부재고를 갖는 재고 · 수송시스템의 최적모형설계
- A Design for Optimal Models of Inventory-Distribution System with Back-Ordered Case -

우 태 희 *
Woo, Tae-Hee
조 남 호 **
Cho, Nam-Ho

Abstract

The purpose of this paper is to structure a new integrated model that can minimize the total cost for the transportation and inventory systems between m origin points, where origin i has a supply of a commodity, such as distribution centers or warehouses, and n destination points, where destination j requires the commodity. In this case, demands of the destination points are assumed random variables which have a known probability distribution. We will find optimal distribution centers which transport the commodity to the destination points and suggest optimal inventory policy to the selected distribution center which find the optimal pair $<Q_i^*, r_i^*>$ and safety stock level that minimize total cost with back-ordered case. This new model is formulated as a 0-1 nonlinear integer programming problem. To solve the problem, this paper proposes heuristic computational procedures and program and provides numerical examples.

1. 서론

현대 기업경영에 있어서 최대현안중의 하나는 물류의 효율적관리 및 운영에 있으며, 물자흐름의 연결점으로 존재하는 물류거점시설(이하 물류센터)은 물류현대화의 전략거점이라는 점에서 매우 중요하다. 물류센터는 적체(積替)기능, 혼재(混載)기능, 보관기능, 유통가공기능 및 정보센터의 기능을 갖고있으며[13] 이를 물류비의 구조로 보면 수송비, 포장비, 보관비, 하역비, 정보비로 구성되고 구성비율은 업종에 따라 다르지만 제조업체의 평균비율로 보면 수송비 및 보관비가 차지하는 비율이 전체비용의 60%에 이른다. [12, 15] 따라서 다수의 도매상 또는 대리점(이하 수요처)의 주문에 대비하여 재고를 배치할 물류센터의 선정과 재고 및 수송을 고려한 모형개발은 기업내 물류비 절감과 고객만족이라는 측면에서 중요하다.

물류시스템의 4 가지의 기본전략으로 위치선정문제, 재고관리문제, 수송계획문제 그리고 고객서비스수준문제가 있는데[2] 이들 각각의 모듈에 대한 문제해결을 위하여 많은 연구가 있어왔다. 대표적인 것으로 차량경로문제(VRP)와 순회판매원문제(TSP)에 대하여 기존의 알고리즘

* 한국표준협회
** 건국대학교 산업공학과

들을 총정리한 Laporte(1992)연구가 있으며, 재고관리모형의 대표적인 Hadley & Whitin(1963)의 연구가 있다. 또한, 물류시스템의 의사결정을 지원하기 위하여 수송비용과 재고관련비용사이의 적절한 균형을 유지하기위한 통합모형들이 개발되었는데 Coyle et al.(1984)의 연구는 수요가 확정적일 경우 수량할인을 고려한 모형을 제시하고 있으며, Federgruen et al.(1984)은 확정적인 차량경로문제에 대하여 수송비용과 재고유지비 및 품절비용을 고려한 모형을, Burns et al.(1985)은 트럭에 의하여 화물을 배송하는 물류시스템에서의 재고 및 수송비용이 적재량(shipment size)에 의존할 경우의 비용에 대한 최소화전략을 제시하였고, Anily & Federgruen(1990)은 하나의 물류센터와 복수의 도매상에 대하여 모든 도매상이 그들의 수요를 충족할 경우 수송비용과 재고비용을 최소로 하는 통합조달정책을 결정하기 위한 모형을 제시하였다. 西澤脩(1992)는 최적센터설치수를 결정하기 위하여 보관비용과 수송비용을 고려한 물류채산분석을 실시하였다. 그러나 이러한 모형은 수요량이 확정적인 경우가 대부분이며 불확실한 수요량에 대한 재고관리방식과 수송문제를 동시에 고려한 모형에 대한 연구가 横山雅夫(1995)에 의해 제시되었다. 그러나 横山(Yokoyama)의 모형은 조달기간중의 품절확률에 대하여 임의로 허용결품률(K_{pl})을 주어 최적성에 문제가 있다. 품절확률은 재발주점이 한계이익(marginal benefit)과 한계비용(marginal cost)이 같아지는 점에서 결정되어야 한다. 또한 품절시 비용을 고려하지 않았으며, 재고정책에서 단위기간에 대한 구분이 모호하여 조달기간이 단위기간의 몇배나 되는 비현실적인 문제가 발생된다. 따라서 본 연구는 재고를 분산보유하고 있는 복수의 공급후보지(물류센터)와 수요처(depot)사이의 재고에 관한 비용과 수송비용의 총합을 최소로하는 통합모형을 구축하며, 이 경우 수요처의 수요량이 기지의 확률분포를 갖는 확률변수인 경우를 고려하며 다수의 수요처에 재고를 배치할 물류센터의 선정과 부재고시 품절비용을 고려하여 선정된 각각의 물류센터에 대하여 연속재고모형인 발주점방식 (Q_i,r_i)에 의한 최적발주량 및 발주점 그리고 안전재고를 결정하는 최적재고정책을 제시한다. 이 모형은 0-1 비선형정수계획법으로 정식화되며, 최적해를 구하기 위한 계산절차와 컴퓨터 프로그램을 개발하며 수치사례를 제시한다.

