

요약문

1. 서론

가. 사업 추진배경 및 필요성

🌀 사업 추진배경 및 필요성 요약

- 초고성능컴퓨터는 과학기술수준을 높여 국가경쟁력을 제고하는 핵심인프라
 - 기초과학분야에서 주요 산업분야까지 다양한 분야에서 활용되고 있으며, 그 수요가 폭발적으로 증가
 - 초고성능컴퓨팅 기술은 타 정보통신기술(ICT) 분야의 혁신을 이끄는 원천·기반기술
 - 국내 대부분 초고성능컴퓨터는 기술력 미비로 해외 수입에 의존
 - 미래 과학기술 발전 및 국가경쟁력 제고를 위해서는 초고성능컴퓨터 기술의 높은 해외 의존도를 개선하는 것이 급선무
- * 확보된 요소기술 5종(총 27종), HW 국산 비중은 약 31% 수준(가격기준)

1) 사업 추진배경

가) 초고성능컴퓨터 기술의 중요성

🗡️ 초고성능컴퓨터의 정의

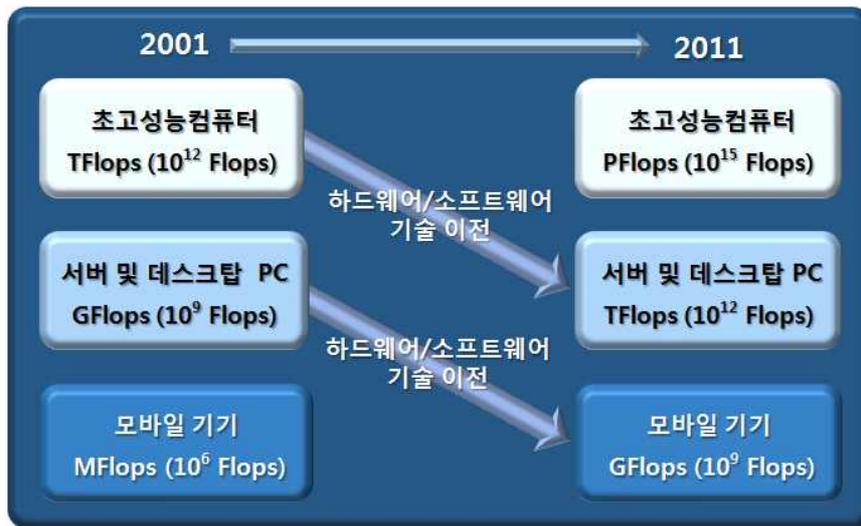
- 보통 방대한 양의 계산을 아주 빠르게 수행할 수 있는 컴퓨터를 의미
- 초고성능컴퓨터의 명확한 정의는 없으나 세계에서 가장 계산속도가 빠른 컴퓨터와 동급의 성능을 가진 컴퓨터를 일컫음
 - 통상적으로 매년 6월 유럽의 International Supercomputing Conference 와 11월 미국의 Supercomputing Conference에서 발표하는 세계 성능 순위(Top500) 500위권 내의 컴퓨터를 의미

□ 초고성능컴퓨터는 과학기술수준을 높여 국가경쟁력을 제고하는 핵심인프라로, 기초과학분야에서부터 주요 산업분야까지 다양한 분야에서 활용되며 그 수요가 폭발적으로 증가

(1) 과학기술 혁신, 산업경쟁력 강화, 국가 위기관리, 국민 삶의 질 향상, 빅 데이터 분석을 위해 사용

□ 초고성능컴퓨팅 기술은 클라우드 컴퓨팅(Cloud Computing), 빅 데이터, 인터넷 데이터 센터, 모바일 컴퓨팅 등 타 정보통신기술(ICT¹⁾) 분야의 혁신을 이끄는 원천·기반기술

- (2) 국내외 주요 기관이 제시하는 '2013년 정보통신기술 전망'에는 클라우드, 빅 데이터, 모바일 분야가 공통으로 등장하는데 이들은 모두 서버 및 모바일 컴퓨팅 기술이 핵심으로 초고성능컴퓨터 기술이 직접적으로 이전되는 분야임
 - (3) 10년 전 초고성능컴퓨터의 하드웨어/소프트웨어 기술이 현재의 서버 및 데스크탑 기술에, 10년 전 데스크탑의 하드웨어와 소프트웨어 기술이 현재의 스마트폰에 이전
- (가) 기술이전 주기는 더 단축될 것으로 예상



[그림 2] 정보통신기술 분야의 성능요구 및 기술이전 방향

□ 우리나라의 경우, 기술의 진입장벽이 낮고 빠르게 경제적 이득을 취할 수 있는 모바일 기기 기술에 대한 연구개발에 집중해 왔으며, 아직까지 IT분야의 원천.기반 기술은 부재

- (4) 새로운 정보통신기술을 기반으로 개발된 스마트폰인 iPhone이 처음 시장에 등장했을 때, 국내 원천.기반 기술의 부재 및 연구개발 인력의 부족으로 iPhone 충격을 경험
- (5) 특히 소프트웨어 기술이 취약

나) 국내외 초고성능컴퓨터 기술 연구개발 현황

□ 주요 선진국들이 장기간 초고성능컴퓨터 기술개발에 치열하게 경쟁 중인 것²⁾에 비해, 우리나라는 초고성능컴퓨팅 육성법과 종합계획 수립 이후 큰 투자 없음

- (1) (미국) 세계 최초「고성능컴퓨팅법('91)」제정 이래, 지속적.적극적 투자로 초고성능컴퓨팅 세계 최강국 지위 유지
- (2) (일본) 1.5조원을 투입하여 '11년 세계 1위의 초고성능컴퓨터를 자체개발하는 등 국가 경쟁력 강화를 위해 초고성능컴퓨팅을 전략적으로 육성 중
- (3) (유럽) EU 전역을 연결하는 초고성능컴퓨팅 공동활용 체제인 PRACE³⁾를 통해 현재 16

1) Information and Communication Technology

2) '세계 슈퍼컴퓨터 연구정책 현황(2011, ETRI)' 참조

3) PRACE(Partnership for Advanced Computing in Europe) : 유럽의 과학자와 기술자에게 세계 최고급 초고성능컴퓨팅 서비스를 제공하는 것을 목적으로 설립

개국이 공동활용

(4) (중국) '13년 약 4,300억 원 투자로 세계 1위 초고성능컴퓨터를 자체개발하는 등 국가 주도 집중투자를 통해 신흥강국 부상

(5) (한국) 국가차원 초고성능컴퓨팅 육성을 위한 법률과 기본계획 수립을 통해 국가차원의 종합 추진체계를 마련하고, 2013년 정부부문 총 634억 원 투입하였으나 이 중 초고성능 컴퓨터 기술 연구개발비는 거의 전무

□ (국내 Top500 진입 자체개발 초고성능컴퓨터 대수) 2013년 6월 기준 Top500에 속하는 국내 초고성능컴퓨터는 모두 4대에 불과하며, 기상청이 2 대를 보유하고 있고 KISTI, 서울대에서 각각 1대를 보유하고 있음

나. 이 중 국내 기술로 제작된 초고성능컴퓨터는 서울대의 '천둥'이 유일하고 나머지 3대는 미국의 회사에서 도입

□ (국내 기술 수준) 초고성능컴퓨터 기술은 현재 국내 도입기에 있으며 서울대와 ETRI에서 기술연구를 추진하고 있을 뿐 초고성능컴퓨터 자체개발에 대한 시스템 적 접근이 어려운 상태임(KISTEP, 120개 국가전략기술별 기술수준 종합분석, 2013)

(1) 최고 기술보유국인 미국에 비해 약 72.6% 정도의 기술 수준이고 선도국을 추격하고 있는 상황임(KISTEP, 120개 국가전략기술별 기술수준 종합분석, 2013)

(2) 천둥의 사례와 같이 COTS 부품을 활용하고 차별화된 중소형 초고성능컴퓨터 자체개발 기술은 확보하였으나, Top500 상위권 수준의 대형 초고성능컴퓨터 시스템 구축 경험은 없고 기술도 확보하지 못함

(3) 기상청과 KISTI 중심의 도입운영에 치중하고 기술개발과 관련한 연구 및 연구체계가 거의 없다고 볼 수 있음

□ (국내 특허 수준) 초고성능컴퓨터의 메모리 및 스토리지 분야의 특허를 제외한 다른 분야는 전반적으로 특허활동이 기술 선도국에 비해 매우 약함

□ (국내 논문 수준) 메모리 및 스토리지 분야에서 강세를 나타내고 있으나 다른 초고성능컴퓨터 관련 기술 분야에서 선도국인 미국과 비교하였을 때 매우 취약함

2) 사업 추진의 필요성

□ **(해외기술의존)** 국내 대부분 초고성능컴퓨터는 기술력 미비로 해외 수입에 의존하고 있어, 주요 선진국과의 격차를 좁히기 위한 체계적이고 집중적인 노력 필요

(1) 타 IT 기술의 경우 세계를 선도하고 있으나, 초고성능컴퓨팅 관련 기술은 선진국과의 기술격차가 매우 큼

(2) 우리나라의 과학기술을 발전시키고 국가경쟁력을 높이기 위해 초고성능컴퓨팅 기술의 높은 해외 의존도를 개선하는 것이 급선무

(가) 국내 설치된 초고성능컴퓨터의 경우 대부분 외국제품에 의존하고 있으며, 국산기술로 개발된 소프트웨어는 거의 전무

□ **(기술추격 및 선도의 호기)** 현재 초고성능컴퓨터 기술개발의 흐름은 저전력 이중 시스템으로의 전환기를 맞이하여 선진국 기술추격과 세계적 기술 선도를 이룰 수 있는 좋은 기회

(3) 초고성능컴퓨터의 성능은 엑사스케일(1EFlops 이상)을 달성하는 것을 목표로 세계 각국에서 연구개발이 활발하게 진행 중

(4) 현재 기술 수준에서는 엑사스케일 시스템의 전력소모가 1GW(1기가와트)를 넘어설 것으로 전망되어 하드웨어 및 소프트웨어 기술을 통해 전력효율을 100배 수준으로 향상시키는 것이 필요

(5) 현재 기술개발의 흐름은 저전력 이중 시스템으로의 전환기를 맞이하여 선진국 기술추격과 세계적 기술 선도를 이룰 수 있는 좋은 기회로, 이 시기를 놓치지 않도록 차별화된 초고성능컴퓨터 자체기술개발 필요

□ 초고성능컴퓨터 기술이 바로 활용될 수 있는 빅 데이터, 고성능서버(HPC), 클라우드 등의 분야에서 시장규모가 확대되고 수요도 폭발적으로 증가 중이므로 이 분야에서 경쟁력을 확보하여 세계 시장을 선점

(6) 저전력 고성능컴퓨터 기술은 ICT 분야의 블루오션

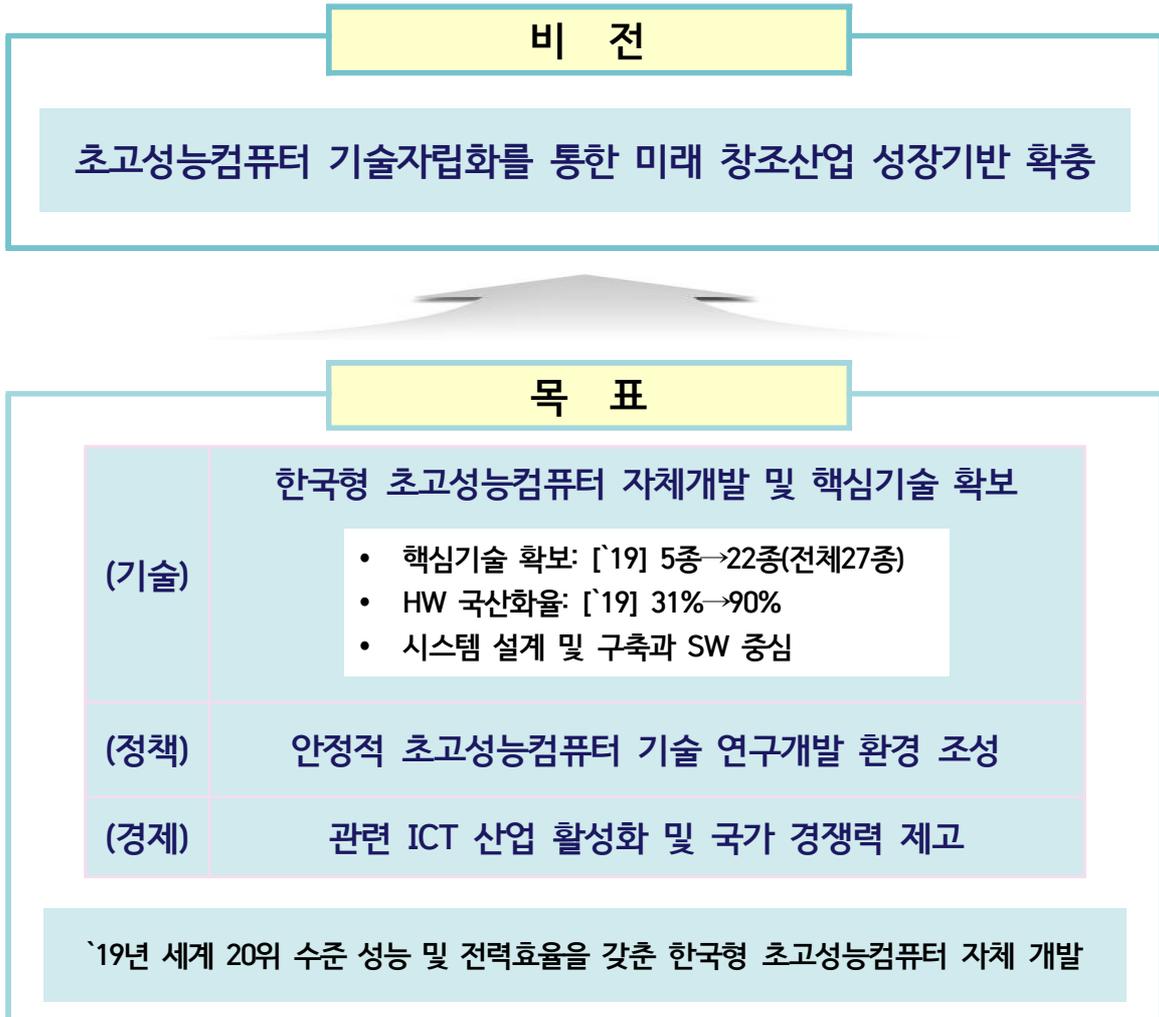
■ 이중 컴퓨터 시스템

- 이중(heterogeneous) 컴퓨터 시스템은 범용 CPU와 가속기(accelerator)를 동시에 사용하는 컴퓨터 시스템을 일컫음
 - 범용 CPU는 운영체제를 실행하고 가속기는 특정계산에 특화되어 계산 속도를 높일 수 있음
 - 가속기로는 현재 GPU와 Intel Xeon Phi Coprocessor 가 많이 사용되고 있음
 - 이중 컴퓨터 시스템은 기존의 CPU로만 이루어진 동종(homogeneous) 컴퓨터 시스템에 비해 고성능과 높은 전력효율을 쉽게 달성 가능함

제 1 절 사업 개념 및 추진방안

1. 사업 목표 및 범위

- 초고성능컴퓨팅 세계 7대 강국 실현계획⁴⁾에 따라 초고성능컴퓨터 기술자립화를 통해 미래 창조산업 성장기반 확충



□ 사업 범위

- (7) (대상) 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터 자체개발
 - (가) 자체기술 활용 초고성능컴퓨터 테스트베드 구축
 - (나) 초고성능컴퓨터 설계·구축 기술 및 핵심요소기술 개발
 - (다) 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터 자체개발
- (8) (기간) 사업기간은 '15년부터 '19년까지 총 5년으로 추진
- (9) (내용) 4개의 단위사업과 12개의 세부과제로 구성하여 추진
 - (가) (단위사업 1) 초고성능컴퓨터의 설계 및 구축 기술 개발

4) 「국가 초고성능컴퓨팅 육성 기본계획('13~'17)」

- (나) (단위사업 2) 초고성능컴퓨터 핵심요소기술 개발
- (다) (단위사업 3) 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터 구축
- (라) (단위사업 4) 바이오/해양 응용소프트웨어 개발

2. 사업 추진근거

□ 제18대 정부는 “초고성능컴퓨팅 기반 新산업 및 新서비스 창출”을 국정핵심 과제로 제시('13.02)

□ 「국가 초고성능컴퓨터 활용과 육성에 관한 법률」('11.06) 및 「시행령」('11.12) 제정

- (10) 국가 초고성능컴퓨터의 효율적인 구축과 체계적인 관리를 통하여 지속가능한 활용을 도모하고 과학기술 발전 기반 조성으로 국민의 삶의 질 향상과 국가경제 발전에 이바지함을 목적으로 함

□ 「제1차 초고성능초고성능컴퓨팅 육성 기본계획('13~'17)」을 수립

- (11) 기본계획의 3대 목표 중 하나인 “독자적 초고성능컴퓨팅 개발 역량 확보 및 산업화 토대 마련”

- (가) 해당 목표를 이루기 위한 정책과제는 “초고성능컴퓨팅 시스템 자체개발 역량확보”, “차세대 초고성능컴퓨팅 원천기술 R&D 확대”, “초고성능컴퓨팅 관련 산업기반 육성”

□ 초고성능컴퓨팅 관련 기술을 전략기술 및 중점육성기술로 선정

- (12) 「제2차 과학기술기본계획(2008~2012)」은 초고성능컴퓨팅 및 그리드네트워크 기술을 전략기술로 선정

- (13) 「제3차 과학기술기본계획(2013~2017)」은 IT융합신산업 창출 분야의 국가전략기술로 신개념 컴퓨팅 기술 및 데이터 분산처리 시스템기술을 선정

3. 사업기획 추진방안

가. 사업기획 프레임워크(Framework)

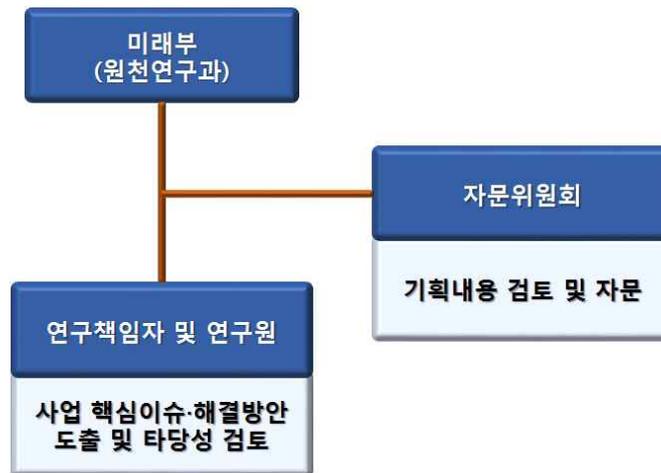
□ 사업 기획 단계

- (14) 예비타당성조사 주요 쟁점사항을 분석하여 이에 따라 외부 환경분석, 내부역량분석, 수요예측을 실시
- (15) 사업추진 필요성 및 당위성을 도출하고, 구체적인 사업 기본방향을 설정하기 위해 선진사례 벤치마킹 및 기술수요조사 수행
- (16) 사업 기본방향에 따라 비전 및 목표를 설정하고, 세부과제별 상세설계 및 추진전략 수립
- (17) 사업 추진계획 내용을 토대로 정책적, 기술적, 경제적 측면의 사전타당성 분석 및 종합 결과 도출

나. 사업기획 추진체계

□ 미래창조과학부에서 사업계획의 수립에 대한 총괄을 수행하고, 기획위원회 및 자문위원회를 두어 기획연구를 수행하고 내용을 검토

- (18) 미래창조과학부는 사업계획에 대한 검토 및 자문을 총괄
- (19) 연구책임자와 연구원은 본 사업의 주요 내용에 대한 설계를 담당
 - (가) 한국형 플래그십 초고성능컴퓨팅 연구개발 사업의 핵심이슈 및 해결방안을 도출하고, 각 단위사업별 기획내용에 대한 사전타당성 검토 실시
- (20) 자문위원회는 본 사업의 주요 내용에 대한 검토와 자문을 담당



[그림 3] 사업기획 추진체계

다. 사업 추진경과

- (21) 2차에 걸쳐 한국형 초고성능컴퓨터 개발사업 기획방향 및 성능, 전력효율 목표 설정, 자체 연구개발 후보 기술분야 선정 실시('13. 09)
- (22) 2차에 걸쳐 바이오 및 해양 분야 전문가 대상 하드웨어, 소프트웨어 기술개발 요구사항 도출('13. 10)
- (23) 기술개발사업 기획방향 점검 및 기술개발과제 관련 의견수렴 실시('13. 10)
- (24) 기술개발 관련 기획내용 검토 실시('13. 10)

(25) 사업 내용 검토 및 자문 실시('13. 10)

(26) 사업 기획방향, 절차 및 일정 수립 등을 위한 운영회의 개최('13. 08~10, 총 4회)

제 2 장 초고성능컴퓨터 기술 및 관련 산업 동향

제 1 절 초고성능컴퓨터 기술 동향

◎ 초고성능컴퓨터 기술 동향 요약

- (발전방향) 세계 각국은 기존 아키텍처의 확장성 문제를 해결하기 위한 엑사 스케일 시스템 연구에 많은 노력을 기울이고 있음
 - 엑사스케일은 저전력, 안정성, 대규모 병렬성의 3가지 기술적 도전과제가 존재하며 이를 해결하는 방향으로 초고성능컴퓨팅 기술 발전 예상
- (구조) 전력소비 절감기술이 이슈로 부상하면서 새로운 컴퓨터 구조 등장
 - 초고성능컴퓨터는 저전력 이종 시스템으로 기술 전환기를 맞이함
 - * 이종시스템: 한 시스템 내에서 일반 범용 프로세서와 특수 용도 가속기를 동시 활용
- (프로세서) 소비전력을 줄이기 위해 한 개의 칩에 집적된 코어의 개수를 늘리는 방향으로 전환추세
 - 모바일용 저전력 프로세서를 활용하는 방안도 고려되고 있는 추세
 - 가속기의 활용에 대한 연구와 관련 프로그래밍 모델에 대한 연구 활발
- (인터커넥션 네트워크) 높은 성능과 안정성으로 인피니밴드의 활용이 증가하고 있으나, 최상위 초고성능컴퓨터는 최적화를 위해 인터커넥션 네트워크를 자체개발 활용
 - * 인피니밴드: 고대역 저지연 특성을 가진 초고성능컴퓨팅 특화 네트워킹 기술
- (운영체제) 리눅스(Linux) 운영체제가 가장 널리 활용되며(약 95%), 성능 향상을 위해 리눅스 기반 경량커널 개발이 활발함
- (병렬 파일시스템) Lustre 파일 시스템이 가장 널리 활용되며(약 70%), 빅데이터 처리를 위한 파일시스템의 연구가 활발함
- (국내) 대규모 시스템 자체개발 역량 미흡으로 대부분 해외 기술에 의존
 - 병렬 파일시스템(ETRI), 성능가속 병렬 프로그래밍 모델(서울대) 등 일부 기술 자체개발

1. 초고성능컴퓨터 구조의 동향

- 초고성능컴퓨터는 전통적으로 x86 프로세서 기반 클러스터, 혹은 공유메모리 시스템의 형태

(27) 2000년대부터 클러스터 형태가 점차 늘어나면서 현재는 Top500 내 80% 이상 차지

- (전력문제) 전력소비 절감기술이 이슈로 부상하면서 전력소모를 감소시키는 새로운 아키텍처가 등장하는 추세

(28) 미 국방성은 미래 초고성능컴퓨터의 전력소모 상한을 20 MW로 제시한 바 있으며, 이를 달성하기 위해서는 현재 3 GFlops/Watt 급에 머무르고 있는 초고성능컴퓨터 전력효율의 획기적인 개선이 필요함

(29) 컴퓨터 자체를 움직이는 에너지 및 컴퓨터의 냉각과 구동, 주변 기기들을 작동시키는데 소모되는 전력 등을 줄이기 위한 '그린컴퓨팅(Green Computing)' 등장

(30) 저전력을 위한 차세대 초고성능컴퓨터 구조로는 이종 시스템과 저전력 프로세서활용 등이 고려되고 있는 추세

□ (이종 시스템) 소비전력 절감을 위해 등장한 새로운 구조로, 범용 CPU와 가속기를 혼용하여 전력효율을 높이는 방식이 등장

(31) NVIDIA, Intel, AMD 등 대부분의 컴퓨팅 업계 기술이 이종 컴퓨팅 모델로 향하고 있음

* (사례 1) 2013년 11월 기준 Top500 세계 1위를 차지한 중국의 Tianhe-2 초고성능컴퓨터는 Intel CPU와 Xeon Phi 가속기를 동시에 활용하는 이종 시스템

* (사례 2) 2013년 11월 기준 Green500⁵⁾의 1위부터 11위까지의 시스템은 모두 이종 초고성능 컴퓨터임

□ (국내외 동향) 초고성능컴퓨터 구성 및 설계 분야는 미국의 IBM, CRAY, HP, 일본의 후지쯔(Fujitsu) 등 민간 회사들이 기술 주도

(32) 서울대는 Top500 277위(2012년 11월 기준) 및 Green500 32위의 초고성능컴퓨터 '천둥'을 자체 설계 및 구축

(가) 수냉식 냉각시스템, SnuCL 프로그래밍 모델, 시스템 모니터링 소프트웨어, 작업 스케줄러를 자체 개발함

□ (엑사스케일) 엑사스케일 시스템으로 나아가는 데 있어 크게 **저전력, 안정성, 대규모 병렬성**의 3가지 기술적 도전과제가 존재하며 이를 해결하는 방향으로 초고성능 컴퓨팅 기술이 발전할 것으로 예상

(33) (저전력) 저전력 달성을 위한 차세대 초고성능컴퓨터 구조는 이종시스템과 저전력 프로세서(Intel Atom, ARM CPU 등)를 이용

(34) (안정성) 엑사스케일 시스템은 10억 개 정도의 계산 요소(processing element, CPU 코어 등)를 가질 것으로 예상되므로 프로그램 실행 중 결함(fault)이 발생할 확률이 현재보다 훨씬 높으며 이에 대응하는 기술 필요

(35) (대규모 병렬성) 초고성능컴퓨터를 구성하는 계산 요소간의 병렬성을 잘 이용하여 고 성능을 달성하기 위해 확장성 있는 계산 알고리즘, 프로그래밍 모델, 프로그래밍 도구 및 소프트웨어 필요

2. 프로세서 기술의 동향

□ (멀티코어 CPU) 대부분의 초고성능컴퓨터는 x86계열의 Intel 및 AMD의 멀티코어

5) Green500은 전력효율이 높은 순서로 세계 500위권 내에 들어가는 컴퓨터를 Top500과 마찬가지로 매년 6월과 11월에 선정하고 발표

프로세서 장착

- (저전력 프로세서) 과거 전력소모가 중요한 모바일 기기에 주로 사용되었으나, 초고성능컴퓨팅에서 전력소모 문제가 대두되면서 이를 사용해 초고성능컴퓨터를 개발하려는 연구가 이루어지고 있음

(36) HP, Calxeda, Applied Micro 등의 업체가 ARM 프로세서 기반 서버를 생산 중이며 AMD, Dell, 삼성에서도 생산 예정

(37) EU는 ARM 프로세서를 사용해 전력효율을 현재 대비 15~30배 향상시키는 초고성능 컴퓨터 연구개발 프로젝트인 '몽블랑(Mont-Blanc)' 프로젝트 진행

- (가속기) 수백개의 단순한 기능을 가진 코어로 구성된 보조 프로세서로서 AMD와 NVIDIA의 GPU, Intel의 Xeon Phi Coprocessor가 대표적임

(38) GPU는 그래픽 처리에 많이 쓰이고 있으나, 수천 개의 매우 간단한 프로세서가 집적되어 있는 형태이기 때문에 이를 대용량 계산을 위한 가속기로 사용

(39) Intel에서 2013년 출시된 Xeon Phi는 15년 전에 쓰던 범용 CPU 코어 60개가 한 칩에 집적되어 있으며 벡터 프로세싱 기능과 멀티스레딩 기능이 추가되어 대용량 계산을 위한 가속기로 사용

