

經濟的인 機械셀-部品群 形成 方法에 관한 研究

On the economic formation of machine cell-part family

김진용*

Abstracts

In Factory Automation environments such as FMS, the formation of machine-part based on GT should be considered.

The purpose of this study is to develop a economic heuristic algorithm which considers various elements such as unit processing time, subcontract cost, and functional operation cost, machine processing capacity etc.

When this proposed approach is applied to the real situation, expected benefits are as follows: the reduction of production lead time, work in process, labor force, tooling, rework and scrap, setup time, order time delivery, and paper work, etc.

1. 서론

사회구조의 변화가 다양해지고, 생활수준이 향상되어 소비자의 요구가 다양해짐에 따라 현대 경제사회는 소비자 위주의 시장체제로 변화되었다. 이러한 소비자 위주의 시장체제와 다변화된 환경에 대처하기 위해 제품의 다양화, 생산성 향상, 이윤의 극대화를 목표로 한 새로운 제조방법이 대두하게 되었는데, 그것이 유연생산시스템(FMS: Flexible Manufacturing System)이다. 이러한 유연생산시스템의 필요성은 빈번한 제품의 변화, 경제적 배치(batch) 생산량, 일정한 처리량에 대한 시간의 단축 등을 위하여 보다 더 생산의 유연성이 요구되기 때문이다[4]. 이러한 자동화의 설계단계에서 설비배치 문제 등을 고려한 유연생산시스템을 효과적으로 운용하기 위해서는 그 선행조건으로서 그룹 테크놀로지(GT: Group Technology) 개념이 도입되어야 한다. GT의 잇점은 보다 효과적으로 설계를 합리화하고, 공정 계획과 생산통제를 단순화함으로써, 준비시간, 주문배달시간, 공구준비시간 등을 줄이고 값비싼 기계들을 효과적으로 이용함으로써 생산성을 향상시키고 비용을 감소시키는 생산철학이라 할 수 있다. 이러한 자동화의 선행조건인 GT에 대한 여러 기존연구는 대략 2진화된 생산 부품정보를 기초로 하여 예외적요소를 줄이는데 유사계수를 이용한 방법과[2, 8], 기계셀간의 이동수를 최소화하는 방법들로 분류할 수 있다[7, 13]. 이런 방법들은 2진화되었기 때문에 가공 정보가 부족하고 완전한 셀을 형성하지 못했으며, 현실적인 측면에서 중요한 가공시간이나 각종 비용을 고려하지 못하였다.

따라서, 본 연구에서는 기존의 연구에서는 기존의 기계설비를 운용하여 가공시간, 제한된 기계셀의 최대 기계대수, 하청비용, 기능설비 운용비용, 생산비용을 고려하여 완전한 기계셀-부품군을 형성하면서 셀을 형성하지 못하므로 발생하는 비용을 최소화시키는 경제적인 기계셀-부품군 형성 방법에 대해 제안하고자 한다.

* 동국대학교 대학원 산업공학과

제출 : 1993년 10월 25일

확정 : 1993년 11월 22일

2. 선행연구의 고찰

GT에 대한 연구는 여러 연구자에 의해 많이 연구되었는데 기존의 연구내용을 살펴보면 다음과 같다.

GT문제를 모형화하기 위한 일반적인 형식은 다음과 같은 행렬 형식, 수리계획법, 그래프 형식 등 3가지가 있다[11].

첫번째로, 행렬 형식의 방법은 유사계수를 이용하는 방법으로 J. McAuley[13], H. Seifoddini & P. M. Wolfe[11], J. De Witte[3] 등이 있었는데, 예외기계를 인식하지 못하는 난점을 가지고 있다. 또한, 순위권 토대토한 행렬형식은 J. R. King과 V. Nakornchai, M. P. Chandrasekharan & R. Ragagopalan[2], H. M.Chan & D. A. Milner[14] 등이 있는데, 예외기계를 처리하는데 유연적이지 못하다는 단점을 가지고 있다. 그리고, W. T. McCormick & P. J. Schweitzer & T. W. White, J. L. Slagle & C. L. Chang & S. R. Heller, M. V. Bhat & A. Haupt[11] 등의 연구가 있다. 또한, 비용을 토대토한 행렬방식은 R. G. Askin & S. P. Subramanian[1]의 연구가 있고, A. Kusiak & W. S. Chow[12] 등의 연구가 있다.

