

공급망상에서 CTP 알고리즘을 이용한 납기확약 시스템 모델링

- Modeling Due-date Promising system using CTP Algorithm in SCM Environment -

최진*, 박상민*, 남호기*, 이종천*

Abstract

This Study will introduce the concept of ATP(Available To Promise) and CTP(Capable to Promise) through the existing study ,the process analysis of CTP(Capable to Promise) ,the modeling of algorithm and the embodiment of system. This research considers the environment of using Job-Shop method. The CTP algorithm models espically through using LPST(Latest Possible Start Time) and EPST(Earliest Possible Start Time) method. It is important part of executing CTP(Capable to Promise). The CTP(Capable to Promise) modeling and implementing system develops to system which is capable to implement in the various business environment through addational and continuous research.

1. 서론

2000년대는 변화의 시대라 말할 수 있다. 기업과 기업, 기업과 고객, 이들 사이의 여러 구성요소(stage), 그리고 제품이 얽혀져 있는 공급망이 변화하고 있다는 것을 의미한다. 좀더 정확한 표현을 빌자면 공급망을 바라보는 관점과 이에 대한 관리가 변화했다고 할 수 있다. SCM에 대한 요구가 증가하는 가운데 그 기능 중의 하나인 납기확약에 대한 연구도 늘어나고 있는 실정이다. 납기확약이란 고객과의 접점에서 협상을 통해서 납기일에 대한 약속을 해주는 것을 의미하는데, 현재 다수의 SCM 솔루션에서 이 기능을 살펴 볼 수 있으나 실제 현업에서 성공적으로 사용되는 예는 거의 발견하기 힘든 상황이다. 여기에는 두 가지 이유를 들 수 있는데, 하나는 공급망상의 효율적이고 실시간적인 정보시스템 부재로 인한 입력데이터의 부정확성 들 수 있으며, 하나는 생산현장의 가용능력¹⁾을 정확히 반영하지 못하기 때문이다. 생산현장의 가용능력을 체크하여 고객에게 납기확약을 해주는 알고리즘을 CTP²⁾라 한다. ATP가 재고를 보유하는 품목

본 연구는 한국과학재단 지정 인천대학교 동북아전자물류연구센터의 지원으로 연구되었음.

* 인천대학교 산업공학과

1 가용능력 : Available Capacity

2 Capable-to-Promise : 납기확약 (ATP와는 구별된다.)

(Make-to-Stock)에 대하여 주문량만큼의 물량이 어느 창고에 있는지 또는 이미 확정된 생산스케줄에 따라 언제 생산될 예정인지를 신속하게 검토하여 고객에게 가능한 납기일을 제공하는 것과 다르게 CTP는 재고를 유지하지 않는 수주생산품(Make-to-Order)에 대하여 만일 주문량을 생산스케줄에 입력한다면 언제 완제품에 대하여 납품이 가능하겠는지를 신속하게 조회하는 것이다. 현재 CTP는 업종별 생산현장의 프로세스를 정확히 반영하기 힘들기 때문에 지속적인 연구가 필요하며, 우리나라 기업들이 글로벌 경쟁시대에 살아남기 위해서는 반드시 필요한 연구일 수밖에 없다. 본 논문에서는 MTO 환경에서 Job Shop 방식을 사용하는 기업 환경에 적합한 CTP 엔진에 대한 알고리즘 설계를 통해 보다 향상된 납기확약 시스템을 모델링 하는데 초점을 맞추고 있다.

2. ATP와 CTP의 이론적 고찰

2.1 ATP의 개요

ATP란 고객과의 접점에서 주문 접수 시 고객이 원하는 제품의 수량에 대해 납기 가능 일을 제시하고 확약해 주는 시스템으로 기준생산계획³⁾에 의해서 그 가용량이 결정된다. 예측에서 발생하는 미래의 불확실한 고객주문을 주 생산일정의 납기확약정보를 이용하여 확실한 고객의 주문으로 관리할 수 있게 된다. 따라서 이러한 ATP 정보는 고객으로부터의 주문을 약속하고, 고객주문을 생산과 연결시키며, 생산 완료 후 조달과 연결시킨다.

