

## A Study on Production Policies in hybrid MTO-MTS Production Environment

박상연, 송익수, 정봉주  
연세대학교 정보산업공학과  
서울시 서대문구 신촌동 134 연세대학교 공과대학 정보산업공학과  
Fax : 364 - 7807 E-mail : [yeon00@yonsei.ac.kr](mailto:yeon00@yonsei.ac.kr)

### Abstract

최근 고객의 다양한 요구로 인하여 기존 계획 생산이던 생산 환경이 주문 생산과 혼합된 혼합 생산 환경으로 바뀌고 있다. 본 연구에서는 이러한 생산 환경의 변화로 다양한 산업에서 대두되고 있는 Hybrid MTO(make-to-order)-MTS(make-to-stock) 생산 환경을 대상으로 하여 임의로 발생하는 MTO 제품의 생산 시기 결정 및 이로 인하여 변화하는 MTS 제품의 생산 계획을 고려한 몇 가지 production policies를 제시하였다. 각 정책의 특징 및 규칙을 설명하였으며 실험을 통하여 각 모델별 성능을 Cycle time, Cost, Customer Satisfaction 측면에서 비교하여 다양한 생산 정책에 적합하도록 MTO 제품 생산 시기 결정을 내릴 수 있게 하였다.

### 1. 서론

계획 생산과 주문 생산은 서로 다른 목적을 가진 상이한 생산 환경으로 기존에는 공존할 수 없는 선택의 문제로 간주되어 왔다(Awi Federgruen and Ziv Katalan, 1999). 그러나 최근의 생산 환경은 제품에 대한 고객의 다양한 요구로 소품종 대량 생산 체제가 점차 다품종 소량 생산 체제로 옮겨가고 있다. 이러한 변화에 따라 기존에는 대립적인 생산 환경으로 간주되어 공존할 수 없는 것으로 여겨져 온 계획 생산 환경과 주문 생산 환경이 혼합된 Hybrid MTO-MTS 생산 환경이 식품, 의류, 철강, 부품 산업 등 다양한 산업에서 대두되고 있으며 이미 일반적인 생산 환경으로 자리 잡고 있다(C.A.Soman et al., 2005). 그러나 이렇게 일반화된 생산 환경임에도 불구하고 Hybrid MTO-MTS 생산 환경은 서로 다른 목적을 추구하는 두 가지 생산 환경이 혼합되어 있기 때문에 여러 가지 목적이 상충되는 경우가 많아 쉽게 연구되지 못하고 있다. 따라서 순수 주문 생산 환경이나 순수 계획 생산 환경에 비하여 매우 미미한 수준으로 연구되고 있어 연구의 필요성이 매우 많이 요구되는 분야라 하

겠다. Hybrid MTO-MTS 환경에서의 연구는 계획 생산과 주문 생산에서 중요시 되는 요소를 동시에 고려해야 하고 이를 반영하여 서로 다른 두 생산 환경에서의 목적을 동시에 달성할 수 있는 방안으로 진행되어야 한다.

Hybrid MTO-MTS 생산 환경에 대한 연구를 진행함에 있어 중요한 문제 중 하나는 생산 계획과 관련된 결정 문제이다. 기존의 Hybrid MTO-MTS 생산 환경에 대한 연구에서는 주로 MTO 제품에 대하여 생산의 priority를 부여하는 것을 가정으로 하는 경우가 일반적이었다(C.A.Soman et al., 2004). 그런데 이러한 MTO 제품에 대한 생산 priority 부여가 생산 시스템의 안정성과 성능에는 오히려 악영향을 끼칠 수 있다는 연구 결과(Awi Federgruen and Ziv Katalan, 1999)는 기존의 Hybrid MTO-MTS 생산 환경 연구에서 가정하고 있는 MTO 제품에 대한 생산 priority 부여에 대하여 의문을 갖게 한다.

따라서 본 연구에서는 기존 Hybrid MTO-MTS 환경에 대한 연구에서 가정하고 있는 MTO 제품에 대한 생산 priority 부여가 과연 정당한 것인지 살펴보고, 여러 가지 생산 정책을 제시하여 각각의 성능을 비교하였다. 또한, 실험을 통한 분석 결과를 제시함으로써 다양한 생산 시스템 및 기업의 목적에 맞는 생산 정책 선택이 가능하도록 하였다.

### 2. 기존 연구 현황

#### 2.1 주문 생산 환경 하에서 생산 계획 연구

주문 생산 환경에서의 생산 계획에 관한 연구는 크게 strategic level에서의 연구, management level에서의 연구, 그리고 operational level에서의 연구로 나눌 수 있다. strategic level에서의 연구는 의사 결정 지원 시스템과 관련한 연구에 집중되어 왔다. Maria Antonia Carravilla와 Jorge Pinho de Sousa(1995)는 shoe industry를 대상으로 하여 주문 생산 환경에서의 생산계획을 3단계로 나누고 각 단계의 목적에 맞는 의사 결정 지원 시스템을 제안하

였다. 또, Donatella Corti 등(2006)은 주문과 납기일을 고려하여 생산 가능성을 파악하고 이를 바탕으로 capacity 조정 여부와 조정 범위를 제시하는 모델을 제안하였다.

