

작업할당을 고려한 일정계획의 지식기반 시스템 개발에
관한 연구
- Development of Knowledge-base system for
Scheduling considering Work Assignment -

이 재 일*

Lee, Jae Il

신 용 백**

Shin, Yong Baek

ABSTRACT

In this paper, research and applications of a knowledge-base system in scheduling are review. The method is based on the problem-solving techniques developed in artificial intelligent. The object of this paper is to enable the real-time rescheduling under dynamic environments. Developed to KBS(Knowledge-Based Scheduling) system in this paper, will based on expert system, and applicate to requirement of users effectively .

1. 서 론

생산체계가 정보화되어가며 중요한 시스템의 개발이나 정책결정을 함에 있어서, 정보의 기반지식(Knowledge-Base : K·B)은 그 중요성이 날로 증대되고 있다. 즉, 순차적 해가 아닌 실시간 처리가 가능한 정보를 요구하고 있는 것이다. 그러한 이유로 해의 도출도 최적해(optimizing)에서 만족해(satisfaction)를 구하여 정책결정을 내리고 있는 것이다. 이러한 다양한 시장변화에 신속하고 융통적으로 대응하며 생산성과 설비의 효율을 높이고 비용을 점검하기 위한 노력들이 이루어지고 있다.[2]

목적은 달성하기 위해서는 설비의 설치 및 운영문제를 해결해야만 한다. 이와 관련된 문제는 설비의 설계, 생산계획, 일정계획, 제어문제 등 일반적으로 4가지 영역으로 구분된다.

본 논문의 연구는 이러한 영역 중에서 보충계획 수립을 위한 지식기반시스템 개발에 관한 연구이다. 생산에서 일정계획의 목적은 가능한 한 짧은 시간 내에 가공을 마치고 납기지연을 최소화하는데 그 목적이 있다.

특히 FMS와 같은 경우에 일정계획은 높은 설비 투자비용으로 인해 기계의 가동률이 강조되어야 할 뿐만 아니라 제어되는 시스템이 공장의 동적인 상황변화에 즉각적으로 효율적인 의사결정을 내릴 수 있어야 한다.

* 아주대학교 대학원 산업공학과

** 아주대학교 산업공학과

하지만 현재 컴퓨터에 기반을 둔 일정계획시스템은 현장의 동적상황변화에 대해 효율적인 의사결정을 내려주지 못하고 있을 뿐 아니라 실시간 제어가 어려운 상태이다. 이러한 일정계획문제점들을 해결하기 위해 여러 가지 접근방법들이 연구되고있는데

- 1) 최적화 (optimization)
- 2) 제약식 분석 (constraint-based analysis)
- 3) 휴리스틱 알고리즘(Heuristic dispatching techniques with simulation-based efficiency-checking)
- 4)인공지능접근법(Artificial Intelligence approach)

등의 4가지 방향에서 연구가 이루어져 왔다.[9]

위의 두가지는 특정 구조를 갖는 순수 학문적으로 접근하는 방식으로 수리적 모형을 설정하여 문제를 단계적으로 제거함으로써 정형화된 문제를 갖고 순차적으로 해(解)를 도출하는 것이었다.

그러나 이론적으로 일정계획은 NP-hard 문제로 수학적으로 공식화하기에는 너무 복잡하고 공식화를 하더라도 최적해를 제공하지 못하므로 수리계획모형으로는 쉽게 해결할 수 없다.

또한 휴리스틱 알고리즘은 특정상황의 특정수행도에 대해서는 우수한 결과를 제시하고 있지만 일반적인 환경에서는 적용하기 어렵고 그 영역이 제한되어 있다는 단점을 가지고 있다.

반면에 일정계획 전문가의 경험에 의한 의사결정능력과 컴퓨터에 의한 우수한 수행도 계산능력을 결합한 인공지능 접근방법들은 효율적인 방법으로 많은 연구의 관심대상이 되고 있다.

