

# A Case Study on Application of Dispatching Rule-Based Advanced Planning and Scheduling (APS) System

Jae-yong Lee · Moonsoo Shin<sup>†</sup>

Department of Industrial and Management Engineering, Hanbat National University

## 디스패칭 룰 기반의 Advanced Planning and Scheduling (APS) 시스템 활용 사례연구

이재용 · 신문수<sup>†</sup>

한밭대학교 산업경영공학과

Up-to-date business environment for manufacturers is very complex and rapidly changing. In other words, companies are facing a variety of changes, such as diversifying customer requirements, shortening product life cycles, and switching to small quantity batch production. In this situation, the companies are introducing the concept of JIT (just-in-time) to solve the problem of on-time production and on-time delivery for survival. Though many companies have introduced ERP (enterprise resource planning) systems and MRP (material requirement planning) systems, the performance of these systems seems to fall short of expectations. In this paper, the case study on introducing an APS (advanced planning and scheduling) system based on dispatching rules to a machining company and on finding a method to establish an efficient production schedule is presented. The case company has trouble creating an effective production plan and schedule, even though it is equipped with an MRP-based ERP system. The APS system is applied to CNC (computer numerical control) machines, which are key machines of the case company. The overall progress of this research is as follows. First, we collect and analyze the master data on individual products and processes of the case company in order to build a production scheduling model. Second, we perform a pre-allocation simulation based on dispatching rules in order to calculate the priority of each order. Third, we perform a set of production simulations applying the priority value in order to evaluate production lead time and tardiness of pre-defined dispatching rules. Finally, we select the optimal dispatching rule suitable for work situation of the case company. As a result, an improved production schedule leads to an increase in production and reduced production lead time.

**Keywords** : APS(advanced planning and scheduling), Dispatching Rules, Simulation, Production Lead Time

### 1. 서 론

오늘날 국내 제조업체들의 경영환경은 매우 복잡하며

급격히 변화하고 있다. 기업들은 고객의 요구수준 다양화, 제품수명주기 단축, 다품종 소량생산체제로의 전환 등 다양한 변화에 직면해있다. 그런데 치열한 경쟁 환경으로 인해 납기지연 비용이 지속적으로 상승하고 있어 재고수준관리 중심의 생산계획 운영이 불가피한 실정이다. 하지만 이는 재고 유지비와 잔업 인건비 등의 비용 상승을 초래하여 원가경쟁력을 약화시키는 문제가 있다. 따라서

최소한의 재고수준을 유지하기 위한 효과적인 계획 및 일정관리 시스템의 도입이 필요하다.

이러한 상황 속에서 많은 기업들이 정시생산과 정시납기를 실현하기 위해 JIT(just-in-time)개념을 도입하고 있다 [8]. 또한 ERP(enterprise resource planning)시스템이나 MRP(material requirement planning)시스템과 같은 계획시스템을 도입함으로써 기업운영에 대한 통찰적 시각을 제공하고 있지만 그 성과는 기대에 미치지 못하고 있다. 그 이유는 대부분의 ERP 시스템은 생산과정을 통제하는 생산관리 프로세스로 기존의 MRP 시스템을 그대로 사용하고 있는데 MRP 시스템을 통해 도출되는 계획은 여러 가정으로 인해 현장 적용에 한계가 있기 때문이다. 실제로 MRP 전개 과정에서 설비능력이 무한하다고 가정하며, 리드타임(lead time)이 고정되어 있고, 고객, 자재 및 제품들이 중요성 측면에서 모두 동일하다고 가정한다[13]. 따라서 MRP 시스템이 수립한 생산계획은 자원의 실제 능력을 반영하지 않고 있으므로 실제 현장의 상황을 충분히 반영하지 못한다. 이와 같은 문제를 극복하기 위해 APS(advanced planning and scheduling) 시스템에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다[15]. 그러나 소규모로 운영되는 중소기업의 경우 APS의 도입을 통해 경쟁력 제고를 희망하고 있으나, 열악한 정보화 인프라 및 부족한 IT 기술의 활용도 등의 문제로 시스템 도입에 어려움이 있다.

본 논문에서는 디스패칭 룰(dispatching rule)에 기초한 APS 시스템을 사례기업에 도입 및 적용하고, 실제 사례기업의 마스터 데이터를 수집하여 실제 제품 생산라인에서의 효율적인 계획 수립과 운영을 도모한다. 궁극적으로는 시뮬레이션을 통해 기존 시스템과의 비교분석을 실시한다. 본 논문의 이후 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 APS 시스템에 관련한 국내 연구동향을 살펴본다. 제 3장에서는 본 연구를 통해 사례기업에 실제 적용한 디스패칭 룰 기반의 APS 시스템을 소개하고, 제 4장에서는 사례기업의 현황과 일정계획 시스템 구축 과정 및 기대효과를 제시한다. 제 5장에서는 본 연구의 결과를 요약하고 연구의 한계점 및 향후 연구방향에 대해 기술한다.

## 2. 문헌 연구

### 2.1 APS 시스템의 개요

APS 시스템은 1990년대 전통적 MRP 시스템의 한계점을 보완해 주는 대안적 도구로서 등장하였다. APS 시스템은 전체적인 재고수준의 감축 및 재고회전을 향상을 도모하고, 기업의 비용절감 및 생산성 증대를 목적으로 하는 자동화된 의사결정도구라고 할 수 있다[15]. APS 시스템

의 주요 기능은 다음과 같다. 첫째, 급변하는 기업 환경에서 여러 가지 현장의 요건들을 고려하여 효율적인 계획을 수립하고, 변화된 상황에 따라 신속하게 계획을 수정 반영할 수 있는 시스템적 지원체계의 역할을 제공한다[11]. 둘째, 각종 자재의 가용여부, 가공 및 처리를 통한 고객의 수요를 충족시켜주는 과정에서 작업장의 설비능력과 여러 제약조건들을 동시에 고려할 수 있다[11]. 셋째, 인공지능형 최적화 알고리즘 등이 탑재되어 생산현장의 기초 현황 정보를 기반으로 복잡한 생산계획 시나리오를 실시간 비교분석 할 수 있는 what-if 시뮬레이션 기능을 갖추고 있다[12]. 이러한 APS 시스템은 다음과 같은 환경에 효과적이다[11]. 1) 가용자원이 한정적이고, 고객의 주문에 대한 납기가 중요한 환경, 2) 자본집약형 생산방식의 작업환경, 3) 작업순서가 중요한 연속생산 시스템 환경.