본 연구 및 기존 연구모형과의 비교를 <표 1>에 나타낸다.

<표 1> 연구모형 비교

구　분	특　징
기존의 연구	- 수송계획법에 의하여 물류센터를 선정 후 최적재고정책 구축
Yokoyama 모형	- 수요가 확률적인 경우 배송과 재고정책 통합화 - 복수의 물류센터와 수요처에서 수송비와 재고비용의 합이 최저인 곳을 선정하여 물류센터에 할당 - 0-1비선형혼합정수계획법 모형화와 branch & bound알고리즘을 해법으로 이용 [한 계] - 부재고시 임의로 결품률(K_{pl})을 제약하여 최적성에 무리가 있고 또한 품절시 품절비용을 고려하지 않음 - 주기(cycle)와 연간재고정책과의 혼선 (즉, 단위기간 수요량과 연간평균수요량의 개념이 없어 조달기간중 수요량이 비현실적임)
본 연 구	- Yokoyama모형의 한계극복 - 선정된 각각의 물류센터에서 부재고시 품절비용을 고려한 (Q,r)재고정책(발주량,발주점 및 안전재고) 제시 - 최적해를 구하기 위한 heuristics approach에 의한 계산절차 구축과 전산프로그램 개발

2. 본론

2.1 가정 및 기호정리

2.1.1 가 정

(1) 취급품목은 1 종류만을 고려한다.
(2) 수요처의 주문에 따라 물류센터로부터 수송하여 공급하며, 하나의 수요처는 항상 정해진 하나의 물류센터로부터 공급받는다.
(3) 수요처의 수요량은 확률변수이며 단위기간당 수요량의 평균과 분산이 시간적으로 일정한 독립된(수요처간 및 시간적으로) 기지의 정규분포에 따른다.
(4) 각 물류센터는 정량발주방식에 의한 재고관리를 하며 재고비용,발주비용,품절비용 및 수송비용의 총합을 최소화함에 따라 각 물류센터의 담당 수요처 결정과 이 경우 발주점, 발주량 그리고 안전재고를 결정하는 것으로 한다.
(5) 품절시 유실판매가 없는 부재고인 경우를 고려한다.

