ETRI

전자통신동향분석 제26권 제6호 2011년 12월

세계 슈퍼컴퓨터 연구정책 현황

Summary on Worldwide HPC Developement Strategies and Status

김영우 (Y.W. Kim) 서버플랫폼연구팀 책임연구원
김성운 (S.W. Kim) 서버플랫폼연구팀 팀장
최완 (W. Choi) 클라우드컴퓨팅연구부 부장

목 차

Ⅰ. 주요 국가 슈퍼컴퓨터 기술 수준
Ⅱ. 주요 국가 슈퍼컴퓨터 연구정책 및 개발 동향
Ⅲ. 한국 슈퍼컴퓨터 연구정책 및 개발 동향
Ⅳ. 결론

최근 수년간 슈퍼컴퓨터 분야에서 중국과 일본은 막강한 자본력과 인적 자원에 힘입어 급격한 발전을 거듭하여, 2010년 중국이 세계 슈퍼컴퓨터 1위를 차지하고 이어서 2011년 일본이 이를 다시 추월함으로써 슈퍼컴퓨터 분야에서 세계적인 경쟁우위를 확보하게 되었다. 이와 같은 국내외적인 추세에 따라, 최근 한국 내에서도 슈퍼컴퓨터에 대한 관심이 늘고 있는 추세이다. 슈퍼컴퓨터 기술은 컴퓨터 시스템 및 관련 소프트웨어의 최첨단 기술이 종합된 기술로 한 국가의 기술력을 판단할 수 있는 기술 분야의 하나로써, 전 세계적으로 슈퍼컴퓨터 기술은 이미 Petaflops 시대를 시작하였으며, Exaflops 시대로 진행 중에 있다. 국내의 경우는 생활에 밀착된 IT 정보기술 분야에 집중하여 연구개발을 진흥함에 따라, 슈퍼컴퓨터 관련 기술의 수준이 경제 수준에 비하여 상대적으로 낮은 것으로 평가되고 있다. 본 고에서는 슈퍼컴퓨팅 기술개발 정책 및 연구방향에 도움이 되고자, 슈퍼컴퓨팅 기술과 관련한 세계 각국 및 한국의 연구정책 동향과 기술개발 현황을 알아보도록 한다.

© 2011 한국전자통신연구원

Ⅰ. 주요 국가 슈퍼컴퓨터 기술 수준

슈퍼컴퓨터의 전통적인 절대 강국인 미국은 지난 20여 년간 전 세계 컴퓨팅 파워의 50% 이상을 차지하고 있으며, 고성능 컴퓨팅에 관한 지속적 연구개발을 통하여 높은 수준의 기술을 보유하고 있다. 세계 주요 국가의 슈퍼컴퓨터 관련 기술 수준에 관하여, 일본 과학기술진흥기구는 2011년 "과학기술 · 연구개발의 국제비교 2011년판"을 발간하였고, 이에 따른 세계 주요 국가의 연구 및 기술 수준 평가는 다음 <표 1>과 같이 요약할 수 있다[1]. 이 자료에 의하면 국내 슈퍼컴퓨터 기술 수준은 선진국 대비 최하위 수준에 머물러 있음을 알 수 있다.

〈표 1〉 주요 국가 슈퍼컴퓨터 기술 수준 비교[4]

구분	연구 수준		기술개발 수준		산업기술력	
	현황	경향	현황	경향	현황	경향
미국	◎	→	◎	→	◎	→
일본	◎	↗	◎	↗	◎	→
유럽	○	→	○	→	○	→
중국	○	↗	◎	↗	○	↗
한국	X	↘	X	→	△	→

◎: 상당한 진전을 보임 ○: 진전이 있음
△: 지연되고 있음 X: 상당히 지연되고 있음
↗: 상승경향 →: 현상유지 ↘: 하강경향

- 미국: 지난 10년간 지속적으로 높은 수준의 연구 수준을 유지하고 있으며, 시스템 측면에서는 일시 답보 상태를 보이고 있으나, SW 기술개발 분야에서 지속적으로 높은 수준을 보이고 있음.
- 일본: 최근 K-Computer 개발과 일본 내 슈퍼컴퓨터 프로젝트의 추진을 통하여 지속적으로 연구 수준을 향상시키고 있으며, 특히 Green500으로 대표되는 저전력 분야에서 두각을 나타내고 있음.
- 유럽: SW 분야에서 일시적으로 기술 선도를 주도하였으나 현재는 기술적인 리더십을 잃어가고 있는 것으로 평가되며, SW에 대한 기술개발이 산발적으로 진행되고 있음.
- 중국: 최근 국가의 주요 항목으로 선정하여 연구개발을 주도하고 있으며, 국립군사 기술대학(NUDT)과 중국과학기술원 등에 의하여 슈퍼컴퓨터 기술에 대한 연구가 진행되고 있음.
- 한국: 연구의 중심이 생활에 밀착한 정보기술에 집중함으로 인하여, 슈퍼컴퓨터 관련 기술은 지속적으로 하강 추세이고, 특히 산업기술력이 전무한 것으로 평가됨.

Ⅱ. 주요 국가 슈퍼컴퓨터 연구정책 및 기술개발 동향

본 고에서는 EESI의 연구보고서[2] 및 IDC 자료[3]의 내용 및 관련 자료를 중심으로 세계 주요 국가의 슈퍼컴퓨터 기술 관련 연구정책 및 기술개발 동향을 알아보고자 한다.

1. 미국의 슈퍼컴퓨터 기술개발 현황

미국은 지난 수십여 년간 슈퍼컴퓨터 및 관련 기술에 대한 전 세계적인 리더십을 가지고 있는 국가로써, 지속적인 연구개발 및 관련 산업 활성화를 통하여 기술에 대한 주도권을 발휘하고 있다.

가. 미국 슈퍼컴퓨팅 연구자금 조달 및 연구 체계

미국은 슈퍼컴퓨터 활성화 법안(1991), 슈퍼 컴퓨터 현대화 법안(1993), 고성능 컴퓨팅 부흥 법안(2004) 등 슈퍼컴퓨터 및 관련 기술개발에 대한 법적, 제도적인 체계 확보를 통한 기술개발을 주도하고 있다.

1) 미국의 슈퍼컴퓨팅 연구자금 규모

EESI의 연구보고서[2]에 따르면, 지난 5년간 연

© 2011 한국전자통신연구원

평균 1조 3,482억 원 규모의 연구비를 슈퍼컴퓨터 관련 프로젝트에 투자하고 있다.

미국은 2005년 967.1백만 달러, 2010년 1,883백만 달러(약 2조 715억 원)의 슈퍼컴퓨터 관련 예산을 사용하고 있으며, 이는 NITRD 프로그램을 통하여 집행되는 예산의 약 48%에 달하는 규모이다[4].

