

BOP를 이용한 수주생산관리시스템의 설계

백원장*

요약

고객의 주문에 따라 제품을 설계하고 생산하는 수주생산업체의 생산일정계획을 수립하는 데는 널리 알려진 자재소요량 기법이 적합하지 않다. BOP는 이러한 수주생산업체의 생산일정계획에 효과적으로 사용될 수 있는 기본 자료이며, 본 논문에서는 이것을 이용한 효과적인 유한능력 생산일정계획 절차를 제시한다. 아울러 이를 기반으로 앞으로 계속되어야 할 연구 주제 및 현재 일정계획절차의 개선방향에 대하여 설명한다.

Key words: 일정계획, BOP, 유한부하, 생산정보시스템, ERP, MRP

1. 서론

수주생산 업체 중에서도 특히 설계단계에서부터 고객의 요구사항에 따라 진행되어야 하는 ETO(Engineer-to-Order) 유형의 제조업체에서는 자재소요량계획(MRP, Material Requirements Planning)을 중심으로 하는 일반적인 생산 및 구매 일정관리 체계는 다음과 같은 이유로 인하여 곤란하다[1].

- ETO 유형의 제조업에서는 고객의 요구에 따라 제품을 설계(Engineering)하는 과정에 소요되는 기간 및 이에 투입되는 비용이 차지하는 비중이 크며 이를 관리대상에 포함시켜야 한다. 그러나 MRP 방식에서는 이를 일정이나 원가에 개별 고객주문별로 반영하기가 힘들다.
- MRP가 적절히 수행되려면 반드시 정확한 BOM 정보가 제공되어야 한다. 하지만, ETO에서는 설계단계가 완료되어야만 BOM이 확정되며 따라서 MRP 실행 개시 시점이 너무 늦어져 전체 일정이 길어지거나 부정

확한 BOM에 의한 자재수배가 이루어질 수밖에 없다.

- 각 고객주문별로 일정계획을 수립해야 하며, 이에 현장의 상황을 반영할 수 있어야 한다. 그러나, MRP는 자재의 공용성을 가정하며 이를 개별 고객주문별로 구분하지는 않는 것이 일반적이며, 일정계획에도 미리 정해진 선행기간을 반영할 뿐이며 실제 생산현장의 상황을 반영하지는 못한다.

한편, ETO 환경에 적합한 생산일정계획 시스템은, MRP 기반 시스템이 제공하는 일반적 특징 외에, 다음의 특징을 갖추어야 한다[1, 5].

- 모든 일정계획은 개별 주문별로 생산현장의 작업투입 상황 및 능력을 고려하여 수립되어야 한다.
- 개별 주문별 진척도 및 투입원가의 파악이 가능해야 한다.
- 자재뿐만 아니라 고객 주문의 완성에 필요한 주요 활동—예를 들면 설계, 검사, 외주 등—모두를 계획하고 통제할 수 있어야 한다.

* 한국의국어대학교 정보산업공과대학 산업공학과

- 고객의 잠재 주문에 대하여 CTP(Capable-to-Promise) 개념의 납기산정 기능이 구비되어야 한다. 이것은 MTS(Make-to-Stock)에서의 특정 품목의 재고 및 생산계획을 고려하여 결정되는 ATP (Available-to-Promise)와는 달리 생산현장의 실제적 상황을 반영한 시물레이션을 통하여 얻어져야 한다.

특히, 국내의 많은 중소기업이 ETO 형태임을 감안하면, 국내 중소기업의 경쟁력 향상을 위해서도 이러한 생산체제에 적합한 생산정보 시스템의 개발이 중요할 것이다. 본 연구는 이러한 생산정보시스템 중, BOP를 중심 데이터 모델로 한, 생산일정계획 부분에 대한 관련 로직 및 데이터 모델을 다루고자 한다.

2. BOP의 개념 및 데이터 모델

BOM이 한 품목에 소요되는 자재(SKU, stock-keeping unit)들을 열거하는 소요자재 목록임에 반하여 BOP는 특정 품목을 생산하는데 소요되는 모든 활동과 이들의 선후관계를 기술하는 일종의 공정명세서이다. 그러나, BOP에서 다루는 공정의 개념은 일반적인 MRP 기반 시스템[4]의 라우팅(routing)과는 다음과 같은 점에서 다르다.

