

JIT구매 하에서 원자재를 고려한 다품목의 통합재고모형에 관한 연구

김 대 홍[†]

한성대학교 산업시스템공학과

An Integrated Inventory Model for Multi-Product and its Raw Materials in Just-In-Time Purchasing

Dae-Hong Kim[†]

Department of Industrial Systems Engineering, Hansung University

In this paper, we consider an inventory system where a single supplier purchases and processes raw materials into finished goods in order to deliver finished goods to a single buyer for effective implementation of Just-In-Time Purchasing. An integrated multi-item lot-splitting model of facilitating multiple shipments in small lots between buyer and supplier is developed in a JIT Purchasing environment. Also, an iterative 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 buyer and supplier in a cooperative manner, both parties can benefit.

Keywords : Supply Chain Management, JIT Purchasing, Integrated Inventory System

1. 서 론

공급망관리(Supply Chain Management : SCM)란 제품의 생산단계에서부터 소비자에게 최종적으로 판매될 때까지의 모든 과정을 연결시켜 관리하는 것을 의미하며 공급망을 연계하는 것이 각각의 개별 기업 단독으로 관리하는 것보다 효율적이라는 것이며 공급망관리의 목적은 공급망 내에 존재하는 기업을 통합관리하여 이윤을 극대화 하는 것으로 볼 수 있다[1].

공급망관리(SCM)의 일환으로 제조업에서는 JIT구매를 도입하는 기업이 늘고 있으며 이는 공급업체와 구매업체 간의 파트너쉽을 바탕으로 서로 정보를 공유하여 전체의 이익을 위한 조직간 혁신 프로그램이다. JIT구매

관행은 공급업자 및 구매업자 간의 긴밀한 협조 아래 상호 이익을 도출할 수 있는 방법의 모색을 주요한 목적으로 하고 있으며 이의 달성을 위하여 JIT구매 관행의 실행 목표는 장기적인 관계의 모색을 통해서 공급업자의 수를 점차 줄여나가는 것이라고 해석 할 수 있다. 이와 같은 공급업자와 구매업자 간의 유기적인 관계는 재고수준, 품질, 생산단가, 생산성, 고객의 만족도 등에 매우 긍정적인 영향을 미치는 것으로 평가되고 있다[9].

그러나 과거의 전통적인 구매에서는 구매업자와 공급업자가 서로 적대적인 관계였으며, 한 집단의 이익을 최대화하려는 재고정책이 다른 집단에게는 더 많은 비용이나 손실을 가져다주는 경우가 발생하였다. JIT구매 하에서는 이 두 집단을 하나의 공급망으로 묶어 구매업

[†] 교신저자 dhkim@hansung.ac.kr

※ 본 논문은 2008년도 한성대학교 교내연구비 지원과제임.

자가 발주를 하면 공급업자는 다빈도 소량으로 납품하게 되며 이렇게 되면 두 집단 전체의 이익은 증가하게 된다. 따라서 본 연구에서는 구매업자와 공급업자를 하나로 묶어 구매업자와 공급업자간의 통합재고정책을 적용할 때와 공급업자 또는 구매업자 주도의 발주정책을 적용할 때를 통합총비용 면에서 비교하려고 한다. JIT구매의 특징으로는 다빈도 소량구매라 할 수 있으며 구매업자가 주문을 하면 공급업자는 구매업자에 다빈도 소량으로 나누어 납품하게 된다.

공급업자와 구매업자 간의 파트너십에 의거한 JIT구매에 관한 연구는 많이 진행되어 왔으나 주로 전략적인 측면이나 정성적 측면에 관한 연구들이 주류를 이루어 왔다[2]. 공급업자와 구매업자 간의 통합재고모형에 관한 과거의 연구들의 특징을 간략히 살펴보기로 하자. Kim and Chandra[10]는 단일 완제품을 생산하는데 필요한 다원자재를 외부에 주문하게 되며, 이 때에 완제품의 1회 생산량 및 각 원자재의 1회 주문량을 동시에 결정하는 통합재고모형을 제시하였다. Pan and Liao[14]는 JIT구매 하에서 구매업자의 발주량을 공급업자가 다빈도로 여러 번에 나누어 보내는 경우에 최적발주량을 정하는 연구를 하였으나, 다빈도로 납품하는 경우의 고정운송비를 고려하지 않았으며, Ramasesh[15]는 Pan and Liao[14]의 연구를 확장하여 고정운송비를 고려하였으나 구매업자에게서 발생하는 총비용만을 고려하였고 공급업자에게서 발생하는 비용은 고려하지 못하였다. Goyal[4]은 제품의 수요가 알려져 있고 부재고는 허용되지 않는 상황에서 단일 품목에 대한 구매업자와 공급업자의 총비용을 최소화하는 발주량을 찾을 수 있는 통합재고모형을 제시하였으며, Fazel[3]은 JIT구매와 EOQ구매를 총비용 면에서 비교분석을 하였다. Miller and Kelle[13]은 JIT구매 하에서 구매업자와 공급업자의 단일품목의 통합재고모형을 제시하였으며, Kelle and Miller[7] 및 Ha and Kim[5]이 제시한 연구도 JIT구매를 수행하기 위해 구매업자와 공급업자 사이에 단일제품의 통합재고모형에 관한 연구였다. Woo, Hsu, and Wu[17]이 제시한 모형은 공급업자가 여러 구매업자들에게 단일 완제품을 공급하기 위해 원자재를 구매하는 경우의 통합재고모형을 보여주었지만 JIT구매를 고려하지는 않았다. Kim[12]의 연구에서는 앞의 연구들을 확장하여 단일품목이 아닌 다품목으로 확장한 구매업자와 공급업자의 통합재고모형을 제시하였으나 공급업자의 원자재는 고려하지 못하였다. Kim[8]의 연구에서는 단일품목인 경우의 연구[5, 13]를 확장하여 공급업자의 완제품을 생산하기 위한 원자재의 발주정책까지 고려한 통합재고모형을 제시하였다.

