

제조시스템에서 작업장 설계와 작업할당

- Cell Design and Job Assignment in Manufacturing System -

장 석화*
Chang, Suk-Hwa

Abstract

This paper considers to determine the processing workstation of parts and number of machines at workstations in multi-stage manufacturing system. Several part types are processed simultaneously through multi-stage, which consist of several workstations. The machines in each stage are identical in function, but non-identical in functional performance depending on workstations. Two models are suggested. One is assumed that a part type can be processed at the only one workstation in each processing stage. The other is assumed that a part type can be processed at several workstations. Decision criteria is to minimize the sum of the processing cost, travel cost and machine setup cost. Model formulations are presented, and a numerical example is shown.

1. 서언

최근에 많은 기업들은 생산시스템에서 다품종 소량 생산형태를 취하고 있다. 이는 경쟁력 강화를 위한 방법으로 제품에 대한 수요의 변화, 저가의 고품질등 다양하게 변하는 기업의 제품에 대한 수요 환경변화에 신속하게 적응할 수 있기 때문이다. 기업에서는 제조시스템에서 동시에 여러 가지 제품을 혼합하여 생산한다. 이에 따라 제조시스템을 적절히 구축해야 하는 문제를 흔히 당면하게 된다.

제조시스템이 여러 단계로 되어 있고, 각 단계에서는 동일한 기능을 하나 성능이 다를 수 있는 여러 기계들을 각각 갖춘 여러 개의 작업장이 존재할 수 있다. 각 단계의 작업장에는 작업장 별로 동일한 종류의 기계가 다수 존재한다. 그러나 작업장에서 갖출 수 있는 기계의 수가 제한된 상태에서 제조시스템을 최적으로 구축하기 위하여 제조 단계의 작업장마다 몇 대의 기계를 갖출 것인가를 결정해야 한다. 또한 여러 종류의 작업물이 동시에 가공되므로 작업의 가공단계마다 가공이 어느 작업장의 기계들을 사용하는 것이 효율적인가를 결정해야 한다. 이는 작업장마다 기계의 기능은 같으나 성능이 다를 수 있기 때문이다. 또한 인접하고 있는

* 인천대학교 산업공학과

본 연구는 96년도 인천대학교 연구비 지원에 의해 수행되었음

두 작업단계 사이에 작업물이 이동될 때 운송시간이 작업장마다 다르게 발생하므로 작업물의 각 공정을 기계에 할당하는 문제는 부분적인 작업물과 작업장만을 최적으로 해서 결정될 수 없고, 전체를 고려하여 최적으로 결정되어야만 할 것이다. 필요한 작업을 생산할 때 최적의 시스템이 되도록 해야 한다. 주어진 생산시간 내에서 생산하고자 하는 량에 비해 기계들의 수가 지나치게 많으면 생산소요시간을 최대로 활용하지 못한다. 반면, 기계수가 적으면 생산소요시간내에 생산하지 못할 수 있다. 따라서 기계 수를 적절하게 결정할 필요가 있다.

비용에 대한 기준으로 세 가지 요인을 고려한다. 먼저 생산소요시간동안 작업장의 기계를 사용할 때 기계마다 발생하는 생산착수비용을 고려하고, 두 번째는 작업이 기계에서 가공될 때 실질 가공시간에 대해 기계의 단위시간비용을 고려한 가공비용이 있고, 세 번째는 작업물이 작업장사이에 이동될 때 걸리는 시간에 대해 발생하는 운반비용이 있다. 이와 같이 작업장에서 필요한 기계의 수, 작업물의 가공단계에 대해 가공되는 작업장을 결정하는 작업할당은 생산착수비용, 가공비용, 운반비용이 서로 영향을 미치므로 전체를 반영하여 제조시스템을 설계하는 문제를 연구할 필요가 있다.