본 연구에서 제시되는 지식기반 일정계획시스템은 동적인 상황변화인 사용자의 요구조건, 부품의 수, 납기일, 초과근무시간비용, setup time change 등과 같은 시스템 변수의 상황변화에 즉시 대응하여 효율적인 해의 획득이 가능하도록 시스템 변수에 대한 지식들을 체계화하여 지식기반 시스템을 구축한다.

2. 일정계획이 갖는 문제 및 영역

2.1 문제

1)일정계획문제에서는 일정계획의 결과로 작업완료시간이나 가동률 등이 시스템 수행도 값을 구하게 된다. 따라서 상위단계에서의 생산계획문제의 해만으로는 시스템의 수행도 값을 알 수 없기 때문에 바람직한 해를 구하였는지를 판단하기 어렵다.

2)기종의 일정계획기법은 동일한 부품이 다수 포함된 부품집합의 경우 효율적으로 최적해를 구하는 기법이 되지 못한다.

또한 기존의 연구들은 공정경로 정보만을 고려하여 일정을 작성하였다. 이 경우 공장의 배치나 자재이송장치 등이 고려되지 않았기 때문에 실제적인 일정계획이 되지 못한다.

3)설비의 준비시간에 대해서도 각 설비의 준비시간이 항상 일정하고 변동이 없는 가정하에 해를 구하기에 실제로 공정변화가 많은 현실상황에서는 올바른 해가 되지 못한다.

이외 다양한 문제들로 인해 효과적인 일정계획을 일정계획전문가의 경험에 의존할 수밖에 없고 도출된 해의 타당성을 분석하고 평가하기가 어렵다.

2.2 영역

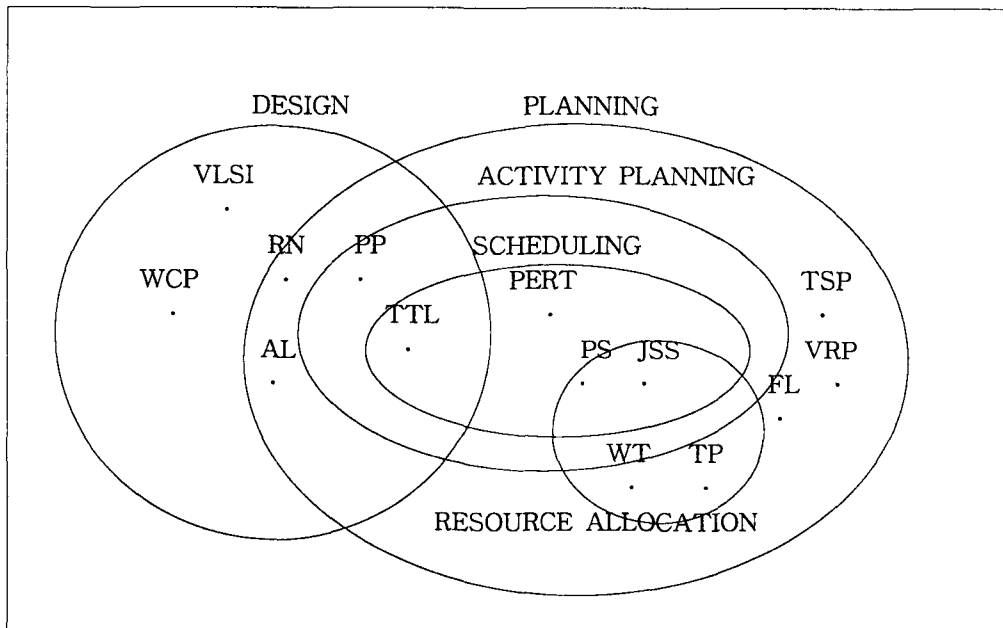
많은 의사결정지원 시스템에서 전문가시스템은 특정영역의 전문지식을 이용하여 신속하고 효과적인 대안을 도출하는 것이 목적으로 CIM체계에 한 부분으로 자리잡아가고 있다.

