단위운송량에 바탕을 둔 물류흐름으로 된 유연제조 시스템에서 작업경로 선택
- Part Route Selection in FMS with Unit Load Based Material Handling -

장 석화*
Chang Suk-Hwa

Abstract

This paper considers the part assignment to workstations in flexible manufactuirng system (FMS). Parts are processed through several workstations according to processing order. The machines of each workstation can do multiple processing functions. Therefore, a processing of a part can be processed in several workstations, which are non-identical in functional performance. Although a processing of a part can be processed in the mutiple workstations, it has to be processed in only one among available several workstations. Parts are transported with unit load by automated guided vehicles (AGVs). The criteria of part assignment is to minimize the maximum value of the processing times of each workstation and the total transport times of vehicles. Model formulation is suggested, and numerical example is shown.

1. 서 언

최근에 기업에서는 생산시스템의 자동화의 하나로 유연제조시스템의 사용이 증가되고 있다. 이는 제조활동을 하는 기업들에서 큰 비중을 차지하는 있는 다품종 중간규모의 생산량에 이 방법이 적절한 것으로 인식되기 있기 때문이다. 유연제조시스템은 대부분 제품 혼합, 다수의 부품경로, 무시할 수 있을 정도의 공구교체시간, 기계사이의 제한된 저장공간, 빠른 가공시간, 무인운반차의 이용등으로 특징되고 있다.

많은 유연제조 시스템은 2 - 6개의 작업장 (cell)로 구성되어 있다. 작업장은 기계가 갖출 수 있는 공구의 기능에 따라 몇가지의 고유한 공정을 수행할 수 있다. 따라서 작업의 어떠한 공정에 대하여 처리 가능한 기계가 여러 작업장에 존재한다. 동일한 공정에 대해 가공이 가능한 작업장은 여러 곳에 존재하고, 각각 가공시간과 가공비용이 다르므로 작업장의 선택을 제조시스템을 전체적으로 최적화하는 기준을 적용하여 이루어져야 할 것이다. 작업의 일련의 공정이 처리되는 기계의 순서를 가공경로라 할 때, 작업이 여러 단계의 가공공정을 거쳐 가공

---

* 인천대학교 산업공학과

되는데 있어, 하나의 공정을 처리하는 기계가 여러 작업장에 분포되어 있으므로 가공경로가 다수 존재하게 된다. 이 다수의 가공경로들 중에서 어느 것을 사용할 것인가는 시스템의 생산소요시간에 영향을 미칠 수 있다. 여러가지 종류의 작업이 이와같은 유연제조 시스템에서 동시에 가공 혹은 조립될 때 각 작업의 공정을 어느 작업장의 기계에서 가공할 것인가에 따라 전체 생산시간과 비용에 중요한 영향을 미친다.

시스템내에서 작업물이 작업장사이를 이동하는 것을 물류흐름이라 한다. 작업의 가공경로를 결정시 시스템내에서의 물류흐름을 고려할 필요가 있다. 작업장 의 기계의 가공시간만을 반영하여 결정하면 작업물의 물류흐름량인 운송시간이 증가할 수 있다. 물류흐름증가는 시스템의 전체 비용을 증가시킨다. 작업물의 운송을 고려하는 것은 작업물의 경로를 구하는 데 중요하다. 물류흐름과 관련된 방법중 작업의 운송이 무인운반차에 의한 경우에 운반차가 동시에 운반하는 작업물의 운송량인 단위운송량에 따라 시스템의 성과가 변화한다.

작업의 공정이 할당되는 작업장을 결정하는 것은 개별 작업 하나만을 최적으로 하는 기준으로 결정될 수 없다. 생산기간동안 주어진 작업의 종류와 양을 제조시 작업장의 가공시간과 운반기의 이용시간을 고려하여 결정할 필요가 있다. 즉 전체적으로 단위운송량를 고려하여 작업의 가공경로를 결정하여야 한다. 작업의 가공경로는 작업장에서의 가공시간과 운반기가 동시에 운송하는 능력인 단위운송량에 바탕을 둔 운송시간을 고려하여 결정할 필요가 있다. 운반기가 단위운송량로 작업물을 운송할 때 작업물의 가공경로를 경정하는 문제를 단위운송량에 따라 분석하고 적절한 단위운송량를 제시한다.

