

A Study on Inventory Control Policy for Semi-Finished Product and Optional Components

Dongju Lee · Chang-Yong Lee[†]

Dept. of Industrial and Systems Engineering, Kongju National University

반제품과 선택품의 재고관리 정책에 대한 연구

이동주 · 이창용[†]

공주대학교 산업시스템공학과

In this paper, we develop an efficient approach to solve a continuous review inventory system with a budget constraint when the semi-finished product and optional components are required to be assembled. We are, in particular, interested in a budget constraint that includes a service level. The service cost, such as labor and facility costs, tends to increase as the service level increase, and it makes the problem difficult to solve. Assuming that the reorder point for a semi-finished product is given, we show that the order quantity for the semi-finished product and the order quantity and reorder point for optional components can be determined by minimizing the total cost that includes setup cost, inventory holding cost, and shortage cost. The performance of the proposed approach is tested by numerical examples. By using sensitivity analysis, we conclude that, as the reorder point for semi-finished product increases, the order quantity for semi-finished product increases, whereas the order quantity and reorder point of optional components decreases.

Keywords : Continuous inventory system, Semi-finished Product, Supply Chain Management, Non-linear Optimization

1. 서 론

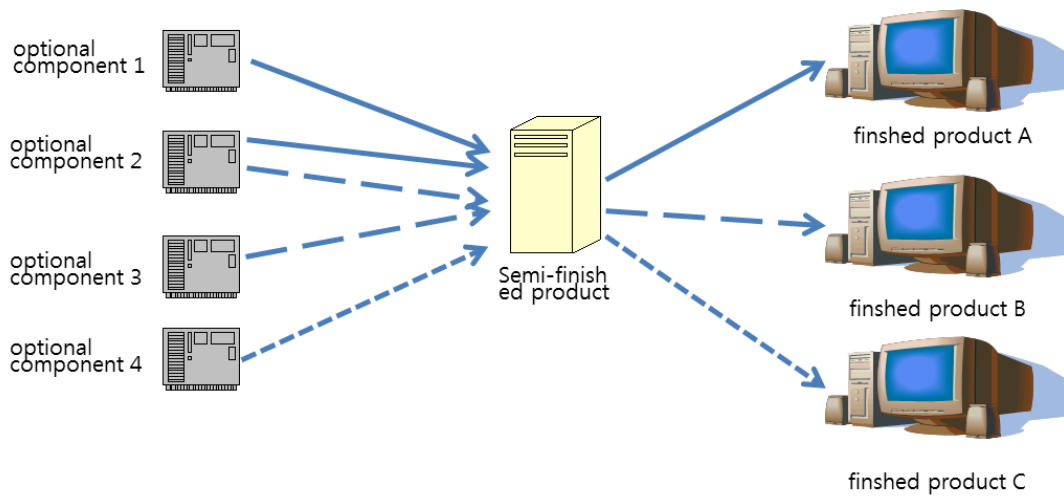
대량생산을 통한 물질의 풍요 속에서 고객들은 자신의 기호에 맞는 다양한 제품들을 짧은 리드타임 내에 요구하고 있다. 기업들은 이러한 고객의 취향에 맞추기 위해 모듈화(modularization)와 차별화 지연(postponement) 전략을 활용하고 있다. 컴퓨터 산업을 예로 들면, 메모리 카드와 프로세서 등의 꼭 필요한 부품으로 구성된 반제품(semi-finished product)을 미리 확보해 두었다가 고객의 주문에 맞춰 선택 부품들(optional components)을 반제품에 추가하여 제품을 출시하는 전략을 쓰고 있다[5].

예를 들어 1개의 반제품에 4개의 선택 부품들을 적절

하게 선택하여 조립하여 완제품 A, B, C를 제조하는 경우가 <Figure 1>에 주어져 있다. <Figure 1>은 반제품에 선택부품 1과 선택부품 2를 조립하는 경우에는 완제품 A가 제조되고, 반제품에 선택부품 2와 선택부품 3을 조립하는 경우에는 완제품 B가 제조되며, 반제품에 선택부품 4를 조립하면 완제품 C가 제조되는 예를 나타내고 있다.

본 논문에서는 반제품의 재주문점이 주어져 있을 경우 반제품의 주문량과 선택 부품들의 주문량과 재주문점을 구하는 문제에 대한 해법을 제시하고자 한다. 조립공장은 연속적 재고관리 정책(continuous review inventory policy)을 사용하고 있다고 가정한다. 연속적 재고 관리 정책이란 관심 부품의 재고수준이 실시간으로 알려진다고 할 때, 재고수준이 재주문점(r) 이하가 되면 적정한 주문량(Q)으로 부품을 주문하는 것이다.

