

☒ 연구논문

가공순서에 종속적인 제조시스템을 위한 균형성모형

A Cell Formation Model For Manufacturing System
with Sequence Dependence

홍 상 우*

Hong, Sang Woo

Abstract

This paper considers the cell formation in a manufacturing environment where the setup times and costs are significantly dependent on the sequence. The trade-off between saving on the setup costs and additional investment on new machines is considered for determining the economic number of cells. Accordingly, This paper develops a mixed integer program and mentions a variety of manufacturing situations where this model can be useful. This paper also includes an illustrative example.

1. 서 론

오늘날 제조시스템의 대부분이 묶음생산(batch production) 시스템이며[1], 더욱이 그런 생산방식의 제품 중 최소 75%정도가 50단위 이하의 묶음으로 만들어진다[7]. 이러한 소규모 묶음생산방식을 효율적으로 관리하기 위해 많은 연구가 이루어졌다. 그 중 군(Cell) 제조시스템이 가장 효율적인 방법으로 연구되어 왔다. 군제조(CM)는 지정된 기계군에 유사한 부품들을 모아 군을 구성하여 부품을 가공하는 것이다. 군제조 시스템의 설계를 위해서는 필수적으로 부품군과 기계군을 구성하는 균형성문제를 풀어야 한다.

균형성을 위한 많은 연구들이 수행되어 왔으나 대부분의 연구들은 부품-기계 행렬을 증척되지 않도록 대각선적으로 적절한 블록이나 군의 무리로 분리하는 것이었다[2,3,4,8,11]. 그러나 많은 기존연구에서는 고정된 수의 부품들이 반복적으로 가공이 되어 작업준비시간과 비용이 작업순서에 독립적인 작업환경을 대상으로 하였다.

본 연구에서는 실제 작업현장에서 쉽게 접할 수 있는 작업순서에 종속적인 문제를 다룬다. 생산 일정 계획에서 작업준비시간과 비용이 순서에 종속적인 문제에 대해서는 많은 연구가 있었다[9,10,12]. 또한 GT(group technology)의 개념으로 출력능력에 대한 작업준비시간의 효과에 대해서[5] 그리고 순환적 또는 비순환적인 일정계획 시스템에서도 연구되어 왔다[6]. 그러나 군구성문제에서는 순서에 종속적인 경우에 대하여 많은 연구가 이루어지지 않고 있다.

순서종속적인 제조환경에서 모든 부품들이 하나의 군에서 가공된다면 자원을 보다 효율적으로 활용할 수 있을 것이다. 그러나 이 경우 준비시간과 준비비용을 증가시킬 것이다. 반면 각 부품당 비용과 유지비용이 발생한다. 따라서 CM시스템을 설계할 때에는 준비비용과 투자비용 그리고 유지비용을 함께 고려하여야 한다.

본 연구에서는 순서에 종속적인 준비비용과 기계투자비용간의 상충을 고려할 수 있는 혼합 정수계획 모형을 개발한다. 이 모형으로 형성해야할 최적의 군 개수와 각 군내에서 생산할 부품들의 최적 가공순서를 결정한다.

본 연구의 내용은 다음과 같이 구성되었다. 다음 장에서는 본 연구의 대상이 되는 문제에 대하여 정의하고 예를 통해 절충에 대하여 설명한다. 3장에서는 모형을 개발하고 4장에서는 실험을 통해 개발한 모형의 효율성을 보인다. 마지막으로 5장에서는 결론을 보인다.

2. 문제정의

제품에 대한 수요가 일정치 않고, 이따금 발생하며 예상하기 어려울 때는 여러 가지 문제가 발생한다. 그 중 하나가 대량생산 기술을 보증할 정도로 판매량이 클 수 있는지 여부이다. 이 경우 반복생산이 필요하며, 반복생산에서는 각각의 기계뿐만 아니라 전 생산라인이 수요에 따라 그 용도가 바뀔 수 있어야 한다.

설비가 제품에 따라 체계적으로 바뀌어야 한다면 일정계획을 수립하기 위해서는 변환시간의 자료가 필요하다. 대부분의 경우 작업준비시간이 수행할 작업에 독립적이라고 가정하는 것은 실제 상황과 맞지 않는다. 예를 들어 다른 향의 음료를 병에 담는 제조과정을 보자. 연이어 생산될 두 향의 종류에 따라 기계의 완전한 세정시간이 달라지게 된다. 이러한 예로 주변 산업에서 흔히 접할 수 있다.

반복적인 작업을 성공적으로 수행하기 위한 방법은 설비배치에 달려있다. CM(Cellular manufacturing)은 Job shop과 Flow shop의 장점을 결합하여 작업준비시간 문제를 해결하기 위한 설비배치 시스템이다. 다음에서는 예를 들어 순서종속적인 작업준비시간과 비용이 CM에 어떻게 영향을 주는지를 설명하려 한다.

