

A Mixed Approach for Single-Vendor-Single-Buyer Production Inventory Integration Problem

Dongju Lee[†]

Dept. of Industrial & Systems Engineering, Kongju National University

판매자-구매자 생산-재고통합 문제를 위한 Mixed Approach

이 동 주[†]

공주대학교 산업시스템공학과

Unlike most researches that focus on single manufacturer or single buyer, this research studies the cooperation policy for two participants of supply chain such as single vendor and single buyer. Especially, this paper deals with single vendor-single buyer integrated-production inventory problem. If the buyer orders products, then the vendor will start to make products and then the products will be shipped from the vendor to the buyer many times. The buyer is supposed to order again when the buyer's inventory level hits reorder point during the last shipment and this cycle keeps repeated. The buyer uses continuous review inventory policy and customer's demand is assumed to be probabilistic. The contribution of this paper is to present a mixed approach and derive its cost function. The existing policy assumes that the size of shipping batch from single vendor to single buyer is increasing, called Type 1, or constant, called Type 2. In mixed approach, the size of shipping batch is increasing at the beginning part of the cycle, and then its size is constant at the ending part of the cycle. The number of shipping for Type 1 and Type 2 in a cycle in mixed approach is determined to minimize total cost. The relationship between parameters, for example, the holding cost per product, the set up cost per order, and the shortage cost per item and decision variables such as order quantity, safety factor, the number of shipments, and shipment increasing factor is figured out via sensitivity analysis. Finally, it is statistically proved that the mixed approach is superior to the existing approaches.

Keywords : Integrated Inventory Model, The First Order Necessary Condition, Continuous Review Inventory System

1. 서 론

기존의 연구들은 하나의 창고나 회사를 대상으로 재고 관련비용을 절감하는 재고정책을 제시하거나, 해당 정책에 대해 재고관련비용을 최소화 하는 해법을 제시하는 것들이었다. 그러나, 공급사슬에 참여하는 기업들 간의 협

조를 통해 기업 간에 존재하는 물류비용의 낭비를 감소시키는 것이 점차 중요해짐에 따라 최근에는 통합모형에 대한 연구들이 진행되어왔다. Glock and Kim[3]은 하나의 구매자와 다수의 판매자가 존재하는 경우 다수의 판매자들을 그룹화하여 함께 운송한다면 많은 비용절감을 할 수 있다는 것을 밝혀내었다. Hoque[7]은 생산자와 구매자 통합 재고 모형에서 리드타임이 지수분포보다는 정규분포를 사용하는 것이 더 적절하다는 것을 알아내고 정규분포를 따르는 경우에 대한 해법을 제시하였다.

Kim[9]은 하나의 판매자와 하나의 구매자가 존재하는

경우에 대한 통합모형에서 운송비용을 총비용에 추가하고 이에 대한 휴리스틱을 제시하였다. 또한, Kim[8]은 하나의 제조업자와 다수의 구매자가 존재하며 제조업자는 다양한 원재료를 판매자는 다양한 완제품을 생산하는 경우에 대한 통합모형을 위한 휴리스틱을 제시하였다. Lee [10]는 수량할인, 예산에 대한 제약이 존재하는 재고관리 모형에서 리드타임이 로트크기에 비례하는 경우 라그랑주 완화에 기반한 해법을 제시하였다.

본 연구는 이러한 기업 간에 존재하는 재고관련비용의 절감을 위해 연구되어온 생산-재고 통합 모형에 관한 것이다. 구매자는 재고량을 실시간으로 계속 지켜보다가 미리 정해둔 재주문점(r , reorder point)까지 감소하면, 주문량(Q , order quantity)만큼 주문하는 연속적 재고관리 정책을 사용한다[5]. 재고관련비용을 최소화하도록 r , Q 가 결정되어야 한다. 이러한 판매자-구매자 생산-재고 통합모형에서 공급자의 리드타임이 구매자의 주문량에 비례하는 경우에 대한 연구들이 이루어져 왔다. Ben-Daya and Hariga[1], Hill[6], Lee[11]는 이송배치의 크기가 일정한 경우에 대한 비용함수를 도출하고 이에 대한 해법을 제시하였다. 또한, Glock[4]은 이송배치의 크기가 증가하는 경우에 대한 비용함수를 도출하고 이에 대한 해법을 제시하였다.

본 연구에서는 리드타임이 구매자의 주문량에 비례하는 판매자-구매자 생산-재고 통합 모형에 대해 새로운 해법인 Mixed Approach와 그에 대한 비용함수를 제시하고, 기존의 해법들보다 우수함을 입증하였다. 또한, 민감도분석을 통해 제시한 해법의 매개변수들이 의사결정변수들에 어떠한 영향을 미치는지 파악하는데 그 의의가 있다고 하겠다.

