

생산일정계획을 위한 지식 기반 모의실험*

Knowledge Based Simulation for Production Scheduling

나태영** · 김승권** · 김선욱***

Tae Young La** · Sheung Kown Kim** · Sun Uk Kim***

Abstract

It is not easy to find a good production schedule which can be used in practice. Therefore, production scheduling simulation with a simple dispatching rule or a set of dispatching rules is used. However, a simple dispatching rule may not create a robust schedule, for the same rule is blindly applied to all internal production processes. The presumption is that there might be a specific combination of appropriate rules that can improve the efficiency of a total production system for a certain type of orders. In order to acquire a better set of dispatching rules, simulation is used to examine the performance of various combinations of dispatching rule sets. There are innumerable combination of rule sets. Hence it takes too much computer simulation time to find a robust set of dispatching rule for a specific production system.

Therefore, we propose a concept of the knowledge based simulation to circumvent the problem. The knowledge based simulation consists of knowledge bases, an inference engine and a simulator. The knowledge base is made of rule sets that is extracted from both simulation and human intuition obtained by the simulation studies. For a certain type of orders, the proposed system provides several sets of dispatching rules that are expected to generate better results. Then the scheduler tries to find the best by simulating all proposed set of rules with the simulator.

The knowledge-based simulator armed with the acquired knowledge has produced improved solutions in terms of time and scheduling performance.

* 이 논문은 1993년도 한국 학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의해 연구되었음.

** 고려대학교 산업공학과

*** 단국대학교 산업공학과

1. 서론

최근 기업간의 경쟁이 국내외적으로 치열해지고 제품시장이 다변화됨에 따라 국내외적인 경쟁력 강화를 위한 전략으로 기업들은 소비자의 요구를 만족시키고 이익을 극대화하기 위해 부단히 노력하고 있다. 생산형태도 소품종 대량 생산에서 다품종 소량 생산, 변종 변량 생산 더 나아가 개별 혼류 생산, 또는 초다품종 다량 생산형태로 다양해지고 있다. 이처럼 복잡해지는 생산형태일수록 합리적인 생산일정계획의 수립이 필요하며 이에 따라 장비의 활용도를 최대로 높일 수 있는 우수하며 효율적인 일정계획을 만들기 위한 노력들이 다방면으로 시도되고 있다. 그런데, 일정계획을 풀기위한 최적화 해법이 NP-Complete로 밝혀지면서 최적해보다는 좋은 해에 만족하게 되었다[1]. 이에 따라 많은 작업할당 규칙(Dispatching Rule) 또는 작업우선순위 규칙(Priority Rule)들이 고안되어 작업 체제 시간이나 납기 지연시간을 줄이기 위한 방법들로 사용되고 있는 실정이다.

이밖에도 효과적인 일정계획 수립을 위한 수단으로 전문가 시스템을 사용하기도 한다. 대개의 전문가 시스템은 유도된 좋은 우선순위규칙에 의거한 지식을 활용하며, 이러한 지식은 기존의 공장에서 오랜 기간동안 근무하여 취득된 전문가의 현장 경험을 통하여 획득되어 왔다. 그러나 이렇게 획득된 지식으로 구축된 전문가 시스템은 특정 공장형태에 제한되어 운용될 수 밖으며 수년간의 현장경험을 가진 전문가를 필요로 한다.

한편 모의실험을 통하여 특정 생산 시스템에 적합한 작업 우선 순위 규칙을 찾고자 한

다면, 모든 작업 우선 순위 규칙의 조합에 대해서 여러번 모의실험해 본 다음 목적에 가장 잘 맞는 작업 우선 순위 규칙을 선택하는 것이 이상적일 것이다. 하지만 이러한 방법은 주문이 들어올 때마다 매번 수많은 횟수의 모의실험을 실시해야 되는 어려움이 있다. 이러한 일은 매우 비효율적이며 무척 많은 시간을 요하게 될 것이다. 하지만 어떤 지식을 이용함으로써 모의실험의 수를 가능한 줄일 수만 있다면, 작업 우선 순위 규칙의 조합에 대해서 모의실험을 하지 않고도 좋은 해를 효과적으로 얻을 수 있을 것이다. 이러한 방법은 새로 건설된 공장이라 하여도 일단 지식을 획득하고 그 지식을 모의실험하는데 사용한다면, 최소한의 시간으로서 좋은 일정계획을 얻을 수 있으며 일정계획에 있어서 효과적인 해를 제시해줄 수 있다는 것을 의미한다. 따라서 지식을 활용한 전문가 시스템과 모의실험을 이용, 일정계획을 수립하는 것은 여러가지의 복잡한 상황에 잘 적용하는 효과적인 일정계획을 수립하게 해 줄 것이다[5].

본 연구에서는 특정 공장에는 대개 특정 형태의 주문이 존재할 것이라는 가정하에 현장경험을 가진 전문가 없이도 주어진 생산 시스템에 존재하는 작업 우선 순위 규칙을 컴퓨터 모의실험을 통하여 지식으로 구상화하는 방법론을 제시하고자 한다. 즉 모의실험에서 사용할수 있는 지식 획득 방안을 소개하며 이렇게 획득된 지식을 장착한 지식 기반 모의실험(Knowledge-Based Simulation) 방법이 생산 일정계획에 효과적으로 적용될 수 있음을 보여주고 이같은 방안을 생산일정계획 수립을 위한 하나의 방법론으로서 제시한다.

2. 일정계획의 지식 기반 모의실험 적용

2.1 일정계획

생산현장에서 생산해야 할 제품의 종류와 수량이 결정되고 나면 그 다음으로 해야 할 생산에 관련된 결정은 언제 어떤 작업을, 어떤 기계에서 가공해야 할지를 결정하는 것이다. 이러한 일을 일정계획을 수립한다고 한다. 일정계획은 주문이라는 특정 업무를 충족시키기 위하여 일정 계획 기간에 걸쳐 자원을 할당하는 것이라고 포괄적으로 정의할 수 있는데, 여기에서 자원은 기계 및 작업자이고 특정업무는 작업을 말한다. 즉 일정계획문제는 작업과 가용 기계설비, 작업자가 주어질 때 작업내 공정의 선후행 조건을 만족시키면서 특정 수행척도를 최적화시키도록 작업의 각 공정들을 기계 또는 작업자에 할당하고 공정 시작시간과 종료시간을 결정하는 문제이다[2]. 하지만 어떤 일정계획을 수립하느냐에 따라서 납기 준수 정도, 작업종료시간, 작업대기시간, 기계 이용율 등 수행척도(performance measures)들간에 큰 차이를 보인다. 수행척도 또한 단일 항목이기보다는 다중 항목인 경우가 많기 때문에, 다중평가 기준하에서의 일정계획 수립이 필요하다.[13]

지금까지 수많은 연구자들에 의해 생산일정계획 수립에 관한 많은 연구가 발표되었지만, 대개는 지극히 단순한 생산 시스템 모형을 대상으로 하였다. 그러나 실제 상황은 기존의 연구에 비하여 상당히 복잡하므로 표준 모델로 수립하기조차 어려우며, 비록 해법이 존재하더라도 그 문제가 "NP-Complete"에 해당하여 실용적인 알고리즘을 개발하기에는 어려움이 따른다. Job의 수가 n 이고 기계의

수가 m 인 Job Shop의 일정계획 수립문제만 하더라도 정수계획법(Integer Programming)으로 모형화하는 경우 제약조건의 수는 $(mn^2 - n)$, 정수변수의 수는 $mn(n - 1)/2$ 로 증가한다 [7]. 이 경우 JOB의 수와 기계의 수가 증가하게 되면 해를 구할 수가 없게 된다. 이와 같은 정수계획법 문제의 답을 구하기 위하여 Greenberg는 분지한계법(branch-and-bound technique)을 제안하였으나 해를 구하는데 많은 시간이 소요되었다[13].

