

제품의 모듈 설계의 체계화

목학수*, 양태일*

부산광역시 금정구 장전동 부산대학교 산업공학과

Systematization of module design of a product

Hak-Soo Mok*, Tae-II Yang*

Abstract

A module design aims to develop product architecture that consists physically detachable units such as module. To develop the system of module design, this paper suggests the methodology of part grouping, evaluation of modularization of a product for improving modularization. To determine modules, module concept is proposed to satisfy the objectives of a modular design. Therefore, there are functional, structural, and process modularizations in a modular concept. Module grouping can be accomplished by using an optimization model that maximizes the sum of the weighting. The present study proposes the p-median model and the direct clustering technique. The optimal clustering solution can be obtained by comparing two clustering techniques. To find the best solution among part groups, evaluation of modularization is performed based on the concept of module design. For the evaluation of modularization, evaluation criteria of modularization are used in the matrix table.

Key Words : Module grouping, Modularization

1. 서론

최근 다품종 소량 생산으로 인하여 부품 및 조립군의 표준화가 어려워지고, 제품 기능과 구조의 복잡성, 제품에 사용되는 부품 수의 증가, 제품의 수명 주기의 단축 등으로 인하여 기업의 생존 환경은 갈수록 치열해지고 있다. 이런 환경에서 다른 기업보다 경쟁 우위에 서기 위하여 제품 설계의 기술 개발, 생산 설비의 자동화 및 유연성 향상, 가공 비용의 최소화, 조립 시간의 단축, 제품 출하 후 고객이 제품 관리를 용이하게 할 수 있는 전략이 요구되어지고 있다. 이러한 전략을 만족시키기 위하여 제품의 설계 단계에서부터 고객의 요구와 생산 장비의 효율적인 이용 및 제품의 수명 주기 후의 모델 변경에 대한 설계 인자들이 고려될 수 있는 동시 공학적 개념이 반영되어야 한다[1].

모듈 설계의 접근 방법에 대한 연구는 제품의 기능적 및 물리적 측면, 공정적 특성을 고려하여 부품 간 혹은 기계와 부품간의 모듈군을 형성하는 연구 내용이 많이 수행되고 있고, 이러한 모듈군의 형성 문제는 가중치 기법과 비용 함수를 적용하여 그룹화 기법들이 많이 사용되고 있다. Gu와 Sosale는 제품의 수명 주기에 대해서 조립 용이성 향상, 표준화 및 제품 기능의 상향 조정, 재활용, 제품 관리 측면을 설계 목적으로 설정하고, 이러한 상위 단계의 설계 목적을 향상시킬 수 있는 부품군을 형성하는 통합적인 방법론을 개발하였다[2]. Salheih는 크기가 작은 제품의 개발에 대해서 모듈 설계 방법론을 적용하였다. 이 논문에서는 소비자의 요구 분석, 설계 개념의 설정 및 설계 개념의 통합화 부분으로 나누어, 단계적으로 정보를 얻고 분석과 평가를 수행하였다[3]. Kuo는 전기 제품을 대상으로 분리 비용을 고려하여 분리 순서를

결정하는 연구를 수행하였다. 분리 방법, 조립군의 기하학적 형상, 고장율의 평가 요소를 고려하여 제품을 구성하는 부품들에 대해서 유사한 기능 부품, 유사한 분리 방법 및 고장율, 분리 용이성 정도에 따라서 분리 비용이 최소가 되는 부품군을 형성하였다[4]. Teng은 기계셀-부품들간에 복합 해를 생성 시키는 알고리즘을 제시하였다. 복합 해를 생성시키기 위하여 Grouping 및 Branching 개념을 이용한 Nearest-neighborhood 방법론을 사용하였다. 생성된 복합해 중에서 최적해를 찾기 위하여 Grouping 효율 개념을 이용하였다[5].

본 연구에서는 그림 1에서와 같이 제품의 모듈화 시스템을 구축하기 위해서 부품 그룹화에서 부품들간에 독립적인 기능을 갖도록 모듈 경계를 설정하고, 구조적 간섭을 최소화 할 수 있고 구조적 단순화를 갖는 부품의 모듈 경계 및 조립과 분리를 용이하게 할 수 있는 모듈 경계를 설정하고자 하였다. 모듈 정도의 정량적 평가에서는 부품 그룹화에서 생성된 부품군 중에서 적절한 모듈을 선정하고자 하였다.

