공학연구에 슈퍼컴퓨터의 이용

金 容 奐
충남대학교 기계설계학과 교수

●1957년생
●전산 역학을 전공하였으며 유한 요소법을 이용한 박판 성형 공정의 해석, 병렬 처리 컴퓨터에서의 수치해석 algorithm개발 등에 관심을 가지고 있다.

1. 머 리 말

80년대에 들어와 미국의 학계나 연구계에 가장 큰 변화를 가져온 것 중의 하나가 슈퍼컴퓨터(super computer)의 폭넓은 활용이 가능해진 것이다. 종래 그 해결이 불가능한 것으로 여겨졌던 많은 문제들의 해결이 가능해지고 그로 인해 각 부문의 연구방향에 큰 변화를 초래하였으며 특히 많은 계산을 필요로 하는 분야에서는 가히 혁명적인 변화를 가져왔다고 할 수 있다. 실제 현재 이용되는 것과 비슷한 슈퍼컴퓨터의 효시라 할 수 있는 CRAY-1은 1976년에 개발되었으나 1984년까지는 NASA나 국방 관계 연구소 등 제한된 분야를 제외하고는 일반의 이용이 극히 미미한 상태이었다. 그러던 중 1984년부터 미국 과학재단(National Science Foundation)에서 슈퍼컴퓨터를 구매하여 학교 등에 기증하기 시작한 것을 계기로 그 이용은 가히 폭발적으로 증가하고 있는 실정이다. 또한 우리나라에서도 올 하반기에 슈퍼컴퓨터의 일종인 CRAY-2S/4-128가 도입, 설치될 예정으로 보도된 바, 그에 관한 많은 관심이 일고 있고 조만간 국내 학계에도 슈퍼컴퓨터로 인한 많은 변화가 예상된다 하겠다. 본 글에서는 이러한 슈퍼컴퓨터의 개요와 미국내 이용 실태 및 연구동향을 공학 분야를 중심으로 간단히 살펴보고자 한다.

2. 슈퍼컴퓨터의 정의와 개발역사

슈퍼컴퓨터란 한 마디로 그 시대에서 사용가능 한 컴퓨터 중 가장 성능이 우수한 컴퓨터를 말한다. 이러한 정의는 절대적인 의미라기 보다는 상대적인 의미의 말이다. 즉 슈퍼컴퓨터의 정의는 시대에 따라 변할 수 있고 어떤 특수한 설계나 모델을 지칭하는 것이 아니다. 필자가 만나본 ETA사의 Lloyd Thorndike사장은 슈퍼컴퓨터를 "현 시대 사용자의 요구에 단지 한 세대(one generation) 뒤떨어진 컴퓨터"라 정의하였다. 그러나 1976년 Seymour Cray씨가 CRAY-1을 발표한 이후 CRAY시리즈가 슈퍼컴퓨터의 표준형처럼 되어 현재 일반적으로 슈퍼컴퓨터란 고속의 연산기능과 많은 기억용량을 가지고 자료를 벡터(vector)처리할 수 있는 병렬처리 기계(parallel/vector processing machine)를 주로 지칭한다 할 수 있겠다. 여기서 병렬처리란 컨베이어를 이용한 생산 라인처럼 일종의 파이프라인을 통해 자료가 계속 공급되게 하고 동시에 주어진 하나 또는 그 이상의 계산(instruction)을 벡터의 형태로 하여 계산효과를 높히는 것이다. 그림 1에서 종래의 순차적 처리와 파이프라인을 이용한 병렬처리에서 자료 처리의 방식을 보였다. 컴퓨터를 자동차의 생산 공장에 비유하여 보면 벡터처리기계는 자동 이송 장치를 따라 조립을 행하면서 필요한 자재는 컨베이어 등을 통하여 계속 공

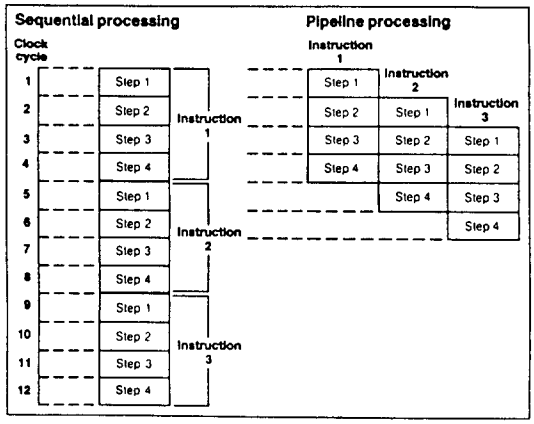

그림 1 파이프 라인을 통한 자료의 병렬 처리와 순차적 처리순서의 비교(D.B. Davis, High Technology, 1984)

