

조립 제품의 순환형 생산 시스템 해석

Analysis of Recycle Manufacturing Systems of Assemble Products

이 상 복*

REE, Sangbok

Abstract

Modern society, as a result of high industrial technology, is characterized by a series of mass production, mass consumption and mass disposal. As the mass disposal is known as the major culprit of destroying ecological system of our environment, human prosperity is in turn threatened by this indiscrete activities. Under current industrial technology which pursuit maximum profit, environmental problems could not be solved. This paper proposes recycle manufacturing systems of assemble products as a measure of current non-recycle manufacturing systems. Products are also composed of a number of parts. All parts are represented by a function of time cost performance variable as reuse level. We develop an information systems which give all the information on reused and recycled parts. We try to implement this result on a real fields. We confide ourselves to the contribution to an effective solution of environmental problems and to give profit to assembly manufacturing and consumers.

Key Word : Environmental problems, Recycle manufacturing systems of assemble products, Function of time cost performance variable.

1. 서론

현대 사회의 특징은 고도의 산업 기술의 발전으로 대량 생산, 대량 소비, 대량 폐기의 순환으로 이루어졌다. 대량 폐기는 생태계를

* 서경대학교 산업공학과

희생시킨다. 결국 인류의 번영은 생태계의 회생을 바탕으로 이루어졌으며, 그 결과는 인류의 생존에 위협을 주게 되었다. 이젠 산업 기술이 지금과 같이 환경을 무시한 최대 이익만을 추구하는 대량 생산, 소비 그리고 폐기를 유발하게 해서는 안됨을 알고 있다. 환경 문제는 현대 우리 인류의 가장 시급하고 중요하게 고려되어야 할 문제이다. 이 환경 문제는 인류의 모든 분야 즉 문화, 정치, 교육, 산업 등이 동참해서 함께 생각할 문제이다. 화학, 기계, 전자, 전기, 토목 및 제조 산업에서도 참여해야 많은 효과를 볼 수 있다. 제조기업 내에도 제품의 개발 단계부터 구매 생산 영업 등 전 분야에서 참여해야 효과를 볼 수 있다.

환경 문제를 고려하지 않은 기존 생산 시스템을 갖는 제조 기업을 폐기형 생산 시스템이라 하고, 환경 문제를 고려하여 재 처리 재사용을 이용한 생산 시스템을 순환형 생산 시스템이라 했다[8]. 순환형 생산 시스템은 자연을 무한한 자원의 보고나 폐기 장소로 다루지 않는다. 순환형 생산 시스템은 제품을 바로 폐기하지 않고 분해하여 부품을 분류한다. 사용 가능한 부품은 바로 재사용하고, 처리가 필요한 부품은 재 처리하여 재사용 한다. 순환형 생산 시스템이 필요한 가장 큰 이유는 소비자가 제품 폐기가 어렵게 되었기 때문이다.

순환형 생산 시스템의 첫째 특징은 제품 폐기를 제품 생산 회사가 책임지는 것이다. 현재 우리 사회는 자동차, 전자제품, 가구 등 소모되어 없어지지 않는 모든 조립 제품을 소비자가 사서 사용하다가 사용할 수 없을 때 폐기한다. 현재 소비자에게 가장 어려운

일은 제품 구입 보단 폐기다. 폐기는 점점 더 어려워지고 있다. 예로 자동차를 폐차시킨 사람은 자동차 폐차가 여간 번거롭지 않은 것을 안다. 또한 냉장고, TV 등도 폐기가 점점 어려워지고 있다. 이런 것도 모순이다. 현재의 환경 대책은 아무런 다른 대안 없이 폐기만 못하게 하는 방식이다. 전국적으로 분리수거를 실시하고 있지만, 폐기물 감소의 근본 문제는 해결할 수 없다. 현재 제품을 폐기할 때, 많은 제품은 사용 가능한 것도 있고, 폐기되는 제품의 부품 중 일부는 언제든지 사용 가능하다. 그러나 소비자에게 이런 부품이 쓸모 없고, 쓸모 있다해도 원하는 부품만 분해하여 가질 수 없다. 순환형 생산 시스템에서는 현재의 이러한 폐기 방식과는 근본적으로 다르다. 순환형 생산 시스템에선 제품 회사가 만든 제품이 폐기될 때 폐기되는 모든 제품을 제품회사가 회수하여 재 처리하는 것이다. 즉 전자제품, 자동차, 가구 등 완전 소모가 되지 않는 제품을 소비자가 직접 폐기하는 것이 아니라 생산자에게 돌려주고 생산자는 재 분해하고 분류하여 부품으로 바로 사용하거나, 다른 부서에서 사용하거나, 재 처리하여 사용하거나, 폐기하거나 한다. 생산자는 재사용, 재 처리된 부품을 사용하여 새로운 완제품을 만든다. 이러한 순환형 생산 시스템에서는 폐기물이 대폭 줄어든다. 제품 폐기를 가장 효율적으로 할 수 있는 곳은 생산 공장이다. 환경을 고려하여 특수 폐기 처리를 할 수 있는 곳이다. 제품을 만든 단일 회사에서 폐기가 어려우면, 동종 기업끼리 협력하여 효과적인 폐기를 할 수 있을 것이다. 이렇게 제품을 폐기할 때에 제품을 제품 생산회사에 돌려주는 시스템이 바로 순

환형 생산 시스템이다. 순환형 생산 시스템에서는 제품 설계시에 재생산 폐기 등을 충분히 고려해야 한다.