두번째로, 수리계획법으로는 T. S. Arthanari & Y. Dodge[5], Minkowski, J. L. Lee[5], A. Kusiak[10], A. Kusiak & A. Vannelli & K. R. Kumar[9], 모형에는 P-Median 모형, 2차계획법 등이 있다.

세번째로, 그래프 형식으로는 2분할성 그래프, 3분할성 그래프, 영역 그래프를 이용하는 방법으로 A. Vannelli & K. R. Kumar[10]가 연구하였다.

3. 효율적인 기계셀-부품군 형성 기법의 개발

3.1 새로운 기계셀과 부품군 형성에 대한 제안

기존연구자들의 연구내용은 언제나 일관성을 유지하거나, 예외적요소를 최소로 보장하는 것은 아니었다[12]. 또한, 예외현상은 하나의 셀에서 가공할 수 있는 부품의 수보다도 많이 할당되어 가공되어야 할 필수부품들인데, 이 예외적요소의 발생은 셀간의 이동과 추가적인 물류관리비용이 소요되고, 또한 생산계획 기능을 복잡하게 하여, 이에 상응하는 세포형생산시스템의 효과를 감소 시키는 단점이 있다[6]. 또한, 기존연구의 대부분의 단점은 기계셀과 부품군이 단지 가공의 유사성만을 가지고 형성시켰기 때문에, 예외적요소가 발생되었을 때 완전한 셀을 형성하고 합리적이고 경제적인 기계셀과 부품군을 형성할 수 없게 된다.

본 연구에서는, 일반적으로 중소 기업과 같은 규모가 영세한 기업에 있어서는 충분한 고정시설투자의 제약성이 따르기 때문에 기계의 설치 등의 고정시설투자를 수반하지 않고 기존의 설비를 가지고 기계셀과 부품군을 형성하는데 있어 각종 비용과 가공시간, 하나의 기계셀의 최대기계 댓수 등을 고려하여 각종 변화에 유연성있게 기계설비를 효율적으로 이용할 수 있도록 하고, 또한 실제 상황에서 경영진의 경영전략을 충족시키면서 발생하는 예외적요소를 완전해소하는 방향에서 셀을 형성하지 못함으로써 발생하는 비용을 최소화함으로써 경제적인 기계셀-부품군 형성방법에 대한 방법을 제안하고자 한다.

3.2 경영전략과 발전적 알고리즘의 절차

3.2.1 경영전략

경영진의 경영전략은 다음과 같다.

첫째, 기계셀을 형성하여 자사 생산을 우선으로 한다.

둘째, 기계셀을 형성함으로써 발생하는 총비용을 최소화한다.

가정으로, 자사의 생산비용이 하청비용과 기능설비 운용비용보다 작다.

3.2.2 발견적 알고리즘의 절차

- 【단계 1】 단위당 처리 시간을 고려하여 입력행렬 [A]를 형성하고 각 기계당 처리 가능시간 행렬 [C]를 형성한다.
- 【단계 2】 복잡성이 $f(2mn:m$ 과 n 은 행과 열의 수)정도 밖에 안되는 Cluster Identification Algorithm으로 셀을 형성하여 에로현상이 발생되는 지를 확인한다. 에로현상이 발생되면 단계 3으로 이항하고, 에로현상이 발생되지 않으면 단계 4로 이항하라. 이때 에로현상이란 각 부품의 처리 시간의 합이 기계처리 가능시간을 넘거나 하나의 셀을 형성할 때 기계셀내의 최대 기계수를 초과할 때를 말한다.
- 【단계 3】 에로현상을 유발하고 있는 기계행을 0-1 정수계획법으로 모형화한 후에 탈락요소를 결정한다. 단위당 부품의 생산비용, 하청비용, 기능 설비 운용비용 등의 각종비용 행렬을 설정하여 탈락요소에 대한 준비작업을 실행한다. 이때 탈락요소로 결정된 요소를 탈락후보요소로 선정하고 그 요소를 제외한 후 입력행렬을 형성한다. 새로운 입력행렬로 다시 셀을 형성할 수 있는지를 확인하여 형성이 가능하면 이 탈락 후보요소를 기능설비 요소로 설정하고, 만약 셀을 형성할 수 없으면 하청비용과 기능설비비용을 비교하여 에로현상을 해결한다.
- 【단계 4】 기계셀과 부품군을 형성한 후에 이 요소를 원래 입력행렬에서 제외시킨다. 그리고, 단계 2로 이항한다.
- 【단계 5】 만약 남아 있는 기계나 부품이 있으면 단계 2로 가고, 없으면 단계 6으로 이항하라.
- 【단계 6】 완전한 기계셀과 부품군을 형성하고 기능설비 요소과 하청품목의 비용을 합산하여 기계셀과 부품군을 형성하지 못함으로 유발되는 총비용을 계산한다.

