한국경영과학회지
제37권 제3호
2012년 9월

경쟁적 소매상으로 구성된 공급사슬에서 정보공유의 역효과에 관한 연구

서 용 원*†

Analyzing the Dysfunction of Fully Shared Stock Information in a Supply Chain with Competiting Retailers

Yong Won Seo*

■ Abstract ■

The purpose of this paper is to show the effect of information sharing strategy on the supply chain performances. While traditional information sharing models assumed centralized stock information, recent supply chain practices often implement fully shared stock information, where real-time stock information is accessible on retailers. When retailers are competing with each other, this fully shared stock information may incur retailers' strategic order behaviors.

Thus, this paper analyzes a simple two-level supply chain consisting of one warehouse and two identical competing retailers where the real time stock information is fully shared. The warehouse uses the traditional echelon stock policy. Under this environment the retailers' reorder decisions are derived using the order risk concept and the retailer competition mechanism is analyzed. Computational results show that the supply chain performace degradation in the fully shared stock information is quite significant, implying the importance of designing information sharing strategies in the supply chain design phase.

Keyword : Supply Chain, Information Sharing Strategy, Fully Shared Stock Information, Order Risk, Retailer Competition

논문접수일 : 2012년 08월 16일 논문게재확정일 : 2012년 09월 07일
논문수정일(1차 : 2012년 09월 03일)
* 중앙대학교 경영경제대학 경영학부
† 교신저자

1. 서 론

공급사슬에서의 정보공유가 일반화됨에 따라, 많은 기업에서 공급사슬 구성원간에 실시간 재고정보를 공유하여 활용하고 있다(e.g. [2, 6]). 실시간 재고정보를 활용한 중요한 의사결정 중의 하나는 재주문 시점을 결정하는 것이다. 본 연구에서는 도매상과 소매상으로 구성된 2계층 분배형 공급사슬에서 실시간 재고정보를 활용한 재주문 의사결정을 대상으로 하여 정보 공유의 유형에 따른 공급사슬 성과에 대한 영향을 관찰하고자 한다.

공급사슬의 재고정보공유를 통해 공급사슬의 성과를 개선할 수 있음은 널리 알려진 사실이다(e.g. [1, 20, 24]). 도매상과 소매상으로 구성된 공급사슬을 대상으로 볼 때, 기존의 연구는 대부분 소매상의 정보를 도매상이 공유하여 공급사슬 총비용을 최소화하기 위한 재주문 정책에 활용하는 경우를 다루고 있으며, 이러한 정보 공유를 통해 공급사슬 성과의 개선이 이루어질 수 있음을 입증하고 있다(e.g. [7, 11-14, 24]. 이 경우, 정보는 도매상에 집중되고 소매상은 단지 자체 재고정보(local stock information)만을 활용하여 의사결정을 수행하게 된다.

그러나 도매상이 소매상의 정보를 활용하는 이외에, 소매상에서 도매상 또는 다른 소매상의 실시간 재고정보를 공유하여 활용하는 경우도 흔히 볼 수 있으며, 이 때 정보 공유의 대상이 되는 소매상은 서로 경쟁적인 관계에 있을 수 있다. 예로서, 의류 소매상에서 특정 제품의 품절시 원활한 재고수평이동(transshipment)을 수행하기 위해 소매상에서 타 점포의 재고현황을 파악할 수 있는 POS(Point-Of-Sales) 시스템을 운영하는 경우가 많으나, 프랜차이즈 형태로 운영되는 소매상들의 경우 실질적으로는 상호 경쟁관계에 있어 재고수평이동을 위한 협력이 이루어지지 못하는 사례가 종종 발생한다[3, 5], 또한 Lee et al.[20]은 채찍 효과(bullwhip effect)의 한 원인으로서 도매상으로부터의 공급 부족이 우려될 때 소매상의 가수요로 인해 수요가 더욱 증가하는 배급 게임(rationing game)의 문제를 지적하고 이를 방지하기 위해 도매상 공급 상황 정보를 소매상에 공유하는 방안을 제시하고 있으며, 이러한 경우 서로 이해관계를 달리 하는 공급자와 소매상 사이에서 재고 정보가 공유되게 된다. 한편, Li[21]는 서로 경쟁관계에 있는 수평적 공급사슬 구성원간에는 정보 공유를 기피하고자 하는 경향이 있음[19]에도 불구하고, 해당 공급사슬 구성원에 대한 공급자의 행동으로부터 경쟁 상대방의 정보가 유추 가능하여 실질적으로는 상당한 수준의 의도하지 않은 정보공유가 일어나게 됨을 지적하고 있다.

이와 같이 만약 소매상이 서로 경쟁관계에 있다면 소매상은 자신의 운영비용을 최소화하기 위해 도매상 및 다른 소매상의 정보를 활용할 수 있으므로, 전체 최적화를 위해 도매상에서 통합적 의사결정을 수행하는 경우와는 공급사슬의 성능에 미치는 영향이 다르게 나타날 수 있다. 본 연구에서는 소매상 경쟁하에서 정보완전공유의 공급사슬 성과에 대한 영향을 알아보기 위해 하나의 도매상과 경쟁관계의 두 소매상으로 구성된 단순한 2계층 분배형 공급사슬을 고려한다. 실시간 재고정보는 전체 공급사슬에 공유되며, 도매상은 실시간 정보를 바탕으로 하여 전통적인 계층재고정책(echelon stock policy)을 사용한다. 소매상은 각자의 비용 최소화를 위한 재주문시점을 결정하며, 이 때 도매상의 실시간 정보 및 상대방 소매상의 재고정보를 활용한다. 본 연구에서는 이와 같이 소매상이 상호 경쟁에 실시간 재고정보를 활용하는 것이 공급사슬의 성과에 어떤 영향이 미치는지를 관찰하고자 한다.

2. 관련 연구

도매상과 소매상으로 구성된 2계층 공급사슬 시스템에서 실시간 재고정보를 통한 재주문 의사결정은 전통적으로 계층재고정책(echelon stock policy, e.g. [7, 14, 16])에 의해 이루어져 왔다. 계층재고[15]는 각 설비에 대해 자신의 재고량과 자신의 하위에 연결된 모든 설비의 보유 재고의 합으로 정의되며, 이는 하위 설비에서의 재고 변동이 실시간으

로 계층재고의 값에 반영되므로, 공유 정보를 활용하지 않고 자체 재고 정보만으로 재주문 의사결정을 수행하는 설치재고정책(e.g. [17, 18, 22, 25])과 달리 실시간 공유정보를 반영하는 의사결정을 가능하게 한다. 이러한 특성에 입각하여 계층재고정책은 실시간 공유 정보를 활용하는 대표적인 정책으로 사용되어 왔으며(e.g. [20]), 조립형 시스템(assembly system)과 직렬형 시스템(serial system)에서는 항상 계층재고정책이 설치재고정책에 비해 우월함이 입증된 바 있다[10].

분배형 시스템(distribution system)에서도 계층재고정책이 공유정보의 활용 방안으로서 널리 이용되어 왔으며(e.g. [12, 14]), 이는 계층재고정책이 이해와 구현이 용이할 뿐 아니라 많은 경우에 설치재고정책에 비해 우수한 성능을 보이고 있음에 기인한다[7, 8, 12]. 그러나 경우에 따라서는 계층재고정책이 오히려 전혀 공유정보를 활용하지 않는 설치재고정책에 비해서도 더 나쁜 성능을 보여줄 수 있음이 알려져 있었으며[7, 8, 11], 이에 따라 계층재고정책의 문제를 개선하여 실시간 재고정보를 보다 효율적으로 활용하여야 할 필요가 제기되었다[14]. Seo et al.[24], 서용원[3], Seo[23] 등에서는 주문 리스크(order risk)의 개념에 입각하여 실시간 재고정보를 최대한 활용하는 재주문 의사결정 정책을 제시하고, 최적성을 입증하였다. Axsäter and Marklund [9]에서는 리드타임이 변동하는 보다 일반적인 환경에서 공유정보의 최적 활용을 위한 정책을 제시하였다.

그러나 실제에 있어서는 공급사슬의 각 설비는 자신의 비용을 최소화하는 것을 목적으로 서로 경쟁관계에 놓여 있을 수 있으며(e.g. [21]), 경쟁상대의 실시간 재고정보가 가용한 경우 상대방과의 경쟁에 이러한 정보가 활용될 수 있다. 실시간 재고정보를 활용한 재주문 정책에 관한 기존의 연구는 대부분 소매상의 실시간 정보를 도매상이 공유하여 활용하는 중앙집중화 재고정보(centralized stock information)을 대상으로 전체 공급사슬의 재주문 정책을 통합적으로 최적화하는데 초점을 두었으나, 공급사슬 구성원간의 경쟁에 실시간 재고 정보가 활용되는 경우의 영향에 대해서는 아직 많은 연구가 이루어지지 않고 있다. 최근 이루어진 이용기 등[4]의 연구에서는 경쟁관계의 소매상들이 상대방의 실시간 재고정보를 바탕으로 재주문 정책을 수행하는 경우의 공급사슬 비용에 대한 영향을 사람을 대상으로 한 행동 실험을 통해 고찰하였으며, 이 경우 공유 정보를 활용한 소매상간의 도매상 재고 선점 경쟁이 공급사슬 비용을 상당한 수준으로 증가시킬 수 있음을 보인 바 있다. 본 연구에서는 소매상이 도매상 및 상대방 소매상의 재고정보를 접근할 수 있는 완전 정보 공유 환경을 대상으로 하여 경쟁관계의 소매상에 대한 최적 재주문 정책을 도출하고, 이를 이용하여 공급사슬 비용에 미치는 공유 정보의 효과를 관찰하고자 한다.

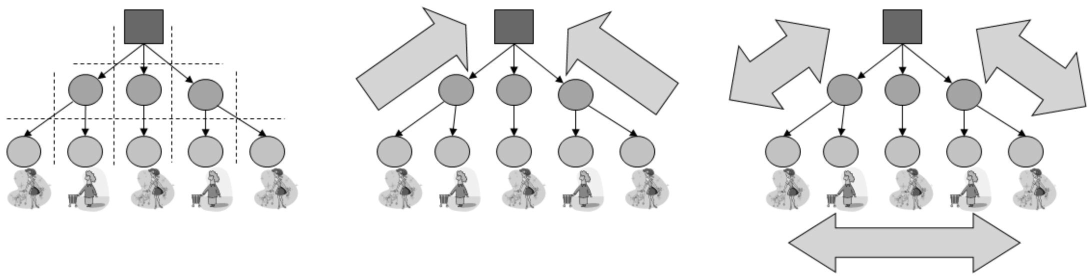
3. 문제의 정의

3.1 정보공유의 유형

공급사슬 구성원간에서 실시간 재고 정보의 공유유형은 [그림 1]과 같이 정보비공유, 정보중앙집중화, 정보완전공유의 3가지로 구분할 수 있다.

첫 번째 유형인 정보비공유 환경은 공급사슬 구성원간에 실시간 재고정보가 공유되지 않고, 각자의 재고량 정보(local stock information)에 의존하여 재주문의사결정을 수행하는 환경이다. 이는 공급사슬 정보 공유를 위한 정보시스템이 구현되기 이전의 전통적인 환경에 해당하며 각 구성원은 설치재고정책(installation stock policy)를 활용하여 재주문 의사결정을 수행하는 것이 일반적이다. Deuermeyer and Schwarz[17], Moinzadeh and Lee[22], Lee and Moinzadeh[18], Svoronos and Zipkin[25] 등의 연구가 이에 해당한다.

두 번째 유형은 실시간 재고정보가 도매상으로 중앙집중화(centralized stock information)되는 환경이다. 소매상의 실시간 재고정보는 POS(Point-Of-Sales)시스템을 활용하여 획득 및 공유되며 도매상은



(a) 정보 비공유 (b) 정보 중앙집중화 (c) 정보 완전공유

[그림 1] 정보공유의 유형

소매상의 실시간 재고정보와 자신의 재고량에 대한 조사를 통하여 공급사슬 총비용을 최소화하기 위한 재주문 의사결정을 수행한다. 공급사슬의 정보공유에 대한 대부분의 연구가 이러한 환경을 가정하고 있으며[7, 14, 16, 24], 정보공유로 인해 공급사슬 총비용의 상당한 절감효과가 나타나는 것으로 입증된다.

