

물류시스템 최적화를 위한 설비배치에 관한 연구

A Study on Facility Layout for Optimamization of Material Flow System

박세준, 이영혜, 허 선, 이문환, 유지용
Se-Joon Park, Young-Hae Lee, Sun Hur, Moon-Hwan Lee, Ji-Yong Yu,

한양대학교 산업공학과
Department of Industrial Engineering, Hanyang University

Abstract

We consider a facility layout problem for optimized material flow system design in the automated production system design. Existing facility layout algorithm have a weak point that arranged facilities have irregular shape or don't preserve their own shape and size. The proposed algorithm give a layout which is minimize total material handling cost and maximize space utility under preserving each facilities' own shape and size.

1. 서 론

설비배치란 생산에 필요한 시스템을 갖추는 과정에서 배치의 대상이 되는 설비들의 연관관계를 고려하여 원활하고 효율적인 생산체제를 구축하기 위한 설비들의 위치배열을 말한다. 이러한 설비배치는 일단 결정되어지면 바꾸기가 매우 어렵기 때문에, 설비배치가 잘못되면 생산시스템의 비효율적인 운용을 가져오고, 생산비용과 시간의 낭비를 초래하게 된다.

기존의 설비배치와 관련된 많은 알고리즘들은 Kuisak과 Heragu[7]에 정리, 소개되어져있다. 본 연구에서는 CRAFT[4][5]를 비롯한 기존의 연구들이 가지고 있는 최종 설비배치에서 설비들이 불규칙적이거나 이상한 모양을 갖는다는 단점을 극복하기 위해 연속평면상에 실수 값의 너비와 길이를 갖는 설비들을 배치한다. 이러한 경우에 유사한 연구로 Tam[9]이 제시한 슬라이싱 트리(slicing tree)를 사용한 방법과 Tate와 Smith[8]가 제시한 베이구조(bay structure)가 있는데, 이들은 설비들이 실수값의 너비와 길이는 가지되 면적과 모양만을 고려함으로써 설비자체가 현장에 배치될 때 각 설비들의 고유한 너비와 길이, 그리고 크기와는 다르게 배치될 수 있는 단점을 가지고 있다.

본 연구에서는 실제 현장의 상황을 잘 반영할 수 있도록 연속평면상에 실수값의 너비, 길이 그리

고 각 여유율(안전비율)을 고려한 설비들간의 총 물류이동거리를 최소화하고 공간의 활용을 최대화 하는 설비배치를 생성해주는 알고리즘을 제시하고자 한다.

2. 시설배치 알고리즘

본 연구에서 제안하는 설비배치 알고리즘은 인접도를 고려한 배치대상이 되는 설비들의 형태를 최대한 유지한 상태로 시스템내의 총 물류이동비용을 최소화하는 설비배치안을 제시한다. 이 알고리즘은 Activity Relationship Diagram, Block Layout Construction, Improvement의 3부분으로 나뉜다.

2.1 Activity Relationship Diagram

설비배치시 가장 먼저 선행되어야 할 것은 설비의 인접 정도를 고려하여 각 설비간의 관계를 나타내는 Activity Relationship Diagram을 생성하는 것이다. 여기에서 말하는 Activity Relationship Diagram이란 설비가 차지하는 공간적인 요소는 고려하지 않고 각 설비간의 활동관련도에 따라 배치될 설비의 인접도 값을 나타내는 다이어그램을 말한다. 일반적으로 각 설비간의 관계를 나타내는 다이어그램을 행렬의 형태로 표현할 수 있다.

2.2 Block Layout Construction algorithm

본 연구에서는 기계가공시스템의 현장 배치를 대상으로 하므로, 각 설비들이 다기능의 머시닝 센터, AS/RS 등의 설비들로 각각 고유한 형태를 가지고 있고 이런 형태가 바뀌면 실제적으로 설치가 불가능해지게 된다. 따라서 Tam[9]이 제시한 슬라이싱 트리(slicing tree)를 사용한 방법이나 Tate and Smith[8]와 김재곤 등[2]에서 사용된 베이 구조(bay structure)의 적용도 어렵게 된다. 그러므로 설비의 너비와 길이의 크기 그리고 면적이 주어진 고유한 형태의 직사각형을 갖는다는 가정하에 배치하되 주어진 공간과 배치된 후의 실제 사용 면적과의 비를 공간 활용도(Space Utilization)라 정의하고, 공간의 활용도를 극대화하기 위하여 이를 결

정변수들 중의 하나로 고려하였다.