4. 수치예제

【부호설명】

- [A⁰]: 제 1차 입력행렬, [A¹]: 제 2차 입력행렬
- [Aⁱ]: 최종 기계셀과 부품군, [C]: 기계당 총 처리가능시간
- P_i: 부품 i, M_j: 기계 j, N: 하나의 셀의 최대의 기계 수
- [PC]: 부품단위당 생산비용, [SC]: 부품단위당 하청비용
- [FC]: 부품의 가공에 대한 기능 설비운용 비용

【단계 1】 (제 1차 입력행렬)

		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7		C
[A] =	M1	10	0	4	0	1	0	5]	30
	M2	0	7	0	6	0	7	0		25
	M3	0	0	3	0	4	0	7		15
	M4	0	9	0	0	4	5	0		10
	M5	5	0	4	9	0	3	0		25

【단계 2】 기계의 처리가능시간(용량)을 넘어서는 행이 M4이므로, 애로현상이 발생하여 단계 3으로 이항한다. 기계의 최대 댓수 N=3이라 가정하자.

$$[A] = \begin{matrix} & \begin{matrix} P1 & P2 & P3 & P4 & P5 & P6 & P7 \end{matrix} \\ \begin{matrix} M1 \\ M2 \\ M3 \\ M4 \\ M5 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 10 & 0 & 4 & 0 & 1 & 0 & 5 \\ 0 & 7 & 0 & 6 & 0 & 7 & 0 \\ 0 & 0 & 3 & 0 & 4 & 0 & 7 \\ 0 & 9 & 0 & 0 & 4 & 5 & 0 \\ 5 & 0 & 4 & 9 & 0 & 3 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad \begin{matrix} C \\ 30 \\ 25 \\ 15 \\ 10 \\ 25 \end{matrix} \quad \leftarrow \text{애로현상 발생}$$

[PC] [30 25 10 12 5 12 10]

[SC] [40 35 15 20 10 15 20]

$$[FC] = \begin{matrix} & \begin{matrix} P1 & P2 & P3 & P4 & P5 & P6 & P7 \end{matrix} \\ \begin{matrix} M1 \\ M2 \\ M3 \\ M4 \\ M5 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 28 & 0 & 7 & 0 & 4 & 0 & 7 \\ 0 & 12 & 0 & 10 & 0 & 5 & 0 \\ 0 & 0 & 3 & 0 & 3 & 0 & 7 \\ 0 & 15 & 0 & 0 & 2 & 4 & 0 \\ 10 & 0 & 7 & 15 & 0 & 3 & 10 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

【단계 3】 여기서는 애로현상이 일어나는 구성요소에 대해 생산비를 고려하여 0-1 정수계획법으로 모형화하여 탈락변수를 결정한다. 애로현상에 대한 정식화는 아래와 같다. 이때 탈락 후보요소는 X₄₅, X₄₆가 된다. 이 두 요소를 제외했을 때 기계셀의 형성여부를 확인한다. 애로현상을 유발하지 않으므로 기능설비요소로 설정한다.

