

〈技術論文〉

설계 전문가시스템 : 범용 셸을 이용한 선박구조설계의 지원

한순흥* · 이효섭* · 이경호** · 이동곤**

(1993년 9월 17일 접수)

A Design Expert System : Support of the Ship Structural Design by a General-Purpose Shell

Soon-Hung Han, Hyo-Seop Lee, Kyung-Ho Lee and Dong-Kon Lee

Key Words : Expert System Shell(전문가시스템 셸), Engineering Design(공학설계), Ship Design(선박설계), Knowledge Base(지식베이스), Declarative Knowledge(선언형지식), Procedural Knowledge(절차식지식)

Abstract

A design expert system for the ship structural design is developed to support inexperienced designers. To establish the knowledge-base, an expert system development shell, Nexpert, is used. Knowledge is extracted from the rules of a classification society of ships, and also from an existing ship structural program that is being used by ship designers. This knowledge is systematized using the objectoriented concept. The design support system is constructed by adding additional functions which are required for the conventional engineering design work. Added functions are; calculation of longitudinal strength, database of existing ship designs, graphical user interface, and visualization of design kresults. It is observed that visualizing the relationships among the rules, which are activated to draw a certain design decision, is helpful. The system can easily be updated according to changes of the rule books of ship classification societies.

1. 서 론

전문가시스템을 공학설계에 이용해 보고자 하는 노력은 여러 분야에서 시도되고 있으며, (7,11,12,17,18,21) 선박설계 분야에서도 예외는 아니다. 하지만 공학설계라는 작업이 매우 복잡한 작업으로, 그 자체를 파악하는 것도 아직껏 연구의 대상이기 때문에, 설계업무에 전문가시스템을 성공적으로 이용하고 있다는 보고는 많지 않다.

선박설계분야 내에서 전문가시스템을 이용하고자 하는 그 동안의 시도를 살펴보면, 그 사용도구에

의해 두가지로 분류될 수 있다. 첫째는, 조선 전회의 전문가시스템 셸(shell)을 개발하여 이용하는 것이다. (4,8) 이러한 시도는 조선이라는 분야의 특수성을 최대한 이용하여, 작고 효율적인 시스템을 구성할 수 있다는 장점을 갖는다. 둘째는 상업용으로 개발된 범용 전문가시스템 셸을 선박설계에 응용하는 것이다. (3,14,16) 이것은 범용 시스템이 제공하는 다양하고 안정된 기능들을 구사할수 있으며, 셸 개발에 소요되는 연구노력을 개별 전문분야에 집중시킬 수 있다는 장점이 있다.

이 연구를 통하여 얻고자한 것은, 전문가시스템 기법을 적용하였을 때, 특히 범용 시스템을 이용하였을때, 기존에 사용하고 있는 중앙단면 설계용 프로그램에 비해 어떠한 차이점을, 또는 개선된 점을

*한국과학기술원 자동화 및 설계공학과

**한국기계연구원 선박해양공학연구센터

얻을 수 있는 가를 밝히는 것이다.

2. 공학설계방법

공학설계작업에 컴퓨터의 이용이 늘어나면서, 공학설계방법 자체에 대한 연구가 활발해지고 있다. 그것은 결국 컴퓨터를 이용하여 설계작업을 향상시켜 보자는 의도이다. 지금까지의 컴퓨터 이용은 자동제도(drafting) 등과 같은 보조수단으로의 활용을 제외하면, 시뮬레이션과 최적설계로 요약될 수 있다.⁽²¹⁾

시뮬레이션이란 설계 대상물에 대한 전산모델을 이용하여 여러가지 컴퓨터실험을 수행하는 것이다. 과거의 설계과정에서 미적분방정식을 이용한 수학 모델이나, 축소모형을 이용한 실험에 해당하는 방법으로, 이 전산모델을 여러가지로 변경시키면서 가장 적절한 설계안을 찾아간다. 설계방법상으로는 과거의 방식과 차이가 없으나 전산모델이 좀더 빠르고 정밀한 예측을 가능하게 한다. 최적설계에서는 전산모델을 바탕으로 목적함수와 제한조건을 추가하며, 최적화 알고리즘이 주어진 제한조건을 만족하면서 목적함수를 최소화하는 설계변수들을 자동적으로 찾아준다.