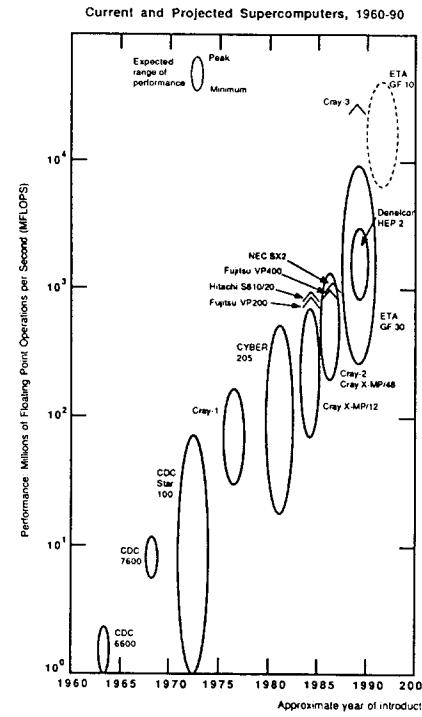

그림 2 슈퍼컴퓨터의 연도별 발전상과 그 계산용량(S. Fernbach, "Supercomputers: Government Plans and Policies", 1986)

급되는 대량 생산체제에 비할 수 있고, 종래의 스칼라 처리 기계(scalar processing machine)는 한 곳에서 조립을 행하면서 필요한 부품은 그때 그때 창고에서 운반해 오는 소량 생산체제에 비할 수 있다. 벡터처리기계의 효시로는 보통 Illiac-IV(1965)나 STAR-100(1965)으로 볼 수 있는데 두 컴퓨터 모두 스칼라 처리능력

