



그리드 컴퓨팅 환경을 이용한 전산 유체 해석

Computational Fluid Dynamics on The Grid Computing Environment

성춘호^{1)*}, 조금원¹⁾, 박형우¹⁾, 이상산¹⁾, 김대회²⁾, 권장혁³⁾

Chun-ho Sung, Kum Won Cho, Hyungwoo Park, Sangsan Lee,
,Dae-Hee Kim, Jang Hyuk Kwon

The grid technology is believed to be the next generation research tool for both computational and experimental scientists. With advanced network technologies and middleware, geographically distributed facilities can be tightly connected to provided a huge amount of resources or remote accessibility. In this paper, an overview of grid technology will be introduced with an emphasis in application to computational fluid dynamics. The computational fluid dynamics, which involves solution of partial differential equations, is basically limited by the computing power. With the grid technology, virtually unlimited resources are provided. The schematic structure of middleware and grid environment, as well as some preliminary results are presented.

1. 서 론

전산유체역학의 발전은 컴퓨터 성능의 발전과 밀접한 관계를 가지고 있었다. 1970년대 이전의 전산유체역학이 주로 포텐셜 방정식 등을 중심으로 발전한데 비하여 벡터형 슈퍼컴퓨터와 병렬 컴퓨터 등이 일반화 되면서 Navier-Stokes 방정식을 이용한 연구가 주류를 이루고 있는 점을 상기하면 이러한 경향을 알 수 있다. 2000년 이후에 급속히 보급된 병렬 컴퓨터, PC 클러스터 등에 힘입어 과거에 상상할 수 없었던 강력한 컴퓨팅 파워를 확보하는 것이 가능해 졌다. 그러나, 현재의 기술로 10000대 이상의 컴퓨터를 연결한 클러스터 혹은 10000개 이상의 CPU를 가지는 단일 병렬 컴퓨터를 구성하는 것은 간단한 일이 아니다. 아직도 난류 유동의 직접 모사, 반복적인 Navier-Stokes 방정식의 해석이 요구되는 최

적 설계 등에 있어서 현재의 컴퓨팅 파워는 충분하지 못하다고 볼 수 있다.

최근 관심이 고조되고 있는 그리드 기술은 이러한 컴퓨팅 파워의 한계를 극복할 수 있는 좋은 대안으로 평가 받고 있다. 그리드란 지역적으로 분산된 고성능 자원(컴퓨터, 스토리지, 거대 실험장치 등)을 네트워크로 연동하여 단일 시스템처럼 사용할 수 있도록 하는 정보통신 인프라를 의미한다. 기존의 클러스터링 기술이 같은 지역에 존재하는 컴퓨터 자원들을 연동하는 것이라면 그리드는 단순한 컴퓨터 이외에도 다양한 실험장치 등을 포괄한다는 점과 같은 지역이 아닌 국외, 타대륙 등 원거리의 자원까지도 포괄하고 있다는 점에서 차이를 들 수 있다. 전산 유체 역학의 관점에서 그리드는 많은 컴퓨팅 자원을 쉽게 확보할 수 있는 점에서 중요한 의미를 가진다.

1) KISTI 슈퍼컴퓨팅센터(대전광역시 유성우체국 사서함 122호 Tel : 042-869-0639)

2) KAIST 항공우주공학전공 대학원 (대전시 유성구 구성동 373-1 Tel : 042-869-3755))

3) KAIST 항공우주공학전공 (대전시 유성구 구성동 373-1 Tel : 042-869-3715))



그리드 기술이 가능하게 된 것은 무엇보다 네트워크의 발전 속도이다. 그림 1에서 보는 것과 같이 컴퓨터의 발전속도는 Moore의 경험식에 맞게 18개월에 두 배씩 발전하였다. 반면, 네트워크의 발전속도는 매 9개월마다 2 배씩 발전하였다. 좀 더 세분하면 1986년부터 2000년까지 컴퓨터는 약 500배 성능이 향상되었으며, 네트워크는 340,000배 빨라졌다. 향후 2001년에서 2010년까지 컴퓨터는 60배, 네트워크는 4,000배 향상될 것으로 예상하고 있다[1]. 이것으로 지역적으로 분산된 슈퍼컴퓨터나 연구장비를 공동 활용하는 것이 가능하게 되었으며, 또한 지역적으로 특성있는 컴퓨터 자원을 활용하여 하나의 거대한 컴퓨터를 구축하여 활용할 수 있는 기반이 구축되고 있다. 실제로 미국의 TeraGrid 프로젝트[2]에서는 Caltech, Argonne National Lab, San Diego Supercomputer Center, NCSA의 컴퓨터 메모리, 하드디스크, CPU를 초고속 네트워크로 연결하여 13.6 테라(10¹²)플롭스의 성능과 6.8 테라바이트의 하드디스크를 구축하는 것을 목표로 하고 있다. 이것은 한 지역에 하나의 컴퓨터를 구축하는 것이 아니라 지역별로 특성있는 컴퓨터를 구축하고, 이들을 서로 공유함으로써 초대형 컴퓨터를 구성할 수 있음을 나타내는 것이다.