순환형 생산 시스템의 두 번째 특징은, 소비자는 제품을 소유하는 의미에서 임대 개념으로 바뀌어야 한다. 사용하는 기간 동안만 회사에서 빌려 쓰는 것이다. 생산업체는 모든 제품을 판매하고 결국에 회수하기 때문에, 소비자가 사용하는 동안 제품 성능을 책임져야 한다. 물론 재사용이나 재 처리하여 만든 이차 제품에 자세한 제품 설명과 성능을 표시해야 한다. 소비자가 제품을 임대해 사용하면 제품 수명이 짧은 제품에 유리하다. 예로 컴퓨터 구입시 큰 문제는 새로운 모델이 계속 나와 구입한 제품은 곧 구 모델이 되어 다시 구입해야 하는 부담이 있다. 이것은 우리가 제품을 소유하는 개념에선 계속 문제가 된다. 그러나 제품 임대 개념에선 문제가 안 된다. 좀더 가격을 주고 다시 빌리면 되기 때문이다. 제품 수명 주기가 짧은 제품일수록 임대 개념이 더 필요하다. 그러한 제품일수록 폐기가 더 문제되기 때문이다(제품 수명 주기가 짧은 제품의 임대할 때 사용 비용문제는 새로운 문제로 본 논문에서는 취급하지 않았음).

본 논문에서는 이상의 순환형 생산 시스템 하에서 여러 조립 제품의 재사용을 분석한다. 재사용 비용 시간 성능을 기준으로 하여 분석한다. 순환형 조립 생산 시스템에서의 재사용시 비용과 시간 성능을 분석하여 제시했다. 소비자 입장에서 순환형 조립 생산 시스템의 이점을 제시했다.

1) 순환형 생산 시스템

순환형 사회와 비순환형 사회를 그림으로 그리면 그림 1과 같다. 현재의 비순환형 사회는 사용한 제품은 자연 환경에 그대로 폐기한다. 그러나 순환형 사회는 사용 후 제품을 분류하여 그대로 재사용 하거나 재 처리하여 재사용 한다.

이를 위해선 조립 생산 제조 공장의 제품 설계가 현재와는 다르게 바뀌어야 한다. 즉 순환형 조립 생산 시스템의 형태는 아래 그림 2와 같이 나타난다. 이는 (i) 원자재를 구매한다. (ii) 제품을 만들어 시장에 판매한다. (iii) 소비자는 제품을 다 사용했으면 사용한 제품을 제조한 회사에 반납한다. 이때 소정의 회수 비용을 받을 수 있다. (iv) 공장내부에는 제품 분해 분류 부서가 있어 제품을 분류한다. 재사용과 재 처리할 수 있는 제품을 분류한다. 제품에 다시 사용할 수 있는 것은 재 처리 후 다시 사용한다. (v) 재사용 가능한 원자재는 원자재 회사로 다시 판매한다. (vi) 분류 후 재사용이나 재 처리할 수 없는 것은 폐기한다. (iii),(iv),(v) 부분이 기존 비순환 제조 사회에서는 없었다.

순환형 조립 생산 시스템은 기존의 생산 시스템과 근본적으로 다른 점이 있다. 첫째, 제품 설계시 새로운 제품과 재사용된 부품을 함께 사용하여 조립할 수 있게 제품을 설계하는 것이다. 재사용된 부품을 사용한 제품은 재사용된 부품의 성능과 재 처리되는 비용 재 처리 기간을 고려하여 제품 상표에 이를 표시하고 적절한 사용 설명서와 판매가를 제시해야 한다. 둘째, 모든 제품은 소비자가 사용 후에 반드시 회사에서 회수해야 한다. 이를 위해선 회수 시 적당한 가격을 보상에

