

작업순서를 고려한 효율적인 제조셀 형성방법

정병희* · 최동순**

An Efficient Cell Formation Approach for a Cellular Manufacturing System Considering Operation Sequences

Dong-Soon Choi · Byung-Hee Chung

〈Abstract〉

This paper presents a cell formation approach for a cellular manufacturing system to minimize the inter-cell moves considering operation sequences. Two new factors are introduced: (1)flow-similarity(FS) for integrating direct/indirect inter-machine flow and similarity (2)machine cell-part moves (CPM) for exactly computing inter-cell moves. FS is used for combining machines and CPM is used for assigning the parts to the preliminary machine cells. In addition, we develop an aggregated heuristic algorithm to form manufacturing machine cells and assign the parts to those cells based on these concepts. We use performance criterion called total inter-cell moves(TICM), which is the total material flow between internal cells and external cells. Results of computational tests on a number of randomly generated test problems show that the suggested heuristic is superior to existing methods.

1. 서론

생산시스템의 여러 형태 중에서 CMS(Cellular Manufacturing System)에 의한 생산성의 제고가 널리 연구되고 있다. CMS는 GT(Group Technology) 기법을 이용하여 배치형 생산(batch-type production)에서 발생하는 여러 가지 문제들(복잡한 생산 계획, 잦은 작업준비, 과다한 재공품재고 등)을 극복할 수 있다[3, 4, 5, 6, 9]. GT는 부품의 기하학적 형상이나 복잡성, 치수 또는 유사성 등을 고려하여 가공대상인 부품을 유사한 부품군(Part Family)으로 묶고 그 결과로써 이들 부품군을 가공할 기계군(Machine Cell)을 결정한다.

그러나 부품군을 형성하고 나서 그들에 대응하는 기계군을 결정하는 것보다 기계군을 먼저 형성하고 나서 기계군에 부품

을 할당하는 것이 더 유리하다. 왜냐하면 특정부품이 어떤 부품군에 잘못 포함되었을 때 발생하는 기회비용보다 특정기계군이 어떤 기계군에 잘못 들어갔을 때 발생하는 기회비용이 훨씬 클 뿐만 아니라 설비배치가 근본적으로 호트리지게 되어 복잡한 문제를 야기하기 때문이다. 또 일반적으로 가공해야 할 부품수가 가공주체인 기계수보다 훨씬 많아 부품군을 먼저 형성하는 것이 더 복잡하므로 기계군 형성이 선행되어야 한다.

최근에는 기계들간의 관계를 고려하여 기계군을 먼저 형성하는 연구가 매우 활발하게 이루어지고 있다. GT에 의한 CMS의 잇점은 설비, 자재 등 생산에 필요한 물자의 이동을 줄이고 생산시간을 단축함으로써 생산성을 향상시키는 것이다[3]. 이러한 목적을 달성하기 위해서는 셀간의 이동을 최소화 하는

* 숭실대학교 산업공학과

** 전주공업전문대학 경영경영과

제조셀 형성이 무엇보다 중요하다. 지금까지의 셀간 이동을 최소로 하기 위한 연구는 크게 두가지 부류로 나눌 수 있다. 하나는 작업순서(operation sequence)를 고려하지 않고 기계와 부품의 할당관계만을 입력자료로 하는 연구들이고[3, 4, 5, 6, 10, 11] 다른 하나는 부품의 가공여부 뿐만 아니라 작업순서를 고려하여 셀간의 흐름을 감소시키려는 것들이다[1, 8].

본 연구와 관련하여 주목하여야 할 연구들은 후자의 작업순서를 고려한 흐름감소 셀형성 방법들이다. Harhalakis 등[1]은 셀 외부에서 수행되는 처음 또는 마지막 작업(first or last operation)은 셀간 이동이 한 번만 발생하나 중간 작업(intermediate operation)은 반드시 두 번의 셀간 이동이 발생한다는 점에 착안하여 셀간 이동을 최소화할 수 있는 二重 휴리스틱(twofold heuristic algorithm)을 개발하였다. 또 Okogbaa 등[8]은 작업순서가 바로 이어지는 경우에만 기계간 흐름(Inter-Machine Flow, IMF)이 있는 것으로 간주하여 셀간 흐름감소를 위한 기계군 형성 휴리스틱을 개발하였다. 전자의 연구들 중에서도 Vohra 등[11]은 기계가공시간을 호선(arc)의 가중치로 하여 네트워크를 구성하고 Gomory-Hu 알고리즘에 의해 등가 네트워크(equivalent network)로 변환하여 최소 절단값(minimum cut value)을 갖는 분할된 등가네트워크의 교점들로 기계군을 형성하는 알고리즘을 제시하였는데 기계가공시간 대신에 작업순서로부터 계산되는 흐름량을 호선의 가중치로 사용하면 작업순서를 고려한 셀형성에 원용할 수 있다.

