

# An Integrated Inventory Model for a Three-Layer Supply Chain with Multiple Items

Dae-Hong Kim<sup>†</sup>

Department of Industrial and Management Engineering, Hansung University

## 3단계 공급사슬에서 다완제품의 통합재고모형에 관한 연구

김 대 홍<sup>†</sup>

한성대학교 산업경영공학과

In this paper, we investigate an inventory and production system in a three-layer supply chain system involving a single supplier, single manufacturer and multiple retailers. Earlier study in this type of supply chain only consider a single raw material in order to produce single item, but we consider raw materials in order to produce multiple items. It is assumed that the cycle time at each stage is an integer multiple of the adjacent downstream stage. We develop an iterative solution procedure to find the order quantity for the multiple items and raw materials that minimizes the supply chain-wide total cost per unit time of the supplier and manufacturer's raw materials ordering and holding, setup and finished items holding, the retailer's ordering and inventory holding. Numerical examples are presented to show that the proposed heuristic gives good performance.

**Keywords :** Three-Layer Supply Chain, Integrated Inventory Control, Multiple Items

### 1. 서 론

글로벌경쟁에 심화되면서 공급사슬 관리가 기업의 지속가능한 경쟁우위를 창출하는 핵심경영전략의 하나로 부상하고 있다. 최근 선도적인 기업들은 주어진 능력을 핵심역량에 집중하고 각자의 분야에서 우위를 가진 공급업자, 운송업자, 유통업자와 전략적 협력관계를 추구하고 있으며, 전체 최적화를 위하여 공급업체, 제조업체, 유통업체를 연결하는 공급사슬 상에서 통합적인 관점에서 관리하는 것이다. 이를 위하여 제조업자는 공급업체에서 원자재를 언제 얼마나 구매하여 이를 이용하여 언제 완제품을 조립하여야 하는 가를 결정하고, 또한 이를 바탕으로 완제품을 언제 얼마나 유통업체로 발송하여야 하는 가를 결정

하는 것은 공급사슬에서 중요한 의사결정문제이다[1, 8].

즉, 기업의 경영을 개별조직의 관점이 아닌 조직 간의 통합적인 측면에서 다루는 공급사슬 관리는 기업경영의 새로운 패러다임을 제시하는 것이다. 기업내부의 최적화로는 더 이상 경쟁력을 확보하지 못한다는 것을 인식, 자신의 조직뿐만 아니라 원자재 및 부품을 공급하는 공급업체에서부터 생산 후 제품을 최종 고객에게 전달하는 유통업체를 포함하는 공급사슬 전체를 통합관리 하여야 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. 공급사슬관리가 성공적이려면 공급사슬 내의 기업들은 수요예측, 생산계획, 구매계획, 납기일자 등에 관한 정보를 공유하며 전체 공급사슬의 최적화에 공동의 노력을 하여야 한다[3-7].

공급사슬관리에 관련된 통합재고모형에 관한 최초의 연구로는 Goyal[16]이 있으며, Goyal의 연구는 단일구매

업자와 단일공급업자 간에 로트별 주문(lot-for-lot ordering)시에 파트너십에 의거한 통합발주량을 결정하는 것이었다. Kim과 Chandra[18] 및 Lee[20]는 단일 완제품을 생산하는데 필요한 원자재를 외부에 주문하여 완제품을 생산하는 경우의 계량적 분석을 하였으며, 이때에 완제품의 1회 생산량 및 각 원자재의 1회 발주량을 동시에 결정하는 통합 원자재구매-생산재고모형(IPP : Integrated Procurement Production)을 제시하였다. Pan과 Liao[22]는 JIT 구매 하에서 구매업자의 발주량을 공급업자가 몇 번에 나누어 보내는 것이 재고유지비용을 줄 일 수 있는지에 대한 연구를 하였다.

Fazel[15]은 총 비용 면에서 JIT구매와 EOQ구매의 비교분석을 하였다. Kim[3], Teng[26], Yan, Banerjee, Yang [28], Miller와 Kelle[21]은 JIT구매 하에서 구매업자와 공급업자의 단일품목의 완제품공급-구매재고모형(IVB : Integrated Vendor -Buyer Model)을 제시하였으며, Kim 및 Ha [19], Ha와 Kim[17]이 제시한 모형도 JIT구매 하에서 구매업자와 공급업자 사이에 단일완제품의 통합재고모형에 관한 연구를 하였다.

Woo, Hsu, Wu[27] 등이 제시한 모형은 공급업자가 여러 구매업자들에게 완제품을 공급하기 위해 원자재를 구매하여 완제품을 생산하는 통합생산재고모형을 제시하였으나 완제품생산에 필요한 원자재는 단일원자재라는 가정이었다. Kim[5]의 연구는 다수의 구매자와 공급자가 존재하는 환경 하에서 통합재고모형을 개발하였다.

앞에서 언급한 대다수의 선행연구에서는 2단계 공급사슬의 통합재고정책에 관한 연구였으며, 최근에 Ben-Daya, As'ad, Seliaman[10], Ben-Daya, Al-Nassar[11] 그리고 Cardenas-Barron, Teng, Trevino-Garza, Wee[12]의 연구에서는 선행연구들을 발전시켜 3단계 공급사슬의 통합적 재고모형으로 확장하였으나, 모형의 복잡성으로 단일 완제품 품목에 관한 연구로 한정하였다. Sajadieh, Fallahnezhad, Khosrav[23]의 연구에서는 리드타임이 확정적이라는 가정을 완화하여 확률적인 리드타임 하에서의 3단계 공급사슬에 관한 연구를 수행하였다. Sarker, Rochanaluk, Egbelu [24]의 연구에서는 소매상에서 부재고(backorder)를 허용한 경우의 3단계 공급사슬의 통합재고 정책에 관한 연구를 수행하였다.

본 연구에서는 Kim[2], Ben-Daya, As'ad, Seliaman[10] 그리고 Ben-Daya, Al-Nassar[11]의 연구를 확장하려고 한다. Kim[2]은 제조업자와 소매업자로 구성된 2단계 공급사슬에 관한 다완제품의 통합재고모형을 연구하였으나 공급업자의 발주량에 관한 의사결정을 포함하지 못한 한계를 가지고 있다. Ben-Daya, As'ad, Seliaman[10] 그리고 Ben-Daya, Al-Nassar[11]는 공급업자가 단일 원자재를 제조업자에게 공급하면, 제조업자는 단일 완제품을 생산하여 소

매업자에게 공급하는 경우의 통합재고모형을 다루었으나 다완제품으로 연구를 확장하지는 못하였다. 일반적으로 제조업자는 여러 완제품을 생산하여 소매업자에게 공급하는 것이 보다 일반적이며, 이 경우에 여러 완제품을 동시에 발주하는 경우에는 공동발주비용을 절감할 수 있다.

