

☒ 연구논문

가공순서가 주어진 새로운 제조셀 형성방법# -A New Approach for Manufacturing Cell Formation with Operation Sequences-

최 동순*

Choi, Dong Soon

정 병희**

Chung, Byung Hee

Abstract

This study is concerned in manufacturing cell formation with operation sequences. Operation sequences must be reflected for manufacturing cell formation anyway, because the primary aim of cellular manufacturing system is to minimize the inter-cell flows, and inter-cell flows are differed by operation sequences.

In this study we propose flow-similarity(FS) of reflecting both inter-machine similarity and direct/indirect flow, and then apply the modified P-median model for grouping machines. We also use machine cell-part handling frequency(CPH) so as to be assigned parts to the machine cells having the most CPH.

We confirm this approach through an application example. The performance of this approach(FS-model) is evaluated and compared with P-median model and F-model through computational experiments.

1. 서론

다양한 부품을 가공하는 생산시스템의 생산성을 제고하기 위한 효율적인 방법으로 셀제조방식(Cellular Manufacturing System, CMS)이 널리 활용되고 있다. CMS의 잇점은 설비, 자재 등 생산에 필요한 물자의 이동을 줄이고 생산시간을 단축함으로써 생산성을 향상시키는 것이다[5]. 이러한 목적을 달성하기 위해서는 셀간의 이동을 최소화 하는 제조셀 형성이 무엇보다 중요하다. 지금까지의 셀간 이동을 최소화 하기 위한 연구는 크게 두 가지 부류로 나눌 수 있다. 하나는 가공순서(operation sequence)를 고려하지 않고 기계와 부품의 할당관계만을 입력자료로 하는 연구들이고[5, 6, 7, 8, 11, 13, 15] 다른 하나는 부품의 가공여부 뿐만 아니라 가공순서를 고려하여 셀간의 흐름을 감소시키려는 것들이다 [3, 9].

가공 순서를 고려한 흐름감소 셀형성 방법에는 다음과 같은 것들이 있다. Harhalakis 등[3]은 가공순서가 있는 상황에서 모든 기계들의 기계간 흐름으로부터 정규화된 셀간 흐름(normalized inter-cell traffic)을 구하여 기계대수 만큼의 셀의 수로부터 필요로 하는 셀의 수-

본 연구는 1997년도 전주공업대학 학술연구조성비에 의해 수행되었음.

* 전주공업대학 산업경영과

** 숭실대학교 산업공학과

까지 축차적으로 셀의 수를 줄여 나가는 알고리즘을 제시하였다. 또 Okogbaa 등[9]은 가공순서가 바로 이어지는 경우에만 기계간 흐름(Inter-Machine Flow, IMF)이 있는 것으로 간주하여 셀간 흐름감소를 위한 기계군 형성 휴리스틱을 개발하였다.

Kusiak[5, 6]은 각 기계의 부품별 가공여부만을 나타내는 0-1 입력자료로부터 기계간의 유사성이 최대가 되도록 기계군을 형성하는 수리모형을 제시하였는데 이는 가공 순서를 반영하지 못하고 있으며 셀의 수를 사전에 지정함으로써 유사성을 최대로 하려는 목적함수 값을 스스로 제한하게 되어 좋은 기계군 형성을 보장할 수 없다[14].

본 연구는 흐름-유사도를 이용하여 기계군을 형성하고, 기계군-부품 처리빈도가 최대가 되도록 기계군에 부품을 할당하는 제조셀 형성에 관한 것이다. 가공순서가 주어진 제조셀 형성에서는 기계간 또는 부품간의 유사성 뿐 아니라 가공순서가 어떤 형태로든 셀 형성에 반영되어야 한다. 셀 형성의 1차적인 목표는 셀간 흐름이 최소화되는 것이며, 셀간 흐름은 가공순서에 의해 달라지기 때문이다.

가공 순서를 고려한 기존의 연구들은 기계군을 형성할 때 어떤 두 기계간의 '흐름'을 가공순서가 연속으로 이어지는 경우에는 1로, 그렇지 않은 경우에는 모두 0으로 간주함으로써 이들 기계간의 간접흐름이 무시되고 있다. 이는 기계군을 형성하기 위해 제공되는 좋은 정보라 할 수 없다. 본 연구에서는 직/간접적인 흐름이 존재하는 모든 경우에 적용할 수 있는 보다 좋은 정보로써 '흐름-유사도'를 도입하고 수리모형을 이용하여 이를 최대화 하는 기계군을 형성한다.