본 연구에서는 흐름-유사도(Flow-Similarity)와 기계군-부품 이동빈도(Machine Cell-Part Moves)의 개념을 도입하여 셀간 이동을 최소로 하기 위한 제조셀 형성방법을 제시한다. 먼저 흐름-유사도를 제안하고 이를 이용하여 기계군을 형성한 다음, 기계군-부품 이동빈도를 고려하여 기계군에 부품을 할당하는 통합알고리즘을 제시한다.

2. 상황의 설정

2.1 상황 및 가정

제안하고자 하는 제조셀 형성 방법이 정당화되기 위한 상황은 다수의 작업(operation)으로 이루어지는 부품(part)별 기계(machine)의 할당과 그 순서(sequence)가 정해져 있는 경우이다. 즉 다수 부품의 작업순서가 기계별로 결정되어 있는 일반적인 상황이다.

모델을 수립하는데 필요한 가정은 다음과 같다.

- 1) 각 부품은 한가지 이상의 작업에 의해서 가공된다.
- 2) 각 기계는 각 부품의 특정작업을 처리할 수 있다.
- 3) 작업의 분할수행은 허용되지 않는다.
- 4) 제조셀 형성 후의 설비의 이동 및 배치의 변경은 현 단계에서는 고려하지 않는다.
- 5) 기계고장은 고려하지 않는다.

2.2 기호 설명

본 연구에서 사용되는 기호는 다음과 같다.

- m : 기계 ($m = 1, \dots, M$)
- n : 부품 ($n = 1, \dots, N$)
- D_n : 부품 n 의 수요
- a_n : 기계 i 에 의해 수행되는 부품 n 의 작업(순서)
- k : 셀 ($k = 1, \dots, K$)
- C : 기계군 내의 최대 기계대수
- S : 기계집합
- $\delta(a_n - a_m)$: 부품 n 에 대한 기계 i, j 의 기계간 흐름
- $\omega(a_n - a_m)$: 기계 i, j 의 부품 n 에 대한 흐름-유사도
- Ω_{ij} : 기계 i, j 의 모든 부품에 대한 기계간 흐름-유사도
- μ_{mn} : 기계 m 과 부품 n 의 기계-부품 이동빈도
- λ_{kn} : 기계군 k 와 부품 n 의 기계군-부품 이동빈도
- λ'_{kn} : 기계군 k 와 부품 n 의 기계군-부품 이동량
- $\alpha_j = \sum_{m=1}^M \Omega_{mj}$ ($j \in \{1, \dots, M\}$)
: 기계 j 의 모든 기계 m 과의 Ω 의 합(Total Inter-Machine Flow-Similarity)
- $M_j = \text{Max}_{i \in I} \{ \Omega_{ij} \} / \alpha_j$ ($j \in J$)
: 기계군에 포함된 할당기계 i 와 미할당기계 j 의 결합타당성을 나타내는 척도인 할당-미할당기계 조화도(Assigned-Unassigned Machine Matching Degree)
- 여기서 I 는 할당기계 집합, J 는 미할당기계 집합
- Th : 미할당기계 j 가 할당기계 i (기계군 k)와 같은 기계군에 있기 위한 최소한의 조건인 임계조화도(Threshold Matching Degree)
- $\rho_{ij} = \sum_{i \in k} \Omega_{ij}$ ($j \in J$)
: 기계 i 들로 구성된 기계군 k 와 미할당기계 j 의 흐름-유사도(Machine Cell -Unassigned Machine Flow Similarity)

$$U_j = \frac{Max_{k \in K} \{ \rho_{kj} \}}{a_j} \quad (j \in J)$$
 : 미할당기계 j와 기계군 k의 결합타당성을 나타내는 기계군-미할당기계 조화도(Machine Cell-Unassigned Machine Matching Degree)

