



국가 그리드 구축을 통한 전산유체역학 연구

Computational Fluid Dynamics Research based on National Grid Project

* 조 금 원^{*1} 박 형 우^{*2} 이 상 산^{*1}

Kum Won Cho, Hyungwoo Park and Sangsan Lee

The Grid is a communication service that collaborates dispersed high performance computers, large-scale databases and modern equipments so that those can be shared and worked together. In this paper, CFD research based on National Grid project is discussed. To validate the Grid technology, the flow past ONERA M6 wing and the flow past infinite wing are simulated on the National Grid testbed.

Key Words: 전산유체역학(CFD), 그리드 컴퓨팅(Grid Computing)

1. 서론

정보통신기술의 발달과 더불어 컴퓨터 성능은 급격히 향상되었으며, 이를 통해 순수과학 및 응용공학 분야가 크게 발전하였다. 그러나 아직도 국소지역에 있는 컴퓨터만으로 해결하기 어려운 연구주제들이 다수 존재하고 있으며, 이를 해결하기 위해서는 새로운 정보통신 기술이 필요하게 되었다. 더욱이, 과거에는 뛰어난 연구자 한사람에 의해 대부분의 문제가 해결되었지만 산업이 복잡해지고 제품 설계주기의 단축이 요구되는 현실에서는 숙련된 다수의 연구자가 협업을 수행하여야 하는 환경이 절실히 요구되고 있다. 이는 학제간 연구를 통해 자신이 가지고 있는 기술을 다른 연구자와 공유하게 된다.

이렇게 지역적으로 분산된 자원의 공동활용이나 학제간 협업연구를 가능하게 하는 것이 그리드(Grid)이다. 그리드는 지역적으로 분산된 슈퍼컴퓨터나 클러스터를 고속의 네트워크로 연동하여 단일 시스템처럼 사용할 수 있도록 하는 것이며, 해석하는 문제에 따라 계산 그리드, 데이터 그리드, 액세스(Access) 그리드라 부르고 있다.

계산그리드는 전산유체역학과 같이 계산 집약적인 분야에 해당되며, 데이터 그리드는 수 페타

(10¹⁵) 바이트의 자료를 분산 저장하고 활용하는 연구분야에 해당하며, 대표적으로 바이오 분야이다. 그리고 액세스 그리드는 다수의 연구자가 가상현실 기반에서 동시에 협업연구를 수행하는 것으로 활용사례로는 항공기 통합설계이다. 즉, 동체와 날개 등의 여러 부분을 분리하여 각자가 해석한 후 가상공간에서 이를 조합하는 연구를 수행하는 것이다. 이러한 연구가 현재 미국 NASA에서 활발히 진행되고 있다[1].

국내에서는 KISTI 슈퍼컴퓨팅센터에서 지난 수년간 관련 연구를 수행해오고 있으며[2], 지난 5월에 정보통신부로부터 국가 그리드 사업의 주관 기관으로 선정되었다. 향후 2002년부터 5년간 국가적 차원에서 관련 연구를 진행할 예정으로, 본 논문에서는 이에 대한 개략적 설명과 그리드를 이용한 국내외 CFD 응용연구에 대한 내용을 소개하고자 한다.

2. 국가 그리드 기본 계획과 전산유체역학

그리드 프로젝트를 수행하기 위해 필요한 4가지 요소(4As)가 있다. 4As는 Advanced User, Advanced Computer, Advanced Application, Advanced Network이다. KISTI 슈퍼컴퓨팅센터는 국가 그리드 사업을 수행하는데 있어서 응용연구에 가장 주안점을 두고 있다. 이것은 기존의

^{*1} 정희원, 한국과학기술정보연구원 슈퍼컴퓨팅센터

^{*2} 한국과학기술정보연구원 슈퍼컴퓨팅센터

네트워크 환경에서 연구 가능한 핵심 응용 분야를 선택하고, 응용연구를 위한 미들웨어 기술을 개발하는 것이다. 이에 대한 개념도가 Fig. 1에 나타나 있다.

