

조립과 분리를 고려한 제품의 모듈 정도 평가

목학수*, 양태일*, 황훈*

Evaluation of Module Degree Considering Assembly and Disassembly

Hak- Soo Mok*, Tae- Il Yang*, Hoon Hwang*

ABSTRACT

In this paper, module of a product is determined by the characteristics of a product itself and process. To analyze the characteristics of the product, information on subassemblies and parts can be obtained by analyzing the existing product. Based on the analysis of characteristics of product structure and function, determination rules of a module degree could be proposed for assembly and disassembly process and product structure and function. By applying these rules of a module, module of a product is classified into full, half and non-module depending on the module degree of a product. As a result of module degree analysis, simpler assembly process and reduced structural interference can be realized. For the product function, simpler, updated and multi function can be also achieved.

Key Words : Module degree(모듈 정도), Assembly (조립), Disassembly (분리)

1. 서론

제품에 대한 고객의 요구사항이 다양하기 때문에 모듈 설계에서 표준화된 조립군, 부품으로 서로 다른 모듈을 결합하여 하나의 제품으로 구성함으로써 제품의 다양성과 생산원가 절감이라는 목적을 달성하게 된다. 그러나 여러 종류의 모듈이 서로 조합되기 위해서 각각의 모듈들은 조립과 분리가 고려되어야 한다. 모듈 설계에 있어서 표준화된 모듈로 결합함으로써 소요되는 품목 수는 감소하게 되고, 그 제품 수가 많을 때에는 상당한 비용감소의 효과를 얻을 수 있다.⁽¹⁾

이러한 모듈화의 요구에 의해서 세계 여러 나라에서는 모듈 설계에 대한 많은 연구를 수행하고 있다. Pahl 과 Beitz 는 계속적인 새로운 제품 개발에 따른 제품 상향 조정과 제조 시스템의 개발을

동시에 고려하고, 전체 수명 주기에 따라서 제품의 모듈을 분류하여 독립적인 검사 공정 수를 최소화할 수 있는 제품 모듈을 선정하였다.⁽²⁾ Fey 은 설계 개발 시간, 고객 요구의 확대, 제품 수명 주기를 감소하기 위해서 고객의 요구, 기능적인 요구, 설계 인자 및 공정 변수들의 요소들을 만족할 수 있는 설계 영역을 선택하는 연구를 수행하였다.⁽³⁾ Hillstrom 는 기존 제품들의 유사한 기능을 바탕으로 새로운 제품에 대한 기능적인 다양성을 도입하였다.⁽⁴⁾ 그리고 Erixon, Von Yxkull 과 Arnstrom 은 모듈라 설계를 위해서 모듈 가능한 부품 군 생성과 모듈을 선정하는 방법론을 제시하였다.⁽⁵⁾ 기존 연구들에 대한 본 연구의 방법론의 차이점은 제품 기능적인 측면 뿐만 아니라 제품 구조 및 조립과 분리 공정 측면을 동시에 고려하였고, 기존 제품

* 부산대학교 산업공학과, 기계기술 연구소

의 분석 결과를 모듈 정도 평가를 위한 기준 도출에 적용하였다.

본 연구에서는 제품을 구성하고 있는 대상들간의 구조적인 특성과 기능적인 특성을 파악하고, 부품, 조립군의 구조적 상호 관련성, 구조적 취약점등을 조사 하였다. 또한, 조립 공정과 분리 공정 측면에서 조립과 분리 방법, 조립과 분리도구 등을 분석하고, 로봇 크기가 큰 가전제품, 자동차의 조립군들에 대해서 조립 및 분리 작업을 수행하고, 조립 시간과 분리 시간을 측정하여 제품에 대한 모듈 정도를 평가하는데 있어서 기초 자료로써 사용하였다. 이러한 자료를 바탕으로 제품 구조의 구성 요소들을 분류하고, 제품 기능의 특성들을 분석하여 모듈로써 결정될 수 있는 요소들을 파악하였다. 그리고 제품 구조 및 공정에 영향을 미칠 수 있는 모듈 영향요소에 대한 기준들을 제시하고, 제품 기능들간에 미치는 상관 관계를 분석하여 평가하고, 정량적인 값으로 제시하고자 한다.

2. 제품 분석

본 연구에서는 제품 분석의 범주를 모듈화의 효과가 크고, 제품의 표준화, 모델 변경 시 최소의 모듈로써 변경, 다양한 모델 변화를 구성함으로써, 설계 비용, 생산 비용 등을 절감할 수 있는 로봇 크기가 5000개 이상이고, 제품 크기가 중형인 제품인 가전 제품, 자동차의 조립군을 연구 대상으로 선정하였다.

2.1 제품 구조와 기능 분석

제품의 기능 계층 구조에서는 여러 가지 기능들이 상위 단계에서 하위 단계까지 구성되어 있으며, 상위 단계의 조립군, 모듈이 성능을 발휘하기 위해서는 그 하위 단계들의 조립군, 모듈들이 각자 고유의 기능을 수행하고, 제품 구조적 특성과 밀접한 관련성을 가져야 한다.⁽⁶⁾ Fig.1은 자동차 계기판 조립군의 기능 구조와 구조적 특성을 나타내고 있다.

계기판 조립군의 전체적인 기능은 자동차의 속도 및 회전수, 온도 등을 지시한다. 예를 들면, 속도 지침계 조립군(Sub1)과 회전수 지침계 조립군(Sub2)은 자동차의 속도와 회전수를 나타내는 고유 기능들을 가지고있다. 이러한 기능을 수행하는 조립군들의 구조적 형상들은 "지지 부품 및 기저

부품", "일체화된 구조", "상호작용을 미치는 구조"로써 분류될 수 있다. 예를 들면, 속도 지침계 조립군은 기저 부품에 4가지 종류의 조립군들이 지지되어 있고, 철, 플라스틱과 같은 다른 소재의 부품들이 리벳(Rivet)으로 일체화되어 있고, 단일 축상에 삽입되어 상호작용을 미치게 된다.⁽⁷⁾

