

JIT구매를 고려한 단일 제조업자-다소매업자의 공급사슬에서 통합재고모형

김 대 홍

한성대학교 산업경영공학과

Generalized Single Manufacturer and Multiple Retailers Supply Chain Model in JIT Purchasing

Dae Hong Kim

Department of Industrial and Management Engineering, Hansung University

In this paper, we investigate an inventory system where a single manufacturer purchases and processes raw materials in order to deliver finished goods to multiple retailers. Earlier study in this type of supply chain only consider a single raw material in order to produce finished goods, but we consider multi-raw materials in order to produce finished goods. Also, we develop an iterative solution procedure to find the order quantity for the finished goods and raw materials, and the number of shipments between manufacturer and retailers that minimizes the total cost per unit time of the raw materials ordering and holding, manufacture's setup and finished goods holding, the retailer's ordering and inventory holding. Numerical examples are presented to illustrate that jointly considering the total cost results in less total cost than that of considering them separately.

Keywords : Supply Chain Management, Integrated Inventory Control

1. 서 론

21세기에 들어서면서 글로벌 시장환경 하에서 치열한 경쟁에 직면한 많은 기업들은 내부의 프로세스 혁신으로는 경쟁력을 높이는데 한계를 느끼기 시작하면서 기업들은 기업내부를 넘어 기업외부로 시야를 돌리게 되었다. 즉, 자사의 역량을 강화하는 내부적인 노력과 함께 공급업체의 원자재 및 부품의 공급능력이나 품질수준이 고객의 욕구를 충족시키는데 중요한 영향을 미치게 됨을 인식하기 시작한 것이다. 기업내부의 최적화로는 더 이상 경쟁력을 확보하지 못한다는 것을 인식, 자신의 조직뿐만 아니라 원자재 및 부품을 공급하는 공

급업체에서부터 생산 후 제품을 최종 고객에게 전달하는 공급사슬전체를 관리해야만 경쟁력이 확보될 수 있다는 것이다. 이렇게 거래에 대한 합의가 이루어지고 상호간 거래 정보를 주고받으며 공동의 이익을 위해 협력하고 노력하는 것을 공급사슬관리(Supply Chain Management)라고 한다[1, 5, 6].

과거의 전통적인 구매에서는 구매업자와 공급업자가 서로 적대적인 관계였으며, 한 집단의 이익을 최대화하려는 재고정책이나 협상이 다른 집단에게는 더 많은 비용이나 손실을 가져다주는 경우가 발생하였다. JIT 구매 하에서는 이 두 집단을 하나의 공급사슬로 묶어 구매업자의 주문량을 공급업자가 다빈도 소량으로 납

논문접수일 : 2011년 08월 12일 게재확정일 : 2011년 10월 11일

† 교신저자 dhkim@hansung.ac.kr

※ 본 연구는 한성대학교 교내연구비 지원과제임.

품하게 되며 이렇게 되면 두 집단 전체의 이익은 증가하게 된다[2, 20]. 따라서 본 연구에서는 소매업자와 제조업자를 하나로 묶어 통합재고정책을 적용할 때와 그렇지 못할 때에 총비용 면에서 비교하려고 한다. JIT 구매의 특징으로는 다빈도 소량구매라 할 수 있으며 구매업자가 주문을 하면 공급업자는 구매업자에게 다빈도 소량으로 나누어 납품하게 된다.

JIT 구매는 일종의 공급사슬관리(SCM)로 볼 수 있으며, 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. 앞에서 살펴본 정의에서 알 수 있듯이 공급사슬 내에 존재하는 기업들이 정보를 공유하여 이윤을 극대화 하는 것으로 볼 수 있다. JIT 구매는 공급사슬관리의 일환으로 기업 간 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[3, 4, 5, 9].

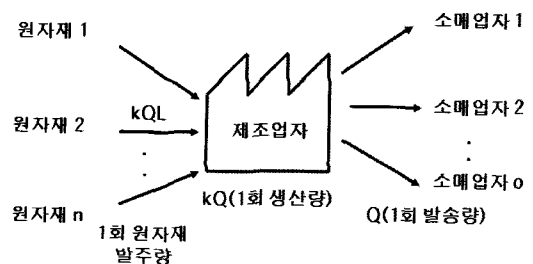
그러면 기존에 개발된 공급사슬관리에 관련된 통합재고모형에 관한 연구들의 특징을 간략히 살펴보기로 하자. Kim and Chandra[12] 및 Saker and Parija[18]는 단일 완제품을 생산하는데 필요한 다원자재를 외부에 주문하게 되며, 이때에 완제품의 1회 생산량 및 각 원자재의 1회 발주량을 동시에 결정하는 통합원자재구매-생산재고모형(Integrated Procurement-Production, IPP)을 제시하였다. Pan and Liao[16]는 JIT 구매 하에서 구매업자의 발주량을 공급업자가 몇 번에 나누어 보내는 것이 재고유지비용을 줄 일 수 있는지에 대한 연구를 하였으나, 다빈도로 납품하는 경우의 고정 운송비를 고려하지 않았으며, Ramasesh[17]는 Pan and Liao[16]의 연구를 확장하여 전통적 재고모형을 JIT 구매로 이행하기 위한 새로운 모형을 제시하였으나 구매업자에게서 발생하는 총비용만을 고려하였고 공급업자에게서 발생하는 비용은 고려하지 못하였다. Goyal[10]은 제품수요가 알려져 있고, 부재고는 허용되지 않는 상황에서 단일 품목에 대한 구매업자와 공급업자의 총비용을 최소화하는 발주량을 찾을 수 있는 통합재고모형을 제시하였다. Fazel[8]은 JIT 구매와 EOQ 구매의 비교분석을 통해 총비용 면에서 비교하였다. Teng, Cardenas-Berron, Luo [19], Yan, Banerjee, Yang[22], Miller and Kelle[15]은 JIT 구매 하에서 구매업자와 공급업자의 단일품목의 완제품공급-구매재고모형(Integrated Vendor-Buyer Model, IVB)을 제시하였으며, Kim 및 Ha[13], Ha and Kim[11]

이 제시한 모형도 JIT 구매를 수행하기 위해 구매업자와 공급업자 사이에 단일제품의 통합재고모형에 관한 연구였다. Woo, Hsu, Wu[21] 등이 제시한 모형은 공급업자가 여러 구매업자들에게 완제품을 공급하기 위해 원자재를 구매하여 생산하는 통합생산재고모형을 보여 주었으나 완제품생산에 필요한 원자재는 단일이라는 가정이었다.

