

정보공유와 리드타임 분포를 바탕으로 한 파트너십이  
공급사슬 성능에 미치는 영향에 관한 연구  
(Analysis of the performance of supply chain partnership  
based on information sharing and lead-time distribution)

박국흠, 김기범, 정봉주  
연세대학교 산업시스템공학과  
[k.h.park@yonsei.ac.kr](mailto:k.h.park@yonsei.ac.kr)

**Abstract**

Due to the rapid development of manufacturing and information technology, traditional supply chain scheme has been changed dramatically. Most companies have been forced to relocate or redesign their logistics network in different countries. A supply chain partnership is a relationship formed between two independent members in supply chain through information sharing to achieve specific objectives and benefits in terms of reductions in total costs and inventories. This study illustrates the benefits of supply chain partnerships based on information sharing and lead-time patterns. We consider three level of information sharing: (1) immediate order information; (2) demand information; (3) inventory information. Given a fixed total lead-time, how lead-time distribution will affect the bullwhip effect and inventory cost under information sharing strategies. The results can help improving supply chain performance and selecting suitable direction for the re-configuration of supply chain network.

1. 서론

공급사슬에서 채찍효과는 여러 가지 원인으로 발생한다. 기업은 제품 수요예측, 생산규모 계획, 재고 조정 등 다양한 경영기획 활동에 있어 고객들의 제품 주문량을 중요한 정보로 활용한다. 그러나 제품 주문량은 실제 수요를 정확하게 반영하지 못한다. 주문량은 미래에 대한 예측의 수요 및 안전재고의 합으로 결정된다. 또한 대량 일괄 주문, 가격의 반등을 대비한 사재기 주문, 공급부족 시 주문량 기준 배분 방식을 역이용한 허수 주문 등으로 인해

실제 수요와 주문량과의 차이는 더욱 커지게 된다. 그리고 공급사슬에서의 정보지연과 배달 지연도 채찍효과를 크게 하는 원인이 된다. 수요변화의 인식과 대응, 그리고 공급사슬상의 재고수준 조정에 상당한 시간이 걸린다.

공급사슬에서 채찍효과를 완벽하게 제거하는 것은 불가능하지만, 적절한 대응을 통해 상당 부분 감소시킬 수 있다. 무엇보다 중요한 것은 하위단계의 주문량 변화에만 민감하게 반응하는 대안에서 벗어나 공급사슬 전반의 수요 및 재고 변화 추이를 관찰하는 전략적인 시각이 필요하다. 이러한 시각 아래 직전 주문정보 뿐만 아니라 다른 정보를 공유하여 실제 수요를 정확히 판단하려는 노력이 필요하다. 이러한 정보공유와 생산 및 수송과 관련된 리드타임의 분포는 통합공급사슬의 관리에 중요한 문제이다. 이에 본 연구에서는 공급사슬을 구성하는 부문간의 정보공유와 리드타임에 따라 공급사슬의 성능에 미치는 영향을 채찍효과와 재고비용의 관점에서 분석하고자 한다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 연구현황을 소개하고, 3장에서는 공급사슬에서의 채찍효과 정량화 모델을 설명한다. 4장에서는 정보공유 형태별 모델 가정 및 실험설계에 대해 설명하고 5장에서는 본 연구에서 실시한 수치예제 실험의 내용과 정보공유 형태와 리드타임 분포에 따른 채찍효과와 재고비용의 결과를 분석한다. 마지막으로 6장에서는 결론 및 향후 연구과제를 소개한다.

2. 기존 연구 현황

지금까지 공급사슬 관리에 관한 많은 연구가 진행되어 왔다. 우선 공급사슬의 채찍효과 정의 및 원인 분석에 관한 연구로 Lee[3] 등은 공급사슬 내의 수요 정보가 한 부분에서 다른 부분으로 옮겨갈 때 왜곡되는 현상을 채찍효과(Bullwhip Effect)라고 정의하고 최종고객의 정보가 상위단계로 갈수록 증폭, 진동 그리

고 반응지연 되는 동태적 변화를 분석하였다. 또한 이런 채찍효과를 줄이기 위한 방안 등을 제시하고 적용사례를 소개하였다. Lee[4] 등은 2계층 공급사슬 구조에서 정보공유에 대한 재고방침을 제시하고 정보공유를 통한 비용감소를 입증하였다. Cachon[2] 등은 전통적인 정보공유 정책에서 공급자의 재고가 소매상의 총주문량을 감당하기 불충분할 경우 소매상의 첫 번째 주문에 대해 우선권을 주어 배치를 할당하는 방법을 제시하였다.