일정계획의 지식기반 구축은 이러한 의사결정체계에 바탕을 제공하고 지식의 올바른 표현이

좋은 의사결정지원시스템을 개발하는데 중요한 역할을 한다.

그러한 일정계획문제의 영역을 보면 크게 다음들로 나누어 질 수 있다.[3][8]

- 1) 문제의 구분단위
- 2) 프로젝트 일정계획 문제
- 3) Job-shop 일정계획 문제
- 4) 운송절차 및 일정계획



- | | |
|----------------------------------------------|---------------------------------------|
| AL - planning an automobile assembly line | TP - classical transportation problem |
| FL - facilities location problem | TSP - travelling salesman problem |
| JSS - job-shop scheduling | TTL - time-tabling of lectures |
| PP - project planning | VRP - vehicle routing problem |
| PERT - unlimited-resource project scheduling | VLSI - doing a VLSI layout |
| PS - project scheduling | WCP - writing a computer program |
| RN - designing a new railway network | WT - allocation of weapons to targets |

<그림-1> 일정계획의 영역

3. 일정계획시스템의 지식기반 구조

3.1 기존 연구동향

지식기반 시스템을 많은 분야에서 응용되고 있는데 이러한 상황에 대응하기 위해 많은 연구가 이루어졌다. 주요한 몇가지 일정계획 시스템에 관한 연구를 살펴보면 다음과 같다.

1) ISIS(Intelligent Scheduling and Information System)

인공지능기법을 이용하여 작업 일정 계획 기능을 자동화하려는 최초의 시도

IF 우선 수율과 조합순위로서 X를 조합할 수 있고
AND 조합 X를 위해 tool을 실행하고
AND 우선 수율보다 높은 조합이 아니라면
THEN 조합 X의 일정계획은 다음 batch이다.

3) Frames

rule-base 만으로 사실, 상태 등을 표현하기 어려우므로 Frame을 이용한다. Frame의 slots은 표현되는 대상들과 관계있는 속성을 일치시킨다.

예) Frame : Milling-operation

IS-A : operation

Work-Center : Milling-Center (기준치 : 51)

Duration : Time-interval (기준치 : 5, 범위 : 0.10)

NEXT-operation : Drilling-operation

위 예는 밀링작업에서의 측정, 작업유형, 문제해의 필요한 것을 나타낸다.

3.2.1 추론기관

시스템에서 지식베이스의 rule과 알고리즘의 일정계획 절차를 통제한다. 추론기관은 후방추론과 전방추론 전략을 다르는데 절차를 찾는 시점에 따라 이용된다.

4. 일정계획 지식기반 설계와 개발

4.1 시스템 설계

본 연구에서 다루게될 일정계획문제는 동적 일정계획문제로 작업대상물이 시스템에 도착하였더라도 한 대이상의 기계가 가용할 때만 비로소 작업순서를 결정하게된다.

고려될 수 있는 상황들을 보면 기계의 고장, 기계에서 준비시간의 변경, 납기일 변경, 한 부품이 기계에서의 작업완료, 운반장비의 고장 등이 있다.

