

유연생산셀의 설계 방법

이 노 성
특허청 심사관

(A Design Method for Flexible Manufacturing Cell)

LEE, NOHSUNG
Korean Industrial Property Office, Patent examiner

1. 서 론

셀 생산방식은 생산효율을 증가하기 위해 사용된 관리철학과 혁신이다. 이것은 시스템을 생산셀이라 불리는 부시스템으로 나누는 것이다. 셀생산방식의 기반이 되는 개념은 Group Technology(GT)인데, 그룹이라는 조직단위가 모든 제품이나 부품을 완성하도록 하는 공장 조직화 방법이다. 생산시스템을 부품들과 머신들의 그룹으로 분할한다. 부품들은 그들의 조건에 따라 군으로 그룹화되고, 머신들은 셀들로 그룹화되어, 각 부품들이 가공 방법과 톨링, 기존의 머신들을 이용하여 하나의 셀에서 충분히 처리될 수 있도록 하는 것이다.

이러한 개념은 Flander(1925)에 의해 시작되어, Mitrofanov(1946)가 Group Technology라는 이름으로 부품형태와 작업시간사이의 관계를 분석하였다. 1960년대에 Burbidge는 머신 그룹과 부품군의 구성에 시스템적인 접근법을 개발하여 생산셀 설계에 대한 관심을 증폭시켰다. 설계, 생산계획, 공정계획, 스케줄링, 검사, 저장등과 같은 생산 시스템에 다양하게 GT를 적용하였으며, 가장 널리 알려진 것이 셀 생산방식이다.[1]

셀 설계는 생산시스템을 구성하는 공정계획과 스케줄링의 중간단계이다. 유사성을 기반으로 공통적인 생산공정을 발견하고, 부품군과 머신셀들이 포함된 생산셀을 구성하는 기능으로 셀 설계는 정의된다. 부품군은 동일 그룹의 머신들에 의해 작업되기 때문에 유사한 부품들의 리스트이다.[7] 머신셀은 주어진 부품군들의 처리할 머신 리스트이다. 조건에 맞는 부품군과 머신셀들을 분류하기 위해 유사성을 인식하는 것이 필수적이다. 형태, 크기, 재료와 같은 부품의 특성이 유사성에대한 하나의 공통적인 기준이다. 또다른 기준은 공정순서 또는 경로, 사용되는 머신의 형태와 같은 부품들에 대한 생산공정의 특성들이다.

셀과 부품군을 설계하는 많은 방법들이 개발되어 왔다. 기존의 방법들은 하나의 부품이 특정 형상을 위한 하나의 머신만을 거친다고 가정해 왔으며, 이는 "0" 또는 "1"로 표현된다. "1"은 부품이 특정 형상을 처리하는데 적합한 머신을 거친다는 것을 의미하며, "0"는 부품이 적합한 머신에 할당되지 않았음을 의미한다. 이진 머신-부품 인시던스(Machine-part Incidence) 행렬이 이러한 이진값들을 나타내는데 사용된다. 그때 머신 셀들은 유사한 관계들을 그룹화가 가능한 방식으로 머신-부품 인시던스 행렬을 다룸으로서 구성된다. 셀 생산방식을 수행하는 기초는 초기 행렬을 서브 시스템이나 불러 다이아그램으로 전개하는 것이다.

그러나, 실제적으로 부품 형상은 효율성이나 가공시간이 다른 선택가능한 기계들에 의해서 처리될 수 있다. 이것은 선택

가능한 기계들의 적합성을 나타내는 정도로 나타내도록 요구한다.[2] 각 형상 가공공정마다 선택가능한 머신들을 나타내게 되면, 첫번째 할당된 머신이 고장났을 경우에 두번째 가능한 기계를 선택할 수 있다. 퍼지 이론 접근방법에 바탕을 둔 비이진(Nonbinary) 머신-부품 인시던스 행렬은 머신들과 부품사이의 관계를 잘 표현한다. 그 관계는 소속값으로 나타낼 수 있는데, 부품이 부합하는 머신을 거치는가 하는 적당한 정도이다.

II. 셀 설계 모듈

셀을 설계하는 기능은 생산셀에서 머신들을 지정하고 부품들을 머신들에 할당하는 것이다. 셀 레이아웃은 셀 구성의 결과로 결정되기 때문에 설계와 제조에서 매우 중요한 단계이다. 위치와 레이아웃은 셀간 이동시간과 병목 현상의 발생에 영향을 준다.[8] 그림 1.1은 생산셀을 설계하는 모듈의 역할이다.

