

# FMS에서 공정계획을 고려한 스케줄링\*

정 남 기\*\* · 기 병 성\*\* · 주 현 준\*\*

## An integration of process planning and scheduling in FMS

Nam-kee Chung\*\* · Byung-sung Gee\*\* · Hyun-jun Ju\*\*

### (Abstract)

In scheduling open-field type FMS, process planning of decision making between alternate machines is taken into consideration. This idea is validated via implementing two experimental systems; One is a knowledge-based system and the other is to solve a Constraint Satisfaction Problem. The former generates some promising schedules in view of improving machine utilization, makespan and meanflow time, and the latter does in view of meeting due date.

## 1. 서론

FMS에서는 각 기계들이 多能하여 여러 가지 작업을 수행할 수 있으며, 동시에 여러 가지 부품이 가공될 수 있다. 각 부품은 transfer line에서 代替經路를 따라 갈 수 있으며 여러 가지의 가공 경로가 가능하다. 또한, 기계의 준비시간이 짧아 공구나 부품의 교체에 큰 부담이 없고, 데이터를 중앙 집중적으로 관리할 수 있어 實時間 통제가 가능하다는 장점이 있다.

이 논문은 open-field형 FMS에서 스케줄링을 다룬다. open-field형은, 같은 종류의 기계들이 촘촘하게 배열되어 있고, 가공품들이 AGV에 의해 사용가능한 기계로 운반된다. 다양한 종류의 가공품과 가공품의 크기가 비교적 적은 것을 다룬다. 가공시간은 짧은 편이고, 부품당 가공 공정 수는 적으나, 전체적인 종류는 많은 편이다. pallet나 운반 기구는 충분하여 가공품의 이동 스케줄에 지장이 없고 workstation이 정해지면, 그곳까지의 운반 경로는 일정하다고 가정한다.

또한, 작업자는 충분하여 기계운영에 지장이 없고, 필요한 공구는 필요한 때에 즉시 공급되는 환경을 갖는다. 이러한 FMS에서는, 기계, 공구의 종류는 적어지나, 시스템 운영비는 증가한다. 왜냐하면, 다양한 부품을 변동적이며 유연한 환경에서 제조해내기 위한 고도의 시스템 운영기술과 소프트웨어가 필요하기 때문이다.

생산계획방식으로는 ship-set방식을 따른다. 즉, 한 단위(혹은 subassembly)에 소요되는 모든 부품을 한 묶음으로 생산함에 따라 각 부품이 한 단위에 필요한 수량씩 일정 시점에 맞추어 가공되는 방식이다. 따라서 주문(생산지시)이 한 단위별로 오고, 한 주문에 따라 가공해야할 부품이 정해진다. 각 부품의 각 공정에는 복수기계가 사용가능하며, 이들간의 가공시간은 서로 다를 수 있다. 공구, 고정구, pallet의 교체시간은 기계별, 부품별로 일정하여, 가공시간에 포함시킬 수 있으며 공정 작업 중에는 교체되지 않는 환경을 갖고 있다.

\* 이 연구는 1991년도 교육부 지원 한국 학술 진흥재단의 지방대학 육성과제 학술연구 조성비에 의해 수행되었음.

\*\* 전남대학교 산업공학과

일반적으로, FMS스케줄링의 어려운 점으로는 부품별 작업순서뿐 아니라 작업경로(운반, workstation)를 정해야 한다는 점과 용량 제약, 선후 공정 제약, 경로 제약과 같은 제약식이 많다는 점이다. 그리고, 未完成 작업의 스케줄이 자주 바뀌게 되고, 작업의 수가 늘어감에 따라 문제의 어려움은 더 커진다. FMS 스케줄링에서 결정(선택)할 사항으로는, 시스템에 투입할 새 부품, 부품 가공을 위한 공정계획, 공정을 담당할 workstation, 부품을 적재할 pallet, 그리고 운반기구, workstation까지의 운반경로 등이 있다. 각각의 workstation에서는 다음에 투입할 부품, 작업자, 공구를 준비하고, 예기치 않은 상황에 대비한 代案도 결정되어야 한다.

