

## 분배네트워크에서 서비스 수준에 기반한 lateral transshipment 정책 A lateral transshipment policy based on the service level in the distribution network

전영상, 이영해, 정정우  
한양대학교 산업공학과

### Abstract

This research proposes the lateral transshipment policy that can deal efficiently with stockout in the two-echelon distribution network in supply chain. The lateral transshipment policy can be expected for retailers to response the change of customers' demands efficiently.

Because of various factors, such as demand fluctuation, replenishment quantity, lead time, and so on, it is very difficult to decide optimal lateral transshipment time and quantity. We suggest the new lateral transshipment policy based on the service level in this research. The efficiency of this policy is proved by simulation experiments.

Key words:

distribution network, lateral transshipment

### 1. 서론

선두 기업들은 공급사슬경영이라는 패러다임이 등장하면서 자신들의 핵심역량을 최대한 살리면서 그 밖의 업무들을 다른 회사들과 상호 협력의 관계를 이용하여 공급사슬전체의 이익을 최대화 하려고 한다. 이 때 발생하는 공급사슬상의 문제들은 하나의 기업에서 다루는 문제들보다 복잡하며, 다루기 어렵다. 현재의 공급사슬에서는 여러 고려 사항들을 통합한 최적화 문제들이 많이 다루어지고 있으나 그것들의 광역적 최적화와 분석은 쉽지 않다. 그래서 문제들의 특성, 수행, 질충에 대한 충분한 이해를 얻기 위하여 시스템의 더 작은 부분들에 관심을 갖는 것이 바람직할 수 있다(Tagaras, 1999). 그러한 연구 분야 중에 하나는 하나의 공급자에 의하여 제품을 공급받는 여러 소매업자들로 구성된 지역적 분배네트워크에 관한 것이다.

일반적으로 각각의 소매업자들은 고객의 수요를 자신의 재고로 충족시킨다. 소매업자들이 고객 수요의 높은 불확실성과 제품의 큰 손실 비용에 직면해 있으며, 제품의 보충 리드 타임은 길고, 소매업자들은 서로 근거리에 위치해 있다고 하자. 또한 소매업자가 재고 부족을 방지하기 위한 새로운 창고를 건설 및 운영 등과 같은 투자비용이 많이 소

요되는 경우를 생각해보자. 만약 자신의 재고로 수요를 충족시키지 못하는 경우 즉, 재고 부족이 발생하면 재고가 있는 다른 소매업자들로부터 지원을 받는 것이 효과적일 수 있는데 이것을 lateral transshipment라고 한다. 이런 상황은 중앙통제가 잘 이루어진 군사조직에서만 일어날 수 있었다. 그러나 일부 소매업자들은 정보 시스템과 더불어 거대한 조직을 갖게 되었다. 또한 같은 소매업자의 분점들끼리 네트워크로 연결되면서 재고에 대한 유연한 관리를 통하여 수요에 대한 빠른 반응을 할 수 있게 되었다. 그래서 일부 소매업자들은 lateral transshipment를 이용하여 서비스를 개선하고 비용을 낮출 수 있는 기회를 갖게 되었다.

기존 연구들 중에 최적의 정책을 제시해주는 몇몇 연구들이 있다. 그러나 대부분의 기존 연구들은 두 단계 이상의 복잡한 재고 시스템을 다루면서 정확한 결과들을 제공하지 못한다. 최적 lateral transshipment를 위한 수리 모델의 수립과 해법을 어렵게 하는 이유는 크게 세 가지로 볼 수 있다.

첫째, 정확한 해법은 매우 시간 소모적이며 구현하기 어렵다(Axsäter, 2003).

둘째, transshipment는 미래 보충의 크기와 시간의 변화를 포함 한다(Minner, 2003).

셋째, 안전 재고 수준을 결정하는데 있어서 단기간의 transshipment를 고려해야 하고, 기존의 방법들을 사용하지 않을 수 있다(Minner, 2003).

분석적 모델링에 포함된 복잡도와 분배네트워크 문제들의 해법에 대한 관점에서 이 분야의 일부 연구들은 현실성을 최소한 어느 정도 유지하기 위한 노력으로 휴리스틱 근사법과 시뮬레이션 접근법을 시도하고 있다(Banerjee et al., 2003).