또한, 본 연구에서는 예산 제약(budget constraint)을 고



<Figure 1> An Assembly Line Example of 4 Optional Components, 1 Semi-finished Product, and 3 Types of Finished Products

려하였는데, 이 제약은 부품들에 대한 재고투자액이 미리 정해진 예산 이내가 되도록 하는 것이다. 예산 제약은 많은 재고 문제에서 다루어졌다. 우선 다품종이 있는 신문배달소년 문제에 예산의 제약을 고려한 연구들을 살펴보면, Vairaktarakis[9]은 수요가 최소 혹은 최대만 있는 경우와 이산확률인 경우를 고려하고 동적계획법을 이용한 해법을 제시하였다. Abdel-Malek and Areeratchakul[1]은 수요가 일양분포, 지수분포, 정규분포, 일반적인 분포 등을 따를 때 기대부족수(expected shortage cost)를 2차 함수로 추정하는 방법을 제시하고 2차 계획법을 이용한 접근법을 제안하였다. Chen and Chen[2]은 예산 제약이 있는 경우의 문제에 예약을 하면 가격 할인을 해줄 때 최적 주문량을 결정하는 MCR이라는 해법을 제시하였다. Zhang[10]은 공급자가 주문량에 따라 다양한 가격할인을 해주는 경우에 라그랑주 해법에 기반한 휴리스틱을 제안하였다. 이상의 연구들에서 고려한 예산 제약은 제품주문비용이 정해진 예산을 초과하지 않는다는 단순한 제약 조건이다.

연속적 재고관리 문제에서 주문량과 재주문점을 구하기 위해 사용하는 기존의 방법은 Hadley-Whitin[4]이 제안한 방법으로 주문량과 재주문점을 포함하는 2개의 방정식을 주문량과 재주문점 값이 수렴할 때까지 반복적으로 푸는 방법이다. Ghalebsaz-Jeddi et al.[3]은 다품종이 있는 연속적 재고관리 문제에 예산 제약이 있는 경우에 대해 기대부족수와 누적정규분포를 회귀분석으로 추정하고 이를 이용하여 Hadley-Whitin 방법을 사용하지 않고 직접적으로 주문량과 재주문점을 구하는 휴리스틱을 제안하였다. 그러나 Ghalebsaz-Jeddi et al. 방법은 손실함수와 누적정규분포를 여러 구간으로 나누어 추정하므로 어느 구간에 값들이 존재하는지 알기 위해 수치적으

로 계산된 표가 필요하다는 단점이 있다. Lee et al.[6]은 Ghalebsaz-Jeddi et al.[3] 등이 고려한 문제에서 기대부족 수요를 누적정규분포를 이용하여 추정된 직접적인 해법을 제시하였다. 특히, 이들의 해법은 추정을 위해 구간을 나누지 않았기에 좀 더 효율적인 해법이라 할 수 있다. 이상의 연구들이 고려한 예산 제약은 부품구입비용을 제품을 수령할 때 지불한다고 가정할 때, 재고투자액이 예산 이내로 될 확률이 특정 값 이상이 되도록 하는 것으로 비교적 복잡한 제약조건이 포함된 문제이다.

Wang and Hu[7]는 예산 제약이 있는 경우, 반제품과 선택부품들을 가진 연속적 재고모형 문제를 제안하고 Newton-Raphson 방법을 이용한 해법을 제시하였다. 특히, 이들은 서비스 수준(service level)이 높아질수록 노동력, 시설, 이외의 관련 서비스들과 관련된 비용들이 같이 상승한다는 사실에 주목하고, 서비스 비용과 제품주문비용을 예산제약으로 고려하였다. 이때 서비스 비용은 서비스 수준에 비례한다고 가정하였다. 또한, Wang and Hu[8]는 부품구입비용을 제품을 수령할 때 지불한다고 가정할 때, 재고투자액과 서비스 비용이 예산 이내로 될 확률이 특정 값 이상이 되도록 하는 좀 더 어려운 예산 제약이 있는 경우의 문제에 대해서 Hadley-Whitin 방법을 적용한 해법을 제시하였다.

본 논문에서는 Wang and Hu[8]가 제시한 문제인 예산의 제약이 있는 연속적 재고 모형에서 반제품의 재주문점이 주어져 있다고 할 때 반제품의 주문량과 선택부품의 주문량과 재주문점을 결정하는 효율적인 해법을 제시하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 사용되는 기호를 설명하고 수학적모형을 제시하였다. 제 3장에서는 Wang and Hu[8]가 제시한 기존의 해법을 살펴보고 본 논

문에서 제시한 해법을 소개하였다. 제 4장에서는 예제를 통해 제안한 방법론의 효율성을 살펴보고, 민감도 분석을 통해 반제품의 재주문점 변화에 따른 반제품의 주문량, 선택부품의 주문량과 재주문점의 변화를 살펴보았다. 마지막으로 제 5장에서는 본 논문의 결론을 제시하였다.

