

공급사슬에서 채찍효과 관리를 위한 분석도구의 개발 : 정량화 모형과 의사결정지원시스템

심규탁 · 박양병[†]

경희대학교 테크노공학대학 산업공학과

Development of Analytical Tools for the Bullwhip Effect Control in Supply Chains : Quantitative Models and Decision Support System

Kyu-Tak Shim · Yang-Byung Park[†]

Department of Industrial Engineering, College of Advanced Engineering, Kyung Hee University

The bullwhip effect is known as the significant factor which causes unnecessary inventory, lost sales or cost increase in supply chains. Therefore, the causes of the bullwhip effect must be examined and removed. In this paper, we develop two analytical tools for the bullwhip effect control in supply chains. First, we develop the quantitative models for computing the bullwhip effect in a three-stage supply chain consisted of a single retailer, a single distributor and a single manufacturer when the fixed-interval replenishment policy is applied at each stage. The quantitative models are developed under the different conditions for the demand forecasting and share of customer demand information. They are validated through the computational experiments. Second, we develop a simulation-based decision support system for the bullwhip effect control in a more diverse dynamic supply chain environment. The system includes a what-if analysis function to examine the effects of varying input parameters such as operating policies and costs on the bullwhip effect.

Keywords : SCM, Bullwhip Effect, Quantitative Models, Decision Support System, Computer Simulation

1. 서 론

공급사슬이란 제조, 운송, 보관, 판매, 그리고 최종 소비자를 연결하는 연쇄구조를 의미한다. 공급사슬에서 구성원 간 정보교환이 원활하지 않으면 각 구성원은 부정확한 정보를 토대로 잘못된 생산계획, 재고계획, 조달계획을 수립하게 되어 품질과 재고가 발생하게 된다. 단

계가 올라갈수록 정보의 왜곡 현상으로 인해 이러한 계획의 오류는 점점 더 커지게 되고, 공급사슬 전체 관점에서 매출의 감소와 비용의 증가를 초래하게 된다. 대표적인 예로서, 최종 고객의 실제 수요정보를 소매점만 알고 있는 경우에 분배센터는 소매점의 주문량을 토대로 수요를 예측하고, 제품 공급자(생산자)는 분배센터의 주문량을 토대로 수요를 예측한다. 이로 인해 공급사슬

논문접수일 : 2008년 11월 17일 논문수정일 : 2008년 12월 11일 게재확정일 : 2009년 01월 07일

[†] 교신저자 ybpark@khu.ac.kr

※ 본 연구는 경희대학교 대학원의 2007학년도 우수연구논문 장학금으로 지원받아 연구된 논문임.

의 상위단계로 올라가면서 부풀려진 수요의 분산은 증폭된다.

소매점으로부터 분배센터, 생산자, 원자재 공급업자로 올라갈수록 주문량의 변동이 증가하는 현상을 채찍효과(bullwhip effect)라 한다. 채찍효과에 대한 연구는 Forrester(1961)에 의해 처음 수행되었다. 그는 채찍효과의 발생 원인으로 공급사슬 구성원 간의 정보공유 부족과 공급사슬의 복잡성을 들었고, 구성원들의 재고 및 발주정책 등의 변화를 통하여 채찍효과를 개선할 수 있다고 주장하였다. Sterman(1989)은 네 명의 참가자가 각각 소매점, 도매상, 공장, 부품 공급업체의 역할을 맡아 하위단계의 주문에 의해서 각각 독립적으로 주문 의사결정을 수행하는 beer game 연구에서 채찍효과를 실험적으로 입증하였으며, 이러한 현상은 각 구성원의 비합리적 행동 또는 피드백의 인식이 부족하여 발생한다고 주장하였다. Lee et al.(1997)은 P&G 회사의 Pamper 기저귀 공급사슬에서 채찍효과를 실증적으로 분석하였다. 분석결과, 채찍효과는 비록 최종 고객의 수요가 안정적이더라도 구성원 간 주문을 매우 변동적으로 발생하여 불필요한 비용을 증가시키고 공급과 수요의 심각한 불균형을 초래하는 것으로 나타났다. 또한 그들은 채찍효과를 야기하는 주요 원인으로 고객수요 정보의 부재, 로트 및 과다 주문, 선 구매 등을 제시하고, 이들에 의해 주문의 변동성이 커짐을 일부 증명하였다.

Chen et al.(2000)은 단일 구성원의 3단계 공급사슬에서 매기발주정책을 사용하는 경우에 이동평균법과 지수평활법 예측 시의 채찍효과를 정량화하였다. Zhang(2004)은 AR(1) 프로세스 수요모형에서 최소평균자승법, 이동평균법, 지수평활법 예측에 대한 채찍효과를 분석하였다. 수요가 양의 상관관계를 가지는 경우는 최소평균자승법을 사용할 때 그리고 수요가 음의 상관관계를 가지는 경우는 지수평활법을 사용할 때 짧은 리드타임이 채찍효과를 줄이는데 가장 효과적임을 확인하였다. Wang et al.(2005)은 채찍효과가 원인을 알 수 없는 불특정 요소에 의해 영향을 받는다는 사실을 밝혀내고, 단일 구성원의 2단계 공급사슬에서 이들에 의해 확장된 채찍효과를 정량화하였다. 그들은 공급사슬에서 수요와 주문량 정보가 공유된다면 확장된 채찍효과를 완벽히 제거할 수 있다고 주장하였다.

O'donnell et al.(2006)은 고객수요와 리드타임이 확정적 또는 확률적인 beer game에서 채찍효과를 줄이기 위해 공급사슬 구성원의 주문정책 결정에 유전알고리즘을 적용하였다. 또한 그들은 공급사슬에서 판매촉진이 채찍효과에 미치는 영향을 분석함으로써 판매촉진에 의한 채찍효과의 감소방안을 제시하였다. Paik(2007)은 주문량과 수요 차의 분산을 절대 평균으로 나눈 값을 채찍

효과의 새로운 평가척도로 제안하고, 발주크기가 채찍효과의 주원인이라는 사실을 간단한 계산실험을 통해 확인하였다.

공급사슬에서 채찍효과는 제거(또는 최소화)되어야 할 중요한 관리대상이다. 본 논문에서는 Chen et al.(2000)이 단일 구성원의 3단계 공급사슬에서 매기발주정책을 적용하는 경우에 대해 개발한 채찍효과 정량화 모형을 확장하여, 매기 이상의 정기발주정책을 적용하는 경우에 수요예측 방법과 고객수요 정보의 공유 여부에 따른 채찍효과의 정량화 모형을 개발하고, 계산실험을 통해 이들의 타당성을 검증한다. 그리고 공급사슬의 구조와 구성원들의 재고정책과 수요예측 방법이 보다 일반화된 상황에서 채찍효과 관리를 효과적으로 지원해 줄 수 있는 시뮬레이션 기반 의사결정지원시스템, DSSBE(decision support system for the bullwhip effect control)의 개발을 소개한다.

논문의 구성은 다음과 같다. 제 1장의 서론에 이어, 제 2장에서는 정기발주정책을 적용하는 경우 단계별 채찍효과의 정량화 모형 개발과 계산실험을 통한 이들의 검증을 기술한다. 제 3장에서는 DSSBE의 설계와 Arena 시뮬레이션 모형을 설명하고, 제 4장에서는 DSSBE의 실행 예를 해당 화면을 이용하여 묘사한다. 마지막으로, 결론 및 향후 과제를 제 5장에 기술한다.

2. 정기발주정책의 공급사슬에서 채찍효과 정량화 모형

Chen et al.(2000)이 개발한 매기발주정책 경우의 채찍효과 정량화 모형을 확장하여, 3단계 공급사슬에서 정기발주정책 경우의 채찍효과 정량화 모형을 개발한다. 수요예측에는 이동평균법과 지수평활법을 사용하고, 고객수요 정보는 공유와 미공유로 구분한다. 공급사슬은 단일의 공급자, 분배센터, 소매점으로 구성되며, 공급사슬 운영은 다음과 같이 가정한다.

- 1) 분배센터와 소매점의 보충리드타임은 서로 독립적이다.
- 2) 안전재고는 고려하지 않는다.
- 3) 모든 구성원의 발주간격은 동일하다.
- 4) 모든 구성원은 동일한 수요예측 방법을 사용한다.
- 5) 품질은 주문잔고(backorder)로 처리된다.
- 6) 매기 고객수요는 상호 독립적이다.

