

〈論 文〉

흑판모델을 이용한 일정계획 전문가시스템

박지형* · 강무진** · 이교일***

(1994년 8월 12일 접수)

A Blackboard-Based Scheduling Expert System

Jihyung Park, Mujin Kang and Kyoil Lee

Key Words : Job-Shop(개별공정), Blackboard(흑판), Knowledge-Based Scheduling(지식기반 일정계획), Interactive Scheduling(대화식 일정계획), Reaction Management(작업 일정조정)

Abstract

Scheduling jobs effectively under consideration of actual loads on machines is one of the most complicated tasks in production control. The complexity of the finite capacity scheduling often makes the conventional methods of industrial engineering fail. As an alternative, knowledge-based approaches to job-shop scheduling have been evolved recently. This paper presents a blackboard-based scheduling expert system which combines knowledge-based scheduling with interactive scheduling. It is shown to be possible to generate the feasible schedule within a reasonable time. Flexible reaction management is also possible while keeping the changes in the generated schedule to the minimal and adjusting the schedule to tardy operations or working environmental changes. The system is equipped with a rule base with heuristics for handling conflicted event. A case study applying the implemented system is described.

1. 서 론

개별생산(job shop production)에서의 작업 일정 계획(operations scheduling)은 제품이나 부품을 생산하기 위해서 필요한 자원을 배분하고 기계를 할당하여 작업(job)을 수행하기 위한 시간표(time table)를 작성하는 것이다(Fig. 1). 이러한 작업 일정계획 문제는 완료해야 할 일련의 작업들을 취급하게 되며, 하나의 작업은 여러 공정들을 거쳐서 완료된다. 각 공정에는 해당 기계와 소요자원이 지

정되고, 공정들은 미리 정해진 공정 기술순서(operation precedence)에 따라 수행된다.

작업 일정계획을 세우는 목적은 작업장 구성 및 작업 현황 등 주어진 생산환경하에서 납기준수, 기

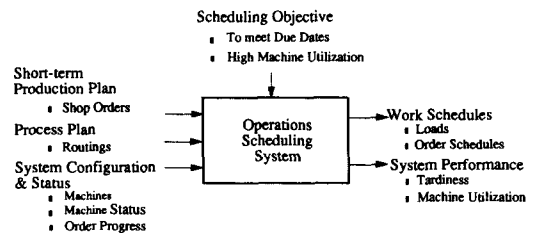


Fig. 1 Operations scheduling system

*회원, 한국과학기술연구원 기전연구부
**회원, 성균관대학교 기계공학과
***회원, 서울대학교 기계설계학과

계이용률 등 원하는 생산목표를 달성하기 위하여 단계적으로 작업 부하의 고려하여 생산시스템 전체에 걸쳐 수행가능한 일정을 결정함에 있다. 그러나, 작업 일정계획에는 다음과 같은 고유의 어려움이 알려져 있다.

첫째, 작업 및 작업장 규모에 따라 문제의 복잡도(problem complexity)가 폭발적으로 급증한다는 것이다. 즉, 작업 공정의 수와 기계의 대수에 따라 가능한 일정계획의 경우의 수가 지수함수적으로 증가한다. 간단한 예로서, 개별 생산에서 10개의 작업이 5대의 기계를 모두 거쳐 가공되는 경우, $(10!)^5 = 6.3 \times 10^{32}$ 가지의 가능성을 검토해야 하는 매우 복잡한 문제가 된다.

둘째, 실제 생산환경에서는 새로운 작업, 작업의 새로운 우선순위, 기계고장과 같은 예기치 않은 사건의 불확실성(uncertainty)으로 인하여 현재의 작업 일정계획을 수정해야 할 상황에 자주 직면하게 된다. 따라서, 생산 일정계획 시스템은 이러한 생산환경변화에 대응하여 이미 작성된 일정을 가능한 한 유지하면서 유연하게 일정을 재조정할 수 있는 능력을 가져야 한다.

셋째, 일정계획 문제의 전통적 기법은 한번에 하나의 평가 기준이나 생산목표만을 고려하여 취급하였으나, 실제 문제에서는 여러가지 서로 상충되는 평가기준과 제한조건하에서 의사결정이 이루어져야 하므로, 그 중요도에 따라 여러 기준을 조정하여 일정을 계획해야 한다.

지금까지 작업 일정계획 문제에 대해서는, 생산 일정과 부하의 상호 종속관계가 작업-기계의 배정 문제로 단순화되면 수학적 모델링이 가능하고 해석적으로 최적해를 구할 수 있다는데 착안하여, 경영 과학 분야(operations research)에서 최적화기법을 적용하여 오랫동안 많은 연구가 수행되어 왔다.^(1,2) 그러나, 문제의 지나친 단순화, 계산시간과 계산기용량 제한으로 실제 현장 규모의 문제 해결에는 사용되지 못하고 있는 실정이다.