공급사슬의 리드타임의 영향에 관한 연구로는 Chen[1] 등은 2계층 공급사슬상의 채찍효과를 수요정보가 중앙집중화 될 때와 분산화 될 때를 나누어 정량화하고 수요예측과 리드타임의 영향을 분석했다.

공급사슬에서 정보공유와 리드타임의 영향에 관한 연구들은 많이 이루어져 왔으나 이러한 연구는 수요정보의 공유를 통한 리드타임의 단축에 초점을 맞추었다. 리드타임의 단축에서 벗어나 여러 불균형적인 형태를 가진 리드타임의 분포에 따른 특징을 파악하여 정보공유 하 공급사슬 구조에 반영한다면 보다 나은 성능개선이 이루어질 것으로 판단된다.

본 연구에서는 기존의 연구에서 채찍효과에 대처하기 위한 제시된 정보공유와 리드타임의 분포가 공급사슬의 성능개선에 어느 정도 기여할 수 있는지를 평가한다. 이를 위해 전통적인 공급사슬 구조에서 정보공유와 리드타임을 여러 가지 형태로 개선시켜 보았을 때 공급사슬 각 단계의 주문량이나 재고량이 어떤 동태적 변화를 보여주는지, 그리고 재고비용 측면에서는 어떤 차이를 가져오는지를 모의실험을 통해 비교 분석한다. 또한 모의시험의 결과를 바탕으로 실제 공급사슬을 개선할 때 효과적으로 활용할 수 있는 개선 지침을 제시하고자 한다.

### 3. 공급사슬에서의 채찍효과 정량화 모델

기존의 연구에서 제시하고 있는 공급사슬에서 채찍효과를 발생시키는 요인들은 다음과 같다.

- ① 수요예측
- ② 정보 및 물자흐름의 리드타임
- ③ 재고 및 주문정책
- ④ 정보 공유의 부재
- ⑤ 가격변동
- ⑥ 배치(batch)주문

이러한 원인들 중에서 공급사슬의 채찍효과를 줄이기 위해 기존의 연구에서 가장 많이

제기되고 있는 방법이 정보공유이다. Chen[1] 등은 2계층 공급사슬 구조에서 수요정보를 중앙집중화 할 때와 분산화 할 때를 구분하여 공급사슬에서 정보의 영향력을 채찍효과와 변동폭으로 정량화하였다.

#### <기호 정의>

|       |                          |
|-------|--------------------------|
| $D$   | 소매상에서의 고객 수요             |
| $K$   | 공급사슬상의 구성부분의 수           |
| $Q^k$ | $k$ 번째 단계의 주문량           |
| $L_i$ | $i$ 와 $i+1$ 번째 단계간의 리드타임 |
| $N$   | 수요의 관측 수                 |
| $BE$  | 채찍효과 변동폭                 |

수요정보 중앙 집중화 채찍효과 변동폭( $BE_c$ )

$$= \frac{Var(Q^k)}{Var(D)} \geq 1 + \left( \frac{2 \sum_{i=1}^{k-1} L_i}{N} + \frac{2 \left( \sum_{i=1}^{k-1} L_i \right)^2}{N^2} \right) \quad (1)$$

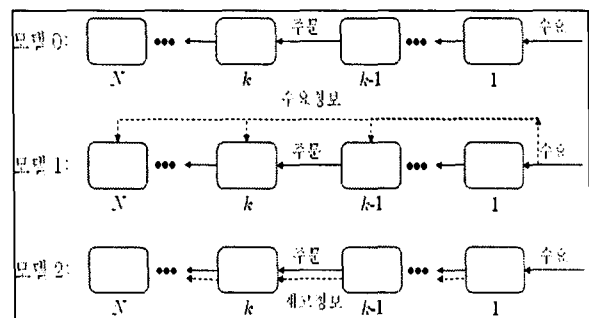
수요정보 분산화 채찍효과 변동폭( $BE_d$ )

$$= \frac{Var(Q^k)}{Var(D)} \geq \prod_{i=1}^{k-1} \left( 1 + \frac{2L_i}{N} + \frac{2L_i^2}{N^2} \right) \quad (2)$$