또 형성된 기계군에 부품을 할당할 때 가공순서가 주어지지 않은 경우에는 '가장 많은 가공 작업을 수행하는 기계에 할당'하는 것이 일반화되어 있다. 그러나 가공 순서를 고려하는 경우에는 어떤(몇번째) 작업이 예외적 요소가 되느냐에 따라 셀간 흐름이 달라진다. 따라서 본 연구에서는 기계군과 부품간의 처리빈도를 구하여 그 값이 가장 큰 기계군에 부품을 할당함으로써 예외적 요소에 대한 처리량을 최소화하여 셀간 흐름을 줄일 수 있는 절차를 적용한다.

다음과 같은 가정 하에서 연구가 진행되었다.

- (1) 각 부품은 한가지 이상의 작업에 의해서 가공된다.
- (2) 각 기계는 각 부품의 특정 작업을 처리할 수 있다.
- (3) 각 기계는 한가지 부품에 대하여 두가지 이상의 작업은 수행하지 않는다.
- (4) 작업의 분할수행은 허용되지 않는다.
- (5) 제조셀 형성 후의 설비의 이동 및 배치의 변경은 현 단계에서는 고려하지 않는다.
- (6) 기계고장은 없는 것으로 한다.

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_{mn} : 기계 m 에 의해 처리되는 부품 n 의 작업(순서)

k : 기계군 ($k=1, \dots, K$)

$\delta(a_{in}, a_{jn})$: 부품 n 에 대한 기계 i, j 의 기계간 유사도

$F(a_{in}-a_{jn})$: 부품 n 에 대한 기계 i, j 의 기계간 흐름

$FS(a_{in}-a_{jn})$: 부품 n 에 대한 기계 i, j 의 기계간 흐름-유사도

MFS_{ij} : 모든 부품에 대한 기계 i, j 의 기계간 흐름-유사도

$MOH_{m, a_{mn}}$: 기계 m 과 작업 a_{mn} 의 기계-작업 처리빈도

$CPH_{k, n}$: 기계군 k 와 부품 n 의 기계군-부품 처리빈도

CPH' _{k,n} : 기계군 k와 부품 n의 기계군-부품 처리량

THQE : 예외적 요소의 총 처리량 (Total Handling Quantity of Exceptional Elements)

2. 셀 형성을 위한 척도

2-1. 흐름-유사도

GT의 기본개념은 유사성이 높은 부품이나 기계를 群(cell)으로 묶음으로써 물자의 이동을 줄이고 작업준비시간과 비용을 절감하자는 것이다[5]. 그런데 가공순서를 고려한 기존의 연구들 [3, 9]은 흐름(Flow, F)을 계산할 때 가공순서가 바로 이어지는 경우에만 흐름이 있는 것으로 간주함으로써 실제로는 흐름이 있으나 무시되는 경우가 있다.

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

$$F(a_{in} - a_{jn}) = \begin{cases} 1, & a_{in}a_{jn} \neq 0 \text{ and } |a_{in} - a_{jn}| = 1 \\ 0, & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

식 (1)에서 흐름 F(a_{in}-a_{jn})은 가공순서가 바로 이어지지 않는 경우의 흐름을看過하고 있다. 이는 두 기계 ij간에 유사성과 흐름이 분명히 있음에도 불구하고 가공순서가 바로 이어지지 않는다 하여 같은 셀에 포함시키지 않으므로 해서 셀간 흐름이 불가피함을 예상할 수 있다. 그렇다고 특정부품의 가공작업을 수행하는 모든 기계들간에 똑같은 흐름이 있다고 하는 것은 가공순서가 무시될 수 있으므로 불합리한 제조셀을 형성할 가능성이 높다. 그러므로 본 연구에서는 어떤 부품에 대한 기계간 흐름과 유사성의 동시척도로 새로운 개념의 '흐름-유사도 (Flow-Similarity, FS)'를 제안한다. 가공순서를 나타내는 a_{in}, a_{jn}의 차이의 역수를 취하여 흐름-유사도로 정의되는 이 값을 FS(a_{in}-a_{jn})이라 하면 (2)식과 같다.

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

이 척도는 어떤 두 기계 ij의 특정부품 n에 대한 가공여부를 나타내는 유사성과 가공순서로부터 직/간접적으로 야기되는 가공작업의 흐름을 모두 내포하고 있어서 합리적인 제조셀의 형성에 매우 유용하다 할 수 있다.

모든 부품에 대한 기계 ij의 기계간 흐름-유사도(Inter-Machine Flow Similarity, MFS)는 (3)식과 같이 나타낼 수 있다.

