

# A Simulation Study for the Inventory Pooling Effect

Jaeheon Jung<sup>†</sup>

School of Business Administration, Pukyong National University

## 재고풀링효과의 시뮬레이션 연구

정재현<sup>†</sup>

부경대학교 경영학부

We analyzed the effect of inventory pooling on the system where multiple depot was used to replenish retailers and where inventories are kept only on the depots. Inventory pooling consists of inventory integration and inventory exchange. We used simulation for checking the cost saving effect of reducing the number of depot (Inventory Integration) for the case when inventories kept on every depots are commonly used for all retailers when certain depot have stock out for their retailer assigned to them (Inventory Exchange) with the constraint of service level. Simulation on wide range of parameter settings results show that cost saving effect from inventory integration diminishes when transportation cost between depot and retailers or stock out cost, or retailer number increases. The effect becomes stronger when the demands on retailers have bigger variance or average. Also the results show that the cost saving effect from inventory exchange becomes stronger on the same situation when inventory integration effect becomes stronger.

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

### 1. 서론

하나 이상의 다수 물류기지(Depot)에서 재고를 관리하는 기업은 공급사슬에 영향을 주는 다른 요소들이 불편일 경우, 재고풀링(Inventory Pooling) 효과를 이용하여 고객 만족도를 유지하면서도 공급사슬에서의 재고비용을 감소시킬 수 있다. 재고풀링은 두 종류가 있다. 먼저 물류기지를 줄이거나(재고통합), 특정 물류기지에서 품절이 발

생하면 다른 물류기지에서도 재고를 보충하는 정책(환적 : Inventory Exchange)이 있다. 이들 모두 전체 고객 만족도를 유지하면서도 재고비용이 줄어들게 되는 효과를 가져온다고 알려져 있다[5]. 이는 리스크풀링(Risk Pooling) 효과로 하나의 물류기지에 대한 수요변동이 다른 물류기지의 반대되는 방향에 의한 수요변동으로 상쇄될 가능성이 커져 수요변동폭의 감소로 인한 재고비용 감소로 이어지기 때문이다. 그러나 이 시스템에서 수송비용 및 다른 요소들을 고려한다면 재고풀링이 반드시 비용절감을 가져오는 것은 아닐 것이다. 예컨대, 수송비용을 고려한다면, 개별 소매점들에서의 수요 충족을 위한 수송비용은 재고통합으로 물류기지 수가 줄어들게 되면 늘어나게 될 것이다. 이는 물류기지가 감소하여 물류기지와의 고객사이의 수송거리가 증가하기 때문이다. 또 환적의 정책을 이용한다면 품절이 발생할 경우 비교적 먼 거리에 있는 물류기지에서부터 재고를 보충받아야 하기 때문에 수송비용이 증가할 수도 있어 일률적으로 재고통합의 이익

Received 15 October 2012; Finally Revised 1 December 2012;  
Accepted 10 December 2012

<sup>†</sup> Corresponding Author : highfly1@pknu.ac.kr

© 2012 Society of Korea Industrial and Systems Engineering

This is Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>).

을 이야기하기 어렵다. 본 연구는 시물레이션을 통하여 이러한 재고통합 및 환적을 동시에 정책적 변수로 고려하였을 때, 그리고 서비스 수준의 제약이 있는 상태에서의 최적의 재고정책을 탐색하고자 한다.

재고시스템에 관한 연구를 보면, 최적의 재고 정책을 시물레이션이 아닌 분석적인 방법으로 탐색한 다수의 논문들이 있다. 먼저 평균 재고를 특정 재고 정책하에서 최소화하는 공식에 관한 연구가 있다. 연속적이 아닌 비연속적인 재고 검사를 고려하는 재고정책인 (R, s, Q)정책하에서의 최대 고객 대기시간 제한 내에서 평균 재고를 최소화하는 (s, Q)를 찾는 근사 공식을 유도한 Tempelmeier [7], Kiesmuller and de Kok[2] 등의 연구가 있다. (R, S) 정책하에서 고객 대기시간을 일정수준으로 유지하는 한도 내에서 S의 값을 찾을 수 있는 근사공식을 유도한 연구는 Van der Heijden et de Kok[8]이 있다. 그렇지만 이들 연구는 재고풀링의 효과를 고려할 수 있는 다수 물류기지를 가진 시스템에 관한연구는 아니다.