2.1.2 기호정의

i : 물류센터(재고설치후보지)의 번호 ($i=1,2, \ldots ,m$)
j : 수요처의 번호 ($j=1,2, \ldots ,n$)
C_{ij} : i 물류센터로 부터 j 수요처로 수송할시 단위당수송비용
r_i : i 물류센터의 발주점
Q_i : i 물류센터의 발주량
C_{hi} : i 물류센터의 연간재고단위당유지비용
C_{oi} : i 물류센터의 1회당 발주비용
C_{Bi} : i 물류센터의 단위품절당 품절비용
L_i : i 물류센터의 납입조달기간
D_j : j 수요처의 단위시간당 수요량(확률변수)
μ_j : j 수요처의 연간수요량의 평균 (= EVR_j)
σ_j : j 수요처의 연간수요량의 표준편차 (= STD_j)
x_{ij} : j 수요처를 i 물류센터에서 취하면 1, 그렇지않을 경우 0 인 0-1변수
E_i : i 물류센터로 배분된 단위시간당 수요량(확률변수)
M_i : i 물류센터로 배분된 수요량의 평균
V_i : i 물류센터로 배분된 수요량의 분산
OHI_i : i 물류센터의 재고량
B_i : i 물류센터의 품절량
I_i : i 물류센터의 순재고량
SSL_i : i 물류센터의 안전재고수준
y_i : i 물류센터의 조달기간중의 수요량(확률변수)
$E_i(y_i)$: i 물류센터의 조달기간중의 평균수요량 (= $EVRL_j$, L_iM_i)
$STDL_i$: i 물류센터의 조달기간중의 표준편차 (= $(L_iM_i)^{1/2}$)

2.2 통합모형

m 개의 물류센터(재고배치후보지)와 n 개의 수요처가 있는 물류시스템에서 수요처의 수요량은 확률변수이며 단위시간당 수요량의 평균과 분산이 시간적으로 일정한 독립된 기지의 정규분포에 따를 때 i 물류센터에서 담당하는 소비지 수요량의 합 E_i, E_i의 평균 M_i와 분산 V_i는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E_i = \sum_{j=1}^{n} D_j\ x_{ij} \qquad i = 1,2,\ \dots\ ,\ m \tag{1}$$

$$M_i = \sum_{j=1}^{n} \mu_j\ x_{ij} \qquad i = 1,2,\ \dots\ ,\ m \tag{2}$$

$$V_i = \sum_{j=1}^{n} \sigma_j^2\ x_{ij} \qquad i = 1,2,\ \dots\ ,\ m \tag{3}$$

또한, 하나의 물류센터로부터 여러 수요처로 수송할 수 있지만 하나의 수요처는 항상 정해진 하나의 물류센터로부터 제품을 공급받는 것으로 하며 일단, 각 물류센터에서 담당하는 수요처가 정해지면 각 물류센터에서 받는 수요량의 분포는 확정적이며 기지인 경우가 되기 때문에 각 물류센터에 대한 재고정책으로 발주점방식인 <Q,r>모형을 고려한다. [6, 7, 8, 11]

각 단위의 구매가는 같다고 가정하며 구매비용은 고정적이기 때문에 총비용함수에서 제외한다. 또한 선정된 물류센터에서의 재고정책은 동일하기 때문에 첨자 i는 생략하며, 여기서 K(Q, r)은 각 발주량이 Q단위이고 재발주점이 r일 때 발주할 경우 연간기대총비용을 나타낸다. 그러면, K(Q,r) = (연평균재고유지비) + (연평균발주비) + (연평균품절비) 이다. 최적재발주점 및 발주량을 결정하기 위하여 평균품절량은 평균재고량수준과 관련하여 매우 적다고 가정한다. 대부분의 경우 품절은 보통 일련의 주기중 매우 작은 기간에서 발생하므로 이 가정은 합리적이라고 할 수 있다. 그러면 I(t) = OHI(t) - B(t)에서

$$\text{시점 t에서의 평균순재고량[E(I)]} \approx \text{시점 t에서의 평균재고량[E(OHI)]} \tag{4}$$

을 산출할 수 있다.

연간재고유지비용은 연간재고단위당유지비용(C_h)에다 평균재고량[E(OHI)]을 곱하여 구할 수 있는데 식 (4)로부터 연간재고단위당유지비용(C_h)에다 평균순재고량[E(I)]을 곱하여 연간재고유지비용을 근사적으로 구할 수 있다. 평균수요발생률이 일정하다고 하면 하나의 주기동안의 평균순재고량[E(I)]은 주기가 시작되는 지점에서의 평균순재고량에다 주기가 끝나는 지점에서의 평균순재고량을 더하여 2로 나눈값이 된다. 주기의 마지막 지점에서 재고수준은 재발주점(r)에서 조달기간중의 수요량(LM)을 뺀 것과 같다. 즉 r-LM이 된다.

