

# Multi-Objective Modular Design Method Using Similarity Concept

Yoon-Eui Nahm<sup>†</sup> \* · Haruo Ishikawa\*\*

\*Department of Mechanical Engineering, Hanbat National University, Daejeon, Korea

\*\*Department of Mechanical Engineering and Intelligent Systems,  
The University of Electro-Communications, Tokyo, Japan

## 유사도 개념을 이용한 다목적 모듈화 설계법

남윤의<sup>†</sup> \* · 石川晴雄\*\*

\*국립 한밭대학교 기계공학과

\*\*국립대학법인 일본 전기통신대학 지능기계공학과

At present, the significance of a new manufacturing system that can shift from ‘mass production’ and consider life cycles of a product is pointed out and extremely expected. In such a situation, it is recognized that the modular design, often called ‘unit design,’ is the important design methodology which realizes the new production system enabling ‘cost reduction,’ ‘flexible production of a multi-functional artifact,’ ‘settlement of an environmental issue,’ and so on. A module (unit) of a product is generally defined as ‘the parts group made into the sub-system from a certain specific viewpoint.’ So far, there have been many researches related to the modular design. However, they are often limited to a certain viewpoint (objective). This paper proposes a simple but effective method for multi-objective modular design. In the proposed method, a new design metric, called similarity index, is proposed to evaluate the modular design candidates from the multiple viewpoints.

**Keywords :** Design Engineering, Modular Design, Unit Design, Multi-Objective Design, Environment-Conscious Design

### 1. 서론

근년, 지구 환경 문제에 관한 관심이 고조되면서 지구 자원의 유효 활용, 폐기물의 감소, 재자원화(再資源化)가

요구되고 있다. 이에 대해 제품의 설계 단계에서부터 구조적으로 폐기물이 나오지 않도록 제품을 설계해야 한다는 개념이 제안되고 있다[1]. 이와 같이 폐기물 감소를 위해 지향해야 하는 제품의 형태를 살펴보면, 제품을 새로 구입하여 바꾸는 것은 대부분 고장이나 그 기능이 구식이 되었을 때이다. 하나의 부품이 망가졌다고 해도 그것만 고치면 되고 그 부품 자체의 기능을 업그레이드 할 수 있으면 교체할 필요도 없다. 새로운 부품만을 추가하여 기능을 향상시킬 수 있는 유지보수(maintenance) 방법이 있으면 더욱더 좋다. 제품이 사용될 때 가능한 한 유지보수를 하면서 제품 전체를 바꾸는 것이 아니라 새로운 기능만을 추가하여 업그레이드해 간다. 이렇게 함으로써 폐기물을 크게 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

Received 15 June 2012; Finally Revised 13 August 2012;  
Accepted 24 September 2012

<sup>†</sup> Corresponding Author : nahm@hanbat.ac.kr

© 2012 Society of Korea Industrial and Systems Engineering

This is Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>).

이와 같은 제품을 실현하기 위한 방법으로서 ‘사용 종료 부품의 재이용(reuse)의 촉진’, ‘유지보수성(maintainability)의 용이화와 제품의 장수명화’, ‘리사이클성(recyclability)의 향상’, ‘분해성의 향상’ 등의 이점을 기대할 수 있는 모듈화 설계(modular design)가 최근 주목 받고 있다. 이와 같이 제품의 모듈화 설계에는 많은 이점이 있으나, 모듈화 설계의 이점을 모듈화의 목적으로 하는 경우 그 모듈화의 목적과 제품의 모듈로의 분리(구성)를 연관시키는 일반적인 방법이 없다는 문제가 있다. 즉, 지금까지의 모듈화 설계에서는 제품의 모듈화를 위해 일반적으로 모듈을 납품하는 공급자의 제안을 그대로 받아들이거나 현장 설계자의 경험이나 감에 의지하는 경우가 많았다.

따라서, 본 연구에서는 모듈화의 목적과 모듈의 구조(부품군(部品群)의 조합)를 연관시켜 설계자가 가지는 모듈화의 목적을 기초로 그 목적을 달성할 수 있는 부품의 조합, 즉 제품의 모듈화 설계를 지원하는 방법에 대해서 제안한다. 이때, 하나의 모듈을 어떠한 부품군으로 구성할 것인가는 그 목적(예를 들면, 재사용성의 향상, 분해성의 향상 등)에 따라 다르고, 통상의 제품 개발에 있어서는 다수의 목적이 고려되는 경우가 일반적이다(설계의 다목적성). 따라서, 본 논문에서는 어느 하나의 제품을 설계할 때 다양한 시점으로부터 제품의 모듈화를 평가하기 위해 유사도(similarity)라는 새로운 평가지표를 개발하고 이를 이용한 다목적 모듈화 설계법을 제안한다.

## 2. 모듈화 설계와 관련 연구

### 2.1 모듈화 설계(Modular Design)

모듈화 설계란 “몇 개의 부품을 어느 특정의 시점에서 한 묶음으로 하여 모듈이라는 단위로 하고 그러한 모듈을 조합함으로써 제품을 구성”하는 설계 방법이다. 모듈화 설계는 종종 유닛 설계(unit design)라고도 불린다. 이와 같은 모듈화 설계의 이점으로는 다음과 같은 것을 들 수 있다.