계획기간에 필요한 작업량을 생산하기 위하여 작업장에서 필요한 설비를 경제적으로 갖추어야 하는 문제를 작업물의 가공 작업장을 결정하는 것과 함께 해야 한다. 또한 이의 결정에 작업장사이의 물류흐름을 고려한 비용을 함께 고려하여 결정해야 한다. 가공하고자 하는 작업물들에 대해 양을 고려하여 적절한 제조시스템을 설계하는 것이 전체적인 총비용을 줄일 수 있는 방법이기 때문에 중요하게 고려되어 연구되어야 한다. 따라서 생산소요시간동안 얼마의 작업량을 생산할 것인가도 시스템 구성에 영향을 미치므로 본 연구에서는 주어진 시간동안 필요한 작업량을 생산하기 위하여 필요한 시스템을 최적으로 설계하고 작업을 할당하는 문제를 앞에서 설명된 비용요인들을 반영하여 모형을 세우고, 이에 대한 해를 수치적 예를 들어 설명하고자 한다.

2. 연구배경

전통적으로 일정계획에 관한 연구는 하나 혹은 여러 개의 작업장에서 여러 개의 동일하지 않은 작업이 생산될 때 생산의 순서와 시간에 초점이 맞추어져 왔다(Conway et al. [4], Baker [2], French [9]). 제조시스템에서 작업물이 경로를 선택하는 문제에 대한 연구는 작업에 대한 각 작업공정이 여러 기계에서 가능한 경우에 작업을 기계에 할당하는 것을 공구를 기계에 할당하는 것과 함께 연구되어 왔다 (Stecke [16], Berrada and Stecke [3]). Kusiak [10]은 할당 문제를 총가공비용을 최소화하는 것을 목적으로 하여 0-1 정수계획 문제로써 모형화 하였다. Sarin 과 Chen [14] 은 작업할당과 공구할당을 동시에 결정하는 문제를 연구하였다. Leung et al.[11] 은 FMS 에서 물류흐름을 고려하여 부품을 기계에 할당하는 내용과 공구를 기계에 할당하는 내용을 함께 포함한 문제를 연구하였다. Modi and Shanker [12, 13]는 FMS 에서 부품이동을 최소화하는 것과 부하균형을 유지하는 것에 대한 모형을 나타내고, 해를 구하는 접근법을 제시하였다.

Truscott [18], Egbelu and Roy [8] 는 다단계 배치 생산시스템에 대한 계획모형을 나타내었다. 이 두 모형은 배치생산시간의 최소화를 주목적으로 취하였다. Egbelu [7] 는 물류흐름을 고려하여 다단계 제조시스템에서 배치 생산계획시간을 생산소요시간을 최소화하는 문제를 다루었다. Egbelu [5, 6]는 FMS 에서 운반기가 이송단위로 작업물을 이동시키는 경우에 이송량에 따라 시스템에서 발생하는 비용이 최소화되도록 각 작업장의 기계의 수와 운반기의 크기와 수를 동시에 결정하는 문제를 연구하였다.

실질적으로 많은 제조시스템이 다단계로 구성되고, 각 단계에는 성능은 다르나 동일한 기능을 하는 작업장이 여러 곳에 존재한다. 그리고 작업장사이의 작업물 이동시간이 발생한다. 이 경우에 생산기간에 작업물들의 가능한 가공경로는 다수가 존재한다. 따라서 다수의 경로들과 적절한 규모의 작업장의 수는 시스템의 성과(비용 또는 생산소요시간)에 영향을 미치므로 시스템을 설계하는 문제를 작업의 가공경로의 선택과 함께 결정하여야 한다. 이들에 대한 연구는 아직까지 이루어지지 않고 있다.