이 논문은 open-field형 FMS의 短期 운용계획을 수립함에 있어서, 공정계획과 스케줄링의 상호 관련효과를 반영하고자 한다. 이 연구에서는 공정계획과 스케줄링을 통합적으로 고려하고 있으며, 공정의 선후관계와 복수경로를 고려하여 각 部品の 機械별 작업순서를 정하고자 한다. 여기에 부품-부품간의 작업관계, 납기의 엄격도, 미리 고정된 스케줄들 스케줄 전문가의 지식들도 고려된다. 이를 더 구체적으로 설명하면 다음과 같은 사항들을 고려한다.

- ① 각 부품은 하나 이상의 공정을 거쳐 완성된다.  
(각 공정의 구분은 fixturing을 기준으로 한다.)
- ② 공정들간의 우선순위는 부분적으로 정해져 있다.
- ③ 한 공정은 하나 이상의 기계에서 작업가능하다.
- ④ 각 주문마다 도착시간과 납기가 정해져 있다.
- ⑤ tool, fixture, pallet의 교체시간은 가공시간에 포함시킬 수 있다.
- ⑥ 스케줄링 기간에는 제조환경의 변동(기계의 고장, 부품의 추가 및 삭제)이 없다고 가정한다.
- ⑦ 물자운반기구의 영향은 무시할 만 하다.
- ⑧ 주문(생산지시)은 한단위별로 내려온다.
- ⑨ 先占(preemption)은 없다고 가정한다.

이 연구에서 다루고 있는 문제의 이해를 돕기 위해 하나의 예제를 (표 1)에서 보인다. 이것은 주문및 부품가공에 관한 정보이며 공정에서 화살표는 공정의 선형 제약을 나타낸다.

이러한 환경에서 내려야할 의사 결정으로는 다음에

(표 1) Open-field형 FMS의 스케줄링을 위한 예제

주문	I										II				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
부품	1	2	3	4	5										
납기	11	11	11	15	15										
공정	①→②→③	④	⑤	⑥→⑦→⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬→⑭→⑮	⑯	⑰→⑱	⑲	⑳	㉑	㉒
기계	12123112122123312312121212131	12122123312312121212131	1233123312121212131	12121212131	123231	1231	1231	121212131	131	123231	123231	1231	1231	1231	1231
가공	211321222323211312333223211352311431	211321222323211312333223211352311431	211321222323211312333223211352311431	211321222323211312333223211352311431	211321222323211312333223211352311431	211321222323211312333223211352311431	211321222323211312333223211352311431	211321222323211312333223211352311431	211321222323211312333223211352311431	211321222323211312333223211352311431	211321222323211312333223211352311431	211321222323211312333223211352311431	211321222323211312333223211352311431	211321222323211312333223211352311431	211321222323211312333223211352311431
시간	211321222323211312333223211352311431	211321222323211312333223211352311431	211321222323211312333223211352311431	211321222323211312333223211352311431	211321222323211312333223211352311431	211321222323211312333223211352311431	211321222323211312333223211352311431	211321222323211312333223211352311431	211321222323211312333223211352311431	211321222323211312333223211352311431	211321222323211312333223211352311431	211321222323211312333223211352311431	211321222323211312333223211352311431	211321222323211312333223211352311431	211321222323211312333223211352311431

어떤 부품을 가공하고, 그것을 언제부터 가공할 것인가, 일단 가공시작된 부품을 어떤 경로를 거치게 할 것인가 등이다.

이를 해결하는 방법으로 다음 2가지 방법, 즉, 스케줄링 전문가의 경험과 Dispatching 규칙을 함께 활용하는 규칙기반 스케줄링 시스템을 이용하는 방법과 Constraint Satisfaction Problem (CSP) 모형을 이용하는 방법을 활용한다. 前者는, 먼저 스케줄 대상 공정을 전문가의 경험과 지식을 이용하여 정하고, 이들에 Dispatching 규칙들을 적용한다. 다음, 스케줄링 결과를 평가하고 그 평가치에 근거하여 Dispatching 규칙들의 적용 순서를 조정한다. 後者는 探索的인 방법에 의해 부품에 관한 정보와 제약 조건을 만족시키고 납기를 준수하는 가능 스케줄을 찾는다. 이 논문은 이상의 2가지 스케줄링 방법에 따라 각각의 시스템을 구축하고 그 스케줄링 결과를 비교한다.

