

셀化 製造를 導入한 FMS에서 工具重複에 依한  
例外的 要素의 除去 方法

A Method of Eliminating Exceptional Elements  
by Tool Duplication in Cellular Manufacturing System.

장 익\*

Ik Chang

윤 창원\*\*

Changwon Yoon

정 병희\*\*\*

Byunghee Chung

ABSTRACT

Exceptional Elements(E.E) are generally eliminated by a machine duplication or a subcontract in cellular manufacturing system. One of the advantages in FMS consists of machines capable of multi-processing.

This paper presents a method that eliminates E.Es by tool duplication.

First, we develop the exceptional operation similarity(EOS) by machine cell-operation incidence matrix and part-operation incidence matrix. The EOS indicates a similarity of unperformable operations in each part when two exceptional parts are assigned to a machine cell.

Secondly, a mathematical model to minimize tool duplication is developed by the EOS.

Finally, a heuristic algorithm is developed to reflect dynamic situation in process of elimination of exceptional elements by the EOS and the mathematical model.

A numerical example is provided to illustrate the algorithm.

1. 서론

일반적으로 FMS(Flexible Manufacturing System)는 여러 개의 FMC (Flexible Manufacturing Cell)로 구성된다. 시스템을 보다 효율적으로 운영하기 위해서는 각 FMC를 독립적으로 운영하는 것이 바람직하다. FMS의 하부 시스템인 FMC를 독립적으로 운영하기 위해서는 부품이 특정 FMC에 투입(할당)되면 다른 FMC로의 이동 없이 모든 필요공정을 완전히 수행한 후 시스템을 떠나야 한다.

그러나 실제로 여러 가지 제약에 의해서 하나의 부품이 여러 개의 FMC를 이동하게 된다. 예를 들면 각 FMC에서 수행할 수 있는 공정의 제약, 시스템에서 보유하고 있는 공구(tool)의 제약, 각 FMC의 공구 저장공간의 제약 등이다.

\* 동명정보대학교 컴퓨터공학과

\*\* 쌍용정보통신

\*\*\* 숭실대학교 산업공학과

FMC를 독립적으로 운영하기 위해서는 셀화 제조 시스템에서 예외적 요소와 같은 개념인 FMC간의 부품 이동을 제거하여야 한다. 따라서 FMC의 경우에는 전통적 제조 시스템과는 다른 FMC의 특성을 충분히 고려하여야 한다.

본 연구에서는 앞으로 FMC를 기계셀로, FMC간의 부품 이동을 예외적 요소로 표현한다.

먼저 지금까지 발표된 셀화 제조 시스템에서 예외적 요소의 제거에 관한 연구를 살펴보면 다음과 같다.

Seifoddini[4]와 Wolfe[3]는 정해진 임계값보다 셀간 이동이 적어질 때까지 애로 기계를 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. 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 유사도 계수와 거리척도를 분류하여 정리하였다.

위에서 살펴 본 연구들은 크게 두 가지의 단점을 가지고 있다. 첫 번째는 주어진 셀 형성 결과를 전혀 수정하지 않은 상태에서 예외적 요소를 제거함으로써 보다 개선된 해를 얻을 수 있는 상황을 고려하는 데 미흡하다.

두 번째는 주로 기계의 중복 내지는 예외적 부품의 하청처리를 통하여 예외적 요소를 제거하고 있다. 이것은 FMC의 장점을 충분히 고려하는 데 미흡하다. 왜냐하면 기계중복의 경우는 기계구입비가 상당히 커질 수 있고 사용면적에도 문제가 발생할 수 있기 때문이다. 예외적 부품을 하청처리하는 것은 시스템에 큰 영향을 미치지 않으므로 본 연구에서는 고려대상에서 제외한다.

FMC의 장점 중 각 기계가 다수의 공정을 수행할 수 있다는 것을 이용하면 기계중복에 비해 작은 비용이 소요되고 추가로 사용되는 면적이 필요 없는 공구중복을 통하여 예외적 요소를 제거할 수 있다. 본 연구에서도 공구중복을 통한 예외적 요소의 제거를 고려한다.

