

재고 및 차량경로문제에서 소매점 주도와 공급자 주도 재고관리 정책에 대한 비교 연구

A Comparison Study of the Retailer Managed and Vendor Managed Inventory Policies in the Inventory Routing Problems

홍성철*, 박양병**

*경희대학교 테크노공학대학 산업공학과(shc@khu.ac.kr)

**경희대학교 테크노공학대학 산업공학과(ybpark@khu.ac.kr)

Abstract

최근 소매점 공급사슬을 전체적인 관점에서 효율적으로 운영하기 위하여 공급자가 소매점의 재고를 관리하는 공급자 주도 재고관리(Vendor Managed Inventory; VMI) 정책의 도입이 확산되고 있다. VMI 정책은 소매점에서 직접 수행하는 재고관리(Retailer Management Inventory; RMI)와는 달리 소매점의 재고수준에 대한 의사결정과 재고유지에 대한 재정적인 책임이 소매점으로부터 공급자에게 옮겨진다. 이에 따라 소매점은 공급자로부터 수시로 재고를 보충 받게 되고 주문절차는 사라진다. 또한 재고공간의 크기를 줄일 수 있게 된다. 공급자 또한 전체 소매점에 대한 효율적인 분배로써 비용절감의 효과를 기대할 수 있게 된다.

본 연구에서는 품질을 고려하며 소매점의 판매수요가 확정적인 상황에 대하여 RMI와 VMI에 대한 총비용을 최소화하는 수리모델을 통해 총비용 관점에서 RMI와 VMI정책을 비교하고자 한다. 계산실험을 통해 RMI와 VMI의 총비용 변화에 민감한 요인들을 분석하였고 VMI 적용으로 총비용을 절감시키기 위한 조건을 모색하였다. 실험결과, VMI의 적용은 항상 총비용 절감 효과를 나타내는 것이 아님을 확인 하였고 RMI에 대한 VMI의 총비용 증감효과는 RMI 정책의 소매점 주문비와 VMI정책의 소매점 재고공간의 크기 변화에 가장 크게 영향을 받는 것으로 나타났다. 이를 토대로 간단한 소매점 공급사슬에 대해서 VMI의 총비용 감소조건을 제시하였다.

1. 서론

전통적인 소매점 공급사슬에서 소매점은 소매점의 주문비와 재고유지비를 최소화하기 위하여 주문 시기와량을 결정한 후 공급자에게 주문을 한다. 이러한 소매점 주도 재고관리(Retailer Management Inventory; RMI) 정책 하에서는 소매점의 재고비용은 최소화 될 수 있으나 소매점 공급사슬 전체에 대해서는 비효율적인 영향을 미칠 수 있다. 그리고 주문비가 커질수록 소매점에서는 주문을 모아서 처리하므로 소매점 재고공간의 크기가 커질 수 있다.

VMI는 서로 다른 기업들로 구성된 공급사슬을 통합적으로 관리하기 위하여 타 기업간 협력관계를 도입

한 대표적인 예이다. VMI는 연속적 재고 보충(continuous replenishment)이라고도 불려진다. 1980년대 후반 월마트(Wal-Mart)와 P&G(Procter & Gamble)사에 의해 도입된 이래로 식료품 산업에서 소비자에 대한 효율적 대응이나 의류 산업의 신속 대응을 위한 핵심 프로그램으로 다루어졌다.(Waller, Johnson and Davis, 1999)

VMI가 성공적으로 적용되면 소매점은 주문에 대한 비용 및 노력을 없애고 공급자로부터 수시로 재고를 보충 받음으로써 재고공간의 크기 또한 줄일 수 있게 된다. 그리고 공급자는 전체 소매점에 대한 재고를 파악하고 이에 대한 효율적인 재고 보충 및 수송계획을 수립함으로써 비용절감의 효과를 얻게 된다. 이렇게 얻어진 총비용 감소로 인한 이익은 적절한 배분을 통하여 공급자와 소매점에 나누어진다. 그러나 공급자는 보다 복잡한 의사결정을 수행해야 하며 적절하지 못한 VMI의 적용으로 인해 실패한 사례들도 많이 발생한다. 따라서 VMI에 대한 연구 및 통합적 의사결정 지원도구의 개발이 더욱 필요한 실정이다.