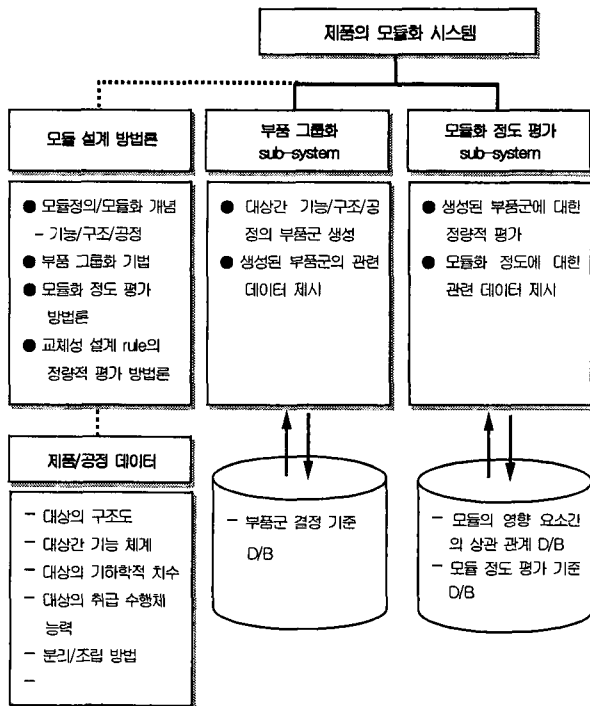


그림 1 제품의 모듈화 시스템

2. 부품 그룹화

2.1 부품 그룹화의 방법론

제품을 구성하는 대상들에 대한 부품군을 생성시키기 위해서 모듈화가 필요한 조립군으로 정보 분석을 하고, 설정된 모듈 설계 개념에 따라서 모듈 결정 기준을 도출하여 Clustering 기법들을 적용하였다. 그림 2은 부품 그룹화 방법론을 나타내었다.

모듈 결정 기준을 도출하기 위하여 1단계의 제품 및 정보 분석에서는 그룹화 입력 조건으로 제품 정보는 대상의 무게, 크기 및 구조, 대상의 놓여진 위치, 대상간 연결 특성 및 간섭 등이 있고, 공정 정보는 분리 및 조립 방법, 분리 및 조립 순서, 사용되는 도구 등의 분석된 자료가 있다. 2단계의 모듈화 개념은 부품 그룹화 목적인 대상의 모듈화 및 공정의 단순화에 근거로 하여 기능적 모듈화, 구조적 모듈화 및 분리/조립 공정적 모듈화로써 설정하였다. 3단계에서는 이러한 모듈 개념에서 모듈 결정 기준을 적용하고, 기준에 대한 가중치를 부여하여 대상간에 정량적인 그룹 데이터를 생성하고, Clustering 기법을 통해서 가중치가 높은 대상군으로 그룹화한다[6].

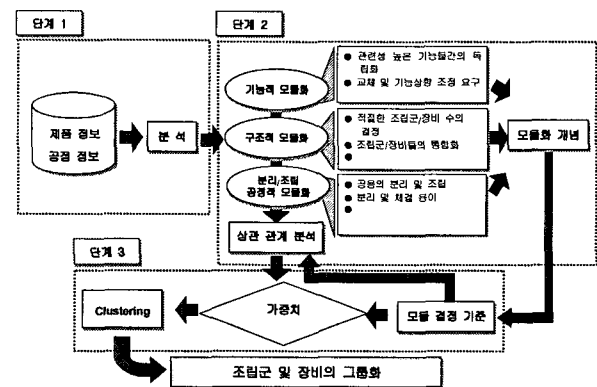


그림 2 부품 그룹화 방법론

2.2 부품군의 결정 기준

부품군의 결정기준은 부품군의 형성을 위해서 기능적, 구조적 및 공정적 모듈화에 영향을 미치는 세부 요소들이 사용되었다. 그림 3은 부품군을 형성하기 위한 결정 기준들을 나타내고 있다.