Block Layout Construction 알고리즘은 다음과 같다.

Step. 0 : 배치 대상 설비들의 각각의 너비와 길이가 주어진 공간의 크기를 초과하지는 않는지, 배치 대상 설비들의 면적의 합이 주어진 면적을 초과하지는 않는지를 검사한다.

Step. 1 : 초기배치순서를 결정하고 처음 배치할 설비를 선택해 주어진 공간의 좌측 상단에 배치하고, 기준 설비(바로 전에 배치한 설비)로 한다.

Step. 2 : 다음 배치할 설비(X)를 선정하고 이 설비(X)의 너비와 주어진 공간의 나머지 너비와 비교하고, 주어진 공간의 나머지 너비가 배치해야할 설비(X)의 너비보다 크면 Step 3으로 가고, 아니면, Step 4로 간다. 다음 배치할 설비가 없으면 Step 8로 간다.

Step. 3 : 기준 설비의 우측면과 그 면으로부터 우측으로 배치해야할 설비(X)의 너비만큼의 구간 내에 이미 배치된 설비들과 위쪽으로 접하게 설비를 배치한다. 만약, 이렇게 배치한 설비(X)의 여유를 뺀 길이가 기 배치한 설비들에 의해 생긴 요철공간의 길이보다 작으면 요철공간에 배치하고, 이 설비를 기준 설비로 한 후, Step 2로 간다.

Step. 4 : 배치할 설비(X)를 포함한 기 배치 설비들의 너비 여유율을 고려하여 배치가 가능한가를 검사한다. 배치가 가능하면 너비 여유를 줄인 후 Step 3으로 가고, 아니면 Step 5로 간다.

Step. 5 : 부지의 너비 여유율을 고려하여 배치가 가능여부를 검사한다. **a)** 부지의 여유율 이내일 경우 고려한 설비들의 너비의 합까지 주어진 공간을 넓힌 후 배치한다. 배치된 설비를 기준 설비로 하고, Step 2로 간다. **b)** 부지의 여유율을 넘을 경우 배치할 설비(X)를 밑으로 내려 배치한다. 이 때, 주어진 공간의 나머지 길이와 배치할 설비(X)의 길이를 검사한다. 배치가 가능하면 배치한 설비를 기준 설비로 하고 Step 2로 간다. 그렇지 않으면 Step 6으로 간다.

Step. 6 : 배치할 설비(X)를 포함한 기 배치 설비들의 길이 여유율을 고려하여 배치가 가능한가를 검사한다. 배치가 가능하면 길이 여유를 줄인 후 Step 2로 가고, 아니면 Step 7로 간다.

Step. 7 : 부지의 길이 여유율을 고려하여 배치가 가능여부를 검사한다. **a)** 부지의 여유율 이내일 경우 고려한 설비들의 길이의 합까지 주어진 공간을 넓힌 후 배치한다. 배치된 설비를 기준 설비로 하고, Step 2로 간다. **b)** 부지의 여유율을 넘을 경우 알고리즘 수행을 종료하고 개선 알고리즘을 수행하여 다른 배치 순서를 찾는다.

Step. 8 : 주어진 부지 공간을 배치된 설비들에 접하게 최대한 줄인 후, 공간 활용도(Space Utilization)를 계산하고 알고리즘을 종료한다.

2.3 Improvement Algorithm

일반적으로 해를 개선시켜 최적의 설비 배치를 결정하는 문제는 배치해야 할 설비의 수가 증가함에 따라 계산량이 급격히 늘어나는 NP-complete 문제에 속한다. 따라서 이를 위한 탐색 기법으로

유전 해법(Genetic Algorithm)을 사용한다.

