

# 스무딩된 주문 정책이 공급사슬의 성과지표에 미치는 영향

조면식<sup>1†</sup>

## Impact of Smoothed Replenishment Ordering Policy on the Performance Measures in Supply Chain

Myeon Sig Cho

### ABSTRACT

This study investigates impact of smoothed replenishment ordering policy on the performance measures such as lead time, order fulfillment ratio, and inventory cost. We consider a two-echelon supply chain: a single retailer orders using smoothed order up to replenishment policy and a manufacturer produces the retailer's orders on a make to order basis. Simulation result confirms that lead time from the manufacturer can be reduced by smoothed ordering policy as expected. However, smoothing orders may deteriorate the customer order fulfillment ratio and inventory cost in a retailer. We also observe that variance of manufacturing time contributes more than mean of manufacturing time to both order fulfillment ratio and inventory cost. Therefore, variability of upstream manufacturing time should be minimized.

**Key words** : Smoothed ordering policy, Lead time, Order fulfillment ratio, Inventory cost

### 요약

본 연구에서는 스무딩된 주문정책이 리드타임, 만족율, 재고비용에 미치는 영향을 연구한다. 이를 위해 스무딩된 order up to 주문정책을 사용하는 하류업체와 make to order 방식을 사용하는 상류업체로 구성된 공급사슬을 사용한다. 스무딩을 하면 리드타임이 예상하는 바와 같이 감소된다. 그러나 스무딩에 의해 하류업체에서의 만족율이 감소하며 재고비용이 증가된다. 한편 상류업체 제조시간의 분산이 평균 제조시간보다 만족율 및 재고비용에 미치는 영향이 더 크므로, 상류업체 제조시간의 변동성을 최소화해야 한다.

**주요어** : 스무딩된 주문정책, 리드타임, 만족율, 재고비용

## 1. 서론

공급사슬(supply chain)은 소매상, 도매업체, 제조업체, 공급업자 등으로 구성된 일련의 네트워크이다. 소매상과 같은 공급사슬내의 하류업체로부터 발생하는 주문이 상류업체로 올라갈수록 증폭되는 현상은 오랫동안 산업체에서 알려져 왔다.

Lee 등(1997a, 1997b)은 이런 현상을 Bullwhip Effect (채찍효과, BE)라고 정의하였으며, BE의 원인을 다음 4가지로 분류하고(demand signal processing, order batching, price variation, shortage and rationing game), 이들 각 원인에 대한 해석적 분석 및 대응책을 제시하였다. 한편 BE가 발생하면 공급사슬내의 각 주체들은 비계획적인 구매로 인한 원자재 구입비용 상승, 추가적인 생산능력 보유 비용, 더 많은 안전 재고비용, 비효율적인 이용도 및 잔업비용, 과도한 창고비용 및 추가적인 수송비용 등으로 인하여 비용이 증가되며 즉 이익이 감소하며 서비스 수준도 나빠지게 된다(Mettters, 1997).

BE에 관한 대부분의 논문에서는 최종 소비자의 수요 형태 및 상류업체로부터의 리드타임이 주어졌다는 가정 하에, 공급사슬의 각 단계에서 전략적으로 결정하는 수요

\*본 연구는 2009학년도 경기대학교 학술연구비 지원에 의하여 수행되었음.

접수일(2011년 1월 17일), 심사일(1차 : 2011년 4월 9일), 게재 확정일(2011년 5월 24일)

<sup>1)</sup> 경기대학교 산업경영공학과

주 저 자 : 조면식

교신저자 : 조면식

E-mail; mscho@kgu.ac.kr

예측기법, 주문정책, 정보공유 형태 등이 BE의 크기에 미치는 영향 및 이로 인해 영향을 받는 각 단계에서의 만족율, 재고 및 관련비용 등에 관한 분석을 하고 있다(Cho and Chang, 2008).

리드타임은 안전재고 수준 결정 및 수요예측을 위해 필요한 자료의 양에 영향을 미치므로 BE 연구에서 매우 중요한 요소이다(Chen 등, 2000a). 하류업체가 주문한 제품을 상류업체로부터 공급받는데 소요되는 리드타임은 정보처리 형태, 상류업체의 제조형태(make to stock 혹은 make to order), 주문 할당 및 배송 방법 등에 의해 영향을 받는 변수임에도 불구하고, 많은 논문에서 리드타임은 주어진 입력자료라고 가정하는 경향이 있다.

그러므로 본 연구에서는 공급사슬내의 하류업체에서 실행하는 주문정책이 제한된 제조능력을 갖춘 상류업체로부터 제품을 인수하는데 소요되는 리드타임에 미치는 영향을 연구하며, 이와 같은 리드타임이 하류업체에서의 또 다른 성과지표인 만족율 및 재고비용에 미치는 영향을 연구하고자 한다. 이를 위해 리드타임은 상류업체의 제조능력에 의해서만 결정된다고 가정하며, 하류업체에서는 주문량의 변동성을 감소하기 위해 Boute 등(2007)에서 사용된 스무딩된 주문정책을 사용한다.

## 2. 연구동향

앞서 언급한 바와 같이 리드타임은 BE 연구에서 매우 중요한 요소이다. 그럼에도 불구하고 거의 모든 BE 연구(e.g., Lee 등, 1997b; Chen 등, 2000a, b; Dejonckheere 등, 2003, 2004)에서는 이러한 리드타임을 주문 검토기간(order review period)의 배수로 가정하고 있다. 즉, 리드타임은 주어진 값이며 상수라고 가정하는 경향이 있다. 한편 이들 연구에서는 주문 기간의 몇 배수를 리드타임으로 정해야하는지에 관한 언급은 없다. 즉, 임의의 리드타임을 이용하여 연구를 수행하였다.

