

확정생산스케줄을 활용하는 동적 VMI 운영정책

현혜미 · 임석철[†]

아주대학교 대학원 산업공학과

Dynamic Operation Policy for Vendor-Managed Inventory using Fixed Production Schedule

Hye-Mi Hyun · Suk-Chul Rim

Department of Industrial Engineering, Ajou University, Suwon 443-749, Korea

While the Vendor-Managed Inventory(VMI) is a convenient inventory replenishment policy for the customer company, the supplier usually bears the burden of higher inventory and urgent shipments to avoid shortage. Recently some manufacturers begin to fix the production schedule for the next few days (such as three days). Utilizing that information can improve the efficiency of the VMI. In this study, we present a myopic optimization model using a mixed inter programming; and a heuristics algorithm. We compare the performance of the two proposed methods with the existing (s, S) reorder policy. We consider the total cost as the sum of transportation cost and inventory cost at the customer's site. Numerical tests indicate that the two proposed methods significantly reduce the total cost over the (s, S) policy.

Keywords: VMI, Inventory Replenishment Policy, Fixed Production Schedule

1. 서론

최근 많은 기업에서 자사의 재고보충을 공급사에게 책임지도록 하는 VMI 정책을 활용하고 있다. 구매사에서 직접 재고보충을 관리하자면 다양한 품목의 재고수준을 확인하고 발주하는 일이 매우 번거로워 가능한 긴 시간 간격으로 발주함에 따라 재고비용이 증가하고 주문비용 또한 발생하기 때문이다. VMI는 월마트와 같은 대형 유통업체에서 시작되었으나, 오늘날에 와서는 최종조립업체(이하 고객사)에서 리드타임을 줄이고 조립 부품의 재고를 최소한으로 유지하기 위해 자회사 또는 협력업체(이하 공급사)에게 그 부품의 재고보충을 맡기는 방식으로 발전되었다.

VMI 정책은 각 공급사들이 자신들의 제품의 재고현황을 직접 파악하고 공급시기와 공급량을 결정하며, 이때 공급사는 고객사 창고의 공간적 제약으로 인해 재고를 쌓아놓지 못하고 소량을 자주 보충해야 한다. 결과적으로 고객사는 주문비용과 재고비용을 절감할 수 있으나, 공급사는 갑작스런 수요 변동에

대비해 자사의 창고에 재고를 쌓아두어야 하며 잦은 배송, 긴급 배송을 함으로써 재고비와 운송비 모두가 증가하게 된다.

대부분의 최종조립업체에서는 매일의 생산스케줄에 따라 공급사가 직접 조립라인에 부품을 JIT(Just-In-Time)로 공급할 것을 요구하고 있다. 이런 경우 공급사는 JIT 공급을 위해 소량을 자주 공급해야 하기 때문에 운송비가 증가하고, 만일 고객사의 생산 스케줄이 바뀌거나 지연되는 경우에는 부품이 사용되지 않았으므로 부품 대금 지불이 지연되고 부품의 재고비의 부담까지 안게 된다. 결국 공급사는 이러한 형식적인 VMI로 인해 운송비와 재고비의 이중고를 겪게 되는 셈이다. 게다가 이러한 방식으로 VMI를 실시하고 있는 대부분의 고객사들은 부품 재고관리를 공급사에게 완전히 맡기지 못하고 직접 주문을 하고 있어 주문비는 고객사에게 그대로 남아있는 상황이다. VMI를 통하여 고객사(대기업)는 창고를 없애거나 최소한으로 줄일 수 있으나 공급사(중소기업)은 재고관리 업무를 담당하게 되었다.

그러나 최근 일부 제조업체에서 향후 3일간의 생산스케줄

[†] 연락저자 : 임석철, 443-749 경기도 수원시 영통구 원천동 산5번지 아주대학교 대학원 산업공학과, Tel : 031-219-2424, Fax : 031-219-2453, E-mail : scrim@ajou.ac.kr

2007년 5월 7일 접수; 2008년 5월 31일 수정본 접수; 2008년 8월 6일 게재 확정.

을 확정 운영하는 방식(3일 확정생산스케줄)을 시행함에 따라 공급사들이 확정스케줄 정보를 활용하여 VMI를 보다 효과적으로 운영할 수 있을 것으로 기대된다. 3일 확정생산스케줄이란 고객사가 향후 3일 간의 생산스케줄은 조정하지 않겠다는 정책으로, 오늘 밤에 내일, 모레, 글피의 생산스케줄이 확정되어 변경되지 않는 것이다. 보통은 매일의 수요 변화나 생산 조건 등의 변화에 따라 생산스케줄이 조정되는 것이 일반적이지만, 이 확정생산스케줄을 적용하면 안정된 생산이 가능하고 생산스케줄을 더 신중하게 세우게 된다는 장점이 있다.

만약 고객사가 확정생산스케줄 정책을 사용한다면 공급사는 부품의 단기간의 확정수요를 알 수 있어 최소한의 재고만 유지하며 결품이 나지 않도록 하는 재고보충 시기와 그 때의 보충량을 적절히 결정할 수 있다. 이에 따라 고객사의 재고비는 물론 공급사의 운송비의 절감이 가능하다.

물론 대개의 경우, 고객사가 확정생산스케줄 하에 있다면 재고를 쌓아두지 않기 위해 JIT로 공급을 받는 것이 최선의 방법이라 하겠다. 그러나 만일 공급사가 너무 먼 곳에 있어서 운송 리드타임이 너무 길거나 또는 공급사의 생산능력이 일정치 못해 안정된 공급이 불가능한 경우에는 JIT 공급이 어렵다. 또한 조립을 위한 단위 부품이나 구성품이 아니라 공용 소재(예: 직물, 페인트, 사출용 레진 등)같은 벌크제품은 그 Batch 단위를 나누어 JIT로 공급할 수는 없다. 또한 원부재료의 경우에도 JIT 공급보다는 어느 정도의 재고를 쌓아두는 것이 합리적이다.

