



CAE의 개요

유 정 훈*

1. 서 론

CAE(Computer Aided Engineering)는 용어가 표현하는 바 그대로 컴퓨터의 발전과 밀접한 관련이 있다. 정확히 이야기하면 컴퓨터의 발전은 공학적 요구에 의해 이루어졌다고 할 수 있다. 현대적 의미의 컴퓨터의 시초라 여겨지는 ENIAC(Electronic Numerical Integrator And Calculator)은 탄도계산을 위하여 미국 탄도 연구소의 의뢰로 모클리(John W. Mauchly)와 에커트(John P. Eckert)에 의해 1946년에 만들어졌다. 진공관이 1만 7천 4백 68개 사용되고 30톤이나 되는 괴물이었지만 계산 능력은 AT286급정도 되었으니 당시에는 획기적인 발전이었다. 그러나 프로그램의 내장방식은 기억장치에 저장하는 폰 노이만 방식이 아닌 내부의 배선을 바꾸는 방식이어서 현대에서 말하는 프로그램의 저장이라는 측면에서는 비실용적인 기계였다. CAE를 구성하는 다른 하나의 중요 요소인 소프트웨어적인 측면에서 보면 ENIAC은 컴퓨터라기 보다는 계산기에 가까운 것이었다. 이후의 컴퓨터의 발전은 익히 아는 바와 같이 트랜지스터, 반도체로

이어지면서 메모리와 고성능 프로세서를 기반으로 하는 현대의 컴퓨터로 발전되어 왔다. 더불어 이를 뒷받침하는 소프트웨어의 발전은 공학적 요구뿐만 아니라 사무작업, 오락 등의 다양한 요구를 충족시키는 방향으로 이루어져 왔다.

컴퓨터가 개발되기 훨씬 이전부터 인류는 공업을 발전시켰고 자동차, 비행기를 만들었으며 핵무기를 개발하였다. 컴퓨터를 이용한 공학의 발전, 즉 CAE의 발전은 이러한 것들을 개발하고 개량하는데 과거에 들었던 시간과 비용을 크게 절감시키면서 동시에 이전에는 힘들었던 최적의 개발을 위한 환경을 제공해 주고 있다. 예전의 '스팔타쿠스' 영화를 만들기 위해 거대한 세트와 엑스트라를 필요로 했다면 현대의 '글래디에이터'에서는 컴퓨터와 소프트웨어, 그리고 디자이너 하나로써 많은 부분을 대신할 수 있다. 컴퓨터를 이용한 공학의 발전은 단순히 예전에는 할 수 없었던 새로운 것을 할 수 있다는 측면에서보다는 과거의 것을 좀 더 효율적으로 수행함으로써 발전의 속도를 증가시키고 그를 바탕으로 새로운 개발을 위한 환경을 제공한다는 측면에서 이해되어야 할 것이다.

* 연세대학교 기계·전자공학부, 조교수

2. CAE의 역사와 최근 경향

CAE라는 용어는 I-DEAS를 개발한 SDRC사의 Co-Founder 중의 하나인 Jason Lemon 박사에 의해 1980년에 사용된 것이 시초이다. Lemon 박사의 개념은 컴퓨터를 이용한 도면의 작성(Computer Aided Drafting), 유한요소 모델의 생성과 해석(Finite Element Analysis), 위의 결과를 이용한 설계(Design)의 세 가지 개념을 종합한 것이었다. 일반적으로 일컫는 CAE는 Lemon 박사의 개념에 컴퓨터를 이용한 제작(Computer Aided Manufacturing)이 추가된다. CAE의 발전은 일반적으로 설계 도면의 작성과 모델링에 관련된 CAD(Computer Aided Drafting)와 응력해석, 운동해석 등을 수행하는 공학적 해석에 국한된 좁은 의미의 CAE의 두 가지 분야의 발전이 병행되어 왔다.

