

본 연구는 1994년도 교육부 학술연구조성비(기계공학·ME94 E 05)에 의해서 연구되었음.

자원 재활용을 위한 부품의 분리 용이성

목 학 수, * 정 현 교, * 박 주 형*

Disassemblability of Mechanical Parts in Automobile for Recycling of Materials

Hak-Soo Mok, * Hyun-Kyo Chung, * Ju-Hyung Park*

ABSTRACT

It is important to make use of the scrapped materials, components, and subassemblies which have still high quality and reliability in an out of service cars from the view point of economy and environment. In this paper, we studied geometrical and material characteristics of parts, subassemblies and joining elements to be assembled in designing a car. The mechanism of disassembly between parts and subassemblies is analyzed in order to disassemble recyclable parts in a scrapped automobile. The weak points of disassembly process are analyzed and the parameters for disassemblability are defined. And the guidelines for disassemblability are developed.

1. 서 론

오늘날 세계 각국은 Green Round의 여파로 환경 문제에 대한 관심이 더욱 더 고조되어 가고 있고, 유럽에서는 "환경 오염자 비용 부담 원칙"을 주장하고 있으므로 향후에는 기업이 제품을 생산하여 판매하는 것으로만 끝나는 것이 아니라 수명이 다한 제품을 수거 처리하는 역할까지 떠맡아야 될 것이다.⁽¹⁾ 이러한 점을 고려하여 본 연구에서는 부품의 종류가 5,000여 가지, 부품의 갯수가 25,000여 개에 달하며, 안락함을 추구하는 현대인의 심리와 맞물려 계속해서 생산량이 증가의

일로에 있는 자동차를 분리에 대한 연구 대상으로 선정하였다. 자동차의 구성 요소인 부품이나 조립군을 재사용함으로써 초기 제품 생산에서의 원자재와 에너지를 절감하고, 또한 폐기 처분시 발생할 수 있는 환경 오염 문제를 해결할 수 있는 방안이 될 수 있을 것이다. 우리나라의 경우, 자원 재활용 촉진법에 제시된 제 1종 사업자들 중 자동차 생산업체는 부품 및 재활용성을 높일 수 있는 제품의 구조 개선에 대한 연구를 수행할 것을 요구하고 있다.⁽²⁾⁽³⁾ 그러나 국내 자동차 업계, 대학 및 연구소에서는 아직 자동차의 분리 용이성에 대한 연구가 중점적으로 수행되고 있지 않는 실정이다. 이에

* 부산대학교 공과대학 산업공학과, 기계기술연구소

연구소	국명	연구 책임자	연구 내용	관련 기업체
IPA Stuttgart 대학	독일	Prof. Warnecke	<ul style="list-style-type: none"> 자동차 분리를 위한 산업용 로봇 응용 조립을 위한 설계기술 분리를 위한 설계기술 로봇 응용기술 	Daimler-Benz AG
WZL Aachen 대학	독일	Prof. Eversheim	<ul style="list-style-type: none"> 자동차 부품 중 플라스틱 소재의 구조 설계 분리평가방법 자동차 내부 장식제 절감 Recycling 전략 수립 	Daimler-Benz AG
TP Management	일본	일본농플 협회 中村	<ul style="list-style-type: none"> 제품 분해용이성 점수 평가 개선안 검색 	-
Mobay & Bayer AG	미국	-	<ul style="list-style-type: none"> 자동차 Seat 개발 구조개선 재질(Thermoplastic) 	GM

Fig. 1 국외 연구동향

반해 선진 공업국에서는 Fig. 1에서와 같이 자동차에 관한 재활용 연구가 상당히 활발히 진행되고 있다. 선진 공업국에서는 분리에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있는데, 독일의 Stuttgart 대학 IPA연구소에서는 Benz사의 지원을 받아 자동차 분리를 위한 산업용 로봇 응용에 관한 연구, 조립과 분리를 위한 설계 기술 및 로봇 응용 기술에 대한 연구 등을 수행했으며, Aachen 대학 WZL연구소에서는 조립 및 분리 용이성 향상을 위한 자동차 부품 중 플라스틱 소재의 구조 설계, 그리고 분리 평가 방법, 자동차 내부 장식제 절감과 Recycling 전략 수립 등에 관한 연구를 수행하였다.¹⁴⁾¹⁵⁾ 일본에서는 Ecofactory 개념 도입과 더불어 Recycling Concept을 설정하여 설계-생산-분리-Recycling Cycle을 체계적으로 정립하였다.¹⁶⁾ 미국에서는 GM의 후원을 받은 Mobay & Bayer AG연구소에서는 자동차 Seat 개발, 자동차 구조개선, 재질에 대한 연구를 수행하였다.¹⁷⁾

2. 분리용이성 향상을 위한 설계 원칙의 도출 체계

분리 용이성 향상을 위한 설계 원칙들을 도출하기 위해서 3단계로 나누었다(Fig. 2). 제 1단계는 제품에 대한 분석 단계로서 제품 구조와 재료의 특성에 대한 연구를 바탕으로 조립 방법에 대한 분석을 하는 단계이다. 제 2단계는 비교 단계로서 분리 공정을 진행하면서

작성한 분리 공정 Check List와 분리 공정도를 토대로 하여 분리 공정의 취약점을 분석하는 과정이며, 제 3단계는 대안 작성 및 평가 단계로서 대안에 대한 평가 항목과 재활용적 측면, 생산적 측면, 수리적 측면, 환경

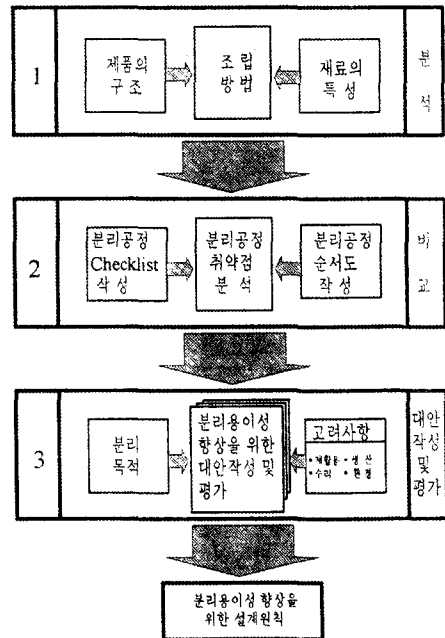


Fig. 2 분리 용이성 향상을 위한 제품 설계 원칙의 구축 체계

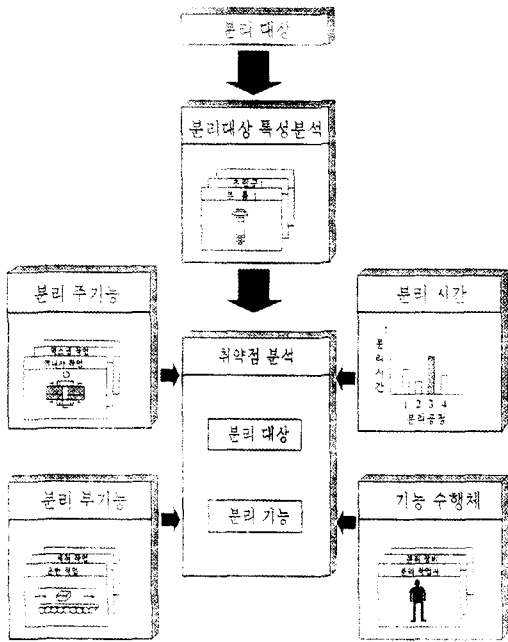


Fig. 3 분리 대상의 취약점 분석

적 측면 등을 고려하면서 분리 용이성 향상을 위한 대안 작성 및 평가를 수행하는 과정이다.

