

본 연구는 1995년도 교육부 학술연구조성비(기계공학: ME95-E-04)에 의하여 연구되었음

자동차 부품의 조립용이성과 분리용이성

목 학 수*

Assemblability and Disassemblability of Mechanical Parts in Automobile

Hak-Soo Mok*

ABSTRACT

In this paper, systematic approach is studied about assemblability and disassemblability of parts in order to reduce the assembly cost, and to disassemble products easily which is possible to recycle the parts. For this purpose, we selected one subassembly, and analysed assembly and disassembly process. From this result, we found the weakpoints of assembly and disassembly process, and then, the influencing parameters of assemblability and disassemblability are defined. On the basis of the analysis of these parameters we grasped the interrelation between assemblability and disassemblability. And, guidelines for assemblability and disassemblability are developed. Finally design alternatives are evaluated quantitatively in the aspects of assembly and disassembly by using the guidelines which developed in this research.

Key Words: Assemblability(조립용이성), Disassemblability(분리용이성)

1. 서 론

오늘날 자동차와 가전 제품 등의 제품은 가공품을 결합해서 최종 제품을 만들어내는 생산의 마지막 공정 단계로서 상대적으로 매우 높은 노동 집약적인 작업인 조립 공정을 대규모로 요구하는 제품이다. 자동차의 경우 국내외적으로 가격경쟁이 매우 치열하며, 조립 라인의 자동화 요구가 확대되고, 조립 라인의 생산성 향상이 필요하다.

한편, 세계 각국은 Green Round등의 여파로 환경문

제에 대한 관심이 고조되어 가고 있고, 폐기된 제품의 재활용이 사회적인 관심 사항이 되고 있으며, 원자재와 에너지 절감의 필요성을 느끼고 있고, 사용자가 유지, 보수하기 쉬운 제품을 사용하기를 요구하고 있다.

이런 현실에서 자동차 제품의 가격 경쟁력을 확보하고, 자동화 가능성을 향상시키며, 조립 생산성을 향상시키기 위한 한 가지 시도로 조립 용이성이 높은 제품으로 설계되어야 할 것이다. 한편, 폐기된 제품을 재활용하고, 원자재 등의 에너지를 절감하며, 사용자가 유지, 보수하기 쉬

* 부산대학교 산업공학과

또는 기계적 성질을 고려한 구조적 측면의 영향요소와, 다른 부품과의 체결 중의 상태 또는 조립군을 형성했을 때를 고려한 조직적 측면의 영향요소로 분류한다. 그리고, 공정 영향요소는 공정을 체결 및 해체 등 주기능 작업이 일어나는 순간을 '공정 중'이라 할 때, 이전 상태를 '공정 전', 이후 상태를 '공정 후'로 나누어 영향요소들을 파악하였다.

공정 중 영향요소는 공정 안에서 체결 및 해체 기능을 수행 할 때 조립 및 분리시스템에 영향을 줄 수 있는 여러 요소들을 영향요소로 뽑아낸 것을 말하며, 공정 전, 공정 후 영향요소는 체결 및 해체기능 등 주기능을 보조하기 위해 필요한 운반, 취급, 수거, 세척 등 여러 부기능을 수행할 때 발생할 수 있는 여러 영향들을 영향요소로 도출한 것을 말한다. 이에 따라 조립시스템의 부품 영향요소 중 구조적 측면의 영향요소에는 형상, 소재, 크기, 공차, 정밀도 등이 있으며, 조직적 측면의 영향요소에는 부품 수, 표준화 여부, Variant, 제품구조 등이 있다. 공정 영향요소 중 공정 전 영향요소에는 공정 위험도, 자동화 정도, 조립순서 등이 있고, 공정 중 영향요소에는 작업영역, 조립방향, 체결력, 부품들간의 간섭 등이 있다. 그리고, 분리시스템의 부품 영향요소 중 구조적 측면의 영향요소는 형상, 크기, 무게, 공차, 노화, 청결도, 잠힘점, Coating 등이 있고, 조직적 측면의 영향요소는 표준화 여부, Variant, 제품구조, 소재 수, 부품 수 등이 있다. 이에 덧붙여, 공정 영향요소 중 공정 전 영향요소는 분리정보, 분리순서, 접촉상태, 공정위험도 등이 있고, 공정 중 영향요소는 분리방향, 작업영역, 분리력, 부품간 간섭, 분리 방법 등이 있으며, 공정 후 영향요소에는 부차적 마무리 공정이 있다.

부품 영향요소 중 잠힘점, 모따기 등은 조립에만 영향을 미치는 요소이고, 형상, 소재, 무게 등은 조립과 분리에 동시에 영향을 미치며, 노화, 청결도, 수거성 등은 분리에만 영향을 미치는 영향요소이다. 공정 영향요소 중 조립 방향, 조립 순서 등은 조립에만 영향을 미치는 영향요소이고, 작업영역, 체결력, 고정구 등은 조립과 분리에 동시에 영향을 미치는 영향요소이며, 분리방향, 분리순서 등은 분리에만 영향을 미치는 영향요소이다. 이들 영향요소들을 기준으로 2.2절에서 조립과 분리의 상관관계를 규명하였다.

2.2 조립 및 분리의 상관관계

2.1절에서 조립 및 분리시스템의 영향요소들을 기초로

해서 조립 및 분리의 상관관계를 파악하기 위해서 대상측면과 공정측면을 함께 고려하여야 한다.

이들 영향요소들'기준으로 대상 또는 공정 자체적으로 영향요소간의 상관관계와 조립 및 분리 대상간의 상관관계, 조립 및 분리 공정간의 상관관계 그리고 대상과 공정간의 상관관계를 조사하였다.