Lee와 Billington(1993)은 제조 리드타임을 연구하기 위해 queueing 모델을 사용할 것을 제안하였으나, 이에 대한 연구는 수반되지 않았다. Raghavan과 Viswanadham(2001)은 make to order 시스템에서 리드타임의 평균값과 분산을 대기행렬 네트워크를 이용하여 계산하였으며, Chebyshev의 부등식을 이용하여 리드타임의 상한 값을 제시하였다. 그러나 상한 값의 성능에 관해서는 연구하지 않았다.

Boute 등(2007)은 하류업체에서 주문을 스무딩하여

BE를 감소시키는 주문정책이 상류업체로부터 제품을 공급받는 리드타임에 미치는 영향에 대한 연구를 수행하였다. 이들은 상류업체의 제조시간이 지수분포를 따른다고 가정하였으며, 2단계 서비스 시간을 이용하여 이산형 시간 queueing 모델로 연구하였다. 그러나 주문량이 벌크이며 또한 독립이 아니므로 리드타임을 정확하게 구하는 것은 쉽지 않다. 이들은 하류업체에서 주문을 스무딩 할 경우에 상류업체에 도달하는 주문의 변동성이 감소하는 반면에, 스무딩으로 인해 동일한 소비자 만족율을 유지하기 위해서는 하류업체에서의 안전재고를 늘려야 할 것 같지만, 상류업체로부터의 리드타임의 평균과 분산이 감소하기 때문에 하류업체는 결과적으로는 더 적은 안전재고를 가지고도 동일한 서비스 만족율을 유지할 수 있다고 주장하였다.

즉 많은 연구에서 수요예측기법, 주문정책, 정보공유의 정도 등에 의해 영향을 받는 리드타임을 상수라고 가정을 하였다. 또한 대기행렬을 이용하여 리드타임을 연구한 논문들도 상류업체의 제조시간이 분석의 용이성을 위해 주로 사용되는 지수분포를 따른다고 가정을 하였으며, 스무딩 정책을 사용할 경우에 리드타임의 변동성이 하류업체에서의 만족율 및 재고비용 등에 미치는 영향을 분석하지 않았다. 그러므로 본 연구에서는 지수분포 이외의 확률분포를 사용하여, 스무딩이 만족율 및 재고비용 등에 미치는 영향을 연구하고자 한다.

## 3. 하류업체의 주문정책

본 연구에서는 하류업체에서의 주문정책이 상류업체로부터의 리드타임에 미치는 영향과 이로 인한 하류업체의 만족율, 재고비용 등에 미치는 영향을 분석하기 위해 하류업체와 상류업체의 두 단계로 이루어진 간단한 공급사슬에 대한 연구를 수행한다.

하류업체에서 사용되는 주문 정책은 주기적으로 재고를 파악하여 목표 재고량까지 주문하는 Order Up To(OUT) 정책과 (s,s)정책 및 이들의 변형으로 분류될 수 있다. OUT 정책은 매우 많은 논문에서 사용되고 있으며(e.g., Chen 등, 2000a, 2000b; Zhang, 2004; Gaalman과 Disney, 2006; Boute 등, 2007), 주문의 분포가 정규분포를 따르고 고정 주문비용이 없으며 주기적으로 주문을 할 경우에는 최적의 주문정책이다(Clark과 Scarf, 1960). 그러므로 본 연구에서는 하류업체가 주기적으로 재고를 조사하여 목표 주문량까지 주문하는 OUT 정책을 사용한다.

OUT 정책에서 각 주문 검토기간 말에서의 주문량 ( $O_t$ )은 다음과 같이 결정된다.

$$O_t = S_t - IP_t \quad (1)$$

$S_t$ 는 기간  $t$ 의 목표 재고량이며,  $IP_t$ 는 기간  $t$ 말의 재고수준(inventory position)으로 이는 순 재고(net inventory)와 주문중인 재고(inventory on order)를 합한 값이다. 여기서 순 재고는 현재 보유하고 있는 재고(on hand inventory)에서 미충족 주문(backorder)을 뺀 값이다.

목표 재고량은 주문 검토기간( $R$ )과 주문 후 주문량이 도착하기까지 소요되는 평균 리드타임( $L$ ) 동안에 발생하는 수요 예측량과 이 기간 동안 발생할 수 있는 불확실한 수요에 대비하기 위한 안전 재고의 합으로 계산될 수 있다. 하류업체로부터의 주문이 i.i.d.라면, 최선의 수요 예측은 지난 수요의 평균값이므로 이 기간 동안의 수요 예측량은  $(R+L)E(D)$ 이며, 안전재고량은  $k\sigma\sqrt{R+L}$ 이다 (Simchi-Levi 등, 2003). 여기서  $E(D)$ 는 단위 시간 당 평균 수요량,  $k$ 는 요구되는 서비스 수준을 만족시키기 위해 선택된 안전계수,  $\sigma$ 는 수요의 표준편차이다. 즉, 목표 재고량은 식 (2)와 같이 표현되며, 수요가 i.i.d인 경우,  $S_t = S, \forall t$ 이다.

$$S_t = (R+L)E(D) + k\sigma\sqrt{R+L} \quad (2)$$

한편 기간  $t$ 에 발생한 수요량이  $D_t$ 라면,  $IP_t = S_{t-1} - D_t$ 이므로 식 (1)의 주문량은 다음과 같이 표시된다.

$$O_t = S_t - (S_{t-1} - D_t) \quad (3)$$

목표 재고량이 일정하다면  $O_t = D_t$ 이므로, 수요의 변동성과 주문량의 변동성이 동일하다. 그러므로 하류업체에 발생하는 수요가 매우 요동을 치는 경우에는 상류업체에 도착하는 주문량의 변동성이 커지는 문제점이 발생한다.

