생산 시스템 효율성 향상을 위한 적응형 일정계획 플랫폼 개발[†]

(Platform development of adaptive production planning
to improve efficiency in manufacturing system)

이 승 정*, 최 희 련**, 이 홍 철***

(Seung Jung Lee, Hoe Ryeon Choi, and Hong-Chul Lee)

요 약 생산 시스템에 있어서 일정계획은 많은 비용이 투자된 생산설비 및 기계를 효율적으로 운영한다는 의미에서 매우 중요하다. 계획과 실행에서 오는 차이를 줄이기 위한 생산 시스템인 제조실행 시스템(Manufacturing Execution System : MES)의 효율성을 높이기 위해서 일정계획은 대상이 되는 작업의 특징에 적합한 일정계획 할당규칙(Dispatching rule)에 대한 선정방법이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 공정계획의 데이터에서 얻어지는 작업특징을 기반으로 시뮬레이션(Simulation)을 진행하여 일정계획 할당규칙을 선정한다. 시뮬레이션을 통해 얻어진 정보를 지식기반 사례추론 방법론의 하나인 온톨로지(Ontology)로 구성함으로써 작업할당규칙 선정에 의한 적응형 일정계획 플랫폼을 개발한다. 구현하는 플랫폼은 특정 작업장에만 국한되지 않고 다양한 작업장에 적용시킬 수 있는 일정계획 시스템이라는 장점이 있다. 본 시스템 개발을 위해 온톨로지 추론 부분은 RacerPro와 Protégé를 이용하였으며, 일정계획 시뮬레이션은 JAVA와 FlexChart를 사용하였다.

핵심주제어 : 온톨로지, 일정계획, 스케줄링, 제조 실행 시스템

Abstract In the manufacturing system, production-planning is very important in effective management for expensive production facilities and machineries. To enhance efficiency of Manufacturing Execution System(MES), a manufacturing system that reduces the difference between planning and execution, certain production-planning needs a dispatching rule that is properly designed for characteristic of work information and there should be a appropriate selection for the rule as well. Therefore, in this paper dispatching rule will be selected by several simulations based on characteristics of work information derived from process planning data. By constructing information that are from simulation into ontology, one of the knowledge-based-reasoning, production planning platform based on the selection of dispatching rule will be demonstrated. The platform has strength in its wider usage that is not limited to where it is applied. To demonstrate the platform, RacerPro and Protégé are used in parts of ontology reasoning, and JAVA and FlexChart were applied for production-planning simulation.

Key Words : Ontology, Production planning, Scheduling, MES

[†] 이 논문은 지식경제부 국가플랫폼기술개발사업의 c-MES 공정지원 플랫폼 기술 연구과제로 수행되었음.

* 고려대학교 산업경영공학과, 제1저자

** 고려대학교 산업경영공학과, 제2저자

*** 고려대학교 산업경영공학과, 교신저자

1. 서 론

제품 생산 시스템에서의 일정계획(Production-planning)은 생산력에 큰 영향을 미치는 중요한 요소이다. 일정계획은 공정계획에서 결정되는 내용을 기초로 작업(Operation)간의 순서와 자원의 제약을 고려하여 기계에 가공물을 장착, 탈착하는 시간을 계획하는 것이다[1].

일반적으로 일정계획은 목적 달성 요소들이 여러 개 존재한다. 목적들에는 기계부하의 균형 최적화, 작업대기 시간 최소화, 총 가공시간 최소화, 납기 지연 최소화 등이 있다. 기계부하의 균형은 특정 기계에 작업이 집중되지 않기 때문에 기계 이용률 측면에서 좋은 효과를 보일 수 있으며, 가공시간 최소화는 가공에 따르는 자원 사용을 절약할 수 있는 측면이 있다[2][3].

일정계획은 기계부하 정보, 기계 고장, 납기일(Due-date), 부품 재고량, 제품 생산량 등의 공정계획 요소를 통해 이루어진다. 따라서 작업 현장에서 발생할 수 있는 아래와 같은 외부 요인은 일정계획에 많은 영향을 준다.

- (1) 예상치 못한 작업자의 결근
- (2) 기계고장 및 수리
- (3) 기계간 작업시간의 변동
- (4) 고객의 주문 취소 및 변경
- (5) 제품의 품질 불량 및 재생산

이러한 문제들 때문에 일정계획은 상황 변화에 맞게 대응 할 수 있는 유연성(Flexibility)이 필요하며 이를 해결하기 위해 1) 수리적 분석, 2) 제약식 분석, 3) 휴리스틱 알고리즘, 4) 인공지능 접근법 등의 많은 해결 방법들이 연구되어져 오고 있다. 이론적으로 일정계획은 NP-hard 문제로 수학적으로 공식화하기에 복잡하여 최적 해 제공의 어려움이 있으므로 수리적 모형으로 해결하기는 어렵다[4][5]. 기존의 OR(Operation Research) 기법 또는 휴리스틱(Heuristic) 기반의 일정계획 역시 자원의 추가, 작업장 변경, 새로운 작업(Operation), 설비 확장 등에 어려움을 가지고 있다[2][3].