결과적으로 수요정보가 중앙 집중화된 공급사슬의 주문의 변동폭은 리드타임의 합으로 증가하는 반면 수요정보가 분산된 공급사슬상에서 주문의 변동폭은 리드타임의 배로 증가함을 알 수 있다. 따라서 정보공유는 채찍효과를 완전히 제거할 수는 없지만 어느 정도 줄일 수 있다는 것을 알 수 있다.

### 4. 모델 가정 및 실험 설계

본 연구에서 가정하고 있는 공급사슬 구조는 <그림1>와 같이 여러 구성부분으로 이루어진 전통적인 공급사슬구조이다. 정보공유 형태에 따라 직전 단계의 주문정보만 이용하는 공급사슬구조(모델0)와 수요정보를 공유하는 공급사슬구조(모델1) 그리고 재고정보를 공유하는 공급사슬구조(모델2)로 구분한다.



<그림1> 정보공유에 따른 공급사슬구조

모델의 전개를 위한 가정은 다음과 같다.

- ① 각 단계에서의 주문은 (s, S) 정책을 따른다.
- ② 소매상에서는 이동평균법을 사용하여 수요를 예측한다.
- ③ 각 단계에서 요구된 주문은 자신의 재고를 전부 이용하여 충족시킨다.
- ④ 각 단계에서의 수요량은 상위단계로 전량 발주한다.
- ⑤ 전체 공급사슬 총 리드타임은 15로 고정한다.
- ⑥ 소매상과 고객간의 리드타임은 없다.

본 연구에서 가정하고 있는 공급사슬의 모델 0과 모델1의 채찍효과 변동폭은 Chen[1]의 정량화 모델을 이용해 다음과 같이 정의한다.

$$BE_0 = \frac{Var(Q_k)}{Var(D)} \geq \prod_{i=1}^{k-1} \left( 1 + \frac{2L_i}{N} + \frac{2L_i^2}{N^2} \right) \quad (3)$$

$$BE_1 = \frac{Var(Q_k)}{Var(D)} \geq 1 + \left( \frac{2\sum_{i=1}^{k-1} L_i}{N} + \frac{2\left(\sum_{i=1}^{k-1} L_i\right)^2}{N^2} \right) \quad (4)$$

모델2를 살펴보면 k단계에서는 자신의 직전 k-1단계의 주문과 재고정보를 기초로 자신의 안전재고를 계획한다. 따라서 자신 뿐만 아니라 직전 하위단계의 두 개의 재고를 관리해야 한다. 모델2에서는 한 단계에서 발생하는 정보의 왜곡현상을 제거함으로써 채찍효과도 어느 정도 줄어나갈 수 있다.

$$BE_2 = \frac{Var(Q_k)}{Var(D)} \geq 1 + \left( \frac{2\sum_{i=1}^{k-1} L_i}{N} + \frac{2\left(\sum_{i=1}^{k-1} L_i\right)^2}{N^2} \right) \quad k=1,2$$

$$= \frac{Var(Q_k)}{Var(Q_{k-2})} \geq 1 + \left( \frac{2\sum_{i=1}^{k-1} L_i}{N} + \frac{2\left(\sum_{i=1}^{k-1} L_i\right)^2}{N^2} \right) \quad k=3, \dots, N \quad (5)$$

<기호정의>

|          |                   |
|----------|-------------------|
| $D_i$    | 수요,               |
| $D_i'$   | 수요예측 값,           |
| $AVG(D)$ | 평균 수요,            |
| $STD(D)$ | 수요 표준편차,          |
| $L$      | 리드타임,             |
| $S$      | 목표재고량,            |
| $s$      | 재주문점              |
| $Q$      | 주문량               |
| $Z_i$    | 안전계수              |
| $h$      | 재고 유지비            |
| $p$      | 재고 부족비            |
| $I_t$    | t 시점에서 각 단계의 재고수준 |
| $IC'_k$  | 총재고비용             |