OUT 정책에 의해 발생 가능한 주문량의 변동성을 줄이기 위한 방법으로, 주문을 스무딩(smoothing)하는 여러 가지 방법이 사용되고 있다(Disney와 Towill, 2003a, 2003b; Dejonckheere 등, 2004; Boute 등, 2007 등). 본 연구에서는 Boute 등이 주문량의 변동성을 감소시키기 위해 사용한 스무딩된 OUT 주문정책을 하류업체에서 사용하며, 수요는 i.i.d라고 가정한다. 이 경우 주문량은 식 (4)와 같다. 이들의 아이디어는 목표 재고량과 재고수준의 차이를 한 기간에 만회하기보다는, 이 차이의 일정

비율 즉  $\beta$  만큼만을 주문하자는 것이다.

$$O_t = \beta(S - IP_t) \quad (4)$$

Boute 등은 식 (4)가  $O_t = (1-\beta)O_{t-1} + \beta D_t$ 으로 표시될 수 있으므로, 이들이 사용한 주문 정책은 Balakrishnan 등(2004)이 주문 변동성을 감소시키기 위해 독립적으로 개발한 지수적 스무딩 정책(식 (5))과 동일함으로 보여 주고 있다.

$$O_t = \sum_{k=0}^{\infty} \beta(1-\beta)^k D_{t-k} \quad (5)$$

식 (4)와 같은 스무딩 정책을 사용할 경우에, Boute 등에 의하면 주문의 분산은

$$\begin{aligned} \text{Var}(O) &= (1-\beta)^2 \text{Var}(O) + \beta^2 \text{Var}(D) \\ &= \frac{\beta}{2-\beta} \text{Var}(D) \end{aligned} \quad (6)$$

이다. 그러므로  $0 < \beta < 1$ 이면 상류업체에 도착하는 주문량의 분산이 하류업체에 발생하는 수요의 분산보다 작게 되므로, 즉  $\text{Var}(O)/\text{Var}(D) < 1$ , BE가 발생하지 않는다. 그러나  $1 < \beta < 2$ 이면 주문량의 분산이 수요의 분산보다 커지므로 BE가 발생한다. 즉,  $\beta$  값은 BE에 영향을 미친다.

#### 4. 시뮬레이션 모델

본 연구에서는 위에서 설명한 주문정책이, 상류업체로부터의 리드타임과 하류업체에서의 만족율, 재고비용에 미치는 영향을 수치적으로 분석하기 위해 시뮬레이션 모델을 사용한다.

하류업체에 도착하는 소비자 주문의 도착간격 시간은 평균 1일인 지수분포를 따르며, 각 주문의 양은 최소 1개, 최대 5개인 이산형 일양분포를 따른다고 가정한다. 소비자로부터의 주문 도착시, 하류업체가 주문량보다 같거나 많은 양의 재고를 보유하고 있다면 소비자의 주문은 즉각적으로 만족된다. 그러나 충분한 재고가 없다면 소비자로부터의 주문은 불만족 처리되며, 현재 보유하고 있는 재고만 소비자에게 보내진다. 부족한 주문량은 추후 상류업체로부터 납품이 이루어질 때 FCFS 방식에 의해 보충된다. 즉, 판매 손실(lost sales)은 발생되지 않으며, 일부 납품을 허용한다. 일부 납품이 될 경우에도 소비자는 불만족한다. 만족율은 총 만족횟수/총 주문횟수로 정의된다.

하류업체에서는 주문 검토기간인 매 10일마다 주문 여부 및 주문량을 앞에서 설명한 주문정책을 이용하여 결정한다. 식 (4)에 의해 계산된 값은 반올림된 후 상류업체에 주문된다. 이들은 make to order 방식을 사용하는 상류업체에서의 대기행렬에서 대기하다가, 주문된 양이 FCFS로 모두 생산된 후 하류업체로 배송된다. 상류업체에서의 제조시간 및 이들의 분포가 리드타임, 만족율, 그리고 재고 비용 등에 미치는 영향을 분석하기 위해 다음과 같은 네 개의 case에 대한 분포 및 시간을 이용하였다. Case 1: 지수분포(0.3일)/개, Case 2: 삼각분포(0.2일, 0.3일, 0.4일)/개, Case 3: 지수분포(0.2일)/개, Case 4: 삼각분포(0.1일, 0.2일, 0.3일)/개.

Kelton 등(2007)에서 언급된 바와 같이 삼각분포는 서비스 시간을 모델링하기 위해 빈번히 사용되는 분포이나, 지수분포는 이와 달리 변동성이 높기 때문에 제조시간을 모델링하기 위해 적절하지 못하다. 그러나 많은 연구 논문에서 해석적 분석의 용이성을 위해 지수분포를 사용하였으므로 본 연구논문에서도 지수분포에 대한 실험을 수행하기로 한다. 한편 Case 1과 2의 경우에는 상류업체의 이용도가 0.9, Case 3과 4에서는 이용도가 0.6이 되도록 파라미터를 설정하였다.(일 평균 도착 개수가 3개이며, Case 4에서의 평균 가공시간이 0.2일/개이므로, Case 4의 이용도는 0.6이다.)

상류업체에서 생산 완료된 제품은 즉각적으로 하류업체에 배송된다. 하류업체에 미충족 주문들이 있다면, 이들은 FCFS에 의해 서비스된 후 나머지 제품들은 하류업체의 재고로 쌓인다. 하류업체에서의 주문발생부터 생산이 완료되어 하류업체에 제품이 도달할 때까지의 시간을 리드타임이라고 한다.