2.1 작업준비 비용과 투자

가공해야 할 부품이 A, B 그리고 C 세가지가 있을 때 두가지의 극단적인 방법이 있을 수 있다. 첫째는 하나의 군에서 모두 가공되는 경우이고, 둘째는 세 개의 군에서 각각 가공되는 경우이다. 두 개의 군으로 나누면 하나의 군에서는 두 개의 부품을 가공하고 다른 군에서는 나머지 하나의 부품을 가공하게 된다. 각 군에 할당된 부품들은 준비시간 또는 비용을 최소화 하는 순서로 할당될 수 있다. 설명을 간단하게 하기 위해 세 개의 부품은 A, B, C 순서로 가공(즉, C->A, C->B 또는 B->A순서로 가공될 수 없음)된다고 가정하면 군을 구성하는 경우는 다음 표 1과 같다.

경우	군의 개수	군 1	군 2	군 3
1	3	A	B	C
2	2	A, B	C	
3	2	A, C	B	
4	2	A	B, C	
5	1	A, B, C		

표 1. 세 개의 부품 A, B, C의 군구성

세 개의 부품은 각기 다른 형태이며 두가지 기계를 거쳐 가공된다고 가정하고, 순서종속인 준비비용과 시간이 다음 표 2와 같다고 하자.

S_{il}	A	B	C	T_{il}	A	B	C
A	0	8	5	A	0	10	5
B		0	9	B		0	10
C			0	C			0

표 2. 준비비용과 준비시간

여기에서 S_{il} 과 T_{il} 은 부품 l 이 부품 i 후에 가공될때의 준비비용과 시간을 나타낸다. 이 예에서 부품 B와 C는 A보다 선행될 수 없고, 부품 C는 B보다 선행될수 없기 때문에 S_{il} 과 T_{il} 는 정의되지 않았다. 표 1에 기록된 모든 경우에 대한 준비비용은 표 2의 정보를 이용하여 계산될 수 있다.

각 군에서 가공할 부품의 수요에 따라 각 군에 필요한 기계의 대수가 결정된다. 따라서 기계의 감가 투자비와 준비비용을 고려하여 비용을 줄이기 위한 의사결정이 필요하다. 세가지 부품과 두가지 기계에 대하여 부품당 기계의 가공시간, 기계비용 그리고 기계의 능력이 다음 표 3에 표시되어 있다.

기계유형	가공시간(분)			기계의 1일당 감가비용	기계능력 (분/일)
	A	B	C		
1	8	40	18	15	300
2	17	28	21	10	300
수요량/일	10	10	10		

표 3. 기계 유형별 정보

표 1에 표시된 5가지 경우에 대하여 준비시간과 기계의 감가비용의 합이 표 4에 표시되어 있다. 여기에서 기계대수는 기계능력과 각 부품의 수요량이 만족되도록 각 가공시간을 고려하여 계산된다. 이 표를 보면 세 번째 경우가 가장 경제적인 것임을 알 수 있다. 다음 장에서는 이 문제에 대한 수리적 모형을 제시한다.

경우	기계대수		감가기계비용	준비비용	총비용
	기종 1	기종 2			
1	4	3	90	0	90
2	3	3	75	8	83
3	3	3	75	5	80
4	3	3	75	9	84
5	3	3	75	17	92

표 4. 각 경우에 대한 총비용

3. 수리적 모형

앞장에서 언급한 세가지 부품의 경우에 구성할 수 있는 최대군의 개수를 부품종류의 개수와 같은 3개가 되고, 최소로 1개의 군이 된다. 여기에서 각 군에 있는 다음의 점들을 정의하면 다음과 같다.

- 군 1 *
- 군 2 * *
- 군 3 * * *

각 군에 정의된 점의 개수는 군의 번호와 일치한다. 그래서 k 번째 군에는 k 개의 점을 갖게된다. 위의 6개 점들은 세 가지 부품을 할당하기에 충분하다. 단지 이들 점중 세 개로 부품에 할당될 것이고, 나머지는 할당되지 않을 것이다. 두 가지의 극단적인 경우를 보이면 다음과 같다.

	(Flow shop)	(Job shop)
군 1	A	*
군 2	B *	* *
군 3	C * *	A B C

본 연구에서는 순서종속관계를 위한 변수로 부품 i 가 군 c 에서 부품 j 보다 선행하면 1이고, 그렇지 않으면 0인 X_{ij}^c 를 사용한다. 전 장에서 정의했던 세 가지 부품의 경우 이 변수로 27 가지를 정의해야 하나, 위의 점들의 경우에는 18 가지만 정의하면 된다. 본 연구에서 사용할 기호들은 다음과 같다.

