

지능형 제품설계 시스템 개발을 위한 자동변속기 레버 구조부의 기능분해

하성도(한국과학기술연구원 CAD/CAM 연구센터), 김원기(연세대학교 대학원 기계공학과),
고희병(연세대학교 대학원 기계공학과), 차성운(연세대학교 기계전자공학부)

Function Decomposition of Structural Part in Automatic Transmission Lever for the Development of Intelligent Product Design System

Sungdo Ha(CAD/CAM Research Center, KIST), Won Ki Kim(Dept. of Mechanical Engineering, Yonsei Univ.),
Hee Byung Ko(Dept. of Mechanical Engineering, Yonsei Univ.),
and Sung Woon Cha(Dept. of Mechanical & Electrical Engineering, Yonsei Univ.)

ABSTRACT

Every design activity has a goal of satisfying a set of functional requirement. The commencement of a design, therefore, must have its foundation upon the identification of the functional requirements. Many of the design practices of the industrial examples can be categorized as design of small systems that are defined to have limited and fixed sets of functional requirements to be satisfied at all times. In the case of small systems it facilitates the construction of a knowledge-based system for a specific purpose to decompose the functional requirements and map ones in the lowest level into specific design features. When the number of design features is large, they need to be managed by groups. This paper suggests a grouping method for design features introducing the idea of functional primitives. With the functional primitives properly defined, the design process can be regarded as a series of selections of the predefined functional primitives according to the requirements and the preceding selections. An intelligent product design system for automatic transmission lever design is developed as an example.

Key Words · Functional Requirement (기능적 요구), Feature (특정형상), Knowledge-Based System (지식기반 시스템), Automatic Transmission Lever (자동변속기 레버)

1. 서론

설계는 설계자의 해당분야에 대한 지식과 경험, 그리고 창의력을 바탕으로 이루어지는 활동이다. 실제 산업 현장에서 설계자에게는 대부분 동일하거나 유사한 제품 또는 요소의 설계가 요구된다. 여기에서 ‘동일하거나 유사한 제품 또는 요소’의 기준은 해당 제품 혹은 요소에 요구되는 기능, 즉 기능적 요구에 있다고 볼 수 있는데, 이는 모든 설계가 기능적 요구의 정확한 인식으로부터 출발하여야 하기 때문이다^{1,2}.

Suh는 이러한 시스템을 소 시스템(Small System)이라 정의하였다. 즉, 소 시스템이란 ‘항상 한정되

고 고정된 기능적 요구들의 집합을 만족시켜야 하는 시스템’이라 할 수 있다. 위에서 기술한 바와 같이 현장에 있어서 특정 설계 집단 혹은 설계자에게 요구되는 대부분의 임무는 항상 동일하거나 유사하기 때문에 실제로 대다수의 설계 대상은 소 시스템의 범주에 속한다고 볼 수 있다³.

CAD 시스템이 현장에서 실제로 유용하게 사용되기 위해서는 이와 같은 현장 설계 업무의 특성을 충분히 반영하여야 함과 동시에 일반적인 설계 과정에 대한 올바른 정의와 모델링이 선행되어야 한다. 본 연구에서는 기존의 설계 과정에 대한 일반적인 정의들을 살펴보고 이를 지능형 제품 설계 시스템에 적용시키기 위한 방안을 모색하고자 한다. 승

용차의 자동 변속기 레버를 대상으로 하는 지능형 제품설계 시스템은 필요한 최소한의 사용자 입력을 받아들여 최종적으로 3 차원 솔리드 모델의 생성을 목표로 하는 시스템으로, 규칙과 공식의 형태로 표현된 현 실무자의 다양한 지식을 기반으로 설계를 진행하게 된다.

2 장에서는 제품에 대한 기능적 요구를 계층적으로 분석하고 이를 각각의 특징형상 또는 특징형상의 집합에 매핑시키는 방법을 제시하고, 이어서 3 장에서는 제안된 방법을 자동변속기 레버의 구조물인 브래킷(Bracket) 설계에 적용한다.

