

분리용이성을 고려한 제품의 모듈설계 Modular design of product considering disassemblability

목학수 황훈* 양태일
부산대학교 산업공학과

Abstract

In this paper, to propose guideline of modular design for improvement of ease of disassembly, product structure must be considered. By analyzing characteristics of structure of subassembly, influencing factor of module can be defined and classified. Based on determination factor of influencing factor of module, criteria for improvement of ease of disassembly can be obtained through the interrelationship between product and process factors.

1. 서론

제품에 대한 고객의 요구사항이 다양하기 때문에 많은 제품들은 복잡한 구조를 가지게 된다. 따라서, 모듈러 설계에서 표준화된 조립군, 부품으로써 서로 다른 모듈을 결합하여 하나의 제품으로 구성하여 제품의 다양성과 생산원가 절감이라는 목적을 목적을 달성하게 된다. 세계 여러 나라에서 모듈러 설계(modular design)에 관한 연구가 활발히 수행되고 있다[1]. 먼저 독일의 WZL Aachen에서는 1996년도에 자동차의 front bumper에 대해서 조립과 분리의 용이성을 고려한 모듈러 설계 연구를 수행하였고, 1981년에는 hamburg의 MEKO Frigate에서 combat system의 유지 및 보수를 위한 모듈러 설계 연구를 하였다. 미국에서는 Helicopter support system을 대상으로 교체 시간을 개선시키기 위한 모듈화된 구조에 관한 연구를 수행하였다. 본 연구에서는 분리 공정을 수행할 때 사용된 많은 제품의 환경적 영향과 리사이클링(Recycling) 비용의 증가, 재사용 가능한 부품, 제품의 고장이나 수리 시 부품과 조립군들의 교체의 어려움의 발생을 고려하여 분리 용이성을 고려한 모듈러 설계를 수행하고자 한다.

2. 제품의 모듈러 개념 및 분리 용이성

모듈러 디자인은 오늘날과 같이 제품의 구조 및 분리 공정이 복잡해지고 제품의 유지 및 보수의 필요성이 증가하는 추세에서 단순한 분리 공정 및 제품 구조 형상을 가져 올 수 있으며, 부품이나 조립군의 재사용을 증가시키고 분리 및 유지보수 비용의 절감을 가져오며 구조적 간섭을 최소화 할 수 있다[2]. 그림 1은 모듈러 설계의 범위를 보여주고 있다. 즉, 모듈러 설계는 제품의 구조적 측면, 유지 및 보수 측면, 조립 및 분리측면등의 다양한 이점을 가져올 수 있다. 특히, 본 논문에서는 Design

for Structures와 Design for Maintenance측면에 중점을 두어 연구를 수행하였다.

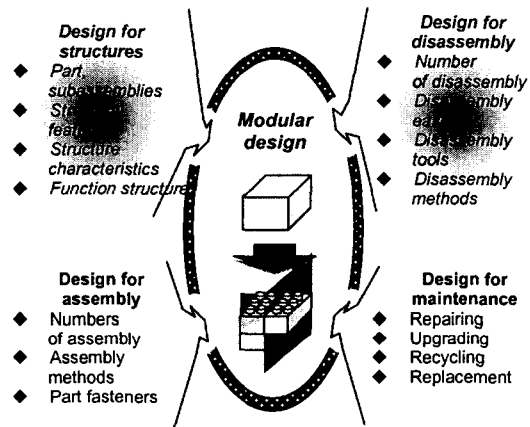


Fig 1. 모듈러 설계의 범위

모듈의 개념을 제품설계 측면에서 정의하면 “다수의 부품으로 구성”되어 있고, 표준화된 중간 조립품으로 “제품의 기본적인 구성단위”라고 할 수 있다. 이러한 모듈의 정의를 제품 구조적인 측면에서 볼 때 그림 2와 같이 제시하였다. 즉, 모듈화된 제품구조는 부품과 조립군들이 단순한 기하학적 형상을 가지고 있으며 구조 형상에 의해서 구조적 분리가 가능하고 독립적인 분리 및 조립 공정이 수행될 수 있고 부품 및 조립군들간에 발생할 수 있는 구조적 간섭을 최소화하기 위해 조립 및 분리시 시야 확보가 용이하고 도구의 접근이 용이한 특성을 가진다[3].

일반적으로 제품의 설계는 부품의 기하학적 특성만을 고려한 부품 설계나 기능의 향상을 위한 기능설계, 생산성 향상을 위한 생산 설계등이 있다. 한편, 모듈러 설계는 부품이나 조립군들의 그룹화 측면을 중요시 한다는 점에서 기존의 설계 개념과 차별화

시킬 수 있다.