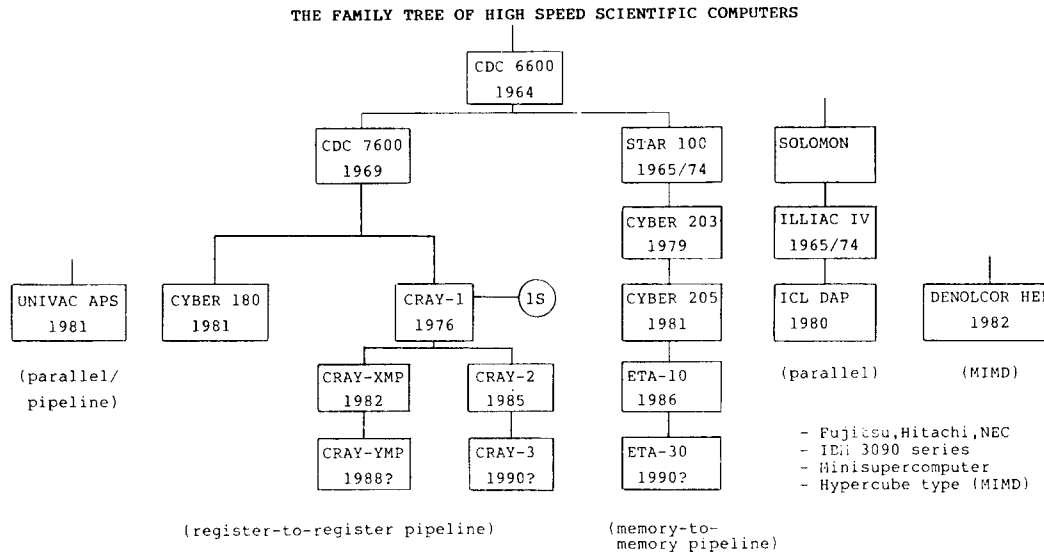

그림 3 과학 계산용 컴퓨터의 계보

의 부족으로 상업적으로 성공하지 못하였고 본격적인 슈퍼컴퓨터인 class VI machine의 시작은 1976년의 CRAY-1이라 할 수 있다. CRAY-1은 그 후 계속하여 CRAY-XMP (1982), CRAY-2(1985) 등으로 발전하여 CRAY사는 세계 시장의 70% 이상을 점유하고 있고 앞으로 CRAY-YMP, CRAY-3를 개발할 예정으로 있다. 또한 CDC(Control Data Co.)에서는 CYBER-7600과 STAR-100의 변형인 CYBER-205를 1981년부터 제작하였고 그 후 1982년에 자회사인 ETA를 설립하여 ETA-10을 생산하고 있으며 앞으로 ETA-30을 개발할 예정이다. 또한 일본에서는 정부 지원과 몇개 컴퓨터 회사의 공동연구에 의하여 Fujitsu의 VP-100/200, NEC의 SX-1/2, Hitachi의 S-810/820등이 1983년 이후 생산, 판매되고 있으며 기타 미국이나 유럽의 일부 학교나 회사들에서 주로 많은 수의 CPU를 갖는 MIMD(Multiple Instruction Multiple Data)형식의 Hypercube 형 슈퍼컴퓨터 등이 만들어지고 있다. 연도별 슈퍼컴퓨터의 발전상과 그 계산 능력의 비교가 그림 2에 나타나 있다. 그림에서 보듯이 현재의 슈퍼컴퓨터들은 100~500 Mflops의 연산능력을 가지며 이는 종래의 본체 컴퓨터에 비해 10~100 배 빠른 계산 속도이다. 그림 3에 과학 계산용 컴퓨터의 계보에 따른 발전 상을 보였다.

3. 슈퍼컴퓨터의 구조

여기서는 슈퍼컴퓨터중 가장 널리 사용되고 있는 CRAY-XMP를 중심으로 간단히 그 구조를 살펴보기로 한다. 그림 4의 개략도에서 보듯이 CRAY-XMP는 본체, 입출력 부속시스템, 고체디스크의 3부분으로 구성되어 있는데, 본체는 보통 1~4개의 CPU를 갖고 1~16 MW의 주기억 용량과 8.5~9.5ns의 wall clock time을 갖는다(CRAY-1은 12.5ns, CRAY-2는 4.2ns). SSD는 고속의 MOS 보조기억 장치로 보통 1000Mbytes/s 이상의 전송

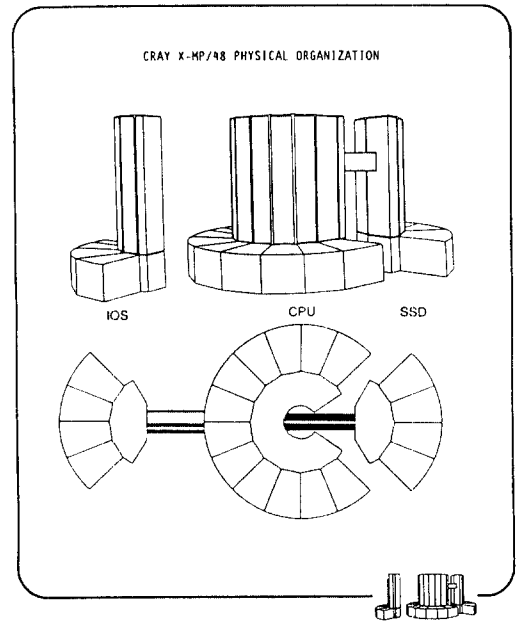

그림 4 CRAY-XMP/48의 개략도

능력과 32~512MWords(64 bits word)의 기억용량을 가진다(CRAY-2에는 SSD가 없다). 입출력 부속시스템은 front end machine과의 중간장치로 자료의 이동을 조절한다. 고속의 계산으로 인하여 슈퍼컴퓨터의 작동시 많은 열이 발생되는 데 그 열의 발산을 위해 CRAY-XMP에서는 freon냉각 장치를 이용하고 있다. CRAY-2나 ETZ-10의 경우에는 전체 CPU가 각각 액화 flurocarbon이나 액화질소에 잠겨진 채로 작동된다. 그림 5는 CRAY-XMP CPU의 간단한 구조이다. 두 개의 CPU는 작업의 동시화를 위해 central memory와 shared register를 공유하며 vector/scalar 처리, floating point 처리를 위한 별도의 register를 가진다. 그림 6에는 San Diego Supercomputer Center(SDSC: U. of California, San Diego)의 슈퍼컴퓨터 네트워크 시스템을 보였다. 지역에 따라 약간의 차이가 있지만 대부분의 슈퍼컴퓨터 센터의 구조는 그림에 보인 것과 비슷하게 고속의 hyperchannel로 슈퍼컴퓨터와 front end machine이 연결되고

