

컴퓨터를 이용한 설계 및 해석 (CAD/CAE) 기술

郭 柄 晚

<한국과학기술원 기계공학과>

■ 다음 글은 1984년 2월 18일 대우조선 선박해양 설비연구소 설립 1주년에 즈음한 제1회연구 발표회에서 초청 강연으로 발표한 내용의 일부임.

1. 서 론

본 해설은 설계과정에서의 컴퓨터 이용, 즉 컴퓨터 이용 설계(computer-aided design, CAD)에 대하여 최근의 현황과 추세를 소개하는 것으로 이중에서 특히 본 저자가 그간 관심을 기울여 온 유한요소법(finite element method, FEM)과 최적설계(optimal design)를 중심으로 기술하고자 한다.

제품의 개발과정은 필요성이나 요구가 있을 때, 이것에 대한 기능 및 사양의 정의로부터 출발하여, 크게 설계 및 해석과정과 제도 및 생산설계로 나눌 수 있으며, 설계 및 해석 과정은 개념설계와 상세설계가 해석의 뒷받침으로 이루어지며, 제도 및 생산설계에서는 상세도면, 조립도, 개략도, 부품표, 견적등 각종 문서의 작성과 생산을 위한 프로세스의 선정, 생산관리등이 될 것이다. 좋은 제품은 좋은 설계와 좋은 가공과 조립을 요하고, 일반적으로 제품의 가격은 시장 기능으로 결정된므로, 이윤을 극대화하기 위한 남은 수단은 생산원가를 줄이는 길밖에 없을 것이다. 즉, 제작비용과 설계등에 따른 부대비용을 줄이고 좋은 품질을 얻도록하는 수밖에 없는데, 앞으로는 컴퓨터를 이용하는 길밖

에 없는 것으로 나타나므로, 이제는 컴퓨터 이용 여부가 문제가 아니고 어떻게 이용하느냐가 문제인 것이다. 이러한 관점에서 본 해설에서는 컴퓨터를 도구로서 더 정확히는 컴퓨터 그래픽스를 도구로 설계와 해석에 어떻게 이용하는지와 서로의 관련관계에 관하여 기술하고자 한다.

2. 컴퓨터를 이용한 설계(CAD)

CAD의 정의에 대해서는 아직까지 사람마다 다르게 생각하고 있는 용어로 논란의 대상이 되고 있다. 가장 넓은 의미로는 정도에 별 관계없이 컴퓨터를 설계활동에 이용함을 뜻할 수 있겠으나, 컴퓨터의 하드웨어(H/W)와 소프트웨어(S/W)의 발전과 함께 CAD의 의미도 시대에 따라 달라지고 있다. 즉 CAD라는 용어가 처음 나올 때는 대화식으로 도형처리 능력을 가진 컴퓨터의 이용을 의미했으나, 최근에는 소위 터언키(turnkey) CAD 시스템 회사등이 많아짐에 따라 CAD가 컴퓨터를 이용하여 제도하는 소위 컴퓨터 이용제도(drafting)의 의미가 되고 있는 느낌이다.

그러나, 위에서 언급한 바와 같이 설계에서 제도란 극히 일부분의 활동에 불과하므로 컴퓨터 이용 제도의 뜻은 부적당하고 그보다도 개념설계, 상세설계, 해석등의 활동에 컴퓨터를 이용하는 것으로 CAD를 정의해야 할 것이다. 이와 마찬가지로 흔히 쓰이는 컴퓨터 이용 생산

(computer-aided manufacturing, CAM)도 모든 생산실제 및 가공활동에 컴퓨터를 이용하는 것으로 정의할 수 있을 것이다.

최근에는 이러한 활동중에서 특히 일부를 내세우기 위하여 컴퓨터 이용 즉 computer-aided 를 붙여서 CAT(testing), CAPP(process planning), CAM(measurement, management) 등 다양한 용어가 나왔다. 이 중에서 특히 CAE(engineering)는 엔지니어링이란 단어가 각자에게 다르게 느껴지는 것만큼 여러가지로 해석된다. 여기서는 컴퓨터 이용설계 및 해석을 포함한 넓은 의미로 정의할 수 있다.

이러한 모든 컴퓨터 이용 활동들은 기본적으로 그래픽스 S/W와 데이터베이스를 가진 컴퓨터를 중심으로 컴퓨터의 출력장치(printer, plotter, CRT 등)의 출력을 보고 인간이 의사 결정의 주체가 되어 대화식으로 입력(keyboard, tablet, digitizer, joystick 등)하는 방식을 취하고 있다. 이러한 과정중에 필요로 하는 것이 컴퓨터 그래픽스와 자료화(data base)는 물론 각종 설계 및 해석 기법이 있다.

3. 컴퓨터 그래픽스의 공학적 응용

컴퓨터 그래픽스(computer graphics, CG)는 선제하거나 다루고자 하는 기하학적 모델을 대상으로 컴퓨터와 사람간에 대화하는 가장 중요한 수단이며, CAD에서 일어나는 모든 표현과 디스플레이(display)를 위해 매우 중요한 도구가 되고, CG의 발전으로 말미암아 현대적 의미의 CAD가 가능하게 되었다. CG는 기하학적 형상에 대한 표현방법(representation)과 이의 저장, 표현된 모델에 대한 각종 변환 방법과 시각적으로 나타내는 디스플레이를 다루는 분야로, 이외에도 각종 이미지의 보강과 평가, 패턴의 인식 등이 있겠다. 엄밀한 의미에서의 CG는 이와같이 기하학적인 모양에 대하여 디스플레이라고 만들어진 이미지를 조작하는 것이다. 즉, 그래픽스 단말기는 점, 선, 곡선, 각종 글자를 쓸수 있는 그래픽스 프로그램을 가지고 있어, 이러한

기하학적 요소들을 합해서 생기는 대상을 회전, 이동, 스케일등을 행하고 각종 창문(viewport)을 통해 나타내게 하는 것이다.

그러나, 이와같은 기본적인 기능의 그래픽스 루틴들로는 공학의 응용면에서 불배 불충분하다 그 이유는 공학 응용에서는 일반적으로 보다 높은 수준의 개념 즉 부품간의 상호관계, 개략도, 도면등과 기하학적 형상을 다루기 때문이다. 그래서 공학적 응용으로서의 모델을 만들고 다루는 것은 만들어진 모델을 나타내는 것 즉 그림의 이미지(graphical image)를 다루는 것과는 분리하는 것이다. (그림 1 참조)

엔지니어는 인간과 컴퓨터의 대화 관계 보다 인간과 모델의 대화관계를 다루고 이 사이에 다만 컴퓨터가 편리한 도구로 들어 오게되는 것이다.

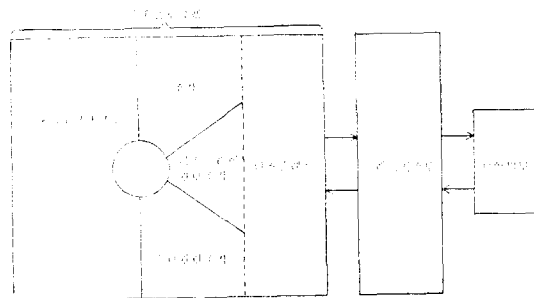


그림 1 컴퓨터 그래픽스와 공학적 응용과의 관계

기하학적 모델은 그 고유의 기하학(topology) 즉 어떻게 각각의 기하학적 요소들이 연결되어 있느냐를 아는 것이 가장 중요한 개념이며, 이들을 뜻하는 바대로 CG를 이용하여 빠르고 쉽게 조작할 수 있을 때에 공학적 응용도가 높아지는 것이다. 소위 기하학적 모델링(geometric modeling)은 이외에도 구성재료의 성질, 표면, 부피의 성질, 요소 서로간의 관계, 가용성, 경비등의 특성과 연결되는 것이다. 나아가서, 기하학적 모델에 대한 해석, 제작, 관리등이 필요할 때에 이들이 가능하도록 하는 자료화하는 것등이 CG와 공학에서 필요로 하는 CAD와 구별된다.

소위 CAD/CAM 시스템이라 함은 광의로 정

의하면, 그래픽스 디스플레이 장치, 관련되는 그래픽스 S/W, 기하학적 모델링, 자료화 시스템, 그리고 해석과 설계 및 생산과의 인터페이스로 이루어진 것이라 하겠다. 이렇게 볼 때 CG는 CAD/CAM 시스템 저연의 한 부분인 것이다. 그래서 때에 따라서는 CG와 CAD/CAM을 엄밀하게 구분하기가 어려운 것이다.

