

# An Integrated Production and Inventory Model in a Single-Vendor Multi-Buyer Supply Chain

Suk Hwa Chang<sup>†</sup>

Department of Industrial and Management Engineering, Incheon National University

## 단일 공급자 다수 구매자 공급체인에서 통합 생산 및 재고 모형

장 석 화<sup>†</sup>

인천대학교 산업경영공학과

This paper is to analyze an integrated production and inventory model in a single-vendor multi-buyer supply chain. The vendor is defined as the manufacturer and the buyers as the retailers. The product that the manufacturer produces is supplied to the retailers with constant periodic time interval. The production rate of the manufacturer is constant for the time. The demand of the retailers is constant for the time. The cycle time of the vendor is defined as the elapsed time from the start of the production to the start of the next production, while the cycle times of the buyer as the elapsed time between the adjacent supply times from the vendor to the buyer. The cycle times of the vendor and the buyers that minimizes the total cost in a supply chain are analyzed. The cost factors are the production setup cost and the inventory holding cost of the manufacturer, the ordering cost and the inventory holding cost of the retailers. The cycle time of the vendor is investigated through the cycle time that satisfies economic production quantity with the production setup cost and the inventory holding cost of the manufacturer. An integrated production and inventory model is formulated, and an algorithm is developed. An numerical example is presented to explain the algorithm. The solution of the algorithm for the numerical examples is compared with that of genetic algorithm. Numerical example shows that the vendor and the buyers can save cost by integrated decision making.

**Keywords :** Single-Vendor Multi-Buyers Supply Chain, The Cycle Time of the Manufacturer, Minimization of the Cost

### 1. 서 언

제조업체에서 생산된 완제품은 대리점을 경유하여 최종적으로 고객에게 전달된다. 단일 제조업체와 다수의 대리점으로 이루어진 단단계 물류시스템에서 유통재고문제를 다룬다. 제조업체는 공급자로, 대리점은 구매자로 정의한다. 대리점은 고객의 수요를 위한 재고보충을 제조업체를 통하여 한다. 제조업체는 대리점 공급에 필요한 제품

의 재고보충을 생산을 통하여 한다. 제조업체의 제품 생산과 대리점의 수요 및 재고보충은 시간에 대해 제조업체와 대리점에서 재고량의 변화와 비용을 발생시킨다. 제조업체의 생산과 대리점에 재고보충에 대한 의사결정은 전체 물류시스템을 최적화하도록 이루어져야 한다. 물류시스템의 각 참여자가 독립적으로 의사결정을 하면 전체 물류시스템을 최적화할 수 없다. 제조업체의 생산 계획과 대리점의 발주계획은 전체 물류시스템을 최적화하도록 정한다.

제조업체주기는 제조업체가 제품생산을 시작한 시점에서 인접한 다음 생산을 시작한 시점까지의 경과시간으로 정의하고, 대리점주기는 대리점이 제조업체에게 제품

발주시점부터 다음 발주시점까지의 경과시간으로 정의한다. 대리점주기로 제조업자주기 동안에 대리점의 주문횟수를 구할 수 있다. 제조업자주기는 대리점주기의 정수 곱으로 하여 다룬다. 제조업자의 생산과 대리점의 주문으로 발생하는 비용을 최소화하는 제조업자주기와 제조업자주기 동안에 대리점으로 공급횟수(대리점의 주문횟수)를 구한다. 비용요소는 제조업자의 생산착수비용과 재고유지비용, 대리점의 발주비용과 재고유지비용 등이 있다.

Banerjee et al.[6]은 확정적이고, 다단계 공급망 환경에서 단일제품과 관련하여 원료조달, 생산과 유통 재고를 위한 보충 의사결정을 조정하는 수리적 모형을 다루었다. 모든 대리점에 동일한 공급주기를 적용하였고, 모든 원료에 동일한 조달주기를 적용하였다. Goyal[12]은 통합재고 모형의 개념을 주장하였다. 여러 연구자들에 의해 통합재고모형이 강화되었고, 구매자와 공급자 협력이 포함된 여러 문제들이 다루어졌다[2, 3, 16]. 초기 연구들은 단일 구매자와 단일 공급자에 대한 구매자와 공급자의 협력에 바탕을 둔 공동 몫 크기 결정에 초점을 두고 있다. 후의 연구에서는 몫 분할기법 또는 다수의 구매자와 다수의 공급자를 포함하는 더 복잡한 구조를 연구함으로써 통합의 개념을 발전시켰다[1, 4, 5, 10, 11, 13, 14, 15, 17].

Chan and Kingsman[7]은 단일 공급자와 다수 구매자로 이루어진 공급망에서 공급자에서 대리점으로 공급주기를 대리점별로 다르게 적용할 경우에 공급자의 생산주기는 공급자에서 대리점으로 공급주기의 정수배로 하여 재고유통문제를 다루었다. Chan et al.[8]은 단일 공급자와 다수 구매자로 이루어진 공급체인에서 상호 협력하는 데 있어 자연 지불방법을 연구하였다.

본 논문은 단일 제조업자와 다수 대리점으로 이루어진 공급체인에서 비용을 최소화하는 제조업자주기와 제조업자주기 동안에 제조업자에서 대리점으로 공급횟수를 구하는 내용을 다루고 있다. 대리점주기는 대리점별로 다르게 허용하였다. 최소비용을 나타내는 제조업자주기와 제조업자에서 대리점으로 공급횟수를 구하는 방법을 제시하고, 수치적 예제에 대해 여기서 제시한 방법의 결과와 유전알고리즘을 이용한 방법의 결과를 비교하였다. 제 2장에서는 수리적 모형과 해를 구하는 방법을 제시하였다. 제 3장에서는 수치적 예제를 제시하여 알고리즘을 보여주었다.