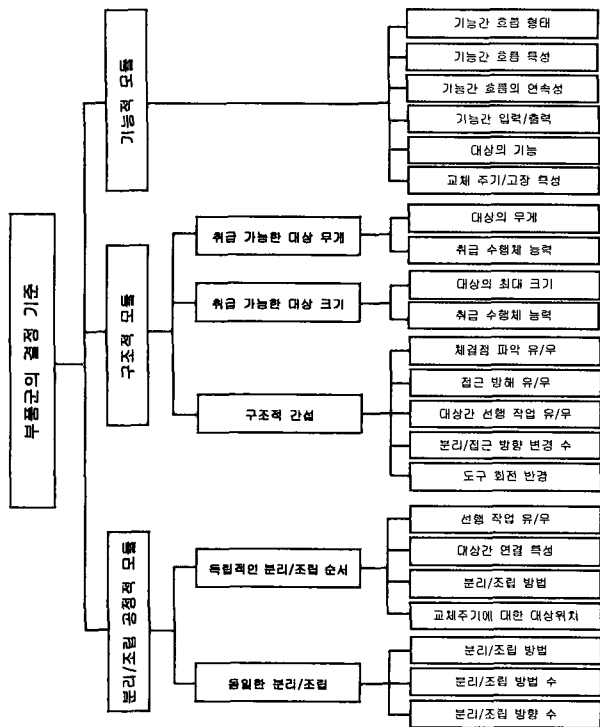


그림 3 부품군을 형성하기 위한 결정 기준

기능적 모듈에서의 대상 자체의 기능과 대상의 기능간의 에너지, 신호 및 소재 흐름에 대한 결정 기준들인 “기능간 흐름 형태”, “기능간 흐름 특성”, “기능간 흐름의 연속성”, “기능간 입력 및 출력”, 대상의 기능” 및 “교체 주기에 대한 대상의 위치” 등이 포함되어 있다[6][7].

구조적 모듈에서의 부품군의 결정 기준들은 모듈화 개념에서 제시되었던 취급 가능한 대상의 무게 및 크기, 구조적 간섭 및 대상의 일체화로서 제시될 수 있다. 취급 가능한 대상의 무게 및 크기는 “대상의 무게”와 “대상의 크기”를 중형 제품의 조립군에서부터 대형 제품의 장비까지 무게와 크기에 대한 범주를 분류하고, 이에 따라서 취급 가능한 “취급 수행체의” 능력을 비교하여 결정 기준으로 정하였다. 구조적 간섭의 결정 기준은 “체결점 파악 유/무”, “선행 작업 유/무”, “접근 및 분리 방향 변경 수” 및 “도구 회전 반경” 등이 있다.

분리/조립 공정적 모듈에서는 독립적인 분리 및 조립 순서와 동일한 분리 및 조립의 모듈화 개념을 위해서 모듈 결정 기준을 제시하였다. 독립적인 분리

및 조립 순서는 “선행 작업의 유/무”, 대상간 연결 특성”, “분리 및 체결 방법” 과 “교체 주기에 대한 대상의 위치”가 포함되고, 동일한 분리 및 조립 순서는 “분리 및 조립 방법”, 사용되는 “분리 및 조립 방법 수” 및 체결 요소가 가지는 “분리 및 조립 방향 수”의 결정 요소가 있다[7].

예를 들어, 기능적 부품군을 결정하기 위한 기준들은 대상자체의 기능에 대한 주 기능/부 기능 특성과 대상간의 기능 흐름에서 에너지, 신호 및 소재 흐름의 형태, 특성 등에 의해서 도출된다. 그림 4는 대상의 기능적 부품군을 형성시키는 기준들의 절차를 나타내고 있다.