3. 모형

여러 가지 종류의 작업물이 동일한 제조시스템에서 여러 단계의 가공과정을 차례로 거치며 완성된다. 제조시스템은 그림 1과 같이 다단계로 구성되어 부품이 부품방출점으로부터 시작하여 첫 번째 단계의 작업장에서 시작하여 마지막 단계의 작업장을 거쳐 완성품이 저장되는 창고위치에서 작업이 완료된다. 여기서 각 단계에는 여러 개의 작업장이 존재하는데 그들의 위치는 분리되어 있고, 인접하고 있는 다음 단계의 어느 작업장으로 이동할 때 이동시간이 다르게 발생할 수 있다. 각 단계의 작업장을 구성하는 기계들은 동일한 종류로 여러 대가 존재 가능하다. 그러므로 작업들의 가공에 필요한 기계들을 이용 가능한 것들 중에서 제조시스템 전체를 최적으로 할 수 있도록 선택해야 한다. 또한 여러 종류의 작업물들에 대해 각 단계에서 공정을 어느 기계를 사용하여 처리할 것인가를 작업장의 기계를 선택하는 것과 관련하여 결정해야 한다. 생산하고자 하는 량의 주어진 작업물을 생산소요시간내에 생산하도록 공정을 작업물에 할당하는 문제를 포함한다. 문제에 대한 다음의 가정을 필요로 한다.

- (1) 주어진 시간동안 생산하고자 하는 작업물의 종류와 양이 알려져 있다.
 - (2) 작업물은 종류에 따라 각 단계의 공정에 대해 가능한 작업장과 가공시간은 알려져 있다.
 - (3) 인접하고 있는 두 단계의 작업장 사이의 이동시간은 알려져 있다.
 - (4) 작업물 운송은 단위부하로 움직이며, 단위부하의 크기는 1로 한다.
 - (5) 각 단계는 여러 작업장이 가능하고 작업장의 기계들은 동일한 종류이고 여러 대가 가능하다.
 - (6) 작업물의 각 공정순서는 작업장단계의 순서대로 가공된다.
- 즉, 작업의 j 번째 공정은 j 번째 단계의 작업장에서 이루어진다.

모형을 나타내기 위하여 아래와 같은 부호들을 정의한다.

M = 작업물 종류의 수

i = 작업물을 나타내는 첨자.

N = 작업단계의 수

j = 작업단계와 공정을 나타내는 첨자. $j=0$ 은 첫 번째 작업단계 이전에 존재하는 부품 방출위치를 나타낸다. $j=N+1$ 은 마지막 단계 이후에 존재하는 완성품이 저장되는 창고위치라 한다.

K_j = 작업단계 j 의 작업장의 수

k, r = 작업단계에서 작업장의 위치를 나타내는 첨자

d_{ijk} = 작업종류 i 의 j 번째 단계의 공정이 작업장 k 에서 이루어질 경우에 가공시간

c_{jk} = 작업단계 j 의 작업장 k 의 기계의 단위시간당 평균가동비용

s_{jk} = 작업장 j 의 기계종류 k 의 평균 설비 및 운영비용

c_k = 단위시간당 작업물의 평균 운반비용

Q_i = 작업물 i 의 가공량

$Y_{ijk} = 1$, 작업물 i 가 j 번째 단계의 공정을 작업장 k 에서 할 경우
0, 그렇지 않을 경우

α_{jk} = 작업단계 j 의 작업장 k 의 기계의 시간에 대한 평균이용률

β = 운반기의 대당 평균이용률

ϵ = 아주 적은 실수를 나타낸다.

T = 생산소요시간을 나타낸다.

X_{jk} = 작업단계 j 에서 작업장 k 의 기계의 수로 변수이다.

u_{jk} = 작업단계 j 에서 작업장 k 의 기계의 수의 상한을 나타낸다.

Z_{ijk} = 작업물 i 가 j 번째 단계의 공정을 작업장 k 를 통하여 공정이 이루어진 량

t_{jkr} = 작업단계 j 의 작업장 k 에서 작업단계 $j+1$ 의 작업장 r 까지의 이동시간

W_{ikr} = 작업물 i 의 작업단계 j 을 작업장 k 에서 작업을 마친 후 작업단계 $j+1$ 을 작업장 r 로 이동한 량

H_k = 운반기 수를 나타내는 변수이다.