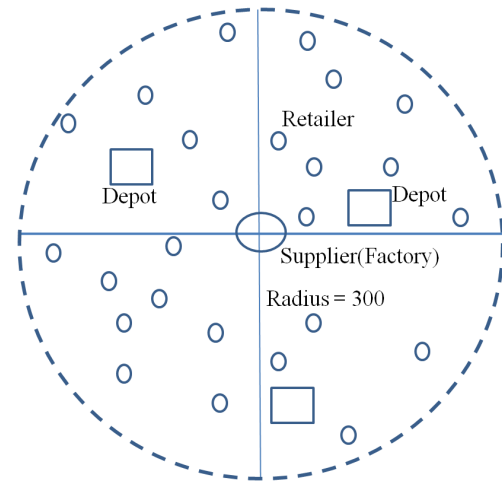
다수 물류기지를 가진 시스템과 유사한 다단계 재고 시스템(multi-echelon)에 관한 연구는 Keller and milne[1] 및 Rosenbaum[4]이 있다. 이는 하나의 물류기지과 여러 개의 소매점으로 이루어진 다단계 분배 시스템에서 목표 서비스 수준을 만족시키면서 재고를 최소화하기 위한 휴리스틱을 제시하고 이를 시물레이션을 통하여 테스트하였다. Zipkin[10]은 수요가 복잡 포아송 분포를 갖는 단일 노드에서 서비스 수준을 만족시키면서 재고유지 비용의 합을 최소화하는 방법을 고안하였다. Van Houtum et al. [9]은 열량 분포를 따르는 시리얼 시스템에서의 재고유지 비용과 재고 이월 비용을 최소화하는 기초 재고 수준을 결정하는 방법을 고안하였다. Kwon[3] 등은 정규분포를 따르는 다단계 시리얼 시스템에서의 서비스 수준을 만족시키면서 재고유지 비용의 합을 최소화하는 휴리스틱 알고리즘을 제안하였다. 이들은 모두 휴리스틱의 제안이면서, 또 대체로 일정한 패턴의 수요를 가정한다는 한계를 가진다. 본 연구는 매우 다양한 현실의 상황에서 시물레이션을 통해 재고통합과 환적을 동시에 고려하여 최적의 정책을 탐구한다는 측면에서 제한된 가정하에서만 적용되는 기존의 휴리스틱연구와는 구별된다. 국내연구로는 시물레이션을 통해 재고통합효과를 연구한 송일운 등[6]이 있으나, 환적을 고려하지는 않았다[6].

본 연구는 다수의 소매점들이 2개 이상의 물류기지에 보유한 재고에 의존하는 시스템을 다룬다. 고려할 수 있는 정책대안으로서는 재고통합의 정도를 나타내는 물류기지 수, 재고통합과 환적을 동시에 취하는 정책, 재고보충 주문량이 일정량 이상이 되었을 때, 물류기지에서 재고를 보충하는 집적(consolidation)정책들을 고려한다. 정책들은 현실에 기반을 둔 다양한 가정하에서 시물레이션

을 통하여 평가된다. 재고비용, 수송비용등의 기본 파라미터, 물류기지들에 의존하는 소매점수, 수요 발생 패턴, 일정 수준의 서비스 수준에 관한 제약 등의 변화에 어떠한 정책이 최선인지를 시물레이션을 통하여 체크하여 보았다. 이와 같이 다양한 실제 상황을 고려한 가정 하에서는 분석적인 방법이 한계가 있고, 시물레이션이 유효한 정책 방향을 제시할 수 있다. 이하 제 2장에서는 본 연구가 고려하는 시물레이션의 모델을 정식화하고, 제 3장에서 시물레이션의 결과를 정리한다.

## 2. 시물레이션 모형

### 2.1 모형의 기본 가정 및 기호 정의



<Figure 1> Inventory System for the Simulation

본 연구에서 고려하는 다수 물류기지의 재고 시스템은 <Figure 1>과 같이, 물류기지에 제품을 공급하는 공장은 원점에 존재한다고 가정된다. 물류기지들은 원점에 존재하지 않고 임의로 원점에서 일정 반경(300으로 시물레이션에서 가정)안에 존재한다. 소매점들(retailer)도 원점에서 동일한 반경 안에 존재한다. 소매점들은 재고를 보유하고 있지 않다. 주문이 들어왔을 때, 이주문은 해당 소매점에서 가장 가까운 물류기지로 주문처리가 이송되고 해당 물류기지에서는 재고가 있는 경우 즉각 주문이 처리된다. 환적정책을 사용한다면, 가까운 순으로 물류기지를 체크하여 재고가 있으면 역시 즉각 주문이 처리된다. 모든 물류기지에서 재고가 소진된 경우, 해당 소매점의 주문은 지체 주문(Back Order) 처리된다. 이 경우 주문 처리는 가장 가까운 물류기지의 재고 보충 주기까지 기다려야 한다.

본 시물레이션에서 사용되는 기호는 다음과 같다.

- $R_j$  : j 물류기지의 재고보충주기
- $f_j$  : j 물류기지의 재고보충회당 생산비용
- $h_j$  : j 물류기지의 주문량 단위당 단위기간 재고 보유 비용
- $w_i^j$  : i 소매점 발생 주문 j의 대기시간
- $st_i$  : i 소매점 발생 주문1단위 대기시간당 지체비용
- $s_i$  : i 소매점에서의 품질비용
- $d_i^k$  : i 소매점에서의 k 주문의 주문량
- trans\_coeff : 물류기지과 소매점 사이의 수송거리 또는 시간을 비용으로 환산하는 비용요소

### 2.2 물류기지에서의 재고주문, 재고 보유비용 및 소매점에서의 품질 및 수송비용

물류기지에서의 재고보충을 위한 주문 곧 생산 또는 구매 주문 관련 비용은 일정 기간 동안의 총 재고 보충횟수에 일회 당 생산 비용  $f_i$ 를 곱한 값으로 결정된다. 한편 일정 기간 동안의 평균 재고 수준에  $h_j$ 를 곱하여 얻어지는 값이 해당 물류기지에서의 재고비용으로 계산된다.