Management 관점에서의 주문 생산 환경 관련 연구에서 L.C. Hendry 등(1998)은 시뮬레이션을 통하여 주문 생산 환경에서 WLC의 유용성을 입증하였으며 상위 레벨에서 Workload를 통제하는 것이 효율적임을 주장하였다. A.haskose 등(2004)은 주문 생산 환경에서 workload control이 생산 시스템의 성능에 어떤 영향을 미치는지에 대한 연구를 진행하여 TH, WIP, Lead Time 측면에서 영향을 분석하였으며 Dingwei Wang(1995)은 대량 생산 환경에서 JIT와 MRP II를 통합하여 Earliness cost와 tardiness cost를 최소화 하는 생산 계획을 제안하고 선형 계획법으로 모델링하였으며 휴리스틱을 개발하였다.

Operational 관점에서의 연구는 주로 dispatching rule에 관련하여 진행되어 왔다. John B. Jensen 등(1995)은 job shop 환경에서 기존의 dispatching rule에 고객의 우선순위를 고려하여 새로운 규칙을 제안하고 이것을 실험을 통하여 비교하였으며 Ling-Huey Su 등(1998)은 Job Shop 환경에서 maximum lateness를 최소화하는 휴리스틱을 제안하고 기존의 dispatching rule과 성능을 비교하였다. 또, T.Sawik 등(2005)은 지연 최소화 목적 문제에서 생산 능력을 제약으로 하여 정수 계획법으로 각 주문에 대한 일정을 모델링하였다.

## 2.2 계획 생산 환경 하에서 생산 계획 연구

Jamal Ouenniche 과 Favez F. Boctor (2001)은 단일 제품인 경우에 대하여 lot sizing 문제를 모델링하고 다품종, 다단계인 생산 환경에서의 생산 순서와 lot sizing에 대한 PT(powers-of-two method) 휴리스틱을 제안하였다. Mohamed Ben-Daya (2002)는 생산 시스템의 고장 및 보수 부분을 고려하여 기존의 EPQ 모델을 확장하였다. 비슷한 연구로 Christian Larsen (2005)은 생산율을 의사 결정 변수로 간주하고 단위 당 생산 비용을 최소화할 수 있는 생산율을 결정하도록 하여 전체 평균 비용을 최소화할 수 있는 최적 run time을 도출하였다. 또, B.C. Giri 와 W.Y. Yun (2005)은 생산 시스템의 불확실성 요인으로 생산 시스템의 고장과 수리 발생을 포함하여 경제적 생산량을 결정하는 모델을 제안하였다. Hanen Bouchriha 등(2006)은 paper production에서 paper machine을 대상으로 비용 최소화 목적의 lot sizing을 연구하였고, Georghios P. Sphicas (2006)은 기존 EOQ와 EPQ 모델에 대하여 backorder 허용에 대한 가정을 추가하여 연구를 진행하였다.

## 2.3 Hybrid MTO-MTS 생산 환경 관련 연구

Hybrid MTO-MTS 환경에 관한 연구는 하나의

라인에서 MTO/MTS 제품을 함께 생산하는 경우와 decoupling point가 존재하는 경우에 대한 연구로 나눌 수 있다. 하나의 라인에서 MTO/MTS 제품을 모두 생산하는 경우에 대한 연구는 MTO/MTS 제품 결정 문제와 MTS 제품에 대한 최적생산량 결정 문제에 국한되어 왔다 (C. A. Soman 등, 2004). Antonio Arreola Risa 등(1998)은 확률적 수요를 갖는 환경에서 일반적인 생산시간을 바탕으로 하여 MTO/MTS 제품 결정 문제에 대한 연구를 하였으며, S. Rajagoplan 등(2002)은 MTO/MTS 결정문제와 더불어 MTS 제품에 대한 재주문점과 재보충량에 관한 연구를 진행하여 이에 적합한 휴리스틱을 제안하였다. 그러나 실제 Hybrid MTO-MTS 환경에서 가장 중요한 문제는 제품별 생산 순서와 생산시기, 그리고 생산량에 관한 문제이다. 이러한 문제에 대하여 C.A.Soman 등(2005)은 MTO/MTS 제품 결정, capacity 분배 등 Hybrid MTO-MTS 환경에서 발생할 수 있는 문제에 대한 전반적인 의사 결정 프레임워크를 제시하였다. 또, Hybrid MTO-MTS 환경에서의 일정계획 연구로 C.A.Soman 등(2004)은 기존 계획 생산 환경에서 주로 쓰이는 일정계획 규칙을 혼합 생산 환경에 적용하여 그 적용성에 대한 분석을 진행하였으며, 이 때 MTO 제품은 MTS 제품에 대하여 우선순위를 갖는다는 가정을 하였다. 또, Scott Carr 등(2000)은 하나의 기계에서 2가지 제품을 생산하는 경우에 대하여 각 제품별 생산량과 순서, 그리고 joint admission control에 관하여 연구를 진행하여 이윤 최대화의 관점에서 그 성능을 평가하였다.

Decoupling point가 존재하는 Hybrid MTO-MTS 환경에 대한 연구로서 Dirk Pieter van Donk (2001)은 식품 산업을 대상으로 decoupling point의 결정문제와 완충재고 결정에 관한 연구를 진행하였다. 또한 S.H. Chang et al.(1999)는 반도체 웨이퍼 공정을 대상으로 계획 생산 부분과 주문 생산 부분의 서로 상충되는 목적을 고려하여 Production Activity Control(PAC) 휴리스틱을 개발하였다.