그림 1과 같은 예의 제조시스템을 생각하자. 그림에서 마디 s 는 부품이 나가는 위치이고, 마디 m_{jk} 는 j 번째 단계의 작업장 k 를 의미하고, 마디 d 는 가공이 완료되어 저장위치를 나타낸다. 마디는 작업장으로 기계가 존재라고 가공이 이루어지는 곳이고, 마디사이의 선은 작업물이 이동하는 경로를 나타내는 것으로 운송시간이 발생한다. 예를 들면, m_{11} 는 작업단계 1 의 작업장 1을 의미한다.

그림 1. 다단계 제조시스템의 예

여기서는 문제의 가정에 따라 두 가지 모형을 제시한다. 작업물이 각 작업단계에서 여러 곳의 작업장 중에서 작업종류별로 한 곳의 작업장만을 이용하는 경우와 여러 곳의 작업장을 이용할 수 있는 경우로 나누어 나타낸다.

작업장의 생산소요시간내에서 시스템에서 발생하는 전체비용이 최소화되도록 한다. 계획된 생산소요기간내에서 필요한 생산량을 생산하기 위해 발생하는 비용이 최소화되는 모형을 세운다. 비용은 생산소요기간에 가동하는 작업장의 기계들에 대해 기계당 발생하는 생산착수비용, 작업물에 대해 작업장에서 가공하는 동안 발생하는 가공비용, 그리고 운반으로 인하여 발생하는 운반비용을 고려한다. 목적함수를 구성하는 비용요소는 다음과 같은 것이 있다.

① 착수비용: 작업장의 기계를 생산기간에 사용할 때 초기에 발생하는 비용을 나타낸다. 이 비

용은 생산소요시간에 1회 사용되는 기계에 대해 기계당 발생하는 비용이다.

$$\sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^{K_j} s_{jk} X_{jk} \quad (1)$$

② 가공비용 : 작업장의 기계에서 사용할 시간에 대해 실질 가공시간동안 발생하는 비용이다. 동일한 작업물은 작업단계에서 한 작업장의 기계만을 통하여 가공되는 경우에 대한 가공비용은 다음과 같이 나타내진다.

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^{K_j} c_{jk} d_{ijk} Q_i Y_{ijk} \quad (2)$$

동일한 작업물일지라도 작업단계에서 여러 작업장의 기계를 상황에 따라 사용할 수 있는 경우로 다음과 같이 표현된다.

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^{K_j} c_{jk} d_{ijk} Z_{ijk} \quad (3)$$

③ 운반비용 : 작업물이 인접하고 있는 단계들의 작업장사이를 이동으로 인하여 발생하는 비용이다. 인접하고 있는 작업장사이의 이동시간과 단위시간당 운반기 사용비용을 고려하여 다음과 같은 작업물의 총 이동비용을 나타낸다.

동일한 작업물은 작업단계에서 한 작업장의 기계만을 통하여 가공되는 경우에 대한 가공비용은 다음과 같이 나타내진다.

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^{K_j} \sum_{r=1}^{K_{j+1}} c_h Q_i t_{jkr} Y_{ijk} Y_{ijkr} \quad (4)$$

동일한 작업물일지라도 작업단계에서 여러 작업장의 기계를 상황에 따라 사용할 수 있는 경우로 다음과 같이 표현된다.

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^{K_j} \sum_{r=1}^{K_{j+1}} c_h t_{jkr} W_{ijkr} \quad (5)$$

그리고 제약식에 대한 요인은 2가지 모형의 각각에 대해 모형들 (P1) 과 (P2)에 각각 나타나 있다.

3.1 동일 종류의 작업은 작업단계에서 하나의 작업장만을 사용하는 경우

이는 어떠한 작업단계에서 작업물이 하나의 작업장만을 이용하는 것으로 작업장마다 작업의 관리를 편리하게 하기 위해 동일한 종류는 한 작업장만을 이용하게 한다. 주어진 작업물을 가공하는데 필요한 시간을 맞추면서 작업물의 공정을 처리하는 작업장과 작업장에서 필요한 기계의 대수와 운반기의 대수를 함께 결정한다.

