

Neural Network를 이용한 기계-부품 그룹 형성에 관한 연구

A Study on the Machine-Part Group Formation with Neural Network

강 석호, 윤 영민
(서울대학교 산업공학과 교수)

This paper is concerned with the solution of machine-part group formation based on similarity of operations, considering both inter-machine load balance and inter-cell movements.

To form groups based on similarity of operations, ART2 (Adaptive Resonance Theory 2) model which is a kind of Neural Network and is efficient in pattern clustering and adaptability to changes of patterns is

used, and A module is connected with ART2 to reduce the load of bottleneck machine and inter-cell movements.

Computational experience is provided to demonstrate the usefulness of the proposed model. And it is expected that flexibility of operations will be improved by alternative machine as a solution.

1. 서 론

GT(Group Technology)는 부품과 공정의 유사성을 분석하여 이를 바탕으로 기계-부품 그룹을 형성함으로써 제조상의 기능적 자율을 향상시키고 통제를 원활히 하자는 생산 철학이다. GT의 개념은 특히 다양한 제품을 다루는 주문생산 시스템에서 큰 효과를 발휘하게 되는데, 이는 서로 유사한 작업을 가지는 부품 그룹을 형성함으로써 생산의 형태가 개별 생산에서 대량생산으로 바뀌게 되어 물류비용의 감소, 공정 및 일정 계획의 단순화, 준비 시간과 비용의 감소, 기계효율의 증가 등의 효과를 얻을 수 있다[강석호, 1987].

GT적 생산을 수행하려면 우선적으로 부품의 유사성을 통하여 기계는 기계 군(machine group), 부품은 부품 집단(part family)으로 각각 묶어서 특정 기계 군에 특정 부품 집단을 할당해야 하는데 이러한 문제를 기계-부품 그룹 형성(Machine-Part Group Formation : MPGF) 문제이라고 한다. 이 문제는 Burbidge[1963]에 의하여 최초로 제기되었는데 그는 손으로 계산할 수 있는 발견적 기법을 제시하였다. 이후 MPGF 문제에 대한 많은 논문들이 발표되었는데 초기에는 셀의 형성에 대한 목표를 자재의 셀간 이동을 최소화하는데 있었으나 점점 생산 환경에 부합하는 다양한 목표를 가지게 되었다. MPGF의 목표로는 (1) throughput-time의 최소화 (2) 생산 준비 시간의 최소화 (3)재고의 최소화 (4) 생산 자원 활용의 최소화 (5) 기계 재배치의 최소화 (6)자재의 셀간 이동 및 셀 내부에서의 이동의 최소화 등이 있다[Wemmerlöv & Hyer, 1987].

그러나 과거의 해법들은 결과에 크게 영향을 줄 수 여러가지 변수들을 고려하지 않음으로써 이상적이지만 현실적이지 못한 해를 제시하는 경우가 많았다. 예

를 들면 실제 작업현장에서는 특정 공정을 수행할 수 있는 기계는 여러 대가 있을 수 있다. 그러나 문제를 푸는 과정에서는 공정의 유연성을 무시하고 하나의 공정로(route)만을 고려함으로써 구해지는 해는 부분 최적(local optimal)만을 보장한다. 이후 이러한 단점을 보완하기 위하여 대체 공정로(alternative route)를 고려하는 논문들이 발표되었다.[Kusiak, 1987][김 승욱, 1991] 하지만 이역시 몇 개의 공정로만을 고려하였기 때문에 단점을 완화하기는 하였지만 근본적인 해결을 하지는 못하였다. 또한 결과로 얻어지는 해는 하나의 공정로만을 제시하기 때문에 제조 과정에서 생길 수 있는 변화(예: 기계고장)에 대한 통제가 어려워진다 할 수 있다. 이에 모든 대체 기계를 고려하면서 해에는 대체 공정을 제시하는 해법이 필요하다. 한편 대체 기계를 고려하는 경우에는 일부 기계에 작업의 부하가 집중되는 병목 현상이 발생할 수 있는데 이를 방지하기 위해서 기계 간의 작업 부하 균형이 고려되어야 한다.

따라서 본 논문은 위와 같은 상황을 고려하기 위하여 새로운 방식의 접근이 필요하다고 생각하여 최근에 패턴 인식과 clustering에 널리 쓰이는 Neural Network을 이용하여 셀 간의 이동을 최소화하고 기계 간의 작업 부하 균형을 고려하는 MPGF 문제의 해법을 개발하고자 한다.

2. 연구 배경

MPGF 문제에 대한 기존의 연구를 접근 방법에 의해 분류하면 permutation 법, 유사계수법, 수리계획법, 그래프법 등이 있다.

permutation 법으로 주목할 만한 연구는 King[1980]의 ROC 알고리즘이 있다. King은 ROC를 이용하여 얻어진 결과행렬을 분석하여 병목기계에 다수의 동종 기계를 할당하는 방식을 취하여 병목현상을 해결하려 하였다. 이후 컴퓨터의 기억용량을 줄임으로써 계산 속도를 향상시킨 King & Nakornchai[1882]의 ROC2 알고리즘과 초기 인접 행렬의 형태에 따라 해가 달라지는 ROC의 단점을 개선한 Chandrasekharan & Rajagopalan[1986]의 MODROC 알고리즘이 있다.

