〈研究論文〉

Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers
Vol. 12, No. 2, Dec. 1986

가격할인이 있는 단일품목 동적 재고모델의 발주정책을 위한 발견적 기법

(A Heuristic Method for Ordering in the Dynamic Inventory System with Quantity Discounts)

이 영 조*
강 맹 규*

Abstract

This paper presents a heuristic method for solving the discrete-time ordering problem with quantity discounts and deterministic, time-varying demand.

This algorithm utilizes a variation of the incremental cost approach(ICA) to determine a near optimal solution. The ICA is the method which reduces the total cost with reduction of the number of orders by one. In order to reduce the number of orders, if the incremental cost for one of the periods is negative, the demand of the period should be purchased in its immediate preceding period.

In order to test the performance of this algorithm, an experiment is conducted that involves a large number of test problems covering a wide variety of situations. The result of the experiment shows that the proposed algorithm has 80.5% better solutions than the adjusted part period algorithm(APPA), which is known to be the best heuristic method.

1. 서 론

공급자가 구매자에게 제품의 구매수량에 따라 구매가격을 할인하여 주는 것은 일반적인 관례이다. 이 경우에 구매자는 발주비용 및 구매비용과 재고보관비용간의 균형을 유지하면서 총비용을 최소화하는 발주량과 발주시기를 결정해야 한다.

이와 같은 문제를 해결하기 위한 몇가지 연구들이 발표되어 왔으나 계산상의 복잡성으로 인해 신속히 발주정책을 결정하지 못하거나, 총비용이 최소치와 비교하여 큰 차이를 보였다. 따라서 본 연구는 계산상으로 간편하고 총비용을 최소치에 근접하게 하는 발견적 기법을 개발한다.

가격할인이 있는 단일품목 동적 재고모델의 발주정책에 관한 연구는 가격할인의 제한이 없는 단일품목 동적 재고모델의 연구와 관련하여 발표되어 왔다. 따라서 우선 가격할인의 제한이 없는 단일품목 동적 재고모델에 관하여 살펴보면 1958년 Wagner와 Whitin[9]이 최적해를

*漢陽大學校 工科大學 産業工學科

갖는 앨고리듬을 개발한 이후에 발견적 기법인 최소 단위비용법(least unit cost)[6], 최소 총비용법(least total cost)[6], PPA(part-period algorithm)방법[6]등이 발표되었다.이외에도 Freeland와 Colley[2], Silver와 Meal[7] 등이 발견적기법을 개발하였다. 그 중에서도 1986년에 Naidu와 Singh[5]이 개발한 증분비용법(incremental cost approach, ICA)은 계산 방법이 비교적 간단하면서 거의 모든 경우에 총비용이 최소값을 갖도록 하는 발주정책을 제공한다.

가격할인이 있는 단일품목 동적 재고모델의 발주정책을 결정하기 위하여 개발된 기존 방법들은 위에서 언급한 가격할인의 제한이 없는 단일품목 동적 재고모델의 발주 정책 결정을 위해 개발된 방법들을 적용한 방법들이 대부분이다. 이 중에서 몇가지 방법들을 살펴보면 다음과 같다.

Majewicz와 Swanson[4]은 Wagner와 Whitin이 개발한 앨고리듬에 가격할인의 제한 조건을 첨가하여 최적해를 구하였다. 이 방법은 가격할인을 인정하지 않는 재고모델에서와 같이 계산이 복잡하고 계산량이 많으므로 현실적으로 적합하지 못하다.

Benton과 Whybark[1]은 PPA방법에서 사용한 part period의 개념을 도입하여 앨고리듬을 개발하였다. 이 방법은 구매수량에 따른 가격할인이 단 한번일 경우에는 적합한 방법이지만 할인가격이 많을 경우에 적용하기에는 복잡하다.

1985년에 LaForge와 Patterson[3]은 PPA방법을 적용하여 APPA(adjusted part-period algorithm)방법을 발표하였다. 이 방법은 기존의 발견적 기법 중에서는 총비용을 최소치에 가장 근접하게 하는 발주 정책을 제시한다.

본 연구에서는 가격할인의 제한이 없는 단일품목 동적 재고모델의 발주정책 결정기법으로 발표된 증분비용법[5]을 개선시켜 구매수량에 따른 할인가격이 많을 경우에도 적용이 가능하고, 계산방법이 간단하면서 총비용이 최소치에 근접하는 발견적 기법을 개발한다. 본 연구에서 개발한 앨고리듬을 가격할인이 없는 단일품목 동적 재고모델에 적용하여도 기존의 증분비용법과 동일한 발주정책을 제공하며, 오히려 소요되는 계산시간을 단축시킨다.