모형은 다음과 같이 나타내진다.

$$\begin{aligned} P1 : \quad \text{minimize} \quad Z1 = & \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^{K_j} s_{jk} X_{jk} + \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^{K_j} c_{jk} d_{ijk} Q_i Y_{ijk} \\ & + \sum_{i=1}^M \sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^{K_j} \sum_{r=1}^{K_{j+1}} c_h t_{jkr} Q_i Y_{ijk} Y_{i,j+1,r} + \epsilon H_h \end{aligned} \quad (6)$$

subject to

$$\sum_{k=1}^{K_j} Y_{ijk} = 1, \quad \forall i, j \quad (7)$$

$$\sum_{k=1}^{K_j} Y_{ijk} = \sum_{k=1}^{K_{j+1}} Y_{i,j+1,k}, \quad \forall i, j \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^M d_{ijk} Q_i Y_{ijk} \leq \alpha_{jk} T X_{jk}, \quad \forall j, k \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^{K_i} \sum_{r=1}^{K_{i+1}} t_{jkr} Q_i Y_{ijk} Y_{i,j+1,r} \leq \beta H_h T \quad (10)$$

$$X_{jk} \leq u_{jk}, \quad \forall j, k \quad (11)$$

$$X_{jk} \geq 0, \text{ and integer}, \quad \forall j, k \quad (12)$$

$$Y_{ijk} = 0, 1, \quad \forall i, j, k \quad (13)$$

목적식에서 네 번째 항은 필요한 최소 운반기수를 구하기 위해 나타낸 것이다. 첫 번째 제약식은 동일한 작업물은 하나의 동일한 작업장을 이용함을 나타내고, 두 번째 제약식은 어떠한 단계에서 각 작업장에 들어오는 작업경로는 이 작업장에서 다음 단계의 작업장으로 나가는 경로의 수와 작업종류별로 같음을 의미한다. 세 번째 제약식은 작업장의 실질 가공시간은 이용가능한 시간보다 적음을 의미하고, 네 번째 제약식은 운반기의 사용에 대한 제한을 나타낸다. 나머지 제약식은 변수의 범위를 나타낸다.

3.2 동일 종류의 작업들이 작업단계에서 여러 작업장을 사용하는 경우

이는 작업물의 어떠한 공정단계에 대하여 가능한 모든 작업장의 기계들에서 이용될 수 있는 것으로 동일 종류의 작업물이라도 여러 작업장의 기계들을 이용한다. 모형은 다음과 같이 나타내진다.

$$\begin{aligned} P2 : \text{ minimize } Z2 = & \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^K s_{jk} X_{jk} + \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^K c_{ijk} \delta_{ijk} Z_{ijk} \\ & + \sum_{i=1}^M \sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^{K_i} \sum_{r=1}^{K_{i+1}} c_h t_{jkr} W_{ijkr} + \epsilon H_h \end{aligned} \quad (14)$$

subject to

$$\sum_{k=1}^{K_i} Z_{ijk} = Q_i, \quad \forall i \quad (15)$$

$$\sum_{k=1}^{K_i} Z_{ijk} = \sum_{k=1}^{K_{i+1}} Z_{i,j+1,k}, \quad \forall i, j \quad (16)$$

$$Z_{ijk} = \sum_{r=1}^{K_{i+1}} W_{ijkr}, \quad \forall i, j, k \quad (17)$$

$$\sum_{i=1}^M \delta_{ijk} Z_{ijk} \leq \alpha_{jk} T X_{jk}, \quad \forall j, k \quad (18)$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^{K_i} \sum_{r=1}^{K_{i+1}} t_{jkr} W_{ijkr} \leq \beta H_h T \quad (19)$$

