

신경망을 이용한 제조셀 형성 알고리즘

이준한* · 김양렬**

A Manufacturing Cell Formation Algorithm Using Neural Networks

Jun Han, Lee* · Yang Ryul, Kim**

■ Abstract ■

In a increasingly competitive marketplace, the manufacturing companies have no choice but looking for ways to improve productivity to sustain their competitiveness and survive in the industry. Recently, cellular manufacturing has been under discussion as an option to be easily implemented without burdensome capital investment. The objective of cellular manufacturing is to realize many aspects of efficiencies associated with mass production in the less repetitive job-shop production systems.

The very first step for cellular manufacturing is to group the sets of parts having similar processing requirements into part families, and the equipment needed to process a particular part family into machine cells. The underlying problem to determine the part and machine assignments to each manufacturing cell is called the cell formation. The purpose of this study is to develop a clustering algorithm based on the neural network approach which overcomes the drawbacks of ART1 algorithm for cell formation problems.

In this paper, a generalized learning vector quantization(GLVQ) algorithm was devised in order to transform a 0/1 part-machine assignment matrix into the matrix with diagonal blocks in such a way to increase clustering performance. Furthermore, an assignment problem model and a rearrangement procedure has been embedded to increase efficiency.

The performance of the proposed algorithm has been evaluated using data sets adopted by prior studies on cell formation. The proposed algorithm dominates almost all the cell formation algorithm reported so far, based on the grouping index ($q = 0.2$). Among 27 cell formation problems investigated, the result by the proposed algorithm was superior in 11, equal in 15, and inferior only in 1.

* 경주대학교 경영광고학부 경영정보학과

** 성균관대학교 경영학부

1. 서 론

오늘날 기술진보와 시장경쟁의 가속화로 제품의 수명주기가 단축되고 있으며, 제품의 기능을 구매하던 소비자들이 만족추구를 극대화시키는 구매성향을 보이고 있다. 이러한 시장동향에 적응하고, 생산시스템의 경쟁우위를 확보하기 위해서는 다품종 소량생산 체제로의 전환이 불가피하다.

그러나 다품종 소량생산 체제에서는 혼란의 비경제로 인하여 생산관리의 효율을 향상시키는데 어려운 점이 많다. 다품종 소량생산 체제에서는 생산해야 할 제품의 종류가 많고, 생산량과 납기가 다양하다. 또한, 소재로부터 제품까지의 변환과정이 복잡하고 생산공정이 개개의 제품에 따라 다르며, 다양한 제품에 대한 수요의 동적 특성 때문에 설비의 과부족이 생기기 쉽다. 그리고 주문제품의 규격변경에 기인하는 공정계획이나 복잡한 재료흐름 때문에 일정계획 수립이 어렵고 정확한 정보의 부족 때문에 작업견적을 세우기가 어렵다. 그러므로 다품종 소량생산은 이러한 모든 요인들로 인하여 제품표준화에 의한 대량생산에 비하여 효율과 경제성이 떨어진다.

이러한 비효율성을 극복하기 위해 여러 가지 체계적인 접근방법들이 개발되고 있는데 그 중 하나로 그룹 테크놀로지(group technology : GT), 또는 셀생산방식(cellular manufacturing : CM)을 들 수 있다. 그룹 테크놀로지는 주어진 대상물들의 속성간의 유사성을 탐구하는 철학이며, 셀생산방식은 생산분야에 그룹 테크놀로지를 응용한 것으로서, 기능별 개별생산(job shop)의 생산기계들을 제조셀내에서 분할배치하는 것이다. 그룹 테크놀로지는 부품의 형태, 치수, 재질, 가공공정, 설비 등의 유사성이나 동질성을 합리적인 방법에 따라 그룹핑하여 다품종 소량생산에서 랫(lot)의 크기를 대량화하고 공정설계를 합리화하며, 각 그룹내에서 기기와 공구를 공동사용하고 준비시간, 공정간 운반거리, 가공대기를 감소시키며, 그룹내에서의 반복작업에 따라 작업자의 숙련도를 높일 수 있어

대량생산에서 얻을 수 있는 생산성 향상을 다품종 소량생산에서도 실현시킬 수 있는 공정기술과 관리기술이 복합된 기법 체계라 할 수 있다.

따라서 그룹 테크놀로지 개념을 도입한 새로운 형태의 생산관리 및 계획분야가 요청된다. 이를 위해 그룹 테크놀로지 문제는 부품분류 코드시스템을 개발해야 하는 문제, 셀을 형성하기 위해 부품을 부품군으로 그룹핑하는 문제, 형성된 셀을 물리적으로 배치하는 문제와 같이 크게 세 가지 문제로 나누어 볼 수 있다. 그룹 테크놀로지 제조셀이란 그 중 두 번째 문제인 부품들간의 유사성을 최대한 활용하여 부품을 부품군(part family)으로 구성하고, 각 부품군을 생산하는데 필요한 기계들을 기계셀(machine cell)로 형성하는 것으로 생각할 수 있다.

이에 따라 합리적인 제조셀 구성을 위한 알고리즘이나 휴리스틱을 개발하기 위하여 많은 연구가 진행되어 왔다. 제조셀 구성문제에 대한 기존의 연구는 기계별로 처리하는 품목의 특성(형상, 치수, 허용오차 등등)을 이용하여 분류하는 방법(classification and coding system)에 관한 연구와 부품을 생산하기 위한 작업순서와 기계내 공정흐름을 분석하여 기계-부품간에 특정 기계가 특정 부품을 가공하는 경우에는 $a_{ij}=1$, 가공하지 않는 경우엔 $a_{ij}=0$ 으로 이루어진 기계-부품 가공행렬 $[a_{ij}]$ 을 구성한 후 행과 열을 재배치하면서 제조셀을 형성하는 연구(production flow analysis : PFA)로 구분할 수 있다.

최근에 이루어지고 있는 연구는 대부분 후자, 즉 행렬을 이용하여 그룹을 구성하는 알고리즘이나 휴리스틱의 개발에 관한 연구가 주류를 이루고 있다. Seifoddini와 Wolfe[20]의 연구는 유사한 품목을 생산하는 기계들로 제조셀을 구성한 후 여기에 부품들을 적절히 할당하는 순차적인 방법을 제시하며, King[12]의 ROC(Rank Order Clustering), Chan과 Milner[4]의 DCA(Direct Clustering Algorithm) 등은 기계와 부품간의 그룹을 동시적으로 직접 찾아내는 방법을 제시한다. 또한 정수계획법과 같은 수리적 방법도 제조셀 구성문제에 적용되고 있다.

그러나 ROC의 경우 정렬을 위해 사용되는 이진 값이 문제의 규모를 제한하여 행과 열의 수가 $47(2^k-1)$ 을 넘을 수가 없으며[13], DCA의 경우 대규모의 행렬에 대해 군집(cluster)들을 표현하고 가시화하기가 어렵고, 주어진 행렬을 대각구조(diagonal structure), 또는 대각구조에 가까운 형태로 얻기가 어렵다[17]. 수리적 방법도 많은 수의 변수와 제약조건을 가진 문제를 해결하는데는 한계가 있다.

