

# 다원자재를 고려한 구매업자와 공급업자간 공급사슬에서의 통합재고모형에 관한 연구

김 대 홍<sup>†</sup>

한성대학교 산업시스템공학과

## An Integrated Inventory Model for a Vendor-Buyer Supply Chain in a JIT Purchasing

Dae-Hong Kim<sup>†</sup>

Department of Industrial Systems Engineering, Hansung University

In this paper, we consider a single-vendor single-buyer supply chain problem where a single vendor orders raw materials from its supplier, then using its manufacturing processes converts the raw materials to finished goods in order to deliver finished goods to a single buyer for effective implementation of Just-In-Time Purchasing. An integrated lot-splitting model of facilitating multiple shipments in small lots between buyer and supplier is developed in a JIT Purchasing environment. Also, an iterative heuristic solution procedure is developed to find the order quantity for finished goods and raw materials, and number of shipments between buyer and supplier. We show by numerical example that when the integrated policy is adopted by both vendor and buyer in a cooperative manner, both parties can benefit.

**Keywords :** Supply Chain Management, JIT Purchasing, Heuristic Solution Procedure

### 1. 서 론

생산시스템의 효율적인 관리는 기업의 생존과 번영에 있어서 매우 중요한 요소이며, 그 동안 대다수의 기업들은 낭비 없는 효율적인 생산시스템을 위하여 여러 가지 전략과 관리기법들을 사용해 오고 있다. 그 일환으로 과거 20여 년간 선진공업국에서는 경쟁력 강화를 위하여 JIT 시스템(Just-In-Time System)을 채택하여 왔으며[1, 8], 최근에 국내의 제조기업들도 JIT 시스템에 많은 관심을 보이고 있으며 많은 기업들이 생산시스템을 혁신하는 방식으로 JIT 시스템을 채택하는 기업들이 늘고 있다[4]. JIT 시스템은 내부 JIT라고 할 수 있는 JIT생산방식과 함께 JIT

시스템의 핵심요소중의 하나인 구매업자와 공급업자의 협력관계를 통한 구매의 혁신을 도모하는 JIT 구매방식이 제조업체간에 많은 관심의 대상이 되고 있다. 이는 완제품 생산을 위하여 상당수의 부품을 부품공급업자로부터 구매하게 되며 이로 인하여 수요업체의 생산성 및 제품의 품질이 상당부분 공급업자에 의하여 결정되기 때문인 것으로 판단된다.

과거의 전통적인 구매에서는 구매업자와 공급업자가 서로 적대적인 관계였으며, 한 집단의 이익을 최대화하려는 재고정책이나 협상이 다른 집단에게는 더 많은 비용이나 손실을 가져다주는 경우가 발생하였다. JIT 구매하에서는 이 두 집단을 하나의 공급사슬로 묶어 구매업

논문접수일 : 2009년 07월 30일    논문수정일 : 2009년 09월 02일    게재확정일 : 2009년 09월 07일

<sup>†</sup> 교신저자 dhkim@hansung.ac.kr

※ 본 논문은 2009년도 한성대학교 교내연구비 지원과제임.

자의 주문량을 공급업자가 다빈도 소량으로 납품하게 되며 이렇게 되면 두 집단 전체의 이익은 증가하게 된다 [18]. 따라서, 본 연구에서는 구매업자와 공급업자를 하나로 묶어 구매업자와 공급업자간의 통합재고정책을 적용할 때와 그렇지 못할 때에 총비용 면에서 비교하려고 한다. JIT 구매의 특징으로는 다빈도 소량구매라 할 수 있으며 구매업자가 주문을 하면 공급업자는 구매업자에 다빈도 소량으로 나누어 납품하게 된다.

JIT 구매는 일종의 공급사슬관리(SCM)로 볼 수 있으며, 공급사슬관리(SCM)의 정의를 살펴보면 제조, 물류, 유통업체 등 공급사슬에 참여하는 모든 업체들이 협력을 바탕으로 정보기술(Information Technology)을 활용하여 재고를 최적화하고 리드타임을 대폭 감축하여 양질의 상품 및 서비스를 소비자에게 제공함으로써 소비자 가치를 극대화하기 위한 21세기 기업의 생존 및 발전 전략이다[5]. 앞에서 살펴본 정의에서 알 수 있듯이 공급사슬 내에 존재하는 기업들이 정보를 공유하여 이윤을 극대화 하는 것으로 볼 수 있다. JIT 구매는 공급사슬관리의 일환으로 기업간 네트워크에 의한 시스템 경쟁력의 강화에 그 목적이 있다고 할 수 있으며 JIT 구매는 공급업자 및 구매업자간의 긴밀한 협조 아래 상호 이익을 도출할 수 있는 방법의 모색을 주요한 목적으로 하고 있다.

그러면 기존에 개발된 공급사슬관리에 관련된 통합재고모형에 관한 연구들의 특징을 간략히 살펴보기로 하자. Kim과 Chandra[11] 및 Saker와 Parija[17]는 단일 완제품을 생산하는데 필요한 다원자재를 외부에 주문하게 되며, 이때에 완제품의 1회 생산량 및 각 원자재의 1회 발주량을 동시에 결정하는 통합재고모형(Integrated Procurement-Production, IPP)을 제시하였다. Pan과 Liao[15]는 JIT 구매 하에서 구매업자의 발주량을 공급업자가 몇 번에 나누어 보내는 것이 재고유지비용을 줄일 수 있는지에 대한 연구를 하였으나, 다빈도로 납품하는 경우의 고정 운송비를 고려하지 않았으며, Ramasesh[16]는 Pan과 Liao[15]의 연구를 확장하여 전통적 재고모형을 JIT 구매로 이행하기 위한 새로운 모형을 제시하였으나 구매업자에게서 발생하는 총비용만을 고려하였고 공급업자에게서 발생하는 비용은 고려하지 못하였다. Goyal[9]은 제품수요가 알려져 있고 부재고는 허용되지 않는 상황에서 하나의 품목에 대한 구매업자와 공급업자의 총비용을 최소화하는 발주량을 찾을 수 있는 통합재고모형을 제시하였으며, Fazel[7]은 JIT 구매와 EOQ구매의 비교분석을 통해 총비용 면에서 비교하였다. Miller와 Kelle[14]은 JIT 구매 하에서 구매업자와 공급업자의 단일품목의 통합재고모형(Integrated Vendor-Buyer Model, IVB)을 제시하였으며, Ha와 Kim[10]이 제시한 모형도 JIT 구매를 수행하기 위해 구매업자와 공급업

