다작업이 가능한 기계하의 GT에 관한 연구
- A study on Group Technology using the multi-job machine -

전 용 덕 *

ABSTRACT

In order to model the Group Technology Problem three formulations are used, that is, generally the following formulations are used: (1) Matrix formulation, (2) Mathematical programming formulation, (3) Graph formulation.
In the case of Matrix formulation, it is difficult to discribe the situation using the multi-job machine. But this paper proposed the model of Group Technology using the multi-job machin, taking the method of making practical application of principle of similarity coefficient.

1. 서 론

오늘날 경제가 성장하고 사회가 풍요해지면서 다양화 및 개성화의 시대적 추세에 따라 특별히 주문하는 제품의 수요가 증대되고 동시에 제품의 수명주기가 짧아져 가는 경향으로 인하여 제품생산은 다양화 및 소량화, 즉 다품종 소량생산의 형태를 지향하고 있다.

특히 일정한 생산 기간 동안에 생산해야 할 제품의 종류는 많고 생산수량은 적은 다품종 소량생산은 생산품목 및 생산공정의 다양화, 생산능력의 복잡성, 환경조건의 불확실성, 생산의 공정계획 및 일정계획의 곤란성, 생산의 실사와 통제의 동태성 등에 의해 생산성 향상에 많은 문제점들을 안겨주고 있는 실정이다.

GT는 부품을 생산함에 있어 이들이 가지는 기술적 유사성에 따라 몇개의 그룹으로 나누어 생산함으로써 대량생산에서 기대되는 경제적 이점을 다품종 소량생산에서 실현하려는 관리방식의 하나이다. 즉 생산 대상 부품의 가공정보에 따라 형상, 치수 및 가공방법등이 유사한 부품을 그룹화함으로써 공정설계를 합리화할 수 있고, 각 그룹에 적절한 기계와 치공구의 배정을 통해 작업의 준비시간 (set-up time), 공정간의 운반시간, 그리고 가공을 위한 대기시간 등을 감소시키는데 가장 큰 효과를 낼 수 있다. 또한 무질서하게 생산할 때 보다 가공수량 (lot size) 을 증가시켜 공정흐름 단순화를 유도하여 대량생산형식에 가까운 효과를 얻어서 생산성을 향상시키고자 하는 기법이다.

이러한 GT의 근간이 되는 기계-부품그룹형성 (machine-part group formation : MPGF) 문제는 다양하고 무질서한 가공상황보다는 유사부품들을 그룹으로 나누어 줌으로써, 공장설계합리화 및 형성된 그룹내에서 가능한 한 모든 부품들을 가공하게 하여 전체 생산기간의 약 95%정도를 차지하는 작업준비시간, 공정간 운반시간 및 대기시간 등을 최소화 할 수 있어 생산성과 유연성을 극대화 할 수 있다.

---

* 한양대학교 산업공학과 박사과정
접수 : 1993년 4월 26일
확정 : 1993년 5월 7일

2. GT해법의 분류

생산현장에서 Group Technology의 효과적인 적용을 위해 부품군 (part family) 과 기계군 (machine cell) 을 형성하는 것이 중요하다.

부품군은 어떤 특정한 유사성 즉, 각부품을 대상으로 가공순서, 기하학적 형태, 크기, 소요공구, 재질 등이 유사한 부품들을 모아놓은 집합이고, 기계군이란 것은 부품군을 가공하기 위해 임의의 장소에 함께 배치되는 기계들의 집합이라 할 수 있다.

상호관련성이 있는 부품들을 부품군으로 그룹화하는 문제는 GT에서 핵심적인 요소이며, 부품군의 형성에 있어서 최적의 작업순서와 기계부하에 대한 일정계획을 위해서 롯트량, 생산주기, 가공시간, 연간 생산계획 등의 생산데이타를 고려하는 것이 중요하다.

GT문제를 해결하기 위한 기본적인 방향으로는 분류 (Classification) 방법과 Cluster분석방법이 있으며 이에 대한 계통도는 다음과 같다.

