

# 음향 수치해석의 초병렬 처리

김진오·김준태

(삼성종합기술원 슈퍼컴응용실)

## 1. 머리말

태초부터 존재한 자연현상 중의 하나인 소리에 대한 연구는 1896년 Lord Rayleigh<sup>(1)</sup>에 의해 체계화된 후 지속적으로 이루어져 왔다. 현대 문명사회로 오면서 사람들이 소리에 대해 점차 민감해져, 듣기 위한 소리인 음향과 듣기 싫은 소리인 소음을 함께 다루는 음향학에 관심이 커졌다.

대상체의 형상이 단순하지 않은 경우 이론적으로 음향 현상을 설명하기에는 한계가 있다. 기하음향학<sup>(2)</sup>에 근거한 음선기법 등에 의존해 근사 접근을 하던 차에, 구조해석을 위해 개발된 유한요소법의 도움으로 좀더 실제 현상에 가까운 수치해석을 할 수 있게 되어 그 적용범위가 넓어지게 되었다. 그후에는 경계요소법<sup>(3)</sup> 등의 수치해석 기법의 발전으로 해석 방법의 선택도 가능하게 되었다. 이에 따라 스피커와 같은 음향기기의 성능 예측, 강당의 음향 평가 또는 사업장의 소음 분포, 도로 소음 예측 및 자동차 실내 소음 평가 등 다양한 분야에 음향 수치해석이 활용되기에 이르렀다.

그러나 적용대상에 따라서는 그 형상이 복잡성이거나 고주파수에서의 짧은 파장으로 인해 영역분할을 상당히 많이 필요하고 있고, 이럴 경우 컴퓨터의 메모리를 많이 차지할 뿐만 아니라 계산시간도 문제가 되므로 슈퍼컴퓨터에 의존하게 된다. 1975년에 Cray-1이 발표된 이래 슈퍼컴퓨터가 꾸준히 발전해 왔으나, 회로의 연산속도 발전은 그다지 괄목할 만하지 않아 요즘의 고성능 워크스테이션 컴퓨터의 도전을 받는 지경이 되었다. 이와 같이 벡터처리(vector processing) 형태이던 슈퍼컴퓨터에 일대 혁신을 가져온 것이 초병렬처리(massively parallel processing) 슈퍼컴퓨터이다.

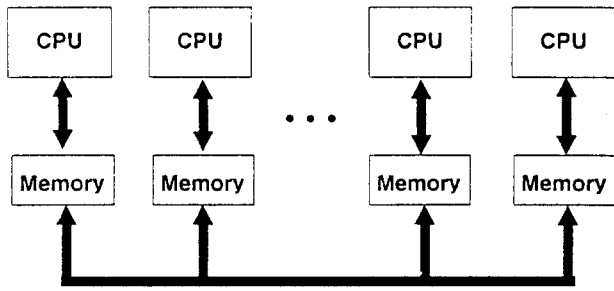
이 글에서는 초병렬처리의 일반적인 장점을 기술

하고, 이러한 방식이 음향 수치 해석에 유용한 내용을 설명하고자 한다.

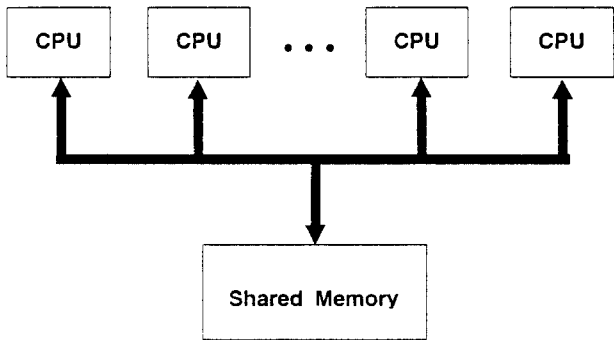
## 2. 초병렬 처리

병렬처리라 함은 컴퓨터의 성능을 높이기 위해 여러개의 프로세서를 사용하는 연산을 일컬으며, 계산 과정에 필요한 여러가지 연산 중에 병렬로 처리될 수 있는 부분들을 동시에 처리하는 parallelism과 순차적으로 병렬처리하는 pipelining을 포함한다<sup>(4)</sup>. 벡터처리기(VP: vector processor)로 분류되는 슈퍼컴퓨터도 4개, 8개, 또는 16개의 프로세서를 채용하기도 한다. 그러나 여러 프로세서들 간의 상호결합(interconnection) 기술과 병렬 프로그래밍 기술의 발달을 토대로 수십개, 수백개, 또는 수천개의 프로세서를 갖춘 컴퓨터를 초병렬처리기(MMP: massively parallel processor)라고 부른다.