본 연구에서는 다수의 FMC로 구성된 FMS에서 공구중복을 통하여 예외적 요소를 제거할 수 있는 방법을 다음과 같은 두 가지 상황에 대하여 각각 제시한다.

1. 각 FMC가 기술적으로는 모든 공정을 수행할 수 있는 상황.
2. 각 FMC가 수행할 공정이 기술적으로 한정적인 상황.

이를 위해 첫째, 각 FMC가 수행할 수 있는 공정을 바탕으로 예외적 요소를 발생시키는 부품과 공정을 파악하는 방법을 제시하고, 둘째, 이를 바탕으로 최소의 FMC간 이동을 유지하면서 부품을 할당할 수 있는 여러 부품할당 결과 중 공구의 중복수를 최소화할 수 있는 부품할당 결과를 선택하여 최소의 공구중복으로 FMC간 이동을 제거하는 방법을 제시한다.

## 2. 모형의 개발

### 2.1 가정 및 기호

본 연구는 다음과 같은 가정 하에 진행되었다.

- (1) 각 부품은 하나 이상의 공정의 수행을 필요로 한다.
- (2) 각 기계는 다수의 공정을 수행할 수 있다.
- (3) FMC는 두 대 이상의 기계로 구성된다.

본 연구에서 사용되는 기호는 다음과 같다.

$C_{i\bar{i}}$  : 부품  $i$ 와  $i'$ 이 최소의 예외적 요소 수를 유지하면서 동시에 할당 될 수 있는 기계셀들의 집합

$S_{i\bar{i}c}$  : 부품  $i$ 와  $i'$ 가 셀  $c$ 에 동시에 할당 될 때 부품  $i$ 와  $i'$ 간의 예외적 공정 유사도

$DC_{ic}$  : 기계셀  $c$ 의 부품  $i$ 에 대한 비처리능력

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

$t_{i\bar{i}c}$  : 부품  $i$ 와  $i'$ 이 기계셀  $c$ 에 할당 될 때 필요한 공구의 수

$tc_c$  : 기계셀  $c$ 의 공구용량

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

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

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

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

$$nt_{cj} = \begin{cases} 1, & \text{기계셀 } c \text{가 공정 } j \text{를 기술적으로 수행 가능한 경우} \\ -\infty, & \text{그렇지 않은 경우} \end{cases}$$

$$\alpha(nt_{cj}, a_{ij}) = \begin{cases} \infty, & a_{ij}=1 \text{ 이고 } nt_{cj}=-\infty \text{ 인 경우} \\ 0, & \text{그렇지 않은 경우} \end{cases}$$

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

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

## 2.2 예외적 공정 유사도와 수식모형의 개발

본 연구에서 예외적 요소의 제거방법은 예외적 부품간의 예외적 공정 유사도가 최대가 되도록 부품을 기계셀에 할당한 후 필요로 하는 공구를 중복하는 것이다.

### 2.2.1 비처리능력과 예외적 공정 유사도

예외적 요소의 제거에 관한 대부분의 연구에서는 주어진 셀 형성 결과를 전혀 수정하지 않고 사용한다. 일반적으로 셀 형성 방법들은 예외적 요소의 최소화만을 고려하므로 최소의 예외적 요소 수를 갖는 여러 셀 형성 결과 중 하나의 결과를 나타낸다. 따라서 여러 셀 형성 결과 중 예외적 요소의 제거시 공구 중복을 최소화할 수 있는 셀 형성 결과를 이용하여 예외적 요소를 제거하여야 한다.

본 연구에서는 이를 고려하기 위하여 부품에 대한 기계셀의 비처리능력을 파악한 후 이를 바탕으로 한 예외적 공정 유사도를 이용한다.

기계셀의 부품에 대한 비처리능력은 기계셀이 부품이 필요로 하는 공정을 얼마나 수행하지 못하는 가를 나타내는 것으로 서론에서 제시했던 두 가지 상황에 따라 다르게 산출한다. 먼저 각 기계셀이 기술적으로는 모든 공정을 수행할 수 있는 경우에는 식 (1)에 의해 산출한다.