## 3. Hybrid MTO-MTS 환경에서의 생산 정책

### 3.1 생산 환경 정의

본 연구에서는 계획 생산으로 단일 제품을 생산하는 환경을 가정하였다. 기존의 단일 제품 계획 생산 환경에 점차 주문 생산이 접목되어 Hybrid MTO-MTS 환경으로 옮겨가는 환경이며, 이 때 계획 생산 제품에 대한 수요는 확정적으로 일정하게 발생한다. 또한, backloging은 허용하지 않아 모두 lost sales로 처리하며 이 때 생산율은 항상 수요 발생보다 크다. 각 제품에 따라 서로 다른 준비 비용

이 발생하며 모든 제품에 대하여 준비 시간은 0으로 가정하였다. 또 계획 생산 제품에 대한 생산 계획은 기존의 EPQ 방법을 따르도록 하였으며, 다음 생산은 재고가 모두 고갈된 시점에 시작하도록 하였다. MTO 제품은 여러 가지이며 주문은 임의로 발생한다. 따라서 생산자는 주문이 언제 발생할 지 알 수 없다. 또한, 고객이 속한 등급에 따라 각 주문에 대한 지연 비용은 다르게 발생한다고 하였다.

본 연구에서 사용되는 기호 및 변수이다.

- $i$  : order index (0 : MTS product)
- $j$  : product index (0 : MTS product)
- $n$  : number of order in a cycle
- $T_0$  : expected cycle time for a single MTS product
- $t_i$  :  $i^{\text{th}}$  order occur time in a cycle
- $t_0$  : starting point of production of a MTS product
- $t_s$  : ending point of a production up-time
- $D_j$  : demand rate of a production  $j$
- $P_j$  : production rate of a production  $j$
- $h_j$  : holding cost per unit per unit time of product  $j$
- $pc_j$  : direct unit-production cost of product  $j$
- $K_j$  : set up cost of product  $j$
- $Q_0$  : lot size of a MTS product
- $Q_{ij}$  : order size of order  $I$  for product  $j$
- $\alpha_0$  : lost sales cost of a MTS product
- $d_{ij}$  : due date of order  $I$  for product  $j$
- $c_{ij}$  : completion time of order  $I$  for product  $j$
- $tc_j$  : tardiness cost rate of product  $j$
- $g_i$  : weight of customer group for order  $I$
- $I_i$  : inventory level after completion of order  $i$

단일 제품 계획 생산의 경우 연간 총 준비 비용과 재고 비용은 다음 식 (1)과 같다.

$$G(Q) = K_0 \cdot \frac{D_0}{Q_0} + h_0 \cdot \frac{Q_0(1-D_0/P_0)}{2} \quad (1)$$

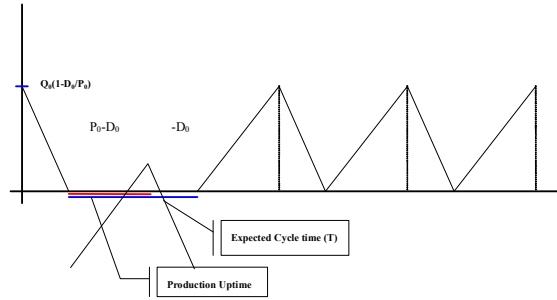
총 비용을 최소화하기 위하여 위 (1) 식을  $Q$ 에 대하여 미분하여 구하면 최적 생산량은

$$Q_0^* = \sqrt{\frac{2K_0D_0}{h_0(1-D_0/P_0)}} \text{ 와 같다.}$$

이 때 본 생산 시스템의 재고를 그래프로 나타내면 다음 <그림 1>과 같고, 이에 따라 Cycle time과 Cycle time당 총 비용을 계산할 수 있게 된다. Cycle time은 식 (2)와 같고, Cycle당 총 비용은 식 (3)과 같다.

$$\frac{Q_0^*}{P_0} + \frac{Q_0^*(1-D_0/P_0)}{D_0} = \frac{Q_0^*}{D_0} \quad (2)$$

$$K_0 + pc_0 \cdot Q_0^* + \frac{h_0 Q_0^{*2} (P_0 - D_0)}{2D_0} \quad (3)$$



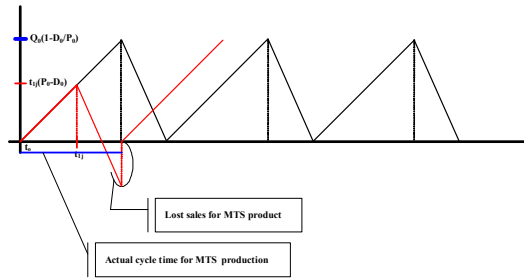
< 그림 1 > MTS 제품의 재고 수준 - MTO 제품에 대한 주문이 없는 경우

이렇듯 MTO 제품에 대한 주문이 없는 경우 경제적 생산량으로 계획 생산을 해오던 생산 시스템에 MTO 제품에 대한 주문이 임의로 발생하게 되면, 크게 2가지 생산 정책이 존재한다. 모든 MTO 제품에 생산 priority를 부여하는 경우와 계획된 MTS 제품 생산량을 중단 없이 모두 생산한 후 MTO 제품에 대한 주문을 처리하는 것이다. 이러한 두 가지 극단적인 정책과 더불어 본 연구에서는 일정 기준에 따라 MTO 제품의 생산 시점을 결정하는 규칙을 제시하고 이를 바탕으로 생산을 하는 세 번째 정책을 제안하였다.

