

# 셀 생산 시스템의 통합 구조

## An Intergrated Framework for a Cellular Manufacturing System

이 노 성, 임 춘 우\*

**Abstract** : The objective of this paper is to provide an alternative framework for the integration of process planning and scheduling in cellular manufacturing. The concept of an integrated cellular manufacturing system is defined and the system architecture is presented. In an integrated cellular manufacturing system, there are three modules : the process planning module, the manufacturing-cell design module, and the cell-scheduling module. For each module, the tasks and their activities are explained.

**Keywords** : cellular manufacturing, process planning, manufacturing-cell design, cell-scheduling

### 1. 서 론

최근 몇 년동안 생산기술은 고객의 요구에 대응하고 전세계 시장에서의 경쟁을 위해 변화해 왔다. 특히 컴퓨터의 도래와 함께, CIM은 이러한 목적을 충족시키는데 유용한 것으로 인식되고 있다. 현재의 생산환경에서 여러 생산기능들이 CIM에 의해 효율적으로 제어되고 있지만, 세 가지 주요 요소들, 공정계획, 셀 설계, 스케줄링은 별개로 또는 순차적으로 수행되어 왔다. 예를 들면, 숙련작업자들은 작업장에서 스케줄링 문제때문에 공정계획이 자주 변경된다고 보고한다. 그러나, 공정계획은 다른 생산기능에 의해 영향을 받지 않거나 관계가 없는 독자적인 특성으로 고려되고 있다.[3,4] 이와 같은 생산시의 많은 비현실적인 요소들은 다음과 같다.[4]

- (1) 특정 형태의 부품을 하나의 기계만이 처리한다.
- (2) 하나의 부품은 하나의 셀에서 구성된다.
- (3) 대부분의 셀 구성 알고리즘은 부품들에 대해 고정된 경로를 이용한다.
- (4) 공정계획은 자원을 무제한적으로 가정한다.
- (5) 공정계획은 공장이 100% 유휴 상태인 것으로 가정한다.
- (6) 원하는 머신들은 여러 공정계획자들에 의해 반복적으로 선택된다.
- (7) 주어진 부품에 대해 단지 하나의 공정계획만이 존재한다.
- (8) 스케줄링은 공정 계획 단계 뒤에 온다.

그러나 이러한 사실사이에는 어떤 관계들을 발견할 수 있으며, 공정계획상에서 생산처리능력의 양과 유용성을 고려한다면 피해갈 수 있는 요소들이다. 예를 들면, 생산셀에서 스케줄의 품질은 부품 군과 머신셀을 어떻게 생산셀로 그룹화 하는가와 공정계획이 어떻게 이루어지는가에 따라 결정되므로 중요한 관계가 설정될 수 있다.

공정계획은 제조공정을 순서화하고 제어하기 위한 기본적인 정보를 제공한다. 이것은 CAD와 CAM의 연결을 제공하기 때문에 설계단계와 제조단계에서의 중요한 요소이다. 셀 설계의 주요 목적은 도출된 공정계획의 유사성을 기반으로 생산시스템을 부시스템들로 구성하는 것이다. 생산셀을 구성한 후, 각 셀에 대한 스케줄이 결정된다. 스케줄은 매우 동적인 공정이며, 작업 순서의 변화, 머신 고장, 자재의 부족 및 다른 예기치 않은 문제들의

여러가지 상황에 영향을 준다. 성공적으로 CIM의 목적을 달성하기 위해 이러한 세 가지 요소들을 효율적으로 통합하는 것이 필요하다. 따라서 생산계획의 세 가지 주요기능, 즉, 공정계획, 셀 설계, 스케줄링에 대한 각각의 고찰과 상호 관계의 연구가 이루어져야 한다.

### 2. 통합 셀 생산시스템의 정의

#### 2.1 통합 셀 생산시스템의 정의

통합 셀 생산시스템의 기본 구조는 셀 생산 환경아래에서의 통합된 계획과 제어시스템이다. 통합 셀 생산시스템의 목적은 세 가지 주요 요소, 즉 공정계획, 셀 설계, 셀 스케줄링을 통합하는 것이다. 통합 셀 생산시스템을 수행하는데 있어서, 이러한 요소들의 상호작용으로 인한 많은 결정들이 이루어진다. 이러한 결정들 사이의 계층적 관계들은 다음과 같다.