Bertrand and Bookbinder(1998)는 재고 보충 바로 전 기간에 총 비용을 최소화 할 수 있는 lateral transshipment를 실시한다. 보충 바로 전 기에만 lateral transshipment가 일어나므로 이전 기간의 재고부족에 대응하지 못하는 단점이 있다. Banerjee et al.(2003)가 제시한 두 가지 정책 중 하나인 TBA정책은 재고 수준이 낮은 소매업자와 재고 수준이 높은 소매업자가 있을 경우 재고 전체 가능량 또는 전체 요구량이 0이 될 때까지 분배를 한다. 그러나, 재고 가능량과 요구량의 부적절한 설정으로 비효율적인 lateral transshipment가 발생할 수 있다.

다른 하나는 TIE정책으로서 재고가 일정 수준 이하로 내려간 소매업자가 있는 경우 전체 평균 수요량에 대한 각각의 평균 수요량 비율로 전체 소매업자들의 재고 수준을 맞추게 된다. 그러나 보통 주기 내에 한 번만 lateral transshipment을 실시한다. 그러므로 lateral transshipment 실행 후의 재고 부족에 대응할 수 없는 문제가 발생한다.

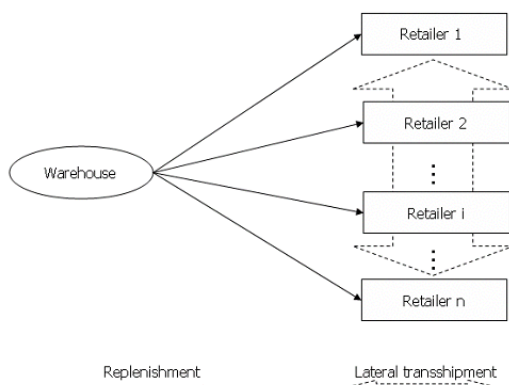
본 연구의 목적은 분배네트워크에서 서비스 수준을 기반 하여 효과적으로 낮은 재고나 재고 부족에 대처할 수 있는 lateral transshipment 정책을 제안하는 것이다. 또한, 시뮬레이션을 이용하여 제안된 정책을 Banerjee et al.(2003)이 제안한 TBA, TIE과 NLS 정책 보다 효과적임을 보일 것이다.

본문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2절에서는 lateral transshipment 모형을 정의하고 모형에 포함된 가정을 설명한다. 또한 정책에서 이용될 서비스 수준을 소개하고 새로운 lateral transshipment 정책을 제시한다. 3절에서는 시뮬레이션 실험에 적용될 입력 모수 및 시나리오들을 설정하고 실험 결과들을 설명한다. 4절에서는 결론을 제시한다.

## 2. Lateral transshipment 모형

### 2.1 모형 정의 및 가정 사항

본 논문의 대상은 <그림 1>과 같이 상위 단계의 단일 공급자와 하위 단계에 위치한 소매업자들로 구성된 이 단계 분배네트워크이다. 이 네트워크는 이산적 시간에서 높은 부족 비용을 갖는 단일 소비품목을 대상으로 한다. 정기 발주 시스템과 서로 독립적, 안정적 수요를 갖는 소매업자들은 서로 가까이 위치하고 있으며 고객의 수요는 해당 기간의 가능한 재고로 충족된다. 그 후 낮은 재고나 재고 부족이 발생하면 lateral transshipment을 실시한다. 해결되지 못한 재고 부족은 지연 주문 처리(backorder) 된다. 여기서 소매업자의 수요는 각 기간에 독립적인 정규분포를 따른다고 가정한다. 제안된 정책의 성과가 공급자의 재고 부족에 의하여 왜곡되지 않도록 공급자는 무제한의 재고를 지닌다고 가정한다. 공급자에서 소매업자들까지의 보충리드 타임은 길고, 확정적이며, 소매업자들에게 동일하게 적용된다. Lateral transshipment는 정기 보충기간 내에서 수행되어야 하기 때문에 빠른 수송수단에 의지하게 되므로 보충에 필요한 리드 타임에 비하여 지극히 작다. 따라서 lateral transshipment 리드 타임은 고려하지 않는다.