- BOP에서 다루는 공정은 WBS(work-breakdown structure)에 나타나는 모든 활동으로 일반적인 라우팅 정보에는 표현되지 않는 설계작업 등 최종 산출물이 품목이 아닌 것도 포함된다.
- 일반적인 라우팅에서는 선행이나 후행공정의 수가 최대 하나로 제한되는 순차적 공정을 표현하는 반면에, BOP에서는 복수의 선행 및 후행공정을 지원하는 것이 기본이다.
- 라우팅의 구축대상이 BOM에 나타나는 생산품목이므로 보통 라우팅은 BOM보다 하위 단계의 상세정보를 표현하는 것으로 간

주되는데 반하여, BOP에서는 관리대상 주요 생산활동에 대하여 각 활동에 필요한 자원(자재, 인력, 장비 등)을 연결하는 구조로서, 생산일정계획 측면에서만 본다면 BOM이 별도로 필요하지 않다.

즉, BOP는 BOM 및 라우팅 정보 그리고 이 둘 모두에 포함되지 않는 중요한 생산관련 활동들도 포함될 수 있다. 아래는 한 품목 P에 대하여 이를 구성하는 자재의 구성관계를 보여주는 BOM과, 이 품목의 생산에 필요한 공정(활동)과 함께 자재(실제의 BOP는 자재뿐만 아니라 설비, 인력 등과 같은 각 활동에 수반되는 중요 자원 모두가 포함됨)를 보여주는 단순화된 BOP가 그림 1과 2에 각각 나타나 있다.

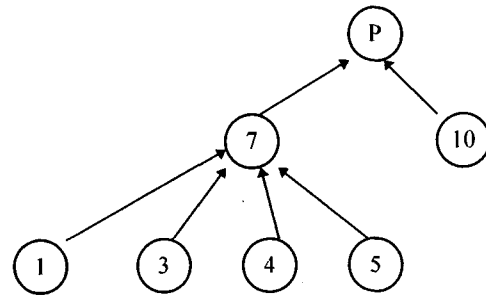


그림 1. BOM에 의한 자재의 종속관계 표현

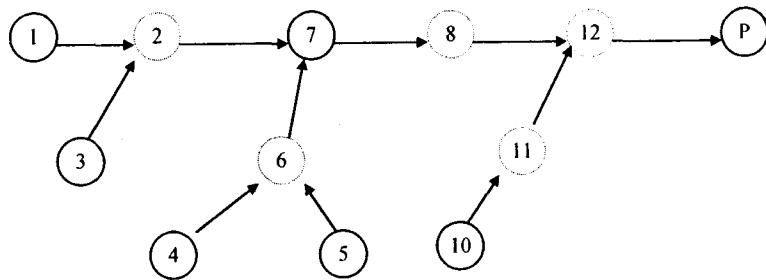


그림 2. BOP에 의한 자재 및 공정의 동시 표현

오히려, BOP는 프로젝트 관리 시스템에서 사용되는 CPM/PERT 네트워크와 유사한 개념이며, 하나의 고객 주문에 대하여 정의된 BOP는 그 주문에 대한 CPM/PERT 네트워크가 된다. 프로젝트 관리시스템과 BOP 기반의 생산일정관리 시스템을 비교하면 다음과 같다.

- 판매주문에 대응하는 하나의 생산지시가 프로젝트관리시스템에서 말하는 하나의 프로젝트에 해당된다.
- 생산지시가 실제 실행될 때 거쳐야 하는 각 공정이 프로젝트의 액티비티(activity)에 해당한다.
- 한 제품에 대하여도 여러 생산지시가 동시에 존재할 수 있다. 이럴 경우 각 생산지시마다 BOP를 따로 구성하지 않고, 대상 제품의 BOP를 이용하여 각 생산지시별(또는 주문별) BOP가 자동 생성된다. 또, 동일한 구조라 할지라도 생산지시의 수량에 따라 대응되는 액티비티의 속성을 달라진다.
- 주어진 시점에 다수의 생산지시가 존재하는 것이 보통이며, 현재 알려져 있는 생산지시(주문)들이 전부가 아니라, 시간이 지남에 따라 계속 새로운 생산지시가 생겨난다. 즉, 일반적인 프로젝트 관리에서와는 달리 계획 대상기간이 고정되어 있지 않고 이어져 움직인다. 또한, 다수의 생산지시는 한정된 자원을 공유한다.
- 보통 고객의 주문은 완료일(납기일)이 미리 지정되어 있으며, 생산 일정계획을 통하여 이를 맞추려 노력해야 한다. 따라서 주공정(Critical Path) 상에 있는 액티비티라 하더라도 여유—납기일 대비—가 있을 수 있으며, 일회성 프로젝트관리에서는 여유가 없는 공정이 주공정으로 정의되므로 주공정의 여유는 허용되지 않는다.