각 단계에서의 목표재고량은 리드타임 동안의 평균재고와 수요 변동에 대비한 안전재고로 구성된다.

$$\begin{aligned} \text{목표재고량}(S) &= \text{리드타임 동안의 수요} + \text{안전재고} \\ &= L \times AVG(D') + z \times STD(D') \times \sqrt{L} \quad (6) \end{aligned}$$

(s, S) 정책에 따른 각 단계에서의 주문량은 식(7)과 같다.

$$\begin{aligned} \text{주문량}(Q) &= \text{목표재고} - \text{재고수준} \\ &= (S - I_t) \\ &= \left[ \left( L \times AVG(D') + z \times STD(D') \times \sqrt{L} \right) - I_t, Z_i \right] \quad (7) \end{aligned}$$

소매상의 수요는 이동평균법에 의해 예측된다. 정보가 공유되면 공급사슬의 각 단계에서는 정보를 이용하여 주문량을 결정한다.

$$\text{재주문점}(ROP) = \text{Max} \{ S - I_t, 0 \} \quad (8)$$

위 식들을 이용해 총비용은 재고의 유지비용과 부족비용의 합으로서 계산한다. 단위시간당 재고 유지비용은 제품이 완제품에 가까워지므로 재고 유지비용이 커지는 공급사슬의 특성을 반영하여 하위단계(소매상)로 갈수록 제품의 단위 재고 유지비용을 크게 적용한다. 부족비용은 품질이 발생할 때 단위 부족재고에 대한 손실비용으로 역시 하위단계로 갈수록 단위 재고 부족비용이 커진다.

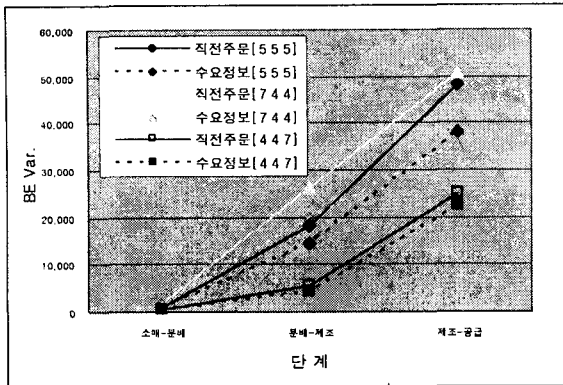
$$\begin{aligned} \text{총비용}(IC'_k) &= \text{재고 유지비용} + \text{재고 부족비용} \\ &= h(I_t - D_t)^+ + p(D_t - I_t)^+ \quad (9) \end{aligned}$$

### 5. 수치예제 실험 및 결과 분석

본 장에서는 앞 장에서 제시한 정보공유의 세가지 모델 중 모델 0과 1을 대상으로 정규분포를 따르는 수요 데이터를 발생시켜 수치예제 실험을 한다.

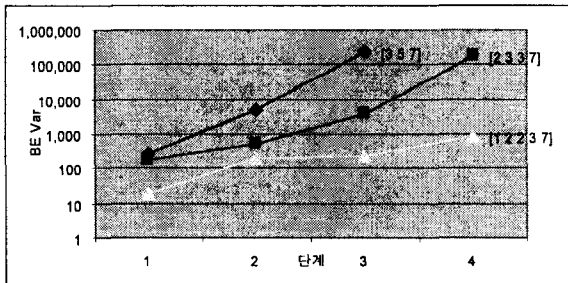
전체 공급사슬의 총 리드타임을 15로 고정하고 불균형적인 분포로 가져간다. 리드타임 분포는 균등형([5 5 5]), 상위급등형([4 4 7]) 그리고 하위급등형([7 4 4])의 세 가지 형태로 구분한다. 결과적으로 정보공유와 리드타임의 분포를 서로 다르게 설정할 때 채찍효과와 재고비용에 어떤 영향을 주는 지 분석한다. 위 수치예제 실험결과에서는 <그림2>와 같이 수요정보의 공유를 통해 분배센터는 약 19.1%, 제조업자는 약 10.3% 정도의 재고비용의 절감

이 나타난다.



