

◆특집◆ 역제조 기술

리사이클링을 위한 역제조기술

이화조\*

Demanufacturing Technology for Recycling

Hwa Cho Yi\*

ABSTRACT

The treatment of technical consumer products after using is important for the conservation of our environment. In this paper the demanufacturing technology that is required to maximize the recycling rate of end-of-life products is introduced. The definitions including types of the recycling are described. The factors that have to regard in the design stage of products in order to maximize the recycling rate of the products are introduced. The objective assessment methods for the design for environment are described. Finally disassembly process and future prospect of the automations are discussed.

**Key Words** : Demanufacturing Technology(역제조기술), Recycling(리사이클링), DFE(환경친화설계), Product Recycling(제품리사이클링), Material Recycling(재료리사이클링), Reusing(재사용), Using On(계속사용), Reutilization(재활용), Utilizing On(계속활용)

1. 서론

환경보호는 사회적이고 정치적인 목표의 하나로 인정되어가고 있는 것이 세계적인 추세이다. 여기에는 자원의 보호와 제품들의 각종공정에서 발생할 수 있는 자연계의 파괴를 방지하는 것이 포함되어 있다.<sup>(1)</sup> 이에 세계각국은 법적으로 원인 행위자가 책임을 지는 법적인 조치를 강화하고 있는 추세이다. 대표적인 예로서는 최근 유럽에서 실시하고 있는 생산자의 폐자동차 회수의무에 관련된 법규를 들 수 있으며, 이러한 법적인 조치는 곧 전자제품으로 확대될 전망이다. 따라서 국내의

환경보호와 국제적으로는 국내제품의 수출을 유지할 수 있는 방안으로 제품의 폐기단계에 관련된 연구가 활성화 되어야할 것이다.

환경보호를 위한 수단은 4 단계로 나누어 생각할 수 있다. 첫째 기존의 환경손상의 복구, 둘째 알려진 제품들에 의한 환경영향의 최소화, 셋째 신제품에 의한 환경영향의 억제 그리고 네번째로 전체적으로 환경친화적인 제품의 개발이다.

대부분의 제품들의 성격이 제품의 설계(개발) 단계에서 결정되기 때문에 제품개발은 환경보호에 매우 중요한 역할을 하고 있다.<sup>(2)</sup> 환경친화적인 제품의 개발능력은 국제경쟁력을 강화하는데 있어서

\* 영남대학교 기계공학부  
Tel. 053-810-2579, Fax. 053-813-3703  
Email [hcyi@yu.ac.kr](mailto:hcyi@yu.ac.kr)

역제조연구회 회원, 역제조기술과 생산자동화 분야에 관심을 두고 연구활동을 하고 있다.

더욱더 중요해지고 있다. 여기에는 환경친화적인 생산, 사용중의 친환경성 및 사용후의 환경친화적인 처리가 포함된다.

## 2. 용어정리

역제조(Demanufacturing)기술이란 제품의 폐기시 발생하는 환경문제를 해결하기 위하여 리사이클링을 고려한 설계, 생산, 제품사용 후 부품들의 분해, 부품의 재생 및 재료의 재활용 등에 관련되는 기술을 전체적으로 일컫는 말이다. 따라서 역제조기술과 관련된 분야는 제품구조와 재질을 결정하는 제품설계, 설계의 친환경성 평가 그리고 사용후의 처리와 관련되는 분해계획 및 공정 등이 모두 포함된다.

DFD(Design for Disassembly)는 분해용이설계이라고 불리어지며 설계시에 분해를 고려하여 설계하는 방법이다. DFE(Design for Environment)는 환경친화 설계라고 불리어지며 DFD의 확장된 개념으로 폐기시의 환경성이 추가된 경우이다. 일반적으로 분해된 부품 및 재질의 리사이클링(Recycling) 가능성 및 독성재질의 함유정도를 포함시킨다.

리사이클링(Recycling)은 폐기물관리 시스템에서 나온 물질을 제조 또는 가공으로 전환하는 라이프사이클(life cycle)의 활동이라고 정의된다.<sup>(3)</sup> 리사이클링은 제조과정에서 발생하는 폐기물과 사용후 폐기물의 활용 혹은 사용하는 모든 공정을 통틀어 지칭하고 있다. 현재 우리나라에서는 여러 가지 형태의 공정 혹은 과정들이 정확히 정의되지 않은 채 혼용되고 있는 실정이다. 리사이클링 공정은 크게 제품의 상태에서 수행되는 제품리사이클링(Product Recycling), 원료의 형태로 바꾸어져서 수행되는 원료리사이클링(Material Recycling)으로 분류될 수 있다. (Fig. 1)

제품리사이클링에서 원래의 제품과 같은 목적으로 사용되면 재사용(reusing) 다른 목적으로 사용되면 계속사용(using on)이라고 한다. 재료리사이클링에서는 원래의 제품과 같은 목적으로 사용되면 재활용(reutilization) 다른 목적으로 사용되면 계속활용(utilizing on)이라고 한다.<sup>(4)</sup>

재사용은 사용 후 다시 같은 목적으로 사용하는 것으로 고장난 TV를 고쳐서 사용하는 경우이다. 이 경우는 기존의 정비와 리사이클링 양쪽에 모두 속하는 작업으로 간주할 수 있다.