따라서 비교적 단순하고 계산시간이 적게 소요되는 경험적인 절차(heuristic procedures)가 연구되었다. 특히 각 주문작업의 공정정보(가공시간, 납기까지 남은 시간, 준비시간 등)를 기준으로 가공순서를 결정하는 작업 할당 규칙 또는 우선 순위 규칙(Dispatching rule or Priority rule)은 정수계획법이나 분지한계법의 문제점 - 문제의 크기가 조금만 커져도 해를 구할 수 없는 - 을 해결하며 수행척도를 최적화하지는 못하더라도 비교적 좋은 해를 구해준다. 하지만 어떤 작업 우선 순위 규칙이 더 우수한가는 대상 공장시스템의 구성, 주어진 시스템하에서의 재공품의 현황, 공장내에 새로 투입되어야 할 주문의 특성에 따라 달라진다. 따라서 이러한 작업할당 규칙을 이용하여 일정계획 전문가 시스템을 구축하고자 할 경우 지식베이스는 특정 공장의 구성에 의존하여 존재하게 된다.

2.2 지식 기반 모의실험

의사 결정자는 가장 좋은 대안을 선정하기 위한 어떤 수단을 필요로 한다. 이러한 수단 중 복잡한 시스템을 예측하는데 대표적인 두 가지 방법이 모의실험과 지식 기반 시스템이

대[8]. 이 두가지는 모델이 구성되는 방법 및 모델을 사용하여 예측하는 방법에서 차이점이 있다.

모의실험 모델에서는 시스템이 수학적 기호나 확률분포로 표현되지만, 지식 기반 시스템에서는 규칙으로 표현된다. 모의실험은 실 시스템의 효율적인 운영을 도모하기 위해 시스템의 동작을 이해하고 분석, 예측, 평가하는 방법이며[4][6] 해석적 방법의 적용이 어려운 문제에 대해서도 적용이 가능하고, 시간이나 비용측면에서 실현 불가능한 시스템의 경우에는 결과 예측 및 동적 시스템 분석을 위한 효과적인 접근 방법이다[3][4][6].

모의실험은 시간에 따라 시스템 변수들의 값을 변화시킴으로서 시스템의 미래 상황에 대한 반응을 예측하는데 활용되지만, 지식 기반 시스템은 보통 시간적인 고려없이 미리 정해진 상태를 예측하거나 주어진 상태에 대한 시스템의 반응을 추론하기 위하여 이용된다. 일반적으로 모의실험은 수치자료를 주어진 입력자료에 대한 반응으로서 출력 수치자료가 나오는 Black Box와 같은 함수라 할 수 있다. 반면에 지식 기반 시스템에서는 주어진 결과가 나오게 된 과정을 합리적으로 설명할 수 있다. 따라서 모의실험은 분석을 위한 모형수립에 적합한 반면, 지식 기반 시스템은 경험을 활용하여 해를 구하고자 하는 문제에 적합하다. 하지만 두개 모두 상위 수준에서 정책을 결정하는데 있어 도움을 주는 컴퓨터 모델을 제시한다는 점에 대해서는 유사하다[10].

어떤 복잡한 영역에 대해서 수집된 지식들은 분석적인 요소 및 경험적인 요소를 모두 포함하고 있기 때문에 아주 복잡한 시스템의

반응을 예측하기 위한 목적으로 모의실험과 지식 기반적 기법을 합하여 시스템 분석에 이용하는 것은 흥미있는 일이며 그렇게 해서 모의 실험을 보다 지능적으로 만들 수 있을 것이다[8]. 지식 기반 시스템은 미리 정의된 의사 결정 지원 도구인 반면, 모의실험은 예측할 수 있는 모의 실험 지원 도구로 표현되기 때문에 둘 모두를 포함하는 "Closed loop"의 가능성은 명백히 존재한다. 이러한 두 개념의 결합으로 지식 기반 모의실험이 형성된다[1].

Vecchion은 생산-분배 시스템의 설계에 지식 기반 모의실험을 이용하였다[1]. 그에 따르면 불확실한 시장 상황하의 생산-분배시스템에 있어서 강력한 시장 확보를 위한 전략과 기술 개발은 매우 어려운 과제이다. 이러한 상황의 시스템을 설계하기 위해서는, 추구되어야 할 목적간의 상충, 분석적 접근의 복잡성, 수많은 통제변수, 수많은 분석 대상 정책 조합, 전체 최적인지에 대한 확신을 할 수 없는 것, 자재 조달 지연과 제한된 정보 흐름에 의해 야기된 증폭효과등을 적절히 처리해야 되나 이런 일은 쉬운 일이 아니다. 이러한 상기의 어려움으로 Vecchion은 지식 기반 모의실험을 활용, 1단계 생산분배 시스템의 설계를 하였다.

한편 O'Keefe에 의하면 지식기반 모의실험 시스템의 전체 구조는 수치적 요소와 지식기반 요소간에 정보가 서로 교환되는 방법에 구분되며 다음과 같이 수치적 요소와 지식기반 요소를 통합할 수 있다[8].

(1) 순차 통합 시스템(Sequential Intergrated System)

지식에 기반된 요소를 사용하여 산출

된 결과를 모의실험의 요소로 사용, 모의실험을 실시한다. 그 역도 가능하다.

(2) 병렬 통합 시스템(Parallel Intergreted System)

실행기간동안 지식기반요소와 모의실험 요소간의 상호 정보 교환이 동시에 계속적으로 이루어 진다. 어떤 사실을 주장하거나 수치적인 결과를 계산을 위해서 서로 상대방을 필요로 할때 각각의 요소는 상호 왕래를 한다.

(3) 모의 실험을 수반하는 지식 기반 시스템(Intelligent Front Ends for Building Numerical Simulation Models)

사용자 또는 전문가가 프로그래밍 또는 모의실험에 대한 지식이 없어도 대화를 통해 구축된 모의실험 모형의 요소 결정이 가능 하도록 지원해 주는 지식기반 시스템이다.

(4) 규칙 주도형 시스템(Rule-driven Simulation)

수치적인 모의 실험을 활용하는 대신 규칙에 의하여 결과가 추론된다.

이었다. 하지만 현장의 풍부한 경험을 가진 전문가가 없을 경우에는 전문가 시스템을 구축할 수 없을 뿐더러 원하는 결과를 얻기 위해 수많은 시행착오를 반복해야 할 것이다. 이를 모의실험을 통해서 해결하는 방법이 있을 수도 있지만, 수많은 대안에 대해서 매번 모의실험 할수도 없을 것이다. 따라서 본 연구에서는 전문가가 없는 곳에서도 앞서서도 설명한 지식 기반 모의실험을 통해 손쉽게 좋은 일정계획을 얻을 수 있도록 하는 모의 실험기를 개발하였다. 지식기반 모의실험기의 구조는 O'Keefe의 구조에 따르면 순차 통합 시스템의 형태에 해당된다 볼 수 있다.

