

# A Simulation Study for the Inventory Policy in the 2 Echelon System

Jaeheon Jung<sup>†</sup>

School of Business Administration, Pukyong National University

## 시뮬레이션을 통한 2단계 재고시스템에서의 재고정책 비교연구

정재현<sup>†</sup>

부경대학교 경영학부

We analyzed the effect of three different types of inventory systems for saving the total cost using simulation on the system where multiple depots and many retailers disperse on the limited area. Three types of inventory systems are single echelon system with inventory exchange and two-echelon system and the variant two-echelon system. Variant two echelon system is the two-echelon system where the inventory transshipments are allowed on every two stage inventory echelons. Inventories kept on every retailer are commonly used for all retailers when certain retailer has stock-out. And when all retailers are stock-out, inventories kept on every depot are commonly used for the retailers whose assigned depots are stock-out. These all three systems are simulated with the constraint of service level on wide range of parameter settings. Simulation results show that cost saving effect appear clear for single echelon system and two-echelon system when shortage cost portion and transportation cost portion becomes large respectively irrespective of depot number. Variant two echelon system seems to be superior to two other systems when transportation cost portion becomes very small. But this superiority is not proved in terms of statistics. So we may conclude that the variant two echelon system may be useless with the higher administrative efforts due to frequent inventory exchange. Also we note that the traditional two echelon system becomes inferior to two other systems in terms of statistics when service level becomes high or when demand variance becomes very large. And inventory integration effect that cost becomes saved when depot number decrease, diminishes when transportation cost or stock-out cost increases irrespective of inventory systems.

**Keywords** : Inventory, Simulation, Transportation, Supply Chain

### 1. 서론

본 연구는 다수 재고기지(warehouse), 다수 소매점 그리고 다단계 재고시스템의 상황에서 재고기지에서부터 소매점으로의, 또는 소매점으로부터 다른 소매점으로의 환적수송(Transshipment)을 가능한 정책대안으로 하면서, 일정

한 서비스 수준 하에서 최소비용을 가능하게 하는 최적의 정책 조합을 시뮬레이션을 통해 찾고자 한다. 환적이 이루어지는 경우, 서비스수준을 유지하면서도 사실상 재고공유(risk pooling)의 효과로 재고비용절감으로 이어지는 재고감축의 효과를 가져온다[12].

환적을 전제로 하는 재고시스템의 분석적인 방법에 의한 최적화는 일반적인 재고시스템의 최적해를 찾는 방법보다 훨씬 어렵고 제한적이다. 언제, 얼마만큼 각 소매점에서 재고기지로 주문을 하느냐에 대한 의사결정 이외에 언제, 얼마만큼, 어디서 환적수송을 하느냐에 대한 의사

결정이 추가되기 때문이다. 이러한 증가된 복잡성을 가졌다는 이유로 환적수송을 허용하는 재고시스템에 대한 분석적인 방법에 의한 연구는 대체로 한 개의 재고기지 또는 제한된 수의 소매점 재고를 허용하는 시스템으로 제한된다. 환적을 전제로 하는 재고시스템에 관한 광범위한 문헌들의 리뷰는 Colin et al.[10]에서 찾을 수 있다.

이 밖에도 다수 소매점과 단일 재고기지의 2단계 재고시스템에서의 소매점과 재고기지 사이의 수송비용을 고려하는(환적은 허용되지 않음) 재고시스템의 근사해를 찾는 연구는 Gupta[5], Madadi et al.[9]이 있다. 다수 소매점들의 주문을 묶어서 수송할 때의 수송비용을 고려하는 재고시스템의 연구는 결합 재고보충 문제(Joint Replenishment Problem)로 널리 알려져 있으며 Goyal and Satir[4] 등 다수의 연구가 있다.

또한 후술하겠지만 본 연구가 고려하는 정책 대안들은 정기적인 재고검사를 통한 시간기준 재고시스템인 (R, S) 시스템을 전제로 하고 있다. 시간기준 재고시스템은 실무적인 기준에서 보면 연속적인 재고 관리보다 구조적으로 간단하고 실행하기가 쉽다. 단일 재고기지, 다단계 재고 다수 소매점 시스템에서의 연속적인 재고관리를 전제로 하는 재고시스템에 관한 분석적인 방법에 의한 최적화의 연구는 다수 시도되어 왔다([1, 2] 등). 그러나 시간기준 재고시스템은 재고부족의 상태에서 재고기지에서의 소매점들에 대한 재고분배에 관한 복잡한 의사결정을 수반하기 때문에 일반적으로 휴리스틱에 의한 근사해법만이 개발되어 왔다[3]. 단일 재고기지 다단계 재고 다수 소매점 시스템에서의 시간기준 재고시스템에 관한 최적해법은 최근에 와서 Wang[14]에서야 발견된다. 그러나 다수 소매점 사이에서의 환적은 이 모형에서 허용되지 않는다. 이외에 다단계 재고시스템에 대한 분석적인 연구들은 Kelle and Milne[7], Rosenbaum[11], Zipkin[15], Van Houtum et al.[13], Kwon[8] 등이 있으나 단일 재고기지를 가정하고 있으며 특정한 근사해법을 제안하고 있다.

본 연구는 분석적인 방법이 제한되거나 가능하지 않는 가장 일반적인 상황 속에서 환적이 허용될 때 가능한 실무적인 정책들 중에서 어떠한 정책이 최적인가를 시뮬레이션을 통한 민감도 분석에 의하여 살펴보자는 의도에서 출발한다. 실무적인 의도에서 다수의 소매점 재고기지 및 다수의 재고기지 모두 (R, S) 시스템을 사용하도록 가정하였다. 또한 품질을 일정비용 이하로 되게 강제하여 일정한 고객서비스 수준을 가정하였다. 이 연구의 시작점은 환적정책이 이루어질 때, 재고기지의 수의 증감에 따라 1단계 재고시스템의 총비용이 어떤 변화를 겪는가하는 재고통합의 효과였다. 이는 본 연구의 선행연구인 Jung [6]에서 이루어졌으며, 결론은 수송비용과 품질비용이 아주 큰 경우에는 오히려 재고통합이 불리하다는 것이었다.

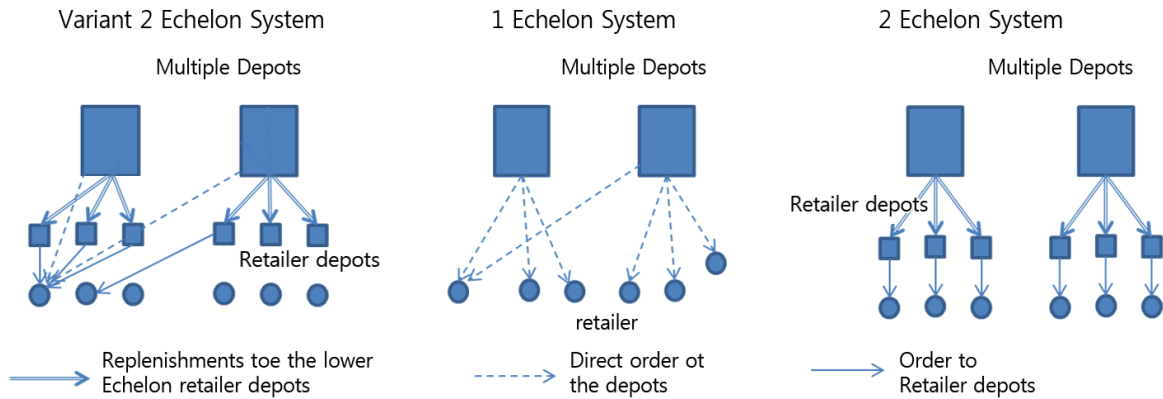
다음 가능한 정책조합으로 우선 생각할 수 있는 것은 단일 재고시스템과 2단계 재고시스템 중 어느 것이 수송비용 및 소매점에서의 품질비용까지 고려하였을 때, 다수 재고기지, 다수 소매점 상황에서 유리한가이다. 추가적으로 생각할 수 있는 것은 이들 시스템에 환적을 허용하는 경우, 총 비용면에서 특정 시스템이 얼마만큼 유리해지는가 하는 것이었다.

우리는 시뮬레이션을 통하여 다양한 상황을 가정한 파라미터 변화 속에서, 2단계 재고 시스템과 단일 재고시스템, 그리고 다른 소매점 재고기지 및 배정된 재고기지 및 다른 재고기지에로의 주문을 허용하는(환적) 변용된 2단계 시스템의 총비용을 상호 비교한다. 관심의 중심은 환적을 2단계 재고기지(재고기지 및 소매점 재고기지) 모두에 대해 허용하는 변용된 2단계 시스템이 어떤 경우에 가장 유리해지는가 하는 점일 것이다. 다음 재고통합의 효과가 이들 시스템들의 비용 순위에 어떤 영향을 주는지, 그리고 시스템들 각각에서의 재고통합의 효과를 검토한다. 우리는 제 2장에서 본 연구가 고려하는 시뮬레이션의 모델을 정식화하고 제 3장에서 시뮬레이션의 결과를 정리한다.

