

論文93-30B-3-4

# FMC 의 모델링과 지능형 스케줄링

## (Modeling and Intelligent Scheduling for FMC)

徐 奇 成\*, 李 爐 成\*, 安 寅 錫\*, 朴 勝 奎\*, 李 揆 浩\*\*, 禹 廣 芳\*

(Ki Sung Seo, Noh Sung Lee, Ihn Seok Ahn, Seung Kyu Park, Kyu Ho Lee and Kwang Bang Woo)

### 要 約

본 논문에서는 FMC(Flexible Manufacturing Cells)의 모델링과 스케줄링에 관한 연구를 수행한다. 단위셀 또는 다중셀로 구성된 FMC는 기기의 유연성으로 인해 향상된 생산 능력이 부여되나, 다중 작업의 동적 특성과 다양한 상태 변화로 인해 전체 운영을 위한 제어기능이 매우 복잡하다. 단기 생산 계획과 동적인 오퍼레이션의 스케줄링을 담당하는 FMC의 복잡한 DECS 특성을 표현하기 위해 확장된 페트리 넷트를 사용하여 시스템을 모델링하였으며, FMC의 효율적 운영을 위해 계층 제어 구조의 도입 및 전문가 결정 모듈에 의한 지능형 스케줄러를 구현하였다. 대상 FMC 모델에 대한 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 지능형 스케줄링 방법이 다양한 성능 지수면에서 경험적 규칙에 의한 방법보다 우수함을 알수 있었다.

### Abstract

This paper deals with the modeling and scheduling for FMC(Flexible Manufacturing Cells). The FMC system composed of unit or multi cells is capable of improving productivity with flexibility for machine. However, the properties of multiple jobs and various alternatives results in the dynamic states which make system management very complex. The extended Petri nets are used to represent for complex properties of FMC which performs short-term scheduling and dynamic operational scheduling. The hierarchical control structure and intelligent scheduling through expert module are adopted for efficiency of FMC operations. The computer simulation reveals that intelligent scheduling method is better than heuristics in various performance indices.

### 1. 서 론

CIM에 대한 연구가 최근 활발히 진행되고 있으며, 팩토리 레벨에서 CAD, CAPP, MRP등 별개의 기능에 대한 통합 작업이 수행되고 있다. 그리고 생산

시스템의 완전한 통합을 위하여 팩토리 레벨과 머신 레벨을 연결시켜주는 샵 플로어와 셀 레벨의 기능 구현이 중요 관심 과제가 되고 있으며, 이들 레벨에 유연성이 부여된 FMC의 효율적인 운영기법 연구가 활발해 지고 있다.<sup>1)</sup>

그러나 지금까지의 연구<sup>2)6)</sup>는 대부분이 셀 레벨에 대해서는 일부만 언급되었고, 주로 FMS이상의 상위 레벨을 대상으로 한 것이거나 로봇트 자체 동작만을 고려한 것이다. 이 두 레벨을 연결시켜주는 샵 플로어 레벨과 셀 레벨을 포함하는 FMC에 대해서는 모

\*正會員, 準會員\*\*, 延世大學校 電氣工學科  
(Dept. of Electronical Eng., Yonsei Univ.)  
(※ 본연구는 ERC의 지원으로 수행되었음.)  
接受日字 1992年 10月 15日

델링등의 몇몇 연구를 제외하고는 중요성에 비해 충분히 검토되지 않고 있다.

FMC 운영과 제어는 다중 작업의 특성과 동적으로 변화하는 상태에서 연유되는 수많은 대안들로 인해 매우 복잡한 문제이다. 즉, 시스템의 특성상 동적인 실시간 제어가 요구되고 작업의 할당과 경로 설정에 대한 상태공간이 많이 존재하며, 각각에 대해 계층적으로 하위 레벨인 머신 동작 시퀀스의 상태 공간이 변하므로, 제어 이론 및 분석적인 방법으로는 이의 스케줄링 및 제어가 매우 힘들다. 또한 돌발 상황과 모델링의 부정확에 따른 문제점, 빈번하게 일어나는 재계획등의 문제가 가로 놓여 있다. 따라서 실제 시스템의 구현에 앞서 이러한 문제점을 분석하고 해결하기 위해서는 지식 베이스형 FMC 운영 기법의 도입이 필요하다.<sup>[7,8]</sup>

본 연구는 FMC의 계층 구조의 표현과 복잡한 DECS(Discrete Event Control System)의 S/W 구조 설계를 위해 확장된 페트리 넷를 사용하여 시스템을 모델링하였으며, FMC에 대한 지능형 스케줄러를 구현하여 FMC의 일관되고 효율적 운영기법 개발을 목적으로 한다. 사례연구로서 유연한 조립 시스템 모델에 대해 지능형 스케줄러와 경험적 규칙에 의한 스케줄링 적용 결과를 비교하였다.

II. FMC 특성 및 모델링

1. FMC

일반적으로 FMC는 어떤 제조 또는 공정작업 수행을 위하여 집합된 장비들의 그룹인 셀에 유연성을 부여한 것이다. 즉, FMC는 유연성을 가진 셀 또는 셀의 그룹을 컴퓨터로 제어하여 다품종 소량생산이 효율적으로 수행되도록 하는 일종의 통합 시스템 형태이다. 전체 시스템에 대한 각 레벨 기능의 계층적인 관계가 그림 1에 나와 있다. FMC의 주요 제어 기능은 계층화된 생산 시스템 모델에서 샵 플로어와 셀 레벨에 해당한다.

