

# 전문가 시스템을 이용한 Job Shop 일정계획

오 승 준\*

## An Expert System for Job Shop Scheduling

Seung-Joon Oh

### Abstract

In order to solve scheduling, many techniques including optimization and heuristics methods have been proposed. However, these conventional approaches are usually inadequate to obtain a satisfactory solution because of a NP-Complete which requires extensive computation effort. The aim of this paper is to develop an expert system for job shop scheduling using an AI technique. Through this system, the user can choose one of several performances. If one performance is chosen, then the system solves a scheduling in order to satisfy that performance. Then, this system decides urgent job. This system can utilize production resources efficiently and minimize work-in-process inventories and tardy jobs.

## I. 서론

일정계획 문제는 제품의 생산에 관계되는 모든 공통적인 자원을, 동일한 기간동안 서로 다른 여러 가지 제품을 만드는데 사용하여야 할 경우에 발생한다. 그러한 경우에 사용되는 생산 일정계획은 제품을 생산하는 과정에서 원하는 수행 결과를 얻기 위하여 생산의 전 기간에 걸쳐 이용 가능한 자원을 효과적으로 할당하는 것이다[3].

생산 일정계획 문제는 유한한 자원들간의 복잡한 관계 때문에 어떤 자원의 할당은 다른 자원의 할당에 많은 영향을 미친다[1]. 즉 자원들 사이의 상호 작용 때문에 생산 일정계획의 결정은 매우 복잡한 문제이다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 여러 가지 방법들이 연구되고 있는데, 크게 ① 수리 계획 모형, ② 할당규칙(dispatching rule) 적용, ③ 휴리스틱 알고리즘 기법, ④ 인공지능 접근법 등의 4가지 방향에서 연구가 진행되고 있다[2].

그러나, 생산 일정계획 문제는 NP-Complete 문제로서 수리적 모형으로는 쉽게 해결할 수 없다. 또한, 할당규칙 적용이나 휴리스틱 알고리즘 기법은 특정 상황에 대해서는 우수

\* 서경대학교 전자상거래학과 겸임교수

한 결과를 제시하지만 일반적으로 모든 환경에 적용할 수 없다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 인공지능 기법중의 하나인 전문가 시스템 기법을 일정계획 문제에 적용하려는 많은 연구가 진행되고 있다.

본 연구의 목적은 Job shop 일정계획 문제에 인공지능 기법중의 하나인 전문가 시스템 기법을 적용하여 생산 일정계획 시스템을 개발하는 것이다. 이 시스템을 통하여 생산 일정계획자는 효율적으로 자원을 이용할 수 있고, 재공품 재고 수준을 감소 시킬뿐만 아니라 납기를 준수할 수 있는 일정계획을 세울 수 있다.

## II. 기존 연구

인공지능 기법의 출현 이후로 인공지능 기법을 생산 일정계획 문제에 적용시키려는 많은 연구가 이루어져 왔는데, 그 중에서도 전문가 시스템은 가장 성공적이고 다양한 응용 분야를 가진 기법으로 인식되어 왔다.

<표 1>에서는 지금까지 개발된 많은 생산 일정계획 전문가 시스템의 특징들이 나타나 있다.

〈표 1〉 일정계획 전문가 시스템들의 특징

연구자	지식표현	운영전략	목적 및 환경
Bensana et al. (1986)	규칙	메타규칙과 제한 조건 기반 분석	Job-shop 일정계획
O'Connor (1984)	규칙		FMS에서의 주문 일정계획
Ben-Arich (1986)	선언문과 규칙		Shop-floor 일정계획
Fox (1983)	프레임	제한조건 직접 탐색법	대규모 Job-shop 일정계획
Grant (1986)	프레임과 규칙	휴리스틱 기법	수리작업 일정계획
Show and Whinston (1986)	선언자, 프레임과 규칙들	휴리스틱 기법과 생성규칙	일반적인 Job-shop 일정계획

표 1에 나타난 몇몇 일정계획 전문가 시스템의 특징을 살펴보면 다음과 같다.