### 2.2 APS 시스템 관련 연구동향

최근 국내에서는 효과적이고 효율적인 생산계획 및 스케줄링을 지원할 수 있는 APS 시스템의 구축 및 적용연구들이 활발히 진행되고 있다[20]. 특히 전자, 전기, 기계 등의 산업에 중점적으로 적용되어 왔으며 섬유, 화학, 소비재 등의 분야로 다양하게 확산되고 있다[12]. <Table 1>은 최근 15년 동안의 APS 시스템 관련 국내연구 논문을 다음 3가지 분류기준에 따라 요약한 것이다. 1) 시스템 개발, 2) 현장 적용, 3) 시스템 분석.

<Table 1> Classification of Researches on APS System

Attribute	Description	Reference
Development	DBR(drum-buffer-rope)	[10]
	Genetic algorithms	[9]
	Constraint propagation and optimal search algorithms	[21]
Application	SCM (supply chain management)	[4]
	Specialized system for SMEs	[1, 2, 19]
	Factors research for the introduction of the APS system	[3]
	Delivery estimation on foundries and complex production system	[18]
	Scheduling methods in the MTO(make-to-order)	[14]
	Tardiness minimization studies on assembly systems	[5]
Analysis	Developing APS system according to industrial characteristics	[7, 16, 17]
	Case study on APS system	[11]
	Analysis of the functional significance of APS system	[6]

첫째, APS 시스템의 개발 분야 연구로는 정남기 외 [10]가 DBR(drum-buffer-ropе)기반의 APS 시스템을 상세히 설명하고, 모델링 내용을 제시하는 연구를 진행하였다. 주철민[9]은 유전알고리즘을 적용하여 일정계획문제의 해를 구하고 실제 자동 및 수동 생산일정계획을 위한 APS 시스템을 개발하는 연구를 하였다. 유환주[21]는 선형계획법 모델링에 대한 엔진과 제약 전파 알고리즘을 사용한 최적 탐색 알고리즘 엔진이 반영된 새로운 APS 시스템을 개발하였다.

둘째, APS 시스템의 현장 적용 연구로서 박문원 외[18]는 주문형 반도체 생산 공장이나 인쇄회로기판의 제조공장과 같은 매우 길고 복잡한 생산시스템에 대해 APS 시스템의 일정계획 모듈을 제시하고, 시뮬레이션에 근거한 일정계획 모듈을 가지고 있는 APS 시스템에서의 납기산정을 다루었다. 이상복 외[14]는 APS 시스템을 활용하여 주문생산환경 중심의 자동차 유리 제조업체에 적합한 스케줄링 방법을 개발하였다. 조호진 외[4]는 공급사슬관리(supply chain management) 환경에서의 APS 시스템 적용 연구를 진행하였다. 배상윤[1]은 중소기업의 정보화를 통한 생산성, 납기 및 제조원가와 관련된 목표를 개선시키기 위한 APS 시스템의 활용방법을 제안하였다. 배상윤[2]은 ERP 시스템과 APS 시스템의 현장 적용성과 일정계획 모듈의 효율성을 높이는 연구를 하였다. 하기룡 외[5]는 조립 시스템에서의 총 납기 지연을 최소화할 수 있는 작업들 간의 생산순서 결정을 위한 일정계획 문제를 다뤘다. 차동진 [3]은 공정관리시스템을 도입한 기업의 생산관리상의 특징을 고찰하고 APS 도입이 공정관리시스템 구축에 영향을 주는 요인을 분석하였다. 신문수 외[19]는 중소기업 환경을 고려한 시스템 개발 요구조건을 도출하고, 중소기업의 맞춤형 생산스케줄링모형을 제안하였다.

셋째, APS 시스템의 분석 연구로서 나홍범 외[16]는 APS 시스템 및 스케줄링 소프트웨어 개발을 목적으로 산업별로 공정의 형태를 분석하고 그 특징들을 템플릿 형태로 분류하는 연구를 진행하였다. 강성룡[11]은 APS 시스템의 개념, 기능 및 특성을 요약 및 정리하고, APS 시스템의 응용사례들을 소개하여 APS 시스템의 동향 연구를 진행하였다. 하정훈 외[6]는 계층적 분석기법(AHP; analytical hierarchy process)을 이용하여 다양한 APS 기능에 대한 중요도를 정량적으로 도출하고 필수적 기능과 부가적 기능을 구분하는 연구를 진행하였다. 황덕형 외[7]는 정보시스템의 개선 프로세스를 설계하기 위해 APS 시스템을 적용하였으며, 다기준 의사결정법 기반의 요인 분석 및 설계된 프로세스를 변압기 제조공정에 적용하여 분석연구를 진행하였다. 노경호 외[17]은 철강기업에서 운영 중인 APS의 구조와 성과에 대한 사례를 통한 설문조사연구를 실시하였으며, SCM 성과에 대한 인지모형을

구축 및 분석하는 연구를 진행하였다.

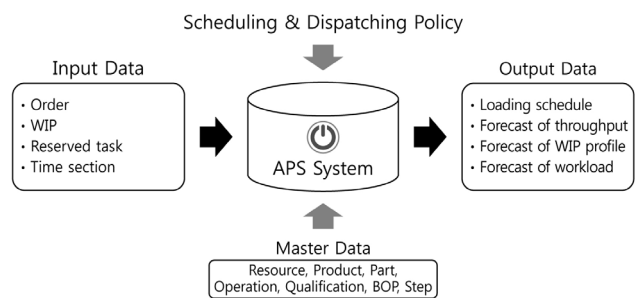
이처럼, 최근 15년 동안 APS 시스템 연구동향을 살펴보면 주로 시스템 관리자들을 위한 연구와 APS 시스템의 효율적 활용을 위한 연구가 주류를 이루고 있다. 또한 대기업이 아닌 중소 제조기업을 대상으로 한 보편화된 APS 시스템의 현장 적용 연구가 활발히 진행되고 있어 APS 시스템이 중소 제조기업에 유효한 스케줄링 시스템으로 자리 잡아 가고 있는 추세이다.