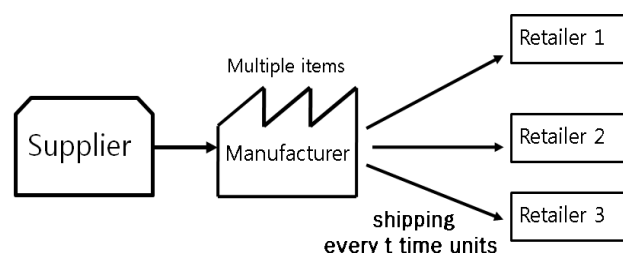
본 연구에서는 선행연구들을 일반화하여 복수의 완제품을 제조업자가 제조하여 소매업자들에게 공급하기 위하여 공급업자로부터 원자재를 구매하여 다완제품을 생산한 후 소매업자에게 정기적으로 공급하는 경우로, 소매업자, 제조업자 및 공급업자를 포함하는 통합재고모형을 수립하고자 한다.

## 2. 분석적 모형

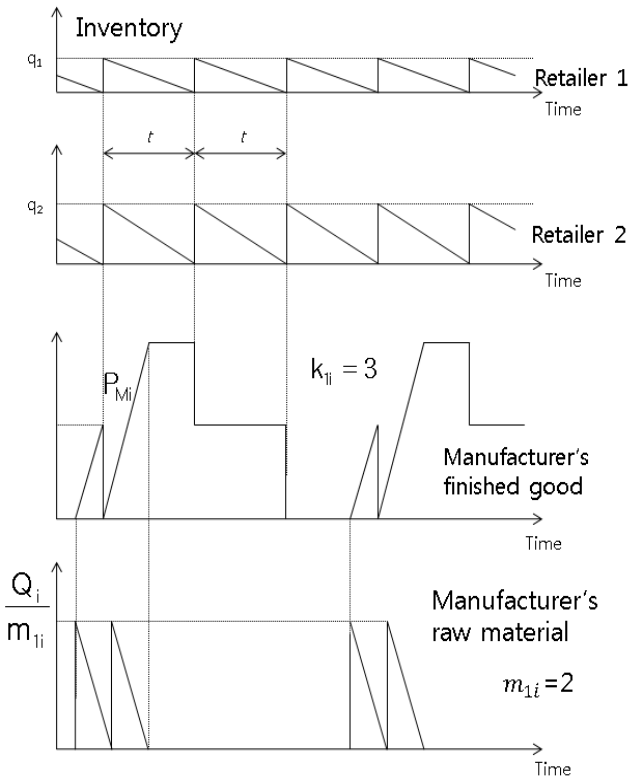
본 연구에서 분석대상인 공급사슬은 <Figure 1>처럼 공급업자가 원자재를 발주하여 제품을 생산하면 단일 제조업자가 공급업자로부터 원자재를 구매하여 복수의 완제품을 배치생산으로 생산한 후 정기적으로 여러 소매업자에게 공동발송하는 경우이다.

즉, 공급업자는 원자재를 공급하는 공급업자로부터 원자재를 발주하여 공급받은 후 일정한 생산율( $P_{si}$ )로 제품을 생산하여 제조업자에게 공급한다. 제조업자는 일정량의 원자재(원자재 공급업자 입장에서는 완제품)를 공급업자로부터 공급받은 후 일정한 생산율( $P_{Mi}$ )로 생산하여 (제조업자의 완제품 품목  $i$ 의 1회 생산량은  $Q_i$ ) 소매업자들에게  $k_{ti}$  회(의사결정변수)에 나누어서 다빈도 소량으로  $t$ 기간마다 정기적으로 소매업자들에게 공급한다. 이때에 소매업자는 발주시마다 고정된 공동발주비용 및 운송비용( $A_R$ )이 소요된다.

제조업자는 각 완제품을 생산하기 위하여 필요한 원자재를 발주 시 완제품 1회 생산량의 생산에 필요한 원자재를  $m_{1i}$  회에 나누어 다빈도 소량으로 주문하여 사용할 수 있다. 제조업자가 각 완제품에 필요한 원자재를 발주하는 데는 고정된 발주비용( $a_{M}$ )이 소요되며, 각 원자재를 보관하는 데는 재고유지비용( $h_i$ )이 소요된다.



<Figure 1> Structure of the Three-Layer Supply Chain System



<Figure 2> Inventory-Time Plots for the Retailers and Manufacturer

공급업자는 각 완제품(제조업자 입장에서는 원자재이나 공급업자 입장에서는 완제품)을 생산하기 위하여 원자재를 외부의 공급업자로부터 조달하며, 완제품 1회 생산량의 생산에 필요한 원자재를  $m_{2i}$ 회에 나누어 다빈도 소량으로 주문하여 사용할 수 있다. 공급업자가 각 제품에 필요한 원자재를 발주하는 데는 고정된 발주비용( $a_s$ )이 소요되며, 각 원자재를 보관하는 데는 재고유지비용( $h_s$ )이 소요된다.

<Figure 2>는 소매업자 및 제조업자에서 완제품  $i$  및 완제품에 소요되는 원자재의 재고수준의 변화를 보여주고 있다. <Figure 2>에서는 제조업자가 1회 생산량을 생산하여 3회에 나누어 소매업자들에 공급하는 경우이다 ( $k_{1i} = 3$ ).

본 연구에서는 소매상에서 고객의 수요가 확정적인 경우를 다루며 따라서 안전재고는 고려하지 않는다. 일반적으로 과거의 재고관리에 대한 많은 연구에서는 소매업자나 제조업자 한쪽만의 총 비용을 최소화하는 것이었다. 그러나 본 연구에서는 소매업자와 제조업자 및 공급업자 전체의 통합 최적화를 하기 위해 소매업자와 제조업자 및 공급업자에서 발생하는 발주비용, 생산준비비용 및 재고유지비용을 고려하여 공급사슬 전체에 대한 다완제품-원자재의 통합 재고모형을 개발하였다.

### 2.1 기호정의

- $D_i$  : 완제품  $i$ 의 총 연간수요(각 소매업자의 완제품  $i$ 의 연간수요의 합)
- $P_{M_i}$  : 제조업자의 완제품  $i$ 의 생산율( $P_{M_i} > D_i$ )
- $P_{S_i}$  : 공급업자의 완제품  $i$ 의 생산율( $P_{S_i} > D_i$ )
- $A_R$  : 소매업자의 완제품 1회 공동발주 및 운송비용
- $H_i$  : 소매업자의 완제품  $i$ 의 단위당 연간 재고유지비용 (모든 소매업자에게서 동일하게 발생한다는 가정)
- $A_{M_i}$  : 제조업자 완제품  $i$ 의 1회 생산준비비용
- $a_{M_i}$  : 제조업자 원자재  $i$ 의 1회 발주비용
- $H_{M_i}$  : 제조업자 완제품  $i$ 의 단위당 연간 재고유지비용
- $h_i$  : 제조업자 원자재  $i$ 의 단위당 연간 재고유지비용 (= 공급업자의 완제품  $i$ 의 단위당 연간 재고유지비용)
- $A_S$  : 공급업자의 완제품  $i$ 의 1회 생산준비비용
- $a_S$  : 공급업자의 원자재  $i$ 의 1회 발주비용
- $h_S$  : 공급업자의 원자재  $i$ 의 단위당 연간 재고유지비용
- $t$  : 소매업자에게 발송되는 공동발주주기(의사결정변수)
- $k_{1i}$  : 제조업자의 완제품  $i$ 의 1회 생산량을 결정하는 의사결정변수로 소매상에 공급하는 1회 발송량의 정수배
- $m_{1i}$  : 제조업자의 완제품  $i$ 의 생산에 필요한 원자재 1회 발주량을 결정하는 의사결정변수로 제조업자의 완제품  $i$ 의 생산에 필요한 원자재를 몇 회에 나누어 원자재를 발주해야 하는 지를 결정하며 정수 값을 가짐
- $k_{2i}$  : 공급업자의 완제품  $i$ 의 1회 생산량을 결정하는 의사결정변수로 1회 발송량의 정수배
- $m_{2i}$  : 공급업자의 완제품  $i$ 의 생산에 필요한 원자재의 1회 발주량을 결정하는 의사결정변수로 공급업자의 완제품  $i$ 의 1회 생산에 필요한 원자재를 몇 회에 나누어 발주해야 하는 지를 결정하며 정수 값을 가짐
- $Q_i$  : 제조업자의 완제품  $i$ 의 1회 생산( $Q_i = k_{1i}D_i t$ )