본 연구에서 정량적인 측면에서 공급업자와 구매업자간의 파트너십의 필요성을 입증하고자 하는 연구이며

Ha and Kim[5] 및 Kim[8, 12]의 연구를 확장하려고 한다. 즉, 선행연구들은 공급업자와 구매업자의 완제품재고만을 고려한 통합재고모형을 수립하였으나, 본 연구에서는 JIT구매 하에서 공급업자의 완제품을 생산하기 위한 원자재의 발주정책까지 고려하였으며 선행 연구들에서는 대부분이 단일 품목에 대한 연구[5, 8]였지만 본 연구에서는 이를 다품목으로 확장하려고 한다. 따라서 본 연구에서는 JIT구매 하에서 구매업자에게서 발생하는 완제품의 발주비용 및 재고유지비용, 그리고 구매업자에게 다빈도로 운송하는데 소요되는 운송비용, 공급업자의 완제품 재고유지비용, 공급업자의 완제품 생산을 위한 생산준비비용, 공급업자의 원자재 발주비용 및 원자재 재고유지비용을 모두 고려한 공급망 전체의 통합총비용을 나타내는 식을 유도하고 또한 통합총비용을 최소화하는 해법을 제시하고자 한다.

2. 분석적 모형

구매업자가 공급업자에게 다품목을 발주하는 방법에는 세 가지가 있는데, 첫째 각 품목을 독립적으로 발주하는 경우이다. 이러한 방법은 품목 간에 발주를 통합시키지 않는 경우로 각 품목별 발주시기와 운송시기가 다르므로 구매업자의 공동발주비용과 공동운송비용이 과다하게 발생할 수 있다. 둘째 모든 품목을 통합하여 동시에 발주하는 경우이다. 이 방법은 수요가 많은 품목이든 적은 품목이든, 혹은 단위기간 당 재고유지비용이 큰 품목이든 적은 품목이든 모두 통합을 시키기 때문에 실제로 발주빈도가 적을 수 있는 품목에도 개별발주비용이 부과된다. 세 번째로 다품목을 통합 발주하되 매 발주에 모든 품목이 포함되는 것이 아니라 각 품목들의 비용이나 수요를 고려해서 선택적으로 통합 발주하는 경우이다.

본 연구에서는 위에서 제시한 발주방법 중에서 세 번째 발주방법에 관한 연구로 구매업자가 공급업자에게 다품목을 발주하는 경우로 구매업자는 각 완제품을 공통발주주기(T)의 정수배의 시점에 각 완제품을 발주할 수 있으며 구매업자는 공급업자로 부터 완제품의 발주를 받으면 완제품에 대한 생산준비를 하여서 완제품을 생산하게 되며 공급업자가 완제품을 생산하기 위하여서는 원자재가 필요하며 원자재는 외부에 발주를 하게 된다. 여기서 구매업자는 각 완제품의 발주를 공통발주주기(T)의 배수(m_i)에만 공급업자에게 발주를 하는 것으로 가정하였으며 동일한 공급업자에게 다품목을 공동주문하게 되므로 구매업자의 공동발주비용이나 공동운송비용을 줄일 수 있다. 여기서 품목별로 정기발주를 한다

는 것은 동시에 모든 품목을 발주한다는 것은 아니며 통합발주가 가능하되 각 품목들을 고려해서 선택적으로 통합발주하는 경우로 발주빈도가 높은 제품은 공통발주 주기(T)마다 발주할 수 있지만 발주빈도가 낮은 제품은 두 번, 혹은 세 번의 공통발주주기마다 발주할 수 있다. 공급업자는 구매업자로부터 발주가 들어오면 생산준비를 하여 생산을 개시하고 JIT구매라는 조건으로 인하여 1회 생산량(발주량)을 N번에 나누어 목분할 납품을 하게 되며 여러 완제품 간에 운송수단을 공유하여 한번 운송하는 데는 공동운송비용(Z)이 발생하게 된다. 공급업자는 완제품생산을 위하여서는 원자재가 필요하며 원자재는 외부업자에게 완제품을 k_i 회 생산에 필요한 양을 주문한다.

아래의 <그림 1>은 여러 가지 완제품 중에서 구매업자 및 공급업자에서 완제품 1의 재고수준의 변화를 나타내는 그림으로 구매업자는 완제품1을 3T마다 한 번씩 공급업자에게 발주하며($m_1=3$), 공급업자는 3T마다 생산준비를 하여 완제품을 생산하며 JIT구매조건으로 7번에 나누어 구매업자에게 운송하며($N=7$), 완제품생산에 필요한 원자재는 완제품을 2번 생산하는데 필요한 원자재를 구매하여($k_1=2$) 재고로 두면서 사용하는 재고수준의 변화를 나타낸다.