유사계수(similarity coefficient)를 이용한 연구로는 Jaccard 유사계수를 이용

한 McAuley[1972]의 single linkage cluster analysis 이후 Dewitte[1980], Waghodeker & Sahu[1984], 김재운[1988], Seifoddini[1989], Gupta & Seifoddini[1990] 등의 연구가 있다.

수리계획법으로는 k-decomposition을 이용한 Kumer et al.[1986]과 대체 공정을 고려하면서 그룹 내의 유사계수의 합을 최대화하는 선형정수계획법을 제시한 Kusiak[1987], 생산비용과 재고비용을 고려해서 formulation한 Askin & Subramanian[1987], 기계용량, 생산비용, 재고비용, 기계유지비용 등을 고려해서 formulation한 Choobineh[1988] 등이 있다.

Vannelli & Kumer[1986]는 그래프기법을 이용하여 병목 셀을 찾는 방법을 제시하였고 Chandrasekharan & Rajapalan[1986]은 셀 내부에서의 기계 활용도와 셀 간 이동을 나타내는 group efficiency를 제안하였다. 서병교[1989]는 유사계수 네트워크 상에서 절단량을 최소화함으로써 그룹 내의 유사계수 합을 최대화하는 방법을 제시하였다. 김승욱[1991]은 다수의 동종 기계와 대체 경로를 고려하면서 셀 간 이동의 최소화와 셀 내부에서의 기계 간의 작업 부하의 균형을 고려한 algorithm을 개발하였다.

Neural Network가 비슷한 유형의 패턴을 cluster화 한다는 점을 이용하여 Kao & Moon[1991]는 ART1을 이용하여 해를 구하였다. 그러나 이는 단순히 부품에 대한 단일 공정로만을 고려하였기 때문에 실제적인 해법을 제시하였다고 할 수 없다.

기존 연구의 한계

(1) 기계간의 작업부하 균형을 고려하지는 못하였다.

대체 공정로를 고려하는 경우 작업부하가 불균형하게 분포되어 병목현상을 일으킬 수 있다. DeWitte[1980]는 그룹핑 후에 기계 부하를 계산하여 줌으로써 기계의 적정 대 수를 계산하였으나 작업 부하를 직접적으로 고려하지는 못하였다. Kumer & Vannelli[1986]은 그래프 법에 의하여 셀 간의 작업부하 균형을 고려하였고 김승욱[1991]은 이분 네트워크를 이용하여 셀 내부에서의 기계 부하를 균형을 고려한 해법을 제시하였다. Logendran[1990]은 기계의 활용도를 일정 수

준 이상으로 유지함으로써 작업부하 균형을 고려하였다. 그러나 셀 간의 작업부하 균형이나 기계의 활용도를 일정 수준으로 유지하는 것은 병목 현상에 대한 근본적인 해결이라고 볼 수 없으며 셀 내부에서의 균형은 flow shop의 형태를 가지는 cell의 입장에서는 병목 현상을 해결하였다고 할 수 있으나 전체 생산의 불균형을 초래할 수 있다.

(2) 가능한 공정로를 모두 고려하지 못하였다.

서론에서 언급한 바와 같이 기존의 논문들은 특정 작업에 수행 가능한 모든 기계를 고려하지 못함으로써 초기 입력 정보에 따라 해가 달라질 가능성이 있다.

(3) 대체 공정로를 제시하지 못하였다.

기존의 논문들은 문제의 해로서 각 부품에 하나의 해만을 제시하였다. 그러나 실제 상황에서는 기계 고장과 같은 돌발 상황이 언제든지 일어날 수 있으므로 여러개의 대체 공정로(또는 기계)에 작업량을 분할함으로써 돌발 상황에 작업량을 분담하게 하는 것이 바람직하다고 하겠다.

본 논문의 고려사항 및 가정

<고려 사항>

- (1) 기계 간의 작업부하 균형을 고려한다.
- (2) 알고리즘의 해로서 대체 공정을 제시한다.
- (3) 셀 간의 자재 이동을 고려한다.

<가정>

- (1) 그룹의 수는 결정되어 있지 않다.

Kusiak[1987], 김승욱[1990] 등은 경영 정책적 차원에서 미리 그룹의 수를 정한 상태에서 문제를 푸는 것이 타당하다고 보고 있으나 MPMF를 design 차원에서 보면 미리 그룹 수를 결정하는 것은 불필요한 제약이라고 볼 수 있다.

- (2) 대체 기계를 고려한다.