### 3.2 Priority Production Policy for all MTO Productions

본 정책에서는 MTO 제품에 대한 주문이 발생하면 생산 중이던 MTS 제품에 대한 생산을 중단하고 즉시 주문이 발생한 MTO 제품의 생산을 시작한다. 이 때, MTO 제품을 생산하는 도중 또 다른 MTO 제품에 대한 주문이 발생하게 되면 생산 중인 MTO 제품의 생산이 끝난 후 주문 순서에 따라 생산하도록 한다. 이 때, 본 정책은 첫 번째 주문 발생 시점에 따라 두 가지 경우로 나눌 수 있다. 첫 번째 주문이 MTS 제품의 production up time 동안 발생하여 MTS 제품에 대한 생산이 중단되는 경우와 첫 번째 주문이 MTS 제품의 production downtime 동안 발생하여 MTS 제품 생산에 중단이 발생하지 않는 경우이다.

첫 번째의 경우 MTS 제품에 대한 재고 수준은 다음 <그림 2>와 같고, 이 때 Cycle time, 주문 완료 시간, 초기 재고 수준, cycle time당 총 비용, lost sales cost는 다음 식 (4) ~ (8)와 같다.



<그림 2-1> MTS 제품의 재고 수준 - MTO 제품 생산에 priority를 부여하는 경우 (case 1)

$$\max \left[ \begin{matrix} t_{1j} \left( \frac{P_0}{D_0} \right), \\ t_{1j} + \sum_{i=1}^n \frac{Q_{ij}}{P_j} \end{matrix} \right] \quad (4)$$

$$c_{1j} = t_{1j} + \frac{Q_{1j}}{P_j}$$

$$c_{ij} = \max [ c_{i-1,j}, t_{ij} ] + \frac{Q_{ij}}{P_j} \quad (i > 1) \quad (5)$$

$$I_0 = t_{1j} \cdot (P_0 - D_0) \quad (6)$$

$$TC = K_0 + pc_0 \cdot (P_0 \cdot t_{1j}) + \frac{h_0 P_0 t_{1j}^2 (P_0 - D_0)}{2D_0} \quad (7)$$

$$LC = \begin{cases} oc_0 D_0 + \sum_{i=1}^n \left\{ \begin{matrix} (t_{i+1,j} - c_{ij}) & \text{if } t_{i+1,j} > c_{ij} \\ 0 & \text{otherwise} \end{matrix} \right\} & \text{if } CT > t_{1j} \frac{P_0}{D_0} \\ 0 & CT = t_{1j} \frac{P_0}{D_0} \end{cases}$$

두 번째 경우에 대한 재고 수준은 <그림 2-2>와 같고, 이 때 Cycle time, 완료 시간, 초기 재고 수준, cycle time당 총 비용, lost sales cost는 다음 식 (9) ~ (13)와 같다.

$$\max \left[ \begin{matrix} T_0, \\ t_{1j} + \sum_{i=1}^n \frac{Q_{ij}}{P_j} + \sum_{i=1}^n \left\{ \begin{matrix} (t_{i+1,j} - c_{ij}) & \text{if } t_{i+1,j} > c_{ij} \\ 0 & \text{otherwise} \end{matrix} \right\} \end{matrix} \right] \quad (9)$$

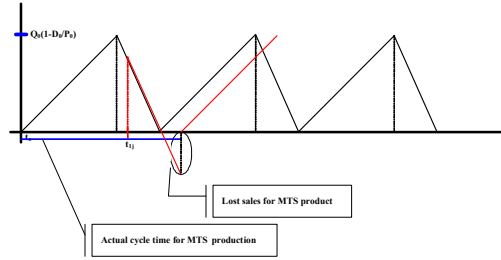
$$c_{1j} = t_{1j} + \frac{Q_{1j}}{P_{j1}}$$

$$c_{ij} = \max [ c_{i-1,j}, t_{ij} ] + \frac{Q_{ij}}{P_j} \quad (10)$$

$$I_0 = Q_0^* (1 - D_0/P_0) - D_0 (t_{1j} - t_s) \quad (11)$$

$$TC = K_0 + pc_0 Q_0^* + \frac{h_0 Q_0^{*2} (P_0 - D_0)}{2D_0 P_0} \quad (12)$$

$$LC = \begin{cases} oc_0 D_0 + \sum_{i=1}^n \left\{ \begin{matrix} (t_{i+1,j} - c_{ij}) & \text{if } t_{i+1,j} > c_{ij} \\ 0 & \text{otherwise} \end{matrix} \right\} & \text{if } CT > T_0 \\ 0 & CT = T_0 \end{cases} \quad (13)$$

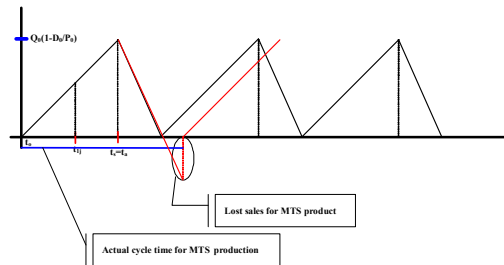


<그림 2-2> MTS 제품의 재고 수준 - MTO 제품에 생산 우선순위를 부여하는 경우 (case 2)