<그림 1> 지역적 분배네트워크

### 2.2 서비스 수준의 정의

재고 수준의 정도를 재고량으로 판단 한다면

착오가 발생할 수 있다. 예를 들면 두 소매업자들을 A, B라 하자. A는 불확실성이 큰 수요에, B는 불확실성이 작은 수요를 만족시키는 경우라고 하면 어느 시점의 A의 재고량이 100개이고 B의 재고량이 10개라고 하여 A가 B보다 불확실성에 대하여 더 많은 재고를 가지고 있다고 할 수 없다. 서비스 수준은 미래 수요와 현재 재고가 알려진 경우 측정이 가능하고, 객관적인 재고부족의 정도를 제시해 주기 때문에 시스템의 재고에 대한 공통된 기준으로써 사용될 수 있다.

서비스 수준들의 정의들은 다음과 같이 시간, 수량, 사건에 따라서 다양하며 <표 1>과 같이 정의된다.

본 논문에서는 안전재고의 개념을 도입한 SLRP(Service Level in Remaining Period)라는 용어를 제안한다. SLRP는 현재 기간 이후부터 보충시점까지를 RP(Remaining Period)라 하고 그 기간 동안 어떤 소매업자의 수요에 대하여 재고 부족이 발생하지 않을 확률을 말한다. SLRP는 제안된 정책에서 lateral transshipment의 실행 시기, 분배 대상과 분배수량을 결정하는데 있어 중요한 역할을 한다. SLRP의 수리적 정의는 다음과 같다.

$$SLRP_{iRP(t)} = P(D_{iRP(t)} < I_{it})$$

$$= \Phi\left(\frac{I_{it} - \mu_{iRP(t)}}{\sigma_{iRP(t)}}\right)$$

$$RP(t) = R - t$$

단위 시간당 소매업자 i의 수요 :

$$D_i \sim N(\mu_i, \sigma_i),$$

(각 기간 사이의 수요는 독립)

RP(t)동안 소매업자 i의 수요 :

$$D_{iRP(t)} \sim N(\mu_{iRP(t)}, \sigma_{iRP(t)})$$

$$\mu_{iRP(t)} = \mu_i \times RP(t),$$

$$\sigma_{iRP(t)} = \sqrt{\sigma_i^2 \times RP(t)}$$

<표 1>서비스 수준의 정의

주기-서비스 수준 (Lee and Larry, 2002)	어떤 하나의 주문 주기 내에서 재고 부족이 일어나지 않도록 요구된 확률
고객 서비스 수준 (Yan et al., 2003)	만족된 전체 수요의 퍼센트
고객 서비스 수준 (Biswas and Narahari, 2004)	주문 충족률 : 재고로부터 만족된 고객 수요의 비율 정시 배달 : 정시에 충족되는 고객 주문들의 비율
서비스 수준 (Stadtler and Kilger, 2002)	$\alpha$ -서비스 수준 : 하나의 들어오는 주문이 재고로부터 완전하게 충족될 수 있을 확률 $\beta$ -서비스 수준 : 가지고 있는 재고로부터 충족될 수 있는 들어오는 주문량의 비율 $\gamma$ -서비스 수준 : 단위 기간 당 평균수요에 대한 기간 말까지 충족된 평균수요의 비율

### 2.3 SLA(Service Level Adjustment)정책

앞 절에서 제시한 SLRP를 기준으로 lateral transshipment을 수행하는 SLA 정책을 다음과 같이

정리할 수 있다. 현재 기간에 재고 보충이 없는 경우 SLRP의 상, 하한 수준을 구분하고 높은 재고 수준을 갖는 소매업자가 낮은 재고 수준을 갖는 소매업자에게 목표 수준까지 재고를 분배 해준다. 반면에, 현재 기간에 재고 보충이 있는 경우 보유재고와 재고 부족을 구분하고 보유재고를 갖는 소매업자는 재고 부족을 갖는 소매업자에게 재고 부족량만큼 재고를 분배 해 준다.

단위 기간에 대한 SLA 정책은 다음과 같은 절차로 표현할 수 있다.