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

2-2. 기계군-부품 처리빈도

기계군을 형성하고 나서 부품을 기계군에 할당하는 기존의 방법은 부품가공에 필요한 작업을 가장 많이 수행하는 기계가 속한 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 CMS의 입장에서 보면 작업이 기계군 내에서 가급적 많이 수행되도록 하여 예외적 요소의 총 처리량을 최소화하는 쪽이 더 일관성을 갖는다고 할 수 있다.

그러므로 본 논문에서는 기계군이 형성된 후 부품을 할당하는 기준으로 기계군-부품 처리빈도(Machine Cell-Part Handling Frequency, CPH)를 사용한다. CPH를 산출하기 위해서는 먼저 기계-작업 처리빈도(Machine-Operation Handling Frequency, MOH)를 파악해야 한다. 부품생산과정에서 가공순서는 물자취급시간과 비용에 중요한 영향을 미친다. 외부셀(external cell)에서 수행되는 부품의 첫번째 또는 마지막 작업(first or last operation)이 단 한번의 셀간 이동을 수반하는데 반해서 가운데 작업(intermediate operation)은 두 번의 셀간 이동이 필연적이다[3]. 즉 첫번째 작업과 마지막 작업은 단 한번의 이동이 있으므로 한 번의 처리(handling)를 필요로 하지만 가운데 작업들은 한번은 들어오고(나가고) 또 한번은 나가는(들어오는) 두 번의 이동이 불가피하므로 두 번의 처리가 필요하다. 따라서 기계-작업 처리빈도 MOH는 (4)식과 같이 표현할 수 있으며, 이는 가운데 작업이 예외적 요소가 되지 않도록 하기 위한 벌점(penalty)의 개념으로도 볼 수 있다.

$$MOH_{m, a_{mn}} = \begin{cases} 1, \text{기계 } m \text{에서의 작업 } a_{mn} \text{이} \\ \text{첫번째 또는 마지막인 경우} \\ 2, \text{그렇지 않은 경우} \end{cases} \quad \forall m, a_{mn} \quad (4)$$

기계군-부품 처리빈도 CPH는 기계군에 속한 기계들의 MOH를 합한 (5)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$CPH_{k, n} = \sum_{m \in k} \sum_{a_{mn} \in m} MOH_{m, a_{mn}} \quad \forall k, n \quad (5)$$

$CPH_{k, n}$ 은 기계군에 부품을 할당할 때 각 기계군에 속한 기계에서 수행하는 작업의 수가 아닌, 해당작업이 그 기계군에 할당되었을 때 발생하는 처리빈도에 의해서 할당하는 것이 예외적 요소의 총 처리량을 최소로 하려는 셀 형성에 타당함을 뒷받침하는 논거가 된다.

그러므로 기계군-부품 처리빈도가 가장 높은 기계군에 부품을 할당함으로써 셀내의 작업처리량을 최대로 하고 예외적 요소의 처리량을 감소시켜 셀간의 이동을 최소화 하는 제조셀 형성이 가능해진다.

부품수요가 있는 경우의 기계군-부품 처리량($CPH'_{k, n}$)은 부품수요(D_n)를 처리빈도의 가중치로 하여 (6)식과 같이 표현할 수 있다.

$$CPH'_{k, n} = \sum_{m \in k} \sum_{a_{mn} \in m} (MOH_{m, a_{mn}})(D_n) \quad \forall k, n \quad (6)$$

2-3. 평가척도

제조셀이 형성된 후 셀의 독립성 또는 셀형성 효율을 평가하는 척도로 흔히 사용하는 것은 예외적 요소의 갯수, void의 갯수, grouping efficacy, grouping efficiency 등이다[10, 11, 12].

예외적 요소(Exceptional Element, EE)란 셀형성 결과 대각블록(diagonal blocks)을 벗어난 작업의 수이다. void란 대각블록 내의 '0'의 갯수로써 이는 셀 내의 부품이 기계를 방문하지 않는 빈도를 뜻하며 셀의 밀집성(compactness)을 나타내는 척도가 된다. grouping efficacy는 전체 작업의 수에 대한 예외적 요소의 갯수와 void 갯수의 비율로 그루핑 효율을 나타내며, 또한 grouping efficiency는 예외적 요소의 수와 void의 수를 이용한 비율에 가중치 계수를 고려하여 일종의 가중평균비율(weighted average rate)을 구한 것이다[2, 4].

그러나 가공순서가 있는 경우, 셀 형성 효율에 대한 평가척도로써 단순히 예외적 요소의 갯수나 void의 갯수만을 이용하는 것은 부족하다. 왜냐하면 셀간 이동을 최소화 하려는 제조셀 형성 목표의 관점에서 보면 해당셀을 벗어난 예외적 요소의 갯수나 셀내의 부품이 기계를 방문하지 않는 빈도만으로는 셀간 이동의 척도가 되는 예외적 요소의 총 작업량을 정확하게 계산할 수 없기 때문이다.

