

선박설계를 위한 컴퓨터 응용기술에 대한 조사

한 순 홍*

1. 序 言

1950년대에 만들어지기 시작한 컴퓨터는, 이제 日本이 제 5세대 컴퓨터개발을 위한 국가적인 연구사업을 수행하는 등 많은 발전을 하고 있다. 근래에 들어서는 그 발전속도가 가속화하고 있으며 이러한 발전이 사회의 각 분야에 이용되면서, 그 응용 기술들이 많이 개발되고 있다. 조선공업에서도 컴퓨터는 그 개발초기부터 이용되어 왔으며, 선박이라는 구조물 자체가 크고 복잡하기 때문에, 계산량과 그 속도에 장점을 갖고있는 컴퓨터가 이용되기에 적합한 조건을 갖고 있다.

그러나 컴퓨터의 응용기술은 계속 발전하고 있어서, 그동안 조선공학에서 인식되어온 컴퓨터의 성격, 즉, 대용량 및 고속의 calculator의 범주를 이제는 벗어나고 있다. Mistree[1]등은, 이제 컴퓨터의 도움을 받는 정도(computer aided design)를 벗어나, 컴퓨터 없이는 불가능한(computer based design)일들을 처리해 보려는 시도를 하고있다.

본 들은, 현재 그 응용범위를 넓혀가고 있는 컴퓨터 기술 중에서, 선박설계에 응용가능성을 보이고 있는 기술들에 대하여 조사 및 정리한 것이다.

2. Computer Graphics

2.1. Hardware

Computer graphics에 이용되는 terminal type에는 크게 3가지가 있다[5].

첫째로 storage tube type은, 잘 알려진 Tektronix 4012 terminal과 같은 부류의 것으로, 일단 그려진 映像은 별도의 지우는 작업이 있을때까지 화면에 남아있다. 따라서 화면을 부분적으로 지우는 것이 불가능하고, light pen등을 이용한 user interaction이 힘들다는 단점이 있지만, computer graphics의 발전 초기단계에서는 이 type이 많이 이용되어 왔다.

두번째의 refresh display(vector display)는, 영상

정보를 terminal의 기억장치(memory)에 저장하고 일초에 수십번씩 영상을 그려줌으로서, 사용자에게는 그림이 계속 남아있는 것처럼 보이게 한다. 이 방식은 기억되어 있는 영상정보를 바꿔줌과 동시에 그림이 변형되며 일초에 수십번씩 화면이 재생되므로, light pen등을 이용한 user interaction이 순간적으로 컴퓨터에 전달된다. 따라서 이 terminal은 flight simulator와 같이 움직이는 물체를 재현하는 animation에 적합하다. 그러나 영상이 복잡해지면 기억장치의 용량이 커져야 하고, 어느 한계에 이르면 화면재생시간이 길어져 영상이 깜박거리게 되며(flicking), storage tube type보다는 가격이 비싸다는 흠이 있다.

세번째의 것은 raster device이다. 앞에 설명한 두가지 terminal은 line drawing을 위한 것이고, raster device는 화면을 pixel이라는 작은 사각형으로 나누어 이들로써 영상을 구성한다. 각각의 pixel에 대한 영상정보를 terminal의 기억장치에 저장하므로써 색이 칠해진 평면들을 구성할수 있으며, 이것은 일반 TV와 유사한 화면을 보여준다. 그러나 line drawing을 위해서는 pixel의 크기에 따라(resolution) 그 정밀도가 결정되며, resolution이 낮은 경우에는 鋸線을 그릴때 staircase effect를 보이게 된다.

낮은 resolution을 갖는 것은 일반 TV 가격정도로 생산이 되므로, 근래의 개인용 컴퓨터나 전자오락기들은 거의 이 방식을 사용하고 있다. 높은 resolution을 얻기 위해서는 가격이 많이 높아지며 기술적인 문제도 있게 되는데, 요즘에는 512×512(화면을 가로 및 세로 방향으로 512구간씩 나눈 것) 정도의 resolution을 갖는 것들이 생산되고 있어서, line drawing에도 큰 문제를 보이지 않는다. 이 방식은 물체에 채색을 하고, 그림자와 명암들을 함께 다루는 solid modeling이 사용되고 있으며, 그밖에 만화영화나 광고 등의 animation film 제작에 이용되고 있다.