3. ART2를 이용한 기계-부품 그룹 형성

3.1 ART 개요

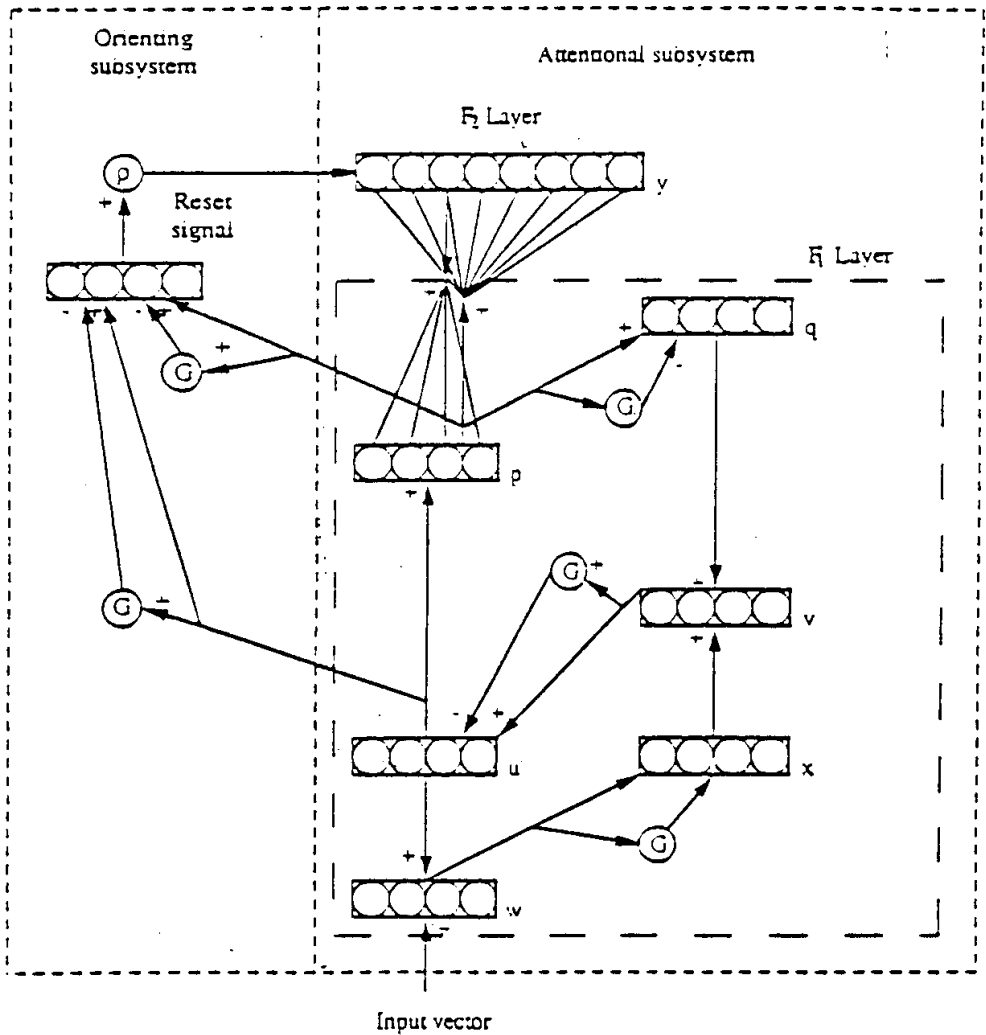
패턴 형성에 사용되는 neural network로는 CounterPropagation Network(CPN), Self-Organization Map(SOM), Adaptive Resonance Theory(ART) 등이 있다. ART 이전의 ANN 모델은 일단 주어진 샘플에 대하여 학습을 하고나면 이를 인식하는데 있어 매우 뛰어난 성능을 발휘하지만 학습과 추론(또는 matching) 과정이 분리되어 있어서 일단 학습이 끝나게 되면 학습에 사용된 입력 패턴만을 구별할 수 있다. 즉 새로운 입력 패턴이 들어와도 network는 이를 알아차리지 못하고 잘못된 출력을 하게 되는 것이다. 또한 새로운 입력 패턴을 추가하려면 새로운 패턴 뿐만 아니라 기존의 학습된 패턴도 재학습시켜야하는 문제점이 있다. 이는 하나의 패턴만을 반복 훈련시키면 기존의 패턴 인식에 대한 정보를 잊어버리기 때문이다. 이러한 현상을 Carpenter & Grossberg[1987]는 stability-plasticity dilemma라 하여 network에 새로운 패턴이 들어왔을 때 이를 인식하고 이를 학습 하되(plasticity) 기존의 학습을 잊어버리지 않게하는(stability) ART 모델을 제시하였다. ART 모델에서 입력 패턴이 이진 수 (binary code)이면 ART1, 아날로그이면 ART2라 하며 기본적인 원리는 동일하나 ART2의 경우 좀더 복잡한 preprocessing을 필요로 한다. 본 논문에서는 ART2를 이용하고 있다.

ART2는 크게 orienting subsystem과 attentional subsystem으로 구분된다. (<그림 3-1> 참조)

attentional subsystem은 입력 layer(F_1) 및 인식 layer(F_2)를 구성하는 PE들과 이들간을 연결하는 weight들로 구성되는데 layer 간의 각 PE들을 연결해 주는 weight들은 2 개씩 있게 되며 각각 인식과 인식에 대한 확인을 담당하게 된다. ART2의 입력 layer는 ART1과 구분되는 가장 큰 특징으로서 패턴의 특징수에 동일한 갯수의 PE들로 이루어진 3 개층의 sublayer로 존재하여 입력되는 패턴의 contrast enhancement와 normalization을 담당한다. 특정 패턴이 어느 cluster에 소속되는가는 인식 layer를 구성하는 PE들의 출력에 의하여 결정되는데 가장 큰 출력치를 낸 PE가 대응되는 cluster가 된다. 이러한 개념을 on-center off-surround 라고 하는데 Hecht-Nielsen[1987]의 CPN 모델에서 처음 제안되었

다.

orienting subsystem은 입력 패턴에 대한 인식이 제대로 되고 있는지에 대하여 확인하는 control mechanism이라 할 수 있는데 이를 위하여 모든 PE 간을 잇는 gain control이 존재하여 PE들의 활동을 통제하게 된다.