2.2 CTP의 개요

CTP는 ATP가 계획생산(Make-to-Stock) 환경에서 사용되는 것과 다르게 다품종의 주문생산(Make-to-Order) 환경에 사용된다. 여기서 다품종 주문생산 방식을 사용하는 기업들의 현황을 살펴보자. 다품종 주문생산 방식의 기업에서는 다수 또는 단일의 생산라인 또는 Job Shop 방식의 Routing을 통하여 다수의 대·소형 고객을 대상으로 다양한 제품을 생산·판매하고 있다. 다양한 고객과 제품은 불확실성의 원인을 제공하고 있으며 이는 안정적인 생산의 장애요인이 되고 있다. 또한 제한된 설비와 자원을 가지고 운영되기 때문에 다양한 제품과 다수의 고객이 제공하는 수요변동에 즉각적이고 빠른 대응이 어려운 실정이다.

3. CTP 주문처리 프로세스

일반적으로 CTP를 통한 가용성 체크는 완제품에 대해서 일정계획을 통한 가용 Capacity와 배송계획에 있어서의 Lead Time을 가지고 수행되게 된다. CTP 실행 결과 Capacity에 여유가 있어 고객이 원하는 날짜에 공급을 해줄 수 있다면 해당 주문에 대한 접수가 이루어지며, 만약 Capacity에 여유가 없다면 최대한 빠른 날짜를 제시하여 고객의 선택을 기다리게 된다. CTP

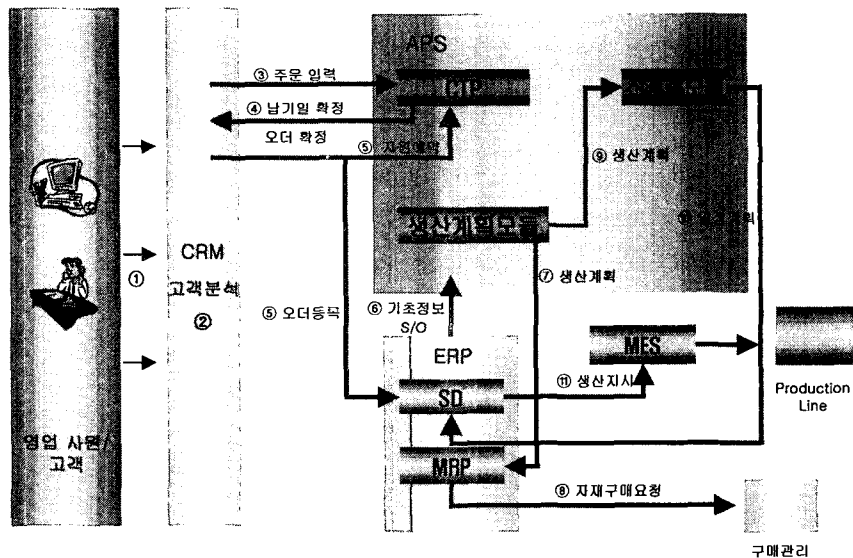
3 Master Production Schedule

를 수행을 통한 주문처리에는 여러 가지 고려사항이 있게 되는데, 다음은 그중 대표적인 것들에 대한 예이다.

- 긴급주문에 대한 수용. 이는 기업에 따라 다른 전략을 가져갈 수 있으나, 다른 주문들의 스케줄에 영향을 미치게 되므로 가급적 긴급주문에 대한 수용이 적어야 한다.
- 확약일에 대한 납기준수. 고객과의 신뢰를 유지하기 위하여 가급적 모든 주문에 대한 납기일을 준수하여야 한다.
- 불가능한 주문에 대한 협상. CTP를 통해 고객 요구일에 납기가 불가능한 주문에 대하여 고객과의 협상을 통하여 최대한 주문을 수령하며, 이를 통해 주문거절에 대한 손실을 최소화해야 한다.
- 생산능력의 적절한 활용. 긴급주문을 수용할 여유능력⁴⁾에 대한 적절한 설정을 통해 최대한 생산능력을 효과적으로 활용할 수 있어야 한다.
- 제약사항에 대한 만족. 생산라인에서 일어나는 여러 제약사항에 대하여 수용할 수 있어야 한다.