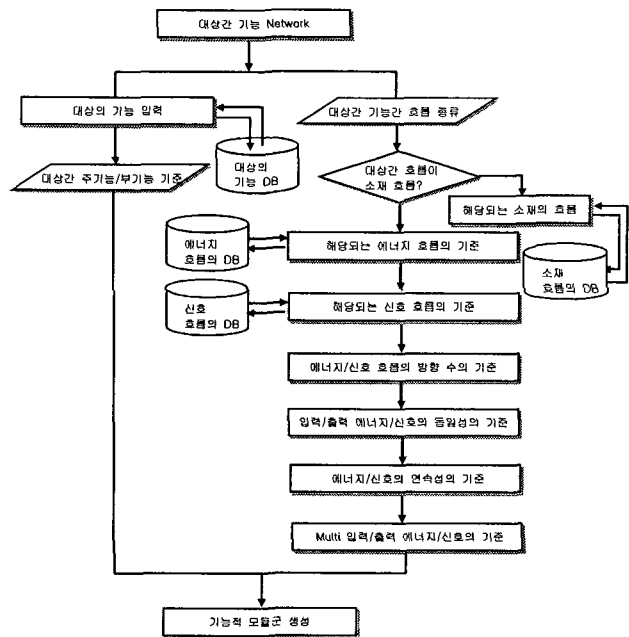


그림 4 기능적 부품군을 형성시키는 기준들의 절차

예를 들어, 우선, 분석하고자 하는 대상들에 대해서 기능 Network를 작성한다. 기능 Network에서 기능적 관련성을 가지는 대상들에 대해서 에너지, 소재 및 신호의 흐름으로써 연결한다. 기능 Network상에서 대상의 기능을 분석하기 위하여 제공 기능, 변환 기능, 전달 기능, 분배 기능, 유지 기능, 조정 기능, 인식 기능, 연결 기능 등의 기능 특성을 분석하고, 중요한 기능을 수행하는 주 기능과 다른 장비의 기능 수행을 도와주고 보조하는 부 기능을 구별하여 분석하였다. 에너지 흐름 형태의 부품

군의 결정 기준에서는 에너지의 흐름이 한 방향 혹은 피드백이 발생하는 양 방향 흐름인가를 분석하였다. 또한, 동일한 에너지 혹은 신호 체계를 갖는 부품군을 형성하기 위하여 입력 및 출력 에너지의 동일성에 대한 부품군 결정 기준을 적용하였다.

3. 모듈화 정도 평가

3.1 모듈화 정도의 평가 방법론

모듈화 정도의 평가 방법론에서는 모듈화 개념을 바탕으로 모듈의 영향 요소를 도출하여 영향 요소들 간에 상관 관계를 분석하였다. 모듈의 영향 요소간에 관련성을 가지는 조건들에 대상으로 모듈화 정도의 평가 기준을 적용하여 가중치를 할당함으로써 정량적인 모듈화 정도를 평가하였다. 그림 5에서는 모듈화 정도의 평가 방법론을 나타내었다.

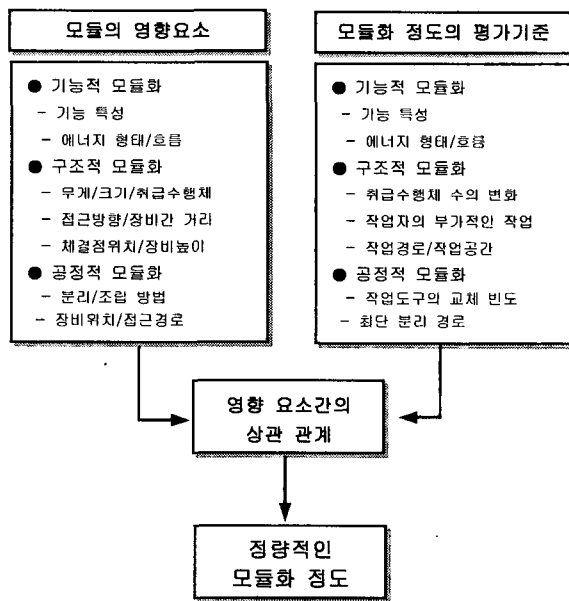


그림 5 모듈화 정도의 평가 방법론

3.2 모듈화 정도의 평가 기준 및 상관 관계 분석

형성된 부품군의 모듈화 정도를 평가하기 위하여 그림 3의 부품군을 형성하기 위한 결정 기준을 바탕으로 기능적, 구조적 및 공정적 결정 기준을 제시하고, 기준들간의 상관 관계를 분석하여 상대적인 모듈화 정도를 평가하였다. 예를 들어, 그림 6은 기능적

모듈화 정도를 평가하기 위한 기준들을 나타내었다.