<그림 3-1> ART2 네트워크의 구성

즉 각 PE들은 인식하고자 하는 패턴, feed-back되는 패턴, gain control의 불특정한 신호(nonspecific signal)의 3 가지 입력이 있게 되는데 이 중 2 가지 이상의 입력이 들어와야만 활동하게 된다. 이를 gain control과 2/3 rule이라 하며 안정된 상황에서 학습이 일어나게 통제해 준다.

ART1에서는 입력된 패턴이 학습되어진 패턴이라고 판단되어지면 현재의 학습을 강화하고 새로운 패턴이라고 여겨질 경우에는 새로운 cluster를 형성하여 이를 학습하게 되는데 입력된 패턴을 새로운 패턴으로 보는가, 아니면 기존의 패턴으로 보는가는 F2 Layer에서의 출력과 이를 통하여 입력의 예상치를 역계산하게 되는데 이 예상치가 얼마나 실제 패턴과 잘 들어 맞는가를 미리 정해 준 threshold 값에 의하여 판단하게 된다. 이 threshold를 Vigilance Parameter(VI)라 부르며 cluster의 조밀도(granularity)를 결정하게 된다. 새로운 cluster의 형성은 기존의 모든 catalog에 대한 예상치가 VI를 넘어서지 않을 경우에 일어나는데 이 과정에서 search가 필요하다. 그러나 일단 한 패턴에 대한 학습이 이루어지고 나면 다음 학습에서는 search 과정이 없이 한 번의 계산으로 학습된 catalog를 찾을 수 있으므로 search는 새로운 패턴이 들어오는 경우에만 일어나게 된다.

각 layer에서의 PE들의 활동은 STM(Short-Term Memory)라 하여 자극에 대해 빠른 반응을 하지만 학습을 일으키지는 않는다. 학습과정은 weight 값의 조정이 일어나는 LTM(Long-Term Memory)에 의하여 일어나는데 입력된 패턴과 이에 반응하는 인식 layer와의 관계를 강화시켜 준다. STM 활동은 다음의 방정식에 의하여 일어나는데 이는 막 방정식(membrane equation)으로부터 유래한다.

$$\frac{d}{dt} V_i = -AV_i + (1-BV_i)J_i^+ - (C + DV_i)J_i^-$$

where J_i^+ : total excitatory input
 J_i^- : total inhibitory input

그러나 STM은 LTM보다 빠른 속도로 수렴한다고 가정하고 또한 $B \equiv C \equiv 0$ 라 하면 STM 방정식은 다음과 같이 바뀌게 된다.

$$V_i = \frac{J_i^+}{A + DJ_i^-}$$

ART2의 자세한 수식은 생략하겠다.

3.2 ART2의 적용

3.2.1 패턴의 정의

ART2를 이용하여 GT적 셀을 형성하려면 입력자료를 패턴화하여야 한다. 셀 내에서는 유사한 작업유형의 부품유형들로 구성되어야 하기 때문에 패턴의 정의에는 작업의 유사성을 나타내고 있어야 한다. 이에 다음과 같이 패턴을 정의한다.

i : 기계 유형 i

j : 작업 유형 j

k : 부품 유형 k

$N(i, j)$: 부품 유형 i 를 가공하는데 필요한 작업 유형 j 의 대체 기계수

$R(i, j, k)$: 부품 유형 i 를 가공하기 위해 기계 k 에 할당된 작업 유형 j 의 비율

$b(i)_{j,k}$: 부품 유형 i 의 작업-기계 인접행렬의 i 행, j 열의 원소

$P(i, k)$: 부품 유형 i 의 k 번째 패턴

$$N(i, j) = \sum_k b(i)_{j,k}$$

$$B(i)_{j,k}$$

$$R(i, j, k) = \frac{\text{---}}{N(i, j)}$$

$$P(i, k) = \sum_k R(i, j, k)$$

위와같이 부품 유형과 기계 유형과 얼마나 작업을 통하여 연결되어 있는가를 패턴으로 정의함으로써 부품의 셀 할당이 결정되므로 유사한 작업 유형을 가지는 부품 유형은 동일한 셀에 할당되게 하였다.

3.2.2 ART2를 이용한 셀의 생성

초기에 ART2 모듈은 weight 값들이 랜덤하게 분포하고 있으므로 부품들의 패턴에 대한 학습이 필요하다. 학습량은 weight 값들이 안정될 때까지 계속하게 되는데 학습과정에는 새로운 패턴은 형성되지 않는다. 위의 학습이 끝나게 되면 각 부품들은 정해진 셀에 할당되게 되며 셀의 갯수도 정해지게 된다.

