 제품의 이동, 특정부서와의 근접필요성, 현재의 각 부서의 위배될 수 없는 제약조건이나 평가요소에 대한 위배 여부 등은 반드시 고려되어야 할 요소들이다.

4. 최적배치안 탐색방안

제시된 설비배치안 탐색은 제1단계에서 초기배치안을 점검후 제2, 3단계를 반복하여 시행하므로서 이루어진다. 탐색의 멈춤은 일반적인 교체식발견적기법(interchange heuristic)처럼 목적함수값에 더 이상의 개선이 일어나지 않을 때 까지로 규정되었다.

제1단계 - 자료 읽기와 위배될 수 없는 제약조건/평가요소에 의한 점검

제1단계에서는 사용자에 의해 주어진 자료들을 읽어 들이고, 최초의 배치가 위배될 수 없는 제약조건으로써 점검된다. 자료입력단계에서는 필요하다면 어떤 부서라도 특별한 위치에 고정되어 질 수 있다. 예를 들어 어떤 한 부서가 현재 위치에 고정되어져야 한다면 부서의 상태를 표시하는 변수에 '고정'을 의미하는 정수 '5'를 할당함으로써 현 위치를 유지할 수 있다.

부서형태의 경우에는 부서모양의 비율척도라는 개념을 사용하여 확인하도록 하였다. 이 부서모양의 비율척도는 그림 1에서 보는 것과 같이 부서면적과 그 부서를 포함하는 가장 작은 사각형 면적과의 비율인데, 새롭게 이동된 부서의 경우 이 모양 비율을 계산하여 사용자가 지정한 비율과 비교함으로써 허용될 수 있는 형태인지 아닌지를 확인한다. 만약 이 비율이 사용자가 지정한 비율보다 낮으면 제시된 배치는 기각되고 다른 배치대안을 찾게 된다.

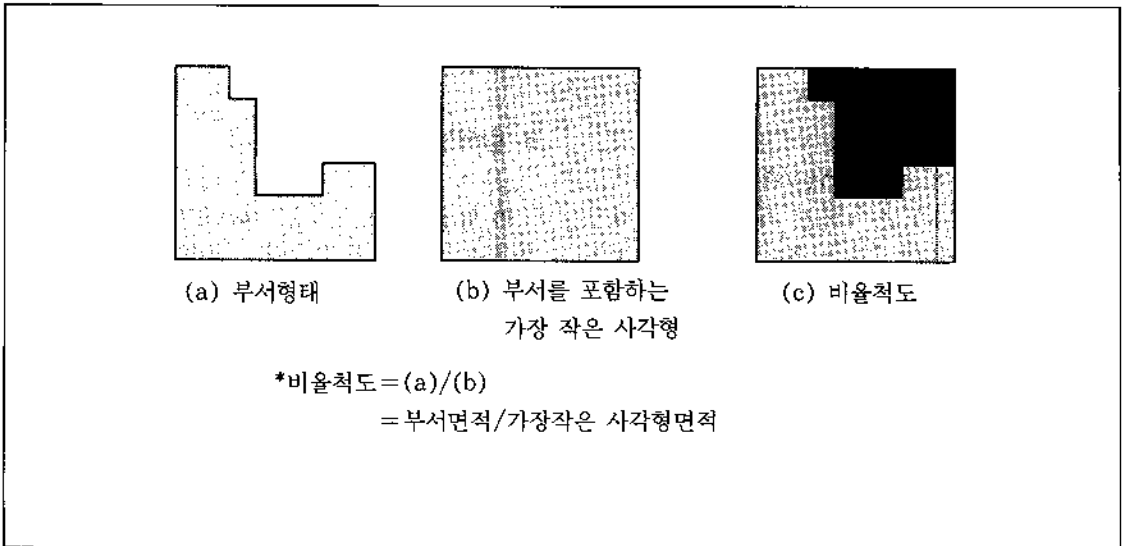


그림 1. 비율척도

또 다른 위배될 수없는 제약조건/평가요소로서 사용자의 절대적 선호도를 들 수있는데, 만약 사용자가 두 부서를 분리 혹은 근접시키기를 원한다면 이 초기 배치대안 개발시 미리 고려하여 입력함으로써 주어진 형태를 유지하여 원하는 조건을 만족시킬 수 있도록 설계하였다. 이 단계의 제일 마

지막 절차로서 시설물의 할당, 부서간 이동거리, 근접부서 정보등을 제안된 배치안의 목적함수값을 계산하기 위해 가장 최근의 상태 것으로 수정해 둔다.