최근에는 시스템의 개발이나 정책을 결정하는 분야에 많이 활용되고 있는 인공지능의 한 분야인 지식기

반(Knowledge-Based) 개념을 적용한 방법론이 연구되어지고 있으나, 지식의 재활용과 확장성에 어려움을 가지고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방법으로 지식기반의 특성을 대표하는 온톨로지(Ontology)를 이용한 연구가 진행되고 있다[6].

따라서 본 연구에서는 공정계획 데이터를 기반으로 온톨로지의 장점을 활용할 수 있는 시뮬레이션(Simulation) 기반의 적응형 일정계획을 제시한다. 즉 작업할당규칙(Dispatching Rule) 시뮬레이션을 통해 납기지연시간(Tardiness) 최소화, 균형적 기계사용(Machine Balancing), 공정 총 처리시간(Makespan) 최소화와 같은 목적함수에 최적의 일정계획을 수립할 뿐만 아니라 적용된 작업할당규칙 정보를 지식화 시킬 수 있는 기반을 마련한다. 또한 시뮬레이션에서 얻어진 작업할당규칙의 정보는 정량화된 공정계획 데이터 특성 요소를 기반으로 구축된 작업할당규칙 온톨로지와 연결되어 지식의 재사용과 확장을 용이하게 하는데 사용된다. 그리고 구축된 온톨로지로부터 작업특성에 맞는 추천된 작업할당규칙 지식의 증명(Proof)과 신뢰(Trust)를 가능하게 하는 기능을 제공한다. <그림 1>은 온톨로지 기반 일정계획 시스템 초기 제안 모델이다. 작업장과 일정계획을 구분하여 온톨로지와 연계시키는 구조를 나타낸다.

공정시간(Process Time), 납기일, 제품 생산량 등의 정보를 바탕으로 의미를 가지는 객체로 온톨로지화하고자 한다. 이를 통해 각 상황에 최적의 결과를 만족시키는 작업할당규칙을 추론함으로써 일정계획의 유효성과 유연성을 높이는데 목적이 있다.

<그림 1> 온톨로지 추론 모델

이후 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 일정 계획에 관한 관련연구와 온톨로지의 개념 및 특성에 대해 살펴보고, 3장에서는 온톨로지 기반일정계획 추론 시스템 설계 구조와 일정계획 적용방안에 대해 알아본다. 이후 4장에서는 공정 데이터를 개발 플랫폼에 적용시켜 실험하고 작업할당규칙에 따른 결과를 비교, 분석한 후 5장에서는 결론을 맺는다.

2. 이론적 배경

2.1 관련 연구

일정계획 시스템의 효율적인 설계에 관한 기존의 많은 연구가 이루어졌고, 현재까지도 활발한 연구가 진행 중에 있다. 최근에는 설비가 다양해지고 공정이 복잡해지면서 휴리스틱 알고리즘을 이용한 일정계획 연구가 이루어지고 있으며, 이는 총 가공시간 최소화와 기계 이용률 극대화 부분에 큰 장점을 보이고 있다.

최희련 등 [3]은 일정계획을 통해 생성되는 기계부하의 정보 유용성을 향상시키기 위하여 K-means 알고리즘을 다목적 유전자 알고리즘(Multi-Objective Genetic Algorithm)에 적용 할 수 있도록 하였다.

Xinyu Li 등 [9]은 공정계획과 일정계획의 통합 시스템 성능향상을 위해 효율적인 유전자 표현과 검색 전략 최적화를 이룰 수 있도록 유전자 알고리즘을 적용한 새로운 하이브리드(Hybrid) 알고리즘을 제안하였다.

노인규 등 [10]은 실시간으로 변화하는 생산 환경에 대처하기 위한 유연생산시스템에 SPT(Shortest Process Time), EDD(Earliest Due Date), FIFO(First in First Out) 등의 작업할당규칙을 혼합하여 적용시키는 방법을 제안하고 있다. 평균 흐름시간과 평균 지연시간을 목적함수로 설정하고 최소화하는 실험으로 검증하였지만 기계부하나 기계선정 균형화(Balancing) 측면을 고려하지 않은 한계를 보였다.

Pierreval. H 등 [11]은 제안한 시스템의 목적을 구분하여 시스템 설정과 환경에 따라서 표준규칙과 진단규칙을 정하는 것에 따라 작업할당규칙을 적용시키는 알고리즘을 제안하였다. 하지만 시스템 전체의 상

태에 중점을 두었기 때문에 작업장의 변화를 민감하게 고려할 수 없었다.