근래에 인공지능 분야의 연구에서 얻어진 결과를 이용하여, 컴퓨터로 하여금 지식을 표현하고 처리할 수 있는 방법이 알려지면서, 인간설계자가 설계

작업을 어떻게 수행하고 있는가 하는데 대한 연구가 더욱 활발해지고 있다.^(7,13,17) 이러한 연구를 통해 밝혀지고 있는 것은, 그동안 개별적인 공학제품들을 설계하기 위하여 시행착오적인 방법을 통해 쌓여 올려진 경험적 설계법들이, 많은 부분에 있어서 공통점을 갖고 있다는 것이다. 전혀 관계가 없을 것으로 여겨지는 선박설계방법과 소프트웨어 시스템설계 과정에도 유사한 방법들이 이용되고 있는 것이다. 따라서 공학설계 과정에 공통적으로 유용하게 쓰일수 있는 방법들을 찾아내어 체계화하는 것이 공학설계 방법론에 대한 연구의 목적이다.

공학설계의 방법에 대한 연구방향은 크게 두가지로 분류할 수 있는데, 첫째는 설계를 인간이 모방할 수 없는 고유의 행동으로 파악하여, 설계과정과 설계작업 분석 등을 연구하여 설계작업을 더욱 효율적으로 수행할수 있는 방법을 찾아내는 방식이며, 둘째는 설계작업도 인공물로 대체할 수 있는 것으로 파악하여 분석을 통한 대체품을 찾아내는 설계작업을 자동화하려는 연구이다. Table 1은 두 번째의 입장에서 지금까지 밝혀진 설계의 방법들을 요약한 것이다.⁽¹³⁾

이 글에서 다루는 내용은 설계작업을 효율화하는 첫번째 분류에 초점을 맞춘 것이다. 그 구현에 있어 두번째 분류에 속하는 방법들을 이용한다. 설계 전문가시스템이라고 하는 것은 Problem Solving/Planning의 방법에 속하는 것으로, Fig. 1과 같이

Table 1 Comparison of engineering design methods⁽¹³⁾

Approach	Model characterization of design activity
System science	Black box theory, state theory, decision theory, component integration theory
Problem solving/ Planning	Recursive problem decomposition. State-space search, constraint propagation
Transformational	Design description(program) transformation and language translation
Database	Centralized design library and independent design process
Algorithmic	Finite deterministic processes including mathematical optimization techniques
Axiomatic	Axiomatization of general intuitively powerful design rules, proof of theorems
Machine learning	Knowledge acquisition from instruction, examples observation and discovery; Execution of plans

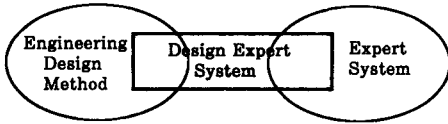


Fig. 1 Design expert system

공학설계방법과 전문가시스템 이룬 두 분야의 기술을 잘 접목시키므로 얻어질 수 있다. 오랜 세월동안 사람들이 수행해 온 공학설계작업의 내부 과정에 대한 규명작업과, 인간의 지능을 컴퓨터 내부에 표현하고 이용하는 기술인 전문가시스템 기술을 접합하는 것이 중요하다.

3. 선급규정에 의한 선박 중앙단면의 구조설계

전통적으로 선박의 구조설계는, 선급협회라는 조직에서 만든 선급규정에 따라 많은 부분이 이루어지고 있다. 선급규정에 의한 중앙단면의 구조설계는 Fig. 2와 같은 과정을 거치며, 이 중 선급규정이 직접 적용되는 부분(가운데 사각형 부분)은 크게 세가지 작업으로 구성되어 있다.^(1,2,5) 첫째, 선급규정에 따라 개별 부재의 최소 요구치를 구하는 것이다. 둘째는, 선급규정에서 요구하는 중앙단면 전체에 대한 종강도기준을 만족시키기 위해, 앞에서 구한 개별 부재의 치수를 조정하는 것이다. 셋째는, 이 과정에 해당 조전소를 설계기준이나 작업조건 등에 관련된 설계경험을 적용하는 것이다.

전문가시스템을 이용하여 선박의 구조설계를 지원하는 설계시스템을 개발하기 위하여는, 전문가의 어떤 노하우(know-how)가 중앙단면의 구조설계과정에 이용되는가를 파악하는 것이 필요하다. 일반적으로 선체의 중앙단면을 설계하는 과정에서는 선급규정을 설계편람(design manual)처럼 이용하면 된다고 생각하기 쉽지만, 사실은 그 과정에 전문가의 많은 노하우(know-how)가 요구된다.