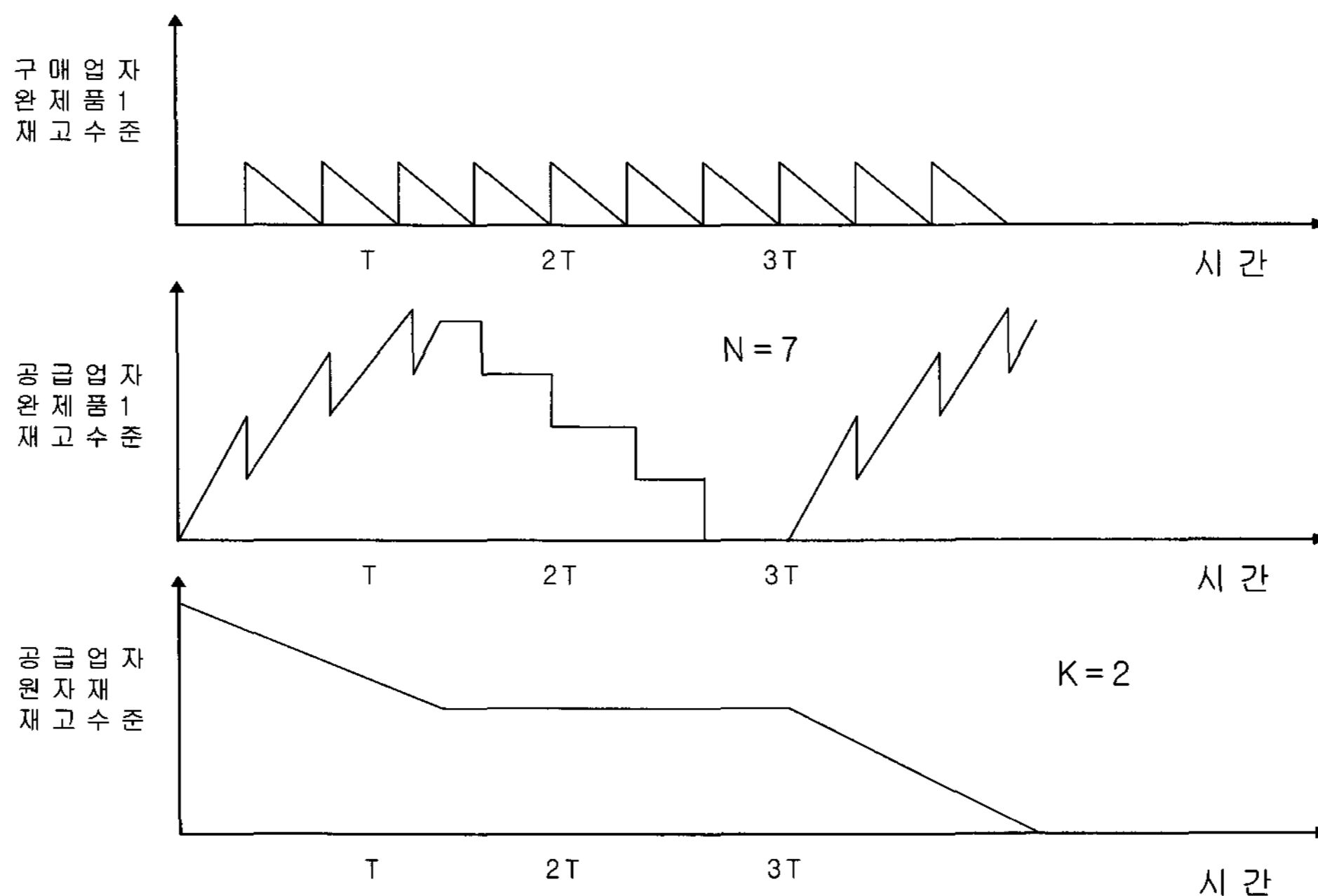
● 기호정의

- D_i : 완제품 i의 연간 수요율
- P_i : 완제품 i의 연간 생산율($P_i > D_i$)

- A_b : 구매업자의 통합주문의 공동 발주비용
- a_i : 구매업자의 완제품 i의 1회 발주비용
- A_{si} : 공급업자의 완제품 i의 1회 생산준비비용
- A_{ri} : 공급업자의 완제품 i에 필요한 원자재 1회 발주비용
- H_{bi} : 구매업자의 완제품 i의 단위당 연간 재고유지비용
- H_{si} : 공급업자의 완제품 i의 단위당 연간 재고유지비용
- H_{ri} : 공급업자의 완제품 i에 필요한 원자재 단위당 연간 재고유지비용
- u_i : 공급업자의 완제품 i의 원자재 사용을
- T : 공통발주주기(의사결정변수)
- N : 공통발주주기 T기간 동안의 공동운송 횟수(의사결정변수)
- Z : 1회 운송당 공동운송비용
- m_i : 각 완제품별 공통발주주기의 배수(의사결정변수로 정수값)
- k_i : 원자재 1회 발주량을 결정하는 공급업자의 완제품 발주량의 배수(의사결정 변수로 정수값)

기본가정은 전통적 경제적 발주량(EOQ)에 기반을 두고 있다.

- 1) 완제품의 수요는 일정하고 알려져 있다.
- 2) 완제품 및 원자재의 선행기간은 일정하고 알려져 있다.
- 3) 완제품과 원자재의 품질은 허용하지 않는다.
- 4) 각 완제품에 대해 한 가지의 원자재를 사용한다.



<그림 1> 구매업자, 공급업자의 완제품 및 공급업자의 원자재의 재고수준 변화

여기서 T 는 공통 발주주기로 모든 완제품이 공통으로 T 주기의 배수마다 발주가 가능함을 의미한다. 그러나 실제적으로는 품목별 발주주기가 상이할 수 있으므로 각 완제품 품목별 발주주기는 T 의 배수인 $m_i T$ 가 된다. 공급업자의 연간 총발주비용은 통합주문의 공동 발주비용과 개별 완제품 품목별 발주비용의 합이 되어 $[A_b + \sum_{i=1}^n (a_i/m_i)]/T$ 이 되며, 공급업자의 연간 생산준비비

용은 각 완제품은 $m_i T$ 마다 생산준비를 하게되므로 $\sum_{i=1}^n A_{si}/(m_i T)$ 이 된다. 그리고 공급업자는 완제품에 필요한 원자재를 $k_i m_i T$ 마다 한 번씩 발주하게 되므로 공급업자의 연간 원자재발주비용은 $\sum_{i=1}^n A_{ri}/(k_i m_i T)$ 이 된다.

구매업자의 완제품의 발주량은 $Q_i = m_i T D_i$ 이며 공급업자는 N 번에 나누어 운송하게 되므로 구매업자의 재고 유지비용은 $\sum_{i=1}^n H_{bi} m_i T D_i / (2N)$ 이 된다. 구매업자는 T 기간마다 N 번씩 운송하게 되면 연간 총운송비용은 ZN/T 이다. 공급업자는 구매업자로부터 발주를 받으면 1회 생산량만큼 생산하여 공급업자에게 N 번에 나누어 운송하게 되며 공급업자의 완제품 재고유지비용은 $\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n H_{si}$

$m_i T D_i \left(1 - \frac{D_i}{P_i} - \frac{1}{N} + \frac{2D_i}{NP_i}\right)$ 이 된다[5].

또한 공급업자의 원자재 재고유지비용은 $\sum_{i=1}^n H_{ri} \left[\frac{u_i m_i T D_i^2}{2P_i} + \frac{(k_i - 1) u_i m_i T D_i}{2} \right]$ 로 나타낼 수가 있다[17]. 구매업자의 총비용과 공급업자의 총비용을 더하면 통합총비용이 되며 결과는 아래와 같다.

$$JTC(T, \bar{m}, \bar{k}, N) = \frac{A_b + \sum_{i=1}^n a_i/m_i}{T} + \frac{\sum_{i=1}^n H_{bi} m_i T D_i}{2N} + \frac{ZN}{T} + \frac{\sum_{i=1}^n A_{si}/m_i}{T} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n H_{si} m_i T D_i \left(1 - \frac{D_i}{P_i} - \frac{1}{N} + \frac{2D_i}{NP_i}\right) + \sum_{i=1}^n \frac{A_{ri}}{k_i m_i T} + \sum_{i=1}^n H_{ri} \left[\frac{u_i m_i T D_i^2}{2P_i} + \frac{(k_i - 1) u_i m_i T D_i}{2} \right] \quad (1)$$

통합총비용을 최소화하는 k_i 를 구하기 위하여 $JTC(T, \bar{m}, \bar{k}, N)$ 을 k_i 에 대하여 편미분하여 0으로 두면, 식

(2)와 같이 정리된다.