최근에는 인공지능 분야에서 관심의 대상이 되고 있는 신경망(Neural Networks) 이론을 제조셀 구성문제에 적용하는 연구가 활발히 이루어지고 있는데, 특히 Carpenter와 Grossberg가 제안한 ART1(Adaptive Resonance Theory 1) 신경망 기법이 많은 연구에서 제조셀 구성문제의 해법으로 활용되어 빠른 시간내에 좋은 해를 제공하는 성과를 보였으며, 셀 형성 문제에 가장 적합한 것으로 알려졌다. 그러나 ART1 신경망 기법을 적용한 경우에도 몇가지 문제점 및 한계점이 지적되고 있는데, 입력데이터의 순서에 따라 그룹핑이 달라질 수 있다는 것과 입력 데이터가 0/1의 이진수 형태만을 갖는다는 것이다[11].

본 연구에서는 셀 형성에 대한 기존 연구의 문제점을 극복하고 만족해를 빠르게 구할 수 있는 신경망 기법의 장점을 살리기 위해 Pal 등[19]이 제안한 GLVQ(Generalized Learning Vector Quantization) 신경망 기법을 셀 형성 문제에 적용하였으며, 그룹핑 성과를 높이기 위해 추가적인 정렬 절차를 제시하였다.

2. GLVQ 알고리즘 원리 및 제조셀 형성 기법

2.1 GLVQ 알고리즘 원리

Kohonen의 신경망 구조는 입력층과 경쟁층의 2차원 격자로 이루어져 있으며, 입력층에서 경쟁층의 방향으로 완전하게 연결되어 있고, 뉴런들은 경쟁층에서 고밀도로 연결되어 있다. Kohonen 네트

워크의 학습은 입력벡터와 가중치벡터(군집중심)가 얼마나 가까운가를 계산하는데, 두 층 사이의 가중치벡터는 0에서 1사이의 정규화된 값을 사용하여 적당하게 초기화되어야 한다. Kohonen 신경망의 학습철학은 승자독점으로서 승자만이 출력을 낼 수 있으며, 승자와 그의 이웃들만이 가중치를 조정할 수 있다. 승자 뉴런의 가중치벡터는 입력벡터와 가장 가까운 것이며, 이 뉴런과 그의 이웃 반경 안의 뉴런들은 가중치를 조정해가면서 학습을 한다. 이러한 측면제어(lateral inhibition)의 효과는 맥스칸 모자와 유사하여 승자 뉴런과 가까울수록 영향을 많이 받고 멀어질수록 영향을 적게 받는다.

GLVQ는 Kohonen의 LVQ 알고리즘을 일반화한 수정 알고리즘인데, LVQ를 이용하면 분류되지 않는 p -차원의 데이터에 숨어 있는 군집 하부구조를 발견할 수 있다. $X=(x_1, x_2, \dots, x_n) \subset R^n$ 를 입력벡터 집합이라고 하고 c 를 경쟁층에서의 노드의 수(X 의 군집수)라고 할 때, LVQ는 입력벡터와 군집중심(v)간의 유클리드 거리를 계산하여 가장 가까운 노드를 승자 노드로 결정하고, 입력벡터와 군집중심간의 유클리드 거리의 기대값을 최소화하도록 c 개의 중심점을 설정한다. 이때 학습규칙으로는 최급강하 규칙(steepest descent rule)을 이용한다.

즉, LVQ에서는 하나의 입력벡터가 주어지면 최근접 군집중심을 찾아 그 군집중심을 입력벡터가 있는 방향으로 $(x - v)$ 벡터를 따라 이동시키는데, 이때 이동하는 양은 0과 1사이의 학습율 α 에 따라 달라진다. LVQ는 기본적으로 MacQueen의 sequential hard c -means(SHCM) 알고리즘과 동일한 개념이며, 따라서 MacQueen의 알고리즘과 마찬가지로 초기 군집중심점 선택에 따라 지역 최적해(locally optimal solution)에 빠질 수 있다. 이러한 문제가 발생하게 되는 이유는 초기 군집중심점의 부적절한 선택과 각 입력벡터가 승자 노드만을 갱신하기 때문이다. Pal 등[19]은 이러한 LVQ의 문제점을 보완하기 위해 입력벡터와 승자 노드간의 국지적 가중오차로 정의되는 손실함수를 최소화하도록 승자 노드와 비승자 노드에 대해 각각 다른

갱신규칙을 적용하는 일반화된 LVQ(GLVQ) 알고리즘을 개발했다. 즉, 손실함수를 L_x 라고 할 때,

$$L_x = L(x, v_1, \dots, v_c) = \sum_{r=1}^c g_{ir} \|x - v_r\|^2$$

where

$$g_{ir} = \begin{cases} 1, & \text{if } r=i \\ \frac{1}{D}, & \text{otherwise} \end{cases}$$

where $D = \sum_{r=1}^c \|x - v_r\|^2$

위 정의식을 정리하면 다음과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$L_x = \sum_{r=1}^c g_{ir} \|x - v_r\|^2 = \|x - v_i\|^2 + 1 - \frac{\|x - v_i\|^2}{D} = 1 + \|x - v_i\|^2 \left[1 - \frac{1}{D} \right]$$

임의의 한 센터 i 를 승자 노드라 하고 나머지 센터를 비승자 노드라고 한다면, 위 식을 승자 노드와 비승자 노드에 대해 편미분하면 다음과 같다.

승자 노드 (for $r = i$):

$$\frac{\partial L_x}{\partial v_i} = -2(x - v_i) \frac{D^2 - D + \|x - v_i\|^2}{D^2}$$

비승자 노드 (for $r \neq i$):

$$\frac{\partial L_x}{\partial v_j} = -2(x - v_j) \frac{\|x - v_j\|^2}{D^2}$$

위의 식에 근거하여 갱신규칙은 다음과 같이 형성된다. 아래의 갱신규칙에서 t 는 학습횟수를 나타낸다.

승자 노드 :

$$v_{i,t} = v_{i,t-1} + \alpha_t (x - v_{i,t-1}) \frac{D^2 - D + \|x - v_{i,t-1}\|^2}{D^2}$$

비승자 노드 :

$$v_{j,t} = v_{j,t-1} + \alpha_t (x - v_{j,t-1}) \frac{\|x - v_{j,t-1}\|^2}{D^2}$$

따라서 GLVQ에서는 하나의 입력벡터가 들어오면 승자 노드 뿐만 아니라 비승자 노드도 새로운 입력벡터의 방향으로 이동하는데, 승자 노드는 많이 이동하고 비승자 노드는 적게 이동하게 된다($D > 1$ 일때). 또한 입력벡터와 승자 노드의 거리가 멀수록(즉, quantization 오차가 크면 클수록) 가중치 벡터에 미치는 영향이 커져서 많이 이동하게 되고, 반대의 경우는 적게 이동하게 되는데, 궁극적으로 입력벡터와 승자 노드가 정확히 일치하는 경우에는 모든 노드가 갱신되지 않게 되어 LVQ 알고리즘과 같게 된다.