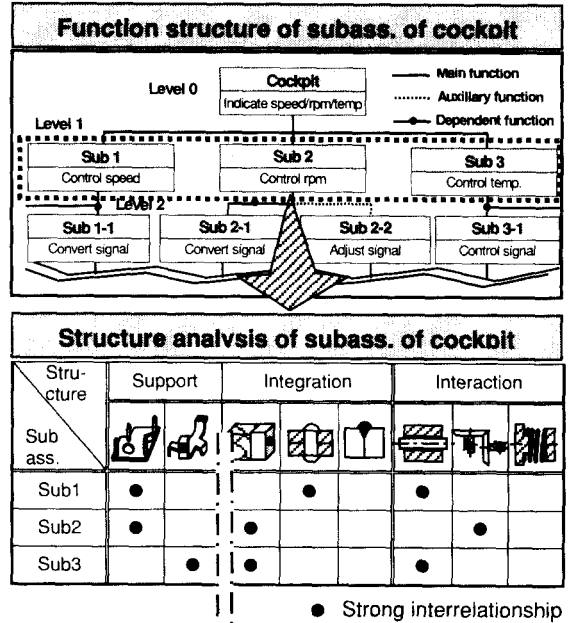


Fig.1 Function structure and structural analysis of subassembly of cockpit

2.2 조립과 분리 공정 분석

조립 및 분리 공정 분석은 취약 공정 및 조립군 특성을 파악하고, 모듈 정도의 결정 기준에 대한 영향 요소를 발체하기 위한 정보를 얻을 수 있다. 제품 분석을 위한 조립 공정 분석은 DFA(Design for Assembly) 소프트웨어를 이용하였고, 분리 공정은 분리 방법, 분리 방향, 부품간 간섭, 분리점에 대한 접근 방향 변경횟수, 시각성 등을 분석하였다. 예를 들면, Fig.2는 DFA를 이용한 조립 공정의 분석을 나타내었다.

계기판 조립군에 대한 조립 공정 분석은 제품 구조 Tree, 조립 공정 취약점 분석, 조립 공정 취약점에 대한 시간 및 비용분석으로 크게 3단계로 나누어질 수 있다.

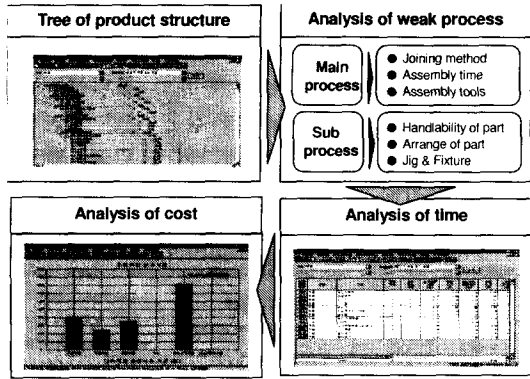


Fig. 2 Analysis of assembly process using DFA

먼저, 제품구조 Tree에서는 계기관 조립군의 구조 형상과 구성 요소인 부품, 조립군들의 체결 방법을 계층적 구조로써 나타내었다. 조립 공정 취약점 분석단계에서는 제품 구조 Tree의 부품, 조립군들에 대해서 조립 공정을 주 공정과 부 공정으로 나누어, 각각의 공정에서 발생할 수 있는 취약한 부분을 알아 보았다. 주 공정에서는 체결 시 부품, 조립군을 지지하거나, 다른 부가적인 작업이 요구되는 경우와 부품, 조립군을 삽입할 때 부품 형상의 대칭성, 모따기, 삽입 후 상태유지 등으로써 삽입의 어려움 정도를 시간으로 환산하여 나타내었다. 부 공정에서는 부품, 조립군에 대해서 취급, 접근, 정렬의 어려움 정도를 시간으로 환산하여 나타내었다. 예를 들어, 취급의 어려움은 얇힘 발생, 유연함, 부서지기 쉬운, 끈끈함, 미끄러지기 쉬운 부품소재의 특성에 의해서 발생할 수 있고, 부품 크기가 작은 경우에 핀셋, 확대경과 같은 보조 도구를 사용하거나, 부품 크기가 크고, 무거운 경우 두 사람 이상의 작업자나 크레인 같은 보조 기기가 사용될 수 있다. 조립 공정의 취약점에 대한 시간과 비용의 결과는 속도 지침계 조립군의 시간 분석측면에서는 다른 부품, 조립군들과 상호 관련성을 많이 가지고 있고, 간섭이 발생하여 삽입, 정렬, 접근 시간이 많이 요구됨으로써 다른 조립군에 비해 전체 조립시간이 높고, 비용 측면으로는 부품, 조립군을 체결하는데 있어서 표준 조립작업 외에 별도의 조립작업에 의해 높은 비용이 발생됨을 알 수 있다.⁽⁸⁾

3. 모듈의 정의

제품의 구조가 복잡하고 기능이 다양해질수록 제품들간에 부품, 조립군의 호환성과 표준화된 모듈의 사용이 요구된다. 기본적인 모듈 개념은 독립적인 조립군의 기능과 구조, 표준화되어 다른 제품에도 이용될 수 있는 조립군으로 정의될 수 있다. 제품에 대한 모듈 개념의 적용은 생산 공정에서도 많은 효과를 얻을 수 있다. 즉, 생산 공정에서 도구 비용의 감소, 조립 비용의 감소, 관리의 용이, 검사 비용의 감소등과 같은 효과를 얻을 수 있다.

3.1 제품과 공정측면에서의 모듈의 정의

모듈은 제품에 종속적인 요소와 제품의 종속적인 요소에 의해서 영향을 받는 조립 공정과 분리 공정에 종속적인 요소로 분류될 수 있다. Fig.3은 제품과 공정측면에서의 모듈의 정의를 나타내었다.

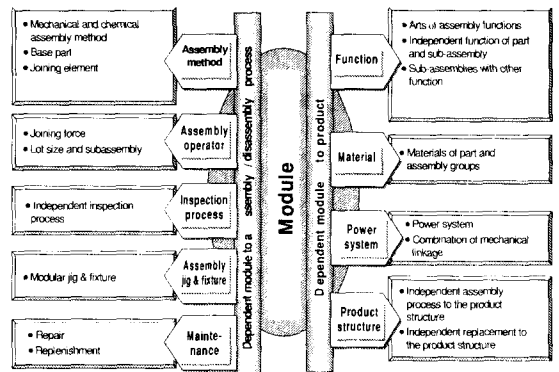


Fig. 3 Definition of module considering product and process

제품에 종속적인 요소는 제품 기능, 부품 및 조립군의 소재, 동력 체계, 제품 구조로 분류될 수 있고, 조립 공정과 분리 공정에 종속적인 요소는 조립 방법, 조립 작업자, 검사 공정, 조립 지그 및 고정구, 제품 관리로 분류될 수 있다. 예를 들어, 제품에 종속적인 모듈에 있어서 기능은 동일한 제품 내에서 다른 부품과 조립군의 기능에 영향을 받지않고 독립적으로 수행되고, 다른 제품에 공유될 수 있어야 한다.⁽¹³⁾ 조립 공정과 분리 공정에 종속된 모듈 측면에서 조립 방법은 기계적 조립 방법과 화학적 조립 방법, 기저 부품에 종속된 부품, 조립군에 대해서 여러 가지 조립 방법이 일체화되어 독립적으로 수행되는 조립 방법, 조립 기계의 특성에 의해서 모듈로써 분류될 수 있다.⁽⁶⁾