VMI에서는 공급자가 소매점에 대한 재고관리와 함께 수송문제와 관련된 복잡한 의사결정을 수행해야 한다. RMI에서는 대량의 주문이 이루어지는 경향이 있으므로 차량 한 대로 직접 수송하는 경우가 일반적이지만 VMI에서는 소량의 빈번한 재고 보충이 이루어지므로 차량경로문제(Vehicle Routing Problems; VRP)와 같이 한 차량이 여러 소매점을 방문하여 재고를 보충하는 것이 고려되어야 한다. VMI와 VRP를 동시에 다룬 연구는 대표적으로 Herer and Levy(1997), Bertazzi, Paletta and Speranza(2002), Rusdiansyah and Tsao(2005) 등이 있으나 지금까지 그리 많지가 않다.

본 연구에서는 VMI와 차량경로문제를 통합한 의사결정문제(Vendor Managed Inventory Routing Problems; VMIRP)를 위한 수리모델과 RMI의 주문에 따라 차량경로가 결정되는 문제(Retailer Managed Inventory Routing Problems; RMIRP)를 위한 수리모델을 각각 제시한 후, 실험을 통해 RMIRP와 VMIRP의 총비용 변화에 민감한 요인들을 분석한다. 그리고 동일한 상황에 대하여 두 문제에 대한 총비용을 비교하여 VMI적용에 따른 총비용 증감율에 민감한 요인들을 분석한다. 마지막으로 간단한 공급사슬에 대해 VMI가 총비용 절감을 하기 위한 조건을 제시하고자 한다.

2. RMIRP와 VMIRP의 수리모델

본 연구에서 RMIRP와 VMIRP의 수리모델을 위해 다 기간에 대하여 단일 공급자가 다수제품을 다수 소매점에 공급하는 소매점 공급사슬이 고려되었다.

사전에 각 소매점의 기간별, 제품별 확정적 수요량이 알려져 있으며 VMIRP는 소매점의 재고공간의 크기 상한 및 각 소매점의 품질허용량의 상한이 주어진다. RMIRP의 경우는 소매점 재고공간의 크기 및 품질에 제한이 없다. 단일 종류의 차량으로 배송이 이루어지며 혼합 적재를 허용하며 차량의 이동속도는 일정하고 차량의 용량 및 운행시간 상한 제약이 있다.

수리모델에서 사용된 입력상수와 결정변수는 다음과 같다.

입력상수

R = 소매점수

K = 제품수

T = 총 계획 기간

NV = 차량수

C_{0k} = 공급자의 k 품목에 대한 단위기간 재고 유지비

C_{ik} = 소매점 i 의 k 품목에 대한 단위기간 재고 유지비

O^S = 공급자 주문비

O^R = 소매점 주문비

B_{ik} = 소매점 i 의 k 품목에 대한 백로그비

F = 차량고정비

V = 차량변동비

Q_i = 소매점 i 의 재고공간크기

Q_v = 차량용량

D_{ikt} = t 기의 k 품목에 대한 소매점 i 의 수요량

α_i = 소매점 i 의 품질허용율

M = 큰 수

t_{ij} = 지점 i 에서 j 까지 이동시간

m_i = 서비스시간

L = 납기

결정변수

S_{kt} = 공급자의 k 품목에 대한 t 기의 재고 보충량

I_{0kt} = t 기의 k 제품에 대한 공급자 재고량

I_{ikt} = t 기의 k 제품에 대한 소매점 i 의 재고량

b_{ikt} = t 기의 k 제품에 대한 소매점 i 의 백로그량

z_{ikt} = t 기의 k 제품에 대한 소매점 i 의 수송량

$x_{ijt} = \begin{cases} 1 & \text{만약 } t\text{기에 지점 } i\text{에서 } j\text{로 차량이 이동하면} \\ 0 & \text{그렇지 않으면} \end{cases}$

$y_{it} = \begin{cases} 1 & \text{만약 } t\text{기에 지점 } i\text{에 수송량이 있으면} \\ 0 & \text{그렇지 않으면} \end{cases}$

a_{it} = 소매점 i 의 차량 방문시간

q_{it} = 소매점 i 의 차량 방문시 적재량

RMIRP와 VMIRP를 위하여 총비용을 최소화하는 혼합정수계획 수리모델은 거의 유사하지만 목적함수와 일부 제약조건의 설정에 따라 다르게 구성된다.

