

기계선택, 작업할당, 기계배치를 고려한 FMS의 초기 설계에 대한 연구

A Study on Initial FMS Design Problem considering
Machine Selection, Loading and Layout

노인규* 이범진*

Ro, In-Kyu* Lee, Bum-Jin*

Abstract

Many themes have been studied for FMS problems. But most researchers have focused on specific themes; Machine selection, Loading, Routing, Machine layout, etc. So many decision makers who want to introduce FMS to his factory have many problems, because they do not know either what size of FMS should be introduced or what amount of money should be invested.

The objective of this research is to help the decision makers who want to introduce FMS. This research consists of three major parts: first, Machine selection, second, Loading, and third, Machine Layout. In the first part of the research, machines are selected with minimum cost satisfying the given demand of each part. In the second part, each operation with its required tools are allocated to those machines. In the third part, the location of each selected machine is determined. And dissimilarity coefficients between each pair of machines are calculated as the measure of distance.

With above three steps, we have selected machines, allocated operations to those machines, and the layout configuration of those machines. And for each three steps, Mixed Integer Programming models are formulated. In order to solve the large problems and reduce the computer execution time, three heuristic algorithms are developed for the three mixed integer programming models.

* 한양대학교 산업공학과

1. 서론

1.1 연구 목적

기존의 FMS에 대한 많은 연구가 있지만 이러한 연구들은 기계선택, 부품가공경로 선정, 작업할당, 기계배치 등의 특정한 분야에 치우쳐있기 때문에 실제로 FMS를 도입하려는 의사결정자는, 어느 정도 규모의 예산으로 어떤 시스템을 도입해야 하는지에 대하여 많은 어려움을 느낀다.

따라서, 본 연구는 FMS를 도입하려는 의사결정자가 생산하려는 부품과 그에 대한 생산량등의 정보만을 알고 있을 때, 어느 정도 규모의 FMS를 도입하여 어떤 형태로 배치하여야 하는가에 대한 초기 디자인을 제시하는 것을 목적으로 한다. 그리고 이러한 의사결정을 도울 수 있는 방법으로써 기계선택, 작업할당, 기계배치의 각각에 대한 Mixed Integer Programming(이하 MIP로 약칭)모델을 제시하고, 이들 식보다 빠른 속도로 근사해를 찾을 수 있고 해의 대략적인 값을 알아볼 수 있도록 새롭게 개발한 heuristic algorithm도 함께 제시하여 평가한다.

1.2 연구방법

본 연구는 그림 1과 같은 순서로 진행되는 데, 첫번째 단계에서는 입력자료로써 각 기간당 생산할 부품의 종류, 각 부품이 거쳐야 할 작업, 그리고 생산량 등의 정보가 주어진다. 두번째 단계에서는 부품의 종류별 생산량을 만족시키기 위해서 공구함 용량과 수명에 제한을 가진 기계들을 선택하게 되는데, 이때 MIP 1. 모델을 제시하여 최소의 비용으로 주어진 생산량을 만족시키는 기계들을 선

택한다. 세번째 단계에서는 선택된 기계에 대해서 각 작업이 최대 할당될 수 있도록 MIP 2. 모델을 제시한다. 네번째 단계에서는 MIP 2. 모델에서 할당된 작업을 가지고 각 기계간의 비유사계수를 구한다. 구해진 비유사계수는 MIP 3. 모델의 Layout을 위한 계수로 사용한다.

다섯번째 단계에서는 MIP 3. 모델을 제시하여 형태가 정사각형이라고 가정한 기계들을 제한된 크기의 작업장에 배치시킨다. 이때, 위에서 구한 비유사계수와 각 기계간 거리의 곱의 합계가 최소가 되도록 목적식을 구성하는데, 목적식이 절대값 함수로서 선형 함수가 아니므로 선형화 절차를 거친 후 MIP 3. 모델을 제시한다.

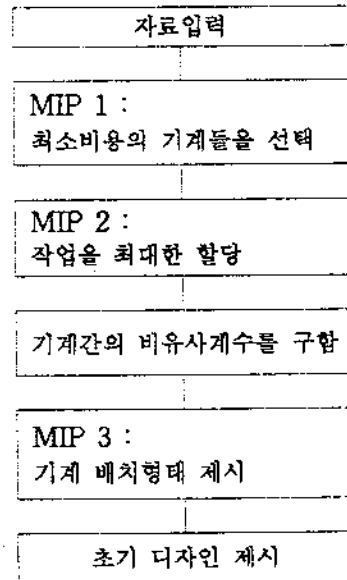


그림 1. 연구 방법

본 연구는 이러한 세개의 MIP 모델을 거쳐서 생산량을 만족시키는 최소비용의 기계들과 그 때의 비용, 그 기계들에 할당된 작

업들, 그리고 각 기계들의 배치형태를 제시하게 된다. 또한 각 MIP 모델에 해당하는 Algorithm을 개발하여 해의 상한 혹은 하한으로 사용할 수 있도록 한다.

