

▣ 응용논문

국내 리매뉴팩처링 산업의 활성화 방안에 관한 연구
A Study on Active Implementations of
Remanufacturing Industry in Korea

김 현 수*
Kim, Hyun Soo
한 대 희**
Han, Dae Hee

Abstract

The rise in population and the increase of urbanization and industrial growth has resulted in an ever-increasing volume of municipal solid waste that must be regularly collected, transported, and ultimately disposed of. Therefore, over the last decade the public, commercial and legislative awareness of environmental issues has been increased dramatically on earth particularly some industrial countries which has a shortage of landfill capacity. A quality, cost and delivery lead-time are usually considered as the competitive factors for each industry. However, the concepts of environmental issue are emerging common terms and concerns more seriously.

More attention than ever is being focused on the recycling and source reduction techniques to reduce the total volume of waste. Unfortunately, however, a shortage of landfill capacity and increasing disposal cost requests a fundamental solution about the environmental issue. That is the remanufacturing which allow manufacturers to minimize waste, production cost and to turn end-of-life product into a profitable product.

The objectives of this research were to growth the remanufacturing system by suggesting issues and implementation methods for the remanufacturing. In order to accomplish these objectives, we introduced backgrounds of appearance and benefits of the remanufacturing.

1. 서론

근대 산업사회가 소비자 중심의 제품 개발 및 생산으로 빠르게 전개되면서 제조자는 보다 많은 이익을, 소비자는 다양하고 우수한 품질의 제품을 구입할 수 있게 되었다. 그러나 급격한 소비제품의 확산 보급과 갈수록 단축되는 제품의 수명은 소비자에 의해 이미 사용되었던 폐기물의 양(量)을 기하급수적으로 증가시키게 되었다. 다양한 폐기물들 중에서 특별히 폐가전제품 및 폐자동차와 같은 도시형 쓰레기는 수명이 다한 제품(EOL, End-of-Life)중 마지막 처분

* 경기대학교 산업공학과

** 경기대학교 산업공학과 박사과정

(Dispose) 과정이 주로 매립지로 이송되는 제품으로서 기존의 자연환경을 더욱 악화시키는 환경문제의 주요한 원인이 되고 있다. 현재, 미국에서는 하루에 도시형 쓰레기가 1인당 약 4파운드씩 발생되고 있으며 그 결과 지난 10년동안 미국내 쓰레기 매립지의 70%를 소모하였고, 대다수 주의 매립지가 한계치에 도달하는 매립지 부족 현상이 발생되고 있다[19]. 우리나라의 경우 한국자원재생공사의 가전제품에 대한 연구보고서에 따르면, 우리나라 가전제품의 평균사용년수를 약 10년이라고 본다면 2000년대에는 약 30만톤의 가전제품이 폐기물로 배출되어 심각한 매립지 부족 사태를 맞이하게 될 것이다[5]. 이러한 이유로 몇몇 국가들은 환경친화적인 제품의 생산 및 유통을 위하여 ISO 14000 시리즈라는 새로운 국제표준을 1996년에 제정하게 되었고, 더 나아가 독일, 스웨덴을 비롯한 일부 선진국들은 이 표준이 제시되기 전부터 자국의 환경문제를 해결하기 위하여 나름대로의 법규정을 제시하고 자국 기업뿐만 아니라 관련 외국 기업들에게도 이 규격을 준수토록 요구하였다. 국내에서도 이러한 환경문제를 인식하고 1992년에 「자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률」을 제정하는 것을 시작으로 관련 법규 및 폐기물 처리에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[5]. 현재 전세계의 기업이 시장경쟁에서의 우위를 차지하기 위하여 필히 갖추어야 할 각 제품의 경쟁요소로는 여러 가지 요인 중 특별히 품질(Quality), 비용(Cost), 납기(Delivery) 등이 강조되어 고려되고 있지만, 앞으로는 “기업 또는 제품이 얼마나 환경적으로 효율성을 가지고 있는가?(Eco-Efficiency)” 라는 새로운 환경 기준의 만족여부가 경쟁력있는 기업 또는 제품이 되기에 필수요인이 될 것이라 예상된다.

기존의 재활용(Recycling) 및 재사용(Reuse) 등과 같은 환경 관련 시스템들은 이미 전세계적으로 널리 연구가 되어왔다. 그러나 재활용시 발생하는 유독성 용해액 및 용해 비용, 폐기물 등의 지속적인 증가와 매립지 및 폐기물 처리공장의 부족 등은 산업사회에서 나오는 폐기물이 포화상태에 도달하게 되는 원인이 되었다. 이러한 이유로 제품의 생산단계 이전인 설계단계부터 환경문제를 고려하고자 하는 환경친화적 제조시스템(ECMS : Environmentally Conscious Manufacturing System)이 1990년대 초부터 제조시스템 분야의 새로운 연구과제로 등장하게 되었다. 특히 ECMS 분야중에서 제품 및 부품의 수명을 연장시켜서 폐기되는 중요 자원의 양(量)을 줄이고자 하는 리매뉴팩처링(Remufacturing) 시스템은 미국을 비롯한 몇몇 선진 국가에서 중점적으로 연구되고 있다.

본 연구는 우선적으로 국내의 폐기물 발생 현황을 조사함으로써 극히 제한된 천연자원만을 보유한 국내의 상황에서 재생산업의 필요성을 제기하고, 아직까지 국내에서 활발한 연구가 진행되지 못하고 있는 리매뉴팩처링에 대한 정의 및 관련연구를 분석하는데 목적을 둔다. 나아가 국내 리매뉴팩처링 산업의 현황과 문제점을 분석함으로써 환경친화적인 리매뉴팩처링 산업의 활성화 방안을 제시하고자 한다.

2. 재생산업과 리매뉴팩처링 시스템

2.1 재생산업의 필요성

한국자원재생공사의 연구보고서(1998)에 의하면, 독일, 미국, 일본, 프랑스 등 선진 4개국에서의 일반(가정) 폐기물 배출량은 1993년을 기준으로 <표 1>과 같다[4].

<표 1> 일반폐기물 배출 현황(단위 : 천톤)

구분	독일	미국	일본	프랑스	합계
발생량	43,486	187,732	5,030	21,170,000	21,406,248

총 폐기물 중에서 일반 폐기물이 차지하는 비율은 중량대비 약 10%~30% 가량을 차지하며

나머지는 사업장, 광산, 건설, 의료, 하수, 유해 폐기물 등이 포함된다. 미국의 경우를 예로 들면 1인당 1일 발생량은 1970년 1.3kg에서 1993년 2kg으로 증가하였고, 그 결과 미국내에서는 결국 매립지 부족 현상까지 나타나게 되었다. 이외에도 세계 곳곳에서 도시형폐기물(Municipal solid waste)이 계속하여 꾸준히 발생되고 있으며 그 양도 지속적으로 증가하고 있다. 물론 독일이나 프랑스는 이러한 심각성을 일찍 깨달아 용기포장 재활용법 등의 정책으로 1990년대 이후 폐기물 중에서 재활용되는 비율을 높일 수 있었다. 그러나 이러한 현상은 일부국가에만 해당될 뿐이며, 아직도 재활용되는 분량은 최종 처리되는 폐기물량의 1/3 수준에도 못미치는 실정이다. 예로써 프랑스의 도시쓰레기 처분 상황을 살펴보면 소각 40%, 매립 50%, 재활용 5%, 기타 5%로 보고되고 있어 소각과 매립에 의존하는 비중이 얼마나 큰지 잘 알 수 있다[4].