자 사이에 단일제품의 통합재고모형에 관한 연구였다. 앞에 두 연구들은 단일 품목의 조달정책에 관한 것이나, Woo, Hsu, Wu[19] 등이 제시한 모형은 공급업자가 여러 구매업자들에게 완제품을 공급하기 위해 원자재를 구매하는 통합재고모형을 보여주었지만 JIT 구매를 고려하지는 않았다. 김대홍[2] 등의 연구에서는 앞의 연구들을 확장하여 단일품목이 아닌 다품목으로 확장한 구매업자와 공급업자의 통합재고모형을 제시하였다.

본 연구에서는 Ha와 Kim[10] 및 Miller와 Kelle[14]의 JIT 구매에 관한 통합재고모형에 관한 연구를 확장하려고 한다. 즉, 선행 연구들은 공급업자와 구매업자의 완제품재고만을 고려한 통합재고모형(Integrated Vendor-Buyer Model, IVB)을 수립하였다. 원자재의 구매와 완제품의 생산준비를 고려한 재고모형을 구매-생산통합재고모형이라 부르며, 본 연구에서는 두 가지 모형을 통합하여 JIT 구매 하에서 공급업자의 완제품을 생산하기 위한 다원자재의 구매까지 고려한 공급업자와 구매업자를 포함한 통합재고모형을 수립하고자 한다. 이러한 통합재고모형에 관한 연구는 김대홍[3]에서 이미 다루어 졌으나 단일원자재의 경우이며 또한 공급업자의 원자재발주량이 1회 생산량(Q)의 정수배라는 제약을 가졌으나(즉 원자재발주량은 완제품 1회 생산에 필요한 양보다 같거나 많아야 한다는 가정), 본 연구에서는 이를 일반화하여 다원자재의 경우에 공급업자의 원자재 발주량에 관한 의사결정변수가 정수비율(integer-ratio)을 포함한 보다 일반화된 통합재고모형(IVB + IPP)을 수립하였다. 본 연구에서는 구매업자에게서 발생하는 완제품의 발주비용 및 재고유지비용, 그리고 구매업자에게 다빈도로 운송하는데 소요되는 운송비용, 공급업자의 완제품 생산을 위한 생산준비비용, 공급업자의 완제품 재고유지비용, 원자재 발주비용 및 원자재 재고유지비용을 모두 고려한 공급사슬 전체의 통합총비용을 나타내는 식을 유도하고 통합총비용을 최소화하는 해법을 제시하고자 한다.

## 2. 분석적 모형

JIT 구매 하에서 구매업자는 공급업자에게 단일품목을 1회 발주량(Q)만큼 발주한다. 발주를 받은 공급업자는 생산준비를 통하여 1회 발주량(Q)만큼 생산하고, 이를 n회에 나누어 다빈도 소량( $q = Q/n$ )으로 구매업자에게 운송하며, 이때에 운송시마다 고정운송비(Z)가 소요된다. 또한 공급업자는 이 완제품을 생산하기 위하여 단일 또는 복수의 원자재를 필요로 하며, 이 원자재는 외부에 발주하여 사용하며, 완제품 1회 생산량(발주량)의 정수배( $k_i =$

1, 2, ...,  $m_i$ ,  $m_i$ 은 정수)에 해당하는 만큼 많이 주문할 수도 있고, 또는 원자재발주량을 극소화하여 완제품 1회 생산량(발주량)의 정수 분의 1배( $k_i = 1, 1/2, \dots, 1/m_i$ ,  $m_i$ 은 정수)에 해당하는 만큼 소량으로 주문하여 사용할 수도 있다. 원자재를 발주하는 데는 원자재 발주비용이 소요되며 원자재를 보관하는 데에는 재고유지비용이 소요된다.

본 연구는 완제품의 수요가 확정적인 경우를 다루며 따라서 안전재고는 두지 않는다. 일반적으로 과거의 재고관리에 대한 많은 연구에서는 구매업자나 공급업자 한쪽만의 총비용을 최소화하는 것이었다. 그러나 본 연구에서는 구매업자와 공급업자의 통합 최적화를 하기 위해 Ha와 Kim[10] 및 Miller와 Kelle[14]가 제시한 모형과 Woo, Hsu, Wu[19]가 제시한 모형을 바탕으로 단일 또는 복수의 원자재를 고려한 구매업자와 공급업자에 대한 통합된 정량발주모형을 개발하였다.