TICM: 셀간 총 이동량

3. 제조셀의 형성

3.1 흐름-유사도

GT의 기본개념은 유사성이 높은 부품이나 기계를 군(cell)으로 묶음으로써 물자의 이동을 줄이고 작업준비시간과 비용을 절감하려는 것이다[3]. 그런데 작업순서를 고려한 기존의 연구들[1, 8, 11]은 흐름을 계산할 때 작업순서가 바로 이어지는 경우에만 흐름이 있는 것으로 간주함으로써 실제로는 흐름이 있으나 무시되는 경우가 있다. 예컨대, 어떤 부품이 거쳐야 할 기계가 M1-M4-M2-M3라면 기계 1과 4, 4와 2, 2와 3 사이에만 '흐름이 있다'고 보는 경우이다. 기계 1과 2, 1과 3, 4와 3은 단지 작업순서가 바로 이어지지 않으므로 인해서 직접적인 흐름이 발생하지 않을 뿐이지 간접적인 흐름이 분명히 존재하며 부품가공에 대한 유사성이 있음에도 불구하고 무시되고 있다.

즉 기존의 '흐름'개념은 어떤 두 기계가 특정부품의 작업을 연속해서 수행하는 경우에만 성립한다. 이는 어떤 부품의 특정작업을 기계 i(j)가 수행하고 나서 기계 j(i)가 바로 그 다음의 작업을 수행하는 경우에만 기계 ij간에 '흐름이 있다'고 보고, 그렇지 않은 경우에는 '흐름이 없다'고 보는 것으로 (1)식과 같이 표현된다.

$$\delta(a_{in} - a_{jn}) = \begin{cases} 1, & a_{in}a_{jn} \neq 0 \text{이고 } |a_{in} - a_{jn}| = 1 \text{인 경우} \\ 0, & \text{그렇지 않은 경우} \end{cases} \quad (1)$$

식 (1)에서 흐름 $\delta(a_{in} - a_{jn})$ 은 작업순서가 바로 이어지지 않는 경우의 흐름을 간과하고 있다. 이는 두 기계 i, j간에 유사성과 흐름이 분명히 있음에도 불구하고 작업순서가 바로 이어지지 않는다 하여 같은 셀에 포함시키지 않으므로 해서 셀간 흐름이 불가피함을 예상할 수 있다. 그렇다고 특정부품의 작업을 수행하는 모든 기계들간에 똑같은 흐름이 있다고 하는 것은 작업순서가 무시될 수 있으므로 불합리한 제조셀을 형성할 가능성이 높다. 그러므로 본 연구에서는 어떤 부품에 대한 기계간 흐름과 유사성의 동시척도로 새로운 개념의 흐름-유사

도(Flow-Similarity)를 제안한다. 작업순서를 나타내는 a_{in} , a_{jn} 의 차이의 역수를 취하여 흐름-유사도로 정의되는 이 값을 $\omega(a_{in} - a_{jn})$ 이라 하면 (1)식의 $\delta(a_{in} - a_{jn})$ 은 (2)식으로 대체된다.

$$\omega(a_{in} - a_{jn}) = \begin{cases} |a_{in} - a_{jn}|^{-1}, & a_{in}a_{jn} \neq 0 \text{인 경우} \\ 0, & a_{in}a_{jn} = 0 \text{인 경우} \end{cases} \quad (2)$$

이 척도는 어떤 두 기계 ij의 특정부품 n에 대한 가공여부를 나타내는 유사성과 작업순서로부터 직/간접적으로 야기되는 작업의 흐름을 모두 내포하고 있어서 합리적인 제조셀의 형성에 매우 유용하다.

기존의 '흐름'과 새로운 개념의 '흐름-유사도'를 비교하기 위하여 앞에서 언급한 경우를 예로 들기로 하자. 어떤 부품 n이 작업순서에 따라 거쳐야 할 기계가 M1-M4-M2-M3라면 $[a_{in}] = [1, 3, 4, 2]$ 가 된다. 기계 1과 2의 경우 기계1 다음에 기계 4를 거쳐서 기계 2로 작업이 이어지므로 $a_{1n}=1$, $a_{2n}=3$ 이 된다. 기존의 '흐름' 개념으로는 작업순서를 의미하는 1과 3은 바로 이어지는 숫자가 아니므로 기계 1과 2 사이에는 흐름이 없는 것으로 되어 $\delta(a_{1n} - a_{2n}) = 0$ 이 된다. 마찬가지로 방법으로 4대의 모든 기계들간의 흐름을 계산하면 <표 1>과 같다.