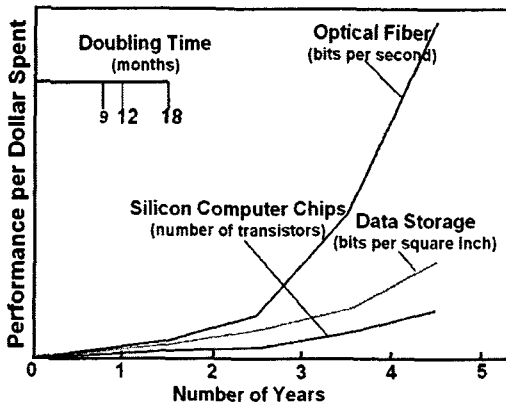


그림 1. 정보통신 기술의 발전

전산 유체 역학에서 그리드를 활용하기 위하여 가장 간단하게 생각할 수 있는 방법은 기존의 병렬 계산 기법을 그리드 환경에 동일하게 적용하는 방법이다. 현재 그리드 미들웨어로 가장 널리 사용되는 있는 globus를 예로 들면, globus 기반에서 병렬 계산 라이브러리인 MPI(message passing interface)를 사용할 수 있게 해주는 MPICH-G2 가 개발되어 있다. 따라서 이를 활용할 경우 기존의 병렬 코드를 수정없이 그리드 환경에 적용할 수 있게 된다. 그러나 이 경우 기존의 병렬 컴퓨터, 클러스터 등에서는 적은 비중을 차지하던 통신 시간이 상대적으로 증가하게 되어 병렬 계산의 효율이 크게 저하될 가능성이 있다. 따라서 그리드 환경에서 사용 가능한 자원을 효율적으로 이용하기 위해서는 통신 속도를 고려하여 알고리즘을 적절히 구성하는 연구가 필요하게 된다.

이 논문에서는 일반적인 계산 그리드의 구조와 현재 가장 많이 사용되고 있는 그리드 미들웨어 Globus 의 구조 및 기능 그리고 이를 이용하여 구성된 KISTI 그리드 테스트베드와, 이를 활용한 전산 유체 역학 계산 결과들에 대하여 소개 한다.

2. 그리드의 분류 및 요소 기술

2.1 그리드의 분류

그리드와 기존 분산 시스템의 차이로 그리드는 수용 가능한 시스템의 수가 무한대이며, 이기종의 시스템을 기본으로 하며, 컴퓨팅 자원의 동적인 추가와 삭제가 가능하다. 또한, 컴퓨팅 액세스 등의 다양한 서비스를 지원하고 컴퓨팅 자원에 접근 및 사용에 있어서 투명성을 제공하는 것이 큰 차이점이다. 이러한 그리드는 해석하는 문제 및 방법에 따라 계산(Computational) 그리드, 데이터(Data) 그리드, 액세스(Access) 그리드로 구분하여 부르고 있다.

계산 그리드

컴퓨터를 이용한 다양한 문제를 해석하는 분야들이 계산 그리드의 범위에 포함된다. 특히, 단일 지역(LAN: Local Area Network) 환경에 있는 컴퓨터와 원거리 지역(WAN: Wide Area Network)에 있는 컴퓨터를 공동활용하게 되므로 자원의 공동 활용 뿐 아니라 단일 지역에서 해결이 어렵거나 시간이 많이 소요되는 문제에 대해 해석의 실마리를 제공하거나 보다 빠른 해석 결과를 제공하게 된다.

