Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering
Vol. 32, No. 4, pp.93－100, December 2009.

다중 베이 제조시스템의 설비배치

이문수* · 채준재**†

*한국기술교육대학교 산업경영학부
**한국항공대학교 항공교통물류학부

Layout Design Problem in Multi-bay Facility

Moonsu Lee* · Junjae Chae**†

*Korea University of Technology and Education
**Korea Aerospace University

This paper addresses the facility layout problem in multi-bay environments, where the bays are connected at one or both ends by an inter-bay material handling system. In most previous studies, the main concern is to allocate facilities or departments to the bays whose widths are fixed. In this research, we suggest the efficient models that provide the optimal layout solution under flexible bay width environments. We also suggest a mathematical model that provides the optimal solution using two-way facility allocation approach instead of one-way allocation technique. This paper also shows the approach of TABU search to the assignment and layout design of the departments. The results generated from TABU search are compared to the result from the mathematical model. Models are developed using mixed integer programming for various test problems and solved by CPLEX.

Keywords : Material Handling, Layout Design, Multi-bay

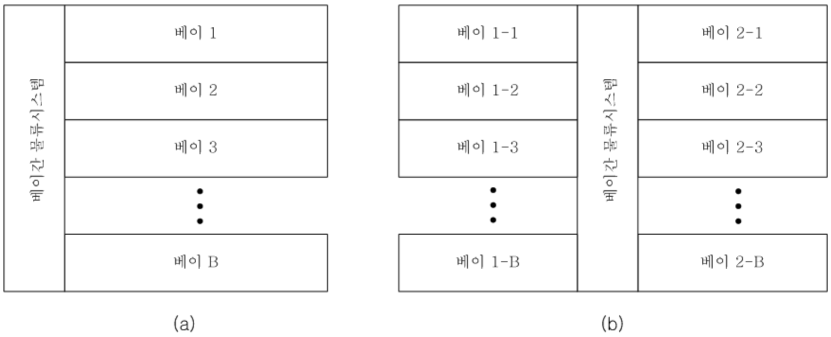
1. 서 론

다중 베이에서의 할당 문제는 평행한 베이의 한쪽 또는 양쪽 끝을 통해서만 물류이동이 가능한 형태의 베이 공간에 효과적으로 설비 또는 제조분과(Department)를 할당하는 문제를 말한다(<그림 1> 참조). 이런 다중 베이의 문제는 베이 내의 물류 이동보다 베이 간의 물류 이동이 더 중요한 비중을 차지하는 반도체 생산공장과 같은 종류의 제조 시스템에 적용이 가능하다[7]. 따라서 다중 베이에서의 효율성은 베이 간의 물류 이동량에 의해 나타내어 질 수가 있다.

전형적으로 다중 베이의 할당 문제는 각각의 베이 공간이 미리 정해져 있다는 가정을 하게 된다. 하지만 이런 확정적인 공간 배정이 효율적인 설비배치에 장애가 될 수 있기 때문에 확정적이고 획일적인 베이 공간에 대한 가정을 없애고 유동적으로 베이 폭의 변화를 줌으로서 보다 효과적인 설비 할당과 공간배치를 위한 연구가 되어 왔었다. 이러한 다중 베이 할당문제를 수리적으로 모델을 구성하는데 있어서의 어려움과 구성된 수리모델의 최적해를 찾는 과정의 어려움으로 인해 제약적인 수리 모델이 사용되어 지고 있었고 발견적 기법을 사용하여 해를 구하는 접근방법이 주로 사용되고 있다.

수리모델구성에 있어서는 유동적인 베이 폭을 구현하기 위해서는 베이 공간에 할당되어지는 제조분과(Department)의 수가 유동적이 되고 또한 그 공간계산을 위한 가로와 세로의 길이가 변화하기 때문에 선형모델(Linear

논문접수일 : 2009년 07월 30일　　논문수정일 : 2009년 09월 13일　　게재확정일 : 2009년 09월 16일
† 교신저자 jchae@kau.ac.kr



<그림 1> 하나의 베이 간 물류시스템으로 된 다중 베이 제조 시설

Model : LP)의 구성이 어렵다. 선행되어진 연구에서는 이러한 비선형의 공간계산에 대한 수리모델을 선형모델로 구성함으로서 상용 툴로 최적해를 구하도록 하였다. 하지만 이 모델은 한쪽 방향으로만 베이공간을 갖는 제약적인 모델을 제안 했었다(<그림 1-a> 참조).

멀티베이의 형태를 갖는 제조 시스템에서는 한쪽으로 그 공간을 활용하는 레이아웃(<그림 1-a> 참조)을 사용하는 만큼 양방향의 베이 공간을 사용하는 레이아웃(<그림 1-b> 참조) 또한 많이 사용되어 지고 있다. 이러한 형태의 Spine Layout [8]은 반도체 생산공장에서 많이 사용되어 지고 있다.