### 3. 디스패칭 를 기반 APS 시스템

#### 3.1 기본 구조 및 특징

본 연구에서 제시하는 APS 시스템은 시간제약(timing constraints)을 기반으로 작업을 할당하는 디스패칭 알고리즘을 탑재하고 있다. 제품의 공정경로를 기준으로 시작 가능 시점 및 납기를 단위작업에 순차적으로 전파(propagation)하고, 각각의 단위작업을 주어진 시간제약에 따라 생산자원에 할당한다.

<Figure 1>은 제시된 APS 시스템의 정보처리 프레임워크를 나타내고 있다. 첫째, 주요 기준정보로는 생산자원(resource), 제품(product), 부품(part), 생산자원 별 공정수행능력(qualification) 정보와 공정정보가 있다. 공정정보는 제품 생산을 위한 단위공정(operation)과 제품별로 존재하는 공정흐름도(BOP bill of process)로 구성되며, 공정별 작업시간 및 택트타임, 셋업시간 등의 시간 정보를 포함한다. 부가적으로 불량률과 공정별 단위비용 등이 기준정보에 포함된다. 둘째, 주요 입력정보로는 수주, 재공 및 재고 정보, 예약작업 정보 등이 있다. 셋째, 주요 산출정보로는 공정별/설비별 작업일정과 시간별 작업 처리량에 대한 예측, 재공/재고 수준예측 및 설비/물류구간 별 부하 예측 등이 있다.



<Figure 1> Information Processing Framework[19]

제시된 APS 시스템의 주요 특징은 다음과 같다. 1) 직관적인 물을 바탕으로 결과물에 대한 이해도가 높다. 2) 빠

른 연산을 통해 상황에 따른 리스케줄링(rescheduling)이 용이하다. 3) 다양한 성능평가 인자를 통해 생산 스케줄을 평가함으로써 상황에 맞는 디스패칭 룰을 설정할 수 있다. 4) 공정흐름도의 편집 기능과 다양한 공정 라우팅(routing)에 대한 시뮬레이션 분석기능을 제공한다. 5) 해당 단위 작업을 처리하는 생산자원이 복수일 경우에는 최적의 자원을 선택할 수 있다.

### 3.2 일정계획 수립

본 연구가 제시하는 일정계획 수립 모형은 다음과 같은 가정과 기호를 따른다.

- 각 주문은 하나의 제품으로 구성되며, 동일한 제품에 대한 주문은 납기일이 서로 다르다.
- 단위작업은 하나의 단위공정을 처리한다.
- 공정흐름도를 기준으로 단위공정간에 선후행 관계가 존재한다.
- 동일한 단위공정도 제품에 따라 처리시간이 다르다.
- 모든 설비는 상이한 원자재를 동시에 투입할 수 없고, 작업이 완료되기 전까지 중단하지 않는다.
- 일정계획 시점 이후에 발생하는 설비의 고장은 고려하지 않는다.
- 일정계획 시점 이후에 발생하는 긴급발주는 고려하지 않는다.

- $i$  : 제품번호( $i = 1 \sim I$ )
- $j_i$  :  $i$  번 제품의 공정번호( $j = 1 \sim J_i$ )
- $k$  : 주문번호( $k = 1 \sim K$ )
- $m$  : 설비번호( $m = 1 \sim M$ )
- $i_k$  : 주문  $k$ 의 제품번호
- $w_k$  : 주문  $k$ 의 주문수량
- $d_k$  : 주문  $k$ 의 납기일
- $s_{ij}$  : 제품  $i$ 의  $j$ 번 공정의 셋업시간
- $n_{ij}$  : 제품  $i$ 의  $j$ 번 공정의 배치(batch) 크기
- $p_{ij}$  : 제품  $i$ 의  $j$ 번 공정의 단위 처리시간
- $b_{ij}$  : 제품  $i$ 의  $j$ 번째 공정의 단위 배치 처리시간
- $P_{kj}$  : 주문  $k$ 의  $j$ 번째 공정의 총 처리시간
- $S_{kj}$  : 주문  $k$ 의  $j$ 번째 공정의 총 셋업시간
- $B_{kj}$  : 주문  $k$ 의  $j$ 번째 공정의 총 배치 처리시간

본 연구는 주문생산 방식을 기반으로 배치(batch)생산 형태의 제조 공정을 다룬다. 작업의 단위배치는 제품의 단위공정을 처리하기 위한 묶음단위를 의미하며, 배치단위를 기준으로 셋업시간( $s_{ij}$ )이 발생한다. 공정의 단위배치 처리시간은 다음 식에 의해 산출한다.

$$b_{ij} = s_{ij} + (n_{ij} \times p_{ij}) \quad (1)$$

각각의 주문정보는 다음 항목으로 구성된다. 1) 제품정보( $i_k$ ), 2) 주문수량( $w_k$ ), 3) 납기( $d_k$ ). 제품  $i$ 에 대한 주문  $k$ 의 단위공정  $j$ 에서의 총 공정처리시간( $P_{kj}$ )과 총 셋업시간( $S_{kj}$ ), 총 배치 처리시간( $B_{kj}$ )은 각각 다음과 같이 구한다.

$$P_{kj} = w_k \times p_{i_k, j} \quad (2)$$

$$S_{kj} = c_k \times s_{i_k, j} \quad (3)$$

$$B_{kj} = P_{kj} + S_{kj} \quad (4)$$

$c_{kj}$ 는 주문  $k$ 의 처리를 위해 단위공정  $j$ 에서 발생한 셋업 횟수를 의미하며, 이는 수립되는 일정계획에 따라 달라진다.

