

셀형 제조시스템설계를 위한
Machine-Part의 그룹형성에 관한 연구

**A Study on Machine-Part Group Formation for Designing
the Cellular Manufacturing Systems**

김성집*, 김낙현*,
Seong-Jip Kim* , Nak-Hyun Kim*

Abstract

This study is concerned with a heuristic algorithm that can make effectively the machine-part grouping in early stage for designing cellular manufacturing systems. By enhancing the Close Neighbour Algorithm(CNA), the proposed algorithm is concerned with making the machine-part grouping that can maximize machine utilization and minimize part's intercell movement by reducing exceptional elements.

The algorithm is tested against existing algorithms in solving several machine-part initial matrices extracted from references and obtained by using random number. Test results shows that a solution matrix of the algorithm has superior grouping efficiency to Close Neighbour Algorithm.

* 한양대학교 산업공학과

1. 서론

셀형-제조(Cellular Manufacturing)는 제조에 대한 그룹 테크놀로지의 응용으로서, 가공을 필요로 하는 부품들을 생산할 수 있는 적절한 기계그룹을 형성하여 소량의 여러종류의 부품을 흐름작업 형식으로 가공할 수 있도록 하는데 목적이 있으며 서로 다른 기계들은 한 부품군(part-family), 혹은 그 이상의 부품군을 가공하기 위한 하나의 기계셀(machine-cell)로 배치된다[13]. 이러한 셀형-제조에서의 독립된 기계셀과 부품군의 형성은 애로기계(bottleneck machine)와 예외원소(exceptional element)의 존재로 인하여 실제로 거의 불가능하다. 병목기계는 하나의 부품군뿐만 아니라 다른 부품군에서도 그 기계의 가공이 필요로 하는 상황에서 발생하며, 예외원소는 부품이 하나의 기계셀에서 다른 기계셀로 이동하여 가공을 받는 데서 기인한다[14]. 그러므로 셀간의 이동을 최소화하는 적절한 기계-부품 그룹형성(machine-part group formation)이 필요하다. 적절한 기계-그룹의 형성은 다양하고 무질서한 가공상황을 주어진 정보를 이용하여 기계들은 셀로, 부품들은 군으로 분류하여 형성된 어느 부품군이 하나의 기계셀에서 완전하게 가공되도록 하는 것이며 부품의 셀간 이동(Inter-cell movement)과 셀내 이동(Intra-cell movement)으로 발생하는 총 운반시간 및 비용(total material handling time and cost)의 최소화와 셀내 기계들의 이용도(utilization) 최대화, 기계중복(machine duplication)과 예외원소의 수를 최소화시키는 데 목적을 두고 설계되어야 한다. 본 연구의 목적은 부품의 셀간 이동을 최소화시키고 기계 이용도를 최대화시키는 기계와 부품을 그룹핑하는 데 있다. 이를 위하여 기존해법의 문제점을 개선하는 알고리즘을 제시하고 수치예제를 들어 설명한다.

효율적인 셀을 형성하기 위한 기존연구들은 크게 두 가지로 나눌 수 있다[1]. 그들 중 하나는 부품의 특성을 기초로 하는 부품분류 및 코딩 시스템(classification and coding system) 방식으로 부품의 형상, 크기, 가공기술등의 유사성을 가진 부품들을 분석하여 부품군으로 분류하는 방법이다. 다른 하나는 부품이 생산되는 방법이나 정보에 기초를 두는 연구로서 기계셀의 형성에 중점을 둔 연구, 부품군의 형성에 중점을 둔 연구 그리고 기계셀과 부품군을 동시에 형성하기 위한 연구등으로 다시 분류할 수 있다. 기계셀과 부품군을 형성하는 연구중에서 기계-부품 초기행렬을 재배열하여 셀을 형성하는 여러 기법들이 제안되었다. McCormick 등[13]은 입력행렬의 행과 열의 요소들을 인접요소간 결합력(bond energy)이 최대화되도록 행과 열을 재배치하여 그룹화하는 Bond Energy Algorithm(BEA)을 개발하였으며, King[8]은 초기행렬에서 각 요소에 2진 가중치(binary weight)를 부여하여 10진수로 변환하고 이 값으로 순위(rank order)를 결정하여 그룹화에 이용하는 Rank Order Clustering(ROC)해법을 개발하였다. 그리고 King과 Nakornchai[9]는 ROC해법의 계산량을 개선하여 ROC2해법을 제안하였으며, Chan과 Milner[4]는 기계에서 가공되는 부품수를 이용하여 행과 열을 단계적으로 조작하여 그룹을 형성하는 Direct Clustering Algorithm을 개발하였다. 또한 Kusiak[10]은 초기행렬의 행과 열에 횡선과 종선을 작성하고 이들이 교차하는 특성에 의거하여 그룹을 형성하였고 예외원소의 유무에 따라 두가지 해법을 제시하였으며, Kusiak과 Chow[11]는 예외원소가 있는 경우에 비용요소를 고려하면서 기계셀의 기계대수를 제한하는 해법을 제시하였다. 최근, Boe와 Chun[2]은 병목기계와 예외원소에 관계없이 한 번의 수행으로 최종행렬을 구하기 위한 Close Neighbour Algorithm(CNA)을 제안하였다. 이 해법은 두 기계가 어느 부품에 대하여 공통으로 가공을 하는지의 여부를 조사하여 각 기계간의 긴밀도(closeness)를 계산한다. 그리고 주어진 초기행렬의 기계행(machine-row)을 최대의 긴밀도를 갖는 기계순으로 배열하여 기계셀을 구성하고 이에 따라 부품을 할당하여 부품군을 형성한다.