현재 쓰이는 대부분의 MMP는 MIMD(multiple instruction multiple data system) 방식으로 되어 있는데, 그림 1에 보인 바와 같이 분산메모리(distributed memory) 구조의 공유메모리(shared memory) 구조로 분류된다. 분산메모리 구조는 그림 1(a)에 보인 바와 같이 각 프로세서가 자신의 메모리를 가지고 이들이 네트워크에 의해 상호 연결되어 있는 것으로서, 다른 프로세서의 메모리를 사용하기 위해서는 message passing을 해야 한다. 프로그래밍을 하기 위해서는 구조 등에 관한 기술적 지식이 있어야 한다는 약점이 있으나, 여러 쌍의 프로세서-메모리(이를 '노드'라 부른다)를 추가로 연결할 수도 있는 강점이 있다. IBM SP2나 Intel Paragon 등이 여기에 속한다. 그림 2는 삼성종합기술원에 설치되어 있는 Paragon XP/S를 보여주는 사진인데, 이 컴퓨터는 256개의 노드를 갖고 있다. 공유메모리 방식은 그림 1(b)에 보인 바와 같이 모든 프로세서가



(a) 분산 메모리 시스템



(b) 공유 메모리 시스템

그림 1 초병렬처리의 프로세서와 메모리 배열 방식

같은 메모리를 공동으로 사용하므로 빈번한 통신이 필요하다. 여러 프로세서가 같은 메모리를 사용하게 되면 병목현상이 발생할 수 있고 프로세서를 추가할 수 없다는 약점이 있으나, 각 프로세서가 원하는 메모리를 직접 사용할 수 있는 프로그래밍이 쉽다. Cray T3D 등이 여기에 속한다.

MPP의 장점은 주로 다음 네 가지로 요약된다. 첫째, VP의 최고 성능에 비해 MPP의 최고 성능이 훨씬 우수하다. 현재 VP로는 10 내지 20 GFlops가

최대이나 MPP로는 300 내지 400 GFlops도 낼 수 있다. 여기서 Flops는 처리 속도를 나타내는 단위로서, 초당 부동 소수점 연산 처리 횟수(floatation-point operations per second)를 의미한다. 둘째, VP의 성능(계산 속도 및 기억 용량)은 이제 거의 한계에 다다랐지만 MPP는 발전의 여지가 많고 항상 속도가 빠르다. 셋째, MPP는 성능 확장을 원하면 컴퓨터를 대체하지 않고 프로세서 모듈을 추가함으로써 수백배까지 확장이 가능하다. 넷째, 같은 성능의 경우 MPP의 가격이 VP가격의 10분의 1 정도로 저렴하다.

MPP는 10년전에 Intel사에서 첫 모델을 발표하였고, 지금은 IBM, Cray, Intel, Convex 등이 주로 생산하고 있다. 1994년 자료<sup>(5)</sup>에 따르면 MPP 보급률이 미국에서는 전체 슈퍼컴퓨터의 51%, 유럽에서는 32%이며 계속 증가하는 추세이다. 반면 일본에서는 13%이고 한국에는 고작 2~3대 정도이다. 미국에서 MPP 활용의 대표적인 사례는 3대 자동차 회사에서 5개 국립연구소와 컨소시엄을 형성하여 MPP 이용 기술을 연구하고 있는 것으로서, 유체역학, 구조역학, grid 생성기술, 가시화 등의 과제가 선정되어 있다.