하류업체에서의 목표 재고량을 설정하기 위한 식 (2)에서, 리드타임은 단순히 주어진 데이터가 아니라 상류업체에 도착하는 주문량, 제조시간의 분포 및 이용도의 함수이며 미지의 값이다. 그러므로 본 연구에서는 리드타임이 10, 20, 30, 40일이라고 임의로 가정하고, 99% 만족율을 위해  $k$  값을 2.33로 설정하여 계산된 네 개의 목표 재고량 (77, 110, 143, 176)들을 이용하여, 이들이 시스템에 미치는 영향을 분석한다.

본 연구에서는 소비자의 주문이 확률적으로 도착하며, 이들의 주문량 역시 확률적으로 발생한다. 한편 상류업체에서의 제조시간 분포 역시 확률적이다. 이런 확률적 현상이 시스템에 미치는 영향을 최소화하기 위한 분산 감소 기법으로 CRN(common random number) 기법을 사용하였다.

초기에 보유하고 있는 재고(on hand inventory)가 결과에 미치는 영향을 최소화하기 위해, 각 replication에서 600일을 warm up기간으로 설정하였으며, warm up 이후에 6000일, 즉 600번의 검토 주기 동안 시뮬레이션을 수행하기로 결정하였다. 또한 이렇게 독립적으로 수행된 replication들의 만족율에 대한 95% 신뢰구간의 half length를 평균 만족율의 1% 이내로 하기 위해 80회씩 반복하기로 하였다. 즉, replication-deletion 기법을 이용하여 steady state 시뮬레이션 결과를 분석하였다.

## 5. 실험결과

이 절에서는 스무딩 정책이 하류업체에서의 리드타임, 만족율, 그리고 재고비용에 미치는 영향과 상류업체의 제조시간이 만족율과 재고 비용에 미치는 영향에 대한 수치 분석을 한다.

### 5.1 스무딩 정책이 리드타임에 미치는 영향

상류업체로부터의 리드타임은 스무딩을 할수록, 즉  $\beta$  값이 감소할수록, 줄어들음을 표 1로부터 알 수 있다. Boute 등(2007)의 실험결과에 의하면  $\beta$  값이 0.5일 때 리드타임이 가장 적었으나, 본 연구에 의하면  $\beta$  값이 0.25로 감소할 때까지 리드타임이 지속적으로 감소하였다. 이러한 감소형태는 하류업체에서 사용하는 목표 재고량 값과 상류업체의 제조시간 분포 및 이용도에 관계없이 동일하다.

리드타임은 제조시간 분포에 의해 매우 큰 영향을 받음을 표 1로부터 알 수 있다. 즉  $\beta$  값과 이용도가 동일한 경우에 목표 재고량에 상관없이, 제조시간의 변동성이 감소할수록(지수분포에서 삼각분포로 변경될 경우에), 리드타임이 급격하게 감소함을 알 수 있다. 또한 제조시간이 지수분포를 따르는 Case 1과 Case 3을 살펴보면, 이용도가 0.9에서 0.6으로 감소함에 따라, 즉 33.3% 감소함에 따라, 리드타임이 82.1% ~ 83.6% 감소하였다. 그러나 제조시간이 삼각분포를 따르는 Case 2와 Case 4를 비교해보면, 리드타임이 45.9% ~ 55.5% 감소하였다. 즉, 리드타임은 제조시간이 지수분포를 따를 경우에, 삼각분포보다 이용도 감소에 더 민감하게 반응함을 알 수 있다. 이러한 결과는 모델링 편의를 위해 상류업체 제조시간이 지수분포라고 가정할 경우에는 타당성(validation) 문제가 발생할 수 있음을 보여주고 있다.

목표 재고량의 변화에 따른 리드타임을 보여주고 있는 그림 1에 의하면, 리드타임은 OUT 정책에서 사용하는 목표 재고량에 의해 거의 영향을 받지 않음을 알 수 있다.

표 1. 각 Case 별  $\beta$ 가 리드타임에 미치는 영향(단위: 일)

	$\beta$						
	1.75	1.5	1.25	1	0.75	0.5	0.25
Case 1 (지수, 0.9)	74.91	71.23	62.62	58.52	55.99	54.45	53.11
Case 2 (삼각, 0.9)	15.78	14.86	13.86	13.27	12.71	12.05	11.12
Case 3 (지수, 0.6)	12.49	11.70	10.50	10.17	9.85	9.60	9.36
Case 4 (삼각, 0.6)	7.15	6.62	6.28	6.14	6.07	6.04	6.02

(a) 목표 재고량 = 77

	$\beta$						
	1.75	1.5	1.25	1	0.75	0.5	0.25
Case 1 (지수, 0.9)	73.07	65.32	62.42	56.88	54.99	53.72	52.99
Case 2 (삼각, 0.9)	15.80	14.72	13.94	13.27	12.71	12.06	11.14
Case 3 (지수, 0.6)	12.38	11.21	10.75	10.13	9.82	9.57	9.36
Case 4 (삼각, 0.6)	7.16	6.59	6.29	6.15	6.08	6.04	6.02

(b) 목표 재고량 = 110

	$\beta$						
	1.75	1.5	1.25	1	0.75	0.5	0.25
Case 1 (지수, 0.9)	74.65	67.68	63.80	57.97	56.39	54.75	53.63
Case 2 (삼각, 0.9)	15.86	14.80	13.99	13.28	12.72	12.07	11.15
Case 3 (지수, 0.6)	12.58	11.33	10.67	10.11	9.81	9.57	9.36
Case 4 (삼각, 0.6)	7.16	6.62	6.29	6.15	6.08	6.03	6.02

(c) 목표 재고량 = 143

	$\beta$						
	1.75	1.5	1.25	1	0.75	0.5	0.25
Case 1 (지수, 0.9)	76.39	67.10	61.27	59.94	57.18	55.27	53.77
Case 2 (삼각, 0.9)	15.80	14.68	13.93	13.32	12.74	12.07	11.13
Case 3 (지수, 0.6)	12.64	11.41	10.58	10.18	9.84	9.59	9.37
Case 4 (삼각, 0.6)	7.17	6.60	6.28	6.15	6.08	6.04	6.02