3.1. 기하학적 모델링(Geometric Modeling)

위에서 언급한 바와 같이 종합화된 CAD/CAM 시스템에서는 완전한 기하학적 표현, 디스플레이, 자료의 추출 및 해석을 위한 기하학적 모델링이 필요하다. 일반적으로 제품이나 부품의 3차원 모델을 만드는 것이 필요하며, 현재는 구, 원통, 원뿔, 트로이드등과 같은 규칙적인 고체적 형상을 종합화하는 S/W(modeler)가 개발된 것이 있으며 창의적인 3차원 형상에 대해서도 연구가 진행되고 있다^(1,2). 일단, 고체의 모델이 창출되면 이를 회전시키거나, 확대축소를 하거나 확산도를 그리거나 단면을 보이거나 할 수 있게 되어 있으며 관련 부품간의 간섭등도 검사할 수 있게 프로그램이 개발되고 있다. 또한 창출된 물체에 대한 질량 성질, 즉, 무게, 부피, 표면적, 관성능률, 관성반경등도 구할 수 있도록 S/W가 개발되어 나오고 있다. 물론 아직도 많은 개선이 필요할 것이며, 앞으로는 보다 편리하게 인간이 하는 것처럼 일종의 지능이 포함될 것도 나오게 될 것이다.

일단 3차원 모델이 형성되면 이를 2차원 스크린 또는 평면에 나타내는 것이 문제로 현재는 래스터 디스플레이(raster display) 장치를 많이 사용하고 Shading과 실물감(rendition)을 줄 수 있도록 하는 알고리즘을 개발 이용한다. 이러한 solid modeler의 예로는 IBM SOLID, NCAD (Northrop 3D Design System) 등으로, 이들은 모델화 할 물체 형상의 변(wire frame representation)으로 나타낸 이미지에서 실물감을 주도록 하는 것이다. IBM SOLID에서는 다면체 형상으로 고체 물체를 모델링하고, NCAD에서는 창조적인 곡면이 모델링 된다. 이러한 시스템들

은 각면에 shading을 주는데, 아직까지는 상당한 컴퓨터 시간이 걸리고 복잡한 모양에서는 아직 많은 어려운 점이 있는 것으로 알려져 있다. 뿐만 아니라 shading도 2차원으로 투영한 다음에 하는 것이라 대화식으로 보기는 어렵고 공학적인 응용에는 아직도 연구개발 단계에 있다고 보여진다.

또 다른 방법은 소위 super quadric ellipsoid로 3차원 곡면을 2매개 변수계로 나타내는 것으로, 이러한 해석적인 기하학적 표현으로부터 보다 직접적인 shading 방법을 생각하는 것이다.

그러나 연구단계로서 아직 응용은 실현되지 못하고 있다.

현재 나와 있는 solid modeler는 능력의 정도에 많은 차이들이 있으나 알려진 것 들로는 위에 언급한것 외에도 UNISOLIDS, GEOMOD, BUILD, COMPAC⁽³⁾, DESIGN, EUCLID, GLIDE, GMSOLID, PADL, ROMULUS, SYNTHAVISION 등이 있으며, turn key CAD 시스템생산 회사로는 Applicon, Computervision, Unigraphics 등이 있다. 이들은 고체모델링하는 방법에서도 차이가 많은데, 예를 들면 UNSOLIDS 등은 소위 Boolean 조합과 차이들의 오페레이션 즉 union, intrsecetion, difference 등을 잘 알려진 기본 형상에 행함으로 창조적인 3차원 물체를 나타낸다(그림 2 참조). 이렇게 창조된 형상에서는 질량 성질과, 간섭 관계등을 비교적 쉽게 계산할

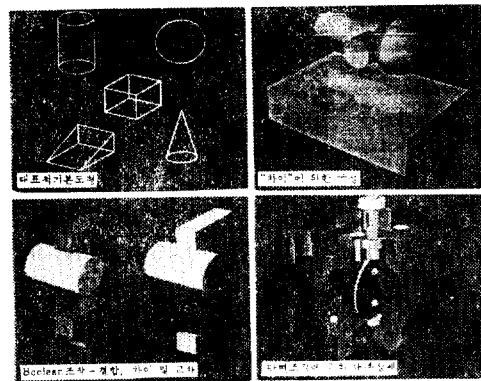


그림 2 Boolean operation에 의한 기하학적 형상의 창조

■ 解 說

수 있다. 그리고 가상 빛의 경로를 트레이싱함으로써 hidden surface를 제거 하거나 실물감을 줄 수 있다.

Geometric modeling의 가장 중요한 관점은 공학적 응용을 위해 필요한 모든 자료가 하나의 공통 데이터베이스를 이루는 모델링된 solid의 자료에서 구할 수 있어야 한다는 점이다(그림 3 참조).

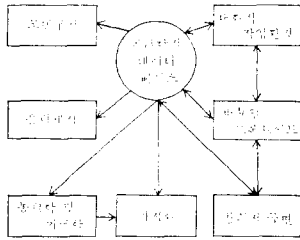


그림 3 공학해석과 기하학적 자료화의 관계

3.2. CAD/CAM 자료화

앞으로 점점 중요해지고 있는 CAD/CAM의 요소는 위에서도 언급한 바와 같이 자료화와 이들간의 교류이다. 자료화는 서로 관련있는 자료들의 집합으로 사용자가 삽입, 삭제, 보완수정 및 끄집어 내는 것이 가능해야하고, 소위 DBMS(Data Base Management System)으로 행해질 수 있다. 설계, 공학해석 그리고 생산을 위한 자료는 의미있는 기하학적 모델의 자료화가 형성될 때야 실질적으로 통합화된 CAD/CAM에서 활용되는 것이다. 자료화의 통합화는 정보를 한 프로그램에서 다른 프로그램으로 일관성 있게 조직적 방법으로 옮길 수 있어야 되고 나아가서는 다른 컴퓨터 시스템간에도 교류가 가능해야 할 것이다. 이러한 관점에서 나온것이 ANSI 표준으로 1981년에 IGES(Initial Graphics Exchange Specification)가 나와서 CAD/CAM 시스템간의 자료교류를 위한 파일(file) 구조와 언어의 포맷(format)을 규정하고 있다. 그러므로 CAD/CAM 시스템의 사용 기업들도 IGES 프로세서의 개발에 노력하고 있다(1,4). 그러나 현재는 서로 다른 CAD/CAM 시스템간의 일반적인

자료 교류보다는 국부적인 자료화 처리 방식에 더 관심들이 있으며, 그 이유는 통일된 방법 개발의 어려움도 있지만, 그보다도 각 CAD/CAM 회사들과 타 회사들간에 자료 교류의 충분한 필요성이 아직 결여되고 있는 까닭이다.

서로 상이한 CAD/CAM 시스템간의 IGES 자료 교류를 시도한 성공례로, 미국 Sandia 국립연구소에서 CAD/CAM 시스템으로 설계한 자료를 IGES를 이용하여 Bendix 회사의 CAD/CAM 시스템으로 NC 테이프를 만드는 것이다(5). (그림 4 참조).

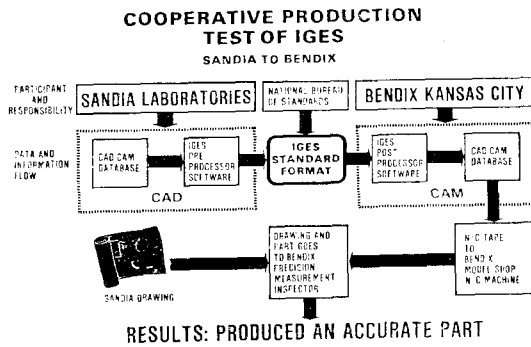


그림 4 상이한 CAD/CAM 시스템간의 IGES 자료 교류의 예

4. 컴퓨터를 이용한 해석

일단 어떤 부품이나 시스템이 구상되면 설계의 중요과정 중의 하나가 이들을 해석하는 것으로, 흔히 필요한 것이 응력해석, 열유체 해석, 동역학적, 기구학적 해석등과 시뮬레이션이다. 이와 병행해서 필요에 따라 실험적 해석이 있으며 실험에서의 컴퓨터 이용은 데이터 수집 및 처리에 전통적으로 사용되고 앞으로 다른 활동과의 자료 교류등에 관련하여 크게 발전될 분야이나 여기서는 생략하고, 본장에서는 응력 해석, 특히 유한요소법을 중심으로 전개하고자 한다.