- 분류 (Classification)
  - 목측법 (Visual method)
  - 코딩 방법
    - Monocode
    - Polycode
    - Hybrid
- Cluster 방법
  - Matrix법
    - 유사계수법
    - Sorting-based 알고리즘
    - Bond-Energy 알고리즘
    - Cluster Identification 알고리즘
    - Extended CI 알고리즘
  - 수리계획법
    - p-median 모델
    - 일반화된 p-median 모델
    - Quadratic programming 모델
  - 그래프법
    - Bipartite 그래프
    - Transition 그래프
    - Boundary 그래프

3. 문제의 모형

3.1 문제의 개요

본 연구에서는 여러가지 GT에 대한 해법중에서 Cluster분석방법에 대해 다루려고 한다. 기존의 Cluster분석방법은 대부분 Matrix법을 이용하였는데, 이러한 Matrix법은 Low와 Column의 수가 클 경우 Cluster를 표현하는 것이 어려우며, 많은 경우에 있어 Cluster된 Matrix의 대각선 구조를 얻기가 어렵다.

또한 FMS와 같이 기계설비의 발달로 하나의 기계가 여러가지 작업을 수행할 수 있게 되었다. 따라서 하나의 제품을 생산할 때 하나의 기계가 중복되어 사용될 수 있는데, 이런 경우 Matrix로 표현하기가 힘들다. 예를 들어 하나의 생산 시스템에서 3개의 제품을 4대의 기계에서 생산하는 경우를 생각해 보자. 이 때 각 제품의 가공순서가 다음과 같다고 가정하자.

Product 1 : M1 → M2 → M4 → M1 → M2
Product 2 : M1 → M3
Product 3 : M4 → M1 → M4

위의 예에서 Product 1과 3은 같은 기계를 중복하여 사용하고 있다. 이것을 Matrix로 표현하는 것은 힘들다. 따라서 이러한 문제점을 해결할 수 있는 수리적 모델을 연구하려고 한다.

3.2 수리적 모형

이 연구에서는 위에서 제시한 문제점을 해결하기 위하여 Matrix법 대신에 제품을 가공하기 위해 거치는 기계들간의 순서를 고려한 해법을 제시하려고 한다.

각 제품이 다음과 같은 기계를 거쳐 완성된다고 하자.

Product 1 : $M_{11} \rightarrow M_{12} \rightarrow \cdots\cdots \rightarrow M_{1m}$

$\vdots$

Product i : $M_{i1} \rightarrow M_{i2} \rightarrow \cdots\cdots \rightarrow M_{im}$

$\vdots$

Product n : $M_{n1} \rightarrow M_{n2} \rightarrow \cdots\cdots \rightarrow M_{nm}$

이 때 다음과 같은 기호를 정의하자.

n : 제품수

m : 기계수

P : 필요한 기계그룹의 수

SM_{ab} : 모든 제품의 공정에서 기계 M_a 와 M_b 사이에서 인접하는 경우를 쌍으로 묶었을 때 각쌍의 발생빈도

$$X_{ab} : \begin{cases} 1 & \text{기계 a가 기계그룹 b에 속하면} \\ 0 & \text{그렇지 않으면} \end{cases}$$

그러면 인접기계쌍을 최대로 하는 수리모형을 제시하면 다음과 같다

$$\text{MAX} \sum_{a=1}^{m} \sum_{b=1}^{m} SM_{ab}X_{ab} \qquad (1)$$

subject to

$$\sum_{b=1}^{n} X_{ab} = 1 \qquad a=1,\cdots\cdots\cdots,m \qquad (2)$$

$$\sum_{b=1}^{n} X_{bb} = p \qquad (3)$$

$$X_{ab} <= X_{bb} \qquad a=1,\cdots\cdots\cdots,m \quad b=1,\cdots\cdots\cdots,m \qquad (4)$$

$$X_{ab} = 0,\ 1 \qquad (5)$$

위의 식에서 목적함수(1)은 연속되는 인접기계쌍의 총합을 최대로 하는 것이며, 제약식(2)는 하나의 기계가 적어도 하나의 기계그룹에 속하도록 하는 제약식이다. 그리고 제약식(3)은 필요한 기계그룹의 수를 정하기 위한 것이고, 식(4)은 기계그룹이 형성될 때 기계 a가 기계그룹 b에 속하도록 한다. 마지막으로 제약식(5)는 변수가 0,1 정수임을 나타낸다.

