

# 잔업을 고려한 생산 스케줄링

## Production Scheduling using Overtime

민 병 도\*  
Min, Byeong Do  
임 석 철\*\*  
Rim, Suk Chul

### Abstract

Manufacturers can meet the due dates of orders by using overtime, in which case, additional cost incurs for the amount of overtime. Although many studies have been reported on scheduling, only a few papers are found on production scheduling using overtime. We consider the problem of production scheduling using overtime on a single machine, in which each job has a given due-date, a constant processing time. We assume that the daily overtime does not exceed the daily regular operation time. The objective is to minimize the total overtimes, while meeting all due dates. We first present a mathematical model, and then suggest a heuristic algorithm for the problem.

### 1. 서 론

오늘날의 경쟁적인 시장환경은 다양한 고객욕구와 빠른 시장변화에 대하여 적절하게 대응할 수 있는 제조 시스템으로 탈바꿈하여야 생존할 수 있다. 변화에 적응할 수 있고 경쟁력을 향상시키기 위해서는 다양한 고객욕구에 대한 빠른 대응성과 미래의 변화를 수용할 수 있는 유연성이 필요하다. 과거 기업은 제품중심의 전략으로 시장우위를 지키려고 노력하였으나, 현재 및 미래의 시장환경은 좋은 제품뿐만 아니라 고객에 대한 서비스를 동시에 제공하는 전략이 필요하다.

본 연구의 대상은 고객의 주문을 받아 생산하는 주문생산형 제조업으로서 주문이 발생할 때마다 유연성있는 생산계획을 수립하여 납기를 준수함으로써 고객 서비스를 강화하여야 한다. 납기관리의 목적은 고객이 주문한 제품을 납기 내에 납품하는 것이다. 그러나 상이한 납기를 가진 다수의 주문이 접수되었을 때 모든 주문의 납기를 만족할 수 있는 생산계획을 수립하는 것은 매우 어려우며, 이를 위해서는 적절한 의사결정도구가 필요하다.

고객과 생산환경을 동시에 고려하여 전체적인 측면에서 최적화할 수 있는 생산계획시스템

\* 아주대학교 기계 및 산업공학부 박사과정

\*\* 아주대학교 기계 및 산업공학부 교수

에 요구되는 기본적인 사항들은 다음과 같다.

- (1) 주문이 접수되고 효율적인 생산계획을 신속하게 수립할 수 있어야 한다.
- (2) 주문이 변경되면 이에 대한 생산계획도 신속, 용이하게 수정, 변경될 수 있어야 한다.
- (3) 각 주문의 납기를 준수하기 위하여 생산설비를 최대한 활용하는 효율적 생산계획수립이 가능하여야 한다.
- (4) 현재 주문 접수상태와 현 생산계획 등을 종합하여 각 주문의 예상완료 시각을 추정할 수 있어야 한다.

따라서 이러한 기본적인 사항을 만족하기 위해서는 세 가지 중요요소들로 요약할 수 있다.

- (1) 납기
- (2) 생산 투입가능 시점
- (3) 잔업계획

납기의 종류는 결정 주체와 납기의 형태에 따라 구분할 수 있다. 결정주체에 의해 구분하면 고객이 납기를 결정하는 경우와 생산자가 결정하는 경우로 나눌 수 있다. 또한 납기의 형태에 따라 공통납기와 개별납기로 구분할 수 있는데 본 연구에서는 수주를 근간으로 하는 제조업체를 대상으로 하기 때문에 고객이 납기를 결정하고 각 주문은 개별납기를 갖는 경우를 고려한다. 생산투입가능시점은 자재의 수급사항에 의해 우선 결정된 후에 기존에 수주된 주문들을 고려하여 최종적으로 결정된다. 일일 정규조업시간과 잔업가능시간은 각 제조업체별로 차이가 있다.(정규 8시간과 잔업 4시간, 정규 8시간과 잔업 8시간, 정규 8시간과 잔업 4시간 그리고 야간 작업 8시간등) 본 연구에서는 잔업시간은 정규조업시간보다 작은 범위에서 이루어지는 경우를 대상으로 한다.