Fig. 2 는 조립시스템과 분리시스템의 구성요소들의 관계를 나타내고 있다. I 은 조립 대상들간에 영향을 미치는 요소들의 상관관계, II 는 분리대상들간에 영향을 미치는 요소들의 상관관계, III 은 조립 공정에 영향을 미치는 요소들의 상관관계이며, IV 는 분리 공정에 영향을 미치는 요소들의 상관관계, V 는 조립 대상과 조립공정의 영향요소들의 상관관계, VI 은 조립 공정과 분리공정의 상관관계, VII 은 분리 대상과 분리공정의 상관관계, VIII 은 조립 대상과 분리 대상의 상관관계를 나타낸다. 한 예로서 조립 대상의 영향요소간의 상관관계는 조립 대상이 갖는 여러 구성 요소들 간에 미치는 영향의 크기로 파악될 수 있다. 이 그림 속에서 예를 들어 제시되어 있듯이 부품의 형상은 부품이 작업장에 놓여 있는 접촉상태에 많은 영향을 준다. 이를 더 세분화하여 분석하면, 여러 종류의 형상들은 여러 종류의 접촉 상태로 놓여 질 수 있다. 이렇게 얻어진 요소간 상관관계는 4장의 설계원칙의 적합성 평가의 과정에서 사용된다.

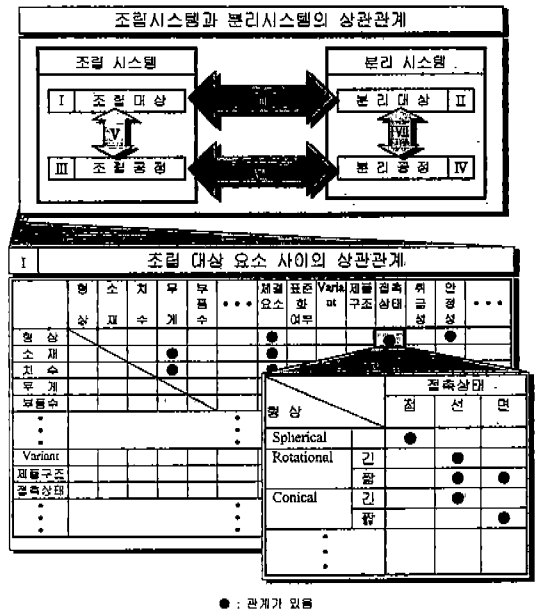


Fig.2 조립 시스템과 분리시스템의 상관관계

3. 조립용이성 및 분리용이성

3.1 조립용이성과 분리용이성의 정의와 그 결정요소

조립용이성이란 조립 수행체(작업자, 기계)가 부품의 조립기능을 수행할 때 조립하기 쉬운 정도이고, 분리용이성은 분리수행체(분리작업자, 기계)가 조립군 또는 제품의 분리기능을 수행할 때 분리하기 쉬운 정도로 정의된다.

본 연구에서는 조립 공정을 수행 순서 및 시점을 운반, 정렬, 검사와 같은 조립의 부기능을 수행하는 조립공정 전과 취급, 접근, 삽입, 체결등 조립의 주기능을 수행하는 조립공정 중으로 나누어 조립공정의 특성을 파악하였다.

그리고, 분리의 경우도 역시 분리대상의 고정, 체결점 파악 등 분리공정 전에 수행하는 부기능과 분리점 접근, 해체, 취급 등 분리공정 중에 수행하는 분리의 주기능, 수거, 세척, 분해 등 분리공정 후에 수행하는 부기능으로 나누어 분리공정의 특성을 파악하였다.

정 후에는 수거, 세척, 등의 특성들이 분리용이성을 결정할 것이다.

분리용이성의 결정요소에는 조립용이성과는 달리 분리 공정 후의 영향요소들이 포함되어 있다. 이는 분리공정은 조립공정과 달리 해체 후 재활용을 위한 분리된 제품의 수거, 세척이라는 후 공정을 거치기 때문이다.

3.2 조립 및 분리용이성 결정요소에 대한 영향요소의 도출

조립용이성과 분리용이성에 영향을 주는 조립공정과 분리공정의 영향요소를 도출하기 위해 Fig. 4 에서는 조립 및 분리시스템과 조립 및 분리용이성과의 관계표로서 조립 및 분리시스템을 대상, 수행체, 기능으로 분류한 후, 대상, 수행체, 기능측면에서 조립 및 분리시스템의 영향요소별로 조립용이성과 분리용이성을 결정하는 요소에 대하여 영향의 크기를 파악하였다.

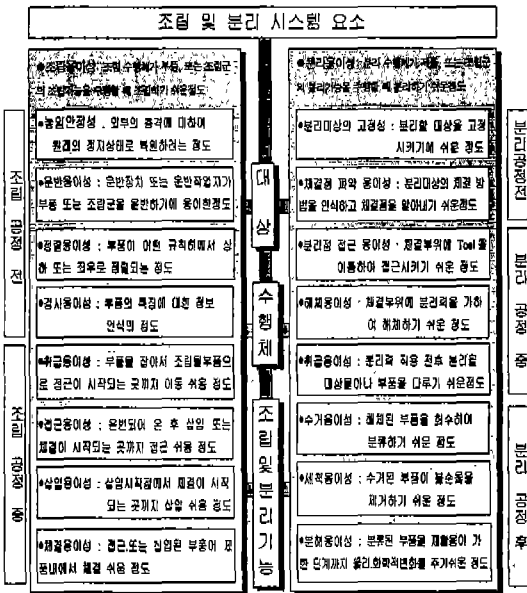


Fig.3 조립 및 분리용이성의 결정요소

Fig. 3 에서는 조립용이성의 결정요소와 분리용이성을 결정하는 요소들에 대한 정의가 제시되어 있다.⁽²³⁾⁽²⁴⁾

한편 분리용이성의 결정요소는 분리공정 전에 대상 고정, 체결점 파악과 분리공정 중에는 분리 도구들의 접근, 해체작업이 분리용이성을 결정할 것이다. 그리고, 분리공

