▩ 연구논문

다목적 비선형 혼합정수계획법을 이용한 셀 형성
- Cell Formation Using Fuzzy Multiobjective Nonlinear Mixed-integer Programming -

오 명 진*
Ohh, Myoung Chin

Abstract

Cell formation(CF) is to group parts with similar geometry, function, material and process into part families, and the corresponding machines into machine cells. Cell formation solutions often contain exceptional elements(EEs). Also, the following objective functions - minimizing the total costs of dealing with exceptional elements and maximizing total similarity coefficients between parts - have been used in CF modeling. Thus, multiobjective programming approach can be developed to model cell formation problems with two conflicting objective functions. This paper presents an effective cell formation method with fuzzy multiobjective nonlinear mixed-integer programming simultaneously to form machine cells and to minimize the cost of eliminating EEs.

1. 서 론

유사부품들의 군집화를 위한 제조 셀 형성은 일반적으로 셀을 형성하고 난 뒤 남아 있는 예외적인 요소(Exceptional Element : EE)를 해결하여야 한다. 이를 해결하기 위한 많은 방법들 중 수리계획방법이 가장 일반적이고 널리 적용되고 있다[11][2][3]. 수리계획모형에 있어서 목적함수로는 일반적으로 셀간 이동비용, 기계구입에 따른 단위기간당 자본회수비용, 그리고 하청비용 등을 고려한 총 비용의 최소화를 기준으로 제조 셀을 형성할 수가 있다. 그리고 셀 제조시스템의 특징 중 하나는 유사한 부품들을 그룹화하여 셀을 형성하므로 부품들의 쌍의 관계를 고려하여 각 셀 내에서 형성된 부품군들이 각 셀에 할당된 기계와 얼마나 관련이 있는가를 파악하는 유사성계수(Similarity Coefficient)를 이용한 그룹효용도 셀 형성에 대한 하나의 목적이 될 수 있다. 부품들과의 관계가 근접되면 될수록 유사성계수의 값은 커진다. 유사성계수 값이 커지면 유사한 설계특성이나 기능을 가진 부품들이 한 셀에 구성되고 이 부품들을 가공할 수 있는 기계가 할당되어서 한 셀 내에서 동시에 두가지 이상의 부품을 가공할 수 있으므로 그룹효용은 증가한다. 그러나 이렇게 되면 전체 셀의 수는 많아져서 예외적인 요소들이 많이 발생하게 된다. 따라서 이 예외적인 요소를 다루는데 드는 총비용은 증가하게 된다. 이로 인하여 예외적인 요소의 처리비용과 그룹효용을 동시에 최적화하기 어렵기 때문에 최적 셀 수를 결정하기란 힘들다. 그러므로 이 둘의 관계를 서로 절충할 수 있는 방법이 요구된다. 위와 같이 제조 셀을 형성하는데 있어서 다양한 목적들이 도출되고 서로 고려되어야 한다. 그렇기