본 연구에서는 선행적으로 구성되어진 수리모델을 확장하여 양방향 베이공간을 갖는(<그림 1-b>) Spine Layout의 수리모델을 소개한다. 제 2장에서는 다중베이 모델에 대한 배경에 대해 설명하고 제 3장에서는 다중베이 설비배치 모델링에 대해 설명한다. 제 4장에서는 TABU Search를 적용하여 해를 구하는 방법에 대해 소개하고 제 5장에서는 수리모델의 결과와 TABU Search를 적용하여 구한 해를 비교하였다. 마지막으로 제 6장에서는 결론과 함께 앞으로 수행 가능한 연구들에 대해서도 소개한다.

2. 연구배경

다중베이에 관한 여러 실제적인 문제에 적용이 있었음에도 그리 많은 연구가 진행되어 있지는 않다. 그러나 이러한 문제의 특성이 다층구조에서의 설비배치와도 비슷한 양상을 띠고 있어서 이에 착안하여 문제를 해석했는데 구체적인 비교는 Meller[7]의 논문에서 찾을 수 있다. 전형적인 다중베이 제조 시스템의 특성은 다음과 같다.

- 베이 간의 물류이동은 베이의 끝단에서만 이루어진다.
- 베이 간의 물류이동비용은 베이 내의 물류이동보다 크다.
- 베이의 수와 베이의 공간은 미리 알려져 있다.
- 각 베이 내의 구조는 전형적으로 선형흐름 제조형식을 갖추고 있다.

Meller[7]는 1997년에 2단 해법(a two-stage solution methodology)을 개발 하였는데 첫 Stage에서 혼합정수모형(Mixed Integer Programming)으로 각 제조분과(Department)를 베이에 할당하는 할당문제를 풀어냈고 두 번째 Stage에서 각 베이 내의 배치를 Picard와 Queyranne[9]이 linear ordering problem을 풀기위해 이용한 dynamic programming을 사용하여 해결하였다.

Castillo and Peters[1]는 설비군이 있을 때 같은 설비를 어떻게 분배할지에 대한 문제를 모델링하고 그 해법을 개발하였다. 그들의 연구에서도 마찬가지로 베이 간의 할당 문제와 베이 내의 배치 문제로 분리하는 2단계 해법을 사용하였다. 첫 Stage에서 베이의 할당과 설비군에서의 각 설비에 대한 흐름 할당을 수리 모델과 발견적 기법을 사용하여 해결하였고 두 번째 Stage에서는 Meller가 사용했던 Picard와 Queyranne[9]의 방법을 사용하였다.

Chae and Peters[2]는 확정적 베이 수와 베이 공간에 대한 제약을 없애고 베이의 폭이 할당하는 설비나 제조분과에 따라 유연성 있게 움직일 수 있다는 가정으로 이 문제에 접근했고 베이 폭이 유동적으로 변화 하므로 정해진 공간에서의 베이 수도 유동적으로 변할 수 있게 되었다. 이 유동적인 베이 폭은 최소 가능치과 최대 가능치의 제약으로 조절이 가능하도록 했다. 이러한 베이 유동성을 다중베이 문제에 있어서 보다 효과적인 배치 형태를 제공 할 수 있는 장점이 있지만 모델 구성을 위해 많은 변수를 가져옴으로 인해 그 해를 찾는 과정에 있어서는 기존의 방법보다 훨씬 더 많은 시간이 필요 했다. 또한 한쪽 방향으로 베이공간을 갖는 모델을 제안함으로써 양방향의 베이공간을 갖는 다중베이 형태의 설비배치에 직접적으로 적용하기 어렵다는 단점이 있다.

이 연구에서는 선행되어진 Chae and Peters[2]의 수리

모델을 사용하여 양방향 베이공간에도 적용 가능하도록 그 수리모델을 확장하여 소개한다. 더불어 많은 설비배치 문제에서와 같이 이 연구에서 다루는 모델 또한 문제 크기가 커지면 최적해를 구하기 어렵다. 이러한 점을 해결하기 위해 발견적 기법을 도입하게 되는데 이 연구에서는 TABU Search를 이용하였다.

관련된 연구방법들에 두 번째 Stage에 해당하는 베이 내에서의 설비 배치는 선형 흐름 문제를 푸는 다른 연구자들의 방법과 동일하므로 이번 연구에서는 설비나 제조분과를 유동적으로 움직이는 베이공간에 할당 하는 문제에 그 초점을 맞추었다.

양방향 베이형태를 갖는 제조시스템의 연구와 관련해서는 다수의 관련된 연구가 있다[8, 11]. 하지만 이러한 양방향 시스템에 대한 연구는 하나의 베이를 제조 분과로 가정하여 문제를 해결하도록 하였다. 즉 하나의 베이에 하나의 제조분과를 할당하도록 하여 사실상의 할당의 의미 보다는 제조분과를 양방향 시스템에 맞게 배열하는 문제를 연구하였다. 이 논문에 소개되는 연구에 있어서의 차이는, 비록 많은 제조분과가 한 베이에 할당되지 못한다 하더라도 공간이 허락된다면 한 베이에 두 개이상의 제조 분과가 할당될 수 있는 가능성 또한 포함하는 모델을 제안한다는 것이다. 즉 기존에 소개되고 있는[8, 11]의 논문에서의 양방향 제조시스템에서 추구하는 효율성과 이 논문을 통해 풀고자 하는 문제의 유형이 같지 않고 이렇게 양방향 제조 시스템의 베이에 할당과 더불어 레이아웃 자체의 의사결정까지 종합적인 모델에 있어서의 소개는 이전에 없었다고 할 수 있다. 그러므로 결과의 비교에 있어서 양방향 시스템의 문제 해결과정과 이 논문을 통해 제안되는 결과와의 비교 보다는 모델을 통한 해법과 제안되는 문제해결방안(TABU Search)과의 성과를 비교하도록 하였다.