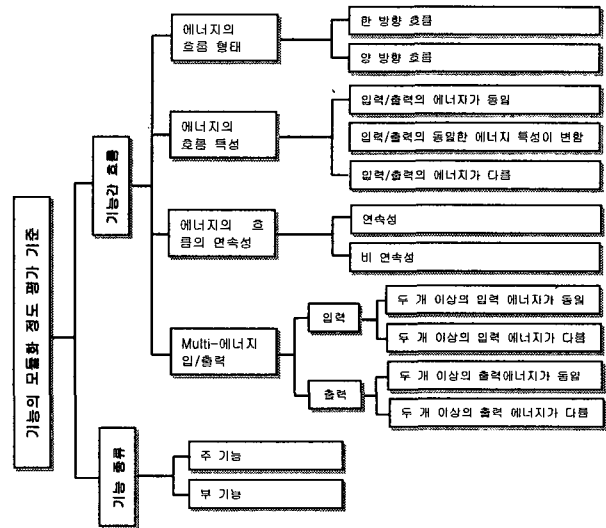


그림 6 기능적 모듈화 정도의 평가 기준

기능적 모듈화 정도의 평가 기준은 기능간 흐름과 기능 종류로써 분류된다. 기능간 흐름에서는 에너지의 흐름 형태 혹은 특성, 에너지 흐름의 연속성 및 Multi-에너지의 입력 혹은 출력으로 제시될 수 있고, 기능 종류에서는 주 기능과 부 기능으로 나누어진다. 에너지의 흐름 형태는 대상간의 에너지 흐름이 한 방향 혹은 양 방향으로 순환이 되는지를 파악하는 기준으로 적용된다. 에너지의 흐름 특성은 대상간의 에너지 흐름이 동일한지 혹은 다른 에너지 흐름이 발생하는지를 분석하는 기준으로써 입/출력 에너지가 동일한 경우, 입/출력 에너지가 동일하지만 특성이 변하는 경우 및 입/출력 에너지가 다른 경우로써 구분된다. 에너지 흐름의 연속성은 대상간 에너지의 흐름이 연속적으로 순환이 되는지 혹은 비 연속적인 흐름이 발생하는지를 파악하는 기준으로써 적용된다. Multi-에너지 입/출력은 대상에 하나 이상의 에너지 흐름이 입력되고 출력되는 경우에 동일한 에너지 특성을 가지는지 혹은 다른 에너지 특성을 가지는지를 분석하는 모듈화 정도의 평가 기준이다. 기능 종류에서 주 기능은 대상간에 필연적인 기능 특성 관계를 가지는 기능으로써 정의되고, 부 기능은 대상간에 보조적인 기능을 수행하는 기능 특성으로 정의된다.

기능적 모듈화 정도의 평가를 위해 모듈화 정도의

평가 기준들간의 상관 관계를 Matrix 표를 이용하였다. 그림 7은 기능적 모듈화 정도의 평가 기준들간의 상관 관계를 나타내고 있다. 예를 들어, 에너지 흐름 형태에서 대상 i와 j간에 흐름 형태가 한 방향일 경우에는 모듈 정도가 낮고(○), 양 방향일 경우에는 대상들간에 순환이 발생하고 대상들간에 밀접한 관계를 가지기 때문에 모듈 정도가 높은(●)조건으로 고려하였다[9].

		대상 i의 기능적 모듈화 정도의 평가 기준												
		에너지 흐름 형태		입/출력 에너지 흐름		에너지 흐름 연속성		Multi-입력/출력				기능 종류		
		한 방향	두 방향	동일	다름	연속	비연속	입력		출력		주 기능	부 기능	
		○	●	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●	
대상 i의 기능적 모듈화 정도의 평가 기준	에너지 흐름 형태	한 방향	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		두 방향	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	입/출력 에너지 흐름	동일	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		다름	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	에너지 흐름 연속성	연속	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		비연속	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Multi-입력/출력	동일	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		다름	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	기능 종류	동일	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		다름	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	기능 종류	주 기능	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		부 기능	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

- : 모듈화 정도가 높음
- : 모듈화 정도가 낮음

그림 7 기능적 모듈화 정도의 평가 기준들의 상관 관계

상대적인 기능적 모듈화 정도는 식(1)에 의해 주어진다[9].

$$RPF_M = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \text{Max}(W_{ij})} \times 100(\%) \quad (1)$$

여기에서,
n = 상관 관계 표에서 관련성을 가지는 영향 요소의 수

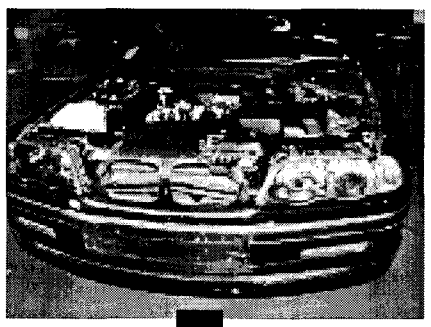
Max(W_{ij}) = 모듈화 정도 평가 기준 최대값

4. 사례 연구

제시된 기능적, 구조적 및 공정적 부품군 결정 기준과 부품군 형성을 위한 Clustering 기법인 P-

median 및 Direct clustering 기법을 자동차의 엔진룸을 구성하는 조립군들에 대해서 적용하였다[8]. 그림 8은 자동차 엔진룸에 대한 조립군 및 특성을 나타내고 있다.

