

一般論文

FMS의 생산계획 및 일정계획을 위한 의사결정을 위한  
의사결정 지원 시스템의 개발<sup>+</sup>

(Development of an Integrated Decision Support System for FMS Production  
Planning and Scheduling Problems)

장성용, 장병민\*  
박진우\*\*

Abstract

This paper discusses planning and scheduling problems for efficient utilization of an FMS and presents an integrated decision support system for FMS production planning and scheduling problems.

The decision support system, FMSDS(Flexible Manufacturing Systems Decision Support System), includes of data of handling module, part selection module, loading module, load adjusting module, scheduling module and simulation module etc.

This paper includes the solution methodology of each subproblem. And an integrated interface scheme between the subproblems is presented. The interface scheme considers the relationships between the subproblems and generates solution using hierarchical and looping approaches.

FMSDS is made up of six alternative models considering 3 loading objectives and 2 production order processing strategies.

Performance comparisons among 6 alternatives and other decision support systems are shown using the non-terminating simulation techniques.

1. 서론

최근 NC공작 기계기술, 자동 자재이송장치, 컴퓨터 및 정보기술의 조합으로 탄생된 Flexible

Manufacturing System(FMS)은 연간 생산량이 중·소량인 한가지 이상의 부품을 효율적으로 생산할 수 있도록, 반 독립적인(semi-independent) 작업장들과 자동 자재이송시스템

\*서울산업대학 산업공학과

\*\*서울대학교 공과대학 산업공학과

<sup>+</sup>본 논문은 1990년도 교육부 지원 학술진흥재단의 자유공모과제 학술연구 조성비에 의하여 연구되었음

을 컴퓨터에 의해 통합 제어하는 새로운 생산 시스템이다.

FMS는 효율성과 유연성의 양측면을 대처할 수 있는 생산시스템이지만, FMS에서의 생산관리문제는 대량생산시스템이나 배치 생산 시스템에 비해 훨씬 복잡하다. 하나의 부품을 제조하는데 여러 공정(operation)을 거쳐야 하며, 각 공정별로 해당 공구들이 제한된 용량의 공구 매거진(tool magazine)에 저장되어 있어야 한다. 그리고 NC공작 기계들은 자동 공구 교환장치(automatic tool exchanger)가 있어서 사용 완료된 공구와 다음 사용해야 할 공구를 수 초 이내에 상호 교환할 수 있다. 따라서 각 공정 간에는 준비시간(set-up time)이 거의 없이 작업이 연속적으로 수행될 수 있다.

각 기계는 장착된 공구에 따라 아주 다양한 작업을 수행할 수 있으며, 각 가공 부품들은 여러 개의 공정 경로(routing)를 가질 수 있고, 시스템 전체적으로는 여러개의 부품들을 동시에 가공할 수 있다. 따라서 FMS를 효율적으로 운용하기 위한 생산 계획 문제는 대단히 복잡하고 최선의 해결책을 찾아내기가 어렵다.

Stecke는 FMS의 생산계획을 효율적으로 수행하기 위해 1) 대상부품 선정문제 2) 기계군(machine group)형성 3) 생산비율결정 문제 4) 자원할당 문제 5) 작업할당 문제(loading problem)의 5가지 생산계획 문제를 제시하였다.

본 연구에서는 Stecke가 제시한 5가지 생산계획 문제 중에서 핵심적인 문제인 대상 부품 선정 문제, 작업 할당 문제에 생산 일정 계획 문제를 추가한 문제에 대한 단계적이고 일관적인 해법을 제시하고자 하며, 또한 각 문제간의 유기적인 관계를 고려한 다중 루프기법에 의해 FMS의 전체 생산 효율을 극대화할 수 있고 실시간내에 의사 결정을 수행할 수 있는 통합적인 의사 결정 지원 시스템(FMSDS)을 개발하는 것을 주된 목

적으로 하고 있다.

이하 제2절에서는 기존 연구의 문제점이 분석되고, 제3절에서는 FMS의사결정 지원 시스템의 구조가 설명되고, 제4절에서는 각 부분문제들에 대한 해법과 부분문제들간의 유기적인 관계를 고려한 연결 문제가 제시된다. 개발된 의사결정 지원 시스템에서는 주문의 배치별 생산 여부에 따른 대안 2가지와 작업 할당 목적에 따른 대안 3가지를 고려하여 모두 6개의 대안을 설정하였는데, 제5절에서는 각 대안별로 FMS의 공장 배치도와 공정경로 정보 등의 현실적인 여건들을 변화시켜가면서 장기간의 시뮬레이션을 수행하여 그 결과가 제시된다.

## 2. 선행 연구의 문제점 분석

### 2.1 선행 연구 동향

#### (1) 부품선정 문제

Stecke가 제시된 부품선정 문제는 주어진 주문이나 주간 혹은 월간 계획중에서 다음 배치의 생산 부품과 각 부품별 수량을 결정하는 문제로서, Whitney와 Gaul은 Probability Index(PI)에 의한 순차적인 해법[20]을, Kusiak은 부품분류 및 코드부여 기법에 근거한 밀집화(clustering)해법[10]을, Stecke와 Kim은 기계간 균형을 목적으로 하는 정수계획 문제로 모형화하여 발견적 해법을 제시하였으며[19], Hwang은 남기가 고려된 0-1 정수 계획 문제로 모형화하여 Lagrangian Relaxation기법을 사용한 해법을 제시하였다[8].

#### (2) 작업할당 문제

작업할당 문제는 선정된 부품들의 각 공정과 그 공정에 필요로하는 공구들을 할당 가능한 기계에 할당하는 문제로서, Stecke는 5가지 목적

별로 0-1비선형 혼합 정수계획법으로 모형화하고 비선형 항목들을 선형화(linearization)하는 최적해법을[18], Berrada와 Stecke는 Stecke의 모형에 대한 분지 한계법(branch and bound method)에 근거한 최적 해법을 [2], Kusiak은 총작업 비용의 최소화를 목적으로 하는 0-1 혼합 정수 선형 계획문제로 모형화하고 발견적인 해법을[3], Sarin과 Chen은 총작업 비용의 최소화를 목적으로하는 정수계획 모형과 계산사례를[15], 장 성용은 Stecke의 목적 함수와 Chen의 제약 조건을 적절히 조합한 새로운 모형을 제시하고 계산 사례를 제시하였다[22].

### (3) 일정 계획 문제

FMS의 일정 계획 문제는 각부품의 시스템내 투입 순서를 결정하고 각 기계에서의 작업 시작 시간과 완료시간을 결정하는 문제로서 1) 수리 계획 모형[4, 19] 2) 할당 규칙(dispatching rule)[13, 17] 3) 발견적 기법[12, 21] 4) AI 응용 기법[7, 16]등의 4가지 방향에서 연구가 진행되어 왔다.

### (4) 종합적인 연구

Bastos는 배치크기 결정 문제와 공정순서 결정 문제를 단계적으로 해결하는 방법을[1], Chen은 부품선정 문제를 밀집화문제로 작업할당 문제를 0-1 정수 계획 모형으로 하는 단계적인 해법을[5], Escudero는 작업 할당 문제, 부품의 시스템내 투입순서 결정, 공정경로 결정 문제의 3단계로 나누어 각각에 대한 최적 해법을 제시하였다[6].

## 2.2. 기존 연구의 문제점 분석

일부 종합적인 연구가 최근에 수행되고 있으나, 과거의 대부분의 연구들은 부분 문제들의 모

형화 및 해법 개발에 주력해 왔다. 생산 계획의 문제를 하나의 문제로 보고 모형화할 경우 0-1 비선형 혼합 정수계획문제로 모형화가 가능하나 제약식에 부품 선정 변수와 작업 할당 변수가 곱해진 2차 제약식이 포함됨으로써 해를 구하기가 어려워진다. 그래서 보통 하나의 큰 문제를 부분 문제로 분할하여 해를 구하는 방법이 많이 채택된다.

전통적인 부분 문제의 하나인 부품 선정 문제는 부품 단위로 배치 크기를 결정하는 방법을 사용하고 있으나 실제 상황, 예를 들어 MRP등 생산 기법에서는 동일한 부품이 다른 주문에 포함되어 납기나 생산량이 다른 경우가 많다. 따라서 주문 단위로 부품 선정 문제를 해결함으로써 납기 문제가 정확하게 반영될 수 있다.

기존의 대부분의 모형은 하나의 부품에 대하여 단일 공정 경로가 주어진 것으로 가정하였으며, 일부 모형은 대체 공정을 고려하였으나 부품별로 가능한 몇가지의 공정경로(route)가 주어진 것으로 하였다. 보다 효율적으로 FMS를 운영할 수 있도록 대체공정을 고려한 모형이 제시되어야 할 것이다.