유전 해법(Genetic Algorithm : GA)은 생태계의 자연선택과 적자생존의 원리를 이용한 탐색기법의 하나로 Holland and Reitman(1975)에 의해 소개되었으며, 복수 개의 잠재해들로 이루어진 해의 집단(population)에 대해 유전법칙의 메커니즘을 적용하여 세대(generation)를 진행시키면서 해공간을 탐색해 가는 해법이다.[1][6]

위의 Block layout construction 알고리즘은 고유한 형태를 유지하면서 설비들이 배치되므로 설비들의 배치순서에 많은 영향을 받는다. 따라서, 유전 해법을 이용하여 배치순서들을 바꿔가며 최적해를 찾는다. 본 연구에서는 배치해를 십진수의 string으로 표현하며, 교배 연산자와 돌연변이 연산자, 그리고 재생산 규칙은 너비와 길이의 길이가 주어진 경우에 좋은 탐색 결과를 가진다고 알려져 있는 Partially Matched (or Mapped) Crossover(PMX) 방법과 Insertion방법, 그리고 Tournament방법(k=2)을 이용한다[3].

최선의 해를 탐색하는 기준이 되는 적합도함수는 구해진 배치안에서 각 설비들 간의 거리(d_{ij})와 그 사이를 움직이는 물류장비의 속도(v_{ij})의 역수를 곱한 값에 물동량행렬로부터 얻은 물동량(a_{ij})을 곱하고 이에 단위시간당 운영비용(C_o)을 곱한 값(총 물류비용)에 공간활용도에 따른 손실비용을 더한 값을 최소화하는 것으로 식 (1)과 같이 표현된다.

$$MinF(x) = \alpha \left\{ \sum_{i=1}^n \sum_{j=i}^n C_o \cdot a_{ij} \cdot d_{ij} \cdot \frac{1}{v_{ij}} \right\} + (1-\alpha) \{ C_s \cdot (1-U) \cdot S_t \} \quad \dots (1)$$

- α : 가중치 상수
- a_{ij} : 설비 i와 j사이의 물동량
- C_o : 물류장비의 단위시간당 운영비용
- d_{ij} : 설비 i와 j사이의 거리
- v_{ij} : 설비 i와 j사이 물류장비의 이동속도
- U : 공간활용도(Space Utilization)
- C_s : 단위면적당 부지비용
- S_t : 실제사용부지의 면적

(1)식에서 α 는 0과 1사이의 값으로서 물류비용과 부지비용간의 가중치를 설정하는 역할을 하며, 이 값은 설계자에 의해 초기에 설정되어진다.

3. 수치 예제

예제를 이용하여 위의 알고리즘을 설명하면 다음과 같다. [표 1]은 배치할 설비의 형태와 크기 그리고 각 설비들의 방향별 여유율을 나타낸다.

표 1. 배치할 설비의 형태와 크기

	너비	길이	면적	너비 여유(%)	길이 여유(%)
A	5	3	15	10	10
B	6	3.5	21	10	10
C	4	4	16	10	10
D	3	4	12	10	10
E	15	1	15	10	10
F	15	4	60	10	10
G	2.5	2.5	6.25	10	10
계	50.5	22	145.25		

[표 2]는 설비들의 물동량을 고려하는 행렬을 나타낸다.

표 2. 물동량 행렬

	A	B	C	D	E	F	G
A			25		20		
B					10	10	
C		10			15	5	
D			5				
E	10	10		5			35
F					5		10
G	35				10		

20%의 여유율을 갖는 16 (너비) x 11(길이)의 배치 대상공간에 [표 1]과 같은 크기와 형태 및 [표 2]와 같은 물동량을 갖는 설비들을 배치하면 다음과 같다.