주기가 끝나는 지점에서의 재고수준은 발주량 Q가 도착됨에 따라 증가하게 되며 동시에 이 지점이 주기가 시작되는 지점이 된다. 그러므로 주기가 시작되는 지점에서의 평균순재고량은 r

-LM+Q가 된다. 그러면 주기동안의 평균순재고량[E(I)]은 다음과 같다.

$$\text{주기동안의 평균재고량}[E(I)] = 1/2(r-LM+r-LM+Q) = Q/2 + r - LM$$

따라서, 연평균재고유지비용은 $C_h(Q/2+r-LM)$가 되며 또한 연평균발주비용은 회당발주비(C_o)에다 연평균발주회수(M/Q)를 곱한 C_oM/Q가 된다.

연평균품절비용을 구하기 위하여, 연간 발생된 평균품절량은 단순히 주기당 발생된 평균품절량에다 연간 평균주기수를 곱한 것이 된다. 즉, M/Q를 주기당 발생된 평균품절수에 곱한 것이 된다. 하나의 주기당 발생된 품절량 B(y,r)은 발주량이 도착할 때 장부상에서의 품절량이 될 것이다. 만일 조달기간중의 수요량(확률변수)이 y라면, 품절량은 식 (5)와 같이 된다.

$$B(y,r) = \begin{cases} 0 & \text{if } y - r < 0 \\ y-r & \text{if } y - r \geq 0 \end{cases} \tag{5}$$

그러므로 평균품절량 E[B(r)]은

$$E[B(r)] = \int_0^{\infty} B(y,r)\, h(y)\, dy = \int_r^{\infty} (y-r)\, h(y)\, dy = \int_r^{\infty} y\, h(y)\, dy - r\, H(r) \tag{6}$$

여기서, h(y)는 조달기간 수요량의 주변분포(marginal distribution)이고 H(y)는 h(y)의 누적분포이다. 그리고 h(y)가 평균 LM(조달기간중의 평균수요량)과 표준편차 $(LV)^{1/2}$를 갖는 정규분포라면 즉, $h(y) = n(y;LM,(LV)^{1/2})$이라면,

$$\begin{aligned} \int_r^{\infty} y\, h(y)\, dy &= \int_r^{\infty} yn(y;LM,(LV)^{1/2})\, dy \\ &= \int_r^{\infty} (y/(LV)^{1/2})\phi[(y-LM)/(LV)^{1/2}]\, dy \\ &= (LV)^{1/2} \int_{(r-LM)/(LV)^{1/2}}^{\infty} v\phi(v)\, dv + LM \int_{(r-LM)/(LV)^{1/2}}^{\infty} \phi(v)\, dv \\ &= (LV)^{1/2}\phi[(r-LM)/(LV)^{1/2}] + LM\,\Phi[(r-LM)/(LV)^{1/2}] \end{aligned} \tag{7}$$

로 나타낼 수 있다.

따라서, 연평균품절비용은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & C_BM/Q[\int_r^{\infty} y\, h(y)\, dy - r\, H(r)] \\ &= C_BM/Q\ \{(LM-r)\Phi[(r-LM)/(LV)^{1/2}] + (LV)^{1/2}\phi[(r-LM)/(LV)^{1/2}]\} \end{aligned}$$

그러므로 재고와 관련된 연간총비용 K(Q,r)은

$$K(Q,r) = C_oM/Q + C_h(Q/2+r-LM) + C_BM/Q\ \{(LM-r)\Phi[(r-LM)/(LV)^{1/2}] + (LV)^{1/2}\phi[(r-LM)/(LV)^{1/2}]\} \tag{8}$$

이 된다.

또한, 연평균수송비용은 식 (9)와 같이 된다.

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} C_{ij}\ \mu_j\ x_{ij} \tag{9}$$

따라서, 재고에 관한 비용과 수송비용의 총합을 최소로하는 재고 및 수송계획의 통합모형은 식 (8)과 식 (9)를 더한 물류시스템의 연간총평균기대비용을 최소화하는 모형이되며 이 모형은 x_{ij}, M_i, V_i, r_i, Q_i를 변수로 한다. 이를 모형화하면 [모형 1]과 같다.