$$k_i^* = \frac{1}{m_i T} \sqrt{\frac{2A_{ri}}{H_{ri} u_i D_i}} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (2)$$

식 (2)를 식 (1)에 대입하여 정리하면 통합총비용은 아래와 같이 정리된다.

$$JTC(T, \bar{m}, N) = \frac{A_b + \sum_{i=1}^n a_i/m_i}{T} + \frac{\sum_{i=1}^n H_{bi} m_i T D_i}{2N} + \frac{ZN}{T} + \frac{\sum_{i=1}^n A_{si}/m_i}{T} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n H_{si} m_i T D_i \left(1 - \frac{D_i}{P_i} - \frac{1}{N} + \frac{2D_i}{NP_i}\right) + \sum_{i=1}^n \frac{A_{ri} D_i}{\sqrt{\frac{2A_{ri}}{H_{ri} m_i D_i}}} + \sum_{i=1}^n H_{ri} \left\{ \frac{D_i u_i m_i T D_i}{2P_i} + \frac{\left(\frac{1}{m_i T} \sqrt{\frac{2A_{ri}}{H_{ri} m_i D_i}} - 1\right) u_i m_i T D_i}{2} \right\}$$

위의 통합총비용을 최소화하는 T 의 최적값을 구하기 위해 T 에 대하여 편미분하여 0으로 두면 아래와 같은 식으로 정리된다.

$$\frac{\partial JTC(T, \bar{m}, N)}{\partial T} = - \frac{(A_b + ZN + \sum_{i=1}^n \frac{a_i + A_{si}}{m_i})}{T^2} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n m_i \left\{ \frac{H_{bi} D_i}{N} + H_{si} D_i \left(1 - \frac{D_i}{P_i} - \frac{1}{N} + \frac{2D_i}{NP_i}\right) - H_{ri} u_i D_i + \frac{H_{ri} u_i D_i^2}{P_i} \right\}$$

위의 식을 T 에 관해 정리하면 다음과 같다.

$$T^* = \sqrt{\frac{2(A_b + ZN + \sum_{i=1}^n \frac{a_i + A_{si}}{m_i})}{\sum_{i=1}^n m_i \left\{ \frac{H_{bi} D_i}{N} + H_{si} D_i \left(1 - \frac{D_i}{P_i} - \frac{1}{N} + \frac{2D_i}{NP_i}\right) - H_{ri} u_i D_i + \frac{H_{ri} u_i D_i^2}{P_i} \right\}}}$$

위의 식을 간소화하기 위해

$$I_i = \left\{ \frac{H_{bi} D_i}{N} + H_{si} D_i \left(1 - \frac{D_i}{P_i} - \frac{1}{N} + \frac{2D_i}{NP_i}\right) - H_{ri} u_i D_i + \frac{H_{ri} u_i D_i^2}{P_i} \right\}$$

로 두면

$$T^* = \sqrt{\frac{2(A_b + ZN + \sum_{i=1}^n \frac{a_i + A_{si}}{m_i})}{\sum_{i=1}^n m_i I_i}} \quad (3)$$

식 (3)을 식 (1)에 대입하여 정리하면 통합총비용은 아래와 같이 정리된다.

$$JTC(\bar{m}, N) = \sqrt{2(A_b + ZN + \sum_{i=1}^n \frac{a_i + A_{si}}{m_i}) \sum_{i=1}^n m_i I_i} + \sum_{i=1}^n \sqrt{2A_{ri} H_{ri} u_i D_i} \quad (4)$$

위의 식에서 $\sum_{i=1}^n \sqrt{2A_{ri} H_{ri} u_i D_i}$ 은 상수이므로 통합총비용인 식 (4)를 최소화 하는 \bar{m} 과 N 을 구하는 것은 다음 수식을 최소화 하는 \bar{m} 과 N 을 구하는 것과 동일하다.

$$F(\bar{m}, N) = (A_b + ZN + \sum_{i=1}^n \frac{a_i + A_{si}}{m_i}) \sum_{i=1}^n m_i I_i \quad (5)$$

식 (5)를 최소화하는 것은 다음의 이유로 어려운 문제(비선형 정수 계획법)이다. 1) m_i 간에는 서로 상호 작용이 있다. 즉 m_i 값이 다른 m_j 값에 영향을 준다. 2) m_i 값은 정수 이어야 한다. 따라서 실용적으로 쉽게 해를 찾는 발견적 해법(heuristic)으로 해를 찾는데 초점을 맞추었다. \bar{m} 의 정수제약을 무시하고 식 (5)를 최소화하는 \bar{m} 를 구하기 위해 다음과 같이 식 (5)를 m_j 에 대하여 편미분하면

$$\frac{\partial F(\bar{m}, N)}{\partial m_j} = -\frac{a_j + A_{sj}}{m_j^2} \sum_{i=1}^n m_i I_i + \left(A_b + ZN + \sum_{i=1}^n \frac{a_i + A_{si}}{m_i} \right) I_j = 0$$

또는

$$m_j^2 = \frac{(a_j + A_{sj}) \sum_{i=1}^n m_i I_i}{A_b + ZN + \sum_{i=1}^n \frac{a_i + A_{si}}{m_i}} \quad (6)$$

로 정리가 가능하다.

$$[C(N)]^2 = \frac{\sum_{i=1}^n m_i I_i}{A_b + ZN + \sum_{i=1}^n \frac{a_i + A_{si}}{m_i}} \quad (7)$$

으로 두면, $j \neq k$ 에 대하여 다음과 같은 식을 구할 수 있다.

$$m_k^2 = \frac{(a_k + A_{sk})}{I_k} \cdot [C(N)]^2 \quad (8)$$

만일 완제품 j 에 대해서

$$\frac{(a_j + A_{sj})}{I_j} < \frac{(a_k + A_{sk})}{I_k}$$

이면 m_j (실수해)는 m_k (실수해)보다 작을 것이다. 따라서 각 완제품의 $(a_j + A_{sj})/I_j$ 값을 계산하여 그 중에서 가장 작은 값을 가지는 완제품의 m_j 값이 가장 작은 값을 가지며 정수라는 조건때문에 $m_j=1$ 을 가지게 된다. 만약 완제품 번호 1번이 $(a_j + A_{sj})/I_j$ 의 계산결과 값이 가장 작도록 순서가 정해졌다면 $m_1=1$ 이다. 식 (8)에 의해서 m_j 는

$$m_j = \sqrt{\frac{a_j + A_{sj}}{I_j}} \cdot C(N) \quad (9)$$

이 된다. 그러므로

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n m_i I_i &= I_1 + \sum_{i=2}^n C(N) \sqrt{\frac{a_i + A_{si}}{I_i}} \times I_i \\ &= I_1 + \sum_{i=2}^n C(N) \sqrt{(a_i + A_{si}) I_i} \end{aligned} \quad (10)$$