- 단계 0. 각각의 소매업자는 수요를 자신의 재고로 충족시킴
- 단계 1. Lateral transshipment 실행 위한 탐색
  - 1.1. 현재 기간에 재고 보충이 없는 경우
    - SLRP를 이용한 높은 재고 수준 소매업자와 낮은 재고 수준 소매업자 탐색
  - 1.2. 현재 기간에 재고 보충이 있는 경우
    - 보유 재고를 갖는 소매업자와 재고 부족을 갖는 소매업자 탐색 재고 가능 소매업자와 요구 소매업자가 있다면 다음 단계로 진행, 그렇지 않으면 단계 0으로 이동
- 단계 2. 재고 가능량과 재고 요구량 계산
- 단계 3. 만약 총 재고 가능량이 총 재고 요구량 또는 총 재고 부족량보다 작은 경우 재고 요구량 조정
- 단계 4. 가장 큰 재고 요구량을 갖는 소매업자는 재고 가능 소매업자로부터 재고 가능량을 내림차순으로 분배 받음
- 단계 5. 총 재고 요구량이 0이 되면 단계 0으로 이동, 그렇지 않으면 단계 4로 이동

SLA정책의 성과는 총 비용, 보유 재고량, 재고 부족량으로 평가 된다.

### 3. 수치예제

본 연구에서의 보수들은 <표 2>와 같은 값을 지닌다.

<표 2> 입력 보수

소매업자들의 수(N) : 10
소매업자들의 단위 기간 당 수요(D <sub>i</sub> ) : $N \sim (\mu_i, \sigma_i)$
$\mu_i : (10, 30), \sigma_i : (5, 20)$
보충 주기(R) : 20(일)
보충 리드 타임(L) : 7(일)
요구되는 전체 서비스 수준(p) : 0.7
각 소매업자의 최대 재고 수준(S <sub>i</sub> ) :
$S_i = \mu_i(R + L) + z_p(\sigma_i \sqrt{R + L})$

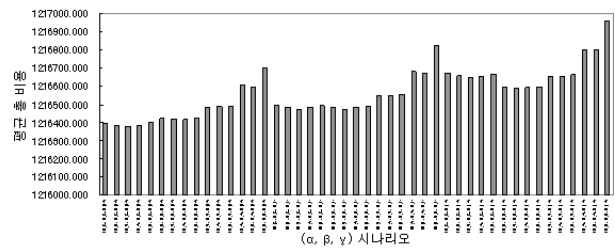
다양한 환경을 표현하기 위하여 <표 3>의 SLRP의 상한( $\alpha$ ), 목표( $\beta$ ) 그리고 하한 수준( $\gamma$ )을 이용하여 45개의 시나리오를 구성하였다.

<표 3> SLRP의 상한, 목표 그리고 하한 수준

SLRP의 상한 수준( $\alpha$ ) : 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6
SLRP의 목표 수준( $\beta$ ) : 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6
SLRP의 하한 수준( $\gamma$ ) : 0.05, 0.1, 0.15
단, $\gamma < \beta \leq \alpha, 0 < (\gamma, \alpha) < 1$

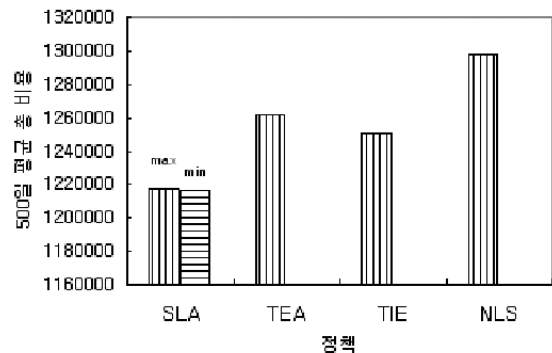
시물레이션 실험의 실행 횟수는 500회, 실행 길이는 760일, 그리고 준비 기간을 Welch's procedure(Law and Kelton, 2000)에 의하여 260일로 설정 하였다.

45개의 다양한 시나리오를 적용한 결과 <그림 2>와 같은 평균 총 비용을 얻을 수 있었다.