2.2 GLVQ 알고리즘을 이용한 제조셀 형성 기법

GLVQ 알고리즘을 이용한 셀 형성 기법의 전반적인 절차는 다음과 같다. 절차 1에서 GLVQ 알고리즘은 6단계로 이루어지는데, 1단계에서는 초기 데이터 집합에 대하여 셀(경쟁층 노드)의 수, 총 학습 횟수, 그리고 학습중지 매개변수의 적당한 값을 부여한다¹⁾. 2단계에서는 군집중심(가중치벡터)

1) 매개변수의 초기값 부여에서 셀의 수(c)는 생산현장을 고려하여 특정 값을 지정하거나 최대 가능한 수인 입력 패턴의 수(n)를 부여할 수도 있다. 총 학습횟수와 학습율, 학습중지 매개변수의 경우에는 시행착오에 의하여 결정되는데, 학습율은 0.2~0.4를 벗어나면 문제의 구조에 따라 적절한 분류가 이루어지지 않는 경우도 발생하며, 학습횟수의 경우 간단한 문제에서는 1회 학습으로도 분류가 가능하며 복잡한 문제의 경우 100회 이상의 학습횟수를 부여하는 것이 적절하다. 학습중지 매개변수는 0.1을 부여하였다.

와 학습율의 초기값을 설정하며, 3단계에서는 기계-부품 가공행렬(입력패턴)의 각 입력패턴과 군집중심간의 유클리디언 거리를 계산하여 가장 가까운 승자 노드를 결정하고 승자 노드와 비승자 노드의 군집중심 위치를 조정한다. 4단계와 5단계에서는 t 번째 조정(학습)된 군집중심과 $(t-1)$ 번째 조정된 군집중심간의 차이를 계산하여 학습중지 매개변수에 설정된 값보다 적으면 군집중심 조정을 중지하고 그렇지 않으면 3단계로 되돌아간다. 6단계에서는 학습이 끝난 상태에서 최종적으로 기계-부품 가공행렬의 각 입력패턴과 군집중심간의 거리를 계산하여 각 입력패턴을 그룹핑한다.

절차 1에 의해 기계들은 각각의 기계셀로 분류되고 부품들은 각각의 부품군으로 분류되는데, 절차 2에서는 분류된 기계셀과 부품군들을 서로 연결시켜주는 작업이 필요하다.

절차3에서는 할당된 기계셀과 부품군을 검토하여 셀내의 그룹핑 효과를 높일 수 있도록 기계와 부품을 다른 군집으로 이동시키는 정렬 작업이 이루어진다. 즉, 기계셀 정렬의 예를 들면, 기계셀내의 각 기계들중 현재 연결된 부품군 보다 많은 부품이 가공되는 부품군이 있을 경우, 또는 가공되는 부품수는 동일하더라도 적은 수의 void(대각블록내의 0)가 있는 경우는 해당 부품군과 연결될 수 있도록 해당 기계를 다른 기계셀로 이동 배치한다.

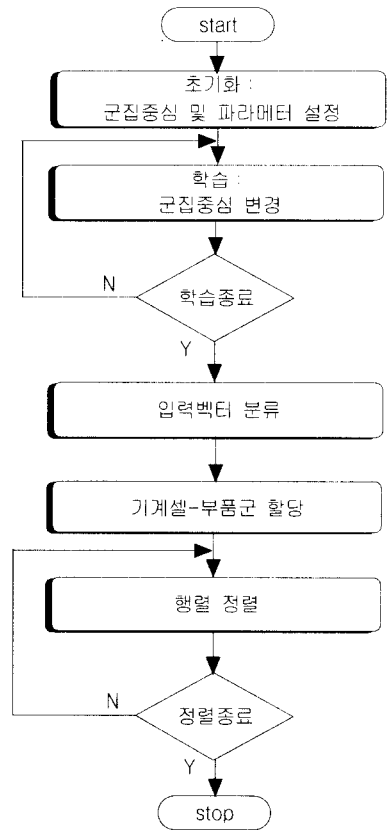
부품군 정렬도 동일한 방식으로 실행하며, 이런 작업을 기계셀과 부품군에 변동이 없을 때까지 반복수행한다. 이상의 셀 형성 절차를 개략적인 흐름도로 나타내보면 <그림 1>과 같다.

본 논문에서 이용하는 셀 형성 기법 알고리즘은 다음과 같다.

<기호정의>

- X : 기계-부품 가공행렬(입력패턴 집합)
- c : 셀 경쟁층의 노드의 수
- T : 총 학습 횟수
- ϵ : 학습중지 매개변수(stop parameter)
- V : 군집중심(가중치) 벡터

- a_i : 학습율
- n : 기계(입력패턴)의 수
- p : 부품의 수
- E_t : t 번째와 $(t-1)$ 번째 군집중심간의 유클리디언 거리
- M_i : i 기계셀
- P_i : i 부품군



<그림 1> 셀 형성 절차 흐름도

절차 1.

GLVQ 알고리즘을 이용하여 부품군과 기계셀을 그룹핑한다.

<GLVQ 알고리즘>

- step 1. 주어진 초기 data set $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \subset R^p$ 에 대하여 c, T 와 $\epsilon > 0$ 에 초기값을 부여.
- step 2. $V_0 = (v_{1,0}, \dots, v_{c,0}) \in R^p$ 와 $a_0(0 \sim 1)$ 의 초

기값을 설정.

step 3. For $t = 1, 2, \dots, T$, Compute $a_t = a_0(1 - t/T)$.

For $k = 1, 2, \dots, n$,

a. Find $\|x_k - v_{i,t-1}\| = \min_{1 \leq j \leq c} \{ \|x_k - v_{j,t-1}\| \}$ - 승자 노드 결정

b. 모든 가중치벡터 $\{v_{r,t}\}$ 를 갱신.

$$v_{i,t} = v_{i,t-1} + a_t(x_k - v_{i,t-1}) \cdot (D^2 - D + \|x_k - v_{i,t-1}\|^2)/D^2$$

- 승자 노드

$$v_{r,t} = v_{r,t-1} + a_t(x_k - v_{r,t-1}) \cdot (\|x_k - v_{r,t-1}\|^2)/D^2 \quad (r \neq i)$$

- 비승자 노드

where $D = \sum_{r=1}^c \|x_k - v_{r,t-1}\|^2$

Next k

step 4. Compute

$$E_t = \sum_{r=1}^c \|v_{r,t} - v_{r,t-1}\|$$

step 5. If $E_t \leq \epsilon$ stop; Else Next t .

step 6. 기계-부품 가공행렬의 각 입력패턴과 군집중심간의 유클리디언 거리를 계산하여 각 입력패턴을 그룹핑³⁾.

$$GLVQ_{ik} = \begin{cases} 1; & \text{if } \|x_k - v_i\| \leq \|x_k - v_j\|, \\ & 1 \leq j \leq c, j \neq i \\ 0; & \text{otherwise} \end{cases}$$

$1 \leq i \leq c$ and $1 \leq k \leq n$.