## 2. 시뮬레이션 모형

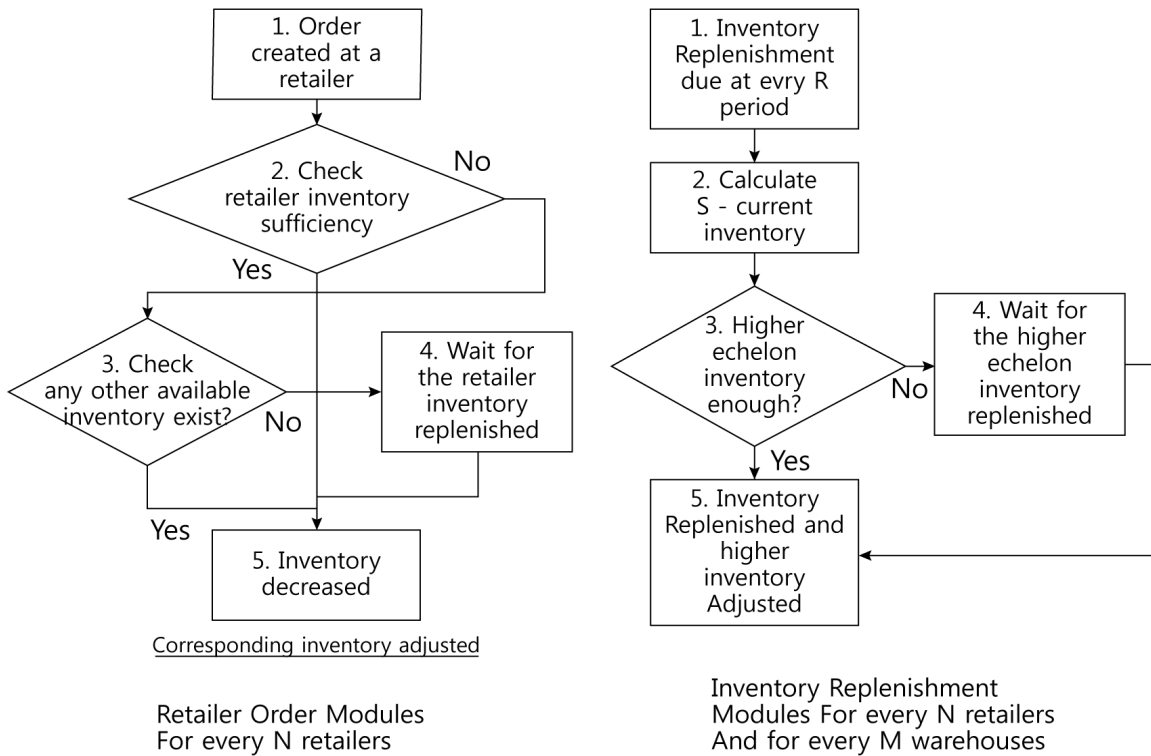
### 2.1 분석대상 재고시스템

<Figure 2>에서 보이듯이 시뮬레이션에서는 재고기지 수(M)는 1, 3, 5개가 소매점 수(N)는 공히 30개가 가정되었다. 각 소매점의 주문처리 프로세스는 모든 소매점이 동일하고 각 재고기지 및 소매점에서의 재고보충 업무의 이벤트에 따른 시뮬레이션 진행도 동일하게 그리고 독립적으로 진행된다. <Figure 2>의 왼쪽 그림은 각 소매점의 주문처리 이벤트 체크 순서도이며 오른쪽 그림은 재고기지 및 소매점에서의 재고보충 업무의 이벤트 체크 순서도이다. 주문처리 이벤트 순서도에서 각 소매점 발생 주문들의 수요량은 그들 고유의 확률적인 분포에 따른다. 도착하는 주문들의 간격은 모든 소매점에서 공히 포와송(Poisson)분포에 따르며(평균은 공히 월 10회), 주문량들의 확률분포는 모두 정규분포를 가정하였다(N(100, 150)). 주문 발생 이후는 소매점에서 재고를 보유하고 있는 경우(이하에서 설명될 1단계 재고시스템에서는 소매점 재고보유가 없음) 해당재고가 충분한지 먼저 체크한다(<Figure 2>의 왼쪽 그림 2번 이벤트). 왼쪽 주문처리 순서도에서 이벤트 번호 3번 다른 재고기지 체크는 이하에서 언급되는 바와 동일하게 3종의 재고시스템 별로 각기 다른 순서로 체크된다.



<Figure 1> Inventory Systems for the Simulation

Creation interval : Poisson with average 3 per month  
 Order quantity : Norm (100, 150)



<Figure 2> Simulation Flow Chart for Basic Two Modules

상호비교를 하고자 하는 3가지 시스템은 <Figure 1>에 보이는 바와 같다. <Figure 1>의 1번째 그림으로 보여지는 변용된 2단계 재고시스템(Variant Inventory system)은 재고기지들(Depot)도 재고를 보유하고 있고 소매점들도 자체재고(Retailer depot)를 보유하고 있다는 점에서는 3번째 그림에서 표시된 일반적인 2단계 재고시스템(2 Echelon System)과 동일하다. 그러나 특정 소매점에서의 주문처리가 소매점 보유 재고가 소진되어 해결되지 않는 경우, 우선 다른 가장 가까운 소매점의 자체재고를 체크하고 다음

배정된 재고기지, 배정된 재고기지 재고도 소진되면 가장 가까운 다른 재고기지 재고를 체크하는 순으로 주문을 처리한다(<Figure 2>의 왼쪽 그림 3번 이벤트). 이는 소매점 재고가 바닥나면 해당 소매점 재고가 보충되기를 기다리는 일반적인 2단계 재고 시스템과 다르다. 변용된 2단계 재고시스템에서는 모든 소매점들의 자체재고를 포함한 모든 재고기지에서 재고가 없어야만 이 주문이 지체주문(back order)으로 처리된다. 소매점 지체주문의 처리는 변용된 그리고 일반적인 2단계 재고시스템 모두 해당 소매

점의 재고보충 주문주기가 도달할 때까지 기다려야 한다 (<Figure 2>의 왼쪽 그림 4번 이벤트). 주문처리에 따라 다른 소매점 또는 재고기지에서부터의 주문처리는 수송비용을(다음 소절에서 상술) 발생시키며 이 또한 독립적으로 처리된다(소매점 그룹을 위한 공동의 수송 즉 혼적은 허용되지 않음). 소매점(자체재고)과 재고기지 모두 특정 주문주기(R)마다 재고를 검사하여 목표재고수준(S)에 미달하면 재고를 보충한다((R, S) 재고시스템). 독립적으로 이루어지는 주문처리와 재고보충은 실무적 현실에 가까우며 각 소매점 및 재고기지에서의 업무처리는 간단하지만 다수의 소매점과 재고기지들로부터 도출되는 전체 비용은 분석적인 방법으로 도저히 추정할 수 없도록 하는바(예컨대, 특정시점에 가장 가까운 재고가 남아있는 재고기지 또는 소매점 자체재고로부터의 주문처리는 수학적 분석이 가능한 규칙이 없음) 시뮬레이션이 분석도구로 유용하도록 하고 있다.

<Figure 1>의 2번째 그림으로 보여지는 1단계 재고시스템(1 Echelon System)은 소매점에서의 재고보유(Retailer depot)가 없으며, 소매점에서의 주문은 일차적으로 배정된 재고기지에서 처리되고, 해당 재고기지 재고가 없으면 다른 재고기지에서 주문을 처리한다(환적). 모든 재고기지의 재고가 소진된 경우, 주문은 지체주문으로 처리되고, 배정된 재고기지의 재고보충주문 주기가 도달하기 까지 기다려야 한다. 재고기지에서의 재고관리 방식은 변용된 2단계 재고시스템과 동일하게 (R, S) 재고시스템을 이용한다.

소매점 및 재고기지에서의 재고보충주기 및 목표재고수준도 각기 독립적으로 결정되며 모든 소매점과 재고기지들에서의 최적의 재고보충주기 및 목표재고수준은 시뮬레이션 패키지로 이용된 ARENA 13.0에 내장된 유전 알고리즘을 이용하여 구해졌다. 3종의 재고시스템은 모두 원점에 공장이 있고, 모든 재고기지과 소매점은 원점에서 일정 반경(R = 300)으로 시뮬레이션에서 가정)안에 존재한다고 가정하였다. 이하에서 상술되는 여러 파라미터 이외에도 소매점 발생 주문량의 분산과 평균, 그리고 소매점 및 재고기지의 위치 반경, 소매점의 수, 재고기지의 수 등은 시뮬레이션 실행 시 모두 변경되어 민감도 분석에 이용되는 바, 현재의 값 세팅이 일반성을 잃어버리지는 않는다.