기호정의

- $D$  : 구매업자의 완제품 연간수요
- $P$  : 공급업자의 완제품 생산율( $P > D$ )
- $A_b$  : 구매업자의 완제품 1회 발주 비용
- $A_s$  : 공급업자의 완제품 1회 생산준비 비용
- $A_{ri}$  : 공급업자의  $i$ 번째 원자재의 1회 발주 비용
- $u_i$  : 1개의 완제품을 생산하기 위한  $i$ 번째 원자재의 사용율
- $H_b$  : 구매업자의 완제품 단위당 연간 재고유지비용
- $H_s$  : 공급업자의 완제품 단위당 연간 재고유지비용
- $H_{ri}$  : 공급업자의  $i$ 번째 원자재의 단위당 연간 재고유지비용
- $Z$  : 1회 운송당 통합 운송비용
- $Q$  : 구매업자의 완제품 1회 발주량
- $n$  : 의사결정변수로 완제품 1회 발주당 운송횟수
- $k_i$  : 공급업자의  $i$ 번째 원자재 1회 발주량을 결정하는 의사결정변수로 공급업자의 완제품 몇회 또는 몇분의 1회 생산에 필요한 원자재를 발주해야 하는지를 결정하며 정수값 또는 정수분의 일 값을 가짐

필요한 기본가정은 전통적 경제적 발주량(EOQ)모형처럼 다음과 같다.

- 1) 완제품의 수요는 일정하고 알려져 있다.
- 2) 완제품 및 원자재의 선행기간은 일정하고 알려져 있다.
- 3) 1회 발주당 발주비용과 단위당 연간재고유지비용은 고정되어 있다.
- 4) 완제품과 원자재의 품질을 허용하지 않는다.

일반적으로 JIT 구매에서는 구매업자가  $Q$ 개를 공급업자에게 발주하면 공급업자는  $Q$ 개를 생산하여  $n$ 번에 나누어서 다빈도 소량( $Q/n$ 개)으로 구매업자에게 납품하게 되며, 이와 같은 상황에서의 공급업자와 구매업자의 재고수준의 변화가 <그림 1>에 나와 있다. 공급업자와 구매업자 간의 연간운송횟수는  $nD/Q$ 이며 이때의 연간운송비용은  $ZnD/Q$ 이다. 따라서 운송비를 포함한 구매업자의 연간총비용은

$$TC_{Buyer} = A_b \frac{D}{Q} + H_b \frac{Q}{2n} + Z \frac{nD}{Q} \tag{1}$$

공급업자는 구매업자로부터 주문을 받아서 생산준비를 하여  $Q$ 개를 생산하고 이를  $n$ 번에 나누어 납품하게 되며, 이때의 완제품의 연간 생산준비비용과 재고유지비용은 다음과 같다[10, 12].

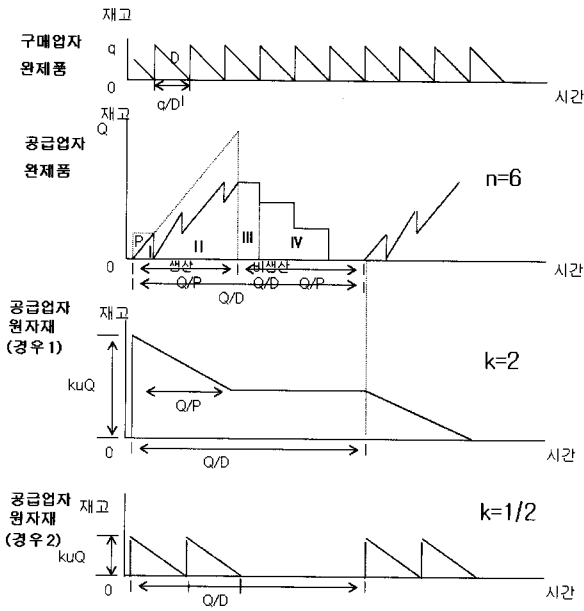
$$A_s \frac{D}{Q} + H_s \frac{Q}{2} \left(1 - \frac{D}{P} - \frac{1}{n} + \frac{2D}{nP}\right) \tag{2}$$

그리고 완제품 생산을 위하여 외부에 발주하여야 하는 원자재는 한 가지 또는 복수 개이며 각 원자재의 발주빈도는 완제품의 발주빈도에 맞추어 발주하게 되며 원자재의 발주량은 완제품 1회 생산량에 필요한 원자재 양의 정수배( $k_i = 1, 2, \dots, m_i$ ,  $m_i$ 은 정수) 또는 정수분의 1배( $k_i = 1, 1/2, \dots, 1/m_i$ ,  $m_i$ 은 정수)를 주문하는 것을 가정하였다. <그림 1>의 (경우 1)에 해당되는  $k_i = 2$  ( $m_i = 2$ 에 해당)라면 완제품 2회 생산량에 필요한 원자재를 1회에 주문하는 경우이다. 일반적으로  $k_i = \{1, 2, \dots, m_i\}$ 이라면 이때에 공급업자에게서 발생하는 연간 원자재의 발주비용 및 재고유지비용의 합은 아래와 같다[19].

$$\frac{A_{ri}D}{m_i Q} + H_{ri} \left\{ \frac{Du_i Q}{2P} + \frac{(m_i - 1)u_i Q}{2} \right\} \tag{3a}$$

<그림 1>의 (경우 2)와 같이  $k_i = 1/2$  ( $m_i = 2$ 인 경우)라면 완제품 1회 생산량에 필요한 원자재를 반만 주문하는 경우이다. 일반적으로  $k_i = \{1, 1/2, 1/3, \dots, 1/m_i\}$ 이라면 이때에 공급업자에게서 발생하는 연간 원자재의 발주비용 및 재고유지비용의 합은 아래와 같다[6, 13].

