

# 제조셀 형성을 위한 가중치 유사성계수 방법 (A weighted similarity coefficient method for manufacturing cell formation)

오 수철\* , 조 규갑\*\*

\* 부산공업대학교 산업공학과  
\*\* 부산대학교 산업공학과

## 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 coefficients - Gupta and seifoddini's method and proposed method - is conducted. A software program using TURBO C has been developed to verify the implementation.

## 1. 개 요

그룹 테크놀러지의 응용분야의 하나인 셀 생산(Cellular production)은 기존의 बै치형 생산(Batch production)이 가지고 있는 빈번한 가동준비, 과다한 공정중 재고, 생산시간의 증대, 복잡한 계획 및 관리 기능 등의 문제점을 극복할 수 있는 하나의 대안으로 인식되고 있다<1,2>. 셀 생산에서는 유사한 제조사양을 갖는 부품들은 부품군(Part family)으로 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>, 신경회로망 기법<14,15,16,17>, 네트워크 기법<18> 등이 있다. 이들 가운데 유사성 계수방법은 기계셀의 형성 과정 시에 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. 본 연구에서는 셀 생산시스템을 구축하는데 있어서 새로운 유사성계수 방법을 이용하여 기계그룹과 부품그룹을 만드는 셀 형성 해법을 제안한다. 입력데이터는 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.

## 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 1) 기계-부품 행렬, 2) 부품별 공정순서, 3) 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

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

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

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

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

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

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

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

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

$w_{ijk}$  = 부품  $k$ 에 대해서 기계  $i$ 와  $j$ 간의 가중치

$C_{ij}$  = 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 i와 j 간의 유사성 계수

먼저, 두 기계간의 공통성 계수는 양쪽 기계를 모두 방문하는 부품의 수를 두 기계중 한쪽 이상을 방문하는 부품의 수로 나눈 것이며 다음과 같이 정의한다.

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

부품 k에 대한 기계 i 와 j 간의 가중치는 다음과 같이 정의한다.

$$w_{ijk} = \frac{q_k \cdot b_{ijk}}{\sum_{k=1}^N q_k \cdot b_{ijk}}$$

자재반송계수는 두 기계를 동시에 연속적으로 방문하는 부품의 생산량을 모든 부품의 생산량의 합으로 나눈 값이며 다음과 같이 정의한다.

$$H_{ij} = \sum_{k=1}^N w_{ijk} \cdot h_{ijk}$$

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

공통성 계수와 자재반송계수에 가중치를 부여하여 기계 i와 j간의 유사성 계수는 다음과 같이 정의한다.

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

이러한 유사성 계수를 사용하여 기계들간의 모든 쌍들에 대하여 유사성 계수를 계산하므로써 유사성 행렬이 만들어진다. Table 1에는 각 부품의 생산량, Table 2에는 각 부품의 공정순서, Table 3에는 기계-부품행렬이 주어져 있다. 이들을 이용하여 7대의 모든 기계쌍들에 대한 유사성 계수를 계산하면 Table 4와 같은 유사성 행렬이 얻어진다.

### 3. 셀 형성

#### 3.1 기계셀 형성

셀 형성문제에서 기계셀을 구축하기 위하여 여러가지 알고리즘들이 개발되었다. 본 연구에서는 Wei and Kern<21>에서 사용된 선형 셀 클러스터링(Linear cell clustering: LCC) 알고리즘의 기본골격을 이용하되 일부내용은 변형시켜 사용한다. 주어진 유사성 행렬을 이용하여 기계들을 점진적으로 통합하여 셀을 구축해 나가는 알고리즘의 세부절차는 다음과 같다.

단계 1. 유사성 행렬에서 유사성 계수가 가장 큰 값을 선택하여 이것을 기계쌍 (ij)의 계수라 가정

한다. 아래와 같은 4가지 경우가 있을 수 있다.

- (1) 기계 i와 j가 둘 다 셀에 할당되지 않은 경우에는 이 두 기계만으로 구성되는 새로운 셀을 형성한다.
- (2) 기계 i는 이전에 하나의 셀에 할당되어 있고 기계 j는 할당되어 있지 않은 경우에는 기계 j를 기계 i가 포함되어 있는 셀에 추가한다.
- (3) 기계 i와 j가 모두 같은 셀에 할당되어 있는 경우에는 더 이상 고려하지 않는다.
- (4) 기계 i와 j가 이미 두 개의 다른 셀에 할당되어 있는 경우이다. 이 두 개의 셀은 차후에 결합의 가능성이 있으므로 이 두 기계의 유사성 계수값은 차후에 사용할 수 있도록 남겨둔다.

단계 2. 단계 1을 반복한다. 모든 기계들이 셀에 할당되었으면 단계 3으로 간다.