<표 1> 기계간 흐름

기계 \ 기계	M1	M2	M3	M4
M1	-	0	0	1
M2		-	1	1
M3			-	0
M4				-

새로운 개념의 '흐름-유사도'에서는 $a_{1n}=1$, $a_{2n}=3$ 이므로 기계 1과 2사이에 (2)식에 의하여 이들의 차의 역수, 즉 $1/(3-1)=1/2$ 를 유사성과 간접흐름의 척도로 부여함으로써 보다 정확한 기계군을 형성하게 한다. 마찬가지로 모든 기계들에 대한 흐름-유사도를 계산하면 <표 2>와 같다.

<표 2> 기계간 흐름-유사도

기계 \ 기계	M1	M2	M3	M4
M1	-	0.5	0.33	1
M2		-	1	1
M3			-	0.5
M4				-

모든 부품에 대한 기계 i, j 의 기계간 흐름-유사도(Inter-Machine Flow Similarity)는 (2)식을 사용하여 (3)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_{ij} = \sum_{n=1}^N \alpha(a_{in} - a_{jn}) \quad i, j \in \{1, \dots, M\} \quad (3)$$

3.2 기계군-부품 이동빈도

기계군을 형성하고 나서 부품을 기계군에 할당하는 기존의 방법은 부품가공에 필요한 작업을 가장 많이 수행하는 기계군에 할당하는 것이다. 다만 이러한 기계군이 여러개인 경우에는 작업수행시간이 최소인 기계군에 부품을 할당함으로써 기계군의 부하균형(workload balance)을 유지하려는 방법을 택하고 있다.

그러나 제조셀 간의 이동을 줄임으로써 작업시간과 비용을 절감한다는 GT에 의한 CMS의 입장에서 보면 부품이 기계군 내에서 가급적 많이 이동하도록 하여 기계군 간의 이동을 최소화하는 쪽이 더 일관성을 갖는다고 할 수 있다.

그러므로 본 연구에서는 기계군이 형성된 후 부품을 할당하는 기준으로 기계군-부품 이동빈도(Machine Cell-Part Moves)를 사용한다. 기계군-부품 이동빈도를 산출하기 위해서는 먼저 기계-부품 이동빈도(Machine-Part Moves)를 파악해야 한다. 기계에 대한 부품의 이동은 첫번째 작업과 마지막 작업은 단 한번의 이동을 필요로 하지만 가운데 작업들은 한번은 들어오고(나가고) 또 한번은 나가는(들어오는) 두번의 이동이 불가피하다. 따라서 기계-부품 이동빈도(μ)는 (4)식과 같이 표현할 수 있다.

$$\mu_{mn} = \begin{cases} 1. \text{ 부품 } n \text{의 작업이 첫번째 또는 마지막인 경우} \\ 2. \text{ 그렇지 않은 경우} \end{cases} \quad \forall m, n \quad (4)$$

기계 i 들로 구성된 기계군 k 와 부품 n 의 기계군-부품 이동빈도(λ)는 기계 i 들의 μ 를 합한 (5)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\lambda_{kn} = \sum_{m \in k} \mu_{mn} \quad \forall k, n \quad (5)$$

λ_{kn} 은 기계군에 부품을 할당할 때 각 기계군에서 수행하는 부품별 작업의 수가 아닌, 해당 작업이 그 기계군에 할당되었을 때 발생하는 이동빈도에 의해서 할당하는 것이 셀간 이동을 최소화 하려는 셀 형성에 타당함을 뒷받침하는 논거가 된다.

(5)식에서 구한 기계군-부품 이동빈도가 가장 높은 기계군

에 부품을 할당함으로써 셀내의 이동을 최대로, 셀간의 이동을 최소로 하는 제조셀 형성이 가능해진다.