3.2.3 기계 할당 규칙

ART2에서 부품들의 할당이 이루어졌으면 각 기계를 셀에 할당하여야 한다. 기계할당은 셀 별로 할당될 기계의 효율성에 의하여 결정되는데 셀 대한 기계효용성(Machine Utility : MU)은 다음과 같이 정의되다.

$$\begin{aligned} MU(k, p) &: \text{기계 } k \text{가 셀 } p \text{에 할당되었을 경우의 기계효용성} \\ &= \sum_{i:PA(i)=p} P(i, k) \end{aligned}$$

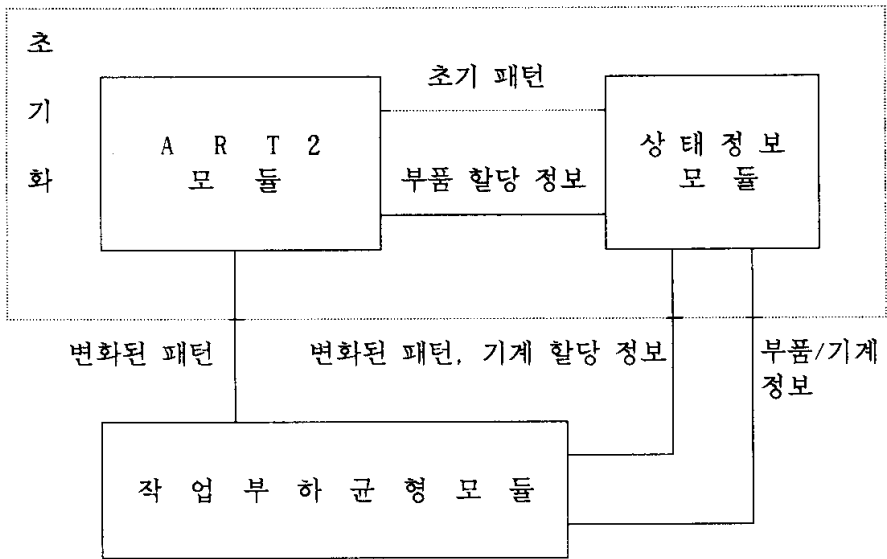
이때 각 기계에 대하여 기계효용성이 가장 큰 셀에 할당한다. 즉 MA(k)를 k 번째 기계가 할당된 셀 번호라고 한다면

$$MA(k) = \arg \max_p \{ MU(k, p) : p = 1, \dots, P \}$$

가 된다.

3.2.4 ART2의 한계

위의 정의에 의하여 셀을 형성하여 주면 기본적으로 작업의 유사성을 바탕으로 한 셀은 형성가능하다. 그러나 ART2 모델만으로 본 논문에서 다루고자 하는 MPGF의 목표 및 제약을 부응하기에는 어려운 점이 있다. 이는 ART2의 학습 과정이 각 PE 단위로 이루어지고 있기 때문에 시스템적인 제약을 인식하기 어렵기 때문이다. MPGF 문제에서는 작업 부하 균형과 셀간의 자재이동량을 고려하면서 해를 개선해나가는 함으로 이를 위해서는 ART 모델에 시스템의 상태 정보를 저장하고 해를 개선해나가는 mechanism이 필요하다. 아래의 <그림 3-2>는 본 논문에서 개발한 기계 간의 작업부하 균형을 고려한 MPGF 해법의 구조(scheme)을 보여주고 있다.



<그림 3-2> 기계 간에 작업부하 균형을 고려한 MPGF 해법의 구조도

해법은 크게 3 개의 모듈로 구성되어 있는데 각 모듈은 다른 두 개의 모듈간에 정보를 주고 받으면서 주어진 역할을 수행하게 된다. 각 모듈의 기능은 다음과 같다.

ART2 모듈

초기화 과정에서는 상태정보 모듈로부터, 이후에는 작업부하 균형 모듈로부터 패턴을 입력받아서 부품간에 작업-기계 유사성이 가장 높은 셀에 부품을 배정하는 역할을 수행한다. 그러므로 ART 모듈로 입력되는 패턴은 부품 유형과 기계 유형과의 연결 강도로 나타나게 된다. 출력된 결과인 부품 할당정보는 상태 정보 모듈로 보내지게 된다.

상태정보 모듈

알고리즘을 수행해나가기 위해 필요한 정보를 저장하고 있으며 이러한 정보는 ART 모듈과 작업부하 모듈의 요청에 따라 정보를 제공하는 자료구조이다.

작업부하 균형 모듈

상태정보 모듈로부터 부품 할당에 관한 정보와 부품별 기계에 대한 작업 할당 정보를 제공받아서 기계에 대한 효율성이 최대가되는 셀로 기계를 할당하게 된다. 또한 기계에 대한 할당이 끝난 후, 각 기계에 부과된 작업부하와 부품의 셀 간 이동량을 고려하여 기계에 대한 작업할당을 재조정하는 기능을 수행한다.