다수의 주문을 접수한 상태에서 정규조업시간만을 이용하여 모든 주문의 납기를 만족할 수 없는 경우에는 잔업을 수행해야 하며, 이때 추가적으로 발생하는 비용은 제조원가에 포함되어야하므로 잔업을 최소화하면서 고객의 납기를 만족할 수 있는 생산계획을 수립하여야 한다. 즉, 본 연구에서는 다루는 문제는 상이한 납기를 갖는  $m$ 개의 주문에 대하여 모든 주문의 납기를 만족하면서 총잔업시간을 최소화하는 문제이다.

본 연구의 가정은 다음과 같다.

- (1) 단일기계가 모든 주문을 차례로 처리한다. .
- (2) 각 주문은 고정된 납기를 가지고 있으며, 반드시 납기를 만족하여야 한다.
- (3) 현 시점에서 모든 주문은 작업개시가 가능하다.
- (4) 하나의 주문이 일단 작업을 시작하면 그 주문 전체를 완료할 때까지 작업을 계속한다.  
즉, 각 주문은 분할되지 않는다.
- (5) 각 주문의 준비시간은 무시한다.
- (6) 일일잔업시간은 일일정규조업시간보다 크지 않다.
- (7) 각 주문의 생산소요기간은 일일정규조업시간의 정수배로 결정된다. 즉, 일일정규조업시간이 8 시간일 경우, 생산소요기간은 8, 16, 24 시간으로만 주어진다고 가정하였으며 이는 생산소요기간의 1일, 2일, 3일과 같다.

본 연구의 구성은 첫째, 기존연구의 고찰을 통해 본 연구와 기존 연구의 차이점을 설명하고, 둘째, 수리모형, 셋째, 경험적 알고리즘을 제시하였다. 그리고 마지막으로 예제를 통하여 알고리즘을 상세히 설명한 후에 추후의 연구과제를 제시한다.

## 2. 기존 연구

본 연구에서는 고객의 납기만족을 위하여 잔업을 고려한다. 생산소요기간의 일부를 잔업으로 처리하면 생산완료시점을 단축할 수 있다. 따라서 납기에 관한 연구는 생산소요기간의 조정

여부에 따라 구분할 수 있다.

생산소요기간을 조정할 수 없는 경우에 대한 연구는 다음과 같다. Baker[2]는 생산소요기간의 단축보다 고객의 납기시간을 만족시키는데 중점을 두어 평균납기 지연시간을 최소화하는 방법론을 모의실험을 통하여 제시하였다. 다양한 주문들이 접수되었을 때에 각 주문의 납기와 작업시간의 상호관계를 고려하여 생산일정계획에 반영하였다. 또한 Baker와 Scudder[3]는 주문에 대한 생산이 너무 빨리 완료되면 재고비용, 납기보다 늦게 일어나면 지연비용이 발생하므로 재고비용과 지연비용을 동시에 고려한 모델을 제시하였다. 여러 개의 주문들이 발생될 때의 납기는 동일하거나 다를 수 있는 경우로 분리하고, 납기를 생산자가 결정하는 경우와 고객에 의해 납기가 결정되는 경우로 분류해야 한다고 밝혔다. Stoeva[12]는 제조생산현장의 능력을 우선적으로 고려하여 납기에 근거한 작업을 할당하였으며 Sabuncuoglu and Hommertzheim[11]은 FMS에서 납기를 고려한 공정계획문제를 다루었으나 납기를 생산자가 조정하는 경우에 대하여 연구하였다.

