J. Soc. Korea Ind. Syst. Eng Vol. 40, No. 4 : 105-111, December 2017
https://doi.org/10.11627/jkise.2017.40.4.105

ISSN : 2005-0461(print)
ISSN : 2287-7975(online)

# VMI with Upper Limit of Inventory for Vendor and Retailer

Dongju Lee†

Department of Industrial & Systems Engineering, Kongju National University

# 판매자와 구매자의 재고상한이 존재하는 VMI

이 동 주†

공주대학교 산업시스템공학과

Vendor Managed Inventory is a well-known vendor-retailer coordination approach in supply chain management where the vendor manages inventory of the retailer and determines the order interval and order quantity for the retailer. To consider practical situation, the upper limit of inventory for the retailer is set. If the inventory level for the retailer exceeds the upper limit, then the penalty cost is charged to the retailer. Furthermore, maximum allowable inventory level is set for the vendor to prevent the vendor from keeping much inventory. Single-vendor multi-retailer supply chain model with upper limit of inventory for vendor and retailers is studied. All the retailers' are assumed to have the common cycle time, and a vendor manages retailers' inventory and replenishes products. The mathematical formulation is introduced to minimize the total cost including the penalty cost violating the upper limit of inventory for retailers with the constraint of maximum allowable inventory level. The solution procedure based on Karush-Kuhn-Tucker (KKT) conditions is derived. KKT conditions are often applied to find an optimal solution of nonlinear programming problem with constraints. An illustrative example is used to show the application of the proposed solution procedure. Furthermore, sensitivity analysis is done to find out the relationship between maximum allowable inventory level and other values such as order quantity, the number of shipment, vendor's cost, retailer's cost, and total cost. As maximum allowable inventory level decreases, the number of shipment decreases but total cost increases. Order quantity has the trend of decline and is affected by the number of shipment.

Keywords : Vendor Managed Inventory, Upper Limit of Inventory, Supply Chain Management

## 1. 서 론

공급사슬관리(Supply Chain Management)는 생산에서 유통에 이르는 전체 프로세스에서 기업간의 협력을 통해 정보를 공유하고 불필요한 재고를 줄임으로써 비용절감과 이윤증진을 꾀하는 경영기법이다. Lee[7]는 공급사슬내에 하나의 판매자와 하나의 구매자가 협력하는 통합재고관리기법을 소개하고 이에 대한 해법을 제시하였다. 이외에도 공급사슬의 각 단의 판매자와 구매자와 같은 참여원들의 협력을 통한 비용절감을 하는 전략들에 대한 많은 연구들이 이루어져 왔는데, 이러한 기법 중 하나가 공급자주도재고관리(Vendor Managed Inventory, VMI)이다. 공급자주도재고관리란 주문자와 공급자 간에 전략적인 제휴를 통해 주문자는 판매정보 또는 생산 및 조립의 스케줄 및 진도와 재고현황 등의 정보를 공급자에게 제공하고 제품 또는 부품재고의 주문 및 관리를 공급자에게

Received 4 August 2017; Finally Revised 27 October 2017; Accepted 30 October 2017
† Corresponding Author : djlee@kongju.ac.kr

일임하는 방식이다[5]. VMI는 1980년대에 Walmart과 Procter & Gamble간에 처음 도입된 이후 Campbell Soup, Barilla 등에 적용되었다[11].

Kim 등[4]은 제 3자 물류업체가 주도하는 VMI 서비스의 효과에 대해 분석하였는데, 물류비용의 감소를 유도하고, 제 3자 물류업체, 판매업체, 구매업체 모두에게 긍정적인 영향을 미친다고 하였다. Ryu[10]는 VMI가 성공하기 위한 중요한 특징으로 정보공유의 정도, 통합의사결정과정, 비용지불의 주체를 꼽았으며, 이외에도 VMI로 인해 생기는 이익의 분배도 중요하다고 하였다.

Lee[6]는 단일 판매자와 다수 구매자가 존재하는 공급사슬모형에서 VMI를 적용하는 문제에서 Taylor 추정을 이용하여 2차계획법 문제로 변환하고 근사최적해를 구하는 해법을 제시하였다. Kim[3]은 부품제조기업과 제품제조기업간의 VMI를 통한 생산 통제 및 재고할당문제를 마코프의사결정 문제로 모형화하고, 휴리스틱기반의 부품 생산 및 통제 전략을 제시하였다. Lee and Jeong[8, 9]는 육군 탄약공급사슬모형에 군사령부가 편성부대의 재고를 직접 보충하고 관리하도록 VMI 적용을 고려하였다. 또한, 이 문제에 대한 혼합정수계획 수리모형을 제시하고 시간 및 인력감축과 재고관리비 절감 등의 효과가 있을 것으로 예측하였다. Khan 등[2]은 단일판매자와 단일구매자가 있고 위탁판매를 하는 VMI 문제에서 불량품이 존재하는 경우에 대한 모형을 제시하고, 불량품의 비율이 구매자와 판매자 모두에게 큰 영향을 미친다고 하였다. Darwish and Odah[1]는 단일 판매자와 다수 구매자가 존재하고 구매자가 일정량 이상의 재고를 보유하면 벌과금이 존재하는 VMI 모형에 대하여 KKT(Karush-Kuhn-Tucker) 조건에 기반한 해법을 제시하였다. 구매자의 재고수준은 초과 재고량에 대한 벌과금 부여로 제한을 받지만, 판매자의 재고수준에는 제한이 없는 것이 약점이라 하겠다.

