

## 제조셀 형성을 위한 가중치 유사성계수 방법

A weighted similarity coefficient method for manufacturing cell formation

오수철\*, 조규갑\*\*

Soo-Cheol Oh\*, Kyu-Kab Cho\*\*

### Abstract

This paper presents a similarity coefficient based approach to the problem of machine-part grouping for cellular manufacturing. The method uses relevant production data such as part type, production volume, routing sequence to make machine cells and part families for cell formation. A new similarity coefficient using weighted factors is introduced and an algorithm for formation of machine cells and part families is developed. A comparative study of two similarity coefficient methods, Gupta and Seifoddini's method and the proposed method, is conducted.

### 1. 개요

그룹 테크놀러지의 응용분야의 하나인 셀 생산(Cellular production)은 기존의 배치형 생산(Batch production)이 가지고 있는 빈번한 가동준비, 과도한 공정중 재고, 생산시간의 증대, 복잡한 계획 및 관리 기능 등의 문제점을 극복할 수 있는 하나의 대안으로 인식되고 있다[1,2]. 셀 생산에서는 유사한 제조 사양을 갖는 부품들은 부품군(Part family)으

로 나누어지고, 부품군을 처리하는 기계들은 셀로 구성된다. 셀 생산시스템의 개발과 시행을 위한 기본단계로서의 셀 형성 과정은 각각의 기계 셀에 할당된 부품군을 완전히 처리하는 상호독립적인 여러개의 셀들을 구성하여야 하며, 따라서 기계그룹 및 부품그룹의 형성 문제로 귀착된다. 셀 형성문제에 대한 일반적인 해법으로서는 생산흐름 분석[3], 기계-부품 그룹 분석[4,5], 유사성 계수 방법[6,7,8,9], 수리계획법[1,10,11,12,13], 신

\* 부산공업대학교 산업공학과

\*\* 부산대학교 기계기술연구소, 산업공학과

경희로망 기법[14,15,16,17], 네트워크 기법[18] 등이 있다. 이들 가운데 유사성 계수방법은 기계셀의 형성 과정시에 생산데이터를 포함시킬 때 다른 방법보다 융통성이 있으며, 기계-부품 그룹화 문제에서 가장 널리 인용되는 방법 중의 하나이다[7]. 셀 형성 문제들을 목적에 따라 분류하면 총 자재운반 비용의 최소화[9], 셀 내의 기계 활용도의 최대화[19], 기계가 다른 셀에도 존재하는 기계중복의 최소화[18], 예외 부품 및 셀간 이동의 최소화[1,4,5,12,13], 기타[10,11] 등으로 나눌 수 있다. 기계셀과 부품군을 형성하는 세부기법으로서는 기계셀과 부품군을 동시에 규명하는 기계-부품 그룹화 방법[9,10,12,15], 부품군을 형성하고 나서 기계들을 부품군에 할당하는 부품 그룹화 방법[20], 기계셀을 형성하고 나서 부품들을 각 기계셀에 할당하는 기계 그룹화 방법[7,11,13] 으로 구분할 수 있다.

셀 형성 문제에서는 가공시간, 활용도, 작업부하, 공정, 기계용량, 공정순서와 같은 많은 인자들을 고려해야 하지만 셀 형성문제의 복잡성 때문에 하나의 알고리즘에서 이러한 인자들을 모두 고려한다는 것은 거의 불가능한 일이며[1] 각각 다른 인자들을 취급하는 여러가지 알고리즘이 개발되어져 있다. 셀 형성 문제에서 생산량, 공정순서, 가공시간의 생산정보를 고려하는 연구로서는 Wu & Salvendy[1], Gupta & Seifoddini[7], Gupta[8], Balasubramanian 외 1인[9] 등이 있다. Wu & Salvendy[1]는 네트워크 모델을 제시하는데 각 셀 내의 최대 기계대수가 주어져야 한다. Gupta & Seifoddini[7]는 유사성 계수를 이용한 발견적 기법을 고안하였고, Gupta[8]는

부품들이 여러 공정 대안을 가지고 있는 경우에 맞도록 Gupta & Seifoddini[7]의 유사성 계수의 개념을 확장하여 셀 형성 알고리즘을 제시하였다. Balasubramanian 외 1인[9]의 연구에서는 유사성 행렬을 작성하기 위해 ROC 알고리즘[5] 등을 이용하여 미리 셀 형성을 해야 하고, 상세한 비용요소가 주어져야 하는데 이는 현실적으로 어려운 문제이다. 셀을 형성하기 위한 입력 데이터는 현실여건에 따라서 일부만 주어지는 경우도 있으며 이런 경우는 그에 맞는 기법을 적용해야 한다. 예를 들어서 생산량과 공정순서의 두가지 입력 데이터가 주어진 경우에 Gupta & Seifoddini[7]의 유사성계수에서 불필요한 인자를 제외한 후 사용할 수는 있으나 근본적인 해결방안은 아니다. 본 연구에서는 셀 생산시스템을 구축하는데 있어서 새로운 유사성계수 방법을 이용하여 기계그룹과 부품그룹을 만드는 셀 형성 해법을 제안한다. 입력 데이터는 부품의 생산량과 부품별 공정순서를 이용하며 부품의 생산량은 확정적이며 사전에 알려져 있다고 가정한다. 가중치를 이용하여 기계들간의 유사성 계수를 산출하는 새로운 공식을 제시하고 이를 이용하여 유사성계수 행렬을 작성하며, 기계그룹화 기법을 적용하여 기계 셀을 먼저 구축하고 나서 각각의 부품을 해당 기계 셀에 할당하는 순서로 부품군을 형성한다. 가중치를 변화시킴으로써 여러가지 셀 형성 대안을 만들 수 있다. 셀 형성기법의 유효성을 검증하기 위하여 Gupta & Seifoddini[7] 기법과의 비교를 시도하고 예외요소의 개수와 셀간 이동량의 두가지 성능평가 척도를 이용하여 본 연구에서 제시하는 기법의 우수성을 검토하여 본다.