계산 그리드를 활용 범위는 초고성능 컴퓨팅 파워를 필요로 하는 부분과 일정 시간내에 많은 문제를 해결할 수 있는 high-throughput 부분으로 분류될 수 있다. 즉, 난류 유동의 직접 모사와 같이 고성능의 컴퓨팅 파워를 요구하는 문제의 경우 계산 그리드의 자원들을 활용하여 하나의 거대 문제를 적절히 분배하여 해석할 수 있다. 이 경우에는 계산 그리드의 연동된 자원들 간의 네트워크 성능이 전체 해석 시간을 결정하는 중요한 요소가 된다. 한편으로, 일정한 시간에 많은 계산 수행할 수 있는 high-throughput 문제가 계산 그리드의 또 다른 방법으로 사용되고 있다. 예를 들어 수십 개의 파라미터를 변경하여 계산할 필요가 있는 문제에 대해 그리드를 사용하면 그리드 미들웨어에서 파라미터 수만큼의 컴퓨터를 전세계에서 확보하고 동시에 문제 해석을 수행하게 되므로 계산시간이 파라미터 1개의 해석

시간과 비슷하게 된다. 따라서 이와 같은 경우 그리드를 활용함으로써 전체 해석의 생산량(throughput)을 크게 향상 시킬 수 있게 된다.

데이터 그리드

데이터 그리드는 대규모 데이터 처리가 필요한 연구기관들이 협력하여 데이터의 저장 및 송수신을 가능하게 하는 그리드 환경을 구축하는 것이다. 항공우주분야에서 대표적인 데이터 그리드는 다양한 기관에서 수행한 풍동 실험 결과를 서로 공유하는 DARWIN (Developmental Aeronautics Revolutionizing Wind-tunnels with Intelligent Systems of NASA) 프로젝트이다. DARWIN 프로젝트에서는 원격지에 있는 연구자는 리모트로 풍동 환경에 접속하여 실험 결과를 상용 S/W와 연계하여 가시화 및 분석하고, 또한 다른 사이트에서 수행된 풍동자료를 검색하여 이를 비교 분석할 수 있다. 이렇게 함으로써 연구자는 보다 빠르고 효과적으로 수행하고자 하는 실험을 완수할 수 있다.

액세스 그리드

액세스 그리드는 계산 그리드와 데이터 그리드에서 생성된 정보를 원거리의 연구자들이 공유할 수 있도록 협업 환경을 제공하는 그리드이다. 액세스 그리드는 원격지 연구자간의 화상회의 시스템을 통해 공동연구를 수행하는 방법과 3차원 몰입형 가시화 장비를 이

	클러스터 환경	그리드 환경
연동 자원 종류	컴퓨터 중심	컴퓨터, 스토리지, 실험 장비 등
연동 자원의 수	수 백- 수천대	이론적으로 무한대
연동 방법	동일 기종, 동일 OS, 라이브러리 수준의 연동, 정적 연동	미들웨어를 통함 이기종 간의 연동, 동적 연동
사용자 지원		single sign-on, 글로벌 스케줄링, transparency 등 지원

표 1 클러스터와 그리드의 비교

용하여 원격지 연구자간에 실시간으로 계산 결과를 해석 및 검증하는 방법이 있다. 이러한 몰입형 가시화 장비는 다수의 면으로 구성되어 있으며 3차원 데이터를 2차원으로 변환하지 않고 바로 볼 수 있는 도구이다. 협업형 가시화 장비를 활용하면 원격지 연구자가 슈퍼컴퓨터 또는 고성능 클러스터에서 생성되는 해석결과를 실시간으로 동시에 가시화하여 볼 수 있다.

2.2 그리드 미들웨어

그리드 환경에서 초대형의 거대 문제들을 해결하기 위해서는 그리드로 연결된 유휴 자원들을 찾아내는 자원 검색 서비스, 작업들의 분산 및 처리 순서를 결정해 주는 스케줄링 서비스, 시스템 안정을 위한 그리드 보안 서비스, 컴퓨팅 자원들을 사용함으로써 발생하는 비용 처리를 위한 사용자 계정 서비스 등이 필요하다. 그리드에 연결된 자원들을 필요로 하는 모든 사용자들에게는 보편적인 서비스를 제공하여야 한다. 이러한 그리드 미들웨어의 대표적인 소프트웨어가 글로버스(Globus)이다. 글로버스는 그리드 환경의 기초적인 기능을 제공하는 미들웨어로 다음과 같은 서비스를 제공하는 부분들로 이루어져 있다.