3.1 CTP 수행을 위한 Planning System

[Figure-1]은 CTP 수행에 필요한 Planning System 들의 데이터 흐름의 순서를 나타내고 있다.



source : Zionex

[Figure-1] Production Planning & Detailed Scheduling Process for CTP System

4 Idle Capacity

- 1단계 - 고객 또는 영업사원이 웹을 통해 CRM 접속하여 주문을 입력하고 CTP를 요청한다.
- 2단계 - CRM에서는 분석을 통하여 고객 주문에 대한 우선순위를 부여한다.
- 3단계 - CRM을 통한 주문의 우선순위와 함께 주문정보가 APS 시스템에 있는 CTP 엔진으로 전달된 후, 주문에 대한 시뮬레이션이 실시된다.
- 4단계 - CRM을 통하여 고객이나 영업사원에게 납기확약일을 제시한다.
- 5단계 - 고객이 주문을 확정하게 되면 주문 정보가 ERP로 전달되어 주문이 등록되게 되며, 동시에 APS에 전달되어 자원에 대한 예약이 이루어진다.
- 6단계 - ERP에 등록된 주문 정보를 APS로 보내어 생산계획이 수립되도록 한다.
- 7단계 - APS의 생산계획 모듈을 통하여 생성된 기준생산계획은 다시 ERP로 보내진다.
- 8단계 - ERP에서는 APS로부터 온 기준생산계획을 통하여 MRP를 수행하고 자재사용 계획 등을 생성하게 된다. 자재사용계획을 가지고 자재관리 부서에 자재구매요청을 하게 되거나, 공급자와의 연계시스템을 통해 자재사용계획을 전달하게 된다.
- 9단계 - 생산계획 결과를 Scheduler에 전달하여 일정계획을 생성한다.
- 10단계 - APS에서 생성된 일정계획은 다시 ERP로 전해지게 된다.
- 11단계 - 일정계획에 따라서 실행시스템인 MES⁵⁾에 작업지시를 내리게 된다. MES에서는 작업지시에 대한 내용을 현장에 전달하게 되며, 현장에서 수행한 작업성과와 그 밖의 자원 정보 등을 ERP에 피드백하게 된다.

4. CTP 알고리즘

4.1 LPST를 통한 CTP 알고리즘

[Figure-2]는 LPST 방식을 수행하는 Algorithm을 나타내고 있으며, 이 방식은 마지막 공정에서부터 Due date를 시작점으로 첫 번째 공정까지 주문에 대한 작업할당을 수행하는 Backward 방식이다. LPST 방식에서는 다음과 같은 전제 조건을 갖는다.

- * I = 설비에 할당되어 있는 데이터 총 개수(작업개수)
- * i = 한 설비에 할당 되어 있는 작업번호
- * J = Operation 수(Routing 상에 있는 Operation의 개수)
- * j = Routing 순서에 따른 Operation 번호
- * Start = 해당 Resource에서 하나의 주문에 대한 작업 시작시간
- * End = 해당 Resource에서 바로 이전에 수행된 작업의 종료시간