본 논문에서는 Darwish and Odah[1]의 문제에 현실적인 제약인 판매자의 재고수준에 제한이 있다는 제약을 추가하고 해법을 제시하고자 한다. 또한, 판매자의 최대 허용 재고수준이 변화함에 따라 구매자의 주문량과 판매자로부터 구매자로의 이송횟수, 총비용에는 어떤 영향을 미치는지 실험을 통해 알아보았다. 논문의 구성은 다음과 같다. 이어지는 제 2장에서는 본 논문에서 사용되는 기호들을 설명하고 문제설명과 더불어 수학모형을 제시하였다. 제 3장에서는 KKT 조건을 이용하여 해법을 개발하고 최적해를 구하는 알고리즘을 제시하였다. 제 4장에서는 실험을 통하여 판매자의 최대 허용 재고수준의 변화가 어떤 영향을 미치는지 살펴보고, 마지막으로 제 5장에서는 결론과 미래연구방향에 대해 논의하였다.

## 2. 기호 및 수학 모형

본 논문에 사용되는 기호들을 나열하며 다음과 같다.

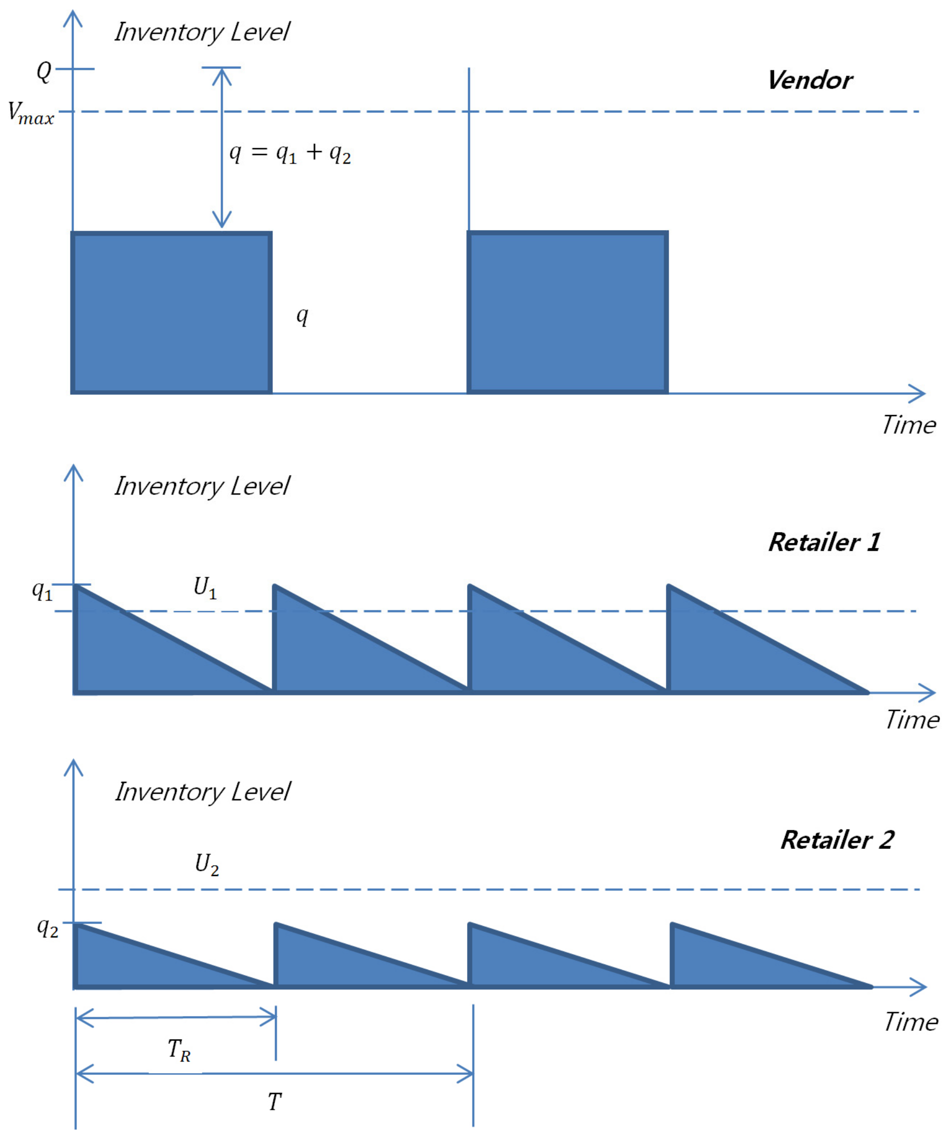
- $A_v$ : 판매자의 주문비용
- $A_j$ : 구매자 $j$의 주문비용
- $h_v$ : 판매자의 재고유지비용
- $h_j$ : 구매자 $j$의 재고유지비용
- $\pi_j$ : 구매자 $j$의 과잉재고 벌과금
- $m$ : 구매자의 수
- $D_j$ : 구매자 $j$의 수요율
- $D$ : 판매자의 수요율, $D=\sum_{j=1}^{m} D_j$
- $V_{\max}$ : 판매자의 최대 허용 재고수준
- $U_j$ : 구매자 $j$의 재고수준의 상한
- $Q$ : 판매자의 주문량
- $q_j$ : 구매자 $j$에게 보내는 양
- $q$ : 판매자가 모든 구매자들에게 보내는 양의 합, $q=\sum_{j=1}^{m} q_j$
- $T$ : 판매자의 주문주기(cycle time)
- $T_R$ : 구매자들의 공통주문주기
- $n$ : 한 주문주기에서 판매자가 구매자에게 보내는 이송횟수
- $S$ : 재고수준의 상한을 초과하는 구매자들의 전체 집합
- $r$ : 집합 $S$에 속하는 구매자, $r=1, \cdots, m$.

