

## 천문 계산용 고성능 클러스터 구축 A HIGH PERFORMANCE CLUSTER FOR ASTRONOMICAL COMPUTATIONS

김종수<sup>1</sup>, 김봉규<sup>1</sup>, 임인성<sup>1</sup>, 백창현<sup>1,2</sup>, 남현웅<sup>1</sup>, 류동수<sup>3</sup>, 강영운<sup>4</sup>

<sup>1</sup>한국천문연구원

<sup>2</sup>부산대학교 지구과학교육과

<sup>3</sup>충남대학교 천문우주과학과

<sup>4</sup>우주구조와 진화연구 센터, 세종대학교 천문우주학과

JONGSOO KIM<sup>1</sup>, BONG GYU KIM<sup>1</sup>, IN SUNG YIM<sup>1</sup>, CHANG HYUN BAEK<sup>1,2</sup>, HYUN WOONG NAM<sup>1</sup>, DONGSU RYU<sup>3</sup>, AND YOUNG WOON KANG<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Korea Astronomy Observatory

<sup>2</sup>Department of Earth Science, Pusan National University

<sup>3</sup>Department of Astronomy and Space Science, Chungnam National University

<sup>4</sup>Astrophysical Research Center of the Structure and Evolution of the Cosmos,

Department of Astronomy and Space Science, Sejong University

(Received November 8, 2004; Accepted December 4, 2004)

### ABSTRACT

A high performance computing cluster for astronomical computations has been built at Korea Astronomy Observatory. The 64 node cluster interconnected with Gigabit Ethernet is composed of 128 Intel Xeon processors, 160 GB memory, 6 TB global storage space, and an LTO (Linear Tape-Open) tape library. The cluster was installed and has been managed with the Open Source Cluster Application Resource (OSCAR) framework. Its performance for parallel computations was measured with a three-dimensional hydrodynamic code and showed quite a good scalability as the number of computational cells increases. The cluster has already been utilized for several computational research projects, some of which resulted in a few publications, even though its full operation time is less than one year. As a major resource of the K\*Grid testbed, the cluster has been used for Grid computations, too.

### 1. 서론

현대 천문학은 관측과 이론의 조화를 절실히 요구하고 있다. 직경이 큰 망원경들은 이전에 보지 못했던 우주의 저편의 모습을 속속 우리에게 보여준다. 또한 여러 파장 대를 이용한 관측은 천체의 외관부터 내부까지를 드려다 볼 수 있게(마치 사람의 겉모습은 가시광선으로, 빼는 X선으로 볼 수 있듯이) 해준다. 이러한 관측 자료가 많이 쌓일수록 드러나는 사실과 동시에 질문들도 늘어 간다. 천문학자들은 왜 이 천체는 이상한 모습을 띠고 있을까? 왜 저 천체는 특이한 분광 선을 내 놓을까? 이러한 질문은 간혹 직관적으로 답할 수 있지만, 대부분의 경우는 그 천체의 이론적인 모형으로부터 답을 구한다. 천문학자들은 이러한 일련의 질문들을 하나하나 답함으로써 우주의 생성과 진화의 시나리오를 써 나간다. 이렇듯 관측과 이론은 서로 상호 보완하면서 발전한다.

현대 이론 천문학을 연구하는 데 있어서 컴퓨터는 매우 중요한 역할을 하고 있다. 예전에 해석적 방법으로 풀 수 있었던 간단한 모형들이 점점 복잡해짐에 따라, 오늘날의 모형 계산은 대용량, 고성능 컴퓨터를 필요로 하고 있다. 우주론의 거시적 모형에서부터 행성의 생성에 관한 미시적 모형에까지 컴퓨터가 필요하지 않는 분야는 거의 없다. 이러한 천문학 추세에 비추어 본다면 가격 대비 성능이 우수한 고성능 클러스터는 이론 천문학을 하는데 정말 유용한 도구가 된다. 클러스터는 관측 천문학자들에게도 유용하게 쓰일 수 있다. 최근의 관측 자료들은 그 양이 방대하여 테라바이트를 넘는 경우도 간간이 있다. 특히, 전천 관측 자료 처리에 클러스터가 사용되는 사례는 쉽게 찾아볼 수 있다.