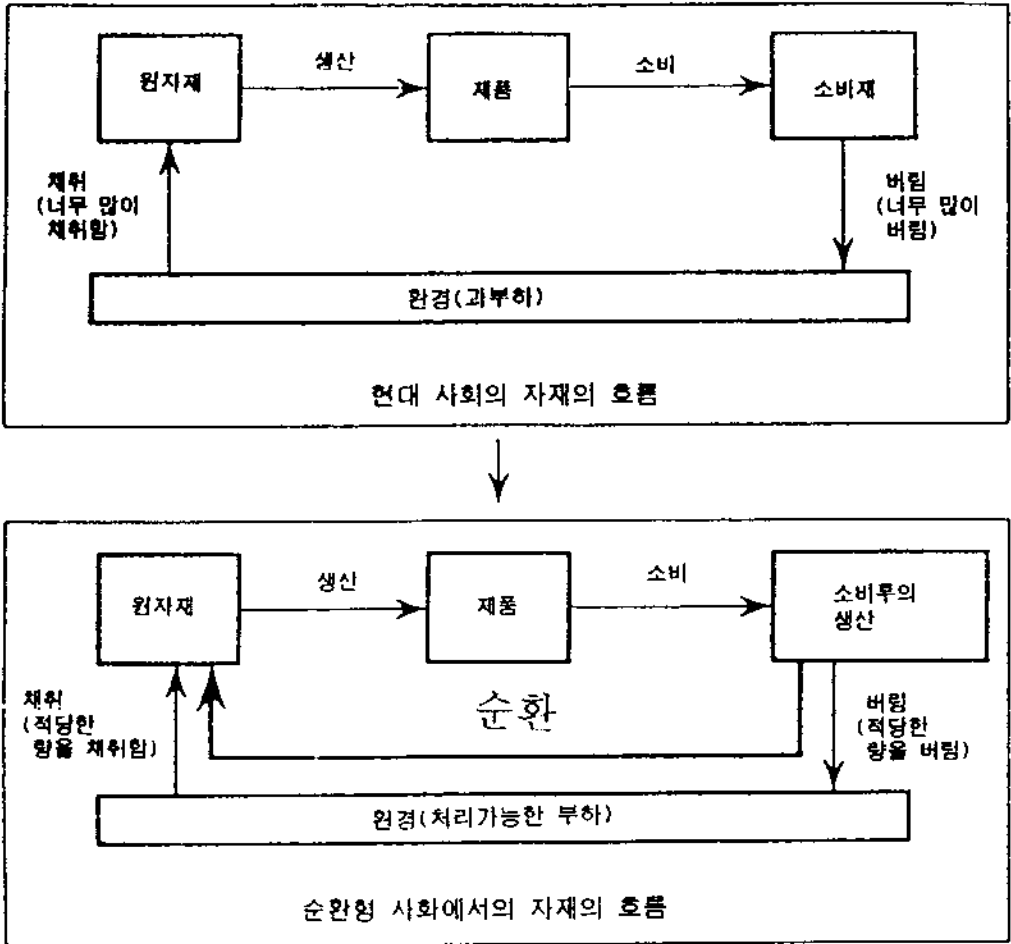


그림 1. 순환형 사회와 비순환형 사회

주어야 한다. 혹은 제품을 소비자가 산다는 개념 보단 제품을 임대한다는 개념으로 바뀌어야 한다. 셋째, 각 회사는 회수된 부품을 분해하고 분류하며 재 처리하는 부서를 새로이 신설해야한다.

2) 연구 배경

국내에는 이와 같은 논문 주제가 아직 발표되지 않았다. 제조업의 순환형 생산 시스템은 미국 일본 특히 유럽에서 환경에 대한

대처 방법으로 많이 연구 실시되고 있다 [1,2,3,4,5,6,7,9]. 특히 독일에선 자동차 폐차를 자동차 회사가 책임지는 법률 제정 움직임도 보고되고 있다[4]. 보고된 대부분의 논문이 환경 문제에 대해 쓰여졌고, 일본의 Hoshino는 부품을 네 가지로 분류하여 각 경우에 대해 재사용율과 이익을 최대화하는 수치적 모델을 제시하고 목적 계획법(Goal Programming) 기법을 이용해 해법을 제시했다. 그곳에는 순환형 생산 시스템을 제시했

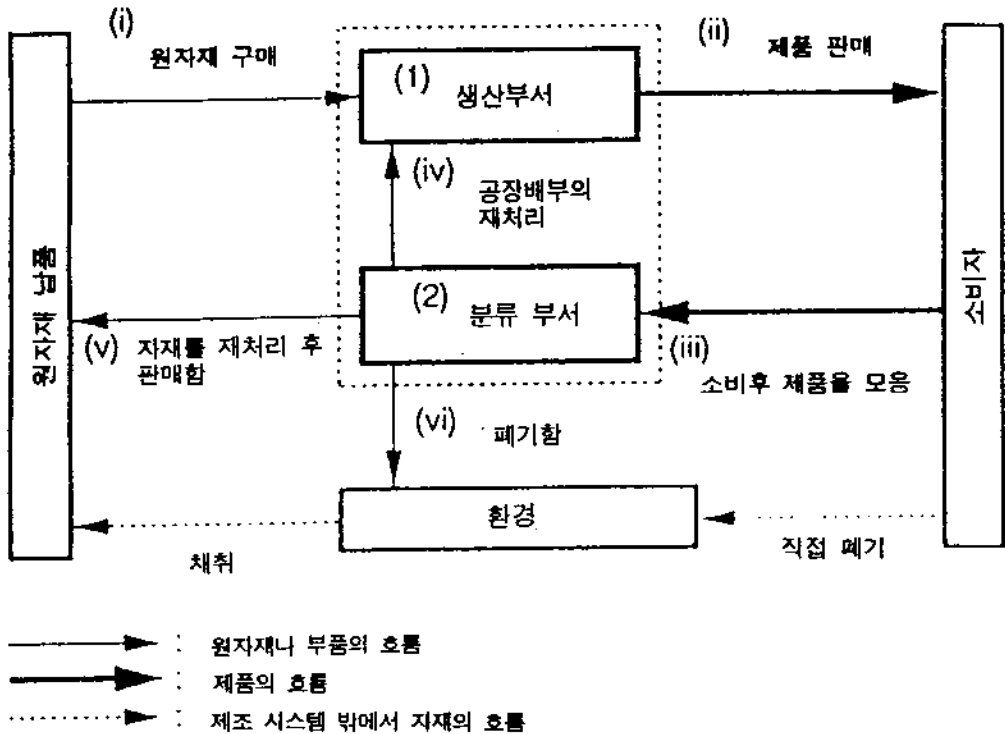


그림 2. 순환형 조립 생산 시스템

으나 각 제품의 재사용율과 이익을 최대로 하는 경우의 재사용 흐름을 살펴봤다[8]. 그러나 본 논문에서는 여러 제품에 따라 재사용 변화가 다르므로, 각 경우에 따라 모든 부품을 시간, 비용, 성능 세 변수의 함수로 표시하여 각 부품이 재사용 되는 정보와 조립 제품 순환형 시스템 구축을 시도해 봤다.