이들 단계중 제 2단계에서 분리 대상의 취약점 분석은 선택한 분리 대상의 특성을 분석하는 작업인데 제품을 구성하고 있는 조립군별, 부품별로 각각 분석 작업을 진행하였다(Fig. 3). 앞에서의 분리 대상의 특성에 대한 파악을 기초로 하여 분리 주기능에 대한 분석을 하였다. 여기서, 분리 주기능이란 역스냅 작업, 역나사 작업 등과 같은 실질적인 분리가 이루어지는 분리 메카니즘을 말한다. 또한 세척 작업, 운반 작업 등과 같이 분리 주기능에 대해서 지원과 마무리 기능을 하는 분리 부기능에 대한 분석을 수행한 후 분리 작업에 있어 비교적 긴 분리 시간을 요하는 애로공정(Bottle-neck)을 찾아내기 위해 분리 시간에 대한 분석을 했다. 그 다음으로 분리 장비, 분리작업가 등과 같은 분리 기능 수행체에 대한 분석을 하였다. 이러한 과정을 거쳐서 분리 대상과 분리 기능에 대한 취약점 분석이 이루어졌다.

취약점 분석의 결과로 Fig. 4에서 각 취약점 결정 요소들에 대한 설계 대안 개선을 위한 영향 요소들에 대해 제시해 주고 있다. 이들 영향 요소는 크게 분리 기능 수행을 위한 주·부기능, 분리에 소요되는 작업 시간 그리고 분리에 사용되는 기능 수행체들이다. 분리

취약점 결정요소	설계 대안 개선을 위한 영향요소
분리 주기능	<ul style="list-style-type: none"> ● 분리메카니즘 ● 분리력 ● 분리방향 ● 분리순서
분리 부기능	<ul style="list-style-type: none"> ● 분리대상의 고정성 ● 공구의 접근성 ● 운반작업 ● 세척작업
분리 시간	<ul style="list-style-type: none"> ● 제품의 Variant ● 기하학적 형상 ● 조립공차 ● 제품구조
분리 기능 수행체	<ul style="list-style-type: none"> ● 분리 작업자 ● 분리장비의 유용성 ● 분리작업공간 ● 분리공정의 위험도

Fig. 4 분리공정 취약점 결정 요소

주기능에는 분리 메카니즘, 분리력, 분리 방향 그리고 분리 순서 등에 의해 영향을 받고, 분리 부기능에 영향을 미치는 요소에는 분리 대상의 고정성, 공구의 접근성, 운반 작업, 세척 작업 등이 있다. 분리에 소요되는 시간은 제품 사양, 기하학적 형상, 조립 공차, 제품 구조 등에 의해 영향을 받으며, 분리 기능 수행체에 대한 영향 요소에는 분리 작업자, 분리 장비의 유용성, 분리 작업 공간, 분리 공정의 위험도 등이 있다.

3. 분리 정의 및 분리 공정의 분석

조립이란 두 개 이상의 부품이 체결방법을 통해 조립군을 이루고 이들 조립군들이 모여 하나의 제품을 형성하는 것이라고 간단히 정의할 수 있다. 한편, 분리는 제품이나 조립군이 또 다른 조립군들이나 부품 또는 부형의 소재로 개별화 되는 것을 의미한다.(Fig. 5). 흔히 분리공정의 순서는 조립공정의 역순이라고 생각하기 쉬우나 실제로는 대개의 분리작업은 수작업으로 이루어지고 있고, 분리공정 시스템내로 수명을 다한 제품이 들어올때, 제품의 상태는 사용으로 인하여 마모되고,

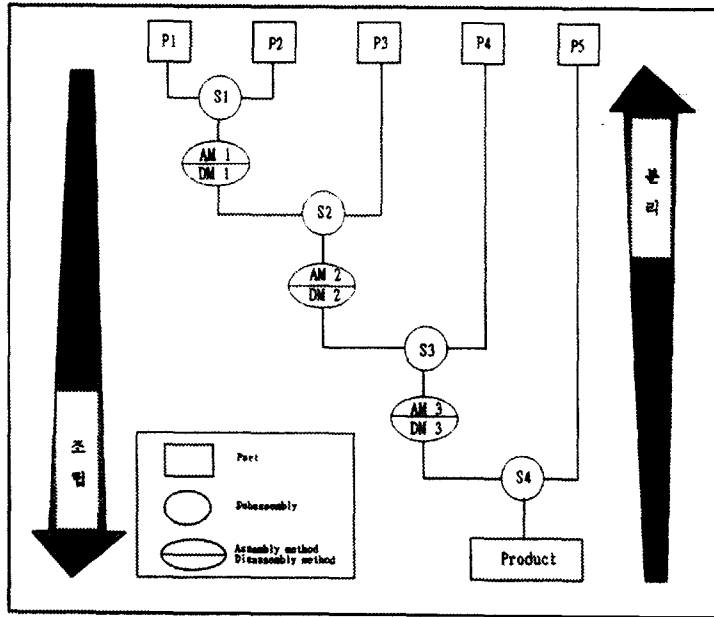


Fig. 5 분리 공정의 정의

체결요소가 부식으로 인하여 풀기 힘든 경우, 부품들이 손실되거나 변형된 경우가 많음으로써, 반드시 조립공정의 역순을 따르는 경우는 드물다. 한편, 조립공정의 목적은 제품의 기능성(Functionality)를 확보하기 위해 제품 내의 모든 부품들이 정해진 위치와 방향으로 매우 정확하게 조립되도록 하는데 있지만, 분리공정은 조립공정에서 요구하는 정밀도를 필요로 하지는 않는다. 또한 조립공정 설계자는 부품의 수, 최종 제품의 품질과 소재에 대해서 파악하고 있지만, 분리공정 설계

자는 오늘날의 거의 모든 제품들은 분리용이성에 대한 고려없이 설계되었고, 분리되지 않는 부품들, 소재 특성에 대한 정보의 부족, 제조 정보에 대한 상실, 부품들과 체결요소들의 예기치 못한 변화 등으로 인하여 각 제품의 종류마다 각기 다른 공정을 개발해야하는 어려움이 있다.