그러므로 가공순서에 따라 달라지는 기계-작업 처리빈도(MOH)에 의해 구해진 기계군-부품 처리빈도(CPH)를 이용하여 예외적 요소의 총 처리량(Total Handling Quantity of EE, THQE)을 구함으로써 가공순서가 주어진 셀간 이동 최소화 문제의 제조셀 형성 효율을 나타내는 척도로 사용할 수 있다. THQE는 (7)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$THQE = \sum_{n=1}^N \sum_{m \in k} (MOH_{m, a_{mn}})(D_n) \quad (7)$$

식 (7)은 내부셀(외부셀)에 속한 부품이 내부셀(외부셀)로부터 외부셀(내부셀)에 속한 기계로의 이동량을 나타내는 척도로도 활용할 수 있다.

3. 제조셀 형성방법

본 연구에서는 흐름-유사도를 최대로 하는 수리모형에 의해서 기계군을 형성하고, 기계군-부품 처리빈도가 가장 큰 기계군에 부품을 할당하는 절차를 통하여 예외적 요소의 총 처리량이 최소가 되도록 하는 제조셀 형성방법[1]을 제시하고자 한다.

3-1. 기계군의 형성

群분석(cluster analysis)을 이용하여 셀형성 문제를 해결하기 위한 가장 잘 알려진 방법은 P-median 모형[5, 6]이다. P-median 모형에서는 M대의 기계로 N개의 부품을 가공하는 (M×N)의 기계-부품 행렬에서 어떤 두 0-1 벡터

$$A_i = [a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}, \dots, a_{iN}]$$

$$A_j = [a_{j1}, a_{j2}, \dots, a_{jn}, \dots, a_{jN}]$$

에 대하여 두 기계 i, j간의 유사성 계수는 (8)식과 같이 정의된다.

$$S_{ij} = \sum_{n=1}^N \delta(a_{in}, a_{jn}) \tag{8}$$

$$\delta(a_{in}, a_{jn}) = \begin{cases} 1, & a_{in} = a_{jn} \\ 0, & a_{in} \neq a_{jn} \end{cases}$$

결정변수 X_{ik} 를

$$X_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{기계 } i\text{가 기계군 } k\text{에 속하면} \\ 0, & \text{그렇지 않으면} \end{cases}$$

라 하면 목적함수는 유사도의 총합을 최대로 하는 것이 된다.

P-median 모형은 부품에 대한 기계별 가공여부를 나타내는 기계-부품 행렬로부터 특정부품에 대한 두 기계간의 행렬요소가 같으면 유사성이 있는 것으로 하고, 같지 않으면 유사성이 없다고 간주하는 것으로써 (8)식의 $\delta(a_{in}, a_{jn})$ 가 이에 해당된다. 이는 부품에 대한 가공여부를 유사성의 유일한 기준으로 삼고 있음을 의미한다.

Viswanathan[14]은 이러한 유사성에 가중치의 개념을 도입하여 (9)식과 같이 나타내었다.

$$\delta(a_{in}, a_{jn}) = \begin{cases} +2, & a_{in} = a_{jn} = 1 \\ 0, & a_{in} = a_{jn} = 0 \\ -1, & a_{in} \neq a_{jn} \end{cases} \tag{9}$$

이 값은 어떤 부품에 대한 두 기계간의 유사성(陽의 값)과 비유사성(陰의 값)을 모두 부여하는 것으로써 0-1 요소를 갖는 기계-부품 행렬에 대한 가중 유사도(weighted similarity)라 할 수 있다.

그러나 가공순서가 있는 경우에는 기계-부품 행렬의 요소가 0-1이 아닌 1~M의 양의 정수가 되는데 이것은 기계간의 유사성과 가공순서를 모두 고려하여 기계군을 형성해야 하는 당위성을 암시하고 있다. 가공순서를 고려한 연구들[3, 9]에서 이러한 성질을 ‘흐름(flow)’이라 하며, 가공순서가 바로 이어지는 경우에만 ‘흐름이 있다’고 하여 (1)식과 같이 나타내었다.

그런데 ‘흐름’이란 작업의 연속성과 그에 따른 물자의 이동을 의미하는 것으로써 (1)식의 $|a_{in} - a_{jn}| = 1$ 과 같이 가공순서가 바로 이어지는 경우에만 존재하는 것은 아니다. $a_{in}a_{jn} \neq 0$ 이고 $|a_{in} - a_{jn}| \geq 1$ 인 경우에는 항상 직/간접적인 작업의 흐름이 발생하게 된다.