2. 기능 분해

2.1 기능적 요구의 분석

2.1.1 설계 과정 관련 연구

현재까지 설계 방법론 또는 설계 과정을 일반화하기 위한 많은 연구들이 진행되어 왔다. 대표적인 예로서 공리적 접근^{1,3,4)}에서는 설계 과정을 설계에 개입되는 네 가지 영역(Domain) 내 요소들의 분해 및 영역간의 사상(Mapping)이라 정의하였다. 즉, 설계에는 소비자 영역, 기능적 영역, 물리적 영역, 그리고 공정 영역이 존재하며, 이들 영역에는 소비자 요구 특성(Customer Needs, CNs), 기능적 요구(Functional Requirements, FRs), 설계 변수(Design Parameters, DPs), 공정 변수(Process Variables, PVs)들이 각각 존재하는데, 설계는 소비자 요구 특성에서 출발하여 이를 기능적 요구로 변환하고 이를 만족시키기 위한 설계 변수와 공정 변수를 순차적으로 선택하는 과정이라는 것이다. 이러한 과정은 각 영역에 존재하는 요소들의 분해(Decomposition)를 거쳐 반복 진행되는데, 이 분해 과정은 후위 영역에 선정된 요소를 참조하여 반복적으로 진행(Zigzagging)된다

한편 Hatamura¹²⁾는 설계에서의 사고 과정을 하나의 흐름으로 파악했다. 그가 제시한 흐름은 기능적 요구의 분석 및 논제로부터 기능을 도출하고, 이를 메커니즘에 사상시키고, 이를 다시 구조로 확장, 편집(compilation)하여 도면에 이르는 일련의 과정이다 Fig. 1 은 Suh 와 Hatamura 가 제시한 설계 과정 모델이다.

이 두 이론을 종합해 본다면, 설계는 소비자의 요구사항을 공학적인 개념으로 기술된 좀 더 구체적인 기능적 요구로 변환하여 이를 만족시키기 위한 메커니즘 혹은 DPs 를 선정하는 과정으로 요약된다. 이 메커니즘 혹은 DPs 는 구조 또는 분해된 하위 DPs 로 구체화 되어 설계가 완성 된다고 할 수 있다.

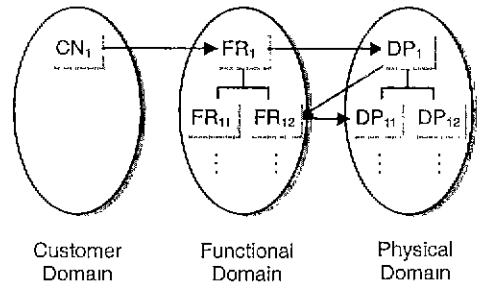


Fig. 1(a) Generalized Design Process by Suh

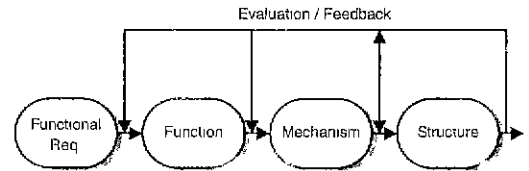


Fig. 1(b) Generalized Design Process by Hatamura

2.1.2 기능적 요구와 특징형상의 대응

특징형상의 개념은 단순한 기하학적 표현을 넘어 이션 기타 정보의 표현에 대한 필요성으로부터 도입되었는데, 적용 분야에 따라 서로 다른 다양한 정의가 존재한다⁵⁾ 특징형상에 대한 연구는 기본적으로 제조 또는 공정계획을 위한 것으로 시작되었다 이미 설계된 제품에 존재하는 특징 형상을 인식하거나(Feature Recognition), 이전 설계 단계에서부터 특징형상을 이용함으로써(Design by Features) 이후 수행될 제조 공정에서 설계자의 의도를 용이하게 파악할 수 있도록 하려는 연구들이 진행되어 왔다.