부품수요가 주어진 경우에는 수요량(D_n)을 이동빈도의 가치로 하여 (5)식을 (6)식으로 대체하면 (6)식은 기계군-부품 이동량을 나타내게 된다.

$$\lambda'_{kn} = \left[\sum_{m \in k} \mu_{mn} \right] (D_n) \quad \forall k, n \quad (6)$$

3.3 셀 형성 알고리즘

제조셀을 형성하기 위한 알고리즘은 크게 3부분으로 구성된다. <단계 1>과 <단계 2>는 필요로 하는 각 기계군의 대표기계를 선정하는 과정으로써, 기계간 흐름-유사도(Q)가 최소화 되도록 기계들을 서로 분리시켜 각 기계군의 대표기계로 선정함으로써 흐름-유사도가 최대한 큰 기계끼리 한 셀에 포함되도록 한다. <단계 3>부터 <단계 6>까지는 대표기계로 선정되지 않은 미할당기계들을 각 기계군에 할당하여 기계군을 형성하는 절차로써, 미할당기계를 이미 선정된 기계군 내의 대표기계와 결합시킬 때 우선 이들 할당-미할당 기계들의 결합타당성을 나타내는 척도 M_j 를 계산하여 이 값이 임계치 Th 이상일 경우에만 할당하고 update하여 다시 기계군-미할당기계 조화도(U_j)가 Th 이상일 때 할당하는 절차를 모든 기계가 기계군에 포함될 때까지 반복한다. 임계조화도(Th)는 미할당기계를 할당기계와 결합시킬 때 모든 미할당기계들을 대상으로 하지 않고 일정 기준 이상의 조건을 갖춘 기계들만을 대상으로 하기 위한 기준치로써 상황에 따라 조정하여 사용할 수 있다. <단계 7>과 <단계 8>은 형성된 기계군에 부품을 할당하여 제조셀을 완성하는 단계로써, 기계군에 부품을 할당할 때 기계군-부품 이동빈도(λ_{kn})가 가장 큰 기계군과 부품을 묶어 줌으로써 부품할당이 완료되어 제조셀이 완성되었을 때 예외적 요소로 인한 셀간 이동이 최소화되도록 한다.

알고리즘

<단계 0> K, C, Th를 지정하고, Q 행렬 작성

<단계 1> 가장 많은 작업(operation)을 처리하는 기계를 첫번째 기계군의 대표기계로 선정하고, S를 구성

<단계 2> 선정된 기계(들)과의 (총) Q 가 최소인 기계를 다음 기계군의 대표기계로 선정하고, S를 수정한 다음 대표기계 수가 K와 같아질 때까지 <단계 2>를 반복

<단계 3> $j(j \in J)$ 에 대한 M_j 를 계산하여 $M_j \geq Th$ 인 기계 j 를 Q_j

가 가장 큰 기계 i가 속한 기계군에 할당하고, S를 수정(단, 기계수가 C에 달한 기계군은 할당을 중지)

- <단계 4> $j(j \in J)$ 에 대하여 ρ_{ij}, U_j 를 계산하여 $U_j \geq Th$ 인 기계 j를 ρ_{ij} 의 내림차순으로 관련 기계군에 할당하고 <단계 6>으로 $U_j \geq Th$ 인 기계 j가 없으면 다음 단계로
- <단계 5> $\text{Max}\{\rho_{ij}\}$ 중 최대값을 갖는 기계 j를 관련 기계군 k에 할당(복수인 경우에는 가장 큰 U_j 를 갖는 기계에 할당)
- <단계 6> 미할당 기계가 남았으면 <단계 4>로 없으면 다음 단계로
- <단계 7> μ, λ 를 구하여 λ 행렬을 작성
- <단계 8> λ 가 가장 큰 기계군에 해당 부품을 할당

3.4 평가척도

셀간 이동을 최소로 하기 위한 제조셀 형성에서는 총 셀간 이동량(Total Inter-Cell Moves, TICM)이 평가척도로 사용된다. TICM은 제조셀 형성결과 내부셀(internal cell)과 외부셀(external cell) 간의 총 이동량을 의미하는 것으로써 본 연구에서는 (7)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$TICM = \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N \sum_{m \in k} (\mu_{mn}) (D_n) \quad (7)$$

식 (7)은 내부셀(외부셀)에 속한 부품이 내부셀(외부셀)로부터 외부셀(내부셀)에 속한 기계로 이동하는 총량을 뜻하는 것으로써 총 셀간 이동량을 나타내는 적합한 척도가 된다.

3.5 예제

알고리즘을 설명하기 위한 예제로 <표 3>과 같이 기계-부품 행렬이 주어져 있다고 하자.