각 소매점 발생 주문들의 수요량은 그들 고유의 확률적인 분포에 따른다. 도착하는 주문들의 간격은 포아송(Poisson) 분포에 따르며, 주문량의 확률분포는 정규분포(Normal Distribution) 및 일양분포(Uniform Distribution)의 두 가지가 고려되었다(제 3장에서 기술). 소매점에서의 주문은 결국 모두 처리되며, 판매 손실은 가정되지 않는다. 그러나 소매점 i에서의 주문처리가 물류기지에서의 품질로 지체되면, 특정시점 곧 지체 비용 부과시점(C)를 초과하여 대기한 모든 주문에 대하여 품질비용이 아래식과 같이 계산된다..

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

한편 소매점 i에서의 주문은 재고가 보충되는 물류지에서 소매점까지의 거리에 비례하여 수송비용이 발생한다. 이 비용은 개별주문에 모두 발생하며, 물류기지 수가 감소하거나 환적정책을 사용하면 증가할 것이다.

수송비용은 간단히  $\text{Leadtime} \times \text{trans\_coeff}$ 로 계산된다.

Leadtime은 가장 가까운 물류기지까지의 거리 또는 수송 시간이며, 가장 가까운 물류지에서 품질이 발생하여 환적이 이루어지는 경우, 환적이 이루어지는 물류기지과 해당소매점까지의 거리 또는 수송시간을 의미한다.

### 2.3 재고 시스템 및 소매점 발생 주문량

본 연구에서 모든 물류기지들은 (R, S) 재고 정책을 사용한다고 가정된다. 즉 R의 재고보충주기로 재고를 검사하여 목표 재고수준(Target Inventory Level) S의 재고수준과의 차이만큼 주문하여 재고를 S 수준까지 채운다. 단 일정한 수준의 고객 서비스 수준을 만족시키는 것을 전제로 한다. 고객의 서비스 수준을 판단하는 기준은 즉시주문 서비스 비율(fill rate)로서 주문이 지체됨이 없이 주문 즉시 재고로부터 보충되는 비율을 의미한다. 우리는 이 비율을 바꿔 가면서, 재고통합 및 환적 정책의 효율성을 시뮬레이션을 통해 평가하였다.

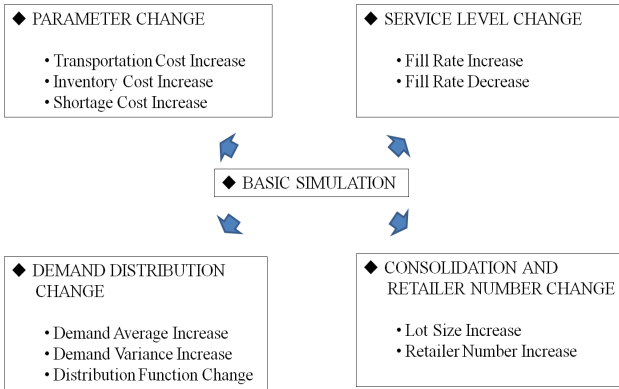
시뮬레이션에서 사용되는 기본 파라미터들은 다음 <Table 1>과 같다. 시뮬레이션은 ARENA 13.0 및 Visual Basic을 사용하여 모형화되었으며, 730일을 Warming up 시간으로 1095일을 종료일로 하여 실행되었다. 최적의 재고보충주기 및 목표재고수준은 ARENA 13.0에 내장된 유전알고리즘을 이용하여 구해졌다.

### 3. 시뮬레이션 실행 및 분석

시뮬레이션을 통하여 서비스 수준을 일정수준으로 유지한다는 조건 아래 -즉시주문 서비스 비율이 일정 수준 이상이라는 조건- 물류기지 수를 변동시켜 그 비용 변화를 살펴봄으로서 재고통합의 효과를 분석한다. 이 분석을 하기 위해 <Figure 1>에 묘사 되었듯이 <Table 1>에있는 파라미터들을 사용한 기본 시뮬레이션(Basic Simulation)을 출발점으로 하여 가) 기본파라미터 변화(제 3.1절), 나) 발생 주문량의 분포변화(제 3.2절), 다) 서비스 수준의 변화(제 3.3절), 라) 재고 집적 정책사용 정도(로트 크기변화) 및 소매점 수의 변화(3.4절)에 따라 재고통합의 효과가 환적 및 비환적 정책에 따라 어떻게 나타나는지를 분석한다.

<Table 1> Basic Parameters

| Parameter                        | Value | Parameter                | Value            |
|----------------------------------|-------|--------------------------|------------------|
| Transportation Cost(trans_coeff) | 15    | Production Cost( $f_i$ ) | 40000            |
| Unit Shortage Cost( $st_i$ )     | 14    | Distribution             | Normal (150,100) |
| Unit Inventory Cost( $h_i$ )     | 400   | Service Level            | 70%              |



<Figure 2> Simulation Flow

### 3.1 기본 파라미터 변화에 따른 분석

분석을 위해서 물류기지 수를 1, 3, 5으로 하여 재고통합의 효과를 검토하였다. 이때, 기본파라미터로부터의 변화에 따른 총비용변화를 환적정책을 사용하느냐의 여부에 따라 2가지 정책으로 체크하였다. 기본 파라미터 변화는 재고비용, 품질비용, 수송비용의 증가를 검토하였다.