제2단계 - 위배될 수 있는 제약조건/평가요소에 의한 이동부서선정

위배될 수 있는 제약조건/평가요소에 대한 위배에는 다양하게 나타난다. 폭발성의 자재를 다루는 부서와 발연성을 가진 다른 한 부서가 근접하여 배치된 경우나, 사람들에게 해를 끼칠 가능성이 있는 부서가 많은 사람들이 일하는 부서 바로 옆에 배치된 경우, 또는 어떤 한 부서에서 발생시킨 진동이 근접부서에서의 정밀한 작업을 방해하거나 깨지기 쉬운 자재의 취급을 불가능하게 할 수도 있다. 그리고 90dB이상의 소음을 발생하는 부서가 사무실 바로 옆에 위치될 수도 있으며, 환기, 문, 상하수배관, 압축공기, 그리고 동력장치 등 기존제반 시설물들이 필요로 하는 부서에 적당하게 할당 되도록 고려되어야 한다.

만약 어느 한 부서에 아주 무거운 기계들이나 고정식 시설물이 있다면 공장의 미래확장 예정방향에는 이 부서를 배치시키지 않는 것이 좋다. 열관리와 에너지 절약을 위해 열 발생부서, 열 필요부서, 열로부터 멀리 떨어져야 하는 부서 등의 배치에 세심한 주의를 기울여야 한다. 건냉소에 보관해야 할 물품들을 취급하는 부서를 용광로에 근접하게 배치한 경우는 열관리조건에 위배된 좋은 예이다. 에너지를 아끼기 위해서는 열을 필요로 하는 부서와 열을 발생하는 부서를 서로 근접시키는 것이 좋을 것이다. 위배될 수 있는 제약조건/평가요소 분류에 있는 사용자의 선호도는 '반드시 해야 한다'의 엄격한 조건이라기보다는 '만약 가능하다면'이란 정도의 조건으로 두 부서를 근접 혹은 분리시켜 배치시키는 것을 의미한다. 만약 이 시스템에 준비된 어떠한 제약조건에도 맞지는 않지만 반드시 고려해야 할 조건이 있다면, 사용자 선호도를 사용하여 고려해 놓을 수 있다. 어떤 부서라도 제약조건 중의 하나를 위배하는 것으로 판명될 때마다 그 부서는 다른 부서와 위치가 교체되는 안이 검토되게 된다.

두 부서의 위치 교체시에는 어떠한 경우라도 위배될 수 없는 제약조건에 대한 위배는 발생해서는 안되며, 또한 설비배치안 평가를 위해 설정한 목적함수의 값은 감소시켜야 한다는 조건을 반드시 만족시켜야 한다. 만약 이들 제약조건 모두가 점검되고, 또 모든 교체대상부서가 검토되어 졌다면, 각 부서간의 자재운반비용이 계산된다. 가장 많은 자재운반비용을 발생시킨 부서의 이동으로 개선이 가

능한지 검토된다. 이 과정은 전체 부서들이 한번은 현재의 형성된 배치에서 이동이 고려될 때까지 계속된다.

제3단계 - 부서이동확정 및 위배될 수 없는 조건에의 위배여부확인

이 단계에서는 옮겨질 부서와 같은 크기의 부서들이 교체를 위해 먼저 검토된다. 만약, 교체 가능한 부서가 하나도 없으면 다음으로는 인접부서들이 검토대상이 된다. 앞에서 언급된 것과 같이 두 부서의 크기가 같지 않고, 인접하지도 않은 경우, 두 부서의 위치 교체는 이동을 아주 복잡한 문제로 만들거나 혹은 교체되지 않는 부서들의 모양까지도 모두 변경해야 하는 일이 발생하기 때문이다.

목적함수값의 계산은 각각의 위배될 수 있는 제약조건에 대한 위배 빈도수에 각각의 주어진 벌점을 곱하여 계산한 후, 총 벌점의 합에 자재운반비용이 더해진다. 자재운반 비용은 (직선거리) × (단위비용) × (모든 부서간의 흐름물량)으로 계산한다. 이 목적함수값의 계산과정에서 모든 벌점값들은 목적함수값을 증대시키지만, 에너지를 아껴쓰는 것에 대한 값은 감소시키도록 되었다.