일정 계획 문제에서는 일정 계획의 결과로 작업 완료 시간(makespan)이나 가동률 등의 시스템의 수행도 값을 구하게 된다. 따라서 상위 단계에서의 생산 계획 문제의 해만으로는 시스템의 수행도 값을 알 수 없기 때문에 바람직한 해를 구하였는지를 판단하기 어렵다. 일정계획의 결과 그 배치의 작업 완료 시간이 허용시간을 넘을 경우에 최종적인 작업 완료 시간이 허용시간 이내에 들어 올 수 있도록 피드백(feedback)되어야 한다. 또한 기존의 일정계획 기법은 동일한 부품이 다수 포함된 부품 집합의 경우 효율적으로 최적해를 제공하지 못하므로 반복적으로 일정계획을 수립할 수 있는 방법(periodic scheduling)이 개발되어야 할 것이다.

### 3. FMS 의사결정 지원 시스템의 개요

#### 3.1. FMS 의사결정 지원 시스템의 기능

FMSDS는 Flexible Manufacturing Systems Decision Support System의 머리 글자로서 생산 주문 화일을 입력으로 하여 매일 혹은 매 shift 단위로 배치 생산량을 결정하고, 결정된 주문별로 각 공정(operation)을 각 Workstation(이하 W/S)에 할당하여 구체적인 일정계획을 작성하는 시스템이다.

FMSDS의 주요 기능은 크게 4가지로 나눌 수 있다.

- 1) 생산 계획 기능 : 당일의 생산 주문 종류 및 수량, 선정된 주문의 공정경로, 소요 공구 및 수량, 공구 및 공정들의 W/S에 할당
- 2) 일정 계획 기능 : 선정된 주문들의 시스템 내 투입 순서, 각 부품들의 W/S별 가공 시작 시각 및 완료 시각
- 3) 시뮬레이션 기능 : 주문 도착 혹은 대일정 계획표(master production schedule) 생성기능, 대안별 시스템 수행도 값 수집 및 비교
- 4) 데이터 베이스 관리 기능 : 생산 주문 화일, 부품 공정경로 화일, 공구 화일, W/S화일, 기타 자원 화일의 유지 관리

#### 3.2 대상 FMS의 구조 및 운영 방식

- FMS의 배치도는 주어져 있다(FMSDS는 어떤 형태의 배치도에서도 운용이 가능하다.)
- 공구 매거진은 용량 제한이 있다.
- FMS를 구성하고 있는 W/S들은 동종의 하나 이상의 NC 혹은 CNC 기계로 구성되어 있으며, 자동 공구 교환 장치(ATC)와 자동 팔레트 교환장치(APC)가 있어서, W/S에서의 준비시

간(set-up time)은 없는 것으로 간주한다.

- 공구 저장소와 W/S간의 공구 자동 운반 장치는 없으며 매 shift 시작시에 필요로 하는 모든 공구를 장착하여야 한다.
- 필요시 동일 공구를 복수개 장착하는 것이 가능하다.
- 가공 작업 시간은 확정적(deterministic)이며, W/S간 이동 시간은 자재 이송장치의 속도 및 W/S간 거리에 따라 결정된다.
- 작업 중 선취(preemption)는 허용되지 않는다.
- 작업 공정은 공구만 장착된다면 여러 W/S에서 가능하며, W/S별로 작업 효율은 상이하다.
- 작업중 기계 고장은 없는 것으로 간주한다.
- 자재 이송장치는 일정대수가 있으며, 고정된 경로를 따라 작업물을 이동시킨다.