본 연구에서 중점적으로 고찰하는 세 번째 유형은 공급사슬의 실시간 재고정보가 구성원 간에 완전공유(fully-shared stock information)되는 환경으로서 도매상이 소매상의 실시간 재고정보를 활용 할 수 있음은 물론 각 소매상도 도매상과 상대방 소매상의 재고정보에 접근할 수 있는 경우이다. 실제의 많은 공급사슬 시스템에서 이와 같은 형태의 정보공유가 구현되고 있다. 이 때, 각 소매상이 자신의 총비용을 최소화하기 위한 방향으로 의사결정을 수행한다면 기존의 중앙집중식 정보공유모형으로는 설명할 수 없는 소매상간의 재고선점경쟁 등의 다이나믹스로 인해 공급사슬 성과의 저하가 발생할 수 있다. 본 연구에서는 이와 같이 소매상간의 경쟁관계가 존재하는 상황에서 정보의 완전 공유가 공급사슬 성과에 미치는 영향을 분석하는 것을 주요 내용으로 한다.

3.2 소매상간 재고선점경쟁

소매상이 상대방 소매상과 도매상의 실시간 재고정보를 활용할 수 있는 경우 소매상간에는 각자의 총비용을 최소화하기 위한 경쟁관계가 발생할 수 있다. 예를 들어 도매상의 남아 있는 재고가 얼마 없는 상황에서 두 소매상이 모두 재주문시점에 근접해 있다고 가정하자. 두 소매상을 소매상 A와 B로 지칭한다면 소매상 A의 입장에서는 소매상 B가 곧 재주문을 수행하게 될 것을 예상할 수 있고 또한 소매상 B가 재주문을 자신보다 먼저 수행하는 경우에는 도매상의 남은 재고를 모두 소진하여 이후에 자신이 재주문을 수행하였을 때 선적이 지연될 것을 우려하게 된다. 따라서 이러한 상황에서 소매상 A의 입장에서는 아직 정상적인 재주문시점이 도래하지 않았더라도 도매상의 남은 재고를 선점하기 위해 소매상 B보다 먼저 재주문을 수행하는 것이 유리할 수 있다. 소매상 B도 동일한 상황에서 소매상 A와 유사한 판단을 수행할 수 있으며, 이에 따라 소매상 B의 재주문시점도 앞당겨지게 된다. 소매상 A와 소매상 B의 이러한 추론으로 인하여 결과적으로 재주문시점이 앞당겨지는 행동을 본 연구에서는 재고선점경쟁이라고 하며 이러한 재고선점경쟁은 결과적으로 소매상의 과다재고보유를 야기하여 공급사슬성과의 저하로 이어질 수 있다.

재고선점경쟁은 한정된 공급자의 자원 고갈을 우려한 소매상의 전략적 행동으로 인해 발생한다는 점에서 배급 게임[20]과 유사하다. 그러나 배급 게임에서는 소매상이 도매상의 배급 정책을 대비한 가수요를 포함한 주문량 결정을 고려하고 있는 반면, 본 연구에서는 소매상이 주문량이 고정된 상태에서 재주문 시점을 앞당기는 경쟁을 수행하는 상황을 고려한다는 점에서 차이가 있다. 이용기 등[4]에서는 배급 게임과 유사하게 주문량을 대상으로 소매상간 재고 선점 경쟁이 일어나는 상황을 행동 실험

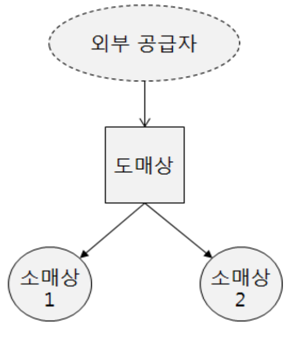
을 통해 고찰하였으며, 이러한 재고선점경쟁의 결과로 공급사슬 총비용이 약 11%~29%증가하는 것을 관찰하였다. 그러나 이용기 등[4]의 연구는 정기주문조사정책을 대상으로 하여 재주문시점이 아닌 재주문량의 증가를 고찰하였으며 실험 참가자 간에 발생하는 경쟁적 의사결정의 메커니즘을 구체적으로 분석하지는 않았다. 한편, Cachon[13]에서는 하나의 도매상과 복수의 소매상이(R, Q) 정책, 즉 재주문점이 R이고 일회주문량이 Q인 연속재고조사 정량주문정책을 사용하는 공급사슬에서 공급자와 소매상이 경쟁하는 경우를 분석하고 있어 본 연구와 유사하다. 그러나 Cachon[13]에서는 실시간 공유 재고정보를 활용하지 않는 공급사슬 구성원간 경쟁을 고려하였으며, 이때에는 재고를 서로 보유하지 않으려고 하는 형태의 게임이 발생하게 됨을 보인 바 있다. 본 연구에서는 연속재고조사 환경에서의 재주문시점을 대상으로 하고 있다는 점에서 배급 게임[20] 및 이용기 등[4]의 연구와 차이점이 있으며, 실시간 정보의 완전공유환경에서 소매상간 경쟁을 다룬다는 점에서 Cachon[13]의 모형과도 상이하다. 본 연구에서의 경쟁적 소매상의 재주문 시점 의사결정은 Seo et al.[24], 서용원[3], Seo[23] 등에서 제시한 주문 리스크(order risk)의 개념에 입각하여 소매상의 최적 재주문 시점을 도출함으로써 분석된다.

4. 연구의 모형

4.1 공급사슬 시스템 모형

본 연구에서는 [그림 2]와 같이 단일 제품을 대상으로 하여 하나의 도매상과 해당 도매상으로부터 공급받는 두 개의 동일한 소매상으로 구성된 단순한 2계층 유통형 공급사슬 시스템을 가정한다.

고객 수요는 소매상에서만 발생하며 수요의 분포는 포아송 과정을 따른다고 가정한다. 소매상에서 재고고갈이 발생할 경우 과다 수요는 모두 이월주문(backorder)처리되며 이때, 제품 개당 단위시간당 일정한 양의 품절비용이 발생한다. 소매상들은 도매상으로부터 공급받으며 일정한 수송기간(transportation time)이 소요된다.



[그림 2] 공급사슬 모형

도매상은 소매상의 주문을 선입선출(FCFS)로 처리한다. 만약 두 소매상이 동시에 주문을 수행하는 경우에는 주문시점 직전에 수요가 발생한 소매상의 주문이 우선 처리된다. 도매상의 재고고갈로 인하여 소매상의 주문이 미충족되는 경우에 과다주문은 모두 이월 처리된다. 이때 소매상으로의 납품은 도매상에 재고보충이 이루어질 때까지 지연된다. 따라서 도매상으로부터의 실제 인도기간은 도매상의 재고상황에 따라 달라질 수 있다. 도매상은 용량제약이 없는 외부공급자로부터 공급받는 것으로 가정하여, 외부공급자로부터의 인도기간은 일정하다고 가정한다.

각 설비에서는 단위시간당 제품 개당 일정한 양의 재고보유비용이 발생하며 일회주문량은 주어져 있는 것으로 가정한다. 분석의 편의를 위하여 도매상의 일회주문량은 소매상의 일회주문량의 정수배로 가정하여 부분선적(partial shipment)은 허용되지 않는 것으로 가정한다. 또한, 도매상의 일회주문량은 소매상의 일회주문량에 비해 충분히 큰 값이어서 도매상의 재고보충시에는 그 이전까지의 소매상에 대한 이월주문이 모두 충족될 수 있는 것으로 가정한다.

모든 설비는 연속재고조사 정량 주문 정책(continuous review batch ordering policy)를 사용하는 것으로 가정한다. 본 연구에서는 공급사슬의 구성

원간에 실시간 재고정보의 공유 수준에 따라 정보가 공유되지 않고 각자의 설비에서의 자체 재고정보만 활용하는 정보 비공유 환경과, 정보가 도매상에 중앙집중화(centralized stock information)되는 환경 및 도매상 및 소매상에 실시간 재고정보가 완전 공유(fully-shared stock information)되는 환경으로 구분한다.

정보 공유 수준에 따라 공급사슬 구성원의 재주문 정책도 달라진다. 정보 비공유 환경에서는 도매상 및 소매상이 모두 자체 재고 정보에만 입각하여 설치재고정책(installation stock policy)에 입각한 (R, Q) 재주문 정책을 수행하는 것으로 가정한다. 정보의 중앙집중화 환경에서는 도매상은 소매상의 재고정보를 활용하여 계층재고정책(echelon stock policy)에 입각하여(R, Q) 재주문 정책을 수행하며, 소매상은 자체 재고정보만이 접근 가능하므로 사전에 설정된 최적 재주문점에 기반하여 자체 재고정보만을 활용한 재주문 정책을 수행한다. 정보 완전공유 환경에서는 도매상이 공유 정보를 바탕으로 한 계층재고정책을 수행하는 것 이외에, 각 소매상은 도매상 및 상대 소매상의 실시간 재고정보를 활용할 수 있으므로 가용 정보를 활용하여 자신의 총비용을 최소화하는 것을 목적으로 한 재주문의사결정을 수행하는 것으로 가정한다.

4.2 기호 정의

기호의 편의를 위해 도매상을 0번 설비, 소매상 1, 2를 각각 1번 설비, 2번 설비로 나타낸다.

Q_j : 설비 j의 일회주문량(order quantity), $j=0, 1, 2$

L_0 : 도매상의 주문에 대한 주문인도기간(lead time)

L_j : 소매상 j의 주문에 대한 수송기간 (transportation time), $j=1, 2$

h_j : 설비 j에서의 단위제품당 단위시간당 재고유지비용(holding cost), $j=0, 1, 2$

p_j : 소매상 j에서의 단위제품당 단위시간당 품절비용(penalty cost), $j=1, 2$

λ_j : 소매상 j에서의 고객도착율(arrival rate), $j=1, 2$

R_j : 설비 j의 재주문점(reorder point), $j=0, 1, 2$

Q_r : 소매상 공통의 일회주문량, $Q_1=Q_2=Q_r$

h_r : 소매상 공통의 재고유지비용, $h_1=h_2=h_r$

p_r : 소매상 공통의 품절비용, $p_1=p_2=p_r$

L_r : 소매상 공통의 수송기간, $L_1=L_2=L_r$

λ_r : 소매상 공통의 고객도착율, $\lambda_1=\lambda_2=\lambda_r$

R_r : 소매상 공통의 재주문점, $R_1=R_2=R_r$

$IP_j(t)$: t 시점에서 설비 j의 재고위치(inventory position), $j=0, 1, 2$

$IL_j(t)$: t 시점에서 설비 j의 재고수준(inventory level), $j=0, 1, 2$

$D_j(t, u)$: (t, u)동안 소매상 j에 발생하는 수요량, $j=1, 2$

$U_j(t)$: 설비 j가 t 시점에서 주문시 해당 주문에 대한 재고보충시점, $j=0, 1, 2$

$\omega_0(t)$: t 시점 이후의 도매상의 재고보충시점

$\boldsymbol{S}(t)$: t 시점의 공급사슬 상태정보의 집합.

$$\boldsymbol{S}(t) \equiv \{IP_j(t), IL_j(t), \omega_0(t) \mid j=0, 1, 2\}$$

5. 정보 완전공유 환경에서의 재주문 시점의 결정

주어진 시스템 모형상에서 각 구성원들의 주문행동을 알아보기 위해 도매상 및 각 소매상의 재주문 정책을 도출한다. 도매상은 계층재고정책을 수행한다고 가정하였으므로, 도매상의 재주문점을 R_0로 두면 재주문 정책은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

● 도매상의 재주문 정책

만약 $IP_0+IP_1+IP_2 \le R_0$이면 재주문 한다.

한편, 각 소매상은 정보 공유 수준에 따라 가용한 정보를 활용하여 각자의 총비용을 최소화하는 방향

으로 재주문을 수행한다. 정보 비공유 환경 및 정보 중앙집중화 환경에서의 재주문점 설정에 대해서는 기존의 연구들에서(e.g. [7, 14]) 최적 재주문점 설정에 관해 제시하고 있다. 따라서 본 절에서는 정보 완전공유 환경에서의 소매상 재주문 시점의 의사결정을 분석하는 것에 중점을 둔다.