#### 3.1.1 환적 정책을 사용할 때의 변화

먼저 환적을 고려하였을 때, <Table 2>의 5번째 열에서 보이는 바와 같이 기본적인 파라미터에서는 물류기지 수가 증가함에 따라 비용이 증가하여 물류기지 수가 1개일 때 가장 비용이 적게 든다. 그러나 물류기지 1개와 3개 사

이는 오차범위 안(Half of Confidence Interval : HCI)에 들어 실제 비용의 차이가 거의 없는 것으로 나온다(<Table 2>의 4번째 열은 95% 신뢰수준의 오차범위). 물류기지 5개가 사용될 때의 총비용은 1개가 사용될 때와 비교하여 여전히 5% 유의수준의 오차범위 안에 들어가지만 상당한 차이가 있다. 결과가 의미하는 것은 환적을 이용하는 경우에는 모든 물류기지의 재고를 공유하는 효과를 가져와서 물류기지 수가 증가한다고 하여서, 재고비용이 증가하지는 않는다는 점이다. 다만 물류기지수가 증가하게 되면 생산비용만이 증가하는 것으로 보인다. 수송비용은 오히려 물류기지 수가 증가할 때, 물류기지에서 소매점까지의 거리가 줄어들기 때문에 오히려 줄어든다. 본 연구에서는 공급지에서 물류기지까지의 수송비용은 소매점에서 물류기지까지의 수송비용에 비해 크게 적어서 0으로 가정됨.

다음 기본 파라미터에서 물류기지에서 소매점까지의 수송비용이 증가하는 경우에는 물류기지 수가 3개일 때, <Table 2>에서 보듯이 41% 감소하여 1개일 때에 비해 오차범위를 거의 벗어나는 정도로 비용이 감소한다. 그러나 5개일 때는 3개 때보다 증가한다. 수송비용이 기본 파라미터에 비해 40배 증가하여(15 → 600) 수송비용의 비중이 물류기지수가 3개일 때 61% 수준(<Table 2> 8열 참조)일 때 그러하다.

재고비용이 증가하는 경우에는 기본적인 파라미터에서의 경우와 마찬가지로 재고통합이 유리하나, 5개까지의 물류기지에서의 비용이 오차범위 이내에 들어 재고통합의 효과가 오히려 줄어드는 것처럼 보인다. 재고비용

<Table 2> Simulation Result with Basic Parameter Change When Practicing Inventory Exchange(IE)

| Basic Parameter Change                                | Depot Number | IE*      | HCI of IE(%) | IE-IES ((IE-IES)/IES)* | Inventory Cost (%) | Shortage Cost (%) | Transportation Cost (%) | Production Cost (%) | Replenishment Interval (days) | Target Inventory Level          |
|---|--------------|----------|--------------|------------------------|--------------------|-------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Basic Setting   | 1            | 2376471  | 767662(32)   | -                      | 69                 | 12                | 6                       | 14                  | 45                            | 13440                           |
|   | 3            | 2412607  | 567822(24)   | 2                      | 30                 | 10                | 5                       | 55                  | 32, 25, 39                    | 5067,42,4592                    |
|   | 5            | 3715447  | 1029574(28)  | 56                     | 53                 | 28                | 3                       | 16                  | 166, 101, 236, 176            | 1751, 10726, 6529, 14139, 10626 |
| Transportation Cost Increase (trans_coeff : 15 → 600) | 1            | 10938062 | 2566984(23)  | -                      | 18                 | 3                 | 77                      | 2                   | 56                            | 16699                           |
|   | 3            | 6484104  | 1483367(23)  | -41                    | 14                 | 3                 | 61                      | 21                  | 39, 22, 39                    | 6692, 2142, 1242                |
|   | 5            | 7572798  | 1796005(24)  | -31                    | 23                 | 11                | 56                      | 11                  | 42, 157, 98, 111, 134         | 1736, 10229, 5926, 6639, 8026   |
| Inventory Cost Increase (h <sub>i</sub> : 400 → 4000) | 1            | 5643567  | 1322846(23)  | -                      | 46                 | 0                 | 2                       | 52                  | 49                            | 16252                           |
|   | 3            | 7199025  | 1749349(24)  | 28                     | 41                 | 1                 | 2                       | 56                  | 11, 12, 9                     | 1067, 1295, 895                 |
|   | 5            | 8133313  | 2793795(34)  | 44                     | 58                 | 3                 | 1                       | 38                  | 13, 21, 28, 28, 56            | 604, 1466, 1702, 1651, 3344     |
| Shortage Cost Increase (st <sub>i</sub> : 14 → 140)   | 1            | 3844255  | 905088(24)   | -                      | 78                 | 10                | 6                       | 6                   | 56                            | 17529                           |
|   | 3            | 3648921  | 889865(24)   | -5                     | 24                 | 4                 | 3                       | 69                  | 50, 35, 110                   | 3042, 892, 1267                 |
|   | 5            | 5090725  | 1315369(26)  | 32                     | 75                 | 9                 | 2                       | 13                  | 220, 136, 109, 114, 61        | 8911, 9716, 5076, 7901, 9426    |

\*IE : Total cost when inventory exchange is used. IES : Total cost when depot number is equal to 1 and inventory exchange is used. Thus IE-IES is the difference from the cost when depot number is 1. (IE-IES)/IES is the ratio to the cost when depot number is 1.