우리나라의 경우 한국자원재생공사의 연구보고서(1995, 1998)에 따르면, 우리나라 총폐기물 발생량은 <표 2>와 같이 소득수준의 향상과 도시화의 진전에 따라 꾸준히 증가하고 있는 상황이며, 또한 폐기물 처리방법별 현황을 보면 <표 3>과 같다[3, 4, 9, 12].

<표 2> 국내 폐기물 분류별 발생량(단위 : 톤/일)

구분	1987	1989	1991	1993	1995	1997	1998
계	107,3	135,7	158,8	144,1	148,0	194,7	188,6
생활폐기물	67,0	78,0	92,2	62,9	47,8	47,9	44,6
사업장 폐기물	40,3	57,6	66,6	81,1	100,3	146,8	144,0

<표 3> 국내 폐기물 처리방법별 현황(단위 : %)

구분		1989	1991	1993	1995	1997	1998
생활 폐기물	재활용	2.9	7.4	11.5	23.7	34.9	34.9
	소각	1.9	1.6	2.3	4.0	8.9	8.9
	매립	93.9	89.3	86.2	72.3	56.2	56.2
사업장 폐기물	재활용			66.7	61.5	67.6	58.2
	소각	-	-	1.9	5.9	5.3	5.8
	매립			31.4	32.6	27.1	31.5
	해양투기			0.0	0.0	0.0	4.5

아직까지 우리나라의 폐기물 처리 형태는 생활폐기물의 경우 매립 부분이, 사업장 폐기물의 경우 재활용의 비율이 가장 큰 것으로 나타나고 있다. 그러나 주의해야 할 점은 <표 4>,<표 5>에서 알 수 있듯이 우리나라는 매립지가 부족하고 소각시설의 제반 비용이 크다는 것이다[1].

<표 4> 폐기물 매립시설 현황

구분	매립지 수	총매립지 면적 (천m ²)	총매립 용량 (천m ³)	기매립량 (천m ³)	잔여 매립량 (천m ³)	'98년 매립량 (천m ³)	설치비 (백만원)	연간유지 관리비 (백만원)
지방자치단체	442	29,578	408,894	96,501	312,393	14,494	1,310,900	280,081
자가처리업체	55	5,453	62,653	34,386	28,267	3,088	189,856	
처리업체	25	702	9,701	5,690	4,011	1,230	66,783	

<표 5> 폐기물 소각시설

구분	업체 (시설)수	시설용량 (톤/시간)	'98 처리량 (톤)	설치비 (백만원)	연간 유지 관리비(백만원)	폐열판매비 (백만원)
지방자치단체	1,002	488.9	1,057,920	927,580	52,797	3,340
자가처리업체	14,918	1,019.7	1,501,084	499,203		
처리업체	64	147.0	443,463	297,236		

이와같이 국내의 폐기물 현황을 일반적으로 살펴볼 때 제한된 매립공간과 엄청난 소각비용의 문제점을 해결하기 위해서는 국내에서도 시급히 환경친화적 제조시스템이 제조기업에 도입되어야 한다는 것이다. 미국의 환경보호국(EPA : Environmental Protection Agency)에 따르면, ECMS의 한 요소인 리매뉴팩처링 전략이 적용되는 대표적인 제품으로 자동차 부품, 크레인과 지게차, 가구, 의료장비, 펠릿, 개인용 컴퓨터, 복사기, 사진 장비, 냉동 요소, 증기 터빈, 전화와 텔레비전, 타이어, 토너 카트리지, 직물 기계, 그라인더 기계 등을 들고 있다[24]. 따라서 리매뉴팩처링이 가능한 국내의 제품별 폐기물 발생 현황 중 특별히 폐기처분양의 급격한 증가현상을 보이고 있는 개인용 컴퓨터(PC)와 프린터의 상황을 살펴보면 <표 6>과 같다[7].

<표 6> 개인용 컴퓨터(PC) 및 프린터의 폐기발생량(단위 : 천대)

구분		'95	'96	'97	'98	'99
PC	배출잠재량	403	637	665	805	1,154
	실 폐기량	121	191	200	242	346
프린터	배출잠재량	163	213	237	415	469
	실 폐기량	49	64	71	125	141

폐컴퓨터는 금·은 등의 유가물이 인쇄회로기판에 함유되어 있어 재자원으로의 회수가 필요하고 환경적 측면에서도 짧은 수명주기로 인하여 구기종 컴퓨터의 다량 발생으로 인한 폐기물 증가가 예상되어 재활용이 반드시 요구되지만 현재 국내에서의 재활용 비율은 극히 저조하며, 또한 전문적으로 폐컴퓨터만을 다루는 재활용업체를 찾아보기가 결코 쉽지 않은 상황이다. 이러한 결과로 1996년 1월에서 10월까지 수거된 폐컴퓨터는 2300여대에 불과하며, 이 중에서 재판매된 량은 792대이고, 폐기처리된 량은 928대로 조사되고 있다[7].

국내에서 발생한 페타이어의 경우 1996년 1854만개로서, 연평균 약 17%씩 증가한 것으로 조사되었다[8]. 연도별 페타이어 회수량은 점진적으로 증가하여 1996년도에는 약 65%로 나타나고 있으며 국내 페타이어의 재활용 현황을 살펴보면 원형이용이 67.9%, 열이용이 32.8%, 가공이용이 27.5%이며 이중 가공이용에는 리매뉴팩처링과 관련된 재생타이어가 11.1%, 고무분말 이용이 13.8%로 나타나고 있다[8]. 그러나 재생타이어의 경우 국내에서의 수요량에는 한계가 있어 더욱 많은 페타이어가 재생될 수 있는 환경을 갖고 있지 못한 점이 지적되고 있다. 이와 반면에 1995년 1년동안만 약 3,800,000 톤의 타이어가 버려지는 미국의 경우, Bell Atlantic 회사는 자사 차의 60%에 재생 타이어를 사용함으로써 1995년에만 \$430,000을 절약하였고, 새 타이어보다 40% 싸게 구매하는 방법으로 1996년도에도 재생타이어를 \$560,000 구매하였다[24]. 또한 미국 항공사의 경우 항공기 착륙장치로 사용되는 타이어의 교체시장에서 재생타이어가 80% 이상을 차지하는 상황이며 미국의 우체국에서는 교체 타이어의 20%를 재생 타이어로 사

용하도록 법으로 규정하고 있다[15]. 따라서 이러한 재생 타이어를 만드는 공장은 미국에만 1,385개에 달하며, 이들 중 70%는 기존의 타이어 제조회사에 속해 있는 상황이며, 나머지 30%는 재생 타이어만을 제조하는 독립적인 회사의 형태로 구성되어 있다.