우선 RMIRP는 2단계로 구성된다. 단계1에서는 소매점의 비용들(소매점 주문비, 소매점 재고유지비)만을 고려하여 최소화한다. 여기서 결정된 기간별 주문량을 상수로 고정하여 단계2에서는 공급자의 비용(공급자 주문비, 공급자 재고유지비, 백로그비, 차량고정비, 변동비)을 최소화한다.

VMIRP는 소매점 주문비가 발생하지 않으므로 이를 제외한 모든 비용을 동시에 최소화한다. 소매점 재고

공간크기의 상한과 품질허용량이 제한된다.

RMIRP와 VMIRP의 목적함수와 제약식은 다음과 같다.

RMIRP 단계1 목적함수(소매점 비용 최소화)

$$\text{Min. } Z = O^R \sum_{i=1}^R \sum_{t=1}^T y_{it} + \sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^{T-1} \left\{ \sum_{i=1}^R C_{ik} [I_{ikt+1} + \frac{1}{2}(D_{ikt} - b_{ikt+1})] \right\}$$

RMIRP 단계2 목적함수(공급자비용 최소화)

$$\text{Min. } Z = O^S \sum_{i=1}^R y_{0i} + \sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^{T-1} \left\{ C_{0k} [I_{0kt+1} + \sum_{i=1}^R \frac{1}{2}(Z_{ikt} + b_{ikt})] \right\} + \sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^R B_{ik} b_{ikt} + F \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^R x_{1jt} + V \sum_{t=1}^T \sum_{i=0}^R \sum_{j=0}^{R+NV} t_{ij} x_{ijt}$$

VMIRP 목적함수(총비용 최소화)

$$\text{Min. } Z = O^S \sum_{i=1}^R y_{0i} + \sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^{T-1} \left\{ C_{0k} [I_{0kt+1} + \sum_{i=1}^R \frac{1}{2}(Z_{ikt} + b_{ikt})] \right\} + \sum_{i=1}^R \sum_{k=1}^K C_{ik} [I_{ikt+1} + \frac{1}{2}(D_{ikt} - b_{ikt+1})] + \sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^R B_{ik} b_{ikt} + F \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^R x_{1jt} + V \sum_{t=1}^T \sum_{i=0}^R \sum_{j=0}^{R+NV} t_{ij} x_{ijt}$$

• 소매점 재고의 용량제한

$$\sum_{k=1}^K z_{jkt} + \sum_{k=1}^K I_{jkt} \leq Q_j \quad \text{for } j = 1, \dots, R; t = 1, \dots, T$$

• 품목별 수송량 제한

$$\sum_{j=1}^R z_{jkt} \leq I_{0kt} + S_{kt} \quad \text{for } k = 1, \dots, K; t = 1, \dots, T$$

• 매기초 공급자 재고

$$S_{kt} + I_{0kt} - \sum_{j=1}^R z_{jkt} - \sum_{j=1}^R b_{jkt} = I_{0k,t+1} \quad \text{for } k = 1, \dots, K; t = 1, \dots, T-1$$

• 매기초 소매점 재고

$$z_{jkt} + I_{jkt} - D_{jkt} + b_{jkt+1} = I_{jk,t+1} \quad \text{for } j = 1, \dots, R; k = 1, \dots, K; t = 1, \dots, T-1$$

• 계획기간말 기초 소매점 재고

$$z_{jkt} + I_{jkt} - D_{jkt} = 0 \quad \text{for } j = 1, \dots, R; k = 1, \dots, K; t = T$$

• 백로그량의 제한

$$\sum_{k=1}^K b_{jkt} \leq \alpha_j Q_j \quad \text{for } j = 1, \dots, R; t = 1, \dots, T$$

• 차량의 소매점방문경로 제약

$$\sum_{i=0}^R x_{ijt} = y_{jt} \quad \text{for } j = 1, \dots, R; t = 1, \dots, T$$

$$\sum_{i=0}^R x_{ijt} = 1 \quad \text{for } j = R+1, \dots, R+NV; t = 1, \dots, T$$

$$\sum_{j=1}^{R+NV} x_{ijt} = y_{it} \quad \text{for } i = 1, \dots, R; t = 1, \dots, T$$

$$\sum_{j=1}^{R+NV} x_{0jt} = NV \quad \text{for } t = 1, \dots, T$$

• 기간별 소매점 방문조건

$$\sum_{k=1}^K z_{ikt} \leq My_{it} \quad \text{for } i = 1, \dots, R; t = 1, \dots, T$$

$$M \sum_{k=1}^K z_{ikt} \geq y_{it} \quad \text{for } i = 1, \dots, R; t = 1, \dots, T$$