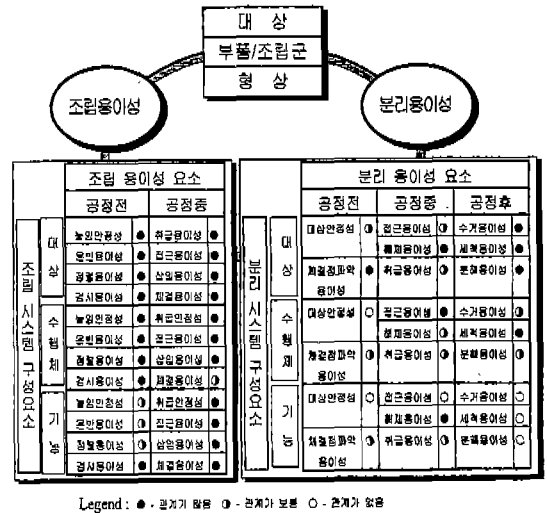


Fig. 4 조립 및 분리 시스템 영향 요소와 조립 및 분리 용이성과의 관계표(예)

구체적으로 살펴 보면, 조립 및 분리시스템 구성 요소를 대상, 수행체, 기능 측면으로 나누고, 조립 및 분리용이성 결정요소를 공정 전, 공정 중, 공정 후로 분류하여 2장에서 도출되어진 조립 및 분리시스템에 영향을 주는 요소들을 기초로 이들의 관계를 파악하고자 한다. 부품의 특징요소의 하나인 '형상'측면에서 조립 및 분리용이성 결정요소들과의 관계를 조립 및 분리시스템의 구성요소인 대상 측면에서, 수행체 측면에서, 기능 측면으로 나누

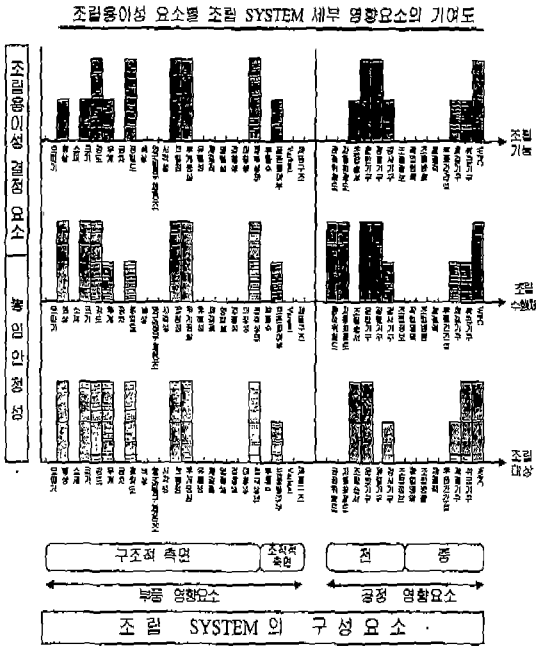


Fig. 5 조립 및 분리용이성 결정요소별 조립 및 분리시스템 영향요소의 도출

어 각각에 대해 '형상'이라는 시스템 영향요소가 각 조립 및 분리의 세부용이성 요소에 미치는 영향의 크기를 나타내었다. 즉 대상의 형상은 조립용이성 결정요소에는 많은 영향을 미치지만, 분리용이성에는 대상의 안정성, 취급용이성 및 작업점으로서의 접근용이성 등에 많은 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

이와 같이 얻어진 자료로 Fig. 5 와 같이 조립 및 분리용이성 결정요소별 조립 및 분리시스템 영향요소의 도출 그림을 작성하여 각 용이성 요소별 영향요소를 뽑아내었다. 각 조립 및 분리용이성 결정요소별 조립 및 분리시스템 영향요소를 부품 및 공정 요소로 분류하고 다시 부품 영향요소를 구조적 및 조직적 측면으로 분류하고, 공정 영향요소를 공정 전, 공정 중, 공정 후로 분류하여 일직선 상에 나열한 후, 조립 및 분리시스템 구성요소인 대상, 수행체, 기능 측면에서 조립용이성 및 분리용이성 결정요소별 영향의 크기를 나타내었다. Fig. 5 에서 긴 막대는 Fig. 4 에서 보여진 ●로 표시되었던 것으로 영향의 크기가 큰 요소임을 나타내고, 짧은 막대는 ○로 표시되었던 곳이며, 막대가 없는곳은 ○로 표시되었던 곳이다.

예를 들어 조립 용이성 결정요소의 하나인 농입안정성에 대한 조립시스템 영향요소의 영향의 크기는 작은 막대의 크기를 1로 봤을 때, 조립 대상, 조립 수행체, 조립 기능 측면으로 각 시스템 영향요소의 해당 용이성 결정요소와의 관계인 막대의 합이 5이상이면 영향이 있는 것으로 간주하여 형상, 크기, 강도, 정밀도, 잡힘점, 무게중심, 접촉상태, 운반기구, 정렬기구, Work Piece Carrier(WPC)가 농입안정성에 영향을 주는 요소로 도출되었다. 이 같은 방법으로 여러 다른 조립용이성을 결정해 주는 요소들에 대해서도 영향요소들이 도출될 수 있었다.

이 영향요소들은 3.3절에 제시 될 조립 및 분리시스템 영향요소별 조립 및 분리용이성의 정량화 과정에서 쓰이게 된다.