클러스터란 글자 그대로 여러 대의 PC를 서로 유기적으로 연결해 놓은 상태를 말한다. 최초의 클러스터는 1994년 Thomas Sterling과 Don Becker가 16개의 인

텔 DX4 프로세서를 10 Mbps의 이더넷으로 연결했던, 베어울프(Beowulf; 옛 영시에 나오는 전사나 영웅을 치칭함)라고 불리던, 것이다. 이러한 이유로 베어울프는 클러스터의 대명사처럼 사용된다. 클러스터는, 10년이라는 짧은 역사에도 불구하고 다음 단락에서 열거될 장점들 때문에, 현재 널리 사용되고 있다.

클러스터는 그 자체로 여러 가지 장점을 가지고 있다. 첫 번째로 경제성을 들 수 있다. 슈퍼컴퓨터 가격보다 약 10 배정도 적은 비용으로 슈퍼컴퓨터보다 성능이 좋은 클러스터를 제작할 수 있다는 점이다. 두 번째로 그 제작이 쉽다는 점이다. 클러스터를 만들고 관리하는 기법은 이미 인터넷상에 공개되어 있기 때문에, 누구나 쉽게 제작할 수 있다는 점이다. 달리 말하면, 클러스터 제작, 유지 관리의 제반 작업을 컴퓨터에 대한 특별한 지식이 없는 천문학자도 쉽게 할 수 있다는 장점을 갖고 있다. 세 번째로 소프트웨어 구입비가 전혀 들지 않는다는 점이다. 운영체제(리눅스), 컴파일러, 병렬 프로그램 제작을 위한 라이브러리 등을 모두 인터넷 상에서 무료로 얻을 수 있다. 이러한 장점 때문에 클러스터는 여러 분야에서 많이 사용되고 있다.

베어울프 클러스터는 세계 여러 곳에서 천문학 수치 계산에 유용하게 사용되고 있다. 그 중 대표적은 예가 바로 캐나다의 맥킨지(McKenzie) 시스템이다. 이는 256노드로 (인텔 제온 2.4 GHz 프로세서 512개) 이루어진 비교적 큰 규모의 클러스터이다. 이 클러스터는 저 비용의 24포트 기가비트 네트워크 스위치를 여러 대 사용하는 큐빅 네트워크 토플로지(cubic network topology)에 의하여 설계된, 같은 규모의 다른 클러스터에 비하여 가격 대비 성능이 우수한 장점을 지니고 있다. 캐나다 천체물리 연구소(Canadian Institute for Theoretical Astrophysics) 소속 연구원들은 자신의 수치 계산에 이 클러스터를 사용하고 있다. 국내에서도 비교적 대규모의 베어울프 클러스터를 쉽게 찾아볼 수 있다. 한국고등과학연구원에는 Gene과 Quest라고 불리는 두 종류의 클러스터가 있다. 이 중 최근에 만들어진 Quest는, 64노드 (AMD 사 옵테론(Opteron) 프로세서 128개)가 미리넷(Myrinet)으로 연결된, 비교적 성능이 우수한 클러스터이다. 대규모 우주론 계산이 이 클러스터에서 수행되고 있다. 현재까지 국내에서 만들어진 베어울프 클러스터 중에서 가장 우수한 성능을 내고 있는 시스템은 한국과학기술정보연구원 슈퍼컴퓨터 센터에 설치되어 있는 Hamel이다. 이 클러스터는 IBM이 제작한 것으로 256노드(인텔 제온 프로세서 512개)가 미리넷으로 연결되어 있다. 이 클러스터 자원은 국내 여러분야의 계산 과학자들에게 제공되고 있다. 그 외 국내의 많은 대학의 실험실에서도 소규모 클러스터를 제작하여 그들의 연구에 사용하고 있다. 이러한 최근의 상황에 볼 때, 천문학 연구를 위한 전용 클러스터 구축은

그 시기가 늦은 감이 있다.

