

제품의 분리 공정의 특성을 고려한 제품의 복잡도 평가

목학수*, 김성호*, 양태일*

Evaluation of the Product Complexity Considering the Disassemblability

Hak Soo Mok*, Sung Ho Kim*, and Tae Il Yang*

ABSTRACT

In this study, the product complexity is evaluated quantitatively considering the disassembly process of the product. To evaluate complexity of the product, we analyze the characteristics of the product and the disassembly process. And we determine factors, which influence on the complexity of the product in the main-disassembly and sub-disassembly. Considering each characteristics of part and subassembly, Evaluations criteria of complexity are determined. Using evaluation criteria of the complexity can be determined the complexity grade of the product, and then we show the total complexity of the product considering the disassembly process.

Key Words : Complexity(복잡도), Disassembly process(분리공정), Product(제품)

1. 서론

오늘날 기업체는 국내의 시장에서 제품의 판매율과 제품의 시장 경쟁력을 향상시키기 위해서 제조원가 혹은 생산원가를 줄이는 것을 목표로 하고 있다. 기업이 생산 원가를 줄이는 방법으로는 Fig. 1 에서 보이듯이 원재료나 구매 부품의 구입 비용을 줄이는 방법, 재료나 부품군의 재고 적정량을 유지함으로써 재고 유지비용을 감소시키는 방법이 있고 제품의 조립공정을 합리적으로 구축하여 생산성을 높이거나 원가절감을 할 수 있으며, 분리 공정의 작업성을 향상시켜 부품 및 조립군의 재활용도를 높임으로써 생산성을 향상시킬 수 있다.

환경 문제나 Recycling 문제가 중요시된 시점에서 기업들은 생산 원가를 줄이는 방법 중 분리공정의 작업성을 향상시킴으로써 부품이나 조립군

의 Recycling 에 의한 재활용도를 높임으로써 사용된 원자재나 에너지를 절감하고, 폐기할 때 생겨날 수 있는 환경오염 문제를 줄이는데 초점을 두고 있다¹⁾.

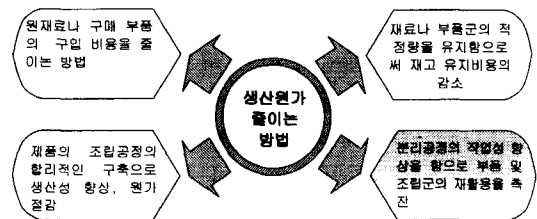


Fig. 1 Methods of decreasing of production cost

와 이의 부품의 재활용 문제에 많은 관심을 가지

* 부산대학교 산업공학과, 기계기술연구소

고 연구를 행하고 있는데, 특히 독일에서는 자원 재활용을 위한 분리 지향적인 제품 설계에 대해 활발히 연구를 행하고 있고, 미국에서는 Rhode Island 대학의 Boothroyd 교수팀이 DFA/DFE 소프트웨어 개발이나 조립시스템의 경제성 분석, 조립 자동화를 위한 제품 설계 방법에 대해 연구 중이다^[2].

분리공정의 작업성을 향상시키기 위한 방법에는 분리를 어렵게 하는 부품의 특성을 감소시키는 방향의 제품 설계, 분리 용이한 분리 기술의 개발, 분리용이성에 대한 평가 방법 등 많은 연구들이 행해지고 있는데, 본 연구에서는 분리 공정의 효율성을 향상시키는 방법으로 제품의 분리공정을 고려한 제품 복잡도를 정량적으로 평가하는 방법에 대한 연구를 하고자 한다.

제품의 분리 공정을 고려한 제품의 복잡도를 정량적으로 평가하기 위해서는 먼저 복잡도 평가 대상인 제품의 분리 공정을 분리 주공정과 분리 부공정으로 나누어 분석하여 분리 공정에서의 제품 복잡도에 대한 정의를 내리고, 제품의 분리 공정을 고려한 제품의 복잡도에 영향을 미치는 요소들을 각각의 분리 주공정과 분리 부공정에서 파악하여 제품의 분리공정을 고려한 복잡도 정의에 따라서 제품의 복잡도에 대한 평가기준을 제시한다. 그래서 복잡도에 영향을 주는 요소들을 제품 복잡도 평가에 적용함으로써 제품의 분리 공정에서의 복잡도를 정량적으로 평가하려고 한다.

본 연구에서는 제품의 분리 공정을 고려한 제품의 복잡도를 정량적으로 평가함으로써 분리 취약 공정의 파악이 용이해지고 분리공정을 어렵게 하는 부품 및 조립군의 특성 파악이 용이하며, 분리가 쉬운 제품의 설계를 위한 지침서 역할을 할 수 있다. 따라서 분리공정의 특성을 고려한 제품의 복잡도에 대한 평가를 해서, 그 결과를 이용해 제품 설계 단계에서 부터 분리공정의 복잡도를 줄이는 방향으로 제품 설계를 하여서 제품의 분리작업을 향상시킴으로써 부품 및 조립군의 재활용을 촉진시킬 수 있도록 하는 것이 본 연구의 목적이다.

2. 제품의 분리공정에서의 제품 복잡도 정의

제품의 분리 공정을 고려한 제품의 복잡도를 평가하기 위해서는 제품의 분리공정에서의 제품

복잡도에 대한 정의를 내리는 것이 중요하다. 그래서 Fig. 2에서는 복잡도에 대한 일반적 정의와 제품의 분리 공정을 고려한 제품의 복잡도에 대한 정의를 보여주고 있다.

제품의 복잡도는 일반적으로 제품의 Variant와 기능에 의해서 정의를 내릴 수 있고, 조립 및 분리 작업의 용이성 정도에 의해서도 복잡도를 정의할 수 있다. 즉, 제품 Variant와 부품 수가 증가됨에 따라 제품 복잡도는 높다고 할 수 있으며, 제품의 기능이 다양할수록 제품 복잡도는 또한 높다고 일반적으로 생각할 수 있다^{[3][4]}. 본 연구에서는 제품의 복잡도를 분리공정에 초점을 맞추어서 정의할 수 있는데, 작업자가 분리공정을 수행하기 어려운 정도 혹은 분리공정을 수행 시 요구되는 동작의 수나 소요시간이 많으면 제품 복잡도는 높다고 정의하였다. 왜냐하면, 분리공정에서의 제품의 복잡한 정도는 제품의 구조적 측면의 복잡도와는 달리 작업자가 분리작업을 할 때 공정의 어려움이나 제품의 분리 시 요구되는 동작의 수나 시간에 의해서 평가될 수 있기 때문이다.

