Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers
Vol. 29, No. 3, pp. 230-238, September 2003.

기능분해와 TRIZ 이론을 이용한 철도 대차의 구성설계

이장용[1†] · 한순흥[2]

[1]한국생산기술연구원 / [2]한국과학기술원 기계공학과

Configuration Design of a Train Bogie using Functional Decomposition and TRIZ Theory

Jangyong Lee[1] · Soonhung Han[2]

[1]Intelligent Manufacturing Systems Team, Korea Institute of Industrial Technology, Chonan, 330-825
[2]Department of Mechanical Engineering, KAIST, Daejeon, 305-701

The configuration design of a mechanical product can be efficiently performed when it is based on the functional modeling. There are methodologies, which decompose function from the abstract level to the concrete level and match the functions to physical parts. But it is difficult to carry out an innovative design when the function is matched only to a pre-defined part. This paper describes the configuration design process of a mechanical product with a design expert system, which uses function taxonomy and TRIZ theory. The expert system can propose a functional modeling of a new part, which is not in the existing parts list. The abstraction levels of design knowledge are introduced, which describe the operation of mechanical product in the levels of abstraction. This is the theoretical background of using knowledge of function and TRIZ for configuration design. The expert system is adequate to control this design knowledge, which expresses knowledge of functional modeling, mapping rules between functions and parts, selection of parts, and TRIZ theory. The hierarchy of functions and machine parts are properly expressed by classes and objects in the expert system. A design expert system has been implemented for the configuration design of a train bogie, and a new brake system of the bogie is introduced with the aid of TRIZ's 30 function groups.

Keywords: Configuration Design, Design Expert System, Function Decomposition, Functional Modeling, Function Taxonomy, Levels of Design Knowledge, TRIZ.

1. 연구 배경

구성설계(configuration design)는 개념설계의 초기 단계에서 수행되는 작업으로서, "이미 정의되어 있는 구성요소 들을 조합하여 설계 목적에 부합하는 가공품을 생성하는 과정" (Snavely, Gary L., and Papalambros, Panos Y., 1993)으로 정의될 수 있다. 기계제품의 상세설계 단계에서는 기하학적 형상 및 치수가 중요하지만, 설계 초기에는 주어진 기능(function)을 만족시키는 부품의 구성이 주된 작업이 되며(Deng, Y-m, Tor, S. B, and Britton, G. A., 2000), 이러한 작업을 수행하는 구성설계에서는 설계목적에 따른 제품의 기능분해가 중요한 역할을 한다.

본 논문에서 제안하는 기계제품의 구성설계 방법은, 전문가 시스템을 활용하여 설계 대상을 기능에 따라 분해하고, 분해된 기능에 대응되는 부품을 선택한다. 이러한 부품의 구성은 기능에 대응되는 기존 부품들의 집합인 부품리스트를 활용하여 수행된다. 만약, 설계자가 부품리스트에 없는 새로운 부품의 개발을 필요로 할 경우에, TRIZ의 '물리현상 및 효과'(물리효과)와 관련된 지식베이스를 활용하여, 창의적으로 구성설계를 수행할 수 있는 방법을 제시하였고, 이것을 전문가시스템

† 연락저자 : 이장용, 330-825 충남 천안시 입 장면 홍천리 35-3 한국생산기술연구원 청정기술팀, Fax : 041-589-8230,
e-mail : caravan@mail.kitech.re.kr
2003년 4월 접수; 2003년 7월 수정본 접수; 2003년 7월 게재 확정.

을 이용하여 구현하였다.

기계설계를 위해 개발된 정형화된 설계기법들은, 설계자의 창의성을 손상시키지 않으면서, 오류를 최대한 미연에 방지하고, 설계목표를 만족시켜주는 효과적인 방법론을 제시하는 것이 목적이다. 이를 위하여 설계하려는 기계의 기능에 기반한 여러 가지 방법론들이 시도되어 왔다. 이러한 방법들은 설계목표를 기능에 따라 분해하여 설계문제를 보다 간단히 하고, 설계과정에서 이루어지는 결정들을 효율적으로 수행하는 데 주안점을 두고 있다.

Pahl과 Beitz(Pahl, G., and Beitz, W., 1988)는 정보 (information), 에너지 및 재료(material)가 주어진 기능을 만족시키기 위해 입력되고 출력되는, flow의 관점에서 시스템의 기능을 정의하였다. 이들은 또한 5개의 기본적인 function을 정의하였다. 이러한 flow와 function은, 어떤 시스템의 기능을 나타내기 위하여 동사와 목적어의 관계로서 표현될 수 있는데, 여기서 function은 동사의 역할을, flow는 목적어의 역할을 각각 담당한다. Hundal(Hundal, M., 1990)은 Pahl과 Beitz의 function 분류를 6개로 확대하고, 38개의 세부 function을 제시하였으며, 3개의 flow를 사용하였다.

구 소련의 과학자인 Altshuller(Altshuller, G., 1984; Altshuller, G., 1994)는 창의성이 강한 특허들을 분석하여, 기술분야에서 발생하는 다양한 문제의 해결을 도와주는 여러 가지 방법론을 제시하였는데, 이를 통칭하여 TRIZ(http://www.triz-journal.com/)라고 한다. TRIZ 이론에서 활용하는 지식베이스 중에, '물리현상과 효과(물리 효과)'가 있는데, 여기에는 공학설계에서 이용할 수 있는 물리현상에 관한 많은 지식이 수록되어 있다.

TRIZ에는 기계 설계와 관련한 기능을 기술하기 위하여 30개의 기능그룹이 정의되어 있으며(Altshuller, G., 1984), 각각의 기능 그룹은 '물리현상과 효과' 지식베이스에서 선택된 물리이론으로 구성되어 있다. TRIZ의 30개 기능그룹은, 기능모델링을 이용한 설계기법과 결합하여 사용된다면, 기계부품설계를 위한 기본적인 물리이론을 제공할 수 있다.