## 2. 단일 공급자와 다수 구매자 공급체인의 최적 공급자주기

단일 제조업자와 다수 대리점으로 이루어진 제품의 공

급체인에서 제조업자에서 생산된 제품은 대리점을 경유하여 고객에게 전달된다. 제조업자와 대리점으로 이루어진 공급체인에서 발생하는 재고 및 유통문제를 생각한다. 제조업자는 일정한 시간 간격으로 일정한 기간 동안에 제품을 생산하여 재고로 유지하면서 대리점에 공급하고, 그리고 대리점은 고객의 수요를 충족시키기 위한 재고보충을 제조업자로부터 주기적으로 일정한 몫 크기로 공급받는다. 대리점의 수요는 시간에 대해 일정하고, 단위시간당 제조업자의 제품 생산량도 일정하게 이루어진다. 비용요소는 대리점에서는 발주비용과 재고유지비용이 있고, 제조업자에서는 생산착수비용과 재고유지비용이 있다.

제조업자주기와 제조업자주기 동안에 대리점으로 공급횟수(대리점의 발주횟수)로 제조업자와 대리점 사이의 관계를 나타낸다. 전체 물류시스템에서 발생하는 비용을 최소화하도록 하는 제조업자주기와 제조업자주기 동안에 각 대리점의 발주횟수 등으로 모형을 나타낸다.

대리점의 발주주기를 대리점별로 달리하여 의사결정을 하는 것과 모든 대리점에 대해 동일하게 하여 의사결정을 하는 것이 있다. 여기서는 대리점의 발주주기를 대리점별로 다르게 하여 다룬다.

문제를 수리적 모형으로 나타내기 위한 부호는 다음과 같이 정의된다.

$i$  = 대리점을 나타내는 첨자

$N$  = 대리점의 수

$d_i$  = 단위기간 동안 대리점  $i$ 의 수요량

$D$  = 단위기간 동안 모든 대리점의 수요량,  $D = \sum_{i=1}^N d_i$

$P$  = 단위기간 동안 제조업자의 생산량

$A_i$  = 대리점  $i$ 의 발주비용

$h_i$  = 단위기간 동안 제품단위당 대리점  $i$ 의 재고유지비용

$A_m$  = 제조업자의 생산착수비용

$h_m$  = 단위기간 동안 제품단위당 제조업자의 재고유지비용

$n_i$  = 제조업자주기 동안 제조업자에서 대리점  $i$ 로 공급횟수

$q_i$  = 대리점  $i$ 의 발주량

$T$  = 제조업자주기

문제와 관련된 가정은 다음과 같다.

- ① 공급체인은 하나의 제조업자와 다수의 대리점으로 이루어진다.
- ② 대리점의 수요는 확정적이고, 시간에 대해 일정하고 알려져 있다.
- ③ 대리점은 제품을 제조업자로부터 대리점별로 일정한

주기로 공급받는다.

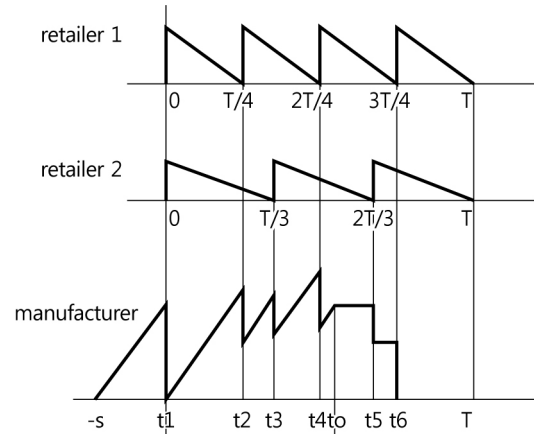
- ④ 대리점은 발주와 동시에 제조업자로부터 제품을 공급 받는다.
- ⑤ 제조업자와 대리점에서의 재고부족은 발생하지 않는다.
- ⑥ 제조업자주기는 대리점주기의 정수 곱이다.
- ⑦ 단위기간 동안에 제조업자의 생산율은 일정하다.

단일 제조업자와 다수 대리점으로 이루어진 공급체인에서 제조업자의 제품 생산, 제조업자에서 대리점으로 제품 공급과 대리점의 수요는 시간에 대해 제조업자와 대리점의 재고량의 변화를 야기한다. <Figure 1>은 시간의 흐름에 따라 대리점의 수요와 재고보충에 따른 대리점에서 재고량의 변화, 제조업자의 생산과 대리점에의 재고 보충에 따른 제조업자에서 재고량의 변화를 나타내고 있다. 제조업자의 재고량의 변화는 모든 대리점을 통합적으로 고려하여 나타내진 것이다. <Figure 1>에서 제조업자의 제조업자주기는  $T$ , 제조업자의 생산기간은  $[-s, t_0]$ 이고, 그리고 제조업자에서 대리점 1로 공급주기인 대리점주기는  $T/4$ , 대리점 2로 공급주기인 대리점주기는  $T/3$ 이다. 제조업자는 시점  $t_1, t_2, \dots, t_6$ 에서 대리점으로 재고보충을 하지만, 보충시점과 공급량은 불규칙적이다.

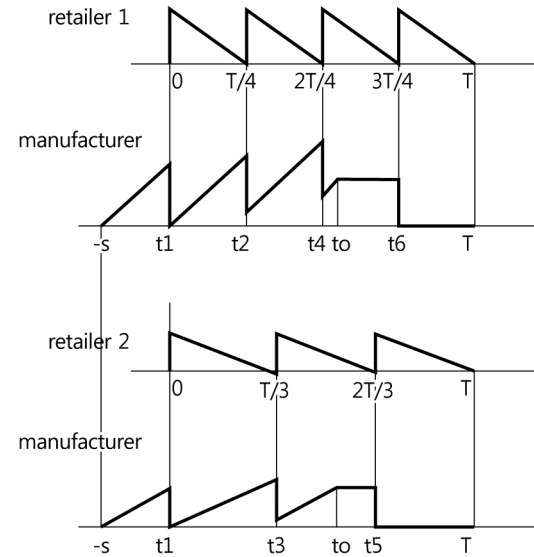
제조업자와 개별 대리점 사이에 재고량을 분석한다. <Figure 2>는 제조업자의 생산과 개별 대리점의 수요와 재고보충에 따른 재고량 변화를 나타낸 것이다. <Figure 1>에서 모든 대리점으로 재고보충을 통합적으로 고려하여 제조업자주기  $T$  동안에 제조업자의 생산기간은  $[-s, t_0]$ 이다. <Figure 2>는 대리점 1과 2를 위한 재고보충을 위해 제조업자의 생산기간은  $[-s, t_0]$ 로 동일하게 하고, 제조업자의 생산율은 대리점 1과 대리점 2의 수요비율을 전체 대리점의 수요비율로 나눈 값으로 하여, 대리점 1을 위한 생산율과 대리점 2를 위한 생산율로 따로 고려하여 나타낸 것이다. 전체 대리점을 위한 제조업자의 평균재고량은 개별 대리점을 위한 제조업자의 평균재고량의 합이 될 것이다.