부호

$$Q_t^{(k)} = k\text{단계에서 } t\text{기 주문량}(Q=\text{주문량})$$

$$\hat{Q}_t^{(k)} = k\text{단계에서 } t\text{기 예측 주문량}$$

- $Y_t^{(k)}$ = k 단계에서 t 기 최대재고수준
- D_t = 소매점에서 t 기 고객수요(D =고객수요)
- \hat{D}_t = 소매점에서 t 기 예측 고객수요
- $L^{(k)}$ = k 단계에서 보충리드타임
- k = 1 : 소매점, 2 : 분배센터, 3 : 공급자
- p = 이동평균법에서 예측에 사용되는 과거 기간
- α = 지수평활법에서 평활상수
- G = 정기발주정책에서 발주간격

$$\hat{D}_t = \frac{\sum_{i=1}^p D_{t-i}}{p} \quad (2)$$

소매점에서 t 기 최대재고수준은 t 기 예측 고객수요를 토대로 다음과 같이 구해진다.

$$Y_t^{(1)} = (L^{(1)} + G)\hat{D}_t \quad (3)$$

소매점에서 t 기 고객수요는 다음과 같은 확률변수를 따른다고 가정한다.

$$D_t = \mu + \epsilon_t$$

여기서 ϵ_t 는 상호 독립적으로, 평균 0과 분산 σ^2 인 정규분포를 따른다.

정기발주정책에서 주문은 특정시점에서만 발생하고 주문시점이 아닌 기의 주문량은 0이기 때문에, 주문량 변동성을 주문시점들의 주문량에 대해 국한한다. 최초 발주시점을 t_0 라 하면, 주문량 변동성에 대해 아래의 식이 성립된다.

$$Var(Q_t) = Var(Q_{t+G}) = Var(Q_{t+2G}) = \dots = Var(Q)$$

수요 변동성도 주문량 변동성에 대응하여 동일한 기간에 대해 구해져야 하기 때문에 발주기간 동안의 매기 고객수요의 합에 대해 계산한다. 고객수요는 매기 상호 독립적인 정규분포를 따르므로 발주기간 동안 발생하는 매기 수요합의 변동성은 매기 수요 변동성의 합과 같다 [13]. 즉,

$$Var\left(\sum_{i=1}^G D_{t-i}\right) = \sum_{i=1}^G Var(D_{t-i}) = G \cdot Var(D)$$

따라서 재직효과는 발주기간 동안 매기 수요 변동성의 합에 대한 주문량 변동성의 비율로 아래와 같이 정리된다.

$$BE = \frac{Var(Q)}{G \cdot Var(D)} \quad (1)$$

2.1 이동평균법 예측($G \leq p$ 경우)

2.1.1 소매점 주문의 재직효과

t 기 고객수요는 다음 식에 의해 예측된다.

따라서 소매점에서 t 기 분배센터로의 주문량은 매기 발주정책에서 t 기 주문량을 구하는 식 Chen et al.(2000)을 응용하여 다음과 같이 구해진다.

$$Q_t^{(1)} = Y_t^{(1)} - Y_{t-G}^{(1)} + \sum_{i=1}^G D_{t-i} \quad (4)$$

식 (4)는 식 (2), 식 (3)을 적용하여 다음과 같이 정리된다.

$$\begin{aligned} Q_t^{(1)} &= (L^{(1)} + G)(\hat{D}_t - \hat{D}_{t-G}) + \sum_{i=1}^G D_{t-i} \\ &= (L^{(1)} + G) \left(\frac{D_{t-1} + \dots + D_{t-G} - D_{t-p-1} - \dots - D_{t-G-p}}{p} \right) \\ &\quad + \sum_{i=1}^G D_{t-i} \\ &= \left[\frac{(L^{(1)} + G)}{p} + 1 \right] \left(\sum_{i=1}^G D_{t-i} \right) - \left[\frac{(L^{(1)} + G)}{p} \right] \left(\sum_{i=p-G+1}^p D_{t-G-i} \right) \end{aligned}$$

소매점의 주문량 분산은 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} Var(Q^{(1)}) &= \left[\frac{(L^{(1)} + G)}{p} + 1 \right]^2 Var\left(\sum_{i=1}^G D_{t-i}\right) \\ &\quad + \left[\frac{(L^{(1)} + G)}{p} \right]^2 Var\left(\sum_{i=p-G+1}^p D_{t-G-i}\right) \\ &= \left[\frac{(L^{(1)} + G)}{p} + 1 \right]^2 G \cdot Var(D) + \left[\frac{(L^{(1)} + G)}{p} \right]^2 G \cdot Var(D) \\ &= \left[1 + \frac{2(L^{(1)} + G)}{p} + \frac{2(L^{(1)} + G)^2}{p^2} \right] G \cdot Var(D) \quad (5) \end{aligned}$$

따라서 소매점 주문의 재직효과는 식 (1), 식 (5)에 의해 아래와 같이 정리된다.

$$BE^{(1)} = 1 + \frac{2(L^{(1)} + G)}{p} + \frac{2(L^{(1)} + G)^2}{p^2} \quad (6)$$

2.1.2 분배센터 주문의 채적효과(고객수요 정보의 공유)

분배센터는 소매점의 고객수요 정보를 공유하지 못하는 경우 소매점의 주문량을 토대로 수요예측과 재고관리를 한다. 분배센터에서 t 기 소매점 수요는 다음과 같이 예측된다.

$$\hat{Q}_t^{(1)} = \frac{\sum_{i=1}^p Q_{t-i}^{(1)}}{p} \quad (7)$$

분배센터에서 t 기 최대재고수준은 t 기 예측 소매점 수요를 토대로 다음과 같이 구해진다.

$$Y_t^{(2)} = (L^{(2)} + G)\hat{Q}_t^{(1)} \quad (8)$$

따라서 분배센터에서 t 기 공급자로의 주문량은 다음과 같이 구해진다.

$$Q_t^{(2)} = Y_t^{(2)} - Y_{t-G}^{(2)} + Q_t^{(1)} \quad (9)$$

식 (9)는 식 (7)와 식 (8)을 적용하여 다음과 같이 정리된다.

$$\begin{aligned} Q_t^{(2)} &= (L^{(2)} + G)(\hat{Q}_t^{(1)} - \hat{Q}_{t-G}^{(1)}) + Q_t^{(1)} \\ &= (L^{(2)} + G) \left(\frac{Q_t^{(1)} + \dots + Q_{t-p+1}^{(1)}}{p} - \frac{Q_{t-G}^{(1)} + \dots + Q_{t-G-p+1}^{(1)}}{p} \right) \\ &\quad + Q_t^{(1)} = \left[\frac{(L^{(2)} + G)}{p} \right] \left(Q_t^{(1)} - Q_{t-int(\frac{p}{G})G}^{(1)} \right) + Q_t^{(1)} \\ &= \left[\frac{(L^{(2)} + G)}{p} + 1 \right] Q_t^{(1)} - \left[\frac{(L^{(2)} + G)}{p} \right] Q_{t-int(\frac{p}{G})G}^{(1)} \end{aligned}$$

여기서 $int\left(\frac{p}{G}\right)$ 는 p 를 G 로 나눈 값의 정수이다.