이 된다. 마찬가지로,

$$\sum_{i=1}^n \frac{a_i + A_{si}}{m_i} = (a_1 + A_{s1}) + \frac{1}{C(N)} \cdot \sum_{i=2}^n \sqrt{(a_i + A_{si}) I_i} \quad (11)$$

이므로 식 (10)과 식 (11)을 식 (7)에 대입하면

$$[C(N)]^2 = \frac{I_1 + \sum_{i=2}^n C(N) \sqrt{(a_i + A_{si}) I_i}}{A_b + ZN + (a_1 + A_{s1}) + \frac{1}{C(N)} \cdot \sum_{i=2}^n \sqrt{(a_i + A_{si}) I_i}}$$

을 얻게 된다. 이를 정리하면 아래와 같이 $C(N)$ 을 얻을 수 있다.

$$C(N) = \sqrt{\frac{I_1}{A_b + ZN + (a_1 + A_{s1})}} \quad (12)$$

따라서 식 (12)를 식 (9)에 대입하여 정리하면

$$m_j = \sqrt{\frac{(a_j + A_{sj})}{I_j}} \cdot \frac{I_1}{A_b + ZN + (a_1 + A_{s1})} \quad (j = 2, 3, \dots, n) \quad (13)$$

을 얻게 된다. m_j 는 1보다 같거나 큰 정수 값을 가져야 하므로, 1보다 작은 경우는 1이라고 두고, 1보다 큰 경우는 반올림을 하여 정수값을 취한다.

3. 반복적 해법

JIT구매 하에서 통합총비용을 최소화 하는 T, \bar{m}, \bar{k}, N 을 찾는 것은 비선형 정수계획법 문제로 최적해를 구하는 것은 매우 어렵다. 따라서 본 논문에서는 실용적으로 해를 찾는 발견적 해법(Heuristic method)에 초점을 맞추었으며 아래의 반복적 해법을 이용하여 해를 구할 수 있으며, 계산은 엑셀과 같은 스프레드시트에서 가능하다.

- (1) 운송횟수의 초기치로 $N=1$ 로 둔다.
- (2) $\frac{(a_i + A_{si})}{I_i}$ 을 계산하여 가장 작은 값을 가지는 완제품을 $m_1=1$ 로 한다.
- (3) 식 (13)을 이용하여 $m_j(j=2, 3, 4, \dots, n)$ 을 반올림하여 정수값을 구한다.
- (4) 식 (3)을 이용하여 T 값을 계산한 후 식 (2)를 이용하여 $k_i(i=1, 2, 3, \dots, n)$ 을 반올림하여 정수값을 계산한다.
- (5) 식 (1)을 이용하여 통합총비용인 $JTC(T, \bar{m}, \bar{k}, N)$ 를 계산한다.
- (6) 통합총비용이 최소화될 때까지 $N=N+1$ 로 하여 단계 (2)~단계 (5)를 반복한다.

4. 수치 예

앞 장에서 유도된 통합재고모형의 유용성을 보이기

위하여 Miller and Kelle[13] 그리고 Woo, Hsu, and Wu [17]가 사용한 예제의 수치를 수정하여 사용해 보도록 하겠다.

공동발주비용 $A_b = \$25$
 운송건당 공동운송비용 $Z = \$25$

그리고 공급업자는 4가지 완제품을 생산하며 관련된 각 품목별 자료는 아래의 표와 같다.

<표 1>의 자료를 이용하여 앞 장에서 제시된 반복적 해법에 의해 해를 구한 결과가 <표 2>에 나타나 있다. <표 2>는 N 값에 따른 통합총비용과 공동발주주기 등의 의사결정 변수값들을 나타내어준다.

$N=1$ 일 때 완제품 1이 다른 품목에 비해 $(a_i + A_{si})/I_i$ 의 값이 가장 작기 때문에 m_1 은 1로 두고 나머지 품목에 대하여 m_i 를 각각 계산한다. 그리고 m_i 값을 이용하여 공동발주주기 T 값을 구한 후 원자재 발주량에 관련된 의사결정변수인 k_i 값(완제품을 k_i 회 생산에 필요한 원자재량을 의미)을 계산한다. 수치 예를 반복적 해법으로 풀어본 결과 통합총비용이 최소화되는 공동운송횟수(N)은 10회로 나타났고 공동발주주기(T) = 0.1200이며 각 완제품 품목별 공동발주주기의 배수(m_i)는 $m_1=1, m_2=2, m_3=1, m_4=5$ 로 계산되었으며 원자재 1회 발주량을 결정하는 공급업자 의사결정 변수로 정수값을 가지는 공급업자의 완제품 발주량의 배수(k_i)로는 $k_1=1, k_2=2, k_3=3, k_4=2$ 로 도출되었다. 그리고 이 때의 최소 통합총비용은 \$48740.1로 계산되었다.

<그림 2>는 운송횟수의 변화에 따른 통합총비용의 변화를 나타낸 그래프로 운송횟수가 증가하면 처음에는 통합총비용이 감소하다가 운송횟수가 10회를 넘어가면 통합총비용이 증가하는 것으로 나타났다.