3.2 모듈의 분류

제품을 구성하는 조립군들은 상위 단계에서 하위 단계까지 기능적으로 혹은 구조적으로 상호 연관성을 가지고 있고, 각 단계마다의 조립군들의 특성에 따라 모듈을 대 모듈, 중 모듈, 소 모듈로 나누었다. 대 모듈은 기능을 수행하는 조립군들 중에서 동일한 에너지의 영향을 받는 조립군들의 군, 독립된 신호 체계, 상호 연관성을 갖는 기구학적 메커니즘을 가지는 조립군들의 군으로써 고려된다. 중 모듈은 대 모듈의 조립군에서 신호의 출력이 발생하는 조립군, 구조적으로 분리될 수 있는 조립군, 단일 구조물에 종속된 조립군들이다. 소 모듈은 중 모듈을 구성하는 단위 기능의 조립군, 다른 조립군들을 고정하는 조립군들으로써 간주될 수 있다. Fig.4는 자동차 조립군들 중에서 대 모듈에 해당되는 조립군들을 나타내었다.

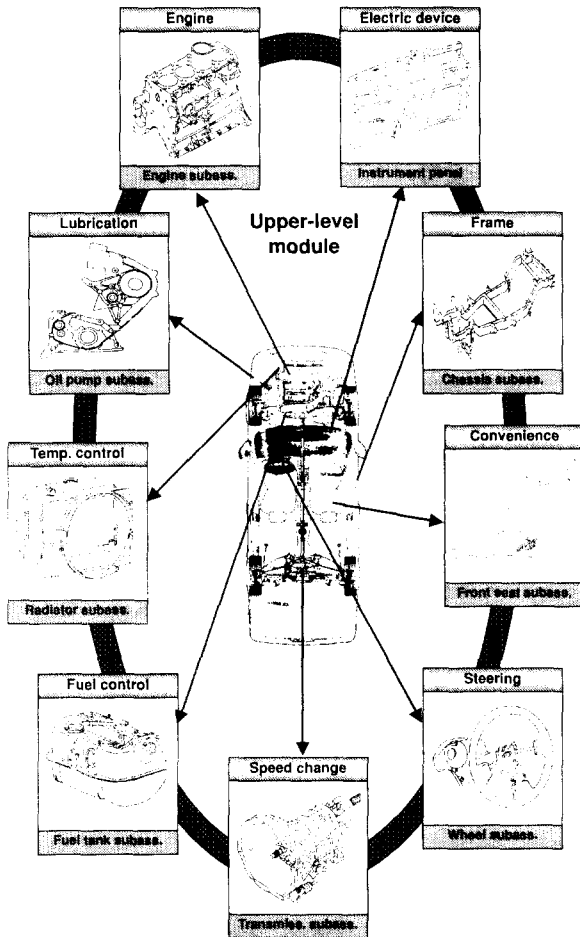


Fig. 4 Upper-level module of automobile

자동차의 전체 기능을 고려하여 엔진, 전기 장치, 윤활 장치, 연료 장치, 온도 조정 장치, 변속 장치, 조정 장치, 부대 장치, 구조물 등으로 9 가지의 범주로서 나누었다. 예를 들면, 전기 장치에 해당되는 대 모듈들은 전기의 동일한 에너지원의 영향을 받는 조립군들로서 Battery, Instrument panel 등이 있고, 구조물에 해당되는 대 모듈은 일체화된 구조인 조립군으로써 Chassis frame 및 Body frame 조립군 등이 있다. 또한, 부대 장치로는 Front seat 조립군 등이 있고, 조정 장치는 상호 연관성을 갖는 기구학적 메커니즘 체계로서 Steering wheel 조립군 등이 있다.⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾

4. 제품의 모듈 정도의 결정 기준

4.1 모듈화 개념

제품 사양의 증가와 제품 수명 주기의 감소에 의해서 제품 기능이 다양해지고, 제품 구조는 점차적으로 복잡해진다. 따라서, 제품 설계에 투입되는 노력을 최소화하고, 기능의 상향 조정에 대한 유연성을 높이고, 제품의 유지 및 관리와 부품 및 조립군의 재활용을 위한 분리 공정을 용이화를 위한 제품의 모듈화가 필요하다. Fig.5는 모듈화의 개념을 나타내었다.

모듈화의 개념은 크게 제품과 공정 측면으로 분류된다. 제품측면의 모듈화는 제품 기능과 구조로써 나누어질 수 있고, 공정측면의 모듈화는 조립과 분리로써 분류될 수 있다. 제품 기능은 복잡한 기능 구조를 세분화하여 “단위 기능화”로써 만들고, 상호 의존적인 기능 관계를 “독립적 기능화”를 하고자 하는 개념이다. 제품 구조는 “구조적으로 분리” 될 수 있으며, 부품 및 조립군들간에 발생될 수 있는 “구조적 간섭을 최소화”하고, 조립군에 체결되는 “개별 부품 및 조립군수를 최소화”하여 조립 및 분리 공정을 용이하게 하는 모듈화 개념을 고려하였다.⁽¹²⁾ 조립 공정에서의 모듈화 개념은 조립 기계, 조립 작업자가 공정을 쉽게 수행할 수 있고, 조립 비용을 최소화 할 수 있도록 “조립의 단순화”가 고려되어야 하고, 다른 공정과 개별적으로 수행될 수 있도록 “독립적인 공정화”가 되어야 하며, 공정에 소요되는 작업 도구 및 작업 기계, 작업자수를 최소화 할 수 있도록 “공정 수의 최소화”를 제시하였다. 분리 측면에서는 제품의 고장이 발생했을 경우 교체를 하거나 수리

를 하기 위해서 분리 시간을 최소화 할 수 있도록 “빠른 분리”가 이루어져야 하고, 다른 부품 및 조립군과 독립적으로 분리가 수행 될 수 있도록 “독립적인 분리 공정화”가 되어야 하며, 공정에 소요되는 분리 기계, 분리 작업자, 분리 도구의 사용이 최소화 될 수 있도록 “분리의 단순화”의 모듈화 개념을 고려하였다.⁽¹³⁾

제품 기능 및 구조, 조립 및 분리 공정의 모듈화 개념을 고려하여 제품을 구성하는 조립군 간에 모듈 정도를 결정할 수 있다.