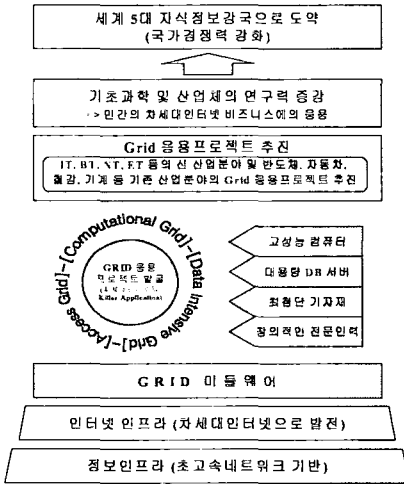


Fig. 1 National Grid Plan

국가 그리드 사업을 세부적으로 수행하고 관련 연구자간의 교류를 촉진하기 위해 그리드 포럼 코리아(<http://www.gridforumkorea.org>)가 지난 9월에 결성되었다. 그리드 포럼 코리아는 실제 연구를 수행하는 워킹 그룹이 중심이 되어 활동할 수 있도록 관련 정관을 제정하였으며, 현재 전산유체역학 그리드(CFD Grid) 워킹그룹(Fig. 2 참조)을 포함하여 구성되어 있다.

전산유체역학 그리드 워킹 그룹은 KOREN/APII 테스트베드 환경에서 전산유체역학 연구를 수행하게 되며, 대학, 정부출연 연구소 그리고 산업체가 참여하고 있다. 향후 해외 기관의 연구자를 포함하여 국제 공동 연구를 수행하고자 한다.

전산유체역학 연구자들이 그리드 환경에서 연구를 수행하는데 있어서 가장 어려운 부분은 미들웨어와 전산유체역학을 결합하는 부분이다. 관련하여 그리드 컴퓨팅을 수행하는데 필요한 미들웨어 기술을 KISTI 슈퍼컴퓨팅센터에서 담당하고 전산유체역학 연구자들은 자신이 수행하던 프로젝트 또는 특정 연구를 워킹그룹에 포함하여 서로 다른 연구자들 간에 협업연구를 수행하게 된다.

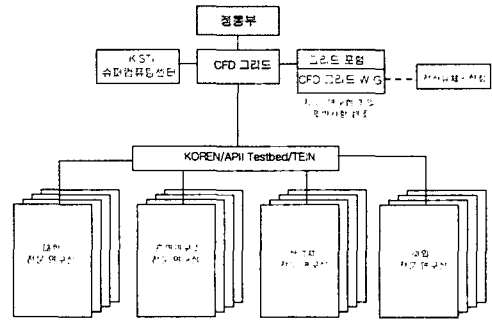


Fig. 2 CFD Grid Working Group

세계적으로 그리드 프로젝트를 수행하는 나라 및 연구소들은 그리드의 타당성을 검증하기 위한 핵심 응용연구로 전산유체역학을 활용하고 있다. 예로 Fig. 3와 같이 NASA IPG(Information Power Grid)[1]에서는 미국 전역의 슈퍼컴퓨터들과 가상현실 시스템을 활용하여 가상풍동환경을 구축하고 항공기 통합해석 및 설계를 수행하는 프로젝트를 진행 중에 있다.

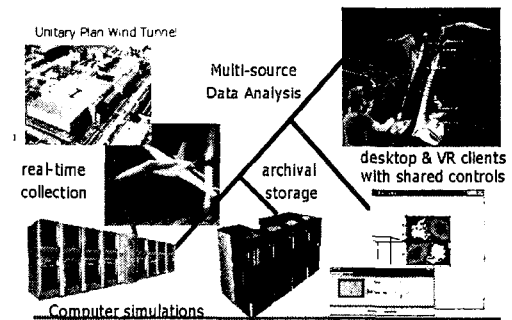


Fig. 3 Virtual Wind Tunnel

국내에서는 KISTI 슈퍼컴퓨팅센터 중심으로 지난 수년간 전산유체역학을 활용하여 그리드 컴퓨팅을 수행해 오고 있으며, 1단계로 IBM, Compaq, Cray T3E 등의 이기종 슈퍼컴퓨터들을 연결하여 연구를 수행하였고, 2단계로 전국에 흩어져 있는 클러스터를 연결하여 그리드 컴퓨팅 연구를 진행 중에 있다.