기존 연구들은 작업장의 설비나 기계부하와 같은 요소에 매우 둔감한 문제점을 가지고 있다. 따라서 최근에는 작업장 상태를 실시간으로 파악하여 일정계획을 진행하는 부분에 에이전트(Agent)를 적용시키고 있다.

에이전트란 자율적으로 의사결정을 내릴 수 있고, 독립적으로 작동하며, 다른 에이전트와의 의사소통을 통하여 서로 협력하면서 전체의 목표 달성을 위해 행동하는 소프트웨어 모듈이다[7].

김승호 등 [12]은 에이전트를 이용하여 작업장 환경과 작업내용을 실시간으로 모니터링 한 정보를 바탕으로 작업할당규칙을 결정하고 에이전트간의 통신을 통해 기계 할당 여부를 결정 할 수 있는 플랫폼을 제시하였다.

Cheeseman 등 [13]은 에이전트간의 자원 할당 경쟁을 통해 일정계획을 적용하여 작업을 할당하는 방법론을 제시하였다. 하지만 일정계획 성능 향상을 위한 구체적인 방안은 제시하지 못하였다.

최근에는 공정관리 시스템에 지식기반 시스템(Knowledge-based System)의 요소 중에 하나인 규칙(Rule)을 작업장 상황이나 생산품과 연결 지어 적용시키는 연구가 많이 진행되고 있다.

이상완 등 [16]은 작업특성을 RPJ(Rate of Prior Job), RLJ(Rate of Large Job), RSJ(Rate of Shortest due date Job), JIT(Job Interval Time)와 같이 4가지로 분류하고 작업장의 환경변화가 일어날 때 Job특성을 계산하여 시뮬레이션을 통해 사전에 도출된 작업할당규칙 테이블과 비교, 최적의 작업할당규칙을 할당하는 방법을 제시하였으나 작업장 환경변화 감지에 배치(Batch)평균을 이용하므로 변화에 민감하게 대응할 수 없는 한계가 있다.

임광혁 [17]은 다품종 소량생산 공정에 전통적인 공정제어 기법인 통계적 공정관리(Statistical Process Control)의 적용이 힘들다고 판단하여 제품 특성이나 작업장 특성요소의 규칙화를 통한 규칙기반 공정관리의 기술을 제안하였다.

조성호 등 [18]은 생산요소 객체 및 정보시스템의 데이터 일치와 공정에 대한 지속적인 모니터링을 통

해 자원 할당 및 공정 지연을 측정하고 해결하며 효율성의 증대를 이룰 수 있음을 강조하였다.

2.2 온톨로지 개념 및 특성

온톨로지란 개념간 또는 개념과 속성간의 의미적인 관계를 형상화하여 사람뿐만 아니라 컴퓨터가 이해할 수 있는 데이터구조로 모델링 하는 기술을 말한다. 온톨로지를 구현하기 위하여 사용하는 대표적인 언어로는 OWL(Ontology Web Language)가 있으며 표현 능력에 따라서 OWL-Light, OWL-DL 그리고 OWL-Full로 나뉜다[8]. 온톨로지는 데이터의 속성을 의미 있는 관계로 추론 할 수 있는 특성을 가지고 있기 때문에 기계 부하량, 공정계획 정보, 작업장 환경 상태 변화 등의 요소에 적용시켜 작업할당규칙에 대해 추론 및 적용할 수 있다. 작업할당규칙 추론을 온톨로지에 적용함에 있어 얻을 수 있는 장점은 다음과 같다.

- (1) 지식기반 사례추론 기법이기 때문에 작업환경의 변화와 생산계획 변경에도 유연하게 대처할 수 있는 방안이다.
- (2) 생산계획 정보의 특성을 기반으로 일정계획을 수행하는 시스템 특성 때문에 유사한 작업을 진행하는 다른 사업장에 적용하기 쉽다.
- (3) 생산계획 정보 뿐 아니라 기계의 수, 새로운 공정 파트(Part) 추가, 작업(Operation) 순서 변경 등의 관계를 온톨로지에 추가하여 관계를 연결시킬 수 있기 때문에 확장성이 높다.

3. 작업할당규칙 시뮬레이션 기반 일정계획 시스템 설계

3.1 개발 시스템 구조

개발 시스템 구조는 <그림 2>와 같다. 시스템 구조는 목적함수에 따른 최적 작업할당규칙을 추천해주는 온톨로지 추론 시스템, 공정계획 정보를 바탕으로 대상이 되는 작업장의 생산목적에 부합되는 작업할당규칙을 적용하여 최적의 작업일정계획 결과를 도출 할

수 있는 작업할당규칙 시뮬레이션 기반의 일정계획 시스템, 공정계획과 일정계획 정보를 관리하는 데이터베이스 시스템으로 구분되어 있다.