2. 비용 시간 성능으로 분석한 순환형 생산 시스템

재사용된 부품을 사용한 제품의 기준은 비용, 시간, 성능으로 결정한다. 신부품의 비용 시간 성능을 100%으로 할 때, 재사용된 부품

의 비용 성능 시간을 신부품과 비교하여 함수관계로 나타낼 수 있다. 조립 제품이므로 재사용된 부품을 사용하여 조립된 제품은 재사용한 부품의 함수로 나타내어지고 제품의 성능이 결정된다. 재사용 되는 부품은 현실적으로 타당해야한다. 예를 들면 재사용 부품의 비용이 새부품보다 비싸거나 재사용 처리 시간이 너무 길거나 성능이 요구되는 기준치 이하면 재사용 의미가 없다. 다음 표 1과 같은 기준을 만들 수 있다.

제품은 각 부품의 함수로 나타낸다. 제품을 각 부품의 비용 시간 성능 함수로 나타내면 다음과 같다(다음 식 (1)은 제품 성격에 따라 여러 가지로 나타낼 수 있다. 예를 들

표 1. 부품 분류표

부품 종류	비용	시간	성능	판 단
새 부품	100%	100%	100%	기준이 되는 신제품
재사용 부품 경우	50%	50%	90%	일반적 재사용 부품
재사용 불가능 부품	150%	80%	60%	재사용시 비용이 신제품 보다 비싸 재사용 의 미가 없음
재사용 불가능 부품	70%	300%	80%	재사용시 시간이 신제품 보다 너무 오래 걸 려 재사용 의미가 없음
재사용 불가능 부품	90%	80%	10%	재사용시 부품 성능이 사용 기준에 비해 낮 아 재사용 의미가 없음

면 각 부품들의 곱으로도 나타낼 수 있으며, 합으로도 나타낼 수 있다. 여기서 단순하게 각 부품들의 독립적인 합으로 표현했다. \oplus 기호는 각 부품의 독립적인 합을 의미한다.

$$F^k(c,t,p) = \bigoplus_{j=0}^k f_j^i(c,t,p) \quad k=0,1; j=0,1,\dots,m \quad (1)$$

F^k 에서 $k=0$ 일 때는 신제품, $k=1$ 은 재사용 부품을 사용한 제품을 나타낸다. 신제품은 모든 부품이 신제품 부품만 사용한 경우이다. 즉 $F^0(c,t,p) = \bigoplus_{j=0}^0 f_j^i(c,t,p)$ 식으로 나타낸다. f_j^i 는 제품 F 의 i 번째 부품으로 j 번 재사용한 부품이다. 제품 F 를 만드는데 부품이 n 개 필요하다고 하고, 부품 재사용은 최대 m 번 사용할 수 있다고 한 것이다. c =비용, t =시간, p =성능을 나타낸다. 각 부품의 재사용 주기는 모두 다르므로 장기간에 걸쳐 부품들을 수집 분류하여 사용한다. 대용량의 부품을 모아 분류하여 사용한다면, 재사용된 부품을 사용한 제품의 비용, 시간, 성능은 다음과 같이 나타낼 수 있다. 제품 F 의 i 번째 부품인 f_i 의 j 번 재사용 했을 때의 비용은 $j-1$ 번 재사용 했을 때의 비용에 비용 감소비율 rc_i^{j-1} 을 곱한 것과 같다. 이를 식으로 나타내면 다음과 같다. 즉

$$c(f_i^j) = c(f_i^{j-1}) * rc_i^{j-1} \quad (2)$$

$c(f_i^j)$ 은 i 번째 부품이 j 번 재사용 했을 때의 비용이고, rc_i^{j-1} 은 i 번째 부품을 $j-1$ 번에서 다시 재사용 했을 때의 비용 감소 비율이다. 같은 방법으로 제품 F 의 i 번째 부품인 f_i 의 j 번 재사용 했을 때의 시간은 $j-1$ 번 재사용 했을 때의 시간에 시간 감소비율 rt_i^{j-1} 을 곱한 것과 같다. 이를 식으로 나타내면 다음과 같다. 즉

$$t(f_i^j) = t(f_i^{j-1}) * rt_i^{j-1} \quad (3)$$

$t(f_i^j)$ 은 i 번째 부품이 j 번 재사용 했을 때의 시간이고, rt_i^{j-1} 은 i 번째 부품을 $j-1$ 번에서 다시 재사용 했을 때의 시간 감소 비율이다. 같은 방법으로 제품 F 의 i 번째 부품 f_i 의 j 번 재사용 했을 때의 성능은 $j-1$ 번 재사용 했을 때의 성능에 성능 감소비율 rp_i^{j-1} 을 곱한 것과 같다. 이를 식으로 나타내면 다음과 같다. 즉

$$p(f_i^j) = p(f_i^{j-1}) * rp_i^{j-1} \quad (4)$$

$p(f_i^j)$ 은 i 번째 부품이 j 번 재사용 했을 때의 비용이고, rp_i^{j-1} 은 i 번째 부품을 $j-1$ 번에서 다시 재사용 했을 때의 성능 감소 비율이다.

제품 F 의 비용은 각 부품의 비용합으로 나타낼 수 있다. 즉,

$$c(F) = \bigcup_{i=1}^n c(f_i^j) \quad (5)$$

제품 F 의 시간은 각 부품의 시간합으로 나

타낼 수 있다. 즉,

$$t(F) = \bigcup_{i=1}^n t(f_i) \quad (6)$$

(제품 조립 공정이 선형이라는 가정 하에 식 (6)으로 표현될 수 있다. 만약 조립 공정이 병렬이라면 식 (6)은 $p(F) = \text{Max}_{i=1}^n \{t(f_i)\}$ 로 표현된다. 혹은 조립 구조 형태에 따라 다른 식으로 표현될 수 있다).