4.1. 유한요소 해석과 CAD

실제 과정의 가장 중요한 목표는 설계를 개선 내지는 최적화하여 시스템의 타당성과 성능을

확실히 하는 것으로 이를 위해서는 성능이나 기능을 계산할 수 있어야 한다. 고체나 구조물의 경우 이를 위해서는 응력을 알 필요가 있다. 컴퓨터가 나오기 전까지는 모델, 프로토타입 등을 만들어 실험에 많이 의존해 왔으나, 시행착오적 방법에 의존하여 다시 만들어야 하기 때문에 비쌀 뿐만 아니라 시간적 노력이 지대하게 되는 것이다. 그러나 설계되는 구조물의 복잡성, 컴퓨터의 발전과 함께 오늘날은 유한요소법이 세계적으로 가장 많이 쓰이는 구조물 해석 방법이다. 응력해석은 마지막 상세설계 단계에서는 물론 대강의 크기와 비용 추산을 위한 설계 초기단계에도 공히 요구된다. 물론 많은 경우에 유한요소 해석이 불필요하나, 이 방법 외에는 달리 평가가 어려운 경우일 때가 많다. 현재로서는 일반적으로 설계 기준이 없거나 있다해도 너무 안전측의 설계가 될 경우에 특히 유한요소 해석이 필요하다.

유한요소법은 물리적, 수학적으로 타당한 원리에 기초를 두고 폭넓은 분야에 적용할 수 있는 일관성 있는 방법이므로 각종 상업용 프로그램이 개발되어 쓰여지고 있다. 응용되는 분야는 조선, 항공, 자동차, 원자력, 각종 기계 구조물, 토목, 건축, 석유화학 플랜트등은 물론, 거의 모든 공업분야에서 쓰여지게 되고 있으며, 대상 적용 학문분야로 보면 고체역학 뿐만 아니라 열유체, 열전달, 전자기학등에도 같은 원리로 적용이 되는 것이다. 유한요소 프로그램 하나가 물론 모든 문제를 다 해결할 수 있는 것도 아니고, 가장 좋을 수도 없으며, 응용분야와 다를 수 있는 문제의 범위, 세부 방법등에서 차이가 있게 마련이다. 그리고, 그동안 풀어야 할 대상 문제의 범위가 넓어지고 아직도 계속 발전되고 있다. 특히 종래의 컴퓨터의 계산 및 기억능력에 의존하던 프로그램 형태로부터 1970년대에 들어오면서 컴퓨터의 도형처리 능력, 즉 CG의 발달과 함께 유한요소 해석을 위한 실제문제의 모델링, 입력 자료 준비등을 '위한 전처리 과정(pre-processing)과 계산되어 나온 결과에 대한 요약, 가시화등을 위한 후처리 과정(post-proc-

essing)등이 개발되어 사용자로 하여금 더욱 편하게 쓸수 있도록 발전되고 있다. 나아가서는 설계의 초기 과정부터 바로 자료 교류로 유한요소 프로그램에 직접 연결하여 해석이 가능하도록 발전되고 있는 추세이다. 그러므로 CAD의 입장에서 유한 요소법과의 연계는 자료화 문제와 관련이되고, 이는 다시 기하학적 모델링에서 나오게 된다. 즉, 기하학, 하중, 재료성질 등이 자료화로 유한요소 프로그램에 입력이 되고 그 해석 결과는 다시 다음의 결정을 위한 데이터베이스를 형성하는 것이다.

4.2. 유한요소법의 원리와 절차

유한요소법을 한마디로 정의해 본다면 다음과 같을 것이다. 즉 유한요소법은 주어진 문제의 문제 영역을 유한 요소들의 집합체로 나누고 이 나누어진 근사 영역위에 정의된, 또는 요소위에 정의된 특별한 성질을 가진 보간함수(형상 함수라 불림)를 이용하여 근사화하고 그 문제에 해당되는 적분형 원리(최소 에너지 정리등에 해당됨)에 적용하여 유한 차원 문제로 바꾸는 방법이다.

여기서 다른 근사적인 수치해법과 특히 구별이 되는 이유는 바로 특별한 성질을 가진 보간함수와 적분형 원리에 있다. 즉 각 절점(node)에 해당하는 소위 형상함수가 정의되는데 이 형상함수는 해당 절점에서는 1의 값을, 다른 모든 절점에서는 0의 값을 가지는 것으로 이 보간함수에 곱해질 계수가 절점에서 찾으려하는 물리량으로서 바로 물리적 의미를 가진다는 것이다.

적분형 원리는 변분법에서 다루는 것과 같은 적분(범함수)을 최소화시키는 원리에 기본을 두기 때문에 물리적으로 분할된 대표적 요소에서 적분을 계산하여 같은 요령으로 전체 영역에 대해 합쳐 나가는 방식이라는 것이다. 이러한 특성 때문에 유한요소 해석의 관심은 각 요소에 해당되는 대표적인 작업만 하여 소위 요소 행렬을 구하면 전체 방정식을 간단한 조합 방법으로 얻을 수 있어 아주 일관된 작업이 가능하다. 따라서 범용 프로그램의 개발이 가능한 것이다.

이 방법에 대한 이론적 배경등은 많은 교과서를 참고하기로 하고, 여기서는 유한요소 해석의 절차와 프로그램 사용자의 입장에서 해야 할 일을 기술하고자 한다.

유한요소 프로그램내의 절차는 위와 같은 원리에 따라 다음과 같이 요약된다. 먼저 최소 에너지 정리등과 같은 직분형 원리를 구한다음,

(1) 사용할 요소에 대해서 에너지(범함수)를 계산한다. 이때 그 요소에 정의된 종속변수(미지수)는 절점 변수와 보간함수의 선형 조합으로 근사화되고 이를 에너지식에 넣어 계산하면 된다. 이 결과 선형 구조물 해석과 같은 경우는 에너지가 절점 변수에 대해 2차식으로 나오는데 그 계수 행렬을 요소행렬이라 하고 구조물의 경우, 강성행렬, 질량행렬, 기하변형 행렬등이 예이다.

(2) 주어진 문제의 영역을 사용하고자 하는 요소로 분할한다.

(3) 대표적으로 구한 요소 행렬을 분할된 모든 요소에 적용하여 전체 행렬을 구한다. 이때 필요에 따르는 요소행렬에 사용된 국부 좌표계에서 전체 좌표계로 변환한다.

(4) 경계조건을 적용하고 최종 유한요소 방정식을 구한다. 경계조건은 경계에 있는 요소를 프로세스할 때 넣을수도 있고 모두 조합된 후의 방정식에 적용할 수도 있다.

(5) 구해진 유한요소 연립 방정식을 푼다. 원문제가 선형이면 결과도 선형 연립 방정식이 되고, 원래 비선형이면 비선형으로 나타난다. 푸는 방법은 가우스 소거 방식, Wave Front Method, Cholesky의 행렬 분할 방법등이 있다.

(6) 구해진 변위등의 절점 종속변수를 이용하여 응력등의 원하는 변수를 앞서 사용된 보간함수를 이용하여 구한다.

여기에서 보는 바와 같이 복잡한 형상이나 재료의 불균일, 하중등의 처리에서 절차상 별 문제가 없다. 성공적인 해답은 어떻게 모델링하느냐에 달려 있으며, 이는 요소분할, 사용되는 요소의 종류 및 형상함수의 선정등에 좌우되며, 유한요소법 전반에 대한 이해와 많은 경험이 매

우 유용하다.

그러나 표준적인 문제에서는 별로 어려운 것이 없겠으나, 비선형 문제인 소성, 탄소성, 대변형 문제 또는 복잡한 동적 문제, 접촉문제 등으로 가면 고려해야 할 점이 더욱 많아지게 되며 아직 개발의 여지가 많은 분야이다.

4.3. 유한요소법의 사용

어떤 문제에 유한요소법을 사용하기로 결정이 되었다면, 사용자 입장에서 하게 되는 일들은 다음과 같다.