2) 미국의 슈퍼컴퓨팅 연구자금 조달 및 연구 체계

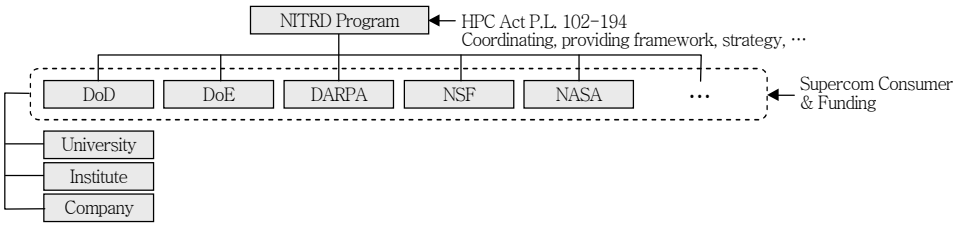
미국의 슈퍼컴퓨터 연구개발은 슈퍼컴퓨터 활성화 법안인 HPC Act에 의하여 1991년 NITRD 프로그램을 시작하여 연구개발에 관한 기본 계획 수립, 연구 내용 조정, 전략 등을 확립하고, 미 국방성, 에너지성, NASA 등 관련 부처를 통하여 슈퍼컴퓨터와 관련한 실질적인 프로젝트의 발굴, 연구자금 조달 등을 지원하며, 학교, 연구기관, 기업 등이 연구 프로젝트 및 개발을 수행하고 있다((그림 1) 참조).

- NITRD program: 국가차원의 연구·개발에 관한 기본 계획 수립, 연구 내용 조정, 전략 등을 확립
- DoD, DoE, DARPA, NSF, NASA: 슈퍼컴퓨터와 관련한 실질적인 프로젝트의 발굴, 연구자금 조달
- 산업계, 학교, 연구기관: 프로젝트 수행 및 연구 개발

나. 미국 슈퍼컴퓨터 보유 현황

미국은 2011년 6월 현재 Top500 순위에서 시스템 대수로는 225대(51%), 총 성능으로는 58.93Petaflops(42.87%)를 차지하고 있다[5].

현재 미국 내 최고성능의 슈퍼컴퓨터는 Oak Ridge National Laboratory에서 보유하고 있는 Jaguar 시스템으로써, Jaguar는 2005년 26Teraflops 시스템 개발을 목표로 2억 달러 규모의 예산을 시작으로 지속적인 추가예산(American Recovery and Reinvestment Act 2009, 1,990만 달러)을 통하여 현재 1.759 Petaflops(실성능)의 성능을 보유한 시스템이다. 이외에도 Cielo, Pleiades, Hopper, Roadrunner등 10위 내에 총 5개의 Petaflops 시스템을 보유하고 있으며, 총 6.051Petaflops의 성능을 갖고 있다(<표 2> 참조).



(그림 1) 미국 슈퍼컴퓨팅 관련 연구자금 조달 및 연구 체계

〈표 2〉 2011년 6월 TOP500의 10위권 내의 미국 슈퍼컴퓨터

System	Funded by	Organization	Integrator	Ranking	Perf.(PFs)		Funding(M$)
					Rmax	Rpeak	
Jaguar	DoE	ORNL	Cray	3	1.759	2.33	219.9
Cielo	DoE	LANL	Cray	6	1.11	1.36	45
Pleiades	NASA	Ames	SGI	7	1.088	1.315	-
Hopper	DoE	LBNL	Cray	8	1.054	1.28	-
Roadrunner	DoE	LANL	IBM	10	1.04	1.38	1,025

© 2011 한국전자통신연구원

다. 미국 슈퍼컴퓨터 연구개발 현황

미국은 2005년 이전에 Petaflops급 슈퍼컴퓨터 기술개발에 착수하여 2000년대 후반에 이를 달성하였다. 미국의 DARPA는 차세대 슈퍼컴퓨터의 개발을 위하여 2007년 Exascale 컴퓨팅에 관한 기획연구를 시작하여 2008년 연구보고서를 제출하였다[6]. 이후 Exascale을 위한 소프트웨어 연구[7] 등에 대한 활발한 논의가 시작되어, 전 세계적으로 다양한 Exascale initiative가 출현하는 계기가 되었다. DARPA의 Exascale 연구보고서는 2015~2018년 Exascale 컴퓨팅의 달성을 위한 광범위한 분야에서의 문제점을 도출하고 이를 해결하기 위한 방법을 정리하였다. 이후 NITRD 프로그램을 통해 다양한 프로젝트를 추진중에 있다.

1) 미국의 슈퍼컴퓨팅 최근 개발 현황

다음의 <표 3>은 미국의 최근 슈퍼컴퓨팅 현황을 정리한 표이다. DARPA는 2001년 High Productivity Computing Systems Program(HPCS)을 통하여 2010년까지 3단계의 연구자금을 지원하여 프로그램 작성 및 사용의 편의성을 위한 고성능 시스템 개발 프로젝트를 진행하였다. 이를 통하여 IBM과 CRAY에 각 2억 9,730만 달러, 2억 9,310만 달러 규모의 연구자금을 지급하였다.

특히 IBM은 HPCS를 통하여 PERCS라는 시스템 프로토타입을 개발하고 이를 NSF가 지원하는 University of Illinois at Urbana-Champaign의 Blue Waters의 개발에 적용하고 있다. Blue Waters는 NSF로 부터 2억 80만 달러 규모의 연구비를 지원받아 10Petaflops급 시스템을 구축하는 프로젝트로 진행 중에 있으나, 최근 IBM이 Blue Waters 프로젝트에서 탈퇴한다고 발표됨으로써 프로젝트의 향배가 관심을 끌고 있다. 또한 2011년도에 NNSA로부터 핵무기 성능 평가를 위한 20Petaflops급 Sequoia 프로젝트 또한 진행 중에 있다.

CRAY는 NNSA의 연구자금을 지원받아 차세대 슈퍼컴퓨터 시스템(1~2Petaflops급)을 개발하는 프로젝트를 진행 중에 있으며 2010년 NOAA를 통하여 기후 모델링을 위한 Petaflops 시스템을 구축하는 프로젝트를 추진하고 있다.

SGI는 NASA의 연구자금을 지원받아 2010년 970 Teraflops급인 Pleiades 시스템을 2012년까지 10 Petaflops급으로 개선하는 프로젝트를 진행 중에 있다.

현재 3위인 ORNL의 Jaguar 시스템은 2011년 업그레이드를 통하여 2012년 Titan이라는 20Petaflops 시스템으로 향상될 예정이다[8].

2) 미국의 Exascale 슈퍼컴퓨팅 프로젝트 추진 현황

미국이 현재 추진 중이거나, 기획 중인 Exascale 관련 프로젝트는 다음의 <표 4>와 같이 요약된다[2].