실제 산업현장에서는 생산일정을 작업의 우선순위를 이용하는 간단한 경험적 방법을 사용하여 수작업에 의해 작성하는 것이 일반적이는데, 매우 적은 계산시간으로 현실적인 일정을 얻을 수 있으나, 문제의 크기가 커지면 수작업으로는 해결할 수 없게 된다.⁽³⁾ 현장 적용이 가능한 유연한 일정계획 방법으로, 합리적인 시간내에 현실적인 해를 얻자는 개념의 대화식 일정-부하 동시계획법은 컴퓨터의 계

산능력과 인간의 판단능력을 조합하여, 일정계획자가 자신이 가지고 있는 경험과 지식을 활용하여 컴퓨터와의 직접적인 대화를 통하여 의사결정을 함으로써 컴퓨터를 반복 계산(iteration)으로부터 해방하여 짧은 계산시간으로 적정해를 구하자는 것으로 일정과 부하의 상호 종속관계를 고려하고 계산시간 문제를 해결할 수 있다. 그러나, 이 계획법의 효율적인 적용을 위해서는 경험있는 전문 일정계획자를 필요로 한다.^(4,5)

80년대 들어서는, 사람의 경험적인 지식을 의사결정 과정에 포함시킴으로써, 생산목표와 제한조건 사이의 상충문제, 불확실성 하에서의 계획문제, 생산통제시 예기치 않은 상황에 대한 대응문제들을 해결할 수 있다는 가능성때문에, 인공지능(AI: artificial intelligence)의 여러가지 기법을 이용하는 생산 일정계획에 대한 연구가 활발하게 전개되고 있다. 그러나, 이러한 인공지능기법을 적용하는 지식기반 일정계획(knowledge based scheduling) 관련 많은 연구^(6~19)에서도 일정계획 문제를 해결하기 위해 고려해야 할 제한조건과 전문 일정계획자의 경험을 시스템 모델에 충분히 표현할 수 없었다. 또한, 상황처리를 위한 의사결정 방안들의 적용결과를 확인해 보기 전까지는 선호할 방안을 결정할 수 없는 이유 등으로 인하여 일정계획자가 의사결정 과정에 직접 개입하여 일정을 개선하고 보수해야 할 필요가 여전히 존재하고 있다.

반면에, 제조업체에서는 합리적인 시간내에 작업 일정계획을 수립하고, 작성된 일정을 지속적으로 유지하면서, 예기치 않은 생산 현장의 상황변화에 대응하여 유연하게 작업일정 및 부하를 조정할 수 있는 생산 일정계획 및 통제 시스템이 요구된다. 본 연구에서는 지식기반 일정계획과 대화식 일정계획(interactive scheduling)을 조합한 형태인 대화식 지능형 작업 일정계획 및 통제 모델을 제안하고, 개별 생산체제를 갖는 제조업체에 있어서 작업 일정계획 문제의 복잡도와 생산 현장의 작업 실행의 불확실성에 유연하게 대응할 수 있는 작업 일정계획 전문가시스템을 개발하였다. 제2장에서는 작업 일정계획 전문가시스템의 전반적인 개요와 시스템의 구조 및 구성 모듈들의 기능에 대하여 설명을 하였으며, 개발된 시스템을 적용한 사례 연구에 대해서는 제3장에서 고찰하였다. 마지막으로 결론에서는 본 연구를 통해 얻은 결과와 향후 연구과제에 대하여 서술하였다.

2. IOSS 시스템

2.1 시스템의 개요

본 연구에서 개발된 작업 일정계획 전문가시스템인 IOSS(intelligent operations scheduling system) 시스템의 적용 대상은 일정계획 주기내에서 작업주문(shop order) 부품이 매우 다양하게 변하여 애로 공정이 일정하지 않은 기계부품 가공 공장의 개별 생산체제이며, 모든 작업주문의 납기를 준수하는 것을 작업 일정계획의 목표로 한다.

IOSS 시스템은 합리적인 시간내에 작업 일정계획을 수립하고, 작성된 일정을 지속적으로 가능한 한 유지하면서 납기지연 작업과 예기치 않은 생산현장의 상황변화에 대응하여 유연하게 작업 일정을 조정할 수 있는 작업 일정계획 및 통제 시스템으로서, 중장기 생산관리를 위한 MRP(material requirement planning) 시스템과 기계의 작업상태를 감시, 제어하는 작업장 제어 및 감시 시스템의 사이에 놓여 단기 생산통제 기능의 핵심 역할인 작업의 단기적인 계획분배 및 제어를 수행한다. Fig. 2에 보이는 바와 같이 상위 생산관리 시스템과의 연결(interface)은 작업주문의 수량 및 보고와 공정계획(process plan) 정보의 입력으로 이루어지며, 하위 실시간 공정제어 시스템과는 작업지시(dispatching) 및 현황 정보를 주고 받는 정보교환(communication)으로 이루어진다.

IOSS 시스템은 사전 작업 일정계획(predictive scheduling)과 작업 일정통제(reactive scheduling)를 모두 수행할 수 있도록 개발된 작업 일정계획

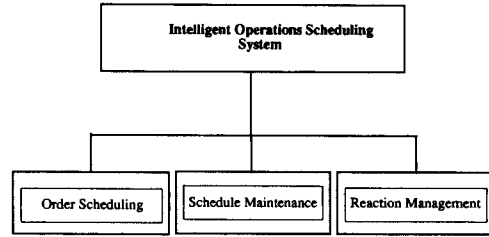


Fig. 3 Functional modules of IOSS

전문가시스템이다. 사전 작업 일정계획은 주어진 생산설비 능력하에서 계획목표를 만족하도록 단기적으로 수행가능한 모든 작업주문의 일정과 기계의 부하를 결정하는 것이며, 작업 일정통제는 생산현장의 상황변화에 의하여 생기는 계획 일정과 실행 일정과의 차이를 조정하여 작업 일정과 부하를 조화시키는 것을 의미한다.