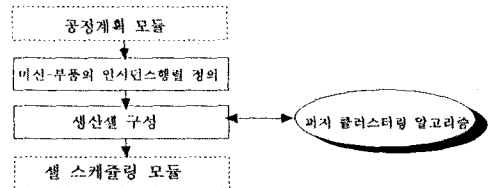


그림 1.1 생산셀 설계 모듈
Fig. 1.1 Manufacturing-cell Design Module

이 모듈의 입력은 공정계획 모듈로부터 주어진 부품에 대한 선택된 공정계획이다. 공정계획에서 사용되는 부품들과 머신들 사이의 관계는 머신-부품 인시던스 행렬에 의해 표현된다. 이 정보로부터 통합 셀 생산시스템은 퍼지 클러스터링 알고리즘을 사용하여 생산셀을 결정한다. 생산셀의 설계시에 셀 생산방식에 관련된 다음 속성들을 기억해야 한다.[8]

- (1) 셀들의 총 수
- (2) 머신 형태의 총 수
- (3) 톨, 고정물, 물류 장비
- (4) 셀 레이아웃
- (5) 병목 머신들을 가진 셀들의 수

III. 제안된 셀 설계 알고리즘

이 절에서는 셀 설계 알고리즘에 기반을 둔 유사성 계수를 제안한다. 먼저 비이진값에 대한 유사성 계수가 정의되고, 셀 설계를 위한 과정이 서술된다.

3.1 유사성 계수

유사성 계수를 이용한 접근방법은 셀을 설계하는 가장 효과적인 방법이기 때문에 셀 생산방식에 잘 알려진 방법이다.[4] 이전 머신-부품 인시던스 행렬의 경우에, SCLA와 ALCA에서 정의한 유사성 계수가 널리 사용되었다.[4,5]

비이진 머신-부품 인시던스 행렬에서는 L_i 등이 유사성 계수의 다른 형태를 제안하였다.[3] 이 연구에서, 머신 i 와 j 에 대한 유사성 계수 (S_{ij})는 다음과 같이 정의된다.

$$S_{ij} = \frac{\sum_k (\mu_{ik} \wedge \mu_{jk})}{\sum_k (\mu_{ik} \vee \mu_{jk})} \quad i=1, \dots, m, \quad j=1, \dots, m \text{ and } i \neq j \quad (3.1)$$

식(3.1)에서 유사성 계수는 M_i 와 M_j 를 거치는 부품들의 비율을 반영한다. 유사성의 값은 1 근처의 값이 M_i 와 M_j 를 하나의 셀로 구성하는 것이 더 바람직함을 나타내는 것으로 표준화 되어 있다. μ_{ij} 의 모든 요소들이 일치하면 유사성 계수는 1을 가르키며, 그 역이면 유사성 계수는 0이다. 0 근처의 값은 비교적 덜 중요함을 의미한다. S_{ij} 의 값들은 다음과 같은 특성들을 가진다.

- a) $0 \leq S_{ij} \leq 1$ for $i \neq j$, (3.2)
- b) $S_{ij} = S_{ji}$, and (3.3)
- c) $S_{ii} = 1$. (3.4)

한 쌍의 유사성은 다음과 같은 행렬로 정리될 수 있다.

$$S = \begin{pmatrix} 1 & S_{12} & \dots & S_{1p} \\ S_{21} & 1 & \dots & S_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{m1} & S_{m2} & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (3.5)$$

3.2 머신-체이닝(Chaining) 문제

머신-체이닝(Chaining) 문제는 머신들이 셀들에 부적절하게 할당되었을 때 발생할 수 있다. Seifoddini와 Wolfe, Chow와 Hawaleshka는 이러한 문제를 해결하는 효율적인 알고리즘을 소개했다.[4,6] 머신-체이닝 문제의 중요한 핵심은 과정의 모든 단계들을 연속적인 것으로 간주하는 것이다. 만일 M_i 와 M_j 는 최대 유사성 값을 가진다면, M_i 와 M_j 는 같은 셀로 구성되며, M_i 와 M_j 의 구성요소들은 단일 구성단위로 변형된다. M_i 와 M_j 에서의 구성요소들을 새로운 머신 요소, $M_{(ij)}$ 로의 변형은 다음과 같다.

$$M_{(ij)}, k = (\mu_{ik} \vee \mu_{jk}) \quad k = 1, \dots, p \quad (3.6)$$

이전 단계의 출력이 다음 단계의 입력이기 때문에 원하는 셀 수가 집단화 될 때까지 연속적인 계산이 반복된다. 예를 들면, 식 (3.7)와 (3.8)에 다섯개의 부품에 대한 M_i 와 M_j 의 소속값이 보여진다. 식 (3.9)에서 $M_{(ij)}$ 의 새로운 구성요소가 다음과 같이 변형된다.

