

역학적 구조에 대한 Knowledge-based 시스템을 이용한 파라메트릭 설계

이창호, 김병인, 김광수, 정부영
포항공과대학 산업공학과

Parametric Design for Mechanical Structure using Knowledge-based System

Chang-Ho Lee, Byung-In Kim, Kwangsoo Kim, Mooyoung Jung
Department of Industrial Engineering, POSTECH, Pohang 790-600, Korea

ABSTRACT

In mechanical structure design area, many FEM (Finite Element Method) packages are used. But the design using FEM packages depends on an iterative trial and error manner and general CAD systems cannot cope with the change of parameters.

This paper presents a methodology for building a designing system of a mechanical structure. This system can generate the drawing for a designed structure automatically. It consists of three steps: generation of a structure by selection of the parameters, stress analysis, and generation of a drawing using CAD system. FEM module and parametric CAD module are developed for this system. Inference engine module generates the parameters with a rule base and a model base, and also evaluates the current structure. The parametric design module generates geometric shapes automatically with given dimension. Parametric design is implemented with the artificial intelligent technique.

In order to demonstrate the effectiveness of the developed system, a frame set of bicycle was designed. The system was implemented on an SUN workstation using C language under OpenWindows environment.

1. 서론

구조적인 설계와 해석이 요구되는 것 중에는 교량, 건축물, 자동차, 자전거등이 있으며 특히 다양한 Design에 대한 요구가 증대되는 상황에서는 보다 신속하고도 정확한 제품에 대한 설계가 요구되고 있다. 구조적인 설계와 해석에 필요한 각 요소의 물리적 형상 (길이, 두께, 모양 등)을 결정하는데 있어서, FEM (Finite Element Method) 등과 같은 tool 들이 이용되고 있다. 그러나 이러한 tool들은 사전에 미리 구조에 대한 정의를 해 주어야 한다는 단점이 있다. 또한, 구조가 주어졌을 경우에만 설계와 해석을 반복할 수 있다는 한계를 지니고 있다. [1]

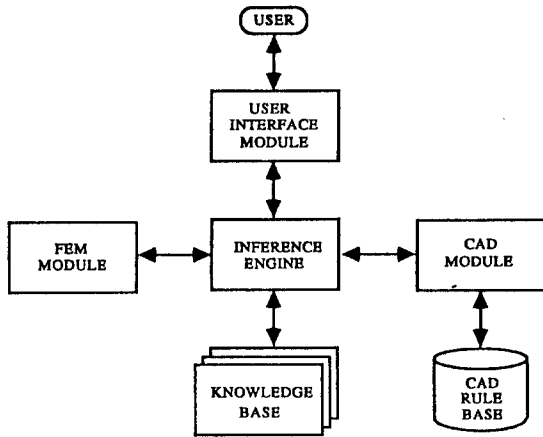
설계도면의 작성에 있어서 기존의 방법은 많은 인력과 시간이 소요될 뿐만 아니라 설계자가 직접 설계치수를 기입하고 있다. 따라서 주어진 치수가 실제 요구되는 형상의 기하학적인 조건을 만족하는지의 여부를 조사할 방법이 없다. 설계단계와 도면작성단계의 단절 또는 이들의 비효율적 결합은 결국 생산성 저하를 초래하게 된다.

본 연구에서는 전문가의 경험을 공식화하고 축적된 여러 자료들을 이용하여 knowledge base를 구축하며 FEM 모듈과 파라메트릭 CAD 모듈을 구성하여 구조의 생성 및 해석이 동시에 이루어지며 도면이 자동으로 생성되는 시스템을 구성한다. 또한, FEM 모듈 및 파라메트릭 CAD 모듈과 knowledge base를 Inference Engine을 이용하여 같은 모델 base를 공유하게함으로써 하나의 시스템으로 통합한다. 특히, CAD 모듈을 인공지능기법을 적용하여 파라메트릭 화함으로써 설계변수의 다양한 변화에 대처할 수 있도록 한다. 최종 설계 도면은 DXF 형식의 저장이 가능하게 함으

로써 여타 CAD 시스템과 호환성을 가질 수 있도록 한다. 이와 같이 제시된 방법을 이용하여 설계단계의 전반적인 통합화와 생력화 및 자동화를 자전거프레임의 설계공정에 적용하여 보았다. 본 시스템은 Unix-based SPARC W/S 상에서 C 언어를 사용하여 구현하였다. 특히 AutoCAD [2] 상에서 운용되는 파라메트릭 CAD 모듈과 FEM 모듈은 자체 개발하였다.