### 2.2 기본가정

- 필요한 기본가정은 전통적 경제적 발주량(EOQ) 모형처럼 다음과 같다.
- (1) 각 완제품의 수요는 일정하고 알려져 있다.
  - (2) 각 완제품 및 원자재의 선행기간은 일정하고 알려져 있다.
  - (3) 1회 발주비용, 1회 생산준비비용 및 단위당 연간재고유지비용은 고정되어 있다.
  - (4) 각 완제품과 원자재의 품질을 허용하지 않는다.

- (5) 각 완제품에 대하여 한 가지 원자재를 사용한다.
- (6) 모든 소매업자는 제조업자로부터 동일한 주기로 모든 완제품을 공급받는다.
- (7) 제조업자의 발주주기는 소매업자의 공동발주주기의 정수배이고, 공급업자의 발주주기는 제조업자의 발주주기의 정수배이다.

### 2.3 통합총비용의 유도 및 분석

소매업자에게서 발생하는 비용은 완제품 발주비용과 완제품 재고유지비용이다. 모든 소매업자는 정기적으로  $t$ 기간에 한 번씩 완제품  $i$ 를  $D_i t$ (모든 소매업자의 발주량의 합계)개를 발주하며, 제조업자는 완제품  $i$ 를 1회에  $Q_i = k_{1i} D_i t$ 개를 생산하여  $k_{1i}$ 번에 나누어 정기적으로 소매업자에게 발송한다. 본 연구는 다완제품 품목에 대한 연구로  $t$ 기간마다 완제품을 공동발주하면 공동발주문제(Joint Replenishment Problem)에 관한 선행연구[29]에 기술된 것처럼 독립적으로 발주할 때에 비교하여 발주비용을 절감할 수 있다. 소매상에서 모든 완제품 품목을 동시에 발주한다면  $t$ 기간마다  $A_R$ 의 비용이 발생하며 소매상의 완제품  $i$ 의 평균재고량은  $D_i t/2$ 이다. 따라서 소매업자의 연간 총 비용은[1]

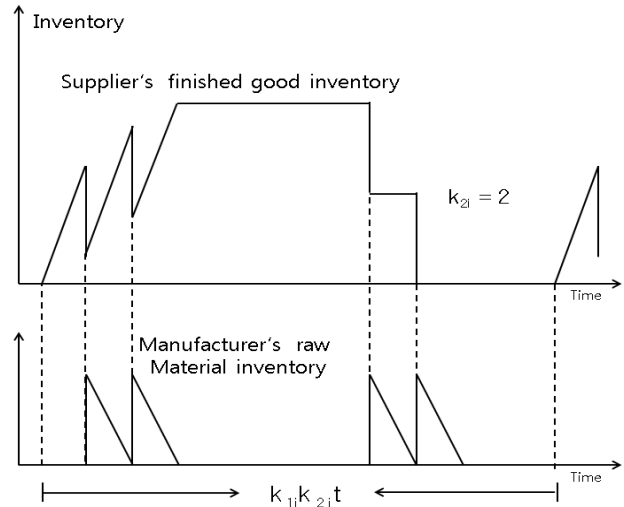
$$\frac{A_R}{t} + \sum_{i=1}^n \frac{H_i D_i t}{2} \tag{1}$$

제조업자에게서 발생하는 비용은 완제품 생산준비비용, 완제품 재고유지비용, 원자재 발주비용, 원자재 재고유지비용이다. 제조업자는 소매업자로부터 품목  $i$ 의 주문을 받아서 완제품의 생산준비를 하여 정기적으로  $k_{1i} t$ 마다 생산준비를 하여 1회에  $k_{1i} D_i t$ 개를 생산하여 이를  $k_{1i}$ 번에 나누어 소매업자에게 납품하게 된다. 이때의 제조업자에게서 발생하는 완제품의 연간 생산준비비용과 재고유지비용은 다음과 같다[2, 9, 10, 11].

$$\sum_{i=1}^n \left[ \frac{A_{M_i}}{k_{1i} t} + \frac{H_{M_i} D_i t}{2} \left\{ (2 - k_{1i}) \frac{D_i}{P_{M_i}} + k_{1i} - 1 \right\} \right] \tag{2}$$

그리고 각 완제품 생산을 위하여 제조업자가 공급업자에게 발주하여야 하는 원자재는 한 가지이며, 각 원자재의 발주빈도는 완제품의 발주빈도에 맞추어 발주하게 된다. 원자재의 발주량은 완제품 1회 생산량에 필요한 원자재를 정수배( $m_{1i}$ ,  $m_{1i}$ 는 정수)로 나누어서 주문하는 것을 가정하였다.

<Figure 2>는  $m_{1i} = 2$ 에 해당하며, 완제품 1회 생산량에 필요한 원자재를 2회에 나누어서 주문하는 경우이다. 제조업자가 완제품 1회 생산에 필요한 원자재를  $m_i$ 회(정수배) 나누어 주문한다면, 제조업자에게서 발생하는 연간 원자재 발주비용 및 재고유지비용의 합은 아래와 같다[2, 27].



<Figure 3> Inventory-Time Plots for the Supplier and Manufacturer

$$\sum_{i=1}^n \left\{ \frac{a_{M_i} m_{1i}}{k_{1i} t} + \frac{h_i k_{1i} t D_i^2}{2 m_{1i} P_{M_i}} \right\} \tag{3}$$

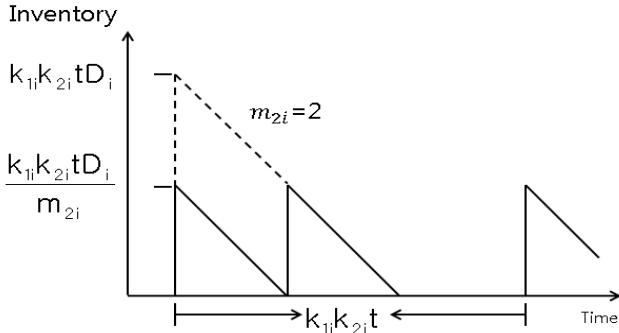
공급업자의 발주주기는 제조업자의 발주주기의  $k_{2i}$ 배이며, 따라서 공급업자는  $k_{1i} k_{2i} t$ 마다 1회 생산량의 완제품을 생산하여 제조업자에게 공급하며 <Figure 3>은  $k_{2i} = 2$ 인 경우이다. 공급업자에게서 발생하는 비용은 완제품 발주비용과 완제품 재고유지비용, 원자재 발주비용과 원자재 재고유지비용이다. 공급업자의 연간 완제품 생산준비비용과 완제품 재고유지비용은[11]

$$\sum_{i=1}^n \left[ \frac{A_S}{k_{1i} k_{2i} t} + \frac{h_i k_{1i} D_i t}{2} \left\{ \left( \frac{2}{m_{1i}} - k_{2i} \right) \frac{D_i}{P_S} + \left( 1 - \frac{1}{m_{1i}} \right) \frac{D_i}{P_{M_i}} + k_{2i} - 1 \right\} \right] \tag{4}$$

그리고 각 공급업자가 완제품 생산을 위하여 필요한 원자재를 외부의 공급업자에게 발주하여야 하는 원자재는 한 가지이며, 각 원자재의 발주빈도는 완제품의 발주빈도에 맞추어 발주하게 된다. 원자재의 발주량은 완제품 1회 생산량에 필요한 원자재를 정수배( $m_{2i}$ ,  $m_{2i}$ 는 정수)로 나누어서 주문하는 것을 가정하였다.