## 2. 유사성 계수

본 연구에서 제안하는 유사성계수는 공통성 계수와 자재반송계수의 두 부분으로 구성되며, 각각의 계수에 가중치를 부여하여 통합유사성 계수를 만든다. 유사성 계수에서는 기계-부품의 그룹화 과정의 초기 단계에 필요한 생산 데이터를 사용하고 있으며 한 쌍의 기계간의 유사성 계수를 계산하기 위해서는 기계-부품 행렬, 부품별 공정순서, 부품별 평균생산량의 생산요소들을 고려한다. 이러한 생산요소를 근거로 두 기계간의 유사성 계수를 정의하기 위하여 먼저 다음과 같은 기호들을 정의한다.

$N$  = 품종수

$M$  = 기계 대수

$q_k$  = 부품  $k$ 의 생산량

$$X_{ijk} = \begin{cases} 1 : \text{부품 } k \text{ 기계 } i \text{와 } j \text{를 모두} \\ \quad \text{방문하는 경우} \\ 0 : \text{그렇지 않은 경우} \end{cases}$$

$$Y_{ijk} = \begin{cases} 1 : \text{부품 } k \text{ 기계 } i \text{와 } j \text{들 중의} \\ \quad \text{하나만 방문하는 경우} \\ 0 : \text{그렇지 않은 경우} \end{cases}$$

$n_{ijk}$  = 부품  $k$ 가 기계  $i$ 와  $j$ 를 동시에 방문하는 횟수

단, 기계  $i$ 와  $j$ 는 부품  $k$ 의 공정 경로에서 연속적으로 배치되어야 하고 기계  $i$ 와  $j$ 의 배치순서는 관계없음

$$b_{ijk} = \begin{cases} n_{ijk} : n_{ijk} \geq 1 \text{ 이면} \\ 1 : n_{ijk} < 1 \text{ 이면} \end{cases}$$

$$h_{ijk} = \begin{cases} 1 : \text{부품 } k \text{ 기계 } i \text{와 } j \text{를 모두} \\ \quad \text{방문하는 경우} \\ 0 : \text{그렇지 않은 경우} \end{cases}$$

단, 기계  $i$ 와  $j$ 는 부품  $k$ 의 공정경로에서 연속적으로 배치되어야 하고 기계  $i$ 와  $j$ 의 배치순서는 관계없음. 즉,

$$h_{ijk} = \begin{cases} 1 : n_{ijk} \geq 1 \text{ 이면} \\ 0 : n_{ijk} < 1 \text{ 이면} \end{cases}$$

$C_{ij}$  = 기계  $i$ 와  $j$ 간의 공통성 계수

$H_{ij}$  = 기계  $i$ 와  $j$ 간의 자재 반송계수

$f_c$  = 공통성 계수의 가중치

$f_h$  = 자재반송 계수의 가중치

$S_{ij}$  = 기계  $i$ 와  $j$ 간의 유사성 계수

McAuley[6]는 두 기계간의 유사성 계수를 정의하기를 양쪽 기계를 모두 방문하는 부품의 수를 두 기계중 한쪽 이상을 방문하는 부품의 수로 나눈 것이라 하였다. 이것을 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$C_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^N X_{ijk}}{\sum_{k=1}^N (X_{ijk} + Y_{ijk})}$$

우리는 이 계수를 공통성계수라 명명하기로 한다. 이 계수의 단점은 생산량 자료를 고려하고 있지 않다는 점이다. 여기서는 생산량 자료를 유사성 계수에 반영하기 위하여 기계들간의 부품이동을 고려한 계수를 제안하고자 한다. 다음과 같은 자료가 주어졌다고 가정한다.

부품공정순서에서 기계쌍 BC의 경우를 살펴보면, 두 기계를 동시에 연속적으로 방문하는 부품은 2와 4이고, 두 기계를 동시에 연속적으로 방문하는 회수는 각각 1이다. 따라서 A,B,C의 3대 기계로 구성되는 각 기계쌍에 대해서 두 기계를 동시에 연속적으로 방

부품번호	생산량	부품공정순서
1	50	ADB
2	100	BCD
3	20	AD
4	30	ABCACD

문하는 부품번호(및 방문회수)를 구하면 기계쌍 AB는 4(1), 기계쌍 AC는 4(2), 기계쌍 BC는 2(1)와 4(1)이 된다. 일반적으로 두 기계간의 부품의 이동량을 구하기 위해서는 여러가지 인자들을 고려할 수 있지만 본 연구에서는 관련부품의 생산량과 동시연속방문회수의 두가지를 고려하기로 한다. 즉, 기계쌍 AC인 경우에 두 기계간의 부품의 이동량을 구하여 보면, 부품4의 생산량 30과 동시연속방문회수 2로부터  $30 \times 2 = 60$ 이 된다.