< Basic >

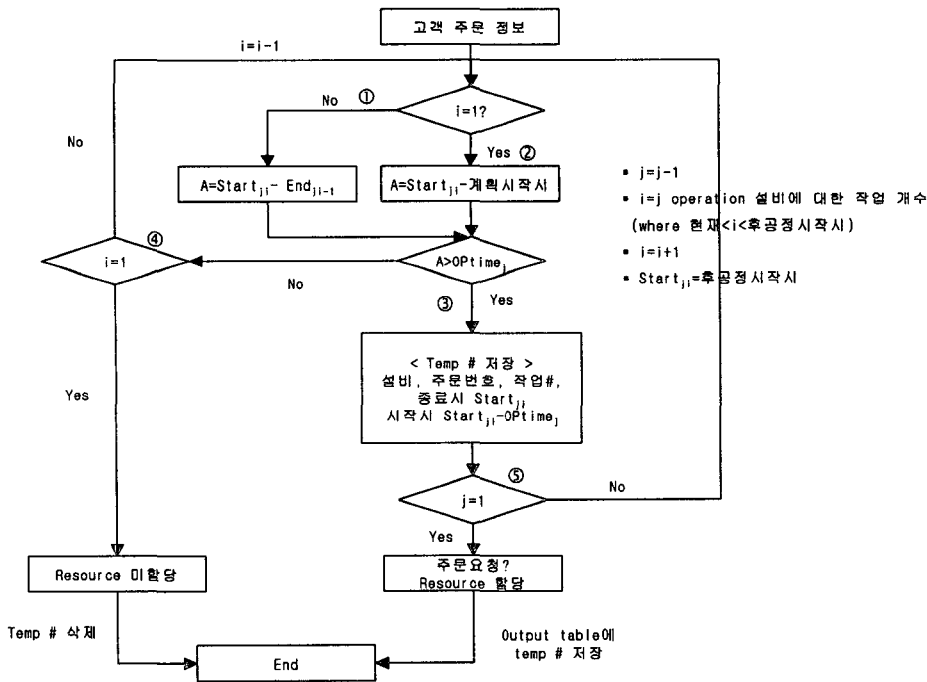
- Start_i = due date(i=I+1인 초기값의 경우에만 해당된다)
- End₀ = 일정계획 구간의 시작시간
- A = Resource의 가용시간
- i = I+1, I, I-1, ..., 1

$$- j = J, J-1, J-2, \dots, 1$$

CTP를 통하여 주문이 입력될 때 주문과 관련된 제품정보, Routing 정보도 ERP로부터 가져오게 된다.

① 이미 주문에 대하여 Routing에 따른 설비들이 할당 되어 있는 상태이며, 마지막 공정의 설비에서 이미 할당 되어 있는 작업의 개수를 분석한다. 여기서 LPST이기 때문에 마지막 공정에 서부터 시작한다.

주문에 대한 작업을 해당 Resource에서 납기일을 중심으로 뒤에서부터 가용능력을 찾기 때문에 $i(i = I+1, I, I-1, \dots, 1)$ 가 1이 되기 전까지는 Due Date($Start_{ji}$)와 이전작업의 종료시간($End_{j,i-1}$) 사이의 가용능력을 구하여 비교한다. 그 결과 할당 가능하게 되면 ③으로 이어진다.



[Figure-2] LPST Algorithm

② i 가 1이 되면 Due Date와 일정계획 구간의 시작시간 사이의 가용능력을 분석하여 Operation 시간과 비교하여 할당 가능하면 ③으로 이어진다.

③ 해당 공정에 대하여 가용능력 중 할당할 부분을 찾게 되면(①,②) 설비, 주문번호, 작업번호, 해당 작업의 종료시간($Start_{ji}$), 시작시간($Start_{ji}-Optime_j$)에 대한 정보를 임시로 저장하게 된다.

④ ①,②의 결과가 할당 불가능하다고 나오게 되면 i 값을 하나 줄여서 이전 작업의 시작시간($Start_{ji}$)과 한 단계 더 이전 작업의 종료시간($End_{j,i-1}$)의 값을 가지고 ①,②를 반복하여 할당할 부분을 찾게 된다. 단 더 이상 비교할 대상이 없게 되면($i=1$) Resource

를 할당하지 못하고 임시 저장된 내용을 삭제하고 CTP 수행을 마치게 된다.

⑤ ③을 수행한 후 더 거쳐야 할 공정이 없게 되면($j=1$) 고객의 주문확정 정보를 입력 받아 Resource를 할당하고 결과 값을 저장한 후 CTP를 종료하게 된다. 반대로 수행해야 할 공정이 남아 있다면($j>=1$) $j-1$ 공정으로 넘어 가며, $j-1$ 공정에서는 후공정(j)의 작업 시작시간이 $Start_{ji}$ 가 되겠다. 그리고 프로세스 ①,②를 다시 수행하는 식으로 전공정의 설비에 주문에 대한 작업을 할당하게 된다.