2. 연구배경

유연제조시스템에서 작업의 공정을 위한 기계를 정하는 것은 부하(loading) 문제로 기계와 공구할당을 포함하는 것으로 여러 내용에 대하여 공식화하는 것과 해를 구하는 방법이 연구되었다 (Berrada and Stecke [2], Stecke and Solberg [19], Kusiak [8], Stecke [20], Suri and Whitney [21], Sarin and Chen [15], O'Grady et al. [13]). 작업공정에 기계와 공구를 할당하는 것은 총 가공비용을 최소화하는 것을 목적으로 하여 행해졌다(Stecke[20], Ram et al. [14], Singh et al. [17]). Stecke [20] 는 할당된 기계가공시간을 균형을 유지하기, 기계사이의 이동횟수를 최소화하기, 공구매거진에 공구를 균일하게 채우기, 가공우선순위의 합을 최소화하기 등과 같은 부하결정기준을 제시하였다. Leung et al. [9] 은 가공비용과 이동비용을 고려하여 작업물을 기계에 할당하는 량과 각 기계에 공구형태를 할당하는 문제를 동시에 결정하는 문제를 연구하였다. Modi and Shanker [11, 12] 는 하나의 공구가 여러개의 공정을 수행할 수 있는 공구유연성을 갖는 FMS 에서 작업물 이동을 최소로 하는 기계와 공구를 할당하는 문제를 연구하였다.

물류처리시스템의 생산성을 개선하는 방법으로 단위운송량 (unit loads)를 적용하는 것이 보편적이다. 이는 Apple [1] 에 의해 처음 제시되었고, 여러 연구가 뒤따랐다. Tanchoco et al. [23] 은 제조와 물류흐름 효율에 대한 단위운송량의 효과를 고려하였다. Tanchoco and Agee [22] 는 제조의 여러면에 대하여 단위운송량의 상호작용 효과를 다루었다.

단위운송량와 작업분할이 일정계획과 생산통제문제에서 고려되는 연구가 일부 수행되었다 (Truscott [25], Egbelu and Roy[5]). 이를 통하여 여러 작업장 성과 척도의 개선을 추구하여 왔다. 이 척도의 몇몇은 작업흐름시간, 재고수준, 그리고 생산소요시간(makespan) 등이다.

단위운송량를 바탕으로 시스템을 구축하는 연구로는 운반기로 AGV 를 이용하는 경우에 단위운송량에 바탕을 둔 FMS 의 경제적 설계문제를 다루었다 (Egbelu[3, 4]). 그는 비용제한이 없는 경우에 주어진 생산시간을 만족하도록 각 작업장의 기계댓수와 운반기의 용량과 댓수

를 결정하는 문제를 모의실험을 이용하여 풀었다. 그가 고려한 비용요소는 운반기의 운영비용, 기계의 운영비용, 공정중인 재고비용, 간접경비와 콘테이너비용을 고려하였다.

물류흐름을 반영하여 작업의 가공경로를 결정하는 연구는 일부 되었으나, 작업물이 단위운송량로 운송될 때 이러한 문제를 연구하는 것은 이루어지지 않았다. 또한, 작업물이 종류별로 다수의 가공경로중에서 하나만을 이용할 경우의 연구는 이루어지지 않았다. 그러므로 본 연구에서는 어떠한 생산기간에 필요한 작업량을 생산하는데 운반기가 단위운송량로 작업물을 운송시킬 때 작업물의 가공경로를 결정하는 문제를 다룬다. 시스템의 성과를 측정하는 척도는 최대 가공시간이 발생하는 작업장의 가공시간이나 운반기의 사용시간을 최소화하는 기준을 적용한다. 이는 시스템의 생산소요시간을 최소화하는 기준이 될 수 있기 때문이다. 단위운송량에 따른 생산소요시간을 분석하기 위하여 모의실험을 실시한다. 이는 시스템을 구성하는 작업장의 기계와 운반기의 이용시간을 최소화하는 기준이 적용될 수 있을 것이다.

3. 모형

제조시스템에서 작업의 가공경로를 결정시 물류흐름을 고려하여 생산소요시간을 최소화하도록 단위운송량에 따른 작업의 가공경로를 결정하는 문제에 대해 다룬다. 물류흐름에서 운반기의 수가 작업의 가공기계의 선택에 영향을 미칠 수 있음은 연구되었다(Leung [9]). 운송시간에 영향을 미칠 수 있는 요인은 운반기와 관련하여 다음과 같은 것이 있다.