상기의 목적한 바를 얻기 위하여 본 연구에서 이용하는 지식 기반 모의실험의 구조는 그림 1과 같은 형태가 된다.

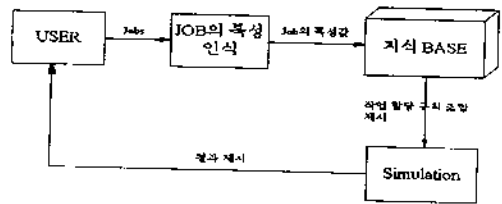


그림 1. 지식 기반 모의실험기의 구조

2.3 일정계획의 지식 기반 모의실험

일정계획을 구하기 위한 효과적인 방법은 전문가 시스템을 만드는 것이다. 전문가 시스템을 만들기 위한 과정은 지식획득과 시스템구현으로 나누어 진다. 이중 지식을 획득해서 지식베이스를 어떻게 잘 구성하는가가 전문가 시스템의 우수성, 나아가 스케줄러의 우수성을 결정짓는다. 그런데 기존의 지식획득 방법은 현장의 풍부한 경험을 가진 전문가의 지식을 이용해서 규칙을 발견 이를 규칙베이스로 만들어서 적용하는 것이 대부분

3. 모델링 및 지식획득

3.1 대상 생산 시스템

지식을 얻기위해서는 먼저 대상 시스템이 있어야 한다. 본 연구의 연구대상은 어떤 부품 조립 공장을 단순화 시킨 것으로서 작업장(Workstation)이 3개이며 창고 하나로 구성된다.

첫번째 작업장의 자원(Resource)은 프레스이고 작업의 형태는 제품별로 일괄(Batch)작

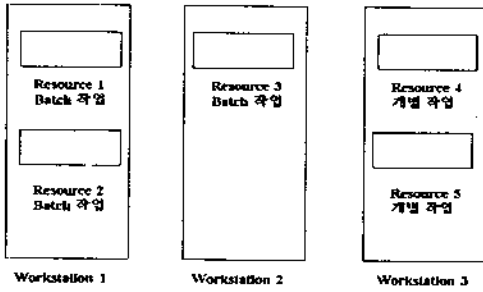
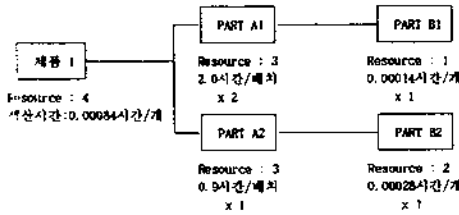


그림 2. 실험 대상 구성도

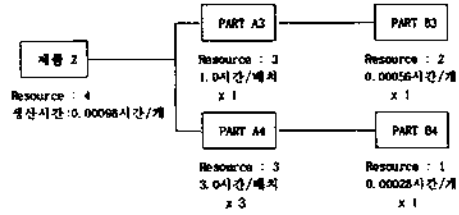
업을 실시하며 2대가 있다. 두번째 작업장의 자원은 세척기이며, 이 또한 일괄(Batch)작업으로 작업이 실시되고 1대가 있다. 세번째 작업장에서의 작업은 개별적으로 이루어지며, 두개의 부품이 합해져 하나의 제품을 만드는 조립을 위한 작업을 수행한다. 이 조립라인의 수는 2개이다.

이것을 그림으로 나타내면 그림 2와 같다.

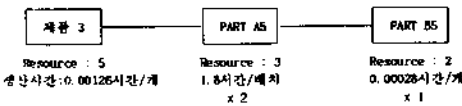
[제품 1]



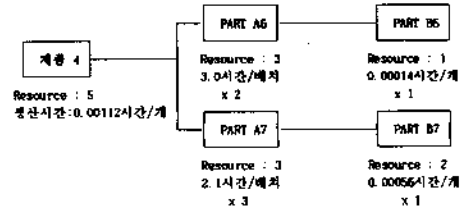
[제품 2]



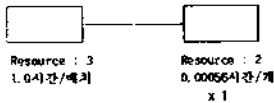
[제품 3]



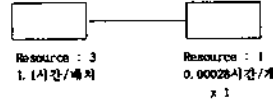
[제품 4]



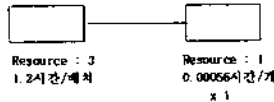
[제품 5]



[제품 6]



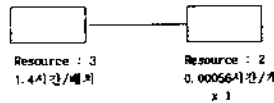
[제품 7]



[제품 8]



[제품 9]



[제품 10]

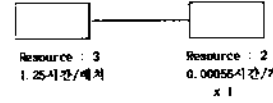


그림 3. 제품별 생산공정 및 생산시간

생산하는 제품의 종류는 10가지이며, 각 제품별 부품구성 및 제품, 부품이 생산되는 자원(Resource)과 가공시간은 그림 3과 같다. 그림 3에서 상자안에 있는 내용은 제품 및 부품을 의미하며 직선은 관계를 의미한다. 예를 들어 그림 3의 첫번째 그림은 제품1을 생산하는 데에는 부품A1 2개와 부품A2 1개가 필요하고 부품A1을 생산하는 데에는 부품B1이 1개 필요하며 부품A2를 생산하기 위해서는 부품B2가 1개가 필요함을 나타내고 있다.

제품 1에서 4까지는 3단계의 공정을 거치며 제품 5에서 10까지는 2단계의 공정을 거친다. 모든 제품의 공정은 기계3를 거침을 알 수 있다.

제품의 주문은 각 제품별로 100에서 1000 단위의 갯수 중 100단위로 Random하게 주문이 오는 상황을 가정했다. 예를 들어 주문은 표 1과 같은 형태로 발생되며, 매 실험마다 300번씩 Random하게 발생 하는 것으로 가정하였다.

표 1. 주문 file의 형태

| 주문 번호 | 제 품 | 주 문 양 | 납 기 일 |
|-------|--------|-------|------------|
| 1 | 제 품 9 | 1000 | 1/5 23:00 |
| 2 | 제 품 5 | 300 | 1/4 23:00 |
| 3 | 제 품 1 | 500 | 1/7 23:00 |
| 4 | 제 품 4 | 400 | 1/2 23:00 |
| 5 | 제 품 10 | 200 | 1/20 23:00 |
| . | . | . | . |
| . | . | . | . |
| 300 | 제 품 2 | 300 | 1/6 23:00 |

3.2 모의실험

모의실험의 도구로써 FACTOR™를 이용하였다. 이 FACTOR™는 미국 Pritsker사의 규

칙 기반형 모의실험 소프트웨어로서 모델구축이 용이하며 각 기계(Resource)앞에서 규칙(Rule)적용이 가능하여 다양한 규칙에 대한 성능평가가 가능하다[9]. FACTOR™를 이용한 지식 획득 과정은 그림 4와 같은 절차에 의해 이루어졌다.