2장에서 가정 및 기호설명과 증분비용법의 개념에 관하여 간단히 언급하고, 3장에서는 증분비용법을 개선한 앨고리듬을 수치 예를 통하여 설명한다. 그리고 4장에서 본 연구에서 개발한 앨고리듬을 APPA방법과 비교하여 우수함을 보인다.

2. 모델의 설정

2.1 가정

본 연구의 모델에서 다음을 가정한다.

1) 전체 계획 기간의 수요 예측이 가능하다.

2) 재고 부족은 인정하지 않는다. 따라서 매기간 초에 해당 기간의 수요량은 확보되어 있어야 한다.

3) 발주는 매 기간 초에 가능하다.

4) 구매의 조달기간은 무시한다.

5) 재고보관비용은 매 기간 말에 보유하고 있는 재고량을 기준으로 계산한다. 따라서 매기간의 수요량은 기간 초에 모두 사용된다.

6) 총비용은 발주비용, 구매비용, 재고보관비용으로 구성된다. 즉,

총비용=발주비용+재고보관비용+구매비용

7) 발주비용은 고정비용으로 구매량에 관계없이 발주횟수에 비례하며, 재고보관비용은 재고량과 재고보관기간에 비례하고, 단위기간당 보관비용율(carrying cost rate per period)을 사용하여 계산한다. 그리고 구매비용은 구매량에 따른 가격할인에 의하여 결정되며, 가격할인의 제한이 없는 경우나 동일한 구매단가가 적용되는 범위안에서는 구매량에 비례한다.

2.2 기호설명

본 연구의 전개를 위하여 다음과 같이 기호를 정의한다.

h, i, j, k, x, y	기간
Co	발주비용
Ch	단위기간·단위품목당 보관비용
Dj	기간 j의 수요량
Lj	기간 j의 구매 예정량
Uj	기간 j의 구매단가
Ui+j	기간 j의 구매 예정량을 기간 i에 추가로 구매할 경우의 구매단가
M	매우 큰 양의 수
n	재고보관기간
r	단위기간당 보관비용율
ICj	기간 j의 증분비용

$$IC_j = \begin{cases} -C_o + L_j \times n \times U_{i+j} \times r + L_i \times \\ (U_{i+j} - U_i) + L_j \times (U_{i+j} - U_j) \\ \langle i = 1 \text{ 또는 } L_j = 0 \rangle \\ M \end{cases}$$

T	전체 계획기간의 수
t	전체 계획기간 중 구매 예정량이 0이 아닌 기간의 수

2.3 증분비용의 개념

전체 계획기간의 수를 T, 전체 계획기간 중 수요가 0이 아닌 계획기간의 수를 t, $1 \leq t \leq T$, 라 할 때, 계획기간 T동안의 최적 발주정책을 정하는 문제는 t기간 동안의 최적 발주정책을 정하는 문제와 동일하게 생각할 수 있다. 이 경우의 발주횟수는 t가 된다. 발주횟수를 t-1로 줄이기 위해서는 이득이 생기는 가를 검토하여 첫번째 기간을 제외한 나머지 기간들 중의 어느 한 기간의 수요를 그 기간의 바로 앞 기간에서 추가로 그 수요량만큼 발주해야 한다. 이때에 고려할 수 있는 경우의 수는 t-1이다. 그중에서 총비용을 최대로 감소시키는 경우를 찾아 발주횟수를 1회 줄이면서 총비용을 감소시킨다.

증분비용(incremental cost)은 발주횟수가 하나 줄어들 경우, 총비용에서 발생하는 비용의 변화량을 뜻한다. 즉 각 기간의 증분비용을 식(1)과 같이 나타낸다.

증분비용=발생비용−감소비용·············· (1)

그러나 첫번째 기간의 수요를 만족하기 위해서는 첫번째 기간에 적어도 그 기간의 수요량 만큼은 발주해야 하므로 첫번째 기간의 증분비용을 매우 큰 양수 M으로 한다. 또한 구매 예정량이 0인 기간의 발주 가능성을 배제하기 위해서도 구매 예정량이 0인 기간의 증분비용을 M으로 한다.

식(1)에서 알 수 있는 바와 같이 증분비용의 최소치가 음수인 기간은 총비용을 가장 많이 감소시킬 수 있는 기간임을 뜻하므로 증분비용이 최소치인 기간의 증분비용을 인접하는 바로 앞 기간에 구매하도록 조정한다. 이와같이 구매 예정량을 조정하면 문제는 t-1기간 동안의 최적 발주정책을 구하는 문제로 축소된다.

위에서와 같은 과정을 증분비용의 최소치가 양수가 될 때까지 계속 반복하여 최종적으로 발주정책을 정한다.

3. 증분비용법의 개선

3.1 가격할인이 없는 재고모델을 위한 증분비용법의 개선

2.3절에서 설명한 증분비용법은 가격할인의 제한이 없는 단일품목 동적 재고모델의 발주정책 결정을 위해 개발된 기법이다. 따라서 총비용은 식(2)와 같이 발주비용과 재고보관 비용으로 구성된다.