<표 3> 기계-부품 행렬

기계 \ 부품	1	2	3	4	5	6	7
1		1		1			2
2			2		2		
3	1	2		2			1
4	2		1			1	
5			3	3	1	2	

※ 행렬의 원소들은 각 부품의 작업순서를 나타내는 숫자임.

<단계 0> 초기화

$K=2, C=3, Th=0.5$ 로 하고, 식 (3)에 의해 ρ 행렬 작성

<표 4> ρ 행렬

기계 \ 기계	1	2	3	4	5
1	-	0	3	0	0.5
2	0	-	0	1	2
3	3	0	-	1	1
4	0	1	1	-	1.5
5	0.5	2	1	1.5	-

<단계 1> 기계 3과 5가 각각 4개의 작업을 처리하므로 번호가 낮은 기계 3을 첫번째 기계군의 대표기계로 선정. $MC-1=\{3\}, S=\{1,2,4,5\}$

<단계 2> 기계 3과의 ρ 가 최소(0)인 기계 2를 두 번째 기계군의 대표기계로 선정. $MC-1=\{3\}; MC-2=\{2\}, S=\{1,4,5\}$. 선정된 대표기계 수가 $K=2$ 와 같아졌으므로 다음 단계로.

<단계 3> $I=\{2,3\}; J=\{1,4,5\}$
 $M_1 = \rho_{31} / \alpha_1 = 3/3.5 = 0.86$
 $M_4 = 1/3.5 = 0.29$
 $M_5 = 2/5 = 0.4$
 $M_j \geq Th$ 인 기계 1을 기계군 1(기계 3)에 할당($\rho=3$).
 $MC-1=\{3, 1\}; MC-2=\{2\}, S=\{4, 5\}$

<단계 4> $K=\{1, 2\}; J=\{4, 5\}$
 $\rho_{14} = \rho_{14} + \rho_{34} = 0 + 1 = 1^*$
 $\rho_{24} = \rho_{24} = 1^*$
 $\rho_{15} = 0.5 + 1 = 1.5$
 $\rho_{25} = 2^*$

$U_4 = \rho_{14} / \alpha_4 = \rho_{24} / \alpha_4 = 1/3.5 = 0.29$

$U_5 = 2/5 = 0.4$

$U_j \geq Th$ 인 기계가 없으므로 다음 단계로.

<단계 5> $\text{Max}\{\rho_{ik}\}=1$ ($k=1,2$ 일 때); $\text{Max}\{\rho_{kj}\}=2$ ($k=2$ 일 때) 이므로 기계 5를 기계군 2(기계 2)에 할당. $MC-1=\{3, 1\}; MC-2=\{2, 5\}, S=\{4\}$

<단계 6> $K=\{1, 2\}; J=\{4\}$
 $\rho_{14} = 0+1 = 1$
 $\rho_{24} = \rho_{24} + \rho_{54} = 1+1.5 = 2.5^*$

$U_1 = 2.5/3.5 = 0.71$ 따라서 기계 4를 기계군 2에 할당.

MC-1={3, 1} ; MC-2={2, 5, 4}, S={ }

<단계 7> λ행렬 작성

<표 5> 기계-부품 이동빈도(μ)

기계 \ 부품	1	2	3	4	5	6	7
1		1		1			1
2			2		1		
3	1	1		2			1
4	1		1			1	
5			1	1	1	1	

<표 6> 기계군-부품 이동빈도(λ) 행렬

기계군(기계) \ 부품	1	2	3	4	5	6	7
MC-1(1, 3)	1	2		3			2
MC-2(2, 4, 5)	1		4	1	2	2	

<단계 8> 부품 할당

<표 7> 부품 할당 결과

기계군	MC-1	MC-2
기계	1, 3	2, 4, 5
부품	2, 4, 7	1, 3, 5, 6

<표 8>은 최종 셀형성 결과를 보여주고 있다.

<표 8> 셀 형성 결과

기계 \ 부품	2	4	7	1	3	5	6
1	1	1	2				
3	2	2	1	1			
2					2	2	
4				2	1		1
5		3			3	1	2

부품 4의 세번째 작업(기계-부품 이동빈도 1)과 부품 1의 첫 번째 작업(기계-부품 이동빈도 1)은 내부셀을 벗어난 예외적 요소(exceptional element)이다.