위의 구조도에서 알 수 있듯이 ART 모듈은 패턴의 정보를 이용하여 셀을 형성하여 주는 역할을 그리고 작업부하 균형 모듈은 이 정보를 이용하여 기계에 대한 작업배정을 조정해주는 역할을 반복수행하면서 해를 개선해나가게 된다. 위의 과정을 수행하기 위해서는 알고리즘의 시작과정에 ART2 모듈의 weight를 초기화시키게 되는데 이때 사용되는 패턴은 작업에 따른 대체 기계간에 작업부하가 균일하게 설정한다. 초기화 이후 작업부하 균형 모듈이 가동되면서 기계간의 작업부하가 균형을 이루도록 부품에 따른 작업과 기계 간의 연결관계를 끊어주면서 해의 개선이 일어나게 된다.

3.3 개선된 알고리즘

ART2 모듈만으로는 해결할수 없는 기계 간 작업부하 균형과 셀 간 자재 이동의 최소화를 위하여 작업부하 균형 모듈에서는 불필요한 대체기계를 제거함으로써 패턴의 변화를 가져오게 한다.

3.3.1 새로운 패턴 형성 규칙

ART2 모듈에 의하여 형성된 부품-기계 그룹은 부품과 기계간의 연결 강도만을 고려한다. 그러나 기계에 대한 실제 작업부하는 부품-기계간의 연결 강도에 비례한다고 볼수 없으므로 셀 간의 자재이동량이나 기계간 작업부하 균형을 고려하여 기계에 대한 작업 할당을 바꾸어주어야 한다.

(1) 진입열 선정

패턴을 바꾸어주기 위해서 작업부하가 가장 큰 기계를 선정한다. 선정된 기계 유형을 K라고 한다면

$$K = \arg \max_k \left\{ \sum_i \sum_j R(i, j, k) D_i : k = 1, \dots, N \right\}$$

가 된다.

(2) 탈락행 선정

작업 부하가 가장 큰 기계, J가 정해졌으면 J에서 이루어지는 부품에 대한 작업 중 다음의 우선 순위에 따라 하나를 탈락시키게 된다. 단 경쟁 상황에서는 임의의 하나를 탈락시킨다. 이때 탈락된 부품의 작업을 부품 I의 작업 J라고 하자.

우선 순위 1: 기계유형 J가 할당된 셀에 할당되지 않은 부품의 대체 기계가 존재하는 작업

우선 순위 2: 대체 기계가 존재하면서 대체 기계가 같은 셀에 존재하는 부품의 작업

우선 순위 3: 대체 기계가 셀 밖에 존재하는 기계중 셀간 자재 이동이 최소인 부품의 작업

우선 순위 1에 의하여 부품의 작업이 선정된 경우는 자재의 셀 간 이동량과 작업 부하 균형도가 개선되게 되며 우선 순위 2는 작업부하 균형도가 개선되지만 자재의 셀간 이동량은 변하지 않는다. 우선 순위 3의 경우, 기계의 최대 작업 부하는 줄어들지만 셀 간 자재이동은 늘어나게 된다. 그러나 우선 순위 3의 경우는 패턴의 변화가 심하게 일어나므로 부품 또는 기계가 다른 셀로 이동할 가능성이 높아지게 된다.

(3) 역추적

만일 최대의 작업부하가 걸린 기계를 대체해줄 다른 기계가 없는 - 우선순위에 해당하는 부품의 작업이 없는 경우에는 역추적을 한다. 역추적에서는 대체 기계가 있는 부품의 작업들 중에 셀 간 자재이동량이 가장 큰 작업의 기계를 정하여 이를 부품 I에 대한 작업 J와 기계 K라고 하자.

(4) 새로운 패턴의 형성

부품 I에 대한 작업 J와 기계 K가 선정되었을 경우, 부품 I에 대한 작업-기계 인접행렬의 $b(I)_{J,K}$ 원소를 0으로 바꾸어주게 된다. 즉 부품 I의 작업 J의 대체 기계수가 줄어들게 되는 것이다. 부품의 I의 작업-기계 인접행렬이 바뀌게 되면 부품과 기계의 연결강도가 바뀌게 되므로 부품 I에 대한 새로운 패턴이 형성된다.

3.3.2. 알고리즘의 종료

알고리즘의 종료 조건은 다음과 같다.

종료조건 : 역추적 과정에서 더이상의 선정 대상이 없는 경우

역추적 과정에서 더이상의 대안이 없으면 작업부하의 균형도나 셀간의 자재이동량은 더이상 개선되지 않으므로 알고리즘은 종료되게 된다.

3.4 기계 간의 작업부하 균형을 고려한 MPMF 알고리즘

결과적으로 제시되는 알고리즘은 다음과 같다.

알고리즘

(1) 초기화 : 필요한 자료를 입력받아서 ART2 모듈을 초기화시킨다. 초기화가 끝났으면 부품 할당 정보를 상태 정보 모듈에 저장한다.

(2) 기계할당 : 모든 기계에 대하여 기계효용성을 계산하여서 이 값이 가장 큰 셀에 기계를 할당한다.

(3) 진입열 선정 : 작업부하가 가장 큰 기계를 선택한다. 이 기계를 K라고 하자.