이에 대한 기존의 연구들은 다음과 같다. Carrie[1]는 FMS의 일반적인 구성요소를 다음과 같이 분류하였다. (1) Workstation, (2) Load/Unload station, (3) Workpiece transport equipment, (4) Pallet, (5) Fixture, (6) Tool, (7) Tool transport, (8) Robot, (9) Buffer storage at Workstation, (10) Other storage facility, (11) Human operator, (12) Control computer. 또한 Carrie[2]는 FMS의 계획과 통제에서 해결해야 할 문제들을 다음과 같이 분류하였다. (1) 어떤 부품이 FMS에서 생산될 것인가? (2) 그 부품들은 어떠한 작업을 필요로 하는가? (3) 어떤 종류의 기계들이 포함되어야 하는가? (4) 각 종류의 기계들은 몇대나 필요할 것인가? (5) 각 부품에 대해서 고정작업과 펠릿작업이 어떻게 적용되며, 그 부품은 어떻게 시스템을 빠져 나갈 것인가? (6) 각 작업에 대해서 어떤 공구들이 필요한가? (7) 기계들은 어떻게 grouping이 되어야 하는가? (8) 어떤 기계 group에 어떤 작업과 공구들이 할당되어야 하는가? (9) 얼마나 많은 기계, 고정구, 펠릿, 운반장치, 공구들이 필요한가? (10) 고정구와 공구들은 어떻게 부품에 할당되는가? (11) 어떤 종류의 버퍼 시스템이 사용되는가? (12) 운용 프로그램에 어떤 규칙들이 사용되는가? Van Looveren et al.[3]은 FMS의 Planning 문제를 다음과 같이 3단계와 6가지 문제로 규명하였다. (1) Strategic Planning : The screening problem, The selection problem (2) Tactical

Planning : The batching problem, The loading problem (3) Operational Planning : The release problem, The dispatching problem. Stecke[4]는 FMS의 Planning 문제를 다음과 같이 다섯가지로 정의하였다. (1) The part type selection problem, (2) The machine grouping problem, (3) The production ratio problem, (4) The resource allocation problem, (5) The loading problem. Kusiak[5]은 시스템을 도입할 때 고려해야 할 점들을 다음과 같이 구조적으로 정의하였다. (1) Equipment Selection, (2) Machine Cell Formation, (3) Machine Layout, (4) Cell Layout. Kouvelis[6]는 FMS의 고려사항을 다음과 같이 크게 두 단계로 구분하였다. (1) FMS Design Problem, (2) FMS Planning Problem.

Vinod 와 Solberg[7]은 FMS에 관련된 총 운용비 및 투자비를 최소화시키는 해법을 개발하였다.

2. 모델 설정

2.1 시스템 가정

본 연구의 시스템의 가정은 다음과 같다.

- (1) 각 기계는 정사각형이고 크기는 서로 다르다.
- (2) 총 예산이 주어진다.

2.2 입력 요소

본 모형의 입력요소는 다음과 같다.

- (1) 각 부품의 필요한 작업과 순서
- (2) 각 작업의 평균 작업시간
- (3) 전체 작업에 필요한 작업의 총시간
- (4) 각 기계가 할 수 있는 작업을 나타내

는 초기 행렬

- (5) 각 기계의 구입 가격
- (6) 각 기계의 수명
- (7) 각 기계의 공구함 용량
- (8) 각 작업에 대해 필요한 공구의 수와

종류

- (9) 총 예산
- (10) 기계의 크기

2.3 출력 요소

본 연구를 통해 얻게 되는 정보는 다음과 같다.

- (1) 생산량을 만족시키기 위해 선택된 기계들
- (2) 기계들을 선택하는데 사용된 비용
- (3) 선택된 각 기계에 할당된 작업
- (4) 기계들의 배치 형태

2.4 수리 모델

기호정의

상수

- m : 총 작업의 수
- n : 총 기계의 수
- t_i : 작업 i 의 가공시간
- K : 공구의 종류 수
- B : 총 예산
- C_j : 기계 j 의 구입비용
- T_j : 기계 j 의 수명
- Q_j : 기계 j 의 공구함 용량
- R_k : 시스템 안에서 이용가능한 공구 k 의 수
- S_{ik} : 작업 i 에 필요한 공구 k 의 수
- V_i : 작업 i 에 필요한 공구 슬롯의 수
- N_i : 모든 부품에 대해 필요한 작업 i 의 총

수

- $A = [a_{ij}]$: 기계 j 가 작업 i 를 할 수 있을 때 1값을 원소로 하는 초기행렬
- O_i : 작업 i 의 총생산필요시간($N_i \times t_i$)
- S : MIP 1에서 선택된 기계군
- M : 임의의 큰 숫자

변수

- x_j 1 : 기계 j 가 선택될 때
- 0 : 그렇지 않을 때
- y_{ij} 1 : 작업 i 가 기계 j 에 할당될 때
- 0 : 그렇지 않을 때
- z_{ij} : 작업 i 가 기계 j 에 할당된 시간
- p_{ij}, q_{ij} : 목적식을 만족시키기 위하여 0 혹은 1값을 갖는 변수

MIP 1. MACHINE SELECTION

$$\text{Min} \sum_{j=1}^n C_j x_j \quad 1-1$$

s.t.