본 논문에서 검토되는 대상 시스템인 FMC는 다음의 특성을 가지고 있다. 시스템은 일반적으로 복수개의 셀로 구성되는데, 셀의 수 및 종류는 생산작업에 따라 확장내지 축소될 수 있다. 각 셀은 복수개의 기계와 물류 시스템을 갖는 군으로 구성되며, 이것 역시 생산작업의 종류 및 생산량에 따라 가변이다. 각 셀내에서 수행할 수 있는 작업은 가공 조립 및 검사 작업을 포함한다. 유연성을 위해서 시스템은 n개의 서로 다른 모델(가공품)을 생산할 수 있고 가공품의

유입순서, 머신에 대한 경로선택, 도구(tool)와 부품(resource)의 할당, 그리고 오퍼레이션의 순서등에 따라 계층별로 대안이 존재한다.

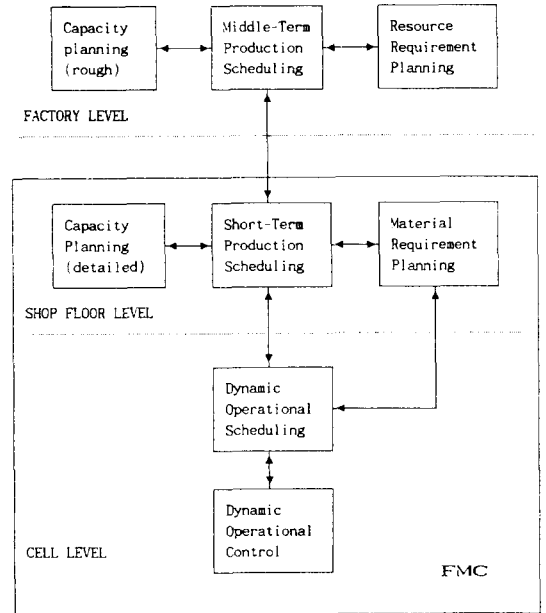


그림 1. 생산 시스템의 계층 구조

Fig. 1. The hierarchical structure of manufacturing system.

2. FMC의 페트리 넷 모델링

페트리 넷(Petri net)는 상호작용하는 동시성 이산 시스템(concurrent discrete event system)의 효과적 모델링 기법이다.<sup>[10]</sup> 페트리 넷은 사건들의 동시성과 선행관계, 그리고 동기성 및 상호작용을 나타낼 수 있어 생산시스템의 모델링에 적절히 적용될 수 있는 특성을 가지고 있다. 본 연구에서는 이를 위해 기존의 연구된 여러가지 페트리 넷의 내용을 일부 수정, 보완한 확장된 페트리 넷를 모델링 도구로서 이용하여 FMC를 모델링 한다.

페트리 넷 C는 다음과 같은 구성요소로 이루어진 방향성 그래프이다

$$C = \{ P, T, I, O, M \}$$

여기서,

$P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\} (m > 0)$  : 플레이스의 집합

$T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\} (n > 0)$  : 트랜지션의 집합

$I : P \rightarrow T$  : 입력함수(input function)

$O : T \rightarrow P$  : 출력함수(output function)

$M = (m_1, m_2, \dots, m_n)^T$  : 마킹 함수

위의 일반적인 페트리 넷는 생산시스템의 실제적 동작을 완전하게 표현하지 못한다. 즉, i) 페트리 네

트가 실행될 때, 한 가지 종류의 토큰만으로 시스템에 흐르는 일련의 정보(information) 또는 제어(control)만을 나타내기 때문에 가공품(parts), 부품(resources), 정보, 제어의 존재와 흐름을 동시에 나타내지 못한다. ii) 복수의 입력과 출력을 갖는 트랜지션에 있어서 이를 통하는 토큰 흐름의 정확한 표시가 없기 때문에 모델링되는 시스템의 구조와 동작에 대한 모호함을 나타나게 한다. 따라서 위와 같은 문제를 해결하기 위해, 새로운 형태의 확장된 페트리네트(Extended Petri Nets)를 사용한다.<sup>[11]</sup>

### Ⅲ. FMC 운영 구조

#### 1. 계층적 제어 구조

대상 시스템인 FMC의 효율적인 운영을 위하여 다음과 같은 계층적인 제어 구조를 도입한다. 셀 코디네이터는 FMC의 상위레벨을 담당하며, 복수개의 셀에 대해 단기의 생산계획을 수립한다. 가공품의 생산요구량이 주어지면, 제한 비용을 최소화하기 위한 최적 투입 순서열을 결정한다. 셀 컨트롤러는 상위레벨인 셀 코디네이터로부터 명령을 받아 현재 셀의 상태를 참조하여, 각 머신(로봇)에 대해 가공품을 할당하고 가공경로를 결정한다. 그리고 가공품이 할당된 머신에 대해서 구체적인 로봇트 작업 시퀀스를 발생시킨다. 계층적 제어의 전체 흐름도는 그림 2와 같다.

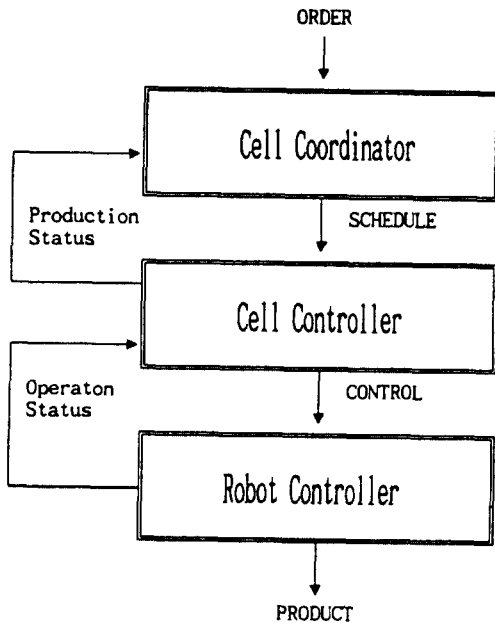


그림 2. 계층적 제어 구조  
Fig. 2. The hierarchical control scheme.