(d) 목표 재고량 = 176

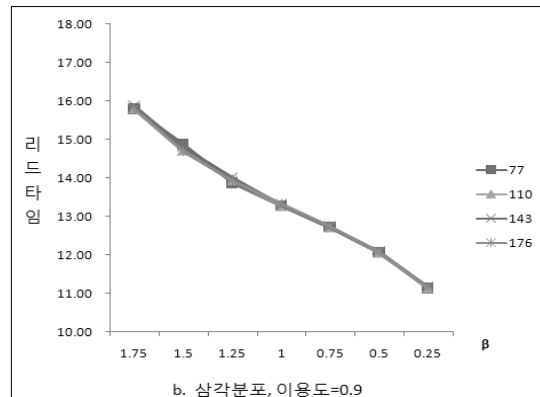
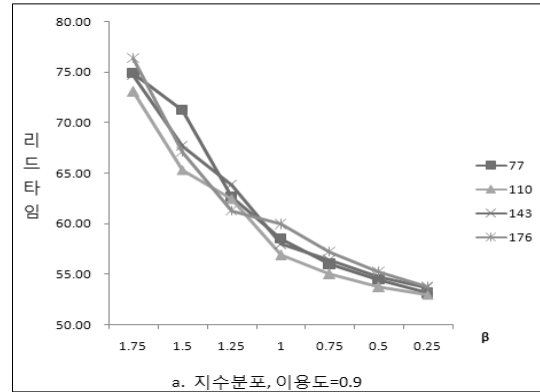


그림 1. 목표 재고량에 따른 리드타임(단위: 일)

(이용도가 0.6인 경우에도 유사한 결과를 보여주고 있다.) 식 (2)에서 목표 재고량은 리드타임에 의해 영향을 받음에도 불구하고, 리드타임은 하류업체의 목표 재고량에 의해서 거의 영향을 받지 않는 대신에  $\beta$ 값 및 상류업체의 제조시간의 분포와 이용도에 의해서 큰 영향을 받는다.

### 5.2 스무딩 정책이 만족율에 미치는 영향

그림 2는 스무딩이 하류업체에서의 소비자 만족율에 미치는 영향을 보여주고 있다. 이 그림에서  $\beta=1$  혹은  $\beta=1.25$ 인 경우에 만족율이 가장 높음을 알 수 있다. 즉 리드타임만 고려한다면 스무딩이 유용한 정책이지만, 소비자 주문에 대한 만족율을 고려한다면 스무딩이 매력적인 방법이 아님을 수치적으로 보여주고 있다. 이와 같은 결과는 상류업체의 제조시간 분포 및 이용도, 목표 재고량과 상관없이 동일하다.

그림 2에서 Case 1(지수분포, 이용도=0.9)과 Case 2(삼각분포, 이용도=0.9)의 경우에는 이용도가 같음에도 불구하고, 만족율은 매우 다르다. Case 1에서 리드타임이 주문 주기의 네 배라고 임의로 가정을 하고 소비자 만족

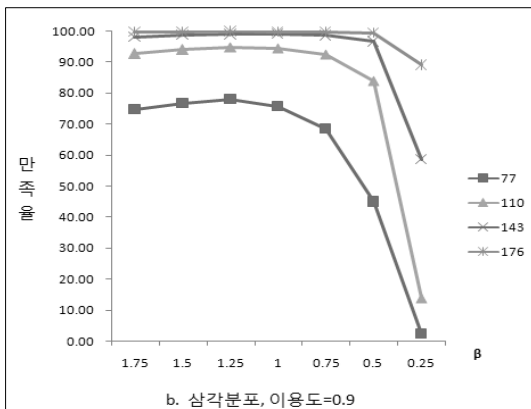
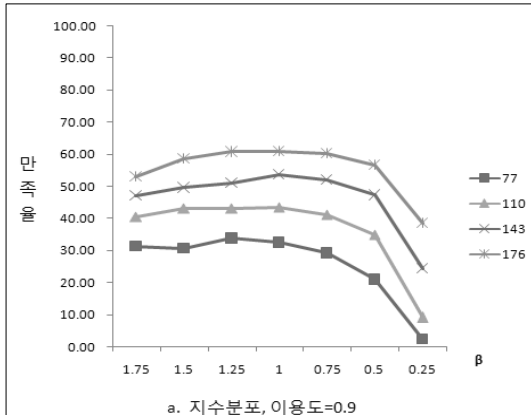


그림 2. 목표 재고량별 소비자 만족율(단위: %)

율을 99%로 유지하기 위해 설정한 목표 재고량 176개를 적용했을 경우에도, 모든  $\beta$ 값에 대해 만족율은 최대 61%를 넘지 못하고 있다. 한편, Case 2의 경우에도 리드타임이 주문 주기의 네 배 이상이라고 가정해야만 목표 주문율을 99%를 만족할 수 있다. 즉, 기존 연구에서와 같이 임의로 리드타임을 결정했을 경우에는 원하는 주문율에 상당히 미달할 수 있음을 실험적으로 보여주고 있다. 또한 Case 2는 상류업체 제조시간의 변동성을 감소시키는 것이 하류업체의 만족을 증가에 매우 중요함을 보여주고 있다.