$$\sum_{j=1}^n C_j x_j \leq B \quad 1-2$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq 1 \quad i=1, \dots, m \quad 1-3$$

$$\sum_{j=1}^n y_{ij} \geq 1 \quad i=1, \dots, m \quad 1-4$$

$$\sum_{i=1}^m V_i y_{ij} \geq Q_j \quad j=1, \dots, n \quad 1-5$$

$$\sum_{i=1}^m S_{ik} \sum_{j=1}^n y_{ij} \leq R_k \quad k=1, \dots, K \quad 1-6$$

$$\sum_{j=1}^n z_{ij} \geq O_i \quad i=1, \dots, m \quad 1-7$$

$$\sum_{i=1}^m z_{ij} \leq T_j \quad j=1, \dots, n \quad 1-8$$

$$y_{ij} \leq a_{ij} x_j \quad i=1, \dots, m, j=1, \dots, n \quad 1-9$$

$$z_{ij} \leq M y_{ij} \quad i=1, \dots, m, j=1, \dots, n \quad 1-10$$

$$y_{ij} \leq M(1-p_{ij}) \quad i=1, \dots, m, j=1, \dots, n \quad 1-11$$

$$-z_{ij} < M p_{ij} \quad i=1, \dots, m, j=1, \dots, n \quad 1-12$$

$$x_j = 0 \text{ or } 1 \quad j=1, \dots, n \quad 1-13$$

$$y_{ij} = 0 \text{ or } 1 \quad i=1, \dots, m, \quad j=1, \dots, n \quad 1-14$$

$$p_{ij} = 0 \text{ or } 1 \quad i=1, \dots, m, \quad j=1, \dots, n \quad 1-15$$

$$z_{ij} \geq 0 \quad i=1, \dots, m, \quad j=1, \dots, n \quad 1-16$$

1-1식은 각 기계들을 최소의 비용으로 선택하기 위한 목적식이다. 1-2식은 총예산안의 제약을 나타낸다. 1-3식은 선택된 기계들로 시스템안에서 필요한 작업들이 모두 이루어질 수 있어야 한다는 것을 의미한다. 1-4식은 하나의 작업이 적어도 하나의 기계에는 할당되어야 한다는 것을 의미한다.

1-5식은 각 작업이 차지하는 슬롯 수의 합은 그 기계의 공구함 용량보다 작아야 한다는 것을 의미한다. 1-6식은 각 작업에 사용되는 각 종류의 공구의 합은 시스템안에서 지원되는 공구의 수보다 작아야 한다는 것을 나타낸다. 1-7식은 각 기계에 할당된 작업시간의 합이 그 부품의 총생산필요시간보다 커야 한다는 것을 나타낸다.

1-8식은 한 기계에 할당된 작업시간의 합이 그 기계의 수명보다 작아야 한다는 것을 나타낸다. 1-9식은 j기계가 선택되었을 때 j기계가 i작업을 할 수 있어야 i작업이 할당될 수 있다는 것을 나타낸다. 1-10식은 i작업이 j기계에 할당되었을 때, i작업에 대한 시간이 할당되도록 한다. 1-11식은 y_{ij} 가 1값을 가질 때 p_{ij} 가 0이 되게 한다. 1-12식은 p_{ij} 가 0이 될 때 z_{ij} 가 반드시 값을 가지게 한다. 그리고 1-11식에서 y_{ij} 는 0 혹은 1값을 가지게 되는데 1값을 가질 경우는 p_{ij} 가 0이 되므로 1-12식에 의해서 반드시 z_{ij} 가 값을 가지게 되고, y_{ij} 가 0값을 가질 때는 1-10식에 의해 z_{ij} 가 0이 되어 시간이 할당되지 않는다.

MIP 2. LOADING

$$\text{Max} \sum_{i=1}^m \sum_j \in S y_{ij} \quad 2-1$$

s.t.

$$\sum_j \in S y_{ij} \geq 1 \quad i=1, \dots, m \quad 2-2$$

$$\sum_{i=1}^m V_i y_{ij} \leq Q_j \quad j \in S \quad 2-3$$

$$\sum_{i=1}^m S_{ik} \sum_j \in S y_{ij} \leq R_k \quad k=1, \dots, k \quad 2-4$$

$$\sum_j \in S z_{ij} \geq O_i \quad i=1, \dots, m \quad 2-5$$

$$\sum_{i=1}^m z_{ij} \leq T_j \quad j \in S \quad 2-6$$

$$y_{ij} \leq a_{ij} x_j \quad i=1, \dots, m, \quad j \in S \quad 2-7$$

$$z_{ij} \leq M y_{ij} \quad i=1, \dots, m, \quad j \in S \quad 2-8$$

$$y_{ij} \leq M(1-p_{ij}) \quad i=1, \dots, m, \quad j \in S \quad 2-9$$

$$-z_{ij} < M p_{ij} \quad i=1, \dots, m, \quad j \in S \quad 2-10$$

$$x_j = 0 \text{ or } 1 \quad j \in S \quad 2-11$$

$$y_{ij} = 0 \text{ or } 1 \quad i=1, \dots, m, \quad j \in S \quad 2-12$$

$$p_{ij} = 0 \text{ or } 1 \quad i=1, \dots, m, \quad j \in S \quad 2-13$$

$$z_{ij} \geq 0 \quad i=1, \dots, m, \quad j \in S \quad 2-14$$

2-1식은 할당된 작업의 수를 최대로 하려는 목적식이다. 작업의 할당 수를 최대로 하는 이유는 MIP 1. 모델의 목적식에서 기계 구입 비용이 최소가 되도록 기계가 선택되므로, 각 기계에 작업이 더 할당될 능력이 남아 있음에도 불구하고 작업이 더 할당되지 않는 경우가 발생기때문이다. 따라서 각 기계의 공구함 용량이나 기계 수명, 공구의 수 등에 제한이 되지 않는한 각 기계의 이용률이 최대가 되도록 MIP 2. 모델에서 두번째 할당을 하는 것이다. 또한 이렇게 함으로써 각 기계의 작업중 고장, 기계 자체의 고장, 혹은 공구의 교환 등으로 인하여, 주어진 경

로에서 작업을 할 수 없는 경우에 다른 기계를 통해서 작업을 할 수 있는 유연성이 증가하게 된다. 2-2, 2-3, 2-4, 2-5, 2-6, 2-7, 2-8, 2-9, 2-10 식은 MIP 1. 모델의 1-4, 1-5, 1-6, 1-7, 1-8, 1-9, 1-10, 1-11, 1-12 식과 같은 의미를 가지는데, 단 MIP 1. 모델에서 선택된 기계에만 작업을 할당하게됨을 의미한다.