## 2.2 시스템에서의 제반 비용 및 서비스 수준 제약

시뮬레이션에서 사용되는 제반 비용과 관련되는 기호들은 다음과 같다.

$h$  : 재고기지의 주문량 단위당 단위기간 재고보유 비용

$mh$  : 소매점 보유 자체재고의 단위당 단위기간 재고보유 비용

$R$  : 재고기지의 재고보충주기

$MR$  : 소매점의 재고보충주기

$f$  : 재고기지의 재고보충 회당 주문비용

$mf$  : 소매점 재고기지(retailer depot)의 재고보충 회당 주문비용

$w_j^i$  :  $i$  소매점 발생 주문  $j$ 의 대기시간

$st_i$  : 소매점  $i$  발생 주문 1단위 대기시간당 지체비용

$S_i$  :  $i$  소매점에서의 품절비용

$d_j^i$  :  $i$  소매점에서의  $j$  주문의 주문량

$trans\_coeff$  : 재고기지 및 소매점의 재고보충을 위한 수송 비용 계산을 위해 시간 및 거리의 비용 환산 요소

$trans\_coeff\_retailer$  : 소매점으로부터의 주문을 처리하기 위한 다른 소매점 재고기지 또는 재고기지와 소매점 사이의 수송 거리 또는 시간을 비용으로 환산하는 요소

$delay\_coeff\_retailer$  : 소매점주문이 처리되는 소매점 재고기지 또는 재고기지로부터의 거리를 시간지체(Lead Time)에 반영하는 시간지체 상수

3종의 재고시스템 모두 각 소매점(소매점 재고가 있는 경우) 및 재고기지의 재고보충을 위한 상위단계로의 요청은 총 재고보충횟수에 회당 주문 비용  $f$ (소매점 재고기지는  $mf$ )를 곱한 값으로 결정된다. 시뮬레이션에서는 재고기지에서의 주문비용이 소매점 자체 재고기지에서의 주문비용보다 월등히 비싼 값으로 설정하였다(<Table 1> 참조). 재고기지 재고비용은 일정기간 동안의 평균 재고수준에  $h$ 를 곱한 값으로 계산된다. 소매점 재고비용은 마찬가지로 일정기간 동안의 평균 재고 수준에  $mh$ 를 곱한 값으로 계산된다.

소매점 재고기지 또는 재고기지에서의 재고보충을 위한 수송비용은 해당 재고기지로부터의 거리에 재고보충 거리상수( $trans\_coeff$ )를 곱하여(주문량과는 무관) 계산된다. 소매점에서의 주문을 위한 수송비용은 거리에 주문 거리상수( $trans\_coeff\_retailer$ )를 곱하여(보충되는 재고량과 무관) 계산된다. <Table 1>에서 보듯이 기본 파라미터 세팅에서는 소매점에서의 주문을 위한 주문 거리상수는 재고보충을 위한 재고보충 거리상수보다 3배 더 비싸게 책정하였다(<Table 1> 참조). 이는 재고보충을 위한 수송비용은 대규모로 이루어져 수송비용의 절감이 이루어지는 현실을 반영하고 있다. 이하 <Table 2>에서 <Table 6>까지의 시뮬레이션 결과는 특별한 언급이 없는 이상 <Table 1>의 파라미터 세팅을 따른다.

<Table 1> Basic Parameters

Parameter	Value	Parameter	Value
Transportation Cost for replenishments(trans_coeff)	15	Ordering Cost at retailer depot(m f <sub>i</sub> )	4000
Transportation Cost for retailer orders (trans_coeff_retailer)	45	Order Quantity Distribution	Normal (150,100)
Unit Inventory Cost at depot(h)	400	Service Level(fill rate)	70%
Unit Inventory Cost at retailer depot(mh)	400	Transportation delay coefficient for retailer orders (delay_coeff_retailer)	3
Ordering Cost at depot(f <sub>i</sub> )	40,000	Unit Shortage Cost(st <sub>i</sub> )	15

소매점에서의 주문은 결국 모두 처리되며, 판매 손실은 가정되지 않는다. 그러나 소매점 i에서의 주문처리가 재고기지 또는 소매점 재고기지에서의 품절로 지체되면, 특정시점 곧 지체 비용 부과시점(C)를 초과하여 대기한 모든 주문에 대하여 품절비용이 아래 식과 같이 계산된다. 본 연구에서는 부과시점을 모두 3일로 통일하였다.

$$S_i = \sum_{\text{Every order } k \text{ in period}} st_i d_i^k \text{Max}(0, w_i^k - C)$$

한편 소매점에서의 주문이 처리될 때 주문이 처리되는 소매점 재고기지 또는 재고기지에서부터의 거리에 비례하여 시간지체가 발생한다. 곧 리드타임을 감안하여야 한다. 주문 1건당 해당거리에 일정 시간 지체상수(delay\_coeff\_retailer)를 곱하여 시간지체가 계산되어 품절비용에 합산된다. 장거리에 위치한 재고기지를 이용하게 되면 리드타임이 길어져 품절비용이 증가한다.

고객의 서비스 수준을 판단하는 기준은 즉시 주문 서비스 비율(fill rate)로서 주문이 지체됨이 없이 주문 즉시 재고로부터 보충되는 비율을 의미한다. 우리는 이 비율을 바꿔 가면서, 민감도 분석을 시도하였다.

시뮬레이션은 ARENA 13.0 및 Visual Basic을 사용하여 모형화되었으며, 730일을 Warming up 시간으로 1095일을 종료일로 하여 실행되었다. 실험의 반복횟수(replication)는 20회로 책정하였다.

### 3. 시뮬레이션 실행 및 분석

본 연구의 시뮬레이션 분석의 목적은 크게 3가지이다. 우선 기본 파라미터 및 소매점 및 재고기지들이 위치하고 있는 전체 환경, 소매점 수, 주문량, 서비스 수준 변화에 따라 3종의 재고 시스템 중에서 가장 비용이 적게 드는 시스템이 어느 것인지 체크해본다. 일정한 서비스 수준(fill rate)을 가정한 상태에서의 총비용으로 3종의 시스템을 비교한다. 다음은 재고시스템의 통합에 따라서 즉 재

고기지 수의 변화에 따라 재고시스템들의 상호간 우월성 변화를 검토한다(이상 제 3.1절 및 제 3.2절) 마지막으로 각 재고시스템 별로 재고통합의 효과가 있는지 없는지를 검토한다. 재고기지 수를 줄였을 때 총비용의 감소가 있는지 아니면 반대로 총비용이 증가하는지를 각 재고시스템 별로 검토한다(제 3.3절).

### 3.1 기본 파라미터 변화에 따른 우월성 비교

#### 3.1.1 수송비용 변화

먼저 수송비용을 <Table 2>와 같이 변화시켜 보았다. <Table 2>는 변화를 주는 파라미터 세팅으로 수송비용에 영향을 가장 많이 주는 거리상수들을 채택, 이들을 3단계로 변화시켜 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다. 앞에서 언급한 3가지 정책(Policy)은 A, B, C로 표기되고 있다. A는 변용된 2단계 재고시스템이며 1단계 재고시스템은 B로 표기되었다. C는 일반적인 2단계 재고시스템이다. 이들 정책들이 재고기지 수에 따라 시뮬레이션 결과가 다르기 때문에 먼저 재고기지 수(depot = 3은 재고기지 수가 3개를 의미)에 따라 그 결과가 보여지고 있다. 다음 opt/A' opt는 기준이 되는 정책 A의 시뮬레이션 결과로 나온 최적 평균비용에 대비하여 각 정책의 최적 평균비용의 비율이 얼마인가를 표시하고 있다. HCI/A'opt는 각 정책의 95% 신뢰구간의 절반(Half of Confidence Interval : HCI)을 기준이 되는 해당 재고기지 수에서의 A정책의 최적 평균비용으로 나눈 값으로 표준화하였다. 따라서 해당정책의 A정책 대비 평균비용(opt/A'opt)에 이 값을 빼고 더한 값은 해당정책의 95% 신뢰구간의 하한과 상한을 A정책 대비 비율로 나타난 값이 된다. 이 값으로 다른 정책과의 통계학적 비용차이를 검증할 수 있도록 하였다.