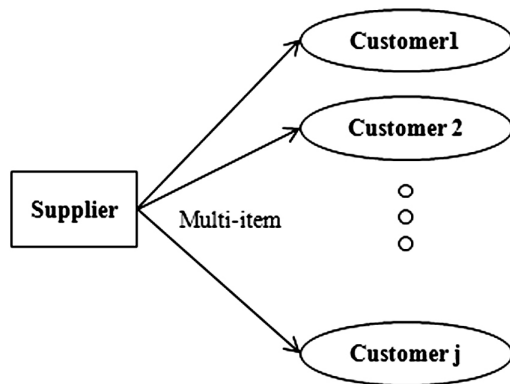


Figure 1. Two-level supply chain network

본 연구에서는 공급사가 이 확정스케줄 정보를 활용하여 VMI를 보다 효과적으로 운영하는 방안을 제안한다. <Figure 1>과 같이 하나의 공급사가 다수의 고객사에게 다수 품목을 보충하는 2단계 공급사슬에 대하여 결품을 허용하지 않으면서 확정스케줄 정보를 활용하여 확정생산스케줄 기간의 총비용(=운송비용+고객사 재고비용)을 최소화하는 문제를 혼합정수계획으로 모델링하였다. 공급사는 각 고객사의 향후 3일간의 확정수요 데이터를 활용하여 고객사별 품목별 보충량 결정을 매일 반복하는 동적(dynamic) 모형이다. 모형의 성능을 평가하기 위해 확정스케줄 정보를 활용하는 두 가지 모델, 즉 LP

모델과 휴리스틱 모델을 확정스케줄 정보 없이 품목별로 (s, S) 발주모형을 따르는 종전 방식과 동일 수치예제를 이용하여 총비용을 비교하였다.

2. 관련 연구

공급사 재고관리에 관한 연구 현황은 크게 ① VMI를 위한 재고보충 모형의 개발, ② VMI로 인해 발생하는 이익과 손실에 대한 분석, 그리고 ③ VMI 운영 효율에 영향을 끼치는 요소에 대한 분석으로 나눌 수 있다.

먼저 첫 번째, 재고보충 모형의 개발과 관련된 연구로 Cetinkaya and Lee(2000)는 VMI 하에서 일정 주기마다 (s, S) 방식으로 재고보충을 하는 단일 공급사, 다수 고객, 단일 품목의 2단계 공급사슬에서 품질과 고객 간 합적이 가능하다고 가정하고 총비용(= 운송비 + 재고비 + 품질비)을 최소화하는 목표재고량(S^*)과 운송 주기(T^*)를 구하는 휴리스틱 알고리즘을 제안하였다. 이들의 연구를 발전시켜 Axsäter(2001)는 동일 문제에 대한 최적 알고리즘을 제시하고, 더불어 개선된 휴리스틱 알고리즘도 제안하였다.

Chen *et al.* (2005)은 Cetinkaya and Lee(2000)의 연구를 발전시켜, 고객사가 일정 주기마다 상위 고객에게 물건을 배송하는 time-based 방식과 일정 물량에 도달하면 물건을 배송하는 quantity-based 방식의 두 가지 운송정책 중 어떤 것이 더 비용 효율이 높은지를 연구한 결과 quantity-based 방식이 time-based 방식보다 평균적으로 3.13%의 비용 효과를 보는 것으로 나타났다.

조금 다른 시각의 연구로는 Bertazzi *et al.* (2005)의 연구가 있다. 이들은 하나의 공급사가 복수의 고객에게 복수품목을 배송해 주되 품질을 허용하지 않는 VMI 환경에서 생산(주문), 운송에 대한 고정비 및 변동비, 그리고 공급사와 소매점에서의 재고비의 총합을 최소화하는 보충량과 생산량, 그리고 트럭의 운송경로를 구하기 위해 가급적 FTL(Full Truck Load)로 운송하는 휴리스틱 알고리즘을 제시하고 order-up-to 모델과 비교한 결과 제시한 알고리즘이 운송비용을 절감하여 총비용을 크게 절감하였다.

두 번째, VMI의 효과와 관련된 연구로는 Disney and Towill (2003)이 VMI가 RMI(Retailer-Managed Inventory)보다 order rate의 변동폭이 작아 Bullwhip effect가 감소함을 보여주었다. 또한 Disney *et al.* (2003)은 다른 연구를 통해 VMI 정책의 경우 운송비의 비중이 커짐을 보였다. 그 밖에 Dong and Xu(2002)는 단기적, 장기적 관점에서의 VMI의 비용 효과를 EOQ를 이용하여 분석하였는데, 단기적으로는 VMI로 인해 소매점의 이익은 항상 증가하고, 공급사의 이익은 대개 줄어들게 된다는 것을 수리적으로 증명하였다.

세 번째, VMI의 운영 효율에 영향을 끼치는 요소에 관한 연구로는 Yang *et al.* (2003)이 소매점의 재고는 수요 변동이나 재

고보충 간격, 한 벤더가 관리하는 소매점의 수에 영향을 받고, 벤더의 재고는 수요 변동, 벤더의 제품 전환 유연성, 그리고 벤더의 생산능력에 영향을 받는다고 하였다. 또한 Hong *et al.* (2006)은 차량 용량, 소매점 창고 용량, 소매점 재고 유지비의 순으로 유의한 영향을 끼침을 밝혔다. 동 논문은 품질을 허용하는 단일 공급사, 다수 소매점, 2품목, 일정 기간의 2단계 소매점 공급사슬에서 RMI와 VMI 각각의 경우 총비용을 최소화하기 위한 재고보충 모형을 혼합정수계획으로 모델링한 것으로서, 본 논문과 가장 유사한 주제를 다루고 있다. 그러나 이 논문은 RMI와 비교하기 위한 일반적인 VMI 환경을 다루고 있음에도 불구하고 실험기간 동안의 총비용 최적화를 위해 확정된 수요 데이터를 입력값으로 하고 있다. 그러나 공급사에게 확정 수요를 제시하면서도 품질을 허용하는 것은 부적절한 것으로 판단된다.