이러한 일정계획이나 통제의 기능을 수행하기 위하여, Fig. 3에서처럼 IOSS는 작업주문 일정계획(order scheduling) 모듈, 일정 유지보수(schedule maintenance) 모듈, 작업 일정조정(reaction management) 모듈 등의 기능 단위로 구성되어 있다. 작업주문 일정계획 모듈은 작업주문의 우선순위를 정하고, 정해진 우선순위의 순서에 따라 작업주문을 하나씩 선택하여 각 주문의 공정별로 일정을 계획하는 모듈이다. 일정 유지보수 모듈은 사전 작업 일정계획 및 작업일정 통제시의 일정계획 단계나 일정조정 단계에서, 일시적인 일정을 일관되게 유지하고, 일정이 전개되는 과정 중에서 작성된 일정의 상충 여부를 확인하여 제시하는 기능을 한다. 일정조정 모듈은 사전 작업 일정계획시에 발생하는 납기지연 작업이나 계획된 일정에 의하여 작업을 수행하는 중에 발생하는 예기치 않은 상황을 처리하는 기능을 갖는다.

2.2 시스템의 구조

본 시스템은 기회적(opportunistic)으로 문제를 해결할 수 있는 형태인 매우 구조화된 흑판모델(blackboard model)의 구조로 개발되었다. 흑판 모델은 문제해결에 필요한 영역지식(domain knowledge)과 모든 입력 및 문제해결 중간과정의 해 등이 존재하는 흑판(blackboard)으로 구성되는 구조(organization)를 갖는다. 이 흑판구조도(blackboard framework)는 지식표현방법, 추론방법, 제어 메카니즘(mechanism)을 구성하는 방법

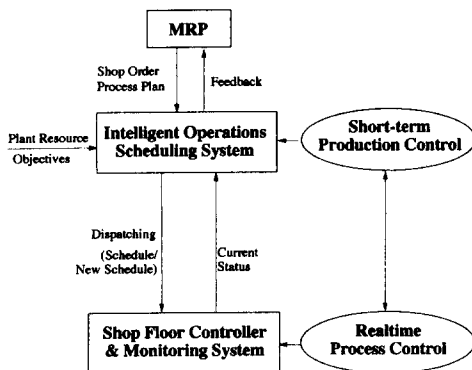


Fig. 2 The position of intelligent operations scheduling system in production system

에 따라 응용구조가 다르게 된다. (19~21)

본 연구에서는 Fig. 4와 같은 형태의 흑판구조도를 채택하였으며, 개발된 시스템의 전체 구조는 Fig. 5에 보이는 바와 같다.

IOSS 시스템은 일정계획 및 통제를 수행하기 위하여 일정의 작성, 조정, 분석 등의 기능을 수행하는 모듈들을 기회적으로 선택할 수 있는 구조를 갖는다. 일정계획 및 통제의 과정은 조정 관리자(control manager)에 의하여 전체적으로 조정되고 관리된다. 제어 흑판상(control blackboard)에 변화가 생기면, 일정 보수유지 지식출처 및 상황처리 관리자(reaction manager)의 경험적 지식(heuristics)과 상황처리 규칙에 의해 일정계획이나 조정 기능을 갖는 각 지식출처가 현재의 문제해결 과정 상태에 따라 작동함으로써 일정이 계획되거나 조정된다. 사전 작업 일정계획(predictive scheduling)은 조정 관리기가 문제해결 과정의 상태에 따라 작업장 모델기, 작업주문 일정계획 관리기, 상황처리 관리기에 실행을 지시하고 수행과정을 조정하므로써 완수된다.

먼저 사용자가 시스템의 초기화면에서 대화식으로 사전 작업 일정계획 단계를 선택하여 입력하면, 조정 관리기는 작업장 모델기에 작동을 지시하게 되고, 이에 따라 작업장 모델기는 작업장 상황과 작업주문 및 공정관련 지식을 흑판에 입력시킨다. 이어서 조정 관리기는 작업주문 일정계획 관리기에 실행을 지시하고, 임무를 부여받은 작업주문 일정계획 관리기는 제어 흑판상의 상태변화에 따라 작업주문 순서계획기, 개략 일정계획기, 상세 일정계

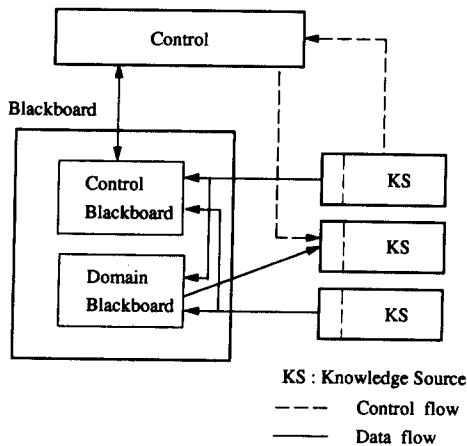


Fig. 4 The blackboard framework

획기를 작동시킨다. 상세 일정계획기가 작동할 때 용량분석기는 기회적으로 작동하여 용량분석 결과를 제어 흑판상에 통보한다. 이에 따라 상세 일정계획기는 작업주문에 속한 각 공정에 대한 일정을 작성한다. 이 과정에서 납기내에 계획이 되지 못하는 공정이 발생하면, 제어 흑판상에 공정의 일정이 주어진 납기를 준수하지 못하게 되는 사실이 게시된다.

