

CAD/CAM의 초보지식



김재정

한국 IBM 소프트웨어 연구소

●1957년생
●CAD/CAM 및 기계 설계이론을 전공하였으며, 설계자동화 및 컴퓨터 그래픽스를 이용한 애니메이션에 관심을 가지고 있다.

1. 머리말

CAD/CAM기술은 해외 기술 선진국은 물론 국내에서도 설계와 가공에 본격적으로 쓰여 온 지 10여년이 지났다. 몇년 전만 하더라도 국내에서는 한 두군데의 대학에서만 CAD/CAM 강의의 하던 것이 지금은 여러 사설학원에서도 취업을 위해 쉽게 수강할 수 있을 정도로 각 산업분야에서 CAD/CAM기술의 적용이 급속히 늘어나고 있다. 이미 도입한 CAD/CAM시스템의 효율적인 이용이라든가 또는 현재 설계자의 두뇌와 손에만 의존해 오던 설계 작업에 CAD/CAM 적용이 적절할가의 판단을 위해서도 설계 기술자는 물론 기업의 경영 관리자들은 이 기술에 대한 올바른 이해가 필요하다고 보겠다. 저자는 이 지면을 통해 CAD/CAM이 무엇인지, 그 유익성 및 현재 이 기술의 한계점은 무엇인지 될 수 있는데로 이해하기 쉽게 소개함으로써 이 분야로 공부하고 싶은 분들이나 기술 도입을 계획하고 있는 분들께 도움이 되었으면 한다.

2. CAD/CAM개요

2.1 CAD/CAM의 정의와 배경

CAD(computer aided design)의 정의를 한 문장으로 간단히 내리는 것은 우리가 있겠지만

단어자체가 의미하는 그대로 폭넓게 정의해 보면 CAD란 컴퓨터를 이용하여 설계 기간을 단축시키고 제품의 질을 높이는 활동을 의미한다. 디자인 또는 설계라는 말은 기계, 전자, 건축 등 공학 분야는 물론 인간의 창작이 요구되는 모든 분야(예를 들면 의상디자인, 실내장식디자인)에서 공통적으로 쓰여지는 말이므로 CAD시스템이 많은 분야에서 폭 넓게 사용되고 있는 것은 당연하다고 하겠다.

CAD의 역사적인 배경을 통해 CAD의 정의를 좀더 구체적으로 내려보기로 하자. 현대 CAD시스템의 모태가 되는 획기적인 기술은 1962/63년 이반 서더랜드(Ivan Sutherland)가 박사학위 논문으로 개발한 스케치 패드(sketch-pad) 시스템에서 비롯된다.⁽¹⁹⁾ 스케치 패드 이전에는 컴퓨터가 주로 설계의 결과를 수치로 해석하는 것에 그쳤으나, 스케치 패드에서의 획기적인 발상은 디자이너가 최초로 그림(graph)을 그릴 수 있는 컴퓨터 화면과 라이트 펜(light pen)을 이용, 컴퓨터와 대화(interaction)를 하며 설계를 한다는 것이었다. 즉 대화식 컴퓨터 그래픽스의 개념을 개발, 컴퓨터에 응용한 것이 서더랜드 박사가 현대 CAD 발전에 기여한 혁혁한 공이라고 할 수 있다. 일반 CAD시스템이 설계에 도움을 주는 다른 컴퓨터 프로그램들과 다른 점은 CAD시스템은 컴퓨터 그래픽스가 시스템의 핵심 부분을 이룬다는 점이다. 즉 디자이너가 어떤 컴퓨터 프로

그램의 도움을 받아 설계를 하더라도 만일이 프로그램이 대화식 컴퓨터 그래픽스를 이용하지 않은 것이라면 그 패키지는 CAD시스템이라고 볼 수 없다. 그 좋은 예로 수치 최적화 프로그램(numerical optimization program)을 들 수 있다. 최적화 프로그램 디자이너가 설계시 도움을 많이 받는 중요한 패키지 중의 하나지만 컴퓨터 그래픽스를 이용하지 않았으므로 그 자체만으론 CAD시스템이라고 불리우지 않는다.

왜 컴퓨터 그래픽스가 CAD와 떼어놓을 수 없는 사이가 되는지 생각해 보면 디자인에서는 결과의 많은 부분이 도형으로 나타내어질 수 있다 자동차 설계가는 자동차의 몸체를, 비행기 설계가는 비행기 동체를 그리고 의상 디자이너는 옷의 모양을 그림을 이용하여 설계를 표현한다. 종래의 도면은 연필과 자(지우개는 필수) 등을 이용하여 시간을 많이 들여 그려졌고 혹시 완성된 도면을 고치려 들면 많은 부수작업이 뒤따라야 했다. 특히 자동차나 비행기 설계는 수 만장의 도면을 그려야 하므로 그것의 보관, 관리 문제라든가 부서간의 정보 전달시 많은 어려움이 뒤따랐다. 이와 같은 디자이너들의 어려움을 컴퓨터로 극복하기 위해서 학자들은 컴퓨터를 이용해 그림을 그릴 수 있는 컴퓨터 그래픽스를 연구하기 시작했고 컴퓨터 그래픽스는 소프트웨어의 꽃으로 특히 지난 10년 동안 하드웨어 성능의 성장에 힘입어 눈부신 발전을 해 온 학문이다.

컴퓨터 그래픽스 분야가 넓은 학문이지만 특정한 전공이 필요치 않고 기초적인 수학 지식만 갖고도 공부할 수 있다. 현재 이 분야에서 가장 유익하게 읽히고 마치 백과사전처럼 컴퓨터 그래픽스의 대부분을 수록한 책은 미국 조지 워싱턴(George Washington) 대학 전산과 교수로 지내는 폴리(Foley) 교수와 다른 세 명의 교수가 공동으로 펴낸 "Computer Graphics, Principles and Practice"라는 책이다.⁽⁵⁾ 이 책은 컴퓨터 그래픽스에 관심있는 사람들 책꽂이에서 꼭 볼 수 있는 책으로 이 분야에서

는 바이블로 여겨지는 책이다. 폴리 교수는 곧 미국의 조지아 텍(Georgia Tech.)으로 옮겨서 더욱 왕성한 연구 활동을 할 예정이다.