제조와의 연관성 보다는 설계 자동화 방안으로서의 특징형상에 비중을 둔 연구도 수행되고 있는데^{6,7)}, 이를 위해서는 특징형상을 면들의 집합으로 보는 시각에서 탈피하여 현재 널리 사용되고 있는 솔리드 모델러의 이용에 적합하도록 체적단위 특징형상(volumetric feature) 개념의 도입이 필요하다. 이를 통하여 각 특징형상의 파라메트릭한 제어 또한 용이해질 것이다.

본 연구에서의 설계의 기본적인 개념은 각각의 기능적 요구를 최하위 단계까지 분해하고 이에 대한 각각의 DP 를 선정하여, 최하위 단계의 DP 를 하나의 특징형상에 대응시키는 것이다 실제 설계 대상의 대부분을 포함하는 소 시스템의 설계 사례에 있어서는 항상 한정된 기능적 요구들의 집합만이 존재하기 때문에 이에 대응하는 특징형상의 개수 또한 유한하다. 따라서 특정 설계 대상에 필요한 모든 특징형상들의 집합과 각 특징형상이 가지

는 속성, 그리고 그들 간의 관계를 미리 정립해 놓음으로써 기능적 요구 또는 제약조건의 한정적 변화에 유연하게 대처할 수 있는 시스템의 구현이 용이해 질 수 있다. 또한 관계를 정립하는 과정에서 부수적으로 설계의 전후관계가 쉽게 파악되기도 한다.

2.1.3 기능적 원시형상(Functional Primitive)

특징형상은 제품에 요구되는 가장 구체적인 각각의 기능에 대응되며, 기능적 요구는 분석 및 분해 과정을 통하여 계층 구조화 할 수 있으므로 특징형상의 상위단계, 즉 특징형상으로 분해되기 이전 단계의 개념이 존재한다. 본 논문에서는 이를 '기능적 원시형상(Functional Primitive)'으로 정의한다. 특징형상과 대응되는 기능적 요구는 계층구조에서 가장 하위에 위치하는 것이므로 기능적 원시형상과 대응되는 기능적 요구는 이보다 다소 추상적인 요구 사항이라 할 수 있다. Fig. 2는 분해된 기능으로부터 특징형상과 기능적 원시형상을 추출하는 과정을 묘사하고 있다

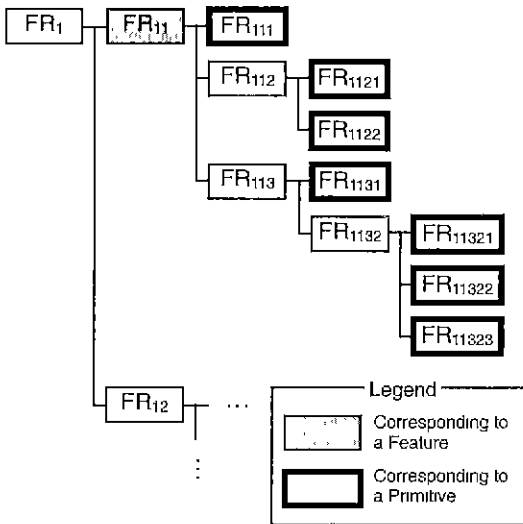


Fig. 2 Mapping between FRs and Features / Primitives

위 그림에서 나타내는 트리구조의 말단에는 가장 구체적인 기능적 요구들이 존재하는데, 이들을 모두 포함하는 가장 가까운 위치에 있는, 즉 최소의 추상성을 갖는 상위 기능적 요구를 기능적 원시형상에 대응되는 것이라 볼 수 있다.

단일 부품에 다양한 기능이 요구되는 경우에는 기능적 요구사항을 가장 상세한 단계까지 분해, 전개함에 따라 무수히 많은 특징형상이 정의되어야 한다. 이러한 경우에 각각의 특징형상을 단위로 상