3. 다중 베이 설비배치 모델링

다중베이 제조시설에서 설비나 제조분과(Department)는 한 베이에 배치를 해야 한다는 점이 복층구조의 제조시설에서 한 층에 배치를 한다는 제약이 같다는 점을 착안하여 Meller[7]는 제조분과(Department)를 각 베이에 할당하는 수리모델(Bay Assignment Problem : BAP)을 만들어 냈다. 하지만 Meller의 모델은 각 베이의 공간이 제조분과를 할당하기 이전에 미리 정해져 있다는 가정을 하고 있다.

Chae와 Peters[2]에서 소개한 모델은 이러한 베이공간이 유동성을 갖음으로 인해 베이폭 또한 결정변수로 되었고 제조 분과간의 상대적 위치를 나타내기 위해 이산형 변수인 α_{ij}를 정의하였다.

$$\alpha_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ 만약 제조분과 } i\text{가 제조분과 } j\text{의 아래쪽에 위치할 때} \\ 0, \text{ 위의경우가 아닐 때} \end{cases}$$

$$\textbf{(FBAP)} \quad min \sum_i \sum_j f_{ij} D_{ij} \tag{1}$$

$$s.t. \; py_i + \frac{w_i}{2} \le py_j - \frac{w_j}{2} + L(1-\alpha_{ij}) \;\; \forall i,j \tag{2}$$

$$\frac{w_i}{2} \le py_i \le L - \frac{w_i}{2}, \;\; \forall i \tag{3}$$

$$a_i + \sum_{j(j \neq i)} (1-\alpha_{ij}-\alpha_{ji}) a_j \le w_i \cdot W, \;\; \forall i \tag{4}$$

$$\alpha_{ij} + \alpha_{ji} \le 1, \;\; \forall i,j \tag{5}$$

$$lb \le w_i \le ub, \;\; \forall i \tag{6}$$

$$D_{ij} = |py_i - py_j|, \;\; \forall i,j \tag{7}$$

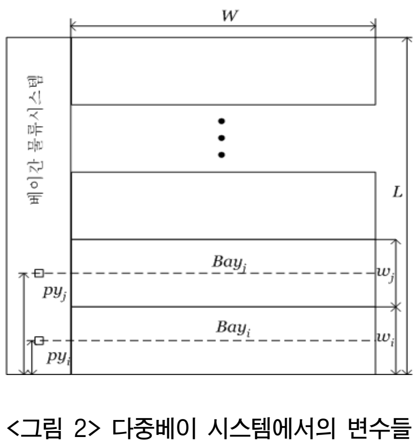
$$\alpha_{ij} = \{0,1\}, \;\; \forall i,j \tag{8}$$

또한 변수 py_i를 좌표축에서 제조분과 중심의 수직상의 위치로, 그리고 w_i는 제조분과 i의 폭으로 정의하는데 이것은 이 제조분과가 위치해 있는 베이의 폭과도 같다(<그림 2> 참조). 이렇게 정의된 변수들을 바탕으로 다음의 혼합정수모형의 유동적 베이할당문제(Flexible Bay Assignment Problem)[2]를 정의한다.

여기서 f_{ij}는 제조분과 i에서 부터 j로의 물류흐름량을, D_{ij}는 제조분과 i와 j사이의 거리를 나타낸다. 그리고 a_i는 제조분과 i의 최소 필요공간을 의미한다.

FBAP에서는 해당 베이 간의 거리의 측정치로 그 물류이동거리를 나타냈고 각 제조분과의 상대적 위치를 이산형 변수를 사용하여 표현 하였다. Meller[7]의 모델은 확정된 공간에 할당된 개체를 나타내는데 그 모델의 주목적이 있는 반면 FBAP 모델에서는 할당과 함께 유동적으로 움직이는 베이 폭의 변화로 인한 각 제조 분과의 위치 정보까지 결정변수로 포함시키게 된다.

제약식 (2)는 제조분과들 사이에 중첩(Overlap) 되는



<그림 2> 다중베이 시스템에서의 변수들

것을 방지하는데 이것은 또한 각 베이간에도 중첩되는 것을 방지 하는 역할을 한다. 여기서 W는 고려되고 있는 시설공간의 길이를 의미 한다. 제약식 (3)은 각 제조분과가 제한된 시설공간 내에 배치 되게 되는 것을 보장해 준다.