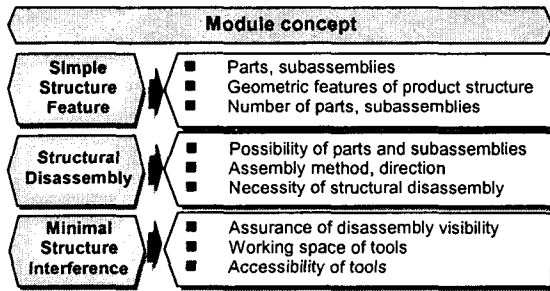


Fig 2. 제품 구조적 측면의 모듈 개념

또한, 오늘날 세계적인 문제로 대두되고 있는 환경 문제에서 부품 및 조립군이 사용 중 또는 사용된 후에 제사용 함으로써 이들이 만들어질 때 사용되었던 원자재 및 에너지를 절감하고, 폐기할 때 생겨날 수 있는 환경오염 문제를 줄이기 위한 리사이클링(Recycling)의 중요성이 증가함에 따라 분리 용이성(Disassemblability)을 향상시킬 수 있는 모듈러 설계에 중점을 두었다[4][5]. 즉, 제시된 모듈러 설계원칙의 평가는 분리수행체(분리작업자, 기계)가 분리대상(분리될 제품 또는 조립군)의 분리 기능(접근, 분리, 세척, 분해등)을 수행할 때 분리하기 쉬운 정도를 가지고 할 수 있다. 그림 3은 분리 용이성 측면의 모듈 개념을 보여준다.

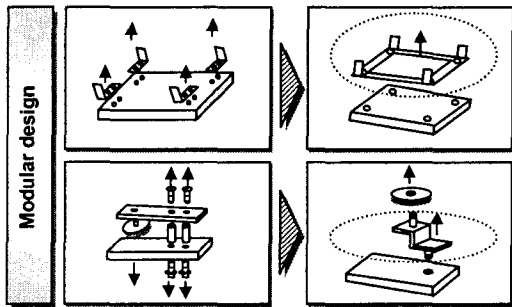


Fig 3. 분리 용이성 측면의 모듈 개념

즉, 분리공정 수의 최소화를 위해 부품의 기하학적 형상을 변경하고, 부품의 일체화를 통해서 분리 공정 수를 감소시켜 분리 시간을 최소화함으로써 모듈 정도를 증가시킬 수 있다. 예를 들어, 4개의 독립된 지지 부품 대신에 단일 지지부품으로 일체화하여 공정 수를 4개에서 1개로 줄일 수 있다.

3. 제품 구조에 대한 모듈러 설계 분석

제품 구조에 대한 모듈러 설계 세부 기준은 구조적 형상과 부품 및 조립군으로 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. 우선, 구조적 형상에서의 구조적 분리에 대한 세부 기준들은 평행구조, 계층 구조 및 독립된 축 방향들이 있고, 구조적 간섭의 세부 기준들은 체결점의 시야 확보, 도구의 작업 공간, 접근성으로써 구분된다. 구조적 일체화에 대한 세부 기준은 부품과 체결 요소간의 일체화, 부품들간의 일

체화가 있다. 부품 및 조립군에서의 기저 부품에 대한 세부 기준들은 기저 부품의 구분 수, 기저 부품의 형태, 기저 부품에 조립되는 면의 수가 있고, 표준 부품 및 조립군의 세부 기준들은 부품 및 조립군의 종류, 부품의 기하학적 형상, 소재로써 분류될 수 있다. 단일 소재에 대한 세부 기준은 소재 수로써 제시될 수 있다. 그림 4는 구조적 분리가 가능한 세부 기준들과 조건들을 나타내었다.