한편, workstation이라는 개념이 사용되고 있는데, 그것은 단순한 terminal 대신에 상당한 용량을 가진 마이크로 컴퓨터를 사용하는 것이다. 그것은 flight

接受日字: 1986年 3月 28日

* 正會員: 韓國機械研究所 大德船舶分所

simulation등의 작업을, 다수의 사용자가 동시에 사용하는 mainframe 컴퓨터에 의존하는 경우에, 빠른 화면의 변화를 얻기가 곤란한 것을 해결하기 위해 이용되고 있다. 즉, 영상의 처리는 단말기에서 직접 처리하므로써 빠른 화면의 변화를 얻을수 있고, 대용량을 필요로 하는 FEM등의 analysis작업은 mainframe 컴퓨터에 의존하므로써, 사용자의 편의를 도모하고 mainframe 컴퓨터의 부담도 줄일수 있다.

2.2. Software

Computer graphics의 발달초기에는 hardware의 성능이 미약했으므로, 주어진 장비의 기능을 최대한 이용하기 위하여, programmer들은 assembler나 machine code를 많이 사용하였다. 또한, graphics device의 생산자들도 각기 자기제품의 terminal에 이용할 device driving routine을 만들었으므로, 이용자들은 graphic device마다, 또 main computer의 종류에 따라 프로그램을 별도로 개발 또는 수정하여야 했다. 이러한 현상은 근래의 개인용 컴퓨터에서 볼 수 있는 것으로 한 컴퓨터에서 개발된 프로그램은 다른 컴퓨터에서 직접 사용하기가 곤란하다.

현재 사용되고 있는 graphic software package들 예를들면, Ghost와 Gino-F는 영국에서 개발된 것이고 Autokon system에서 사용하는 GPGS는 노르웨이에서, 그리고 Disspla, Calcomp, Core등은 미국에서 개발된 것이다.

대용량 memory chip의 개발과 함께 computer hardware의 성능이 크게 향상되고, 가격이 하락되면서 대두된 것이 software 개발의 생산성이다. 인간에 의존해야하는 software의 개발은 hardware와 같은 비약적인 생산성 향상을 기할수가 없기 때문에, hardware의 가격이 낮아지므로 software의 가격은 상대적으로 높아졌다. 따라서 software개발을 위한 여러가지 기술들이 개발되어, programming language와 programming technique들이 발달하고 있으며, software engineering이라는 학문분야가 출현하였다.

Graphics software의 개발을 위해서 시도된 것은 graphics standard이다. 그동안 수년에 걸친 논의를 통하여, 1983년에 ISO(International Standard Organization) standard로서 GKS(Graphical Kernel System)가 채택되었는데, 그것은 독일이 제출한 案을 토대로 마련된 것이다[7]. GKS는 line segment drawing이나 color selection, letter generation등을 위한 일련의 subroutine(procedure)으로 구성되어 있어서, 사용자가 프로그램에서 subroutine call을 통해 적절히 구사

할수 있으며, 일단 완성된 프로그램은 다른 컴퓨터에서도 수정없이 작업이 가능하게 된다[6].

3. Geometric Modeling

Computer graphics의 발달로, 공학설계에서 중요한 위치를 차지하는 도면작업이 전산화되고 있고, 實物모형을 재현하는 3차원 graphics도 이용되고 있다. 이러한 도면작업이 전산화되면, 설계작업의 생산성이 향상될 것이다.

선박설계에서는, 실물모형을 만드는 것이 시간과 자원을 많이 소모하기 때문에, 수조시험이나 복잡한 형상을 이루는 기관실 배치를 위하여 실물모형이 부분적으로 사용되어 왔고, 대부분의 작업은 2차원적인 도면작업으로 처리해 왔다. 이렇게 기하학적 형상을 컴퓨터로 재현하는 기술들을 geometric modeling이라고 부르며, 여기서는 이에 이용되는 기술들을 소개한다.