### 1) ISIS (Fox, 1983)

카네기 멜론 대학에서 개발한 생산 일정계획 시스템으로서 프레임 기반 언어인 SRL(S 초듬 Representation Language)을 사용하여 지식을 표현하였다. 대상으로 하고 있는 문제의 영역은 노스캐롤라이나 윈스턴-살렘의 웨스팅 하우스 터빈부품 생산공장이다. 추론방법으

로는 계층적 조건 직접 탐색법을 사용하였다[9,10].

## 2) ISA (O'Connor, 1984)

DEC에 의해 개발된 일정계획 시스템으로서 고객의 주문을 받으면 즉시 그 주문에 대한 일정계획을 작성하는 즉시처리가 가능한 시스템이다. 추론기법으로는 전진적 연결 추론방법을 사용하였고, OPS-5로 작성되었다[10].

## 3) OPAL (Bensana et al., 1986)

OPAL은 CBA(Constration-Based Analysis) 모듈과 규칙베이스 의사결정 지원모듈로 구성되어있다. 작업들이 CBA모듈로 순서화 될 수 없고, 더 이상의 제약조건이 없다면 규칙베이스 의사결정 지원모듈이 새로운 작업공정의 쌍을 선택하기 위해 불려진다. 의사결정 지원시스템의 통제 전략은 퍼지 집합론에 근거를 두고 있다. OPAL은 common-LISP로 개발되었다[4].

### Ⅲ. 일정계획 문제

일정계획이란 생산에 따른 제약 조건들을 만족하면서 생산비용을 최소로 하도록 생산의 전 기간에 걸쳐 이용 가능한 자원들을 할당하고 그 사용 순서를 결정하는 것을 말한다.

일정계획 분야에서 다루어지는 문제는 대상이 되는 시스템의 특징에 따라서 다음과 같이 크게 네가지로 분류할 수 있다[8].

- ① 단일기계에 대한 순서계획 문제(single machine sequencing problem)
- ② 동일한 기능을 가진 다수의 기계에 대한 순서계획 문제(parallel machine sequencing problem)
- ③ 흐름작업에 대한 일정계획 문제(flow shop scheduling problem)
- ④ Job shop에 대한 일정계획 문제(job shop scheduling problem)

단일기계에 대한 순서계획 문제는 가장 단순한 형태로서, 하나의 작업이 하나의 기계에서 처리되는 경우이다. 동일한 기능을 가진 다수의 기계에 대한 순서계획 문제는 하나의 작업을 같은 유형의 다수 기계에서 처리하는 경우이다. 흐름작업과 Job shop에 대한 일정계획 문제는 각 작업이 다수의 기계에서 여러 단계의 공정을 거치는 경우이다. 흐름작업에 대한 일정계획 문제는 일반적으로 작업절차와 작업순서가 일정한 반복적 처리가 가능

한 경우이며, Job shop에 대한 일정계획 문제는 작업절차와 작업순서가 고정되어 있지 않은 가장 복잡한 경우이다. 본 연구에서는 일정계획 문제 중 Job shop에 대한 경우를 다룬다.

일정계획 문제에서 주어진 목적식과 관련된 수행척도에는 여러 가지가 있을 수 있다. 먼저 기호를 정의하면 다음과 같다.

$N$  : 초기에 주어지는 작업의 개수

$\emptyset$  : 처리가 완료된 작업의 집합

$r_j$  : 작업  $j$ 가 시스템에 도착한 시간

$d_j$  : 작업  $j$ 의 납기일

$P_j$  : 작업  $j$ 가 완료되는 시간

$L_j$  : 작업  $j$ 에 대한 완료시간과 납기일과의 차

$L_j = P_j - d_j$

$NT$  : 납기가 지연된 작업의 수

$$NT = \sum_{j \in \emptyset} A_j$$

$$A_j = \begin{cases} 1 & \text{if } L_j > 0 \\ 0 & \text{if } L_j \leq 0 \end{cases}$$

수행척도는 일정계획 모델에 따라 달라지는데 본 연구에서 다루고자 하는 수행척도를 위의 기호로 정의하면 다음과 같다[11].