각각의 베이 공간 ($w_i \cdot W$)은 그 해당 베이에 할당 되는 모든 제조분과들의 공간의 합보다도 커야 하는데 제약식 (4)은 이곳에 할당되는 제조분과 하나를 기준으로 이 제조분과와 함께 할당되는 나머지 제조분과들의 점유공간을 더해 이것이 베이공간을 초과할 수 없다는 것을 나타내었다. 즉 제조분과 i가 1번 베이에 할당이 되었다면 1번 베이에 할당된 나머지 제조분과들과 제조분과 i의 면적을 합한것이 1번베이의 제약공간이내이어야 한다는 제약식이다. 제약식 (5)는 각 제조분과들의 상대적인 위치를 제한한다. 이항변수인 α_{ij}는 0 또는 1밖에 가질 수 없는데 두 이항변수의 합이 1보다 작거나 같다고 제한을 하는 것은 동시에 일어날 수 없도록 제한을 한 것이다. 즉 제조분과 i와 j는 서로 수평위치에 있거나 -같은 베이에 할당될 경우- 서로 다른 베이에 할당되면 수직위치의 차이를 갖게 된다는 제약식이다. 여기서 '유동적'인 베이 폭은 그 베이안에서 운영시스템이나 물류시스템이 관리 가능한 크기로 제한이 되어야 한다. 이런 제한을 위해 하나의 베이가 가질 수 있는 폭의 최대치와 최소치를 주어 '유동적'이지만 '제한적'인 베이 크기를 가져가게 된다. 제약식 (6)은 이러한 베이 폭의 제한을 나타낸다. 제약식 (7)는 제조분과(Department) i와 j의 거리를 나타내는데 절대값으로 나타내므로 인해 생기는 비선형성(Nonlinearity)을 해결하기 위해 다음의 두 개의 식으로 나타낸다.

$$D_{ij} \geq py_i - py_j, \ \ \forall i, j \tag{9}$$

$$D_{ij} \geq py_j - py_i, \ \ \forall i, j \tag{10}$$

위의 FBAP 모델은 공간적인 제약을 갖고 있다. FBAP 모델은 한 쪽 방향에서만 해를 찾을 수 있도록 구성이 되어 있는데 양방향 모두에서 제조분과를 할당하는 모델을 구성하기 위해서는 추가적인 이항변수의 소개가 필요하다.

$$\beta_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ 만약 제조분과 } i\text{가 제조분과 } j\text{의 왼쪽에 위치할 때} \\ 0, \text{ 위의경우가 아닐 때} \end{cases}$$

앞서 α_{ij}가 제조분과 간의 수직적인 중복에 대해조절하는 변수 였다면 β_{ij}는 제조분과 간의 수평적인 위치를 조절하는 역할을 한다.

(FBAP2) $$min \sum_i \sum_j f_{ij} D_{ij} \ \ \forall i < j \tag{11}$$

$$s.t. py_i + \frac{w_i}{2} \leq py_j - \frac{w_j}{2} + L(1-\alpha_{ij}) \ \ \forall i,j \tag{12}$$

$$\frac{w_i}{2} \leq py_i \leq L - \frac{w_i}{2}, \ \ \forall i \tag{13}$$

$$px_i + \frac{W}{2} \leq px_j - \frac{3W}{2} + 2W(1-\beta_{ij}) \ \ \forall i,j \tag{14}$$

$$\frac{W}{2} \leq px_i \leq \frac{3W}{2} \ \forall i \tag{15}$$

$$a_i + \sum_{j(j \neq i)} (1 - \alpha_{ij} - \alpha_{ji} - \beta_{ij} - \beta_{ji}) a_j \leq w_i \cdot W, \ \ \forall i \tag{16}$$

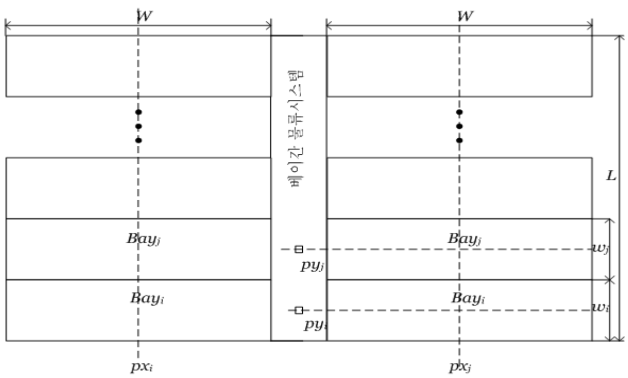
$$\alpha_{ij} + \alpha_{ji} + \beta_{ij} + \beta_{ji} \leq 1, \ \ \forall i < j \tag{17}$$

