선적 통합을 이용한 수송과 재고의 통합 결정에 관한 연구 분석

Coordinated Transportation and Inventory Decision using Shipment Consolidation

홍기성
고려대학교, 산업시스템정보공학과 (justlikewind@korea.ac.kr)

Abstract

Under a VMI (Vendor Managed Inventory) system, the vendor holds a certain level of control over not only inbound replenishment decisions on stocking but also outbound re-supply decisions. In this situation, vendor faces a better opportunity to synchronize the inventory and transportation decisions. However, shipment consolidation can reduce transportation expenses, but delivery time about the customer comes to be long and a customer service is fallen. Thus, a stock and transportation decision must consider this correlation. This study look into the relevant literature and suggest about further research direction.

1. 서론 (introduction)

공급사슬관리(Supply Chain Management, SCM)는 오늘날의 경제 환경에서 최근 많은 주목을 받고 있다. SCM은 고객서비스 수준을 만족시키면서 시스템의 전반적인 비용을 최소화할 수 있도록 제품이 적절한 수량으로, 적절한 장소에, 적절한 시간에 생산과 유통이 가능하게 하기 위하여, 공급자, 제조업자, 창고·보관업자, 소매상들을 효율적으로 통합하는데 이용되는 일련의 접근법이다[1]. 이러한 SCM이 최근 주목을 받게 된 이유는 재고관리(inventory control)와 배송정책(delivery policy)을 통합하여 공급사슬 전체에 걸친 비용을 줄일 수 있기 때문이다. SCM 분야에서는 이러한 비용을 줄이기 위하여 많은 모델들이 개발되었다.

이러한 모델들 중의 하나가 VMI(Vendor Managed Inventory)이다. VMI는 공급자(vendor)가 소매업자(retailer)의 재고를 직접 관리하는 방법으로써, EDI(Electrinic Data Exchainge)와 같은 정보통신기술이 발전함에 따라 실생활에 널리 적용되고 있다. 전형적인 VMI 시스템 하에서, 공급자는 안으로의 보충 결정(inbound replenishment decision) 뿐만 아니라 밖으로의 재공급 결정(outbound re-supply decision)을 함께 조절할 수 있다[6]. 즉, 수송과 재고에 대한 의사결정(transportation and inventory decision)을 동시에 할 수 있게 된다. 이에 따라 적은 수요를 통합하여 한꺼번에 수송하고, 재고를 보충함으로써 비용을 줄이는 선적 통합(shipment consolidation)을 이용한 수송과 재고의 통합 결정에 대한 연구가 고려되었다.

본 연구에서는 이러한 선적 통합을 이용한 수송과 재고의 통합 결정에 대해 연구한다. 선적 통합 결정과 관련된 기존의 연구를 분석하고, 분석결과를 바탕으로 선적 통합을 이용한 수송과 재고의 통합 결정에 대한 분류틀(taxonomy)을 제공한다.

본 논문의 나머지 구성은 다음과 같다. 2절에서는 선적 통합 결정에 대한 기존의 연구를 분석한다. 3절에서는 2절의 분석된 결과를 바탕으로 관련 연구에 대한 분류틀(taxonomy)을 나타낸다. 그리고 마지막 4절에서는 분석에 대한 결론과 추후 연구에 대한 몇몇 제안들을 제시한다.

2. 선적 통합 (consolidation shipment)

선적 통합에 대한 학문적 관심은 최근 20년 동안 크게 증가하였다[6]. 선적통합은 여러 고객의 주문을 통합하여 수송함으로써 규모의 경제(economic of scale)에 따라 제품의 수송비용을 줄이는 방법으로써 Supply Chain에서 수송비용을 줄이기 위한 기법으로 많이 연구되었다.