2. 문제 정의

본 논문에서 사용되는 기호들은 다음과 같다. 아래 첨자로 반제품은 v , 선택 부품은 oj 가 사용되나, 편의를 위해 여기서는 생략되었다.

- A : 고정 발주비
- H : 제품 단위당 재고 유지비
- P : 단위당 벌과 비용
- κ : 서비스 비용 비율
- D : 연간 기대 수요
- C : 제품 단위당 가격

이외의 기호들은 다음과 같다.

- W : 최대 허용 예산
- Z : 표준정규분포의 확률변수, $N(0, 1)$
- γ : 재고 투자액이 예산범위 이내로 되는 최소 허용 확률
- X : 리드타임 동안의 반제품의 수요에 대한 확률변수,

$$X \sim N(\mu_v, \sigma_v^2)$$

- Y_j : 리드타임 동안의 반제품 j 의 수요에 대한 확률변수,

$$Y_j \sim N(\mu_j, \sigma_j^2)$$

- $L_v(r_v)$: 반제품의 재주문점이 r_v 일 때 주기 말의 기대부족 수요,

$$L_v(r_v) = \int_{r_v}^{\infty} (x - r_v) f_x(x) dx$$

- $L_{oj}(r_{oj}|r_v)$: 선택 부품의 재주문점이 r_{oj} 일 때 주기 말의 기대부족 수요,

$$L_{oj}(r_{oj}) = \int_{r_{oj}}^{\infty} (y_j - r_{oj}) f_{Y_j|X}(y_j|x=r_v) dy_j$$

- $f(x, y_j)$: X 와 Y_j 의 결합확률분포(joint probability distribution function)로 이변량 정규 분포(bivariate normal distribution)

$$\begin{aligned} f(x, y_j) &= f_x(x) \times f_{Y_j|X}(y_j; \mu, \Sigma_j|x) \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_v} \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma_v^2}(x - \mu_v)^2\right\} \times \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_j \sqrt{1-p_j^2}} \\ &\quad \times \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma_j^2(1-p_j^2)}\left(y_j - \left(\mu_j + \rho_j \frac{\sigma_j}{\sigma_v}(x - \mu_v)\right)\right)^2\right\} \end{aligned}$$

여기서 $\mu = (\mu_0, \mu_j)$, $\Sigma_j = \begin{bmatrix} \sigma_v^2 & \sigma_{oj} \\ \sigma_{oj} & \sigma_j^2 \end{bmatrix}$, $\rho_j = \frac{\sigma_{oj}}{\sigma_v \sigma_j}$

(X 와 Y_j 에 대한 상관계수)

본 연구에서 고려하는 문제의 수학 모형(F1)은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} F1 : \text{Min } OBJ(Q_v, Q_{oj}, r_{oj}) \\ = A_v \frac{D_v}{Q_v} + C_v D_v + h_v \left(\frac{Q_v}{2} + r_v - \mu_v \right) + p_v \frac{D_v L_v(r_v)}{Q_v} \\ + \Sigma_j \left[A_{oj} \frac{D_{oj}}{Q_{oj}} + C_{oj} D_{oj} + h_{oj} \left(\frac{Q_{oj}}{2} + r_{oj} - \mu_{oj} \right) \right] \\ \left[+ p_{oj} \frac{D_{oj} L_{oj}(r_{oj}|r_v)}{Q_{oj}} \right] \end{aligned} \quad (1)$$

subject to

$$P \left(C_v(r_v - X + Q_v) + \Sigma_j C_{oj}(r_{oj} - Y_{oj} + Q_{oj}) \geq \gamma \right. \\ \left. + \kappa_v F_X(r_v) + \kappa_{oj} F_{Y_j|X}(r_{oj}|x=r_v) \leq W \right) \quad (2)$$

$$Q_v, Q_{oj}, r_{oj} \geq 0, \forall j \quad (3)$$

식 (1)은 목적함수로 반제품과 선택부품의 발주 비용, 재고유지비용, 재고부족비용을 최소화하는 것이다. 식 (2)는 재고투자비용과 서비스 비용의 합이 예산(W)이내로 될 확률이 γ 이상이 되도록 하는 예산 제약이다. 여기서 부품구입비용은 제품을 수령할 때 지불한다고 가정한다. 또한, 서비스 비용은 서비스 수준과 비례한다고 가정하고 $SC = \kappa F(r)$ 로 구할 수 있다고 하였다. 마지막으로 식 (3)은 의사결정변수인 Q_v, Q_{oj}, r_{oj} 가 비음(non-negative)이라는 것이다.