정보 완전공유 환경에서의 소매상 의사결정에 관련해서는 Seo et al.[24]에서 제시한 주문 리스크(order risk)의 개념을 활용할 수 있다. Seo et al.[24]에서는 주문인도기간이 일정한 환경에서 도매상을 대상으로 한 최적 재주문 시점을 결정하기 위해 주문 리스크에 기반한 재주문 정책을 제시하였다. 주문 리스크는 주문 연기에 따른 한계절감비용의 기대값으로 정의되며, 이 값은 주어진 시점에서 주문을 연기하는 것이 시스템 비용을 절감할 것인지를 판별한다. 만약 주문 리스크의 값이 양이라면 주문을 연기하는 것이 이익이며, 주문 리스크의 값이 음이 될 때 재주문을 수행하는 것이 최적임을 보이고 있다.

유사한 방법으로 소매상의 최적 재주문 시점의 의사결정을 위한 기준을 수립할 수 있다. 다만, 본 연구의 모형에서는 도매상의 재고상황에 따라 소매상의 주문인도기간은 변할 수 있으므로, Seo et al.[24]과는 다른 분석이 요구된다.

5.1 주문 연기에 따른 재고보충시점과 비용의 변화

현재 시점을 t라 하고, 지금 즉시 주문하는 것과 주문을 매우 짧은 시간 ϵ만큼 연기하는 것을 비교해 보자. 여기서 ϵ은 그 동안에 수요가 발생하거나 도매상에서 재고보충이 일어나는 등의 시스템 상태 변화가 일어나지 않을 만큼의 짧은 시간이라고 둔다.

소매상 j가 현재 시점에 주문하는 경우의 재고보충시점을 $U_j(t)$라고 두면, $U_j(t)$는 도매상의 재고상황에 따라 달라지는 값이 된다. 만약 소매상의 주문시점에 도매상의 재고가 충분하면 즉시 선적되지만, 그렇지 않다면 선적시점은 도매상에 재고보충이 일어날 때까지 지연된다. t 시점 이후 최초의 도매상 재고보충시점을 $\omega_0(t)$ $(\omega_0(t)>t)$라고 하면, 소매상의 재고보충시점 $U_j(t)$는 다음과 같이 나타난다.

$$U_j(t)=\begin{cases}\omega_0(t)+L_j,\ \text{if } IL_0(t)<Q_j, \\ \quad \text{where } \omega_0(t)=\underset{s>t \text{ and } IL_0(s)\geq Q_j}{\text{Min}}\ s \\ t+L_j,\ \text{if } IL_0(t)\geq Q_j\end{cases} \tag{1}$$
$j=1, 2$

한편, 소매상 j가 주문을 ϵ만큼 연기하여 $t+\epsilon$ 시점에 주문하는 경우에는 다음의 3가지 경우가 구분된다.

① $IL_0(t)<Q_j$인 경우

이 경우에는 t 시점에 주문하거나 $t+\epsilon$ 시점에 주문하거나에 관계없이 도매상에서의 선적은 도매상 재고보충 시점 $\omega_0(t)$에 발생하게 되므로, 소매상에서의 재고보충 시점은 동일하게

$$U_j(t+\epsilon)=\omega_0(t)+T_j=U_j(t)$$

가 된다.

② $IL_0(t)\geq Q_j$이고 $IL_0(t+\epsilon)\geq Q_j$인 경우

이 경우에는 소매상 j가 주문을 연기하기 전후 모두에서 도매상이 소매상의 주문을 충족시키기에 충분한 재고량을 보유하고 있는 경우이다. 이때는 소매상의 주문시점에 도매상에서의 선적이 즉시 일어나므로, $t+\epsilon$ 시점에 주문하는 경우 재고보충시점은

$$U_j(t+\epsilon)=t+\epsilon+T_j=U_j(t)+\epsilon$$

가 성립한다.

③ $IL_0(t)\geq Q_j$이지만 $IL_0(t+\epsilon)<Q_j$인 경우

이 경우는 소매상 j가 주문을 연기하기 전에는 도매상의 재고가 충분하였으나 주문을 연기하는 사이에 상대방 소매상이 도매상의 재고를 선점하여 $t+\epsilon$ 시점에는 도매상의 재고가 소매상의 주문을 충족할

수 없는 수준으로 감소한 경우이다. 따라서 $t+\epsilon$ 시점의 소매상 주문에 대한 도매상의 선적시점은 도매상의 다음 재고보충시점 $\omega_0(t)$까지 지연된다. 즉,

$$U_j(t+\epsilon) = \omega_0(t) + T_j = U_j(t) + (\omega_0(t) - t)$$

가 된다.

①, ②, ③의 경우를 정리하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$U_j(t+\epsilon) = \begin{cases} U_j(t), \text{ if } IL_0(t) < Q_j \\ U_j(t)+\epsilon, \text{ if } IL_0(t) \geqq Q_j \\ \quad \text{and } IL_0(t+\epsilon) \geqq Q_j \\ U_j(t) + (\omega_0(t) - t), \text{ if } IL_0(t) \geqq Q_j \\ \quad \text{and } IL_0(t+\epsilon) < Q_j \end{cases} \tag{2}$$

$$= \begin{cases} \omega_0(t) + T_j, \text{ if } IL_0(t+\epsilon) < Q_j \\ t + T_j + \epsilon, \text{ if } IL_0(t+\epsilon) \geqq Q_j \end{cases}$$

한편, 소매상에서 주문을 연기함에 따라 재고보충시점이 달라지면 이에 따라 이후의 운영비용도 달라지게 된다. 소매상 j에서 t 시점에 주문하는 경우와 $t+\epsilon$ 시점에 주문하는 경우의 운영비용을 비교해 보자.

t 시점에 주문하는 경우 재고보충은 $U_j(t)$에 발생하고, $t+\epsilon$에 주문하는 경우의 재고보충은 $U_j(t+\epsilon)$에 발생하므로, $U_j(t+\epsilon)$ 이후의 재고수준은 t에 주문하거나 $t+\epsilon$에 주문하거나에 관계없이 동일하다. 또한, 어느 시점에 주문하든지 $(t, U_j(t))$동안의 재고수준에는 영향을 미치지 못한다. 즉, 임의의 시점 t에 주문을 ϵ만큼 연기하는 경우의 운영비용은 $[U_j(t), U_j(t+\epsilon)]$구간에서만 차이가 발생하게 된다.

따라서 매 시점에 소매상에서 $[U_j(t), U_j(t+\epsilon)]$ 동안의 비용을 비교하여 주문 연기 여부를 결정하는 재주문 정책을 고려해 볼 수 있다. 만약 주문 연기에 따라 비용이 절감된다면 주문을 연기하는 편이 유리할 것이다. 소매상 j에서 임의의 시점에 재고수준이 $IL_j(t)$라고 할 때, 해당 시점에서의 시스템 순간비용을 $c_j(IL_j(t))$라고 하면

$$c_j(IL_j(t)) = h_j IL_j(t)^+ + p_j IL_j(t)^-$$
$$= \begin{cases} h_j IL_j(t), \text{ if } IL_j(t) \geqq 0 \\ -p_j IL_j(t), \text{ if } IL_j(t) < 0 \end{cases} \tag{3}$$

와 같이 계산된다. 만약 t 시점에 즉시 주문하는 경우에 $[U_j(t), U_j(t+\epsilon)]$ 동안 소매상 j에 발생하는 비용을 $C_j^t(U_j(t), U_j(t+\epsilon))$로 나타내면, 재고보충이 $U_j(t)$에 일어나므로 $[U_j(t), U_j(t+\epsilon)]$ 동안의 재고수준은 주문량만큼 증가해 있게 된다. 즉,

$$C_j^t(U_j(t), U_j(t+\epsilon)) = \int_{U_j(t)}^{U_j(t+\epsilon)} c_j(IP_j(t) - D_j(t,u) + Q_j)du$$

가 된다. 반면, $t+\epsilon$에 주문하는 경우에는 재고보충이 $U_j(t+\epsilon)$에 발생하므로 $[U_j(t), U_j(t+\epsilon)]$ 동안에는 재고보충이 발생하지 않는다. 따라서 이 때의 비용을 $C_j^{t+\epsilon}(U_j(t), U_j(t+\epsilon))$로 나타내면,

$$C_j^{t+\epsilon}(U_j(t), U_j(t+\epsilon)) = \int_{U_j(t)}^{U_j(t+\epsilon)} c_j(IP_j(t) - D_j(t,u))du$$

와 같이 된다. 그러면, t에서 $t+\epsilon$까지 주문을 연기함에 따른 비용 절감분은,

$$C_j^t(U_j(t), U_j(t+\epsilon)) - C_j^{t+\epsilon}(U_j(t), U_j(t+\epsilon))$$
$$= \int_{U_j(t)}^{U_j(t+\epsilon)} \{c_j(IP_j(t) - D_j(t, u) + Q_j)$$
$$- c_j(IP_j(t) - D_j(t, u))\}du$$

와 같이 얻어진다. 식을 간단히 하기 위해

$$\pi_j(x) \equiv c_j(x + Q_j) - c_j(x) \tag{4}$$

로 두면

$$\int_{U_j(t)}^{U_j(t+\epsilon)} \{c_j(IP_j(t) - D_j(t, u) + Q_j) \tag{5}$$
$$- c_j(IP_j(t) - D_j(t, u))\}du$$
$$= \int_{U_j(t)}^{U_j(t+\epsilon)} \pi_j(IP_j(t) - D_j(t, u))du$$

와 같이 나타낼 수 있다. 식 (3)을 식 (4)에 대입하면 π_j는

$$\pi_j(x)=\begin{cases} h_jQ_j, \ \text{if } x \geqq 0 \\ (h_j+p_j)x+h_jQ_j, \ -Q_j \leqq x < 0 \\ -p_jQ_j, \ \text{if } x < -Q_j \end{cases} \tag{6}$$

으로 계산된다. 여기서 π_j에 대해서는 다음의 성질이 성립한다.

Proposition 1 : $\pi_j(x)$는 x에 대하여 증가함수이다,
Proof) <부록 A>에 기재. ■

5.2 소매상의 재주문 의사결정

소매상은 운영비용 최소화를 목적으로 재주문을 수행하므로, 주문 연기에 따라 비용이 절감된다면 주문을 연기하는 편이, 그렇지 않다면 즉시 주문하는 편이 유리할 것으로 생각할 수 있다. 그러나 식 (5)에서 나타난 바와 같이 주문 연기에 따른 절감비용은 미래의 수요량 $D_j(t, u)$에 의해 달라지므로 현재 시점에서 정확한 값을 결정할 수 없다. 따라서 이를 직접 재주문 의사결정에 사용할 수는 없고, 대신에 기대값을 취하여 재주문 의사결정에 사용하는 방법을 고려할 수 있다.

주문 연기에 따른 기대절감비용은 식 (5)로부터

$$\begin{aligned} &E\left[C_j^t(U_j(t), U_j(t+\epsilon)) - C_j^{t+\epsilon}(U_j(t), U_j(t+\epsilon))) \mid \boldsymbol{S}(t)\right] \\ &= E\left[\int_{U_j(t)}^{U_j(t+\epsilon)} \pi_j(IP_j(t)-D_j(t,u))du \mid \boldsymbol{S}(t)\right] \\ &= \int_{U_j(t)}^{U_j(t+\epsilon)} E[\pi_j(IP_j(t)-D_j(t,u)) \mid \boldsymbol{S}(t)]du \end{aligned} \tag{7}$$

이다. 이 값은 t 시점에서 주문을 ϵ만큼 연기하는데 따라 어느 정도의 비용절감이 기대되는지를 나타내는 값이므로, 이 값이 양이면 주문을 연기함으로써 비용의 절감을 얻을 수 있을 것으로 기대할 수 있고, 음의 값이라면 더 이상 주문을 연기하는 것이 바람직하지 않다고 생각할 수 있다. 즉, 주문 연기의 의사결정은 식 (7)에 나타난 주문 연기에 따른 기대절감비용의 부호에 따라 결정된다. 여기서, $E[\pi_j(IP_j(t) - D_j(t, u)) \mid \boldsymbol{S}(t)]$에 대해서는 다음의 성질이 성립한다.

Proposition 2 : t가 일정할 때, $E[\pi_j(IP_j(t)-D_j(t, u)) \mid \boldsymbol{S}(t)]$는 u에 대하여 감소함수이다.
Proof) <부록 B>에 기재. ■

여기서, 주문 연기에 따른 기대절감비용 $\int_{U_j(t)}^{U_j(t+\epsilon)} E[\pi_j(IP_j(t)-D_j(t, u)) \mid \boldsymbol{S}(t)]du$의 부호에 의해 재주문 여부를 결정하는 재주문 정책을 고려할 수 있다.