계속사용은 생산품이 사용 후 다른 목적으로 다시 사용되는 것을 말하며 쇼퍼백을 쓰레기 봉투로 사용하는 것을 들 수 있다.

재활용은 원래제품과 같은 종류의 제품생산에 활용되는 것을 말하며 알루미늄 캔을 다시 알루미늄 캔으로 생산하는 것을 들 수 있다.

계속활용은 생산공정에서 발생하는 폐기물이나 사용된 생산품이 재처리되어 일반적으로 원래 재료보다 낮은 등급의 원료로 사용목적이 다른 제품의 생산에 다시 투입되는 것을 말하며 폐자동차를 재처리하여 건축용 철근의 생산에 사용하는 것을 예로 들 수 있다.

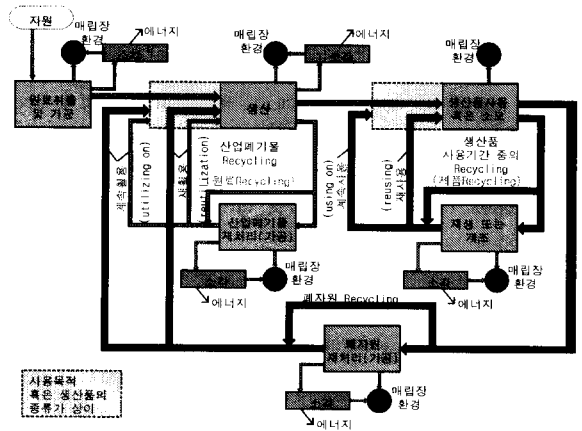


Fig. 1 Types of Recycling<sup>(4,5)</sup>

재활용 물질(recycled material)은 고형 폐기물로 폐기될 운명이나 제품으로 재구성된 물질을 이르는 말로 원래의 제조공정에서 재사용될 수 있는 물질이나 여기서 생산된 부산물은 제외한다. 재활용성(recyclability)은 연구의 범위에 의하여 결정된 특정지역에서 측정된 실제 재활용률에 대한 가능성을 나타내며 재활용 함량(recycled content)은 무게로 환산한 제품 내 또는 포장 내의 재활용 물질의 비율이다. 폐기물(waste)은 상업적 가치가 없는 산출물로서 대기, 수계 또는 토양을 통한 환경으로의 배출되는 이용 가치가 없는 물질로 소비 후 물질, 산업체 불량 폐기물, 공장, 도매상 등의 잉여 재고 등이 여기에 속한다.<sup>(6)</sup>

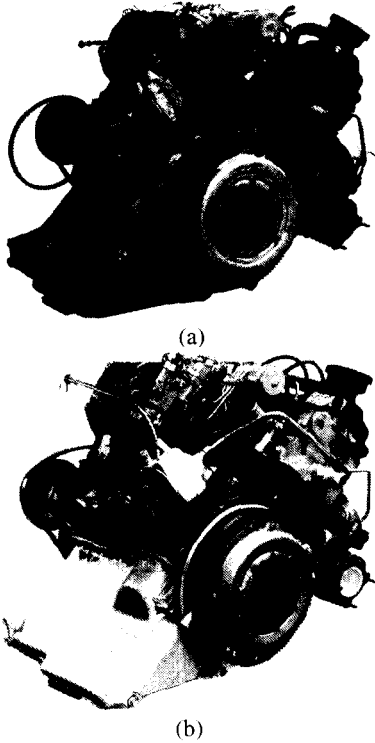


Fig. 2 Engine of an Scrap Car(a) and Remanufactured Engine(b) (source VW)

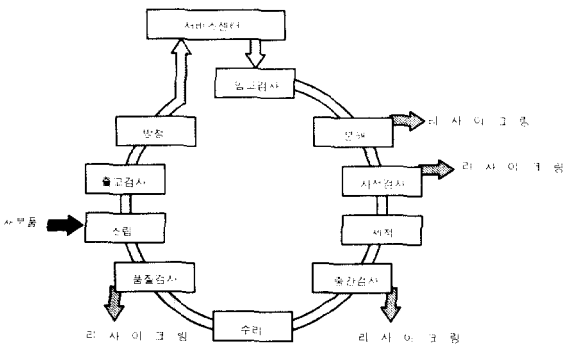


Fig. 3 Remanufacturing Process of an Automobile Part (source VW)

폐기물이 계속활용 혹은 재활용되기 위해서는 폐차를 녹여서 쇠를 만드는 것과 같은 원료의 재처리 공정을 거치게 된다. 폐기물 활용의 또 다른

형태는 열에너지로 이용하는 것이다. 이때 소각되는 물질의 내용물에 따라 유해가스가 발생할 수도 있기 때문에 어떤 폐기물은 소각이 불가능한 경우도 있다.

리사이클링에 있어서 가장 이상적이 형태는 재사용이며, 이것이 불가능할 경우에는 가치가 떨어지는 목적으로 계속 사용하는 것이 좋다. 제품 리사이클링이 불가능할 경우 재료리사이클링을 하여야한다. 이때 재사용이 좋으나 기술적으로 불가능한 경우가 대부분이다. 계속활용의 경우에는 처리된 제품의 가치는 재활용의 경우보다 월등히 떨어지거나 처리비용은 재활용의 경우와 유사하여 경제성이 없는 경우가 많다. 계속활용조차도 불가능한 경우에는 소각하여 열에너지를 이용하며, 유해가스가 발생할 경우에는 소각하지 않고 매립한다.