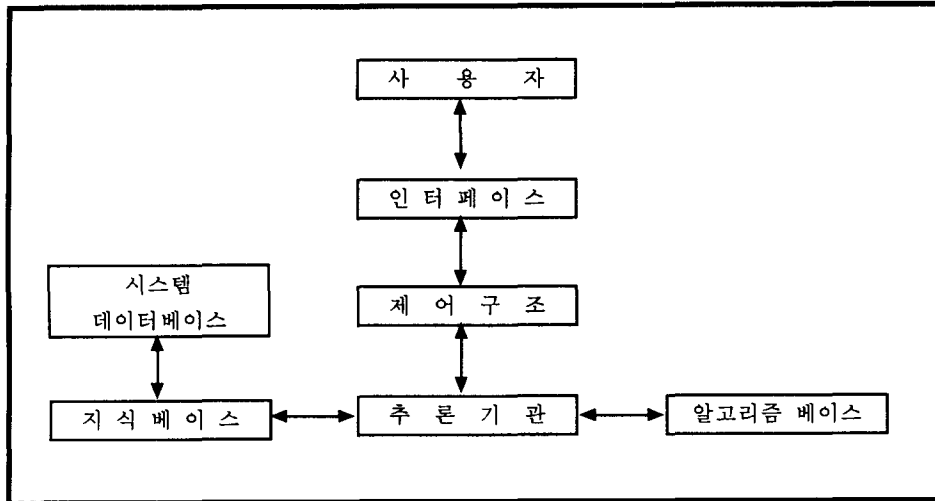
기본가정

일정계획 시스템을 구축하는 데 있어 기본가정을 보면

- 1) 각 작업의 가공시간은 사전에 알려진 값으로 확정적이다.
- 2) 각 기계는 여러 작업을 동시에 수행할 수 없다.
- 3) 작업은 가공순서에 따라 구성된다.
- 4) 자재는 버퍼에 여유가 생기면 시스템 내에 들어온다.
- 5) 작업순서는 한 대이상의 기계가 가용할 때 결정된다.
- 6) 기계의 준비시간은 작업물의 변경에 따라 변화한다.

4.2 시스템구조

본 연구에서 제시되는 일정계획시스템의 기본 구조는 그림과 같다.



<그림-2> 지식기반 일정계획 시스템의 구조

여기서 제어구조는 사용자의 요구에 대해 시스템을 점검하여 지식베이스의 문제 해결 구조를 통해 최적의 일정계획을 수립하는 기능을 갖는다.

동적 상황이 발생하면 데이터베이스에 기록되고 다시 제어구조를 통해 인터페이스에 연결되어 추론전략등에 의해 제어구조에서 재일정계획이 가능해진다.

지식표현을 하기 위한 방법으로 보면

- 1) 일정계획문제에서 지식의 획득
: 그것을 위한 것으로는 이론적인 지식, 경험적 지식, 실제 작업에서 나타나는 자료 등을 포함한다.
- 2) 지식의 선정
: 타당성 있는 자료를 선정
- 3) 지식의 기호화 및 데이터베이스화
: 정보로서 처리하기 위해 지식을 기호화하고 이것을 축적하여야 한다.

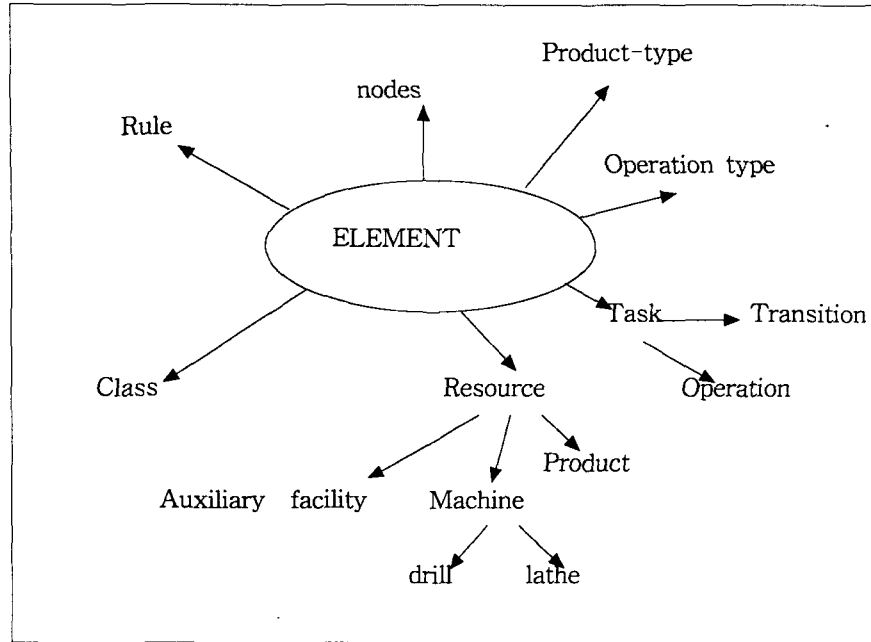
그림-3과 같이 일정계획문제를 구조화시키는 작업을 선행하여야 한다.