<그림 2> 개발 시스템 구조

개발 플랫폼은 시스템 내부적으로 추천한 작업할당규칙 사용여부를 사용자가 선택할 수 있는 간접적 추천 방식의 성격을 갖고 있다. 본 연구에서 제시하는

<그림 3> 시스템 흐름도

일정계획은 1차적으로 작업특징과 작업장의 생산목적에 따라 시물레이션을 통해 얻어지는 작업할당규칙을 선정하여 일정계획이 수행된다. 시물레이션을 통해 얻어지는 정보는 구축되어진 온톨로지의 지식으로 활용되며 2차적으로 온톨로지 기반에 의해 추천된 작업할당규칙을 적용할 수 있게 해준다. 그러나 일정계획에 영향을 주는 여러 변인, 즉 자원의 고장 등, 존재로 추천된 작업할당규칙에 대해 무조건적 적용 방식이 아닌 사용자가 작업할당규칙을 선택하여 일정계획을 할 수 있는 간접적 추천 방식으로 시스템을 설계하였다. 개발된 시물레이션 기반의 일정계획은 온톨로지의 지식에 대한 증명과 신뢰를 해주는 역할도 한다.

<그림 3>은 개발 플랫폼의 전체 흐름도(Flow-Chart)를 나타낸다. 데이터베이스로부터 받아온 공정 계획 정보를 바탕으로 데이터의 특성을 분석하고 분석된 특성에 부합되는 온톨로지 지식이 존재하면 온톨로지로부터 작업할당규칙을 추천 받는다. 추천 규칙을 기반으로 일정계획 시물레이션을 진행하는 Step 1과 추천된 작업할당규칙 지식이 타당한지에 대한 증명과 해당되는 지식이 존재하지 않을 경우에 작업할당규칙 시물레이션을 진행하는 Step 2로 구분하여 일정계획은 실행된다. Step 1의 결과가 선택한 목적함수에 대한 최적방안이 아닐 경우 온톨로지 모듈에 공정 데이터 특성과 최적의 작업할당규칙의 추가 및 변경을 통해 온톨로지가 업데이트 될 수 있도록 설계되었다. 이것은 새로운 정보를 추가할 수 있는 온톨로지의 장점인 확장성을 활용하는 방안이다. 온톨로지 데이터의 추가 및 클래스 확장을 통해 보다 정확한 추론이 가능한 구조를 이룰 수 있다. 최종적으로 일정계획이 마쳐진 정보는 데이터베이스에 저장되어 활용되게 된다.

3.2 작업특징의 정량화 방법

본 연구에서는 일정계획을 위해 공정계획 데이터 중에서 작업특징을 정량화할 수 있는 데이터를 이용하여 공정생산량 개수, 전체 데이터 중 공정 작업시간이 상대적으로 긴 비율, 마지막으로 납기일이 짧은 비율로 선정하였다. 작업간의 우선순위는 기본적인 공정 순서가 정의되어져 있기 때문에 제외하였다. 아래 <표 1>은 공정 데이터 특성의 범위를 나타낸다.

<표 1> 공정 데이터 특성 분류

구분	수준	세부범위
NOP (Number of production)	상	[1501~2000]
	중	[1001~1500]
	하	[500~1000]
ROLP (Rate of long process time)	상	[0.67~1.00]
	중	[0.34~0.66]
	하	[0.00~0.33]
ROSD (Rate of short due-date)	상	[0.67~1.00]
	중	[0.34~0.66]
	하	[0.00~0.33]

NOP의 경우는 전체 공정계획 데이터의 개수를 상, 중, 하 세 구간으로 구분하였다. 그리고 ROLP와 ROSD도 최저비율과 최대비율을 정규화(Normalization)하여 분류하였다. ROLP와 ROSD의 선정기준을 위해 사용한 기호는 다음과 같다.

N : Number of job data
 P_i : Process time of process i
 D_i : Due-date of process i
 T_i : Start time of process i
 ST_i : Spare time of job i
 A_1 : Average of process time
 A_2 : Average of spare time
 w_1 : Weight for long process time
 w_2 : Weight for short due date
 S_{ROLP} : Standard for ROLP
 S_{ROSD} : Standard for ROSD
 C_{ROLP} : Number of job data for S_{ROLP}
 C_{ROSD} : Number of job data for S_{ROSD}
 R_{ROLP} : Rate of ROLP
 R_{ROSD} : Rate of ROSD

공정 데이터의 개수를 구분한 NOP의 세부 범위는 식(1)과 같다.