4.2 EPST를 통한 CTP 알고리즘

[Figure-3]은 EPST 방식을 수행하는 Algorithm을 나타내고 있으며, 이 방식은 첫 번째 공정에서부터 일정계획상 맨 앞에 있는 가용능력을 시작점으로 마지막 공정까지 주문에 대한 작업할당을 수행하는 forward 방식이다. EPST 방식에서는 다음과 같은 전제 조건을 갖는다.

- * I = 설비에 할당되어 있는 데이터 총 개수(작업개수)
- * i = 한 설비에 할당 되어 있는 작업번호
- * J = Operation 수(Routing 상에 있는 Operation의 개수)
- * j = Routing 순서에 따른 Operation 번호
- * Start = 해당 Resource에서 바로 뒤에 오는 작업의 시작시간
- * End = 해당 Resource에서 수행된 작업의 종료시간

< Basic >

- $Start_1$ = 해당 Resource에 할당되어 있는 작업들 중 맨 앞에 있는 작업의 시작시간
- End_0 = 일정계획 구간의 시작점
- A' = Resource의 가용시간
- $i_e = I+1$ (일정계획 구간의 종료시점-마지막 작업의 종료시간)
- $i=1, 2, 3, \dots, I+1$
- $j=1, 2, 3, \dots, J$

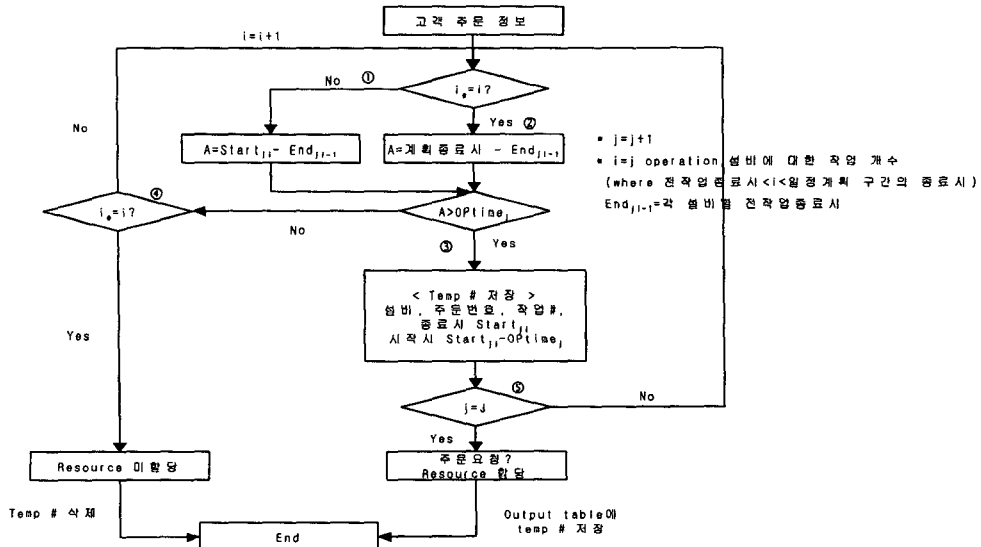
① 이미 주문에 대하여 Routing에 따른 설비들이 할당 되어 있는 상태이며, 첫 번째 공정의 설비에서 이미 할당 되어 있는 작업의 개수를 분석한다. 여기서 EPST이기 때문에 첫 번째 공정에서부터 시작한다.

여기서는 해당 Resource의 가용능력 중 앞쪽부터 할당 가능한지 살펴보기 위하여 i_e 와 $i(i=1, 2, 3, \dots, I+1)$ 를 비교하여 그 값이 다르면 Resource의 가용시간을 $Start_{ji}$ 에서 End_{ji-1} 뺀 값으로 하게 된다. 이를 새로운 주문의 해당 Resource에서의 Operation Time과 비교하여 할당가능하면 ③으로 이어진다.

② i 가 i_e 와 같아지면 이는 해당 Resource에 할당되어 있는 마지막 작업 이후의 가용능력을 사용하게 되며, 그 가용능력은 일정계획의 종료시간에서 마지막 작업의 종료시간인 End_{ji-1} 을 뺀 값이 된다. 이를 새로운 주문의 해당 Resource에서의 Operation Time과 비교하여 할당가능하면

③으로 이어지게 된다.