Fig. 6에서는 분리 공정 시스템의 전반적인 흐름을 보여주고 있다. 분리 공정의 입력 요소는 수명이 다한 제품이나 고장난 제품이 되고, 이 분리 공정 시스템은

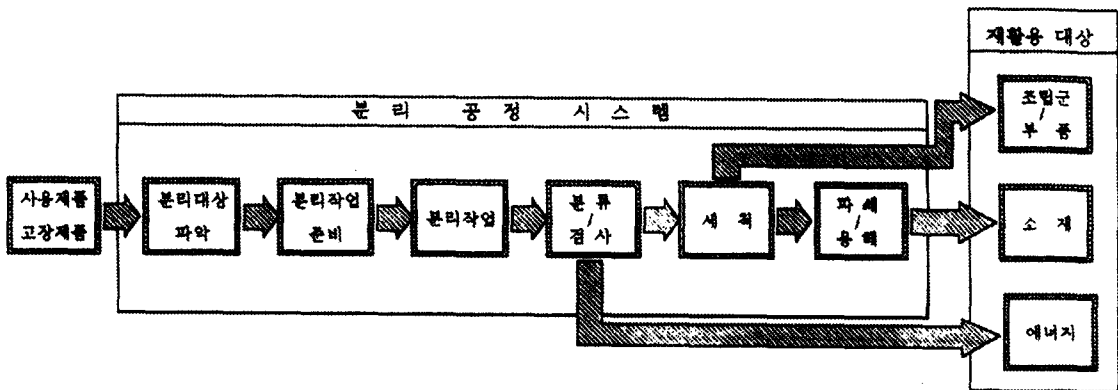


Fig. 6 분리 공정 시스템

분리 대상에 대한 파악을 하고 이렇게 파악된 정보를 가지고 분리 작업에 필요한 도구나 장비 등을 준비하여 분리 작업을 수행하게 된다. 분리 공정이 진행됨으로서 나오는 부품들은 재활용 가치가 있는 부분과 없는 부분으로 나눈 뒤, 효용이 없는 부품이나 소재는 에너지 형태로 재활용되며, 재활용 가치가 있는 부분은 다음 공정의 분류 및 검사 공정을 거쳐 세척을 한 후, 다른 제품의 부품이나 조립군으로 바로 대체되어 사용되거나, 이보다 재활용 가치가 약간 떨어지는 부품이나 소재 등은 파쇄 및 용해 단계를 거쳐 소재로 재활용된다.

분리작업을 수행함에 있어 분리 메카니즘은 분리력을 필요로 하는 분리와 분리력을 필요로 하지 않는 분리로 나눌 수 있다. 예를 들어 볼트와 나사 같은 체결 요소의 분리는 회전력을 필요로 하고, 용매나 용제를 이용한 분리와 부품 자체의 무게로 분리되는 것은 분리력이 필요하지 않는 분리이다.

Fig. 7은 분리 메카니즘의 분류에 따른 정의들을 나타내고 있다. 분리력을 필요로 하는 분리는 크게 기계적인 힘이 필요로 하는 분리와 물리적인 힘이 필요로 하는 분리로 나눌 수 있다. 여기서 기계적인 힘이란, 특정한 도구를 이용하여 도구가 가지는 힘을 이용하는 분리를 말하며, 물리적인 힘은 기구보다는 인간에 의해

행해지는 분리력을 말한다. 분리력을 필요로 하지 않는 분리는 자유 분리와 화학적 분리로 나눈다. 자유 분리는 대상이 무게만으로 분리가 가능한 것으로 가력 탈하, 자유 낙하 등이 이에 속하며, 화학적 분리는 용매와 용제를 통해 분리 대상을 화학적 반응으로 분리해 내는 것을 말한다. 이들 분리 메카니즘에 따른 분리 방법들을 살펴보면 기계적 분리에는 프레스, 절단, 연마, 용접, 역나사, 역스냅 작업 등이 있고, 물리적 분리에는 재깎, 당김, 들어올리는 방법 등이 있다. 그리고 자유 분리에는 자유 낙하와 자력 탈하가 있고, 화학적 분리에는 용제와 용매를 이용한 분리 그리고 전기 분해, 화학 반응 분해 등이 있다.

분리 메카니즘에서 분리력 다음으로 고려되어야 할 사항으로 분리 방향이 있다. 분리 방향은 분리에 사용되는 도구와 부품 및 체결 요소, 보조 요소의 움직임 관계로 정의될 수 있다. 분리 도구의 방향은 분리력을 전달하는 도구의 움직이는 방향을 말하며, 부품 및 체결 요소의 움직임은 도구에 의한 분리력으로 부품이나 체결 요소가 움직여 나가는 방향을 말한다. 또한 분리 대상을 잡아주거나 고정시키는 보조 요소인 고정구의 움직임을 보조요소의 움직임이라고 한다. 이렇게 분리 도구의 움직임과 부품 및 체결 요소의 움직임을 함께 고려한 분리 방향을 살펴보면, 직선으로 한 방향만을 고려한 직선 단방향과 회전이나 자유 곡선을 그리면서 분리되는 곡선 방향, 그리고 직선 단방향을 고려한 양방향 분리와 직선과 곡선 방향이 차례로 발생하는 복합 방향이 존재한다(Fig. 8).

이와 같이, 여러가지 요소들을 종합해 볼 때, 분리 용이성이란 분리 수행체가 분리 대상의 분리 기능을 수행할 때 분리하기 쉬운 정도라고 말할 수 있다. 분리 용이성에 영향을 주는 사항으로는 분리 대상의 구조와 분리 대상이 지니는 체결 요소 및 방법에 대한 정보, 제품을 이루고 있는 소재가 경계성을 지니는 소재인지에 대한 사항과 분리 작업에 필요한 도구와 방향, 시간과 분리력이 어느 정도 필요한가에 대한 분리 기능이다. Fig. 9에서는 분리 용이성에 대한 결정 요소인 제품 구조, 체결 요소, 소재와 분리 기능 등이 나타나 있다. 제품 구조적인 측면에서 분리 용이성을 향상시키기 위해서는 기하학적 형상, 부품의 무게, 치수, 표면 정도를 고려하여 다른 부품들과 독립적으로 분리가 이루어지도록 제품을 설계해야 될 것이며, 체결 요소 측면에서는 체결 요소의 유무와 체결 방법들에 대한 연구를