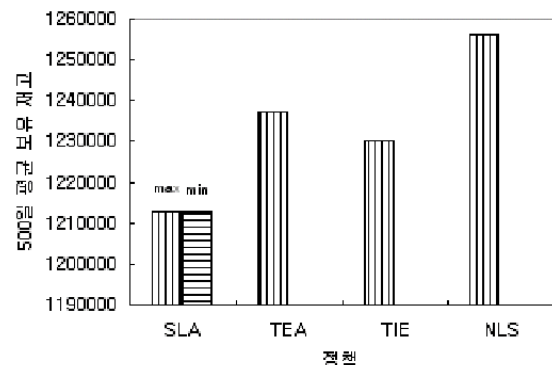


<그림 2> 각 시나리오에 따른 500일의 평균 총비용

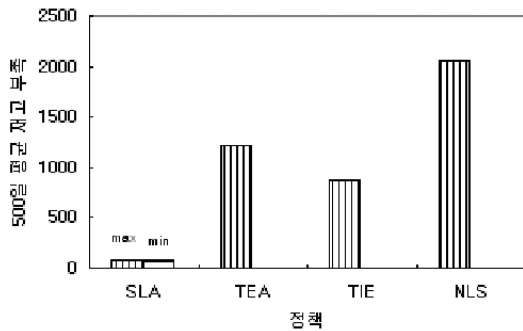
시나리오들 중 평균 총 비용이 가장 큰 시나리오( $\alpha = 0.6, \beta = 0.6, \gamma = 0.15$ )와 평균 총 비용이 가장 작은 시나리오( $\alpha = 0.4, \beta = 0.2, \gamma = 0.05$ )가 발견되었다. 이 결과는 기존의 TEA, TIE, NLS와 비교되었다. SLA의 세로 무늬는 평균 총 비용이 가장 큰 시나리오를 가로 무늬는 평균 총 비용이 가장 작은 시나리오를 가리킨다. <그림 3>은 SLA 정책이 다른 정책들보다 작은 총 비용이 소요됨을 나타내고 있다. <그림 4>에서는 SLA 정책이 다른 정책들보다 적은 보유 재고량을 보유함을 나타내고 있다. <그림 5>는 SLA정책이 다른 정책들보다 재고 부족량이 적음을 보이고 있다.



<그림 3> 정책별 500일 평균 총 비용



<그림 4> 정책별 500일 평균 보유 재고량



<그림 5> 정책별 500일 평균 재고 부족량

#### 4. 결론

분배네트워크에서 공급자로부터의 재고 보충 없이 소매업자들 사이의 낮은 재고나 재고 부족을 효과적으로 해결하기 위하여 SLRP를 적용한 lateral transshipment를 고려하였다.

본 연구에서는 제시된 SLA 정책에 대하여 다수의 시나리오들을 설정하였다. 시뮬레이션을 이용하여 측정된 성과를 TEA, TIE 그리고 NLS 정책과 비교하였다. SLA 정책은 보유 재고와 재고 부족측면에서 다른 정책들 보다 좋은 효과를 보였으며 특히 재고 부족의 감소 효과를 기대할 수 있었다. Lateral transshipment를 수행하는데 있어서 lateral transshipment의 단위 수량과 횟수에 따른 비용이 낮고 빠른 운송이 가능하다면 보유 재고와 재고 부족을 상당량 감소시키는데 있어 SLA 정책은 유용할 것이다.

#### 참고 문헌

- Axster, S. (2003), Evaluation unidirectional lateral transshipments and substitutions in inventory systems, *European Journal of Operational Research*, **149**, 438-447.
- Banerjee, A., J. Burton, and S. Banerjee, (2003), A simulation study of lateral shipments in single supplier, multiple buyers supply chain networks, *International Journal of Production Economics*, **81-82**, 103~114.
- Bertrand, L.P. and J. H. Bookbinder, (1998), Stock redistribution in two-echelon logistics systems, *Journal of the Operational Research Society*, **49**, 966-975.
- Biswas, S., Y. Narahari, (2004), Object oriented modeling and decision support for supply chains, *European Journal of Operational Research*, **153**, 704~726.
- Minner, S., E. A. Silver, and D. J. Robb, (2003), An improved heuristic for deciding on emergency transshipments, *European Journal of Operational Research*, **148**, 384-400.
- Law, A. M., and W. D. Kelton, *Simulation Modeling and Analysis*, 3rd ed., McGraw-Hill Companies, Inc., Singapore, 2000.
- Lee, J. K. and L. P. Larry, (2002), *Operations management strategy and analysis*, 6th ed, Prentice-Hall, Inc., New Jersey.
- Stadtler, H. and C. Kilger, (2002), *Supply chain management and Advanced planning*, 2th ed, Springer, New York.
- Tagaras, G. (1999), Pooling in multi-location periodic inventory distribution systems, *The International Journal of Management Science*, **27**, 39-59.
- Yan, H., Z. Yu, and T. C. Edwin Cheng, (2003), A strategic model for supply chain design with logical constraints: formulation and solution, *Computers & Operations Research*, **30**, 2135~2155.