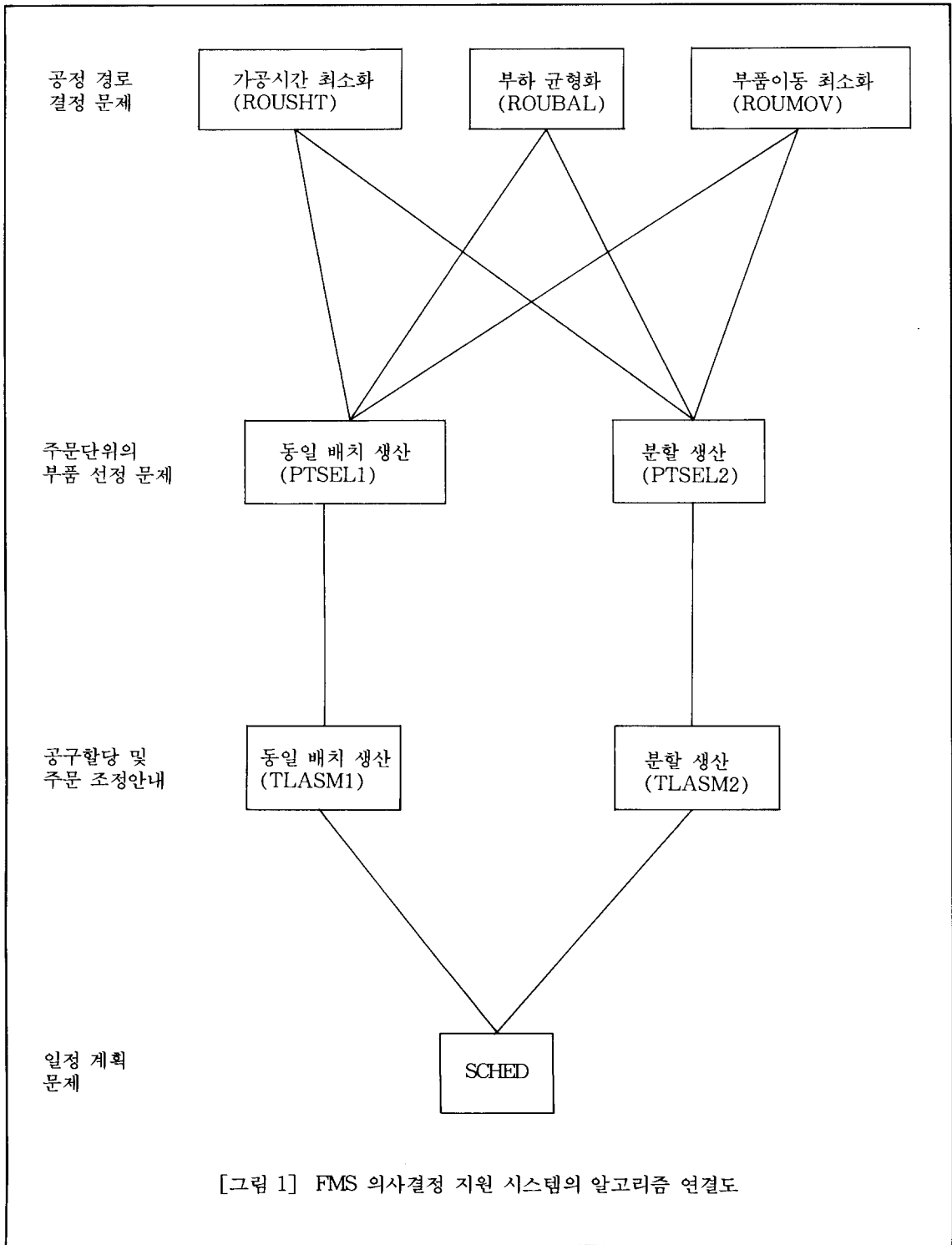
#### 3.3 FMS 의사결정 지원 시스템의 구조

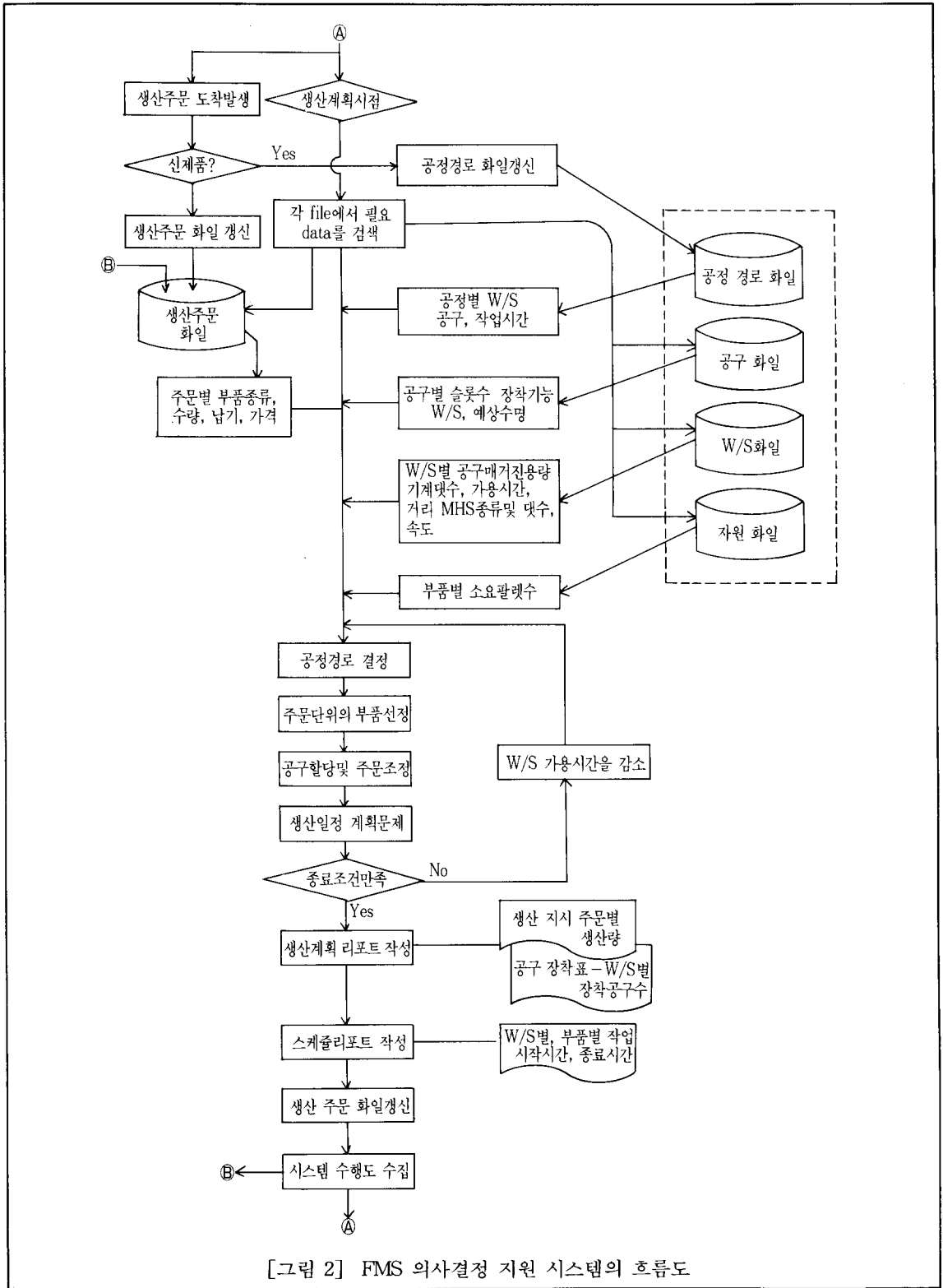
FMS 의사결정 지원 시스템은 이하 설명될 6개의 대안별로 다른 프로그램으로 개발되었다. 이들 6개의 대안은 공정 경로 결정 문제에 대해 상이한 3가지 목적 함수를 고려하였으며, 부품 선정 문제에서 2가지 주문 처리방식을 고려하여 부분 모듈(module)들로 이루어져 있다. 각각의 프로그램의 부분모듈들은 많은 동일한 부분프로그램들을 공유한다.

본 FMSDS는 FORTRAN언어로 작성되었다. FMSDS에는 주문데이터, 부품데이터, 공구데이터, W/S 데이터들을 지속적으로 유지, 갱신, 검색하는 등의 데이터베이스 관리시스템 기능이 포함되어야 하는데 여기에는 포트란언어가 적합하지 않은 것으로 판단되어, 추후에 전용의 데이터베이스 관리시스템과의 인터페이스가 보장되어야 할것이다.

FMS의사결정 지원 시스템 FMSDS의 해법

전략별로 알고리즘의 전체적인 연결도 및 흐름도를 [그림 1], [그림 2]에 제시하였다.





[그림 2] FMS 의사결정 지원 시스템의 흐름도

### 4. 부분 문제의 모형화 및 해법

본 장에서는 각 부분 문제를 모형화하여 각각에 대한 해법을 제시하기로 한다. 기존의 연구들은 부품선정 문제-작업할당 문제-일정계획 문제의순으로 분할하여 문제들을 해결하였다. 그러나 본 연구는 대체공정이 고려된 문제로서 기존의 계층구조로는 문제를 해결하기 어렵다. 따라서 전체 문제를 공정경로 결정 문제-주문 단위의 부품선정 문제-작업할당 및 주문 조정문제-일정계획 문제로 된 계층구조로 나누어 부분 문제들을 해결해 나갔다.

#### 4.1 공정경로 결정 문제(routing problem)

공정 경로 결정 문제는 개선된 계층구조를 가진 해법전략의 첫번째 부분문제으로써 생산주문 화일내의 모든 주문들에 대하여 각 W/S의 공구계약 및 시간제약을 고려하지 않고 공정경로를 결정하는 문제이다.

공정경로를 결정하기 위한 목적함수로서 1) 총 가공시간 최소화 2) 부하균형화 3) W/S간 이동 최소화를 택하여 각각의 경우에 모형화 및 해법을 제시하기로 한다. 모형화에 사용되는 첨자 및 변수는 다음과 같다.

- $i$  : 주문(order) 첨자( $i=1, \dots, I$ )
- $j$  : 공정(operation) 첨자( $j=1, \dots, J_i$ )
- $k$  : W/S 첨자( $k=1, \dots, K$ )
- $t_{ijk}$  : 주문  $i$ 의  $j$ 번째 공정이 W/S  $k$ 에서 가공되는 시간
- $a_{ijk}=1$  : 주문  $i$ 의  $j$ 번째 공정이 W/S  $k$ 에서 가공이 가능한 경우
- 0 : 그렇지 않은 경우
- $q_i$  : 주문  $i$ 의 생산 요구량
- $x_{ijk}=1$  : 주문  $i$ 의  $j$ 번째 공정을 W/S  $k$ 에

서 가공하는 경우

0 : 그렇지 않은 경우

#### (1) 총 가공시간 최소화

총 가공시간 최소화를 목적으로 하는 경우에는 각 주문별로 주문의 부품종류에 따라 가공시간이 최소화되는 공정경로를 결정하면, 전체에 대한 총 가공시간이 최소화된다. 따라서 다른 주문일지라도 부품종류가 동일하면 동일한 공정경로로 결정된다.

총 가공시간 최소화의 경우 공정경로 결정 문제를 임의의 부품에 대하여 모형화하면 다음과 같다.

$$[\text{ROU1}] \text{ Minimize } x_0$$

s.t.

$$\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K a_{.jk} \cdot t_{.jk} \cdot x_{.jk} \leq x_0 \quad (1)$$

$$\sum_{k=1}^K x_{.jk} = 1 \text{ for all } j \quad (2)$$

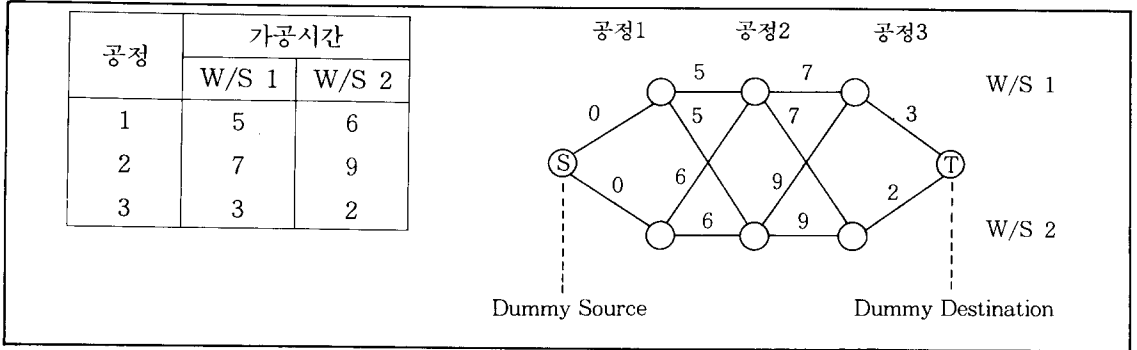
$$x_{.jk} = 0 \text{ or } 1 \text{ for all } j \& k \quad (3)$$

단,  $a_{.jk}, t_{.jk}, x_{.jk}$ 의  $(.)$ 은 임의의 주문을 나타냄.

상기 모형에서 각 공정의 순서가 일정하기 때문에 최단 경로 문제(shortest path problem)로 변환이 가능하다. 다음과 같은 대체 공정 경로를 가진 주문의 예를 들어 설명하기로 한다.