$$X_{jk} \leq u_{jk}, \quad \forall j, k \quad (20)$$

$$Z_{ijk} \geq 0, \text{ and integer}, \quad \forall i, j, k \quad (21)$$

$$X_{jk} \geq 0, \text{ and integer}, \quad \forall j, k \quad (22)$$

$$W_{ijkr} \geq 0, \quad \forall i, j, k, r$$

목적식에서 네 번째 항은 필요한 최소 운반기수를 구하기 위해 나타낸 것이다. 첫 번째 제약식은 첫 번째 공정을 이용하는 작업장의 작업물의 합은 Q_i 임을 나타내고, 두 번째 제약식은 현 단계의 모든 작업장에서 가공된 작업량은 다음 단계의 모든 작업장에서 가공된 작업량과 같음을 의미한다. 세 번째 제약식은 어떠한 작업장에서 가공된 작업량은 이 작업장에서 다음 단계의 작업장들로 이동된 작업량과 같음을 나타낸다. 네 번째 제약식은 작업장의 실질 가공시간은 이용가능한 시간보다 적음을 의미하고, 다섯 번째 제약식은 운반비용에 대한 것을 나타내고, 나머지 제약식은 변수의 범위를 나타낸다.

모형 P2은 선형 정수계획모형으로 나타내졌다. 그러나 모형 P1은 목적식과 제약식 (10)에 비선형으로 표현되었다. 따라서 모형 P1은 정수계획 프로그램으로 풀기 위하여 모형 P1을 변화시킬 필요가 있다. 목적식의 세 번째 항과 제약식 (10)에 공통으로 있는 $Y_{ijk}Y_{i,j+1,r}$ 이 비선형이므로 이를 선형으로 변형한다.

$Y_{ijk}Y_{i,j+1,r}$ 를 Balas's 의 선형화 방법을 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_{ijk} = Y_{ijk}Y_{i,j+1,r} \tag{23}$$

그리고 다음의 추가 제약식이 존재한다.

$$Y_{ijk} + Y_{i,j+1,r} - V_{ijk} \leq 1, \tag{24}$$

$$-Y_{ijk} - Y_{i,j+1,r} + 2V_{ijk} \leq 0, \tag{25}$$

$$V_{ijk} = 0, 1, \quad \forall i, j, k, r \tag{26}$$

그러므로 목적식 (6) 과 제약식 (10)에 (23)식을 이용하여 대입하고, 새로운 제약식들 (24), (25), (26)을 첨가한다. 그러므로 모형은 다음과 같이 새로이 나타내진다.

$$\begin{aligned}
 P1' : \text{ minimize } Z1 = & \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^{K_j} S_{jk} X_{jk} T + \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^{K_j} C_{jk} D_{ijk} Q_i Y_{ijk} \\
 & + \sum_{i=1}^M \sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^{K_j} \sum_{r=1}^{K_{i+j}} C_h Q_i t_{jkr} V_{ijk} \tag{1'}
 \end{aligned}$$

subject to

식 (7), (8), (9), (11), (12), (13), 그리고

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^{K_j} \sum_{r=1}^{K_{i+j}} Q_i t_{jkr} V_{ijk} \leq \beta H_h T \tag{10'}$$

$$Y_{ijk} + Y_{i,j+1,r} - V_{ijk} \leq 1, \quad \forall i, j, k, r$$

$$-Y_{ijk} - Y_{i,j+1,r} + 2V_{ijk} \leq 0, \quad \forall i, j, k, r$$

$$V_{ijk} = 0, 1, \quad \forall i, j, k, r$$

변형을 통하여 모형 P1은 비선형모형에서 선형정수모형으로 변화였다. 이 모형에 대한 해도 마찬가지로 정수계획을 이용하여 풀 수 있다. 다음 부분에서 제시된 모형에 대한 수치적 예를 설명한다.