* 경남정보대학 산업시스템경영과

때문에 결국 다목적 문제로 귀착된다. 대부분의 연구들은 목표계획법을 제시하여 이 문제를 해결하여왔다[4][8]. 그러나 이 연구들은 목적함수와 제약들이 정확하게 정의된다는 가정하에서 문제를 구성하고 최적해를 산출하였다. 이는 매우 비현실적인 가정들이다. 현실의 다목적 계획문제에서 의사결정자는 정확한 목표와 제약들을 명시하기란 어렵다. 현실 세계의 많은 의사결정 문제에는 주어진 목표와 제약 조건들을 정확하게 알 수 없는 불확실한 상황과 다수의 상충되는 다목적 문제가 내포되어 있다. 그러므로 의사결정자의 불확실성을 제거하고 의사결정자의 다양한 선호구조를 파악하여 해결할 수 있는 비선형으로 해결하는 것이 보다 효과적이다. 이것을 해결하기 위하여 다목적 의사결정 문제에 퍼지 집합론을 접목시킨 새로운 의사결정법들이 많이 연구되고 있다[5][6]. 다목적 의사결정 문제에서 최적화라는 개념은 정의에서 제외되는데 이는 모든 목적들을 원하는 수준에서 동시에 얻기가 불가능하기 때문이다. 그러므로 최적해를 찾는 것 대신에 실행가능 영역에서 절충해를 찾는 것이다. 효과적으로 의사결정자의 절충해를 이끌기 위해서는 간단한 대화과정과 다양한 구성함수를 통하여 각 목적과 제약에 대한 의사결정자의 선호정보를 유도하고 이를 적절한 절충연산자로 통합하여 의사결정 과정에서 발생되는 불확실성을 제거한 상태에서 각 목적의 성취수준이 의사결정함수가 가장 근접되는 절충해를 산출하는 알고리듬의 개발이 요구되고 있다. 따라서 본 연구에서는 의사결정자와의 대화를 통하여 셀 형성문제에서 비용목적과 유사성계수 목적에 대한 부분적인 선호정보를 선형과 비선형으로 표현되는 구성함수 중에서 선택하고 난 후 절충연산자로 통합하는 퍼지 다목적 비선형 혼합정수계획법을 제시한다.

2. 퍼지 다목적 비선형 혼합정수계획법을 이용한 셀 형성

2.1 기호

색인

i : 기계, $i = 1 \cdots ,m$

j, j' : 부품, $j, j'' = 1 \cdots ,n$

k : 셀, $k = 1 \cdots ,c$

g : 퍼지목적, $g = 1, \cdots ,q$

s : 유사성계수 목표, $s = 1, \cdots , p$

t : 퍼지제약, $t = 1 \cdots , z$

파라메타

A_i : 기계유형 i의 구입에 따른 단위기간당 자본회수비용

a : 부품 j와 j′ 둘 다 한 기계에서 가공되는 기계 수

b : 부품 j′에서만 가공되는 기계 수

c : 부품 j에서만 가공되는 기계 수

d : 부품 j와 j′ 모두에 요구되지 않는 기계 수

C_i : 기계유형 i의 단위기간당 능력

D_j : 부품 j에 대한 단위기간당 수요

I_j : 두 셀내에서 부품 j의 단위당 이동비용

NM : 각 셀 에서 허용된 최대 기계유형 수

P_c : 비용 목적함수에 대한 허용치

P_s : 유사성계수 목적함수에 대한 허용치

P_r : 제약에 대한 허용치

P_{ij} : 부품 j를 생산하기 위해 필요한 기계유형 i의 가공시간

S_j : 부품 j의 단위당 하청비용

$SC_{jj'}$: 부품간의 유사성계수

SP : $a_{ij}=1$인 쌍의 집합

여기서 a_{ij}는 0과 1로 이루어진 기계-부품행렬에서 기계와 부품의 관계를 나타내며 $a_{ij}=1$은 부품 j가 기계 i에서 가공된다는 것을 의미한다.