(40) 통상 가속기의 전력효율은 CPU 대비 수 배 이상 높으며 따라서 이종 시스템은 CPU만을 사용하는 동종 시스템 대비 높은 전력효율을 달성 가능

(41) 가속기 자체에 대한 연구보다는 가속기의 최적 활용을 위한 프로그래밍 모델과 소프트웨어 중심으로 한 연구

(가) NVIDIA는 GPU를 활용하여 쉽게 병렬 프로그램 작성을 지원하기 위해 CUDA 기술을 개발함

(나) 비영리 기술 컨소시엄인 크로노스(Khronos) 그룹은 CPU, GPU 등 이기종 환경에서 병렬 프로그램을 작성하는 개발 환경으로 OpenCL 표준을 개발함

① Apple, AMD, ARM, IBM, Intel, Qualcomm, Samsung, TI 등이 지원

3. 인터커넥션 네트워크 동향

- 초고성능컴퓨터의 노드들 사이의 연결로써, 인피니밴드(Infiniband)와 기가빗 이더넷(Gigabit Ethernet)이 대표적인 기술

(42) 2013년 6월 발표한 Top500기준 인피니밴드는 전체의 41%인 205대에서 활용되고 있으며, 기가빗 이더넷은 28%인 140대에서 활용되고 있음

(43) (인피니밴드) 높은 처리율과 낮은 지연시간 그리고 높은 안정성과 확장성이 특징

(44) (이더넷) 최근 iWARP와 같이 하드웨어 가속 기술을 통해 인피니밴드와 이더넷의 기술적인 경계는 점차 모호해지는 추세임

- (자체개발 인터커넥션 네트워크) 중국의 NUDT, 미국의 CRAY, IBM, Fujitsu와 같은 곳에서 개발하는 최상위권의 초고성능컴퓨터들은 여전히 인터커넥션 네트워크를 자체 개발하여 활용

(45) 세계 1위(2013년 기준)인 중국의 텐허2 시스템은 TH Express-2라는 인터커넥션 네트워크(fat tree topology의 변형)를 사용함

(46) 미국 타이탄은 CRAY Gemimi, 미국 세콰이아는 Blue Gene/Q 내장 자체, 일본 K-computer는 Tofu라는 특수 인터커넥션 네트워크를 개발 활용

4. 스토리지 및 병렬분산파일시스템 동향

- (Lustre) 공개 소프트웨어인 Lustre는 CRAY, SGI, NEC, Dell, Intel 등 많은 벤더들이 지원하는 병렬파일 시스템

(47) 미국의 Sequoia, Titan, 일본의 TSUBAME 2.0, 중국의 텐허1A등 주요 초고성능컴퓨팅 시스템에서 Lustre를 사용하며, Top500 시스템 중 70% 이상에서 사용

- (GPFS⁶⁾) IBM에서 개발한 상용 병렬 분산 파일시스템

- (H2FS⁷⁾) 중국 텐허2는 하이브리드 스토리지 클러스터를 다룰 수 있는 파일 시스템인 H2FS 파일시스템을 자체 개발

- (GFS⁸⁾) Google이 자사의 검색엔진을 지원하기 위하여 GFS라는 분산파일시스템을 자체 개발

- (Ceph) 미국 UC Santa Cruz 대학이 개발한 엑사스케일을 지향한 분산 파일시스템으로, 단일 장애점(single point of failure)이 없이 완전히 분산되어 동작하는 오픈소스 분산파일시스템을 목표로 하여 개발

- (MAHA-FS) 한국전자통신연구원이 초고성능컴퓨터 하이브리드 디스크를 지원하기 위해 MAHA-FS라는 분산파일시스템 개발

6) General Parallel File System

7) Hybrid Hierarchy File System

8) Google File System

- (OwFS) 성균관대학교과 NHN이 개발한 고성능, 고가용성, 확장성, 대용량 처리, 관리의 용이성을 갖춘 분산파일시스템

5. 필수 소프트웨어

- (운영체제) 초고성능컴퓨터 운영체제의 경우 Top500 List에 등재된 컴퓨터 중 95.2%가 리눅스(Linux)를 운영체제로 사용

- (48) 주요 초고성능컴퓨팅 시스템은 성능 최적화를 위해 리눅스 기반의 자체 개발 운영체제를 사용하며, 주로 계산 노드의 성능의 향상을 얻기 위해 주로 경량커널을 개발
- (49) (Scientific Linux) 미국의 페르미연구소(Fermilab)와 유럽의 입자물리연구소 CERN을 중심으로 개발된 리눅스 배포판
- (50) (IBM의 Blue Gene CNK) CNK(Compute Node Kernel)라 불리는 경량 커널을 개발하여 리눅스와 혼합한 운영체제 구조를 사용
- (51) (EU 몽블랑 프로젝트) 응용 프로그램이 수행하는데 있어 운영체제의 간섭을 최소화하기 위하여 페이지 크기를 4KB에서 2MB로 늘리는 등 리눅스 운영체제의 최적화 연구 진행
- (52) (XPRESS) 미국 샌디아연구소의 프로젝트로 엑사스케일 초고성능컴퓨터를 위한 운영체제로하며 LXX⁹⁾라 불리는 경량 커널을 개발
- (53) (매니코어 운영체제) 미국 MIT는 기존의 리눅스 운영체제가 매니코어 환경(48코어 이상)에서 경험하는 확장성 저하의 현상을 분석하고 이를 개선하는 연구 진행
- (54) (저전력 모바일 프로세서 기반 운영체제) 현재 32bit ARM은 많은 운영체제에서 지원하나, 64bit ARM의 경우 아직 운영체제 지원이 미흡

- (일반 컴파일러) GNU, Intel, PGI 컴파일러가 초고성능컴퓨팅 시스템에서 주로 사용됨

- (벡터화 컴파일러) GNU, Intel, Microsoft, LLVM, ARM 컴파일러 등 대부분의 컴파일러가 자동화된 벡터화(vectorization)를 지원

- (병렬화 컴파일러) 과학계산 프로그램의 자동 병렬화를 지원하는 컴파일러

- (자동 튜닝) 프로그램이나 라이브러리를 개별 시스템에 대하여 최적의 성능을 낼 수 있도록 자동 최적화하는 기술의 연구

- (성능 분석 도구) 병렬화를 위해 사용자 프로그램의 프로파일을 생성하는 도구로써 Valgrind, VTune analyzer 등이 개발되어 있음

- (프로그래밍 모델) 병렬 프로그래밍 모델은 공유 메모리 모델, 메시지 전달 모델, PGAS¹⁰⁾, 스트림 프로세싱 모델, 그리고 성능 가속형 모델의 다섯 가지로 분류 가

9) Lightweight eXascale Kernel

10) Partitioned Global Address Space

- (55) (공유 메모리 모델) 상대적으로 프로그래밍이 쉬우나 확장성 때문에 세계 최상위권 초고성능컴퓨터에 적용하기는 어려움
- (56) (메시지 전달 모델) 확장성이 뛰어나 프로그래머가 명시적으로 데이터 분배 및 재분배, 일관성 유지 등을 수행해야 하는 부담에도 불구하고 널리 사용되며, 특히 MPI는 메시지 전달 모델의 산업표준으로 거의 대부분의 초고성능컴퓨터가 지원
- (57) (성능 가속형 모델) 이종 시스템을 위한 성능 가속형 모델로는 OpenCL, CUDA, OpenACC 등이 나와 있으며 특히 OpenCL은 특정 하드웨어 벤더에 종속적이지 않고 다양한 종류의 가속기에서 모두 실행 가능한 공개 표준임
- (58) 서울대는 SnuCL이라는 이종 클러스터를 위한 프로그래밍 모델 및 런타임 시스템 개발

□ (수치해석 라이브러리) 시스템에 최적화된 형태의 수치해석용 라이브러리로 Intel MKL, AMD ACML, GSL, Lapack 등이 대표적임

- (59) GPU가 범용 계산용으로 사용되기 시작하면서 CPU 기반의 많은 소프트웨어와 라이브러리들이 GPU를 대상으로 포팅되기 시작
- (60) 한국과학기술정보연구원은 오픈소스 수치해석 라이브러리인 GSL¹¹⁾의 일부를 OpenCL을 사용하여 병렬화

6. 운영환경

- (결합 및 장애 복구 기술) 계산 요소의 수가 늘어남에 따라 프로그램 실행 중 결합(fault)이 발생할 확률이 훨씬 높아지며 이에 대응하는 기술을 요구
- (작업 관리 및 모니터링 도구) 널리 알려진 초고성능컴퓨터용 작업 관리 도구로는 SLURM, PBS, N1GE 등의 공개 소프트웨어가 있으며 이들의 기능은 대체로 대동소이함

11) GNU Scientific Library

㉠ 논문분석 요약

- 미국이 초고성능컴퓨터 분야의 연구를 선도
- 최근 10년간 초고성능컴퓨터 관련 논문 수는 꾸준히 증가
- 학술대회 논문 수의 증가세가 두드러짐
 - 학술대회 논문이 최신 동향을 반영
- 이종 시스템 관련 논문 수는 절대적으로 적으나 2005년부터 점점 늘어나는 추세이고 학술지 논문보다 학술대회 논문에서 더 높은 비중을 보임
 - 이종 시스템 관련 연구가 최신 연구동향임을 의미하며 앞으로 더 늘어날 것으로 전망
- 저전력 소모 관련 학술지 논문 수는 점점 증가하고 있으나 학술대회 논문은 그 수가 너무 적어서 아직 뚜렷한 동향 파악 불가
- 현재 한국은 초고성능컴퓨터 분야의 후발 주자로서 최신동향을 반영하는 신 기술 개발보다는 기본이 되는 기술을 습득하는 과정

1. 분석 대상 및 방법

□ 분석대상 논문

(61) 최근 10년간(2003-2013) 초고성능컴퓨터 관련 SCI/SCIE급 학술지 논문 및 세계 정상급 학술대회(12개)의 논문 조사

* 컴퓨터 분야는 다른 자연과학과 공학 분야와 달리 정상급 학술지에 출판된 논문이나 SCI에 리스트된 논문보다 정상급 학술대회에 출판된 논문이 학문의 발전에 더 많은 영향을 주고 있음¹²⁾

(62) 컴퓨터 분야 학술대회 논문의 경우 대체로 최신의 연구 성과를 반영하는 경향이 있으며, 학술지 논문의 경우 1~2년가량 뒤쳐진 연구 성과를 반영하는 경향

□ 분석방법

(63) 초고성능컴퓨터의 핵심기술요소인 프로세서, 메모리 및 주변장치, 인터커넥션 네트워크, 운영체제, 프로그래밍 환경, 시스템 설계 및 구축의 6개 분야 대상

(64) 키워드를 이용하여 학술지와 학술대회 논문검색 실시

12) 관련 참고문헌

Computer Science and Engineering 분야의 세계적 석학인 David Patterson, Lawrence Snyder, Jeffrey Ullman이 1999년에 미국 Computing Research Association(CRA)의 Computing Research News에 기고한 “Best Practices Memo: Evaluating Computer Scientists and Engineers for Promotion and Tenure”

미국 National Academy of Sciences의 1994년 보고서인 “Academic Careers for Experimental Computer Scientists and Engineers”의 Chapter 4
(http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=2236)

Communications of the ACM의 2009년 4월 기사 “Research Evaluation for Computer Science”

(65) 국가별, 분야별 논문 개수의 양적 분석을 수행하였으며, 학술지 논문 개수와 학술대회 논문 개수가 가지는 의미를 중심으로 분석

2. 분석결과 및 시사점

□ 최근 10년간 초고성능컴퓨터 관련 학술지, 학술대회의 논문 수가 모두 성장세를 보이는 것으로 보아 초고성능컴퓨터 기술의 연구개발 중요성이 꾸준히 증가

(66) 학술지 논문의 성장세(연 평균 8%)보다 학술대회 논문 수의 성장세(연 평균 34%)가 더 두드러지는 것으로 보아, 초고성능컴퓨터 기술은 최신 기술의 영향을 더 많이 받는다고 할 수 있음

□ 학술대회의 경우, ‘인터커넥션 네트워크’ 분야를 제외하면 최근 급격한 증가 추세

(67) ‘인터커넥션 네트워크’ 분야는 2007년을 전후로 많은 연구가 진행되었으나, 연구의 포화 상태로 그 후로 학술대회 논문 수가 감소하는 추세

□ 각 국가별로 비교해보면, 분야, 학술지, 논문, 학술대회 논문 등 여러 방면에서 미국이 압도적으로 우위를 차지

□ 이종 시스템 관련 논문 수는 절대적으로 적으나 2005년부터 점점 늘어나는 추세이고 학술지 논문보다 학술대회 논문에서 더 높은 비중을 보임

(68) 이종 시스템 관련 연구가 최신 연구동향임을 의미하며 앞으로 더 늘어날 것으로 전망

□ 저전력 소모 관련 학술지 논문 수는 점점 증가하고 있으나 학술대회 논문은 그 수가 너무 적어서 아직 뚜렷한 동향 파악 불가

(69) 저전력 소모 관련 학술대회 논문수도 증가하리라 예상되며 이러한 연구가 초고성능컴퓨터 연구에서 최신 동향이 될 가능성이 높음

□ 현재 한국은 초고성능컴퓨터 분야의 후발 주자로서 최신동향을 반영하는 신기술 개발보다는 기본이 되는 기술을 습득하는 과정

(70) ‘메모리 및 주변장치’ 분야에서 학술지 논문, 학술대회 논문 모두 미국 및 유럽에 근접하여 어느 정도 성숙했다고 볼 수 있음

(71) 그 외의 ‘프로세서’, ‘인터커넥션 네트워크’, ‘운영체제’, ‘프로그래밍 환경’, ‘시스템 설계 및 구축’ 분야는 학술지, 학술대회 모두 미흡하며 최신 동향의 파악 및 연구가 시급함

⑨ 특허분석 요약

- 미국이 양적으로나 질적으로나 초고성능컴퓨터 기술 분야에서 압도적인 우위를 나타내고, 미국을 제외한 다른 나라는 1~2가지 기술에만 편중
- 한국은 최근 10년간 특허등록 건수가 서서히 증가하고 있고, 메모리 관련 특허는 강하나 메모리를 제외한 다른 분야는 전반적으로 특허활동이 미약
- 이종 시스템에 관한 전 세계의 특허등록건수는 절대적으로 작지만, 중국과 미국을 중심으로 최근 3년간 급격하게 증가하고 있는 추세이며, 이 추세는 계속될 것으로 전망됨
- 최근 5년간 중국에서 저전력 소모에 관한 특허등록 건수가 급격하게 늘어나고 있음
- 이종 시스템에 관한 특허 건수가 적으나 급격하게 증가하는 추세와 저전력 소모 관련 특허활동이 중국을 제외한 다른 나라에서 크게 없다는 것은 이종 시스템 분야와 저전력 소모 분야가 시장의 블루오션이 될 수 있음을 시사

1. 분석 대상 및 방법

- 2003년부터 2012년까지 등록된 PCT, 미국, 유럽, 한국, 중국, 일본의 등록된 특허를 분석 대상으로 하며, Thomson Innovation DB를 이용하여 검색

□ 양적 분석

(72) (특허등록 건수 및 특허활동 지수) 데이터의 양적 지표를 바탕으로 각 국가와 한국 간의 기술 수준에 관한 비교연구 수행

* 특허활동 지수는 특정 기술 분야가 해당 국가의 전체 특허등록 건수에서 차지하는 비율을 의미

□ 질적 분석방법

(73) (인용도 지수) 인용도 지수는 특허 1건당 평균 피인용 회수로 정의되며, 특정 국가의 인용도 지수가 높을수록 해당 국가가 주요특허 또는 원천특허를 많이 보유하고 있음을 의미함

(74) (영향력 지수) 영향력 지수는 특정 시점을 기준으로 삼아 과거의 기술적 활동을 반영하는 지표로서, 특정 출원인이 소유한 기술의 질적 수준을 나타냄

(75) (기술력 지수) 기술력 지수는 영향력 지수에 특허등록 건수의 곱으로 정의 되고, 기술력지수가 클수록 해당 국가의 기술력이 높음을 의미함

(76) (시장확보 지수) 시장확보 지수는 1.0을 기준으로 개별 국가가 확보하고 있는 세계 시장의 크기를 상대적으로 나타내며, 1.0보다 큰 시장확보 지수를 갖는 국가의 경우 세계 시장 확보력이 다른 국가에 비해 우수함을 나타냄

2. 분석결과 : 양적 특허분석

□ 세부 기술별 추이

- (77) (프로세서) '프로세서'에 관한 특허등록 건수는 중국과 미국이 압도적으로 많으며, 중국은 최근 10년간 급격한 성장세를 보이고 있음
- (78) (메모리 및 주변장치) '메모리 및 주변장치'에 관한 특허등록 건수는 최근 10년간 큰 변화가 없었으나 일본의 경우 급격하게 감소
- (79) (인터넷커넥션 네트워크) '인터넷커넥션 네트워크'에 대한 특허는 전반적으로 감소하는 추세이나 중국의 경우 최근 10년간 급격하게 증가하고 있는데, 이는 중국의 세계 최상위급 초고성능컴퓨터가 자체기술로 제작한 '인터넷커넥션 네트워크'를 이용하는 것과 관련
- (80) (운영체제) '운영체제'의 경우 미국과 중국의 특허가 2005년부터 증가하고 있는데 이는 2005년에 멀티코어 CPU가 생산되기 시작하였고 기존 운영체제가 멀티코어에 대하여 준비되지 않았기 때문에 새로운 기법을 연구개발한 과정의 결과로 추측
- (81) (프로그래밍 환경) '프로그래밍 환경'에 대한 특허는 대부분 변화가 없는 것으로 보이거나 중국만 2009년부터 급격하게 증가하고 있음
- (82) (시스템 설계 및 구축) 한국의 경우, '시스템 설계 및 구축'에 대한 특허등록 건수가 서서히 증가하는 추세에 있지만 특허등록 건수는 미국과 일본이 압도

□ 국가별 추세

- (83) 전체 특허등록 건수 중 약 42.6%가 일본 특허이며, 약 37.4%가 미국 특허로 전체특허등록 건수의 80%를 두 국가에서 보유
- (84) 미국을 제외한 대부분의 국가는 1~2가지 기술분야에 편중된 특허활동지수를 보임
- (85) 한국의 경우 최근 10년간 특허등록 건수가 완만하게 증가하고 특히 DRAM 등 메인 메모리 특허분야에서 전체 특허등록건수의 약 20%를 보유하고 있으나 전반적으로 특허활동이 약세를 보이고 있음

3. 분석결과 : 질적 특허분석

- (인용도 지수 분석) 우리나라는 ‘메모리 및 주변장치’ 분야의 인용도 지수가 1.44로, 양적으로 많은 특허를 가진 일본의 인용도 지수(1.03)에 비해 특허의 질이 양호하나, ‘프로세서’, ‘운영체제’, ‘프로그래밍 환경’의 경우 취약
- (영향력 지수 분석) 우리나라의 최근 10년간 평균 영향력 지수는 0.95지만, 최근 6년간 영향력 지수는 1.0을 초과 혹은 그에 근접함
- (기술력 지수 분석) 최근 특허의 경우 피인용 횟수가 상대적으로 낮고, 모든 국가의 기술력 지수가 감소 추세
- (시장확보지수 분석) 우리나라는 ‘메모리 및 주변장치’에서 1.0 이상의 시장확보 지수를 가지고 있으나, 다른 기술 분야의 시장확보지수는 0.8 이하로 약세
- 저전력 소모 관련 특허분석 결과
 - (86) 저전력 소모 관련 특허등록 건수는 최근 5년간 중국의 급격한 성장세가 두드러지게 나타나고 있으며, 나머지 국가는 연간 10건 이하의 특허등록 건수를 보이고 있음
 - (87) 중국을 제외한 다른 국가와 한국의 저전력 소모 관련 특허등록 건수를 비교하였을 때, 다른 국가와 한국의 기술격차가 크다고 볼 수 없음
 - (가) 하지만 최근 중국의 급격한 성장세를 볼 때, 한국도 저전력 소모 관련 연구개발에 집중하여 성장을 이끌어 낼 수 있으리라 예측됨
- 이종 시스템 관련 특허분석 결과
 - (88) 이종 시스템 분야의 특허등록건수는 최근 3년간 중국과 미국의 성장세가 두드러지게 나타나고 있으며, 중국과 미국을 제외한 나머지 국가는 연간 1건 이하의 매우 저조한 특허등록건수를 보이고 있음
 - (89) 한국의 경우 지난 10년간 2011년, 2012년 각각 1건씩 등록되어 다른 국가와 비교해 이종 시스템 분야의 연구개발이 늦게 시작되었음을 알 수 있음

④ 초고성능컴퓨터 산업 동향 요약

- (시장동향) 초고성능컴퓨터 기술이 직접 이전되고 사용되는 고성능컴퓨팅(HPC), 클라우드, 서버 분야의 향후 시장 규모가 크게 확대될 것으로 예상
 - (HPC 세계시장) 약 22억 달러('12년) → 약 40억 달러('20년)
 - (HPC 국내시장) 약 2.7억 달러('12년) → 약 5억 달러('20년)
- (주요 사업자 분석) 미국 기업들이 현재 초고성능컴퓨터 시장을 주도하고 있는 가운데, 국내의 초고성능컴퓨터 관련 기업의 수는 매우 적으며 이마저도 해외의 기업과 비교할 때 충분한 산업경쟁력을 갖추지 못함

1. 초고성능컴퓨터 관련 정보통신기술 분야의 시장동향

□ 초고성능컴퓨터 원천기술이 직접적으로 이전되고 사용되는 시장은 고성능컴퓨팅(HPC) 시장 및 서버시장이며, 최근 정보통신기술의 핵심 유망 분야인 클라우드 컴퓨팅, 빅데이터, 모바일 컴퓨팅 분야도 초고성능컴퓨터 기술의 영향을 받음

□ (고성능컴퓨팅(HPC) 시장) IDC자료에 따르면 세계 시장은 2012년의 경우 약 22억 달러 정도의 시장 규모이며 2016년까지 연평균 7.6%의 성장세를 보이고 2020년 추정 규모는 약 40억 달러로 예상

(90) 국내 시장은 2012년의 경우 약 2억 7천만 달러의 시장 규모이며(세계시장의 1.3%) 연평균 7.6%의 성장세로 2020년 약 5억 달러 규모의 시장을 형성할 것으로 예상

□ (서버¹³⁾ 시장) ITCandor 자료에 따르면 세계 서버 시장은 2012년 시장 규모 약 588억 달러로, 연평균 1.9% 성장하여 2020년에 약 713억 달러의 시장규모를 형성할 것으로 전망

(91) 국내 서버 시장은 2012년 약 9.3억 달러 규모이며(세계시장의 1.4%) 연평균 1.9%의 성장세로 2020년 약 11.2억 달러의 규모의 시장을 형성할 것으로 전망

(92) 한편 클라우드 및 마이크로 서버 시장의 성장세는 전통적인 서버 시장에 비해 높은 성장세를 보일 것으로 전망

(가) IHS iSuppli Research 자료에 따르면 클라우드 서버의 출하량은 연평균 29.1%의 성장세를 보임

(나) IDC 자료에 따르면 마이크로 서버의 출하량은 연평균 130.2%의 성장세를 보임

□ (클라우드 컴퓨팅¹⁴) 시장) Gartner에 따르면 세계 클라우드 컴퓨팅 시장은 2012

13) 네트워크를 통해 클라이언트에게 다양한 서비스를 제공하는 사업으로 주로 고성능 노드를 통해 구성, HPC급의 성능까지는 필요치 않으나 PC의 성능으로 처리하기 힘든 작업을 주로 처리함

14) 분산된 IT 자원(소프트웨어, 스토리지, 서버, 네트워크 등)의 통합을 통하여 높은 수준의 확장성을 가진 IT 자원들을 서비스로 제공하는 분야

년 시장 규모 약 1,100억 달러로, 연평균 17.7% 성장하여 2020년에 약 4,000억 달러의 시장규모를 형성할 것으로 전망

(93) 국내 클라우드 컴퓨팅 시장은 2012년 약 12억 달러 규모이며(세계시장의 1.1%) 연평균 16%의 성장세로 2020년 약 38억 달러의 시장규모를 형성할 것으로 전망

□ (빅데이터¹⁵) 시장) IDC자료에 따르면 빅데이터 시장은 2012년 시장 규모 약 68억 달러로, 연평균 37.2% 성장하여 2020년에 약 820억 달러의 시장규모를 형성할 것으로 전망

(94) 국내 빅데이터 시장은 2012년 약 1억 달러의 규모이며(세계시장의 1.7%) 2020년 약 12억 달러 규모까지 연평균 35.2%의 성장을 보일 것으로 전망

□ (모바일 컴퓨팅¹⁶) 시장) IDC에 따르면 모바일 컴퓨팅 시장은 2012년 시장 출하량이 약 10억대로 연평균 14.9% 성장하여 2020년에 약 32억대의 시장규모를 형성할 것으로 예측

(95) 국내 모바일 컴퓨팅 시장은 2012년 약 2천 7백만 대의 2020년까지 연평균 2.2%의 성장률로 약 3천 3백만 대의 규모가 될 것으로 예상

□ (시사점) 초고성능컴퓨팅 원천기술이 직접적으로 이전되는 고성능컴퓨팅(HPC), 클라우드 서버, 마이크로 서버 분야의 향후 시장 규모가 크게 확대될 것으로 예상

2. 국가별 주요 사업자 분석

□ (미국) HP, IBM, CRAY 등이 현재 초고성능컴퓨터 시장을 주도하고 있으며, 제작 시스템 수 및 성능 양면 모두에서 과반수이상 비중을 차지함

□ (유럽) 높은 시스템 보유 개수에 비해 상대적으로 자국 내 제조사에 의해 제작된 초고성능컴퓨터 개수가 적어, 주로 시스템을 미국으로부터 구입하여 사용

□ (일본) Fujitsu, Hitachi 등이 활발한 초고성능컴퓨터 개발 활동을 보이는 반면, NEC는 기울어지는 추세

□ (중국) 기업보다는 주로 국가 연구 기관 주도 하에 초고성능컴퓨터를 제작하며, 세계 정상급 초고성능컴퓨터 시스템 구축에 치중하는 경향을 보임

15) 기존의 방식으로 처리하기 어려울 정도로 규모가 크거나 복잡한 데이터를 의미

16) 무선 이동통신과 인터넷을 통해 컴퓨터와 통신을 효과적으로 연계하여 정보 교환이나 정보의 수집, 검색, 정리, 축적 등의 처리를 사용자가 이동 중에 가능하게 하는 분야

④ 초고성능컴퓨터 개발동향 요약

- 주요 선진국은 초고성능컴퓨터 기술개발에 꾸준히 노력한 결과, 최상위권 초고성능컴퓨터를 자체개발하여 보유하고 있음
 - * 초고성능컴퓨터 세계 1위 순위 : 중국('10) → 일본('11) → 미국('12) → 중국('13)
- (미국) 전체의 50.4% 점유율인 252대의 초고성능컴퓨터를 보유하여 세계 1위이며, 오크릿지국립연구소(ORNL)의 타이탄이 세계 2위 기록('13년 6월)
- (중국) 가장 늦게 초고성능컴퓨터 기술개발에 뛰어들었으나 국가주도 집중투자 연구가 진행되어 자체 개발한 '텐허-2'가 세계 1위를 차지하면서 초고성능컴퓨터 신흥강국으로 부상('13년 6월)
- (일본) 일본 이화학연구소에 설치된 K-computer는 '11년 세계 1위, 현재는 세계 4위를 차지
- (국내) '13년 6월 기준 Top500에 속하는 자원은 4대에 불과하며, 국내 기술로 제작된 초고성능컴퓨터는 '천둥'이 유일

1. 초고성능컴퓨터 개발 동향 개요

- 선진국은 적극적인 투자와 함께 지속적 연구 개발을 통해 세계 최고 수준의 초고성능컴퓨터를 보유하고 있음
- 2013년 6월 기준 우리나라는 4대가 Top500에 포함되어 있고 이 중 자체개발한 초고성능컴퓨터는 1대(서울대의 천둥)에 불과하며, 지속적인 구축 및 기술개발이 이루어지지 않아 그 순위가 하락하고 있는 상황