우리는 두 기계간의 부품이동의 비율을 나타내는 계수를 자재반송계수라 정의하고 다음과 같은 수식으로 표현한다.

$$H_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^N q_k \cdot b_{ijk} \cdot h_{ijk}}{\sum_{k=1}^N q_k \cdot b_{ijk}}$$

이 식에서 분자는 두 기계를 동시에 연속적으로 방문하는 부품의 이동량을 나타내고, 분모는 두 기계를 동시에 연속적으로 방문하는 부품의 이동량과 나머지 부품들의 생산량의 합을 나타낸다. 앞의 예에서 한 쌍의 기계 AC간의 자재반송계수를 계산해 보면, 두 기계를 동시에 연속적으로 방문하는 부품은 4이며, 이 부품이 두 기계를 동시에 연속적으로 방문하는 이동량은  $30 \times 2 = 60$  이고, 부품 4의 이동량과 나머지 부품들의 생산량의 합은  $50 + 100 + 20 + (30 \times 2) = 230$  이 된

다. 따라서 자재반송계수는  $60/230 = 0.261$  이 된다. 본 연구에서는 공통성 계수와 자재반송계수에 각각 가중치를 부여하고 한쌍의 기계에 대한 유사성 계수를 정의하며 다음과 같은 식으로 표현한다.

$$S_{ij} = \frac{(C_{ij} \cdot f_c + H_{ij} \cdot f_b)}{f_c + f_b}$$

여기서, 공통성계수의 가중치  $f_c$  와 자재반송계수의 가중치  $f_b$  의 합은 1이 되도록 두 값의 조합을 만들어 사용한다. 위의 유사성 계수에 두 가중치의 조합을 여러가지로 적용 하므로서 유사성 계수값을 다양하게 얻을 수 있다. 결국  $f_c$ 와  $f_b$ 의 조합이 하나 주어지면, 유사성 계수를 사용하여 모든 기계쌍들에 대하여 유사성 계수값을 계산할 수 있고 하나의 유사성 행렬이 만들어 진다. 예를 들어서 간단한 입력자료를 사용하여 유사성계수를 계산해 본다. 표 1 에는 각 부품의 생산량, 표 2 에는 각 부품의 공정순서, 표 3에는 기계-부품행렬이 주어져 있다. 공통성계수와 자재반송계수의 가중치가 둘 다 0.5일 때, 이 값을 이용하여 기계1과 기계 2의 유사성계수를 계산하면, 공통성 계수는

$$C_{12} = \frac{1}{1+5} = 0.167$$

이 되고, 자재반송계수는

표 1. 각 부품의 수량

Part no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Quantity	22	395	993	27	23	324	723	68	657	93	675

표 2. 각 부품의 공정순서

$$= 0.248$$

Part no.	Routing sequence
1	4 3 3 5 6
2	3 4 4
3	1 2
4	3 4
5	1 5 3 7
6	2 7
7	2 3
8	6 7
9	5 2 3
10	6
11	4 6 1 7

이 되며 유사성 계수는

$$S_{12} = \frac{0.167(0.5)+0.248(0.5)}{0.5+0.5} = 0.21$$

이 된다. 7대 기계로 구성된 모든 기계쌍들에 대한 유사성 계수를 계산하면 표 4와 같은 유사성 행렬이 얻어진다.

표 3. 기계-부품 행렬

### 3. 셀 형성

0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1
0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0
1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0
1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1
0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1

#### 3.1 기계셀 형성

Row = machine  
Column = part

셀 형성문제에서 기계셀을 구축하기 위하여 여러가지 알고리즘들이 개발되었다. 본 연구에서는 Wei and Kern[21]의 Linear cell clustering(LCC) 알고리즘과 Seifoddini[2]의 Average linkage clustering(ALC) 알고리즘을 사용하고, LCC 알고리즘은 그 기본골격을 유지하면서 본 연구에 맞게 변형시켜 적용한다.

표 4. 유사성 계수 행렬

#### 3.2 부품군 형성

0.00	0.21	0.06	0.08	0.10	0.17	0.28
0.21	0.00	0.30	0.00	0.17	0.00	0.11
0.06	0.30	0.00	0.27	0.26	0.06	0.06
0.08	0.00	0.27	0.00	0.08	0.25	0.07
0.10	0.17	0.26	0.08	0.00	0.09	0.08
0.17	0.00	0.06	0.25	0.09	0.00	0.18
0.28	0.11	0.06	0.07	0.08	0.18	0.00

Weight factor of Commonality coef. = 0.5  
Weight factor of Material handling coef. = 0.5  
Row and column = machine

기계셀을 구축하고 나서 부품군을 형성하기 위해서는 각각의 부품을 적절한 기계셀에 할당하여야 한다. 부품을 기계셀에 할당하는 방법은 두 기계를 연속하여 동시에 방문하는 횟수가 많은 셀에 할당하는 방법, 기계 대수가 많은 셀에 할당하는 방법, 기계방문회수가 많은 셀에 할당하는 방법으로 구분할 수 있다. 예컨대 임의의 부품공정의 공정순서가 2-9-6-9로 되어 있고 2와 9의 두 기계로 구성된 기계셀이 있을때, 주어진 셀에 대하여 연속동시방문회수는 1이고, 부품이 거치는

$$H_{12} = \frac{993(1)(1)}{22(1)+395(1)+993(1)+27(1)+23(1)+324(1)}$$

$$\frac{993(1)(1)}{+723(1)+68(1)+657(1)+93(1)+675(1)}$$

기계대수는 2이며, 기계방문회수는 3이 된다. 본 연구에서는 연속동시방문횟수와 기계대수를 동시에 고려하여 주어진 부품을 해당셀에 할당하는 방법을 사용한다. 알고리즘에 사용하는 기호는 주어진 부품의 셀  $i$ 에 대한 대표값을  $n_i$ , 주어진 부품의 셀  $i$ 에 대한 연속동시방문회수를  $na_i$ , 주어진 부품의 셀  $i$ 에 대한 기계대수를  $nb_i$ 라 정의하며,  $na_i = 0$ 인 경우와  $na_i + 2 \leq nb_i$ 인 경우는 대표값으로 기계대수를 사용하고 그 이외의 경우는 대표값으로 연속동시방문회수를 사용한다. 알고리즘의 상세내용은 다음과 같다.