##### 단계 1 : 준비

- 머신, 툴, 지그, 고정물, 그리고 다른 생산변수들(즉, 절삭 변수들과 공정순서)
- 공정계획의 준비
- 공정계획의 경제적 검증

##### 단계 2 : 그룹화와 할당

- 머신셀과 부품군을 포함한 생산셀의 구성
- 부품군을 머신셀로 할당
- 각 셀의 머신들에 부품들의 할당

##### 단계 3 : 스케줄링과 시퀀싱

- 각 셀에서 부품의 스케줄링과 시퀀싱

#### 2.2 통합 셀 생산시스템의 이점

대부분의 공정계획 시스템의 주요 목표는 주어진 생산환경에서 각 부품에 대한 최적의 공정계획을 만드는 것이다. 공정계획 시스템은 기술적, 경제적인 점을 고려하여 더 나은 생산 프로세스를 선택하지만, 각 부품에 대해 정적인 방법으로 머신을 그룹화하고 순서를 정한다. 결과적으로 다수의 머신들이 과부하될 수 있으며, 과부하된 머신들은 쉽게 병목현상을 일으킨다.[2]

실제적으로 작업장에서 공정계획과 스케줄링사이의 문제 때문

\* 특허청 특허심사관

\*\* LG생산기술원 책임연구원

에 공정계획은 자주 수정된다. 그런 문제를 해결하기 위해 동적인 공정계획 접근법이 요구된다.[3] 동적인 공정계획 접근법은 현재의 설비상태를 고려하여 또다른 공정계획을 만들어 내는 능력을 가지기 때문에 원안과 대안을 동적으로 할당하면 생산율과 머신 활용도가 개선된다.

공정계획과 스케줄링이 분리된다면 계획된 스케줄이 작업흐름을 따라가지 못할 것이라는 점에서 두 기능의 통합은 중요하다. 두 기능의 분리는 생산 스케줄링에서 유연성과 적응성의 결핍을 가져온다. 또한 두 기능의 통합은 각 기능이 상충되는 면을 가지기 때문에 주의깊게 고려되어야 한다. 즉, 공정계획 기능은 작업의 기술적인 면을 강조하고, 스케줄링 기능은 자원의 할당을 강조한다.

통합 셀 생산시스템의 이점은 다음과 같이 요약된다.

- (1) 설계 단계에서, 생산단계의 생산셀의 운영이 통합 셀 생산 시스템상에서 시뮬레이션될 수 있다. 이러한 시뮬레이션은 병목 현상과 같은 예기치 않은 사건을 피할 수 있다.
- (2) 각 공정에 대한 대체 머신들을 정해줌으로써 생산의 유연성을 높일 수 있으며, 완전한 생산셀을 구성할 수 있다.
- (3) 완전한 생산셀을 구성함으로써 머신과 부품들의 병목 현상을 제거할 수 있다. 그러므로 물류비가 감소된다.
- (4) 대체 머신으로부터 대체 경로 문제가 동시에 고려될 수 있다. 대체 경로를 설정함으로써 스케줄링 조건을 최적화할 수 있다.
- (5) 흐름방식의 정보가 자주 갱신된다. 통합 셀 생산시스템에서 생산단계의 정보는 실시간에 제어된다. 그러므로 통합 셀 생산시스템에서 실시간 흐름방식의 제어가 이루어진다.
- (6) 통합 셀 생산시스템에 의해 생산 계획에서의 시스템적인 접근이 이루어진다.

### 3. 통합 셀 생산 시스템의 구조

통합 셀 생산 시스템의 구조는 그림 3.1에 나타난다. 통합 셀 생산 시스템에서는 세 개의 모듈, 즉, 공정계획 모듈, 생산셀 설계 모듈, 셀 스케줄링 모듈이 있다.