### 3.3 Priority Production Policy for a MTS Production

본 정책은 MTS 제품을 생산하는 도중에 MTO 제품에 대한 주문이 발생하더라도 MTS 제품의 계획 생산량만큼 생산하기 전에는 중단하지 않고, 계획 생산량을 생산한 이후 MTO 제품에 대한 생산을 주문 순서대로 처리하는 정책이다. 만일 이 때, 첫 번째 주문이 MTS 제품의 production uptime 동안 발생하면, 이 주문에 대한 생산 시점은  $t_s$  즉 MTS 제품 생산 종료 시점이 된다. 이 경우 Cycle time, 완료 시간, 초기 재고 수준, cycle time당 총 비용, lost sales cost는 다음 식 (14) ~ (19)와 같고, MTS 제품의 재고 수준은 <그림 3>과 같다.

$$\max \left[ \begin{matrix} T_0, \\ \frac{Q_0^*}{P_0} + \sum_{i=1}^n \frac{Q_{ij}}{P_j} \end{matrix} \right] + \sum_{i=1}^n \left\{ \begin{matrix} (t_{i+1,j} - c_{ij}) & \text{if } t_{i+1,j} > c_{ij} \\ 0 & \text{otherwise} \end{matrix} \right\} \quad (14)$$



<그림 3> MTS 제품의 재고 수준 - MTS 제품

생산을 중단하지 않는 경우 (case 1)

$$c_{1j} = \frac{Q_0^*}{P_0} + \frac{Q_{1j}}{P_j}$$

$$c_{ij} = \max [t_{ij}, c_{i-1,j}] + \frac{Q_{ij}}{P_j} \quad (15)$$

$$I_0 = Q_0^* \cdot (1 - D_0/P_0) \quad (16)$$

$$TC = K_0 + pc_0 Q_0^* + \frac{h_0 Q_0^{*2} (P_0 - D_0)}{2D_0 P_0} \quad (17)$$

$$LC = \begin{cases} oc_0 D_0 & \left( \frac{Q_0^*}{P_0} + \sum_{j=1}^n \frac{Q_{ij}}{P_j} \right) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} + \sum_{j=1}^n \begin{cases} (t_{i+1,j} - c_{ij}) & \text{if } t_{i+1,j} > c_{ij} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} - T_0 \quad (18)$$

본 정책에서 첫 번째 주문이 MTS 제품 생산의 production downtime 동안 발생하는 경우에 대한 재고 수준과 Cycle time, 완료 시간, 초기 재고 수준, cycle time당 총 비용, lost sales cost 등은 위 정책의 case2와 동일하다.

### 3.4 Priority Production Policies for selected MTO Productions

본 장에서는 주문의 시점과 납기일, 고객 등급 등을 고려하여 MTO 제품의 생산 시점 및 이로 인한 MTS 제품 생산의 중단 여부를 결정하는 규칙을 제안하였다.

#### 3.4.1 MTS 제품의 lost sales를 방지하는 경우

본 정책의 경우, MTS 제품의 lost sales를 최대한 방지하는 방향으로 생산 정책을 수립하는 것을 목적으로 하였다. 이러한 정책이 필요한 경우는 상대적으로 MTS 제품에 주력하는 기업 환경으로 점차 MTO 제품을 혼합하여 생산하기는 하지만 MTS 제품의 고객 중요도가 더 크거나 MTO 제품의 납기 지연에는 민감하지 않은 경우, MTS 제품에 대한 lost sales가 발생할 경우 고객의 충성도가 감소하여 장기적으로 큰 손실을 보게 되는 경우에 적합한 정책이다. 또, 본 정책에서는 생산 기간 내에 발생한 주문에 대하여 다음 생산 기간으로 이월하여 생산하는 것이 가능하다는 가정을 하였다.

MTO 제품의 생산 시점 결정과 이로 인한 전반적인 생산 정책 알고리즘은 다음과 같다.

- Step.1 (이전 생산 기간의 주문 이월 여부)  
이전 기간에서 이월된 주문이 없으면 go to step.2
- 이전 기간에서 이월된 주문에 대한 생산 시점

$$t_a^* = \frac{D_0 \sum_{j=1}^m (Q_{ij}/P_j) \forall j}{(P_0 - D_0)}$$

(m:이전 기간에서 이월된 주문 개수)

1-1)  $t_a^* < t_s$ :  $t_a^*$ 시점에 생산

1-2)  $t_a^* > t_s$ :  $t_s$ 시점에  $i=1$ 부터 주문 순서대로 생산  
이번 기간에 발생한 주문은 다음 기간으로 연기하고 step.1 반복한다.

Step.2

If,  $t_{1j} < t_s$

(이 때  $I_0 = t_{1j}(P_0 - D_0)$ )

if  $i=1, I_0/D_0 > Q_{1j}/P_j$ 이면  
MTS 제품 생산 중단,  $Q_{1j}$  생산 시작

if  $t_{i-1,j} < t_{ij} < c_{i-1,j} \forall j$   
 $I_{i-1,j}/D_0 > Q_{ij}/P_j$ 이면  $c_{i-1,j}$ 시점에  $Q_{ij}$  생산  
(이 때,  $c_{ij} = c_{i-1,j} + Q_{ij}/P_j$ )

otherwise,  $\frac{I_{i-1} - D_0(t_{ij} - c_{i-1,j})}{D_0} > Q_{ij}/P_j$ 이면

$t_{ij}$ 시점에  $Q_{ij}$  생산  
생산하지 못한 주문은 다음 기간으로 연기하고  
step.1 반복

Otherwise, go to step.3

Otherwise, go to step. 4

Step. 3 (생산 시점 결정)