#### 2. 셀 코디네이터

셀 코디네이터(cell coordinator)는 샵 플로어 레벨의 스케줄러와 유사한 기능으로서 계층적 제어의 상위구조로서 단기의 생산 계획을 담당한다. 생산요구량에 대해 가공품별 생산율을 계산한다. 그리고 여러 종류의 가공품에 대해 평균체류시간(mean flow time)을 최소화하는 가공품의 투입 순서를 결정한다.

##### 1) 생산율 결정

생산요구량과 재고량을 고려하여 가공(조립)용량을 만족하는 범위내에서 구간 생산율을 결정한다. 생산계획 수립에 필요한 상태변수를 재고수준과 요구량에 관해 선정하고 생산, 재고, 요구량과의 관계를 나타내기 위한 이산 모델을 식 (2)와 같이 정의하자. 모델은 시스템의 최적 생산계획을 찾기 위한 목적 함수와 상태변수로 나타내진다.

$$x_{k+1} = Ax_k + B u_k - C d_k \tag{1}$$

$$D u_k \leq e_k \tag{2}$$

$$u_k \geq 0 \tag{3}$$

여기서,  $x_k$  : k번째 주기 시작에서의 재고벡터,  $u_k$  : k번째 주기동안의 생산수준,  $d_k$  : k번째 주기동안의 생산요구량 벡터,  $D$  : 생산제한 행렬,  $e_k$  : 생산 capacity 벡터.

최적 제어입력  $u_k$ 를 계산하기 위한 목적 함수가 정의되어야 한다. 본 연구에서는 식 (4)와 같이 생산량이 요구량을 초과함으로써 발생하는 생산재고(inventory)와 생산량이 요구량에 미달함으로써 발생하는 주문잔고(backlog)에 의해 유발되는 비용을 목적 함수에 반영한다.

$$J(u_k) = [f(x_k) + g(u_k)] \tag{4}$$

여기서

$f(\cdot)$  : 생산재고 비용

$g(\cdot)$  : 주문잔고 비용

##### 2) 최적 투입순서 결정

최적 투입순서 결정 문제는 다음과 같이 정의할 수 있다. 유연 생산시스템의 특성과 생산주기동안의 가공품별 생산요구가 주어지면, 하루 작업량에 대한 최소 가공품 집합(MPS: Minimal Part Set)이  $((A, n_A), (B, n_B), (C, n_C), \dots, n_i)$ 는 제품 I의 생산량의 형태로 주어진다. 최적 투입순서 결정문제는 이들 작업의 순열(예를 들면 ABCAA)을 경비 제한

에 맞게 최적화시키도록 만드는 과정이다. 구해진 작업 순열의 순서가 생산시스템에 유입되는 순서가 되며, 이 순열을 한 단위로 하여 새로운 투입 순서열이 구해지기 전까지 반복적으로 진행된다.

투입순서 결정방법은 다음과 같다. 초기 순서열  $x$ 에 대해 작용자를 적용시켜서 체계적으로  $x$ 에 관련된 순서열들을 발생시킨다. 순서열은 (AABBCDEF) 등과 같이 괄호 안에 표시되고, 작용자  $H$ 를 순서열  $x$ 에 적용시키는 것을  $Hx$ 로 표시한다. 순열 작용자  $H$ 가 정의되었다면, 이  $H$ 가  $x$ 에 적용됨으로써 다른 순서열  $y$ 가 생긴다. 다음은 초기 순서열  $x$ 와 작용자  $H$ 에 의해 최적 투입 순서열을 결정하는 알고리즘이다.

```

loop
  y = min cost(Hx)
  if cost(y) = cost(x)
    then Load_seq = x
      exit
  else
    x = y
  continue
    
```

3. 셀 컨트롤러

셀 컨트롤러(cell controller)는 셀 코디네이터에서 작업 지시를 받아 셀을 효율적으로 운영할 수 있는 결정을 수립한다. 제한 조건과 상태 정보를 고려하여, 셀 내에서의 머신의 선택과 머신에서의 공구와 부품의 선정, 그리고 로봇 오퍼레이션 시퀀스 결정을 수행한다.

1) 머신 선택

상위 레벨에서 지시 받은 가공품을 처리하기 위하여, 현재 셀의 상태와 제한 조건등을 고려하여 셀내의 머신을 선택한다.

- 가공 제한 조건 : 머신이 현재 포함하고 있는 공구와 부품에 따른 가공가능 여부.
- 평균버퍼수준 : 현재 버퍼 상태 즉, 가공품의 갯수와 가공품의 남은 가공 시간 등을 참조.
- 머신 고장 : 한 머신이 고장 상태에 있을때 제한 조건을 만족하는 범위내에서 대체 머신의 선택

2) 공구와 부품의 선정

각 머신에 가공품이 할당되면, 가공품의 종류에 따라 작업에 필요한 공구와 부품 리스트가 구성된다.