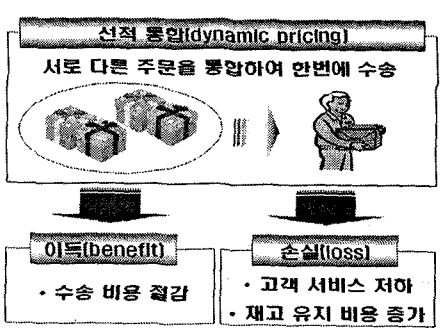

그림 1. 선적 통합에 따른 이득과 손실

하지만 이러한 선적 통합이 항상 비용을 감소시키는 것은 아니다. 적은 선적을 통합하여 수송함으로써 수송 비용은 줄일 수 있지만, 반대로 선적을 통합하는 동안에 고객에 대한 배송시간이 길어져 고객 서비스가 저하되고, 이로 인해 비용이 발생하게 되는 것이다. 또한 선적이 통합될 때까지 재고를 유지함으로써 재고 유지 비용이 생기게 된다. 따라서 이러한 상관관계를 고려하여 선적 통합

결정(shipment consolidation decision)이 이루어져야 한다.

선적 통합에 대한 연구는 선적 통합의 방법에 따라 다음의 세 가지로 나뉜다.

1) Quantity-Based Dispatching Policy (QBDP)

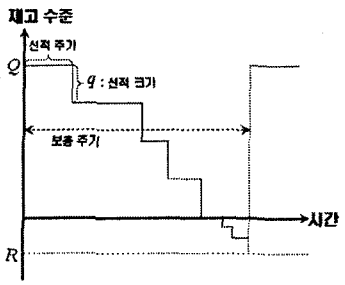

그림 2. Quantity-Based Dispatching Policy

QBDP는 <그림 2>와 같이 통합된 선적의 크기가 일정한 양 q가 될 때까지 선적을 통합하여 통합된 양 q를 한번에 배송하는 것이다. 즉, 주문이 들어왔을 때 주문을 바로 만족시키는 것이 아니라 일정량의 주문을 통합하여 일정한 량 q가 되었을 때, q의 양을 한번에 선적하여 배송하는 것이다.

이 방법은 다른 두 가지 방법에 비하여 비용 절감의 측면에서 우수하나 주문을 통합한 양이 일정량 q가 될 때까지의 시간을 정확히 알 수 없다. 따라서 고객에게 배송 시간을 보장할 수 없어 고객 서비스 측면에서 세 가지 방법 중에서 가장 좋지 않은 방법이다.

2) Time-Based Dispatching Policy (TBDP)

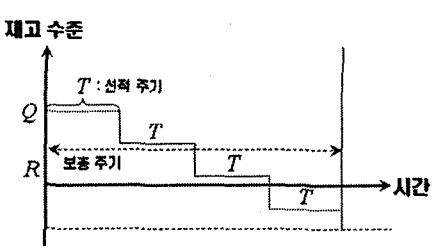

그림 3. Time-Based Dispatching Policy

TBDP는 고객의 주문을 일정한 양 q가 될 때 까지 모으는 QBDP와는 다르게 <그림 3>과 같이 일정한 시간 T까지 고객의 주문을 통합하여 통합된 양을 한번에 배송하는 것이다. 즉, 특정 시점에서 시작하여 특정 시간이 흐를 때까지 들어오는 주문을 통합하여 한번에 선적하고 배송하는 것이다.

이 방법은 고객에게 배송 시간을 보장할 수 있기 때문에 고객 서비스 측면에서 다른 두 가지 방법에 비하여 우수하다. 그러나 비용 측면에서는 배송 비용을 줄일 수 있는 특정한 양을 모아 배송시키지 못할 수 있으므로 다른 두 가지 방법에 비하여 비용 절감의 측면세어는 우수하지 못하다.

