

기계중복비용과 공간제약을 고려한 예외적 요소의 최소화 알고리즘

장 익 · 정병희
숭실대학교 산업공학과

An Algorithm for Minimizing Exceptional Elements Considering Machine Duplication Cost and Space Constraint in Cellular Manufacturing System.

Ik Chang · Byunghee Chung

Job shop manufacturing environments are using the concept of cellular manufacturing systems(CMS) which has several advantages in reducing production lead times, setup times, work-in-process, etc. Utilizing the similarities between cell-machine, part-machine, and the shape/size of parts, CMS can group machines and parts resulting in improved efficiency of this system. However, when grouping machines and parts in machine cells, there inevitably occurs exceptional elements(EEs), which can not operate in the same machine cell. Minimizing these EEs in CMS is a critical point that improving production efficiency. Constraints in machine duplication cost, machining process technology, machining capability, and factory space limitations are main problems that prevent achieving the goal of maintaining an ideal CMS environment.

This paper presents an algorithm that minimizes EEs under the constraints of machine duplication cost and factory space limitation.

Developing exceptional operation similarity(EOS) by cell-machine incidence matrix and part-machine incidence matrix, it brings the machine cells that operate the parts or not.

A mathematical model to minimize machine duplication is developed by EOS, followed by a heuristic algorithm in order to reflect dynamic situation resulting from minimizing exceptional elements process and the mathematical model.

A numerical example is provided to illustrate the algorithm.

1. 서론

주문형 제조시스템(Job shop)을 보다 효율적으로 운용하기 위한 방법으로, 많은 기업에서는 셀제조시스템(Cellular Manufacturing System:CMS)을 도입하고 있다.

CMS는 부품이나 기계에 대한 기능의 유사성, 공정의 유사성, 부품 및 형상의 유사성 등 여러 가지 척도에 의해서 이들을 그룹화(grouping)하여 생산하는 시스템이다. 가장 이상적인 CMS의 상태는 모든 기계셀을 독립적으로 운용하는 것이다. 즉, 부품을 어느 특정한 기계셀에 할당(투입)하면 다른 셀로 이

동시되지 않고 투입된 셀에서 모든 공정을 완료하도록 셀을 형성함으로써 CMS의 생산효율을 높일 수 있다.

주문제조시스템의 현실적인 상황은 기계가공상의 기술적인 제약, 기계중복비용의 제약, 추가가용공간의 제약 등과 같은 한계를 극복하기 어려운 점 때문에 CMS를 이상적인 상태로 유지하지 못하고 있다. 특히, 각 기계셀에서는 모든 공정을 수행할 수 없기 때문에 예외적 요소(Exceptional Elements)라고 칭하는 부품의 기계셀간 이동이 발생하며, 이는 CMS의 효율을 저하시키는 주된 요인이다.

지금까지 발표된 CMS에서 예외적 요소의 제거에 관한 연구를 살펴보면 다음과 같다.

Kern과 Wei[2]는 예외적 요소를 줄이기 위해 애로부품의 외주가공과 애로기계의 중복에 따른 비용을 고려하여 셀을 형성하는 방법을 제시했고, 이후에 Shafer[5]와 함께 예외적 요소를 제거하기 위한 수학적 모형을 제시하였다. Shafer와 Roger[6]는 셀 형성에 적용할 수 있는 유사도계수와 거리척도를 분류하여 정리하였다.

Seifoddini[4]와 Wolfe[3]는 정해진 임계값보다 셀간 이동이 적어질 때까지 애로기계를 추가 배치함으로써 셀간 이동의 최소화를 이루는 알고리즘과 기계추가에 따른 비용을 최소화하는 알고리즘을 각각 개발하였다.

Dahel과 Smith[1]는 셀간 이동의 최소화와 기계중복을 허용한 기계셀에 대한 유연성의 최대화를 목적으로 하여 기계셀과 부품군을 동시에 형성하는 수식모형을 개발하였지만 기계의 다공정 수행능력을 고려하지 않았다. 위에서 살펴본 연구들은 셀 형성방법에서 도출되는 대체해(셀 형성결과)를 고려하지 않고 그 중 하나의 해만을 이용하여 예외적 요소를 제거함으로써, 보다 개선된 해를 얻을 수 있는 상황을 고려하지 못하는 등 다소 미흡한 점이 있었다.