(1) 운반기의 수
(2) 운반기의 속도
(3) 운반기의 용량

실질적으로 물류흐름 능력에서 운반기의 용량은 중요하다. 많은 제조시스템에 서 운반기는 작업물을 동시에 여러개씩 운송하고 있다. 본 연구에서는 운반기의 능력과 관련된 것으로 운반기가 작업물을 단위운송량로 이동시키는 경우에 작업물이 가공경로를 구하는 문제를 다룬다. 일반적으로 단위운송량가 크면, 운반횟수와 운반기를 줄일 수 있으나 공정중인 재고량을 증가시킬 수 있다. 반면, 단위운송량가 적으면, 운반횟수와 운반기를 증가시키나 공정중재고를 감소시키는 경향이 있다. 물류흐름에서는 단위운송량가 중요한 역할을 함으로 단위운송량에 따라 작업의 가공경로의 선택에도 영향을 미친다. 따라서 여기서는 생산비용을 기준으로 하여 운반기의 적절한 단위운송량와 작업의 가공경로를 함께 구하는 문제를 제시한다.

모형을 나타내기 위하여 먼저 다음과 같이 가정과 부호를 정의한다.

3.1 가정

(1) 작업의 공정순서에 대한 가능한 작업장의 집합과 가공시간은 알려져 있다.
(2) 작업장사이의 운송거리는 최단거리로 이동한다.
(3) 어떠한 생산기간동안 가공될 작업종류와 양은 알려져 있다.
(4) 동일한 작업장의 기계들은 동일한 작업종류에 대하여 성능이 같다.
(5) 작업물은 단위운송량로 움직이며, 한번 결정된 단위운송량는 더 적은 단위로 분할되거나, 혹은 더 큰 단위로 합쳐지지 않는다.
(6) 단위운송량는 동일한 작업으로 구성되고, 작업 종류에 관계없이 똑같다.
(7) 기계들은 생산기간동안 고장없이 사용된다.
(8) 같은 작업물은 동일한 가공경로를 따라 가공된다.
(9) 각 작업장의 저장공간은 충분하다.

3.2 부호

i = 작업물 종류에 대한 첨자.

$r_i = Q_i - q_i(N_i - 1)$

j = 작업 i 의 공정에 대한 첨자, j=1,2,...., M, j=1은 load station 에서 발생하고, $j = M$ 은 unload station 에서 발생하는 것으로 실질적으로 가공과정이 발생하지 않는다.

k, r = 작업장에 대한 첨자, k, r=1은 load station 을 나타내고, $k, r = K$ 은 unload station 을 나타낸다.

s_{ik} = 작업종류 i 를 작업장 k 에서 한 단위운송량를 가공하기 위하여 필요한 준비시간으로 단위운송량의 크기와 관계없이 일정하다.

p_{ijk} = 작업종류 i 의 j 번째 공정을 작업장 k 의 기계에서 할 경우 작업물당 가공시간.

w_k = 작업장 k 의 이용가능한 기계의 댓수

h = 작업장에서 이용가능한 운반기의 댓수

α_k = 작업장 k 의 기계의 평균 이용율

β = 운반기의 이용율

Φ_{ij} = 작업 i 의 j 번째 공정을 할 수 있는 작업장의 집합

δ_{ikj} = 작업장 k 에서 할 수 있는 작업 i 의 공정 j 의 집합

Q_i= 어떠한 주어진 기간동안 작업종류 i 의 작업량

T = 제조시스템의 예정 평균 생산소요시간

T_k = 작업장 k 에서 기계당 가공시간

T_c = 운반기의 대당 사용시간

ε = 아주 적은 양 상수로 0 에 가까운 수

3.3 단위운송량

운반기가 동시에 다수의 작업물을 운반시키는 것은 시간적으로 혹은 경제적으로 효율적이기 때문에 이용되고 있다. 운반기의 능력을 고려하여 허용범위 내에서 시스템의 효율을 증가시킬 수 있는 단위운송량를 구해야 한다. 이는 생산시간에 따라 시스템의 상황이 변하므로 이에 따라 적절한 단위운송량를 필요로 하게 된다. 이에 따라 적절한 운반기 수를 결정하게 할 것이다. 단위운송량에 따른 작업물의 이송횟수를 다음과 같이 구한다.