### 1) 평균 흐름시간

평균 흐름시간은 주어진 모든 작업에 대한 흐름시간의 평균을 나타낸다. 흐름시간이란 하나의 작업이 시스템 내에서 머무르는 총 시간을 말한다.

$$F = \sum_{j \in \emptyset} (P_j - r_j) / N$$

### 2) 평균 지연시간

평균 지연시간은 지연시간의 평균을 말한다. 지연시간이란 주어진 납기와 실제 작업을 완료하는 완료시간과의 차이를 말한다.

$$T = \sum_{j \in \emptyset} \max(0, L_j) / N$$

### 3) 지연작업의 퍼센트

지연작업의 퍼센트는 총 작업 중에서 지연된 작업들의 퍼센트를 말한다.

$$\%T = NT/N$$

### 4) 최대 지연시간

최대 지연시간은 작업 지연시간 중에서 최대값을 말한다.

$$\text{Max } T = \max \{ \max (0, L_j) \}$$

### 5) 총 가공시간

총 가공시간은 모든 작업들을 처리하는데 소요되는 총 경과시간을 말한다.

각 작업의 공정정보를 기준으로 작업의 가공순서를 결정하는 작업 우선순위 규칙에는 여러 가지가 있는데, 본 연구에서 다루고자 하는 것에는 다음과 같은 것들이 있다.

#### (1) SPT(Shortest Processing Time) 규칙

기계에서 대기하고 있는 작업중에서 가공시간이 가장 짧은 순서대로 작업을 처리하는 규칙

#### (2) FIFO(First In First Out) 규칙

작업이 기계에 도착하는 순서대로 처리하는 규칙

#### (3) LWKR(Least Work Remaining) 규칙

기계에서 대기하고 있는 작업중에서 남은 가공시간의 합이 가장 짧은 작업을 선택하는 규칙

#### (4) MOPNR(Most Operations Remaining) 규칙

기계에서 대기하고 있는 작업중에서 후속작업의 수가 가장 많은 작업을 선택하는 규칙

#### (5) EDD(Earliest Due Date) 규칙

기계에서 대기하고 있는 작업중에서 납기가 가장 가까운 작업을 선택하는 규칙

## IV. 시스템 설계와 개발

### 1. 시스템 설계

본 연구에서 개발하고자 하는 전문가 시스템은 일정계획 문제 중에서 가장 복잡한 형태인 Job shop에 대한 일정계획이다. 작업들은 작업공정들로 이루어졌는데, 작업공정의 처리순서, 작업공정을 처리할 기계, 처리시간, 작업의 납기 등이 주어졌을 경우, 본 시스템에서는 시간에 따라 각 기계에서 처리해야 할 작업공정들을 정해주는 일정계획을 수립한다. 일정계획 수립 시 사용자는 여러 가지 수행척도 중 한가지를 선택할 수 있고, 본 시스템은 그 선택된 수행척도를 최대로 만족시키도록 일정계획을 수립한다. 또한 정적인 상황뿐만 아니라 긴급작업이 발생하였을 경우에도 이 작업을 일정계획에 반영하도록 한다. 그리고 간트차트를 통해 수립된 일정계획의 결과를 제시한다.

본 연구에서 개발되는 전문가 시스템의 구조는 <그림 1>과 같다.