호간의 관계를 모두 정립하는 일은 매우 복잡하며 비능률적인 작업이 될 것이다. 하나의 상위 기능을 만족시키기 위한 특징형상들을 모듈화한 기능적 원시형상을 단위로 그들간의 관계를 정립하고 동일 원시형상에 속하는 특징형상들 간의 관계는 원시형상 자체의 속성으로 제어하는 것은 설계과정 자체 뿐만 아니라 이에 대한 파악을 용이하게 한다. 각각의 특징형상을 배치하는 일에 있어서 동일 기능적 원시형상에 속하는 특징형상 사이에는 타 원시형상 혹은 특징형상으로 드러날 필요성이 없는 관계가 상당수 존재한다. 따라서 이러한 관계는 원시형상 내부에서 제어하고 해당 원시형상과 타 원시형상 혹은 특징형상과의 관계를 나타내기 위해서 최소한의 대표 엔티티만을 노출시킨다. 이러한 특징형상의 모듈화는 기존의 제품을 기반으로 하여 설계 지식을 추출하는 과정에도 유용하게 사용될 수 있다

설계자의 경험에 의존하여 설계되어온 제품들의 많은 경우에 기능적 요구가 명시적으로 정립되어 있지 않은 부분들이 존재하며, 설계자의 설계 지식이 체계적이며 조직적인 형태로 표현된 경험이 전무한 경우가 많다. 본 연구에서 사례로서 제시할 자동변속기 레버 구조부 관련 지식을 추출함에 있어서도 기능적 원시형상과 특징형상의 정립 이후에 비로소 명시적으로 표현된 설계자의 지식을 추출해 낼 수 있었다. 또한 상당 부분의 설계 지식은 설계자 자신이 지식임을 인식하지 못한 채 무의식적으로 설계에 반영되고 있다. 따라서 이러한 지식은 기존 제품에 대한 분석을 통한 방법으로 파악되어야만 하는데, 본 방법론을 역으로 적용하여 기존 제품의 특징형상을 추출하고 관련 형상들을 그룹화하여 기능적 요구의 파악에 이르는 과정에서 상당수의 지식이 획득될 수도 있다.

3. 자동변속기 레버 구조부예의 적용

3.1 대상 제품에 대한 기능적 요구 분석

승용차용 자동변속기 레버 조립체는 약 70 여 개의 부품으로 구성되어 있다. 가장 주된 기능은 운전자의 레버 조작을 케이블을 통하여 변속기에 전달하는 것이며, 그 외에도 단 변경시의 질도감 형성 및 각종 안전기능 등을 수행한다. 레버 조립체는 크게 기구부와 구조부로 분류될 수 있는데, 본 논문에서는 구조부에서 가장 핵심적인 부품인 브래킷(Bracket)을 대상으로 그 기능을 분석, 분해하고 이에 따라 기능적 원시형상 및 특징형상을 정의하였다

자동변속기의 브래킷은 조립체 내의 타 부품들을 지지하는 구조물로서 기능적 요구와 제약조건에

따라 다양한 형상의 제품들이 설계되어 왔다. 브레이크 역시 항상 한정된 기능적 요구만을 갖는 소 시스템의 범주에 속하는 제품이라 볼 수 있는데, 브레이크에 요구되는 모든 기능들을 추상화한 상위 단계의 기능적 요구 사항들은 다음과 같다.