- 조립·분해성의 향상 : 조립·분해 공정이 모듈의 간단한 조립·분해에 의해 이루어질 수 있어 조립·분해성이 향상된다.
- 유지보수성의 향상 : 조립·분해성이 향상되기 때문에 유지보수 작업을 위한 분해·조립 작업이 용이하게 된다. 또한, 유지보수 작업이 빈번히 행해지는 부품군이나 어떤 동일한 고장에 관계하는 부품군을 하나의 모듈로 모아두어 모듈별로 교체함으로써 유지보수를 할 수 있으므로 유지보수 그 자체도 용이하게 된다.
- 리사이클성(재이용성)의 향상 : 분해성 향상에 의해 제

품을 리사이클 할 때 행해지는 분해 작업이 용이하게 되어 리사이클성이 향상된다. 또한, 모듈 단위로 재료를 통합함으로써 그 모듈별로 재료를 리사이클 할 수 있으므로 리사이클 시의 분해 작업 순서를 보다 줄일 수 있어 더욱 더 리사이클성 향상을 꾀할 수 있다.

- 업그레이드성의 부가 : 예를 들면, PC와 같이 제품을 기능 단위로 모듈화함으로써 업그레이드 하고 싶은 기능에 관련된 모듈만을 교체하여 업그레이드 할 수 있게 된다.
- 장수명화 : 유지보수성이 향상됨에 따라 제품을 사용할 수 있는 기간이 길어져 제품 전체적으로 장수명화를 꾀할 수 있다. 또한, 업그레이드성이 부가되어 제품 기능의 진부화로 폐기할 필요가 없게 됨에 따른 장수명화도 기대할 수 있다.
- 다기능화 : 제품을 기능 단위로 모듈화함으로써 새로운 기능을 부가하고 싶은 경우에는 그 기능에 관련된 모듈을 추가하여 그 제품의 기능을 늘릴 수 있다. 또한, 다양한 모듈을 조합함으로써 종래에는 없던 새로운 가치를 갖는 제품을 창출할 수 있다.
- 코스트다운 : 제품을 모듈화함으로써 복수의 제품간 또는 제품 세대 간에서 모듈의 공통화를 꾀할 수 있다. 이와 같이 제품을 양산화할 수 있게 되어 코스트다운, 더 나아가 시판되고 있는 모듈을 적용함에 따른 코스트다운 등의 효과가 발생한다.
- 레이아웃성의 향상 : 제품이 모듈이라는 단위로 구성되어 있기 때문에 모듈간의 인터페이스만 갖추어져 있으면 자유롭게 모듈을 배치할 수 있다.

일반적으로 모듈화 설계는 위와 같은 이점을 활용하기 위해서 수행된다. 바꾸어 말하면, 모듈화에는 반드시 목적이 있고 그 목적이란 위에 열거한 이점 중 어떤 것(하나 또는 복수)이다.

### 2.2 모듈화 설계 관련 종래 연구와 문제점

지금까지 이와 같은 많은 이점 때문에 모듈화 설계와 관련된 연구가 활발히 수행되고 있다. 종래의 모듈화 설계에 관한 연구는 크게 “어떠한 모듈군을 미리 준비해 두고 그 중에서 지금부터 만들려고 하는 제품의 요구(목적)에 맞추어 모듈을 조합함으로써 제품을 구성하는 것[2-5]”과 “설계자가 갖는 모듈화 설계의 목적에 근거하여 제품을 모듈로 분리(구성)하는 방법에 관한 것[6-8]”으로 분류할 수 있다.

전자의 예로서 문헌 [2-4]는 예를 들면, 일련의 제품군을 대상으로 하는 설계를 ‘제품 계열 통합화 설계’라 부르고 이 일련의 제품을 설계함에 있어 제품이 모듈로 구

성되고 각 모듈은 속성에 의해 표현되는 것으로 하여 미리 준비해 둔 모듈군중에서 모듈 속성과 모듈의 조합을 결정한다. 그러나, 이러한 연구에서는 사전에 모듈을 준비해 두는 것을 전제로 하기 때문에 “모듈은 어떤 부품을 어떤 시점(관점)에서 정리하여 구성해 두는가”라는 문제점이 있어 먼저 그 점에 대해서 해결할 필요가 있다.

또한, 후자의 예로서는 문헌 [6, 7]에서는 기존의 제품을 기능적 또는 구조적인 시점에서 분할하여 그 분할한 단위로 설계 파라미터나 사양으로부터 발생하는 구속조건 등을 부가하여 몇 개의 묶음을 생각해 그 묶음을 모듈로 한다. 그러나, 이러한 연구에서는 모듈화 설계를 실시할 때 목적별로 다른 모듈화안이 생성되어 모듈화 설계의 복수의 목적을 적용하는 것(다목적 모듈화 설계)이 불가능하다. 또한, 구속조건을 부여하기 어려운 신규 설계를 실시하는 경우에도 적합하지 않고, 기능별 또는 구조별로 분할한 부품을 모듈로서 묶을 때에 복잡한 노하우를 필요로 하는 등의 문제점이 있다.

### 3. 유사도를 이용한 다목적 모듈화 설계법

#### 3.1 연구의 개요

본 연구에서는 모듈화의 목적과 모듈의 구조(부품군의 조합)를 관련 지어 설계자가 가지는 모듈화의 목적을 기초로 그 목적을 달성할 수 있는 부품의 조합, 즉 제품의 모듈화를 수행하는 방법에 대해서 제안한다.

모듈화의 목적은 제 2.1절에서 언급한 것 같은 모듈화의 이점에 상응한다고 생각할 수 있고 각각의 목적에 따라 하나의 모듈을 어떠한 부품군으로 구성할 것인가는 상이하다고 생각된다. 즉, 어떤 하나의 제품을 모듈화하려고 생각했을 때 모듈화의 목적이 복수개인 경우에는 모듈화를 위한 지침이 여러 개 존재하게 된다는 것이다. 따라서, 어느 하나의 제품을 설계할 때 다양한 시점으로부터 그 제품에 대해 검토할 수 있는 모듈화 설계법이 필요하다.