[모형 1]

목적함수(최소화) :

$$Z = \sum_{i=1}^{m} [C_{oi}M_i/Q_i + C_{hi}(Q_i/2+r_i-L_iM_i) + C_{Bi}M_i/Q_i\ \{(L_iM_i-r_i)\Phi[(r_i-L_iM_i)/(L_iV_i)^{1/2}] + (L_iV_i)^{1/2}\phi[(r_i-L_iM_i)/(L_iV_i)^{1/2}]\}] + \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} C_{ij}\ \mu_j\ x_{ij} \tag{10}$$

제약조건 :

$$M_i = \sum_{j=1}^{n} \mu_j\ x_{ij} \qquad i = 1,2, \ldots , m \tag{2}$$

$$V_i = \sum_{j=1}^{n} \sigma_j^2\ x_{ij} \qquad i = 1,2, \ldots , m \tag{3}$$

$$\sum_{i=1}^{m} x_{ij} = 1 \qquad j = 1,2, \ldots , n \tag{11}$$

$$x_{ij} = 0,\ 1 \qquad i = 1,2, \ldots , m\ ;\ j = 1,2, \ldots , n \tag{12}$$

$$r_i \geq 0, \qquad i = 1,2, \ldots ,m \tag{13}$$

$$Q_i \geq 0, \qquad i = 1,2, \ldots ,m \tag{14}$$

여기서 식(11), (12)는 하나의 수요처는 하나의 물류센터로부터 제품을 공급받다는 것을 나타내는 제약식이다.

x_{ij}(및 M_i, V_i)가 [모형 1]의 제약식을 만족하는 범위에서 정해진다면 이 모형은 선정된 물류센터마다의 r_i, Q_i만의 최적화문제가 되며, x_{ij}가 정해진 경우 선정된 물류센터마다의 r_i, Q_i만을 변수로 하는 다음과 같은 최소화문제 [모형 2] 로 분해할 수 있다.

[모형 2]
목적함수(최소화) :

$$K_i = C_{oi}M_i/Q_i + C_{hi}(Q_i/2+r_i-L_iM_i) + C_{Bi}M_i/Q_i \{(L_iM_i-r_i)\Phi[(r_i-L_iM_i)/(L_iV_i)^{1/2}] + (L_iV_i)^{1/2}\phi[(r_i-L_iM_i)/(L_iV_i)^{1/2}]\} + \sum_{j=1}^{n} C_{ij}\,\mu_j\,x_{ij} \quad (15)$$

제약조건 :

$$0 \le Q_i^* \le \infty,\quad 0 \le r_i^* \le \infty \quad (16)$$

모형 2의 최적해는 $dK_i/dQ_i=0$ 및 $dK_i/dr_i=0$에 의하여 구할 수 있다.

$$dK_i/dQ_i = 0 = -C_{oi}M_i/Q_i^2 + C_{hi}/2 - C_{Bi}M_iE[B(r_i)]/Q_i^2 \quad (17)$$

$$dK_i/dr_i = 0 = C_{hi} + C_{Bi}M_i[-r_ih(r_i) + r_ih(r_i) - H(r_i)]/Q_i \quad (18)$$

식 (17)과 식 (18)에서 Q_i^*, r_i^*를 풀면 아래와 같다.

$$Q_i^* = [\ 2M_i\{C_{oi} + C_{Bi}M_iE[B(r_i)\}\ /\ C_{hi}\ ]^{1/2} \quad (19)$$

$$H(r_i) = Q_iC_{hi}\ /\ C_{Bi}M_i \quad (20)$$

식 (19)에서 EOQ가 조달기간중의 수요량의 표준편차보다 작지않는한 EOQ값이 Q_i^* 값과 거의 일치한다. [11] 따라서 최적발주량을 구하는데 식 (21)과 같이 EOQ공식을 이용한다.

