

# 퍼지 이론에 기초한 머신-셀 구성방법 A Machine-Cell Formation Method based on Fuzzy Set)

°이 노 성, 임 춘 우°

**Abstract** : In this paper, a fuzzy set based machine-cell formation algorithm for cellular manufacturing is presented. The fuzzy logic is employed to express the degree of appropriateness when alternative machines are specified to process a part shape. For machine grouping, the similarity coefficient based approach is used. The algorithm produces efficient machine cells and part families which maximize the similarity values.

**Keywords** : cellular manufacturing, fuzzy set, machine-cell formation algorithm, similarity coefficient

## 1. 서 론

셀 생산방식은 GT의 두번째 세대로 인식되어왔다. GT의 첫 번째 세대에서는 부품 군이 형성되었다. 부품 군에서는 유사한 기하학적 형태에 따라서 실제적인 머신 배치의 변경없이 비슷한 생산공정이 요구된다. GT의 두번째 세대에서는 부품 군과 머신 셀들이 동시에 구성된다. 실제적으로 머신들을 셀로 구성함으로써 물류 거리가 크게 줄어든다.[1] 그림 1.1은 머신 셀과 부품군을 가진 생산시스템의 보기이다.

머신 셀과 부품군을 구성하는 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"은 부품이 적합한 머신에 할당되지 않았음을 의미한다. 이진 머신-부품 인시던스(Machine-part Incidence) 행렬이 이러한 이진값들을 나타내는데 사용된다. 그때 머신 셀들은 유사한 객체들을 그룹화가 가능한 방식으로 머신-부품 인시던스 행렬을 다룸으로써 구성된다. 셀 생산방식을 수행하는 기초는 초기 행렬을 서브 시스템이나 블록 다이어그램으로 전개하는 것이 다.

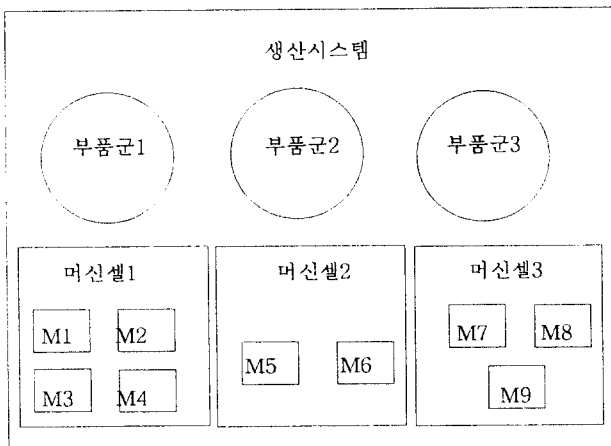


그림1.1 세개의 머신 셀과 부품군들을 가진 생산시스템  
Fig. 1.1 Manufacturing System with Three Machine Cells and Part Families

선택가능한 기계들에 의해서 처리될 수 있다. 이것은 선택가능한 기계들의 적합성을 나타내는 정도를 나타내도록 요구한다.[2] 각 형상 가공공정마다 선택가능한 머신들을 나타내게 되면, 첫 번째 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. 퍼지 집합을 바탕으로한 접근방법

m개의 머신들과 p개의 부품들이 c개의 셀들로 그룹된다고 가정하자. 이때 아래와 같은 이진 머신-부품 인시던스 행렬로 표현할 수 있다.