본 연구에서는 다수의 기계셀로 구성된 CMS에서 기계중복비용과 추가가용공간의 제약하에서 발생한 예외적 요소를 최대한 많이 제거할 수 있는 발견적 알고리즘을 개발한다. 이 알고리즘은 예외적 요소를 제거하는 과정에서 기계가 중복됨에 따라 기계셀이 수행할 수 있는 공정의 동적인 변화를 반영하기 위한 것이다. 아울러 이 알고리즘은 예외적 요소를 최소로 하는 여러 개의 셀 형성 결과를 도출한 다음, 이 대안들 중에서 기계중복을 최소화하는 대안을 선택하여 예외적 요소를 제거한다.

알고리즘 적용단계 중 사용되는 수식모형은 기계중복을 최소화하기 위한 것으로서, 예외적 공정유사도의 최대화를 목적함수로 한다.

본 연구는 다음과 같이 구성된다.

제1장 서론에서는 과거연구의 내용을 소개하였고 실제적인 제약조건하에서 개선된 해를 얻으려는 본 연구의 필요성을 제시한다.

제2장 모형의 개발에서는 논문에서 사용되는 기호들에 대한 정의, 예외적 공정유사도에 대한 개념 설명과 제약조건을 고려한 수식모형을 제시한 다음, 본 논문의 목적인 기계중복비용과 추가가용공간의 제약을 고려하면서 예외적 요소를 최소화하는 알고리즘에 대해 설명한다.

제3장은 수치 예제를 통하여 본 논문에서 제시한 수식모형과 알고리즘을 적용하여 최적해를 구하는 과정을 단계별로 설명한다.

제4장에서는 본 논문에서 제시한 알고리즘을 적용한 결과를 통해 나타난 결론을 제시한다.

2. 모형의 개발

2.1 기호의 정의

본 연구에서 사용되는 기호는 다음과 같다.

C_{ii} : 부품 i 와 i' 이 최소의 예외적 요소수를 유지하면서 동시에 할당될 수 있는 기계셀들의 집합

$S_{ii'c}$: 부품 i 와 i' 이 셀 c 에 동시에 할당될 때 부품 i 와 i' 간의 예외적 공정유사도

DC_{ic} : 기계셀 c 의 부품 i 에 대한 비처리능력

ES : 예외적 요소를 발생시키는 부품의 집합
($i = 1, 2, \dots, n$)

$m_{ii'c}$: 부품 i 와 i' 이 기계셀 c 에 할당될 때 필요한 기계의 수

mc_c : 기계셀 c 의 기계할당 가능량

$TC_{ii'c}$: 부품 i 와 i' 이 기계셀 c 에 할당될 때 필요한 기계 구입비용

B_k : k 단계에서 총 투자 가능예산

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{부품 } i \text{가 공정 } j \text{를} \\ & \text{필요로 하는 경우} \\ 0, & \text{그렇지 않은 경우} \end{cases}$$

$$a_{icj} = \begin{cases} 1, & \text{부품 } i \text{가 셀 } c \text{에 할당되었을 때} \\ & j \text{공정이 수행될 수 없는 경우} \\ 0, & \text{그렇지 않은 경우} \end{cases}$$

$$n_{cj} = \begin{cases} 1, & \text{기계셀 } c \text{가 공정 } j \text{를 수행할} \\ & \text{수 있는 경우} \\ 0, & \text{그렇지 않은 경우} \end{cases}$$

$$\alpha(a_{icj}, a_{i'cj}) = \begin{cases} 1, & a_{icj} = 1, a_{i'cj} = 1 \text{ 인 경우} \\ 0, & \text{그렇지 않은 경우} \end{cases}$$

$$\alpha(n_{cj}, a_{ij}) = \begin{cases} 1, & n_{cj} < a_{ij} \text{ 인 경우} \\ 0, & \text{그렇지 않은 경우} \end{cases}$$

$$X_{i'c} = \begin{cases} 1, & \text{부품 } i \text{와 } i' \text{이 셀 } c \text{에} \\ & \text{할당되는 경우} \\ 0, & \text{그렇지 않은 경우} \end{cases}$$

2.2 예외적 공정유사도와 수식모형의 개발

본 연구에서 예외적 요소의 제거방법은 예외적 부품간의 예외적 공정유사도가 최대가 되도록 부품을 기계셀에 할당한 후 필요로 하는 기계를 중복하는 것이다.