아래의 예에서는 기계간의 이동시간이 고려되지 않았다. 그러나 실제의 상황에서는 기계간의 이동시간이 고려되어야 할 필요가 있다. 이동시간이 고려될 경우에, 하나의 노드에서 나오는 모든 호(arc)들에 각 노드에 주어진 값 즉 가공시간에 각각의 이동시간을 합하여 호들의 값으로 바꾸어 주면, 최단 경로의 문제로 볼 수 있다.

최단 경로 문제에서 최적의 해를 구하기 위한 해법으로 Kijkstra 알고리즘이 적용될 수 있다.



[그림 3] 최단 경로 문제로의 변환 예

(2) 부하 균형화

부하 균형을 목적으로 하는 공정경로 결정문제는 생산주문 화일 내의 주문들을 모두 할당했을 경우, W/S에 할당되는 작업량의 차이를 최소화하는 것이다.

가공시간의 최소화를 목적으로 하는 경우에는 주문별로 공정경로를 결정하였으나, 부하균형화의 경우에는 현재 고려되고 있는 모든 주문을 동시에 고려하여 공정 경로를 결정하여야 한다.

W/S간 부하를 균형화하는, 경우 공정경로 순서 결정 문제는 다음과 같이 0-1 비선형 정수 계획 모형으로 모형화 된다.

$$[ROU2] \text{ Minimize } \sum_{i=1}^{K-1} \sum_{k=1+1}^K |\omega_i - \omega_k|$$

s. t.

$$\sum_{k=1}^K x_{ijk} = 1 \text{ for all } i \ \& \ j \tag{4}$$

$$x_{ijk} = 0 \text{ or } 1 \text{ for all } i, j, k \tag{5}$$

where

$$\omega_k = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J q_i \cdot a_{ijk} \cdot t_{ijk} \cdot x_{ijk} / M_k \tag{6}$$

상기 문제를 살펴보면, 목적함수에 비선형 항목이 포함되어 있다. 비선형 항목을 선형화하기 위하여는 다양한 방법이 개발되어 있으나, 선형화할 경우 결정 변수와 제약식이 크게 증가할 뿐만 아니라 선형화된 문제도 일반적인 정수계획

문제가 되어 실시간 해를 구하기 어렵다. 따라서 문제의 특성이 반영된 발견적 해를 사용하였다.

(부하균형화의 경우 공정경로 결정 알고리즘)

단계 1 : 각 주문별, 공정별로 평균 가공시간을 구한다.

단계 2 : 평균가공시간 값의 감소(nonincreasing) 순서로 공정을 정렬한다.

단계 3 : 1) 평균 가공시간이 큰 공정부터 시작하여 모든 공정이 할당될 때까지 할당한다.

2) 현 공정에서는 할당 가능한 W/S 중에서 현 공정을 할당할 경우, 공정 부하가 최소인 W/S에 할당한다.

3) 공정부하가 동일한 경우에는 현공정의 가공시간이 적은 W/S에 할당한다.

$$k^* \leftarrow \arg \cdot \min \{WK_k + t_{ijk}\}$$

단,  $WK_k$ 는 W/S k의 할당 작업량.

$i, j$ 는 현재 고려 중인 주문  $i$ 의 공정  $j$ 를 의미함.

(3) W/S간 부품이동 최소화

W/S간 부품 이동 최소화를 목적으로 하는 공정경로는 부품별로 결정된다. 연속적인 공정  $j$ 와  $j+1$ 이 동일 W/S  $k$ 에서 수행되는 경우에는  $|x_{jk} - x_{j+1, k}|$  값은 0이 되고, 그렇지 않은 경우



에는 1이 된다.

임의의 주문에 대하여  $N = \sum_k \sum_j |x_{j,k} - x_{j+1,k}|$ 라 놓으면, 다음과 같이 모형화 할 수 있다.

[ROU3] Minimize N

$$\begin{aligned} \text{s.t.} \\ \sum_{k=1}^K x_{j,k} = 1 \text{ for all } j \end{aligned} \quad (2)$$

$$x_{j,k} = 0 \text{ or } 1 \text{ for all } j \text{ \& } k \quad (3)$$

이 문제는 공정 j와 공정 j+1간에 동일한 기계에서 수행되는 경우 거리를 0으로 놓고, 그렇지 않은 경우에는 1로 놓아, 앞절에서 보인 것처럼, 최단경로문제로 볼 수 있다. 따라서 부품 이동 최소화의 공정경로 결정 문제는 Dijkstra 알고리즘에 의해서 해를 구할 수 있게 된다. 만일 Dijkstra 알고리즘에 의해 구간 최적해가 다수인 경우에는, 총 가공시간의 합이 최소인 공정 경로를 선택한다.

(부품 이동 최소화의 경우 공정 경로 결정 알고리즘)

단계 1 : 각 주문별로 최단 경로 문제로 변환시킨다.

단계 2 : Dijkstra 알고리즘을 사용하여 해를 구한다. 만일 단일 해이면 끝내고, 다수해가 존재하는 경우에는 단계 3으로 간다.

단계 3 : 다수의 각 해에 대하여 가공시간의 합을 구하여 그 값이 최소인 공정 경로를 선택하고 끝낸다.

#### 4.2 주문 단위의 부품선정 문제 (PTSP : part type selection problem)

앞 절에서 공정경로가 결정되었기 때문에 다음 단계에서는 부품을 선정하는 문제를 해결하게 된다. 보다 정확히 말하면 주문을 결정하는 문제를 의미한다.

주문 단위의 부품선정 문제는 각 W/S내의 가

용작업시간과 W/S간 작업부하를 균형화할 수 있는 제약조건을 고려하고, 가중치의 합을 최대한으로 하는 주문(order)을 잠정적으로 결정하게 된다.

이 문제는 기계의 가용시간과 공구 매거진 용량이 함께 고려되는 것이 바람직하지만, 그러한 경우 복잡한 정수 계획 문제가 되어 해를 구하기가 어렵다. 따라서 문제해결의 순차적인 방법으로서, 먼저 기계의 가용시간만을 고려하여, 임시적으로 주문을 선정하고 작업 할당 및 주문 조정 문제에서 공구 매거진 용량을 체크 해주는 단계적인 방식을 사용하였다.

주문 단위의 부품 선정 문제에서 사용되는 매개변수(parameter) 및 변수들은 다음과 같다.

$$w_i = p_i \exp(-d_i/b) : \text{주문 } i \text{의 가중치}$$

단,  $w_i$  : 주문 i의 단위부품당 가중치

$p_i$  : 주문 i의 단위부품당 가격

$d_i$  : 주문 i의 남은 납기일수

b : 임의의 상수

$T_k$  : W/S k의 가용 작업시간

$M_k$  : W/S k의 기계 대수

$e_k$  : W/S k의 이용율의 하한치

$t_{ik}$  : 주문 i가 W/S k에서 수행되는 공정들

의 가공시간의 합 ( $= \sum_k t_{ik}$ )

(1) 동일 주문을 동일 배치 내에서만 생산하는 경우

이러한 경우에는 주문 i의 전체 생산 요구량  $q_i$ 를 한 배치 내에서 생산해야 하기 때문에, 결정변수  $x_i$ 는 0-1값을 갖게 되어 다음과 같은 0-1 정수 계획 모형으로 정식화가 가능하다.

$$[\text{PTST1}] \text{ Maximize } \sum_i W_i q_i x_i$$

s.t

$$\sum_{i=1}^I t_{ik} \cdot q_i \cdot x_i \leq T_k \text{ for all } k \dots \dots (7)$$

$$\sum_{i=1}^I t_{ik} \cdot q_i \cdot \chi_i \geq e_k \cdot T_k \text{ for all } k \dots (8)$$

$$x_i = 0 \text{ or } 1 \text{ for all } i \dots (9)$$

상기의 모형에서 목적함수는 가중치의 합을 최대화하는 것이다. 제약식 (7)은 각 기계의 가용 시간 제약을 의미하며, 제약식 (8)은 각 기계의 가동률 하한값으로서 이것은 가능한 기계간의 작업량을 균형화하기 위하여 고려된 것이다. 그러나  $e_k$  값이 1에 가까운 값일 경우 비가능해가 존재할 가능성이 높아진다. 가동률 하한값은 FMS 운영자의 상황에 따라서 달라질 수 있다. 상기의 [PTSP1]을 해결하기 위해서는 LP 완화해법이 개발되었다.

(동일 배치 생산 방식의 주문단위 부품 선정 알고리즘)

단계 1 : LP 최적해를 구한다.

단계 2 : 상기의 최적해  $x_i$  값이 모두 0 혹은 1 이면 최적해로 끝내고, 그렇지 않은 경우에는 소수 값인 변수들만을 이용하여 분지한계 기법을 사용해서 0 혹은 1로 결정한다.