본 연구에서는 어느 모듈화의 목적으로부터 보아 이상적(理想的)인 모듈화안에 대해 설계자로부터 제안된 모듈화안이 어느 정도 가까운지를 나타내는 ‘유사도(類似度)’라는 개념을 제안한다. 설계자로부터 제안된 몇 개의 모듈화안 각각에 대해서 모듈화의 목적을 얼마나 만족하는지를 유사도를 이용해 상대적으로 평가한다.

유사도를 이용함으로써 유닛화의 목적이 복수인 경우에도 적용할 수 있고, 설계자로부터 제안되는 모듈화안을 상대평가하기 때문에 설계자에게 모듈화에 대한 경험이나 감이 없어도 설계자가 의도하는 목적을 만족하는 모듈화안이 어떤 것인가를 알 수 있다. 또한, 모듈화의

목적이 다수인 경우, 즉 그 목적을 위해 이상적인 모듈화안을 만들기 위한 지침(기준)이 다수인 경우에도 유사도를 이용함으로써 지침이 무엇이더라도 같은 평가방법으로 평가할 수 있다.

본 연구에서 제안되는 다목적 모듈화 설계법의 적용 절차는 다음과 같다.

- 모듈화 설계하고자 하는 제품의 부품으로의 분해
- 모듈화의 목적별로 이상적인 모듈화안의 결정
- 설계자에 의해 제안된 모듈화안에 대한 유사도의 적용 평가

#### 3.2 목적별로 이상적인 모듈화안의 결정 및 유사도에 의한 평가

##### 3.2.1 이상적인 모듈화안 작성을 위한 지침

본 연구에서는 설계자가 모듈 설계를 하려고 하는 목적, 즉 모듈화의 목적으로서 제 2.1절에서 열거한 모듈화의 이점 중에서 대표적인 예로서 다음의 항목을 검토한다.

- 리사이클성(재이용성)의 향상
- 유지보수성의 향상
- 업그레이드성의 부가

다음에 각각의 모듈화의 목적과 모듈의 구조(부품군의 조합)의 관계를 생각하여 각각의 모듈화의 목적으로부터 본 이상적인 모듈에 대해 설명한다.

##### 1) 리사이클성

리사이클성을 고려할 때 중요하게 되는 것은 분해성과 재료 재이용의 용이성이다. 모듈화 설계를 전제로 한 경우에 분해성이 향상된다는 것은 분해순서(시간)가 적게 되는 것이라고 할 수 있다. 따라서, 제품을 리사이클할 때 행해지는 분해의 이유를 생각해 보면 이하에 나타내는 부품(요소)[9]이 포함되어 있는 경우에 분해가 필요하게 된다고 생각된다.

- 유해물 및 그것을 포함하는 요소(회로기판, 전지 등)
- 전용 프로세스 처리물(브라운관, 프레온, 기름 등)
- 파쇄곤란 물품(모터, 컴프레서 등)
- 재이용하는 요소(전원, HDD/FDD 등)
- 재질 구성이 불명확한 구입품
- 파쇄, 선별 작업에 적합하지 않은 요소(harness)
- 유가물(有價物)을 포함하는 요소(금 함유량이 많은 부품 등)
- 파쇄, 선별 작업에 위험을 수반하는 요소(유리제품)

또한, 분해 시의 공구 변경횟수를 줄이는 것도 분해시 간을 감소시킨다고 생각되기 때문에 분해에 같은 공구를 사용하는 부품을 모듈로 해두는 것도 분해성이 향상된다고 생각된다. 다음으로 재료 재이용의 용이성이라는 관점에서 생각해 보면 동일한 재질로부터 구성되는 부품군이 하나의 모듈로 되어 있으면 그 재질에 대해 재이용이 용이하게 된다고 생각된다.

이상으로부터 모듈화의 목적을 리사이클성으로 했을 때의 이상적인 모듈화안이란 분해 후의 처리별, 공구별, 재질별 3개의 지침으로 모듈화되어 있는 모듈화안이라고 생각할 수 있다.

2) 유지보수성

유지보수성 설계를 위한 지침을 간단하게 정리하면 다음의 3개가 된다[10].

- 유지보수 작업 빈도의 삭감
- 유지보수 작업의 용이화
- 고장 검출 · 고장 진단의 용이화

이것들을 모듈화 설계에서 고려하면 분해에 같은 공구를 이용하는 요소군을 모듈로 함으로써 분해성이 향상되고 이것이 유지보수 작업의 용이화로 이어진다. 또한, 치명도(致命度)의 크기별로 모듈화함으로써 고장 검출·고장 진단이 용이하게 되어 유지보수 작업도 용이하게 된다. 또한, 같은 치명도를 갖는다는 것은 고장발생 빈도도 비슷하다는 것을 의미하므로 고장발생을 검출하기 위한 유지보수 작업의 빈도도 줄어든다.

여기서, 치명도란 어떤 요소 혹은 부품의 고장이 어느 정도 제품 전체에 영향을 미치는지를 나타내고 다음과 같이 정의된다[10].

$$\text{치명도} = (\text{제품으로의 영향도}) \times (\text{고장발생빈도}) \quad (1)$$

본 연구에서는 <Table 1>에 나타낸 바와 같이 치명도에 관해서 제품으로의 영향도(影響度)와 고장발생빈도를 정하고 치명도는 <Table 1>의 값과 식 (1)로 계산된다.

