애로기계가 존재하는 기계-부품 그룹형성 문제에 대한 해법

Machine-Part Grouping Algorithm for the Bottleneck Machine Problem

박 수 관*
Park, Soo-Kwan
이 근 희**
Lee, Geun-Heui

Abstract

The grouping of parts into families and machines into cells poses an important problem for the improvement of productivity and quality in the design and planning of the flexible manufacturing system(FMS). This paper proposes a new algorithm of forming machine-part groups in case of the bottleneck machine problem and shows the numerical example. This algorithm could be applied to the large scale machine-part grouping problem.

1. 서 론

오늘날 소비자의 소비형태는 매우 다양하기 때문에 제품의 수명이 매우 짧아지고 있다. 이러한 시장의 변화에 적응하기 위해 기업은 일정한 생산기간동안 많은 종류의 제품을 소량으로 생산하는 다품종 소량생산의 형태를 지향하고 있다. 즉, 유연생산 시스템 (Flexible Manufacturing System, FMS)을 지향하고 있다. 이러한 생산형태에서는 생산에 투입된 전체시간에서 약 90% 이상이 준비시간, 공정간 운반시간 그리고 대기시간 등으로 소비되고 있다[3]. 따라서 FMS에서는 작업준비시간 등의 감소가 매우 절실한 문제이다.

지난 20여년 동안 그룹화된 제조는 매우 중요한 제조방법으로 장려되어 왔다[6]. 전통적인 제조방법에 비해 그룹화된 제조방법은 여러가지 이점이 있다. 예를들면 준비시간, 공정간 운반시간, 중간제품의 재고량과 대기시간의 감소, 부품과 공구흐름의 단순화 그리고 책임소재의 집중화 등 여러가지 이점이 있다. 이러한 이유로 그룹화된 제조방법은 FMS와 같은 생산시스템의 적절한 제조방법으로 인식되어 있다. 따라서 FMS에서 생산성을 높이기 위해서는 그룹화 방법에 대한 연구가 매우 중요하다.

본 연구에서는 애로기계가 존재할 경우에 부품과 기계를 그룹화할 수 있는 효율적인 해법을 제시한다. 본 연구에서는 클러스터링 분석을 이용하여 부품-기계 그룹형성을 위한 새로운 발견적 해법을 제시한다. 클러스터링 분석을 이용한 많은 연구[2, 4, 5, 8, 9, 10]에서는 기계-부품 행렬 $[a_{ij}]$에서 부품들간의 유이도 등을 계산한 후, 이를 이용하여 해를 구하였다. 이때의 계산량은 $O(m^2n)$이었다. 여기서 m은 행의 개수이고, n은 열의 개수를 나타낸다. 그러나 본 연구에서는 분지한계법을 이용하여 1차의 계산량을 갖는 효율적인 해법을 제안한다.

* 한양대학교 대학원
** 한양대학교 산업공학과

본 연구에서 제시하는 해법은 다음과 같은 특성을 갖는다. 첫째로 분지한계법을 이용하고, 둘째로 계산량이 기존의 발견적 해법보다 우수하고, 세째로 기계와 부품그룹을 동시에 결정할 수 있다.

본 연구의 내용은 다음과 같다. 제2장에서는 본 연구에서 다루는 문제에 대한 기존연구를 보이고, 제3장에서는 본 연구에서 제시하는 해법과 그 수치예를 보인다. 마지막으로 제4장에서는 결론을 내린다.

2. 기존연구와 수치예

각 부품을 가공할 수 있는 방법이 한가지만 가능하고 상호 독립적인 행렬이 존재할 가능성이 없는 경우에 대한 연구로 Kusiak과 Cho [7]는 발견적 해법을 제시하였다. 이들이 제시한 해법은 다음과 같은 부품 k와 l의 유이도 $S_{kl}^{(P)}$를 이용하여 그룹을 형성하는 것이다.

$$S_{kl}^{(P)} = \begin{cases} 1 & \alpha_P \geq t \\ 0 & \text{2외의 경우} \end{cases}$$

여기에서 매개변수 t는 $t \in [0, 1]$ 으로 사용자에 의해 정의되는 값이고 α_P 는 부품 k와 l이 필요로 하는 총 기계대수에 대해 두 부품 모두 필요로 하는 기계대수의 비율을 나타내는 값이다.