자원 정보 서비스

글로버스 툴킷에서 자원 정보 서비스를 수행하는 요소로 MDS(Metacomputing Directory Service)라고 부른다. MDS는 그리드 내에 존재하는 자원들의 상태 정보를 공유하고, 사용자들에게 제공하기 위한 요소로써 인터넷의 DNS(Domain Name System)와 비슷한 것이다. 자원 정보 서비스를 위해 글로버스에서는 두 개의 서버를 제공하는데, 각 자원의 정보를 수집하는 GRIS(Grid Resource Information Service) 서버와 수집된 자원 정

보를 통합하는 GIIS(Grid Index Information Service) 서버이다. 이들이 수집하여 제공하는 정보는 각 자원의 구조, 노드 수, 부하 정보, 배치 작업 스케줄러, 네트워크 상태 등이다.

자원 관리 서비스

글로버스 툴킷에서 자원 관리 서비스를 담당하는 부분을 GRAM(Grid Resource Allocation Management)이라 부른다. GRAM은 글로버스 툴킷의 가장 중심이 되는 요소로써 원격지의 자원들을 사용할 수 있게 하고, 분산 자원들을 동시에 사용하게 하며, 자원들간에 존재하는 관리상의 상이함을 처리한다. 사용자는 자신의 작업을 그리드 환경에서 처리할 때 원하는 요구사항을 RSL(Resource Specification Language)이라는 스크립트를 이용하여 표현한다. 작업이 분산 환경에 할당되면 각 작업의 협업을 위해 GRAM은 DUROC(Dynamically Updated Request Online Co-allocator)이라는 요소를 이용하여 실시간으로 자원들을 할당한다.

데이터 관리 서비스

글로버스 툴킷에서 데이터 관리 서비스를 위해 GASS(Globus Access to Secondary Storage), GridFTP(Grid File Transfer Protocol), RC(Replica Catalog) 기능들을 제공한다. GASS는 GRAM과 밀접한 관련이 있는 요소로써 원격지에 있는 파일을 사용하여 작업을 처리하기 원하거나 원격지에서 처리한 작업의 결과를 또 다른 저장 장치에 저장하고 싶을 때 사용한다. GridFTP는 그리드 내의 데이터가 대규모 대용량이란 점을 고려하여 고속으로 파일 전송과 파일의 이어받기를 가능케 하는 요소이다. RC는 데이터 그리드를 위해 개발된 것으로 데이터들을 분산 저장 관리함으로써 필요할 때에 신속하게 데이터를 사용할 수 있게 하는 기술이다.

그리드 보안 서비스 (Grid Security Service)

글로벌스 툴킷에서는 보안을 담당하는 부분을 GSI(Grid Security Infrastructure)라고 부르며, 그리드 보안은 분산 자원들을 공유함에 따라 자연스럽게 발생하는 중요한 문제이다. 사용자의 입장에서는 안전하면서도 사용의 편리성을 요구할 것이고, 각 자원을 소유하고 관리하는 관리자의 입장에서는 자원이 그리드 환경에 개방되는 것이기 때문에 사용의 편리성보다는 더 안전한 보안을 원할 것이다. 이를 위해 GSI는 단일 인증(Single-sign-on) 기능을 제공하기 위해 글로벌스 프록시(Proxy)를 이용한다. 사용자는 그리드 환경에 단 한번의 인증 과정을 거침으로써 사용이 허용된 모든 자원들을 사용할 수 있고, 분산된 각 자원들에 대한 사용자 인증은 프록시가 대신 수행한다.

2.3 응용 소프트웨어를 위한 라이브러리

전술한 바와 같이 글로벌스는 그리드 서비스를 위하여 가장 기본적인 서비스들을 제공하는 미들웨어로 볼 수 있다. 이를 이용하여 실제 응용 문제를 해석하기 위해서는 그리드 서비스를 기반으로 구현된 상위 레벨의 라이브러리들이 필요하게 된다. 현재 병렬 계산을 위해서 가장 많이 사용되고 있는 MPI(message passing interface)의 경우 기존의 네트워크를 사용할 수 있게 구성되어 있는 라이브러리로 이해할 수 있다. 실제 CFD 코드 개발자들은 네트워크에 관련된 기반 미들웨어에 대한 이해 없이 MPI 라이브러리가 제공하는 기능만으로 성공적으로 병렬화를 수행할 수 있다.

그리드 환경에서도 같은 수준의 라이브러리가 제공되고 있다. 그리드 환경에서 MPI를 지원하기 위하여 MPICH-G2 가 개발되어 있다. MPICH-G2 는 기존의 MPI 의 하나인 MPICH를 기반으로 개발되었다. MPICH-G2 에서는 글로벌스가 제공하는 서비스를 이용하

여 그리드 환경의 자원들로 병렬 계산을 수행할 수 있는 환경을 제공한다. CFD 연구자의 입장에서는 이를 활용하여 기존의 클러스터 및 병렬 컴퓨터 환경과 동일하게 병렬 계산을 수행할 수 있다.