작업물 종류 i 의 생산시간동안 생산하여야할 양이 Q_i 이고, 단위운송량가 q_i 이므로, 총 운송횟수는 아래의 식 (1) 과 같다.

$$N_i = [Q_i/q_i]^+ + 1 \qquad (1)$$

여기서 $[x]^+$ 는 x 보다 작거나 같은 가장큰 정수를 나타낸다.

작업량 Q_i 는가 q_i 개씩 $(N_i - 1)$ 번에 의해 이동되고, 나머지 $Q_i - q_i(N_i - 1)$ 개는 한번에 의해 이동되게 된다.

이송시간은 작업장에서 공정이 단위운송량의 작업량에 대해 모두 완료된 후, 운반기에 모든 작업물을 싣는시간, 작업물을 목적지 작업장으로 이동시간, 그리고 목적지 작업장으로 작업물을 내리는 시간을 합한시간으로 한다.

t_{kr} = 작업장 r 과 k 사이의 이동시간,

μ = 작업물을 운반기에 싣고 내리는데 걸리는 시간으로 단위운송량의 크기에 관계 없이 일정하다.

d_{kr} = 작업장 r 과 k 사이의 거리,

v = 운반기의 작업물을 실은 상태에서 이동속도

이동시간은 단위운송량의 크기에 관계없이 식 (2)와 같이 나타내진다.

$$t_{kr} = \mu + d_{kr}/v \qquad (2)$$

작업물이 단위운송량의 크기에 관계없이, 두 작업방사이의 운송시간이 식 (2)와 같이 구해진다. 이를 바탕으로 제조시스템에서 발생하는 시간이 최소가 되도록 각 운송단위별로 가공경로를 구하는 모형을 세운다.

3.4 모형 형성

시스템의 성과를 나타내는 기준으로는 병목역할을 하는 기계에 부하를 최소하기, 각 기계에 부하를 균형있게 하기, 물류흐름을 최소화 하기, 그리고 생산소요시간을 최소화 하기등이 포함될 수 있다. 실질적으로 유연제조시스템에서 생산소요시간은 수리계획방법 보다는 모의실험을 이용하여 것이 적절하다. 여기서는 작업장의 기계와 운반기의 실질 사용시간(기계의 가공시간, 운반기의 운송시간) 의 최대치를 사용하는 기준을 적용하고자 한다. 실질 사용시간과 생산소요시간은 차이가 존재한다. 이는 기계들과 운반기들의 사용률이 같지 않고 서로 다를 수 있다. 이미 제조시스템은 주어져 있으므로 주어진 작업을 제조하기 위하여 생산소요시간을 최소화하는 것이 합리적일 것이다. 기계들의 이용률은 서로 다르나 동일하게 유지하는 것이 생산소요시간을 줄일 수 있을 것이다. 따라서 여기서는 실질 기계의 사용시간을 최소화하는 기준을 적용하고자 한다. 수리모형의 목적함수는 기계들 중에서 최대 가공시간을 최소화하는 기준을 적용하여 나타낸다.

기계의 사용시간은 하나의 단위운송량에 대하여 작업준비시간이 존재하는 경우에는 작업준비시간과 가공시간에 단위운송량를 곱한 시간으로 정의한다. 작업물 종류 i 의 한 단위운송량가 작업장 k에서 가공될 경우에 발생하는 단위운송량당 가공시간은 식 (3) 과 같이 나타내진다.

$$p_{ijk}^{q_i} = s_{ki} + p_{ijk} q_i \qquad (3)$$

작업물의 어떠한 공정에 대하여 작업물 종류별로 하나의 작업장만을 허용하는 경우로, 이는 같은 종류의 작업물은 동일한 가공경로를 따라서 가공된다.
다음의 변수를 새로이 도입한다.