총비용=발주비용+재고보관비용··········· (2)

그리고 증분비용은 식(3)과 같이 발주비용의 증가분과 재고보관비용의 증가분의 합이 된다.

증분비용=발주비용의 증가분+재고보관비용의 증가분··(3)

임의의 기간을 j라 할 때, 기간 j의 증분비용을 식(4)와 같이 정식화할 수 있다.

$IC_j = -C_o + L_j \times n \times C_h$ ························ (4)

증분비용법에 의한 발주정책 결정 절차는 대단히 단순하므로 이해하기 쉽고, 계산량도 많지 않다. 그러나 매번 발주횟수를 하나씩 줄이면서 총비용을 감소시키므로 단기계획일 경우에는 큰 문제가 없지만, 장기계획일 경우에는 증분비용이 0보다 클 때까지 동일한 계산과정을 여러번 반복해야 하는 문제가 있다. 따라서 본 연구에서는 다음의 정리 1과 정리 2를 제시하여 기존의 발주정책 결정에서 반복되는 계산횟수를 줄여 계산상의 효율을 높이는 방안을 제시한다.

정리 1. 임의의 기간 y의 현재 증분비용을 IC_y라 하고, 다음 단계에서 새로이 계산되는 기간 y의 증분비용을 $\overline{IC}_y$라 할 때, 다음과 같은 조건이 성립한다.

$$\overline{IC}_y \geqq IC_y.$$

〈증명〉 기간 h, x, y, k가 그림 1과 같고, 각 기간의 구매 예정량이 0이 아니라고 가정하자.

기 간	1 ··· h	x	y	k ···········	T
구매예정량	L_1 ·· Lh	Lx	L_y	L_k ···········	L_T

그림1. 기간 h, x, y, k와 구매 예정량

그리고 기간 y의 현재 증분비용 IC_y와 다음 계산단계에서 새로이 계산하여 얻는 기간 y의 증분비용 $\overline{IC}_y$가 각각 식(5), 식(6)과 같다고 하자.

$IC_y = -C_o + L_y \times n \times C_h$ ························ (5)

$\overline{IC}_y = -C_o + \overline{L}_y \times \overline{n} \times C_h$ ························ (6)

기간 y의 현재 증분비용은 다음 계산 단계에서 새로이 계산되어 다음 네가지 경우 중에 어느 한 경우에 해당된다. 네가지 모든 경우에 정리 1이 성립함을 다음에 증명한다.

1) 기간 x에서 발주를 하지 않는 경우, 즉 기간 x의 구매 예정량을 기간 h에서 구매할 경우. 이때 $\overline{L}_y = L_y$이고, $\overline{n} > n$이므로

$$\overline{IC}_y > IC_y.$$

2) 기간 y에서 발주를 하지 않는 경우, 즉 기간 y의 구매 예정량을 기간x에서 구매할 경우. 이 경우에 기간 y의 구매 예정량이 0이 되므로 $\overline{IC}_y = M$. 따라서

$$\overline{IC}_y > IC_y.$$

3) 기간 k에서 발주를 하지 않는 경우, 즉 기간 k의 구매 예정량을 기간 y에서 구매할 경우. 이때 $\overline{L}_y = L_y + L_k > L_y$이고, $\overline{n} = n$이므로

$$\overline{IC}_y > IC_y.$$

4) 기간 x, y, k이외의 기간들 중 어느 한 기간에서 발주를 하지 않는 경우. 이 경우에는 $\overline{L}_y = L_y$, $\overline{n} = n$이므로

$$\overline{IC}_y = IC_y.$$

따라서 1), 2), 3), 4)에 의해 $\overline{IC}_y \geqq IC_y$ 가 성립된다.

정리 2. 임의의 기간 y의 증분비용 IC_y가 0보다 클 경우, 기간 y는 기간 y의 전·후 기간을 분리하며, 분리된 두 기간은 서로 독립적으로 발주정책을 구할 수 있다.

〈증명〉 각 기간 및 증분비용이 그림 2와 같고, 기간 1과 기간 y를 제외한 기간들의 증분비용이 모두 0보다 작다고 하자.