### 5.3 스무딩 정책이 재고비용에 미치는 영향

Boute 등(2007)은 스무딩을 할수록 리드타임이 감소하므로, 동일한 만족율을 유지하기 위한 안전재고가 감소한다고 주장하였다. 이들은 스무딩에 의해 안전재고는 U자형으로 변화함을 보여주고 있다. 즉  $\beta$ 값이 0.5일 때 안전재고의 양이 최소이며,  $\beta$ 값이 0.5보다 작아진다면 안전재고의 양은 지속적으로 증가함을 보여주고 있다. 본 연

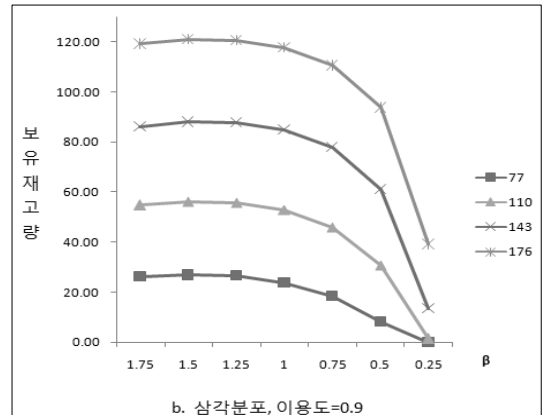
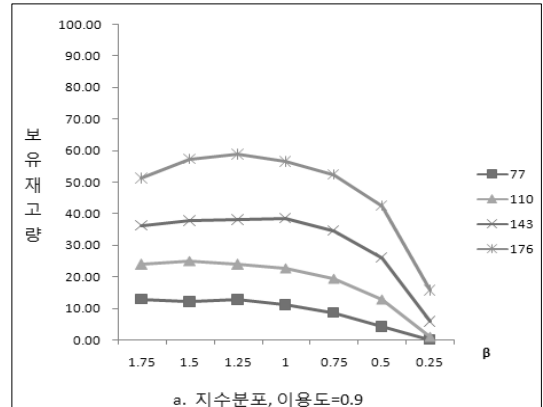


그림 3. 평균 보유 재고량(on hand inventory)

구에서 구한 그림 3 역시 스무딩을 할수록 보유 재고량이 급격히 감소함을 보여주고 있다.(그러나 Boute 등과 달리  $\beta$ 값이 0.25로 감소할 때까지 보유재고량이 지속적으로 감소한다.) 즉 Boute 등(2007) 및 본 실험의 결과는 스무딩 정책에 의해 안전재고(보유재고량)가 감소하므로 재고 유지비용이 감소함을 보여주고 있다.

그러나 그림 4에서 볼 수 있듯이 스무딩을 할수록 미충족 주문량이 늘어나므로, 재고 부족비용이 급격히 증가하게 된다. 그림 4에서 Case 및 목표 재고량에 관계없이  $\beta$ 값이 1에 가까울 때, 다시 말해 스무딩을 하지 않았을 때, 미충족 주문량이 가장 작음을 알 수 있다. 일반적으로 단위당 재고 유지비용보다 단위당 재고 부족비용이 크다고 할 수 있으므로, 스무딩을 할 경우에 재고 유지비용은 감소하지만, 재고 유지비용과 부족 비용의 합인 재고비용은 증가할 수도 있다.(Boute 등(2007)에서는 재고 부족비용에 관한 언급을 하지 않았다.)

그림 5는  $\beta$ 값이 매우 크거나 작을 경우에 불만족 된 소비자 주문을 재 충족시키는데 소요되는 시간이 증가됨

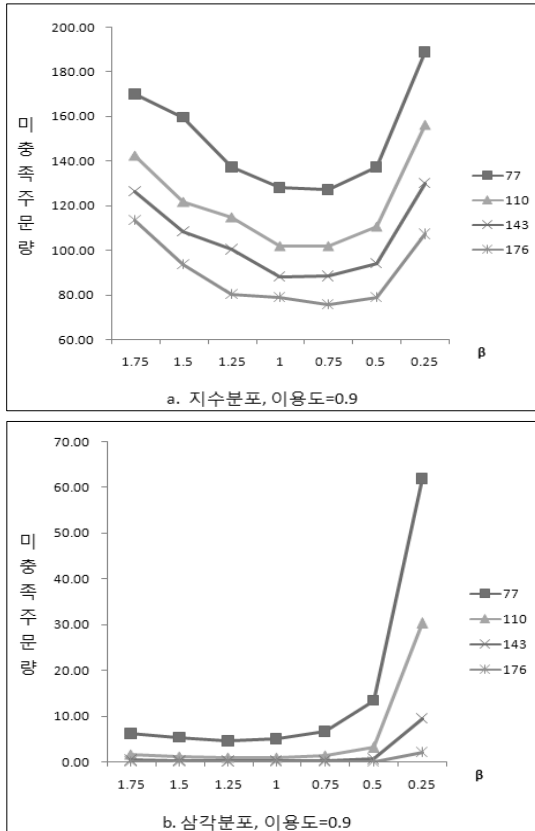


그림 4. 평균 미충족 주문량(backorder)

을 보여주고 있다. 즉, 스무딩 정책을 사용할 경우에는 불만족된 소비자를 만족시키는데 소요되는 시간이 더욱 증가한다. 목표 재고량이 클 경우에는 불만족 시 부족한 숫자가 적기 때문에 만족시키는데 소요되는 시간이 상대적으로 짧게 걸린다.

Boute 등(2007)은 스무딩을 함으로써 상류업체로부터의 리드타임의 평균과 분산이 감소하기 때문에 하류업체는 결과적으로는 더 적은 안전재고를 가지고도 동일한 서비스 만족율을 유지할 수 있다고 주장하였다. 그러나 위 실험 결과에 의하면, 스무딩을 할수록 리드타임이 감소하지만, 공급사슬의 또 다른 주요한 성과지표인 만족율이 감소하며 또한 재고 부족비용이 증가함에 따라 재고비용이 증가할 수 있음을 보여주고 있다.