3.1. Parametric Spline Functions

선박의 선형(hull form)을 수식으로 표현하려는 노력은 오래된 것이며, Autokon 등의 프로그램에서는 많은 수의 연결된 cubic spline curve를 사용하고 있다 그러나 cubic spline은, 곡선의 부분적인 수정을 하기 위하여는 전체 곡선을 표시하는 함수의 계수들을 변화시켜야 한다. 따라서 일단 완성된 선형을 재현하여 numerical control등의 건조과정에 이용하는 데는 문제가 적지만, 부분적인 수정을 반복해야 하는 설계과정에는 적합하지가 않다.

근래에 이용되고 있는 B-spline function은, 적은 양의 정보로 곡면을 재현할수 있을 뿐만 아니라, 형상의 local control이 가능하다. 즉, 주어진 일련의 control vertex들만으로 곡면이 정의되며, 설계자가 control vertex의 위치를 변화시키므로써 형상을 변형시킬수 있는데, 그 영향이 전체곡선에 파급되지 않고 그 주변에 국한된다.

이러한 특성이 interactive graphics와 결합되면, 설계자가 lines나, 3차원으로 표시된 선형을 보면서, light pen등으로 부분적인 수정을 가하여 원하는 형상으로 완성해 나갈수가 있다[9,13]. Fig. 1과 Fig. 2는 B-spline function으로 재현한 선형을, GKS package를 이용하여 그린 것이다.

B-spline을 좀더 일반화 시킨 beta-spline은, spline curve에 bias와 인장력(tension)을 주는 것과 같은 효과를 얻을수 있으므로, control vertex를 움직이는 것 외에 설계자의 선택범위가 넓어진다[10,11].