UC_{ij} : 부품 j에 대한 기계유형 i의 이용능력

μ_{G_x} : 비용목적에 대한 구성함수 값

μ_{S_x} : 유사성계수에 대한 구성함수 값

μ_{T_t} : 제약에 대한 구성함수 값

λ_g : 퍼지비용목적함수의 만족도

λ_s : 퍼지유사성계수 목적함수의 만족도

λ_t : 퍼지제약의 만족도

Z_c^1 : 최대비용

Z_s^1 : 최소유사성계수값

Z_c^0 : 최소비용

Z_s^0 : 최대유사성계수값

결정변수들

IC_K : 셀 k가 형성되면 1, 아니면 0

M_{ijk} : 부품 j를 생산하기 위하여 셀 k에 제공된 기계 i의 능력

O_{ijk} : 셀 k에서 기계유형 i를 이용할 수 없어 하청을 준 부품 j의 단위

Q_i : 기계셀에 대응된 부품들을 가공하기 위해 필요한 기계 i의 수

R_{ik} : 셀 k에 제공되는 기계유형 i의 수

$SY_{jj'}$ 만일 Y_j = 1이면 1, 아니면 0

V_{ijk} : $Y_{jk}=1$이고 $X_{ik}=0$이면 1, 아니면 0

X_{ik} : 만일 기계 i가 셀 k에 있다면 1, 아니면 0

Y_{jk} : 만일 부품 j가 셀 k에 있다면 1, 아니면 0

Z_{ijk} : 부품 셀 k에서 기계유형 i를 이용할 수 없을 때 부품 j의 셀간 이동수

2.2 전형적인 모형의 정식화

기계들의 이용능력과 구입비용을 고려하여 예외적인 요소의 처리비용을 최소화 하고 동시에 셀에 부품과 기계들을 할당하는 모형이 제시된다. 따라서 필요한 기계의 수가 결정되고 동시에 비용이 최소화 된다. 정식화는 다음과 같다.

$$\text{Min} \quad f=\sum_k\sum_i A_iR_{ik}+\sum_{k(i,j)\in sp}\sum I_jZ_{ijk}+\sum_{k(i,j)\in sp}\sum S_jO_{ijk} \tag{1}$$

$$\text{subject to} \quad \sum_{k=1}^{c} X_{ik}=1, \quad \forall i \tag{2}$$

$$\sum_{k=1}^{c} Y_{jk}=1, \quad \forall i \tag{3}$$

$$\sum_{i=1}^{m} X_{ik} \le NM, \ \forall k \tag{4}$$

$$X_{ik} - Y_{jk} + \frac{1}{D_j} Z_{ijk} + \frac{1}{D_j} O_{ijk} + \frac{1}{UC_{ij}} M_{ijk} - V_{ijk} = 0, \ \forall (i,j) \in sp, \forall k \tag{5}$$

$$\sum_{(i,j) \in sp} M_{ijk} \le R_{ik}, \ \forall i, \forall k \tag{6}$$

$$Q_i \le \sum_{(i,j) \in sp} UC_{ij} (1 - \sum_k V_{ijk}) + 1, \ \forall i \tag{7}$$

$$\sum_k \sum_{(i,j) \in sp} \frac{P_{ij}}{C_i} Z_{ijk} \le Q_i - \sum_{(i,j) \in sp} UC_{ij} (1 - \sum_k V_{ijk}), \ \forall i \tag{8}$$

$$X_{ik}, Y_{jk}, V_{ijk} = 0 \text{ or } 1 : R_{ik}, Q_i = \text{정수} \tag{9}$$

2.3 유사성계수

그룹효용을 최대화하는 것은 유사성계수를 최대화하는 것이므로 유사성계수의 최대화가 그룹효용 최대화를 대신할 수 있다. 유사성계수란 부품들의 쌍과의 관계를 고려하는 것으로 관계가 밀접하면 값은 커진다. 또한 각 셀내에서 형성된 부품군들이 셀에 할당된 기계와 얼마나 관련이 있는가를 파악하는 것으로서 Fig 9와 같은 2진 메트릭스(Binary Matrix)를 기초로하여 유사성계수를 산출한다[9].

		Machine / Component 2	
		1	0
Machine /Component 1	1	a	b
	0	c	d

Fig. 1. 2×2 contingency table.

여기서 a : 공통적으로 두 구성요소에 있는 기계수.
b : 구성요소 1에는 있고 2에는 없는 기계수.
c : 구성요소 2에는 있고 1에는 없는 기계수.
d : 두 구성요소 둘다에 요구되지 않는 기계수.

이를 기초로 하여 Shafer와 Rogers[9]'는 많은 유사성계수들을 조사하고 분석하였다. 그러나 대부분 유사성계수 식들은 셀의 수가 적으면 적을수록 유사성계수는 높고 그룹효용은 낮았다. 즉, 셀 형성에서는 유사성계수가 높으면 그룹효용은 높아야 된다는 원리에는 모순된다. 그러므로 이 단점을 수정하기 위하여 현재 연구들은 부품 j와 j'간의 유사성계수에 대하여 식(1)과 같이 규정하고 있다[10].

