# 복수의 재활용 부품을 고려한 재활용 및 구매정책

# Recycling and Purchasing Policies for Multiple Convertible Units

심재용*, 문일경*, Edward A. Silver**

* 부산대학교 산업공학과 (yongs777@pusan.ac.kr)
* 부산대학교 산업공학과 (ikmoon@pusan.ac.kr)
** The University of Calgary (ed.silver@haskayne.ucalgary.ca)

**Abstract**

Several regulations on converting reusable products are established in many countries, due to the emphasis on environmental issues on manufacturing. Many companies consider reusable and returned items in addition to purchasing new items. In this paper we suggest several algorithms to determine the near optimal quantities of items for converting and new items for purchasing. The reusable items are converted into end items, each facing normally distributed demand in a single period of interest. We develop a mathematical model and a genetic algorithm(GA) to compare the number of convertible units and new items to be purchased. Computational results demonstrate the efficiency of the developed algorithms.

## 1. 서론

오늘날 환경에 대한 기업들의 관심과 비중이 높아지면서 기업들은 기업 가치 창출과 경쟁력을 높일 수 있는 방안으로 재활용 정책을 고려하고 있다. 이에 따라 우리나라에서도 지난 1992년부터 금속캔, 유리병, 전자제품 등에 대해서 생산자가 출고량 전체에 대해 재활용 비용을 예치하도록 한 후 재활용 실적에 따라 이를 환급하는 '폐기물 예치금 제도'를 운영하여 왔으며 이를 보다 보완 발전시켜 2003년부터 생산자책임재활용제도를 도입하였다. 이에 따라 제조업자는 품목에 따라 책임지고 재활용을 해야 한다.

국내외에서 발생되는 이러한 문제를 적절하게 해결하기 위해서는 제조업체들이 수거한 폐제품들을 어떻게 적절히 재활용하여 수거에 따른 비용을 최소화하고 기업의 수익을 극대화할 것인가에 대한 실질적인 연구가 시급한 실정이며, 폐제품에 대한 재활용을 단순히 비용차원에서 고려할 것이 아니라 일반적인 생산전략의 일환으로 파악하고 적절한 경영전략을 마련해야한다. 본 연구에서는 수거된 부품은 적절한 프로세스를 거쳐 최종제품으로 재활용되는 상황을 고려하여 기업의 수익을 극대화하기 위한 재활용 및 구매정책을 다루고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 국내외 재활용 관련 연구 동향을 알아보고 본 연구에서 다루는 복수의 재활용 부품을 고려한 재활용 및 구매정책의 수리모형을 3장에서 소개한다. 4장에서는 개발한 수리모형을 바탕으로 유전자 알고리즘을 제안하고, 5장에서는 제안한 알고리즘의 성능분석을 위한 실험 결과를 비교분석한다. 마지막으로 6장에서는 연구 성과를 요약하고 결론을 맺는다.

## 2. 국내외 연구동향

지금까지 기존의 생산 시스템에 재활용 정책을 통합하는 것이 더욱 경제적이라는 것을 보여주는 많은 연구가 진행되어 왔다. Schrady (1967)에 의해 제안된 모델은 일정한 수요와 수거율 그리고 외부구매와 회수에 대한 고정된 리드타임을 가정하고, 발주비용 및 재고유지비용을 최소로 하기 위한 최적정책을 구하였다. Nahmias and Rivera (1979)는 회수된 제품에 대해 한정된 수리율을 허용하는 것으로 Schrady의 모델을 확장하였다. 이와 유사한 연구로서 Richter (1996)는 EOQ 모형을 사용하여 수거된 제품 중 일부만이 수리되어지고, 나머지는 폐기되는 가정 하에서 생산과 수리에 대한 최적의 set-up 횟수를 결정하는 연구를 수행하였다. Inderfurth (1997)는 확률적인 고객의 수요를 만족시키기 위하여 구매 외에 재생산과 폐기정책을 고려한 주기적 조사모형 (periodic review model)을 개발하였다. Inderfurth and Laan (2001)은 생산과 재생산 옵션을 고려한 재고모형에서 재생산과 구매에 대한 리드타임이 서로 다른 경우의 효과에 대해 관찰하고 재생산 리드타임을 의사결정변수로 고려하여 모형을 개선하였다.