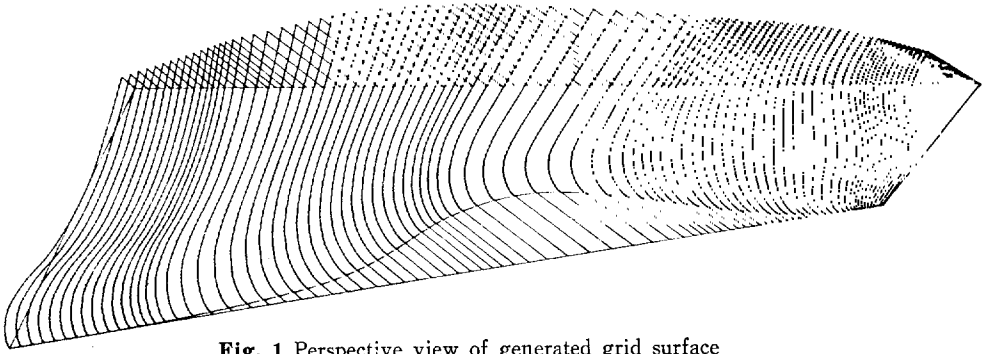


Fig. 1 Perspective view of generated grid surface

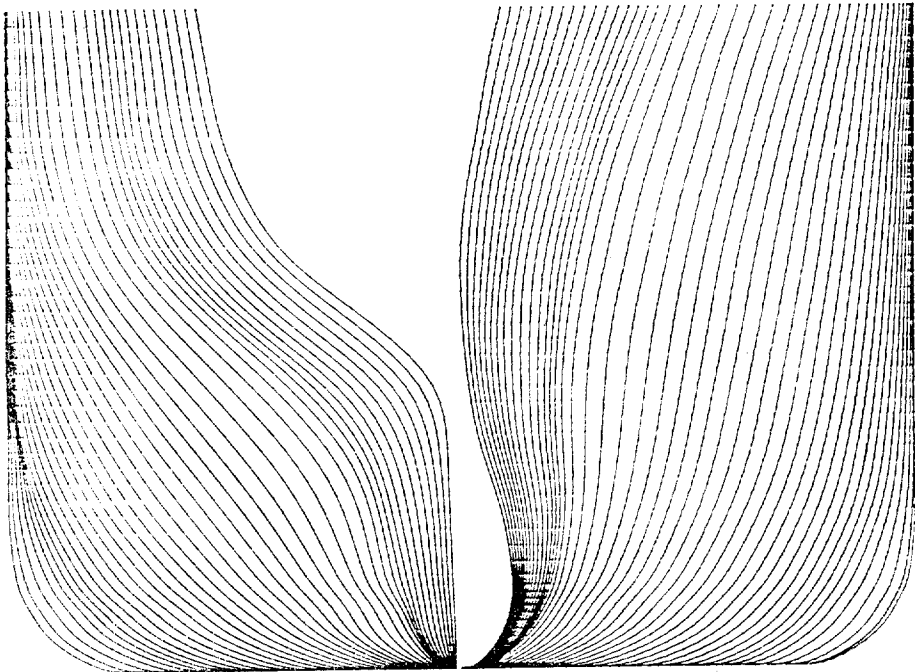


Fig. 2 Body plan

이와같은 방법들을 사용하여 완성된 곡면은, 선박 건조 등 여러분야에서 이용될수 있을것이며, Okan[12] 등은 유체역학적 계산의 source distribution에 이용하여 좋은 결과를 얻었다고 한다.

3.2. Solid Modeling

Solid modeling은 3차원 graphics기술을 이용하여, 대상물의 색채와 명암까지 표현하는 것으로, 實物모형을 대체하려는 것이다. 현재까지의 발전은 두가지로 그 주류를 형성하고 있는데, 그것은 data representation 과 procedural representation이다[14, 15, 16]

Procedural representation의 대표적인 방법은 Constructive Solid Geometry(CSG)로서, 6면체, 원통, 球

등의 기본적인 입체형상을 표현하는 procedure(subroutine)들을 이용하여, 이들 기본적인 형상들을 팽창 및 수축하거나 다른 형상들과 더하거나 빼므로서 원하는 형상을 만들어가는 것이다.

이 방법은, 설계초기에 원하는 형상을 만들어 가는 데는 유리하지만, 일단 완성된 형상이 완전히 정의된 것인가(completeness), 또는 실제로 존재할수 있는 형상인가를 확인하는 데는 어려움이 있다. 예를들면, 물체의 한 면이 정의되지 않았든지, 중복되어 정의되었다든지, 혹은, 실제로는 존재할수 없는 형상이 정의되었다든지 하는 경우이다. 또한, 일단 완성된 형상의 단면을 본다든지, 회전시키다든지 하는 조작에 어려움

이 있다.

Data representation은 형상정보로서 물체를 정의하는 것으로 그 대표적인 방법은 boundary representation이다[17]. 이것은 물체의 형상을 정의하는데, vertex, edge, face들을 정의함과 동시에 이들 각각의 상대 위치를 함께 정의한다. 여기에 Graph theory와 Topology의 이론을 도입하므로써, completeness등의 문제가 쉬워진다. 또한, 앞에 설명한 CSG의 경우와 같이 procedure들로 형상을 정의하는 대신에, data로서 형상을 정의하므로, 원하는 형상을 만드는 과정이 좀더 복잡하지만, 완성된 후에 물체를 조작하는 것이 간편하다. 우리나라에 도입된 Computervision의 Solidesign과 Prime의 Medusa는 모두 이 boundary representation을 사용하고 있다.

선박설계에서는 이제껏 2차원의 도면작업으로 일을 처리해 왔으므로, 색채와 명암이 들어가는 조감도를 크게 필요로 하지는 않지만, 2차원적인 표현에서 빠뜨리기 쉬운 3차원적인 검토를 필요로 하는 경우도 있다. 예를들면, 기관실내의 장비배치를 위한 공간의 확인이라든지, 격벽이나 갑판의 이동에 따른 영향의 확인등이다. 3차원적인 표현은 일단 정의하기까지가 복잡하지만, 정의가 된 후에는 공간의 상층 등 3차원적인 확인이 쉽고, 용적의 계산 등이 빨리 이루어질 것이며, 근래에는 선박의 일반배치 작업에 이 기술을 이용하려고 시도하고 있다[3,4].

4. Database Management

DataBase Management System(DBMS)은 대량의 정보를 전산화하여 효율적으로 관리하기 위하여 개발되었다. 예를들면, 주민등록의 관리, 도서관에서의 도서 관리, 병원에서의 환자기록관리 등을 위해 자료들을

컴퓨터에 기억시키고는, 여러가지 통계자료나 필요한 정보를 색출하는데 편리하게 이용할수 있다.

공학설계에서는 그 이용이 늦게 시작되었으나, 개별적으로 개발된 별개의 응용프로그램들을 종합(integration)하는데 이용되고 있으며, Computer graphics에서도 대량의 형상정보를 빠른 속도로 조작하기 위해서는 좀더 조직적인 정보의 관리기술이 필요하다.