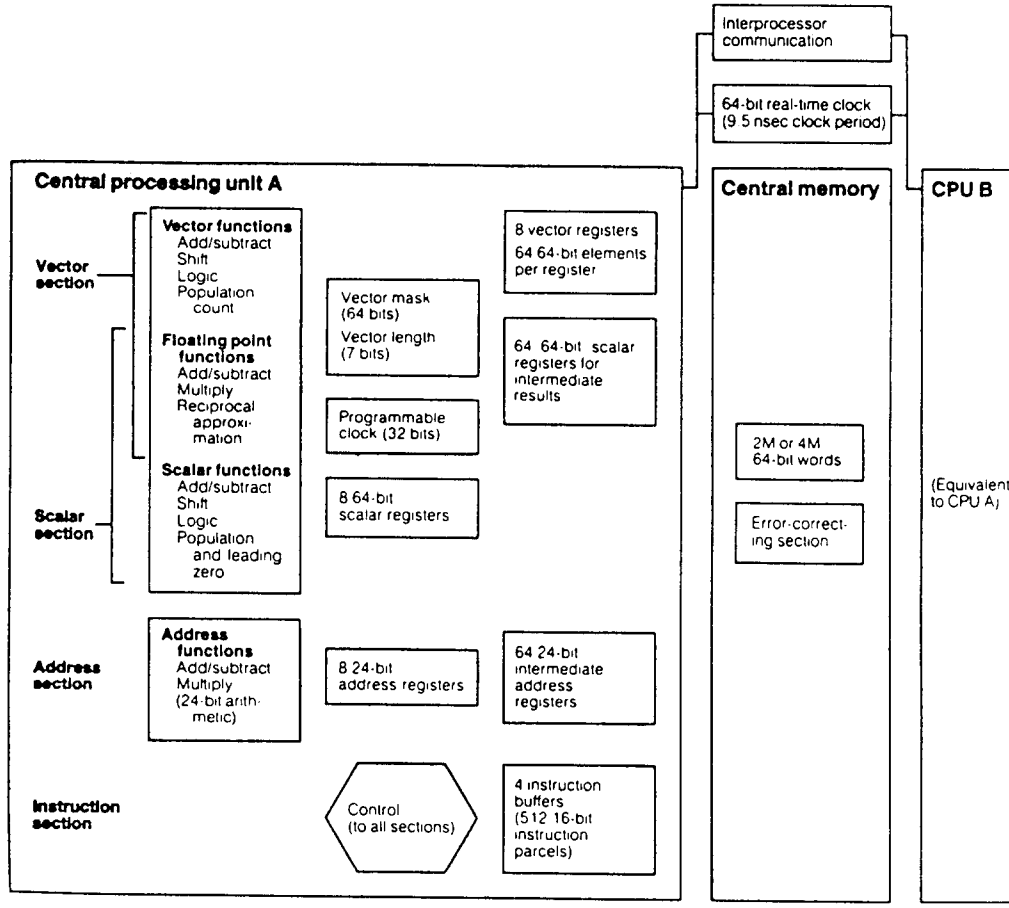

그림 5 CRAY-XMP CPU의 구조도(D.B. Davis, High Technology, 1984)

front end machine은 다른 네트워크 시스템을 통해 사용자에게 연결된다.

4. 슈퍼컴퓨터의 이용 실태

1984년 NSF의 지원이 시작되기 전까지 슈퍼컴퓨터의 이용은 극히 제한적이었는 데 주로 사용된 곳은 국방이나 항공, 우주 관계의 국가 연구소 들이다. 일반적으로 국방이나 항공, 우주 관련 문제 들은 일종의 극한상황에서의 문제로 종래의 단순화, 이상화된 방법으로는 그 해결이 불가능하고 그로 인해 많은 양의 계산이 필요한 실정이다. 이에 따라 그러한 연구소는 항상 최고의 계산 능력을 보유하여야만 한다. Lawrence Livermore, Los Alamos, Sandia, NASA Ames, Glas, Lewis, Suitland, Langley 등의 연구소들이 그 예인데 초기의 슈퍼컴퓨터는 예외없이 그 개발에서부터 이러한 연구소의 지원을 받아 제작, 설치되었다. 수소폭탄의 제작 및 해석, 그에 따른 원자물리학 분야, space shuttle이나 비행기의 설계 및 구조해석, 항공역학, 전산유체역학, 신소재의 개발 등이 그 응용 분야의 예이다. 실예로 NASA Ames Research Center에서 space shuttle의 구조해석을 CRAY-2를 이용해 400 만개의 node를 갖는 3차원 유한요소법으로 풀기로 하