제 2장에서는 판매자-구매자 생산-재고 통합 모형에 대해 설명하고 기존의 해법들과 본 연구에서 제시하는 해법인 Mixed approach에 대해 설명하고, Mixed Approach를 위한 총비용함수를 도출한다. 제 3장에서는 제1계 필요조건을 이용하여 의사결정변수들을 구하는 식을 도출하고, 이식들을 이용하여 Mixed approach 알고리즘을 제시한다. 제 4장에서는 예제를 통해 Mixed approach 적용하는 경우 다수의 매개변수들에 대한 민감도분석을 실시하여 다양한 경우에 매개변수들이 의사결정변수들에 어떠한 영향을 미치는지 살펴본다. 또한, 통계적 검정을 통해 Mixed approach가 기존의 approach들보다 우수함을 입증한다. 마지막으로 제 5장에서는 결론과 미래연구방향에 대해 언급하였다.

2. 문제 정의

판매자-구매자생산 재고 통합모형은 구매자가 주문을 하면 판매자는 생산을 시작하고 생산된 제품을 여러 번의 이송을 통해 구매자에게 전달하는 모형이다. 이때, 이송할

때마다 이송량이 증가하는 경우(Type 1)와 이송량이 고정되는 경우(Type 2)가 있다. 이때 Type 1이 Type 2보다 총비용이 절감된다[1]. 그 이유는 연간생산량이 연간수요를보다 크므로 (즉, $1/p > D$), 이송배치의 크기가 증가하는 Type 1이 비용절감에 도움이 되기 때문이다. 본 연구에서는 초기의 이송횟수 n_1 동안은 이송배치의 크기가 증가하는 Type 1로, 이후의 이송횟수 n_2 동안은 이송배치의 크기가 고정되는 Type 2로 하는 Mixed Approach를 제안하였다.

먼저 Type 1을 적용하는 이송횟수 n_1 동안에서의 이송배치 크기와 리드타임은 다음과 같이 계산된다. 이송배치의 크기는 증가율 $\alpha (\geq 1)$ 에 비례하여 증가하는데, 이때 j 번째 배치의 배치 크기는 식 (1)과 같다[4].

$$q_j = q_1 \alpha^{j-1}, \quad j = 1, 2, \dots, n_1. \quad (1)$$

단, q_1 은 1번째 이송배치의 배치 크기이다.

j 번째 배치의 이송배치 크기 q_j 에 대한 리드타임은 식 (2)와 같다.

$$LT(q_j) = pq_j + b, \quad j = 1, 2, \dots, n_1. \quad (2)$$

단, p 는 공급자의 단위제품당 생산시간(단위 : 년/개)이며, b 는 운송이나 비생산시간으로 인한 고정지체시간이다.

Type 2를 적용하는 이후의 이송횟수 n_2 동안에서의 이송배치 크기는 Type 1의 마지막 n_1 번째 이송배치 크기인 $q_1 \alpha^{n_1-1}$ 로 고정되므로 식 (3)과 같다[1, 6, 11].

$$q_j = q_1 \alpha^{n_1-1}, \quad j = n_1 + 1, n_1 + 2, \dots, n \quad (3)$$

단, 총 이송횟수 $n = n_1 + n_2$ 이다. 또한, 리드타임은 식 (2)와 동일하다.

이러한 내용을 종합하여 Mixed Approach를 다시 설명하면, 구매자는 $\sum_{j=1}^{n_1} q_j + n_2 q_1 \alpha^{n_1-1}$ 개를 공급자에게 주문한다. 공급자는 생산율 $1/p$ 로 $\sum_{j=1}^{n_1} q_j + n_2 q_1 \alpha^{n_1-1}$ 개를 생산한다. 구매자는 제품을 n_1 회 동안의 이송에서는 $q_1 \alpha^{j-1}$ 개씩 공급받고, 이후의 n_2 회 동안의 이송에서는 $q_1 \alpha^{n_1-1}$ 개씩 공급받는다. 구매자는 연속적 재고관리 모형을 사용하므로 마지막 n_2 번째 즉, 전체로 보면 n 번째에 재고수준이 재주문점인 r 에 도달하면 공급자에게 $\sum_{j=1}^{n_1} q_j + n_2 q_1 \alpha^{n_1-1}$ 개를 다시 주문하고, 이런 식으로 반복된다.

본 연구에서 쓰이는 기호들은 다음과 같다.

X : 리드타임 동안의 수요에 대한 확률변수,
 $X \sim N(\mu, \sigma^2)$

$f(x)$: 확률 변수 X 의 확률밀도함수(probability density function, p.d.f)

$L(r)$: 제품의 재주문점을 r 이라고 할 때 주기 말의 기대부족 수요, $L(r) = \int_r^\infty (x-r)f(x)dx$.