분배센터의 주문량 분산은 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} Var(Q^{(2)}) &= \left[\frac{(L^{(2)} + G)}{p} + 1 \right]^2 Var(Q_t^{(1)}) \\ &\quad + \left[\frac{(L^{(2)} + G)}{p} \right]^2 Var\left(Q_{t-int(\frac{p}{G})G}^{(1)}\right) \\ &= \left[\frac{(L^{(2)} + G)}{p} + 1 \right]^2 Var(Q^{(1)}) + \left[\frac{(L^{(2)} + G)}{p} \right]^2 Var(Q^{(1)}) \\ &= \left[1 + \frac{2(L^{(2)} + G)}{p} + \frac{2(L^{(2)} + G)^2}{p^2} \right] Var(Q^{(1)}) \quad (10) \end{aligned}$$

따라서 분배센터 주문의 채적효과는 식 (1), 식 (5), 식 (10)에 의해 아래와 같이 정리된다.

$$\begin{aligned} BE^{(2)} &= \left[1 + \frac{2(L^{(2)} + G)}{p} + \frac{2(L^{(2)} + G)^2}{p^2} \right] \\ &\quad \times \left[1 + \frac{2(L^{(1)} + G)}{p} + \frac{2(L^{(1)} + G)^2}{p^2} \right] \quad (11) \end{aligned}$$

2.1.3 분배센터 주문의 채적효과(고객수요 정보의 공유)

분배센터는 소매점의 고객수요 정보를 공유하는 경우 소매점의 고객수요를 토대로 재고관리를 한다. 많은 공급사슬에서 고객수요 정보를 공유하는 경우 최대재고수준을 산정할 때 최종 소매점 단계까지의 리드타임을 모두 합한 값을 보충리드타임으로 간주한다(Lee et al., 1997). 따라서 분배센터에서 t 기 최대재고수준은 t 기 예측 고객수요를 토대로 다음과 같이 구해진다.

$$Y_t^{(2)} = (L^{(1)} + L^{(2)} + G)\hat{D}_t \quad (12)$$

따라서 분배센터에서 t 기 공급자로의 주문량은 다음과 같이 구해진다.

$$Q_t^{(2)} = Y_t^{(2)} - Y_{t-G}^{(2)} + \sum_{i=1}^G D_{t-i} \quad (13)$$

식 (13)은 식 (2), 식 (12)를 적용하여 다음과 같이 정리된다.

$$\begin{aligned} Q_t^{(2)} &= (L^{(1)} + L^{(2)} + G)(\hat{D}_t - \hat{D}_{t-G}) + \sum_{i=1}^G D_{t-i} \\ &= (L^{(1)} + L^{(2)} + G) \left(\frac{D_{t-1} + \dots + D_{t-G} - D_{t-p-1} - \dots - D_{t-G-p}}{p} \right) \\ &\quad + \sum_{i=1}^G D_{t-i} \\ &= \left[\frac{(L^{(1)} + L^{(2)} + G)}{p} \right] \left(\sum_{i=1}^G D_{t-i} - \sum_{i=p-G+1}^p D_{t-G-i} \right) + \sum_{i=1}^G D_{t-i} \\ &= \left[\frac{(L^{(1)} + L^{(2)} + G)}{p} + 1 \right] \left(\sum_{i=1}^G D_{t-i} \right) \\ &\quad - \left[\frac{(L^{(1)} + L^{(2)} + G)}{p} \right] \left(\sum_{i=p-G+1}^p D_{t-G-i} \right) \end{aligned}$$

분배센터의 주문량 분산은 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned}
\text{Var}(Q^{(2)}) &= \left[\frac{(L^{(1)}+L^{(2)}+G)}{p} + 1 \right]^2 \text{Var}\left(\sum_{i=1}^G D_{t-i}\right) \\
&\quad + \left[\frac{(L^{(1)}+G)}{p} \right]^2 p \cdot \text{Var}(D) \\
&\quad + (G-p) \text{Var}(D) \\
&= \left[1 + \frac{2(L^{(1)}+G)}{p} + \frac{2(L^{(1)}+G)^2}{p^2} \right] p \cdot \text{Var}(D) \\
&\quad + (G-p) \text{Var}(D) \\
&= \left[G + 2(L^{(1)}+G) + \frac{2(L^{(1)}+G)^2}{p} \right] \text{Var}(D) \quad (16)
\end{aligned}$$

따라서 소매점 주문의 재적효과는 식 (1)과 식 (16)에 의해 아래와 같이 정리된다.

따라서 분배센터 주문의 재적효과는 식 (1), 식 (14)에 의해 아래와 같이 정리된다.

$$BE^{(1)} = 1 + \frac{2(L^{(1)}+G)}{G} + \frac{2(L^{(1)}+G)^2}{Gp} \quad (17)$$

$$BE^{(2)} = 1 + \frac{2(L^{(1)}+L^{(2)}+G)}{p} + \frac{2(L^{(1)}+L^{(2)}+G)^2}{p^2} \quad (15)$$

2.2 이동평균법 예측($G > p$ 경우)

2.2.1 소매점 주문의 재적효과

소매점에서 t 기 최대재고수준과 분배센터로의 주문량을 구하는 식은 각각 식 (3), 식 (4)와 같다. 그러나 수요예측 구간이 발주간격보다 작으므로 t 기 분배센터로의 주문량 결정 식은 다음과 같이 다르게 정리된다.

$$\begin{aligned}
Q_t^{(1)} &= (L^{(1)}+G)(\hat{D}_t - \hat{D}_{t-G}) + \sum_{i=1}^G D_{t-i} \\
&= \left[\frac{(L^{(1)}+G)}{p} \right] \left(\sum_{i=1}^p D_{t-i} - \sum_{i=1}^p D_{t-G-i} \right) + \sum_{i=1}^G D_{t-i} \\
&= \left[\frac{(L^{(1)}+G)}{p} + 1 \right] \left(\sum_{i=1}^p D_{t-i} \right) - \left[\frac{(L^{(1)}+G)}{p} \right] \left(\sum_{i=1}^p D_{t-G-i} \right) \\
&\quad + \sum_{i=p+1}^G D_{t-i}
\end{aligned}$$

소매점의 주문량 분산은 다음과 같이 구해진다.

$$\text{Var}(Q^{(1)}) = \left[\frac{(L^{(1)}+G)}{p} + 1 \right]^2 p \cdot \text{Var}(D)$$

2.2.2 분배센터 주문의 재적효과(고객수요 정보의 공유)

분배센터에서 t 기 최대재고수준과 공급자로의 주문량을 구하는 식은 각각 식 (12), 식 (13)와 같다. 그러나 수요예측 구간이 발주간격보다 작으므로 식 (13)은 다음과 같이 다르게 정리된다.

$$\begin{aligned}
Q_t^{(2)} &= (L^{(1)}+L^{(2)}+G)(\hat{D}_t - \hat{D}_{t-G}) + \sum_{i=1}^G D_{t-i} \\
&= \left[\frac{(L^{(1)}+L^{(2)}+G)}{p} \right] \left(\sum_{i=1}^p D_{t-i} - \sum_{i=1}^p D_{t-G-i} \right) + \sum_{i=1}^G D_{t-i} \\
&= \left[\frac{(L^{(1)}+L^{(2)}+G)}{p} + 1 \right] \left(\sum_{i=1}^p D_{t-i} \right) \\
&\quad - \left[\frac{(L^{(1)}+L^{(2)}+G)}{p} \right] \left(\sum_{i=1}^p D_{t-G-i} \right) + \sum_{i=p+1}^G D_{t-i}
\end{aligned}$$

분배센터의 주문량 변동성은 식 (16)에서 보충리드타임에 해당되는 괄호 속 식에 $L^{(2)}$ 을 더함으로써 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned}
\text{Var}(Q^{(2)}) &= \left[G + 2(L^{(1)}+L^{(2)}+G) + \frac{2(L^{(1)}+L^{(2)}+G)^2}{p} \right] \\
&\quad \times \text{Var}(D) \quad (18)
\end{aligned}$$

따라서 분배센터 주문의 재적효과는 식 (1), 식 (18)

에 의해 아래와 같이 정리된다.

$$BE^{(2)} = 1 + \frac{2(L^{(1)} + L^{(2)} + G)}{G} + \frac{2(L^{(1)} + L^{(2)} + G)^2}{Gp} \quad (19)$$

분배센터에서 고객수요 정보를 미공유하는 경우에는 과거 소매점의 주문량을 토대로 소매점 수요를 예측하여야 한다. 그러나 이동평균법을 이용한 예측에서 필요한 과거기간이 발주간격보다 짧으면 과거자료 부재로 인해 예측을 할 수 없고, 이에 따라 채적효과의 정량화가 불가능하다.