$$SC_{jj'} = \begin{cases} \dfrac{(2a-b-c)}{(2a+b+c)} & \text{for all } j \ne j' \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \tag{10}$$

여기서 a는 부품 j 와 j'가 같은 기계에 할당되었을 때를 의미하고 b는 부품 j만이 기계에 할당되는 것을 의미한다. 그리고 c는 부품 j'만이 기계에 할당된다는 것을 의미한다. 식(10)은 부품 j와 j'에 대하여 총 연산의 수는 2a+b+c이다. 만일 단지 "a"기계들이 셀 내에서 할당된다면 예외적인 요소의 수는 b+c이다. 그리고 유사성계수의 범위가 -1과 1사이에 있음을 보증하기 위하여 예외적인 요소의 페널티(Penalty Weight)를 "2"라고 가정하였다. 식(10)에 따라 유사성계수값은 만일 두 부품이 각각 다른 기계유형에서 가공된다면 (-b-c)/(b+c)로서 -1이고 두 부품이 같은 유형의 기계에서 가공될 때는 2a/2a로서 1이다. Tsai[10]는 유사성계수의 타당성

을 평가하기 위하여 식(10)이 우수함을 입증하였다. 즉, 셀의 수가 적으면 적을수록 예외적인 요소를 다루는 총비용은 최소화가 되고 유사성계수도 작아지고 그룹효용도 작아지는 셀 형성 원리를 만족한다. 따라서 본 연구에서는 Tsai[10]에 의해 이미 입증되었으므로 유사성계수 식은 식(10)을 사용한다.

2.4 퍼지모형

비용과 유사성계수에 대한 두 목적과 제약이 퍼지화된 의사결정 문제를 정식화하면 식(11)~(13)과 같다.

$$\widetilde{\mathrm{Min}} \qquad f_1 = \sum_k \sum_i A_i R_{ik} + \sum_{k(i,j)\in sp} \sum I_j Z_{ijk} + \sum_{k(i,j)\in sp} \sum S_j O_{ijk} \tag{11}$$

$$\widetilde{\mathrm{Max}} \qquad f_2 = \sum_{k=1}^{c} \sum_{j=1}^{n} \sum_{j\neq j'}^{n} SC_{jj'} Y_{jk} Y_{j'k} \tag{12}$$

$$\sum_{i=1}^{m} X_{ik} \cong NM, \quad \forall k \tag{13}$$

식(13)은 삼각구성함수를 사용하는 경우이다. 위와 같은 모형은 모든 목적과 제약을 통합하는 절충연산자와 구성함수를 사용함으로써 전형적인 모형으로 변형되어 문제를 해결할 수 있다. 각 목적에 대한 구성함수가 선형구성함수라고 가정하면 식(14)~(15)과 같다.

$$\mu_{G_k} = \frac{Z_c^1 - f_1}{P_c} \tag{14}$$

$$\mu_{S_s} = \frac{f_2 - Z_s^1}{P_s} \tag{15}$$

식(14)와 (15)는 의사결정자에 의해 P_c와 P_s를 결정한 후 적합한 연산자를 적용함으로써 전형적인 보통의 문제로 변환될 수 있다. Z_c^1은 비용이 최대가 되는 것을 의미하고 Z_s^1은 비용이 최소가 될 때의 유사성계수 값이다. 식(14)와 식(15)는 비선형으로 변환될 수 있다. 유사성계수에 대하여는 하나 하나의 기계유형과 부품에 대한 관계는 정확하게 정의될 수 있지만 전체를 통합하면 의사결정자가 느끼는 선호도 또한 다르게 표현될 수 있다. 본 연구에서는 의사결정자와의 대화를 통하여 비용목적과 유사성계수 목적에 대한 부분적인 선호정보를 선형 구성함수, 지수 구성함수 그리고 쌍곡선 구성함수 중에서 의사결정자와의 대화를 통하여 선택하고 난 후 목적과 제약을 통합하는 절충연산자를 셀 형성문제에서 효율적인 연산자로 입증된 평균연산자를 사용한다[1] 그리고 $\sum_{i=1}^{m} X_{ik} \gtrapprox NM, \ \forall k$ 또는 삼각구성함수를 사용할 경우는 $\sum_{i=1}^{m} X_{ik} \cong NM, \ \forall k$이다. 이를 삼각구성함수로 표현하면 식(16)과 같다.