가전제품의 경우를 살펴보면, 국내 대형가전제품 즉 TV, 냉장고 세탁기, 에어컨 등의 수요는 80년대 말부터 침체국면에 있다가 1993년에 이르러 높은 신장세를 보이고 있다. 다음 <표 7>은 한국자원재생공사에서 조사한 국내 가전제품의 내수실적 및 수요예측을 종합해 놓은 것이다[2, 3]. 대형 가전제품들에 대하여 유의해야 할 점은 이들의 수명주기는 약 10년 정도이기 때문에 곧 엄청난 양의 가전제품들이 폐기물로 배출될 것이라는 사실이다. 한국자원재생공사에 따르면, TV의 경우 하루에 2006년에는 7,975대, 2011년에 8,436대, 2021년에는 9,126대의 폐기

<표 7> 연도별 가전제품의 내수실적 및 수요 예측(단위 : 천대)

연도	칼라TV	냉장고	세탁기	에어컨
1987	1,583	1,666	1,063	192
1989	1,912	1,738	1,528	164
1991	2,124	1,723	1,466	310
1993	2,561	1,791	1,571	187
2001	2,797	1,915	1,355	1,057
2006	3,199	2,148	1,488	1,321
2011	3,328	2,154	1,566	1,494
2016	3,392	2,193	1,537	1,600
2021	3,470	2,216	1,584	1,690
연평균 증가율(%)	10.3	1.3	8.0	0.3

TV가 나올 것이라고 예측하고 있으며, 또한 냉장고의 경우에도 하루에 2006년에는 5,850대, 2011년에는 5,758대, 2021년에는 5,935대가 폐기될 것이라고 예측하고 있다[3].

현재 국내에서는 정부기관, 기업, 학계에서 재생처리기술과 폐기물의 회수전략 및 정책방향을 연구·조출 중에 있다. 그러나 국내 소비자의 인식 부족과 재생 산업계의 기술 미비 및 참여기업 부족 등으로 인하여 아직도 선진국에 비하여 엄청난 매립비율을 보이고 있다. 이런 현실을 비추어 볼 때 국내에서의 환경친화적인 제조시스템은 시급한 활성화가 요구되고 있다.

2.2 리매뉴팩처링의 포괄적 정의

환경문제의 근본적인 해결책은 환경에 유해한 폐기물의 발생을 근본적으로 억제하고 차단하기 위하여 제품을 설계하는 활동에서부터, 발생할 수밖에 없는 폐기물에 대해서는 가능한 한 매립 또는 소각되지 않도록 하는 적절한 재생기술이 적용되어야 한다.

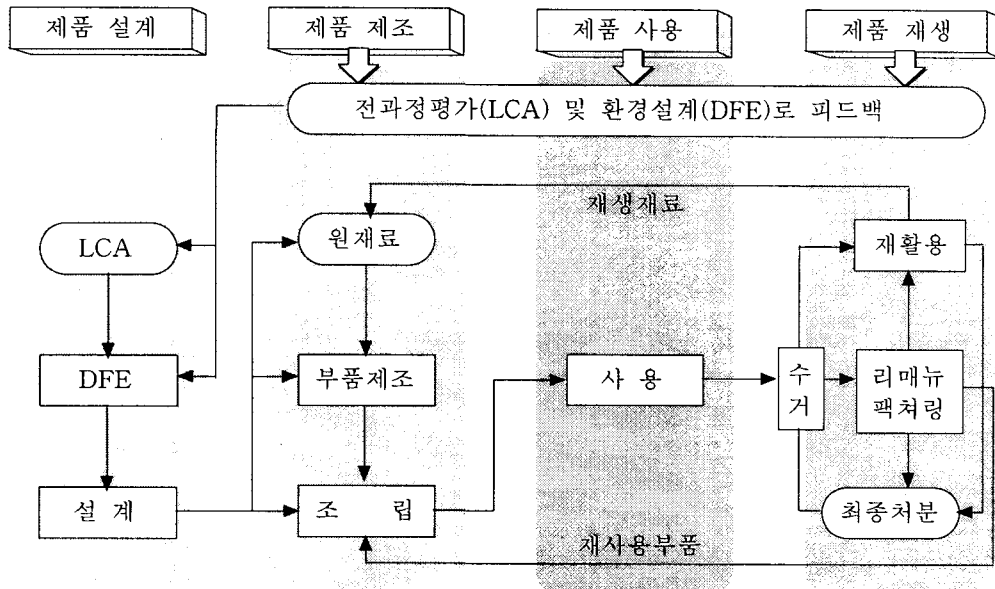
제품의 재생 기술에는 크게 두 가지 방법으로 나눌 수 있는데, 하나는 재활용(Recycling)이고 또 다른 하나는 리매뉴팩처링(Remufacturing)이다. 국내에서는 흔히 동일한 의미로 사용되고 있는 이들 재생기술은 분명한 차이점이 있다. 재활용이라 함은 플라스틱이나 철, 유기 등으로 구성된 폐기 제품 또는 부품들을 분해, 분류, 화학 처리 공정을 거쳐 사용가치가 있는 원자재(raw material)의 형태로 재생하는 것을 의미한다. 이에 반해 리매뉴팩처링 시스템이란, 사용후 폐기된 제품을 모두 분해하여 부품검사, 세척, 수리 및 대체, 조립, 제품 검사 등의 과정을 거쳐 신제품과 같은 기능을 가진 제품, 나아가 최신의 기능을 갖춘 제품을 생산하거나, 수명이 다른 부품보다 긴 부품을 폐기된 제품으로부터 분해하여 신제품의 구성부품으로 활용함으로써 제품 및 부품의 수명을 연장시켜서 폐기물화되는 양(量)을 줄이는 제조 전략을 의미한다. 미국의 환경보호국에 따르면 리매뉴팩처링이란 개념은 여러 분야에서 각기 다른 형태의 단

어로 표현되기도 한다. 예를 들면, 자동차 부품을 리매뉴팩처링 하는 경우에는 Rebuilding, 자동차 타이어의 경우에는 Retreader, 레이저 토너 카트리지의 경우에는 Recharger, 또한 신제품과 같은 기능을 가진 제품, 즉 “Like-New Condition 또는 Good as New”라는 개념에서 Reconditioning이라고도 불리우며, 모든 부품이 세척 과정을 거친다는 개념에서 Refurbishing이라는 명칭이 사용되고 있다[24]. 이제까지 재생산업의 유일한 대안으로 중요한 관심의 대상이 되어왔던 재활용 시스템은 재생 공정시 발생하는 여러 가지 유해 폐기물과 용해비용 등의 또 다른 환경 침해가 문제시 되어왔다. <그림 1>은 재활용 및 리매뉴팩처링의 개념과 ECMS 제 개념들의 영역을 표현하고 있다[13].

리매뉴팩처링의 주요 프로세스로는 수거(Collection), 분해(Disassembly), 공정계획(Shop Floor Planning), 재고관리 및 생산계획(Inventory Control and Production Planning), 재조립(Reassembly), 세척/수리(Refurbishing/Repair) 등을 들 수 있으며 재활용 시스템에는 수거, 분해, 공정계획, 재고관리 및 생산계획이 포함되며 추가로 자재교정공정(Material Reclamation Process)이 포함되어 있다. A.Gungor와 S.M.Gupta[13]는 리매뉴팩처링 시스템의 대표적인 공정흐름을 <그림 2>와 같이 표현하였다.