$$t_a^* = \frac{D_0 Q_{1j}}{P_j (P_0 - D_0)}$$

이 때,  $t_a^* > t_s$ 이면  $t_a^* = t_s$

if  $t_{ij} < t_a^*$  이면

go to step. 2

Otherwise,  $t_a^*$ 시점에  $Q_{1j}$ 생산시작

Step. 4

$$I_0 = Q_0^* (1 - D_0/P_0) - D_0(t_{1j} - t_s)$$

if,  $I_0/D_0 > Q_{1j}/P_j$ 이면  $Q_{1j}$  생산  
otherwise, 다음 기간으로 주문 연기

$i=2$ 부터 step.2 반복

#### 3.4.2 MTO 제품의 납기일 및 고객 등급을 고려하는 경우

본 정책은 MTO 제품의 중요도가 점차 높아지는 환경에 적합한 정책이다. 점차적으로 MTO 제품 생산에 중요도를 높이고 비중을 두는 기업 환경에 적합한 정책으로, MTS 제품 고객에 대한 중요도가 상대적으로 낮은 경우이며 고객이 제시한 납기일에 맞추어 생산하는 것이 중요한 목적이다. 고객이 속한 등급에 따라 다른 중요도를 갖는다고 하였으며 이 때, 고객 등급에 따른 지연 비용을 고려하여 생산 정책을 세우도록 하였다. 또한, 생산 기간 내에

발생한 주문은 다음 기간으로 연기하지 않고 기간 내에 모두 생산하는 것을 가정하였다.

Step. 1  
 If,  $t_{1j} < t_s$   
 If,  $\frac{P_j(d_{1j}-t_{1j})}{Q_{1j}g_1} < A$  (A: 기준) 이면 MTS 생산 중단,  $Q_{1j}$  생산 시작  
 $j=2$  부터 생산 시점은  $\max[c_{i-1,j}, t_{ij}] \forall j$   
 Otherwise, go to Step. 2  
 Otherwise, go to Step. 3  
 Step. 2 (생산 시점 결정)  
 $t_a^* = d_{1j} - \frac{AQ_{1j}g_1}{P_j}$   
 이 때,  $t_a^* > t_s$  이면  $t_a^* = t_s$   
 If,  $t_{ij} \dots < t_a^* (i > 1, \forall j)$   
 $i=2$  부터  $\frac{P_j(d_{ij}-t_{ij})}{Q_{ij}g_i} < A$ 인 주문  $i$ 에 대하여  
 시점  $t_{ij}$ 에 MTS제품 생산 중단,  $Q_{ij}$ 생산  
 나머지 주문은 주문 순서(FCFS)에 따라 생산  
 Otherwise,  $t_a^*$  시점에  $Q_{1j}$  생산  
 Step. 3

$t_{1j}$ 시점에  $Q_{1j}$ 생산  
 If,  $t_{1j} < t_{ij} \dots < c_{1j}$  이면 FCFS에 따라 생산

Otherwise,  $t_{ij} \forall j$  에 각 주문에 대한 생산

4. 실험 및 분석

본 장에서는 앞에서 제시한 총 4가지 정책을 대상으로 실험을 진행하였다. 실험은 주당 주문횟수를 변화시켜 가며 진행하였고, 이 때 MTS 제품의 준비 비용은 \$250/회, 재고 비용은 \$0.5 /unit, week, 생산율은 150 units/week, 수요는 80units/week 이며 임의로 발생하는 MTO 제품의 준비비용은 (250,10<sup>2</sup>)의 정규분포를 따르도록 하였고, 주문 당 주문량은 30~ 50개로 하였다.

이 때 MTO 제품을 고려하지 않은 MTS 제품의 경제적 생산량은 위 식(1)에 따라 계산하면 약 414개이며, 이 때 Cycle time은 5.175주, production up time은 2.76주, 그리고 준비비용과 재고비용의 합은 약 \$499. 953이다. 실험은 약 31주 기간 동안의 생산 계획에 대하여 진행하였으며, 순수 계획 생산의 경우에는 약 6회의 Cycle이 발생하게 된다.

이 때, 주당 주문 횟수의 변화에 따른 실험 결과는 다음 <표 - 1>, <표 - 2>, <표 - 3> 과 같다.

<표 - 1> 주문 횟수 변화에 따른 각 정책 별 Cycle time 지표

주당 주문 횟수	# of Cycle				평균 Cycle Time				Cycle Time의 표준편차			
	priority to MTO	priority to MTS	Based on Lost sales	Based on Due date	priority to MTO	priority to MTS	Based on Lost sales	Based on Due date	priority to MTO	priority to MTS	Based on Lost sales	Based on Due date
0.25	9	7	9	7	3.337	4.238	3.339	4.433	2.191	1.659	2.199	1.514
0.50	10	6	10	10	3.060	5.175	3.060	4.662	1.580	0.000	1.580	0.529
0.75	15	6	19	6	2.012	5.195	1.576	5.115	1.734	0.049	1.657	0.242
1.00	20	7	19	7	1.640	5.331	1.813	4.686	1.881	0.343	1.618	1.841
1.25	20	6	25	6	2.646	5.459	1.275	5.375	4.911	0.655	1.127	0.571
1.50	16	5	26	6	1.902	6.086	2.139	5.254	1.430	1.318	4.155	1.400
1.75	17	5	12	5	1.784	6.167	2.441	6.152	1.437	1.110	1.337	1.251
2.00	21	5	13	7	1.441	6.839	2.780	4.700	1.139	2.282	2.057	2.826
2.25	18	4	10	5	1.724	8.105	4.231	6.529	1.529	4.434	1.669	3.614
2.50	12	3	11	4	2.575	7.753	4.148	7.804	2.424	5.716	1.784	3.908

