

유연생산 시스템에서의 셀 및 부품군 형성 알고리즘

문치웅* 이상용*

An Algorithm for Grouping the Machines & Parts in FMS

Moon Chi ung* · Lee Sang Yong*

Abstract

The group formation problem of the machine and part in Flexible Manufacturing System (FMS) is a very important issue in planning stage of FMS. This paper discusses the problem of machine-part group formation.

The purpose of the study is to develop a heuristic algorithm, which can handle more realistic machine-part group formation problem by considering manufacturing factors. A new similarity coefficient has been developed to solve more realistic machine-part group formation problem. For the purpose of illustrations, a numerical example is presented.

1. 연구 배경 및 목적

셀 및 부품군 형성을 위한 많은 모델들[2, 3, 8, 12]은 0, 1의 2진수(Binary Number)을 이용한 부품 가공정보를 기초로 셀간 이동부품[Exceptional Part]수의 최소화에 중점을 두거나, 몇 개의 유사계수를 이용해 각 유사계수에 따라 얻어지는 결과를 비교함으로써 셀간 이동부품 수가 적은 것을 비교 선택하고 있다. 셀간 이동 부품수의 최소화를 위한 방법들[6, 15]이 제시되고는 있지만, 애로 기계(Bottleneck Machine)의 중복 배치 없이 모든 부품들이 셀안에서의 완전한 가공은 못하고 있는 실정이다.

모델 구성에 있어서도 부품의 가공정보만을 이용함으로써 현실적으로 중요한 생산 관련 요인(Manufacturing Factor)들을 고려하지 못하고 있다. 예를들면 가공작업에서 각 부품의 생산량은 서로 다르며, 또한 이동에 따른 비용도 서로 다르다.

그러므로 보다 현실적인 해결 접근을 위해서는 중요하게 고려되는 생산관련 요인들을 포함한 확장된 방법이 요구된다. 생산 관련 요인들을 고려해 모델화된 것으로는 Kusiak[11]의 연구가 있다.

Kusiak은 자동화 생산시스템(Automated Manufacturing Systems)의 셀 및 부품군 형성문제의 해결을 위해 각 기계의 작업 가능시간, 하나의 셀안에서의 최대 기계수 그리고 자재 운반 장치(Material Handling Carriers)의 이동 횟수에 제

* 건국대학교 산업공학과

약을 부과하고 모델화 했다.

정 성진 등[1]은 하나의 생산 관련 요인을 포함해 모델화하고, 이를 할당문제(Assignment Problem)의 Hungarian Method을 이용해 셀 및 부품군 형성 문제를 해결하고 있다. 또한 부품의 이동비용을 고려해 모델화 한 것으로 Seifoddinie 등[14]과 Harhalakis등[6]의 연구가 있다.

본 논문에서는 각 부품의 생산량을 고려해 셀 및 부품군 형성 문제 해결을 위한 확장된 유사계수를 제시하고, 임계값(Threshold Value) 부과 과정에서 ICM(Inter-Cellular Movement)[14, 15]을 계산하고, 셀간 이동비용(Inter-cellular Moving Cost)과 셀안 이동비용(Intracellular Moving Cost)을 포함하는 보다 현실적인 군 형성 문제의 해결 접근을 위한 발전적 해법(Heuristic Algorithm)을 제시하고자 한다.

2. 문제의 가정

셀 및 부품군 형성을 위한 기본적인 가정은 다음과 같다.

- (1) 부품군의 가공은 가능하다면 하나의 기계 셀 안에서 가공 되도록 한다.
- (2) 한 부품의 가공을 위해 그 부품을 나누어서 가공 작업을 하지 않는다.
- (3) 셀 안의 기계들은 다품종의 제품 가공을 위해 유연성(Flexibility)을 갖는다.
- (4) 기계 셀 구성을 위해 요구되어지는 기계들은 고장이 없다고 가정한다.

3. 유사계수의 계산과 유사행렬 구성

기존 연구들에서 제시된 유사계수(Similarity Coefficient)들은 부품 가공정보만을 입력자료

(Input Data)로 사용하고 있기 때문에 많은 생산 관련 요인들을 포함하고 있는 현실적인 셀 및 부품군 형성을 위해서는 한계를 갖고 있다. 따라서 이러한 한계를 극복하고 보다 현실적인 접근을 위해 생산 관련 요인들을 포함하는 확장된 유사계수를 제시하고자 한다.