<Table 1> Degree of Influence and Failure Frequency

Degree of Influence		Failure Frequency	
Fatal damage	5	High	5
Functional damage	3	Medium	3
Little damage	1	Low	1

이상으로부터 모듈화의 목적을 유지보수성으로 했을 때의 이상적인 모듈화안이란 공구별, 치명도의 크기별 2

개의 지침으로 모듈화되어 있는 모듈화안이라고 생각할 수 있다.

3) 업그레이드성

업그레이드성을 부가함으로써 고객이 제품 기능의 진부(陳腐)함을 이유로 제품 전체를 새로 사서 바꾸는 것을 억제한다. 따라서, 기능별로 모듈을 만들어 두면 좋지만, 기능별이라고 해도 업그레이드에 관한 기능별로 모듈화를 함으로써 업그레이드성이 부가된다. 예를 들면, PC의 경우 “화면의 해상도를 올리고 싶다”라는 업그레이드 요구에 응하기 위해서 그래픽에 관한 기능을 갖는 부품군을 모듈화해 둬으로써 PC 전체를 새로 사서 바꾸는 일 없이 그래픽에 관한 모듈(그래픽보드)만을 교체함으로써 업그레이드할 수 있게 된다.

이상으로부터 모듈화의 목적을 업그레이드성의 부가로 했을 때의 이상적인 모듈화안이란 업그레이드의 요구가 있을 것 같은 기능별로 모듈화되어 있는 모듈화안이라고 생각할 수 있다.

3.2.2 유사도의 정의

설계자는 제품의 구성부품들을 조합하여 몇 개의 모듈화안을 작성한다. 설계자에 의해서 제시된 모듈화안이 모듈화의 목적별로 이상적인 모듈화안과 어느 정도 비슷한지를 평가하기 위해서 본 연구에서는 ‘유사도’라는 새로운 평가지표를 이용하여 각각의 모듈화안을 평가한다. 유사도란 모듈 설계의 목적을 달성하기 위한 이상적인 모듈화안(제 3.2.1절에서의 각각의 지침에 따라 작성되는 모듈화안)을 100점 만점의 안이라고 하면 설계자가 제안한 모듈화안이 몇 점인지를 나타내고 다음과 같이 정의된다.

어떤 제품을 분해한 결과 생긴 요소의 집합을  $P$ , 설계자가 제안한 모듈화안을  $U_i$ 라고 한다. 모듈화안  $U_i$ 에 속하는 모듈을  $U_{ij}$ 라고 하고  $U_{ij}$ 는 제품을 분해한 결과 생긴 요소군 중의 몇 개의 요소로부터 구성된다고 한다. 모듈화 설계의 목적  $m$ 으로부터 보아 가장 이상적인 모듈화안을  $I_m$ 이라고 하고  $I_m$ 에 속하는 모듈을  $I_{mn}$ 이라고 하면  $U_i$ 에 속하는 모듈과  $I_{mn}$ 의 유사도  $s_{mn}$ 은 다음과 같이 표현된다.

$$s_{mn} = \frac{\sum_{j=1}^k \left( \frac{n(U_{ij} \cap I_{mn})}{n(U_{ij})} \times 100 \times n(U_{ij} \cap I_{mn}) \right)}{u \times n(I_{mn})} \quad (2)$$

$n(A)$ : 집합  $A$ 의 요소의 개수

$u$  :  $n(U_{ij} \cap I_{mn}) \neq 0$ 이 되는 집합  $U_{ij}$ 의 개수

이 유사도  $s_{mm}$ 으로부터 설계자가 제안한 모듈화안  $U_i$ 와 모듈화의 목적  $m$ 의 이상적인 모듈화안  $I_m$ 의 유사도  $S_m$ 은 다음과 같이 표현된다.

$$S_m = \frac{\sum_{j=1}^I s_{mj}}{I} \quad (3)$$

여기서,  $s_{mm}$ 과  $S_m$ 의 차이에 대해서 살펴보면,  $s_{mm}$ 은 모듈화의 목적  $m$ 의 이상적인 모듈화안에 속하는 모듈  $I_{mm}(m, n : \text{일정})$ 과 설계자가 제안한  $U_i$ 에 속하는 모듈  $U_{ij}(i : \text{일정}, j=1, \dots, n)$ 의 유사도인데 대해,  $S_m$ 은 설계자가 제안한 모듈화안  $U_i$ 와 모듈화의 목적  $m$ 의 이상적인 모듈화안  $I_m$ 을 비교하고 있어 모듈화안의 유사도가 되고 있다.

### 3.2.3 유사도에 의한 평가방법

다음으로 유사도의 계산과 모듈화안을 유사도를 사용하여 평가하는 방법에 대해서 예를 들어 설명한다.

어떤 제품을 분해한 결과 생긴 요소(부품)의 집합( $P$ )이 다음과 같다고 하자.

$$P = \{a, b, c, d, e, f\} (a, b, c, d, e, f : \text{요소의 이름})$$

다음으로 이 제품에 대해 설계자가 제안한 모듈화안 1( $U_1$ ), 모듈화안 2( $U_2$ )는 다음과 같다고 하자.

$$U_1 = \{U_{11}, U_{12}\} (i=1 : \text{설계자의 모듈화안 1})$$

여기서,  $U_{11} = \{a, b, c\}$ ,  $U_{12} = \{d, e, f\}$

$$U_2 = \{U_{21}, U_{22}, U_{23}\} (i=2 : \text{설계자의 모듈화안 2})$$

여기서,  $U_{21} = \{a, b\}$ ,  $U_{22} = \{c\}$ ,  $U_{23} = \{d, e, f\}$   
( $U_{ij}$  : 모듈화안  $i$ 에 포함되는  $j$ 번째의 모듈)