D : 제품의 연간수요

π : 구매자의 단위당 연간품질비용

h_v : 공급자의 단위당 연간재고유지비용

h_b : 구매자의 개당 재고유지비용

A_v : 공급자의 회당 준비비용

A_b : 구매자의 회당 주문비용

F : 구매자의 이송횟수당 운송비용

문제에서 구하고자 하는 의사결정변수는 다음과 같다.

q_1 : 판매자로부터 구매자로의 1번째 이송배치에서의 이송배치 크기

z_1 : 1번째 이송배치와 관련된 구매자의 안전재고계수(safety factor).

n_1 : 이송배치 크기가 증가하는 경우의 이송횟수

n_2 : 이송배치 크기가 고정인 경우의 이송횟수

α : 이송배치 크기가 증가하는 경우의 증가율

판매자의 연간 주문비용은 주문횟수 $D/(q_1 \sum_{i=1}^{n_1} \alpha^{i-1} + n_2 q_1 \alpha^{n_1-1})$ 와 회당 주문비용($A_b + (n_1 + n_2)F$)의 곱으로 표현된다. 또한, Type 1의 이송량을 가지는 기간에는 연간평균재고량이 $q_1 \sum_{j=1}^{n_1} \alpha^{2j-2} / 2 \sum_{j=1}^{n_1} \alpha^{j-1}$ 이며 Type 2의 기간에는 $q_1 \alpha^{n_1-1} / 2$ 이다. Type 1과 Type 2의 이송량을 가지는 기간의 비율은 각각 u_1, u_2 로 나타낼 수 있는데 다음과 같다.

$$u_1 = \frac{q_1 \sum_{i=1}^{n_1} \alpha^{i-1}}{q_1 \sum_{i=1}^{n_1} \alpha^{i-1} + n_2 q_1 \alpha^{n_1-1}}$$

$$u_2 = \frac{n_2 q_1 \alpha^{n_1-1}}{q_1 \sum_{i=1}^{n_1} \alpha^{i-1} + n_2 q_1 \alpha^{n_1-1}}$$

그러므로, 판매자의 연간재고유지비용은 이러한 평균재고량과 안전재고량의 합에 단위제품당 연간재고유지비용인 h_b 의 곱으로 표현된다.

한편, i 번째 이송에서의 재고의 기대부족량은

$$\int_{r_1}^\infty (x-r_i)f(x)dx = \sigma \sqrt{pq_i + b} L(z_i)$$

이다. 여기서 σ 는 리드타임동안의 수요의 표준편차이다. 연간품질비용은 기대부족량과 단위제품당 품질비용인 π 의 곱이다. 이러한 내용을 고려하면 구매자의 비용합수(BC, Buyer's Cost)는 식 (4)와 같다.

$$(A_b + (n_1 + n_2)F) \frac{D}{q_1 \sum_{i=1}^{n_1} \alpha^{i-1} + n_2 q_1 \alpha^{n_1-1}} \quad (4)$$

$$+ h_b \left(u_1 \frac{q_1 \sum_{i=1}^{n_1} \alpha^{2i-2}}{2 \sum_{j=1}^{n_1} \alpha^{j-1}} + u_2 \frac{q_1 \alpha^{n_1-1}}{2} + z_1 \sigma \sqrt{pq_1 + b} \right)$$

$$+ \pi \frac{D\sigma}{q_1 \sum_{i=1}^{n_1} \alpha^{i-1} + n_2 q_1 \alpha^{n_1-1}} \times \sum_{i=1}^{n_1+n_2} \sqrt{pq_i + b} L(z_i)$$

안전재고량은 이송과 무관하게 항상 동일하다고 가정할 때, Type 1에 속하는 i 번째 이송에서의 안전계수(safety stock) z_i 는

$$z_i = z_1 \sqrt{\frac{pq_i + b}{pq_1 \alpha^{i-1} + b}}$$

이며, Type 2에 속하는 j 번째 이송에서는 $z_j = z_{n_1}$ 로 일정하다. 안전계수는 모든 주문이 충족된 보충주기의 비율을 의미하는 주문주기 서비스 수준을 결정하는데 사용된다.

판매자의 연간 주문비용은 주문횟수 $D/q_1 \sum_{i=1}^{n_1} \alpha^i + n_2 q_1 \alpha^{n_1-1}$ 와 회당 주문비용 A_v 의 곱으로 표현된다. 또한, 판매자의 평균재고량은 평균총재고량에서 구매자의 평균재고량을 차감하여 구할 수 있다. 판매자의 연간재고유지비용은 판매자의 평균재고량과 단위제품당 재고유지비용인 h_v 의 곱으로 표현될 수 있다. 그러므로, 판매자의 비용(VC, Vendor's cost)는 식 (5)와 같다.

$$A_v \frac{D}{q_1 \sum_{i=1}^{n_1} \alpha^{i-1} + n_2 q_1 \alpha^{n_1-1}} \quad (5)$$

$$+ \left(Dp q_1 + \frac{(1+Dp)}{2} \left(q_1 \sum_{i=1}^{n_1} \alpha^{i-1} + n_2 q_1 \alpha^{n_1-1} \right) \right)$$

총비용 TC는 BC와 VC의 합이므로 식 (6)과 같다.