2.2.1 비처리능력과 예외적 공정유사도

앞 절에서 언급한 바와 같이 예외적 요소를 제거하기 위한 대부분의 연구에서는, 결정된 셀 형성결과를 그대로 사용하여 해를 구하고 있다. 일반적으로 셀 형성방법들은 예외적 요소의 최소화만을 고려하여 해를 도출한다. 이때 같은 예외적 요소수를 가지는 여러 개의 대체해가 발생할 수 있다. 따라서 여러 대체해 중 예외적 요소를 제거하는 방법을 적용할 때에는 기계 중복을 최소화할 수 있는 셀 형성결과를 이용하여 예외적 요소를 제거하는 것이 바람직하다.

본 연구에서는 이를 위하여 부품에 대한 기계셀의 비처리능력을 파악한 후, 이를 바탕으로 예외적 공정유사도를 구한다.

각 부품에 대한 기계셀의 비처리능력은 기계셀이 부품가공에 필요한 공정을 수행하지 못하는 정도를 나타내는 것으로 식 (1)에 의해 산출한다.

$$DC_{ic} = \sum_{j=1}^m \alpha(n_{cj}, a_{ij}), \quad i=1, 2, \dots, m \\ c=1, 2, \dots, C \quad (1)$$

예외적 공정유사도는 두 부품을 한 기계셀에 할당하였을 때 기계셀에서 이들 부품에 대해 처리할 수 없는 공정의 유사한 정도를 나타낸다. 이것은 예외적 요소를 발생시키는 부품에 대해서만 산출한다.

이때 두 부품이 할당되는 기계셀은 예외적 요소의 수를 최소로 유지함과 동시에 두 부품을 할당할 수 있는 기계셀에 대해서만 예외적 공정유사도를 구한다. 그리고 동시에 두 부품을 할당할 수 있는 기계셀은 부품과 기계셀 간의 비처리능력 행렬

로부터 파악한다.

예외적 공정유사도의 의미를 살펴보기 위해 임의의 두 부품 (i, i')의 예외적 공정유사도를 1이라 하자. 이때 이 두 부품을 예외적 공정유사도 값이 1이 되는 기계셀에 할당하면 기계 한 대(예외적 공정유사도가 1이 되게 하는 공정을 수행할 수 있는 기계)를 중복함으로써 두 개의 예외적 요소를 동시에 제거할 수 있게 되는 것이다. 따라서 가능한 한 예외적 공정유사도가 큰 부품을 동시에 같은 기계셀에 할당하면 기계중복대수를 최소화할 수 있으며 따라서 한정된 예산범위내에서 필요한 공정을 수행할 수 있게 되는 것이다.

부품간의 예외적 공정유사도는 식 (2)에 의해서 산출한다.

$$S_{i'c} = \sum_{j=1}^m \alpha(a_{icj}, a_{i'cj}) \\ c \in C_{i'}, \quad i, i' \in ES \quad (2)$$

2.2.2 수식모형

기계대수의 중복을 최소화하기 위해서는 여러 개의 셀 형성 대체안들 중에서 예외적 요소를 제거에 적합한 대안을 선택해야 한다. 예외적 공정유사도는 중복해야 할 기계가 얼마나 유사한가를 나타내는 것이므로 이것이 최대가 되도록 부품들을 할당하면 중복되는 기계수를 최소화할 수 있다.