4. 수치적 예제

4 단계까지 가능한 작업장으로 된 제조시스템에 4개의 작업물 종류가 생산되는 문제를 생각하자. 생산소요시간은 2000 시간으로 한다. 생산소요시간동안 작업물 종류, 1, 2, 3, 4 의 생산하고자 하는 작업량은 100, 120, 150, 110 개다. 작업장 기계와 운반기의 이용률은 90% 라 하자.

작업장에서 이용 가능한 작업장의 기계의 최대 대수, 분당 가공비용, 기계당 착수비용은 표 1 에 나타난 것과 같다. 운반기에 대한 이용비용은 분당 10 이고, 착수비용은 없는 것으로 가정한다. 작업물의 각 작업장의 기계에서 가공될 때 발생하는 가공시간은 표 2와 같다. 인접하고 있는 두 단계의 작업장사이의 작업물의 이동시간은 표 3에 나타난 것과 같다. 그리고 부품방출점에서 첫 번째 작업단계의 작업장들까지의 이동시간은 2분이고, 마찬가지로 마지막 단계의 작업장에서 창고까지의 운송시간은 2분이다.

표 1. 작업장의 기계의 최대 가능수, 가공비용, 기계당 착수비용

작업단계	작업장	최대 가능수	가공 비용/분	기계당 착수비용
1	1	2	11	200
	2	1	10	250
	3	3	9	300
2	1	3	15	220
	2	2	13	270
3	1	2	14	200
	2	2	12	260
	3	3	11	250
4	1	2	9	180
	2	3	9	260
	3	1	8	230

표 2. 작업의 작업장에서의 가공시간 (분)

작업 단계	작업장	작업 종류			
		1	2	3	4
1	1	5	7	4	10
	2	6	10	6	8
	3	7	14	7	11
2	1	8	9	12	6
	2	9	6	11	8
3	1	12	10	6	8
	2	9	7	9	8
	3	10	8	10	9
4	1	13	11	7	8
	2	11	9	11	12
	3	8	10	10	13

표 3. 두 작업단계에서 작업장사이의 이동시간 (분)

작업 단계	부터 작업장	까지 2		작업단계(j+1) 3			4		
		작업장		작업장			작업장		
		1	2	1	2	3	1	2	3
(j)	1	1.5	1.7	2.1	2.3	2.5	1.4	1.6	1.9
	2	1.4	1.5	1.9	1.8	2.1	2.1	2.0	1.9
	3	2.1	1.8	-	-	-	2.3	2.0	1.9

정수계획 프로그램을 이용하여 해를 구하면, 모형들 P1 과 P2 에 대해 각 작업장의 기계의 최적수는 표 4에 나타난 것과 같고, 그리고 필요한 운반기의 수는 양 모형에 대하여 똑같이 3대가 필요하다. 그리고 작업단계에서 이용한 작업장은 모형 P1 은 표 5에 나타난 것과 같고, 모형 P2에서 작업물의 작업단계에서 각 작업장에서 가공된 작업량은 표 6에 나타난 것과 같다. 그리고 주어진 자료에 대한 최적비용은 모형 P1은 208,140 이고, 모형 P2는 205,417 이다.

표 4. 모형 P1 와 P2 에서 작업장의 최적 기계수

작업 단계	작업장	기계수	
		모형 P1	모형 P2
1	1	2	1
	2	1	1
	3	0	0
2	1	1	1
	2	2	2
	3	1	1
3	1	1	1
	2	2	2
	3	0	0
4	1	2	2
	2	1	1
	3	1	1

표 5. 모형 P1 에서 작업물의 작업단계에서
가공이 이루어진 작업장

작업물 종류	작업단계			
	1	2	3	4
1	1	2	2	3
2	1	2	2	2
3	1	2	1	1
4	2	1	2	1

표 6. 모형 P2 에서 작업물의 작업단계에서 작업장별로
가공이 이루어진 작업량

작업물 종류	작업단계			
	1	2	3	4
1	$Z_{112}=100$	$Z_{122}=100$	$Z_{132}=100$	$Z_{143}=100$
2	$Z_{211}=120$	$Z_{222}=120$	$Z_{232}=120$	$Z_{242}=20$ $Z_{243}=100$
3	$Z_{311}=150$	$Z_{322}=150$	$Z_{331}=150$	$Z_{341}=150$
4	$Z_{412}=110$	$Z_{421}=69$	$Z_{432}=110$	$Z_{441}=110$ $Z_{422}=41$