잔업계획의 개념과는 다르지만 기계의 작업속도를 조정하여 총작업 시간과 작업속도 증가에 따라 발생하는 비용의 합을 최소화하는 연구가 다수 보고된 바 있다. Vickson[14]은 단일 기계를 대상으로 하여 총작업 흐름시간비용과 작업속도증가에 따른 비용의 합을 최소화하는 문제를 다루었으며, 이를 확장하여 두 대의 기계가 직렬로 이어져 있는 경우로 확장하였다[15]. Nowicki and Zdrzalka[9]는 Vickson[14][15]의 연구를 확장하여 두 대의 기계가 존재하는 흐름생산(flow shop)을 대상으로 하였다. Panwalkar and Rajagopalan[10]은 단일 기계에서 복수의 작업이 발생할 때, 공통납기를 고려하여 지연비용, 조기완료비용 그리고 총 작업시간 비용의 합을 최소화하는 문제를 다루었다. Trick[13]은 복수의 기계들과 작업들이 존재하며 각 기계에 대한 각 작업속도가 조정이 가능한 경우를 대상으로 하여 첫째 총작업시간과 작업속도 증가에 따라 발생하는 비용의 합을 최소화, 둘째, makespan을 최소화하는 생산계획 문제를 다루었다. Karabati and Kouvelis[7]은 흐름 라인(flow-line)에서 순환적인 생산계획(cyclic scheduling)문제를 고려하여 최적작업시간과 스케줄링 결정을 연구하였다. Nowicki and Zdrzalka[8]은 작업속도의 조정을 이용한 기존연구에 대한 분석을 하였으며, Zdrzalka[16]은 단일기계를 대상으로 생산투입시점과 납기를 고려한 생산계획문제를 다루었다. Bitran and Triupati[4]는 잔업을 갖는 네트워크에 대하여 대기행렬의 개념을 이용한 접근방식을 제안하였다. Inman and Leon[6]과 Inman[5]에서는 자동차 산업에 있어서 blocking과 starving을 방지하기 위하여 예방잔업(preventive overtime)의 개념을 도입하였다.

Baker[2], Baker and Scudder[3], Stoeva[12] 그리고 Sabuncuoglu and Hommertzheim[11]은 납기지연을 허용하는 가정 하에서 연구가 이루어졌으므로 본 수주를 근간으로 하는 제조업체에 적용하기는 어렵다. 또한 고객의 의해 납기가 결정되며 생산완료시점은 잔업에 의해 변화할 수 있기 때문에 납기관리의 접근방식이 다르다. 각 작업의 생산완료시점을 조정하기 위하여 기계의 속도를 이용하는 연구에서 Nowicki and Zdrzalka[9], Karabati and Kouvelis[7], Vickson[14] 그리고 Trick[13]은 납기에 대하여 고려하지 않았다. Vickson[15]은 각 작업에 대한 개별납기를 고려하였으나 납기지연비용과 기계의 작업속도비용의 합을 최소화하기 때문에 각 비용의 상호관계에 의하여 납기지연이 일어날 수 있다. Panwalkar and Rajagopalan[10]은 개별납기가 아닌 공통납기를 고려하였다. 또한 기계의 속도를 증감은 동일한 시간대에(정상조업시간내 또는 잔업시간내) 일어나므로 각각의 작업 시간대(정상조업시간대와 잔업시간대를 분리)를 고려하는 경우에 적용할 수 없다. 또한 개별적인 작업에 대한 작업속도의 조정을 이용하므로 전체적인 잔업시간에 대한 이용이 이루어질 수 없다.

이상에서 보듯이 본 연구에서 다루고자 하는 문제는 기존에 연구 보고된 바가 없는 새로운 유형의 문제로서, 주문자가 납기를 결정하는 대부분의 주문생산업체에 광범위하게 적용될 수 있는 문제이다.

### 3. 수리적 모델

본 연구에서 다루는 문제를 수리적으로 표현하기 위하여 다음과 같은 기호들을 사용한다.

- $m$  : 주문의 갯수,  $m \geq 1$
- $i$  : 주문의 번호  $i, i = 1, 2, 3, \dots, m$
- $p_i$  : 주문  $i$ 의 생산소요기간
- $d_i$  : 주문  $i$ 의 납기시점
- $t_0$  : 생산계획 시점(현재시점)
- $X_{ik}$  : 주문  $i$ 를  $k$ 번째로 생산하면 1, 아니면 0,  $1 \leq i \leq m, 1 \leq k \leq m$
- $\alpha_i$  : 주문  $i$ 의 정규조업시간
- $\beta_i$  : 주문  $i$ 의 잔업사용시간