본 연구에서는 Banerjee, Kim and Burton[7]의 연구를 확장하려고 한다. Banerjee, Kim and Burton의 연구에서는 공급업자로부터 원자재를 구매하여 완제품을 생산한 후 소매업자에게 다빈도 소량으로 발송하는 경우의 통합재고정책에 관한 연구이었다. 이 연구의 한계는 완제품 생산에 단일원자재가 사용된다는 가정과 함께 원자재의 발주빈도는 완제품의 생산빈도의 정수 분의 1배라는 가정을 두었다. 일반적으로 완제품에 필요한 원자재의 종류는 한 가지 이상을 갖는 것이 현실적이며, 원자재의 발주빈도는 완제품의 생산빈도의 정수 분의 1배라는 선행연구의 제약을 풀어서 원자재를 다빈도 소량주문(완제품 1회 생산량의 정수분의 1배를 주문)할 수도 있고 또한 여러 번의 완제품생산에 사용할 만큼 대량 주문(완제품 1회 생산량의 정수배를 주문)할 수도 있다. 본 연구에서는 다원자재를 고려하여 이들의 연구를 일반화 하였다. 본 연구에서는 원자재구매-생산재고모형과 완제품공급-구매재고모형을 통합하여(Integrated Procurement-Production Model + Integrated Vendor-Buyer Model) JIT 구매 하에서 소매업자에게 필요한 완제품을 제조업자가 공급하기 위하여 다원자재를 구매하여 완제품을 생산하여 소매업자에게 공급하는 경우로, 소매업자와 제조업자를 포함하는 통합재고모형을 수립하고자 한다.

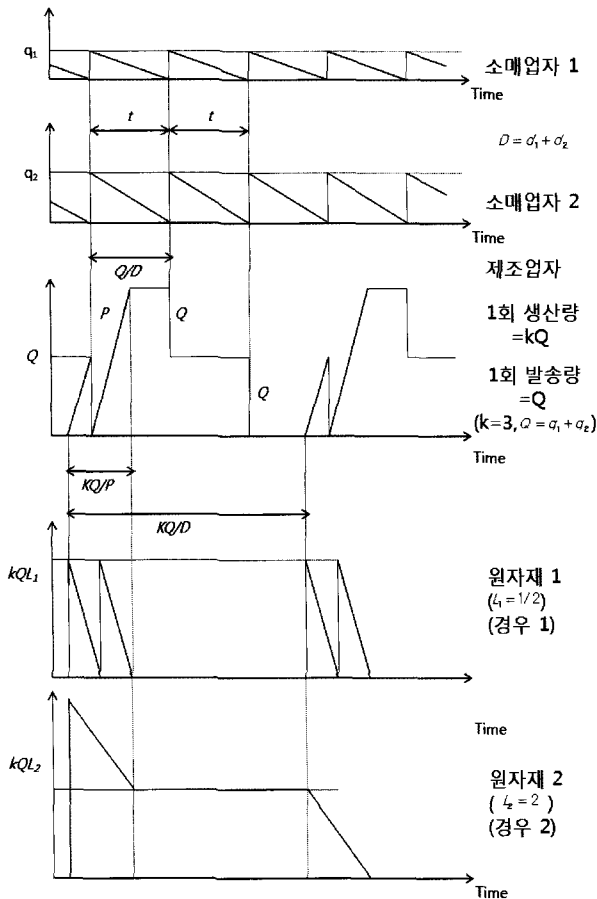
2. 분석적 모형

분석대상인 공급사슬은 <그림 1>처럼 한 제조업자가 여러 원자재를 구매하여 단일제품을 배치생산으로 생산한 후 정기적으로 여러 소매업자에게 발송하는 경우이다.



<그림 2> 제조업자-다소매업자의 공급사슬

즉, 제조업자는 1회 운송량의 k 배(의사결정변수)를 생산하여(제조업자의 1회 생산량은 kQ) 소매업자들에게 k 회에 나누어서, 1회에 Q 개를 정하여진 기간마다 다빈도 소량으로 공급한다. 이 때에 소매상으로 발송시마다 고정된 발주비용(A_R)이 소요된다. 그리고 제조업자는 이 완제품을 생산하기 위하여 여러 가지의 원자재를 필요로 하며, 원자재는 완제품 1회 생산량의 정수분의 1배($1/m_i$ 배)생산에 필요한 원자재를 다빈도 소량으로 주문하여 사용할 수 있고 또는 완제품생산량의 정수배(m_i 배)에 필요한 양을 대량으로 주문할 수도 있다. 각 원자재를 발주하는 데는 발주비용(A_i)이 소요되며, 각 원자재를 보관하는 데는 재고유지비용(H_i)이 소요된다. <그림 2>는 소매업자 및 제조업자에서 완제품 및 원자재의 재고수준의 변화를 보여주고 있다.



