

주문형 생산에서의 실시간 납기 산정

홍태영*(성균관대 대학원), 강무진(성균관대 기계공학부), 박세형(KIST), 이상봉(LG 전자)

Real-time Delivery Estimation in Build-to-order Manufacturing

T. Y. Hong*(Graduate School, SKKU), M. Kang(Mechanical Eng. Dept. SKKU),
S. H. Park(KIST), and S. B. Lee(LG Electronics)

ABSTRACT

Leading companies have embraced the new economy with new and innovative BTO models. Instead of conventional company-oriented manufacturing scheduling, customer-oriented scheduling method attracts more and more attention. To evaluate the delivery of customer order in advance, the real production capacity as well as procurement lead time should be taken into account. This paper describes a quasi-real-time order delivery estimation system using TOC(Theory of Constraints) based scheduling method.

Key Words : Build-to-order(주문형 생산), Real-time Delivery Estimation(실시간 납기 산정), Theory of Constraint(계약 이론), DBR Scheduling(Drum-Buffer-Rope 스케줄링), ATP(Available to Promise)

1 서론

얼마 전까지만 해도 물건을 만드는 방법은 주문 생산 아니면 대량 생산 둘 중의 어느 하나가 전부였다. 그런데 불과 십 여년 사이에 상반되는 두 가지 생산 방식이 서로 융합되기 시작했다. 이제 이런 현상은 제품의 생산뿐만 아니라 다른 영역으로까지 확산되고 있다. 우리는 고객화된 제품, 서비스의 대량 생산, 유통, 배달을 경험하고 있다. [1]

이러한 주문 생산과 대량 생산이라는 양 측면에 공존하는 파라독스를 포용하고자 하는 생산 체계를 주문형 생산(Build to Order)라고 하며 주문형 제품 생산 기술 구현을 위해서는 PDM(Product Data Management), CRM(Customer Relationship Management), Product Platform의 개발, DMU(Digital Mockup), 실시간 납기 산정(Real-time Delivery Estimation) 등의 기반 기술이 뒷받침 되어야 한다. 이중 실시간 납기 산정은 고객에게 좀더 정확하고 신속한 주문 약속(Order promising)을 하는 기능으로 주문형 생산에서의 고객 관리와 우수 고객의 확보라는 측면에서 중요한 역할을 한다. 기존의 APS(Advanced Planning & Scheduling) 상용 패키지에 실시간 납기산정의 기능이 구현되고 있지만 이것은 고가의 비용을 지불해야 할뿐만 아니라 생산 체제와 기업의 환경에 맞

게 다시 Customizing 하는 과정을 거쳐야 하므로 BTO 환경에 최적화된 Solution 은 될 수 없다. 이런 측면에서 주문형 생산시스템에 적합한 실시간 납기 산정의 기능은 시스템의 구현에 앞서 이루어져야 할 중요 과제이다. [2]

2 납기 산정 방법론

어떠한 생산 방식에 있어서든 고객에게 제품이 언제쯤 배송이 될지를 약속해 주는 납기 약속(Order Promising)은 고객에게 신뢰성을 심어주고 또 다른 구매 기회를 창출한다는 측면에서 중요한 역할을 한다. 물론 생산 방식에 따라 어느정도에 차이는 있겠지만 전통적으로 간단하다는 측면에 있어서 ATP(Available to Promise) Rule을 사용한다. 하지만 ATP는 제품의 재고 수량의 여부와 Leadtime offsetting 만을 활용하여 납기 약속을 하므로 신뢰성 있는 결과를 얻기가 힘들다. 또한 완성품(Finished good)상태로 재고를 유지 하지 않는 MTO(Make to Order)나 BTO(Build to Order)등의 생산 환경에서는 더욱더 결과값을 예측하기란 어렵다. 따라서 최근에 들어서는 프로젝트 관리 기법중 하나인 CPM(Critical Path Method)를 응용한 방법이나 APS(Advanced Planning & Scheduling) Engine을 활용

한 납기 산정 방법 등이 많이 부각되고 있다.