위에서 살펴본 연구들과 비교할 때 본 연구의 가장 큰 차이점은 고객사가 공급사에게 며칠간의 확정수요를 제시한다는 점이며, 이에 따라 결론은 허용되지 않는다.

3. 문제의 정의

본 연구에서 다루는 문제는 <Figure 1>과 같이 하나의 공급사가 다수의 고객사에게 다수 품목을 보충하는 2단계 공급사슬에 대하여 VMI 방식을 사용하되 고객사들의 확정생산스케줄 정보를 활용하여 결품을 허용하지 않으면서 총비용(= 운송비용 + 고객사 재고비용)을 최소화하는 문제이다. 공급사는 각 고객사의 향후 3일 간의 확정수요 데이터를 활용하여 고객사별 품목별 보충량 결정을 매일 반복하는 동적(dynamic) 문제이다. 공급사는 매일 밤 향후 3일 간의 확정수요를 고객사로부터 제공받음으로써 향후 3일 간의 재고보충에 대한 계획을 최적화할 수 있게 된다.

<Figure 2>에서 day 0의 기말재고는 I^0 이고, 향후 3일 간의 수요 D^1, D^2, D^3 가 확정이므로 범위 ①의 재고량 변화를 확정적으로 알 수 있다. Day 3에서 결품이 예상되므로 리드타임의 범위 내에서 재고를 보충해야 한다. 리드타임은 익일 새벽에 고객사에게 입고하는 것으로 가정한다. 이러한 상황이 여러 고객사에게 다수의 품목에 대하여 발생하는 바, 공급사는 자신의 생산계획이나 리드타임, 운송 효율 등을 고려하여 3일 간의 배송스케줄을 최적화할 수 있다. 만일 day 1에는 배송을 하지 않기로 한다면 day 1의 기말에 범위 ②의 재고량 변화를 확정적으로 알 수 있다. 만일 day 2에 q^2 만큼을 보충한다면 고객사의 재고량은 실선으로 바뀔 것이다. 공급사는 다수의 고객사에게 다수품목에 대하여 각각 이와 같은 3일간의 확정적 수요를 아는 상태에서 매일 공급량에 대한 의사결정을 해야 한다. 이때 고객사는 자사 창고의 재고를 일정수준 이하로 유지하고자 하며, 공급사는 3일 간의 확정적 수요정보를 활용하여 운송효율을 높여 운송비를 절감하고자 한다.

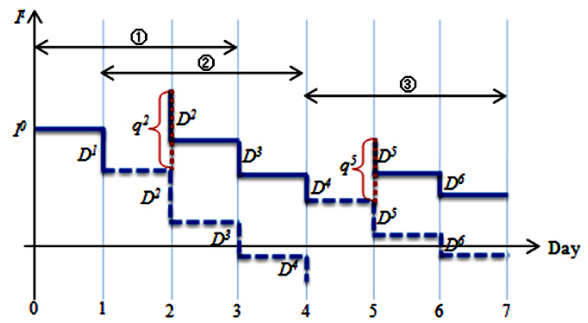


Figure 2. Inventory level using 3-day fixed demand

4. 모델링

본 연구에서는 재고보충정책에 대한 세 가지 모델을 비교한다. 첫째, 3일 간의 확정수요 정보를 이용하여 3일 간의 총비용 (= 고객사 재고비 + 공급사 운송비)을 최소화하는 혼합정수계획 모델을 제시한다. 두 번째는 확정수요 정보를 이용하되 트럭의 잉여공간을 활용하는 단순한 휴리스틱 알고리즘을 제시한다. 그리고 세 번째는 확정수요 정보가 제공되지 않는 일반적인 경우로서, 재고량이 재발주점 이하로 내려가면 목표재고량만큼 채워놓는 (s, S) 모형이다. 사용되는 트럭은 동일 용량이고 결정변수는 사용되는 트럭의 대수와 t 기간에 j 고객사에게 i 품목을 배송하는 보충량이다. 모델링을 위한 기호의 정의는 아래와 같다.

- i : 품목 (1, 2, 3, ..., I)
- j : 고객사 (1, 2, 3, ..., J)
- t : day(기간) (1, 2, 3, ..., T)
- I_{ij}^{t-1} : j 고객사에 있는 i 품목의 ($t-1$)기말 재고($I^0=0$)
- D_{ij}^t : j 고객사의 i 품목에 대한 t 기간의 수요
- λ_{ij} : j 고객사의 i 품목에 대한 평균 수요
- q_{ij}^t : j 고객사의 i 품목에 대한 t 기간의 보충량(결정변수)
- n^t : t 기간에 사용하는 트럭 대수(결정변수)
- C : 트럭 대당 부피용량
- V_i : i 품목의 단위당 부피
- S_j : j 고객사가 허용하는 창고용량
- F : 트럭 대당 고정 운송비
- H_i : i 품목의 단위당 일일 재고비
- B_i : i 품목의 단위당 일일 결품비

4.1 혼합정수계획 모델

본 연구에서는 목적함수인 총비용을 수요확정기간(3일)중의 운송비와 고객사가 보관중인 재고비의 합으로 정의한다. t 기의 운송비는 트럭 대당 운송비 F 와 t 기에 운행하는 트럭 대