N_{mc} = 군 c 에서의 기계 m 의 대수, $c = 1, 2, \dots, C$, $m = 1, 2, \dots, M$

$Y_{ij}^c = \begin{cases} 1 & \text{부품 } i \text{가 군 } c \text{에서 위치 } j-1 \text{에 할당되고, 부품 } l \text{이 위치 } j \text{에 할당 되는 경우,} \\ & i, j = 1, 2, \dots, N, c \geq 2 \\ 0 & \text{그 외의 경우} \end{cases}$

- t_{im} 기계 m 의 부품 i 가공시간
- d_i 부품 i 의 단위시간당 수요
- C_m 기계 m 의 단위시간당 감가비용
- S_{il} 부품 l 의 가공후 부품 i 의 준비비용
- T_{il} 부품 l 의 가공후 부품 i 의 준비시간
- b_m 단위시간당 기계 m 의 가용시간

이상의 기호를 이용하여 본 연구에서는 다음과 같은 수리적 모형을 제시한다.

$$\text{Min}_{i \neq l} Z = \sum_{m=1}^M \sum_{c=1}^C C_m N_{mc} + \sum_{c=2}^C \sum_{j=1}^C \sum_{i=1}^N \sum_{l=1}^N S_{il} Y_{ij}^c$$

s.b.

$$\sum_{c=1}^C \sum_{j=1}^c X_{ij}^c \leq 1 \quad i = 1, \dots, N \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^N X_{ij}^c \leq 1 \quad c = 1, 2, \dots, N, \quad j = 1 \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^N X_{i,j+1}^c \leq \sum_{i=1}^N X_{ij}^c \quad c = 2, 3, \dots, N, \quad j = 1, 2, \dots, c-1 \quad (3)$$

$$Y_{ij}^c \geq X_{i,j-1}^c + X_{ij}^c - 1 \quad \begin{matrix} i = 2, 3, \dots, N, & l = 1, 2, \dots, N \\ c = 2, 3, \dots, N, & j = 2, 3, \dots, c \end{matrix} \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^c \sum_{i=1}^N d_i t_{im} X_{ij}^c + \sum_{j=1}^c \sum_{i=1}^N \sum_{l=1}^N T_{il} Y_{ij}^c \leq b_m N_{mc} \quad m = 1, 2, \dots, M \quad (5)$$

$$c = 1, 2, \dots, N$$

$$Y_{ij}^c \geq 0, \quad X_{ij}^c = 0,1, \quad N_{mc} \text{는 정수} \quad (6)$$

본 모형의 목적식은 기계의 총 감가비용과 준비비용의 합을 최소화하는 것이다. 제약식 1에서는 각 부품은 하나의 군에서 생산된다는 것을 나타낸다. 제약식 2에서는 각 군의 첫 번째 위치에 최대 하나의 부품이 할당될 수 있음을 나타낸다. 즉, 어떤 두 가지 종류의 부품도 같은 위치에 할당될 수 없다. 제약식 3에서는 한 군에서 $j+1$ 번째 위치는 j 번째 위치가 할당된 후에 할당될 수 있음을 나타낸다. 한 군의 할당되는 부품의 순서는 제약식 4에 의해 결정된다. 부품들이 각 군에 할당되면 제약식 5에서는 각 군의 기계능력이 수요를 만족할 수 있음을 보증한다. 제약식 5의 첫 번째 부분은 가공시간의 합계이고, 두 번째 부분은 순서 종속에 의한 손실의 합계이다. 본 모형의 문제의 크기는 부품의 종류에 의해 결정된다. 본 연구에서는 문제의 크기를 줄이기 위해 유사한 작업준비를 갖는 부품은 같은 부품으로 간주하여 효율적으로 문제를 풀 수 있도록 하였다. 또한 실제로 많은 순서들이 가공과 제품의 제약 때문에 가능하지 않다. 가능하지 않은 순서들을 배제함으로써 계산시간을 절약할 수 있다.

4. 실험 예

한 음료회사에서는 다섯 가지의 다른 향의 원료를 섞어서 병에 담는다. 제품을 생산하기 위해 이 회사에서는 3 종류의 기계가 필요하다. 향에 대한 준비시간은 병에 담겨지는 향에 달려있다. 매운 향의 경우 기계를 세척하고 가성성 물질로 채우는 것이 필요하다. 반면 다른 향들은 매운향보다 적은 노력의 준비가 필요하다. 향을 교체할 때 소요되는 표준비용과 시간이 다음 표 5에 주어져 있다.