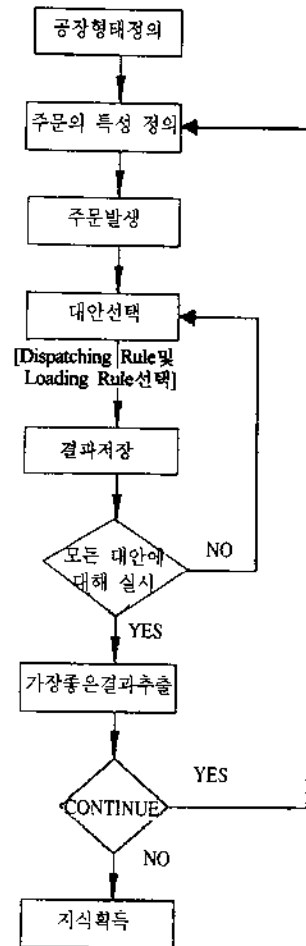


그림 4. 지식획득을 위한 절차

하나의 주문 집합을 이용하여 가능 규칙 조합 모두에 대해서 모의실험을 실시한다. 실험결과 저장값은 평균공정시간(Mean flow time), 평균지연시간(Mean tardiness), 완료시

간(Makespan), 평균 이용율(Mean utilization) 등 실험의 결과에서 나오는 각종 값을 저장하며 이 결과들은 후에 어떤 평가치를 어떻게 사용하는가에 따라 값이 결정된다.

FMS와 같은 생산 시스템에서 다중평가기준(Multiple performance criteria)이 존재할 때, 작업처리규칙들의 일부를 조합 또는 가중치를 부여하여 모의실험을 수행하는 방법이 여러가지 소개되었다. 본 논문에서는 이 준열 외 2인[13]이 사용한 다중평가기준의 방법을 이용한다.

일반적으로 평가 기준은 다음과 같이 구분된다.

- (1) 작업 완료 시간과 관련된 기준
- (2) 작업의 납기일(Due date)과 관련된 기준
- (3) 비용과 관련된 기준

이 중 본 연구에는 제 3항의 비용과 관련된 기준을 제외한 다중 평가 기준을 고려하였다.

작업 완료 시간과 관련된 기준으로는 평균 공정시간(Mean flow time)을 고려 하였으며 납기일(Due date)과 관련된 기준은 평균지연시간(Mean Tardiness)를 고려하였다.

- (1) 완료시간

목적함수 $f_1 = \text{Min} \{ \text{mean flow time} \}$.

- (2) Due date

목적함수 $f_2 = \text{Min} \{ \text{mean tardiness} \}$.

사용자의 정성적인 기대를 정량적으로 표현하는 방법으로 사용자의 시스템 관리 중점을 상대적 가중치로 입력시킨 후, 각 평가기준별로 상대평가를 실시하여 전체 평가치를 계산하는 방법을 채택하였다. 즉 각각의 작업 우선 순위 규칙(Rule) i 에 대해 정규화 한

값을 f_{1i}, f_{2i} 라 하면 관리중점 즉 평균공정시간(Mean flow time)의 최소화애 W_1 , 평균지연시간(Mean Tardiness)의 최소화애 $(1-W_1)$ 의 가중치를 주어 평가한다.

각 기계에서 작업처리를 위하여 선택되는 적용 작업 우선 순위 규칙(Rule) 조합은 평가 기준을 무엇으로 할 것인가에 따라서 달라진다. 본 연구에서는 평가기준을 평균공정시간과 평균지연시간을 동시에 고려했기 때문에 각각의 수행척도에 좋은 값을 주는 것으로 알려진 작업 우선 순위 규칙을 선택하여 실험을 하였다. SPT(Shortest Processing Time)는 평균공정시간에 좋은 규칙이며 지연시간의 최소화애 효과적인 것으로는 EDD(Earliest Due Date), Slack/OPN(Slack per Remaining Operation), CR(Critical Ratio)등이 알려져 있다. 따라서 작업장에 주문이 도착하는 우선 순위 규칙(Release Rule)로서는 SPT, EDD, Slack/OPN, CR과 비교를 위하여 LPT(Longest Processing Time)가 사용된다. 작업장 1과 2의 작업은 일괄작업이다. 이것은 개별작업의 납기일에 대한 속성이 사라짐을 의미한다. 따라서 납기일에 대한 속성을 유지시키려면 바로 전 작업장의 순서대로 하는 수 밖에 없다. 또한 평균흐름시간에 대한 것은 SPT를 적용하고 작업장 1과 2에서는 각각 SPT와 FIFO(First In First Out)를 적용한다.

작업장 3에서는 납기일과 평균공정시간에 관련된 좋은 작업 우선 순위 규칙(Rule)인 SPT와 Slack/OPN, CR을 적용하였다. 이것을 주문 도착 우선순위 규칙(Release Rule) 및 자원별 작업 우선 순위 규칙(Resource Rule)로 정리하면 표 2와 같다. 여기서 주문 도착 우선순위 규칙(Release Rule)이란 주문이 동시

에 발생시 어느 주문을 우선적으로 작업할 것인가에 대한 것을 결정하는 규칙이다. 자원별 작업 우선 순위 규칙(Resource Rule)이란 작업자가 수행할 작업이나 작업대에서 수행할 작업을 선택하는 규칙이다. 한편 여기서의 자원(Resource)은 그림 2에서 보여주고 있는 작업을 수행하는 주체이다.

을 실시한다. 첫번째 경우는 모든 제품의 주문의 빈도가 동일하게 발생하도록 하였다. 즉 모든 제품의 주문 분포가 균등(Uniform)하게 발생하게 하였으며, 납기일의 범위는 1일에서 30일까지 발생하도록 하였다. 두번째 경우는 제품 1 - 제품 4의 주문의 빈도가 다른 제품보다 2배 많이 발생하며 납기일의 범위

표 2. 작업 우선 순위 규칙(Rule) 조합

| 구 분 | Release | Resource 1 | Resource 2 | Resource 3 | Resource 4 | Resource 5 |
|---------|--------------------------------------|-------------|-------------|-------------|------------------------|------------------------|
| 가능 Rule | EDD SPT LPT Slack/OPN CR | SPT FIFO | SPT FIFO | SPT FIFO | SPT Slack/OPN CR | SPT Slack/OPN CR |

이것의 총 가능 작업 우선 순위 규칙(Rule) 조합 갯수는 360개(5×2×2×2×3×3)가 된다.

지식을 얻기 위해 모의실험을 실시하는데 있어서 공장의 특성상 제품 1 - 제품 4가 자원(resource) 4 - 자원(resource)5를 거치는 점을 고려하여, 제품 1에서 4까지의 주문 빈도 및 납기일의 범위를 다양하게 변화시켜 실험

는 첫번째와 동일하게 발생하도록 하였다. 이와 같은 식으로 다섯가지 경우에 대하여 실험하였으며 이를 모두 정리하면 표 3과 같다.

3.3 지식의 획득 및 지식의 표현.

우리는 주문의 특성에 따라 선택된 작업 우선 순위 규칙(Rule) 조합으로 모의 실험한 결과가 좋은 해를 제시해 주기를 원한다. 따

표 3. 모의 실험의 구분

| 구 분 | 제품 1 - 제품 4의 주문의 빈도 | 납기일의 범위 |
|---------|---------------------|-------------------------------|
| case 1. | 다른 제품과 동일하게 발생 | 모든 제품 : 1일 - 30일 |
| case 2. | 다른 제품보다 2배 많이 발생 | 모든 제품 : 1일 - 30일 |
| case 3. | 다른 제품보다 1/2배 발생 | 모든 제품 : 1일 - 30일 |
| case 4. | 다른 제품과 동일하게 발생 | 제품1-제품4: 1일-15일, 다른제품: 1일-30일 |
| case 5. | 다른 제품과 동일하게 발생 | 제품1-제품4: 1일-30일, 다른제품: 1일-15일 |

라서 가장 중요한 것은 주문의 특징을 규정 지을 수 있는 요인을 찾는 것이다. 주문의 특징을 규정지을 수 있는 요인들로서는 다음과 같은 것을 고려할 수 있을 것이다.