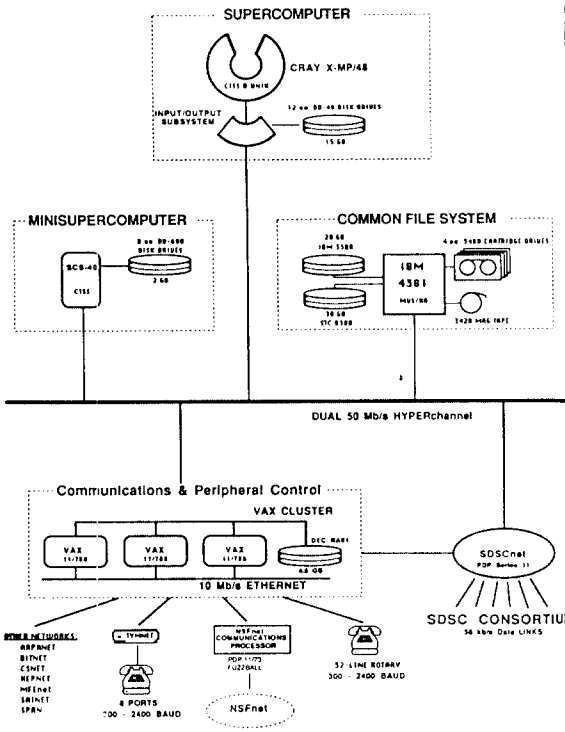

그림 6 슈퍼컴퓨터 센터의 구조—San Diego Supercomputer Center(S. Karin & N.P. Smith, "The Supercomputer Era", 1987)

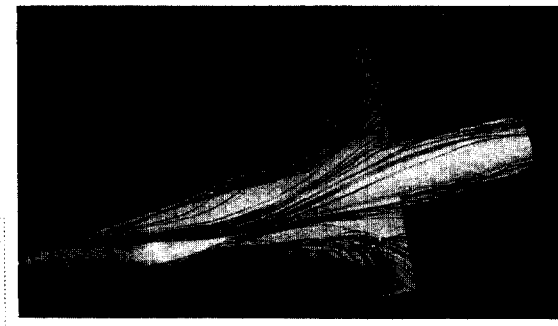

그림 7 CRAY-2를 사용하여 F-16A 전투기가 저음속(Mach 0.6)으로 비행할 때 주위 공기흐름에 대한 전산 유체 역학 해석 결과로 날개 주위의 난류 유동(turbulent flow)이 발생하는 것을 보인다—NASA Ames Ressarch Center

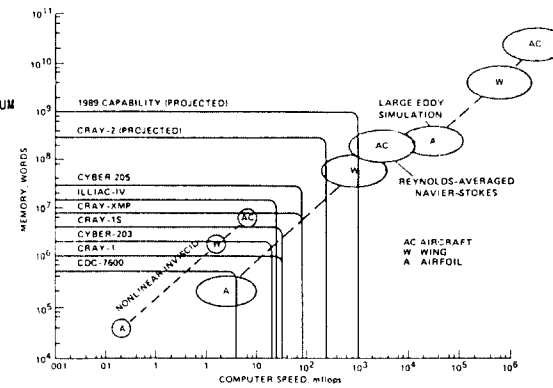

그림 8 전산항공역학의 해석 모델 및 방법에 따른 필요 계산양과 실제 컴퓨터 계산능력의 비교-V.L. Peterson & J.G. Arnold, NASA Ames Research Center

였다. 특히 Reagan 행정부의 전략방위계획(SDI : Strategic Defence Initiative 보통 Star Wars로 알려짐) 실시 이후 슈퍼컴퓨터의 사용이 급증하고 있다. 그림 7은 NASA Ames Research Center에서 F-16A 전투기의 저음속(Mach 0.6)비행시 주위의 공기 흐름을 전산유체역학으로 해석한 결과이다. Boeng이나 Rockheed와 같은 항공기 제조 회사에서도 초기부터 슈퍼컴퓨터를 보유하고 항공기의 설계 및 제작에 따른 문제의 해결에 인용하고 있는데 주 응용 분야로는 항공기의 구조 해석, 전산유체역학, 신소재의 개발에 따른 문제, 엔진의 개발 등이다. 그림 8에 전산유체역학 해석에서 해석 모델과 방법에 따라 필요한 계산능력과 실제 컴퓨터 용량과의 관계가 도형적으로 표시되어 있다. 그림에서 보듯이 단순한 모델과 해석 방법에서는 종래의 컴퓨터로도 그 해결이 가능하나 전체 항공기를 하나의 단위로 문제를 풀기에는 CRAY-2로도 그 용량이 부족한 형편이다.