(정식화)

$$\begin{aligned} \text{Max } Z &= 25 X_{42} + 10 X_{45} + 12 X_{46} \\ 9 X_{42} + 4 X_{45} + 5 X_{46} &\leq 10, \text{ 모든 변수는 } 0, 1 \end{aligned}$$

$$[A] = \begin{matrix} & \begin{matrix} P1 & P2 & P3 & P4 & P5 & P6 & P7 \end{matrix} \\ \begin{matrix} M1 \\ M2 \\ M3 \\ M4 \\ M5 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 10 & 0 & 4 & 0 & 1 & 0 & 5 \\ 0 & 7 & 0 & 6 & 0 & 7 & 0 \\ 0 & 0 & 3 & 0 & 4 & 0 & 7 \\ 0 & 9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 5 & 0 & 4 & 9 & 0 & 3 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad \begin{matrix} C \\ 30 \\ 25 \\ 15 \\ 10 \\ 25 \end{matrix}$$

탐색의 효율성이 높은 Cluster Identification Algorithm으로 탐색을 시작한다. 기계의 최대수가 3이므로 횡으로 그어진 가로 행의 수가 3이 될 때까지 탐색을 계속한다. 이때 부품 P1과 부품 P3에 애로현상이 발생된다. 이때 하청비용과 기능설비에 대한 총 운용비용을 비교한다. P1은 하청비용이 많이 들고(하청비용: 40 > 기능설비비용:38), P3는 적게 소요되므로(하청비용: 15 < 기능설비비용:17), 부품 P1은 X₅₁이 기능설비 요소로 설정되고 부품 P3는 하청품목으로 설정된다. 그리고, 이때 선택된 하청부품과 기능설비요소를 입력행렬에서 제외하고, 제 1차 기계셀과 부품군을 형성한다. 기계셀은 M2, M4, M5, 부품군은 P2, P4, P6이다.

【단계 4】 제 1차 기계셀과 부품군 구성요소를 제외하고 새로운 입력행렬을 형성한다. 제 2차 입력행렬은 아래와 같다. 남아있는 기계와 부품이 있으므로 단계 2로 이항한다.

(제 2차 입력행렬)

$$[A^1] = \begin{matrix} & \begin{matrix} P1 & P5 & P7 \end{matrix} \\ \begin{matrix} M1 \\ M3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 10 & 1 & 5 \\ 0 & 4 & 7 \end{bmatrix} \end{matrix} \begin{matrix} C \\ \begin{bmatrix} 30 \\ 15 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

단계 2에서 애로현상을 일으키는 구성요소가 없으므로 단계 4로 이항하고 제 2차 기계셀과 부품군을 형성한다.

(제 2차 기계셀과 부품군)

$$[A^1] = \begin{matrix} & \begin{matrix} P1 & P5 & P7 \end{matrix} \\ \begin{matrix} M1 \\ M3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 10 & 1 & 5 \\ 0 & 4 & 7 \end{bmatrix} \end{matrix} \begin{matrix} C \\ \begin{bmatrix} 30 \\ 15 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

【단계 5】 남아있는 기계나 부품이 없으므로 단계 6으로 이항한다.

【단계 6】 완전한 기계셀과 부품군을 형성하고 기능설비 요소과 하청품목으로 비용을 합산하여 총비용을 계산한다.

(최종 기계셀과 부품군)

$$[A^f] = \begin{matrix} & \begin{matrix} P2 & P4 & P6 \end{matrix} & \begin{matrix} P1 & P5 & P7 \end{matrix} \\ \begin{matrix} M2 \\ M4 \\ M5 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 7 & 6 & * \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} & \begin{matrix} * \\ * \\ * \end{matrix} \\ \hline \begin{matrix} M1 \\ M3 \end{matrix} & & \begin{bmatrix} 10 & 1 & 5 \\ 0 & 4 & 7 \end{bmatrix} \end{matrix} \begin{matrix} C \\ \begin{bmatrix} 25 \\ 10 \\ 25 \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} 30 \\ 15 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

∴ 애로현상을 일으키는 구성요소로 예의 비용을 발생시킨다.

하청품목은 P3이고, 기능 설비사용 요소는 X_{45} , X_{46} , X_{61} 이다. 이때, 기계셀-부품군을 완전히 형성하지 못하므로 발생하는 총비용은 하청비용과 기능 설비 사용비용을 합산하여 36이 된다($20+2+4+10$). 그래서, 예의 비용을 최소화하는 경제적인 기계셀-부품군을 형성하게 된다.