<Table 2>에서 확인할 수 있는 것은 재고기지 수(depot)와 무관하게 대체로 수송비용이 증가하면 <Table 2>에서 A정책이 B로 표기된 1단계 재고시스템보다 점점 열등하게 된다. 이는 수송비용이 증가할수록 A정책 대비 평균비용이 대체로 감소하는 것으로 나타난다. 이것은 수송비용의 비중이, 소매점 재고를 운영하면서 소매점간

환적수송을 허용하는 정책 A가 가끔 장거리 재고기지 간 환적이 일어나는 이외에는 지정된 가장 가까운 재고기지(배정된 재고기지) 사이의 수송만을 허용하는 B보다 훨씬 크기 때문에 이해된다. 그러나 모든 경우를 동틀어 A정책과 B정책의 차이는 오차범위 이내에 있다. A정책에 대비해 B정책의 총비용 격차가 가장 큰 것으로 나타나는 1번째 케이스에서도 재고기지 수가 5개 일때(depot = 5) HCI/B'opt가 117.5%로서 이는 A정책의 비율(HCI/B'opt)에 해당 HCI 8.7% 더한 값이 B정책의 비율에 10.4%를 뺀 것보다 커서 신뢰구간이 겹치는 것으로 확인된다.

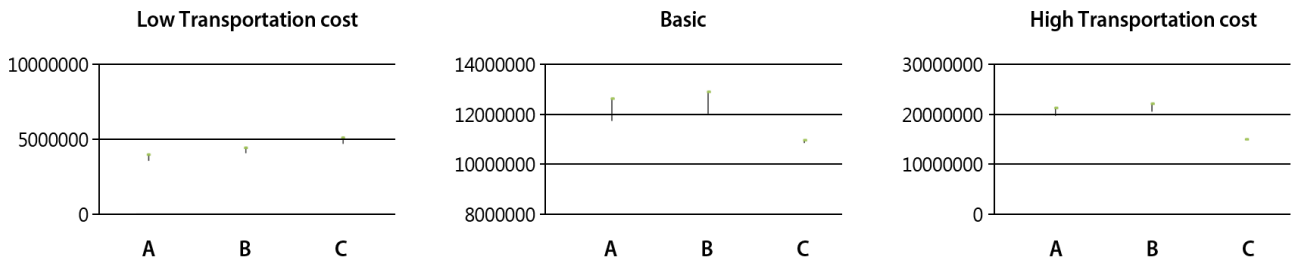
한편 <Table 2>에서 policy C로 표시된 단순 2단계 재고시스템은 환적이 전혀 허용되지 않으므로 수송비용이 커지게 되면 유리하게 된다. 이것은 <Table 2>에서 체계적으로 확인된다. 수송비용이 가장 작은 1번째 케이스에서는 113%였지만 수송비용이 가장 큰 3번째 케이스에서 정책 A에 비해 64.2% 수준의 최적 평균비용으로 비용에서 유리해진다(재고기지 수가 3개일 때). HCI를 고려하면 통계학적 오차범위를 훨씬 넘는 수준이다.

현재 품질비용이 낮게 책정되어 있는 상태(품질비용에 영향을 미치는 지체승수(delay\_coeff\_retailer) 및 단위당 품질비용(unit\_shortage\_cost)이 이하의 다른 실험에 비해 낮음)에서 수송비용이 낮은 경우 모든 재고기지 수 및 정책을 동틀어 A정책이 유리하고 수송비용이 높은 경우, C정책이 유리한 것으로 나타난다. 이는 재고기지 수와 상관없이 각 파라미터 세팅별 즉 <Table 2>의 3가지 파라미터 세팅에 각각 대응하는 <Figure 3>의 3개 그래프에서 확실히 보인다. 이 그래프에서 각 정책별 (A, B, C)로 통계학적으로 추정되는 범위(95% 신뢰구간)의 비용이 수직직선으로 그려지고 있다 수송비용이 높은 경우는 맨 왼쪽의 그림이고 여기서 A정책이 가장 그 비용의 범위가 낮게 나타나고 있다. 그러나 오른쪽 2개의 그래프를 보면 수송비용 비중이 올라갈수록 C정책이 가장 낮은 비용의 범위를 보이고 있다. 이들은 모두 통계학적 신뢰구간을 벗어나는 것으로 보인다. 그러나 수송비용 비중이 올라가는 경우, A정책과 B정책의 차이는 통계학적 유의수준 이내에 있어 일방적 비용우위가 관측되지는 않는다.

<Table 2> Simulation Result with Transportation Cost Change

Parameters by Cases	Policy	opt. when depot = 1	opt. when depot = 3	opt when depot = 5	depot = 1		depot = 3		depot = 5	
					opt/A' opt	HCI/A' opt	opt/A' opt	HCI/A' opt	opt/A' opt	HCI/A' opt
Low Transportation cost trans_coeff = 2, trans_coeff_retailer = 5	A	4,200,557	<b>3,759,262</b>	4,764,826	100.0	11.3	100.0	11.3	100.0	8.7
	B	4,416,903	4,270,747	5,601,005	105.2	12.1	113.6	10.3	117.5	10.4
	C	3,858,138	4,937,145	6,591,966	91.8	2.7	131.3	12.1	138.3	12.1
Basic Setting trans_coeff = 15, trans_coeff_retailer = 45	A	14,426,154	12,169,486	13,071,589	100.0	8.7	100.0	8.7	100.0	8.7
	B	12,923,748	12,561,575	12,455,732	89.6	7.8	103.2	9.1	95.3	8.3
	C	14,445,428	<b>10,905,035</b>	13,854,316	100.1	8.7	89.6	0.9	106.0	9.2
High Transportation cost trans_coeff = 30, trans_coeff_retailer = 90	A	26,560,170	22,892,079	20,411,452	100.0	11.4	100.0	11.4	100.0	8.7
	B	23,476,145	21,354,023	21,375,190	88.4	10.1	93.3	8.2	104.7	9.1
	C	25,316,162	<b>14,694,633</b>	16,722,375	95.3	10.8	64.2	0.6	81.9	7.1

\*A indicates 1 echelon system in <figure 1>. B Variant Inventory system. C indicates 2 Echelon system HCI indicate each policy's HCI(Half Confidence Interval). opt indicate each policy's optimal cost. All Tests are done in this table with the parameters : delay\_coeff\_retailer = 0.05, unit\_shortage\_cost = 0.5.



\* left axis indicates the minimum cost range (regardless of depot number), horizontal axis the policies.

<Figure 3> Minimum Cost for each policies By Transportation Cost

3.1.2 품질비용 변화

품질비용을 증가시키게 되면 품질에 대비하기 위해 재고를 비축하게 되고, 소매점 재고를 소매점 수만큼 보유하고 있는 A정책에 비해 재고기지에만 재고를 보유하고 있는 B정책이 재고통합으로 유리해진다. 재고비 비중이 상승하는 경우 재고통합효과가 더 커지기 때문이다. 이는 <Table 3>에서 확인되고 있다. 품질비용과 직접적인 관련이 있는 지체승수(delay\_coeff\_retailer)와 단위당 품질비용(unit\_shortage\_cost)이 높아질수록 즉 <Table 3>에서 아래 케이스일수록 A정책의 최적비용 대비 B정책의 최적비용 비율(opt/A'opt)이 하락한다(재고기지 수 = 3, 5). 그러나 재고기지 수가 1개인 경우에는 품질관련 비용이 상승할수록 그 비율이 일률적으로 상승한다. 품질비용 비중이 재고기지가 하나이므로 높은 상태에서 소매점 재고를 활용하는 A정책은 수송시간이 짧아서, 수송시간으로 지체되는 시간의 절약이 품질비용 절약으로 이어진다. 이러한 A정책의 이점이 재고통합으로 인한 A정책의 이점보다 크게 됨에 따른 것으로 보인다. 품질비용 비중이 낮은 경우에는 오히려 소매점 재고기지를 위한 과도한 수송비용으로 B정

책이 평균 총비용면에서 A정책보다 열등하게 나타난다.

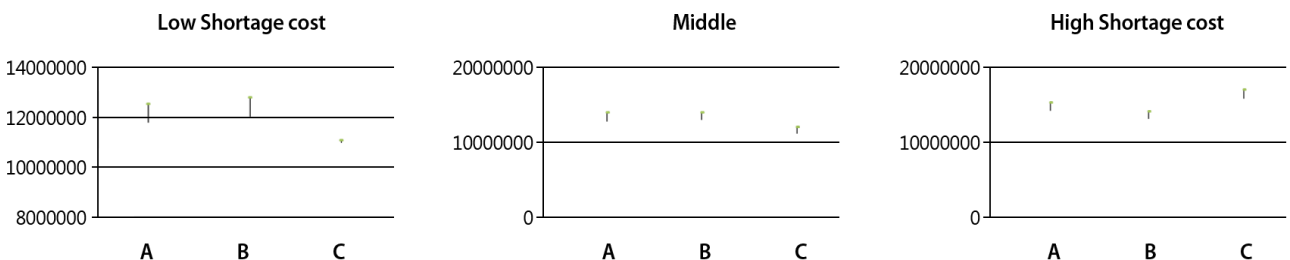
C정책은 환적의 이점을 전혀 살리지 못하므로 품질비용 증가로 재고비중이 상승하게 되면 환적의 이점이 있는 A, B정책에 비해 비용 면에서 열등하게 된다. 이는 품질비용이 크게 증가하는 3번째 케이스에서 확인된다. 1, 2번째 케이스에서는 오히려 품질비용보다는 수송비용이 영향을 크게 발휘하여 환적으로 인한 수송비용 비중이 큰 A, B정책에 비해 C정책이 유리하게 나타난다.