본 연구는 CNA가 BEA나 ROC해법등 기존해법들이 좋은 해를 제공하지만 예외원소를 많이 발생시키는 점을 개선하여 그룹핑 효율(grouping efficiency)을 높일 수 있는 발견적 알고리즘에 관한 것이다.

2. 기호 및 용어 정의

i, j : 기계 지수 ($i, j = 1, 2, \dots, m$)

p : 부품 지수 ($p = 1, 2, \dots, n$)

v : 기계행 순위 ($v = 1, 2, \dots, m$)

x, y : 독립 기계그룹내 기계 지수 ($x, y = 1, 2, \dots, k$)

u : 독립 기계그룹내 기계행 순위 ($u = 1, 2, \dots, k$)

$X_{x,u} = 1$: 독립 기계그룹내 기계 x 가 u 행을 차지할 경우

$= 0$: 다른 경우

$A : [a_{ip}]_{m \times n}$ 으로 구성된 초기 행렬

$[a_{ip}] = 1$: 부품 p 가 기계 i 에서 가공되는 경우

$= 0$: 다른 경우

$B : [b_{ij}]_{m \times m}$ 으로 구성된 긴밀도(Closeness) 행렬 ($i \neq j$)

$$b_{ij} = \sum_{p=1}^n a_{ip} * a_{jp}$$

U_i : 행렬 B 에서 각 기계행이 갖는 0의 개수

S_i : 행렬 B 에서 각 기계행이 갖는 긴밀도의 합

$ROW(v)$: 행렬 A 에서의 기계행의 순서배열 집합

$ROW(u)$: 독립 기계그룹내에서의 기계행의 순서배열 집합

$MUIN - M$: 상호 독립기계 집합

$INSERT - M$: 복수의 독립기계에 대하여 긴밀도가 같기 때문에 추후에 그룹핑할 기계집합

3. 발견적 알고리즘

3.1 Close Neighbour Algorithm

이 해법은 두 기계가 어느 부품에 대하여 공통으로 가공을 하는지의 여부를 조사하여 각 기계간의 긴밀도(Closeness)를 계산한다. 그리고 주어진 초기행렬의 기계행(Machine-row)을 최대의 긴밀도를 갖는 기계순으로 배열하여 기계셀을 구성하고 이에 따라 부품을 할당하여 부품군을 형성한다. 즉, CNA는 각 기계간 긴밀도를 기초로 기계행을 재배열하여 기계셀을 구성한다. 이 때 긴밀도는 두 기계가 어느 부품에 대하여 공통으로 가공하는 가에 대한 것이다. CNA의 문제점은 항상 어느 행은 바로 이전에 선정된 기계를 척도로 선택되므로 이것이 다른 기계셀에 선택되어 예외원소를 줄일수 있는 기회를 잃는다. 그러므로 보다 효율적인 그룹을 형성하기 위하여 적절한 기계행 정렬(machine-row sorting)이 요구된다. 이 해법은 전/후반부로 이루어지는 데, 전반부는 행(기계)을 그룹핑하는 것이며 후반부는 이에 따른 열(부품)의 할당이다.

3.2 발견적 알고리즘

[단계 0] 초기화

$$MUIN - M = \ominus$$

$$INSERT - M = \ominus$$

[단계 1] 행렬 B 의 구성과 U_i 를 계산한다.