제시되어지는 유사계수의 입력자료는 부품 가공 정보(Process Information), 각 부품의 생산량(Production Volume)이 고려된다. 이를 기초로 입력행렬을 구성하고 각 기계쌍(Pair of matrix)의 유사계수를 구한 후 유사행렬을 구성하게 된다.

유사계수 S_{ij} 을 유도하기에 앞서 사용되어지는 기호를 먼저 정의하면 다음과 같다.

i, j = 기계 지수

k = 부품 지수

N = 가공할 전체 부품 수

P_k = k 번째 부품의 생산량

MA_w = 입력행렬의 w 번째 기계 Vector

$$V_{ij} = \begin{cases} 1 : \text{부품 } k \text{의 가공을 위해 두 기계 } i, j \\ \text{을 모두 지칭} \\ 0 : \text{기타} \end{cases}$$

$$W_{ij} = \begin{cases} 1 : \text{부품의 가공을 위해 두 기계 } i, j \text{ 중} \\ \text{적어도 한 번 이상 거침} \\ 0 : \text{기타} \end{cases}$$

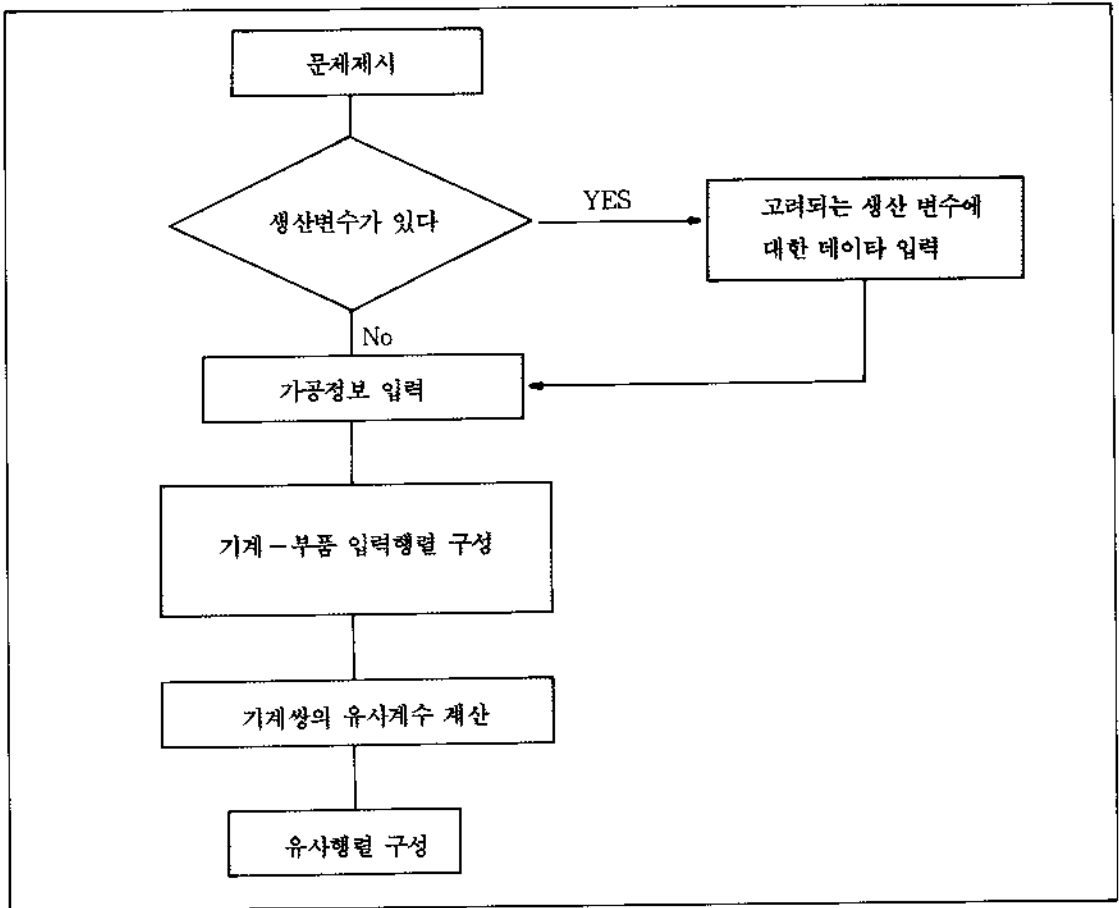
$$A_k = \begin{cases} 1 : V_{ij} = 1 \\ 0 : V_{ij} = 0 \end{cases}$$

$$B_k = \begin{cases} 1 : W_{ij} = 0 \\ 0 : W_{ij} = 0 \end{cases}$$

위의 기호를 이용해 제안된 유사계수 S_{ij} 식을 정의하면 다음과 같다.