<Figure 1>은 1명의 판매자와 2명의 구매자가 있는 경우의 시간에 따른 재고수준을 보여주고 있다. 판매자(Vendor)는 재고가 입고되자마자 $q$개의 재고가 구매자 1(Retailer 1)과 구매자 2(Retailer 2)에게 보내져 $(n-1)q$개의 재고가 남게 된다. 이때 판매자의 재고수준은 판매자의 최대 허용 재고수준인 $V_{\max}$보다 작게 유지된다. 구매자 1의 경우에는 구매자 1의 재고수준의 상한인 $U_1$을 초과하며, 구매자 2의 경우에는 $U_2$를 초과하지 않는다. 판매자는 구매자 1과 2에게 한 주문주기당 2번 이송한다.

모든 구매자는 $T_R$의 동일한 주문주기를 가지므로 구매자 1의 주문량($q_1$)은 전체주문량($q$)과 수요량의 비율($D_1/D$)의 곱으로 표현할 수 있다. 즉, 수요량의 비율이 20%라면 주문량도 전체주문량의 20%일 것이다. 그러므로, $q_1=\frac{D_1}{D}q$로 표현할 수 있다. 한편, 판매자의 주문량($Q$)은 구매자들의 주문량인 $q$를 $n$번 이송할 수 있는 양이므로 $Q=nq$이다. 그러므로,

$$Q=\frac{D}{D_1}nq_1 \tag{1}$$

로 나타낼 수 있다.




<Figure 1> Inventory Levels for Vendor, Retailer 1, and Retailer 2 Against Time

총비용은 식 (2)와 같다.

$$TC = \frac{(A_v + n\Sigma_{j=1}^{m} A_j) D_1}{n q_1} + \frac{(n-1) D h_v q_1}{2 D_1} \tag{2}$$

$$\frac{q_1}{2D_1}\sum_{j=1}^{m} h_j D_j + \frac{D_1}{2q_1}\sum_{j \in S}\frac{\pi_j}{D_j}\left(\frac{D_j}{D_j} q_1 - U_j\right)^2$$

첫 번째 항은 판매자와 구매자들의 발주비용을 나타내고, 두 번째 항은 판매자의 재고유지비용을 나타내고, 세 번째 항은 구매자들의 재고유지비용을 나타내고, 마지막 항은 최대 재고수준이 구매자의 재고수준의 상한인 $U_j$를 넘는 구매자들($S$)의 벌과금을 나타내고 있다.

본 연구에서 다루는 문제를 수학모형으로 나타내면 다음과 같다.

P : Min TC($n$, $q_1$, $S$)

s.t.

$$D_1 \frac{U_r}{D_r} \le q_1 \tag{3}$$

$$q_1 \le D_1 \frac{U_r + 1}{D_r + 1} \tag{4}$$

$$\frac{D}{D_1}(n-1) q_1 \le V_{\max} \tag{5}$$

$$n \in \{1, 2, \cdots\} \tag{6}$$

목적함수는 총비용인 식 (2)의 최소화이다. Darwish and Odah[1]에 따르면 $\frac{U_1}{D_1} \le \frac{U_2}{D_2} \le \cdots \le \frac{U_m}{D_m}$로 구매자들을 정렬했을 때 $U_j$를 넘어서는 최대 재고수준을 가진 구매자