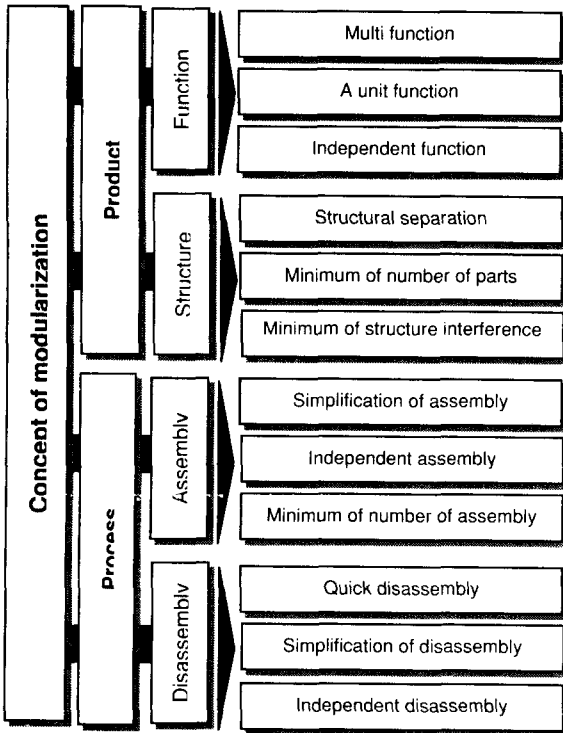


Fig. 5 Concept of modularization

4.2 모듈의 영향 요소

제품 기능 및 구조, 조립 및 분리 공정을 고려한 모듈화 개념을 바탕으로 모듈의 영향 요소는 제품과 공정측면으로 분류될 수 있다. Fig.6은 모듈화 개념과 모듈의 영향 요소간의 상관관계를 나타내었다. 제품에 대한 영향 요소는 기능과 구조로써 고려될 수 있고, 공정은 조립과 분리로써 제시될 수 있다. 제품 기능의 영향 요소는 에너지와 기구학적 메커니즘으로 나누어질 수 있는데, 에너지는 발생 형태에 따라서 에너지의 저장 방식, 위

치 에너지, 회전 운동 에너지, 직선 운동 에너지, 소재 변형에 의한 에너지, 신호 변환에 의한 에너지 등이 있다. 기구학적 메커니즘은 회전 운동, 직선 운동, 회전과 직선운동의 조합 등으로 제시될 수 있다. 제품 구조의 영향 요소는 소재, 부품 및 조립군, 구조 형상으로써 구분되고, 소재는 단일 소재 수 등이 고려될 수 있고, 부품 및 조립군은 부품 형상, 부품 종류 수, 조립군 수로써 분류될 수 있고, 구조 형상은 부품 및 조립군의 기하학적 형상, 체결점의 시야 확보, 도구의 작업 공간, 접근 방향 변경 수 등이 있다.

		Concept of modularization											
		Function			Assembly			Disass.					
		a	b	c	g	h	i	j	k	l			
Influential factor of module	Function	A	●	●									
		B	●	●									
	Assembly	F		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
		G				●	●		●	●			
		H				●			●	●			
	Disass.	I				●	●	●	●	●	●	●	●
		J		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
		K				●	●		●	●			
		L				●			●	●			

● Strong interrelationship

LEGEND

a : Multi function b : A unit function c : Independent function
d : Structural separation e : Minimum of number of parts
f : Minimum of structure interference
g : Simplification of assembly h : Independent assembly
i : Minimum of number of assembly j : Quick disassembly
k : Simplification of disassembly l : Independent disassembly
A : Energy B : Mechanical mechanism C : Materials D : Number of subassembly
E : Structural feature F : Assembly method G : Assembly direction
H : Insertion I : Joining element J : Disassembly method
K : Disassembly direction L : Handling

Fig. 6 Interrelationship between concept of modularization and influential factor of module

조립에 대한 영향 요소는 조립 방법, 조립 방향, 삽입, 체결 요소 등으로 구분된다. 조립 방법은 조립 도구 변경 수, 체결력, 조립 기능이 있고, 조립

방향은 조립 방향성, 조립 방향 변경 수로써 분류되고, 삽입은 삽입 공정 수, 삽입 안내 형상, 삽입 저항력 등이 있고, 체결 요소는 체결 요소 수, 체결 형상으로 구분된다. 분리에 대한 영향 요소는 분리 방법, 분리 방향, 취급으로 제시 될 수 있는데, 분리 방법은 분리 기능, 분리 도구 변경 수, 분리력 등이 있고, 분리 방향은 분리 방향성, 분리 방향 변경 수로 나누어 지고, 취급은 재질, 크기, 무게로 분류된다. 제품 기능 및 구조, 조립 및 분리 고정을 고려한 모듈화 개념을 바탕으로 모듈 정도를 결정할 수 있는 기준들을 도출하기 위해 Fig.6 과 같이 모듈화 개념과 모듈의 영향 요소간의 상관관계를 적용하였다. 예를 들어, 모듈화 개념과 모듈의 영향 요소간의 상관 관계에서 조립측면의 모듈화 개념에서의 조립의 단순화는 모듈의 영향 요소에서의 제품 구조의 소재, 조립군 수, 구조 형상과 조립측면에서는 조립 방법, 조립 방향, 삽입, 체결 요소, 그리고 분리 측면에서는 분리 방법, 분리 방향, 취급과 상관 관계를 가진다.

4.3 모듈 정도의 결정 기준

제품은 부품, 조립군, 모듈들이 독립성과 상호 관련성을 가지고 제품 구조의 특성, 제품 기능적 요구, 조립 공정과 분리 공정을 고려하여 독립적으로 혹은 그룹으로서 결합되어 있다. 모듈 정도의 결정은 독립성과 상호 관련성을 파악하고, 정성적 및 정량적으로 구분하는 것이다. Fig.7 은 제품의 모듈 정도에 영향을 미칠 수 있는 제품 구조 및 기능, 조립 공정, 분리 공정에 대한 상관관계를 나타내고 있다.