이 논문의 문제와 유사한 형태의 FMS 스케줄링 문제는 dispatching 규칙을 이용하거나 인공지능기법을 이용하는 경우가 있다. Denzler와 Boe[3]는 제품의 생산량을 고려하여 발전적 규칙들을 사용하였다.

인공지능기법을 이용한 연구로는, Fox와 Smith[5]의 ISIS 시스템, Smith[9]의 OPIS 시스템, Bensana 등[4]의 job-shop 스케줄링에 관한 이론적 결과와 경험적 지식을 모두 활용할 수 있는 OPAL 시스템, Bruno와 2인[2]이 100-200개의 부품을 포함하는 배취 생산을 위해 개발한 MASCOT, Subramanyam과 Askin[10]이 연구한 실시간 job-shop 스케줄링 시스템, O'Grady와 Lee[7]의 FMC 통제를 위한 PLATO-Z등이 있다.

이중 ISIS는 인공지능을 이용한 최초의 스케줄링 시스템으로 복잡한 공장환경과 제약조건들을 충분히 묘사한 후 가능한 스케줄을 찾는 시스템이다. OPIS는 ISIS를 발전시켜 공장환경의 일시적 변화를 수용할 수 있게 했다.

## 2. 규칙기반 스케줄링 시스템

### 2.1. 개요

많은 dispatching 규칙들이 작업체제시간이나 납기 지연시간을 줄이기 위한 방법으로 사용되고 있다. 그렇지만 실제 FMS의 환경은 이 방법들이 단순하게 적용되기에는 너무 복잡하다. 이런 실제적인 문제를 해결하기 위한 방법의 하나로, 스케줄 전문가의 지식과 경험이 존중되면서 dispatching 규칙이 적용되는 시스템을 개발한다. 이 시스템에서는 공정계획과 스케줄링을 통합적으로 고려하고 있으며, dispatching 규칙들이 문제 해결과정의 상태에 따라 선택적으로 적용되어지는 특징을 가지고 있다.

공정의 선후관계를 고려하여 각 부품의 機械별 작업 순서를 정하고자 한다. 여기에 부품-부품간의 작업관계, 납기의 엄격도, 미리 고정된 스케줄등 스케줄 전문가의 지식을 고려하며, 이 내용들은 규칙으로 표현되어 지식베이스에 저장된다. 스케줄링 방법은, 먼저 규칙을 추론하여 스케줄 대상 공정을 정하고, 이들에 dispatching 규칙들을 순서적으로 적용하여 스케줄링해 나간다. 다음, 스케줄링 결과를 평가하고 그 평가치에 근거하여 dispatching 규칙들의 적용 순서를 조정한다.

이 시스템은 일종의 전문가 시스템으로, 스케줄 전문가 지식과 dispatching 규칙의 적용결과가 활용됨으로써, 상황 변화에 대응할 수 있는 知能을 갖게 된다. 이것은 Prolog를 이용하여 IBM PC에서 구현되었다. 이 시스템은 다음과 같은 특성이 있다.

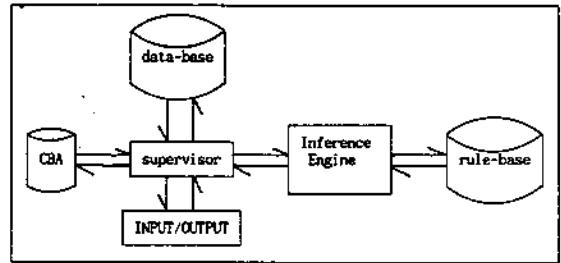
- ① 스케줄링 전문가의 지식과 경험을 적절히 활용한다.
- ② 사용자와의 interface를 통하여 정보의 교환이 가능하다.

③ 스케줄링의 목표에 따라 규칙의 적용여부, 적용 순서를 조정할 수 있다.

④ 제조환경의 변화를 수용할 수 있는 시스템으로 확장될 수 있다.