MPP가 위에 기술한 몇 가지 장점이 있음에도 불구하고 쉽게 접근하기 어려운것은 소프트웨어에 관해 다음과 같은 단점이 있기 때문이다. 첫째, 효율적인 병렬처리 프로그램을 작성하는 것이 어렵다. 둘째, 프로그램을 작성했다 해도 호환성이 없어 다른 모델의 MPP에서는 사용할 수 없다. 셋째, 현재 MPP용으로 시판되는 상용소프트웨어가 별로 없다. 그러나 앞의 두가지 단점에도 불구하고 앞서 언급한 장점들로 인해 차세대 슈퍼컴퓨터의 주종을 MPP가 차지할 것이라는 전망 하에 소프트웨어 업체들이 이미 MPP용으로서의 porting 작업을 시작하였으므로, 상용 소프트웨어 문제는 조만간 해소될 것이다.

### 3. 음향 해석의 초병렬 처리

초병렬 처리에 의한 계산에 적합한 분야의 하나가 음향 또는 진동의 수치해석이다. 넓은 주파수범위에서 고유모드 특성이나 가진에 따른 응답을 계산하고자 할때, 주파수마다 각각 다른 프로세서를 사용하여 여러 주파수에서 병렬로 계산을 수행하여 주파수별 특성을 구할 수 있다. 이를 frequency level distribution이라 부른다. 규모는 크지 않으나 많은 주파수에서 계산을 하고자 할 경우 이 방식이 적합

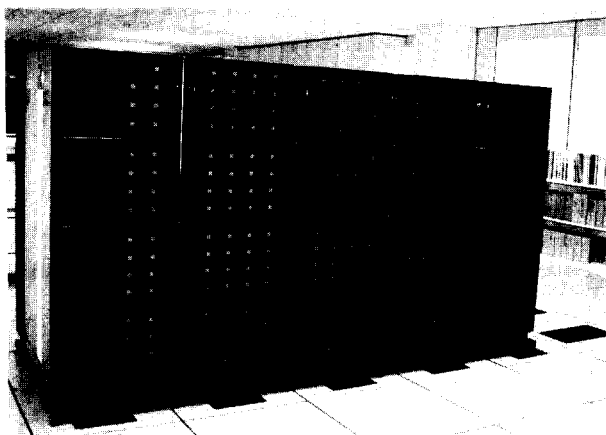


그림 2 MPPD의 하나인 Intel Paragon XP/S의 모습

하다.

또한 유한요소법 또는 경계요소법과 같은 수치해석 방법을 이용할 때에 행렬연산을 하게되는데, 실제로 대규모 계산의 경우 이러한 행렬 연산에 소요되는 시간이 전체 계산시간의 90% 이상을 차지하므로, 이런 부분을 병렬 프로그램으로 효율적으로 계산하면 시간을 대폭 단축시킬 수 있다. 한편 행렬 연산에 필요한 메모리를 최적화 함으로써 메모리 증대와 같은 효과를 얻을 수 있다. 이를 matrix level distribution이라 부른다. 이런 목적으로 행렬 연산에는 이미 개발되어 있는 BLAS(basic linear algebra subprogram) 등을 활용하면 되는데, Intel Paragon에서는 DES(dense equation solver)<sup>(6)</sup>라는 명칭의 전용 library를 활용하면 된다.

초음파의 음압분포 해석<sup>(7)</sup>을 수행할 당시 짧은 파장에 대응하는 크기의 요소로 분할하다보니 계산 규모가 커져서 워크스테이션 컴퓨터의 용량에 거의 한계에 다다르는 작업을 한 적이 있다. 그래서 슈퍼컴퓨터용 소프트웨어의 필요성을 절감했던 차에, 초병렬처리 방식이 바람직하다고 판단되어 삼성종합기술원에서는 MPP용의 음향해석 소프트웨어를 갖추게 되었다.

음향 수치해석을 위한 상용 소프트웨어로 벨기에의 NIT사에서 개발된 SYSNOISE™의 병렬화를 추진하였고, 최근에 Paragon용으로 porting이 완료되어 사용되기 시작하였다. 예를 들어 1만 1천개의 요소와 1만개의 절점으로 이루어진 큰 모델을 대상으로 Paragon의 25노드를 사용하여 matrix level distribution으로 경계요소해석을 했을때 125분의 CPU 시간이 소요되었다.