$$\frac{A_{ri} D m_i}{Q} + \frac{H_{ri} u_i Q D}{2 m_i P} \tag{3b}$$



〈그림 1〉 구매업자, 공급업자의 원제품 및 공급업자 원자재 재고수준 변화

공급업자에게서 발생하는 총원자재발주비용 및 재고 유지비용은 (경우 1)과 (경우 2)에 해당되는 모든 원자재의 관련비용을 합한 것이며 (경우 1)에 속하는 원자재는  $i \in LM$  (Lot Multiplier)로 표기하고, (경우 2)에 속하는 원자재는  $j \in LSP$  (Lot Splitting)로 표시하기로 하면, 통합총비용은 식 (1), (2) 및 식 (3)의 합이며 이를 정리하면

$$\begin{aligned}
 JTC(Q, n, \bar{m}) &= A_b \frac{D}{Q} + H_b \frac{Q}{2n} + Z \frac{nD}{Q} \\
 &+ A_s \frac{D}{Q} + H_s \frac{Q}{2} \left(1 - \frac{D}{P} - \frac{1}{n} + \frac{2D}{nP}\right) + \\
 &\sum_{i \in LM} \left[ \frac{A_{ri}D}{m_i Q} + H_{ri} \left\{ \frac{Du_i Q}{2P} + \frac{(m_i - 1)u_i Q}{2} \right\} \right] \\
 &+ \sum_{j \in LSP} \left[ \frac{A_{rj}Dm_j}{Q} + \frac{H_{rj}u_j Q}{2m_j} \frac{D}{P} \right] \quad (4)
 \end{aligned}$$

통합총비용을 최소화하는 운송횟수  $n^*$ 을 구하기 위하여 통합총비용을  $n$ 에 대하여 편미분하여 0으로 두면

$$-\frac{H_b Q}{2n^2} + \frac{ZD}{Q} + \frac{H_s Q}{2n^2} - \frac{H_s Q D}{n^2 P} = 0 \quad (5)$$

그러므로

$$n^* = Q \sqrt{\frac{H_b - H_s + 2H_s \frac{D}{P}}{2ZD}} \quad (6)$$

통합총비용을 최소화하는  $Q^*$ 을 구하기 위하여 통합총비용을  $Q$ 에 대하여 편미분하여 0으로 두면

$$\begin{aligned}
 &-\frac{A_b D}{Q^2} + \frac{H_b}{2n} - \frac{ZnD}{Q^2} - \frac{A_s D}{Q^2} \\
 &+ \frac{H_s}{2} \left(1 - \frac{D}{P} - \frac{1}{n} + \frac{2D}{nP}\right) + \\
 &\sum_{i \in LM} \left[ -\frac{A_{ri}D}{m_i Q^2} + H_{ri} \left\{ \frac{Du_i}{2P} + \frac{(m_i - 1)u_i}{2} \right\} \right] \\
 &+ \sum_{j \in LSP} \left[ -\frac{A_{rj}Dm_j}{Q^2} + \frac{H_{rj}u_j D}{2m_j P} \right] = 0
 \end{aligned}$$

위 식의 양변에  $2nQ^2$ 을 곱하고 식 (5)을 이용하여  $Q$ 에 대하여 정리하면

$$Q^* = \sqrt{\frac{2D(A_b + A_s + \sum_{i \in LM} \frac{A_{ri}}{m_i} + \sum_{j \in LSP} A_{rj}m_j)}{H_s(1 - \frac{D}{P}) + \sum_{i \in LM} H_{ri}u_i \left\{ \frac{D}{P} + (m_i - 1) \right\} + \sum_{j \in LSP} H_{rj} \frac{u_j D}{m_j P}}} \quad (7)$$

(경우 1) 주어진  $Q$  및  $n$ 에 대하여 통합총비용을 최소화하는  $m_i (i \in LM)$ 를 구하기 위하여 통합총비용을  $m_i$ 에 대하여 편미분하여 0으로 두면

$$-\frac{A_{ri}D}{m_i^2 Q} + H_{ri} \frac{u_i Q}{2} = 0$$

위의 식을  $m_i$ 에 대하여 정리하면

$$m_i = \frac{1}{Q} \sqrt{\frac{2A_{ri}D}{H_{ri}u_i}} \quad (i \in LM) \quad (8)$$

(경우 2) 주어진  $Q$  및  $n$ 에 대하여 통합총비용을 최소화하는  $m_j (j \in LSP)$ 를 구하기 위하여 통합총비용을  $m_j$ 에 대하여 편미분하여 0으로 두면

$$\frac{A_{rj}D}{Q} - \frac{H_{rj}u_j Q}{2m_j^2} \frac{D}{P} = 0$$

위의 식을  $m_j$ 에 대하여 정리하면

$$m_j = Q \sqrt{\frac{H_{rj}u_j}{2A_{rj}P}} \quad (i \in LSP) \quad (9)$$

### 3. 반복적 해법

JIT 구매 하에서 통합총비용을 최소화하는 완제품의 발주량(Q), 완제품의 운송횟수(n) 및 각 원자재별 발주빈도 또는 양( $\bar{k}$  또는  $\bar{m}$ )을 구하는 것은 비선형 정수계획법 문제로 최적해를 구하는 것은 매우 어렵다. 따라서 본 논문에서는 반복적인 방법으로 해를 찾는 발견적 해법(heuristic method)을 이용하는데 초점을 맞추고자 한다.

제 2장에서는 원자재 발주관련 의사결정변수( $k_i$ )가 정수인지 또는 정수 분의 1인 경우냐에 따라서 (경우 1)과 (경우 2)로 나누어 분석하였다. 특정 1번째 원자재가 (경우 1) 또는(경우 2)중 어디에 해당되는 것인 가를 파악하기 위하여 (경우 1)의  $m_i$ 값인 식 (8)과 (경우 2)의  $m_i$ 값인 식 (9)의 값을 계산 후에 두식의 곱을 계산하면

$$\frac{1}{Q} \sqrt{\frac{2A_{r_i}D}{H_r u_i}} Q \sqrt{\frac{H_r u_i}{2A_{r_i}P}} = \sqrt{\frac{D}{P}} < 1$$