HAMMING DISTANCE

일반적으로 FMS의 layout에 대한 연구에는 두가지 접근법이 있다. 첫째는 CORELAP, CRAFT등과 같이 각 기계간의 거리 및 부품의 이동횟수가 주어져 있는 상태에서 주어진 목적식을 최소화 시키는 방법이며 둘째는 환형 FMS 혹은 선형 FMS등과 같은 가정을 하고 기계 혹은 workstation의 수가 제시된 상태에서 layout을 구축해가는 방법이다. 그러나 FMS가 실제로 구현되어 있지 않은 초기 설계에서는 위의 두가지 접근법에 의해 layout을 설계한다는 것에 상당한 무리가 따른다. 따라서 본 연구는 각 기계간의 거리 및 부품의 이동횟수가 주어져 있지 않은 상태에서 보다 효율적인 기계배치형태를 제시하기 위해, 기계간의 hamming distance를 도입하여 layout을 위한 목적식의 계수로 사용하고자 한다.

hamming distance는 기계간의 유사성을 나타내는 유사계수(similarity coefficient)와 비유사성을 나타내는 비유사계수(dissimilarity coefficient)로 계산될 수 있는데 본 연구는 시스템내에서의 각 부품의 총 이동거리를 최소화시키는 것을 목적으로 하기 때문에, 비유사계수를, MIP 3에서의 최소화대상인 기계간 거리의 계수로 도입한다.

기계간의 비유사정도를 나타내는 hamming distance(dissimilarity coefficient[5])는 다음과 같이 구할 수 있다. 먼저 m 개의 부품과 n 개의 기계를 다음과 같이 정의하면

$$\text{부품 } k = 1, \dots, m, \text{ 기계 } i = 1, \dots, n$$

각 기계에 각 작업이 할당될 때, 각 기계는 특정한 부품을 가공할 수 있는 경우와, 가공할 수 없는 경우가 생기게 된다. 여기서, a_{ik} 를 다음과 같이 정의한다.

$$a_{ik} = \begin{cases} 1 : \text{부품 } k \text{가 기계 } i \text{에서 가공받을 수 있을 때} \\ 0 : \text{그렇지 않을 때} \end{cases}$$

그러면 특정한 두개의 기계가 동일한 부품을 가공할 수 있는 경우와, 그렇지 않은 경우가 생기게 되고, 이 때 $\delta(a_{ik}, a_{jk})$ 를 다음과 같이 정의한다.

$$\delta(a_{ik}, a_{jk}) = \begin{cases} 1 : a_{ik} \neq a_{jk} \text{ 일 때} \\ 0 : \text{그렇지 않을 때} \end{cases}$$

즉 $\delta(a_{ik}, a_{jk})$ 는 두 기계 i 와 j 가 특정부품 k 를 모두 가공할 수 있거나, 둘 다 부품 k 를 가공할 수 없을 때에는 0, 그렇지 않으면 1값을 갖는다. 그리고 이 값을 각 쌍의 기계마다 m 종류의 모든 부품에 대해서 더해 주면 부품의 가공 가능성을 고려한 기계간의 비유사계수 d_{ij} 는 다음과 같은 $n \times n$ 행렬로 표현될 수 있다.

$$D = [d_{ij}] = \sum_{k=1}^m \delta(a_{ik}, a_{jk})$$

여기서 두 기계 i, j 간의 비유사계수 d_{ij} 가 뜻하는 바는 d_{ij} 값이 클 수록 두 기계 i, j 가 부품들을 공통으로 가공할 가능성이 적음을 의미한다. 따라서, MIP 3. 모델에서는 d_{ij} 와 기계간의 거리의 곱의 총합을 최소화 시키고자 한다.

NONLINEAR LAYOUT MODEL

그림 2와 같은 Layout 모델을 고려할 때, 비유사계수를 고려한 기계 i 와 j 의 거리를 식 3-a, 3-b, 3-c와 같은 절대값 함수를 목적식으로 하는 비선형 모델로 구성할 수 있다.

