

중복설계와 하청을 고려한 셀 및 부품군 형성 절차 A Machine Cell and Part Family Formation Procedure in Considering the Duplication and Subcontracting

문 치 웅*
김 효 남*
이 상 용*

ABSTRACT

This paper propose a procedure to form the cell and part family using both of similarity coefficient method and mathematical programming in order to slove the exceptional part and bottleneck machine problems.

In the procedure proposed by this paper, the machine duplication and subcontracting are considered to slove the bottleneck machine and intercellular moving part problems. An example is given to show how this procedure works.

서 론

G. T 개념의 생산체계의 응용을 Cellular 생산 시스템이라 한다. Cellular 생산 시스템

은 최근의 많은 생산 시스템 구성에서 생산성 향상을 위한 가장 중요한 요인중의 하나로 여겨지고 있다 [17]. 이러한 시스템 구성의 기

* 건국대학교 산업공학과

본 개념은 작업하고자 하는 부품들을 군으로 묶고 (part family), 그 부품군의 가공을 위해 기계들을 셀로 구성 (machine cell)하는 것이다.

Cellular 생산 시스템의 구조적 설계 방법들은 Boctor [2]와 Kusiak [8]의 논문에 소개되고 있으며, 이중 유사계수법 (similarity coefficient method)은 생산 관련요인 (manufacturing factor)의 고려가 쉽고 셀 구성에 많은 유연성을 내포하고 있다.

유사계수법에 의한 Cellular 생산 시스템의 구조적 설계에서 가장 중요한 목표는 한 기계 셀 내에서 하나 또는 그 이상의 부품군을 완전히 가공하고자 하는 것이다. 그러나 현실적으로 셀간 이동부품과 애로기계를 발생 시킨다.

그러므로 생산성과 관련한 효율적인 시스템의 구성을 위해 셀간 이동부품과 애로기계 처리를 위한 적절한 방법이 모색되어야 한다.

Seifoddini 등 [16]은 애로기계의 중복설계를 통해, 그리고 Kumar 등 [6]과 Kusiak 등 [9]의 모델에서는 하청 (subcontracting)을 이용하여 셀간 이동부품과 애로기계 문제를 해결하고 있다.

또한 Seifoddini [14]는 셀간 이동비용과 애로기계의 중복 배치비용의 경제성 분석방법 모델을, 그리고 Boctor [2]는 셀 크기 제약하에서 셀간 이동 부품수의 최소화를 위한 수학 모델을 제시하고 있다.

Logendran [10]은 부품의 가공순서와 예산의 제약하에서 애로기계의 중복설계를 위한 모델을 제시하였다. Shafer 등 [13]은 셀간 이동 허용비용, 중복설계비용 그리고 하청비용의 최소화를 위한 모델을 제시하였다.

위의 연구들은 애로기계의 중복설계에 대한 추가 비용의 발생을 고려치 않거나, 고려하더라도 최종결과에서 여전히 셀간 이동부품이 발

생하고 있다. 또한 셀 크기를 제약식으로 처리함으로써 결과적으로 모델의 유연성을 제한하며, 수학 모델들인 경우 기본적으로 초기 셀 및 부품군이 형성되었다고 가정하고 있다. 따라서 이러한 한계를 극복하며, 생산 시스템 구성에 보다 효과적인 셀 구성 방법이 요구되어진다.

본 논문은 유사계수에 의한 셀 및 부품군 형성시 발생할 수 있는 셀간 이동부품과 애로기계의 처리를 위해 (1) 기계 중복배치와 하청을 고려한 상호 독립적인 셀 구성과, (2) 이에 따른 추가 비용 발생 최소화를 위한 해법의 제시에 있다.

2. 문제 제시

유사계수법에 의한 셀 및 부품군 형성 방법은 기계간 유사계수를 계산하고, 임계값 (threshold value)에 따라 셀 및 부품군을 형성한다. 이 해법의 특징은 생산 관련요인 (manufacturing factor)의 포함과 애로기계 (bottleneck machine)의 처리에 효과적이며, 대안적인 셀 구성 결과를 얻을 수 있다는 데 있다 [1, 14, 15].

기계-부품 입력행렬에서 기계쌍의 유사계수에 의해 [그림 1]과 같은 셀 구성의 최초의 대안을 얻을 수 있다. 여기서 M2, M4, M5, M8, M9는 애로기계, P1, P2, P5, P6, P7, P11은 셀간 이동부품을 나타낸다.

셀간 이동부품의 발생은,

- (1) 부품군의 가공을 위해 필요한 기계가 셀 안에 포함되지 않았을 때,
- (2) 부품군의 요구 생산량이 특정 셀의 기계 용량을 초과할 때 발생한다.

MVP	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	1				1	
M5	1					1	1	1	1	1	1				
M10						1	1	1	1	1		1			
M3											1	1		1	1
M4					1						1	1	1	1	1
M8			1								1	1	1		1
M9		1										1	1		1

[그림 1] 셀간 이동부품과 애로기계의 발생

이러한 셀간 이동부품의 처리를 위한 방법으로는,

- (1) 셀간 이동부품의 재설계나 가공경로의 변경
- (2) 생산공정의 변경
- (3) 애로기계의 중복배치
- (4) 셀간 이동부품에 대한 독자적인 셀 구성
- (5) 하청이용
- (6) 셀간 이동 허용

등이 있다 [3, 13, 14].