이중에서 결정변수들은  $X_{ik}$  와  $\beta_i$  들이다. 앞절에서 정의한 잔업계획 문제를 수리 모형화하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 \text{Min} \quad & \sum_{i=1}^m \beta_i && \langle \text{식 1} \rangle \\
 & \sum_{k=1}^m X_{ik} = 1 && , \text{ for } 1 \leq i \leq m \quad \langle \text{식 2} \rangle \\
 & \sum_{i=1}^m X_{ik} = 1 && , \text{ for } 1 \leq k \leq m \quad \langle \text{식 3} \rangle \\
 t_0 + \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^m (p_i - \beta_i) X_{ik} & \leq \sum_{i=1}^m d_i X_{i1} && , \text{ for } 1 \leq l \leq m \quad \langle \text{식 4} \rangle \\
 2\beta_i & \leq p_i && , \text{ for } 1 \leq i \leq m \quad \langle \text{식 5} \rangle \\
 \beta_i & \geq 0 && , \text{ for } 1 \leq i \leq m \quad \langle \text{식 6} \rangle \\
 X_{ik} & = 0, 1
 \end{aligned}$$

본 연구에서는 고객의 납기만족은 제약식으로 고려하며 잔업을 최소화하는 것을 목적함수로 삼는다. 목적함수는 <식 1>으로 표현된다. <식 2>와 <식 3>은 각 주문  $i$ 는 한 번만 라인에 투입되어야 한다는 것을 보장한다. 주문  $i$ 가  $k$ 번째로 투입되기 위해서는  $k-1$ 번째의 주문과의 관계를 고려하여 모든 주문의 납기를 만족할 수 있어야 한다. 모든 주문  $i$ 에 대하여 첫 번째로 처리되는 주문에 대해서는  $t_0 + \sum_{i=1}^m p_i X_{i1} \leq \sum_{i=1}^m d_i X_{i1}$ , 두 번째로 처리되는 경우에는  $t_0 + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m p_j X_{ij} \leq \sum_{i=1}^m d_i X_{i2}$  그리고  $k$ 가  $m$ 인 경우에  $t_0 + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m p_j X_{ik} \leq \sum_{i=1}^m d_i X_{im}$ 만족하는지 살펴본다. 이를 만족하면 정규조업만으로도 생산이 가능하다. 그러나 납기를 만족하지 못하면  $p_i$ 의 일부를 잔업( $\beta_i$ )으로 처리하여 납기를 만족할 수 있도록 결정하여야 한다. 따라서 각 작업에 대하여 잔업을 고려한 납기만족은 <식 4>로 표현된다. <식 5>는 잔업시간이 정규조업시간을 초과하지 않음을 나타낸다. <식 6>은 잔업시간이 음수인 것을 방지한다.

위의 수리모형은  $m$  개의 주문에 대하여 결정변수의 수는  $X_{ik}$  에 대하여  $m^2$  개,  $\beta_i$  에 대해서는  $m$  개가 정의되며, 제약식은  $5m$  개가 된다. 수리적 모델은 제약식인 <식 4>에서 결정변수들이 비선형의 관계가 되기 때문에 해를 구하기가 쉽지 않다. 따라서 다음절에서는 경험적 알고리즘을 제시한다.

#### 4. 경험적 알고리즘

경험적 알고리즘을 서술하기 위하여 다음과 같은 결정변수들을 정의한다.

$B_i$  : 주문  $i$ 의 생산시작 시점

$E_i$  : 주문  $i$ 의 생산완료 시점

본 연구에서 제안하는 경험적 알고리즘의 아이디어는 다음과 같다. 먼저 각 주문에 대하여 잔업치를 최대치로 설정한 상태(즉  $\beta_i = p_i/2$ )에서 선행작업의 생산완료시점과 후작업의 생산개시 가능시점을 동시에 고려하여 잔업시간을 가급적 정규조업시간으로 대체하는 것이다. 작업의 순서는 최대 지연 및 지연되는 작업의 수를 최소화하기 위해서는 납기의 오름차순으로 작업을 수행하는 것이 최적해이므로[1][15] 초기해는 납기의 오름차순으로 주문을 수행하되 각 주문의 잔업시간은  $\beta_i = p_i/2$  로 부여하는 것이다.