Silver and Moon (2001[a])은 다품목을 대상으로 단일 기간의 불확실한 수요를 만족시키기 위해 구매정책과 더불어 한 종류의 재활용 제품이 일정한 전환비용을 통해 다른 품목으로 전환되어 사용될 수 있음을 가정하고 전환정책을 개발하였다. 또한 Silver and Moon (2001[b])은 단일기간에 대한 연구를 확장하여 일정한 수요율을 가진 안정적 제품이 반복 구매 또는 생산되는 상황에 대한 최적의 전환정책을 개발하였다. Kiesmuller and Laan (2001)은 하나의 재사용 제품에 대해 수요에 종속적인 랜덤한

수거율과 리드타임 및 유한한 계획기간을 고려하여 모델을 개발하였다. Inderfurth *et al.* (2001)은 서비스 부품에 대한 회수와 수요가 불확실한 상황 하에서 재사용할 부품들을 어떻게 서로 다른 재제조 옵션으로 할당할 것인가에 대한 최적정책을 주기적 조사모형으로 (periodic review model) 개발하였다. Minner and Kleber (2001)는 수요 및 회수가 동적인 상황을 고려하여 생산, 재제조, 그리고 폐기 전략을 최적화하는 모형을 개발하였다.

재활용에 대한 일반적인 운영관리적인 측면은 Thierry *et al.* (1995)의 연구에 잘 나타나 있고, 폐제품의 재활용에 대한 기업의 전략적인 측면에 대해서는 Toffel (2004)의 연구에 잘 기술되어져 있다. Gungor and Gupta (1999)는 환경문제를 고려하여 파생된 생산과 재활용에 관련된 여러 연구를 조사하였고, 역물류와 관련하여서는 Fleischmann *et al.* (1997, 2000)의 연구와 Jayaraman *et al.* (2003)의 연구를 통해 최근 역물류에 대한 연구 동향을 잘 파악할 수 있다. 특히 재활용과 역물류에 관한 의사결정지원시스템을 구축하기 위해 요구되어지는 정보에 관해서는 Ferguson and Browne (2001)의 연구에 상세히 기술되어 있다.

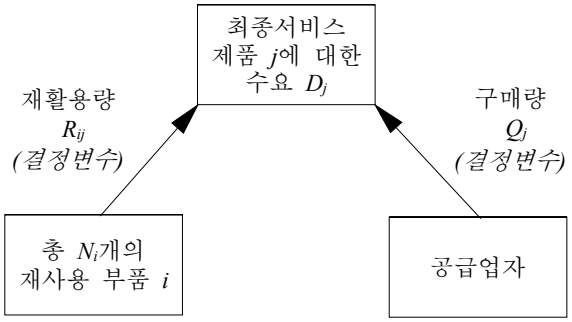
이와 같이 생산과 재활용 정책에 관련된 문제는 여러 형태로 연구되고 있으나 구매 의사결정과 재활용 정책을 통합한 분야에서의 연구는 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 복수의 재활용부품이 복수의 최종제품으로 재활용 되는 문제를 다루고 있으며 각 부품의 재활용 할 수 있는 양은 한정 되어있다는 제약 조건을 고려하였다.

## 3. 수리모형

본 논문에서 사용되는 기호들은 다음과 같다.