<그림 2> 소매업자 및 제조업자에서의 완제품 및 원자재의 재고수준 변화

본 연구는 수요가 확정적인 경우를 다루며 따라서 안전재고는 두지 않는다. 일반적으로 과거의 재고관리에 대한 많은 연구에서는 소매업자나 제조업자 한쪽만의 총비용을 최소화하는 것이었다. 그러나 본 연구에

서는 소매업자와 제조업자 전체의 통합 최적화를 하기 위해 소매업자와 제조업자에서 발생하는 발주비용, 생산준비비용 및 재고유지비용을 고려하여 소매업자와 제조업자의 대한 단일품목의 통합된 정량발주재고모형을 개발하였다.

기호정의

- D : 완제품의 연간수요($=\sum_{j=1}^O d_j$, 단 d_j 는 j 번째 소매업자의 연간수요이고 O 는 소매업자 수)
- P : 제조업자의 완제품 생산율($P > D$)
- A_R : 소매업자의 완제품 1회 발주에 필요한 발주비용
- S : 제조업자 완제품 1회 생산준비비용
- A_i : 제조업자 원자재 i 의 1회 발주비용
- H_R : 소매업자의 완제품 단위당 연간 재고유지비용(모든 소매업자에게서 동일하게 발생한다는 가정)
- H_M : 제조업자의 완제품 단위당 연간 재고유지비용
- H_i : 제조업자 원자재 i 의 단위당 연간 재고유지비용
- Q : 소매업자에게 발송되는 1회 발송량(의사결정변수)
- k : 제조업자의 완제품 1회 생산당 발송횟수(의사결정변수)
- kQ : 제조업자의 1회 생산량
- L_i : 제조업자의 i 번째 원자재 1회 발주량을 결정하는 의사결정변수로 제조업자의 완제품 몇 회 또는 몇분의 1회 생산에 필요한 원자재를 발주해야 하는 지를 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 선형기간은 일정하고 알려져 있다.
- 3) 1회 발주당 발주비용과 단위당 연간재고유지비용은 고정되어 있다.
- 4) 완제품과 원자재의 품질을 허용하지 않는다.
- 5) 모든 소매업자는 제조업자로부터 동일한 주기로 완제품을 공급받는다.

모든 소매업자는 정기적으로 t 기간에 한 번씩 1회에 Q 개(모든 소매업자의 발주량의 합계)를 발주하며, 제조업자는 1회에 kQ 개를 생산하여 k 회에 나누어 정기적으로 소매업자에게 발송한다. 각 소매업자의 연간수요를 합한 것이 D 이고, 소매업자의 연간발주횟수는 D/Q 이며 평균재고량은 $Q/2$ 이다. 따라서 소매업자의 연간 총비용은

$$TC_R = A_R \frac{D}{Q} + H_R \frac{Q}{2} \quad (1)$$

제조업자는 소매업자로부터 주문을 받아서 완제품의 생산준비를 하여 1회에 kQ 개를 생산하여 이를 k 번에 나누어 소매업자에게 납품하게 된다. 이때의 완제품의 연간 생산준비비용과 재고유지비용은 다음과 같다[7].

$$\frac{SD}{kQ} + \frac{H_M Q}{2} \left\{ (2-k) \frac{D}{P} + k - 1 \right\} \quad (2)$$

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 원자재양의 정수분의 1배($L_i = 1, 1/2, \dots, 1/m_i, m_i$ 은 정수) 또는 정수배($L_j = 1, 2, \dots, m_j, m_j$ 은 정수)를 주문하는 것을 가정하였다.

<그림 2>의 (경우 1)와 같이 $L_i = 1/2$ ($m_i = 2$ 인 경우)라면 완제품 1회 생산량에 필요한 원자재를 절반만 주문하는 경우이다. 일반적으로 $L_i = \{1, 1/2, 1/3, \dots, 1/m_i\}$ 이라면, 이때에 제조업자에게서 발생하는 연간 원자재의 발주비용 및 재고유지비용의 합은 아래와 같다[7, 14].

$$\frac{A_i D m_i}{kQ} + \frac{H_i k Q D}{2 m_i P} \quad (3a)$$

<그림 2>의 (경우 2)에 해당되는 $L_j = 2$ ($m_j = 2$ 에 해당)라면 완제품 2회 생산량에 필요한 원자재를 1회에 주문하는 경우이다. 일반적으로 $L_j = \{1, 2, \dots, m_j\}$ 이라면 이때에 제조업자에게서 발생하는 연간 원자재 발주비용 및 재고유지비용의 합은 아래와 같다[21].

$$\frac{A_j D}{m_j k Q} + H_j \left\{ \frac{k Q D}{2 P} + \frac{(m_j - 1) k Q}{2} \right\} \quad (3b)$$

제조업자에게서 발생하는 총원자재발주비용 및 재고유지비용은 (경우 1)과 (경우 2)에 해당되는 모든 원자재의 관련비용을 합한 것이며 (경우 1)에 속하는 원자재는 $i \in LSP$ (Lot Splitting)로 표기하고, (경우 2)에 속하는 원자재는 $j \in LM$ (Lot Multiplier)로 표시하기로 하면, 제조업자의 연간 총비용은 식 (1)~식 (3)의 합이며 이를 정리하면

$$TC_M = \frac{DS}{kQ} + \frac{QH_M}{2} \left\{ (2-k) \frac{D}{P} + k - 1 \right\}$$

$$+ \sum_{i \in LSP} \left[\frac{A_i D m_i}{kQ} + \frac{H_i k Q D}{2 m_i P} \right] + \sum_{j \in LM} \left[\frac{A_j D}{m_j k Q} + H_j \left\{ \frac{k Q D}{2 P} + \frac{(m_j - 1) k Q}{2} \right\} \right] \quad (4)$$

소매업자의 총비용과 제조업자의 총비용을 더하면 공급사슬 전체의 통합총비용(JTC)이 되며 결과는 아래와 같다.