기호정의

- x_i = 수직축과 기계 i 와의 거리
- y_i = 수평축과 기계 i 와의 거리
- d_{ij} = 기계 i 와 j 의 비유사 계수
- l = 기계의 크기
- hrl = 수직축
- vrl = 수평축

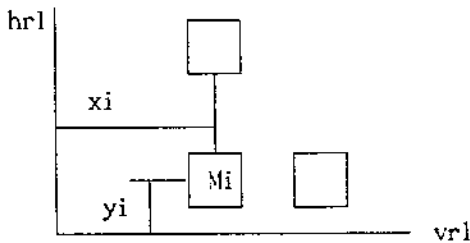


그림 2. LAYOUT 개념도

$$\text{Min } \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n d_{ij} (|x_i - x_j| + |y_i - y_j|) \quad 3-a$$

s.t.

$$|x_i - x_j| + |y_i - y_j| \geq l \quad i=1, \dots, n-1, j=i+1, \dots, n \quad 3-b$$

$$x_i, y_i \geq 0 \quad i=1, \dots, n \quad 3-c$$

LINEARIZATION

위와같은 절대값함수를 선형화하기 위해 다음과 같은 변수를 도입한다.

$$\begin{aligned} x_{ij}^+ &= (x_i - x_j) \quad \text{if } (x_i - x_j) > 0 \\ &= 0 \quad \text{if } (x_i - x_j) \leq 0 \end{aligned} \quad 3-d$$

$$\begin{aligned} x_{ij}^- &= -(x_i - x_j) \quad \text{if } (x_i - x_j) < 0 \\ &= 0 \quad \text{if } (x_i - x_j) \geq 0 \end{aligned} \quad 3-e$$

$$\begin{aligned} y_{ij}^+ &= (y_i - y_j) \quad \text{if } (y_i - y_j) > 0 \\ &= 0 \quad \text{if } (y_i - y_j) \leq 0 \end{aligned} \quad 3-f$$

$$\begin{aligned} y_{ij}^- &= -(y_i - y_j) \quad \text{if } (y_i - y_j) < 0 \\ &= 0 \quad \text{if } (y_i - y_j) \geq 0 \end{aligned} \quad 3-g$$

여기서 다음식을 도출할 수 있다.

$$|x_i - x_j| = x_{ij}^+ + x_{ij}^- \quad 3-h$$

$$|y_i - y_j| = y_{ij}^+ + y_{ij}^- \quad 3-i$$

$$(x_i - x_j) = x_{ij}^+ - x_{ij}^- \quad 3-j$$

$$(y_i - y_j) = y_{ij}^+ - y_{ij}^- \quad 3-k$$

L을 가로길이의 한계, H를 세로길이의 한계로 정의하고, p_{ij} 와 q_{ij} 를 3-2, 3-3, 3-4, 3-5의 식중 오직 하나의 식만 만족시키게 하는 0 혹은 1값을 가지는 변수로 정의한다면 MIP 3. 모델은 다음과 같이 구성될 수 있다.

MIP 3. MACHINE LAYOUT

$$\text{Min } \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n d_{ij} (x_{ij}^+ + x_{ij}^- + y_{ij}^+ + y_{ij}^-) \quad 3-1$$

s.t.

$$x_i - x_j + Mp_{ij} + Mq_{ij} \geq l \quad i=1, \dots, n-1, j=i+1, \dots, n \quad 3-2$$

$$-(x_i - x_j) + Mp_{ij} + M(1-q_{ij}) \geq l \quad i=1, \dots, n-1, j=i+1, \dots, n \quad 3-3$$

$$y_i - y_j + M(1-p_{ij}) + Mq_{ij} \geq l \quad i=1, \dots, n-1, j=i+1, \dots, n \quad 3-4$$

$$-(y_i - y_j) + M(1 - p_{ij}) + M(1 - q_{ij}) \geq l$$

$$i = 1, \dots, n-1, \quad j = i+1, \dots, n \quad 3-5$$

$$(x_i - x_j) = x_{ij}^+ - x_{ij}^-$$

$$i = 1, \dots, n-1, \quad j = i+1, \dots, n \quad 3-6$$

$$(y_i - y_j) = y_{ij}^+ - y_{ij}^-$$

$$i = 1, \dots, n-1, \quad j = i+1, \dots, n \quad 3-7$$

$$x_i, y_i \geq 0 \quad i = 1, \dots, n \quad 3-8$$

$$x_i \leq L \quad i = 1, \dots, n \quad 3-9$$

$$y_i \leq H \quad i = 1, \dots, n \quad 3-10$$

$$x_{ij}^+, x_{ij}^-, y_{ij}^+, y_{ij}^- \geq 0$$

$$i = 1, \dots, n-1, \quad j = i+1, \dots, n \quad 3-11$$

$$p_{ij}, q_{ij} = 0 \text{ or } 1$$

$$i = 1, \dots, n-1, \quad j = i+1, \dots, n \quad 3-12$$

3-1식은 비선형 모델에서 나타난 Rectilinear distance에 d_{ij} 라는 비유사계수를 목적식 항의 계수로 사용하여 전체적인 합을 최소화 하겠다는 의미이다. 3-2, 3-3, 3-4, 3-5식은 p_{ij} 와 q_{ij} 라는 새로운 변수를 도입하여, 한 위치에 두개 이상의 기계가 배치될 수 없도록 한다. 3-6, 3-7식은 선형화 절차를 통해 제시 되는 제약식이고 3-8식은 x_i 와 y_i 가 0보다 작은 값을 가질 수 없다는 것을 의미한다. 3-9, 3-10식은 배치하려는 장소가 L 과 H 라는 값에 의해 제한을 받게 되는 것을 나타낸다. 3-11, 3-12식은 각 변수들이 가질 수 있는 값을 나타낸다.

3. HEURISTIC ALGORITHM

본 연구에서 개발한 Heuristic Algorithm은 앞에서 제시한 MIP 1., 2., 3. 모델에서의 목적식에 접근하도록 하였고, 각 모델에서 제시된 제한식을 모두 만족하도록 하였다.