두 개의 대리점의 예를 일반적인  $N$ 개의 대리점으로 확장하면, 제조업자주기  $T$  동안에 제조업자에서 대리점  $i$  ( $i=1, \dots, N$ )에 동일한 주기로  $n_i$ 회 공급하면, 대리점  $i$ 의 대리점주기는  $T/n_i$ 가 된다. 제조업자주기  $T$  동안에 제조업자에서 대리점  $i$ 로 일정한 대리점주기로  $n_i$ 회 제품을 공급할 경우에 단위기간 동안에 대리점  $i$ 에서 발생하는 비용은 발주비용과 재고유지비용의 합으로 다음과 같다.

$$TRC_i(T, n_i) = \frac{A_i n_i}{T} + \frac{h_i d_i T}{2n_i} \quad (1)$$



<Figure 1> The Inventory of the Manufacturer and Retailers



<Figure 2> The Inventory of the Manufacturer and Each Retailer

제조업자주기  $T$  동안에 제조업자에서 대리점  $i$ 로 일정한 간격으로  $n_i$ 회 제품을 공급할 경우에 단위기간 동안에 모든 대리점에서 발생하는 비용은 발주비용과 재고유지비용의 합으로 다음과 같다.

$$TRC_r(T, n_1, \dots, n_N) = \sum_{i=1}^N \left( \frac{A_i n_i}{T} + \frac{h_i d_i T}{2n_i} \right) \quad (2)$$

제조업자에서 발생하는 비용을 구한다. 제조업자에서 발생하는 비용은 생산착수비용과 재고유지비용이 있다. 제조업자는 제조업자주기  $T$  동안에 1회 생산착수비용  $A_m$ 이 발생한다. 제조업자가 모든 대리점에 제품을 공급하기 위한 생산율에서 대리점  $i$ 에 제품을 공급하기 위한 생산율은 대리점의 전체 수요량에서 대리점  $i$ 의 수요량의 비율 만큼에 해당한다. 제조업자의 전체 생산율  $P$  중에서

대리점  $i$ 를 위한 생산율은  $(d_i/\sum_{i=1}^N d_i)P = d_iP/D$ 이 되고, 이 생산율  $d_iP/D$ 로 생산기간  $[-s, t_o]$  동안 제품을 생산하여  $T/n_i$  간격으로 대리점  $i$ 에 공급하면 대리점  $i$ 에 제품을 공급하기 위한 제조업자의 평균재고량은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & \frac{d_i T}{2n_i} \left[ (2-n_i) \frac{d_i}{(d_i/D)P} + n_i - 1 \right] \\ &= \frac{d_i T}{2n_i} \left[ (2-n_i) \frac{D}{P} + n_i - 1 \right] \end{aligned} \quad (3)$$

식 (3)을 모든 대리점에 대해 동일하게 적용하면 단위 기간 동안에 제조업자에서 발생하는 생산착수비용과 재고유지비용의 합은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} TRC_m(T, n_1, \dots, n_N) = \\ \frac{A_m}{T} + \sum_{i=1}^N \frac{h_m d_i T}{2n_i} \left[ (2-n_i) \frac{D}{P} + n_i - 1 \right] \end{aligned} \quad (4)$$

단일 제조업자와 다수 대리점으로 이루어진 물류시스템 전체에서 발생하는 비용은 대리점의 발주비용과 재고유지비용, 제조업자의 생산착수비용과 재고유지비용 등이 있다. 이러한 모든 비용의 합인 비용함수는 식 (5)와 같고, 이 비용함수를 최소화하는  $T, n_1, \dots, n_N$ 을 구한다.

$$\begin{aligned} TRC(T, n_1, \dots, n_N) = \sum_{i=1}^N \left( \frac{A_i n_i}{T} + \frac{h_i d_i T}{2n_i} \right) + \frac{A_m}{T} \\ + \sum_{i=1}^N \frac{h_m d_i T}{2n_i} \left[ (2-n_i) \frac{D}{P} + n_i - 1 \right] \end{aligned} \quad (5)$$

식 (5)의 비용함수에서  $T$ 는 실수의 값이 허용되지만  $n_i (i=1, 2, \dots, N)$ 는 정수 값만 허용된다. 실수  $T$ 와 정수  $n_1, \dots, n_N$ 을 동시에 만족시키는 해를 구하는 것은 간단하지 않다. 여기서 의사결정변수인 제조업자주기  $T$ 와 대리점으로 공급횟수  $n_1, \dots, n_N$ 은 서로 영향을 주고받는다. 의사결정요소  $T, n_1, \dots, n_N$  중에서 제조업자주기  $T$ 는 대리점으로 공급횟수  $n_1, \dots, n_N$ 이 통합되어 얻어지는 것이 될 것이다. 먼저  $T$ 가 결정되면 다른 요소들은 어렵지 않게 구할 수 있을 것이다.

비용을 최소화할 수 있는 가능한 제조업자주기의 범위를 먼저 정의하고, 정의된 범위 내에서 제조업자주기를 변화시키면서 정하고, 정한 제조업자주기에 대해 제조업자에서 대리점으로 공급횟수를 정하는 방식을 취한다. 그리고 비용을 구한다. 즉, 제조업자주기  $T$ 의 범위를 정의

하고, 정의된  $T$ 범위 내에서 이  $T$ 값을 일정한 간격으로 변화시키면서 주고,  $T$ 에 대한  $n_1, \dots, n_N$ 와 비용을 구한다. 제조업자주기  $T$ 의 범위를 정의하는 방법과 대리점으로 공급횟수  $n_1, \dots, n_N$ 을 구하는 방법은 다음에서 제시한다.