3) 오퍼레이션 리스트 결정

가공품의 작업에 필요한 공구와 부품이 선택되면, 가공품의 조립 순서등의 제한 조건과 머신의 상태 정보를 고려하여 머신에서의 작업 시간을 최소화 하는 로봇 오퍼레이션 리스트를 결정한다.

IV. FMC 를 위한 지능형 스케줄링 시스템

1. 전체 시스템의 구성

본 연구에서 도입한 계층적 제어 구조에 따른 FMC의 효율적 운영을 위한 지능형 스케줄링 시스템의 전체 구성도가 그림 3에 나와 있다.

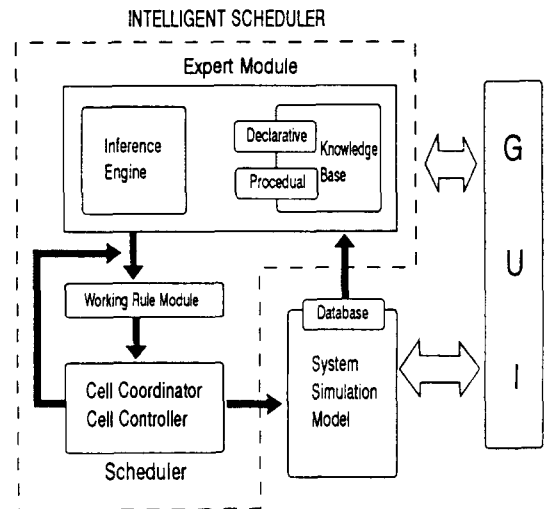


그림 3. 지능형 스케줄링 시스템의 구조

Fig. 3. The structure of intelligent scheduling system.

시스템 시뮬레이션 모델은 운영될 FMC 모델의 시뮬레이션 프로그램과 데이터베이스로 구성된다. 데이터베이스는 시스템 구성 요소인 셀, 머신, 버퍼, 컨베이어, 공구, 그리고 가공품, 부품등에 대한 정보를 포함한다. 스케줄러는 주어진 시스템 모델에 대해 전문가 모듈에서 데이터베이스와 지식베이스를 추론하여 얻어진 결정 사항을 기반으로 전체 생산 계획을 수립한다. 그래픽 사용자 인터페이스(Graphic User Interface:GUI) 부분은 입력 및 수정 기능을 제공하고 생산 시스템의 상태 변화와 다양한 정보를 그래픽으로 처리하여 보여주는 역할을 담당한다.

특히 스케줄러와 전문가 모듈을 묶어 지능형 스케

줄러(Intelligent Scheduler)라고 칭한다. 지능형 스케줄러는 스케줄러와 전문가 모듈로 구성되며, FMC 시스템의 생산계획을 결정하는 핵심 부분이다. 전문가(expert) 모듈은 지식베이스와 추론기관으로 나누어 진다. 스케줄러 모듈은 다시 셀 코디네이터와 셀 컨트롤러를 포함한다. FMC 제어를 위한 각종 결정과정이 전문가 모듈에서 결정되며 이와같은 결정은 데이터 베이스와 선언 지식 베이스내의 각종정보와 절차 지식베이스내의 관련 규칙들을 바탕으로 이루어 진다.

2. 전문가 모듈

FMC의 스케줄링 및 운영에 핵심 기능을 담당하는 전문가 모듈은 데이터베이스, 지식베이스, 그리고 추론 기관으로 구성되어 있다.

지식베이스는 크게 선언 지식베이스(declarative knowledge base)와 절차 지식베이스(procedural knowledge base)로 나누어 진다. 선언 지식베이스는 시스템의 상태등을 기술하는 지식으로서, fact 또는 knowledge 형태로 저장되는 시스템 상태 정보등을 포함한다. 절차 지식베이스는 공정 조건에 따라 스케줄링 및 제어 규칙을 적용시키는데 사용된다. 본 연구에서 사용한 FMC에 대한 몇가지 규칙의 예가 아래에 나와 있다.

Rule-MS4:

```
IF ((select_machine ?part) (is common ?
machines) (next_is private ?machine)
(is ?othermachine available))
THEN (fn_insert ?part ?machine)
```

Rule-OL2:

```
IF ((determine_resource_list ?current
resource ?current_tool)) (first_task
_completed))
THEN (fn_find_job canbe_done_with
other_tool ?current_resource ?current
_tool)
```

추론 기관은 매칭 모듈과 실행 모듈로 구성되어 있다. 추론 메카니즘은 전향추론(forward chaining)과 후향추론(backward chaining)을 혼합한 구조이며, 깊이우선 탐색을 행한다. 전문가 모듈은 C 언어를 사용하여 구현하였다.

V. FMC 응용

1. FMC 구성 및 페트리 넷 모델링

FMC에 대한 지능형 스케줄링 기법을 생산 시스템에 응용하기 위하여 다음과 같은 모형 시스템인 단위 머신 셀과 다중셀 시스템인 유연 조립 생산라인을 검토하였다. 먼저, 단위셀에 대한 구성도가 그림 4에 나와있다.

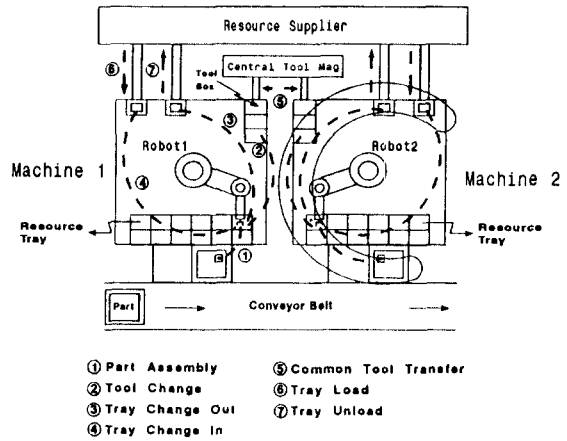


그림 4. FMC의 단위 Cell  
Fig. 4. Unit Cell of FMC.