$$S_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^N P_k A_k}{\sum_{k=1}^N P_k A_k}$$

위의 유사기수의 계산과 유사행렬 구성은 [그림 1]의 흐름도(Flowchart)에 따라 실시한다.



[그림 1] 유사행렬 구성을 위한 흐름도

4. 셀 및 부품군 형성 알고리즘

제시된 유사계수를 이용해 이동비용을 포함하는 셀 및 부품군 형성 알고리즘은 다음과 같은 절차에 따른다.

- 단계 1. 기계 수, 부품 수, 각 부품의 생산량에 대한 정보를 이용하여 입력행렬을 구성한다.
- 단계 2. 입력행렬에서 각 기계 쌍에 대해 V_k 와 W_k 을 계산한다.
- 단계 3. 기계 쌍에 대한 유사계수 S_{ij} 을 계산하고 기계간 유사행렬을 구성한다.

$$S_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^N P_k A_k}{\sum_{k=1}^N P_k B_k}$$

단계 4. 각 임계값에서 다음의 식에 의해 ICM를 계산하고, 셀간, 셀안 이동비용의 합을 구한후 최소비용을 갖는 임계값에서 셀 및 부품군 형성 결과를 얻는다.

a, b = 셀 지수

$$V_{ak} = \begin{cases} 1 & \sum W_{ak} \neq 0 \\ 0 & \text{그외} \end{cases}$$

$$\partial(V_{ak}, V_{bk}) = \begin{cases} 1 & V_{ak} = V_{bk} = 1 \\ 0 & \text{그외} \end{cases}$$

에서

$$ICM_{ab} = \sum_{k=1}^n$$

단계 5. 만약, 이동비용이 무시된다면 셀간 이동 부품의 수가 최소인 임계값에서 셀 및 부품군을 형성한다.

균 형성 효율 =

$$\frac{\text{부품의 총 가공수} - \text{셀간 이동부품의 가공수}}{\text{부품의 총 가공수}}$$

5. 알고리즘의 평가

본 논문에서 제시된 알고리즘의 평가는 다음의 두 방법에 의한다.

(1) 최종 결과에 대해 셀간 이동 부품수를 비교한다.

(2) 다음의 수식에 의해 균 형성 효율(Part Family Efficiency)을 계산한 후 기존의 알고리즘과 효율을 비교한다.

6. 적용 사례

2가지의 사례 적용을 통해, 본 논문에서 제시된 해법의 셀 및 부품군 형성 과정을 설명 하겠다.

(1) 부품의 생산량이 서로 다를 때의 셀 및 부품군 형성

부품의 생산량이 고려될때 셀 및 부품군 형성 과정을 <표 1>의 입력행렬을 이용하여 알고리즘을 적용하여 보겠다.

<표 1> 기계-부품 입력행렬

[부품 생산량	3	1	1	1	4	2	2	1	1	2	2	1	1	1	3]
기계/부품	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
M1		1					1				1	1			
M2					1				1	1			1		1
M3	1		1			1									1
M4	1		1	1		1									1
M5								1	1	1			1		1
M6		1					1				1	1			
M7		1									1	1			
M8	1		1	1							1				1
M9			1	1			1								1
M10							1	1	1			1			1

<표 1>의 입력행렬을 이용하여 기계 쌍의 유사 계수를 계산하고 유사행렬을 구성하면 <표 2>와 같다. 이때 유사계수 S_k 에서 P_k 는 부품 K에 부품

$P_k = [3,1,1,1,4,2,2,1,1,2,2,1,1,1,3]$ 이다. [그림 2]에서 최종결과를 나타내었으며, $ICM = 2$ 이다. 여기서 부품 7과 11은 셀간 이동부품을 나타낸다.