4.3 지식기반시스템 개발

본 연구의 시스템은 사용자가 일정계획시스템을 사용할 때 사용자인터페이스는 사용자에게 공장 및 설비현황을 보여주고 새로운 요구사항을 선택하게 한다. 일정계획시스템은 요구에 따라 데이터와 지식베이스를 이용한 휴리스틱기법이나 추론기관을 통해 재일정계획을 수립한다.

본 연구는 지식획득의 어려움으로 휴리스틱 알고리즘을 이용한다.

또한 해의 선정에 있어 추론기관에서 적절한 대안을 도출하는 과정과 결과를 역추적하여 그 타당성을 사용자가 살펴 볼 수 있도록 한다.



<그림-3> 요소의 연결관계

4.3.1 휴리스틱 알고리즘

여기서는 각 상황들에서 작업부하 변동에 따른 설비할당에 관하여 다룬다. 알고리즘의 각 단계는 다음과 같다.

Stage 1)

데이터구조와 현재 처리중인 작업을 점검하고 시간상태의 구조를 계산하고 시간치를 초기화한다.

Stage 2)

데이터구조는 작업처리를 위한 작업주기시간을 표시한다.

Stage 3) 작업수행 모수치를 계산한다. [12]

$$L = (2.5M+5Q) / 3M$$

L = 각 제품에 할당된 기계의 수

M = 기계의 수

Q = queue에서 job의 수

M = 0 이면, 작업부하는 이루어지지 않는다.

Q = 0 이면, 작업부하는 작다.

L ≤ 1 이면, 작업부하는 작다.(Light)

1 < L ≤ 2 이면, 작업부하는 보통이다.(Average)

L > 2 이면, 작업부하는 커진다.(Heavy)

Stage 4)

시간상태의 데이터구조의 의사결정부분을 구축한다. 여기서 의사결정은 여러 연속적인 시간주

기를 위한 작업부하치의 기반이 된다.

의사결정구조는 다음과 같다.

S. 4-1)

연속주기에서 제품의 부하가 큰 것이 있는지를 점검하고 있다면 기계를 추가 하는 것과 같은 의사결정을 내린다.

S. 4-2)

작업부하가 작은 제품이 남아 있다면 기계를 제거하는 의사결정을 내린다.

S. 4-3)

현재 시간에 기계할당에 대해 점검한다.

Stage 5)

N 시간까지 작업에 대해 초기시간 0으로 역추적하여 추가되는 기계에 대해 시간치를 살피고 재일정계획을 수립한다. 다시 Stage 1로 간다.

4.3.2 지식베이스의 형성

대부분의 일정계획 전문가시스템은 주로 rule-base에 의존하고 있다. 본 연구의 구성요소는 rule-base 체계와 frame-base 이루어진다

1) rule-base

. rule-base에서 작업우선순위의 계산결정은 다음과 같다.

Remaining machining time / (due_date-release=time)

납기에 따라 제약식은 다음과 관련된다.

- ① 대기열의 용량
- ② 고정구의 공간
- ③ 설비보전주기

구조적인 관점에서 일정계획체계는 두 개의 하위체계를 포함한다.

- 일정계획발생을 위한 전문가시스템
- 일정계획평가를 위한 시뮬레이션시스템

다음은 위의 알고리즘을 이용한 rule-base이다.