그러므로 식 (2)에 의해 산출되는 예외적 공정유사도가 가능한 한 크게 되도록 부품들을 셀에 할당하면, 예외적 요소를 제거하기 위해 중복하는 기계대수를 최소화할 수 있다. 이를 목적함수로 하여 수식모형을 구성하면 아래와 같다.

$$\text{Max} \quad \sum_{i=1}^m \sum_{i'=1}^m \sum_{c \in C_{i'}} S_{i'c} X_{i'c} \\ \text{s. t.} \quad \sum_{c \in C_{i'}} X_{i'c} \leq 1, \quad i, i' = 1, 2, \dots, es \quad (3)$$

$$\sum_{c=1}^C \sum_{i=i'+1}^m X_{i'c} \leq 1, \quad i=1 \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^{es-1} \sum_{i'=i+1}^m m_{i'c} \cdot X_{i'c} \leq mc_c, \quad c=1, 2, \dots, C \quad (5)$$

$$\sum_{c=1}^C \sum_{i=i'+1}^m X_{i'c} + \sum_{c=1}^C \sum_{i=1}^{i'-1} X_{i'c} \leq 1, \quad i \geq 2 \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^{es-1} \sum_{i'=i+1}^m \sum_{c=1}^C TC_{i'c} \cdot X_{i'c} \leq B_k \quad (7)$$

$$X_{i'c} = 0 \text{ or } 1, \quad i, i' = 1, 2, \dots, es, \\ c = 1, 2, \dots, C \quad (8)$$

식 (3)은 특정 부품 i 와 i' 을 할당할 수 있는 여러 셀 중에서 하나의 셀에만 할당되도록 하는 제약식이다.

식 (4), (5)는 특정 부품 i 가 다른 부품과 이를 수 있는 여러 가지의 조합 중에서 하나의 조합으로만 한 셀에 할당되도록 하는 제약이다.

식 (6)은 각 기계셀에 추가로 할당되는 총 기계의 수가 각 기계셀의 기계할당 가능량을 초과할 수 없다는 제약식이다.

식 (7)은 기계중복에 투자하는 총 비용이 예산을 초과할 수 없다는 제약식이다.

위에서 제시된 수식모형은 정수계획법으로서 일반적으로 의사결정변수의 수와 제약식의 수가 크게 증가하면 NP-Hard 문제이다. 그러나 본 연구에서 대상으로 하는 문제는 효과적인 셀 형성 알고리즘에 의해 셀이 형성된 후 발생한 예외적 요소를 제거하고자 할 때 적용하기 위한 것이다. 따라서 의사결정 변수의 수와 제약식의 수에 결정적인 영향을 미치는 예외적 요소의 수가 문제를 해결하지 못할 만큼 발생하는 경우는 일반적으로 적이지 않다고 보는 것이 타당하다.

2.3 알고리즘

수식모형에 의해 산출되는 해는 모형의 특성상 두 가지 고려 사항이 있다. 첫째, 두 부품을 동시에 한 셀에 할당하기 때문에 짝수 개의 부품에 대해서만 수식모형으로부터 최적해를 얻을 수 있으며 따라서 마지막으로 하나의 부품이 남게 되는 경우는 고려하지 못한다. 둘째, 한 셀에 두 개 이상의 부품이 할당되면 먼저 할당되는 부품에 의해 중복되는 기계에 따라서 셀이 수행할 수 있는 공정이 변화하게 되는데 이러한 상황을 고려할 수

없다는 것이다.

본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해서 셀의 변화되는 상황을 고려하여 수식모형을 단계적으로 적용하는 방법을 제시하며, 부품의 수가 홀수인 경우 마지막에 남는 하나의 부품을 이에 대응하는 셀의 상황을 고려하여 할당하는 알고리즘을 제시한다.

단계 1, 2는 예외적 요소를 발생시키는 부품과 공정을 파악하는 단계이며, 단계 3, 4, 5에서는 수식모형을 단계적으로 적용하는 과정이고, 단계 6, 7은 기계셀이 다이내믹하게 변화하는 상황을 고려하여 기계중복을 최소로 하면서 예외적 요소를 제거하는 단계이다. <그림 1>은 이러한 알고리즘을 순서도 형태로 나타낸 것이다.

[알고리즘]

단계 1: 기계셀-기계 빈도행렬과 부품-기계 빈도행렬에 의해 각 셀의 부품에 대한 비처리능력 행렬을 식 (1)에 의해 작성한다.

단계 2: 비처리능력 행렬로부터 예외적 요소를 발생시키는 부품을 파악하여 예외적 요소수를 최소로 유지하면서 각 부품을 할당 가능한 셀과 그 셀에서 처리할 수 없는 공정을 파악한다.

단계 3: 셀별 부품간 예외적 공정유사도를 산출한다.