기본적으로는, 선급규정 간의 상관관계가 복잡하게 얽혀 있어서, 어떤 부재의 치수를 결정할 때 어떠한 규정들이 적용되는지를 파악하는데 훈련과 경험이 요구된다. 거꾸로, 선체의 어떤 부분이 다른 요인에 의해 변화된다. 그에 따라 영향을 받는 부재들을 파악하고 관련되는 규정들을 찾는 것이 쉽지 않다. 한편으로는, 선급규정이 부분적으로 계속해서 개정되고 있기 때문이다. 경험이 적은 설계자가 이들 모두 파악하여 설계작업에 적용하는 것도

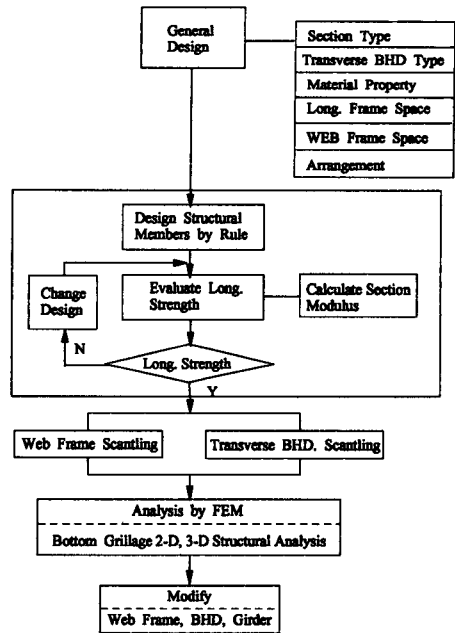


Fig. 2 Process of midship section structural design⁽²⁾

쉽지 않은 일이다.

4. 범용 전문가시스템 셀

4.1 전문가시스템의 역할

전문가시스템에서는 지식베이스가 추론기능과 분리되어 있는 것이 보통의 컴퓨터 프로그램과 다른 점 중의 하나이다.⁽⁹⁾ 보통의 컴퓨터 프로그램은 정해진 경로를 통해서만 계산이 수행되므로, 프로그램 작성시에 미리 예상되었던 종류의 문제들에 대해서만 답을 줄수 있으나, 전문가시스템에서는 추론기구가 지식베이스 안의 단편적인 지식들을 필요에 따라 조합하여 주어진 문제를 해결하기 때문에 다양한 문제를 해결할수 있다. 또한, 지식베이스가 추론기능과 분리되어 있으므로, 관련 선급규정이 바뀌는 데에 따라 프로그램의 전체적인 수정이 필요 없고, 지식베이스의 부분적인 수정만을 필요로 한다. 보통의 프로그램이라면, 개정된 선급규정에 의해 영향받는 프로그램의 부분이 어디인지를 파악하는 것이 쉽지 않으며, 선급규정 간의 상관관계가 복잡하므로 프로그램의 많은 부분이 수정되어야 할 것이다.

어떠한 결정에 관여한 규칙들을 추적해서 보여주는 것은 일반 전문가시스템의 기본기능 중의 하나

이다. 이것은 선박의 중앙단면을 구성하는 부재의 치수가 결정되는 과정에, 어떤 규정들이 관여 하였는지를 볼수 있다는 것을 의미한다. 전문가시스템에 내장되어 있는 추론기능(inference engine)에 의하여, 일련의 규칙들이 활성화(activate)된 것을 추론후에 볼수 있어서, 선급규정이 적용되어진 순서를 확인해 볼수 있다.

4.2 Nexpert의 특성

현재 개발되어 있는 전문가시스템의 약점은 다음과 같이 정리되고 있다.⁽¹²⁾

(1) 인간의 경험이나 지식이 단편적인 지식의 조각들로 표현되어 저장되어있기 때문에, 지식베이스는 그 밑바탕이 되는 모델이 없다. 이 단편적인 지식으로부터 깊은 통찰을 필요로 하는 의미 있는 지식을 도출하는 데에는 한계가 있다. 따라서 기획이나 통합조종을 필요로 하는 설계작업에 부적합하다.