3) *Quantity-Time-Based Dispatching Policy* (QTBDP)

앞에서도 언급하였듯이 QBDP는 결과적인 비용 측면에서 TBDP보다는 우수하지만 수요가 일정한 양 q까지 모이는 시간을 알 수 없어 고객에게 배송시간을 보장할 수 없기 때문에 고객서비스가 저하되는 반면, TBDP는 결과적인 비용 측면에서 QBDP보다는 떨어지지만 고객에게 배송시간을 보장할 수 있기 때문에 고객서비스 측면에서는 QBDP보다 우수하다. QTBDP는 이러한 두 방법(QBDP, TBDP)의 장단점을 고려하여 개발되었다.

QTBDP는 TBDP와 같이 특정 시간 T를 정하고, 특정 시점에서 시작하여 특정 시간 T가 흐를 때까지 들어오는 주문을 통합하여 한번에 선적하고 배송한다. 그러나 TBDP와는 다르게 특정 시간 T가 흐르기 전에 통합된 주문의 양이 특정량 q가 되면 q의 양을 선적하여 배송하는 것이다.

QTBDP는 QBDP와 TBDP의 장단점을 고려하였기 개발되었기 때문에 비용절감과 고객 서비스 측면에서 두 방법(QBDP, TBDP)의 중간적인 성격을 띤다.

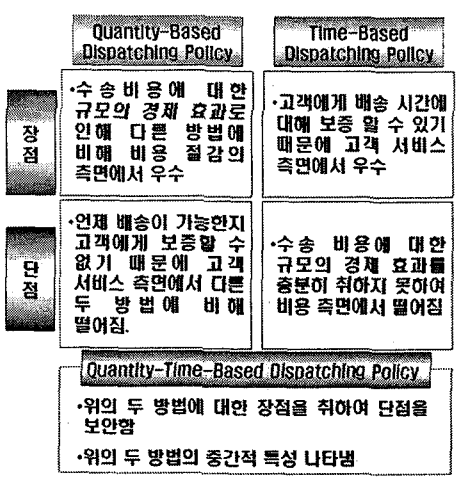

그림 4. QBDP와 TBDP의 장단점과 QTBDP

3. 선적 통합을 이용한 수송과 재고의 통합 결정의 분류틀 (the taxonomy of Coordinated Transportation and Inventory Decision using Shipment Consolidation)

선적 통합을 이용한 수송과 재고의 통합 결정과 관련된 연구들은 지금까지 서로 다른 가정과 조건을 바탕으로 연구되었다. 하지만 몇몇 연구들은 서로 비슷한 문제의 특성과 가정, 조건을 바탕으로 연구되었고, 본 연구에서는 이러한 문제의 특성과 가정을 바탕으로 관련 연구들을 구별할 수 있었다.

본 연구의 목적은 선적 통합을 이용한 수송과 재고의 통합 결정과 관련된 연구를 분석하고 관련 연구에 대한 기본틀(framework)을 제공하는데 있다. 본 연구에서는 관련 연구를 분석하여 문제의

특성과 가정을 바탕으로 다음과 같이 두 가지 기준에 따라 관련 연구를 분류하였다.

1) 선적 통합의 방법
- Quantity-Based Dispatching Policy
- Time-Based Dispatching Policy
- Quantity-Time-Based Dispatching Policy

2) 수요 함수의 형태
- 확정적 수요 (deterministic demand)
- 추계적 수요 (stochastic demand)

3.1 선적 통합 방법에 따라

선적 통합 방법은 앞에서도 언급하였듯이 세 가지가 있다. 따라서 관련된 연구를 먼저 선적 통합 방법에 따라 세 가지로 분류하였다. 각각의 선적 통합 방법에 대한 자세한 내용은 앞에서 언급하였으므로 생략한다.

3.2 수요 함수의 형태에 따라

대부분의 다른 연구에서와 마찬가지로 선적 통합을 이용한 수송과 재고의 통합 결정과 관련된 연구 역시 수요 함수의 형태에 따라 분류할 수 있다. 즉, 수요 함수가 확정적인 것과 추계적인 것으로 나뉠 수 있다. 따라서 수요 함수의 형태에 따라 관련된 연구를 다음의 두 가지로 분류하였다.