DARPA는 UHPC를 통하여 4개의 연구그룹을 선정하여 7,660만 달러 규모의 프로젝트를 추진하고

〈표 3〉 미국의 현재 추진 중인 슈퍼컴퓨팅 프로젝트(2010년 기준)

HPC 프로그램	Funded by	Dates	Integrator	Funding(M$)
HPCS	DARPA	2001~2010	IBM	53.3(Ph2)+ 244(Ph3)
HPCS	DARPA	2001~2010	CRAY	43.1(Ph2)+ 250(Ph3)
BlueWaters	NSF	2008~2011	IBM	208
Ceilo	NNSA	~2010, Upgrade 2011	Cray	45
Sequoia	NNSA	2011~(scheduled)	-	
Climate	NOAA	~2010, Upgrade 2011	CRAY	47
Pleiades	NASA	Upgrade 2012	SGI	

© 2011 한국전자통신연구원

〈표 4〉 미국의 Exascale 슈퍼컴퓨팅 프로젝트(2010년 기준)

HPC 프로그램	Funded by	Dates	Integrator	Funding(M$)
UHPC	DARPA	Prototype, ~2018 2 more phase	NVIDIA, Intel, Sandia, Georgia Institute	76.6
Exascale Co-design	DoE(ASCR)	~2015, 1 more phase(2020)	-	8(2010)
Advanced Architecture	DoE(ASCR)	2010~2013	Penn State	5
OHPC	DARPA	~2013	-	3 per project

있다. UHPC는 "현재 시스템의 제약사항을 뛰어넘는 혁신적인 컴퓨팅 시스템"을 2018년까지 개발하는 목표로 추진 중에 있으며, 2018년 이후 2번의 추가 연구지원을 예정하고 있다. 현재 4개의 연구그룹은 NVIDIA를 중심으로 CRAY와 6개의 대학으로 구성하여 2,500만 달러 규모의 연구자금을 지원받고 있으며, Intel과 SGI는 DARPA를 통해 4,900만 달러의 연구비를 지원받음과 동시에 같은 규모의 연구비를 투자하여 연구를 추진 중에 있다. 이외에도 Sandia 연구소와 Micron Technology, LexisNexis Special Service 등 산업체와의 컨소시엄, Georgia Institute of Technology와 Atlanta 연구그룹이 선정되어 있다. DARPA는 UHPC 외에 복수개의 프로젝트로 구성된 OHPC를 추진 중에 있으며, 각 프로젝트에 3년간 300만 달러 규모의 연구지원을 추진 중에 있다.

DoE는 ASCR 프로그램을 통하여 Exascale Co-design Center와 Advanced Architectures and Critical Technologies for Exascale Computing 프로그램을 추진 중에 있다. Exascale Co-design Center 프로그램은 2010년 800만 달러 규모의 연구비를 확보하고, 향후 5년간 매년 500~1,000만 달러 규모의 연구비 지원을 예정으로 프로젝트를 추진하고 있다. Advanced Architectures and Critical Technologies for Exascale Computing 프로그램을 통하여는 500만 달러 규모의 5개 프로젝트를 추진 중에 있으며, Penn State와 Oak Ridge 연구소, HP, Michigan 대학 컨소시엄에 300만 달러 규모의 프로젝트가 선정되어 있다.

2. 일본의 슈퍼컴퓨터 기술개발 현황

일본 역시 지난 수십여 년간 슈퍼컴퓨터 및 관련 기술에 대한 리더십을 가지고 있는 국가로서, 지속적인 연구개발 및 관련 산업 활성화를 통하여 기술에 대한 주도권을 발휘하고 있다. 일본은 2000년대 초반 Earth Simulator(2002~2004년)로 세계 1위를 차지하였으나 2007년 이후 Top500의 10위권에 1개의 시스템도 랭킹되지 못함으로써 주도권을 잃은 듯 하였다. 그러나, 최근 일본은 2011년 K-Computer를 개발하여 세계 1위 시스템을 구축함으로써 다시 한번 기술력을 과시하였다.

가. 일본의 슈퍼컴퓨팅 연구자금 조달 및 연구 체계

일본은 매 5년마다 과학기술기본계획을 발표하면서, 일본 내의 각종 과학기술 정책에 대한 계획입안 및 기술 정책을 총괄하고 있으며, 현재 제4기 과학기술기본계획이 입안 중에 있다.

1) 일본의 슈퍼컴퓨팅 연구자금 규모

EESI의 연구보고서[2]에 따르면, 일본은 지난 5년간 연평균 2,937억 원 규모의 연구비를 슈퍼컴퓨터 관련 프로젝트에 투자하고 있다. 특히 K-Computer의 개발을 위해서 2006~2010년 1조 5,000억 원, 연 3,000억 원 규모의 연구비를 투입하는 등 많은 연구비를 투자하고 있다. K-Computer 관련하여 2009

© 2011 한국전자통신연구원

년까지 약 545억 엔(약 7,791억 원), 2010년 414억 엔(약 5,786억 원)을 투자하였으며, 2011년 한 해에 208억 엔(약 2,822억 원) 규모의 예산을 투입할 예정이다[9].

2) 일본의 슈퍼컴퓨팅 연구자금 조달 및 연구 체계

일본은 현재 1995년 시행된 과학기술기본법(科学技術基本法)에 의거 매 5년마다 과학기술기본계획(科学技術基本計画)을 발표하면서, 일본 내의 각종 과학기술 정책에 대한 계획입안 및 기술 정책을 총괄을 담당하고 있다((그림 2) 참조).

과학기술기본계획은 내각총리대신(内閣総理大臣), 과학기술정책담당대신(科学技術政策担当大臣) 직속 위원회인 총합과학기술회의(総合科学技術会議) CSTP를 통하여 일본 과학기술 정책의 근간인 과학기술기본계획을 비롯하여 과학기술 정책의 종합적/기본적인 기획, 입안 그리고 종합조정 등을 담당하고 있다[10]. CSTP는 내각총리대신이 속한 내각부(内閣府) 산하의 위원회로써, 총무성(総務省, MIC), 재무성(財務省, MOF), 문부과학성(文部科学省, MEXT), 경제산업성(経済産業省, METI) 등 정부산하기관의 정책을 조정하고 있다.

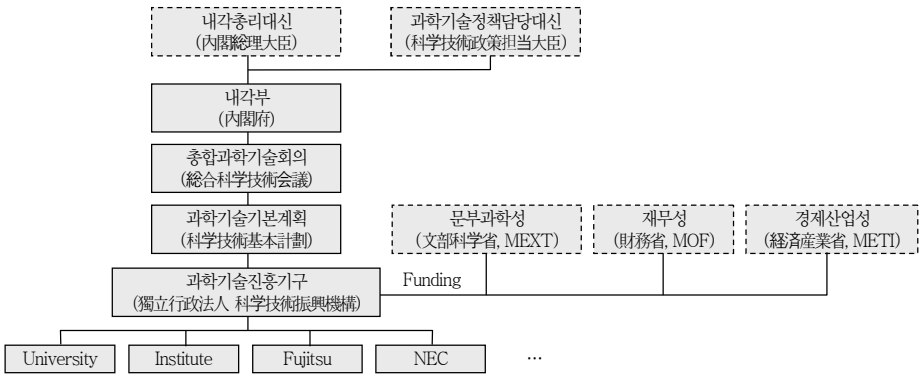
입안된 과학기술기본계획은 독립행정법인 과학기술진흥기구(獨立行政法人 科学技術振興機構, JST)를 통하여 입안된 과학기술 정책을 수행한다. JST는 관계 부처로부터 재원을 지원받아 대학, 연구기관 및 산업체를 통한 연구개발을 진행하고 있다.