기 간	1 ··· y−2	y−1	y	y+1	y+2 ··············	T
증분비용	M ··· IC_{y-2}	IC_{y-1}	IC_y	IC_{y+1}	IC_{y+2} ···········	IC_T

그림 2. 계획기간 도표

그림 2에서 $IC_y > 0$이므로 기간 y의 구매예정량을 기간 y−1에서 추가로 발주할 수 없고, 따라서 기간 y−1 이전의 어느 기간에서도 기간 y의 구매 예정량을 추가로 발주할 수 없다. 기간 y+1 이후의 기간들의 증분비용이 0보다 작으므로 기간 y+1 이후의 기간들의 구매 예정량이 기간 y에서 구매되리라고 기대할 수 있지만, 기간 y의 증분비용이 현재 0보다 크므로 기간 y−1 이전에서는 추가로 구매될 수 없다. 그리고 정리 1에 따르면 현재의 증분비용은 다음

단계에서 그 값을 유지하거나, 커지므로 이와 같은 상태는 계속 유지된다. 따라서 기간 1에서 기간 y－1사이의 기간들과 기간 y에서 기간 T사이의 기간들의 발주정책은 서로 독립적으로 정할 수 있다.

정리 1과 정리 2에서 밝힌 바와 같이 증분비용은 감소되지 않으며, 따라서 증분비용이 0보다 큰 기간은 전·후 기간을 분리하게 되고, 분리된 두 기간은 각각 독립적으로 발주정책을 구할 수 있게 된다. 이것은 기존의 증분비용법이 매 계산단계마다 발주횟수를 하나씩 줄이면서 총비용을 감소시키던 것을 발주횟수를 둘 이상씩 줄이면서 총비용을 감소시킬 수 있게 한다. 그러므로 개선된 증분비용법은 기존 증분비용법에 의해 구한 발주정책과 동일한 발주정책을 제공하면서, 계산시간을 단축시킨다.

3.2 가격할인이 있는 재고모델을 위한 증분비용법의 개선

3.1절에서 개선한 증분비용법을 가격할인이 있는 단일품목 동적 재고모델에 적용하면, 총비용에서 발주비용, 재고보관비용 이외에 구매비용을 추가로 고려하여야 한다. 총비용을 식으로 나타내면 식(7)과 같다.

총비용＝발주비용＋재고보관비용＋구매비용·········(7)

증분비용도 식(8)과 같이 구매비용의 증가분을 추가로 포함한다.

증분비용＝발주비용의 증가분＋재고보관비용의 증가분
　＋구매비용의 증가분··(8)

임의의 기간을 j라 하고, 구매 예정량이 0이 아닌, 기간 j의 바로 앞 기간을 i라 할 때, 식(8)을 식(9)와 같이 정식화할 수 있다.

$$IC_j = -C_o + L_j \times n \times U_{i+j} \times r$$
$$+ L_i \times (U_{i+j} - U_i) + L_j \times (U_{i+j} - U_j) \cdots\cdots\cdots (9)$$

가격할인이 없는 재고모델의 경우에는 증분비용이 감소하지 않지만, 가격할인이 있는 재고모델에서는 임의의 기간의 증분비용이 현재 0보다 크더라도 다음 단계에 $U_{i+j} \neq U_i$ 이거나 $U_{i+j} \neq U_j$일 경우 각각 $U_{i+j} < U_i$, $U_{i+j} < U_j$ 가 되므로 구매비용의 증가분에 의해 증분비용이 0보다 작아질 수도 있다. 따라서 가격 할인이 있는 재고모델에서는 3.1절의 정리 1과 정리 2가 적용될 수 없다.

그러나 증분비용이 항상 감소하지 않는 기간을 찾는다면, 그 기간의 전·후 기간들을 분리하여 두 기간들의 발주정책을 각각 독립적으로 구할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 다음에 정리 3을 제시하여 3.1절에서 개선한 증분비용법을 가격할인이 있는 재고모델에 적용할 수 있도록 다시 개선한다.

정리 3. 임의의 기간 y가 다음 조건 1과 조건 2를 만족할 경우에 현재의 증분비용 IC_y는 다음 계산단계에서 새로이 계산된 $\overline{IC}_y$와 다음과 같은 관계가 성립된다.

$$\overline{IC}_y \geq IC_y$$

조건 1 : 기간 y의 증분비용이 0보다 크다
　(즉 $IC_y > 0$).

조건 2 : 기간 y의 구매 예정량에 구매량을 더 추가하여도 기간 y의 구매단가는 더 이상 변하지 않는다.

〈증명〉 기간 h, x, y, k가 그림 3과 같고, 각 기간의 구매 예정량이 0이 아니라고 가정하자.

기　간　1 ···h　x　y　k ···········T

구매예정량 $L_1 \cdots L_h$　L_x　L_y　L_k ···········L_T

그림 3. 기간 h, x, y, k와 구매 예정량

그리고 기간 y의 현재 증분비용 IC_y와 다음 계산단계에서 새로이 계산하여 얻는 기간 y의 증분비용 $\overline{IC}_y$가 각각 식(10), 식(11)와 같다고 하자.

$$IC_y = -C_o + L_y \times n \times U_{x+y} \times r$$
$$+ L_x \times (U_{x+y} - U_x) + L_y \times (U_{x+y} - U_y) \cdots (10)$$
$$\overline{IC}_y = -C_o + \overline{L}_y \times \overline{n} \times \overline{U}_{x+y} \times r$$
$$+ \overline{L}_x \times (\overline{U}_{x+y} - \overline{U}_x) + \overline{L}_y \times (\overline{U}_{x+y} - \overline{U}_y) \cdots (11)$$

기간 y의 현재 증분비용은 다음 계산 단계에서 새로이 계산되어 다음 네가지 경우 중에 어

는 한 경우에 해당된다. 네가지 모든 경우에 정리 3이 성립함을 다음에 증명한다.