이러한 BOP에 대한 데이터 모델(data model)은 다음과 같다. 여기에서 제시한 것은 품목에 대한 BOP이며, 생산지시별 BOP는 이 외에도 생산지시의 일정계획 및 진도관리를 위한 다수의 속성이 추가되어야 한다. 품목별 BOP를 구성하는 주요 실체는 다음과 같다.

① 단위 공정

품목이 거치는 각 단위 공정(액티비티 또는 생산관련 활동)에 대한 정보를 표현하는 실

체로서, 품목별로 공정코드, 공정설명, 구분(사내, 외주 등), 작업장(또는 외주처), 준비시간, 단위소요시간 등의 정보를 갖는다.

② 공정 관계

공정 간의 선후관계를 정의하는 실체이며, 각 (단위) 공정에 대한 선행공정, 후행공정 및 이들과의 관계—FS(finish-to-start), FF(finish-to-finish), SS(start-to-start) 등—와 단위 지연시간 등의 정보를 갖는다[5].

③ 공정 소요 자재

각 단위 공정에서 필요로 자재의 종류와 수량 및 소요시점에 관한 정보를 나타낸다. 만약, 인력 및 치공구 등 일반적인 소요 자원에 대한 정보까지도 표현하고자 한다면 공정소요자원 실체로 확장해야 할 것이다.

위의 주요 실체별 관계는 다음의 그림 3과 같이 표현이 가능하며, 실제 시스템 구현을 위해서는 보조 실체 및 관계가 추가된다.

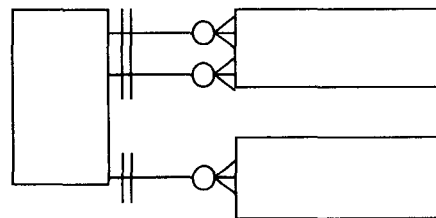


그림 3. BOP 실체 관계도

생산지시별 BOP는, 위에서 언급한대로, 품목(제품)별 BOP를 생산지시별로 전개한 것 외에도 각 공정별 일정계획 및 진척 보고를 위한 다양한 속성이 추가되지만 기본적 관계는 변화되지 않는다. 생산지시별 BOP와 관련된 실체의 주요 속성이 표 1, 2, 3에 요약되어 있다.

표 1. 생산지시 BOP 공정 실체 주요 속성

생산지시 BOP 공정
생산지시번호
제품번호 (최종 제품의 품목번호)
공정번호
공정구분
표준사용작업장코드
지시수량
공정준비시간
표준소요시간
목표착수일 (target start date)
목표완료일 (target finish date)
진행상태 (미착수, 진행중, 완료, 마감 등)
Scheduled Start
Scheduled Finish
Scheduled Duration
Scheduled Float (BLF-SF)
Baseline Earliest Start
Baseline Earliest Finish
Baseline Latest Start
Baseline Latest Finish
Baseline Total Float
Baseline Free Float
완료수량
실제준비시간
실제소요시간
예상잔여시간
실제착수일자
실제완료일자
공정진척도(%)
작업우선도 (사용자지정)
예상비용(인건비, 자재비, 간접비 등)
실제투입비용(노무비, 자재비, 간접비 등)

표 2. 생산지시 BOP 공정관계실체 주요속성

생산지시 BOP 공정관계
생산지시번호
제품번호 (최종 제품의 품목번호)
선행공정번호
후행공정번호
관계구분(FS, FF, SS)
표준지연시간 (공정간 운반 시간 등)
실제지연시간

표 3. 생산지시 BOP 공정소요자재 주요속성

생산지시 BOP 공정소요자재
생산지시번호
제품번호 (최종 제품의 품목번호)
공정번호
소요자재코드
진행상태 (미착수, 착수, 완료, 마감)
예상소요수량
예상소요일자 (스케줄링에 의하여 결정)
실제투입수량 (진척보고에 의하여 갱신)
예상투입비용
실제투입비용
실제투입일자(최초 및 최종)