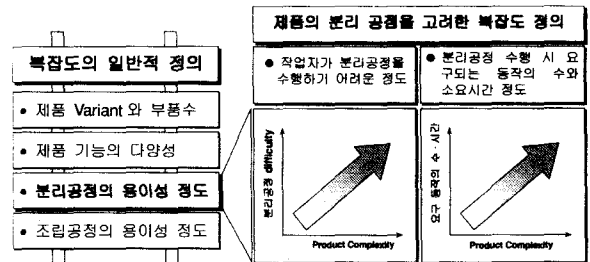


Fig. 2 Definition of product complexity

3. 분리작업과 제품 복잡도 평가와의 상호 관계

제품의 분리작업과 제품의 복잡도 평가와는 정보의 상호작용이 일어난다. 제품의 분리작업에서 먼저 분리대상인 제품 특성에 대한 것과 분리공정에 대한 정보를 파악해서 제품의 복잡도 평가에 이용한다. Fig. 3은 이러한 분리작업과 복잡도 평가와의 상호 정보 교환에 대해서 나타내고 있다. 제품의 분리작업에서 제품 특성에 대한 정보, 즉 분리대상에 대한 정보는 제품과 조립군, 그리고 체결요소에 대한 정보가 있다. 제품에 대한 정보로는 제품의 구조, 형상, 크기, 무게 등이 있고, 조

립군에 대해서는 조립군 구조, 조립군 형상, 분리 방향 등이 있다. 또한 체결요소에 대한 정보에는 체결요소의 종류, 체결방법, 체결력의 정도 등이 있다.

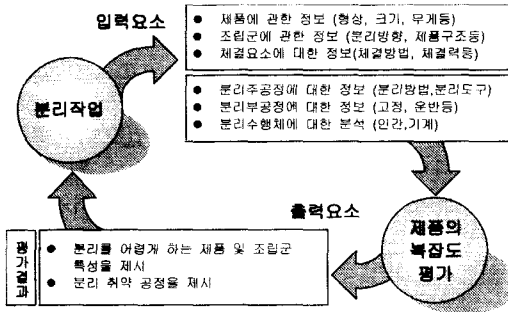


Fig. 3 Relationship between disassembly operation and complexity

분리공정에 대해서는 분리 주공정과 부공정에 관련된 정보들이 있다. 분리 주공정에 대한 정보는 분리방법, 분리도구 등이 있으며, 분리 부공정에 대해서는 제품이나 조립군의 고정, 운반, 저장에 관한 정보들이 존재한다. 그리고 분리 수행체에 대해서는 분리 작업자에 대한 정보와 분리 기계에 대한 자료들이 있다. 위에서 언급된 제품의 분리 작업에서의 분리대상 즉, 제품 특성과 분리공정에 대한 정보들은 제품에 대한 복잡도 평가의 입력 요소가 된다. 제품의 복잡도 평가 후 분리작업으로 되돌아가는 출력 요소 즉, 제품의 복잡도 평가결과에는 분리를 어렵게 하는 제품 및 조립군 특성과 분리 취약 공정을 제시할 수 있다.

4. 분리공정의 분류와 복잡도 영향요소

본 연구에서는 제품의 분리공정을 분리 주공정과 분리 부공정으로 나누어서 분리공정별로 제품을 분석하여서 제품의 복잡도 평가에 영향을 주는 요소들을 도출하였다. 여기서, 제품의 분리공정을 분리 주공정과 분리 부공정으로 나누어서 제품의 복잡도 평가에 영향을 주는 요소들을 도출한 이유는 제품의 복잡도 평가 후에 제품 복잡도 평가 결과를 가지고 제품의 분리공정 중 어느 공정이 분리 취약한 공정인지 알 수 있도록 해주는 기초 자료를 마련하기 위해서이다.

Fig. 4는 제품의 분리공정에 대한 정의와 각각

의 분리공정에 속하는 공정의 종류에 대해 나열하고 있으며, 또한 분리 공정별 제품의 복잡도에 영향을 미치는 요소들을 나타내고 있다. 이 그림에서 보이듯이 분리 주공정은 분리작업의 대상인 제품이나 조립군을 해체하는 기능을 가진 공정이며, 분리 부공정은 분리 주공정을 도와주는 기능을 수행하는 공정이다. 분리 주공정에는 대상파악 공정, 대상 접근 공정, 해체공정이 있는데 해체공정에는 역나사, 뽑기, 들어내기, 찢기, 재깎, 파쇄 작업 등이 있다. 분리 부공정에는 취급, 고정, 수거, 세척 공정이 있다^{[5][6]}.

	분리 주공정	분리 부공정
정의	제품이나 부품을 해체하는 기능을 가진 공정	분리 주공정을 도와주는 기능을 수행하는 공정
대형 분류	<ul style="list-style-type: none"> 대상파악 공정 대상접근 공정 해체공정 (역나사, 뽑기등) 	<ul style="list-style-type: none"> 고정공정 취급공정 수거공정 세척공정
복합도 영향요소	<ul style="list-style-type: none"> 분리방법 분리도구 분리방향 Tool의 접근성 작업영역 접촉상태 부품간 간섭 접근방향변경횟수 시각성 	<ul style="list-style-type: none"> 부품형상 부품크기 부품무게 부품소재 Tool의 접근성 작업영역 접촉상태

Fig. 4 Classification of product complexity in disassembly process

제품의 분리 주공정에서 복잡도에 영향을 미치는 요소들은 분리방법, 분리도구, 분리방향, Tool의 접근성, 작업영역 등이 있을 수 있는데, 이것들은 분리 대상을 파악해서 부품이나 조립군을 해체할 때까지의 공정을 수행 시 각 공정마다 영향을 미칠 수 있다. 그리고 분리 부공정에서는 부품형상, 부품크기, 부품무게 등 여러 요소들이 복잡도에 영향을 미칠 수 있다. 여기서 보이듯이 Tool의 접근성, 작업영역, 접촉상태는 분리 주공정과 분리 부공정에서 공통으로 제품의 복잡도 평가 시 영향을 주는 요소이다. 즉, Tool의 접근성과 작업영역, 접촉상태는 제품이나 조립군을 분리할 때 제품의 복잡도에 영향을 주는 요소들이며, 또한 부품이나 조립군의 운반, 고정, 적재 및 분리 작업 후 수거

작업 시에도 제품의 복잡도에 영향을 미치는 요소들이다.

4.1 제품의 분리공정과 복잡도 영향요소와의 관계

제품의 분리공정과 복잡도 평가에 영향을 주는 요소와는 상호 관련성이 존재한다. 본 연구는 제품의 복잡도에 영향을 주는 요소들을 분리 주공정과 분리 부공정에 초점을 맞추어 제품의 복잡도에 영향을 주는 요소들을 도출하였기 때문에 제품에 대한 각각의 분리공정과 제품 복잡도 영향요소와의 관련성이 본 연구에서는 중요하다. Fig. 5는 제품의 분리공정과 제품의 복잡도에 영향을 주는 요소와의 상관관계를 나타내고 있다. 이것은 제품의 분리공정과 제품의 복잡도에 영향을 주는 요소와의 상관관계는 수작업으로 제품을 분리할 때를 기준으로 제품의 복잡도에 영향을 주는 요소와 분리공정의 상관관계를 살펴본 것이다.