#### 5.4 제조시간의 변동성이 만족율과 재고비용에 미치는 영향

표 1(c)는 이용도가 0.6인 Case 3(지수분포)의 리드타임이 이용도가 0.9인 Case 2(삼각분포)의 리드타임보다

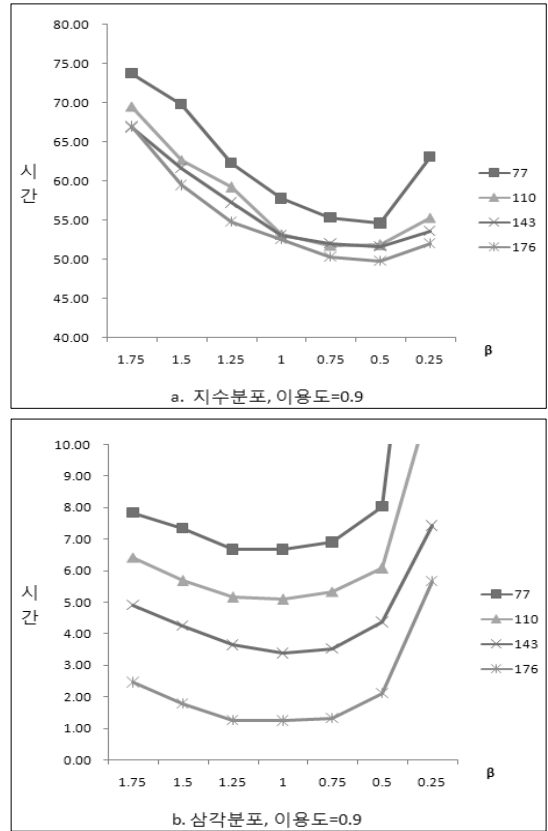


그림 5. 불만족된 소비자 주문을 재 충족하는데 소요되는 시간(단위: 일)

짧다는 자명한 결과를 보여주고 있다. 그러나 표 2는 리드타임이 짧은 Case 3의 만족율이 리드타임이 더 긴 Case 2 보다 더 낮음을 보여주고 있다. 이는 리드타임의 평균 값이 짧은 경우에 만족율이 더 높을 것이라는 일반적인 상식에 반하는 현상이다.( $\beta=1$ 인 경우에, Case 3의 리드타임의 95% 신뢰구간은  $10.11 \pm 0.32$ 이며, Case 2의 리드타임의 95% 신뢰구간은  $13.28 \pm 0.25$ 이다. 그러나 리드타임이 짧은 Case 3의 만족율은  $96.80 \pm 0.46$ 인 반면에, 리드타임이 긴 Case 2의 만족율의 95% 신뢰구간은  $98.96 \pm 0.30$ 이다.) (목표 재고량이 143개 이외의 경우에도 동일한 결과를 보여주고 있다.) 위의 결과는 리드타임이 다소 길더라도 리드타임 자체의 변동성이 낮은 Case 2가 만족율 측면에서 더 유리함을 의미한다.

표 3에서  $\beta=1$ 인 경우에, 이용도가 0.6인 Case 3의 경우에 평균 미충족 주문량은 1.20개인 반면에, 이용도가 0.9이지만 제조시간의 변동성이 적은 Case 2의 경우는 미충족 주문량이 0.17개이다. 또한 표 4에서  $\beta=1$ 인 경우에

표 2. 목표 재고량이 143일 경우의 만족율(단위: %)

	$\beta$						
	1.75	1.5	1.25	1	0.75	0.5	0.25
Case 1 (지수, 0.9)	47.05	49.58	50.99	53.62	52.10	47.26	24.42
Case 2 (삼각, 0.9)	98.13	98.66	98.94	98.96	98.55	96.57	58.50
Case 3 (지수, 0.6)	94.60	96.00	96.48	96.80	96.39	94.42	67.97
Case 4 (삼각, 0.6)	99.96	99.98	99.99	100.00	100.00	99.97	81.36

표 3. 목표 재고량이 143일 경우의 평균 미충족 주문량

	$\beta$						
	1.75	1.5	1.25	1	0.75	0.5	0.25
Case 1 (지수, 0.9)	126.48	108.48	100.29	88.16	88.44	94.08	130.07
Case 2 (삼각, 0.9)	0.37	0.25	0.17	0.17	0.24	0.59	9.40
Case 3 (지수, 0.6)	2.84	1.69	1.41	1.20	1.29	1.92	10.32
Case 4 (삼각, 0.6)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.04

Case 3의 평균 보유 재고량은 96.68개인 반면에, Case 2의 평균 보유 재고량은 85.05개로 더 적음을 알 수 있다. 즉, 이용도는 낮지만 제조시간의 변동성이 더 큰 Case 3가 이용도는 높지만 제조시간의 변동성이 적은 Case 2보다 재고 부족비용과 재고 유지비용으로 합으로 계산되는 재고비용 측면에서 더 불리하다.

즉 상류업체로부터의 리드타임이 다소 길더라도, 리드타임의 변동성을 줄임으로써 만족율을 향상시키고 재고비용을 감소시킬 수 있다. 리드타임의 변동성을 감소시키기 위해서는 제조시간의 변동성을 감소시켜야 한다.

## 6. 결 론

본 연구에서는 공급사슬의 하류업체에서 사용하는 주문정책이, 상류업체로부터 제품을 공급받는데 소요되는 리드타임과 하류업체에 도착하는 소비자 만족율, 그리고 재고비용에 미치는 영향을 수치적으로 연구하였다. 이를

표 4. 목표 재고량이 143일 경우의 평균 보유 재고량

	$\beta$						
	1.75	1.5	1.25	1	0.75	0.5	0.25
Case 1 (지수, 0.9)	36.24	37.71	38.08	38.60	34.56	26.00	5.84
Case 2 (삼각, 0.9)	86.24	87.95	87.72	85.05	77.86	61.21	13.44
Case 3 (지수, 0.6)	101.01	101.65	100.33	96.68	88.46	70.64	20.09
Case 4 (삼각, 0.6)	113.56	113.47	111.75	107.33	98.56	79.61	22.11

위해 하류업체는 Boute 등(2007)이 제안한 OUT 정책을 사용하였고, 상류업체의 제조형태는 make to order 시스템이라고 가정하였다.