이다. 두 식의 곱이 1미만이라는 것의 의미는 (경우 1) 또는 (경우 2)중 최소한 하나의 (반올림 전의)  $m_i$ 값은 1미만의 값이어야 한다는 것이다. 실제로는  $m_i$ 이 1보다는 같거나 큰 정수라는 제약을 고려하면 최소한 하나의  $m_i$ 값은 1이 됨을 의미한다. 동일한 의미로 (경우 1)과 (경우 2)에 해당되는  $m_i$ 값을 계산하면, 두 경우 모두가 1보다 클 수는 없다는 것이며, (경우 1), (경우 2) 모두  $m_i$ 이 1인 경우는 포함하고 있으므로, 각 원자재별로 (경우 1)과 (경우 2) 둘 중에 하나의 경우만 검토하면 된다는 의미이다. 따라서 각 원자재별로 (경우 1)인 식 (8)과 (경우 2)인 식 (9)을 계산하여, 식 (8)  $\geq$  식 (9)이면  $m_i$ 값은 (경우 1)에 해당되는 것으로 판정하고, 그렇지 않으면 (경우 2)에 해당되는 것으로 판정하기로 한다.

발주량 Q의 초기치를 시작으로 다음의 반복적 해법으로 해를 구한다.

(1) Q의 초기치로  $Q = \sqrt{\frac{2D(A_b + A_s)}{H_s(1 - \frac{D}{P})}}$  값을 반올림하여

계산한다.

(2) 주어진 Q로 식 (6)을 반올림하여 n을 계산한다.

(3) 주어진 Q와 n값을 이용하여 원자재관련 의사결정변수의 값을 계산하기 위하여 원자재별로 (경우 1)과 관련된 식 (8)과 (경우 2)와 관련된 식 (9)을 이용하여  $m_i$ 값을 계산한 후 식 (8)  $\geq$  식 (9)이면  $m_i$ 값은 (경우 1)에 해당되는 것으로 판정하고, 그렇지 않으면 (경우 2)에 해당되는 것으로 판정한다. 모든 원자재에 대하여 이 과정을 반복한 후 반올림하여

$\bar{m}$  값을 계산한다.

(4) 주어진 n,  $\bar{m}$ 값으로 식 (7)을 이용하여 Q를 계산한다.

(5) Q, n,  $\bar{m}$ 값이 수렴될때 까지 식 (2)~(4)과정을 반복하며, 이때의 통합총비용은 식 (4)를 이용하여 계산한다.

### 4. 예제를 통한 분석

통합재고모형의 유용성을 보이기 위하여 Miller와 Kelle [14] 그리고 Woo, Hsu, Wu[19]가 사용한 예제의 수치들 본 논문에 맞게 수정하여 통합재고모형의 반복적 해법을 사용하여 해를 계산하기로 한다.

#### 4.1 수치예 1-단일원자재인 경우

공급업자의 생산율  $P = 25,000$ 개/년,

완제품의 연간수요  $D = 10,000$ 개/년,

구매업자의 완제품 1회 발주비용  $A_b = \$100$ /회,

공급업자 완제품 1회 생산준비비용  $A_s = \$200$ /회,

공급업자 원자재 1회 발주비용  $A_r = \$500$ /회,

구매업자의 완제품 재고유지비용  $H_b = \$6$ /개/년,

공급업자 완제품 재고유지비용  $H_s = \$5$ /개/년,

공급업자 원자재 재고유지비용  $H_r = \$0.3$ /개/년

1회 운송당 운송비용  $Z = \$10$ /회,

완제품을 1개를 생산하기 위한 원자재 사용율  $u = 1$

위의 자료를 이용하여 반복적 해법에 의하여 해를 구한 결과가 아래의 <표 1>에 나와 있다.

<표 1> 수치예 1에 반복적 해법의 적용결과

	반복번호	Q	n	m	JTC
경우 1	1	1414	7	4	6847.82
우	2	1454	7	4	6846.23
1	3	1454	7	4	6846.23

<표 1>에서 알 수 있듯이 반복적 해법을 수치 예에 적용하면 원자재관련 의사결정변수는 (경우 1)에 해당되는 공식으로 계산되며 모두 3번 반복하면 해가 수렴하는 것을 알 수 있으며, 통합총비용을 최소화하는 해는 구매업자의 1회 발주량은 1454개이며 공급업자는 이를 1회에 생산하여 7회에 나누어 208개(= 1454/7)씩 공급하며 원자재의 발주량은 완제품의 4회( $k = 4$ ) 생산량에 필요한 만큼 주문한다. 이때에 발생하는 통합총비용은 \$6846.23이다.

앞에서 제시한 반복적 해법은 발견적 해법(heuristic method)이므로 이 방법으로 구한 해가 최적해라는 보장은 없으며, 또한 이 해법으로 구한 해가 얼마나 최적해에 근접한지 알지 못한다. 따라서 이 반복적 해법이 최적해에 근접한 또는 최적해와 동일한 해를 찾을 수 있다는 것을 보여주기 위해서는 일단 수치예의 최적해를 알 수 있어야 한다. 최적해를 구하는 일반적 해법을 도출하기는 어렵지만 의사결정변수인  $n$ 과  $m$ 이 정수라는 특성을 이용하여  $n$ 과  $m$ 의 모든 정수조합을 나열하고 각각에 대하여 완제품의 최적발주량과 이때의 통합총비용을 계산할 수 있다. 나열된 통합총비용 중에서 통합총비용이 최소가 되는 해를 탐색하면 이것이 최적해가 되며 이 최적해를 앞에서 반복적 해법으로 구한 해와 비교할 수 있다. 수치예에서 양의 정수 중 최적  $n$ 과  $m$ 의 대상이 되는 값으로  $n = 1, 2, \dots, 10, m = 1, 2, 3, 4, 5$ 으로 좁히면 총 50가지의 해가 나열되며 50가지에 대하여 완제품의 최적발주량(1회 생산량)을 구한 후 이 때의 통합총비용을 계산하였다. 이 50가지 중에서 통합총비용을 최소화하는 해를 구한 결과 통합총비용은 \$6846.23가 나왔다. 즉 나열해에 의해 구한 최적해는 반복적 해법으로 구한 해와 정확히 일치하였다.