		분리공정에서의 복잡도 영향요소												
		분리 방법	분리 도구	분리 방향	Tool 접근성	작업 영역	결속 상태	부품간 간섭	방향 변경수	시각성	부품 형성	부품 크기	부품 무게	부품 소재
대상 접근	대상 파악	●			●			●		●				
	대상 접근	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
	해체	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
대상 부	고정				●		●					●	●	●
	취급					●	●	●			●	●	●	●
	수거				●	●	●	●			●	●	●	●
	세척				●	●	●				●	●	●	●

Legend
● : 관련성 많음
○ : 관련성 중간

Fig. 5 Relationship between disassembly process and characteristics of product complexity

예를 들면, 분리방법은 분리 주공정 중 대상 접근 공정, 해체 공정과 관련성이 많고 대상 파악 공정과는 어느 정도의 관련성이 있다. 여기서 분리방법이 대상 접근 공정과 관련성이 많은 이유는 분리방법에 따라 분리대상에 접근하는 방식이 다른데, 그 이유는 분리방법 중 역나사 작업이나 뽑기 작업은 주로 체결요소에 분리도구를 접근하는 방식이고, 들어냄 작업이나 찢기 작업, 재깍 작업은 분리할 대상에 주로 분리도구를 접근해야 하는 방식이다. 이처럼 분리방법에 따라 분리대상에 접근하는 방식 자체가 달라지기 때문에 분리방법은

대상 접근 공정과 많은 관련성을 가진다. 그리고 도구 접근성은 대상 접근, 해체, 세척 공정과 밀접한데, 도구 접근성이 대상 접근 공정과 관련성이 많은 이유는 분리 대상에 접근하는 공정은 주로 분리 도구의 분리점에 대한 접근성이 좋아야 하기 때문이다. 또한, 도구 접근성은 해체 공정과도 관련성이 많은데 그 이유는 분리 대상의 분리점에 대한 도구의 접근이 쉬울수록 부품이나 조립군의 체결요소를 해체하기 쉽기 때문이다.

4.2 분리 주공정 복잡도 영향요소

제품의 복잡도에 영향을 주는 요소 중 분리방법은 제품을 분리 작업할 때 분리 주공정에 속하는 공정인 분리 대상에 대한 접근 공정이나 제품의 해체 공정에 밀접한 관련이 있는 영향요소이므로 분리 주공정에서 제품의 복잡도에 영향을 주는 요소가 된다. 제품의 분리공정을 고려한 복잡도 평가에서는 분리방법이 중요하다. 왜냐하면, 어떤 분리방법을 쓸 것인가에 따라 분리작업 시 공정의 어려움과 분리경비나 시간이 달라지기 때문이다. 대체로 분리방법은 제품의 조립방법과 체결요소의 종류에 따라 달라진다. 분리방향은 분리될 부품이나 체결요소가 조립군에서 이탈되는 방향으로 분리점의 위치나 제품 형상에 의해 영향을 받으며 작업자가 분리 작업할 때 중요한 요소가 되는데, 그 이유는 분리방향에 따라 작업자가 분리작업을 할 때에 어려움의 정도가 달라진다. 예를들면, 분리방향이 아랫방향일 때는 주로 제품의 분리점이 작업자의 눈 위치보다 낮으므로 작업자가 머리카락을 숙이는 등 특별한 동작을 취하지 않고는 분리점을 보면서 작업하기가 힘들므로 아랫방향으로 제품을 분리하는 것은 윗방향으로 제품을 분리하는 것 보다 분리작업이 더 힘들다.

분리작업 시 제품이나 조립군에 대한 도구 접근성은 분리작업 시 작업자의 주의 요구 정도나 특정한 도구 사용 유무에 중요한 영향을 미치는데, 그 이유는 도구 접근성이 좋지 않은 부품이나 조립군 즉, 부품이나 조립군이 제한된 도구의 접근만 허용할 경우에는 여러 면으로 접근이 가능한 부품이나 조립군보다 작업자의 주의를 더 필요로 하고, 또한 분리대상이 제한된 도구의 접근만 허용할 경우에는 작업자는 특정한 형태의 도구만 사용할 수 있기 때문이다. 그리고 부품이나 조립군을 분리할 때 분리대상의 작업영역은 작업자가 부

품이나 조립군에 분리력을 주는데 편안한 정도에 중요한 영향을 미치는 요소가 된다. 왜냐하면, 분리대상의 작업영역이 충분하여 분리 시 사용되는 도구가 필요로 하는 공간을 확보하고 있으면 작업자가 분리대상에 분리력을 주기가 쉽고 그렇지 않으면 작업자가 분리대상에 분리력을 주기가 어렵기 때문이다. 제품이나 조립군의 작업장 표면과의 접촉상태는 분리대상의 운동성 및 고정성과 연관이 있는데, 분리작업 시 분리대상의 접촉상태가 면 접촉일수록 고정성이 좋으며 또한 분리작업하기가 용이하고, 반대로 분리대상의 접촉상태가 점 접촉일수록 분리대상의 운동성은 좋으나 작업자가 분리작업하기는 어려워진다.

제품이나 조립군을 분리 작업할 때 부품간에 간섭이 있는 경우는 분리작업 시 애로사항이 발생한다. 왜냐하면, 부품간의 간섭으로 인해서 분리작업 방법이 한정되는 경우도 생길 수 있고, 또한 분리작업 후에 부품의 파손이 생기기도 하기 때문이다. 그리고 작업자가 분리도구를 분리점에 접근 시 조립군의 형상이나 제품 구조 때문에 분리 도구의 접근 방향의 변경이 생길 수 있는데, 이 때 분리 도구의 접근 방향의 변경 횟수가 많을수록 분리작업 시 어려움이 많아진다. 분리될 요소를 파악할 수 있는 시각성은 제품이나 조립군의 체결 부위, 즉 분리점의 식별 용이도를 나타내는 것으로 분리점의 식별 용이도가 좋은 제품이나 조립군일수록 분리시간이 짧아질 수 있으며 제품의 복잡도는 그렇지 못한 것 보다 낮게 평가될 수 있다.