하지만 불행히도 국내의 경우 법규가 잘못된 경우가 많아 재사용이 불가능한 경우도 있다. 예를 들어 독일의 경우 자동차 부품이 중고의 상태에서는 물론 대부분의 자동차 부품이 자동차 제작자에 의해 재생되어 판매되어지고 있다. (Fig. 2, 3) 국내는 중고부품의 재사용은 거의 불가능한 실정이다.

### 3. 환경친화설계

#### 3.1 필요성

제품의 생산에서 다양한 종류의 원재료가 사용되며, 제품의 사용에도 많은 에너지를 소모한다. 단가 유해한 배기가스를 배출하여 환경오염의 주요한 요인 중의 하나로 취급되어 왔다. (5) (Fig. 4)

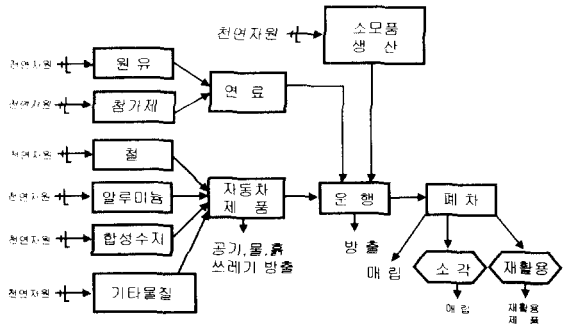


Fig. 4 Life Cycle of a Car (6)

사용후에는 쓰레기로 변하여 또다시 환경에

영향을 미치게 된다. 혼합하면 쓰레기도 분리하면 자원이 된다. 많은 제품은 생산 단계에서 인공적인 수단으로 여러 가지의 재료를 가공, 조립한 것이기 때문에 폐기물을 인공적으로 분해 혹은 해체하지 않고 자원을 분리하는 것은 현실적으로 불가능하다. 따라서 효율적인 재사용과 재활용을 위해서는 폐기물이 분해되어서 처리되어야만 한다.<sup>7)</sup>

기존의 제품들은 설계시 제작의 편의성과 경제성 위주로 설계된다. 따라서 리사이클링은 고려되지 않았기 때문에 분해가 상당히 어려운 경우도 많고 시간이 오래 걸려서 폐기물을 분해하여 부품

과 재료를 리사이클링 하는 것은 현재로서는 경제성이 없다.

또한 이러한 작업은 3D 작업에 속하기 때문에 작업자를 구하기도 힘들다. 이에 대한 대책으로는 자동화를 들 수 있으나 분해와 리사이클링을 고려하지 않고 설계된 제품은 현재의 기술로는 분해자동화가 지극히 제한된 범위에서만 가능하다.

### 3.2 고려사항

리사이클링을 고려한 제품설계는 독일의 VDI2243 등에서 규정을 하고 있으며 특히 분해용

A d d i t i v e  c o m p o n e n t s	Excess components	ABS	ASA	PA	PBT	PBT+PC	PC	PC+ABS	PC+PBT	PE	PET	PMMA	POM	PP	PPO	PPO+PS	PS	PVC	SAN	TPU
	ABS	●	●	○	●	●	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
ASA	●	●	○	●	●	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
PA	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
PBT	●	●	○	●	●	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
(PBT+PC)	●	●	○	●	●	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
PC	●	●	○	●	●	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
(PC+ABS)	●	●	○	●	●	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
(PC+PBT)	●	●	○	●	●	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
PE	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
PET	●	●	○	●	●	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
PMMA	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
POM	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
PP	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
PPO	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
(PPO+PS)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
PS	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
PVC	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
SAN	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
TPU	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

● Good compatibility over a wide composition of proportions    ○ Limited compatibility with small quantities    ○ Incompatible

Fig. 5 Compatibility of Thermoplastics (Source: Bayer AG)

이성에 대해서 많은 연구가 진행되고 있다.<sup>(4)</sup> 분해를 고려한 설계의 경우 여러 가지의 점검목록(설계 가이드북)을 만들어서 설계자가 이를 반영하도록 하는 방법이 많이 사용되고 있다. 이러한 항목으로서는 분해위치와 분해할 부품의 식별성, 작업자와 분해공구가 분해위치에 쉽게 접근할 수 있는지를 나타내는 접근성, 그리고 분해작업 그리고 작업자의 안정을 고려하여야 한다. 분해작업을 용이하게 하기 위해서는 연결요소의 개수를 최소화하며 가급적이면 동일한 연결요소를 사용하여 필요한 공구의 종류를 줄이고 불필요한 공구의 교환을 억제하며, 분해동작의 방향을 가급적이면 일치시켜야 한다. 또한 직접분해에 필요하지 않은 보조작업을 최소화하며 작업자가 피분해물을 안전하게 잡을 수 있어야 한다. 그 외에도 작업내용이 알기 쉬워 작업자가 별도의 작업지시서 없이도 작업이 가능하게 하는 것이 좋다.