본 연구는 주문별 납기 지연과 제조리드타임 단축을 목적으로 하며, 이를 위해 경험적 해법을 통해 총 셋업시간( $S_{kj}$ )을 감소시키는 일정계획을 탐색한다. 일정계획 수립 절차는 주문별 우선순위 산출을 위한 선할당 시뮬레이션과 주문별 우선순위를 반영한 디스패칭 룰 기반의 작업 할당 과정으로 구성된다. 본 연구에서 고려한 기본 디스패칭 룰은 다음과 같다. 1) EDD(earliest due date), 2) SPT(shortest processing time), 3) LPT(longest processing time), 4) LBPT(longest batch processing time). LBPT 룰은 총 배치처리시간( $B_{kj}$ )이 가장 긴 작업부터 설비에 할당한다.

선할당 시뮬레이션은 주문별 우선순위산출 문제를 단순화하기 위해 병목이 발생하는 핵심 공정만을 대상으로 하며, 디스패칭 룰에 의해 주문별 작업 할당을 수행한다. SPT 룰을 적용할 경우 선할당 시뮬레이션은 다음과 같이 진행된다. 먼저 병목공정에서의 총 공정처리시간( $P_{kj}$ )이 짧은 주문부터 가용 설비에 할당한다. 총 공정처리시간이 동일한 경우 단위 셋업시간( $s_{ij}$ )이 짧은 주문부터 할당한다. 할당된 각 주문들에 대해서 총 셋업시간( $S_{kj}$ )과 총 배치 처리시간( $B_{kj}$ )을 계산한다. 모든 주문에 대한 선할당이 종료되면, 총 배치처리시간이 짧은 주문부터 높은 우선순위를 부여하며, 총 배치처리시간이 같을 경우에는 총 셋업시간이 짧은 주문에 높은 우선순위를 부여한다. 우선순위는 서수형 정수값으로 표현한다.

선할당 시뮬레이션을 통해 주문별 우선순위가 산출되면, 우선순위를 기준으로 디스패칭 룰에 따라 전체 공정에 대한 작업할당을 수행한다. 구체적으로는 우선순위가 높은 주문부터 재공과 재고를 차감한 생산수량을 산출하고 이를 기준으로 단위작업을 생성한다. 모든 단위작업은 작업가능시점과 납기 등의 시간제약을 가지며, 디스패칭 룰에 따라 가용 생산자원에 순차적으로 할당된다. 본 논문에서 제시된 APS 시스템은 주문별 우선순위 값을 관리자의 판단에 따라 편집할 수 있는 기능을 제공한다.

## 4. 사례연구

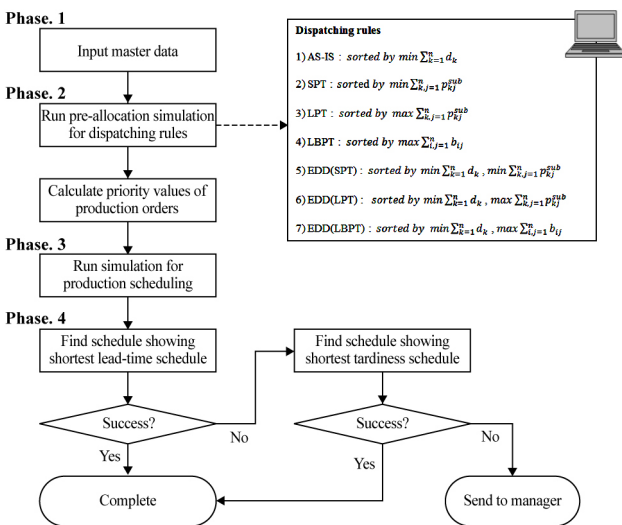
### 4.1 사례기업의 현황

본 연구는 CNC(computer numerical control) 선반을 이용하여 자동차 및 전자식 계량기 관련 초정밀 샤프트를 개발하고 제작하는 중소 제조기업을 사례기업으로 선정하여 수행되었다. 사례기업은 국내 완성차 제조기업의 3차 협력업체로서 납기준수를 생산관리의 핵심 기준으로 삼고 있으며, 다량의 안전재고를 운용하고 있다. 이로 인해 재고관련 비용이 매우 높은 실정이며, 재고수준 저감을 시급한 과제로 설정하고 있다. 기존에는 공정처리시간과 셋업시간이 각 제품별로 다름에도 불구하고 생산계획과 일정계획에 이를 반영하지 않고 있어 정확한 계획관리가 이루어지지 않고 있다. 이로 인해 계획에 대한 불확실성이 높아 안전재고 수준을 낮추기 어려운 실정이다. 이러한 문제점을 극복하고 효율적인 생산관리를 수행하기 위해서는 계획에 대한 종합성 제고를 바탕으로 안전재고 수준의 감소가 시급하며, 효과적인 생산계획 및 일정계획 시스템의 도입이 필요하다.

본 연구는 디스패칭 룰 기반의 APS 시스템을 사례기업에 도입 적용함으로써 계획의 종합성과 작업할당의 효율성 제고를 목표로 한다. 특히 사례기업이 보유한 핵심 설비인 CNC 선반의 효율적인 일정계획수립 문제를 다룬다.

### 4.2 일정계획 시스템 구축

본 연구에서는 제시된 APS 시스템에 사례기업 환경에 최적인 디스패칭 룰을 적용함으로써 효과적인 일정계획수립 체계를 구축한다. 이를 위해 다양한 디스패칭 룰에



<Figure 2> Production Scheduling Procedure

대한 시뮬레이션 분석을 실시한다. 즉 디스패칭 룰에 따라 주문별 우선순위를 산출하고, 이를 기반으로 일정계획을 수립한다. 수립된 일정계획은 평균 리드타임과 납기 지연 수준을 기준으로 평가하여 최적의 일정계획을 도출한 디스패칭 룰을 시스템에 적용한다. <Figure 2>는 전반적인 일정계획 시스템 구축 과정을 보이고 있으며, 주요 과정은 다음 4단계로 구분할 수 있다.