식 (2)는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} C_v(Q_v + r_v) + \Sigma_j C_{oj}(Q_{oj} + r_{oj}) + \kappa_v F_X(r_v) \\ + \kappa_{oj} F_{Y_j|X}(r_{oj}|x=r_v) \leq W + \mu_Y + z_{1-\gamma} \sigma_Y \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 $Y = C_v X + \sum_j C_{oj} Y_j$ 라고 두면 $Y \sim N(\mu_Y, \sigma_Y^2)$ 이며 $\mu_Y = C_v \mu_v + \sum_j C_{oj} \mu_{oj}$, $\sigma_Y^2 = C_v^2 \sigma_v^2 + \sum_j C_{oj}^2 \sigma_{oj}^2$, $\mu_{oj} = \mu_j + \rho_j \frac{\sigma_j}{\sigma_v} (r_v - \mu_v)$, $\sigma_{oj}^2 = \sigma_j^2 (1 - \rho_j^2)$ 이다.

3. 기존의 해법과 제안하는 해법

$z_v = a$ 로 주어진다고 가정하므로 $r_v = \mu_v + \sigma_v z_v$ 를 이용하여 반제품의 재주문점 r_v 를 구할 수 있다. 그러므로, 수학모형 F1을 풀기 위해 라그랑주 함수(Lagrange function)를 살펴보면 다음과 같다.

$$j(Q_v, Q_{oj}, r_{oj}, \lambda) = OBJ(Q_v, Q_{oj}, r_{oj}) + \lambda \left(C_v(Q_v + r_v) + \sum_j C_{oj}(Q_{oj} + r_{oj}) + \kappa_v F_X(r_v) + \kappa_{oj} F_{Y_j|X}(r_{oj}|x=r_v) - W - \mu_Y - z_{1-\gamma} \sigma_Y \right)$$

라그랑주 함수 $J(Q_v, Q_{oj}, r_{oj}, \lambda)$ 를 $Q_v, Q_{oj}, r_{oj}, \lambda$ 에 대해 편미분하고 이를 0으로 두면 라그랑주 함수를 최소화하는 문제의 제1계 필요조건(first order necessary condition)을 구할 수 있다. 이는 다음과 같다.

$$\frac{\partial J}{\partial Q_{oj}} = -\frac{A_{oj} D_{oj}}{Q_{oj}^2} + \frac{h_{oj}}{2} - \frac{p_{oj} D_{oj}}{Q_{oj}^2} L(r_{oj}|r_v) + \lambda C_{oj} = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial J}{\partial r_{oj}} = h_{oj} - \frac{p_{oj} D_{oj}}{Q_{oj}} [1 - F_{Y_j|X}(r_{oj}|x=r_v)] + \lambda C_{oj} + \lambda \kappa_{oj} f_{Y_j|X}(r_{oj}|r_v) = 0 \quad (6)$$

$$\frac{\partial J}{\partial Q_v} = -\frac{A_v D_v}{Q_v^2} + \frac{h_v}{2} - \frac{p_v D_v}{Q_v^2} L(r_v) + \lambda C_v = 0 \quad (7)$$

$$\frac{\partial J}{\partial \lambda} = C_v(Q_v + r_v) + \sum_j C_{oj}(Q_{oj} + r_{oj}) + \kappa_v F_X(r_v) + \kappa_{oj} F_{Y_j|X}(r_{oj}|x=r_v) - W - \mu_Y - z_{1-\gamma} \sigma_Y = 0 \quad (8)$$

반제품의 주문량을 구하기 위하여 식 (7)을 정리하면

$$Q_v = \sqrt{\frac{2D_v[A_v + p_v L(r_v)]}{h_v + 2\lambda C_v}} \quad (9)$$

로 주어진다. 따라서 $z_v = \alpha$ 임으로 이를 이용하여 r_v 를 계산한 후 $L(r_v)$ 를 구할 수 있으며 이를 식 (9)에 대입하면 Q_v 를 구할 수 있다.

3.1 Wang and Hu의 해법

선택부품의 재주문점과 주문량을 구하기 위해 식 (5)와 식 (6)을 정리하면

$$Q_{oj} = \sqrt{\frac{2D_{oj}[A_{oj} + p_{oj} L(r_{oj}|r_v)]}{h_{oj} + 2\lambda C_{oj}}} \quad (10)$$

$$F_{Y_j|X}(r_{oj}|r_v) = \left(1 - \frac{Q_{oj}(h_{oj} + \lambda C_{oj})}{p_{oj} D_{oj}}\right) \times \left(1 - \frac{-p_{oj} D_{oj}}{e^{\lambda \kappa_{oj} Q_{oj}}} r_{oj}\right) \quad (11)$$

이 된다. 따라서 선택부품의 재주문점과 주문량은 식 (8), 식 (10), 식 (11)을 동시에 만족하는 Q_{oj}, r_{oj}, λ 를 구하면 된다.