##### 경험적 알고리즘

Step 1)  $m$ 개의 주문에 대하여 납기가 이른 순서로 주문번호를 부여한다. 즉, 납기가 가장 이른 주문을  $i=1$ , 납기가 가장 늦은 주문을  $i=m$  으로 한다.

Step 2) 각 주문  $i$  에 대하여  $\beta_i = p_i/2$ ,  $a_i = p_i - \beta_i$  를 계산한다.

모든  $1 \leq l \leq m$  에 대하여  $t_0 + \sum_{i=1}^l a_i \leq d_l$  이 만족하면 가능해(feasible solution)가 존재하므로 step 3)을 수행한다. 그렇지 않으면 가능해가 존재하지 않으므로 중단한다.

Step 3)  $m$ 번째 주문에 대하여 생산시작시점( $B_m = d_m - a_m$ )과 생산완료시점( $E_m = d_m$ )을 결정하고,  $i = m-1$ 이다.

Step 4) 주문  $i$ 의 납기가 주문  $i+1$ 의 가장 늦은 생산시작시점보다 크거나 같은 경우 ( $B_{i+1} \geq d_i$ )는 주문  $i$ 의 생산완료시점을 주문  $i$ 의 납기일로 결정하고( $E_i = d_i$ ), 아니면, 주문  $i$ 의 가장 늦은 생산완료시점은 주문  $i+1$ 의 생산시작시점으로 결정한다( $E_i = B_{i+1}$ ). 주문  $i$ 의 생산완료시점과 최대잔업을 이용한 정규조업시간을 고려하여, 주문  $i$ 의 생산시작시점을 결정한다( $\beta_i = E_i - a_i$ ).

만약  $i$ 가 1이며 Step 5로 가고, 아니면,  $i = i-1$  로 하고, Step 4 로 간다.

Step 5)  $i = 1$  그리고  $E_0 = t_0$  라 놓는다.

잔업의 최소화를 위하여 Step 6 를 수행한다.

Step 6) 주문  $i-1$ 의 생산완료시점( $E_{i-1}$ ), 주문  $i$ 의 정규조업만을 고려한 생산소요기간( $p_i$ )과 가장 늦은 생산완료시점( $E_i$ )을 고려하여 여유정규시간을 파악한다.

$E_{i-1} + p_i \leq E_i$  인 경우는 주문  $i$  를 잔업의 사용없이 납기 내에 생산이 가능하므로  $B_i = E_{i-1}$ ,  $\beta_i = 0$ ,  $\alpha_i = p_i - \beta_i$ ,  $E_i = B_i + \alpha_i$  으로 조정한다.  $E_{i-1} + p_i > E_i$  이면, 사용하지 않은 정규조업시간을 파악하여 잔업을 대체하여야 하므로  $B_i = E_{i-1}$ ,  $\beta_i = p_i - (E_i - B_i)$ ,  $\alpha_i = p_i - \beta_i$ ,  $E_i = B_i + \alpha_i$  으로 조정한다.  
 $i = m$  이며 Step 7 로 가고, 아니면,  $i = i + 1$  로 하고 Step 6 으로 간다.

Step 7) end

Step 1)은 각 주문들의 작업순서를 납기의 오름차순으로 정렬하고 Step 2)의 과정을 통하여 각 주문에 대하여 잔업시간을 최대로 하였을때 각 주문이 납기내에 생산가능한지를 판정한다. Step 3)과 Step 4)은 잔업시간을 최대로 이용할 때에 납기가 가장 늦은 주문  $i = m$  부터 고려하여 주문  $i$  의 가장 늦은 생산시점( $B_i$ )과 주문  $i-1$ 의 납기와의 상호관계를 고려하여 주문  $i-1$ 의 생산완료시점( $E_i$ )을 결정한다. 이를 가장 빠른 납기를 가진 주문( $i=1$ )까지 반복 수행한다. 이 과정을 통하여 각 주문의 여유 정상조업시간( $B_i - E_{i-1}$ )을 파악할 수 있다. Step 5)와 Step 6)은 여유 정규조업시간을 사용하여 각 주문의 잔업시간을 가급적 정규조업시간으로 대체하는 과정이다. 가장 이른 납기를 가진 주문  $i = 1$ 부터 고려하여 Step 3)과 Step 4)의 과정을 통하여 결정된 주문  $i-1$ 의 생산완료시점( $E_{i-1}$ )과 주문  $i$ 의 생산시점( $B_i$ )사이의 여유 정규조업시간을 사용하면서 잔업을 최소화하는 과정이다. 따라서 Step 5)와 Step 6)를 통하여 잔업을 최소화하면서 새로운  $B_i$ 와  $E_i$ 를 결정한다.