(2) 동일 주문의 배치별로의 분할 생산이 가능한 경우

동일 주문이 배치별로 나뉘어 생산 가능한 경우에는 생산 주문  $i$ 의 생산 요구량  $q_i$ 를 배치에 따라 나눌 수 있으므로 다음과 같은 선형 계획의 문제로의 모형화가 가능하다. 이 때 결정변수  $x_i$ 는 주문  $i$ 의 생산량이다.

동일 주문이 배치별로 나뉘어 생산 가능한 경우에는 생산 주문  $i$ 의 생산 요구량  $q_i$ 를 배치에 따라 나눌 수 있으므로 다음과 같은 선형 계획의 문제로의 모형화가 가능하다. 이 때 결정변수  $x_i$ 는 주문  $i$ 의 생산량이다.

$$[\text{PTSP2}] \text{ Maximize } \sum_{i=1}^I W_i \cdot x_i$$

s. t

$$0 \leq x_i \leq q_i \text{ for all } i \dots (10)$$

$$\sum_{i=1}^I t_{ik} \cdot x_i \leq t_k \text{ for all } k \dots (11)$$

$$\sum_{i=1}^I t_{ik} \cdot x_i \geq e_k \cdot T_k \text{ for all } k \dots (12)$$

이 문제는 LP로 모형화 되었기 때문에 LP패키지를 이용하여 쉽게 문제를 풀 수 있다. 제약식(10)은 변수의 상한값으로 이는 하나의 주문은 생산 요구량을 초과할 수 없음을 의미한다. 이러한 제약조건 때문에 일반적인 상하한값이 있는 LP문제를 풀 수 있는 LP패키지를 사용하는 것이 바람직하다. LP의 최적해는 소수점 이하의 값이 있는 실수값이지만, 실제의 생산량은 정수 값이기 때문에 반올림하여 정수로 바꾸어 사용하였다.

#### 4.3 공구 할당 및 주문 조정 문제(Tool assignment and order adjusting problem)

작업 할당 문제는 부품선정 문제에서 결정된 주문과 정해진 공정경로를 이용하여 각 W/S별로 작업이 할당된다.

그러나 공구용량 제약을 반영하지 않았기 때문에 비가능해인 경우가 발생하는 경우가 있다. 이러한 경우에는 공구용량제약을 위반한 W/S들에 할당된 공구들을 다른 W/S으로 공구를 이동시킬 수 있는가를 확인하여, 이동이 가능하면 다른 W/S에 이동하여 공정경로를 조정해준다. 그렇게 할 수 없으면, 선정된 주문 중에서 일부를 제거하여 가능해가 존재할 때까지 계속 수정한다.

(1) 동일 주문은 동일 배치에서 생산하는 경우

동일 주문이 동일 배치에서 생산하기 위한 공구 할당 및 주문 조정 문제의 특성이 고려된 다음과 같은 알고리즘을 제시하였다.

(동일배치 생산의 공구 할당 및 주문 조정 알고리즘)

단계 1 : 선택된 주문들의 공정경로를 이용하여 필요로하는 공구들을 각 W/S에 할당한다.

단계 2 : 공구 매거진 용량 계약을 위반하는 W/S이 있으면 다음 단계로 가고, 없으면 단계 6으로 간다.

단계 3 : 공구 매거진 용량 계약을 위반한 W/S중에서 공구 매거진 용량을 넘는 슬롯 수가 가장 많은 W/S k\*을 선정하여, 이 W/S에서 이동시켜야할 공구들을 다음과 같은 배낭문제를 풀어 결정한다.

$$[KP] \text{ MAX } \sum U_{t'k'} \cdot V_{t'}$$

$$\text{s.t } \sum g_{t'k'} \cdot Z_{t'k'} \cdot V_{t'} \leq TS_{k'}$$

단,  $U_{t'k'} : W/S k'$ 에 할당된 작업 시간

$TL_{k'} : W/S k'$ 에 할당된 공구 집합

$TS_{k'} : W/S k'$ 의 공구매거진 용량

$g_{t'k'} : \text{공구 } k' \text{의 소요 슬롯 수}$

$V_{t'} = 1, \text{ 공구 } t' \text{가 유지되는 경우}$

$0, \text{ 공구 } t' \text{가 제거되는 경우}$

단계 4 : 제거해야 할 공구들을 그 공구들을 수용할 수 있고, 여유용량과 여유시간이 충분한 W/S이 있는지 확인하여, 그러한 W/S이 존재하면 기계당 할당시간이 가장 작은 W/S k'에 제거해야 할 공구를 할당하고 단계 3으로 간다. 그러한 W/S가 없는 경우에는 단계 2로 간다.

단계 5 : 제거해야 할 공구들을 필요로 하는

주문들 중에서 가중치의 합이 최소화 되도록 Greedy 발견적 기법을 이용하여, 제거해야 할 주문 i\*를 결정하고 단계 2로 간다.

단계 6 : 선택되지 않는 주문들 중에서 새롭게 포함시켜도 공구 매거진 용량 제약 및 시간제약을 만족하는 주문들이 있는지 확인한다. 그러한 주문이 있는 경우에는 가중치가 가장 큰 주문을 새롭게 선택하고 단계 6을 계속한다. 만일 그러한 주문이 없는 경우에는 끝낸다.

(2) 동일주문을 다른 배치로 나누어 생산이 가능한 경우

동일 주문을 다른 배치로 나누어 생산이 가능한 경우에 대한 작업할당 문제는 앞의 동일 배치 생산의 모형이 정수 변수를 선형의 연속 변수로 보고 유사하게 모형화 할 수 있으며, 그 특성이 반영된 앞의 알고리즘이 보완된 발견적 해법이 제시되었다.

4.4 일정계획 문제(scheduling problem)

본 연구에서는 한 배치의 시간을 하루 혹은 shift로 상정하였기 때문에 배치 내 부품의 생산량이 100개를 넘을 수 있다. 하나의 부품은 5-20개의 공정을 필요로 하며, 부품의 생산량이 100 이상인 경우의 일정계획 문제에 대한 최적의 해를 구하는 것은 불가능하다. 따라서 발견적 기법에 의한 일정계획의 수립이 불가피하다.

일정계획을 위한 또 하나의 문제는 하나의 주문은 수량이 수 개 또는 수 십개가 될 수 있다는 점이다. 간단한 시뮬레이션 연구에 의하면 동일한 공정경로를 갖는 동일부품 만들 스케줄링 하게 되면, 동일한 수량의 서로 다른 부품들을 스

케줄링 하는 것보다 작업완료시간이 길어지는 경향을 보여 준다. 따라서 동일한 부품이 동시에 투입되어 작업 완료시간이 길어지지 않도록 부품 투입 계획이 요구된다.

한번에 투입하여 일정계획을 작성하는 부품들의 집합을 최소부품집합(minimal part set, MPS)이라 한다. MPS는 이론상으로는 각 부품의 수량을 수량의 최대공약수로 나눈 값들이다. 예를 들어, 부품 A, B, C가 (10, 20, 30)의 생산량일 경우, MPS는 (1, 2, 3)이 되어, 10회 생산 스케줄링을 수행하게 된다.

현실적으로는 상기의 문제들에서 결정된 생산량들의 최대공약수는 1이 될 가능성이 높다. 이러한 경우 모든 생산 부품들을 일시에 투입하게 되어 스케줄링 문제를 어렵게 만든다. 따라서 본 연구에서는 주기적 스케줄링(periodic scheduling)을 수행하기 위해 다음과 같은 MPS를 구하는 방법을 제시하고자 한다.

(MPS를 구하는 알고리즘)

단계 1 : 초기화

iset(1)=10

iset(2)=5

iset(3)=3

iset(4)=2

iset(5)=1

단계 2 : MPS 결정

for all  $l = 1, 5$  do

for all  $i$  such that  $x(i) > 0$  do

if ( $x(i) \geq iset(1)$ ) then

mps(1,  $i$ ) ←  $x(i) - iset(1)$

else

mps(1,  $i$ ) ← 0

endif

enddo

enddo

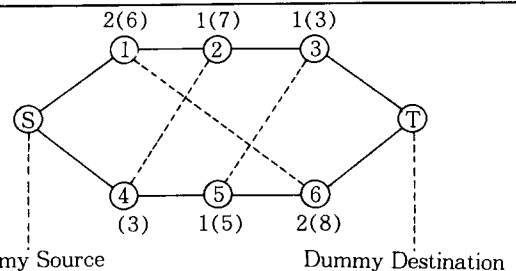
단, mps(1,  $i$ )는 1번째 MPS에 주문  $i$ 의 수량  $x(i)$  : 주문  $i$ 의 생산요구량

지금까지의 FMS 및 job shop의 일정계획문제는 공장배치도에 따른 동적 특성이 반영되지 않았다. 본 연구에서는 공장의 배치 즉 자재이송장치(MHS)의 갯수 및 이동 경로를 고려해줌으로써, 대안별 수행도 평가시 FMS구성에 따른 영향을 파악할 수 있도록 하였다.