Collins와 그 동료들(Collins, J. A., Hagan, B. T., and Bratt, H. M., 1976)은 헬리콥터 부품의 고장원인을 조사하여, 기계부품의 기본적인 기능들을 정리하였고, 각 기계부품들을 그들이 정의한 기능으로만 기술하였다. 이 분류법은 46개의 키워드와 40개의 형용사를 이용하여, 105개의 기본적인 기능을 표현하였다. Kirschman과 Fadel(Kirschman, C., and Fadel, G., 1998)은 Collins의 분류법과 자동차, 드릴과 같은 일반적으로 널리 이용되는 기계들의 분석결과를 종합하여, 기계부품의 기능을 운동(Motion), 동력(Power/Matter), 제어(Control) 및 지지장치(Enclosure)의 4개의 기본적인 기능으로 표현하였다. 이러한 기능들은 <Table 1>에 나타낸 것처럼, 보다 세부적인 기능들로 각각 분해되며, 이러한 세분된 기능들은 4개의 기본적인 기능을 중심으로, 동사 및 형용사의 관계를 형성한다.

기능에 따른 분류법들은 개념설계의 초기단계에서 기계제품을 위한 유용한 설계 방법이 된다. 상위 레벨에서 하위 레벨로의 기능분해는, 더 이상의 분해가 무의미한 시점에 이르러서는 중지된다. 이것은 최소한의 기능 특징은 유지하면서 기능분해와 관련된 적절한 정보량을 유지하기 위해서 필요하다(Kirschman, C., and Fadel, G., 1998). 기능에 따른 분류법은 기능분해가 완료되는 시점에 대하여 표준화된 기준을 제시하여, 비전문가라도 이것을 알 수 있게 해준다. 기능분해가 완료된 후에는, 분해된 기능들을 만족시켜주는, 일반적으로 통용되는 부품리스트를 활용함으로써 설계자는 자신의 경험에 의지하는 것보다 많은 부품에 대하여 선택 여부를 결정할 수 있다(Kirschman, C., and Fadel, G., 1998).

Table 1. Four basic function groups(Kirschman, C., and Fadel, G., 1998)

Motion	• Create, Convert, Modify, Dissipate, Transmit • Rotary, Linear, Oscillatory, Other • Flexible, Rigid
Control	• Power, Motion, Information • Continuous, Discrete • Modification, Indication • User-supplied, Internal Feedback
Power/Matter	• Store, Intake, Expel, Modify, Transmit, Dissipate • Electrical, Mechanical, Other
Enclosure	• Support, Attach, Connect, Guide, Limit • Cover, View, Protect • Removable, Permanent

기계제품의 기능에 따른 계층구조를 기반으로 하여 구성설계를 수행하는 전문가시스템이 많이 개발되었다. Lee(Lee, C. L., 1992)는 HYSYN이라는 전문가 시스템에서, 'functional module'이란 기능의 단위를 사용하였고, 이를 이용하여 기능의 계층구조를 형성하는 작업을 rule의 형태로 표현하였다. 또한 기능에 따라 'generic device' 및 부품을 선택하는 작업도 전문가시스템을 통하여 구현하였다. Koo(Koo, D-Y, Han, S-H, and Lee, S-H, 1998)는 object modeling technique(OMT)(Rumbaugh, J., Blaha, M., Premerlani, W., Eddy, F., and Lorenson, W., 1991)에 근거하여 프린터 급지기구(paper feeding mechanism)의 구성설계를 수행하는 전문가시스템을 개발하였다. Myung(Myung, S-H, and Han, S-H., 2001)은 전문가시스템과 CAD시스템을 연계하여, 공작기계의 구성설계를 파라메트릭 설계기법을 이용하여 수행하였다. Myung은 Lee(Lee, C. L., 1992)의 'functional module'과 비슷한 의미를 갖는 'design unit'이라는 개념을 도입하여, 공작기계의 기능을 계층구조로 나타내었다.

기능에 근거한 설계방법론들은 기계설계에서 어떤 한 분야의 숙련된 설계자가 하던 작업을, 정형화된 틀로 구체화 시킬 수 있는 기본적인 이론을 제공해 준다. 그러나 기능에 근거한 구성설계는, 기능분해 후 미리 정해진 부품의 선택만이 가능할 뿐이다. 따라서 주어진 기능을 만족시키는 새로운 부품의

설계는 쉽지 않다. 본 논문에서는 이러한 문제의 해결을 위해서, Kirschman과 Fadel의 기능분류법(기능분류법)과 TRIZ의 물리효과에 관한 지식베이스를 이용하여, 새로운 부품의 구성이 가능한 설계방법론을 전문가시스템을 통하여 구현하였다.

2. 설계지식의 레벨과 기능분류(Function Taxonomy)

컴퓨터 시스템의 작동을, 그것을 표현하는 지식의 추상화된 정도에 따라 여러 레벨에서 기술할 수 있다(Hoffmann, A., 1998). 이와 비슷하게, 기계제품의 설계와 관련된 지식도 <Figure 1>의 계층구조로 표현될 수 있다. 각 레벨의 지식들은 동일한 기계부품의 작동을 추상화된 정도에 따라 표현하고 있는데, 상위레벨은 하위레벨 개념의 추상화된 형태이다.

최상위의 Knowledge level에는 설계목표를 달성하기 위하여, 활용 가능한 각종 지식을 이용하는 설계방법론이 포함된다. Functional level에서는 주어진 설계목적을 만족시키는 기능들과 그와 관련된 지식들이 기술되는데, 앞에서 나온 기계제품의 기능에 의한 분류방법론들도 이 레벨의 지식에 해당된다.

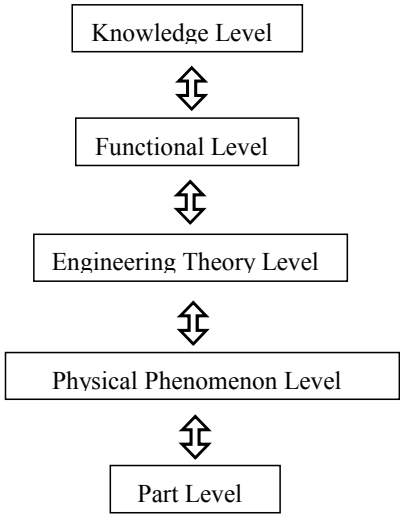

Figure 1. Levels of design knowledge(Hoffmann, A., 1998).