$$high\ level\ of\ NOP: 1501 \leq N \leq 2000 \quad (1)$$

$$medium\ level\ of\ NOP: 1001 \leq N \leq 1500$$

$$low\ level\ of\ NOP: 500 \leq N \leq 1000$$

식(2)는 가중치를 공정시간 표준편차와 곱한 값과 공정시간 평균의 합을 통해 S_{ROLP} 선정기준을 구하는 것을 나타낸다. S_{ROLP} 조건에 해당되는 작업의 수인 C_{ROLP} 는 식(3)에서의 조건식으로 산출할 수 있으며 공정 데이터 특성의 수준을 고려하기 위한 R_{ROLP} 는 식(4)에 제시되었다.

$$S_{ROLP} = A_1 + w_1 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - A_1)^2}{N}} \quad (2)$$

$$\text{If } P_i > S_{ROLP} \quad (1 \leq i \leq N) \text{ then} \quad (3)$$

$$C_{ROLP} = C_{ROLP} + 1$$

$$R_{ROLP} = \text{normalize} \frac{C_{ROLP}}{N} \quad (0.0 < R_{ROLP} < 1.0) \quad (4)$$

식(5)의 공정 시작날짜와 납기일의 차를 통해 작업 여유시간을 구할 수 있다. 식(6)은 가중치를 작업 여유시간 표준편차와 곱한 값과 작업 여유시간 평균의 차를 통해 S_{ROSD} 선정기준을 구하는 것을 나타낸다. S_{ROSD} 조건에 해당되는 작업의 수인 C_{ROSD} 는 식(7)에서의 조건식으로 산출할 수 있으며 공정 데이터 특성의 수준을 고려하기 위한 R_{ROSD} 는 식(8)에 제시되었다.

$$ST_i = P_i - D_i \quad (5)$$

$$S_{ROSD} = A_2 - w_2 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (ST_i - A_2)^2}{N}} \quad (6)$$

$$\text{If } S_i > S_{ROSD} \quad (1 \leq i \leq N) \text{ then} \quad (7)$$

$$C_{ROSD} = C_{ROSD} + 1$$

$$R_{ROSD} = \text{normalize} \frac{C_{ROSD}}{N} \quad (0.0 < R_{ROSD} < 1.0) \quad (8)$$

작업특징을 정량화한 값은 시뮬레이션에서 작업할당규칙의 정보뿐만 아니라 온톨로지의 구조에 반영되어 작업할당규칙을 추론하는 지식생성의 기반이 된다.

구축된 온톨로지는 OWL DL을 사용하였으며 정량화된 작업특징, 작업장 상태, 작업할당규칙 등을 상위 클래스로 정의하였고 그것들에 대한 세부항목을 하위 클래스로 분류하고 이들의 관계를 온톨로지 속성으로 표현하였다.

<그림 4> 온톨로지 클래스 관계도

본 연구에서 개발한 작업할당규칙 시뮬레이션일정계획의 결과를 바탕으로 NOP, SNOP, LNOP 등과 같은 작업특징, 작업장 기계의 수, 제품의 수, 작업할당규칙 등과 같은 클래스 단위의 속성들과 일정계획 목적함수와의 연관성을 통해 온톨로지 추론을 위한 관계(Relation)를 미리 정의한 것이다. 정의된 관계는 온톨로지 추론 도구인 RacerPro 1.9를 이용하여 최적 작업할당규칙을 추론하는 과정을 거치게 된다. 클래스들 간의 관계 및 속성은 <그림 4>와 같으며 온톨로지 제작 도구 Protégé 4.0.2를 이용하여 작성되었다.

3.3 기계 작업할당규칙 및 목적함수

본 연구에서 사용하는 작업할당규칙은 일반적으로 사용할 수 있는 5가지(SPT, LPT, EDD, SNOP, LNOP)를 기반으로 실험하였다. SPT (Shortest Processing Time)는 가장 짧은 가공시간을 갖는 작업부터 먼저 시작하는 것이다. 이와 반대로 LPT (Longest Processing Time)는 가장 긴 가공시간을 갖는 작업부터 먼저 시작하는 규칙이다. EDD(Earliest Due Date)는 납기일이 가장 급한 주문부터 먼저 처리하는 방법이다[16]. 마지막으로 SNOP(Smallest Number of Product)와 LNOP(Largest Number of

Product)는 처리량이 가장 적거나 많은 것부터 작업을 시작하는 규칙이다.

일정계획에서 공정 계획의 처리량을 빠른 시간 내에 처리하는 것만이 최적 대안이라고 판단 할 수는 없다. 기계 이용률, 기계 부하량, 기계 할당 균형화(Balancing)등을 고려 할 수 있다. 실험에서는 총 처리 시간(Makespan) 최소화하고 기계 균형 할당 최대화(Machine Balancing)하기 위한 목적함수를 구성하여 실험하였으며 각 목적함수에 따라 추천 작업할당규칙이 할당될 수 있도록 실험을 계획하였다.