그러나, MPICH-G2 는 단순히 MPI를 그리드 환경에 구현한 것으로 그리드 환경이 제공하는 다양한 서비스를 제대로 활용하기에는 부족한 점이 많다고 볼 수 있다. 이러한 한계를 극복하기 위하여 최근에는 다양한 그리드 서비스를 응용 코드에서 직접 접근할 수 있도록 하기 위한 라이브러리 개발이 이루어지고 있다. 현재 유럽에서는 진행되고 있는 Gridlab 프로젝트가 좋은 예이다. Gridlab 프로젝트의 일환으로 진행되고 있는 GAT-API 는 글로벌스가 제공하는 서비스들을 응용 코드에서 사용할 수 있도록 fortran 혹은 C 인터페이스를 제공하는 것을 목표로 하고 있다.

3. 그리드 응용 전산 유체 해석 사례

3.1 FVM 기반의 수치해석 코드

유한체적법은 현재 CFD에서 가장 많이 사용되고 있는 수치 기법중의 하나라고 볼 수 있다. 유한체적법을 사용하는 기법들은 계산 영역을 주어진 CPU 수에 따라 나누어 계산하는 영역 분할법에 의한 병렬 처리 방법이 널리 알려져 있다. 물론 시간 전진 기법에 따라 성능의 차이가 크긴 하지만 전반적으로 우수한 성능을 나타내는 것으로 알려져 있다. 여기서는 3차원 압축성 Navier-Stokes를 해석하고 이를 이용한 최적 설계를 위하여 개발된 KFLOW를 그리드 환경에서 수행하였을 경우에 성능을 평가한다.

KFLOW 는 다양한 시간 전진 기법을 가지고 있으나 여기서는 DADI 기법을 이용한 경우에 대하여 성능 평가를 수행하였다. DADI 기법은 3개의 스칼라 행렬을 연속적으로 해석

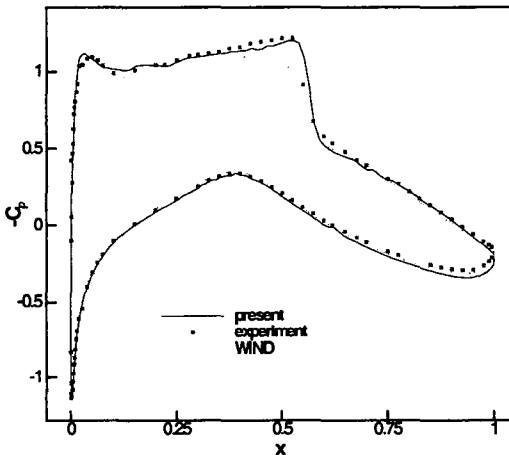
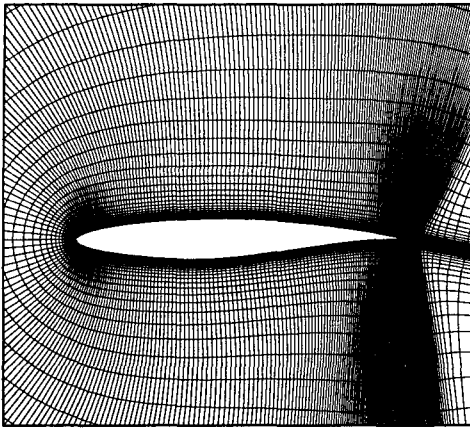


그림 2. RAE 2822 날개의 격자계와
표면 압력 분포

하며 시간 전진을 수행하게 되므로, 병렬화에 따른 효율 측면에서는 다단계 시간전진 기법 등의 외재적 기법에 비하여 좋은 성능을 보이는 것이 일반적이다. 해석에 사용된 문제는 2차원 RAE 2822 날개의 유동 해석과 공력 최적 설계 문제이다. 다음 그림은 해석에 사용된 RAE 2822 날개의 격자계와 표면 압력 분포를 나타내고 있다.

3.2 그리드 테스트 베드

그리드 환경에서의 성능 평가를 위하여 사

용된 시스템은 KISTI 에 있는 4대의 클러스터와 KAIST 에 있는 4대의 cluster 이다. 각각의 성능과 구성은 다음과 같다.