수 n^t 의 곱으로 표현된다. 본 연구에서 운송은 그 위치가 정해진 고객사(들)까지의 운송이므로 거리는 이미 결정되어 있고 운송비는 운송 트럭의 댓수에만 비례한다. t 기의 각 고객사별, 품목별 재고비는 각 $(t-1)$ 기와 t 기의 재고의 평균에 품목별 단위당 일일 재고비를 곱한 것으로 표현된다. 이에 따라 본 문제를 다음과 같이 혼합정수계획 문제로 모형화 하였다.

$$\text{Min } TC = F \sum_{t=1}^3 n^t + \frac{1}{2} \sum_{t=1}^3 \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I (I_{ij}^{t-1} + I_{ij}^t) H_i \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I q_{ij}^t V_i \leq n^t C \quad (t=1, 2, 3) \quad (2)$$

$$I_{ij}^t = I_{ij}^{t-1} + q_{ij}^t - D_{ij}^t \quad (\forall i, j, t) \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^I (I_{ij}^{t-1} + q_{ij}^t) V_i \leq S_j \quad (\forall j, t) \quad (4)$$

$$I_{ij}^t \geq 0 \quad (\forall i, j, t) \quad (5)$$

$$q_{ij}^t \geq 0, q_{ij}^t \text{는 정수} \quad (\forall i, j, t) \quad (6)$$

목적함수는 식 (1)과 같이 운송비와 재고비의 합으로 표현된다. 식 (2)는 t 기의 총 배송품의 부피가 트럭의 총 용량을 초과하지 못함을 의미한다. 이때 일부 트럭은 복수의 고객사에 배달하기 위해 추가적인 이동이 발생할 수 있으나 그 추가비용은 무시할 만 하다고 가정한다. 식 (3)은 고객사의 재고량의 변화관계를 나타낸다. 식 (4)는 고객사의 창고 용량 제약을 나타내고, 식 (5)는 품질을 허용하지 않기 위함이다. 식 (6)은 결정변수인 t 기의 보충량을 항상 비음(non-negative) 정수로 제약한다. 해를 구하기 위해 LP 솔루션 ILOG CPLEX 9.0을 사용하였다. 이 모델의 목적함수는 3일 간의 총 비용을 최소화하는 것으로서, t 기간부터 $(t+2)$ 기간까지 3일 간의 배송스케줄, 즉 배송량과 그 때의 필요 트럭 대수가 결정된다. t 기간에 대해서만 계산된 배송스케줄대로 실시하고(myopic optimization) 하루가 지나면 $t+3$ 일째의 수요 데이터가 추가되어 다시 $t+1$ 기간부터 $t+3$ 기간까지의 배송스케줄을 세운다. 즉 3일간의 데이터를 이용한 rolling plan이다.

4.2 휴리스틱 알고리즘

본 연구에서 제시하는 휴리스틱 알고리즘은 3일간의 확정수요를 사용하여 당장 내일의 결품을 방지하기 위해 필요한 최소량만을 우선 상차하고, 트럭의 여유 공간이 생기는 경우 이를 2일째와 3일째의 수요 중에서 효과적으로 채워 FTL(Full Truck Load)로 보내는 것으로서, 다음과 같이 서술될 수 있다.

step 1 : 각 고객사의 품목별 일일 최소요구량 R_{ij}^t 을 식 (7)에 의해 구하여 이를 품목별 보충량의 초기값으로 한다.

step 2 : 식 (8)을 사용하여 필요한 트럭 대수 n^t 를 계산한다.

step 3 : 각 고객사의 2일째 품목별 수요가 가장 큰 품목을 선정하여 그 품목의 배송량을 한 단위씩 추가한다.

step 4 : 해당 D_{ij}^{t+1} 가 모두 트럭의 잉여공간에 상차가능하면 그 다음으로 수요가 큰 품목을 선정하여 그 품목의 배송량을 한 단위씩 추가한다.

step 5 : $(t+1)$ 기간의 모든 수요를 추가했음에도 트럭 용량이 남는다면 $(t+2)$ 기간에 대해서도 step 3과 step 4를 반복한다.

step 6 : step 3~step 5는 식 (2)와 식 (4)의 조건을 만족하는 범위 내에서 실시하고, 재고량 업데이트는 식 (3)과 같다.

$$R_{ij}^t = \max(0, D_{ij}^t - I_{ij}^{t-1}) \quad (\forall i, j) \quad (7)$$

$$n^t = \lceil \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I R_{ij}^t V_i / C \rceil \quad (8)$$

(여기서 $\lceil x \rceil$ 는 x 보다 작지 않은 최소 정수)

4.3 (s, S) 발주모형

(s, S) 발주모형은 항시 재고를 확인하고 재고수준이 재발주점인 s 에 이르면 order-up-to-level인 S 까지 재고를 채워놓는 방식이다. 이 중, 재발주점(ROP_{ij})은 EOQ 모델과 마찬가지로 운송 리드타임 동안의 평균수요와 안전재고의 합으로 계산하고, order-up-to-level $S(OUL_{ij})$ 는 각 고객사의 창고용량을 품목별 수요 비율로 나누어 배분하기로 한다. 각 고객사의 품목별 수요는 각각 평균이 λ_{ij} 이고 표준편차가 $\sqrt{\lambda_{ij}}$ 인 포아송 분포를 따른다고 가정하면 ROP_{ij} 는 식 (9)로, OUL_{ij} 는 식 (10)로 각각 표현된다. 여기서 LT 는 운송리드타임, z 는 서비스 수준을 나타내기 위한 정규분포함수의 값이다. 즉, 이 모델은 서비스 수준에 따라 결품이 발생할 수 있다. 그러므로 전체 비용함수에 식 (11)과 같은 결품비용(BC)이 양수로 추가된다.