연결형태의 선택도 특별한 주의를 기울여야 한다. 연결형태는 크게 비파괴분해가 가능한 형태와 불가능한 형태로 분류될 수 있다. 비파괴분해가 불가능한 형태는 리벳팅, 용접, 접착제를 이용한 접착 등을 들 수 있겠다. 이러한 방법으로 연결된 부품들은 제품 리사이클링이 불가능하거나 아주 많은 경비를 투입해야 가능하다. 나사는 비파괴분해가 가능한 작업이지만 분해시간이 상당히 많이 걸린다. 물론 분해작업도 대상 리사이클링의 종류에 따라 상당히 다른 방법을 적용할 수 있다. 제품 리사이클링을 고려하는 경우는 부품이 손상되지 않는 방법을 사용해야 되지만 재료 리사이클링을 목적하는 경우에는 부품의 손상보다는 분해작업의 효율과 경비의 절감이 중요하다.

환경문제를 고려해서는 재질의 재활용이 중요하며 이때 특히 문제가 되는 것으로는 합성수지류를 들 수 있다. 합성수지류는 재사용 보다 재활용되는 경우가 많으므로 부품의 분해용이 뿐만 아니라 서로 호환성이 있는 재질을 사용하여 분해를 하지 않아도 재활용이 되도록 고려하여야 한다.<sup>(5,9)</sup> (Fig. 5)

### 3.3 장애요소

환경성을 고려하여 제품을 설계하는 것은 현실적으로 여러 가지의 어려움에 직면하게 되는 경우가 많다. 부품이 다른 재질과 결합하여야만 목적하는 기능을 얻을 수 있는 경우가 있다. 예를

들면 자동차의 내장에 사용되는 수지들은 사용자들이 느끼는 감촉과 탄성 그리고 안전성 등을 동시에 고려하기 위해서는 단일 재질로는 제작이 불가능하다.

특히 안전에 관한 사항은 법률로서 규정이 되어 있다. 높은 강도가 요구되는 부품이 있는가 하면 연결요소에서의 강도가 요구될 수도 있다. 머리받침대와 같은 부품은 충돌시험에 합격하기 위해서 필요한 조건들을 만족시켜야 한다.

합성수지의 경우 페인트가 칠해지면 재활용이 어려워지나 외관을 좋게 하기 위해서는 필요하다. 페인트가 칠해지기 위해서는 재질의 페인트 접착성이 좋아야 한다.

설계시에 분해용이성을 고려하였다 하더라도 사용 중에 여러 가지의 변형과 노화가 발생하여 설계시의 상태와 상당히 다른 상태에서 분해를 해야 하는 일도 발생할 수 있다. 예를 들어 나사의 경우 사용 후에는 나사자체가 망가져서 일반적인 방법에 의한 분해가 불가능 할 수도 있다.

마지막으로 가장 중요한 장애요인은 외부 혹은 내부의 다른 부서의 비협조와 경제성 문제이다. 분해용이 설계의 결과는 조립비용을 감소시키는 효과를 가져올 경우도 있다. 하지만 특히 대기업의 경우 회사내부의 부서간의 협조가 잘 이루어지지 않아 연구결과가 빛을 보지 못하는 경우가 많다.

이러한 분해용이 및 환경친화 설계는 생산공정과 소비자의 사용편이성 및 안정성, 경제성 등 여러 가지의 요소들에 의해서 단순하게 결정할 수 없는 경우가 많다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 설계를 평가할 수 있어야 한다.

## 4. 분해성 평가

### 4.1 개요

환경친화적인 설계에서 고려하여야 할 제품 구조, 부품형상, 재질선택 등은 조립이나 가공용이성, 경제성, 사용자의 편이성, 사용중의 안전성 그리고 사용중의 환경친화성 등과 이윤배반적인 경우가 발생하게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 설계된 제품이 얼마나 친환경적인지, 그리고 분해시에 얼마나 경제적인 이익과 환경친화적인지의 여부를 판단 할 수 있는 방법이 필요하다. 이러한 방법중의 하나가 분해성 평가이다.

사용중의 환경친화성을 고려하기 위해서는 제

품의 전과정평가(Life Cycle Assessment)를 실시하여야 한다.<sup>(6)</sup> 전과정평가는 제품의 제작, 사용 및 폐기과정에서 환경에 미치는 영향을 모두 평가하는 방법으로 ISO14000 에서 규정하고 있다. 전과정평가를 효율적으로 수행하기 위해서는 여러 가지의 광범위한 Database 가 구축되어 있어야 한다. 이 방법을 이용한 평가는 평가 자체가 너무 광범위하고 결과 또한 상당히 포괄적이다.

분해성 평가의 목적으로 기존 제품에 대해서 분해계획을 수립하고 신제품에 대한 참고자료를 산출하며, 개발할 신제품에 대한 설계지원 등을 들 수 있다. 또한 분해작업의 자동화 가능성에 대한 평가의 척도를 산출하기 위해서 수행하는 경우도 있다.