단위셀은 2대의 머신(또는 로봇), 부품공급기, 중앙공구매거진(central tool magazine), 컨베이어 등으로 구성되며, 가공품인 필판에 washer, nut 등과 같은 다양한 부품을 삽입 또는 스크류하는 작업을 수행한다. 조립될 가공품이 머신셀에 유입되면, 가공품의 종류 및 현재의 머신들의 상태에 따라 작업할 머신이 선택된다. 가공품의 작업에 필요한 구성 요소 부품들은 부품공급기를 통해 공급되며, 머신내의 로봇트는 부품상자에 있는 부품을 집어 가공품에 필요한 오퍼레이션을 수행한다. 각 머신은 거의 동일한 기능을 수행할 수 있으며 현재 가지고 있는 공구와 부품의 종류에 따라 같은 가공품, 또는 서로 다른 가공품을 작업할 수 있다. 또한 각 머신 셀은 유입되는 가공품들을 2 대의 머신중 상황에 맞추어 적합한 머신에 할당하기 때문에, 변화하는 상황들에 유연하게 대처할 수 있다.

본 연구의 대상 FMC 시스템은 복수개의 셀과 컨베이어로 구성된다. 즉, 단위셀이 모여 통합된 FMC 생산 시스템을 이룬다. 대상 시스템은 3 대의 조립 셀(unit cell 1 - 3)과 1대의 검사 셀(unit cell 4).

그리고 컨베이어로 구성된다. 그림 5은 다중셀 생산 시스템의 구조를 나타 낸다.

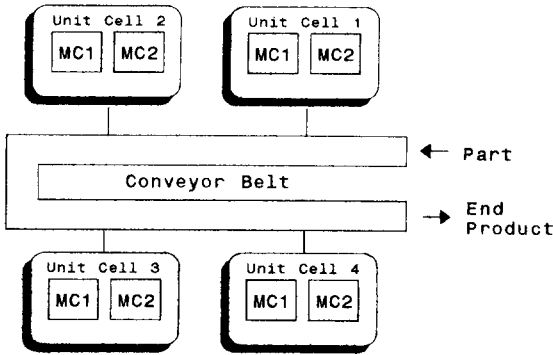


그림 5. 다중셀 생산 시스템의 구조

Fig. 5. The structure of multi cell production system.

2 절에서 언급한 확장된 페트리 넷를 이용하여 단위셀 및 다중셀 시스템을 모델링 하였다. 그림 6에 는 단위셀에 대한 페트리 넷 모델이 나와 있다. 왼쪽 부분은 머신 1을 나타내고, 오른쪽 부분은 머신 2 를 나타낸다. 중앙에는 공용공구 부분이 나와있다. 전용공구와 부품의 이용 가능 상태를 나타내는 토큰 이 각 머신마다 존재하며, 공용공구를 나타내는 토큰 은 두 머신에 공통으로 사용된다.

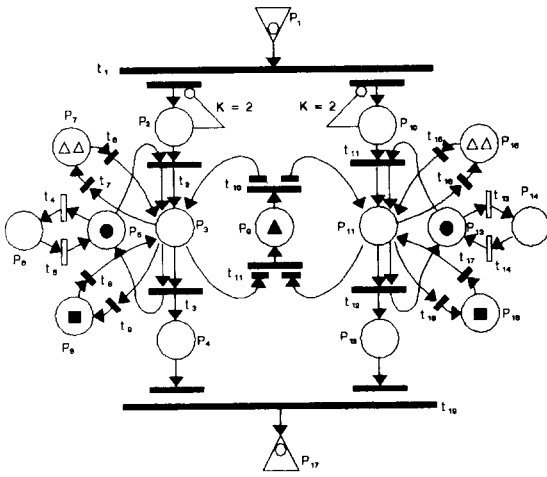


그림 6. 단위셀의 페트리 넷 모델링

Fig. 6. Petri net modelling of unit cell.

시스템내로 유입되는 가공품을 나타내는 토큰을 포함하여 크게 4 종류의 토큰이 존재하므로 이를 구별

하기 위하여 서로 다른 모양으로 표시를 하였다. 소스 플레이스로부터 가공품을 나타내는 입력 토큰이 들어오면, 제어에 의해 조건분기 트랜지션에서 머신이 선택되며, 가공품을 나타내는 토큰이 머신에 적재를 나타내는 플레이스로 이동된다. 여기서 공구와 부품을 나타내는 토큰이 이용가능 상태에 있으면 작업 수행 플레이스로 접화가 일어난다. 일정 시간후에 작업이 끝나면 가공품을 나타내는 토큰은 싱크 플레이스로 빠져나가고, 공구와 부품의 이용상태를 나타내는 토큰은 원래의 플레이스로 이동한다. 표 1에 단위셀에서의 P1부터 P17까지 각 플레이스에 대한 내용이 정리되어 있다.

표 1. 단위셀 모델의 플레이스

Table 1. Places of unit cell.