$$JTC(Q, k, \bar{m}) = A_R \frac{D}{Q} + H_R \frac{Q}{2} + \frac{SD}{kQ} + \frac{H_M Q}{2} \left\{ (2-k) \frac{D}{P} + k - 1 \right\} + \sum_{i \in LSP} \left[\frac{A_i D m_i}{kQ} + \frac{H_i k Q D}{2 m_i P} \right] + \sum_{j \in LM} \left[\frac{A_j D}{m_j k Q} + H_j \left\{ \frac{k Q D}{2 P} + \frac{(m_j - 1) k Q}{2} \right\} \right] \quad (5)$$

통합 총비용을 최소화하는 Q^* 을 구하기 위하여 총비용을 Q 에 대하여 편미분하여 0으로 두면

$$\frac{\partial JTC(Q, k, \bar{m})}{\partial Q} = -\frac{D}{Q^2} \left\{ A_R + \left(S + \sum_{i \in LSP} A_i m_i + \sum_{j \in LM} A_j / m_j \right) / k \right\} + \frac{1}{2} \left[H_R + H_M \left\{ (2-k) \frac{D}{P} + (k-1) \right\} + \sum_{i \in LSP} \frac{H_i k D}{m_i P} + \sum_{j \in LM} H_j \left\{ \frac{D}{P} + (m_j - 1) \right\} \right] = 0$$

위의 식을 Q 에 대하여 정리하면

$$Q^* = \sqrt{\frac{2D \left\{ A_R + \left(S + \sum_{i \in LSP} A_i m_i + \sum_{j \in LM} A_j / m_j \right) / k \right\}}{H_R + H_M \left\{ (2-k) D / P + (k-1) \right\} + \sum_{i \in LSP} \frac{H_i k D}{m_i P} + \sum_{j \in LM} H_j \left\{ D / P + (m_j - 1) \right\}}} \quad (6)$$

\bar{m} 또는 \bar{L} 에 대한 해는 (경우 1)과 (경우 2)로 나누어서 분석할 수 있다.

(경우 1) 주어진 Q 및 k 에 대하여 통합총비용을 최소화하는 m_i ($i \in LSP$)를 구하기 위하여 통합총비용을 m_i 에 대하여 편미분하여 0으로 두면 아래와 같다.

$$\frac{A_i D}{kQ} - \frac{H_i k Q D}{2 m_i^2 P} = 0$$

위의 식을 m_i 에 대하여 정리하면

$$m_i = kQ \sqrt{\frac{H_i}{2A_i P}} \quad (i \in LSP) \quad (7)$$

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

$$-\frac{A_j D}{m_j^2 k Q} + H_j \frac{k Q}{2} = 0$$

위의 식을 m_j 에 대하여 정리하면

$$m_j = \frac{1}{kQ} \sqrt{\frac{2A_j D}{H_j}} \quad (j \in LM) \quad (8)$$

주어진 Q 및 \bar{m} 에 대하여 통합총비용을 최소화하는 k 를 구하기 위하여 통합총비용을 k 에 대하여 편미분하여 0으로 두면

$$\frac{\partial JTC(Q, k, \bar{m})}{\partial k} = -\frac{D}{k^2 Q} \left(S + \sum_{i \in LSP} A_i m_i + \sum_{j \in LM} A_j / m_j \right) + \frac{Q}{2} \left[H_M \left(1 - \frac{D}{P} \right) + \sum_{i \in LSP} \frac{H_i k D}{m_i P} + \sum_{j \in LM} H_j \left\{ \frac{D}{P} + (m_j - 1) \right\} \right] = 0$$

위의 식을 k 에 대하여 정리하면

$$k^* = \frac{1}{Q} \sqrt{\frac{2D \left(S + \sum_{i \in LSP} A_i m_i + \sum_{j \in LM} A_j / m_j \right)}{H_M \left(1 - \frac{D}{P} \right) + \sum_{i \in LSP} \frac{H_i D}{m_i P} + \sum_{j \in LM} H_j \left\{ \frac{D}{P} + (m_j - 1) \right\}}} \quad (9)$$

3. 반복적 해법

통합 총비용을 최소화하는 완제품의 1회 발송량(Q), 원자재 1회 발주량을 결정하는 의사결정변수(\bar{m}), 1회 생산시마다 제품의 발송횟수(k)를 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 2절에서는 원자재 발주관련 의사결정변수(L_i)가 정수 분의 1인가 또는 정수인지인 경우나에 따라서 (경우 1)과 (경우 2)로 나누어 분석하였다. 특정 i 번째 원

자재가 (경우 1) 또는 (경우 2) 중 어디에 해당되는 것인지 가를 파악하기 위하여 (경우 1)의 m_i 값인 식 (7)과 (경우 2)의 m_i 값인 식 (8)의 값을 계산 후에 두식의 곱을 계산하면

$$kQ \sqrt{\frac{H_i}{2A_i P}} \frac{1}{kQ} \sqrt{\frac{2A_i D}{H_i}} = \sqrt{\frac{D}{P}} < 1$$

이다. 반올림 전의 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 (7)과 (경우 2)인 식 (8)을 계산하여, 식 (7) \geq 식 (8)이면 m_i 값은 (경우 1)에 해당되는 것으로 판정하고, 그렇지 않으면 (경우 2)에 해당되는 것으로 판정하기로 한다.

(단계 1) Q 의 초기치로 $Q = \sqrt{\frac{2DA_R}{H_R}}$ 둔다.

m_i 의 초기치로 $m_i = 1(i = 1, 2, \dots, n)$ 로 둔다.

주어진 Q 와 \bar{m} 로 식 (9)을 이용하여 k 의 초기치를 계산한다.