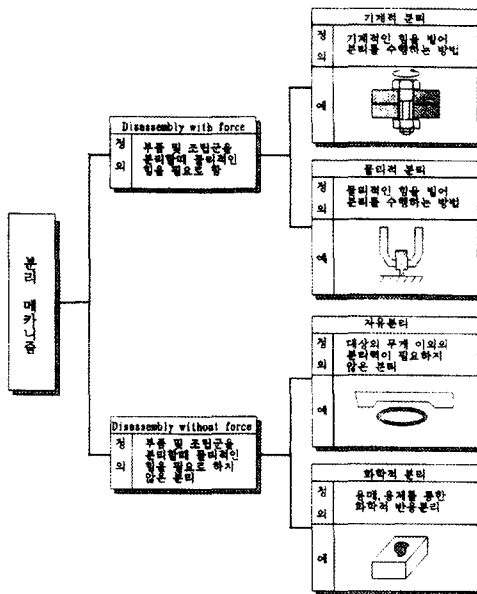


Fig. 7 분리 메카니즘에 따른 분류

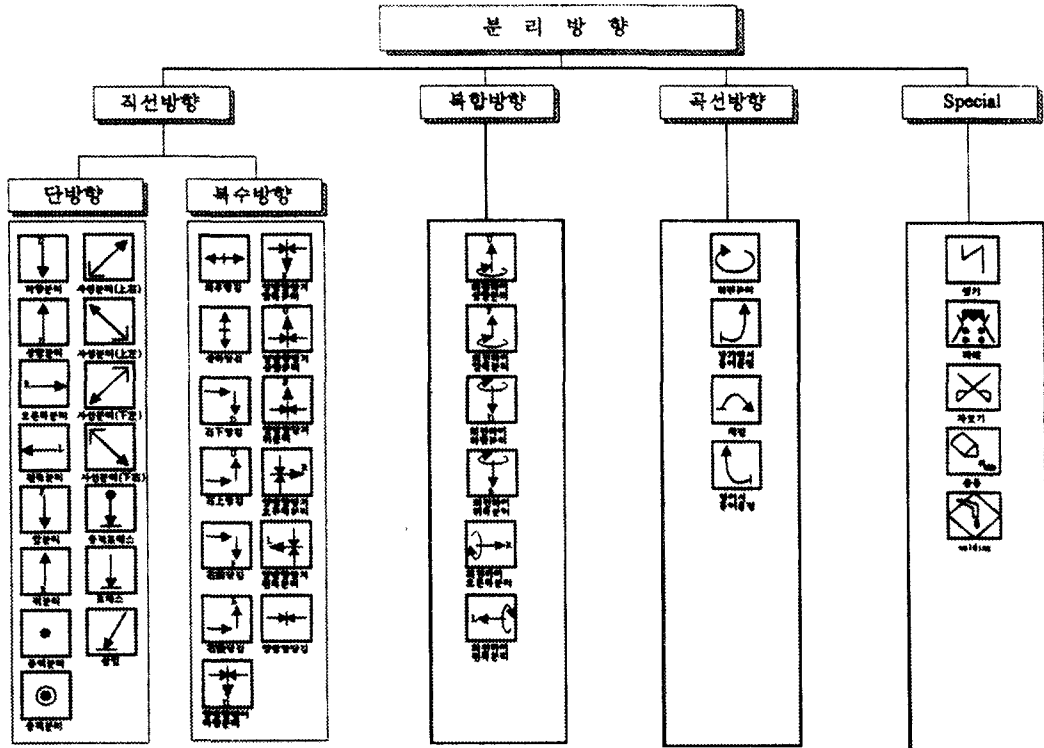


Fig. 8. 분리 방향에 따른 분리 기능의 분류

바탕으로 제품의 기능에 손상이 가지않는 범위 내에서 분리가 쉽게 이루어지는 체결 요소가 사용되도록 설계 되어져야 할 것이다. 또한, 소재적인 측면에서는 재활용이 가능한 소재이고 양립성(Compatibility)이 있는 소재의 사용이 바람직하다. 소재의 양립성이란 여러 종류의 소재들마다 고유의 특성들이 있는데 이들 소재의 특성들간에 유사성이 존재하는 경우 이들 소재들간에는 양립성이 존재한다고 한다. 양립성 있는 소재를 사용함으로써 소재의 종류를 줄일 수 있고, 분리시간을 단축할 수 있을 뿐만 아니라, 나아가서는 분리작업의 효율을 높일 수 있다. 분리기능적인 측면에서는 단순한 분리방향과 간단한 분리도구, 짧은 분리시간, 적은 분리력으로 분리기능이 수행될 수 있도록 하는 제품설계가 요구된다.

4. 분리 용이성 향상을 위한 설계 원칙 구축

앞에서 언급한 분리 용이성에 관한 결정 요소를 실제 분리 작업에 관련되는 기술적 정보와 분리 작업을 지원

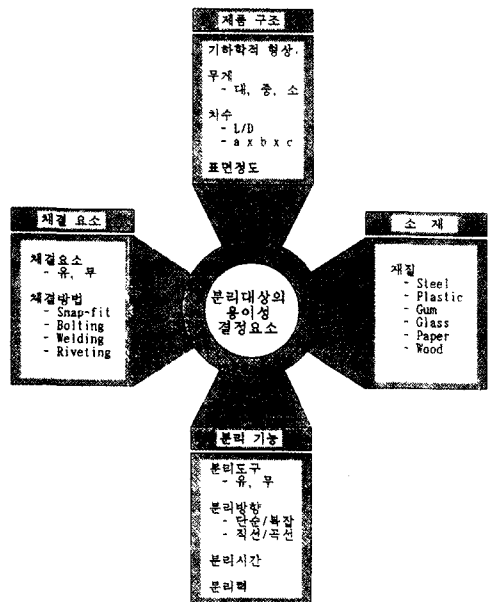


Fig. 9 분리 용이성 결정요소

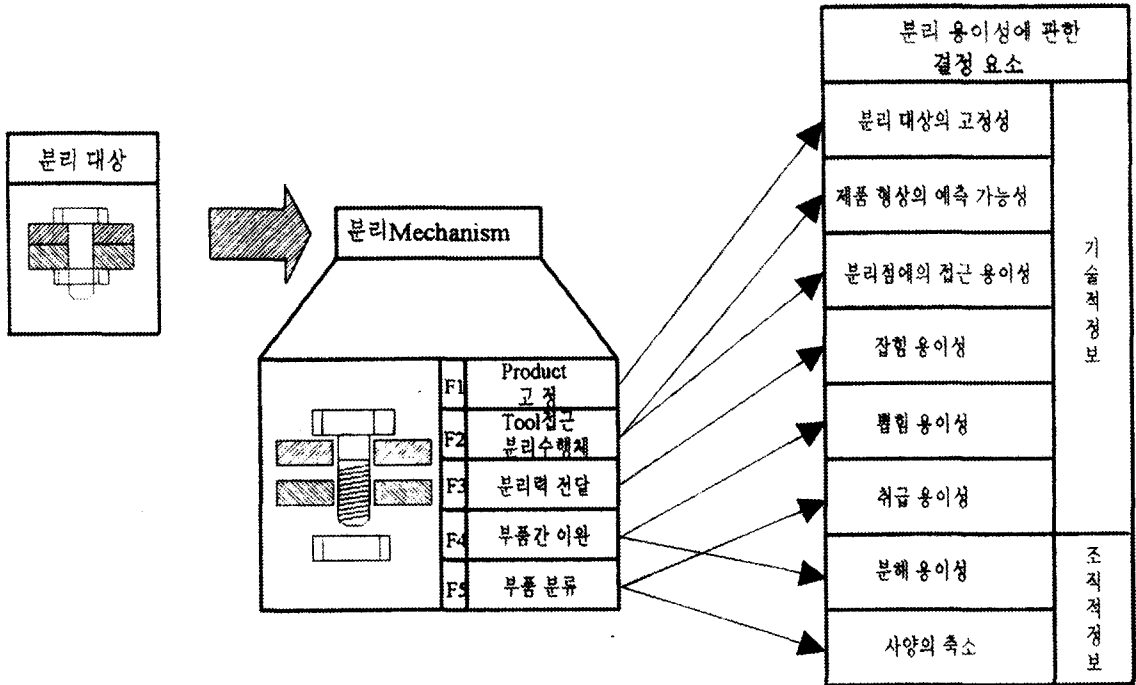


Fig. 10 분리 메카니즘에 따른 분리 용이성 결정 요소의 도출

또는 마무리하는데 관련되는 조직적 정보로 나누었다. 기술적 정보에는 분리 대상의 고정성, 제품 형상의 예측 가능성, 분리점에서의 접근 용이성, 잡힘 용이성, 뿔힘 용이성, 취급 용이성 등이 있으며, 조직적 정보에는 분해 용이성, 사양의 축소 등이 있다. 예를 들어, Fig. 10에서와 같이 볼트로 체결된 분리 대상이 분리 공정 시스템 내로 들어오면 다음과 같은 다섯가지의 기능들이 수행되면서 분리 공정이 이루어진다.