(4) 탈락행 선정 : 정해진 우선순위에 의하여 하나의 부품에 대한 작업을 선택한다. 이를 부품 I의 작업 J라고 하고 (6). 만약 없으면 (5)

(5) 역추적을 통하여 셀간의 자재이동량이 가장 큰 부품 I의 작업 J의 기계 K를 선택한다. 만약 없으면 (8)

(6) $a(I)_{j,k}$ 를 0으로 하고 새로운 패턴을 형성한다.

(7) 새로운 패턴을 ART2 모듈에 학습시킨 후 부품할당에 관한 정보를 상태정보 모듈에 저장하고 (2)

(8) 알고리즘 종료. 현재 상태정보 모듈에서 결과를 출력한다.

3.5 예 제

제시된 알고리즘의 성능을 알아보기 위하여 C 언어를 이용하여 프로그램을 구

성한 후 다음과 같은 예제를 입력하여 보았다. 이때 부품유형은 20 가지, 각 부품의 가공을 위한 작업수는 5 가지, 기계유형은 15 가지라고 가정하였다. 또한 기계당 평균 작업부하는 763.3이다.

부품 1 수량 : 200 부품 2 수량 : 70

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

부품 3 수량 : 60 부품 4 수량 : 100

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

부품 5 수량 : 80 부품 6 수량 : 165

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

부품 7 수량 : 48 부품 8 수량 : 120

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

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

부품 9	수량 : 62	부품 10	수량 : 193
0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 1 0 0 1 0		0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0	
1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1		1 1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0	
0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0		0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 1	
0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0		0 0 0 0 0 1 0 1 0 0 0 1 0 0 0	
0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0		1 0 0 0 1 0 1 0 0 0 0 0 1 1 0	

부품 11	수량 : 34	부품 12	수량 : 125
0 1 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0 0		0 0 0 1 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 1	
1 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1		0 1 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0 0	
0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0		1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 1 0	
0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0		0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0	
0 0 0 0 1 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0		0 0 0 1 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0	

부품 13	수량 : 92	부품 14	수량 : 110
0 1 1 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0		0 1 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0 1 0	
0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0		0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1	
0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0		1 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0	
1 1 0 0 0 0 0 0 0 1 0 1 1 0 0		0 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0	
0 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0		0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0	

부품 15	수량 : 87	부품 16	수량 : 92
1 0 1 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0		1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0	
0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 1 0 0		0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0	
0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 1		0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0	

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

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

부품 17 수량 : 211

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

부품 18 수량 : 252

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

부품 19 수량 : 125

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

부품 20 수량 : 211

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

위의 입력자료를 이용하여 프로그램을 수행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 그룹의 형성 결과

기계와 부품의 그룹은 4 개로 구성되었으며 각 부품과 기계의 할당은 다음과 같다. 이때 VI 값은 0.7이다.

〈표 3-1〉 기계-부품의 그룹 형성 결과

그룹	부 품 유 형	기 계 유 형
1	1, 5, 8, 9	2, 6, 14
2	2, 6, 7, 14, 17	3, 8, 15
3	3, 4, 9, 11, 13, 20	4, 5, 7, 9, 11
4	10, 15, 16, 18	1, 10, 12, 13

그밖에도 VI 값을 0.5 0.6 0.8, 0.9 로 바꾸어가면서 실험을 하여 보았으나 0.5와 0.6의 경우에는 너무 크게 그룹을 형성하여 작업의 유사성을 높인다는 의미를 살릴 수 없었으며 0.8, 0.9의 경우에는 셀을 너무 세분화시킴으로써 너무 많은 셀 간 작업이 필요하게 되었다. 그러므로 이 예제에서는 0.7 정도가 적절하다고 판단하였다.

(2) 기계부하와 셀 간 작업량의 결과

초기화 이후에 있어서 기계의 최대 작업부하는 1246으로서 평균 기계 부하보다 1.63 배의 작업을 필요로 하였으나 이후 작업부하 균형 모듈을 통하여 기계 부하를 줄여준 결과 968로 감소하였다. 이 값은 초기 결과에 비해 작업부하가 23 % 줄어들어 기계 간의 작업부하가 균형화되었음을 알 수 있다. 또한 셀간 자재이동량은 초기에 7300에서 2492로 줄어들었으므로 불필요한 대체기계가 크게 줄어들었음을 알 수 있다.

(3) 부품 공정로의 결과

각 부품의 공정로는 <표 3-2>와 같다. 결과에 의하면 공정의 78 %는 셀 내에서 일어나게 됨으로 GT적 개념의 셀이 형성되었음을 알 수 있다. 또한 셀 내에

서 가능한 대체 공정을 제시함으로써 공정의 유연성을 가지게 된다.

4. 결론 및 추후 연구 방향

제시하는 알고리즘은 대체기계를 고려한 상태에서 기계 간의 자재이동량과 기계간의 작업부하 균형을 고려하였기 때문에 여러가지 상충되는 목표치가 존재하게 된다. 이를 해결하기 위하여 기본적으로 neural network를 사용하여 셀 내에서의 작업의 유사성을 높여준 상태에서 기계 간의 작업부하 균형과 셀 간 자재이동을 줄여주는 방향으로 해를 개선해 나감으로써 목표치간의 절충을 이루게 되었다. 또한 알고리즘을 통해 주어지는 해는 부품 그룹과 기계 그룹이외에도 부품의 작업에 대한 대체 공정(또는 기계)와 작업 할당률이 나타나므로 생산 계획 및 통제 과정에서 기본적인 자료로 사용될 수 있으므로 실시간 통제로 이어질 수도 있을 것이다.