단계 1. 하나의 부품을 선택한다.

단계 2. 기계 셀  $i$ 에 대해서  $n_i$  값을 아래와 같이 계산하고, 아래의 1과 3의 경우는 주어진 부품을 셀  $i$ 에 직접 할당한다.

경우 1: 셀에 기계가 1대이고 주어진 부품의 공정수가 1일 때  
기계와 부품의 공정이 일치하면 부품을 셀  $i$ 에 할당한다. 그렇지 않으면  $n_i = 0$ ,  $flag_i = 0$ 으로 둔다.

경우 2: 셀에 기계가 1대이고 주어진 부품의 공정수가 2 이상일 때  
부품의 공정중에 해당 기계가 있으면  $n_i = 1$ ,  $flag_i = 0$ 으로 둔다. 그렇지 않으면  $n_i = 0$ ,  $flag_i = 0$ 으로 둔다.

경우 3: 셀에 기계가 2대 이상이고 주어진 부품의 공정수가 1일 때  
셀내에 부품의 공정에 해당하는 기계가 있으면 부품을 셀  $i$ 에 할당한다. 그렇지 않으면  $n_i = 0$ ,  $flag_i = 0$ 으로 둔다.

경우 4: 셀에 기계가 2대 이상이고 주어진 부품의 공정수가 2 이상일 때

가)  $na_i = 0$  이고  $nb_i \neq 0$  일 때는  $n_i = nb_i$ ,  $flag_i = 7$ 로 둔다.

나)  $na_i + 2 \leq nb_i$  일 때는  $n_i = nb_i$ ,  $flag_i = 7$ 로 둔다.

다) 그 이외의 경우는  $n_i = na_i$ ,  $flag_i = 0$ 으로 둔다.

단계 3. 주어진 부품이 셀  $i$ 에 할당되지 않은 경우는, 나머지 모든 셀에 대해서  $n_i$  값을 계산하고 나서  $n_i$  값이 가장 큰 셀에 주어진 부품을 할당한다. 단,  $n_i = n_j$ 인 두개의 셀이 있을 때는  $flag_i = 0$ 이면 주어진 부품을 셀  $j$ 에 할당하고,  $flag_i = 7$ 이면 셀  $i$ 에 할당한다.

단계 4. 나머지 모든 부품에 대해서 단계 2와 3의 과정을 수행한다.

예를 들어서 단계 2의 대표값  $n_i$ 를 계산하여 보면 다음과 같다.

경우	셀의 구성	부품의 공정순서	결과
1	3	3	셀에 할당
2	3	1-3	$n_i=1$
3	1,3	1	셀에 할당
4	2,9,16 5,8,6	2-9-6-9-8-16-14-2 2-9-6-9-8-16-14-2	$na_i=1$ , $nb_i=30$ 이고 $n_i=3$ $na_i=0$ , $nb_i=20$ 이고 $n_i=2$

표 4에 주어진 유사성계수 행렬을 사용하여 기계셀과 부품군을 형성한 결과는 표 5에 주어져 있고 이것을 기계-부품 행렬로 재구성하면 표 6과 같이 주어진다.

### 3.3 셀 형성 프로그램의 절차

본 연구에서 제안한 유사성 계수를 이용하여 기계셀과 부품군을 형성하고 셀 형성 결과의 성능을 평가하는 소프트웨어 프로그램

표 5. 셀 형성의 결과

Cell no.	machine cell	part family
1	1 7	3 5 6 8
2	2 3 5	2 4 7 9
3	4 6	1 10 11

No. of cell = 3

표 6. 셀 형성의 해

1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1
1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0
0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0
0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0
0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1
0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1

Row = machine  
Column = part

을 개발하였다. 전반적인 절차는 먼저 데이터 파일을 입력하고 셀의 개수를 지정하면 기계그룹 형성과 부품군의 형성이 두 단계로 이루어진다. 다음으로 성능평가가 이루어지고 결과가 출력이 된다. 프로그램은 TURBO C를 이용하여 작성하였고 전체적인 알고리즘의 흐름도는 그림 1 과 같다.