대량의 자료를 이용하는 프로그램들에서, 프로그램마다 input과 output format이 다르게 되던, 그에따라 data file을 수정하거나 프로그램을 수정하여야만 한다. 자료의 양이 증가하거나 프로그램이 커질수록 그 시간이 많이 소모되고, 착오를 일으킬 가능성이 많아진다. 따라서 자료(data)의 구성을 어떤 규격에 맞춰 조직적으로 정리하여 표준화시켜 놓으면, 여러종류의 별개의 프로그램들이 그 자료 또는 data file을 공동으로 사용할수 있을 것이다.

선박의 설계에서 건조에 이르는 과정은 결국 선박이라는 구조물을 중심으로 일어나게 되는데, 선박의 형상과 장비, 재질 등 관련된 모든 정보를 한곳으로 집중시키고 필요할 때마다 요구되는 정보를 취할수 있게 한다면 여러가지 이득이 있을 것이다. 또한, 개별적으로, 또 산발적으로 저장되고 있는 실적선 자료들을 전산화하여 집중시킨다면은, 설계자료의 관리를 효율적으로 할수있고, 그자료의 이용에 있어서도 여러가지 편리한 점이 있겠다.

대표적인 DBMS 종류로는 relational model과 hierarchical model, 그리고 network model의 3종류가 있다[18]. relational model은 Fig. 3과 같이 일반적인 도표(table)의 형식을 취한 것으로, 각각의 도표들은 공통의 attribute를 가지므로써 서로 연관(relation)지을수 있게 한 것이다.

Hierarchical model(Fig. 4)은, 유사한 특성을 가진

S	S#	SNAME	STATUS	CITY
	S1	Smith	20	London
	S2	Jones	10	Paris
	S3	Blake	30	Paris

SP	S#	P#	QTY
	S1	P1	300
	S1	P2	200
	S1	P3	400
	S2	P1	300
	S2	P2	400
	S3	P2	200

P	P#	PNAME	COLOR	WEIGHT	CITY
	P1	Nut	Red	12	London
	P2	Bolt	Green	17	Paris
	P3	Screw	Blue	17	Rome
	P4	Screw	Red	14	London

Fig. 3 Sample data in relational form

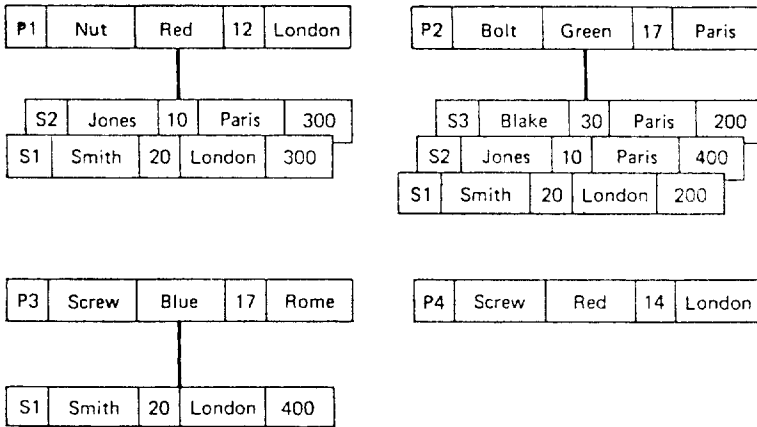


Fig. 4 Sample data in hierarchical form (parts superior to suppliers)

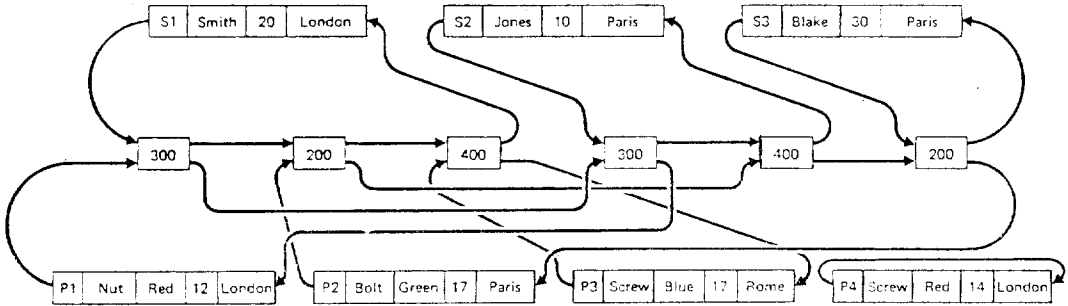


Fig. 5 Sample data in network form

자료들을 집단화시키고 그것들을 체계적(hierarchy)으로 분류하는 것으로 tree형태를 취하는 것이다.