또 P-median 모형에서는 사전에 셀의 수(p)를 지정하는데 이것은 가장 자연스런 기계군 형성을 보장하지 못한다. 왜냐하면 셀의 수에 따라 변화하는 목적함수값 중에서 어떤 하나가 결정되므로 기계간 유사성이 최대가 되도록 기계군을 형성하려는 의도에 상충되는 제약이 될 수 있다[14].

따라서 P-median 모형으로부터 셀의 수를 고정하지 않고, 유사성과 흐름의 척도로 (2), (3)식을 이용하여 기계간 흐름-유사도를 최대로 하는 수정된 0-1 정수계획 모형을 구성하면 다음과 같이 된다.

$$\text{Maximize } \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^M (MFS_{ij})(X_{ik}) \quad (10)$$

$$X_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{기계 } i \text{가 기계군 } k \text{에 속하면} \\ 0, & \text{그렇지 않으면} \end{cases}$$

$$MFS_{ij} = \sum_{n=1}^N FS(a_{in} - a_{jn})$$

$$FS(a_{in} - a_{jn}) = \begin{cases} |a_{in} - a_{jn}|^{-1}, & a_{in}a_{jn} \neq 0 \\ 0, & a_{in}a_{jn} = 0 \end{cases}$$

$$\text{Subject to } \sum_{k=1}^M X_{ik} = 1 \quad \forall i = 1, \dots, M \quad (11)$$

$$\sum_{k=1}^M X_{kk} \geq 2 \quad (12)$$

$$X_{ik} \leq X_{kk} \quad \forall i = 1, \dots, M \text{ and } k = 1, \dots, M \quad (13)$$

$$X_{ik} = 0, 1 \quad \forall i = 1, \dots, M \text{ and } k = 1, \dots, M \quad (14)$$

(10)식은 기계간 흐름-유사도를 최대화 하는 것으로서 기계간 유사성과 직/간접적인 흐름이 가장 큰 기계들을 하나의 군으로 묶어주기 위한 목적함수이다. 제약식 (11)은 '각 기계는 하나의 기계군에만 속할 수 있다'는 것을 뜻하며, (12)는 '셀의 수는 적어도 2개 이상이어야 한다'는 것으로서 셀 형성의 의미를 보장하기 위한 최소한의 조건이다. (13)식은 '변수 X_{ik} 가 결정되어야만(이 기계군이 선정되어야만) 기계 i 가 기계군 k 에 포함된다'는 것을 의미하며, (14)식은 기계 i 의 기계군 k 에 대한 포함여부를 나타낸다.

3-2. 부품의 할당

제조셀이란 동질성을 갖는 기계와 부품의 그룹을 통칭하는 것이므로 기계군과 부품군의 형성은 불가분의 관계에 있다. 불합리한 부품의 할당은 예외적 요소를 증가시키는 결과를 초래하기 때문에 기계군에 부품을 할당할 때 예외적 요소의 갯수를 최소화 하는 것이 중요한 목표가 된다.

그러나 가공순서를 고려한 제조셀의 형성에 있어서 예외적 요소의 갯수는 셀 형성의 목표로써 적합하지 않다. 그것은 예외적 요소의 갯수와 셀간 이동이 일치하지 않기 때문이다. 작업순서로부터 결정되는 기계군-부품 처리빈도가 최대가 되도록 부품을 할당함으로써 예외적 요소의 총 처리량을 최소화 하는 것이 셀간 이동을 줄이기 위한 셀 형성에 더 적합하다.

따라서 예외적 요소의 총 처리량을 최소화 하기 위한 부품할당을 위한 수식모형은 (15), (16)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{MAX } \sum_{m \in k} \sum_{a_{mn} \in m} (MOH_{m, a_{mn}})(Y_{nk}) \quad \forall k, n \quad (15)$$

$$\text{s. t. } \sum_{k=1}^K Y_{nk} = 1 \quad \forall n=1, \dots, N \tag{16}$$

$$Y_{nk} = \begin{cases} 1, & \text{부품 } n \text{이 기계군 } k \text{에 할당되는 경우} \\ 0, & \text{그렇지 않은 경우} \end{cases}$$

(15)식은 부품 n이 기계군 k에 할당되는 경우 해당 기계군에 속한 기계(m∈k)와 작업(a_{mn}∈m)의 처리빈도의 합을 최대화하는 목적함수이다. (16)식은 ‘모든 부품은 하나의 기계군에만 할당될 수 있음’을 의미한다.

위의 수식모형을 바탕으로 하여 다음과 같은 절차로 기계군에 부품을 할당한다.