컴퓨터 그래픽스 중에서도 CAD/CAM의 핵심이 되는 부분은 기하형상화(geometric modeling)라는 기술이다. CAD의 발전사를 이야기한다는 것은 곧 이 기하형상화 기술의 발전사를 이야기하는 것과 같다고 볼 수 있다. 기하형상화란 쉽게 말해 물체의 기하학적 모양을 수식이나 자료구조(data structure) 등을 이용하여 컴퓨터에 표현하는 기술이다. 물체의 모양이 일단 기하형상으로 표현되면 그로부터 플로터(plotter)를 이용하여, 도면을 그려 낼 수 있고 부피나 무게중심이나 하는 기하학적 성질 계산은 물론 열전달 상태나 파괴강도 실험도 유한요소방법을 써서 계산할 수 있다. 또한 이 기하형상의 모양을 그 표면에 있는 여러 점들의 좌표로 표현한 후 NC(numerically-controlled) 공작 기계를 이용 기하형상 모양과 똑 같은 실물을 자동으로 깎아낼 수 있다. 이와 같이 CAD의 기하형상을 가지고 가공과 생산에 응용하는 것을 CAM(computer aided manufacturing)이라고 부른다. 이런 이유로 인해 CAD와 CAM은 종종 같이 붙어 다니며 CAD/CAM이라고 불리우며, 그 기능은 그림 1과 같이 표현할 수 있다. 60년대초부터 CAD 기술은 설계 도면작성을 위한 도구 및 NC 기계를 이용한 자동가공인 CAM의 기술적인 동반자로 두각을 나타내기 시작하여 현재와 미래의 필수적인 설계도구로 자리잡기까지 응용 소프트웨어 분야에서 괄목할 만한 성장을 해왔다. 60년대와 70년대는 CAD/CAM시스템을 수용할 수 있는 하드웨어 값이 상대적으로 비싸 주로 항공, 자동차, 선박회사 같이 대기업만이 CAD/CAM시스템을 사용할 수 있었지만 80년대에 들어서는 PC처럼 싸고도 고성능의 하드웨어가 급속도로 보급됨에 따라 이제 CAD/CAM시스템은 소규모 회사도 쉽게 도입하여 설계에 사용할 수 있는 도구로 자리잡게 되었다. 국내에서는 70년대 말, 현대, 기아 등

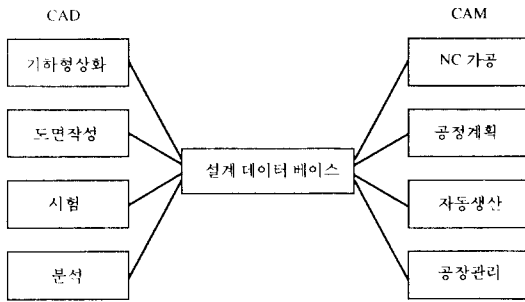


그림 1 CAD/CAM의 기능

의 자동화회사들을 선두로 CAD/CAM이 실제 설계에 사용되기 시작하였고 최근에는 대기업의 최고경영자들이 CAD/CAM의 중요성을 인식하면서, 회사경영 차원에서 지원을 아끼지 않고 있다.

2.2 기하형상화(Geometric Modeling)

기하형상화를 좀더 쉽게 이해하기 위해 모델링(modeling)이란 단어를 잠깐 생각해 보기로 한다. 예를 들어 100M높이의 건물에서 돌이 땅에 떨어지는데 걸리는 시간을 알아내는 방법을 생각해 보자. 첫번째 방법은 100M높이의 건물에 직접 올라가서 실제로 돌을 떨어뜨리고 시간을 재보는 것일 것이다. 이 방법은 번거롭고 여러 사람이 필요하다. (돌을 떨어뜨리는 사람과 시간을 재는 사람). 하지만 실제 상황이 고려된 실험이므로(예를 들면 공기저항) 비교적 정확한 결과를 얻을 수 있을 것이다. 두번째 방법은 직접 100M건물에 올라가지 않더라도 간단한 물리 공식을 이용, 그 시간을 계산할 수 있는 방법일 것이다(독자들을 무시하는 것 같아 이 공식을 소개하는 것은 생략하기로 한다). 이 때 이 간단한 공식이 바로 자유낙하라는 자연의 현상을 모델링한 것이다. 이 두번째 방법은 첫번째 방법에 비해 훨씬 간단하고도 시간이 절약되나 공기의 저항 등이 고려되지 않았으므로 실제값과 차이는 있을 것이다.

기하형상화를 생각해보자. 어느 화장품 회사에서 화장품을 담은 용기를 설계한다고 하자

(실제로 외국에서는 많은 화장품 용기가 CAD 시스템으로 디자인된다). 종래에는 디자이너가 도면에 그림을 그려 용기의 모양을 설계하고 그 모양대로 만드는 데 필요한 재료(예를 들면 플라스틱)의 양을 추측하고 그 용기에 얼마만큼의 화장품을 담을 수 있는지 등을 그림을 가지고 측정할 것이다. 그리고 실제로 나무를 깎아 그 용기를 만들어 보고 나무용기의 부피 등을 물을 이용하여 측정해 볼 것이다. 만일 부피가 원하는 값이 나오지 않으면 용기모양을 수정, 설계하고 다시 나무용기를 만들어 그 부피를 측정할 것이다. 만일 설계하고자 하는 화장품 용기가 단순한 모양이라면(예를 들면 공모양이나 원추모양 등) 디자인 과정이 짧겠지만, 현대감각에 응하기 위해 “팬시(fancy)”한 모양이라면 (예를 들면 용기가 곡면이 많은 경우)디자인에 더 많은 시간이 걸릴 것이다. 이와 같이 실제로 나무용기를 만들어 보는 과정을 거치지 않고(마치 우리가 물리공식을 써서 100M 상공에서 돌이 떨어지는데 걸리는 시간을 알 수 있는 것처럼) 용기의 기하학적 모양을 수식이나 자료구조 등을 이용하여 컴퓨터에 표현한 후 설계에 필요한 여러 가지 정보를 얻을 수 있게 하는 기술이 기하형상화기술이다. 물체의 모양이 일단 기하형상화되면 그 물체의 여러 가지 기하학적인 정보인 체적이라든가 무게, 무게중심 등을 나무용기를 직접 만들어 보지 않고 정확하게 계산할 수 있다. 또한 컴퓨터 화면을 통해 디자이너가 모델을 회전, 변환 등을 시켜가면서 여러 각도에서 볼 수 있고, 원하는 색상으로 처리해 마치 실제의 화장품 용기를 TV로 보는 효과를 컴퓨터로부터 갖게 된다. 만일 이 시점에서 디자이너가 자기가 설계한 화장품 용기에 만족하지 못할 경우 컴퓨터의 여러 입력 장치를 이용, 용기의 크기나 모양을 수정할 수 있는 것이다. 또한 이 기하형상을 플로터를 이용하여 도면으로 나타낼 수도 있다. 그 다음 기하형상의 중요한 응용의 하나는 이 용기의 데이터를 NC공작기계로 보내, 나무나 특수 재질을 이용, 실제로 용기의

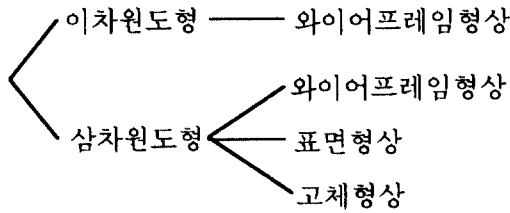


그림 2 세 가지의 기하형상기술

모양을 자동으로 그대로 깎아 보는 것이다. 현재 개발된 CAD시스템들이 쓰고 있는 기하형상기술을 크게 세 가지로 분류하면 그림 2와 같이 나타낼 수 있다.