(2) 지식베이스가 커져감에 따라 그것을 조직적으로 관리할수 있는 방법이 필요하다. 즉, 지식베이스를 조직화할 수 있는 방안이 제공되어야 한다.

그것은 새로운 규칙을 추가하고자 할때, 그것이 이미 지식베이스에 있는지, 아니면 다른 규칙과 상충 관계에 있는 지를 살펴보기 위해 필요하다. 또한, 추론을 위해 규칙들을 검색하는 데도 조직적인 방법이 필요하다.

이러한 약점을 개선하기 위하여 객체지향의 개념이 도입되고 있으며, 이 개념이 지식베이스를 조직화하는데 이용된다.⁽⁶⁾ 실세계의 구성요소를 선언형 지식(declarative knowledge)과 절차식 지식(procedural knowledge)으로 구분하여, 이를 각각 객체와 규칙으로 표현한다. 즉, 실세계의 지식을 표현하기 위하여, 설계의 대상이나 사실(fact) 등을 중심으로 하여 선언형 지식으로 표현하고, 이 선언형 지식들의 조합을 통해 문제를 해결해 나가는 과정을 절차형 지식으로 표현한다. 여기서 선언형 지식은 정적인 정보로 객체로 표현되며, 절차형 지식은 동적인 정보로 경험적 지식을 표현하는 규칙(rule)으로 표현된다.

본 연구에서 사용된 Nexpert의 특성은 다음과 같다. (1) 일반 프로그래밍 언어인 C로 짜여 있기 때문에, 기존에 존재하는 외부 프로그램과의 접속

Table 2 Comparison of commercial expert system shells⁽²⁰⁾

Shell	ART-IM	G2	KEE	Nexpert	UNIK
Domestic dealer	SamSung	Posdata	Hyundai	Goldstar	Daewoo
Programing language	C	LISP G	LISP	C	C LISP
Support language	C, Fortran Pascal COBOL	LISP C Fortran Ada	LISP	C, Fortran PL/1 Pascal Ada COBOL	C LISP
Object oriented	○	○	○	○	○
Certainty factor	○	○	×	×	×
Forward Chaining	○	○	○	○	○
Backward chaining	×	○	○	○	○
Hybrid Chaining	×	×	×	○	×
Inference method	Rete Algorithm	Rete Algorithm		Agenda Type	Rete Algorithm
Call-in, call-out	○	○(GSI)	×	○	○
Other characteristics	CBR-Express	Real-time Data Processing	Plan to change into Prokapa		Neural Net Rule Generation

이 수월하다. (2) 여러 종류의 지식표현 방법론 중에서 규칙(rule)과 프레임(frame)을 함께 지원하는 혼성(hybrid) 형태의 지식표현 구조를 갖고 있다. (3) 규칙의 후건부(Then 이후의 규칙 후반부)를 표현하는데에 가설(hypothesis)이라는 개념을 도입하여서, 규칙을 탐색하는 과정을 가속화 하는데 이용하고 있다. 가설은 해당되는 규칙의 상태를 대표하는 논리변수(logical variable)의 역할을 한다.

Table 2는 국내에서 많이 사용되고 있는 전문가 시스템 서들의 기능을 조사한 것이다.⁽²⁰⁾ 많이 이용되고 있는 서들의 기능들은 어느 정도 비슷한 것으로 파악되며, 이러한 조사들을 통해 상업용 셸들의 장단점을 파악할 수 있고, 셸들의 개발동향을 파악하여 전문가시스템 기술의 추세를 알 수 있다.

5. 객체지향 개념에 의한 지식표현

5.1 지식베이스의 구축

전문가의 지식을 추출하여 지식베이스를 구축하는 것은 전문가시스템을 개발하는 데에 있어 가장 중요한 부분이며, 또한 가장 어려운 부분이기도 하다. 본 연구에서는 인간 전문가로부터 지식을 추출하는 대신에, 선급협회의 규정과 설계 전문가들이 만들어서 사용하고 있는 구조설계용 전산프로그램⁽⁵⁾으로부터 지식을 추출하였다. 이러한 접근 방법은, 지식베이스 구축에 소요되는 시간을 단축시켜 주며, 또한 구축된 지식베이스의 신뢰성을 보장 받을 수 있다.