U_{ijkr} = 1, 작업물 i 이 j-1 번째 공정을 작업장 r 에서 한 후 j 번째 공정을 작업장 k 에서 할 경우
0, 그렇지 않을 경우

작업물에 대한 단위운송량가 먼저 주어지고, 이에 대하여 작업장과 운반기의 최대 이용시간을 최소화하는 기준을 적용하여 작업물의 가공경로를 결정하는 모형을 다음과 같이 나타낸다.

$$\text{P}: \quad \text{minimize} \quad Z = T + \varepsilon\left(\sum_{k=1}^{K} w_k T_k + hT_v\right) \tag{4}$$

subject to

$$\sum_{k=1}^{K}\sum_{r=1}^{K} U_{ijkr}, \quad \forall i,j \tag{5}$$

$$\sum_{r=1}^{K} U_{ijkr} = \sum_{p=1}^{K} U_{i,j+1,pk}, \quad \forall\ i,\ j \in \delta_{ikj},\ k \in \phi_{ij} \tag{6}$$

$$\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M_i}\sum_{r=1}^{K}(p_{ijk}^{q_i}(N_i-1)+p_{ijk}^{r_i})U_{ijkr} \le w_k T_k, \quad \forall k \tag{7}$$

$$\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}\sum_{k=1}^{K}\sum_{r=1}^{K} t_{kr} N_i U_{ijkr} \le hT_v \tag{8}$$

$$T_k \le T, \quad \forall k \tag{9}$$

$$T_v \le T \tag{10}$$

$$U_{ijkr} = 0,1 \tag{11}$$

모형에서 목적함수식 (4) 은 주어진 시스템에서 작업장의 기계와 운반기에서 사용시간의 최대치를 최소화 하는 기준하에서 기계와 운반기의 총 사용시간이 최소가 하는 것을 나타낸다. 식 (5)은 어떠한 작업의 공정의 가공기계는 하나의 작업장을 이용하는 것을 나타내고, 식 (6)은 어떠한 작업의 현공정이 가능한 작업장의 수와 다음 공정이 가능한 작업장의 수가 동일함을 나타내는 것으로 식 (5) 에 의해 한개가 된다. 식 (7)는 작업장의 실질 생산시간이 제한됨을 나타내고, 식 (8)은 총 운송시간의 제한을 나타낸다. 식 (9)과 (10)는 기계와 운반기의 사용시간이 생산소요시간보다 적어야함을 나타낸다.

식 (7) 과 (8) 는 작업장기계의 실질 사용시간과 운반기의 이용시간을 고려하여 나타내었다. 따라서 목적식에서 T 는 사용시간이 최대인 작업장의 실질가공시간을 나타내는 것이다. 그러나 T 가 생산소요시간을 반영하기 위하여는 아래의 식 (12) 과 (13)와 같이 설비들의 이용율을 사용하여 표현하면 정확한 결과를 얻을 수 있을 것이다. 그러나 설비의 이용률을 정확히 알기 위하여는 모의실험을 이용할 필요가 있다. 설비사이의 이용률의 차이는 크지 않은 것이 바람직하므로 모든 설비들의 이용률이 유사하다는 전제하에 식 (7) 과 (8) 와 같이 이용률을 1 로 하여 작업의 가공경로를 구하고, 실질 생산소요시간을 구하기 위하여는 모의실험을 실시한다.

$$\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M_i}\sum_{r=1}^{K}(p_{ijk}^{q_i}(N_i-1)+p_{ijk}^{r_i})U_{ijkr} \le \alpha_k^{q_i} w_k T_k, \quad \forall k \tag{12}$$

$$\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}\sum_{k=1}^{K}\sum_{r=1}^{K} t_{kr} N_i U_{ijkr} \le \beta^{q_i} hT_v \tag{13}$$

수리적 모형 P 는 선형정수계획이다. 이들에 대한 해는 정수계획법으로 구할 수 있다. 최대 실질 사용시간을 감소시키는 데 있어 작업장과 운반기의 이용시간이 동시에 영향을 미친다. 운반기의 운송시간은 단위운송량에 따라 큰 영향을 받는다. 이 모형에서 기계와 운반기의 이용률은 시스템의 여러가지 요인에 의해 영향을 받는다. 이들 요인들은 작업의 기계에의 할당과 순서, 그리고 단위운송량크기등이 있다. 모형 P는 단위운송량를 크게 하는 것이 최대 생산

소요시간을 줄일 수 있을 것이다. 그러나 실질적으로 단위운송량가 지나치게 크면 생산소요시간이 크게 증가할 수 있다. 이는 큰 단위운송량로 인하여 일시에 작업물이 어떠한 기계에 편중됨으로 다른 기계에서의 작업지연을 발생시킬 수 있다. 그러므로, 주어진 기계의 능력에 따라 적절한 단위운송량를 구한다. 따라서 단위운송량 크기를 주고, 수리적모형을 이용하여 작업물 종류별로 가공경로를 구하고, 이를 바탕으로 실질 생산소요시간은 모의실험을 실시하여 구한다.