이기종 컴퓨터를 연동시키는 미들웨어 소프트웨어는 ANL(Argonne National Lab.)에서 개발한 Globus[3]를 활용하고 있으며, 그리드 테스트베드로는 전북대, 부산동명정보대, 숭실대, 천안대 등이 연결되어 있다.

KISTI 슈퍼컴퓨팅센터에서는 일반연구자들이 그리드 컴퓨팅을 보다 쉽게 활용할 수 있도록 MetaCom으로 명명된 그리드 포탈 시스템을 구축하고 있다. MetaCom은 Web 기반에서 메타컴퓨팅의 모든 것을 자동적으로 수행할 수 있도록 하는 것으로, 연구자가 Globus를 포함하여 그리드 미들웨어를 모르고도 해당 분야 연구를 수행할 수 있도록 하는 것이다. 이에 대한 시범 응용으로는 3차원 압축성 유동 코드가 사용되었다. Fig. 4에 이를 나타내었으며, 그림에서 구축된 테스트베드를 선택하면 각 시스템에서 활용할 수 있는 CPU 수 및 관련 정보를 얻을 수 있다.

3. MetaCom 기반 CFD 해석

3.1 수치기법

본 연구에서는 앞에서 언급한 것처럼 정상 및 비정상 유동장 해석이 가능한 병렬화된 3차원 Euler 해석자가 이용되었다[4]. 적용된 수치해석 기법은 공간 이산화 기법으로 요소중심 유한체적법과 Roe의 FDS(Flux Difference Splitting)

기법, 그리고 2차 이상의 공간화 오차를 갖도록 하는 MUSCL(Monotonic Upwind Schemes for Conservation Laws) 기법이 사용되었다. 또한 Van Albada[5] 제한자(Limiter)를 사용하여 TVD(Total Variable Diminishing) 성질을 갖도록 하였으며, 시간 적분 방법으로 ADI (Alternative Direction Implicit) 기법을 사용하였다. 자세한 사항은 참고문헌[6]에 잘 나타나 있다.

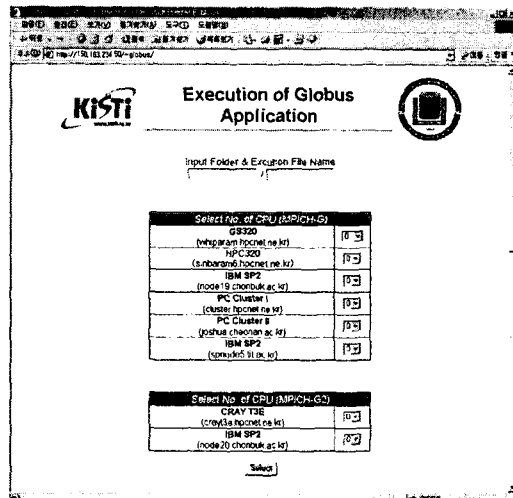


Fig. 4 MetaCom System

3.2 병렬화 기법 및 시스템 구성

본 연구에서 사용된 그리드 컴퓨팅 예제는 3차원 Onera M6 날개와 유한 날개 주위에 흐르는 천음속 유동장이다. 이들의 병렬 성능을 측정하기 위해 참고문헌[7]과 동일하게 두 가지 형태로 격자를 구성하고 해석하였으며, 성능분석에 사용된 결과는 편의상 100회의 반복계산에 걸린 시간을 사용하였다. 관련된 예제를 Table 1에 나타내었다.