Algorithm 1, 2, 3은 그림 3, 4, 5와 같은 논리에 의해 개발하였다.

ALGORITHM 1. MACHINE SELECTION

그림 3의 Algorithm 1의 목적은 주어진 부품의 생산량을 만족시킬 수 있는 기계들을 선택하는데 있다. 각 기계에 작업이 더 할당될 능력이 남아 있음에도 불구하고 작업이 더 할당되지 않는 경우가 생기면 각 기계의 공구함 용량이나 기계 수명에 제한이 되지 않는 한 각 기계의 이용률이 최대가 되도록 Algorithm 2에서 두번째 작업할당을 수행하게 된다.

ALGORITHM 2. LOADING

Algorithm 2의 목적은 Algorithm 1에서 선택된 기계에 가능한 한 많은 작업을 할당하는 것이다. 작업을 할당할 때는 총생산필요 시간이 가장 큰 작업을 선택하여 가장 작은 것과의 차이만큼 할당하도록 하였고, 이 때 첫 작업에 대한 생산필요시간과 재할당에서 더해진 시간의 비를 구하여, 다른 작업에 대해서도 같은 비율로 할당하도록 하였다.

ALGORITHM 3. MACHINE LAYOUT

Algorithm 3는 각 기계를 배치하는데 있어서 기계간의 비유사계수가 가장 작은 쌍을 선택 후 두 기계중 임의의 기계를 우선 배치하여 배치되지 않은 기계들중 기존 배치된 기계와의 비유사계수의 합이 최소가 되는 기계들을 차례로 배치해 나간다. 이 때 하나의 기계를 배치할 때 마다 후보 위치가 생성되어 다음 기계를 배치할 때 고려의 대상이 되도록 한다.

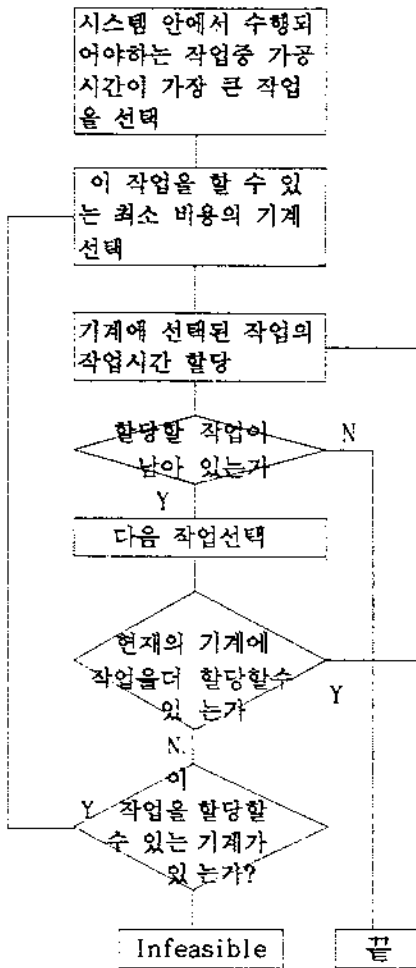


그림 3. MACHINE SELECTION의 논리

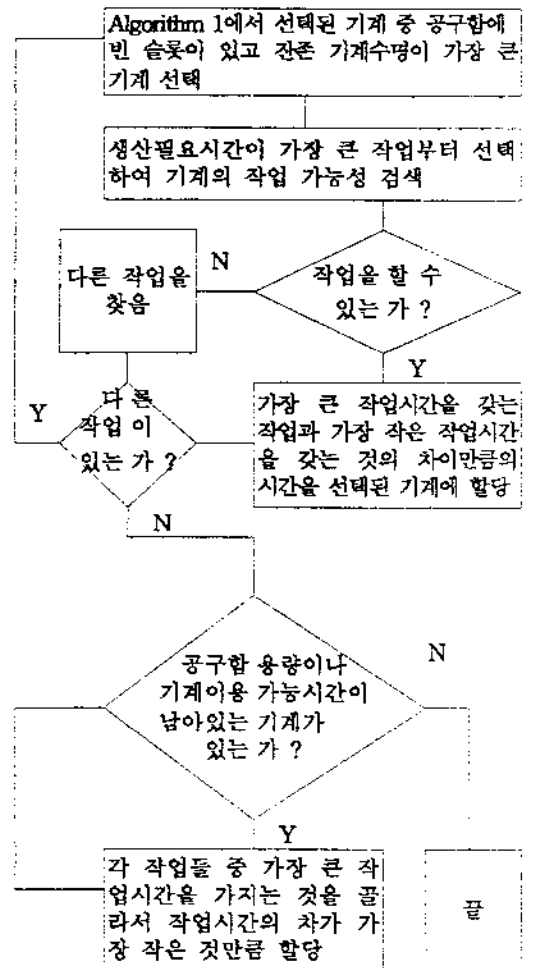


그림 4. LOADING의 논리

4. 수치예제

4.1 입력자료

표 1에서 P1부터 P10까지 10종류의 부품이 주어지고, 각 부품이 거쳐야 하는 작업의 종류 및 순서가 주어진다. 표 2에서 각 작업의 평균 작업시간이 주어지고 표 3에서는 계획하고 있는 10개 기간 중 각 기간당 생산해야 할 부품의 종류 및 생산 요구량이 주어진다. 표 1, 표 2, 표 3을 통하여 표 5의 각 작