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

각 기계셀이 수행할 공정이 기술적으로 한정적인 경우에는 식 (2)에 의해 기계셀에서 각 부품이 필요로 하는 공정을 기술적으로 수행 가능한가를 파악한 후 식 (3)에 의해 비처리 능력을 산출한다.

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

$$NDC_{ic} = DC_{ic} + DC'_{ic}, \quad i=1,2,\dots,m, \quad c=1,2,\dots,C \quad (3)$$

식 (3)은 각 부품이 필요로 하는 공정을 기계셀에서 기술적으로 처리할 수 없는 경우에는 값이 ∞로 산출되기 때문에 부품할당 자체를 할 수 없게 한다.

예외적 공정 유사도는 각 기계셀의 부품에 대한 비처리능력을 산출한 후 예외적 요소를 발생시키는 부품에 대해서만 산출하는 것으로 두 부품이 한 기계셀에 할당되었을 때 각 기계셀에서 각 부품에 대해 처리할 수 없는 공정에 따른 공구가 얼마나 유사한가를 나타내는 것이다. 이 때 두 부품 할당되는 기계셀은 예외적 요소의 수를 최소로 유지하면서 동시에 할당 가능한 기계셀만을 고려한다. 그리고 할당 가능한 기계셀은 부품과 기계셀간의 비처리능력 행렬로부터 파악한다. 예외적 공정 유사도 값의 의미를 살펴보기 위해 임의의 두부품이 예외적 공정 유사도가 1이라 하자. 이때 이 두부품을 예외적 공정 유사도 값이 1 이 되는 기계셀에 할당하면 예외적 공정 유사도가 1이 되게 하는 공정을 수행할 수 있는 공구 한 개를 중복함으로서 두개의 예외적 요소를 동시에 제거할 수 있다는 것이다. 따라서 가능한 한 예외적 공정 유사도가 큰 부품 동시에 같은 기계셀에 할당하는 것은 공구중복의 수를 최소화한다.

부품간의 예외적 공정 유사도는 식 (4)에 의해서 산출한다.

$$S_{i\bar{i}c} = \sum_{j=1}^n a(a_{icj}, a_{i\bar{i}c}) \quad \forall c \in C, \quad i, \bar{i} \in ES \quad (4)$$

### 2.2.2 수식모형

예외적 요소를 제거하기 위해 중복하는 공구 수를 최소화하기 위해서는 공구중복 수를 최소화할 수 있는 셀 형성 결과를 결정해야 한다. 이것은 예외적 공정 유사도가 최대가 되도록 부품들이 같은 셀에 할당되게 하는 것과 같다.

그러므로 식 (4)에 의해 산출되는 예외적 공정 유사도가 가능한 한 크게 되도록 부품들을 셀에 할당하게 되면 예외적 요소를 제거하기 위해 중복하는 공구 수를 최소화할 수 있다. 이를 목적함수로 하여 수식모형을 구성하면 아래와 같다.

$$\begin{aligned} & MAX \quad \sum_{i=1}^m \sum_{\bar{i}=1}^m \sum_{c \in C} S_{i\bar{i}c} X_{i\bar{i}c} \\ & s. t. \quad \sum_{c \in C} X_{i\bar{i}c} \leq 1 \quad i, \bar{i} \in ES \end{aligned} \quad (5)$$

$$\sum_{c=1}^C \sum_{\bar{i}=i+1}^m X_{i\bar{i}c} + \sum_{c=1}^C \sum_{i=1}^m X_{i\bar{i}c} \leq 1 \quad i \in ES \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{r=1}^n t_{irc} \cdot X_{irc} \leq tc_c, \quad c=1,2,\dots,C \quad (7)$$

식(5)와 식(6)은 두 부품이 최소의 예외적 요소 수를 유지하면서 동시에 할당될 수 있는 셀 중 하나의 셀에만 부품을 할당하게 하는 제약식이다. 식(7)은 각 기계셀에 추가로 할당되는 총 공구의 수가 각 기계셀의 공구 용량을 초과할 수 없다는 제약이다.