2.1 ATP Rule

ATP는 MPS(Master Production Schedule)의 정보를 이용하여 현재 Order를 몇 개 받았으며 다음 MPS기간까지 Order를 몇 개 더 받을 수 있는가를 계산함으로써 생산 시기와 재고 정보를 통해 고객의 주문이 언제쯤 약속될 수 있는지를 나타낸다.

$$ATP = OH + MP_k + \sum CO_j, (k \leq j \leq k+1)$$

where OH: On-hand balance in the 1st period

MP_k: Master production schedule in the kth period

CO_j: Quantity of customer orders in the jth period

예를 들어 고객 주문량이 첫 주에는 210개, 둘째 주에 180개이고 현재 할당되지 않은 재고가 350개 있다고 하자. 회사는 3주차부터 Lot size 400으로 생산을 한다고 할 때 현재 가지고 있는 재고를 가지고 첫 주와 둘째 주의 주문 390개 중 40개는 주문 약속을 해줄 수 없다. 따라서 나머지 40개의 주문은 3주차 이후에나 주문 약속을 해줄 수 있다.

그러나 ATP 같은 Order Promising 방법은 Available Capacity와 공급망(Supply Chain)에서의 자재 공급의 제약등의 조건을 무시함으로써 Infeasible한 견적 가능성을 제시한다. 실제 생산 환경의 Resource는 유한하므로 위와 같은 Rule만을 적용해서는 Reliable한 결과값을 얻을 수 없다.

2.2 CPM을 활용한 납기 약속

CPM(Critical Path method)은 프로젝트 완성 일자를 분석하기 위한 네트워크 스케줄링 기법으로 프로젝트의 활동을 계획하고 통제하는데 사용된다. 프로젝트의 주 경로(Critical Path)는 프로젝트를 완성하는데 필요한 Job 또는 활동의 순서로써, 프로젝트를 완료하기 위한 총 시간은 주 경로상에 있는 개별 활동들을 완료하기 위해 소요되는 시간의 합과 같다. 그래서 주 경로상의 한 개 또는 그 이상의 Job을 완성하는데 걸리는 시간이 증가하면 프로젝트의 총 시간이 증가된다.

Fig.1에서 볼 수 있듯이 각각의 부품들은 다른 공정들의 경로를 가지고 있다. 각 부품의 공정 경로는 Arrow로 표시하였으며 가장 긴 Lead Time을 Critical Path를 Thick Arrow로 표시하였다. 즉 납기 약속을 위해서는 Critical Path에 있는 마지막 공정이 언제쯤 끝나는지를 계산한다면 고객이 주문한 제품이 언제쯤 완성될 수 있는지를 계산할 수 있

다.

그러나 CPM은 단순히 공정의 선후관계(Precedence)만을 고려하여 작업의 시작일과 종료일을 통해 계산을 하므로 정확한 납기 약속의 기능을 수행할 수 없다. 다시 말해서 현장에서 생길수 있는 기계의 고장내지는 예외 요소등이 고려되어 있지 않으며 ATP Rule과 마찬가지로 Infinite Capacity로 가정하여 스케줄링하며 공급망에서의 자재 조달 계획, 배송 계획 등의 문제에 대해서는 고려되지 않고 있다.