과거 위와 관련된 프로그램 및 시스템의 개발은 산업 현장에서 필요에 의해 개발되었고 발전되었다. General Motors는 1950년대부터 80년대에 걸쳐 DAC-I, CADANCE, CGS로 이어지는 CAD 시스템을 개발하여 사용하였다. 항공 산업계에서는 1960- 70년대 Lockheed의 CADAM, McDonnell Douglas의 CADD, Dasseau의 CATIA의 개발이 이루어졌다. 각 업체에서 자기의 필요에 따라 시스템을 만들고 사용한 결과 대두되는 문제점은 바로 표준화였다. 과거 각자가 처음부터 끝까지 모든 개발을 담당하던 시대에는 고유의 시스템을 사용하는데 무리가 없었으나 개발 시간과 비용을 줄이기 위한 업체간의 교류가 빈번해짐에 따라 이러한 시스템의 문제점이 대두되었고 이는 1980년대의 IGES(Initial Graphic Exchange Specification) format의 개발과 1990년대의 제작 및 거래의 표준규격인 CALS의 제정으로 이어졌다. 다른 여러 가지의 이유도 있겠지만 이러한 표준화의 요구가 결국은 업체에서 개발된 여러 시스템과 프로그램이 독립되어 상용화되고 업체에서도 독자의 개발보다는 이러한 상용 시스템을 이용하는 방향으로 전환되는 계기가 되었다.

지금까지의 CAE와 관련된 시스템의 개발은 CAD, CAE(좁은 의미의), CAM이 독자적으로 이루어졌지만 최근에 있어서는 Lemon박사가 제안한

CAE의 개념이 점차 현실화되고 있다. 즉 한 개의 시스템에서 기본설계 및 모델링, 유한요소법 등을 이용한 해석, 제작을 위한 simulation 및 금형의 설계가 모두 이루어지는 통합된 CAD 시스템이 개발되고 있으며 여기에 최적화 설계의 기능까지 추가되고 있다. 그림 1은 SDRC의 I-DEAS의 예로 일반적인 도면제작, 금형의 생성, 유한요소의 생성의 각각의 과정의 예를 보여주고 있다. 이외에도 PRO-E, CATIA, UNIGRAPH & MSC/NASTRAN 등이 CAD와 CAE가 통합된 환경을 제공하고 있다. 또한 기존의 FEA 프로그램들도 모델링 및 전-후처리 시스템(Pre/Post Processing System)을 제공하는 방향으로 변화해 가고 있다. 구조 및 충돌 해석과 관련된 MCAE(Mechanical CAE)의 경우

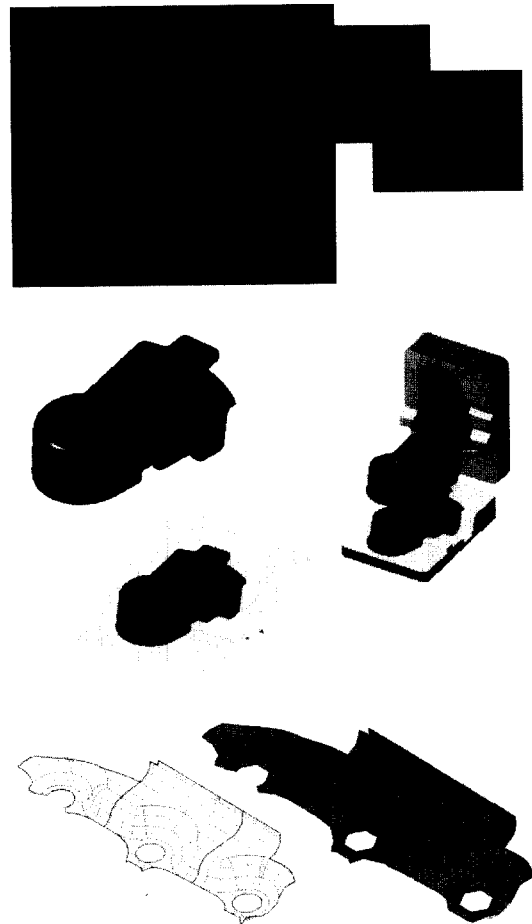


그림 1 I-DEAS를 이용한 CAE (SDRC사 제공)

표 1 CAE 시장의 변화 (Dr. McNeal at MSC)

CAE Type	1995	1999
CAD independet	225M \$	175M \$
CAD & CAE link	100M \$	300M \$
CAD imbeded CAE	75M \$	400M \$
Total	400M \$	875M \$

과거의 CAD 또는 CAE 독자의 시스템을 개발하는 방향에서 최근에는 이 둘이 서로 연결되는, 또는 CAD 시스템이 CAE 시스템을 흡수하여 발전하는 방향으로 급격히 진행되고 있다. 표 1은 이와 관련된 MCAE 시장의 동향을 보여주며 전체적인 CAE 시장의 확대에도 불구하고 CAD 시스템 독자의 시장은 오히려 줄어들고 있음을 보여주고 있다.