제품 F의 성능은 각 부품의 성능 중에 제일 나쁜 성능에 종속된다. 즉,

$$p(F) = \text{Min}_{i=1}^n \{p(f_i)\} \quad (7)$$

(조립 제품 성능의 일반적인 식은 (7)식 대신에 $p(F) = \prod_{i=1}^n \{p(f_i)\}$ 으로 표현되나 여기서 제품은 각 부품의 독립적인 합이라는 가정 하에서 간단하게 표현했다. 그러나 제품 형태에 따라 다르게 표현될 수 있다).

제품의 성능에 따라 실제 판매 가격을 결정하기 때문에 제품 성능 결정은 중요하다.

이상의 식을 이용하여 재사용 부품으로 조립한 제품의 비용 시간 성능을 계산할 수 있다. 다음 여러 예를 통해 재사용 부품에 따라 각각 어떻게 재사용 되고 있는지 살펴본다. 제품 재사용 주기는 어느 시점이든지 관계없다. 재사용 되는 시점에서 비용 시간 성능을 계산할 수 있으면 된다. 다음의 예는 문제를 간단히 하기 위해서 일정한 기간마다 모든 제품을 분류하여 재사용 한다고 가정했다.

예제 (1) 각 부품들 모두 재사용이 가능한 경우

제품 F는 (a,b,c,d,e) 다섯 종류의 부품으로 구성됐으며, 제품 F를 만드는데 각 부품은 한 개씩 사용한다고 가정했다. 재사용된 부품의 비용이 신제품과 같거나 더 비싸다면 재사용

할 수 없다. 또한 재생 처리 시간이 신제품에 비해 두 배 이상 소요되어도 재사용 할 수 없으며 재사용된 부품의 성능이 신제품에 비해 반 이하이면 사용할 수 없다고 했다. 이러한 가정은 일반적인 상식과 일치한다. 재사용 부품의 성능에 따라 제품을 1급 2급 3급으로 분류했다. 3급 이하는 폐기를 뜻한다. 구분은 아래 [표 2]와 같이 정의했다.

표 2. 부품 성능에 따른 구분

성능 구분	성능 정도
1 급	80 % 이상
2 급	70% - 80%
3 급	50% - 70%

다음과 같이 각 부품의 1회 재사용시 비용 시간 성능 감소 비율을 갖는다고 했다.

표 3. 예제 1의 비용 시간 성능 감소 비율표

부품	비용	시간	성능
a	20%	60%	60%
b	30%	40%	90%
c	40%	20%	80%
d	50%	30%	70%
e	60%	70%	50%

제품 F를 100개 만들 때 각 부품은 100개 씩 사용된다. 식 (2)~(7)을 이용하여 기간별로 재사용 되는 경우를 나타내면 다음 표 4와 같다. 시간과 비용은 신제품일 때 각각 똑같이 1이라 했다.

위 경우에 주기적으로 재사용 량이 변화되고 있음을 알 수 있다. 어떤 제품에 대한 재사용 율을 정확히 알고 있으면 주기를 계산

표 4. 각 부품들 모두 재사용이 가능한 경우의 분석

기 간	1		2		3		4		5		6	
	new	reuse	new	reuse	new	reuse	new	reuse	new	reuse	new	reuse
투 입 량	a	100		100	100			100	100			100
	b	100		100		100		100		100		100
	c	100		100		100		100	100			100
	d	100		100	100			100	100			100
	e	100		100	100			100	100			100
제품 1급 성능 2급 3급	100		100		100		100		100		100	
총소요 시간	500		220		360		220		440		220	
총부품 비용	500		200		325		139		401		171	

할 수 있고 그 주기에 맞추어 생산 계획을 정확히 세울 수 있다.

예제 (2) 각 부품들 중 일부만 재사용이 가능한 경우

예제 (1)에서는 제품 F의 부품을 전부 재사용이 가능한 경우만 다루었으나 이번에는 일부 제품이 재사용이 불가능한 경우를 살펴봤다. 제품 F는 (a,b,c,d,e) 다섯 종류의 부품으로 구성됐으며, 제품 F를 만드는데 각 부품은 한 개씩 사용한다고 가정했다. 또한 재사용 부품 폐기 기준, 제품 성능 구분 및 제품 구성 비율은 예제 (1)의 경우와 같다. 이때 부품의 재사용 비용 시간 성능 감소 비율은 다음과 같다.

제품 100개를 사용할 때 재사용 상태를 분석하면 다음 표 6과 같다.

위 경우에 재사용율이 적을 때는 비용 면에서 큰 이점이 없음을 볼 수 있다. 그러나

표 5. 예제 2의 비용 시간 성능 감소 비율표

부품	비용	시간	성능
a	60%	150%	80%
b	120%	80%	60%
c	70%	80%	70%
d	90%	130%	90%
e	80%	90%	90%

재사용 제품의 성능 수준이 2급이 많음을 알 수 있다. 기간 4와 기간 6에서는 전체 비용은 싸고 비슷하나 제품 수준 면에서 많은 차이가 있고, 기간 3과 기간 5에서는 전체 비용은 높으나 제품 수준에서 차이가 있음은 특기할 만한 사실이다.