$$TC(q_1, z_1, n_1, n_2, \alpha)$$

$$= \frac{q_1}{2} \left[2Dp + (1-Dp) \left(\sum_{i=1}^{n_1} \alpha^{i-1} + n_2 \alpha^{n_1-1} \right) h_v \right] \quad (6)$$

$$+ \left(u_1 \frac{\sum_{i=1}^{n_1} \alpha^{2i-2}}{\sum_{j=1}^{n_1} \alpha^{j-1}} + u_2 \alpha^{n_1-1} \right) (h_b - h_v)$$

$$+ z_1 \sigma \sqrt{pq_1 + b} h_b + [(A_b + A_v + (n_1 + n_2)F)$$

$$+ \pi \sigma \sum_{i=1}^{n_1+n_2} \sqrt{pq_i \alpha^{i-1} + b} L(z_i)]$$

$$\times \frac{D}{q_1 \sum_{i=1}^{n_1} \alpha^{i-1} + n_2 q_1 \alpha^{n_1-1}}$$

3. Mixed Approach

이번 장에서는 식 (6)을 최소화하기 위해 제1계 필요

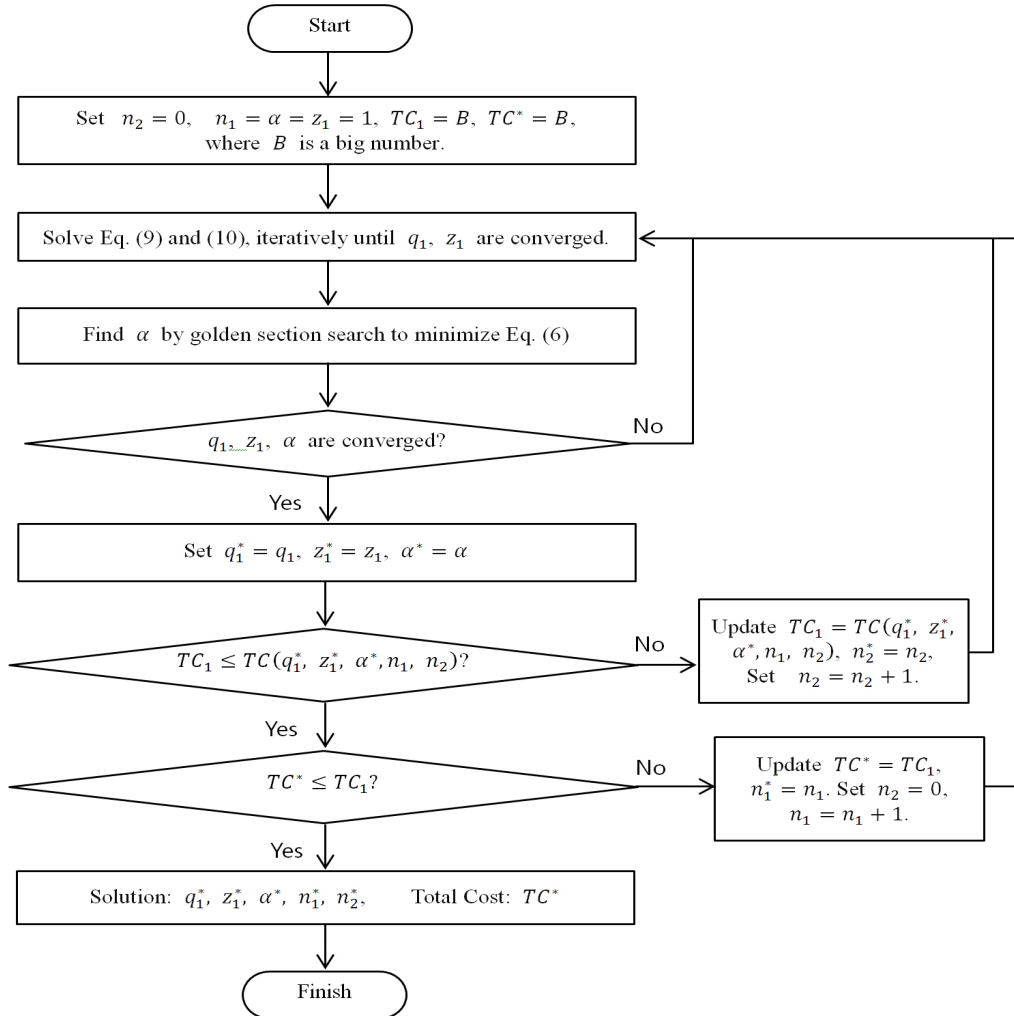
조건(The first-order necessary condition)을 이용하여 의사결정변수인 q_1, z_1 을 구하는 식을 도출하고, 이를 이용하여 해를 구하는 Mixed Approach 알고리즘을 제시한다. 먼저 해를 구하기 위해 식 (6)을 q_1, z_1 에 대해 각각 미분하고 0으로 두면, 제1계 필요조건이 구해지는데, 이는 식 (7), 식 (8)과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial TC}{\partial q_1} &= \frac{C}{2} \frac{D(A_b + A_v + (n_1 + n_2)F)}{q_1^2 (\sum_{i=1}^{n_1} \alpha^{i-1} + n_2 \alpha^{n_1-1})} + \frac{p\sigma h_b z_1}{2\sqrt{pq_1 + b}} \\ &+ \pi\sigma \sum_{i=1}^{n_1+n_2} \left(\frac{Dp\alpha^{i-1}L(z_i)}{2q_1 (\sum_{i=1}^{n_1} \alpha^{i-1} + n_2 \alpha^{n_1-1}) \sqrt{pq_1 \alpha^{i-1} + b}} \right. \\ &\left. - \frac{D\sqrt{pq_1 \alpha^{i-1} + b} L(z_i)}{q_1^2 (\sum_{i=1}^{n_1} \alpha^{i-1} + n_2 \alpha^{n_1-1})} \right) = 0 \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial z_1} &= \sigma \sqrt{pq_1 + b} h_b \\ &- \left[\frac{D}{q_1 (\sum_{i=1}^{n_1} \alpha^{i-1} + n_2 \alpha^{n_1-1})} \right. \\ &\left. \times \sum_{i=1}^{n_1+n_2} \sqrt{pq_1 \alpha^{i-1} + b} (1 - F(z_i)) \right] = 0 \end{aligned} \quad (8)$$