- **소매상의 재주문 정책**

주문 연기에 따른 기대절감비용 $\int_{U_j(t)}^{U_j(t+\epsilon)} E[\pi_j(IP_j(t) - D_j(t, u)) \mid \boldsymbol{S}(t)]du$이 양에서 음으로 부호가 바뀌는 순간 재주문한다.

소매상의 재주문 정책에서 주문 연기에 따른 기대절감비용이 0인 경우에는 주문을 연기하는 것과 즉시 주문하는 것 사이에서 기대절감비용의 차이가 없다. 다음의 정리는 이러한 소매상의 재주문 정책이 기대비용을 최소화함을 나타낸다.

Theorem 1 : 소매상에서 주문 연기에 따른 기대절감비용이 양에서 음으로 부호가 바뀌는 순간 재주문을 수행하는 정책은 소매상의 기대비용을 최소화한다.
Proof) <부록 C>에 기재. ■

5.3 재주문 의사결정함수의 계산

앞의 절에서 나타난 바와 같이, 소매상은 매 시점에 주문 연기에 따른 기대절감비용 $\int_{U_j(t)}^{U_j(t+\epsilon)} E[\pi_j(IP_j(t)-D_j(t, u)) \mid \boldsymbol{S}(t)]du$이 양에서 음의 값으로 부호

가 바뀌는 순간에 재주문을 수행하는 것이 비용을 최소화하는 재주문 정책이 된다. 따라서 $\int_{U_j(t)}^{U_j(t+\epsilon)} E[\pi_j(IP_j(t)-D_j(t,u)) \mid \boldsymbol{S}(t)]du$을 소매상의 재주문 시점을 결정하는 재주문 의사결정함수(reorder decision function)라고 할 수 있다.

Theorem 1은 재주문 의사결정함수의 부호에 따라 재주문 여부가 결정되어야 함을 말하고 있으며, 재주문 의사결정함수의 부호가 음이 되는 순간에 주문을 수행하는 것이 최적임을 보이고 있다. 그런데, 재주문 의사결정함수로서 주문 연기에 따른 기대절감비용 $\int_{U_j(t)}^{U_j(t+\epsilon)} E[\pi_j(IP_j(t)-D_j(t,u)) \mid \boldsymbol{S}(t)]du$ 을 직접 사용하는 것은 ϵ을 포함하고 있어 계산이 불편하다. 여기서, 재주문 의사결정은 주문 연기에 따른 기대절감비용 값의 부호만이 의미를 가지며, $\epsilon \rightarrow 0$의 극한을 취하여도 부호가 변하지 않으므로, $\epsilon \rightarrow 0$의 극한을 취한 값 $\lim_{\epsilon\rightarrow 0}\int_{U_j(t)}^{U_j(t+\epsilon)} E[\pi_j(IP_j(t)-D_j(t,u)) \mid \boldsymbol{S}(t)]du$을 재주문 의사결정함수로 사용하여도 동일한 재주문 의사결정을 얻게 된다.

본 절에서는 재주문 의사결정함수의 계산 방법에 대해 살펴본다. 이 값은 $U_j(t)$와 $U_j(t+\epsilon)$의 값에 영향을 받는다. 그런데, 식 (2)로부터, $U_j(t+\epsilon)$의 값은 $U_j(t)$와 같거나, $U_j(t)+\epsilon$이거나, $U_j(t)+(\omega_0(t)-t)$의 3가지 중의 하나이므로, 각 경우를 나누어 고려한다.

① $U_j(t+\epsilon)=U_j(t)$인 경우

$\int_{U_j(t)}^{U_j(t+\epsilon)} E[\pi_j(IP_j(t)-D_j(t,u)) \mid \boldsymbol{S}(t)]du = \int_{U_j(t)}^{U_j(t)} E[\pi_j(IP_j(t)-D_j(t,u)) \mid \boldsymbol{S}(t)]du = 0$이 되어, 재주문 의사결정함수의 값은 0이 된다.

② $U_j(t+\epsilon)=U_j(t)+\epsilon$인 경우

이 경우는 식 (1)과 식 (2)로부터 $U_j(t)=t+L_j$, $U_j(t+\epsilon)=t+L_j+\epsilon$인 경우이다. 기호의 편의를 위해, 이 경우의 재주문 의사결정함수의 값을 $\Pi_j(t)$라고 두자. $\epsilon \rightarrow 0$의 극한을 취하면,

$$
\begin{aligned}
\Pi_j(t) &\equiv \lim_{\epsilon\rightarrow 0}\int_{U_j(t)}^{U_j(t)+\epsilon} E[\pi_j(IP_j(t)-D_j(t,u)) \mid \boldsymbol{S}(t)]du \\
&= \lim_{\epsilon\rightarrow 0}\epsilon \cdot \frac{1}{\epsilon}\int_{t+L_j}^{t+L_j+\epsilon} E[\pi_j(IP_j(t)-D_j(t,u)) \mid \boldsymbol{S}(t)]du \\
&= \left(\lim_{\epsilon\rightarrow 0}\epsilon\right) \cdot E[\pi_j(IP_j(t)-D_j(t,t+L_j)) \mid \boldsymbol{S}(t)]
\end{aligned} \tag{8}
$$

가 되어, $\Pi_j(t)$의 값은 $E[\pi_j(IP_j(t)-D_j(t,t+L_j)) \mid \boldsymbol{S}(t)]$과 동일한 부호를 가지는 무한소 값이 된다. 따라서 이 경우에는 재주문 여부의 결정을 위해서 $E[\pi_j(IP_j(t)-D_j(t,t+L_j)) \mid \boldsymbol{S}(t)]$의 값의 부호만을 사용하여도 동일한 의사결정을 얻게 된다. 여기서 $E[\pi_j(IP_j(t)-D_j(t,t+L_j)) \mid \boldsymbol{S}(t)]$는

$$
\begin{aligned}
&E[\pi_j(IP_j(t)-D_j(t,t+L_j)) \mid \boldsymbol{S}(t)] \\
&= \sum_{x=0}^{\infty}\pi_j(IP_j(t)-x)\Pr(D_j(t,t+L_j)=x) \\
&= \sum_{x=0}^{IP_j(t)} h_jQ_jf_{\lambda_jL_j}(x) \\
&\quad + \sum_{x=IP_j(t)+1}^{IP_j(t)+Q_j}\{(h_j+p_j)(IP_j(t)-x)+h_jQ_j\}f_{\lambda_jL_j}(x) \\
&\quad - \sum_{x=IP_j(t)+Q_j+1}^{\infty} p_jQ_jf_{\lambda_jL_j}(x) \\
&= (h_j+p_j)\Big\{(IP_j(t)+Q_j)F_{\lambda_jL_j}(IP_j(t)+Q_j) \\
&\quad - IP_j(t)F_{\lambda_jL_j}(IP_j(t)) - \sum_{x=IP_j(t)+1}^{IP_j(t)+Q_j} xf_{\lambda_jL_j}(x)\Big\} - p_jQ_j
\end{aligned} \tag{9}
$$

와 같이 계산될 수 있다. 여기서 $f_{\lambda_jL_j}(x)$와 $F_{\lambda_jL_j}(x)$는 각각 λ_jL_j를 모수로 가지는 포아송 분포의 확률분포함수와 누적확률분포함수를 나타낸다.

③ $U_j(t+\epsilon)=U_j(t)+(\omega_0(t)-t)$인 경우

이 경우는 식 (1)과 식 (2)로부터 $U_j(t)=t+L_j$, $U_j(t+\epsilon)=\omega_0(t)+L_j$인 경우이다. 기호의 편의를 위해, 이 경우의 재주문 의사결정함수 값을 $\Pi_j'(t)$라고 두자. $\epsilon \rightarrow 0$의 극한값을 취하면,

$$
\Pi_j'(t) \equiv \lim_{\epsilon\rightarrow 0}\int_{U_j(t)}^{U_j(t+\epsilon)} E[\pi_j(IP_j(t)-D_j(t,u)) \mid \boldsymbol{S}(t)]du
$$

$$= \int_{t+L_j}^{\omega_0(t)+L_j} E[\pi_j(IP_j(t) - D_j(t, u)) \mid \boldsymbol{S}(t)]du \quad (10)$$

가 된다.

이 값의 정확한 계산은 복잡하며 닫힌 형태(closed form)으로 계산되기 어렵다. 그러나 식 (9)의 도출과정과 유사한 방법으로, $E[\pi_j(IP_j(t) - D_j(t, u) \mid \boldsymbol{S}(t)]$는

$$\begin{aligned} & E[\pi_j(IP_j(t) - D_j(t, u) \mid \boldsymbol{S}(t)] \quad (11) \\ & = (h_j + p_j)\{(IP_j(t) + Q_j)F_{\lambda_j(u-t)}(IP_j(t) + Q_j) \\ & \quad - IP_j(t)F_{\lambda_j(u-t)}(IP_j(t)) \\ & \quad - \sum_{x=IP_j(t)+1}^{IP_j(t)+Q_j} x f_{\lambda_j(u-t)}(x)\} - p_j Q_j \end{aligned}$$

와 같이 계산될 수 있으며, 식 (11)을 식 (10)에 대입하여 수치해석적 방법으로 $\Pi_j'(t)$의 근사적인 값을 도출할 수 있다.

①, ②. ③을 정리하면, 재주문 의사결정함수의 값은 다음과 같이 계산된다.

$$\lim_{\epsilon \to 0} \int_{U_j(t)}^{U_j(t+\epsilon)} E[\pi_j(IP_j(t) - D_j(t,u)) \mid \boldsymbol{S}(t)]du \quad (12)$$
$$= \begin{cases} 0, \text{ if } U_j(t+\epsilon) = U_j(t) \\ \Pi_j(t), \text{ if } U_j(t+\epsilon) = U_j(t) + \epsilon \\ \Pi_j'(t), \text{ if } U_j(t+\epsilon) = U_j(t) + (\omega_0(t) - t) \end{cases}$$

6. 소매상 재주문 의사결정의 분석

Theorem 1은 임의의 소매상 j에서 주문 연기에 따른 기대절감비용이 양에서 음으로 부호가 바뀌는 순간에 재주문을 수행하는 것이 최적이라는 것을 나타낸다. 앞의 절에서 이 값은 소매상의 재주문에 대한 재고보충이 일어나는 시점인 $U_j(t)$와 $U_j(t+\epsilon)$에 따라 0, $\Pi_j(t)$, $\Pi_j'(t)$의 3가지 값 중에서 하나로 계산됨을 나타내었다.

그런데, 제 3.1절에서 논의한 바와 같이, 공급사슬에서의 정보 공유의 유형에 따라 소매상이 활용할 수 있는 정보의 양은 달라지게 된다. 정보 비공유나 전통적인 중앙집중화 정보공유 환경에서는 소매상은 자신의 재고정보만을 알 수 있을 뿐 특정 시점에서의 도매상 재고수준이나 상대방 소매상의 재고정보는 알 수 없다. 이에 따라, 자신의 재고정보(local stock information)에 의거해서만 재주문의사결정을 수행하게 된다. 반면, 정보 완전공유 환경에서는 소매상이 도매상 및 상대방 소매상의 실시간 재고정보에 접근 가능하며(real-time shared stock information), 이를 바탕으로 재주문 의사결정을 수행하게 된다. 따라서 소매상이 재주문 의사결정에 활용 가능한 정보의 수준에 따라 재주문 의사결정은 달라진다.

정보 비공유 환경에서는 도매상 및 소매상이 모두 자체 재고 정보에만 입각하여 설치재고정책에 입각한 재주문 정책을 수행한다. 설치재고정책에서의 재주문점 설정에 관해서는 Deuermeyer and Schwarz[17], Moinzadeh and Lee[22], Lee and Moinzadeh[18], Svoronos and Zipkin[25], Axsäter and Rosling[10] 등에서 연구된 바 있다.

한편, 정보의 중앙집중화 환경에서는 도매상은 소매상의 재고정보를 활용하여 계층재고정책(echelon stock policy)에 입각하여 재주문 정책을 수행하는 반면, 소매상은 사전에 설정된 최적 재주문점에 기반하여 자체 재고정보만을 활용한 재주문 정책을 수행한다. 정보의 중앙집중화 환경에서의 계층재고정책에 대한 최적 재주문점의 설정에 방안은 Chen and Zheng[14], Axsäter[7]에서 제시된 바 있다.