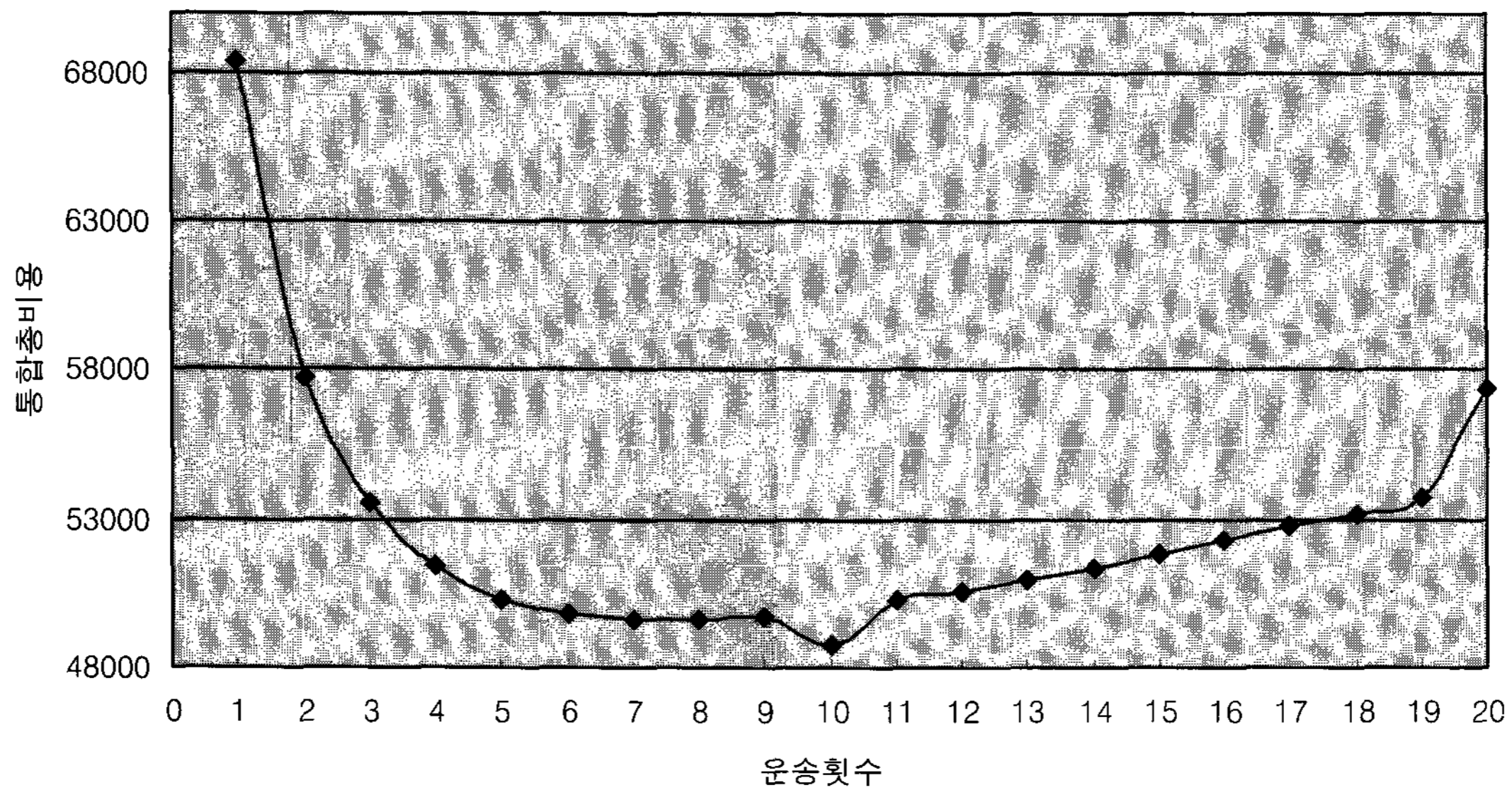
<표 1> 다품목 통합재고모형의 수치 예

	완제품 1	완제품 2	완제품 3	완제품 4
D_i : 연간 수요율	12000	5000	8000	300
P_i : 연간 생산율	48000	20000	32000	1200
a_i : 구매업자 1회 발주비용(\$)	50	20	10	25
A_{si} : 공급업자 1회 생산준비비용(\$)	300	600	600	500
A_{ri} : 공급업자 원자재 1회 발주비용(\$)	100	200	200	150
H_{bi} : 구매업자 완제품 단위당 연간재고유지비용(\$)	25	15	20	30
H_{si} : 공급업자 완제품 단위당 연간재고유지비용(\$)	10	5	10	15
H_{ri} : 공급업자 원자재 단위당 연간재고유지비용(\$)	1	0.6	0.5	0.5
u_i : 완제품의 원자재 사용율	1	1	1	1

<표 2> 운송횟수 N에 따른 통합재고모형의 통합총비용

N	m ₁	m ₂	m ₃	m ₄	T	k ₁	k ₂	k ₃	k ₄	통합총비용
1	1	3	2	6	0.0442	3	3	4	5	68420.8
2	1	2	1	6	0.0773	2	2	4	3	57788.8
3	1	2	1	6	0.0863	1	2	4	3	53545.7
4	1	2	1	6	0.0924	1	2	3	3	51483.2
5	1	2	1	5	0.0981	1	2	3	3	50312.9
6	1	2	1	5	0.1017	1	2	3	3	49797.4
7	1	2	1	5	0.1047	1	2	3	3	49601.5
8	1	2	1	5	0.1073	1	2	3	3	49608.7
9	1	2	1	5	0.1096	1	2	3	3	49752.0
10	1	2	1	5	0.1200	1	2	3	2	48740.1
11	1	2	1	5	0.1135	1	2	3	2	50298.3
12	1	2	1	4	0.1170	1	2	3	3	50559.3
13	1	2	1	4	0.1186	1	2	3	3	50943.3
14	1	2	1	4	0.1201	1	2	3	3	51356.3
15	1	2	1	4	0.1215	1	2	3	3	51791.4
16	1	2	1	4	0.1229	1	1	3	3	52281.7
17	1	2	1	4	0.1242	1	1	3	3	52739.1
18	1	2	1	4	0.1255	1	1	3	3	53207.1
19	1	2	1	4	0.1268	1	1	2	3	53692.8
20	1	3	1	5	0.1120	2	2	5	5	57392.3

운송횟수에 따른 통합총비용



<그림 2> 일반적인 다품목 통합재고모형의 통합총비용곡선

5. 통합재고모형의 타당성 검토

앞 장에서는 구매업자와 공급업자 간의 통합재고모형인 다품목 통합발주정책에 대하여 알아보았다 이 장에

서는 구매업자와 공급업자가 통합재고모형을 이용하지 않고 구매업자와 공급업자가 유리한 입장에서 발주를 했을 때의 통합총비용을 도출하고 앞 장에서와 같이 통합재고모형의 통합총비용과 비교하여 과연 어떤 정책이

보다 효과적인지 알아보도록 하겠다.