Network model은 각기의 집단(node)과 그것들을 연결시키는 arc(link)들로서 network(directed graph) 형태를 취한다(Fig. 5). 여기서 각 node는 유사한 자료들의 집단을 나타내고 arc는 이들간의 관계(association)를 표시한다.

이들 세 model중에서 relational model이 수학적인 배경을(relational algebra and calculus)갖고 있어서, 좀 더 합리적인 체계를 구성하며, 사용하기 쉽고 적용 범위도 넓은 것으로 알려져 있다.

선박의 수주과정에서 설계를 거쳐 건조에 이르는 과정은 실로 대량정보의 흐름으로 파악할 수도 있겠다. 그것은 선박이 크고 복잡하다는 사실 만으로도 이해가 가능하다. 다음에 선박설계와 관련되어 이용되고 있는 database의 몇가지 예를 열거한다.

Interactive Autokon에서는 여러가지 module들이 사용하는 공동의 database를 관리하기 위하여, Tornado

라는 network DBMS를 이용하고 있다[19].

Lloyd 선급협회의 노르웨이 선급협회(DNV)에서는, 별도로 Mardata와 Commercial Ship Register라는 子會社를 설립하여, register book의 자료를 전산화하고, 그밖에 해상운임 시세와 증고선 시세, 그리고 각국의 항만사정들의 자료를 전산화하여, 고객들에게 여러가지 편의를 제공하고 있다. 사용자들은 각자의 terminal을 통하여, 여러가지 필요한 최신의 자료를 즉시에 얻을 수 있다.

노르웨이 선박연구소(NSFI)에서 선박설계를 위해 개발한 Shipshape라는 프로그램도, database를 이용하는 것으로 여겨지며[2], SFI group system도 선박 건조의 관점에서 자료관리의 표준화를 위해 마련된 coding system이다[20].

최근에는 다음절에서 소개할 인공지능의 기능을 DBMS에 응용하기 위한 연구들을 하고있다[21]. 그것은 사용자가 자료색출에 좀더 일상적인 용어를 사용할 수 있도록 하고, DBMS 자체도 어느정도의 지능을

보유하여, 불확실한 색출문의에 대하여도, 지능적으로 반응하도록 하기 위한 것이다. 한편으로는 형상정보와 같이 현재까지의 DBMS가 다루지 못했던 자료도, 함께 다룰수 있도록 연구하고 있다[22].

5. Expert System

Expert system은 인공지능(Artificial Intelligence: AI) 연구의 한 분야로서[24], 전문가의 지식을 컴퓨터에 저장시키고는, 컴퓨터로 하여금 기억된 단편적인 지식을 엮어 전문가와 같은 수준의 知的인 업무를 수행할 수 있도록 한 것이다. 이 분야는 일본이 제5세대 컴퓨터 개발에 응용하여 지능을 갖춘 컴퓨터를 개발하겠다는 연구사업을 시작한 후에 더욱 많은 관심을 끌고 있다.

Expert system은 크게 세부분으로 구성되어진다. 그 첫번째 것은 knowledge base이다. 이것은 어떤 특정 분야의 전문지식을 전산화하여 저장한 것이다. 일반 database에서는 단순한 정보를 저장하지만, 여기서는 지식(knowledge)을 저장한다. 따라서 지식을 어떻게 전산화하느냐가 문제가 되겠는데, 현재 knowledge representation의 방법으로 rule등이 사용되고 있으며 [27, 28, 29], 여기에 mathematical logic의 이론들이 이용되고 있다. 한편, 그 rule은 "IF— THEN—"의 형식을 취하므로써 여러가지 단편적인 지식을 저장하는데 이용되고 있다.