표 2.1 이진 머신-부품 인시던스 행렬  
Table 2.1 Binary Machine-part Incidence Matrix

머신	부품				
	P1	P2	P3	...	Pp
M1	$\mu_{11}$	$\mu_{12}$	$\mu_{13}$	...	$\mu_{1p}$
M2	$\mu_{21}$	$\mu_{22}$	$\mu_{23}$	...	$\mu_{2p}$
M3	$\mu_{31}$	$\mu_{32}$	$\mu_{33}$	...	$\mu_{3p}$
.	.	.	.	...	.
.	.	.	.	...	.
.	.	.	.	...	.
Mm	$\mu_{m1}$	$\mu_{m2}$	$\mu_{m3}$	...	$\mu_{mp}$

$$* \mu_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{j번째 부품이 i번째 기계에 의하여 처리될 때} \\ 0 & \text{그렇지 않을 때} \end{cases}$$

$\mu_{ij}$ 는 머신 i와 부품 j의 관계를 나타낸다. 앞에서 설명한 이진 행렬의 한계때문에 비이진 행렬이 제안된다. 비이진 행렬은 이진 논리 접근방법보다 그룹화하고 집산화하는데 더 많은 유연성을 가지기 때문에 셀 구성 문제에 보다 효율적인 접근방법에 활용할 수가 있다.[3] 표 2.2는 비이진 머신-부품 인시던스 행렬에 대해 설명하고 있다.

표 2.2 비이진 머신-부품 인시던스 행렬  
Table 2.2 Nonbinary Machine-part Incidence Matrix

그러나, 실제적으로 부품 형상은 효율성이나 가공시간이 다른

\* 특허청 특허심사관

\*\* LG생산기술원 책임연구원

머신	부품				
	P1	P2	P3	...	Pp
M1	$\mu_{11}$	$\mu_{12}$	$\mu_{13}$	...	$\mu_{1p}$
M2	$\mu_{21}$	$\mu_{22}$	$\mu_{23}$	...	$\mu_{2p}$
M3	$\mu_{31}$	$\mu_{32}$	$\mu_{33}$	...	$\mu_{3p}$
.	.	.	.	...	.
.	.	.	.	...	.
.	.	.	.	...	.
Mm	$\mu_{m1}$	$\mu_{m2}$	$\mu_{m3}$	...	$\mu_{mp}$

비이진 머신-부품 인시던스 행렬을 사용할 때의 제약조건은 다음과 같다.

$$a) 0 \leq \mu_{ik} \leq 1, \quad i=1, \dots, m \text{ 그리고 } k=1, \dots, p \quad (2.1)$$

$$b) \sum_{k=1}^p \mu_{ik} = 1, \quad i=1, \dots, m \quad (2.2)$$

식(2.1)은 소속값  $\mu_{ik}$  가 이진값 [0,1]에 제한되지 않고 {0,1}사이 값을 가지게 된다. 식(2.2)는 부품이 하나이상의 머신에서 처리될 수 있음을 나타내고 있다.

### III. 제안된 머신-셀 구성 알고리즘

이 절에서는 머신-셀 구성 알고리즘에 기반을 둔 유사성 계수를 제안한다. 먼저 비이진값에 대한 유사성 계수가 정의되고, 머신-셀 구성을 위한 과정이 서술된다.

#### 3.1 유사성 계수

유사성 계수를 이용한 접근방법은 머신 셀을 구성하는 가장 효과적인 방법이기 때문에 셀 생산방식에 잘 알려진 방법이다.[4] 이진 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.

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

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 표준화되어 있다.  $\mu_{ij}$ 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.

$$a) 0 \leq S_{ij} \leq 1 \text{ for } i \neq j, \quad (3.2)$$

$$b) S_{ij} = S_{ji}, \text{ and} \quad (3.3)$$

$$c) S_{ii} = 1. \quad (3.4)$$

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. Seifoddini 와 Wolfe, Chow 와 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 셀수가 집산화 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.

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

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

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

머신-체이닝 문제는 셀 설계단계에서 고려되어야 한다. 유사한 머신들이 하나의 셀에서 구성되었을 때, 셀의 밀도는 증가하며 반면에 다른 셀들의 밀도는 감소할 수 있다. 이것은 머신 셀에서 모든 머신 활용도를 감소하는 결과를 낳게 된다. 그러나 셀간의 그리고 셀 내부의 이동 비용은 감소할 수 있다. 그러므로, 생산 셀이 설계되었을 때, 시스템의 목적이 명확해야 한다.