- $i$ :재활용부품에 대한 기호 ($i$=1, 2, …, $I$)
- $j$ :최종제품에 대한 기호 ($j$= 1, 2,…, $J$)
- $C_{ij}$ :재활용부품 $i$를 최종제품 $j$로 재활용하기 위한 변환비용(\$/unit)
- $g_{i0}$ :남은 재활용부품 $i$의 잔존가치(\$/unit)
- $g_j$ :남은 최종제품 $j$의 잔존가치(\$/unit)
- $v_j$ :최종제품 $j$에 대한 구매비용(\$/unit)
- $B_j$ :최종제품 $j$에 대한 품절비용(\$/unit)
- $I_j$ :최종제품 $j$에 대한 초기재고(units)
- $D_j$ :최종제품 $j$에 대한 수요(units)
- $f_j(D_j)$ :최종제품 $j$의 수요에 대한 확률밀도함수
- $F_j(D_j)$ :최종제품 $j$의 수요에 대한 확률분포함수
- $\mu_j$ :최종제품 $j$의 수요에 대한 평균
- $\sigma_j$ :최종제품 $j$의 수요에 대한 표준편차
- $N_i$ :변환 가능한 재활용부품 총량(units)
- $R_{ij}$ :부품 $i$가 최종제품 $j$로 변환되어 재활용 되는 양(units) *(의사결정변수)*
- $Q_j$ :최종제품 $j$에 대한 구매량(units) *(의사결정변수)*

본 문제에서는 총 $I$종류의 재활용부품이 존재한다고 가정한다. 재활용부품 $i$는 일정한 비용($C_{ij}$)이 소모되는 프로세스에 의해 최종제품 $j$로 변환되며 최종제품에 대한 구매는 일정 비용($v_j$)이 소모된다고 가정한다. 최종제품에 대한 수요를 재활용량과 구매량의 조합으로 $(\sum_{i=1}^{I} R_{ij} + Q_j)$ 만족시키게 되며, 만약 최종제품이 부족한 경우에는 품절비용이 발생하게 된다. 결국 총기대비용을 최소로 하는 재활용 및 구매정책을 구하는 것이 본 연구의 목적이다.




[그림 1] 다수의 재활용부품에 대한 의사결정변수

본 연구의 의사결정변수로는 [그림 1]에서와 같이 부품의 재활용량($R_{ij}$)과 최종제품의 구매량($Q_j$)이다. 각 부품에 대한 재활용 및 최종제품의 구매에 따라 단일기간에 소요되는 총기대비용은 다음과 같다.

$$
\begin{aligned}
&MinC(R_{11},\ldots,R_{ij},Q_1,\ldots,Q_j) \\
&= \sum_{j=1}^{J}\Big[\sum_{i=1}^{I} c_{ij}R_{ij} + v_jQ_j \\
&- g_j\int_{0}^{I_j+\sum_{i=1}^{I}R_{ij}+Q_j} (I_j+\sum_{i=1}^{I}R_{ij}+Q_j-D_j)f_j(D_j)dD_j \\
&+ B_j\int_{I_j+\sum_{i=1}^{I}R_{ij}+Q_j}^{\infty} (D_j-I_j-\sum_{i=1}^{I}R_j-Q_j)f_j(D_j)dD_j\Big] \\
&- \sum_{i=1}^{I} g_{i0}\Big(N_i-\sum_{j=1}^{J}R_{ij}\Big) \qquad (1)
\end{aligned}
$$

*subject to*

$$\sum_{j=1}^{J} R_{ij} \le N_i \text{ for } i \in 1,2,\ldots,I \qquad (2)$$

$$R_{ij} \ge 0 \quad \text{for } i \in 1,2,\ldots,I, j \in 1,2,\ldots,I \qquad (3)$$

$$Q_j \ge 0 \quad \text{for } j \in 1,2,\ldots,I \qquad (4)$$

위 모형의 식 (1)은 목적함수로 부품의 재활용량과 최종제품의 구매량에 따른 관련 비용을 최소화하는 것으로 관련 비용에는 재활용비용, 구매비용, 품절비용의 총합에 잔존가치의 차로 이루어져 있다. 제약식 (2)는 부품 $i$가 최종제품 $j$로 재활용되는 총량은 부품마다 재활용 할 수 있는 최대량($N_i$)으로 한정된다는 것을 의미한다. 제약식 (3)과 (4)는 부품이 재활용되는 양과 최종제품의 구매량은 음수의 값을 가질 수 없음을 의미한다.