<표 1> 국가별 Top500 초고성능컴퓨터 보유 현황(2013년 6월 기준)

국가	보유수 (대)	비중 (%)	실제 성능 (GFlops)	이론 성능 (GFlops)	코어 수 (개)
미국	252	50.4	106,815,157	152,700,502	9,058,352
중국	66	13.2	47,485,018	85,176,357	4,818,068
일본	30	6.0	20,307,189	24,500,641	1,386,354
영국	29	5.8	8,082,237	11,031,508	639,312
프랑스	23	4.6	8,938,486	10,880,921	722,376
독일	19	3.8	11,351,754	13,521,056	939,626
인도	11	2.2	2,690,461	3,517,536	173,580
캐나다	9	1.8	1,772,009	2,288,124	178,792
러시아	8	1.6	2,012,186	3,474,540	177,452
스웨덴	7	1.4	1,161,293	1,534,349	117,568
이탈리아	6	1.2	2,422,982	3,095,500	209,568
호주	5	1.0	2,056,249	2,433,217	149,060
사우디	4	0.8	1,272,515	1,970,464	140,512
대한민국	4	0.8	1,014,400	1,291,919	124,536

2. 국외 초고성능컴퓨터 개발 동향

□ 미국

(96) 전 세계 초고성능컴퓨터를 50%이상 보유

(97) 기초 및 응용과학 연구 지원을 많이 하고 있는 에너지부(Dept. of Energy)와 국방부(Dept. of Defense) 중심으로 자국의 회사에서 개발한 초고성능컴퓨터를 도입하여 구축 및 운영

(가) 미국 내에서 가장 성능이 좋은 초고성능컴퓨터를 보유하고 있는 상위 3위까지의 기관은 모두 에너지부 산하

(98) 미국 최상위 성능의 초고성능컴퓨터 개발과 구축은 초고성능컴퓨팅 시장 전체의 구도 변화와 밀접한 관련이 있음

(가) Top500 1위(2008년 6월 기준)를 달성한 IBM 로드러너(RoadRunner)의 경우, 자사 기술로 개발한 PowerXCell 8i를 가속기로 활용하여, 최초로 이종 컴퓨팅을 활용한 세계 최고 성능의 초고성능컴퓨터를 구축

(나) Top500 1위(2012년 6월 기준)를 달성한 Sequoia의 경우, IBM의 초고성능컴퓨터 시리즈인 BlueGene 시리즈 최신 결과물인 BlueGene/Q 설계의 기초가 되는 초고성능컴퓨터

(다) Top500 1위(2012년 11월 기준)에 등재된 CRAY의 Titan의 경우, 기존의 동종 컴퓨팅 환경의 초고성능컴퓨팅 시스템이던 Jaguar에 Nvidia Tesla GPU를 추가하여 이종 컴퓨팅 환경으로 업그레이드하여 제작

* 최상위권 초고성능컴퓨터 개발에 있어 이종 컴퓨팅 시스템이 더 유리함을 시사

□ 일본

- (99) 일본은 1980년부터 초고성능컴퓨터 개발을 진행했으며, 1994년 11월부터 세계 최정상급의 초고성능컴퓨터를 제작하며 미국과 함께 초고성능컴퓨터 산업을 주도
- (100) Top500 1위(2011년 6월 기준)에 등재된 K-computer의 경우, 일본 정부의 '차세대 초고성능컴퓨터 개발 사업'에 따라 구축되었으며, 후지쯔사가 개발에 참여 및 제작
- (101) Top500 4위(2010년 11월 기준)에 등재된 츠마베(TSUBAME) 2.0의 경우, 도쿄공업대학에서 설계한 새로운 이중 컴퓨터 구조를 사용하여 기존 상위권 초고성능컴퓨터들에 비해 더 높은 에너지 효율을 보임
- (가) 전력 효율이 향상되어 2010년 11월 세계 최고의 저전력 초고성능컴퓨터로 선정

□ 중국

- (102) 중국의 초고성능컴퓨터 산업은 21세기에 급속도로 발전하여 일본 및 미국을 추격하고 있음
 - (가) Top500 51위(2003년 6월 기준)로 첫 초고성능컴퓨터를 등록하였고, 2003년 11월 14위, 2004년 6월 10위, 2010년 11월 1위를 차지함
- (103) 중국의 초고성능컴퓨터 기술 연구개발 모델은 대학인 국방과학기술대학(NUDT¹⁷⁾이 중심이 되어 초고성능컴퓨터 제작을 위한 기술 연구를 주도, 산업체에서 제작에 참여하여 기술을 이전
- (104) 초고성능컴퓨터 핵심 기술 수준이 일본, 미국에 비해 떨어져 주로 자체 개발 기술 기반 부품과 상용제품을 섞어서 초고성능컴퓨터를 구축하나, 점차 자체 개발 기술의 비중을 높여가는 추세
 - (가) Top500 1위(2010년 11월 기준)에 등재된 텐허-1A의 경우, 주된 계산 자원은 상용 제품(Intel CPU, Nvidia GPU)을 사용하여 구현하였으며, 인터커넥션 네트워크 및 로그인노드용 프로세서는 자체 기술로 구현함
 - (나) 2013년 6월 Top500 1위에 등재된 텐허-2의 경우, 텐허-1A보다 자국 기술의 비중을 높여 제작함
 - (다) 2011년 6월 Top500 14위에 등재된 선웨이(Sunway) BlueLight의 경우, 중국 내에서 자체 개발한 프로세서인 셴웨이(ShenWei) 프로세서를 사용하여 구현함

3. 국내 초고성능컴퓨터 개발 동향

- 우리나라는 국가기반시설로서의 초고성능컴퓨터에 대한 중요성을 인식하고, 2011년부터 관련법을 제정하여 정부 차원에서 주도적으로 초고성능컴퓨터 구축 및 서비스를 추진하였으나 자체개발에 대한 노력은 미미

- (105) 2013년 6월 기준, Top500에 속하는 자원은 4대에 불과하며 기상청(91위, 92위)과 KISTI(107위), 서울대(423위)에서 보유하고 있음
- (106) 국내 기술로 제작된 초고성능컴퓨터는 서울대의 '천둥'이 유일하며, 세계 순위 277위(2012년 11월 기준)에서 2013년 6월 423위로 하락하였음

- 국산 초고성능컴퓨팅 시스템 개발을 목적으로 2개의 프로젝트가 추진되었으며, 국산컴퓨터 개발사업으로는 주전산기 개발사업이 추진됨

17) National University of Defence Technology

- (107) 서울대 매니코어 프로그래밍 연구단이 개발한 국내 최초의 이중 초고성능컴퓨터 천둥은 2012년 11월 Top500 277위에 랭크되었지만, 423위(2013년 6월 기준)로 하락
- (가) 천둥은 상용의 CPU, GPU, 메모리, 주기판, 인피니밴드 네트워크 등 부품과 자체 설계한 수냉 시스템을 이용하여 제작하여 구동에 성공하였고 일반에 공개하여 서비스 중
 - (나) GPGPU를 사용한 이중 클러스터로 구성하여 전력 소모를 낮췄으며, Green500에서는 32위(2012년 11월 기준)를 기록함
 - (다) 같은 연구단에서 개발한 이중 클러스터 환경을 위한 프로그래밍 환경인 SnuCL, 자체 개발한 작업 스케줄러인 Thor 등을 탑재
 - (라) 국내 기술.경험을 바탕으로 주어진 상용부품들로부터 최적의 성능을 얻어냈다는 점에서 시사하는 바가 큼
- (108) 한국전자통신연구원(ETRI)은 개인별 병적 특이성을 찾는 연구에 활용할 목적으로 2011년 미국의 Appro와 공동으로 '마하'를 구축하였고, 이를 바탕으로 유전체 및 단백질 구조 분석 시뮬레이션에 최적화된 파일시스템 개발
- (가) Intel Xeon Phi와 GPGPU를 함께 사용하여 이중 클러스터를 구성
 - (나) 유전체 분석에 특화된 파일시스템인 MAHA-FS를 탑재하여 어플리케이션에 특화된 스토리지 시스템을 구축

제 6 절 종합 시사점

- 세계각국은 초고성능컴퓨터 기술을 국가 미래경쟁력 핵심요소로 인식, 경쟁적으로 투자하고 있는 반면, 우리나라는 경쟁에서 뒤처져 심각한 정보통신기술 및 타 과학기술 경쟁력 저하가 우려됨

(109) 초고성능컴퓨터 세계 1위 순위 : 중국('10) → 일본('11) → 미국('12) → 중국('13)

- (기술동향) 초고성능컴퓨터 기술은 현재 저전력 이종시스템으로 기술전환기를 맞이하고 있기 때문에 선진국과의 기술격차를 좁힐 수 있는 호기

* 이종시스템: 한 시스템 내에서 일반 범용 프로세서와 특수 용도 가속기를 동시 활용

- (논문 및 특허 동향) 이종시스템과 저전력 분야가 블루오션이 될 수 있음을 시사
- (산업동향) 초고성능컴퓨팅 기술이 직접 이전되고 사용되는 고성능컴퓨팅(HPC), 클라우드, 서버 분야의 향후 시장 규모가 크게 확대될 것으로 예상되나, 미국이 시장을 주도하고 있으며 국내는 해외의 기업과 비교할 때 충분한 산업경쟁력을 갖추지 못해 정부차원 지원 필요

제 3 장 성능예측 및 기술수요조사

제 1 절 목적 및 방법

□ (목적) 자체 개발하는 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터의 성능 및 전력효율 예측, 연구개발과제 선정, 개발 후 활용할 분야 선정 필요

(110) '국가초고성능컴퓨팅 육성 기본계획(2013 ~ 2017)'에 명시된 세계 20위권의 성능 및 전력효율을 예측

(가) 세계 20위권 초고성능컴퓨터는 현재 국내 기술로는 자체 개발이 불가능하며 신뢰성, 확장성, 저전력 소모를 위한 다른 차원의 기술개발이 필요

(111) '국가초고성능컴퓨팅 육성 기본계획(2013 ~ 2017)'에 명시된 세계 5위권 내의 초고성능컴퓨터 개발은 세계 20위권 내의 초고성능컴퓨터와 또 다른 차원의 기술이 필요하므로 향후 후속사업에서 연구개발

□ 성능 및 전력효율 예측

(112) 무어(Moore)의 법칙과 Top500의 린팩 벤치마크 계산 성능 실측치(Rmax)에 대한 지수회귀분석을 바탕으로, 2019년 Top500 기준 세계 20위권 초고성능컴퓨터의 성능을 예측

(113) 전력효율의 경우 자문위원회에 속한 전문가들을 통해 델파이 방식으로 예측

□ 활용 분야 선정

(114) 자체개발하는 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터의 활용도를 높이기 위해서는 전문센터를 지정하여 해당분야에 적합한 기술개발을 함께 추진하는 것이 중요

(115) 향후 초고성능컴퓨터의 연구개발이 완료되어 운영이 시작되는 시점에서 선정한 활용분야의 수요를 100% 흡수

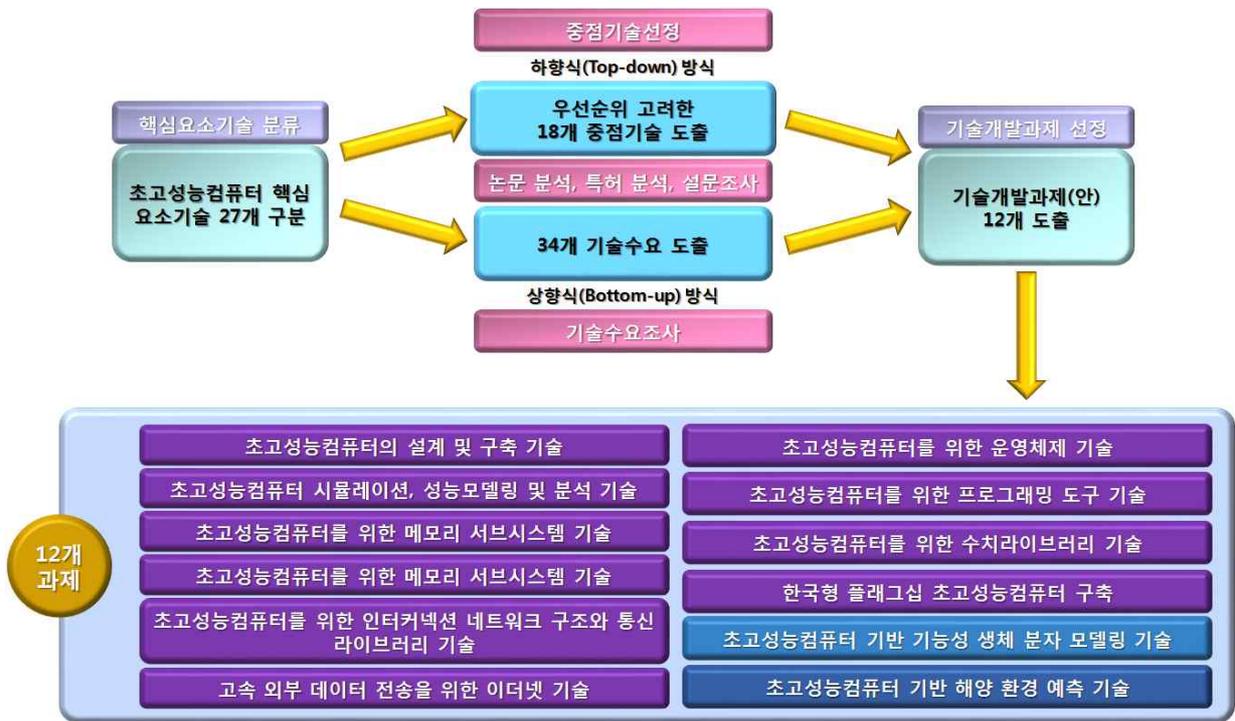
(116) 설문조사를 통한 수요를 반영하고 자문위원회의 검토를 거쳐 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터의 활용 분야를 선정하고 그 분야 기술과제를 발굴

□ 핵심 요소 기술 및 연구개발과제의 선정

(117) (1. 중점기술선정) 자문위원회의 전문가 그룹에 의해 27개 요소기술 중 우선순위가 높은 18개 중점기술을 하향식(Top-Down)으로 도출

(118) (2. 기술수요조사) 외부전문가를 대상 상향식(Bottom-up) 기술수요조사를 통해 34개 기술수요 도출

(119) (3. 과제선정) 자문위원회에서 18개 중점기술을 중심으로 논문분석, 특허분석, 설문조사, 기술수요조사, 국내기술수준을 고려하여 12개 기술개발과제(안) 도출



[그림 4] 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터 기술개발과제 도출과정

□ 설문조사

- (120) (목적) 기술개발과제의 선정에 수요를 반영하고 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터의 활용 분야를 선정하는데 이용
 - (가) 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터 목표성능 확인
 - (나) 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터 기술개발 우선순위 조사
 - (다) 앞으로 초고성능컴퓨터의 활용이 늘어날 분야에 대한 실질적 수요 확인
- (121) (기간) 2013. 10. 17~26, 10일간
- (122) (방법) 초고성능컴퓨터를 활용하여 연구개발을 수행한 경험이 있는 이용자와 개발자 및 향후 이용 예정자를 대상으로 대면 및 이메일 설문조사서 배포
- (123) (응답 현황) 총 102명이 설문조사에 응답

제 2 절 성능 및 전력효율 예측

② 성능 및 전력효율 예측 결과					
구분	Top500 순위	Green500 순위	성능 (PFlops)	전력효율 (GFlops/Watt)	구조
한국형 플래그십	20	20	51.0	20.0	이종
중규모 테스트베드	100	100	2.3	3.0	이종

□ 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터의 성능 예측

- (124) (무어의 법칙) 한 개의 칩에 집적될 수 있는 트랜지스터의 개수는 약 18개월에 두 배가 되며, 따라서 같은 비용을 들인 컴퓨터의 성능이 약 18개월에 두 배가 된다고 할 수 있음
 - (가) Top500 초고성능컴퓨터의 성능도 지속적으로 증가하지만, 무어의 법칙을 능가하여 약 12개월에 두 배가 됨
- (125) (지수회귀분석을 통한 예측) 초고성능컴퓨터의 성능이 지속적으로 증가하므로 과거의 성능수치들을 회귀분석의 데이터로 사용하여 지수회귀분석을 수행함으로써 성능예측의 정확도를 높임
 - (가) Top500이 시작된 1993년 6월부터의 성능을 전부 이용할 수 있으나 GPU와 같은 가속기의 발전 등, 최근의 컴퓨터 기술 발전추세를 더 잘 반영하기 위하여 최근 5년간의 데이터만 이용하여 지수회귀분석 수행
- (126) 연구개발을 위한 중규모 테스트베드의 성능
 - (가) 세계 20위권의 초고성능컴퓨터를 자체 연구개발하기 위한 중간 단계로 세계 100위권의 중규모 테스트베드를 구축하여 하드웨어와 소프트웨어를 연구하는 것이 필요함
 - (나) 지수회귀분석 결과 2017년 6월 기준 세계 100위권의 초고성능컴퓨터는 2,285.855TFlops의 성능을 요구하며 이는 약 2.3PFlops임

* 회귀분석의 결과로 결정계수인 R^2 의 값으로 0.988을 얻었으며 이는 회귀분석 결과 매우 정확하게 성능을 예측할 수 있음을 의미
- (127) 세계 20위권 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터의 성능 예측
 - (가) 지수회귀분석 결과 2019년 6월 기준 세계 20위권의 초고성능컴퓨터는 50,813,305 TFlops의 성능을 요구하며 이는 약 51PFlops 임

* 회귀분석의 결과로 결정계수인 R^2 의 값으로 0.974를 얻었으며 이는 회귀분석 결과 매우 정확하게 성능을 예측할 수 있음을 의미

□ 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터의 전력효율 예측

- (128) Top500 상위권 초고성능컴퓨터의 성능이 매년 꾸준히 지속적으로 증가하는 데 비해서, 전력효율의 증가 추세는 새로운 저전력 기술 및 시스템이 개발되었을 때만 대폭

상승하는 추세를 보임

- (129) 따라서 전력효율은 자문위원회에 속한 전문가들을 통한 델파이기법을 통해 예측
- (130) 예측의 결과 2017년 6월 세계 100위권은 3 GFlops/Watt, 2019년 세계 20위권은 20 GFlops/Watt로 전망됨

□ (설문조사) 2019년 6월 기준 세계 20위권의 예측성능이 2019년 경 국내 초고성능 컴퓨팅의 성능 수요와 각 활용분야의 성능 수요를 만족하는지 설문조사를 통하여 확인

- (131) 설문조사 결과 거의 모든 응답자(81.9%)가 국산 초고성능컴퓨터의 자체개발이 필요하다고 응답
- (132) 76.9%의 응답자가 차세대 초고성능컴퓨터에서 저전력 소모가 중요하다고 응답하였으며, 76.2%의 응답자가 차세대 초고성능컴퓨터의 구조는 이종구조가 대세가 될 것이라고 응답함
- (133) 51%의 응답자가, 2019년 자체개발 50PFlops급 초고성능컴퓨터가 국내 수요를 충족하기에 부족하다고 응답
- (가) 2019년 51PFlops이상의 성능은 세계 20위권의 성능으로 세계적인 추세에 부응할 수 있는 성능임

□ 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터의 성능목표 설정 결과는 아래의 표로 요약할 수 있음

<표 2> 자체개발 초고성능컴퓨터에 대한 성능목표 설정 결과

구분	Top500 순위	Green500 순위	성능 (PFlops)	전력효율 (GFlops/Watt)	구조	중점 기능
한국형 플래그십	20	20	51	20	이종	저전력 소모, 고속계산, 대용량 데이터 처리
중규모 테스트베드	100	100	2	3	이종	저전력 소모, 고속계산, 대용량 데이터 처리

제 3 절 활용분야 선정

㉠ 활용분야 선정 결과

- 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터의 활용도를 높이기 위해서는 전문센터를 지정하여 해당분야에 적합한 응용소프트웨어 개발을 함께 추진하는 것이 필요
- 바이오 및 해양 분야가 적합

□ 미래 초고성능컴퓨팅 자원수요예측 결과와 자체개발한 초고성능컴퓨터를 활용하기에 적합한 분야를 조사한 설문결과를 모두 고려하여 선정

(134) 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터는 '19년을 기준으로 약 51PFlops의 성능수준으로 개발할 예정이므로, 미래에 수요가 가장 많을 것으로 예측되는 분야 선정

□ (분야 선정 결과) '바이오'와 '해양'을 대표 활용분야로 선정



[그림 5] 수요예측에 의한 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터의 활용분야 선정

(135) 설문조사 결과 재료·나노, 바이오, 물리·천문, 화학, 대기·해양, 인문·사회의 6개 분야 중에서 미래 초고성능컴퓨팅 수요가 가파르게 증가할 분야로서 바이오 분야(응답자의 39.4%)와 대기·해양 분야(응답자의 22.0%)가 1, 2위로 지목됨

(136) 자문위원회에서 위의 설문결과를 검토한 후, 활용성, 시급성, 적합성을 기준으로 바이오와 해양 분야를 최종 선정

(가) (활용성) 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터의 활용가능 수요

(나) (시급성) 50PF급의 목표성능에 부합하는 활용가능 분야

(다) (적합성) 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터 개발과 응용소프트웨어 개발 병행의 필요성

* 대기 분야는 기상청 중심 응용 개발이 추진 중이므로 제외

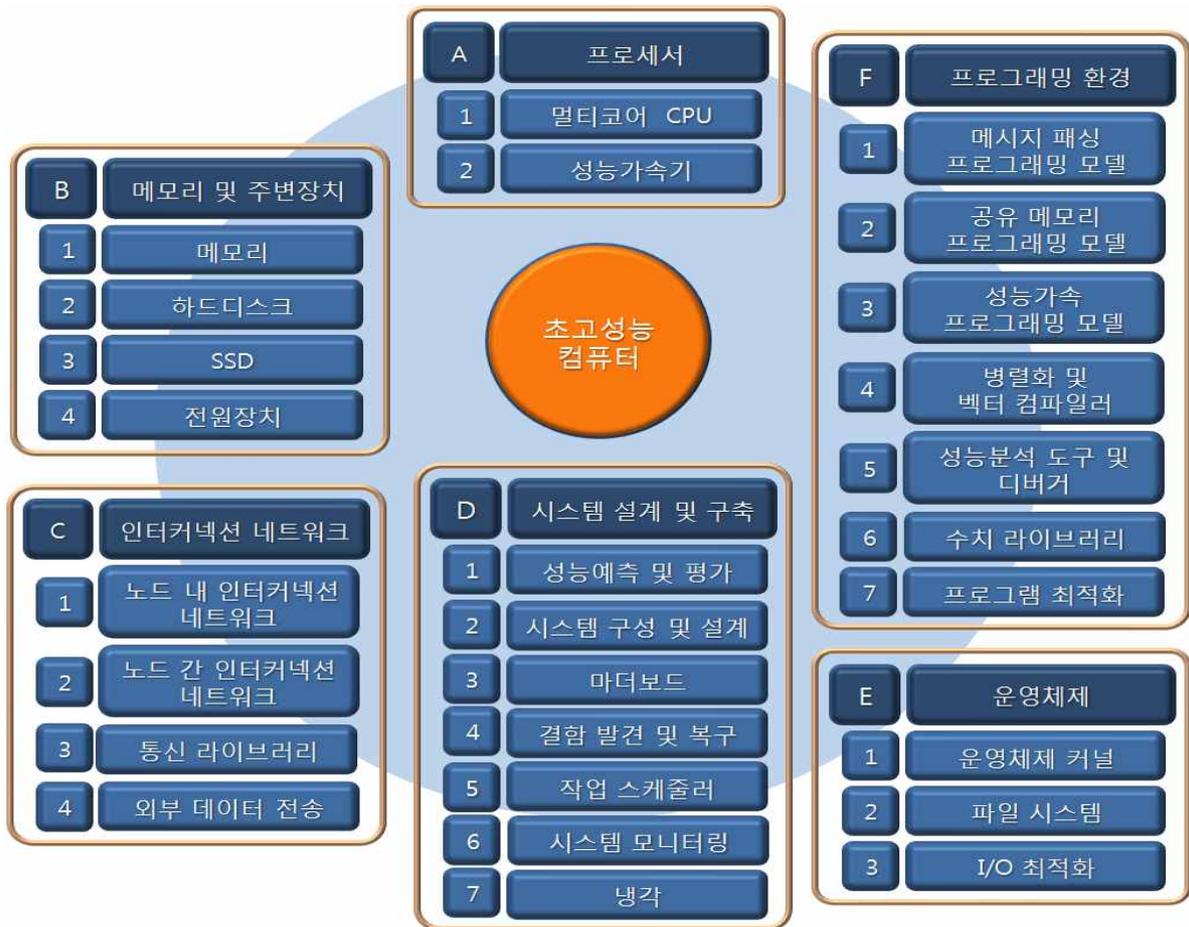
제 4 절 기술수요조사 및 연구개발과제(안) 선정

🌀 연구개발과제(안) 선정 요약

- 외부전문가 대상 상향식(Bottom-up) 기술개발과제 수요조사를 통해 34개 기술수요 도출
- 자문위원회 전문가들이 하향식(Top-down)으로 18개 중점기술 도출
- 자문위원회 전문가들과 설문조사를 통하여 연구개발 기술의 우선순위 도출
- 자문위원회의 심의와 검토를 통하여 12개 연구개발과제 도출

기술개발과제	핵심요소기술
1. 초고성능컴퓨터의 설계 및 구축 기술	<ul style="list-style-type: none"> · 시스템 구성 및 설계 · 마더보드 · 결함발견 및 복구 · 작업 스케줄러 · 시스템 모니터링 · 냉각 · 성능가속 프로그래밍 모델 · 전원장치
2. 초고성능컴퓨터 시뮬레이션, 성능 모델링 및 분석 기술	<ul style="list-style-type: none"> · 성능예측 및 평가
3. 초고성능컴퓨터를 위한 메모리 서브시스템	<ul style="list-style-type: none"> · 시스템 구성 및 설계 · 마더보드 · 멀티코어 CPU · 성능가속기 · 메모리
4. 초고성능컴퓨터를 위한 결함 발견 및 복구 기술	<ul style="list-style-type: none"> · 결함 발견 및 복구 · 마더보드 · 멀티코어 CPU · 메모리
5. 초고성능컴퓨터를 위한 인터커넥션 네트워크 구조와 통신 라이브러리 개발	<ul style="list-style-type: none"> · 노드 내 인터커넥션 네트워크 · 마더보드 · 통신 라이브러리
6. 고속 외부 데이터 전송을 위한 이더넷 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> · 외부 데이터 전송
7. 초고성능컴퓨터를 위한 운영체제 개발	<ul style="list-style-type: none"> · 운영체제 커널 · 파일 시스템 · I/O 최적화
8. 초고성능컴퓨터를 위한 프로그래밍 도구 개발	<ul style="list-style-type: none"> · 병렬화 및 벡터 컴파일러 · 성능분석 도구 및 디버거 · 프로그램 최적화
9. 초고성능컴퓨터를 위한 수치 라이브러리 개발	<ul style="list-style-type: none"> · 수치 라이브러리
10. 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터 구축	<ul style="list-style-type: none"> · 요소기술 연구개발 후 구축을 위해 별도 과제 도출
11. 초고성능컴퓨터 기반 기능성 생체 분자 모델링 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> · 응용 소프트웨어
12. 초고성능컴퓨터 기반 해양 환경 예측 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> · 응용 소프트웨어

□ (초고성능컴퓨터의 핵심요소기술) 현재 Top500에서 그 수가 점점 늘어나고 있는 차세대 초고성능컴퓨터의 구조는 이종(heterogeneous) 구조라고 할 수 있는데, 초고성능컴퓨터를 구성하는 핵심기술은 27개 요소기술로 구분 가능



[그림 6] 초고성능컴퓨터를 구성하는 핵심요소기술

□ (설문조사 결과) 초고성능컴퓨터의 자체개발 시 소프트웨어의 개발이 중요하다는 응답자가 73.9%로 소프트웨어의 개발을 더 중요하게 생각하고 있으며, 구성요소별 자체개발 우선순위는 아래의 표와 같음