예제 1

3개의 주문이 있고 각각의 생산소요기간과 납기는 다음과 같다. 일일정규조업시간 및 일일 잔업시간은 각각 8 시간이다. 모든 주문은 언제든지 투입 가능하다. 생산소요기간은 일일정규 조업시간의 정수배이다. 주문 a 의 경우 생산소요기간 6일이므로 48시간이다..

	생산소요기간( $p$ )	납기일( $d$ )
주문 a	6 일	7일
주문 b	2 일	3일
주문 c	4 일	10일

solution)  $t_0 = 0$ 라 하자.

Step 1) 주문들의 납기일의 오름차순으로 작업순서 번호를 부여하고,  $i$  번째 주문을  $O_i = \{ p_i, d_i \}$ 로 표시하면 정리하면,  $O_1 = \{2, 3\}$ ,  $O_2 = \{6, 7\}$ ,  $O_3 = \{4, 10\}$ 이 된다.

Step 2)  $\beta_1 = 1$ ;  $\alpha_1 = 1$ ;  $\beta_2 = 3$ ;  $\alpha_2 = 3$ ;  $\beta_3 = 2$ ;  $\alpha_3 = 2$ ;

모든  $1 \leq l \leq m$  에 대하여  $t_0 + \sum_{i=1}^l \alpha_i \leq d_l$  이 만족하므로 가능해가 존재한다.

Step 3)  $B_3 = 8$ ;  $E_3 = 10$ ;  $i = 2$ ;

Step 4)  $i = 2$  일 때

$B_3 \geq d_2$  이므로  $E_2 = 7$ ;  $B_2 = 4$ ;

$i = 1$  일 때

$B_2 \geq d_1$  이므로  $E_1 = 3$ ,  $B_1 = 2$

Step 5)  $i=1, E_0=0$

Step 6)  $i=1$  일 때

$E_0 + p_1 \leq E_1$  이므로  $B_1=0; \beta_1=0; \alpha_1=2; E_1=2;$

$i=2$  일 때

$E_1 + p_2 > E_2$  이므로  $B_2=2; \beta_2=1; \alpha_2=5; E_2=7;$

$i=3$  일 때

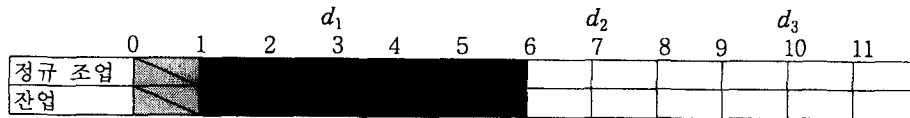
$E_2 + p_3 > E_3$  이므로  $B_3=7; \beta_3=1; \alpha_3=3; E_3=10;$

Step 7) end

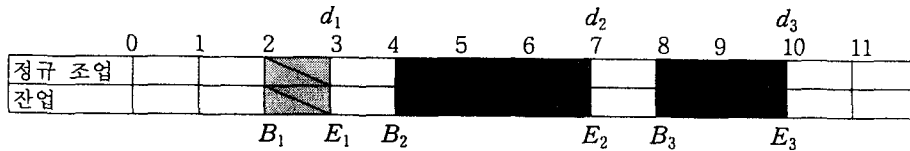
예제 1에서 총잔업은 2일 이므로 총잔업시간은 16시간이다.. 예제 1의 각 단계를 그림으로 나타내면 다음과 같이 나타낼 수 있다.