Fig. 5는 KISTI 슈퍼컴퓨팅센터가 보유한 HPC320, GS320에 대한 배치도이며, Fig. 6은 국가 그리드를 위해 구축된 테스트베드를 나타내고 있으며, 테스트베드에서 항공기를 분할하여 해석하는 예를 보여주고 있다. Table 2에 본 논문에서 사용된 테스트베드(KISTI, 전북대) 환경에서 사용된 슈퍼컴퓨터들의 사양을 나타내었다.

구분	적용 방법	격자수
Onera M6	전체는 동일한 격자수를 유지하고 CPU가 증가할 때 해당하는 격자수는 감소	166,464(64개 블록)로 각 블록은 동일한 격자수를 가짐.
유한 날개	단일 CPU에 해당하는 격자수가 항상 동일하게 유지하도록 전체 격자수를 증감	140,481/CPU(16개 CPU에 대해서 2,247,696개)

Table. 1 Test Cases for Grid Computing

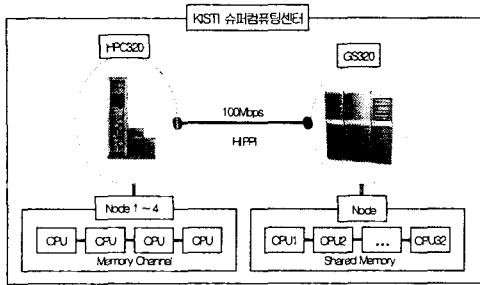


Fig. 5 Arrangement of HPC320 and GS320 System(KISTI)

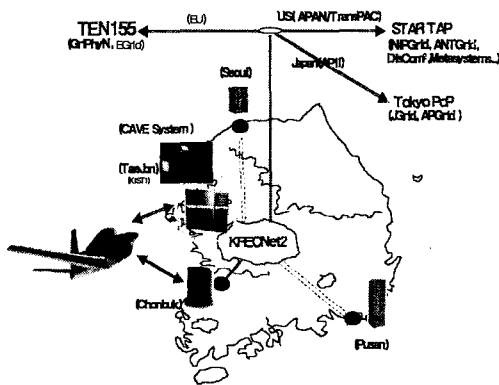


Fig. 6 National Grid Testbed

4. 결과

4.1 해석 예제

Onera M6의 격자계를 Fig. 7에 나타내었으며, 사용된 격자 수는 Table 1에 나타나 있다. 해석에 사용된 형상은 O-H 격자 형태의 ONERA M6 날개로 자유흐름 마하수가 0.84 받음각이 3.06도인 경우이다. 3차원 유한 날개에 대한 단일 CPU의 격자계는 Fig. 8에 나타나 있으며, 격자에 대한 정보는 Table 1에 나타나 있다. 해석에 사용된 형상은 Onera M6와 같이 O-H 격자형태로 ONERA M6 날개 뿌리(root)의 에어포일 형상을 갖고 스펠(span)방향으로 유한 길이를 갖는 날개이다.

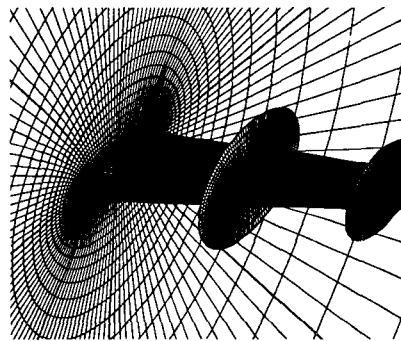


Fig. 7 ONERA M6 Case

4.2 성능분석

4.2.1 KISTI LAN 환경의 HPC320 ↔ GS320 간의 그리드 컴퓨팅 수행

사용된 시스템 구성도는 Fig 5와 같으며, Table 3에 각 컴퓨터에 할당된 작업 수가 나타나 있다.