[단계 2] $MAX[U_i]$ 인 기계 i 를 집합 $MUIN - M$ 에 삽입한다. U_i 가 같으면 번호가 작은 기계를 선정한다.

[단계 3] 집합 $MUIN - M$ 의 구성

[단계 3-1] 집합 $MUIN - M$ 의 기계들과 긴밀도가 0인 기계가 있으면 [단계 3-2]를 수행하고, 없으면 [단계 4]로 간다.

[단계 3-2] 긴밀도가 0인 기계가 하나이면 [단계 3-3]를 수행하고, 그외의 경우는 [단계 3-4]로 간다.

[단계 3-3] 선정된 기계를 집합 $MUIN - M$ 에 삽입하고 [단계 3-1]로 간다.

[단계 3-4] U_i 의 값이 최대인 기계를 선정하고 U_i 값이 같으면 번호가 작은 기계를 선정한다. 그리고

[단계 3-2]로 간다.

[단계 4] 독립 기계그룹의 구성

나머지기계 각각에 대해 집합 $MUIN - M$ 내의 기계들과의 긴밀도를 계산하여 가장 높은 긴밀도를 갖는 집합 $MUIN - M$ 안의 기계와 그룹핑한다. 긴밀도가 같을 경우는 집합 $INSERT - M$ 에 넣는다.

[단계 5] 기계행 정렬

기계행의 정렬은 각 독립기계그룹의 배열과 각 독립기계그룹내의 기계행 정렬에 의해 이루어진다. $MAX[U_i]$ 인 기계 i 가 속한 독립기계그룹을 처음으로 배열하고, 이후의 독립기계그룹의 초기행은 이전 독립기계그룹의 마지막 기계행에 위치한 기계와 긴밀도가 가장 큰 기계가 선정된다. 각 독립기계그룹내의 기계행은 다음과 같이 정렬된다. 다음 설명에서 u 는 정렬된 독립기계그룹내의 기계수이다.

[단계 5-1] 선정된 기계 x 를 $ROW(u)$ 에 넣는다.

[단계 5-2] 선정할 기계가 없으면 이번 중단하고, 있으면 단계[5-3]으로 간다.

[단계 5-3] 이전에 선정된 기계와 긴밀도가 가장 큰 기계를 선택대상중에서 선택해 [단계 5-1]로 간다. 긴밀도 값이 같은 경우는 [단계 5-4]의 선택기준에 따른다.

[단계 5-4] U_i 의 값이 최대인 기계를 선정하고, U 값도 같으면 번호가 작은 기계를 선정한다.

[단계 6] $INSERT - M$ 기계의 삽입

[단계 4]에서 만들어진 $INSERT - M$ 기계들을 [단계 5]에서 정렬된 기계행에서 가장 높은 긴밀도를 갖는 두 기계행사이에 삽입한다. 즉, $INSERT - M$ 의 기계 h 는 $MAX[b_{ih} + b_{hj}]$ 인 기계 i 와 $j(j=i+1)$ 사이에 삽입된다.

4. 알고리즘의 평가

본 연구에 의한 기계-부품 그룹형성의 효율성을 평가하기 위하여 관련 논문과 도서에서 발췌하거나 난수를 발생시켜 얻은 초기행렬에 본 알고리즘을 적용하였고, Chandrasekharan과 Rajagopalan에 의해 개발된 그룹핑 효율 척도를 이용하여 제안된 알고리즘의 그룹핑 효율을 평가한다[5, 6].

표 1은 기존의 연구에서 발췌한 초기 행렬들에 대해 본 연구에서 제안한 알고리즘을 적용한 결과를 요약한 것이다. 이 때 m 은 기계, n 은 부품을 나타낸다. 이외에 난수를 발생시켜 작성한 30개의 샘플 행렬을 사용하여 CNA와 본 연구에서 제안한 알고리즘을 적용해 그룹핑 효율을 구한 결과는 본 알고리즘에 의한 것이 약 93%가 더 좋은 효율을 나타냈다. 그리고 각 문제에 대해서 대각행렬과 비슷한 형태로 최종행렬이 구성되었다.