Step 1부터 Step 2에 걸쳐 아래와 같은 차트가 그려진다.

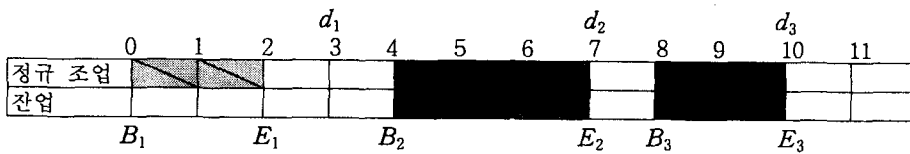


Step 3부터 Step 4에 걸쳐 아래와 같은 차트가 그려진다.

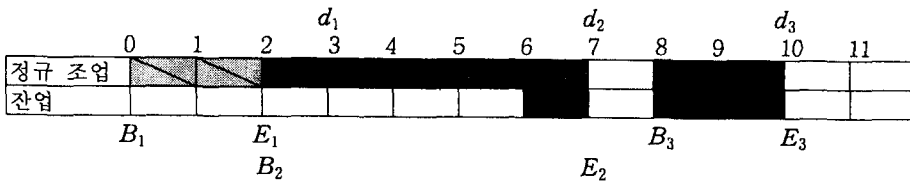


Step 5부터 Step 6에 걸쳐 아래와 같은 3개의 차트가 그려진다.

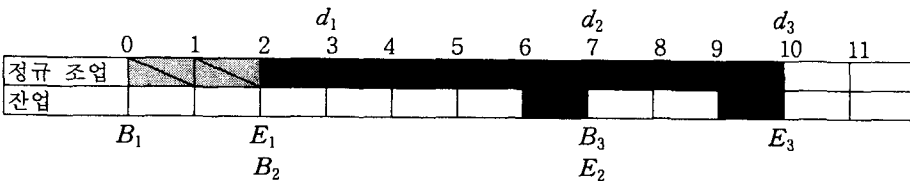
$i=1$  일 때



$i=2$  일 때



$i=3$  일 때



예제 2

3개의 주문이 있고 각각의 생산소요기간과 납기는 다음과 같다. 일일정규조업시간 및 일일 잔업시간은 각각 8 시간이 가능하다. 모든 주문은 언제든지 투입 가능하다. 생산소요기간은 단위는 일일정규조업시간의 정수배이다.

	생산소요기간( $p$ )	납기일( $d$ )
주문 a	10 일	6 일
주문 b	4 일	3 일
주문 c	4 일	10 일

solution)  $O_i = \{ p_i, d_i \}$ ,  $t_0 = 0$ 라 하자.

Step 1) 납기 일의 오름차순으로 정리하면,  $O_1 = \{4, 3\}$ ,  $O_2 = \{10, 6\}$ ,  $O_3 = \{4, 10\}$

Step 2)  $\beta_1 = 2; \alpha_1 = 2; \beta_1 = 5; \alpha_1 = 5; \beta_1 = 2; \alpha_1 = 2;$

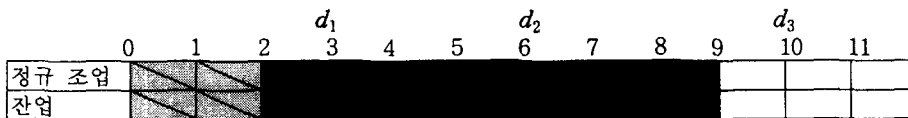
모든  $1 \leq l \leq m$  에 대하여  $t_0 + \sum_{i=1}^l \alpha_i \leq d_l$  을 만족하지 못하므로 가능해가 존재하지 않는다.

Step 2)에서 최대 작업을 고려하였지만  $O_2$ 의 작업이 불가능하다. 또한 그 이외의 작업순서를 고려하더라도 납기만족이 불가능하다.

예제 2의 단계를 그림으로 나타내면 다음과 같이 나타낼 수 있다.



Step 1부터 Step 2에 걸쳐 아래와 같은 차트가 그려진다.