작업주문 일정계획 관리기는 이 상황을 흑판을 통해 파악하게 되고, 이 상황의 해결을 재차 조정 관리기에 보고한다. 이때 조정 관리기는 납기지연 작업의 처리를 상황처리 관리기에 지시하게 되고 이어서 상황처리 관리기는 납기지연 작업 일정계획기에 지시하여 일정이 조정되도록 한다. 계속해서 작업주문 일정계획기는 이후의 작업주문에 대해 일정을 작성하고 납기지연 작업이 다시 발생하면, 전술한 과정을 반복한다. 작업 일정통제(reactive scheduling)도 조정 관리기가 작업장 모델기, 상황처리 관리기에 임무를 지시하고 조정함으로써, 사전 작업 일정계획 시의 납기지연 작업처리와 같은 과정을 거쳐서 일정과 부하가 조정된다.

작업 일정계획과 작업 일정통제 과정에서 작업장 상태변화의 입력과 그에 대한 일정계획 지식출처들

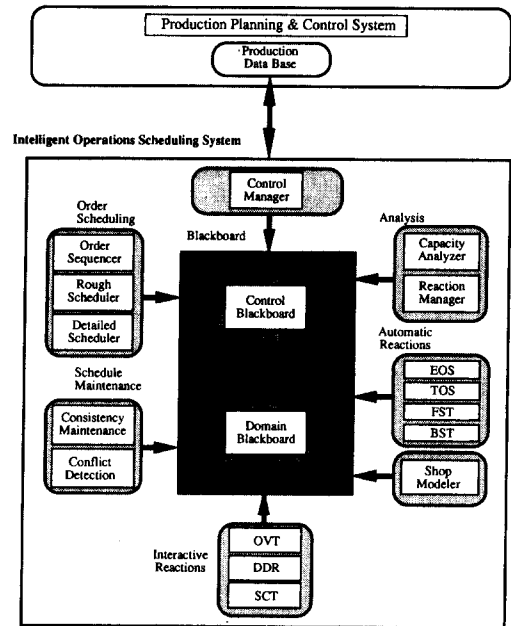


Fig. 5 The architecture of intelligent operations scheduling system (IOSS)

의 실행은 일정 보수유지 모듈에 의해 현재 일정에 반영된다. 이러한 파급과정에 의해 일정은 지속적으로 유지되며, 불일치되는 상태가 감지되면 조정 관리기는 상황처리 관리기에 임무를 부여한다. 제어 혹은 상의 변화된 수행결과에 따라 조정 관리기는 수행된 결과를 알게 되며 계속해서 다른 지식 출처의 수행을 지시하거나 제어한다. 이하에서 각 지식 출처의 기능을 설명한다.⁽²²⁾

2.2.1 작업장 모델기

작업장 모델기(shop modeler)는 전체 데이터베이스인 영역 흑판(domain blackboard)상에 작업장의 현재 상태를 나타내며, 생산 데이터베이스와 주기적으로 정보를 주고 받음으로써 현황 데이터를 받아들이는 것으로 되어있다. 이 데이터에 의하여 현재 작업장 현황이 영역 흑판상에 갱신된다. 이 지식 출처의 기능은 기계그룹, 기계, 작업주문, 공정 등 작업장의 개념과 객체의 구조 및 관계를 관리하고, 정적 작업장 모델에서 정의된 객체들을 흑판상에 현재 작업장의 동적인 정보로 입력하는 것이다. 작업장 모델기는 객체지향 지식표현(object-oriented knowledge representation)기법에 의해 구조화된 객체로 대상모델을 정의한다. 작업장의 객체(object)는 클래스(class)단위로 모델링된다. 동적 작업장은 모든 객체가 흑판상에 입력된 상태를 말하며, 작업주문, 공정, 기계그룹, 기계, 부하 등의 객체 정보가 있다. 작업주문을 나타내는 한 객체(instance)를 Fig. 6에 보인다. 작업주문 클래스 ShopOrder는 lot-size, fop(first operation), lop(last operation), part(부품명), PST(planned start time), PFT(planned finish time), priority, schedule-direction, status 등의 속성(attribute)을 가지며, [Ord22]는 작업주문의 한 객체를 의미한다.

```

{[Ord22] of ShopOrder
  (lot-size 1)
  (fop [Ord22-op1])
  (lop [Ord22-op3])
  (part [P2])
  (PST (2 0))
  (PFT (8 8))
  (priority 23)
  (schedule-direction Forward)
  (status SKD))

```

Fig. 6 An instance object of shop order class on the domain blackboard

2.2.2 일정 보수유지 모듈

일정 보수유지(schedule maintenance) 모듈은 일정유지와 상충상황을 감지하는 두가지 지식출처로 구성된다. 각 지식출처의 기능은 작업주문 일정 계획기에 의해 수립되는 일정을 일관되게 유지하고 일정계획시에 작업주문의 납기준수 여부의 확인과 작업장에 내려진 계획 일정과 실제 실행 상황과의 차이를 감지하는 것이다.