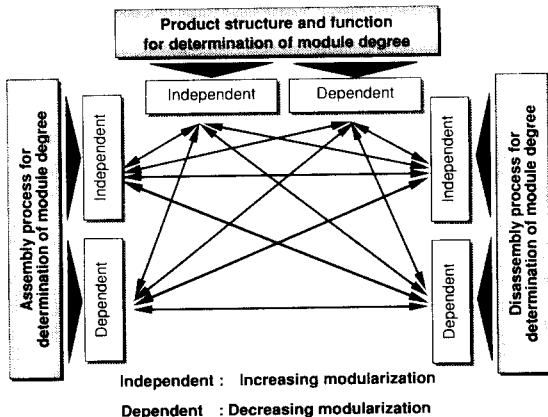


Fig. 7 Interrelationship among assembly, disassembly and product structure and function

제품 구조 및 기능, 조립 공정, 분리 공정은 모듈화를 증가 시키는 독립적 특성과 모듈화를 감소시키는 종속적 특성을 가지고, 특성들간에 복잡한 상관 관계를 가지게 된다. 이러한 상관 관계를 분석하기 위하여 기준을 설정하고, 그 기준을 바탕으로 모듈 정도를 결정할 수 있다.⁽⁶⁾⁽¹⁴⁾

제품 구조 및 기능, 조립 및 분리 공정의 모듈 정도에 대한 결정 기준 중에서 예를 들어, 제품 구조의 모듈 정도를 결정하기 위한 기준들을 Fig.8 과 같이 제시하였다.

제품 구조에 대한 모듈 정도의 결정 기준은 구조적 형상과 부품 및 조립군으로써 구분하였다. 구조적인 형상은 구조적 분리, 구조적 간섭, 구조적 일체화로서 나눌 수 있고, 부품 및 조립군은 기저 부품에 조립, 표준 부품 및 조립군, 단일 소재로써 분류될 수 있다. 예를 들어, 구조적 형상에서의 구조적 분리에 대한 기준들은 평행 구조, 계층 구조 및 독립된 축 방향들이 있고, 부품 및 조립군에서의 기저 부품에 조립에 대한 기준들은 기저 부품의 구분 수, 기저 부품의 형태, 기저 부품에 조립되는 면의 수가 있다.

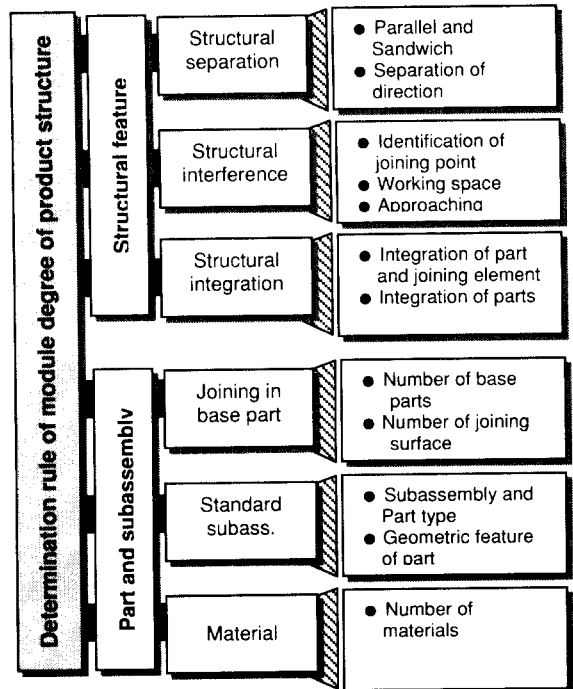


Fig. 8 Determination rule of module degree of product structure

제품 구조에 대한 모듈 정도의 결정 기준은 구조적 형상과 부품 및 조립군으로써 구분하였다. 구조적인 형상은 구조적 분리, 구조적 간섭, 구조적 일체화로써 나눌 수 있고, 부품 및 조립군은 기저 부품에 조립, 표준 부품 및 조립군, 단일 소재로써 분류될 수 있다. 예를 들어, 구조적 형상에서의 구조적 분리에 대한 기준들은 평행 구조, 계층 구조 및 독립된 축 방향들이 있고, 부품 및 조립군에서의 기저 부품에 조립에 대한 기준들은 기저 부품의 구분 수, 기저 부품의 형태, 기저 부품에 조립되는 면의 수가 있다.

제품 구조에 대한 기준들 중에서 예를 들어, 구조적 분리에 대한 기준의 조건들을 Fig.9에 나타내었다.⁽¹⁵⁾ 구조적 분리를 함으로써 제품을 구성하고 있는 조립군이 다른 조립군들과 종속되지 않는 구조적인 특성에 의해 독립적인 조립 및 분리 공정이 가능하고, 조립과 분리가 용이하게 되어 제품의 모듈화는 높아지고, 모듈 정도도 증가하게 된다. 구조적 분리의 세부 기준들은 체결되는 위치와 동축 방향으로 나누어질 수 있다. 체결되는 위치는 평행 구조와 계층 구조로써 구분되고, 동축 방향은 독립된 동축 방향과 복합된 다축 방향이 있다. 평행 구조는 체결되는 방향에 따라서 X, Y, Z 방향으로 독립된 지지 부품이나 체결 요소들이 다른 부품 및 조립군들간에 간섭 없이 놓여지는 구조적 형상으로써 높은 모듈 정도를 가질 수 있다. 계층 구조는 부품 및 조립군들이 샌드위치(Sandwich)구조 형상으로써 조립 및 분리 공정에서 다른 부품이나 조립군들의 공정 순서에 종속되어 모듈 정도가 감소하게 된다.