FR₁: 전체가 연결된 구조로 차체에 조립되어야 한다

FR₁₁: 구조물의 각 부분들이 하나로 연결되어야 한다

FR₁₂: 차체에 장착되어야 한다

FR₂: 타 부품을 장착 또는 지지하여야 한다

FR₂₁: Indicator 를 지지하여야 한다

FR₂₂: Lever Hinge 부가 장착되어야 한다

FR₂₃: 각종 Cable 을 고정시켜야 한다

FR₂₃₁: Transmission Cable 을 고정한다

FR₂₃₂: Key Lock Cable 을 고정한다

FR₂₃₃: Shift Lock Cable 을 고정한다

FR₂₄: 각종 Cam 이 장착되어야 한다

FR₂₄₁: Key Lock Cam 이 장착되어야 한다

FR₂₄₂: Shift Lock Cam 이 장착되어야 한다

FR₂₅: 수동변속 모드(M-Mode) 스위치가 장착되어야 한다

FR₂₆: Detent Spring 이 장착되어야 한다

FR₃: 타 부품의 운동을 안내하거나 제약하여야 한다

FR₃₁: 타 부품의 움직임을 억제한다

FR₃₁₁: 운전자의 의도에 기인하지 않은 단변경을 억제한다

FR₃₁₂: 주행중이 아닌 경우 수동변속 모드로의 전환을 억제한다

FR₃₂: 레버의 움직임을 안내한다

FR₃₂₁: 단 변경시 레버의 움직임을 안내한다

FR₃₂₂: 수동변속 모드에서의 레버의 움직임을 안내한다

다음 절에서 보여질 기능적 요구와 특징형상의 대응의 예로써 사용하기 위해 위의 FRs 중 FR₁₂에 대한 분해를 가장 세부적인 단계에 이르기까지 계속 진행한다. 밑줄은 가장 구체적인 단계로까지의 분해가 완료되었음을 의미한다.

FR₁₂₁: 체결요소에 대한 상대 형상을 가져야 한다

FR₁₂₂: 체결부 주위의 강도 및 강성이 확보되어야 한다

FR₁₂₂₁: 체결부 주위의 살이 일정 값 이상의 폭을 가져야 한다

FR₁₂₂₂: Metal Liner 에 대한 상대 형상을 가져야 한다

FR₁₂₃: 체결부와 본체를 연결하여야 한다

3.2 기능적 요구에 대한 특징형상과 기능적 원시형상

분해된 FR₁₂의 가장 구체적인 단계, 즉 FR₁₂₁, FR₁₂₂₁, FR₁₂₂₂, FR₁₂₃은 각각 하나의 특징형상에 대응시킬 수 있다. FR₁₂₁은 Mounting Hole 로, FR₁₂₂₁은 Hole 을 둘러싸고 있는 Body 로, FR₁₂₂₂는 Metal Liner 가 안착되는 Pocket 으로, 그리고 FR₁₂₃는 Hole 을 둘러싸는 Body 와 본체를 연결하는 또 하나의 Body 로 각각 매핑된다.

따라서 이들 FRs 의 상위에 있는 FR₁₂에 대응하는 객체로서 Foot 이라는 하나의 기능적 원시형상을 정의할 수 있을 것이다. Fig. 3 은 Foot 원시형상과 그 내부의 특징형상, 그리고 기능적 요구와의 대응관계를 나타낸다.

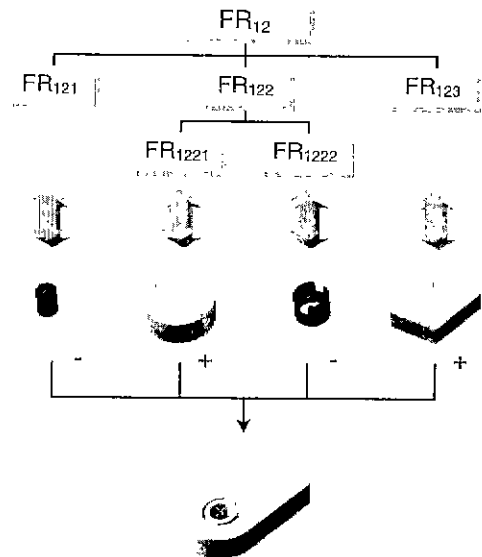


Fig 3 Mapping Between FRs and Features

이와 동일한 과정을 앞 절에서 제시한 모든 기능적 요구를 대상으로 반복함으로써 전체 브레이크 설계에 필요한 모든 기능적 원시형상 및 각 원시형상 내의 특징형상들을 정의할 수 있게 된다. 자동변속기 레버 브레이크의 기능분해를 통하여 정의된 기능적 원시형상은 다음과 같다.