## 2.1 제조업자주기

### 2.1.1 동일한 대리점주기를 적용한 제조업자주기

대리점의 수가 많아질수록  $T$ 는 의사결정요소  $n_1, \dots, n_N$ 의 통합으로 얻어지는 효과가 커질 것이다. 모든 대리점에 대해 동일한 대리점주기를 적용하여 얻어진 결과를 바탕으로  $T$ 의 범위를 정의한다. 제조업자에서 대리점  $i$ 에 공급횟수를  $n_i = n$ 으로 하여 구한 제조업자주기를  $T_0$ 라 했을 때 비용함수를 구한다. 모든 대리점에 동일한 공급횟수로 하여 얻어지는 제조업자주기는 대리점별로 다른 공급횟수로 하여 얻어지는 제조업자주기와 큰 차이가 발생하지 않을 것이라 생각하는 것을 고려한 것이다.

제조업자주기  $T_0$  동안에 제조업자에서 모든 대리점에 공급횟수를 동일하게  $n$ 으로 할 경우에 제조업자와 대리점에서 발생하는 비용을 정의한다. 단위기간 동안에 제조업자에서 발생하는 생산착수비용과 재고유지비용, 대리점에서 발생하는 발주비용과 재고유지비용을 합한 총 비용함수는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} TRC(T_0, n) = \frac{A_r n}{T_0} + \frac{T_0 \sum_{i=1}^N h_i d_i}{2n} + \frac{A_m}{T_0} \\ + \frac{h_m D T_0}{2n} \left[ (2-n) \frac{D}{P} + n - 1 \right] \end{aligned} \quad (6)$$

여기서,  $A_r = \sum_{i=1}^N A_i$

비용함수  $TRC(T_0, n)$ 의 최솟값을 구하기 위해  $TRC(T_0, n)$ 을  $T_0, n$ 에 대해 각각 미분하여  $\frac{dTRC(T_0, n)}{dT_0} = 0$ ,  $\frac{dTRC(T_0, n)}{dn} = 0$ 으로 하여 식을 정리하면 식 (7)과 식 (8)과 같다.

$$T_0 = \sqrt{\frac{2n(A_r n + A_m)}{\sum_{i=1}^N h_i d_i + h_m D \left[ (2-n) \frac{D}{P} + n - 1 \right]}} \quad (7)$$

$$n = T_0 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N h_i d_i + h_m D \left( \frac{2D}{P} - 1 \right)}{2A_r}} \quad (8)$$

식 (7)과 식 (8)을 연립하여  $T_0, n$ 을 구한다. 먼저  $n$ 의 값을 임의로 주고,  $T_0$ 을 구하고, 다시 구한  $T_0$ 를 이용하여  $n$ 을 구한다. 구한  $n$ 을 이용하여 다시  $T_0$ 을 구한다. 이러한 절차를 적용하여 얻어진 결과에 대해 이전 단계에서 구한 값에 현재 단계에서 구한 값 사이에 차이가 주어진 허용 오차범위 내에 들어올 때까지 반복하는 방식이다.

비용함수 식 (5)을 최소화하는 제조업자주기  $T$ 를 구하기 위해 모든 대리점에 동일 공급횟수로 하여 새로이 정의된 목적함수 식 (6)을 사용하여 이 식을 최소화하는 값은 식 (7)와 식 (8)을 연립하여 구하는 방법을 설명하였다. 식 (6)을 최소화하는  $T_0$ 을 구하기 위해 다른 목적함수 식을 이용한다. 목적함수 식 (6)을 최소화하는  $T_0$ 는 새로운 비용함수 식 (9)을 최소화하는  $T_0$ 와 같음을 보였다[9].

$$CM(T_0) = \frac{A_m}{T_0} + \frac{h_m D T_0}{2} \left(1 - \frac{D}{P}\right) \quad (9)$$

비용함수  $CM(T_0)$ 의 최솟값을 갖는  $T_0$ 는  $\frac{dCM(T_0)}{dT_0} = 0$ ,  $\frac{d^2CM(T_0)}{dT_0^2} > 0$ 을 만족한다.

$$\frac{dCM(T_0)}{dT_0} = -\frac{A_m}{T_0^2} + \frac{h_m D}{2} \left(1 - \frac{D}{P}\right) = 0$$

을 만족하는  $T_0$ 을 구하면 다음과 같다.

$$T_0 = \sqrt{\frac{2A_m}{h_m D \left(1 - \frac{D}{P}\right)}} \quad (10)$$

식 (10)으로 얻는  $T_0$ 는 모든 대리점의 수요의 합을 제조업자의 수요로 하여 제조업자가 제품을 생산하여 대리점을 경유하지 않고 직접 고객에게 공급하는 것으로 가정하여 비용을 최소화하여 얻은 것이다. 식 (10)으로 구한  $T_0$ 는 모든 대리점에 동일한 대리점주기를 적용하는 것으로 가정하여 얻은 제조업자주기와 일치한다. 그러므로 제조업자주기  $T_0$ 는 식 (10)을 적용하여 구한다.

문제에서 가정한 대리점별로 다른 공급횟수를 구하기 위해 이  $T_0$ 을 중심으로 제조업자주기의 탐색범위 [ $T_l, T_u$ ]을 정의한다. 제조업자주기  $T$ 에 대한 탐색범위는 식 (11)과 같이 한다. 제조업자주기  $T$ 는 (12)과 같이 변화시키면서 정의하고, 정의된  $T$ 에 대해 제조업자에서 대리점으로 공급횟수  $n_1, \dots, n_N$ 을 구한다.

$$T_0(1-\alpha) = T_l \leq T \leq T_u = T_0(1+\alpha) \quad (11)$$

$$T = T_l + \Delta, \Delta = 0, \theta, 2\theta, \dots, (T_u - T_l) \quad (12)$$

여기서,  $\alpha$ 값은  $0.15 \leq \alpha \leq 0.25$ 범위에서 임의로 정하고, 그리고  $\theta$ 값은  $0.1 \leq \theta \leq 1$ 범위에서 임의로 정한다.