Kusiak과 Cho [7]는 유이도 $S_{kl}^{(P)}$를 구한 후에 이를 이용하여 그룹을 형성하였다. 이들이 제시한 해법을 예를 통해 간단히 설명하면 다음과 같다.

<예 2>

본 예에서 사용할 기계-부품 행렬 $[a_{ij}]$는 다음과 같다.

$$[a_{ij}] = \begin{array}{c} \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{array} \!\!\! \begin{array}{c} \text{부품번호} \\ \begin{array}{cccccccc} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 \end{array} \\ \left[\begin{array}{cccccccc} & 1 & & 1 & & & 1 & \\ 1 & 1 & 1 & & 1 & 1 & 1 & 1 \\ & 1 & & & & 1 & & 1 \\ & & & 1 & & & 1 & \\ 1 & & 1 & & 1 & 1 & & 1 \\ & & & 1 & & & 1 & \end{array} \right] \end{array} \text{기계번호} \qquad (1)$$

t = 0.6으로 가정하고 행렬(1)를 유이도 행렬로 바꾸면 다음과 같다.

$$[S_{kl}^{(P)}] = \begin{array}{c} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \\ 8 \end{array} \!\!\! \begin{array}{c} \text{부품번호} \\ \begin{array}{cccccccc} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 \end{array} \\ \left[\begin{array}{cccccccc} 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{array} \right] \end{array} \text{부품번호} \qquad (2)$$

행렬 (2)에서 임의의 행을 선택해서 수평선을 긋는다(h_1), 선 h_1에 있는 "1"의 요소에 대하여 수직선 V_3, V_5, V_6, V_8을 긋는다. 그리고 h_1에 대응하는 수직선 V_1도 긋는다. 수직선 V_1, V_3, V_5, V_6 그리고 V_8에 있는 "1"의 요소에 대하여 수평선 h_3, h_5, h_6, h_8 을 그으면 다음과 같다.

부품번호

$$\begin{array}{c} \\ 1\\2\\3\\4\\5\\6\\7\\8 \\ \\ \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccccccc} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 \end{array} \\ \left[\begin{array}{cccccccc} 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{array}\right] \\ \begin{array}{cccccccc} v_1 & & v_3 & & v_5 & v_6 & & v_8 \end{array} \end{array} \begin{array}{c} \\ h_1\\ \\ h_3\\ \\ h_5\\ h_6\\ \\ h_8 \\ \\ \end{array} \tag{3}$$

여기에서 제1부품 그룹이 [1, 3, 5, 6, 8]로 형성되었으며 행렬 (3)을 행렬(4)로 바꾼 후 제2부품 그룹을 형성한다.

부품번호

$$\begin{array}{c|ccc} & 2 & 4 & 7 \\ \hline 2 & 0 & 0 & 1 \\ 4 & 0 & 0 & 1 \\ 7 & 1 & 1 & 0 \end{array} \tag{4}$$

대략적인 예를 통하여 Kusiak과 Cho [7]가 제시한 해법과정을 보였다. 해의 결과를 보면다음과 같이 상호 독립적인 그룹이 형성되지 않았다.

부품번호

$$\begin{array}{c|ccccc|ccc} & 1 & 3 & 5 & 6 & 8 & 2 & 4 & 7 \\ \hline 2 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & & 1 \\ 3 & & 1 & & 1 & 1 & & & \\ 5 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & & & \\ \hline 1 & & & & & & 1 & 1 & 1 \\ 4 & & & & & & & 1 & 1 \\ 6 & & & & & & & 1 & 1 \end{array} \quad \text{기계번호} \tag{5}$$

결과행렬(5)을 보면 부품 2와 7은 두개의 기계군에서 가공해야 하는 부품이다. 이런 부품을 애로부품이라 한다. 이를 다시 설명하면 기계 2가 두개의 부품군에 모두 필요하는 것을 의미한다. 이런 기계를 애로 기계라 한다.

행렬 (5)을 상호 독립적인 그룹이 형성되도록 수정하기 위해서는 애로기계 2가 한대 더 추가되어야 한다.