4. 수치적 예제

그림 1과 같은 6개의 작업장으로 이루어진 제조시스템에서 4개의 작업종류를 제조하는 문제를 생각하자. 그림에서 작업장 번호 1 은 load station 을 나타내고, 6은 unload station으로 실질적인 가공과정이 발생하지 않는다. 2, 3, 4 와 5 는 가공과정이 발생하는 작업장을 나타낸다. 어떠한 생산기간에 4개의 작업물에 대하여 필요한 생산량은 40, 60, 80, 50 개이다. 그리고 한 작업장의 기계는 동일한 종류이고, 작업장 2, 3, 4, 5, 의 기계댓수는 각각 1, 1, 2, 1 대 이다. 각 작업물의 공정이 가능한 작업장에 대한 가공시간이 표 1에 나타나 있다. 작업장에서 단위운송량마다 가공을 시작할 때 발생하는 가공준비시간은 작업장과 작업물에 관계없이 동일하게 0 분으로 한다. 작업물을 운반기에 싣고, 내리는데 걸리는 시간은 단위운송량의 크기에 관계없이 동일하게 각각 0.5분으로 가정한다. 그림 1에서 R은 운반기가 작업이 없을 때 대기하는 장소이고, P/D 는 pickup 과 dropoff 위치이다.

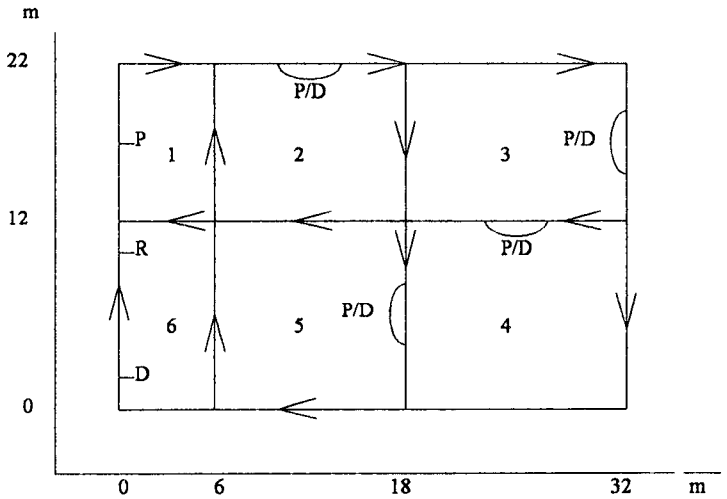

그림 1. 제조시스템의 시설배치

모형을 통하여 구한 해는 작업의 공정에 대한 작업장을 결정하는 것이다. 이를 바탕으로 주어진 작업물을 모두 생산하는 데 걸리는 생산소요시간을 구하기 위하여 모의실험을 실시한다. 운반기의 단위운송량의 크기는 작업물 종류에 관계없이 동일한 크기로 한다. 예제에 대하여 단위운송량의 크기를 1부터 시작하여 값을 증가시키며 수리적모형에 대한 해를 구해 작업에 대한 경로를 구하고, 이를 모의실험을 하여 실질 생산소요 시간을 구한다. 생산소요시간이 증가하면 단위운송량의 크기를 증가시키지 않고 멈춘다. 운반기의 수가 1, 2, 3, 4 일 경우에 대하여 각각 시행한다.

표 1. 작업의 공정에 대한 작업장에서의 가공시간

작업	공정순서	작업장			
		1	2	3	4
1	1	8	6	*	*
	2	*	7	*	5
	3	3	*	6	*
	4	*	*	6	5
2	1	*	4	7	*
	2	5	*	4	8
	3	*	9	10	*
	4	8	*	*	9
3	1	*	*	5	4
	2	7	9	*	*
	3	9	10	11	*
4	1	*	12	*	10
	2	*	6	7	*
	3	9	*	*	12
	4	*	8	9	7