2.3 지수평활법 예측

2.3.1 소매점 주문의 채적효과

t 기 고객수요는 다음 식에 의해 예측된다.

$$\begin{aligned} \hat{D}_t &= \alpha D_{t-1} + (1-\alpha)\hat{D}_{t-1} \\ &= \alpha D_{t-1} + (1-\alpha)[\alpha D_{t-2} + (1-\alpha)\hat{D}_{t-2}] \\ &\quad \vdots \\ &= \alpha \sum_{i=1}^{\infty} (1-\alpha)^{i-1} D_{t-i} \end{aligned} \quad (20)$$

소매점에서 t 기 최대재고수준과 분배센터로의 주문량을 구하는 식은 각각 식 (3), 식 (4)와 같다. 식 (4)는 식 (3)에 식 (20)를 적용하여 다음과 같이 정리된다.

$$\begin{aligned} Q_t^{(1)} &= (L^{(1)} + G)(\hat{D}_t - \hat{D}_{t-G}) + \sum_{i=1}^G D_{t-i} \\ &= (L^{(1)} + G)(\alpha D_{t-1} + \alpha(1-\alpha)D_{t-2} + \dots \\ &\quad + (1-\alpha)^G \hat{D}_{t-G} - \hat{D}_{t-G}) + \sum_{i=1}^G D_{t-i} \\ &= \sum_{i=1}^G \{ [1 + (L^{(1)} + G)\alpha(1-\alpha)^{i-1}] D_{t-i} \} \\ &\quad + (L^{(1)} + G)[(1-\alpha)^G - 1] \hat{D}_{t-G} \end{aligned}$$

소매점의 주문량 분산은 다음과 같이 구해진다.

$$Var(Q^{(1)}) = \sum_{i=1}^G \{ [1 + (L^{(1)} + G)\alpha(1-\alpha)^{i-1}]^2 Var(D) \}$$

$$\begin{aligned} &+ (L^{(1)} + G)^2 [(1-\alpha)^G - 1]^2 Var(\hat{D}_{t-G}) \\ &= \sum_{i=1}^G \{ [1 + (L^{(1)} + G)\alpha(1-\alpha)^{i-1}]^2 Var(D) \} \\ &\quad + (L^{(1)} + G)^2 [(1-\alpha)^G - 1]^2 \frac{\alpha}{2-\alpha} Var(D) \end{aligned} \quad (21)$$

$$\text{여기서 } Var(\hat{D}_{t-G}) = \frac{\alpha}{2-\alpha} Var(D_t) \quad (\text{Chen et al., 2000}).$$

따라서 소매점 주문의 채적효과는 식 (1), 식 (21)에 의해 아래와 같이 정리된다.

$$\begin{aligned} BE^{(1)} &= \frac{\alpha}{G(2-\alpha)} (L^{(1)} + G)^2 [(1-\alpha)^G - 1]^2 \\ &\quad + \frac{\sum_{i=1}^G \{ [1 + (L^{(1)} + G)\alpha(1-\alpha)^{i-1}]^2 \}}{G} \end{aligned} \quad (22)$$

2.3.2 분배센터 주문의 채적효과(고객수요 정보의 공유)

이동평균법 예측의 경우에서와 같이 분배센터에서 t 기 최대재고수준과 공급자로의 주문량을 구하는 식은 각각 식 (12), 식 (13)와 같다. 식 (13)은 식 (12)에 식 (20)을 적용하여 다음과 같이 정리된다.

$$\begin{aligned} Q_t^{(2)} &= (L^{(1)} + L^{(2)} + G)(\hat{D}_t - \hat{D}_{t-G}) + \sum_{i=1}^G D_{t-i} \\ &= (L^{(1)} + L^{(2)} + G) \times (\alpha D_{t-1} + \alpha(1-\alpha)D_{t-2} + \dots \\ &\quad + (1-\alpha)^G \hat{D}_{t-G} - \hat{D}_{t-G}) + \sum_{i=1}^G D_{t-i} \\ &= \sum_{i=1}^G \{ [1 + (L^{(1)} + L^{(2)} + G)\alpha(1-\alpha)^{i-1}] D_{t-i} \} \\ &\quad + (L^{(1)} + L^{(2)} + G)[(1-\alpha)^G - 1] \hat{D}_{t-G} \end{aligned}$$

분배센터의 주문량 분산은 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} Var(Q^{(2)}) &= \sum_{i=1}^G \{ [1 + (L^{(1)} + L^{(2)} + G)\alpha(1-\alpha)^{i-1}]^2 Var(D) \} \\ &\quad + (L^{(1)} + L^{(2)} + G)^2 [(1-\alpha)^G - 1]^2 Var(\hat{D}_{t-G}) \end{aligned}$$

$$= \sum_{i=1}^G \{ [1 + (L^{(1)} + L^{(2)} + G)\alpha(1-\alpha)^{i-1}]^2 \text{Var}(D) \} + (L^{(1)} + L^{(2)} + G)^2 [(1-\alpha)^{G-1}]^2 \frac{\alpha}{2-\alpha} \text{Var}(D) \quad (23)$$

따라서 분배센터 주문의 채찍효과는 식 (1), 식 (23)에 의해 아래와 같이 정리된다.

$$\text{BE}^{(2)} = \frac{\alpha}{G(2-\alpha)} (L^{(1)} + L^{(2)} + G)^2 [(1-\alpha)^{G-1}]^2 + \frac{\sum_{i=1}^G \{ [1 + (L^{(1)} + L^{(2)} + G)\alpha(1-\alpha)^{i-1}]^2 \}}{G} \quad (24)$$

분배센터에서 고객수요 정보를 미공유하는 경우에는 과거 소매점의 주문량을 토대로 소매점 수요를 예측하여야 한다. 그러나 매기보다 긴 간격의 정기발주정책에서는 소매점으로부터 주문이 매기 발생하지 않아 지수평활법을 적용하여 예측을 할 수 없고, 이에 따라 채찍효과의 정량화가 매우 어렵다.

2.4 채찍효과 정량화 모형의 검증과 분석

Excel을 이용한 계산실험을 통해 이상 7가지 경우의 채찍효과 정량화 모형에 대한 타당성 검증을 수행하였다. 공급사슬 각 단계의 구성원들이 정기발주정책에 따라 상위단계의 구성원에게 주문하는 절차는 다음과 같다: (1) 소매점의 경우는 $t-1$ 기 고객수요에 따라 기말재고를 갱신하고, 분배센터의 경우는 t 기초 소매점 수요에 따라 기초재고를 갱신한다. (2) 발주간격 G 에 근거해 발주시점을 확인한다. (3) 발주시점 t 기초에 과거 수요 자료를 토대로 예측방법을 적용하여 당기 수요 \hat{D}_t 를 예측한다. (4) 최대재고수준을 구하고 현 재고수준의 차이만큼을 상위단계로 주문한다. 주문은 리드타임 경과 후에 도착하며, 주문도착시에 재고수준을 갱신한다.

고객수요는 평균 30과 표준편차 5인 정규분포를 따르는 것으로 가정하였다. 소매점과 분배센터의 보충리드타임은 각각 3일과 2일로 설정하였다. 실험기간은 1000기로 설정하며, 편의(bias)를 줄이기 위하여 초기 100기 동안의 자료는 분석에서 제외하였다. 고객수요의 확률변수 값을 달리하면서 계산실험을 30회 반복 실시하여 검증을 위한 샘플자료를 수집하였다.

수요예측과 발주간격 변수 값 설정은 <표 1>과 같다.

각 구성원 주문의 채찍효과는 식 (1)을 이용해 계산하였다.

<표 1> 수요예측과 발주간격 변수 값

수요예측	변수	값
이동평균법($G \leq p$)	과거 수요자료 기간(p)	10
	발주간격(G)	5
이동평균법($G > p$)	과거 수요자료 기간(p)	5
	발주간격(G)	10
지수평활법	평활상수(α)	0.3
	발주간격(G)	5

<표 2>는 7가지 경우의 정량화 모형에 대해 실시한 t -검정 결과를 종합적으로 보여준다. 모든 경우의 t 통계치가 $t_{29, 0.975} = 2.042$ 보다 작기 때문에 모든 정량화 모형이 유효하다고 볼 수 있다.