CAD시스템의 특성은 위의 형상 기술중 어느 것을 채택했느냐에 따라 크게 좌우된다. 그러므로 CAD시스템을 도입할 때 첫번째로 고려해야 할 중요한 사항은 현재 CAD시스템을 사용하여 설계를 하려는 과제에 그림 2에 나타낸 세 가지 기술중 어느 것이 적당한가를 심사숙고하여야 한다. 위의 세 가지 기술중 고체형상기술이 다른 두 기술보다 이론적인 면에서 훨씬 발달한 방법이다. 하지만 그렇다고 해서 고체형상기술을 이용한 CAD 시스템을 설계에 사용하는 것이 꼭 최선의 방법은 아니다. 위의 세 가지 기술에 대해서는 많은 서적과 논문(4,13,14,15,17)에 아주 상세히 언급되어 있으므로 여기서는 간단히 그 기술들의 장단점만 간단히 소개해 보기로 한다.

와이어프레임은 위의 세 가지 방법 중에 가장 간단한 기술로 그림 3과 같이 꼭지점의 좌표와 꼭지점을 이어주는 변으로만 물체를 표현한다. 이 기술은 원래 이차원 물체를 형상화하기 위해 60년대 전후에 개발되었고 기술의 발전으로 70년대부터는 삼차원 물체형상에도 적극적으로 사용되기 시작했다. CAD시스템의 주요기능이 단순히 도면 작성일 경우에는 별로 불편함이 없이 쓸 수 있는 기술이다. 현재 실제 산업에서 쓰이고 있는 CAD시스템의 약 80%가 와이어프레임 기술을 사용하고 있다. 와이어프레임은 저장해야 할 데이터(data)의 양은 적으나 디자이너가 여러 가지 유익한 정

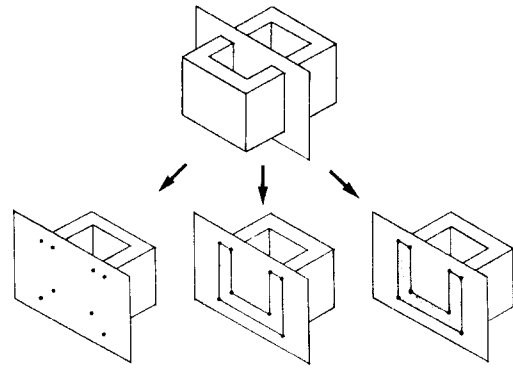


그림 3 세 가지의 기하형상기술로 나타낸 물체

보를 얻어내기에는 한계가 많고 수학적으로도 완전한 방법이 아니다. 예를 들면 그림 3에서 디자이너가 실수로 변(edge)을 하나 그리지 않았어도 컴퓨터가 틀린 점을 발견하지 못한다.

표면형상 기술은 물체의 모양을 수학적인 곡면의 집합으로 나타내는 기술로서 비행기 동체나 자동차 바디판넬(body panel) 등과 같이 표면의 모양을 NC기계로 가공하는 것이 설계의 주 목적일 때 유용하게 쓰이는 형상 기술이다. 예를 들면 실제로 자동차 바디판넬이 제작되기 위해서는 자동차 설계자는 우선 미술가가 그린 자동차 스케치를 보면서 설계도면을 작성한다. 그로부터 실물보다 작거나 같은 크기의 진흙모형(clay model)을 여러 번 만들어 보며 교정을 거쳐서야 비로소 NC 기계에 필요한 데이터를 진흙모형으로부터 수집할 수 있다. 진흙모형을 만드는 작업은 시간과 경비가 많이 소요될 뿐 아니라 진흙모형으로부터 데이터를 수집하는 작업자체도 시간이 많이드므로 기하형상으로 대체하기 위해 표면형상기술이 개발되었다고 볼 수 있다. 현재의 표면형상 기술은 진흙모형을 완전히 대체할 만큼 발전하지는 못했지만 설계에 필요한 시간을 현저히 줄여주고 있다.

디자이너는 컴퓨터의 기하형상으로부터 도면을 그리거나 NC 가공하는 것 이상을 요구한다. 자기가 설계한 부품의 질량도 알고 싶을

것이고 또 강도실험도 해보고 싶을 것이다. 이와 같은 것을 만족시키기 위해 개발된 기술이 고체형상기술이다. 고체형상기술은 그림 3과 같이 물체의 표면은 물론 내부까지 수학적으로 표현되는 기술로 와이어프레임이나 표면 형상에 비해 훨씬 많은 기술적인 응용과 실험을 적용할 수 있다. 고체형상기술은 여러 가지가 있지만 그 중에 대표적인 것이 그림 4와 같이 B-rep(boundary representation)과 CSG(constructive solid geometry)이다. B-rep은 물체를 면의 합으로 나타낸 것이고 CSG는 집합의 개념(boolean)을 써서 복잡한 물체를 간단한 도형(primitive : 예를 들면 직육면체, 원통, 구 등)의 조합으로 나무구조를 나타내는 기술이다. B-rep이나 CSG 말고도 다른 여러 가지 고체형상기술이 있다. 관심있는 분들은 역시 참고문헌^(4,13,14,15,17)을 통해 익히기 바란다.