단계 4: 수식모형을 적용하여 최적해를 산출한다. 이 단계에서는 본 연구의 목적인 기계중복비용 제약과 추가가용공간 제약을 고려하여 이 제약을 만족하는 범위내에서 예외적 요소를 최소화하는 최적해를 구한다.

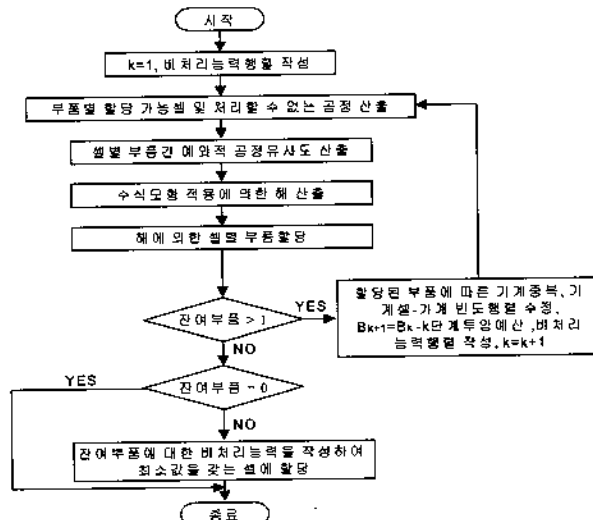


그림 1. 알고리즘 순서도.

표 1. 기계셀-기계 빈도행렬(1)

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	추가가 용공간
셀1		1		1	1		1		1	1			1	1		3
셀2	1		1	1		1		1	1		1			1	1	3
셀3	1		1			1	1		1	1	1		1		1	3

표 2. 부품-기계 빈도행렬

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15
P1			1				1		1		1				1
P2	1			1		1						1		1	
P3			1	1			1	1	1		1		1		1
P4	1		1			1				1	1		1		
P5				1		1	1		1	1		1		1	
P6								1			1	1			1
P7	1				1	1			1			1	1		1
P8				1	1		1	1		1		1		1	
P9		1		1						1					
P10							1		1		1				

표 3. 기계 구입비용

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15
비 용	100	150	200	170	90	110	120	180	160	150	130	140	230	190	120

단계 5 : 산출된 해로부터 각 셀에 대해 한 개의 부품쌍만을 할당한다. 만약 할당 가능한 부품쌍이 한 개 이상이면 중복해야 할 기계수가 작은 것을 선택한다. 할당해야 할 부품이 1개 이하이면 단계 7로 간다.

단계 6 : 할당된 부품에 의해 필요로 하는 기계를 추가시키고, 추가된 기계를 바탕으로 기계셀-기계 빈도행렬을 수정하여 비처리능력 행렬을 다시 작성한 후 단계 2로 간다. 이때

투입비용은 현재 단계에서 투입된 비용만큼 뺀다 ($B_{k+1} = B_k - k$ 단계~ 투입비용).

단계 7 : 할당해야 할 부품이 없으면 알고리즘을 종료한다. 그렇지 않으면 즉, 마지막으로 하나의 부품이 남는 경우에는 할당된 부품에 의해 필요로 하는 기계를 추가시키고, 추가된 기계를 바탕으로 기계셀-기계 빈도행렬을 수정하여 비처리능력을 다시 작성한 후 비처리능력이 최소가 되는 셀에 부품을 최종적으로 할당함으로써 알고리즘을 종료한다.

제를 제시하였다. 즉, 10가지 부품을 3개의 기계셀에서 가공하는 상황에 대해 기계셀-기계 빈도행렬을 <표 1>에 제시하였다. 또 부품-기계 빈도행렬은 <표 2>에 나타내었고, <표 3>은 각 기계를 투입(중복)하는 데 소요되는 비용을 나타내었으며, 이 예제에서 기계 구입에 소요 가능한 예산은 900만원이다. 알고리즘을 적용하는 과정은 다음과 같다.

본 연구에서는 단계 4에서 수립되는 정수계획문제를 해결하기 위해서 LINDO를 이용하였다.

단계 1 : <표 1>과 <표 2>에 의해서 각 부품에 대한 각 기계셀의 비처리능력을 식 (1)에 의해 산출하여 요약하면 <표 4>와 같다.