- 분리 대상인 제품을 고정(F1)
- 분리 기능 수행체에 의해 Tool이 분리점에 접근(F2)
- 분리력이 전달되어 Tool의 구동이 발생(F3)
- 부품간에 이완 현상(F4)
- 부품의 분류(F5)

따라서, 분리될 대상으로 부터 분리에 필요한 여러 공정들이 파악되고 난 다음, 각각의 세부 분리 기능을 결정해 주는 결정 요소들에 대하여 고려되어야 한다. 즉, 첫번째 기능을 위해서는 분리 대상의 고정성을 결정해 주는 요소들에 대하여 분석이 이루어져야 한다.

5. 분리용이성 결정요소의 분석

분리용이성을 정의할 때 고려되어야 할 사항들인 제품 구조, 체결 요소, 소재 및 분리기능 등에 대한 분석을 바탕으로 실제 분리작업에 관련되는 정보인 기술적 정보와 분리작업을 지원 또는 마무리하는데 관련되는 정보인 조직적 정보로 나누었다. 기술적인 정보에는 분리 대상의 고정성, 제품 형상의 예측가능성, 분리점에서의 접근용이성, 잡힘용이성, 뿔힘용이성, 취급용이성 등이 있으며, 조직적 정보에는 분해용이성, 사양의 축소 등이 있다. 분리용이성을 정의하면서 끌어낸 분리 공정상의 분리용이성 결정요소와 이에 따른 영향요소를 여덟 가지로 나누었다(Fig. 11)

① 분리대상의 고정성

- 정의 ~ 분리작업을 수행하는데 분리력이 잘 전달 되도록 분리대상이 움직이지 않게 고정함
- 영향요소
 - 무게 ~ 분리대상의 자체 무게가 무거울수록 고정성은 증가

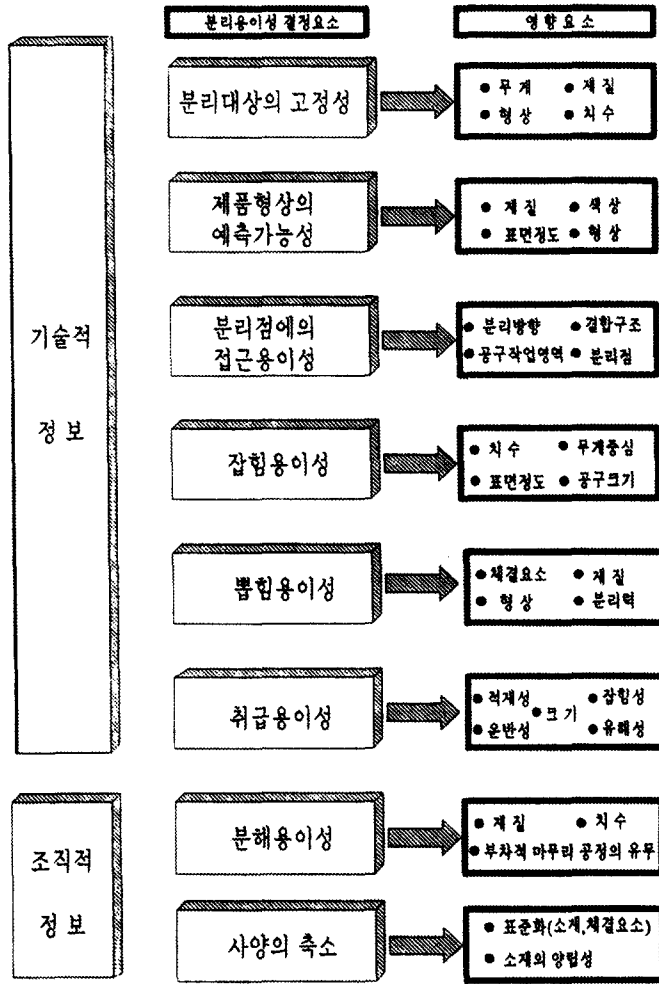


Fig. 11. 분리용이성 결정요소들의 분류

- 재질 ~ 분리대상 소재의 마찰계수는 고정성에 비례
 - 형상 ~ 분리가 수행되기 쉬운 상태로 대상이 놓여지는 형상면이 클수록 좋음
 - 치수 ~ L/D비나 $a \times b \times c$ 비가 안정성이 있으면 고정성 증가
 - 색상 ~ 체결요소나 부품에 색상을 이용하여 인식효율을 증가시킴
 - 형상 ~ 제품을 구성하는 부품형상이 간단하고 예측이 용이한 형상
- ②제품형상의 예측가능성
- 정의 ~ 분리대상의 체결요소와 분리대상을 쉽게 파악할 수 있는 정도
 - 영향요소
 - 재질 ~ 부식이나 오염이 방지되는 소재를 사용함
- ③분리점의 접근용이성
- 정의 ~ 분리대상의 분리점으로 간섭현상 없이 분리도구가 쉽게 접근할 수 있는 정도
 - 영향요소
 - 분리방향 ~ 분리방향이 단순할수록 분리작업의 효율이 높음

- 제품구조 ~ 계층적 구조(Sandwich Structure)를 지향
- Tool 공간 ~ Tool 공간을 충분히 확보하여 Tool의 접근성을 향상시킴
- 분리점 ~ 분리점에 표시를 해두어 도구의 접근성을 향상시킴

④잡힘용이성

- 정의 ~ 분리공정이 진행되면서 나오는 부품들을 잡을 수 있는 용이함의 정도
- 영향요소
 - 치수 ~ 분리도구에 의해 부품이 쉽게 잡힐 수 있는 크기
 - 무게중심 ~ 잡힘점을 무게중심 가까운 곳으로 하여 잡힘용이성을 향상시킴
 - 접촉면적 ~ 분리도구와의 접촉면적을 크게하여 분리대상의 잡힘성을 높임
 - 형상요소 ~ 걸림요소등 형상요소 설정을 통해 잡힘성을 향상시킴