두번째의 것은 추리기능을 수행하는 inference engine이다. 이것은 knowledge base의 단편적인 지식들을 적절히 구사하여, 전문가의 지능을 대항하도록 하는 것이다. 마지막은 user interface로서, 전문가의 도움을 필요로하는 사용자가, terminal을 통하여 질문하고, 컴퓨터가 요구하는 정보를 제공하므로써, expert system과 대화할수 있도록 한 것이다. 사용자는 이러한 대화를 통하여 주어진 문제의 해답을 얻게된다.

Expert system의 예로서는 Mycin이라는 프로그램이 있는데, 그것은 사용자가 환자의 증상에 대한 여러가지 정보를 제공하고, 컴퓨터의 진단에 대해 질문해 가며, 적절한 의학적인 판단을 내리는 기능을 갖고있다. 최근에는 공학설계에 expert system이 이용되기 시작하여, 고층건물의 설계를 위한 Hi-Rise와 같은 프로그램이 나타나고 있다[31].

선박설계에서는 우선 선급규칙의 전산화를 시도할수 있을 것이다[30]. 이것이 완성되면, 선급규칙에 대한 충분한 경험을 갖고 있지 않은 사람도, expert system

의 도움을 받아, 주어진 선박에 적용해야할 규칙들을 찾아내고, 가장 유리한 규칙을 적용할수 있을 것이다. 한예로, rule scantling작업과 구조해석 프로그램들이 함께 연결되어 expert system을 구성한다면, 선각설계 작업에 도움을 줄 것이다.

초기설계에서는, 기존의 Procal과 같은 프로그램과 연결되어 여러가지 설계수정에 대한 조언을 제공할수 있을 것이다. 예를들면, 복원성능에 대한 판단을 하여, 필요한 조치들을 열거하고, 그 각각의 조치들에 의한 영향에 대해 설계자에게 설명할 수 있을 것이다. DNV에서는, 그들의 구조해석 프로그램인 SESAM-69를 사용하는데 있어서, 프로그램 선택에 도움을 줄수 있는 expert system을 개발하여, 그 응용 가능성을 보이고 있다[23].

6. 結 言

여지껏 과학이라기 보다는 기술 또는 기능으로 여겨지던 공학설계 분야는 최근의 컴퓨터 기술들과 접합되면서 많은 발전을 보이고 있다. 그것은 컴퓨터의 도움으로 개별적인 해석기법들이 종합되고, 손으로는 불가능했던 대량의 계산 및 도면작업이 순식간에 처리되므로써 가능해진 것이다. 그뿐 아니라 이러한 설계작업의 전산화를 위하여 설계과정 자체에 대한 분석이 필요하며, 이러한 분석을 통해, 주요한 설계변수와 설계과정들이 밝혀지고 그들간의 상관관계가 확립되므로써, 설계작업 자체에 대한 이해가 높아지고 있다. 이러한 작업을 통해 설계작업의 전산화가 가능하게 되고, 앞으로 좀더 연구되어져야할 취약부분이 노출되어 가고 있다.

앞으로 선진국에서는, 이러한 컴퓨터기술들을 응용하여 생산성의 향상을 꾀할 것이고, robot등을 이용하여 그들에게 문제가 되는 인건비를 감소시킬 것이다. 이러한 응용은 조선분야라고 더 늦지는 않을 것이고, 오히려 대형의 복잡한 구조물이므로 그 응용가능성이 더 높은 것으로 판단된다. 우리도 이러한 발전추세를 수용하는데 인색치 말아야 할것이며, 오히려 능동적으로 이용할 방안을 강구하므로써, 좀더 빠른 시일안에 기술자립을 이룰수 있을 것이다.

본 글은 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구결과의 일부이다. 이러한 연수가 있게 되도록 도와주신 한국기계연구소와 한국과학재단의 여러분께 감사를 드린다.