### 2.2. 시스템의 구성

이 시스템은 크게 Database(DB), Constraint Based Analysis(CBA), Rule Base(RB)로 구성되어 있다. 여기에 사용자와의 interface를 통해 시스템 전체를 관리하는 Supervisor가 있고, RB에 있는 규칙들을 추론하는 Inference Engine이 있다. 이들간의 관계를 그림으로 표현하면 다음과 같다.



〈그림 1〉 규칙기반 스케줄링 시스템

#### (1) Database(DB)

부품(공정, 사용기계, 선행제약), 기계(가공시간)에 관한 정보를 저장하고 있다. 이 정보들은 설계 정보에 의해 미리 정의 되어 있으며 入力 정보에 따라 적절히 제공되어 진다. 入力되어야 할 정보는 (표 1)에 있는 내용 외에, 성과 평가 기준, 고정된 스케줄 등이다.

납기가 주어진 주문이 발생하면, DB로부터 해당 부품에 대한 정보를 찾는다. 이 정보를 토대로 각 부품에 대한 납기를 역산하여, 각 부품들의 선행제약, 기계, 가공에 대한 정보와 함께 Supervisor에 보낸다.

#### (2) Constraint Based Analysis(CBA)

제한 제약조건들을 이용하여 작업순서를 결정하는 부분이다. CBA는 DB에서 가져온 정보들과 입력 정보를 종합하여 작업순서를 결정한다. 결정할 수 없으면 Supervisor로 보낸다. 이 때 각 작업순서의 제약조건은

다음과 같다.

- ① 작업가능한 기계의 사용 여부
  - DB의 정보에 따라 해당 기계에서의 작업가능 여부
- ② 부품의 작업시작가능 여부
  - 현재시간과 부품의 시작가능 시간을 비교하여 결정
- ③ 선행계약
  - 선행계약은 부분적으로 정해져 있다.
- ④ 납기
  - 각 부품의 납기만족 여부

### (3) Rule Base(RB)

스케줄 전문가의 경험적 지식과 Dispatching 규칙을 저장하고 있다. RB는 이러한 지식과 규칙들을 토대로 CBA에서는 결정할 수 없었던 작업들의 순서를 정한다.

- ① 전문가의 지식
  - 각기 다른 부품의 공정간 연속작업
  - 미리 고정된 스케줄
  - 상황에 따른 대체기계의 고정
  - 기계의 작업할당 우선순위
- ② Dispatching 규칙
  - 납기지연 부품의 배정
  - 후행공정을 감안한 부품의 배정
  - 작업가능한 기계의 수를 감안한 부품의 배정
  - 가공시간을 감안한 부품의 배정

### (4) Supervisor

시스템 전체를 관리하는 부분으로 DB, CBA, RB를 서로 연결하여 주고 관리하는 역할을 한다. Supervisor는 단순한 중개 역할뿐만 아니라 사용자와의 interface를 통해서 시스템 전체를 총괄하는 부분으로, 전문가의 지식을 습득하고 스케줄 결과를 평가하여 재 스케줄 여부를 결정한다.

### (5) Inference Engine

RB에 저장된 규칙들을 추론하여 CBA가 결정을 유보한 경우에 대해서 작업순서를 정한다. 여기서 스케

줄 전문가의 지식 적용여부와 성과측정기준에 따라 규칙의 적용순서가 달라진다. 또, 스케줄링 후 납기 준수여부, 기계 가동율등을 측정하여 규칙의 적용순서를 조정한다. 後方向 추론을 사용한다.

### (6) 出力 정보

각 기계별 작업시작 시간, 각 부품별 기계가공완료 시간, 각 기계별 부하, 성과측정치

이상과 같이, 이 시스템은 Supervisor가 DB, CBA, RB를 총괄하면서 스케줄링을 진행한다. 먼저, Supervisor는 입력정보를 토대로 DB에서 각 부품에 대한 납기, 선행계약, 기계, 가공에 대한 정보를 받아들이고, 이 정보들을 이용하여 CBA에서 작업순서를 결정한다. 여기서 결정할 수 없는 경우에는 RB에 저장된 전문가 지식과 규칙을 성과측정기준에 따라 적절하게 사용한다. 하나의 스케줄이 결정되면, Supervisor는 이 스케줄을 평가하고 재 스케줄 여부를 결정한다. 재 스케줄할 때는 평가치에 따라 규칙의 적용순서를 조정한다.