- (1) IF All job is available
AND job time can be countable
THEN job time is reset

- (2) IF Number of machine to assign each jobs is greater than 2
THEN machine is heavy

- (3) IF System is heavily loaded
AND machine is over loaded
THEN add machine to job

2) frame-base

본 연구에서는 지식베이스가 기본적으로 3가지 프레임에 의해 구성된다.

프레임 1

```
이름 : Problem
{ 문제 번호 : number
  { 문제의 특징
    { 기계의 수 : number
      작업의 수 : number } }
  { 요구조건 : 총가공시간의 최소화,기계이용율의 최대화}}
```

프레임 2

```
이름 : Machine
{ 기계번호 : number
  { 기계의 속성
    { 작업부하 : Value
      Queue에서 작업의 수 : number
      기계의 수 : number }}
  { 처리계획 1
    { 작업번호 : number
      기계번호 : number
      작업부하 : value }}
    :
    :
  { 처리계획 n
    { 작업번호 : number
      기계번호 : number
      작업부하 : value }}}}
```

프레임 3

```
이름 : Decision
{ 문제번호 : number
  { 할당기계의 부하 : Value
    기계그룹의 기계수 : number
    각 Queue의 job 의 수 : number }
  { 의사결정 : decision }}
```

이상에서의 지식베이스 개발은 일정계획알고리즘과 연동되어 제일정계획을 수립하거나 해의 검색과 추론에있어 보다 유연하고 신속하게 대처할 수 있다.

4.3.3 시뮬레이션의 실행과 결과분석

다음은 위의 지식베이스를 이용한 프로그램의 수행도 결과이다.

프로그램의 작성은 객체지향언어인 C++로 이루어졌다.

모의실험을 통한 실행 결과를 분석하기 위한 모형으로 1대의 머시닝센터를 갖는 4개의 W/S과 2대의 AGV로 구성된 시스템으로 6개의 서로 다른 부품을 생산하는 제조환경에서 기존의 할당규칙중 S P T(Shortest processing time)과 LPT(Longest Processing Time) rule 그리고 본 연구에서 제안하는 할당 규칙을 이용하여 모의실험을 수행하였다. <표 1>의 난수로 생성한 주문데이터를 기준으로 수행도를 평가한다. 각 작업처리시간은 U(4.10)의 균일분포난수 발생 데이터를 이용하였다.

<표 1>주문데이터

부품번호	주문량	납기일
A1	15	10
A2	21	11
A3	18	9
A4	25	13
A5	27	12
A6	12	8
A7	8	9

실험은 각 W/S 에서의 가공시간과 유희시간을 최소화하는 경우로 나누어 수행한 결과가 다음과 같다.

<표2>가공시간 비교

W/S	SPT	LPT	KBS
A	152	131	148
B	163	160	151
C	147	181	162
D	179	172	163
총시간	641	644	624

<표3> 유희시간 비교

W/S	SPT	LPT	KBS
A	0.69	0.61	0.65
B	0.72	0.68	0.74
C	0.62	0.75	0.62
D	0.76	0.73	0.61
총시간	2.79	2.77	2.62

위의 결과를 보면 각 할당 규칙에서 SPT rule과 LPT rule에서는 각 W/S간 가공시간의 편차가 각각 22와 50으로 크게 발생하였으나 본 연구에서 제안한 KBS rule에서는 그 차이가 15로 작게 나타났기에 각 W/S간 작업할당이 균등하게 이루어졌고 유희시간 역시 SPT rule과 LPT rule보다 작게 나타남으로서 효율적인 기계사용률을 갖는 다는 것을 알수있다.

5. 결론

본 연구는 일정계획문제에서 기존연구의 문제점으로 나타나고 있는 동적 상황에서의 실시간 재일정계획문제를 해결할 수 있는 시스템을 구축하고자 하였다. 이 시스템의 특징은 상황변화에 대응하여 유연한 의사결정을 내릴 수 있는 시스템의 개발을 위한 지식베이스를 구축하여 앞으로 일정계획문제 해결을 위한 근간이 될 것이다.