2.2.3 분석 모듈

이 분석(analysis) 모듈은 기계용량 분석기(capacity analyzer)와 상황처리 관리자(reaction manager)의 두가지 지식출처로 구성되어 있다. 기계용량 분석기는 이용 가능한 기계용량과 작업주문에 의한 부하(load)를 비교하고, 과부하상태 여부를 확인하여 그 결과를 영역 흑판(domain blackboard)상에 입력한다. 상황처리 관리자(reaction manager)는 상충상태를 조사 및 분석하여 현재 상충상태의 일부 또는 전체를 해결할 수 있는 상충 조정방안의 지식출처가 작동되도록 제어 흑판(control blackboard)상에 통보한다. 이에 따라 상충상황을 해소할 수 있는 해당 지식출처가 임무를 수행한다. 즉, 사전 작업 일정계획을 할때 납기 지연 작업의 일정 및 부하조정은 상황처리 관리기의 지시에 따라 EOS(early order scheduler), TOS(tarly order scheduler), FST(forward shifter), BST(backward shifter) 등이 상충되는 상황을 처리함으로써 수행된다. 이 방안에 의해서도 해결되지 않으면 대화식 환경에서 사용자가 OVT(over time), DDR(due date relaxation), SCT(sub-contraction) 기능들을 이용하여 상충되는 상황을 처리하게 된다.

2.2.4 작업주문 일정계획 모듈

작업주문 일정계획(order scheduling) 모듈은 지식출처들의 실행을 지시하고 관리하는 작업주문 일정계획 관리기와 작업주문순서 계획기(order sequencer), 개략 일정계획기(rough scheduler), 상세 일정계획기(detailed scheduler)의 3가지 지식출처(knowledge source)로 구성된다. 즉, 일정계획의 복잡성을 줄이기 위해 계획과정의 문제영역을 단계적으로 분할하여 취급한다. 먼저 작업주문순서 계획은 작업주문의 우선순위에 의해 쉽게 결정된

다. 다음에 개략 일정계획기는 한 작업주문에 속한 공정들의 수행가능한 일정경계를 계산하게 되고, 상세 일정계획기는 이 일정경계 내에서 기계의 가용한 용량을 고려하여 각 공정을 해당 기계의 부하로 예약한다.

2.2.5 조정 관리기

일정계획 및 통제의 과정은 조정 관리기(control manager)에 의하여 전체적으로 조정되고 관리된다. 모든 지식출처들의 실행을 조정, 관리하고 효율적으로 운용하기 위해 제어 지식(control knowledge)이 필요하다. 제어 지식은 일정계획 및 통제 과정에 있어서 제어 흑판(control blackboard)의 변화에 따라 각 지식출처의 작동(activation) 순서를 관리하는데 사용된다. 조정 관리기는 제어 흑판(control blackboard)의 변화되는 상태에 따라 다음에 실행될 지식출처를 결정한다. Fig. 7에 제어 지식(control knowledge)의 예를 보인다. 다시 말하면, 제어 지식은 문제가 해결되는 과정의 변화되는 상태를 나타내며, 규칙(rule)의 조건부(if)에 패턴으로 표현되어 지식출처나 규칙의 실행을 지시하거나 실행 순서를 조정하는 역할을 하게 된다.

2.2.6 흑판

흑판(blackboard)에는 영역 흑판(domain blackboard)과 제어 흑판(control blackboard)의 두 종류가 존재하는데, 전자는 대상 모델을 구성하는 객체들의 집합이고, 후자는 지식출처(knowledge source)나 규칙(rule)을 제어하기 위한 지식으로 구성된다. 영역 흑판은 기계그룹(machine group : MG), 기계(machine : MC), 작업주문(shop

```
(Top
  (Phase Predictive-Scheduling)
  (Object Meet_DueDate)
  (Event No))
(KS-Control
  (Action SOS.KS-Control)
  (Activated-KS SOS.KS)
  (Chain-To-Next-KS REA.KS)
  (KS-state Ready))
(REA
  (Level TOS.KS)
  (Action TOS.KS)
  (Status Resolved))
([Ord22] [Ord22-op2] LFT Violation)
```

Fig. 7 Control knowledge templates and fact

```
([Ord12] of ShopOrder
  (fop [Ord12-op1])
  (lop [Ord12-op4]) (part[P1])
  (PST 20) (PFT 68)
  (priority 2)
  (schedule-direction Forward)
  (status release))
([Ord45-op3] of OrderOperation
  (nop [Ord45-op4])
  (pop [Ord45-op2])
  (mc MG2-MC1)
  (op-time 3)
  (ord-no [Ord45])
  (op [Ord45-op3])
  (EST 6 0)
  (EFT 6 3)
  (LST 12 1)
  (LFT 12 4)
  (SST 8 6)
  (SFT 9 1)
  (MESSAGE SKD)
  (status SKD))
([MG3-MC1-Load1-Int3] of Capacity-Interval
  (mc MG3-MC1)
  (day 1)
  (start-time 7)
  (end-time 8)
  (capacity 0)
  (skd-op [Ord11-op3]))
```