$$M_i = (0.1, 0.3, 0.0, 0.0, 0.7), \quad (3.7)$$

$$M_j = (0.3, 0.1, 0.1, 0.0, 0.0), \text{ and} \quad (3.8)$$

$$M_{(ij)} = (0.3, 0.3, 0.1, 0.0, 0.7). \quad (3.9)$$

IV. 셀 설계 과정

표 4.1은 초기의 머신-부품 인시던스 행렬이다. 두개의 생산 셀로 그룹될 일곱 부품과 일곱 기계들이 있다. 머신들은 세 가지 형태로 분류된다: 드릴링(D), 밀링(M), 그라인딩(G). 각 부품에 대한 일련의 공정들이 표 4.2에 나열된다. 예를 들면, 부품 P1, P3, P7은 드릴링과 밀링 머신으로 처리된다.

표 4.1 초기의 머신-부품 인시던스 행렬

Table 4.1 Initial Machine-Part Incidence Matrix
Machine Part

Machine	Part						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
D1	1	0	1	0.8	0	0.1	0.9
D2	0	1	0.3	0	0.7	0.8	0
D3	0.3	0.7	0	0	0.8	0.8	0
M1	0	0.7	0	0.3	0.7	0	0.3
M2	0.6	0.1	0.5	0	0	0	0.5
M3	0.7	0.2	0.8	0.8	0.3	0	0.7
G1	0	1	0.5	0	0.8	0.9	0

D: Drilling machine, M: Milling machine,

G: Grinding machine

표 4.2 일련의 공정

Table 4.2 Operation Sequence

부품	경로
P1	D-M
P2	D-M-G
P3	D-M-G
P4	D-M
P5	D-M-G
P6	D-G
P7	D-M

단계 0) 초기화.

현재 셀의 수(CNC)=7, 원하는 셀의 수(c)=2로 설정한다. 각 머신에 대하여 모든 부품에 대한 μ_{ik} 의 값을 조사한다. 만일 모든 j 에 대하여 $\mu_{jk} > 0$ 이면 이 머신을 bottleneck cell로 이동시키고 원 문제에서 제거시킨다. 주어진 머신-부품 인시던스 행렬의 유사성 값을 계산한다.

단계 1) 셀 구성

최대 유사성 계수를 가지는 머신 M_i^* 와 M_j^* 를 발견한다. 그리고 이러한 두 기계들을 같은 셀 $M_{(ij)}$ 로 포함시킨다. 표 4.3에 최대 유사성 값을 머신 D2와 G1의 0.875이다. 두번째 법칙에 따라 이 두 머신은 같은 셀에 속하게 된다.

단계 2) 변형

머신 M_i^* 와 M_j^* 의 구성요소들을 변형하고 머신-부품 인시던스 행렬을 재정리한다. 두 기계 D2와 G1의 구성요소들은 다음처럼 한 구성단위로 변형된다.

$$D2 = (0.0, 1.0, 0.3, 0.0, 0.7, 0.8, 0.0),$$

$$G1 = (0.0, 1.0, 0.5, 0.0, 0.8, 0.9, 0.0), \text{ 그리고}$$

$$M(D_2, G_1) = \sum_{k=1}^7 (\mu_{2k} \vee \mu_{1k}) = (0.0, 1.0, 0.5, 0.0, 0.8, 0.9, 0.0)$$

머신 D2와 G1이 같은 셀에서 구성되었을 때, 새로 워진 머신-부품 인시던스 행렬이 만들어 진다.

단계 3) 유사성 값 계산

재 정리된 머신-부품 인시던스 행렬로 부터 유사성 값들을 새롭게 하고 CNC의 값을 한 단위 줄인다. CNC의 값을 6으로 재설정한다.

단계 4) 계산

CNC와 c의 값을 검토한다. CNC > c 이면, 단계 1로 가서 CNC=c일 때까지 이 과정을 반복한다.

제안된 과정에 따라 초기 머신-부품 인시던스 행렬은 재배열되고 최종 머신-부품 인시던스 행렬이 표 4.3과 같이 얻어진다.

표 4.3 최종 머신-부품 인시던스 행렬
Table 4.3 Final Machine-part Incidence Matrix

Machine	Part						
	P3	P1	P7	P4	P2	P5	P6
D1	1	1	0.9	0.8	0	0.1	0.9
M3	0	1	0.3	0	0.7	0.8	0
M2	0.3	0.7	0	0	0.8	0.8	0
G1	0	0.7	0	0.3	0.7	0	0.3
D2	0.6	0.1	0.5	0	0	0	0.5
D3	0.7	0.2	0.8	0.8	0.3	0	0.7
M1	0	1	0.5	0	0.8	0.9	0