본 연구에서는 하나의 MPS를 스케줄링하기 위한 disjunctive arc를 이용한 발견적 기법을 개발하였다. 스케줄링 네트워크에서 각 부품의 공정순서를 나타내는데는  $\longrightarrow$ 가 사용되고, 동일 W/S을 필요로 하는 공정들의 관계를 나타내는데는 disjunctive arc  $\leftarrow\text{-----}\rightarrow$ 가 사용된다. 스케줄링 문제를 푸는 것은 disjunctive arc들의 부분적인 공정순서(partial sequence)들을 결정하는 것이다.

예를 들면 주문 1과 주문 3의 공정 경로는 아래와 같으며, 이 때 주문1의 생산량은 3이고 주문 3의 생산량은 4인 경우의 공정 경로를 이용하여 아래와 같이 스케줄링 문제를 네트워크로 표현할 수 있다.

| 부품   | 공정경로      |
|------|-----------|
| 부품 1 | 2 - 1 - 1 |
| 부품 3 | 1 - 1 - 2 |



[그림 4] Disjunctive arc를 이용한 일정 계획문제의 네트워크 표현 예

위의 네트워크에서 노드번호 ①, ②, ③은 주문 1의 공정들을, ④, ⑤, ⑥은 주문 2의 공정들을 의미하며, 노드 위의 값은 공정이 수행될 기계(가공 시간)을 나타낸다. 제안된 알고리즘에 사용된 기호의 정의는 다음과 같다.

PS : 현 상태의 부분 일정계획(partial schedule)

S : 현 상태에서 할당가능한 공정집합

$\sigma_j$  : S에 속한 공정들이 작업시작이 가능한 시각. 이것은 바로 전에 할당된 공정의 작업완료시각 + W/S간 이동 시간 + MHS에 의한 대기시간.

$\phi_j$  : S에 속한 공정들이 작업이 완료될 수 있는 최단시간 즉  $\sigma_j$ 에 작업시간을 합한 시간.

(하나의 MPS를 위한 일정 계획 알고리즘)

단계 1 : 현 MPS의 공정경로정보를 이용하여 네트워크를 만든다. 매 MPS초기에 선행작업이 없는 모든 공정을 집합 S에 넣는다.

단계 2 : S에 속한 공정 중에  $\phi_j$ 가 최소가 되는  $\phi^*$ 값과 그 때의 해당 W/S  $k^*$ 를 결정한다.

단계 3 : S에 속한 각 공정중에서  $k^*$ 를 필요로 하고  $\sigma_j < \phi^*$ 가 되는 j에 대해서 LRPT(largest remaining processing time)규칙을 사용하여 그 W/S  $k^*$ 의 기계대수 만큼 LRPT값이 큰 부품의 공정부터 partial sequence PS에 포함시킨다.

단계 4 : 새로운 부분 일정계획에 대하여 다음 자료들을 갱신한다.

(a) 집합 S에서 방금 할당된 공정들을 제거하고, 그 공정들의 후속 공정들을 집합 S에 포함시킨다.

(b) 관련된 네트워크상의 disjunctive

arc들의 partial sequence를 갱신한다.

단계 5 : 할당되어야 할 공정이 남아 있으면 즉 disjunctive arc들의 방향결정(resource conflict)이 모두 해결되지 않았으면 단계 2로 간다. 그렇지 않으면 끝낸다.

## 5. 본 모형에 의한 수행도 비교

### 5.1 실험계획

#### (1) 대안 설정

본 연구에서 개발된 FMS 의사 결정 지원 시스템의 수행도를 알아보기 위하여 대안별로 실제 상황을 가정한 자료들을 다수 발생시켜 시뮬레이션이 수행되었으며, 본 형의 유효성을 검증하기 위하여 FMS 운용 전체 문제에 대한 유사한 Chen의 모형과의 수행도 비교가 시행되었다.

대안들의 주요한 특징들을 [표 1]에 제시하였다.

[표 1] 대안 설명

| 대안    | 배치간 분할   | 부하 할당 목적 |
|-------|----------|----------|
| ALT11 | 불 가      | 가공시간 최소화 |
| ALT12 |          | 부하균형화    |
| ALT13 |          | 부품이동 최소화 |
| ALT21 | 가 능      | 가공시간 최소화 |
| ALT22 |          | 부하균형화    |
| ALT23 |          | 부품이동 최소화 |
| CHEN  | CHEN의 모형 |          |

#### (2) 영향변수 설정

각 대안별 수행도값의 비교에 실제적인 FMS 상황을 반영하기위해 FMS의 배치구성과 공정 경로상의 공정수가 고려되었다.

## a. FMS의 배치구성

지금까지 전 세계적으로 설치되어 있는 FMS 구성은 직선형, 순환형, 그물형, 독립형의 4가지 형태가 보편적이다. 이 중에서 Carterpillar사의 FMS를 대표로 하는 직선형고, Cincinnati Milacron사의 FMS를 대표로하는 순환형의 2가지를 택하여, FMS의 배치구성에 따른 수행도의 차이를 보기로 한다.

본 실험에 사용된 FMS는 직선형과 순환형 공히 모두 5개의 W/S으로 구성되어 있으며, 각 W/S은 1대의 머시닝센터로 구성되어 있는 것으로 하였다.

## b. 공정경로(route)

각 부품의 공정 경로가 수행도에 미치는 영향을 보기 위하여 공정수가 많은 것과 공정수가 적은 것으로 나누어 실험하였다.

— 공정수가 적은 것 : discrete uniform(5, 10)분포로 부터 공정수 발생

— 공정수가 많은 것 : discrete uniform(10, 20)분포로 부터 공정수 발생

공정수가 적은 경우에는 공정당 평균가공시간이 continuous uniform(1.0분, 10.0분)분포를

따르며, 공정수가 많은 경우에는 continuous uniform(2.0분, 5.0분)분포를 따른다.

## (3) 자료발생

## a. 부품 자료

본 FMS실험에서 사용된 부품의 종류는 50가지이다. 부품 종류의 크기에 따라서 수행도가 달라질 수 있다. 그러나 본 연구에서는 하나의 주간 계획의 주문들은 중복 가능한 부품들로 구성될 수 있기 때문에, 부품 종류의 크기가 수행도에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 판단되어 부품 종류를 영향 변수로 고려하지 않았다.

각 부품의 단위가격은 discrete uniform(\$100, \$300)분포를 따르며, 각 부품별 공정수는 앞에서 설명한 바와 같다. 각 공정이 수행 가능한 W/S수는 discrete uniform(2, 4)분포를 따르며, 각 공정의 평균 가공시간이  $\mu$  라면 수행 가능한 W/S에서의 가공시간은 triang( $0.8\mu$ ,  $\mu$ ,  $1.2\mu$ )분포를 따른다.

## b. 주문 자료

주문 즉 MPS(master production schedule)는 일주일 분의 주문자료단위로 발생시킨다. 주문발생 자료는 공정수가 적은 경우와 많은 경우로 나누어 다르게 발생시켰다.

[표 2] 주문 발생 자료

| 구분  | 공정수가 적은 것                | 공정수가 많은 것                |
|-----|--------------------------|--------------------------|
| 주문수 | discrete uniform(30, 35) | discrete uniform(15, 20) |
| 생산량 | discrete uniform(10, 40) | discrete uniform(10, 30) |
| 납 기 | discrete uniform(5, 20)  | 좌 동                      |

## (4) 실험 계획

대안 ALT11을 선택하여 예비실험 20회 시행하여 수행도를 측정된 결과 그 대안의 수행도 중에서 대표적인 수행도인 생산량(throughput)을

고려하여, 통계적인 실험반복 횟수를 산정하였다. 생산량의 평균치는 1493.3이고, 표준편차는 459.1인 결과를 보였다. 본 연구에서는  $\alpha$ 를 0.05로 상대정도(relative precision)  $\gamma$ 를 0.05로 설정하여 실험횟수를 산정하여 실험횟수 20회를

사용하는 것이 통계적으로 유의하다고 판단되어, 각 대안별 수행도 비교를 위하여 각 대안별로 실험횟수를 20회로 결정하였다.

FMS 의사 결정 지원 시스템의 각 대안별로 수행도 비교는 1회당 4주분(28일)의 일별 생산 계획 및 일정계획 실행결과를 이용한다. 일일의 가용시간은 1300분이다.