본 연구에서 주로 다루고 있는 정보 완전공유 환경에서는 각 소매상이 자신의 재고정보 뿐 아니라 도매상 및 상대방 소매상의 실시간 재고정보에 접근 가능하다. 그러면 소매상의 재주문 의사결정은 해당 시점의 도매상 재고량 및 상대방 소매상의 주문 여부에 따라 영향을 받을 수 있다. 본 절에서는 정보 완전공유 환경에서의 소매상 재주문 의사결정의 분석에 초점을 둔다.

임의의 시점 t에서 소매상 1과 소매상 2의 재주문 의사결정을 고려하자. Theorem 1에 따라, 각 소매상의 주문 여부는 매 시점의 재주문 의사결정함

수의 부호에 의해 결정되어야 하며, 이 값은 해당 시점에 즉시 주문하는 경우와 주문을 연기하는 경우의 재고보충시점, 즉 $U_j(t)$와 $U_j(t+\epsilon)$에 따라 식 (12)에서 나타난 바와 같이 0, $\Pi_j(t)$, $\Pi_j'(t)$ 중 하나의 값으로 계산된다. 이 때, 각 소매상의 주문 행동에 따른 재고보충시점과 주문 연기에 따른 기대절감비용은 다음과 같이 도매상의 재고수준에 따른 3가지 경우로 구분하여 도출될 수 있다.

① $IL_0(t) < Q_r$인 경우

도매상의 재고수준이 어떤 소매상의 주문도 충족할 수 없는 수준인 경우이다. 이때는 상대방 소매상의 주문 여부에 관계없이 소매상의 주문에 대한 선적은 도매상 재고보충시점 이후로 지연되며, 소매상 각각에 대한 즉시 주문과 주문 연기시의 재고보충시점은 상대방 소매상의 주문여부에 영향을 받지 않고 식 (1)과 식 (2)에 의해 다음과 같이 동일한 값으로 나타난다.

$$U_a(t) = U_a(t+\epsilon) = w_0(t) + T_a$$
$$U_b(t) = U_b(t+\epsilon) = \omega_0(t) + T_b$$

이에 따라, 재주문 결정함수는 두 소매상에서 모두 0의 값이 되어, 어떤 소매상도 재주문을 수행하지 않는다.

② $Q_r \leqq IL_0(t) < 2Q_r$인 경우

도매상의 재고량이 두 소매상 중 하나의 주문량을 충족할 수 있으나, 둘 모두의 주문량을 동시에 충족하기에는 부족한 경우이다. 이에 따라, 두 소매상 중 하나가 즉시 주문을 수행하고 다른 하나가 주문을 연기하는 경우에는, 즉시 주문을 수행한 소매상의 주문에 대한 선적은 즉시 처리되지만, 나중에 주문하게 되는 소매상에 대한 선적은 도매상의 재고보충시점 이후로 지연된다. 즉, 이 경우에 소매상의 재주문 의사결정은 상대방 소매상의 주문 여부에 따라 영향을 받는다. 이 때 각 소매상의 의사결정에 따른 재고보충시점은 다음과 같이 나타난다.

(i) 두 소매상이 모두 즉시 주문하는 경우

만약 두 소매상이 동시에 주문을 수행하게 될 경우에는 가정에 따라 두 주문 중 임의의 주문이 먼저 처리된다. 즉, 두 소매상이 모두 즉시 주문을 수행하는 경우에는 소매상 1의 주문이 먼저 처리되거나 2의 주문이 먼저 처리되는 사건의 확률이 동일하다. 즉,

$$\Pr[U_j(t) = t + L_j] = \Pr[U_j(t) = \omega_0(t) + L_j] = \frac{1}{2}, \quad (13)$$
$$j = 1,\ 2$$

이다.

(ii) 소매상 1은 주문을 연기, 소매상 2는 즉시 주문하는 경우

만약 여기서 소매상 1이 주문을 연기하고 소매상 2는 즉시 주문한다면, 소매상 2의 주문은 즉시 처리되고, 소매상 1의 주문시점에는 도매상에 재고가 남아있지 않으므로 선적이 도매상 재고보충시점까지 지연된다. 즉,

$$U_1(t) = \omega_0(t) + L_1,\ U_2(t) = t + L_2$$

가 된다.

(iii) 소매상 1은 즉시 주문, 소매상 2는 주문을 연기하는 경우

앞의 경우에서와 마찬가지로, 이 경우에는 소매상 1의 주문은 즉시 처리되고 소매상 2에 대한 선적시점은 도매상 재고보충시점이 된다. 즉,

$$U_1(t) = t + L_1,\ U_2(t) = \omega_0(t) + L_2$$

이다.

(iv) 소매상 1과 2가 모두 주문을 연기하는 경우

이 때는 두 소매상이 이후에 연기된 주문을 수행

할 때 어느 소매상의 주문이 먼저 처리될 것인지에 따라 재고보충시점이 결정된다. 연기 이후에 임의의 소매상이 먼저 주문을 수행할 확률은 동일하고, 두 소매상이 이후에 동시에 주문하더라도 임의의 소매상의 주문이 먼저 처리되므로, 각 소매상이 연기 이후 $t+\epsilon$ 시점에 주문하였을 때 해당 주문에 대한 선적시점은 $t+\epsilon$ 시점이거나 도매상의 재고보충시점 이후가 된다. 즉,

$$\Pr[U_j(t+\epsilon)=t+\epsilon+L_j]=\Pr[U_j(t+\epsilon) =\omega_0(t)+L_j]=\frac{1}{2},\ j=1,\ 2 \tag{14}$$

이다.

(i)~(iv)의 분석으로부터, 각 소매상의 주문 연기에 따른 기대절감비용은 다음과 같이 계산된다. 두 소매상을 소매상 i와 소매상 j라고 할 때, 소매상 i의 주문 연기에 따른 기대절감비용은 소매상 j의 즉시 주문여부에 따라 달라진다.

만약 소매상 j가 즉시 주문을 수행하는 경우에는, 식 (13)으로부터 소매상 i의 즉시 주문시의 재고보충시점은 각각 1/2의 확률로 $t+L_i$이거나 $\omega_0(t)+L_i$이고, 소매상 i의 주문 연기시의 재고보충시점은 $\omega_0(t)+L_i$이므로, 소매상 i의 주문 연기에 따른 기대절감비용은 식 (7)에서와 같이

$$\begin{aligned}
&E\left[\int_{U_i(t)}^{U_i(t+\epsilon)}\pi_i(IP_i(t)-D_i(t,u))du \mid \boldsymbol{S}(t)\right] \\
&=\frac{1}{2}\{\int_{t+L_i}^{\omega_0(t)+L_i}E[\pi_i(IP_i(t)-D_i(t,u)) \mid \boldsymbol{S}(t)]du \\
&+\int_{\omega_0(t)+L_i}^{\omega_0(t)+L_i}E[\pi_i(IP_i(t)-D_i(t,u)) \mid \boldsymbol{S}(t)]du \\
&=\frac{1}{2}\int_{t+L_i}^{\omega_0(t)+L_i}E[\pi_i(IP_i(t)-D_i(t,u)) \mid \boldsymbol{S}(t)]du
\end{aligned}$$

가 되고, 여기에 $\epsilon\to 0$의 극한을 취하면 식 (18)로부터

$$\begin{aligned}
&\lim_{\epsilon\to 0}\frac{1}{2}\int_{t+L_i}^{\omega_0(t)+L_i}E[\pi_i(IP_i(t)-D_i(t,u)) \mid \boldsymbol{S}(t)]du \\
&=\frac{1}{2}\Pi_i'(t)
\end{aligned}$$

의 값을 얻게 된다.

만약, 소매상 j가 주문을 연기하는 경우에는, 소매상 i의 즉시 주문시의 재고보충시점은 $t+L_i$이 되고 주문 연기시의 재고보충시점은 식 (14)로부터 각각 1/2의 확률로 $t+\epsilon+L_i$ 또는 $\omega_0(t)+L_i$이므로, 소매상 i의 주문 연기에 따른 기대절감비용은

$$\begin{aligned}
&E\left[\int_{U_i(t)}^{U_i(t+\epsilon)}\pi_i(IP_i(t)-D_i(t,u))du \mid \boldsymbol{S}(t)\right] \\
&=\frac{1}{2}\{\int_{t+L_i}^{t+\epsilon+L_i}E[\pi_i(IP_i(t)-D_i(t,u)) \mid \boldsymbol{S}(t)]du \\
&+\int_{t+L_i}^{\omega_0(t)+L_i}E[\pi_i(IP_i(t)-D_i(t,u)) \mid \boldsymbol{S}(t)]du
\end{aligned}$$

가 된다. 여기에 $\epsilon\to 0$의 극한을 취하면

$$\begin{aligned}
&\lim_{\epsilon\to 0}\frac{1}{2}\{\int_{t+L_i}^{t+\epsilon+L_i}E[\pi_i(IP_i(t)-D_i(t,u)) \mid \boldsymbol{S}(t)]du \\
&+\int_{t+L_i}^{\omega_0(t)+L_i}E[\pi_i(IP_i(t)-D_i(t,u)) \mid \boldsymbol{S}(t)]du \\
&=\frac{1}{2}\int_{t+L_i}^{\omega_0(t)+L_i}E[\pi_i(IP_i(t)-D_i(t,u)) \mid \boldsymbol{S}(t)]du \\
&=\frac{1}{2}\Pi_i'(t)
\end{aligned}$$

가 되어, 소매상 j의 주문 연기 여부에 관계없이 소매상 i의 주문 연기에 대한 기대절감비용은 $\frac{1}{2}\Pi_i'(t)$가 된다.

위의 분석은 소매상 j의 주문 연기에 대해서도 동일하게 적용되므로, $Q_r \leq IL_0(t)<2Q_r$인 경우의 각 소매상의 주문 연기에 대한 기대절감비용은 $\frac{1}{2}\Pi_j'(t)\,(j=1,2)$로 나타나게 된다. 즉, 각 소매상은 $\frac{1}{2}\Pi_j'(t)<0$이 되는 시점에 재주문을 수행하게 된다.

③ $IL_0(t)\geq 2Q_r$인 경우

도매상의 재고량이 두 소매상의 주문을 모두 충

족할 수 있을 정도로 충분한 경우이다. 이에 따라 각 소매상의 주문은 즉시 충족되고, 주문을 연기할 경우 상대방 소매상의 주문 여부에 관계없이 연기한 시간만큼 재고보충이 지연된다. 식 (1)과 식 (2)에 의해 각 소매상의 재고보충시점은 다음과 같이 나타난다.

$$U_j(t) = t + L_j,\ \ U_j(t+\epsilon) = t + L_j + \epsilon,\ \ j = 1, 2$$

따라서 식 (12)에 의해 각 소매상의 재주문 의사결정함수는 $\Pi_j(t)\ \ (j = 1, 2)$가 된다. 즉, 각 소매상은 $\Pi_j(t) < 0$이 되는 시점에 재주문을 수행하게 된다.

7. 수치 실험과 결과

정보 공유의 역효과를 알아보기 위해 16개의 수치 예제에 대해 실험을 수행하였다. 실험 1에서 실험 8까지는 Q_0 = 80, Q_r = 20, 실험 9에서 16까지는 Q_w = 160, Q_r = 40으로 두고, 각 실험에서 h_0 = 1, h_r = 2, L_r = 2, λ_r = 4로 두고, p_r은 50과 100으로, L_0는 2,4,6,8로 변화시켜 정보 공유 환경의 차이에 따른 공급사슬 성과의 변화를 비교하였다. <표 1>에서 각 실험에서의 시스템 파라미터를 요약하여 나타내고 있다.

〈표 1〉 16가지 실험 예제

No.	Q_0	Q_r	L_0	L_r	h_0	h_r	p_r	λ_r
1	80	20	4	2	1	2	50	4
2	80	20	8	2	1	2	50	4
3	80	20	12	2	1	2	50	4
4	80	20	16	2	1	2	50	4
5	80	20	4	2	1	2	100	4
6	80	20	8	2	1	2	100	4
7	80	20	12	2	1	2	100	4
8	80	20	16	2	1	2	100	4
25	160	40	4	2	1	2	50	4
26	160	40	8	2	1	2	50	4
27	160	40	12	2	1	2	50	4
28	160	40	16	2	1	2	50	4
29	160	40	4	2	1	2	100	4
30	160	40	8	2	1	2	100	4
31	160	40	12	2	1	2	100	4
32	160	40	16	2	1	2	100	4

각 경우에 대하여 정보 공유 환경을 달리하여 공급사슬 성과를 비교한다. 정보 공유 환경은 크게 정보의 중앙집중화 환경과 정보의 완전공유 환경으로 구분하여 살펴본다. 정보의 중앙집중화 환경에서는 다시 공급사슬 전체최적화의 경우와 소매상이 각자의 비용을 최소화하는 경우로 구분하여 다음과 같이 3가지의 시나리오를 비교한다.