Table. 2 Characteristic of Supercomputers used in Grid Computing

모델 명	제조업체	CPU 수	아키텍처	노드당 메모리 (GB)	Clock Speed(MHz)	이론 성능 (GFLOPS)	설치장소
GS320	Compaq	32	SMP	32	731	46.8 (1.46/CPU)	KISTI
HPC320		32 (4CPU/Node)	8노드 SMP 클러스터	32 (노드당 4GB)	667	42.7 (1.33/CPU)	
SP2	IBM	64 (2CPU/Node)	32노드 SMP 클러스터	24	375	51.2 (0.8 CPU)	전북대

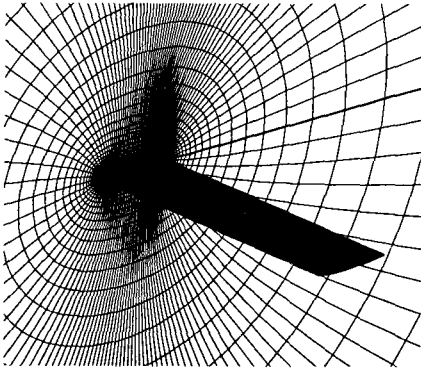


Fig 8 Infinite Wing Case

Table. 3 No. Parallel Process for Each Cases

	Onera M6		Infinite Wing	
	HPC320	GS320	HPC320	GS320
CPU1	1		1	
CPU2			1	1
CPU4			2	2
CPU6				
CPU8	4	4	4	4
CPU12			4	8
CPU16	4	12	4	12

Fig. 9와 10은 Onera M6 날개에 대한 계산 시간과 병렬 성능을 나타낸 그림이다. 그림 10에서 16개의 CPU를 사용할 경우 약 2.5배의 병렬 성능 향상을 보였다. 병렬 효율이 매우 낮은 것은 CPU수가 증가함에 따라 계산량에 비해 자료 교환비가 증가하는 것과 컴퓨터 사용률이 매우 높은(약 80~90%) 상태에서 병렬작업이 이루어졌기 때문이다. 이에 관한 사실은 Fig 9에도 나타나 있다.

Fig. 11과 12는 유한 날개에 대한 계산시간과 성능 분석 결과로서 Onera M6의 예제보다 좋은 성능을 보이고 있다. 이것은 단일 CPU당 계산량이 일정한 경우이므로 CPU 수가 증가하면서 계산량과 자료교환량이 비례적으로 증가하기 때문에 나타나는 현상이다.

Fig. 11에서 자료교환에 소요되는 시간은 계산시간에 비해 일정한 성능을 보이고 있는 반면

계산시간은 CPU 수가 늘어날수록 매우 성능이 저하됨을 볼 수 있다. 이의 결과로 그림 12에서 성능이 16개의 CPU에 대해 약 4배의 효과를 나타낸다. 따라서 전반적으로 성능을 향상시키기 위해서는 자료교환이 효과적으로 이루어질 수 있도록 대역폭 보장에 대한 QoS 연구를 수행하여야 할 것으로 판단되며, CPU가 다른 성능을 가지고 있고 또한 High-Throughput을 갖을 때 좋은 성능을 나타낼 수 있도록 load balancing에 대한 연구가 이루어져야 하겠다.

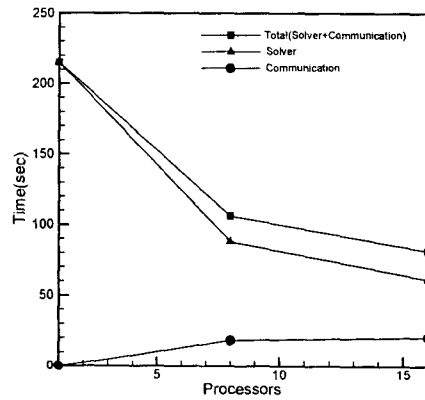


Fig. 9 Total Computing Time(Onera M6)

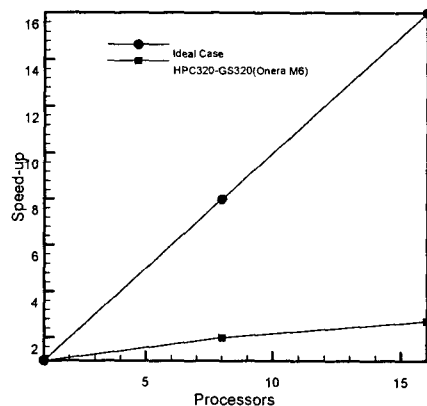


Fig. 10 Parallel Performance(Onera M6)