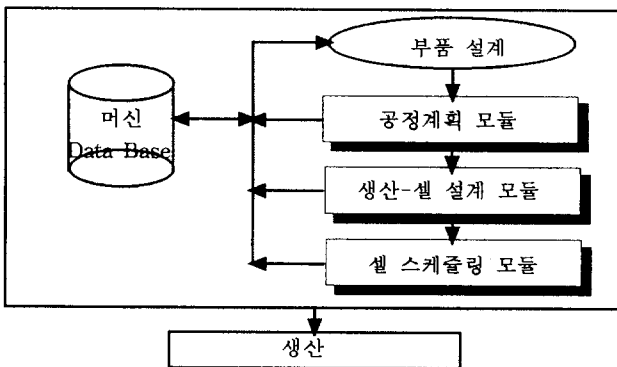


그림 1 통합 셀 생산 시스템의 구조  
Fig. 1 Architecture of Integrated Cellular Manufacturing System

공정계획 모듈은 CAD 데이터와 접속해서 주어진 부품에 대한 공정계획을 만들어 낸다. 이 모듈로부터 얻어진 생산정보로부터 머신셀과 부품군들이 형성된다. 각 셀에 대한 공정순서가 셀 스케줄링 모듈에서 결정된다. 상세한 것은 아래에서 설명된다.

#### 3.1 공정계획 모듈

부품이나 제품의 설계가 완료되었을 때, 공정계획이 시작된다.

설계의 결과로 재료비, 설계도면과 함께 생산데이터가 얻어진다. 공정계획이 설계와 생산을 잇는 연결고리와 같기 때문에 설계데이터의 해석, 머신들의 선택, 공정순서의 선택과 같은 일련의 단계들이 공정계획의 역할에 포함된다. 기본적인 작업들이 표 2에 요약되어 있다.

표 1 공정계획의 기본적인 작업  
Table 1 Fundamental Tasks of Process Planning

작업	내용
1. 공정순서 계획	· 제품구조 · 공정계획 · 방법계획
2. 공정시간 계획	· 시간연구 · 허용된 시간 계산
3. 생산단가 계획	· 재료비 결정 · 생산장비 단가 결정 · 필요 작업량 계획
4. 생산장비 계획	· 머신 톨 계획 · 톨/기구 계획 · 특별한 생산장비 계획
5. 작업장 계획	· 공장 설계 · 작업장 설계 · 작업영역 설계

공정계획 모듈은 여러 가지 작업을 수행한다. 이러한 작업들의 흐름이 그림 2에 나타난다. 이들의 역할이 서로 독립적이지 않음이 명확하다. 각 역할들을 계획하기 전에 많은 연관관계들을 고려하여야 한다.

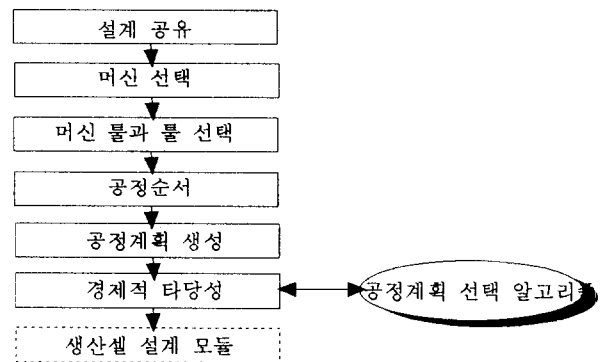


그림 2 공정계획 모듈  
Fig. 2 Process Planning Module

#### 설계 접속

공정계획 모듈에서 첫 번째 단계는 CAD 데이터로부터 필요한 부품정보를 얻는 것이다. 설계도면을 부품정보로 변환하는 일을 설계 접속이라고 한다. 부품 정보는 부품의 모든 개념, 즉, 부피, 공차, 표면 마스크, 공정계획초기단계의 다른 기술적인 사양 등을 포함한다. 접속을 통해서 제조 및 생산 제어를 위한 모든 정보를 얻어야 한다. 접속시에 요구되는 조건은