<표 - 2> 주문 횟수 변화에 따른 정책별 MTS Production cost

주당 주문 횟수	Total MTS production cost/cycle (average)				unit production cost (MTS)			
	priority	priority	Based on	Based on	priority	priority	Based on	Based on

	to MTO	to MTS	Lost sales	Due date	to MTO	to MTS	Lost sales	Due date
0.25	384.537	499.953	387.756	444.526	1.485	1.208	1.481	1.254
0.50	358.374	499.953	358.374	456.064	1.464	1.208	1.464	1.220
0.75	294.968	499.953	300.864	416.627	1.988	1.208	2.386	1.208
1.00	304.801	499.953	303.825	393.193	2.612	1.208	2.095	1.090
1.25	283.613	499.953	276.563	495.052	2.728	1.208	2.711	1.208
1.50	289.691	499.953	275.773	453.929	2.459	1.208	2.830	1.218
1.75	284.194	499.953	320.887	493.866	2.821	1.208	1.643	1.208
2.00	268.986	499.953	360.568	368.921	3.573	1.208	1.621	1.381
2.25	272.319	499.953	440.518	426.827	3.644	1.208	1.301	1.277
2.50	281.909	499.953	437.584	410.736	2.894	1.208	1.319	1.313

< 표 - 3 > 주문 횟수 변화에 따른 정책별 평균 지연 및 lost sales

주당 주문 횟수	average tardy for MTO product				Total lost sales for MTS product (unit)			
	priority to MTO	priority to MTS	Based on Lost sales	Based on Due date	priority to MTO	priority to MTS	Based on Lost sales	Based on Due date
0.25	0.000	0.358	0.000	0.000	28.407	0.000	0.000	0.000
0.50	0.000	0.090	0.000	0.054	0.000	0.000	0.000	0.000
0.75	0.000	0.288	0.013	0.181	134.272	0.000	0.000	16.288
1.00	0.000	0.188	0.165	0.068	290.024	0.000	0.000	98.020
1.25	0.000	0.280	0.151	0.243	553.922	136.486	0.000	121.270
1.50	0.000	0.196	0.669	0.066	549.406	364.362	0.000	284.853
1.75	0.000	0.344	2.135	0.303	713.552	396.799	0.000	416.858
2.00	0.001	0.427	6.042	0.255	839.502	665.639	0.000	647.382
2.25	0.015	0.653	8.925	0.227	1136.879	937.730	0.000	1354.713
2.50	0.004	0.859	10.921	0.095	1303.452	1238.987	0.000	1246.012

실험 결과, MTO 제품에 생산 priority를 부여하는 정책의 경우, Cycle은 비교적 짧게 여러 번 발생하며 주문 횟수에 의해 영향을 많이 받는다. 또, 한 MTS제품의 개당 생산 비용이 가장 높게 나타나고 있다. 그러나 납기 지연은 거의 발생시키지 않았고, 대신 MTS 제품에 대한 lost sales를 많이 발생시키고 있으며 이는 주문 횟수가 증가함에 따라 매우 급격히 증가하고 있다. 이와는 반대로 MTS 제품의 계획 생산량만큼 생산한 후 MTO 제품에 대한 주문 처리를 하는 정책의 경우에는 주문 횟수가 증가할수록 cycle이 길어지고 이에 따른 lost sales도 증가하고 있다. 또한 주문 횟수의 증가에 따라 Cycle time과 변동 역시 급격히 증가하여 주당 주문이 2회 이상이 되면 Cycle Time의 변동이 매우 커진다. 그러나 개당 생산 비용은 일정하게 유지되고 있어 MTS 제품의 비용 측면에서는 가장 우수한 성능을 보이고 있다. 이러한 두 가지 극단적인 생산 정책에 대하여 뒤의 두 정책은 결과를 보완해주고 있다. 비교적 MTO 제품에 대한 지연은 발생시

키지 않으면서도 MTS 제품에 대한 lost sales를 많이 발생시키는 정책의 보완으로, lost sales 방지 목적의 정책은 정책 1과 비슷한 cycle time과 변동을 보이지만 lost sales는 전혀 발생시키지 않는 것을 알 수 있다. 또, 정책 2에 대한 보완으로서 납기일 고려 정책은, 정책 2와 비슷한 cycle time과 표준편차를 갖지만, 주문에 대한 지연은 정책 2에 비하여 60% 이상의 성능 향상을 보이며 주문 횟수가 증가함에 따라 성능 향상의 정도도 커져 주당 2.5회 주문이 발생할 경우, 지연 측면에서 약 9배의 성능 향상을 보이고 있다. 또, 이 때 MTS 제품에 대한 lost sales가 발생하기는 하지만 정책 1의 그것과 비교하여 적은 수치를 나타내므로 정책 1과 2의 극단적 결과에 대하여 각각을 보완하는 성능을 보인다. 이것은 기존 정책 1과 2가 MTO 제품이나 MTS 제품 한 쪽의 중요성만을 고려하여 생산하는 정책인 것에 반하여, 새롭게 제시된 정책은 Hybrid 환경에서의 MTO 제품과 MTS 제품에 대한 고려 사항을 동시에 고려하고 있기 때문이다. 또, 각 정책별 목

적이 뚜렷하고 그에 따른 결과도 그 목적에 부합함을 알 수 있다. 따라서 각 기업이나 생산 시스템의 목적에 맞는 정책을 선택하여 활용할 수 있을 것이다.