5. 결론

본 논문에서는 각 제조단계에서 여러 곳에 작업장이 존재하는 다단계 제조시스템에서 여러 종류의 작업물이 동시에 가공될 때, 작업의 각 제조단계의 가공이 이루어질 작업장을 결정하는 작업 할당과 각 작업장에서 필요한 기계 대수와 운반기의 대수를 구하는 제조시스템의 설계문제를 다루었다. 이 논문에서는 설계문제에서 새로운 내용을 제시하고, 이를 모형화 하는데 중점을 두었다. 주어진 생산계획기간에 생산하고자 하는 작업량을 생산하기 위하여 제조시스템을 경제적으로 설계하는 문제는 비용이 최소화되도록 설계되어야 하는 중요한 문제로 이러한 문제들에서 본 연구가 활용 될 수 있을 것이다.

6. 인용문헌

- [1] Apple, J. M., 1972, Material Handling Systems Design (New York : Wiley)
- [2] Baker, K.R., 1974, Introduction to Sequencing and Scheduling (New York: Wiley)
- [3] Berrada, M. and Stecke, K. E., 1986, "A branch and bound approach for machine load balancing in flexible manufacturing systems," Manage. Sci., Vol. 32, 1316-1335.

- [4] Conway, R.W., Maxwell, W.L., and Miller, L.W., 1967, *Theory of Scheduling* (New York: Addison-Wesley).
- [5] Egbelu, P. J., 1993, "Concurrent specification of unit load sizes and automated guided vehicle fleet size in manufacturing system," *Int. J. Prod. Econ.*, Vol. 29, 49-64
- [6] Egbelu, P. J., 1993, "Economic design of unit load-based FMSs employing AGVs for transport," *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 31, 2753-2775
- [7] Egbelu, P. J., 1991, "Batch production time in a multi-stage system with material-handling consideration," *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 29, 695-712
- [8] Egbelu, P. J. and Roy, N., 1988, "Material flow control in AGV/unit load based production lines," *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 26, 81-94
- [9] French, S., 1982, *Sequencing and Scheduling: An Introduction to the Mathematics of the Job Shop* (New York: Wiley)
- [10] Kusiak, A., 1990, *Intelligent Manufacturing Systems*, Prentice-Hall Int. Editions, New Jersey
- [11] Leung, L.C., Maheshwar, S. K., Miller, W. A., 1993, "Concurrent part assignment and tool allocation in FMS with material handling considerations," *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 31, No.1, 117-138
- [12] Modi, B. K. and Shanker, K., 1994, "A formulation and solution methodology for part movement minimization and workload balancing at loading decisions," *Int. J. Prod. Econ.*, Vol. 34, 73-82
- [13] Modi, B. K. and Shanker, K., 1995, "Models and solution approaches for part movement minimization and load balancing in FMS with machine, tool and process plan flexibilities," *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 33, 1791-1816
- [14] Sarin, S. C. and Chen, C. S., 1987, "The machine loading and tool allocation problem in a flexible manufacturing system," *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 25, 1081-1094
- [15] Stecke, K. E. and Solberg, J. J., 1981, "Loading and control policies for a flexible manufacturing system," *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 19, 481-490
- [16] Stecke, K. E., 1983, "Formulation and solution of nonlinear integer production planning problems for flexible manufacturing systems," *Manage. Sci.*, Vol. 29, 273-288
- [17] Tomkins, J.A. and White, J.A., 1984, *Facilities Planning*, Wiley, New York
- [18] Truscott, W. G., 1985, "Scheduling production activities in multi-stage batch manufacturing systems," *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 23, 315-328