숫자는 가공시간을 나타낸다.
* : 작업물 i 의 j번째 공정이 k 의 작업장에서 불가능하다

기계와 운반기의 평균가동률은 작업물이 이동하는 중에 대기로 인한 지체와 이동단위와 가공경로에 따른 작업의 일시적인 불균형, 일정시간 후에 첫번째 작업물이 들어오게 되는 작업장의 존재등 실질적인 시스템의 운영으로 인한 요인으로 정확히 알기는 어렵다. 이는 모의실험을 통해서만 평균적인 값을 추정할 수 있을 뿐이다. 그러므로 실질 생산소요시간은 모의실험을 통하여 구할 필요가 있다. 작업의 대기로 인한 지체와 생산순서와 시작간격을 해석적으로 구하는 것은 실질적으로 어렵기 때문이다. 따라서 작업에 대한 가공경로의 결정은 수리계획모형을 이용하여 해를 구하고, 생산소요시간은 모의실험을 이용한다. 수리계획은 Hyper Lindo를 이용하여 해를 구하고, 모의실험은 SIMAN IV 의 PC 버전을 이용하여 실행한다. 운반기수가 1, 2 3, 4일때 수리계획을 이용하여 구한 해는 표 2에 나타나 있다.

표 2 에서 알 수 있드시 운반기가 작업물의 가공경로에 영향을 줄 수 있다. 운반기 수가 한대인 경우는 다른 경우에 비하여 다른 경로를 갖고 있다. 운반기 수가 충분하면 작업의 가공경로는 가공시간이 최대인 기계의 가공시간이 최소화되며, 총 가공시간을 최소화 하는 경로를 따라서 결정되게 된다.

생산소요시간을 구하기 위하여 모의실험을 단위운송량가 1, 2, 3, 4, 5일때 운반기수가 1, 2, 3, 4 에 대하여 시행되었다. 모든 작업이 load station 에서 이용될 수 있는 것으로 운반기가

허용하면 모든 작업물은 작업장에서 대기하는 상태로 매개변수가 확정적이기 때문에 한번의 모의실험을 실시하여 표 3와 같이 얻었다. 운반기의 능력이 충분할 경우는 작업장 중의 어느 곳이 생산소요시간을 결정하는데 큰 역할을 한다. 운반기가 한대일때 단위운송량가 3이상, 운반기가 두대이상일 때 단위운송량가 2이상 일 경우는 단위운송량에 관계없이 기계수별로 동일한 생산소요시간이 발생함을 알 수 있다. 이는 생산소요시간은 최대 부하가 걸리는 기계의 생산소요시간에 달려있는데, 가공경로가 동일하므로 단위운송량와 관계없이 동일한 가공시간이 발생하기 때문이다. 생산소요시간을 최소화하는 기준을 적용시 단위운송량는 운반기수가 한대일때는 3, 나머지는 단위운송량를 2를 유지하는 것이 적절하다.

표 2. 단위운송량와 운반기수에 따른 가공경로에 대한 해

이송 단위	작업물	운반기 수에 따른 가공 경로			
		1	2	3	4
1	1	1-3-3-4-4-6	1-3-3-2-5-6	1-3-3-2-5-6	1-3-3-2-5-6
	2	1-3-4-4-5-6	1-3-4-4-5-6	1-3-4-4-5-6	1-3-4-4-5-6
	3	1-4-2-2-6	1-4-2-4-6	1-4-2-4-6	1-4-2-4-6
	4	1-3-4-5-5-6	1-5-4-2-3-6	1-5-4-2-3-6	1-5-4-2-3-6
2	1	1-3-5-2-4-6	1-3-5-2-4-6	1-3-5-2-4-6	1-3-5-2-4-6
	2	1-3-4-4-5-6	1-3-4-4-5-6	1-3-4-4-5-6	1-3-4-4-5-6
	3	1-4-2-4-6	1-4-2-4-6	1-4-2-4-6	1-4-2-4-6
	4	1-5-3-2-3-6	1-5-3-2-3-6	1-5-3-2-3-6	1-5-3-2-3-6
3	1	1-3-5-2-4-6	1-3-5-2-4-6	1-3-5-2-4-6	1-3-5-2-4-6
	2	1-3-4-4-5-6	1-3-4-4-5-6	1-3-4-4-5-6	1-3-4-4-5-6
	3	1-4-2-4-6	1-4-2-4-6	1-4-2-4-6	1-4-2-4-6
	4	1-5-3-2-3-6	1-5-3-2-3-6	1-5-3-2-3-6	1-5-3-2-3-6

