

## 2차원 및 3차원 다중 블록 격자계에서 압축성 연소 유동장의 병렬처리

김명호, 신재렬\*, 최정열\*\*

부산대학교 항공우주공학과

(E-mail : aerochoi@pusan.ac.kr)

컴퓨터의 성능 향상과 더불어 전산유체역학 분야에서의 적용범위도 한층 넓어졌다. 특히 이전에 수행되지 못한 복잡한 3차원 형상에 대한 전산유체해석이 가능하게 되었으며, 이는 병렬처리를 이용함으로써 그 시간적인 한계도 극복할 수 있게 되었다. 압축성 유동장 해석을 위한 병렬코드의 개발은 다양한 병렬화 기법을 이용하여 개발되고 있으며, 실제 유동장해석에 적용함으로써 병렬코드의 신뢰성 검증은 물론이며 병렬성능을 좌우하는 속도향상비(Speed-Up)에 있어서도 만족할 만한 결과를 얻고 있다. 본 연구에서는 기존의 2차원 및 3차원 압축성 연소 유동장 해석코드를 병렬화하였으며, 3차원 압축성 연소 유동장 병렬코드를 기반으로 3차원 다중 블록 격자계를 이용한 압축성 연소 유동장 해석 코드를 구축하였다.

해석코드의 병렬화를 위해서는 부영역(Sub Domain)경계에서 원시변수(Primitive Variables)의 데이터 교환이 필요하다. 병렬화된 압축성 연소 해석 코드의 경우 적용한 화학종의 개수에 따라 교환되는 원시변수의 양이 기존의 압축성 유동해석 코드에 비해 많아진다. 3차원 및 3차원 다중 블록 격자 연소 유동장 해석에서는 격자수가 2차원에 비해 수십배 에서 수백배로 늘어나므로 통신에서 차지하는 데이터 용량도 기하급수적으로 늘어나게 된다. 이 때 변수간의 데이터 교환을 원활히 해결하지 않으면 통신부하에 걸려 계산을 멈추게 되는 현상(Dead Lock)이 발생한다. 이를 해결하기 위해서는 병렬코드를 최적화하는 방법과 전송되는 데이터 양을 줄이거나 통신 횟수를 줄이는 방법을 생각해 볼 수 있다. 하지만 병렬효율을 고려한 나머지 전송 데이터 양을 줄이는데 한계가 있다. 왜냐하면 이전의 순차코드에서는 물리적인 경계를 제외하고 모든 계산 영역이 고차 정확도를 유지하기 때문이다. 병렬화에 의해 생성된 부영역도 병렬코드에서 고차정확도를 유지해야지만 기존의 순차코드와

동일한 계산 결과를 얻을 수 있다. 따라서 부영역에서의 고차정확도를 유지하면서 통신부하를 줄일 수 있는 최적화 방법을 모색할 필요가 있다. 본 연구에서 3차원 압축성 연소 유동장 해석코드의 경우 통신부하를 줄이면서도 신뢰할만한 계산결과를 얻을 수 있었으며, 병렬효율을 좌우하는 속도향상비(Speed-Up)에서도 그 성능을 입증하였다.

본 연구를 수행하기 위해 사용된 지배방정식은 유동과 화학반응이 완전히 결합된 3차원 Navier-Stokes 방정식을 사용하였으며, 화학반응 모델로는 Moretti가 제안한 8단계 6화학종 축소 화학 반응 모델에 질소( $N_2$ )를 추가하여 7화학종에 대한 수소/공기 혼합기로 화학반응 모델을 적용하였다. 난류 모델링으로는 Baldwin-Lomax 의 대수적 와점성모델(Algebraic Eddy Viscosity Model)을 사용하 기존 순차코드에서는 Cell Vertex 기법을 이용하여 코드를 구성하였다. Cell Vertex 기법의 경우 기존의 격자점을 Cell의 중심으로 보고 계산을 수행하는 방식이다. Cell Vertex 기법을 이용한 압축성 코드를 병렬화하는데 있어서 부영역 생성이 모호해짐으로써 고차의 공간정확도를 유지하기가 어려우며, 물리적인 경계조건을 적용하기가 까다로워지는 단점이 있다. 이를 해결하기 위해 부영역 생성에 있어 이웃한 부영역간의 격자를 중첩(Overlapping)시키면서, 가상셀(Ghost Cell)을 따로 두어 고차정확도를 유지하였다.