P1	소스 플레이스	P10	머신 2의 입력버퍼 플레이스
P2	머신 1의 입력버퍼 플레이스	P11	머신 2의 작업 플레이스
P3	머신 1의 작업 플레이스	P12	머신 2에서 가공후 하역
P4	머신 1에서 가공후 하역	P13	머신 2의 이용가능 상태
P5	머신 1의 이용 가능 상태	P14	머신 2의 고장상태
P6	머신 1의 고장 상태	P15	전용공구의 이용가능 상태
P7	전용공구의 이용가능 상태	P16	부품의 이용가능 상태
P8	부품의 이용가능 상태	P17	싱크 플레이스
P9	공용 공구의 이용가능 상태		

그림 7에는 다중셀 시스템에 대한 페트리 넷 모델이 나와 있다. 4개의 셀과 버퍼를 모델링한 것으로 가공품의 흐름을 위주로 하여 시스템의 동작을 기술한다. 가공품과 머신의 이용가능 상태를 나타내는 2 개의 토큰이 존재하며, 머신의 내부 동작 상태는 서브네트로 표현하였다. 표 2에는 다중셀 모델의 각 플레이스 내용이 설명되어 있다.

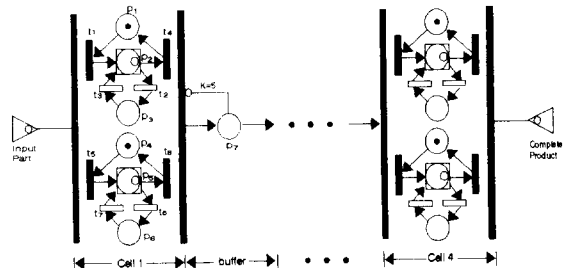


그림 7. 다중셀의 페트리 넷 모델링

Fig. 7. Petri net modelling of multi cell.

표 2. 다중셀 모델의 플레이스  
Table 2. Places of multi cell.

P <sub>1</sub>	머신 1의 이용가능 상태	P <sub>4</sub>	머신 2의 이용가능 상태
P <sub>2</sub>	머신 1이 작업중	P <sub>5</sub>	머신 2가 작업중
P <sub>3</sub>	머신 1이 고장 상태	P <sub>6</sub>	머신 2가 고장상태
		P <sub>7</sub>	버퍼

2. 컴퓨터 시뮬레이션 및 성능 평가

객체 지향 언어인 C++를 이용하여 대상 FMC의 DEDS 시뮬레이션 프로그램을 구현하였다. C++는 이산 사건 시뮬레이션에 적합한 특징을 가지고 있다. 그림 8에 전체 시뮬레이션 알고리즘이 나와 있다.

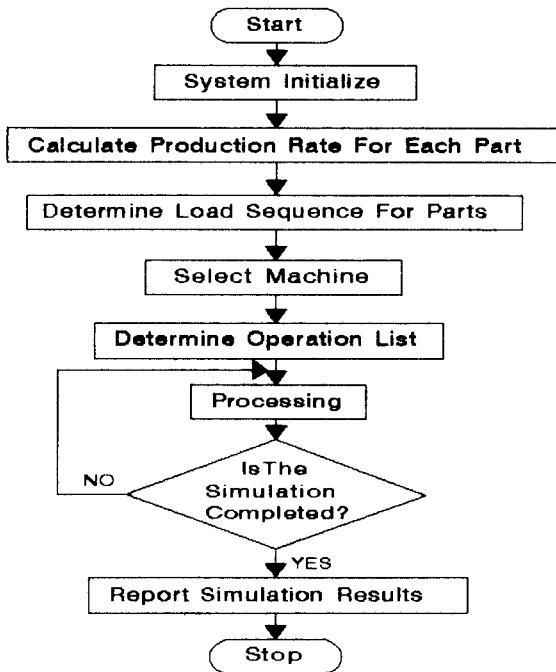


그림 8. 컴퓨터 시뮬레이션 알고리즘의 전체 구조  
Fig. 8. The structure of simulation algorithm.

대상 셀을 대상으로 본 연구에서 사용한 전문가 모델에 의한 지능형(intelligent) 스케줄링 방법과 FCFS, NINQ등을 혼합한 경험적(heuristic) 규칙에 의한 방법을 비교하였다. 표 3과 표 4는 가공 용량을 약간 초과하는 시점에서 가공품(part)의 도착 간격을 변화시키면서 생산량과 평균대기시간에 대해 두가지 방법을 비교한 결과이다. 두가지의 지표에서 전문가에 의한 스케줄링 방법이 우수함을 알 수 있

다. 그리고 부품의 도착 간격이 증가할 수록 두 방법 간의 차이가 줄어들는데, 이것은 가공 용량에 미달하게 부품이 투입되는 경우에는 스케줄링의 영향이 적음을 나타낸다. 그림 9는 단위셀에서 각 머신의 이용효율을 비교한 것이다. 지능형 스케줄링의 경우에 머신간의 밸런싱이 더 잘 이루어짐을 보인다.

표 3. 경험적 규칙을 사용한 단위셀의 생산결과  
Table 3. Production results of unit cell by heuristic method.

투입가격 지표	150(cycle)	160(cycle)	170(cycle)
생산량	521	521	520
평균대기시간	81.3	79	76.9

표 4. 지능형 스케줄링에 의한 단위셀의 생산결과  
Table 4. Production results of unit cell by intelligent scheduling.