리매뉴팩처링 적용시 발생할 수 있는 주요한 장점으로서는 다음의 사항들을 열거할 수 있다:

- (1) 경제성 : 비싼 의료장비나 복사기, 그래픽팅 기계 등을 부분적인 고장 내지는 수명이 다함으로 해서 폐기시킬 경우 그 제품을 구성하고 있는 부품 중에서 수명이 남달리 긴 부품들은 작동가능한 상태에서 자동적으로 폐기 처분되고, 기존의 고장난 기계대신 신형 또는 중고장비가 대체 구입되어야 한다. 신형 기계는 가격이 비싸고, 중고 기계는 품질 및 성능 면에서 신뢰성의 문제가 있어 수명이 예정된 기한보다 더 짧아질 수도 있다. 이 경우 기존의 신형 제품과 동일하거나 더 좋은 성능을 목표로 하는 리매뉴팩처링 시스템은 경제적 문제와 신뢰성 문제 모두를 해결해 줄 수 있다.
- (2) 환경 보호 : 문화가 발달함에 따라 수없이 늘어나는 도시형 쓰레기는 매립지의 부족, 공해의 유발 등과 같은 환경적 영향을 배출하고 있다. ECMS의 한 분야인 리매뉴팩처링은



<그림 1> 제품 수명주기 기간내에서의 재활용과 리매뉴팩처링의 상호관계

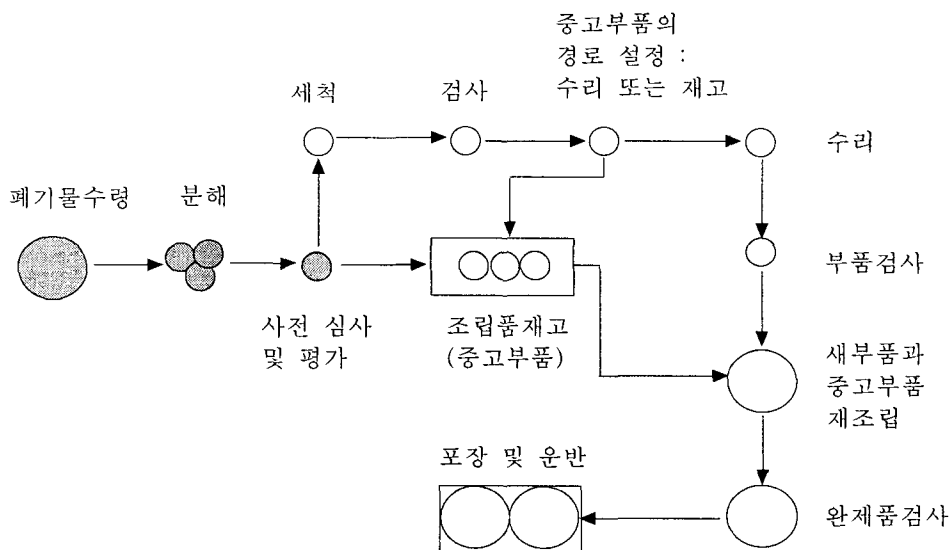
그동안 소비자와 제조자가 안고 있었던 경제적 부담을 줄여줄 뿐만 아니라 세계적으로 심각한 문제가 되고 있는 폐기물을 최종 폐기 이전의 수명으로 연장시켜서 환경 보호에 일익을 담당할 수 있다. 또한 기존의 재활용 방법에서 유출되는 유독성 용해물질 및 공해를 예방할 수도 있다.

- (3) 환경기업 이미지 획득 : 최근들어 환경보호에 대한 소비자의 지식 및 영역이 점차 확산되어가고 있으므로 환경성있는 제품을 생산하는 기업의 이미지는 곧바로 기업의 이윤 획득과 관계가 깊을 수밖에 없으며 나아가 선진국들은 제품의 사용후 처리가 환경에 미치는 부정적 영향을 법으로 규제하고 있어 이들 국가에 대한 수출에도 상당한 영향을 끼치게 된다. 동등한 품질과 서비스, 저렴한 가격 등이 주어질 때에 소비자는 환경친화적 제품을 더욱 선호하고 구매할 것이기 때문이다.

미국을 비롯한 일부 선진국에서는 1990년대 초부터 리매뉴팩처링의 중요성을 인식하고 많은 연구가 진행중에 있다[16, 20, 22, 24]. 특히 미국에서는 New York에 소재한 RIT(Rochester Institute of Technology) 대학이 주축이 되어 동 대학내에 National Center for Remanufacturing and Resource Recovery 연구소를 설립하였고, ECMS 프로그램의 주요 사업으로 리매뉴팩처링에 관련된 연구를 중점적으로 진행하고 있다. 또한 RICI(Remanufacturing Industries Council International) 위원회가 구성되어 리매뉴팩처링 관련 기업들이 자체적으로 리매뉴팩처링의 환경친화적 중요성을 전 세계로 부각시키는 활동을 전개하고 있으며, 리매뉴팩처링에 관련된 연구가 추진될 수 있도록 활발한 지원작업을 벌이고 있다. 현재 리매뉴팩처링과 관련된 연구 동향을 보면, 특정 제품에 대한 리매뉴팩처링의 경제성 평가(예: 타이어[15]), 리매뉴팩처링 산업에서의 생산계획과 재고, 평가와 검사[14], 일정계획[16] 및 생산능력계획, 제품 회수를 위한 역물류(Reverse logistics) 시스템 등에서 연구가 점차 확산되고 있는 상황이다.

3. 국내 리매뉴팩처링 산업의 활성화

한국자원재생공사의 연구보고서(1997)에 따르면, 재생이 가능한 품목들의 기술성 및 경제성



<그림 2> 일반적인 리매뉴팩처링 프로세스

에 관한 평가를 다음과 같이 요약하고 있다. “재활용(재생)산업은 개인 사업자의 입장에서는 수입보다 비용이 큰 적자 사업일수도 있으나 국민 경제적 차원에서는 비용보다 편익이 큰 사업임을 알 수 있다. 따라서 조사대상 폐기물은 매립하거나 소각하기 보다 재활용(재생)하는 것이 사회적으로 바람직하다.” 즉 경제성 평가 결과 수익성은 미흡하지만 대부분의 조사대상 품목에 있어서는 재활용(재생)이 매립이나 소각에 비하여 사회적 비용이 적다는 것이다. 다음 <표 8>은 위 연구보고서의 조사대상 품목 중 리매뉴팩처링에 해당하는 몇 개 품목의 폐기물 처분 방법별 총사회적 비용을 나타낸 것이다[2]. 이에 따르면, 국내에서의 최종 처분과정의 대부분을 차지하고 있는 매립이나 소각에 관련된 비용이 재생 비용보다 훨씬 많이 소모된다는 것을 알 수 있다. 그러나 국내 재생산업, 특별히 리매뉴팩처링 업체를 방문해 본 결과 다수의 문제점이 발견되었으며, 외국에 비해 재생산업의 기반 자체가 매우 취약하다는 것을 알 수 있었다. 그러므로 본 장에서는 국내 재생산업의 현황을 조사해보고, 국내 재생산업중 리매뉴팩처링 산업의 문제점을 다각도로 검토하여 이에 대한 대응책을 제시함으로써 리매뉴팩처링 산업의 활성화 방안을 제시하고자 한다.