Fig. 8 Scheduling objects

```
(defrule DS5
  "FWD Finite-Loading for OP Capacity Scheduling"
  ?LFT ← ( ?ORD ?OP LFT O. K)
  ?CAP ← ( ?ORD ?OP Capacity Exist)
  ⇒
  (send ?OP FWD.Load.To.MC)
  (send ?OP put-MESSAGE SKD)
  (bind ?NOP (send ?OP get-nop))
  (retract ?LFT ?CAP)
  (if (neq ?NOP nil)
    then
    (assert (Find Capacity-Interval ?ORD ?NOP))
```

Fig. 9 Example rule

order), 공정(operation) 등의 객체들로 구성되고, 제어 흑판은 계획전략, 경험지식, 계획과정의 상태 서술지식, 객체의 상태변화 서술지식 등으로 구성되며, 이 지식들은 사실(fact)이나 프레임(frame)과 비슷한 구조의 템플레이트(template)로 표현된다. Fig. 8은 작업 일정을 계획할때 사용되

는 주요한 클래스의 객체들을 보이고 있으며, [Ord12], [Ord45-op3], [MG3-MC1-Load1-Int3]는 각각 작업주문(shop order), 공정(order operation), 부하(capacity-interval) 클래스들의 한 객체를 나타낸다. 또한 Fig. 9에서는 CLIPS의 구문으로 표현된 규칙의 한가지 예를 보여주고 있으며, 규칙 DS5는,

IF(작업주문의 한 공정이 최연완료시간 만족) and
(작업주문의 한 공정에 대한 기계용량 존재)

THEN

(공정을 해당 기계에 작업 부하로 할당)
임을 의미한다.

3. 적용사례

일정계획 전문가시스템인 IOSS 시스템은 NASA에서 개발된 전문가시스템 개발도구(expert sys-

tem development tool)인 CLIPS Version 5.1을 사용하여 Mac Iici 환경에서 구현되었다.

개발된 시스템의 기능을 확인하기 위하여, Table 1의 사례에 대하여 시스템을 적용하였다. 적용 생산시스템은 기계부품 가공 공장을 대상으로 하였으며, 밀링공정, 보링공정 등의 공정 작업명은 생략하였다. 주어진 생산계획은 향후 12일(2주일) 동안에 가공해야 될 작업주문으로서, 일정계획의 목표는 모든 작업주문의 납기를 준수하면서 어떤 기계에도 과부하가 걸리지 않도록 일정을 만드는 것이다. 작업주문, 납기, 각 부품에 대한 가공 공정순서 및 공정시간이 Table 1에 요약되어 있다.

처리해야 될 작업주문(shop order)은 부품 P1을 가공할 주문들이 Ord11, Ord12, Ord13, Ord14, Ord15의 5종류이고, 다른 부품 P2, P3, P4, P5도 마찬가지로 각각 5종류씩으로 모두 20종류이며, 각 주문의 계획시작일(planned start date : PSD)과

Table 1 Production plan data for casestudy

Part	Op	Opt	Machine	Order	PSD	PFD	SS	SS/OP	Priority
P1	Op1	3	MG1-MC1	Ord11	1	5	27	0.84	1
	Op2	4	MG2-MC1	Ord12	2	6	27	0.84	2
	Op3	2	MG3-MC1	Ord13	3	7	27	0.84	3
	Op4	4	MG4-MC1	Ord14	4	8	27	0.84	4
				Ord15	5	9	27	0.84	5
P2	Op1	4	MG1-MC1	Ord21	1	8	52	2.17	17
	Op2	6	MG2-MC1	Ord22	2	9	52	2.17	18
	Op3	2	MG4-MC1	Ord23	3	10	52	2.17	19
				Ord24	4	11	52	2.17	20
				Ord25	5	11	44	1.83	16
P3	Op1	1	MG1-MC1	Ord31	1	5	34	1.42	7
	Op2	2	MG3-MC1	Ord32	2	5	26	1.08	6
	Op3	3	MG4-MC1	Ord33	3	7	34	1.42	8
				Ord34	4	9	42	1.75	13
				Ord35	5	10	42	1.75	15
P4	Op1	2	MG1-MC1	Ord41	1	8	49	1.53	9
	Op2	6	MG3-MC1	Ord42	2	9	49	1.53	10
	Op3	3	MG2-MC1	Ord43	3	10	49	1.53	11
	Op4	4	MG4-MC1	Ord44	4	12	57	1.78	14
				Ord45	5	12	49	1.53	12

Legend : Op-Operation, Opt-Operation Time, PSD-Planned Start Date
PF D-Planned Finish Date, SS-Static Slack
SS/OP-Static Slack number of Operation