나. 일본 슈퍼컴퓨터 보유 현황

일본은 2011년 6월 현재 Top500 순위에서 시스템 대수로는 26대(5.2%, 세계 5위), 총성능으로는 11.18Petaflops(18.98%, 세계 2위)를 차지하고 있다[5].

현재 일본 내 최고성능의 슈퍼컴퓨터는 제3기 과학기술기본계획(2006~2010)을 통하여 10Petaflops급 시스템 개발 프로젝트로 이화학연구소(理化学研究所) RIKEN을 통하여 개발한 K-Computer 시스템이다. K-Computer는 2004년 이후 처음으로 2011년 Top500의 1위를 차지하였으며, 최초의 10Petaflops 시스템이다. K-Computer는 Fujitsu의 SPARC 프로세서를 사용한 시스템으로 실측 성능 8.773Petaflops를 달성함으로써 Exascale 시스템 기술개발의 선두 위치를 탈환하기 위한 발판을 마련하였다.

일본은 <표 5>와 같이 현재 Top500의 상위 10위 내에 2개의 시스템을 보유하고 있으며, 2011년 6월 현재 5위인 Tsubame2.0은 동경공업대 GSIC의 시스템으로써, 일본 최초의 Petaflops 시스템으로 2010년 11월 세계 4위를 차지하였다. Tsubame2.0 시스



(그림 2) 일본 슈퍼컴퓨팅 관련 연구자금 조달 및 연구 체계

© 2011 한국전자통신연구원

〈표 5〉 2011년 6월 TOP500의 10위권 내의 일본 슈퍼컴퓨터

System	Funded by	Organization	Integrator	Ranking	Perf.(PFs)		Funding(M$)
					Rmax	Rpeak	
Kei(京)	과학기술진흥기구	RIKEN AICS(理化学研究所)	Fujitsu	1	8.773	9.898	1,300
Tsubame2.0		동경공업대 GSIC	HP	5	1.192	2.287	-

템의 큰 특징은 GPGPU를 이용하여 Petaflops 성능을 확보하는 것으로, 시스템은 NEC와 HP 시스템을 사용하였다.

다. 일본 슈퍼컴퓨터 연구개발 현황

일본 현재 입안 중에 있는 제4기 과학기술기본계획을 통하여 Exascale 컴퓨팅 기술개발을 추진 중에 있다. 이화학연구소는 K-Computer에 기반하여 Post-Peta HPC 기술개발을 위하여 2011년 208억 엔(약 2,822억 원) 규모의 예산을 투입할 예정이다.

과학기술진흥기구(JST)는 4기 과학기술기본계획을 통하여 CREST 프로그램을 추진할 예정이다[11]. CREST는 멀티/매니코어 시스템을 위한 병렬처리 및 과학연산용 소프트웨어 중심의 프로젝트로서 향후 5~7년간 매년 5~6억 엔(약 70~85억 원) 규모의 예산을 집행하여 총 4,000만 달러 규모(440억 원 규모)의 연구를 추진한다[11].

이외에 Tsubame2.0을 보유하고 있는 동경공업대는 2015년경까지 현재의 전력소모 규모로 30 Petaflops급의 성능을 가지는 Tsubame3.0을 개발할 것을 발표하였다.

Fujitsu는 EADI 프로젝트를 추진 중에 있으며, 2010년 Fujitsu 주도하에 Fujitsu Europe 연구소를 중심으로 OPL 프로그램을 추진하면서 국제적인 파트너십을 구축하고 있다[2].

3. 유럽의 슈퍼컴퓨터 기술개발 현황

유럽은 슈퍼컴퓨팅 기술과 관련하여 일반적으로 HW 시스템 보다는 SW 분야에서 기술적인 우위를 가지고 있는 것으로 평가되고 있다. 그러나 최근 일본의 과학기술진흥기구의 연구보고서[1]에 따르면, 유럽의 SW 기술 분야 또한 기술 발전이 일정 수준 답보 상태에 머물러 있는 것으로 판단하고 있다.

유럽은 2010년 3월 EUROPE 2020 정책을 발표하면서, 연구개발과 관련된 투자를 GDP의 3%까지 끌어올리겠다는 계획을 발표하여 향후 연구개발 분야의 활성화가 예상되고 있다.

가. 유럽의 슈퍼컴퓨팅 연구자금 조달 및 연구 체계

유럽은 27개 회원국 연합으로 구성되어, 기술개발 및 연구자금 조달 등의 체계가 EU를 중심으로 한 통합 체계 및 각국 자체의 연구개발 체계 등으로 이원화 되어 있다.

EU는 2000년 리스본 전략(Lisbon Strategy)을 기본으로 하여 유럽 연구권, ERA를 정의하였으며, 구체적인 실행 방안으로 FP7, CIP 연구 프로그램을 진행하고 있다. 이외에도 EU가 직접 시행하는 프로그램은 아니나, EUREKA, COST 등의 ERA의 실행 방안을 지원하는 다양한 사업이 동시에 진행되고 있다[12].

1) 유럽의 슈퍼컴퓨팅 연구자금 규모

EESI의 연구보고서[2]에 따르면, 지난 5년간 연평균 270억 원 규모(1,960만 달러)의 연구비를 슈퍼컴퓨터 관련 프로젝트에 투자하고 있는 것으로 보고되고 있으나, 개별 국가의 슈퍼컴퓨터 관련 연구개발과 관련한 실제 투입금액은 이보다 큰 규모일 것으로 예상된다.

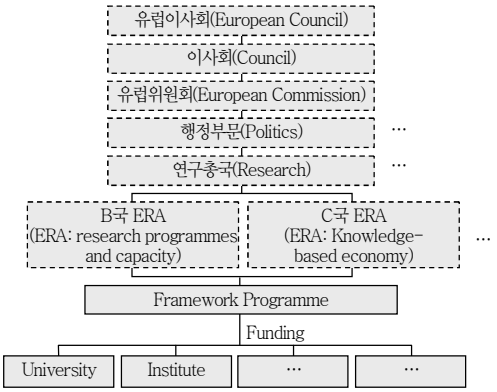
© 2011 한국전자통신연구원

〈표 6〉 유럽의 2011년 6월 TOP500의 10위권 내 슈퍼컴퓨터 현황

System	Funded by	Organization	Integrator	Ranking	Perf.(PFs)		Funding($M)
					Rmax	Rpeak	
Tera-100		CEA(France)	Bull SA	9	1.05	1.254	-

2) 유럽의 슈퍼컴퓨팅 연구자금 조달 및 연구 체계

유럽은 1984년 유럽연합을 대상으로 연구조성 프로그램인 FP를 실행 중에 있다. 현재는 2006년부터 2013년까지 FP7이 진행 중이며 2006년도 기준으로 총 505.21억 유로(약 85조 원)의 예산을 사용하는 것으로 알려져 있다((그림 3) 참조)[12].