들의 집합인 $S$의 실현가능해 영역은 $\varPhi, \{1\}, \{1,2\}, \cdots, \varOmega$이다. $r$은 $U_j$를 넘어서는 최대 재고수준을 가진 구매자들의 수를 나타내는데, $r=\varPhi, \{1\}, \{1,2\}, \cdots, \varOmega$로 하는 각각의 경우에 대해 식 (3)~식 (6)을 제약식으로 하고 목적함수를 최소화하도록 하면 $U_j$를 가진 구매자들을 고려한 VMI 문제에 대해 최적해를 구할 수 있다. 한편, 식 (1)에 의해 판매자의 주문량을 구할 수 있는데, 판매자에게 제품이 입고되자마자 구매자들에게 $q$개가 이송되므로 판매자의 최대 재고량은 $Q-q=\frac{D}{D_1}nq_1-\frac{D}{D_1}q_1=\frac{D}{D_1}(n-1)q_1$이다. 식 (5)는 판매자의 최대재고량이 $V_{\max}$보다 같거나 작다는 것을 의미한다. 마지막으로 식 (6)은 한 주문주기당 판매자로부터 구매자들로의 이송횟수는 정수여야 한다는 것을 나타낸다.

## 3. KKT 조건을 이용한 해법

Darwish and Odah[1]는 식 (5)가 없는 문제 P에 대해 KKT 조건으로 최적해를 구할 수 있다고 하였다. KKT 조건이란 제약식이 있는 비선형계획법문제에서 최적해를 구하기 위해 쓰이는 조건이다. 이번 장에서는 문제 P에 대한 KKT 조건을 찾고 그에 따른 최적해를 구하는 알고리즘을 개발하고자 한다. 먼저 식 (6)을 제외한 문제 P에 대한 라그랑주 함수(Lagrangian function)를 나타내면 식 (7)과 같다.

$$\begin{aligned} &L(n, q_1, S, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) \qquad (7)\\ &= \frac{(A_v+n\sum_{j=1}^m A_j)D_1}{nq_1}+\frac{(n-1)Dh_vq_1}{2D_1}+\frac{q_1}{2D_1}\sum_{j=1}^m h_jD_j \\ &+\frac{D_1}{2q_1}\sum_{j\in S}\frac{\pi_j}{D_j}\left(\frac{D_j}{D_1}q_1-U_j\right)^2+\lambda_1\left(D_1\frac{U_r}{D_r}-q_1\right) \\ &+\lambda_2\left(q_1-D_1\frac{U_r}{D_r}\right)+\lambda_3\left(\frac{D}{D_1}(n-1)q_1-M\right)\end{aligned}$$

식 (7)을 이용하여 KKT 조건을 구하면 식 (8)~식 (16)과 같다.

$$\begin{aligned} &-\frac{(A_v+n\sum_{j=1}^m A_j)D_1}{nq_1^2}+\frac{(n-1)Dh_v}{2D_1}+\frac{1}{2D_1}\sum_{j=1}^m h_jD_j \qquad (8)\\ &+\frac{1}{2D_1}\sum_{j\in S}\pi_jD_j\left[1-\left(\frac{D_1}{q_1D_j}U_j\right)^2\right] \\ &-\lambda_1+\lambda_2+\lambda_3\frac{D}{D_1}(n-1)=0\end{aligned}$$

$$-\frac{A_vD_1}{n^2q_1}+\frac{Dh_vq_1}{2D_1}+\lambda_3\frac{D}{D_1}q_1=0 \qquad (9)$$

$$\lambda_1\left(D_1\frac{U_r}{D_r}-q_1\right)=0 \qquad (10)$$

$$\lambda_2\left(q_1-D_1\frac{U_{r+1}}{D_{r+1}}\right)=0 \qquad (11)$$

$$\lambda_3\left(\frac{D}{D_1}(n-1)q_1-M\right)=0 \qquad (12)$$

$$D_1\frac{U_r}{D_r}\le q_1 \qquad (13)$$

$$q_1\le D_1\frac{U_{r+1}}{D_{r+1}} \qquad (14)$$

$$\frac{D}{D_1}(n-1)q_1\le M \qquad (15)$$

$$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, n, q_1\ge 0 \qquad (16)$$

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$의 값이 0인지 아닌지에 따라 KKT 조건들을 만족하는 해들을 구하면 총 $2^3=8$가지의 경우가 있다.

**경우 1. $\lambda_1=0, \lambda_2=0, \lambda_3=0$일 때**

식 (8)과 식 (9)를 이용하여 $q_1, n$을 구하면 식 (17), 식 (18)과 같다.

$$q_1=\sqrt{\frac{D_1^2\left[\frac{2}{n}(A_v+n\sum_{j=1}^m A_j)+\sum_{j\in S}\pi_j\frac{U_j^2}{D_j}\right]}{(n-1)Dh_v+\sum_{j=1}^m h_jD_j+\sum_{j\in S}\pi_jD_j}} \qquad (17)$$

$$n=\frac{D_1}{q_1}\sqrt{\frac{2A_v}{Dh_v}} \qquad (18)$$

식 (17)과 식 (18)에서 구한 $q_1, n$은 식 (13), 식 (14)에 따라 $\frac{U_r}{D_r}\le\frac{q_1}{D_1}\le\frac{U_{r+1}}{D_{r+1}}$를, 식 (15)에 따라 $\frac{D}{D_1}(n-1)q_1\le M$을 모두 만족해야 한다.