4.3 분리 부공정 복잡도 영향요소

부품 형상은 분리 부공정 중 부품 취급, 적재 공정 등에 많은 영향을 끼치는 요소이다⁷⁾. 즉, 부품 형상의 놓임성 정도가 좋을수록 부품 형상의 적재성 정도가 좋을수록 분리 부공정 중 취급 공정이나 고정 공정이 용이해지며 제품의 복잡도도 낮게 평가된다. 부품의 놓임성 정도가 좋은 형상이 되려면, 예를들어 작업대와의 접촉상태가 면접촉인 형상 즉, 판형상 등과 같은 부품일수록 부품의 놓임성은 증대된다. 또한 부품의 적재성 정도가 좋은 형상이 되려면 부품의 놓임성 정도와 같이 작업대와 면접촉이든지 아니면 부품간에 엉킴이 발생하지 않는 형상일수록 부품의 적재성이 좋다고 볼 수 있다. 이처럼 부품 형상은 분리 부공정 수행 시 중요한 복잡도 영향요소가 되며, 특히

부품 형상의 놓임성 정도나 적재성 정도는 분리 부공정을 수행 시 분리 어려움의 평가기준이 된다. 조립군이나 부품 크기에 따라서 부품의 취급 공정이나 도구의 접근 공간, 분리대상의 작업영역에 영향을 미치게 되는데 예를 들면, 부품의 크기가 너무 작으면 작업자가 부품을 취급하는데 어려움을 느끼게 되고, 도구를 접근할 때나 사용할 때도 작업자는 어려움을 느끼게 된다⁸⁾. 또한 부품 취급 시 부가적 도구 사용 여부도 제품이나 조립군의 크기에 따라 달라진다.

부품 무게는 분리 부공정 중 특히, 제품이나 조립군 취급에 많은 영향을 끼친다. 부품 무게는 부품의 크기나 부품의 소재에 영향을 많이 받는 복잡도 요소이며, 제품에 사용되는 소재들은 제품이나 조립군의 취급 시 중요한 요소가 될 수 있는데⁹⁾ 예를들면, 부품의 소재가 취성을 가지고 있다면 부품 취급 시 많은 주의가 필요하고 또한 파손이나 표면손상의 위험이 높다.

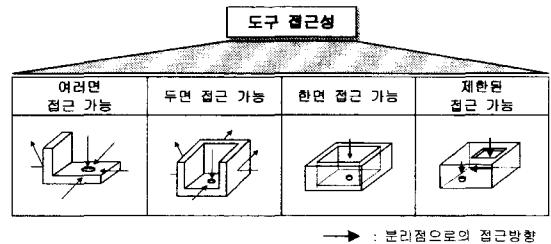


Fig. 6 Classification of tool accessibility for disassembly object

Fig. 6은 분리 대상에 대한 도구의 접근성을 분류한 것이다. 도구의 접근성과 분리 대상의 작업영역은 분리 주공정에서와 같이 분리 부공정에서도 제품의 복잡도 평가에 영향을 미치는 요소들인데¹⁰⁾, 분리 부공정에서의 도구의 접근성과 작업영역은 분리 대상을 취급하거나 세척 시 쓰이는 도구의 분리 대상에 대한 접근성과 작업영역을 말한다. 분리 대상에 대한 도구 접근성은 분리 대상에 제한적으로만 접근 가능할 때나 한면으로 접근 가능할 때보다 여러면으로 대상에 도구가 접근 가능할수록 제품의 분리 작업은 쉽다고 할 수 있다. 분리대상의 접촉상태는 분리 부공정 중 부품 고정, 취급, 적재작업 시 영향을 미치는 요소가 되는데, 그 이유는 분리대상의 지면과의 접촉 상태에 따라 안정성과 놓임성이 달라지기 때문이다. 예를들면,

부품이나 조립군이 지면과 면 접촉일 때 부품이나 조립군의 안정성이 높아져 분리대상을 고정하거나 취급하기가 쉬우며 또한, 부품이나 조립군을 분리 후 적재 시에도 점 접촉보다는 면 접촉이 부품이나 조립군의 구름성이나 운동성이 줄어들어 부품이나 조립군을 쌓기가 더 쉬워진다.

5. 제품 복잡도 영향요소 평가기준과 복잡도 영향요소 평가 근거

5.1 제품 복잡도 영향요소 평가기준

제품의 분리공정을 고려한 제품의 복잡도 평가를 위해서 분리 주공정과 분리 부공정의 복잡도 영향요소들을 제품의 복잡도 정의에 의해서 제품의 복잡도 영향요소에 대한 적절한 평가기준을 Fig. 7 과 같이 설정하였다. 제품의 복잡도 영향요소에 대한 평가기준은 복잡도 영향요소 각각에 대해서 제품의 분리공정에 초점을 맞추어서 제품 복잡도를 평가하기 위해 설정된 기준이다. 이 설정된 복잡도 평가기준에 따라서 복잡도 영향요소들을 세 가지 등급(복잡도 높음, 중간, 낮음)으로 나누어 복잡도를 평가하였다.

복잡도영향요소	복잡도 영향요소 평가기준
분리방법	•분리작업의 소요시간, 분리력 크기 •필요 Tool 유무 •분리 작업후 part 재활용여부
분리방향	•작업자가 분리력을 주기 용이함여 정도 •작업자가 분리점을 보기 용이한 정도
Tool 의접근성	•작업자나 분리 수행자의 주의 요구정도 •특수 형태 도구의 사용 요구도
부품간섭	•분리후 part 손실의 유발 유무
접촉상태	•작업자가 힘손으로 part 를 고정할 필요성 •체결요소에 힘을 가할때 분리력 전달영역도
작업영역	•특정한 Tool 의 사용 정도 •작업자가 분리력을 주기에 편리한 정도
분리도구	•분리 작업시 분리력 소요 정도 •분리 작업시 소요면적(요구면적)정도
접근방향변경수	•분리점 접근 방향 변경 횟수
시각성	•part 나 조립군의 체결부위(즉, 분리점)의 식별용이도
부품형상	•part 형상의 돌출성 정도(접촉상태와도 밀접) •part 형상의 적재성 정도
부품크기	•취급시간에 영향을 미치는정도 •부가적 Tool 사용여부 •part 가 허용하는 Tool 접근공간
부품무게	•작업자가 Handling 하기에 용이한 정도
부품소재	•분리후 재활용 가능 여부 •파손 혹은 표면 손상 위험의 정도
Tool 의접근성	•작업자의 주의 요구 정도 •특수 형태 도구의 사용 요구도
작업영역	•특정한 Tool 의 사용 정도 •작업자가 작업하기 용이한 정도
접촉상태	•작업자가 힘손으로 part 를 고정할 필요성 •부가적인 고정구의 필요성

Fig. 7 Evaluation criteria of characteristics of product complexity

예를 들면, 분리 주공정에서 복잡도에 영향을 주는 요소 중의 하나인 분리방법에 대한 복잡도

평가기준에는 작업자가 분리 작업하는데 소요되는 시간이나 분리력의 크기, 분리작업 시 필요한 도구의 유무, 분리작업 후 부품의 재활용 정도가 있다. 그리고 분리 부공정에서 복잡도에 영향을 주는 요소 중 하나인 부품 형상에 대한 복잡도 평가기준은 부품 형상의 놓임성 정도, 부품 형상의 적재성 정도가 될 수 있다. 본 연구에서 제시된 제품의 복잡도에 영향을 주는 요소에 대한 평가기준은 제품의 분리 공정에서 작업수행의 어려움 정도를 기초로 하였기 때문에 제품의 구조적측면이나 조립공정을 강조한 복잡도 평가기준과는 차이가 날 수 있다.