최근에 있어서 CAE 발달을 가속시킨 또 하나의 원인은 하드웨어적인 구성요소의 발전, 즉 컴퓨터 성능의 향상이다. 과거의 컴퓨터가 용량 및 속도의 제한으로 대용량 유한요소모델의 구성 및 해석 또는 3차원 공간상의 시뮬레이션이 불가능하였으나

이제는 이러한 제한 요소가 많이 감소하였고 점차적으로 실제에 가까운 모델링 및 시뮬레이션으로 근접해 가고 있다. 이는 또한 다양한 GUI(Graphic User Interface)의 사용을 통하여 사용자 위주의 시스템의 개발을 가능하게 하고 있다. 그림 2는 CATIA에 의한 자동차 및 항공기 모델링의 예를 보여주고 있으며 이처럼 하나의 시스템으로 손쉽게 대용량의 모델링 및 해석이 가능하다.

또하나의 새로운 경향은 CAE 시스템과 최적화 과정(Optimization Process)의 결합이다. 이는 Re-design의 측면에서 효율적인 방향을 제시해 줄 수 있으며 기존에 사용된 공학적 해석방법에 최적화 모듈만을 덧붙임으로써 효과적으로 구현될 수 있다. 최적화 알고리즘의 도입은 치수/형상/위상최적화(size/shape/topology optimization)로 이어지는 구조최적화 뿐만 아니라 공정순서의 최적화 등 CAE의 전 분야에 있어서 효과적으로 적용될 수 있다. 그림 3은 OPTISHAPE에 의한 비행기 랜딩기어 부품의 위상최적화 과정을 보여주고 있다. 위상최

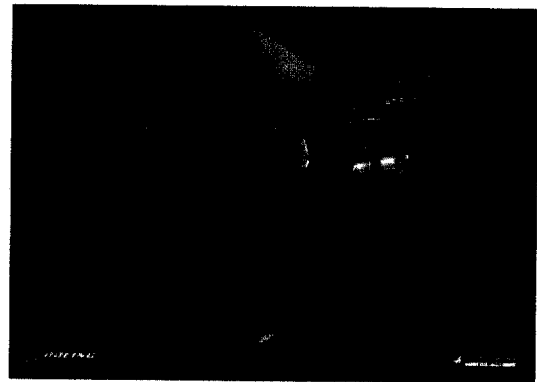


그림 2 CATIA를 이용한 모델링(IBM사 제공)

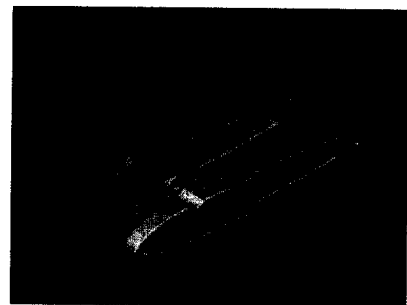
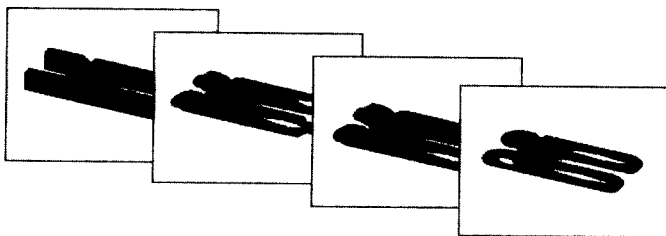


그림 3 OPTISHAPE를 이용한 위상최적화(Quint Co. 제공)

적화에서는 기존의 제품에서 유한요소 해석과 연관된 최적화 과정을 통하여 기존의 요구조건을 만족시키기 위해 필요한 부분만을 도출한 뒤 smoothing 과정을 이용해 최적의 형상을 얻는다. 이러한 과정을 통하여 부품의 하중조건 등의 제약조건을 만족시키면서 경량화와 재료 절감의 효과를 가져올 수 있다.