3.3 조립 및 분리 시스템 영향요소 세부기준별 조립용이성 및 분리용이성 결정요소의 관계

Fig. 6 은 조립 및 분리시스템 영향요소의 세부기준별 조립 및 분리용이성의 크기를 정량화 하기위한 표로서 조립 및 분리시스템 영향요소의 하나인 '형상'을 12가지로 분류한 후⁽²⁵⁾, 각각에 대해 조립 및 분리용이성의 크기를 산정하였다. 앞의 3.2절에서 도출된 각 조립 및 분리용이성 결정요소별 영향요소가 해당 시스템 영향요소의 형상에 따라 좋은 영향을 미치면 +1을 부여하고 나쁜 영향을 미치면 -1을 부여하여 그 합을 해당 칸에 적어 넣었다.

예를 들어 농입안정성에 영향을 미치는 요소는 형상, 크기, 강도, 정밀도, 무게중심, 잡힘점, 접촉상태, 운반기

조립 및 분리 시스템	조립 용이성 결정 요소		분리 용이성 결정 요소		합계	합계
	농입 용이성	수거	분리대상 안정성	취급용이성		
Interlocking parts	-	-6	-	-	-4	-10
Flat parts	+2	+12	+2	-	+2	+14
Spherical parts	+2	+3	-2	-	-5	-2
Hexdial parts	-2	-11	-2	-	-3	-14
Circular parts	-2	-9	-1	-	-1	-10
Pyramidal parts	+2	+6	+1	-	+4	+10

Fig. 6 조립 및 분리시스템 영향요소의 세부기준별 조립 및 분리용이성의 정량화

구, Work Piece Carrier인데 형상측면에서는 무게중심, 잡힘점, 접촉상태 등이 많은 영향을 주고 있다. 이들 요소를 Headed Part에 적용하면 무게중심에는 나쁜 영향을 가지고 있고 잡힘점에도 나쁜 영향, 접촉상태에도 나쁜 영향을 미쳐서, 결국 형상 측면에서는 Headed Part에 대해 놓임안정성의 점수가 -3이 된다. 이런 과정을 운반용이성, 정렬용이성 등 조립용이성 측면과 대상의 안정성, 체결점 파악성등 분리용이성 측면을 고려하여 각 결정요소별로 시스템 영향요소들의 세부기준별 용이성의 크기가 정량적으로 산출된다.

4. 조립공정 및 분리공정의 취약점 분석

4.1 제품 분석과 취약점 분석

조립 및 분리시스템의 구성요소는 앞서 말한 바와 같이 대상, 수행체, 기능으로 크게 분류될 수 있다. 이런 요소들은 서로 밀접한 상호관계를 가지고 있으며, 어느 하나의 시스템 영향요소가 시스템에 적합하지 않을 때, 이 영향요소는 그 시스템에 있어서 취약점이 된다.

조립 및 분리시스템의 취약점 분석은 우선적으로 제품의 기능 분석, 구조 분석, 체결 방법 등에 대한 분석이 이루어져야 한다.

파악된 조립 취약점과 분리 취약점을 기본 자료로 이들 각각을 개선하기 위한 설계 원칙들이 제시되고, 조립 취약점과 분리 취약점들 간의 상관 관계를 고려한 뒤, 조립측면과 분리측면을 모두 고려한 설계 원칙이 도출된다. 조립 취약점과 분리 취약점 개선을 위해서 제시되는 설계 원칙들은 조립 및 분리시스템 영향요소를 기준으로 작성 되었다.

제품 분석은 Fig. 7 에서와 같이 크게 기능분석, 구조

분석, 체결방법의 분석 등으로 분류할 수 있다. 부품 리스트를 통해 사용된 소재, 치수, 무게 등 부품 자체에 관한 정보를 알아낼 수 있으며, 조립 및 분리공정 서술표를 통해 체결방법, 분리방법, 조립 및 분리방향, 조립 및 분리작업에 사용되는 공구 등을 파악할 수 있다. 또한 조립 및 분리공정 흐름도를 통해 조립순서와 분리순서를 알 수 있다. 그리고 조립 및 분리 체크리스트를 통해 조립방법과 분리방법을 비교하고 이들 공정의 애로점을 파악할 수 있다.

4.2 취약점 파악을 위한 질문과 이에 따른 설계원칙표

2장에서 조사된 조립 및 분리시스템에 영향을 미치는 요소를 기준으로 취약점 파악을 위한 질문표를 작성할 수 있으며, 그 예로서 부품의 놓임안정성을 파악하기 위한 표가 Fig. 8 의 윗부분과 같다. 이 질문표에서 취약점 파악을 위한 질문에의 대답이 '예(Yes)' 라면 그에 해당하는 조립 및 분리시스템 영향요소의 취약점이 존재하지 않는 것이고, '아니오(No)' 이라면 그에 해당하는 조립 및 분리 시스템 영향요소에 취약점이 존재하는 것이다. 조립