표 3. 생산소요시간

단위운송량	운반기 수에 따른 생산소요시간			
	1	2	3	4
1	1998.70	1340.46	1258.83	1252.03
2	1394.38	1251.93	1251.37	1248.60
3	1260.10	1251.93	1251.37	1248.60
4	1260.10	1251.93	1251.37	1248.60
5	1260.10	1251.93	1251.37	1248.60

6. 결론

유연제조시스템에서 여러 종류의 작업을 동시에 가공시 작업의 공정에 대한 가공 작업장을 선택하는 문제를 다루었다. 작업의 어떠한 공정에 대하여 가능한 작업장이 여러 곳이 존재하고 가공시간이 다르므로 전체적인 시스템 성과를 최적으로 하게 작업장을 결정하여야 한다. 작업물의 이송시간을 반영하여 단위운송량의 크기에 따라 각 작업종류의 일련의 가공단계에 대하여 가공 작업장을 결정하는 것을 수리계획으로 나타내는 방법을 제시하였다. 주어진 작업물을 모두 가공하는데 걸리는 생산소요시간을 모의실험을 실시하여 구하였다. 단위운송량의 크기에 때하여 운반기 수를 변화시키며 수리계획을 이용하여 해를 구하고, 실질 생산소요시간을 구하기 위하여 모의실험을 실시하여 생산소요시간을 비교하였다.

참 고 문 헌

[1] Apple, J. M., 1972, Material Handling Systems Design (New York : Wiley)

[2] 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

[3] 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

[4] Egbelu, P. J., 1993, "Economic design of unit load-based FMSs employing AGVs for transport," Int. J. Prod. Res., Vol. 31, 2753-2775

[5] 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

[6] Egbelu, P. J. and Tanchoco, J. M. A., 1984, "Characterization of automated guided vehicle dispatching rules in facilities with existing layout," Int. J. Prod. Res., Vol. 22, 359-374

[7] Egbelu, P. J. and Tanchoco, J. M. A., 1986, "Potentials for bi-directional guide-path for automatic guided vehicle based systems," Int. J. Prod. Res., Vol. 24, 1075-1097

[8] Kusiak, A., 1990, Intelligent Manufacturing Systems, Prentice-Hall Int. Editions, New Jersey

[9] 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

[10] Mahadevan, B. and Narendran, T. T., 1992, "Determination of unit load sizes in an AGV-based material handling system for an FMS," Int. J. Prod. Res., Vol.30, 909-922

[11] 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

[12] 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

[13] O'Grady, P. J. and Menon, U., 1987, "Loading a flexible manufacturing system," Int. J. Prod. Res., Vol. 25, 1053-1068

[14] Ram, B., Sarin, S. C. and Chen, C. S., 1990, "A model and a solution approach for a machine loading and tool allocation problem in a flexible manufacturing system," Int. J. Prod. Res., Vol. 28, 637-645

[15] 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

[16] Shanker, K. and Agrawal, A. K., 1991, "Loading problem and resource considerations in FMS : A review," Int. J. Prod. Econ., Vol.25, 111-119

[17] Singh, N., Aneja, Y. P. and Rana, S. P., 1992, "A bicriterion framework for operations assignment and routing flexibility analysis in cellular manufacturing systems," Eur. J. Oper. Res., Vol. 60, 200-210

[18] Sinriech, D. and Tanchoco, J. M. A., 1992, "An economic model for determining AGV fleet size," Int. J. Prod. Res., Vol. 30, 1255-1268

[19] 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

[20] Stecke, K. E., 1983, "Formulation and solution of nonlinear integer production planning problems for flexible manufacturing systems," Manage. Sci., Vol. 29, 273-288

[21] Suri, R. and Whitney, C. K., 1984, "Decision support requirement in flexible manufacturing," J. Manufac. Sys., Vol. 3, 61-69

[22] Tanchoco, J. M. A. and Agee, M. H., 1981, "Plan unit loads to interact with all components of warehouse systems, Indus. Engin., Vol. 13, 6-48

[23] Tanchoco, J. M. A., Wysk, R. A., Davis, R. P. and Agee, M. H., 1979, "Economic unit loads and its impact on material flow systems planning," Proceeding Fall Industrial Engineering Conference, pp.141-147

[24] Tomkins, J.A. and White, J.A., 1984, Facilities Planning, Wiley, New York

[25] Truscott, W. G., 1985, "Scheduling production activities in multi-stage batch manufacturing systems," Int. J. Prod. Res., Vol. 23, 315-328