<Figure 4>는  $m_{2i} = 2$ 에 해당하며, 공급업자의 완제품 1회 생산량에 필요한 원자재를 2회에 나누어서 주문하는 경우이다. 공급업자가 완제품 1회 생산에 필요한 원자재를  $m_{2i}$ 회(정수배) 나누어 주문한다면, 공급업자에게서 발생하는 연간 원자재 발주비용 및 재고유지비용의 합은 아래와 같다[27].

$$\sum_{i=1}^n \left[ \frac{a_S m_{2i}}{k_{1i} k_{2i} t} + \frac{h_S k_{1i} k_{2i} t D_i^2}{2 m_{2i} P_S} \right] \tag{5}$$



<Figure 4> Supplier's Raw Material Inventory

소매업자의 총 비용, 제조업자의 총 비용과 공급업자의 총 비용을 더하면 공급사슬 전체의 통합총비용(JTC)이 되며, 결과는 아래와 같다.

$$\begin{aligned}
 JTC(t, \bar{k}_1, \bar{k}_2, \bar{m}_1, \bar{m}_2) &= \frac{A_R}{t} + \sum_{i=1}^n \frac{h_i D_i t}{2} \\
 &+ \sum_{i=1}^n \left[ \frac{A_{M_i}}{k_{1i} t} + \frac{H_{M_i} D_i t}{2} \left\{ (2 - k_{1i}) \frac{D_i}{P_{M_i}} + k_{1i} - 1 \right\} \right] \\
 &+ \sum_{i=1}^n \left[ \frac{a_{M_i} m_{1i}}{k_{1i} t} + \frac{h_i k_{1i} t D_i^2}{2 m_{1i} P_{M_i}} \right] + \sum_{i=1}^n \left[ \frac{A_{S_i}}{k_{1i} k_{2i} t} + \frac{h_i k_{1i} D_i t}{2} \right. \\
 &\quad \left. \left\{ \left( \frac{2}{m_{1i}} - k_{2i} \right) \frac{D_i}{P_{S_i}} + \left( 1 - \frac{1}{m_{1i}} \right) \frac{D_i}{P_{M_i}} + k_{2i} - 1 \right\} \right] \\
 &+ \sum_{i=1}^n \left[ \frac{a_{S_i} m_{2i}}{k_{1i} k_{2i} t} + \frac{h_s k_{1i} k_{2i} t D_i^2}{2 m_{2i} P_{S_i}} \right]
 \end{aligned} \quad (6)$$

위의 식을 간소화하기 위하여

$$I_{M_i} = (2 - k_{1i}) \frac{D_i}{P_{M_i}} + k_{1i} - 1$$

$$I_{S_i} = \left( \frac{2}{m_{1i}} - k_{2i} \right) \frac{D_i}{P_{S_i}} + \left( 1 - \frac{1}{m_{1i}} \right) \frac{D_i}{P_{M_i}} + k_{2i} - 1$$

로 두고 통합총비용을  $t$ 에 대하여 편미분하여 0으로 두어서  $t$ 에 대하여 정리하면 다음과 같다.

$$t^* = \sqrt{\frac{2 \left[ A_R + \sum_{i=1}^n \left( \frac{A_{M_i}}{k_{1i}} + \frac{a_{M_i} m_{1i}}{k_{1i}} + \frac{A_{S_i}}{k_{1i} k_{2i}} + \frac{a_{S_i} m_{2i}}{k_{1i} k_{2i}} \right) \right]}{\sum_{i=1}^n D_i \left\{ H_i + H_{M_i} I_{M_i} + \frac{h_i k_{1i} D_i}{m_{1i} P_{M_i}} + h_i k_{1i} I_{S_i} + \frac{h_s k_{1i} k_{2i} D_i}{m_{2i} P_{S_i}} \right\}}} \quad (7)$$

주어진  $t$  및  $\bar{m}_1$ ,  $\bar{m}_2$  및  $\bar{k}_2$ 에 대하여 통합총비용을 최소화하는  $k_{1i}$ 를 구하기 위하여 통합총비용을  $k_{1i}$ 에 대하여 편미분하여 0으로 두고 정리하면 다음과 같다.

$$k_{1i} = \frac{1}{t} \sqrt{\frac{2 \left\{ A_{M_i} + a_{M_i} m_{1i} + \frac{A_{S_i}}{k_{2i}} + \frac{a_{S_i} m_{2i}}{k_{2i}} \right\}}{D_i \left\{ H_{M_i} \left( 1 - \frac{D_i}{P_{M_i}} \right) + \frac{h_i D_i}{m_{1i} P_{M_i}} + h_i I_{S_i} + \frac{h_s k_{2i}}{m_{2i} P_{S_i}} \right\}}} \quad (8)$$

주어진  $t$  및  $\bar{k}_1$ 에 대하여 통합총비용을 최소화하는  $m_{1i}$ 를 구하기 위하여 통합총비용을  $m_{1i}$ 에 대하여 편미분하여 0으로 두고  $m_{1i}$ 에 대하여 정리하면 식 (9)와 같다.

$$m_{1i} = k_{1i} t D_i \sqrt{\frac{h_i}{a_{M_i} P_{S_i}}} \quad (9)$$

주어진  $t$  및  $\bar{k}_1$ ,  $\bar{m}_2$ 에 대하여 통합총비용을 최소화하는  $k_{2i}$ 를 구하기 위하여 통합총비용을  $k_{2i}$ 에 대하여 편미분하여 0으로 두고 정리하면 다음의 식 (10)과 같다.

$$k_{2i} = \frac{1}{k_{1i} t} \sqrt{\frac{2(A_{S_i} + a_{S_i} m_{2i})}{D_i \left\{ h_i \left( 1 - \frac{D_i}{P_{S_i}} \right) + \frac{h_s D_i}{m_{2i} P_{S_i}} \right\}}} \quad (10)$$

주어진  $t$  및  $\bar{k}_1$ ,  $\bar{k}_2$ 에 대하여 통합총비용을 최소화하는  $m_{2i}$ 를 구하기 위하여 통합총비용을  $m_{2i}$ 에 대하여 편미분하여 0으로 두고  $m_{2i}$ 에 대하여 정리하면 다음의 식 (11)과 같다.

$$m_{2i} = \frac{1}{k_{1i} k_{2i} t} \sqrt{\frac{2 a_{S_i}}{h_s D_i}} \quad (11)$$

### 3. 반복적 해법

통합총비용을 최소화하는 완제품의 공동발주주기( $t$ ), 제조업자 및 공급업자가 각 품목의 1회 발송량의 몇 배를 생산하여야 하는 가를 결정하는 의사결정변수( $\bar{k}_1$ ,  $\bar{k}_2$ ), 제조업자 및 공급업자의 원자재 1회 발주량을 결정하는 의사결정변수( $\bar{m}_1$ ,  $\bar{m}_2$ )을 구하는 것은 의사결정변수가  $4n+1$ ( $n$ 은 완제품 품목의 수)개인 비선형 정수계획법 문제로 최적해를 구하는 것은 매우 어렵다. 따라서 본 연구에서는 반복적인 방법으로 쉽게 해를 찾는 발견적 해법(heuristic method)을 이용하는데 초점을 맞추고자 한다.