#### 4. 비교연구 및 고찰

여기에서는 유사성 계수와 기계셀 형성 알고리즘의 두 종류의 비교를 시도한다. 첫번째는 본 연구에서 제안하는 유사성 계수와 유사성 계수 방법 중에서 잘 알려져 있는 Gupta & seifoddini[7]가 제안하는 유사성 계수를 Linear cell clustering(LCC)과 Average linkage clustering(ALC) 의 두가지 기계셀 형

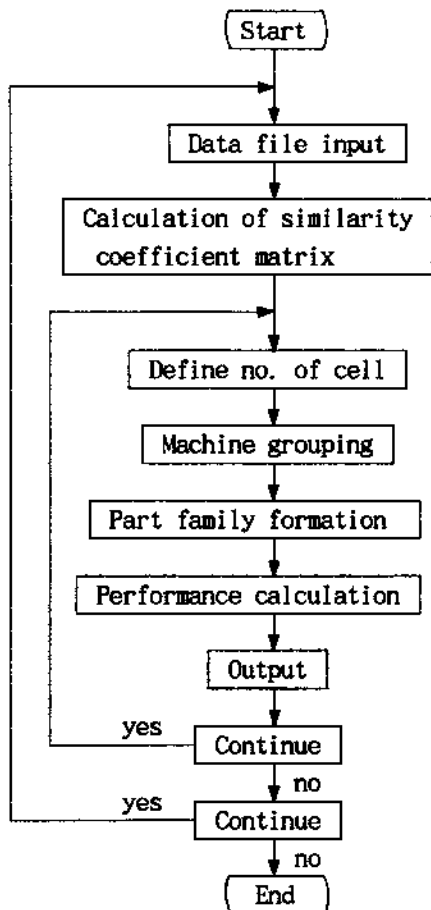


그림 1. 셀 형성 프로그램의 흐름도

성 알고리즘을 적용하여 비교한다. 본 연구와의 비교를 위하여 작업시간을 고려하지 않을 때의 Gupta & seifoddini[7]의 유사성계수 공식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$S_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^N (X_{ijk} + n_{ijk}) \cdot q_k}{\sum_{k=1}^N (X_{ijk} + n_{ijk} + Y_{ijk}) \cdot q_k}$$

두번째는 본 연구에서 제안하는 유사성 계수를 적용하여 LCC와 ALC의 두 알고리즘을

비교한다.

#### 4.1 성능 평가 척도

Seifoddini & Hsu[22] 와 Shafer & Rogers [20,23]의 연구에서는 셀 형성문제의 해법에 대한 여러가지 성능평가 척도로서 총 결합에너지, 그룹화 효율, 그룹화 효과(Grouping efficacy), 그룹화 능력지수, 셀내부 및 셀간의 자재반송비용, 예외부품의 개수, 예외요소의 비율, 기계활용도를 소개하고 있으며 이들 척도들은 제각기 장단점을 갖고 있다. 또한 Gupta & seifoddini[7] 에서는 셀내의 작업부하인자와 셀간 이동량을 조합한 성능평가 척도를 제안하고 있다. 본 연구에서는 성능평가 척도로서 예외요소의 개수와 셀간 이동량(Intercellular movements)의 두 가지를 사용한다. 셀간 이동량은 셀간의 이동회수와 부품의 생산량을 곱하여 얻어지고 셀간 이동회수는 부품의 공정순서와 셀의 구성이 주어지면 구할 수 있다. 셀간 이동량은 다음과 같이 정의한다.

$$\sum_{i=1}^N (n_i - 1) \cdot q_i$$

여기서 N = 품종수

$n_i$  = 공정순서에 따라 부품 i가 방문하는 셀의 개수

$q_i$  = 부품 i의 생산량

#### 4.2 입력 데이터

사용하는 입력데이터는 부품의 종류는 11에서 41개 까지, 기계대수는 7에서 30까지의 범위내에서 서로 조합하여 표 7과 같이 20종류의 문제를 생성하였다. 각 문제의 상세 내

용은 부품의 생산량, 기계-부품행렬 및 각 부품의 공정순서들로 구성되어 있다. 부품의 생산량은 10에서 999까지의 난수(Random number)를 만들어 사용하였고, 기계-부품행렬은 행렬내의 1과 0의 비율이 1 대 4가 되도록 난수를 만들어 구성하였으며, 각 부품의 공정순서는 난수를 사용하여 배치하되 공정내의 임의의 기계가 공정내에서 나타나는 빈도는 3회까지로 하며 반복빈도는 1회, 2회, 3회가 100:10:1의 비율이 되도록 하였다. 20종류의 각각의 문제에 대해서 셀의 개수를 지정하면 그에 따른 최종해를 얻을 수 있다. 표7 에서 보는바와 같이 셀의 개수의 최소값은 2로 하고 최대값은 문제의 크기에 따라 4에서 8까지 변화를 주었다. 문제의 크기별로 셀의 개수의 범위에 따라 문제수가 결정되며 전체적으로는 101개의 문제가 만들어 진다.

본 연구에서 제안하는 방법을 적용하면 셀의 개수가 주어질 때 가중치의 조합에 따라 여러가지 해를 구할 수 있다. 공통성 계수와 자재반송계수의 가중치 조합은 0.1 : 0.9 (=유형 I), 0.5 : 0.5 (=유형 II), 및 0.9 : 0.1 (=유형 III)의 3가지를 사용하였다. 따라서 주어진 문제에 대해서 셀의 개수가 주어지면, 3개의 가중치 조합에 따른 3개의 해가 얻어진다. Gupta & seifoddini의 방법을 적용하면 주어진 문제에 대해 셀의 개수가 주어질 때 하나의 해가 얻어진다.