(1) 문제의 정의

하고자하는 문제에 대하여 역학적으로 어떤 부류로 다룰 것인가를 결정하며 이는 구하고자 하는 목적이 충분히 달성될 수 있도록 고려되어야 한다. 또한 이용하고자 하는 프로그램의 능력과 컴퓨터의 여건등도 고려되어야 한다. 구조물의 경우, 선형탄성, 소성, 탄소성 열전달 및 열응력 문제등으로 분류할 수 있겠고, 다시 이들을 정적해석과 동적해석 문제로 나눌 수 있다. 또한 기하학적 비선형 즉 대변형 문제로 해야하는가, 미끄럼이나 접촉경계 조건등 비선형을 고려해야 할 것인가에 따라 크게 차이가 난다.

유한요소 모델링으로 2차원, 3차원, 축대칭 또는 축대칭 형상에 비축대칭 하중문제로 하느냐에 따라 크게 계산량이 달라질 것이다.

(2) 프로그램의 결정

다양한 프로그램을 쓸 수 있다면 위에서 정한 부류에 따라 선정하고 입력자료의 준비의 편의성등을 고려한다.

새로운 상업용 프로그램의 구입 여부는 Firm⁽⁶⁾이 제안한 항목들에 비추어 볼 수도 있을 것이다. 이들은 SCRATCH로 나타낼 수 있는데 다음과 같다.

- Suitability : 필요한 능력을 가졌는가
- Convenience : 사용의 편의성
- Reliability : 충분한 사용 경험과 테스트를 거쳤는가
- Adaptability : 해당 문제의 취급이 어려울 때 고치는 것이 가능한가 다

른 방도가 가능한가

- Technical Support : 문제가 있을 경우 전문가의 도움을 쉽게 받을 수 있는가
- Cost
- Hardware : 사용 가능한 컴퓨터

이중에서 처음 두 항목이 보다 중요한 점이라고 볼 수 있다. 일반 목적용 상용 프로그램이 많이 개발되어 사용되고 있고 또한 계속 개발되어지고 있으나 효율을 위해 목적에 맞게 보완 수정하여 사용하는 경우도 많다. 비교적 잘 알려진 구조해석용 유한요소 프로그램으로 NAS-TRAN, ANSYS, ASKA, SAP, STRUDL 등이 있다.

(3) 유한요소 모델링

주어진 문제영역을 적당한 요소를 사용 메쉬로 나누는 단계로 요소의 선정과 메쉬의 배열이 주요 문제가 된다. 요소의 선정은 선정된 문제의 종류와 사용하고자 하는 프로그램이 가진 요소의 종류, 계산량등에 따라 적절히 선정하며 메쉬의 문제는 관심 부분에 정확도와 관련하여 정해야 한다. 때에 따라서는 비교적 거친 메쉬 배열로 해석하고 다시 보다 정교한 메쉬 배열로 해석할 필요가 있다.

(4) 입력자료 준비 및 검사

메쉬가 결정되면, 절절과 요소의 번호 부치기 절점의 라포, 각 요소의 성질 즉 연결 절점의 번호, 재료의 성질, 두께등 기하학적 자료등과, 자중, 경계 조건등의 프로그램 입력 자료가 필요하다. 그러나 절점수가 수천개 또는 그 이상 되는 경우나 복잡한 3차원 형상인 경우등은 많은 시간이 소요되고 자료입력에 착오가 일어나기 쉽다. 그러므로 입력자료 준비를 위한 CG의 이용과 자료화 시스템은 최근들어 매우 연구가 되고 있는 부분으로 이 과정을 특히 전처리 과정(pre-processing)이라 한다. 이때 CG의 응용을 좀더 구체적으로 본다면, 자동요소 분할, 분할된 메쉬의 그림, 번호 붙이기, 재료의 성질 입력등 각종 입력 자료의 검사를 위한 각종 그림, 재료의 구분, 하중 조건, 경계조건 등의 그림,

요소 분할의 온전성 검사를 위한 축소된 요소를 사용한 그림 등 다양한 가시화를 통하여 검사에 크게 도움을 주고 있다. 아직 많은 유한요소법의 상용 프로그램이 전, 후처리 프로그램이 없는 상태이나, 소위 터언키이 CAD 시스템 회사에서 이들 작업을 위한 S/W 등이 개발되어 있다.

또한 입력자료 준비중에는 어떠한 출력을 원하는지에 대한 지정을 대개 주게 된다. 이는 통산 모든 응력성분, 변위등을 다 출력하면 너무나 방대한 양이기 때문에 컴퓨터의 화일로 저장하도록하고 이 중에서 소위 후처리시에 원하는 출력을 보기 쉽게 정리하기 위함이다.

(5) 유한 요소 프로그램의 컴퓨터링

(6) 출력의 프로세싱 단계

대형 프로그램인 경우는 대개 앞서 단계에서 계산되어 저장된 주출력을 다시 과정을 거쳐 원하는 형태로 원하는 변수를 구해내는 단계이다. 원하는 부분에서 주응력, 상당응력등 원하는 응력성분과 변형된 형상등을 그림으로 또는 정리된 포맷으로 뽑는 것으로 역시 CG가 응용되는 부분이며, 앞으로의 다른 판단을 위한 자료화로 형성되어야 할 부분이다. 응력은 성분으로 적어 내기 보다 등고선 그림이나 화살표 그림 또는 색깔로서 그 수준을 눈으로 구분하게 함으로서 위험 부위 등을 쉽게 판단할 수 있게 하는 것이다.

(7) 결과의 평가 및 적용

해에 대한 신뢰성을 인정하기 위한 노력과, 설계나 성능평가에 적용하는 단계로, 우선 프로세싱된 그림이 의미가 있는지 공학적인 직감에 비추어 보는 것은 물론 정확성과 관련하여 가능한한 알려진 값이 있을 때 이와 비교하는 것이 필요하고, 특히 어떤 특이한 결과가 있으면 더욱 신중히 그 원인을 파악할 것으로 과거 경험과 비추어 신뢰성이 의심나면 다른 종류의 메쉬 배열로 다시 해를 구해보아야 할 것이다. 때에 따라서는 다른 프로그램을 사용해 보아야 할 것이다. 어느 정도의 해의 신뢰가 있다고 생각되면 성능 평가나 설계의 적용을 위한 결과의

변환(경우에 따라서는 코드나 표준에 맞게)을 행해야 한다. 이 단계에서 초기의 원하는 목표가 달성이 되지 못하였다면 다른 모델로 바꾸거나 문제를 재분류하여 다시 해를 구하고 실험적 방법으로 확인할 필요가 있는지의 검토도 병행해야 할 것이다.

그러나, 비교적 일상적인 선형탄성 문제등에서는 과거 많은 해들의 경험과 오랜 세월의 시험으로 상당히 신뢰가 인정되고 있으므로 공학적으로 충분한 정확성을 가진다는 것을 부인한다. 그리고 대형 시스템 해석은 보통 전체 시스템을 정밀하지는 않지만 어느 수준으로 모델화한 답을 구하고 이를 바탕으로 국부적으로 위험한 부위를 다시 세밀한 모델로 해석하는 등 몇 단계의 해석을 거쳐야 원하는 목표를 달성할 수 있다.

위에 열거한 사용자의 활동 단계는 어느 하나 중요하지 않은 것이 없으나 특히, (1), (3), (6)과 (7)의 단계는 응력해석의 원하는 목표달성과 정확성, 시간과 노력의 최소화를 위해서 전문가적 안목과 경험이 필요한 부분이다(그림 5 참조).

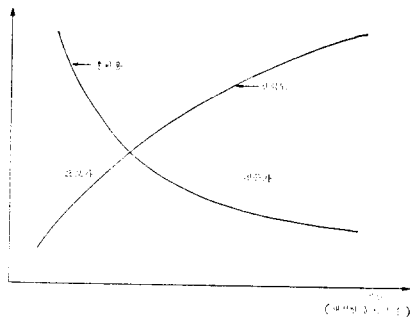


그림 5 경험에 따른 해석의 신뢰도와 비용의 관계

그러므로 이러한 부분은 유한 요소법을 잘 이해하고 경험이 있는 설계자나 전문가가 처방하거나 다루게 되며 자료 준비, 컴퓨터런등과 같은 부분은 기능적으로 할수도 있다. 경험이 적고 배경 지식이 부족한 초보의 응용에서는 타인의 경험을 빨리 습득하는 것이 필요하며, 이를 위한 가이드라인의 한 예가 미국 토목학회에서 전

문가로 부터의 설문을 모아 정리한 것이 도움이 될 수 있다⁽⁷⁾.