절차 2.

분류된 부품군과 기계셀들을 셀내의 1의 수가 최대가 되도록 다음과 같은 할당모형을 이용하여 풀고 대각블록 형태로 구성한다. 이때 대각블록 형태를 이루기 위해서는 기계셀을 순서대로 두고 각 기계셀에 할당된 부품군들을 배치하든지, 또는 역으로 부품군을 순서대로 두고 각

부품군에 할당된 기계셀을 배치하면 된다.

$$\text{Max } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

$$\text{s.t. : } \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

where

$$x_{ij} = \begin{cases} 1; & \text{if } i\text{기계셀에} \\ & j\text{부품군이 할당되는 경우} \\ 0; & \text{otherwise} \end{cases}$$

c_{ij} = i 기계셀에 의해 가공되는 j 부품군내의 1의 수

절차 3.

step 1. 기계셀 정렬

For $k=1, 2, \dots, n$,

a. Find $M_{ki1} = \max_{1 \leq j \leq c} M_{kj1}$

Move k to M_i

b. If $M_{ki1} = M_{kj1}$ ($i \neq j$)

Find $M_{ki0} = \min_{1 \leq j \leq c} M_{kj0}$

Move k to M_i .³⁾

where M_{ki1} : k 행 기계에 의해 가공되는 j 부품군내의 1의 수

M_{kj0} : k 행 기계에 의해 가공되는 j 부품군내의 0의 수

Next k

step2. 부품군 정렬

For $k=1, 2, \dots, p$,

a. Find $P_{ki1} = \max_{1 \leq j \leq c} P_{kj1}$

Move k to P_i .

b. If $P_{ki1} = P_{kj1}$ ($i \neq j$)

Find $P_{ki0} = \min_{1 \leq j \leq c} P_{kj0}$

Move k to P_i .

where P_{kj1} : k 열 부품을 가공하는 j 기계셀

2) 본 단계는 모든 입력자료($k=1, \dots, n$)에 대해 특정 입력패턴이 어떤 군집에 포함되는 지의 여부를 가시화하기 위해 0/1 매트릭스를 이용하여 나타내는 작업으로서, 입력패턴이 특정군집에 포함되면 1, 포함되지 않으면 0으로 표현된다.

3) 기계셀 정렬 단계(또는 부품군 정렬 단계)에서 본 식이 필요한 이유는 가공되는 부품수는 동일하더라도 적은 수의 void가 있는 경우는 해당 부품군(또는 해당 기계셀)과 연결될 수 있도록 해당 기계(또는 해당 부품)를 다른 기계셀(또는 다른 부품군)로 이동 배치하는 것이 그룹핑 효과를 높일 수 있기 때문이다.

내의 1의 수

P_{kj0} : k열 부품을 가공하는 j기계

셀내의 0의 수

Next k

기계셀과 부품군에 변화가 없을 때까지 기계셀 정렬과 부품군 정렬을 반복해서 실시한다.

3. 기존 제조셀 형성 기법과의 성과비교

3.1 측정도구

셀생산방식을 위한 셀 형성의 목적은 부품군과 기계셀을 연결하여 대각행렬로 만드는 것인데, 가장 바람직한 셀 형성은 대각블록 이외에는 1이 없는 경우이다. 그러므로 여러 가지 셀 형성 기법은 이러한 기준에서 그들의 우열을 평가할 수 있다. 본 논문에서는 제안된 셀 형성 기법의 성과를 알아보기 위해 Grouping Efficiency, Grouping Efficacy, Grouping Index($q=0.2\sim 0.5$) 세 가지 측정도구를 이용하여 기존의 각종 셀 형성 기법과 비교하였다.

$$\text{Grouping Efficiency } \eta = q \eta_1 + (1-q) \eta_2$$

where

q : 가중치

η_1 = 대각블록 내의 1의 수 / 대각블록 내의 전체 원소 수

η_2 = 대각블록 밖의 0의 수 / 대각블록 밖의 전체 원소 수

Chandrasekharan과 Rajagopalan[5]이 개발한 Grouping Efficiency는 η 가 클수록 좋는데, 그 특징으로는 0~1 사이의 비음값을 취하며, void와 예외요소(대각블록 밖의 1)가 동일한 가중치를 갖는 큰 매트릭스나 1의 값이 드문 매트릭스(sparse matrix)들에 대해서는 아주 낮은 q 값을 선택해야 한다

는 것이다. 또한 ZODIAC 알고리즘으로 약 100여 개의 자료들에 대해 실험해본 결과, 예외요소가 많이 발생하는 아주 나쁜 해의 경우에도 그 값이 75% 가까이 되어서 전반적으로 판별력(discriminating power)이 약하고, 매트릭스의 크기가 커지면 grouping efficiency도 1에 가까워지는 한계점이 있다.

$$\text{Grouping Efficacy } \tau = (1 - \psi) / (1 + \varphi)$$

where

ψ = 예외요소의 수 / 총작업수(매트릭스내의 1의 수)

φ = void의 수 / 총작업수

Kumar와 Chandrasekharan[14]이 개발한 이 방법은 τ 가 클수록 좋기 때문에 ψ 와 φ 는 작을수록 바람직한 셀 형성이 된다. 특징으로는 void와 예외요소에 다른 가중치를 부여하는데, 사용자는 그 가중치를 알지 못하며, 사용자가 상황에 따라 void와 예외요소의 가중치를 부여할 수 있는 자유가 없다. 또한 이론적인 경우이긴 하지만 매트릭스 전체가 0일 때, grouping efficacy가 0이 되어야 함에도 불구하고 값을 결정할 수 없어서 0~1 사이의 범위를 갖지 못하는 변칙(anomaly)이 발생한다.

$$\text{Grouping Index } \gamma = \frac{1 - \alpha}{1 + \alpha}$$

where $\alpha = \frac{q e_v + (1 - q)(e_o - A)}{B}$

$A = 0$ for $e_o \leq B$

$A = e_o - B$ for $e_o \geq B$

q : 가중치

e_o : 예외요소의 수

e_v : void의 수

B : 대각블록 내의 전체 원소 수

Nair와 Narendran[18]이 개발한 이 측정도구의 특징은 0~1 사이의 비음값을 취하며, 극단값의 해석이 가능하여 변칙이 발생하지 않는다. 또한 grouping efficacy의 경우 명시적으로 가중치를 부

여하지는 않지만 <표 1>의 #1, #2를 비교해보면 예외요소 수의 변화보다 void 수의 변화에 더 민감하게 반응하여 void의 가중치가 예외요소의 가중치보다 큰데, 실제 작업현장에서는 블록내의 void가 예외요소보다 중요하지 않아서 이 측정방법이 부적절함을 알 수 있다. Garza와 Smunt[9]의 연구에서도 셀간이동 수준이 낮을 경우 개별생산보다 셀생산방식의 성과가 크다는 결과가 나와서 예외요소의 수가 셀생산방식의 성과에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 따라서 void의 가중치가 예외요소의 가중치보다 적어야 한다.

grouping index에서는 void와 예외요소의 효과가 사용자에게 의해 주어진 q 값에 의해 결정되며, $q = 0.5$ 일 때 e_o 와 e_v 는 α 와 γ 에 대해 동일한 영향을 미치며, q 값이 작아질 수록 void보다 예외요소의 가중치가 크게 된다. <표 1>에서 볼 수 있듯이 B , $e_v + e_o$ 의 값이 동일할 때, e_v 보다 e_o 가 작으면 $q=0.5$ 인 경우에는 grouping index의 값이 같지만 $q=0.4$ 인 경우에는 grouping index의 값이 높아진다. 따라서 Garza와 Smunt의 연구 결과를 볼 때 $q=0.4$ 이하의 값을 주어 grouping index를 구하는 것이 현실상황에 보다 가까운 측정치를 구할 수 있을 것이다.