$$\begin{aligned} &\text{좌측 : } \mu_{C_s} = \frac{\sum_{i=1}^{m} X_{ik} - (NM \times IC_k - P_r)}{P_r}, \quad \forall k \\ &\text{우측 : } \mu_{C_s} = \frac{(NM \times IC_k + P_r) - \sum_{i=1}^{m} X_{ik}}{P_r}, \quad \forall k \end{aligned} \tag{16}$$

여기서 IC_k는 셀 k가 형성되지 않을때 $\sum_i X_{ik} = 0$임을 보증하기 위해서 추가된다.

그리고 P_r은 문제에 따라 의사결정자에 의해서 결정된다. 이를 기초로 비용목적함수와 유사성계수 목적함수 그리고 퍼지제약을 가지는 셀 형성 문제에 절충연산자인 평균 연산자를 적용한 정식화는 식(17)과 같다.

$$
\begin{aligned}
&\text{Max} \quad \frac{1}{2+2c}(\lambda_g+\lambda_s+\sum_{t=1}^{2c}\lambda_t) \\
&\text{subject to} \\
&\lambda_g \le \frac{z^1-f_1}{P_c} \\
&\lambda_s \le \frac{f_2-Z_s^1}{P_s} \\
&\lambda_k \le \frac{\sum_i X_{ik}-(NM \times IC_k - P_r)}{P_r}, \forall k \\
&\lambda_{c+k} \le \frac{(NM \times IC_k + P_r)-\sum_i X_{ik}}{P_r}, \forall k \\
&0 \le \lambda_g \le 1, \quad 0 \le \lambda_s \le 1 \quad, 0 \le \lambda_t \le 1 \\
&\quad \text{식(2), (3), (5)} \sim \text{(9).}
\end{aligned}
\tag{17}
$$

이를 근거로 다목적을 가지는 셀 제조시스템에서의 제조 셀 형성에 관한 해결과정은 다음과 같다.

단계 1) 비용 목적함수와 제약식 그리고 유사성계수를 산출하여 문제를 정식화 한다.

단계 2) 각 목적에 대하여 최대값과 최소값을 산출한다. 이는 의사결정자가 자신의 구성함수를 결정할 수 있는 기초 자료로 활용하고 허용치 P_{c}, P_s 그리고 P_r을 결정한다.

단계 3) 단계 2)의 결과를 근거로 의사결정자는 각 목적과 제약에 대하여 자신이 만족하는 구성함수를 선택한다.

단계 4) 구성함수를 정식화하고 절충 연산자인 평균 연산자를 사용하여 셀을 형성한다.

2.5 수치예 및 수행결과

제안된 셀 형성 모형들의 수행예측을 위하여 Table 1과 같은 데이터 집합을 사용한다[10]. 가공시간에 대한 단위는 분/단위이고 각 기계의 능력은 시간/년 그리고 비용의 단위는 $이다. 각 셀에 허락된 최대 기계유형의 수에 대한 허용치는 '약 4종류'이다와 같이 퍼지언어변수로 표현한다.

Table 1. Numerical values for data set

		Parts											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	A	C
machines	1	2.95		2.2							4.61	50784	2000
	2	2.76	5.18	1.89	3.89		5.14					67053	2000
	3	5.54	4.29									43944	2000
	4	2.91			1.97	2.59	4.01		2.7			67345	2000
	5				4.28		4.51					42414	2000
	6	1.92						2.23		5.52		75225	2000
	7					3.4		1.16	4.72		2.49	52741	2000
	8		5.32						3.75	3.85		63523	2000
	9							4.04			1.83	50632	2000
	S	4.20	4.30	3.50	4.40	5.00	3.90	4.40	4.60	5.00	5.00		
	D	32128	27598	20651	11340	18707	17040	46196	45384	16409	22000		
	I	3.70	2.80	2.80	3.30	2.80	3.50	2.80	2.60	3.40	3.20		

문제를 정식화하기에 앞서 부품 쌍들과의 관계를 측정하는 척도로 유사성계수를 산정한다.