(그림 3) 유럽연합 슈퍼컴퓨팅 관련 연구자금 조달 및 연구 체계

나. 유럽 슈퍼컴퓨터 보유 현황

유럽은 2011년 6월 현재 Top500 순위에서 시스템 수로는 126대(25.2.%), 총 성능으로는 12.09Peta-flops(20.51%)를 차지하고 있다[5].

현재 유럽 내의 최고성능 슈퍼컴퓨터는 <표 6>과 같이 프랑스의 Tera-100 시스템으로써 유럽 내의 HPC 제작사인 BULL사의 제품에 기반한 시스템이다(<표 6> 참조).

Tera-100 시스템은 2011년 현재 실측치 1.05 Petaflops 세계 9위로서, 핵무기 연구를 목적으로 2001년부터 시작된 시스템이다.

이외에 각 유럽국가별 슈퍼컴퓨터 현황은 <표 7>과 같다[5].

〈표 7〉 2011년 6월 TOP500의 유럽국가별 현황

Country	Systems	Share(%)	Perf.(PFs)	
			Rmax	Rpeak
Austria	2	0.4	0.188	0.243
Belgium	2	0.4	0.188	0.243
Denmark	2	0.4	0.198	0.260
Finland	2	0.4	0.118	0.180
France	25	5.0	3.181	4.100
Germany	30	6.0	3.242	4.181
Ireland	1	0.2	0.040	0.076
Italy	5	1.0	0.472	0.748
Netherlands	1	0.2	0.051	0.065
Norway	1	0.2	0.041	0.051
Poland	5	1.0	0.315	0.448
Russia	12	2.4	1.342	2.291
Spain	2	0.4	0.136	0.198
Sweden	5	1.0	0.489	0.661
Switzerland	4	0.8	0.318	0.383
United Kingdom	27	5.4	1.872	2.806

다. 유럽 슈퍼컴퓨터 연구개발 현황

유럽의 슈퍼컴퓨터 기술개발은 유럽연합과 각 국가별로 추진되는 연구 프로그램으로 이루어지고 있다. 대표적인 유럽연합 주도 슈퍼컴퓨터 개발 프로그램은 PRACE, DEISA, EESI, TEXT 등이 있다(<표 8> 참고).

〈표 8〉 유럽 슈퍼컴퓨팅 프로젝트(2010년 기준)

HPC 프로그램	Funded by	Dates	Partners	Funding (M€)
PRACE	FP7	2008~2012	20	420
DEISA	FP7	2002~2011	11	18.7
EESI	EC	2010~2011	25	0.64
TEXT	EC	2010~2012	9	3.5

© 2011 한국전자통신연구원

1) 유럽연합의 Exascale 연구개발 현황

2010년 현재 유럽연합의 연구지원 프로그램인 FP7을 중심으로 하는 Exascale 관련 주요 프로그램은 다음과 같다.

- PRACE
  - 유럽 20여 개 국가 연합 프로젝트로서 Petaflops 시스템 기술을 개발하고, 2019년까지 Exascale 컴퓨팅 시스템 기술개발로 확장
  - 2009년까지 약 420억 원의 연구지원이 이루어 졌으며, 2010년 이후 5년간 약 6,000억 원 규모의 연구지원이 예정(연 1,200억 원)
- DEISA
  - 유럽 11개 국가 연합 프로젝트로서 과학기술 응용 HPC 인프라 구축을 목표로, 2011년까지 약 280억 원 규모의 연구지원이 예정(연 28억 원)
- EESI
  - 유럽위원회(EC) 주관의 프로그램으로써, 유럽 25개 파트너로 구성되어 2020년 유럽의 Exascale 소프트웨어 로드맵 구축을 목표
  - 2011년까지 약 10억 원규모의 연구지원이 예정
- TEXT
  - 유럽위원회 주관의 프로그램으로써, Exascale 시대에 적용 가능한 실용적인 병렬 프로그래밍 모델의 개발이 목표, 총 50억 원 규모의 연구지원이 예정(연 17억 원 규모)

이외에도 유럽위원회 지원하에 Exascale computing, software and simulation 프로그램과 Computing System 프로그램을 추진 중에 있다.

- Exascale computing, software and simulation
  - 2020년 Exascale 컴퓨팅 플랫폼으로 사용될 수 있는 고집적 고성능 컴퓨팅 플랫폼의 개발을 목표
  - 2011년부터 약 3년간 진행되며 2,500만 유로(연 150억 원)의 연구자금이 지원될 예정
- Computing System
  - 미래 멀티코어 프로세서 시대를 대비하여 임베디드, PC, HPC 시스템의 영역을 아우르는 기술개발을 목표
  - 2011년 시작하여 4,500만 유로(약 700억 원)의 연구자금이 지원될 예정

2) 유럽 주요 국가별 Exascale 연구개발 현황

유럽연합의 각 개별 국가는 유럽연합과 보조하면서 자국 나름의 Exascale 연구를 진행 중에 있다. 2011년 6월 현재 Top500 리스트에는 총 16개의 유럽연합 가맹국의 시스템이 등재되어 있으며, 이 중 영국, 프랑스, 독일이 높은 비중을 차지하고 있다. 이들 3개국의 슈퍼컴퓨팅 개발 현황은 아래와 같다.

- 영국
  - HPC Software Development Project
    - 영국의 HPC 프로그램을 담당하는 EPSRC의 지원으로 약 3,500백만 파운드 규모의 연구를 진행 중
    - 과학기술/엔지니어링 분야 기술개발을 목표
  - Exascale Technology Center
    - CRAY, EPCC, Edinburgh 대학 공동으로 2012년까지 Exascale 시대를 위한 프로그래밍 언어 개발과 연산가속기술 기반 최적 알고리즘, 라이브러리 개발을 목표
- 독일
  - 3 PFs supercomputer at GSC
    - 2016년 3Petaflops 시스템 구축을 목표
    - 총 4억 유로의 연구비용을 투입 예정
  - EIC
    - Forschungszentrum Jülich(FZG)와 IBM이

© 2011 한국전자통신연구원

공동으로 2019년 Jülich에 Exascale급 시스템과 소프트웨어를 개발하는 것을 목표

- ECL
  - Forschungszentrum Jülich(FZG)와 Intel이 공동으로 2019년 Exasflops 머신을 위한 주요 기술 및 도구 개발을 목표

• 프랑스
- EX@TEC
  - CEA, GENCI, UVSQ, Intel 공동으로 2015년까지 에너지, 지진, 유체역학, 건강 분야에서의 소프트웨어 및 하드웨어의 최적화를 목표

4. 중국의 슈퍼컴퓨터 기술개발 현황

중국이 슈퍼컴퓨팅 기술 분야에서 공식적으로 등장한 것은 1995년 6월 143위를 기록하면서 이다. 이후 2002년 11월 43위를 시작으로 꾸준히 100위권 안에 시스템을 랭킹시키면서 기술적인 발전을 이루어 오고 있다. 특히 2000년대 초반부터 자체 CPU (Godson, Loongson 등)를 개발, 2004년 이후 Dawning사를 중심으로 수광(曙光)컴퓨터 시리즈를 통한 상용시스템 개발 등 지속적인 기술개발을 통해 2010년 11월 天河-1A(Tianhe-1A) 시스템이 세계 1위를 차지함으로써, 중국의 기술력을 세계에 과시하는 계기를 마련하였다.