#### 4.3 결과 및 고찰

먼저 본 연구에서 제시하는 유사성 계수 방법(OSC)과 Gupta & seifoddini의 유사성 계수 방법(GAS)을 두 가지 측면에서 비교하였다. 즉, 주어진 문제에 대해서 셀의 개수를



표 7. 입력 자료

번호	문제 크기 (기계대수×품종수)	셀의 개수	문제수
1	7 × 11	2 ~ 4	3
2	8 × 12	2 ~ 4	3
3	8 × 20	2 ~ 4	3
4	9 × 19	2 ~ 5	4
5	10 × 8	2 ~ 5	4
6	10 × 20	2 ~ 5	4
7	11 × 22	2 ~ 5	4
8	11 × 22	2 ~ 5	4
9	12 × 12	2 ~ 6	5
10	12 × 12	2 ~ 6	5
11	12 × 12	2 ~ 6	5
12	13 × 17	2 ~ 6	5
13	13 × 25	2 ~ 6	5
14	14 × 24	2 ~ 7	6
15	15 × 30	2 ~ 7	6
16	16 × 30	2 ~ 8	7
17	16 × 43	2 ~ 8	7
18	20 × 35	2 ~ 8	7
19	24 × 40	2 ~ 8	7
20	30 × 41	2 ~ 8	7
합계			101

변화시켜 각각에 대한 예외요소의 개수와 셀 간 이동량을 계산하고 비교한 결과를 표8과 9에 나타내었다. 표 8에는 OSC 방법과 GAS 방법을 예외요소의 개수에 의하여 비교하여 그 결과를 나타내었고 기계셀 형성 알고리즘은 LCC와 ALC의 두가지를 사용하였다. 기계셀 형성 알고리즘으로 LCC를 사용한 경우를 살펴보면, OSC 방법에 가중치 유형 I을 사용할 때는 GAS 방법보다 39:37로 약간 우세하고, OSC 방법에 가중치 유형 II와 유형 III

을 사용할 때는 57:18과 55:23으로 GAS 방법보다 우수하다. 만약 OSC 방법을 적용한다면 가중치 유형 I보다 가중치 유형 II와 유형 III을 사용하는 경우 즉, 공통성계수의 가중치를 자재반송계수의 가중치와 같거나 크게 주는 경우에 더 좋은 결과를 얻을 수 있음을 의미한다. OSC 방법에 가중치 유형 I, II, III을 모두 적용하여 이들 중의 최소값과 GAS 방법의 결과를 비교하면 OSC 방법이 GAS 방법보다 71 : 10으로 훨씬 우수한 결과를 주고 있음을 알 수 있다. 이러한 결과들은 기계셀 형성 알고리즘으로 ALC를 사용할 때도 비슷한 양상을 나타내고 있다. 표9에서는 OSC 방법과 GAS 방법을 셀간 이동량의 관점에서 비교하여 그 결과를 나타내었고 기계셀 형성 알고리즘은 LCC와 ALC의 두 가지를 사용하였다. 기계셀 형성 알고리즘으로 LCC를 사용한 경우를 보면, OSC 방법에 가중치 유형 I을 사용할 때는 GAS 방법보다 62:24로 우세하고, OSC 방법에 가중치 유형 II와 III을 사용할 때는 GAS 방법이 OSC 방법보다 68:24와 72: 22로 우수한 결과를 나타내고 있다. 즉, 공통성 계수와 자재반송계수의 가중치 조합이 0.5:0.5와 0.9: 0.1의 경우에는 OSC 방법이 GAS 방법보다 나쁜 결과를 나타내는데, 이는 OSC 방법을 적용할 경우에 자재반송계수의 가중치가 공통성 계수의 가중치보다 클수록 셀간 이동량이 줄어든다는 것을 의미한다. OSC 방법에 가중치 유형 I, II, III을 모두 적용하여 이들 중의 최소값과 GAS 방법의 결과를 비교하면 OSC 방법이 GAS 방법보다 64:20으로 훨씬 우수한 결과를 주고 있음을 알 수 있다. 이러한 결과들은 기계셀 형성 알고리즘으로

**표 8. 제안하는 방법과 Gupta & seifoddini 방법과의 비교**  
(예외요소의 개수에 의한 비교)

비교대상 \ 경우	클러스터링 알고리즘 = LCC				클러스터링 알고리즘 = ALC			
	A < B 의 경우	A = B 의 경우	A > B 의 경우	합계	A < B 의 경우	A = B 의 경우	A > B 의 경우	합계
PM(1)	39	25	37	101	36	36	29	101
PM(2)	57	26	18	101	41	29	31	101
PM(3)	55	23	23	101	45	28	28	101
PM(1,2,3)	71	20	10	101	58	31	12	101

(주) 표안의 수치는 전체 101문제 중에서 해당되는 경우의 문제수를 나타냄

A : 제안하는 방법의 예외요소의 개수

B : Gupta & seifoddini 방법의 예외요소의 개수

PM(1) : 제안하는 방법에 가중치 유형 I을 사용할 때와 Gupta & seifoddini 방법과의 비교

PM(2) : 제안하는 방법에 가중치 유형 II를 사용할 때와 Gupta & seifoddini 방법과의 비교

PM(3) : 제안하는 방법에 가중치 유형 III을 사용할 때와 Gupta & seifoddini 방법과의 비교

PM(1,2,3) : 제안하는 방법에 가중치 유형 I, II, III을 모두 사용할 때의 최소값과 Gupta & seifoddini 방법의 결과와의 비교

**표 9. 제안하는 방법과 Gupta & seifoddini 방법과의 비교**  
(셀간 이동량에 의한 비교)

비교대상 \ 경우	클러스터링 알고리즘 = LCC				클러스터링 알고리즘 = ALC			
	A < B 의 경우	A = B 의 경우	A > B 의 경우	합계	A < B 의 경우	A = B 의 경우	A > B 의 경우	합계
PM(1)	62	15	24	101	45	29	27	101
PM(2)	24	9	68	101	14	19	68	101
PM(3)	22	7	72	101	10	15	76	101
PM(1,2,3)	64	17	20	101	45	30	26	101