<그림 1> Job shop 일정계획 전문가 시스템의 구조

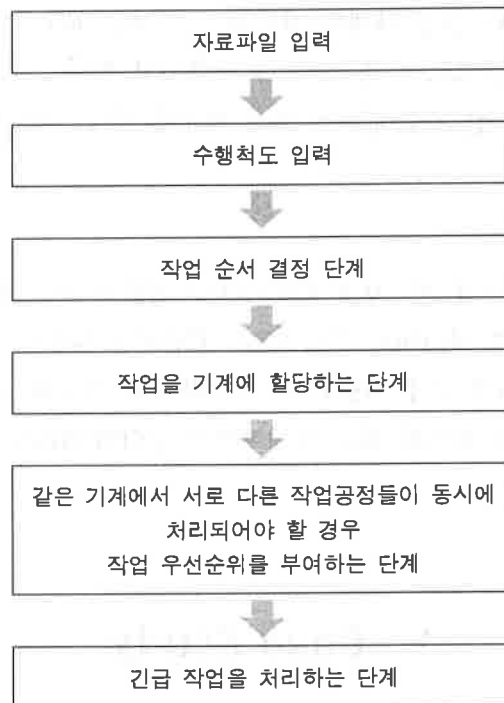
사용자 인터페이스는 사용자인 일정계획자의 요구사항을 시스템의 제어구조에 정확히 전달할 수 있도록 사용하기 쉽고 알아보기 편하도록 설계되었다. 제어구조는 사용자 인터페이스로부터 받아들인 일정계획자의 요구를 지식베이스의 문제해결 구조를 통해 일정계획이 수립되게 하는 기능을 갖고 있다. 자료파일에는 작업번호, 처리시간, 납기일, 각각의 작업공정을 처리하는 기계번호 등 일정계획을 수립하는데 이용되는 데이터들이 기록되어 있다. 지식베이스에는 일정계획을 수립하는데 이용되는 여러 가지 규칙들이 저장되어 있다.

## 2. 시스템 개발

본 연구에서 개발한 전문가 시스템의 특징은 다음과 같다. 첫째로 기존의 연구들이 일정계획 수립시 한가지의 수행척도만을 고려해서 그 수행척도를 최대화시키도록 일정계획을 수립하는 것에 반해, 본 시스템에서는 수행척도에 따른 작업 우선순위 결정 단계에서 여러 가지 수행척도를 고려한다. 둘째로, 본 연구에서는 긴급작업을 고려하여 일정계획을 수립할 수 있는데, 긴급작업이 발생할 경우 긴급작업에 대한 정보들을 전문가 시스템에게 입력시켜 주기만 하면 일정계획을 수립할 수 있다.

### 1) 일정계획 문제의 세분화

본 연구에서는 Job shop 일정계획 문제를 <그림 2>와 같이 세분화하여 일정계획을 수립한다.



<그림 2> 시스템의 문제해결 단계

<그림 2>에서 보면, 전문가 시스템이 먼저 사용자로부터 일정계획을 세우는데 사용되는 자료파일을 입력받은 후, 수행척도를 입력받는다. 그후, 수행척도에 따른 작업 순서 결정 단계에서 전문가 시스템이 사용자가 본 시스템에서 사용 가능한 여러 수행척도중 한 가지를 선택하면 그 수행척도에 따라서 작업 순서가 결정된다. 작업을 기계에 할당시키는 단계는 각각의 작업 공정들을 그 작업공정들이 처리되어야 할 기계에 할당시키는 단계이

다. 같은 기계에서 서로 다른 작업공정들이 동시에 처리되어야 할 경우 작업 우선순위를 부여하는 단계는 동일한 기계에서 동시에 서로 다른 작업 공정들을 처리해야 할 경우, 수행척도에 따른 작업 우선순위 규칙 결정 단계에서 정한 작업 우선순위에 따라 먼저 처리해야 할 작업공정들을 결정하는 단계이다. 긴급작업을 처리하는 단계는 긴급작업이 발행했을 경우, 그 발생시점에서 모든 기계들에서 처리되고 있는 작업들을 중단 없이 처리한다. 그 후 긴급작업을 처리되어야 할 작업들에 포함시켜 다시 일정계획을 수립하는 단계이다. 긴급작업은 미리 알려진 작업절차에 따라 일정계획을 수립한 후 갑자기 발생하는 작업으로 정적인 상황만을 고려하는 시스템에서는 고려할 수 없는데, 본 연구에서는 이미 알려진 작업절차에 따라 일정계획을 수립한 후에도 긴급작업을 고려하여 일정계획을 재조정할 수 있다.