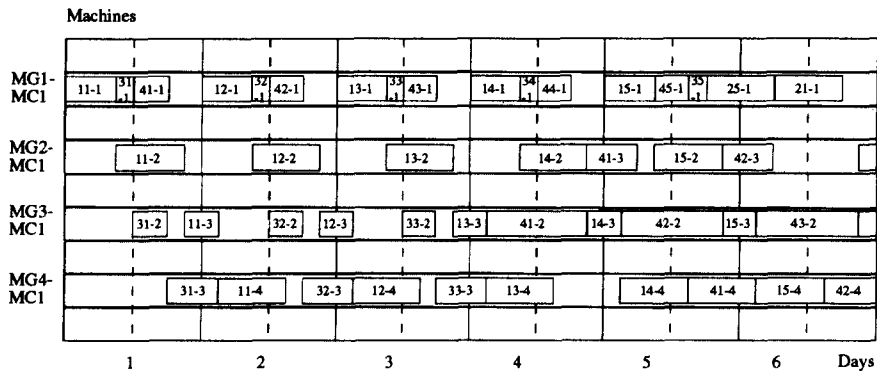
계획완료일(planned finish date : PFD)은 일일 단위로 주어져 있다. 예를 들어 작업주문 Ord11은 작업 첫째날 가공을 시작할 수 있으며 5일까지는 완료해야 한다. 작업주문의 순서를 정하는 데에는 작업주문 우선순위 결정규칙 중에서 잔여 공정별 최소 여유시간(SS/OPN : static slack/number of operation)규칙이 적용되며, 이 여유시간이 낮을수록 우선순위(priority)가 높게 된다. 이때, 잔여 공정별 최소 여유시간이 동일한 작업주문들이 발생할 때는 최초 납기일(EDD) 우선규칙을 복합적으로 사용하여 납기일이 빠른 작업주문부터 먼저 선택되어 작업주문 순서가 결정되도록 하였다. 표의 마지막 컬럼에 이와 같이 결정된 작업주문의 우선순서가 나타나 있다.

IOSS 시스템은 대화식 일정계획법에서의 사람의 경험과 지식에 의한 일정계획의 의사결정 과정을 AI 기법을 사용하여 자동화한 일정계획법이다. 따

라서, 이 시스템에 의해 수행되는 일정계획 과정은 컴퓨터 내부에서 자동적으로 수행되기 때문에 사용자는 계획과정의 단계를 직접적으로는 알 수 없다. Table 1의 생산계획 자료를 입력으로 하여 작업주문의 우선순위에 따라 각 작업주문의 공정별로 기계의 부하를 고려하여 자동적으로 일정이 조정되어 완료된 일정계획이 Fig. 10의 기계 간트도표에 표시되었다. 대화식 동시계획법에서는 기계 부하와 작업주문 일정과의 조정과정이 사용자의 판단과 결정에 의해 해결되지만, IOSS 시스템에서는 이 처리과정이 상황처리 지식베이스와 일정 보수유지 지식출처에 의하여 자동적으로 수행되는 것이 장점이라 할 수 있다.

적용사례의 경우 개발 시스템에 의해 20개의 모든 작업주문의 일정이 계획되는 데는 사용자와의 대화시간을 포함하여 약 10분이 소요된다. 마지막 작업주문을 대화식으로 일정을 조정하는 시간을 제

Gantt Chart



Gantt Chart

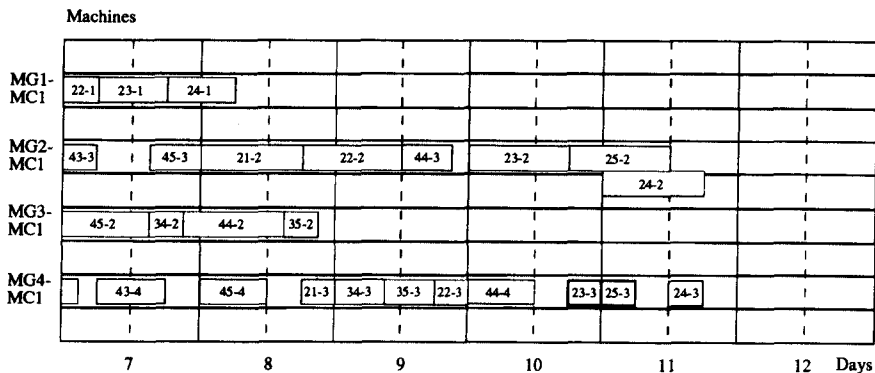


Fig. 10 Machine Gantt Chart

외하면, 19개 작업주문의 일정을 작성하는데 시스템 작동시간(run time)은 5분 이내가 소요된다.

4. 결 론

본 연구에서는 지식기반 일정계획기법(knowledge based scheduling)과 대화식 일정계획기법(interactive scheduling)을 조합한 형태인 대화식 지능형 작업 일정계획 및 통제 모델이 제안되었으며, 개별 생산체제를 갖는 제조업체에 있어서 작업 일정계획 문제의 복잡도와 생산현장의 작업 실행의 불확실성에 유연하게 대응할 수 있는 작업 일정계획 전문가시스템인 IOSS 시스템이 개발되었다. 후판모델 개념에 의하여 시스템을 모델링함으로써 지식베이스를 구조화하였고, 일정 조정방안 선택을 위한 의사결정 구조를 체계화하고, 상황처리를 위한 경험지식을 규칙베이스로 구축하였다. 본 연구를 통해 얻은 결론을 요약하면 다음과 같다.