<표 8> 폐기물의 처분방법별 총사회적 비용(단위 : 원/톤)

폐기물명	재활용(재생)	매립	소각
폐타이어	19,543	145,873	110,709
폐가전(TV)	38,096	101,830	154,873
폐자동차	2,511	136,502	195,971
폐가전(냉장고)	72,001	176,278	214,824

3.1 국내 재생산업의 현황

한국자원재생공사의 연구보고서 자료에 따르면 국내 재생처리 허가업체 및 신고업체는 1998년 현재 <표 9>와 같고, 이들의 재생실적은 <표 10>과 같다(<http://www.me.go.kr>).

<표 9> 1998년 현재 국내 재생업체수(단위 : 개소)

구분	총계			허가업체			신고업체		
	계	재생제품 제조업체	기타재생 처리업체	계	재생제품 제조업체	기타재생 처리업체	계	재생제품 제조업체	기타재생 처리업체
계	2,035	1,356	679	449	269	180	1,586	1,087	499
가동 업체수	1,568	1,080	488	359	225	134	1,209	855	354
미가동 업체수	467	276	191	90	44	46	377	232	145

<표 9>에서 알 수 있듯이 이들 재생업체들은 지속적으로 그 수가 증가하고 있다. 1990년대 중반까지는 리매뉴팩처링 제품의 경우 신(新)제품에 사용되었던 부품의 특성들을 그대로 사용하면서 신제품을 만드는 제조업체(1차 제조업체)와 리매뉴팩처링 업체간의 불편한 관계(예 : 법적 소송, 특허 문제 등) 때문에 다수의 리매뉴팩처링 업체들은 활발한 리매뉴팩처링 활동에 많은 어려움을 겪었다. 그러나 “자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률” 제 30조에 근거하여 관련 품목들을 정부가 공공기관 우선구매 재활용품으로 지정하면서 일부 문제가 해결되었으며

<표 10> 재생처리 실적(1998년도)

구 분	총 계			
	가동 업체수	재생처리 폐기물량(톤/년)	재생처리 제품생산량(톤/년)	판매액 (천원/년)
계	1,568	23,871,721	27,133,643	1,387,026,791
재생제품 제조업체	1,080	7,602,856	8,292,050	710,388,738
기타재생 처리업체	488	16,268,864	18,841,593	676,638,052

2000년 1월 환경부공고 제 2000-10호(<http://www.me.go.kr>)에 의하면 재활용제품 우선구매품목으로 18종 145개 품목이 지정된 상황이다. 그러나 이들 품목 중 실제적으로 리매뉴팩처링과 관련된 품목은 토너카트리지 2개 품목과 폐목재류 3개 품목뿐임을 발견할 때 훨씬 더 많은 부분에서 리매뉴팩처링의 활성화를 위한 노력이 시급히 실행되어야만 한다. 물론 행정기관에서 사용하는 품목에는 제한성이 있다고 언급될 수도 있지만 이 제도의 특성에는 “우선구매 재활용품으로 지정된 제품들은 리매뉴팩처링 및 재활용에 있어서 1차 제조업체와 마찰이 일어나지 않을 수도 있다”라는 장점이 있기에 실제적으로 포함되는 제품들의 품목을 더 늘리거나 재생 제품에 대한 소비자 인식도를 더 끌어올리는 방안을 추진하는 것이 바람직하며 나아가 재활용의 경우 불가피한 공해가 발생할 수 있으므로 되도록 리매뉴팩처링이 가능한 품목을 확산시키는 것이 환경보호 측면에서 더 바람직하다고 할 수 있다.

국내의 경우 리매뉴팩처링 시스템을 이용한 회사가 재생업체 가운데 얼마나 되는지에 대해선 특별히 구분되어 나와있는 자료를 찾을 수 없다. 그러나 리매뉴팩처링 전문제조업체들의 수가 꾸준히 늘어간다는 것은 분명한 사실이다. 물론 이들 업체 중에는 아무런 기술적 준비 없이 리매뉴팩처링 산업에 가담하여 리매뉴팩처링된 제품 품질의 평판을 오히려 나쁘게 하는 업체가 많은 상황이기 때문에 앞으로 발생할 폐기물의 분량을 고려할 때 적절한 수의 기술력을 가진 업체의 확보가 시급히 요구되고 있다.

3.2 국내 리매뉴팩처링 산업의 문제점 및 활성화 방안

미국의 경우 리매뉴팩처링 시스템을 도입한 결과 포드 자동차 회사는 1996년에 67,700 파운드 이상의 토너카트리지에 대하여 처분(Dispose) 과정을 피하면서 약 \$180,000를 절약할 수 있었다고 한다. 또한 1991년 이후 포드 자동차는 332,000 파운드 이상의 토너카트리지를 전사적으로 수집하여 리매뉴팩처링 과정을 통하여 재사용했고, 이로 인하여 \$1,200,000을 절약할 수 있었다[24]. 제록스 기업은 매년 수명이 종료되는 복사기와 고객이 신제품 구입대금의 일부로 내놓은 대체제품을 이용하여 안정된 원자재의 공급을 받음으로 해서 제록스는 새로운 부품과 새 원자재의 구매를 피함으로써 1995년에만 수백만 달러를 절약하였다[24].

선진국의 경우 리매뉴팩처링은 대부분 중소기업에서 실시되었지만, 현재는 대기업을 포함한 1차 제조업체에서도 원가절약을 위하여 이 전략을 본격적으로 추진중에 있으며, 특별히 미국의 자동차업체들은 활발히 이 전략을 추진하고 있는 상황이다. 그러나 국내 산업의 리매뉴팩처링에 관한 현실은 매우 초보적인 실정이다. 일부 1차 제조업체가 리매뉴팩처링을 전략적으로 도입하여, 필요한 폐제품들을 회수까지 하고 있지만 정작 회수한 폐제품이 리매뉴팩처링 제품으로 가공되어 시장에 출하되는 제품은 찾아볼 수가 없는 상황이다. 이에 본 절에서는 국내 리매뉴팩처링 산업의 전반적인 문제점을 지적하고 이의 개선방안을 제시하여 리매뉴팩처링 산업의 활성화 전략을 제시하고자 한다.