더욱이 이 때 모듈화안의 목적이 되는 리사이클성, 유지보수성 및 업그레이드성의 관점에서부터 본 각각의 이상적인 모듈화안  $I_1, I_2, I_3$ 가 다음과 같다고 하자.

$$I_1 = \{I_{11}, I_{12}, I_{13}\} (m=1 : \text{리사이클성})$$

여기서,  $I_{11} = \{a, b\}$ ,  $I_{12} = \{c, d\}$ ,  $I_{13} = \{e, f\}$

$$I_2 = \{I_{21}, I_{22}, I_{23}\} (m=2 : \text{유지보수성})$$

여기서,  $I_{21} = \{a, c\}$ ,  $I_{22} = \{b\}$ ,  $I_{23} = \{d, e, f\}$

$$I_3 = \{I_{31}, I_{32}\} (m=3 : \text{업그레이드성})$$

여기서,  $I_{31} = \{a, f\}$ ,  $I_{32} = \{b, c, d, e\}$

( $I_{mm}$  : 모듈화의 목적  $m$ 의 이상적인 모듈화안의  $n$ 번째 모듈)

각 모듈화의 목적별로 이상적인 모듈화안은 제 3.2.1절에서 검토한 결과로부터 각각의 지침에 따라 요소를 묶어 모듈로 하고 그 모듈의 집합을 모듈화안으로 한 것이다.

다음으로 유사도를 계산한다. 예로서  $s_{11}$ 의 계산에 대해 설명하면서 유사도의 계산식의 의미에 대해서 설명한다.  $s_{11}$ 의 경우, 정의와 식 (2)에 의해  $m=1, n=1$ 이 된다.  $m=1$ 은 모듈화의 목적으로서 리사이클성의 향상을 나타내고,  $n=1$ 은 그 목적으로부터 본 이상적인 모듈화안  $I_m$  중의 첫 번째 모듈이라는 것을 나타낸다. 즉,  $s_{11}$ 에서는 리사이클성으로부터 이상적인 모듈화안  $I_1$  중의  $I_{11} = \{a, b\}$ 과 설계자로부터 제안된 모듈화안  $U_1$  또는  $U_2$ 에 속하는 모듈이 어느 정도 유사한지를 계산한다.

예로서 설계자로부터 제안된 모듈화안  $U_1$ 에 속하는 모듈  $U_{11}$ 과  $U_{12}$ 로부터  $s_{11}$ 을 계산해 본다.

$$U_{11} = \{a, b, c\}, U_{12} = \{d, e, f\}, I_{11} = \{a, b\} \text{에 의해,}$$

$$U_{11} \cap I_{11} = \{a, b\}, n(U_{11} \cap I_{11}) = 2,$$

$$U_{12} \cap I_{11} = \{\phi\}, n(U_{12} \cap I_{11}) = 0,$$

$$u = 1(n(U_{ij} \cap I_{mm}) \neq 0 \text{이 되는 집합 } U_{ij} \text{의 개수})$$

또한,  $n(I_{11}) = 2$ 에 의해 식 (2)는 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} s_{11} &= \frac{\left( \frac{n(U_{11} \cap I_{11})}{n(U_{11})} \times 100 \times n(U_{11} \cap I_{11}) \right)}{u \times n(I_{11})} \\ &+ \frac{\left( \frac{n(U_{12} \cap I_{11})}{n(U_{12})} \times 100 \times n(U_{12} \cap I_{11}) \right)}{u \times n(I_{11})} \\ &= \frac{\left( \frac{2}{3} \times 100 \times 2 \right) + \left( \frac{0}{3} \times 100 \times 0 \right)}{1 \times 2} = 66 \end{aligned}$$

다음으로 식 (2)의 내용에 대해서 식 (4)를 이용하여 설명한다.  $(n(U_{11} \cap I_{11})/n(U_{11})) \times 100$ 은 모듈  $U_{11}$ 에  $I_{11}$ 의 요소가 포함되는 비율(%)을 구한다. 이 예에서는  $U_{11}$ 의 66%가  $I_{11}$ 의 요소로 구성되어 있다는 것이 된다. 다음의  $n(U_{11} \cap I_{11})$ 은 모듈  $U_{11}$  안에 포함되는  $I_{11}$ 의 요소의 개수를 나타내고 이것을 곱함으로써 이 예에서는 66%의 내역으로서  $I_{11}$ 의 요소는  $U_{11}$ 의 요소 중에 2개 포함되어 있다는 것을 나타낸다.

이것은 예를 들면 어떤 모듈  $U_{ij}$ 가 모두  $I_{11}$ 에 포함되는 요소로 구성되어 있는 경우, 생각할 수 있는 것은  $U_{ij} = \{a\}$ 인 경우와  $U_{ij} = \{a, b\}$ 인 경우가 있다. 그 때 어느 쪽도  $(n(U_{ij} \cap I_{11})/n(U_{ij})) \times 100$ 은 100이 된다. 그러나,  $U_{ij} = \{a\}$  보다  $U_{ij} = \{a, b\}$  쪽이  $I_{11}$ 과 유사하다. 따라서, 그 모듈  $U_{ij}$ 안에  $I_{11}$ 의 요소가 몇 개 포함되는가를 곱함으로써 유사도의 높고 낮음을 나타낸다. 이것을 설계자로부터의 모듈화안 1에 속하는 모든 모듈화에 대해서 계산하는 것이 분자 부분에 해당된다.