#### 3.3 셀 구성에서의 성능 측정

머신 셀과 부품 군을 그룹한 후, 셀의 배치와 성능 측정이 최상의 공정 과정을 선택하기 위한 정보를 제공하기 위하여 설계 단계 전반에 걸쳐서 고려되어야 한다. 제안된 성능 측정지표는 다음과 같다.

##### • 경제성에 관련된 지표

- (1) 셀간 이동의 최소 비용
- (2) 셀내 이동의 최소 비용
- (3) WIP의 최소비용
- (4) 설치 및 고정 머신 비용의 최소화

##### • 설계에 관련된 지표

- (1) 생산 이동 상관 계수
- (2) 단순/일반적 조화 측정지표
- (3) 총 결합 에너지/ 효율성 측정지표
- (4) 부동의 합
- (5) 유사성의 합
- (6) 기계 활용도
- (7) 군들의 수
- (8) 예외적 부품들의 수.

#### 3.4 머신-셀 구성 과정

제안된 과정은 세가지 기본 법칙으로 구성된다. 첫번째 법칙은 식 (3.1)을 이용하여 머신들 사이의 유사성 값들을 계산하고

유사성 행렬을 만드는 것이다. 두번째 법칙은 최대 유사성 값을 가지는 기계들을 포함하도록 셀을 구성하는 것이다. 마지막 법칙은 선택된  $M_i$ 와  $M_j$ 의 구성요소들을 식 (3.6)을 이용하여 새로운 머신 단위로 변환하는 것이다. 제시한 머신-셀 구성과정은 이러한 세가지 법칙을 결합하여 머신 셀과 부품군을 만드는 것으로 그 과정은 다음과 같다.

단계 0) 초기화.

현재 셀의 수(CNC)를  $m$ 으로 두고 원하는 셀의 수를  $c$ 로 설정하라. 각 머신에 대하여 모든 부품에 대한  $\mu_{ij}$ 의 값을 조사한다. 만일 모든  $j$ 에 대하여  $\mu_{ik} > 0$  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.

단계 2) 변형

머신  $M_i$ 와  $M_j$ 의 구성요소들을 변형하고 머신-부품 인시던스 행렬을 재정리한다.

단계 3) 유사성 값 계산

재 정리된 머신-부품 인시던스 행렬로부터 유사성 값들을 새롭게 하고 CNC의 값을 한 단위 줄인다.

단계 4) 계산

CNC를 검토한다. 만일  $CNC > c$  이면 단계 1로 이동하고, 그렇지 않으면  $CNC=c$ 일 때까지 반복한다.

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) CNC=7, c=2로 설정한다.

표 4.3에서 유사성 값들이 식 (3.1)을 이용하여 계산된다. 값들은 머신들사이의 유사성 정도를 나타낸다.

표 4.3 유사성 행렬

Table 4.3 Similarity Matrix

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
D1	-	0.065	0.067	0.115	0.410	0.698	0.094
D2	-	-	0.688	0.410	0.098	0.145	0.875
D3	-	-	-	0.438	0.103	0.151	0.657
M1	-	-	-	-	0.121	0.250	0.368
M2	-	-	-	-	-	0.486	0.140
M3	-	-	-	-	-	-	0.175
G1	-	-	-	-	-	-	-

#### IV. 실행 및 결과고찰

제안된 알고리즘의 효율성을 검토하기 위하여, Wang과 Li의 예제를 사용한다.[1] 표 4.1은 초기의 머신-부품 인시던스 행렬이다. 두개의 생산 셀로 그룹될 일곱 부품과 일곱 기계들이 있다. 머신들은 세가지 형태로 분류된다: 드릴링(D), 밀링(M), 그라인딩(G). 각 부품에 대한 일련의 공정들이 표 4.2에 나열된다. 예를들면, 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						
	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

단계 1) 표 4.3에 최대 유사성 값은 머신 D2와 G1의 0.875이다. 두번째 법칙에 따라 이 두 머신은 같은 셀에 속하게 된다.