이때 가중치의 값을 얼마로 결정할 것인가 하는 문제가 남아 있다. <그림 2>의 Chan과 Milner[4]의 예제에서 두 가지의 셀 형성이 가능한데 셀이 두 개일 때의 해는 e_o 가 0, e_v 는 32, B 는 81이 되고, 셀이 세 개일 때의 해는 e_o 가 5, e_v 는 6, B 는 50이 된다. 두 개의 해를 비교해보면 $q=0.3$ 일 때 까지는 셀이 세 개인 해가 grouping index의 값이 더 높지만 $q=0.2$ 이하일 때는 셀이 두 개인 해의 grouping index의 값이 더 높다. <그림 2>에서 e 는 전체 매트릭스 내의 1의 수를 나타내고 밀도(density)는 전체 매트릭스 크기에서 차지하는 1의 비율을 나타낸다.

여기서 셀이 세 개일 때의 해는 기계 1, 기계 6, 기계 7, 기계 8, 기계 9가 애로기계(bottleneck machines)가 되고, 부품 6, 부품 7, 부품 11이 애로

부품이 되어 셀간 이동을 제거하기 위해서는 애로 기계를 중복배치하거나 애로부품을 하청을 주어야 하는 문제가 발생한다. 따라서 현실적으로는 기계 이용율이 떨어지더라도 셀을 두 개로 하여 예외요소를 제거하는 것이 유리할 것이다. 이 예에서 볼 때 기계유휴 비용, 기계구입 비용 및 하청 비용에 따라 다르겠지만 가중치를 0.2 이하까지 고려할 필요가 있기 때문에 비교실험에서는 $q=0.5$ 에서 0.2까지 다양한 값을 주어서 그 결과를 비교해 보겠다.

<표 1> grouping efficacy와 grouping index의 비교

#	B	e_v	e_o	e_v+e_o	grouping efficacy(%)	grouping index($q=0.5$)	grouping index($q=0.4$)
1	131	7	19	26	82.67	81.95	80.44
2	131	19	7	26	81.16	81.95	83.47
3	131	20	30	50	68.94	67.95	66.88
4	131	30	20	50	66.89	67.95	69.03
5	131	35	10	45	68.04	70.68	73.51
6	131	38	5	43	68.38	71.80	75.60

출처 : Nair & Narendran(1996)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		1				1	1				1	1			
2					1				1	1			1		1
3	1		1			1									1
4	1		1	1		1									1
5									1	1	1				1
6		1				1	1				1	1			
7		1				1					1	1			
8	1		1	1		1					1				1
9			1	1		1	1								1
10									1	1	1				1

문제크기 = 10×15 밀도 = 0.33 $e = 49$

a) Chan & Milner(1982)의 예제

	2	12	11	7	6	3	14	4	1	9	10	13	15	8	5
1	1	1	1	1	1										
6	1	1	1	1	1										
7	1	1	1		1										
3					1	1	1		1						
4					1	1	1	1	1						
8		1			1	1	1	1	1						
9			1		1	1	1	1	1						
2										1	1	1	1	1	1
5										1	1	1	1	1	1
10										1	1	1	1	1	1

$c=3$	$c=2$
$e=6, e=5, B=50$	$e=32, e=0, B=81$
$\eta=91.5, \tau=80$	$\eta=80.25, \tau=60.49$
$\gamma=80.18(q=0.5), 80.51(q=0.4)$	$\gamma=67.01(q=0.5), 72.71(q=0.4)$
$84.16(q=0.3), 81.16(q=0.2)$	$78.81(q=0.3), 85.35(q=0.2)$

b) GLVQ 해

<그림 2> Chan과 Milner의 예제에 대한 GLVQ 해

3.2 성과비교 결과

<표 2>는 22개의 문헌에서 말채된 27개의 그룹 테크놀로지 매트릭스 문제로서 본 논문에서 제시한 셀 형성 알고리즘과 기존의 문헌에서 제시된 해의 결과를 비교하기 위해 사용되었다.

<표 3>은 <표 2>의 문제에 대해 연구 논문들에서 제시된 해와 GLVQ 알고리즘 및 행렬 정렬에 의해 구해진 해를 비교한 것으로서 grouping efficiency, grouping efficacy 및 grouping index($q=0.5\sim 0.2$)에 의해 성과가 측정되었다. 하나의 문제에 대해 여러 가지 대안들이 나오는 경우에는 grouping index($q=0.2$)가 가장 높은 것을 최적으로 제시했는데, 일반적으로 셀의 수가 많아질수록 grouping efficiency, grouping efficacy 및 grouping index($q=0.5$)가 높아지는 반면, 셀의 수가 적어질수록 grouping index($q=0.4$ 이하)가 높아졌다.

비교 결과는 grouping index($q=0.2$)를 기준으로 27개 문제중 15개의 문제에서는 동일한 결과가 나왔으며, 11개 문제에서는 본 논문의 방법이 우수한 결과를 제공했고, 단 1개의 문제에서 열등한 결과를 제공했다. 열등한 결과를 보인 20번 문제도 grouping index($q=0.2$)에서 ART1은 73.27, 본 연구의 알고리즘은 72.67로 열등한 결과를 보이고 있으나, $q=0.1$ 기준에서는 ART1이 77.07, 본 연구의 알고리즘은 79.36으로 우수한 결과를 보여 준다.

동일한 결과를 나타내는 문제는 대부분 문제의 형태가 예외요소가 별로 발생하지 않는 양호한 구조(well structured)에서 최적해가 존재하는 경우인 반면, 우수한 결과를 나타내는 문제는 대부분 예외요소가 많이 발생하는 불량한 구조(gill struc-

tured)에서 여러 가지 대안이 나올 수 있는 경우이다. 특히 불량한 구조의 문제일수록 절차3에서 실시한 기계적 정렬과 부품군 정렬의 효과가 뛰어나서 보다 효율적인 해를 구할 수가 있었다. 그러므로 본 논문에서 사용한 셀 형성 기법이 전반적으로 올바른 해를 제공하여 효과적인 뿐만 아니라, 불량한 구조의 문제에서는 여타 기법보다 우수한 해를 제공하여 효율적인 기법이라고 할 수 있겠다.