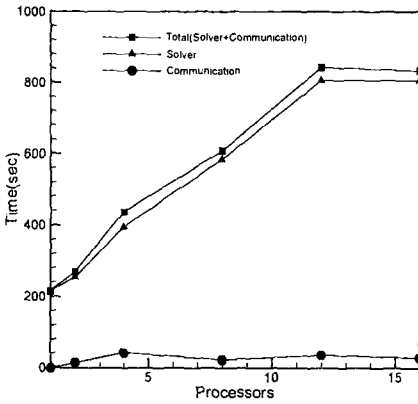


Fig. 11 Total Computing Time(Infinite Wing)

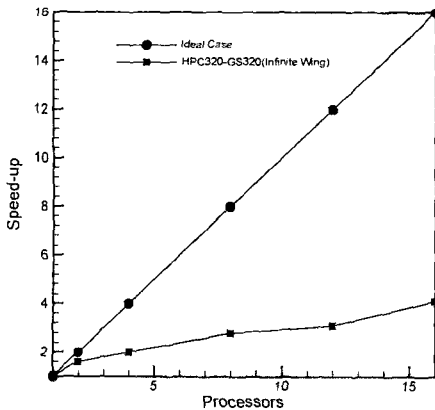


Fig. 12 Parallel Performance(Infinite Wing)

4.2.2 WAN 환경(KISTI, 전북대)의 GS320 ↔ SP2 간의 그리드 컴퓨팅 수행

Fig. 13에 수행된 시스템의 개략도를 나타내었으며, Table 4에 각 컴퓨터에 할당된 작업 수를 나타내었다.

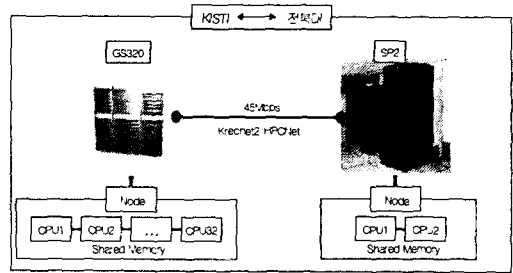


Fig. 13 System Connection between KISTI and Chonbuk Univ.

Table. 4 No. Parallel Process for Each Cases

	Onera M6		Infinite Wing	
	GS320	SP2	GS320	SP2
CPU1	1		1	
CPU2			1	1
CPU4			2	2
CPU6				
CPU8	6	2	6	2
CPU12			10	2
CPU16	14	2	14	2

Fig. 14와 15은 KISTI 슈퍼컴퓨팅센터의 GS320과 전북대 IBM SP2를 이용하여 Onera M6를 해석하고 그리드 컴퓨팅의 성능을 분석한 결과이다. Table 4에 각 컴퓨터에 부과된 작업 수가 나타나 있다. 네트워크 대역폭 보장을 위해 계산은 오후 10시 이후에 수행되었으며, speed-up을 계산하기 위한 기본값(1개의 CPU를 사용한 계산)은 성능이 낮은 IBM SP2에서 계산된 값을 사용하였다. 16개의 CPU를 사용하였을 경우 9배정도의 성능향상이 이루어졌으며 Fig. 14에서 보듯이 전체 계산시간에서 네트워크 보다 해석에 소요된 시간이 매우 크며 성능향상이 제대로 이루어지지 않음을 볼 수 있다. 이것은 CPU 활용율이 매우 높은 상태(70% 이상)에서 병렬 작업이 수행되었기 때문이다.