<표 3> 구성요소의 자체개발 우선순위 설문조사 결과(전체 102명)

순위	구성요소	순위	구성요소
1	운영체제 및 파일 시스템 (14.3%)	8	작업 스케줄링 (5.3%)
2	프로그래밍 환경 (13.0%)	9	결함내성 기술 (4.1%)
3	대용량 데이터 전송 기술 (12.1%)	10	저장장치 (4.0%)
4	시스템 설계 및 구축 (11.9%)	11	가속기 (3.8%)
5	CPU (11.2%)	12	통신 라이브러리 (2.8%)
6	인터넷커넥션 네트워크 (8.7%)	13	메모리 (1.9%)
7	시스템 모니터링 및 관리 소프트웨어 (6.5%)	14	전원장치 (0.5%)

□ (기술 수요조사 결과) 외부전문가 대상 상향식(Bottom-up) 기술개발과제 수요조사를 통해 34개 기술수요 도출

<표 4> 초고성능컴퓨터 자체개발 기술수요조사 결과

기술개발과제명(34개)	
1. 초고성능컴퓨터 설계 및 구축 기술 개발	18. 초고성능컴퓨터 시스템을 위한 SSD 기반 고성능 파일시스템 개발
2. 초고성능컴퓨터 시스템 시뮬레이션, 성능 모델링 및 분석 기술 개발	19. 초고성능컴퓨터를 위한 병렬화 컴파일러 및 런타임 기술 개발
3. 초고성능컴퓨터 시스템 모델링 및 검증	20. 초고성능컴퓨터 시스템을 위한 전주기 프로그램 최적화 기술
4. 초고성능컴퓨터 개발을 위한 초고속 시뮬레이션 기술 개발	21. 자동 SIMD 코드 생성을 위한 컴파일러 기술 연구
5. 이종 초고성능컴퓨터를 위한 공유메모리 기술 개발	22. 이종 시스템을 위한 최적화 수치·응용과학 라이브러리 개발
6. 초고성능컴퓨터의 가상화 지원을 위한 메모리 가상화 기술 개발	23. 초고성능컴퓨터를 이용한 나노과학에서의 열전현상 구현
7. 초고성능컴퓨터에서 Silent 결함 예측 및 모델링 기술 개발	24. 이종 초고성능컴퓨터를 이용한 천체역학 다체수치시뮬레이션 연구
8. 저전력 이종 초고성능컴퓨터를 위한 가상화 기술 개발	25. 초고성능컴퓨터 기반 기능성 생체 분자 연구로 맞춤형 의료 기술 개발
9. 이종 초고성능컴퓨터의 신뢰성 확보를 위한 결함 발견 및 복구 기술	26. 초고성능컴퓨터 기반 미생물 염기서열 분석으로 맞춤형 의료 기술 개발
10. 초고성능컴퓨터의 인터커넥션 네트워크 설계	27. 초고성능컴퓨터를 이용한 진화기법 기반의 in silico 단백질 기능 분석
11. 인터커넥션 네트워크를 위한 맞춤형 통신 라이브러리 개발	28. 인간 미생물 군집 기능 예측 및 바이오 마커 발굴 기술 개발
12. 대안 기술을 활용하는 인터커넥션 네트워크 토폴로지 개발	29. 단백질 구조 및 상호작용 예측을 위한 초고성능컴퓨팅 애플리케이션 개발
13. 외부 시스템과의 고속 데이터 전송을 위한 Lossless Ethernet 기술 개발	30. 고해상도 통합해양환경 시뮬레이션 기술 개발
14. 외부 시스템과의 고속 데이터 전송을 위한 네트워크 제어 기술 개발	31. 비구조격자 해양대기-파랑 통합수치모델 개발 및 연안해양환경 예측기술 연구
15. 외부 시스템과의 고속 데이터 전송을 위한 전송 효율 극대화 기술 개발	32. 통합지역기후시스템모형(KIRCSM) 개발을 통한 RCP 시나리오 기반 동아시아중해 해양 미래변화 상세 전망
16. 초고성능컴퓨터 시스템을 위한 운영체제 연구	33. 초고성능컴퓨터 활용 고정밀 전지구 해양 2층 모델 개발
17. 초고성능컴퓨터 시스템을 위한 경량 커널 연구	34. 초고해상도 해양모형에 기반한 전지구 기후예측 시스템 개발

□ (기술개발과제 도출) 주요국 정책동향, 특허 및 논문 분석, 설문조사 결과를 고려하여 자문위원회의 전문가들을 통해 27개 요소기술 중 18개 중점기술 선정

(137) 본 사업에서 연구개발 필요성이 낮거나, 이미 기술자립화가 되어 있는 요소기술은 제외함

(138) ‘프로세서’는 대규모 연구개발비와 장기적인 투자가 필요하기 때문에 국가주도의 원천기술은 인력양성 차원의 방향이 좋음

(139) ‘노드 간 인터커넥션 네트워크’ 역시 연구개발비 측면에서 원천기술은 장기적인 관점에서 개발하는 것이 좋음

<표 5> 초고성능컴퓨터 중점기술 선정결과

번호	핵심기술	HW/SW	중점기술 선정
1	멀티코어 CPU	HW	×
2	성능 가속기	HW	×
3	메모리	HW	×
4	하드디스크	HW	×
5	SSD	HW	×
6	전원장치	HW	×
7	노드 내 인터커넥션 네트워크	HW	○
8	노드 간 인터커넥션 네트워크	HW	×
9	통신 라이브러리	SW	○
10	외부 데이터 전송	SW	○
11	성능예측 및 평가	SW	○
12	시스템 구성 및 설계	-	○
13	마더보드	HW	○
14	결함 발견 및 복구	SW	○
15	작업 스케줄러	SW	○
16	시스템 모니터링	SW	○
17	냉각	HW	○
18	메시지 패싱 프로그래밍 모델	SW	×
19	공유 메모리 프로그래밍 모델	SW	×
20	성능가속 프로그래밍 모델	SW	○
21	병렬화 및 벡터 컴파일러	SW	○
22	성능분석 도구 및 디버거	SW	○
23	수치 라이브러리	SW	○
24	프로그램 최적화	-	○
25	운영체제 커널	SW	○
26	파일 시스템	SW	○
27	I/O 최적화	-	○
전 체		27종	18종

□ 18개 중점기술을 중심으로 기술수요조사, 설문조사, 국내기술수준을 고려하여 12개 기술개발과제(안) 도출

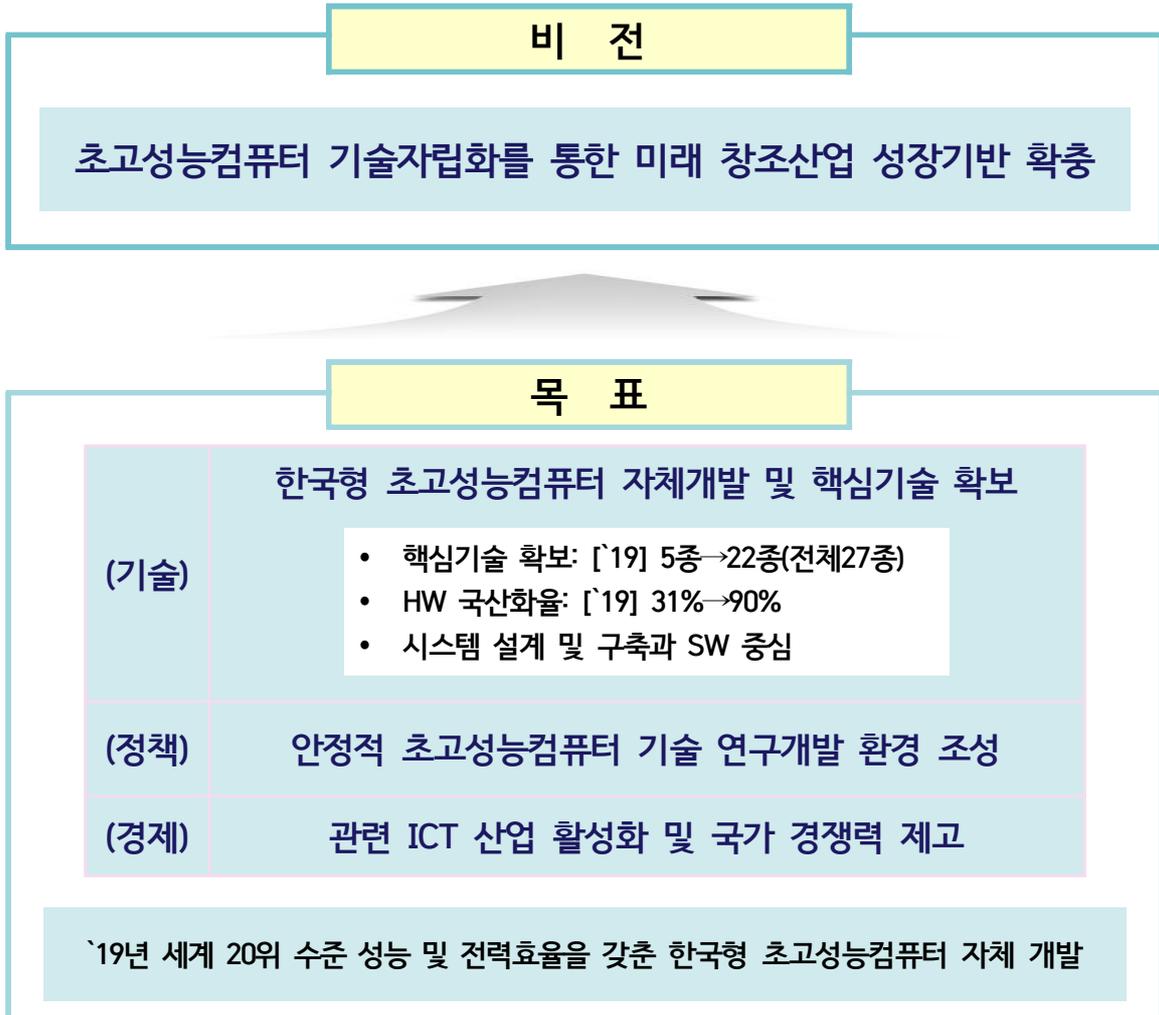
(140) 시급성, 중요성, 국내 수준을 고려하여 핵심요소기술을 분리하거나 통합하여 12개의 기술개발과제(안) 도출

<표 6> 기술개발과제

기술개발과제	핵심요소기술
1. 초고성능컴퓨터의 설계 및 구축 기술	<ul style="list-style-type: none"> · 시스템 구성 및 설계 · 마더보드 · 결함발견 및 복구 · 작업 스케줄러 · 시스템 모니터링 · 냉각 · 성능가속 프로그래밍 모델 · 전원장치
2. 초고성능컴퓨터 시뮬레이션, 성능 모델링 및 분석 기술	<ul style="list-style-type: none"> · 성능예측 및 평가
3. 초고성능컴퓨터를 위한 메모리 서브시스템	<ul style="list-style-type: none"> · 시스템 구성 및 설계 · 마더보드 · 멀티코어 CPU · 성능가속기 · 메모리
4. 초고성능컴퓨터를 위한 결함 발견 및 복구 기술	<ul style="list-style-type: none"> · 결함 발견 및 복구 · 마더보드 · 멀티코어 CPU · 메모리
5. 초고성능컴퓨터를 위한 인터커넥션 네트워크 구조와 통신 라이브러리 개발	<ul style="list-style-type: none"> · 노드 내 인터커넥션 네트워크 · 마더보드 · 통신 라이브러리
6. 고속 외부 데이터 전송을 위한 이더넷 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> · 외부 데이터 전송
7. 초고성능컴퓨터를 위한 운영체제 개발	<ul style="list-style-type: none"> · 운영체제 커널 · 파일 시스템 · I/O 최적화
8. 초고성능컴퓨터를 위한 프로그래밍 도구 개발	<ul style="list-style-type: none"> · 병렬화 및 벡터 컴파일러 · 성능분석 도구 및 디버거 · 프로그램 최적화
9. 초고성능컴퓨터를 위한 수치 라이브러리 개발	<ul style="list-style-type: none"> · 수치 라이브러리
10. 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터 구축	<ul style="list-style-type: none"> · 요소기술 연구개발 후 구축을 위해 별도 과제 도출
11. 초고성능컴퓨터 기반 기능성 생체 분자 모델링 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> · 응용 소프트웨어
12. 초고성능컴퓨터 기반 해양 환경 예측 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> · 응용 소프트웨어

제 4 장 사업 목표 및 내용

제 1 절 사업 목표 및 추진전략



[그림 7] 사업 비전 및 목표

□ **(비전)** 초고성능컴퓨터 기술자립화를 통한 미래 창조산업 성장기반 확충

- (141) 국내 연구 역량을 집중하여 초고성능컴퓨팅 핵심기술을 확보하고 이를 바탕으로 세계 20위권의 초고성능컴퓨터를 자체개발
- (142) 자체개발한 한국형 초고성능컴퓨터를 시범운영하고 국내 과학기술 발전에 활용
- (143) 국내 초고성능컴퓨팅 연구개발 및 산업 생태계를 조성
- (144) '초고성능컴퓨팅 세계 7대 강국 실현'을 위한 초석

□ **(최종목표)** 한국형 초고성능컴퓨터 자체개발 및 핵심기술 확보로 기술 자립화

□ **(기술적 목표)** 2019년까지 세계 20위 수준의 성능 및 전력효율을 갖춘 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터 자체 연구개발

(145) 하드웨어 국산화율 : ('13) 31% → ('19) 90%

(가) 국산화율 = 국산 구성요소 가격의 합 / 초고성능컴퓨터 총 가격

(나) 국내 개발된 타 분야 부품을 초고성능컴퓨터에서 활용되도록 설계하는 기술도 국산화 범주로 포함

<표 7> 초고성능컴퓨터 하드웨어 구성요소의 가격 비율 및 국산화 여부

하드웨어 구성요소	비율(가격)	현재 국산화 여부	향후개발 국산부품 활용
CPU	18.8%	×	○
가속기	25.1%	×	○
메모리	6.8%	○	○
노드 간 인터커넥션 네트워크	9.4%	×	×
마더보드	5.2%	×	○
냉각 시스템	10.3%	×	○
기타	24.4%	○	○
국산화율		31%	90 %

* 가격비율: 천둥과 미국 Corte 시스템의 평균(Corte의 경우 추정 불가능한 마더보드 등 기타 구성요소는 천둥의 비율을 적용함)

* CPU와 가속기의 경우 향후 민간주도로 개발한 국산부품활용

(146) 개발 핵심기술(전체 27종) 국내 확보 : ('13) 5종 → ('19) 22종

(147) 성능 및 전력소모 목표 : '19년 Top500 및 Green500 세계 20위 이내 등재 (성능 51 PFLOPS, 전력효율 20 GFLOPS/Watt)

(148) 단계별 목표는 아래 표와 같음

<표 8> 단계별 목표

	1단계 (2015~2017년)	2단계 (2018~2019년)
단계별 목표	Top500 및 Green500 세계 100위권 한국형 초고성능컴퓨터 연구개발 (테스트베드)	Top500 및 Green500 세계 20위권 한국형 초고성능컴퓨터 연구개발
정량적 목표 (수요예측 기반)	성능: 2.3 PFLOPS 전력효율: 3 GFLOPS/Watt	성능: 51 PFLOPS 전력효율: 20 GFLOPS/Watt

□ **(정책적 목표)** 안정적 초고성능컴퓨터 기술 연구개발 환경 조성

(149) 자체 연구개발 사업을 통해 컴퓨터 시스템 분야 고급 연구개발 인력을 확보

(150) 연속적인 기술 연구개발 환경이 취약한 국내 사정을 연속적인 연구개발이 가능하도록 안정화시키고 향상

□ **(경제적 목표)** 관련 ICT산업 활성화 및 국가경쟁력 제고

(151) 한국형 플렉스칩 모델의 핵심기술 이전을 통한 관련 ICT 산업 활성화

(152) 세계적 수준의 한국형 초고성능컴퓨터 자체 연구개발을 통하여 해외인지도를 향상시키고 국가경쟁력 제고

<표 9> 초고성능컴퓨터 핵심기술의 자립화 여부

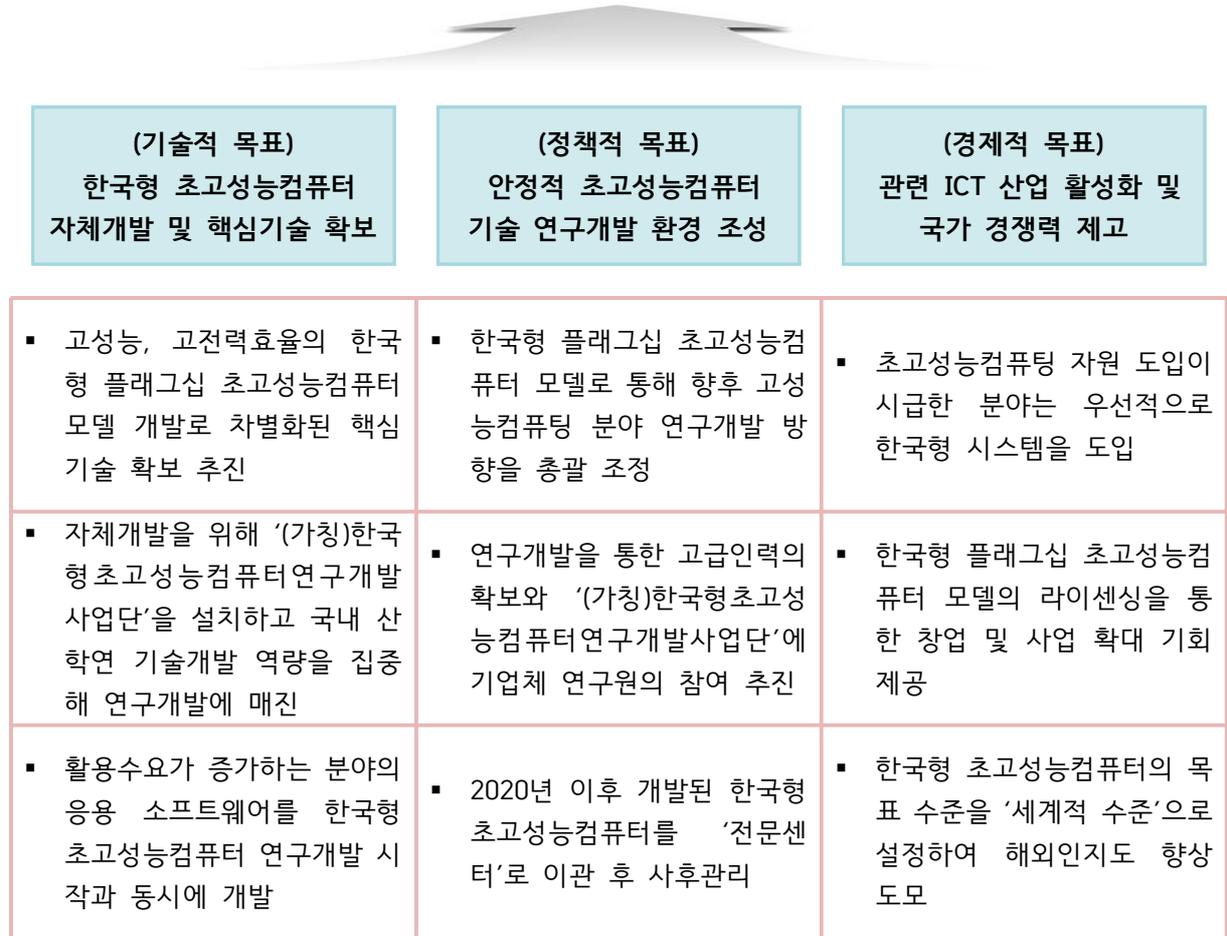
연번	핵심기술	HW/SW	현재 자립화 여부	본 사업 연구개발 여부	본 사업 후 자립화 여부
1	멀티코어 CPU	HW	×	×	×
2	성능 가속기	HW	×	×	×
3	메모리	HW	○	×	○
4	하드디스크	HW	○	×	○
5	SSD	HW	○	×	○
6	전원장치	HW	○	×	○
7	노드 내 인터커넥션 네트워크	HW	×	○	○
8	노드 간 인터커넥션 네트워크	HW	×	×	×
9	통신 라이브러리	SW	×	○	○
10	외부 데이터 전송	SW	×	○	○
11	성능예측 및 평가	SW	×	○	○
12	시스템 구성 및 설계	-	×	○	○
13	마더보드	HW	×	○	○
14	결함 발견 및 복구	SW	×	○	○
15	작업 스케줄러	SW	×	○	○
16	시스템 모니터링	SW	×	○	○
17	냉각	HW	×	○	○
18	메시지 패싱 프로그래밍 모델	SW	×	×	×
19	공유 메모리 프로그래밍 모델	SW	×	×	×
20	성능가속 프로그래밍 모델	SW	○	○	○
21	병렬화 및 벡터 컴파일러	SW	×	○	○
22	성능분석 도구 및 디버거	SW	×	○	○
23	수치 라이브러리	SW	×	○	○
24	프로그램 최적화	-	×	○	○
25	운영체제 커널	SW	×	○	○
26	파일 시스템	SW	×	○	○
27	I/O 최적화	-	×	○	○
국내 확보			5종	18종	22종

* 성능가속 프로그래밍 모델의 경우 '천둥'을 위해 개발한 독자 프로그래밍 모델이 있으나 목표 초고성능컴퓨터의 구조가 다르기 때문에 본 사업에서 새로이 연구개발

* 메시지 패싱 프로그래밍 모델과 공유 메모리 프로그래밍 모델은 공개소프트웨어 사용 가능

□ (사업 추진전략) 기술적, 정책적, 경제적 목표 달성을 위한 9개 추진전략 수립

초고성능 컴퓨터 기술 자립화를 통한 미래 창조산업 성장기반 확충



[그림 8] 추진 전략

제 2 절 사업 내용

1. 사업 구성

□ (사업 구조) 본 사업은 아래 표와 같이 4개의 세부사업과 12개 세부과제로 구성됨

<표 10> 사업 구성

세부사업	세부과제
(1) 초고성능컴퓨터 설계 및 구축 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> · 초고성능컴퓨터의 설계 및 구축 기술 개발 · 초고성능컴퓨터 시뮬레이션, 성능 모델링 및 분석 기술 개발 · 초고성능컴퓨터를 위한 메모리 서브시스템 개발 · 초고성능컴퓨터를 위한 결함 발견 및 복구 기술 개발
(2) 초고성능컴퓨터 핵심요소기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> · 초고성능컴퓨터를 위한 인터커넥션 네트워크 구조와 통신 라이브러리 개발 · 고속 외부 데이터 전송을 위한 이더넷 기술 개발 · 초고성능컴퓨터를 위한 운영체제 개발 · 초고성능컴퓨터를 위한 프로그래밍 도구 개발 · 초고성능컴퓨터를 위한 수치 라이브러리 개발
(3) 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터 구축	<ul style="list-style-type: none"> · 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터의 구축
(4) 바이오/해양 응용소프트웨어 개발	<ul style="list-style-type: none"> · 초고성능컴퓨터 기반 기능성 생체 분자 모델링 기술 개발 · 초고성능컴퓨터 기반 해양환경예측 기술 개발 (1단계('15-'17)는 두 과제 모두 추진, 2단계('18-'19)는 전문센터 연계를 위해 둘 중 한 과제 선택하여 추진)

<표 11> 세부사업 단계별 목표

세부사업	단계별목표	
	1단계 (2015~2017)	2단계 (2018~2019)
(1) 초고성능컴퓨터 설계 및 구축 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 소규모(세계 100위) 초고성능컴퓨터 설계 기술 - 시뮬레이션, 모델링 기술 - 메모리 구조, 디버깅 기술 확보 	<ul style="list-style-type: none"> - 중대규모(세계 20위) 초고성능 컴퓨터 설계기술 - 1단계 개발 기술 성능 개선
(2) 초고성능컴퓨터 핵심요소기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 인터커넥션 네트워크, 통신 라이브러리 기술 개발 - 데이터 고속 전송·응답 기술 및 운영체제 확보 - 프로그래밍 도구 및 수치 라이브러리 확보 	<ul style="list-style-type: none"> - 1단계에서 개발된 기술 성능개선 및 최적화
(3) 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터 구축	<ul style="list-style-type: none"> - 세계 100위 수준 초고성능컴퓨터 구축 - 성능 및 전력효율 평가 실시 	<ul style="list-style-type: none"> - 세계 20위 수준 초고성능컴퓨터 구축 - 성능 및 전력효율 평가 및 시범운영 실시
(4) 바이오/해양 응용소프트웨어 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 기능성 생체분자 분석 기술 개발 - 전지구·연안 해양환경 예측 분석기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 전문센터 선정 후 해당 응용분야 기술 고도화

2. (세부사업 1) 초고성능컴퓨터 설계 및 구축 기술 개발

□ 배경 및 필요성

- (153) 한국형 초고성능컴퓨터 자체개발을 위해, 초고성능컴퓨터를 설계하고 여러 하드웨어 및 소프트웨어 구성요소를 통합하여 단일 시스템으로 구성하는 기술 확보
- (154) 초고성능컴퓨터 설계 과정에서 요구사항에 맞게 최적의 초고성능컴퓨터 구성요소와 이들 간의 결합 방법을 선정하고 전체 시스템의 규모, 성능, 발열량, 전력소모 등을 도출하는 기술이 필요함
- (155) 설계된 내용을 반영하여 하드웨어를 통합하고 안정적인 시스템을 구축하기 위해서는 마더보드, 냉각 시스템, 전원장치의 자체제작 기술이 필요함
- (156) 여러 노드로 구성된 클러스터 구조의 초고성능컴퓨터를 단일 시스템처럼 사용하기 위해서는 프로그래밍 모델, 작업 스케줄러 등의 소프트웨어가 뒷받침되어야 함
- (157) 또한 세계 최상위권의 대규모 시스템을 구축·운영하기 위해서는 결함(fault) 발생에 대처하고 시스템 상태를 효율적으로 모니터링하기 위한 소프트웨어 기술 필요

□ 목표

- (158) 세계 20위 수준(계산속도 51 PFlops, 전력효율 20 GFlops/Watt)의 저전력 프로세서 기반 이종 초고성능컴퓨터 설계 및 구축 기술 확보
- (159) 정확하고 빠르며 손쉬운 초고성능컴퓨터 시뮬레이션 및 확장성, 안정성, 전력사용량 등의 모델링 기술 확보
- (160) 이종 초고성능컴퓨터 노드를 위한 메모리 컨트롤러, 캐시, 캐시 일관성 보장, 프리페처(prefetcher) 등의 메모리 계층 구조 기술 개발
- (161) 50 PFlops급 저전력 프로세서 기반 이종 초고성능컴퓨터의 결함 발견 및 복구 기술 개발

□ 과제구성: 4개 세부과제로 구성됨

- (162) ‘시스템 설계 및 구성’ 기술과, 초고성능컴퓨터의 사용과 밀접한 연관이 있는 ‘프로그래밍 모델’ 기술은 모두 설계 및 구축 세부과제에 포함하고 ‘(가칭)한국형 초고성능컴퓨터 연구개발 사업단’에 연구원이 상주하며 집중적이고 일관성 있는 연구개발로 사업기간 내 초고성능컴퓨터의 국산화에 성공할 수 있도록 함

□ (세부과제 1-1) 초고성능컴퓨터의 설계 및 구축 기술

- (163) 시스템 구성 및 설계 기술
 - (가) Top500 및 Green500에서 세계 20위 수준을 달성하고 바이오/해양 분야의 요구사항을 반영하기 위한 시스템 평가 기준 정의
 - (나) 세계 20위 수준 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터를 설계하고 규모, 발열량, 전력소모 등을 예측
- (164) 애플리케이션의 성능 확장 예측 기술
 - (가) 벤치마크 응용을 선정하고 특성을 분석하며, 클러스터 규모 확장 시 성능 변화 요인을 도출하여, 시스템 규모를 확장하였을 때의 성능 실측치를 예상
- (165) 마더보드 설계 및 제작 기술
 - (가) 저전력 프로세서와 가속기가 장착된 이종 시스템을 위한 마더보드를 설계하고 효율