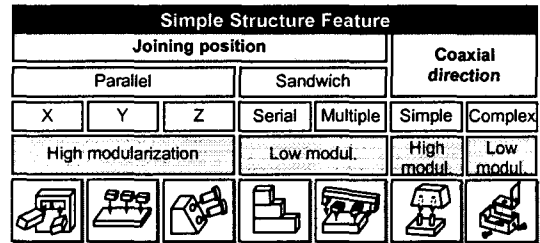


Fig 4. 구조적 분리가 가능한 세부 기준들과 조건

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 요소로써 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 분리공정에서 다른 부품이나 조립군들의 공정 순서에 종속되어 모듈 정도가 감소하게 된다. 독립된 동축 방향은 단일 축 방향으로 조립군을 구성하는 부품 및 조립군들이 결합되는 것으로써 조립 및 분리 방향이 분리될 수 있으므로 모듈 정도가 증가되지만, 복합된 다축 방향은 조립 및 분리 방향 변경 수가 많아지는 경향을 가지며, 모듈 정도는 낮아지게 된다. 조립군을 구성하는 소재 종류의 수가 많을수록 소재 특성에 따른 공정 수가 증가하게 되고, 공정의 어려움이 발생하게 된다[6]. 예를 들면, 조립군내에 취성이 강한 소재와 강도가 높은 소재가 있다면 서로 다른 소재 특성으로 인하여 조립 및 분리 도구의 사용이 증가하게 되고, 취급을 하는데 많은 시간이 요구 될 것이다. 그림 5는 단일 소재에 대한 모듈러 설계의 세부 기준을 나타내었다.

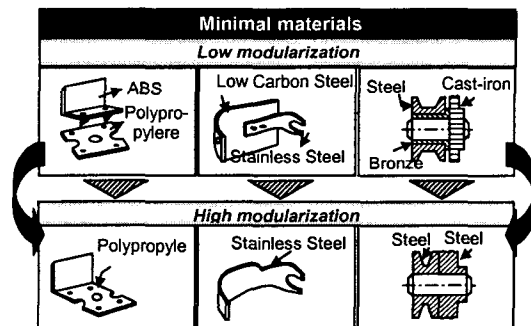


Fig 5. 단일 소재화에 대한 모듈러 설계

또한, 제품 구조를 형성하는 부품 및 조립군을 분리할 때 분리 공정 수가 증가되면 분리 수행체, 분

리 시간의 증가를 초래한다[7]. 그림 6은 모듈화를 향상시킬 수 있는 분리 공정에 대한 단순화된 분리 공정의 경우들을 나타내고 있다. 즉, 분리 공정 수의 최소화하기 위한 모듈러 설계 기준으로 부품의 기하학적 형상을 변경시키거나, 부품의 일체화를 통해서 분리 공정 수를 감소 시켜 분리 시간을 최소화함으로써 모듈 정도를 증가시킬 수 있다. 예를 들어, 4개의 독립된 지지 부품대신에 단일 지지부품으로 공정 수를 4개에서 1개로 줄일 수 있다.

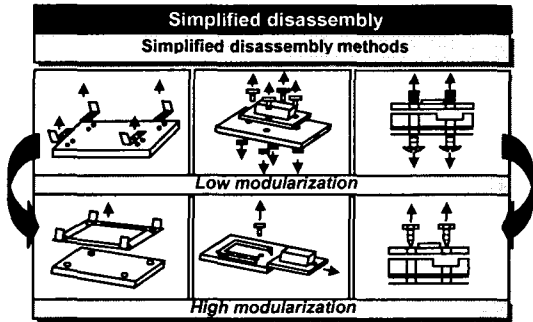


Fig 6. 분리 공정에 대한 모듈러 설계

4. 분리 용이성을 고려한 모듈러 설계

제품 구조에 대한 모듈러 설계의 분리 용이성을 평가하기 위한 세부 결정 기준들을 제시하기 위한 방법을 그림 7에와 같이 나타내었다.

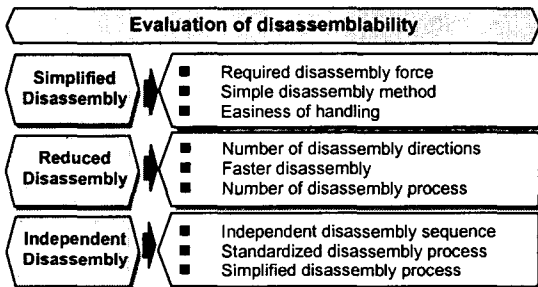


Fig 7. 모듈러 설계의 분리 용이성 평가

우선 단순화된 분리 공정을 평가하기 위하여 요구되는 분리력, 단순한 분리 방법, 취급의 용이함을 고려하며, 분리 수의 감소를 위해서는 분리 방향의 최소화, 빠른 분리, 분리 공정의 수를 고려해야 한다. 또, 독립된 분리 공정은 독립된 분리 순서, 표준화된 분리 공정, 단순한 분리 공정 등을 고려한다[8]. 이러한 기준을 가지고 제품의 분리 용이성을 고려한 모듈 정도의 평가를 정량적으로 할 수 있다.