① Scenario 1 : 정보 중앙집중화 환경에서의 중앙집중통제

실시간 재고정보가 도매상으로 중앙집중화되고 각 소매상은 자체보유재고정보만 사용할 수 있다. 소매상은 자체보유재고정보에 기반한(R, Q) 설치재고정책을 사용하고, 도매상은 실시간 재고정보를 바탕으로 한 계층재고기반의(R, Q) 정책을 사용한다. 도매상과 소매상의 재주문점은 전체 공급사슬 총비용을 최소화하도록 설정된다.

② Scenario 2 : 정보 중앙집중화 환경에서의 경쟁적 소매상

실시간 재고정보가 도매상으로 중앙집중화되고 각 소매상은 자체보유재고정보만 사용할 수 있다. 소매상은 각자의 비용 최소화를 목적으로 하는 것으로 가정한다. 각 소매상은 자체보유재고정보만을 활용할 수 있으므로 각자의 비용이 최소화되는 재주문점을 설정하여 설치재고정책에 따른(R, Q) 정책을 사용하게 되고, 도매상은 실시간 재고정보를 바탕으로 한 계층재고기반의(R, Q) 정책을 사용하며 주어진 상황에서 전체비용이 최소화되는 재주문점을 설정한다.

③ Scenario 3 : 정보공유 완전공유 환경에서의 경쟁적 소매상

도매상과 소매상이 모두 전체 공급사슬 구성원의 실시간 재고정보에 접근할 수 있다. 소매상은 자신의 재고정보 뿐 아니라 도매상과 상대방 소매상의

〈표 2〉 실험 결과 요약

Scenario	No	R0	Rr*	TC 전체	TC0	TCr	E[hr]	E[pr]	E[IL0]	E[ILr]
Scenario 1	1	58	10	100.5	43.0	28.7	23.7	5.0	25.5	11.8
	2	92	10	102.6	44.9	28.8	23.8	5.1	27.6	11.8
	3	125	10	104.6	45.9	29.4	23.8	5.6	28.5	11.8
	4	159	10	106.7	47.8	29.4	24.0	5.6	30.5	11.9
	5	63	11	106.5	45.5	30.6	26.0	4.6	28.4	13.0
	6	97	11	109.2	47.5	30.9	26.2	4.8	30.5	13.0
	7	131	11	111.6	49.4	31.2	26.2	5.1	32.5	13.1
	8	167	11	114.1	52.2	31.0	26.3	4.8	35.4	13.1
	9	64	8	167.3	73.4	46.9	39.3	7.6	55.5	19.5
	10	96	8	169.1	73.6	47.8	39.2	8.6	55.5	19.4
	11	130	8	170.3	75.4	47.4	39.4	8.1	57.5	19.5
	12	165	8	171.4	78.1	46.8	39.7	7.2	60.7	19.7
	13	72	9	176.1	78.7	48.7	41.9	6.8	61.5	20.9
	14	105	9	177.2	79.6	48.8	42.0	6.9	62.5	20.9
	15	139	9	179.5	81.6	48.9	42.1	6.9	64.5	21.0
	16	174	9	181.1	84.2	48.5	42.2	6.4	67.4	21.0
Scenario 2	1	58	8	101.7	46.4	27.6	20.4	7.2	29.5	10.1
	2	92	8	104.1	48.2	27.9	20.4	7.5	31.4	10.1
	3	126	8	106.0	50.3	27.9	20.5	7.4	33.5	10.1
	4	160	8	108.2	52.2	27.9	20.6	7.5	35.5	10.1
	5	64	10	106.8	48.1	29.4	24.5	5.0	31.5	12.2
	6	98	10	109.3	50.1	29.7	24.5	5.3	33.5	12.2
	7	132	10	111.8	52.1	29.7	24.5	5.3	35.5	12.2
	8	166	10	114.1	54.2	29.9	24.6	5.5	37.6	12.2
	9	63	7	167.9	74.3	47.0	37.5	9.4	56.5	18.6
	10	97	7	169.4	76.1	46.6	37.7	9.0	58.5	18.7
	11	130	7	170.6	77.0	46.7	37.8	8.9	59.5	18.7
	12	164	7	172.5	78.9	46.8	37.8	9.2	61.4	18.7
	13	72	8	177.1	80.4	48.4	40.2	8.3	63.5	20.0
	14	106	8	178.7	82.3	48.2	40.3	8.0	65.4	20.1
	15	139	8	180.6	83.4	48.7	40.3	8.5	66.5	20.1
	16	173	8	182.8	85.3	48.8	40.3	8.6	68.5	20.1
Scenario 3	1	60	9.9	105.8	43.8	31.0	25.0	6.0	27.8	12.4
	2	100	9.9	110.4	51.8	29.2	24.8	4.4	35.7	12.3
	3	136	10.5	114.4	55.2	29.6	25.5	4.2	38.5	12.6
	4	174	15.3	129.8	56.1	36.9	30.7	6.4	34.9	15.2
	5	66	12.0	112.1	45.5	33.4	29.1	4.3	29.5	14.5
	6	106	11.7	117.0	54.2	31.4	28.4	3.1	38.0	14.1
	7	141	12.8	121.1	55.8	32.7	29.8	3.0	38.9	14.9
	8	180	17.2	138.0	57.9	39.9	34.8	5.3	37.2	17.3
	9	65	8.7	171.8	71.3	50.3	42.6	7.7	55.3	21.1
	10	100	10.6	178.4	70.2	54.1	46.5	7.6	54.2	23.1
	11	144	11.2	184.4	81.3	51.8	47.5	4.3	65.3	23.7
	12	178	10.7	185.5	84.0	50.6	46.5	4.3	67.9	23.1
	13	74	10.4	182.2	76.9	52.8	45.9	6.9	60.8	22.9
	14	108	12.1	188.9	75.1	56.8	49.3	7.6	59.1	24.6
	15	151	12.4	194.3	85.9	54.2	49.9	4.5	69.9	24.9
	16	185	12.0	195.7	88.7	53.6	49.0	4.7	72.5	24.4

주) * 시나리오 3에서는 평균재주문점 $E[R_r]$을 나타내었음.

실시간 재고정보를 모두 활용하여 자신의 비용이 최소화되도록 재주문시점을 결정한다. 도매상은 실시간 재고정보를 바탕으로 한 계층재고기반의(R, Q) 정책을 사용하여 주어진 상황에서 전체비용이 최소화되는 재주문점을 설정한다. 이 때의 소매상의 재주문 의사결정은 앞서의 6절에서 분석한 바와 같다.

Scenario 1과 2의 비교를 통해서는 중앙집중통제를 통한 전체최적화와 소매상 경쟁으로 인한 영향을 파악할 수 있으며, Scenario 2와 3의 비교를 통해서는 소매상 경쟁상황에서 가용한 정보의 양이 증가함에 따른 영향을 관찰할 수 있게 된다.

<표 2>는 16가지 예제의 각각에 대해 시나리오별 실험 결과를 나타내고 있다. 각 예제의 실험 결과에서는 공급사슬 총비용과 각 설비별 비용, 재주문점, 및 평균재고수준이 나타나 있으며, 소매상에 대해서는 재고유지비용과 품절비용이 구분되어 나타나 있다. Scenario 1, 2에서 도매상, 소매상의 재주문점과 Scenario 3의 도매상 재주문점은 시뮬레이션을 통해 도출되었다. Scenario 3에서 소매상은 주문 연기에 따른 기대절감비용에 입각하여 재주문시점을 결정하므로 재주문점은 동적으로 변화하여, 평균 재주문점이 표현되어 있다.

실험 결과에서, 시나리오 1에서 3으로 진행함에 따라 공급사슬 총비용이 증가함을 관찰할 수 있다. <표 3>은 시나리오 1을 기준을 할 때 각 시나리오별 비용의 증가정도를 요약하여 나타내고 있다.

실험된 예제를 대상으로 볼 때 시나리오 1에 비해 2에서는 모든 실험예제에서 공급사슬 총비용이 증가하였으며 비용 증가율은 평균 0.7%, 최대 1.5%로 나타나, 동일한 정보환경에서도 전체 최적화에 비해 소매상의 지역최적화로 인한 비효율이 발생함을 확인할 수 있다. 재고수준의 비교에서는, 소매상 관점에서의 비용 최소화 추구로 인해 소매상의 평균재고수준은 낮아지는 반면 도매상의 재고수준이 전체최적화의 경우에 비해 상승되는 현상이 나타나며, 이는 Cachon[13]에서 지적한 바와 같다. 그러나 소매상이 활용할 수 있는 정보가 자체보유정보로 국한되어 있어 공급사슬 전체 비용에 대한 영향은 제한적으로 나타나고 있다.

반면, 시나리오 2에 비해 3에서는 공급사슬 총비용에서 평균 7.8%, 최대 20.9%의 큰 폭의 비용 증가가 발생하고 있다. 시나리오 2와 3은 소매상들이 각자의 비용 최소화를 추구한다는 점에서는 동일하