〈표 2〉 기계쌍의 유사행렬

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
M1	—									
M2	0	—								
M3	0	0	—							
M4	0	0	0.88	—						
M5	0	0.58	0	0	—					
M6	1	0	0	0	0	—				
M7	0.67	0	0	0	0	0.67	—			
M8	0.17	0	0.5	0.6	0	0.17	0.2	—		
M9	0.22	0	0.2	0.3	0	0	0	0.3	—	
M10	0	0.58	0	0	1	0	0	0	0	—

M/P	2	7	11	12	5	8	9	10	13	15	1	3	4	6	14
M1	1	1	1	1											
M6	1	1	1	1											
M7	1		1	1											
M2					1	1	1	1	1						
M5						1	1	1	1	1					
M10						1	1	1	1	1					
M3											1	1		1	1
M4											1	1	1	1	1
M8			1								1	1	1		1
M9		1										1	1		1

[그림 2] 셀 및 부품군 형성 최종 결과

(2) 부품의 생산량과 이동비용이 고려될 때의 셀 및 부품군 형성

앞 (1)의 〈표 1〉의 기계-부품 입력행렬을 이용해 단위 부품의 셀간 이동비용과 셀안 이동비용이 고려됐을 때의 셀 및 부품군 형성 과정을 적용해 보기로 하겠다.

만약 각 부품의 단위당 셀간 이동비용이 3이고 셀안 이동비용이 1일때 총 비용은 임계값에 따라 다르게 나타난다. 이러한 경우의 셀 및 부품군형성 최종결과는 총비용을 최소화하는 임계값에서 구해진다.

각 부품의 생산량 $P_k = [3, 1, 1, 1, 4, 2, 2, 1, 1,$

2, 2, 1, 1, 1, 3]에 대해 임계값이 0.85, 0.67, 0.58, 0.3에서의 셀 구성, ICM 그리고 총 비용은 아래의 <표 3>, <표 4>, <표 5>, <표 6>과 같이 얻어진다.

<표 3> 임계값=0.85

기계 셀 번호	셀 구성	기계
1		1, 6
2		7
3		5, 10
4		2
5		3, 4
6		8
7		9
ICM	=	19
총 이동 비용	=	115

<표 4> 임계값=0.67

기계 셀 번호	셀 구성	기계
1		1, 6, 7
2		5, 10
3		2
4		3, 4
5		8
6		9
ICM	=	16
총 이동 비용	=	86

<표 5> 임계값=0.58

기계 셀 번호	셀 구성	기계
1		1, 6, 7
2		2, 5, 10
3		3, 4, 8
4		9
ICM	=	5
총 이동 비용	=	41

<표 6> 임계값=0.3

기계 셀 번호	셀 구성	기계
1		1, 6, 7
2		2, 5, 10
3		3, 4, 8, 9
ICM	=	2
총 이동 비용	=	32

7. 결 론

본 논문의 알고리즘은 셀 및 부품군 형성을 위한 휴리스틱 해법으로 최적의 결과보다는 만족할 만한 결과를 보여주고 있다. 이러한 해법의 평가를 위한 절대적인 방법은 없으므로, 기존의 연구 결과들과 셀간 이동 부품수와 군 형성 효율을 비교 분석하였다. 제시된 유사계수에서 P_k 가 1일때 즉, 생산 관련 요인을 고려치 않을 때와, 하나의 생산 관련 요인을 고려했을 때에 대해 실시하였다. 결과가 <표 7>과 <표 8>에 요약되어 있다.

표에서 임계값이 0.3일때 최소 비용이 발생하므로, 이때의 셀 및 부품군 형성 최종 결과는 [그림 2]와 같게 된다.

<표 7>과 <표 8>에서 알 수 있듯이 본 논문의 해법은 기존 연구의 결과와 비교해서 모두 최선의 결과를 보이며, 문제의 적용에 있어서도 유연함을 알 수 있다.

ROC 해법이 작은 규모의 문제에 대해 간단하고 효과적으로 셀 및 부품군을 형성할 수 있지만, 생산 관련 요인들을 전혀 고려치 못하고 있으며, 정성진 등의 연구에서는 하나의 생산 관련 요인만을 고려하고 있다.

이에 반해, 본 논문의 해법은 사례 1, 2의 적용을 통해 알 수 있듯이 보다 많은 생산관련 요인들

을 고려해 현실성있는 접근을 시도하고 있다. 또한 Kusiak 등의 해법은 계산 과정이 쉽기는 하나, 특정 셀의 크기가 너무 커지므로 인해 군 형성의 비효율성을 내포하며, 군 형성과 관련해 기계 Loading을 수행할 때 특정 기계에 많은 부하가 걸리게 되는 문제점이 있다. 그러나 본 논문의 해법은 안정적인 결과를 보여주고 있다.