식 (7)과 식 (8)을 다시 정리하면 식 (9), 식 (10)과 같다. 식 (9)와 식 (10)은 의사결정변수인 q_1 과 z_i 를 구하는데 사용된다.

$$q_1 = \sqrt{\frac{2D[(A_b + A_v + (n_1 + n_2)F) + \pi\sigma \sum_{i=1}^{n_1+n_2} \sqrt{pq_1 \alpha^{i-1} + b} L(z_i)]}{(\sum_{i=1}^{n_1} \alpha^{i-1} + n_2 \alpha^{n_1-1}) \left[C + \frac{p\sigma z_1}{\sqrt{pq_1 + b}} h_b + \pi\sigma \sum_{i=1}^{n_1+n_2} \left(\frac{Dp\alpha^{i-1}L(z_i)}{q_1 (\sum_{i=1}^{n_1} \alpha^{i-1} + n_2 \alpha^{n_1-1}) \sqrt{pq_1 \alpha^{i-1} + b}} \right) \right]}} \quad (9)$$



<Figure 1> Flowchart of Mixed Approach

$$\frac{q_1(h_b + \lambda_b)}{\pi D} \quad (10)$$

$$= \left[\frac{1}{\left(\sum_{i=1}^{n_1} \alpha^{i-1} + n_2 \alpha^{n_1-1}\right)} \sum_{i=1}^{n_1+n_2} \sqrt{\frac{pq_1 \alpha^{i-1} + b}{pq_1 + b}} (1 - F(z_i)) \right]$$

$$\text{단, } C = \left[2Dp + (1 - Dp) \left(\sum_{i=1}^{n_1} \alpha^{i-1} + n_2 \alpha^{n_1-1} \right) h_v \right]$$

$$+ \left[u_1 \frac{\sum_{i=1}^{n_1} \alpha^{2i-2}}{\sum_{j=1}^{n_1} \alpha^{j-1}} + u_2 \alpha^{n_1-1} \right] (h_b - h_v)$$

한편, n_1 과 n_2 는 이송횟수이므로 정수값이어야 한다. n_1 과 n_2 는 각각 1씩 증가시키면서 q_1 과 z_1 을 구하는데 식 (6)의 총비용이 더 이상 감소하지 않을 때까지 n_1 과 n_2 를 증가시킨다. 또한, α 는 q_1, z_1, n_1, n_2 가 정해진 상태에서 황금분할 탐색(Golden section search)으로 구한다. 이상의 내용을 종합하여 제안하는 해법은 흐름도로 나타내면 <Figure 1>과 같고 알고리즘은 다음과 같다.

Mixed Approach 알고리즘

- Step 1 : $n_2 = 0, n_1 = \alpha = z_1 = 1$ 로 두고, $TC_1 = B, TC^* = B$ 로 두는데, 단 B 는 임의의 큰 수이다.
- Step 2 : q_1, z_1 의 값이 수렴할 때까지 식 (9)와 식 (10)을 반복하여 푼다.
- Step 3 : 총비용인 식 (6)의 값이 최소화하도록 α 를 황금분할 탐색(Golden section search)으로 구한다.
- Step 4 : q_1, z_1, α 가 서로 수렴할 때까지 step 2와 3을 반복한다. 구한 q_1, z_1, α 를 각각 q_1^*, z_1^*, α^* 로 둔다.
- Step 5 : $TC(q_1^*, z_1^*, \alpha^*, n_1, n_2) \leq TC_1$ 이면 $TC_1 = (q_1^*, z_1^*, \alpha^*, n_1, n_2)$ $n_2^* = n_2$ 로 갱신하고, $n_2 = n_2 + 1$ 로 한 후

Step 2로 돌아가고, 아니면 Step 6으로 이동한다.
 Step 6 : $TC_1 \leq TC^*$ 이면 $TC_1^* \leq TC_1, n_1^* = n_1$ 로 갱신하고, $n_2 = 0, n_1 = n_1 + 1$ 로 한 후 Step 2로 돌아가고, 아니면 종료한다. 탐색한 해는 $q_1^*, z_1^*, \alpha^*, n_1^*, n_2^*$ 일 때이며 비용은 TC^* 이다.