부품할당 절차

- <단계 1> 기계-작업 처리빈도(MOH)를 파악하여 MOH행렬을 작성한다.
- <단계 2> 기계군-부품 처리빈도(CPH)를 계산하여 CPH행렬을 작성한다.
- <단계 3> CPH가 가장 큰 기계군에 부품을 할당(같은 경우에는 가장 많은 작업을 수행하는 기계군에 할당하고, 수행작업의 수도 같으면 임의로 할당)하고 모든 부품의 할당이 완료될 때까지 반복한다.

식(10)~(14)의 기계군 형성 수리모형과, 기계군-부품 처리빈도(CPH)에 입각한 부품할당 절차를 적용한 전체적인 제조셀 형성 절차를 요약하면 다음과 같다.

- <절차 1> 기계-부품-가공순서 행렬로부터 FS, MFS를 구하고 MFS행렬을 작성한다.
- <절차 2> 흐름-유사도 행렬의 요소들을 목적함수의 계수로 하여 (10)~(14)식을 풀어서 최적 셀의 수와 기계군을 결정한다.
- <절차 3> 최초의 기계-부품 행렬로부터 MOH를 파악한다.
- <절차 4> <절차 2>에서 형성된 기계군과 <절차 3>에서 파악한 MOH를 이용하여 CPH를 구하고 CPH행렬을 작성한다.
- <절차 5> CPH가 가장 큰 기계군에 해당부품을 할당하여 제조셀을 완성한다.

3-3. 적용예제

3-1.의 기계군 형성 수리모형과 3-2.의 부품할당 절차를 적용하여 제조셀을 형성하는 방법(FS-model)을 설명하기 위하여 <표 1>을 예로 들기로 한다.

<표 1> 기계-부품 행렬

기계	부 품													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1		2			1			1	3					2
2	1			1	3	3	1							
3										1	1	1	1	
4			1				2		1		2	2		
5		1						2						1
6	2					2		3						
7	3			2	2	1			2	2				

<절차 1> (2), (3)식에 의해 FS, MFS를 계산하여 MFS행렬 작성

<표 2> MFS 행렬

기계 \ 기계	1	2	3	4	5	6	7
1	-	0.5		0.5	3	0.5	2
2	0.5	-		1		2	3
3			-	2			1
4	0.5	1	2	-			1
5	3				-	1	
6	0.5	2			1	-	2
7	2	3	1	1		2	-

<절차 2> 식(10)~(14)를 이용하여 정식화하고, LINDO 프로그램을 사용하여 풀면

value of ob. fn. = 10
 MC # 1 = {1, 5}
 MC # 2 = {3, 4}
 MC # 3 = {2, 6, 7}

<절차 3> <표 1>로부터 (4)식에 의해 MOH를 구하면 <표 3>과 같다.

<표 3> MOH 행렬

기계 \ 부품	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
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						2						1
6	2					2		1						
7	1			1	2	1			2	1				

<절차 4> 각 기계군에 속한 기계들과 각 작업의 MOH로부터 CPH를 계산하고 CPH행렬을 작성하면 <표 4>와 같다.

<표 4> CPH 행렬

기계군 \ 부품	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
MC # 1 (1, 5)		2			1			3	1					2
MC # 2 (3, 4)			1				1		1	1	2	2	1	
MC # 3 (2, 6, 7)	4			2	3	4	1	1	2	1				

<절차 5> CPH가 가장 큰 기계군에 부품을 할당하면 <표 5>와 같다.

<표 5> 부품할당 결과

기계군	기계	부품
MC # 1	1, 5	2, 8, 14
MC # 2	3, 4	3, 11, 12, 13
MC # 3	2, 6, 7	1, 4, 5, 6, 7, 9, 10

모든 절차를 끝낸 최종 제조셀 형성결과는 <표 6>과 같다.

<표 6> 제조셀 형성 결과

기계 \ 부품	2	8	14	3	11	12	13	1	4	5	6	7	9	10
1	2	1	2							1(1)			3(1)	
5	1	2	1											
3					1	1	1							1(1)
4				1	2	2						2(1)	1(1)	
2								1	1	3	3	1		
6			3(1)					2			2			
7								3	2	2	1		2	2

()안의 숫자는 예외적 요소의 기계-작업 처리빈도(MOH)

<표 6>에서 내부셀을 벗어난 예외적 요소는 모두 6개로써 이들은 모두 첫 번째 또는 마지막 작업이므로 단 한 번의 처리가 요구된다. 즉 모든 예외적 요소의 MOH값은 1이다. 부품별로는 부품 9가 2개의 예외적 요소를 가질 뿐 부품 5, 7, 8, 10은 1개의 예외적 요소를 갖는다.