## 2) 지식습득과 표현방법

본 연구에서는 지식습득 방법으로 문헌을 통한 지식습득 방법을 이용하고 있는데, 수행척도에 따른 작업 우선순위 결정 단계에 사용되는 지식은 참고문헌 [2.5.11]를 통해 습득했다. 그리고 지식표현 방법으로는 생성규칙을 이용하고 있다. 생성규칙은 지식을 표현하는 여러 가지 기법 중 단순한 조건-결론의 특성 때문에 가장 널리 이용되고 있다.

## 3) 시스템 개발 환경

본 연구에서 개발한 전문가 시스템은 CLIPS라는 전문가 시스템용 언어로 개발되었고, 각 기계에서의 작업 순서를 나타내는 간트챗트는 C언어를 사용하여 개발하였다. CLIPS는 NASA/Johnson Space Center에 의해 개발되었으며, OPS5와 비슷한 추론방법과 지식표현 능력을 가지고 있는 순방향의 추론을 하는 규칙베이스 언어이다[6,7].

# V. Case Study

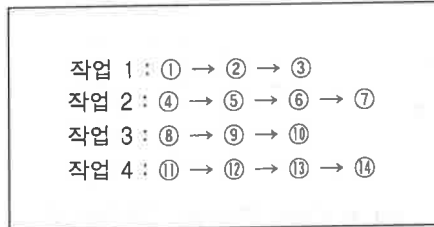
## 1. 문 제

Case Study로는 작업의 수가 4개이고 기계의 수가 4대인 경우를 선정하여 일정계획을 수립한다. 각 작업의 가공경로는 그림 3과 같으며, 작업 가공에 대한 입력데이터는 <표 2>와 같다.

<그림 3>에서 보면 작업 1은 작업공정 ①, 작업공정 ②, 작업공정 ③의 순으로 작업이



처리되어야 한다. <표 2>에서 보면, 작업 1은 작업공정 1, 2, 3으로 이루어져 있고, 작업공정 1은 기계 3에서 처리되고 처리시간은 4이다.



<그림 3> Case Study의 작업 가공

<표 2> Case Study의 작업 가공 입력 데이터

작업번호	공정번호	처리 기계번호	처리 시간	납기
작업 1	1	3	4	16
	2	1	5	
	3	4	7	
작업 2	4	2	5	18
	5	3	6	
	6	1	4	
	7	2	4	
작업 3	8	1	3	18
	9	4	4	
	10	2	3	
작업 4	11	4	4	17
	12	2	5	
	13	3	6	

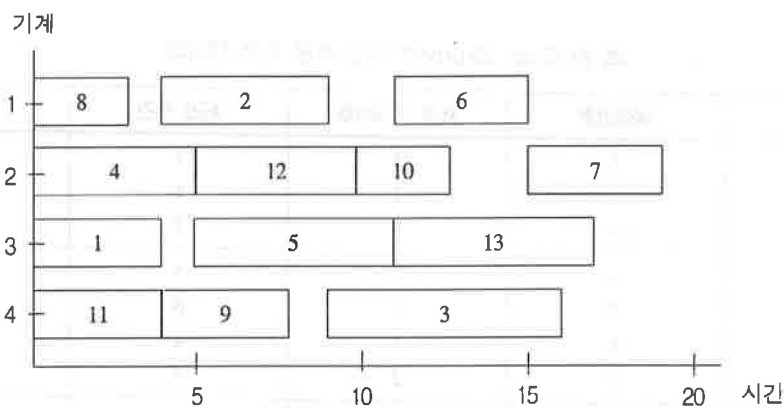
## 2. 실행결과

Case Study의 입력 데이터를 가지고 본 연구에서 개발한 전문가 시스템으로 일정계획을 수립하면 기계에서의 작업 가공순서는 그림 4와 같이 간트 차트로 나타낼 수 있고, 수행 척도는 <표 3>과 같다. <그림 4>에서 보면, 기계 1에서는 작업공정 8, 2, 6의 순으로 작업공정이 처리된다.