<표 2> 7가지 경우의 정량화 모형에 대한 t -검정 결과

수요예측법	단계	고객수요 정보	정량화 모형 식 번호	채찍효과		t -검정 통계치
				정량화 모형	계산실험 (평균)	
이동평균법 ($G \leq p$)	소매점 분배센터 분배센터	—	(6)	3.88	3.91	0.65
		미공유	(11)	13.11	13.30	0.73
		공유	(15)	5.00	5.04	0.68
이동평균법 ($G > p$)	소매점 분배센터	—	(17)	10.36	10.70	1.14
		공유	(19)	13.00	13.33	0.85
지수평활법	소매점 분배센터	—	(22)	7.42	7.54	1.25
		공유	(24)	10.2	10.05	-0.99

7가지 정량화 모형을 이용하여 여러 요인이 채찍효과에 미치는 영향을 분석하였다. 정량화 모형간의 비교는 해당 수식들 차의 음양 여부에 의해 결정되며, 비교식의 정리과정은 단순하여 생략한다. 분석결과는 아래와 같이 정리된다. 분석결과는 <표 3>에 기재되어 있는 7가지 경우 채찍효과의 정량화 모형 값뿐만 아니라, 계산실험 평균에 의해서도 입증된다.

- 1) 식 (6) < 식 (11), 식 (6) < 식 (15), 식 (17) < 식 (19), 식 (22) < 식 (24)이다. 따라서 분배센터 주문의 채찍효과는 소매점 주문의 채찍효과 보다 항상 크다. 즉, 수요예측 방법에 관계없이 공급사슬의 상위단계에서 채찍효과는 증가한다.
- 2) 식 (11) > 식 (15)이다. 따라서 이동평균법 예측($G \leq p$ 경우) 시 분배센터에서 고객수요 정보를 공유할 때 분배센터 주문의 채찍효과는 감소한다.
- 3) 모든 채찍효과 수식의 분석결과, 두 예측방법 모두에서 L 과 G 가 줄어들면(또는 주문량이 줄어들면) 채

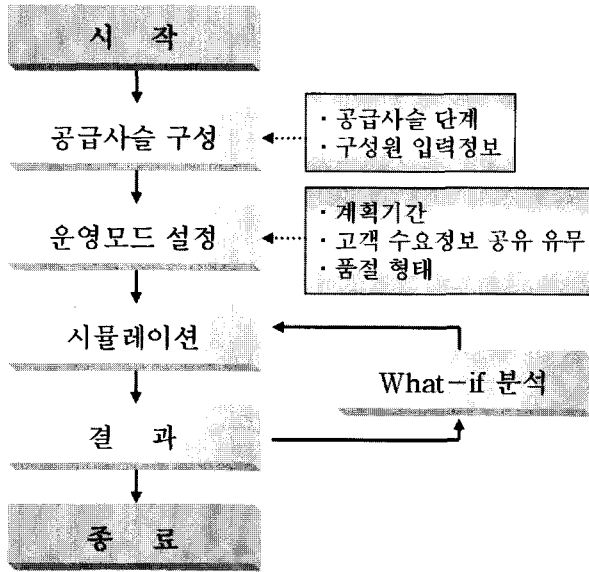
적효과가 감소한다.

- 4) 식 (6), 식 (11), 식 (15), 식 (17), 식 (19)의 분석결과, 이동평균법 예측에서 p 가 커지면 채찍효과가 감소한다.
- 5) 식 (22), 식 (24)의 분석결과, 지수평활법에서 α 가 작아지면 채찍효과가 감소한다.

3. DSSBE

3.1 DSSBE의 설계

DSSBE의 진행과정은 <그림 1>과 같다. 그림에서 점선 화살표는 해당 단계의 실행을 위한 자료 입력을 의미한다. DSSBE는 공급사슬의 재고관리 시뮬레이션 모형을 내부적으로 실행하여 구성원 주문의 채찍효과 등 다양한 출력정보를 사용자에게 보여준다. What-if 분석은 운영환경, 공급자, 분배센터, 소매점의 주요 정책, 변수, 비용 등의 변화에 따른 채찍효과와 반응을 분석하는 핵심 의사결정지원 기능이다.



<그림 1> DSSBE의 진행과정

DSSBE에서 공급사슬은 최대 3단계로 제한한다. 공급사슬에서 최상위 단계는 단일 공급자로 설정한다. 하위 단계의 분배센터와 소매점 수는 각각 최대 30개로 제한한다. 3단계 공급사슬에서 각 소매점은 주문 분배센터를 지정해야 한다. 계획기간은 최대 90일로 제한한다. 고객수요 분포로는 모든 확률분포의 사용을 허용한다. 수요예측은 이동평균법, 지수평활법, 회귀분석법 중에서 선택한다. 이동평균법 사용 시에는 과거 기간, 지수평활법

사용 시에는 평활상수 값, 회귀분석법 사용 시에는 회귀계수 값을 사용자가 입력한다. 회귀분석법 사용 시, 사용자가 원하는 경우에는 시스템이 자체적으로 기존 고객수요 자료를 토대로 선형회귀 방정식을 구할 수 있도록 한다.

공급사슬 구성원의 재고관리는 정기발주정책, 정량발주정책, 절충형정책 중에서 선택한다. 정기발주정책은 일정기간마다 최대재고수준의 부족량을 주문하는 방식이다. 발주간격은 사용자가 직접 입력하며, 발주시점이 되면 시스템은 고객수요 정보의 공유여부에 따라 고객 또는 바로 아래 단계 구성원의 예측수요를 토대로 최대재고수준을 결정한다. 정량발주정책은 재고가 재주문점에 도달하면 고정량을 주문하는 방식이다. 1회 주문량은 기존 고객수요의 평균을 토대로, 그리고 재주문점은 매기 리드타임과 예측수요를 토대로 시스템이 자체적으로 구한다. 절충형정책은 정기적으로 재고수준이 검토되지만 재주문점 이하일 때만 주문하는 방식이다. 검토간격은 사용자가 직접 입력하며, 검토시점이 되면 시스템은 예측수요를 토대로 최대재고수준과 재주문점을 계산한다.

사용자는 상위단계 구성원의 고객수요에 대한 정보공유 여부를 선택해야 한다. 시스템은 고객수요를 공유하지 않는 경우에는 바로 아래 단계로부터의 주문정보를 토대로, 그리고 고객수요를 공유하는 경우에는 고객수요 정보를 가지고 수요예측을 한다. 또한, 품질형태는 주문잔고와 판매손실 중에서 선택한다. 주문잔고는 고객의 양해 하에 주문을 받아 놓고 추후에 인도하는 것을 의미하며, 판매손실은 판매하지 못하고 주문이 유실되는 것을 의미한다.

<표 3> 재고정책별 채찍효과 완화방안

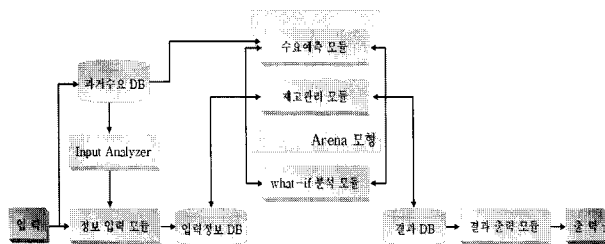
재고관리	채찍효과 완화방안
매기발주정책	보충리드타임을 단축한다.
정기발주정책	발주간격과 보충리드타임을 단축한다.
정량발주정책	주문량(또는 주문준비비)과 보충리드타임을 줄인다.
절충형정책	검토간격과 보충리드타임을 단축한다

<표 4> 수요예측 방법별 채찍효과 완화방안

수요예측	채찍효과 완화방안
이동평균법	예측에 과거기간 수를 늘인다. 이로 인해, 최근 수요에 대한 반응성은 감소된다.
지수평활법	평활상수를 작게 한다. 이로 인해, 최근 수요에 대한 반응성은 감소된다.

DSSBE는 시뮬레이션에 의해 구해진 공급사슬 구성원들의 재직효과, 재고회전율, 제품충족율을 표와 그래프로 보여준다. 재직효과는 “상위단계로의 주문량 분산/총 고객수요의 분산”, ‘제품충족률은 “1-(총 품질량/하위 단계로부터 총 주문량)”, ‘재고회전율은 “하위단계로부터 총 주문량/평균재고수준” 식에 의해 계산된다. 더불어, 시스템은 주어진 재고관리와 수요예측 환경에 대해 재직효과의 완화방안을 제시해 준다. 재직효과 완화방안은 제 2.4절에서의 정량화 모형에 대한 5가지 분석결과와 재직효과에 대해 일반적으로 알려진 사실을 토대로 재고정책과 수요예측 방법에 따라 <표 3>과 <표 4>와 같이 정리된다.