③ 해당 공정에 대하여 가용능력 중 할당할 부분을 찾게 되면(①,②) 설비, 주문번호, 작업번호, 해당 작업의 시작시간(End_{ji-1}), 종료시간($End_{ji-1}+OTime_j$)에 대한 정보를 임시로 저장하게 된다.



[Figure-3] EPST Algorithm

④ ①,②의 결과가 할당 불가능하다고 나오게 되면 i 값을 하나 늘여서 다음 작업의 시작시간 ($Start_{ji+1}$)과 한 단계 더 이전 작업의 종료시간(End_{ji})의 값을 가지고 ①,②를 반복하여 할당할 부분을 찾게 된다. 단 더 이상 비교할 대상이 없게 되면($i_e=i$) Resource를 할당하지 못하고 임시 저장된 내용을 삭제하고 CTP 수행을 마치게 된다.

⑤ ③을 수행한 후 더 거쳐야 할 공정이 없게 되면($j=J$) 고객의 주문확정 정보를 입력받아 Resource를 할당하고 결과 값을 저장한 후 CTP를 종료하게 된다. 반대로 수행해야 할 공정이 남아 있다면($j<J$) $j+1$ 공정으로 넘어 가며, $j+1$ 공정에서는 전공정(j)의 작업 종료시간이 $Start_{ji}$ 가 되겠다. 그리고 프로세스 ①,②를 다시 수행하는 식으로 전 공정의 설비에 주문에 대한 작업을 할당하게 된다.

5. CTP 시스템 구현

이 장에서는 지금까지 CTP 프로세스 및 알고리즘을 통하여 실제 CTP 시스템을 구현하는 부분을 다루도록 하겠다. 먼저 구현 방법을 설명하고, 알고리즘 설계를 위하여 사용되었던 개발환경을 소개할 것이며, 마지막으로 설계 과정에서 생성된 테이블(table) 및 테이블 간 관계를 설정해주는 ERD⁶⁾를 보여줄 것이다.

5.1 CTP 시스템의 설계 방법

본 논문에서는 이 데이터베이스를 이용하여 알고리즘을 설계하려고 하며, 그 결과물을 본 장에서 소개하려 한다. 사용프로그램은 MS-SQL을 선택하였으며, 웹과 관련된 부분은 JSP를 이용하도록 하겠다.

- ERD(Entity-Relationship Diagram)

위에서 설명하였던 테이블 간의 관계를 ERD를 통해 전체적으로 표현한 그림이다. 이는 구현 과정에서 입력된 데이터의 흐름을 이해하는데 상당한 도움이 될 수 있는 정보이다. 본 절에서는 CTP 알고리즘을 설계하는 과정에서 프로세스와 연관된 주요 테이블간의 관계를 설명하고자 한다.

(1) 고객, 사원, 주문 테이블

CTP 수행을 위한 주문 정보는 고객 또는 사원이 웹을 통해서 입력하게 된다. 고객이 주문을 입력하게 되면 이를 관리할 영업사원이 부여되어 주문 테이블에는 고객과 영업사원의 id가 모두 들어가게 된다. 또한 주문은 하나의 고객 및 영업사원을 가지고 고객과 영업사원은 다수의 주문을 갖을 수 있으므로 1 대 M의 관계가 형성된다.

(2) 주문, 제품 테이블

주문 정보가 테이블에 입력되면 제품테이블과 연결되며 하나의 주문에는 하나의 제품만이 존재할 수 있고 하나의 제품은 여러 주문에 할당될 수 있으므로 M 대 1의 관계가 형성된다.

(3) 제품, Route 테이블

본 연구에서 고안한 알고리즘에서는 공정의 순서인 Route를 제품에 따라 설정해 논다고 보았다. Job shop 방식의 생산 환경에서는 제품에 따라 Route를 연결시키는 것이 가장 적절하다고 판단하였다. 하나의 제품은 하나의 Route를 갖게 되나 하나의 Route는 여러 제품에 사용될 수 있기 때문에 M 대 1의 관계가 성립된다.