제조업자주기의 탐색범위는  $T_0$ 을 기준으로  $\pm \alpha T_0$ 을 허용범위로 하여 정한 것이고,  $\alpha$ 값은  $0.15 \leq \alpha \leq 0.25$ 으로 하는데 이는 임의적으로 제시한 것이다.

제조업자주기는 식 (12)를 적용하여 제조업자주기 범위의 하한부터 상한까지 일정한 간격으로 증가시키면서 정의하여 대리점으로 공급횟수  $n_1, \dots, n_N$ 을 구하고,  $T, n_1, \dots, n_N$ 값을 식 (5)에 대입하여 비용  $TRC(T, n_1, \dots, n_N)$ 을 구한다. 제조업자주기를 일정한 간격으로 변화시키면서 대리점으로 공급횟수와 비용을 구해 가장 적은 비용을 갖는 제조업자주기와 대리점으로 공급횟수를 찾는다.

## 2.1.2 유전알고리즘을 적용한 제조업자주기

제조업자주기를 유전알고리즘에서 개체의 유전자 스티링으로 나타낸다. 유전알고리즘을 적용하기 위한 제조업자주기의 하한과 상한 범위를 정하고, 주어진 범위 내에서 개체의 유전자로 제조업자주기를 정한다. 이 제조업자주기에 대해 제조업자에서 대리점으로 공급횟수를 구한다. 그리고 구한 제조업자주기와 제조업자에서 대리점으로 공급횟수에 대해 비용을 구한다. 비용이 가장 적게 발생하는 제조업자주기와 제조업자에서 대리점으로 공급횟수를 탐색한다. 제조업자주기의 범위를 정하는 기준은 식 (10)의 대리점의 수요를 제조업자의 수요로 하여 제조업자가 제품을 생산하여 직접 고객에게 공급하는 것으로 하여 얻어진 기간을 사용한다. 식 (10)으로 얻은 기간을 사용하여 앞에서 설명한 방식에 비해 제조업자주기의 탐색범위를 넓게 정의한다. 유전알고리즘을 적용 시 제조업자주기의 탐색 범위를 식 (13)과 같이 한다. 상대적으로 넓은 범위를 허용하여 탐색한다.

$$T_0(1-\beta) = T_l \leq T \leq T_u = T_0(1+\beta) \quad (13)$$

여기서,  $\beta$ 는  $0.25 \leq \beta \leq 0.50$ 범위에서 임의의 값으로 한다.

제조업자주기의 탐색범위는  $T_0$ 을 기준으로  $\pm \beta T_0$ 을 허용범위로 하여 정한 것이고,  $\beta$ 값은  $0.25 \leq \alpha \leq 0.50$ 로 하는데 이는 임의적으로 제시한 것이다.

유전알고리즘에서 개체가 갖는 유전자의 배열은  $(a_1, a_2, \dots, a_k, \dots, a_L)$ ,  $a_k = 0, 1$ 와 같이 나타내고, 제조업자주기  $T$ 는 다음과 같이 정의한다.

$$T = T_l + (T_u - T_l) \sum_{k=1}^L \frac{a_k}{2^k} \quad (14)$$

유전알고리즘을 적용한 제조업자주기는 개체가 나타내는 유전자배열을 이용하여 구하고, 유전자 제조업자주기에 대해 제조업자에서 대리점으로 공급횟수와 전체 비용을 구한다. 가장 적은 비용을 갖는 해를 찾는다. 즉, 개체가 갖는 유전자에 대해 제조업자주기  $T$ 을 식 (14)를 적용하여 구하여 대리점에 공급횟수  $n_1, \dots, n_N$ 을 구하고,  $T, n_1, \dots, n_N$ 값을 식 (5)에 대입하여 비용  $TRC(T, n_1, \dots, n_N)$ 을 구한다. 유전알고리즘을 적용한 주어진 전체 세대 동안에 모든 개체에 대해 비용을 구해 최소비용을 갖는 해를 찾는다.

## 2.2 대리점으로 공급횟수

### 2.2.1 대리점의 비용만을 고려한 공급횟수

제조업자주기를 정의한 후에 제조업자에서 대리점으로 공급횟수를 구한다. 제조업자주기  $T$ 동안에 제조업자에서 대리점  $i$ 로 공급횟수  $n_i$ 을 구한다. 대리점  $i$ 가 독립적으로 대리점  $i$ 의 발주비용과 재고유지비용의 합을 최소화하는 경제적발주량으로 발주할 때 구한 발주량을 이용하여 발주간격과 발주횟수를 구한다. 제조업자주기는  $T$ 이고, 대리점  $i$ 가 경제적 발주량으로 주문 시 발주간격은  $\sqrt{2A_i/h_i d_i}$ 이다. 그러므로 제조업자주기  $T$ 동안에 제조업자에서 대리점  $i$ 로 공급횟수는 식 (15)와 같다. 식 (15)는 실수의 값이 허용되지만 문제에서 공급횟수는 정수의 값만 허용되므로  $n_i$ 을 포함하는 인접한 두 개의 정수 값을 구하고, 양 정수 값에 대해 비용을 구해 비용이 적게 발생하는 것을 공급횟수로 한다.

$$n1_i = T \sqrt{\frac{h_i d_i}{2A_i}} \quad (15)$$

식 (15)로 얻어진  $n1_i$ 에 대해 식 (16)을 적용하여 정수 값  $s_i$ 을 구한다.

$$s_i = [n1_i]^- \quad (16)$$

여기서  $[n1_i]^-$ 은  $n1_i$ 보다 작거나 같은 가장 큰 정수이다.

식 (16)에서 구한  $s_i$ 에 대해 식 (1)에 대입하여 정수 값  $n_i$ 을 다음과 같이 구한다.

$$n_i = \begin{cases} s_i, & TRC_i(T, s_i) \leq TRC_i(T, s_i+1) \text{ 이면,} \\ s_i+1, & TRC_i(T, s_i) > TRC_i(T, s_i+1) \text{ 이면} \end{cases}$$

제조업자주기  $T$ , 대리점  $i(i=1, \dots, N)$ 로 공급횟수  $n_i$ 일 때 전체 공급체인에서 발생하는 비용은 식 (5)을 적용하여 구한다. 정의된 모든 제조업자주기  $T$ 에 대해 대리

점으로 공급횟수와 비용을 구해 가장 적은 비용을 나타내는 해를 찾는다.