5.1 구매업자가 발주정책의 주도권을 가지는 경우

구매업자 입장에서 구매업자총비용을 최소화하는 공통발주주기(T), 완제품 품목별 공통발주주기의 배수(m_i) 및 운송횟수(N)를 구하고 이때의 구매업자 총비용과 통합총비용을 계산하여 보도록 하겠다. 구매업자의 총비용은 구매업자의 발주비용, 재고유지비용 및 운송비용으로 구성되어 있으며 아래와 같다.

$$TC_b(T, \bar{m}, N) = \frac{A_b + \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{m_i}}{T} + \frac{\sum_{i=1}^n H_{bi} m_i T D_i}{2N} + \frac{ZN}{T} \quad (14)$$

구매업자의 총비용을 최소화하기 위하여 N에 대하여 편미분하여 0으로 두면

$$N = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n H_{bi} m_i D_i}{2Z}} T \quad (15)$$

식 (15)을 식 (14)에 대입하여 정리하면

$$TC_b(T, \bar{m}) = \frac{A_b + \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{m_i}}{T} + \sqrt{2Z \sum_{i=1}^n H_{bi} m_i D_i} \quad (16)$$

구매업자의 총비용인 식 (16)을 최소화하는 T는 $T \rightarrow \infty$ (따라서 $N \rightarrow \infty$)이고 m_i 는 $m_i = 1 (i=1, 2 \dots n)$ 일 때이다. 이때의 구매업자 최소총비용은 $\sqrt{2Z \sum_{i=1}^n H_{bi} D_i}$ 이다. 공급업자는 주어진 N, T, \bar{m} 하에서 공급업자의 총비용을 최소화하여야 한다. 구매업자의 입장에서는 T를 무한히 늘릴수록 유리하나($T \rightarrow \infty$), 이 때의 공급업자의 총비용은 무한히 증가하며 전체 통합총비용도 무한히 증가한다.

앞 장의 동일한 수치 예의 자료를 이용하여 구매업자가 발주정책의 주도권을 가지는 경우에 적용하면 구매업자의 총비용은 $TC_b = \$5215.4 (= \sqrt{2Z \sum_{i=1}^n H_{bi} D_i})$ 이나, 공급업자의 총비용은 무한히 커지게 된다. 따라서 통합총비용도 무한히 커지게 된다.

5.2 공급업자가 발주정책의 주도권을 가지는 경우

공급업자 입장에서 공급업자의 총비용을 최소화하는 공

통발주주기(T), 완제품 품목별 공통발주주기의 배수(m_i) 및 공동운송횟수(N) 및 공급업자의 완제품 발주량의 배수(k_i)를 구하고 이 때의 공급업자의 총비용과 통합총비용을 계산하여 보도록 하겠다. 공급업자의 총비용은 공급업자의 완제품발주비용, 원자재발주비용, 완제품재고유지비용 및 원자재재고유지비용으로 구성되어 있으며 아래와 같다.

$$TC_s(T, \bar{m}, \bar{k}, N) = \sum_{i=1}^n \frac{A_{si}}{T m_i} + \sum_{i=1}^n \frac{A_{ri}}{k_i m_i T} \quad (17)$$

$$+ \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n H_{si} m_i T D_i \left(1 - \frac{D_i}{P_i} - \frac{1}{N} + \frac{2D_i}{NP_i}\right)$$

$$+ \sum_{i=1}^n H_{ri} \left\{ \frac{u_i m_i T D_i^2}{2P_i} + \frac{(k_i - 1) u_i m_i T D_i}{2} \right\}$$

공급업자 총비용을 최소화하는 정수 k_i 를 구하기 위해 식 (17)을 k_i 에 대하여 편미분하면 식 (18)과 같이 정리된다.

$$k_i^* = \frac{1}{m_i T} \sqrt{\frac{2A_{ri}}{H_{ri} u_i D_i}} \quad (18)$$

$TC_s(T, \bar{m}, N)$ 을 구하기 위해 식 (18)을 식 (17)에 대입하면 식 (19)로 정리된다.

$$TC_s(T, \bar{m}, N) = \sum_{i=1}^n \frac{A_{si}}{T m_i} + \sum_{i=1}^n \frac{A_{ri}}{\sqrt{\frac{2A_{ri}}{H_{ri} u_i D_i}}} \quad (19)$$

$$+ \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n H_{si} m_i T D_i \left(1 - \frac{D_i}{P_i} - \frac{1}{N} + \frac{2D_i}{NP_i}\right)$$

$$+ \sum_{i=1}^n H_{ri} \left(\frac{u_i m_i T D_i^2}{2P_i} + \sqrt{\frac{A_{ri} u_i D_i}{2H_{ri}}} - \frac{u_i m_i T D_i}{2} \right)$$

식 (19)을 T에 대하여 편미분하여 0으로 두면 다음의 식 (20)으로 정리된다.

$$T_s^* = \frac{1}{m_i T} \sqrt{\frac{2A_{ri}}{H_{ri} u_i D_i}} \quad (20)$$

$$\text{단, } J_i = H_{si} D_i \left(1 - \frac{D_i}{P_i} - \frac{1}{N} + \frac{2D_i}{NP_i}\right) + \frac{H_{ri} D_i^2 u_i}{P_i} - H_{ri} u_i D_i$$

식 (20)을 식 (19)에 대입해서 정리하면 공급업자 총비용은 다음과 같이 된다.

$$TC_s(\bar{m}, N) = \sqrt{2 \sum_{i=1}^n \frac{A_{si}}{m_i} \sum_{i=1}^n m_i J_i} + \sum_{i=1}^n \sqrt{2H_{ri} A_{ri} u_i D_i} \quad (21)$$

식 (21)를 최소화 하는 \bar{m} 과 N을 구하는 것은 다음 수식을 최소화 하는 \bar{m} 과 N을 구하는 것과 동일하다.

$$F_s(\bar{m}, N) = \sum_{i=1}^n \frac{A_{si}}{m_i} \sum_{i=1}^n m_i J_i \quad (22)$$

식 (22)는 식 (5)와 동일한 형태를 가지고 있으며 따라서 식 (22)를 최소화하는 \bar{m} 를 구하는 것은 앞 절의 식 (5)을 최소화하는 것과 동일한 방법을 사용하면 되며 그 결과로는 다음 식이 유도되며 이를 반올림하여 정수의 \bar{m} 값을 구한다.

$$m_j = \sqrt{\frac{A_{sj} J_1}{J_j A_{s1}}} \quad (23)$$

공급업자의 총비용을 최소화하는 해법은 다음과 같다. N의 초기치로 N=1로 둔다. 식 (23)을 이용하여 \bar{m} 을 계산한 후 식 (20)에 대입하여 T_s^* 을 계산한다. 식 (18)을 이용하여 각 완제품 품목별 k_i 값을 구하고 충분히 N을 증가시키고 난 후 공급업자의 총비용이 가장 작은 값을 취한다. 수치 예를 동일하게 적용하면 공급업자의 총비용 $TC_s = \$16366.7$ 일 때 최소값을 갖는다.