현장에서 설계업무에 사용하고 있는 기존의 프로그램은 넓은 의미로 전문가시스템이라고 할 수 있다. 이 프로그램들은 전문가시스템 기법이 사용되지는 않았지만, 설계전문가의 노하우(know-how)를 축적해 놓은 것으로 볼 수 있다. 예로, 중앙단면 구조설계 프로그램^(2,5)은 선각설계 전문가의 경험과 지식이 결집되어 있는 것이다. 물론 이러한 프로그램에 암시적으로(implicit) 표현되어 있는 지식을 추출하여, 지식베이스에 명시적으로(explicit) 표현하는 작업이 필요하다.

구체적으로 영국의 로이드(Lloyd) 선급규정에 따라, 산적화물선의 중앙단면 구조설계에 이용되는 지식베이스를 규칙(rule)이라는 표현방법을 이용하여 구축하였으며, 이를 규칙 중에 하나의 예를 보이면 다음과 같다.

규칙=R10

If((|bilge_p|.ttl-|bilge_p|.tt2) > 0)

Then bilge_r

Action(Do(|bilge_p|.tt1) (|bilge_p|.t_req))

5.2 상속성과 동적객체를 이용한 지식표현

선체를 구성하는 구조물 중에 유사한 부재들을 그룹핑하여 이를 클래스(class)로 정의하고, 선체의 각 부재들은 이 클래스의 인스턴스(instance)인 객체로 정의하였다. 이들 객체들은 상위 클래스로부터 속성(property)을 상속 받으므로 똑같은 속성들은 반복해서 정의할 필요가 없다. 개별 부재들의 치수를 결정하는데 사용되는 기존의 구조설계용 프로그램⁽⁵⁾의 변수들은, 객체로 정의된 부재들의 속성으로 표현하였다. 부재의 크기를 결정하는 규칙들은 객체들을 이용하여 구성하였다. 실제로 수행하는 작업(action)은 규칙 구조에 정의하였으며, 속성 값을 얻기 위한 복잡한 계산식은 메타슬롯(meta-slot)을 이용하여 정의함으로써 규칙의 복잡성을 줄일 수 있었다. 이렇게 객체, 속성, 규칙, 메타슬롯 등을 통해 지식베이스를 구축하였다.⁽¹⁹⁾

동적객체는 추론과정에서 새로운 객체를 생성하거나 삭제할 필요가 있는 경우에 사용된다. 예를 들면, 중앙단면 설계시에 공작상의 이유로 철판을 분할하게 된다. 이런 분할은 설계의 중간 단계에 이루어 지는 일로, 미리 각각의 별도의 객체로 정의하는 것은 어렵다. Fig. 3은 추론과정 중에 Side plate를 3개로 분할하여 동적객체를 생성하고, 그 속성 값을 클래스로부터 상속 받는 것을 보여준다.