## 4. 유전자 알고리즘

본 연구에서 다루는 재활용량 및 구매량 결정 문제는 조합 최적화문제로 NP-hard문제이다. 따라서 부품수와 제품수가 커질수록 최적해를 찾는 계산시간이 기하급수적으로 늘어나는 특징을 가지고 있어 본 연구에서는 문제의 사이즈가 큰 실제 문제를 해결하는데 많은 제약이 따르므로 메타휴리스틱 접근으로 근사 최적해를 구하고자 하며 본 장에서는 시간 효율적인 해의 탐색을 위해 유전자 알고리즘을 제안한다.

일반적인 유전자 알고리즘은 하나의 해에서 탐색을 시작하는 것이 아니라, 해의 집단(population)에서부터 탐색을 시작한다. 해의 집단에서 하나의 해는 염색체(chromosome)라고 하고, 각 염색체는 유전인자(gene)로 이루어져 있다. 각 염색체들은 세대수(generations)라고 불리는 연속적인 반복을 통해서 진화한다. 각 세대마다 유전 연산자 즉, 재생산(reproduction), 교차(crossover)와 돌연변이(mutation)를 통해서 환경에 적응해가면, 적합도 함수(fitness function)에 따라 각 염색체는 평가되어진다.

### 4.1 해의 표현과 초기화

본 연구에서 염색체는 두 가지로 나누어 구성하였다. 첫 번째 염색체는 부품의 재활용량에 대한 염색체이며 두 번째는 바로 판매가 가능한 최종제품에 대한 구매량을 나타내는 염색체이다.

부품의 재활용량에 대한 염색체의 길이는 재활용 가능한 부품 수와 최종제품 수의 곱에 하나의 dummy gene을 더한 것으로 나타내었다. 염색체내의 각각의 유전인자는 0-10 사이의 랜덤하게 생성된 정수로 나타내며 decoding process를 통하여 재활용 가능한 부품 $i$가 최종제품 $j$로 재활용 되는 양을 나타내었다. dummy gene은 변환 가능한 재활용 부품 총량($N_i$)에 대한 제약을 지키는 feasible한 새로운 해를 도출하는 역할을 한다.

최종제품에 대한 구매량 염색체의 길이는 최종제품종류의 총 수이며 한 개체는 0에서 서비스 수준을 보장하는 값 사이의 정수를 랜덤하게 발생하여 최종제품의 구매량을 나타내었다. 본 논문에서는 95%로 서비스 수준으로 보증하도록 하였다.

[표 1]은 재활용 가능한 부품이 2개이며 최종제품이 3개인 경우의 gene에 대한 표현으로 재활용량을 나타내는 $R_{ij}$에 대한 gene과 dummy gene으로 구성하였다. [표 2]는 최종제품의 구매량에 대한 gene이며 제품 1의 구매량은 0개, 제품 2의 구매량은 0개, 제품 3의 구매량은 9개라는 것을 나타낸다.

[표 1] 부품 재활용량 Gene의 표현

| Gene | 3 | 4 | 6 | 5 | 10 | 5 | 0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $R_{ij}$ | $R_{11}$ | $R_{21}$ | $R_{12}$ | $R_{22}$ | $R_{13}$ | $R_{23}$ | dummy |

[표 2] 최종제품 구매량 Gene의 표현

| Gene | 0 | 0 | 9 |
|---|---|---|---|
| $Q_j$ | $Q_1$ | $Q_2$ | $Q_3$ |

Decoding process는 0-10 사이의 수를 랜덤하게 발생한 각 부품의 재활용량에 대한 gene과 dummy gene의 값의 합을 분모로 두고 각 부품의 재활용량에 대한 gene 값을 분자로 둔다. 위의 decoding process를 따르면 각 부품의 재활용량에 대한 gene 값은 퍼센트로 나타나게 되고 변환 가능한 재활용 부품 총량($N_i$)을 곱함으로서 실제 각 부품의 재활용량을 나타내게 된다. [그림 2]는 decoding process를 통해 재활용부품 1이 최종제품 1로 재활용되는 양 $R_{11}$는 16개($\left\lceil \frac{3}{19} \times 100 \right\rceil$)이며, $R_{21}$는 29개, $R_{12}$는 32개, $R_{22}$는 36개, $R_{13}$는 52개, $R_{23}$는 35개로 decoding된다.