- 1단계 : 데이터 모델링
- 2단계 : 우선순위 산출
- 3단계 : 일정계획 수립 시뮬레이션
- 4단계 : 디스패칭 룰 선정

#### 4.2.1 데이터 모델링

사례기업은ERP(enterprise resource planning) 시스템을 도입하여 제한적인 수준의 생산관리와 자재 및 출하관리 시스템으로 활용하고 있으며, 9기의 CNC 설비를 중심으로 POP(point of production) 시스템을 구축하여 실시간 생산정보를 수집하고 있다. 그러나 POP에서 수집된 정보가

<Table 2> Time-Based Master Data of CNC Operation

Products (i)	Setup time (s <sub>ij</sub> )	Batch size (n <sub>ij</sub> )	Process time (p <sub>ij</sub> )	Batch quantity (r <sub>ij</sub> )	Batch processing time(b <sub>ij</sub> )
support-bar(22)	86	24	22	36	19,094
support-bar(24)	82	16	24	35	13,522
support-bar(25)	80	10	25	35	8,830
support-bar(26)	83	11	26	35	10,093
support-bar(27)	80	19	27	35	18,035
support-bar(28)	87	21	28	35	20,667
support-bar(29)	84	13	29	35	13,279
support-bar(30)	82	9	30	35	9,532
support-bar(32)	83	11	32	35	12,403
support tube(24)	87	14	24	34	11,511
return tube	86	24	24	34	19,670
return pipe	79	14	28	34	13,407
check v/v tube	85	74	26	36	69,349
shaft_kdf	85	27	34	37	34,051
shaft_mix(33)	86	27	34	37	34,052
shaft_KGF	82	30	20	39	23,482
nozzle/supply jet	83	287	36	39	403,031
nozzle/bypass valve	86	287	24	39	268,718
joint housing(41)	85	90	41	33	121,855
bushing	85	100	22	34	74,885
shaft_kgf30	88	112	19	49	104,360
shaft_2Stage	89	30	34	39	39,869
hinge retainer wiper	82	153	8	45	55,162

계획시스템으로 자동 연계되지 않고 있는 실정이다. 이에 본 연구에서는 POP를 통해 수집된 생산 이력정보를 분석함으로써 공정별 작업시간과 택트타임, 셋업시간 등을 추출한다. POP가 구축되지 않은 이외 공정에 대해서는 현장에서 실측한 값을 반영한다. 또한 BOP 구축을 위해 사례기업에서 기존에 관리하던 BOM(bill of material) 정보를 기준으로 공간간 연계 관계를 분석 적용한다. <Table 2>는 2013년 9월 생산실적을 기준으로 추출한 CNC 공정의 시간 기반의 주요 기준정보를 보이고 있다.

#### 4.2.2 우선순위 산출

우선순위 산출을 위해 선할당 시뮬레이션을 수행한다. 이때 사례기업의 특성을 반영하기 위해 몇 가지 가정을 추가 적용한다. 먼저 일정계획 수립시점에 모든 제품의 재공과 재고는 없는 것으로 가정한다. 이를 통해 연산을 단순화할 뿐만 아니라 재공과 재고의 정확한 수량 관리가 어려운 한계를 해소한다. 또한 핵심 병목공정으로 CNC 선반 가공을 설정하며, CNC 설비의 기구적 특성에 따라 셋업시간과 배치구성을 조정한다. 사례기업이 보유한 CNC 설비는 둥근 막대 형태의 원재료를 가공하여 제품을 생

산한다. 원재료의 종류에 따라 셋업시간이 결정되며, 동일한 원재료가 계속 사용될 경우와 그렇지 않은 경우의 셋업시간을 각각 1시간과 2시간으로 가정한다. 하나의 원재료에서 가공되는 수량은 제품에 따라 다르며, 그 수량이 하나의 배치를 구성한다. 로딩(loading) 모듈의 특성상 한번에 여러 단위의 원재료가 묶음으로 투입되어 연속배치 생산이 이루어지며, 묶음으로 투입된 배치 간에는 셋업시간이 소요되지 않는다. 따라서 식 (1)을 다음과 같이 바꾸어 적용한다.

$$b_{kj} = s_{ij} + (r_{ij} \times n_{ij} \times p_{ij}) \tag{5}$$

이때  $r_{ij}$ 는 제품  $i$ 가  $j$ 공정에서 원재료의 1회 투입 시의 묶음 수량을 의미한다.

선할당 시뮬레이션을 통해 산출한 주문별 우선순위 값은 <Table 3>에 나타난 바와 같다. 이는 2013년 9월 기준 실제 주문을 대상으로 다양한 디스패칭 룰에 따라 산출한 것이다. 본 연구에서는 EDD룰을 SPT, LPT 그리고 LBPT룰과 조합하여 적용하였다. 기본적으로 납기준수가 매우 중요한 상황인데 주문별 납기가 동일한 경우가 많기 때문이다. 예를 들어 EDD(SPT)룰은 납기가 동일할 경우 공정처리시간이 짧은 주문을 우선 할당한다.