이 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 제 2장의 첫 번째 절에서는 클러스터를 주로 사용하게 될 국내 수치 천체물리학자들이 그들의 연구 분야에 사용하고 있는 수치 코드를 살펴보고, 이들이 세계적으로 경쟁력 있는 계산을 수행할 수 있는 클러스터의 하드웨어 사양을 결정한다. 나머지 절에서는 구축된 클러스터의 하드웨어와 소프트웨어에 대하여 기술한다. 제 3장에서는 구축된 클러스터의 성능 시험 결과를 보여 주고, 제 4장에서는 결론과 앞으로 다가올 그리드 환경에 대하여 논의한다.

## 2. 하드웨어와 소프트웨어

### 2.1. 클러스터의 규모

국내 천문학자들이 수치 계산을 통하여 연구하는 분야는 우주론, 항성 역학, 은하 구조, 성간 기체 역학 등이다. 이러한 분야 중에서도 N-body나 혹은 유체역학이 가미된 N-body 우주론 수치 계산은 메모리를 특히 많이 필요로 한다. 이 분야에서 세계적으로 경쟁력 있는 계산을 수행하기 위해서는  $1024^3$  개 이상의 격자를 이용해야만 한다. 이러한 큰 규모의 수치 계산을 수행하기 위해서는 적어도 128GB의 메모리가 필요하다. 또한  $1024^3$  격자 계산의 진화 정보를 저장하기 위해서는 수 테라바이트 이상의 하드디스크 공간도 갖추어야 한다. 성간 매질에서 기체의 운동을 제대로 기술하기 위해서는 자기유체역학 방정식을 수치적으로 풀어야 한다. 특히 성간 기체의 난류를 기술하기 위해서는 기체의 진화를 장시간 추적하여야 한다. 이 분야에서 세계적으로 앞서가는 계산은  $512^3$  격자 수를 갖고 있다. 이러한 계산을 원활하게 수행하기 위해서는 많은 프로세서를 동시에 사용하는 병렬계산이 필수적이다. 다른 분야의 수치 계산 (가령, 복사 방정식을 푸는 수치 계산)은 위 두 분야에 비해 비교적 적은 메모리로 빨리 계산할 수 있다. 우리는 국내 수치 계산 천문학자들이 세계적으로 경쟁력 있는 수치 계산을 수행할 수 있도록, 프로세서 128개, 160GB의 메모리, 6 테라바이트 디스크 공간을 갖춘 고성능 클러스터를 구축하였다.

### 2.2. 하드웨어

클러스터를 구축할 때 결정해야 할 가장 중요한 하드웨어는 프로세서와 네트워크이다. 가격대비 성능이 우수한 인텔 프로세서를 선택하는 것은 대세인 것 같다. 인텔 제온 프로세서는 한 PC에 물리적으로 두 프로세서를 장착할 수 있다. 한 프로세서가 장착된 두 대의 PC를 구입하는 것보다 한 PC에 두 개의 프로세서가 장착된 PC를 구입하는 것이 더 경제적이다. 우리는 인텔 제온 프로세서가 두 개 장착된 서버용 PC를 64대 구입하였다.

인텔 제온 프로세서에는 하이퍼 쓰레딩(Hyper-Threading)이라고 불리는 기능이 있다. 이 기능은 물리적으로 한 개의 프로세서를 논리적으로는 두 개로 작동할 수 있게 해준다. 이 기술의 저변에 깔린 생각은 프로세서의 속도가 충분히 빨라져서 프로세서에 한 작업만을 수행하게 하는 것은 비 효율적이라는 점이다. 그래서 논리적으로 두 프로세서가 있는 것처럼 만들어 놓고 동시에 두 작업을 프로세서로 하여금 수행하게 하는 것이다. 이 기술은 여러 프로세서를 동시에 이용해야 하는 병렬 계산에 크게 도움이 될 것으로 기대를 모았다. 그러나 실제로 하이퍼 쓰레딩 기능을 켜 놓고 병렬 계산을 수행한 결과, 켜지 않는 경우에 비하여 계산 효율이 더 떨어지는 결과를 얻었다. 이 이유 때문에 구축된 클러스터 노드들에서는 하이퍼 쓰레딩 기능을 사용하고 있지 않다.