## 3. CSP 모형을 이용한 스케줄링

### 3.1 CSP 모형의 활용

FMS 스케줄링에는 많은 제약 조건이 수반된다. 그 중에서도 각 주문에 대한 납기 준수는 매우 중요한 제약조건이다. 여기서는 각 주문의 납기를 만족시키는 가능 스케줄을 찾기 위해 Constraint Satisfaction Problem(CSP) 모형을 이용한다. CSP 모형은 많은 제약 조건을 충분히 고려해 줄 수 있으므로 현실감있는 스케줄링을 제공할 수 있다.

CSP 모형은 주어진 제약 조건들을 만족하는 범주에서 각 변수들에 순차적으로 값이 할당된다. 값을 할당하는 과정에서 만약 非可解가 나오면 변수의 값을 다시 선택하는 backtracking 절차를 갖는다. 이러한 解의 탐색과정이 계속되면 많은 可能解를 구할 수 있고 그 중에서 좋은 解를 선택할 수 있다. 그러나, 문제 규모가 커짐에 따라 탐색 공간이 커져 탐색 횟수가 증

가되므로, 효율적인 탐색 방법이 필요하다. 탐색의 효율성은 탐색하는 변수의 순서 (Variable Ordering), 선택된 변수에 값을 할당하는 방법 (Value Ordering), backtracking 방법 등에 의해 큰 영향을 받는다.

일반적으로 Variable Ordering은 남아 있는 탐색 공간을 가장 크게 제약하는 node부터 선택하는 방법이 좋은 것으로 알려져 있다[8]. 이 방법은 그래프상에서는 가장 많은 제약식과 연관된 node를 선택하는 것에 해당된다. 또 Value Ordering은 아직 선택되지 않은 node의 값 선택 범위를 되도록이면 좁히지 않는 한도 내에서 값을 정하도록 한다. Backtracking 방법은, Backjumping (또는 Go-back to source of schemes 혹은 Dependency-directed backtracking이라고도 한다.)이 잘 알려져 있다. 이것은 dead end를 발생시킨 node로 가서 값을 바꾸는 방법이다. 즉, dead end와 관련된 node로 가서 탐색을 다시 함으로써 관련 없는 node를 거쳐서 가는 것보다 훨씬 많은 탐색수를 줄일 수 있다.

여기서 다루고 있는 스케줄링 문제는 주문마다 납기가 다르고 각 주문에는 여러개의 부품이 群으로 묶여 있다. 각 부품이 완성되기에는 여러개의 공정이 필요하며 가공 시간이 다른 代案 기계를 갖고 있다. 또한 각 공정의 선행 제약이 주어져 있다.

이 문제를 CSP로 모형화하여 그래프로 표현할 때, 각 node는 공정과 그 공정이 가공되는 기계의 조합을 표현한다. 즉, node의 수는 공정의 수와 공정의 대안 기계수의 조합 수만큼 존재한다. 그리고, 각 node에 할당되는 값은 기계의 가공 시작 시점과 끝나야 할 시점으로 이루어진 時間帶(time-window)이다. 또, 각 가공 선행 제약 조건은 하나의 arc로 표현된다.

### 3.2. 시스템 구축

이 CSP모형을 이용하여 FMS 스케줄링 문제를 해결하고자 할 때, 우선적으로 결정되어야 할 것이 解의 探索 방법이다. 여기서는 Variable Ordering과 Value Ordering 방법으로는 발견적 방법을 사용하였으며, Backjumping 방법으로 backtracking하였다. 특히 각 variable (즉 node)에 할당되는 값이 時間帶의 형태이

므로, 非可解가 되는 경우를 미리 예측하여 探索하지 않는 방법(우리는 이것을 pruning이라 했다)을 사용하였다. 이러한 내용들을 자세히 설명한다.

#### (1) Variable Ordering

CSP모형에서 node 선택 순서가 가능해를 구하는 시간에 영향을 미친다는 사실은 앞에서 살펴보았다. 이 논문에서는 node를 선택하는데 있어서 다음과 같은 발견적 규칙들을 이용하였다. 적용 우선순위는 나열된 순서를 따랐다.