&lt;Table 3&gt; Simulation Result with Basic Parameter Change Without Practicing Inventory Exchange

| Basic Parameter Change       | Depot Number | NIE*     | HCI of NIE(%) | NIE-IE ((NIE-IE)/IE)* | NIE-IES ((NIE-IES)/IES)* | Replenishment Interval (days) | Target Inventory Level    |
|------------------------------|--------------|----------|---------------|-----------------------|--------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| Basic Setting                | 3            | 5112373  | 1619582(32)   | 2699766(112)          | 2735901(115)             | 12,12,8                       | 2394, 1334, 820           |
|                              | 5            | 9123722  | 2885780(32)   | 5408275(146)          | 6747251(284)             | 8,8,12,12,12,8                | 89, 89, 859, 2590, 1359   |
| Transportation Cost Increase | 3            | 8908316  | 2820662(32)   | 2424212(37)           | -2029746(-19)            | 10,12,12                      | 97, 2004, 1976            |
|                              | 5            | 11846947 | 3748694(32)   | 4274149(56)           | 908885(8)                | 12,8,12,8,12                  | 469, 89, 1083, 1013, 3343 |
| Inventory Cost Increase      | 3            | 14430454 | 6889330(40)   | 11459661(100)         | 13015119(156)            | 26, 15, 7                     | 5053, 1501, 723           |
|                              | 5            | 23694161 | 7635290(32)   | 15560848(191)         | 18050594(320)            | 26, 6, 6, 6, 6                | 3803, 567, 645, 645, 567  |
| Shortage Cost Increase       | 3            | 5246165  | 1660983(32)   | 1597244(44)           | 1401911(36)              | 12,8,12                       | 1613, 358, 1892           |
|                              | 5            | 8421568  | 2665440(32)   | 3330843(65)           | 4577313(119)             | 12,12,8,8,10                  | 1278, 1278, 281, 320, 852 |

\*NIE : Total cost when inventory exchange is not used. IE and IES are same as in <Table 2>. Values in the parenthesis are in %. Thus NIE-IE is difference from the cost when inventory exchange is used. IES is same as the total cost when inventory exchange is not used and single depot is used because we can not practice inventory exchange with single depot.

이 증가할 경우에는 재고보충주기를 짧게 하여 생산비용의 비중을 늘리는 것이 유리하고 재고통합의 장점인 재고비용 감소의 효과가 재고비용 비중 감소로 줄어들기 때문에 보인다(<Table 2> 10열 참조).

품질비용이 증가하였을 때도 물류기지가 3개가 되었을 때, 물류기지가 1개일 때에 비해 평균적인 총비용이 5% 감소한다(<Table 2> 5열 참조). 오차범위 이내 이기는 하지만 품질비용이 10배 증가하면 사실상 재고통합의 효과가 없다는 것을 보여주고 있다. 물류기지가 3개로 증가하면, 소매점에서 특정물류기지에서 품질이 발생하였을 때 대기하는 시간이 줄어들어서 -다른 물류기지에 재고가 있을 가능성이 높아지기 때문- 품질비용이 줄어드는 효과가 물류기지 수 증가로 인한 생산 및 재고비용 증가보다 크게 되기 때문으로 해석된다. 또한 환적이 이루어지는 경우에는 물류기지 수 증가로 인한 대기시간 감소의 효과를 이용하여 재고보충주기를 증가시키더라도 전체의 대기시간이 크게 증가하지 않을 수 있어 품질비용을 일정수준으로 유지할 수 있다. 따라서 재고보충주기의 증가로 생산비용의 감소를 추가적으로 유도할 수 있어 총비용감소로 이어지는 것으로 해석된다. <Table 2> 10열을 보면 실제 품질비용이 증가하는 경우, 최적 재고 보충주기가 증가하는 것을 확인할 수 있다.

### 3.1.2 환적 정책을 사용하지 않을 때의 변화

환적을 사용하지 않는 경우에는 환적사용의 경우에 비해서 모든 파라미터 변화에 대하여 작게는 37%, 크게는 191% 비용이 증가한다(<Table 3> 5열 참조). 환적 정책을 사용하지 않는 경우에는 재고통합의 효과가 더욱 확실하다. 기본 파라미터(Basic setting)에서 물류기지가 증가하게 되면 오차범위를 벗어나서 유리함을 알 수 있다. 그러나 수송비용이 증가하는 경우에는 물류기지가

가 3개일 때가 물류기지수 1개일 때에 비해 19% 감소하여, 환적 정책을 사용하지 않더라도 재고 통합이 오히려 불리함을 의미하고 있다. 품질비용이 증가 할 때도 물류기지수가 3개인 경우에는 36% 증가하여 오차범위 이내에 있어 재고통합의 효과가 불분명하다(<Table 3> 6열 참조). 원인은 환적사용의 경우와 동일하게, 물류기지가 증가하면, 품질이 발생하였을 때의 대기시간이 줄어들어 생산비용 및 재고비용의 감소를 유도할 수 있기 때문이다. 다만 재고비용의 감소효과는 모든 물류기지의 재고를 공유하는 환적의 경우보다 효과가 작기 때문에 환적을 시행하는 경우보다 재고통합으로 인한 비용 감소효과가 제한된다.