4. 예제와 민감도 분석

Mixed Approach와 기존의 이송배치 크기가 증가하는 경우(Type 1)와 이송배치 크기가 일정한 경우(Type 2)의 결과를 비교하고 각 매개변수별 변화를 파악하기 위해 예제를 고안하였다. Mixed Approach와 이송배치의 크기가 증가하는 경우, 이송배치의 크기가 일정한 경우 모두 ‘C’언어로 구현되었다.

<Table 1> Data for Numerical Example

Parameter	Value	Parameter	Value
A_v	\$400	$1/p$	2500
A_b	\$100	σ	10
h_v	\$3	π	\$100
h_b	\$6		

$D=1000, F=25, b=0.01$ 로 고정하였으며 나머지 값들은 <Table 1>에 주어져 있다. <Table 1>에 있는 매개변수들의 변화에 따른 Mixed Approach를 적용한 경우의 의사결정변수들 $q_1, z_1, \alpha, n_1, n_2$ 과 총비용 TC_{hyb} 의 값의 변화는 <Table 2>에 주어져 있다. 여기서 TC_{Type1}, TC_{Type2} 는 Type 1과 Type 2의 총비용이다.

<Table 2> Sensitivity Analysis Results for Parameter’s Change by Mixed Approach, Type 2, and Type 1

		q_1	z_1	α	n_1	n_2	TC_{hyb}	TC_{Type1}	TC_{Type2}
$1/p$	1500	23.97	4.51	1.50	5	6	1525.78	1568.74	1636.25
	2500	20.00	4.31	2.44	3	5	1830.39	1866.97	1898.85
	3500	37.96	3.62	3.42	2	4	1937.27	1964.58	1983.22
σ	5	22.86	4.37	2.43	3	4	1810.49	1846.21	1880.15
	10	20.00	4.31	2.44	3	5	1830.39	1866.97	1898.85
	15	20.02	4.31	2.43	3	5	1850.18	1887.32	1917.54
π	50	19.91	4.02	2.44	3	5	1827.08	1863.18	1895.82
	100	20.00	4.31	2.44	3	5	1830.39	1866.97	1898.85
	150	20.18	4.43	2.42	3	5	1832.52	1869.27	1900.58
A_v	200	22.33	4.33	2.42	3	3	1537.18	1565.18	1596.49
	400	20.00	4.31	2.44	3	5	1830.39	1866.97	1898.85
	600	20.10	4.33	2.45	3	6	2070.39	2111.36	2144.93
A_b	50	22.01	4.34	2.43	3	4	1762.94	1797.75	1830.76
	100	20.00	4.31	2.44	3	5	1830.39	1866.97	1898.85
	150	20.70	4.32	2.44	3	5	1893.65	1931.5	1964.56
H_v	1	45.14	3.29	2.15	2	12	1336.08	1347.13	1350.38
	3	20.00	4.31	2.44	3	5	1830.39	1866.97	1898.85
	5	14.73	5.50	2.50	4	1	2113.57	2133.98	2270.07
H_b	4	34.05	4.78	2.50	3	2	1675.82	1704.07	1782.32
	6	20.00	4.31	2.44	3	5	1830.39	1866.97	1898.85
	8	18.34	4.06	2.33	3	6	1945.14	1976.85	1996.48

매개변수의 수준 결정은 σ, π, A_v, A_b 의 경우에는 중간 값 대비 큰 값은 +50%, 작은 값은 -50%로 하였다. $1/p, h_v, h_b$ 은 중간 값 대비 $\pm 50\%$ 로 설정하기가 적당치 않아 $\pm 50\%$ 에 가까운 값으로 설정하였다. 즉, $1/p$ 는 중간 값인 2,500을 기준으로 $\pm 1,000$ 으로 큰 값과 작은 값을 설정하였으며, h_v 와 h_b 는 중간 값인 3과 6을 중심으로 ± 2 인 값들로 설정하였다.