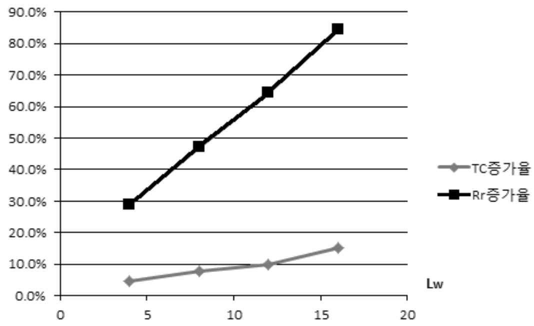
〈표 3〉 Scenario 간 비교

No.	Scenarion 1과 2의 비교									Scenario 2와 3의 비교								
	R0	Rr	TC 전체	TC0	TCr	E[hr]	E[pr]	E[IL0]	E[ILr]	R0	E[Rr]	TC 전체	TC0	TCr	E[hr]	E[pr]	E[IL0]	E[ILr]
1	0.0%	-20.0%	1.2%	7.8%	-3.8%	-13.9%	43.6%	15.9%	-14.4%	3.4%	23.7%	4.0%	-5.7%	12.2%	22.5%	-16.3%	-6.0%	23.0%
2	0.0%	-20.0%	1.5%	7.5%	-3.2%	-14.3%	49.0%	13.9%	-14.9%	8.7%	23.6%	6.0%	7.4%	4.6%	21.5%	-41.1%	13.7%	22.5%
3	0.8%	-20.0%	1.4%	9.6%	-5.2%	-13.8%	32.2%	17.7%	-14.2%	7.9%	31.4%	7.9%	9.9%	6.1%	23.9%	-44.0%	14.9%	24.9%
4	0.6%	-20.0%	1.4%	9.2%	-5.1%	-14.2%	34.0%	16.2%	-14.7%	8.8%	91.1%	20.0%	7.4%	32.1%	49.2%	-14.8%	-1.7%	50.1%
5	1.6%	-9.1%	0.3%	5.8%	-3.9%	-6.0%	7.3%	10.7%	-6.1%	3.1%	20.2%	5.0%	-5.4%	13.5%	18.8%	-13.4%	-6.2%	19.0%
6	1.0%	-9.1%	0.1%	5.6%	-4.0%	-6.4%	9.6%	9.6%	-6.4%	8.2%	17.3%	7.0%	8.2%	5.6%	15.8%	-41.5%	13.6%	16.0%
7	0.8%	-9.1%	0.2%	5.5%	-4.7%	-6.5%	3.9%	9.1%	-6.5%	6.8%	28.1%	8.3%	7.0%	9.9%	21.4%	-43.1%	9.5%	21.7%
8	-0.6%	-9.1%	0.1%	3.9%	-3.7%	-6.6%	14.4%	6.3%	-6.7%	8.4%	71.9%	20.9%	6.8%	33.5%	41.6%	-4.2%	-1.2%	41.8%
9	-1.6%	-12.5%	0.4%	1.1%	0.4%	-4.5%	24.0%	1.9%	-4.8%	3.2%	23.8%	2.3%	-4.0%	6.9%	13.5%	-18.4%	-2.1%	13.8%
10	1.0%	-12.5%	0.2%	3.5%	-2.4%	-3.8%	4.6%	5.4%	-3.8%	3.1%	51.6%	5.3%	-7.7%	16.0%	23.3%	-15.1%	-7.4%	23.6%
11	0.0%	-12.5%	0.2%	2.2%	-1.5%	-4.0%	10.6%	3.5%	-4.1%	10.8%	59.4%	8.0%	5.5%	10.9%	25.5%	-52.1%	9.8%	26.3%
12	-0.6%	-12.5%	0.6%	1.0%	0.1%	-4.8%	28.0%	1.2%	-5.0%	8.5%	52.5%	7.5%	6.5%	8.0%	22.8%	-53.6%	10.6%	23.6%
13	0.0%	-11.1%	0.6%	2.1%	-0.6%	-4.1%	22.8%	3.2%	-4.2%	2.8%	30.0%	2.9%	-4.4%	9.1%	14.3%	-17.1%	-4.1%	14.4%
14	1.0%	-11.1%	0.9%	3.4%	-1.1%	-4.0%	16.7%	4.8%	-4.1%	1.9%	51.3%	5.7%	-8.8%	17.9%	22.3%	-4.7%	-9.7%	22.4%
15	0.0%	-11.1%	0.6%	2.2%	-0.5%	-4.3%	23.0%	3.1%	-4.4%	8.6%	54.8%	7.6%	3.0%	11.4%	23.8%	-47.5%	5.1%	24.1%
16	-0.6%	-11.1%	1.0%	1.2%	0.6%	-4.4%	35.0%	1.6%	-4.5%	6.9%	50.4%	7.0%	4.0%	9.7%	21.4%	-45.4%	5.9%	21.7%
평균	0.2%	-13.2%	0.7%	4.5%	-2.4%	-7.2%	22.4%	7.8%	-7.4%	6.3%	42.6%	7.8%	1.9%	13.0%	23.9%	-29.5%	2.8%	24.3%

며 다만 소매상의 가용 정보의 범위만이 서로 다르다는 점을 감안할 때, 시나리오 2에 비해 3에서의 공급사슬 비용이 증가한 것은 정보 공유 범위 확대의 영향으로 볼 수 있다. 실험 결과는 소매상의 가용 정보가 자체 재고정보에서 공급사슬 전체에 대한 정보로 확대됨에 따른 공급사슬 전체 비용에 대한 역효과가 상당한 수준임을 나타내고 있으며, 이는 공급사슬에의 설계시에 실시간 정보 공유 범위에 대한 고려가 중요한 사항임을 시사하고 있다. 또한, 실험 결과에서 시나리오 2에 비해 시나리오 3에서 개별 소매상의 비용도 평균 13%, 최대 33.5% 증가하고 있어, 경쟁 상황에서 소매상에 대한 정보 공유의 확대가 공급사슬 전체 뿐 아니라 소매상 스스로에게도 부정적인 영향을 초래하고 있음을 보여주고 있다.

또한, <표 3>에서는 시나리오 2와 3에서 소매상의 평균재주문점, 평균재고수준 및 재고유지비용과 품절비용을 비교하여 나타내고 있다. <표 2>에 나타난 바와 같이 시나리오 2에서에 소매상의 최적 재주문점이 8~10정도의 범위였던 것에 비해 시나리오 3에서는 소매상의 평균재주문점이 8.7~17.2의 범위로 평균 42.6% 정도 올라가 있다. 이는 제 3.2절에서 기술한 소매상간의 재고선점경쟁으로 인해 재주문점이 앞당겨지는 효과를 보여주고 있다. 이러한 재고선점경쟁으로 인한 이른 재주문은 결과적으로 재고수준 및 재고유지비용의 24% 정도의 증가로 이어져. 소매상의 과다재고보유를 야기하고 있음을 알 수 있다.

한편, [그림 3]은 도매상의 외부공급자로부터의 주문인도기간의 증가에 따라 시나리오 2에 비해 3에서의 공급사슬 총비용 및 재주문점의 증가율을 나타내고 있다. 그림에서 나타난 바와 같이, 도매상에서 외부공급자로부터의 주문인도기간이 길어질수록 상대방의 재고 선점으로 인한 영향이 증가함에 따라 재고선점경쟁이 소매상 재주문점이 더욱 큰 폭으로 앞당겨지고, 이에 따라 공급사슬 총비용에 대한 영향도 증가함을 보여주고 있다.



[그림 3] 도매상 주문인도기간에 따른 총비용 증가분 비교

8. 결 론

본 연구에서는 경쟁관계의 소매상으로 구성된 2계층 분배형 공급사슬을 대상으로 하여, 공급사슬 실시간 재고정보의 공유 유형에 따른 공급사슬의 성과의 영향을 살펴보았다. 기존의 공급사슬의 정보 공유의 방식은 주로 소매상의 실시간 재고 정보를 도매상에서 공유하여 공급사슬 최적화에 활용하는 중앙집중형 정보공유를 다루었으나, 본 연구에서는 소매상의 경쟁상황에서 소매상이 도매상 및 상대방 소매상의 실시간 재고정보를 활용할 수 있는 정보 완전공유 환경을 대상으로 소매상의 최적 재주문정책을 도출하고, 공급사슬 총비용 및 소매상의 운영특성에 미치는 영향을 비교하였다.

정보 완전공유 환경에서의 소매상의 최적 재주문정책의 도출을 위해 Seo et al.[24]의 주문 리스크의 개념을 활용하여 주문 연기에 따른 기대절감비용에 기반한 재주문정책을 도출하였으며, 이러한 재주문정책이 소매상의 비용을 최소화함을 입증하였다.

도출된 재주문정책을 활용하여 정보 중앙집중화 환경과 완전공유 환경에서의 공급사슬 총비용을 수치 실험을 통해 비교하였다. 실험 결과로부터 소매상 경쟁상황에서의 정보 공유범위의 확대에 따라 소매상의 재고선점경쟁으로 인해 재주문점이 큰 폭으로 상승하고 이에 따라 소매상의 과다재고보유 현상이 관찰되었으며, 이로 인한 소매상 운영비용

및 공급사슬 총 비용에 미치는 역효과도 상당한 수준으로 나타났다. 또한, 도매상의 주문인도기간이 증가함에 따라 재고선점경쟁이 심화되어 공급사슬 총비용에 대한 영향도 더욱 크게 나타남이 관찰되었다.

이러한 결과는 공급사슬의 정보공유방식에 대한 중요한 시사점을 제공한다. 공급사슬의 정보공유에 따른 성과는 이미 널리 입증되고 있으며 이견의 여지가 없다. 그러나 공급사슬이 중앙집중통제 상황이 아니고 소매상 사이에서 경쟁이 존재하고 있을 때 소매상에 대해 공급사슬 전체의 실시간 재고를 공유하는 것은 공급사슬 성과에 대해 상당한 수준의 역효과를 발생시킬 수 있음을 실험 결과는 보여주고 있다. 이는, 공급사슬에 있어서의 중앙집중화된 조정의 중요성과 더불어 공급사슬 정보 공유 방식이 공급사슬 성과에 미치는 영향이 상당함을 보여주고 있으며, 이에 따라 공급사슬의 설계시에 정보 공유 방식의 최적화에 대한 고려도 함께 이루어져야 함을 시사하고 있다.

본 연구에서 도출된 소매상의 동적 재주문시점 결정 정책은 향후 다양한 정보환경에서의 소매상 재주문행동의 모형화에 활용될 수 있다. 향후 소매상의 가용 정보의 범위와 더불어 정보의 불확실성이 존재하는 경우에서의 공급사슬 성과에 대한 영향에 대한 연구도 필요할 것으로 생각된다. 아울러, 둘 이상의 복수의 소매상이나 소매상과 도매상 사이에서도 공유 정보를 바탕으로 한 경쟁이 동시에 발생하는 경우에 대한 분석도 가능할 것이며, 이러한 경우의 공급사슬 역효과를 경감하기 위한 적절한 인센티브 정책에 대한 설계방안도 흥미로운 연구 주제가 될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

[1] 김은갑, 박찬권, 신기태, “공급자 주도의 동적 재고 통제와 정보 공유의 수혜적 효과 분석에 대한 연구”, 「한국경영과학회지」, 제29권, 제3호(2004), pp.63-78.

[2] 김정욱, 박정훈, 남기찬, 박수용, 김병욱, “실시간 기업구현을 위한 비즈니스 민첩성의 결정요인에 관한 실증적 연구”, 「한국경영과학회지」, 제30권, 제4호(2005), pp.83-96.

[3] 서용원, “일반적 다계층 분배형 공급사슬에서 주문리스크 기반의 개선된 재주문정책에 관한 연구”, 「IE Interfaces」, 제17권, 제3호(2004), pp.359-374.

[4] 이용기, 유영목, 서용원, “경쟁적 소매환경의 공급사슬에서 정보공유 역효과에 관한 행동 실험 기반의 연구”, 「한국SCM학회지」, 제10권, 제1호(2010), pp.199-208.

[5] 이정민, 서용원, “소매상간 상호작용을 고려한 시뮬레이션 기반의 트랜쉽먼트 활성화 방안 연구”, 「Entrue Journal of Inforation Technology」, 제9권, 제1호(2010), pp.117-129.

[6] 장시영, 최영진, “기업간 관계요인이 협업적 IT 활동과 기업성과에 미치는 영향”, 「경영과학」, 제23권, 제2호(2006), pp.1-16.

[7] Axsäter, S., “Simple evaluation of echelon stock (R,Q) policies for two-level inventory systems,” *IIE Transactions*, Vol.29(1997a), pp.661-669.

[8] Axsäter S., “On deficiencies of common ordering policies for multi-level inventory control,” *OR Spektrum*, Vol.19(1997b), pp.109-110.

[9] Axsäter, S. and J. Marklund, “Optimal position-based warehouse ordering in divergent two-Echelon inventory systems,” *Opeations Research*, Vol.56, No.4(2008), pp.976-991.

[10] Axsäter S. and K. Rosling, “Exact and approximate evaluation of batchordering policies for two-level inventory systems,” *Operations Research*, Vol.41(1993), pp.777-785.

[11] Axsäter, S. and L. Juntti, “Comparison of echelon stock and installation stock policies for two-level inventory systems,” *International Journal of Production Economics*, Vol.

45(1996), pp.303-310.

[12] Cachon, G.P. and M. Fisher, "Supply chain inventory management and the value of shared information," *Management Science*, Vol. 46, No.8(2000), pp.1032-1048.

[13] Cachon, G.P., "Stock Wars : Inventory competition in a two-echelon supply chain with multiple retailers," *Operations Research*, Vol. 49, No.5(2001), pp.658-674.

[14] Chen, F. and Y.-S. Zheng, "One-warehouse multiretailer systems with centralized stock information," *Operations Research*, Vol.45, No.2(1997), pp.275-287.

[15] Clark, A.J. and G. Scarf, "Optimal policies for a multi-echelon inventory problem," *Management Science*, Vol.31(1960), pp.1286-1299.

[16] De Bodt, M.A. and S.C. Graves, "Continuous-review policies for a multi-echelon inventory problem with stochastic demand," *Management Science*, Vol.31(1985), pp.1286-1299.

[17] Deuermeyer, B.L. and L.B. Schwarz, A model for the analysis of system service level in warehouse retailer distribution systems : the identical retailer case, in L.B. Schwarz(Ed.), TIMS Studies in the Management Sciences, Multi Level Production/Inventory Control Systems : Theory and Practice, *Amsterdam : North holland*, Vol.16(1981), pp.163-193.

[18] Lee, H.L. and K. Moinzadeh, "Two-parameter approximations for multi-echelon repairable inventory models with batch ordering policy," *IIE transactions*, Vol.19(1987), pp. 140-149.

[19] Lee, H.L. and S. Whang, "Information sharing in a supply chain," *International Journal of Technology Management*, Vol.20(2000), pp. 373-387.

[20] Lee, H.L., V. Padmanabhan, and S. Whang, "Information distortion in a supply chain : The bullwhip effect," *Management Science*, Vol.43, No.4(1997), pp.546-558.