<표 2> 수치예 1의 나열해

번호	n	m	Q	JTC
1	6	3	1584	\$6905.69
2	6	4	1454	6864.01
3	6	5	1361	6886.70
4	7	3	1584	6900.00
<b>5</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>1454</b>	<b>6846.23</b>
6	7	5	1361	6879.18
7	8	3	1584	6892.42
8	8	4	1454	6850.09
9	8	5	1361	6891.91

제시된 수치예에 대하여 반복적 해법은 비교적 손쉽게 해를 구하면서도 통합 총비용 면에서 최적해와 동일하다는 것을 보여 주고 있다. 모든 해를 나열하는 방법으로 최적해를 탐색하는 것은 계산량이 매우 많아지므로 쉬운 일이 아니며 따라서 반복적 해법이 유용함을 알 수 있다.

4.2 수치예 2-단일원자재인 경우

공급업자의 원자재재고유지비용을 제외하고는 (수치예 1)과 동일한 수치를 사용하고 공급업자 원자재 재고유지비용  $H_r = \$30/\text{개}/\text{년}$ 을 사용하여 해를 계산하기로 하자.

공급업자의 원자재발주량에 가장 큰 영향을 주는 모수는 공급업자의 원자재 재고유지비용으로  $H_r = \$30/\text{개}/\text{년}$ 을 가정하여 반복적 해법을 적용하였으며, 그 계산결과가 <표 3>에 정리되어 나와 있다.

<표 3> 수치예 2에 반복적 해법의 적용결과

	반복	Q	n	m	JTC
경	1	1414	7	2	16556.83
우	2	1700	9	2	16298.69
2	<b>3</b>	<b>1700</b>	<b>9</b>	<b>2</b>	<b>16298.69</b>

수치예 1에서는 원자재 관련 의사결정변수가(경우 1)에 해당되었지만, 수치예 2에서는 원자재 관련 의사결정변수가 (경우 2)에 해당되었다. 수치예 2의 모수값에서 단위당 원자재재고유지비용을 수치예 1보다 매우 높게 두었으며, 따라서 원자재발주량 및 재고유지비용을 줄이기 위하여 원자재발주량 관련 의사결정변수인  $k$ 값이 수치예 1보다 낮음( $k = 1/2$ )을 알 수 있다.

수치예 2에서도 반복적 해법에서 계산된 해가 최적해 또는 최적해에 가까운 해인가를 파악하기 위하여 수치예 1과 동일한 방법으로 나열해를 탐색하여 최적해를 구하였으며, 반복적 해법에 계산한 해와 비교한 결과 반복적 해법에서 구한 해가 최적해임을 알 수 있다.

<표 4> 수치예 2의 나열해

번호	n	m(=1/k)	Q	JTC
1	8	1	1414	\$17270.35
2	8	2	1700	16298.90
3	8	3	2268	16935.99
4	9	1	1033	16650.13
<b>5</b>	<b>9</b>	<b>2</b>	<b>1700</b>	<b>16298.69</b>
6	9	3	2268	16901.33
7	10	1	1033	16718.24
8	10	2	1700	16310.29
9	10	3	2268	16882.46

4.3 수치예 3-복수원자재인 경우

공급업자가 두 종류의 원자재를 구매하여, 이를 이용하여 1회 생산량만큼 완제품을 생산하여 구매업자에게  $n$ 회에 나누어 공급하는 복수원자재의 수치예에 반복적 해법을 사용하여 해를 계산하기로 하자.

공급업자의 생산율  $P = 25,000/\text{개}/\text{년}$ ,  
 완제품의 연간수요  $D = 10,000/\text{개}/\text{년}$ ,  
 구매업자의 완제품 1회 발주비용  $A_b = \$100/\text{회}$ ,

공급업자 완제품 1회 생산준비비용  $A_s = \$200/\text{회}$ ,  
 공급업자 첫째 원자재 1회 발주비용  $A_{r1} = \$500/\text{회}$ ,  
 공급업자 둘째 원자재 1회 발주비용  $A_{r2} = \$50/\text{회}$ ,  
 구매업자의 완제품 재고유지비용  $H_b = \$6/\text{개/년}$ ,  
 공급업자 완제품 재고유지비용  $H_s = \$5/\text{개/년}$ ,  
 공급업자 첫째 원자재 재고유지비용  $H_{r1} = \$0.3/\text{개/년}$   
 공급업자 둘째 원자재 재고유지비용  $H_{r2} = \$5/\text{개/년}$   
 1회 운송당 운송비용  $Z = \$10/\text{회}$ ,  
 완제품을 1개를 생산하기 위한 원자재사용율  $u_1 = u_2 = 1$ .

위의 자료를 이용하여 반복적 해법에 의하여 해를 구한 결과가 아래의 <표 5>에 나와 있다.

<표 5> 수치예 3에 반복적 해법 적용결과

반복번호	Q	n	$k_1$	$k_2$	JTC
1	1414	7	4	1/2	\$8262.06
2	1446	7	4	1/2	\$8260.69
3	1446	7	4	1/2	<b>\$8260.69</b>

두 종류의 원자재의 경우에도 3번 반복하면 최종해로 수렴하는 것을 알 수 있으며, 통합총비용을 최소화하는 해는 구매업자의 1회 발주량은 1446개이며 공급업자는 이를 1회에 생산하여 7회에 나누어 207개(= 1446/7)씩 공급하며, 첫째 원자재의 발주빈도는 완제품의 4회( $k_1 = 4$ ) 생산량에 필요한 만큼 주문하며, 둘째 원자재의 발주빈도는 완제품의 1/2회( $k_2 = 1/2$ ) 생산량에 필요한 만큼 주문한다는 의미이다.