• 각소매점 도착시간계산

$$\left. \begin{aligned} a_{jt} - a_{it} - Mx_{ijt} &\geq t_{ij} - m_i - M \\ a_{jt} - a_{it} + Mx_{ijt} &\leq t_{ij} + m_i + M \end{aligned} \right\} \text{for } i=0, \dots, R; j=1, \dots, R+NV$$

• 각소매점 도착시간제한

$$a_{jt} \leq L \quad \text{for } j = 1, \dots, R + NV; t = 1, \dots, T$$

• 각소매점 도착시 적재량 계산

$$q_{it} - q_{jt} + Mx_{ijt} \geq \sum_{k=1}^K z_{ikt} + M \quad \text{for } i = 0, \dots, R; j = 1, \dots, R + NV; i \neq j; t = 1, \dots, T$$

• 차량용량 제한

$$q_{it} \leq Q_v \quad \text{for } j = 1, \dots, R; t = 1, \dots, T$$

$$x_{ijt}, y_{it} = \{0, 1\}$$

3. 계산실험 및 분석

RMIRP와 VMIRP의 수리모델을 통해 총비용 분석을 실험을 수행하였다. 실험문제는 9곳의 소매점, 2종류의 제품, 10기간으로 구성되었다. 공급자의 위치는 (50,50)이고 각 소매점들의 위치좌표는 각각 0~100의 일양분포로 생성되었다. 이동시간은 직선거리에 비례한다. 초기재고는 0으로 하였고 제품1의 수요는 uniform(18,32), 제품2의 수요는 uniform(11,19)로 소매점별로 생성하였다. VMIRP에서는 품질 허용율을 소매점 재고 공간 크기의 10%내로 제한하였다.

각각의 수리모델은 CPLEX 9.1(2005)을 이용하여 풀었고 Pentium 4 PC(CPU 2.6GHz, 512MB RAM)에서 수행하였다. 분산분석은 MINITAB을 이용하였다.

3.1 민감도 분석

RMIRP는 실험문제의 기본 입력자료는 모두 동일하게 설정하고 표 1의 요인들에 대해서만 수준값들을 변화시키며 총 36문제에 대하여 실험하였다. 분산분석 결과 각각의 주요인들은 RMIRP의 총비용에 유의한 영향을 주었으며 요인들 간의 교호작용은 무시할 수 있었다. P값이 일반적으로 0.05이내일 경우 귀무가설이 채택된다.(이상복, 2001) 소매점 주문비와 소매점 재고유지비의 교호작용은 비록 채택되지는 않았으나 비교적 유의한 영향을 미치고 있었다.

표 1. RMIRP의 실험계획

요인	수준	값
소매점주문비	4	50, 100, 200 300
소매점재고유지비	3	1, 1.5, 2
차량용량	3	100, 200, 300

VMIRP는 세가지 요인들에 대하여 각각 표 2와 같이 변화시키며 총 27문제를 계산.실험하였다. 분산분석을 수행한 결과 VMIRP 역시 주요인들은 모두 총비용의 변화에 유의한 영향을 미치고 있었으며 특히, 소매점 재고공간의 크기는 소매점 재고유지비와 차량용량에 모두 교호작용을 미치고 있음을 알 수 있었다.

표 2. VMIRP의 실험계획

요인	수준	값
소매점재고공간크기	3	50, 100, 150
소매점재고유지비	3	1, 1.5, 2
차량용량	3	100, 200, 300

그림1과 2에 각각 실험 요인들의 변화에 따른 RMIRP와 VMIRP의 총비용 변화가 나타나 있다.