가. 중국의 슈퍼컴퓨팅 연구자금 조달 및 연구 체계

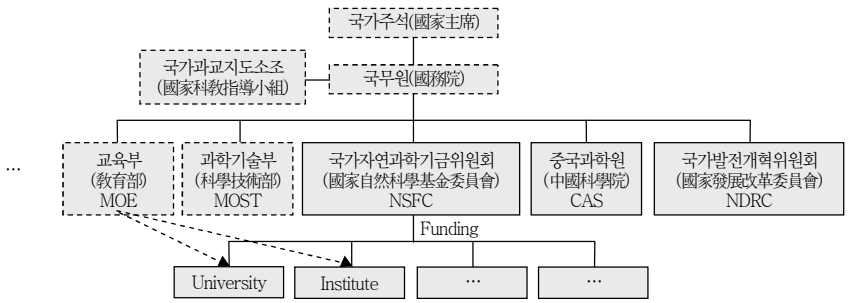
중국은 매 5년마다 5개년 계획을 발표하면서, 중국 내 각종 과학기술 정책에 대한 계획입안 및 기술정책을 총괄하고 있다. 현재 12차 5개년 계획이 추진중에 있다. 또한 2006년에 발표된 "국가중장기과학기술발전규화(國家中長期科學技術発展計画)"를 통하여 R&D 투자를 GDP 대비 2.5% 이상으로 끌어올려 과학흥국, 인재강국전략, 자주 이노베이션 달성을 목표로 연구계획을 추진 중이다.

1) 중국의 슈퍼컴퓨팅 연구자금 규모

EESI의 연구보고서[2]에 따르면, 중국의 지난 5년간 연평균 슈퍼컴퓨터 관련 연구비의 규모는 708억 원 규모로써 큰 규모로 보이지 않으나, 최근 수년간 급격한 연구투자(예, 天河-1 개발비 약 1,000억 원, 天河-1A 개발비 약 680억 원)를 통하여 그 규모가 증가하고 있다.

2) 중국의 슈퍼컴퓨팅 연구자금 조달 및 연구 체계

중국은 (그림 4)와 같이 중앙의 과학기술부(科學技術部), 각 지방정부(성, 청), 국무원(國務院) 직속의 국가자연과학기금위원회(國家自然科學基金委員會, NSFC) 등이 경쟁적으로 각 대학과 연구기관을 대상으로 연구자금을 지원하고 있다[13]. 특히 NSFC는 과학기술부 등과 함께 973계획을 추진하는 등 중국 내 대학, 연구기관을 대상으로 연구자금을 제공하는



(그림 4) 중국 슈퍼컴퓨팅 관련 연구자금 조달 및 연구 체계

© 2011 한국전자통신연구원

중국 유일의 국무원 직속의 funding agency이다. NSFC는 1985년 미국 NSF의 중국판으로, 2005년 26.95억 위안, 2008년 53.59억 위안 등 예산 규모가 급격히 증가하고 있는 추세이다.

나. 중국 슈퍼컴퓨터 보유 현황

중국은 2011년 6월 현재 Top500 순위에서 시스템 대수로는 61대(12.2%, 세계 2위), 총 성능으로는 7.14 Petaflops(12.11%, 세계 3위)를 차지하고 있다[5].

중국은 2009년 11월 NUDT의 Tianhe-1 시스템(563.1Teraflops)을 통해 처음으로 세계 5위에 진입한 이래, 2010년 6월 선전 컴퓨팅 센터(NSCS)의 1.27Petaflops 시스템(Dawning)을 통해 세계 2위를 차지한 후 2010년 11월 NUDT의 Tianhe-1A 시스템(2.566Petaflops)을 통해 처음으로 세계 1위에 진입하였다.

2011년 6월 현재 Top500의 10위권에 NUDT의 Tianhe-1A 시스템과 Dawning의 Nabulae 시스템 등 2개의 시스템이 진입하여 있다(<표 9> 참고).

Tianhe-1A 시스템은 기본적인 구성품(CPU, GPGPU 등)은 기존 기술을 적용하였으나, 네트워크 및 보드 관련된 시스템(chipset 및 보드 등)을 자체 개발하였다. Dawning은 중국의 대표적인 컴퓨터 및 슈퍼컴퓨터 개발사로서 2004년 이후 자체기술을 통한 수광(曙光)컴퓨터 시리즈 개발 등 지속적인 기술개발에 힘쓰고 있으며, 특히 수광 6000 시리즈는 중국이 자체 개발한 프로세서인 Loongson 프로세서에 기반한 슈퍼컴퓨터를 개발하고 있는 것으로 알려지고 있다[14].

다. 중국 슈퍼컴퓨터 연구개발 현황

중국은 현재 제12차 5개년 계획에 돌입하였으며, 제12차 5개년 계획 기간 동안에 자체 기술의 활성화를 통한 슈퍼컴퓨팅 기술개발에 집중하고 있다. 특히 F1000으로 불리는 Loongson-3B 프로세서를 사용한 슈퍼컴퓨터의 개발이 진행되고 있는 것으로 알려지고 있으며, 2020년까지 자체 프로세서(Loongson 및 후속 CPU) 및 시스템 칩 등을 통한 슈퍼컴퓨터 개발을 목표로 진행하고 있다.

중국의 과학기술부(MOST)는 2011년 이후 독자적인 슈퍼컴퓨터(天河- Ⅱ) 개발을 계속 진행할 계획이며, 이때 자체 개발한 FT-1500 프로세서 등이 채용될 것으로 알려져 있다[2].

2009년 11월 세계 5위를 차지하였던 Tianhe-1 시스템은 2012년 Top5를 목표로 2011년 10월 이론성능 3Petaflops 시스템으로의 업그레이드가 예정되어 있는 것으로 알려져 있다[15].

Ⅲ. 한국 슈퍼컴퓨터 연구정책 및 기술개발 동향

한국의 슈퍼컴퓨터 기술개발은 전술한 바와 같이 기술 수준 및 연구개발 현황이 매우 저조한 것으로 평가되고 있는 상황이다. 시스템 수준으로는 기상청

〈표 9〉 2011년 6월 TOP500의 10위권 내의 중국 슈퍼컴퓨터

System	Funded by	Organization	Integrator	Ranking	Perf.(PFs)		Funding(M$)
					Rmax	Rpeak	
Tianhe-1A (天河-1A)		천진슈퍼컴센터, NUDT	자체제작	2	2.566	4.701	60
Nabulae	MOST, CAS	선전슈퍼컴센터(NSCS)	Dawning	4	1.271	2.984	129 (1,350억 원)

© 2011 한국전자통신연구원

과 KISTI의 시스템 도입 사업의 결과로써 Top500에 4개의 시스템이 등재된 수준이다.