2. 시스템 구성

자전거 프레임 설계단계에 있어서 구조의 각 치수를 결정하는 문제와 이를 어떻게 설계도면화하느냐의 문제를 다루기 위해 개발한 시스템의 전반적인 구성을 보면 (그림 1) 과 같다. 먼저 사용자로부터 기본적인 요구를 받아들여 그것을 토대로 기존의 모델들중에서 가장 유사한 모델을 찾아내고 이 모델을 참조로 각 설계변수들을 결정한다. 이 부분을 Inference Engine이 담당한다.



[그림 1] 시스템 구성도

그런 다음 새로 구성된 모델의 형상을 화면을 통하여 사용자에게 보여준다. 사용자는 그 도면을 보고 자기가 원하는 부분의 치수를 변화시키는데 이때에도 변화되는 형상을 사용자에게 실시간으로 보여준다. 사용자가 치수의 수정을 가하고 난 후 FEM 모듈을 통하여 응력 분석을 하게 되는데 응력 결과를 설명과 함께 사용자에게 제시하고 다시 치수를 수정하여 응력 분석을 반복하게 된다. 이러한 과정을 도면의 변화를 보면서 계속한다. 완전한 도면이 생성되면

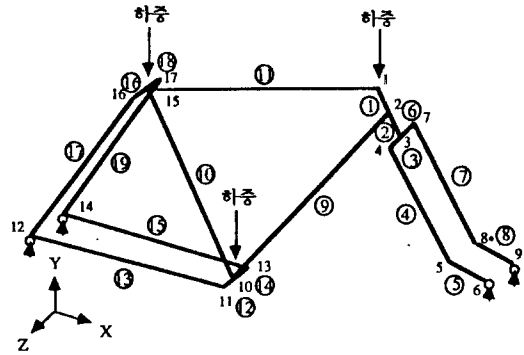
시스템은 DXF 파일 형태로 저장하게 된다.

다음에 각 모듈에 대해서 자세히 설명한다.

2.1. FEM Module

FEM 모듈에서는 Inference Engine에서 생성된 프레임에 대해 역학 계산을 수행하게 된다. 생성된 프레임에는 pre_generation된 것도 있고 사용자와의 대화에 의해 update된 프레임도 있다. 프레임이 update 될때마다 FEM 모듈이 반복적으로 사용된다. 최종 결정된 프레임에 대해서는 그 프레임에 대한 각종 응력치가 Inference Engine에 의해 knowledge base에 저장된다. 또한, 생성된 current frame에 대해서 그 결과인 각 요소별 응력치를 Inference Engine에 넘겨주고 knowledge base를 참조하여 그 값을 평가할 수 있도록 한다.

자전거 프레임의 요소에 대한 모델은 여러가지로 가정할 수 있는데 본 연구에서는 3차원 요소로 가정하였다. (그림 2)는 어느 하나의 자전거 모델에 대한 절점번호와 요소번호를 나타내고 있다. [3] 하중조건은 KS R 8011 [4]의 자전거용 차체 강도 시험조건에 따랐다.



[그림 2] 자전거 구조에 대한 절점번호와 요소번호

Inference Engine에서 기본적인 모형이 정해지면 모델 베이스의 정보를 FEM 모듈에 맞게 전처리한 후 경계조건 도입부분을 수행하게 된다. 그 다음 각 요소에 대한 각종 변수들을 계산하고 각 요소에 대한 강성행렬(local stiffness matrix)을 구하는데 이때 각각의 강성행렬은 전체강성행렬(global stiffness matrix)을 이루는 요소가 된다. 이 전체강성행렬과 도입된 경계조건으로부터 경계력과 절점력, 절점변위, 요소응력 등을 순차적으로 계산하게 된다. 이때

요소별 결과 데이터는 다시 Inference Engine을 거쳐 knowledge 베이스에 update된다.

2.2. Inference Engine

Inference Engine에서는 user interface를 통하여 전달된 정보를 가지고 프레임 하나를 생성시켜준다. 여러 단계에서 들어오는 새로운 정보를 가지고 current frame을 update시켜 나가는 역할도 동시에 수행한다. 이때 처음으로 생성된 프레임을 pre-frame이라 하며 user interface를 통해 입력된 불완전한 정보와 model 및 rule base를 이용하여 생성시킨다. 이 생성된 프레임 데이터를 FEM 모듈에 넘겨주게 된다. 이때 프레임은 각 요소별로 순차적으로 생성되는데 그 순서는 각 변수의 중요도에 따른 것이다.