GLVQ 알고리즘을 이용한 셀 형성은 사진에 필요한 셀 수를 지정할 수도 있고, 가장 자연스러운 형태로 분류되도록 발생가능한 최대의 수(즉, 입력 데이터의 행 수)를 지정할 수도 있다. 생산현장에서 최대 셀 수에 대한 제약이 없는 경우에는 어떤 방법을 이용하더라도 상관이 없을 것이며, 제약이 있는 경우에는 제약조건에 해당하는 셀 수만큼을 지정하여 셀 형성이 이루어지도록 하면 된다.

<표 2> 비교실험 문제

No.	연구 논문	문제 크기	e	범도 (%)
1	King & Nakomechi (1982)	5×7	16	43.71
2	Waghodekar & Sahu (1984)	5×7	20	57.14
3	Chow & Hawaleshka (1991)	5×11	25	45.45
4	Han et al. (1985)	10×8	26	32.50
5	Boer (1991)	7×11	21	27.27
6	Sefidkimi (1989)	5×18	46	51.11
7	Chen & Cheng (1995)	8×10	27	33.75
8	Mosier & Taube (1985)	10×10	24	24.00
9	Askin & Chiu (1990)	14×24	60	17.86
10	Carrie (1973)	20×35	135	19.29
11	Chandrasekharan & Rajagopalan (1986)	8×20	61	38.13
12	Chandrasekharan & Rajagopalan (1989)	24×40	131	13.65
13	Chandrasekharan & Rajagopalan (1989)	24×40	130	13.54
14	Chandrasekharan & Rajagopalan (1989)	24×40	131	13.65
15	Kumar et al. (1986)	23×20	113	24.57
16	Chandrasekharan & Rajagopalan (1987)	10×100	420	10.50
17	Viswanathan (1990)	10×12	41	34.17
18	Chan & Milner (1982)	10×15	49	32.67
19	de Witte (1980)	12×19	75	32.89
20	Harhalakis et al. (1990)	20×20	79	19.75
21	Srinivasan et al. (1990)	16×30	116	24.17
22	Boe & Cheng (1991)	20×35	153	21.86
23	Chandrasekharan & Rajagopalan (1989)	24×40	131	13.65
24	Chandrasekharan & Rajagopalan (1989)	24×40	131	13.65
25	Chandrasekharan & Rajagopalan (1989)	24×40	130	13.54
26	Barbidge (1970)	16×43	126	18.30
27	Kumar & Vamelli (1987)	30×41	128	10.41

〈표 3〉 알고리즘 성과비교⁴⁾

No.	해 법	셀수	c_0	η (%)	τ (%)	γ (%) q=0.5	γ (%) q=0.4	γ (%) q=0.3	γ (%) q=0.2
1	King & Nakornchai (ROC2)	2	2	85.62	73.68	74.36	75.26	76.16	77.09
1*	GLVQ	2	2	85.62	73.68	74.36	75.26	76.16	77.09
2	Waghodekar & Sahu (MACE)	2	3	77.10	68.00	69.23	70.55	71.88	73.24
2	GLVQ	2	7	62.34	50.00	49.02	48.44	47.86	47.29
2*	GLVQ + 행렬 정렬	2	3	77.10	68.00	69.23	70.55	71.88	73.24
3	Chow & Hawaleshka	2	3	82.16	68.75	70.59	72.62	74.70	76.83
3	GLVQ	2	4	83.49	70.00	70.49	71.05	71.61	72.19
3*	GLVQ + 행 정렬	2	3	82.16	68.75	70.59	72.62	74.70	76.83
4	King (ROC)	3	2	92.56	82.76	83.05	83.67	84.30	84.93
4*	GLVQ	3	2	92.56	82.76	83.05	83.67	84.30	84.93
5	Boctor	3	2	86.08	70.37	72.41	74.83	77.30	79.86
5	GLVQ	3	2	84.58	67.86	70.49	73.34	76.27	79.31
5*	GLVQ + 열 정렬	3	2	86.08	70.37	72.41	74.83	77.30	79.86
6	Seifoddini solution 1	2	5	86.76	77.36	77.78	78.44	79.10	79.78
6	Seifoddini solution 2	2	7	91.22	79.59	78.73	77.21	75.73	74.28
6*	GLVQ	2	5	86.76	77.36	77.78	78.44	79.10	79.78
7	Chen & Cheng (ART1)	2	0	82.14	64.29	69.70	75.00	80.65	86.67
7	GLVQ	3	4	85.73	69.70	70.59	71.60	72.62	73.66
7	GLVQ + 행 정렬	3	2	90.98	71.43	73.69	76.48	79.34	82.32
7*	GLVQ	2	0	82.14	64.29	69.70	75.00	80.65	86.67
8	GRAFICS	3	0	85.29	70.59	76.19	80.49	83.79	88.69
8	ZODIAC	3	0	85.29	70.59	76.19	80.49	83.79	88.69
8*	GLVQ	3	0	85.29	70.59	76.19	80.49	83.79	88.69
9	Askin & Chiu	4	2	83.32	65.91	70.30	74.79	79.53	84.55
9*	GLVQ	4	2	83.32	65.91	70.30	74.79	79.53	84.55
10	GRAFICS	4	2	87.81	75.14	77.67	81.34	85.19	89.20
10	ZODIAC	4	2	87.81	75.14	77.67	81.34	85.19	89.20
10*	GLVQ	4	2	87.81	75.14	77.67	81.34	85.19	89.20

(계속)

1) † : 열등 결과, * : 동일 결과, ** : 우수 결과

<표 3> 계속

No.	해 법	셀수	c_0	η (%)	τ (%)	γ (%) $q=0.5$	γ (%) $q=0.4$	γ (%) $q=0.3$	γ (%) $q=0.2$
11	GRAFICS	3	9	95.83	85.24	84.08	81.19	78.38	75.67
11	ZODIAC	3	9	95.83	85.24	84.08	81.19	78.38	75.67
11*	GLVQ	3	9	95.83	85.24	84.08	81.19	78.38	75.67
12	GRAFICS	7	0	100	100	100	100	100	100
12	ZODIAC	7	0	100	100	100	100	100	100
12*	GLVQ	7	0	100	100	100	100	100	100
13	GRAFICS	7	10	95.20	85.11	85.19	85.29	85.43	85.55
13	ZODIAC	7	10	95.20	85.11	85.19	85.29	85.43	85.55
13*	GLVQ	7	10	95.20	85.11	85.19	85.29	85.43	85.55
14	GRAFICS	7	20	91.16	73.51	73.51	73.51	73.51	73.51
14	ZODIAC	7	20	91.16	73.51	73.51	73.51	73.51	73.51
14	GLVQ	7	20	90.84	73.03	73.12	73.24	73.34	73.46
14*	GLVQ + 열 정렬	7	20	91.16	73.51	73.51	73.51	73.51	73.51
15	Kumar et al.	2	15	65.28	35.90	49.35	55.89	63.04	70.87
15	GLVQ	5	57	74.94	39.16	32.82	30.11	27.50	25.00
15	GLVQ + 행렬 정렬 (cell 5→4변경)	4	38	75.12	46.88	48.32	49.14	49.97	50.81
15**	GLVQ + 행렬 정렬 (cell 3→2변경)	2	7	61.96	29.69	47.21	54.93	63.52	73.10
15	GLVQ + 행렬 정렬	2	15	65.28	35.90	49.35	55.89	63.04	70.87
16	ZODIAC	10	36	95.10	84.03	84.04	84.08	84.13	84.16
16*	GLVQ	10	36	95.10	84.03	84.04	84.08	84.13	84.16
17	Kusiak (p-median)	2	7	72.50	50.74	56.86	60.09	65.06	69.49
17	Kusiak (p-median)	3	12	77.77	54.71	54.71	54.71	54.71	54.71
17	Ben-Arieh & Chang	2	12	69.06	45.31	49.64	52.05	54.54	57.10
17	Viswanathan	3	8	78.82	58.93	61.34	63.27	65.23	67.25
17	GLVQ	3	9	77.08	56.14	58.68	60.54	62.43	64.38
17**	GLVQ + 행렬 정렬 (cell 3→2변경)	2	2	75.00	52.70	60.89	66.67	72.88	79.55
18	Chan & Milner	3	5	91.50	80.00	80.18	80.51	84.16	81.16
18	GLVQ solution 1	3	5	91.50	80.00	80.18	80.51	84.16	81.16
18**	GLVQ solution 2	2	0	80.25	60.49	67.01	72.71	78.81	85.35