**경우 2. $\lambda_1=0, \lambda_2\ne0, \lambda_3=0$**

식 (10)에 따라 $q_1=D_1\frac{U_r}{D_r}$이고 식 (18)에 $q_1=D_1\frac{U_r}{D_r}$을 대입하여 정리하면 $n=\frac{D_r}{U_r}\sqrt{\frac{2A_v}{Dh_v}}$이다. 식 (15)인 $\frac{D}{D_1}(n-1)q_1\le M$을 만족해야 한다.

**경우 3. $\lambda_1\ne0, \lambda_2=0, \lambda_3=0$**

식 (11)에 따라 $q_1=D_1\frac{U_{r+1}}{D_{r+1}}$이고 (18)에 $q_1=D_1\frac{U_{r+1}}{D_{r+1}}$ 을

대입하여 정리하면 $n=\frac{D_{r+1}}{U_{r+1}}\sqrt{\frac{2A_v}{Dh_v}}$이다. 식 (15)인 $\frac{D}{D_1}(n-1)q_1 \le M$을 만족해야 한다.

**경우 4.** $\lambda_1 \ne 0, \lambda_2 \ne 0, \lambda_3 = 0$

식 (10)에 따라 $q_1 = D_1\frac{U_r}{D_r}$이고 식 (11)에 따라 $q_1 = D_1\frac{U_{r+1}}{D_{r+1}}$이어야 하므로 이는 불가능하다. 그러므로, 만족하는 해가 없다.

**경우 5.** $\lambda_1 = 0, \lambda_2 = 0, \lambda_3 \ne 0$

식 (15)에 따라

$$q_1 = M\frac{D_1}{D(n-1)} \tag{19}$$

이다. 식 (9)를 정리하면

$$\lambda_3 = \frac{D_1}{Dq_1}\left(\frac{A_vD_1}{n^2q_1} - \frac{Dh_vq_1}{2D_1}\right) \tag{20}$$

가 된다. 식 (8)을 정리하면

$$q_1 = \sqrt{\frac{D_1^2\left[\frac{2}{n}(A_v + n\sum_{j=1}^m A_j) + \sum_{j\in S}\pi_j\frac{U_j^2}{D_j}\right]}{(n-1)Dh_v + \sum_{j=1}^m h_jD_j + \sum_{j\in S}\pi_jD_j + 2\lambda_3(n-1)D}} \tag{21}$$

$n$은 정수여야 하므로, $n$ = 2부터 1씩 증가시켜가며 식 (19)~식 (21)을 만족하는 $q_1, n, \lambda_3$를 구한다. 또한, $q_1$은 $\frac{U_r}{D_r} \le \frac{q_1}{D_1} \le \frac{U_{r+1}}{D_{r+1}}$을 만족해야 한다.

**경우 6.** $\lambda_1 = 0, \lambda_2 \ne 0, \lambda_3 \ne 0$

식 (10)에 따라 $q_1 = D_1\frac{U_r}{D_r}$이다. $\frac{D}{D_1}(n-1)q_1 \le M$을 만족하는 최대 정수 $n=\left[M\frac{D_1}{Dq_1}+1\right]$을 구한다.

**경우 7.** $\lambda_1 \ne 0, \lambda_2 = 0, \lambda_3 \ne 0$

식 (11)에 따라 $q_1 = D_1\frac{U_{r+1}}{D_{r+1}}$이다. $\frac{D}{D_1}(n-1)q_1 \le M$을 만족하는 최대 정수 $n=\left[M\frac{D_1}{Dq_1}+1\right]$을 구한다.

**경우 8.** $\lambda_1 \ne 0, \lambda_2 \ne 0, \lambda_3 \ne 0$

경우 4와 같은 논리로 실현불가능해이다.

경우 4와 경우 8의 실현불가능해를 제외하면 총 6가지의 경우들에 대해 해들이 존재할 수 있는데 이 중 총비용을 최소화하는 해를 구하면 된다. 그러므로, 6가지의 경우를 고려하여 최적해를 구하는 알고리즘은 다음과 같다.

단계 1. 구매자들을 $\frac{U_1}{D_1} \le \frac{U_2}{D_2} \le \cdots \frac{U_m}{D_m}$에 따라 정렬한다.

단계 2. $r=0$, $S=\phi$, $U_0=0$, $U_{m+1}=\infty$로 초기화한다.

단계 3. $TC_1^r = TC_2^r = TC_3^r = TC_4^r = TC_5^r = TC_6^r = \infty$로 둔다.