전체적으로 3가지 정책을 비교하기 위해 재고기지 수와 상관없이 각 파라미터 세팅별로 각 정책에서 가장 낮은 비용의 범위를 그래프로 나타낸 <Figure 4>를 보면 각 정책별 우월성이 한 눈에 드러난다. 품질 관련 비용이 낮은 경우에는 C정책이, 품질 관련 비용이 높은 경우에는 B정책이 오차범위를 넘거나 거의 오차범위를 넘어서는 정도로 유리하게 나타난다(<Table 3>의 굵은 숫자도 확인). C정책이 유리하게 나타나는 케이스((<Table 3>의 1, 2번째 케이스)에서는 품질비용 수준이 낮아서 상대적으로 수송비용 비중이 높아진 상태에서 C정책은 환적을 위한 수송비용 부담이 없기 때문이다.

<Table 3> Simulation Results with Shortage Cost Related Parameter Change

Parameters By Cases	Policy	opt. when depot = 1	opt. when depot = 3	opt when depot = 5	depot = 1		depot = 3		depot = 5	
					opt/A' opt	HCI/A' opt	opt/A' opt	HCI/A' opt	opt/A' opt	HCI/A' opt
Low Shortage cost delay_coeff = 0.05, unit_shortage_cost = 0.5	A	14,426,154	12,169,486	13,071,589	100.0	8.7	100.0	8.7	100.0	8.7
	B	12,923,748	12,561,575	12,455,732	89.6	7.8	103.2	9.1	95.3	8.3
	C	14,445,428	<b>10,905,035</b>	13,854,316	100.1	8.7	89.6	0.9	106.0	9.2
delay_coeff = 0.1, unit_shortage_cost = 1.0	A	14,673,631	13,579,972	13,719,624	100.0	11.4	100.0	11.4	100.0	8.7
	B	17,628,830	13,782,820	13,718,611	120.1	13.7	101.5	8.8	100.0	8.7
	C	13,265,965	<b>11,708,691</b>	12,300,199	90.4	10.3	86.2	7.6	89.7	2.3
High Shortage cost delay_coeff = 3.0, unit_shortage_cost = 15.0	A	18,156,907	16,686,675	15,210,576	100.0	10.2	100.0	9.5	100.0	9.0
	B	23,192,594	<b>16,234,775</b>	<b>13,989,223</b>	127.7	19.1	97.3	9.2	92.0	8.2
	C	18,748,623	17,704,908	17,069,452	103.3	10.6	106.1	10.1	112.2	10.4

\*A, B, C policy and HCI, opt all indications are same as in <Table 2>. All Tests are done in this table with the parameters : trans\_coeff\_retailer = 45.0, trans\_coeff = 15.0.



\*axis indication same as <Figure 3>.

<Figure 4> Graph the Minimum Cost for Each Policy By Shortage Cost



3.1.3 수송비용 감소에 따른 재고비용 비중 증가

수송비용이 감소하면 상대적으로 재고 및 품질비용 그리고 주문비용 비중이 상승한다. 최적의 정책은 재고를 보유하기보다 잦은 주문 및 수송으로 상대적으로 높아진 품질 및 재고비용 부담을 완화시킨다. A정책은 수송비용이 낮은 이점을 최대한 활용하여 소매점 재고를 활용, 품질비용을 절감 B정책에 비해 상대적으로 유리해질 것이다. A정책은 소매점 재고가 소매점 근처에 위치하여 수송으로 인하여 지체되어 발생하는 품질비용을 최대한 절감할 수 있기 때문이다. 물론 B정책은 상대적으로 재고비용 비중이 상승하였기에 재고통합의 효과로 A정책보다 우월하다고 할 수도 있을 것이다.

이러한 효과를 살펴보기 위해 <Table 4>는 재고보충을 위한 수송비용 및 소매점 주문을 위한 수송비용을 대폭 낮추되 품질관련비용은 기존과 같이 상대적으로 높게 유지하여 시뮬레이션을 실행한 결과를 보여준다. <table 4>의 1번째 케이스는 수송비용을 약 1/9로 낮춘 것의 결과이고 2번째 케이스는 소매점 재고활용도를 높이기 위해서 추가적으로 소매점 재고비용을 1번째 케이스의 10%로 낮춘 것의 결과이다.

시뮬레이션 결과 재고통합의 효과보다는 소매점 재고로 인한 품질비용 절감의 효과가 대체로 큰 것으로 나타났다. <Table 4>에 의하면 각 케이스별로 A정책의 최적비용으로 B정책의 최적비용을 나눈 값이 대부분 100%보다 큰 것으로 나오고, 2가지 케이스 모두 모든 재고기지 수 및 정책을 동틀어 A정책이 우월한 것으로 나타났다 (<table 4> 굵은 숫자 확인). 추가적으로 소매점 재고의 비용을 낮춘 2번째 케이스의 결과는 소매점 재고를 활용한 A정책의 우월성이 재고기지 수가 1개와 3개일 때는 케이스 1보다 더 강화되지만 전부 오차범위 안에 있어 그리 큰 효과를 볼 수 없음을 알 수 있다. 이는 소매점 재고를 활용하지만 총비용에는 미미한 영향을 미쳐 비용절감의 큰 효과는 볼 수 없음을 확인시켜 준다.

C정책은 재고 및 품질비용의 비중이 상승하여 환적을

하지 않는데 따른 A, B정책에 대한 상대적 불리함이 더욱 커져 대부분 오차범위를 넘어서 A, B정책에 비해 불리하다. 전체적으로 본 소절의 실험에서와 같이 수송비용 비중이 크게 떨어지고 재고, 품질비용 비중이 상승할 경우 A정책이 B정책에 대해 총비용면에서 우월성이 보이거나 통계학적으로 검증되지는 않는다. C정책은 환적을 하지 않는다는 불리함이 A, B정책 대비 오차범위를 넘는 수준의 불리함으로 나타나고 있다. 특히 소매점 재고보유 비용이 감소하는 경우 더욱 불리해지는 바, 소매점간 환적을 하지 않는 C정책의 A정책에 대한 불리함이 더욱 증폭되는 것으로 보인다.

3.1.4 재고기지 수에 따른 정책간 비용우위 변화

재고기지 수가 증가하면 B정책은 A정책에 대해 가지고 있는 총비용 우위의 원인인 재고통합의 효과가 약해지고(재고기지에서의 생산, 수송비용, 환적비용 증가가 원인) 반면 A정책의 B정책에 대한 우위 요소 즉 소매점 재고기지의 활용에 의한 품질, 수송비용 절감 효과가 약해지는 바(B정책은 인접 재고기지에서의 근거리 수송을 더욱 활용하기 때문), A, B정책 간 일률적인 재고기지 수 증감에 따른 총비용 우위변화의 방향을 이야기할 수 없다. 수송비용 비중이 아주 높은 <Table 2>의 3번째 케이스는 재고기지 수가 증가하면 A정책의 비용 우위가 강화되고 있고, 품질비용이 아주 높은 경우인 <Table 3>의 3번째 케이스는 B정책의 A정책에 대한 우위가 재고기지 수가 증가할수록 일률적으로 강화되는 것으로 관측된다. 그 밖에는 일률적인 방향을 이야기할 수 없다.

한편 재고기지 수가 증가하면 재고기간 환적이 안되는 C정책은 재고비용면에서 A정책에 비해 불리해진다. 그러나 한편으로는 원거리 환적에 따른 수송비용 부담이 없으므로 재고기지 수가 증가할수록 유리한 측면도 있어 역시 일방적으로 한쪽이 유리해진다고 할 수 없다. 상대적으로 재고비용 비중이 큰 <Table 2>의 1번째 케이스와 <Table 3>의 3번째 케이스만 일률적으로 C정책이 재고기지 수 증가에 따라 불리해지는 면이 관측된다.