- (1) i 자원(Resource)에서 가공되는 제품의 총 가공횟수*가공시간 / $(\sum_{i=1}^{10} i \text{ 자원(Resource)에서 가공되는 } j \text{ 제품의 총가공횟수*가공시간})$ $i=1, \dots, 5$
- (2) $(j \text{ 제품의 총 주문량}) / (\sum_{j=1}^{10} j \text{ 제품의 총 주문량})$
- (3) 1항의 평균, 분산
- (4) 자원(Resource)별 가공제품 due date의 평균, 분산
- (5) 자원(Resource)별 가공제품 due date 평균의 비율
- (6) (제품 1-4의 총 주문량)/(제품의 총 주문량)
- (7) (제품 1-4납기의 평균)/(전체 제품 납기 평균)

이들 이외에도 주문의 납기일과 생산량을 동시에 고려한 특성들도 있다. 하지만 이들 모두로써 지식을 나타낼 필요는 없다. 좀더 자세한 구분을 하기 위해서는 모든 특성과 결과를 비교해야 하지만 본 연구의 목적상 모두를 포함하여 지식을 표현하는 것은 향후 연구 과제로써 남겨두며, 본 연구에서는 6번항과 7번항을 관리중점으로 좋은 해를 제시하고자 한다. 왜냐하면 본 연구에서 고려한 평가 기준이 작업 완료시간과 납기일을 동시에 고려한 다중 평가 기준이기 때문이다. 6번항은 주문의 규모를 규정해줄 수 있는 특성으로서 의미가 있으며 7번항은 납기의 시급성을 표현해줄 수 있는 특성이라 할 수 있다. 나머지를 포함하여 지식을 표현한다면 좀

더 자세한 결과가 나올 것이다. 6번항과 7번항을 중심으로 2절의 표 3의 경우에 대해 나온 결과는 다음과 같다. 표 4는 case1에 대하여 가중치 $W_1 = 0.4$, $W_2 = 0.6$ 일 때 경우 360개의 작업 우선 순위 규칙(Rule)중 가장 좋은 결과 및 주문정보에 대한 6번 7번항의 특성값[(제품 1-4의 총 주문량 / 제품의 총 주문량), (제품 1-4납기의 평균 / 전체 제품 납기의 평균)]을 기록한 결과이다. 즉 표 1과 같이 무작위로 발생시킨 주문 23개에 대해 각각 표 2와 같은 방식으로 모의실험을 실시, 다중 평가 기준에 의한 평가 결과 가장 좋은 값일때의 주문 도착 우선순위 규칙(Release Rule), 자원(Resource) 1,2,3,4,5에서의 작업 우선 순위 규칙(Rule) 및 주문에 대한 6번 7번항의 특성값을 기록한 것이다. 맨 마지막 열은 총 23번중 각각의 작업 우선 순위 규칙(Rule)이 몇회 발생했는가를 정리한 것이다.

W 의 가중치가 0.4 이하일 경우도 표 4와 동일한 결과가 나온다.

각 단계에서 적용되어야 할 우수한 작업 우선 순위 규칙(Rule)의 선택은 모의실험 결과 가장 좋은 것들을 모은 것 중에서 선택을 한다. 선택방법은 어떤 규칙이 평균 빈도보다 높게 발생하면 해당 단계에서 적용되어야 할 작업 우선 순위 규칙(Rule)로써 추천한다. 예를 들어 주문 도착 우선순위 규칙(Release Rule)의 경우, 적용된 작업 우선 순위 규칙(Rule)이 EDD, CR, SPT, SLACK/OPN, LPT 등 5가지이므로 가장 우수한 작업 우선 순위 규칙(Rule)은 위의 23가지 중에서 평균 발생률이 20% 이상인 EDD와 SLACK/OPN을 좋은 작업 우선 순위 규칙(Rule)로써 추천하는 것이다. 자원(Resource) 1에서 3까지는 선택

표 4. case 1, $W_1 = 0.4$ 인 경우

| No. | Release rule | Resource 1 rule | Resource 2 rule | Resource 3 rule | Resource 4 rule | Resource 5 rule | 제품 1-4의 총주문량/전체제품의 문량 | 제품 1-4 납기의 평균/전체제품 납기의 평균 |
|--------|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------------|---------------------------|
| 1. | CR | FIFO | FIFO | SPT | SLACK/OPN | SLACK/OPN | 0.38 | 1.01 |
| 2. | EDD | FIFO | SPT | SPT | SLACK/OPN | SPT | 0.41 | 1.06 |
| 3. | EDD | FIFO | FIFO | SPT | CR | SPT | 0.40 | 0.92 |
| 4. | EDD | FIFO | SPT | SPT | SLACK/OPN | SPT | 0.38 | 1.00 |
| 5. | SLACK/OPN | FIFO | FIFO | SPT | SPT | SPT | 0.38 | 0.98 |
| 6. | CR | FIFO | FIFO | SPT | SLACK/OPN | SPT | 0.41 | 1.07 |
| 7. | EDD | FIFO | FIFO | SPT | SPT | SLACK/OPN | 0.37 | 0.98 |
| 8. | EDD | FIFO | FIFO | SPT | SPT | SPT | 0.43 | 1.03 |
| 9. | EDD | FIFO | FIFO | SPT | SPT | SLACK/OPN | 0.43 | 0.97 |
| 10. | EDD | FIFO | FIFO | SPT | SLACK/OPN | SPT | 0.35 | 1.04 |
| 11. | EDD | FIFO | FIFO | SPT | SPT | SLACK/OPN | 0.36 | 1.00 |
| 12. | SLACK/OPN | SPT | FIFO | SPT | SPT | SPT | 0.40 | 1.01 |
| 13. | SLACK/OPN | SPT | SPT | FIFO | SPT | SPT | 0.38 | 0.95 |
| 14. | EDD | FIFO | FIFO | SPT | SLACK/OPN | SPT | 0.40 | 1.01 |
| 15. | EDD | SPT | SPT | SPT | SPT | SPT | 0.37 | 0.97 |
| 16. | SLACK/OPN | FIFO | FIFO | SPT | SPT | SPT | 0.41 | 1.01 |
| 17. | EDD | FIFO | FIFO | SPT | SPT | SLACK/OPN | 0.38 | 0.99 |
| 18. | EDD | FIFO | FIFO | SPT | SPT | SLACK/OPN | 0.37 | 0.97 |
| 19. | EDD | FIFO | FIFO | SPT | SPT | SPT | 0.34 | 1.02 |
| 20. | CR | FIFO | FIFO | SPT | SPT | SLACK/OPN | 0.35 | 0.93 |
| 21. | SLACK/OPN | FIFO | SPT | SPT | SPT | SPT | 0.37 | 1.02 |
| 22. | SLACK/OPN | FIFO | FIFO | SPT | SPT | SPT | 0.37 | 1.03 |
| 23. | SLACK/OPN | SPT | SPT | SPT | SLACK/OPN | SPT | 0.34 | 1.06 |
| EDD | 13/23 | | | | | | | |
| CR | 3/23 | | | | 1/23 | | | |
| SL/OPN | 7/23 | | | | 7/23 | 7/23 | | |
| FIFO | | 19/23 | 17/23 | 1/23 | | | | |
| SPT | | 4/23 | 6/23 | 22/23 | 15/23 | 16/23 | | |
| LPT | | | | | | | | |

될 작업 우선 순위 규칙(Rule)이 2개밖에 없으므로 기준을 50%로 정하면 하나 밖에 선택하지 못한다. 따라서 경우에 따라 두개 모두 선택될 수 있도록 적어도 빈도가 40%이상 되면 좋은 작업 우선 순위 규칙(Rule)로써 추천한다. 이 경우에는 각각 FIFO, FIFO, SPT가 추천된다. 자원(Resource) 4와 5에서는 고려 대상인 작업 우선 순위 규칙(Rule)이 3개 인점을 고려하여 발생 빈도가 30%이상인 작

업 우선 순위 규칙(Rule)을 좋은 작업 우선 순위 규칙(Rule)로써 추천하며 SLACK/OPN, SPT가 추천된다. $W_1 = W_2 = 0.5$ 일 때의 경우는 조금 다른 결과가 나오는데, 표 5와 같다.