5.2 제품 복잡도 영향요소 평가근거

제품의 복잡도에 영향을 주는 요소에 대한 제품의 복잡도 평가를 하기 위해서는 각각의 복잡도 영향요소에 대한 평가기준을 설정해야 하고, 설정된 복잡도 영향요소에 대한 평가기준 별로 평가 근거를 제시해야 한다. Fig. 8 은 분리 주공정에 속하는 복잡도 영향요소들 중 하나인 분리방법에 대한 복잡도 평가의 근거를 보여주고 있다. 첫번째 분리방법에 대한 평가기준인 분리작업에 소요되는 시간이나 분리력의 정도에 따라서 제품의 분리공정에서의 제품 복잡도 평가근거가 제시된다.

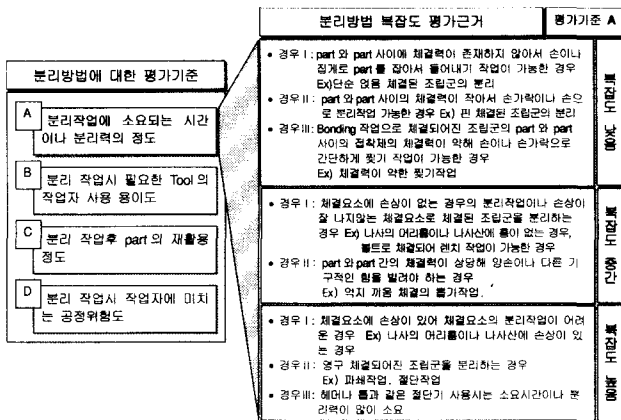


Fig. 8 Evaluation reasons of complexity for disassembly method

예를들면, 복잡도가 높은 경우를 보면 체결요소에 손상이 있어 체결요소의 분리작업이 어려운 경우, 즉 나사의 머리 홈이나 나사산에 손상이 있는 경우가 되며 또한, 복잡도가 높은 다른 경우는

영구 체결되어진 부품과 부품 사이의 분리, 예를 들면 파쇄작업이나 절단작업의 경우가 복잡도가 높은 경우로 정의하였다. 분리방법에 대한 다른 평가기준에 대해서도 Fig. 8 과 같이 복잡도 평가의 근거를 제시하여 복잡도 평가에 이용된다.

5.3 복잡도 영향요소에 의한 복잡도 등급 결정 예

제품의 복잡도에 영향을 주는 요소에 대한 평가기준과 복잡도 평가의 근거에 의해서 복잡도 영향요소 각각의 경우에 대해서 제품의 복잡도 등급을 결정할 수 있다. Fig. 9 는 분리 주공정에서 제품의 복잡도에 영향을 주는 요소 중 분리방법에 대한 복잡도의 등급을 결정한 것과 등급 결정에 대한 평가근거의 예를 나타내고 있다. 분리방법에 대한 복잡도 등급을 분리작업에 소요되는 시간이나 분리력의 정도, 필요한 도구의 작업자 사용 용이 정도, 분리 작업 후 부품의 재활용 정도, 분리 작업 시 작업자에 미치는 공정위험도의 네 가지 평가기준으로 평가하여, 세 단계로 제품의 복잡도를 평가하였다. 예를들면, 역나사 작업에서 분리작업에 소요되는 시간이나 분리력의 정도로써 제품의 복잡도를 평가한다면 나사의 머리 홈이나 나사산에 손상이 없는 경우에 역나사 작업을 행하면 소요시간이나 분리력이 많이 들지 않기 때문에 제품의 복잡도는 중간이라고 평가할 수 있다. 역나사 작업에서 제품의 복잡도에 대한 두번째 평가기준인 분리작업 시 필요한 도구의 작업자 사용 용이도에 따라서 제품의 복잡도를 평가한다면, 역나사 작업을 할 때 작업자가 한 손으로 드라이브나

렌치를 쉽게 사용 가능한 경우에는 앞의 복잡도 평가 근거에 의해서 제품 복잡도는 중간 단계의 복잡도라고 평가할 수 있다.

Fig. 9 에서 제시된 분리 주공정에서 제품의 복잡도에 영향을 주는 요소인 분리방법 이외의 다른 분리 주공정과 분리 부공정에서 복잡도에 영향을 미치는 요소들 각각에 대해서도 5.1 절의 복잡도 평가의 기준에 의해서 제품의 복잡도에 대한 등급 결정을 할 수 있다. 분리 주공정과 분리 부공정에서 복잡도에 영향을 주는 요소들에서 결정된 제품의 복잡도에 대한 등급들은 제품의 분리공정을 고려한 제품의 복잡도를 정량적으로 구하는데 기본 자료가 된다.

6. 제품 복잡도의 정량적 평가 방법

제품의 분리공정을 고려한 제품 복잡도 평가를 좀 더 객관적으로 다루기 위해서 제품의 복잡도를 정량적으로 나타내는 것이 필요하다. 그래서 분리 주공정과 분리 부공정에서 제품의 복잡도에 영향을 주는 요소별로 결정된 제품의 복잡도에 대한 등급을 기초로 해서 분리공정을 고려한 제품의 복잡도를 정량화 할 수 있다. 먼저, 복잡도 영향요소 각각의 복잡도 값의 합은 전체가 최대 1 이 되도록 한다. 각 영향요소별로 복잡도 값의 합이 1 이 되게 하기 위해서는 식(1)과 같이 평가기준이 n 개일 때는 각각의 등급별 점수(즉, 복잡도 등급이 낮을 때는 0, 복잡도가 중간일 때는 0.5, 높을 때는 1 이 등급별 점수가 됨)에 n 을 나누어 이를 합하면 분리 주공정에서 복잡도에 영향을 주는 요

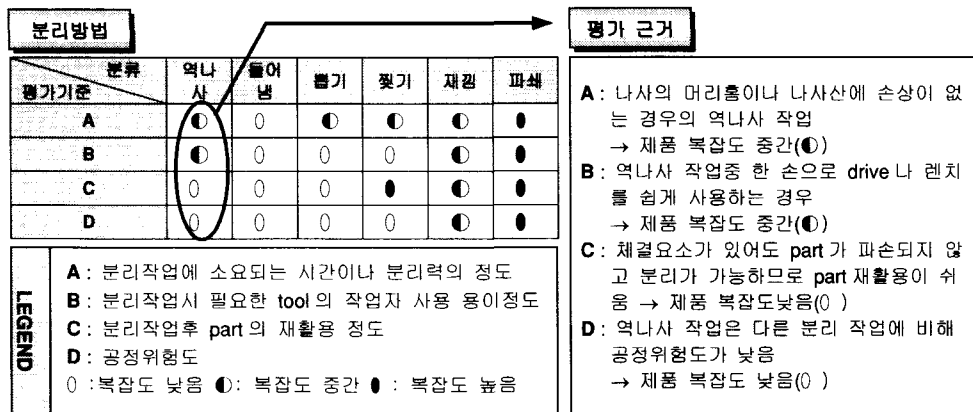


Fig. 9 Example of decision of complexity grade for disassembly method

소 각각에 대한 복잡도 값의 합이 최대 1 이 된다.