Engineering theory level에서는 부품 및 기계장치들을 그것들이 작동되는 원리 및 적용되는 상황에 따라 체계적으로 해석하기 위한 공학적인 지식이 표현된다. 이것은 physical phenomenon level에 속하는 지식이 추상화된 형태이다. 이렇게 각 레벨의 지식들은 그 다음의 하위레벨 지식의 추상화된 형태를 나타낸다. Physical phenomenon level에서는 기계의 작동원리에 관한 가장 기본적인 물리이론이 기술되며, Part level에서는 기능을 구현하기 위한 부품들이 묘사되며, 부품들 사이의 연결방식 및 부품 어셈블리의 계층구조 등이 이 레벨에서 설명된다.

예를 들어서, 철도차량의 대차에 관한 설계지식과 관련하여 설계지식의 레벨을 묘사해 보면 다음과 같다. 대차를 구성하는 각 기계부품의 기능 및 분류 방법, 기능의 계층 구조와 관련된 지식은 Functional level에 속하며, 이러한 기능을 실현하는 기계부품은 Part level에 속한다. 한편 부품들의 기구학적 작동원리, 구조역학적인 결합관계 등에 관한 지식들이 Engineering theory level에 속한다. 그리고 초전도현상을 이용하여 열차를 부상시킬 수 있다는 원리는 Physical phenomenon level에 속하는 지식이다.

기능분류법에 따라 기계제품의 기능을 분해하고, 이에 따라 부품을 선택하는 작업은, <Figure 1>에 나타낸 설계지식의 레벨 중에서 Functional level과 Part level에 속하는 설계지식을 일정한 규칙에 따라 서로 연관시키는 것이다. 이러한 기능분류법을 이용한 기계설계의 장점은, 1) 동일한 기계의 기능을 기술하기 위한 공통된 표기법을 제공하고, 2) 표준화된 기능을 통하여 기계의 기능분해를 통일할 수 있으며, 3) 표준화된 기능은 그에 따른 표준화된 부품을 쉽게 선택할 수 있게 한다(Kirschman, C., and Fadel, G., 1998). 또한 4) 비전문가도 설계하려는 기계의 기능을 빠르게 분석할 수 있다.

기능분류법에 의한 구성설계가, 단지 기능분해 결과에 따라 부품을 부품리스트에서 선택하는 것이라면 기존 제품의 한계를 넘기 어렵다. 이러한 경우 설계자는 이미 정해져 있는 부품을 선택하게 되므로, 스스로의 창의성을 살릴 기회를 제한받게 된다.

<Figure 1>에 나타난 것처럼, 설계지식의 level들 중에서 Physical phenomenon level은, 어떤 부품의 기능에 대하여 이론적인 관점에서 가장 기초적인 지식을 제공한다. 만약 설계자가 주어진 기능을 충족시켜 주는 새로운 물리이론은 알게 된다면, 그 원리를 구현해 주는 새로운 부품의 개발에 많은 도움을 받을 수 있다. 즉, Functional level의 지식과 Physical phenomenon level의 지식을 활용하여 Part level에 속하게 되는 부품의 구성을 새롭게 유도할 수 있다.

3. TRIZ 이론의 적용

TRIZ 이론은 기술 분야에서 발생하는 다양한 문제점들의 해법을, 체계적인 방법론에 입각해서 찾으려는 시도에서 도출되었다. 이를 위하여 구 소련의 과학자인 알트슐러는 창조적인 특허들의 문제해결 방식을 조사 및 분류하여 일반적인 문제해결 방법론을 수립하였다(Altshuller, G., 1984; Altshuller, G., 1994). TRIZ 이론은 기존에 존재하지 않는 새로운 제품의 개발을 체계적으로 수행할 수 있는 방법을 제시한다. <Figure 2>에 TRIZ 방법론의 체계에 대해서 나타내었는데, TRIZ 방법론이 3개의 그룹으로 분류되어 표현되었다.

기능분해 방법론에 따라 분해된 기능에 대응하는 부품을 선택할 때, 부품리스트에 등록되어 있지 않은 새로운 부품을 개발할 필요가 있는 경우에는, TRIZ의 물리효과 지식베이스에

서 개발하려는 부품의 기능에 대한 기본적인 물리이론을 얻을 수 있다. 특히 기계설계의 경우에는, TRIZ 이론 중에서 기계 부품의 기능을 기술하는 30개의 기능과, 각 기능을 만족시켜 주는 물리이론이 보다 유용하게 사용될 수 있다. 이것의 일부를 발췌하여 <Table 2>에 나타내었다.

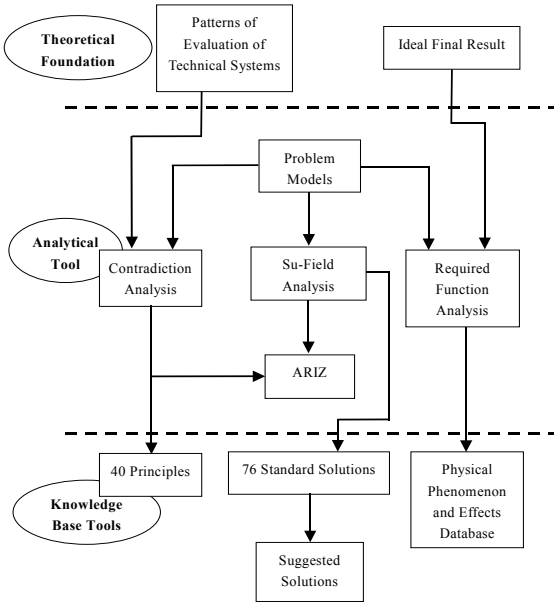

Figure 2. Structure of TRIZ methodology(Yang, K. and Zhang, H., 2000).

Table 2. Example of functional groups of TRIZ for mechanical design(Altshuller, 1984)

Functional Group	Physical Phenomenon and Effects
Stabilizing object position	• Applied electric or magnetic field • Holding a liquid by hardening through the influence of an electric or magnetic field • Gyroscope effect • Reactive force
Moving an object	• Magnetic field applied to influence an object or magnet attached to the object • Magnetic field applied to influence a conductor with direct current passing through it • Electric field applied to influence an electrically charged object • Pressure transfer in a liquid or gas • Mechanical oscillations • Centrifugal force • Thermal expansion • Pressure of light
Influencing moving object	• Applied electric or magnetic fields, with no influence through physical contact superconductivity phenomenon, Fleming's law, eddy current effect, etc.