임의의 λ 에 대해 식 (10)은 $L(r_{oj})$ 에 영향을 받으며, 식 (11)은 Q_{oj}, r_{oj} 에 영향을 받으므로 식 (10)과 식 (11)을 동시에 만족하는 Q_{oj}, r_{oj} 를 구하는 해법은 복잡하다. 그러므로 식 (8)을 λ 에 대한 함수로 가정하고,

$$g(\lambda) = C_v(Q_v + r_v) + \sum_j C_{oj}(Q_{oj} + r_{oj}) + \kappa_v F_X(r_v) + \kappa_{oj} F_{Y_j|X}(r_{oj}|r_v) - W - \mu_Y - z_{1-\gamma} \sigma_Y = 0$$

라 두자.

기존의 해법(Wang and Hu)는 임의의 λ 에 대해 식 (10)과 식 (11)을 동시에 만족하는 Q_{oj}, r_{oj} 를 두 개의 값이 수렴할 때까지 반복적으로 풀고, 식 (8)을 만족하는 λ 를 구할 때까지 λ 를 변경하면서 이를 반복하는 것이다.

Wang and Hu가 제시한 해법은 다음과 같다.

Step 1 : $g(\lambda_1) > 0$, $g(\lambda_2) < 0$ 인 λ_1, λ_2 를 구한다.

Step 2 : 각 λ_1, λ_2 에 대해

a) $L(r_{oj}|r_v) = 0$ 으로 두고 식 (10)으로부터 Q_{oj} 를 구한다.

b) Q_{oj} 를 $F(r_o) = \left(1 - \frac{Q_{oj}(h_{oj} + \lambda C_{oj})}{p_j D_{oj}}\right)$ 에 대입하여 r_{oj} 의 초기해 r_0 를 구한다. Q_{oj} 와 r_0 를 식 (11)에 대입하고 r_{oj} 의 값이 수렴할 때까지 식 (11)을 반복해서 푼다.

c) b)에서 구한 r_{oj} 를 이용하여 $L(r_{oj})$ 를 구하고 이를 식 (10)에 대입하여 Q_{oj} 를 구한다. Q_{oj} 의 변화가 작으면 멈추고, 아니면 b)로 돌아간다.

Step 3 : $\lambda_{new} = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2}$ 로 두고 Step 2를 이용하여 $Q_{oj},$

r_{oj} 를 구한다. 만약 $g(\lambda_{new}) > 0$ 이면, $\lambda_1 = \lambda_{new}$; 아니면, $\lambda_2 = \lambda_{new}$ 로 둔다.

Step 4 : If $(g(\lambda_1), -g(\lambda_2)) < \epsilon$ 이면 멈추고, 아니면 step 3으로 돌아간다. 여기서 ϵ 은 미리 정의된 임의의 작은 값이다.

3.2 제안하는 해법

본 논문에서 제시한 해법은 다음과 같다. 위의 식 (5)를 Q_{oj} 에 대하여 정리하면

$$Q_{oj}^2 = \frac{2D_{oj}\{A_{oj} + P_{oj}L(r_{oj}|r_v)\}}{h_{oj} + 2\lambda C_{oj}} \quad (12)$$

로 표현할 수 있으며, 또한 식 (6)을 역시에 대하여 정리하면

$$Q_{oj} = \frac{P_{oj}D_{oj}[1 - F_{YjX}(r_{oj}|r_v)]}{h_{oj} + \lambda C_{oj} + \lambda \kappa_{oj} f_{YjX}(r_{oj}|r_v)} \quad (13)$$

이 된다.

위의 두 식 (12)와 식 (13)에서 Q_{oj} 를 소거하면 아래 식 (14)과 같이 r_{oj} 에 대한 방정식으로 표현된다.

$$\frac{P_{oj}D_{oj}[1 - F_{YjX}(r_{oj}|r_v)]}{h_{oj} + \lambda C_{oj} + \lambda \kappa_{oj} f_{YjX}(r_{oj}|r_v)} - \left\{ \frac{2D_{oj}\{A_{oj} + P_{oj}L(r_{oj}|r_v)\}}{h_{oj} + 2\lambda C_{oj}} \right\}^{\frac{1}{2}} = 0 \quad (14)$$

여기서 $\sigma_{oj} = \sigma_j \sqrt{a - \rho_j^2}$, $\mu_{oj} = \mu_j + \rho_j \frac{\sigma_j}{\sigma_v} (r_v - \mu_v)$,

$$f_{YjX}(y|r_v) \equiv \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_{oj}} \exp\left(-\frac{(y - \mu_{oj})^2}{2\sigma_{oj}^2}\right),$$

$$L(r_{oj}|r_v) \equiv \int_{r_{oj}}^{\infty} (y - r_{oj}) f_{YjX}(y|r_v) dy \text{ 이다.}$$

<Table 1> Data for Numerical Example

	A	C	D	h	p	ρ_j	μ	σ	κ
Semi-finished	700	150	10000	6	8	-	300	40	4000
Optional 1	40	3	4000 6000	0.7	1.0	0.5	100	15	200
Optional 2	20	2		0.4	0.7	0.8	170	20	150