V. 결과고찰

제안된 알고리즘의 효율성을 검토하기 위하여, Wang과 Li의 예제를 사용하였다.[1] 표 5.1은 두개의 머신 셀과 부품 군이 집단화된 결과를 보인다. 이 예제에서 얻어진 해는 퍼지 ROC 또는 퍼지 SLCA의 것과 같다.[1]

표 5.1 최종 결과
Table 5.1 Final Results

생산셀	머신셀	부품군
1	D1, M3, M2	P3, P1, P7, P4
2	G1, D2, D3, M1	P2, P5, P6

머신-부품 인시던스 행렬에서 다수의 값을 할당하는 것은 생산 셀이 설계되었을 때 선택적인 경로가 고려될 수 있다는 징점이 있다. 예를 들면 표 4.2에 주어진 일련의 공정을 바탕으로 표 5.2은 가능한 부품 경로를 나열한다.

표 5.2 부품의 경로
Table 5.2 Routings of Parts

부품	경로
P1	D1-M2 or D1-M3
P2	D2-M1-G1 or D3-M1-G1
P3	D1-M2-G1 or D1-M3-G1
P4	D1-M2 or D1-M3
P5	D2-M1-G1 or D3-M1-G1
P6	D2-G1 OR D3-G1
P7	D1-M2 or D1-M3

제안된 알고리즘의 우수성을 증명하기 위하여, 비이진 경우의 예제에 기존의 방법들을 적용하였다. 비이진인 경우에, Lee 등으로부터 취한 예제에 대하여 제안된 방법을 포함한 다른 네가지 방법들에 대한 계산결과가 표 5.3에 요약된다. 얻어진 해를 비교하기 위해, 예외적인 요소들의 수(NEE)와 예외적인 요소값들의 합(SEV)이 기준으로써 사용된다. NEE와 SEV 측정값들이 낮으면 낮을수록 집단화 결과는 더 높아진다. 표 5.3에 결과에서처럼, SAA와 제안된 알고리즘이 두가지 성능 측정치에 최소값을 가진다.

표 5.3 비이진인 경우의 성능평가 결과
Table 5.3 Result of Performance in Nonbinary Case Measure Algorithm

Measure	Algorithm			
	Fuzzy Roc	BEA	SAA	Proposed Algorithm
NEE	48	35	33	33
SEV	25	13.3	11.4	11.4

제안된 알고리즘의 장점은 다음과 같다.

- (1) 계산적으로 간단하고 개념적으로 이해하기 쉽다.
- (2) 머신사이의 관계가 유사성 값들로부터 발견될 수 있다.
- (3) 이진과 비이진 경우 모두에 사용될 수 있다.
- (4) 머신-체이닝 문제를 고려하기 때문에 셀간 이동을 최소화 하는 해를 제공한다.

VI. 결론

본 논문에서 제안한 셀 설계를 위한 알고리즘은 다른 방법들에 비해 더 좋은 해를 제공한다. 그러나 이것은 셀 설계에 한정되어 있다. 부품군을 판정하는 부가적인 기능을 포함하도록 확장될 수 있다. 머신 셀들과 부품군을 동시에 구성할 수 있는 확장된 퍼지 논리 알고리즘을 개발하는 연구가 앞으로 계속 될 것이다.

[참고문헌]

- [1] Wang, H. P., and Li, J. K., Computer-Aided Process Planning, Elsevier, Amsterdam, 1991.
- [2] Sundaram, R. M., and Doshi, K., "Formation of pce on Computers and art faMlies to design cells with alternative routing considerations," Proceedings of the 14th Annual Conference Industrial Engineering, Vol. 23, pp.59-62, 1992.
- [3] Li, J., Ding, Z., and Lei, W., "Fuzzy cluster analysis and fuzzy pattern recognition methods for formation of part faMlies," 16th North American Manufacturing Research Conference(NAMAC) Proceedings, Society of Manufacturing Engineers, pp. 558-563, 1988.
- [4] Seifoddini, H., and Wolfe, P. M., "Application of the siMilarity coefficient method in group technology," IIE Transactions, Vol. 19, pp. 271-277, 1986.
- [5] McAuley, J., "Machine grouping for efficient production," The Production Engineer, Vol.51, pp. 53-57, 1972.
- [6] Chow, W. S., and Hawaleshka, O., "An efficient algorithm for solving the machine chaining problem in cellular manufacturing," Computers and Industrial Engineering, Vol. 22, pp. 95-100, 1992
- [7] Burbidge, J. L., The Introduction of Group Technology, John Wiley & Sons, New York, 1975.
- [8] Afzulpurkar, S., Huq, F., and Kurpad, M., "An alternative framework for the design and implementation of cellular manufacturing", International Journal of Operations & Production Management, Vol. 9, pp.4-17, 1993.