### 2.3 알고리즘

수식모형에 의해 산출되는 해는 모형의 특성상 크게 두 가지 단점을 가지고 있다. 첫 번째는 적수개의 부품에 대해서만 수식모형으로 부터 최적해를 얻을 수 있다는 점이고, 두 번째는 한 셀에 두개이상의 부품이 할당되면 먼저 할당되는 부품에 의해 중복되는 공구에 의해서 셀이 수행할 수 있는 공정이 변화되는 상황을 고려할 수 없다는 것이다.

이를 해결하기 위해서 본 연구에서는 셀의 변화되는 상황을 고려하여 수식모형을 단계적으로 적용하는 방법과 부품의 수가 홀수인 경우 마지막에 남는 하나의 부품을 이에 대응하는 셀의 상황을 고려하여 할당하는 방법을 알고리즘을 통해 제시한다.

알고리즘의 단계 1, 2에서는 예외적 요소를 발생시키는 부품과 공정을 파악한다. 단계 3, 4, 5에서는 수식모형을 단계적으로 적용하는 과정이고 단계 6, 7에서는 기계셀의 변화하는 상황을 고려한다. 단계 1에서는 서론에서 언급한 두 가지 상황에 따라 식 (3) 또는 식 (4)에 의해서 비처리능력을 산출한다.

#### 알고리즘

단계 1 : 기계셀-공정 빈도행렬과 부품-공정 빈도행렬에 의해 각셀의 부품에 대한 비처리능력 행렬을 작성한다. 이 때 각 기계셀이 기술적으로는 모든 공정을 수행할 수 있으면 식 (3)을 이용하고 그렇지 않으면 식 (4)를 이용한다.

단계 2 : 비처리능력행렬로 부터 예외적 요소를 발생시키는 부품을 파악하여 최소의 예외적 요소 수를 유지하면서 각 부품이 할당 가능한 셀과 그 셀에서 처리할 수 없는 공정과 공구를 파악한다.

단계 3 : 셀별 부품간 예외적 공정 유사도를 산출한다.

단계 4 : 수식모형을 적용하여 최적해를 산출한다.

단계 5 : 산출된 해로 부터 각 셀에 대해 한 개의 부품쌍만을 할당하고 할당된 부품쌍을 제거한다. 만약 할당 가능한 부품쌍이 한개 이상이면 중복해야 할 공구의 수가 작은 것을 선택한다. 할당해야 할 부품이 1개 이하이면 단계 7로 간다.

단계 6 : 할당된 부품에 의해 필요로 하는 공구를 추가시키고, 추가된 공구를 바탕으로 기계셀-공정 빈도행렬을 수정하여 비처리능력을 재작성한 후 단계 2로 간다.

단계 7 : 할당해야 할 부품이 없으면 알고리즘을 종료하고 아니면 할당된 부품에 의해 필요로 하는 공구를 추가시키고, 추가된 공구를 바탕으로 기계셀-공정 빈도행렬을 수정하여 비처리능력을 재 작성한 후 비처리능력이 최소가 되는 셀에 부품을 할당하고 알고리즘을 종료한다.

### 3. 수치예제

2장에서 개발한 알고리즘을 적용하기 위하여 다음의 예를 나타내었다. 23가지 부품이 5개의 기계셀에서 가공되는 상황에서 기계셀-공정 빈도행렬이 표 1과 같고 부품-공정 빈도행렬이 표 2와 같을 때 알고리즘을 적용하는 과정은 다음과 같다. 본 연구의 예제에서는 공정과 공구를 1대1 대응으로 간주하였다.