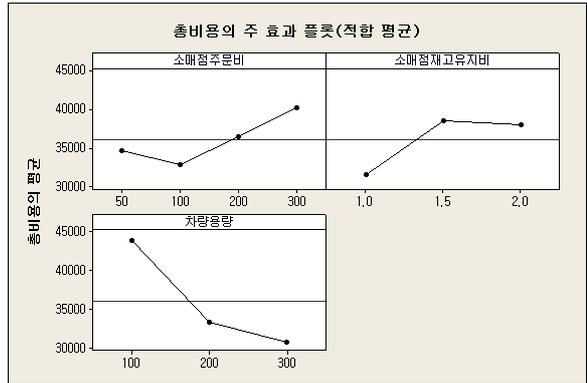


그림 1. 요인 변화에 따른 RMIRP의 총비용 변화

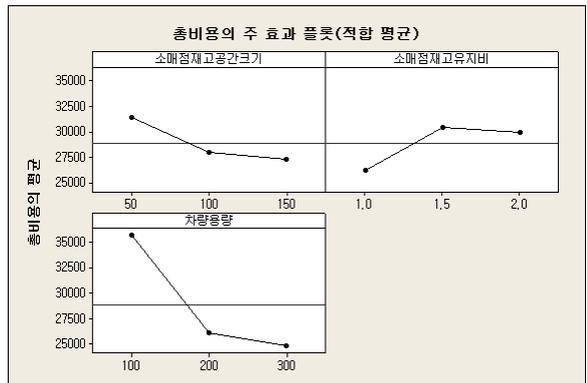


그림 2. 요인 변화에 따른 VMIRP의 총비용 변화

소매점 재고유지비와 차량용량이 동일한 상황에서 RMIRP는 소매점 주문비의 변화를 주었고 VMIRP는 소매점 재고공간의 크기의 변화를 주어 실험 하였다. 이들에 대한 모든 경우의 조합에 대하여 RMIRP에 대한 VMIRP의 증감율을 계산하여 분석했다. 이 요인들의 변화에 따른 증감율의 분산분석 결과가 표 3에 나타나 있다.

표 3. VMIRP의 증감율 요인 분산분석 결과

요인	자유도	F	P	판정
소매점재고공간크기	2	61.00	0.000	채택
소매점주문비	3	45.67	0.000	채택
소매점재고유지비	2	7.50	0.001	채택
차량용량	2	2.47	0.090	기각

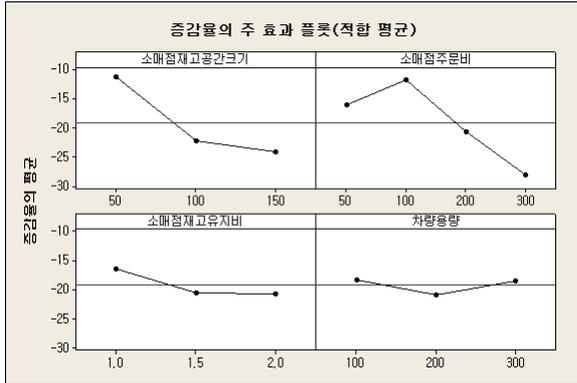


그림 3. 요인 변화에 따른 VMIRP의 증감을 변화

그림 3을 보면 소매점 재고공간의 크기와 소매점 주문비의 변화에 따라 증감율은 크게 변화하고 있으며 소매점 재고유지비의 변화에 따라서도 유의한 영향을 받고 있다. 그러나 차량용량의 변화는 그림 1과 2에서 보듯이 RMIRP나 VMIRP의 총비용에는 큰 영향을 주고 있지만 총비용 증감율에는 유의한 영향을 주고 있지 않음을 알 수 있다.

3.2 VMI의 총비용 감소조건

실험 결과 VMIRP는 RMIRP에 대해 전반적으로 총비용 감소효과를 보이고 있다. 그러나 VMIRP에서 소매점 재고공간의 크기나 RMIRP에서 소매점 주문비에 따라 총비용이 증가되기도 하였다. 결국, VMI에서는 재고보충량 또는 재고보충횟수의 결정이 총비용 절감의 핵심이 된다. VMI를 적용하게 되면 RMI에 비해 소량의 빈번한 재고보충이 이루어지게 되므로 소매점 주문비는 사라진 대신에 수송비가 증가되기 때문이다.

이러한 사실을 토대로 간단한 구조의 소매점 공급사슬에 대해서 RMI에 대한 VMI의 총비용 감소조건을 구해보고자 한다. 단일 공급자와 단일 소매점 사이에서 단일 제품에 대하여 품질을 고려하지 않고 수요가 일정하다고 가정한다면 RMI와 VMI의 총비용(TC)은 다음과 같다. 단, 공급자 주문비는 고려하지 않으며 공급자의 초기재고량은 총수요량이다.

$$TC_{RMI} = (S + F)N_{RMI} + \frac{Q_{RMI}(H_R - H_v)}{2} + \frac{DH_v}{2}$$

$$TC_{VMI} = FN_{VMI} + \frac{Q_{VMI}(H_R - H_v)}{2} + \frac{DH_v}{2}$$

여기서 S는 소매점 주문비, F는 수송비, D는 총수요, H_R, 소매점 재고유지비, H_v는 공급자 재고유지비, Q_{RMI}는 RMI의 소매점 주문량, Q_{VMI}는 VMI의 재고보충량, N_{RMI}는 RMI의 주문횟수, N_{VMI}는 VMI의 재고보충횟수이다.