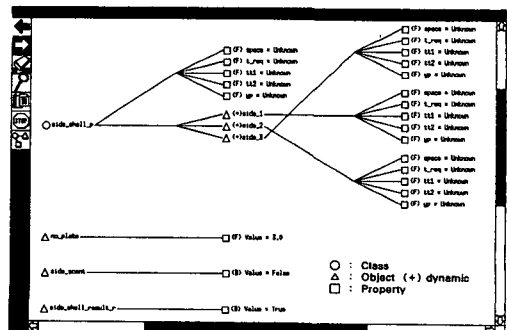


Fig. 3 Dynamic object and inheritance

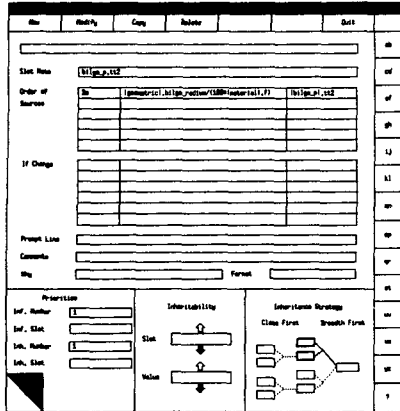


Fig. 4 Metaslot editor

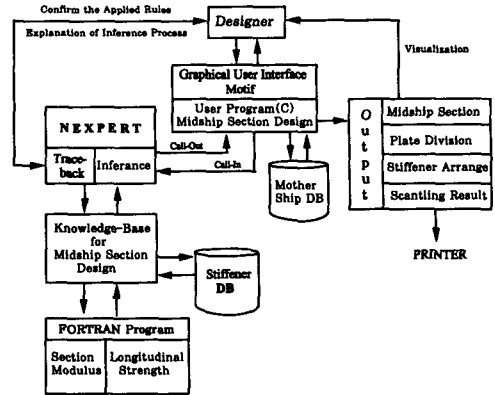


Fig. 5 Structure of the developed system

5.3 메타슬롯

슬롯(slot)은 클래스나 객체의 속성값을 저장하는 공간이며, 메타슬롯은 속성값을 얻기 위한 복잡한 계산식을 저장하는 공간이다. 공학계산에 많이 쓰이는 복잡한 계산식을 Fig. 4에 보여진 메타슬롯이라는 별도의 공간에 정의함으로써 규칙의 복잡성을 줄일수 있다. 과거의 전문가시스템에서는 복잡한 계산식을 규칙의 정의에 직접 포함시키므로, 규칙을 여러개 정의할 필요가 있었다. 따라서 메타슬롯을 이용하면 지식의 표현이 간결해 지고, 보수 관리가 쉬워진다. Nexpert에서는 추론 중에 필요한 속성값을 얻기 위해서 다음의 순서를 따른다. (1) 메타슬롯에 정의되어 있는 가를 확인하고, 없으면 (2) 그 값을 얻을 수 있는 규칙을 추론하며, (3) 최후의 수단으로 사용자에게 질문을 한다.

6. 선체 구조설계용 전문가시스템

6.1 개방형 설계에 의한 시스템 통합

본 연구를 통해 개발된 전문가시스템의 골격은 Fig. 5와 같다. Nexpert와 설계자 사이에 그래픽 사용자 인터페이스(GUI : graphical user interface)라는 부분이 추가되었으며, 이러한 방식을 통해 사용자는 좀 더 실무에 가까운 사용자 인터페이스를 이용할 수 있다.

Fig. 5에 보인 것과 같이 그래픽 사용자 인터페이스 등의 외부기능을 추가할 수 있는 것은, Nexpert가 제공하는 Callable Interface를 이용해 외부의 프로그램과의 접속 또는 통합이 가능하기 때문이다.⁽⁶⁾ 이 기능을 이용하여 기존의 Fortran 등으

로 개발된 외부 프로그램에서 Nexpert를 제어할 수 있으며, 반대로 Nexpert에서 외부의 모듈들을 실행시킬 수 있다. 개발된 시스템에서는 그래픽 사용자 인터페이스 모듈에서 Nexpert를 제어하고 있으며, Nexpert를 이용한 추론과정 중에 외부의 각종 계산 프로그램을 실행시키도록 되어 있다.

6.2 그래픽 사용자 인터페이스의 구성

본 연구에서는 GUI 구축을 위한 라이브러리로 Motif를 이용하였으며, 설계된 선박의 중앙단면을 가산화할 수 있도록 하였다. Motif를 이용하여 구현된 사용자 인터페이스를 통해 설계자는 설계업무를 종류와 적용될 선급을 선택하고, 미리 준비되어 있는 데이터화일을 입력할수 있다. 이렇게 입력된 데이터들은, 선체 주요치수, 형상데이터, 판 분할, 방요재(stiffener)배치로 구분되어 있으며, 설계자의 필요에 따라 수정할 수 있다. 이때 데이터 수정에 따른 중앙단면의 형상, 판 분할, 방요재 배치에 대한 정보들이 가시화 된다.

추론기능은 지식베이스에 저장되어 있는 선급규정들을 이용하여, 선박 중앙단면 부재들의 요구치수를 결정하며, 그 설계결과는 Fig. 6과 같이 계산 결과의 내역과 그 설계된 형상이 설계자에게 보여진다. 추론에 의해 설계가 끝난 후에는, 특정 부재의 치수를 결정하는데 기여한 규칙들과, 그들이 적용된 추론과정 및 그 결과에 대한 가시화가 가능하다.