(단계 1)  $t$ 의 초기치를 구하기 위하여

$m_{1i} = m_{2i} = k_{1i} = k_{2i} = 1$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ )로 두고 식 (7)에 대입하여  $t$ 에 대하여 정리하면 다음과 같다.

$$t^* = \sqrt{\frac{2 \left[ A_R + \sum_{i=1}^n \{ A_{M_i} + a_{M_i} + A_{S_i} + a_{S_i} \} \right]}{\sum_{i=1}^n D_i \left( H_i + H_{M_i} D_i / P_{M_i} + h_i D_i / P_{M_i} + h_i D_i / P_{S_i} + h_s D_i / P_{S_i} \right)}}$$

$m_{1i} = m_{2i} = k_{2i} = 1$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ )로 두고 식 (8)을 이용하여  $\bar{k}_1$ 의 값을 계산한다.

주어진  $t$ 와  $\bar{k}_1$ 으로 식 (9)를 이용하여  $\bar{m}_1$ 의 초기치를 계산한다.

$m_{2i} = 1 (i = 1, 2, \dots, n)$ 로 두고 식 (10)을 이용하여  $\bar{k}_2$ 의 초기치를 계산한다.

주어진  $\bar{k}_1$ 와  $\bar{k}_2$ 으로 식 (11)를 이용하여  $\bar{m}_2$ 의 초기치를 계산한다.

(단계 2) 주어진  $\bar{m}_1, \bar{m}_2, \bar{k}_1, \bar{k}_2$ 으로 식 (7)에서  $t$ 값을 계산한다.

(단계 3) 주어진  $t$  및  $\bar{m}_1, \bar{m}_2, \bar{k}_2$ 값으로 식 (8)에서  $\bar{k}_1$ 값을 계산한다.

(단계 4) 주어진  $t$  및  $\bar{k}_1$ 값으로 식 (9)에서  $\bar{m}_1$ 값을 계산한다.

(단계 5) 주어진  $t$  및  $\bar{k}_1$  및  $\bar{m}_2$ 값으로 식 (10)에서  $\bar{k}_2$ 값을 계산한다.

(단계 6) 주어진  $t$  및  $\bar{k}_1, \bar{k}_2$  값으로 식 (11)에서  $\bar{m}_2$ 값을 계산한다.

(단계 7)  $t, \bar{k}_1, \bar{k}_2, \bar{m}_1, \bar{m}_2$ 값이 수렴할 때까지 (단계 2)에서 (단계 6)과정을 반복한다. 해가 수렴하면  $\bar{k}_1, \bar{k}_2, \bar{m}_1, \bar{m}_2$ 를 정수로 반올림하며, 이때의 통합총비용은 식 (6)을 이용하여 계산한다.

위의 반복해법에서는 선행연구[9, 25]에서처럼 [먼저  $\bar{k}_1, \bar{k}_2, \bar{m}_1, \bar{m}_2$ 의 실수해를 계산한 후 실행가능한 정수해를 반올림하며 계산하였다.

### 4. 통합재고모형의 예제

통합재고모형의 유용성을 보이기 위하여 선행연구[9]에서 사용한 예제의 수치를 본 연구에 맞게 수정하여 통합재고정책의 해법을 보여주기로 하겠다.

#### 4.1 수치 예 1-단일완제품인 경우

수치 예 1의 입력자료는 아래와 같다.

- 제조업자의 생산율  $P_M = 60,000$ 개/년,
- 공급업자의 생산율  $P_{S1} = 70,000$ 개/년,
- 완제품의 연간수요  $D_1 = 40,000$ 개/년,
- 소매업자의 완제품 1회 발주비용  $A_R = \$150$ /회,
- 소매업자의 완제품 재고유지비용  $H_1 = \$40$ /개/년,
- 제조업자 완제품 1회 생산준비비용  $A_M = \$900$ /회,

- 제조업자 완제품 재고유지비용  $H_M = \$30$ /개/년,
- 제조업자의 원자재 1회 발주비용  $a_M = \$300$ /회,
- 제조업자 원자재 재고유지비용  $h_1 = \$10$ /개/년,  
(= 공급업자의 완제품  $i$ 의 단위당 연간 재고유지비용)
- 공급업자의 완제품 1회 생산준비비용  $A_{S1} = \$200$ /회,
- 공급업자의 원자재 1회 발주비용  $a_{S1} = \$150$ /회,
- 공급업자 원자재 재고유지비용  $h_{S1} = \$10$ /개/년.

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

<Table 1> Calculation Results for the Numerical Example 1

No	t	$k_1$	$m_1$	$k_2$	$m_2$	JTC
1	0.03299	1.592	1.450	1.000	5.000	\$102027.89
2	0.03113	2.429	2.087	1.237	2.582	92930.82
3	0.02217	3.176	1.944	1.000	1.944	84824.18
4	0.01850	3.820	1.951	1.000	1.951	82495.87
5	0.01632	4.337	1.954	1.000	1.954	81398.84
6	0.01496	4.735	1.955	1.000	1.955	80874.38
7	0.01408	5.032	1.956	1.000	1.956	80621.05
8	0.01350	5.249	1.956	1.000	1.956	80498.75
9	0.01311	5.405	1.956	1.000	1.956	80439.29
10	0.01284	5.519	1.956	1.000	1.956	80409.88
11	0.01266	5.597	1.956	1.000	1.956	80395.98
12	0.01253	5.656	1.956	1.000	1.956	80388.91
13	0.01244	5.696	1.956	1.000	1.956	80385.52
14	0.01238	5.724	1.956	1.000	1.956	80383.96
15	0.01234	5.743	1.956	1.000	1.956	80383.23
16	0.01231	5.757	1.956	1.000	1.956	80382.86
17	0.01229	5.766	1.956	1.000	1.956	80382.69
18	0.01228	5.771	1.956	1.000	1.956	80382.63
19	0.01227	5.775	1.956	1.000	1.956	80382.58
20	0.01226	5.780	1.956	1.000	1.956	80382.55
21	0.01226	5.780	1.956	1.000	1.956	80382.55

<Table 1>에서 알 수 있듯이 반복적 해법을 수치 예에 적용하여 모두 21번을 반복하면 해가 수렴하는 것을 알 수 있다. 의사결정변수인  $k_1$ 과  $m_1, k_2$ 와  $m_2$ 가 정수여야 하므로 수렴한 해를 반올림하면  $k_1^* = 6, m_1^* = 2, k_2^* = 1, m_2^* = 2$ 이며, 이를 식 (7)에 대입하면  $t^* = 0.01202$ 가 된다. 이때의 통합총비용은 식 (6)을 이용하면 \$80391.90이다.