본 연구는 Boute 등이 언급한 바와 같이 스무딩을 할 경우 리드타임이 감소하는 동일한 현상을 보여주고 있다. 그러나 이와 같은 정책을 사용할 경우에 공급사슬의 주요한 성과지표인 만족율이 감소하며, 또한 재고 부족비용이 증가함에 따라 재고비용이 증가할 수 있음을 실험적으로 보여주고 있다.(Boute 등에서는 스무딩이 만족율과 재고비용에 미치는 영향을 연구하지 않았다.) 즉 리드타임만을 최소화하는 스무딩 정책을 사용할 경우에는 만족율과 재고비용 측면에서 부정적인 영향이 발생할 수 있다. 그러므로 리드타임뿐만 아니라 만족율, 재고비용을 동시에 감소시키는 정책에 관한 연구가 향후 수행되어야 한다.

## 참 고 문 헌

- Balakrishnan, A., Geunes, J., and Pangburn, M. (2004), "Coordinating Supply Chains by Controlling Upstream Variability Propagation", *Manufacturing & Service Operations Management*, vol. 6, no. 2, pp. 163-183.
- Boute, R. N., Disney, S. M., Lambrecht, M. R., and Houtd, B. V. (2007), "An Integrated Production and Inventory Model to Dampen Upstream Demand Variability in the Supply Chain", *European Journal of Operational Research*, vol 178, pp. 121-142.
- Chen, F., Drezner, Z., Ryan, J. K., and Simchi-Levi, D. (2000a), "Quantifying the Bullwhip Effect in a Simple Supply Chain: The Impact of Forecasting, Lead Times, and Information", *Management Science*, vol. 46, no. 3, pp. 436-443.



4. Chen, F., Ryan, J. K., and Simchi-Levi, D. (2000b), "The Impact of Exponential Smoothing Forecasts on the Bullwhip Effect", *Naval Research Logistics*, vol. 47, pp. 269-286.
5. Cho, M. S. and Chang, T. W. (2008), "A Survey on the Operational Studies about Bullwhip Effect in a Supply Chain", *Journal of the Korean Society of Supply Chain Management*, vol. 8, no. 2, pp. 17-28.
6. Clark, A. J. and Scarf, H. (1960), "Optimal Policies for a Multi-Echelon Inventory Problem", *Management Science*, vol. 6, pp. 475-490.
7. Dejonckheere, J., Disney, S. M., Lambrecht, M. R., and Towill, D. R. (2003), "Measuring and Avoiding the Bullwhip Effect: A Control Theoretical Approach", *European Journal of Operational Research*, vol. 147, no. 3, pp. 567-590.
8. Dejonckheere, J., Disney, S. M., Lambrecht, M. R., and Towill, D. R. (2004), "The Impact of Information Enrichment on the Bullwhip Effect in Supply Chains: A Control Engineering Perspective", *European Journal of Operational Research*, vol. 153, no. 3, pp. 727-750.
9. Disney, S. M. and Towill, D. R. (2003a), "Vendor Managed Inventory and Bullwhip Reduction in a Two Level Supply Chain", *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 23, no. 6, pp. 625-651.
10. Disney, S. M. and Towill, D. R. (2003b), "On the Bullwhip and Inventory Variance Produced by an Ordering Policy", *International Journal of Management Science*, vol. 31, pp. 157-167.
11. Gaalman, G. and Disney, S. M. (2006), "State Space Investigation of the Bullwhip Problem with ARMA(1,1) Demand Processes", *International Journal of Production Economics*, vol. 104, no. 2, pp. 327-339.
12. Kelton, W. D., Sadowski, R. P., and Sturrock, D. (2007), *Simulation with Arena*, 4th Ed. McGraw-Hill.
13. Lee, H. L. and Billington, C. (1993), "Material Management in Decentralized Supply Chains", *Operations Research*, vol. 41, no. 5, pp. 835-847.
14. Metters, R. (1997), "Quantifying the Bullwhip Effect in Supply Chains", *Journal of Operations Management*, vol. 15, pp. 89-100.
15. Lee, H. L., Padmanabhan, V., and Whang, S. (1997a), "The Bullwhip Effect in Supply Chains", *Sloan Management Review*, vol. 38, no. 3, pp. 93-102.
16. Lee, H. L., Padmanabhan, V., and Whang, S. (1997b), "Information Distortion in a Supply Chain: The Bullwhip Effect", *Management Science*, vol. 43, no. 4, pp. 546-558.
17. Raghavan, N. R. and Viswanadham, N. (2001), "Generalized Queueing Network Analysis of Integrated Supply Chains", *International Journal of Production Research*, vol. 39, no. 2, pp. 205-224.
18. Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., and Simchi-Levi, E. (2003), *Designing and Managing the Supply Chain: Concepts, Strategies, and Case Studies*, 2nd Ed., McGraw-Hill.
19. Zhang, X. (2004), "The Impact of Forecasting Methods on the Bullwhip Effect", *International Journal of Production Economics*, vol. 88, pp. 15-27.



조 면 식 (mscho@kgu.ac.kr)

1981 고려대학교 산업공학과 학사  
 1983 Wayne State University 산업공학과 석사  
 1990 University of Michigan 산업공학과 박사  
 1991~현재 경기대학교 산업경영공학과 교수

관심분야 : SCM, 생산물류시스템 분석 및 설계, 시뮬레이션