1) 기간 x에서 발주를 하지 않는 경우, 즉 기간 x의 구매 예정량을 기간 h에서 구매할 경우. 이 경우에

$\bar{n} > n$, $\bar{L}_x = L_h + L_x > L_x$, $\bar{L}_y = L_y$,

$\bar{U}_x = U_{h+x} \leqq U_x$, $\bar{U}_y = U_y$,

$\bar{U}_{x+y} = U_{h+x+y} = U_{x+y}$ (조건 2에 의해).

따라서

$\bar{L}_y = L_y, \bar{U}_{x+y} = U_{x+y}, \bar{n} > n$ 이므로

$\bar{L}_y \times \bar{n} \times \bar{U}_{x+y} \times r > L_y \times n \times U_{x+y} \times r.$

$\bar{L}_x > L_x, \bar{U}_{x+y} = U_{x+y}$, $\bar{U}_x \leqq U_x$ 이므로

$\bar{L}_x \times (\bar{U}_{x+y} - \bar{U}_x) \geqq L_x \times (U_{x+y} - U_x).$

$\bar{L}_y = L_y$, $\bar{U}_{x+y} = U_{x+y}$, $\bar{U}_y = U_y$ 이므로

$\bar{L}_y \times (\bar{U}_{x+y} - \bar{U}_y) = L_y \times (U_{x+y} - U_y).$

그러므로

$$\bar{IC}_y > IC_y.$$

2) 기간 y에서 발주를 하지 않는 경우, 즉 기간 y의 구매 예정량을 기간 x에서 구매할 경우. 이 경우에는 $\bar{L}_y = 0$ 이므로 $\bar{IC}_y = M$. 따라서

$$\bar{IC}_y > IC_y.$$

3) 기간 k에서 발주를 하지 않는 경우, 즉 기간 k의 구매 예정량을 기간 y에서 구매할 경우. 이 경우에

$\bar{n} = n$, $\bar{L}_x = L_x$, $\bar{L}_y = L_y + L_k > L_y$.

$\bar{U}_x = U_x$, $\bar{U}_y = U_{y+k} = U_y$ (조건 2에 의해),

$\bar{U}_{x+y} = U_{x+y+k} = U_y = U_{x+y}$ (조건 2에 의해).

따라서

$\bar{L}_y > L_y, \bar{n} = n$, $\bar{U}_{x+y} = U_{x+y}$ 이므로

$\bar{L}_y \times \bar{n} \times \bar{U}_{x+y} \times r > L_y \times n \times U_{x+y} \times r.$

$\bar{L}_x = L_x, \bar{U}_{x+y} = U_{x+y}$, $\bar{U}_x = U_x$ 이므로

$\bar{L}_x \times (\bar{U}_{x+y} - \bar{U}_x) = L_x \times (U_{x+y} - U_x).$

$\bar{L}_y > L_y, \bar{U}_{x+y} = U_{x+y}$, $\bar{U}_y = U_y$ 이므로

$\bar{L}_y \times (\bar{U}_{x+y} - \bar{U}_y) > L_y \times (U_{x+y} - U_y).$

그러므로

$$\bar{IC}_y > IC_y.$$

4) 기간 x, y, k 이외의 기간에서 발주를 하지 않는 경우, 이 경우에는 구매 예정량 및 구매단가에 변화가 없으므로

$$\bar{IC}_y = IC_y$$

그러므로 1), 2), 3), 4)에 의해 기간 y가 조건 1, 2를 만족할 때

$$\bar{IC}_y \geqq IC_y$$

가 성립된다.

3.3 발주정책의 결정절차

본 연구에서 개발한 발주정책 결정절차는 다음과 같다.

단계 1 : 각 기간의 수요를 각 기간의 구매 예정량으로 초기화한다. 즉,

$L_j = D_j\ (j = 1, 2, \cdots, T)$,

기간 $i = 1$, $j = 2$, $n = 1$, $IC_1 = M$,

단계 2 : 기간 j의 증분비용을 계산한다.

구매예정량 $L_j = 0$ 이면, $IC_j = M$, $n = n + 1$ 아니면,

$IC_j = -C_0 + L_i \times (U_{i+j} - U_i) + L_j \times (U_{i+j} - U_j) + L_j \times n \times U_{i+j} \times r,$

그리고 $i = j$, $n = 1$.