$$\frac{R_{ij}}{\sum_{j=1}^{J} R_{ij} + dummy} \times N_i$$

| 16 | 29 | 32 | 36 | 52 | 35 |
|---|---|---|---|---|---|

[그림 2] Decoding process

### 4.2 적합도 함수와 유전 연산자

적합도 함수는 다수의 재활용 부품을 고려한 재활용 전략 모형의 목적함수로 재활용비용, 구매비용, 품절비용의 총합에 잔존가치의 차로 나타내었다.

$$eval(A) = Minimize\, Z$$

재생산은 각 염색체들이 적합도 함수 값에 따라 다음 세대에 새로운 모집단을 구성하는 과정으로 본 연구에서는 rank-based mechanism방법을 사용하였다. 이 방법은 다른 재생산 방법과는 달리 좋은 개체가 빠르게 진화를 주도해 나가는 것을 막아주어 좀 더 완만한 선택 확률 곡선을 제공한다. 교차는 재활용량에 대한 gene과 최종제품의 구매량에 대한 gene은 일점 교차방식을 적용하여 부모개체의 자름점(cut-point) 위치를 랜덤하게 결정한다. 자름점에 의해 분리된 부모개체는 임의로 앞부분과 뒷부분 중 하나를 선택하여 다른 부모에 연결한다. 돌연변이는 새로운 난수를 발생시켜 선택된 인자를 교체시키는 방법을 사용하였다.

### 4.3 종료조건 및 parameter selection

최대 반복횟수, 즉 세대수가 3,000에 도달하거나 해의 개선이 500세대를 거치는 동안 0.1% 이상 일어나지 않으면 종료하도록 실험을 하였다. 교차율과 돌연변이율은 다양한 조합의 실험을 통해 0.5와 0.2가 가장 좋은 결과를 도출하여 이 값들을 사용하였다.

## 5. 수치예제

본 장에서는 제안된 유전자 알고리즘을 이용하여 수치예제를 통해 부품에 대한 재활용량과 최종제품에 대한 구매량을 구하였다.

### 5.1 수치예제 1

본 절에서는 최적해와 제안된 알고리즘의 비교를 통해 유효성 및 성능을 평가하기위해 먼저 작은 크기의 문제에 대하여 실험하였다. 구체적인 입력

데이터는 [표 3], [표 4], [표 5]에 나타내었다.

·재활용 가능한 부품 수 : 2개
·최종 제품의 수 : 3개

[표 3] 각 최종제품의 Parameter

| 제품 ($j$) | $v_j$ ($/unit) | $g_j$ ($/unit) | $B_j$ ($/unit) | $\mu_j$ | $\sigma_j$ | $I_j$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 300 | 80 | 400 | 80 | 20 | 30 |
| 2 | 400 | 100 | 500 | 90 | 25 | 20 |
| 3 | 300 | 120 | 450 | 120 | 17 | 20 |

[표 4] 각 부품의 재활용비용

| $C_{ij}$($/unit) | 제품1 | 제품2 | 제품3 |
|---|---|---|---|
| 부품1 | 150 | 150 | 150 |
| 부품2 | 100 | 150 | 200 |

[표 5] 초기부품에 대한 잔존가치 및 변환 가능한 재활용부품 총량

| 부품 | $g_{i0}$($/unit) | $N_i$ |
|---|---|---|
| 부품1 | 50 | 100 |
| 부품2 | 40 | 150 |

위의 입력데이터를 이용하여 최적해를 찾기 위해 전체 열거법(Total Enumeration)을 사용하였다. 그에 따른 결과는 다음과 같다.