<Table 3>에는 기능분류법(Kirschman, C., and Fadel, G., 1998) 의 4가지 기본적인 기능과 TRIZ의 물리효과 지식베이스의 30개 기능과의 연관성을 정리하였다. 기능분류법에 의해서 기능 분해가 완료된 후, <Table 2>와 <Table 3>에 나타낸 관계로부터 주어진 기능을 만족시키는 물리효과를 TRIZ 지식베이스로부터 얻을 수 있고, 이러한 물리효과를 이용한 부품의 functional modeling이 가능하다. 새로운 부품의 functional modeling은 기능분류법을 다시 활용하여 수행되는데, 부품의 기능은 상위레벨에서 하위레벨로 분해된다.

Table 3. Kirschman & Fadel's function taxonomy and TRIZ function group(Altshuller, 1984 ; Kirschman, C., and Fadel, G., 1998)

Function Taxonomy	TRIZ's 30 function group
Motion	Moving an object, Moving a liquid of gas, Moving an aerosol, Influencing moving object
Control	Reducing temperature, Increasing temperature, ..., Controlling electromagnetic fields, Controlling light, light modulation
Power/ Matter	Generating and/or manipulating force, Accumulating mechanical and thermal energy, ..., Generating electromagnetic radiation, Initiating and intensification of chemical reactions
Enclose	Stabilizing object position, Developing certain structures, structure stabilization

구성설계 과정에서, 기능을 만족시키기 위해서 물리이론을 선택하고, 그것을 구현하기 위해 부품을 선택하거나 새롭게 개발하는 작업은, 설계자의 창의성이 필요한 과정이다. 두 개의 부품이 기능 모델링은 비슷해도, Physical phenomenon level의 물리이론이 서로 다르다면, 그러한 물리이론들을 이용하여 기능을 구현한 두 부품의 형상은 서로 다를 수 있다. 따라서 기능을 만족시키기 위한 새로운 물리이론의 선택은, 전혀 다른 부품의 구성을 가능하게 한다. 이러한 설계방법론(기능분류법과 TRIZ의 물리효과 지식베이스를 이용한)에 따른 기계제품의 구성설계는, 전문가시스템을 활용하여 정형화된 틀을 갖출 수 있다.

4. 기계제품의 구성설계를 위한 전문가시스템

기계제품의 설계에 다양한 전문가시스템이 이용되어 왔는데, 설계하려는 분야의 domain knowledge를 규칙화한 rule-based system인 경우가 대부분 이다(Koo, D-Y, Han, S-H, and Lee, S-H, 1998; Mouliantis, V. C., Dentsoras, A. J., and Aspragathos, N. A., 1999; Myung, S-H, and Han, S-H., 2001; Seo, T-S, and Han, S-H, 2001; Lee, H-M, and Han, S-H, 2001). 공학설계를 위한 전문가시스템은 설계작업을 위한 추론 알고리듬에서 독립

된, 여러 개의 지식베이스를 포함할 수 있다(Dixon, J. R., 1995; Seo, T-S, and Han, S-H, 2001).

본 연구에서는 대차의 구성설계를 위하여 전문가시스템이 개발되었는데(Lee, J-Y, and Han, S-H, 2001), 이것은 추론엔진과 <Figure 3>에 나타낸 3개의 지식베이스(Functional modeling, Parts list, TRIZ theory)로 구성되었다. 이러한 지식베이스들은 각각 <Figure 1>에 나타낸 설계지식인, Functional level, Part level 및 Physical phenomenon level을 나타낸다. 설계기법에 관한 지식을 포함하는 최상위의 Knowledge level은, 이용 가능한 지식베이스들을 활용하여 원하는 설계작업을 수행하는 rule의 형태로 표현되며, 구성설계가 수행되는 과정에서 <Figure 3>에 나타낸 것처럼 functional modeling 지식베이스와 parts list 및 TRIZ theory 지식베이스를 서로 연계시킨다. 개발된 전문가시스템에는 모두 29개의 rule과 69개의 method가 있으며, method도 rule과 같이 주어진 조건에 따른 추론을 수행할 수 있다. 이러한 rule과 method는 전향추론(forward chaining) 방식으로 서로 연계되어 있다.

기계제품의 구성설계를 위한 전문가시스템의 구현을 위하여, 본 논문에서는 Neuron Data사의 상업용 전문가시스템 쉘인 Intelligent Rules Elements(IRE) V4.0(Neuron Data Inc., 1997)을 사용하였다. IRE는 객체 지향적인 소프트웨어 시스템이며, 각 지식베이스의 지식을 하나의 객체로서 구성하여 사용하고, 지식과 데이터들을 동일한 방법으로 이용할 수 있게 해준다(Devedžić, V., 1999). IRE의 구성요소인 class와 property는 기계제품의 기능을 표현하기에 적합하며, object는 부품을 표현하기에 적합하다.

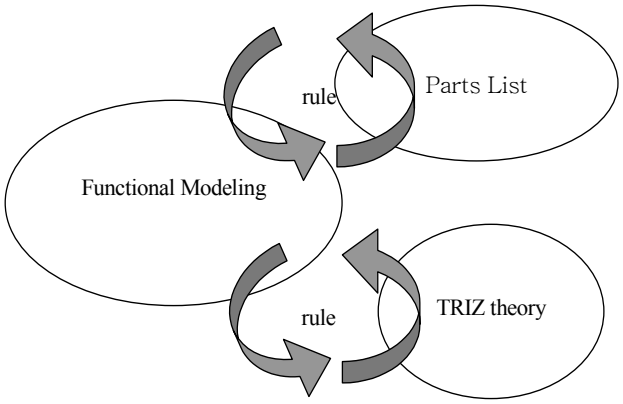

Figure 3. Knowledge bases in the bogie design expert system.