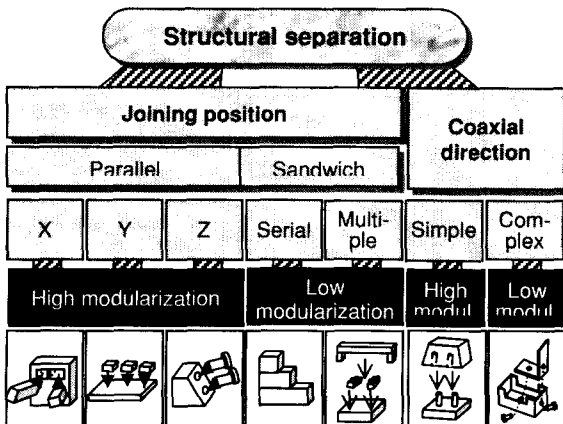


Fig. 9 Condition of rule of structural separation

독립된 동축 방향은 단일 축 방향으로 조립군을 구성하는 부품 및 조립군들이 결합되는 것으로써 조립 및 분리 방향이 분리될 수 있으므로 모듈 정도가 증가되고, 복합된 다축 방향은 조립 및 분리 방향 변경 수가 많아지는 경향을 가지며, 모듈 정도는 낮아지게 된다.⁽¹⁵⁾

5. 제품의 모듈 정도의 평가

제품 기능 및 구조, 조립 및 분리 공정을 고려한 모듈화 개념을 만족하는 모듈 정도의 결정 기준에 의해서 모듈 정도가 결정된다. 모듈 정도의 결정은 제품을 구성하는 조립군들이 모듈화 개념을 만족하는 정도으로써, 정량적인 정도와 완전 모듈, 반 모듈, 비 모듈의 정성적인 모듈 정도으로써 제시될 수 있다.

5.1 모듈 정도의 평가 체계

제품 기능, 제품 구조, 조립 공정, 분리 공정 중 예를 들어, 제품 구조에 대한 모듈 정도의 결정 기준을 바탕으로 Fig.10과 같이 모듈 정도의 평가 체계를 제시하였다.

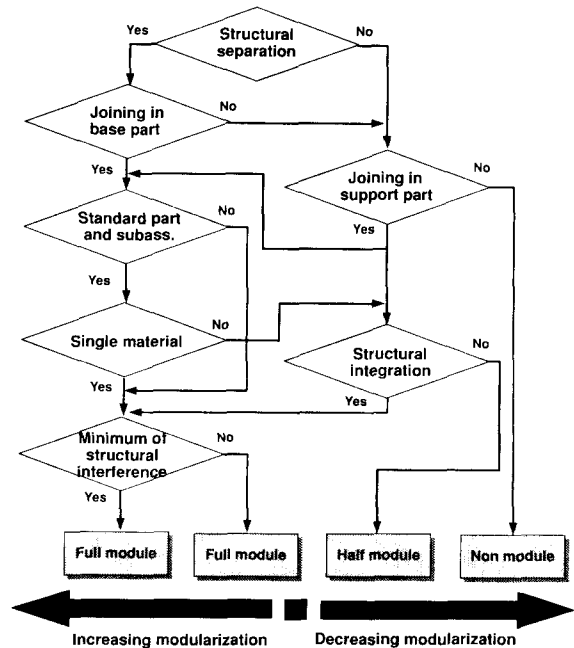


Fig. 10 Determination of module degree of product structure

제품 구조의 모듈 정도의 구분은 조립군의 “구조적 분리”의 기준에 의해서 “기저 부품의 조립”과 “지지 부품 및 조립군에 조립”으로 분류된다. “기저 부품의 조립”의 기준을 만족하는 조립군은 “표준 부품 및 조립군”, “단일 소재” 및 “최소의 구조적 간섭”의 기준들에 의해서 완전 모듈로써 구분된다. “지지 부품 및 조립군”의 기준은 “구조적 일체화”의 기준에 의해서 완전 모듈과 반 모듈로써 구분된다 각각의 기준에 대해서 No의 경우 일 때, 낮은 정량적인 모듈 점수를 받게 된다. 완전 모듈일수록 정량적인 점수는 증가되고, 비 모듈일수록 정량적인 점수는 감소하게 된다.

5.2 정량적인 모듈 정도의 평가

제품 기능과 구조, 조립 및 분리 공정에 대한 모듈 경계 결정 체계를 바탕으로 정량적인 모듈 정도는 2 단계로 나누어서 구하였다.

우선, 1 단계에서는 제품 기능과 구조, 조립 및 분리 공정의 기준들에 대해서 가중치의 등급을 결정하여 제품을 구성하는 조립군들의 가중치를 구하였다. 예를 들어, Fig.11 는 분리 공정에서 모듈 정도의 결정 기준들 중에서 최소의 분리 방향수의 결정 기준에 대한 가중치들을 나타내었다.

Deter. rule of module degree for num. of minimum disass. direction		Weight-ing	
Direction	Gravity	Gravity, 0	10
	Horizontal	Horizontal, 0	9
	Reverse gravity	Gravity, 1	8
Num. of change of direction	0	Horizontal, 1	7
		Gravity, 2	6
	1	Horizontal, 2	5
		Horizontal, 3	4
	2	Reverse gravity, 0	3
		Reverse gravity, 1	2
3	Reverse gravity, 2	1	

Fig. 11 Weighting of determination rule of module degree for numbers of minimum disass. direction

최소의 분리 방향 수의 모듈 정도의 결정 기준들에 대한 가중치의 경우들을 최소 1에서 최대 10 까지 10 단계 등급으로 나누었다. 예를 들어, 가중치가 1 인 등급은 분리 방향성이 반 중력 방향이

고, 분리 방향 변경 수가 2 인 경우이고, 가중치가 10 인 등급은 분리 방향성이 중력 방향이고, 분리 방향 변경 수가 0 인 경우에 해당된다.

2 단계에서는 모듈 정도를 평가하고자 하는 조립군에 대해서 제품 구조와 기능, 조립 및 분리 공정의 결정 기준들을 적용시켜 각각의 가중치의 총합을 구하고, 제품 구조와 기능, 조립 및 분리 공정의 모듈 정도의 결정 체계에서 모든 “Yes” 경로를 통과하는 최대 가중치 총합(모든 “Yes” 경로의 수 × 하나의 세부 결정 기준에 대한 가중치의 최대값(10))으로 나누어 모듈 정도(%)를 구할 수 있다. 제품 구조와 기능, 조립 및 분리 공정의 기준들의 모듈 정도(%)는 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$PF_M = \frac{\sum_{i=1}^h W_{PFi}}{10 \times n} \times 100 \quad (\%)$$

$$PS_M = \frac{\sum_{j=1}^m W_{PSj}}{10 \times n} \times 100 \quad (\%)$$

$$AP_M = \frac{\sum_{k=1}^n W_{APk}}{10 \times n} \times 100 \quad (\%)$$

$$DP_M = \frac{\sum_{l=1}^R W_{DPl}}{10 \times n} \times 100 \quad (\%) \quad (1)$$