⑤뽑힘용이성

- 정의 ~ 체결요소, 부품, 조립군 등을 분리대상으로부터 뽑아내기 쉬운 정도
- 영향요소
 - 체결요소 ~ 제거하기 용이한 즉, 분리가 쉬운 체결요소 사용
 - 재질 ~ 마찰력이 적은 재질을 사용
 - 형상 ~ 부품형상의 단순화
 - 분리력 ~ 체결요소와 체결방법에 의해 결정

⑥취급용이성

- 정의 ~ 분리된 부품 및 조립군을 처리(재활용, 매립, 소각 등)하기 위해 다루는데 있어 용이한 정도
- 영향요소
 - 적재성 ~ 유사 부품의 겹침성이 좋으므로 해서 취급이 용이해짐
 - 운반성 ~ 분리된 부품을 세척 및 재처리 단계로의 이송은 취급성과 관련됨
 - 유해성 ~ 분리대상이 되는 제품 내에 유해물질이나 위험물질이 있는 경우, 분합하거나 Module 화하면 취급이 용이해짐

- 크기 ~ 지나치게 부피가 크거나 작은 부품은 취급에 어려움이 있음

⑦분해용이성

- 정의 ~ 분리된 부품을 소재 재활용 측면에서 얼마나 쉽게 소재별로 분해할 수 있는 가에 대한 정도
- 영향요소
 - 재질 ~ 소재의 종류가 어떤 것이냐가 분해용이성 결정
 - 부차적 마무리 공정의 여부 ~ 소재의 복합성으로 인한 분해의 어려움을 피함 (자동차 Bumper의 재활용시 도료의 제거에 많은 비용과 시간이 소요)

⑧사양의 축소

- 정의 ~ Variant의 축소를 통해 분리공정의 효율은 증대

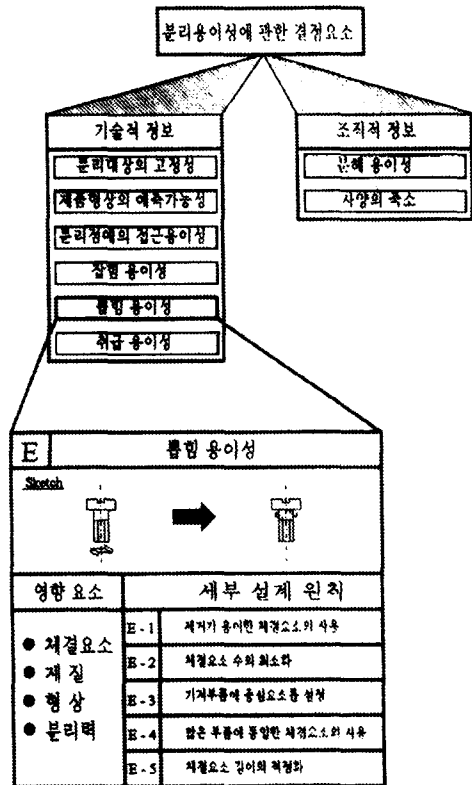
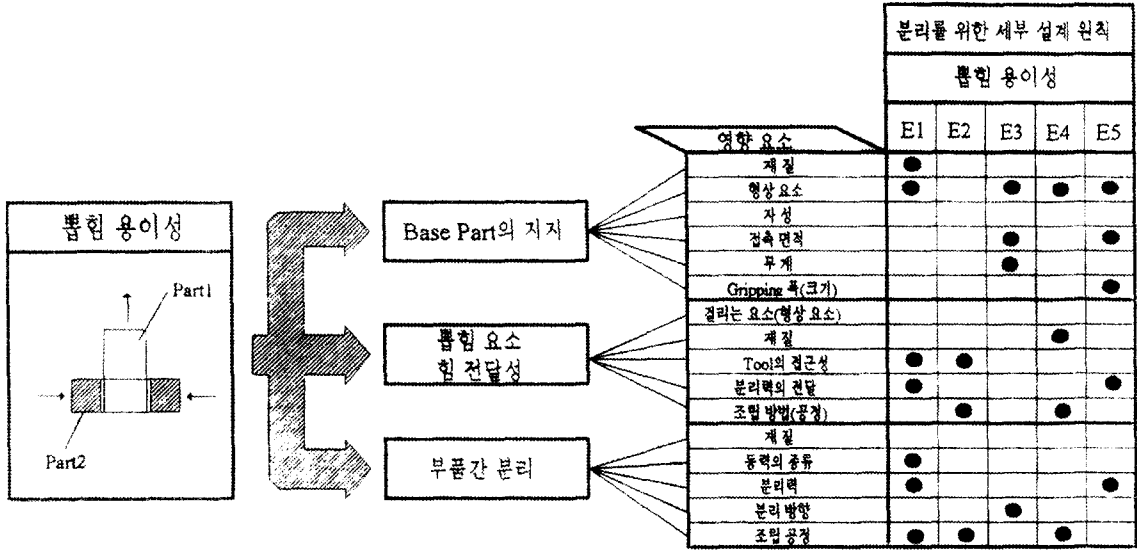


Fig. 12 뽑힘 용이성에 관한 설계 원칙의 예



기호설명 :

- E1 : 제거가 용이한 체결요소의 사용
- E2 : 체결요소 수의 최소화
- E3 : 기저 부품에 중심요소를 설정
- E4 : 많은 부품에 동일한 체결요소의 사용
- E5 : 체결요소 길이의 적정화

Fig. 13. 뿔힘 용이성에 관한 세부 설계 원칙의 도출

• 영향요소

- 표준화 ~ 체결요소 및 부품의 사양을 축소시킴
- 소재의 양립성 ~ 부품에 사용되는 서로 다른 재질들이 소재적 특성이 유사한 경우 소재를 통일시킴으로서 소재의 종류를 줄일 수 있음

분리 용이성에 관한 결정 요소 중의 하나인 뿔힘 용이성에 대해 살펴보면, 제품에 있어서 부품과 부품의 결합할 때 대개의 경우는 체결 요소가 사용되는데, 분리 공정에 있어 체결 요소의 제거가 실질적인 분리 작업의 대상이 된다고 볼 수 있다(Fig. 12). 이 예에서와 같이 나사의 뿔힘 용이성 향상을 위해 나사와 와셔를 일치화하는 경우 분리 시간을 단축시킬 수 있다. 뿔힘 용이성에 대한 영향 요소에는 체결 요소, 재질, 형상, 분리력 등이 있으며, 각 부품에 사용되는 재질은 조립 공정과 분리 공정을 수행할 때도 영향을 미치게 된다. 분리 공정시 큰 분리력이 제공될 경우에는 체결요소의

제거가 용이하게 될 것이나, 반면에 특수 분리 장비의 사용 등으로 인한 추가적인 분리비용이 증가될 수 있으므로, 가능하면 제거가 용이한 체결 요소의 사용이 바람직하다. 예를 들어 스냅 체결의 경우는 비용적인 측면, 메카니즘적인 측면에서 이상적인 경우라 할 수 있다. 아울러 사용되는 체결 요소의 수를 최소화하는 것이 바람직하다.