(주) 표안의 수치는 전체 101문제 중에서 해당되는 경우의 문제수를 나타냄

A : 제안하는 방법의 셀간 이동량

B : Gupta & seifoddini 방법의 셀간 이동량

PM(1) : 제안하는 방법에 가중치 유형 I을 사용할 때와 Gupta & seifoddini 방법과의 비교

PM(2) : 제안하는 방법에 가중치 유형 II를 사용할 때와 Gupta & seifoddini 방법과의 비교

PM(3) : 제안하는 방법에 가중치 유형 III을 사용할 때와 Gupta & seifoddini 방법과의 비교

PM(1,2,3) : 제안하는 방법에 가중치 유형 I, II, III을 모두 사용할 때의 최소값과 Gupta & seifoddini 방법의 결과와의 비교

ALC를 사용할 때도 비슷한 양상을 나타내고 있다. 본 연구에서 제안하는 OSC 방법에 대

해서는 가중치 유형을 3 가지만 적용하였는데 가중치를 적절히 배합하므로써 위에서 비

**표 10. Linear cell clustering과 Average linkage clustering의 비교**  
(본 연구에서 제안하는 유사성 계수를 사용)

비교대상 \ 경우	예외요소의 개수에 의한 비교				셀간 이동량에 의한 비교			
	A<B 의 경우	A=B 의 경우	A>B 의 경우	합계	A<B 의 경우	A=B 의 경우	A>B 의 경우	합계
PM(1)	57	22	22	101	56	14	31	101
PM(2)	53	19	29	101	54	15	32	101
PM(3)	41	28	32	101	46	16	39	101
PM(1,2,3)	47	24	30	101	52	17	32	101

(주) 표안의 수치는 전체 101문제 중에서 해당되는 경우의 문제수를 나타냄

A : Average linkage clustering 방법을 적용

B : Linear cell clustering 방법을 적용

PM(1) : 유사성 계수에 가중치 유형 I을 사용

PM(2) : 유사성 계수에 가중치 유형 II를 사용

PM(3) : 유사성 계수에 가중치 유형 III를 사용

PM(1,2,3) : 유사성 계수에 가중치 유형 I, II, III를 모두 사용할 때의 최소값

교한 것보다 더 우수한 결과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

표 10에서는 본 연구에서 제안하는 OSC 방법을 사용하여, LCC와 ALC의 두가지 기계셀 형성 알고리즘을 적용한 결과를 나타내었다. 예외요소의 개수의 관점에서 비교하면, 가중치 유형 I, II, III를 각각 적용할 때 3가지 경우 모두 ALC 방법이 LCC 방법보다 우수한 결과를 나타낸다. 또한 가중치 유형 I, II, III를 모두 적용할 때의 최소값에 의하여 비교하여도 ALC 방법이 LCC 방법보다 우수한 결과를 나타내고 있다. 셀간 이동량의 관점에서 비교하더라도 예외요소의 개수의 경우와 마찬가지로 ALC 방법이 LCC 방법보다 우수한 결과를 보여주고 있다.

### 5. 결 론

본 연구에서는 부품의 생산량과 공정순서가 주어지는 경우에 셀 형성문제의 해법을 구하는 새로운 방안을 제시하였다. 새로운 유사성계수를 고안하고 이를 사용하여 기계셀과 부품그룹을 형성하는 알고리즘을 개발하고 20종류, 101개의 기계-부품그룹 문제를 생성하여 본 연구의 제시방법과 Gupta & seifoddini[7]의 방법과의 비교를 시도하였다. 비교결과를 요약하면 첫째, 예외요소의 개수 측면에서 비교하면 본 연구의 방법이 가중치의 조합에 관계없이 Gupta & seifoddini의 방법보다 비슷하거나 우수한 결과를 나타내고 있다. 둘째, 셀간 이동량의 측면에서 비교하면 자재반송계수의 가중치를 크게 줄 수록 본 연구의 방법이 Gupta & seifoddini의 방법보다 우수한 결과를 나타낸다. 또한, 본 연구

에서 제안하는 OSC 방법을 사용하여 LCC와 ALC의 두가지 기계셀 형성 알고리즘을 적용한 결과를 예외요소의 개수와 셀간 이동량의 측면에서 비교하면, ALC 방법이 LLC 방법보다 우수한 결과를 나타낸다.