앞의 두 예와 동일한 방법으로 수치예 3에 해당하는 나열해에서 탐색하여 구한 최적해와 위의 최종해를 비교한 결과 일치하였으며, 따라서 반복적 해법으로 구한 해는 최적해로 판명이 되었다.

#### 4.4 반복적 해법의 성능평가

본 연구에서 제시된 해법이 일반적으로 최적해에 수렴한다는 것을 증명하지 못하므로 추가적인 수치예를 통하여 그 성능을 평가하여 보기로 한다. 본 연구에서는 추가적으로 10개의 문제에 대하여 반복적 해법으로 해를 구하고, 이의 성능을 입증하기 위하여 나열해법으로 탐색한 최적해와 비교하여 보기로 하자.

임의로 수치예를 발생시키기 위하여 수치예 3에서 다른 모수들은 고정시키고 원자재관련 의사결정변수 ( $\bar{k}$  또는  $\bar{m}$ )에 가장 영향이 큰 모수인 공급업자의 원자재발주비용과 재고유지비용을 아래의 (최소값-최대값) 범위이내에서 난수를 사용하여 임의로 선택하여 사용하였다.

$$A_{r1} = (100-1,000), \quad A_{r2} = (10-100), \\ H_{r1} = (0.1-1.0), \quad H_{r2} = (1-10)$$

아래의 <표 6>에는 임의로 선택된 모수의 값이 나와 있다. 10개의 문제에 대하여 반복적 해법을 적용하여 해를 구한 후 최적해와 일치하는 가를 확인하기 위하여 나열해를 탐색하여 보았다. 10개의 문제에 대하여 반복적 해법으로 구한 최종해와 나열해에서 탐색하여 발견한 최적해가 정확히 일치하여 반복적 해법의 좋은 성능을 입증하였다. 또한 10개의 문제 중에서 9개의 문제에서 3번의 반복 만에 최종해로 수렴하였으며, 나머지 한 문제에서는 4번의 반복 만에 최종해로 수렴하여 빠르게 수렴하는 성능도 보여주었다.

<표 6> 해법의 성능입증을 위한 문제

번호	$A_{r1}$	$A_{r2}$	$H_{r1}$	$H_{r2}$	반복 횟수
1	978	35	0.9	7	3
2	771	90	0.3	9	3
3	178	10	0.4	5	3
4	278	72	0.8	9	3
5	497	83	0.4	1	4
6	549	69	0.5	5	3
7	727	94	0.4	3	3
8	851	61	0.8	2	3
9	575	67	0.7	4	3
10	934	64	0.3	9	3

### 5. 통합재고모형의 타당성 검토

앞 장에서는 구매업자와 공급업자 간의 통합재고모형인 통합발주정책에 대하여 알아보았다 이 장에서는 구매업자와 공급업자가 통합재고모형을 이용하지 않고 구매업자가 유리한 입장에서 발주를 했을 때의 통합총비용을 도출하고 앞 장에서와 같이 통합재고모형의 통합총비용과 비교하여 과연 어떤 정책이 보다 효과적인지 알아보도록 하겠다.

구매업자 입장에서 구매업자총비용을 최소화하는 발주량(Q) 및 운송횟수(n)를 구하고, 이때의 구매업자 총비용과 통합총비용을 계산하여보도록 하겠다. 구매업자의 총비용은 구매업자의 발주비용, 재고유지비용 및 운송비용으로 구성되어 있으며 아래와 같다.

$$TC_{Buyer} = A_b \frac{D}{Q} + H_b \frac{Q}{2n} + Z \frac{nD}{Q} \quad (10)$$

구매업자의 총비용을 최소화하기 위하여 n에 대하여

편미분하여 0으로 두면

$$n = Q \sqrt{\frac{H_b}{2ZD}} \tag{11}$$

식 (11)을 식 (10)에 대입하여 정리하면

$$TC_{Buyer} = A_b \frac{D}{Q} + \sqrt{2H_b ZD} \tag{12}$$

구매업자의 총비용인 식 (12)을 최소화하는 Q는  $Q \rightarrow \infty$ (따라서  $n \rightarrow \infty$ )이다. 이때의 구매업자 최소총비용은  $\sqrt{2H_b ZD}$ 이다. 공급업자는 주어진  $n, Q$ 하에서 공급업자의 총비용을 최소화하여야 한다. 구매업자의 입장에서는 Q와 n값을 무한히 늘릴수록 유리하나( $Q, n \rightarrow \infty$ ), 이때의 공급업자의 총비용은 무한히 증가하며 전체 통합총비용도 무한히 증가한다.

이번에는 통합재고모형의 유용성을 입증하기 위하여 전형적으로 많이 사용하는 경제발주량(EOQ)과 비교하여 보기로 하자. 일반적으로 구매업자가 통합모형의 유용성을 알지 못할 때에는 경제발주량(EOQ) 공식( $= \sqrt{2DA_b/H_b}$ )을 이용하여 발주할 수 있다. 구매업자가 경제발주량으로 주문하면, 공급업자는 공급업자에게 가장 유리한 운송횟수 및 원자재발주량을 계산하여 사용하는 것이 가능하다. 이와 같은 경우에 발생하는 통합 총비용을 계산하여 본 논문에서 제시한 통합모형을 사용할 때와 비교하기로 한다. 앞의 (수치예 1), (수치예 2) 및 (수치예 3)을 사용하여 본 논문에서 제시한 통합모형, 단순경제발주량(EOQ)모형 및 구매업자가 주도권을 갖는 경우와 통합총비용 면에서 비교하여 표로 정리한 결과는 아래의 <표 7>과 같다.