유사성계수는 Table 2와 같다.

Table 2. Similarity coefficient of data set

Pairs of parts	Similarity coefficient	Pairs of parts	Similarity coefficient	Pairs of parts	Similarity coefficient	Pairs of parts	Similarity coefficient	Pairs of parts	Similarity coefficient
12	0.00	24	-0.33	37	-1.00	56	-0.20	79	-0.20
13	0.14	25	-1.00	38	-1.00	57	-0.20	710	0.33
14	0.00	26	-0.33	39	-1.00	58	0.60	89	-0.20
15	-0.43	27	-1.00	310	-0.20	59	-1.00	810	-0.33
16	0.00	28	-0.33	45	-0.20	50	-0.20	910	-1.00
17	-0.50	29	-0.20	46	1.00	67	-1.00		
18	-0.50	210	-1.00	47	-1.00	68	-0.33		
19	-0.43	34	-0.2	48	-0.33	69	-1.00		
110	-0.50	35	-1.00	49	-1.00	610	-1.00		
23	-0.20	36	-0.2	410	-1.00	78	-0.33		

이 유사성계수값을 기초로 식(12)를 이용하여 유사성계수 식을 만든다. 최대비용은 예외적인 요소의 수가 증가하고 셀의 수가 많아지므로 그룹효용은 높아진다. 따라서 최대비용일때 유사성계수는 최대가 된다. 비용 목적함수에 대한 최대값은 f_1^{max}=441219이고 그때의 평균 유사성계수값은 0.07이다. 그리고 비용의 최소값은 f_1^{min}=228676이고 평균 유사성계수값은 -2.73이다. 비용 목적함수에 대한 구성함수를 지수 구성함수로 선택하고 각 셀에 허락된 기계유형의 수는 4이고 허용치는 2라고 가정한다. 그리고 비용 목적함수에 대한 허용치 P_c=200000이고 유사성계수 목적함수에 대한 허용치 P_s=5.67로 가정한다. 이를 기초로 의사결정자가 각 목적과 제약에 대하여 자신이 만족하는 구성함수 형태를 Table 3과 같이 선택한 것으로 가정한다.

Table 3. The membership function of objective function, similarity coefficient function and constraint in data set I

<table>
<tr><td>membership func. / function</td><td colspan="2">type</td><td colspan="2">evaluate value</td></tr>
<tr><td>cost</td><td colspan="2">exponential</td><td colspan="2">$(f^1, f^{0.5}, f^R) = (228676, 300000, 428676)$</td></tr>
<tr><td>similarity coefficient</td><td colspan="2">exponential</td><td colspan="2">$(f^L, f^{0.5}, f^1) = (-5.46, -2, 0.21)$</td></tr>
<tr><td rowspan="2">constraint</td><td>left</td><td>right</td><td>left</td><td>right</td></tr>
<tr><td>linear</td><td>linear</td><td>$(f^L, f^1) = (2, 4)$</td><td>$(f^0, f^R) = (4, 6)$</td></tr>
<tr><td colspan="5">f^a:구성정도가 a인 f(x)값, f^L:구성함수의 하한값, f^R:구성함수의 상한값</td></tr>
</table>

이 정보를 기초로 비용 구성함수는 식(18), 유사성계수 구성함수는 식(19) 그리고 기계유형의 수 구성함수는 식(20)과 같다.