4.4. 특수 FEM 프로그램의 개발

유한요소 프로그램 개발의 주요한 목표는 한 프로그램으로 많은 부류의 문제를 가장 효율적으로 풀수 있도록 하는데 있겠으나, 적용 대상 문제의 다양화에 따라 각종 프로그램은 장단점이 있고 개선의 여지가 있게 마련이다. 그러므로 기존 상용 프로그램이 많음에도 또 다른 프로그램이 나오게 된다. 이런 관점에서 각종 사용에 보다 효율적이라도 기존 프로그램을 개선하거나 특수한 문제를 위해 새로운 개발을 하는 것은 당연하다.

그간 본 저자도 이러한 관점에서 보다 전문적인 문제에 대한 FEM 개발에 노력하고 있으며, 그동안 만들어진 프로그램의 예로는 비선형 탄성의 대변형 해석⁽⁸⁾, 대변형 탄소성 해석⁽⁹⁾, 탄성접촉⁽¹⁰⁾, 탄소성 접촉해석⁽¹¹⁾등이 있다. 이외에도 초보자를 위한 FEM 교육용 프로그램⁽¹²⁾, 최적메쉬 구성을 위한 전처리 프로그램⁽¹³⁾등이 있다. 이들을 응용한 예를 간략히 소개한 것이 그림 6에서 13에 보인다. 그림 6,7,8은 두꺼운 튜브에서 내압으로 인한 대변형 탄소성 해석 결과와 실험과의 비교를 보이고 있으며 사용된 메쉬, 사용 재료의 성질, 해중을 포함한 외벽 변형도와 내압의 관계를 보이고 있다. 그림 9, 10, 11은 경도시험을 시뮬레이션하기 위해 평면에서 강제볼로 압입하는 과정을 탄소성 접촉문제로 시뮬레이션한 예로 메쉬, 재료의 성질, 압입력과 압입 반경 관계를 보이고 있다. 또한 그림 12, 13은 변형에너지 밀도를 바탕으로 한 최적 메쉬를 구한 예로서, 자동분할된 모양과 변형에너지 밀도의 분포 예 및 최적 메쉬의 예이다. 이들 프로그램들은 아직 일차로 작성되어 충분한 시험을 거치지 않았으므로 앞으로 개선과 특히 사용자를 위한 문서작업등이 필요하다. 또한 이들이 어느 정도 정리될 때에 각계에 분배하여 사용자의 반응을 보아 완성할 계획이다.

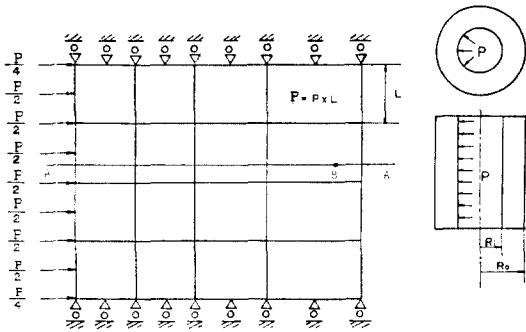


그림 6 내압을 받는 후벽 원통 해석 유한 요소 메쉬(8절점 요소)

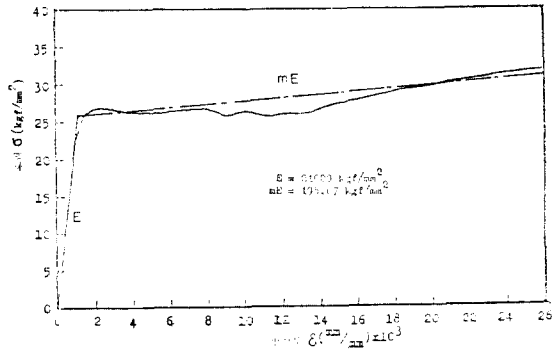


그림 7 후벽원통 재료(SM20C)의 응력-변형도 시험곡선 및 근사곡선

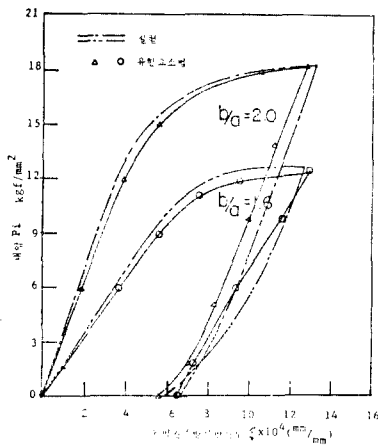


그림 8 후벽원통의 내압이 가해지고 내릴때의 내압과 외벽원주 방향 변형도

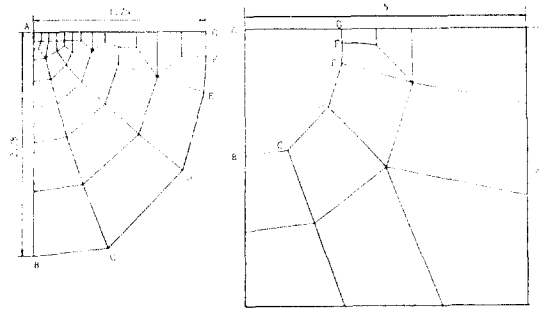


그림 9 경도시험 해석의 피압입체의 유한요소 메쉬(단위 mm)

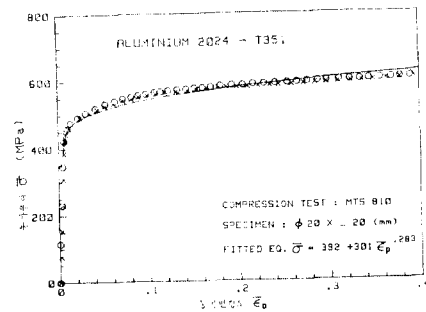


그림 10 시중 순수알루미늄의 등가응력-등가변형도 시험곡선 및 근사곡선. 시험에 사용된 윤활제는 Kendall L-427 그리스와 Teflon 테이프

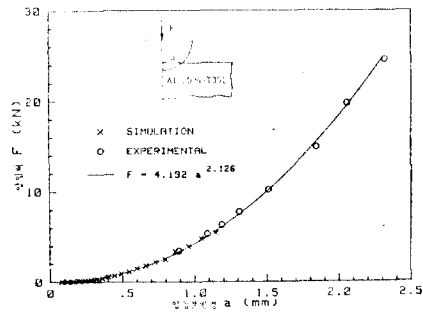


그림 11 10mm 불압입(경도) 시험의 압입력과 압입부 반경의 실험 및 이론해

5. 최적설계

모든 설계는 이미 언급한 바와 같이 주어진 요구조건을 만족하면서 가장 비용이 적게드는, 또는 최적의 결과를 얻으려는 것이 목적이다.

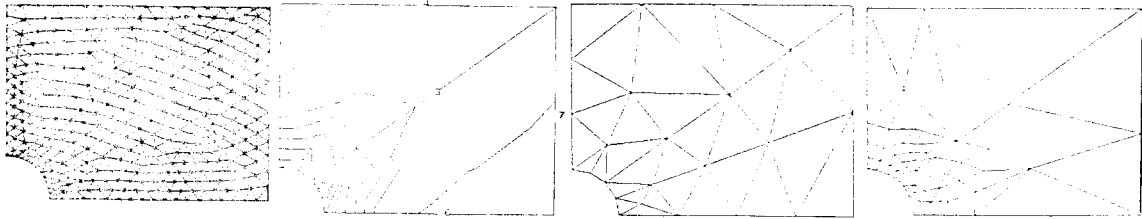


그림 12 자동메쉬 분할(743 d.o.f.)에 몇 등에너지 밀도선의 예

이러한 입장에서 설계를 다루는 수학적 기법을 최적설계(optimal design)라 할 수 있으며 이는 설계의 초기단계에서나 상세 설계단계에서나 이 개념을 적용하면 보다 합리적인 설계를 얻을 수 있을 것이다. 각각의 설계단계마다 최적 설계로의 문제정립이 쉬울수도 있고 때로는 의미있는 문제정립이 보다 어려운 경우도 있겠으나 본 절에서는 최적설계 개념을 보다 쉽게 적용할 수 있는 상세설계 즉 크기의 결정 단계에 적용하는 경우를 중심으로 간략히 설명하고자 한다.