$$ROP_{ij} = LT \times \lambda_{ij} + z \sqrt{\lambda_{ij}} \sqrt{LT} \quad (9)$$

$$OUL_{ij} = (\lambda_{ij} / \sum_{i=1}^I \lambda_{ij} V_i) \times S_j \quad (10)$$

$$BC = - \sum_t \sum_j \sum_i B_i \times \min(I_{ij}^{t-1} + q_{ij}^t - D_{ij}^t, 0) \quad (11)$$

5. 수치예제

리드타임이 1일인 1개의 공급사와 3개의 고객사, 2개의 품목, 3일간의 확정생산스케줄을 가지는 수치예제를 LP 모델과 휴리스틱 알고리즘, 그리고 (s, S) 모델에 적용하여 각각의 해를 구

하였다. 각 고객사의 품목별 수요는 포아송 분포를 따르며, 수치예제에 필요한 모수값들은 <Table 1>과 같다. 또한 서비스 수준이 90%(z = 1.29)인 (s, S) 발주모형을 위한 ROP_{ij} 와 OUL_{ij} 는 <Table 2>와 같이 계산된다. 이러한 데이터와 함께 100일 간의 수요를 발생시켜 세 가지 모델을 실험한다.

Table 1. Parameters of numerical example

λ_{ij}	$i = 1$	$i = 2$	$S_j(m^3)$
$j = 1$	8	5	10
$j = 2$	10	3	15
$j = 3$	5	12	20
$H_i(\text{₩})$	200	400	C = 20(m ³) F = 100,000(₩)
$B_i(\text{₩})$	2000	3500	
$V_i(m^3)$	0.25	0.40	

Table 2. (ROP_{ij} , OUL_{ij}) of each item and customer

(ROP_{ij} , OUL_{ij})	$i = 1$	$i = 2$
$j = 1$	(12, 20)	(8, 12)
$j = 2$	(15, 40)	(6, 12)
$j = 3$	(8, 16)	(17, 39)

5.1 운송비 분석

100일간 시뮬레이션 결과 각 모델별로 이용된 총 트럭의 대수와 총 배송 횟수는 <Figure 3>과 같다. 총 트럭 대수에서는 (s, S) 모델 적용 시 121대가 사용되었으나, MIP 모델과 휴리스틱 알고리즘을 사용 시 각각 88대와 82대로 27.3%, 32.2%의 큰 절감을 얻을 수 있었다. 이는 곧 총 운송비의 절감으로 나타나게 된다.

총 배송 횟수는 MIP 모델과 휴리스틱 알고리즘이 총 트럭 대수와 동일하게 나타났다. 즉, 1회 배송 시 1대의 트럭을 이용하였고, (s, S) 모델에서는 1회 배송 시 1.22대의 트럭을 이용하였

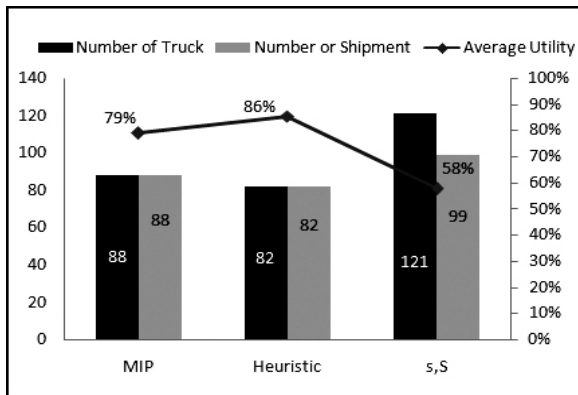


Figure 3. Number of trucks, shipment, and average truck utilization

다. 배송 횟수 면에서는 11.1%, 17.2%의 절감효과가 나타난다. 배송이 일어나는 경우 각 모델별 평균 트럭 적재율은 운송 효율을 전혀 고려하지 않은 (s, S) 모델의 적재율이 58%로 가장 낮고 FTL을 기반으로 하는 휴리스틱 알고리즘의 결과가 86%로 가장 높게 나타났다.

5.2 재고비 분석

각 모델별 총 평균 재고량은 100일의 실험기간 동안 고객사의 창고에 유지되는 일평균재고량을 말한다. <Figure 4>에서 보듯이 MIP 모델이 가장 적은 재고를 고객사 창고에 유지하고, 그에 따라 재고비도 최소값을 가진다. MIP 모델은 (s, S) 모델에 비해 재고량이 87.5% 감소하고, 또한 재고가 창고를 차지하는 공간의 크기 역시 89.9%나 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 재고비의 절감뿐만 아니라 고객사의 창고 공간 효율에 있어서도 상당한 효과를 줄 것으로 보인다.

LP 모델과 휴리스틱 알고리즘은 품질을 허용하지 않지만 (s, S) 모델은 90%의 서비스수준을 만족시키는 안전재고를 유지하기 때문에 품질이 발생할 수 있는데, 여기서는 총 2회의 품질이 발생하였다.

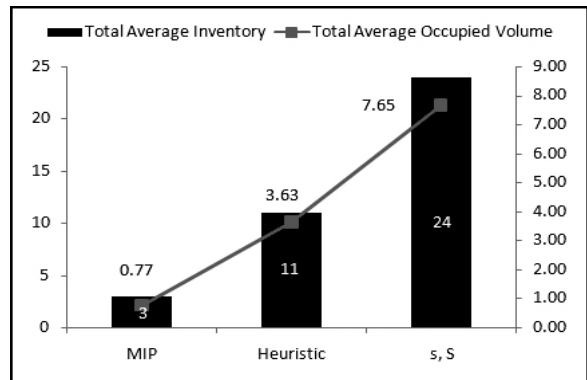


Figure 4. Average inventory and occupied volume

5.3 총 비용 분석

앞서 보았듯이 예제에 대하여 운송비에서는 휴리스틱 모델이, 재고비 부분에서는 LP 모델이 최소값을 나타냈다. 그러나 총비용으로 보면 (s, S) 모델의 결과 14,226,600원으로 나타났고, 총비용을 최소로 하는 목적함수를 가지는 MIP 모델이 9,005,200원으로 나타나 36.77%의 총 비용 절감효과가 있는 것으로 나타났다. 즉, 3일간의 확정 수요를 아는 것이 공급사의 배송계획을 최적화하여 운송비와 재고비를 모두 크게 절감할 수 있었다.