다음으로 분모 부분에 대해서 설명한다.  $u$ 는 모듈화안 1 중에  $I_{11}$ 의 요소를 포함하는 모듈이 얼마나 있는가를 나타낸다. 이것은  $I_{11}$ 의 요소  $a, b$ 가 가능한 한 모아져 있는 쪽이 전체 평가가 좋아지도록 하기 위한 것으로  $a, b$ 가 각각 다른 모듈에 포함되어 있는 경우보다도  $a, b$ 가 하나의 모듈에 포함되어 있는 쪽이  $u$ 의 값이 작아지게 되어  $s_{11}$ 의 값이 커진다.  $n(I_{11})$ 은  $s_{11}$ 의 최대치를 100으로 하기 위한 것이다. 예를 들면, 어떤 모듈화안이  $U_{ij} = \{a, b\}$ 로만 구성되어 있는 경우,  $I_{11} = \{a, b\}$ 가 이상적이라고 하면 분자가  $(2/2) \times 100 \times 2 = 200$ 이 된다. 이것은  $n(I_{11}) = 2$ 에 100을 곱한 것이 되기 때문에 유사도  $s_{11}$ 을 100점 만점으로 평가하기 위해서 분모를  $n(I_{11})$ 으로 나누는 것이다. 이와 같이 다른 유사도를 계산한 결과를 <Table 2>에 나타낸다.

<Table 2> Similarity Indices of Modular Design Candidates

	Recyclability				Maintainability				Upgradability			Result
	$s_{11}$	$s_{12}$	$s_{13}$	$S_1$	$s_{21}$	$s_{22}$	$s_{23}$	$S_2$	$s_{31}$	$s_{32}$	$S_3$	
$U_1$	66	17	66	50	66	33	100	66	17	33	25	47
$U_2$	100	33	66	66	38	100	100	79	21	24	22	56

<Table 2>의  $s_{11}$ 은 설계자가 제안한 모듈화안에 포함되는 모듈이 리사이클성의 이상적인 모듈화안  $I_1$  중의  $I_{11} = \{a, b\}$ 와 어느 정도 유사한지를 나타낸다. 모듈화안 2( $U_2$ )에는  $I_{11} = \{a, b\}$ 와 똑 같은 모듈이 있으므로 유사도는 100이 된다. 또한,  $S_1$ 은  $s_{11}, s_{12}, s_{13}$ 의 평균으로 모듈화안과 리사이클성의 이상적인 모듈화안과의 유사도를 나타내며 값이 큰 것이 보다 리사이클성의 이상적인 모듈화안에 가깝다는 것을 의미한다. 이 예에서는 모듈화안 2가 모듈화안 1보다 리사이클성의 이상적인 모듈화안에 가깝다는 것이 된다.

여기서, 모듈화의 목적의 이상적인 모듈화안에 보다 가까운 쪽이 보다 모듈화의 목적을 만족하는 모듈화안이라고 생각할 수 있다. 따라서, 모듈화안 1보다 모듈화안 2가 리사이클성이 높다고 생각할 수 있다. 이와 같이 유

지보수성과 업그레이드성에 대해서도 살펴보면, 리사이클성과 유지보수성에 관해서는 모듈화안 2가, 업그레이드성에 대해서는 모듈화안 1이 높다는 것을 알 수 있다.

<Table 2>의 결과  $S$ 는 모든 모듈화의 목적(리사이클성, 유지보수성, 업그레이드성)을 고려한 경우에 어느 모듈화안이 보다 모듈화의 목적을 만족하는지를 나타낸다. <Table 2>에서는 모듈화의 목적이 각각 동등하게 중요하다고 설계자가 생각하고 있는 경우라고 하여 결과  $S$ 가  $S_1, S_2, S_3$ 의 평균값이 되고 있으나, 설계자의 의도로서 예를 들면, “특히 리사이클성을 중시하고 싶다”와 같은 모듈화의 목적 중에서도 중시하고 싶은 목적이 있는 경우에는 모듈화의 목적 각각의 유사도인  $S_m$ 에 가중치 (weighting factor)를 부여함으로써 <Table 3>과 같이 결과에 설계자의 의도를 반영하는 것이 가능하다. 여기서, 가중치의 합은 10이 되도록 한다. <Table 3>의 결과에서는 모듈화안 2가 설계자의 의도에 부합된 모듈화안이라는 것을 알 수 있다.

<Table 3> Weighted Similarity Indices

Weighting Factor ( $\omega$ )	Recyclability		Maintainability		Upgradability		Total	Result
	8		1		1			
	$S_1$	$S_1\omega$	$S_2$	$S_2\omega$	$S_3$	$S_3\omega$		
$U_1$	50	400	66	66	25	25	491	49
$U_2$	66	528	79	79	22	22	629	63

## 4. 적용 예

본 연구에서 제안되는 유사도 개념을 이용한 다목적 모듈화 설계법의 유효성을 제시하기 위하여 실제 제품에 적용한 결과를 설명한다. 적용 예를 제시함에 있어서 예로 하는 제품은 실제로 어떠한 부품으로 구성되어 있는지를 알 수 있고, 리사이클성이나 유지보수성, 업그레이드성에 대해 검토할 수 있는 제품일 필요가 있다. 따라서, 제시되는 적용 예에서는 주변에서 쉽게 구할 수 있고 비교적 간단하게 분해할 수 있으며 일본에서와 같이 폐가전제품의 리사이클법의 시행에 의해 리사이클 과정이 공개되어 있어 고장 사례로부터 유지보수성에 관한 정보 [11]를 얻을 수 있는 텔레비전을 대상으로 하였다. 적용 순서와 결과를 간단히 정리하면 다음과 같다.