본 연구에서는 이상의 예에서와 같이 애로기계가 존재할 경우 기계-부품 그룹을 형성할 수 있는 새로운 해법[SBBA]를 제시한다. 제시하는 해법 SBBA에서는 유이도 행렬 $[S_{kl}^{(P)}]$을 계산할 필요가 없으며 기존의 해법과는 달리 기계와 부품의 그룹을 동시에 형성할 수 있는 효율적인 해법이다.

3. 해법 SBBA와 수치예

3.1 해법 SBBA

본 연구에서 제시하는 해법 SBBA는 분지한계법을 이용한 기계-부품 그룹형성 해법이다. 해법 SBBA는 다음을 가정한다. 첫째로 각 부품을 가공하는 방법이 한가지만 가능하다는 것을 가정하고 둘째로 애로기계가 존재하며 애로기계는 각 기계의 평균 가공 부품수보다 두배이상의 부품을 가공해야 하는 기계임을 가정한다.

해법 SBBA를 설명하기 전에 해법에서 사용하는 기호를 설명하면 다음과 같다.

{SM} 전체 기계 집합
{SP} 전체 부품 집합
{B} 애로기계의 집합
P_j j번째 부품, j = 1, 2, . . . , p
M_i i번째 기계, i = 1, 2, . . . , m
N_i 기계 i에서 가공할 부품의 개수
T 부품 또는 기계군의 개수
a_{ij} = 1 부품 j가 기계 i를 필요로 하면,
0 그렇지 않으면
M(t) t번째 기계군, t = 1, 2, . . . , T
P(t) t번째 부품군
$\overline{N}$ 기계 1대당 평균 가공 부품 개수,
$\overline{N} = \left[\sum_{i=1}^{M} N_i/M\right]$ 여기서 [C]는 C를 넘지 않는 최대정수

본 연구에서 제시하는 해법 SBBA의 각 단계는 다음과 같다.

[기계-부품 그룹 형성 제2해법 : SBBA]

단계 0 [초기화]
- 모든 기계를 집합 {SM}에 두고, 모든 부품을 집합 {SP}에 둔다.
- 애로기계 집합 {B}를 구한다.
- M(1) = {}, P(1) = {}으로 둔다.
- t = 1로 둔다.

단계 1 [초기노드의 선택]
- N_i 값이 최소인 기계를 t번째 그룹 형성을 위한 초기교점으로 선택한다.
- 초기노드로 선택된 기계를 M(t)에 넣는다.

단계 2 [새로운 부품으로 분지]
- {B}에 속한 기계를 제외한 M(t)의 기계로 가공할 수 있는 새로운 부품으로 분지한다.
- 방문이 필요한 새로운 부품이 없으면 분지를 끝낸다.
- 분지된 새로운 부품을 P(t)에 넣는다.

단계 3 [새로운 기계로 분지]
- P(t)를 가공하는데 필요한 새로운 기계로 분지한다.
- 분지할 새로운 기계가 없으면 분지를 끝낸다.
- 분지된 새로운 기계를 M(t)에 넣는다.

단계 4 [분지할 교점의 파악]
- 분지할 교점이 없을 때까지 단계 2와 3을 반복한다.

단계 5 [t번째 기계-부품 그룹 형성]
- M(t)와 P(t)가 t번째 기계군과 부품군이 된다.
- {SM}에서 {B}에 해당되는 기계를 제외하고 M(t)를 삭제한다.
- {SP}에서 P(t)를 삭제한다.

단계 6 [종료]
- {SP}가 공집합이면 끝낸다. 그렇지 않으면 t = t+1로 두고 단계 1로 간다.

단계 1에서 N_i 값이 최소인 기계를 초기 분지점으로 선택한 이유는 해법 FBBA와 동일하다. 해법 FBBA와 같이 기계대신 부품을 초기교점으로 두고 분지를 해도 동일한 해가 구해진다. 단계 2에서 애로기계의 경우 분지를 끝내는 이유는 그룹의 크기가 너무 방대해지기 때문이다. 단계 5에서 애로기계집합 {B}에 속한 기계는 전체기계집합 {SM}에 그대로 두는 이유는 상호 독립적인 그룹을 형성되도록 중복시키기 위해서이다.