1) 확정적 수요 (deterministic demand)

확정적 수요는 제품에 대한 수요를 일정한 함수의 형태나 알려진 분포(known distribution)로 고정하는 것이다. 즉, 계획된 범위나 시간에 대해 수요를 정확히 알고 있다고 가정하는 것이다.

실생활에서 제품에 대한 수요가 고정되어있지 않고, 시간에 따라 변화하는데 이렇게 확정적 수요를 고려하는 이유는 확정적 모델(deterministic model)의 경우 분석이 쉽다는데 있다. 또한 확정적 모델은 추계적 모델의 기초가 되기 때문에 확정적 모델에 대한 연구가 이루어졌다.

2) 추계적 수요 (stochastic demand)

추계적 수요는 제품에 대한 수요를 고정하지 않고 확률적으로 고려하여 실생활에서의 수요에 가깝게 나타내는 것이다.

확정적 모델의 경우 실생활에 적용하였을 때, 확정적 모델에서 고려하였던 수요와 실생활에서의 수요가 일치하지 않아 결과값에 대한 차가 크게 나올 수 있다. 즉, 실제 적용에서 오차가 크게 나타날 수 있으며, 확정적 모델에서의 최적값이 실제 적용에서 최적 값으로 나타나지 않게 된다. 따라서 이러한 오차를 줄이기 위하여 실생활의 수요에 가깝게 추계적 수요를 고려한 연구가 이루어졌다.

3.3 선적 통합을 이용한 수송과 재고의 통합 결정 관련 연구 분류표 (Coordinated Transportation and Inventory Decision using Shipment Consolidation content matrix)

본 연구에서는 <표 1>과 같이 선적 통합을 이용한 수송과 재고의 통합 결정에 대한 관련 연구를 선적 통합 방법과 수요 함수의 형태에 따라 분류하였다. 이번 절에서는 분류된 각각의 항목과 관련된 연구에 대해 살펴본다.

표 2. 선적 통합을 이용한 수송과 재고의 통합 결정 관련 연구 분류표

	선적통합 방법	수요 형태	기타
Cetinkaya와 Lee(2002)	TBDP	확정적	
Cetinkaya와 Bookbinder (2003)	QBDP, TBDP	추계적	QBDP, TBDP 두 모델을 비교
Chen et al.(2005)	QBDP, TBDP	추계적	QBDP, TBDP 두 모델을 비교, 재주문점을 결정변수로 고려
Ching과 Tai(2005)	QTBDP	추계적	
Cetinkaya et al.(2006)	QTBDP	추계적	QBDP, TBDP를 기초로 Hybrid Poicy 제안
Moon et al.(2006)	TBDP	확정적	다중제품을 고려

1) QBDP/추계적 수요

QBDP와 추계적 수요에 관한 연구는 Cetinkaya와 Bookbinder(2003), Chen et al.(2005), Cetinkaya et al.(2006) 등에 의해 이루어졌다.

그들은 수요가 도착률이 λ인 Poisson Process를 따를 때, 재고 보충이나 배송에 대한 리드타임은 0이라는 가정하에 재고 보충 비용, 재고 유지 비용, 고객 지연 비용, 수송 비용을 고려하여 선적 통합량과 배송 횟수를 결정하는 모델을 개발하였다. 그 중에서 Chen et al.(2005)은 이전까지 연구와는 다르게 (R, Q) 정책에 의해 재고 시스템이 운영될 때, 재주문점을 결정 변수로 추가하여 고려하였다.

2) TBDP/확정적 수요

TBDP와 확정적 수요에 관한 연구는 Cetinkaya와 Lee(2002), Moon et al.(2006) 등에 의해 이루어 졌다.