여기에서,

h: 제품 기능에 대한 기준들의 수

m: 제품 구조에 대한 기준들의 수

p: 조립 공정에 대한 기준들의 수

R: 분리 공정에 대한 기준들의 수

W_{PFi}: 제품 기능에 대한 기준들의 가중치 합

W_{PSj}: 제품 구조에 대한 기준들의 가중치 합

W_{APk}: 조립 공정에 대한 기준들의 가중치 합

W_{DPl}: 분리 공정에 대한 기준들의 가중치 합

PF_M: 제품 기능에 대한 모듈 정도

PS_M: 제품 구조에 대한 모듈 정도

AP_M: 조립 공정에 대한 모듈 정도

DP_M: 분리 공정에 대한 모듈 정도

10xn: 제품 기능 및 구조, 조립 및 분리 공정의 모듈 정도의 결정 체계에서 모든 “Yes” 경로의 수와 결정 기준에 대한 가중치의 최대값의 곱

식(1)에서 구한 제품 기능 및 구조, 조립 및 분

리 공정의 모듈 정도를 평균한 전체적인 제품의 모듈 정도는 식(2)에서 제시될 수 있다.

$$P_M = \frac{PF_M + PS_M + AP_M + DP_M}{N} \quad (\%) \quad (2)$$

여기에서,

P_M : 전체적인 제품의 모듈 정도

N : 제품 기능, 제품 구조, 조립 공정, 분리 공정의 수

6. 사례 연구

모듈화의 효과가 큰 자동차 조립군중에서 승용차의 계기판 조립군을 선택하여 제품의 모듈 정도를 평가하였다. Fig.12는 계기판 조립군을 구성하는 부품과 조립군들을 나타내고 있다.

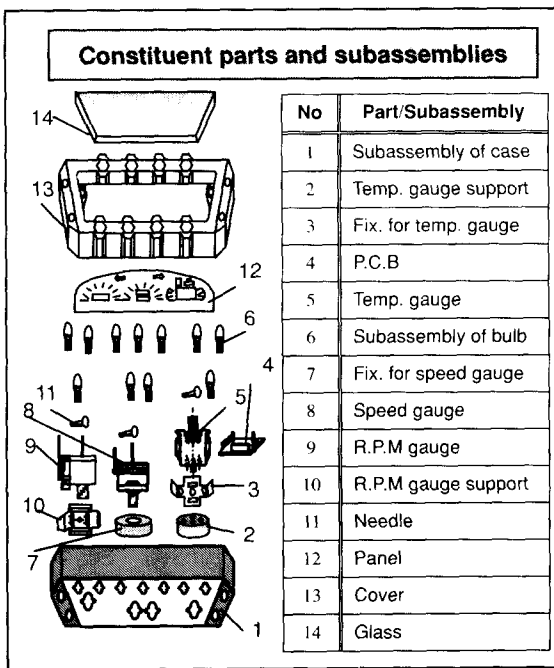


Fig. 12 Constituent parts and subassemblies for the subassembly of cockpit of an automobile

제품의 모듈 정도의 평가 시스템은 모듈 정도의 결정 기준들의 DB와 정량적인 모듈 정도 평가치를 제시하기 위한 기준들의 점수에 대한 DB로써 구성되어 있고, 사용자를 위한 입력 창과 모듈 정도를 나타내어주는 결과 창으로 되어 있다. 사용

자가 모듈 정도를 평가하기 위한 입력 창은 제품 측면과 공정 측면으로 되어 있다. 제품 측면의 입력 창은 제품 구조와 기능의 평가로 구성되어 있고, 공정 측면의 평가는 조립과 분리 공정에 대한 모듈 정도 평가로 구성되어 있다. Fig.13은 계기판 조립군을 제품 구조 및 기능, 조립 및 분리 공정의 모듈 정도의 평가 시스템에 적용한 것을 나타내었다.

예를 들면, 계기판 조립군 중에서 속도계까지 조립군의 구조적 일체화의 모듈 정도 평가는 체결 요소간의 체결 매커니즘의 변화에 의한 일체화와 부품들간의 기하학적 형상 변화에 의한 일체화의 입력창에서 해당되는 세부 기준을 선택한다.

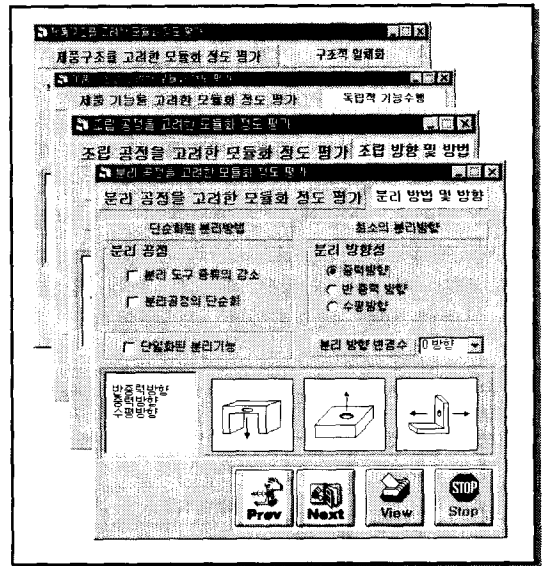


Fig. 13 Evaluation of module degree of subassembly of cockpit

계기판 조립군의 부품과 조립군들에 대해서 제품 기능과 구조 및 조립과 분리 공정에 대한 모듈 정도의 평가 시스템을 적용하여 Fig.14와 같은 모듈 정도의 결과를 구하였다.

제품 기능과 구조 및 조립과 분리 공정에 대한 모듈 정도의 결과는 정성적 결과와 정량적 결과로 나타내었다. 정성적 결과는 완전 모듈, 반 모듈, 비 모듈로써 제시하였고, 정량적인 결과는 모듈화의 율(%)로써 나타내었다. 자동차 계기판 조립군중에서 제품 구조의 모듈 정도에서는 케이스 조립군이 40%의 모듈 정도로써 제일 낮게 구해졌고, 전구 조립군이 85%의 모듈 정도로써 제일 높게

나타났다. 제품 기능의 모듈 정도에서는 온도 게이지 지지 부품이 25%의 모듈 정도로서 제일 낮게 구해졌고, 전구 조립군이 90%의 모듈 정도로서 제일 높게 나타났다. 조립 공정의 모듈 정도에서는 케이스 조립군이 40%의 모듈 정도로서 제일 낮게 평가되었고, 전구 조립군이 85%의 모듈 정도로서 제일 높게 제시되었다. 분리 공정의 모듈 정도에서는 온도 게이지 지지부품이 40%의 모듈 정도로서 제일 낮게 구해졌고, 전구 조립군이 80%의 모듈 정도로서 제일 높게 나타났다.