Trace-Back이라고 불리는 이 기능을 이용한 결과가 Fig. 7과 같다. 이를 통해 필요한 부재의 개별 치수를 결정할 수도 있으며, 결정과정에 사용된 중

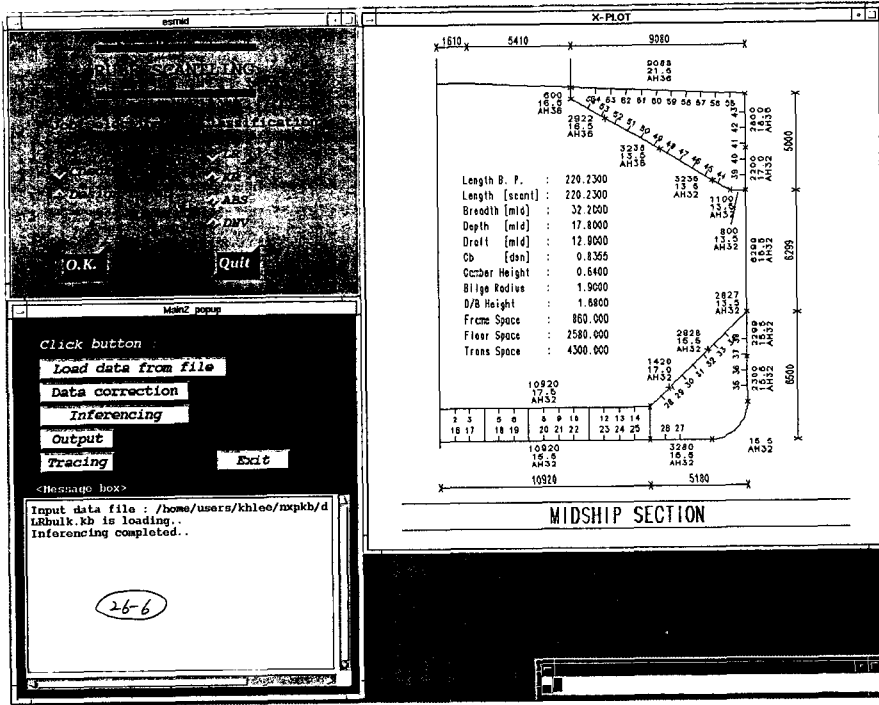


Fig. 6 Visualization of design results

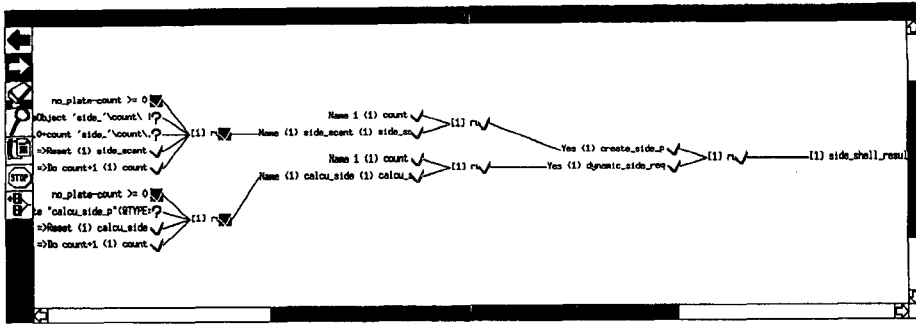


Fig. 7 Visualization of the trace-back of rules

간결과(객체의 속성값)들을 확인할 수 있다. (22,23,24)

7. 결 론

범용의 전문가시스템 개발도구를 이용하여 선박 설계, 특히, 중앙단면 구조설계에서의 응용가능성을 검토해 보았으며, 이 연구를 통해 다음과 같은 점들이 관찰되었다.

(1) 추론과정을 보여주는 기능은 설계자에게, 특히 경험이 적은 설계자에게 많은 도움이 될 것이다.

(2) 지식베이스와 추론기능의 분리는 시스템의 관리와 운용상에 많은 잇점을 준다. 특히 자주 개정되는 선급규정의 특성에 부합되는 것이다. 또한, 각 나라의 규정들이 선급마다 다르므로, 선급별도 별도의 지식베이스만을 구축하여 유지하면 된다.

(3) 기존에 사용하고 있는 프로그램을 재구성하여 지식베이스를 구축하는 방법은, 전문가로부터 지식을 추출하는 어려운 과정을 생략할 수 있어 시간을 단축할 수 있으며, 구축된 지식베이스의 신뢰성도 동시에 확보할 수 있다.

(4) 앞으로, 구축된 지식베이스에 설계표준이나 작업성에 관련된 설계경험을 추가시키면, 경험많은 인간 설계자가 수행하는 실제의 설계와 같은 역할을 하는, 지능적인 시스템을 구축할수 있을 것이다.