[21] Li, L., "Information sharing in a supply chain with horizontal competition," *Management Science*, Vol.48, No.9(2002), pp.1196-1212.

[22] Moinzadeh, K. and H.L. Lee, "Batch size and stocking levels in multi-echelon repairable systems," *Management Science*, Vol.32(1986), pp.1567-1581.

[23] Seo, Y., "Controlling general multi-echelon distribution supply chains with improved reorder decision policy utilizing real-time shared stock information," *Computers and Industrial Engineering, special issue on Advanced Planning and Supply Chain*, Vol.51(2006), pp.229-246.

[24] Seo, Y., S. Jung, and J. Hahm, "Optimal reorder decision utilizing centralized stock information in a two-echelon distribution systems," *Computers and Operations Research*, Vol.29(2002), pp.171-193.

[25] Svoronos, A.P. and P. Zipkin, "Estimating the performance of multi-level inventory systems," *Operations Research*, Vol.36(1988), pp. 57-72.

〈부록 A〉 Proposition 1의 증명

$x_2 > x_1$인 임의의 x_1과 x_2에 대하여 $\pi_j(x_2) \geqq \pi_j(x_1)$임을 보인다. 다음의 세 가지 경우로 나누어 살펴본다.

(i) $x_1 > 0$인 경우

$\pi_j(x_1) = h_j Q_j$이고, $x_2 > x_1 > 0$이므로 $\pi_j(x_2) = h_j Q_j$가 되어 $\pi_j(x_2) \geqq \pi_j(x_1)$가 성립한다.

(ii) $-Q_j \leqq x_1 \leqq 0$인 경우

$\pi_j(x_1) = (h_j + p_j)x_1 + h_j Q_j$이다. $x_2 > x_1$이므로 $x_2 > 0$이거나 $x_1 < x_2 \leqq 0$의 두 가지 경우가 존재한다.

$x_2 > 0$인 경우에는 $\pi_j(x_2) = h_j Q_j$가 되어 $\pi_j(x_2) \geqq \pi_j(x_1)$가 성립한다.

$x_1 < x_2 \leqq 0$인 경우에는 $\pi_j(x_2) = (h_j + p_j)x_2 + h_j Q_j$이고, h_j와 p_j는 음이 아닌 값이므로, $\pi_j(x_2) \geqq \pi_j(x_1)$가 성립한다.

(iii) $x_1 < -Q_j$인 경우

$\pi_j(x_1) = -p_j Q_j$이고, $\pi_j(x_2)$가 취할 수 있는 최소의 값이 $-p_j Q_j$이므로, $\pi_j(x_2) \geqq p_j Q_j \geqq \pi_j(x_1)$이 성립한다.

(i), (ii), (iii)으로부터, $x_2 > x_1$이면 $\pi_j(x_2) \geqq \pi_j(x_1)$이다. ■

〈부록 B〉 Proposition 2의 증명

$u_2 > u_1$인 두 값을 고려하자. 그러면

$$D_j(t, u_2) = D_j(t, u_1 + (u_2 - u_1)) = D_j(t, u_1) + D_j(u_1, u_2 - u_1)$$

가 되고, Proposition 1에 의하여, $\pi_j(x)$는 x에 대해 증가함수이므로,

$$\pi_j(IP_j(t) - D_j(t, u_2)) = \pi_j(IP_j(t) - D_j(t, u_1) - D_j(u_1, u_2 - u_1)) \leqq \pi_j(IP_j(t) - D_j(t, u_1))$$

의 관계가 성립한다. 따라서

$$E[\pi_j(IP_j(t) - D_j(t, u_2)) \mid \boldsymbol{S}(t)] \leqq E[\pi_j(IP_j(t) - D_j(t, u_1)) \mid \boldsymbol{S}(t)]$$

가 성립한다. ■

〈부록 C〉 Theorem 1의 증명

임의의 소매상 j에서 $\int_{U_j(t^*)}^{U_j(t^* + \epsilon)} E\left[\pi_j(IP_j(t^*) - D_j(t^*, u)) \mid \boldsymbol{S}(t^*)\right] du < 0$이 되는 순간인 시점 t^*를 고려하고,

$\hat{t} < t^* < \tilde{t}$ 의 관계인 임의의 $\hat{t}$ 와 $\tilde{t}$ 를 고려하자. 그러면, t^* 시점에 주문하였을 때의 기대비용이 $\hat{t}$ 또는 $\tilde{t}$ 시점에 주문하는 경우에 비해 적거나 같음을 보이는 것으로 충분하다. 두 가지 경우를 나누어 고려한다.

(i) $\hat{t}$ 시점에 주문하는 경우와 t^* 시점에 주문하는 경우의 비교

$\hat{t}$ 시점에 주문하는 경우의 재고보충시점은 $U_j(\hat{t})$, t^* 시점에 주문하는 경우의 재고보충시점은 $U_j(t^*)$ 이므로, 두 경우의 비용은 $[U_j(\hat{t}),\ U_j(t^*))$ 구간에서만 차이가 발생한다. 따라서 주문 시점을 t^* 시점까지 늦추었을 때, t^* 시점에 주문하는 경우의 $[U_j(\hat{t}),\ U_j(t^*))$ 구간의 비용이 $\hat{t}$ 시점에 주문했었을 경우보다 적거나 같음을 보이는 것으로 충분하다.

$\hat{t}$ 시점에 주문하였었다면 재고보충이 $U_j(\hat{t})$ 에 일어나게 되므로, $[U_j(\hat{t}),\ U_j(t^*))$ 구간의 기대비용은 $E\left[\int_{U_j(\hat{t})}^{U_j(t^*)} c_j(IP_j(t^*) - D_j(t^*,\ u) + Q_j)du\right]$ 가 되고, t^* 시점에 주문하면 재고보충이 $U_j(t^*)$ 시점에 일어나므로 $[U_j(\hat{t}),\ U_j(t^*))$ 구간의 기대비용은 $E\left[\int_{U_j(\hat{t})}^{U_j(t^*)} c_j(IP_j(t^*) - D_j(t^*,\ u))du\right]$ 가 된다. 두 비용의 차이를 구하면

$$
\begin{aligned}
&E\left[\int_{U_j(\hat{t})}^{U_j(t^*)} c_j(IP_j(t^*) - D_j(t^*,\ u) + Q_j)du \mid \boldsymbol{S}(t^*)\right] - E\left[\int_{U_j(\hat{t})}^{U_j(t^*)} c_j(IP_j(t^*) - D_j(t^*,\ u))du \mid \boldsymbol{S}(t^*)\right] \\
&= \int_{U_j(\hat{t})}^{U_j(t^*)} E\left[c_j(IP_j(t^*) - D_j(t^*,\ u) + Q_j) - c_j(IP_j(t^*) - D_j(t^*,\ u)) \mid \boldsymbol{S}(t^*)\right]du \\
&= \int_{U_j(\hat{t})}^{U_j(t^*)} E\left[\pi_j(IP_j(t^*) - D_j(t^*,\ u)) \mid \boldsymbol{S}(t^*)\right]du\Big]
\end{aligned}
$$

이다. 그런데, t^* 가 $\int_{U_j(t^*)}^{U_j(t^*+\epsilon)} E\left[\pi_j(IP_j(t^*) - D_j(t^*,u)) \mid \boldsymbol{S}(t^*)\right]du < 0$ 이 되는 최초의 순간이고, Proposition 2에 의해 $E\left[\pi_j(IP_j(t^*) - D_j(t^*,\ u)) \mid \boldsymbol{S}(t^*)\right]$ 는 u 에 대해 감소함수이므로, $t < t^*$ 인 모든 t 에 대해서는 $E\left[\pi_j(IP_j(t^*) - D_j(t^*,\ U_j(t))) \mid \boldsymbol{S}(t^*)\right] \geqq 0$ 이다. 따라서

$$
\int_{U_j(\hat{t})}^{U_j(t^*)} E\left[\pi_j(IP_j(t^*) - D_j(t^*,\ u)) \mid \boldsymbol{S}(t^*)\right]du\Big] \geqq 0
$$

가 되어,

$$
E\left[\int_{U_j(\hat{t})}^{U_j(t^*)} c_j(IP_j(t^*) - D_j(t^*,\ u) + Q_j)du \mid \boldsymbol{S}(t^*)\right] \geqq E\left[\int_{U_j(\hat{t})}^{U_j(t^*)} c_j(IP_j(t^*) - D_j(t^*,\ u))du \mid \boldsymbol{S}(t^*)\right]
$$

가 성립한다.

(ii) t^* 시점에 주문하는 경우와 $\tilde{t}$ 시점에 주문하는 경우의 비교

t^* 시점에 주문하는 경우의 재고보충시점은 $U_j(t^*)$, $\tilde{t}$ 시점에 주문하는 경우의 재고보충시점은 $U_j(\tilde{t})$, 이

므로, 두 경우의 비용은 $[U_j(t^*),\ U_j(\tilde{t}))$ 구간에서만 차이가 발생한다. 따라서 $[U_j(t^*),\ U_j(\tilde{t}))$ 구간에서 t^* 시점에 주문하는 것이 $\tilde{t}$ 시점에 주문하는 경우보다 비용이 적거나 같음을 보이는 것으로 충분하다.

t^* 시점에 주문하면 재고보충이 $U_j(t^*)$시점에 일어나므로 $[U_j(t^*),\ U_j(\tilde{t}))$ 동안의 기대비용은 $E\left[\int_{U_j(t^*)}^{U_j(\tilde{t})} c_j (IP_j(t^*) - D_j(t^*,\ u) + Q_j)du\right]$가 되고, $\tilde{t}$ 시점에 주문하면 $[U_j(t^*),\ U_j(\tilde{t}))$동안에는 아직 재고보충이 일어나기 전이므로 기대비용은 $E\left[\int_{U_j(t^*)}^{U_j(\tilde{t})} c_j (IP_j(t^*) - D_j(t^*,\ u))du\right]$가 된다. 두 비용의 차이를 구하면,

$$
\begin{aligned}
&E\left[\int_{U_j(t^*)}^{U_j(\tilde{t})} c_j(IP_j(t^*) - D_j(t^*,\ u) + Q_j)du \mid \boldsymbol{S}(t^*)\right] - E\left[\int_{U_j(t^*)}^{U_j(\tilde{t})} c_j(IP_j(t^*) - D_j(t^*,\ u))du \mid \boldsymbol{S}(t^*)\right] \\
&= \int_{U_j(t^*)}^{U_j(\tilde{t})} E\left[c_j(IP_j(t^*) - D_j(t^*,\ u) + Q_j) - c_j(IP_j(t^*) - D_j(t^*,\ u)) \mid \boldsymbol{S}(t^*)\right]du \\
&= \int_{U_j(t^*)}^{U_j(\tilde{t})} E\left[\pi_j(IP_j(t^*) - D_j(t^*,\ u)) \mid \boldsymbol{S}(t^*)\right]du\Big]
\end{aligned}
$$

이다. 그런데, t^*가 $\int_{U_j(t^*)}^{U_j(t^*+\epsilon)} E\left[\pi_j(IP_j(t^*) - D_j(t^*,\ u)) \mid \boldsymbol{S}(t^*)\right]du < 0$이 되는 최초의 순간이고, Proposition 2에 의해 $E\left[\pi_j(IP_j(t^*) - D_j(t^*,\ u)) \mid \boldsymbol{S}(t^*)\right]$는 u에 대해 감소함수이므로, $t > t^*$인 모든 t에 대해서는 $E\left[\pi_j(IP_j(t^*) - D_j(t^*,\ U_j(t))) \mid \boldsymbol{S}(t^*)\right] < 0$이다. 따라서

$$
\int_{U_j(t^*)}^{U_j(\tilde{t})} E\left[\pi_j(IP_j(t^*) - D_j(t^*, u)) \mid \boldsymbol{S}(t^*)\right]du\Big] < 0
$$

가 되어,

$$
E\left[\int_{U_j(t^*)}^{U_j(\tilde{t})} c_j(IP_j(t^*) - D_j(t^*,\ u) + Q_j)du \mid \boldsymbol{S}(t^*)\right] < E\left[\int_{U_j(t^*)}^{U_j(\tilde{t})} c_j(IP_j(t^*) - D_j(t^*,\ u))du \mid \boldsymbol{S}(t^*)\right]
$$

가 성립한다.

(i), (ii)로부터 증명이 성립한다. ■