단계 3. 단계 1과 2의 과정을 거치면 초기의 유사성 계수 행렬에 정의된 상황에 적합한 최대한의 기계셀이 구축된다. 그러나 이 해는 요구하는 셀의 개수를 충족하지 못할 수도 있다. 셀의 개수를 줄이고 싶으면 단계 1-(4)에서 규명한 유사성 계수값을 참조한다.

단계 4. 단계 1-(4)에서 규명한 유사성 계수값들 중에서 가장 큰 값을 이용하여 셀들을 결합하여 나간다. 즉, 유사성 계수가 기계쌍 (ij)를 나타낸다면 기계 i와 j를 포함하고 있는 두개의 셀을 결합한다.

단계 5. 사전에 지정한 제약조건을 만족할 때까지 단계 4를 반복한다.

### 3.2 부품군 형성

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 기계대수는 2이며, 기계방문회수는 3이 된다. 본 연구에서는 연속동시방문횟수와 기계대수를 동시에 고려하여 주어진 부품을 해당셀에 할당하는 방법을 사용한다.

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

## 4. 비교연구 및 고찰

본 연구에서 제안하는 유사성 계수와 Gupta & seifoddini<7>가 제안하는 유사성 계수를 각각 적용하여 셀형성 문제의 해법을 구하고, 본 연구에서 제안하는 유사성 계수의 유용성을 검토하여 보기로 한다. 본 연구와의 비교를 위하여 작업시간을 고려하지 않을 때의 Gupta & seifoddini<7>의 유사성 계수 공식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

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

### 4.1 성능평가 척도

셀 형성문제의 해법에 대한 성능평가 척도로서는 총결합에너지, 그룹화 효율, 그룹화 효과, 그룹화 능력지수, 셀내부 및 셀간의 자재반송비용, 예외부품의 개수, 예외요소의 비율, 기계활용도 등이 있다. 이들 중에서 일반적으로 널리 사용되고 있는 것은 예외부품의 수량이다. 또한 Gupta & seifoddini<7>에서는 셀내의 작업부하인자와 셀간 이동량을 조합한 성능평가 척도를 제안하고 있다. 본 연구에서는 성능평가 척도로서 셀간 이동량(Intercellular movements)을 사용한다. 셀간 이동량은

셀간의 이동회수와 부품의 생산량을 곱하여 얻어지고 셀간 이동회수는 부품의 공정순서와 셀의 구성이 주어지면 구할 수 있다.

## 4.2 비교 연구

여기서 사용하는 입력데이터는 부품의 개수는 11에서 41까지, 기계의 대수는 7에서 30까지의 범위내에서 서로 조합하여 20개의 문제를 생성하였다. 각 문제의 내용은 부품의 생산량, 기계-부품행렬 및 각 부품의 공정순서들로 구성되어 있다. 부품의 생산량은 10에서 999까지의 난수(Random number)를 만들어 사용하였고, 기계-부품 행렬은 행렬내의 1과 0의 비율이 4 대 1이 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.

비교대상으로 선택한 Gupta & seifoddini와 본 연구에서 제시하는 알고리즘은 셀간 이동량의 측면에서 비교하였다. 주어진 문제에 대해서 셀의 개수를 변화시켜 각각에 대한 셀간 이동량을 계산하였다. 본 연구에서는 셀의 개수의 최소값은 2로 하고 최대값은 문제의 크기에 따라 4에서 8까지 변화를 주었다. Gupta & seifoddini의 알고리즘을 적용하면 주어진 문제에 대해 셀의 개수가 주어질 때 하나의 해가 얻어진다. 본 연구에서 제안하는 알고리즘을 적용하면 셀의 개수가 주어질 때 가중치의 조합에 따라 여러가지 해를 구할 수 있다. 공통성 계수와 자재반송계수의 가중치 조합은 (1) 0.1과 0.9, (2) 0.5와 0.5, (3) 0.9와 0.1의 3가지를 사용하였다. 따라서 각각의 문제에 대해서 셀의 개수가 주어지면 3개의 가중치에 대한 3개의 해가 주어지며 이 중에서 셀간 이동량의 최소값을 주는 해를 선정하였다.