3.2 해법 SBBA의 수치예

앞장 2의 예 2에서 이용한 기계-부품 행렬 (9)를 이용하여 제시한 해법 SBBA의 실행과정을 보이면 다음 예 3과 같다.

<예 3>

행렬 (1)에서 N_i 을 구하면 N_i = {3, 7, 3, 2, 5, 2}가 된다. 기계 1대당 평균 가공부품수 $\overline{N}$ 는 다음과 같이 구한다.

$$\overline{N} = \left[\sum_{i=1}^{6} N_i/6 \right] = [22 / 6] = 3$$

따라서 $\overline{N}$ 값보다 두배 이상인 기계는 기계 2이므로 애로기계집합 {B}={2}가 된다. 본 연구에서 제시한 해법 SBBA에서는 유이도 행렬 [$S_{kl}^{(P)}$]를 계산하지 않고 N_i만 계산하면 되므로 계산이 훨씬 간편하다. 이상의 결과를 이용하여 해를 구하는 과정을 보이면 다음과 같다.

[해법 SBBA]

단계 0 {SM} = {1, 2, 3, 4, 5, 6}, {SP} = {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8},
{B} = {2} 그리고 t=1로 둔다.
제 1부품 그룹과 기계 그룹 P(1)과 M(1)은 공집합으로 둔다.

단계 1 N_i 값이 최소인 기계 4와 6 중에서 임의로 기계 4를 초기노드로 선택한다. M(1) = {4}로 둔다.

단계 2 M(1)에 속한 기계에서 분지할 수 있는 새로운 부품은 4와 7이므로 부품 4과 7로 분지한다. P(1) = {4, 7}로 둔다.

단계 3 P(1)의 부품을 가공하는데 필요한 새로운 기계는 1, 2, 6이므로 기계 1, 2, 6으로 분지한다. M(1) = {1, 2, 4, 6}으로 둔다.

단계 4 분지할 노드가 있으므로 단계 2로 간다.

단계 2 기계 1에서 부품 2로 분지한다. 기계 2는 애로기계이므로 분지를 끝낸다. 기계 6에서 분지할 새로운 부품이 없으므로 분지를 끝낸다.
P(1) = {2, 4, 7}로 둔다.

단계 3 부품 2에서 분지가능한 새로운 기계가 없으므로 분지를 끝낸다.

단계 4 분지할 노드가 없으므로 1번째 그룹이 형성되었다.

단계 5 첫번째 기계군 M(1) = {1, 2, 4, 6}이고 부품군 P(1) = {2, 4, 7}이다.
{SM} = {SM} - M1 + {B} = {2, 3, 5}가 되고, {SP} = {1, 3, 5, 6, 7}이 된다.

단계 6 t = 2로 두고 단계 1로 간다. 즉, 두번째 그룹을 형성한다.

단계 1 현재 {SM}에 있는 기계 2, 3, 5중 N_i 값이 가장 작은 기계는 3번기계이므로 이 기계를 초기노드로 선택한다. M(2) = {3}이 된다.

단계 2 기계 3에서 분지할 수 있는 새로운 부품은 3, 6, 8번 부품이므로 이들 부품으로 분지한다. P(2) = {3, 6, 8}이 된다.

단계 3 부품 3에서 새로운 기계 2와 5로 분지한다. 부품 6과 8에서는 분지할 새로운 기계가 없으므로 분지를 끝낸다. M(2) = {2, 3, 5}가 된다.

단계 2 기계 5에서 새로운 부품 1과 5로 분지한다.
P(2) = {1, 3, 5, 6, 8}이 된다.

단계 3 P(2)의 모든 부품에서 분지할 새로운 기계가 없으므로 분지를 끝낸다.

단계 4 분지할 노드가 없으므로 2번째 그룹이 형성되었다.

단계 5 두번째 기계군 M(2) = {2, 3, 5}이고 부품군 P(2) = {1, 3, 5, 6, 7}이 된다. {SM} = {2}가 되고 {SP}= { }이 된다.
단계 6 {SP}가 공집합이므로 끝낸다.