분해성을 평가하기 위해서는 분해의 목적과 범위, 그리고 직면하고 있는 여러 가지의 영향요소에 관한 자료를 확보하여야 한다. (Fig. 6) 특히 이용 가능한 시설과 기술, 제품의 생산으로부터 분해를 필요로 하게 되는 시점 그리고 여러 가지의 시장상황 등에 따라 평가의 결과가 많이 바뀌게 될 수도 있다.

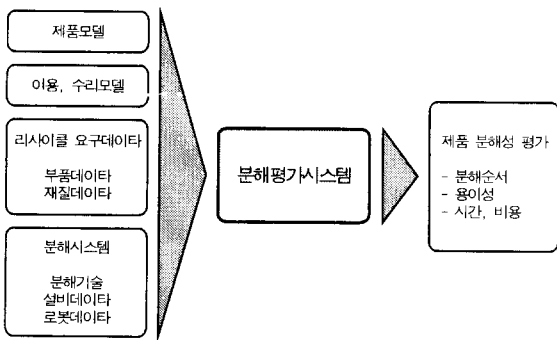


Fig. 6 Disassembly Assessment System<sup>(10)</sup>

제품의 환경성 평가방법은 크게 DFD(Design for Disassembly: 분해용이설계)의 적합도에 의한 방법과 분해계획생성을 이용한 제품평가방법으로 분류할 수 있다.

#### 4.2 DFD 평가

분해용이설계 적합도에 의한 방법은 분해관련 설비 및 순서는 고려하지 않고 제품설계의 좋고 나쁨을 판단하고 설계개선의 guide line 을 제시한

다. 먼저 부품의 수, 연결요소의 수, 작업시간, 작업공구 등에 관한 DFD 를 위한 설계지침을 마련한다. 그리고 이들 중 평가항목을 정하여 준수정도에 따라 점수를 부여한다. 평가항목으로는 기능통합정도, 부품개수의 삭감정도, 재료개선, 체결요소의 종류, 체결요소의 개수, 제품구조의 단순성, 재료에 관한 정보표시 등을 들 수 있다. (Fig. 7)

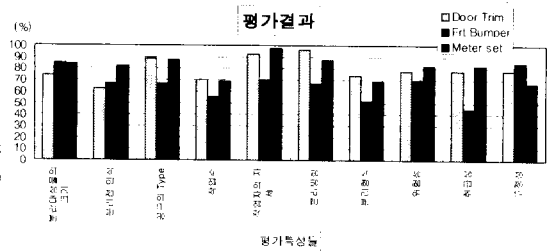


Fig. 7 Disassembly Assessment Using DFD<sup>(11)</sup>

이 방법은 정해진 평가항목에 평점을 부여하는 정량적인 평가로 단시간 내에 효과를 기대할 수 있는 장점이 있다. 그러나 주어진 설비 및 각종 주변여건, 환경성 등이 충분히 고려될 수 없어 평가자체가 무의미하게 될 가능성도 배제할 수 없다.

#### 4.3 구조분석에 의한 평가

분해계획생성을 이용한 평가방법은 제품의 구조와 각종 연결요소 관련정보, 환경관련 비용 및 재생원료의 가격 등 다양한 정보를 종합적으로 고려하여야 하기 때문에 평가시스템의 상당히 복잡하다. 따라서 적용이 쉽지 않고 적합한 소프트웨어가 있어야만 가능하다. 이 방법은 제품의 환경 관련 비용을 계산할 수 있고 비용의 원인이 되는 부품 혹은 부품군을 파악할 수 있게 하기 때문에 장기적으로 좋은 효과를 기대할 수 있다.

제품의 구조는 분해에 상당히 많은 영향을 미친다. 특히 높은 가치를 가진 부품은 우선적으로 분해될 수 있어야 분해작업의 경제성이 향상 될 수 있다. 같은 제품이라도 분해의 순서에 따라서 비용이 달라질 수 있으므로 분해성에 관한 평가만이 아니라 최적의 분해순서를 찾는 것도 평가시스템을 이용하는 중요한 목적이다.

Fig. 8 은 영남대학교와 현대자동차가 개발한

평가소프트웨어의 평가결과를 나타내는 화면이다.