각 설계지식들의 지식베이스와, 그것이 IRE를 통해 표현되는 방식을 <Figure 4>에 나타내었다. 기능분해가 완료된 후, 각각의 기능들은 IRE에서 계층적 구조를 형성하는 class 및 그것의 속성을 나타내는 property의 형태로 기술된다. TRIZ의 물리효과들도 class로 표현되며, 주어진 기능을 만족시키기 위한 부품들이 object로 나타내진다. 구성설계가 수행되는 과정에서 기능을 만족시키는 부품이 선택되면, IRE에서 부품을 나타내는 object는 기능을 표현하는 class에 종속되어 그 class로부터 property를 상속받게 된다. 만약 개발된 전문가시스템에서 TRIZ 물리효과를 이용하여 구성설계가 수행되면, 구성된 부품은 <Figure 4>에 나타낸 바와 같이, 기능을 나타내는 class와 물리효과를 나타내는 class에 동시에 종속된다.

본 논문에서 구현한 전문가시스템이 구성설계를 수행하는 순서를 <Figure 5>에 도시하였다. Kirschman과 Fadel(Kirschman, C., and Fadel, G., 1998)의 기능분류법을 이용한 기능분해가 설계자와의 문답형식을 통해 입력된 정보를 바탕으로 수행된다. 대차의 기능분해가 완료된 후, 설계자는 주어진 기능에 대하여 기존의 부품을 사용할 것인지의 여부를 선택하게 된다. 만약 설계자가 기존 부품의 사용을 선택하면, 그 부품은 전문가시스템에서 해당 기능을 나타내는 class에 종속된 object가 된다. 기존의 대차 부품은 전문가시스템에서 object와 sub- object의 계층적 구조로 표현되는 부품 어셈블리이며, 이것은 <Figure 3>에 나타낸 부품 관련 지식베이스에 저장되어 있다.

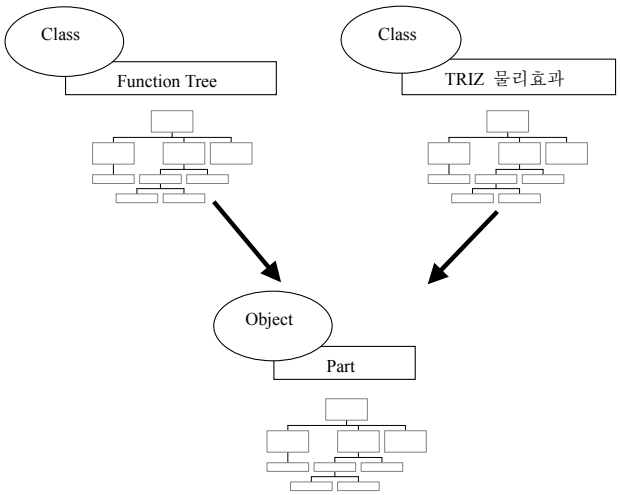

Figure 4. Design knowledge and expression in the expert system.

기능분해 완료 후, 기존의 부품 지식베이스에 없는 새로운 부품의 개발이 필요할 경우, 기능분류법에 의한 기능들과 TRIZ의 30개 기능집합과의 관계가 활용 된다(<Table 3> 참조). 분해된 기능과 매칭되는 TRIZ 기능집합들이 설계자에게 제시되며, 설계자는 이중에서 하나의 기능집합을 선택하게 된다. 전문가시스템은 선택된 기능집합의 물리이론들을 설계자에게 제시하고, 설계자는 다시 그 중에서 사용할 물리이론을 선택한다.

선택된 물리이론을 토대로 한 새로운 부품의 functional modeling이 기능분류법에 기반한 설계자와의 문답을 통하여 전문가시스템에서 수행된다. 설계자는 필요한 하나의 기능을 만족시키기 위하여, TRIZ 지식베이스에서 여러 개의 물리효과를 사용해 볼 수 있고, 반대로 한 개의 물리효과를 사용하여 다수의 functional modeling도 가능하다. 개념설계가 완료된 후, 보다 상세한 설계가 수행되면, 설계자는 완성된 functional

modeling을 기반으로, 개발하려는 부품의 형상 및 치수를 결정하게 된다.

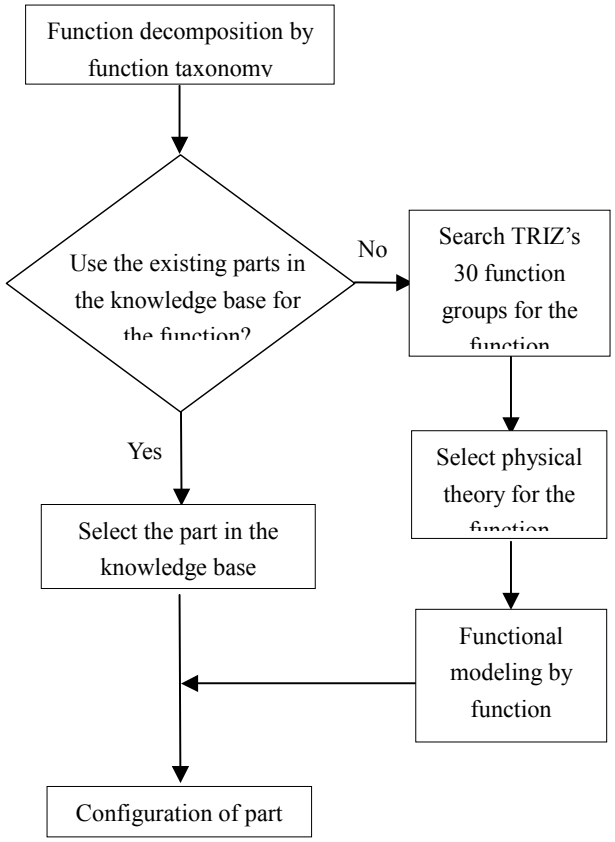

Figure 5. Flow of the configuration design procedure in the design expert system.