### 5. 결론 및 향후 연구

본 연구에서는 이미 일반화된 환경임에도 불구하고 그 동안은 미미하게 연구되어 온 Hybrid MTO-MTS 환경을 대상으로 하여 생산 정책에 관한 연구를 진행하였다. 기존에 Hybrid MTO-MTS 환경을 대상으로 한 연구에서는 생산 계획에 있어 MTO 제품에 대하여 무조건적 priority를 부여하는 경우가 일반적이었다. 그러나 이러한 정책은 생산 시스템의 안정성을 파괴하고 MTS 제품의 lost sales를 발생시켜 MTS 제품에 대한 고객 만족도를 낮추는 등 전체적으로 시스템의 성능에 좋은 영향을 미치지 못한다. 그럼에도 불구하고 기존의 연구에서는 MTS 제품 생산에 비하여 MTO 제품에 priority를 주는 것을 당연하게 여겨왔다. 그러나 본 연구에서는 이러한 MTO 제품에 대한 생산 priority의 문을 갖고, 극단적인 두 가지 생산 정책을 비교하였으며 이를 보완하는 두 가지 새로운 정책을 제시하였다. 또한, 실험을 통하여 각 정책의 특징과 성능을 비교하였다. 실험 결과는 각 정책이 제시하고 있는 목적에 매우 부합하고 있음을 보였으며, 이는 각 기업이 다양한 목적에 맞는 정책을 선택할 수 있도록 하였다.

Hybrid MTO-MTS 환경은 새롭게 대두되어 이미 일반화된 환경으로 MTO 환경과 MTS 환경에서의 목적이 모두 고려되어 연구되어야 하는 분야이다. 또한, 이러한 환경에서 여전히 생산 정책 및 생산 시점 결정, 생산 능력 분배 등의 문제는 가장 중요한 결정 문제라 할 수 있다. 따라서 이러한 환경을 고려한 생산 정책에 관한 문제는 본 연구에서 제안하는 생산 시점 결정 규칙뿐만 아니라 MTS 제품의 재고 수준 결정, MTS 제품과 MTO 제품을 동시에 고려한 스케줄링, 각 제품에 대한 생산 능력 분배 등 그 분야가 매우 다양하며 연구의 필요성이 매우 많이 요구되는 분야라 하겠다.

### 6. 참고 문헌

Arreola-Risa, A. and DeCroix, G. A. (1998), Make-to-order versus make-to-stock in a production-inventory system with general production times, *IIE Transactions*, 30, 705 ~ 713  
 Ben-Daya, M. (2001), The economic production lot-sizing problem with imperfect production process and imperfect maintenance, *International Journal of Production Economics*, 76, 257 ~ 264  
 Carr, S. and Duenyas, I. (2000), Optimal Admission control and sequencing in a Make-to-Stock /Make-to-

-order Production System, *Operations Research*, 48(5), 709 ~ 720  
 Carravilla, M.A and Pinho de Sousa, J. (1995), Hierarchical production planning in a Make-To-Order company : A case study, *European Journal of Operations Research*, 86, 43 ~ 56  
 Federgruen, A. and Katalan, Z. (1999), The Impact of Adding a Make-to-order Item to a Make-to-Stock Production System, *Management Science*, 45 (7), 980 ~ 994  
 Giri, B.C. and Yun, W.Y (2005), Optimal lot sizing for an unreliable production system under partial backlogging and at most two failures, *International Journal of Production Economics*, 95, 229 ~ 243  
 Hendry, L.C., Kingsman, B.G. and Cheung, P.(1998), The effect of workload control (WLC) on performance in make-to-order companies, *Journal of Operations Management*, 16, 63 ~ 75  
 Jensen, J.B., Philipoom, P.R. and Malhotra, M.K. (1995), Evaluation of scheduling rules with commensurate customer priorities in job shops, *Journal of Operations Management*, 13, 213 ~ 228  
 Larsen, C.(2005), The economic production lot sizing model extended to include more than one production rate, *International Transactions in Operations Research*, 12, 339 ~ 353  
 Rajagopalan, S. (2002), Make to order or Make to stock : Model and Application, *Management Science*, 48 (2), 241 ~ 256  
 Sawik, T. (2005), Integer Programming Approach 새 Production Scheduling for Make-To-Order Manufacturing, *Mathematical and Computer Modeling*, 41, 99 ~ 118  
 Soman, C. A. , van Donk, D. P. and Gaalman, G.(2004), Combined make-to-order and make-to-stock in a food production system, *International Journal of Production Economics*, 90, 223 ~ 235  
 Sphicas, G.P. (2006), EOQ and EPQ with linear and fixed backorder costs : Two cases identified and models analyzed without calculus, *International Journal of Production Economics*, 100, 59 ~ 64  
 Su, L.H, Chang, P.C. and Lee, E.S. (1998), A Heuristic for Scheduling General Job Shops to Minimize Maximum Lateness, *Mathematical and Computer Modeling*, 27 (1), 1 ~ 15  
 Van Donk, D. P. (2001), Make to stock or make to order: The decoupling point in the food processing industries, *International Journal of Production Economics*, 69, 297 ~ 306