그 다음으로 중요한 선택은 네트워크이다. 고성능 클러스터를 구축하는 데 좋은 네트워크 중의 하나가 미리넷(Myrinet)이다. 이 네트워크는 2Gbit/sec의 대역폭을 지원한다. 이 네트워크의 장점은 레이턴시(latency; 한 PC가 통신을 시작한다는 명령어를 내리는 시점부터 다른 PC가 그 통신을 받는 때까지 걸린 시간)가 10 마이크로 초 정도로 매우 짧다. 이 네트워크의 단점은 네트워크 카드가 고가라는 점이다. 64장의 카드와 미리넷 스위치를 별도로 구입하기 위해서는 많은 비용이 소요된다. 다른 대안으로 기가비트 이더넷을 이용할 수 있다. 기가비트는 글자 그대로 1Gbit/sec의 대역폭을 지원한다. 미리넷에 비하여 단점은 레이턴시가 약 60-80 마이크로 초 정도로 상당히 길다는 점이다. 그러나 경제적인 면에서 상당한 장점을 가지고 있다. 최근에 판매되는 PC는 기가비트 네트워크 포트가 내장되어 있기 때문에 별도의 기가비트 네트워크 카드를 구입할 필요가 없다. 문제에 따라 다르기는 하지만, 천문학에 쓰이는 병렬 수치 코드의 특징은 노드들 간에 빈번한 통신을 하지 않는다. 좀더 기술적으로 이야기하면, 레이턴시가 크게 문제되지 않는다. 이 이유 때문에, 우리는 기가비트 이더넷을 이용하여 클러스터를 구축하였다.

계산 자료를 저장하기 위한 디스크 공간을 마련하는 것도 중요한 고려의 대상이다. SCSI 방식의 하드웨어 레이드(RAID; Redundant Array of Independent Disks)를 지원하는 6테라 바이트의 디스크 스토리지를 설치하였다. 병렬 계산에서는 모든 노드가 데이터를 읽고 써야 하는 경우가 허다하기 때문에 입출력 장치에서 병목을 일으키는 경우가 많다. 레이드를 사용하면 빠른 속도로 방대한 자료를 읽고 쓸 수 있다. 또한 자료의 백업용으로 2.4 테라바이트를 저장할 수 있는 LTO (Linear Tape-Open) 테이프 라이브러리를 구입하였다.

클러스터를 설치할 공간 또한 고려의 대상이다. 요즈음은 클러스터를 설치하는 데 필요한 공간을 확보하

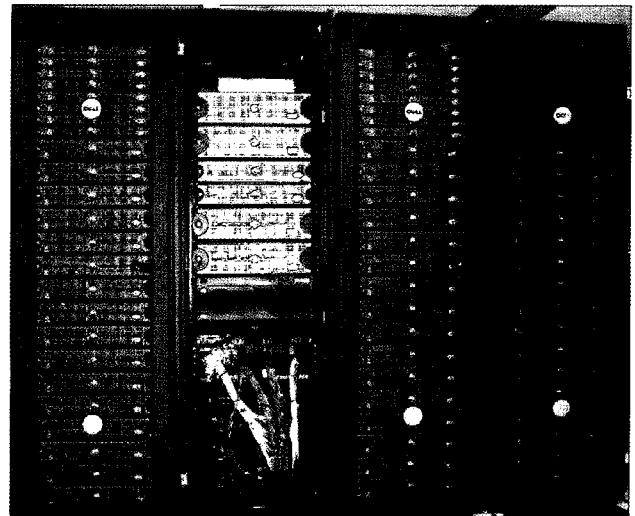


그림 1.— 한국천문연구원 내에 설치된 천문 계산용 고성능 클러스터의 모습. 64개의 컴퓨팅 노드, 1개의 마스터 노드, 6 테라바이트의 저장 공간, 기가비트 이더넷 스위치, LTO 테이프 라이브러리로 구성되어 있다. 계산에 사용되는 총 프로세서는 128개, 총 메모리는 160 기가바이트이다.