### 3.2 주문량 분포 변화에 따른 분석

소매점 발생 주문량의 평균이 증가하거나 발생 주문량의 분산이 증가하면 환적을 이용하느냐의 여부와 상관없이 재고통합의 효과는 더욱 확실하게 나타나서, 재고기지가 증가하면 평균비용이 증가하며, 물류기지 수가 5개가 되면 물류기지 1개 사용시와 비교하여 오차범위를 벗어나게 비용이 증가한다. 즉 일양분포(UNIF(148, 152))가 소매점 발생 주문량의 분산이 커지는 일양분포(UNIF(130, 170))로 변화하였을 때이거나(주문량 평균은 동일) 동일한 정규분포이지만 주문량의 평균이 커지는 경우(NORM(450, 100) : 주문량 분산은 동일)에 재고통합의 효과는 더욱 확실하게 나타나는 것을 알 수 있다(<Table 4> 4, 5열 참조).

한편 환적을 사용하는 경우 재고시스템의 총비용을 살펴보면, 비교대상을 정규분포(NORM(150, 100))로 하였을 때, 주문량이 고르게 발생하면서도 동일한 분산과 평균을 가진 일양분포(UNIF(148, 152))는 비용이 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 정규분포에 비해 일양분포는 훨씬 고르게

<Table 4> Simulation Result with Demand Distribution Change

| Demand Dist. Change                          | Depot Number | IE      | HCI of IE   | (IE-IES)/IES (%)* | Cost Increase Compared To Basic (%) | NIE*     | HCI of NIE* | (NIE-IE)/IE (%)* |
|--|--------------|---------|-------------|-------------------|-------------------------------------|----------|-------------|------------------|
| Demand Average Increase : NORM(450,100)      | 1            | 3088108 | 734987(24)  | -                 | 30                                  | 3088108  | 734987(24)  | 0                |
|  | 3            | 3953876 | 931591(24)  | 28                | 64                                  | 7579001  | 1720403(23) | 92               |
|  | 5            | 5001853 | 1286675(26) | 62                | 35                                  | 15270075 | 3454561(23) | 205              |
| Basic : NORM (150,100)                       | 1            | 2376471 | 767662(32)  | -                 | -                                   | 2376471  | 767662(32)  | 0                |
|  | 3            | 2412607 | 567822(24)  | 2                 | -                                   | 5112373  | 1158499(23) | 112              |
|  | 5            | 3715447 | 1029574(28) | 56                | -                                   | 9123722  | 2064220(23) | 146              |
| Distribution Function Change : UNIF(148,152) | 1            | 1805578 | 423694(23)  | -                 | -24                                 | 1805578  | 423693(23)  | 0                |
|  | 3            | 2417365 | 636483(26)  | 34                | 0                                   | 5034402  | 1139836(23) | 108              |
|  | 5            | 2870050 | 673363(23)  | 59                | -23                                 | 7975866  | 1804288(23) | 178              |
| Demand Variance Increase : UNIF(130,170)     | 1            | 1825768 | 429083(24)  | -                 | -23                                 | 1825768  | 429083(24)  | 0                |
|  | 3            | 2552365 | 590832(23)  | 40                | 6                                   | 4778596  | 1081524(23) | 162              |
|  | 5            | 3381192 | 816918(24)  | 85                | -9                                  | 8576563  | 1940242(23) | 236              |

\*same as in <Table 3>.

<Table 5> Simulation Result with Service Level Change

| Service level (%) | Depot Number | IE      | HCI of IE   | (IE-IES)/IES (%)* | Cost Increase (%) Compared to 50% Service Level | NIE*    | HCI of NIE (%) | (NIE-IE)/IE (%)* |
|-------------------|--------------|---------|-------------|-------------------|---|---------|----------------|------------------|
| 50%               | 1            | 1647576 | 399192(24)  | -                 | -   | 1647576 | 399192(24)     | 0                |
|                   | 3            | 2377442 | 548678 (23) | 44                | -   | 5091319 | 1151807(23)    | 114              |
|                   | 5            | 2772587 | 635229(23)  | 68                | -   | 6390855 | 1446080(23)    | 131              |
| 70%               | 1            | 2376471 | 767662(32)  | -                 | 44  | 2376471 | 767662(32)     | 0                |
|                   | 3            | 2412607 | 567822(24)  | 2                 | 1   | 5112373 | 1158499(23)    | 112              |
|                   | 5            | 3715447 | 937673(28)  | 56                | 34  | 9123722 | 2064220(23)    | 146              |
| 90%               | 1            | 2075580 | 478428(23)  | -                 | 26  | 2075580 | 478428(23)     | 0                |
|                   | 3            | 3095979 | 1222817(39) | 49                | 30  | 5404083 | 1222817(23)    | 75               |
|                   | 5            | 3701334 | 2083183(56) | 78                | 33  | 9200539 | 2083183(23)    | 149              |

\*same as in <Table 3>.

주문량이 발생하기 때문에 재고비용이 적게 들기 때문일 것이다. 또한 일양분포에서 주문량 평균은 같지만 분산이 증가하는 경우(UNIF(130, 170))에는 같은 이유로 비용이 증가한다(<Table 4> 6열 참조). 또한 환적을 사용하지 않는 경우, 환적 사용의 비용과의 차이가 주문량이 불균등하게 발생하거나 주문량 평균이 커지면 더욱 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 환적을 사용하지 않으면 주문량 불균등, 평균 증가로 재고비용이 증가할 때, 재고비용 절약 측면에서 이점이 있는 환적 사용의 경우와 비용 격차가 더욱 커지게 되기 때문으로 해석된다(<Table 4> 9열 참조).