표 1. 기계셀-공정 빈도행렬(1)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	공구용량
셀1	1	1		1		1		1		1		1		1		6
셀2		1	1		1		1	1	1		1	1			1	5
셀3		1		1	1		1		1	1			1	1		6
셀4	1		1	1		1		1	1		1	1		1	1	4
셀5	1		1			1	1		1	1	1		1		1	5

표 2. 부품-공정 빈도행렬

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		1	1		1		1		1		1				1
2	1	1		1		1				1		1		1	
3			1	1			1	1	1		1		1		1
4	1		1			1				1	1		1		
5				1		1	1		1	1		1		1	
6		1			1		1	1			1	1			1
7	1	1	1			1		1		1			1		1
8				1	1		1	1		1		1		1	
9		1		1		1		1		1		1			
10					1		1	1	1		1	1			
11				1			1		1	1			1	1	
12	1					1		1			1	1		1	1
13	1			1					1		1			1	1
14			1				1			1	1		1		1
15						1		1	1		1	1		1	1
16	1		1				1		1		1				1
17		1		1					1	1			1	1	
18	1				1	1			1			1	1		1
19			1	1		1			1	1		1	1	1	1
20		1					1		1		1		1	1	1
21			1	1	1	1		1	1	1		1			
22	1	1		1		1		1		1					1
23	1	1			1	1		1			1		1		1

#### 3.1 각 기계셀이 기술적으로 모든 공정을 수행할 수 있는 경우의 알고리즘 적용

단계 1 : 표 1과 표 2에 의해서 각 부품에 대한 각 기계셀의 비처리능력을 식 (2)에 해 산출하여 요약하면 표 3과 같다.

표 3. 비처리능력행렬(1)

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

단계 2 : 비처리능력행렬(1)로 부터 예외적 요소를 발생시키는 부품과 이들이 최소의 예외적 수를 유지하면서 할당가능한 셀을 파악하면 다음과 같다.

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

작성된 표를 바탕으로 각 부품의 할당 가능한 셀에서 수행할 수 없는 공정(공구)을 표 1과 표 2를 이용하여 파악하여 정리하면 표4와 같다.

표 4. 각 셀에서 처리할 수 없는 공정에 따른 필요 공구(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

표 4에서 빈칸은 부품이 할당되면 예외적 요소의 수가 증가하는 부품별 기계셀을 나타낸다.

단계 3 : 표 4를 이용하여 셀별 부품간 예외적 공정 유사도를 산출하면 다음과 같다.





표 9. C=5일 때 부품간 예외적 공정 유사도

	P3	P5	P7	P8	P18	P19	P20	P21	P23
P3	-		1		0	1	0		1
P5		-							
P7			-		0	0	1		2
P8				-					
P18					-	0	0		1
P19						-	1		0
P20							-		1
P21								-	
P23									-

각 표에서 빈칸은 두 부품이 동시에 할당될 수 없는 셀을 나타낸다.

단계 4 : 표 5,6,7,8,9에 수식 모형을 적용하면 다음의 결과를 얻을 수 있다.

목적함수값=5

$X_{3,20,2}=1$   $X_{5,8,3}=1$   $X_{18,21,4}=1$   $X_{7,23,5}=1$

부품 및 공구 할당결과는 다음과 같다.

기계셀	할당된 부품	중복된 공구
1	-	-
2	3,20	4,13,14
3	5,8	6,8,12
4	18,21	5,10,13
5	7,23	2,5,8

할당된 부품을 제거한 후 할당해야할 부품은 다음과 같다.

부품 19

단계 6 : 중복된 공구에 의해서 기계셀-공정 빈도행렬을 수정하면 다음과 같다.

표 10. 기계셀-공정 빈도행렬(2)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
셀1	1	1		1		1		1		1		1		1	
셀2		1	1	1	1		1	1	1		1	1	1	1	1
셀3		1		1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	
셀4	1		1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1
셀5	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1		1		1

표 10에서 빗금친 부분은 중복된 공구에 의해서 각 셀이 추가로 수행할 수 있는 공정을 나타낸다.

표 10과 표 2에 의해서 비처리능력행렬을 구하면 다음과 같다.