7. 참 고 문 헌

- [1] F. Mistree, D. Muster, "Design harmonization: A computer-based approach for design in the system age", IFIP WG5.2, Working Conference on Optimization in Computer-aided Design", Oct. 1983, Lyon, France
- [2] O. Lind, E. Bakke, W. Reinertsen, "SHIPSHAPE: A new ship design program from Norway", The Motor Ship, Dec. 1983.
- [3] J.M. Duncan, I.M. Yuille, "Representation of compartmented spaces for computer-aided ship design", Computer Aided Design, Jan. 1984.
- [4] U.S. Hindenberg, "Interactive design of ship compartmentation", ICCAS 1985.
- [5] J.D. Foley, A. van Dam, "Fundamentals of Interactive Computer Graphics," Addison-Wesley, Systems Programming Series, 1982.
- [6] G. Enderle, K. Kansky G., Pfaff, "Computer Graphics Programming; GKS—The Graphics Standard", Springer Verlag, Symbolic Computation Series, 1984.
- [7] P.R. Bono, "A survey of graphics standards and their role in information interchange," Computer, IEEE, Oct. 1985.
- [8] N.I. Badler, T.W. Finin, "Computer graphics and expert system", IEEE CG & A (Computer Graphics and Application), Nov. 1985.
- [9] B.A. Basky, D.P. Greenberg, "Determining a set of B-spline control vertices to generate an interpolating surface", Computer Graphics and Image Processing, Vol. 14, 1980, p. 203-226.
- [10] B.A. Barsky, J.C. Beatty, "Local control of Bias and Tension in Beta-splines", ACM Computer Graphics, Vol. 17, No. 3, July 1983, Also in ACM (Association for Computing Machinery) Trans. on Graphics, Vol. 2, No. 2, April 1983.
- [11] B.A. Barsky, T.D. DeRose, "The Beta2-spline: A special case of the Beta-spline curve and surface representation", IEEE CG & A, Sept. 1985.
- [12] M.B. Okan, S.M. Umpleby, "Free surface flow around arbitrary two dimensional bodies by B-splines", International Shipbuilding Progress, June 1985.
- [13] N.G. Fog, "Creative definition and fairing of ship hulls using a B-spline surface", Computer Aided Design (CAD), July 1984.
- [14] A. Baer, C. Eastman, H. Henrion, "Geometric modelling: A survey", CAD, Sept. 1979.
- [15] A.A.G. Requicha, H.B. Voelcker, "Solid Modelling: Current status and research directions", IEEE CG & A, Oct. 1983.
- [16] C.E. Eastman, K. Preiss, "A review of solid shape modelling based on integrity verification", CAD, Mar. 1984.
- [17] K. Weiler, "Edge-based data structures for solid modeling in curved-surface environments", IEEE CG & A Jan. 1985.
- [18] C.J. Date, "An introduction to database systems", 3rd edi., Addison-Wesley, Systems programming series, 1981.
- [19] S. Ulfsby, S. Meen, J. Oian, "Tornado: A database management system for graphics applications", Computer Graphics and Applications, IEEE, May 1982.
- [20] "SFI Group system—A coding system for ship information", The Ship Research Institute of Norway (NSFI), Jan. 1983.
- [21] H. Gallaire, J. Minker, J-M Nicolas, "Logic and database: A deductive approach", Computing Surveys, ACM, June 1984.
- [22] D.J. Hartzband, F.J. Maryanski, "Enhancing knowledge representation in engineering database", Computer, IEEE, Sept. 1985.
- [23] R. Fjellheim, "An Expert system for SESAM-69 program selection", Norwegian Maritime Research, No. 3, 1984.
- [24] F. Hayes-Roth, "The Knowledge-based Expert system: A tutorial", Computer, IEEE, Sept. 1984.
- [25] S. Kristiansen, "Application of expert system in marine system design", 2nd International Marine Systems Design Conference (IMSDC-85), Lyngby, Denmark, May 1985.
- [26] B.A. Bremdal, "Marine design theory and the application of expert systems in marine design", 5th ICCAS, Sept. 1985.
- [27] R. Fikes, T. Kehler, "The role of frame-based

- representation in reasoning", Communications of the ACM, Sept. 1985.
- [28] F. Hayes-Roth, "Rule-based systems", same as above
- [29] M.R. Genesereth, M.L. Ginsberg, "Logic programming", same as above
- [30] M.A. Rosenman, J.S. Gero, "Design codes as expert systems", CAD, Nov. 1985.
- [31] M.L. Maher, "Hi-Rise and beyond: directions for expert systems in design", same as above
- [32] J.S. Gero, "Bibliography of books on artificial intelligence with particular reference to expert systems and knowledge engineering", same as above