$$C_{mif} = \sum_{j=1}^n \frac{X_{ij}}{n} \quad 0 \leq C_{mif} \leq 1 \quad (1)$$

여기서, C_{mif} = 분리 주공정에서 복잡도에 영향을 주는 요소 각각에 대한 복잡도 값의 합

X_{ij} = 분리 주공정에서 제품의 i 번째 복잡도 영향요소의 j 번째 평가기준에 대한 등급별 점수

n = 분리 주공정에서 복잡도에 영향을 주는 요소 각각에 대한 평가기준 갯수

i = i 번째 복잡도 영향요소

j = 복잡도 영향요소의 j 번째 평가기준

제품의 분리 주공정에서 복잡도에 영향을 주는 요소 전체의 복잡도 합은 식(2)와 같이 최대 100 이 되도록 한다. 식(2)에서 m 값은 분리 주공정에서 복잡도에 영향을 주는 요소에 대한 전체 갯수의 합이 된다.

$$C_{mf} = \sum_{i=1}^m \left\{ \frac{\left(\sum_{j=1}^n \frac{X_{ij}}{n} \right)}{m} \right\} \times 100 \quad (2)$$

여기서, C_{mf} = 분리 주공정에서 복잡도에 영향을 주는 요소 전체의 복잡도 값의 합

m = 분리 주공정에서 복잡도에 영향을 주는 요소 전체의 갯수

제품의 분리 부공정에서 복잡도에 영향을 주는 요소 각각에 대한 복잡도 값의 합도 식(3)과 같이 분리 주공정에서 계산한 과정처럼 최대 1 이 되도록 한다.

$$C_{sif} = \sum_{j=1}^v \frac{Y_{ij}}{v} \quad 0 \leq C_{sif} \leq 1 \quad (3)$$

여기서, C_{sif} = 분리 부공정에서 복잡도에 영향을 주는 요소 각각에 대한 복잡도 값의 합

Y_{ij} = 분리 부공정에서 제품의 i 번째 복

잡도 영향요소의 j 번째 평가기준에 대한 등급별 점수

v = 분리 부공정에서 복잡도에 영향을 주는 요소 각각에 대한 평가기준 갯수

i = i 번째 복잡도 영향요소

j = 복잡도 영향요소의 j 번째 평가기준

제품의 분리 부공정에서 복잡도에 영향을 주는 요소 전체의 복잡도 합도 분리 주공정일 때와 같이 최대 100 으로 둔다. 이렇게 분리 주공정과 분리 부공정을 똑같이 100 으로 두었기 때문에 분리 주공정과 분리 부공정 각각의 중요도에 따라 가중치를 계산해 줄 필요가 생긴다. 식(4)는 분리 부공정에서 복잡도에 영향을 주는 요소 전체의 복잡도 값을 나타낸다.

$$C_{sf} = \sum_{i=1}^w \left\{ \frac{\left(\sum_{j=1}^v \frac{Y_{ij}}{v} \right)}{w} \right\} \times 100 \quad (4)$$

여기서, C_{sf} = 분리 부공정에서 복잡도에 영향을 주는 요소 전체의 복잡도 값의 합

w = 분리 부공정에서 복잡도에 영향을 주는 요소 전체의 갯수

전체 제품의 복잡도는 분리 주공정에서의 복잡도와 분리 부공정에서의 복잡도에 각각 가중치 값을 곱하여 구할 수 있다. 그래서 전체 제품의 복잡도는 식(5)와 같이 나타낼 수 있는데 분리 주공정에서의 복잡도 값과 분리 부공정에서의 복잡도 값이 제품의 복잡도에 미치는 정도가 다르기 때문에 분리 주공정의 복잡도 값에 복잡도 평가자의 주관에 따른 중요도 α 값을 주고 분리 부공정의 복잡도 값에는 전체 가중치 값이 1 이 되어야 하므로 $(1-\alpha)$ 값의 가중치를 준다. 여기서, 복잡도 평가자가 제품의 복잡도를 평가할 때 분리 주공정의 복잡도 값에 중요도 α 값을 부여하는 이유는 제품의 종류에 따라 즉, 부품이나 조립군의 형태나 특성에 따라 분리 주공정과 분리 부공정의 복잡도 값이 제품의 전체 복잡도에 영향을 미치는 정도가 일정하지 않고 차이가 날 수 있기 때문이다.

$$C_{total} = \alpha C_{mf} \times 100 + (1 - \alpha) C_{sf} \times 100 \quad (5)$$

여기서, C_{total} = 제품의 총 복잡도

α = 분리 주공정에 적용되는 가중치 값

$1 - \alpha$ = 분리 부공정에 적용되는 가중치 값

위의 (5)식을 통하여 구한 C_{total} 은 제품의 설계 단계로 다시 feedback 되어 제품 설계 시 분리 취약 공정을 알려 주어 설계자가 제품의 분리가 용이하도록 그 부분을 중점적으로 고려하여 설계할 수 있도록 해주며 또한, 어떤 부품이나 조립군이 분리 취약하여서 제거하거나 구조적으로 단순화시킬 필요가 있는지를 알 수 있도록 해준다. 이렇게 제품의 복잡도 값을 평가하여 이것을 통하여 제품의 설계 단계에서부터 분리 용이하도록 설계하여 제품의 분리공정의 작업성을 향상시킴으로써 궁극적으로는 부품 및 조립군이 재사용 가능하도록 하여서 이들이 만들어질 때 사용되었던 원자재 및 에너지를 절감하고, 폐기할 때 생겨날 수 있는 환경오염 문제를 줄일 수 있도록 해준다.

7. 사례연구

본 연구에서는 간단한 마우스 제품을 사례로

들어 제품의 분리 공정을 고려한 제품의 복잡도 평가를 하였다. 먼저, Fig. 10 에서는 마우스 제품의 분리공정을 묘사하고 있는데 각각의 부품에 대한 분리방법과 분리공정을 나타내고 있다. Fig. 10 과 같이 제품의 분리 공정을 분석하여서 제품의 복잡도 평가를 하기 위한 자료를 얻을 수 있다.