#### 4. 음향해석 사례

초병렬처리에 의한 음향 수치해석으로 스피커의 음향 특성을 구한 사례가 있다. 스피커에서 방사된 소리가 외부공간으로 전파될 때의 음압(sound pressure)과 지향성(directionality), 음향인텐시티(acoustic intensity) 등의 특성을 계산하기 위하여 경계요소법(boundary element method)을 사용하였다. 특히 스피커 박스 내/외부가 에어홀(air hole)로 연결되어 있고, 스피커 바빈과 같이 자유 모서리(free edge)와 연결부위(junction)가 존재하는 경우에는 변분법(variational method)을 사용한 간접 경계요소법(indirect BEM)을 사용하여야 한다. 이러한 경계요소법은 유한요소법(finite element method)

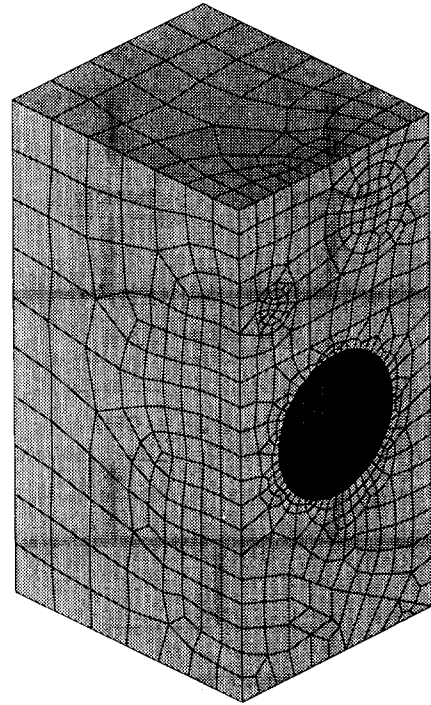


그림 3 스피커의 콘과 박스의 경계요소 모델

으로는 해를 구할 수 없는 외부음장의 음향해석에 대해서 매우 유용하게 사용된다.

해석 대상으로 삼은 스피커의 경계요소 모델은 그림 3과 같으며, 좌측 하단부에 에어홀이 있기 때문에 좌우 비대칭 형태이다. 전체모델의 절점은 1680개이고, 요소는 8개의 TRIA3 type과 1670개의 QUAD4 type을 포함하는 1678개의 경계요소이다. 진동과 음압특성이 중요한 콘 페이퍼에서는 경계요소의 크기가 최소과장의 1/6배보다 작게 요소분할하였다. 스피커 박스는 강체경계조건으로 가정하였으며, 가로 세로 각 2m인 외부공간에 대하여 400개의 격자점을 갖는다. 관심 주파수범위는 30~800 Hz이며, 스피커 박스로부터 전방 1m 떨어진 지점을 계산기준점으로 선정하였고 계산으로 구해진 주파수특성 곡선은 그림 4와 같다.

본 해석사례의 경우에는 주파수별의 음압특성을 계산해야하므로 대단히 많은 주파수에서 각각의 연산을 수행하여야 한다. 예를 들어서 하나의 노드를 사용하여 30~800 Hz까지 10 Hz 증분으로 해석을 수행한다면 798번의 동일해석과정을 되풀이 해야만 한다. 따라서 이와 같은 경우에 초병렬처리를 이용한 음향수치해석을 수행하면 이러한 계산횟수에 따른 소요시간을 대폭적으로 줄일 수 있다. 즉 100개의 노드를 사용하여 frequency level로 동시해석을 수행하면 한개의 노드당 8번의 계산만을 수행하면