그러므로 각 부품의 수요가 <표 7>과 같다면 예외적 요소의 총 처리량(THQE)은 $(1 \times 300) + (1 \times 150) + (1 \times 200) + (2 \times 200) + (1 \times 250) = 1300$ 이 된다.

<표 7> 부품수요

부 품	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
수 요	400	500	300	250	300	200	150	200	200	250	300	200	150	600

4. 결과검토

4-1. 모형설정

본 연구에서 제시된 셀 형성 방법을 평가하기 위한 실험을 수행하기 위하여 3가지 모형을 설정하기로 한다.

P-median모형 : 셀의 수를 사전에 지정해 놓고 기계간 '유사도'를 목적함수의 계수로 하여 주어진 제약식 하에서 유사도가 최대가 되도록 기계군을 형성하고, 가장 많은 가공작업을 수행하는 기계에 부품을 할당하는 방법.

F-model : 셀의 수를 미리 지정해 놓고 가공순서가 바로 이어지는 경우만을 '흐름'이 있는 것으로 간주하여 P-median 모형의 제약식 하에서 기계간 흐름을 최대로 하는 기계군을 형성하고, 가장 많은 가공작업을 수행하는 기계에 부품을 할당하는 방법.

FS-model : 셀의 수를 고정시키지 않은 상태에서 변형된 제약식을 가미하여 가공작업이 존재하는 모든 기계들 간의 흐름값을 부여하는 '흐름-유사도'를 최대로 하는 기계군을 형성하고, 기계군-부품 처리빈도가 최대인 기계군에 부품을 할당하는 방법으로써 본 연구에서 채택하고 있는 방법.

이들을 정리하면 <표 8>과 같다.

<표 8> 셀 형성 모형의 비교

구분 모형	목적함수		제약식		부품할당 기준	평가 최도
	이용계수	형태	첨	삭		
P- median	유사도 $\delta(a_{i_n}, a_{j_m}) = \begin{cases} 1, & a_{i_n} = a_{j_m} \\ 0, & a_{i_n} \neq a_{j_m} \end{cases}$	Max	$\sum_{k=1}^M x_{kk} = 1$		가장 많은 op.을 수행 하는 기계 에 할당	THQE
F- model	흐름 $F(a_{i_n} - a_{j_m}) = \begin{cases} 1, & a_{i_n} a_{j_m} \neq 0 \\ a_{i_n} - a_{j_m} = 1 \\ 0, & otherwise \end{cases}$	Max	$\sum_{k=1}^M x_{kk} = 1$		가장 많은 op.을 수행 하는 기계 에 할당	THQE
FS- model	흐름-유사도 $FS(a_{i_n} - a_{j_m}) = \begin{cases} a_{i_n} - a_{j_m} ^{-1}, & a_{i_n} a_{j_m} \neq 0 \\ 0, & a_{i_n} a_{j_m} = 0 \end{cases}$	Max	$\sum_{k=1}^M x_{kk} \geq 2$	$\sum_{k=1}^M x_{kk} = 1$	기계군-부 품 처리빈 도가 가장 큰 기계군 에 할당	THQE

4-2. 실험설계

P-median 모형을 이용하면 가공순서를 반영하지 못한 채 부품가공에 대한 기계간 유사성만을 고려한, 기계군을 정해진 셀의 수만큼 결정하게 되고, 부품할당에도 가공순서는 반영되지 못한 채 제조셀 형성이 이루어진다.

F-model을 이용하면 기계간 직접흐름(어떤 부품에 대한 가공순서가 바로 이어지는 경우에만 간주되는 흐름)만을 고려하여 정해진 수만큼의 기계군이 결정되고, 가공순서가 반영되지 않은 부품할당이 이루어진다.

FS-model을 이용하면 흐름-유사도가 최대가 되는 셀의 수와 기계군을 결정하고, 예외적 요소의 총 처리량을 최소로 하는 부품할당이 가능하다.

따라서, 먼저 FS-model을 이용하여 해를 구하고, 여기서 얻어진 셀의 수를 적용하여 P-median 모형과 F-model의 THQE와 비교한다. 실험은 세가지 문제 크기에 대하여 각각 30문제씩 랜덤하게 발생시켜 FS-model, F-model, P-median의 순으로 수행한다. 부품별 작업은 1~M의 일양난수를 사용하며, 부품별 수요는 1~100의 일양분포를 가정한다.

이상의 실험조건을 정리하면 <표 9>와 같다.

<표 9> 실험조건

구분 \ 모형	FS-model	F-model	P-median
문제크기	7기계×10부품, 10기계×15부품, 20기계×30부품		
문제 수	각 30문제		
부품별 가공작업	U(1, M)		
부품수요	U(1, 100)		

4-3. 결과분석

<표 10>은 세가지 문제크기에 대한 실험결과를 요약한 것이다.