그러므로 셀 구성 결과 발생할 수 있는 셀간 이동부품과 애로기계 발생 문제에 대해 상호 독립적인 셀 구성과, 이에 따른 추가비용 발생의 최소화를 위한 접근을 시도할 필요가 있다. 이를 위해 우선, 기계상의 유사계수를 구하고 임계값에 따라 최초의 기계 셀을 구성한다. 이어서 기계 i 에 대한 구입비용, set-up비용, 가공능력, 부품 k 에 대한 공정시간등과, 부품 k 의 생산량, 단위당 하청비용을 이용해 상호 독립적인 셀 구성을 위해 필요한 기계형(type)과 댓수, 셀간 이동부품에 대한 하청량 결정을 위한 혼합정수계획모형을 만들고, 컴퓨터 소프트웨어 LINDO를 사용하여 제안된 모델의 최적해를 구한다.

3. 모델구성

3-1. 유사계수

i, j = 기계번호

k = 부품번호

m = cell번호

N = 전체 부품수

$A_{ij} = 1$: 부품 k 의 가공을 위해 두 기계 i, j 필요

0 : 그외

$B_k = 1$: 부품 k 의 가공을 위해 두 기계 i, j 중 적어도 하나가 필요

0 : 그외

라고 기호를 정의하면, 기계-부품 입력정보에 의해 구해지는 셀 및 부품군 형성을 위한 유사계수 S_{ij} 는 다음과 같다.

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

3-2. 중복설계 비용

Y_{im} = cell m 에 중복배치될 기계 i 의 댓수

S_i = 기계 i 의 set up 비용

U_i = 기계 i 에 대한 단위당 구입비

라고 하면, 애로기계의 중복설계 비용 Dup_{im} 은 다음과 같으며, 이것을 최소화 하여야 한다.

$$Dup_{im} = \sum_m \sum_i Y_{im} S_i U_i$$

3-3. 하청비용

N_k = 부품 k 의 하청 단위 수

I_k = 부품 k 의 단위당 하청비

라고 하면, 셀간 이동부품 k 의 하청비용 Sub_k 는 다음과 같으며, 이것을 최소화 하여야 한다.

$$Sub_k = \sum_k N_k I_k$$

3-4. 제약식

C_i = 계획기간의 기계 i 의 가공능력

M_{ki} = 부품 k 의 생산에 필요한 기계 i 의 수

P_k = 부품 k 의 생산을 위한 기계 i 의 공정 시간

P_k = 부품 k 의 생산량

IC_k = 셀간이동 부품 k

라고 하면, 특정셀에 포함될 기계수와 하청 부품량 결정을 위한 혼합정수계획모델의 제약식은 다음과 같다.

$$N_k + C_i M_{ki} / P_{ki} = P_k, \forall IC_k$$

$$\sum M_{ki} \leq Y_{im}, \forall Y_{im} \text{ integer}$$

3-5. 알고리즘

단계 1. 가공정보를 이용하여 입력행렬을 구성한다.

단계 2. 다음식에 의거 S_{ij} 를 계산한다.

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

단계 3. 임계값을 부과하고 초기셀 및 부품군을 형성한다.

단계 4. 임계값에 대한 셀 구성 결과에서 셀간이동 부품과 애로기계를 구분하고, 계수들을 이용해 다음의 혼합정수계획 모델을 구성하고, 이의 최적해를 구한다.

$$\text{Min ; } Dup_{im} + Sub_k$$

s. t. ;

$$N_k + C_i M_{ki} / P_{ki} = P_k, \forall IC_k$$

$$\sum M_{ki} \leq Y_{im}, \forall Y_{im} \text{ integer}$$

단계 5. 단계 4의 각 임계값에서 추가비용을 계산하고, 최소 비용을 갖는 임계값을 결정한다.

단계 6. 애로기계와 셀간 이동부품에 대해 중복설계하고 하청부품과 하청량을 결정한다.

단계 7. 최종 셀 및 부품군을 형성한다.

4. 수치예

<표 1>의 기계-부품 입력 정보 [15]을 이용해 해법의 절차를 설명 하겠다.

<표 2>의 자료를 기초로 단계 4에 따라 혼합 정수계획 모델로 정식화하고 최적해를 구한다. [그림 2]는 임계값이 0.17인 경우의 초기 셀

및 부품군 형성 결과이며, <표 3>은 애로기계와 셀간 이동부품에 대한 정보이다.