DSSBE의 구조는 <그림 2>와 같이 수요예측과 재고관리 모듈을 내포하는 Arena(Kelton, 2005) 시뮬레이션 모형을 중심으로, 입력과 출력모듈, What-if 분석 모듈, 과거수요 DB, 입력정보와 결과를 저장하는 DB, Input Analyzer로 이루어진다. 입력과 출력 모듈, What-if 분석 모듈은 Visual Basic으로 작성된다. Input Analyzer는 Arena에 내장되어 있는 번들 프로그램으로, 자료 군에 가장 적합한 확률분포 함수식을 도출해 주는 기능을 수행한다.



<그림 2> DSSBE의 작동구조

<그림 3>은 Visual Basic에서 Arena를 구동시키는 프로그램이다.

```

Dim arena_run As Arena.Application ; Arena프로그램 정의
Set arena_run = GetObject("", "Arena.Application"); Arena프로그램을 참조하도록 지정
arena_run.Activate ; Arena프로그램 실행
arena_run.Show (0) ; Arena프로그램 화면 감추기
Dim arena_model As Arena.Model ; Arena모델 정의
Set arena_model = arena_run.Models.Open("C:\DSSBE\3stage.doe"); "3단계 공급사슬" Arena 모형 열기
arena_model.FastForward ; 시뮬레이션 고속 진행
arena_run.Quit ; Arena프로그램 종료
    
```

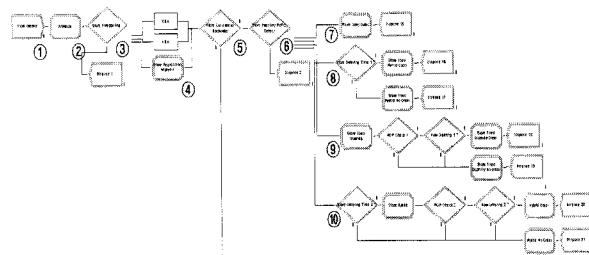
<그림 3> Visual Basic에서 Arena 구동 프로그램

사용자가 입력 창을 통해 공급사슬 구성원에 대한 자료와 운영모드를 입력하면 정보입력 모듈에 의해 Excel 파

일 형태의 입력정보 DB에 저장된다. Excel 파일은 Visual Basic과 Arena의 인터페이스 역할을 수행한다. 텍스트 파일보다는 Excel 파일이 수많은 정보를 읽고 쓰는데 다루기 편리하며, Arena에서 VBA를 사용하는 경우 자동으로 Excel에서 정보를 읽거나 쓸 수 있다. Arena 모형이 실행되면 입력정보 DB에서 Arena 모형 내부모듈의 실행을 위한 변수 값을 불러들인다. 시뮬레이션 수행결과는 결과 DB에 저장되고, 결과출력 모듈은 결과 DB에 저장되어 있는 자료를 이용하여 텍스트, 표, 그래프를 작성하여 화면에 출력한다.

3.2 Arena 시뮬레이션 모형

공급사슬 운영의 시뮬레이션 모형은 Arena Professional 10.0으로써 구축한다. Arena 모형은 2단계와 3단계 공급사슬에 대해 각각 별도로 구축되며, VBA를 이용하여 작성된 Visual Basic 프로그램을 포함한다. 시뮬레이션이 시작되면 2단계 공급사슬에서는 소매점-공급자 방향으로, 3단계 공급사슬에서는 소매점-분배센터-공급자 방향으로 주문 프로세스가 진행된다. DSSBE에서 Arena 모형은 시스템의 background에서 실행되므로 사용자에게는 Arena 화면이 보이지 않는다.

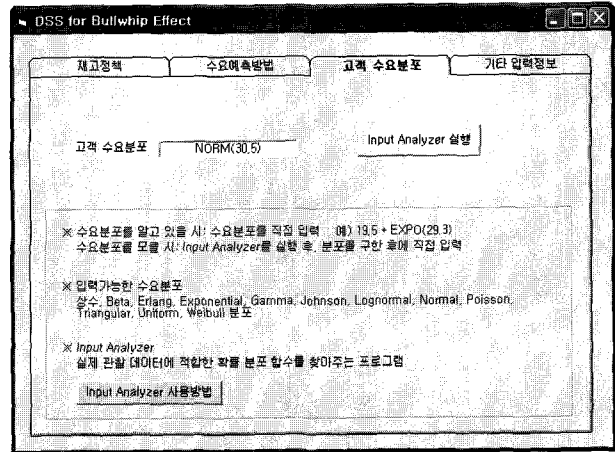


<그림 4> 소매점 운영의 Arena 모형

예로서, <그림 4>는 소매점 운영에 대한 Arena 모형을 보여준다. Create 모듈(1)에서는 상점개수, 계획기간 등을 지정하고 소매점 개체를 발생시킨다. Assign 모듈(2)에서는 발생한 소매점 개체에 현재 기, 소매점 번호를 부여한다. Decide 모듈(3)에서는 수요예측 방법을 선택한다. 수요예측 방법에 따라 4의 해당 수요예측 모듈로 이동한다. 4에서 2개의 VBA 블록은 각각 이동 평균법과 지수평활법의 예측을 실행한다. 4의 3번째 모듈은 회귀분석법의 예측을 실행한다. Decide 모듈(5, 6)은 각각 품절형태와 재고정책을 선택한다. 7, 8, 9, 10은 각각 대기발주정책, 정기발주정책, 정량발주정책, 절충형정책을 실행하는 과정으로, 각 정책에서는 예측된 수요와 현재 재고수준을 토대로 재고관리 운영변

수(최대재고수준, 재주문점, 주문량)를 결정한다. 도착한 주문에 따라 재고수준을 갱신하고 보충계획에 의거 분배센터에 주문을 한다. 그리고 사용자가 입력한 분포에 따라 고객수요를 생성해 재고수준을 갱신한다. 재고수준을 갱신하는 과정에서 품질량을 산정한다. 공급자와 분배센터의 운영은 고객수요 정보의 공유 여부에 따라 수요예측 방법이 달라지는 것을 제외하고 소매점과 동일하다.

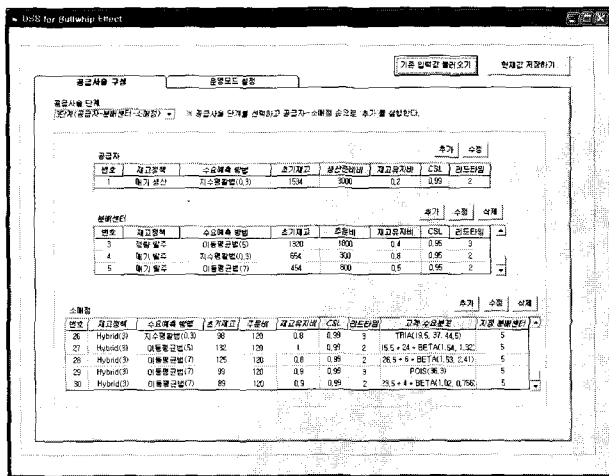
VBA의 ModelLogic_RunBegin 사건에서는 입력정보 DB 파일로부터 Arena 모형의 각종 모듈의 입력 값을 할당한다. 예를 들면, Create 모듈의 “Max Arrivals” 필드에 계획기간, Expression 데이터 모듈의 “Expression Value” 필드에 소매점별 수요분포 함수식을 할당한다. 시뮬레이션 초기에 한번 실행되는 VBA의 ModelLogic_RunBegin-Simulation 사건에서는 입력정보 DB 파일로부터 Arena 운영변수 값을 할당한다. 계획기간 동안 시뮬레이션이 완료되면 시뮬레이션 마지막에 한번 실행되는 VBA 블록에서 주요 출력 통계 값을 결과 DB에 저장한다.



<그림 6> 구성원의 고객수요분포 입력화면

Analyzer 사용방법” 버튼을 클릭하면 Input Analyzer 기능의 사용 매뉴얼 화면으로 이동한다. 구성원에 대한 항목별 입력이 모두 완료되면 <그림 5>와 같이 공급사슬 구성 화면에 해당 구성원이 입력된 정보와 함께 목록에 추가된다.