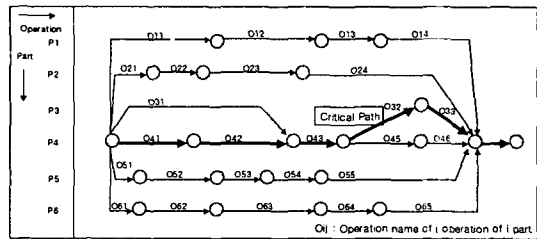


Fig.1 Example of Process Network

2.3 APS 시스템에서의 납기 산정

APS(Advanced Planning & Scheduling)는 유한 능력 스케줄링 시스템으로 폭넓은 기능을 갖고 있다. 기존의 ERP가 업무를 처리해 기록하는 트랜잭션 처리 시스템이라 한다면, APS는 의사 결정의 해를 찾는 시스템이다. APS Engine은 크게 세 가지 기법이 사용된다. 첫째 CSP(Constraint Satisfaction Problem)을 활용한 엔진으로 n개의 Variable(Vi)과 각각의 변수가 가질수 있는 유한 이산 Domain(Di) 그리고 변수들의 관계를 나타내어주는 m개의 Constraint(Cj)들로 구성하여 유한 이산 Domain 내에서 문제에 주어진 모든 제약 조건을 만족하는 해를 찾는 기법이다. 즉 납기를 산정하기 위한 Constraints들을 설정하고 고객의 주문을 변수로 설정하여 각 변수가 주어진 모든 제약 조건을 만족하도록 해를 찾는다. 둘째로 Genetic Algorithm을 사용하여 해를 찾는 기법이다. 요구 사항을 설정하고 초기해를 구성하여 Genetic Operator를 통해 해를 유전, 변환시켜 최적해를 찾아 나가는 방법으로 최적의 납기일을 산정하기 위해 작업의 순서 등을 Random한 초기해로 구성하여 평가 함수를 통해, 해를 평가하여 최적의 납기일을 계산한다. 마지막으로 최근 들어서 각광받고 있는 TOC(Theory of Constraint) 기반의 Engine이다. 이것은 제약이 될 수 있는 요소를 전략적으로 관리함으로써 전체의 System을 동기화 하는 방법으로 납기에 가장 큰 영향을 미칠수 있는 Bottleneck에 관한 스케줄을 작성하여 납기 일자를 산정한다. 어떤 Logic의 APS

시스템이건 자체적으로 Order Promising 의 기능을 가지고 있다. APS 의 경우 MRP 나 ERP 시스템과는 달리 납기 산정을 위한 스케줄링에 있어서 Resource 의 Capacity 를 고려하며 Memory Resident 계산 방식을 사용함으로써 보다 정확하고 빠른 고객 요구 납기를 산정한다.[3]

그러나 APS 는 생산 계획을 위한 도구로서 납기 산정시 너무 많은 Data 와 Constraints 를 고려한다. Web 기반의 주문 약속을 이행하는 주문형 생산 시스템에서 사용하기에는 Web 상의 Traffic 과 Data Transaction 을 고려했을 때 계산 시간이 너무 오래 걸리는 단점이 있다.

3. 실시간 납기 산정 알고리즘

본 연구에서는 납기 산정을 위해 TOC 이론을 바탕으로 한 DBR 스케줄링 엔진을 활용 하였으며 신뢰성 있는 납기 약속을 위해 자재 결품시 자재 조달 과정을 고려한 스케줄링 알고리즘을 제안하였다. 주문형 생산 환경에서의 실시간 납기 약속을 위한 스케줄링은 다른 생산 환경에서의 스케줄링의 목적과는 다르다. 주문형 생산의 경우의 구매는 주로 웹을 통해 이루어지며 납기 약속 또한 같은 환경에서 이루어진다. 빠른 응답을 요구하는 환경에서 고객은 납기 약속을 받기 위해 몇 분 이상의 시간을 기다려주지 않는다. 납기 약속은 최소한 수 초 이내에 이루어져야 한다. 그런 이유로 주문형 생산에서는 가장 중요하고 간단한 제약 조건만을 고려하여 스케줄링하고 고객이 원하는 납기를 맞춰 줄 수 있는지 없는지를 판단해서 맞춰 줄 수 없는 경우에는 빠르게 대안을 제시해 주어야 한다. 뿐만 아니라 정확한 납기를 위해서는 자재 부족시 공급 자로부터 자재가 도달하는 데까지 걸리는 시간 또한 정확히 계산하는 과정이 필요하다.

3.1 제약 이론 기반의 스케줄링

제약 기반의 실시간 납기 산정의 기본은 제약 이론의 DBR 스케줄링으로 한다. 즉 제약을 찾아내어 그것을 철저히 활용하고 다른 공정을 제약의 스케줄링에 종속 시키는 것이다.