3. BOP 를 이용한 일정계획 절차

본 연구에서는 앞에서 논의된 생산지시별 BOP 자료와 각 작업장(설계부서 포함)의 생산능력에 관한 자료를 이용하여 유한능력 일정계획(finite-capacity scheduling)을 수립하는 방안을 개발하였다. 이러한 전체 일정계획은 크게 두 단계로 나뉘어 진행되며, 첫째 단계에서는 작업장의 능력을 고려하지 않고 생산지시의 목표완료일을 기준으로 각 공정(액티비티)별 기준일정(baseline schedule)을 결정하며, 둘째 단계에서는 실제 생산설비 및 기타 자원의 가용성을 검토하여 각 공정별로 실현 가능한 일정을 정한다. 첫째 단계를 기준일정계획(baseline scheduling), 둘째 단계를 자원일정계획(resource scheduling)이라고 부르기로 한다.

기준일정계획은 CPM/PERT의 일정계획과 절차가 동일하므로 자세한 내용은 생략하며, 이 계획에 의하여 표 1에 표시된 속성 중 모든 기준일정 시각(baseline schedule dates)이 결정된다. 자원일정계획에서 중요하게 사용되는 여유(float)는 기준일정계획 후 다음과 같이 계산된다.

- 총여유(baseline total float)
가장 늦은 착수시각과 가장 이른 착수 시각의 차이이며, 공장월력(shop calendar)를 이용한 실제 유효 작업시간으로 표현된다. 만약 목표완료일이 설정되어 있고 이를 맞추기가 불가능할 경우에는 음의 총여유가 발생한다.
- 자유여유(baseline free float)
가장 빠른 완료시각(the earliest finish)과 후행 공정의 가장 빠른 착수시각(earliest start) 중 가장 빠른 것과의 차이를 말하며, 보통 목표완료시기가 설정되지 않은 경우 총여유보다 작은 값이며 음수가 될 수는 없다.

본 연구를 통하여 개발된 자원일정계획 방법은 자원의 가용성 검토를 위하여 생산현장을 시

물레이션해 나가며, 각 단계별로 적절한 휴리스틱을 사용한다. 따라서 최적해를 보장하는 유한능력 일정계획 기법은 아니며, 효율적인 정보시스템의 구축 관점에서 직관적인 휴리스틱의 사용과 함께 일정계획에 필요한 시간을 단축하는데 주안점을 두고 개발한 기법이다.

본 연구에서 채택한 자원일정계획의 개략적 절차는 다음과 같다.

[단계 0] 자원일정계획 준비

우선 자원일정계획의 대상 생산지시 BOP에 대하여 기준일정계획이 완료되었는지 확인하고 필요할 경우 기준일정계획(총여유 및 자유여유 시간 계산 포함)을 수행한다.

또한, 모든 작업장에 소속된 장비에 대한 가용시간(available time)—장비에 대한 시물레이션 시계(simulation clock)의 역할을 함—을 일정계획 기준시간으로 설정한다.

[단계 1] 자원할당 후보 공정목록(candidate activity set) 초기화

자원 할당이 가능한 대상 공정(candidate activity) 목록을 구성한다. 여기서 공정은 생산지시 BOP 공정(표 1 참조)을 말한다. 초기 목록에는 현재 진행 중인 공정, 선행공정이 완료되었거나 지시 후 최초 공정이 포함된다.

[단계 2] 종료 조건

Candidate activity set에 공정이 하나도 포함되어 있지 않으면 자원일정계획 절차는 종료된다.

[단계 3] 자원할당 대상 공정 선정

Candidate activity set의 작업 중에서 우선순위가 가장 높은 액티비티(즉, 공정)를 선택한다. 우선순위는 다음의 규칙을 순서대로 적용하여—상위 규칙의 결과가 동일할 경우만 하위 규칙이 적용됨—결정하는 것을 기본으로 하되 이러한 규칙의 적용 순서는 사용자에 의하여 일정계획을 수행할 때마다 변경이 가능하다.

- ① 현재 진행 중인 공정

- ② 총여유(total float)가 작은 공정
- ③ 사용자가 지정한 우선도가 높은 공정

[단계 4] 장비 선택 및 일정계산

단계 3에서 선정된 공정에 대하여 이에 필요한 장비(자원)를 할당하고 이 공정의 일정(scheduled start, scheduled finish)을 계산한다.