<Table 2> Sensitivity Analysis from $\alpha = 0.7$ to 0.9 by the Proposed Approach

α	λ	$L(r_{oj} r_v)$	Q_v	r_v	Q_{o1}	r_{o1}	Q_{o2}	r_{o2}	EAV(Q, r)
0.7	0.087087	0.089831	887.9391	320.9375	519.0280	116.3981	572.2656	193.4016	1,536,202
0.8	0.060144	0.079514	871.2122	333.5938	556.2649	119.6058	617.8107	199.1462	1,536,088
0.9	0.030226	0.068747	848.8685	351.2500	609.2478	123.8859	684.2742	207.0007	1,536,092

제 3.1절에서 언급하였듯이 Wang and Hu가 제시한 기존의 해법은 식 (11)의 왼쪽과 오른쪽 항의 값이 일치할 때까지 r_{oj} 값을 반복하여 구하고, Q_{oj} 와 r_{oj} 값이 식 (10)과 식(11)을 만족할 때까지 반복하는 복잡한 해법이다. 그러나, 식 (14)는 Q_{oj} 가 소거되었으므로 오직 변수 r_{oj} 에 대한 함수임으로 기존의 해법처럼 반복하여 풀 필요 없이 수치해석적(예를 들어, 이분법(bisection search))으로 쉽게 풀 수 있다. 이러한 이론적 근거 하에 제시하는 해법은 다음과 같다.

Step 1 : $g(\lambda_1) > 0$, $g(\lambda_2) < 0$ 인 λ_1 , λ_2 를 구한다.

Step 2 : 각 λ_1 , λ_2 에 대해 식 (14)를 이분법을 이용하여 r_{oj} 를 구한다. r_{oj} 를 식 (10)에 대입하여 Q_{oj} 를 구한다.

Step 3 : $\lambda_{new} = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2}$ 로 두고 Step 2를 이용하여 Q_{oj} , r_{oj} 를 구한다. 만약 $g(\lambda_{new}) > 0$ 이면, $\lambda_1 = \lambda_{new}$; 아니면, $\lambda_2 = \lambda_{new}$ 로 둔다.

Step 4 : If $(g(\lambda_1), -g(\lambda_2)) < \epsilon$ 이면 멈추고, 아니면 step 3으로 돌아간다. 여기서 ϵ 은 미리 정의된 임의의 작은 값이다.

4. 예 제

본 논문에서 제안한 해법의 이해를 돕기 위해 다음과 같은 예제를 통해 Wang and Hu[8]가 다루었던 문제를 이용하고자 한다. 1개의 반제품과 2개의 선택 부품이 있다고 가정하였을 때 자료들은 <Table 1>에 주어져 있다.

<Table 2>에는 $\alpha = 0.7, 0.8, 0.9$ 일 때, 본 논문에서 제안한 해법에 따른 결과가 주어져 있다. 즉, 의사결정변수 들인 Q_v , Q_{oj} , r_{oj} 의 값들과, $z_v = \alpha$ 로 주어졌으므로 $r_v = \mu_v + \sigma_v z_v$ 를 이용하여 구한 r_v 의 값과 목적함수 값인 EAV(Q, r)이 주어져 있다.

<Table 2>를 통해 볼 때, α 즉, r_v 가 증가함에 따라, q_v 는 감소하며, Q_{oj} 와 r_{oj} 는 증가하는 것으로 보인다. 이를 좀 더 자세히 살펴보기 위해

- r_v 값에 따른 Q_{oj} 의 변화
- r_v 값에 따른 r_{oj} 의 변화
- r_v 값에 따른 Q_v 의 변화

를 분석해 보았다.

먼저 r_v 값의 따른 Q_{oj} 의 변화를 살펴보기 위하여 식 (12)를 아래와 같이 간단히 표현하여 r_v 에 대하여 미분한다. 즉,

$Q_{oj}^2 = \frac{2D_{oj}\{A_{oj} + P_{oj}L(r_{oj}|r_v)\}}{h_{oj} + 2\lambda C_{oj}}$ 에서 $Q_{oj} = \left\{ \frac{\alpha + L(r_{oj}|r_v)}{c - b_\lambda(r_v)} \right\}^{1/2}$ 로 표현할 수 있다. 여기서

$$a \equiv \frac{A_{oj}}{p_{oj}}, \quad b \equiv \frac{h_{oj}}{2C_{oj}}, \quad c \equiv \frac{D_{oj}p_{oj}}{C_{oj}} \text{이다.}$$

이를 이용하여 Q_{oj} 를 r_v 에 대하여 미분하면

$$\frac{dQ_{oj}}{dr_v} = \left(\frac{c}{2Q_{oj}} \right) \left(\frac{\left| \frac{d\lambda}{dr_v} \right| \{a + L(r_{oj}|r_v)\} - \left| \frac{dL}{dr_v} \right| \{b + \lambda(r_v)\}}{\{b + \lambda(r_v)\}^2} \right) \quad (15)$$

로 주어진다.