모든 매개변수들이 증가함에 따라 각 접근법들에 대한 총비용의 값들이 모두 증가하였다. 이외의 매개변수의 변화에 따른 의사결정변수들의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- $1/p$ (생산률)이 증가함에 따라 q_1 과 α 는 증가하고 z_1, n_1 과 n_2 는 감소하였다. 생산률이 증가함으로 인해 판매자의 창고에는 제품들이 빠른 속도로 쌓이므로 신속히 이송배치의 크기를 크게 하여 판매자의 창고로 이송해야 하므로, 첫 번째 이송배치의 크기(q_1)와 이송배치 크기의 증가율(α)이 빠르게 증가하였다.
- σ 가 증가함에 따라 q_1 은 감소하고 n_2 는 증가하였다. 수요의 변동이 커짐에 따라 이송배치 크기를 작게 하고 이송배치의 크기를 일정하게 자주 이송하는 것으로 보인다.
- π 가 증가함에 따라 α 는 증가하였다. 이는 품질에 따른 벌과금이 증가함에 따라 안전재고량이 증가하기 때문이다.
- A_v, A_b 가 증가함에 따라 n_2 는 증가하였다. 회당 주문비용이 증가함에 따라 이송배치의 크기가 일정한 경우의 이송횟수를 증가시켜 주문비용의 부담을 줄이려 하는 것으로 보인다.
- h_v 가 증가함에 따라 q_1 과 n_2 는 감소하고 z_1, α 와 n_1 은 증가하였다. 판매자의 제품당 재고유지비용이 증가할수록 생산률($1/p > D$)에 맞추어 빨리 재고를 구매자에게 이송하여 판매자의 재고량을 줄여야 하므로 첫 번째 이송배치의 크기는 작고 Type 1 형태의 증가율 α 와 이송횟수 n_1 은 증가한다. 특히, n_2 는 급격히 감소하고 n_1 은 조금 증가하는데, 판매자의 재고유지비용이 높으므로 한 번에 생산된 많은 양을 판매자의 재고로 간직하면서 Type 2 형태로 일정량씩($q_1 \alpha^{n_1-1}$) 구매자에게 이송하기보다는 생산된 양을 이송배치가 증가하는 Type 1 형태로 구매자에게 생산되는 즉시 이송하는 것이 재고비용 절감에 유리하기 때문이다.
- h_b 가 증가함에 따라 q_1, z_1, α 는 감소하고, n_2 는 증가한다. 구매자의 제품당 재고유지비용이 증가하므로, 판매자에게 재고를 두었다가 천천히 구매자에게 이송하는 것이 유리하기에 q_1 과 α 를 작게 하여 이송배치의 크기를 작게 하고 이송량이 일정한 Type 2의 이송횟수

(n_2)를 증가시켜, 구매자의 재고부담을 줄여주는 것으로 보인다.

매개변수의 값의 변화량 대비 Mixed Approach를 적용한 경우의 목적식 값의 변화량(TC_{hyb})의 비율이 <Table 3>에 주어져 있다. 매개변수의 값의 변화에 대한 Type 1과 Type 2 Approach의 목적식 값의 변화는 Mixed Approach인 경우와 유사하므로 생략하였다. σ, h_v, h_b 의 변화에 대해 TC_{hyb} 의 변화가 큰 것으로 보인다. 특히 재고유지비용인 h_v, h_b 의 변화에 TC_{hyb} 은 민감하게 반응하였다.

<Table 3> The Rate of Change in TC_{hyb} Over Change in Parameter by Parameter

Parameters	$\frac{\text{change of } TC_{hyb}}{\text{change of parameter}}$
$1/p$	0.21
σ	3.97
π	0.05
A_v	1.33
A_b	1.31
h_v	194.37
h_b	67.33

Mixed Approach와 기존의 Type 1, Type 2 접근법을 비교분석하기 위해 통계적 검정을 실시하였다. 동일한 매개변수 값 설정 하에서 세 가지의 Approach에 대한 총비용의 계산과 비교분석이 이뤄졌으므로 쌍체비교 t-검정(paired t-test)을 실시하였다[2]. 표본 수가 30개 이상인 경우 중심극한정리(Central Limit Theorem)에 의해 정규분포를 이용하여 위의 가설들을 검정할 수 있는데, 본 예제의 경우에는 표본 수가 21개이므로 t-검정을 실시하여야 한다.

통계적 검정은 Mixed와 Type 1 Approach, Mixed와 Type 2 Approach에 대해 각각 실시하였으며 총비용 값(TC)의 평균에 대한 검정이다. 이때의 귀무가설과 대립가설은 다음과 같다.

$$\text{가설 1 : } H_0 : \mu_{Type1} - \mu_{hybrid} = 0$$

$$H_1 : \mu_{Type1} - \mu_{hybrid} > 0$$

$$\text{가설 2 : } H_0 : \mu_{Type2} - \mu_{hybrid} = 0$$

$$H_1 : \mu_{Type2} - \mu_{hybrid} > 0$$

여기서 $\mu_{hybrid}, \mu_{Type1}, \mu_{Type2}$ 는 각각 Mixed, Type 1, Type 2 Approach의 총비용의 평균값을 나타낸다. 귀무가설은 기존의 Approach들과 Mixed Approach가 차이가 없음을 나타내고 대립가설은 기존의 Approach들보다 Mixed Approach가 총비용이 적음을, 즉, Mixed Approach가 우수함을 나타낸다.

Type 1 Approach와의 Mixed Approach의 총비용의 차이와 Type 1 Approach와 Mixed Approach의 총비용의 차이에 대한 평균과 표준편차는 <Table 4>에 주어져 있다.

<Table 4> Mean and Standard Deviations for Difference between Total Cost of Type 1 Approach and Mixed Approach and between Type 2 Approach and Mixed Approach

	$TC_{Type\ 1} - TC_{hyb}$	$TC_{Type\ 2} - TC_{hyb}$
Mean(\bar{D})	33.58	71.94
Standard Deviation(S_D)	7.22	26.99

이 경우의 검정통계량은 다음과 같다.

$$t_0 = \frac{\bar{D}}{\frac{S_D}{\sqrt{n}}}$$

여기서 \bar{D} , S_D 는 각각 차이의 평균과 표준편차이며, n 은 표본 수이다. 유의수준 $\alpha = 0.05$ 라고 할 때 가정 1과 가정 2의 검정 결과는 다음과 같다.