자동차 엔진룸에 대한 조립군



조립군의 특성

1. 기능
 - 조립군들의 기능간 흐름이 엔진 조립군 중심으로 집중
 - 기능간 입/출력되는 에너지의 흐름의 수가 많음
2. 구조
 - 분석할 조립군의 수 : 12개
 - 하위 계층 구조에 있는 조립군에 대한 접근 방향의 어려움
3. 공정
 - 조립 방법 : 나사(볼팅), 스냅핑, 억지끼움, 용접 등
 - 분리 방법 : 역나사, 뽑기, 충격, 파쇄, 절단 등
 - 도구 회전의 어려움

그림 8 자동차 엔진룸에 대한 조립군의 특성

분석할 자동차 엔진룸 조립군의 구성 요소는 12개이고, 기능적 측면에서는 조립군의 기능들이 엔진 조립군을 중심으로 집중화 되어 있다. 구조적인 측면에서는 하위 계층 구조에 있는 조립군에 대한 접근이 어렵다. 공정적인 측면에서는 예를 들어, 조립 방법으로는 나사, 스냅핑, 억지 끼움 방법 등이 사용되었고, 도구 회전이 어려운 특성을 가지고 있다.

엔진룸 조립군에 대한 부품군을 결정하기 위해서 그림 9는 예를 들어, 자동차 조립군에 대한 기능간의 에너지 및 소재 흐름과 상세 정보의 입력 예를 나타내고 있다.

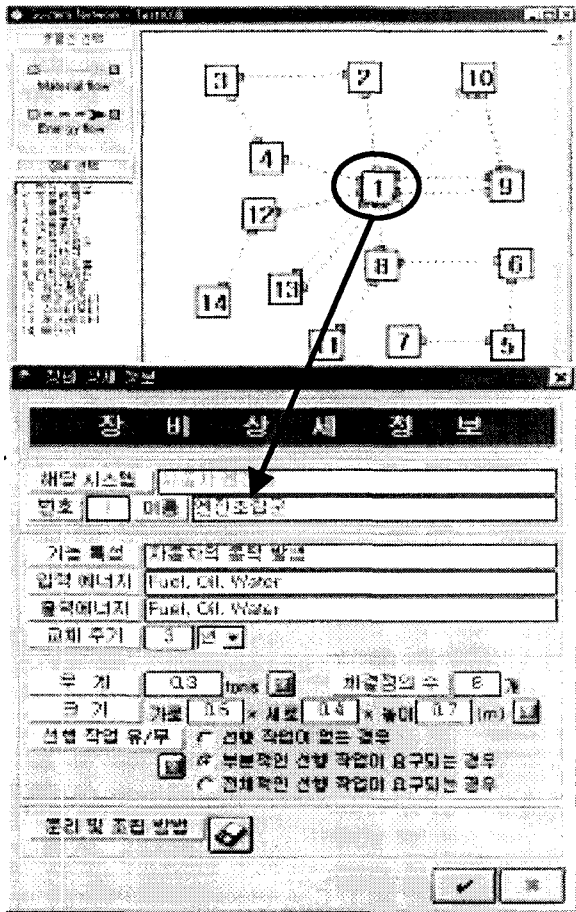


그림 9 자동차 조립군에 대한 기능간의 에너지 및 소재 흐름과 상세 정보의 입력 예

엔진룸 조립군의 에너지 체계가 엔진을 중심으로 입력 혹은 출력되는 형태를 가지고 있고, 예를 들어, 워터 펌프와 엔진 조립군간에 물 흐름이 양 방향의 형태로써 흐름이 발생되고 축 이음에 의한 기계적 메커니즘으로써 소재 흐름이 발생됨을 알 수 있다. 이러한 기능 네트워크에서 관련성을 가지는 각각의 조립군들에 대해서 에너지 특성을 파악하고, 구조적인 특성을 분석하였다. 기능 네트워크를 바탕으로 조립군의 상세 정보를 분석하였다. 예를 들어, 엔진 조립군의 기능 특성은 자동차의 동력을 발생시키고, 연료, 오일 및 물 등의 입력 및 출력 에너지 특성을 가지고 있다.