3.2.1 리매뉴팩처링에 대한 제조자 및 소비자의 인식문제

국내의 소비자는 기존 경쟁력의 기준인 품질, 비용, 납기 등을 주시하지 않고 새로운 제품만을 선호하는 경향이 뚜렷하다. 즉 리매뉴팩처링 제품은 신뢰성이 떨어지고 해당 부품을 사용하면 모(母)기계를 손상시킬 수 있다는 우려, 그리고 일종의 자존심 때문에 애용하지 않는다는 것이다. 현재 우리나라의 소비자는 국내의 각종 인증기관으로부터 품질에 이상이 없다는 조건과 가격이 기존 제품보다 저렴하다는 평가를 받은 리매뉴팩처링된 제품도 구입하지 않는 추세이다. 토너카트리지를 생산하는 D기업의 경우에는 이러한 점을 타파하고 소비자로부터 품질을 인정받기 위하여 국가기관으로부터 환경표지사용인증서, 품질보증업체지정서, 국가공인시험성적서 등의 인증서와 제품 배상 책임보험까지 가입을 했지만 아직까지 국내 소비자의 제품에 대한 선호도는 이러한 리매뉴팩처링 제품보다는 신제품을 선호하고 있기 때문에 판로 개척과 소비자 설득에 많은 어려움을 겪고있는 실정이다. 물론 정부에서 공공기관 우선 구매품목으로 지정한 후 판매 및 회수가 늘어난 것은 사실이지만 아직까지도 미흡한 실정이다. 이를 위해서는 미국의 리매뉴팩처링 업체를 홍보해주고 관리하는 TRI(The Remanufacturing Institute) 센터와 같은 역할을 국가적 차원(예 ; 한국자원재생공사)에서 수행해야 하며, 리매뉴팩처링 제품에 대한 품질 보증 체계를 갖추어서 소비자가 납득할 수 있을 정도의 충분한 품질보증이 이루어져야 할 것이다. 또한 리매뉴팩처링 업체들의 기술적인 부분을 해결하기 위해서는 1차 제조업체와 적대관계가 아닌 긴밀한 유대관계 즉 상호협력 관계가 형성되어야 할 것이다.

1차 제조업체는 리매뉴팩처링 전략에 관하여 다각적으로 재검토할 필요가 있다. 지금까지는 리매뉴팩처링 또는 재생 작업을 중소 재생업체들이 맡아왔지만 원가 절약 차원에서 이제는 1차 제조업체도 이 전략에 참여해야만 할 것이다. 예를 들어 제록스 복사기의 경우, 회사의 경쟁력 회복을 위한 전략중의 하나로 리매뉴팩처링을 이용하여 원가절감을 실시하였다. 제록스에서 생산된 새 복사기와 리매뉴팩처링된 복사기와의 유일한 차이점은 복사기 바깥부분에 있는 하나의 작은 라벨뿐이며 조립라인, 기술자, 기술 사용료 등은 새 복사기와 아무런 차이점이 없다. 이러한 활동을 실행하기 위하여 제록스는 1991년에 신제품을 만드는 라인과 리매뉴팩처링 라인을 통합하여 기계설비를 재정비하였고, 분해를 쉽게 하기 위한 제품의 설계(DfD ; Design for Disassembly)를 시작하였다. 제록스 기술자들은 설계 단계에서 고객이 제품을 사용함으로써 어떤 부품과 조립품들이 영향을 받게 될 것인지, 또한 어떠한 부품들이 재사용될 수 있는지를 평가하였다. 이러한 활동 후에 기술자들은 각각의 부품과 조립품에 리매뉴팩처링 코드(Code)를 부여하였고, 리매뉴팩처링 프로세스로 그 부품이 되돌아왔을 때 제록스 기술자들은 이 코드와 원래의 코드를 비교하여 이 부품 또는 조립품이 몇 번이나 리매뉴팩처링 되었는지를 확인할 수 있게 되었다[24]. 이러한 전략으로 제록스 사는 소비자로부터 환경친화적 이미지를 획득할 수 있었고, 기업의 제조비용이 감축되었으며, 결과적으로는 자사 제품이 지구 환경에 끼치는 부정적 영향을 감소시킬 수가 있었다. 따라서 1차 제조업체는 리매뉴팩처링에 대한 거부감을 버리고, 원가절약과 특별히 환경보호 차원에서 리매뉴팩처링을 위한 전략을 준비하며, 하청업체 관리와 소비자 마케팅을 강화해 나가야 할 것이다.

3.2.2 회수(Recovery) 및 자재 부족 문제

리매뉴팩처링 제품의 생산에 있어서 심각한 문제점 중 하나는 리매뉴팩처링 대상 자재의 구입이 쉽지 않다는 것이다. 이것은 사용이 종료된 제품 또는 결함이 있는 제품만이 리매뉴팩처링의 원자재가 될 수 있기 때문에 일반적인 제품을 생산하는 제조기업의 자재, 재고정책으로는 이 문제를 해결하기가 어렵다는 것이다. 자재 조달을 위하여 수거비용까지 부담해도 폐카트리지를 수거에 불참하는 소비자가 더 많다는 사실은 아직도 우리나라 소비자들이 환경 보호에 대한 사고가 부족하다는 것을 알 수 있다. 실제로 토너카트리지를 리매뉴팩처링 업체인 D기업은 하루에 약 70개의 리매뉴팩처링 제품이 판매되는 상황에서 약 20개의 제품 부족 현상이 발생

하여 안전재고가 절대적으로 부족한 상황이다. 이에 따라 폐카트리지를 외국에서 수입하거나 카트리지에 소요되는 자재(예 : Blade류)를 수입하는 상황까지 발생하고 있다. 결국 이 문제를 가장 경제적으로 그리고 안정적으로 해결할 수 있는 방법은 폐카트리지를 어떻게, 얼마나, 누가 수거하느냐는 문제에 달려 있다고 볼 수 있다.

의료장비, 크레인, 엔진 등 중형 및 대형 제품들에 대해서는 판매자 또는 1차 제조업체가 해당 중고부품을 리매뉴팩처링 하느냐에 따라서 회수 문제가 자연적으로 이루어질 것이다. 즉 판매자가 제품을 판매 또는 사후서비스를 하면서 직접 다시 가져올 수 있다. 그러나 토너카트리지, 컴퓨터, 전화기, TV 등의 소형 제품들은 소비자의 협조나 정부의 폐기물 불법폐기에 대한 규제 등의 조치가 없으면 회수의 어려움 즉 자재 부족 문제는 미지수일 수 밖에 없다. 결국 1차 제조업체가 생산하는 신제품의 사용설명서나 광고에 환경 보호를 위한 회수 방법 및 수거비용의 혜택 등을 소비자에게 적절하게 홍보하여 자재 부족 문제를 해결할 수 있는 환경 조성에 노력하여야 할 것이다. 그러나 국내의 현 상황하에서는 무엇보다도 정부의 강력한 규제 정책만이 소비자나 1차 제조업체의 그릇된 환경의식 및 제품 사용 문제를 해결할 수 있을 것이다. 환경 보호는 제품을 구매하는 소비자와 정부의 정책 제시에 달려 있다고 볼 수 있다. 소비자들의 소비 욕구가 환경을 생각한 소비 욕구로 하루빨리 바뀐다면 많은 기업인들은 자사의 이익에만 우선권을 두지 않고 서로 협력하여 환경을 생각하는 공동체 의식을 가지게 될 것이다.