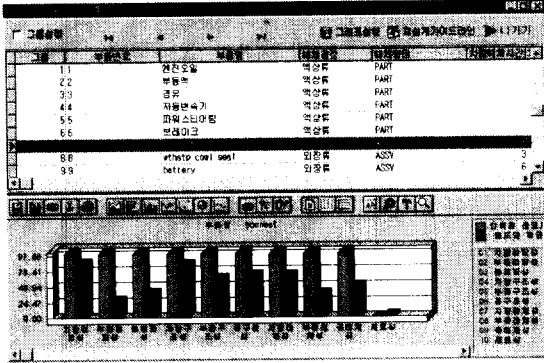


Fig. 8 Result of Disassembly Assessment Using Structure Analysis<sup>(12)</sup>

### 5. 분해공정 및 자동화

#### 5.1 분해공정

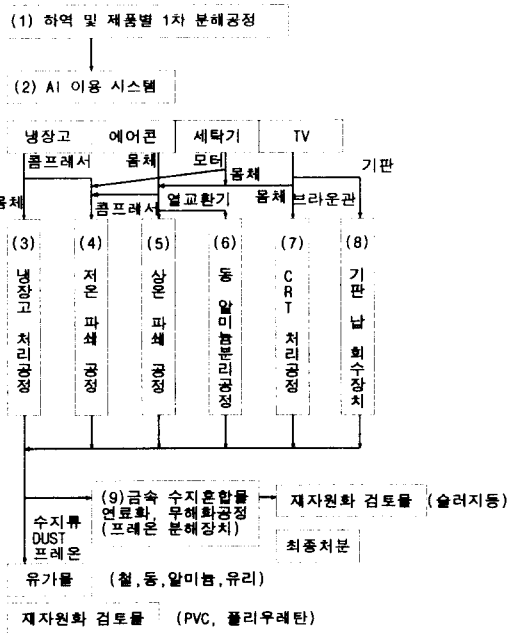


Fig. 9 Treatment Process of JEIDA for End-of-life Household<sup>(13)</sup>

분해공정에 관한 연구는 주로 가전제품과 자

동차에 관한 연구가 수행되고 있다. 가전분야에서는 일본의 업체들이 일본가전제품협회를 중심으로 리사이클공장을 건립하는 등 활발한 움직임을 보이고 있다. (Fig. 9) 이들은 이미 1998년에 정부의 도움을 받아 TV, 냉장고, 세탁기, 에어컨을 처리할 수 있는 리사이클공장을 건립하였다. NEC, 소니 등의 회사도 각각 PCB 기관의 처리기술, 폐 TV 처리 기술 등을 연구하고 있다.

국내에서는 삼성전자와 LG 전자가 관련연구를 수행하고 있으며 삼성전자는 1998년에 가전리사이클센터를 건립하여 현재 발생하는 냉장고와 세탁기의 폐기물을 리사이클하고 있다. 한국자원재생공사 1997년 4월 대형폐기물 처리공장을 건립하여 냉장고의 처리를 중심으로 가동하고 있다.

자동차분야에서 가장 많은 활동을 보이고 있는 국가로는 독일을 들 수 있다. BMW, Ford, Opel 등이 이미 1991년경에 자동차 분해 시험설비를 설치하였다. (Fig. 10)

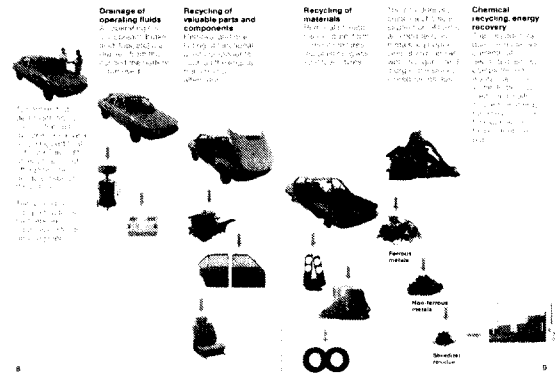


Fig. 10 Disassembly Process of the Scrap Car (source BMW)

이들의 목적은 자사모델의 분해와 재활용에 관한 필요한 전문지식(know-how)을 체계적으로 획득하는데 있다. 이 과정에서 분해과정에 관한 자료를 데이터베이스에 입력하고 신차 개발팀은 설계와 부품의 재질선정에 활용하고 있다.

사용된 합성수지류의 식별 및 리사이클링 가능성을 조사하고 리사이클링 가능부품에 대한 경제적인 분해기술과 잔류연료를 뽑는 방법을 연구하였으며 타입별 분해 범위, 필요한 해체정도와

소요 분해시간을 조사하였다. 이를 토대로 리사이클링을 위한 제품형상 설계지침을 마련하였다.

그리고 여기에서 획득하는 모든 전문지식은 장기적으로 계약된 중소기업에 조직과 업무형태의 모델케이스로 제공될 예정이다.

프랑스의 뿌조(Peugeot)와 시트랭(Citroen)은 이탈리아의 피아트(Fiat) 영국의 ICI, Enimont 등과 공동으로 유레카(Eureka)의 연구사업을 수행하여왔다. 이들은 신소재에 관한 지식을 이용하여 새로운 자동차를 개발할 계획을 하고 있다. 1991년 프랑스 Saint-Pierr-de-chandien 에 유연 다목적 자동차 분해 시험설비를 설치하였다.

국내업체들은 한국자동차공업협회를 중심으로 자동차 산업 환경 비전을 작성하여 리사이클링관련 활동을 준비하고 있다.<sup>(14)</sup> 자동차 산업 환경 비전에서는 자동차 생산의 각 단계에서의 환경보호를 위한 기술적 추진방향을 설정하였을 뿐 아니라 연비를 개선한 저공해 자동차의 개발 등 자동차와 관련되는 포괄적인 내용을 포함하고 있다. 또한 자동차 제작사와 제작사, 자동차 제작사와 소재회사, 부품업체 등 업종간의 공동협력에 관해서도 협력방안을 제시하고 있으며 단기 중기 장기적인 연구개발과제도 도출하였다. 그러나 연구개발에 필요한 연구비의 조달방안, 업체간의 업무분담 및 협조 방안 등 구체적인 내용은 포함하고 있지 않아 어떻게 시행될지, 실질적인 추진이 가능할지의 여부는 다소 불투명한 전망이다. 국내의 자동차사들은 관련부서를 신설하고 플라스틱 부품에 재질 표시를 실시하고 있으며 부분적으로 리사이클링을 고려해서 부품의 단일 소재화를 추진하고 설계자들에게 리사이클지침을 제작하여 배포하는 등 다양한 준비작업을 하고 있다. 실질적인 연구사례로는 기아자동차가 1996년부터 3년동안 폐차해체시스템에 관한 연구를 수행하였으나 아직 연구결과 활용에 관하여는 잘알려지지 않고 있는 실정이다.