각 대안별로 상기에서 설명한 자료나 영향변수를 고려하여 난수 및 확률변수 발생을 위한 초기 seed값을 다르게 발생시켜가면서, 20회씩의 반복실험을 수행하였다.

따라서 전체적인 실험횟수는 20(반복횟수) × 2(FMS배치구성) × 2(route의 공정수) × 6(대안수) = 480회이다.

5.2 실험결과 분석

(1) 대안간 수행도 비교

a. 공정수에 따른 수행도 비교

공정수가 5-10인 경우보다 공정수가 10-20인 경우가 높은 생산량과 작은 납기 지연일수를 보이고 있다.

b. FMS 구성에 따른 수행도 비교

FMS 구성을 순환형과 직선형으로 나누어 실험하였는데 직선형이 생산량은 약간 높은 값을, 납기 지연일수는 약간 낮은 값을 보이고 있으나 유의한 차이는 없다.

c. 배치간 분할 여부에 따른 수행도 비교

배치간 분할이 가능한 경우가 분할이 불가능한 경우보다 생산량과 납기 지연 일수 모두 우수한 수행도를 보이고 있다.

d. 대안간 수행도 비교

6개 대안간의 생산량은 유의한 차이를 보이고 있지 않으나, 납기 지연 일수는 대안간의 약간의 차이를 보이고 있다.

e. 작업할당 목적간 수행도 비교

생산량 면에서는 부하균형화를 목적으로 하는 경우와 가공시간 최소화의 경우간에는 유의한 차이를 보이고 있지 않으나 두 가지 모두 부품이동 최소화경우에 비해 유의하게 우수한 결과를 나타내고 있다. 납기 지연일수에서는 가공시간 최소화의 경우, 부하 균형화, 부품이동 최소화의 순으로 수행도를 보이고 있다.

[표 3] 대안별 수행도 비교

| 대안    | 생 산 량  |       | 납기지연일수 |       | 관측횟수 |
|-------|--------|-------|--------|-------|------|
|       | 평 균    | 표준편차  | 평 균    | 표준편차  |      |
| ALT11 | 1493.3 | 459.0 | 7.2    | 32.5  | 80   |
| ALT12 | 1490.9 | 457.7 | 7.4    | 32.6  | 80   |
| ALT13 | 1476.3 | 447.1 | 40.9   | 194.7 | 80   |
| ALT21 | 1496.4 | 455.4 | 29.9   | 75.3  | 80   |
| ALT22 | 1497.5 | 454.4 | 40.7   | 78.0  | 80   |
| ALT23 | 1490.2 | 455.4 | 43.5   | 127.3 | 80   |

[표 4] 공정수에 따른 수행도 비교

| 대안        | 생 산 량  |      | 납기지연일수 |       | 관측횟수 |
|-----------|--------|------|--------|-------|------|
|           | 평 균    | 표준편차 | 평 균    | 표준편차  |      |
| SMALL OP. | 1935.9 | 94.9 | 14.3   | 113.7 | 240  |
| LARGE OP. | 1045.8 | 60.8 | 42.4   | 98.2  | 240  |

[표 5] FMS 배치도에 따른 수행도 비교

| 대안  | 생 산 량  |       | 납기지연일수 |       | 관측횟수 |
|-----|--------|-------|--------|-------|------|
|     | 평 균    | 표준편차  | 평 균    | 표준편차  |      |
| 직선형 | 1494.4 | 454.5 | 21.7   | 70.4  | 240  |
| 순환형 | 1487.3 | 451.5 | 34.9   | 133.8 | 240  |

[표 6] 주문 분할 여부에 따른 수행도 비교

| 대안   | 생 산 량  |       | 납기지연일수 |       | 관측횟수 |
|------|--------|-------|--------|-------|------|
|      | 평 균    | 표준편차  | 평 균    | 표준편차  |      |
| 분할불가 | 1486.9 | 452.8 | 18.6   | 116.1 | 240  |
| 분할가능 | 1494.7 | 453.2 | 38.1   | 96.4  | 240  |

[표 7] 작업할당 목적에 따른 수행도 비교

| 대 안      | 생 산 량  |       | 납기지연일수 |       | 관측횟수 |
|----------|--------|-------|--------|-------|------|
|          | 평 균    | 표준편차  | 평 균    | 표준편차  |      |
| 가공시간 최소화 | 1494.9 | 455.8 | 18.6   | 59.0  | 160  |
| 부하 균형화   | 1494.2 | 454.7 | 24.1   | 61.6  | 160  |
| 부품이동 최소화 | 1483.2 | 449.9 | 42.3   | 164.0 | 160  |

## (2) Chen의 모형과 수행도 비교

본 모형과의 비교를 위해 사용된 Chen 모형과의 특성 비교 내용은 아래와 같다.

[표 8] 본 모형과 Chen 모형과의 특성비교

| 구 분     | 본 모형        | Chen의 모형 |
|---------|-------------|----------|
| 부분문제 분류 | 공정 경로 결정    | 부품 선정    |
|         |             |          |
|         | 주문단위의 부품 선정 | 작업 할당    |
|         |             |          |
|         | 공구할당 및 주문조정 |          |
|         |             |          |
|         | 일정 계획       |          |



| 구 분         | 본 모형                           | Chen의 모형                 |
|-------------|--------------------------------|--------------------------|
| 부품선정시 목적함 수 | 가중치합의 최대화<br>(납기와 가격 고려)       | 다음 배치에 포함된 부품들의 가공시간 최대화 |
| 작업할당시 목적    | 가공시간 최소화<br>부하 균형화<br>부품이동 최소화 | 작업완료시간 최소화<br>(부하 균형화)   |
| 중요 제약 조건    | W/S의 공구매거진 용량 제약, 가용시간 제약      | W/S의 공구 매거진 용량 제약        |
| 납기고려        | 고려                             | 비고려                      |
| 생산계획 기간     | 1일 혹은 1 shift<br>(고정적)         | 다음 배치의 최대 작업시간           |

본 모형과의 비료를 위하여 Chen의 모형에서 포함시키지 않은 부분은 본 모형의 부분문제를 대신 사용하였으며, 주문자료나 부품 자료, FMS의 구성등을 동일하게 사용하였다. FMS의 배치는 순환형이고 공정수는 5-10인 경우에 국한하여 본 모형의 실험에서와 같이 20개씩의 동일 자료를 발생시켜 시뮬레이션을 수행하여 나온 수행도의 결과를 비교 분석하였다.

이 실험 결과에 의하면, Chen의 모형은 생산

량의 경우 본 모형의 모든 대안들 보다 16% 정도 낮은 생산량을 보이고 있다. 납기 지연 일수의 경우에는 Chen의 모형의 결과가 본 모형의 모든 대안보다 훨씬 높은 결과를 보이고 있다 ([표 9]참조). 이상의 결과를 종합해 볼 때, 본 FMS 의사 결정 지원 시스템이 Chen의 생산계획 모형보다는 종합적으로 우수한 모형으로 판단된다.

[표 9] Chen의 모형과의 수행도 비교

| 대안    | 생 산 량  |       | 납기지연일수 |        | 관측횟수 |
|-------|--------|-------|--------|--------|------|
|       | 평 균    | 표준편차  | 평 균    | 표준편차   |      |
| ALT11 | 1943.4 | 87.6  | 0.0    | 0.0    | 20   |
| ALT12 | 1934.1 | 107.2 | 1.0    | 4.2    | 20   |
| ALT13 | 1875.7 | 152.6 | 135.0  | 375.4  | 20   |
| ALT21 | 1943.4 | 87.6  | 1.0    | 1.7    | 20   |
| ALT22 | 1943.3 | 87.4  | 8.0    | 30.0   | 20   |
| ALT23 | 1937.3 | 80.5  | 9.2    | 38.6   | 20   |
| CHEN  | 1671.0 | 208.9 | 3331.0 | 1478.6 | 20   |

## 6. 결론 및 추후 연구과제

FMSDS는 FMS의 생산계획 및 일정계획을

위한 통합적인 의사결정 지원시스템이다. 이 시스템은 FMS 생산계획 문제에서 가장 핵심적인 문제들인 부품선정 문제, 작업할당 문제와 일정

계획 문제를 포함하는 의사결정 문제에 대한 해를 제공한다.

FMSDS는 일반적인 기존의 계층구조와는 달리 공정경로 결정문제-주문단위의 부품선정문제-공구할당 및 주문조정 문제-일정계획 문제로 분할될 개선된 계층문제에 대해 각 부분문제를 모형화하고, 각 부분문제들의 계층성과 해의 가해성을 고려하여 다중루프 방식의 해법들을 개발하였다.