디자이너가 고체 형상으로부터 여러 가지 설계에 필요한 정보를 얻을 수 있고 실험을 할 수 있다는 면에서 현재로서는 고체형상기술이 가장 발달된 기술이다. 또한 현재 CAD시스템들은 와이어프레임에서 고체형상기술로 가는 추세로 있다. 그러므로 고체 형상의 문제점에 대해 좀 더 자세히 언급하기로 하자. 앞으로 고체형상기술을 디자이너가 편리한 도구로 쓸

수 있게 되기까지는 다음과 같은 문제들이 우선 해결되어야 한다. 첫째로 현재의 고체형상기술은 너무나 엄청난 양의 기하데이터를 요구한다. 복잡한 기하모양을 가진 자동차나 비행기 부품의 고체형상을 그래픽화면에 40~50개 정도 채색하여 그릴려면 엔지니어링 워크스테이션으로 약 30분 정도가 소요된다. 그러므로 부품수가 수만개씩 달하는 자동차나 비행기를 한 화면에서 모두 고체형상으로 그리기에는 현실적으로 어렵다. 이와 같은 문제를 극복하기 위해 미국의 여러 컴퓨터 회사에서는 그래픽을 위한 특별 슈퍼컴퓨터 개발에 많은 투자를 하고 있다. 두번째 문제는 고체형상을 만드는데 너무 많은 시간이 요구된다는 것이다(user interface). CSG의 경우 커넥팅로드를 형성하는 데는 약400개 이상의 간단한 도형들을 조합시켜야 하는데 이들의 각 위치를 설정하면서 부울리언(boolean)을 적용하는 데는 많은 시간이 소요된다. 혹시 커넥팅로드형상 과정에서 이미 조합시킨 간단한 도형을 교정해야 하는 경우는 이 도형을 다른 많은 도형들 가운데서 찾아내야 하거나 아니면 CSG 나무구조(tree structure)를 보고 찾아야 하는데 이 작업은 매우 불편하다(커넥팅로드를 고체형상으로 만드는 한 사람이 작업해 일주일 정도 시간이 걸린다). 고체형상을 만드는데 드는 시간을 줄이는 친근한 사용자 인터페이스(user interface) 개발은 현재 고체형상기술이 안고 있는 큰 숙제이다(주의 : 와이어프레임이나 표면형상 기술도 역시 사용자 인터페이스 문제를 갖고 있다). 사용자 인터페이스가 기하형상에서 어려운 문제로 남아 있는 근본적인 원인은 우리가 이차원 화면을 통해 삼차원 물체를 형성해야 하기 때문이다. 고체형상기술은 위의 대표적인 두 문제 말고도 알고리즘의 안정성 문제라든가 또는 형성할 수 있는 도형의 복잡성에 한계가 있다든가 하는(즉 아주 복잡한 곡면을 형성하는데는 기술적인 문제가 있다) 등의 문제가 있다. 미래의 CAD 발전을 위해서는 고체형상기술의 발전의 필수적이라 하겠다.

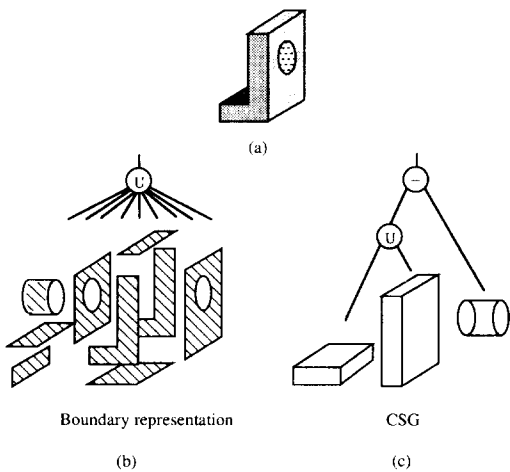


그림 4 B-rep과 CSG

3. CAD와 설계지식

현재의 대부분 CAD시스템들은 아이러니컬하게도 설계가 거의 끝날 무렵에 가서야 비로소 디자이너에게 유용한 도움을 준다. 즉 달리 표현하면 CAD시스템은 일반적으로 설계의 결과인 도면을 컴퓨터에 입력시키는 도구로 쓰여지는 것이다. 하지만 설계에서 소요되는 대부분의 시간은 설계도면이 나오기 전의 작업에 소요되는 것이고 설계도면이란 단순히 설계결과를 나타내는 방법에 불과하다. 분야는 틀리지만 비슷한 예를 하나 들어보자. 요즘은 소설가들이 워드 프로세서(word processor)로 원고를 많이 쓴다. 원고지에 쓰는 것보다 훨씬 편리하고 시간도 절약되기 때문이다. 소설을 쓸 때 소설가는 대부분의 시간을 작품구상이나, 시대적배경 연구, 인물설정, 줄거리 등에 보내며 그와 같은 것의 결과가 비로소 글로 나타나져 워드 프로세서로 문자화되는 것이다. 여기서 워드 프로세서는 소설가가 그의 작품을 글로 표현할 수 있기 전까지는 전혀 소설가에게 도움을 주지 못하고 있다. 즉 작품의 질을 높인다는가 또는 소설내의 인물간의 대화를 자동으로 만들어 준다든가 하지는 못한다. 소설가에게 워드 프로세서 경우와 마찬가지로 현재 대부분의 CAD시스템이 설계자에게는 도면을 그릴 때 편리하게 사용할 수 있는 도구이지 필요할 때 설계 지식을 제공한다든지 하는 식의 도움을 주지 못하고 있다.

갈수록 경쟁이 심해지는 제조산업에서 설계

기술은 기업의 중요한 재산이다. 현재 미국 일본 등의 여러 기술 선진국의 기업들은 풍부한 경험과 지식을 가진 그러나 곧 정년 퇴직이 임박한 기술자들의 설계 지식을 그 기술자들이 떠나도 회사에 영원히 남아 있게 하기 위하여 여러 가지 방법들을 강구하고 있다. 저자가 실제로 경험했던 일을 소개하면서 문제의 심각성을 생각해 보자. 지금으로부터 약 6년전, 저자가 박사학위 학생으로 있었을 때 일이다. 하루는 제너럴 모터스(GM)에 소속되어 있는 트럭과 버스 제조회사의 기술담당 이사가 학교로 찾아와 저자의 지도교수와 대학원생들에게 다음과 같은 고민을 털어 놓았다. 자동차에는 진동과 충격 방지용으로 쓰이는 부품중에 그림 5에 나타낸 바와 같은 리프(leaf) 스프링이라는 게 있다. 현재 GM의 트럭과 버스 제조회사에서는 리프 스프링이 한사람의 손에 의해서 설계가 된다고 해도 과언이 아니고 그 사람은 기술담당 이사 밑에서 일하는, 경험이 풍부한 조지라는 노인이었다. 이 노인은 정년 퇴직이 훨씬 지났지만 회사의 간곡한 부탁 때문에 계속 GM에서 일하고 있었고 건강 문제로 곧 직장을 그만두어야 한다고 했다. 회사에서는 조지와 함께 리프 스프링을 설계하는 젊은 설계자들이 여러 명 있지만 그들이 설계한 리프 스프링은 성능면에서 조지의 것과 비교가 안되고 설계 시간도 많이 걸린다고 한다. 기술담당 이사는 조지의 지식을 다른 설계자도 같이 쓸 수 있게 하기 위해 조지에게 스프링 디자인 가이드 라인도 만들게 하고 또 포트란으로 프로그램도 만들게 했다. 젊은 설계자들은 조지의 컴