가정 1 : $t_0 = 21.31 > t(20, 0.05) = 1.73$

가정 2 : $t_0 = 12.21 > t(20, 0.05) = 1.73$

그러므로, 가정 1, 가정 2 모두 귀무가설을 기각하고 대립가설을 채택할 수 있으며, 통계적으로 Mixed Approach가 기존의 Type 1과 Type 2 Approach들보다 우수함을 입증하였다.

또한, TC_{hyb} 가 어떤 경우에 기존의 해법보다 더 성과가 좋은지 파악하기 위해 매개변수별 TC_{hyb} 와 기존의 해법의 차이의 평균을 <Table 5>에 나타내었다. 모든 경우에서 $TC_{hyb} < TC_{Type1} < TC_{Type2}$ 로 나타났으며, 차이의 평균은 매개변수에 따라서는 큰 차이는 없어 보인다. 다만 l/p , h_v , h_b 에 대해 TC_{hyb} 와 기존의 방법들과의 차이가 상대적으로 큰 것으로 보인다.

<Table 5> Average Difference between TC_{hyb} and TC_{Type1} , TC_{Type2}

Parameters	$TC_{Type1} - TC_{hyb}$	$TC_{Type2} - TC_{hyb}$
l/p	35.62	74.96
σ	36.48	68.49
π	36.48	68.42
A_v	35.18	67.44
A_b	36.41	69.06
h_v	22.68	79.75
h_b	32.18	75.43

5. 결론

본 연구에서는 판매자와 수요자를 동시에 고려한 통합 생산-재고 모형에 대해 살펴보았다. 특히, 새로운 접근법인 Mixed Approach를 제안하고, 그에 대한 비용함수와 해법을 제시하였다. Mixed Approach와 기존의 Approach인 이송배치의 크기가 증가하는 경우(Type 1), 이송배치의 크기가 일정한 경우(Type 2)를 비교분석하고 통계적으로 Mixed Approach가 우수함을 입증하였다. 또한, 민감도 분석을 실시하여 다양한 매개변수들의 변화에 대하여 이송량, 이송횟수 등의 의사결정변수와 총비용이 어떻게 변화하는지 알아보았다.

본 연구에서는 판매자와 수요자의 협조에 의한 비용절감을 고려하였는데, 이외에도 공급사슬(Supply Chain)에 참여하는 다수의 참여자들의 협조에 의한 비용절감에 대한 연구들이 추가되어야 한다. 또한, 공급사슬에 존재하는 실제적인 제약사항들에 대한 연구와 이러한 제약사항들을 고려한 해법에 대한 연구가 필요하다고 할 수 있다.

References

- [1] Ben-Daya, M. and Hariga, M., Integrated single vendor single buyer model with stochastic demand and variable lead time, *International Journal of Production Economics*, 2004, Vol. 92, No. 1, pp. 75-80.
- [2] Chao, L., *Statistics : Methods and Analyses*, 1996, McGraw-Hill, N.Y.
- [3] Glock, C. and Kim, T., Shipment consolidation in a multiple-vendor-single buyer integrated inventory model, *Computers and Industrial Engineering*, 2014, Vol. 70, pp. 31-42.
- [4] Glock, C., A comment : Integrated single vendor-single buyer model with stochastic demand and variable lead time, *International Journal of Production Economics*, 2009, Vol. 122, No. 2, pp. 790-792.
- [5] Hadley, G. and Whitin, T.M., *Analysis of Inventory Systems*, Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, NJ., 1963.
- [6] Hill, R., The single vendor single-buyer integrated production-inventory model with a generalized policy, *European Journal of Operational Research*, 1997, Vol. 97, No. 3, pp. 493-499.
- [7] Hoque, M., A manufacturer-buyer integrated inventory model with stochastic lead times for delivering equal-and/or unequal-sized batches of a lot, *Computers and Operations Research*, 2013, Vol. 40, No. 11, pp. 2740-

- 2751.
- [8] Kim, D.H., An integrated inventory model for a vendor-buyer supply chain with transportation cost, *Journal of the Korean Institute of Plant Engineering*, 2012, Vol. 17, No. 4, pp. 99-111.
- [9] Kim, D.H., Single manufacturer and multiple retailers supply chain model for multiple items, *Journal of the Korean Institute of Plant Engineering*, 2012, Vol. 17, No. 4, pp. 5-16.
- [10] Lee, D.J., A Study on inventory control policy for quantity-discount and budget constraint, *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2015, Vol. 38, No. 2, pp. 145-151.
- [11] Lee, D.J., An inventory with lead time proportional to lot size and space constraint, *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2015, Vol. 38, No. 4, pp. 109-116.

ORCIDDongju Lee | <http://orcid.org/0000-0001-6650-9270>