5. 결론

본 연구는 작업을 고려하는 생산 스케줄링에 대한 기초연구로서, 단일기계에 대하여 각 주문은 알려진 납기를 가지고, 일정한 생산소요기간을 가지며, 잔업시간은 정규조업시간을 초과하지 않는 범위에서 결정된다고 가정하였다. 주어진 납기를 만족하면서 목적함수는 총잔업시간을 최소화하는 것이다. 본 연구에서는 이러한 문제에 관한 수리모형을 제시하고, 경험적 알고리즘도 제시하였다.

본 연구에서 제시된 알고리즘은 다수의 주문이 동시에 발생하였을 때에 적용할 수 있다. 따라서 새로운 주문이 발생할 경우, 아직 생산하지 않은 기존 주문을 새로운 주문으로 간주하여 적용할 수도 있다.

추후에는 다양한 잔업형태에 대한 연구 및 개별적인 생산투입시점을 갖는 주문에 대한 연구 수행되어야 할 것이다. 또한 다수의 병렬 기계나 라인이 운영되고 있을 때에 어느 라인에 신규주문을 투입할 것인지 결정하는 문제는 추후 연구대상이다.



## 참고문헌

- [1] Baker, K. R., Introduction to Sequencing and Scheduling, John Wiley & Sons, New York, N.Y. 1974.
- [2] Baker, K. R., "Sequencing Rules and Due-Date Assignments in a Job Shop", Management Science, Vol. 30. No. 9, 1093~1104, 1984.
- [3] Baker, K. R., SCUDDER, G. D., "Sequencing with Earliness and Tardiness Penalties:A REVIEW", Operation Research, Vol. 38, NO 1, pp 22~36, 1990.
- [4] Bitran, G. R., and Tirupati, D., " Approximations for Networks of Queues with Overtimes", Management Science, Vol. 37, pp282-pp300, 1991
- [5] Inman, R. R., "Scheduling preventive overtime : a new approach for the automotive industry", IIE Transactions, Vol. 28, pp 555-565, 1996
- [6] Inman, R. R., and Leon, M., "Performance of intra-plant overtime policies", INT. J. PROD. RES., Vol. 33, No. 4, pp 1157- 1169, 1995
- [7] Karabati, S. and Kouvelis, P., " Flow-Line scheduling problem with controllable processing times", IIE Transactions, Vol. 29, pp 1-14, 1997
- [8] Nowicki, E., and Zdzalka, S., " A SURVEY OF RESULTS FOR SEQUENCING PROBLEMS WITH CONTROLLABLE PROCESSING TIMES", Discreted Applied Mathematics, 26, pp 271-287, 1990
- [9] Nowicki, E., and Zdzalka, S., "A two-machine flow shop scheduling problem with controllable job processing times", European Journal of Operational Research, 34, pp 208-220, 1988
- [10] Panwalkar, S. S., Rajagopalan, R., "Single-machine sequencing with controllable processing times", European Journal of Operational Research, Vol. 59, pp 298-302, 1992
- [11] Sabuncuoglu, I., and Hommertzhaim, D. L., "Experimental investigation of an FMS due-date scheduling problem: an evaluation of due-date assignment rules", INT. J. COMPUTER INTEGRATED MANUFACTURING, Vol. 8, NO. 2. PP. 133-144, 1995
- [12] Stoeva, S. P., "A due date-based dispatching rule for flexible manufacturing systems" , INT. J. PROD. RES., Vol. 28, Nol. 11, pp. 1991~1999, 1990
- [13] Trick, M. A., "Scheduling Multiple Variable-Speed Machine", Operations Research, Vol. 42, No. 2, pp234-248, 1994
- [14] Vickson, R. G., "Choosing the Job Sequence and Processing Times to Minimize Total Processing Plus Flow Cost on a Single Machine", Operations Research, Vol. 28., No. 5, September-October, pp1155-1167, 1980
- [15] Vickson, R. G., "Two Single Machine Sequencing Problems Involving Controllable Job Processing Times", AIIE Transactions, Vol. 12, No. 3, pp258-262, 1980
- [16] Zdzalka, S., "Scheduling jobs on a single machine with release dates, delivery times and controllable processing times: worst-case analysis", Operations Research Letters, 10, pp519-523, 1991