대상 공정을 지원하는 장비가 복수인 경우 가능 종료시간(possible finish)이 가장 빠른 장비를 선택하며, 이렇게 구한 예상종료시간이 이 공정의 scheduled finish가 되며 이것으로부터 예상작업시간을 빼면 scheduled start가 얻어진다.

일정계산이 완료된 공정을 candidate activity set에서 제거하고 이의 모든 후행 공정을 candidate activity set에 추가한다.

[단계 5] 장비의 유휴시간 활용

단계 4의 결과 장비의 예상 유휴시간(projected idle time)이 발생하며 이 기간 동안 처리 가능한 공정이 candidate activity set 내에 있다면, 이들 중 작업시간이 가장 큰 것에 해당 설비를 할당하며, 이 공정의 시작시간 및 완료시간을 계산한다.

이렇게 처리된 공정을 candidate activity set에서 제거하고 이의 모든 후행 공정을 candidate activity set에 추가한다.

유휴시간이 없거나 해당 공정이 없으면 단계 6을 수행한다.

[단계 6] 장비 가용시간 변경

일정계획의 결과를 반영하고 다른 작업에 의한 중복 할당을 방지하기 위하여 장비의 가용시간을 단계 4에서 결정된 scheduled finish로 변경한 후 단계 2로 돌아간다.

위의 절차는 일정계획의 기본 골격으로서 목적에 따라 다른 규칙이 추가될 수 있다. 예를 들면, 대체공정까지 자동 계획하고자 한다면, 단계

4의 장비(설비) 선택규칙을 확장하여 표준 장비를 사용하여 원하는 일정에 작업을 완료하는 것이 불가능할 경우에는 즉시 대체 가능 설비까지를 함께 고려하여 가장 빨리 작업을 완료할 수 있게 해 주는 장비를 선택하게 하면 된다. 또한, 단계 3의 우선순위 규칙도 명백하게 많은 대안이 제시될 수 있다. 그러나, 본 연구에서는 납기 준수를 중요시하는 관점에서, 총여유(total float)가 작은 것 우선으로 하였으므로, 네트워크의 주경로(critical path) 상에 있는 공정들이 그렇지 않은 공정들보다 먼저 설비에 할당되게 된다.

4. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 ETO 유형의 제조업에 적용 가능한 생산일정계획 기법을 BOP를 핵심 기초 자료로 하여 개발하였다. 이것은 고객주문이나 생산지시별로 독립된 프로젝트인 것처럼 관리할 수 있게 하며, 또한 자원일정계획을 이용하여 현장 상황을 고려한 현실적인 일정계획의 수립이 가능하다. 특히, BOP가 설계활동과 같이 BOM에는 표현될 수 없는 활동도 표현이 가능하므로 전체 일정의 효율적 관리를 도모할 수 있다[3].

그러나, 본 연구에서 제시하는 기법이 최적해를 보장하지 않는 만큼, 산출된 일정의 품질, 일정계획에 걸리는 시간 등 다양한 관점에서 여러 다른 기법과의 비교연구가 이루어져야 하며, 특히 TOC(Theory of Constraints) 개념[2]을 활용하는 기법과의 비교분석은 필수적이라 할 것이다. 앞으로의 연구에서는 생산현장의 애로공정을 파악하고 이를 가장 효율적으로 활용하는 개념의 유연능력일정계획 기법을 개발하고자 하며 이 결과를 본 연구에서 개발한 일정계획 기법과 다양한 목적함수의 입장에서 비교하고자 한다.

참고문헌

- (1) Buzacott, J.A., A Perspective on New Paradigms in Manufacturing, *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 14, No. 2, 1995.
- (2) McMullen, Jr., T.B., *Introduction to the Theory*

- of Constraints Management System*, CRC Press, 1998.
- (3) Sharma, K., Adding Intelligence to MRP Systems, *APICS—The Performance Advantage*, March 1993.
 - (4) Vollmann, T.E., Berry, W.L., and Whybark D.C., *Manufacturing Planning and Control Systems*, 4th ed., McGraw-Hill, 1997.
 - (5) Bursh, D.H., *The New Critical Path Method: The State-of-the-Art in Project Modeling and Time Reserve Management*, Probus Publishing Co., 1991.