기 힘들다. 공간을 효율적으로 사용하기 위하여 랙에 장착할 수 있는 PC를 구입하였다. 디스크 스토리지, 기가비트 스위치 등도 모두 랙에 장착하였다. 그림 1은 완성된 클러스터의 모습은 보여주고 있다.

이 클러스터의 총 제작비용은 약 6억이다. 이 중 64대의 컴퓨터 노드와 1대의 마스터 노드 구입비용 4억, 기가비트 네트워크 스위치 1억, 그리고 디스크 스토리지, LTO 백업장치, 랙 등을 구입하는데 1억의 비용이 들었다.

대규모 클러스터를 구축할 때, 꼭 미리 계획해야 할 사항은 클러스터를 설치할 장소의 크기, 냉방 시설, 그리고 전기 용량이다. 제작된 클러스터는 한국천문연구원 전산실 내부의 기계실에 설치되었다. 이 방의 크기는 43.5 m<sup>2</sup>이다. 이 방에는 냉방 능력이 20,250 Kcal/h인 항온항습기, 11,180 Kcal/h인 에어콘인 각각 한 대씩 설치되어 있다. 또한 덥혀진 공기를 효율적으로 밖으로 내보내기 위하여, 기계실의 천장에 환풍기를 4개 설치하고 24시간 가동 중이다. 이러한 냉방 시설 덕분에, 기계실 내부의 평균 온도를 약 22°C로 낮출 수 있었다. 또한 클러스터에 충분한 전력을 공급하기 위하여, 22 Kwatts의 전력을 공급할 수 있는 전용 전선을 설치하였다. 현재, 클러스터는 이 전력 중 2/3 정도 사용하고 있다. 참고로, 냉방을 위한 항온항습기, 에어콘, 그리고 환풍기는 별도의 전력선을 이용하고 있다.

### 2.3. 소프트웨어

리눅스를 운영체제로 사용하고 있다. 리눅스는 무료로

다운 받을 수 있으며, 다음에 소개할 대부분의 병렬 계산에 필요한 소프트웨어들도 리눅스 운영체제 하에서 잘 돌아간다. 리눅스의 선택은 논란의 여지가 없다.

각 노드의 운영체제에서부터, 클러스터 환경 구축과 관리에 필요한 거의 모든 소프트웨어를 손쉽게 설치해 주는 OSCAR (Open Source Cluster Application Resource)를 사용하였다. 여기에는 병렬 프로그램을 가능하게 해주는 MPI (Message Passing Interface) 라이브러리, 여러 사람의 컴퓨터 작업을 관리해 주는 openPBS (open Portable Batch System), 클러스터 관리를 쉽게 해주는 프로그램들이 포함되어 있다. 또한, 리눅스, 인텔 프로세서 환경에서 가장 좋은 성능을 보여주고 있는 인텔 포트란 컴파일러도 설치하였다. 자료 분석과 가시화를 위하여 IDL(Interactive Data Language)과 openDX (open Data Explorer)도 설치하였다.