Fig. 13에서와 같이 두 개의 부품으로 이루어진 분리 대상이 분리 공정 시스템 내에 들어오면 뿔힘 용이성의 향상을 위해 기저 부품의 지지성, 뿔힘 요소 힘의 전달성, 부품간의 분리 등에 대해 고려하게 된다. 기저 부품의 지지성에 관한 영향 요소에는 재질, 형상요소, 가상, 접촉 면적, 무게, Gripping 폭 및 크기 등이 있다. 또한 걸리는 요소(형상 요소), 재질, Tool의 접근성, 분리력의 전달, 조립 방법 등이 뿔힘 요소 및 힘의 전달성에 영향을 미치며, 부품간의 분리에 대한 영향 요소에는 재질, 동력의 종류, 분리력, 분리 방향, 조립 공정 등이 있다. 예를 들어, 뿔힘 용이성에 관

	결정 요소	영향 요소	세부 설계 원칙
기술적 정보	분리 대상의 고정성	• 무게 • 재질 • 형상 • 치수	• 고정구의 사용 • 부품의 저중심 설계 • 표면이 단단한 부품을 사용 • 용입시 바닥에 닿는 면적의 최대화 • Base Part의 설계
	제품 영상의 연속 가동성	• 재질 • 색상 • 표면경도 • 형상	• 부식성이 강한 소재의 사용을 피함 • 부식으로 부터 조립군들을 보호 • 제품사양에 대해 조립군들을 표준화 • 모든 소재에 대해 시각성을 높이고 표준화 • 색채용이성
	분리점에서의 접근 용이성	• 분리방향 • 제품구조 • Tool Space • 분리점	• 체결요소의 시각성 • 분리방향의 단순화 • 각 부품 상호간의 Sandwich구조 • 충분한 Tool Space를 만들 • 분리점을 나타내는 표시를 함
	잡힘 용이성	• 치수 • 무게중심 • 표면경도 • Tool 종류 • 접촉면적	• 부품 크기의 표준화 • 잡힘점을 무게 중심 가까운 곳으로 표준화 • 부품 표면의 Embossing처리 • 공구의 끝부분이 자성을 띄게 함 • 접촉면적의 최대화
	뽑힘 용이성	• 체결요소 • 재질 • 형상 • 분리력	• 제거가 용이한 체결요소의 사용 • 체결요소 수의 최소화 • 기저 부품에 중심요소를 설정 • 많은 부품에 동일한 체결요소의 사용 • 체결요소의 길이의 적정화
	취급 용이성	• 걸침방지요소 • 잡힘요소 • 윤반성 • 유해성 • 크기	• 잡힘요소 설정 • 독성이 있는 물질은 봉합 • 걸침방지요소 설정 • 유사기능을 갖는 부품들의 크기의 표준화 • 윤반용이성
조직적 정보	분해 용이성	• 재질 • 치수 • 부차적 마무리 공정 여부	• 부차적 마무리 공정을 피함 • 절단점을 나타내면 여러 위치에 소재명을 새김 • 분해와 분리작업의 동시성 • 플라스틱 부품에 금속물질의 삽입을 피함 • 주요 체결요소에 표시를 함
	사양의 축소	• 표준화 (소재, 체결 요소) • 소재 양립성	• 부품과 조립군을 표준화 • 체결요소의 종류의 수를 줄임 • 부품들의 통합화 • 양립성 있는 소재의 사용 • 체결방법의 표준화, 단순화

Fig. 14 분리 용이성 향상을 위한 제품 설계 원칙

한 첫번째 설계 원칙(E1)은 결정 요소인 뽑힘 용이성과 영향 요소인 재질, 형상 요소, Tool의 집근성, 분리력의 전달, 동력의 종류, 분리력, 조립 공정 등이 고려되어져서 부품의 제거가 용이한 체결 요소의 사용이라는 첫번째 세부 설계 원칙이 도출되었다.

뽑힘 용이성 이외의 7가지 결정 요소에 관한 세부 설계 원칙들은 뽑힘 용이성의 경우와 유사한 방법으로 유도 되어졌으며, 분리 용이성 향상을 위한 제품 설계 원칙은 Fig. 14 제시되어 있다.

6. 사례 연구

본 연구에서는 자동차 부위 중 도어를 중심으로 연구를 수행하였다. 자동차 도어를 체계적인 정보를 얻기 위해서 분리 대상인 제품에 대한 조립도, 분리 공정 순서도, 분리 공정에 따른 Check List 등을 작성하였다 (Fig. 15). 제품에 대한 조립도에서는 7개의 조립군들로 나누었고, 대략적으로 부품 및 조립군들은 50여 가지로 구성되어 있다. 그리고 분리 공정에 따른 Check List에서는 조립 공정에 대한 정보, 분리 공정에 대한 정보, 공통 기능에 대한 정보 등이 포함되어 있다. 조립 공정에 대한 정보에는 조립군명, 조립 방법, 부품의 갯수 등이 있고, 분리 공정에 대한 정보에는 분리 도구, 분리 방향, 동력 종류, 분리 메카니즘, 분리 시간

등이 있다. 그리고, 공통 기능에 대한 정보에는 재질, 무게, 최대 치수 등이 표시되어 있다. 분리 공정 순서도에서는 분리 순서를 종속적 순서와 독립적 순서로 나눈 뒤 자동차 도어에 대해 분리 작업을 수행한 것을 도시화 하였다. 종속적 순서는 한 부품의 분리를 반드시 앞단계에서 연결된 부품들을 제거하여야만 분리가 가능한 순서이고, 독립적 순서는 다른 부품의 분리 여부에 상관없이, 독립적으로 그 부품을 분리 할 수 있는 분리 순서를 말한다.

분리 공정에 대한 분석 결과, 자동차라는 제품의 특성상 각 소재별 사용 빈도는 철이 약 45%, 합성수지가 약 27.5%정도 사용되어 이들 두 소재들이 전체의 절반을 넘게 나타났다. 그리고, 자동차의 경량화가 세계적 추세인 것에 비춰 볼 때, 합성수지의 사용 빈도는 계속