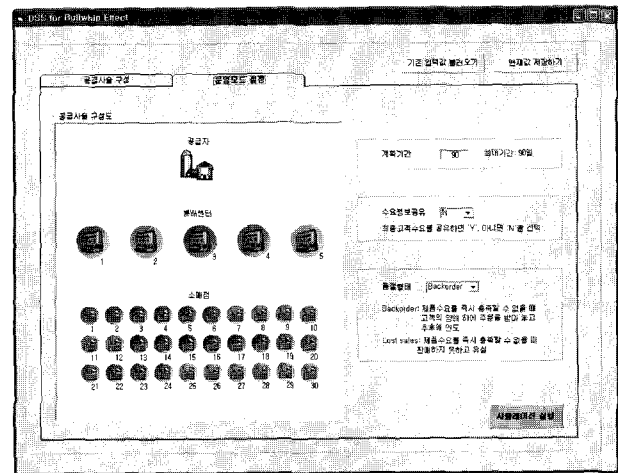
4. DSSBE의 실행 예



<그림 5> 공급사슬 구성 입력화면

DSSBE가 시작되면 사용자는 <그림 5>와 같은 공급사슬 구성 입력화면에서 “추가” 버튼을 이용하여 공급사슬 단계와 각 단계 구성원들의 재고정책, 수요예측 방법, 비용, 운영변수 값들을 입력한다.

<그림 6>은 “추가” 버튼을 클릭하면 나타나는 입력 항목 중에서 “고객수요분포”를 선택한 경우의 입력화면을 예로서 보여준다. 직접 입력 대신 “Input Analyzer 실행” 버튼을 클릭하면 시스템이 과거수요 자료를 토대로 최적의 수요분포 함수식을 구한다. 입력화면 하단의 “Input

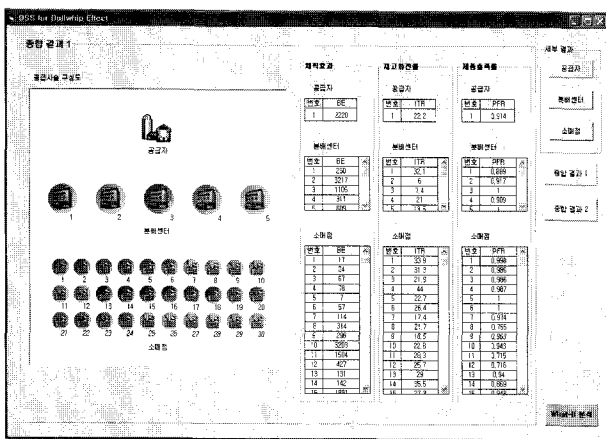


<그림 7> 운영모드 설정 입력화면

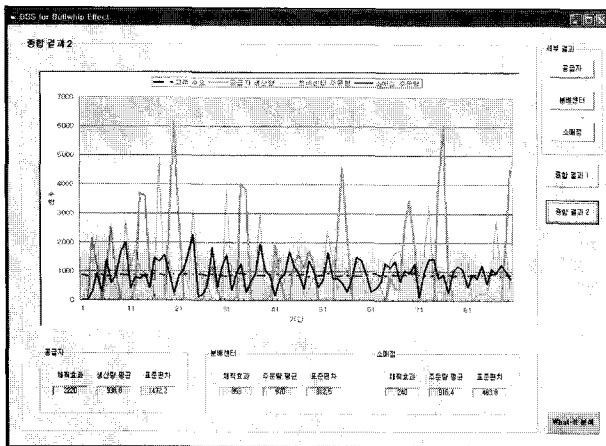
공급사슬 구성의 입력 다음에는 <그림 7>과 같이 운영모드 설정화면에서 계획기간을 입력하고, 고객수요 정보의 공유 여부와 품질형태를 선택한다. 사용자는 공급사슬 구성과 운영모드 화면에서 입력한 자료를 화면 오른쪽 상단의 “현재 값 저장하기” 버튼을 클릭하여 Excel 파일에 저장할 수 있다. 저장된 자료는 “기존 자료 값 불러오기” 버튼을 클릭하여 불러올 수 있다. 화면 왼쪽에는 공급사슬 구성의 입력에 의해 완성된 공급사슬 구성이 그림으로 나타난다. 3단계 공급사슬의 경우, <그림 7>에서와 같이 소매점과 지정 분배센터의 아이콘 색상이 동일한 색상으로 표현된다. 모든 입력 작

업을 마친 후 화면 오른쪽 하단의 “시뮬레이션 실행” 버튼을 클릭한다.

시뮬레이션 실행이 종료되면, <그림 8>과 같은 종합결과 1 화면이 나타난다. 사용자는 화면 오른쪽에 있는 메뉴 버튼을 클릭하여 원하는 형태로 결과를 볼 수 있다. 종합결과 1은 공급사슬 구성도와 함께 단계별로 개별 구성원의 채찍효과, 재고회전을율, 제품충족률을 보여준다. 상위단계에서 채찍효과가 점차 커짐을 확인할 수 있다. 종합결과 2는 <그림 9>와 같이 단계별 구성원을 통합하여 계획기간 동안 기별로 고객수요, 소매점 주문량, 분배센터 주문량, 공급자 생산량을 그래프로 표현해 단계별 채찍효과와의 비교를 시각적으로 보여준다. 단계별 주문량의 평균과 표준편차를 함께 보여준다.

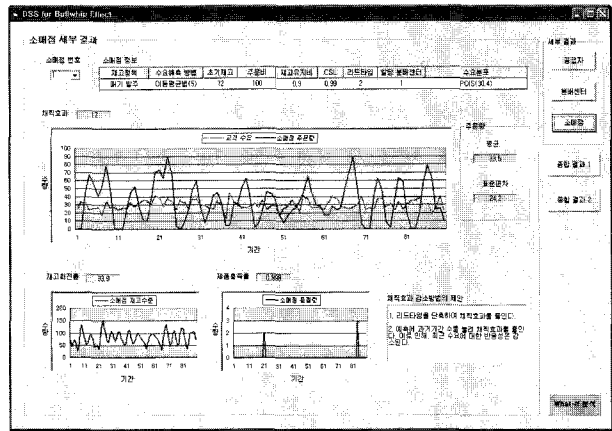


<그림 8> 종합결과 1 화면



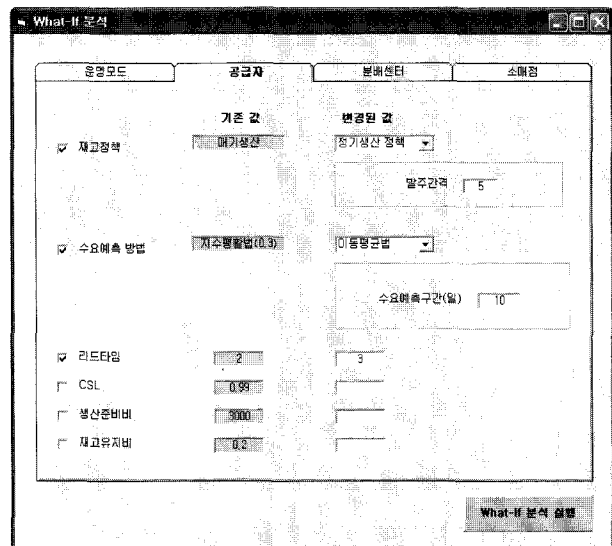
<그림 9> 종합결과 2 화면

세부결과는 단계별로 개별 구성원의 입력정보와 함께 채찍효과, 재고회전을율, 제품충족률, 주문량의 평균과 표준편차, 품질량을 그래프와 수치로 보여준다. 그리고 채찍효과와의 완화방안을 텍스트 형식으로 제시해 준다.