Inference Engine의 중요한 역할 중 또 하나는 FEM 결과에 대한 해석이다. rule base에 포함되어 있는 각 요소에 대한 허용응력과 모델 베이스를 참조하여 각 요소별 응력 해석 결과를 평가하게 된다. 이러한 해석 결과에 따라 각종 설계 변수들을 바꾸어 가면서 current frame을 생성하게 된다.

2.3. Knowledge Base

Knowledge base는 크게 두가지로 나뉘어지는데 하나는 model database 이고 다른 하나는 rule base이다. 이 부분들은 Inference Engine과 많은 양의 정보를 교환하는 곳으로서 신속하고 효율적인 탐색이 가능하도록 설계되어야 한다. 또한, 가능한한 최소한의 정보만을 가지고도 모든 설계를 수행할 수 있도록 저장할 parameter의 선택과 저장 형태를 잘 설계하여야 한다.

Model DataBase

Model database는 다양한 형태의 프레임에 대한 설계 parameter를 저장하고 있는 database이다. 각 요소에 대한 parameter를 포함하고 있으며 요소간의 상관관계와 FEM 해석에 사용되는 절점정보도 저장하고 있다. 추가 되어야 할 정보로서 update된 날짜등이 있는데 이것은 Inference Engine에서 탐색할때의 기준이 되며 또한 정보에 대한 신뢰도의 기준으로도 작용한다.

Model database는 탐색시간의 단축과 보다 효율적인 데이터 관리를 위해 프레임 구조로 되어있는데 그 예는 다음과 같다.

A frame representing a model

```
(Model(model_name)(Wheel_size)(size_1 size_2...size_N)
  (Seat_tube_length)(length_1 length_2...length_N)
  (Element_type)(element_1,element_2...element_7)
  (Misc_type)(misc_1 misc_2...misc_N))
```

Rule Base

Rule base는 Inference Engine에 rule을 제공하게 되는데 rule들중 그 예를 보면 다음과 같다.

Rule 1

```
IF element 1's stress is larger than allowance
THEN increase element 1's thickness.
```

Rule 1은 구조물의 기하학적 관계를 유지하도록 먼저 두께에 대한 변형을 시도하는 것이다.

다음에 제시된 rule은 프레임에 대해 초기 가능해를 사용자에게 제시하기 위한 user interface에 사용되는 rule이다.

Rule 2

```
IF Information on top tube length is not provided
THEN generate top tube length with model base.
```

Rule 2는 지금까지의 정보로부터 다른 정보(top tube의 길이)를 찾아내는 예를 보여 주고 있다.

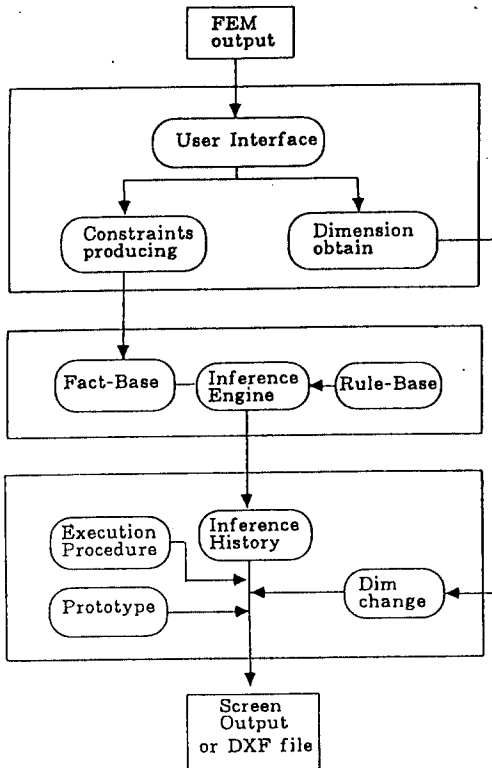
2.4. User Interface Module

이 부분은 비전문가인 유저도 쉽게 사용할 수 있도록 대화형의 interface로 구현되며 화면에서 CAD 부분과 같이 구현됨으로서 Graphical User Interface를 구현하게 해준다. 설계에 요구되는 User input을 처리하게 되며 불완전한 정보에 대해서도 계속적인 대화를 할 수 있도록 지원된다. 주어진 초기해에 대해 사용자는 수정할 수 있으며 이에 대한 구조해석 결과와 그에 따른 평가를 모두 볼 수 있다.