1. 한국의 슈퍼컴퓨팅 연구자금 조달 및 연구 체계

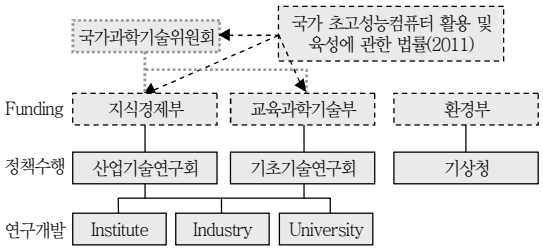
한국은 IT 중심의 기술개발에 치중하고 있으며, 슈퍼컴퓨터 기술개발과 관련된 연구자금 및 체계가 구체적이지 못하다. 최근 "국가 초고성능 컴퓨터 활용 및 육성에 관한 법률"이 2011년 5월경 국회를 통과하여 향후 한국의 슈퍼컴퓨팅 기술개발 정책에 대한 긍정적인 영향이 예상되고 있다.

가. 한국의 슈퍼컴퓨팅 연구자금 규모

EESI의 연구보고서[2]에 따르면, 한국의 지난 5년간 연평균 슈퍼컴퓨터 관련 연구비의 규모는 697억 원 규모로써 중국과 비교하여 큰 차이를 보이고 있지 않으나, 예산 규모상으로는 4~5년 주기로 발생하는 대규모 시스템 도입에 따른 평균 규모로써 대부분의 관련 예산이 연구개발보다는 시스템 도입에 사용되고 있다.

나. 한국의 슈퍼컴퓨팅 연구자금 조달 및 연구 체계

한국의 슈퍼컴퓨팅 프로그램은 주로 기상청과 KISTI의 슈퍼컴퓨터 도입을 중심으로 운영되어지고 있으며, 기술개발과 관련한 연구자금 조달 및 연구 체계가 조직적으로 구성되어 있지 못하다. 현재 기상청은 한국의 기상예측을 위한 슈퍼컴퓨팅 시스템을 운영하고 있으며, KISTI는 산업체의 슈퍼컴퓨터 사용 및 관련 기술 활성화를 위한 시스템 도입 및 운용하고 있다.



(그림 5) 한국 슈퍼컴퓨터 연구자금 조달 및 연구 체계

2011년 현재 한국의 과학 및 IT 기술개발을 총괄하기 위한 "국가과학기술위원회"가 발족되어 정부 유관기관의 역할 및 기술 정책이 조정 중에 있으며, 슈퍼컴퓨터 관련 기술개발과 관련하여 향후 어떠한 정책 및 예산확보가 이루어질지는 아직 미정이다((그림 5) 참조).

2. 한국 슈퍼컴퓨터 보유 현황

한국은 2011년 6월 현재 Top500 순위에서 시스템 대수로는 4대(0.8%), 총 성능으로는 0.95Peta-flops(1.61%, 세계 8위)를 차지하고 있다[5].

기상청은 한국의 기상예측을 위한 슈퍼컴퓨팅 시스템으로써 해온과 해담 시스템(각 316Teraflops)를 운용하고 있으며 Top500의 20, 21위에 랭크되어 있다. 해온, 해담은 550억 원의 도입비용을 들여 CRAY 시스템을 바탕으로 운영되고 있다(<표 10> 참고).

KISTI는 274Teraflops의 Tachyon Ⅱ 시스템이 2010년 세계 15위에 랭크되기도 하였으나, 다른 국

〈표 10〉 2011년 6월 TOP500의 100위권 내의 국내 슈퍼컴퓨터

System	Funded by	Organization	Integrator	Ranking	Perf.(PFs)		Funding(M$)
					Rmax	Rpeak	
해담	기상청	기상청	CRAY	21	0.316	0.379	55
해담	기상청	기상청	CRAY	21	0.316	0.379	
Tachyon Ⅱ	교과부	KISTI	SUN	26	0.274	0.307	-

© 2011 한국전자통신연구원

가의 급격한 기술개발에 따라 2011년 6월 현재 26위로 내려갔다.

3. 한국 슈퍼컴퓨터 연구개발 현황

한국의 주요 슈퍼컴퓨터 개발은 시스템의 도입 및 운용을 중심으로 이루어 지고 있다. 슈퍼컴퓨터 정책의 중심이 시스템 도입과 운용에 치우침으로 인하여, 핵심적인 원천 HW 개발, 시스템 구조 및 대규모 시스템 개발, 관련 소프트웨어(시스템 소프트웨어 및 분야별 응용 소프트웨어)의 연구 등에 대한 연구 규모는 일부 학교 및 연구소를 중심으로 산발적으로 이루어지고 있는 형편이다.

현재 한국의 슈퍼컴퓨터 개발은 시스템 도입 사업과 연구개발로 나누어 생각해 볼 수 있다. 시스템 도입 사업은 주요 슈퍼컴퓨터 운용 기관인 기상청과 KISTI의 차기 슈퍼컴퓨터 도입 사업이 있다. 기상청은 2017년까지 10~15Petaflops 규모의 기상청 4호기 도입을 목표로 하고 있으며[16], KISTI는 2013년까지 30Petaflops 시스템의 구축을 목표로 하고 있다[2]. 또한 2011년 핵융합연구소는 60Teraflops(이론성능)급 시스템이 구축하여 활용하고 있다.

기술개발 및 연구 분야에서는 정부출연 연구기관의 하나인 한국전자통신연구원에서 2011년 지식경제부 지원하의 IT산업융합원천기술개발사업의 일환으로 유전체 분석을 위한 300Teraflops급 슈퍼컴퓨팅 시스템 개발 과제를 통하여 시스템 SW 및 고성능 HW 기술개발을 위한 연구 및 교육과학기술부 주관의 Exascale Computing 시스템 SW 기획연구를 진행하고 있으나, 관련 연구를 위한 국가차원의 연구자금 및 연구 체계의 확립이 절실한 상황이다[17],[18].

2011년 현재 한국의 슈퍼컴퓨팅 기술개발은 2009년 발족된 한국계산과학공학회와 같은 학계와 정부출연연구기관을 중심으로 관련 기술개발이 산발적으로 이루어 지고 있으며, 특히 Exascale 슈퍼컴퓨팅 기술개발을 위한 조직적인 연구 체계 및 국가차원의 연구정책이 확립되어 있지 못한 상황이다. 다만, 전술한 바와 같이 "국가과학기술위원회" 및 "국가 초고성능 컴퓨터 활용 및 육성에 관한 법률"의 향배에 따라 관련 연구의 활성화가 예상되고 있다.