부품별 작업순서를 고려하지 않는 경우의 총 셀간 이동량

(TICM)은 예외적 부품(exceptional part)의 예외적 요소의 수와 수요를 곱하여 모두 합하면 된다. 그러나 작업순서를 고려하는 경우에는 예외적 요소의 수뿐 아니라 작업순서에 따라서도 TICM은 달라지게 된다. TICM은 모든 부품에 대하여 예외적 요소의 [기계-부품 이동빈도*부품수요]의 합으로 계산되어야 한다.

<표 9> 부품수요

부품	1	2	3	4	5	6	7
수요	100	150	500	250	300	200	150

부품별 수요가 <표 9>와 같다고 할 때 <표 8>에서 예외적 요소는 모두 처음 또는 마지막 작업이어서 기계-부품 이동빈도는 1이므로 TICM=(1*250)+(1*100)=350 이다. 그러나 만일 부품 4의 두 번째 작업이 예외적 요소였다면 기계-부품 이동빈도는 2가 되어 TICM=(2*250)+(1*100)=600이 된다. (7)식을 이용하면 부품의 작업순서에 따라 결정되는 기계-부품 이동빈도로부터 TICM을 손쉽게 정확하게 계산할 수 있다.

4. 결과검토

4.1 실험설계

본 연구에서 제시한 제조셀 형성방법의 성능을 평가하기 위하여 다양한 문제크기에 대하여 각각 100문제씩 랜덤하게 발생시켜 Okogbaa 등의 heuristic(INCFR) 및 본 연구의 휴리스틱(C-J method)에 대하여 각각 실험하였다. 이는 INCFR이 작업순서를 고려한 연구들 중에서 본 연구와 같은 평가척도를 사용하기 때문이다. 다른 연구들은 셀을 방문하는 작업의 수, 예외적 요소의 수 및 void의 수(셀 내의 '0'의 수) 등에 의해서 계산되는 efficiency(global efficiency, group efficiency, GT efficiency 등)를 평가척도로 삼고 있으므로 비교대상에 포함시키지 않았다. 실험은 PASCAL언어로 코딩하여 133Mhz Pentium PC로 실행되었다.

제조셀의 수(K)는 기계대수에 따라 다르게 지정하고, 기계군 내의 최대 기계대수(C)는 (M/K)*2로 하였으며, 임계조화도(Th)는 0.5로 정하였다. 또 부품별 작업은 1~M의 일양난수를 발생시켜 사용하였으며, 부품별 수요는 100~500의 일양분포를 가정하였다.

〈표 10〉 실험조건

공 통 조 건		문 제 크 기					
Number of Random Data Files	= 100						
Operation Number of Parts	= Uni(1,M)	M=10	M=15	M=20	M= 20	M= 35	M= 50
Cell Size	= (M/K)*2	N=30	N=45	N=60	N=100	N=200	N=300
Threshold Matching Degree	= 0.500	K= 3	K= 4	K= 5	K= 4	K= 7	K= 10
Parts Demand Distribution	= Uni(100,500)						

M=기계대수, N=부품 수, K=셀 수

이상의 실험조건을 정리하면 〈표 10〉과 같다.

4.2 결과분석

〈표 11〉은 실험조건에 따라 6가지 문제크기에 대하여 각 100문제씩 실험한 결과 INCFR와 C-J method에서 TICM이 가장 적은 횟수를 보여준다.

는 기계군에 할당하고 있는데 셀간의 이동을 최소로 하기 위한 제조셀 형성에서는 기계군과의 이동빈도가 가장 높은 부품을 할당하는 것이 더 일관성을 갖는다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 본 연구에서는 흐름과 유사성을 함께 고려하는 흐름-유사도를 제안하고 이를 이용하여 기계군을 형성한 후, 기계군-부품 이동빈도를 사용하여 기계군에 부품을 할당하는 제조셀 형성방법을 제시하였다.

〈표 11〉 100문제에 대한 가장 좋은 해의 횟수

alg.	prob. size					
	10×30 (K=3)	15×45 (K=4)	20×60 (K=5)	20×100 (K=4)	35×200 (K=7)	50×300 (K=10)
INCFR	23	24	21	29	11	14
C-J method	77	76	79	71	89	86

〈표 11〉에서 모든 문제크기에 대하여 C-J method가 우수한 해를 보이고 있음을 알 수 있다. 이는 기계군을 형성할 때 셀간 이동을 최대한 줄이기 위해서 흐름-유사도라는 척도를 도입함으로써 유사성이 있는 모든 기계들간의 흐름을 고려할 뿐만 아니라, 기계군에 부품을 할당할 때도 이동을 최소화하기 위하여 모든 작업을 같은 작업으로 보지 않고 작업순서에 따라 정확한 이동빈도를 부여함으로써 전체적으로 일관성이 있는 셀 형성 알고리즘을 적용한 결과로 보여진다.