5.3 통합재고모형과의 비교

지금까지 제시한 여러 가지 발주정책을 구매자 총비용, 공급업자 총비용 및 통합총비용 면에서 비교하여 표로 정리하면 <표 3>과 같다.

전체 공급망을 통합하여 통합총비용을 최소로 하는 발주정책이 전체 최적화를 이룰 수 있기 때문에 구매자가 주도권을 가지고 구매업자의 총비용을 최소화하는 발주정책이나 공급업자가 주도권을 가지고 공급업자의 총비용을 최소화하는 발주정책에 비교하여 비용 면에서 당연히 좋은 성과를 보였다.

구매업자가 발주정책의 주도권을 가지는 경우는 구매업자 총비용 면에서는 통합관리하는 경우의 구매업자의 총비용보다 \$18089.6(77.6%)이 적었으나 공급업자의 총

비용이 무한히 증가하여 통합총비용 면에서 가장 불리하였다. 공급업자가 주도권을 가질 때에 공급업자의 총비용은 공급망을 통합관리시보다 \$9068.4(35.7%) 줄었지만 구매업자 총비용은 \$59435.7(255.0%)만큼 현저히 증가하여 전체적으로 통합총비용은 \$50367.3(103.4%)이 높았다. 결론적으로 구매업자와 공급업자가 파트너십에 기초하여 발주정책 및 운송횟수를 정하여 통합관리하는 것이 통합총비용 면에서 매우 유리함을 알 수 있다.

6. 결 론

각각의 개별기업별로 재고정책을 정하면 이것이 공급망(Supply Chain) 전체적으로는 최적화가 안 되며 본 논문에서는 공급망에 있는 공급업자와 구매업자가 서로 협력하여 통합재고정책을 채택하는 경우에 사용가능한 해법을 제시하고 있다. 또한 협력관계를 고려하여 구매업자와 공급업자가 통합재고관리를 했을 때 개별관리보다 비용적인 측면에서 효과적이라는 것을 예제를 통하여 분석하였다.

그러나 재고관리 측면에서 전체 최적화가 통합총비용 면에서 이득이라고 하여 구매업자나 공급업자의 총비용이 최소화되는 것은 아니며 이런 이유로 구매업자나 공급업자가 통합관리를 쉽게 받아들일 수 없다. 앞의 수치 예를 가지고 설명한다면 구매업자 입장에서는 통합관리 시의 구매업자 총비용(\$23305.0)이 구매업자가 주도권을 행사하는 경우의 구매업자 총비용(\$5215.4)에 비교하여 구매업자 총비용이 \$18086.9(346.8%)만큼 많으며, 아무런 금전적 유인책이 없이는 구매업자가 통합관리를 받아들이기 힘들다. 이는 공급업자의 경우도 마찬가지로 금전적인 유인책이 없이 통합관리를 받아들이기 어려우며 통합관리로 발생하는 이득을 구매업자와 공급업자에게 공평하게 나누는 유인책의 설계가 필요하다.

본 연구가 가지는 한계로는 완제품의 수요가 확정적인 경우를 가정하였으며 보다 현실적인 상황을 나타내기 위하여는 수요가 불확실한 경우의 통합재고모형에 관한 연구가 필요하며, 또한 수학적 모형의 복잡성으로 인하여 본 연구에서는 완제품 제조에 한가지의 원자재

<표 3> 다품목 발주정책별 총비용의 비교

발주정책	비용	구매업자 총비용	공급업자 총비용	통합 총비용(\$)	통합모형대비 비용증가율
다품목 통합재고모형		23305.0	25435.1	48740.1	-
구매업자가 주도권을 가지는 경우		5215.4	∞	∞	∞ (%)
공급업자가 주도권을 가지는 경우		82740.7	16366.7	99107.4	103.3(%)

만을 사용하는 것으로 가정하였으나 보다 현실적인 통합재고모형을 위하여 이를 일반화한 다원자재에 대한 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] 한동철, 공급사슬관리, 시그마인사이트컴, 2002.
- [2] Akacum, A., Dale, B. G.; "Supplier Partnering : Case Study Experiences," *J. of Purchasing and Materials Management*, 31 : 38-44, 1995.
- [3] 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.
- [4] Goyal, S. K.; "An Integrated Inventory Model for a Single Supplier-single Customer Problem," *International Journal of Production Research*, 15(1) : 107-111, 1976.
- [5] Ha, D. and Kim, S. L.; "Implementation of JIT Purchasing : an Integrated Approach," *Production Planning and Control*, 8(2) : 152-157, 1997.
- [6] Jap, S. D.; "Pie-expansion Efforts : Collaboration Processes in Buyer-Supplier Relationships," *J. of Marketing Research* : 461-475, 1999.
- [7] Kelle, P., Al-khateeb, F., Miller, P. A.; "Partnership and Negotiation Support by Joint Optimal Ordering/setup Policies for JIT," *International Journal of Production Economics* : 431-441, 2003.
- [8] Kim, D. H.; "An Integrated Inventory Model for a Single Product and its Raw materials in Just-In-Time Purchasing," *Journal of the Society of the Korea Industrial and Systems Engineering*, 26(3) : 50-57, 2003.
- [9] Kim, D. H., Chung, S. H.; "A Study on Competitiveness of Korean Components Manufacturers under the Types of Innovation Strategies," *J. of Korean Institute of Industrial Engineers*, 11(1) : 164-174, 1998.
- [10] 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.
- [11] Kim, S. L., Ha, D. S.; "A Jit Lot-splitting Model for Supply Chain Management : Enhancing Buyer-supplier Linkage," *International Journal of Production Economics*, 86(1) : 1-10, 2003.
- [12] Kim, Young Chul; "An Integrated Inventory Model for Multi-Item in Just-In-Time Purchasing," *Hansung University*, 2002.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] Ramasesh, R. V., "Recasting the Traditional Inventory Model to Implement Just-In-Time Purchasing," *Production and Inventory Management Journal*, first quarter : 71-75, 1990.
- [16] Silver, Edward A., Pyke, David F., Rein Peterson; "Inventory Management and Production Planning and Scheduling," John Wiley and Sons, Third Edition : 453-457, 1998.
- [17] Woo, Y. Y., Hsu, S. L., Wu, S.; "An Integrated Inventory Model for a Single Vendor and Multiple Buyers with Ordering Cost Reduction," *International Journal of Production Economics* : 203-215, 2001.