- (1) 모든 생산정보를 다룰 수 있는 능력
- (2) 손실없는 정보의 관리
- (3) 다루는 데이터 개체의 수를 최소화
- (4) 다른 표준과의 호환성

설계 접속시에 모델 분할과 특성 인식이 이루어져야 한다. 모

델 분할은 부품으로부터 특성을 분리하는 과정이다. 기하학적 본질을 파악함으로써 특성들이 확인될 때까지 반복된다. 특성은 구멍, 홈, 포켓, 스텝과 같은 특정한 기하학적인 구성 형태로 정의될 수 있다. 이는 기하학에 관해서 부품의 정보를 담고 있다. 특성 인식은 특성의 의미를 분류하고 판정하는 것이다. 이것은 기하학적으로 추론하는 일반적인 이론이 없을 뿐만 아니라 특성의 정의가 정확하지 않기 때문에 어려운 문제이다.

통합적인 패턴 인식 방법, 기하학적 분할 방법, 논리 방법, 그라프 기반 방법 등과 같은 설계 접속에 관한 여러 가지 접근법들이 있다. 이들 중에서, 통합적인 패턴 인식방법이 추천된다.

- (1) 개발된 실제작업의 대부분이 이러한 접근법에 기반을 두고 있고,
- (2) 이 접근법은 알려지지 않은 특징이 주어졌을 때 특징을 인식할 수 있다.

### 머신 선택

부품의 제조시에 각 공정의 머신 선택은 제조된 부품의 질과 생산효율, 제조 단가와 밀접하게 관련되어 있기 때문에 공정계획상의 중요한 역할중의 하나이다. 특성 및 공정 정보의 수로부터, 적절한 머신 집합이 선택될 수 있다. 볼들의 집합, 부가적인 기구들, 주어진 가격에 수행되는 공정들이 이러한 선택과 관련있다. 그 기본 구조는 다음과 같은 이유로 유용하게 이용된다.

- (1) 머신들은 고정된 특성을 가진다.
- (2) 머신에 대한 지식 베이스는 작업장에서 머신들의 수가 제한되기 때문에 그다지 크지 않다.

각 기본 구조에 대해, 머신의 형태, 공정 형태, 주 마력, 속도 범위, 축 토오크, 정확성, 가격 등이 포함되어야 한다. 부가적으로 이러한 능력들이 요구조건과 일치해야 한다.

기계 활용도를 최대화하고 병목현상을 제거하기 위해, 통합 셀 생산시스템은 한 공정당 다른 우선권을 가진 복수의 머신을 할당한다. 이를 "대체 머신들"이라 한다. 이러한 대체 머신들이 유용하면 완전한 생산셀이 형성될 수 있다.

### 머신 톨/설비 선택

머신톨과 설비(즉 지그와 고정물, 절단기, 측정기등)의 선택은 톨뿐만 아니라 톨이 사용될 머신을 포함한다. 머신톨 선택은 기계 작업의 정확성, 생산비, 공정당 단위 비용에 크게 영향을 미친다. 톨 선택시에 고려해야 할 많은 요소들은 다음과 같다.

- (1) 톨 형태와 톨 접근 방향
- (2) 톨 기하
- (3) 톨 재료
- (4) 머신 공정과 머시닝 데이터의 형태
- (5) 기계 가공되는 용적과 표면의 형태
- (6) 준비 및 머시닝 시간 및 비용

지그와 고정물은 머신톨상에서 작업물을 고정하는데 유용하다. 가능하면 칩크, 바이스, 턴테이블과 같은 지그 및 고정물들이 선택되어야 한다. 특별한 목적의 지그와 고정물은 머시닝의 정확성을 확보하고, 생산율을 증가하고, 필요한 노동력을 감소하기 위해 절대적으로 필요할 때만 선택되어야 한다. 이러한 작업을 수행하는데, 경험이 톨기반 시스템으로 나타나는 전문가 시스템이 추천된다.