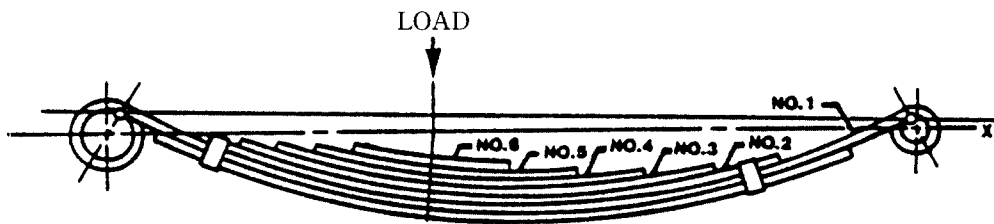


그림 5 리프 스프링

퓨터 프로그램을 이용 스프링을 디자인했으나 이상하게도 조지가 만드는 스프링의 성능을 따라가지 못했다. 하나 재미있는 사실은 조지는 자기 프로그램을 이용 스프링을 디자인할 때, 프로그램이 주는 결과를 그대로 받아 들이는 것이 아니라 자기 나름대로 경험과 지식을 가지고 결과를 검토한다. 만일 지금의 결과로 리프 스프링을 만들시 성능이 떨어진다고 판단되면 조지는 자기가 직접 만든 포트란 프로그램을 자기의 경험과 지식을 가지고 조금 고친 후 다시 프로그램을 돌려 새로운 결과를 구한다. 이와 같이 몇 번 프로그램을 고쳐가며 설계한 조지의 스프링은 다른 설계자들보다도 우수한 것이었다. 이것이 기술담당 이사가 털어놓은 고민의 요약이었다.

조지가 프로그램의 결과를 보면서 자기 나름대로 우수한 스프링인지 아닌지 판단할 수 있게 하는 지식은 무엇인가? 또 프로그램의 어느 부분을 고쳐야 좋은 결과를 얻는지는 어떻게 판단하는 것인가? 이런 것들을 알기 위해 그 해 저자와 저자의 지도 교수는 디트로이트(Detroit)로 가서 조지를 방문했다. 하지만 예상했던 대로 별로 큰 성과를 거두지 못했다. 조지의 리프 스프링 설계 지식은 수식과 알고리즘으로 전부 표현되는 것이 아니었다. 기계 설계도 어느 수준에 이르면 마치 우리 조상들이 신비의 기술로 도자기를 구워냈던 것처럼 그 무엇이 있는 게 아닌가 싶었다. 또 하나는 설계의 대가들이 자기의 지식을 남에게 알려주는 데 인색하였다. 그들은 지난 수 십년 동안 피와 땀으로 터득한 지식에 대해 보호본능을 가지고 있었다. 이와 같은 보호본능은 저자가 미국에서 여러 회사와 연구과제를 하는 동안 조지뿐만 아니라 많은 설계의 대가로부터도 역시 받을 수 있었다(이 점은 설계자들의 지식을 소프트웨어로 개발하는 사람들이면 쉽게 부딪히는 문계점이다). GM을 방문한지 2~3개월 후에 그 기술담당 이사로부터 슬픈 내용의 전화가 한 통 걸려왔다. 조지가 며칠 전 심장마비로 죽었다는 비보였다. 이와 같이 가까운 설

계 기술들이 영영 무덤으로 사라지는 일은 GM의 경우만 아니라 모든 제조회사들이 갖고 있는 문제라 하겠다. 현재의 CAD가 단순히 도면을 그리거나 제한된 수식으로 기하 형상을 변화시키는 수준에서 벗어나 마치 대가들이 설계한 것과 같은 결과를 얻기까지는 앞으로 갈 길이 멀 것이다. 하지만 중요한 것은 비록 대가의 지식을 전부 프로그램화할 수 없더라도 부분적인 것이나마 시도를 해야 한다는 것이다. 이 경우 초보 설계자는 그 프로그램을 이용 설계시 시행착오를 종전보다 줄일 수 있을 것이고 또한 초보 설계자에서 대가가 되는데 걸리는 시간이 단축될 것이다.

현재 많은 학자들이 설계 지식과 CAD를 접목시키려고 노력하고 있다. 동경대학교 정밀기계공학과와 요시카와 교수와 기무라 교수들이 주축이되어 지적인 CAD(intelligent CAD)의 연구에 많은 노력을 기울이고 있고 또한 오레곤 주립대학의 울만(Ullman)교수팀이나 많은 학자들이 인공지능(artificial intelligence) 기술과 CAD 기술을 접목하려고 애쓰고 있으나 아직 획기적인 진전은 없다.^(2,6,20) 부분적이거나 설계의 지식을 CAD와 훌륭히 연결시킨 사례는 현재 푸에토리코대학의 기계과에 재직 중인 세라노(Serano) 교수의 석·박사 학위 논문에서 찾아볼 수 있다.^(7,18) 그의 연구 논문 이후 그와 유사한 개념의 아이디어들이 여러 CAD 소프트웨어 회사에 의해 상업용으로 개발되고 있다. 그의 논문을 간단히 소개하면 그는 그림 6(a)와 (b)에서 보듯이 어떤 부품 설계시 적용되는 기하학적인 수식이나 엔지니어링 수식들을 기하형상과 연결시킨 후 그림 6(b) 수식의 입력 수치를 변화시키면 기하형상이 자동으로 변화되는 개념을 개발했다. 예를 들면 그림 6(a)에서 빔(beam)에 작용하는 힘F를 설계자가 두배로 늘리면 컴퓨터는 그림 6(b)의 연립방정식을 풀어서 B와 H의 값을 구하고 자동으로 그림 6(a)를 그 값에 맞게 다시 그려준다. 만일 복잡한 부품의 설계시는 그림 6(b)의 식이 수 십 수 백 개가 될

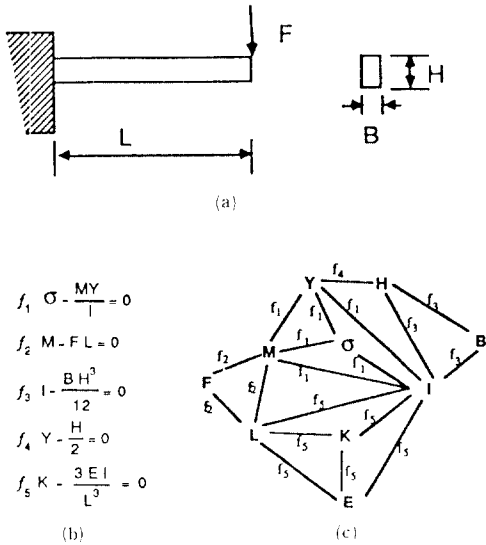


그림 6 기하형상과 엔지니어링 수식을 나타낸 그래프

것이고 이 경우 설계자는 여러 가지 실수를 저지를 가능성이 있다. 예를 들면 연립방정식에서 변수의 개수가 식의 개수보다 더 많다든지 하는 것이다. 이 경우 그림 6(c)에서 보는 바와 같이 식과 변수들의 관계를 그래프로 나타낸 후 그래프이론(graph theory)을 이용하여 일목요연하게 해결할 수 있는 방법들을 제시해 주고 있다. 앞으로 설계의 수식을 통해 기하형상을 설계과정 중 변화시키는 방법은 설계자들이 절대 선호하는 방법이므로 미래의 상업용 CAD시스템의 주기능의 하나로 등장할 전망이다.