4. 수치예제

다음과 같은 공정을 가지는 5개의 제품을 4대의 기계에서 가공하려고 한다.

Product 1 : M2 $\rightarrow$ M4
Product 2 : M1 $\rightarrow$ M3
Product 3 : M2 $\rightarrow$ M4
Product 4 : M1 $\rightarrow$ M3
Product 5 : M1

이것을 Machine-Part incidence matrix(1)로 표현하면 다음과 같다.

$$
\begin{array}{ll}
 & \text{부 품} \\
 & \begin{array}{ccccc} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \end{array} \\
\begin{array}{r} 1 \\ \text{기 } 2 \\ \text{계 } 3 \\ 4 \end{array} &
\left[\begin{array}{ccccc}
 & 1 & & 1 & 1 \\
1 & & 1 & & \\
 & 1 & & 1 & \\
1 & & 1 & &
\end{array}\right]
\end{array}
\qquad (1)
$$

Matrix(1)을 Kusiack[1987]에 의해 그룹화하면 matrix(2)와 같다.

$$
\begin{array}{lll}
 & \text{부 품} & \\
 & \begin{array}{ccccc} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \end{array} & \\
\begin{array}{r} 1 \\ \text{기 } 2 \\ \text{계 } 3 \\ 4 \end{array} &
\left[\begin{array}{ccccc}
1 & 1 & & & \\
1 & 1 & & & \\
 & & 1 & 1 & 1 \\
 & & 1 & 1 &
\end{array}\right] &
\begin{array}{l} \\ \text{MC1} \\ \text{MC2} \\ \\ \end{array}
\end{array}
\qquad (2)
$$

Matrix(1)을 본 연구에서 제시한 해법에 의해 풀어보자. 먼저 각 기계간의 인접기계의 수를 구해보면 < 표 1 > 과 같다.

< 표 1 > 각 기계간의 인접기계수

	1	2	3	4
1	0	0	2	0
2	0	0	0	2
3	2	0	0	0
4	0	2	0	0

이것을 위에서 제시한 식에 대입하면 다음과 같다. (p=2)

```
MAX     2 X13 + 2 X24 + 2 X31 + 2 X42
SUBJECT TO
   2)  X13 + X11 + X12 + X14 =  1
   3)  X24 + X21 + X22 + X23 =  1
   4)  X31 + X32 + X33 + X34 =  1
   5)  X42 + X41 + X43 + X44 =  1
   6)  X11 + X22 + X33 + X44 =  2
   7) - X11 + X21 <=  0
   8)  X31 - X11 <=  0
   9) - X11 + X41 <=  0
  10)  X12 - X22 <=  0
  11) - X22 + X32 <=  0
  12)  X42 - X22 <=  0
  13)  X13 - X33 <=  0
  14)  X23 - X33 <=  0
  15) - X33 - X43 <=  0
  16)  X14 - X44 <=  0
  17)  X24 - X44 <=  0
  18)  X34 - X44 <=  0
END
INTERGER-VARIABLES=   16
```

결과

```
      OBJECTIVE FUNCTION VALUE
1)        4.00000000
VARIABLE        VALUE         REDUCED COST
    X31        1.000000        -2.000000
    X42        1.000000        -2.000000
    X11        1.000000          .000000
    X22        1.000000          .000000
```

위의 결과에서 보듯이 기계 1과 3이 하나의 그룹에 속하고, 기계 3과 4가 하나의 그룹에 속하므로 전의 결과와 같음을 알 수 있다.

그러나 위의 해법 (Kusiak[1987]) 은 제품의 가공공정이 같은 기계를 하나 이상 필요로 할때 Matrix로 표현하기가 힘들다. 또한 제품의 생산량이 동일 하지 않은 경우 해를 구하기가 어렵다.

다음의 예를 생각해 보자.