$$\mu_{G_g}=\begin{cases}1, & \text{만일 },\ f_1 \le 228676\\[4pt] -0.4218\left(1-\exp\left(1.2152\left(\dfrac{428676-f_1}{200000}\right)\right)\right) & \\ \quad \text{만일} 228676 \le f_1 \le 428676 & \\[4pt] 0, & \text{만일 },\ f_1 \ge 428676\end{cases} \tag{18}$$

$$\mu_{S_s}=\begin{cases}0, & \text{만일 },\ f_2 \le -5.46\\[4pt] -0.6717\left(1-\exp\left(0.9118\left(\dfrac{f_2+5.46}{5.67}\right)\right)\right) & \\ \quad \text{만일 },\ -5.46 \le f_2 \le 0.21 & \\[4pt] 1, & \text{만일 },\ f_2 \ge 0.21\end{cases} \tag{19}$$

$$\mu_{T_t}=\begin{cases}0 & \text{만약 } \sum_i X_{ik} \le 2\\[4pt] \dfrac{\sum_i X_{ik}-4\times IC_k+2}{2} & \text{만약 } 2 \le \sum_i X_{ik} \le 4\\[4pt] \dfrac{4\times IC_k+2-\sum_i X_{ik}}{2} & \text{만약 } 4 \le \sum_i X_{ik} \le 6\\[4pt] 0 & \text{만약 } \sum_i X_{ik} \ge 6\end{cases} \tag{20}$$

구성함수 형태를 평균연산자를 이용하여 통합하면 Table 4와 같다.

Table 4. Computational results for fuzzy multiobjective nonlinear mixed-integer programming

<table>
<tr><td colspan="9">Data Set : Problem size=9×10, c= 3, NM= 4, P_c=200000, P_s=5.67, P_r=2, Z_s^1=-5.46, Z_s^0=0.21</td></tr>
<tr><td colspan="2">operator</td><td>machines/parts</td><td>{number of machines needed}[a]</td><td>intercell movement(I) and subcontract(S)[b]</td><td>pivot</td><td>No. of EE</td><td>total of dealing with EE($)</td><td>mean SCs</td></tr>
<tr><td colspan="2">average</td><td>{1,2,3,4,5 /1,2,3,4,6} {6,7,8,9 /5,7,8,9,10}</td><td>1(2),2(4),3(3),4(2), 5(2);6[1],8[1] 6(2),7(4),8(2),9(2) ;1[1],4[1]</td><td>I:2[1247],8[18884] S:2[3794]</td><td>741595</td><td>5</td><td>325781</td><td>-1.33</td></tr>
<tr><td rowspan="2">tradi-tional</td><td>NM=4</td><td>{1,2,3,5 /1,2,3,4,6} {4,7,8/5,8} {6,9/7,9,10}</td><td>1(2),2(4),3(3),5(2) ;4[1],6[1],8[1] 4(2),7(3),8(2) 6(2),9(2);1[1],7[1]</td><td>I:2[1247],6[16001], 9[16409] S:2[3794]</td><td>1979681</td><td>9</td><td>441219</td><td>0.07</td></tr>
<tr><td>NM=6</td><td>{2,3,4,5,7,8 /1,2,3,4,5,6,8,9} {1,6,9/7,10}</td><td>2(4),3(3),4(3),5(2), 7(3),8(4);1[1],6[1] 1(1),6(1),9(2);7[1]</td><td>I:1[6298],9[3077] S:1[553],9[2768]</td><td>10628</td><td>6</td><td>228676</td><td>-2.73</td></tr>
</table>

[a]i(no):no.of machines which are needed for machine type I; i[no]: no. of machine type duplicated

[b]m(no):Units of part type m receive treatment of subcontract(S) or intercell movement(I)

Table 4에서 보는바와 같이 셀 수는 2개가되고 1번 셀에 6번과 8번 유형의 기계를 각각 1대씩 구입하고 2번 셀에는 1번과 4번 유형의 기계를 각각 1대씩 구입하여 예외적인 요소를 처리하고 부품 2의 1247단위는 1번 셀로 이동되고 나머지 3794는 하청을 준다. 부품 8에 대해서는 18884단위만큼 2번 셀로 이동된다. 이 때 발생되는 총비용은 325781($)이다. 예외적인 요소의 처리비용 최소화와 총 유사성계수의 최대화라는 두 가지 목적을 혼합 정수계획법에 의해 시도한 결과 서로 절충을 이루고 있다.