정량적인 모듈 정도 평가를 위한 방법으로 그림 8에서와 같이 3단계로 제시하였다. 1단계에서는 제품 구조 및 분리 공정의 각각의 세부 기준들에 대해서 가중치의 등급을 결정하고, 제품을 구성하는 조립군들의 가중치를 구하였다. 2단계에서는 모듈 정도를 평가하고자 하는 조립군에 대해서 제품 구조와 분리 공정의 세부 결정 기준들을 적용시켜 각각의 가중치의 총합을 구하고 각각의 상대적인 모듈 정도를 구할 수 있다. 3단계에서는 2단계에서 구한 제품 구조, 분리 공정에 대한 모듈 정도를 평

균하여 전체적인 모듈 정도를 구할 수 있다[9].

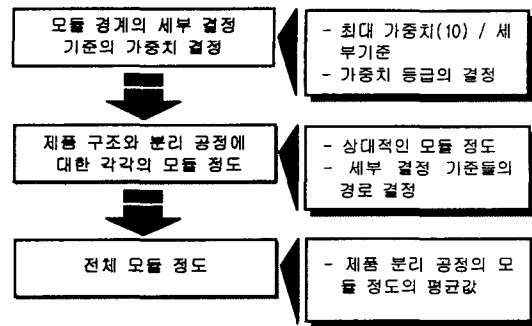


Fig 8 . 정량적인 모듈 정도의 결정 순서

가령, 분리 공정에서 모듈 경계의 세부 결정 기준들 중에서 최소의 분리 방향수의 세부 결정 기준들에 대한 가중치를 나타내었다. 최소의 분리 방향수의 세부 결정 기준들에 대한 가중치의 경우들을 최소 1에서 최대 10까지 10단계 등급으로 나누었다. 예를 들어, 가중치가 1의 등급은 분리 방향성이 반중력 방향이고, 분리 방향 변경 수가 3인 경우이고, 가중치가 10의 등급은 분리 방향성이 중력 방향이고, 분리 방향 변경 수가 0인 경우에 해당된다. 그리고, 제품 구조에 대한 모듈 경계의 기준을 제시된 대상의 구조적 분리, 대상의 구조적 간섭, 대상의 일체화, 기저 부품의 조립, 표준화된 부품 및 조립군, 대상의 단일 소재화와 분리 공정에 대한 모듈 경계의 기준인 단순화된 분리 공정, 대상의 해체 용이성, 최소의 분리 방향 수, 대상의 취급 용이성, 대상의 분리 가능성, 독립적인 분리 순서들에도 모듈 정도를 구하기 위한 기준을 제시하였다. 이러한 기준들은 설계자가 제품의 설계시 고려해야 할 기준으로 제시된다[10][11].

5. 결론

본 논문에서는 제품의 모듈화에 영향을 줄 수 있는 제품 구조, 분리 공정에 대한 특징들을 분석하고 분석된 정보를 기초로 하여 모듈러 설계의 원칙들을 제시했다. 우선, 제품 구조의 구성요소 측면에서는 대상, 구조적 형상, 대상간의 결합 상태를 결정하는 요소에 대한 기준들을 도출하였다. 이러한 기준들을 토대로 분리 용이성을 고려하여 제품의 전체 모듈정도를 평가할 수 있는 토대를 마련하였다.

6. 참고문헌

- [1] Mok, H. S. and Yang, T. I., Systematization of Module Design for Assembly Rationalization, Proceeding of the 2nd Annual International Conference on Industrial Engineering Application and Practice, 1997.
- [2] Ulrich, K. T. and Eppinger, S. D., Product Design and Development, McGraw-Hill Publications, Inc., 1995.
- [3] Alan, R. and Jan, C., Design for Assembly, McGraw-Hill Publications, Inc., 1994.
- [4] Warnecke, H. J. and Kroll, L., Design for

- Assembly-part of the Design process , Annals of CIRP, Vol.37, No.1, 1988.
- [5] Zussman, E. and Kriwet, G., Disassembly - oriented Assessment Methodology to support Design for Recycling , Annals of the CIRP, Vol.43, No.1, 1994.
- [6] Ehd, 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.
- [7] 목학수, 신현창, 취급성과 접근성을 고려한 제품의 복잡도 평가 , 한국정밀공학회지, 제14권 제10호, pp.91-101, 1997.
- [8] 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.
- [9] Jovane, F., Alting, L., Armillotta, A., Eversheim, W., Feldmann, K., Seliger, G. and Roth, N., A Key Issue in product Life Cycle: Disassembly , Annals of the CIRP, Vol.42, No.2, 1993.
- [10] Mok, H. S. and Yang, T. I., Determination of module depth considering recycling , Proceeding of the 3rd Annual International Conference on Industrial Engineering Application and Practice, 1998.
- [11] 목학수, 정현교, 박주형, 자원 재활용을 위한 자동차 분리 용이성 , 한국학술진흥재단 보고서, 1995