4. 시스템 구현 및 실험

4.1 개발 환경 및 구현

<표 2> 플랫폼 개발 환경 사양

- 개발환경 -

1. Windows 7 Enterprise K
2. Java SE 1.6
3. MS-SQL 2008
4. Protégé 4.0.2
5. RacerPro 1.9
6. FlexGantt Trial version

개발 된 플랫폼은 일정계획 시뮬레이션, 지식기반 사례추론을 담당하는 온톨로지 추론 시스템, 간트차트(Gantt-Chart)를 포함한 사용자 인터페이스(User Interface)로 구성되어 있다.

공정 계획 데이터를 기반으로 하여 총 작업을 시뮬레이션(Simulation)하는 부분은 자바 프로그램 언어(Java Language)를 사용하였다. Protégé는 작업장 상황과 공정계획 데이터의 특성을 온톨로지 구조로 구성하는 부분을 RacerPro는 이 정보를 바탕으로 작업 할당규칙을 추론하는 부분을 담당한다. 일정계획 정보를 담당하는 데이터베이스(Database)는 MS-SQL으로, 간트차트는 FlexChart Trial version을 사용하였다.

온톨로지로부터 추천받은 작업할당규칙, 기계이용률, 전체 공정시간 등의 일정계획의 세부 정보는 간트차

트를 통해 확인 할 수 있으며 플랫폼 레이아웃은 <그림 5>와 같다.

<그림 5> 시스템 레이아웃

4.2 실험 방법 및 설계

제안된 플랫폼 실험 데이터는 <표 3>와 같은 데이터 구조로 구성되어 있으며 시스템내의 데이터베이스에 저장되어 있다.

<표 3> 공정 데이터 구조

Product_Name	제품의 일련번호
Part_Name	제품 각 파트의 일련번호
Process_Name	공정 셋업(Setup)번호
Machine_ID	작업 기계 일련번호
Process_Time	작업 공정시간
Due_Date	작업 납기일
Part_Number	작업 할당량

DB(Database)에는 <표 3>과 같은 구조로 구성된 작업정보가 저장되어 있으며 여러 개의 데이터를 바탕으로 시뮬레이션 하여 일정계획 실험을 진행한다.

실험 데이터의 제품별 공정계획(Process Plan)은 각 세부 파트로 나뉘지며 구분은 일련의 공정번호로 구분된다. 제품별 공정계획은 각 파트별로 공정순서에 따라 진행된다. 파트별 공정순서는 <표 4>와 같으며 제품 생산량을 고려하여 일정계획하게 된다.

<표 4> 실험 데이터 제품별 공정계획

Product Name	Part Name	Process Plan (Setup ID)
P1	PA01	OP(11)→OP(12)→OP(13)→OP(14)→OP(15)→OP(16)→OP(17)
	PA02	OP(21)→OP(22)→OP(23)→OP(24)→OP(25)
	PA03	OP(31)→OP(32)→OP(33)→OP(34)→OP(35)→OP(36)→OP(37)
P2	PA04	OP(41)→OP(42)→OP(43)→OP(44)→OP(45)→OP(46)→OP(47)
	PA05	OP(51)→OP(52)→OP(53)→OP(54)→OP(55)
	PA06	OP(61)→OP(62)→OP(63)→OP(64)→OP(65)→OP(66)
	PA07	OP(71)→OP(72)→OP(73)→OP(74)→OP(75)→OP(76)
P3	PA08	OP(81)→OP(82)→OP(83)→OP(84)→OP(85)→OP(86)→OP(87)
	PA09	OP(91)→OP(92)→OP(93)→OP(94)→OP(95)
	PA10	OP(101)→OP(102)→OP(103)→OP(104)→OP(105)→OP(106)

4.3 실험결과 및 분석

공정 데이터 특성에 따라 구분된 상, 중, 하의 3 수준으로 구분된 실험 그룹별로 100회씩 총 2,700회 실험하여 추천된 횟수가 가장 많이 나온 작업할당규칙을 선정하였다. 시뮬레이션 결과는 공정계획 정보와 함께 온톨로지 추천 시스템으로 전달되어 저장되고

추후의 일정계획을 진행할 때 작업할당규칙 추론에 활용된다. <표 5>는 일정계획 시뮬레이션 실험결과를 결과요소별로 나타낸 것이다. 실험의 독립변수와 작업할당규칙에 따른 총 작업시간, 기계 이용률, 기계 이용률의 편차를 구할 수 있다. 실험의 목적함수로 설정된 공정시간 최소화과 기계사용 편차 최소화(Machine Balancing)에 따라 작업할당규칙이 할당되어있다.