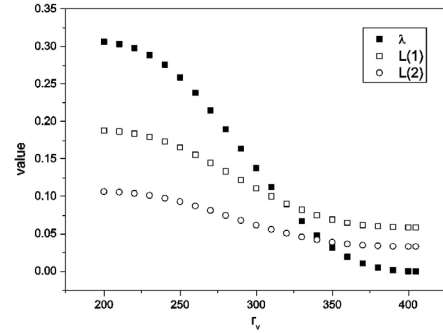
<Figure 2>를 통해 볼 때, $\left| \frac{d\lambda}{dr_v} \right| > \left| \frac{dL}{dr_v} \right|$ 이고, <Table 1>에서 $a > b \gg L(r_{oj}|r_v)$, $\lambda(r_v)$ 이므로, 식 (15)에서 $\frac{dQ_{oj}}{dr_v} > 0$ 이 됨을 알 수 있다. 따라서 r_v 가 증가함에 따라 <Figure 3>을 통해 볼 수 있듯이 Q_{oj} 는 증가한다.

<Figure 4>는 r_v 값에 따른 r_{oj} 의 변화를 살펴본 것으로 r_v 가 증가함에 따라 r_{oj} 는 거의 선형적으로 증가함을 알 수 있다.

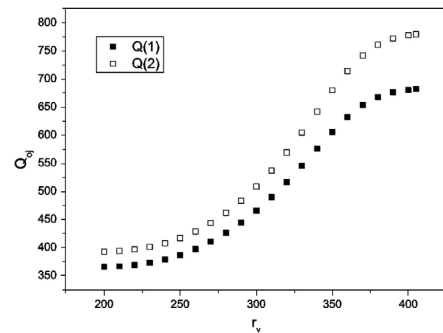
r_v 값에 따른 Q_v 의 변화를 살펴보기 위하여 식 (9) $Q_v = \sqrt{\frac{2D_v[A_v + p_vL(r_v)]}{h_v + 2\lambda C_v}}$ 을 고려하자. 위의 Q_{oj} 경우와 유사하게

$$\frac{dQ_v}{dr_v} = \frac{c}{2Q_v} \frac{\left| \frac{d\lambda}{dr_v} \right| \{a + L(r_v)\} - \left| \frac{dL}{dr_v} \right| \{b + \lambda(r_v)\}}{\{b + \lambda(r_v)\}^2} \quad (16)$$

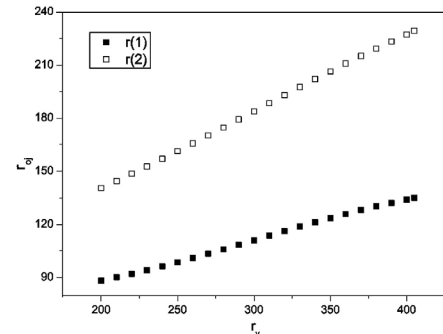
로 주어지며 여기서 $a \equiv \frac{A_v}{p_v}$, $b \equiv \frac{h_v}{2C_v}$, $c \equiv \frac{D_v p_v}{C_v}$ 이다.



<Figure 2> Plots of λ , $L(r_{o1}|r_v)$, and $L(r_{o2}|r_v)$ Versus r_v



<Figure 3> Plots of Q_{o1} and Q_{o2} Versus r_v

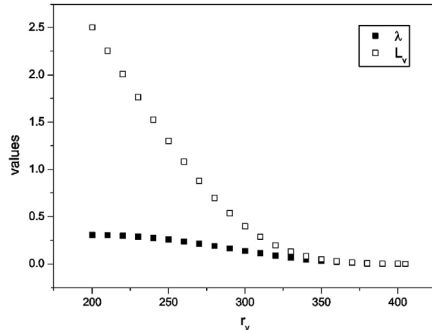


<Figure 4> Plots of r_{o1} and r_{o2} Versus r_v

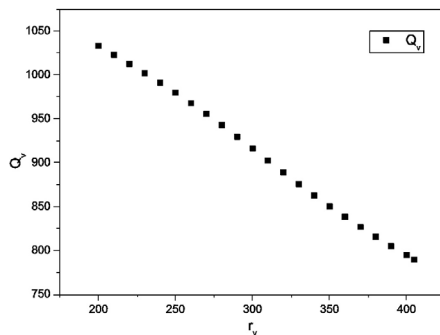
<Figure 5>를 통해 볼 때, $\left| \frac{d\lambda}{dr_v} \right| \ll \left| \frac{dL}{dr_v} \right|$ 이므로 <Table 1>에서 주어진 값을 사용하면, 식 (16)에서 $\frac{dQ_v}{dr_v} < 0$ 임을 알 수 있다. 따라서 <Figure 6>과 같이 r_v 값이 증가함에 따라 Q_v 는 거의 선형적으로 감소한다.