KISTI : cluster.hpcnet.ne.kr

Pentium II 450MHz, 4 nodes

KAIST : duy.kaist.ac.kr

Pentium IV 1.8GHz, 4 nodes

Job scheduler : open PBS

Grid middleware : Globus 2.0

각각의 클러스터는 4개의 node를 가지고 있고 각 node 들 간에서는 100Mbps 의 fast ethernet 으로 연결되어 있다. KISTI 와 KAIST 사이에는 1Gbps 이상의 대역폭을 가지는 초고속망으로 연동되어 있다. 실제로 1클러스터 내부와 KISTI 및 KAIST 사이의 ping 테스트를 실시하면 그림 3과 같은성능을 나타낸다. 가장 작은 10Bytes 의 데이터 교환에서 소요된 시간을 기준으로 WAN 과 LAN 환경의 속도는 약 7 배 차이를 볼 수 있고, 이 차이는 packet 의 크기가 커질 수록 줄어들어 50KB 정도의 크기가 되면 2배 이내의 차이를 나타낸다.

3.3 성능 비교

성능 비교를 위하여 KAIST 클러스터 내부의 4 CPU, KISTI 내부의 4CPU, KAIST 와 KISTI에서 각각 2 CPU 씩을 선정하여 3 가지 경우에 대하여 유동 해석과 최적 설계에 대하여 계산 시간을 비교하였다. 표 2는 각각에서 계산 시간을 나타내고 있다.

계산에 사용된 CPU 들의 성능이 서로 다르므로 이를 고려하여 표를 살펴 보면 MPICH 와 MPICH-G2 의 경우 성능 차이가 미미한 것을 확인할 수 있다. 각각 기관의 CPU를 두 대씩 사용한 경우에 있어서 단일 기관의 클러스터만을 사용하였을 경우에 비하

계산 환경	유동 해석		최적 설계	
	MPICH	MPICH-G2	MPICH	MPICH-G2
KAIST	158.0	158.7	467.7	478.9
KISTI	388.8	392.9	1166.7	1170.4
Grid		410.9		1432.1

표 2 그리드 환경에서의 성능 측정

여서 약 5%-20% 가량의 성능 차이를 나타내고 있다. 이 때, 두 기관의 클러스터를 동시에 사용한 그리드 환경의 경우 CPU 성능에 따른 영역 분할 단계의 고려가 전혀 없으므로 한번의 시간 전진에 소요되는 시간은 성능이 더 느린 KISTI CPU에서 요소되는 시간과 동일하게 된다.

4. 결론

본 논문에서는 그리드 환경에 대하여 소개하고 이를 구현하기 위한 미들웨어의 구성에 대하여 살펴 보았다. 또한 현재 많이 사용되는 글로벌스를 이용하여 실제 그리드를 구성하고 전산 유체 역학 해석 코드의 성능을 평가 하였다. 간단한 2차원 문제에 대하여 성능 평가

를 수행한 결과 상대적으로 데이터 통신 회수가 적은 유동 해석 문제는 약 5% 정도의 효율저하가 있었으며 최적 설계의 경우 약 20% 정도의 효율 저하가 확인되었다. 따라서 원거리 네트워크를 사용하는 그리드 환경이 충분히 전산 유체 역학 문제에도 사용될 수 있음을 확인하였다. 추후 다양한 기관들과의 연동을 통하여 네트워크 상황에 따른 성능 평가, 문제의 크기에 대한 성능 평가 등이 수행된다면 그리드 환경의 유용성에 대하여 더욱 자세한 정보를 얻을 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

- [1] www.ipg.nasa.org
- [2] www.platform.com
- [3] www.openPBS.org
- [4] www.cs.wisc.edu/Condor/
- [5] <http://www-darwin.arc.nasa.gov/docs/darwinweb/dream.html>
- [6] www.hlr.de/organization/vis/covise
- [7] www.globus.org
- [8] www.geodise.org/
- [9] <http://www.sc-2002.org/>

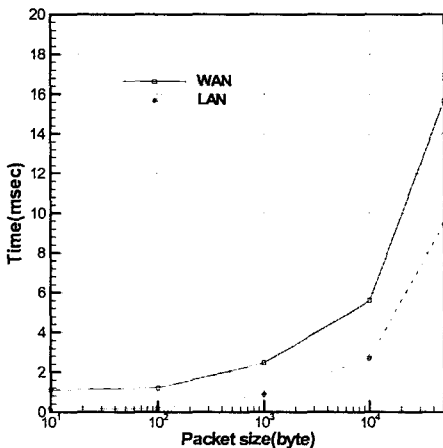


그림 3. 네트워크 성능 측정