5. 탐색방법의 시험 및 평가

이 탐색방법의 실험을 위해 두가지의 다른 시스템이 만들어졌는데 한가지는 난수발생기를 사용하여 초기배치를 생성하는 방법이고, 다른 하나는 초기배치를 손으로 설계하는 방법이다. 또 다른 차이는 첫번째 모델이 벌점이 부서교체에 어떤 영향을 미치는지를 알기 위해 5가지의 다른 벌점을 사용할 수 있도록 한 반면, 두번째 것은 부서모양에 관련된 변화를 알기 위해 3가지의 다른 모양비율을 입력하도록 되어있다.

첫번째 형태의 시스템을 사용하여 실험한 결과를 무작위하게 생성된 초기배치의 목적함수값과 이 시스템이 찾아낸 최종배치의 목적함수값들이 그림 2와 같이 히스토그램으로 만들어졌다. 그림에서와 같이 초기배치의 목적함수값은 정규분포를 따르는 반면, 찾아낸 최종배치의 목적함수 값은 지수분포를 따르고 있다. 이것은 이 시스템을 사용하여 최적으로 가까운 해를 찾을 가능성이 높은것을 의미한

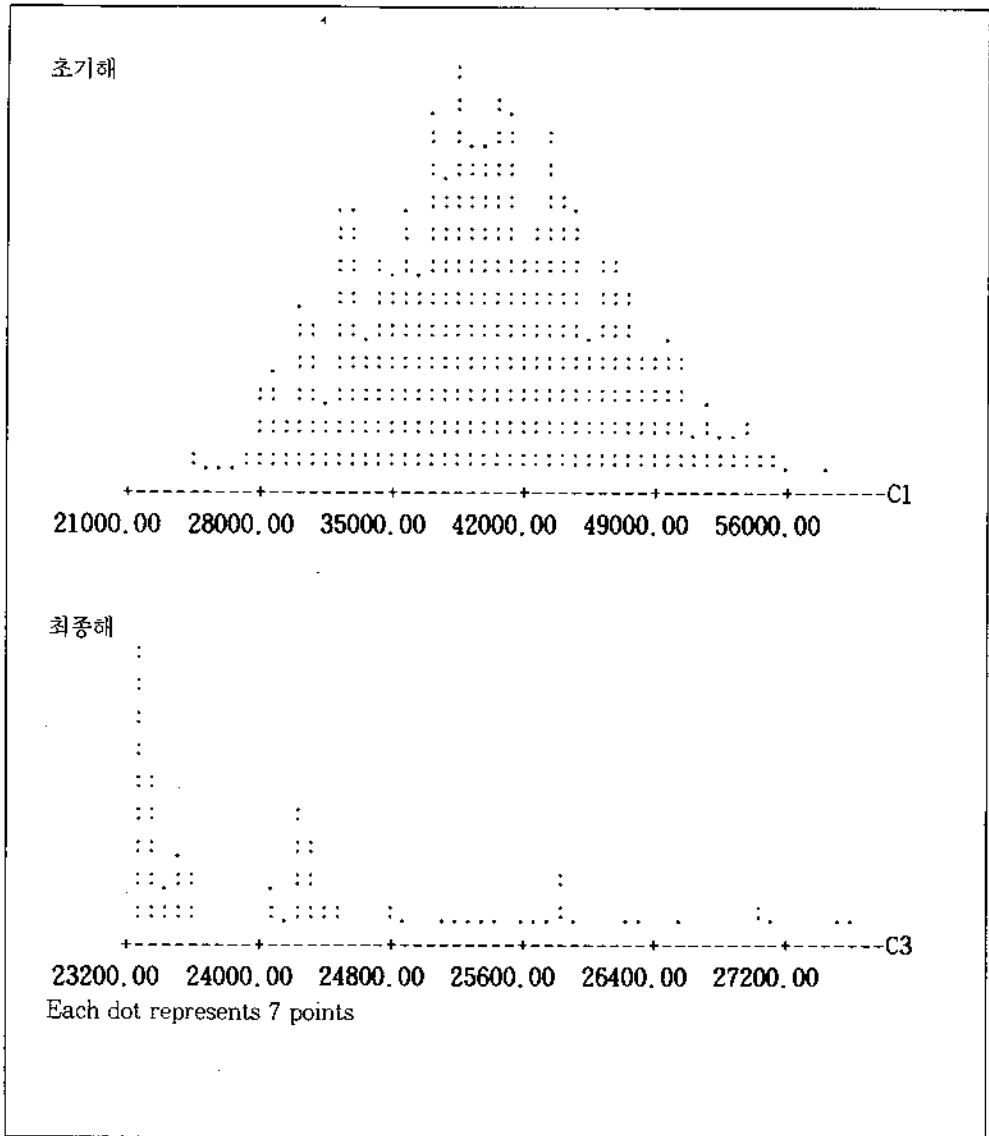


그림 2. 초기해와 최종해 값의 비교

다고 할 수있다. 왜냐하면 최초의 배치는 난수를 사용하여 임의로 발생시킨것이기 때문에 그들중 하나는 최적해가 될 수도 있음에도 불구하고 이 시스템을 통해 찾아진 최종해의 목적함수값이 평균은 난수를 사용해 발생시킨 초기배치의 최소 목적함수값보다 작기 때문이다. 그림 3의 초기배치의 목적함수값과 최종해의 목적함수값의 도표는 최종해의

값이 최초배치에 얼마나 많이 의존하고 있는지를 확인해보기 위한 것이다. 이 그림에서 y축에는 무작위하게 만든 초기배치안의 목적함수값을 나타내고 x축에는 그 초기배치안을 사용하여 찾아낸 최종배치안의 목적함수값을 나타냄으로서 두값 사이의 상관관계를 나타내어본 것이다. 여기에서 정상관이나 역상관 등의 두드러진 경향이 나타나지 않