단계 4. 아래 ①~⑥의 해들을 구한다.

① 식 (17)과 식 (18)에서 구한 $q_1, n$을 구하라. $\lfloor n \rfloor$은 $n$보다 작은 최대 정수, $\lceil n \rceil$은 $n$보다 큰 최소 정수이다. $n$대신에 $\lfloor n \rfloor$이나 $\lceil n \rceil$을 대입하여 $\frac{U_r}{D_r} \le \frac{q_1}{D_1} \le \frac{U_{r+1}}{D_{r+1}}$, $\frac{D}{D_1}(n-1)q_1 \le M$을 모두 만족하는지 확인하고 만족하는 $\lfloor n \rfloor$과 $\lceil n \rceil$중 총비용이 작은 것을 $n_1$으로 두고, 이때의 총비용을 $TC_1^r$로 둔다.

② $q_1 = D_1\frac{U_r}{D_r}$, $n=\frac{D_r}{U_r}\sqrt{\frac{2A_v}{Dh_v}}$을 구한다. $n$대신에 $\lfloor n \rfloor$과 $\lceil n \rceil$을 대입하여 $\frac{D}{D_1}(n-1)q_1 \le M$을 만족하는지 확인하고 만족하는 $\lfloor n \rfloor$과 $\lceil n \rceil$중 총비용이 작은 것을 $n_2$으로 두고, 이때의 총비용을 $TC_2^r$로 둔다.

③ $q_1 = D_1\frac{U_{r+1}}{D_{r+1}}$, $n=\frac{D_{r+1}}{U_{r+1}}\sqrt{\frac{2A_v}{Dh_v}}$을 구한다. $n$대신에 $\lfloor n \rfloor$과 $\lceil n \rceil$이 $\frac{D}{D_1}(n-1)q_1 \le M$을 만족하는지 확인하고 만족하는 $\lfloor n \rfloor$과 $\lceil n \rceil$중 총비용이 작은 것을 $n_3$으로 두고, 이때의 총비용을 $TC_3^r$로 둔다.

④ 식 (19)~식 (21)을 만족하는 $q_1, n, \lambda_3$을 $n$ = 2부터 1씩 증가시켜가며 구한다. $q_1$이 $\frac{U_r}{D_r} \le \frac{q_1}{D_1} \le \frac{U_{r+1}}{D_{r+1}}$을 만족하면, 이때의 총비용을 $TC_4^r$로 둔다.

⑤ $q_1 = D_1\frac{U_r}{D_r}$, $n=\lfloor M\frac{D_1}{Dq_1}+1 \rfloor$을 구한다. 이때의 총비용을 $TC_5^r$로 둔다.

⑥ $q_1 = D_1\frac{U_{r+1}}{D_{r+1}}$, $n=\lfloor M\frac{D_1}{Dq_1}+1 \rfloor$을 구한다. 이때의 총비용을 $TC_6^r$로 둔다.

단계 5. $r=r+1$로 두고, $r$을 $S$에 추가한다. 만약 $r \le m$이면 단계 3으로 돌아가고, 아니면 단계 6으로 간다.

단계 6. $\min_{r=0,\cdots,m}(TC_1^r, TC_2^r, TC_3^r, TC_4^r, TC_5^r, TC_6^r)$인 최적해를 구하고 종료한다.

## 4. 예제

제시된 알고리즘을 적용하여 예제 문제를 풀고 판매자의 최대 허용 재고수준인 $V_{\max}$의 변화에 따라 해가 어떤 영향을 받는지 파악하고자 한다. Darwish and Odah[1]의 예제를 사용하였다. 예제는 1명의 판매자와 5명의 구매자가 구성되어 있으며 사용된 파라미터의 값들은 <Table 1>과 같다.

<Table 1> The Parameter Values of Example

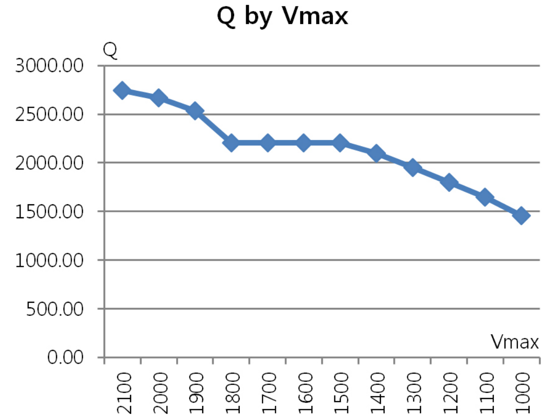
| | $A_v$ | $h_v$ | $D_j$ | $U_j$ | $A_j$ | $h_j$ | $\pi_j$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Vendor | 300 | 0.75 | - | - | - | - | - |
| $R_1$ | - | - | 1,200 | 60 | 30 | 8.5 | 4.5 |
| $R_2$ | - | - | 800 | 50 | 25 | 9 | 3.5 |
| $R_3$ | - | - | 2,300 | 170 | 45 | 7.5 | 4 |
| $R_4$ | - | - | 1,800 | 140 | 35 | 8 | 4 |
| $R_5$ | - | - | 3,000 | 240 | 60 | 7 | 2.5 |