(4) Route, Map_Route_공정, 공정 테이블

하나의 Route는 여러 개의 공정을 갖게 되며, 하나의 공정은 여러 개의 Route에 중복하여 포함될 수 있는 M 대 N의 관계가 형성되어 중간에 Mapping 테이블을 생성하였다. Map_Route_공정 테이블은 Route 별로 어떠한 공정들이 포함되게 되는지 설정해 줄 수 있는 테이블이 되겠다.

(5) 공정, Map_공정_설비그룹, 설비그룹 테이블

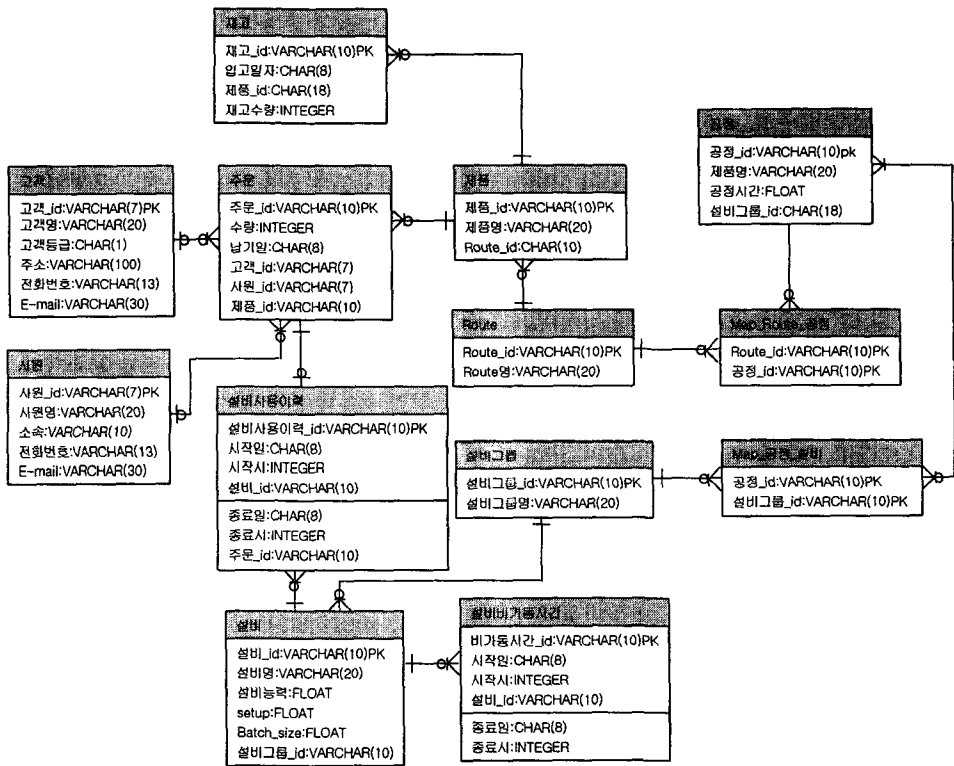
설비그룹 테이블은 유사한 기능을 수행하는 설비들을 하나의 그룹으로 관리하기 위한 테이블

6 Entity Relationship Diagram(개체관계도)

로 각 공정에 연결되어 있다. 하나의 공정에서는 여러 개의 설비그룹을 사용할 수 있다고 보았고, 하나의 설비그룹 또한 여러 개의 공정에서 사용될 수 있다고 설정하여 M 대 N의 관계를 형성하여 Mapping 테이블을 생성하였다.

(6) 설비, 설비사용이력 테이블

설비 별로 지금 작업이 걸려있는 시간에 대한 정보를 갖게 된다. 하나의 설비는 날짜 시간 별로 여러 개의 설비사용이력을 갖을 수 있으며, 하나의 설비사용이력은 하나의 주문에만 연결되므로 1 대 M의 관계가 형성된다.