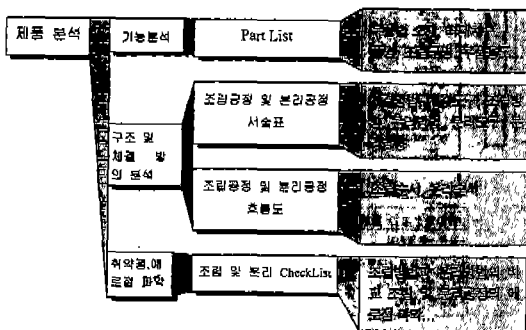


Fig.7 제품 분석의 도출 자료

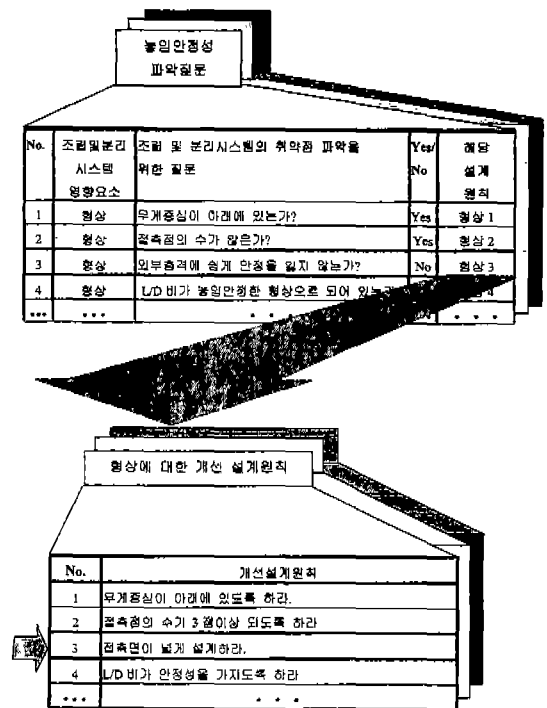


Fig. 8 취약점 파악 질문별 개선 설계 원칙

용이성 결정요소의 하나인 놓임안정성을 파악하기 위한 질문으로 3.2절에서 파악된 바와 같이 놓임안정성에 영향을 주는 요소들인 형상, 정밀도, 조립수행체 등으로 취약점 파악을 위한 질문을 작성하였다. 그리고 질문에 대한 취약점 존재 여부를 'Yes혹은No'로 기입함으로써 판별하고, 취약점이 존재할 경우 이를 제거하기 위한 설계 원칙의 번호를 기입하였다. 취약점 파악 질문표를 해당 제품에 적용하여 취약점 파악 질문에의 대답이 'No'로 답해진다면 병기된 해당 설계원칙으로 가서 조립 및 분리시스템 영향요소별로 설계 원칙 중에서 이에 해당하는 개선 설계 원칙을 적용한다.

개선 설계 원칙은 해당 시스템 영향요소를 기초로 작성되었고, 발생된 해당 취약점을 제거하는 형태로 되어 있으며, 따라서 취약점 파악 질문과 개선 설계 원칙의 각각은 대응되어 작성되었다. 예를 들어 부품, 조립군 또는 제품의 놓임안정성에 대한 취약점 파악 결과 3번 질문의 '외부충격에 쉽게 안정을 잃지 않는가?' 라는 질문에 대하여 No로 답하여 취약점이 존재한다고 판명되었으면, 이 질문에 대응하는 '형상 3' 설계원칙인 '접촉면을 넓게 설계하라' 는 설계원칙을 제시하여 해당 조립 시스템의 취약점을 제거하게 된다.

5. 시스템 영향요소의 상관관계를 고려한 개선 설계원칙의 적합성 평가

'조립 및 분리 시스템 취약점 파악을 위한 질문'에 의해 '아니오'로 답하여 취약점이 있는 것으로 판명된 해당 '조립 및 분리시스템 영향요소'에서 설계자가 특정 시스템을 관찰하여 '개선이 가능한 취약점'인 경우, '조립 및 분리 시스템 취약점에 따른 개선 설계원칙'을 제시한다.

개선 설계 원칙을 제시할 때 이 원칙에 해당하는 조립

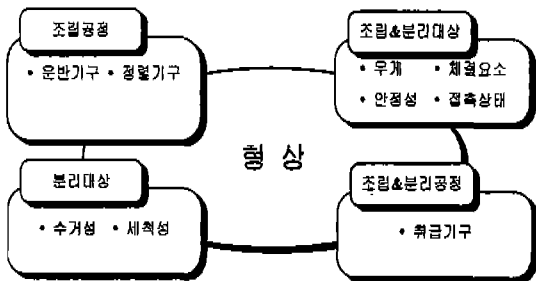


Fig. 9 조립/분리 시스템 영향요소의 상관관계 예

및 분리 시스템 요소와 상관관계를 가지는 요소를 '조립 및 분리 시스템 영향요소'의 상관관계로 부터 도출하여 개선 설계 원칙의 적용 시 관련 시스템 요소의 영향 유무를 파악한다.

여기서, 취약점이 발생한 요소를 '취약요소', 취약점 발생요소 (취약요소)와 상관관계를 가지는 요소를 '관련요소'로 정의하였으며 취약요소 및 관련요소를 구성하는 세부 영향요소를 '세부요소'라고 하였다 (예, 취약요소 : 형상, 취약요소의 세부요소 : Spherical, Flat, Rotational part). 취약하다고 판단된 대상에 대해서 개선 설계원칙에 따른 취약요소와 관련요소와의 관계는, 기술적, 경제적 여러 조건으로 개선 방안의 실현이 불가능한 경우, 관계 있는 관련요소가 없어 취약요소의 세부요소만 개선되는 경우, 각각의 세부요소를 그대로 유지하면서 취약 세부요소만 개선하는 경우, 취약 세부요소의 개선에 따라 상관관계가 있는 관련 세부요소들의 상충발생으로 인해 조립 및 분리용이성이 증가 또는 감소하는 경우로 나누어 질 수 있다.

개선 설계 원칙에 따른 조립 및 분리 영향요소들의 상관관계를 고려한 조립 및 분리 용이성의 점수 산정 절차

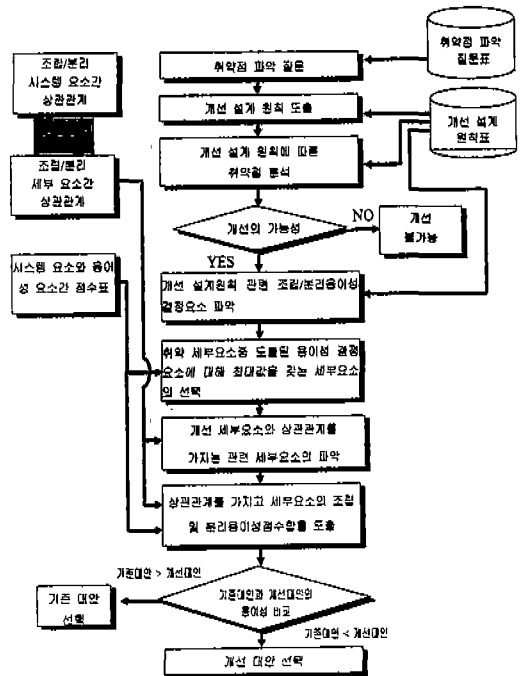


Fig.10 조립 및 분리용이성 점수 산정 절차

는 Fig.10 과 같다.