초기부터 슈퍼컴퓨터를 많이 이용한 또 하나의 분야는 석유, 화학 분야이다. ARAMCO (Saudi Arabia), ARCO, Chevron, Exxon, Shell, Merlin(UK), Mobil, Phillips, Sohio, Schlumberger, Sun, Texaco 등의 정유회사에서는 유전탐사 및 그 개발을 위하여, Dupont과 같은 화학회사에서는 신소재 개발을 위하여 각각 80년대 초부터 슈퍼컴퓨터를 보유하고 제

반 문제들을 해결하여 왔다. 주응용 분야는 구조해석, 지질공학, 화학공학, 분자화학, 양자화학 등이다.

GM, Ford, Nissan, Chrysler, Adam Opel(독일), Benz(독일), Saab(Sweden) 등의 자동차 제조 회사 들도 그들의 연구 개발에 슈퍼컴퓨터를 이용하고 있다. 신차종의 개발과 설계, 차체의 구조해석, 신소재의 개발, 제조공정의 개발, 엔진의 개발 및 연소해석, 전산 유체역학, 박판 성형을 위한 금형의 설계 제작 및 성형공정의 해석 등이 주 응용분야이다. GM 전산소장인 George Dodd 씨에 의하면 신차종 개발시 종래 단순 실험이나 계산에 40% 이상의 시간이 사용되는 데, 슈퍼컴퓨터의 사용으로 그것이 20%로 줄어 결과의 해석에 보다 많은 시간을 사용하게 되었다 한다. 또 다른 큰 변화의 하나는 컴퓨터로 행하여 많은 비용과 시간을 절약하게 된 것이다. GM 연구소의 Robert Ayres씨에 의하면 수 년 내에 컴퓨터 시뮬레이션에 의해 금형 try-out을 행하여 개발시 가장 많은 비용이 드는 try-out 공정을 거의 삭제 할 수 있을 것으로 기대한다고 한다. 그림 9는 간단한 박판 부품의 성형 해석을 유한요소법으로 행한 결과로 펀치의 운동에 따른 소재의 변형 상태를 보인다.

또한 슈퍼컴퓨터는 컴퓨터 제작에도 이용되는 데 Cray Research, ETZ 등의 슈퍼컴퓨터 회사들은 슈퍼컴퓨터의 개발, 제작에 기존 슈퍼컴퓨터를 사용 하고 있으며, AT&T, Apple 등의 회사들도 새로운 칩의 설계나 개발에 슈퍼컴퓨터를 사용하고 있다. 슈퍼컴퓨터의 사용으로 획기적인 변화를 가져온 또 하나의 분야는 컴퓨터그래픽이다. 실제 컴퓨터 그래픽은 많은 양의 계산을 필요로 하기 때문에 종래의 컴퓨터로는 많은 어려움을 겪었는데 슈퍼컴퓨터의 사용으로 더욱 효과적인 그래픽을 만들 수 있게 되었고, 상업 광고나 영화 산업, 일반 공학 문제 해석에 엄청난 변화를 가져왔다. 그림 10은 Rockwell International 의 TV 광고의 장면으로 Robert Abel 회사에 의해 컴퓨터 그래픽으로 제작된 것이다.

종래에는 복잡한 응용문제를 풀기 위하여 많은 가정과 생략으로 문제를 단순화하여 풀었는데(예를 들어 재료의 동방성) 점차 문제의 복잡성으로 인해 그러한 단순화가 부적절하게 되었고, 슈퍼컴퓨터를 통한 충분한 계산능력의 확보로 보다 정확히 문제를 푸는 것이 가능하여 졌다. 또한 슈퍼컴퓨터의 사용으로 종래 몇 시간, 몇 일의 CPU 시간이 걸려 그 해결이

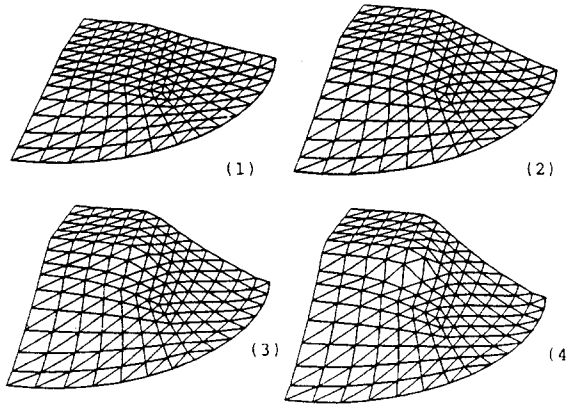

그림 9 유한요소법 FEM을 이용한 박판 성형공정의 해석결과로 원형의 소재를 사각 펀치로 성형할 때 소재의 단계별 형상 변화 -CRAY-XMP/48 사용, Y.H. Kim & R. H. Wagoner, The Ohio State University