## 5.2 분해자동화

### 5.2.1 로봇을 이용한 폐차분해

현재의 기술 수준을 고려할 때 분해작업의 자동화에는 간단한 설비들을 이용하는 간이자동화가 효율적일 것이다. 그러나 간이자동화는 경우에 따라 상당히 다를 수 있으므로 여기에서는 로봇을

이용하는 분해자동화를 생각하여 보기로 한다.

한마디로 로봇을 이용하는 분해의 자동화는 지극히 제한적이며 경제성을 고려한다면 불가능한 실정이다. 분해대상 제품들은 불특정의 다수로부터 회수된 여러 가지의 제품으로 사용이력과 품질이 일정하지가 않다. 따라서 분해대상 제품의 정보(구조, 형상 등)는 대부분 주어지지 않으며, 로봇이 스스로 인식하여 필요한 정보를 생성하여야만 한다. 뿐만 아니라 구성부품의 확인도 조립된 상태에서는 어려우면 분해를 하여야만 가능하다.

산업용 로봇은 대부분 한 개의 팔로 구성되어 있다. 하지만 분해작업에서는 분해동장과 동시에 부품의 고정도 필요하며 이를 위해서는 최소한 두 개의 팔과 경우에 따라서는 여러 개의 손가락을 필요로 한다. 물론 연구용으로 개발된 로봇은 2개의 팔을 가진 경우도 있고, 손가락도 있다. 하지만 이러한 것들을 복합적으로 구비하고 있는 산업용 로봇은 아직 없다. 로봇 자체의 크기와 무게에 비례한 로봇이 취급할 수 있는 힘은 인간에 비하면 미미하기 그지없다. 따라서 지극히 제한적인 자세와 공간에서 작업을 할 수 있는 로봇은 힘이 부족하여 작업이 불가능할 것이다. 또한 많은 전자부품과 기계요소로 움직이는 로봇은 환경이 나쁘면 고장을 유발하게 된다. 분해작업을 수행해야 하는 공간은 오염과 분진 등으로 작업환경이 열악하다.

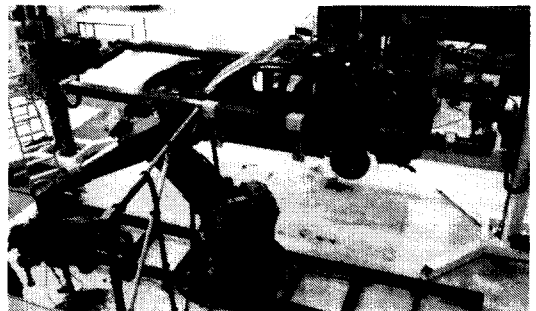


Fig. 11 NEUROBOT Workcell

일본에서는 로봇을 이용하는 분해시스템을 연구한 것이 있으나 그림으로 그린 개념뿐이고 실제로 구현한 시스템은 알려져 있지 않다. 로봇을 이용한 분해에 관한 연구는 유럽공동체에서 ESPRIT-Project 의 일환으로 NEUROBOT (Neural



Network-based Robots for Disassembly and Recycling of Automotive Products)라는 이름의 연구과제를 독일, 네덜란드, 그리스, 핀란드 등이 공동으로 수행하고 있다. (Fig. 11)

이 연구에서는 자동차의 분해와 리사이클링 작업에 사용할 수 있는 자율로봇을 개발하고 구현하여 분해작업을 자동화시키고 자동차 분해공정을 경제적으로 매력 있게 만드는 것을 목표로 하고 있다. 연구내용은 분해와 리사이클링의 방법연구, 물체인식을 위한 지능형센서의 네트워크개발, 분해작업을 위한 자율로봇의 개발, 그리고 자동차 분해시스템의 설계와 설치 등이다.

### 5.2.2 미래형 로봇에 의한 분해자동화

인공지능을 가지고 다양한 센서시스템을 가진 로봇이 미래에 등장한다고 가정한다면, 이러한 로봇을 이용한 분해작업은 지금과는 완전히 다른 측면에서 생각해 볼 수 있을 것이다. 이러한 로봇의 지능이 사람과 유사하다고 가정한다.

일반적인 사람은 작업지시가 없이 어떤 제품을 제대로 조립하는 것은 항상 가능하지는 않다. 하지만 잘 모르는 제품도 아무런 작업순서에 관한 지식 없이 분해할 수 있다. 이것은 어린아이의 경우도 가능한 경우가 많다. 공학도들 중에는 어린 시절에 집안에 있는 가전제품을 호기심에서 분해하였다가 다시 조립을 하지 못하여 부모님들에게 혼난 경험을 가진 사람들이 있을 것이다.