<표 3> 애로기계와 셀간 이동부품에 대한 정보

MP	i	2	3	6	7	9	11	12	13	17	20	24	27	28	31	32	34	37	38	39	40	42	U _i (선)	S _i	C _i (시)
M3					2.7											2.7							77	27	3000
M6		2.5			2.5				2.5	2.5						2.5		2.5			2.5	2.5	75	27	3500
M7		2.4																					70	27	3500
M8			3.0	3.0							3.0	3.0	3.0					3.0	3.0				72	27	3500
M10		3.2						3.2						3.2						3.2			85	27	3500
M11					3.0					3.0													81	27	3000
M12						2.6																	79	27	3500
M14		4.0	4.0																				83	27	3500
P _k (선)	40	50	30	30	30	45	40	27	44	18	15	45	40	35	27	10	18	20	27	26	36	45			
I _k	8	7	5	6	5	4	2	7	5	4	6	4	3	4	9	4	8	9	5	5	2	4			

[그림 2]와 <표 3>을 기초로 정식화된 혼합정수계획 모델의 최적해의 결과를 정리하면 <표 4>와 같다. [그림 3]은 <표 4>의 결과를 나타낸 것이다. 여기서 * 은 부분하청 즉, 전체 생산량중 일부만이 하청을 이용함을 의미한다. 마찬가지로 임계값 0.33, 0.25에 대해서도 혼합

정수계획모델을 만들어 해를 구할 수 있다. 그 결과를 <표 5>에 정리하였다.

<표 5>의 결과에 의해 단계 6과 단계 7을 실행하면 <표 4>와 [그림 3]과 같은 결과가 얻어지며, 이는 셀간 이동부품과 애로기계의 처리를 위해 (1) 상호 독립적인 셀 구성과, (2) 이에 따

<표 4> 임계값 0.17에서의 실행결과

중복배치기계와 대수		목적 함수값 : 2851875			
		하청부품과 하청량 결정			
Y ₆₁	1	N1	40000	N24	5000 *
Y ₆₄	1	N2	50000	N27	40000
Y ₈₁	1	N6	30000	N28	12000 *
Y ₈₅	1	N7	30000	N34	18000
Y ₁₀₂	1	N11	40000	N39	14375 *
Y ₁₁₂	1	N17	18000	N40	27000 *

* 부분하청

REFERENCES

1. 문치웅, 이상용 (1992), “유연생산 시스템에서의 셀 및 부품군 형성 알고리즘”, 대한산업공학회지, Vol. 18, No. 2, 123-130.
2. Boctor, F. F. (1991), “*A Linear Formulation of the Machine-part Cell Formation Problem*”, IJPR, Vol. 29, No. 2, 343-356.
3. Chan, H. M. and Milner, D. A. (1982), “*DCA for Group Formation in Cellular Manufacturing*”, Journal of Manufacturing Systems, Vol. 1, 65-74.
4. Gunasingh, K. R. and Lashkari, R. S. (1989), “*Machine Grouping Problem in Cellular Manufacturing Systems - an Integer Programming Approach*”, IJPR, Vol. 27, No. 9, 1465-1473.
5. Jain, A. K., Kasilingam, K. and Bhole, S. D. (1990), “*Cell Formation in FMS under Resource Constraints*”, Computers in IE., Vol. 19, No. 1-4, 437-441.
6. Kumar, K. R. and Vannelli, A. (1987), “*Strategic Subcontracting for Efficient Disaggregated Manufacturing*”, IJPR, Vol. 25, 1715-1728.
7. Kumar, K. R., and Vannelli, A. (1986), “*A Method for Finding Minimal Bottleneck Cells for Grouping Part-machine Families*”, IJPR, Vol. 24, No. 2, 387-400.
8. Kusiak, A. (1990), Intelligent Manufacturing Systems, Prentice-Hall, New Jersey.
9. Kusiak, A., and Chow, W. S. (1987), “*Efficient Solving of the G. T. Problem*”, Journal of Manufacturing systems, Vol.6, No. 6, 117-124.
10. Logendran, R. (1992), “*A Model for Duplicating Bottleneck Machines in the Presence of Budgetary Limitation in Cellular Manufacturing*”, IJPR, Vol. 30, No. 3, 683-694.
11. Nancy, L. H. and Urban, W. (1989), “*Cellular Manufacturing in the US Industry : a Survey of Users*”, IJPR, Vol. 27, No. 9, 1511-1530.
12. Rasaratnam, L. (1990), “*A Workload Based Model for Minimize Total Intercell and Intracell Moves in Cellular Manufacturing*”, IJPR, Vol. 28, No. 5, 913-925.
13. Shafer, S. M., Kern, G. M. and Wei, J. C. (1992), “*A Mathematical Programming Approach for dealing with Exceptional Elements in Cellular Manufacturing*”, IJPR, Vol. 30, No. 5, 1029-1036.
14. Seifoddini, H. (1989), “*Duplication Process in Machine Cells Formation in G. T*”, IIE, Vol. 21, No. 4, 382-388.
15. Seifoddini, H. and Wolfe, P. H. (1987), “*Selection of a Threshold Value Based on Material Handling Cost in Machine-component Grouping*”, IIE., Vol. 19, No. 3, 266-270.
16. Seifoddini, H. and Wolfe, P. M. (1986), “*Application of the SCM in G. T*”, IIE. Trans., 18, 271-277.
17. Wemmerlov, U. and Hyer, N. I. (1987), “*Research Issues in Cellular Manufacturing*”, IJPR, Vol. 25, No. 3, 413-431.