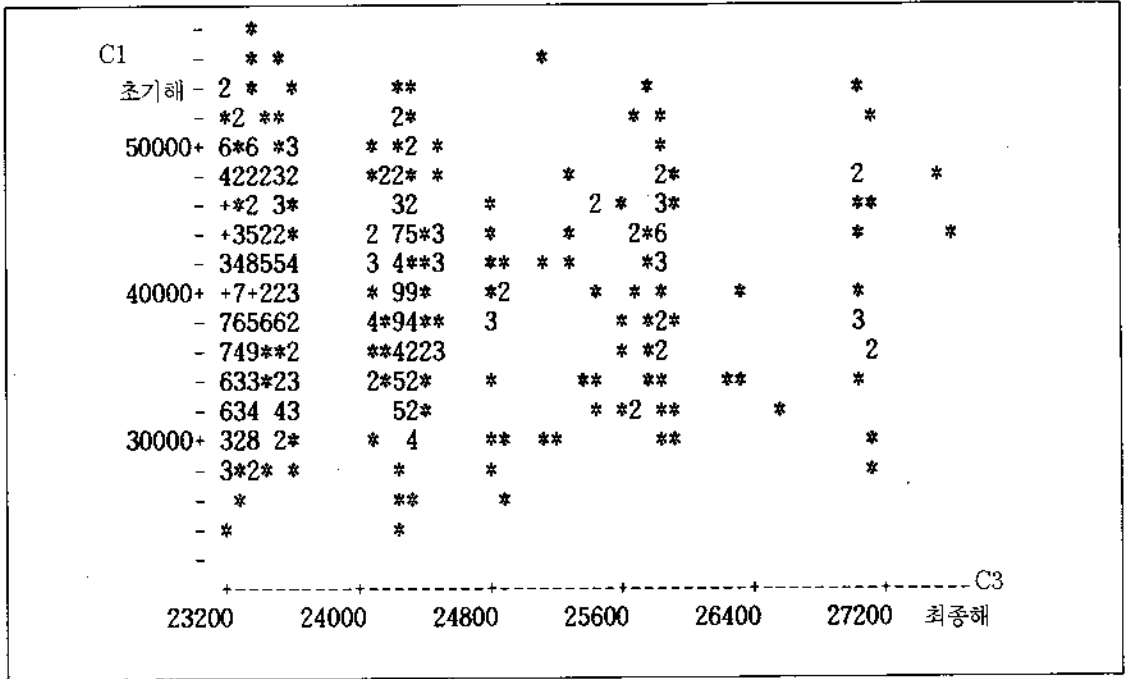


그림 3. 초기해와 최종해의 도표

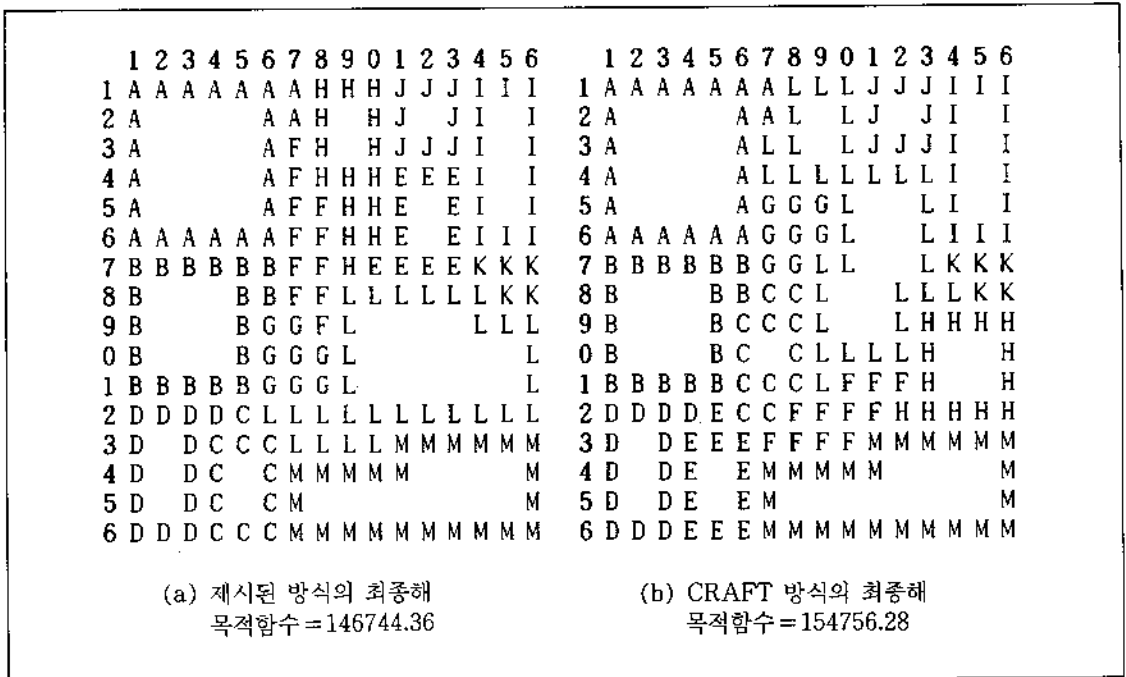


그림 4. 제시된 방식과 CRAFT방식의 비교 예

는것은, 최종배치의 목적함수값이 무작위하게 만들어진 최초배치안의 좋고 나쁨에 따라 좋거나 혹은 나쁘게 나오는 것이 아니고 x 축상의 낮은 값에 많이 몰려서 나오는것으로 보아 낮은 목적함수의 값을 가진 최종배치안을 잘 구해주고 있다고 하겠다.

두번째 모형을 사용한 실험의 목적은 부서의 모양이 고려될 때의 시스템의 수행도를 알아보기 위한 것이다. 초기배치들은 두 부서의 위치를 교체하고, 각 부서의 모양을 조절하여 총 51개의 실험적 최초배치를 생성하였다. 이들 실험의 결과치들은 CRAFT와의 비교연구에도 사용되었다. CRAFT에 의해 생성된 최종배치안이 자재운반비용의 측면에서 이 시스템에 의해 생성된 최종배치안의 자재운반비용보다 우수한 것은 당연하다. 이 줄어든 자재운반비용은 다른 한편으로 자재운반비용과 동등 최소화될 수없는 몇몇 다른 제약조건들을 위배하고 있다는것을 의미하고 있다. 이 실험에서 모양비율 0.4, 0.6 그리고 0.8에서 각각 최종배치안의 목적함수값의 평균이 132691, 152823, 그리고 174834로 구해졌다. 여기에서 모양비율이 0.4일때 가장 좋은 배치를 생성해내는것은 알수있으나, 여기서 얻어진 최종배치안 51개 중 24는 비정상적인 형태를 띤 부서를 포함하고 있었다. 모양비율 0.8이 주어졌을 때 가장 높은 목적함수값, 즉 가장 나쁜 설비배치안이 얻어졌는데 이것은 개선을 위해 제안된 배치안의 대부분이 너무높은 모양비 0.8로 인하여 기각되었기 때문이다. 결론적으로 0.6에서 0.7사이의 값이 사용할 수 있는 적절한 모양비율의 값으로 추천된다.