특히 주목할 점은 운송비 부분이다. 향후 3일 간의 확정수요를 알기 때문에 고객사에 최소한의 재고만 유지할 수 있어 재고비가 줄어드는 것은 당연하지만, 확정 수요를 이용하면 <Figure 5>에서 보듯이 MIP 모델과 휴리스틱 알고리즘은 운송

비에서도 (s, S) 모델에 비하여 약 30%가 절감된다. 이는 (s, S) 모델이 보충량을 결정할 때 트럭의 용량을 효과적으로 활용하는 Full Truck Load를 추구하지 않는 반면에, 본 논문에서 제시한 MIP 모델과 휴리스틱 알고리즘은 공히 운송비 최소화를 추구하기 때문이다.

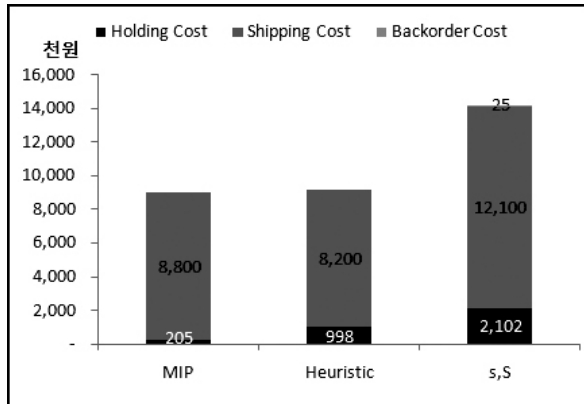


Figure 5. Composition of total cost

각 모델의 시뮬레이션 시간은 <Table 3>과 같이 휴리스틱 알고리즘과 (s, S) 모델이 MIP 모델에 비해 월등히 빠르다. 이 예제와 같이 MIP 모델과 휴리스틱 알고리즘의 총 비용이 비슷하다면 휴리스틱 모델의 성능이 MIP 모델보다 속도면에서 더 좋다고 볼 수 있다.

Table 3. Computation time(seconds)

	MIP	Heuristic	(s, S)
computation time	7.829	0.015	0.015

6. 실험의 확장

제 5절의 수치예제를 발전시켜 위의 결과가 확정생산일수나 제품의 특성, 또는 공급망의 특성에 따라 변동이 있는지 알아보기로 한다.

6.1 5일 확정생산계획

3일 간의 생산스케줄을 확정했던 것을 변형하여 5일간의 생산스케줄을 확정하면 결과에 어떤 영향을 미치는지 실험하였다. 그림이 나타내는 개선율은 (s, S) 모델과 비교했을 때의 비용절감비율이다. <Figure 6>과 같이 MIP 모델은 기존 (s, S) 모델과 비교했을 때 비용 개선율의 변동이 거의 없다. 그에 반해 휴리스틱 알고리즘은 <Figure 7>과 같이 재고비 개선율이 감소하고 운송비 개선율이 증가하면서 총 비용 개선율은 약간 증가하는 결과를 보인다.

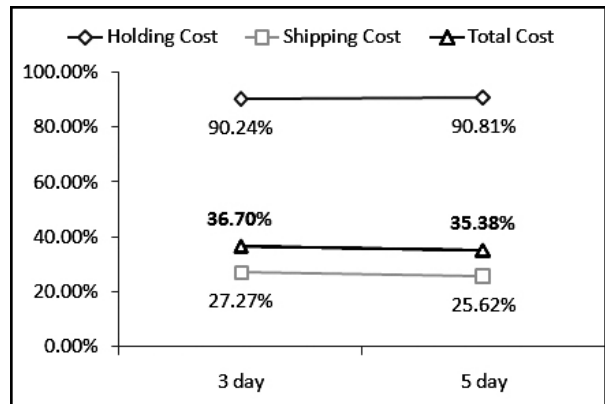


Figure 6. Improvement ratio of MIP over (s, S)

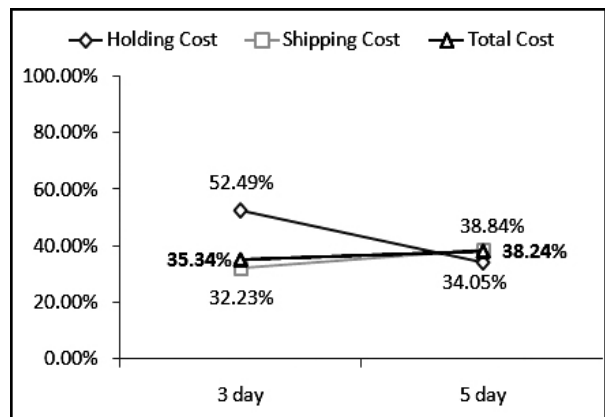


Figure 7. Improvement ratio of the heuristic over (s, S)

휴리스틱 알고리즘은 최소요구량을 우선 상차 후, 해당 트럭을 FTL로 채우는 과정에서 상차 물량을 5일 후의 수요까지 고려할 수 있기 때문에 3일 기준보다 더 많은 수량을 상차하게 되고, 그에 따라 재고가 증가하는 것으로 여겨진다. 그러나 MIP 모델은 해당 확정기간 동안의 최적화를 매일 반복하기 때문에 둘 사이에 큰 변화가 없다.