$$Q_i^* = (2M_i\ C_{oi}\ /\ C_{hi})^{1/2} \quad (21)$$

그리고 발주점(r_i)을 구하기 위하여 식 (20)의 값이 표준정규밀도(Standard Normal Density)에서 z부터 ∞ 까지의 면적값을 나타내는데 이는 누적정규분포표에서 쉽게 찾을 수 있지만 컴퓨터로 문제수행시 직접 값을 구해야 한다. 따라서 다음의 식과 같이 오차함수(error function)에 대하여 Newton-Raphson Method를 이용하여 z값을 구한다.

$$\phi(z) = 1/(2\pi)^{1/2}\ \exp\{-(1/2)z^2\} \quad (22)$$

$$\Phi(z) = \int_z^{\infty} \phi(t)\ dt \quad (23)$$

$$\Phi((r-EVRL)/STDL) = [1+\gamma(1/2,\ z^2/2)/\Gamma(1/2)]/2 = H(r_i) \quad (24)$$

여기서, $erf(x)=\gamma(1/2,\ z^2/2)/\Gamma(1/2)$이며, 이는 불완전감마함수(Incomplete Gamma Function)의 형태를 갖는다.

식 (24)를 만족하는 z값을 구한다음 식 (25)와 같이 발주점(r_i)을 구한다.

$$r_i = EVRL_i + z_i * STDL_i \tag{25}$$

또한 안전재고수준은 다음과 같이 계산한다.

$$SSL_i = r_i - EVRL_i \tag{26}$$

2.3 해법 절차

본 모형은 x_{ij}만을 변수로 보는 경우 0-1변수만으로 되는 문제임에도 불구하고 복잡한 비선형함수가 포함되어 있기 때문에 최적해를 구하는데 해법상 연구가 필요하다. 본 연구에서는 제약조건을 만족하는 배열조합을 구성하고 각 조합에 대하여 계산을 행하는 brute-forced approach에 의하여 해를 구한다.

최적해를 구하기 위하여 사용된 컴퓨터기종은 MIRACLE 20000으로 8 MIPS(Million Instruction Per Second)의 슈퍼미니컴퓨터이며 운영체제는 UNIX System V Rel. 3.1로 C언어를 이용하여 다음의 해법 절차에 따른 프로그램을 개발하였다.

[절차 1] 물류센터와 수요처의 할당가능한 조합을 배열화하며 초기값을 입력한다.

물류센터가 m이고, 수요처가 n인 물류시스템에서 각각의 수요처는 하나의 물류센터에서만 제품을 공급받는다는 것에 대하여 나타낼 수 있는 배열조합의 수는 m^n개이며 이는 각 배열에서 센터와 수요처에 대한 할당여부를 표현한다. 여기서 배열명을 solution[][]이라고 하고 이를 프로그래밍 수식으로 표현하면 다음과 같다.

```
for(h=0 ; h<n ; h++)
{
        p = 0 ;
        for(k=0 ; k<m^(h+1) ; k++)
                for(l=0 ; l<m^(n-h-1) ; l++)
                {
                        x = div(k/m)
                        switch(x.rem)
                        {
                                case 0 : i=1; break;
                                    ...
                        }
                        solution[p][2*h] = i ;
                        solution[p][2*h+1] = h+1 ;
                        p++ ;
                }
}
```

[절차 2] 배열의 해당 행에 대하여 각 물류센터에 할당된 수요처를 찾는다

[절차 3] 수요처가 할당된 해당 물류센터에 대하여 평균수요량과 분산, 조달기간중의 수요량 및 표준편차를 계산한다.

$$M_i = \sum_{j=1}^{n} EVR_j \ x_{ij} \quad (2)$$

$$V_i = \sum_{j=1}^{n} (STD_j)^2 \ x_{ij} \quad (3)$$

$$EVDL_i = L_i \ M_i \quad (27)$$

$$STDL_i = (L_i \ V_i)^{1/2} \quad (28)$$

[절차 4] 식 (21)에 의하여 Q_i^*값을 구하고 식 (24), (25), (26)으로부터 r_i^*, SSL_i^*을 계산한다.