우선, 조립 및 분리 시스템 요소간의 상관관계표(Fig. 2참조)에 의해 각 시스템 영향요소간의 상관관계가 결정된다. 이렇게 결정되어진 시스템 요소들의 세부요소들에 대한 결정은 조립 및 분리 시스템 세부요소들간의 상관관계표에 의해 이루어진다. 그러나 제시된 개선 설계원칙에 따른 취약 요소의 변경이 가능하다는 판단이 되면, 제시된 설계원칙과 관련되어 있는 조립 및 분리용이성 결정요소를 파악하고 (각 설계원칙에는 이 설계원칙과 관련된 용이성 결정요소가 해당되어 있음), 취약요소의 세부요소들 중, 위에서 도출된 용이성 결정요소에 대해 최대값을 갖는 세부요소를 선택한다. 여기서 선택된 세부요소가 기존 대안에서 발생한 취약점을 제거해 주기 위한 취약 세부요소에서 변경된 개선 세부요소가 된다. 위에서 결정된 개선 세부요소와 상관관계를 가지는 관련 세부요소들에 대한 파악을 하게 되며, 개선 세부요소와 상관관계가 있는 각각의 세부요소들을 설계원칙에 대한 개선 대안으로 결정한다. 또한 개선 세부요소와 관련 세부요소들의 조립 및 분리용이성 점수의 합으로 개선 대안의 조립 및 분리용이성 점수를 도출한다.

그리하여 개선 대안에 대한 조립 및 분리 용이성 점수와 기존 설계 대안에서의 용이성 점수의 차이를 제시된 설계원칙의 적합성, 효용성 정도라고 하였다.

예를 들어, 기존의 대안에 대한 질문표(Fig. 8)에서 형상에 취약점이 있으면, 형상이 취약요소가 되며, 상관관계표에 의해 형상과 관계를 가지는 안정성, 취급기구등이

				용이성 점수	
기존 대안	형상	Conical long (-1, -1)	운반기구	수동 비정렬(+1, +)	-7
	종속성인	선입력 (-1, 0)	종결기구	비정렬 (+2, +)	
	무게	9kg 이하 (+6, +6)	취급기구	$\alpha = 360^\circ \beta = 0^\circ (-1, -1)$	
	안정성	한쪽방향에 변동 (-3, -3)	수거성	bad (*, -2)	
	체결요소	올잡음 (-3, -3)	세척성	good (*, +2)	
개선 대안	형상	Pyramidal (+2, +3)	운반기구	수동 비정렬 (-1, +)	16
	종속성인	안정축 (1 1)	종결기구	비정렬 (+2, +)	
	무게	9kg 이하 (+6, +6)	취급기구	$\alpha = 360^\circ \beta = 90^\circ (-2, -2)$	
	안정성	한방향에 변동양용 (+3, +3)	수거성	bad (*, -2)	
	체결요소	올잡음 (-3, -3)	세척성	good (*, +2)	

기호설명 () : 분리용이성 점수. * : 상관관계표에 α : α symmetry β : β symmetry /
 → : 조립용이성 점수

Fig.11 기존대안과 개선방법에 의한 대안 및 용이성 점수

관련요소(Fig. 9)가 된다.

만약 기존 대안이 Conical long part인 형상이라고 하면, 이로 인해 접촉상태는 선접촉, 취급기구는 $\alpha=360^\circ$, $\beta=0^\circ$ (9), 안정성은 한쪽방향의 힘에 대해 접촉면이 바뀌고, 수거성은 bad가 되며, 무게는 9kg이하(9), 체결요소는 용접, 운반기구는 수동 비정렬 상태이며, 정렬기구는 비정렬, 세척성은 good인 경우라고 가정하면, Fig.11 과 같이 각 취약요소와 관련요소들에 대한 조립 및 분리용이성 점수는 Fig. 12 와 같은 형태의 조립 및 분리시스템 영향요소의 세부요소별, 조립 및 분리용이성 결정요소와의 관계에 따른 점수표에 의해 구해진다.

기존의 용이성 점수는 조립 및 분리에서의 형상 (조립:-1, 분리:-4), 접촉상태 (조립:-1, 분리:0), 무게 (조립:+6, 분리:+6), 안정성 (조립:-3, 분리:-3), 체결요소 (조립:-3, 분리:-3), 취급기구 (조립:-1, 분리:-1)에 해당하는 점수의 합과 조립에서의 운반기구 (-1), 정렬기구 (+2)에 해당하는 점수와 분리에서의 수거성 (*, -2), 세척성 (*, +2)에 해당하는 점수의 합계로 나타낸다. 각각의 조립 및 분리 시스템 영향요소들에 대한 용이성 점수는 Fig.12 와 같은 형태로 결정하였다.