우선 배치 대상 설비들의 각각의 너비와 길이가 주어진 공간의 너비와 길이를 초과하지는 않는지, 배치 대상 설비들의 면적의 합이 주어진 면적을 초과하지는 않는지를 검사한 후 D설비를 선택하여 주어진 공간의 좌측 상단에 배치한다(그림 1). D설비를 배치한 후 나머지 너비에 설비 E를 놓을 수 있는지 검사한다. 설비 E의 너비가 더 크므로 설비D와 설비E의 너비여유의 합만큼을 줄여 배치가 가능한가를 검사한다. 현재의 경우에는 $\{3(1-0.1) + 15(1-0.1)\} = 16.2 > 16$ 이므로 배치가 불가능하다. 그러나 너비의 합(3+15)과 주어진 공간의 너비(16)의 차가 주어진 공간의 너비의 20%이 내이면 너비를 늘려 배치한다(그림 2).

E설비를 배치한 후 나머지 너비길이에 설비 G를 놓을 수 있는지 검사한다. 설비 G를 배치할 수 없으므로 설비D, 설비E 그리고 설비G의 너비여유의 합만큼을 줄여 배치가 가능한가를 검사한다. 배치가 불가능하므로 설비E의 밑으로 내려 설비D와 닿을 때까지 이동하여 배치한다(그림 3). 다음 배치 대상설비 A를 설비G의 옆에 배치한다. 이 때 G설비를 배치한 후 나머지 너비에 설비 A를 놓을 수 있는지 검사한다. 설비E와 설비A의 길이의 합(1+3)이 주어진 공간의 길이(11)보다 작은지를 검사한 후 설비A를 배치한다(그림 4).

설비A를 배치한 후 나머지 너비에 설비B를 놓을 수 있는지 검사한다. 설비B의 너비만큼의 구간

내에 이미 배치된 설비들과 위쪽으로 겹치게 설비를 배치한다(그림 5). 설비 B를 배치한 후 나머지 너비에 설비 F를 놓을 수 있는지 검사한다. 설비 F의 너비가 더 크므로 설비D, 설비G, 설비A, 설비B, 그리고 설비F의 너비여유의 합만큼을 줄여 배치가 가능한가를 검사한다. 현재의 경우에는 $\{3(1-0.1) + 2.5(1-0.1) + 5(1-0.1) + 6(1-0.1) + 15(1-0.1)\} = 28.35 > 18$ 이므로 배치가 불가능하다. 또 너비의 합(3+2.5+5+6+15)과 주어진 공간의 여유 너비(18.2)보다 크므로 설비F는 설비B의 아래에 주어진 공간의 우측 경계까지 이동해 나머지 너비에 설비 F를 놓을 수 있는지 검사한 후 배치한다. 이 때 설비E, 설비B, 그리고 설비F의 길이의 합(1+3.5+4)이 주어진 공간의 길이(11)보다 작은지를 검사한다(그림 6).

설비 F를 배치한 후 나머지 너비에 설비 C를 배치할 수 있는지 검사한다. 배치가 불가능하므로 설비F 그리고 설비C의 너비여유의 합만큼을 줄여 배치가 가능한가를 검사한다. 설비C를 설비F의 옆에 배치한다. 이 때 설비E, 설비B와 설비C의 길이의 합(1+3.5+4)이 주어진 공간의 길이(11)보다 작은지를 검사한다. 더 이상 배치할 설비가 없으므로 주어진 공간을 직사각형을 유지하면서 배치된 설비들에 접하게 최대한 줄인다(그림 7). 주어진 공간과 배치된 후의 실제 사용 면적 사이의 공간 활용도(Space Utilization)를 계산하고 종료한다.(본 예제의 경우, 공간 활용도(Space Utilization) = 137.65 (설비면적의 총합) / 153 (실제사용면적) = 90.0%) (그림 8)