- 선·후행 제약 arc가 가장 많이 연결된 node부터 선택한다.
- 代案 기계수가 적은 공정의 node부터 선택한다.
- 가공 시간이 짧은 기계의 node부터 선택한다.

#### (2) Value Ordering

선택된 node에 값을 할당하는 방법도 해를 探索하는데 중요한 역할을 한다. 이 논문에서는 다른 node에 되도록 많은 가능성을 남겨주기 위해 다음과 같은 발견적 규칙들을 적용하였다.

- 선행 node 없는 시작 node에서는, 가능한 빠른 시작 시간을 할당한다.
- 후행 node 없는 끝 node에서는, 끝나는 시점을 가능한 뒤로 늦춘다.
- 이외의 다른 경우는 가능한 중간 時間帶를 사용한다.

#### (3) Pruning

한 node에 時間帶가 정해지면 가능 時間帶의 제약을 받는 그와 관련된 다른 node가 있다. 같은 기계를 사용하는 node와 같은 부품에 속하는 node들이 그런 경우이다. 이런 node들간에는 공정 時間帶가 겹치는 경우를 피해야 한다. (그림 2)는 공정 時間帶가 겹치는 모든 경우를 보이고 있다. 이 제약을 미리 고려하여 다른 node의 불가능한 時間帶를 미리 제거하면 非可解를 탐색하는 비능률을 막을 수 있다.

특히 같은 부품에 속하는 두 node간의 관계에서는 선·후행 공정관계를 고려하여야 한다. 즉, 현재 탐색 중인 node의 선행 node에 대해서는 그 끝나는 시각이

X Y	X SAME Y
X Y	X STARTS Y
X Y	X ENDS Y
X Y	X OVERLAPS Y
X Y	X DURING Y

(그림 2) 두 node간의 관계에서 pruning 대상이 되는 경우[6]

현재 node의 시작 시각보다 크지 않도록 時間帶를 정하고, 후행 node인 경우 그 시작 시각이 현재 node의 끝나는 시각보다 작지 않도록 정한다.

#### (4) Backjumping

탐색을 하는 도중에 非可解가 나올 때는 기존의 선택된 時間帶를 수정해야 한다. dead end가 발생한 node를 발견했을 때, 이 node의 값에 영향을 받는 node들 중에서 가장 최근에 나타난 node로 jump한다. 이 node의 값을 수정한 후, 그 이후 node부터 다시 탐색을 계속한다.

이 시스템에서는 주어진 정보 (각 주문의 납기, 부품, 공정, 기계 등이 해당됨)를 저장하기 위하여 frame을 사용하였다. frame은 지식을 계층적으로 표현할 수 있고, 정보상속을 제공한다는 측면에서 스케줄링 문제에서의 정보를 저장하는 데 적합하다. 이 frame을 구현하고 Variable Ordering, Value Ordering에 관한 규칙들, 제약 조건들을 추론하는 도구로써 KAIST에서 Lisp을 기반으로 개발한 UNIK를 사용하였다. UNIK는 전문가 시스템과 계량모형과의 체계적 연결을 꾀한 시스템으로서, 독자적으로 사용이 가능한 여러개의 부분시스템으로 이루어진 종합적 지식 표현과 문제 해결 시스템이다.

## 4. 시스템의 비교 분석

앞節에 기술된 2개의 스케줄링 시스템을 비교 분석하기 위하여, 주문 2-3개, 각 주문당 부품 2-4개로

구성된 몇개의 문제에 대해 실험하였다. 우리들이 제시한 시스템을 평가하기 위해 다른 방법, 즉 SPT (Shortest Processing Time)와 EDD(Earliest Due Date) dispatching 규칙을 단순하게 적용한 방법으로도 스케줄링하였다. 이상의 4가지 방법에 의한 스케줄링 결과를 남기지연, 기계가동율, 완성시간, 평균체제시간 등으로 분석하였으며 이 결과치를 (표 2)에 수록하였다.