FMS의 실제 운영시에 중요하게 고려되어야 할 작업할당 및 공정경로 결정의 목적함수로서 가공시간 최소화, 부하 균형화, 그리고 부품이동 최소화를 각각 사용하였으며, 동일주문을 동일 배치에 생산할 것인가 혹은 분할 생산할 것인가를, 각각의 부품선정시의 2가지 대안으로서 고려하였다.

따라서 작업할당 목적 3가지, 주문의 배치간 분할여부 2가지, 모두  $2 \times 3 = 6$ 개의 전체 대안별로 의사결정 지원시스템이 개발되었으며, 각 대안별로 모의 실험을 수행하여 그 결과를 비교 분석한 결과 다음과 같은 종합적인 결론을 얻을 수 있었다.

1) 작업할당 목적간의 수행도 비교의 결과, 생산량과 관련된 수행도는 3가지 목적간의 유의적인 차이는 없으나, 납기 지연 일수는 가공시간 최소화의 경우가 가장 우수한 결과를 보이고 있다.

2) 동일주문의 분할생산여부에 따른 수행도 비교의 결과 2가지 수행도 모두 분할 생산의 경우가 동일배치 생산보다 약간 우수한 수행도를 보이고 있다.

3) FMS배치도 종류에 따른 수행도 비교에서는 2가지 수행도 모두 직선형과 순환형 간에 유의적인 차이를 보이고 있지 않다.

본 모형의 우수성을 알아보기 위하여 본 모형의 영역과 유사한 Chen의 모형을 선정하여, 동일한 입력자료를 사용하여 실험을 수행하였다.

그 결과 본 모형은 Chen의 모형과 비교해 볼 때 납기와 관련된 수행도는 월등히 우수한 결과를 보였으며, 생산량과 관련된 수행도도 모든 대안에서 16%만큼 우수한 결과를 보였다.

본 연구에서 개발된 FMS의사결정지원 시스템은 생산계획 및 일정계획의 전범위를 고려한 실시간의 해를 제공해 줄 수 있어, 매일매일의 생산계획 및 일정계획에 우수하게 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

또한 본 FMS 의사결정지원 시스템은 FORTRAN언어로 개발되었다. 따라서 FORTRAN언어가 지니고 있는 약점인 데이터베이스 관리의 문제를 보완해 줄 수 있도록, 데이터베이스 관리시스템과의 인터페이스가 개발되어야 할 것이다.

본 연구에서 개발된 FMS 의사결정 지원 시스템을 이용하여 FMS 운영 수행도를 비교하기 위한 시뮬레이션에서 고려되지 못하였던 부품 종류의 크기 등의 요인별 분석이 추후 연구 과제이다.

## — 參 考 文 獻 —

1. Bastos, J. M., "Batching and Routing : Two Functions in the Operational Planning of Flexible Manufacturing Systems," Erop. J. Opri. Res., Vol.33, 1988, 230-244.
2. Berrada, M. and Stecke, K. E., "A Branch and Bound Approach for Machine Load Balancing in Flexible Manufacturing Systems," Mgmt. Sci., Vol.32, No.10, 1986.
3. Chakravarty, A. K, and Shtub, A., "Selecting Parts and Loading Flexible Manufacturing Systems," Proceedings of the 1st ORSA/TIMS Special Interest Conference on Flexible Manufacturing Systems,

- University of Michigan, 1984.
4. Chakravarty, A. K, and Shutub, A., "Selecting Parts and Loading Flexible Manufacturing Systems," Proceedings of the 1st ORSA/TIMS Special Interest Conference on Flexible Manufacturing Systems, University of Michigan, 1984.
  5. Chen, F. R., An Integrated Production Planning System for Flexible Manufacturing., Ph. D Thesis, Univ. of Missouri-Columbia, 1988.
  6. Escudero, L. F., "A Production Planning Problem in FMS," Annals of O.R., Vol.17, 1989, 169-104.
  7. Fox, M.S., and Smith, S.F., "ISIS-A Knowledge-based System for Factory Scheduling," Expert Systems, Vol.1, No.1, 1984, 25-49.
  8. Hwang. S. S., and Santikumar, J. G., An FMS Production Planning System and Evaluation of Part Selection Approaches., Working Paper, Dept. of Management Science, U.C. Berkley, 1987.
  9. Kimemia, J. and Gershin, S. B., "An Algorithm for the Computer Control of a Flexible Manufacturing System," IIE Trans., Vol.15, No.4, 1983, 353-361.
  10. Kusiak, A., "The Part Families Problem in Flexible Manufacturing Systems," Proceedings of the 1st ORSA/TIMS Special Interest Conference on Flexible Manufacturing Systems, University of Michigan, 1984.
  11. Kusiak, A., "Loading Models in Flexible Manufactring Systems," Flexible Manufacturing Systems. edited by A. Rouf, and S. I. Ahmad, Elsevier, 1985.
  12. Nakamura, N. and Shingu, T., "Scheduling of Flexibile Manufacturing Systems," Toward the Factory of the Future, 1985, 147-152.
  13. Nof, S.Y., Barash, M. M. and Solberg, J. J., "Operational Control of Item Flow in Versatile Manufacturing Systems," Int. J. Prod. Res., Vol.17, No.5, 1979, 479-489.
  14. Rajagopalan, S., "Formulation and Heuristic Solutions for Parts Grouping and Tool Loading in Flexible Manufacturing Systems," Proceedings of the 2nd ORSA/TIMS Conference on Flexible Manufacturing systems, Elsevier, 1986.
  15. Sarin, S. C., and Chen, C. S., "The Machine Loading and Allocation Problem in a Flexible Manufacturing System," Int. J. Prod. Res. Vol.25, No.7, 1987, 1087-1094.
  16. Shaw, M. J., and Winston, A. B., "An Artificial Intelligence Approach to the Scheduling of Flexible Manufacturing Systems," IIE Trans., Vol.21, No.2, 1989, 170-183.
  17. Stecke, K. E. and Solberg, J. J., "Loading and Control Policies for a Flexible Manufacturing System," Int. J. Prod. Res., Vol.19, No.5, 1981, 481-190.
  18. Stecke, K. E., "Formulation and Solution of Nonlinear Integer Production Planning Problem for Flexible Manufacturing Systems," Mgmt. Sci., Vol.29, No.3, 1983.
  19. Stecke, K. E., and Kim, I., "A Flexible Approach to Implementing the Short-term FMS Planning," Proceedings of the 2nd ORSA/TIMS Conference on Flexible

Manufacturing systems, Elsevier, 1986.

20. Whitney, C. K. and Gaul, T. S., "Sequential Decision Procedures for Batching and Balancing in FMS," Proceedings of the 1st ORSA/TIMS Special Interest Conference on Flexible Manufacturing Systems, University of Michigan, 1984.

21. 김 종한, FMS의 실제시간 일정계획을 위한

수리적 의사결정에 관한 연구, 서울대학교 석사 학위 논문, 1988.

22. 장 성용, "FMS의 생산계획에 관한 연구," 서울산업대학 논문집 제28집, 1988.

23. 장 성용, FMS의 생산계획 및 일정계획을 위한 통합적인 의사결정 지원 시스템, 서울대학교 박사 학위논문, 1991.

## 저자소개



저자(장성용)는 1980년 서울대 산업공학과, 1982년 동대학원에서 석사, 1991년 동대학원에서 공학박사학위를 취득하였으며, 1987년부터 서울산업대학 산업공학과에 조교수로 재직중이다. 주요 관심분야는 FMS, CIM, 데이터베이스, 시뮬레이션 등이다.



저자(장병만)는 1974년 서울대 산업공학과를 졸업하고 (주)대우에서 IE, 인사관리 분야에서 일한 바 있으며, 1984년 서울대 대학원에서 산업공학 석사, 1989년 동대학원에서 공학박사학위를 취득하였다. 1980년부터 1983년까지 경원공업전문대 공업경영학과에서 강의하였으며, 1984년 이후 현재 서울산업대학 산업공학과에 조교수로 근무중이며, 1991년 7월부터 독일 Stuttgart 대학에서 Post doc.을 이수중에 있다. 주요 관심분야는 경영과학, 공정관리, JIT, CIM등이다.



저자(박진우)는 현재 서울대학교 산업공학과 교수로 재직중이다. 1974년 서울대학교 산업공학과를 졸업하고, 1976년 한국과학기술원에서 석사과정을 마친 후, 한국중공업에서 근무한 바 있으며, 1985년 U.C.Berkeley에서 공학박사학위를 취득했다. 주요 연구 분야는 FMS, CIM, 데이터베이스, 시뮬레이션 등이다.