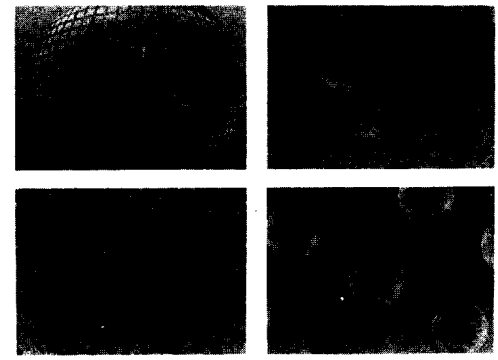

그림 10 컴퓨터 그래픽을 이용한 Rockwell International의 TV 상업 광고의 장면 Robert Abel Associates 제작

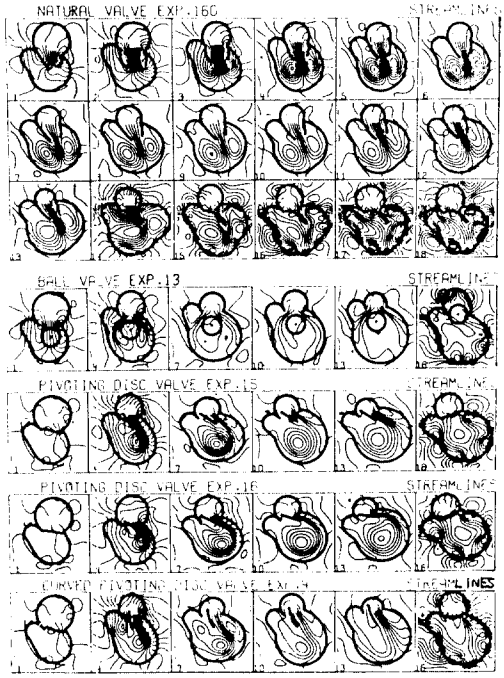

그림 11 슈퍼컴퓨터를 이용한 심장 박동 시 판막의 운동과 혈액의 흐름에 대한 해석으로 그림 윗쪽은 자연 심장의 경우이고, 아래는 각종 인공 심장의 경우이다. C.S. Perkins & D.M. McQueen, Courant Institute of Mathematical Sciences of New York University

곤란하던 문제 들도 간단히 interactive job으로 풀 수 있게 되었다. 이는 모든 분야에 해당되는 것으로 최근 많은 계산을 필요로 하는 유한요소법, 전산유체역학, 분자화학, 천체물리학, 기상학 등의 분야가 새로이 각광을 받고 있는 형편이다. 다음 표에 CRAY의 계산속도를 100이라 할 때 다른 컴퓨터의 계산 능력과의 대략적인 계산속도의 비가 주어졌다.

Supercomputer	100		
Main Frame	1~10	Minicomputer	0.1~5
Workstation	0.1~1	P.C.	0.001~0.1