부품의 재활용량 $R_{11}$=0, $R_{12}$=18, $R_{13}$=82, $R_{21}$=48, $R_{22}$=52, $R_{23}$=0 이며, 최종제품의 구매량 $Q_1$=0, $Q_2$=0, $Q_3$=16 이다. 각 재활용 부품 총량 $N_i$의 제약을 모두 만족하며 목적함수 값은 $42,258.52 이고 제시한 유전자 알고리즘의 실험 결과 중에 가장 좋은 해의 목적함수 값은 $42,264.44로 부품의 재활용량 $R_{11}$=0, $R_{12}$=17, $R_{13}$=83, $R_{21}$=47, $R_{22}$=53, $R_{23}$=0, 최종제품의 구매량 $Q_1$ =0, $Q_2$=0, $Q_3$=15 이다. 전체 열거법을 통한 결과 값과 유전자 알고리즘의 오차는 0.014%로 나타났다.

[표 6] 최적해와 유전자 알고리즘의 결과비교

| 부품수 | 최종 제품수 | 목적함수 | | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 2 | 3 | Total Enumeration | $42,258.52 | Optimal |
| | | 유전자 알고리즘 | $42,264.44 | 0.014% |

## 5.2 수치예제 2

수치예제 1에서는 전체 열거법을 통해 최적해 값을 제시함으로서 본 논문에서 제시한 유전자 알고리즘에 대한 유효성을 검증하였다. 수치예제 2에서는 재활용부품 수와 최종제품의 수를 증가시켜 본 논문에서 제시한 유전자 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 실험하였다.

·재활용 가능한 부품 수 : 3개
·최종 제품의 수 : 7개

[표 7] 각 최종제품의 Parameter

| 제품 ($j$) | $v_j$ ($/unit) | $g_j$ ($/unit) | $B_j$ ($/unit) | $\mu_j$ | $\sigma_j$ | $I_j$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 300 | 80 | 400 | 80 | 20 | 30 |
| 2 | 400 | 100 | 500 | 90 | 25 | 20 |
| 3 | 300 | 120 | 450 | 120 | 17 | 20 |
| 4 | 500 | 80 | 650 | 90 | 10 | 20 |
| 5 | 600 | 150 | 900 | 60 | 25 | 10 |
| 6 | 450 | 120 | 800 | 150 | 30 | 30 |
| 7 | 350 | 70 | 550 | 80 | 25 | 15 |

[표 8] 각 부품의 재활용비용

| $C_{ij}$ ($/unit) | 제품1 | 제품2 | 제품3 | 제품4 | 제품5 | 제품6 | 제품7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 부품1 | 100 | 250 | 100 | 150 | 300 | 200 | 160 |
| 부품2 | 150 | 100 | 220 | 250 | 120 | 220 | 200 |
| 부품3 | 100 | 180 | 150 | 270 | 150 | 300 | 150 |

[표 9] 초기부품에 대한 잔존가치 및 변환 가능한 재활용부품 총량

| 부품 | $g_{i0}$($/unit) | $N_i$ |
|---|---|---|
| 부품 1 | 50 | 100 |
| 부품 2 | 40 | 150 |
| 부품 3 | 50 | 200 |

유전자 알고리즘의 수행결과 부품의 재활용량은 다음과 같다.

[표 10] 부품의 재활용량

| $R_{ij}$ | $R_{i1}$ | $R_{i2}$ | $R_{i3}$ | $R_{i4}$ | $R_{i5}$ | $R_{i6}$ | $R_{i7}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $R_{1j}$ | 0 | 0 | 0 | 50 | 0 | 50 | 0 |
| $R_{2j}$ | 0 | 60 | 0 | 6 | 36 | 48 | 0 |
| $R_{3j}$ | 52 | 0 | 33 | 13 | 32 | 12 | 58 |

구매량 $Q_1$=0, $Q_2$=0, $Q_3$=67, $Q_4$=0, $Q_5$=0, $Q_6$

=12, $Q_i$=0 이며 목적함수 값은 $124,793.34 이다.

수치예제 1과 수치예제 2에 대해 알고리즘 성능 평가를 위해 10회 반복 실험을 행하였다. 수치 예제에 대한 결과는 [표 11]과 같다.