판매자의 최대 허용 재고량 $V_{\max}$가 2,100부터 1,000까지 감소함에 따라 의사결정변수인 $n$, $q_1$과 판매자의 총비용인 $TC_v$, 구매자들의 총비용인 $TC_r$, 판매자와 구매자의 총비용의 합인 $TC = TC_v + TC_r$의 값들이 <Table 2>에 주어져 있다. 최대 허용 재고수준인 $V_{\max}$ = 2,100은 충분히 커서 제약식 (5)는 자연스럽게 만족하는 것으로 나타나 제약식 (5)가 없는 문제에서의 최적해와 동일한 것으로 나타났다. 하지만 $V_{\max} \le 2{,}000$인 경우들에는 $V_{\max}$의 값이 작아서 제약식 (5)가 해에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

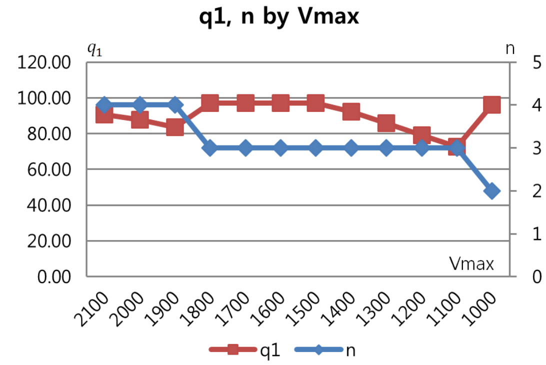
<Figure 2>에는 $V_{\max}$가 감소함에 따른 $Q$의 변화가 주어져 있다. 판매자의 최대 허용 재고수준인 $V_{\max}$가 감소함에 따른 판매자의 주문량인 $Q$가 감소하는 것으로 나타났는데 이는 당연한 것으로 보인다.

<Table 2> The Values of Decision Variables $n$, $q_1$ and Costs $TC_v$, $TC_r$, $TC$ as $V_{\max}$ decreases

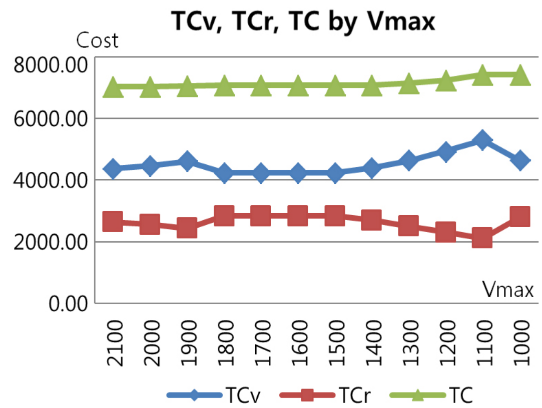
| $V_{\max}$ | $Q$ | $n$ | $q_1$ | $TC_v$ | $TC_r$ | $TC$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2100 | 2747.08 | 4 | 90.56 | 4376.71 | 2643.31 | 7020.02 |
| 2000 | 2666.67 | 4 | 87.91 | 4457.65 | 2565.93 | 7023.59 |
| 1900 | 2533.33 | 4 | 83.52 | 4607.89 | 2437.64 | 7045.52 |
| 1800 | 2206.19 | 3 | 96.98 | 4242.64 | 2830.46 | 7073.11 |
| 1700 | 2206.19 | 3 | 96.98 | 4242.64 | 2830.46 | 7073.11 |
| 1600 | 2206.19 | 3 | 96.98 | 4242.64 | 2830.46 | 7073.11 |
| 1500 | 2206.19 | 3 | 96.98 | 4242.64 | 2830.46 | 7073.11 |
| 1400 | 2100.00 | 3 | 92.31 | 4389.77 | 2694.23 | 7084.00 |
| 1300 | 1950.00 | 3 | 85.71 | 4636.42 | 2501.79 | 7138.21 |
| 1200 | 1800.00 | 3 | 79.12 | 4934.81 | 2309.34 | 7244.15 |
| 1100 | 1650.00 | 3 | 72.53 | 5298.28 | 2116.90 | 7415.17 |
| 1000 | 1456.00 | 2 | 96.00 | 4623.59 | 2802.00 | 7425.59 |