Table 7에서는 두 알고리즘을 적용한 결과로서, 각각의 문제에 대하여 셀의 개수에 따른 셀간 이동량을 주는 해를 보여주고 있다. 문제의 크기와 셀의 개수에 따라 모두 101개의 해가 주어져 있는데 이들을 비교하면 별(\*)표를 표기한 20개의 해를 제외하고는 제안하는 알고리즘이 Gupta & seifoddini의 알고리즘보다 좋은 결과를 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 즉, 제안하는 알고리즘이 전체적으로 80% 정도 우수한 결과를 나타내고 있다. 특히 제안하는 알고리즘에 대해서는 가중치를 3가지만 적용하였는데 가중치를 적절히 배합하므로써 Table 7에 주어진 값들보다 더 우수한 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다. Table 7에서 보면 두 알고리즘 모두 주어진 문제에 대한 셀간 이동량의 최소값은 셀의 개수가 최소일 때 얻어진다. 이는 셀의 개수가 많아질수록 예외부품의 개수와 셀간 이동량이 커진다는 Chow & Hawaleshka<13>의 연구결과와도 일치하는 것이다.

## 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 20개의 기계-부품그룹 문제를 생성하여 본 연구의 알고리즘과 Gupta & seifoddini<7>의 알고리즘과의 비교를 시도하였다. 비교결과를 요약하면 첫째, 본 연구의 알고리즘이 Gupta & seifoddini의 알고리즘보다 셀간 이동량의 최소값의 관점에서 우수한 결과를 나타내고 있다. 둘째, 셀간 이동량은 셀의 개수가 적을수록 줄어든다. 이는 기계셀 형성문제에서 셀간 이동량이 주요 목적일 때는 특히 중요하다. 본 연구에서 제안하는 알고리즘이 Gupta & seifoddini의 알고리즘보다 항상 우수한 결과를 주는 것은 아니지만 제안하는 알고리즘을 사용하는 경우는 유사성 계수에서 사용하는 가중치를 여러가지로 조합하여 셀간 이동량을 더 줄일 수 있는 결과를 얻을 수가 있다. 또한 실전적인 문제가 주어지면 두 알고리즘을 모두 적용하여 이 중에서 보다 나은 해를 선택할 수 있는 기회를 가질 수 있으므로 상당한 도움이 될 것이라 사료된다.

## 참고문헌

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.
  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 routeing," *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.

Table 1. Quantity for each part

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

Table 2. Routings for each part

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		

Table 3. Machine - part matrix

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

Row = machine  
Column = part

Table 4. Similarity coefficient matrix

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

Table 5. Results of cell formation

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

Table 6. Solution of cell formation

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

Table 7. Comparison of two algorithms based on the minimum quantity of intercellular movements

Size	Algorithm	The number of cells						
		2	3	4	5	6	7	8
7 x 11	PA	523	2008	2764				
	GSA	1544	2067	3712				
8 x 12	PA	424	435	807				
	GSA	424	435	807				
8 x 20	PA	338	675	917				
	GSA	591	675	2086				
9 x 19	PA	502	*2925	*3079	*3161			
	GSA	502	656	1339	2696			
10 x 8	PA	0	1266	2171	2532			
	GSA	0	1852	3662	4384			
10 x 20	PA	11	354	661	744			
	GSA	11	354	661	781			
11 x 22	PA	2155	2322	2634	3877			
	GSA	3480	6399	6521	6761			
11 x 22	PA	146	898	918	1042			
	GSA	146	921	941	1042			
12 x 12	PA	0	*402	471	471	901		
	GSA	0	290	1709	3986	4055		
12 x 12	PA	0	37	293	*934	*1342		
	GSA	0	37	293	352	365		
12 x 12	PA	902	925	995	1198	1530		
	GSA	1067	2177	2200	2235	2438		
13 x 17	PA	812	1610	2584	*2852	*2877		
	GSA	946	1920	2584	2609	2667		
13 x 25	PA	1312	2654	4099	4171	5424		
	GSA	2198	3564	4302	4374	5627		
14 x 24	PA	*1743	*3592	*5317	*5665	5961	6230	
	GSA	843	2778	4644	5661	5980	6249	
15 x 30	PA	691	778	2270	2955	4784	5371	
	GSA	1736	2509	8135	10694	10781	11445	
16 x 30	PA	346	*3197	6682	*9457	*9484	*9542	*10160
	GSA	346	3055	6829	6856	6914	7532	8267
16 x 43	PA	7319	13536	*19895	20803	21994	24640	*26023
	GSA	12209	17591	19127	21946	23278	25152	25700
20 x 35	PA	4888	8705	15643	21919	22642	23237	25056
	GSA	13464	16196	20150	25663	26420	27581	28862
24 x 40	PA	507	5319	8295	9869	12133	12978	17753
	GSA	5111	14782	18099	19774	19947	20437	20800
30 x 41	PA	*13052	19984	22333	32974	37298	38364	42554
	GSA	7829	24055	32002	35424	38068	40295	42698

Size : (No. of machines ) x (No. of parts)

PA : Proposed algorithm

GSA : Gupta & seifoddini's algorithm

\* : The value which is worse than that of Gupta & seifoddini