3.2.3 분해를 방해하는 설계와 정보 획득의 어려움

토너카트리지의 경우, 1차 제조업체들은 토너에 대한 재충전을 원천적으로 막기 위하여 토너 주입구를 밀봉하는 방식으로 신제품을 생산하고 있으며, 또한 분해를 어렵게 하기 위하여 끼워 맞추는 방식이 아닌 접합 방식의 설계를 행하고 있다. 또한 자사제품에 대한 리매뉴팩처링 기업의 재활용에 반드시 필요한 기존 제품의 구성 및 생산에 관한 정보는 획득하기 어려운 상황이다. 이러한 현실은 아직까지도 1차 제조업체의 환경 의식 결여로 볼 수 있으며 또한 리매뉴팩처링의 장점과 혜택을 충분히 습득하지 못하는데 있다고 할 수 있다. 앞에서 언급하였듯이 미국의 재생 타이어 제조회사중 70%는 기존의 타이어 제조회사라는 점에서 볼 수 있듯이 토너카트리지의 리매뉴팩처링 활동은 꼭 재생업체만 할 수 있는 것이 아니다. 물론 비용적 측면에서 보면 단기간의 투자에 비해 높은 수익률을 올릴 수는 없을 수도 있다. 그러나 필요한 작업을 외주를 통해서라도 자사 내에 환경보호 측면에서의 리매뉴팩처링을 도입했을 경우의 파생이익(예 : 기업의 환경이미지 제고 등)을 고려해 볼 수도 있기 때문에 1차 제조업체들은 이러한 점을 고려하여 중소기업의 기존 리매뉴팩처링 업체와 서로 협력하여 선의의 경쟁을 하는 것이 중요할 것이다.

3.2.4 관련 연구의 부족

기업의 생산성 향상 및 이윤 증대를 위하여 개발되고 적용되어왔던 다양한 기존의 제조시스템 방법(예 : JIT 시스템 등)들을 리매뉴팩처링 환경에 맞게 수정, 보완하는 연구가 활발히 이루어져야 할 것이며, 리매뉴팩처링 산업의 원자재가 기존의 폐기 제품인 것을 고려할 때 자재의 부족현상으로 인한 안전재고 등의 재고관리 문제도 연구과제라고 볼 수 있을 것이다. 또한 수거방식이 현재의 Bring-Back 방식(소비자가 폐기할 제품을 직접 갖다 주는 방식)에서 Take-Back 방식(생산·공급자가 소비자가 사용한 자사의 폐기 대상 제품을 직접 수거하는 방식)으로 변화하는 추세이므로 역물류에 대한 효과적인 방법과 비용 등도 연구되어야 할 것이다. 역물류란, 수명이 다한 제품을 폐기하거나 구성 요소를 재사용(재활용, 리매뉴팩처링 등)할 때 EOL 제품을 역분배를 통하여 수거하는 시스템으로서 주로 수송 등의 비용 관련 문제와 효율적인 수거를 위한 거점 구성의 문제가 연관되어진다.

제품간의 경쟁력 요인을 볼 때 환경이라는 요인도 중요하지만 가장 영향력있는 요인은 역시

제품의 가격이다. 모양, 기능, 품질, 소비자 기호 등에서 타제품보다 우수하다 할 지라도 가격이 적절치 않으면 소비자는 그 제품을 구매하지 않기 때문이다. 그러므로 제품의 적정 가격을 결정하고 나아가 비용을 절감할 수 있는 기존의 제반 기술들이 각 제품별로 연구되어야 할 것이다. 예를 들면, 경제성공학, 원가공학을 이용한 가치분석 뿐만 아니라 생산방식의 개선을 통한 비용 절감 즉, 분해공정 수정, 조립공정 수정, 리매뉴팩처링된 부품의 사용, 물류 및 역물류의 효과적 적용 등을 통하여 가격 경쟁력을 갖출 수 있는 제품이 되도록 비용 분석에 관한 연구가 이루어져야 할 것이다.

회수 시스템에는 두가지 방법이 있다. 첫 번째는 기존의 분배 시스템을 이용하는 것이고 다른 하나는 기존 분배 시스템과는 별개의 역분배 시스템을 도입하는 것이다. 기존의 생산시스템 관점에서는 조립공장과 물류창고 등에 중점을 두고 있다고 할 수 있다. 그러나 리매뉴팩처링 시스템에서는 이들 외에도 분해공장, 재조립 공장 등을 추가하여 고려해야 할 것이다. <표 11>은 기존의 제조시스템과 리매뉴팩처링 제조시스템에서 고려될 수 있는 몇가지 항목들을 정리하였다. 위치선정 문제에서는 기존의 제조시스템이 조립제품의 수송 비용만을 고려하였지만, 리매뉴팩처링 시스템에서는 조립제품의 수송비용과 분해된 부품 및 자재의 수송비용까지 포함되어야 할 것이다.

<표 11> 기존 생산시스템과 리매뉴팩처링 시스템간의 주요 고려사항

OR 문제	기존의 생산시스템	리매뉴팩처링 시스템
위치선정 (Location) 문제	조립공장 물류창고	조립공장 물류창고 분해공장 리매뉴팩처링 공장
네트워크 문제	조립공장	조립공장 분해공장 리매뉴팩처링 공장
물류 문제	기존의 물류시스템	기존의 물류 시스템 + 역물류 시스템

MIS 분야중에서 리매뉴팩처링 구현을 위한 방안으로는 크게 리매뉴팩처링 제품에 대한 데이터베이스(DB)를 이용한 전자상거래 시스템 구축 문제와 전문가 시스템(Expert System) 구축 문제로 나누어 볼 수 있다. 데이터베이스 구축 문제는 두 개의 범주로 나누어 볼 때 하나는 리매뉴팩처링 시스템을 운영하고 있는 기업 내지는 제품, 그리고 프로세스에 대한 데이터베이스의 구축이며, 다른 하나는 환경에 대한 영향이 기록되어 있는 자재에 관한 데이터베이스의 구축 문제이다. 인터넷에서 검색을 해 보면 특정 리매뉴팩처링 제품에 대하여 일부 외국 기업들은 인터넷을 통한 홍보를 이미 개별적으로 하고 있다는 것을 볼 수 있지만, 국내에서는 아직 찾아볼 수 없는 상황이다. 이러한 데이터베이스의 구축은 환경을 생각하는 기업이나 소비자가 환경 친화적 제품을 생산하는 회사 및 제품을 더 쉽게 접할 수 있고, 서로 이용할 수 있는 기초 자료를 공유할 수 있는 좋은 도구가 될 것이다. 또한 이러한 데이터베이스를 이용하여 전자상거래 시스템을 구축함으로써 구매자들이 더 쉽게 리매뉴팩처링된 제품을 구입할 수 있도록 하는 것도 중요한 연구과제일 것이다.

SCM 연구가 활발히 진행되지 않았을 때에는 공급자, 생산자, 분배자 등이 재고 또는 비용 등의 문제를 각기 처리함으로써 과비용의 폐단이 있기 때문에 이를 극복하기 위하여 공급자, 생산자, 분배자를 하나의 시스템으로 묶어서 재고 및 비용 문제를 총체적으로 관리하려는 SCM

문제가 지난 몇 년 동안 활발히 연구되어져왔다. 그러나 기존의 SCM 문제는 크게 공급자, 생산자, 분배자라는 세가지 요소만을 고려하였지만, 리매뉴팩처링을 비롯한 환경친화적 제조시스템을 구축하려면 이 외에도 분해자, 재활용자, 공급하는 소비자 등의 요소가 기존의 SCM에 포함되어야 할 것이다. 여기에서 공급하는 소비자라는 개념은 소비자가 기존 제품의 소비자이기도 하지만 분해 공장에 폐기 제품을 공급하는 공급자의 역할도 하기 때문에 명명한 것이다. 따라서 환경친화적 제조시스템에서는 기존의 공급자, 생산자, 분배자를 이용한 공급-분배 시스템을 소비자, 분해자, 재활용 사업자까지 추가하여 기존의 SCM 연구를 수정, 보완해야 한다.