<표 6>은 목적함수에 성능이 우수한 작업할당규칙 추천 결과를 나타낸 것이고 <그림 6, 7>은 작업할당규칙에 따른 그룹별 성능차이를 그래프로 도식화 한 것이다.

<그림 6, 7>의 성능 비교 그래프는 실험데이터의 개수를 1000개로 고정하고 ROLP(상, 중, 하)와 ROSD(상, 중, 하)로 구분하고 총 9개 그룹으로 나누어 성능비교를 한 것이다. 9개 그룹은 (ROLP, ROSD) 형식이며 처음 3개 그룹은 (상, 상), (상, 중), (상, 하) 순이다. 실험이 완료된 데이터는 작업장의 상황, 공정데이터의 특성, 추천 작업할당규칙 등을 온톨로지 모델에 저장 및 추가함으로써 유사한 공정계획에 대해 적극적으로 활용할 수 있다. 축적된 온톨로지 정보가 많을수록 보다 안정적이고 성능이 우수한 작업할당규칙 추론을 이룰 것이며 생산 시스템 제약조건의 변화에도 쉽게 적용할 수 있을 것으로 예상된다.

5. 결 론

본 연구에서는 공정계획 데이터를 기반으로 온톨로

<표 5> 실험결과 예시

총 작업량 (NOP)	작업시간 비율 (ROLP)	납기시간 비율 (ROSD)	작업할당 규칙	총 작업시간 (hour)	기계 이용률평균 (%)	기계 이용률편차 (value)	min. Makespan (순위)	max. Balancing (순위)
1,435	0.23	0.37	SPT	400.55	83.77	19.77	4	5
			LPT	438.60	94.72	3.37	5	1
			EDD	350.07	94.09	5.43	1	2
			SNOP	351.07	82.15	10.66	2	4
			LNOP	361.27	91.82	8.13	3	3

<표 6> 목적함수 성능 최적화를 위한 추천 작업할당규칙

구분				ROLP					
				<i>min. makespan</i>			<i>max. Machine Balancing</i>		
				상	중	하	상	중	하
N O P	상	R O S D	상	SNOP	SNOP	EDD	LNOP	EDD	EDD
			중	EDD	LNOP	SNOP	SNOP	LNOP	SPT
			하	SNOP	SPT	SPT	SNOP	SPT	EDD
	중	R O S D	상	EDD	SPT	EDD	EDD	LPT	SNOP
			중	LPT	LNOP	LNOP	LPT	LNOP	EDD
			하	SNOP	LNOP	LPT	SNOP	EDD	LPT
	하	R O S D	상	EDD	SNOP	LNOP	SNOP	LNOP	EDD
			중	LPT	EDD	SNOP	SPT	SNOP	EDD
			하	SNOP	SNOP	SPT	LPT	SNOP	SPT

<그림 6> 총 작업시간 성능 비교 그래프

<그림 7> Machine Balancing 성능 비교 그래프

지의 장점을 활용할 수 있는 시뮬레이션 기반의 적응형 일정계획 플랫폼을 제안하였다.

제안된 시뮬레이션 기반의 적응형 일정계획은 작업특징의 정량화 값을 이용한 작업할당규칙 시뮬레이션과 온톨로지 지식의 활용의 2단계로 구성되어 실행된다. 제시된 일정계획 문제해결 접근은 기존의 일정계획에서 발생하는 지식의 확장 및 재활용, 그리고 생성된 온톨로지 지식 증명의 어려움을 해결하기 위해 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

- (1) 작업할당규칙 온톨로지의 지식기반을 형성하는 시뮬레이션을 통하여 지식의 확장을 가능하게

해준다.

- (2) 생성된 지식은 작업특징 정량화 값과 비교하여 재활용될 수 있는 온톨로지의 지식으로 확장된다.
- (3) 작업할당규칙 시뮬레이션에 의해 추천되는 작업할당규칙 지식의 증명이 가능하다.
- (4) 추천되는 작업할당규칙 외에 사용자가 작업장의 돌발 상황에 대처하여 선택적으로 작업할당규칙을 선정할 수 있도록 하였다.

따라서 본 연구에서 제안한 일정계획은 공정계획에서 얻어지는 작업특징에 따라 또는 작업장 상황에 적용할 수 있는 일정계획을 생성할 수 있다.