(1) 한 환경에서 사전 일정을 수립하고, 남기지연 작업이나 예기치 않은 상황변화에 대응하여 일정과 부하를 조정할 수 있는 작업 일정계획 전문가시스템이 개발되었다. 이 시스템은 전문가시스템 개발 도구인 CLIPS를 사용하여 Mac IICI 환경에서 구현되었으며, pc나 engineering workstation 컴퓨터 환경하에서도 쉽게 적용될 수 있다.

(2) 후판모델을 채택하여 지식베이스를 구조화하고, 일정조정방안 선택을 위한 의사결정 구조를 체계화하여 상황해결을 위한 경험지식을 지식베이스로 구축함으로써 새로운 지식획득에 의한 지식베이스의 확장 및 개선이 용이하도록 하였으며, 대상시스템이 변하더라도 쉽게 적용될 수 있도록 하였다.

(3) 현재의 생산 능력범위에서 납기준수를 위한 일정계획이 불가능한 경우에는 기존의 지식기반 일정계획 시스템에서는 보유하고 있지 않은 기능으로, 개발 시스템에서는 대화식 환경에서 사용자가 잔업, 납기연장 등의 다른 전략을 채택하여 일정과 부하를 조정할 수 있도록 하였다.

본 연구결과를 토대로 향후 계속하여 수행할 과제로는, 데이터베이스 시스템과 연결되도록 대화식 일정계획 기능을 확장하는 연구와 사례중심 추론(case-based reasoning)에 대한 연구 등이 필요하다고 생각된다.

참고문헌

- (1) Baker, K. R., 1974, *Introduction to Sequencing and Scheduling*, John Wiley & Sons.
- (2) Conway, R. W., 1967, *Theory of Scheduling*, Addison-Wesley Publishing Co.
- (3) Rodammer, F. A., 1988, "A Recent Survey of Production Scheduling," *IEEE, Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, Vol. 18, No. 6, pp. 841~859.
- (4) Kang, M., 1987, "Entwicklung eines Werkstattsteuerungssystems mit Simultaner Termin- und Kapazitaetsplanung," Technical University of Berlin, Doktorarbeit.
- (5) Kang, M. and Park, J., 1992, "Interactive Production Control by Simultaneous Consideration of Schedules and Loads," *Proc. of the 2nd International Conference on Automation Technology*, Taiwan, pp. 99~103.
- (6) Allen, J. F., 1983, "Maintaining Knowledge about Temporal Intervals," *Communications of the ACM*, Vol. 26, No. 11, pp. 832~843.
- (7) Bruno, G. and Elia, A., 1986, "A Rule-Based System to Schedule Production," *IEEE, Computer* 7, pp. 32~39.
- (8) Buchanan, I., 1989, "A Distributed Asynchronous Hierarchical Problem-Solving Architecture applied to Plant Scheduling," *Proc. 4th International Conference on the Applications of Artificial Intelligence in Engineering*, pp. 107~114 Cambridge, UK.
- (9) Firby, R. J., 1987, "An Investigation into Reactive Planning in Complex Domains," *Proc. AAAI - 87*, pp. 202~206 Seattle WA.
- (10) Fox, M. S., 1983, "Constraint-Directed Search: A Case Study of Job-Shop Scheduling," *CMU - RI - TR - 83 - 22*.
- (11) Fox, M. S. and Smith, S. F., 1984, "ISIS-A Knowledge-Based System for Factory Scheduling," *Expert Systems*, Vol. 1, No. 1, pp. 25~49.
- (12) Graves, S. C., 1981, "A Review of Production

- Scheduling," *Operations Research*, Vol. 29, No. 4, pp. 647~675.
- (13) Kanet, J. J., 1987, "Expert Systems in Production Scheduling," *European Journal of Operations Research*, Vol. 29, pp. 51~59.
- (14) Keng, N. P., 1988, "Interaction-Sensitive Planning System for Job-Shop Scheduling," *Expert Systems and Intelligent Manufacturing*, pp. 57~69.
- (15) Kusiak, 1990, *Intelligent Manufacturing Systems*, Prentice-Hall.
- (16) Rickel, J., 1988, "Issues in the Design of Scheduling Systems," *Expert Systems and Intelligent Manufacturing*, pp. 70~89.
- (17) Smith, S. F., 1988, "A Constraint-Based Framework for Reactive Management of Factory Schedules," *Intelligent Manufacturing*, pp. 113~130.
- (18) Stokey, R. J, 1989, "AI Factory Scheduling : Multiple Problem Formulations," *SIGART Newsletter*, No. 110, pp. 27~30.
- (19) Barr, A., Cohen, P. R. and Feigenbaum, E. A., 1989, *The Handbook of Artificial Intelligence IV*, Addison-Wesley.
- (20) Engelmore, R. and Morgan, T., 1988, *Blackboard Systems*, Addison-Wesley Publishing.
- (21) Hayes-Roth, B., 1988, "Blackboard Architecture for Control," *Artificial Intelligence*, Vol. 26, pp. 251~321.
- (22) 박지형, 1993, "개별 생산체제의 지능형 작업 일정계획 및 통제시스템에 관한 연구," 박사학위 논문, 서울대학교 공과대학.