5. 대차의 구성설계

본 논문에서 개발한 전문가시스템을 철도대차(bogie)의 구성설계에 적용하였다. 대차는 직접 선로와 접촉하면서, 철도차량의 하중을 지지하고 견인력과 제동력을 전달한다. 동시에 좋은 승차감 및 안정성 유지, 곡선 통과 등을 원활히 할 수 있게 해주는 철도차량의 핵심적인 장치이다(Kim, S-H, 1997). 대차의 주요 구성부품은 <Figure 6>에 나타낸 것처럼 구동력을 전달하는 견인장치(모터, 기어), 제동장치, 현가 장치 및 대차 프레임 등으로 분류할 수 있으며, 대부분 기계부품으로 이루어져 있다(Andrews, H. I., 1986).

기능분류법에 따라 분해된 기능과 기존에 사용되는 대차의 부품을 대응시키면 <Table 4>와 같이 나타낼 수 있다. 이러한 관계는 전문가시스템을 통한 대차의 기능분해가 완료된 후, 기능에 따른 기존의 부품을 선정할 때 이용된다.

Table 4. Function taxonomy and related parts of a train bogie

Function Taxonomy		Parts of Bogie
Motion	• Create rotary motion • Modify rotary motion • Convert rotary motion • Dissipate rotary motion • Dissipate oscillatory motion	• Motor • Gearbox • Wheel set • Brake • Yaw resistance system, Anti roll device
Control	• Continuous modification and Internal feedback of motion	• Tilting Device
Enclosure	• Connect removal Enclosure • Guide removal Enclosure • Support permanent and removal Enclosure	• King pin • Lemniscate • Bogie Frame

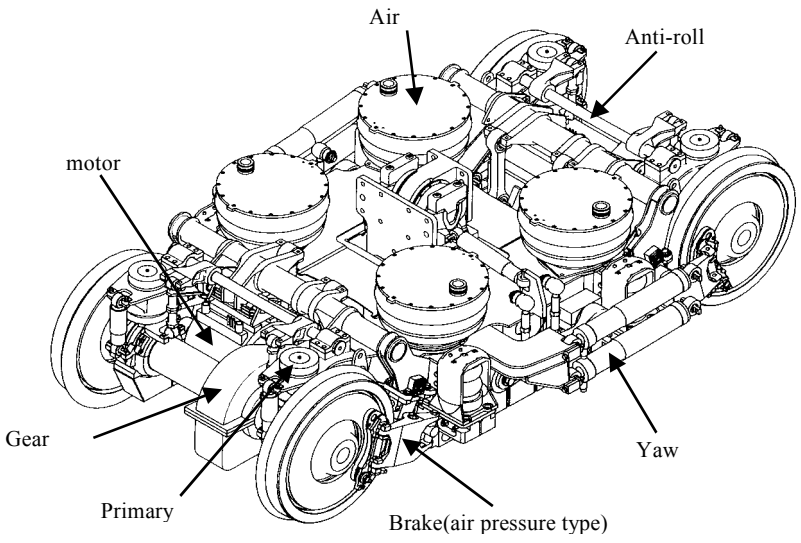

Figure 6. Train Bogie.

대차의 구성설계는 전문가시스템을 이용한 기능분해에서 시작되며, 기능분류법에 따라 설계하려는 대차의 운동(Motion), 동력(Power), 제어(Control) 및 지지장치(Enclosure)에 대한 세부 기능이, 설계자가 전문가시스템과의 GUI를 통해 입력함으로써 결정된다. 전문가시스템 쉘인 IRE에서 대차의 기능분해가 완료된 후의 object network를 <Figure 7>에 나타내었다. 최상위의 object function에서 세부적인 기능을 나타내는 class들과, 그 특성을 표현하는 property의 형태로 대차의 기능이 분해되었다.

기능분해가 완료되고 대차의 부품구성이 진행되면 <Figure 8>에 나타낸 바와 같이, 부품목록에 있는 기존 부품이 전문가시스템을 통하여 제시된다. 설계자는 이러한 부품의 형상을 화면으로 보면서 선택여부를 결정할 수 있다. 설계자가 기존 부품의 사용여부를 모두 결정한 후에, 대차 기능의 계층적 구조와 각각의 기능에 매칭된 부품과의 관계를 <Figure 9>에 나타내었다.

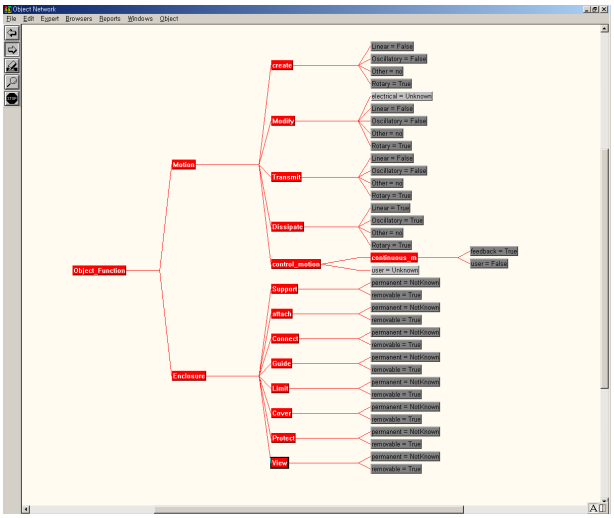

Figure 7. Object network of bogie functions.

TRIZ 물리효과를 이용한 새로운 부품의 functional modeling 작업의 예를 들기 위하여 대차의 제동장치를 선택하였다. 기존의 제동장치에 주로 사용되는 공압을 이용한 접촉식 브레이크가 아닌, eddy current 효과를 응용한 비접촉식 제동장치는 이미 개발되어 있으나, 본 논문의 전문가시스템을 이용하여 다시 추론하였다.

기능분류법에 따르면 제동장치는 <Table 4>에 나타낸 것처럼, 'dissipate rotary motion'에 해당하는 기능을 만족시키기 위한 부품이다. 구성설계 과정 중 기능과 부품의 매칭 단계에서, 기존의 제동장치와 다른 원리에 의해서 작동하는 제동장치의 설계가 필요할 수 있다. 이 경우에, 전문가시스템에 의하여 TRIZ의 30개 기능그룹이 탐색되며, 그 중에서 이러한 기능을 만족시켜 주는 물리효과들이 설계자에게 제시된다. 설계자는 그 중에서 한 가지 혹은 그 이상을 선택할 수 있다.