적인 on-board 인터커넥션 네트워크를 적용

(나) 결함 발견, 복구 및 모니터링을 위한 기술이 적용된 마더보드 개발

(166) 초고성능컴퓨터의 효율적인 냉각 기술

(가) 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터에 사용할 냉각 시스템을 개발 및 설치

(167) 이종 초고성능컴퓨터를 위한 프로그래밍 모델

(168) 이종 초고성능컴퓨터의 이용 및 관리를 위한 소프트웨어

(가) 효율적인 자원 할당 방법 및 스케줄링 정책이 사용된 작업 스케줄러 개발

(나) 시스템 결함 발견 및 모니터링 소프트웨어 개발

□ (세부과제 1-2) 초고성능컴퓨터 시뮬레이션, 성능 모델링 및 분석 기술

(169) 초고성능컴퓨터 시스템 시뮬레이터 개발

(가) 초고성능컴퓨터의 성능, 안정성, 확장성, 전력사용량 등을 정확하고 빠르게 예측하는 모델링 및 시뮬레이션 기술 개발

(170) 초고성능컴퓨팅 워크로드 개발 및 분석을 통한 성능저하요소 분석 기술 확보

(가) 애플리케이션의 대표성을 유지하면서 빠른 시뮬레이션이 가능토록 하는 워크로드 축약 기술 개발

(171) 세계 100위권, 세계 20위권 초고성능컴퓨터 모델링

(172) 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터 모델의 개선을 위한 미래 기술개발 방향 제시

□ (세부과제 1-3) 초고성능컴퓨터를 위한 메모리 서브시스템

(173) 여러 저전력 프로세서와 가속기 사이의 메모리 계층 구조 기술

(가) 여러 저전력 프로세서 및 가속기가 장착된 노드의 메모리 시스템 설계

(나) 프로세서 사이에 발생하는 캐시 일관성(cache coherence) 문제를 해결하기 위한 저전력 캐시 일관성 프로토콜 개발

(174) 저전력 프로세서와 가속기간의 공유 메모리 기술

(가) 저전력 프로세서와 가속기 사이의 효율적인 메모리 채널 및 소프트웨어 인터페이스 개발

(나) 데이터의 일관성을 유지하는 조건 하에 저전력 프로세서와 가속기가 동시에 접근할 수 있는 메모리 구조를 설계

(175) 저전력 이종 메모리 구조 기술

(가) DRAM과 비휘발성 메모리(NVRAM)으로 구성된 이종 메모리 기술의 개발로 전력소모를 줄이고 성능을 향상시킴

(176) 효율적 가상화 지원을 위한 메모리 서브시스템 기술

(가) 가상화 환경에서도 캐시 메모리를 일반 환경과 같이 사용할 수 있는 메모리 가상화 기술 개발

(나) 가상 머신간의 격리를 통해 높은 자원 이용률을 달성하는 캐시 시스템 개발

(다) 가상 머신에서 이종 프로세서와 이종 메모리를 효과적으로 이용할 수 있는 기술 개발

□ (세부과제 1-4) 초고성능컴퓨터를 위한 결함 발견 및 복구 기술

(177) 저전력 프로세서 기반 이종 초고성능컴퓨터 요소의 결함 조기발견 기술

(가) 결함의 특성을 수집, 기록, 분석하는 소프트웨어 프레임워크 개발

- (나) 초고성능컴퓨터의 결함 예측 및 선제적 교체 기술 개발
- (178) 저전력 프로세서 기반 이종 초고성능컴퓨터의 checkpoint/restart 기술
- (가) Checkpoint의 저장 속도를 향상시키기 위해 SSD와 NVDIMM 등의 차세대 스토리지를 활용하는 기술 개발

3. (세부사업 2) 초고성능컴퓨터 핵심요소기술 개발

□ 배경 및 필요성

- (179) 초고성능컴퓨터 국산화를 위해 초고성능컴퓨터의 하드웨어 및 소프트웨어 핵심요소 기술에 대한 연구개발 필요
- (180) 초고성능컴퓨터에서 인터커넥션 네트워크는 시스템의 확장성, 전반적인 시스템 비용, 효율성에 있어서 매우 중요한 요소임
- (181) 초고성능컴퓨터에 빅데이터를 업로드, 다운로드하고 초고성능컴퓨터 간에 데이터를 분산, 공유하여 협업하기 위해서는 고속 외부 데이터 전송을 위한 소프트웨어 정의 네트워킹 패러다임 도입이 필요
- (182) 초고성능컴퓨터를 위한 운영체제 기술은 시스템의 성능, 신뢰성, 전력소모를 결정하는 핵심 요소로 자체적인 확보가 필수적임
- (183) 사용자가 병렬 아키텍처의 하드웨어 성능을 최대로 활용하기 위해서는 병렬화.최적화 컴파일러, 런타임 최적화 라이브러리, 성능 분석 및 튜닝 도구 등의 프로그래밍 도구가 뒷받침되어야 함
- (184) 자체 개발한 초고성능컴퓨터의 성능을 극대화하기 위해 이종 시스템에 최적화된 수치 라이브러리가 필요

□ 목표

- (185) 초고성능컴퓨터를 위한 확장 가능한 인터커넥션 네트워크 아키텍처와 통신 라이브러리 개발
- (186) 초고성능컴퓨터 외부에서 이더넷을 통해 안정적으로 데이터를 고속 전송하고 빠른 응답 속도를 보장하기 위한 기술 개발
- (187) 성능, 신뢰성, 에너지 효율성을 극대화하고 프로그래밍 편의성을 제공하는 초고성능 컴퓨터 구조에 최적화된 운영체제 개발
- (188) 초고성능컴퓨터에서의 병렬화, 최적화, 성능 분석을 위한 프로그래밍 도구 개발
- (189) 이종 시스템을 위한 효율적인 수치 라이브러리 개발

□ 과제구성: 5개 세부과제로 구성됨

□ (세부과제 2-1) 초고성능컴퓨터를 위한 인터커넥션 네트워크 구조와 통신 라이브러리 개발

- (190) 저전력 프로세서들을 연결하는 보드 내 인터커넥션 네트워크 설계
 - (가) 저전력을 고려한 인터커넥션 네트워크 설계
- (191) COTS 라우터, 신호 기술을 활용하는 보드 간 인터커넥션 네트워크 설계
- (192) 보드 내/보드 간 통신을 위한 맞춤형 통신 라이브러리
- (193) 대안 기술을 활용하는 네트워크 토폴로지 아키텍처
- (194) 대안 토폴로지를 지원하는 라우터 마이크로아키텍처 설계

□ (세부과제 2-2) 고속 외부 데이터 전송을 위한 이더넷 기술 개발

- (195) 소프트웨어 정의 네트워킹 패러다임 기반의 Lossless 이더넷 요소 기술 및 스위칭 노드 제어 기술

- (가) 중앙 네트워크 컨트롤러에서의 네트워크 혼잡 제어 기술 개발
- (나) Fairness를 보장하면서 네트워크 자원을 최대한으로 활용하는 라우팅 기술 개발
- (196) Lossless 이더넷 환경에 맞는 새로운 TCP 알고리즘
- (197) 중앙 네트워크 컨트롤러의 확장성(scalability)과 결함 내성(fault-tolerance)을 향상시키는 고도화 기술

□ (세부과제 2-3) 초고성능컴퓨터를 위한 운영체제 개발

- (198) 초고성능컴퓨터 자원관리기술
 - (가) 초고성능컴퓨터를 이루는 저전력 프로세서와 가속기 등 다양한 연산장치들을 효율적으로 이용하여 주어진 연산을 빠르게 실행시키기 위한 스케줄링 기법 개발
 - (나) 이종 메모리를 지원하는 가상 메모리 기법 개발
 - (다) 배치(batch) 형태의 작업에 특화된 전력관리 기법 개발
- (199) 초고성능컴퓨터를 위한 차세대 운영체제 구조
 - (가) 초고성능컴퓨터의 태스크 실행에 최적화된 경량 커널을 개발
 - (나) 경량 메시지 전송을 통한 데이터 교환 및 동기화 기법을 개발
- (200) SSD 기반 고성능 파일시스템 개발
 - (가) SSD의 특성에 맞게 운영체제의 스토리지 스택 및 로컬 파일시스템 최적화
 - (나) 파일시스템의 일부 기능을 SSD 내부에서 처리하는 스마트 SSD 기술 활용으로 CPU의 부담을 경감하는 기술 개발

□ (세부과제 2-4) 초고성능컴퓨터를 위한 프로그래밍 도구 개발

- (201) 고성능 병렬화/최적화 컴파일러 기술
 - (가) 저전력 프로세서를 위한 벡터화 컴파일러와, 프로그래머가 SIMD extension을 손쉽게 사용할 수 있도록 돕는 계산 라이브러리 개발
 - (나) 동적 의존성 분석 및 프로그래머와의 interaction을 이용한 병렬화/최적화 컴파일러 개발
- (202) 프로그램 전주기 최적화 기술
 - (가) 유연한 병렬 실행(flexible parallel execution)을 위한 프로그래밍 환경 구축
 - (나) 플랫폼 파라미터를 자동으로 추출하고 이를 활용해 프로그램의 성능 이식성(performance portability)을 향상시키는 기술 개발
- (203) 고성능 프로그래밍, 성능 분석 및 튜닝 기술
 - (가) 저전력 프로세서를 위한 성능 분석 및 튜닝 도구 개발
 - (나) 저전력 프로세서를 위한 도메인 최적화 라이브러리 및 프로그래밍 환경 개발

□ (세부과제 2-5) 초고성능컴퓨터를 위한 수치 라이브러리 개발

- (204) 이종 시스템에 최적화된 수치 라이브러리
 - (가) 수치 선형대수 라이브러리(BLAS, LINPACK, LAPACK, MAGMA, PLASMA)와 응용 과학 연구 라이브러리(GSL, FFT, MCMC, MLA, Solvers 등)를 OpenCL로 이식
 - (나) 라이브러리를 저전력 프로세서와 가속기(GPU, FPGA 등)에 맞게 최적화

4. (세부사업 3) 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터 구축

□ 배경 및 필요성

- (205) 세부사업 1, 2의 연구개발 결과를 통합하여 성능과 전력효율 모두 세계 최상위권인 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터를 자체 구축함으로써 기술 자립화
- (206) 연구개발 성과물의 시험과 검증을 위한 세계 100위권의 소규모 테스트베드를 사전에 구축하여 높은 완성도의 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터 개발
- (207) 현재까지 시장에서 블루오션인 ‘저전력’에 초점을 둔 한국형 플래그십 모델 구축에 성공함으로써 차별화된 핵심기술을 확보하고 향후 라이선싱을 통한 기술이전 및 사업화 추진
- (208) 초고성능컴퓨터 구축 결과로부터 세부사업 1, 2의 연구개발 결과를 검증하고 향후 국가 초고성능컴퓨터 연구개발 방향을 제시함
- (209) 구축한 한국형 초고성능컴퓨터는 세부사업 4에서 개발한 응용소프트웨어를 통해 국내 활용수요가 증가하고 있는 ‘바이오’ 분야 혹은 ‘해양’ 분야의 연구개발용으로 사용

□ 목표

- (210) 2017년까지 성능과 전력효율에서 세계 100위권의 소규모 테스트베드를 세부사업 1과 2에서 연구개발한 기술을 이용하여 자체 구축
- (211) 2019년까지 성능과 전력효율에서 세계 20위권의 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터를 세부사업 1과 2에서 연구개발한 기술을 이용하여 자체 구축
 - (가) 본 사업에서 연구개발한 핵심요소기술을 통합하여 기술 자립화 달성
 - (나) 구축한 초고성능컴퓨터를 ‘전문센터’에 이관하여 시범운영 및 활용 추진

□ 과제구성: 1개 세부과제로 구성

- (212) 본 세부사업의 내용은 초고성능컴퓨터의 설계 및 구축 기술(세부과제 1-1)의 연장선상에 있으므로, 해당 세부과제와 마찬가지로 ‘(가칭)한국형 초고성능컴퓨터연구개발사업단’에 상주하는 연구 인력이 일관성 있게 추진
- (213) 본 세부사업은 소규모 테스트베드 구축이 이루어지는 2016년~2017년과 한국형 초고성능컴퓨터 구축이 이루어지는 2018년~2019년에만 진행됨

□ 추진 내용

- (214) 시스템 설계 및 구축 기술, 핵심 요소기술을 통합하여 저전력 프로세서 기반 이종 초고성능컴퓨터 구축
- (215) 본 세부사업의 주요 추진내용은 아래 표와 같음

<표 12> 세부사업 3의 주요 추진내용

세부과제	항목	주요 추진내용
(3-1) 한국형 초고성능컴퓨터의 구축, 평가 및 시범운영	연구개발 결과 통합	- 세부사업1에서 개발한 설계 및 구축 기술을 이전 - 세부사업2에서 개발한 초고성능컴퓨터 핵심요소기술을 이전 - 세부과제1-1의 세계 100위, 20위 수준 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터 구성·설계 결과를 이전
	구축 사전 준비	- 전문센터와 협의하여 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터 설치를 위한 기반시설 준비 - 설치 계획 수립 - 단계별 세부 설치 일정 계획 수립
	시스템 구축	- 하드웨어 부품 반입, 설치 및 초기불량 테스트 - 소프트웨어 설치
	성능 및 전력효율 평가	- 구축한 시스템을 대상으로 린팩 벤치마크(LINPACK benchmark) 최적화 - 계산 성능(Fmax) 및 전력 소모(Watt)를 측정 - 2017년에 Top500 및 Green500 100위 내 등재 - 2019년에 Top500 및 Green500 20위 내 등재
	시범운영 실시	- 전문센터와 협의하여 실제 활용 이전에 시범운영을 실시하며 안정성을 시험 - 자체 개발한 핵심요소기술 및 설계·구축 기술의 문제점 파악 및 보완 - 세부사업2-4에서 개발한 응용소프트웨어 이전 및 성능 확인

(216) 시스템 구성 안은 여러 가지가 있을 수 있고 연구개발 결과에 따라 달라지지만 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터 구성의 한 예는 다음과 같음

<표 13> 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터 시스템 구성의 한 예

구분		내용	국산
아키텍처		클러스터	○
프로세서 모델		CPU와 GPU를 포함하는 저전력 ARM 프로세서	○
소켓(칩) 당 CPU 코어 수(개)		64	해당사항 없음
소켓(칩) 당 GPU 코어 수(개)		64	
CPU Clock Frequency		2.0GHz	
GPU Clock Frequency		800MHz	
노드 당 소켓(칩)의 개수		32	
노드 내 인터커넥션 네트워크	방식	40GEthernet	
	토폴로지	Fat Tree	
메모리	모델	DDR4 SDRAM	○
	소켓 당	16GB	
	노드 당	512GB	
	시스템 전체	655TB	
노드 내 보조기억장치	노드 당	1TB SSD	○
노드 간 인터커넥션 네트워크	방식	QDR InfiniBand 이상	×
	토폴로지	Fat Tree	
냉각 시스템		수냉식	○
이론 성능(Rpeak)	CPU 코어 당	5GFlops	해당사항 없음
	GPU 코어 당	25GFlops	
	소켓 당	1.9TFlops	
	노드 당	61.4 TFlops	
	시스템 전체	78.6 PFlops	
실측 성능(Rmax)	CPU 코어 당	4.5 GFlops	
	GPU 코어 당	15 GFlops	
	소켓 당	1.2 TFlops	
	노드 당	39.9 TFlops	
	시스템 전체	51 Pflops	
전력소모	소켓 당	96 Watt	
	노드 당	3072 Watt	
	시스템 전체	3.9 MWatt	
노드의 수	케비넷(랙) 당 노드수	40	
	전체 노드수	1,280	
케비넷(랙) 수 (개)		32	
시스템소프트웨어	운영체제	세부사업 2-1과 2-1에서 자체개발한 소프트웨어 사용	○
	시스템 구성 및 관리 프로그램		○
	작업관리		○
프로그래밍 환경	컴파일러		○
	병렬 실행 환경		○
	수치 라이브러리		○
	디버거(프로파일러)	○	

*전력소모는 CPU와 GPU의 전력소모만으로 계산

5. (세부사업 4) 바이오/해양 응용소프트웨어 개발

□ 배경 및 필요성

(217) 자원수요와 전문센터 적합성을 검토하여 제2분과위원회는 바이오 분야와 해양 분야를 한국형 초고성능컴퓨터의 주 활용 응용으로 선정

(218) 해당 분야의 응용 소프트웨어를 한국형 초고성능컴퓨터 연구개발 시작과 동시에 개발함으로써 한국형 시스템 개발 완료 시점부터 원활한 시스템 사용이 이루어지도록 함

(가) 사업 시작 시점에서 바이오와 해양 분야 둘 다 개발하고, 2단계('18~'19)에서 전문센터 선정 결과에 따라 바이오나 해양 중 하나를 선택

* 대기·해양 분야의 경우 기상청에서 초고성능컴퓨터를 주기적으로 도입하고 있고 이를 위한 응용소프트웨어인 한국형 수치예보모델은 개발전담 사업단이 이미 존재하므로 해양 분야를 선택

(219) 바이오/해양 분야 국산 소프트웨어 육성 및 연구개발 활성화를 추진

□ 목표: 바이오/해양 분야 응용소프트웨어 개발

(220) 바이오 분야 DNA, Functional RNA, Protein Structure, Protein Function 기술 4종 개발

(221) 해양 분야 전지구 해양환경 예측, 연안 해양환경 예측 기술 2종 개발

□ 과제구성: 2개 세부과제로 구성

□ (세부과제 4-1) 초고성능컴퓨터 기반 기능성 생체 분자 모델링 기술 개발

(222) 인간 마이크로비옴 DNA 분석

(가) 인간 마이크로비옴 16S rRNA 분석

(나) 인간 마이크로비옴 전체 미생물군 염기 서열 분석

(223) 기능성 RNA 분석

(가) 분자 동역학 시뮬레이션

(나) RNA Segmentation 및 Comparison

(다) RNA Function Prediction

(라) 개인형 맞춤형 RNA 의료

(224) 단백질 구조 및 상호작용 분석

(가) 단백질 삼차원 구조 예측

(나) 단백질-단백질 상호작용 예측

(다) 단백질-리간드 상호작용 예측

(225) 단백질 기능 분석

(가) 단백질 상호작용 네트워크 기반의 단백질 기능 예측 및 분석

(나) 모티프 정보를 활용한 단백질 기능 예측

(다) 텍스트 마이닝 기반 단백질 기능 예측

(라) 단백질 구조 정보에 기반하는 기능 예측

(마) 클라우드 컴퓨터 시스템(BioVLAB-Protein)을 통한 연구협력

(226) 애플리케이션 병렬화 및 성능 가속

□ (세부과제 4-2) 초고성능컴퓨터 기반 해양환경예측 기술 개발

(227) 전지구 해양환경 예측

- (가) 전지구 해양순환 시뮬레이션 기술 개발
- (나) 지역해 및 연안 지역 멀티네스팅 시뮬레이션 기술 개발
- (다) 해양-대기 상호작용 시뮬레이션 기술 개발
- (라) 해양 생지화학 시뮬레이션 기술 개발

(228) 연안 해양환경 예측

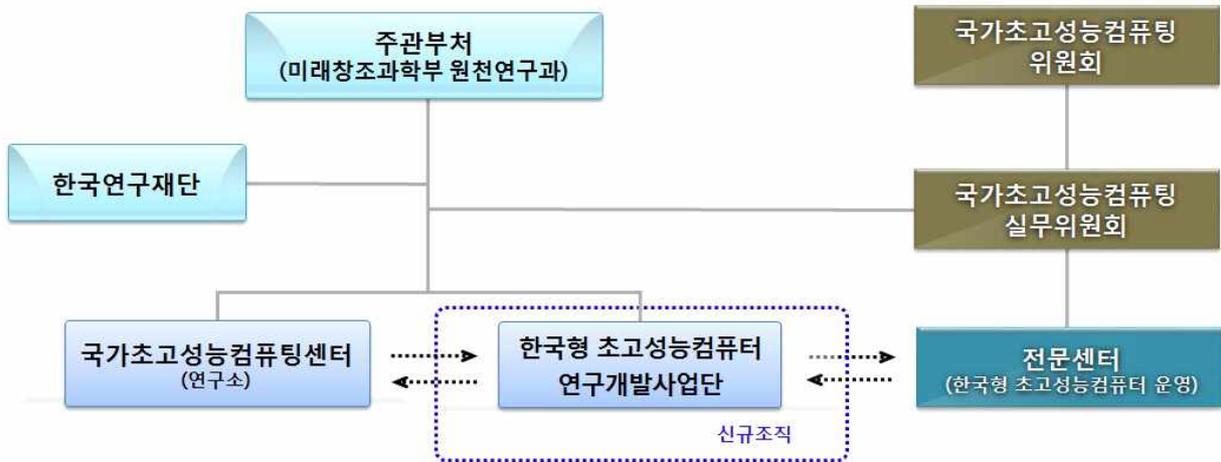
- (가) 해양-대기 상호작용 결합모델 기술 개발
- (나) 해양-파랑 연계 시스템 개발
- (다) 연안역 자료동화기법 적용 및 활용
- (라) 실시간 해양정보제공시스템 구축 기반 연구

제 5 장 사업 추진체계 및 운영방안

제 1 절 사업 추진체계

□ 본 사업의 추진체계 수립에 있어서 고려할 점은 다음과 같음

- (229) 투자규모 및 기술의 특성을 감안할 때 정부 주도의 연구개발이 적합함
- (230) 각 단위사업 및 세부사업의 결과를 유기적으로 통합하여 초고성능컴퓨터 자체개발에 성공하여야 하므로 세부사업 관리가 용이한 top-down 방식의 사업 운영이 적합함
- (231) 기존 국내 연구개발 역량과 최대한의 연계가 이루어지도록 추진체계를 수립하여야 함
- (232) 이와 같이 국가주도로 대규모의 예산을 투입하여 추진해야 하고 목적이 명확한 연구 개발 사업은 사업단의 형식이 적당
 - (가) 국가가 추진해야 할 기반 구축 및 원천기술 개발사업 수행
 - (나) 자율성과 독립성을 보장하여 효율적이고 일원화된 운영



[그림 9] 사업 추진체계

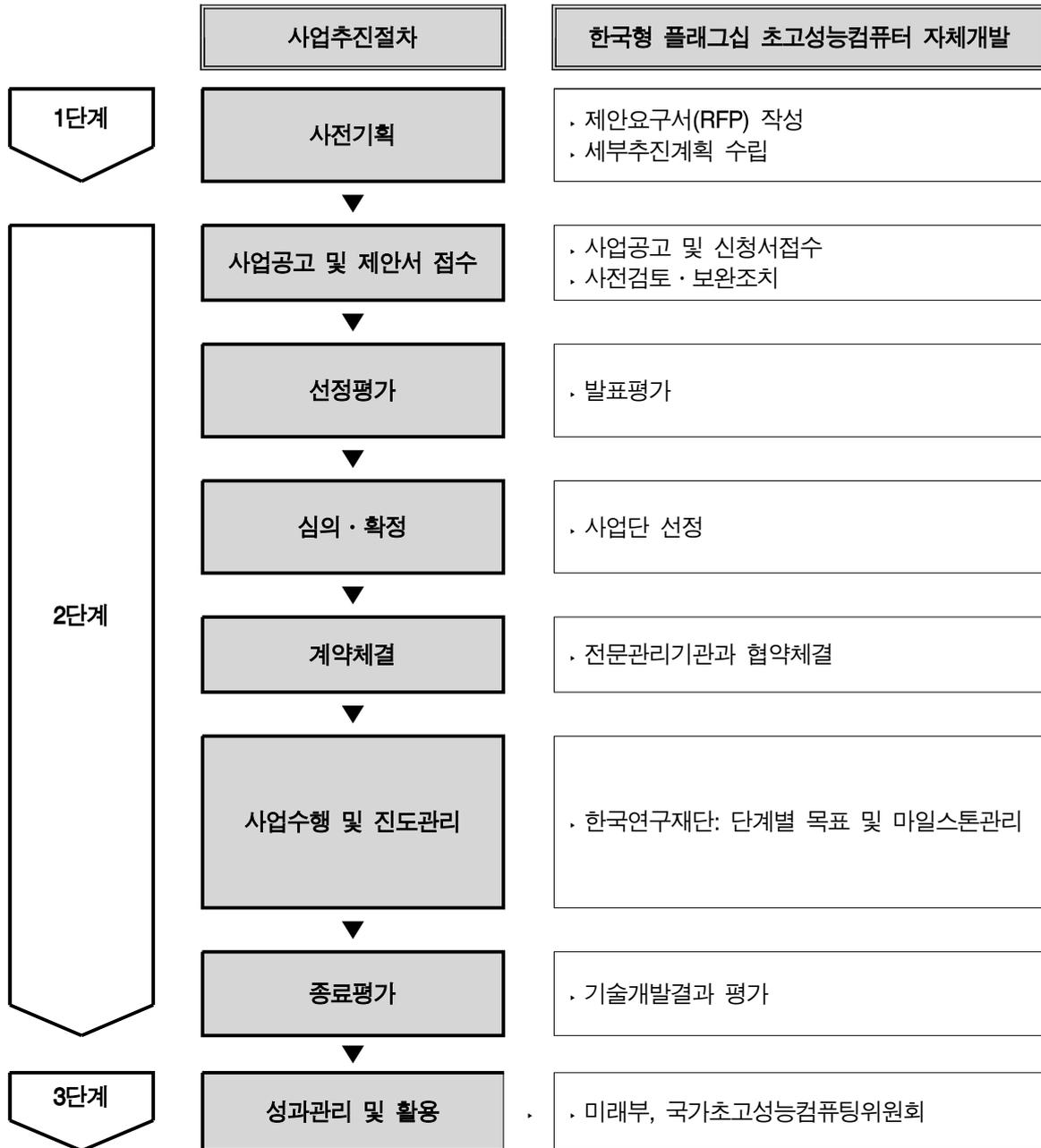
- (미래창조과학부) 정부 주관부처로서 상위 계획 및 정책 수립, 법.제도 제/개정, 재정 확보 및 지원, 정책적 판단 및 의사결정, 시행계획 수립, 투자우선순위 설정, 국가초고성능컴퓨팅위원회 운영 등의 역할 담당
- (한국연구재단) 미래창조과학부(중앙행정기관)의 국가연구개발사업에 관한 기획, 관리, 평가 및 활용 등에 관한 업무 위임
- (국가초고성능컴퓨팅위원회) 사업추진 전반에 대하여 사업추진 계획, 초고성능컴퓨터 자원 배분, 전문센터 선정 등 사업추진과 관련한 주요 의사결정 수행
- (국가초고성능컴퓨팅실무위원회) 초고성능컴퓨터 구축, 사업단 선정, 전문센터 선정 등 사업추진과 관련한 주요 자문
- (국가초고성능컴퓨팅센터) 초고성능컴퓨터 구축 및 운영, 활용에 대한 경험과 역량

을 바탕으로 사업 추진

- ((가칭)한국형초고성능컴퓨터연구개발사업단) 본 사업의 수행주체이자 조직의 독립성 및 예산의 자율성을 가지는 독립 법인으로, 국내 산.학.연 기술개발 역량을 집중해 일관성 있는 연구개발로 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터 자체개발
- (전문센터) ‘(가칭)한국형초고성능컴퓨터연구개발사업단’에 특정분야 활용을 위한 기술적 요구사항을 전달하고, 이를 통해 개발된 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터의 운영 및 사용자 지원, 활용 활성화 추진
- (연구개발 전문센터) 한국형 초고성능컴퓨터 자체개발 사업 완료 후, 사업단의 연구개발 기능을 이관받아 사업단에서 수행하지 않은 핵심요소기술(예 : 멀티코어 CPU 등)의 연구개발을 국산화와 인력양성을 위해 추진
- (외부 평가위원회) 사업 추진 시 객관성 유지, 효율성 제고 및 전문적 운영 도모를 위해 조직 내부 및 외부 전문가를 패널로 구성하여 정기 또는 수시로 위원회 운영