6.2 제품 특성 변경

제 5절의 수치예제와 비교하여 제품 특성이 다른 경우에는 어떤 결과가 나타나는지 살펴본다.

6.2.1 제품의 단위당 재고비용이 큰 경우

기존 수치예제에서 각 제품의 단위당 일일재고비는 200원과 400원으로 주어졌지만 이번에는 1000원과 800원으로 변경시켜 보았다. <Figure 8>, <Figure 9>에서 보듯이 MIP와 휴리스틱 모델 모두 재고비와 운송비가 크게 개선되지는 않았으나 총비용으로 보면 개선율이 약간 증가하였다. 총비용의 절감율이 재고비와 운송비 각각의 절감율과 다른 양상을 보이는 것은 (s, S) 모델에서 발생하는 결품비의 영향이다.

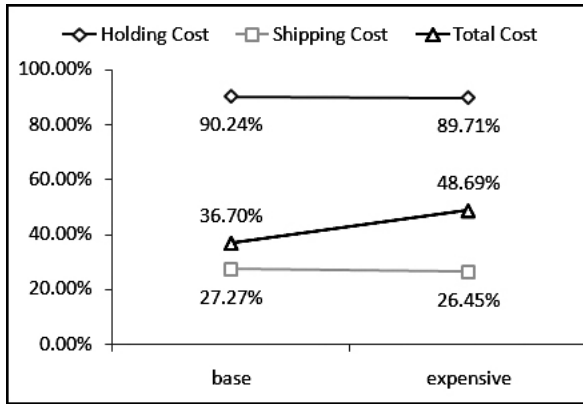


Figure 8. Improvement ratio of MIP over (s, S)

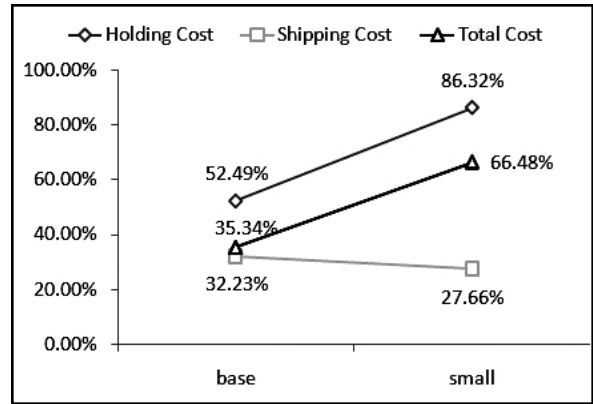


Figure 11. Improvement ratio comparison of base example with smaller item, Heuristic model

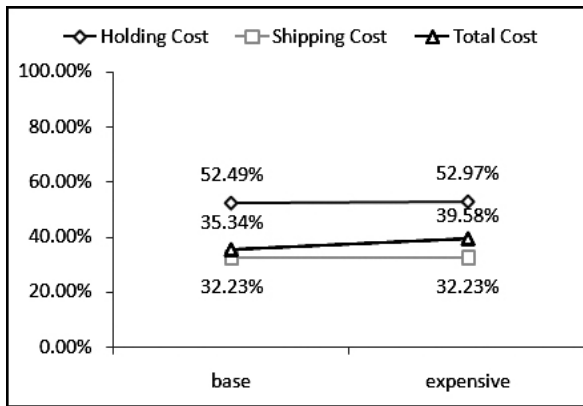


Figure 9. Improvement ratio of the heuristic over (s, S)

6.2.2 제품의 크기가 작은 경우

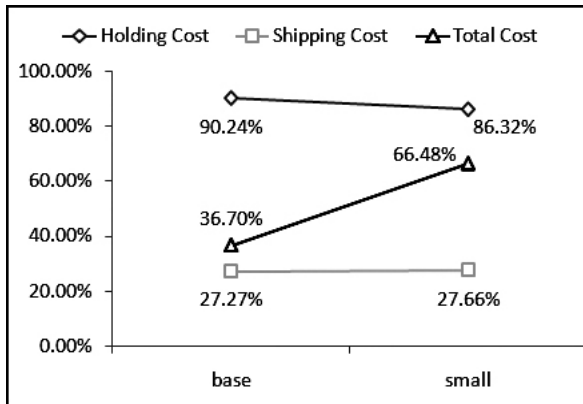


Figure 10. Improvement ratio comparison of base example with smaller item, MIP model

기존 수치예제의 0.25m³, 0.40m³를 0.05m³, 0.1m³로 줄여서 실험한 결과는 <Figure 10>, <Figure 11>과 같다. MIP 모델은 재고비와 운송비 각각의 절감율은 비슷하지만 총비용 절감율은 크게 증가하였다. 반면, 휴리스틱 모델은 운송비는 절감율의 차이가 크지 않으나 재고비와 총비용의 절감율이 크게 증가하였다.

6.3 공급사들 특성 변경

수치예제에서 3개의 고객사를 고려하였으나, 이번에는 고객사가 1개, 2개인 경우를 각각 비교해본다. <Figure 12>를 보면 MIP 모델은 고객사의 수가 많아질수록 운송비의 개선율은 떨어지고 재고비의 개선율은 증가하는 것으로 나타난다. 이 모델은 확정기간 동안의 재고비와 운송비의 합을 최소화시키는 목적함수로 운영되는데, 공급사의 수가 많아질수록 이 최적화의 여지가 커지기 때문에 전체적인 개선율도 증가하는 것으로 보인다. 그러나 운송비의 개선율에는 큰 영향을 주지 않았다.