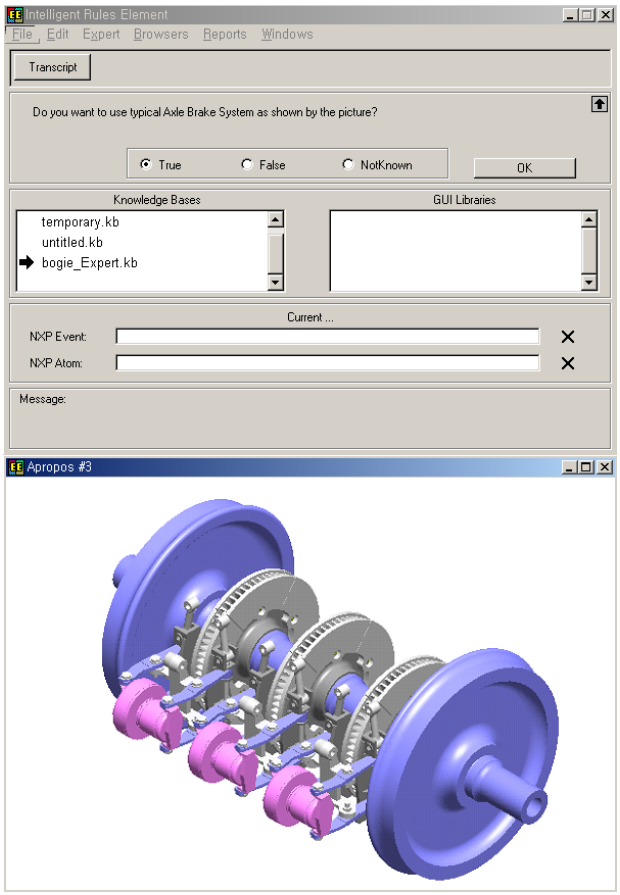

Figure 8. Inference process of selecting existing parts.

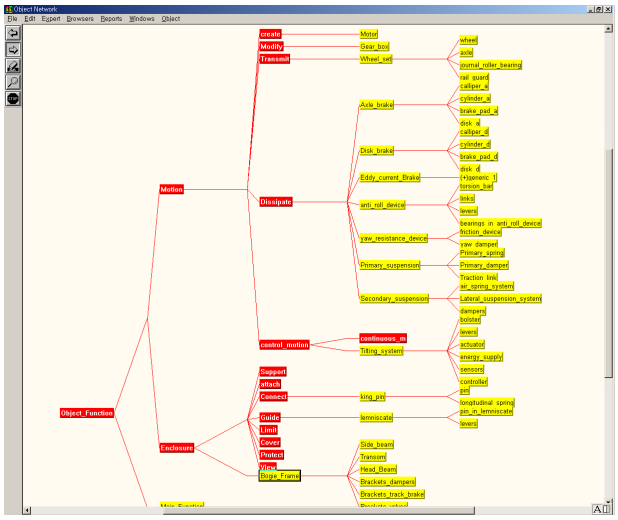

Figure 9. Mapping structure between functions and bogie parts.

TRIZ의 30개 기능그룹 중에서 제동에 대한 기능분류법의 표현인 'dissipate rotary motion'과 관련되는 그룹은 <Table 3>에 나타낸 기능분류법과 TRIZ 기능그룹의 연관관계에서 찾을 수 있다. 제동장치의 경우, motion과 관련한 기능에서 찾아야 하며, 필요한 기능은 움직이는 물체의 감속이 되므로, 'influen-

cing an moving object'가 자연스런 선택이 될 것이다. 선택된 TRIZ 기능그룹에 대응하는 물리이론은 <Table 2>에 나타낸 바와 같은 몇 가지의 전자기(電磁氣) 이론들이다.

개발된 전문가시스템에서는 필요한 경우 TRIZ의 이론적 설명을 근거로 하여, 지식베이스에 특정 명칭을 갖는 물리이론을 추가하였다(예를 들어 Fleming's law와 superconductivity phenomenon). 이렇게 함으로써 어떤 기능을 만족시키는 물리이론을 전문가시스템에서 규칙(rule)의 형태로 쉽게 표현된다. 본 논문에서는 eddy current 효과가 주어진 새로운 제동장치를 개발하기 위한 물리이론으로 설계자에 의하여 채택되었다고 가정한다.

Eddy current 효과를 이용하여 새롭게 구성되는 부품의 functional modeling은 전문가시스템의 GUI를 통해 설계자로부터 필요한 정보를 입력받아 수행된다. 이 과정에서 설계자는 선택한 물리효과(eddy current 효과)가 제동장치에 적용되기 위하여 필요한, 여러 가지 기능들을 기능분류법에 따라 추론한다. 예를 들면, 전자석을 '지지(support)'하는 기능 및 '이동(move)'하는 기능과 '안내(guide)'하는 기능으로 분류하는 것이 여기에 해당한다.

설계자는 원한다면 같은 물리효과에 대해서도 여러 개의 functional modeling을 도출할 수 있으며, 이러한 결과들은 전문가시스템에서 generic_1, generic_2, . ., generic_n이라는 object들로 표현된다. Eddy current 효과를 이용한 부품의 기능 모델링을 수행한 예를 <Figure 10>에 나타내었다. Generic_1은 8개의 주요 기능으로 분해되는데, Create_1이라는 이름으로 표현된 기능에 대하여, 그것을 보다 자세히 기술해 주는 property와 상위기능들을 나타내었다.

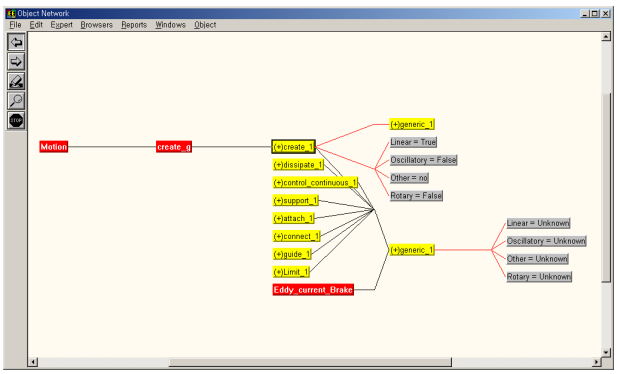

Figure 10. Functional modeling of an eddy current brake.