세라노 교수의 방법은 설계 지식이 모든 수식으로 표현될 수 있을 때 매우 강력한 힘을 발휘할 수 있다. 하지만 불행히도 설계자들이 오랜 경험을 통해 쌓아온 노하우는 수식이나 알고리즘으로 명확히 나타내기 힘든 경우가 많고 심지어는 체계적으로 말로 표현하기조차 힘들 때가 있다. 다만 설계 도중 그때 그때 일어나는 상황의 변화에 따라 경험에서 우리나라 판단력으로 문제를 해결하는 경우가 많다. 설계 지식의 이런 속성은 CAD를 지적인 도구로 만드는데 큰 걸림돌이 되고 있다.

4. 부품 설계와 기계전체설계

기계란 여러 개의 부품들이 집합을 이루어 부품과 부품끼리 연관을 갖고 주어진 기능을 수행한다. 일반적으로 기계를 설계할 때는 각 부품 하나 하나가 단위가 되어 설계가 시작되지만, 그 부품이 다른 부품들과 가지는 연관을 디자이너는 항상 고려하여야 한다. 하지만 현재의 CAD시스템은 기계 전체의 차원에서 설계를 도와 주는 것이 아니라 부품 하나 하나의 독립적인 차원에서 설계를 도와주고 있다. 예를 들면, 자동차 엔진의 각 부품들은 CAD시스템을 이용하여 컴퓨터에 따로따로 고체형상으로 입력이 되어 있고 이와 같이 각자 설계된 수백 개의 자동차 엔진 부품들을 화면에 불러내 각부품들의 위치를 변화시켜 가며 전체 엔진모양으로 조립시키려 들면 상당한 시간이 소요된다. 또한 설계의 변경이 생겨 피스톤의 지름을 불가피하게 바꾸어야 할 경우 그로 인해 엔진 각 부품의 사이즈가 변화가 일어날 것이고(예를 들면 실린더 지름도 바뀌어야 하고) 어찌면 컴퓨터에 이미 입력되어 있는 대부분의 부품들을 다시 설계하여 재입력시켜야 할 지도 모른다. 현재 CAD 시장에서는 부품 하나에 일어나는 설계 변화로 인해 생기는 파급 효과를 다른 부품에 자동으로 고려하여 설계 수정을 하는 기능을 제공하는 CAD시스템은 거의 없다. 이와 같은 문제를 보완하여, 하나의 부품 차원에서 뿐만 아니라 여러 개의 부품이 모인 그룹 차원이나 전체기계 차원에서 설계를 할 수 있는 CAD 기술의 연구는 학교나 대기업의 부속 연구소에서 지속적으로 시도되어 왔고 그 중에 대표적인 연구 기관으로는 미국 MIT 공대에 소재하고 있는 가사드(Gossard) 교수가 이끄는 MIT CADLAB 연구팀을 손꼽을 수 있다. 가사드 교수의 연구 비전은 현재의 CAD시스템이 기하형상의 기능만 갖추어져 있고 설계에서 가장 중요한 엔지니어링 지식을 전혀 고려시키지 못하는 맹점도 보완시키고

적극 노력하고 있다.

부품설계 차원에서 벗어나 전체설계 차원에서 CAD는 어떤 도움을 주어야 하는지 대표적인 문제를 가지고 생각해 보자. 흔히 CAD시스템으로 기하형상을 만든 후 따르는 중요한 응용 과제 중의 하나는 형상과 형상끼리 겹치는 부분이 없는지 간섭검사(interference detection)를 하는 일이다. 간섭검사에는 정적 간섭검사(static interference detection)와 동적 간섭검사(dynamic interference detection)가 있다. 정적 간섭검사는 각 부품의 위치가 모두 고정되어 있을 때 하는 검사이고 동적 간섭검사는 부품들이 시간에 따라 움직일 때 하는 검사이다. 정적인 예는 TV의 각 부품들을 CAD 시스템을 써서 기하형상으로 만든 후 컴퓨터 상에서 모든 형상을 모아서 조립을 했다고 가정하자.⁽¹⁰⁾ 그러면 설계자가 이 조립으로부터 검사하고 싶어하는 것 중의 하나는 조그만 공간 내에 있는 TV 부품들이 내부의 탄 부품들과 간섭이 일어나지 않을까 하는 문제일 것이다. 동적 간섭검사의 예로서는 엔진 내부에서 움직이는 커넥팅로드를 들 수 있다. 그림 7에서 보는 바와 같이 엔진이 작동하는 동안 내부에서는 커넥팅로드가 상하 운동과 회전운동을 할 것이고 다른 부품들은 이와 부딪히지 않게 배치되어야 한다. 커넥팅로드는 움직이는 동안 복잡한 모양의 자취를 만들 것이고(그림 7에서 검게 칠 부분) 이를 고려하면서 다른 부품의 위치를 선정한다는 것은 도면만 가지고는 힘든 작업이다. (저자의 박사 학위 논문에서 부분적이거나 이와 같은 문제의 해결책을 제시하고 있다.⁽⁹⁾

간섭검사를 통해 미리 문제점을 발견하는 것은 CAD시스템에 요구되는 가장 중요한 응용 중의 하나이다. 기술이 발전할수록 모든 기계들은 복잡해지고 상대적으로 부피도 작아진다. 그로 인해 설계자가 실제 간섭검사에 소요하는 시간은 전체 설계 시간 중의 상당한 비중을 차지하고 있다. 현재 제조 산업체들에서 실제 사용하는 간섭검사의 종류를 살펴보면 우선 가장

초보적인 방법으로, 손으로 그렸던, CAD시스템으로 그렸던 2차원의 도면을 들여다 보면서 간섭을 찾아내는 일이다. 때로는 도면을 마분지에 붙이고 가위로 부품 모양을 그대로 잘라낸 후 마분지 모형을 가지고 움직여 가며 위치도 설정하고 간섭검사도 한다. 하지만 2차원에서 3차원 물체의 모든 간섭을 찾아내는 것은 불가능한 일이다. 그 다음으로는 실제 나무나 진흙을 이용 각 기계부품 모양을 그대로 깎아서(이 모형을 흔히 mockup이라 부름) 조립해보면서 간섭이 없는지 찾아보는 방법이다. 이 방법은 많은 경비와 시간이 들고 특히 부품의 모양이 설계도중 자주 바뀌는 경우는 효율적인