### 3.3 서비스 수준 변화에 따른 분석

환적을 사용하는 경우, 서비스 수준의 증가에 따라 재고통합의 효과는 큰 변화가 없이 물류기지의 숫자가 3개

까지는 비용이 오차범위 내에 있고, 5개 이상될 때 1개 일 때와 비교하여 오차범위를 벗어난 비용증가가 있는 것으로 나온다(<Table 5> 4, 5열 참조). 서비스 수준 증가에 따른 비용증가는 체감하는 것으로 나온다(<Table 5>6열 참조). 서비스 수준 증가를 만족시키기 위해 재고를 증가시켜서 일정수준 이상의 재고를 갖게 되면 서비스 수준이 급격하게 증가하여 높은 서비스 수준들간의 재고비용 차이가 없어지기 때문으로 추정된다.

환적을 사용하지 않는 경우, 모든 서비스 수준에서 물류기지가 1개인 경우가 오차범위를 벗어나 가장 비용이 적게 든다. 여기서 재고통합의 효과는 분명하게 드러난다. 환적을 사용하는 경우와의 비교를 하면, 모든 서비스 수준에서 오차 범위를 벗어나 1개 이상의 물류기지를 사용하는 경우, 환적을 사용하지 않는 것이 비용 측면에서 비효율적임이 분명하다(<Table 5> 9열 참조).

### 3.4 재고집적 및 소매점 수의 변화

#### 3.4.1 재고집적 정책의 사용

재고 보충 주문시 집적을 하게 되면 재고 비용을 절감하게 될 것이다. 그러나 품질비용 등은 반대로 증가되는 것들이 있기에 그 효과를 시뮬레이션을 통해 파악해보고자 한다. (R, S) 정책에서 주문량 곧 재고보충수준 S와 현재의 재고수준의 차이가 일정량(=  $\overline{lot}$ ) 이상 되어야만 즉 집적이 되어야만 물류기지에서 재고보충주문이 이루어지는 것으로 시뮬레이션을 실행하였다. 결과를 보면, 환적이 이루어질 때 집적의 정도가 커지면, 즉  $\overline{lot}$ 가 0일 때는 물류기지 수가 1개에서 3개로 늘어날 때 2%, 3개에서 5개로 늘어날 때 56%의 비용 증가가 있었으나,  $\overline{lot}$ 가 6000일 때는 각각 15%, 116%의 비용증가를 보여 재고통합의 효과가 보다 분명해지는 것으로 보인다 (<Table 6> 5열 참조).

환적을 사용하지 않는 경우에는 재고통합의 효과가 보다 빨리 나타나서 3개로 물류기지가 증가할 때, 1개 물류기지 사용과 비교하여 오차범위를 벗어나는 비용증가가 있다(<Table 6> 9열 참조). 그러나  $\overline{lot}$ 가 6000일 때는 5개로 물류기지가 늘어나면 3개에 비해 오히려 비용이 줄어든다. 집적의 정도가 커졌을 때, 모든 물류기지에서도 재고보충주기를 길게 하여 생산비용을 줄이면서도, 물류기지 개수가 늘어나면 품질비용 증가를 어느 정도 방지하는 역할을 하여 비용을 오히려 줄이는 결과를 가져오는 것으로 추정된다(<Table 6> 7열 참조).

#### 3.4.2 소매점수의 변화

환적정책을 사용하는 경우, 소매점 수가 30개일 때 물류기지수가 1개에서 3개로, 또 5개로 증가하면 물류기지가 1개일 때에 비해 평균비용이 9%, 2% 줄어드는 것을 발견할 수 있다(<Table 6> 5열 참조). 평균비용은 오차범위 이내에 있지만, 이 경우 재고통합의 효과가 없음을 알 수 있다. 물류기지 수가 1개인 경우, 소매점수가 증가하게 되면, 일정 수준의 서비스수준 즉 고객들의 즉시 주문 서비스 비율을 충족시키기 위해 재고보충주기가 짧아져서 생산비용이 증가하든지, 목표재고수준이 증가하여야 한다. 또는 물류기지 수를 증가시켜서 하나의 물류기지에서도 처리하는 고객 주문수를 감소시키는 방법이 있다. 시뮬레이션 결과가 보여주는 것은, 서비스 수준을 만족시키기 위해서 물류기지 수를 1개에서 3개로 늘림에 따른 생산비용, 재고비용의 증가폭이 하나의 물류기지를 사용하여 서비스 수준을 만족시키기 위해 증가하여야 하는 생산, 재고 비용 폭보다 적다는 것을 의미한다. 여기에는 물류기지별로 재고를 보유하지만 환적정책을 사용함에 따라 사실상 재고를 공유하는 효과를 가져와 재고비용증가가 물류기지 수 증가로 발생하지 않음도 일조하고 있다. 추가적으로 물류기지 수를 증가시켰을 때, 고객 대기시간이 줄어들게 됨에 따른 품질비용 감소 효과도 평균비용 감소에 기여할 것이다.