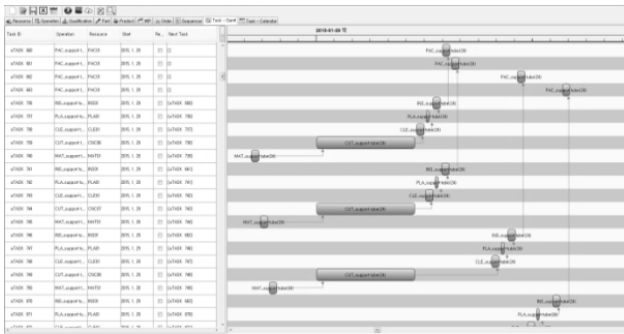
<Table 3> Priority Values from Pre-Allocation Simulation

Order	Products	SPT	LPT	LBPT	EDD (SPT)	EDD (LPT)	EDD (LBPT)
Ord1	support-bar(22)	6	18	19	2	22	8
Ord2	support-bar(24)	10	14	15	5	19	7
Ord3	support-bar(25)	5	19	14	12	12	13
Ord4	support-bar(26)	8	16	12	4	20	6
Ord5	support-bar(27)	16	8	11	8	16	5
Ord6	support-bar(28)	7	17	9	3	21	4
Ord7	support-bar(29)	11	13	8	6	18	3
Ord8	support-bar(30)	4	20	7	1	23	2
Ord9	support-bar(32)	13	11	6	7	17	1
Ord10	support tube(24)	21	3	16	18	6	14
Ord11	return tube	1	23	17	9	15	15
Ord12	return pipe	17	7	10	15	9	11
Ord13	check v/v tube	2	22	13	10	14	12
Ord14	shaft_kdf	14	10	3	23	1	19
Ord15	shaft_mix(33)	23	1	4	22	2	20
Ord16	shaft_KGF	9	15	21	19	5	22
Ord17	nozzle/supply jet	19	5	2	16	8	10
Ord18	nozzle/bypass valve	12	12	18	13	11	16
Ord19	joint housing(41)	15	9	1	14	10	9
Ord20	bushing	20	4	20	17	7	17
Ord21	shaft_kgf30	22	2	22	21	3	23
Ord22	shaft_2Stage	18	6	5	20	4	21
Ord23	hinge retainer wiper	3	21	23	11	13	18

#### 4.2.3 일정계획 수립 시뮬레이션

최적의 디스패칭 룰을 선정하기 위해 주문별 우선순위 값을 적용한 일정계획 수립 시뮬레이션을 실시한다. 특히 APS 시스템을 통한 일정계획 수립 체계 구축의 효율성을 평가하기 위해 사례기업의 현행 생산관리 모형을 개발하여 분석한다. 현행(as-is) 모형과의 비교분석을 통해 기존의 생산관리 체계에서 반영하지 않던 다양한 시간기반 기준정보 등이 추가적인 제약요소로 반영됨으로써 계획의 성능이 오히려 저하되는 착시효과를 배제하기 위함이다. 현행 모형은 주문별 납기준수만을 목적으로 관리하는 현장의 특성을 반영하여 주문별 우선순위는 특정하지 않고 EDD룰을 통해 일정계획을 수립한다. 각각의 디스패칭 룰을 적용해 수립한 일정계획은 제조리드타임과 납기지연 관점에서 분석, 평가한다. 이는 사례기업이 납기준수를 생산관리의 핵심 기준으로 삼고 있으며, 긴급사건에 대한 납기 대응력 제고를 위해서는 리드타임 감소가 필요하기 때문이다.

<Figure 3>은 APS 시스템을 통한 일정계획 수립 결과로써 단위작업 간의 선후연계 관계를 보이고 있다. <Table 4>는 시뮬레이션 로그파일을 분석하여 산출한 주문별 납기지연 시간을 나타내고 있다.



<Figure 3> Task-Based Gantt Chart

<Table 4> Tardiness Level of Individual Orders(hours)

Order	AS-IS	SPT	LPT	LBPT	EDD (SPT)	EDD (LPT)	EDD (LBPT)
Ord1	-5.51	-5.51	-1.73	-5.51	-5.51	-1.40	-1.73
Ord2	-5.18	-2.90	-2.40	-2.57	-3.23	-2.07	-1.90
Ord3	-24.77	-24.27	-21.18	-24.27	-24.61	-21.18	-24.44
Ord4	-3.40	-3.23	-2.07	-2.90	-5.01	-1.73	-2.23
Ord5	-2.90	-1.73	-5.18	-1.40	-2.07	-3.07	-2.57
Ord6	-2.73	-5.35	-1.90	-5.35	-5.35	-1.57	-3.07
Ord7	-2.40	-2.57	-2.73	-2.23	-2.90	-2.40	-3.23
Ord8	-44.12	-44.15	-44.07	-44.15	-44.21	-44.12	-44.15
Ord9	-2.07	-2.23	-3.07	-1.90	-2.57	-2.73	-5.35
Ord10	-22.06	-22.06	-22.06	-22.06	-22.06	-22.06	-24.63
Ord11	-23.69	-23.69	-21.85	-23.69	-23.69	-21.85	-23.69
Ord12	-21.27	-20.55	-20.68	-20.55	-21.05	-20.68	-20.44
Ord13	-25.36	-25.36	-20.41	-25.36	-25.36	-20.41	-23.72
Ord14	-10.07	-28.53	-28.53	-9.90	-10.07	-10.07	-28.53
Ord15	41.43	41.60	41.60	41.77	41.43	41.77	41.60
Ord16	-21.16	-28.26	-23.75	-28.26	-20.71	-27.72	-28.26
Ord17	-21.05	-20.44	-20.79	-20.44	-20.94	-20.79	-22.07
Ord18	-20.94	-20.66	-20.57	-20.66	-21.16	-20.57	-20.77
Ord19	-21.55	-23.35	-21.52	-23.35	-23.72	-21.52	-20.38
Ord20	-20.82	-20.32	-20.91	-20.32	-20.82	-20.91	-20.66
Ord21	-23.77	-20.88	-28.05	-20.88	-23.77	-28.05	-25.98
Ord22	-30.92	-31.46	-31.08	-31.29	-31.12	-31.42	-31.46
Ord23	-20.71	-20.77	-20.46	-20.77	-21.27	-20.46	-20.55
Sum	-335.01	-356.67	-343.39	-336.03	-339.75	-325.01	-358.19
Mean	-14.57	-15.51	-14.93	-14.61	-14.77	-14.13	-15.57