Cetinkaya와 Lee(2002)는 제3자 물류 제공자에 의해 운영되는 창고에 대한 재고와 수송 결정을 통합하는 최적화 모델에 대해 연구하였다. 그들은 재고 보충 비용, 재고 유지 비용, 고객 지연 비용, 수송 비용을 고려하여 선적 통합 주기의 길이와 선적 통합 횟수를 결정하였다. 그들은 그들의 모델에 용량 제한을 고려함으로써 다른 연구와 차별화하였다.

Moon et al.(2006) 또한 TBDP에 확정적 수요를 고려하여 연구하였다. 그러나 그들은 이전까지의 연구가 단일 제품에 대해 연구되었던 것에 비하여 다중 제품을 고려하였다. 그들은 다중 제품에 대한 공동 보충(joint replenishment)을 고려하여 보충 주기와 보충 횟수를 결정하는 모델을 개발하고, 이를 위한 휴리스틱 알고리즘을 제안하였다.

3) TBDP/추계적 수요

TBDP와 추계적 수요에 관한 연구는 Cetinkaya와 Bookbinder(2003), Chen et al.(2005) 등에 의해 이루어졌다.

그들은 QBDP와 같이 재고 보충 비용, 재고 유지 비용, 고객 지연 비용, 수송 비용을 고려하여 총 비용을 최소화하는 선적 통합 시간과 재고 보충량을 결정하는 모델을 개발하였다.

4) QTBDP/추계적 수요

QTBDP와 추계적 수요에 관한 연구는 Ching과 Tai(2005), Cetinkaya et al.(2006) 등에 의해 이루어졌다.

Ching과 Tai(2005)는 QBDP와 TBDP에 대한 각각의 장단점을 비교하여 각각의 단점을 보안하는 QTBDP에 대해 연구하였다. 그들은 TBDP와 같이 특정한 시간 T가 될 때까지 주문을 통합하여 선적하는 방법을 취하였다. 그러나 TBDP와는 다르게 일정한 시간 T가 되기 전에 주문의 통합량이 q가 되면 q의 양을 배송하게 된다.

이러한 방법과는 다르게 Cetinkaya et al.(2006)은 QBDP와 TBDP에 대한 각각의 모델을 세우고 이 두 모델을 비교하여 hybrid policy를 제안하였다. 이 hybrid policy는 주문의 통합량이 q_H가 될 때까지 주문을 통합하여 배송하지만, q_H의 양이 통합되기 전에 마지막 배송이 이루어진 후 T_H 시간이 경과하였으면 그때까지 통합된 양을 배송하는 정책이다.

4. 결론(conclusion)

최근 SCM에 대한 관심이 증가하면서 기업은 비용을 절감하기 위해 다양한 노력을 하였다. 이에 따라 수송과 재고에 대한 결정을 동시에 고려하여 비용을 절감하는 방법이 연구되게 되었고, 이 방법에 대한 관심이 크게 증가하였다.

본 연구에서는 이러한 수송과 재고의 통합 결정에 관한 연구를 분석하고, 관련 연구를 분류하였다. 하지만 관련된 연구가 아직 시작 단계여서 관련된 연구가 많지 않았다. 따라서 추후 관련된 많은 연구가 진행될 것으로 예측된다. 본 연구에서는 지금까지의 경험과 현재까지의 관련된 연구 분석을 바탕으로 추후 연구 진행 방향에 대해 몇가지를 제안한다.

지금까지의 연구 결과를 보면 모든 관련된 연구가 재고 보충이나 배송에 대한 리드타임은 0이라는 가정하에 연구되었다. 하지만 실생활에서 재고 보충이나 배송에 따른 리드타임은 존재한다. 이러한 리드타임은 고객 서비스 수준과 연관되어 있다. 즉, 리드타임 동안 고객에 대한 배송인 더 지연되게 되고 이는 고객 서비스 수준의 저하로 이어지는 것이다. 따라서 리드타임에 대한 영향은 반드시 고려되어야 한다.