공정 번호	조립군 OR part 이름	분리방법	분리 공정 분석
1	마우스 윗덮개 조립군	역나사	<ul style="list-style-type: none"> ● 마우스 본체에서 윗덮개 조립군은 역나사 작업으로 분리 가능 ● 분리점을 찾기가 쉬우며 분리점에 Tool 을 접근하기가 용이함 ● 마우스 윗덮개 조립군과 마우스 밑덮개 사이에 간섭 현상이 없음
2	마우스 버튼	재깍	<ul style="list-style-type: none"> ● 마우스 윗덮개와 스프링클린 부위를 재깍 작업으로 분리 ● 재깍 작업하기 위해서는 보폭한 Tool 이 필요 ● 분리점을 찾기가 어렵고 분리공정 위험도가 내재되어 있음
3	마우스볼 지지판 조립군	재깍	<ul style="list-style-type: none"> ● 손으로 마우스볼 지지덮개를 돌려서 간편하게 분리 가능 ● 공정위험도가 낮지만 손으로 재깍 작업할 부위의작업공간이 협소
4	마우스볼	돌려냄	<ul style="list-style-type: none"> ● 마우스볼 지지판 조립군을 분리하면 마우스볼이 자유로워짐
5	마우스 PCB 판 조립군	뽑기	<ul style="list-style-type: none"> ● 마우스 밑덮개에서 마우스 PCB 판을 뽑기작업으로 분리 가능 ● PCB 판과 마우스 밑덮개가 꼭 끼워져 있어 뽑기작업이 어려움 ● 손가락 작업으로 분리하기 곤란하고 보폭한 Tool 로써 분리가능
6	마우스 밑덮개	자유탈락	<ul style="list-style-type: none"> ● 마우스 PCB 판을 뽑기 작업하면 마우스 밑덮개가 자유 탈락됨
7	전선부 조립군	굴단	<ul style="list-style-type: none"> ● 마우스 PCB 판에 납땜되어 있어 절단 작업해야함 ● 절단작업해야 함으로 해서 part 파손이 생김
8	마우스볼 덮개	재깍	<ul style="list-style-type: none"> ● PCB 판과 스프링클린 부분을 재깍 작업으로 분리가능 ● PCB 판에 손톱 다칠 위험이 있음
9	마우스볼 센스 지지대	뽑기	<ul style="list-style-type: none"> ● 간단한 뽑기 작업으로 분리가능

Fig. 10 Disassembly process of mouse

Fig. 11 은 마우스 윗덮개 조립군과 마우스 PCB 판 조립군에 대한 제품의 복잡도 평가를 위해 분리 주공정과 분리 부공정 각각의 복잡도 영향 요소들에 대해서 제품의 복잡도 평가기준에 따라 복잡도의 평가 등급과 점수를 부여한 것을 보여주고

마우스 윗덮개 스케치

공정번호	1	평가 기준		복잡도 등급	점수
주공정 복잡도 영향 요소	분리방법	역나사	① 분리점의 소요시간, 분리력크기	0.5	0.5
			② 필요 Tool 여부	0.5	0.5
			③ 분리작업용 part 재사용 여부	0.5	0
			④ 공정위험도	0.5	0
부공정 복잡도 영향 요소	분리방향	조립군 ↓	① 작업자가 분리력을 주기에 용이함의 정도	0	0
			② 작업자가 분리력을 보기 용이함 정도	0	0
부공정 복잡도 영향 요소	Tool 의 접근성	내려냄	① 작업자나 분리수행체의 주의 요구 정도	0	0
			② 특수 형태 도구의 사용 요구도	0	0
부공정 복잡도 영향 요소	부품간 간섭	조립 있음	① 분리후 part 의 손실 여부	0.5	0.5
			② 작업자가 한손으로 part 를 고정할 필요성	0.5	0
부공정 복잡도 영향 요소	집속상태	선정속	① 작업자에게 힘을 가할 때 분리력 전달 용이도	0.5	0.5
			② 체결요소에 힘을 가할 때 분리력 전달 용이도	0.5	0
부공정 복잡도 영향 요소	시각성	음전 개장형	① 분리점의 식별용이도	0	0
			② Part 형상의 불일성정도	0.5	0.5
부공정 복잡도 영향 요소	부품형상	Irregular	① Part 형상의 적외성 정도	0	1
			② 취급시간에 영향을 미치는 정도	0	0
부공정 복잡도 영향 요소	부품크기	Small	① 부가적 Tool 사용 여부	0	0
			② Part 가 허용하는 Tool 접근공간	0.5	0.5
부공정 복잡도 영향 요소	부품무게	인력	① 작업자가 handling 하기에 용이한 정도	0	0
			② 작업자가 한손으로 part 를 고정할 필요성	0.5	0
부공정 복잡도 영향 요소	집속상태	선정속	① 작업자에게 힘을 가할 때 분리력 전달 용이도	0.5	0.5
			② 체결요소에 힘을 가할 때 분리력 전달 용이도	0.5	0

마우스 PCB 판 스케치

공정번호	5	평가 기준		복잡도 등급	점수
주공정 복잡도 영향 요소	분리방법	뽑기 (속치개 용)	① 분리점의 소요시간, 분리력크기	0.5	0.5
			② 필요 Tool 여부	0.5	0.5
			③ 분리작업용 part 재사용 여부	0.5	0
			④ 공정위험도	0.5	0
부공정 복잡도 영향 요소	분리방향	조립군 ↑	① 작업자가 분리력을 주기에 용이함의 정도	0.5	0
			② 작업자가 분리력을 보기 용이함 정도	0	0
부공정 복잡도 영향 요소	Tool 의 접근성	두면	① 작업자나 분리수행체의 주의 요구 정도	0	0.5
			② 특수 형태 도구의 사용 요구도	0	0
부공정 복잡도 영향 요소	부품간 간섭	조립 있음	① 분리후 part 의 손실 여부	0.5	0.5
			② 작업자가 한손으로 part 를 고정할 필요성	0.5	0
부공정 복잡도 영향 요소	집속상태	연정속	① 작업자에게 힘을 가할 때 분리력 전달 용이도	0	0
			② 체결요소에 힘을 가할 때 분리력 전달 용이도	0	0
부공정 복잡도 영향 요소	시각성	부분변 개장형	① 분리점의 식별용이도	0.5	0.5
			② Part 형상의 불일성정도	0	0
부공정 복잡도 영향 요소	부품형상	Plate	① Part 형상의 적외성 정도	0	0
			② 취급시간에 영향을 미치는 정도	0	0
부공정 복잡도 영향 요소	부품크기	Small	① 부가적 Tool 사용 여부	0	0
			② Part 가 허용하는 Tool 접근공간	0.5	0.5
부공정 복잡도 영향 요소	부품무게	인력	① 작업자가 handling 하기에 용이한 정도	0	0
			② 작업자가 한손으로 part 를 고정할 필요성	0.5	0
부공정 복잡도 영향 요소	집속상태	연정속	① 작업자에게 힘을 가할 때 분리력 전달 용이도	0	0
			② 체결요소에 힘을 가할 때 분리력 전달 용이도	0	0

Fig. 11 Example of decision of complexity grade for mouse

있다. 이 Fig. 11 에서 나타나듯이 복잡도 등급에 따라 평가 점수를 0 점, 0.5 점, 1 점으로 부여하였다.