5. 결 론

기존의 작업순서를 고려한 제조셀 형성에 관한 연구들은 기계군 형성시 흐름을 계산할 때 부품가공에 필요한 작업을 어떤 두 기계가 연속해서 수행하는 경우에만 '흐름이 있다'고 봄으로써 기계들간의 간접적인 흐름과 부품가공에 대한 유사성을 간과하고 있다. 또한 기계군을 형성하고 나서 부품을 기계군에 할당할 때 부품가공에 필요한 작업을 가장 많이 수행하

제시된 방법의 성능을 평가하기 위하여 다양한 문제크기에 대하여 각각 동일한 조건하에서 생성된 100문제씩 실험한 결과 제시된 방법의 해가 매우 우수함을 알 수 있었다. 본 연구는 GT에 의한 기계군의 형성에서 흐름과 유사성을 함께 고려하고, 셀간의 이동을 감소시키는 목적에 보다 일관성을 갖는 부품할당방법을 제시함으로써 부품별 작업순서가 있는 제조셀 형성에 유용하게 사용될 수 있다.

【참 고 문 헌】

- [1] Harhalakis G., Nagi R. and Proth J.M., "An Efficient Heuristic in Manufacturing Cell Formation for Group Technology Applications", Internationa Journal of Production Research, Vol.28, No.1, pp.185-198, 1990.
- [2] Kasilingam R. G. and Lashkari R. S., "Cell Formation in the Presence of Alternate Process Plans in Flexible Manufacturing Systems", Journal of Production Planning

- & Control, Vol.2, No.2, pp.135-141, 1991.
- [3] Kusiak A., Intelligent Manufacturing Systems, Prentice Hall, pp.206-246, 1990.
- [4] Kusiak A., "The Generalized Group Technology Concept", International Journal of Production Research, Vol.25, No. 4, pp.561-569, 1987.
- [5] Kusiak A. and Chow W. S., "Efficient Solving of the Group Technology Problem", Journal of Manufacturing Systems, Vol.6, No.2, pp.117-124, 1987.
- [6] Lee H. and Garcia-Diaz A., "A Network Flow Approach to Solve Clustering Problems in Group Technology", International Journal of Production Research, Vol.31, No. 4, pp.603-612, 1993.
- [7] Luog L.H.S., "A Cellular Similarity Coefficient Algorithm for the Design of Manufacturing Cells", International Journal of Production Research, Vol.31, No.8, pp.1757-1766, 1993.
- [8] Okogbaa O. G., Chen M.T., Changchit C. and Shell R.L., "Manufacturing System Cell Formation and Evaluation Using a New Inter-Cell Flow Reduction Heuristic", International Journal of Production Research, Vol.30, No. 5, pp.1101-1118, 1992.
- [9] Ribeiro J.F.F. and Pradin B., "A Methodology for Cellular Manufacturing Design", International Journal of Production Research, Vol.31, No.1, pp.235-250, 1993.
- [10] 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, No.1, pp.145-152, 1990.
- [11] Vohra T., Chen D.S., Chang J.C. and Chen H.C., "A Network Approach to Cell Formation in Cellular Manufacturing", International Journal of Production Research, Vol. 28, No.11, pp.2075-2084, 1990.



정병희(鄭炳熙)

현재 숭실대학교 산업공학과 교수 재직중. 서울대학교 산업공학과 공학사(1977), 동 대학원 석사(1979), 박사(1986), 주요관심 분야는 Production Planning and Scheduling, Manufacturing System Layout Design, Logistics Management



최동순(崔東旬)

현재 전주공업전문대학 공업경영과 조교수 재직중. 동아대학교 산업공학과 공학사(1984), 동 대학원 산업공학과 공학석사(1986), 숭실대학교 산업공학과 박사과정 수료. 주요관심분야는 Manufacturing Cell Formation, Scheduling, FMS 등