이러한 특징들에 비해 본 논문의 해법은 유사계수 계산에 다소 많은 계산량이 필요한 면이 있으며, 셀간 이동 부품의 처리 문제도 고려되지 않았다.

앞으로 위의 문제를 해결하며, 생산 계획의 계층적 구조하에서 통합 모델화를 위한 연구가 요구된다.

〈표 7〉 기존 해법과의 비교 분석 결과(생산 관련 요인 고려 안함)

해 법	부 품 수	기계대수	기계셀수	셀간이동 부 품 수	군 형성 효율
ROC해법[8]	20	8	3	13	0.8571
MODROC[3]	20	8	3	9	0.9011
본 논문의 해법	20	8	3	9	0.9011
ROC해법	6	5	2	2	0.8571
본 논문의 해법	6	5	2	2	0.8571

〈표 8〉 하나의 생산 관련 요인 고려시 비교 분석

해 법	부 품 수	기계대수	기계셀수	셀간이동 부 품 수	군 형성 효율
정성진등의 해법[18]	6	5	2	2	0.8571
본 논문의 해법	6	5	2	2	0.8571
Kusiak[10]	11	7	2	7	0.6956
본 논문의 해법	11	7	3	6	0.7391

참 고 문 헌

[1] 정성진, 박진우, 김재윤, "FMS의 설계 및 운용을 위한 계층 부품 그룹 형성에 관한 연구" 경영과학, 제4권, 1987, pp. 76~83.
 [2] Chan, H. M, And Milner, D. A., "Direct Clustering Algorithm For Group Formation In Cellular Manufacturing," Journal of Manufacturing System, Vjol. 1, NO. 2, 1982., pp. 65~75.

[3] Chandrasekharan, M. P. and Rajagopalan, R., "MODROG : An Extension of ROC For Group Technology," IJPR, Vol. 24, No. 5, 1986, pp. 1221~1233.
 [4] Chobineh, F., "A Framework for Design of Cellular Manufacturing systems," IJPR, Vol. 26, NO. 7, 1988. pp. 1161~1172.
 [5] Greene, T, J. And Sadowski, R. R., "A Review of Cellular Manufacturing Assumption, Advantages And Desing Techniques," Journal

of Operations Management, Vol. 4, No. s, 1984. pp. 85~97.

[6] Harhalakis, G., Nagi, R. & Proth, J. M. "An efficient heuristic in manufacturing cell formation for group technology applications," IJPR, Vol. 28, No. 1, pp. 185~198.

[7] King, J. R., "Machine-component Grouping In Production Flow Analysis : An Approach Using ROC Algorithm," IJPR, Vpl. 18, No. 2, 1980. pp. 117.133.

[8] King, J. R. And Nakornchai, V., "Machine-Component Group Formation In Grop Technology : Review And Extension," IJPR, Vol. 20, No. 2, 1982, pp, 117~133.

[9] Kumar, K. R. And Kusiak, A. And Vannelli, A., "Grouping of Parts And Components in FMS" EJOR, Vol. 3, 1985, pp. 387~397.

[10] Kusiak, A. "The Part Families Problem In FMS," Annals of Operations Research, Vol. 26, No. 5, 1988, pp. 887~300,

[11] Kusiak, A., "EXGT-S : A Knowledge

Based System For Group Technology," IJPR, Vol. 26, NO. 5, 1988, pp. 887~904.

[12] Logendran, R. And West, T. M., "A Machine-Part Based Grouping algorithm In Celular Manufacturing," Computers & I. E, Vol. 19, No. 1-4, 1990. pp. 57~61.

[13] Seifoddini, H. and Wolfe, P., "Application of the Similarity Coefficient Method in Group Technology," IEE Transactions, Vol.18, No. 3, 1986, pp. 271~277.

[14] Seifoddini, H. and Wolfe, P. M., "Selection of a Threshold Value Based on Material Handling cost in Machine-Component Grouping," IIE Transactions, Vol. 19, No. 3, 1987, pp. 226~270.

[15] Seifoddini, H., "A note on the similarity coefficient method and the problem of improper machine assignment in group technology applications," IJPR, 1989, No. 7, pp. 1161~1165.