투입가격 지표	150(cycle)	160(cycle)	170(cycle)
생산량	521	521	520
평균대기시간	81.3	79	76.9

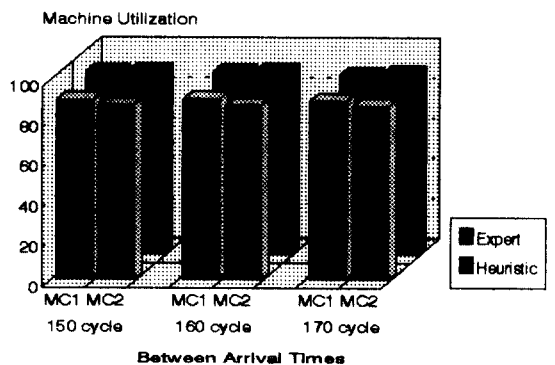


그림 9. 머신의 이용효율 비교 결과  
Fig. 9. Graphs of machine utilization.

표 5과 표 6에는 다중셀 시스템에서 동시에 혼류생산하는 8개 종류의 가공품에 대한 생산결과가 나와 있다. 지능형 스케줄링 방법이 요구량을 거의 만족시키고 있으며, 각 가공품별 평균체류시간(Mean flow time)에서도 우수함을 알 수 있다.

표 5. 경험적 규칙을 사용한 가공품별 생산결과(다중셀)

Table 5. Production results of each part by heuristic method(multi cell).

가공품 지표	1	2	3	4	5	6	7	8
요구량	160	240	240	160	80	320	240	160
생산량	159	237	237	158	79	316	238	158
생산비율	99.3%	98.7%	98.7%	98.7%	98.7%	98.7%	99.1%	98.7%
평균 체류시간	242.0	230.3	213.7	205.7	219.5	238.7	230.1	222.3

표 6. 지능형 스케줄링에 의한 가공품별 생산결과(다중셀)

Table 6. Production results of each part by intelligent scheduling(multi cell).

가공품 지표	1	2	3	4	5	6	7	8
요구량	160	240	240	160	80	320	240	160
생산량	150	223	222	148	74	296	223	148
생산비율	93.7%	92.9%	91.6%	92.5%	92.5%	92.5%	92.9%	92.5%
평균 체류시간	274.7	254.4	233.7	222.1	238.8	256.9	279.0	257.5

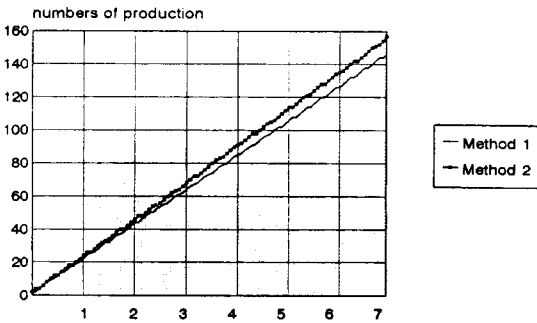


그림 10. 생산량 대 요구량 그래프(가공품 A)  
Fig. 10. Graphs of production versus demand (part A).

그림 10과 그림 11에는 가공품 A와 C에 대해 시간 증가에 따른 생산량 그래프가 나와 있다. 그림 10에서는 가공품 A의 요구량이 160개 이었을 때, 경험적 규칙에 의한 방법(method 1)보다 지능형 스케줄링에 의한 방법(method 2)이 요구량에 근접하게 생산함을 알 수 있다. 그림 11에서는 가공품 C의 요구량이 240개인 경우이다.

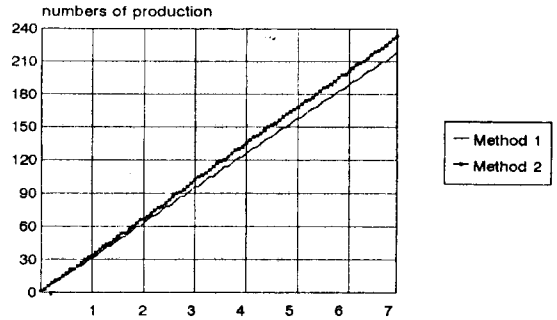


그림 11. 생산량 대 요구량 그래프(가공품 C)  
Fig. 11. Graphs of production versus demand(part C).

그림 12에서 그림 14까지는 하루 생산(7시간)에 대한 시간별 평균대기시간, 평균버퍼수준, 그리고 생산비용에 대한 추이 그래프가 나타나 있다. 생산비용은 생산량이 요구량을 추적하지 못하여 발생하는 비용으로서 생산량 대 요구량의 차이를 일정 사이클마다 누적하여 계산한다.

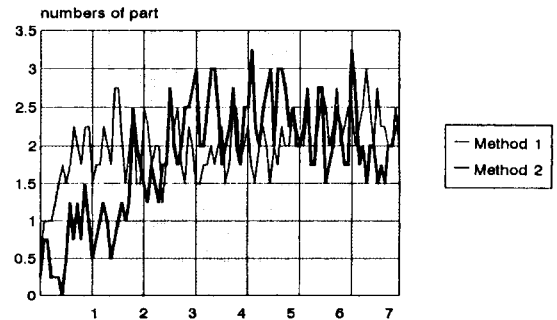


그림 12. 평균버퍼수준 그래프  
Fig. 12. Graphs of average buffer level.

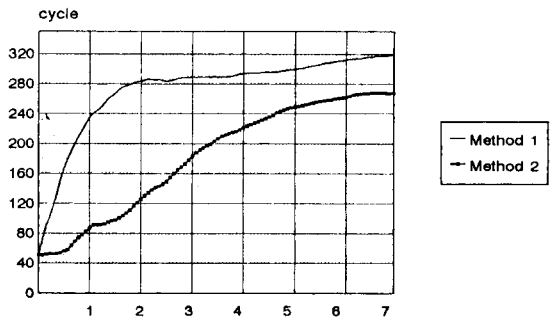


그림 13. 평균대기시간 그래프  
Fig. 13. Graphs of average wait time.