위의 경우 주문 도착 우선순위 규칙(Release Rule)으로는 EDD와 SLACK/OPN이 추천되고, 자원(Resource) 1,2,3,5는 각각 FIFO, FIFO,SPT,SPT가 추천되며, 자원(Resource) 4

표 5. case 1, $W_1 = 0.5$ 인 경우

| No. | Release | Resource 1 | Resource 2 | Resource 3 | Resource 4 | Resource 5 | 제품1-4의 총 주문량/전체제 품의 주문량 | 제품1-4납기 의 평균/전체 제품납기의 평균 |
|--------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| 1. | CR | FIFO | FIFO | SPT | SPT | SPT | 표4와 동일 | 표4와 동일 |
| 2. | EDD | FIFO | SPT | SPT | SLACK/OPN | SPT | | |
| 3. | EDD | FIFO | FIFO | SPT | CR | SPT | | |
| 4. | EDD | FIFO | SPT | SPT | SLACK/OPN | SPT | | |
| 5. | SLACK/OPN | FIFO | FIFO | SPT | SPT | SPT | | |
| 6. | CR | FIFO | FIFO | SPT | SLACK/OPN | SPT | | |
| 7. | EDD | FIFO | FIFO | SPT | SPT | SLACK/OPN | | |
| 8. | EDD | FIFO | FIFO | SPT | SPT | SPT | | |
| 9. | SLACK/OPN | FIFO | SPT | SPT | SPT | SPT | | |
| 10. | EDD | FIFO | FIFO | SPT | SLACK/OPN | SPT | | |
| 11. | EDD | FIFO | FIFO | SPT | SPT | SLACK/OPN | | |
| 12. | SLACK/OPN | SPT | FIFO | SPT | SPT | SPT | | |
| 13. | SLACK/OPN | FIFO | SPT | SPT | SLACK/OPN | SPT | | |
| 14. | EDD | FIFO | FIFO | SPT | SLACK/OPN | SPT | | |
| 15. | EDD | SPT | SPT | SPT | SPT | SPT | | |
| 16. | SLACK/OPN | FIFO | FIFO | SPT | SPT | SPT | | |
| 17. | EDD | FIFO | FIFO | SPT | SPT | SLACK/OPN | | |
| 18. | EDD | FIFO | FIFO | SPT | SPT | SLACK/OPN | | |
| 19. | EDD | FIFO | FIFO | SPT | SPT | SPT | | |
| 20. | CR | FIFO | FIFO | SPT | SPT | SLACK/OPN | | |
| 21. | SLACK/OPN | FIFO | SPT | SPT | SPT | SPT | | |
| 22. | SLACK/OPN | FIFO | FIFO | SPT | SPT | SPT | | |
| 23. | SLACK/OPN | SPT | SPT | SPT | SLACK/OPN | SPT | | |
| EDD | 12/23 | | | | | | | |
| CR | 3/23 | | | | 1/23 | | | |
| SL/OPN | 8/23 | | | | 7/23 | 5/23 | | |
| FIFO | | 20/23 | 16/23 | | | | | |
| SPT | | 3/23 | 7/23 | 23/23 | 15/23 | 18/23 | | |
| LPT | | | | | | | | |

는 SLACK/OPN과 SPT가 추천된다. $W_1 \geq 0.6$ 일 때의 결과를 정리하면, 주문 도착 우선순위의 규칙(Release Rule)으로는 EDD와 SLACK/OPN이 추천되며 자원(Resource) 1,3,4,5는 각각 FIFO, SPT, SPT, SPT, 자원(Resource) 2는 FIFO와 SPT가 추천된다.

실험 결과를 정리하면 CASE2의 경우 주문 도착 우선순위 규칙(Release Rule)으로는 EDD 와 SLACK/OPN이 추천되며 자원(Re-

source) 1,2,3은 각각 FIFO, FIFO, SPT, 자원(Resource) 4,5는 SLACK/OPN과 SPT가 추천된다.

CASE 3의 경우는 주문 도착 우선순위 규칙(Release Rule)으로는 EDD, CR, SLACK/OPN이 추천되며 자원(Resource) 1,2은 각각 FIFO, FIFO, 자원(Resource) 3은 FIFO, SPT가 추천되며 자원(Resource) 4는 SLACK/OPN , SPT 자원(Resource)5는 SPT가 추천된다.

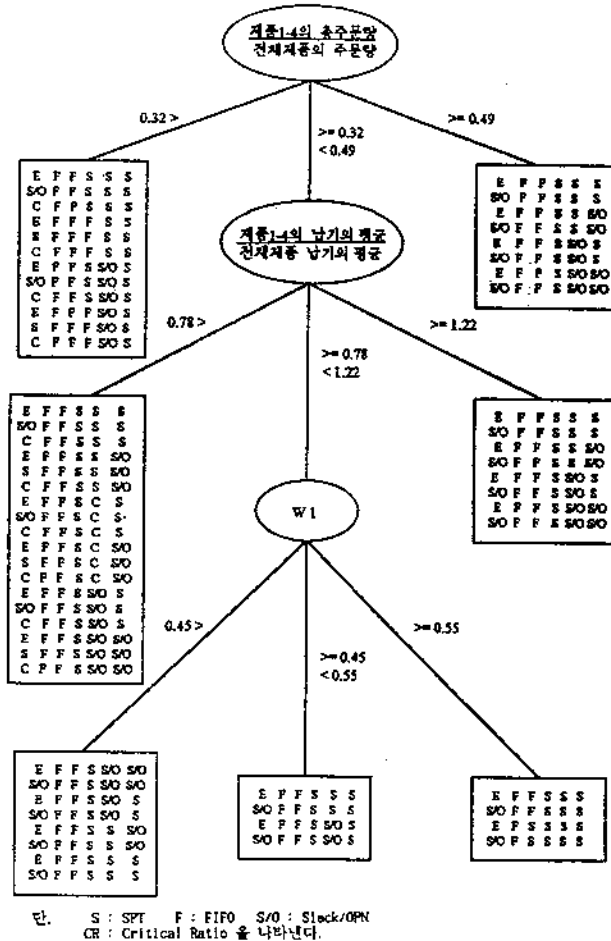


그림 5. 작업 우선 순위 선택을 위한 Decision Tree

CASE 4의 경우는 주문 도착 우선순위 규칙(Release Rule)으로는 EDD, CR, SLACK/OPN이 추천되며 자원(Resource) 1, 2, 3은 각각 FIFO, FIFO, SPT가 추천된다. 자원(Resource) 4는 SLACK/OPN, SPT, CR 자원(Resource) 5는 SPT, SLACK/OPN이 추천된다.