<표 10> 실험결과 요약

문 제	구분 \ 모형	P-median	F-model	FS-model
7×10	평균 THQE	1,004	902	618
	가장 좋은 해의 수	6회	10회	26회
10×15	평균 THQE	2,002	2,574	1,599
	가장 좋은 해의 수	8회	5회	22회
20×30	평균 THQE	13,697	14,025	8,977
	가장 좋은 해의 수	1회	6회	24회

실험결과 세가지 문제크기에서 30문제에 대한 평균 THQE가 FS-model에서 가장 적게 나타났다. 이는 기계군 형성시 기계간 직/간접적인 흐름과 유사성을 동시에 반영하는 '흐름-유사도'라는 척도를 사용하였고, 기계군에 부품을 할당할 때 예외적 요소의 총 처리량을 최소로 하기 위하여 '기계군-부품 처리빈도'가 가장 큰 기계군에 할당한 결과로 보여진다. 30회 중에서 가장 적은 THQE의 횡수에서도 FS-model이 F-model이나 P-median에 비하여 우수함을 볼 수 있다. 횡수의 합이 30이 넘는 것은 THQE가 같은 경우가 있기 때문이다. 실험을 통하여 흐름-유사도와 기계군-부품 처리빈도는 제조셀 형성을 위한 좋은 정보로 활용될 수 있음을 알 수 있다.

5. 결론

가공 순서를 고려한 제조셀의 형성에서는 가공순서가 셀간 이동을 결정하는 중요한 요소가 되므로 기계간 흐름관계가 반드시 셀 형성에 반영되어야 한다. 기존의 연구들은 대부분 가공순서가 직접 연결되는 경우에만 기계간의 흐름이 존재하는 것으로 간주함으로써 간접적인 흐름이 무시되고 있다.

본 연구에서는 기계간 직/간접적인 흐름과 유사성을 동시에 의미하는 흐름-유사도(FS)를 도입하여 기계군을 형성하고, 형성된 기계군에 부품을 할당하는대는 가공순서에 따라 달라지는 기계군-부품 처리빈도(CPH)를 산출하여 이 값이 최대인 기계군에 부품을 할당하는 절차를 추가하였다.

실험결과 기계간 '유사성'을 최대로 하려는 P-median모델이나, '직접흐름'만을 최대로 하고 '가장 많은 가공을 수행하는 기계에 부품을 할당'하는 방법(F-model)보다 본 연구의 방법(FS-model)이 우수함을 알 수 있다. 이는 기계군을 형성할 때 도입한 FS와 부품할당시 도입한 CPH가 제조셀 형성의 좋은 정보로 활용될 수 있음을 보여준다.

참고문헌

- [1] 최동순, 정병희, "흐름-유사도와 기계군-부품 이동빈도를 이용한 제조셀의 형성", 대한산업공학회, '97 추계학술대회 발표논문집, session 17-3, pp.1-7, 1997.
- [2] Chandrasekharan M. P. and Rajagopalan R., "An Ideal Seed Non-hierarchical Clustering Algorithm for Cellular Manufacturing", *International Journal of Production Research*, Vol.24, pp.451-464, 1986.
- [3] Harhalakis G., Nagi R. and Proth J. M., "An Efficient Heuristic in Manufacturing Cell Formation for Group Technology Applications", *International Journal of Production Research*, Vol.28, No.1, pp.185-198, 1990.
- [4] Kumar C. S. 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, pp.233-243, 1990.
- [5] Kusiak A., *Intelligent Manufacturing Systems*, Prentice Hall, pp.206-246, 1990.

- [6] Kusiak A., "The Generalized Group Technology Concept", *International Journal of Production Research*, Vol.25, No.4, pp.561-569, 1987.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] Seifoddini H. K. and Hsu C. P., "Comparative Study of Similarity Coefficients and Clustering Algorithms in Cellular Manufacturing", *Journal of Manufacturing Systems*, Vol.13, No.2, pp.119-127, 1994.
- [11] Shafer S. M. and Rogers D. F., "Similarity and Distance Measures for Cellular Manufacturing : Part I - A Survey", *International Journal of Production Research*, Vol.31, No.5, pp.1133-1142, 1993.
- [12] 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*, Vol.31, No.6, pp.1315-1326, 1993.
- [13] 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.
- [14] Viswanathan S., "A New Approach for Solving the P-median Problem in Group Technology", *International Journal of Production Research*, Vol.34, No.10, pp.2691-2700, 1996.
- [15] 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.