### 3. 성능 시험

클러스터나 슈퍼컴퓨터의 성능 시험을 위해 만들어진 대표적인 코드는 HPL (High-Performance Linpack Benchmark)이다. 이 성능 시험 결과는 이용하면, 우리가 구축한 클러스터의 성능과 다른 클러스터의 성능을 서로 비교할 수 있다. 그러나 더 중요한 시험은 자신이 사용하는 코드의 성능 측정이다. 같은 코드를 사용할지라도, 주어진 문제의 크기에 따라 병렬 계산 성능 차이가 나타난다. 그러므로 성능 시험에 있어서 중요한 점은, 문제의 크기와 사용하는 프로세서의 수를 달리하면서, 코드의 병렬 계산 성능을 측정하는 일이다. 이 성능 시험 결과는 실제 문제의 수치 계산을 수행할 때, 가장 높은 계산 효율을 낼 수 있는 프로세서 개수를 선택하여 데 도움을 준다.

이 논문에서는 3차원 등온 유체역학 코드(Kim et al. 1999)를 사용하여 측정한 클러스터의 병렬 계산 성능의 한 예를 보여주려고 한다. 병렬화를 위한 알고리듬은 3차원 계산 영역을 사용하는 프로세서 개수로 분할(domain decomposition; see Gropp et al. 1999)하는 방법을 사용하였다. MPI를 이용하여 병렬 코드를 썼다. 이 병렬 코드의 통신 특징은 프로세서 간에 많은 양의 데이터를 간헐적으로 주고받고 있다. 이는 레이턴시가 비교적 큰 기가비트 이더넷에서도 좋은 성능을 낼 수 있는 통신 형태이다.

그림 2는 병렬 계산 성능을 보여준다. 횡축은 주어진 문제를 풀기위해 사용된 프로세서의 개수를 나타낸다. 종축은 한 개의 프로세서를 써서 걸린 시간을 np개의 프로세서를 써서 걸린 시간으로 나눈 비를 나타낸다. 가장 이상적으로 만들어진 클러스터는 실선을 따를 것이다. 즉, 64개의 프로세서를 사용한 계산은 한 개를 사용한 계산보다 64배 빨리 끝나야 한다.  $128^3$ ,  $256^3$ ,  $512^3$ 의 계산 격자 각각에 대하여 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64개

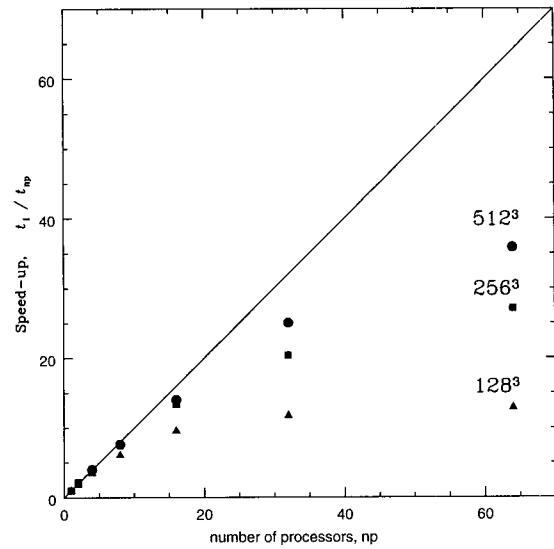


그림 2.— 병렬 계산 성능을 나타내는 그래프. 횡축은 프로세서 숫자를, 종축은 한 개의 프로세서를 써서 계산을 종료하는 데 걸린 시간을 np개의 프로세서를 써서 걸린 시간으로 나눈 비를 나타낸다.

의 프로세서를 사용하여 걸린 계산 시간 비를 삼각형, 사각형, 원으로 나타내었다. 먼저 가장 저 분해능을 사용한 경우, 프로세서 8개까지는 이상적인 시간 비를 어느 정도 잘 따라가고 있다. 그러나 그보다 많은 프로세서를 사용하면 실선에서 급격하게 멀어지는 양상을 볼 수 있다. 그 이유는 프로세서가 늘어남에 따라 상대적으로 통신하는 양에 비하여 계산 양이 줄어들기 때문이다. 이에 반하여, 분해능이 늘어날수록 이상적인 시간 비에 접근하고 있는 양상을 볼 수 있다. 이러한 실험을 통해서 우리는 3차원 유체역학 코드를 사용한 저, 중, 고 분해능의 수치 계산 시, 가장 적당한 프로세서의 개수는 각각, 8, 16, 32개임을 알 수 있었다.