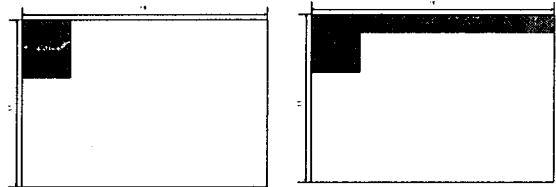


그림 1

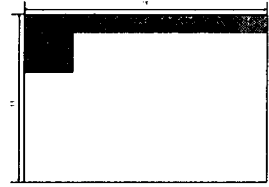


그림 2

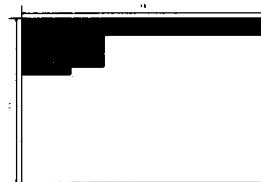


그림 3

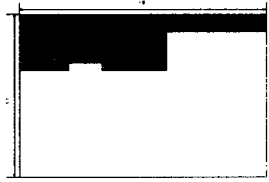


그림 4

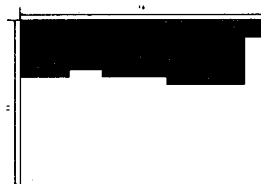


그림 5

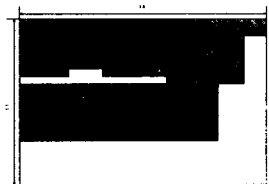


그림 6

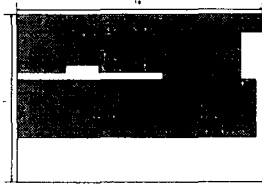


그림 7

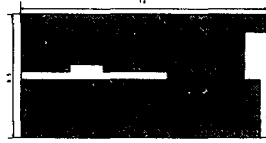


그림 8

단위면적당 부지비용을 30000/m², 단위시간당 운영비용을 300/min이라 하면, 위와 같은 배치안을 통해 얻어지는 목적함수값은 총물류비용: 23430, 공간활용도에 따른 손실비용: 459000으로 계산되어 241215가 된다.(가중치상수 $\alpha=0.5$)

4. 결 론

본 시설배치 알고리즘에서는 다음과 같은 특징을 찾아볼 수 있다.

- 1) 배치할 설비들의 고유한 형태를 유지하도록 함으로써 좀 더 현실적이고 최종 배치에 대한 실제 모습을 볼 수 있게 하였다.
- 2) 총 물류비용에 공간을 효과적으로 활용하지 못함에 따른 손실 비용을 고려하였다.
- 3) NP-complete인 Block Layout 문제에서 국부해(Local Optimal Solution)에 빠지지 않으면서 보다 빠르게 최선의 해에 도달할 수 있도록 유전 해법을 적용하였다.

본 설비배치 알고리즘의 추후 연구 및 보완 사항으로는 보다 큰 설비배치문제에서의 본 알고리즘의 효율성 검증과 본 알고리즘을 이용하여 설계된 Layout 상에서 자재 운반 설비를 고려한 Layout 개선 알고리즘의 발전이 필요할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 김여근, 윤복식, 이상복, *메타 휴리스틱*, 영지문화사, 1997.
- [2] 김재곤, 이근철, 김영대, "그래프 이론을 이용한 설비배치 계획에 관한 연구", *대한산업공학회지*, 제 23권 2 호, 359-370, 1997
- [3] 우성식, 박양병, "블록단위 설비배치를 위한 유전자 알고리즘의 적용", *경영과학*, 제14권 1호, 67-76, 1997
- [4] Armour, G. C., and E. S. Buffa, "A heuristic algorithm and simulation approach to relative allocation of facilities", *Management Science*, Vol 9, No.2, 294-300, 1963.
- [5] Buffa, E.S., G. C. Armour, and T. E. Vollmann, "Allocating facilities with CRAFT", *Havard Business Review*, 42, 136-158, 1964.
- [6] Goldberg, D. E., *Genetic Algorithms in search, optimization, and machine learning*, Addison Wesley, 1989
- [7] Kusiak, A., and S. S. Heragu, "The Facility Layout Problem", *European Journal of*

Operations Research. Vol. 29, 229-251, 1987.

- [8] Tate, D. M., and E. A. Smith, "Unequal Area Facility by Genetic Search", *IIE Transactions*, Vol.27, 465-472, 1995
- [9] Tam, K. Y., "A Simulated Annealing Algorithm for Allocating Space to Manufacturing Cells", *International Journal of Production Research*, Vol. 30, 63-87, 1992.