### 공정순서

공정순서를 정하는 작업은 매우 복잡한 문제이다. 단일 기계에서 처리된 많은 공정들은 순서를 달리하여 처리될 수 있다. 효율을 최대화하도록 대체 순서들을 선택하는 것이 추천된다. Wang은 공정 순서를 정하는 4가지 큰 범주로서

- (1) 공정 조건
- (2) 기하 조건

(3) 톨링 조건

(4) 역학 조건에 기초한 분류를 하였다.[5]

공정의 수가 증가함에 따라 순서의 수도 크게 증가한다. 정확한 분석적 해를 찾는 것은 불가능하다. 그러므로 공정순서를 위한 경험적인 접근법을 활용하는 것이 가치 있다.

### 공정계획 생성

생산공정이 계획되면, 공정계획들이 생성되고 관리되어야 한다. 공정계획 모듈의 출력인 공정계획은 생산을 체계화하는 작업장 및 공정을 수행하는 개인의 지침으로 이용된다. 작업의 정보를 제공하고 공정을 제어하는 것은 필수적이다. 공정계획은 부분적인 기능의 결과, 즉, 공정순서 계획, 생산장비 계획, 공정시간 계획 등등을 문서화한다. 공정계획시에 언제, 어디서, 어떤 수단으로, 어떤 순서로, 어떻게 무엇으로 제조되어야 하는가 하는 정보는 정확하게 정해져야 한다.

### 경제적 검증

선택된 공정계획을 검증하기 위해, 통합 셀 생산시스템에서는 퍼지 정량화 이론을 이용한 공정계획 선택 알고리즘을 선택한다. 주어진 부품과 제품들에 대해 많은 공정계획이 있다. 이러한 공정계획들은 주어진 생산환경에서 적합성 및 상대적인 가격에 의해 특정 지워질 수 있다.[6] 최상의 공정계획은 생산비와 작업시간을 최소화하고 품질을 최대화하는 것이다. 퍼지 정량화 이론을 이용한 공정계획 알고리즘은 다수의 속성값을 비교하여 많은 공정계획들 중에 하나의 공정계획을 선택하는 것이다.

### 3.2 생산셀 설계 모듈

셀을 구성하는 기능은 생산셀에서 머신들을 지정하고 부품들을 머신들에 할당하는 것이다. 셀 레이아웃은 셀 구성의 결과로 결정되기 때문에 설계와 제조에서 매우 중요한 단계이다. 위치와 레이아웃은 셀간 이동시간과 병목 현상의 발생에 영향을 준다.[1] 그림 3은 생산셀을 설계하는 모듈의 역할이다.

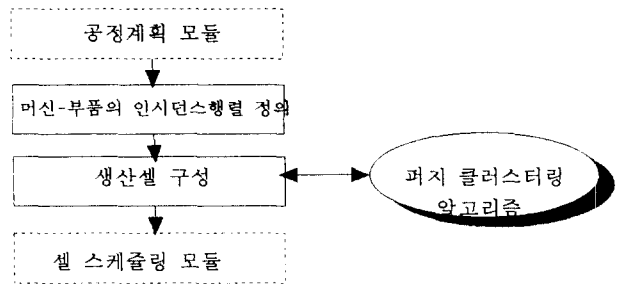


그림 3 생산셀 설계 모듈

Fig. 3 Manufacturing-cell Design Module

이 모듈의 입력은 공정계획 모듈로부터 주어진 부품에 대한 선택된 공정계획이다. 공정계획에서 사용되는 부품들과 머신들 사이의 관계는 머신-부품 인스턴스 행렬에 의해 표현된다. 이 정보로부터 통합 셀 생산시스템은 퍼지 클러스터링 알고리즘을 사용하여 생산셀을 결정한다. 생산셀의 구성시에 셀 생산방식에 관련된 다음 속성들을 기억해야 한다.[1]

- (1) 셀들의 총 수
- (2) 머신 형태의 총 수
- (3) 톨, 고정물, 물류 장비
- (4) 셀 레이아웃
- (5) 병목 머신들을 가진 셀들의 수