단계 3 : $j = T$ 이면 단계 4로 가고, 아니면 $j = j + 1$로 하고 단계 2로 간다.

단계 4 : $i = 1$, $j = 2$, $k = 1$, $n = 1$, $CHECK = 0$.

단계 5 : $IC_j = M$ 이면, $n = n + 1$로하고 단계 7로 간다. 아니면 단계 6으로 간다.

단계 6 : 기간k에서 j 까지의 증분비용 중 최소값을 찾는다. 즉,

$IC_h = \min_{k \leq x \leq j} \{IC_x\}$,

그리고 $i = j$, $n = 1$.

단계 7 : $IC_j > 0$ 이고, U_j가 최소구매 단가이면 $CHECK = 1$로 하고, 단계 10으로 간다. 아니면 단계 8로 간다.

단계 8 : $j = T$ 이면 단계 9로 간다. 아니면 $j = j + 1$로 하고 단계 5로 간다.

단계 9 : CHECK = 0 이면

$IC_h = \min_{1 \leq x \leq T} \{IC_x\}$.

단계10 : $IC_h \geq 0$ 이면 단계12로 가고, 아니면 단계11로 간다.

단계11 : 기간 h의 증분비용이 음수이면서 최소치이므로 구매예정량을 조정하고, 증분비용을 다시 계산한다.

단계12 : j = T 이면 단계13으로 간다.

아니면, k = j, i = j, n = 1, j = j + 1 로 하고 단계 5 로 간다.

단계13 : $IC_y < 0$ (y = 1, 2, ⋯, T) 이면 단계 4 로간다. $IC_y \geq 0$ 이면 앨고리듬을 끝낸다.

3.4 수치 예

본 절에서는 본 연구에서 개발한 발주정책 결정절차를 수치 예를 통하여 설명한다. 사용된 예는 발주비용 $ 300, 단위품목·단위기간당 보관비용이 $ 2 이고, 가격조건은 99개 이하를 구입하면 단위품목당 구매비용이 $ 10, 100개 이상 구입하면 $ 8 이다. 수요계획은 표 1과같다.

표 1. 수치 예의 수요계획

기 간	1	2	3	4	5	6	7	8	9
구매예정량	60	80	70	110	160	100	0	50	20

발주정책 결정과정은 그림 4 와 같다.

1) 우선 수요계획을 구매 예정량으로 초기화하고, 각 기간의 증분비용을 계산한다. 그 결과를 그림 4 (a) 의 구매 예정량과 증분비용에서 보이고 있다.

2) 그림 4 (a) 에서 기간 1부터 증분비용을 계산하여 처음으로 증분비용이 0 보다 큰 기간 (증분비용이 M 인 기간은 제외) 은 기간 5 이다. 기간 5 의 구매 예정량은 160이므로 구매단가는 $ 8 로 최소 구매단가이다. 즉, 기간 5 의 구매 예정량에 다른 기간의 구매예정량을 추가하여도 구매단가는 변하지 않는다. 따라서 기간 5 는 기간 1 에서 기간 4 까지의 기간과 기간 5 이후의 기간들을 분리하여 독립적으로 발주정책을 구할 수 있게 한다.

3) 기간 1에서 기간 4까지의 증분비용중 최소치를 찾으면 기간 3 의 −460이다. 기간 3의 증분비용이 최소치이면서 0 보다 작으므로 기간 2와 기간 3의 구매 예정량을 조정하고, 기간 2, 3, 4의 증분비용을 다시 계산한다.

4) 기간 6 이후에 증분비용이 0보다 큰 기간이 없으므로 기간 6에서 기간 9까지의 증분비용중 최소치를 찾으면 기간 9의 −260 이다. 3)과 같은 방법으로 구매 예정량을 조정하고, 증분비용을 다시 계산한다. 3)과 4)의 계산결과를 그림 4 (b) 에서 보이고 있다.

5) 위의 과정을 반복하면 그림 4 (c) 에서 증분비용이 모두 0 보다 크게 된다. 따라서 발주정책은 기간 1 에서 210개, 기간 4에서 110개, 기간 5에서 160개, 기간 6에서 170개 발주하는 것이다.