<Table 4> Simulation Results with Higher Inventory and Shortage Cost Portion

Parameter Change	Policy	opt. when depot = 1	opt. when depot = 3	opt when depot = 5	depot = 1		depot = 3		depot = 5	
					opt/A' opt	HCI/A' opt	opt/A' opt	HCI/A' opt	opt/A' opt	HCI/A' opt
Basic setting : mh = 400	A	8,308,953	8,669,813	<b>8,262,861</b>	100.0	14.9	100.0	11.3	100.0	10.0
	B	8,943,670	8,441,625	8,657,884	107.6	15.9	97.4	14.3	104.8	10.2
	C	9,065,404	13,993,366	12,503,869	109.1	15.3	161.4	29.0	151.3	18.3
Inventory holding cost Decrease mh = 40	A	<b>8,084,553</b>	8,442,217	8,541,292	100.0	19.3	100.0	14.9	100.0	11.8
	B	8,943,670	8,441,625	8,657,884	110.6	21.4	100.0	14.6	101.4	9.9
	C	17,057,290	17,127,784	15,638,315	211.0	31.5	202.9	20.3	183.1	18.7

\*A, B, C policy and HCI, opt all indications are same as in <Table 2>. All Tests are done in this table with the parameters : delay\_coeff = 3.0, unit\_shortage\_cost = 15.0, trans\_coeff = 2, trans\_coeff\_retailer = 5.



### 3.2 위치 반경 및 소매점 수 변화 그리고 주문량 및 서비스 수준 변화에 따른 우월성 비교

#### 3.2.1 위치 반경 및 소매점 수 변화

소매점과 재고기지가 위치하고 있는 지점과 원점까지의 거리를 결정하는 반경(R : Diameter)이 줄어들면 일차적으로 수송비용 비중이 작아질 것이다. 다른 모든 변수들은 그대로이므로 재고비용과 품질비용의 비중은 증가하고 수송비용의 비중은 작아질 것이다. 제 3.1.1절에서 보았듯이 이 경우는 수송비용이 작아지는 경우와 동일할 것이기 때문에 A정책이 보다 유리해질 것으로 보인다. 또한 품질 및 재고비용 비중이 올라가면서 제 3.1.2절에서 언급하였듯이 재고통합효과 측면에서 장점을 가지고 있는 B정책도 보다 유리해질 것이다. <Table 5>에서 보이는 바와 같이 초기에 높은 수송비용으로 인한 C정책의 우월성이 A정책이 유리해지면서 약화되고 있는 것이 보인다. 이는 재고기지 수가 3개인 경우 A정책으로 C정

책의 비용을 나눈 값이 89.6%에서 96%로 올라가면서 확인된다. 재고기지 수가 1개인 경우도 확인된다. A정책과 B정책 간에는 상호 유리해지는 점이 겹치면서 확실하여 어느 일방의 유리해지는 점은 드러나지 않는다.

소매점 수가 감소하는 경우는 수송비용 비중이 증가하는 경우로서 앞선 경우와 동일하게 C정책이 보다 더 유리해지고 품질비용 및 재고비용 비중은 감소하게 되므로 A정책과 B정책은 불리해질 것이다. <Table 5>에서 C정책이 유리해지는 점은 재고기지 수와 상관없이 확인되고 있다. A정책과 B정책 간에서는 어느 일방의 우월성이 강화되지는 않는 것으로 보인다. 소매점 수가 감소하고 동시에 반경이 감소하는 경우 반경감소로 수송비용 비중이 감소할 것 같지만 동시에 소매점 수의 감소로 재고 및 품질비용도 감소하여 원래의 세팅(<Table 5>의 Basic Case)에서 큰 변화가 없을 것으로 보이고 재고기지의 수와 상관없이 원래의 세팅에서와 같이 각 정책 상호 간에 오차범위를 넘어서는 우월성은 확인되지 않는다.

<Table 5> Simulation Results with Diameter and Retailer Number Decrease

Parameter	Policy	opt. when depot = 1	opt. when depot = 3	opt when depot = 5	depot = 1		depot = 3		depot = 5	
					opt/A' opt	HCI/A' opt	opt/A' opt	HCI/A' opt	opt/A' opt	HCI/A' opt
Basic Case : N = 30, R = 300	A	14,426,154	12,169,486	13,071,589	100.0	8.7	100.0	8.7	100.0	8.7
	B	12,923,748	12,561,575	12,455,732	89.6	7.8	103.2	9.1	95.3	8.3
	C	14,445,428	<b>10,905,035</b>	13,854,316	100.1	8.7	89.6	0.9	106.0	9.2
Diameter Decreased : R = 150	A	8,902,503	7,852,909	8,673,366	100.0	1.1	100.0	11.6	100.0	8.7
	B	9,229,802	7,998,438	8,816,256	103.7	11.8	101.9	9.3	101.6	8.9
	C	8,786,389	<b>7,536,880</b>	9,052,741	98.7	11.2	96.0	1.2	104.4	2.1
Retailer Number Decreased : N = 15	A	9,290,218	6,856,757	7,518,525	100.0	11.4	100.0	11.4	100.0	8.8
	B	9,524,979	7,304,648	7,110,008	102.5	12.0	106.5	9.4	94.6	8.6
	C	8,678,352	<b>6,332,985</b>	6,778,431	93.4	10.7	92.4	8.0	90.2	1.3
Retailer Number Diameter Both Decreased : N = 15, R = 150	A	5,445,505	5,481,743	5,878,670	100.0	11.4	100.0	11.8	100.0	9.0
	B	5,586,469	5,450,108	5,349,827	102.6	12.3	99.4	9.1	91.0	8.0
	C	6,721,279	<b>5,329,955</b>	5,985,569	123.4	14.1	97.2	8.5	101.8	0.0

\*A, B, C policy and HCI, opt all indications are same as in <Table 2>. All Test done in this table with the parameters : trans\_coeff\_retailer = 45.0, trans\_coeff = 15.0, delay\_coeff = 0.05, unit\_shortage\_cost = 0.5.



\*axis indication same as in <Figure 3>.

<Figure 5> Graph the Minimum Cost for Each Policy By Diameter and Retailer Number Change

<Figure 5>는 각 파라미터 세팅별로 각 정책별 최적비용의 범위를 나타내고 있다. 먼저 가장 왼쪽의 그림이 보여주는 바와 같이 반경이 줄어드는 경우, A, B정책이 유리해지나 분산이 작은 C정책이 오차범위 이내에 있어, A, B정책의 C정책에 대한 우위가 통계학적으로는 확인이 되지 않고 있다. 나머지 오른쪽 2개의 그래프들은 소매점 수가 줄거나 반경과 소매점 수가 다 같이 줄어드는 경우 3가지 정책이 비용면에서 통계학적 오차범위를 넘어서는 차이를 보여주지 못함을 보여주고 있다. 그리고 <Figure 5>는 A, B정책 간에는 모든 변화를 동틀어 오차범위를 넘어서는 최적비용 면에서의 차이가 보이지 않고 있음을 보여주고 있다.

3.2.2 주문량 분포 변화

주문량의 평균이 증가하든지 분산이 증가하게 되면 재고비 비중이 증가한다. 추가적으로 분산이 증가하게 되면 수요 변동이 심화되어 품질비용도 증가하고 품질에 대비한 재고비 비중은 더욱 증가할 것이다. 이러한 이유로 재고비 비중이 증가하면 유리한 B정책의 다른 정책에 대한 상대적 비용우위가 <Table 6>에 보인다. 케이스 1은 기본 세팅이 적용되었고 케이스 2는 평균이 케이스 3은 분산이

증가한 시뮬레이션 결과이다. 대체로 케이스 1과 케이스 2, 그리고 케이스 1과 케이스 3을 비교하면 B정책의 A정책에 대한 우월성이 강화되고 있음을 알 수 있다.

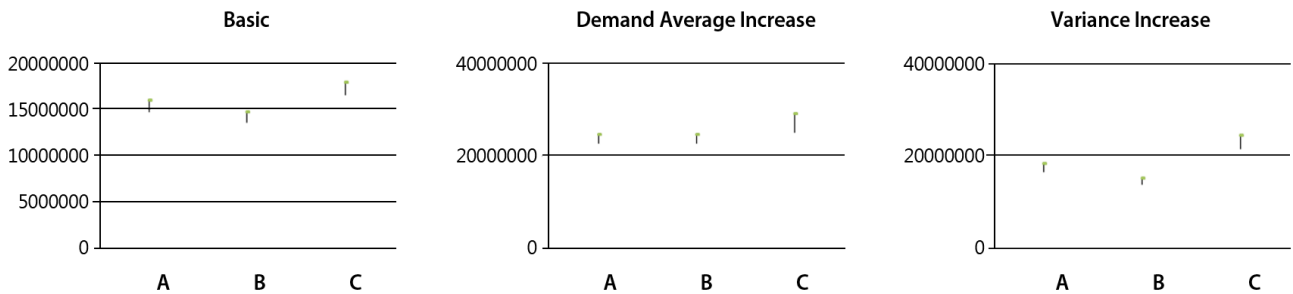
C정책은 환적을 전혀 하지 못하는 이유로 케이스 1과 케이스 2, 케이스 1과 케이스 3을 비교해보면 일률적으로 큰 폭으로 C정책이 A정책에 비해 비용 면에서 열등해지고 있음을 알 수 있다. A의 최적 평균비용 대비 C정책의 평균비용 비율이 100%를 넘어서 더 수치가 커지고 있음을 확인할 수 있다. 다만 재고기지 수가 1개인 경우 오차범위 이내이긴 하지만 C정책이 A, B정책 모두에 대해 우월함을 보여주고 있다. 재고기지 수가 1개인 경우에는 재고기지 이하의 재고가 전체적으로 부족해지고 잦은 수송 및 생산으로 재고보충을 하지 않을 수 없는 바, 수송비용 측면에서 유리한 C정책이 다소 우월함을 보이는 것으로 해석할 수 있다.