또한 지금까지의 연구 결과에 대한 분석을 보면 다중 제품을 고려한 연구는 Moon et al.(2006)에 의한 연구가 유일하다. 실생활에서 단일 제품만을 판매(또는 생산)하는 경우는 매우 드물고, 대부분 다중 제품에 대한 판매(또는 생산)가 이루어진다. 다중 제품에 대한 문제는 제품의 종류가 증가함에 따라 문제가 더 복잡해진다. 하지만 실생활에서는 단일 제품만이 판매(또는 생산)되는 것이 아니라 다양한 제품을 판매(또는 생산)하고 있고, 기업들 또한 이 문제에 대해 많은 관심을 가지고 있다. 따라서 이와 관련된 문제는 앞으로의 연구에 반드시 필요하며 매우 흥미로운 주제이다.

고객의 배송 지연에 대한 추가적인 연구 또한 필요하다. 지금까지의 연구는 모든 수요는 만족되며 배송 지연에 따른 수요의 상실은 없다고 가정하였다. 하지만 실생활에서는 배송 지연에 따른 주문 취소가 일어난다. 따라서 이 문제에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

지금까지 수송과 재고의 통합 결정에 관해 이루어졌던 연구를 분석하고 추후 연구 방향에 대해 몇가지 제안을 하였다. 이상에서 볼 수 있듯이 수송과 재고의 통합 결정에 관한 연구는 아직 시작 단계이며 지속적인 연구가 가능할 것으로 보여 진다. 따라서 우리는 수송과 재고의 통합 결정에 관하여 지금까지 연구를 바탕으로 지속적으로 연구하면서 다양한 분야로 연구 결과를 확장하여야 한다.

참고 문헌

[1] 김태현, 문성암, [물류 및 공급체인관리], 2판, McGraw-Hill Korea.

[2] Cetinkaya, S., C.Y. Lee, "Stock Replenishment and Shipment Scheduling for Vendor-Managed Inventory Systems", Management Science, Vol.46, No.2(2000), pp.217-232.

[3] Cetinkaya, S., C.Y. Lee, "Optimal Outbound Dispatch Policies: Modeling Inventory and Cargo Capacity", Naval Research Logistics, Vol.49(2002), pp.531-556.

[4] Cetinkaya, S., "A comparison fo outbound dispatch policies for integrated inventory and transportation decisions", European Journal of Operational Research, Vol.171(2006), pp.1094-1112.

[5] Cetinkaya, S., J.H. Bookbinder, "Stochastic Models for the Dispatch fo Consolidated Shipments", Transportation Research, Vol.37(2003), pp. 747-768.

[6] Chen, F.Y., T. Wang, T.Z. Xu, "Integrated Inventory Replenishment and Temporal Shipment Consolidation: A Comparison fo Quantity-Based and Time-Based Models", Annals of Operations Research, Vol.135(2005), pp.197-210.

[7] Ching, W.K., A.H. Tai, "A quantity-time-based dispatching policy for a vmi system", ICCSA, Vol.4(2005), pp.342-349.

[8] Graves, S.C., "A Multiechelon Inventory Model with Fixed Replenishment Intervals", Management Science, Vol.42, No.1(1996), pp.1-18.

[9] Lee, C.Y., S. Cetinkaya, A.P.M. Wagelmans, "A Dynamic Lot-Sizing Model with Demand Time Windows", Management Science, Vol.47, No.10(2001), pp.1384-1395.

[10] Lee, C.Y., S. Cetinkaya, W. Jaruphongsa, "A Dynamic Model for Inventory Lot-Sizing and Outbound Shipment Scheduling at a Third-Party Warehouse", Operations Research, Vol.51, No.5(2003), pp.735-747.

[11] Moon, I.K., B.C. Cha, C.U. Lee, "The joint replenishment and freight consolidation of a warehouse in a supply chain", Working Papaer(2006).