[표 1] 기존의 방법과 제안된 알고리즘의 그룹핑 효율 비교

DATA	m	n	ALGORITHM	GE
Burbidge[3]	16	43	King and Nakornchai	0.6488
			Boe and Chun	0.7303
			Proposed Algorithm	0.8328
Logendran[12]	7	14	Boe and Chun	0.8174
			Proposed Algorithm	0.8527
Chan and Milner[4]	10	15	King and Nakornchai	0.9150
			Boe and Chun	0.9150
			Proposed Algorithm	0.9242
Stanfel[15]	14	24	King and Nakornchai	0.8254
			Boe and Chun	0.8332
			Proposed Algorithm	0.8332
de Witte[7]	12	19	King and Nakornchai	0.6582
			Boe and Chun	0.6887
			Proposed Algorithm	0.7484
Boe and Chun[2]	20	35	Boe and Chun	0.7543
			Proposed Algorithm	0.7895

5. 결 론

본 연구는 CMS설계의 초기단계인 기계-부품 그룹형성을 위해 초기행렬을 재배열하는 방법의 하나로 제안된 CNA의 빠르면서도 효율적인 장점을 유지하면서 기계행의 부적절한 선택으로 인한 기계 상호간의 정보 유실을 최소화시키는 기계그룹을 형성하기 위한 발견적 알고리즘에 관한 것이다. 이 알고리즘에서는 모든 기계들 중 상호독립기계들을 추출하고, 나머지 기계들은 가장 긴밀도 값이 큰 독립기계와 그룹핑하게 된다. 두 독립기계와 긴밀도가 같은 나머지기계들은 따로모아 일차 그룹핑과 적절한 기준에 따라 기계재배열을 수행한 후 긴밀도가 가장 큰 기계사이에 삽입된다.

제안된 발견적 알고리즘을 평가하기 위해 초기행렬을 기존 논문과 관련서적에서 발췌하거나 난수를 발생시켜 작성하였다. 초기행렬에 본 알고리즘을 적용한 결과, CNA의 기본적인 문제점인 기계간 정보 유실이 보완되었으며 기존의 다른 해법으로 그룹형성이 어려운 문제에서도 그룹형성이 가능하였다.

참 고 문 헌

- [1] Askin, R. G., S. H. Cresswell, J. B. Goldberg, and A. J. Vakharia, "A Hamiltonian Path Approach to Reordering the Part-Machine Matrix for Cellular Manufacturing," *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 29, No. 6, pp. 1081-1100, 1991.
- [2] Boe, W. J. and H. C. Chun, "A Close Neighbour Algorithm for Designing Cellular Manufacturing Systems," *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 29, No. 10, pp. 2097-2116, 1991.

- [3] Burbidge, J. L., *The Introduction of Group Technology*, John Wiley & Sons, New York, 1975.
- [4] Chan, H. M. and D. A. Milner, "Direct Clustering Algorithm for Group Formation in Cellular Manufacturing," *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 1, No. 1, pp. 65-75, 1982.
- [5] Chandrasekharan, M. P. and R. Rajagopalan, "MODROC: An Extension of ROC for Group Technology," *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 24, No. 5, pp. 1221-1233, 1986.
- [6] Chandrasekharan, M. P. and R. Rajagopalan, "ZODIAC: An Algorithm for Concurrent Formation of Part-Families and Machine-Cells," *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 25, No. 6, pp. 835-850, 1987.
- [7] de Witte, J., "The Use of Similarity Coefficients in Production Flow Analysis," *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 18, No. 4, pp. 503-514, 1980.
- [8] King, J. R., "Machine-Component Grouping in Production Flow Analysis: An Approach using ROC Algorithm," *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 18, No. 2, pp. 213-232, 1980.
- [9] King, J. R. and V. Nakornchai, "Machine-Component Group Formation in Group Technology: Review & extension," *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 20, No. 2, pp. 117-133, 1982.
- [10] Kusiak, A. and W. S. Chow, "Efficient Solving of the GT Problem," *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 6, No. 2, pp. 117-124, 1987.
- [11] Kusiak, A., "The Generalized Group Technology Concept," *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 25, No. 4, pp. 561-569, 1987.
- [12] Logendran, R., "A Workload Based Model for Minimizing Total Intercell and Intracell Moves in Cellular Manufacturing," *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 28, No. 5, pp. 913-925, 1990.
- [13] McCormick, W. T., P. G. Schweitzer, and T. W. White, "Problem Decomposition and Data Reorganization by a Clustering Technique," *Oper. Res.*, Vol. 20, pp. 993-1009, 1972.
- [14] Snead, C. S., *Group Technology: Foundation for Competitive Manufacturing*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1989.
- [15] Stanfel, L. E., "Machine Clustering for Economic Production," *Engineering Costs and Production Economics*, Vol. 9, 1985.
- [16] Wei, J. C. and G. M. Kern, "Commonality Analysis: A Linear Cell Clustering Algorithm for Group Technology," *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 27, No. 12, pp. 2053-2062, 1989.