개선 대안은, 취약점 파악 질문표(Fig.8)에서 형상에서 취약점이 발생하였으며, 제시된 "접촉면을 넓게 설계하라" 는 설계원칙은 Fig. 8에 의해 용이성 결정요소 중 놓임 안정성과 관련이 있는 것으로 결정된다. 조립 및 분리 시스템 영향요소의 세부요소별 조립 및 분리용이성 결정요소와의 관계에 따른 점수표(Fig. 6 참조)에서 형상의

		조립용이성										분리용이성									
		A	B	C	D	E	F	G	R	합계	I	J	K	L	M	N	O	P	합계		
형상	Conical	-3	-6	-1				-1	+1	-1	+1	-1			-1	-3	-1		-4		
	Pyramidal	+3	-2	-2	-2						+1					+1	+1		+3		
접촉상태	선입력	-1									-1	-1	-1		+1	-1			0		
	면접촉	+1									+1	+1							1		
무게	9Kg이하		-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	+6					+2	+2	+2		+6		
	한방향에 변동	+1	-1	-1							-3	-1				-1	-1		-3		
안정성	한방향에 변동양용	+1	-1	+1							-3	-1				+1	-1		+3		
	선방향에 변동양용	+1	-1	+1							-3	-1				+1	-1		+3		
체결요소	올잡					-1		-2	-3		-1	-2							-3		
	수동비정렬				-1						-1										
운반기구	비정렬										-2										
	취급																				
취급기구	$\alpha=360^\circ \beta=0^\circ$							-1			-1					-1			-1		
	$\alpha=360^\circ \beta=90^\circ$										-2								-2		
수거성	bad																		-2		
	good																		-2		
세척성	good																		-2		
	bad																		-2		

A:놓임안정성 B:운반용이성 C:정렬용이성 D:경사용이성 E:취급용이성 F:귀근용이성 G:삼입용이성
 H:세척용이성 I:분리대상 안정성 J:제결점파악 용이성 K:분리된 정렬용이성 L:해체용이성 M:취급용이성
 N:수거용이성 O:세척용이성 P:분리용이성

Fig.12 조립 및 분리용이성 점수 예

관련 세부요소	Spherical	Rotational		Conical		Complex Rotational		Inter locking	Flat Parts	Prismatic		Pyramidal	...
		L	S	L	S	L	S			L	S		
점	●												
선		●											
면			●										
반방향 힙에 변형	●	●											
한방향 힙에 변형			●										
수기													
구급													
정렬													
세척													
무게													
운반													
수동													
비정렬													
비정렬													
세척성													
good													
bad													

Fig.13 세부영향 요소별 상관관계 표

각 세부요소들에 대한 놓임 안정성 점수를 파악하여, 가장 큰 값의 세부요소(Pyramidal Part)를 선택하며, 이를 취약 세부요소(Conical long Part)에서 취약점을 제거한 개선 세부요소로 한다. 개선 세부요소에 대한 관련 세부요소들의 결정은 세부 영향요소별 상관관계표(Fig. 13)에 의해, Pyramidal Part는 접촉상태는 면접촉, 안정성은 한쪽 방향의 힘에 변형없음, 수기성은 good, 취급 기구는 $\alpha=360^\circ$, $\beta=90^\circ$ 가 되며, 무게는 9kg이하, 운반 기구는 수동 비정렬, 정렬기구는 비정렬, 세척성은 good으로 가정하였다. 이들 세부요소에 대한 조립 및 분리용 이성 점수는 Fig. 12 와 같다. 그리하여 기존 대안과 설계원칙에 따른 개선 대안의 비교는 Fig. 11 과 같으며 제시된 설계원칙의 적합성 정도는 기존 용이성 점수와 개선 대안의 용이성 점수의 차이인 23이 된다.

6. 사례 연구

본 사례 연구에서는 최근 생산량이 증가 일로에 있고, 폐기된 부품이 환경에 문제점을 야기시키고 있는 자동차 부품 중 계기판을 선택하여 자동차 부품의 조립 및 분리를 통해 도출된 설계원칙의 적용 및 그에 따른 적합도 평가를 실시하였다. 계기판 부품 중 계기판 케이스를 선택하여 취약점을 파악한 결과, 본 부품에서는 케이스를 분리하기 위해 스냅 체결 부분에 분리를 위한 공구의 삽입이 어렵고 스냅 체결력에 의해서 분리력의 유지가 어려웠다. 따라서 'Tool space가 충분해야한다.'는 설계원칙을 적용하였다.

제시된 설계 원칙은 작업영역에 관련된 것으로 특정 tool의 접근이 가능하도록 흠을 제작하여 분리점으로 쉽게 접근할 수 있도록 하였으며, 그에 따른 분리시간의 감

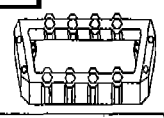
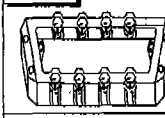
조립공정: assembly		부품명: 계기판 케이스		
취약점 설명	조립공을 분리하기 위해 스냅 체결부분에 표면을 공구의 삽입이 어렵고 스냅 체결력에 의해서 분리력 유지가 어렵다.			
개선설계 원칙	Tool 의 작업 공간이 충분하도록 하겠다.			
개선전		개선후		
조립용이성 점수 / 분리용이성 점수	0 / -14		조립용이성 점수 / 분리용이성 점수	0 / 10
고정구	볼류 (*, -3)		고정구	볼류 (*, +3)
작업영역	좁은범위 (*, -4)		작업영역	확장 tool 접근 가능 (*, +4)
분리시간	체결력 파악시간 : 길다 (*, -1) 체결력 측정시간 : 길다 (*, -2)		분리시간	체결력 파악시간 : 짧다 (*, +1) 체결력 측정시간 : 짧다 (*, +2)

Fig.14 개선 설계원칙의 적용표

소와 고정구를 사용하지 않는 효과가 있었다.

그래서, Fig. 14 에서와 같이 개선 전에는 조립 및 분리용이성의 점수가 0, -14 이었으며, 개선 후에는 조립 및 분리용이성의 점수가 0, 10 이 되어서 기존의 조립용 이성에는 변화를 주지 않고 분리용이성을 향상시키는 결과를 얻었다.