(단계 2) 주어진 \bar{m} , k 값으로 식 (6)에서 Q 값을 구한 후 반올림하여 정수값을 구한다.

(단계 3) 주어진 Q 및 k 값으로 원자재관련 의사결정변수의 값을 계산하기 위하여 원자재별로 (경우 1)과 관련된 식 (7)과 (경우 2)와 관련된 식 (8)을 이용하여 m_i 를 계산한 후 식 (7) \geq 식 (8)이면 m_i 값은 (경우 1)에 해당되는 것으로 판정하고, 그렇지 않으면 (경우 2)에 해당되는 것으로 판정한다. 모든 원자재에 대하여 이 과정을 반복하여 \bar{m} 값을 계산한다.

(단계 4) 주어진 Q 및 \bar{m} 값으로 식 (9)에서 k 값을 계산한다.

(단계 5) Q , \bar{m} , k 값이 수렴할 때까지 (단계 2)에서 (단계 4)과정을 반복한다. 해가 수렴하면 수렴한 해인 \bar{m} , k 를 반올림하여 정수값으로 만든다. 정수인 Q , \bar{m} , k 가 구해지면 이때의 통합총비용은 식 (5)을 이용하여 구할 수 있다.

4. 통합재고모형의 예제

통합재고모형의 유용성을 보이기 위하여 선행연구[7]에서 사용한 예제의 수치를 본 논문에 맞게 수정하여 통합재고정책을 유도해 보도록 하겠다.

4.1 수치예 1-단일원자재인 경우

- 제조업자의 생산율 $P = 60,000$ 개/년,
- 완제품의 연간수요 $D = 30,000$ 개/년,
- 소매업자의 완제품 1회 발주비용 $A_R = \$150$ /회,
- 제조업자 완제품 1회 생산준비비용 $S = \$1,000$ /회,
- 제조업자의 원자재 1회 발주비용 $A_1 = \$40$ /회,
- 소매업자의 완제품 재고유지비용 $H_R = \$30$ /개/년,
- 제조업자 완제품 재고유지비용 $H_M = \$15$ /개/년,
- 제조업자 원자재 재고유지비용 $H_1 = \$8$ /개/년

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

<표 1> 수치예 1에 반복적 해법의 적용결과

	번호	Q	m(= 1/L)	k	통합 총비용
경우 1	1	548	1	4.25	\$43219.74
	2	548	3.01	5.04	40793.84
	3	548	3.57	5.15	40743.96
	4	548	3.64	5.16	40743.28
	5	548	3.65	5.16	40743.27
	6	548	3.65	5.16	40743.27

<표 1>에서 알 수 있듯이 반복적 해법을 수치예에 적용하면 원자재관련 의사결정변수는 (경우 1)에 해당되는 공식으로 판정되며 모두 6번을 반복하면 해가 수렴하는 것을 알 수 있다. 의사결정변수인 m 과 k 가 정수이어야 하므로 수렴한 해를 반올림하면 $m^* = 4(L = 1/4)$, $k^* = 5$ 이며, 이를 식 (6)에 대입하면 $Q^* = 562$ 가 된다. 이때의 통합 총비용은 식 (5)를 이용하면 \$40763.96이다.

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 m 과 k 이 정수라는 특성을 이용하여 m 과 k 의 모든 정수조합을 나열하고 각각에 대하여 완제품의 최적발주량과 이때의 통합

총비용을 계산할 수 있다. 나열된 통합총비용 중에서 통합 총비용이 최소가 되는 해를 탐색하면 이것이 최적해가 되며 이 최적해를 앞에서 반복적 해법으로 구한 해와 비교할 수 있다. 수치예에서 양의 정수 중 최적 m 과 k 의 대상이 되는 값으로 $m = 1, 2, \dots, 10$, $k = 1, 2, \dots, 10$ 으로 좁히면 총 100가지의 해가 나열되며 100가지에 대하여 완제품의 최적 1회 발주량을 구한 후 이때의 통합 총비용을 계산하였다. 이 100가지 중에서 일부의 해가 <표 2>에 나와 있다. 통합총비용을 최소화하는 최적해를 구한 결과 통합 총비용은 \$40763.96가 나왔다. 즉 나열해에 의해 구한 최적해는 반복적 해법으로 구한 해와 정확히 일치하였다.

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

<표 2> 수치예 1의 나열해

번호	m(= 1/L)	k	Q	통합 총비용
1	3	4	628	\$41056.07
2	3	5	550	40795.83
3	3	6	493	40946.32
4	4	4	642	41104.75
5	4	5	562	40763.96
6	4	6	504	40848.51
7	5	4	654	41308.60
8	5	5	572	40903.55
9	5	6	513	40936.54

4.2 수치예 2-단일원자재인 경우

제조업자의 원자재재고유지비용을 제외하고는 (수치예 1)과 동일한 수치를 사용하고, 제조업자 원자재 재고유지비용 $H_1 = \$0.1$ /개/년을 사용하여 해를 계산하기로 하자.

수치예 1과 동일한 방법으로 계산결과가 <표 3>에 정리되어 있다.

<표 3>에서 알 수 있듯이 반복적 해법을 수치예에 적용하면 원자재관련 의사결정변수는 (경우 2)에 해당되는 공식으로 판정되며, 모두 4번 반복하면 해가 수렴하는 것을 알 수 있다. 의사결정변수인 m 과 k 가 정수이어야 하므로 수렴된 해를 반올림하면 $m^* = 2(L = 2)$, $k^* = 5$ 이며 이를 식 (6)에 대입하면 $Q^* = 559$ 가 된다. 이때의 통합총비용은 \$38127.75이다.