Fig. 16과 17은 3차원 유한 날개에 대해 GS320과 SP2사이에 그리드 컴퓨팅의 결과를 나타내고 있다. 각 시스템에 분배된 작업량은

Table 4에 나타나 있다. Fig. 16에서 CPU 8개를 사용할 경우 매우 급격히 계산 시간의 증가가 나타나고 16개의 CPU를 사용할 경우는 12개의 CPU를 사용할 경우보다 성능이 우수한 것으로 나타나 있다. 이는 12개의 작업을 실행시켰을 때 CPU 사용률이 80% 정도였으며, 16개의 CPU를 사용할 경우에는 CPU 사용률이 20% 정도였다.

그러나 상대적인 값의 차이에 의해 그 영향이 적게 표현되고 있다. 이에 대하여 PC 클러스터를 사용하여 동일한 문제를 해석하였을 경우, 네트워크에 소요되는 비율은 대략적으로 유사하나 그 시간에 있어서는 수십 ~ 수백배 큰 값을 가지고 있다. 따라서 CPU 예약, QoS 그리고 load balancing의 연구가 병행되어 진행되어야 하리라 판단된다. Speed-up을 계산하기 위한 기본값(1개의 CPU를 사용한 계산)은 성능이 낮은 IBM SP2에서 계산된 값을 사용하였다.

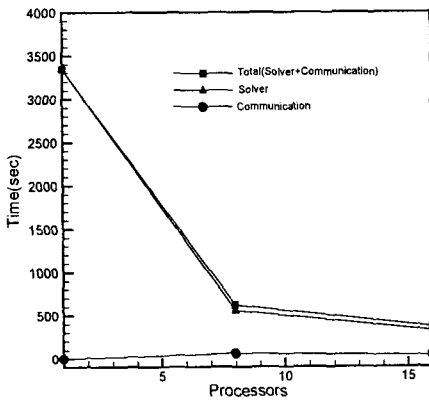


Fig. 14 Total Computing Time(Onera M6)

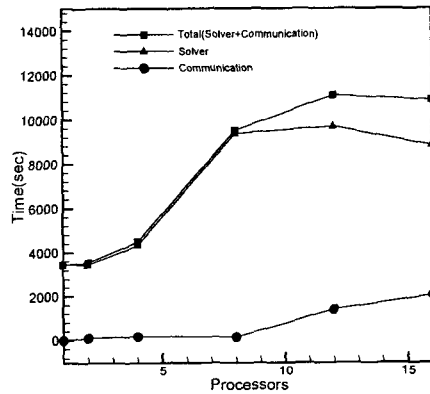


Fig. 16 Total Computing Time(Infinite Wing)

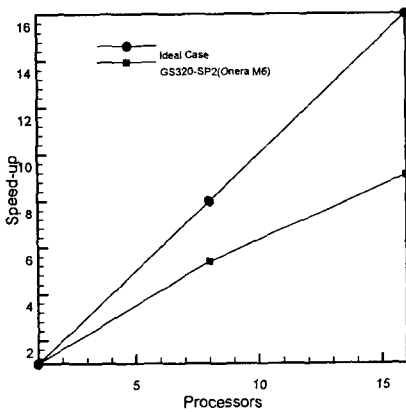


Fig. 15 Parallel Performance(Onera M6)

실제로 계산시간과 자료교환에 소요된 시간을 비교해보면 계산시간만에 소요된 시간이 매우 크게 나타나고 있다. 네트워크를 통해 자료교환에 소요되는 시간도 또한 실제적으로는 매우 많다.

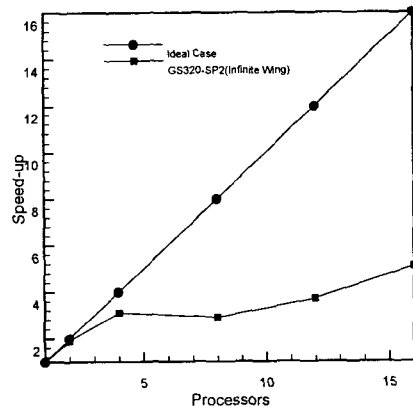


Fig. 17 Parallel Performance(Infinite Wing)