전체적으로 수요의 평균이 커지면 B정책의 A 및 C정책에 대한 비용우위가 강하게 되고 C정책에 대한 비용우위는 오차범위를 넘어서는 것이 <Figure 6>에서 확인된다. 그러나 A정책과 B정책은 기준이 되는 케이스(Basic)과 비교하여 볼 때, 신뢰구간이 겹쳐져서 상호 우월성을

<Table 6> Simulation Results with Demand Average and Variation Increase

Parameter	Policy	opt. when depot = 1	opt. when depot = 3	opt when depot = 5	depot = 1		depot = 3		depot = 5	
					opt/A'	HCI/A'	opt/A'	HCI/A'	opt/A'	HCI/A'
					opt	opt	opt	opt	opt	opt
Basic Setting Norm(150,100)	A	18,156,907	16,686,675	15,210,576	100.0	10.2	100.0	9.5	100.0	9.0
	B	23,192,594	16,234,775	<b>13,989,223</b>	127.7	19.1	97.3	9.2	92.0	8.2
	C	18,748,623	17,704,908	17,069,452	103.3	10.6	106.1	10.1	112.2	10.4
Demand average Increase Norm(450,100)	A	27,074,132	25,897,525	23,633,660	100.0	18.8	100.0	15.2	100.0	9.6
	B	25,245,517	23,552,391	<b>23,536,816</b>	93.2	16.8	90.9	10.4	99.6	9.6
	C	27,090,197	27,827,678	28,036,308	100.1	18.9	107.5	12.4	118.6	11.3
Variance Increase Norm(150,300)	A	23,173,712	17,376,645	18,107,730	100.0	16.4	100.0	11.4	100.0	8.7
	B	23,325,277	14,547,029	<b>14,384,739</b>	100.7	17.6	83.7	7.4	79.4	7.1
	C	22,885,289	24,126,555	23,946,372	98.8	16.2	138.8	17.2	132.2	12.7

\*A, B, C policy and HCI, opt all indications are same as in <Table 2>. All Tests are done in this table with the parameters: delay\_coef = 3.0, unit\_shortage\_cost = 15.0.



\*axis indication same as in <Figure 3>.

<Figure 6> Graph the Minimum Cost for Each Policy By Demand Distribution Change

확인하기 어렵게 된다. 분산이 커지는 경우, B정책의 다른 정책들에 대한 비용우위가 오차범위를 넘어서는 것으로 확인된다(<Figure 6>의 3번째 그림). B정책의 우월성은 전반적인 재고통합의 효과에서 오는 것으로 보인다. B정책의 A정책에 대한 우월성은 한편에서는 A정책의 잦은 소매점간 환적으로 인한 과도한 수송비 부담에서도 기인된 것으로 보인다.

3.2.3 서비스수준 변화

서비스 수준은 고객 주문에 대하여 지체됨이 없이 즉시 대응할 수 있는 능력을 의미한다. 서비스 수준이 높아지는 경우에는 재고수준이 높아 재고통합의 효과가 커지고 품질비용 비중은 낮아진다. 이에 따라 재고통합으로 비용 우위가 있는 B의 우월성이 강화된다. 그렇지만 A정책의 경우 다수 소매점 재고기지 보유로 B에 비해 서비스 수준 유지를 위한 급격한 재고비용 증가가 완화될 수 있어 결과를 미리 예단하기는 어렵다. 서비스 수준이 제일 낮은 1번째 케이스에서 가장 높은 3번째 케이스에 이르기까지의 결과를 보여주는 <Table 7>을 보면 전부 오차범위 이내에 있어 B정책이 A정책에 대해 일방적으로 비용 우위에 있다고 이야기할 수 없다.

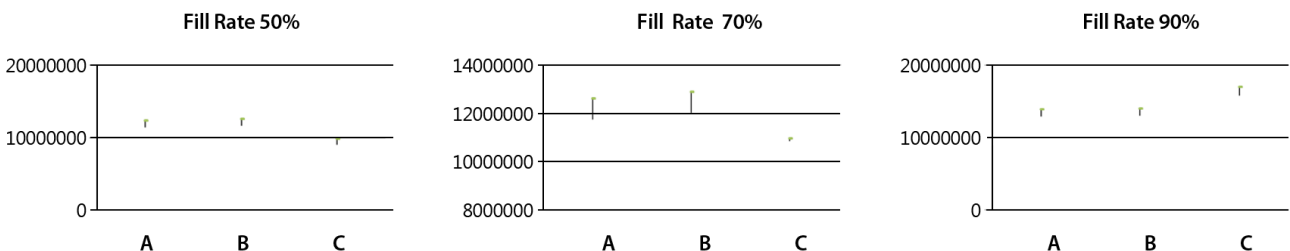
C정책은 전반적으로 높은 수송비용 비중 하(<Table 7>의 모든 케이스는 다른 소절의 시뮬레이션에 비해 상대적으로 높은 수송비용비중을 가지고 진행)에서 환적에 따른 수송비용을 부담하는 A, B정책에 비해 비용절감 면에서 좋으나, 서비스 수준이 상승하여 재고비용 비중이 높아지면 환적으로 인한 재고통합의 효과를 누리는 A나 B정책에 비해 더욱 불리해지는 것으로 보인다. <Table 7>에서 B정책 대비 C정책의 총비용 비율이 서비스 수준이 높아지면 일률적으로 상승한다(depot = 3, 5). 그러나 재고기지 수가 1개일 때는 재고기지 이하 재고의 전반적 부족에 따른 잦은 수송 및 생산으로 수송비용면에서 유리한 C정책이 유리해지는 측면도 있으므로 일률적 상승 경향은 없는 것으로 보인다.

전체적으로 <Figure 7>에서 보이듯이 1번째 케이스에서 재고비용 비중이 낮아 C정책의 오차범위를 넘는 비용 우위가 관찰되나, 재고비용 비중이 제일 높은 3번째 케이스에서는 C정책이 오차범위를 넘는 범위에서 A, B정책보다 총 비용이 많이 드는 것으로 나타난다. 그리고 재고기지 수 및 서비스 수준에 상관없이 A, B정책 간의 총 비용의 차이는 오차범위 이내에 있음이 <Figure 7>에서 확인된다.

<Table 7> Simulation Results with Service Level Increase

Parameter	Policy	opt. when depot = 1	opt. when depot = 3	opt when depot = 5	depot = 1		depot = 3		depot = 5	
					opt/A' opt	HCI/A' opt	opt/A' opt	HCI/A' opt	opt/A' opt	HCI/A' opt
fill rate : 50%	A	13,527,772	11,827,427	13,036,877	100.0	8.7	100.0	8.8	100.0	8.8
	B	12,805,603	12,519,860	12,075,908	94.7	8.2	105.9	9.3	92.6	8.2
	C	14,440,555	<b>9,397,676</b>	11,685,603	106.7	9.3	79.5	6.9	89.6	7.8
fill rate : 70%	A	14,426,154	12,169,486	13,071,589	100.0	8.7	100.0	8.7	100.0	8.7
	B	12,923,748	12,561,575	12,455,732	89.6	7.8	103.2	9.1	95.3	8.3
	C	14,445,428	<b>10,905,035</b>	13,854,316	100.1	8.7	89.6	0.9	106.0	9.2
fill rate : 90%	A	14,426,154	14,032,382	<b>13,395,597</b>	100.0	8.7	100.0	8.7	100.0	8.7
	B	14,248,594	14,415,068	13,478,550	98.8	8.6	102.7	8.9	100.6	8.8
	C	16,326,488	18,376,756	16,957,985	113.2	9.8	131.0	11.3	126.6	11.0

\*A, B, C policy and HCI, opt all indications are same as in <Table 2>. All Tests are done in this table with the parameters : delay\_coeff = 0.05, unit\_shortage\_cost = 0.5.



\*axis indication same as in <Figure 3>.