환적정책을 사용하지 않는 경우, 이러한 효과는 전혀 기대할 수 없으며, 물류기지 수 증가에 따른 비용 증가가 오차범위를 벗어나게 관측된다. 환적을 사용하지 않는 경우, 환적을 사용하는 경우에 비해서 최소 92% 최대 269%의 차이를 보여주고 있다(<Table 6> 8, 9열 참조)

<Table 6> Simulation Result with Lot Size and Retailer Number Change

| Lot Size and Retailer Number Change | Depot Number | IE      | HCl of IE   | (IE-IES)/IES (%) <sup>*</sup> | Cost Increase Compared to Basic | NIE <sup>*</sup> | HCl of NIE <sup>*</sup> | (NIE-IE)/IE (%) <sup>*</sup> |
|-------------------------------------|--------------|---------|-------------|-------------------------------|---------------------------------|------------------|-------------------------|------------------------------|
| Lot Size = 0 : NORM(150,100)        | 1            | 2376471 | 767662(32)  | -                             | -                               | 2376471          | 767662(32)              | 0                            |
|                                     | 3            | 2412607 | 567822(24)  | 2                             | -                               | 5112373          | 1158499(23)             | 112                          |
|                                     | 5            | 3715447 | 1029574(28) | 56                            | -                               | 9123722          | 2064220(23)             | 146                          |
| Lot Size = 6000 : NORM(150,100)     | 1            | 2376471 | 767662(32)  | -                             | 0                               | 2376471          | 767662(32)              | 0                            |
|                                     | 3            | 2740049 | 704982(26)  | 15                            | 14                              | 9346500          | 2146892(23)             | 241                          |
|                                     | 5            | 5135309 | 1656402(32) | 116                           | 38                              | 7117143          | 1625357(23)             | 39                           |
| Retailer Number = 15; UNIF(148,152) | 1            | 1648468 | 388226(24)  | -                             | -                               | 1648468          | 388226(24)              | 0                            |
|                                     | 3            | 2146457 | 503124(23)  | 30                            | -                               | 4163846          | 942201(23)              | 94                           |
|                                     | 5            | 2705326 | 636494(24)  | 64                            | -                               | 5287560          | 1198411(23)             | 95                           |
| Retailer Number = 30; UNIF(148,152) | 1            | 3203360 | 767662(31)  | -                             | 94                              | 3203360          | 767662(31)              | 0                            |
|                                     | 3            | 2908732 | 567822(23)  | -9                            | 36                              | 6159842          | 1158499(23)             | 92                           |
|                                     | 5            | 3129426 | 1029574(23) | -2                            | 16                              | 10730111         | 2064220(23)             | 269                          |

<sup>\*</sup>same as in <Table 3>.

## 4. 결 론

우리는 시뮬레이션을 통하여 서비스 수준의 제약이 있는 상태에서 재고폴링의 두 가지 정책을 동시에 사용할때의 효과를 검토하였다. 그 결과 환적 정책을 사용하게 되면 물류기지들의 재고를 상호공유하는 효과를 가져와서 물류기지를 줄이는 재고통합의 효과가 어느정도 제한됨을 발견하였다. 특히 수송비용을 고려하거나, 품질비용이 증가 하였을때, 또한 소매점수가 증가하는 경우 재고통합의 효과는 현저히 감소하며 역전되기도 한다.

반면에 소매점 발생주문량이 증가하거나, 소매점 발생주문량들의 분산이 증가하는 경우, 재고집적 정책을 사용하는 경우에는 재고통합의 효과가 강화됨을 발견하였다. 또한 이때 환적 정책을 사용할 때와 사용하지 않을 때의 비용격차가 가장 크게 벌어진다. 환적 정책을 사용하지 않으면 수송비용의 비중이 아주 크거나, 품질비용이 크게 증가하지 않는 이상 재고통합의 효과는 통계상의 오차범위를 넘어 확실하게 구현되었다.

이상의 결과는 실무자 및 경영자들에게 걱정한 물류기수 및 환적 정책의 유용성에 대한 일정한 지침을 줄 수 있다. 그러나 구체적으로 특정 파라미터 및 환경에서 가장 적은비용을 발생시키는 정확한 물류기수수는 케이스 별로 시뮬레이션을 다시 실행하여 찾을 수밖에 없는 시뮬레이션의 단점은 그대로 본 연구의 한계점으로 남는다.

## References

- [1] 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, p 113-122.
- [2] Kiesmuller, G.P. and A.G. de Kok, The Customer Waiting Time in an (R, S, Q) Inventory System, *International Journal of Production Economics*, 2005.
- [3] 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.
- [4] Rosenbaum, B.A., Service Level Relationships in a Multi-echelon system. *Management Science*, 1981, Vol. 27, No. 8, p 926-945.
- [5] Simchi-levi, D., Kaminsky, P., and Simchi-levi, E., Designing and Managing the supply Chain : Concepts, Strategies and Case Studies, McGraw Hill(3rd Edition), New-York(2007).
- [6] Song, I.Y., Jeong, S.J., Kim, K.S., and Pak, J.W., Study on the Validity of Inventory Sharing System for Strategic Cooperation of Outsourcing Companies. *Proceedings of Korean Simulation Conference*, 2003.
- [7] Tempelmeier, H., Inventory Control Using a Service Constraint on a Expected Customer Order Waiting time. *European Journal of Operations Research*, 1985, Vol. 19, No. 4, p 313-324.
- [8] Van der Heijden, M.C. and A.G. De Kok, Customer Waiting Times in an (R, S) Inventory System with Compound Poisson Demand, *Operations Research*, 1992, Vol. 36, No. 3, p 315-332.
- [9] 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, p 1-23.
- [10] Zipkin, P.H., *Foundations of Inventory Management*, McGraw-Hill, New York, 2000.