5. 결론 및 향후 연구 계획

Globus 환경에서 MPICH-G를 활용하여 그리드 컴퓨팅을 수행하였다. 본 연구는 해석 결과 분석을 통해 원격지간의 그리드컴퓨팅의 가능성 및 타당성을 검증하기 위해 이루어진 시범 연구로서 향후 좀더 구체적인 연구가 수행될 예정이다. 현재까지의 결과는 고무적인 것으로 특히, 전북대의 IBM SP2와 KISTI에 있는 GS320을 연동하였을 경우 IBM SP2 만을 사용하는 것에 비해 9배정도의 성능향상을 볼 수 있었다. 그러나 실제적으로 GS320만을 사용하는 경우에 비해서는 성능이 매우 저하됨을 동시에 알 수 있었다. 따라서 일반 사용자가 그리드 컴퓨팅을 수행하기 위해서는 다음과 같은 연구가 선행되어야 한다.

1. 그리드 컴퓨팅은 다양한 슈퍼컴퓨터 자원을 동시에 연동하여 작업을 수행하는 것이다. 여기서 다양한 자원이란 시스템 구조 뿐 아니라 성능까지도 포함된 것이다. 일반적으로 병렬 컴퓨팅을 수행할 경우, 계산속도는 가장 느린 CPU의 성능에 좌우된다. 따라서 작업을 수행할 때 성능이 낮은 컴퓨터에는 적은 일을 분배하고 성능이 우수한 컴퓨터에는 많은 일을 분배하도록 하는 과정이 필요하다. 이것이 load balancing이다. 이를 효과적으로 구현하는 다양한 방법이 사용되고 있으며, 향후 이에 대한 적용연구가 필요할 것으로 생각된다.

2. 그리드 컴퓨팅을 수행할 때 필요한 것이 QoS와 CPU 예약이다. 앞의 결과에서 보듯이 계산이 수행되었을 경우 네트워크의 성능은 전체 성능에 큰 영향을 주지 않고 있다. 그러나 본 작업을 주간에 수행할 경우 대역폭이 보장되지 못해 주로 야간(밤 10시 이후)에 수행되었다. 따라서 이를 모든 시간대에서 활용할 수 있도록 하기 위해서는 QoS가 이루어져야 하겠다. 또한 본 논문의 결과에서 볼 수 있듯이 병렬 성능에 큰 영향을 주는 것은 CPU 예약이다. CPU 평균 사용률이 70% 이상인 컴퓨터에서 병렬 작업을 수행할 경우 그 성능이 매우 저하됨을 볼 수 있으며(Compaq 시스템의 특성도 포함됨), 따라서 이에

대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

6. 후기

본 연구는 2001년도 슈퍼컴퓨팅기반개발 연구 사업의 일환으로 이루어진 것이며, MetaCom 시스템 구성에 대한 도움을 주신 윤주식 위촉 연구원님께 감사드립니다.

참고문헌

- [1] <http://www.ipg.nasa.org>
- [2] 슈퍼컴퓨팅센터 사업보고서, 2000. 12.
- [3] <http://www.globus.org>
- [4] 조금원, 권장혁, 이승수, "비정상 Euler 방정식을 이용한 Chimera 기법의 병렬처리 리에 관한 연구", 한국전산유체공학회지, 제4권 제 3호, (1999), pp. 52-62
- [5] W.K Anderson, "Extension and Application of Flux-Vector Splitting to Unsteady Calculation on Dynamic Meshes," AIAA Paper-87-1152, Hawaii, (1987)
- [6] S. Lee, "Numerical Computation of Flows about an Aircraft with Flow-through Inlet," Journal of The Korea Society for Aeronautical and Space Sciences, Vol.25, No.5, pp.16-23, 1997
- [6] 조금원, 홍정우, 이상산, "다양한 PC 클러스터 시스템 환경에서 CFD 코드의 성능 분석," 한국전산유체공학회지, 제 6권, 제 2호, pp.47~55, 2001