이렇게 제품의 복잡도에 영향을 주는 요소별로 부여된 평가 점수를 복잡도를 구하는 식에 의해서 각각의 조립군에 대한 복잡도 값을 분리 주공정과 분리 부공정 각각에 대하여 구할 수 있으며, 분리 공정 전체에 대해서도 복잡도 값을 구할 수 있다. Fig. 12 는 마우스 윗덮개 조립군과 마우스 PCB 판 조립군의 분리공정을 고려한 제품 복잡도 평가 결과를 나타내고 있다. 여기서, 분리 주공정에서의 복잡도 값을 비교해보면 마우스 PCB 판 조립군이 31.84 로 마우스 윗덮개 조립군의 복잡도 값 18.03 보다 높게 평가되었고, 분리 부공정에서의 복잡도 값은 마우스 윗덮개 조립군이 34.5 이고, 마우스 PCB 판 조립군이 16.66 으로 마우스 윗덮개 조립군이 분리 부공정에서는 더 높게 평가되었다. 분리 공정 전체의 복잡도 값은 마우스 윗덮개 조립군이 22.97 이고, 마우스 PCB 판 조립군의 복잡도 값은 27.36 으로 마우스 PCB 판 조립군이 분리 공정을 고려한 복잡도 값 비교에서는 마우스 윗덮개 조립군보다 더 높게 평가되었다. 즉, 마우스 PCB 판 조립군을 분리하는 것이 마우스 윗덮개 조립군을 분리하는 것 보다 더 어렵다는 것을 제품 복잡도 평가 결과로 알 수 있다.

분류	복잡도 영향요소	공정번호 1	공정번호 5
		영향요소 각각의 복잡도 (C_m)	영향요소 각각의 복잡도 (C_m)
분리 주공정 영향요소	분리방향	0.375	0.375
	분리방향	0	0.25
	Tool의 접근성	0	0.25
	부품간 간섭	0	0.5
	접촉상태	0.5	0
	작업영역	0.5	0.5
	분리도구	0.5	0.5
	접근방향변경수	0	0
	시각성	0	0.5
C_m (분리 주공정 전체 복잡도 영향요소 값)		18.03	31.84
분리 부공정 영향요소	부품형상	0.75	0
	부품크기	0.166	0.166
	부품무게	0	0
	부품소재	0.25	0.25
	Tool의 접근성	0.25	0.25
	작업영역	0.5	0.5
	접촉상태	0.5	0
C_b (분리 부공정 전체 복잡도 영향요소 값)		34.5	16.66
어느 한 공정 전체의 복잡도 값 $C_{total}(\alpha=0.7)$		22.97	27.36

Fig. 12 Results of complexity evaluation of disassembly process for mouse

여기서, 마우스 제품의 분리공정 전체의 복잡도 값을 구할 때 분리 주공정 값에 중요도 α 값을 0.7로 정한 것은 실제로 마우스 제품의 분리공정을 수행해본 결과 분리 주공정이 분리 부공정보다 작업을 어렵게 하는 요인이 더 많아서 분리 주공정의 복잡도 값이 분리공정의 전체 복잡도 값에 영향을 많이 미치는 것을 반영하기 위해서이다.

8. 결론

제품을 설계할 때 분리공정을 고려하여 제품 설계를 하는 것은 자원 재활용도를 높이고 제품의 생산원가와 환경오염을 줄일 수 있기 때문에 제품의 가공측면, 조립측면을 고려하여 제품 설계를 하는 것 못지않게 중요하다. 그래서 본 연구에서는 제품의 분리공정을 고려하여 제품 복잡도를 정량적으로 평가하였다. 본 연구에서는 제품의 분리공정을 고려하여 제품의 복잡도를 정량적으로 평가함으로써 제품의 분리공정 중 분리 취약 공정의 파악이 용이해지고, 분리공정을 어렵게 하는 부품 및 조립군의 특성 파악을 쉽게 할 수 있다. 제품의 분리 공정을 고려한 제품의 복잡도에 대한 평가를 위해서 먼저 분리공정에서의 복잡도에 대한 정의를 내렸고, 제품의 분리공정과 조립군에 대해서도 분석하였다. 또한, 제품의 분리 공정을 주공정과 부공정으로 나누어 조립군이나 부품의 특징요소를 파악하여 복잡도의 평가를 위한 기준을 설정하였고, 설정된 평가기준으로 복잡도 등급을 결정하였고, 제품의 복잡도에 대한 정량적인 평가값을 구하였다.

본 연구의 평가 결과는 제품의 설계단계에서 부터 제품의 설계자가 분리공정을 고려하여 설계할 수 있도록 해주며, 제품 분리 시 소요되는 경비를 절감하며, 제품의 복잡도를 낮추는 기법 연구의 기초 자료로 활용될 수 있다. 그리고 제품의 복잡도 감소를 위한 부품 및 조립군에 대한 설계 원칙과 조립과 분리를 동시에 고려한 제품의 복잡도 평가에 관한 연구도 앞으로 필요로 할 것이다.

참고문헌

1. Boothroyd, G. and Alting, L., "Design for Assembly and Disassembly," Annals of the CIRP Keynote Paper, Vol. 41, No. 2, pp.625-636, 1992.

2. Boothroyd, G., "Assembly Automation and Product Design," Marcel Dekker, Inc., 1992.
3. Ulrich, T. and Eppinger, D. , " Product Design and Development ," McGraw-Hill, Inc., 1995.
4. Eversheim, W. , "Management of Complexity," WZL, Aachen, 1995.
5. 목학수, 김형주, 문광섭, 양태일, "자동차 부품의 조립용이성과 분리용이성," 한국 학술 진흥재단 보고서, 1996.
6. 목학수, 정현교, 박주형 "자원 재활용을 위한 부품의 분리용이성," 한국정밀공학회지, 제 13 권 제 1 호, pp.153-166, 1996.
7. Fred E., "Plant Layout and Material Handling," Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall, 1993.
8. 박주형, "조립생산성 향상을 위한 조립순서 평가 시스템," 석사논문, 부산대학교, 1996.
9. Boothroyd, G. and Dewhurst, P., "Product Design for Assembly," Machine Design, Vol. 10, pp. 94-98, 1993.
10. 목학수, 신현창, "취급성과 접근성을 고려한 제품의 복잡도 평가," 한국정밀공학회지, 제 14 권 제 10 호, pp.91-101, 1997.