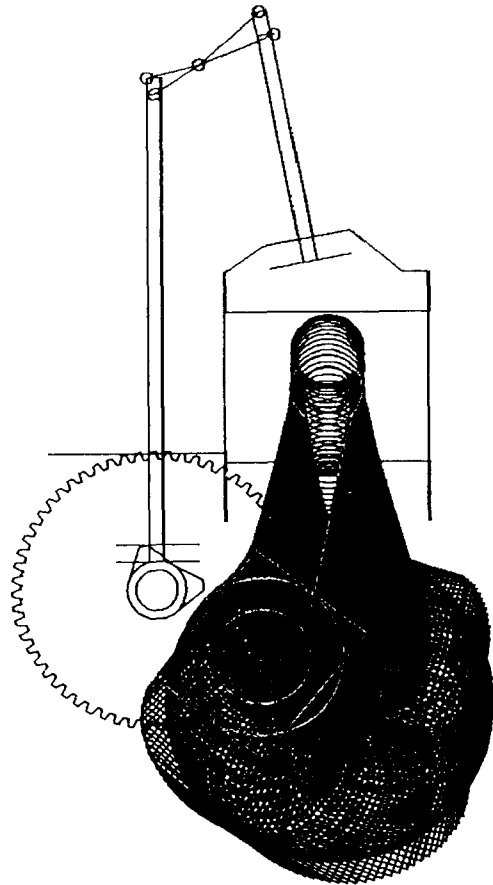
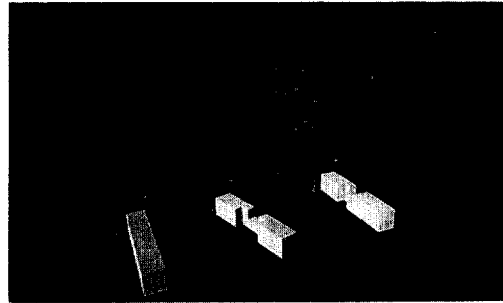


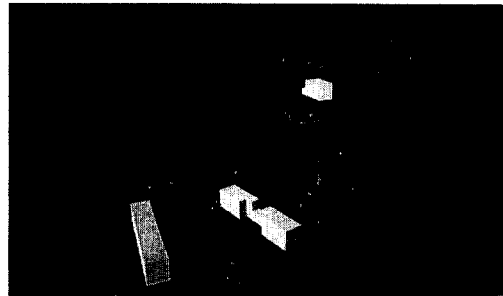
그림 7 커넥팅로드가 지나간 자취와 (검은 부분) 캠축의 위치

방법이 되지 못한다. 좀더 진보된 방법으로는 CAD시스템으로 만든 기하형상에 간섭검사 알고리즘을 적용 부품 간의 간섭을 자동으로 계산하는 이상적인 방법이다. 실제로 비행기, 자동차를 비롯 가전 제품들을 만드는 제조 산업체에서는 CAD시스템으로부터 가장 질실히 원하는 기능 중의 하나가 효율적이고 안정성 있는 (reliable) 간섭검사이다. 예를 들면 현재 보잉 항공회사에서는 모든 간섭검사를 CAD시스템으로 할 계획을 가지고 있다. 자동 간섭검사를 위해서는 각 부품들은 고체 형상으로 만들어져야 하고 간섭검사 자체또한 엄청난 CPU 시간을 차지한다. 또 하나는 자동 간섭검사 알고리즘의 안정성에도 문제가 있다. 자동 간섭도중, 알고리즘이 수학적으로 불완전하거나 수치오차(numerical error)가 축적되는 등의 이유로 인해 컴퓨터가 중간에 중지하거나 미완성된 결과를 주지 못하는 경우가 빈번하다. 간섭검사 알고리즘은 2차원의 다변형이나 곡선들로부터 시작 3차원의 복잡한 기하형상들을 위해 많이 개발되어 왔지만 효율성이나 안정성면에서 아직 만족할 만한 결과를 주지 못하고 있다.^(1,3) 앞으로 설계 분야에서 CAD의 응용범위 확대와 유용성을 높이기 위해서는 효율적이고 안정성 있는 간섭검사 알고리즘 개발이 급선무라 하겠다.

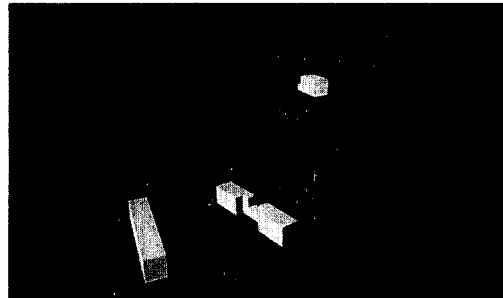
차세대의 CAD시스템이 갖추어야 할 또 하나의 중요한 기능 중의 하나는 모의조립 실험이다. 모의조립 실험이란 CAD시스템으로 만든 각 기하형상을 실제 부품을 조립해 보듯 컴퓨터 상에서 모의로 조립해 보는 것으로 문제의 성격은 동적 간섭검사의 경우와 비슷하다. 이와 같은 성격의 문제는 로보틱스(robotics)에서도 많이 연구되고 있다.⁽¹²⁾ 복잡하고 부피가 작은 기계일수록 조립 과정시 고려할 사항이라던가, 예측할 수 없는 문제들이 많이 생길 수 있다. 우선 설계자는 도면을 통해 각 부품들의 조립순서를 명기해야 하며 조립도중 사람의 손이나 공구 또는 로봇 팔이 들어가 작업을 할 수 있는 충분한 공간이 있는지도 고려해야



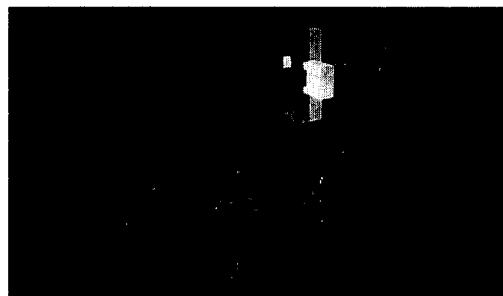
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 8 (a) 초기위치
(b) 자동으로 계산된 자취를 따라 조립되는 부품
(c) 간섭검사를 위해 나타나는 부품의 자취
(d) 조립후의 최종위치