병렬코드를 구동하기 위한 하드웨어 환경은 윈도우 NT를 기반으로한 병렬 클러스터를 사용하였다. 윈도우 NT 클러스터의 경우 리눅스를 기반으로하는 병렬클러스터에 비해 사용이 편리하며, 기존에 사용하고 있는 컴파일러에 MPI 라이브러리를 추가함으로써 누구나 손쉽게 병렬컴퓨터를 사용할 수 있다. 병렬성능에 있어서도 동일한 Fast-Ethernet을 기반한 리눅스 클러스터보다 더욱 향상된 성능을 확인할 수 있었다.

2차원 및 3차원 다중 블록 병렬코드를 검증하기 위해 다음과 같은 예제를 적용하여 순차코드와의 계산결과를 비교, 검증하였다. 먼저 2차원 병렬코드의 검증에 있어서는 Blunt Body 전면에서의 충격파 유도연소장을 해석해 보았으며, 3차원 병렬코드를 검증하기 위해 3차원 쐐기(Wedge)에서의 충격파 유도 연소장의 수치해석을 수행하였다. 3차원 다중 블록 병렬코드의 경우 쐐기(Wedge)가 있는 3차원 Ramp 서의 연소 유동장 해석을 통해 순차코드 및 3차원 병렬코드와의 비교를 함으로써 3

차원 다중 블록 병렬코드의 정확도를 테스트해 보았다. 이번 3차원 병렬코드의 구축을 기반으로 하여 복잡한 3차원 다중 블록 격자 모델에 대한 수치해석 및 격자를 많이 요하는 3차원 모델의 수치해석에도 적용할 것이다.

아래 그림 1, 2는 3차원 연소 유동장의 Ramp에서의 등압 분포 결과로써 왼쪽은 순차코드 결과이며 오른쪽은 8개 CPU에서 2×2×2로 영역 분할한 병렬코드 결과이다.

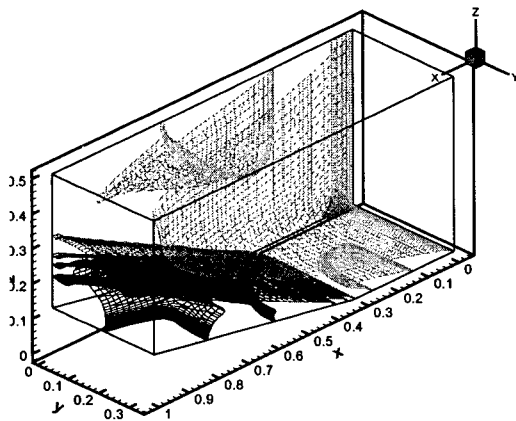


Fig. 1. Sequential Code

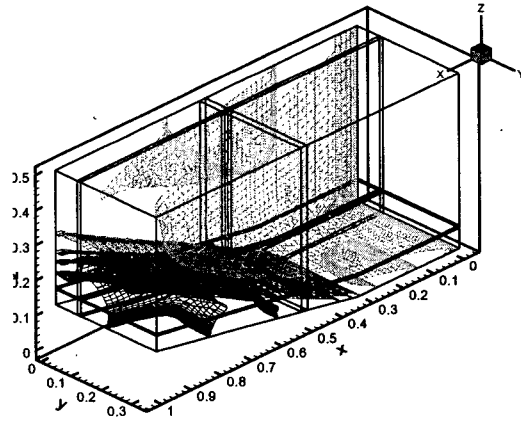


Fig. 2. Parallel Code (8 CPU)