### 2.2.2 제조업자와 대리점의 비용을 함께 고려한 공급횟수

식 (1)과 식 (3)의 비용을 함께 고려하여 제조업자에서 대리점으로 공급횟수를 구한다. 제조업자주기  $T$ 동안에 대리점  $i$ 에서 발생한 발주비용과 재고유지비용, 제조업자의 재고유지비용 중에서 대리점  $i$ 에 서비스하기 위해 발생한 재고유지비용 부분을 함께 고려한 비용함수는 다음과 같다.

$$TMRC_i(n_i) = \frac{A_i n_i}{T} + \frac{h_i d_i T}{2n_i} + \frac{h_m d_i T}{2n_i} \left[ (2-n_i) \frac{D}{P} + n_i - 1 \right] \quad (17)$$

식 (17)을 최소화하는 공급횟수  $n_i$ 을  $n2_i$ 으로 하여 나타내면 다음과 같다.

$$n2_i = T \sqrt{\frac{h_i d_i + h_m d_i \left( \frac{2D}{P} - 1 \right)}{2A_i}} \quad (18)$$

식 (18)로 얻어진  $n2_i$ 에 대해 식 (19)을 적용하여 정수 값  $s_i$ 을 구한다.

$$s_i = [n2_i]^- \quad (19)$$

여기서  $[n2_i]^-$ 은  $n2_i$ 보다 작거나 같은 가장 큰 정수이다.

식 (19)에서 구한  $s_i$ 에 대해 식 (17)을 적용하여 정수 값  $n_i$ 을 다음과 같이 구한다.

$$n_i = \begin{cases} s_i, & TMRC_i(T, s_i) \leq TMRC_i(T, s_i+1) \text{ 이면,} \\ s_i+1, & TMRC_i(T, s_i) > TMRC_i(T, s_i+1) \text{ 이면} \end{cases}$$

제조업자주기  $T$ , 대리점  $i(i=1, \dots, N)$ 로 공급횟수  $n_i$ 일 때 전체 공급체인에서 발생하는 비용은 식 (5)을 적용하여 구한다. 정의된 모든 제조업자주기  $T$ 에 대해 대리점으로 공급횟수와 비용을 구해 가장 적은 비용을 나타내는 해를 찾는다.

## 3. 수치적 예제

단일 제조업자와 30개 대리점으로 이루어진 공급체인 문제를 생각한다. 시간단위는 년으로 365일이다. 제조업자

<Table 1> The Demand, Ordering Cost and Inventory Holding Cost of the Retailers

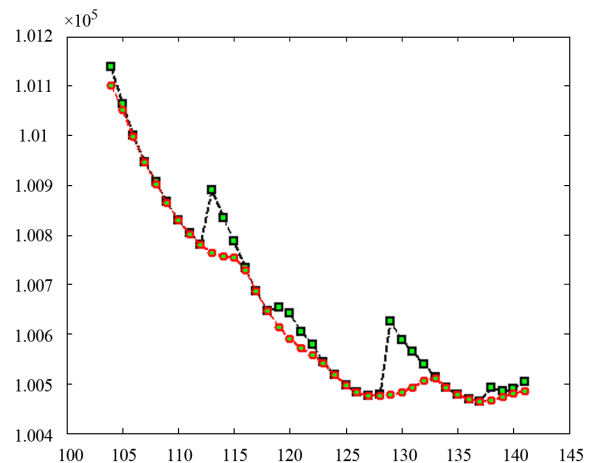
Retailer	Demand	Ordering Cost	Inventory Holding Cost	Retailer	Demand	Ordering Cost	Inventory Holding Cost
1	2,570	11	6.5	16	4,700	200	6.5
2	1,850	40	10	17	700	100	14
3	1,600	35	8	18	3,300	130	6.5
4	600	80	18	19	3,400	150	7
5	2,300	45	9	20	6,000	160	4
6	1,300	30	8.5	21	7,600	200	3
7	3,200	90	7	22	6,950	220	4
8	2,500	100	7.5	23	4,350	120	6
9	1,900	90	8	24	5,400	200	6
10	5,900	120	5	25	4,900	240	5.5
11	2,900	120	8	26	850	120	9
12	1,100	75	9	27	5,100	500	5.5
13	6,800	140	4	28	6,550	700	4.5
14	3,400	150	7.5	29	8,200	300	2
15	4,200	150	6	30	6,900	750	3.5

의 생산착수비용은 회당 4,000이고, 제조업자의 제품 당 연간 재고유지비용은 1이다. 대리점의 연간 수요량과 제조업자로부터 제품을 공급받을 때 발주비용과 제품단위당 연간 재고유지비용은 <Table 1>과 같다. 제조업자의 연간 생산량  $P = 300,000$ 이고, 모든 대리점의 연간 수요량의 합  $D = 117,020$ 이다.

제조업자주기의 탐색범위의 하한과 상한을 정하기 위한 기준 시간을 구한다. 제조업자가 모든 고객의 수요를 대리점을 경유하지 않고 고객에서 직접 공급하는 것으로 하여 비용을 최소화하는 주기를 정한다. 식 (10)을 적용하여 제조업자주기  $T_0$ 을 구하면 다음과 같다.

$$T_0 = \sqrt{\frac{2(4,000)}{1(117,020)(1 - \frac{117,020}{300,000})}} = 0.3348\text{년} = 122.20\text{일}$$

$\alpha = 0.15$ 로 하면 정의된 제조업자주기의 탐색 범위는  $104 \leq T \leq 141$ 일이다. 제조업자에서 대리점으로 공급횟수는 대리점의 발주비용과 재고유지비용을 이용하는 식 (15)와 제조업자의 재고유지비용, 대리점의 발주비용과 재고유지비용을 이용하는 식 (18)을 적용하여 구하였다. 양 방식에 대해 제조업자주기와 제조업자에서 대리점으로 공급횟수를 구해 식 (5)에 대입하여 비용을 구하였다. 제조업자주기에 대해 양 방식에 대한 비용을 비교하였다. 이는 <Figure 3>과 같고, 그림에서 가로는 제조업자주기, 세로는 비용을 나타내고,  $\square$ 는 첫 번째 방식,  $\circ$ 는 두 번째 방식에 대한 비용을 나타낸다. 비용은 모든 제조업자주기에 대해 두 번째 방식이 적은 비용을 나타낼 수 있다. 제조업자에서 대리점으로 공급횟수는 식 (18)을 이용하여 구하는 것이 바람직하다.