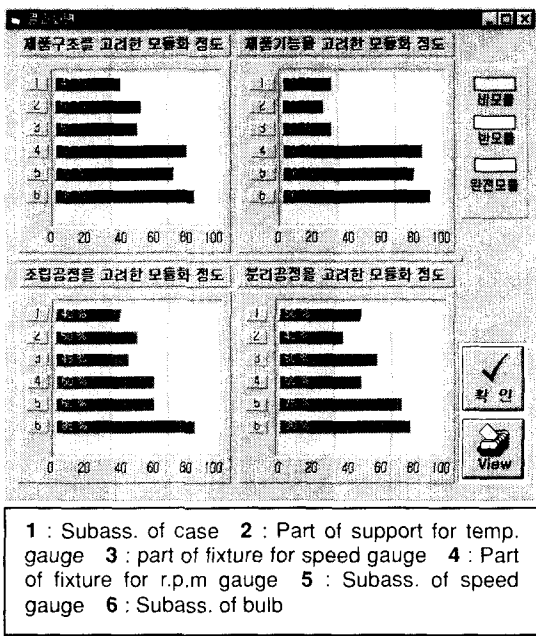


Fig. 14 Results of module degree of subassembly of cockpit for product structure and function, assembly and disassembly

Fig.15는 계기판 조립군에 대한 전체적인 모듈 정도를 나타내고 있다.

제품 기능과 구조 및 조립과 분리 공정에 대한 모듈 정도의 평균값으로써 제품의 전체적인 모듈 정도를 구하였다. 전구 조립군이 85%의 모듈 정도로서 완전 모듈로 제일 높은 모듈 정도로서 구해졌고, 케이스 조립군, 온도 게이지 지지 부품, 온도 게이지 고정 부품들은 반 모듈로서 각각 40%, 42%, 46%의 모듈 정도의 결과를 나타내었다. 이러한 결과에 의해서 낮은 제품 구조와 기능의 모듈 정도는 조립과 분리의 모듈 정도에 좋지않은

영향을 미친다는 것을 알 수 있었다.

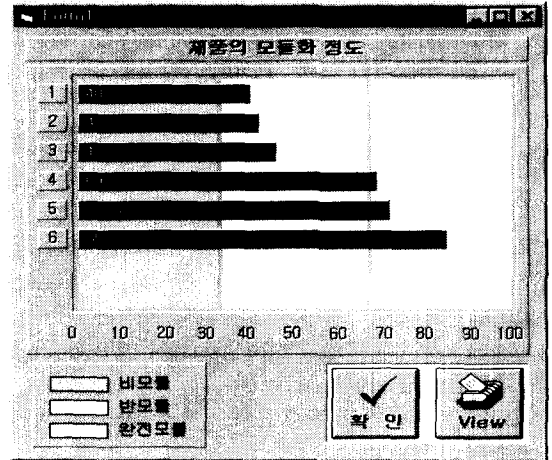


Fig. 15 Result of overall module degree of subassembly of cockpit

7. 결론

제품의 모듈화에 영향을 줄 수 있는 제품 구조, 제품 기능, 조립 공정, 분리 공정에 대한 특성들을 분석하고, 분석된 정보를 기초로 하여 모듈에 대한 정의를 하였다. 모듈화 개념을 바탕으로 모듈 정도의 결정 기준들간에 서로 영향을 미칠 수 있는 요소들의 상관 관계를 분석하여 모듈 영향요소를 도출하고, 모듈 정도의 결정 기준들을 제시하여 정량적인 모듈 정도를 평가할 수 있는 체계적인 방법론을 구축할 수 있었다.

참고 문헌

1. Sohlenius, G., "Concurrent Engineering," Annals of the CIRP Keynote Paper, Vol. 41, No. 2, 1992.
2. Pahl, G. and Beitz, W., "Engineering design, a systematic approach, Spinger-Verlag," New York, 1991.
3. Fey, V.R., Rivin, E. and Vertkin, I.M., "Application of the theory of inventive problem solving to design and manufacturing systems," Annals of CIRP, Vol. 41, No. 2, p. 645, 1994.
4. Hillstrom, F., "Applying Axiomatic design to interface analysis in modular product development," Advances in Design Automation, ASME, DE-Vol.

- 69-2, p. 363, 1994.
5. Erixon, G., Von Yxkull, A. and Arnstrom, A., "Modularity: the basis for product and factory reengineering," *Annals of CIRP*, Vol. 45, No. 1, p. 1, 1996.
 6. 목학수, 양태일, "조립합리화를 위한 제품 모듈화의 결정 요소," *한국정밀공학회지*, 제 15 권 제 8 호, p. 88-101, 1998.
 7. Robert, O. and Parmley, P.E., "Standard Handbook of Fastening and Joining," McGraw-Hill, Inc., 1989.
 8. Boothroyd, G., "Design for Assembly," Boothroyd Dewhurst, Inc., 1994.
 9. N. N. 현대자동차주식회사, "엑셀 자동차 부품 카타로그," 1992.
 10. Ulrich, K. T. and Eppinger, S. D., "Product Design and Development," McGraw-Hill Publications, Inc., 1995.
 11. Alan, R. and Jan, C., "Design for Assembly," McGraw-Hill Publications, Inc., 1994.
 12. Warnecke, H. J. and Kroll, L., "Design for Assembly-part of the Design process," *Annals of CIRP*, Vol. 37, No. 1, 1988.
 13. Zussman, E. and Kriwet, G., "Disassembly-oriented Assessment Methodology to support Design for Recycling," *Annals of the CIRP*, Vol. 43, No. 1, 1994.
 14. Ehad, K., Brent, B. and Antony, P., "A methodology to evaluate ease of disassembly for product recycling," *IIE Transaction*, Vol. 28, No. 1, p. 837-845, 1996.
 15. Russel, R. B., Youngsup, J. and Inyong, H., "Feedback of manufacturing Experience for DFM Design Rules," *Annals of the CIRP*, Vol. 45, No. 1, 1996.