이상의 분석을 통해서, r_v 가 증가함에 따라, Q_v 는 감소함을 알 수 있다. 이는 반제품의 재주문점(r_v)가 증가하면 이미 많은 안전재고량을 확보하므로 반제품의 주문량(Q_v)을 줄여 재고유지비를 감소시키려는 것으로 보인다. 또한, r_v 가 증가함에 따라, Q_{oj} 와 r_{oj} 는 증가한다. 이는 반제품의 재주문점(r_v)이 증가하여 반제품의 재고량이 높아지면, 선택부품의 재고량도 함께 높이려는 것으로 보인다. 이것은

반제품이 있으나 선택부품의 품질로 인하여 완제품을 제조하지 못 하는 경우를 예방하기 위해서인 것으로 판단된다.



<Figure 5> Plots of λ and $L(r_v)$ Versus r_v



<Figure 6> Plots of Q_v Versus r_v

5. 결론

본 연구에서는 짧은 리드타임과 고객화를 동시에 달성하기 위해 모듈화와 차별화 지연 전략을 쓴다고 할 때, 필수부품들을 미리 조립해 둔 반제품에 고객의 주문에 맞는 선택부품들을 조립하여 완제품을 출시하는 상황을 고려하였다. 또한, 반제품과 선택부품들은 연속적 재고 관리 정책을 쓰며 재고 비용에 쓸 수 있는 예산이 제한적이라고 가정하였다. 이때 반제품의 재주문점이 주어졌다면, 반제품의 주문량과 선택부품의 주문량과 재주문점을 결정하는 문제에서 총비용을 최소화하는 최적해를 찾는 효율적인 해법을 제시하였다.

기존의 해법에서는 복잡한 수식을 반복적으로 풀고 이를 다른 수식에 대입하여 다시 반복하는 방법을 쓰고 있다. 본 연구에서는 반복이 필요 없이 풀 수 있도록 식을 간소화하고 이를 이분법을 이용하여 해를 구하는 간단한 해법이므로 사용하기 편리하다고 할 수 있다.

또한, 민감도 분석을 통해 반제품의 재주문점의 증가에 따른 반제품의 주문량, 선택부품의 주문량과 재주문점이 어떤 영향을 받는지 분석해 보았다. 반제품의 재주

문점이 증가하면, 반제품의 주문량은 감소하였고, 선택부품의 주문량과 재주문점은 증가하였다.

Acknowledgement

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education, Science and Technology(NRF-2010-0022163).

References

- [1] Abdel-Malek, L.L. and Areeratchakul, N., A quadratic programming approach to the multi-product newsvendor problem with side constraints. *Euro J of Oper Res*, 2007, Vol. 176, p 1607-1619.
- [2] Chen, L. and Chen, Y.C., A multiple-item budget-constraint newsboy problem with a reservation policy. *Omega*, 2010, Vol. 38, p 431-439.
- [3] Ghalebsaz-Jeddi, B., Shultes, B.C., and Haji, R., A multi-product continuous review inventory system with stochastic demand, backorders, and a budget constraint. *Euro J of Oper Res*, 2004, Vol. 158, p 456-469.
- [4] Johnson, A. and Montgomery, D.C., *Operations Research in Production Planning, Scheduling, and Inventory Control*. New York, USA : Wiley; 1974.
- [5] Swaminathan, J. and Tayur, S., Managing Broader Product Lines through Delayed Differentiation Using Vanilla Boxes. *Management Sci*, 1998, Vol. 44, p 161-172.
- [6] Lee, D.J., Yoo, J.Y., and Lee, M.S., An Approximation Approach for A Multi-Product Continuous Review Inventory Problem with Budget Constraint. *J of the Soci of Korea Ind And Sys Eng*, 2008, Vol. 31, p 134-139.
- [7] Wang, T.Y. and Hu, J.M., An inventory control system for products with optional components under service level and budget constraints. *Euro J of Oper Res*, 2008, Vol. 189, p 41-58.
- [8] Wang, T.Y. and Hu, J.M., Heuristic method on solving an inventory model for products with optional components under stochastic payment and budget constraints. *Exp sys with App*, 2010, Vol. 37, p 2588-2598.
- [9] Vairaktarakis, G.L., Robust multi-item newsboy models with a budget constraint. *Int J Prod Econ*, 2000, Vol. 66, p 213-226.
- [10] Zhang, G., The multi-product newsboy problem with supplier quantity discounts and a budget constraint. *Euro J of Oper Res*, 2010, Vol. 206, p 350-360.