$$lb \leq w_i \leq ub, \ \ \forall i \tag{18}$$

$$D_{ij} = |py_i - py_j|, \ \ \forall i, j \tag{19}$$

$$\alpha_{ij}, \beta_{ij} \in \{0, 1\}, \ \ \forall i, j \tag{20}$$

위에서 제시된 FBAP2 모델은 계산의 편의를 위해 중심에 있는 물류시스템이 점유하고 있는 공간에 대해 고려하지 않는다. 즉 베이공간이 중심의 중앙물류 시스템을 중심으로 오른쪽과 왼쪽에 있는데 이 두 베이공간사이에 있는 중앙물류시스템을 위한 공간을 계산에서는 고려하지 않는다. 그 이유는 전체 물류이동거리를 측정할 때 베이간 거리를 측정하게 되므로 베이내의 이동을 나타내는 수평거리에 대해서는 고려하지 않고 수직 거리에 대해서 측정을 하기 때문이고 또한 각 제조 분과에 대한 할당이 목적이므로 최적해를 구하는데 영향을 주지 않는다. FBAP에서는 고려하지 않던 x 방향으로의 공간 활용에 대한 제약을 식 (14), 식 (15)에 추가 하였고 제약식 식 (16), 식 (17)에서 할당되어 지는 제조분과에 대한 위치와 점유공간에 대해 조절할 수 있도록 하였다. 즉 제약식 식 (14)와 식 (15)은 양방향 레이아웃에서의 제조분과의 할당이 오른쪽, 또는 왼쪽에 될 때 그 중심점이 각 베이의 중심에 맞추어 지도록 하는 것이고 제약식 식 (16)과 식 (17)는 이 제조 분과가 같은 베이에



<그림 3> 양방향 다중베이 시스템에서의 변수들

할당이 된다면 그 공간제약을 초과하지 않는 범위에서 할당이 되도록 제한하고 또 오른쪽 또는 왼쪽에 선택적으로 할 당 되도록 하여 동시에 양쪽에 모두 할당이 되는 경우를 차단한다.

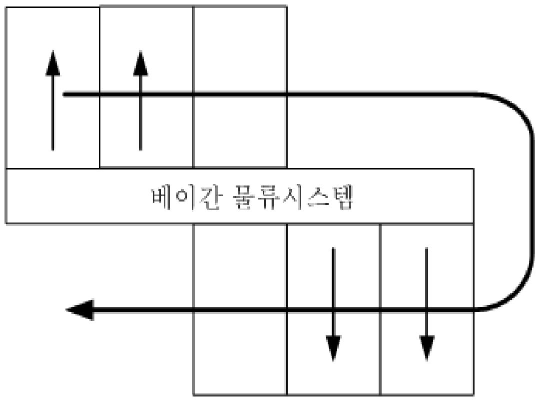
이렇게 양방향 모델로의 확장에 있어서 이항변수(Binary variable)의 추가적인 소개와 사용은 전체 문제의 난이도를 높여 계산에 있어서의 효율을 떨어 뜨리는 효과를 가져오지만 '양방향'이라는 조건이 하나의 이항변수의 추가적인 소개로 설명이 가능하다는 이점도 가지고 있다.

4. 타부서치의 적용

앞 장에서 소개한 모델의 경우 실험 결과에서도 설명하겠지만 문제의 난이도 때문에 최적해를 구하는 데 어려움이 있다. 이는 설비배치문제들이 갖는 공통적인 문제라 하겠다. 즉 문제의 크기가 커지면 최적을 구하기 어려워 최적해(optimal solution)를 구하려는 노력보다는 최선해(most favorable solution)를 구하려는 노력이 많아지게 되는 이유이다(Heragu, 1997). 이 연구에서는 잘 알려진 타부서치를 적용한다. 타부서치는 Glover[3]에 의해 처음 소개 되었고 많은 순열조합의 최적화 문제(Combinatorial optimization problem)에 적용되어 성공적인 효과를 보여왔다. 이 연구에서 해결하고자 하는 문제의 유형 또한 타부서치의 적용으로 부터의 효과를 기대할 수 있기에 기본적인 절차를 적용하였고 문제의 초기화와 더불어 해를 구하는 절차와 절차 사이의 규칙, 그리고 최종 해의 결정사항 까지 기본적인 틀에서 해당 문제유형에 맞게 조금씩 변형해 가며 해를 구하도록 하였다. 타부서치에 대한 배경과 절차에 대한 자세한 내용은 Glover[4, 5]의 논문에서 찾을 수 있다.

4.1 배치방법

수리모델에서는 수리식에 의해 문제를 해결 할 수 있지만 타부서치를 적용하기 위해서는 기본적인 배치의 기준을 정하고 이 기준에 대한 반복적인 해 구하기 절차를 통해 좋은 해를 찾는 과정을 만들 수 있다. 기본적으로 배치할 수 있는 평면(Floor Space)가 상단과 하단으로 나누어 지도록 위치하고 배치의 순서는 왼쪽 상단에서부터 제조분과를 채워 나가고 상단의 공간이 채워지면 다시 오른쪽 하단에서 왼쪽으로 공간을 채워 나가는 방법을 적용했고 <그림 4>에서 보여지는 것과 같다 이는 배치에서 사용하는 공간채우기곡선(Spacefilling Curve, SFC)의 이용과 같다[8].