우선적으로 스케줄링을 위해서는 생산 설비의 배치에 대한 정보(공정 배치도)를 가지고 있어야 하고, 자재 목록표와 공정 배치도를 이용해 제품별 공정 흐름(공정 흐름도)을 분석해야 한다. 공정 흐름에 대한 정보를 확인한 후에는 시스템 내의 능력 제약 자원(Capacity Constraint Resource)을 찾아야 한다. 능력 제약 자원은 공정 흐름을 기준으로 고객의 주문 정보를 이용해 각 자원별 부하량을 계산하여 자원들 중 부하량이 가장 높은 자원을 지정하는

것이다. 이때 보다 신뢰성있는 스케줄링을 위해서는 Factory Status 정보를 가지고 실질적인 Load 를 반영하는 과정이 필요하다. 현재 각 기계의 Load 는 주문 정보만을 통해서 부여되고 있지만 현장 작업장의 기계들은 Backlog 나 Back Order, Urgent Order 등에 의해 계획되지 않은 부하가 걸려있을 수 있다 이러한 실제 부하(Real Load)를 반영하여 능력 제약 자원을 찾은 다음에는 이것을 중심으로 주문 제품의 생산 순위를 결정하고 각 부품의 원자재 투입 시기를 결정한다. 원자재 투입 시기는 능력 제약 자원의 작업 시간을 중심으로 제약 자원의 로프(Rope)길이 만큼 빼준 시간이 되는데, 여기서 로프의 길이는 공정 작업 시간과 보호 버퍼의 합으로 나타낼 수 있으며, 보호 버퍼의 길이는 최초 공정 작업 시간의 3~5 배의 길이로 설정하고 추후 개선 과정을 통해 줄일 수 있다.[4,5]

능력 제약 자원의 공정 작업 시간과 원자재의 투입 시기가 결정되면 이들을 이용하여 제약 자원의 주 생산 계획을 수립한다. 실제 능력 제약 자원에 대한 생산 일정 수립은 앞에서 설명한 방법으로 실시하고, 비 제약 자원들에 대한 생산 일정 수립은 제약 자원에 일정에 맞추어 적절한 우선 순위 규칙을 마련하여 적용한다.

3.2 자재 조달 상황을 고려한 스케줄링

납기를 산정하는데 있어서 간과하기 쉬운 것 중 하나가 바로 자재 결품 시에 자재 조달 시간이다. 생산 공정 중에 가공해야 할 자재가 없다면 더 이상의 제품 생산은 이루어 질 수 없다. 그렇다면 고객은 주문한 제품의 자재가 도달하여 다시 가공이 이루어 질 때까지의 시간만큼을 더 기다려 주어야 한다. 이러한 시간 또한 정확한 납기 산정을 위해서는 계산 되어야 한다. Fig.2 은 자원 제약과 자재 조달의 제약을 받는 생산 공정의 간단한 모형이다.

Fig.2 에서 Process3 은 자재 결품으로 인해 고객 주문시 납기를 Delay 시키는 요소로서 작용한다. 따라서 이러한 상황을 납기 산정에 반영하기 위해서는 다음과 같은 계산 과정이 필요하다.

- Step1. 고객 주문을 통해 제품의 재고를 검색
- Step2. 자재 결품 여부를 판단
- Step3. Process n 에서 Part m 이 결품시 BOM 과 Routing 정보를 통해 각 공정에서의 부품가공의 Precedence 를 고려(단, n 은 Non-available Process Number, m 은 Lacking Part 의 Number)
- Step4. Process 1,2,3...(n-1)까지의 Part 1,2,3...(m-1)의 Standard time 을 표준 DB 로부터 검색(단, Process 와 Part 의 Sequence 는 적은 정수순으

로 가공, 투입된다.)

Step5. 공급 대기 시간 계산

$$Supply\ Waiting\ Time = RT(m,j) - \sum \sum ST(i,k)$$

where $RT(m,j)$: Replenishing leadtime of part m on reordering date j

$ST(i,k)$: Standard time of operation i of part k
($i=1,2,3\dots n-1, k=1,2,3\dots m-1$)