〈그림2〉 정보공유에 따른 채찍효과 변동폭

리드타임 분포에 따른 채찍효과와 변동폭에서도 재고비용의 실험결과와 같이 공급사슬의 상위단계에서 긴 리드타임을 갖는 상위 급등형 분포가 균등형 및 하위 급등형 분포들보다 최종 단계에서 채찍효과와 변동폭이 낮게 나타나는 결과를 얻을 수 있다. 이와 같이 채찍효과 변동폭의 감소를 가져오는 이유는 채찍효과 자체가 갖는 고유한 특징에서 잘 알 수 있다.



〈그림3〉 리드타임 분포에 따른 채찍효과 변동폭

채찍효과는 여러 원인들로 수요정보가 상위단계로 전달되는 과정에서 증폭, 진동 그리고 반응지연의 특징들로 이루어진 동태적인 변화로 나타난다. 공급사슬의 시작 단계인 소매상에서부터 리드타임이 길어지게 되면 채찍효과와 최초 증폭이 처음부터 커지므로 상위단계로 올라갈수록 더욱 크게 누적되어 채찍효과와 변동폭이 배가 된다. 결과적으로 하위단계에서 리드타임이 짧아져야 채찍효과 감소와 비용측면에서 이익이 될 수 있다는 것을 알 수 있다. 이런 결과를 바탕으로 또 다른 대안을 고려해 볼 수 있는데 공급사슬이 시작되는 하위단계의 리드타임을 더 짧게 하기 위해 구성부분의 수를 늘려 공급사슬 구조를 변화시킨다. 〈그림3〉과 같이 총 리드타임 값 15로 고정되어 있는 4계층 공급사슬 구조의 [3 5 7]분포를 5계층

공급사슬 구조의 [2 3 3 7]분포나 6계층 공급사슬 구조의 [1 2 2 3 7]분포로 설정할 때에도 채찍효과에 중요한 영향을 미치는 것으로 나타난다.

## 6. 결론 및 향후 연구방향

본 연구는 공급사슬의 성능에 직접적인 영향을 주는 원인인 리드타임의 분포가 정보공유 모델을 대상으로 공급사슬 내 채찍효과 변동폭과 재고비용의 변화에 얼마나 영향을 미치는가를 분석하였다. 수치예제 실험결과 수요정보의 공유와 함께 하위단계에서부터 짧은 리드타임의 분포가 주문량과 재고량의 상대적인 안정성으로 채찍효과와 비용의 절감이 있었다. 따라서 공급사슬 구조를 개선하고자 할 때에는 정보를 공유하고 또한 리드타임 분포의 적절한 선택이 공급사슬의 성능 향상 측면에서 바람직할 것으로 판단된다. 이후 연구과제로는 공급사슬에서의 채찍효과를 최종고객의 수요에 대비한 주문량의 변동폭으로 정량화 방법 외 리드타임의 변동에 대비한 안전재고 수준으로 채찍효과를 정량화해 보는 것도 공급사슬의 성능을 분석하는 데 큰 의미를 부여 할 것이다.

## 참고문헌

- [1] F. Y. Chen, Z. Drezner, J. K. Ryan, and D. Simchi-Levi, "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 (2000).
- [2] G. Cachon and M. Fisher, "Supply chain inventory management and the value of shared information", *Management Science*, vol.46, no.8, pp.1032-1048 (2000).
- [3] H.L. Lee, V. Padmanabhan and S. Whang, "Information distortion in a supply chain: The bullwhip effect", *Management Science*, vol.43, no.4, pp.546-558 (1997).
- [4] H.L. Lee, Kut C, and Christopher S. Tang "The value of information sharing in a two-level supply chain", *Management Science*, vol46, no.5, pp.626-643 (2000).
- [5] 김기범, "채찍효과 정량화를 통한 공급사슬 성능개선에 관한 연구: 비어게임을 바탕으로", *연세대학교 석사 학위 논문*(2002).