본 연구가 얻고자하는 결과의 하나는 지식베이스를 이용하여 인간-기계시스템과 의사결정자 사이의 가교를 만드는 것이고 궁극적으로 지식베이스를 이용하여 일정계획문제를 효과적으로 해결하기 위한 전문가시스템을 개발하는데 주요부분을 담당하는 것이다. 이러한 정보시스템에서 얻어질 수 있는 이익으로서는

1. 신속한 일정계획을 설정.
2. 효율적인 해의 탐색을 위한 탐색기법을 개발
3. 지식베이스를 통한 추론으로서 해를 도출하기 때문에 해의 타당성을 손쉽게 검증할 수 있다.
4. 일정계획문제를 각각의 형태로 모듈화시킴으로서 새로운 변수로 인한 프로그램의 변경시 재수정이 용이하다.

이러한 지식시스템의 개발은 일정관리계획자의 지식을 보다 폭넓게 분석함으로써 의사결정 및 재일정계획 수립에 효과적으로 대응할 수 있는 유연한 시스템 구축이 가능해지게 되었다. 그러나 일정계획전문가의 지식을 올바로 획득하기 어렵고 또한, 현장에서의 적용에는 보다 많은 제약조건들 존재하기에 컴퓨터를 이용한 시스템 구축에는 아직도 많은 한계가 있다 하겠다. 앞으로의 연구는 보다 많은 제약조건 즉, 설계문제, 및 제어문제 일정계획문제등을 종합한 연구가 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] H. Atabakhsh, "A Survey of Constraint Based Scheduling Systems Using an Artificial Intelligence Approach", *Artificial Intelligence in Engineering* Vol. 6 ,No. 2pp. 58~73, 1991
- [2] K.M. Baumgartner and B.W. Wah, "Computer Scheduling Algorithms : Past, Present and Future", *Information Sciences*, Vol 57-58, pp. 319~345, 1991
- [3] E. Bensana, G. Bell and d. Dubois, "OPAL : A Multi-knowledge -based system for Industrial Job Shop Scheduling", *I.J. of Production Research*, Vol. 26, pp. 795~819, 1988
- [4] G. Buxey, " Production Scheduling : Practice and Theory", *European Journal of O.R.*, Vol. 39, pp. 17~31, 1989
- [5] E.G. Coffman, " Computer and Job Shop Scheduling Theory", John Wiley & Sons, 1976
- [6] C.L. Dym and R.E. Levitt, "Knowledge-Based Systems in Engineering", McGraw-Hill, 1991
- [7] S. French, "Sequencing and Scheduling: An Introduction to Mathematics of the Job-Shop", John Wiley, 1982
- [8] M. S. Fox and S. F. Smith, "ISIS-A knowledge-base system for Factory Scheduling", *Expert systems* Vol. 1, pp. 25~49, 1984
- [9] J.J. Kanet and H.H. Adelsberger, "Expert systems in Production Scheduling", *European Journal of O.R.*, Vol. 29, pp. 51~59, 1987
- [10] S.O. Kim and M.J. Schniederjans, " Heuristic Framework for the Resource Constrained Multi-Project Scheduling System", *Computer and Operation Research*, Vol 16, pp. 541~556, 1989
- [11] A. Kusiak and M. Chen, "Expert systems for Planning and Scheduling Manufacturing System", *European Journal of O.R.*, Vol. 34, pp. 113~130, 1988
- [12] M.J.P. Shaw " Knowledge-Based Scheduling in Flexible Manufacturing Systems: An Integration of Pattern-Directed Inference and Heuristic Search", *I.J. P.R.*, Vol. 6, pp. 821~844, 1988
- [13] 이상완, 신대혁, "유연생산시스템의 일정계획 모형에 관한 연구", *공업경영학회지*, Vol. 18, pp. 43~50. 1995