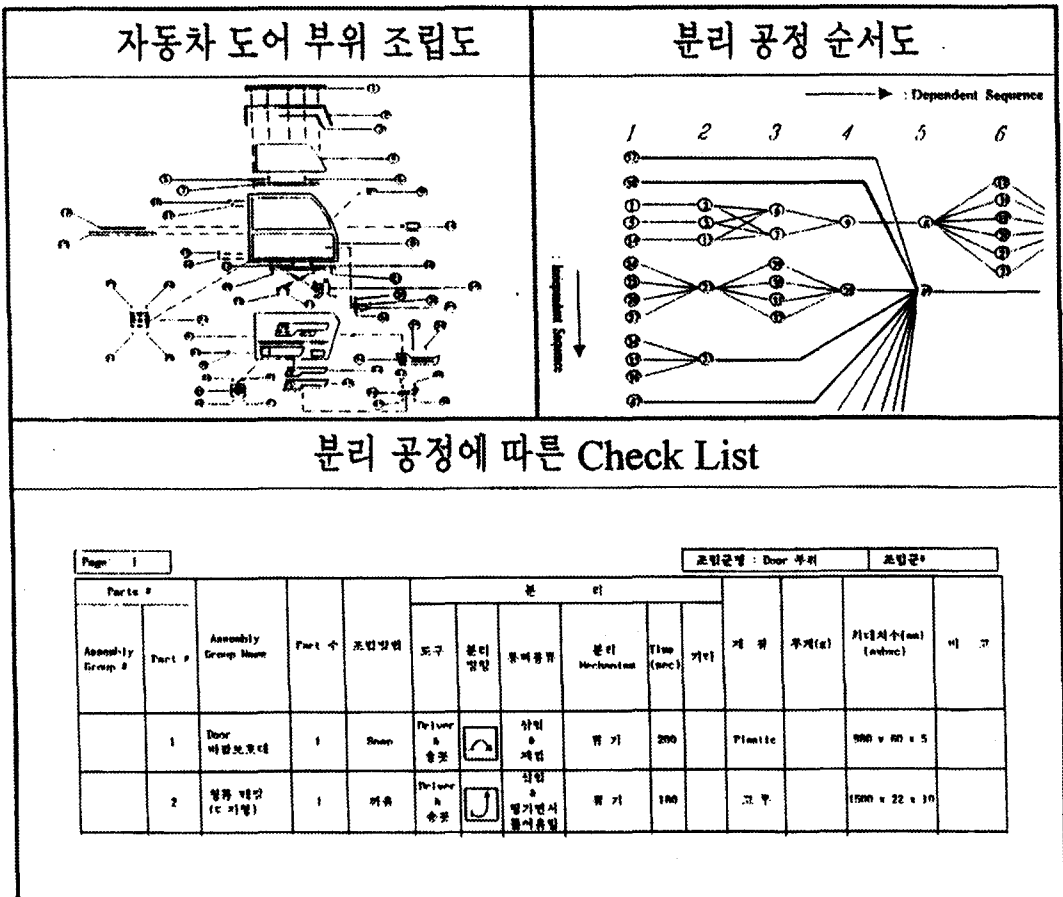


Fig. 15 제품 분리에 따른 공정 분석표

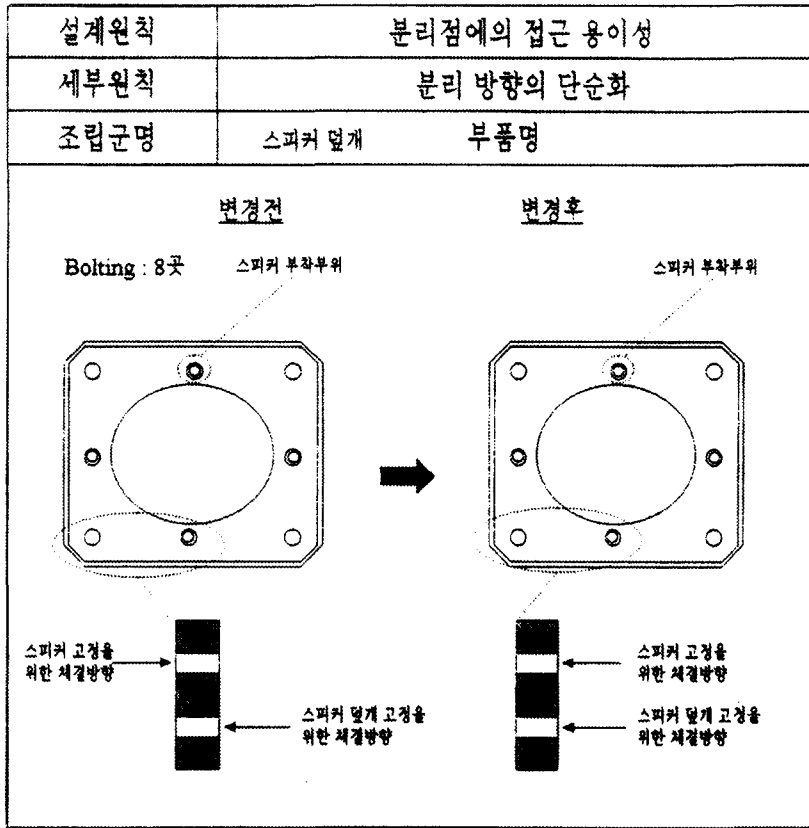


Fig. 16. 분리 용이성 향상을 위한 설계 원칙의 예(일부)

증가할 것이며, 아울러 철 등의 무거운 금속류를 대신 할 대체 물질의 개발이 있을 것이다. 또한, 분리 공정에서의 각 분리 메카니즘별 발생 빈도를 살펴 보면, 역나사 작업, 역스냅 작업, 뽑기 등과 같은 분리 메카니즘의 사용 빈도수가 상대적으로 높게 나타났다. 도어를 7개 조립군으로 나누어 분석해 본 결과, 앞에서 제시되었던 분리 용이성 향상을 위한 제품 설계 원칙을 적용시켜서 Fig. 16과 같이 연구대상 중 스피커 부위를 재설계 하였다. 소재의 재활용시 항상 문제가 되는 경우는 불순물의 제거와 서로 다른 종류의 소재를 재활용의 대상이 되는 소재로부터 제거해 내는 문제이다. 만약, 자동차 도어 부위에서 Steel이 재활용의 대상이 되는 경우, 반드시 나머지 부품들은 분리되어야만 하는데, 재설계의 효과로서, 도구의 접근성이 향상되었으며, 분리 시간을 감소시킬 수 있어, 결과적으로 분리 비용을 절감할 수 있을 것이다.

7. 결론

본 연구에서는 분리 용이성 향상을 위한 제품 설계 원칙들을 도출하기 위해 자동차 도어를 선정하여 분리 작업을 수행한 후, 분리 메카니즘을 정의하였고, 분리 방향에 따른 분리 메카니즘이 분류되어졌다. 이러한 결과를 토대로 하여 분리 용이성을 결정지우는 여덟 가지의 결정 요소들을 이끌어 낸 다음, 이들 결정 요소들에 대한 영향 요소들을 고려하여 각각의 결정 요소들에 대한 분리 용이성 향상을 위한 제품 설계 원칙들을 유도하였다. 향후 연구 과제로서는 분리 용이성 향상을 위한 제품 설계 원칙들을 이용해서 Rule-Based된 전문가 시스템 구축과 아울러, 분리 용이성 평가 시스템의 개발이 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. F. Jovane, L. Alting. "A Key Issue in product life cycle : Disassembly". Annals of CIRP Vol 42/3/1993
2. 자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률시행령 (1993. 6. 24)
3. 자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률 시행 규칙 (1993. 7. 31)
4. Joachim Milberg, Andreas Die terle. "Integration der Demontage in die productgestaltung". Wissenschaft und Techik. 1993
5. Walter Eversheim, Michael Hartmann und Markus Linnhoff. "Zukunftsperspektive Demontage". VDI-Z 134(1992). Nr.6-juni
6. Hideo, Yoshinori, Naotake. "Ecofactory-Concept and R&D Themes". Mechanical Engineering Laboratory-September. 1992
7. Rogelio A. maduro, Bob Holzknicht. "The \$5 TRILLION MISTAKE". Machine Design January 24. 1994