리매뉴팩처링을 위해서는 분해를 위한 설계(DfD)를 비롯하여 분해 순서, 분해 공정 계획, 그리고 이들에 대한 평가방법 등이 연구되어야 한다. 또한, 분해 공정이 기존의 조립공장에서 이루어질 때 발생하는 문제, 즉 설비 배치, 자재 운반, 부품 코딩(Parts Coding) 및 인식 등을 통한 부품 혼동문제의 해결 방안도 연구되어야 한다. 또한, 완성품, 하부 조립품, 부품, 재사용 부품들에 대한 완충 재고(Buffer Stock) 문제에 대한 연구도 리매뉴팩처링 시스템의 중요한 구현 방안이 될 것이다[17, 18, 21].

이외에도 비용, 또는 어떤 대안의 효과에 대한 성과 측정(Performance Measure) 도구, 정부의 규제에 대한 대응책, 제품 개발시 환경을 고려한 설계, 환경 품질을 위한 전사종합적 품질 경영(TQM) 정책 등의 연구가 보다 효과적인 리매뉴팩처링 시스템 구현을 위하여 활발히 추진되어야 할 것이다.

4. 결론

전 세계는 매일 폐기되는 도시형 쓰레기 양의 증가와 한정된 매립지로 인하여 폐기물 처리에 심각한 고민을 하고 있다. 또한, 일부 선진국들은 자국의 환경 및 제품 보호를 위하여 여러 가지 규제를 내세우고 있고, 소비자들도 점차 환경을 고려한 제품을 선호하게 되는 시대가 도래하고 있다. 이에 따라, 기존의 조립, 디자인, 대량생산, 제품의 품질, 가격 등만을 고려한 제조시스템은 이제는 환경보호 개념이 동반되어야만 하는 시대로 시급히 변환되어야만 한다.

일부 선진국들이 리매뉴팩처링 시스템의 중요성을 이미 파악하고 국가적인 차원에서 지원을 점차 확대하고 있으며 점차 리매뉴팩처링 제품의 시장도 넓혀가고 있는 추세에 반하여 국내에서는 리매뉴팩처링 개념의 도입이 아직까지도 매우 미비한 상태이며, 또한 몇몇 제품에만 국한되어 있는 상황이고 또한 앞서 언급한 많은 문제점들이 존재하고 있는 실정이다. 따라서 정부, 제조업체, 소비자, 재생업자들이 공통적으로 환경에 대한 보호의식과 중요성을 가지는 것이 무엇보다 중요하며 이를 위한 정부 및 1차 제조업체의 역할은 무엇보다도 그 중요성이 크다고 할 수 있다. 또한 재생업자는 소비자가 신뢰할

수 있는 품질과 유통구조, 사후서비스의 체계를 갖추어야 할 것이며 분해를 쉽게 하기 위하여 1차 제조업체와 상호협력의 관계로 발전해야 할 것이다.

21세기의 수출 경쟁 시장에서 환경친화적 제품이 가지는 경쟁력의 중요성을 고려할 때 국내에서도 리매뉴팩처링에 대한 학계의 연구가 시급히 추진되어야 하며, 수출 시장에서의 유통전략 및 회수 전략, 비용 관계 등을 고려할 때 제조업체와 재생업자의 협력이 절실히 필요한 상황이다.

참고문헌

- [1] “98 전국 폐기물 발생 및 처리현황”, 환경부, 1999.
- [2] 박준우, 이태열, 함시창, 이승희; “재활용 품목별 기술성·경제성 평가에 관한 연구”, 한국자원재생공사 연구보고서, 1997.
- [3] 박준우 외 6인; “폐기물 통합재활용시스템 구축방안 연구”, 한국자원재생공사 연구보고서, 1998.
- [4] “선진국의 폐기물 재활용 정책 동향”, 한국자원재생공사 연구보고서, 1998.
- [5] “폐가전제품 파쇄 및 선별시설 설치운영 타당성 조사”, 한국자원재생공사, 1994.
- [6] “폐자원 재활용의 경제성 분석”, 환경기술개발원, 1996.
- [7] “폐컴퓨터 발생·처리 및 재활용에 관한 연구”, 한국자원재생공사 연구보고서, 1997.
- [8] 한국에너지기술연구소, “폐타이어 고무분말의 재활용 확대방안 조사 연구”, 한국자원재생공사 연구보고서, 1998.
- [9] 한국환경기술개발원, “폐기물 처리시설 민자유치 모델개발”, 한국자원재생공사 연구보고서, 1995.
- [10] 한대회, 김현수; “환경친화적 제조시스템의 산업공학적 고찰”, 대한산업공학회 1998년도 추계 학술대회 발표논문집, 고려대학교, 서울, pp. 695-705, 1998.
- [11] “혼합 폐플라스틱 발생실태 및 재활용기술 현황에 관한 조사연구”, 한국자원재생공사 연구보고서, 1996.
- [12] “환경백서”, 1999, 환경부.
- [13] Askiner Gungor, S.M. Gupta; “Issues in environmentally conscious manufacturing and product recovery: a survey”, *Computers & Industrial Engineering*, 36(4), pp. 811-853, 1999.
- [14] Erwin. van der Laan, Marc Saloman; “Production planning and Inventory control with remanufacturing and disposal”, *European Journal of Operational Research*, 102, pp. 264-278, 1997.
- [15] Geraldo Ferrer; “The Economics of tire remanufacturing”, *Resource, Conservation and Recycling*, 19, pp. 221-255, 1997.
- [16] Guide, V.D.R Jr., Srivastava, R., Kraus, M.; “Scheduling policies for remanufacturing”, *International Journal of Production Economics*, 48, pp. 187-204, 1997.
- [17] Gupta, S.M., McLean, C.R.; “Disassembly of products”, *Computers and Industrial Engineering*, 31(1-2), pp. 225-228, 1996.
- [18] Gungor, A., Gupta, S.M.; “An Evaluation Methodology For Disassembly Processes”, *Computers and Industrial Engineering*, 33(1-2), pp. 329-332, 1997.
- [19] Hong C. Zhang, Tsai C. Kuo, Huitian Lu; “Environmentally Conscious Design and Manufacturing: A State-of-the-Art Survey”, *Journal of Manufacturing Systems*, 16(5), pp. 352-371, 1997.
- [20] “Manufacturing for Reuse”, *Fortune*, 131, pp. 70-75, Feb 6, 1995.
- [21] Taleb, K.N., Gupta, S.M.; “Disassembly of Multipul Product Structures”, *Computers and Industrial Engineering*, 32(4), pp. 949-961, 1997.
- [22] The National Center for Remanufacturing and Resource Recovery; Remanufacturing Today, October 1995.
- [23] The National Center for Remanufacturing and Resource Recovery; “Xerox develops environmentally conscious office machine”, Remanufacturing Today, Spring 1998.
- [24] United States Environmental Protection Agency; “Remanufactured Products: Good as New”, *WasteWi\$eUpdate*, May 1997.