2.5 Parametric CAD Module

Parametric CAD 모듈에서는 Inference Engine으로부터

자전거 프레임에 대한 치수를 입력받아 자전거 프레임에 사용자에게 화면을 통해 자동적으로 보여준다. 여기에서 사용자는 FEM을 수행하는 엔지니어나 실제 고객이 될 수 있다. 그리고 이 사용자가 치수를 변화시키고자 할 때 자동적으로 변화된 치수에 의하여 새로운 형상을 제시하여 준다. 즉, 이 모듈에서는 FEM 엔지니어가 직접 눈으로 확인하며 분석 모듈(FEM module)을 수행할 수 있도록 도와주는 역할을 맡는다. 그리고 최종적으로 치수가 결정되었을 때 완성된 도면을 생성한다. 또한, 이 모듈은 고객의 요구와 비슷한 형상의 prototype이 없을때도 FEM을 위해 직접 형상을 정의하여 치수를 기입할 수도 있다. 그리고 완성된 최종적인 도면은 DXF 파일 형태로 저장하여 다른 CAD 시스템과 호환할 수 있게 한다. 실제로 본 연구에서는 AutoCAD내부에서 본 시스템에서 작성한 DXF파일을 이용하여 도면을 볼 수 있게 하였다. 이 모듈의 전체적인 구조는 [그림 4]와 같다.



[그림 4] Parametric CAD Module

[그림 4]에서 보는 바와 같이 먼저 기존의 도면정보로

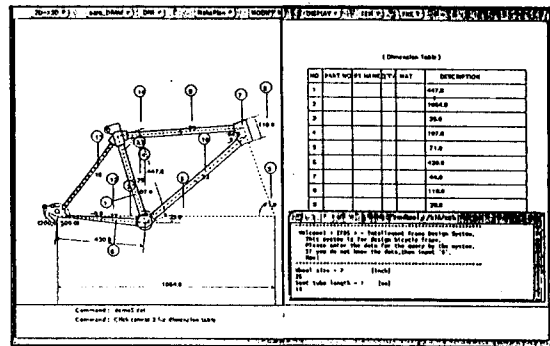
부터 얻은 prototype이나 사용자가 설계한 형상으로부터 제약조건을 생성한다. 여기에서 제약조건이라는 것은 위상학적인 관계를 말하는데 이 제약조건들은 symbol로 표현되어 Fact-Base에 저장된다. Rule base에는 기하학적인 관계를 표현하는 rule들로 구성되어 있다. 추론내력(Inference history)에는 추론과정이 기록되는데 추론에 사용된 rule들과 fact를 모아 저장한다. 저장된 rule들과 fact는 다음에 수행되는 수학적 계산에 사용된다. 여기까지의 과정은 치수의 직접 대입없이 단순히 symbol들만으로 수행된다.

이렇게 생성한 추론내력을 참조하여 전체 시스템의 Inference Engine, 사용자로부터 받아들인 치수, 각각의 Rule에 해당하는 수학적 procedure에 의하여 도면작성에 필요한 파라미터들의 값을 찾아낸다. Execution procedure에서는 위에서 정해진 추론과정에 따라 각 rule에 명시된 수학적 계산을 수행한다.

Prototype geometry는 각 rule에 해당하는 수학적 계산을 할 때 두가지 이상의 해가 있는 경우에 사용된다. 이와 같이 생성된 새로운 형상은 DXF file 형태로 저장할 수 있기 때문에 본 시스템으로 설계한 도면 정보는 다른 CAD 시스템과도 호환할 수 있다.

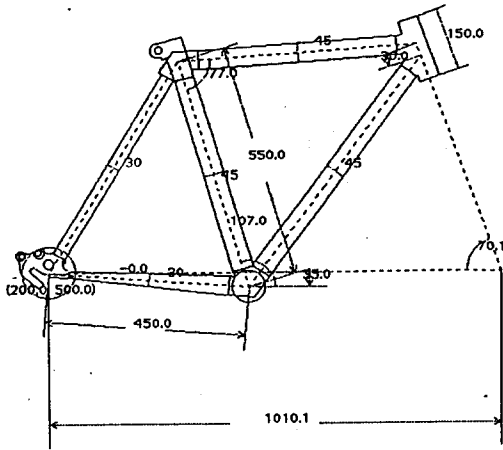
3. 적용 결과

본 연구에서 개발한 시스템의 User Interface 화면을 [그림 5]에 나타내었다. [그림 5]에서 보는 바와 같이 User Interface부분은 사용자와의 대화를 통하여 사용자가 요구하는 사양에 맞는 유사한 모델을 찾아서 자동으로 도면을