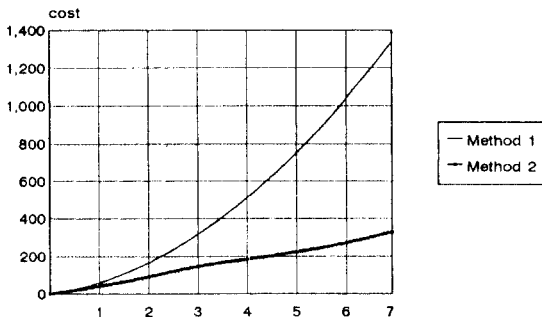


그림 14. 생산비용 그래프  
Fig. 14. Graphs of production cost.

VI. 결론

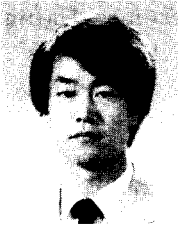
단위셀 또는 다중셀로 구성된 FMC 시스템은 여러 모델의 혼류 생산 및 머신의 유연성으로 인해 향상된 생산 능력을 갖추고 있지만 다중 작업의 특성과 동적으로 변화하는 상태에서 발생될 수 있는 수 많은 불안들로 인해 전체 운영이 매우 복잡하다. 본 연구에서는 FMC의 효율적 운영을 위해 1) 확장된 페트리네트를 이용한 FMC의 모델링 2) 생산시스템의 계층적 제어구조의 도입, 3) 단위 셀 및 다중 셀의 효율적 스케줄링, 4) 셀 운용의 지능화를 위한 전문가 모듈을 구현하였다. 시뮬레이션을 통해 개발된 지능형 스케줄러와 경험적 규칙에 의한 성능 평가를 비교하였으며, 본 연구에서 사용한 기법의 우수함을 확인하였다. 본 연구에서 제안된 FMC 운영 기법은 향후 활성화 될 것으로 예상되는 CIM을 위한 효율적인 기본 구조가 될 것이다.

參考文獻

[1] B. Boulet et. al., "Cell controllers: Analysis and comparison of three major projects" Computers in Industry vol. 16, pp. 239-254, 1991  
[2] R. Akella, B. H. Krogh, and M. R. Singh, "Efficient Computation of Coordinating Controls in Hierarchical Structures for Failure-Prone Multi-Cell

Flexible Assembly Systems", *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, vol.6, Num.6, 1990  
[3] R. Y. Al-Jaar & A. A. Desrochers, "Performance Evaluation of Automated Manufacturing Systems Using Generalized Stochastic Petri-Nets", *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, vol.6, no.6, 1990  
[4] Szu-Yung David Wu, Richard A. Wysk, "Multi-pass Expert Control System - A Control/Scheduling Structure for Flexible Manufacturing Cells", *Journal of Manufacturing Systems*, vol.7, no.2, 1988  
[5] O. Maimon, "The Robot Task-Sequencing Planning Problem", *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, vol.6, no.6, 1990  
[6] A. Kusiak, A. Villa, "Architectures of Expert Systems for Scheduling Flexible Manufacturing Systems", *Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics & Automation*, 1987  
[7] M. F. Clifford & A. A. desrochers, "Preview Control of Flexible Manufacturing Systems", *Proc. of IEEE Int. Conf. of Robotics & Automation*, 1987  
[8] A. Kusiak, "FMS Scheduling : A Crucial Element in an Expert System Control Structure", *Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics & Automation*, 1986  
[9] G. Bruno & M. Morisio, "The Rule Based Programming for Production Scheduling", *Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics & Automation*, 1987  
[10] J. L. Peterson, *Petri Net Theory and the modelling of systems*, Prentice Hall, 1981  
[11] 안인석, 서기성, 우광방, "확장된 Petri-net을 이용한 FMS의 모델링 및 스케줄링", '91 한국자동제어학술회의논문집, pp. 488-492, 1991

著者紹介



徐 奇 成 (正會員)

1962年 11月 29日生. 1986年 2月 연세대학교 전기공학과 졸업. 1988年 2月 연세대학교 대학원 전기공학과 공학석사. 1993年 2月 연세대학교 대학원 전기공학과 공학박사. 1993年 3月 ~ 서경대 산업공학과

전임강사. 주관심분야는 생산시스템 모델링 및 생산계획, DEDS, 전문가 시스템 등임.

朴 勝 奎 (正會員) 第 28卷 B編 第 8號 參照.  
현재 연세대학교 전기공학과 박사과정 재학중.

李 揆 浩 (準會員)

1968年 6月 19日生. 1991年 2月 연세대학교 전기공학과 졸업. 1993年 2月 연세대학교 대학원 전기공학과 공학석사. 주관심 분야는 객체지향기법, 생산시스템 모델링 및 시뮬레이션 등임.

李 爐 成 (正會員) 第 28卷 B編 第 8號 參照.

현재 연세대학교 전기공학과 박사과정 재학중.

禹 廣 芳 (正會員) 第 30卷 第 1號 參照

현재 연세대학교 전기공학과 교수.



安 寅 錫 (正會員)

1964年 7月 5日生. 1987年 2月 연세대학교 전기공학과 졸업. 1989年 2月 연세대학교 대학원 전기공학과 공학석사. 현재 연세대학교 대학원 전기공학과 박사과정 재학중. 주관심분야는 유연생산시스템의 모델링

및 지능형 제어, 조립 시스템의 고장대처, 라인자동화 등임.