업에 대한 총생산필요시간을 구하게 된다. 표 6에서는 우리가 선택할 수 있는 후보기계를 10개로 가정하고, 각 기계가 해당작업을 할 수 있을 때 1, 할 수 없을 때 0값을 갖는 초기행렬과 각 기계에 대한 구입가격, 수명, 공구함 용량이 제시된다. 표 4는 각 작업에 대해 필요한 공구의 종류 및 갯수, 차지하는 슬롯의 갯수를 나타낸다. 이 때 하나의 공구는 하나 이상의 슬롯을 차지할 수 있다고 가정

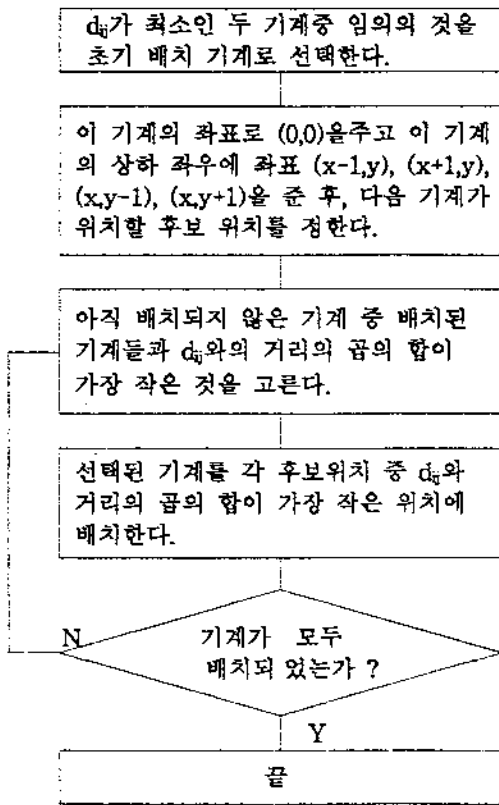


그림 5. MACHINE LAYOUT의 논리

하였다. 그리고 총 예산안은 3000단위 비용으로 주었고, 각 기계는 한 변의 크기가 1인 정사각형으로서 모두 동일하다고 가정하였

표 1. 생산할 부품, 수행작업 및 작업순서

부품	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
작업	1	4	3	5	4	3	4	2	2	3
(i)	4	3	1	4	2	4	2	1	1	4
(ii)	5	5	4	2	3	1	1	3	4	5

다.

4.2 결과

표 1에서 표 6까지의 입력자료를 가지고

표 2. 각 작업의 평균 작업시간

작업(i)	1	2	3	4	5
시간(t _i)	4.2	4.8	3.0	1.2	5.4

표 3. 기간당 부품의 생산 종류 및 생산량

기간	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
생산	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P3	P4	P3	P2
부품	15000	33000	30000	23000	40000	30000	40000	30000	30000	40000
생산량	P3	P3	P4	P2	P6	P7	P4	P5	P4	P4
부품	17000	30000	35000	40000	40000	20000	50000	30000	50000	30000
생산량	P4	P4	P5	P1	P10	P2	P6	P2	P6	P6
부품	23000	23000	25000	50000	30000	30000	30000	50000	55000	30000
생산량			P6		P2	P3	P8	P10	P10	P8
부품			35000		35000	50000	40000	30000	80000	25000
생산량			P7		50000					
부품			50000							

MIP 절차와 Heuristic 절차의 각각에 대해 해를 구하였다. 먼저 MIP 1. 모델에서 선택된 기계는 M2, M5, M6, M7의 4대이고, 이 때의 기계 구입비용은 1590단위 비용이었다. 그리고 MIP 2. 모델에 의해 각 기계에 할당된 작업은 M2 : 1, 2, M5 : 1, 5, M6 : 3, 4, M7 : 3, 5 이었다. MIP 2. 모델에서 각 기계에 할당된 작업에 의해 구해진 비유사계수 d_{ij} 는 표 7에 나타내었다. 또한 MIP 3. 모델에 의해 구해진 기계들의 최종 배치 형태는 그림 6과 같다. 이렇게 구해진 시스템을 가지고 CAN-Q를 이용하여 수행도를 비교하였는데 그 결과는 표 8에 나타난 것과 같다. 두 번째로, Heuristic 절차에 의한 결과를 살펴보면 Algorithm 1에서 선택된 기계는 M2, M3, M4, M5, M6의 5대이고 이 때의 기계 구입비용은 1800단위 비용이었다. Algorithm 2에

표 4. 공구에 대한 자료

공구(k)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	필요슬롯 수 (V _i)	
각 작업에 필요한 공구의 수(S _{ik})	1		1	1		1																4	
	2					1	2	1															5
	3										1		1	1	1								4
	4						1			2		1											4
	5													2			1	1					5
이용가능한 공구의 수 (R _k)		10	20	15	18	30	50	20	10	20	40	30	15	10	20	10	15	20	10	30	40		

표 5. 전체 작업에 필요한 작업의 총시간

작업(i)	1	2	3	4	5
필요시간(O _i)	45290	39520	44750	36870	55530

표 6. 기계에 대한 자료

기계(j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
기계작업가능성: [a _{ij}]	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
구입비용 (C _j)	550	370	260	370	410	390	420	420	430	370
기계수명 (T _j)	65000	73000	63200	41000	50000	60000	51000	60000	25000	23000
공구함용량 (Q _j)	15	13	16	14	12	16	13	17	15	13