합리적인 설계를 위한 조건으로는

- (1) 설계하고자 하는 시스템의 모델 및 수학적 표현과 이를 해석할 수 있는 능력(구조물의 경우는 유한요소해석법 등)
 - (2) 의미있는 최적설계 문제의 정립
 - (3) 정립된 최적설계 문제의 해법
 - (4) 결과에 대한 평가 및 검토가 있어야 하며, 표준적인 최적설계 문제의 수식화를 위해서는 첫째, 목적함수의 정의: 이는 “최적”을 나타내는 기준으로 비용, 무게등과 같이 그 숫자의 비교로 어느 쪽이 보다 좋다는 것을 표시할 수 있는 어떤 실수 함수.
- 둘째, 설계변수의 결정: 주어진 설계 시스템에서 설계하고자 하는 치수, 위치 등을 표시하는 변수
- 셋째, 시스템 방정식: 설계하고자 하는 시스템의 상태를 결정할 수 있는 지배 방정식으로 구조물의 경우는 유한요소 방정식이 주로 이에 해당하고 상태변수는 변위, 응력등.
- 넷째, 제한 조건식: 모든 설계에서는 기능상 요

(a) 초기메쉬(43 d.o.f.), (b) 최적메쉬(100 d.o.f.)

그림 13 구멍을 가진 판에 대한 초기 및 최적 메쉬의 예

구되는 조건, 크기의 제한, 가용한 자원의 제한등이 따르게 마련이며 이들을 등식 또는 부등식으로 나타낸 식이다.

이중에서 특히 신중을 기해서 정해야 할 부분이 1과 4이다. 즉, 목적함수에 따라 최적의 의미가 달라지게 되므로 보다 보편 타당한 기준을 정해야 할 것이고, 어떤 제한 조건을 포함시키지 않을 경우는 가용하지 않는 답이 나올 것이기 때문이다.

문제정립의 이해를 돕기 위해 몇가지 예를 들 고자 한다.

5.1. 구조물 최적설계 문제의 정립

초기 비용 및 관리 비용이 거의 구조물의 무게에 비례한다고 보아 무게의 최소화를 최적으로 보는 경우가 많은데 이 경우를 예로 들면⁽¹⁴⁾

- (1) 목적함수는 무게를 나타내는 식으로 부재의 단면적과 길이의 함수로 나타낼 수 있다.
- (2) 설계변수로는 비교적 간단한 경우의 예로서 이미 다른 설계단계에서 형상은 정해져 있고 각 부재의 크기를 결정하는 문제로 하면, 부재 단면의 크기를 나타내는 치수가 되며, 이 보다 좀더 복잡한 경우에는 각 연결점의 위치 등도 함께 정하고자 할때로 부재 단면의 치수와 연결점의 좌표가 설계변수로 된다.
- (3) 시스템 방정식은 경적 구조물인 경우 주어진 설계 하중에서의 변위와 각 부재의 응력을 구할 수 있는 식으로 주로 유한요소법에 의한 대수방정식이 된다. 이외에 동적 구조물인 경우는 고유진동수와 동적 응답을 구할 수 있는

식이 된다. 또한 좌굴 응력을 구하는 식이 고려되어야 할 것이다.

- (4) 제한 조건식은 구조물로서 가져야 할 기능에 관한 조건이 중요하며, 응력이 항복응력 등의 기준을 넘지 말 것, 변위가 어느 수준 이하로 될 것, 압축응력이 좌굴응력을 넘지 말 것, 고유진동수가 가진 주파수 범위 등의 어떤 범위로는 들어 오지 말 것 등이 있으며, 설계변수의 상하한이 대개 있으므로 이러한 범위내에 있을 것 등이다.

5.2. 인공위성 밸런싱 문제의 정립

두번째 문제 정립의 예로서 인공위성의 밸런싱 문제는, 어떤 목적의 인공위성이 설계되어 각 부품의 배치와 구조물이 정해진 후에 정적 동적 안정을 위한 조건을 만족시켜야 하는 문제이다⁽¹⁵⁾.

이러한 최후의 밸런싱은 무게의 추가로 이루어지며 이 추가된 무게를 최소화하는 것이 이 단계의 최대 관심사이다.

- (1) 목적함수는 추가되는 무게의 합이다.
- (2) 설계변수는 무게를 추가할 수 있는 위치의 좌표와 각 위치에서의 무게의 양이 된다.
- (3) 시스템 방정식으로는 정해진 스핀이 주어진 경우에서의 동적 안정조건에서 나타나는 관성능율등을 계산할 수 있는 식이 될 수 있으며, 이를 특별히 시스템 방정식으로 쓰지 않고 직접 계산할 수 있는 식으로 나타내어 제한 조건식으로 사용하면 시스템 방정식은 없는 경우가 된다.
- (4) 제한 조건으로 중요한 것을 보면 우선 정적 밸런싱으로, 기하학적 축이 관성 주축의 하나와 일치해야 할 것과 무게 중심이 기하학적 축의 어느 위치 범위내에 있을 것 등과, 동적 밸런싱으로 동적 해석에 따라이 얻어지겠는데 최대 주 관성능율이 다음 크기의 주 관성능율보다 몇배 이상이 될 것 등이다. 그리고 추가할 수 있는 위치의 좌표에 관한 제한 조건등도 포함되어야 할 것이다.

5.3. 최적설계 문제의 해법

위에 제시한 바와 같은 표준적인 최적 설계 문제는 수학적 계획법(Mathematical Programming)이라 불리는 최소화 문제로 귀착되며 이를 푸는 기법이 곧 최적설계의 기법이 되겠다. 최적화 또는 최소화는 응용수학의 일분야로 공학의 제분야에 응용되는 도구이다. 즉 기계, 산업공학등은 말할 것도 없고 토목, 화공, 전기, 수리 경제학등 다양하다. 적용되는 분야에 따라 더 많이 쓰이는 문제의 종류로 분류할 수 있고 이에 따라 잘 확립된 기법이 개발되어 있다. 선형계획법등이 일례이다. 또한 비선형 계획법 문제를 풀 경우 한가지 기법이 여러 분야에서 일어나는 문제를 다 잘 풀수는 없고 그때마다 다른 기법이 더 적절한 것이 보통이다. 그러므로 최적화 이론은 물론 각종 기법이 연구되고 있다. 자세한 여러 기법들의 설명과 적용례등은 문헌⁽¹⁴⁾을 참조하고 여기서는 생략한다.

위에서 보는 바와 같이 최적설계 문제는 해석 능력과 연결이 되어야 하고 특히, 구조물의 경우는 유한요소법과 최적설계 기법이 연결될 필요성이 있다. 현재까지는 상업적 프로그램으로 이러한 기능을 가진 것이 없으나, NASTRAN과 최적화 기법이 연결된 프로그램 개발이 진행 중이므로 곧 나올 것이 예상된다. 소형 프로그램으로 본원(KAIST)에서 트리스와 빔 구조물의 최적설계 프로그램이 일차 개발⁽¹⁶⁾되어 시험중에 있고 이 외에도 동적 구조물의 최적설계⁽¹⁷⁾ 랜덤하중이나 지진하의 최적설계⁽¹⁸⁾ 프로그램등이 완전하다고는 볼 수 없으나 개발을 어느정도 마치고 시험을 거치는 단계이다.

5.4. 최적 설계의 적용

과거 수년간 본원에서 최적설계의 연구에 노력을 기울여 기계부품, 메카니즘, 구조물 설계등에 적용을 하여왔다. 선체의 탑재 장비를 위한 지지구조물과 건축 구조물에의 최적설계의 응용등이 있다.

본절에서는 개념과 적용례를 보이기 위해서 그중에서 크레인의 설계를 설명한다.