Ⅳ. 결론

슈퍼컴퓨터 기술은 현재 Petaflops 시스템이 등장하였으며, 향후 5~10년 내에 Exascale의 슈퍼컴퓨터가 출현할 것으로 예상되고 있다. 전 세계 선진 각국은 관련 컴퓨터 기술에 대한 집중적인 투자와 연구개발을 통하여 기술 확보에 총력을 기울이고 있으며, 향후 관련 기술의 확보에 따라 컴퓨터 시스템 기술 및 응용 소프트웨어 시장에 막대한 영향이 있을 것으로 예측된다.

국내의 경우는 지난 10여 년간 고성능 컴퓨터 시스템 관련 기술(하드웨어 및 시스템 소프트웨어 등)의 개발이 이루어지지 않아 그 격차가 현저히 벌어져 있으며, 관련 기술 확보에 대한 노력 없이는 향후 그 격차가 더욱 벌어질 것으로 예상된다. 또한 미래 국가 경쟁력의 원천으로 평가되고 있는 슈퍼컴퓨터 관련 기술 분야에 있어서는 경쟁 대상인 주요 국가에 비하여 연구정책 및 연구 체계가 명확히 확립되어 있지 않을 뿐 아니라, 관련 연구예산이 확보되지 않아 현재와 같은 상태로는 슈퍼컴퓨터 기술에 기반한 융합기술, 소프트웨어, 신산업 분야에서의 경쟁력 확보가 어려울 것으로 생각된다.

한국의 미래 국가경쟁력을 담보하고, 관련 기술 및 시장 확보를 위하여는 향후 체계적이고 조직화된 연구정책의 확립 및 연구개발 지원이 지속적으로 진

© 2011 한국전자통신연구원

행되어져야 치열한 국제 경쟁 환경에서 살아남을 수 있을 것이다.

● 용 어 해 설 ●

슈퍼컴퓨터(Supercomputer): 과학기술연산에 사용되는 초고속 컴퓨터. 당대 최상급의 처리능력(특히 연산속도)을 보유한 고성능 컴퓨터를 말하며, HPC(High-Performance Computer)라 하기도 함.

페타플롭스(PetaFlops): 초당 처리 가능한 부동소수점연산 횟수. Peta는 10^{15}를 의미하는 접두사로써 2GHz의 듀얼코어 CPU 기반 PC를 기준으로 약 50,000대급의 성능에 준함.

약어 정리

ASCR	Advanced Scientific Computing Research
CIP	Competitiveness and Innovation Programme
CREST	Core Research for Evolutional Science and Technology
CSTP	Council for Science and Technology Policy
DARPA	Defense Advanced Research Project Agency
DEISA	Distributed European Infrastructure for Supercomputing Applications
DoD	Department of Defense
DoE	Department of Energy
EADI	Exascale Application and Data Initiative
ECL	ExaCluster Laboratory
EESI	European Exascale Software Initiative
EIC	Exascale Innovation Center
EPSRC	the Engineering and Physical Science Research Council
ERA	European Research Area
EX@TEC	European laboratory for research on exascale computing
FP7	Framework Programme 7
FZG	Forschungszentrum Jülich
GSC	Gauss Center for Supercomputing
GSIC	Global Scientific Information and Computing Center
HPC	High-Performance Computer
HPCD	High Productivity Computing Systems Program
JST	Japan Science and Technology Agency
METI	Ministry of Economy, Trade and Industry
MEXT	Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology
MIC	Ministry for Internal Affairs and Communications
MOF	Ministry of Finance Japan
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NITRD	Networking and Information Technology Research and Development
NNSA	National Nuclear Security Administration
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NSF	National Science Foundation
NSFC	National Natural Science Foundation of China
NUDT	National University of Defense Technology
OHPC	Omnipresent High Performance Computing
OPL	Open Petascale Libraries
PERCS	Productive Easy-to-use, Reliable Computing System
PRACE	Partnership for Advanced Computing in Europe
TEXT	Towards Exascale Applications
UHPC	Ubiquitous High Performance Computing program
UVSQ	the University of Versailles at Saint Quentin-en-Yvelines

참 고 문 헌

[1] 電子情報通信分野 科学技術・研究開発の国際比較, 2011年版, 独立行政法人科学技術振興機構研究開発戦略センター, June 2011. http://crds.jst.go.jp/output/pdf/11ic03s.pdf

[2] EESI, "Investigation Report on Existing HPC Initiatives," Deliverable D2.1, Dec. 2010. http://www.eesi-project.eu/

[3] IDC, "D2 Interim Report: Development of a Supercomputing Strategy in Europe," Apr. 2010.

© 2011 한국전자통신연구원

[4] IPA, 米国におけるスーパーコンピューターとその産業を巡る動向, 2010. http://www.ipa.go.jp/about/NYreport/201002.pdf
[5] TOP500. http://top500.org
[6] DARPA, "ExaScale Computing Study: Technology Challenges in Achieving Exascale Systems," 2008.
[7] DARPA, "ExaScale Software Study: Software Challenges in Extreme Scale Systems," 2009.
[8] Inside HPC, "ORNL Slide Deck Reveals Details of 20 Petaflop Titan Super," Aug. 8th, 2011.
[9] HPCI (革新的ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラ) 構築の政府予算案, http://www.nsc.riken.jp/yosan/H23yosan.html
[10] 총합과학기술회의(総合科学技術会議). http://www8.cao.go.jp/cstp/
[11] Satoshi Matsuoka, "Expected funding and plans beyond NGS," IESP Meeting 6, Apr. 6th-7th, 2011. http://www.exascale.org/mediawiki/images/2/26/Talk21-Satoshi.pdf
[12] 科学技術・イノベーション政策動向 EU, 独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター, Apr. 2010. http://crds.jst.go.jp/kaigai/report/TR/EU/EU20100406.pdf
[13] 科学技術・イノベーション動向報告 中国編, 独立行政法人科学技術振興機構研究開発戦略センター, Oct. 2009. http://www.spc.jst.go.jp/export/sites/default/investigation/gaiyou/downloads/gaiyou_all.pdf
[14] Wikipedia, Dawning Information Industry. http://en.wikipedia.org/wiki/Dawning_Information_Industry#Dawning_6000
[15] Inside HPC, "Video: Chinese Tianhe-1 Super to Upgrade to 3 Petaflops in 2012," June 21th, 2011.
[16] 기상청, 슈퍼컴퓨터 최신 동향 및 기상청 슈퍼컴퓨터 3호기 소개, 2010. 7. http://webfas.kma.go.kr: 8080/LAUNCHER/workshop2010/03.ppt
[17] "유전체 분석용 슈퍼컴퓨팅 시스템 개발," IT 산업융합원천기술개발사업, 지식경제부, 2011.
[18] 교육과학기술부, "Exascale Computing 시스템 SW 상세 기획연구," 2010년도 기술료 사업, 국가연구개발사업, 2011.

© 2011 한국전자통신연구원