[절차 5] 물류센터의 재고관리비용과 수송비용의 합계를 구하고, 마지막 물류센터까지 계산을 수행했는지 확인한다. 마지막 물류센터까지 계산이 수행되었으면 [절차 6]으로 가고 아니면 [절차 3]으로 간다.

[절차 6] 물류센터마다의 비용을 더하여 배열의 행에 해당하는 총비용(K_i)을 구한다음 배열조합의 실행순서값이 m^n보다 작으면 다음 순서의 행을 계산하기 위하여 [절차 2]로 가고 아니면 [절차 7]로 간다.

[절차 7] 전체의 배열조합에 대하여 계산이 수행되었으면 각 행에서 구한 총비용값을 비교하여 최소값을 갖는 행을 찾아 최적재고정책 및 총비용을 출력한다.

3. 수치예

구체적인 사례에 근거하여 수치검증을 실시하여야 하지만 본연구는 수송계획과 재고관리의 통합화에 관한 이론연구를 지향하고 있기 때문에 아래의 수치를 이용하여 본 모형의 의의와 타당성을 명확하게 하고자 한다. 즉, 센터수(m)는 3, 수요처수(n)는 10인 경우에서 전체의 i에 대하여 C_{hi}=50원, C_{oi}=10,000원, C_{Bi}=100원, L_i=14일이며 수요처의 수요량 및 수송비용은 <표 2>, <표 3>과 같다.

<표 2> 수요처의 수요량

[unit/year]

수요처번호		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
평균	μ_j	2500	1500	1700	2000	2700	2500	2200	2000	2000	1500
표준편차	σ_j	100	70	90	60	80	90	80	90	90	60

<표 3> 수송비용 C_{ij}

[원/unit]

물류센터번호	수 요 처 번 호									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	30	28	39	14	20	22	30	7	13	26
2	10	14	10	10	6	18	9	17	28	13
3	17	14	8	12	9	9	18	8	14	20

컴퓨터로 수행한 계산결과 배열조합의 행순서가 31,804번째에서 총비용이 최소값을 가진다. 이 경우 물류센터 2에 수요처 1,2,4,5,7,10이 할당되고 물류센터 3에 수요처 3,6,8,9가 할당되어 물류센터 2,3이 선택되고 이 물류시스템의 기대총비용은 409,818원/년이 된다. 선정된 각 물류센터의 최적재고정책을 포함한 계산결과를 <표 4>에 종합하여 나타낸다.

<표 4> 최적해

[units]

물류 센터	할당된 수요처	수요량 평 균 (M_i)	수요량 분 산 (V_i)	조달기간		최적재고정책		
				수요량 ($EVRL_i$)	표준편차 ($STDL_i$)	발주량 (Q_i^*)	발주점 (r_i)	안전재고 (SSL_i)
2	1, 2, 4, 5, 7, 10	12,400	34,900	477	36.6	2,227	526	49
3	3, 6, 8, 9	8,200	32,400	315	35.3	1,811	358	43

재고비용	수송비용	물류센터별 총비용	총비용
114,663	121,500	236,163	409,818
93,555	80,100	173,655	

여기서 비교를 위하여 수송비용의 합만을 목적함수로 하여 물류센터를 선택하고 계속해서 재고관련비용의 최적화를 구한 경우는 <표 5>와 같다.

<표 5> 기존모형의 해

[units]

물류센터	할당된 수요처	수요량 평균 (M_i)	수요량 분산 (V_i)	조달기간		최적재고정책		
				수요량 ($EVRL_i$)	표준편차 ($STDL_i$)	발주량 (Q_i^*)	발주점 (r_i)	안전재고 (SSL_i)
1	8, 9	4,000	16,200	154	25	1,265	179	25
2	1, 4, 5, 7, 10	10,900	30,000	419	34	2,088	464	45
3	2, 3, 6	5,700	21,100	219	29	1,510	251	32

재고비용	수송비용	물류센터별 총비용	총비용
65,159	40,000	105,159	447,983
107,407	100,500	207,907	
77,817	57,100	134,917	

즉, 기존의 방법으로 최적화를 구하는 경우 물류센터 1,2,3이 선정되고 기대총비용은 447,983 원/년이 된다. 따라서 본 연구의 통합모형을 적용하여 물류정책을 수립할 경우 기존 모형보다 연간 약 10%의 비용절감이 기대된다.