예제 (3) 같은 부품들에서도 재사용율이 다른 경우

이번 예에서는 예제 (2)와 다르게 같은 종류의 부품 내에서도 재사용율이 다른 경우

표 6. 각 부품들 중 일부만 재사용이 가능한 경우

기 간	1		2		3		4		5		6	
	new	reuse	new	reuse	new	reuse	new	reuse	new	reuse	new	reuse
투 입 량	a	100		100	100			100		100		100
	b	100	100		100			100	100		100	
	c	100		100	100			100		100		100
	d	100		100		100		100	100			100
	e	100		100		100		100		100		100
제품 1급 성능 2급 3급		100		100	100		100			100		100
총소요 시간		500		550	550		502		494		556	
총부품 비용		500		400	445		381		430		343	

이때 재사용된 제품을 다시 사용할 시 시간은 재사용 시간의 90%와 비용은 재사용 비용의 80%만 필요하다고 가정한 경우를 살펴 봤다. 제품 F는 (a,b,c,d) 네 종류의 부품으로 구성됐으며, 제품 F를 만드는데 각 부품은 1 개씩 사용한다고 가정했다. 기타 가정은 위 예제와 모두 같다. 이때 부품의 재사용 비용 시간 성능 감소 비율은 다음과 같다.

제품 F를 4개 만드는데 각 부품 a,b,c,d를 각각 4개씩 사용했을 때, 5 기간 동안의 과정을 정리하면 다음 [표 8]과 같다. 비용과 시간은 각 부품별로 100이라 했다. 위의 예들과 다르게 각 제품 내에서 제품 수준이 1급, 2급, 3급으로 나누어 있다. 재사용이 한 번인 경우가 비용이 적게 들면서 제품 수준은 높게 나타나는 것을 볼 수 있다.

표 7. 예제 3의 비용 시간 성능 감소 비율표

부품	비 용	시 간	성 능	
a	1	36%	45%	80%
	2	36%	45%	76%
	3	36%	45%	72%
	4	36%	45%	68%
b	1	37%	60%	58%
	2	37%	60%	52%
	3	37%	60%	45%
	4	37%	60%	40%
c	1	38%	53%	90%
	2	38%	53%	80%
	3	38%	53%	70%
	4	38%	53%	60%
d	1	39%	70%	90%
	2	39%	70%	86%
	3	39%	70%	82%
	4	39%	70%	78%

예제 (4) 각 부품별로 비용 시간 성능의 재사용율이 모두 다른 경우

이번 예에서는 위 예제 (3)와 다르게 각 부품의 비용 시간 성능의 재사용율이 모두 다

표 8. 같은 부품들에서도 재사용율이 다른 경우

기 간	1		2		3		4		5	
	new	old	new	old	new	old	new	old	new	old
투 입 량										
a	4			4	1	3	2	2	2	2
b	4		2	2	4		2	2	4	
c	4			4	2	2		4	3	1
d	4			4		4	1	3	1	3
제품 1급	4		1		1				1	
성능 2급			1				2		1	
3급			2		3		2		2	
총부품 시간	1600		992		1342		1257		1425	
총부품 비용	1600		726		971		832		1170	

른 경우를 살펴봤다. 제품 F는 (a,b,c) 세 종류의 부품으로 구성됐으며, 제품 F를 만드는데 각 부품은 1개씩 사용한다고 가정했다. 기타 가정은 위 예제와 모두 같다. 이때 부품의 재사용 비용 시간 성능 감소 비율은 다음과 같다. 각 부품별로 비용 시간 성능이 모두 변한다.

표 9. 예제 4의 비용 시간 성능 감소 비율표

부품	비 용	시 간	성 능
a 1	36%	3%	80%
2	37%	7%	25%
3	38%	8%	45%
b 1	39%	5%	58%
2	40%	6%	85%
3	41%	15%	30%
c 1	42%	27%	94%
2	43%	13%	83%
3	44%	6%	56%

제품 F를 15개 만드는데 각 부품 a,b,c를

각각 15개씩 사용했을 때, 같은 a에서 3종류가 있고 각 종류별로 5개씩 사용했다. 5기간 동안의 과정을 정리하면 다음 표 10과 같다. 비용과 시간은 각 부품별로 100이라 했다. 제품 수준이 재사용한 경우는 전부 3급으로 나타났다. 비용은 상당히 절약됐음을 알 수 있다.

예제 (5) 각 부품별로 재사용율이 확률적으로 변하는 경우

이번 예에서는 위의 여러 예와 다르게 각 부품의 비용 시간 성능의 재사용율이 모두 확률적으로 변하는 경우를 살펴봤다. 또한 어떤 부품에는 특별 제약이 있는 경우를 살펴봤다. 이러한 가정이 더 현실적이다. 제품 F는 (a,b,c,d,e) 다섯 종류의 부품으로 구성됐으며, 제품 F를 만드는데 각 부품은 1개씩 사용한다고 가정했다. 기타 가정은 위 예제와 모두 같다. 제약 조건 중에는 재사용은 3회까지만 할 수 있고, 그 이상은 할 수 없다.

표 10. 같은 부품들에서도 재사용율이 다른 경우

기 간	1		2		3		4		5	
	new	old	new	old	new	old	new	old	new	old
투	a1	5		5		5		5	5	
	a2	5		5	5		5		5	
	a3	5		5	5		5		5	
입	b1	5		5	5		5		5	
	b2	5		5		5		5		5
	b3	5		5	5		5		5	
량	c1	5		5		5		5		5
	c2	5		5		5		5		5
	c3	5		5	5		5		5	
제품 1급	15		15		15		15		15	
성능 2급	15		15		15		15		15	
3급	15		15		15		15		15	
총부품 비용	4500		1778		2731		1794		3671	
총부품 비용	4500		2722		2825		2047		3528	

이때 부품의 재사용 비용 시간 성능의 비율은 다음과 같다.