<표 3> 수치예 2에 반복적 해법의 적용결과

	번호	Q	m(=L)	k	통합 총비용
경우 2	1	548	1	5.27	\$38241.08
	2	548	1.9	5.18	38121.84
	3	548	1.93	5.18	38121.78
	4	548	1.93	5.18	38121.78

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 낮게 두었으며, 따라서 원자재발주량은 높아지며, 원자재발주량 관련 의사결정변수인 L값이 수치예 1보다 높음(L = 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	m(= 1/L)	k	Q	통합 총비용
1	1	4	641	\$38599.87
2	1	5	565	38254.42
3	1	6	509	38319.06
4	2	4	634	38433.39
5	2	5	559	38127.75
6	2	6	504	38224.02
7	3	4	631	38461.03
8	3	5	555	38177.22
9	3	6	501	38291.66

4.3 수치예 3-복수원자재인 경우

앞의 수치예와는 달리 완제품을 생산하기 위하여 3가지 원자재가 필요한 경우의 예이다.

- 제조업자의 생산율 $P = 80,000$ 개/년,
- 완제품의 연간수요 $D = 30,000$ 개/년,
- 소매업자의 완제품 1회 발주비용 $A_R = \$200$ /회,
- 제조업자 완제품 1회 생산준비비용 $S = \$750$ /회,
- 소매업자의 완제품 재고유지비용 $H_R = \$20$ /개/년,
- 제조업자 완제품 재고유지비용 $H_M = \$40$ /개/년.

원자재관련비용은 아래의 표와 같다고 가정하자.

비용	1	2	3
A_i (\$)	100	40	80
H_i (\$)	30	10	0.2

위의 자료를 이용하여 반복적 해법에 의하여 해를 구한 결과가 아래의 <표 5>에 나와 있다. <표 5>에서 알 수 있듯이 반복적 해법을 수치예에 적용하여 15번 반복하면 해가 수렴하는 것을 알 수 있다. 원자재 1과 2는 (경우 1)에 해당하고 원자재 3은 (경우 2)에 해당하며, 의사결정변수인 \bar{m} 과 k 가 정수이어야 하므로 각각을 반올림하면 $m_1 = 2(L_1 = 1/2)$, $m_2 = 2(L_2 = 1/2)$, $m_3 = 4(L_3 = 4)$, $k = 1$ 이 된다. 이때의 1회 운송량은 1318개이며, 통합 총비용을 계산하면 \$56904.53이 된다.

<표 5> 수치예 3에 반복적 해법 적용결과

번호	Q	1/L ₁	1/L ₂	L ₃	k	통합 총비용
1	775	1	1	1	1.38	\$60256.02
2	911	1.72	1.57	3.9	1.45	56814.78
3	944	1.87	1.71	3.58	1.43	56729.76
4	972	1.90	1.74	3.52	1.40	56690.39
5	992	1.90	1.74	3.53	1.37	56665.73
6	1010	1.89	1.73	3.54	1.34	56646.52
7	1027	1.88	1.72	3.56	1.32	56632.10
8	1038	1.88	1.71	3.58	1.30	56624.83
9	1051	1.87	1.71	3.59	1.29	56617.97
10	1056	1.87	1.70	3.60	1.28	56615.44
11	1062	1.86	1.70	3.60	1.27	56612.89
12	1068	1.86	1.70	3.61	1.26	56611.24
13	1075	1.85	1.69	3.62	1.25	56609.31
14	1081	1.85	1.69	3.63	1.25	56608.47
15	1081	1.85	1.69	3.63	1.25	56608.47

수치예 1, 2와 동일한 방법으로 \bar{m} 과 k 가 정수라는 성질을 이용하여 해를 나열하는 방법을 사용하는 번거로운 절차를 사용하면 최적해를 구할 수는 있다. 마이크로소프트엑셀을 이용하여 모든 나열해를 탐색한 결과와 비교한 결과 반복적 해법으로 구한 해가 최적해가 됨을 알 수 있었다.

5. 통합재고모형의 타당성 검토

앞에서는 소매업자와 제조업자 간의 통합재고 정책에 대해 알아보았다. 이번에는 소매업자와 제조업자가 각각 자신이 유리한 입장에서 발주정책을 정하였을 때의 통합총비용을 앞 절에서와 같이 통합발주정책의 통합총비용과 비교하여 과연 어떤 정책이 보다 효과적인지 알아보도록 하겠다.

5.1 소매업자가 발주정책의 주도권을 가지는 경우

소매업자 입장에서 소매업자의 연간 총비용을 최소화하는 발주량을 구한다. 이때의 제조업자의 총비용을

최소화하는 운송횟수 및 원자재 의사결정변수를 구하도록 하겠다. 소매업자의 총비용은 소매업자의 발주비용(발송비용) 및 재고유지비용으로 구성되어 있으며 아래와 같다.

$$TC_R = A_R \frac{D}{Q} + H_R \frac{Q}{2}$$

소매업자의 총비용을 최소화하기 위하여 Q 에 대하여 편미분하여 0으로 두면

$$\frac{\partial TC_R}{\partial Q} = -\frac{DA_R}{Q^2} + \frac{H_R}{2} = 0$$

위의 식을 정리하면

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DA_R}{H_R}}$$

이때에 제조업자는 주어진 Q 하에서 제조업자 총비용을 최소화하는 \bar{m} , k 를 찾을 것이다. 제조업자의 총비용은

$$TC_M = \frac{DS}{kQ} + \frac{QH_M}{2} \left\{ (2-k) \frac{D}{P} + k - 1 \right\} + \sum_{i \in LSP} \left[\frac{A_i D m_i}{kQ} + \frac{H_i k Q D}{2 m_i P} \right] + \sum_{j \in LM} \left[\frac{A_j D}{m_j k Q} + H_j \left\{ \frac{k Q D}{2 P} + \frac{(m_j - 1) k Q}{2} \right\} \right]$$

제조업자의 총비용을 최소화하는 \bar{m} 과 k 를 구하는 것은 제 2절의 통합 총비용을 최소화하는 \bar{m} 과 k 를 구하는 공식과 동일하며 식 (7)~식 (9)를 이용하면 된다.