앞에서 제시한 반복적 해법은 발견적 해법(heuristic method)이므로, 이 방법으로 구한 해가 최적해라는 보장은 전혀 없으며, 또한 이 해법으로 구한 해가 얼마나 좋은 성과를 나타내며 최적해에 근접한지 알지 못한다. 따라서 이 반복적 해법이 최적해에 근접한 또는 최적해와 동일한 해라는 것을 보여주기 위해서는 일단 수치예의 최적해를 알 수 있어야 한다. 앞에서 제시된 수학적 모형의 복잡성으로 최적해를 구하는 일반적 해법을 도출하기는 어렵지만, 의사결정변수인  $k_1, m_1, k_2$ 와  $m_2$ 가 정수라는 특성을 이용하여  $k_1, m_1, k_2$ 와  $m_2$ 의 모든 정수조합을 나열하고 각각에 대하여 최적의 공동발주주기  $t$ 를 식 (7)으로 구할 수 있다. 그리고 이때의

공급사슬 전체의 통합총비용은 식 (6)으로 계산할 수 있다. 나열된 통합총비용 중에서 통합총비용이 최소가 되는 해를 탐색하면 이것이 최적해가 되며, 이 최적해를 앞에서 반복적 해법으로 구한 해와 통합총비용 면에서 비교할 수 있다. 수치 예에서 양의 정수 중 최적  $m_1$ 과  $k_1$ 의 나열해의 대상이 되는 값으로  $k_1 = 5, 6, 7, m_1 = 1, 2, 3, k_2 = 1, 2, m_2 = 1, 2, 3$ 으로 좁히면 총 54가지의 해가 나열되며 54가지에 대하여 공동발주주기  $t$ 를 구한 후 이 때의 통합총비용을 계산하였다. 이 54가지 중에서 일부의 해가 <Table 2>에 나와 있다. 통합총비용을 최소화하는 최적해를 구한 결과 통합총비용은 \$80391.90가 나왔다. 즉, 나열해에 의해 발견한 최적해는 반복적 해법으로 구한 해와 정확히 일치하였다.

단일 완제품의 예제에 이용된 반복적 해법은 비교적 손쉽게 해를 구하면서도 통합총비용 면에서 최적해와 동일하다는 것을 보여 주고 있다. 복수의 완제품인 경우에는 모든 해를 나열하는 방법으로 최적해를 탐색하는 것은 계산량이 매우 많아지므로 쉬운 일이 아니며 따라서 반복적 해법이 유용함을 알 수 있다.

4.2 수치 예 2-복수완제품인 경우

수치 예 2에서는 복수의 완제품인 경우로 완제품의 품목 수가 2개인 경우를 다루기로 하자. 소매업자의 공동발주 및 운송비용은 1회당  $A_R = \$400$ /회를 가정하기로 하자. 나머지의 입력자료는 아래의 <Table 3>에 있는 자료를 이용하자.

<Table 2> Calculation Results of Enumeration for the Numerical Example 1

No	$k_1$	$m_1$	$k_2$	$m_2$	t	JTC
1	5	1	1	1	0.01099	\$83722.90
2	5	1	1	2	0.01179	83106.36
3	5	1	1	3	0.01232	84447.79
.	.	.	.	.	...	...
25	6	2	1	1	0.01115	82201.84
26	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>0.01202</b>	<b>80391.90</b>
27	6	2	1	3	0.01255	81023.22
.	.	.	.	.	...	...
52	7	3	2	1	0.00906	95413.89
53	7	3	2	2	0.00996	88951.57
54	7	3	2	3	0.01039	87292.61

<Table 3> Data for the Numerical Example 2

Data	1	2
$P_{Mf}$	40000	20000
$P_{Sf}$	30000	15000
$D_i$	20000	10000
$H_i$ (\$)	40	20
$A_{Mf}$ (\$)	1000	800
$H_{Mf}$ (\$)	30	10
$a_{Mf}$ (\$)	300	400
$h_i$ (\$)	20	8
$A_{Sf}$ (\$)	200	250
$a_{Sf}$ (\$)	120	200
$h_{Sf}$ (\$)	5	7

<Table 4> Calculation Results of Iteration Method for the Numerical Example 2

No	t	$k_{11}$	$m_{11}$	$k_{21}$	$m_{21}$	$k_{12}$	$m_{12}$	$k_{22}$	$m_{22}$	JTC
1	0.05899	1.057	1.859	1.000	1.039	2.130	1.835	1.000	1.357	\$106967.90
2	0.05992	1.340	2.394	1.000	1.338	2.771	2.425	1.000	1.793	103828.24
3	0.05502	1.648	2.703	1.000	1.511	3.532	2.838	1.000	2.099	101070.87
4	0.04955	1.939	2.864	1.000	1.601	4.289	3.104	1.000	2.295	98895.53
5	0.04505	2.193	2.945	1.000	1.647	4.964	3.266	1.000	2.415	97383.62
6	0.04168	2.403	2.986	1.000	1.669	5.524	3.363	1.000	2.487	96396.63
7	0.03923	2.570	3.006	1.000	1.680	5.968	3.420	1.000	2.529	95765.09
8	0.03748	2.698	3.015	1.000	1.685	6.306	3.452	1.000	2.553	95364.43
9	0.03624	2.795	3.020	1.000	1.688	6.557	3.471	1.000	2.567	95109.06
10	0.03536	2.866	3.021	1.000	1.689	6.741	3.481	1.000	2.575	94943.58
11	0.03473	2.919	3.022	1.000	1.690	6.875	3.487	1.000	2.579	94833.73
12	0.03429	2.957	3.023	1.000	1.690	6.970	3.491	1.000	2.582	94761.51
13	0.03397	2.985	3.023	1.000	1.690	7.040	3.493	1.000	2.583	94711.39
14	0.03375	3.005	3.024	1.000	1.690	7.088	3.494	1.000	2.584	94678.14
15	0.03359	3.019	3.023	1.000	1.690	7.123	3.495	1.000	2.584	94654.60
16	0.03348	3.029	3.023	1.000	1.690	7.147	3.495	1.000	2.585	94638.72
17	0.03340	3.036	3.023	1.000	1.690	7.165	3.495	1.000	2.585	94627.34
18	0.03334	3.042	3.024	1.000	1.690	7.178	3.495	1.000	2.585	94618.89
19	0.03330	3.046	3.024	1.000	1.691	7.186	3.495	1.000	2.585	94613.30
20	0.03327	3.049	3.024	1.000	1.691	7.193	3.495	1.000	2.585	94609.13
21	0.03324	3.051	3.024	1.000	1.690	7.199	3.495	1.000	2.585	94604.98
22	0.03323	3.052	3.024	1.000	1.690	7.202	3.496	1.000	2.585	94603.60
23	0.03322	3.053	3.024	1.000	1.690	7.204	3.495	1.000	2.585	94602.23
24	0.03321	3.054	3.024	1.000	1.690	7.206	3.495	1.000	2.585	94600.85
25	0.03320	3.055	3.024	1.000	1.690	7.208	3.495	1.000	2.585	94599.48
26	0.03320	3.055	3.024	1.000	1.690	7.208	3.495	1.000	2.585	94599.48
	0.03320	3.000	3.000	1.000	2.000	7.000	3.000	1.000	3.000	94802.30

수치 예 1과 동일한 방법으로 반복적 해법을 적용한 계산결과는 <Table 4>에 정리되어 있으며 모두 26번 반복하면 해가 수렴하는 것을 알 수 있다. 의사결정변수인  $\bar{k}_1, \bar{k}_2, \bar{m}_1$  및  $\bar{m}_2$ 가 정수이어야 하므로 각각을 반올림하면  $k_{11} = 3, m_{11} = 3, k_{21} = 1, m_{21} = 2, k_{12} = 7, m_{12} = 3, k_{22} = 1, m_{22} = 3$ 이 된다. 이때의 통합총비용은 \$94802.30이다.