### 4.1 부품으로의 분해

먼저 텔레비전이 어떠한 부품으로 구성되어 있는가를

조사하기 위해 부품으로 분해했다. 분해된 부품은 총 40 개였다(고음스피커(1), 저음스피커(2), 보조스피커(3), 음성기관(4), 스피커케이스(5), 고무패킹(6), 스폰지(7), 쿠션(8), 스피커구멍(9), RGB기관(10), 메인기관(11), 바늘(12), 전자빔(13), 편향요크(14), 트랜스(15), 샤도우마스크(16), 프론트패널(17), 팬패널(18), 소자코일(19), 전원기관(20), 기어(21), 비디오단자(22), 헤드폰단자(23), 튜너(24), 음기관(25), 색기관(26), 영상기관(27), 비디오기관(28), 헤드폰기관(29), 소기관(30), 보강밴드(31), 스프링(32), 전면케이스(33), 후면케이스(34), 뚜껑(35), 단자대(36), 기관용케이스(37), 배선(38), 나사체결부(39), 방열판(40)).

다음으로 분해에 의해 발견된 부품군을 개수, 용도(기능), 재질, 고장의 시스템으로의 영향도, 고장 빈도에 대해서는 텔레비전의 고장 사례와 각 부품이 하는 기능으로 <Table 3>에 근거해 상정했다. 치명도에 대해서는 식 (1)에 의해 계산했다.

### 4.2 모듈화의 목적별로 이상적인 모듈화안의 결정

제 3.2.1절에서 설명한 각 지침에 따라 모듈화의 목적별로 이상적인 모듈화안을 결정했다. 예를 들어, 리사이클성에 대해서는 제품 분해 후의 처리별, 재료별로 모듈화하면 이상적인 모듈화안이 된다. 따라서, 리사이클성을 목적으로 한 경우의 이상적인 모듈화안( $I_1$ )에 포함되는 모듈을 다음과 같이 결정했다.

$$I_1 = \{I_{11}, I_{12}, I_{13}, I_{14}, I_{15}, I_{16}, I_{17}, I_{18}, I_{19}, I_{110}\}$$

여기서,  $I_{11} = \{1, 2, 3, 8, 15, 22, 23, 23\}$

$I_{12} = \{4, 10, 11, 19, 20, 25, 26, 27, 28, 29, 30\}$

$I_{13} = \{5, 21, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39\}$ ,  $I_{14} = \{6, 7\}$

$I_{15} = \{9, 12, 16, 31, 32\}$ ,  $I_{16} = \{13\}$ ,  $I_{17} = \{14\}$

$I_{18} = \{17\}$ ,  $I_{19} = \{18\}$ ,  $I_{110} = \{40\}$

### 4.3 설계자에 의한 모듈화안의 제안 · 평가

이 예에서는 모듈화안으로서, 복수의 모듈화의 시점(리사이클성, 유지보수성, 업그레이드성)으로부터 현재 대상으로 하는 제품에 대한 평가를 수행하기 위해 실제 텔레비전에서 행해지고 있는 모듈화안을 모듈화안 1( $U_1$ )로 하고, 제안되는 유사도의 개념을 확인하기 위해 리사이클성에 있어서 이상적인 모듈화안을 모듈화안 2( $U_2 = I_1$ ), 유지보수성에 있어서 이상적인 모듈화안을 모듈화안 3( $U_3 = I_2$ ), 업그레이드성에 있어서 이상적인 모듈화안을 모듈화안 4( $U_4 = I_3$ )로 하여 <Table 4>와 같이 총 4개의 모듈화안을 설계자로부터 제안된 모듈화안이라고 가정하

였다. 특히, 설계자에 의한 모듈화안 1은 실제로 텔레비전을 분해한 결과 현재의 텔레비전이 모듈화되어 있는 부품군을 조사하여 작성한 것이다.

제 3.2.2절의 유사도의 정의에 따라 각각에 대해서 유사도  $S_{mm}$ 을 구한 결과를 <Table 5>에 나타낸다. 이것을 보면 실제 제품의 모듈들(모듈화안 1  $U_1$ )에서는 리사이클성의 결과  $S_1 = 15$ , 유지보수성의 결과  $S_2 = 12$ , 업그레이드성의 결과  $S_3 = 11$ 로 되고 있어 모듈화의 목적을 그다지 만족시키지 못한다는 것을 알 수 있다. 다음으로 유사도  $S_m$ 에 가중치를 고려하여 설계자의 의도를 반영한 종합적인 결과를 <Table 6>에 나타낸다. 이 예에서는 설계자는 ‘리사이클성의 향상’에 중점을 두는 것으로 하여 가중치를 8, ‘유지보수성의 향상’에 1, ‘업그레이드성의 부가’에는 1을 부여하는 것으로 가정한다. 이와 같은 가중치는 제품기획 및 개발 부서의 시장조사, 경험·노하우, 벤치마킹 등에 의해 전략적으로 결정되거나, 품질기능전개(quality function deployment) 등을 활용하여 소비자의 요구사항과 요구사항에 대한 중요도를 조사함으로써 보다 객관적으로 결정될 수 있다. 합계란은 각 목적의 유사도  $S_m$ 에 가중치를 곱한 합계이다. 종합 결과는 합계를 가중치의 합인 10으로 나눈 것이다. 종합 결과는 값이 큰 것이 보다 설계자가 의도하는 모듈화에 가까운 것이 되기 때문에 이 예의 결과에서는 모듈화안 2( $U_2$ ), 즉 리사이클성으로부터 보아 이상적인 모듈화안이 가장 설계자의 의도에 부합된 모듈화안이라는 것을 알 수 있다.