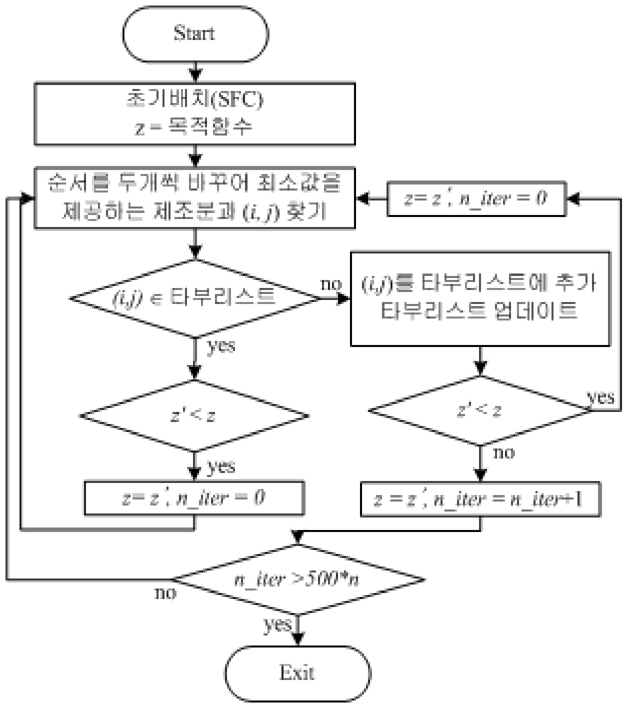


<그림 4> 제조분과의 배치 패턴

4.2 초기화와 타부서치에서의 변수

초기화는 위에서 설명한 바와 같이 순서대로 제조분과를 채워 나가되 그 순서는 무작위(Random)로 정하여 배치하도록 한다. 시작을 지역최적값(Local Optimal Value)을 구하여 시작하는 경우도 있지만 초기해에 무관하게 해를 찾을 수 있는 조건을 주어지기 위해 무작위 순서를 정하도록 했다.

타부 절차를 결정짓는 변수로는 타부리스트(TABU List), 열망조건(Aspiration Criteria), 그리고 끝내기조건(Stopping Criteria)가 있는데 이 변수들이 달라짐에 따라 찾는 해도 달라진다. 타부리스트는 반복적은 해찾기 과정에서



<그림 5> 타부서치 흐름도

<표 1> 양방향 베이공간을 고려한 배치

데이터	베이 유동성 (%)	FBAP2		타부서치		
		베이간 물류이동거리	계산시간	베이간 물류이동거리	베이간 물류이동거리(평균)	계산시간 (sec)
11-2	0	282.0	34.7	282.0	282.0	0.05
	10	282.0	465.7	282.0	363.3	2.1
	20	282.0	1183.3	282.0	328.5	2.1
	30	212.0	724.7	212.0	212.5	4.1
15-2	0	6,700.0*	84,600.0	6,700.0	11,648.8	9.3
	10	5,515.3**	76,059.7	5,516.8	5,516.8	10.5
	20	5,405.3**	26,410.9	5,345.7	5,367.7	27.3
	30	6,062.7**	38,935.7	5,135.9	5,270.0	20.9
21-2	0	885.0**	60,708.7	678.0	840.2	90.8
	10	1,182.2**	37,572.0	566.9	566.9	61.4
	20	2,063.7**	28,746.7	554.3	554.3	96.0
	30	n/a***		552.2	555.1	79.4

주) * 제한시간(24시간)내에 최적해를 구하지 못함. Optimality gap은 49.3%.
** 메모리 부족으로 최적해를 구하지 못함, Optimality gap은 각각 61.7%, 81.6%, 68.4%, 86.4%, 91.5%, 96.5%임.
*** 가용 메모리안에서 유용한 해를 구하지 못함.

앞서 그 순서를 바꾸었던 제조 분과를 기억해서 리스트에 두고 다시 바꾸지 못하도록 한다. 경험적으로 문제의 크기를 *n*이라 했을때 타부리스트이 크기는 0.33*n*에서 0.6*n*사이에서 좋은 해를 찾는다고 한다[10]. 이 연구에서도 이 사이의 값을 채택하여 타부리스트의 크기를 정했다(0.5*n*). 열망조건은 타부규칙에 대한 예외를 가져오는 것으로 타부리스트에 있는 제조분과들이 다시 그 순서를 바꾸지 못하게 되었다 하더라도 교체로 인한 값의 개선이 월등하다면(그 시점에서의 가장좋은 값을 제공했을 경우) 교체를 허락하도록 했다. 끝내기조건은 7n에서 10n이 좋은 해를 가져온다고 했지만 이 연구의 문제형태가 많은 경우의 배치형태를 테스트 해봐야 하기에 10n, 100n, 500n, 1000n등을 실험을 통해 결과를 비교하고 500n이후에는 결과에 대한 개선이 없다고 판단하여 500n을 끝내기 기준으로 삼았다. 이러한 절차들을 다음의 <그림 5>에서 표현하였다.

*n_iter*는 반복회수를 의미하며 가장 좋은 가장좋은 값(Best OFV)을 찾을 때 마다 다시 반복수를 시작하도록 하였다. 순서를 바꿀때에는 두 개의 제조분과를 택해 (*i*, *j*), 이 두 제조분과의 위치(순서)를 바꿈으로서 배치의 변화에 따른 동선거리를 측정하여 비교하였다.