### 5. 통합재고모형의 타당성 검토

앞 장에서는 소매업자, 제조업자 및 공급업자로 구성된 공급사슬의 통합재고모형인 다품목 통합발주정책에 대하여 알아보았다. 이 장에서는 소매업자, 제조업자 및 공급업자가 완제품 품목별로 나누어서 독립발주를 했을 때의 각 품목별 통합총비용을 도출하고 이를 합산하여 앞 장에서의 다품목 통합재고모형의 통합총비용과 비교하여 과연 어떤 정책이 보다 효과적인지 알아보도록 하겠다. 또한 공급사슬에 속한 소매업자, 제조업자, 공급업자가 모두 동일한 주기로 발주하는 경우의 통합총비용과 비교도 하고자 한다.

#### 5.1 품목별로 독립발주정책을 정하는 경우

이 경우는 각 완제품 품목별로 독립적으로 발주하는 경우이다. 이러한 방법은 완제품 품목 간에 발주를 공동발주주기로 통합시키지 않는 경우로 각 품목별 발주시기와 운송시기가 다르므로 소매업자의 발주비용이 과다하게 발생할 수 있다. 각 완제품 품목별로 통합총비용을 계산한 후 이들 비용을 합산하면 전체 총비용을 계산할 수 있다. 아래의 <Table 5>는 수치 예 2에 대하여 완제품 품목별로 개별해를 구한 후 각 품목별 총비용을 계산한 후 이를 합산하여 전체 통합총비용을 계산하였다.

<Table 5> Calculation Results of Individual Ordering Policy for the Numerical Example 2

No	t	$k_1$	$m_1$	$k_2$	$m_2$	JTC
1	0.03326	3	3	1	2	\$70,955.39
2	0.06024	4	3	1	3	33,199.73
Total						\$104,155.12

#### 5.2 모두 동일한 주기로 발주하는 경우

각 완제품이나 원자재나 구분 없이 모든 품목을 통합하여 공동발주주기 t기간마다 동시에 발주하는 경우이다. 이 방법은 수요가 많은 품목이든 적은 품목이든, 혹은 단

위기간 당 재고유지비용이 높은 품목이든 낮은 품목이든 모든 품목의 발주를 통합시키기 때문에 실제로 발주빈도가 낮을 수 있는 품목도 동시에 발주를 하게 된다.

공급사슬전체의 통합총비용을 나타내는 식에서 발주에 관한 모든 의사결정변수의 값( $\bar{m}_1, \bar{m}_2, \bar{k}_1, \bar{k}_2$ )을 전부 1로 둔 후 통합총비용을 t에 대하여 미분하여 0으로 두면 아래와 같다.

$$t^* = \sqrt{\frac{2 \left[ A_R + \sum_{i=1}^n \{ A_{M_i} + a_{M_i} + A_{S_i} + a_{S_i} \} \right]}{\sum_{i=1}^n D_i (H_i + H_{M_i} D_i / P_{M_i} + h_{M_i} D_i / P_{M_i} + H_{S_i} D_i / P_{S_i} + h_{S_i} D_i / P_{S_i})}}$$

수치 예 2에 대하여 공동발주주기 t를 구하면  $t = 0.05899$ 이며 이때의 통합총비용은 \$119,349.35이다.

### 5.3 재고정책간의 비교

지금까지 제시한 여러 가지 발주정책을 통합총비용 면에서 비교하여 표로 정리하면 <Table 6>과 같다. 본 연구에서 제시된 통합재고모형을 사용하면 공급사슬 전체의 총 비용이 최적화되기 때문에 완제품 품목별 독립발주정책이나 모든 품목을 동일발주주기로 주문하는 경우의 통합총비용보다 좋은 성과를 보여 주고 있다. 소매상의 공동발주비용이 클수록 공동발주를 이용하는 통합재고모형이 독립발주정책(Independent ordering)에 비교하여 통합총비용 면에서 유리하며, 동일주기로 발주하는 경우(Equal cycle time policy)는 소매상에서 공동발주비용은 절감가능하나 제조업자나 공급업자의 발주빈도를 전부 동일한 t기간에 맞추어서 제조업자나 공급업자의 총 비용은 증가하여 통합총비용이 증가하게 된다.

<Table 6> Comparison of the Joint Total Cost for the Different Ordering Policies

Policies	Cost	Joint total cost	% increase of joint total cost
Integrated model		\$94,802.30	-
Independent ordering		104,155.12	9.87(%)
Equal cycle time policy		119,349.35	25.89(%)

## 6. 결 론

본 연구에서는 3단계 공급사슬에 관한 통합재고모형에 관한 연구로 공급업자가 원자재를 구매하여 완제품을 제조한 후에 제조업자에게 공급하고 제조업자는 이 공급업



자에게 원자재를 구매하여 여러 완제품을 제조한 후 여러 소매상에 공동발주주기로 발송하는 공급업자-제조업자-소매업자로 구성된 공급사슬에서의 통합 재고모형을 제시하였다. 소매업자, 제조업자 및 공급업자로 구성된 공급사슬의 원자재 및 완제품의 발주 및 생산량 및 공동발주주기를 결정할 수 있는 반복적 해법을 제시하였다.

기존의 대부분의 연구결과들이 2단계 공급사슬에 관한 연구이거나 단일품목에 대한 연구인 경우이었으며 본 연구는 이런 제약을 해결하였다는데 의의가 있다. 통합 재고 모형의 분석은 마이크로소프트 엑셀 같은 스프레드시트를 이용하여 제시된 반복적 해법으로 쉽게 계산할 수 있었다. 본 연구에서 제시한 반복적 해법이 최종해로 수렴을 한다는 것을 입증하지는 못하였지만, 검토한 모든 수치 예에서 최종해로 수렴함을 알 수 있었다.

본 연구는 공급업자-제조업자-소매업자로 구성된 3단계 공급사슬의 통합재고정책을 수립할 수 있는 모형을 제시하였으나 몇 가지 한계점을 가지고 있다.

본 연구에서는 모형의 복잡성으로 각 완제품의 제조에 필요한 원자재는 한가지라는 가정을 두었으나 다원자재에 대한 연구가 필요하며, 또한 모형수립 시 수요가 확정적인 경우로 제한을 두고 있으나 확률적 모형에 관한 연구가 필요하며, 관심 있는 연구자들의 추후의 연구과제이다.