[표 11] 유전자 알고리즘의 실험결과

| 부품수 | 제품수 | 목적 함수 값 |
|---|---|---|
| 2 | 3 | $42,378.95* |
| 3 | 7 | $126,111.26* |

(* 10회 실험 후 평균 값)

## 6. 결론

본 연구에서는 다수의 재활용부품은 각 부품마다 특정비용이 소모됨으로써 최종제품으로 재활용되며 또한 각 최종제품은 바로 구매되는 상황에서 부품의 재활용량과 최종제품의 구매량을 동시에 결정하는 문제를 다루었다. 이를 해결하기 위해 수리적 모형과 유전자 알고리즘을 개발하였다.

또한 작은 사이즈의 수치예제를 통해 개발된 알고리즘의 유효성 및 성능을 평가하였고 큰 사이즈 문제에 유전자 알고리즘 적용하여 실험하였다. 본 연구의 알고리즘은 회사의 구매부서나 다른 공장 또는 다른 부서로 최종제품을 제공해주는 부서에서 수거된 부품의 재활용과 최종제품의 구매 정책을 세우는 현실적인 상황에서 활용이 가능하다.

## 참고문헌


Schrady, D.A, (1967) A deterministic inventory model for repairable items, *Naval Research Logistics Quarterly* 14, 391-398.

Nahmias, S., Rivera, H. (1979), A deterministic model for a repairable item inventory system with a finite repair rate, *International Journal of Production Research* 17(3), 215-221.

Richter, K. (1996), The EOQ repair and waste disposal model with variable setup numbers, *European Journal of Operational Research* 95(2), 313-324.

Richter, K. (1996), The extended EOQ repair and waste disposal model, *International Journal of Production Economics* 45(1-3), 443-447.

Inderfurth, K. (1997), Simple optimal replenishment and disposal policies for a product recovery system with leadtimes, *OR Spektrum* 19(2), 111-122.

Inderfurth, K., Van der Laan, E. (2001), Leadtime effects and policy improvement for stochastic inventory control with remanufacturing, *International Journal of Production Economics* 71(1-3), 381-390.

Silver, E.A., Moon, I.K. (2001[a]), The multi-item single period problem with an initial stock of convertible units, *European Journal of Operational Research* 132(2), 466-477.

Silver, E.A., Moon, I.K. (2001[b]), Multi-item economic order quantity model with an initial stock of convertible units, *The Engineering Economist* 46(2), 129-138.

Kiesmuller, G.P., Van der Laan, E. (2001), An inventory model with dependent product demands and returns, *International Journal of Production Economics* 72(1), 73-87.

Inderfirth, K., De Kok, A.G., Flapper, S.D.P. (2001), Product recovery in stochastic remanufacturing systems with multiple reuse options, *European Journal of Operational Research* 133(1), 130-152.

Minner, S., Kleber, R. (2001), Optimal control of production and remanufacturing in a simple recovery model with linear cost functions, *OR Spekturm* 23(1), 3-24.

Thierry, M., Salomon, M., Van Nunen, J., Van Wassenhove, L. (1995), Strategic issues in product recovery management, *California Management Review* 37(2), 114-135.

Toffel M.W. (2004), Strategic management of product recovery, *California Management Review* 46(2), 120-141.

Gungor, A., Gupta, S.M. (1999), Issues in environmentally conscious manufacturing and product recovery: A survey, *Computers & Industrial Engineering* 36(4), 811-853.

Fleischmann, M, Bloemhof-Ruwaard, J.M., Dekker(, R., Vand der Laa1, E., Van Nunen, J.A.E.E., Van Wassenhove, L.N. (1997), Quantitative models for reverse logistics: A review, *European Journal of Operational Research* 103(1), 1-17.

Fleischmann, M., Krikke, H.R.., Dekker, R., Flapper S.D.P. (2000), A characterization of logistics networks for product recovery, *Omega* 28(6), 653 -666.

Jayaraman, V., Patterson, R.A., Rolland, E. (2003), The design of reverse distribution networks: models and solution procedures, *European Journal of Operational Research* 150(1), 128-149.

Ferguson N., Browne J. (2001), Issues in end-of-life product recovery and reverse logistics, *Production Planning & Control* 12(5), 534-547.