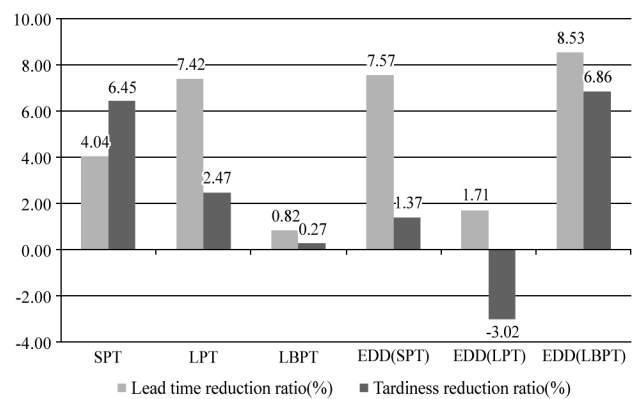
4.2.4 디스패칭 룰 선정

시뮬레이션 결과를 바탕으로 사례기업 환경에 최적인 디스패칭 룰을 선택한다. <Table 5>는 디스패칭 룰별로 평균 제조 리드타임과 평균 납기지연시간을 나타내고 있으며, <Figure 4>는 현행 모형에서의 결과를 기준으로 산출한 디스패칭 룰들의 제조리드타임 감소율과 납기지연

시간 감소율을 보이고 있다. 적용한 모든 룰에서 현행 모형 대비 제조 리드타임 측면의 개선효과가 확인되었으며, 납기지연 측면에서는 SPT, LPT, LBPT, EDD(SPT), EDD(LBPT) 5개의 룰을 적용하였을 경우 현행 모형 대비 개선되는 것을 확인할 수 있었다. 특히 EDD(LBPT) 룰은 제조 리드타임과 납기지연 측면에서 각각 6.74시간(8.53%)과 1.00시간(6.86%) 감소되는 효과를 보였으며, 이는 각각의 측면에서 가장 우수한 개선효과다. 따라서 EDD(LBPT) 룰이 사례기업의 2013년 9월 환경에서 가장 적합한 것으로 결론지을 수 있다. 이는 기본적으로 EDD를 고유의 납기 준수 지향성을 바탕으로 하며, 셋업시간을 포함하는 총 배치 처리시간이 짧은 작업을 우선 처리함으로써 셋업시간을 최소화하기 때문으로 분석된다.

<Table 5> Experimental Results(hour)

Rule	Mean production lead time	Mean tardiness
AS-IS rule	78.99	-14.57
SPT	75.80	-15.51
LPT	73.13	-14.93
LBPT	78.34	-14.61
EDD(SPT)	73.01	-14.77
EDD(LPT)	77.64	-14.13
EDD(LBPT)	72.25	-15.57



<Figure 4> Reduction Ratio

4.3 기대효과

본 연구를 통해 사례기업에 가장 적합한 것으로 판단된 EDD(LBPT)룰을 적용할 경우 각 주문별로 제조 리드타임이 감소됨에 따라 현재보다 시간당 작업 처리량이 증가할 것으로 기대된다. 실제로 주문별 시간당 평균 작업 처리량은 현행 모형 기준의 일정계획에서는 242.74개이고, EDD(LBPT)룰을 적용하였을 경우에는 260.61개이다.

이때 주문별 시간당 평균 작업처리량은 각 주문들의 작업처리수량을 주문별 제조리드타임으로 나누어서 산출하였다. 따라서 각 주문별로 시간당 평균 작업처리개수가 현행 모형 대비 약 17.87개(7.36%) 증가되는 것으로 나타났다.

현재 사례기업은 계획의 정합성 향상을 전제로 안전재고수준의 30% 절감을 계획하고 있다. 이 경우 재고관리 및 이에 관련한 인건비 지출 등에서 매월 약 372만 원 절감이 기대된다. 기존 재고수준의 자산가치는 월 단위로 약 2억 원 수준이며, 재고의 관리비용은 이의 2% 수준으로 추산되어 매월 약 4백만 원에 이른다. 따라서 매월 약 120만 원 가량의 비용 절감이 가능하다. 또한 기존에 재고관리를 위해 매월 700시간 가량의 초과근무가 발생하였으며, 시간 당 초과근무 비용은 1.2만 원이다. 재고수준이 30% 절감됨에 따라 초과근무 소요 시간이 동일한 비율로 감소할 경우 252만 원의 초과근무비용 절감이 가능하다.

## 5. 결론

오늘날 국내 제조업체들의 시장 속 경쟁은 점점 치열해지고 있다. 그 동안 국내외 많은 기업들은 ERP 시스템이나 MRP 시스템을 도입하여 사용하고 있으나, 그 성과는 기대에 미치지 못하고 있는 것으로 보인다. 이에 본 논문에서는 디스패칭 룰에 기초한 APS 시스템을 철강가공업체인 사례기업에 도입, 적용해봄으로써 효율적인 생산일정계획을 수립하는 방법을 제시하였다.

본 연구를 통해 제안한 APS 시스템의 도입 과정은 다음과 같다. 첫째, 효율적인 일정계획을 구축하기 위해 대상기업의 각 제품별 및 공정별 마스터 데이터를 수집하고, 각 데이터들의 환산 및 모듈화 작업을 실시한다. 둘째, 각 주문별 작업우선순위 산출을 위해 디스패칭 룰을 적용한 선할당 시물레이션을 실시한다. 셋째, 최적의 디스패칭 룰을 선정하기 위해 대상기업의 각 주문별 우선순위 값을 적용한 일정계획 수립 시물레이션을 실시한다. 끝으로, 제조리드타임과 납기 지연 관점에서 대상기업의 작업상황에 적합한 최적의 디스패칭 룰을 선정한다. 이러한 진행 과정을 통해 최종적으로 선정된 EDD(LBPT)룰을 대상기업의 제품생산에 적용할 경우 각 주문별 평균 작업처리량이 7.36% 상승할 것으로 기대되며, 제조리드타임과 납기 지연시간의 감소가 기대된다. 또한 잔업시간 및 재고유지비 감소 등을 통해 연간 약 4,464만 원의 비용이 절감될 것으로 기대된다.