단계 2 : 비처리능력 행렬(1)로부터 예외적 요소를 발생시키는 부품과 이들이 최소의 예외적 요소수를 유지하면서 할당 가능한 셀을 파악하면 다음과 같다.

부품	P3	P5	P7	P8
할당 가능한 셀	4,5	3,4	4,5	3

3. 수치예제

2장에서 개발한 알고리즘을 적용하기 위하여 다음과 같은 예

작성된 표를 바탕으로 각 부품의 할당 가능한 셀에서 수행

할 수 없는 공정을 <표 1>과 <표 2>를 이용하여 파악하여 정리하면 <표 5>와 같다.

표 4. 비처리능력 행렬(1)

	cell 1	cell 2	cell 3
P1	3	3	0
P2	3	0	4
P3	4	2	2
P4	4	2	0
P5	2	2	3
P6	4	0	4
P7	4	2	2
P8	2	3	5
P9	0	2	4
P10	3	2	0

<표 5>에서 빈칸은 부품이 할당되면 예외적 요소의 수가 증가하는 기계셀을 나타낸다.

표 5. 각 셀에서 처리할 수 없는 공정에 따른 필요 기계(1)

	cell 1	cell 2	cell 3
P3		7,13	4,8
P5	6,12	7,10	
P7		5,13	5,12
P8	8,12		

단계 3 : <표 5>를 이용하여 셀별 부품간 예외적 공정유사도를 산출하면 다음과 같다.

각 표에서 빈칸은 두 부품이 동시에 할당될 수 없는 셀을 나타낸다.

단계 4 : <표 6, 7, 8>에 수식모형을 적용하면 다음의 결과를 얻을 수 있다.

$$\text{목적함수값} = 2$$

$$X_{3,8,1} = 1 \quad X_{3,7,2} = 1, \quad \text{투입비용: 870만원}$$

부품 및 기계 할당결과는 위의 표와 같다.

단계 6 : 중복된 기계에 의해서 기계셀-기계 빈도행렬을 수정하면 다음과 같다.

기계셀	할당된 부품	중복된 기계
1	5,8	6,8,12
2	3,7	5,7,13
3	-	-

<표 9>에서 빗금친 부분은 중복된 기계에 의해서 각 셀이

표 6. C=1일 때 부품간 예외적 공정 유사도

	P3	P5	P7	P8
P3	-			
P5		-		1
P7			-	
P8				-

표 7. C=2일 때 부품간 예외적 공정유사도

	P3	P5	P7	P8
P3	-	1	1	
P5		-	0	
P7			-	
P8				-

표 8. C=3일 때 부품간 예외적 공정유사도

	P3	P5	P7	P8
P3	-		0	
P5		-		
P7			-	
P8				-

추가로 수행할 수 있는 공정을 나타낸다.

더 이상 할당할 부품이 없으므로 알고리즘을 종료한다.

전체 부품 할당 결과를 요약하면 <표 13>과 같다.

알고리즘의 적용결과를 분석해보면 기계구입에 소요 가능한 예산이 900만원으로 제한되어 있는 상황에서 기계 6대를 중복하여 총 8개의 예외적 요소를 모두 제거할 수 있었으며, 기계 구입비용은 870만원으로서 예산제약을 만족하였다. 위에서 제시된 예제보다 좀더 복잡한 문제상황에 대한 알고리즘의 적용결과는 다음과 같다.

문제상황

부품수 : 23개

기계셀수 : 5

투입 가능한 예산 : 1,900만원

예제에서 발생하는 예외적 요소를 파악하기 위해 비처리능력 행렬을 산출하면 <표 14>와 같다.

비처리능력 행렬(2)로부터 예외적 요소를 발생시키는 부품과 이들이 최소의 예외적 요소수를 유지하면서 할당 가능한 셀을 파악하면 다음 표와 같다.