위에 언급한 바와 같이 모든 시스템이나 부품 설계에서 최적화는 가장 합리적인 설계의 정량적인 방법으로 필수적인 접근 방법이다. 종래의 크레인 설계 방법에서는 설계자의 많은 경험에 의존하여 시행착오적 방법으로 설계를 하였는데 이 과정에서는 최적의 설계를 얻는다는 보장이나 확신이 없으며 다만 하나의 가용한 설계를 얻는데 그치게 된다. 얻어진 설계는 경험과 과거의 자료에 따라 크게 차이가 나는 것은 물론 초보자에게는 시간과 노력이 낭비되는 것이다. 이러한 경우 최적화의 문제로 잘 정립하여 프로그램을 개발해 두면 주문자의 요구에 따라 가장 빠른 시간에 가용한 모든 설계중에서 가장 좋은 설계를 얻을 수 있는 것이다.

첫번째의 적용례⁽¹⁹⁾는 천정 크레인의 거어더부의 설계문제로 본 프로그램은 다음과 같은 의도로 짜여져 있다. 즉, 주문자의 사양(정격하중, 스펠등)이 주어졌을 때 이 주문자가 요구하는 설계 기준(KS, CMAA, BS, 또는 DIN 등)을 만족하면서 무게가 가장 적은 거어더의 크기 즉, 상자형에서 높이, 폭, 웹과 플랜지의 두께 등을 자동으로 구하도록 되어 있다. 필요한 주요 입력은 대화식으로도 줄 수 있다. 과거에 만들어진 기존의 크레인과 같은 사양으로 이 프로그램으로 얻은 최적 크레인과 무게의 차이는 적게

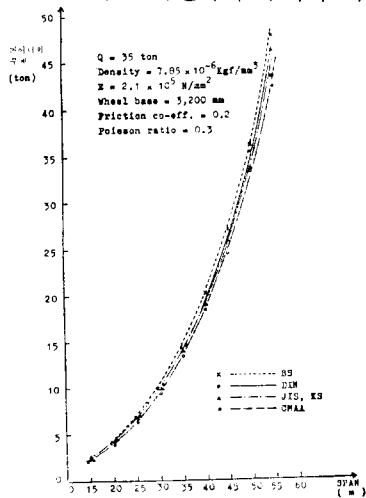


그림 14 스펠에 따른 천정 크레인의 최적 거어더 무게의 변화

는 수% 많게는 수십%까지의 무게의 절감을 가져올 수 있어 최적설계의 효과를 볼 수 있었다. 그림 14는 스펠에 따른 최적 거어더 무게의 변화를 보이는 예이다.

두번째 적용례는 컨테이너 크레인에서 컨테이너 상자의 운송을 직접 담당하는 거어더와 붐(boom)의 최적설계⁽²⁰⁾로 위에서와 같이 주문자의 사양에 따라 KS, JIS, DIN 등의 지정하는 규격에 준하여 최적 설계를 하는 일종의 자동설계 프로그램의 개발이다. 구조물의 모양으로 붐 부분은 트러스 부재와 레일로 되어 있고, 거어더(girder) 부분은 상자형으로, 2개의 back stay와 1개의 tension bar로 연결되어 포털 구조물의 상부에 지지되어 있다(그림 15 참조).

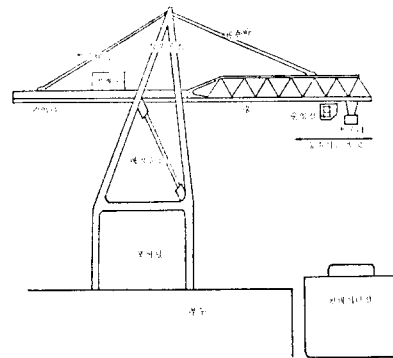


그림 15 최적설계를 위한 컨테이너 크레인의 모양

목적함수는 붐과 거어더의 무게로 잡았다. 하중조건은 운반되는 하중의 최악인 위치 조건의 경우를 생각하기 위하여 네곳의 하중 위치를 고려하였고, 자중, 풍하중등도 포함된다. 설계변수로는 붐의 이등변 삼각형 모양의 구성에서 높이와 폭, 트러스 요소의 단면적, I형 레일의 치수, 상자형 거어더의 치수등 15개이다(그림 16 참조).

제안 조건은 모든 하중조건하에서 유한 요소법으로 구해진 부재의 힘으로부터 단면내의 위험부위의 응력을 규격에서 정하는 허용응력 이내로 하는조건, 좌굴조건, 설계변수에 대한 하한 제한 조건등이다.

기존의 컨테이너 크레인에 비해 최적설계는

상당한 무게 절감을 얻을 수 있었다. 각 규격에 따른 결과는 개개의 설계변수간에는 차이가 있었으나 구조물의 무게에는 거의 차이가 없었다.

6. 앞으로의 추세

항공, 조선, 원자력 발전소등 복잡한 시스템의 설계 및 해석에서는 물론 각종 부품의 설계 및 생산에 있어서 앞으로 컴퓨터의 이용 없이는 설계와 품질의 고급화를 이루기란 불가능할 것이다. 즉, 앞으로는 CAD 시스템을 쓰느냐 안 쓰느냐의 문제가 아니고 어떤 시스템을 설치하고 어떻게 종합화된 CAD 시스템을 구성하느냐가 될 것이다.

컴퓨터를 이용하는데 있어서 그 요소를 보면, 첫째는 인력, 둘째는 컴퓨터 하드웨어(H/W), 셋째는 S/W가 될 것이며, 이 위에 설계, 해석 및 생산에 대한 방법이 올라서게 되는 것이다. 컴퓨터 H/W는 1946년 컴퓨터가 나오이래 발전을 거듭하여 그 속도와 기억 용량에 있어서 실로 눈부실 정도로 성장했다. 뿐만 아니라 단위 화폐당 생산량은 천문학적 숫자로 증가하게 되고 값도 비슷하게 싸지고 있다. 이에 반하여 S/W는 이를 따르지 못하는 물론 새로운 응용분야의 확대등으로 H/W 산업에 비해 앞으로 80 :

20으로 늘어날 전망이고 S/W의 값은 오히려 증가 추세에 있다.

공학적 응용을 위한 S/W로 우선 CG에서는 거의 완전한 3차원의 기하학적 모델링과 자료화 시스템의 확립이 있으며 이를 바탕으로 한 각종 해석과 설계를 위한 것들이 각 분야로 침투 발전될 것이다. 유한요소법의 공학해석 기법은 기하학적 모델과 자동으로 연계되어 쓰일 것이 예견되며 최적설계 기법이 현재의 일부 대형 유한요소 프로그램과 연계되어 상업적 구조물 최적설계 프로그램이 나올 전망이다. 앞 절에서 언급한 바와 같이 NASTRAN과 최적설계 기법의 연계연구가 일례이다. 구조물 뿐만 아니라 각종 시스템 설계 프로그램이 그래픽스의 자료화와 연계하여 시스템 해석과 설계가 이루어질 것이다. 각종 기구설계, 각종 제어시스템 설계 등이 예이다.

컴퓨터는 설계나 생산 각 분야의 이용만으로는 부족하고 설계와 생산을 연결하는 종합 시스템으로 발전될 것이며 이러한 시스템은 설계의 시작에서 다루어진 기하학적 모델이 그대로 자료화 되어 해석은 물론 각종 생산설계 즉, 생산관리, 가공방법 계획, 시험, 제도, 파트프로그래밍등과 무인화 공장으로 직결될 것이다. 나아가서, 컴퓨터의 지능화와 함께 생산과정에서의 응

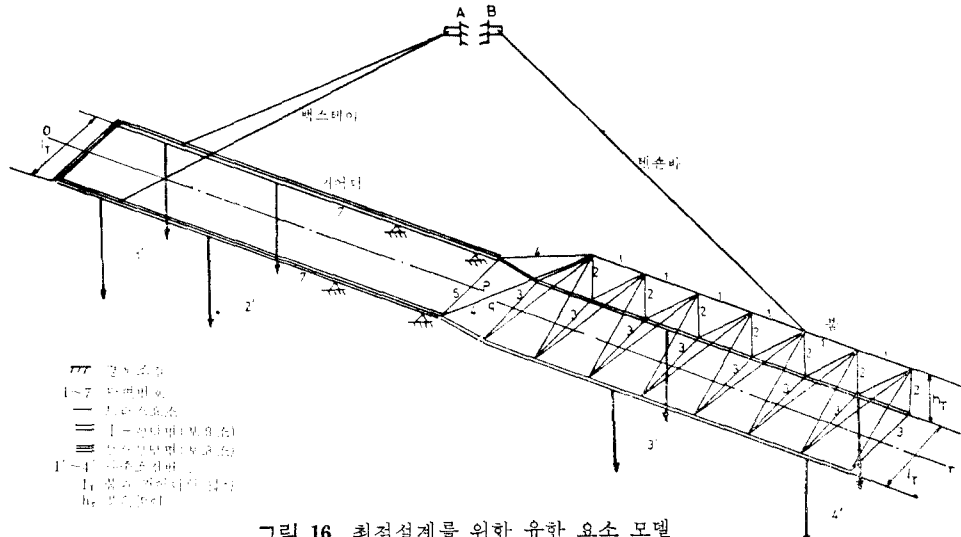


그림 16 최적설계를 위한 유한 요소 모델

용은 물론 설계의 초기 단계인 개념 설계등에도 응용이 나올 것으로 추측이 된다.