본 연구에서 제안하는 방법이 Gupta & seifoddini의 방법보다 항상 우수한 결과를 주는 것은 아니지만 제안하는 방법을 사용하는 경우는 유사성 계수에서 사용하는 가중치를 여러가지로 조합하여 시뮬레이션을 함으로써 예외요소의 개수와 셀간 이동량을 더 줄일 수 있는 결과를 얻을 수가 있을 것으로 판단된다. 또한 실전적인 문제가 주어지면 두 방법을 모두 적용하여 이 중에서 보다 나은 해를 선택할 수 있는 기회를 가질 수 있으므로 도움이 되리라 사료된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] WU, N., and SALVENDY, G., "A modified network approach for the design of cellular manufacturing systems," *International Journal of Production Research*, 31(6), 1409-1421, 1993.
- [2] SEIFODDINI, H.K., "Single linkage versus average linkage clustering in machine cells formation applications," *Computers and Industrial Engineering*, 16(3), 419-426, 1989.
- [3] BURBIDGE, J. R., *The Introduction of group technology*, Wiley, New York, 1975.
- [4] KING, J. R., "Machine-component grouping in production flow analysis: an approach using a rank order clustering algorithm," *International Journal of Production Research*, 18(2), 213-232, 1980.
- [5] KING, J. R., and NAKORNCHAI, "Machine-component group formation in group technology: review and extension," *International Journal of Production Research*, 20(2), 117-133, 1982.7
- [6] McAULEY, J., "Machine grouping for efficient production," *The production Engineer*, 51(2), 53-57, 1972.
- [7] GUPTA, T., and SEIFODDINI, H., "Production data based similarity coefficient for machine-component grouping decisions in the design of a cellular manufacturing system," *International Journal of Production Research*, 28(7), 1247-1269, 1990.
- [8] GUPTA, T., "Design of manufacturing cells for flexible environment considering alternative routing," *International Journal of Production Research*, 31(6), 1259-1273, 1993.
- [9] BALASUBRAMANIAN, K.N., and PANNEERSELVAM, R., "Covering technique-based algorithm for machine grouping to form manufacturing cells," *International Journal of Production Research*, 31(6), 1479-1504, 1993.
- [10] MIN, H., and SIN, D., "Simultaneous formulation of machine and human cells in group technology : a multiple objective approach," *International Journal of Production Research*, 31(10), 2307-2318,

- 1993.
- [11] LEE, H., and GARCIA-DIAZ, A., "A network flow approach to solve clustering problems in group technology," *International Journal of Production Research*, 31(3), 603-612, 1993.
- [12] DAHEL, N.-E., and SMITH, S.B., "Designing flexibility into cellular manufacturing systems," *International Journal of Production Research*, 31(4), 933-945, 1993.
- [13] CHOW, W.S., and HAWALESHKA, O., "Minimizing intercellular part movements in manufacturing cell formation," *International Journal of Production Research*, 31(9), 2161-2170, 1993.
- [14] KAPARTHI, S., and SURESH, N.C., "Machine-component cell formation in group technology: a neural network approach," *International Journal of Production Research*, 30(6), 1353-1367, 1992.
- [15] CHU, C.-H., "Manufacturing cell formation by competitive learning," *International Journal of Production Research*, 31(4), 829-843, 1993.
- [16] LIAO, T.W., and CHEN, L., "An evaluation of ART1 neural models for GT part family and machine cell forming," *Journal of Manufacturing Systems*, 12(4), 282-290, 1993.
- [17] MALAKOOTI, B.B., and YANG, Z., "Group formation by multiple criteria neural network clustering," 2nd Industrial engineering research conference proceedings, 822-826, 1993.
- [18] VANNELLI, A., and KUMAR, K.R., "A method for finding minimal bottle-neck cells for grouping part-machine families," *International Journal of Production Research*, 24(2), 387-400, 1986.
- [19] BALLAKUR, A., and STEUDEL, H.J., "A within-cell utilization based heuristic for designing cellular manufacturing systems," *International Journal of Production Research*, 25(5), 639-665, 1987.
- [20] SHAFER, S.M. and ROGERS, D.F., "Similarity and distance measures for cellular manufacturing. Part I. A survey," *International Journal of Production Research*, 31(5), 1133-1142, 1993.
- [21] WEI, J.C. and KERN, G. M., "Commonality analysis: A linear cell clustering algorithm for group technology," *International Journal of Production Research*, 27(12), 2053-2062, 1989.
- [22] SEIFODDINI, H.K., and HSU, C-P., "Comparative study of similarity coefficients and clustering algorithms in cellular manufacturing," *Journal of Manufacturing Systems*, 13(2), 119-127, 1994.
- [23] SHAFER, S.M. and ROGERS, D.F., "Similarity and distance measures for cellular manufacturing. Part II. An extension and comparison," *International Journal of Production Research*, 31(6), 1315-1326, 1993.
- [24] GUNASINGH, K.R., and LASHKARI,

- R.S., "The cell formation problem in cellular manufacturing systems-A sequential modelling approach," *Computers and Industrial Engineering*, 16(4), 469-476, 1989.
- [25] SHIKO, G., "A process planning-oriented approach to part family formation problem in group technology applications," *International Journal of Production Research*, 30(8), 1739-1752, 1992.
- [26] CHEN, C.-Y., and IRANI, S. A., "Cluster first-sequence last heuristics for generating block diagonal forms for a machine-part matrix," *International Journal of Production Research*, 31(11), 2623-2647, 1993.
- [27] LUONG, L.H.S., "A cellular similarity coefficient algorithm for the design of manufacturing cells," *International Journal of Production Research*, 31(8), 1757-1766, 1993.
- [28] MILTENBURG, J., and MONTAZEMI, A.R., "Revisiting the cell formation problem: assigning parts to production systems," *International Journal of Production Research*, 31(11), 2727-2746, 1993.
- [29] 정성진, 박진우, 김재윤, "Machine-Part Group Formation for FMS Planning and Operation," *경영과학*, Vol.4, pp.76-83, 1987.
- [30] 노인규, 권혁천, "유연생산시스템(FMS)에서의 기계-부품그룹 형성 기법," *대한산업공학회지*, Vol.17, No.1, pp.75-82, 1991.
- [31] 문치용, 이상용, "유연생산 시스템에서의 셀 및 부품군 형성 알고리즘," *대한산업공학회지*, Vol.18, No.2, pp.123-130, 1992.