향후 연구에서는 보다 다양한 작업특징과 대체기계 등과 같은 문제에 대한 연구가 필요하고, 가공기계의 상태 등을 실시간으로 파악하여 일정계획 또는 공정 계획에 반영할 수 있도록 에이전트와 같은 인공지능 분야에 대한 확장이 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] E. Wang, Y. S. Kim, C. S. Lee and M. H. Rho "Feature Based Machining Precedence Reasoning and Sequence Planning" ASME Computers and Engineering conference, pp. 13-16, 1998
- [2] 김여근, 신경석, 김재운, "유연제조시스템의 공정계획을 위한 다목적 진화알고리즘", 한국경영과학회, 한국경영과학회지, 제29권, 제2호, pp.77-95, 2004
- [3] 최희련, 김재관, 노형민, 이홍철, "동적 공정계획에서의 기계선정을 위한 다목적 유전자 알고리즘", 한국정밀공학회, 한국정밀공학회지, 제24권, 제4호, pp.84-92, 2007
- [4] Firdaus, M. Mustapha, Safaai Deris and Razib, M. Othman, "A Survey on Ontology and Problem-Solving Method for Scheduling in Manufacturing", Postgraduate Annual Research Seminar, 2007
- [5] 이재일, 신용백, "작업할당을 고려한 일정계획의 지식기반 시스템 개발에 관한 연구", 공업경영과학회, 공업경영과학회지, 제20권, 제44호, pp.185- 195, 1997
- [6] 강무진, 엄광호, 김태수, "지식 기반 사출 금형 설계 시스템 구조", 한국정밀공학회, 2005년 학술발표대회 논문집, pp. 130~134, 2005
- [7] 김성희, 강무진, "지능형 에이전트를 이용한 협상기반의 일정계획에 관한 연구", 한국정밀공학회, 2000년도 추계학술대회논문집, pp.348-352, 2000
- [8] 최희련, 김태호, 이홍철, "온톨로지기반 적응형 에이전트를 이용한 공정-일정 연계시스템 모델링", 한국정밀공학회, 2009년도 추계학술대회논문집, pp.733-734, 2009
- [9] Xinyu. Li, Xinyu. Shao, Liang. Gao, Weirong. Qian, "An effective hybrid algorithm for integrated process planning and scheduling", International Journal of Production Economics, V. 126, N. 2, pp.289-298, 2010
- [10] 노인규, 조철형, "유연생산시스템에서의 실시간 혼합 일정계획 알고리즘", 대한산업공학회, 대한산업공학회지, 제20권, 제44호, pp.369-381, 1999
- [11] Pierreval. H and Mebarki N, "Dynamic selection of dispatching rules for manufacturing system scheduling", International Journal of Production Research, V. 36, N.6, pp.1575-1997
- [12] 김승호, 최희련, 이홍철, "유연생산 시스템에서의 에이전트를 이용한 동적 작업할당규칙 할당에 관한 연구", 한국산학기술학회, 한국산학기술학회논문지, 제11권, 제9호, pp.3232-3238, 2010
- [13] M. J. Cheeseman, P. Swann, G. B. Hesketh, and S. Barnes, "Adaptive manufacturing scheduling: a flexible and configurable agent-based prototype", Production Planning and Control, V. 16, No. 5, pp.479-497, 2005
- [14] 박영택, 최중민 "온톨로지 추론 개요와 연구동향", 한국정보과학회, 정보과학회지, 제24권, 제4호, pp.17-23, 2006
- [15] 노상규, 박진수, "인터넷 진화의 열쇠 온톨로지", gods Toy business, 2007
- [16] 이상완, 김해식, 조성열, "유연생산시스템 환경 하에서의 동적 일정계획에 관한 연구", 한국산업경영시스템학회, 산업경영시스템학회지, 제27권, 제2호, pp.17-23, 2004
- [17] 임광혁, "다품종 소량생산 공정을 위한 규칙기반 공정관리 시스템", 한국산업정보학회, 한국산업정보학회논문지, 제15권, 제1호, 2010
- [18] 조성호, 장태우, 신기태, 나홍범, 박진우, "실시간 정보획득을 통한 제조공정의 지속적인 개선 방안 연구", 한국산업정보학회, 한국산업정보학회논문지, 제14권, 제4호, 2009

이 승 정 (Seung Jung Lee)

- 학생회원
- 2010년 2월: 아주대학교 정보및컴퓨터공학부 (공학사)
- 2010년 3월~현재: 고려대학교 산업경영공학과 석사과정
- 관심분야: Simulation, System Integration, Manufacturing System

최 희 련 (Hoe Ryeon Choi)

- 2003년 3월~현재: 고려대학교 산업경영공학과 박사과정
- 관심분야: 생산 및 정보 관리 시스템, AI, 온톨로지

이 홍 철 (Hong-Chul Lee)

- 1983년 2월: 고려대학교 산업공학과 (공학사)
- 1988년 2월: Univ. of Texas 산업공학과 (공학석사)
- 1993년 2월: Texas A&M Univ. 산업공학 (공학박사)
- 1996년 3월~현재: 고려대학교 산업경영공학과 정교수
- 관심분야: SCM, 생산 및 물류 정보시스템, PLM

논문접수일: 2011년 03월 31일

1차수정완료일: 2011년 05월 02일

게재확정일: 2011년 05월 25일