6. 결 론

본 논문에서는 TRIZ 이론과 기능분류법을 활용하여, 보다 창의적인 설계가 가능한 구성설계 방법론을 제안하였다. 종래의 구성설계가 기존 부품리스트에 존재하는 부품의 한계를 벗어나지 못해 설계자의 창의성을 제한했다면, 제안된 설계 전문가시스템에서는 개념설계 단계에서 새로운 기계부품의 개발을 유도할 수 있다. 설계지식의 레벨에 대한 개념도 도입되었는데, 이것은 새로운 부품을 개발하기 위하여, 물리이론과 기능분류법을 활용하는 이론적 기초가 되었다.

본 연구에서, 대차의 구성설계를 위한 전문가시스템을 개발하였는데, 이것은 Kirschman과 Fadel의 기능분류법에 근거하여 기계제품의 기능분해를 수행하고 그에 따른 기존 대차부품을 선정하거나, TRIZ의 물리효과에 관한 지식베이스를 이용하여 기존의 부품리스트에 존재하지 않는 새로운 부품의 기능 모델링을 수행할 수 있다. 또한 사용중이거나 개발중에 있는 기계제품의 기능분해를 신속히 수행할 수 있다.

개발된 전문가시스템은 대차의 개념설계 단계에서 비전문가도 대차의 기본적인 기능만 알면 그에 상응하는 부품을 선택할 수 있게 해주며, 숙련된 설계자도 이것을 이용하여 새로운 부품의 개발을 유도할 수 있다. 이러한 기능은 대차의 신속한 개념설계 및 설계지식의 효과적인 관리와 비전문가의 설계기술 습득에 도움이 된다. 따라서 기능적 요구조건에 따른 대차의 구성설계 단계에서, 개발된 전문가시스템이 효과적으로 사용될 수 있을 것이다.

기능분류를 위한 방법론과 TRIZ의 물리효과, 그리고 부품리스트가 전문가시스템에서 각각 다른 지식베이스에 저장되므로, 향후 연구에서는 지식베이스를 확장하여 기계설계 분야에서 보다 사용 범위가 넓은 설계 전문가시스템의 구현을 시도해 볼 수 있다.

참고문헌

Altshuller, G.(1984). *Creativity as an exact science*, Gordon and Branch Publishers.

Altshuller, G.(1994). And suddenly the inventor appeared. Worcester, MA, USA: Technical Information Center

Andrews, H. I.(1986). *Railway traction*. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier Science Publishers.

Collins, J. A., Hagan, B. T., and Bratt, H. M.(1976). The failure-experience matrix(A useful design tool. *Transactions of the ASME, Journal of Engineering in Industry*, **98**, 1074-1079.

Deng, Y-m, Tor, S. B, and Britton, G. A.(2000). Abstracting and exploring functional design information for conceptual mechanical product design. *Engineering with Computers*, **16**, 36-52.

Devedžić, V.(1999). A survey of modern knowledge modeling techniques. *International Journal of Expert Systems with Applications*. **17**, 275-294.

Dixon, J. R.(1995). Knowledge-based systems for design. *Transactions of the ASME, Special 50th Anniversary Design Issue*, **117**, 11-16.

Hoffmann, A.(1998). Paradigms of artificial intelligence(pp. 17-21). Singapore: Springer-Verlag.

http://www.triz-journal.com/

Hundal, M.(1990). A Systematic method for developing function structures, solutions and concept variants. *Mechanism and*

Machine Theory, **25**(3), 243-256.

Kim, S-H(1997). *Introduction to the railway system*(in Korean). Jajak Academy.

Kirschman, C., and Fadel, G.(1998). Classifying functions for mechanical design. *Transactions of the ASME, Journal of Mechanical Design*, **120**, 475-482.

Koo, D-Y, Han, S-H, and Lee, S-H(1998). An object-oriented configuration design method for paper feeding mechanisms, *International Journal of Expert Systems with Applications*, **14**(3), 283-289.

Lee, C. L.(1992). A functional approach to systems configuration design with application to hydraulic systems. Ph.D. thesis, University of Michigan.

Lee, H-M, Han, S-H,(2001). 2D Design Feature Recognition using Expert System(in Korea), *Journal of Society of CAD/CAM Engineers*, **6**(2), 133-139.

Lee,J-Y, Han, S-H,(2001). Configuration Design of the Trainset of a High-speed Train Using Neural Networks, PAIS2001.

Mouliantis, V. C., Dentsoras, A. J., and Aspragathos, N. A.(1999). A knowledge-based system for the conceptual design of grippers for handling fabrics. Artificial Intelligence for Engineering Design, *Analysis and Manufacturing*, **13**, 13-25.

Myung, S-H, and Han, S-H.(2001). Knowledge-based parametric design of mechanical products based on configuration design method. *International Journal of Expert Systems with Applications*, **21**(2),99-107

Neuron Data Inc.(1997), Neuron Data Elements Environment: Intelligent Rules Element V4.0 - User's Guide.

Neuron Data Inc.(1997), Neuron data elements environment: Intelligent rules element V4.0 - Language Programmer's Guide.

Pahl, G., and Beitz, W.(1988). Engineering design: A Systematic approach. Berlin: Springer-Verlag.

Rumbaugh, J., Blaha, M., Premerlani, W., Eddy, F., and Lorenson, W.(1991). Object-oriented modeling and design. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall International.

Seo, T-S, Han, S-H,(2001). Artificial Intelligence-based Stepwise Selection of Bearing, PAIS2001(Pacific Asian Conference on Intelligent System).

Snavely, Gary L., and Papalambros, Panos Y.(1993) Abstraction as a configuration design methodology, *Transactions of the ASME, Advances in Design Automation*. **1**, 297-305.

Stone, R., and Wood, K.(2000). Development of a functional basis for design. *Transactions of the ASME, Journal of Mechanical Design*, **122**, 359-369.

Yang, K. and Zhang, H.(2000). A Comparison of TRIZ and Axiomatic Design, The TRIZ journal, http://www.triz-journal.com/archives/2000/08/d/index.htm.