소매업자의 총비용을 최소화하는 발주량으로 식 (7)~식 (9)를 해가 수렴할 때까지 반복하여 \bar{m} 및 k 를 계산할 수 있다.

앞 절의 수치에 3에 적용하여 해를 구한 결과가 <표 6>에 나와 있으며, 해가 빠르게 수렴함을 알 수 있다. 원자재 1과 원자재 2는 (경우 1)에 해당하고 원자재 3은 (경우 2)에 해당하며, 의사결정변수인 \bar{m} 과 k 가 정수이어야 하므로 수렴해를 반올림하면 $m_1 = 2$, $m_2 = 2$, $m_3 = 4$, $k = 2$ 이 된다. 이 때의 1회 운송량은 780개이며, 통합 총비용을 계산하면 \$57661.12이 된다.

5.2 제조업자가 발주정책의 주도권을 가지는 경우

제조업자 입장에서 제조업자의 연간총비용을 최소화하는 완제품의 1회 발송량(Q), 원자재 1회 발주량을

결정하는 의사결정변수(\bar{L}), 완제품 1회 생산시마다 제품의 발송횟수(k)를 구해 보도록 하겠다. 제조업자의 총비용은 제조업자의 완제품 생산준비비용, 완제품 재고유지비용, 원자재 발주비용 및 재고유지비용으로 구성되어 있으며 앞 절에서와 동일하게 아래와 같다.

$$TC_M = \frac{DS}{kQ} + \frac{QH_M}{2} \left\{ (2-k) \frac{D}{P} + k - 1 \right\} + \sum_{i \in LSP} \left[\frac{A_i D m_i}{kQ} + \frac{H_i k Q D}{2 m_i P} \right] + \sum_{j \in LM} \left[\frac{A_j D}{m_j k Q} + H_j \left\{ \frac{k Q D}{2 P} + \frac{(m_j - 1) k Q}{2} \right\} \right]$$

주어진 \bar{m} 과 k 하에서 제조업자의 총비용을 최소화하는 1회 발송량, Q 를 구하기 위하여 총비용을 Q 에 대하여 편미분하여 0으로 두면,

$$\frac{\partial TC_M}{\partial Q} = -\frac{D}{Q^2} \left(S + \sum_{i \in LSP} A_i m_i + \sum_{j \in LM} A_j / m_j \right) / k + \frac{H_M}{2} \left\{ (2-k) \frac{D}{P} + (k-1) \right\} + \sum_{i \in LSP} \frac{H_i k D}{m_i P} + \sum_{j \in LM} H_j \left\{ \frac{D}{P} + (m_j - 1) \right\} = 0$$

Q 는 1회 발송량으로 양수라는 성질을 가진다는 것을 이용하고 위 식을 Q 에 대하여 정리하면

$$Q^* = \sqrt{\frac{2D(S + \sum_{i \in LSP} A_i m_i + \sum_{j \in LM} A_j / m_j) / k}{H_M \left\{ (2-k) D / P + (k-1) \right\} + \sum_{i \in LSP} \frac{H_i k D}{m_i P} + \sum_{j \in LM} H_j \left\{ \frac{D}{P} + (m_j - 1) \right\}}} \quad (10)$$

제조업자의 총비용을 최소화하는 \bar{m} 및 k 를 구하는 것은 제 2절의 통합총비용을 최소화하는 \bar{m} 과 k 를 구하는 공식과 동일하며 식 (7)~식 (9)를 이용하면 된다.

제조업자의 총비용을 최소화하는 해법으로는 식 (10)을 이용하여 Q 를 구한 후 앞 절과 동일한 반복적 해법을 이용하여 식 (7)~식 (9)를 이용하여 해가 수렴할때까지 반복하면 된다.

앞 절의 동일한 수치에 3의 자료를 이용하여 제조업자가 발주정책의 주도권을 가지는 경우에 위의 해법을 적용하여 해를 구한 결과가 <표 7>에 나와 있다. 원자재 1과 원자재 2는 (경우 1)에 해당하고 원자재 3은 (경우 2)에 해당하며, 의사결정변수인 \bar{m} 과 k 가 정수이어야 하므로 각각을 반올림하면 $m_1 = 2$, $m_2 = 2$, $m_3 = 3$, $k = 1$ 이 된다. 이때의 1회 운송량은 1661이 된다. 이때의 1회 운송량은 1661개이며, 통합총비용을 계산하면 \$58387.91이 된다.

<표 7> 제조업자가 주도권을 행사하는 경우의 수치예에 적용결과

번호	Q	1/L ₁	1/L ₂	L ₃	k	통합 총비용
1	775	1	1	1	1.56	\$59913.69
2	843	1.80	1.64	3.73	1.59	56987.78
3	931	2.03	1.85	3.31	1.48	56794.32
4	1045	2.12	1.93	3.17	1.34	56707.04
5	1186	2.18	1.99	3.08	1.19	56768.99
6	1373	2.24	2.04	3.00	1.03	57058.03
7	1645	2.32	2.12	2.89	1.00	58210.97
8	1725	2.36	2.16	2.84	1.00	58797.07
9	1735	2.38	2.17	2.82	1.00	58876.22
10	1739	2.38	2.17	2.82	1.00	58908.18
11	1739	2.38	2.17	2.82	1.00	58908.18

5.3 통합재고모형과의 비교

수치예 3을 이용하여 지금까지 제시한 여러 가지 발주정책을 소매업자 총비용, 제조업자 총비용 및 통합총비용 면에서 비교하여 표로 정리하면 아래와 같다.