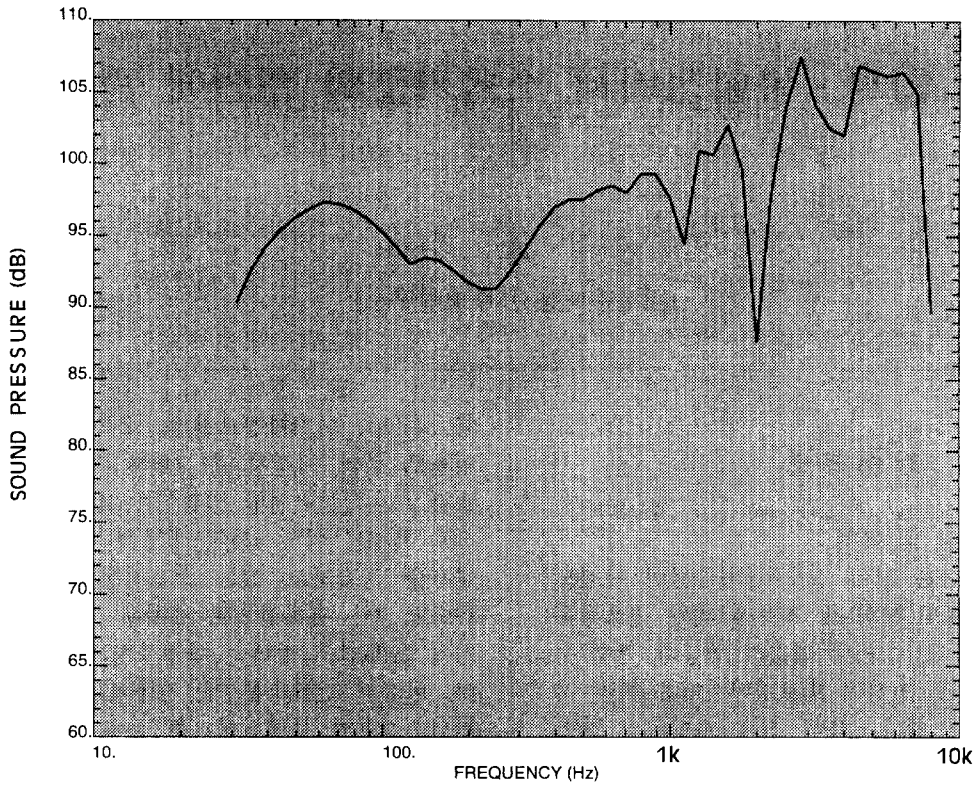


그림 4 스피커 전방 1m에서 음압의 주파수 특성

되므로 그 계산소요시간이 이론적으로 1/100로 줄어들게 되는 것이다. 본 해석모델은 frequency level로 50개의 노드를 사용하여 음향해석을 수행하였으며, 한개의 주파수당 약 420초의 계산시간이 소요되었다.

주파수특성 해석결과, 전체적으로 약 92~107 dB의 값을 보이고 있으며, 곡선 형상추이가 별도 수행 확인한 음향실험 결과와 일치함을 알 수 있다(추후 발표 예정). 이때의 주파수별 바빈 가진력은 보이스 코일의 전류 측정값들로부터 힘을 구하여 입력하였고, 해석결과로부터 63 Hz 이상의 주파수영역에서 신뢰할 수 있는 결과를 보여주고 있다.

### 5. 맺음말

초병렬처리는 컴퓨팅의 신기술로서 앞으로 유망한 수단이며 조만간에 보편화될 전망이다. 이미 유동이나 연소 해석, 비선형 구조해석 등의 분야에서 병렬 프로그래밍 연구가 활발해지고 있고, 상용 소프트웨어 업체들에서 porting작업을 시작하였다. 음향해석 또는 병렬처리에 적합한 대상이므로, 음향 수치해석에 관련된 학자나 연구원들이 지금부터라도 관심을 기울이면 세계의 슈퍼컴퓨팅 신기술 조류에 시작단계에서 동참할 수 있다.

### 참고 문헌

- (1) Rayleigh, 1896, Theory of Sound, Mac Millan, London (reprinted 1945 by Dover).
- (2) Cremer, L. and Muller, H. A., 1982, Principles and Applications of Room Acoustics, Applied Science Publishers, New York.
- (3) Ciskowski, R. D. and Brebbia, C. A., 1991, Boundary Element Methods in Acoustics, Computational Mechanics Publications, Southampton.
- (4) Gallivan, K. A. et al., 1990, Parallel Algorithms for Matrix Computations, SIAM, Philadelphia.
- (5) Simon, H. D., 1994, "High Performance Computing in the U. S. — An Analysis on the Basis of the TOP 500 List," (unpublished).
- (6) Intel, 1995, Paragon™ System Prosolver — DES Manual, Intel Corp., Oregon.
- (7) 김진오, 김정호, 최주영, 조문재, 1995, "초음파 세정기의 진동/음향 해석에 의한 수명/성능 향상 연구," 대한기계학회논문집, 제19권 제11호, pp. 2939~2953.