<Figure 7> Graph the Minimum Cost for Each Policy By Service Level Change

### 3.2.4 재고기지 수에 따른 정책간 비용우위 변화

제 3.1.4절에서의 설명과 동일하게 A, B, C 세 정책 간에 재고기지 수가 증가함에 따라 어느 한 정책이 일률적으로 유리해진다고 할 수 없다. 다만 A정책과 C정책을 비교하면 상대적으로 재고비용 비중이 큰 <Table 6>의 경우, 재고기지 수 증가에 따라서 A정책 대비 C정책의 비용 비율이 일률적으로 상승하고 있음을 확인할 수 있다. 그러나 수송비용 비중이 재고비용에 비해 상대적으로 큰 <Table 7>에서는 이를 확인할 수 없다. B정책의 A정책에 대한 우위가 재고기지 수가 증가할수록 일률적으로 강화되는 사례는 <Table 6>의 재고비용 비중이 큰 케이스 3의 경우와 케이스 1의 경우에만 찾아볼 수 있다.

## 3.3 정책별 재고통합의 효과

재고통합의 효과 즉 물류기기 수가 적을수록 비용우위가 나타나는 효과는 재고 통합에 의해서 리스크 풀링[12]이 이루어져 재고비용 절감이 이루어지기 때문이다. 재고통합의 효과는 환적이 허용되지 않으면 더욱 확실히 나타날 것이다. 환적이 허용되면 재고기지 수가 다수이어도 하나의 재고인 것처럼 비용절감이 이루어지기 때문이다.

환적이 허용되지 않는 C정책은 재고통합의 효과가 당연히 나타나서 재고기지 1개인 경우가 비용 면에서 가장 우위에 있어야 하지만 품질비용이 크거나(이 경우, 수송을 위한 지체비용을 감안하면 보다 근처에 물류기기가 있는 것이 즉 물류기기 수가 많을수록 유리함) 환적을 위한 수송비용 비중이 큰 경우(재고기지 수가 많아질수록 재고기지지에서 소매점으로 가는 평균거리가 짧아져서 수송비용이 감소), 재고통합의 효과가 잘 나타나지 않는 것으로 보인다. 수송비용 비중이 낮은 <Table 2>의 1번째 케이스에서는 확실한 재고통합의 효과가 나타나지만, 품질비용 비중이 증가하는 <Table 3>의 3번째 및 <Table 4>의 2번째 케이스에서는 재고통합에 반대되는 결과를 보인다. 다른 케이스들에서는 일률적인 재고통합 혹은 역의 재고통합의 효과가 보이지 않는다.

환적을 허용하는 A, B정책에서는 재고통합의 효과가 잘 나타나지 않고, 수송비용이 커지거나(<Table 2>의 3번째 케이스) 품질비용이 커지는 경우(<Table 3>의 3번째 케이스)는 C정책과 동일한 이유로 역의 재고통합 효과가 보인다.

## 4. 결론

우리는 3가지 정책을 총 비용 측면에서의 비교하여 보았다. 그 결과 2단계 재고시스템(C정책)과 환적을 허용하는 1단계 재고시스템(B정책)을 이용하는 정책은 우위가

드러나는 영역이 확실하다. 수송비용이 증가하면 C정책이 유리해지고(제 3.1.1절 및 제 3.1.2절 그리고 제 3.1.3절 참조) 품질비용이 증가하거나(제 3.1.2절 및 제 3.1.3절 참조), 수요량 또는 분산의 증가 혹은 서비스 수준의 상승으로 재고비용 비중이 커지면(제 3.2.2절 및 제 3.2.3절 참조) B정책이 유리해진다.

2단계 재고시스템에서 다단계 재고기지 상호간에 환적을 모두 허용하는 A정책은 수송비용 비중이 극도로 낮은 경우에 한해서 부분적으로 다른 정책 모두에 우위를 보이지만 B정책과는 총비용 면에서 오차범위 내의 우위를 보여 B정책에 대한 우위를 확실히 이야기하기 어렵다(제 3.1.3절 및 <Table 4>의 1번째 케이스 참조).

이상의 결과를 요약하자면 A정책은 다단계 재고기지 간 환적을 허용하는 측면에서 관리를 위한 업무의 실무적 복잡도가 증가하지만 총 비용측면에서 B정책에 대해 확실한 우위를 이야기하기 어려우므로 가치가 없을 수도 있다.

전통적 의미의 2단계 재고시스템(C정책)은 수송비용이 증가할 경우에 고려할 만한 가치가 있다고 할 수 있다. 그렇지만 분산이 커지거나, 서비스 수준이 상승하는 경우 C정책은 다른 정책들에 비해 통계학적으로 비용적인 측면에서 열등한 위치에 있다는 점이 입증된다는 점은 주목할 만하다.

그리고 재고기지 수의 증가에 따라 특정 정책이 유리해지는가 하는 것은 일률적으로 이야기할 수 없다(제 3.1.4절 및 제 3.2.3절 참조). 재고기지 수가 적을수록 비용측면에서 유리해지는 재고통합의 효과는 수송비용이 증가하든지, 품질비용이 증가하면 모든 정책에서 악화되든지 오히려 거꾸로 나타난다. 다만 환적이 전혀 허용되지 않는 C정책에서는 A, B정책에 비해 재고통합의 효과가 다소 강하게 나타난다(제 3.3절 참조).

이상의 결과는 실무자 및 경영자들에게 환경에 따라 어떠한 재고정책을 쓰는 것이 유리한지에 대한 일정한 지침을 줄 수 있다. 그러나 구체적으로 특정 파라미터 및 환경에서 가장 적은 비용을 발생시키는 최적의 재고정책 및 재고기지 수에 대하여서는 각각 시뮬레이션을 실행하여 찾을 수 밖에 없다. 이 점은 분석적인 방법이 아닌 시뮬레이션의 방법을 채택한대서 오는 한계점이다.

## Acknowledgement

This work was supported by a Research Grant of Pukyong National University (2014 year).

## References

- [1] Axsater, S., Exact analysis of continuous review(R, Q)-policies in two-echelon inventory systems with compound

- poisson demand. *Operations Research*, 2000, Vol. 48, No. 5, pp. 686-696.
- [2] Chen, F. and Zheng, Y., One warehouse multi retailer systems with centralized stock information. *Operations Research*, 1997, Vol. 45, No. 2, pp. 275-287.
- [3] Federgruen, A. and Zipkin, P., Approximation of dynamic, multi-location production and inventory systems. *Management Science*, 1984, Vol. 30, No. 1, pp. 69-84.
- [4] Gioyal, S.K. and Satir, A.T., Joint replenishment inventory control : deterministic and stochastic models. *European Journal of Operations Research*, 1989, Vol. 38, No. 1, pp. 2-13.
- [5] Gupta, O.K., A lot-size model with discrete transportation costs. *Computers and Industrial Engineering*, 1992, Vol. 22, pp. 397-402.
- [6] Jung, J., A Simulation Study for the Inventory Pooling Effect. *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2012, Vol. 35, No. 4, pp. 211-218.
- [7] Kelle, P. and Milne, A., The Effect of (s, S) Ordering Policy on the Supply Chain. *International Journal of Production Economics*, 2005, Vol. 59, No. 1, pp. 113-122.
- [8] Kwon, I.H., Kim, S.S., and Baek, J.G., A Simulation Based Heuristic for Serial Inventory Systems under Fill-rate Constraints. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2006.
- [9] Madadi, A., Kurz, M.E., and Ashayeri, J., Multi-level inventory management decisions with transportation cost consideration. *Transportation Research Part E*, 2010, Vol. 46, pp. 719-734.
- [10] Paterson, C., Kiesmuller, G., Teunter, R., and Glazebrook, K., Inventory models with lateral transshipments : A review. *European Journal of Operations Research*, 2011, Vol. 210, No. 1, pp. 125-136.
- [11] Rosenbaum, B.A., Service Level Relationships in a Multi-echelon system. *Management Science*, 1981, Vol. 27, No. 8, pp. 926-945.
- [12] Simchi-levi, Kaminsky et al., *Designing and Managing the supply Chain : Concepts, Strategies and Case Studies*, McGraw Hill(3rd Edition), New York, 2007.
- [13] Van Houtum, G.J., Inderfurth, K., and Zijm, W.H.M., Material Coordination in Stochastic Multi-echelon System. *European Journal of Operations Research*, 1996, Vol. 95, No. 1, pp. 1-23.
- [14] Wang, Q., A periodic-review inventory control policy for a two-level supply chain with multiple retailers and stochastic demand. *European Journal of Operations Research*, 2013, Vol. 230, No. 1, pp. 53-62.
- [15] Zipkin, P.H., *Foundations of Inventory Management*, McGraw-Hill, New York, 2000.

#### ORCID

Jaeheon Jung | <http://orcid.org/0000-0002-8202-3403>