CRAFT[1]는 자재운반비용을 제외한 어떠한 제약조건도 고려하지 않기 때문에 자재운반비용이 아닌, 보다 중요한 다른 제약조건들을 위배하고 있다. 그림 4의 (b)에서 보는 바와 같이 Francis와 White[3]의 예에서 나타난 부서 L의 모양이 최종배치안에서 거의 두 부분으로 나누어져 있는데, 이 배치안의 목적함수값이 이러한 비정상적인 부서형태에 대한 아무런 벌점을 가하지 않고 154756.28로 평가되었으며, 이 논문에서 제안된 시스템의 부서모양비 0.6으로 최종배치안을 찾은, 그 평균이 152823으로 평가된것 중의 하나인 146774.36의 예가 그림 4의 (a)에 준비되어져 있다. 이것은 공

정한 비교를 위해 CRAFT를 통해 생성된 비정상적인 부서모양에 대해 벌점을 가하여 계산을 해야 하나 그것은 그 부서의 모양이 비정상적이어서 전혀 실제 사용 가능성이 없는 배치안이기 때문에 정확한 비교자료는 준비하지 않았으며, 벌점을 가하지 않고도 154756.28과 146774.36의 차이 만큼 우수한 것이라 하겠다.

6. 結 論

이 논문에서 제시된 최적배치안 탐색방법과 CRAFT류의 다른 전산화된 배치기법과의 주요한 차이점은 두가지로 요약할 수 있다. 하나는 대안의 생성과정에서 고려되어지는 요인들의 갯수이고, 다른 하나는 설비배치대안의 생성에 사용되어진 방법이다. CRAFT는 설비배치안에서 단 하나의 중요 고려 요소로 운반비만을 채택한 반면, 여기에서 제시된 방법은 운반비에 부가하여 건축물의 물리적 제약, 건강 및 안전, 사용자선호도, 시설물 활용, 부서간의 관계, 부서형태, 장래확장계획 등을 포함한다. 특히 이들 요소들은 목적함수값을 계산하는데만 사용하는 것이 아니라 부서교체시 교체 순서의 결정에도 사용되고 있다. 예를 들어 부서 1과 2, 1과 3, 4, ...등과 같이 무의미한 수치적 순서에서 탈피하여 보다 빠른 최종해 도달을 위해 가장 큰 벌점항목에 위배된 배치부서부터 시작하여 부서들을 교체해 나간다. 이렇게하여 실행가능해가 될 수 없는 대안들을 미리기각함으로써 탐색범위를 줄이고 얻어진 해도 실행가능해가 되도록 하였다. 언급 되어야할 다른 한가지의 문제는 목적함수에 사용된 계수들의 값에 관한 것이다. CRAFT의 수정판[6]에서 언급된것과 같이 보다 나은 배치를 찾기위해 다양한 값들의 사용이 추천되고 있는데, 여기에서는 그 계수들의 값이 해당 제약조건을 위배함으로써 발생하게될 손실액을 개략적으로 추측하여 사용한 것이다. 이점에 대해서는 추가적인 연구가 필요하다고 하겠다.

참 고 문 헌

1. Armour, G.C., Buffa, E.S., and Volman, T.E.,

1. "Allocating Facility with Craft", *Harvard Business Review*, Vol.42, pp.136-158, 1964.
2. El-Rayah, T.E. and Hollier, R.H., "A review of plant design techniques", *Int. J. Prod. Res.*, Vol.8, No.3, pp.263-279, 1970.
3. Francis, R.L. and White, J.A., *Facility Layout and Location-an analytical approach*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ, 1974.
4. Konz, Stephan, A., *Facility Design*, John Wiley & Son, Inc., New York, 1985.
5. Lin, S. and Kernighan, B.W., "An Effective Heuristic Algorithm for the Traveling-Salesman Problem", *Oper. Res.*, Vol.21, pp. 498-516, 1973.
6. Malakooti, B. and D'Souza, G.I., Multiple objective programming for the quadratic assignment problem", *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 25, No.2, pp.285-300, 1987.
7. Nicol, L.M. and Hollier, R.H., "Plant Layout in Practice", *Material Flow*, Vol.1, No.3, pp. 177-188, 1983.
8. Pfefferkorn, C.E., *Computer Design of Equipment Layout using the Design Problem Solver(DPS)*, Unpublished Ph. D. thesis, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania, 1970.
9. Tompkins, J.A., "Computer-aided plant layout-2", *Modern Materials Handling*, Vol.33, No.6, pp.50-56, 1978.