(계속)

〈표 3〉 계속

No.	해 법	셀수	e_c	η (%)	τ (%)	γ (%) q=0.5	γ (%) q=0.4	γ (%) q=0.3	γ (%) q=0.2
19	Askin et al.	3	23	76.64	52.53	52.77	52.92	53.07	53.22
19	GLVQ	3	33	68.85	41.67	42.47	42.86	43.25	43.65
19**	GLVQ + 행렬 정렬	3	12	72.95	50.81	57.20	61.38	65.80	70.47
20	Harhalakis et al.	4	11	79.60	57.14	61.80	65.38	69.15	73.07
20	Harhalakis et al.	5	15	85.72	64.65	65.52	66.33	67.17	68.00
20	Chen & Cheng (ART1)	4	11	80.52	58.62	62.79	66.14	69.64	73.27
20	Chen & Cheng (ART1)	5	14	88.96	69.89	69.89	69.89	69.89	69.89
20	GLVQ	4	17	77.54	52.10	56.32	59.12	62.04	65.04
20	GLVQ + 행렬 정렬	4	13	80.50	57.89	61.60	64.50	67.49	70.60
20†	GLVQ + 행 정렬	3	10	72.90	46.31	55.30	60.69	66.47	72.67
21	Srinivasan et al.	4	20	85.90	66.67	67.57	68.48	69.41	70.33
21	GLVQ	4	20	86.55	67.61	68.28	68.98	69.68	70.39
21**	GLVQ + 열 정렬	4	19	86.44	67.83	68.71	69.64	70.56	71.51
22	Boe & Cheng (CNA)	4	40	77.36	51.13	54.04	55.90	57.80	59.76
22	Chen & Cheng (ART1)	4	34	79.79	55.35	57.89	59.86	61.86	63.93
22	GLVQ	4	42	81.95	56.06	56.18	56.41	56.64	56.89
22**	GLVQ + 행렬 정렬	4	33	79.97	55.81	58.43	60.46	62.55	64.69
23	ZODIAC	7	20	90.84	73.03	73.12	73.24	73.34	73.46
23	GLVQ	7	20	90.84	73.03	73.12	73.24	73.34	73.46
23**	GLVQ + 열 정렬	7	20	91.16	73.51	73.51	73.51	73.51	73.51
24	ZODIAC	9	62	77.43	39.88	36.19	34.54	32.93	31.36
24	GLVQ	9	63	76.10	38.42	35.31	33.96	32.63	31.34
24**	GLVQ + 행렬 정렬	8	43	80.44	48.85	48.41	48.15	47.90	47.63
25	GRAFICS	9	61	78.67	41.07	36.74	34.76	32.84	30.97
25	Srinivasan (MST)	9	58	81.23	44.44	38.21	37.20	34.89	32.65
25	GLVQ	5	53	66.39	31.17	39.07	42.33	45.75	49.34
25**	GLVQ + 행렬 정렬	5	43	69.26	36.25	44.06	47.68	51.48	55.48
25	GLVQ	6	67	66.03	28.25	32.21	33.67	35.18	36.72
25	GLVQ + 행렬 정렬	6	48	68.70	34.75	41.88	45.06	48.38	51.86

(계속)

<표 3> 계속

No.	해 법	셀수	c_0	η (%)	τ (%)	γ (%) q=0.5	γ (%) q=0.4	γ (%) q=0.3	γ (%) q=0.2
26	Seifoddini & Wolfe (SCM)	5	27	74.01	48.29	53.71	57.28	61.03	64.95
26	King & Nakornchai (ROC2)	4	36	72.52	43.06	48.82	51.88	55.09	58.43
26	Boctor solution 1	2	13	64.38	31.39	47.50	54.77	62.80	71.70
26	Boctor solution 2	4	26	75.70	49.26	54.92	58.47	62.17	66.04
26	GLVQ	5	32	79.70	53.41	55.68	57.21	58.77	60.36
26	GLVQ + 행렬 정렬	5	28	79.41	54.14	57.33	59.54	61.83	64.16
26	GLVQ + 행렬 정렬	4	26	75.70	49.26	54.92	58.47	62.17	66.04
26**	GLVQ + 행렬 정렬	2	13	64.48	31.56	47.59	54.85	62.85	71.73
27	Kumar & Vannelli	3	7	63.67	27.75	46.30	54.20	63.03	72.92
27	Kumar & Vannelli	2	4	58.75	18.13	41.66	50.31	60.08	71.20
27	GLVQ	4	17	63.64	28.03	45.35	52.70	60.84	69.88
27**	GLVQ + 행렬 정렬	4	9	68.22	36.39	50.72	57.82	65.63	74.25
27	GLVQ + 행렬 정렬	3	8	64.26	28.92	46.80	54.57	63.23	72.89
27	GLVQ + 행렬 정렬	2	3	58.90	18.27	41.80	50.47	60.26	71.41

학습율은 대부분의 문제에서 0.3으로 설정하였는데, 학습율이 0.2~0.4를 벗어나면 적절한 분류가 이루어지지 않는 경향을 보였다. 또한 학습횟수의 경우 간단한 문제인 경우에는 1회 학습으로도 분류가 성공적으로 이루어졌지만 복잡한 문제의 경우에는 100회 이상의 학습횟수를 부여하는 것이 적절하였으며, 불량구조의 문제에서는 학습횟수에 따라 상이한 분류 결과가 나오는 경우도 있었다. <표 3>에서 제시한 해는 대부분의 문제에서 학습횟수를 100으로 지정한 결과이다.