### 3.3 셀 스케줄링 모듈

생산셀이 구성되었을 때, 각 생산셀의 순서가 결정되어야 한

다. 생산셀은 머신들과 부품들로 구성된다. 각 부품을 처리할 하나 이상의 머신이 요구되며, 이때 준비 시간, 작업시간, 만료일이 필요하다. 셀 스케줄링은 어떤 성능 평가 조건이 최적화되도록 머신이 부품을 처리하는 순서를 결정하는 것이다. 셀 스케줄링 문제는 2개의 계층 구조상에서 이루어진다. 첫 번째 단계는 효율성을 최대화 또는 최소화하기 위하여 각 셀내의 머신들의 순서를 결정하는 것이며, 두 번째 단계는 셀간의 순서를 결정하는 것이다. 본 연구에서는 첫 번째 단계가 고려된다.

셀 스케줄링은 다음과 같은 요소들에 의해 특정 스케줄링 문제로 분류될 수 있다.

- (1) 스케줄링된 부품들의 수
- (2) 단일 셀내의 머신들의 수
- (3) 생산설비 형태 (흐름 방식 또는 작업 방식)
- (4) 부품들이 설비에 도달하는 방법 (정적 또는 동적)
- (5) 대체 스케줄링안을 평가하는 조건

셀 스케줄링에서 가장 중요한 요구조건은 부품 균을 가지는 것이며, 부품군의 수에 따라 셀 스케줄링 문제의 영역이 줄어든다. 일반적인 스케줄링 개념 아래서는 모든 부품들이 하나의 부품군에 포함되기 때문에 최적의 공정순서를 발견하는 것은 어렵다. 그러나 셀 스케줄링에서는 생산시스템이 부시스템(생산셀)으로 나누어지기 때문에 문제의 크기가 축소된다.

셀 스케줄링은 통합 셀 생산시스템의 마지막 단계이다. 공정계획 및 생산설 설계모델의 결과를 바탕으로 셀 운영방법이 결정된다. 셀 스케줄링 모듈의 기능은 그림 4에 보여진다. 셀 스케줄링 모듈의 입력은 부품리스트, 머신 리스트, 작업시간, 동작순서와 생산 품질과 같은 각 생산셀에서의 정보이다. 생산셀들이 정해지면, 셀 운영방법은 셀 스케줄링 알고리즘을 사용하여 시뮬레이션된다.

셀 스케줄링은 순수한 또는 수정된 흐름방식에서의 일반적인 스케줄링 문제와 같다. 수정된 흐름방식이 작업 방식과 유사한 특성을 가지기 때문에, 작업 방식을 위해 개발된 스케줄링 알고리즘들이 사용될 수 있다. 통합 셀 생산시스템에서는, 이러한 기본구조에서 셀 스케줄링 문제가 잡 흐름방식에 속하기 때문에 exchange-heuristic 알고리즘을 적용하였다.[7] Exchange-heuristic 알고리즘은 일반적인 작업 방식 스케줄링 문제에 대해 짧은 기간 내에 좋은 스케줄을 제공할 수 있는 효율적인 알고리즘이다. 병목현상이 존재할지라도, 주어진 성능평가 조건들을 만족할 때까지 생산셀은 생산설 설계 모듈로부터 재설계된다.