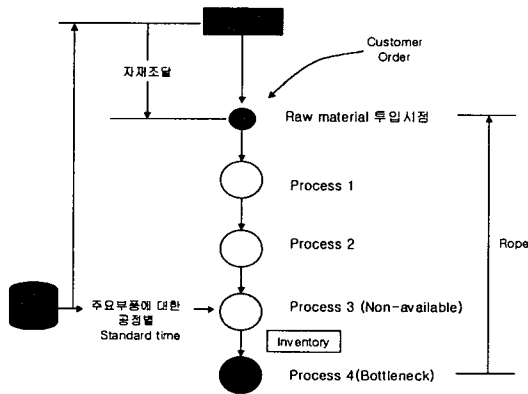


Fig.2 자재 조달의 제약을 받는 생산시스템 모델

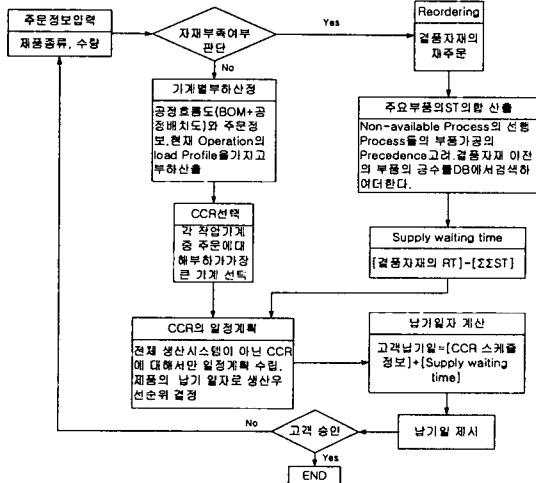


Fig.3 제약 이론 기반의 실시간 납기 산정 알고리즘

3.3 알고리즘

다음 Fig.3의 알고리즘은 위의 4.1 절의 제약 기반의 스케줄링 방법과 4.2 절에서 언급했던 자재 조달 상황을 고려한 스케줄링 방법을 Link 하여 하나의 Flow Chart로 표현한 것이다. 고객의 주문 정보는 주문 DB로부터 Standard time 과 현장의 Load Profile은 각각 표준 DB와 공정 DB로부터 가져온

다. 본 연구에서 제안하는 실시간 납기 산정을 위한 스케줄링을 단계별로 정리하면 다음과 같다.

Step1. 적용 시스템의 공정 분석

Step2. 재고 정보를 통한 자재 결품 여부를 판단

Step3. 고객 주문과 현장에서의 Load Profile을 고려하여 다른 능력 제약 자원 발견

Step4. 스케줄링 수행

Step5. 능력 제약 자원의 주생산 계획 및 일정 수립

Step6. 납기일 제시

4. 결론

본 논문에서는 주문형 생산의 주요 모듈중 하나인 신뢰성 있는 실시간 납기 산정 알고리즘을 제안하였다. 이것은 TOC의 DBR 스케줄링을 인용하여 생산 스케줄링 수립시 실시간으로 고객의 요구를 반영하며, 전체 생산에 있어서 제약이 되는 공정을 전략적으로 이용하였다. 능력 제약 자원(Capacity Constraint Resource ; CCR)은 단순한 버퍼 관리만으로도 전체 생산시스템의 스케줄링을 수립할 수 있고 시스템의 변동 상황에도 쉽고 빠르게 대처할 수 있다는 장점이 있다. 또한 단순한 납기 약속만을 위한 스케줄링이 아닌 재고 검색을 통한 자재 결품시 자재 조달 과정에서의 Supply Waiting Time과 현재 공정의 Load Profile을 적용함으로써 신뢰성이 높은 알고리즘을 제시하였다.

후기

본 연구는 과학기술부 주력산업의 고부가가치화 사업의 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

1. Laetitia Radder and Lynette Louw, "Mass customization and mass production", the TQM Magazine, Vol.11, No.1, pp. 35-40, 1999.
2. 홍태영외, "주문 맞춤형 생산시스템에의 접근 방법" 한국 정밀공학회 춘계학술대회논문집, pp. 587-590, 2002.
3. Meyr, H.Wagner, M., Rohde, J., "Structure of Advanced planning Systems. In:stadtler H.,Kilger, C.(Eds.)", Supply Chain Management and Advanced Planning, Spring, 2001, Berlin
4. 정남기, "TOC 제약경영", 대청 미디어, 1999.
5. Schragenheim, E. and Ronen, B., "Drum-Buffer-Rope Shop Floor Control, production and Inventory Management Journal, 31(3), 18-22, 1996