7. 결론

본 연구에서는 조립 및 분리시스템을 구성하는 대상, 수행체, 기능 측면에서 분석을 실시 하였다. 조립대상과 분리대상을 분석하고, 조립공정과 분리공정을 분석하여 이 분석결과를 토대로 조립시스템과 분리시스템에 영향을 미치는 영향요소를 파악하였다. 이 영향요소를 기준으로 조립과 분리의 상관관계를 파악하였다. 그리고 조립용 이성 및 분리용이성을 정의하고, 이들 용이성을 결정지우는 각각 8가지의 결정요소들을 이끌어 내었다. 이들 결과로 조립 및 분리용이성 결정요소별로 조립 및 분리용이성 향상을 위한 설계원칙을 구축하였으며, 조립 및 분리시스템 내에서의 상충관계를 고려하여 해당 시스템에 적합한 조립 및 분리용이성 향상을 위한 설계원칙을 도출하고, 개선 전 후의 조립 및 분리 용이성의 크기를 정량적으로 평가할 수 있는 알고리즘을 개발하였다. 향후 연구과제로서는 조립 및 분리용이성 향상을 위한 제품 설계 원칙을 이용하여 Rule-based 된 전문가 시스템의 개발이 필요할 것으로 사료된다.

참고 문헌

1. W. Eversheim, M. Hartmann und M. Linnhoff, "Zukunftsperspektive Demontage(미래 지향적 분리)", VDI-Z, 134, Nr.6-Juni, pp.83-86, 1992.
2. Eversheim, W. and Baumann, M., "Assembly oriented Design Process," *Computers in Industry*, pp.287-300, 1991.
3. Barg, A., "Konzeption einer recyclinggerechten Produkt- und Produktionsplanung,(리사이클에 용이한 제품 및 생산 계획의 개념)" Dr. Ing. Speech, WZL, Aachen), January 1991.
4. Warnecke, H.J. and Baessler, R., "Design for Assembly - Part of the Design Process," *Annals of CIRP*, Vol. 37/1/88, pp.1-4
5. Kahmeyer, M., "Flexible Disassembly with Industrial Robots," IPA, Stuttgart, 1991.
6. Miyakawa, S. and Ohashi, T., "The Hitachi Assemblability Evaluation Method (AEM)," Proc. Int. Conference on Product Design for Assembly, Newport, RI, April 15-17, 1986.
7. Miyakawa, S., Ohashi, T. and Iwata, M., "The Hitachi New Assemblability Evaluation Method (AEM), Trans. of the North American Manufacturing Research Institution of SME, May 23-25, 1990.
8. G. Boothroyd, L. Alting "Design for Assembly and Disassembly", *Annals of the CIRP* Vol. 41/2/92, pp. 625-635
9. G. Boothroyd "Assembly Automation and Procut Design", Marcel Dekker, Inc., 1989
10. Boothroyd, G., "Design for Economic Manufacture," *Annals of CIRP*, Vol. 28/1/79, p.345
11. G. Boothroyd, C. Poli, L.E. Murch "Automatic Assembly", Marcel Dekker, Inc. New York and Basel, 1982.
12. J. Milberg, Andreas Die terle,"Integration der Demontage in die Produktgestaltung (제품 구조에서의 분리 통합)", *Wissenschaft und Technik*, pp.42-44, 1993.
13. F. Jovane, L. Alting외, "A key issue in product life cycle : Disassembly", *Annals of CIRP* Vol 42/2/93, pp.651-657.
14. D. Barth, A. Gerhardt, und H. Schmied, "Integration der Demontage in das produktionstechnische System (생산 시스템에서의 분리의 통합화)", pp.141-145, 1993.
15. Hentschel, "Arbeitsschritte einer flexiblen Demontage (유연한 분리의 작업순서)", IWF, 1994.
16. E. Zussman, A. Kriwet, G. Seliger. "Disassembly-oriented Assessment Methodology to support Design for Recycling", *Annals of the CIRP* Vol. 43/1/94, pp.9-14.
17. G. Seliger, H. J. Heinemeiner und S. Ner, Berlin, "Robotergeführte Demontage und Montage von Kleingetrieben fuer die Austauschfertigung(교체 가공을 위한 소형 기어의 로봇트를 이용한 분리 및 조립)", *ZwF88*, pp.245-248, 1993.
18. M. Hartmann und F. Lehmann, "Fachgebiete in Jahresuebersichten Demontage(분리에 대한 연간 전문 연구)", VDI-Z 135, 1993, Nr.12-Januar Februar, pp.90-110
19. C. Hentschel, G. Seliger, E. Zussman, "Grouping of used product for Celluar Recycling Systems" *CIRP* Vol. 44/1/95, pp.11-14.
20. 목학수, 하재우, 차동균, 강원철 "조립자동화를 위한 제품설계기술개발", 과학기술처 시행 특정 연구개발 사업보고서, 1991.
21. M. M. Andreasen, S. Kaehler, T. Lund "Design for Assembly", IFS Publication, UK, 1988.
22. 목학수, 김경운, 이재철, "나사작업에 있어서의 조립 형상 특징을 기초로 한 조립용이화 제품설계 전문가 시스템의 개발", *대한산업공학회지*, 제20권 4호, pp.153-180, 1994.
23. VDI 2243 Entwurf "Konstruieren recyclinggerechter technischen Produkte(리사이클에 적합한 기술적 제품의 설계)", pp.1-35
24. 목학수, 정현교, 박주형 "자원 재활용을 위한 부품의 분리용이성", *한국정밀공학회지*, 제13권 제1호, pp 153-166, 1996.
25. B. Lotter "Manufacturing Assembly Handbook", Butterworth, 1986.