(표 3에서 예외적 요소가 발생하는 부품에 대해서만 작성)

표 11. 비처리능력 행렬(2)

	cell 1	cell 2	cell 3	cell 4	cell 5
P19	3	2	2	0	2

단계 2 : 비처리능력행렬(2)로 부터 부품 19는 기계셀 4에 할당될 때 예외적 요소를 발생시키는 않는다. 따라서 부품 19를 기계셀 4에 할당한다.

더 이상 할당할 부품이 없으므로 알고리즘을 종료한다. 이상의 결과를 요약하면 다음 표와 같다.

기계셀	할당된 부품	중복된 공구
1	-	-
2	3,20	4,13,14
3	5,8	6,8,12
4	8,21	5,10,13
5	7,23	2,5,8
중복된 공구의 총수		12

전체 부품 할당 결과를 요약하면 표 12와 같다.

표 12. 총 부품 할당 결과

	기계셀에서 수행할 수 있는 공정		부품셀에 속하는 부품과 필요로 하는 공정
기계셀1	1,2,4,6,8,10,12,14	부품군1	부품 2, 9, 22
	DT : -		1,2,4,6,8,10,12,14
기계셀2	2,3,5,7,8,9,11,12,15	부품군2	부품 1, 3, 6, 10, 20
	DT : 4,13,14		2,3,4,5,7,8,9,11,13,12,14,15
기계셀3	2,4,5,7,9,10,13,14	부품군3	부품 11, 17, 5, 8
	DT : 6,8,12		2,4,5,6,7,8,9,10,12,13,14
기계셀4	1,3,4,6,8,9,11,12,14,15	부품군4	부품 12,13,15,18,21,19
	DT : 5,10,13		1,3,4,5,6,8,9,10,11,12,13,14,15
기계셀5	1,3,6,7,9,10,11,13,15	부품군5	부품 4, 14, 16, 7, 23
	DT : 2,5,8		1,2,3,5,6,7,8,9,10,11,13,15

※DT : 중복된 공구에 의해서 수행할 수 있는 공정

### 3.2 각 기계셀이 기술적으로 수행할 수 있는 공정이 한정적인 경우의 알고리즘 적용

표 1은 각 기계셀이 기술적으로 모든 공정을 수행할 수 있는 경우이다. 본 절에서는 각 기계셀이 기술적으로 수행할 수 있는 공정이 한정적인 것을 고려하기 위하여 이를  $-\infty$ 로 표현하여 나타낸 것이 표 13이다. 이것을 바탕으로 식 (3)에 의해서 비처리능력을 산출하여 요약하면 표 14와 같다. 표 14에서  $\infty$ 는 부품이 기계셀에 할당되었을 때 기술적으로 수행할 수 없는 공정이 존재한다는 것을 의미한다.

표 13. 기계셀-공정 빈도행렬(2)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	공구용량
셀1	1	1	$-\infty$	1		1		1		1		1	$-\infty$	1	$-\infty$	5
셀2	$-\infty$	1	1		1	$-\infty$	1	1	1		1			$-\infty$	1	5
셀3	$-\infty$	1		1	1		1		1	1	$-\infty$		1	1	$-\infty$	5
셀4	1	$-\infty$	1	1		1	$-\infty$	1	1		1	1		1	1	5
셀5	1		1	$-\infty$		1	1		1	1	1	$-\infty$	1		1	5

표 14. 비처리능력행렬(2)

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

표 14에 의해서 예외적 요소를 발생시키는 각 부품이 할당 가능한 셀을 파악하면 다음 표와 같다.

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

작성된 표를 바탕으로 각 부품의 할당 가능한 셀에서 수행 할 수 없는 공정(공구)을 표 13과 표 2를 이용하여 파악하여 정리하면 표 15와 같다.

표 15. 각 셀에서 처리할 수 없는 공정에 따른 필요 공구(2)

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

이상의 결과를 바탕으로 3.1의 방법과 같이 부품과 공구 추가할당을 요약하면 다음 표와 같다.