<Figure 3> The Cost for the Cycle Time of the Manufacturer

제조업자에서 대리점으로 공급횟수는 두 번째 방식인 제조업자의 재고유지비용, 대리점의 발주비용과 재고유지비용을 이용하여 구한다. 그리고 제조업자와 공급횟수에 대해 전체 비용을 구한다. 정의된 제조업자주기 탐색 범위  $104 \leq T \leq 141$ 일에 대해  $\Delta = 1$ 으로 변화시키면서 해를 구한 것 중에서 범위  $122 \leq T \leq 141$ 에 대해 비용을 나타낸 것이 <Table 2>이다. <Table 2>에서 최소비용을 갖는 제조업자주기  $T = 137$ 일이다. 제조업자주기 137일 동안에 대리점의 발주횟수와 주문주기 및 주문량은 <Table 3>과 같다. 제조업자주기는 137일이고, 137일 중에서 제조업자의 생산기간은 53.4일이다.

유전알고리즘을 이용하여 해를 구한다. 주어진 수치적 문제에 대해 제조업자주기 동안에 모든 대리점에 동일한 주문횟수를 적용 시 비용을 최소화하는  $T_0 = 0.3348$ 년 또는  $T_0 = 122.20$ 일이다. 유전알고리즘을 적용하기 위한 제조

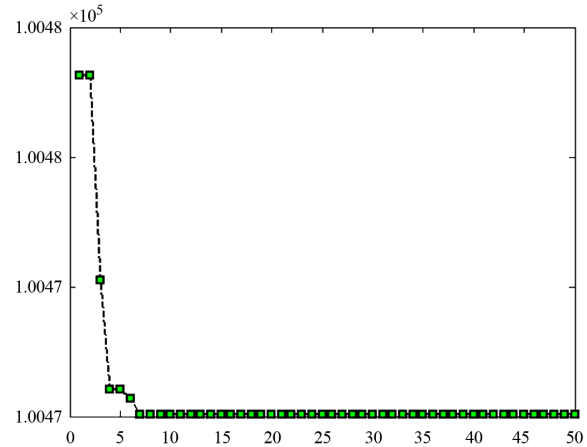
<Table 2> The Cost for the Cycle Time of the Manufacturer

$T(\text{day})$	Cost	$T(\text{day})$	Cost
122	100,559	132	100,506
123	100,542	133	100,513
124	100,518	134	100,493
125	100,497	135	100,478
126	100,484	136	100,469
127	100,476	<b>137</b>	<b>100,465</b>
128	100,475	138	100,467
129	100,478	139	100,474
130	100,484	140	110,480
131	100,494	141	100,485

업자주기의 하한과 상한을 정의하기 위해  $\beta = 0.5$ 로 하면 제조업자주기의 범위는  $61 \leq T \leq 183$ 일이다. 제조업자주기는  $61 \leq T \leq 183$ 에서 유전자 스티어링으로 나타내고, 교차는 1점 교차로 진행한다. 제조업자주기는 정수로 하여 공급횟수와 비용을 구한다. 유전알고리즘은 다음의 내용으로 진행한다.

- 제조업자주기의 하한과 상한,  $T_l = 61, T_u = 183$
- 개체의 유전자 수,  $L = 15$
- 집단의 개체의 수,  $P = 20$
- 교차율,  $p_c = 0.3$
- 돌연변이율,  $p_m = 0.02$
- 세대수,  $G = 50$

세대가 진행되면서 누적 세대기간 동안 개체가 갖는 비용에서 최소비용은 <Figure 4>와 같다. 해 절차는 개체의 유전자 배열이 나타내는 제조업자주기에 대해 제조업자의 재고유지비용, 대리점의 발주비용과 재고유지비용을 최소화하는 식 (18) 방식으로 제조업자에서 대리점으로 공급



<Figure 4> The Minimum Cost for the Generation

횟수를 구하고, 그리고 제조업자주기와 공급횟수를 식 (5)에 대입하여 비용을 구하는 것이다. <Figure 4>에서 최소비용은 100,465이고, 이 비용을 갖는 제조업자주기는 137일이다. 유전알고리즘을 이용하여 구한 최소비용을 갖는 결과는 <Table 2>에서 최소비용을 갖는 결과와 동일하다.

<Table 4>는 주어진 문제에 대해 제조업자주기의 범위를 정의하고, 제조업자주기를 일정한 범위로 증가시키면서 최소비용 제조업자주기를 구하는 방법(method 1)과 제조업자주기의 범위를 좀 더 넓게 정의하여 유전알고리즘으로 최소비용 제조업자주기를 구하는 방법(유전알고리즘)을 적용하였다. 제조업자의 생산율을 변화시키면서 수요비율을 생산비율로 나눈  $D/P$  비율에 따라 각 방법에 대하여 비용을 구한 것이다. 제조업자주기를 일정한 간격으로 증가시키며 비용을 구하는 방법(method 1)과 유전알고리즘으로 제조업자주기를 정하여 비용을 구하는 방법 사이에 최소비용은 동일하게 나타났다.