<그림 10> 소매점 세부결과 화면

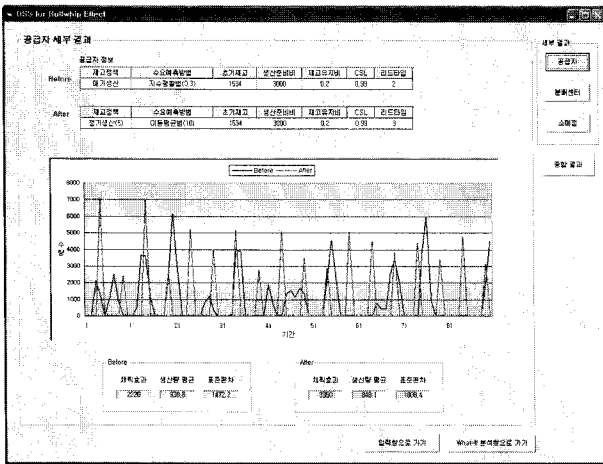
<그림 10>은 예로서 소매점 1번의 세부결과 화면을 보여준다. 사용자는 결과화면을 확인한 후에 오른쪽 하단의 “What-if 분석” 버튼을 클릭하여 주요 입력변수들의 변경에 따른 채찍효과와의 반응을 알아볼 수 있다.



<그림 11> What-if 분석에서 공급자 입력정보 변경화면

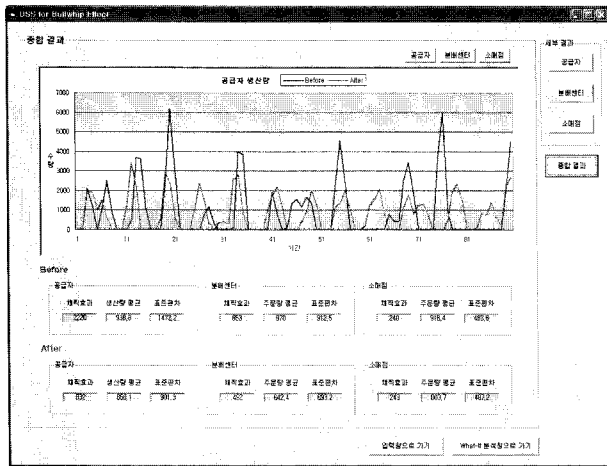
<그림 11>은 What-if 분석에서 4가지 변경 선택 중 공급자의 입력정보 변경화면을 보여준다. 분배센터와 소매점의 변경화면도 공급자의 변경화면과 동일하다. 운영모드와 모든 구성원의 입력정보 변경을 마친 후 “What-if 분석 실행” 버튼을 클릭한다.

<그림 12>는 What-if 분석에서 공급자의 세부결과 화면이다. 변경 전후의 공급자 입력정보, 계획기간 동안 생산량 그래프, 채찍효과, 생산량 평균과 표준편차를 보여준다. 분배센터와 소매점의 세부결과 화면도 동일한 형식을 따르고 있다. 화면 하단의 “What-if 분석 창으로



<그림 12> What-if 분석에서 공급자 세부결과 화면

가기" 버튼을 클릭하면 새로운 입력정보 변경에 의한 재분석이 가능하다. "입력창으로 가기" 버튼을 클릭하면 공급사슬 구성 화면으로 돌아가 공급사슬을 새롭게 구성하거나 수정할 수 있다.



<그림 13> What-if 분석에서 종합결과 화면

<그림 13>은 What-if 분석에서 종합결과 화면이다. 단계별 구성원을 통합하여 계획기간 동안 변경 전후의 개별 공급자 생산량, 분배센터 주문량, 소매점 주문량을 각각 그래프로 나타내 단계별로 수량의 변동을 시각적으로 보여준다. 변경 전후의 단계별 채찍효과와 수량의 평균과 표준편차를 함께 보여준다.

5. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 3단계 단일 구성원의 공급사슬에서 정기발주정책을 적용할 때 이동평균법과 지수평활법의 수

요예측과 고객수요 정보의 공유 여부에 따른 7가지 경우의 채찍효과 정량화 모형을 개발하고, 계산실험을 통해 이들의 타당성을 검증하였다. 그리고 공급사슬의 구조와 구성원들의 재고정책과 수요예측 방법이 보다 일반화된 상황에서 채찍효과 관리를 지원해 주는 시뮬레이션 기반의 의사결정지원시스템, DSSBE를 개발하였다. DSSBE는 공급사슬의 주어진 운영상황에 대해 단계별 구성원의 채찍효과를 예측해 주고, 운영정책과 입력변수의 변경에 대한 What-if 분석 기능을 제공한다.

개발된 채찍효과 정량화 모형은 단일 구성원이라는 단순한 공급사슬 구조와 함께 운영과 관련한 엄격한 가정과 정기발주정책에서 예측방법이 이동평균법과 지수평활법으로 제한됨이 그 한계로 지적될 수 있다. 특히, 정량발주정책과 절충형정책에 대해서는 주문이 부정기적으로 발생하는 특성으로 인해 채찍효과의 정량화를 구현하지 못함이 아쉬움으로 남는다. 비록 이러한 정량화 모형의 한계를 극복하기 위해 DSSBE를 개발하였으나, 채찍효과 관리에서 정량화 모형의 가치는 결코 작지 않다.

향후, 경쟁업체 또는 경쟁상품의 영향에 의한 고객수요의 변화, 가격요인에 의한 일괄주문, 제품부족을 대비한 과다주문 등 채찍효과에 영향을 미치는 것으로 알려진 추가 요소들을 DSSBE에 포함시키는 연구가 필요하다. 더불어 DSSBE를 보다 현실적으로 개선하고, 사용자에게 제공하는 솔루션을 다양화 할 필요가 있다. 본 논문에서 소개된 채찍효과 정량화 모형과 DSSBE가 기업에서 공급사슬의 채찍효과 관리를 위한 분석도구로서 유용하게 활용되기를 기대한다.

참고문헌

- [1] 김길선 외 7인; “디지털 시대의 생산시스템과 SCM”, 법문사, 2004.
- [2] Chen, F., Drezner, Z., Ryan, J. K. and Simchi-Levi, D.; “Quantifying the Bullwhip Effect in a Simple Supply Chain : the Impact of Forecasting, Lead times, and Information,” *Management Science*, 46(3) : 436-443, 2000.
- [3] Chen, F., Ryan, J. K. and Simchi-Levi, D.; “The Impact of Exponential Smoothing Forecasts on the Bullwhip Effect,” *Naval Research Logistics*, 47(4) : 269-286, 2000.
- [4] Chopra, S. and Meindl, P.; *Supply Chain Management : Strategy, Planning & Operations*, 3rd ed., 2007.
- [5] Forrester, J.; *Industrial Dynamics*, MIT Press/Wiley, 1961.
- [6] Luong, H. T.; “Measure of Bullwhip Effect in Supply Chains with Autoregressive Demand Process,” *European*

- Journal of Operational Research*, 180 : 1086-1097, 2007.
- [7] Wang, J., Jia, J., Takahashi, K.; "A Study on the Impact of Uncertain Factors on Information Distortion in Supply Chain," *Production Planning and Control*, 16 (1) : 2-11, 2005.
- [8] Kelton, W.D., Sadowski, R. P., and Sturrock, D. T.; *Simulation with ARENA*, 4th ed., McGraw Hill, New York, USA, 2007.
- [9] Lee, H. L., Padmanabhan, V. and Whang, S.; "Information Distortion in a Supply Chain : the Bullwhip Effect," *Management Science*, 43(4) : 546-558, 1997.
- [10] Lee, H. L., Padmanabhan, V. and Whang, S.; "The Bullwhip Effect in Supply Chains," *Sloan Management review*, Spring : 93-102, 1997.
- [11] O'donnell, T., Maguire, L., Mcivor, R., Humphreys, P.; "Minimizing the bullwhip effect in a supply chain using genetic algorithm," *International Journal of Production Research*, 44 : 1523-1543, 2006.
- [12] Paik, S. K.; "Understanding the causes of the bullwhip effect in a supply chain," *International Journal of Retail and Distribution Management*, 35 : 308-324, 2007.
- [13] Ross, S. M.; *Introduction to Probability Models*, 8th edition, Academic Press, 54 : 2003.
- [14] Serman, J. D.; "Modeling managerial behavior : misperceptions of feedback in a dynamic decision making experiment," *Management Science*, 35 : 321-329, 1989.
- [15] Zhang, X.; "The Impact of Forecasting Methods on the Bullwhip Effect," *International Journal of Production Economics*, 88 : 15-27, 2004.