5. 설 논

기존의 연구들은 기계셀과 부품군을 형성함에 있어, 일반적으로 유사성(형상, 치수, 가공)만을 가지고 접근했기 때문에 중요한 정보가 일실되게 되는 경향이 있다. 또한, 기존의 기법들은 예외적요소가 발생할 때 이에 대한 해소방안의 탐색이 미흡했고, 열의 위치와 행의 위치가 바뀌었을 때도 언제나 일관성이 있는 결과를 시사하지 못했다.

본 연구에서는, 가공시간과 기계의 처리가능시간, 각종 비용, 하나의 기계셀의 최대기계 댓수를 고려하여 애로현상의 발생 여부에 상관없이 기계셀과 부품군을 형성할 수 있으며, 경영진의 경영전략을 충족시키며 최소의 예외적 비용(셀을 형성하지 못하므로 인해 발생하는 비용)으로 완전한 기계셀과 부품군을 형성하여 셀의 기능을 강화시킬 수 있게 했다.

본 연구에서는, 각종 비용, 가공시간, 하나의 셀의 최대 기계댓수 등을 고려하였으나, 후속 연구에서는 대기시간, 물류관리비, 부품의 공정순서 등을 고려하여 기계셀과 부품군 형성에 관한 전문가 시스템에 대한 연구가 이루어져야 하겠다.

참고문헌

1. Askin, R. G. and Subramanian, S. P., "A Cost-Based Heuristic for Group Technology Configuration," *International Journal of Production Research*, Vol. 25, No. 1, 1987, pp. 101-113.
2. Chandrasekharan, M. P. and Rajagopalan, R., "MODROC : An Extension of Rank Order Clustering for Group Technology," *International Journal of Production Research*, Vol. 24, No. 5, 1986, pp. 1221-1233.
3. De Witte, J., "The Use of Similarity Coefficients in Production Flow Analysis," *International Journal of Production Research*, Vol. 18, No. 4, 1980, pp. 503-514.
4. Gunasingh, K. R. and Lashkari, R. S., "Machine Group in problem in Cellular Manufacturing Systems ; An Integer Programming," *International Journal of Production Research*, Vol. 27, No. 9, 1989, pp. 1465-1473.
5. Han, C. P. and Ham, I. Y., "Multiobjective Cluster Analysis for Part Family Formations," *Journal of Mananufacturing System*, Vol. 5, 1986, pp. 223-230.
6. Hwang, S. M., "A Constraint-Directed Method to solve the Part Selection Problem in Flexible Manufacturing Systems Planning Stage," in Proc. Second ORSA/TIMS Conference on FMS, 1986, pp. 297-309.
7. Harhalakis, G. R. and Nagi, R. and Proth, J. M., "An Efficient Heuristic in Manufacturing Cell Formation for Group Technology Application," *International Journal of Production Research*, Vol. 28, No. 1, 1990, pp. 185-198.
8. King, J. R. and Nakornchai, V., "Machine-Component Group Formation in Group Technology : Review and Extention," *International Journal of Production Research*, Vol. 20, No. 2, 1982, pp. 117-133.
9. Kumar, K. R. and Kusiak, A. and Vannelli, V., "Grouping of Parts and Components in Flexible Manufacturing Systems," *European Journal of Operational Research*, Vol. 24, 1986, pp. 387-397.
10. Kusiak, A., "The generalized Group Technology Concept," *International Journal of Production*

- Research, Vol. 25, No. 4, 1987, pp. 561-569.
11. Kusiak, A., *Intelligent Manufacturing Systems*, Prentice-Hall, Inc. 1990, pp. 206-233.
 12. Kusiak, A. and Chow, W. S., "Efficient Solving of the Group Technology problem," *Journal of Manufacturing System*, Vol. 6, 1987, pp. 117-124.
 13. Seifoddini, H., "A note on the Similarity Coefficient Method and the Problem of Improper Machine Assignment in Group Technology Applications", *International Journal of Production Research*, Vol. 27, No. 7, 1989, pp. 1161-1165.
 14. Seifoddini, H., "A Probabilistic Model for Machine Cell Formation, " *Journal of Manufacturing System*, Vol. 9, No. 1, 1990, pp. 69-75.
 15. Wei J. C. and Gaither, N., "A Capacity Constrained Multi- objective Cell Formation Method," *Journal of Manufacturing System*, Vol. 9, No. 3, 1990, pp. 222-232.