단계 2) 두 기계 D2와 G1의 구성요소들은 다음처럼 한 구성 단위로 변형된다.

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

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

$$M(D2,G1) = \sum_{k=1}^7 (\mu_{2k} \vee \mu_{7k}) = (0.0, 1.0, 0.5, 0.0, 0.8, 0.9, 0.0)$$

머신 D2와 G1이 같은 셀에서 구성되었을 때, 새로 워진 머신-부품 인시던스 행렬은 표 4.4에 보여진다.

표 4.4 새로워진 머신-부품 인시던스 행렬

Table 4.4 Updated Machine-part Incidence Matrix

Machine	Part						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
D1	1	0	1	0.8	0	0.1	0.9
D2,G1	0	1	0.5	0	0.8	0.9	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

단계 3) CNC의 값을 6으로 재설정한다.

표 4.4에서의 정보로부터 유사성 값들은 새로워지며, 결과들은 표 4.5에 보여진다.

표 4.5 새로워진 유사성 행렬  
Table 4.5 Updated Similarity Matrix

	D1	D2,G1	D3	M1	M2	M3
D1	-	0.094	0.067	0.115	0.410	0.698
D2,G1	-	-	0.657	0.368	0.140	0.175
D3	-	-	-	0.438	0.103	0.151
M1	-	-	-	-	0.121	0.250
M2	-	-	-	-	-	0.486
M3	-	-	-	-	-	-

단계 4) CNC와 c의 값을 검토한다.  $CNC > c$  이면, 단계 1로 가서  $CNC=c$ 일 때까지 이 과정을 반복한다.

제안된 과정에 따라 초기 머신-부품 인시던스 행렬은 재배열되고 최종 머신-부품 인시던스 행렬이 표 4.6과 같이 얻어진다.

표 4.6 최종 머신-부품 인시던스 행렬  
Table 4.6 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

표 4.7은 두개의 머신 셀과 부품 군이 집단화된 결과를 보인다. 이 예제에서 얻어진 해는 퍼지 ROC 또는 퍼지 SLCA의 것과 같다.[1]

표 4.7 최종 결과  
Table 4.7 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 구성되었을 때 선택적인 경로가 고려될 수 있다는 장점이 있다. 예를 들면 표 4.1에 주어진 일련의 공정을 바탕으로 표 4.8은 가능한 부품 경로를 나열한다.

표 4.8 부품의 경로  
Table 4.8 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

## V. 결론

작업장에서 생산되는 모든 제품에 대한 공정 계획이 주어졌을 때, 생산-셀 설계는 머신 셀들과 부품군을 규정하고 할당한다. 본 논문에서 제안한 알고리즘은 공정을 처리할 때 머신의 적정도를 표현하기 위해 퍼지 집단화 알고리즘을 기본으로 한다. 하나의 공정은 하나 이상의 기계에서 처리될 수 있으며, 특별한 공정을 처리하는 기계들은 선택가능한 기계로 불린다. 하나의 공정에 대한 선택가능한 기계들을 가지는 것은 첫번째 기계가 고장이거나 바쁜 상태인 경우에 두번째 기계를 선택하는데 유용하다. 두번째, 머신-셀 구성 알고리즘에 기반을 둔 유사성 계수는 머신들 또는 부품들사이의 유사성 정도를 보여주는 데 사용된다. 유사성 계수는 머신들사이의 유사성 값을 계산하도록 정의된다. 세째로, 머신-체이닝 문제는 셀에서 머신들의 부적절한 할당을 방지하도록 고려된다.

본 논문에서 제안한 머신-셀 구성을 위한 알고리즘은 다른 방법들에 비해 더 좋은 해를 제공한다. 그러나 이것은 머신-셀 구성에 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 siMlarity 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