제품 F를 1000개 만드는데 각 부품 a,b,c,d,e를 각각 1000개씩 사용했다. 6 기간 동안의 과정을 정리하면 다음 표 12와 같다. 시간은 각 부품별로 1이라 하고, 비용은 a 부품은 3, b 부품은 2, c부품은 1, d 부품은 1, e 부품은 1이라 했다. 제품 수준이 재사용한 경우는 전부 2급으로 나타났다. 비용은 상당히 절약됐음을 알 수 있다.

표 11. 예제 5의 비용 시간 성능 감소 비율표

부품	비용	시간	성능	비고
a 1회	100%	100%	100%	새 것
	16%	10%	80%	1회 60%
	8%	5%	70%	2회 40%
b 1회	100%	100%	100%	새 것
	26%	20%	80%	1회 50%
	13%	10%	70%	2회 50%
c 1회	100%	100%	100%	새 것
	36%	30%	70%	1회 80%
	18%	15%	70%	2회 20%
d 1회	100%	100%	100%	새 것
	46%	40%	80%	1회 100% 2회만 사용
e 1회	100%	100%	100%	재사용 없음

3. 순환형 생산 시스템 구축

위 예제에서 조립제품의 재사용에 대한 여러 경우를 살펴왔다. 각 경우에 조금씩 조건을 바꾸어 검토해 보았다. 어느 경우든 재사

표 12. 각 부품별로 재사용율이 확률적으로 변하는 경우

기 간			1	2	3	4	5	6
투	a	new	1000	400	520	592	521	546
		1회 reuse		600	240	312	355	312
		2회 reuse			240	96	124	142
입	b	new	1000	500	500	625	563	1000
		1회 reuse		500	250	250	312	
		2회 reuse			250	125	125	
량	c	new	1000	200	680	456	636	1000
		1회 reuse		800	160	544	364	
		2회 reuse						
	d	new	1000		1000		1000	1000
		1회 reuse		1000		1000		
	e	new	1000	1000	1000	1000	1000	1000
제품 1급 성능 2급 3급			1000					
				1000	1000	1000	1000	1000
총부품 시간			5000	3500	3859	3335	3945	4584
총부품 비용			8000	4696	5635	4837	5697	6822

용했을 시 비용 면에서 많은 이점이 있으나, 성능 면에선 많은 차이가 난다. 1회 재사용 시에는 비용과 성능 면에서 우수하나, 2회 이상 재사용 시에는 재사용된 부품의 성능이 많이 떨어지기 때문에 신제품과 함께 사용하면 전체 제품의 성능이 떨어진다. 이는 제품의 성능은 식 (7)에서와 같이 부품중 최소 성능에 종속되기 때문이다. 재사용 부품을 사용할 시는 재사용된 부품끼리 사용하는 것이

유리하다. 재사용 시간은 별 문제가 되지 않는다. 다만 지나치게 재사용 시간이 긴 것만 제외된다. 위에서 살펴본 여러 예제는 모두 일정한 기간마다 제품을 분류하여 재사용 하는 가정 하에서 분석한 것이다. 다음은 일반적인 경우에 대해 살펴본다.

제품의 이상적인 설계는 모든 부품이 동시에 소모되어 모든 부품을 동시에 폐기하는 것이다. 그러나 부품별로 내구성이 다르므로 현실적으로 사용할 수 있는 부품과 사용할 수 없는 부품 등 여러 종류가 존재한다. 특히 사고로 인해 한 부분이 파손되어 제품이 못쓰게 되었을 때는 제품을 분해하여 쓸 수 있는 부품을 분류하여 재사용 해야 한다. 위 예제에서 살펴봤듯이 재사용 시 가장 중요한 것이 부품들의 비용 시간 성능 감소 비율표를 만드는 것이다. 감소 비율표는 해당 분야 전문가만이 만들 수 있다. 사용시간에 비례하는 감소 비율표를 만든다면, 이 감소 비율표를 참조하여 각 부품별 성능별로 분류 저장하여 필요할 때 사용하면 된다. 아래 그림 3과 같이 비용 시간 성능을 고려한 순환형 생산 시스템을 구축한다.

부품이 잘 분류되어 있다면, 성능 면에서 혹은 비용 입장에서 적합하게 조합하여 재조립하여 판매할 수 있다. 이런 제품은 소비자에게 제품 성능과 비용을 명시하여 제시한다. 혹은 고객이 미리 성능이나 비용을 조건으로 제시하면 그것에 맞추어 제품을 조립하여 제공할 수 있다. 조립제품인 경우엔 식 (7)과 같이 여러 부품이 성능이 아무리 좋아도 한 개의 부품이 성능이 나쁘면 전체 제품의 성능이 나쁘므로 좋은 제품과 혼합하여 조립하지 않는다.