<Table 4> Modular Design Candidates

Classification	$U_1$	$U_2$	$U_3$	$U_4$
Module 1	1, 2, 5, 6, 7, 8	1, 2, 3, 8, 15, 22, 23, 24	1, 2, 5, 13, 14, 16, 17, 18, 21, 26, 28, 29, 30	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 29, 30, 35, 36, 37, 38, 39, 40
Module 2	3, 9, 21, 30, 32, 33, 34, 35, 39	4, 10, 11, 19, 20, 25, 26, 27, 28, 29, 30	3, 6, 7, 8, 9, 12, 19, 22, 23, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40	11, 14, 15, 17, 18, 27, 31, 32, 33, 34
Module 3	4, 11, 15, 19, 24, 25, 26, 27	5, 21, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	4, 10, 11, 15, 20, 24, 25, 27	16
Module 4	10, 12, 13, 14, 16, 17, 18	6, 7	-	-
Module 5	20, 31, 37, 38, 40	9, 12, 16, 31, 32	-	-
Module 6	22, 28	13	-	-
Module 7	23, 29, 36	14	-	-
Module 8	-	17	-	-
Module 9	-	18	-	-
Module 10	-	40	-	-

&lt;Table 5&gt; Similarity Indices

	Recyclability										
	$s_{11}$	$s_{12}$	$s_{13}$	$s_{14}$	$s_{15}$	$s_{16}$	$s_{17}$	$s_{18}$	$s_{19}$	$s_{110}$	$S_1$
$U_1$	7	9	10	33	10	14	14	14	14	20	15
$U_2$	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
$U_3$	7	18	16	11	9	7	7	7	7	5	9
$U_4$	11	15	12	7	10	3	10	10	10	3	9

	Maintainability				Upgradability			
	$s_{21}$	$s_{22}$	$s_{23}$	$S_2$	$s_{31}$	$s_{32}$	$s_{33}$	$S_3$
$U_1$	8	9	20	12	11	9	14	11
$U_2$	8	12	24	14	12	7	20	13
$U_3$	100	100	100	100	24	9	7	13
$U_4$	12	25	11	16	100	100	100	100

&lt;Table 6&gt; Weighted Similarity Indices

	Recyclability		Maintainability		Upgradability			
Weighting Factor ( $\omega$ )	8		1		1			Result
	$S_1$	$S_1\omega$	$S_2$	$S_2\omega$	$S_3$	$S_3\omega$	Total	$S$
$U_1$	15	120	12	12	11	11	143	14
$U_2$	100	800	14	14	13	13	827	83
$U_3$	9	72	100	100	13	13	185	19
$U_4$	9	72	16	16	100	100	188	19

## 5. 결론

본 논문에서는 종래 하나의 시점에서만 행해지고 있던 제품의 모듈화의 검토를 복수의 시점으로부터 제품을 검토할 수 있는 유사도라는 새로운 개념을 적용함으로써 복수의 시점(목적)으로부터 모듈화안에 대한 검토가 가능한 다목적 모듈화 설계법을 제시하였다.

본 방법에서는 유사도를 이용하여 설계자로부터 제안되는 모듈화안을 상대 평가하기 때문에 설계자에게 모듈화에 대한 경험이나 감이 없어도 설계자가 의도하는 목적을 만족시키는 모듈화안이 어떤 것인지를 알 수 있다. 또한, 모듈화의 목적이 다수인 경우 즉, 모듈화를 위한 지침이 다수 있는 경우에도 유사도를 이용함으로써 지침이 무엇이라도 동일한 평가방법으로 평가할 수 있다.

향후 과제로서는 설계자가 모듈화안을 제안하지 않더라도 모듈화의 목적별로 가중치를 부여하면 설계자에게

적당한 모듈화안을 제안할 수 있는 시스템이 필요하다고 생각된다.

## Acknowledgement

This research was supported by the research fund of Hanbat National University in 2006.

## References

- [1] Umeda, Y., Inverse manufacturing. *Trans. of the JSDE*, 1998, Vol. 33, No. 3, p 69-74.
- [2] Fujita, K. and Ishii, K., Product variety design and its task structuring. *Trans. of the JSME*, 1999, Vol. 65, No. 629, p 416-423.
- [3] Fujita, K., Optimization methodologies for product variety design : 1<sup>st</sup> report, design optimality across multiple products and its situation. *Trans. of the JSME*, 2002, Vol. 68, No. 666, p 675-682.
- [4] Fujita, K., Optimization methodologies for product variety design : 2<sup>nd</sup> report, optimization method for module communalization. *Trans. of the JSME*, 2002, Vol. 68, No. 666, p 683-691.
- [5] Yoshimura, M. and Horie, S., Concurrent design of mechanical systems using operator-acting modules. *Trans. of the JSME*, 1999, Vol. 65, No. 631, p 1273-1280.
- [6] Kusiak, A. and Larson, N., Decomposition and representation methods in mechanical design. *Trans. of the ASME*, 1997, Vol. 117, p 17-24.
- [7] Huang, C.C. and Kusiak, A., Modularity in design of products and systems. *IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics-Part A*, 1998, Vol. 28, No. 1, p 66-77.
- [8] Aoyama, A., Takechi, S., and Nomoto, T., Modular design supporting system with management of interface information. Proceedings of the 2nd International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing (Eco Design2001), 2001.
- [9] [http://www.ecoassist.com/HTML\\_n/option/rem/rem-tr/ppframe.htm](http://www.ecoassist.com/HTML_n/option/rem/rem-tr/ppframe.htm).
- [10] Onodera, K. *Maintainability design technology*. JUSE Press, Ltd. Japan; 1989.
- [11] <http://panasonic.co.jp/eco/petec/index.html>.