공급사슬을 하나로 통합하여 통합 총비용을 최소화하는 발주정책이 전체 최적화를 이룰 수 있기 때문에 다른 발주정책에 비교하여 통합 총비용 면에서 당연히 좋은 성과를 보였다.

<표 7> 발주정책간의 통합총비용 비교(\$)

정책 수치 예	공급사슬 통합모형	경제발주량 (EOQ)	구매업자 주도권
수치 예 1	6646.23	8745.69	$\infty$
수치 예 2	16298.69	19759.11	$\infty$
수치 예 3	8260.69	10189.2	$\infty$

수치예 1에서는 통합모형을 사용하는 경우가 단순경제 발주량모형보다 통합 총비용이 \$2099.46 (31.59%)이 적었다.

다. 수치예 2에서는 통합모형을 사용하는 경우가 단순경제 발주량모형보다 통합총비용이 \$3460.42(21.23%)이 적었다.

결론적으로 구매자와 공급업자가 파트너십에 기초하여 발주정책 및 운송횟수를 정하여 통합관리하는 것이 공급사슬전체의 통합총비용 면에서 매우 유리함을 수 있다.

## 6. 결 론

본 논문에서는 JIT 구매 하에서 공급업자와 구매업자 간의 재고관리 측면에서의 협력의 필요함을 이야기하고 있으며 이러한 협력관계를 고려하여 구매업자, 공급업자에 대한 공급사슬관리(SCM)의 개념을 재고관리측면에 적용하여 통합재고관리를 했을 때 통합총비용적인 측면에서 효과적이라는 것을 알아보았다.

본 논문의 한계로는 수요가 확정적인 경우이고, 단일 완제품인 경우를 다루었다는 것이며 수요가 확률적인 경우와 다품목인 경우에 관한 연구는 추후의 과제로 남겨 둔다. 본 논문에서 사용한 반복적 해법의 계산은 엑셀같은 스프레드시트에서 쉽게 할 수 있다.

## 참고문헌

- [1] 김대홍, 정승환, “한국 부품공급업체 생산 혁신전략 유형이 경쟁력에 미치는 영향”, 대한산업공학회지, 11(1) : 164-174, 1998.
- [2] 김대홍, 김용철; “JIT 구매 하에서의 다품목의 발주정책에 관한 연구”, 한국산업경영시스템학회지, 25(1) : 42-48, 2002.
- [3] 김대홍; “JIT 구매 하에서의 원자재를 고려한 통합재고모형에 관한 연구”, 공학연구, 한성대학교 공학연구센터, 1(1) : 53-61, 2003.
- [4] 김대홍, 김상빈; “국내 제조기업의 JIT 구매방식의 도입과 구매성과에 관한 연구”, 한국산업경영시스템학회지, 29(3) : 55-61, 2006.
- [5] 한국 SCM 민관합동 추진위원회; SCM과 핵심기술, 한국유통정보센터, 1999.
- [6] Banerjee, A., Kim, S.L., and Burton, J.; “Supply Chain Coordination through Effective Multi-stage Inventory Linkages in a JIT Environment,” *International Journal of Production Economics*, 108 : 271-280, 2007.
- [7] Fazel, F.; “A Comparative Analysis of Inventory Costs of JIT and EOQ Purchasing,” *Internal Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 27(8) : 496-504,



- 1997.
- [8] Fullerton, R. R., McWatters, C. C., and Fawson, C.; "An Examination of the Relationship between JIT and Financial Performance," *Journal of Operations Management*, 21 : 383-404, 2003.
- [9] Goyal, S. K.; "An Integrated Inventory Model for a Single Supplier-Single Customer Problem," *INT.J.PROD.RES*, 15(1) : 107-111, 1976.
- [10] Ha, D. and Kim, S. L.; "Implementation of JIT Purchasing: an Integrated Approach," *Production Planning and Control*, 8(2): 152-157, 1997.
- [11] Kim, S. H. and Chandra, J.; "An Integrated Inventory Model for a Single Product and its Raw Materials," *International Journal of Production Research*, 25(4) : 627-634, 1987.
- [12] Kim, S.L. and Ha, D.; "A JIT Lot-splitting Model for Supply Chain Management : Enhancing Buyer-supplier Linkage," *International Journal of Production Economics*, 86 : 1-10, 2003.
- [13] Lee, W.; "A Joint Lot Size Model for Raw Material Ordering, Manufacturing Setup, and Finished Goods Delivering," *OMEGA*, 33 : 163-174, 2005.
- [14] Miller, P. A. and Kelle, P.; "Quantitative Support for Buyer-supplier Negotiation in Just-In-Time Purchasing," *International Journal of Purchasing and Material Management* : 25-29, 1998.
- [15] Pan, A. C. and Liao, C.; "An Inventory Model under Just-In-Time Purchasing Agreements," *Production and Inventory Management Journal-first quarter* : 49-52, 1989.
- [16] Ramasesh, R. V; "Recasting the Traditional Inventory Model to Implement Just-In-Time Purchasing," *Production and Inventory Management Journal-first quarter* : 71-75, 1990.
- [17] Saker, BR. and Parija, GR.; "Optimal Batch Size and Raw Material Ordering Policy for a Production System with a Fixed-interval, Lumpy Demand System," *European Journal of Operational Research*, 89 : 593-608, 1996.
- [18] Wills, T. and C. Huston; "Vendor Requirements and Evaluation in a JIT Environment," *International Journal of Operations & Production Management*, 10(4) : 41-50, 1990.
- [19] Woo, Y. Y., Hsu, S. L., and Wu, S.; "An Integrated Inventory Model for a Single Vendor and Multiple Buyers with Ordering Cost Reduction," *International Journal of Production Economics*, 73 : 203-215, 2001.