이와 같이 디스패칭 룰 기반의 APS 시스템을 중소 제조기업에 도입 및 적용하게 되면 각 기업들의 생산환경을

자세히 분석할 수 있으며, 특히 기업의 목적에 맞게 여러 디스패칭 룰을 설계하고, 시물레이션 비교분석을 통한 최적의 룰을 선정할 수 있다. 다만 디스패칭 룰은 주어진 환경에 따라 적용 결과가 다르므로 향후 연구를 통해 다양한 주문 특성에 대한 비교분석이 필요하다. 또한 중소기업의 특성상 생산현장의 모든 상황을 전산화하여 관리하기 어려운 실정이므로 향후 연구주제로서 APS 시스템과 기존의 생산계획시스템(ERP 등)과의 연계를 통한 적정재고 수준 결정, APS 시스템 관련 데이터 입력양식 개발, CNC 설비 인력배치관리, 셋업시간 감소 방안 연구가 필요하다.

## Acknowledgement

This research was supported by the research fund of Hanbat National University in 2013.

## References

- [1] Bae, S.Y., Practical Goals and Approaches for the Informatization of Small and Medium Enterprises. *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2005, Vol. 28, No. 4, pp. 41-47.
- [2] Bae, S.Y., The Information of Dispatching Rules for Improving Job Shop Performance. *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2006, Vol. 29, No. 4, pp. 107-112.
- [3] Cha, D.J., A Study on Implementation of ERP, MES and APS Solution-purposed to Present a Selection Guide for Production Control Solution. [master's thesis]. [Korea] : Department of Management Korea National Open University, 2007.
- [4] Cho, H.J., Park, S.M., and Nam, H.K., The Application of APS(Advanced Planning and Scheduling) based on DBR(Drum-Buffer-Rope) in SCM Environment. *Journal of the Korean Supply Chain Management*, 2004, pp. 83-91.
- [5] Ha, G.R., Park, H.J., and Yoon S.H., Minimizing Total Tardiness in a Two Stage Assembly-type Flow Shop Scheduling Problem. *Proceeding of Spring the Korean Institute of Industrial Engineers Conference*, 2007, Vol. 19, No. 5, pp. 683-689.
- [6] Ha, J.H., Lee, Y.G., and Ok, C.S., An Improvement on The Advanced Planning and Scheduling using The Analytical Hierarchy Process. *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2011, Vol.



- 34, No. 3, pp. 123-133.
- [7] Hwang, D.H., Nam, S.D., Cho, Y.W., Oh, S.I., La, S.H., and Kang, K.S., A Study on the Process Design of Advanced Planning and Scheduling for Transformer Operation Improvement. *Journal of the Korea Safety Management and Science*, 2012, Vol. 14, No. 2, pp. 159-166.
- [8] Ji, Y.J., TOC/JIT/MRP integration model for flexible production scheduling under dynamic manufacturing environment. [master's thesis]. [Gimhae, Korea] : Department of Broadband information and communication Inje University, 2004.
- [9] Joo, C.M., A Study on the Development of an APS System for Job Shops. *Proceeding of Spring the Korean Institute of Industrial Engineers Conference*, 2004, Vol. 16, No. 2, pp. 64-66.
- [10] Jung, N.K., Choi, J.K., Jung, S.H., and Kim, S.J., A Study of APS System Design based on the TOC DBR. *Proceeding of Spring the Korean Institute of Industrial Engineers Conference*, 2001, Vol. 13, No. 4, pp. 490-493.
- [11] Kang, S.R., APS Concept and Applications. *Review of Industry and Management*, 2010, Vol. 22, No. 2, pp. 61-75.
- [12] Kang, Y.S., Lee, H.J., Moon, K.W., Noh, S.K., and Lim, H.W., Advanced Planning System : A Prerequisite for Achieving Build-to-Order Environment. *Proceeding of Korean Society of Precision Engineering Conference*, 2002, Vol. 10, pp. 93-96.
- [13] Kung, L. and Chern, C., Heuristic Factory Planning Algorithm for Advanced Planning and Scheduling. *Computers and Operational Research*, 2009, Vol. 36, No. 9, pp. 2513-253.
- [14] Lee, S.B., Jung, I.S., and Wang, G.N., The Implementation of Scheduling System Under MTO(make to order) Production System. *Proceeding of Autumn the Korean Institute of Industrial Engineers Conference*, 2004, Vol. 15, No. 11 pp. 424-429.
- [15] Musselman, K.J., Reilly, O., and Duket, S., The Role of Simulation in Advanced Planning and Scheduling. *Proceeding of Winter Simulation Conference*, 2002, Vol. 2, pp. 1825-1830.
- [16] Na, H.B., Seo, J.W., Park, C.K., and Park, J.W., A Study on Developing Scheduling Software According to Industrial Characteristics. *Proceeding of Spring Korean Society of Precision Engineering Conference*, 2008, Vol. 6, pp. 917-918.
- [17] No, G.H., Park, S.T., and Kim, T.U., Analysis of the Structure and Impact of SCM Advanced Planning System : Lessons from POSCO Case. *Journal of Digital Convergence*, 2014, Vol. 12, pp. 145-155.
- [18] Park, M.W., Choi, S.H., Lee, G.C., and Kim, Y.D., An Order Promising Procedure for Simulation-based Scheduling Systems. *Proceeding of Spring the Korean Institute of Industrial Engineers*, 2002, Vol.14, No. 5, pp. 103-108.
- [19] Shin, M.S., Bae, S.M., Choi, S.W., and Lee, H.J., Development of Dispatching Rule-based Production Scheduler for Small and Medium Sized Manufacturing Company. *Proceeding of Autumn the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers Conference*, 2013, Vol. 10, pp. 335-335.
- [20] Steinaecker, J.V. and Kuhner, M., Supply Chain Management-Revolution oder Modewort?, The Publisher Vieweg+ Teubner Verlag, Deutschland; 2001.
- [21] Yoo, H.J., SyncPlant APS Overview. *Proceeding of Autumn the Korean Science and Financial Engineering Conference*, 2010, Vol. 10, pp. 330-341.

#### ORCID

Jae-yong Lee | <http://orcid.org/0000-0002-7981-5282>  
 Moonsoo Shin | <http://orcid.org/0000-0001-6318-9662>