이상의 과정에서 얻어진 해의 결과를 보면 기존연구 [7]과 동일한 결과를 보인다. 즉 행렬 (5)에서 기계 2를 중복시켰을 때의 동일한 결과를 보인다. 이를 행렬로 나타내면 다음 행렬 (6)와 같다.

$$
\begin{array}{c|ccccc|ccc|}
 & \multicolumn{8}{c}{\text{부품번호}} \\
 & 1 & 3 & 5 & 6 & 8 & 2 & 4 & 7 \\
\hline
2 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & & & \\
3 & & 1 & & 1 & 1 & & & \\
5 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & & & \\
\hline
2 & & & & & & 1 & & 1 \\
1 & & & & & & 1 & 1 & 1 \\
4 & & & & & & & 1 & 1 \\
6 & & & & & & & 1 & 1 \\
\hline
\end{array}
\quad \text{기계번호} \qquad (6)
$$

기존의 연구 [7]에서 제시한 유이도 [$S_{kl}^{(P)}$]을 계산하는 데 소요되는 계산량은 $O(m^2n)$이였다. 본 연구에서 제시한 해법 SBBA에서는 유이도 대신 N_i 를 계산(O(m))하여 해를 구하므로 매우 효율적인 해법이다. 또한 기계와 부품의 그룹을 동시에 형성할 수 있으며 애로기계를 중복시켜 상호 독립적인 그룹형성을 할 수 있도록 한다.

본연구에서 제시한 해법 SBBA는 애로기계 또는 애로 부품의 존재여부를 파악할 수 있으므로 애로기계가 없을 경우에는 박수관과 이근회[1]가 제시한 알고리듬을 적용하는 것이 보다 효율적이다.

4. 결 론

기계-부품 그룹 형성 문제는 다품종 소량 생산 시스템에서 매우 중요한 문제이다. 특히 준비시간과 공정간 운반시간 등이 전체 공정시간 중 많은 부분을 차지할 수록 이 문제는 생산성 행상과 품질향상 등에 중요한 영향을 미친다.

본 연구에서는 애로기계가 있는 기계-부품 그룹 형성 문제에 대하여 새로운 해법을 제시했다. 제시한 해법의 특성은 다음과 같다. 첫째, 기존의 연구보다 계산량이 적어 보다 효율적으로 해를 구하였다. 둘째, 기계와 부품 그룹을 동시에 결정하였다. 셋째, 기존연구들과 동일한 해를 구할 수 있었다. 다섯째, 분지한계법을 이용하였다.

본 연구에서 제시한 해법을 응용하여 향후 복수가공방법이 가능한 일반화된 기계-부품 그룹 형성 문제에 대한 해법연구가 필요하다.

참 고 문 헌

[1] 박수관, 이근회, "분지한계법을 이용한 기계-부품 그룹형성 최적해법", 18, 34, 1995.
[2] Carrie, A. S., "Numerical Taxonomy Applied to Group Technology and Plant Layout", International Journal of Production Research., 11, 399-415
[3] Ham, I., Hitomi, K., and Yoshida, T., Group Technology. Ch, 2, Kluwer-nijhoff pub, Boston, 1985.

[4] Kusiak, A., "The Part Families Problem in Flexible Manufacturing Systems", Annals Operational Research, 3, 279-300, 1985.

[5] Kusiak A., "The Generalized Group Technology Concept", International Journal of Production Research, 25, 561-569, 1987.

[6] Logendran R. " A Work Load Based Model for Minimizing Total Intercell and Intercell moves in Cellular Manufacturing", International Journal of Production Research, 28, 913-925, 1990.

[7] Kusiak A. and M. Cho, "Similarity Coefficient Algorithms for Solving the Group Technology Problem", International Journal of Production Research, 30, 11, 2633-2646, 1992.

[8] McCauley, J., "Machine Grouping for Dfficient Production", Production Enginering, 51, 54, 1972.

[9] Trémolieres, R., "Group Technology by Natural Clustering", CORS 29th National Meeting, Calgary, Canada., 1987.

[10] Waghodeker, P. H., and Sahu, S., "Machine Component Cell Formation in Group Technology. International Journal of Production Research, 22, 937-948, 1984.