CASE 5의 경우 주문 도착 우선순위 규칙(Release Rule)으로는 EDD, SLACK/OPN이 추천되며 자원(Resource) 1, 2, 3은 각각 FIFO,

FIFO, SPT, 자원(Resource) 4, 5는 SLACK/OPN, SPT가 추천된다.

위의 결과를 정리하여 지식으로 표현하면 그림 5와 같다.

이 지식을 활용하면, 임의의 주문이 들어왔을 때 제품의 주문량에 대한 속성과 관리 중점 2가지를 입력함으로써 적절한 작업 우선 순위 규칙(Rule)을 제시받게 된다. 실제 적용을 위해서는 제시된 작업 우선 순위 규칙

(Rule)을 사용하여 모의실험을 수행하고 그중 가장 좋은 결과가 나오는 대안을 선택, 생산 계획을 수립하게 된다.

4. 평가

본 절에서는 위에서 추출한 지식이 얼마나 좋은 결과를 도출하는지를 확인해보고자, 임의의 주문을 난수로 발생시켜 지식기반 모의 실험 방법을 적용하여 얻은 결과와 전체 작업 우선 순위 규칙(Rule) 조합 360개에 대한 모의실험의 결과를 비교했다. 실험은 각각 300개의 개별주문으로 이루어진 임의의 주문 집합 31개에 대해 실시했다.

먼저 임의의 주문집합 31개중 첫번째 주문 집합 예제에 대해 지식베이스에서 제공하는 규칙대로 모의실험한 결과가 전체 가능 규칙 조합에 의해 모의 실험한 결과의 몇순위에 해당하는지 다음과 같은 순서에 의해서 알아

보았다. 우선 첫번째 주문집합인 임의의 300개 주문에 대해 전체 가능 작업 우선 순위 규칙(Rule)조합 360개 모두 모의 실험을 실시한 후 이들의 수행치를 비교해 순위를 매긴다. 그런 다음 이 주문 집합에 대해 3.3절의 6번 특성(제품1-4의 총주문량/전체제품의 주문량)과 7번 특성(제품1-4납기의평균/전체제품납기의 평균)의 값을 측정한다. 이 측정값은 각각 0.37과 1.01이었다. 이 특성값을 활용하여 지식베이스에서 추천해 주는 작업 우선 순위 규칙(Rule)조합 8가지에 해당하는 순위를 조사하면 표 6과 같은 결과를 얻는다. 표 6에서 볼 수 있듯이, 지식베이스에서 추천해 주는 작업 우선 순위 규칙(Rule)조합 8가지의 해당 순위가 비교적 좋음을 알 수 있다.

본 연구에서 제안하는 지식 기반 모의실험이란 제시된 작업 우선 순위 규칙(Rule)조합들에 대해서만 모의실험을 실시, 그중 가장

표 6. 1번 주문집합 예제에 대한 지식기반 모의 실험 분석 결과

| 지식베이스가 제시하는 규칙 조합 | 구 분 주문처리규칙 (Release Rule) | 작업 선택 규칙 | | | | | 순위 |
|-------------------|------------------------------|----------|------|------|------|------|----|
| | | 자원 1 | 자원 2 | 자원 3 | 자원 4 | 자원 5 | |
| 규칙조합 1 | E | F | F | S | SL | SL | 13 |
| 규칙조합 2 | E | F | F | S | SL | S | 17 |
| 규칙조합 3 | E | F | F | S | S | SL | 10 |
| 규칙조합 4 | E | F | F | S | S | S | 16 |
| 규칙조합 5 | SL | F | F | S | SL | SL | 3 |
| 규칙조합 6 | SL | F | F | S | SL | S | 8 |
| 규칙조합 7 | SL | F | F | S | S | SL | 1 |
| 규칙조합 8 | SL | F | F | S | S | S | 7 |

단 E:EDD F:FIFO S:SPT SL:SLACK/OPN

좋은 결과만을 취하여 활용하는 것이다. 지식베이스에서 추천하는 작업 우선 순위 규칙(Rule) 조합들에 대한 모의실험 결과 선택된 가장 좋은 작업 우선 순위 규칙(Rule) 조합이 전체 360번의 모의 실험중 몇 순위에 해당되는가를 살펴보면 그림 6과 같다.

의 작업 우선 순위 규칙(Rule)에 의한 가중 평균값과 모든 가능 조합중 가장 좋은 값과 나쁜 값을 비교한 결과이다. 더군다나 LOWER-BOUND는 모든 가능 조합중 가장 좋은 가중 평가치로 볼수 있다. 마찬가지로 UPPER-BOUND는 가장 나쁜 값이 된다. 이