부품	3	5	7	8	18	19	20	21	23
할당	2,4	1,3	5	1,3	4,5	4,5	2,3	4	2,4
가능한 셀	5	4					5		5

표 9. 기계셀-기계 빈도행렬(2)

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15
셀1		1		1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	
셀2	1		1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1
셀3	1		1			1	1		1	1		1			1

표 10. 총 부품할당 결과

	기계셀에서 수행할 수 있는 공정		부품셀에 속하는 부품과 필요로 하는 공정
기계셀 1	1,2,4,6,8,10,12,14 DM : 5,7,9	부품군 1	부품 2, 9, 22, 5, 8 1,2,4,5,6,7,8,9,10,12,14
기계셀 2	2,3,5,7,8,9,11,12,15 DM : 4,13,14	부품군 2	부품 1, 6, 10, 3, 20 2,3,4,5,7,8,9,11,12,13,14,15
기계셀 3	2,4,5,7,9,10,13,14 DM : -	부품군 3	부품 11, 17 2,4,5,7,9,10,13,14
기계셀 4	1,3,4,6,8,9,11,12,14,15 DM : 5,10,13	부품군 4	부품 12,13,15,18,19,21 1,3,4,5,6,8,9,10,11,12,13,14,15
기계셀 5	1,3,6,7,9,10,11,13,15 DM : 2,5,8	부품군 5	부품 4, 14, 16, 7, 23 1,2,3,5,6,7,8,9,10,11,13,15

*DM: 중복된 기계에 의해서 수행할 수 있는 공정

표 11. 기계셀-기계 빈도행렬(1)

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	추가가용공간
셀 1	1	1		1		1		1		1		1				3
셀 2		1	1		1		1	1	1		1	1			1	3
셀 3		1		1	1		1		1	1		1	1			3
셀 4	1		1	1		1		1	1		1	1		1	1	3
셀 5	1		1			1	1		1	1		1		1		3

작성된 표를 바탕으로 각 부품의 할당 가능한 셀에서 수행할 수 없는 공정을 <표 1>과 <표 2>를 이용하여 파악하여 정리하면 <표 15>와 같다.

이에 대해 알고리즘을 적용한 최종결과는 <표 10>과 같다.

알고리즘의 적용결과를 분석해 보면 기계 구입에 소요 가능한 예산이 1,900만원으로 제한되어 있는 상황에서 기계 12대를 중복하여 총 19개의 예외적 요소를 모두 제거할 수 있었으며, 기계 구입비용은 1,850만원으로서 예산제약을 만족하였다.

알고리즘 적용과정 중 정수계획 모형의 해를 구하는 단계에서 효율이 문제될 수 있으나, 셀 형성시 예외적 요소의 수가

해를 구하기 어려울 만큼 많이 발생하지는 않을 것으로 생각한다. 그리고 만약 제시된 수식모형으로 해결할 수 없을 만큼 예외적 요소가 많이 발생하는 경우는 셀 형성에 문제가 있는 것이며, 이는 본 연구의 범위를 벗어나는 문제로서 셀을 보다 우수한 알고리즘으로 다시 형성한 후 제시된 알고리즘을 적용하는 것이 바람직하다고 생각한다.

의사결정변수가 37개이고 제약식이 44개인 본 예제의 경우 DEMO LINDO PC Ver. 6.01에서 실행시간은 거의 0초에 가까운 만큼 짧은 시간내에 해를 구하였다.

4. 결 론

표 12. 부품 - 기계 빈도행렬

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15
P1		1	1		1		1		1		1				1
P2	1	1		1		1				1		1		1	
P3			1	1			1	1	1		1		1		1
P4	1		1			1				1	1		1		
P5				1		1	1		1	1		1		1	
P6		1			1		1	1			1	1			1
P7	1	1	1			1		1		1			1		1
P8				1	1		1	1		1		1		1	
P9		1		1		1		1		1		1			
P10					1		1	1	1		1	1			
P11				1			1		1	1			1	1	
P12	1					1		1			1	1		1	1
P13	1			1					1		1			1	1
P14			1				1			1	1		1		1
P15						1		1	1		1	1		1	
P16	1		1				1		1		1				1
P17		1		1					1	1			1	1	
P18	1				1	1			1			1	1		1
P19			1	1		1				1	1		1	1	
P20		1					1		1		1		1	1	1
P21			1	1	1	1		1	1	1		1			
P22	1	1		1		1		1		1				1	
P23	1	1			1	1		1			1		1		1

표 13. 기계 구입비용

(단위 : 만원)