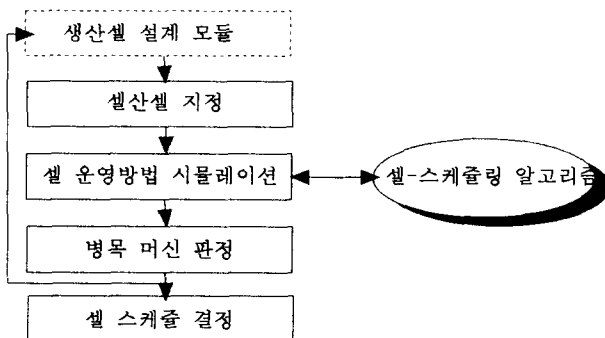


그림 4 셀 스케줄링 모듈  
Fig. 4 Cell-scheduling Module

#### 4. 결 론

셀 생산방식은 생산시 부품 및 작업공정의 유사성을 이용하여

생산효율을 증가하는데 사용된 철학이며 혁신이다. 공장을 조직화하기 위해, 생산시스템을 주어진 조건에 따라 생산셀들로 불러지는 부 시스템들로 분할한다. 생산셀은 부품군과 머신셀을 포함한다. 따라서, 셀 생산방식의 주요 특성은 복잡한 생산시스템을 공정계획 및 스케줄링에 의해 다루기 어렵지 않은 생산셀 단위로 분할하는 것이다. 셀 생산방식으로부터 구해진 주요 이점은 준비시간과 비용의 절감, 물류의 간소화, 생산 공정의 표준화이다.

통합 셀 생산시스템에는, 공정계획 모듈, 생산설 설계 모듈 그리고 셀 스케줄링 모듈의 세 가지 모듈로 구성되어 있다. 통합 셀 생산시스템의 목적은 생산계획의 세 가지 주요 기능들을 통합함으로써 작업흐름과 관련된 성능지표를 최대화하는 것이다. 이러한 통합의 중요성은 최근에 증가해 왔으나, 이 분야에 대한 연구가 아직은 미미한 실정이며, 최근의 문헌조사에서 볼 때 셀 단위 생산에 대한 유용한 생산계획 및 스케줄링 시스템이 존재하지 않고 있다.

본 연구에서는 공정계획 모듈과 생산설 설계 모듈, 셀 스케줄링 모듈과 같은 세 가지 모듈로 이루어진 통합 셀 생산시스템의 기본 구조를 제공하였다. 특히, 공정계획과 스케줄링 기능의 통합으로 두 기능사이에 오랫동안 상충되어왔던 문제들을 해결하였다. 이러한 많은 문제들은 두 기능의 기본적인 본질, 즉, 스케줄링 기능은 제조 공정의 시간성분에 매우 의존적인 반면에, 공정계획은 그렇지 않은 것으로부터 유래되었다. 통합 셀 생산시스템은 제품 설계를 입력으로 받아들이는 시스템으로 가정하였으며, 셀 생산환경하에서 생산 스케줄을 포함하는 공정계획에 의해 이러한 입력을 처리하였다.

통합 셀 생산시스템에서는 설계와 생산활동과 관련된 모든 기능들을 적절히 통합해야 하는 것을 의미하나, 본 연구에서는 단지 세 가지 기능만을 고려하였다. 그러나 더 생산적인 생산시스템을 위해, MRP, 설비 배치 계획, 마케팅과 같은 기능을 고려한 통합에 대해 연구가 계속 되고 있다.

#### [참고문헌]

- [1] Afzulpurkar, S., Huq, F., and Kurpad, M., "An alternative framework for the design and implementation of cellular manufacturing", International Journal of Operations & Production Management, Vol. 9, pp.4-17, 1993.
- [2] Hou, T. H., and Wang, H. P., "Integration of a CAPP system and an FMS", Computers and Industrial Engineering, Vol. 20, pp.231-242, 1991.
- [3] Srihari, K., and Greene, R. J., "Alternate routings in CAPP implementation in a FMS", Proceedings of the 10th annual Conference on Computers and Industrial Engineering, Vol. 15, pp.41-50, 1988.
- [4] Wemmerlov, U., and Hyer, N. L., "Research issues in cellular manufacturing", International Journal of Production Research, Vol. 25, pp.413-431, 1987.
- [5] Wang, H. P., and Li, J. K., Computer-Aided Process Planning, Elsevier, Amsterdam, 1991.
- [6] Sani, E. T., and Davis, R. E., "Feature-based distributed computer aided process planning system", Advances in Integrated Product Design and Manufacturing, pp.163-179, 1990.
- [7] Yang, T., Ignizio, J. P., and Song, J. S., "An exchange heuristic for project scheduling with limited resources", Engineering Optimization, Vol. 14, pp. 189-205, 1989b.