4. 결론

본 연구는 재고를 분산보유하고 있는 m개의 물류센터와 n개의 수요처 사이의 재고에 관한 비용과 수송비용의 총합을 최소로하는 재고 및 수송계획을 통합한 모형을 구축하였다. 이 경우 수요처의 수요량이 기지의 확률분포를 갖는 확률변수인 경우를 고려하며 다수의 수요처에 재고를 배치할 물류센터의 선정과 부재고시 품절비용을 고려하여 선정된 각각의 물류센터에 대하여 연속재고모형인 발주점방식 (Q_i,r_i)에 의한 최적발주량 및 발주점 그리고 안전재고를 결정하는 최적재고정책을 제시하여 Yokoyama모형의 한계를 극복하였다.

또한, 이 모형은 0-1 비선형정수계획법으로 정식화되며 이를 해결하기 위하여 발견적 절차(heuristic Approach)에 의한 계산절차를 제시하였고 최적해를 구하기 위한 컴퓨터 프로그램을 개발하였으며 수치예를 들어 제안한 모형의 타당성을 나타내었다.

본 연구는 배열조합 전부에 대한 계산실시로 컴퓨터 용량을 많이 차지하며 컴퓨터수행시간(program run time이 15분 40초 임)이 오래걸리는 한계가 있다. 따라서 최적해를 보다 적은 노력으로 찾을 수 있는 차후연구가 진행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] Anily, S. and Federgruen, A., "One Warehouse Multiple Retailer Systems with Vehicle Routing Costs", *Management Science*, Vol. 36, No. 1, pp. 92-114, 1990.

[2] Ballou, R. H., *Business Logistics Management,* Prentice-Hall, Inc., New Jersey, pp. 35, 1992.

[3] Burns, L. D., Hall, W., Blumenfeld, D. E. and Daganzo, C. F., "Distribution Strategies That Minimize Transportation and Inventory Costs", *Operations Research*, Vol. 33, No. 3, pp. 469-490, 1985.

[4] Coyle, J. J. and Bardi, E. J., *The Management of Business Logistics,* West Publishing Co. pp. 170-177, 1984.

[5] Federgruen, A. and Zipkin, P., "A Combined Vehicle Routing and Inventory Allocation Problem", *Operations Research*, Vol. 32, No. 5, pp. 1019-1037, 1984.

[6] Hadley, G. and Whitin, T. M., *Analysis of Inventory Systems,* Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1963.

[7] Hax, A. C. and Candea, D., *Production and Inventory Management*, Prentice-Hall, Inc New Jersey, 1984.

[8] Johnson, L. A., *Operations Research in Production Planning, Scheduling and Inventory Control*, John Wiley & Sons, 1974.

[9] Larporte, G., "The Traveling Salesman Problem : An overview of exact and approximate algorithms", *European Journal of Operational Research*, Vol. 59, No. 2, pp. 231-247, 1992.

[10] Larporte, G., "The Vehicle Routing Problem : An overview of exact and approximate algorithms", *European Journal of Operational Research*, Vol. 59, No. 3, pp. 345-358, 1992.

[11] Winston, W. L., *Operations Research Application and Algorithm*, Pws-Kent, 1991.

[12] 河西健次, <u>物流コスト計算の實際</u>, 日本能率協會, 1989.

[13] 川口順啓 外, <u>物流合理化と新交通・輸送システム</u>, 現代工學社, 1976.

[14] 西澤脩, <u>物流・配送センターハンドブック</u>, 流通硏究社, pp. 97-102, 1992.

[15] 武田正治 外, <u>物流センター設計・システムマニュアル</u>, 日本物的流通協會, 1989.

[16] 橫山雅夫, "物流・配送システムの統合的最適化", <u>日本經營工學會誌</u>, Vol. 46, No. 1, pp. 63-69. 1995.