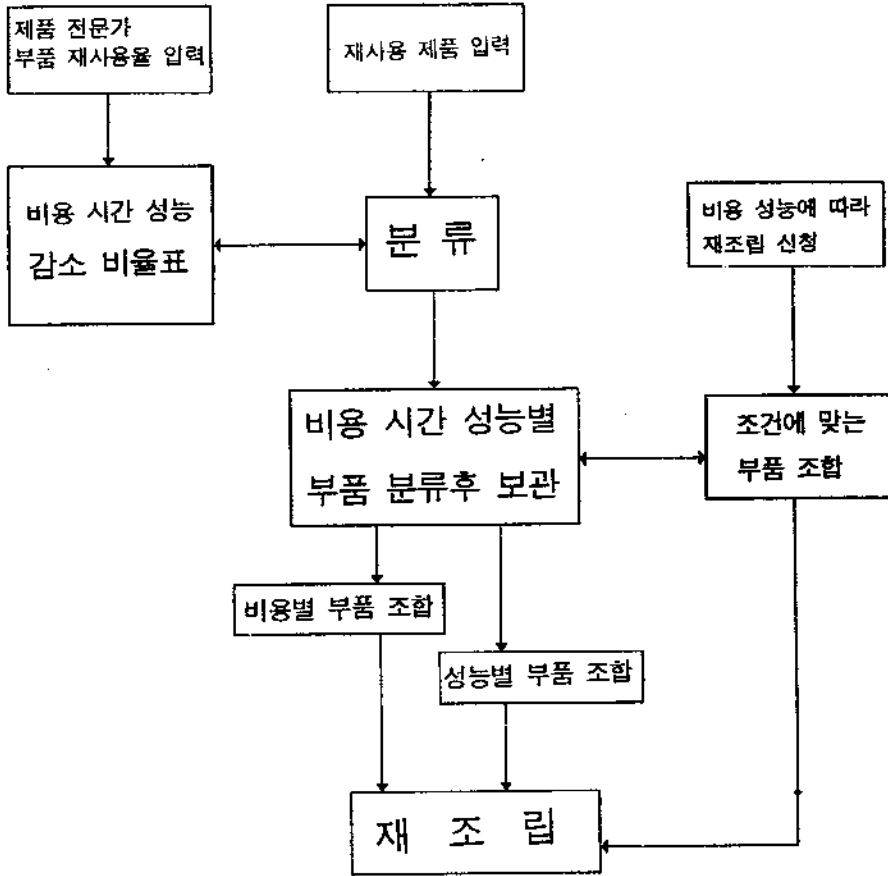


그림 3. 조립 제품의 순환형 생산 시스템 구축

조립 제품의 순환형 생산 시스템 구축은 부품별로 모두 데이터 베이스로 저장되고 전산화되어야 의미가 있다. 자동차 같이 부품이 많고 여러 종류로 저장되기 때문에 일일이 수작업으로 제품을 찾을 수 없다.

4. 결론 및 추후 연구 과제

본 논문에서 우리는 조립 제품의 재사용 가능성과 재사용시 적용 방법을 고찰해왔다. 조립제품의 재사용은 환경문제와 비용 절감 면에서 유리한 시스템으로 제시했다. 인류를

위협하는 환경 문제는 현재 제조 산업 형태를 변화시킬 것으로 예상되고 있어 그에 대한 대처 방안의 하나로 순환형 생산 시스템을 제시한 것이다. 여기서 제시한 순환형 생산 시스템은 기업의 이익과 소비자의 만족을 동시에 추구하는 합리적인 방법을 제시했으면, 단순한 경우의 예를 통해 비용 시간 성능의 측면에서 재사용 효과를 분석해왔다. 또한 실제 조립 제품에 적용시키기 위한 시스템 구축을 제시했다. 기대 효과와 추후 연구 과제는 다음과 같다.

기대 효과

본 연구는 다음과 같은 기대가 예상된다. 첫째, 환경을 고려한 순환형 조립 생산 시스템 제시로 환경 문제에 제조 기업이 참여할 수 있음을 보였다. 둘째, 새로운 순환형 조립 생산 시스템의 제시로 기존 조립 생산 제조 기업 문화에 많은 변화가 예상되며 재사용에 관한 정보 제공 촉진과 재사용의 비용 효과 분석을 통해 기업의 의사 결정을 돕는다. 셋째, 현재는 소비자 입장에서 폐기물을 처리했으나 이제는 기업에서 처리하게 되어 소비자는 편리해지고, 기업은 재사용을 늘려 원가가 절감된다. 넷째, 재사용된 조립 제품이 많이 사용됨에 따라서 다양한 가격과 다양한 성능의 재사용 제품이 많이 사용됨으로 소비자 선택의 폭이 넓어진다.

추후 연구 과제

추후 연구 과제로는 (1)재사용 비용 시간 성능 비율에 대한 일반적인 식을 유도하는 일, (2)본 문제를 실제 조립 제조 공정에 적용하여 순환형 시스템을 구축하여 활용하는 일, (3)현실에 맞는 순환형 모델을 구축하고 운영할 때 회사의 이익을 미리 알아볼 수 있는 시스템 개발 등이 추후 연구로 남아있다.

참고 문헌

- [1] Bolton, R., Integrating Economic and Environmental Models - Some Preliminary Considerations, Socio. Econ. Plann. Sci., 23-1/2, pp 25-35, 1989.
- [2] Biddle, D. Recycling for profit: The new green business frontier, Harvard Business Review 71, 6, pp 145-156, 1993.
- [3] Cates J.F., Three R's : Recycling, Reclaim, Remanufacture, Research Technology Management, 36, 3, pp 6-7, 1993.
- [4] Cairncross, F., How Europe's Companies Reposition to Recycle, Harvard Business Review 70, 2, pp 34-45, 1992.
- [5] Fullerton, D. and T.C. Kinnaman, Garbage, recycling and illicit, burning or dumping, national bureau of economic research working paper no 4374, 1993
- [6] ———, Household demand for garbage and recycling collection with the start of a price per bag, national bureau of economic research working paper no 4670, 1994
- [7] ———, How a fee per-unit garbage affects aggregate recycling in a model with heterogeneous households, national bureau of economic research working paper no 4905, 1994
- [8] Hoshino, T., K. Yura, and K. Hitomi, Optimization Analysis for Recycle-Oriented Manufacturing Systems, 일본기계학회논문집 C편 pp 560-571, 1994
- [9] Stone, R. F., A.D. Sagar and N.A. Ashford, Recycling the Plastic Package, Technology Review, 95,5, pp 48-56, 1992.