슈퍼컴퓨터의 이용에 따른 또 하나의 변화는 과거 컴퓨터 용량의 문제로 전체 문제를 동시에 풀지 못하고 부분별로 풀거나 간략화하여

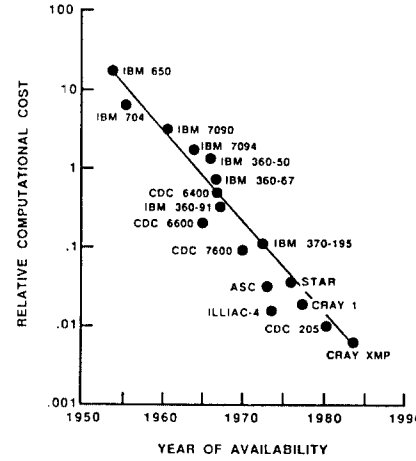

그림 12 컴퓨터 종류에 따른 상대적 계산 비용의 비교 —V.L. Peterson. NASA Ames Research Center

풀었는데 슈퍼컴퓨터의 이용으로 전체를 동시에 푸는 것이 가능하게 되어(그림 8)보다 정확한 문제 해결이 가능하여 진 것이다. 이러한 이유로 슈퍼컴퓨터는 공학 분야 외에도 물리학, 화학, 지구과학, 기상학 등 모든 순수과학 분야에서도 많이 이용되고 있다. 그림 11은 New York대학에서 인공 심장의 개발을 위해 슈퍼컴퓨터를 사용하여 심장의 박동시 판막의 움직임과 혈액의 흐름을 계산한 것이다. 그림에서 윗 쪽은 자연 심장의 경우이며, 아래쪽 그림은 여러 종류의 인공 심장의 운동을 해석한 것으로 이 들의 비교를 통하여 최적의 인공 심장의 설계를 할 수 있다. 그림 12는 각종 컴퓨터로 주어진 문제를 풀기 위한 상대적인 비용을 표시한 것으로 컴퓨터의 성능이 증가할수록 비용이 감소하는 것을 보인다. 본체 컴퓨터에 비해 현재의 슈퍼컴퓨터에서는 상대적인 계산 비용이 대략 1/100까지 감소하는 것을 알 수 있다.

5. 맺 음 말

지금까지 슈퍼컴퓨터의 개요와 그 이용 실태

를 간단히 살펴보았다. 이제 우리나라에도 곧 슈퍼컴퓨터가 도입, 설치될 예정인 바, 앞으로 많은 이용과 그에 따른 국내 연구활동에 많은 변화가 예상된다고 하겠다. 이러한 시점에서 슈퍼컴퓨터의 효율적인 이용을 위해 다음의 사항들이 고려되어야 할 것이다.

첫째 슈퍼컴퓨터에 맞는 알고리듬과 소프트웨어에 대한 연구와 그 개발이 필요하다 하겠다. 슈퍼컴퓨터에서는 자료가 병렬 처리 되기 때문에 효과적인 프로그램을 위하여 종래 스칼라 기계와는 다른 계산 방법이 필요한데 (vectorization) 이에 따른 새로운 계산 방법에 대한 연구가 요구된다. 미국의 경우 이미 관련 학회가 구성되고 관련 학술지 들이 출판되는 등 많은 연구가 행해지고 있고 벡터 처리의 효율을 높이기 위해 현재의 FORTRAN-77의 변형인 ANSI-8X가 개발되어 곧 FORTRAN의 기준형으로 사용될 예정이다. 또한 이번에 도입될 CRAY-2S/4~128은 4개의 CPU를 갖는데 이처럼 여러 개의 CPU를 갖는 컴퓨터에 적합한 새로운 계산 방법에 대한 연구도 병행되어야 할 것이다. 둘째로 고려되어야 할 것은 슈퍼컴퓨터의 운영에 대한 것이다. 슈퍼컴퓨터가 고가의 기계인 만큼 보다 많은 이용이 바람직 할 것이고, 이에 따라 이용 효율을 높이기 위해 가능한 한 많은 주변기기가 마련되어야 할 것이며 추후의 운영 비용으로 이용할 수 있어야 할 것이다. 미국의 경우 CPU 시간 당 대력 1~200 불의 사용료가 드는데 상업적인 회사를 제외한 연구소나 학교에 대해서는 그 비용을 정부가 지원하거나 무료로 사용할 수 있도록 하고 있으며, 이웃 일본의 경우는 정부의 지원으로 시간당 평균 60불 정도의 사용료 만으로 사용할 수 있다. 아울러 슈퍼컴퓨터의 광범위한 사용에 필수적인 전국적인 통신망의 설치도 시급히 해결되어야 할 것이다. 이 모든 것들의 해결에는 막대한 예산이 요구되므로 하루 이틀에 해결되기는 어려울 것이나 종합적이고 장기적인 계획과 검토로 보다 효율적인 슈퍼컴퓨터의 사용이 가능하게 되면 앞으로 우리나라 학문발전, 더 나아가 산업, 국가 발전에 크게 도움이 될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

(1) S. Karin and N.P. Smith, 1987, "The Supercomputer Era", HBJ Pub. Inc.,

(2) S. Fernbach ed., 1986, "Supercomputers: Class VI Systems, Hardware and Software", Elsevier.

(3) S. Fernbach, 1986 "Supercomputers: Government Plans and Policies", Office of Technology Assessment.

(4) "Projects in Scientific Computing", Pittsburgh Supercomputing Center.

(5) "Efficient FORTRAN Techniques for Vector Processors", Workbook for Supercomputing Workshop, Minneapolis, 1985, Pacific-Sierra Ressearch, 1985.