5. 실험결과

제안된 모델을 테스트하기 위해 Meller[7]가 사용한 수리예제를 그대로 사용하게 되는데 11, 15, 21, 40개의 제조분과를 할당하는 문제의 해를 구하고자 한다. 이 예제에 있어서 제조분과는 면적정보만 소개되어 져서 가로와 세로의 길이는 할당하는 베이의 공간에 맞추어 지게 되어있다. 초기모델인 BAP는 각 베이의 공간을 확정해 놓은 상태에서 제조분과를 할당하게 되는데 11개 제조분과 문제는 2개의 베이를 15, 21, 40개 제조분과 문제는 각각 3, 4, 4의 베이 수를 갖는다. 각 제조분과간의 물류이동에 대한 정보는 From-To 정보로 모델에 적용하게 되고 레이아웃을 구성하게 되는 바닥면(floor space)의 정보 또한 확정하여 모델에 적용한다. 이렇게 확정된 베이공간에 물류 이동을 최소화 할 수 있도록 제조 분과를 각 베이에 할당하는 것이다.

유동성을 가정한 Chae[2]의 모델에서는 유동성의 크기(10, 20, 30%)만큼 베이 폭이 변화 할 수 있도록 하여 제조 분과의 할당과 위치를 구하도록 하였다. 유동성의 가정을 하지 않은 BAP의 경우 4가지 예제에 모두 최적해를 구할 수 있었지만 유동성을 가정한 FBAP의 경우 그 계산의 난이도 때문에 정해진 조건안에서 모두 최적을 구할 수 없었다. 40개 제조분과 예제의 경우 최적을 구할 수 없었고 21개 제조 분과의 경우도 모든 유동성의 경우에 최적을 구한 것은 아니다.

이 연구에서 실험하고자 하는 모델은 FBAP보다 훨씬 그 계산량이 많아 어느 경우의 계산도 최적을 기대하기 어렵다. 또한 양방향의 베이공간을 가정하기 때문에 배치형태 자체도 FBAP와 확연히 달라 비교의 대상이 되기 어렵다. 기본적으로 양방향의 베이 공간을 갖는 모델에서는 레이아웃 공간에 대해서 새롭게 재구성하는 것이 옳다. 그 이유는 한쪽 방향만 사용하던 베이 레이아

웃에 비해 베이수나 공간적인 제약이 확연히 증가하기 때문이다. 하지만 기존 모델의 확장 실험인 만큼 기존에 한방향의 베이공간을 위해 사용하던 예제에서 배치를 위한 공간을 조절하여 실험을 수행하였다.

이러한 여러 가지 이유로 인해 40예제의 경우 수리모델 테스트는 큰 의미가 없다고 생각하고 11, 15, 21예제에 대해서 실험을 하고 타부 서치의 결과와 비교하였고 문제의 변형으로 기존의 문제이름과 구별하기 위해 문제들을 다르게 이름하였다(11-2, 15-2, 21-2). 실험은 펜티엄(3GHz)의 1G의 메모리, 그리고 Window XP의 환경 하에서 실행하였다.

수리모델의 테스트는 CPLEX를 이용했다. 계산시간은 하루(24시간)의 제한을 두고 실험을 하였는데 대부분의 실험결과에 있어서 시간보다는 가용 메모리의 제한으로 인해 그 해찾기 프로세스를 멈추었다.

앞서 설명했듯이 문제의 난이도로 인해 수리모델의 실험에 있어서 11-2 예제의 경우에만 최적을 구했고 그 이상의 제조분과를 갖는 문제에서는 최적을 찾을 수 없었다.

타부서치를 이용한 설비배치의 결과에서 11-2 문제의 4가지 유동성의 경우에 수리모델 FBAP2로 찾은 최적값과 같은 결과를 제공한다. 반면 해를 찾는 시간에 있어서는 기대했던대로 월등하게 빠른 속도로 해를 찾는다. 11-2의 모든 문제에서 타부서치가 찾는 해가 최적해라고 해서 15-2, 21-2 문제의 해 또한 최적이라고 말 할 수는 없지만 11-2의 해 찾기를 통해 이 연구에서 사용한 타부서치의 해법이 큰 문제에서도 좋은 성과를 낼 것이라는 것을 기대할 수 있다. 구체적인 결과 비교를 위해 같은 조건의 컴퓨터 시스템에서 실험을 실행하였고 타부서치는 C++을 사용해 프로그램 하였다. 실험은 최소 20회씩 진행하였고 계산시간은 최초로 최소값을 찾았을 때의 시간을 측정하였다.

15-2문제의 경우 유동성이 없는 경우에는 수리모델의 해와 같으며 계산시간에 있어서도 유동성이 없는 관계로 빠르게 해를 찾는다. 10% 유동성이 있는 경우에는 근소한 차이가 있지만(0.06%), 발견적 기법이 구성해 볼 수 있는 제한적인 배치형태와 10.5sec. 만에 찾은 결과임을 감안하면 월등한 성과라고 할 수 있다. 20%, 30%의 유동성 문제에서는 안정적으로 좋은 해를 빠른 시간에 찾은 것을 볼 수 있다.