서 각 기계에 할당된 작업은 M2 : 1, 3, M3 : 5, M4 : 2, 4, M5 : 5, 1, 4, M6 : 3, 4, 1이었고 이 때의 비유사계수 d_{ij}는 표 9에 나타내었다. 그리고 기계들의 최종 배치

형태는 그림 7과 같다. 또한 이러한 시스템을 CAN-Q로 수행도를 분석하였는데 표 10과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

표 7. MIP 절차에 의한 d_{ij}

	M2	M5	M6	M7
M2	-	3	2	4
M5		-	1	3
M6			-	2
M7				-

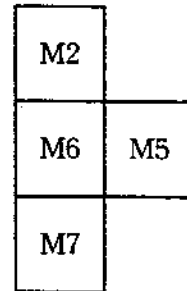


그림 6. MIP 절차에 의한 배치형태

해의 평가를 위해 작업시간, 작업경로, 각 기계의 공구함 용량, 각 기계의 구입가격의 4

표 8. CAN-Q에 의한 MIP 해의 수행도 평가

생산량	시스템에서의 평균지체시간	기계 이용률				평균 이용률
		2	5	6	7	
17.646	102.01	0.993	0.587	0.657	0.615	0.713

표 9. Heuristic 절차에 의한 d_{ij}

	M2	M3	M4	M5	M6
M2	-	7	2	1	1
M3		-	5	6	6
M4			-	1	1
M5				-	0
M6					-

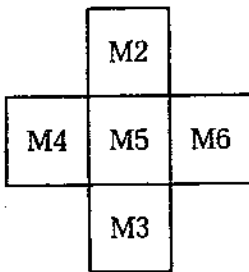


그림 7. Heuristic 절차에 의한 배치형태

표 10. CAN-Q에 의한 Heuristic 해의 수행도 평가

생산량	시스템에 서의평균 지체시간	기계 이용률					평균 이용 률
		2	3	4	5	6	
15.635	115.13	0.714	0.999	0.585	0.236	0.254	0.558

가지 자료를 변경하여 MIP 절차와 Heuristic 절차의 각각에 대해서 해를 비교하였다. 동일한 문제크기(problem size)를 가진 20개의 예제를 조사해 본 결과, MIP 절차에서는 평

균 4.06대의 기계가 선택되었고 Heuristic 절차에서는 평균 5.25대의 기계가 선택됨을 알 수 있었다.

실험은 IBM pc 486기종을 사용하였고 MIP 1,2,3에서의 평균 계산시간은 각각 4.5분, 0.5분, 1.2분이 소요되었고, heuristic algorithm 1,2,3에서는 각각 2.5초, 0.7초, 1.2초가 소요되었다.

5. 결 론

본 연구는 초기의 부품에 대한 정보와 기계에 대한 정보가 주어졌을때, 각 부품의 생산 요구량을 만족시키면서 최소의 비용으로 FMS를 도입하기 위해서 필요한 정보를 의사 결정자에게 주려는 데 목적이 있다.

초기에 주어진 자료를 가지고, 생산량을 만족시키기 위한 최소비용의 기계들의 선택, 각 기계들에 할당된 작업, 각 기계들의 배치형태의 3가지 문제를 다루었고 이들 각각에 대하여 3개의 Mixed Integer Programming 모델을 제시하였다. 그럼으로써 어느 정도의 예산과 어떤 형태의 FMS를 도입하여야 원하는 목적을 만족시킬 수 있을 것인가에 대한 정보를 제공할 수 있는 초기 디자인을 제시하였다. 또한 각 모델에 해당하는 Heuristic Algorithm을 개발하여 함께 제시, 평가하였다.

따라서, 본 연구의 의의는 생산하려는 부품에 대한 정보와 기계들에 대한 정보를 고려하여 기계의 선택, 작업 할당, 기계 배치까지 고려한 FMS의 초기 디자인을 제시하였다는데 있다. 그리고 FMS의 도입 및 디자인에 대한 보다 많은 정보를 얻기 위해 자본의 투

자 및 회수 등의 경제성 분석에 대한 연구가 계속되어야 하겠다.

참 고 문 헌

- [1] Carrie, Allen, Simulation of Manufacturing Systems, John Wiley & Sons, 1988.
- [2] Carrie, Allen, "Some Planning Problems in FMS", Proc. Conf. on Planning for Automated Manufacture, pp.113-117, Coventry, Mechanical Engineering Publications Ltd, London. Sep., 1986.
- [3] Van Looveren, A.J., L.F., Gelders, and L. N. Van Wassenhove, "A Review of FMS Planning Models" in Modeling And Design of FMS, edited by Kusiak, A. Elsevier, pp.3-31, 1986.
- [4] Stecke, K. E., "Production Planning Problems for FMS", Ph.D. Dissertation, Purdue University, West Lafayette, 1981.
- [5] Kusiak, A., Intelligent Manufacturing Systems, Prentice Hall, 1988.
- [6] Kouvelis, P. "Design and Planning Flexible Manufacturing Systems : A Critical Review", Journal of Intellingent Manufacturing, vol.3, pp.75-99, 1992.
- [7] Vinod, B. and J.J. Solberg "Optimal design of Flexible Manufacturing Systems ", IJPR, vol.23, pp.1141-51, 1985.