그림 9 와 같이 입력된 정보를 바탕으로 자동차 엔진룸 조립군에 대해서 Direct clustering 기법과 P-median 기법에 의해서 생성된 기능적 부품군에

대해서 모듈화 정도가 최대가 되는 부품군을 찾기 위해서 모듈화 정도를 평가하였다. 그림 10은 기능적 모듈화 정도의 평가 결과의 예를 나타내고 있다.

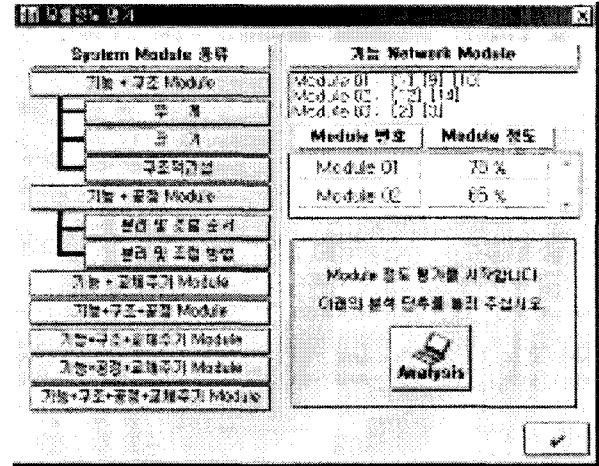


그림 10 기능적 모듈화 정도의 평가 결과 예

예를 들어, 자동차 엔진룸의 조립군에 대해서 "Module 01"로 형성된 엔진 조립군, 라디에이터 및 워터 펌프의 모듈화 정도 평가치는 78%로써 주어졌다.

4. 결론

본 연구에서는 제품 종류의 증가와 대상간 호환성을 확장하기 위해서 모듈 설계에 대한 방법론으로 부품 그룹화, 모듈화 정도 평가를 수행하였다. 우선 부품 그룹화 방법론에서는 기능, 구조, 분리 및 조립에 대한 공정 분석을 수행하여, 모듈화 개념을 대상들간에 기능적, 구조적 및 공정적으로 설정하였다.

부품 그룹화 방법에 의해서 생성된 부품군 중에서 모듈화 정도가 가장 높은 부품군을 찾기 위해서 모듈화 개념을 만족할 수 있는 기능적, 구조적 및 공정적 모듈화 정도의 평가 기준들을 제시하였다. 평가 기준들간에 Matrix 표를 사용하여 상관 관계를 분석하여 우선 순위를 정하고 상대적인 모듈화 정도를 평가하였다.

5. 참고 문헌

[1] Sohlenius, G., "Computer engineering", Annals of the

CIRP Keynote Paper, Vol.41, No.2, 1992.

- [2] Gu, P. and Sosale, S., "Production modularization for life cycle engineering", *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, Vol.15, No.3, pp.387-401, 1999.
- [3] Salhien, S. M. and Kamrani, A. K., "Macro level product development using design for modularity ", *Robotics and Computer Integrated manufacturing*, Vol.15, No.3, pp.319-329, 1999.
- [4] Kuo, T. C., "Disassembly sequence and cost analysis for electromechanical products", *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, Vol.16, pp.43-54, 2000
- [5] Chang, P. T., "A multiresolution method for cell formation-exploring practical alternatives in group technology manufacturing", *Computer and Mathematics with Applications*, Vol.40, pp.1285-1296, 2000.
- [6] 목 학수, "조립 자동화를 위한 제품 설계 기술 개발", *한국정밀공학회지*, 제11권, 제1호, 1994.
- [7] Mok, H. S. and Yang, T. I., "Determination factor of modularization of a product", *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol.15, No.8, pp.88-101, 1998.
- [8] Kusiak, A., "Intelligent manufacturing systems", Prentice-Hall, Inc., 1990.
- [9] Mok, H. S., Yang, T. I. and Hwang, H., "Evaluation of module degree considering assembly and disassembly", *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol.17, No.8, pp.140-150, 2000.