미래의 로봇도 이와 같이 아무런 사전 지식 없이 분해작업을 수행할 수 있을 것을 상상해 볼 수 있겠다. 이러한 상상은 경제성을 고려한다면 현실에서 상당히 멀어진다. 하지만 자동차가 아니고 원자력과 같이 인간의 작업이 불가능한 극한작업이라면 문제는 다를 것이다.

이러한 작업에는 작업 경로를 미리 프로그램 하여야 하는 로봇은 사용될 수 없으며 모든 작업을 자율적으로 결정할 수 있는 수준의 로봇이 개발될 때 가능할 것이다.

## 6. 결론

UR 를 맞이하여 이미 세계는 국경없는 경쟁의 시대를 맞이하였다. 우리가 우려하고 있는 Green Round 는 이미 여러 선진국에서 준비하고 있는 소 리없는 무역전쟁이다. 유럽에서 추진되고 있는 폐

기물에 대한 법적규제는 환경보호차원을 넘어서 자국 상품의 경쟁력 강화와 외국 제품의 수입억제를 위한 규제의 수단이 되어가고 있다. 이러한 세계적인 여건에 적절히 대처하기 위해서는 환경친화 설계 및 관련 기술들이 개발되어야 한다.

친환경적인 폐제품의 처리는 설계에서 시작된다. 설계시에 폐기를 고려하지 않고 설계된 제품의 친환경적인 처리는 상당히 제한적이며 높은 처리비용을 유발하게 될 것이다. 재질 재활용률을 높이기 위해서는 특히 합성수지류 부품의 분해용이설계와 리사이클링 가능재질에 관한 연구가 수행되어야 한다.

또한 설계를 평가할 수 있는 평가시스템이 개발되어야 한다. 특히 자동차 등의 제품은 구조가 복잡하고 부품의 개수가 많아 상당한 수준의 연구개발이 수행되어야 적절한 시스템이 개발될 수 있을 것이다.

작업환경이 열악한 폐제품의 처리에 종사할 수 있는 작업자를 구하는 것은 점점 어려워질 것이다. 분해공정은 대표적인 3D 공정으로 인력 수급이 상당히 어려울 것이다. 이를 대비하여 폐제품처리의 자동화에 관한 연구도 수행되어야만 한다. 단기적으로는 간이자동화 설비들을 개발하여야 하며 장기적으로는 고도로 자동화된 분해시스템의 개발도 수행하여야 한다.

마지막으로 이론과 실지의 차이를 파악하고 현장에 적용하기 위해서는 폐제품의 해체공장이 설립되어야 하며 국가적으로 폐제품의 수거와 중고재생부품의 재사용을 위하여 효율적인 유통구조와 법적인 장치도 마련되어야 할 것이다.

## 참고문헌

1. Entwicklung Umweltgerechter Produkte SFB392, "Ausführliche Beschreibung," <http://www.muk.maschinenbau.tu-darmstadt.de/sfb/index.html>
2. Schott, H., Grüner, C., Büttner, K., Dannhwi, F., Birkhofer, H.; "Design for environment - Computer Based Product and Process Development," In: (Hrsg.: Kraus, F.) Proceedings of the IFIP WG5.3 4th International Seminar on Life-Cycle Engineering - Life Cycle Networks Berlin, Germany; Chapman & Hall, London 1997.
3. Schmidt, D., Goldmann, D.; "Automobil-Recycling

- im Netz- verbund - Neue Marktstrukturen für die Kreislaufwirtschaft,” In: Altauverwertung und -entsorgung. Expert-verlag, pp. 74-88, 1995.
4. VDI-Richtlinien 2243, Entwurf. “Konstruieren recycling- gerechter technischer Produkte,” Berlin: Beuth Verlag, Mai 1991.
  5. 이화조; “자동차 Recycling 을 위한 분해기술. 대한기계 학회지,” 제 36 권 제 2 호, pp. 120-136, 1996.
  6. “Guidelines for Life-Cycle Assessment: A Code of Practice,” From the SETAC Workshop held at Sesimbra, Portugal, 31 March-3April 1993. Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), 1993.
  7. Seliger, G., Zussman, E., Kriwet, A.; “Integration of recycling consideration into product design: a system approach,” In: Proceedings of Nato ARW, 1993.
  8. Teulon, H.P.; “Life Cycle Assessment: A Tool for Design for Environment,” In: Design for Environmentally Safe Automotive Products and Processes, SAE, Feb., pp. 145-151, 1997.
  9. Roth, N.; “Disassembly and recycling of electrotechnical and electronic products,” Technical Report, Siemens AG, Munich, Germany, 1992.
  10. 木村文彦; “組立製品における解體性評價,” In: 日本ロボット 學會誌, Vol. 13 No. 4, pp. 456-461, May 1995.
  11. 주해호, 이화조, 조광익; “분해용이기법을 이용한 제품의 분해성 평가,” 한국정밀공학회지, 제 16 권 제 8 호, pp. 88~99, 1999.
  12. 이화조; “자동차 리사이클성 평가 소프트웨어 개발,” 위탁연구보고서 현대자동차, 1999 년 12 월.
  13. 이화조; “폐가전처리 Process 연구,” 연구보고서, 삼성전자 기술총괄생활시스템 연구소, 1997 년 11 월.
  14. 자동차산업 환경비전, 한국자동차공업협회, 1995 년 6 월.