기 간	1	2	3	4	5	6	7	8	9
구매예정량	60	80	70	110	160	100	0	50	20
증분비용	M	−420	−460	−220	20	−100	M	−200	−260

$\min_{1 \leq j \leq 4} \{IC_j\} = -460$ (j = 3)

$\min_{5 \leq j \leq 9} \{IC_j\} = -260$ (j = 9)

(a)

기 간	1	2	3	4	5	6	7	8	9
구매예정량	60	150	0	110	160	100	0	70	0
증분비용	M	−120	M	140	20	−100	M	−160	M

$\min_{1 \leq j \leq 4} \{IC_j\} = -120$ (j = 2)

$\min_{5 \leq j \leq 9} \{IC_j\} = -160$ (j = 8)

(b)

기 간	1	2	3	4	5	6	7	8	9
구매예정량	210	0	0	110	160	170	0	0	0
증분비용	M	M	M	360	20	40	M	M	M

$\min_j |IC_j| > 0$

(c)

그림 4. 제안된 방법에 의한 발주정책결정과정

4. 기존 방법과의 비교

본 연구에서 개발한 발견적 기법의 상대적인 효율을 측정하기 위하여, LaForge와 Patterson이 APPA 방법을 발표하면서 제시한 200가지 예[3]를 기본 자료로 사용한다. 사용된 예는 모두 수요계획이 알려진 24개의 계획기간을 갖는다. 그리고 모든 예에서 2%의 단위기간당 보관비용율을 사용한다.

비교 대상이 되는 방법은 LaForge와 Patte-

표2. 수요 유형

기 간	CV=0.25	CV=0.86	CV=1.10	CV=1.47	CV=2.05
1	80	50	10	250	10
2	100	80	10	300	10
3	125	180	15	350	0
4	100	80	20	10	0
5	50	0	70	0	500
6	50	0	180	0	60
7	100	180	250	50	80
8	125	150	270	85	0
9	125	10	230	40	70
10	100	100	40	0	10
11	50	180	0	10	10
12	100	95	10	10	700
13	85	140	220	90	80
14	70	125	90	355	50
15	100	0	290	440	0
16	65	95	60	0	0
17	85	0	0	0	20
18	130	175	60	20	80
19	100	40	60	30	500
20	95	0	0	0	10
21	90	45	220	0	0
22	85	75	0	70	0
23	90	90	0	50	10
24	110	320	105	50	10

rson이 개발한 APPA방법으로 APPA 방법은 기존의 발견적 기법중 총비용을 최소치에 가장 근접하게 하는 방법이다.

제안된 방법과 APPA방법과의 비교에서는 수요의 변동계수, 발주비용, 가격조건 등 세가지 요소를 다양하게 하여 그 요소들이 APPA 방법과 비교하여 제안된 방법에 어떻게 영향을 주는지 살펴본다.

1) 수요의 변동계수(coefficient of variation; CV)

제안된 방법과 APPA방법을 비교하기 위하여 5가지의 변동계수를 갖는 수요계획을 사용한다. 표 2는 비교에 사용된 변동계수가 각각 0.25, 0.86, 1.10, 1.47, 2.05인 수요유형을 보이고 있다. 각각의 변동계수 값에 대해서는 두가지의 수요유형이 사용된다. 하나는 표2에서 나타내는 그대로 기간 1에서 기간 24까지의 수요계획이고, 다른 하나는 역순으로, 기간 24에서 기간 1까지의 수요계획이다.

표3. 가격 조건

가격조건	구매단가	구매수량
1	$ 50	1-199
	49	200-399
	48	400 이상
2	50	1- 99
	49	100-199
	48	200 이상
3	50	1-199
	45	200-399
	40	400 이상
4	50	1-99
	45	100-199
	40	200 이상

표4. 기존방법과의 비교

		평균비용			APPA : 제안된 방법	
		APPA	제안된 방법	차이	① ≥	② <
전체		101854.3	100935.35	918.95	161(80.5%)	39(19.5%)
수요유형	CV=0.25	103067.4	102417.05	650.35	22(55.0)	18(45.0)
	0.86	101978.2	101420.2	558	33(82.5)	7 (17.5)
	1.10	101452.8	100784.85	667.95	36(90.0)	4 (10.0)
	1.47	101141.9	100447.6	694.3	31(77.5)	9 (22.5)
	2.05	101631.2	99607.03	2024.17	39(97.5)	1 (2.5)
발주비용	$ 50	101575.88	100014.1	1561.77	33(82.5)	7(17.5)
	100	101551.59	100308.94	1242.65	35(87.5)	5(12.5)
	200	101627.97	100899.51	728.46	30(75.0)	10(25.0)
	300	102078.48	101461	617.48	32(80.0)	8(20.0)
	400	102437.44	101993.14	444.3	31(77.5)	9(22.5)
가격조건	1	110067.76	109851.06	216.7	38(76.0)	12(24.0)
	2	109142.52	108942.42	200.1	40(80.0)	10(20.0)
	3	95921.6	93579.96	2341.64	40(80.0)	10(20.0)
	4	92285.22	91367.94	917.28	43(86.0)	7(14.0)

2) 발주 비용

비교에 사용된 모든 예들은 고정비용인 발주 비용을 5가지로 변화시켜 사용한다. 5가지 발주 비용은 각각 $ 50, $ 100, $ 200, $ 300, $ 400이다.