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15
비용	100	150	200	170	90	110	120	180	160	150	130	140	230	190	120

표 14. 비처리 능력 행렬(2)

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23
cell 1	6	0	6	3	2	4	3	2	0	4	3	2	3	5	2	5	2	4	3	4	3	0	4
cell 2	0	5	2	4	4	0	4	3	3	0	4	3	3	2	2	1	4	3	5	3	3	5	3
cell 3	3	3	4	4	2	4	5	2	3	3	0	6	3	3	4	4	0	4	3	3	4	3	5
cell 4	3	2	2	2	2	3	3	3	2	2	3	0	0	3	0	1	3	2	2	2	2	2	3
cell 5	2	4	2	0	3	4	2	5	4	3	2	3	2	0	3	0	3	2	2	2	4	4	3

여러 개의 기계셀로 구성된 CMS를 보다 효율적으로 운영하기 위해서는 기계셀을 독립적으로 운영하는 것이 바람직하다. 이를 위해서 기계셀간 이동을 발생시키는 예외적 요소를 제거하여야 한다.

본 연구에서는 다수의 기계셀로 구성된 CMS에서 기계중복을 통하여 예외적 요소를 최소화하는 발견적 알고리즘을 개발하였다. 일반적으로 기계 구입비용과 추가 소요공간은 제한되

어 있기 때문에 이를 제약으로 고려함으로써, 의사결정자가 투자비용의 변화에 따라 발생하는 예외적 요소의 수와 투자비용 간의 관계를 판단할 수 있는 정보를 제공하게 된다. 본 논문에서 제시한 알고리즘은 각 기계셀이 수행할 수 있는 공정을 바탕으로 예외적 요소를 발생시키는 부품과 공정을 찾아내어 예외적 요소의 수가 최소가 되는 여러 대안들을 도출한 다음, 이 대안들 중에서 기계중복대수를 최소화할 수 있는 대안을

선택하여 이를 바탕으로 예외적 요소를 제거하였다.

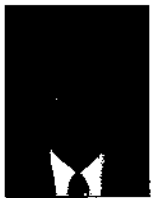
표 15. 각 셀에서 처리할 수 없는 공정에 따른 필요기계(1)

	cell 1	cell 2	cell 3	cell 4	cell 5
P3		4,13		7,13	4,8
P5	7,9		6,12	7,10	
P7					2,8
P8	5,7		8,12		
P18				5,13	5,12
P19				10,13	4,14
P20		13,14	11,15		2,14
P21				5,10	
P23		1,6,13		2,5,13	2,5,8

참고문헌

1. Dahel, N. E. and Smith, S. B., "Designing flexibility into

cellular manufacturing system," *International Journal of Production Research*, Vol. 31, No. 4, pp. 933-945, 1993.
 2. Kern, G. M. and Wei, J. C., "The cost of eliminating exceptional elements in group technology cell formation," *International Journal of Production Research*, Vol. 29, No. 8, pp. 1535-1547, 1991.
 3. Seifoddini, H. and Wolfe, P. M., "Application of the similarity coefficient method in group technology," *IIE Transactions*, September, pp. 271-277, 1986.
 4. Seifoddini, H., "Duplication process in machine cells formation in group technology," *IIE Transactions*, Vol. 21, No. 4, pp. 382-388, 1989.
 5. Shafer, S. M., Kern, G. M. and Wei, J. C., "A mathematical programming approach for dealing with exceptional elements in cellular manufacturing," *International Journal of Production Research*, Vol. 30, No. 5, pp. 1029-1036, 1992.
 6. 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.



장 익

1981년 숭실대학교 산업공학과 학사
 1983년 한양대학교 산업공학과 석사
 1993년 숭실대학교 산업공학과 박사과정 수료
 1984년-1993년 한국과학기술연구원 시스템 공학연구소 선임연구원
 현재: 부산광역시 교육청 교육정보화 담당관
 관심분야: 생산공학, CIM, 소프트웨어 개발공학
 ERP



정병희

1977년 서울대학교 산업공학과 학사
 1979년 서울대학교 산업공학과 석사
 1986년 서울대학교 산업공학과 박사
 현재: 숭실대학교 산업공학과 교수
 관심분야: 생산공학, CIM, 물류관리