〈표 3〉 Case Study의 수행도

총 가공 시간	19
평균 흐름시간	17.25
평균 지연시간	0.25
최대 지연시간	1
지연작업의 퍼센트	25

〈그림 4〉 Case Study의 간트차트 결과



## VI. 결론

본 연구에서는 인공지능 분야의 한 기법인 전문가 시스템을 이용하여 Job shop 환경에서 일정계획을 수립하는 시스템을 개발하였다. 본 연구에서는 기존의 Job shop 일정계획에 관해 발표된 문헌과 전문가 시스템을 고찰하여 문제의 상황과 해결 방법에 관한 지식을 습득하였다. 그리고 이러한 지식을 바탕으로 Job shop 일정계획 문제를 세부단계로 나누어 일정계획을 수립하는 시스템을 개발하였다. 특히, 기존의 일정계획 수립 연구들이 한 가지의 수행척도만을 고려해서 그 수행척도를 최대화시키도록 일정계획을 수립하는데 반해, 본 시스템에서는 사용자가 여러 가지 수행척도 중 한가지를 선택할 수 있고, 수행척도가 선택되면 그 수행척도를 최대로 만족시키도록 일정계획을 수립한다. 그리고 본 시스템에서는 긴급작업을 고려할 수 있기 때문에 긴급작업이 발생했을 경우 처음부터 다시 일정계획을 수립하는 것이 아니라 긴급작업만을 고려하여 일정계획을 수립한다.

## 참고문헌

### [1] 국내문헌

- 1) 김창균, “전문가 시스템을 이용한 개별주문생산 일정계획에 관한 연구”, 경희대학교 대학원 석사논문, 1991
- 2) 최영민, “지식기반을 이용한 FMS 일정계획 시스템의 개발에 관한 연구”, 동국대학교 대학원 석사논문, 1992

### [2] 외국문헌

- 1) Baker, K. R., Introduction to Sequencing and Scheduling, John Wiley & Sons, New York, 1974
- 2) Bensana, E., Bel, G. and Dubois, D., “OPAL: A Multi-Knowledge-Based System for Industrial Job-Shop Scheduling”, International Journal of Production Research, Vol. 26, No. 5, pp. 795~819, 1988
- 3) Blackston, J. H., Jr., Phillips, D. T. and Hogg, G. L., “A State-of-the-Art Survey of Dispatching Rules for Manufacturing Job Shop Operations”, International Journal of Production Research, Vol. 20, No. 1, pp. 27~45, 1982
- 4) Giarratano, J. and Riley, G., Expert Systems: Principles and Programming, PWS-KENT, 1989
- 5) Gonzalez, A. J. and Dankel, D. D., The Engineering of Knowledge-based Systems: Theory and Practice, Prentice-Hall International, Inc., 1993
- 6) Graves, S. C., “A Review of Production Scheduling”, Operations Research, Vol. 29, pp. 646~675, 1981
- 7) Knet, J. J. and Adelsberger, H. H., “Expert Systems in Production Scheduling”, European Journal of Operational Research, Vol. 29, pp. 51~59, 1987
- 8) Kusiak, A. and Chen, M., “Expert Systems for Planning and Scheduling Manufacturing Systems”, European Journal of Operational Research, Vol. 34, pp. 113~130, 1988
- 9) Russell, R. S., Dar-el, E. M. and Taylor, B. W., “A Comparative Analysis of the Covert Job Scheduling Rule Using Various Shop Performance Measures”, International Journal of Production Research, Vol. 25, No. 10, pp. 1523~1540, 1987