4. 결 론

오늘날 치열한 시장경쟁에 대응하고 다양한 소비자의 욕구를 충족시켜주기 위해서는 다품종 소량생산 체제로의 전환이 절실한 현실이다. 그러나 다품종 소량생산 체제는 그 특성상 제품 표준화에

의한 대량생산에 비하여 효율과 경제성이 떨어진 다. 셀생산방식은 다품종 소량생산 체제의 어려움을 극복하는데 적합한 방식이며, 이 방식의 실행을 위해서는 기계셀과 부품군을 연결하는 합리적인 제조셀 설계가 선행되어야 한다.

신경망은 인간 두뇌와 같이 생각하고 판단하며, 인식할 수 있는 능력을 구현하기 위해 뇌의 정보 처리 메커니즘을 수학적, 또는 생물학적인 측면에서 관찰하여 컴퓨터에 적용시킨 것으로서 애매한 패턴을 인식하거나 패턴분류에 뛰어난 능력을 가지고 있다.

본 연구에서는 셀생산방식을 적용할 때 가장 중요한 문제 중 하나인 제조셀 형성을 위해 GLVQ 신경망 알고리즘을 사용하였으며, 그룹핑 성과를 높이기 위해 추가적인 정렬 절차를 제시하였다. 이 기법을 기존의 알고리즘과 비교한 결과 전반적으로 효과적일 뿐만 아니라 불량한 구조의 문제에서

도 우수한 해를 제공하여 효율적인 기법으로 판명되었다.

따라서 본 연구에서 사용된 기법은 제조셀 형성 연구에 도움을 줄 것으로 기대되며, 이러한 셀 형성 연구는 FMS에서 Flexible Manufacturing Cell (FMC)과 부품군을 형성하는 데도 또한 적용될 수 있다. 이외에도 매장 배치 및 작업 프로세스에 따른 부서 배치 등 다양한 분류문제에 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

추후 연구방향으로는 성과 측정방법인 grouping index에서 셀간 이동, 기계중복 배치, 하청 등에 소요되는 비용 등을 고려하여 실제 생산현장에서 적합한 제조셀 형성이 이루어지도록 가중치(q)를 결정하는 문제와 셀 크기(셀내에 들어갈 수 있는 최대기계수)와 같은 생산요인을 고려한 셀 형성 등의 문제가 계속 연구될 필요가 있다.

참 고 문 헌

- [1] Askin, R. G. and Chiu, K. S., "A graph partitioning procedure for machine assignment and cell formation in group technology," *International Journal of Production Research*, Vol.28, No.8(1990), pp.1555-1572.
- [2] Boctor, F. F., "A linear formulation of the machine-part cell formation problem," *International Journal of Production Research*, Vol.29, (1991), pp.343-356.
- [3] Boe, W. J. and Cheng, C. H., "A close neighbour algorithm for designing cellular manufacturing systems," *International Journal of Production Research*, Vol.29, (1991), pp.2097-2116.
- [4] Chan, H. M. and Milner, D. A., "Direct Clustering Algorithm for Group Formation in Cellular Manufacturing," *Journal of Manufacturing Systems*, Vol.1, (1982), pp.65-74.
- [5] Chandrasekharan, M. P. and Rajagopalan, R., "An ideal seed non-hierarchical clustering algorithm for cellular manufacturing," *International Journal of Production Research*, Vol.24, No.2(1986), pp.451-464.
- [6] Chandrasekharan, M. P. and Rajagopalan, R., "ZODIAC-an algorithm for concurrent formation of part-families and machine-cells," *International Journal of Production Research*, Vol.25, No.6(1987), pp.835-850.
- [7] Chandrasekharan, M. P. and Rajagopalan, R., "GROUPABILITY : an analysis of the properties of binary data matrices for group technology," *International Journal of Production Research*, Vol.27, No.6(1989), pp. 1035-1052.
- [8] Chen, S. J. and Cheng, C. S., "A neural network-based cell formation algorithm in cellular manufacturing," *International Journal of Production Research*, Vol.33, No.2(1995), pp.293-318.
- [9] Garza, O. and Smunt, T. L., "Countering the Negative Impact of Intercell Flow in Cellular Manufacturing," *Journal of Operations Management Special Issue on Group Technology and Cellular Manufacturing*, Vol.10, No.1(1991), pp.92-118.
- [10] Ham, I., Hitomi, K. and Yoshida, T., *Group Technology*, Kluwer-Nijhoff Publishing, 1985.
- [11] Kaparthi, S., Suresh, N. C. and Cervany, R. P., "An improved neural network leader algorithm for part-machine grouping in group technology," *European Journal of Operational Research*, Vol.69, (1993), pp.342-356.
- [12] King, J. R., "Machine-component grouping in production flow analysis : an approach using a rank order clustering algorithm," *International Journal of Production Re-*

- search, Vol.18, (1980), pp.213-232.
- [13] King, J. R. and Nakornchai, V., "Machine-component group formation in group technology : review and extension," *International Journal of Production Research*, Vol.20, No. 2(1982), pp.117-133.
- [14] Kumar, K. R. and Chandrasekharan, M. P., "Grouping efficacy : a quantitative criterion for goodness of block diagonal forms of binary matrices in group technology," *International Journal of Production Research*, Vol.28, No.2(1990), pp.233-243.
- [15] Kumar, K. R., Kusiak, A. and Vannelli, A., "Grouping of parts and components in flexible manufacturing systems," *European Journal of Operational Research*, Vol.24, (1986), pp.387-397.
- [16] Kumar, K. R. and Vannelli, A., "Strategic subcontracting for efficient disaggregated production Research, Vol.25, (1987), pp.1715-1728.
- [17] Kusiak, A., "The generalized group technology concept," *International Journal of Production Research*, Vol.25, (1987), pp.561-569.
- [18] Nair, G. J. K. and Narendran, T. T., "Grouping index : a new quantitative criterion for goodness of block-diagonal forms in GT," *International Journal of Production Research*, Vol.34, No.10(1996), pp.2767-2782.
- [19] Pal, N. R., Bezdeck J. C. and Tsao, C. K., "Generalized clustering networks and Kohonen's self-organizing schme," *IEEE Transactions on Neural Networks*, Vol.4, No.4 (1993), pp.549-557.
- [20] Seifoddini, H. and Wolfe, P.M. "Application of the similarity coefficient method in group technology," *IIIE Transactions*, Vol.18, (1986), pp.271-277.
- [21] Srinivasan, G. and Narendran, T. T., "GRAFICS-a nonhierarchical clustering algorithm for group technology," *International Journal of Production Research*, Vol.29, (1991), pp.463-478.
- [22] Srinivasan, G., Narendran, T. T., and Mahadevan, B., "An assignment model for the part-families problem in group technology," *International Journal of Production Research*, Vol.28, (1990), pp.145-152.
- [23] Viswanathan, S., "A new approach for solving the P-median problem in group technology," *International Journal of Production Research*, Vol.34, No.10(1996), pp.2691-2700.
- [24] Waghodekar, P.H. and Sahu, S., "Machine-component cell formation in group technology : MACE," *International Journal of Production Research*, Vol.22, No.6(1984), pp. 937-948.