변화하는 환경에 적응하는 neural network - ART2 - 을 이용하여 부품의 셀을 배정하였기 때문에 network를 한번 학습시키면 상태 정보를 통하여 생산 과정중에 새로운 부품이 투입되더라도 빠른 시간 안에 새로운 대체 공정로와 작업 할당률을 구해줄 수 있을 것이다.

<표 3-2> 부품의 공정로 결과

* : 셀간 작업

부품유형	작업 1	작업 2	작업 3	작업 4	작업 5
1	14	10 * 2	5 * 6		
2	15	8	12 * 8	3	
3	5	4	7	11	9
4	11	9, 11	7	4	4, 5, 9, 11
5	2, 14	8 * 2	14	2, 6	
6	15	8	15	11 * 3	
7	15	15	3	8	15
8	6	2, 14	7 * 2, 14	6	
9	4, 7, 11	7	8 * 6 * 4, 9		
10	13	1	13	12	13
11	9	9	4	11	4
12	4, 5, 11	7	14 * 9	4	
13	11	7	4, 11	12 * 5, 9	
14	14 * 14	15	8	3	8
15	1	10	8 * 12	12	
16	1	7 * 13	1	12	
17	15	3	3	8	9 *
18	1	1	10	12	10
19	2, 6, 14	7 * 14	10 * 6, 14		
20	5	13 * 4, 9, 11	10 * 7, 9, 11		

 參考 文獻

1. 國內 文獻

- 강 석호, 현대 생산관리, 경세원, 1987
- 김 승욱, 셀 내부에서 작업부하 균형을 고려한 기계-부품그룹 형성에 관한 연구, 서울대학교 공학석사학위 논문, 1991
- 김 재운, FMS의 설계 및 운용을 위한 기계-부품 그룹 형성에 관한 연구, 서울 대학교 공학석사학위 논문, 1988
- 서 병교, 네트워크 분할방법을 이용한 기계-부품 그룹 형성, 서울 대학교 공학석사학위 논문, 1989

2. 外國 文獻

- Askin, R.G. & S.P. Subramanian, "A cost-based heuristic for group technology configuration", *IJPR*, 1987, vol.25, no.1, pp 101-113
- Chandrasekharan, M.P. & R. Rajagopalan, "MODROC: an extension of rank order clustering for group technology", *IJPR*, 1986, vol.24, no.5, pp 1221-1233
- Choobineh, F., "A framework for the design of cellular manufacturing systems", *IJPR*, 1988, vol.26, no.7, pp 1161-1172
- G.A. Carpenter & S. Grossberg, "ART2: self-organization of stable category recognition codes for analog input pattern", *Applied Optics*, 1987, vol.26, no.23, 4919-4930 Dec.
- G.A. Carpenter & S. Grossberg, "The ART of adaptive pattern recognition by a self-organizing neural network", *Computer*, 1988, vol.21, no.3, pp 77-88

- Gupta, T. & H. Seifoddini, "Production data based similitude coefficient for machine component grouping decisions in the design of a cellular manufacturing system", IJPR, 1990, 1247-1269
- J.A. Freeman & D.A. Skapura, Neural Networks: Algorithms, Applications, and Programming Techniques, 1991, Addison-Wesley Publishing Company
- King, J.R., "Machine-component grouping in production flow analysis: an approach using a rank order clustering algorithm", IJPR, 1980, vol.18, no.1, pp 185-198
- King, J.R. & V.Nakornchai, "Machine-component group formation in group technology: review and extension", IJPR, 1982, vol.20, no.2, pp 213-232
- Kumer, K.R. & A. Vannelli, "Design of flexible production systems: capacity balancing and subcontracting strategies", Proc. of the 2nd ORSA/TIMS Conf. on FMS, 1986
- Kusiak, A., "The generalized group technology concept", IJPR, 1987, Vol.25, no.4, pp.561-569
- Logendran, R., "A workload based model for minimizing total intercell and intercell moves in cellular manufacturing", IJPR, 1990, vol.25, no.4, pp 561-569
- Philip D.Wasserman, Neural Computing : Theory and Practice, VAN NOSTRAND REINHOLD, New York, 1989
- R. Hecht-Nielsen, "Counterpropagation networks", Applied Optics, 1987, vol.26 no.23, pp 4979-4984 Dec.
- Seifoddini, H., "A note on similarity coefficient method and the problem of improper machine assignment in group technology applications", IJPR, 1989, vol.27, no.7, pp 1161-1165
- Waghodekar, P.H. & S. Sahu, "Machine-component cell formation in group technology: MACE", IJPR, 1984, vol.22, no.6, pp 937-948

Wemmerlöv, U. & N. L. Hyer, "Research issues in cellular manufacturing",

IJPR, 1987, vol. 25, no. 3, pp. 413-431

Y. Kao & Y. B. Moon, "A Unified Group Technology Implementation using
ART-1 Neural Network Model", Proc. of the ICCIM, 1991, pp. 279-281