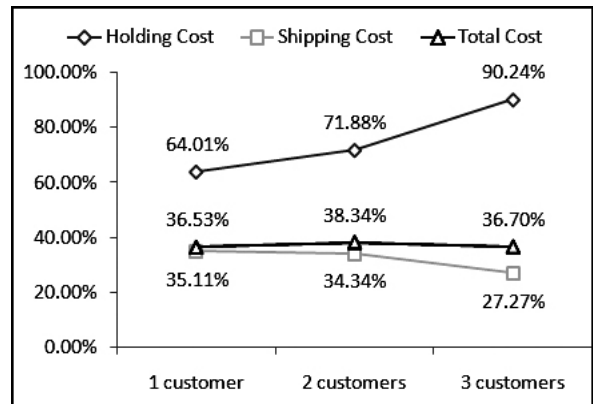


Figure 12. Improvement ratio comparison of base example with less customers, MIP model

<Figure 13>을 보면 휴리스틱 알고리즘도 역시 고객사가 많아질수록 재고비 개선율이 증가하는 경향을 보이나, 운송비의 개선율에는 큰 영향을 주지 않는 것으로 나타난다. Backorder는 (s, S)방식에서만 나타나기 때문에 세 방식간에 비교하지는 않았다. 총비용 관점에서 보면 MIP 모델이나 휴리스틱 모델 모두 (s, S) 모델에 비해 항상 35% 정도의 개선율을 유지하고 있음을 알 수 있다.

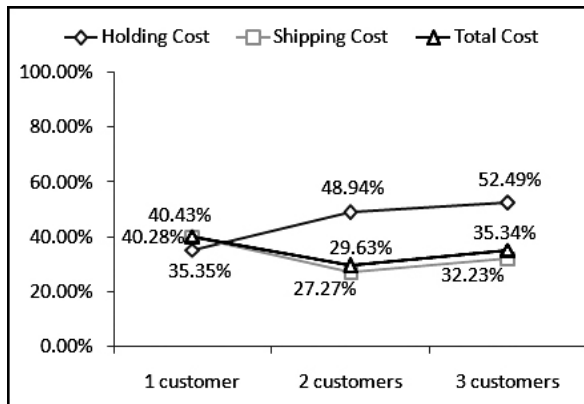


Figure 13. Improvement ratio comparison of base example with less customers; Heuristic model

7. 결론 및 향후 연구과제

본 논문에서는 단일 공급사, 다수의 고객사, 다품목의 2단계 공급사슬에서 고객사의 생산스케줄이 3일 확정정책을 따르는 경우의 운송비와 고객사의 재고비의 절감효과를 연구하였다. 3일 확정생산스케줄을 활용하는 두 가지 모델을 제시하고, 시뮬레이션을 사용하여 확정생산스케줄이 없는 환경에서의 (s, S) 발주모델과 비교하였다. 실험 결과 확정생산기간이나 제품 특성, 고객사의 수와 관계없이 항상 확정생산스케줄 정책하의 모델이 그렇지 않은 경우에 비해 30% 이상의 총비용 절감효과가 있는 것으로 나타났다.

본 연구에서 주목할 만한 결과는 확정생산스케줄 하의 모델에서 재고비 뿐만 아니라 운송비의 절감 효과도 크게 나타났다는 것이다. 일반적으로 VMI 정책을 실시하면 공급받는 고객사의 입장에서는 주문업무가 사라지는 이득을 얻지만, 공급사는 잦은 배송으로 말미암아 운송비가 증가하는 경향이 있다. 이에 대한 보상책으로 고객사가 공급사에게 일정 기간의 확정수요를 제공한다면 공급사는 이 확정수요 데이터를 이용하여

적절한 운송 스케줄을 세울 수 있어 운송비를 절감할 수 있는 것이다. 최근 3일 확정생산스케줄 정책을 활용하는 기업이 늘어남에 따라 공급사에게 있어서 이러한 운송비 절감 가능성을 제시하는 것이 의미가 있다고 사료된다. 향후 가능한 연구로는 고객사의 위치나 중요도를 고려하여 익일 배송 고객사를 선정하는 문제를 고려할 수 있다.

참고문헌

- Axsäter, S. (2001), A Note on Stock Replenishment and Shipment Scheduling for Vendor-Managed Inventory Systems, *Management science*, **47**(9), 1306-1310.
- Bertazzi, L., Paletta, G., and Speranza, M. G. (2005), Minimizing the Total Cost in an Integrated Vendor-Managed Inventory System, *Journal of Heuristics*, **11**, 393-419.
- Çetinkaya, S. and Lee, C. (2000), Stock Replenishment and Shipment Scheduling for Vendor-Managed Inventory Systems, *Management Science*, **46**(2), 217-232.
- Chen, F. Y., Wang, T., and Xu, T. Z. (2005), Integrated Inventory Replenishment and Temporal Shipment Consolidations : A Comparison of Quantity-Based and Time-Based Models, *Annals of Operations Research*, **135**, 197-210.
- Disney, S. M. and Towill, D. R. (2003), The effect of vendor managed inventory(VMI) dynamics on the Bullwhip Effect in supply chain, *International Journal of Production Economics*, **85**, 199-215.
- Disney, S. M., Potter, A. T., and Gardner, B. M. (2003), The impact of vendor managed inventory on transport operations, *Transportation Research Part E*, **39**, 363-380.
- Dong, Y. and Xu, K. (2002), A Supply chain model of vendor managed inventory, *Transportation Research Part E*, **38**, 75-95.
- Hong, S. C. and Park, Y. B. (2006), A Comparison Study on Retailer-managed and Vendor-managed Inventory Policies in the Retail Supply Chain, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **32**(4), 382-392.
- Yang, K. K., Ruben, R. A., and Webster, S. (2003), Managing Vendor Inventory in a Dual Level Distribution System, *Journal of business logistics*, **24**(2), 91-108.