3. 결 론

셀 제조시스템은 생산성과 유연성을 개선하기 위한 하나의 제조방식으로서 항상 직면하게 되는 첫 번째 단계는 셀 형성이다. 최적 셀을 형성하기 위해서는 예외적인 요소를 처리하는데 적용되는 기계구입에 따른 단위기간당 자본회수비용, 하청비용, 셀간 이동비용 등의 총 비용을 최소화하는 비용목적 뿐만아니라 셀 내에 생성되는 기계나 부품간의 그룹효용도 중요한 하나의 목적이 될 수 있다. 이에 본 연구에서는 부품쌍과의 관련성을 측정하는 척도로서 유사성계수를 제시하여 부품과의 관련성을 파악하고 비용을 최소화하면서 유사성계수를 최대화하는 퍼지목적들과 기계유형의 수에 대한 퍼지제약을 절충시켜 셀을 형성하는 방법을 제시하였다. 이 과정에서 셀을 형성하는데 필요한 의사결정자의 선호도가 선형과 비선형으로 형성될 수 있으므로 보다 폭 넓은 의사결정이 될 수 있음을 입증하여 셀 형성과정에서 발생할 수 있는 문제들을 보다 더 현실적으로 해결할 수 있는 방향을 제기하였다. 앞으로 목적함수와 제약들은 전문가들에 의하여 주어지는 가능값을 가지는 많은 퍼지모수가 셀 형성 형성과정에서 포함되므로 이를 고려한 셀 형성도 고려되어야 한다.

참고문헌

[1] 윤연근, 남현우, 이상완; "퍼지 비선형 혼합정수계획에 의한 제조셀형성", *산업경영시스템학회지*, 제23권 제54집: pp. 65-75, 2000.

[2] Chu, C. H., "Clustering Analysis in Manufacturing Celluar Formation," OMEGA : *International Journal of Manufacturing Sciences,* Vol. 17. pp. 289-295, 1989.

[3] Chu, C. H., *Recent Advances in Mathematical Programming for Cell Formation in Planning, Design and Analysis of Cellular Manufacturing System,* The NETHERLANDS, Elsevier Science B. V., pp. 3-46, 1995.

[4] Nagi, R., Harhalakis, G. and Proth, J. M., "Multiple Routing and Capacity Considerations in Group Technology Application," *International Journal of Production Research,* Vol. 28, pp. 2243-2257, 1992.

[5] Sakawa, M. and Yano, H., " An Interactive Fuzzy Satisficing Method for Generalized Multiobjective Linear Programming Problems with Fuzzy Parameters," *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 35, pp. 125-142, 1990.

[6] Sakawa, M. and Yano, H., "An Interactive Fuzzy Satisficing Method for Multiobjective Linear Fractional Programming Problems," *Fuzzy Sets and Systems,* Vol. 28, pp. 129-144, 1988.

[7] Selim, H. M., Askin. R. G. and Vakharia, A. J., "Cell Formation in Group Techonology : Review, Evaluation and Directions for Future Research," *Computers Industrial Engineering*, Vol. 34, No. 1, pp. 3-20, 1998.

[8] Shafer, S. M. and Rogers, D. F., "A Goal Programming Approach to the Cell Formation

Problem," *Journal of Operations Management,* Vol. 10, pp. 28-43, 1991.
[9] Shafer, S. M. and Rogers, D. F., "Similarity and Distance measures for Cell Manufacturing. Part Ⅰ. A Survey," *International Journal of Production Research,* Vol. 31, No5. pp. 1133-1142, 1993.
[10] Tsai, C. C., Manufacturing Cell Formation in a Fuzzy Environment, Ph.D. Iowa State University, 1995.
[11] Wemmerlöv, U. and Hyer, N. L, "Procedure for the Part Family, Machine Group Identification Problem in Cellular Manufacturing," *Journal of Operations Management,* Vol. 6, pp. 125-147 (1986).
[12] Zimmermann, H. J., *Fuzzy Sets, Decision Making, and Expert Systems*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1991.

※ 이 논문은 경남정보대학의 연구비에 의해 수행되었음.