3. CAE의 구성

앞에서 언급한 바와 같이 CAE는 형상 모델링을 수행하는 CAD, 작성된 모델의 공학적 해석을 수행하는 좁은 의미의 CAE, 그리고 공정의 구성 및 시뮬레이션을 구성하는 CAM의 세 분야로 이루어져 있다. 그림 4는 Shigley가 제안한 Design Process와 연결해서 CAE 전체의 과정을 보여주고 있다. 기존의 디자인 과정에서 종합(Synthesis), 해석과 최적화(Analysis and Optimization), 평가(Evaluation), 발표(Presentation)의 과정은 CAD와 연결된 모델링(Modeling)과 자동제도(Automated Drafting), 좁은 의미의 CAE인 공학적 해석(Engineering Analysis)과 디자인 분석(Design Review & Evaluation)으로 해석될 수 있다. 여기에 CAM에 해당되는 공정계획(Process Planning)과 쾌속원형(Rapid Prototyping)을 추가함으로써 CAE 전체의 구성을 이룰 수 있다.

CAD의 경우 과거에는 단순한 도면제작에 그친 CAD(Computer Aided Drafting)에 불과했으나 이제는 Wire-frame model, Surface model, Solid-model에 기초하여 3차원적인 실제적 모델링이 가능해짐으로써 디자인의 영역으로 확대되어 가고 있다. 또한 공학적 해석과 관련하여 작성된 모델에 유한요소의 자동생성 기능과 여러 가지 디스플레이 기능을 첨가하여 공학적 해석 시스템의 전-후처리 시스템의 기능으로까지 확대되고 있다. 이러한 종류의 상용 프로그램에는 형상 모델링을 수행하는 UNIGRAPH, CATIA, I-DEAS, Pro/ENGINEER 등과 유한요소 생성 프로그램인 HyperMesh, PATRAN, FEMAP 등을 들 수 있다. 좁은 의미의 CAE, 즉 공학적 해석의 경우는 유한요소법에 바탕을 둔 디자인의 해석과 평가, 즉 선형/비선형 탄성해석, 열전달 해석, 유체해석 등을 수행하는 부분과 기구학, 다물체 동역학 등을 수행하는 동역학 해석 시스템

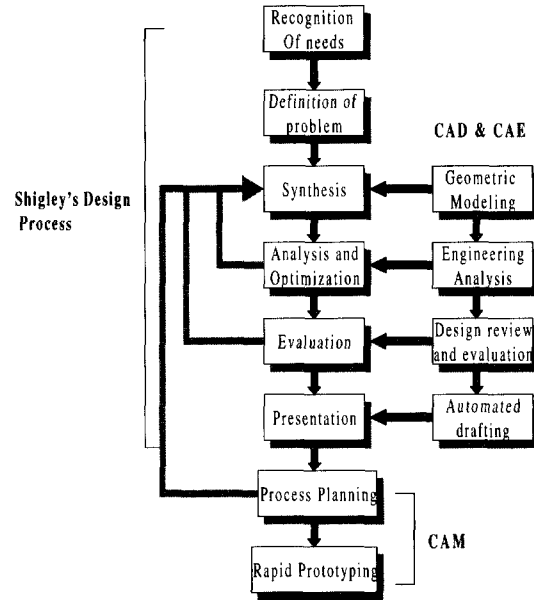


그림 4 CAE 시스템의 구성

으로 구분될 수 있다. 전자의 경우는 NASTRAN, ABAQUS, ANSYS, ALGOR, ADINA, LS/DYNA 등의 상용 프로그램이 사용되며 후자의 상용 프로그램에는 ADAMS, DADS 등이 있다. 후자의 경우에는 구조해석, 충돌해석 등을 수행하는 MCAE (Mechanical CAE)와 열전달, 유동해석을 주로 다루는 FCAE(Fluid CAE)로 CAE를 구별하기도 한다. 이러한 CAE 시스템은 과거에는 주로 해석모듈의 개발에 치중했으나 현재에서는 전-후처리 시스템의 탑재가 필수적 요구조건으로 인식되고 있다. 따라서 많은 경우에 GUI를 이용하여 사용자가 필요한 모델링과 하중조건, 경계조건을 입력한 뒤 해석한 결과를 다시 나타내 주는 형태로 시스템이 구성되고 있다. CAM은 과거에는 NC를 위주로 하는 수치제어에 머물러 있었으나 이제는 공정설계와 제어, 주조, 단조 등의 시뮬레이션에 이르기까지 그 범위가 빠르게 확대되어 가고 있다. 특히 제품의 성형과 관련된 시뮬레이션은 CAE와 밀접하게 관련된 부분으로 비선형 해석의 정확도가 증시되고 있다.