(표 2) 스케줄링 결과의 비교 분석

(\*는 가장 좋은 경우를, ok는 남기지연이 없음을 나타냄)

문 제 NO	크기	스케줄링 방법	결 과 분 석			
			납기 지연	기계 가동율	완성 시간	평균체제 시간
1	주문 3 부품 6 공정20	SPT	0,2,2	1.00*	20	12.3
		EDD	ok	0.93	16*	11.8*
		규칙기반	ok	1.00*	16*	11.8*
		CSP	ok	1.00*	18	13.2
2	주문 2 부품 5 공정16	SPT	ok	0.96	16	10.8*
		EDD	ok	1.00*	15	12.4
		규칙기반	ok	1.00*	13*	11.0
		CSP	ok	0.97	16	12.0
3	주문 3 부품 6 공정18	SPT	1,0,0	1.00*	18	12.0
		EDD	ok	1.00*	15*	11.0*
		규칙기반	ok	1.00*	15*	12.2
		CSP	ok	1.00*	19	12.5
4	주문 2 부품 5 공정14	SPT	7,0	1.00*	15	10.2
		EDD	2,0	1.00*	12*	10.2
		규칙기반	1,0	1.00*	15	9.2*
		CSP		(가능해 일치 못함)		
5	주문 3 부품 7 공정16	SPT	ok	1.00*	13*	9.6
		EDD	ok	1.00*	13*	8.7*
		규칙기반	ok	0.97	14	9.6
		CSP	ok	0.97	14	9.9

납기지연은 각 주문별 납기 초과시간, 기계가동율은 작업중인 기계에서 유휴시간이 발생하지 않은 비율, 완료시간은 모든 주문이 완료된 시각, 그리고 평균체제시간은 부품의 평균체제시간을 각각 의미한다.

이 실험 결과로 볼때, 규칙기반 시스템이 4가지의 평가기준에 대해 비교적 빠짐없이 양호한 결과를 보이고 있다. 4번 문제에 대해서만 납기를 만족시키지

못하고 있으나 이것은 CSP 시스템에서도 가능해를 얻지 못한 경우이다. 5번 문제를 제외하면 4가지 평가 기준중 2가지 이상의 기준에서 가장 좋은 스케줄을 얻었다. 문제의 크기가 실험적 수준이므로 이 결과로써 단정적인 결론을 도출하기는 어렵다하더라도, 이 시스템에서 제시하는 스케줄링 방식이 유용하게 사용될 수 있는 가능성을 보여주는 것으로 해석된다.

CSP 시스템의 결과는 예상대로 납기를 만족하도록 스케줄링하는 데 탁월한 능력을 보인다. 이 시스템의 방법은 납기만족을 우선으로 하는 스케줄링에서 좋은 효과를 얻을 수 있다고 본다. 그러나 기계가동율, 완성시간, 평균체제시간등 다른 기준에서 볼때 다른 스케줄링 방법에 비해 그다지 만족스럽지 못하다. 이것은 시간이 많이 걸려 다른 스케줄을 충분히 탐색하지 못한 결과이다. 탐색 속도를 빠르게할 수 있다면 보다 만족스런 결과도 얻을 수 있을 것이다.

위 각각의 방법에서 스케줄을 얻는데 걸린 시간의 비교는, 사용언어(Lisp과 Prolog)의 특성이 다르기 때문에 의미있는 결과를 얻기 어려웠다. 특히 CSP 시스템에서 걸린 시간은 Lisp 언어의 특성상 만족스럽지 못했으며 이 부분에 대한 개선의 여지를 남겨놓고 있다.

## 5. 결론

이 논문은 open-field형 FMS에서 공정계획과 스케줄링을 통합적으로 고려하고 있다. 즉, 공정의 선후관계와 복수경로를 고려하여 각 부품의 機械별 작업 순서를 정하였다. 여기에 부품-부품간의 작업관계, 납기의 엄격도, 미리 고정된 스케줄등 스케줄 전문가의 지식들도 고려하였다.

이를 해결하는 방법으로 다음 2가지 시스템 즉, 스케줄링 전문가의 경험과 Dispatching 규칙을 함께 활용하는 규칙기반 스케줄링 시스템과 Constraint Satisfaction Problem(CSP) 모형을 이용하는 시스템을 개발하였다. 前者에서는 Prolog 언어를 이용하였고, 後者에서는 Lisp 언어를 사용하였다. 이 두 시스템은 기초 자료를 수정하고 새로운 제약 조건을 첨가하는 것이 용이하므로 생산 현장에서의 상황 변화에 어느정도

대처할 수 있게 설계되었다.