추후 본 연구와 관련한 연구과제로는 본 연구에서 사용한 발견적 해법(Heuristic method)의 개선을 위하여 유전알고리즘(Genetic algorithms)의 적용에 관한 것이다. 공급업자, 소매상 및 도매상을 포함한 3단계 공급사슬에서 각 지점 간에 발송량을 결정하는 수학적 모형을 수립하여 이를 유전알고리즘으로 해결한 연구로는 Farahani 및 Elahipanah[14]의 연구가 있다. 또한 공급사슬에 관한 유전알고리즘을 적용한 연구로는 Cha, Moon 및 Park[13]의 연구가 있으며, 이들은 단일창고, 다소매상의 2단계 공급사슬에서 다품목에 대한 수학적 모형을 수립하였고, 유전알고리즘을 이용하여 해를 찾을 수 있음을 보이고 있다. 그들의 연구에서의 나온 결과로는 유전알고리즘이 발견적 해법에 비교하여 총 비용의 최소화 측면에서 더 나은 결과를 주지는 못하지만, 자원의 제약이 있는 경우에 쉽게 확장하여 좋은 성과를 줄 수 있다는 것이다. 유전알고리즘을 본 연구에서 수행한 3단계 공급사슬에서 다원제품의 통합적 재고 모형에서 더 좋은 해를 쉽게 구하는 방법에 대한 연구를 시도하는 것은 미래에 의미 있는 연구가 될 것으로 판단한다.

## Acknowledgement

This research was financially supported by Hansung University.

## References

- [1] Kim, D.H., Single Manufacturer and Multiple Retailers Supply Chain Model. *Journal of the Korean Institute of Plant Engineering*, 2012, Vol. 17, p 5-16.
- [2] Kim, D.H., Generalized Single Manufacturer and Multiple Retailers Supply Chain Model in JIT Purchasing. *J. Soc., Korea Ind., Syst., Eng.*, 2011, Vol. 34, p 25-34.
- [3] Kim, D.H. and Chung, S.H., A Study on Competitiveness of Korean Components Manufacturers under the Types of Innovation Strategies. *Journal of the Korean Institute of Ind.. Engineering*, 1998, Vol. 11, p 164-174.
- [4] Kim, D.H. and Kim S.B., JIT Purchasing of Korean Manufacturers and It's Impact on Purchasing Performances. *J. Soc. Korea Ind., Syst., Eng.*, 2003, Vol. 29, p 55-61.
- [5] Kim, D.H. and Kim, Y.C., An Integrated Inventory Model for Multi-Item in Just-In-Time Purchasing. *J. Soc., Korea Ind., Syst., Eng.*, 2002, Vol. 25, p 49-58.
- [6] Kim J.I., Nam, I.H., Park, S.Y., and Kim, S.Y., *Understanding of Logistics and Supply Chain Management*, Pakyoungsa, 2009, p 5-6.
- [7] Kwon, O.K., *Supply Chain Management*, Pakyoungsa, 2010, p 7-12.
- [8] Jin, H.Y., *Supply Chain Management*, Chungnam, 2011, p 32-33.
- [9] 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*, 2007, Vol. 108, p 271-280.
- [10] Ben-Daya, M., As'ad, R., and Seliaman, M., An Integrated Production Inventory Model with Raw Material Replenishment Considerations in a Three Layer Supply Chain. *International Journal of Production Economics*, 2013, Vol. 143, p 53-61.
- [11] Ben-Daya, M. and Al-Nassar, A., An Integrated Inventory Production System in a Three Layer Supply Chain. *Production Panning and Control*, 2008, Vol. 19, p 97-104.
- [12] Cardenas-Barron, L.E., Teng, J.T., Trevino-Garza, G., and Wee, H.M., An Improved Algorithm and Solution on an Integrated Production-Inventory Model in a Three-Layer Supply Chain. *International Journal of Production Economics*, 2012, Vol. 136, p 384-388.
- [13] Cha, B.C., Moon, I.K., and Park, J.H., The Joint Replenishment and Delivery Scheduling of the One-Warehouse, N-Retailer System. *Transportation Research, Part*

- E, 2008, Vol. 44, No. 5, p 720-730.
- [14] Farahani, R.Z. and Elahipanah, M., A Genetic Algorithm to Optimize the Total Cost and Service Level for Just-In-Time Distribution. *International Journal of Production Economics*, 2008, Vol. 111, p 229-243.
- [15] Fazel, F., A Comparative Analysis of Inventory Costs of JIT and EOQ Purchasing. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 1997, Vol. 27, p 496-504.
- [16] Goyal, S.K., An Integrated Inventory Model for a Single Supplier-Single Customer Problem. *International Journal of Production Research*, 1976, Vol. 15, p 107-111.
- [17] Ha, D. and Kim, S.L., Implementation of JIT Purchasing : an Integrated Approach. *Production Planning and Control*, 1997, Vol. 8, p 152-157.
- [18] Kim, S.H. and Chandra, J., An Integrated Inventory Model for a Single Product and its Raw Materials. *International Journal of Production Research*, 1987, Vol. 25, p 627-634.
- [19] Kim, S.L. and Ha, D., A JIT Lot-splitting Model for Supply Chain Management : Enhancing Buyer-supplier Linkage. *International Journal of Production Economics*, 2003, Vol. 86, p 1-10.
- [20] Lee, W., A Joint Lot Size Model for Raw Material Ordering, Manufacturing Setup, and Finished Goods Delivering. *OMEGA*, 2005, Vol. 33, p 163-174.
- [21] Miller, P.A. and Kelle, P., Quantitative Support for Buyer-supplier Negotiation in Just-In-Time Purchasing. *International Journal of Purchasing and Material Management*, 1998, p 25-29.
- [22] Pan, A.C. and Liao, C., An Inventory Model under Just-In-Time Purchasing Agreements. *Production and Inventory Management Journal-first quarter*, 1989, p 49-52.
- [23] Sajadieh, M.S., Fallahnezhad, M.S., and Khosravi, M., A Joint Optimal Policy for a Multiple-Suppliers Multiple-Manufacturers Multiple-Retailer System. *International Journal of Production Research*, 2013, Vol. 146, p 738-744.
- [24] Sarker, B.R., Rochanaluk, R., Yi, H., and Egbelu, P.J., An Operational Policy for a Three-Stage Distributive Supply Chain System with Retailer Backorders. *International Journal of Production Research*, 2014, Vol. 156, p 332-345.
- [25] Silver, E.A., Pyke, D.F., and Peterson, R., *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*. John Wiley and Sons, Edition, 1998. p 453-457.
- [26] 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*, 2011, Vol. 217, p 5972-5977.
- [27] 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*, 2001, Vol. 73, p 203-215.
- [28] Yan, C., Banerjee, A., and Yang, L., An Integrated Production-distribution Model for a Deteriorating Inventory Item. *International Journal of Production Economics*, 2011, Vol. 133, p 228-232.
- [29] Wang, L., He, J., Wu, D., and Zeng, Y., A Novel Differential Algorithm for Joint Replenishment Problem. *International Journal of Production Research*, 2012, Vol. 135, No, 1, p 190-198.