<Figure 2> $Q$ by $V_{\max}$




<Figure 3> $n$, $q_1$ by $V_{\max}$




<Figure 4> $TC_v$, $TC_r$, $TC$ by $V_{\max}$

<Figure 3>에는 $V_{\max}$가 감소함에 따른 $n$, $q_1$의 변화가 주어져 있는데, $n$과 $q_1$은 서로간에 밀접한 영향을 미치므로 동시에 나타내었다. 여기서 주축인 왼쪽은 $q_1$의 값을 나타내며, 보조축인 오른쪽은 $n$의 값을 나타낸다. $V_{\max}$가 감소함에 따라 $n$의 값은 감소하는 것으로 나타났다. 또한, $V_{\max}$가 감소함에 따라 $q_1$은 감소하다가 $n$의 값이 감소할 때 일시적으로 증가하였다. 즉, $n = 4$에서 3으로, 3

에서 2로 감소하는 순간인 $V_{max}=1,800$과 1,000일 때 $q_1$은 일시적으로 증가하였다. <Figure 4>에는 $V_{max}$가 감소함에 따른 $TC_v$, $TC_r$, $TC$의 변화가 주어져 있다. $V_{max}$가 감소함에 $TC$는 당연히 증가하는 것으로 나타났다. $TC_v$는 대체로 증가하는 것으로 나타났으나, $TC_r$은 일정한 패턴이 보이지 않는다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 단일 판매자와 다수 구매자가 존재하는 경우에서 비용절감을 위해 판매자와 구매자가 협조하는 문제인 공급자주도재고관리(VMI)문제를 다루었다. 현실적인 상황을 고려하기 위해 구매자는 재고수준에 상한이 있는 경우를 고려하였는데 만약 상한을 초과하는 경우에는 벌과금이 존재하도록 하였다. 특히, 판매자도 최대 허용 재고수준이 존재하는 것을 고려하였는데 판매자의 최대 허용 재고수준을 초과하지 않도록 판매자와 구매자의 최적주문량과 판매자로부터 구매자로의 최적이송횟수를 구하는 알고리즘을 KKT 조건을 이용하여 제시하였다. 실험을 통해 판매자의 최대 허용 재고수준이 변화함에 따라 판매자와 구매자의 주문량, 판매자로부터 구매자로의 이송횟수, 총비용 등이 어떻게 변화하는지 살펴보았다.

본 연구에서 다루는 재고모형은 확정적 모형으로 수요가 정해져 있는 경우이다. 수요가 불확실하고 판매자와 구매자의 재고수준에 상한이 존재하는 공급자주도재고관리에 대한 연구가 필요하다. 또한, 공급자로부터 수요자로의 트럭의 크기 제한, 서비스수준, 품절률 등을 고려한 해법에 대한 연구도 필요하다 하겠다.

## References

[1] Darwish, M.A. and Odah, O.M., Vendor managed inventory model for single-vendor multi-retailer supply chains, *Eur. J. of Oper. Res.*, 2010, Vol. 204, pp. 473-484.

[2] Khan, M., Jaber, M.Y., Zanoni, S., and Zavanella, L., Vendor managed inventory with consignment stock agreement for a supply chain with defective items, *Applied Math. Mod.*, 2016, Vol. 40, pp. 7102-7114.

[3] Kim, E.K., Coordination of Component Production and Inventory Rationing for a Two-Stage Supply Chain with a VMI Type of Supply Constract, *J. of the Korean Oper. Res. And Man. Sci. Soci.*, 2012, Vol. 37, No. 2, pp. 45-56.

[4] Kim, S.W., Kim, H.J., Son, D.H., and Lee, K.Y., A Case Study on a 3PL-Driven VMI Service, *Korean J. of Logistics*, 2016, Vol. 24, No. 3, pp. 109-122.

[5] Kwon, O.K., Supply Chain Management, *Pakyoungsa*, 2010.

[6] Lee, D.J., A Mixed Approach for Single-Vendor-Single-Buyer Production Inventory Integration Problem, *J. Soc. Korea Ind. Sys. Eng.*, 2016, Vol. 39, No. 4, pp. 7-14.

[7] Lee, D.J., Quadratic Programming Approach to a VMI Problem, *J. of the Korean Ins. of Plant Eng.*, 2007, Vol. 12, No. 4, pp. 91-104.

[8] Lee, Y.Y. and Jeong, B.J., A Study on the Application of the Army Ammunition Supply Chain Management Vendor Managed Inventory, *2016 Fall Conference Proceedings of Korean Ins. Of Ind. Eng.*, 2016, pp. 2276-2292.

[9] Lee, Y.Y. and Jeong, B.J., A Study on the Army Ammunition Supply Chain Management Model, *2017 Spring Conference Proceedings of Korean Ins. Of Ind. Eng.*, 2017, pp. 1891-1907.

[10] Ryu, C.S., Review of Vendor Managed Inventory : Investigation on How It Improves Supply Chain Performance, *J. of Distri. Sci.*, 2016, Vol. 14, No. 9, pp. 47-64.

[11] Yu, Y., Wang, Z., and Liang, L., A vendor managed inventory supply chain with deteriorating raw materials and products, *Int. J. Prod. Econ.,* 2012, Vol. 136, No. 2, pp. 266-274.

**ORCID**

Dongju Lee | http://orcid.org/0000-0001-6650-9270