S_{il}	콜라(1)	포도(2)	오렌지(3)	맥주(4)	라임(5)
콜라 (1)	0	18	10	10	10
포도 (2)	2	0	4	3	2
오렌지(3)	5	18	0	8	10
맥주 (4)	6	17	7	0	8
석회 (5)	4	12	5	4	0

T_{il}	콜라(1)	포도(2)	오렌지(3)	맥주(4)	라임(5)
콜라 (1)	0	16	17	4	24
포도 (2)	20	0	22	3	24
오렌지(3)	17	20	0	3	22
맥주 (4)	34	26	30	0	32
석회 (5)	21	17	20	3	0

표 5. 준비비용(1,000원)과 준비시간(분)

공정시간과 각 향에 대한 수요, 생산설비능력 그리고 기계의 감가비용등이 표 6에 표시되어 있다. 이 회사는 기계에 투자하는 비용을 최소화하고 준비손실을 줄일수 있는 생산라인의 개수와 혼합될 향의 순서를 결정하려고 한다. 본 연구에서 개발한 모형을 LINDO를 이용하여 풀었다. 해의 결과 3개의 군이 형성되었다. 여기에서 제품 2, 5, 4의 순서로 하나의 군에 할당되었고, 제품 1과 3은 각각 별개의 군에 할당되었다. 각 군에 있는 기계의 대수는 표 7과 같다.

기계종류	가공시간(분)					기계능력 (분/shift)	기계의 감가비용 (1,000원/shift)
	1	2	3	4	5		
m = 1	10	2	7	7	5	100	15
m = 2	8	3	9	3	2	100	10
m = 3	7	4	6	1	8	100	20
수요/shift	10	20	10	30	20		

표 6. 가공시간, 수요, 기계의 능력과 감가비용

군	군 1	군 2	군 3
부 품	1	3	2, 5, 4
기계			
m = 1	1	1	4
m = 2	1	1	3
m = 3	1	1	3

표 7. 최적 군의 개수, 각 군에서의 기계대수

5. 결론

본 연구에서는 준비시간과 비용이 가공순서에 종속적인 제조환경에서 군 구성문제를 다루었다. 순서에 종속적인 준비비용과 새로운 기계의 구입에 투자되는 비용간의 절충을 규정하였고, 수리적으로 모형화하였다. 본 연구에서 개발한 모형은 혼합정수계획(mixed integer program)이다. 본 모형은 한정된 종류의 부품이 고정된 순서로 가공되는 반복적인 제조환경에 적용하기에 매우 이상적이다. 즉, 인쇄산업, 음료회사, 식품 가공회사등에 적용하기 적합한 모형이다.

참고문헌

1. Chevalier, P.W., "Group Technology as a CAD/CAM Integrator in Batch Manufacturing", International Journal of Operations and Production Management, 4(3), 3-12, 1986.
2. Choobineh, F., "A Framework for the Design of Cellular Manufacturing Systems", International Journal of Production Research, 26(7), 1161-1172, 1988.
3. Cui, C. H., and Pan, P., "The Use of Clustering Techniques in Manufacturing Cellular Formation", Proceedings : International Industrial Engineering Conference, Orlando, Florida, pp. 495-500, 1988.
4. Co, H. C., and Arrar, A., "Configuring Cellular Manufacturing Systems", International Journal of Production Research, 26(9), 1511-1522, 1988.
5. Flynn, B. B., "The Effects of Setup Time on Output Capacity in Cellular Manufacturing", International Journal of Production Research, 25(12), 1761-1772, 1987.
6. Foo, F. C., and Wager, J. G., "Set-up Times in Cyclic and Acyclic Group Technology Scheduling Systems", International Journal of Production Research, 21(1), 63-73, 1983.
7. Groover, M. P., "Automation, Production Systems and Computer Aided Manufacturing", New Jersey : Prentice Hall, 1980.
8. Rajamani, D., Singh, N., and Aneja, Y. P., "Integrated Design of Cellular Manufacturing Systems in the Presence of Alternate Process Plans", International Journal of Production Research, 28(8),

1541-1554, 1990.

9. Singh, H., and Foster, J. B., "Production Scheduling with Sequence Dependent Setup Costs", *IE Transactions*, March 43-49, 1987.
10. Srikar, B. N., and Ghosh, S., "A MILP Model for the N-job, M-stage Flow Shop with Sequence Dependent Set-up Times", *International Journal of Production Research*, 24(6), 1459-1474, 1986.
11. Wemmerlov, U., and Hyer, N. L., "Procedures for the Part Family/Machine Group Identification Problem in Cellular Manufacturing", *Journal of Operations Management*, 6(2), 125-147, 1986.
12. Zhou, C., and Egbelu, P. J., "Scheduling in a Manufacturing Shop with Sequence-Dependent Set-Ups", *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 5(1), 73-81, 1989.