3) 가격 조건

가격조건은 표 3에서 보는 바와 같이 구매단가와 구매수량에 따라 4가지를 사용한다.

위의 3가지 요소들에 의해 만들어진 200가지 예의 해를 본 연구에서 개발한 방법과 APPA방법에 의해 각각 구하여, 그 결과를 표 4에서 비교한다.

표 4에서는 APPA방법과 제안된 방법에 의해 구한 200가지 예의 총비용을 각각 평균한 값을 비교하고, 비교 척도로써 사용된 수요유형 5가지, 발주비용 5가지, 가격조건 4가지의 각 경우에서 제안된 방법에 의해 구한 발주정책이 더 우수한 경우의 빈도수를 포함하고 있다.

① APPA의 평균비용이 제안된 방법의 평균비용보다 크거나 같은 경우의 빈도수

② 제안된 방법의 평균비용이 APPA의 평균비용보다 큰 경우의 빈도수.

5. 결 론

본 논문에서는 가격할인이 있는 단일품목 동적 재고모델에 있어서 경제적인 발주정책을 결정하는 발견적 기법을 개발하였다.

가격할인이 없는 단일품목 동적 재고 모델의 발주정책결정을 위해 개발된 증분비용법은 매 계산단계 마다 똑같은 과정을 여러번 반복하여 발주정책을 정하므로 계산 시간이 불필요 하게 길어진다. 본 논문에서는 가격할인이 없는 재고모델에서 증분비용은 감소하지 않는다는 점과 증분비용이 0보다 큰 기간에 의해 나누어지는 전·후 기간들의 발주정책은 서로 독립적으로 결정될 수 있다는 점을 이용하여 기존방법보다 효율적인 발주정책을 제시하였다. 그리고 개선된 증분비용법을 가격할인을 고려하여 다시 개선함으로써 가격할인이 있는 단일품목 동적 재고모델의 발주정책을 결정하는 문제의 해법으로 계산방법이 간단하면서 총비용을 최소치에 근접하게하는 앨고리듬을 개발하였다.

또한 본 논문에서 개발한 앨고리듬은 구매수량에 따른 할인가격이 많은 경우에도 적용이 가능하며, 가격할인이 없는 단일품목 동적재고모델에 적용하여도 기존의 증분비용법과 동일한 발주정책을 제공하고, 기존의 증분비용법에 의해 발주정책을 결정할 경우에 소요되는 계산시간을 단축시킨다.

기존방법과의 비교에서, 본 논문에서 개발한 앨고리듬은 200가지 예중에서 80.5%가 우수하였고, 총비용의 비교에서도 기존방법과 최소치와의 차이를 평균 67.97% 감소시켜 기존방법보다 우수한 발주정책을 제공하였다. 따라서 본 논문에서 개발한 앨고리듬은 기존의 발견적 기법보다 더 나은 발주정책을 제공한다.

References

1. Benton, W. C. and D. C. Whybark, "Material Requirements Planning and Purchase Discounts," *Journal of Operations Management*, Vol. 2, No. 2, pp. 137-143, 1982.
2. Freeland, J. R. and J. L. Colley, "A Simple Heuristic Method for Lot Sizing in a Time-Phased Reorder System," *Production and Inventory Management*, Vol. 23, No. 1, pp. 15-22, 1982.
3. LaForge, R. L. and J. W. Patterson, "Adjusting the Part-Period Algorithm for Purchase Quantity Discounts," *Production and Inventory Management*, Vol. 26, No. 1, pp. 138-150, 1985.

4. Majewicz, D. and L. A. Swanson, "Inventory Ordering and Quantity Discounts with Time-Varying Demand: A Programming Application," *Production and Inventory Management,* Vol. 19, No. 1, pp. 91-102, 1978.
5. Naidu, M. M. and N. Singh, "Lot Sizing for Material Requirements Planning Systems-An Incremental Cost Approach," *International Journal of Production Research,* Vol. 24, No. 1, pp. 223-240, 1986.
6. Orlicky, J., *Material Requirements Planning,* McGraw-Hill, New York, 1975.
7. Silver, E. A. and H. C. Meal, "A Heuristic for Selecting Lot Size Quantities for the Case of a Deterministic Time-Varying Demand Rate and Discrete Opportunities for Replenishment," *Production and Inventory Management,* Vol. 14, No. 2, pp. 64-71, 1973.
8. Tersine, R. L. and A. T. Richard, "Lot Size Determination with Quantity Discounts," *Production and Inventory Management,* Vol. 26, No. 3, pp. 1-23, 1985.
9. Wagner, H. M. and T. M. Whitin, "Dynamic Version of the Economic Lot Size Model," *Management Science,* Vol. 5, No. 1, pp. 89-96, 1958.