참고문헌

- (1) Bannerman, D. B. and Jan. H. Y., 1980, "Chapter6-Analysis and Design of Principal Hull Structure," in Taggart, R. (Ed). "Ship Design and Construction," *Society of Naval Architects and Marine Engineers*.
- (2) 이호섭, 민계식, 장창두 외, 1989, "최소 구조중량선설계 프로그램 개발 (I)," 한국기계연구소 보고서.
- (3) Tsukuda, H., Fuwa, P., Hino, T., Okuzumi, K., and Suzuki, H., 1988, "지시베이스에 의한 산적 화물선의 횡단면내 부재배치결정지원 시스템의 試作," 서부조선회 회보, 76호.
- (4) Ohtsubo, H., and Kitamura, M., 1988, "Expert System에 의한 선체중앙단면설계," 일본조선학회논문집, 164호.
- (5) 윤덕영 외, 1989, "Bulk Carrier 중앙단면 중강도구조의 최적설계 System 개발," 대우조선기술연구소실 보고서
- (6) Neuron Data Inc., 1991, "선체 구조설계를 위한 지식베이스 전문가시스템," 조선학회 91춘계연구발표회, 조선학회논문집, 제29권 제1호, 1992.
- (7) Coyne, R. D. and Rosenman, M. A. et al., 1990, *Knowledge - Based Design Systems*, Addison Wesley.
- (8) 양영순, 연윤석, 1991, "선체 구조설계를 위한 지식베이스 전문가시스템," 조선학회 91춘계연구발표회, 조선학회논문집, 제29권 제1호, 1992.
- (9) Wand, L. and Porter, A. L. and Cunningham, S., 1991, "Expert Systems: Present and Future," *Journal of Expert Systems with Applications*, Vol. 3, No. 4, pp. 383~396.
- (10) Liebowitz, J.(Ed), 1991, *The World Congress on Expert Systems*, Proceedings.
- (11) Gero, J. S., 1991, *Expert Systems for Design ; A Framework*, pp. 721~727, in [10].
- (12) MacCallum, K. J., 1991, *Expert System Architecture Requirements for Concurrent Design*, pp. 2861~2867, in[10].
- (13) Kannapan, S. M., Marshek, K. M., 1992, *Engineering Design Methodologies: A New Perspective*, in Kusiak A. (Ed.), *Intelligent Design and Manufacturing*, John Wiley & Sons.
- (14) Kumer, A. S., Nee, A.Y.C., Probanpong, S., 1992, "Expert Fixture-Design System for an Automated Manufacturing Environment," *Computer-Aided Design*, Vol. 24, No. 6, pp. 316~326.
- (15) 김은기, 1992, "선체 구조설계 지원을 위한 전문가시스템의 설계 및 구현," 충남대학교 석사학위논문, 전자계산공학과.
- (16) 한순홍 외, 1992, "범용 전문가시스템을 이용한 선박의 구조설계 지원시스템," 산업공학회 '92추계학술대회논문집, 산업공학회지, 제19권 제2호, 1993, pp. 83~93.
- (17) Gero, J. S.,(Ed), *Expert System Applications in Design and Manufacturing*, Kluwer Academic Publishers.
- (18) Kim, S. H., 1993, "Expert System Applications in Design and Manufacturing," Tutorial, '93 Korea/Japan Joint Conference on Expert Systems.
- (19) 이경호 외, 1993, "가시화기법을 통한 선박 구조설계 지원 전문가시스템 개발," 경영과학회/산업공학회 '93추계공동학술발표회.
- (20) 이경호, 1993, "범용 전문가시스템 셀의 비교 분석과 시스템 개발방안," 조선학회지, 제30권 제2호.
- (21) Balachandran, M., 1993, *Knowledge-Based Optimum Design*, Computational Mechanics Publications.
- (22) 이경호 외, 1992, "선급규정에 의한 지식기반 시스템 개발 (I)," 해사기술연구소 보고서.
- (23) 이경호, 이동곤 외, 1993, "객체지향적 지식 표현과 개방형 설계에 의한 구조부재치수 결정지원 시스템 개발," 조선학회논문집, 30권 2호.
- (24) 이경호 외, 1993, "선체구조 설계용 Rule의 지식기반 시스템 개발," 한국기계연구원 선박해양연구센터 연구보고서.