제 2 절 사업 운영방안

1. 사업 관리방안



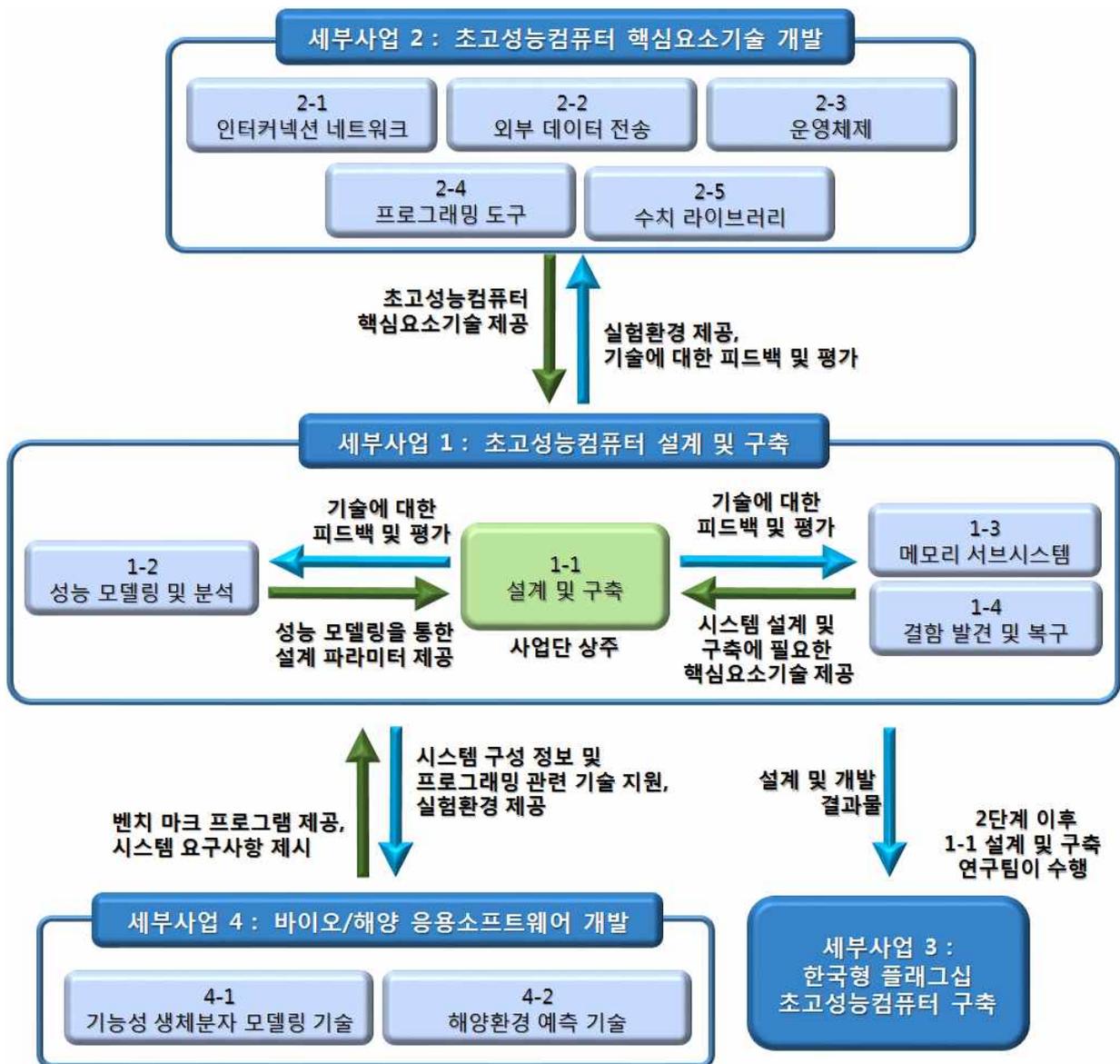
[그림 10] 사업 추진절차 및 내용

2. 사업결과 연계방안

□ 연계를 통한 역량 강화

- (233) 개방형 혁신 시스템 도입을 통한 국내 연구그룹간 활발한 인적·물적·정보 교류를 통해 선진기술의 확산 및 연계성 강화
- (234) 국내 연구자 및 기업 간 수평적·수직적 협력관계 강화를 통한 선순환적 기술력 향상 구조 확립
- (235) 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터 연구개발사업의 결과물을 전문센터를 선정하여 이전하고, 해당 분야 특화 응용소프트웨어로 사용자에게 서비스 실시

□ 4개 세부사업의 12개 세부과제간 연계



[그림 11] 세부사업 간 연계방안

- (236) (세부사업 1), (세부사업 2)의 산출물이 (세부사업 3)에 전달되어 세계 20위 수준의 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터를 개발하고 선정된 전문센터에 구축
- (237) (세부과제 1-1)에서 소규모 테스트베드 및 한국형 초고성능컴퓨터를 설계, 구축하는 과정에서 (세부사업 2)의 각 요소기술의 효용성을 검증 및 평가하고 문제 발생 시 피드백 제공
- (238) (세부사업 4)는 자체개발되는 초고성능컴퓨터에서 가장 활용성이 높은 응용 소프트웨어(바이오 및 해양)를 개발하여 시스템 테스트 및 시범운영이 가능하도록 하며 다른 세부사업의 연구결과를 평가할 때 벤치마크 프로그램으로 사용
- (239) (세부과제 1-1) 설계 및 구축의 초고성능컴퓨터 개발 방향에 부합하도록 다른 세부사업의 요소기술 개발 진행

□ 타 사업 주체와의 연계

- (240) 국가초고성능컴퓨팅센터와의 연계방안
 - (가) 국가초고성능컴퓨팅센터는 '16년 국가 리더십 초고성능컴퓨터(5호기) 도입 이후 운영 경험을 바탕으로 기술 요구사항과 활용 사례 등을 사업단과 공유
 - (나) 향후 국가 리더십 초고성능컴퓨터로 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터 모델을 도입할 경우에 대비, 사업단은 기술개발 과정과 결과를 공유하고 국가초고성능컴퓨팅센터는 한국형 시스템의 운영 및 활용 노하우 축적을 위해 사업단으로 연구개발 인력 파견
- (241) 전문센터와의 연계방안
 - (가) 한국형 초고성능컴퓨터 연구개발사업의 결과물을 전문센터를 선정하여 이전
 - (나) 전문센터는 이관 받은 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터와 분야 특화 응용소프트웨어로 사용자에게 서비스 실시
 - (다) 사업단은 본 사업의 1단계가 완료된 후 2단계가 시작되는 시점에서 미리 전문센터 후보기관과의 협의를 통해 시스템 개발 계획을 공유하고 기술 이전을 준비토록 함
 - (라) 전문센터의 선정 및 운영은 본 사업 외 별도의 예산으로 수행

제 3 절 재원규모 및 확보방안

□ 연도별 예산 소요내역

(242) (세부사업 4)는 1단계에서는 (세부과제 4-1)과 (세부과제 4-2)를 모두 수행하고 2단계에서는 전문센터의 선정결과에 따라 둘 중 하나를 선정하여 진행

<표 14> 연차별 소요예산

(단위 : 백만원)

사업구성		1단계			2단계		합계
세부사업	세부과제	2015	2016	2017	2018	2019	
(1) 초고성능컴퓨터 설계 및 구축 기술 개발	(1-1) 초고성능컴퓨터의 설계 및 구축 기술 개발	3,584	3,234	3,184	4,814	2,534	17,350
	(1-2) 초고성능컴퓨터 시뮬레이션, 성능 모델링 및 분석 기술 개발	300	300	300	300	300	1,500
	(1-3) 초고성능컴퓨터를 위한 메모리 서브시스템 개발	280	280	280	300	280	1,420
	(1-4) 초고성능컴퓨터를 위한 결함 발견 및 복구 기술 개발	250	250	300	300	300	1,400
(2) 초고성능컴퓨터 핵심요소기술 개발	(2-1) 초고성능컴퓨터를 위한 인터커넥션 네트워크 구조와 통신 라이브러리 개발	286	286	286	286	286	1,430
	(2-2) 고속 외부 데이터 전송을 위한 이더넷 기술 개발	200	150	150	150	150	800
	(2-3) 초고성능컴퓨터를 위한 운영체제 개발	900	700	1,100	700	1,100	4,500
	(2-4) 초고성능컴퓨터를 위한 프로그래밍 도구 개발	600	600	600	600	600	3,000
	(2-5) 초고성능컴퓨터를 위한 수치 라이브러리 개발	300	300	300	300	300	1,500
(3) 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터 구축	-	3,000	3,000	27,500	27,500	61,000	
(4) 바이오/해양 응용소프트웨어 개발	(4-1) 초고성능컴퓨터 기반 기능성 생체 분자 모델링 기술 개발	650	650	650	650	650	5,200
	(4-2) 초고성능컴퓨터 기반 해양환경예측 기술 개발	650	650	650			
단계별 합계		29,200			69,900		
합계		8,000	10,400	10,800	35,900	34,000	99,100

□ 본 사업의 소요예산 991억 원은 전액 국고로 구성

<표 15> 본 사업의 연도별 소요예산(단위 : 백만원)

항목	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년	합계
연구개발비 (세부사업 1, 2, 4)	8,000	7,400	7,800	8,400	6,500	38,100
세계 100위권 및 20위권 한국형 초고성능컴퓨터 구축비용 (세부사업 3)	-	3,000	3,000	27,500	27,500	61,000
합계	8,000	10,400	10,800	35,900	34,000	99,100

- (243) 초고성능컴퓨터는 바이오, 자동차, 항공, 전자, 신소재, 항공·우주개발 등의 분야에서 대규모 계산을 통해 과학기술 연구, 신제품 개발 등을 가능하게 하는 국가 경쟁력 확보의 핵심 요소 중 하나임
- (244) 미국, 중국, 일본, 유럽 등 초고성능컴퓨팅 선진국들은 대규모 정부 R&D 사업을 통해 세계 최상위급 초고성능컴퓨터 연구·개발에 경쟁적으로 나서고 있음
- (245) 정부도 국가 미래 과학기술 및 국가경쟁력 제고를 위해 2011년 「국가초고성능컴퓨터 활용 및 육성에 관한 법률」을 제정하고, 2012년 ‘국가초고성능컴퓨팅 육성 기본계획(’13~’17)’에서 10대 정책과제 중 하나로 ‘초고성능컴퓨팅 시스템 자체개발 역량 확보’, ‘차세대초고성능컴퓨팅 개발 원천기술 R&D 확대’를 꼽은 바 있음
- (246) 국내의 초고성능컴퓨팅 기술 수준은 선진국에 비해 많이 뒤떨어져 있으므로, 단기간의 민간 차원 투자보다는 정부 주도의 단계적·장기적 투자를 통하여 기술격차 극복 필요

제 4 절 사업 결과의 활용방안

④ 사업 성과물

- 국내 독자기술로 연구개발한 세계 20위 수준의 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터
- 연구개발 과정에서 자체기술을 활용해 구축한 세계 100위 수준의 초고성능 컴퓨터
- 초고성능컴퓨터 자체 설계, 구축 기술 및 경험의 축적
- 초고성능컴퓨터의 핵심요소기술 및 원천기술 확보

□ 본 사업의 성과인 세계 20위 수준 한국형 초고성능컴퓨터와 바이오/해양 분야 응용 소프트웨어를 해당 분야 전문센터를 통해 서비스함으로써 연구개발 자원으로 사용

□ 초고성능컴퓨팅 자원 도입이 시급한 분야는 우선적으로 한국형 플래그십 초고성능 컴퓨터를 도입하여 활용

(247) 도입 후 6~7년이 경과되어 원활한 수요대응에 차질이 있을 수 있는 국가슈퍼컴퓨팅 센터(KISTI)와 기상청은 향후 우선적으로 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터 시스템을 도입하여 시급한 활용수요에 대응

(248) 외국산 초고성능컴퓨터를 도입하는 경우 사용자들이 도입 후 시스템을 잘 이해하여 활용할 때까지 시간이 걸리며 그 사이에 초고성능컴퓨터가 노후화되나, 국내에서 자체개발 시 수요자가 시스템 구성, 설계 단계에서부터 개발에 참여하고 기술 노하우를 공유할 수 있어 구축 후 바로 활용 가능

(249) 도입과정에서 응용 소프트웨어를 분리 발주하여 국내 소프트웨어 업체에게 참여 기회 마련

□ 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터 자체 개발을 통해 이종 시스템 관련 기술의 세계적 선도 가능

(250) 저전력 이종 시스템은 정보통신기술 산업의 블루오션으로 새로운 시장을 창조하여 창조경제에 기여

□ 한국형 초고성능컴퓨터 연구개발 사업단에서 라이선싱을 통해 한국형 플래그십 모델의 설계,구축 기술을 이전

(251) 비용, 성능, 전력 소모의 측면에서 기존 초고성능컴퓨터보다 우수하며, 실제 세계 20 위 수준의 초고성능컴퓨터를 자체개발하여 검증이 이루어졌다는 장점이 있음

* 일본의 TSUBAME 초고성능컴퓨터의 경우 Tokyo Institute of Technology가 설계하고 프로토타이핑 한 다음 HP가 제작하여 상품화

(252) 외국 기업에 의존하였던 국내 초고성능컴퓨터 시장을 재편하여 국산 시스템의 도입.
활용이 이루어지도록 함

□ 초고성능컴퓨터 핵심요소기술의 이전을 통해 신규 전문기업 육성

(253) 기존 타 분야의 국내 기업이 고성능컴퓨팅, 클라우드 컴퓨팅, 빅 데이터, 서버 전문기
업으로 전환하여 경쟁력을 강화할 수 있도록 지원

(254) 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터 연구개발 사업단의 창업 지원 프로그램을 통해 기
술력과 생산성을 갖춘 벤처기업 창업을 유도

□ 국내 정보통신기술 기업들이 필요로 하는 초고성능컴퓨터 핵심요소기술 이전

(255) 초고성능컴퓨터 요소기술은 정보통신기술 분야의 원천기반기술이므로, 라이선싱을
통해 하드웨어.소프트웨어 요소기술을 이전하고 인력 및 노하우를 지원하여 국내 정
보통신기술 산업 전반의 경쟁력 강화

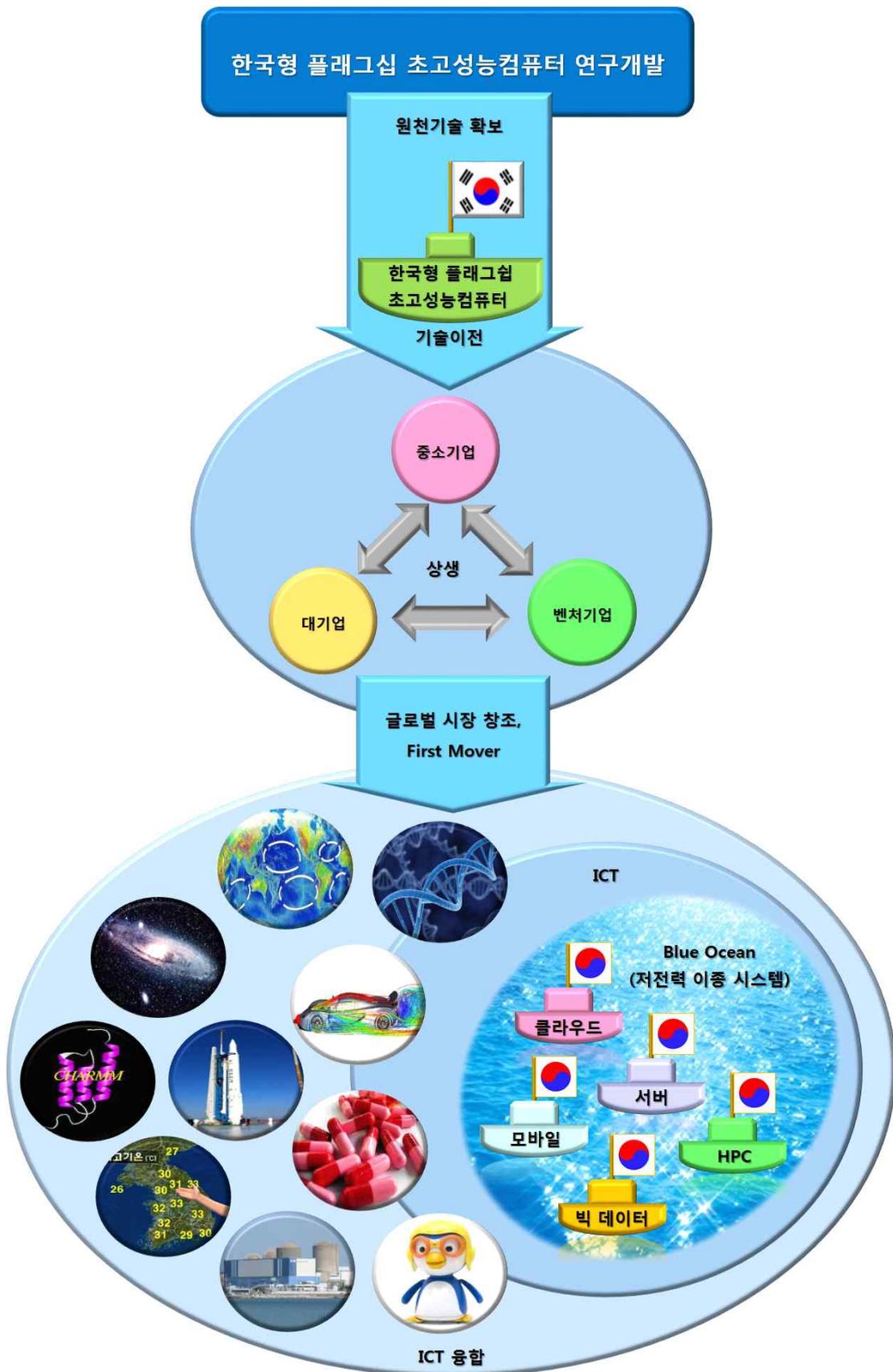
□ 연구개발 과정에서 고급 전문인력을 양성하여 초고성능컴퓨터 분야뿐만 아니라 국
내 ICT분야 전반의 경쟁력 재고

(256) 사업 진행 과정에서 자연스럽게 초고성능컴퓨터의 하드웨어, 소프트웨어 구조를 깊이
이해하고 시스템 구축, 운영 노하우를 가진 고급 인력 양성 가능

□ 한국형 초고성능컴퓨터 연구개발 사업단에서 개발한 소프트웨어 중 일부를 공개
소프트웨어화하여 국내 다른 기관, 기업으로 기술이 널리 이전될 수 있도록 함

□ 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터의 목표 수준이 세계적 수준이므로 이로 인한 국
내 기술의 해외인지도 향상

(257) 글로벌 판로 개척을 통한 시장 확대 및 국가 경쟁력 제고



[그림 12] 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터 자체개발의 기대효과

제 5 절 사업추진상의 위험요인과 대응방안

<표 16> 본 사업의 위험요인 및 대응방안

구분	위험요인	대응방안
내적 요인	재원조달 상의 위험성 - 예상되는 필요 규모보다 부족한 연구개발비의 조달	- 기존 예상보다 작은 규모의 재원이 조달될 경우를 대비한 설계 대안 마련 - 지원되는 예산의 규모에 맞춘 시스템의 설계 및 목표 재조정 - 비용관리체계의 강화
	목표 성능 변동으로 인한 위험성 - 실제 사업 시점에서 목표 순위(2017년 6월 100위, 2019년 6월 20위) 달성을 위한 성능 요구치가 달라질 수 있음 - 초고성능컴퓨터를 구축한 후에야 목표 순위 달성 여부를 알 수 있으므로 이에 따른 불확실성 존재	- 구축비용을 보수적으로 추정하여 예산안에 반영함으로써 미래에 Top500 추세에 변동이 있더라도 시스템 규모를 조금 더 키우는 등의 대응이 가능 - 시스템 설계 시 세계 100위, 세계 20위보다 약간 높은 성능을 목표로 설정하여 불확실성에 대비
	전력 장벽으로 인한 위험성 - 본 사업의 연구개발 결과 초고성능컴퓨터의 전력소모를 획기적으로 절감하지 못할 시 안정적인 기반시설 마련이 어려움	- 저전력을 우선적으로 고려한 요소기술 개발 및 시스템 설계, 구축 - 저전력 ARM 프로세서와 가속기를 장착한 이종 시스템을 연구개발 대상으로 채택
외적 요인	응용 소프트웨어 부족에 따른 위험성 - 저전력 프로세서 및 가속기에서 실행 가능한 응용 소프트웨어가 충분히 확보되지 않으면 활용도가 떨어져 기존 외산 시스템을 대체하기 어려움	- 공개 소프트웨어를 최대한 활용 - 이식성 있는 표준 프로그래밍 모델 사용 - 바이오/해양 분야 응용 소프트웨어와 이종 시스템용 수치 라이브러리를 적극 활용 - 전문 인력을 양성하여 자체 응용 소프트웨어 개발 확산
	후속조치 미비로 인한 기술 단절 가능성 - 본 사업 이후에도 후속 투자를 통해 계속 기술 수준을 유지해 나가야 함 - 정부에서 자체개발 초고성능컴퓨터 도입에 소극적이면 기술이 사장될 우려가 있음	- 기존 초고성능컴퓨터보다 효율성의 측면에서 우위를 가지도록 함 - 정부 기관에서 초고성능컴퓨터 도입 시 자체개발 시스템을 우선적으로 고려하는 정책 필요
	연구개발 결과 사업화 과정의 위험성 - 기존 국내 기업이 전문성이 부족하며 영세해, 세계 20위 수준 초고성능컴퓨터를 공동 개발하는 방식으로 사업화를 추진하기 어려움	- 연구개발은 사업단에서 주도적으로 수행하고 라이선싱 및 인적 역량 강화에 초점을 둔 장기적 기술이전 추진 - 벤처기업 창업 유도 - 연구개발 결과를 공개 소프트웨어화
	WTO 보조금 협정에 따른 분쟁 위험성 - 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터 개발 이후 핵심기술 이전을 추진하는 과정에서 'WTO 보조금 협정'에 따른 분쟁 소지 있음 - 기술이전이 지나치게 유리한 조건으로 이루어지며(동 협정 제1.1조) 기술이전 대상이 특정 기업들로 명백하게 한정되는 경우 (동 협정 제 2조) - 기술이전 조건을 수출 실적 혹은 국산품 사용과 직접 연계할 경우(동 협정 제3조) - 기술이전의 결과 타국 경쟁업체에 부정적인 영향을 미칠 경우(동 협정 제5조)	- 핵심기술 개발에 투입된 비용과 이전 대상 기술의 가치 등을 고려하여 합리적인 수준의 기술 라이선싱 비용을 책정 - 기술이전 대상 기업을 국내기업으로 한정하지 않음

제 6 장 사전타당성 분석

제 1 절 기술적 타당성 분석

🌀 기술적 타당성 분석 요약

- (기술개발계획의 적절성) 체계적 기획과정과 명확한 목표 설정
 - (기획과정의 적절성) 기술수요조사, 자문위원회, 기술평가 등을 통해 사업의 객관성과 구체성 높임
 - (목표 설정의 적절성) 논리모형을 이용하여 추진당위성 분석
 - * 문제정의: 초고성능컴퓨터 기술의 높은 해외 의존성
 - * 목표설정: '19년 핵심기술 확보 5종→22종, HW국산화율 31%→90%, 세계 20위 수준
 - * 산출물: 자체개발한 한국형 초고성능컴퓨터와 고성능컴퓨팅(HPC) 원천기술
 - (구성 및 내용의 적절성) 본 사업의 목표와 세부과제와의 연계성이 높음
- (기술개발 성공가능성) 기술 개발에 대한 문제점과 대응방안을 설정
 - (기술 추세) 본 사업의 방향은 세계적인 초고성능컴퓨터 기술 추세와 부합
 - (기술 수준) 우리나라의 초고성능컴퓨팅 분야 발전을 위해 체계적인 예산 및 인력의 지원이 필요
- (기존사업 차별성) 목적, 기술, 추진방안 측면에서 중복성 없음

1. 기술개발계획의 적절성

가. 기획과정의 적절성

(258) (기획과정) 설문조사, 기술수요조사, 자문위원회 자문, 기술평가 등을 통해 사업의 객관성과 구체성을 높임

(가) (기술수요조사) 외부전문가 이메일 발송(2013년 10월 10일~17일)을 통해 34개 기술수요 도출

① 기술개발 필요 분야, 우선 활용 응용 분야 등 설문조사(102건)

(나) (자문위원회) 기술 분야를 고려하여 산학연 총 20인의 전문가로 자문위원회 구성(4회 개최)

(다) (요구사항 분석 및 대안 분석) 설문조사, 기술수요조사, 국내기술수준, 시급성, 시장성을 반영하여 최종 12개 세부과제(안)을 도출

(라) (사업안 선정) 과제안은 수요조사, 요구사항 분석, 대안 분석 내용을 고려하여 분과위원회를 통해 도출되고 총괄위원회에서 검토됨

나. 목표 설정의 적절성

(259) (문제/이슈의 설명) 초고성능컴퓨터는 과학기술수준을 높여 국가경쟁력을 제고하는 핵심 인프라이나, 국내 대부분의 초고성능컴퓨터는 기술력 미비로 해외기술에 의존하고 있음

(가) 국내 초고성능컴퓨터는 대부분 해외 단순 도입이며, 자체구축의 경우라도 대부분의 부품과 기술을 해외 기술에 의존하고 있는 실정

① 현재 초고성능컴퓨팅 분야 활용 국산 HW 부품은 약 31% 수준

② 현재 국내 확보된 기술은 전체 27개 요소기술 중 5개 수준

(나) 타 IT 분야의 경우 세계를 선도하고 있지만, 초고성능컴퓨팅 분야는 5~6년 이상의 기술 격차를 가짐

(260) (목표) 국내 초고성능컴퓨터 기술의 해외 의존성 문제를 해결하기 위하여 기술적 목표를 초고성능컴퓨터 자체개발 및 핵심기술 자립화로 설정

(가) 핵심기술 확보 : ('19) 5종→22종 (전체27종)

<표 17> 초고성능컴퓨터 핵심요소기술 확보

구분	핵심요소기술		종류
국내 기확보 기술	메모리 하드디스크 성능가속 프로그래밍모델(중복)	SSD 전원장치	5종
본 사업 확보 기술	노드 내 인터커넥션 네트워크 통신 라이브러리 외부 데이터 전송 성능예측 및 평가 시스템 구성 및 설계 마더보드 결함 발견 및 복구 작업 스케줄러 시스템 모니터링	냉각시스템 운영체제 커널 병렬파일 시스템 I/O 최적화 병렬화 및 벡터 컴파일러 성능분석 도구 및 디버거 병렬수치 라이브러리 프로그램 최적화 성능가속 프로그래밍모델(중복)	18종
미 확보 기술	멀티코어 CPU 성능 가속기 노드 간 인터커넥션 네트워크	메시지 패싱 프로그래밍 모델 공유 메모리 프로그래밍 모델	5종
합계			27종

* 성능가속 프로그래밍 모델의 경우 '천둥'을 위해 개발한 독자 프로그래밍 모델이 있으나 목표 초고성능컴퓨터의 구조가 다르기 때문에 본 사업에서 새로이 연구개발

* 메시지 패싱 프로그래밍 모델과 공유 메모리 프로그래밍 모델은 공개소프트웨어 사용 가능

(나) 하드웨어 국산화율 : ('19) 31%→90%

* 국산화율 = 초고성능컴퓨터 총 가격에서 국산 구성요소의 가격이 차지하는 비율

* 국내 개발된 타 분야 부품을 초고성능컴퓨터에서 활용되도록 설계하는 기술도 국산화 범주로 포함

<표 18> 초고성능컴퓨터 하드웨어 구성요소의 가격 비율 및 국산화 여부

하드웨어 구성요소	비율(가격)	현재 국산화 여부	향후개발 국산부품 활용
CPU	18.8 %	×	○
가속기	25.1 %	×	○
메모리	6.8 %	○	○
인터커넥션 네트워크	9.4 %	×	×
마더보드	5.2 %	×	○
냉각 시스템	10.3 %	×	○
기타	24.4 %	○	○
국산화율		31 %	90 %

* 가격비율: 천동과 미국 Corte 시스템의 평균(Corte의 경우 추정 불가능한 마더보드 등 기타 구성요소는 천동의 비율을 적용함)