공급사슬을 통합하여 통합총비용을 최소화 하는 발주정책이 전체 최적화를 이룰 수 있기 때문에 소매업자가 주도권을 가지고 소매업자 자신의 총비용을 최소화하는 발주정책이나 제조업자가 주도권을 가지고 제조업자의 총비용을 최소화하는 발주정책에 비교하여 비용 면에서 당연히 좋은 성과를 보였다.

소매업자가 발주정책의 주도권을 가지는 경우는 소매업자 총비용 면에서는 통합관리하는 경우의 소매업자 총비용보다 \$2240.04이 적었으나, 제조업자 총비용이 \$2996.64증가하여 통합총비용 면에서 \$756.59이 증가하였다. 제조업자가 주도권을 가질 때에 제조업자의 총비용은 공급사슬의 통합관리시보다 \$1006.54줄었지만 소매업자 총비용은 \$2489.93만큼 증가하여 전체적으로 통합총비용은 \$1483.38이 높았다. 결론적으로 소매업자와 제조업자가 파트너 쉽에 기초하여 발주정책 및 운송횟수를 정하여 통합관리하는 것이 통합총비용 면에서 매우 유리함을 알 수 있다.

<표 8> 발주정책간의 총비용 비교(\$)

정책	비용	소매업자 총비용	제조업자 총비용	통합 총비용
공급사슬 통합관리		17732.35	39172.17	56904.53
소매업자가 주도권을 가지는 경우		15492.31	42168.81	57661.12
제조업자가 주도권을 가지는 경우		20222.28	38165.63	58387.91

6. 결 론

본 논문에서는 JIT구매 하에서 소매업체와 제조업체 간의 재고관리 측면에서의 통합의 필요함을 이야기하고 있으며 이러한 협력관계를 고려하여 소매업체, 제조업체에 대한 공급사슬관리(SCM)의 개념을 재고관리측면에 적용하여 통합재고관리를 했을 때 소매업자나 제조업자입장에서 부분최적화를 할 때에 비교하여 통합총비용적인 측면에서 효과적이라는 것을 알아보았다.

그러나 재고관리 측면에서 전체 최적화가 통합총비용 면에서 이득이라고 하여 소매업자나 제조업자 각각의 총비용이 최소화되는 것은 아니며 이런 이유로 소매업자나 제조업자가 통합관리를 쉽게 받아들일 수 없다. 앞의 수치예를 가지고 설명한다면 소매업자 입장에서는 통합관리 시의 소매업자 총비용이 소매업자가 주도권을 행사하는 경우의 소매업자 총비용에 비교하여 소매업자 총비용이 \$2240.04이 많으며, 아무런 금전적 유인책이 없이는 소매업자가 통합관리를 받아들이기 힘들다. 이는 제조업자의 경우도 마찬가지로 금전적인 유인책이 없이 통합관리를 받아들이기 어려우며 통합관리로 발생하는 이득을 소매업자와 제조업자에게 공정하게 나누는 유인책의 설계가 필요하다.

참고문헌

- [1] 권오경; 공급사슬관리, 박영사, 7-12, 2010.
- [2] 김대홍, 정승환; “한국 부품공급업체 생산 혁신전략 유형이 경쟁력에 미치는 영향”, 대한산업공학회지, 11(1) : 164-174, 1998.
- [3] 김대홍, 김용철; “JIT구매 하에서의 다품목의 발주정책에 관한 연구”, 한국산업경영시스템학회지, 25(1) : 42-48, 2002.
- [4] 김대홍; “JIT구매 하에서의 원자재를 고려한 통합재고모형에 관한 연구”, 공학연구, 한성대학교 공학연구센터, 1(1) : 53-61, 2003.
- [5] 김대홍, 김상빈; “국내 제조기업의 JIT구매방식의 도입과 구매성과에 관한 연구”, 한국산업경영시스템학회지, 29(3) : 55-61, 2006.
- [6] 김재일, 남익현, 박상욱, 김수욱; “물류 및 공급사슬의 전략적 이해”, 박영사, 5-6, 2009.
- [7] 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.
- [8] Fazel, F.; “A Comparative Analysis of Inventory Costs of JIT and EOQ Purchasing,” *International Journal*

- of Physical Distribution and Logistics Management*, 27(8) : 496-504, 1997.
- [9] 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.
- [10] Goyal, S. K.; "An Integrated Inventory Model for a Single Supplier-Single Customer Problem," *International Journal of Production Research*, 15(1) : 107-111, 1976.
- [11] Ha, D. and Kim, S. L.; "Implementation of JIT Purchasing : an Integrated Approach," *Production Planning and Control*, 8(2) : 152-157, 1997.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] Lee, W.; "A Joint Lot Size Model for Raw Material Ordering, Manufacturing Setup, and Finished Goods Delivering," *OMEGA*, 33 : 163-174, 2005.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] Ramasesh, R. V.; "Recasting the Traditional Inventory Model to Implement Just-In-Time Purchasing," *Production and Inventory Management Journal-first quarter*, 71-75, 1990.
- [18] Saker, B. R. and Parija, G. R.; "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.
- [19] Teng, J. T., Cardenas-Barron, L. E., and Lou, K. R.; "The Economic Lot Size of the Integrated Vender-buyer Inventory System Derived without Derivatives : A Simple Derivation," *Applied Mathematics and Computation*, 217 : 5972-5977, 2011.
- [20] Wills, T. and Huston, C.; "Vendor Requirements and Evaluation in a JIT Environment," *International Journal of Operations and Production Management*, 10(4): 41-50, 1990.
- [21] 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.
- [22] Yan, C., Banerjee, A., and Yang, L.; "An Integrated Production-distribution Model for a Deteriorating Inventory Item," *International Journal of Production Economics*, 133 : 228-232, 2011.