[Figure-4] CTP Algorithm ERD

(7) 설비, 설비비가동시간 테이블

설비 별로 사용 불가능한 시간을 설정해 놓는 테이블이 설비비가동시간 테이블로, 하나의 설비는 날짜 및 시간대 별로 여러 개의 설비비가동시간을 갖게 되고 하나의 설비비가동시간은 하나의 설비에 연결되게 된다. 그러므로 1 대 M의 관계가 형성된다.

6. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 기본적인 기준정보 및 주문 정보를 제공하는 ERP 시스템 또는 Legacy 시스템과 생산계획 및 일정계획을 수립할 수 있는 APS 시스템, 생산현장에 대한 정보를 수집할 수 있는 MES의 구성을 통하여 CTP 수행 모형을 제시하였다. 본 논문에서 제시한 CTP 모델의 특징은 다음과 같다.

첫째, CRM이나 CTP엔진을 통하여 고객주문에 대한 우선순위 평가를 수행하여 최적의 일정계획이 생성할 수 있으며, 일정계획 및 납기확약일에 대한 정확도를 높이기 위하여 여유생산능력을 할당할 수 있다. 여유생산능력은 또한 고객 서비스와 자사의 이익에 대한 전략을 나타내는 부분이기도 하다. 공급망 전체의 정확성을 위해서는 자사의 여유생산능력을 많이 할당해 놓아 긴급주문에 의한 일정계획의 변화를 막을 수도 있으나, 자사 설비의 효율성은 그만큼 떨어지게 된다는 단점에 있어 이에 대한 적절한 설정이 필요하게 된다.

둘째, 또한 우선순위를 고려하지 않고 CTP를 수행하여 주문요청 순으로 가용능력(Available Capacity)을 할당하여 고객에게 거의 실시간 적으로 납기확약일을 제시하여 고객 서비스를 높여줄 수 있다. 하지만 이 방법은 일정계획 수립 시 다시 우선순위를 고려하기 때문에 납기확약일이 변경될 수 있다는 단점을 지니게 된다. 하지만 이 또한 Frozen 구간과 같은 일정계획 기간에 대한 설정을 통하여 보완할 수 있게 된다.

이상과 같은 CTP 모델은 고객이 요구하는 즉각적인 정보요청에 대응할 수 있으며, 이와 함께 LPST와 EPST를 통해 설계한 알고리즘은 CTP모델을 실현하는데 있어 핵심적인 역할을 수행하며, 이는 추가적인 연구를 통하여 업종 별로 실제 생산 프로세스를 고려해 적용할 수 있는 시스템으로 발전시킬 필요가 있겠다.

7. 참고 문헌

- [1] Advanced Available-to-Promise Concepts and Techniques, Reprinted from APICS Conference Proceeding, 1990, Clay, P.
- [2] ATP Model in SCM Environment for Improving the Value of Customer Service, 2000.12, Won-Sik Kim
- [3] e-Business 2.0; Roadmap for Success, 2001, Dr. Ravi Kalakota, Marcia Robinson
- [4] e-supply chain management, 2001, Charles C. Poirier, Michael J. Bauer
- [5] One Processor scheduling with Symmetric Earliness and tardiness Penalties, Math, Opns. Res., Voll3, pp. 330-348, 1988, Grey, M., Tarjan, R. and ilfong G.,
- [6] Production Planning and Order Receiving System for Capable-To-Promise in Supply Chain Management, Nae-Heon Kim, Seung-Jong Noh, Gi-Nam Wang, Suk-Chul Rim, IE Interfaces. Vol. 13, No. 3, pp.396-4-4, September 2000
- [7] Supply Chain Planning-Concepts and Case Studies, Computer ind. Engng Vol.29, No. -4, pp 245-248, 1995, Cowdrick, R.M.

- [8] 공급사슬관리, 2002, 한동철
- [9] 공급사슬 환경에서의 CPFR 시스템 예측알고리즘 설계 및 개발, 2002, 인천대학교 석사 학위논문, 황윤식
- [10] 데이터베이스 모델링, 2002, 프리렉, 김연홍, 우성미, 문택근
- [11] Microsoft SQL Server 2000 개발자용, 2002, 정원혁
- [12] SAP APO(Advanced Planner & Optimizer)응용사례, 지식기반산업정보컨퍼런스 1999, 박경식