#### 4. 결론 및 토의

128개의 인텔 제온 프로세서, 160기가바이트의 메모리, 6테라바이트의 저장공간을 갖는 하드웨어에 클러스터 구축용 소프트웨어인 OSCAR를 설치하여 천문 계산용 고성능 클러스터를 구축하였다. 구축된 클러스터는, 성간 매질에서 난류에 대한 연구 (Balsara et al. 2004; Vazquez-Semadeni et al. 2005), 헤일로 환경에서, 열 또는 중력 불안정에 의한 구상 성단의 모체가 되는, 성운 형성에 관한 연구 (Baek 2004), 우리 은하 중심에서 중간 질량을 갖는 검은 구멍의 중력 영향권에 있는 별들의 운동에 관한 연구 (Kim et al. 2004) 등에 긴요하게 이용되었다. 앞으로도 이 클러스터는 국내 이론 천문학자들의 주된 관심사인 우주론, 성간물질, 은하 역학분야 연구에 활용될 것이다.

그리드(Grid)라는 새로운 컴퓨터 환경의 도래가 예고되고 있다. 그리드란 서로 멀리 떨어져 있는 (예를 들어 대전과 서울, 또는 전 세계 모든 지역) 고성능 슈퍼컴퓨터들을 동시에 이용하자는 개념이다. 그리드 컴퓨팅은, 컴퓨터 메모리나 프로세서 능력의 한계로 풀지 못했던 난제들, 또는 제한된 하드디스크 용량 때문에 처리하지 못했던 대규모 데이터베이스와 관련된 문제들을 해결해 줄 수 있다. 그리드는 천문학과 동떨어진 기술이 아니다. 대용량 자료 처리를 요하는 관측 천문학과, 대규모 계산을 필요로 하는 이론 천문학 분야 모두에 필요한 기술이다. 현재, 미국과 유럽에서는 “가상 천문대 (Virtual Observatory)” 또는 “천문 데이터 그리드”라는 프로젝트 이름 하에 그리드 환경에서 천문 데이터를 효율적으로 이용하는 연구가 진행 중이다. 또한 “각투스(Cactus)”는 아인슈타인 방정식을 수치적으로 풀어 중력파를 예견하는 프로젝트로, 그리드 환경에서 천문 계산을 성공적으로 수행한 하나의 좋은 예이다. 현재 한국에서는 한국과학기술정보연구원을 중심으로 한국 내 그리드 환경 구축 및 그 응용문제들을 연구하는 프로젝트가 진행 중이다. 한국천문연구원 내에 구축된 클러스터는, K\*Grid 테스트베드에 자원의 제공함으로써, 한국의 그리드 기술과 응용 연구에 기여하고 있다. 그리드 환경에서 천문학 연구를 수행하려는 국내 천문학자들의 클러스터 사용 또한 기대된다.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

천문 계산용 고성능 클러스터는 한국천문연구원과 세종대학교의 우주구조와 진화 연구 센터의 연구비 지원으로 구축되었다.

#### 참고문헌

Baek, C. H. 2004, Ph.D. thesis, Pusan National University

- Balsara, D., Kim, J., Mac-Low, M.-M., & Mathews, G. J. 2004, ApJ, 617, 339  
 Gropp, W., Lusk, E., & Skjellum, A. 1999, “Using MPI: Portable Parallel Programming with the Message-Passing Interface” (MIT Press: Cambridge)  
 Kim, J., Ryu, D., Jones, T. W., & Hong, S. S. 1999, ApJ, 514, 506  
 Kim, S. S., Figer, D. F., & Morris, M. 2004, ApJ, 607, 123  
 Vazquez-Semadeni, E., Kim, J., Shadmehri, M., & Ballesteros-Paredes, J. 2005, ApJ, 618, 344