(다) '19년 성과와 전력효율 모두 세계 20위 수준의 한국형 초고성능컴퓨터 자체 연구개발 및 핵심기술 확보

* (측정기준 1) '19년 Top500 세계 20위 이내 등재 ('19년 20위 성능은 51 PFLOPS 예상)

* (측정기준 2) '19년 Green500 세계 20위 이내 등재('19년 20위 전력효율은 20 GFlops/Watt)

(261) (수혜자) 본 사업의 수혜자는 한국형 초고성능컴퓨터를 활용하여 비용과 시간을 절감하는 산학연 연구자들과, 기술이전을 통해 수익이 증가되는 산업체임

(262) (가정) 초고성능컴퓨터는 국가경쟁력의 척도이며, 국가 주도형 연구개발 필요

(가) 국내의 초고성능컴퓨팅 기술 수준은 선진국에 비해 많이 뒤떨어져 있는 것이 현실로, 단기간의 민간 차원 투자로는 기술격차를 극복하기 힘들며 정부 주도의 단계적·장기적 투자가 필요함

(263) (전략/활동) 목표를 달성하기 위해 9개 추진전략 제시

(가) (추진전략 1) 고성능, 고전력효율의 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터 모델 개발로 차별화된 핵심기술 확보 추진

(나) (추진전략 2) 자체개발을 위해 '(가칭)한국형초고성능컴퓨터연구개발사업단'을 설치하고 국내 산학연 기술개발 역량을 집중해 연구개발에 매진

(다) (추진전략 3) 활용수요가 증가하는 분야의 응용 소프트웨어를 한국형 초고성능컴퓨터 연구개발 시작과 동시에 개발

(라) (추진전략 4) 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터 모델로 통해 향후 고성능컴퓨팅 분야 연구개발 방향을 총괄 조정

(마) (추진전략 5) 연구개발을 통한 고급인력의 확보와 '(가칭)한국형초고성능컴퓨터연구개발사업단'에 기업체 연구원의 참여 추진

(바) (추진전략 6 : 사후관리 방안) 2020년 이후 개발된 한국형 초고성능컴퓨터를 '전문센터'로 이관 후 사후관리

(사) (추진전략 7) 초고성능컴퓨팅 자원 도입이 시급한 분야는 우선적으로 한국형 시스템

을 도입

(아) (추진전략 8) 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터 모델의 라이선싱을 통한 창업 및 사업 확대 기회 제공

(자) (추진전략 9) 한국형 초고성능컴퓨터의 목표 수준을 '세계적 수준'으로 설정하여 해외인지도 향상 도모

(264) (투입) 5년간 991억 원의 예산과, 연간 약 103명의 인력 투입

(265) (산출물) 자체개발한 한국형 초고성능컴퓨터와 고성능컴퓨팅(HPC) 원천기술

(가) 세계 100위권 소규모 프로토타입 초고성능컴퓨터(2017년)

(나) 세계 20위권 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터(2019년)

(다) 저전력 프로세서 기반 초고성능컴퓨터 설계 구축 기술과 핵심요소기술

(266) (성과/영향) 초고성능컴퓨팅 기술 선진국 대열 진입 및 국내 산업 생태계 조성

(가) 2019년 미국, 중국, 일본에 이은 세계적 수준의 초고성능컴퓨팅 기술 선진국 대열 진입

(나) 국내 초고성능컴퓨팅 산업 성장기반 마련

(다) ICT 분야 전반에 걸쳐 고급 연구인력 양성

(라) 창조산업 육성, 일자리 창출, 행복한 국민 실현을 통한 국가경쟁력 제고

다. 구성 및 내용의 적절성

(267) (활용분야) 2020년 경 국내 초고성능컴퓨팅의 수요가 늘어나고 전문센터를 설치할 수 있는 수준의 충분한 활용수요가 있는 분야(바이오/해양)를 수요조사를 통해 선정

(268) (목표수준) 자체개발한 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터가 세계적인 인지도를 가지고, 국내 기업에 대한 기술이전으로 글로벌 시장 개척이 가능할 수 있도록 세계 20위 수준의 성능과 전력효율을 목표 성과와 전력효율로 설정함

(269) (자체개발 핵심요소기술의 정의) 초고성능컴퓨터의 핵심요소기술을 정의한 후 국내 기술수준 및 기술역량을 고려하고 전문가의 수요조사를 통해 자체개발할 핵심요소기술을 정의

(270) (세부과제) 본 사업을 구성하는 4개 세부사업 및 이에 속한 12개의 세부과제는 아래에 열거된 항목의 분석을 통해 도출되었으며, 각 과제별로 기술개발 목표가 명확하게 수립되어 있고 과제의 산출물 및 기술개발 로드맵이 구체적으로 수립되어 있음

(가) 초고성능컴퓨터의 핵심구성요소

(나) 초고성능컴퓨터의 핵심구성요소의 개발에 필요한 핵심요소기술

(다) 국내 생산이 가능한 초고성능컴퓨터의 핵심구성요소

(라) 초고성능컴퓨터 핵심요소기술의 국내 기술 수준을 정의한 국가 초고성능컴퓨터 기술 지도

○ (연구개발비용 및 인력규모) 선정된 핵심요소기술의 자체개발을 위해 4개 세부사업을 정의하고 각 세부사업별로 필요한 세부과제를 도출함

(마) 12개의 도출된 세부과제별로 기술수요조사를 통해 과제의 연구비 규모 및 인력 규모를 도출함

(271) (구축비용) 사업비에서 가장 많은 비중을 차지하는 세계 100위 수준, 세계 20위 수준 이중 초고성능컴퓨터 구축비용은, 국내에서 자체개발한 이중 초고성능컴퓨터 '천둥'의 부품별 소요액 비율을 이용하고 2013년 6월 기준 Top500 20위 수준 초고성능컴

퓨터의 구축비용을 추산한 값으로 계산

2. 기술개발 성공가능성

가. 국내 개발 역량 현황

- **(자체 구축 현황)** 2000년대 초반 전세계 초고성능컴퓨터 구조가 클러스터 구조로 전환되어가는 시점에 일시적으로 초고성능컴퓨터 자체구축을 시도했으나, 시스템 핵심기술에 대한 연구개발이 부족하고 이에 대한 후속연구가 미진하여 선진국과 기술격차를 좁히지 못함
- **(서울대학교의 ‘천둥’)** 2012년 6월 Top500에 등재된 국내의 자체개발 성과는 서울대의 매니코어 프로그래밍 연구단에서 자체 설계, 구축한 이종 초고성능컴퓨터 ‘천둥’이 유일
 - (272) Top500에 등재되지 않는 국내 초고성능컴퓨터 구축 사례로는 한국전자통신연구원(ETRI)의 ‘MAHA’가 있음
 - (273) ‘천둥’ 구축 과정에서 초고성능컴퓨터 핵심구성요소의 일부 자체 연구·개발이 이루어짐
 - (가) 초고성능컴퓨터 설계 및 구축 기술, 소프트웨어 최적화 기술 등을 중점적으로 개발하였으며 다른 구성요소는 상용 하드웨어와 공개 소프트웨어를 사용
 - (274) ‘천둥’에서 개발한 기술과 경험을 이용하여 높은 성능의 초고성능컴퓨터 구축을 달성하기 위해서는 추가 연구개발이 필요할 것으로 예상됨¹⁸⁾
- 한편 모바일 기기 산업 등 다른 정보통신기술분야의 국내 기술 발전으로 초고성능컴퓨터 핵심구성요소 중 일부에 대한 성숙한 수준의 개발 역량이 확보됨
 - (275) 저전력이 강점인 ARM사의 IP를 라이선싱하고 수정하여 모바일 또는 스마트TV용 멀티코어 CPU와 GPU를 생산하는 민간기업(삼성, LG)이 존재함
 - (276) 국내 대기업에서 생산되는 모바일 프로세서를 이용해 마더보드를 제작하는 중소기업이 다수 존재함
 - (277) 메모리, 보조 기억장치, 전원장치를 개발하는 국내기업(삼성, SK하이닉스 등)이 다수 존재함
- **(연구개발 인력현황)** 국가과학기술지식정보서비스에서 추출한 관련 인력 중 박사급은 606명으로 나타나 동 사업 추진 시 연구개발 인력 수급 문제는 없을 것으로 예상

18) 이종 슈퍼컴퓨터 기술 동향과 슈퍼컴퓨터 ‘천둥’의 개발 사례(2013, 정보과학회지 31(4))

- (국내 개발역량과 향후과제) 초고성능컴퓨터 핵심구성요소별 국내 개발역량과 향
후 과제를 아래의 표와 같이 요약할 수 있음

<표 19> 초고성능컴퓨터 구성요소별 국내 개발역량과 향후 과제

구분	구성요소	국내 개발역량 및 향후 과제
프로세서	멀티코어 CPU	<ul style="list-style-type: none"> ARM IP를 라이선싱하여 수정, 제작하는 수준의 민간 기술 역량 확보 초고성능컴퓨터에 적용하기 위한 기술개발 필요
	성능 가속기	
메모리 및 주변장치	메모리	<ul style="list-style-type: none"> 우수 국내기업이 다수 존재하며 초고성능컴퓨팅에도 현재 기술을 바로 적용 가능
	보조 기억장치	
	전원장치	
인터커넥션 네트워크	노드 내 인터커넥션 네트워크	<ul style="list-style-type: none"> IP를 라이선싱하여 수정, 제작하는 수준의 기술 확보 초고성능컴퓨터에 적용하기 위한 기술개발 필요 소규모 클러스터용의 실험적인 연구개발에 머무름 상용 부품을 사용하되 소프트웨어 기술을 통해 고성능을 달성하는 기술개발 필요
	노드 간 인터커넥션 네트워크	
	외부 데이터 전송	
시스템 소프트웨어	운영체제 커널	<ul style="list-style-type: none"> 실험적인 연구개발에 머무름 공개 소프트웨어(예: 리눅스) 기반으로 초고성능컴퓨터를 위한 기술개발 필요 성균관대와 NHN이 공동개발한 OwFS와 ETRI의 MAHA-FS 등 일부 연구개발 사례가 있음 대규모 초고성능컴퓨터를 위한 기술개발 필요 천등에서 일부 연구개발이 이루어짐 대규모 초고성능컴퓨터에 적용하여 효율적인 이용 및 관리를 가능케 하는 기술개발 필요
	분산 파일 시스템	
	작업 스케줄러	
	결함 발견 및 복구	
	모니터링 소프트웨어	
프로그래밍 환경	프로그래밍 모델	<ul style="list-style-type: none"> 서울대에서 연구개발한 공개 소프트웨어(SnuCL)가 존재 대규모 초고성능컴퓨터에서 쉬운 프로그래밍과 고성능을 달성하는 기술개발 필요 대규모 초고성능컴퓨터를 대상으로 하는 기술개발 필요 천등 구축 과정에서 확보한 개발 역량과 연계 다양한 종류의 라이브러리와 시스템에 적용하는 기술개발 필요
	개발 도구(컴파일러 등)	
	수치 라이브러리	
시스템 설계 및 구축	성능 예측 및 평가	<ul style="list-style-type: none"> 천등 구축 과정에서 확보한 개발 역량과 연계 일반적인 소프트웨어에 적용 가능하고 대규모 초고성능컴퓨터를 대상으로 하는 기술개발 필요 천등의 기술을 바탕으로 현재 세계 30위권의 1PFlops급 초고성능컴퓨터의 구성 및 설계는 가능 큰 규모의 초고성능컴퓨터를 위한 구성 및 설계 기술 확보 필요 임베디드 시스템을 위한 기술이 확보되어 있음 초고성능컴퓨터를 위한 제작기술 필요 천등에서 개발한 수냉 시스템 자체 개발 역량과 연계해 대규모 초고성능컴퓨터를 위한 기술개발 필요
	시스템 구성 및 설계	
	마더보드	
	냉각 시스템	

나. 미래 확보 수준에 대한 성공가능성 분석

□ **(핵심 구성요소별 기술개발 성공가능성)** 초고성능컴퓨터 핵심 구성요소별로 기술 개발 시 가능한 실패 요인을 분석하고, 본 사업 계획에서 이에 대해 어떠한 전략으로 대처하고 있는지를 분석

<표 20> 초고성능컴퓨터 구성요소 개발의 예상 실패요인과 대처 방안

구분	구성요소	예상 실패 요인	대처 방안
프로세서	멀티코어 CPU	<ul style="list-style-type: none"> 기술개발의 연속성을 위해 대규모의 연구개발비와 대기업 주도의 연속적이고 장기적인 연구개발이 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 본 사업에서는 상용 하드웨어를 사용하여 시스템 개발 CPU와 가속기 기술개발은 향후 별도의 후속 기초연구로 추진하여 만일의 상황에 대비
	성능 가속기		
인터커넥션 네트워크	노드 내 인터커넥션 네트워크	<ul style="list-style-type: none"> 이종 시스템의 경우 CPU, 가속기, 메모리 등 다양한 요소가 혼재되어 있어 노드 내 인터커넥션 네트워크의 복잡도가 높음 	<ul style="list-style-type: none"> 메모리 구조와 프로세서 간 인터커넥션 네트워크를 별도의 세부과제에서 개발하여 각 연구팀이 전문성 있는 분야에 개발 역량을 집중할 수 있도록 함 기존에 나와 있는 노드 내 인터커넥션 네트워크 IP 기반으로 연구개발 진행
	노드 간 인터커넥션 네트워크	<ul style="list-style-type: none"> 스위치 등 하드웨어 부품의 기술 장벽이 높음 장기적인 연구와 대규모 연구개발비 투자 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 상용 하드웨어를 최대한 활용하고 소프트웨어 기술 위주로 개발 진행
	통신 라이브러리	<ul style="list-style-type: none"> 소프트웨어 규모가 크고 정확성을 보장하는 데 많은 노력이 필요함 기존 라이브러리와 호환성을 보장해야 함 	<ul style="list-style-type: none"> 기존 공개소프트웨어 라이브러리를 수정하는 방식으로 구현하여 비용과 시간을 절약하고 호환성을 쉽게 보장
	외부 데이터 전송	<ul style="list-style-type: none"> 네트워크 프로토콜을 처음부터 구현 시 많은 노력이 필요함 	<ul style="list-style-type: none"> 기존 리눅스 커널에 구현된 TCP/IP 스택과 오픈플로우(OpenFlow) 프로토콜 기반으로 구현
시스템 소프트웨어	운영체제 커널	<ul style="list-style-type: none"> 소프트웨어의 규모가 크고 정확성을 보장함에 있어 많은 노력이 필요함 기존 운영체제와 호환성을 보장해야 함 	<ul style="list-style-type: none"> 공개소프트웨어인 리눅스 커널을 경량화하고 필요한 기능을 추가하는 방식으로 구현하여 비용과 시간을 절약하고 호환성을 보장 타 세부과제 대비 많은 예산과 인력을 투자함
	결함 발견 및 복구	<ul style="list-style-type: none"> 전 세계적으로 최상위권 초고성능컴퓨터에 적용할 만한 확장성 있는 기술이 나와 있지 않은 기술개발의 초기단계이므로 시행착오의 가능성이 큼 	<ul style="list-style-type: none"> 결함 발견·복구를 위한 기반기술(fault modeling, GPU 가상화)을 포괄하는 연구개발을 진행하여 원천기술 확보 기술개발을 담당하는 세부과제는 원천기술 연구·개발에 집중하고, 실제 초고성능컴퓨터에 적용할 기본적인 결함 발견·복구 소프트웨어는 기술이전을 통해 시스템 설계 세부과제에서 개발

구분	구성요소	예상 실패 요인	대처 방안
프로그래밍 환경	개발 도구 (컴파일러 등)	◦ 개발 범위가 넓고 다양한 분야의 기술개발이 필요	◦ 타 세부과제 대비 많은 예산과 인력을 투자함
시스템 설계 및 구축	시스템 구성 및 설계	◦ 보통 시스템 구성 및 설계가 잘 이루어졌는지 여부는 실제 초고성능컴퓨터 구축 결과를 통해 검증하는데, 여기에는 많은 비용이 투입되며 전체 사업의 목표와 직결되어 있으므로 trial-and-error 방식으로 기술을 개발하기 어려움	◦ 목표 초고성능컴퓨터 구축 이전에 목표 성능의 약 1/50 규모의 프로토타입(세계 100위권)을 1단계에서 구축하여 기술적 문제를 최대한 파악 및 보완 ◦ 성능 예측 및 평가 과제와 연계하여 목표 시스템의 성능을 사전에 검증
	마더보드	◦ 마더보드 구조는 초고성능컴퓨터의 설계에 따라 결정되며, 설계 완료 후 마더보드 개발 시 사업 일정을 맞추지 못할 위험이 있음	◦ 시스템 설계 및 구축 세부과제에서 동시에 연구개발 추진
	냉각 시스템	◦ 냉각 시스템 구조는 초고성능컴퓨터 설계와 마더보드 구조에 따라 결정되며, 설계 완료 후 냉각 시스템 개발 시 사업 일정을 맞추지 못할 위험이 있음	◦ 시스템 설계 및 구축 세부과제에서 동시에 연구개발 추진

□ (성능 목표치 달성 가능성) 상기 핵심 구성요소를 확보하였음에도 다른 기술적 한계로 인해 성능 목표치(세계 20위 수준)를 달성하지 못할 위험성이 있는지 검토

(278) 기술 개발을 위한 진입 장벽이 높으며 COTS 하드웨어의 사용이 가능하기 때문에 본 사업의 자체개발 대상에서 제외되는 구성요소로 멀티코어 CPU, GPU 등의 성능 가속기, 그리고 고속 노드 간 인터커넥션 네트워크를 꼽을 수 있음

(가) 세계 20위 이내의 초고성능컴퓨터 중 상당수는 본 사업 내용과 마찬가지로 이들 구성요소에 대한 별도의 기술개발 없이 상용 하드웨어를 사용하고 있음

(279) 상용 하드웨어의 성능이 특정 초고성능컴퓨터 전용 맞춤형(customized) 하드웨어를 따라잡고 있는 추세이므로, 본 사업에서 하드웨어 기술 미확보로 인해 목표 달성에 실패할 가능성은 없을 것으로 예상

다. 기술추세 분석

□ 최근 개발되는 초고성능컴퓨터는 이종시스템 등을 사용해 전력 효율을 높임

(280) 2013년 6월 기준 Top500의 이종시스템 비율은 약 11%이며 현재 세계 1위인 텐허-2와 2위인 타이탄도 이종시스템

(281) 기반시설을 마련하고 운영비용을 절감하기 위해 초고성능컴퓨터의 전력 소모를 줄이는 것이 중요한 문제로 부각

(282) 범용 CPU와 전력 효율이 높은 가속기(accelerator)를 동시에 사용하는 이종 시스템의 사용이 확산되는 추세

(283) 모바일 기기에 주로 사용한 저전력 프로세서를 이용한 초고성능컴퓨터 개발이 시작되고 있으며 앞으로 활발해질 것으로 전망

(284) 저전력 이종 시스템에 관한 연구개발은 이제 막 시작된 상태이며 기술의 전환기에 있기 때문에 ICT 분야의 블루오션이라고 할 수 있음

□ 엑사스케일 시스템(1EFlops 이상의 계산성을 가지는 시스템)은 2022년경에 등장할 것으로 예상되는데, 이를 달성하는데 있어 전력소모 문제가 가장 큰 도전과제로 지목

□ 초고성능컴퓨터의 성능이 증가함에 따라 시스템을 구성하는 프로세서의 개수도 증가하는 추세이며, 프로세서 수가 늘어날수록 하드웨어의 계산성과 더불어 병렬성이 높고 확장성 있는 소프트웨어 기술의 중요성이 커짐

(285) 반면, 하드웨어는 점차 상용 부품의 사용이 늘어나며 기술개발의 중요성이 감소

□ 본 사업의 방향도 이러한 **세계적인 기술추세에 부합**

(286) 세계 20위 수준 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터의 모델로 '저전력 프로세서 기반의 이종 초고성능컴퓨터'를 제시

(287) 초고성능컴퓨터 핵심 구성요소를 연구·개발하는 세부과제들 역시 이종 초고성능컴퓨터를 기술개발 대상으로 상정하고 있음

(288) 국내 모바일 기기 산업 생태계를 활용하고 관련 기업을 통한 기술이전 방안을 모색

(289) 상용 하드웨어를 최대한 활용하고 소프트웨어 기술에 개발역량을 집중

라. 기술수준 분석

(290) (시스템 구축 기술) ETRI의 발표에 따르면 일본과 미국은 시스템 전영역을 완전 독자 개발하여 관련 기술을 모두 확보하고 있으나 우리나라는 단순 도입·운영 수준에 그치고 있음

(291) (세부 기술) 2010년 KISTEP의 기술수준 평가 보고서에 따르면 초고성능컴퓨팅 기술은 최고기술 보유국인 미국 대비 70.2% 수준에 그치고 있으며 국가 95개 중점과학기술 중 기술수준이 낮은 10개 기술에 포함

(가) 정보·전자·통신분야는 최고 기술 보유국인 미국 대비 평균 84.8% 수준인 것으로 조사되었으나 차세대 초고성능컴퓨팅 기술은 이보다 낮은 70.2%임

(나) 선진국과의 기술격차가 가장 작은 분야가 정보·전자·통신분야인 것을 감안했을 때, 초고성능컴퓨터 기술은 다른 나라에 비해 많이 뒤처지는 것을 알 수 있음

(292) (종합분석) 2012년 KISTEP의 기술수준 평가 보고서는 우리나라의 초고성능컴퓨팅 분야에 체계적인 예산 및 인력이 지원되지 않고 있다고 심각성을 제시

(가) 초고성능컴퓨팅 분야의 기초연구는 많이 미흡한 편이고 빠른 시기내로 상용화가 필요하므로 출연 연구기관을 중심으로 대학, 기업이 연합하여 기술 개발을 추진해야 한다고 제시하고 있음

(나) 정책별 전문가 제언에서 초고성능컴퓨팅 분야의 발전을 위해서는 대형과제를 위주로 연구비를 지원하기 위해 특별 사업단을 구성하고 기술 개발 체계를 마련하여 연구와 동시에 응용, 상용화가 진행될 수 있도록 하여야 한다며 연구비 확대를 가장 중요한 요소로 보고 있음

<표 6-21> 신개념 컴퓨팅 분야의 향후 5년간 정책별 추진 필요도

연도	인력양성 및 유치	인프라 구축	연구비 확대	국내협력 촉진	국제협력 촉진	법·제도 개선
2013~2017	3.0	1.8	4.2	0.4	0.6	0.0

* 6가지 정책 중요도의 총 합은 10점

※ 출처 : 2012년 KISTEP 기술수준 보고서

3. 기존사업과의 차별성

- (사업목적 측면의 차별성) 시스템 구축, 운영, 활용을 통한 성과창출에 그쳤던 것과 달리 핵심기술 연구개발을 통해 세계 최상위권 초고성능컴퓨터를 자체개발하여 기술자립화를 추진하는 사업임
- (기술분야 측면의 차별성) 초고성능컴퓨터의 일부 핵심요소기술의 산발적 기술개발이 아닌, 저전력 분야에 특화된 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터 모델을 목표로 핵심요소기술의 완전한 개발을 추진
- (추진방법 측면의 차별성) 국내외 연구개발 역량을 집중할 수 있도록 개발사업단을 구성하고, 국가초고성능컴퓨팅센터, 국내 관련분야 연구자들, 산업체와의 산학연 공동연구를 추진하여 연구개발 생태계 활성화
- 세부사업별 차별성

<표 22> (세부사업 1) 유사사업 중복성 검토결과

사업 분류	과제명	연구 목적	기술 분야	추진 방법	검토의견
수행	초고성능컴퓨터 4호기 시스템 도입 및 유지	O	O	X	세계적 수준의 초고성능컴퓨터 시스템을 도입하여 운용한다는 측면에서 본 사업과 비슷하나, 이 사업은 시스템을 단순히 도입하여 운용하는 것이며, 본 사업은 초고성능컴퓨터 시스템을 자체적으로 개발 및 구축하는데 목표가 있으므로 중복성 없음
수행	매니코어 프로그래밍 연구단	X	O	X	매니코어 프로세서 환경에서의 프로그래밍 환경을 해결하기 위한 과제이며, 본 사업과제는 초고성능컴퓨팅 시스템의 개발을 목표로 하므로 중복성 없음
수행	성능분석이론과 시뮬레이션기술을 협력적으로 이용하는 CPU 개발기술	X	X	X	고성능 멀티코어 CPU 모델의 개발을 목적으로 하고 있어 본 사업과 중복성 없음
타인	서비스 사용자와 데이터센터가 포함된 네트워크 그리드 기반 오픈 소스 클라우드 시뮬레이터 구성 및 개발	X	O	X	클라우드 서버 및 사용자간의 시뮬레이션을 제공하는 특정 목적을 목표로 하고 있어 본 사업과 중복성 없음
타인	모바일-클라우드 컴퓨팅을 위한 가상화 메모리/스토리지 운영 기법 설계	X	O	X	해당 과제는 메인 메모리와 스토리지 사이에서 발생하는 데이터 운영의 문제점 개선을 목표로 하고 있으므로 중복성 없음
타인	데이터 센트릭 컴퓨팅을 위한 매니코어 시스템용 GBps급 병렬 I/O 가상화 및 DB 성능 최적화 기술개발(원천)	X	X	X	Hadoop을 기반으로 하여 병렬 I/O 가상화 기술의 개발을 목표로 하고 있으며, 이는 본 기술의 목표인 메모리 서브시스템 내부에 포함된 메모리 가상화 기술과는 전혀 다른 주제이므로 중복성 없음

<표 23> (세부사업 2) 유사사업 중복성 검토결과

사업 분류	과제명	연구 목적	기술 분야	추진 방법	검토의견
수행	실리콘 나노포토닉스기반 차세대 컴퓨터칩기술	X	X	X	컴퓨터칩 개발을 위한 반도체 기술 개발을 다루고 있으므로 중복성 없음
수행	차세대 멀티미디어 휴대용 단말장치를 위한 수퍼 프로세서 플랫폼 연구	X	O	X	멀티미디어 장치를 위한 전체적인 플랫폼 개발을 목표로 하고 있어 본 사업 기술과 중복성 없음
타인	저전력, 내고장형 MPSoC 아키텍처 연구	X	O	X	저전력·내고장형 칩을 설계하여 내부 인터커넥션 네트워크를 제안하며, 이는 본 사업 기술에서 다루는 인터커넥션 네트워크의 내용과 다르므로 중복성 없음
수행	Ethernet PON 점대다중점 통신을 위한 상용 광모듈의 개발	X	X	X	Ethernet의 새로운 통신 모듈 기술의 개발 및 제작을 목표로 하며, 전기적 및 광학적 관점에서 접근하므로 본 사업 기술과 중복성 없음
수행	저전력 고성능 컴퓨팅을 위한 스토리지 클래스 메모리 기반 통합 메모리 구조	X	O	X	고성능 컴퓨팅 시스템에서의 전력 소모 절감을 위해 메모리 구조의 개선을 통한 메모리 소모 전력의 감소를 목표로 하고 있으며, 이는 본 사업 기술과 중복성 없음
타인	도약연구지원사업(도전)(추가지원)	X	X	X	차세대 비휘발성 램의 개발을 목적으로 하고 있으므로 중복성 없음
타인	매니코어OS개발	O	O	X	클라우드 컴퓨팅 시스템에서의 효율성을 극대화하기 위한 새로운 OS의 개발을 목표로 하고 있으며, 이는 본 사업과 유사한 목표와 기술 분야에 해당되지만 본 사업은 클라우드 컴퓨팅이 아닌 저전력 프로세서를 이용한 초고성능 컴퓨팅 시스템을 대상으로 하므로 중복성 없음
타인	서버향 고성능 PCIe 플래시 스토리지를 위한 시스템 소프트웨어 연구	X	O	X	데이터베이스 운용에서 병목 현상을 일으키는 하드 디스크 드라이브의 성능 개선을 위해 PCIe 플래시 스토리지를 제안하며, 이는 본 사업 과제와 중복성이 없음
수행	유전체 분석용 슈퍼컴퓨팅 시스템개발	X	O	X	유전체 분석용 슈퍼컴퓨팅 시스템에서 사용되는 유전체 분석 특화 파일시스템을 제안하며 이는 범용 초고성능컴퓨터 용 파일시스템을 목표로 하는 본 사업과 중복성 없음
수행	매니코어 프로그래밍 연구단	X	O	X	매니코어 프로세서 환경에서의 프로그래밍 환경을 해결하기 위한 과제이며 본 사업 과제는 저전력 프로세서를 이용한 이종 초고성능컴퓨터를 대상으로 한 프로그래밍 환경의 개발을 목표로 하므로 큰 차별성이 있음
타인	컴퓨터 비전 응용을 위한 재구성형 프로세서 기반의 고성능 프로그래밍 가능 SoC 개발	X	X	X	차량에 탑재되어 추돌 위험 경보 등의 차량용 응용 소프트웨어의 성능을 극대화 시킬 수 있는 SoC 개발에 목표를 두고 있으며, 이는 본 사업과 중복성 없음