4. CAE의 발전 방향

약 10여년전 쯤, AT급 컴퓨터가 처음 소개되었을

때의 가격은 당시의 승용차 한 대 값과 비슷했다. 그러나 지금의 Pentium III급의 PC는 성능과 가격 경쟁력에서 당시의 것과는 월등한 우위를 보인다. 이와는 반대로 70-80년대에 2000년을 예상하면서 나온 수많은 SF소설과 영화에서 보여준 기대치에 비하면 현재의 과학의 발전 속도는 그에 아직 미치지 못한다. CAE 분야 역시 그만큼 예측이 어려운 부분이며 그 발전 방향을 논하는 자체가 공업불에 그칠 수도 있다. 그러나 확실한 것은 앞에서 언급했듯이 제품의 개발기간 단축과 비용절감의 측면에서라도 CAE라는 분야가 공업전체에 있어서 많은 부분을 대치할 것이라는 점이다. 이를 위해 가장 요구되는 CAE를 이용한 모사(Simulation)의 정확도의 향상이다.

단기적으로 볼 때는 CAE는 모델링과 해석의 분야에서 새로운 기법과 해석을 계속적으로 수용해 나갈 것이다. 과거의 단순한 컴퓨터 상의 제도 작업에서 3차원 모델링과 시뮬레이션, 보다 정확한 동적, 정적 거동의 해석, 그리고 최적화를 추구하는 설계에 이르기까지 CAE는 계속적으로 이 분야에 관련된 사람들의 노력을 요구하고 있다. 결국 컴퓨터를 이용한 모사가 실제와 같아질수록 CAE는 인정을 받게 되리라고 본다. 더불어 생산의 전

과정과 생산된 제품의 사용까지 모사할 수 있는 가상현실(Virtual Reality)의 도입은 CAE의 분야를 좀 더 확대시킬 수 있다. 더불어 CAE가 웹과 연결된 형태로 발전할 가능성도 생각해 볼 수 있다. 이미 몇몇의 회사나 사이트에서 시도되고 있듯이 CAE 해석을 필요로 하는 엔지니어가 웹을 통하여 필요한 자료를 입력하고 그 결과를 다시 웹을 통하여 얻어내어 제품의 개발에 이용될 수 있다. 나아가 이러한 방향은 인터넷을 통한 공정제어 등으로 활발히 연구되고 있다.

현재의 CAE에서의 문제점의 하나는 CAE 전체 과정에 있어서 모델링과 요소 생성을 위한 과정에 너무 많은 시간이 투여되며 해석의 결과가 바로 설계의 변화로 이루어지지 않는다는 점이다. 이는 필요로 하는 인력의 부족과 숙련도와의 관련이 있지만 궁극적으로는 CAE를 보다 효율적으로 이용하고 정확한 결과를 제공할 수 있는 방법의 개발이 요구된다. 최근에 이용되는 3차원 스캐닝을 통한 이미지를 이용한 모델과 유한요소의 생성, 유한요소법의 결과를 이용한 최적설계 기법의 개발은 이러한 요구를 만족시키기 위한 연구의 한 방향으로 볼 수 있다. 그림 5는 Michigan 대학의 Kikuchi 교수 등에 의한 예로써 자동차 변속기 블록의 3차원