VMI의 총비용 감소조건은 TC_{VMI} ≤ TC_{RMI} 이므로, 이를 정리하면 다음과 같다.

$$FN_{VMI} + \frac{(H_R - H_v)D}{2N_{VMI}} \leq (S + F)N_{RMI} + \frac{(H_R - H_v)D}{2N_{RMI}}$$

$$N_{VMI}^2 \left\{ \frac{(S + F)}{F} N_{RMI} + \frac{(H_R - H_v)D}{2FN_{RMI}} \right\} N_{VMI} + \frac{(H_R - H_v)D}{2F} \leq 0$$

위의 2차 부등식을 풀면,

$$N_{VMI} \leq \frac{(S + F)}{2F} N_{RMI} + \frac{(H_R - H_v)D}{4FN_{RMI}}$$

$$+ \sqrt{\left\{ \frac{(S + F)}{2F} N_{RMI} + \frac{(H_R - H_v)D}{4FN_{RMI}} \right\}^2 - \frac{(H_R - H_v)D}{2F}}$$

$$N_{VMI} \geq \frac{(S + F)}{2F} N_{RMI} + \frac{(H_R - H_v)D}{4FN_{RMI}}$$

$$- \sqrt{\left\{ \frac{(S + F)}{2F} N_{RMI} + \frac{(H_R - H_v)D}{4FN_{RMI}} \right\}^2 - \frac{(H_R - H_v)D}{2F}}$$

위의 식을 통해서 기존의 RMI에 대해 소매점 주문비, 수송비, 소매점 재고유지비, 공급자 재고유지비, 주문량(또는 주문횟수), 수요를 안다면 VMI의 실행 전에 총비용 감소를 위한 VMI의 재고보충횟수를 제한할 수 있다. 또한 비용요소, 소매점 재고정책, 수요가 변화될 때 공급자는 총비용을 절감하기 위하여 전략적으로 재고보충횟수를 조절할 수도 있다. 차량경로문제가 포함될 때는 F에 대해 그리고 수요가 일정하지 않다면 D에 대해 추가적인 고려사항이 필요할 것이다.

4. 결론

본 연구에서는 차량경로문제를 포함하여 RMI와 VMI의 비교를 위해 혼합정수계획 수리모델을 구축하였다.

다양한 요인들을 변화하며 실험한 결과, VMI는 통합적 관리로써 RMI와 비교해서 총비용 감소효과를 얻을 수 있다. 하지만 VMI는 소량의 빈번한 재고보충이 이루어지기 때문에 소매점 재고공간의 크기 제한에 따라 오히려 총비용이 RMI에 비해 증가될 수도 있다.

VMI의 적용에 있어서 무조건적인 연속재고보충은 오히려 역효과가 발생할 수 있으므로 재고보충횟수의 제한이 필요하다.

본 연구에서는 간단한 소매점 공급사슬에 대하여 VMI의 총비용감소 조건으로써 VMI의 재고보충횟수에 대해 상한과 하한을 제시하였다. 비록 간단한 공급사슬에 국한된 제안이지만 VMI 실행전 의사결정에 도움이 될 것이다.

참고문헌

Waller, M., Johnson, M.E. and Davis, T., 1999. Vendor-Managed Inventory in the Retail Supply Chain, *Journal of Business Logistics*, 20 (10), 183-203

Herer, Y.T. and Levy, R., 1997. The Metered Inventory Routing Problem, an Integrative Heuristic Algorithm, *International Journal of Production Economics*, 51, 69-81.

Bertazzi, L., Paletta, G. and Speranza, M.G., 2002. Deterministic Order-up-to Level Policies in an Inventory Routing Problem, *Transportation Science*, Vol. 36(1), 119-132.

Rusdiansyah, A. and Tsao, D.-B., 2005. An Integrated Model of the Periodic Delivery Problems for Vending Machine Supply Chains, *Journal of Food Engineering*, Vol. 70(3), 421-434.

이상복, 2001. MINITAB을 활용한 예제중심의 실험계획법, 이레테크.

ILOG CPLEX 9.1 User's Manual, 2005. ILOG, Inc.