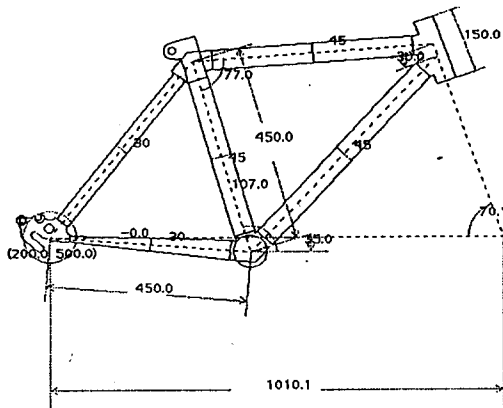


[그림 5] User Interface 화면

보여준다. 이와 같은 과정에 의하여 최종적인 치수가 확정 되면 DXF 파일로 변환되어 저장되므로 AutoCAD등의 CAD시스템에서 사용할 수 있게된다. [그림 6]에는 초기 치수에 의한 도면을 나타내었고 [그림 7]에는 [그림 6]의 초기해로부터 변환된 최종 도면을 나타내었다. [그림 6]과 [그림 7]에서 보는 바와 같이 seat-tube의 길이가 550.0 mm에서 450.0 mm로 변환되었음을 알 수 있다.



[그림 6] 초기 치수에 의한도면



[그림 7] 치수변환된 도면

4. 결 론

본 연구에서는 knowledge based 시스템을 이용하여 역학적 해석이 요구되는 구조물인 자전거 프레임의 parametric 설계가 가능한 시스템을 구현하였다. 자전거 프

레이م 설계의 기본이 되는 기하학적인 조건들을 Rule로 표현하고 수학적인 procedure를 구성하였다. 또한 사용자와의 interface를 고려하여 사용자가 형상을 스케치할 수도 있게 하였다.

역학적 구조해석이 요구될 때는 FEM 모듈이 사용되고 그때마다 실제 현장에서 사용될 수 있는 도면을 자동적으로 생성해줄 수 있는 CAD 모듈도 구현하였다. 사용자는 변화되는 도면을 보면서 설계과정을 수행할 수 있다. 또한 최종 도면을 DXF 파일로 저장함으로써 다른 시스템과의 호환문제를 해결하였다. 따라서 본 연구는 역학적인 고려가 요구되는 제품의 설계 자동화가 가능토록 하여 전체적인 생산시스템의 통합이 가능할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] Pham D. T., *Expert Systems in Engineering*, IFS Publications / Springer-Verg, pp 141 - 161, 1988
- [2] *AutoCAD Reference Manual, Customization Manual, Programmer's Reference Guide*, Autodesk Inc, 1992
- [3] *자전거實用便覽第4版*, 自転車生産振興協會
- [4] Patrick Laug. F., "An expert system for the finite element system", *Artificial Intelligence, Expert Systems and Languages in Modelling and Simulation*, pp 67 - 70, 1987
- [5] 한국공업규격 *KS R 8011*
- [6] Daryl L. Logan., *A first course in the finite element method*, pws engineering, 1985
- [7] Aldefeld B., "Variation of Geometries Based on a Geometric Reasoning Method.", *Computer Aided Design*, Vol. 20, No. 3, April 1988
- [8] Suzuki H., Ando H. & Kimura F., "Geometric Constraints and Reasoning for Geometrical CAD Systems.", *Computers & Graphics*, Vol. 14, No. 2, pp 211 - 224, 1990

- [9] 김진호, "Parametric CAD 시스템의 개발에 관한 연구", 포항공과대학 석사학위논문, 1993
- [10] Light R. and Gossard D., "Modification of geometric models through variational geometry", Computer Aided Design. Vol. 14, No. 4, pp 209 - 214, 1982
- [11] Roller D. Schonek F. and Verroust A., "Dimension-driven Geometry in CAD: A Survey", Theory and Practice of Geometric Modeling, 1989
- [12] Roller D., "Advanced Methods for Parametric Design", Geometric Modeling Methods and Applications, Springer-Verlag, 1991
- [13] Sunde G., "Specification of Shape by Dimensions and Other Geometric Constraints", Geometric Modeling for CAD Applications, Elsevier Science, North-Holland, 1988
- [14] Verroust A., Schonek F. and Roller D., "Rule-oriented method for parametrized computer-aided design", Computer-aided Design, Vol. 24, No. 10, October, 1992
- [15] Brebbia C. A., *Finite Element Systems*, third revised edition, Springer-Verlag, 1985