21-2 문제는 상대적으로 문제수가 많아 수리모델의 해법에서 30%의 경우 가용메모리안에서 유용한 해 조차 구할 수 없었지만 타부서치의 적용은 모든 경우에 안정적으로 좋은 해를 찾았다.

40개 제조분과의 문제 또한 실험을 하였고 유동성이 없는 경우 평균적으로 2,000sec.에서 찾음을 보였고 이는 21개 제조분과의 경우 100sec.이하에서 모두 찾았음을 비교해 볼 때 제조분과의 수의 증가는 수리문제에서의 난이도 증가 뿐 아니라 이 연구에서 적용한 타부서치의 방법에도 크게 영향을 미침을 알 수 있다.

6. 결 론

본 논문에서는 다중 베이 생산시스템에서 유동성을 고려한 설비의 효과적 배치를 위한 모델을 제시하였다. 확정적인 베이 공간에 제조분과의 할당(배치)는 그 해를 빠르고 쉽게 찾을 수 있지만 그 배치의 효율성을 높이기 위해 베이 공간의 유동성을 가정하는것이 더 효과적이다. 이러한 효과를 고려하여 베이 유동성을 고려한 모델이 소개 되었지만 배치형태에 제한이 있었다. 이 연구에서는 이렇게 한 방향만을 고려한 베이 공간에서의 배치모델에서 양방향 모두를 고려하여 제조분과를 배치할 수 있도록 확장한 모델을 소개했다. 이 MIP(Mixed Integer Programming) 모델은 선행 모델에서의 결정변수에서 다루었던 어떤 제조분과를 어떤 베이에, 그리고 어느 정도 크기로 베이 공간을 가져갈지의 결정과 더불어 양쪽 방향의 베이공간을 사용할 때 제조 분과를 어느쪽에 위치시킬지에 대한 결정사항 까지 모델의 의사결정 사항에 포함시킨다.

주어진 제조 시스템에서 제조 분과의 수의 결정에 의해 제안되는 모델의 효용성이 달라지는데, 그 이유는 수리적 모델 자체는 계산의 어려움으로 인해 제조분과의 수가 많은 경우 최적해를 구하기가 쉽지 않기 때문이다. 위의 실험 결과에서 보여 지듯이 제조 분과의 수가 그리 많지 않고 또 제조 분과의 수와 베이의 수가 큰 차이가 나지 않는 경우 상대적으로 해를 빨리 찾기 때문에 모델의 적용과 결과의 도출이 상대적으로 수월하지만, 제조분과의 수가 많아 질수록 그 적용이 어렵다.

이러한 이유로 발견적 기법인 타부서치를 적용하여 문제의 해를 찾기 위한 접근을 하였고 적용한 타부서치는 수리모델이 제공하는 해와 비교해 볼 때 같은 품질의 해와 함께 월등히 빠른 해를 제공하였다. 하지만 제조분과의 수의 증가는 이러한 접근법에도 시간적인 영향을 많이 미치고 있는 것으로 보이며 향후 연구과제로는 수리모델뿐 아니라 발견적 기법에 있어서도 보다 효율적인 해를 찾도록 하는 것이다.

참고문헌

[1] Castillo, I. and Peters, B. A.; "Integrating design and

production planning consideration in multi-bay manufacturing facility layout," *European Journal of Operational Research*, 157(3) : 671-687, 2004.

[2] Chae, J. and Peters, B. A.; "Layout Design of Multi-Bay Facilities with Limited Bay Fexibility, *Journal of Manufacturing Systems,* 25(1) : 1-11, 2006.

[3] Glover, F.; "Future pathes for integer programming and links to artificial intelligence," *Computers and Operations Research*, 5 : 533-549, 1986.

[4] Glover, F.; "Tabu search-Part I," ORSA Journal on Computing, 1 : 190-206, 1989.

[5] Glover, F.; "Tabu search-Part II," ORSA *Journal on Computing*, 2 : 4-32, 1990.

[6] Heragu, S.; *Facilities Design*, PWS Publishing Company, Boston, MA, 1997.

[7] Meller, R. D.; "The multi-bay manufacturing facility layout problem," *International Journal of Production Research*, 35(5) : 1229-1237, 1997.

[8] Peters, B. A. and Yang, T.; "Integrated facility layout and material handling system design in semiconductor fabrication facilities," *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing,* 10(3) : 360-369, 1997.

[9] Picard, J. C. and Queyranne, M.; "On the one-dimensional space allocation problem," *Operations Research*, 29(2) : 371-391, 1981.

[10] Skorin-Kapov, J.; "Tabu search applied to the quadratic assignment problems," *ORMS Journal on Computing*, 2(1) : 33-45, 1990.

[11] Yang, T., Rajasekharan, M. and Peters, B. A.; "Semiconductor fabrication facility design using a hybrid search methodology," *Computers and Industrial Engineering*, 36 : 565-583, 1999.