이러한 예가 소위 expert system 이라 불리는 것으로 이는 전문가적 지식(knowledge)을 컴퓨터에 저장시키고, 주어진 문제에 대해 이들에게까지 선택중에서 지능적으로 올바르게 선정하는 프로세스를 할 수 있는 것이다. 아직 초보단계이나 활발한 연구가 예상된다⁽²¹⁾.

이와 같은 발전을 단순히 선진국이 개발하는 것으로 미루어서는 항상 후진을 면하지 못할 것이므로 컴퓨터의 공학적 이용의 역사가 선진국에서도 그다지 오래되지 않은 것을 생각하여, 우리나라도 보다 집중적으로 이를 위한 장기적인 계획과 인력의 양성으로 새로운 발전에 동참하도록 하여야 할 것이다.

우선 인력의 양성과 개발이 가능하도록 환경의 확립에 주력해야 할 것으로 생각한다. 여기에는 기업체와 학교로 대별할 수 있겠는데, 학교에서는 우선 대학원 수준에서 기존의 컴퓨터 이용 시스템에 대한 각종 사용자 경험과 자기 응용분야에서의 응용경험을 가진 인력을 배출할 수 있는 시설과 조직이 되도록 정책적인 지원이 필요하다. 또한 핵심적인 교수의 확보와 이들을 중심으로 한 교과과정 및 훈련프로그램의 개발이 요구되며, 가능한 한 선진국의 관련 조직과 협력을 가지도록 하여 이들의 교육개발 활동에 참여할 수 있는 길을 터야 할 것이다. 한편 기업체에서는 연구개발 부서를 중심으로 인력확보는 물론 지금까지 해외에 의존하던 설계 및 엔지니어링을 가능한 분야에서부터 이들의 손으로 이룰 수 있도록 최대한 밀어주는 환경이 되도록 해야 할 것이다. 이를 위해서는 도입된 터연키이 CAD 시스템을 그대로 응용하는 것은 물론 자체적인 능력확보를 위한 노력에 당장은 이익이 없다 하더라도 장기적으로 방향을 설정 추진해야 할 것이다.

다음으로는, 선진국의 경우를 보면 컴퓨터의 공학적 응용이 먼저 기업체에서 발전하였으나 수년전부터 인력의 필요성 및 장기적인 연구의 필요성과 함께 대학에서 CAD의 교육과 연

구가 시작되었다. 이 단계에서 기업체와 대학간의 협력은 각기의 필요성에 따라 더욱 확실해지고 있으며, 기업체의 대학에 대한 후원이 대학의 교육과 연구활동에 크게 기여하고 있다. 최근에도 IBM에서 생산시스템 분야의 대학원 진공개발을 목적으로 200 만불씩 5개대학을 선정하여 지원하였고, 또한 4,000 만불 상당의 컴퓨터와 CAD/CAM 시스템 시설을 20개 대학에 지원한 것이 최근의 가장 두드러진 예라 하겠다. 외국과 같이 독자적인 개발을 하고 있는 터연키이 CAD시스템회사가 없는 우리나라는 학교 및 연구소와 기업체간의 연계와 협력은 더욱더 중요해지리라 생각된다.

현재 우리나라는 아직 공식적인 조사는 없으나 몇개 대학에서 CAD/CAM의 교육용이제 시작하려는 단계에 있다. 한국과학기술원은 이 분야의 교육과 연구에 노력을 기울여 왔으며 82년도 가을부터 기계공학에서의 CAD라는 대학원 과목을 처음으로 개설하여 좋은 성과를 얻었다. 그리고 유한요소법과 최적설계 등에 있어서 CG의 응용을 통한 프로그램 개발 및 응용은 과거부터의 축적된 지식을 바탕으로 독자적인 개발을 할 수 있는 비교적 좋은 위치에 와 있다고 생각되지만, 앞으로 산업체등에서 관심이 증대될 때에 실질적 응용을 기대할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- (1) Wozny, M.J. "Recent Advances in Computer Graphics for CAD/CAM", International Workshop on Advanced Automation, Taipei, Taiwan, 1982
- (2) Davis, J., Bailey, M.J. and Anderson, D. C., "Projecting Realistic Images of Geometric Solids", Computers in Mechanical Engineering, Vol. 1, No. 1, 1982
- (3) Spur, G., Krausse, F.-L. and Harder, J.J., "The Compact Solid Modeler", Computers in Mechanical Engineering, Vol. 1, No. 2, 1982
- (4) Fishwick, P.A. and Blackburn, C.L. "Ma-

- Managing Engineering Data Bases: The Relational Approach", Computers in Mechanical Engineering, Vol. 1, No. 3, 1983
- (5) Theilen, D.F., "IGES Data Exchange Between Dissimilar CAD-CAM Systems", AUTOFACT 4, Philadelphia, PA, p. 2-20/4-45 1982
- (6) Hobbs, G.D. et al, "ASAS for Finite Element Analysis", in *Computer-Aided, Process Plant Design*, ed. Leesley, M.E., Gulf Publishing Co., 1982
- (7) *Guidelines for Finite Element Idealization*, ASCE National Structural Engineering Convention, April 14-18, 1975, Meeting Preprint 2504
- (8) Kwak, B.M., et al., "A General Three-Dimensional Quasi-Static Solid Analysis Computer Program", Report E-CJC-2-77, College of Engineering, Univ. of Iowa, 1977
- (9) Seok-Soon Lee, "A Study of Elasto-Plastic Finite Element Analysis Considering Large Displacement and Strain", MS Thesis, KAIST 1984
- (10) Kwak, B.M. and Haug, E.J., "Contact Stress Minimization by Contour Design", Intern. J. for Numerical Methods in Engineering, Vol. 12, 1978
- (11) Lee, B.C. and Kwak, B.M., "A Computational Method for Elastoplastic Contact Problems", To appear in *Computers and Structures*
- (12) Eung Soo Shin, "Development of a Teaching Program for Finite Element Method", MS Thesis, KAIST, 1984
- (13) Boo-Youn Lee, "Near Optimum Mesh Generation for Two-Dimensional, Graphical Finite Element Pre-and Post-Processor", MS Thesis KAIST, 1984
- (14) Haug, E.J. and Arora, J.S., *Applied Optimal Design*, John Wiley, 1979
- (15) B.M. Kwak, Chapter 16, "Selected Topics in Mechanical System Optimal Design", in *US Army Engineering Design Handbook, Computer Aided Design of Mechanical Systems, Part Two DARCOM-P, 1706-193, 1977*
- (16) Kwak, B.M. and Lee, B.C., "Computer Program and User's Manual for Optimal Design of Beam and Truss Type Structures", Internal Report, KAIST, 1979
- (17) Kim, S.W. and Kwak, B.M., "Optimal Design of Damped Dynamic Structures", *Optimal Control Applications and Methods*, Vol. 2, No. 4, 1981
- (18) Choi, T.S. and Kwak, B.M., "Optimal Design of Lightly Damped Structures under Random Excitation", *Developments in Mechanics*, Vol. 12, Proc. of the 18th Midwestern Mechanics Conf., 1983
- (19) Cho, S.W., and Kwak, B.M., "Optimal Design of Electric Overhead Crane Girders", To appear in J. of Mechanisms, Transmissions, and Automation in Design (ASME Trans.), also presented as an ASME Paper 83-DET-32, 1983
- (20) Gyung-Jin Park, "Optimal Design of Container Crane", MS Thesis, KAIST, 1982
- (21) Computers in Mechanical Engineering, Vol. 1, No. 5, 1983