한다. 또한 나중에 고려될 서비스를 위한 해체 및 조립도 고려해야 한다. 예를 들면 실제 있었던 일로 미국의 포드 자동차회사의 한 모델은 디자이너의 실수로 인해 오일 필터 교환시 엔진근처에 공구와 손이 들어갈 충분한 공간이 없어 오일 필터 근처의 다른 부품들을 해체시켜야 비로소 공간의 여유가 생겨 필터 교환이 가능한 예가 있다. 현재 모의조립 실험에 직접적인 도움을 줄 만한 기능을 가진 CAD시스템이 상품으로 개발되어 있는 것은 거의 없고 현재 실험단계에 있는 시스템을 하나 소개하기로 하자. 그림 8(a)에서 보는 바와 같이 6개의 물체가 고체형상으로 나타내져 있고 이 물체들을 조립시키면 그림 8(d)와 같은 모양이 된다고 하자(이 문제는 마치 장난감 중에 여러개의 이상한 모양의 나무 조각을 끼워 맞추면 배 모양이 되거나 동물의 모양이 되거나 하는 것과 비슷하다). 디자이너는 컴퓨터 화면에서 8(a)와 같이 초기 위치를 정하고, 8(d)와 같이 조립이 완성된 후의 위치를 정해주면 알고리즘은 자동적으로 조립시 지나가야 하는 자취를 곡선으로 나타내어 준다(그림 8(a)의 여러 곡선을 참조). 컴퓨터의 입력 장치의 하나인 다이얼을 사용자가 움직여주면 그림 8(b)와 같이 조립되는 과정과 8(c)와 같이 지나가는 자취를 보여주며 간섭검사를 한다.

성격은 다르지만 여러 가지 모양의 도형을 배열시키는 작업을 자동화하는 CAD 시스템은 개발되어 있다. 예를 들면 의복 재단시 버리는 원단의 양을 줄이고 될 수 있으면 많은 수의 옷을 만들 수 있게 원단에 옷조각의 배치를 자동화하는 시스템이 있다. 이와 같은 문제는 네스팅(nesting)이라 불리우고, 같은 성격의 문제는 철판 가공에서도 찾아볼 수 있다. 각 의복회사에는 네스팅만 전문으로 하는 기술자들이 있고 이들이 네스팅을 할 경우는 버리는 원단은 전체 원단의 5~10%가 된다고 한다. 물론 CAD시스템을 사용하면 시간은 절약되지만 버려야 하는 원단은 인간이 할 경우보다 많다.

5. 맺음말

CAD/CAM의 초보지식을 부분적이거나 간략히 소개해 보았다. CAD/CAM에서 기하형상기술이 차지하는 비중과 이 기술의 한계점을 논의해 보았고, 설계에서 필수인 설계 지식이 CAD시스템에 융합되기 어려움을 실제의 예를 들어 소개해 보았다. 마지막으로 현재의 CAD시스템이 기계전체 차원에서의 설계 도구이기보다 부품설계 차원에서의 도구임을 알아보았다. 현재까지 CAD시스템이 설계과정에서 별로 창의력이 요구되지 않는, 그렇지만 많은 시간이 소요되는 도면 작업을 간편화하게 한 것으로도 CAD가 설계자동화에 큰 몫을 담당해 왔다고 볼 수 있다. 앞으로 미래의 CAD 방향은 인간의 창의력을 도와주는 곳으로 나아가 함을 자명한 사실이라 본다.

참고문헌

- (1) Boyse, J., 1979, "Interference Detection among Solids and Surfaces," Commun. ACM, Vol.22, pp. 3~9.
- (2) Brown, D. 1985, "Capturing Mechanical Design Knowledge," in Proc. ASME Int. Computers in Engineering Conf., Boston, pp. 121~129.
- (3) Chin, F. and Wang, C., 1983, "Optimal Algorithms for the Intersection and the Minimum Distance Problems between Planar Polygons," IEEE Transactions on Computers, Vol. c-32, No.2.
- (4) Chiyokura, H., 1988, Solid Modelling with DESIGNBASE, Addison-Wesley.
- (5) Foley, J., 1990, "Computer Graphics," Addison Wesley.
- (6) Gero, J., 1985(Ed.), IFIP W.G. 5.2 Working Conference on Knowledge Engineering in Computer-Aided Design, Budapest, Sept.

- 1984, North-Holland, 1985.
- (7) Gossard, D. and Serrano, D., 1985, "Mathpak : An Interactive Preliminary Design Package," ASME Proceedings of 1985 International Computers in Engineering Conference and Exhibit, Boston, MA.
- (8) Gossard, D., Zuffante, R. and Sakurai, H., 1988, "Representing Dimensions, Tolerances, and Features in MCAE Systems," IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 8, No. 2, pp. 51~59.
- (9) Kim, J. and Gossard, D., 1991, "Reasoning on the Location of Components for Assembly Packaging," Transaction of ASME, Journal of Mechanical Design, Vol. 113.
- (10) Lee, K. and Gossard, D., 1985, "An Hierarchical Data Structure for Reresenting Assemblies : Part 1," Computer-Aided Design, Vol. 17, No. 1, pp. 15~19.
- (11) Light, R. and Gossard, D., 1983, "Variational Geometry : A New Method for Modifying Part Geometry for Finite Element Analysis," Computers and Structure, Vol. 17, No. 5~6, pp. 903~909.
- (12) Lozano-Perez, T., 1983, "Spatial Planning : A Configuration Space Approach," IEEE Trans. on Computers, Vol. c-32, No. 2, pp. 108~120.
- (13) Mantyla, M., 1987, An Introduction to Solid Modeling, Computer Science Press.
- (14) Mortenson, M., 1985, Geometric Modeling, John Wiley and Sons.
- (15) Requicha, A., 1980, "Representations for Rigid Solids : Theory, Methods, and Systems," ACM Computing Surveys, Vol. 12, No. 4, pp. 437~464.
- (16) Requicha, A. and Voelcker, H., 1982, "Solid Modelling : A Historical Summary and Contemporary Assessment," IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 2, No. 2, March, pp. 25~37.
- (17) Rooney, J. and Steadman, P., 1987, "Principles of Computer-aided Design," Prentice Hall.
- (18) Serrano, D. and Gossard, D., 1987, "Constraint Management : A Prerequisite to Conceptual Design," in Knowledge Based Expert Systems in Engineering : Planning and Design, Sriram, D. and Adey, R.A., Editors, Computational Mechanics Publications, UK.
- (19) Sutherland, I., 1963, "Sketchpad : A Man-Machine Graphical Communication System," in SJCC, Spartan Books, Baltimore, MD.
- (20) Yoshikawa, H "General Design Theory and a CAD System in T.Sata and E.A. Warman : Man-Machine Communication in CAD/CAM." 