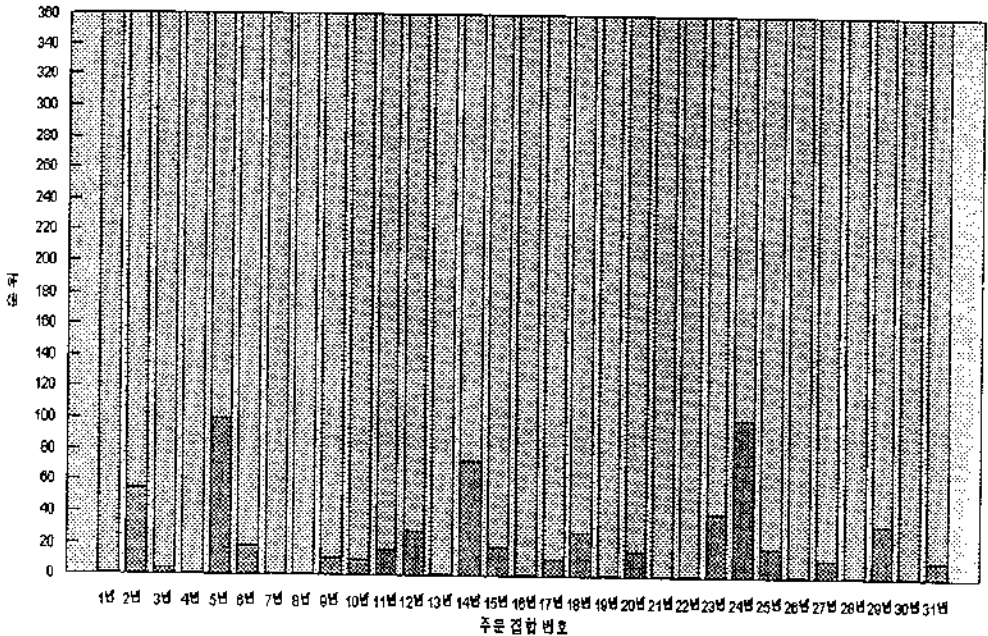


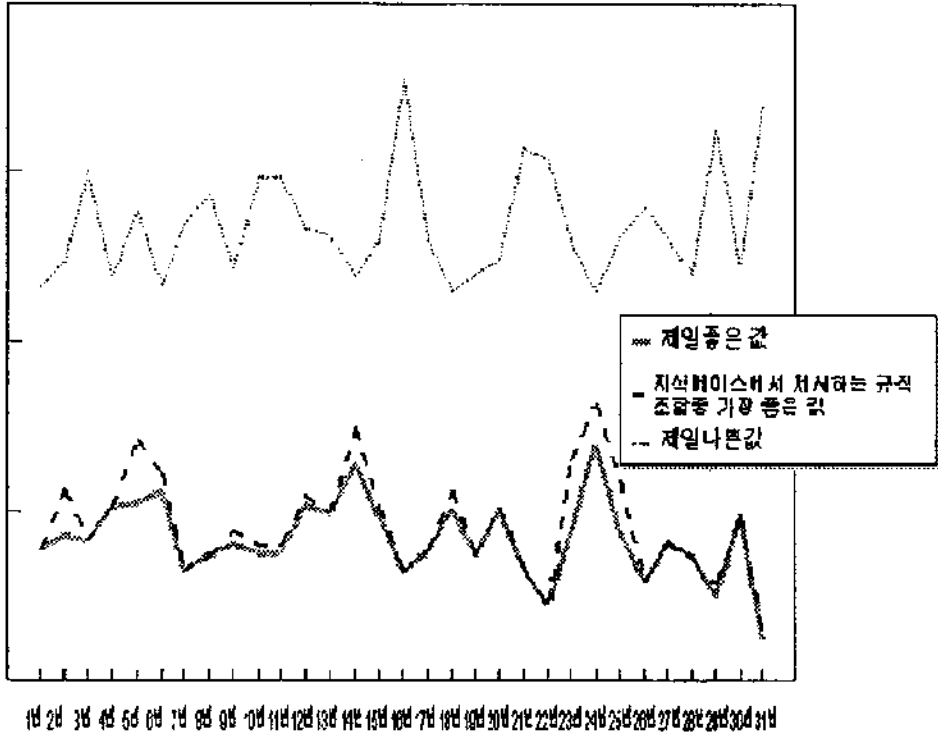
그림 6. 지식기반 모의 실험 결과 가장 좋은 것의 순위

그림 6의 결과에 의하면 전체의 87%(27/31)가 11%내의 순위에 해당됨을 볼 수 있다. 가장 좋은 1위의 값도 39%나 차지 했음을 볼 수 있다. 제시하는 작업 우선 순위 규칙(Rule) 조합이 전체가능 조합360개중 2%에서 5%만을 감안 한다면 적은 숫자의 작업 우선 순위 규칙(Rule) 조합을 가지고 매우 좋은 결과를 얻을 수 있음을 알수 있다. 평가 기준에 따른 가중 평가치를 상대 비교 하면 더욱 그 결과를 명확히 알 수 있다.

그림 7은 지식베이스가 제시하는 제 1순위

그림에서 볼수 있듯이 지식 베이스에서 제시하는 작업 우선 순위 규칙(Rule)중 가장 좋은 가중 평가치는 LOW-BOUND에 매우 상당히 가까이 있음을 알수 있다.

모든 경우에 있어서 가장 좋은 해를 제시하는 작업 우선 순위 규칙(Rule)을 제안하는 것은 아니지만, 전체 가능 조합수에 비해 상대적으로 적은 수로, 제한된 모의실험만을 실시하여 좋은 해를 얻음으로써 일정 계획의 효율을 높일 수 있는 것이다. 결국 이와 같은 일정계획 수립의 지식기반 모의실험의 적



주문 집합 번호

그림 7. 가중 평가치의 비교

용에 있어 가장 중요한 것은 지식의 추출이다. 지식의 정확성 여부가 바로 지식 기반 모의실험의 효율성을 좌우하게 되는 것이다.

5. 결론

효과적인 일정계획은 생산성 향상에 지대한 영향을 미친다. 하지만 효율적인 알고리즘이 알려지지 않은 상태에서 적용할 수 있는 방법인 모의실험의 경우 작업 우선 순위의 가능한 조합에 대해 모두 검토하기에는 시간적으로 어렵다. 본 연구에서는 좋은 해를 제시하는 몇가지의 작업 우선 순위 규칙(Rule)조합에 대해서만 실험해 볼 수 있도록

하는 지식 기반 모의실험을 적용함으로써 시간절약의 효과뿐만 아니라 비전문가라도 손쉽게 일정계획을 검토할 수 있는 방법을 제안하였다. 또한 실험을 통해서 수행 목표에 맞는 일정계획을 얻기 위한 모의실험횟수를 크게 감소시키면서도 좋은 해를 빠른 시간내에 획득할 수 있음을 볼 수 있었다.

지식 기반 모의실험에서 가장 중요한 것은 바로 지식이다. 하지만 인간 전문가가 없는 상황에서 효율적으로 지식을 추출하는 일은 쉬운 작업이 아니다. 본 연구에서는 수많은 실험을 실시하였으며 이중 가장 좋은 해가 나온 결과만을 이용하여 지식을 추출 하였다. 이러한 과정에서 모의 실험을 통한 인간(본

연구자)의 통찰력이 지식을 추출함에 있어 중요한 기능을 하였다고 생각된다. 이런 경험적(Heuristic)인 방법으로 지식을 추출하여 평가한 결과 좋은 결과를 도출할 수 있었다. 하지만 더 나은 결과를 보장하는 것은 지식의 질인데 앞서 지적한 주문의 여러 특성들에 대하여 확대 적용하고 또 다른 주요 특성을 파악하여 지식 획득 과정에 포함시키는 것이 필요하리 하겠다. 그러나 이것은 인간에 의한 지식 획득 과정을 더욱 복잡하게 하고 어렵게 하여 본 연구에서와 같은 방법으로 지식을 획득하는 것은 거의 불가능하다. 따라서 이 문제의 해결을 위해 기계 학습 방법(Machine Learning)을 적용시키는 연구가 앞으로 기대된다.

6. 참고문헌

- [1] A.I. Del Vecchion and D.R Towill, "A Knowledge Based Simulation Framework for Production - Distribution System Design", IMS '89, pp27-40, 1989
- [2] Arnoldo C. Hax and Dan Candea, Production and Inventory Management, Prentice-Hall, 1984
- [3] Elzas, M.S., T.I Oren, B.P. Zeigler, Modeling and Simulation Methodology in the Artificial Intelligence Era, Elsevier Pub., 1986
- [4] Hoover, S.V. & R.F. Perry, Simulation a Problem-Solving Approach, Addison Wesley Pub. Co.,Inc., 1989.
- [5] Kuisak, Abdrew and Mingyuan Chen, "Expert systems for planning and scheduling manufacturing systems", European journal of Operational Research, 34, pp113-130,1988
- [6] Law, A.M. and W.D.Kelton, Simulation Modeling and analysis, McGraw-Hill Book Co., 1982
- [7] Manne.A.S., "ON Job Shop Scheduling Problem", Ops, Res., Vol.8, pp.219-223, 1960
- [8] P.R.Cohen& E.A. Feigenbaum, The Hand Book of Artificial Intelligence vol iv, A. Barr, Addison-Wesley Publishing CO.,
- [9] Prisker, FACTOR ver 4.0, Prisker CO.
- [10] R. O'Keefe, "Simulation and Expert Systems - a taxonomy and some examples", Simulations, VOL 44, NO.6, 1986, pp.10-16
- [11] Simmon French, B.A., M.A&D. Phil., Sequencing and Scheduling : An Introduction to the Mathematics of the Job-Shop, John Wiley & Sons,1982
- [12] Greenberg, H.H., A branch and bound solution to the general scheduling problem. Ops.Res.,Vol 16, pp353-361, 1968
- [13] 이준열, 김승권, 김선욱, "다중평가기준에 의한 사용자 중심의 통합생산일정 계획 시스템 개발", 생산관리 VOL 15, NO.2, pp63-78, 1994