Product 1 (생산량 2) : M2 → M4 → M1 → M2
Product 2 (생산량 1) : M1 → M3
Product 3 (생산량 2) : M4 → M2 → M4 → M1
Product 4 (생산량 3) : M1 → M3 → M1 → M2 → M3
Product 5 (생산량 1) : M3 → M4 → M2 → M4

각 기계간의 인접기계수는 < 표 2 > 와 같다.

< 표 2 > 각 기계간의 인접기계수

	1	2	3	4
1	0	5	7	4
2	5	0	3	8
3	7	3	0	1
4	4	8	1	0

위의 예를 본 연구에서 제시한 해법에 대입하면 다음과 같다.

```
 MAX    5 X12 + 7 X13 + 4 X14 + 3 X23 + 8 X24 + X34 + 5 X21 + 7 X31
      + 4 X41 + 3 X32 + 8 X42 + X43
 SUBJECT TO
    2)  X12 + X13 + X14 + X11 =  1
    3)  X23 + X24 + X21 + X22 =  1
    4)  X34 + X31 + X32 + X33 =  1
    5)  X41 + X42 + X43 + X44 =  1
    6)  X11 + X22 + X33 + X44 =  2
    7)  X21 - X11 <=  0
    8)  X31 - X11 <=  0
    9)  X41 - X11 <=  0
   10)  X12 - X22 <=  0
   11)  X32 - X22 <=  0
   12)  X42 - X22 <=  0
   13)  X13 - X33 <=  0
   14)  X23 - X33 <=  0
   15)  X43 - X33 <=  0
   16)  X14 - X44 <=  0
   17)  X24 - X44 <=  0
   18)  X34 - X44 <=  0
END
INTERGER-VARIABLES=    16
```

결과

```
        OBJECTIVE FUNCTION VALUE
1)        15.00000000
VARIABLE          VALUE          REDUCED COST
     X13         1.000000         -7.000000
     X24         1.000000         -8.000000
     X33         1.000000           .000000
     X44         1.000000           .000000
```

위의 결과로 기계 1과 3이 하나의 그룹으로, 기계 2와 4가 하나의 기계그룹을 형성한다.

5. 결 론

본 연구에서는 GT의 해법으로 널리 사용되고 있는 Matrix법의 단점을 보완할수 있는 수리적 모델을 제시하였다.

Matrix법의 단점으로는 문제가 커질 경우 해를 구하기가 힘들고, 많은 경우에 있어 Matrix의 대각선의 구조를 얻기가 어렵다는 점이다. 그리고 가장 중요한 것으로 FMS와 같은 자동생산시스템에서 기계설비는 여러가지 작업을 수행할 수 있는 능력을 갖추고 있으므로 하나의 제품을 만들기 위해서 하나의 기계가 여러가지 작업을 수행할 수 있다. 이런 경우 Matrix로는 이 상황을 표현할 수 없다.

또한 각 제품의 생산량은 대부분의 경우 다르므로 기존의 해법으로는 부족하였다.

본 연구에서는 이러한 Matrix해법이 가지고 있는 여러가지 문제점을 해결할 수 있는 방법에 대해 생각해 보았다.

참 고 문 헌

1. Kusiak,A.," The Generalized Group Technology Concept " IJPR,Vol.24,No.4, 1987.pp.561-569.
2. Kusiak,A., Intelligent Manufacturing Systems, Prentice-Hall, 1990.
3. Kar Yan Tam," An Operation Sequence Based Similarity Coefficient for Part Families Formations" Journal of Manufacturing Systems, Vol.9, No.1, 1990. pp.55-68.
4. M.A. Wong,T.Lane." A kth Nearest Nearest Neighbor Clustering Procedure",Journal of Royal Statistical Society B, Vol.45, No.3, 1983, pp.362-368.
5. J.de Witte." The Use of Similarity Coefficients in Production Flow Analysis ",IJPR,Vol.18, No.4, 1980. pp.503-514.
6. Kusiak,A.," The Part Families Problem in Flexible Manufacturing Systems" Annal of Operations Research, Vol.3, 1985, pp.279-300.
7. King,J.R.," Machine-component group formation in production flow anaiysis ",IJPR,Vol.18,1980. pp.213-231.