<Table 3> The Order Frequency, Order Cycle Time and Order Quantity for  $T = 137$

Retailer	Order Frequency	Cycle Time(day)	Order Quantity	Retailer	Order Frequency	Cycle Time(day)	Order Quantity
1	10	13.7	96.5	16	3	45.7	588.1
2	6	22.8	117.7	17	3	45.7	87.6
3	5	27.4	120.1	18	3	45.7	412.9
4	3	45.7	75.1	19	3	45.7	425.4
5	6	22.8	143.9	20	3	45.7	750.7
6	5	27.4	97.6	21	3	45.7	950.9
7	4	34.3	300.3	22	3	45.7	869.6
8	4	34.3	234.6	23	4	34.3	408.2
9	3	45.8	237.7	24	3	45.7	675.7
10	4	34.3	553.6	25	3	45.7	613.1
11	4	34.3	272.1	26	2	68.5	159.5
12	3	45.7	137.6	27	2	68.5	957.1
13	4	34.3	638.1	28	2	68.5	1229.3
14	3	45.7	425.4	29	2	68.5	1538.9
15	3	45.7	525.5	30	2	68.5	1294.9



제조업자주기에 대해 대리점으로 공급횟수를 정할 때 대리점의 발주비용과 재고유지비용만을 고려하여 독립적으로 정하기보다는 대리점의 발주비용과 재고유지비용에 제조업자가 제품을 생산하여 해당 대리점으로 공급하기 위해 보유하는 재고에 대한 재고유지비용도 함께 고려하는 것이 대리점의 발주정책을 최대한 수용하면서 물류시스템 전체 비용을 줄일 수 있음을 알 수 있다. 최소비용을 갖는 제조업자주기를 구하는데 있어 제조업자주기의 탐색범위의 기준을 쉽게 구할 수 있고, 또한 탐색범위를 좁게 하여 최적 제조업자주기와 제조업자에서 대리점으로 공급횟수를 구할 수 있다. 이는 넓은 제조업자주기의 탐색 범위를 허용하여 유전알고리즘을 적용한 해와 비교하여 이 방식으로 구한 것이 최적해가 됨을 확인할 수 있었다.

<Table 4> The Minimum Cost for  $D/P$

$D/P$	Method 1	Genetic Algorithm
0.1	100,721	100,721
0.2	100,954	100,954
0.3	100,904	100,904
0.4	100,395	100,395
0.5	99,589	99,589
0.6	98,684	98,684
0.7	97,548	97,548
0.8	95,835	95,835
0.9	93,126	93,126

#### 4. 결 론

단일 제조업자와 다수 대리점으로 이루어진 공급체인에서 유통재고관리를 다루었다. 제조업자의 생산주기인 제조업자주기는 제조업자에서 대리점에서의 공급주기인 대리점주기의 정수 곱이지만, 대리점주기는 대리점별로 다르게 허용하였다. 의사결정의 중심 요소인 제조업자주기를 구하는 방식을 제시하였다. 제조업자주기의 탐색범위를 구하기 위해 모든 대리점에 대해 동일한 공급주기를 적용하여 얻는 방식과 대리점이 없는 것으로 하여 제조업자의 생산착수비용과 재고유지비용만을 고려해 얻는 방식을 설명하였다. 최적 제조업자주기는 정의된 제조업자주기의 탐색범위 내에서 일정한 간격으로 제조업자주기를 증가시키면서 제조업자에서 대리점으로 공급횟수와 비용을 구하는 방식을 구하였다. 이러한 방식으로 구한 제조업자주기는 최적해인지 확인하기 위해 제조업자주기를 유전알고리즘의 유전자로 나타내고 제조업자에서 대리점으로 공급횟수와 비용을 구해 비용을 비교하였다. 여기서 제시한 방법을 적용하여 제조업자주기의 기준간을 쉽게 구할 수 있고, 제조업자주기의 탐색범위를 좁

혀 최적해를 쉽게 구할 수 있다.

#### References

- [1] Aderohunmu, R., Mobolurin, A., and Bryson, N., Joint vendor-buyer policy in JIT manufacturing. *Journal of Operational Research*, 1995, Vol. 46, No. 3, pp. 375-385.
- [2] Banerjee, A., A joint economic-lot-size model for purchaser and vendor. *Decision Sciences*, 1986a, Vol. 17, pp. 292-311.
- [3] Banerjee, A., On quantity discount pricing model to increase vendor profits. *Management Sciences*, 1986b, Vol. 32, No. 11, pp. 1513-1517.
- [4] Banerjee, A. and Burton, J., Coordinated versus independent inventory replenishment policies for a vendor and multiple buyers. *International Journal of Production Economics*, 1994, Vol. 35, pp. 215-222.
- [5] Banerjee, A. and Kim, S.L., An integrated JIT inventory model. *International Journal of Operations and Production Management*, 1995, Vol. 15, No. 9, pp. 237-244.
- [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*, 2007, Vol. 108, pp. 271-280.
- [7] Chan, C.K. and Kingsman, B.G., Coordination in a single-vendor multi-buyer supply chain by synchronizing delivery and production cycles. *Transportation Research Part E*, 2007, Vol. 43, pp. 90-111.
- [8] Chan, C.K., Lee, Y.C.E., and Goyal, S.K., A delayed payment method in co-ordinating a single-vendor multi-buyer supply chain. *International Journal of Production Economics*, 2010, Vol. 127, pp. 95-102.
- [9] Chang, S.H., The cycle time of the vendor in a single-vendor multi-buyers supply chain. *Society of Korean Industrial and Systems Engineering*, 2014, Vol. 37, No. 3, pp. 129-138.
- [10] David, I. and Eben-Chaime, M., How far should JIT vendor-buyer relationships go?, *International Journal of Production Economics*, 2003, Vol. 81-82, pp. 361-368.
- [11] Darwish, M.A. and Odah, O.M., Vendor managed inventory model for single-vendor multi-retailer supply chains. *European Journal of Operational Research*, 2010, Vol. 204, pp. 473-484.
- [12] Goyal, S.K., An integrated inventory models : the buyer-vendor coordination. *European Journal of Operational*

- Research*, 1976, Vol. 41, pp. 261-269.
- [13] Hill, R.M., The single-vendor single-buyer integrated production inventory model with a generalized policy. *European Journal of Operational Research*, 1997, Vol. 97, pp. 493-499.
- [14] 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, pp. 1-10.
- [15] Lu, L., A one-vendor multi-buyer integrated inventory model. *European Journal of Operational Research*, 1995, Vol. 81, pp. 312-323.
- [16] Monahan, J.P., A quantity discount model to increase vendor profit. *Management Sciences*, 1984, Vol. 30, No. 6, pp. 720-726.
- [17] Woo, Y.Y., Hsu, S., 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, pp. 203-215.

**ORCID**Suk Hwa Chang | <http://orcid.org/0000-0003-2475-9321>