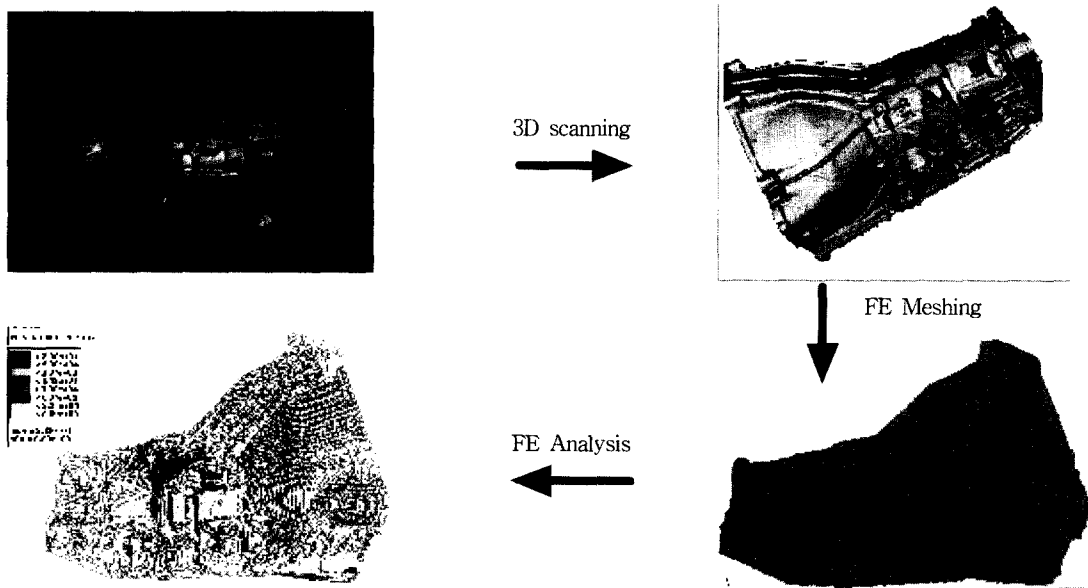


그림 5 3차원 스캐닝을 통한 유한요소해석

스캐닝을 통한 모델링과 해석의 예를 보여주고 있다.

장기적으로는 지금도 계속 진행되고 있듯이 CAD, CAE, CAM을 통합하는 하나의 시스템의 형태로 CAE가 발전되리라고 생각된다. 이는 현재의 그리고 미래의 산업 구조가 한 분야만의 독점적 발전 또는 전 분야의 각개약진이 아닌 상호 보완/협력적인 형태로 발전함과 그 궤를 같이한다. 물론 그 과정에 경제의 원리도 작용하겠지만 이는 여러 상용 프로그램 회사들의 통.폐합으로 이어질 가능성을 내포한다. 그러나 중요한 것은 공학적 해석 및 모델링 등의 분야가 아직도 너무나 많은 발전의 여지가 있으며 이 과정에서의 새로운 기술 및 기법의 개발을 몇 개의 회사들이 모두 흡수하여 상용화하기에는 너무 많은 시간과 노력을 필요로 한다는 점이다. 결국 시스템은 통합의 방향으로 나가겠지만 자동차 산업의 경우처럼 손가락에 꼽을 만큼의 업체가 CAE 전체를 독점하기를 예측하기에는 아직 이르다고 판단된다.

통합이라는 관점에서 볼 때 이는 단순한 CAE, CAD, CAM의 통합이 아닌 공업 분야 전체의 통합이라는 관점도 생각해 볼 필요가 있다. 이는 단순히 CAE 분야에만 국한된 문제는 아니겠지만 새로이 대두되는 신기술, 예를 들면 Nano-technology

등에 관련된 CAE 등도 미래의 CAE의 한 부분을 차지할 구성원이 된다고 볼 수 있다.

참 고 문 헌

1. Besant, C. B., *Computer-Aided Design and Manufacture*, Halsted Press, John Wiley, New York, 1980
2. Chang, T. C., Wysk, R. A., Davis, R. P., "Interfacing CAD and CAM-A study in hole design", *Computer and Industrial Engineering*, Vol. 6, No. 2, 1982
3. Shigley, J. E. and Mischke, C. R., *Mechanical Engineering Design*, 6th Ed., McGraw Hill, 2001
4. Groover, M. P. and Emory, W. Z., *CAD/CAM*, Prentice Hall, 1984
5. 송영준, 민승재, N. Kikuchi, *유한요소법과 최적구조설계 CAE*, 성안당, 2000
6. Kikuchi, N., Hollister, S., Yoo, J., "A Concept of Image-based Integrated CAE for Production Engineering", *International Symposium on Optimization and Innovative Design*, pp.75~90, Tokyo, Japan, 1997 