기계셀	할당된 부품	중복된 공구
1	5,8	5,7,9
2	3	4,13
3	-	-
4	18,19,21	5,10,13
5	7,20,23	2,5,8,14
중복된 공구의 총수		12

표 16은 전체 부품 할당 결과를 나타낸 것이다.

표 16. 셀 형성 결과

	기계셀에서 수행할 수 있는 공정		부품셀에 속하는 부품과 필요로 하는 공정
기계셀1	1,2,4,6,8,10,12,14	부품군1	부품 2, 5, 8, 9, 22
	DT : 5,7,9		1,2,4,5,6,7,8,9,10,12,14
기계셀2	2,3,5,7,8,9,11,12,15	부품군2	부품 1, 3, 6, 10
	DT : 4,13		2,3,4,5,7,8,9,11,12,13,15
기계셀3	2,4,5,7,9,10,13,14	부품군3	부품 11, 17
	DT : -		2,4,5,7,9,10,13,14
기계셀4	1,3,4,6,8,9,11,12,14,15	부품군4	부품 12,13,15,18,21,19
	DT : 5,10,13		1,3,4,5,6,8,9,10,11,12,13,14,15
기계셀5	1,3,6,7,9,10,11,13,15	부품군5	부품 4, 14, 16, 7, 20, 23
	DT : 2,5,8		1,2,3,5,6,7,8,9,10,11,13,15

\*DT : 중복된 공구에 의해서 수행할 수 있는 공정

#### 4. 결론

여러 개의 FMC로 구성된 FMS를 보다 효율적으로 운영하기 위해서는 FMC를 독립적으로 운영하는 것이 바람직하다. 이를 위해서는 셀화 제조 시스템에서의 예외적 요소와 같은 의미인 FMC간의 부품 이동을 제거해야 한다.

본 연구는 FMS의 장점 중 각 기계가 다수의 공정을 수행할 수 있다는 것을 이용하여 기계 중복에 비해 작은 비용이 소요되고 추가로 사용되는 면적이 필요 없는 공구중복을 통하여 FMC간의 부품 이동을 제거하는 상황을 연구의 대상으로 하였다.

본 연구에서는 주어진 각 FMC에서 수행 가능한 공정을 바탕으로 FMC간 이동을 발생시키는 부품과 공정을 파악하는 방법을 제시하고, 최소의 예외적 요소 수를 유지하면서 부품을 할당할 수 있는 여러 부품 할당결과에 대한 예외적 공정 유사도를 개발하였다. 이를 바탕으로 예외적 요소의 제거시 공구의 중복수를 최소화할 수 있는 부품할당 결과를 선택하여 최소의 공구중복으로 예외적 요소를 제거하는 수식모형과 알고리즘을 제시하였다.

#### 5. 참고문헌

- [1] N. E. Dahel And S. B. Smith, "Designing Flexibility into Cellular Manufacturing System", INT.J.PROD.RES., 1993, VOL. 31, NO. 4, 933-945.
- [2] Gary M. Kern And Jerry C. Wei, "The Cost of Eliminating Exceptional Elements in Group Technology Cell Formation", INT. J.PROD.RES., 1991, VOL. 29, NO. 8, 1535-1547.
- [3] Seifoddini H., Wolfe, "Application of the Similarity Coefficient Method in Group Technology", IIE Transactions, 1986, September, 271-277

- [4] Seifoddini H., "*Duplication Process in Machine Cells Formation in Group Technology*", IIE Transactions, 1989, Vol. 21, NO. 4, 382-388
- [5] Scott M. Shafer, Gary M. Kern And Jerry C. Wei, "*A Mathematical Programming Approach for Dealing with Exceptiona Elements in Cellular Manufacturing*", INT.J.PROD.RES., 1992, Vol. 30, No. 5, 1029-1036.
- [6] Scott M. Shafer And Rogers D. F., "*Similarity and Distance Measures for Cellular Manufacturing. Part I. A Survey*", INT.J. PROD.RES., 1993, Vol. 31, No. 5, 1133-1142.