이 두 시스템의 스케줄링 결과를 납기지연, 기계가동율, 완성시간, 평균체제시간 등의 기준으로 비교 분석하였다. 그 결과, 규칙기반 시스템이 4가지의 평가 기준에 대해 비교적 빠짐없이 양호한 결과를 보이고 있으며, CSP 시스템은 예상대로 납기를 만족하도록 스케줄링하는 데 좋은 결과를 나타냈다.

이 연구는 실험적 수준에서 수행된 것이므로 이 결과를 실제 FMS에 적용하기 위해서는 더 많은 연구가 필요하다. 실제 상황에 접근한 큰 규모의 문제를 대상으로 실험하여야 하며, 더 많은 動的인 상황의 변화를 수용할 수 있어야 한다. 이를 위해서는 시스템 구축도구들의 용량과 속도가 개선되는 것이 선행되어야 할 것이다.

## 참고문헌

1. 정무영, 이문석, "FMS(유연 생산 시스템)의 현황과 전망", 경영과학, 제 4권(1987), pp. 12-41.
2. B. Bruno, A. Elia and P. Laface, "A rule-based system to schedule production," *IEEE computer*, Vol. 19, No. 7, pp. 33-40, 1986.
3. David R. Denzler and Warren J. Boe, "Experimental Investigation of flexible manufacturing system scheduling design rules", *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 25(7), pp. 979-994, 1987.
4. E. Bensana, G. Bel and D. Dubois, "OPAL: A multi-knowledge-based system for industrial job-shop scheduling", *INT. J. PROD. RES.*, Vol. 26, No. 5, pp. 795-819, 1988.
5. M. S. Fox and S. F. Smith, "ISIS: a knowledge-based system for factory scheduling", *Expert Systems*, Vol. 1, No. 1, pp. 25-49, 1984.
6. M. S. Fox and M. Zweben, "Knowledge-based scheduling", *The 9th National Conference on Artificial Intelligence*, 1991.
7. P. O'Grady and K. H. Lee, "An intelligent cell system for automated manufacturing", *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 26, No. 5, pp. 845-861, 1988.

8. Rina Dechter, "Enhancement schemes for constraint processing: backjumping, learning, and cutset decomposition", *Artificial Intelligence*, 41, pp. 273-312, 1989/90.
9. S. F. Smith, "A constraint-based framework for reactive management of factory schedules", in Michael Oliff(ed) *Intelligent Manufacturing*, Menlo Park, Benjamin/Cummings, 1988.
10. S. Subramanyam and R. G. Askin, "An expert system approach to scheduling in flexible manufacturing systems," in A. Kusiak (Ed.), *Flexible Manufacturing Systems: Methods and Studies*, North Holland, Amsterdam, The Netherlands, pp. 243-256, 1986.



정남기(鄭南基)

1955년 9월 6일생.

서울대학교 산업공학과, 한국과학기술원 산업공학과(석사), 한국과학기술원 경영학과(박사) 졸업.

현재 전남대학교 산업공학과에 재직중. 생산관리 시스템(MRP, JIT)의 설계및 운용에 관심이 있으며, 현재 Constraint

Satisfaction Problem(CSP)모형을 이용한 스케줄링과 Simulation을 이용한 생산시스템 운용에 관한 연구를 수행중이다.

93년 8월 부터 U. of Toronto에서 Mark Fox교수와 공동연구중이다.



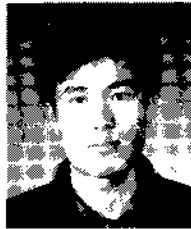
기병성(奇炳成)

1963년 6월 25일생.

1988년 전남대 공대 산업공학과 졸업.

1990년 동 대학원 산업공학과 졸업(석사).

현재 전남대 대학원 산업공학과 박사과정.



주현준(朱賢俊)

1968년 9월 14일생.

1991년 전남대 공대 산업공학과 졸업.

1993년 동 대학원 산업공학과 졸업(석사).

현재 국방과학연구소 연구원.