- Base Plate
- Foot
- Hinge
- Cable Mount
- BTSI Cam Mounting
- BTSI Cable Mounting
- Support
- Step
- Groove
- Shifting Guide

기존 설계 제품을 기능적 원시형상과 대응시켜 보면 동일 기능을 수행하는 원시형상이라도 제품마다 다른 특징형상의 집합으로 구성되어 있는 경우를 볼 수 있다 이는 설계자의 개인적 취향에 의존하는 경우도 있으나 대부분 각 제품이 각기 다른 초기 제약조건 및 요구사항을 가지며 및 이에 따라 관련 부품의 구성이 달라지기 때문이다 브래킷의 경우에도 Base Plate, Cable Mount, Support, Step, 그리고 Shifting Guide 는 2 가지 유형을, Foot, Hinge, BTSI Cable Mounting 과 Groove 는 3 가지 유형을 갖는다. 정의된 원시형상들을 조합하면 다음과 같은 제품 모델이 생성된다. 조합 과정에는 필요한 원시형상과 그 유형을 선정하는 규칙들과 선정된 원시형상의 속성을 제어하는 규칙 및 공식이 사용된다.



Fig. 4 Complete Part Generated from Joining Functional Primitives

4. 결론

본 연구에서는 일반적인 설계의 근본 원리를 지능형 제품 설계 시스템에 적용시키는 방안을 모색하였다. 기존의 특징형상 개념과 새로운 기능적 원시형상의 개념을 도입하여 기능적 요구를 만족시키기 위한 구조물을 3 차원 솔리드 모델로 구체화하는 체계적인 방법론을 제시하였다. 기능적 요구를 계층구조로 분해하고 계층구조상에서 최하위 수준에 있는 기능적 요구에 특징형상을, 그리고 그 기능적 요구들을 모두 포함하는 상위 수준의 기능적 요구에 기능적 원시형상을 각각 대응시킴으로써

설계작업 또는 설계분석을 효율적으로 수행할 수 있다

이를 설계에 있어서 가장 일반적인 상황인 소 시스템 설계에 적용시키는 경우에는 정의해야 할 특징형상 및 기능적 원시형상의 수가 유한하므로 지식기반 시스템의 구축이 용이하다. 시스템이 가진 설계지식은 설계의 배경상황에 따라 필요한 기능적 원시형상을 선택하고 선정된 원시형상의 속성을 제어하는 역할을 한다 이러한 특징형상 및 기능적 원시형상의 정의가 갖는 또 하나의 장점은 종래에 동일 기능을 하는 요소가 설계자의 취향에 의해 다양한 형태로 설계되던 것을 그들 중 가장 뛰어난다고 판단되는 하나의 형태로 표준화하여 차후 설계에 적용하게 된다는 것이다. 따라서 이 과정은 기존의 설계와 그에 포함된 설계 의도를 분석할 기회 또한 제공한다.

차후 연구과제로는 지능형 설계 시스템을 위한 특징형상 분류법 및 명명법과 기능적 원시형상 및 특징형상간의 관계를 체계적으로 도식화 혹은 가시화할 수 있는 방법에 관한 연구가 필요하다

참고문헌

1. Suh, N. P, The Principles of Design, Oxford University Press, 1990.
2. Hatamura, Y, The Practice of Machine Design, Oxford University Press, 1999.
3. Suh, N P, "Design of Systems," Annals of the CIRP, Vol 46, No. 1, pp 75-80, 1997.
4. Suh, N P, "Applications of Axiomatic Design," Proceedings of the 1999 CIRP International Design Semmar, pp. 1-46, 1999.
5. Case, C. and Gao, J., "Feature Technology: an Overview," International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol 6, No. 1, pp. 2-12, 1993
6. 이계열, 김광수, "파라메트릭 접근방법에 의한 특징형상을 이용한 모델링," 한국 CAD/CAM 학회 논문집, 제 1 권, 제 3 호, pp. 242-256, 1996.
7. 명세현, 한순홍, "기능특징을 이용한 파라메트릭 형상설계," 한국 CAD/CAM 학회 학술발표회 논문집, pp 179-186, 1997.
8. Feng, C., Huang, C., Kusiak, A., and Li, P., "Representation of Functions and Features in Detail Design," Computer-Aided Design, Vol. 28, No. 12, pp. 961-971, 1996
9. Kim, C. and O'Grady, P., "A Representation Formalism for Feature-Based Design," Vol. 28, No. 6/7, pp. 451-460, 1996.