<표 24> (세부사업 4) 유사사업 중복성 검토결과

사업 분류	과제명	연구 목적	기술 분야	추진 방법	검토의견
수행	유전체 분석용 슈퍼컴퓨팅 시스템개발	X	O	X	유전체 분석 소프트웨어와 이에 특화된 파일 시스템 등을 개발하여, 도입한 슈퍼컴퓨팅 시스템을 바이오 분야 중의 한 주제인 유전체 분석에 특화하는 것을 제안하고 있으며, 이는 개발할 초고성능컴퓨터의 활용을 위해 바이오와 해양 분야의 다양한 종류의 응용소프트웨어를 초고성능컴퓨터와 동시에 개발 하는 본 사업과 큰 차별성이 있음

제 2 절 경제적 타당성 분석

⑤ 경제적 타당성 분석 요약

- (비용 추정) 현재가치로 약 1,402억 원
- (편익 추정) 현재가치로 약 4,906억 원
 - 초고성능컴퓨터 인프라 구축을 통한 편익 : 약 1,332억 원
 - 초고성능컴퓨팅 기술개발 편익 : 약 3,575억 원
- (비용·편익 분석결과) B/C 비율은 3.5로 사업의 수익성이 높음
- (민감도 분석결과) 할인율이 7.5%로 상승할 경우 B/C 비율은 기준인 3.5에서 3.15로 감소하는 반면, 할인율을 3.5%로 낮출 경우 B/C 비율은 3.91까지 증가

1. 경제적 타당성 분석 개요

가. 분석의 범위 및 기간

- (분석의 범위) 경제적 타당성 분석은 관련 편익을 크게 초고성능컴퓨팅 인프라 구축 편익과 기술 개발 편익으로 구분하여 분석
- (분석 기간) 분석 기간은 다음과 같이 설정함

(293) (인프라 구축) 본 사업에서 구축할 세계 20위권 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터는 2019년에 구축이 완료되어 2020년부터 운영이 개시되며, 초고성능컴퓨터의 내구연한이 5년이기 때문에 운영 시작 년도부터 5년간(2020년~2024년) 운영이 지속되는 것으로 가정

(294) (기술개발) 초고성능컴퓨터 기술개발 편익발생기간을 10년으로 보았을 때, 비용이 투입되는 2015년부터 편익이 마지막으로 발생하는 2030년까지를 분석기간으로 설정

나. 비용 및 편익의 구성요인

- 초고성능컴퓨터 및 R&D 경제성 분석 관련 문헌 검토를 통해 본 사업과 관련하여 계량화 가능한 비용 및 편익 요인을 도출

<표 25> 계량화 가능한 비용 및 편익의 구성요인

비용	편익
<ul style="list-style-type: none"> ○ (사업예산) <ul style="list-style-type: none"> - 초고성능컴퓨터 설계 및 구축 기술 개발비 - 초고성능컴퓨터 핵심요소기술 개발비 - 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터 구축비 - 바이오/해양 응용소프트웨어 개발비 ○ (별도예산) <ul style="list-style-type: none"> - 전문센터 운영비 - 전문센터 건축비 	<ul style="list-style-type: none"> ○ (간접적 경제적 편익) 초고성능컴퓨팅 인프라 구축 <ul style="list-style-type: none"> - (제1안) 해외 초고성능컴퓨터 이용비용 절감 - (제2안) 초고성능컴퓨터 공동활용 효과 ○ (직접적 경제적 편익) 초고성능컴퓨팅 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 개발기술의 산업체 이전 편익

2. 비용의 추정

□ 본 사업의 비용 추정 결과, 2015년부터 2024년까지 소요되는 총비용은 명목가치로 약 1,503억 원이 소요

<표 26> 본 사업의 총 비용 추정 결과

(단위 : 백만 원)

구분	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	계
사업 예산	8,000	10,400	10,800	35,900	34,000	0	0	0	0	0	99,100
별도 예산	0	0	21,565	0	0	9,769	10,001	10,238	10,481	10,729	51,218
합계	8,000	10,400	32,365	35,900	34,000	9,769	10,001	10,238	10,481	10,729	150,318

* 1) 사업예산 : 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터 연구개발 사업
 2) 별도예산 : 전문센터 운영비 + 전문센터 건축비

3. 편익의 산정

가. 편익 산정의 원칙

□ 본 사업의 편익 중 계량화가 가능하며 금전적 환산이 가능한 편익만을 포함

(295) 한국형 초고성능컴퓨터에 의한 인프라 구축 편익은 간접적 경제적 편익, 연구개발에 의한 기술개발 편익은 직접적 경제적 편익으로 산정

<표 27> 편익 항목의 산정식

편익 항목	산정식
해외 초고성능컴퓨터 이용비용 절감 효과	해외 초고성능컴퓨터 서비스 이용가격 × 초고성능컴퓨터 예상 이용 시간
초고성능컴퓨터 공동활용 효과	초고성능컴퓨터 하드웨어 공동활용 효과 + 소프트웨어 공동활용 효과 + 운영인력 공동활용 효과
개발 기술의 산업체 이전 편익	사업화 성공률 × 부가기치율 × 연구개발 기여도 × (국내외) 시장 점유율 × (국내외) 시장 규모

나. 초고성능컴퓨팅 인프라 구축의 편익(간접적 경제적 편익)

□ 해외 초고성능컴퓨터 이용 비용 절감 효과

(296) 해외 초고성능컴퓨터 이용 비용 절감 효과의 산정식은 다음과 같음

(가) 해외 초고성능컴퓨터 서비스 이용가격 × 초고성능컴퓨터 예상 이용시간

(297) 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터의 해외 초고성능컴퓨터 이용비용 절감 효과를 산출한 결과, 2020년부터 2024년까지 5년간 약 1,290억 원의 편익이 발생하는 것으로 나타나며, 이를 2015년 기준 현재가치로 환산하면 약 940억 원의 편익이 발생

<표 28> 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터의 해외 서비스 이용비용 절감 효과 추정 결과

년도	해외 초고성능컴퓨터 평균 이용가격 (원/시간)	한국형 플래그십 초고성능컴퓨터 예상 CPU 이용시간 (시간)	해외 초고성능컴퓨터 이용 비용 절감 편익 (원)	해외 초고성능컴퓨터 이용 비용 절감 편익 현가 (원)
2020	2.4	25,044,648,175	61,107,418,331	46,755,385,040
2021	1.3	25,044,648,175	33,632,077,498	24,391,524,061
2022	0.7	25,044,648,175	18,510,299,857	12,724,661,459
2023	0.4	25,044,648,175	10,187,631,163	6,638,248,961
2024	0.2	25,044,648,175	5,607,031,195	3,463,066,535
합계		125,223,240,876	129,044,458,044	93,972,886,056

* 1) 순편익은 2015년도 기준으로, 할인율 5.5%(KDI 지침, 2008)를 적용함

□ 초고성능컴퓨터 공동활용효과

(298) 공동활용효과는 크게 하드웨어, 소프트웨어, 인력의 세 가지 측면에서 측정

(299) 공동활용효과의 산정식은 다음과 같음

(가) 초고성능컴퓨터 공동활용 절감 비용 배수 × 초고성능컴퓨터 구축 및 운영 비용

* 초고성능컴퓨터 공동활용 절감 비용 배수 = (주 피크타임 ÷ 평균제공가능시간) - 1

* KISTI 초고성능컴퓨터 4호기인 TACHYON II 기준 (11,694,377 ÷ 4,300,800) - 1 = 1.72

(300) 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터의 연도별 시스템 구축 및 운영에 들어가는 비용에 초고성능컴퓨터 공동활용 절감비용 배수(1.72)를 적용하여 산출한 결과, 2017년부터 2024년까지 약 2,198억 원의 편익이 발생하며, 이를 2015년 기준 현재가치로 환산하면 약 1,724억 원의 편익이 발생하는 것으로 나타남

<표 29> 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터 공동활용 효과

(단위 : 백만 원)

구분	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	계
하드웨어	21,565	27,500	27,500	0	0	0	0	0	76,565
운영인력	0	0	0	9,769	10,001	10,238	10,481	10,729	51,218
합계	21,565	27,500	27,500	9,769	10,001	10,238	10,481	10,729	127,783
공동활용효과	37,092	47,300	47,300	16,803	17,202	17,609	18,027	18,454	219,787
현가	33,325	40,281	38,181	12,857	12,475	12,105	11,746	11,398	172,368

* 편익 현재가치는 2015년도 기준으로, 할인율 5.5%(KDI 지침, 2008)를 적용

□ (종합 결과) 2가지 방법을 통해 구한 초고성능컴퓨팅 인프라 구축 편익은 아래 표와 같음

(가) 두 방법의 평균을 통해 최종적으로 추정된 초고성능컴퓨팅 인프라 구축 편익은 약 1,744억 원임

<표 30> 초고성능컴퓨팅 인프라 구축 편익 추정 종합 결과

구분	편익 추정 방법	
	해외 초고성능컴퓨터 이용비용 절감 효과	초고성능컴퓨터 공동활용 효과
편익	129,044	219,787
전체 평균	174,415	

다. 초고성능컴퓨터 기술개발의 편익(직접적 경제적 편익)

□ 본 사업으로 인한 편익은 가정 관련성이 높고 직접적인 기술적 영향을 받는 고성능컴퓨팅(HPC) 시장과 서버시장으로 제한하여 산정

(301) 개발기술의 산업체 이전에 따른 편익의 산정식은 다음과 같음

(가) 사업화 성공률 × 부가가치율 × 연구개발 기여도 × (국내외) 시장 점유율 × (국내외) 시장 규모

□ 국내외 초고성능컴퓨터 시장 및 서버 시장의 시장 점유로 인한 편익을 산정한 결과 2021년부터 2030년까지 약 10년 동안 약 6,533억의 편익이 발생하며, 이를 2015년 기준 현재가치로 환산하면 약 3,575억 원의 편익이 발생

<표 31> 개발 기술의 산업체 이전 편익

(단위 : 백만 원)

구분	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	계
세계 HPC 시장		10,505	22,606	24,324	26,172	28,162	30,302	32,605	35,083	37,749	247,506
국내 HPC 시장	1,243	2,676	2,879	3,098	3,333	3,587	3,859	4,152	4,468	4,808	34,103
세계 서버 시장		17,160	34,972	35,637	36,314	37,004	37,707	38,423	39,153	39,897	316,266
국내 서버 시장	2,663	5,428	5,531	5,636	5,743	5,853	5,964	6,077	6,193	6,310	55,399
합계	3,907	35,768	65,988	68,695	71,563	74,604	77,831	81,257	84,896	88,764	653,274
현가	2,834	24,588	42,998	42,428	41,895	41,399	40,938	40,512	40,119	39,760	357,471

* 편익 현재가치는 2015년도 기준으로, 할인율 5.5%(2008, KDI 지침)를 적용

라. 편익 분석결과 종합

□ 편익 분석결과는 간접적 경제적 편익과 직접적 경제적 편익으로 구분

(302) 간접적 경제적 편익인 초고성능컴퓨팅 인프라 구축 편익은 명목가치로 약 1,744억 원 발생

(303) 직접적 경제적 편익인 초고성능컴퓨터 기술개발 편익은 명목가치로 약 6,533억 원 발생

<표 32> 편익 분석결과 종합

(단위 : 백만 원)

년도	간접적 경제적 편익	직접적 경제적 편익
	초고성능컴퓨팅 인프라 구축 편익	초고성능컴퓨팅 기술개발 편익
2017	18,546	
2018	23,650	
2019	23,650	
2020	38,955	
2021	25,417	3,907
2022	18,060	35,768
2023	14,107	65,988
2024	12,030	68,695
2025		71,563
2026		74,604
2027		77,831
2028		81,257
2029		84,896
2030		88,764
합계	174,415	653,274

* 직접효과와 간접효과 모두 명목가치

4. 비용·편익 분석결과

가. 비용·편익 분석의 전제

□ 지금까지 추정된 본 사업의 비용 및 편익을 기준으로 B/C 비율을 추정

(304) 분석기준년도는 최초로 비용이 투입되는 2015년을 기준으로 함

(305) 분석기간은 2015년부터 2030년까지로 설정

(306) 사회적 할인율은 KDI 지침(2008)에 따라 5.5% 적용

나. 비용·편익 분석결과

□ 본 사업의 비용과 편익의 명목가치를 현재가치로 변환하여 정리하면 다음과 같음

<표 33> 본 사업의 비용과 직접효과

(단위 : 백만 원)

연도	비용		간접적 경제적 편익		직접적 경제적 편익	
			초고성능컴퓨팅 인프라 구축 편익		초고성능컴퓨팅 기술개발 편익	
	명목가치	현재가치	명목가치	현재가치	명목가치	현재가치
2015	8,000	8,000				
2016	10,400	9,858				
2017	10,800	29,078	18,546	16,663		
2018	35,900	30,573	23,650	20,141		
2019	34,000	27,445	23,650	19,091		
2020	9,769	7,475	38,955	29,806		
2021	10,001	7,253	25,417	18,434	3,907	2,834
2022	10,238	7,038	18,060	12,415	35,768	24,588
2023	10,481	6,829	14,107	9,192	65,988	42,998
2024	10,729	6,627	12,030	7,430	68,695	42,428
2025					71,563	41,895
2026					74,604	41,399
2027					77,831	40,938
2028					81,257	40,512
2029					84,896	40,119
2030					88,764	39,760
합계	150,318	140,176	174,415	133,172	653,274	357,471

* 현재가치는 2015년도 기준으로, 할인율 5.5%(KDI 지침, 2008)를 적용

□ 비용·편익 분석결과, B/C 비율은 3.5로 나와 사업의 수익성이 높은 것으로 나타남

<표 34> 경제성 분석 결과

(단위 : 백만 원)

구분	비용(현재가치)	편익(현재가치)	총 편익(현재가치)	B/C 비율
간접적 경제적 편익	140,176	133,172	490,643	3.5
직접적 경제적 편익		357,471		

- 1) 간접적 경제적 편익 : 초고성능컴퓨팅 인프라 구축 편익
- 2) 직접적 경제적 편익 : 초고성능컴퓨팅 기술 개발 편익

다. 민감도 분석

□ 할인율, 비용, 편익에 따라 B/C 비율이 각각 변화

<표 35> 민감도 분석(할인율 변화)

기준 B/C (5.5%)	할인율 변화			
	3.5%	4.5%	6.5%	7.5%
3.5	3.91	3.70	3.32	3.15

<표 36> 민감도 분석(비용 변화)

기준 B/C (5.5%)	비용 변화			
	20% 감소	10% 감소	10% 증가	20% 증가
3.5	4.38	3.89	3.18	2.92

<표 37> 민감도 분석(편익 변화)

기준 B/C (5.5%)	편익 변화			
	20% 감소	10% 감소	10% 증가	20% 증가
3.5	2.8	3.15	3.85	4.2

④ 정책적 타당성 분석 요약

- (상위계획과의 부합성) 「국가초고성능컴퓨터 활용과 육성에 관한 법률」, 「국가초고성능컴퓨팅 육성 기본계획」으로 국가차원의 초고성능컴퓨팅 발전기반 조성 및 육성을 위한 제도적 장치 마련
- (사업추진의지 및 선호도) 미래부를 비롯한 관련기관의 추진의지 강함
- (사업 추진의 시급성) 시급히 추진하지 않을시 초고성능컴퓨팅 기술의 해외 의존이 심화되며 세계적 기술선도 기회를 상실
- (국고지원의 적합성) 초고성능컴퓨터 연구개발에는 많은 비용이 투자되며 국가 차원의 핵심 연구개발 인프라의 성격을 가지므로 정부지원이 필요함
 - 민간의 기술 역량이 낮아 국가 주도의 투자 없이는 선진국과의 기술 격차를 줄이는 것이 불가능
 - 초고성능컴퓨터 기술은 원천기술로 다른 ICT 블루오션 분야로 이전되어 산업 생태계를 조성하고 창조경제 실현

1. 정책의 일관성 및 추진의지
가. 상위계획과의 부합성

<표 38> 상위계획과의 부합내용

상위계획		내용	부합도
필수계획	과학기술 기본계획	· 국가 과학기술개발 역량 강화 · 초고성능컴퓨팅 관련 기술이 전략기술 및 중점육성기술로 선정	매우 높음
선택계획	기초연구진흥 종합계획	· 초고성능컴퓨팅을 미래 성장기반 핵심기술로 지정	매우 높음
	정보통신기술 장비산업 경쟁력 강화전략	· 초고성능컴퓨터를 수입대체 효과가 큰 명품장비로 선정하고 집중 발굴·개발한다는 계획을 제시	매우 높음

□ ‘과학기술기본계획’ 및 ‘국가연구개발사업 중장기 발전전략(2008)’에서 초고성능컴퓨팅 관련 기술이 전략기술 및 중점육성기술로 선정

- (307) ‘제2차 과학기술기본계획(2008~2012)’에서 초고성능컴퓨팅 및 그리드네트워크 기술을 전략기술로 선정
- (308) ‘국가연구개발사업 중장기 발전전략(2008)’에서 고성능컴퓨팅시장의 꾸준한 성장을 예측하고 중점육성기술에 차세대 초고성능컴퓨팅 기술을 선정
- (309) ‘제3차 과학기술기본계획(2013~2017)’에서 19개 중점 추진과제 중 하나인 정보통신 기술 융합 신산업 창출의 국가중점과학기술로 신개념 컴퓨팅 기술 및 데이터 분산처

리 시스템기술을 선정

- '제3차 과학기술기본계획('13~'17)'의 대표 분야별 중장기계획인 '기초연구진흥종합계획('13~'17)'에서 기초연구를 위해 초고성능컴퓨팅을 중요한 요소로 제시

(310) 기초연구를 통한 미래성장기반 확충을 위해 초고성능컴퓨팅을 미래 성장기반 핵심기술로 지정하고 이를 확보하기 위한 유망분야로 지원

- '정보통신 최강국 달성과 일자리 창출을 위한 정보통신기술 장비산업 경쟁력 강화 전략'에서 초고성능컴퓨터를 정보통신기술 명품장비 수출품목으로 선정

(311) 초고성능컴퓨터를 수입대체 효과가 큰 명품장비로 선정하고 집중 발굴·개발한다는 계획을 제시

나. 국가초고성능컴퓨팅 관련 정책과의 부합성

<표 39> 초고성능컴퓨팅 관련 법률 및 상위계획과의 부합내용

법률/상위계획	내용	부합도
국가초고성능컴퓨터 활용과 육성에 관한 법률	· 국가적 차원에서 “초고성능컴퓨터 구축과 활성화를 통해 과학기술의 발전 기반 조성 및 육성”을 위한 제도적 장치를 마련	매우 높음
국가초고성능컴퓨팅 육성 기본계획	· 초고성능컴퓨팅 활용확대, 서비스 기반 구축, 개발역량 확보 및 산업화 토대 마련을 주요 내용으로 하는 10대 정책과제를 제시 · 초고성능컴퓨팅 연구개발 사업단을 설치하여 초고성능컴퓨팅 시스템 자체개발 역량을 확보해야 한다는 과제를 제시	매우 높음

- (법률) 2011년 12월에 「국가초고성능컴퓨터 활용과 육성에 관한 법률」이 제정되어 국가적 차원에서 초고성능컴퓨터 구축을 통해 과학기술의 발전 기반 조성 및 육성을 위한 제도적 장치를 마련

(312) 정부는 국가초고성능컴퓨팅의 연구개발에 대한 투자를 확대하기 위해 필요한 재원을 확보(제10조)해야 함

- (기본계획) 2012년 12월에 '국가초고성능컴퓨팅 육성 기본계획('13~'17)'이 수립되어 국가차원의 초고성능컴퓨팅 발전을 위한 실행 방안을 마련

(313) '국가초고성능컴퓨팅 육성 기본계획('13~'17)'에서는 초고성능컴퓨팅 활용확대, 서비스 기반 구축, 개발역량 확보 및 산업화 토대 마련을 주요 내용으로 하는 10대 정책과제를 제시

(314) 기본계획의 10대 정책과제 중 과제8(초고성능컴퓨팅 시스템 자체 개발 역량 확보)에서는 세계 최상위 수준의 대형 범용 초고성능컴퓨팅 개발 추진에 대한 내용이 포함되어 있음

다. 사업추진의지 및 선호도

- 본 사업과 관련된 이해관계자들의 사업추진의지가 매우 강함

- (315) 미래창조과학부(구, 교육과학기술부)는 2011년에 「국가초고성능컴퓨터 활용과 육성에 관한 법률」의 내용과 동일한 맥락에서 동 사업 추진 필요성에 대해 잘 이해하고 있으며 확고한 추진 의지를 표명함
- (가) 미래창조과학부(구, 교육과학기술부)는 「국가초고성능컴퓨터 활용과 육성에 관한 법률」 제5조에 따라 ‘국가초고성능컴퓨팅 육성 기본계획(‘13~’17)’을 수립하여 세계적 수준의 초고성능컴퓨팅 인프라 구축과 기술개발 역량 확보 추진
- (나) 미래창조과학부 관련 18대 정부 국정과제는 “빅데이터·초고성능컴퓨팅 등을 활용한 공공·민간 서비스 확대와 이를 통한 서비스 산업의 육성”을 포함
- (다) 본 사업의 기획(총괄 분과)에 미래창조과학부(원천연구과) 참여
- (316) 국가초고성능컴퓨팅센터 등의 연구기관 및 삼성전자 등과 같은 민간기업들이 사업단에 공동으로 참여할 수 있음

<표 40> 본 사업 이해관계자들의 사업추진의지 및 선호도

이해당사자	사업과의 연관성	사업 추진 시 편익수혜	사업 추진 시 비용지출	사업 추진에 대한 선호도
주무부처	미래창조과학부	○	○	○
정부부처	해양수산부	○		○
	국방부	○		○
기타공공기관	한국과학기술정보연구원	○		○
	한국전자통신연구원	○		○
민간기업	삼성전자	○		○
	클루닉스	○		○
	ManyCoreSoft	○		○
기타조직	건국대학교	○		○
	광주과학기술원	○		○
	KOBIC	○		○
	동명대학교	○		○
	부경대학교	○		○
	부산대학교	○		○
	서울대학교	○		○
	서울시립대학교	○		○
울산과학기술대학교	○		○	

2. 사업추진의 시급성

□ 국내외 주요환경변화에 따른 시급성

- (317) (국가 미래경쟁력의 핵심) 초고성능컴퓨팅이 국가 미래경쟁력을 좌우하는 핵심요소로 떠오르면서 세계 각국의 경쟁이 심화됨
 - (318) (최근 초고성능컴퓨터 기술 동향) 기술 장벽이 높고 미국 기업들이 거의 독점하고 있는 초고성능컴퓨터의 하드웨어 구성요소가 최근 모두 COTS (Commercial-Off-The-Shelf)화되어 이에 대한 기술개발 없이도 초고성능컴퓨터 자체개발이 가능
 - (319) 구축비용과 전력소모 문제가 큰 세계 최상위권 초고성능컴퓨터를 중심으로 저전력·고효율 달성을 위해 이종 시스템을 사용하는 사례가 늘어나고 있음
- * 현재 Top500에서 1위인 중국 Tianhe-2와 2위인 미국 Titan은 모두 이종 시스템
- (320) (초고성능컴퓨터 기술의 패러다임 전환기) 현재 초고성능컴퓨터가 당면한 문제는 대규모 시스템이 야기하는 과도한 전력소모이며 전력 효율이 높은 이종 구조로의 전환은 이제 시작되고 있음
 - (가) 성능 가속기와 저전력 프로세서 등 새로운 하드웨어 구성요소와 이종 시스템을 대상으로 하는 소프트웨어 기술, 그리고 페타스케일~엑사스케일 시스템에서 확장성을 가지는 소프트웨어 기술의 연구가 중요해짐
 - (321) (기술 선도의 기회) 기술 전환 과정에서 새로운 초고성능컴퓨터의 요구사항에 맞는 연구개발을 빠르게 진행함으로써 기존 기술 선도국들을 추격하고 선도하는 것이 가능

□ 제반여건의 성숙도

- (322) (국가 초고성능컴퓨팅 육성법) 2011년 12월에 ‘국가 초고성능컴퓨터 활용 및 육성에 관한 법률’이 시행되었고 2012년 12월에 ‘제1차 국가초고성능컴퓨팅 육성 기본계획’(2013 ~ 2017)이 수립되었으므로 종합적인 육성정책 하에 일관성 있는 R&D 추진이 가능
- (323) (국가 초고성능컴퓨팅 육성 기본계획) ‘제1차 국가 초고성능컴퓨팅 육성 기본계획’에서 제시한 비전인 ‘초고성능컴퓨터 세계 7대 강국 실현’과 목표 중 하나인 ‘독자적 초고성능컴퓨팅 개발역량확보 및 산업화 토대마련’ 달성을 위해 독자적인 한국형 초고성능컴퓨터의 자체개발 사업이 필요
- (324) (국내 기술여건의 성숙) 스마트폰과 같은 저전력 모바일 기기 관련 기술과 생태계가 국내에 잘 발달되어 있고 이종 초고성능컴퓨터와 이를 위한 프로그래밍 모델도 국내에서 자체개발 사례(서울대의 ‘천둥’ 시스템과 SnuCL) 등장

3. 국고 지원의 적합성

가. 국고지원의 법적 근거

- 본 사업에의 국고지원을 위한 법적 근거는 「국가초고성능컴퓨터 활용 및 육성에 관한 법률」이 있음

(325) 국가초고성능컴퓨터 활용 및 육성에 관한 법률 제10조(연구개발 투자의 확대) “정부는 국가초고성능컴퓨터의 연구개발에 대한 투자를 확대하기 위하여 필요한 재원을 확보하도록 노력하여야 한다.”

나. 정부지원의 필요성

- 세계 최상위권 초고성능컴퓨터는 구축 및 운영비용이 많이 들고, 시스템 구성, 설계를 위한 연구개발에 많은 비용이 투자되며, 국가 차원의 핵심 연구개발 인프라의 성격을 가짐
- 국내 초고성능컴퓨터 기술 수준이 선진국에 비해 많이 뒤떨어져 있으며 산업 생태계가 미비하므로 국가 차원의 지원 없이는 선진국과의 기술격차를 줄이는 것이 불가능
- (해외 사례) 초고성능컴퓨팅 선진국들은 핵심 추진 부처 또는 기관을 지정하고 초고성능컴퓨터 기술개발에 총력을 집중하고 있음

(326) (미국) 고성능컴퓨팅법은 초고성능컴퓨팅파워의 운용을 시장경제에 맡겨두는 경우 국가경쟁력이 저하될 수 있음을 지적

(327) (일본) 1995년부터 계산과학기술의 발전을 21세기 과학기술발전의 기반으로 될 국가전략사업으로 지정

(328) (중국) 초고성능컴퓨팅에 대한 중요성을 인식하여 1986년 국가전략사업으로 지정

(329) 세계적으로 초고성능컴퓨터의 약 64% 이상을 정부가 투자하여 구축

<표 41> 섹터별 초고성능컴퓨터 구축현황(2013년 6월 Top500 성능 기준)

섹터	초고성능컴퓨터수	실측성능(GFlops)	비율	비고
연구소	114	136,942,307	61.2%	정부 주도 구축
정부기관	18	5,635,372	2.5%	
산업체	269	43,163,062	19.3%	기타
학교	87	34,227,162	15.3%	
기타	12	3,686,436	1.7%	

※ Top500에 1위부터 10위까지 섹터가 연구소로 표시된 모든 초고성능컴퓨터는 정부 투자로 구축

다. 중장기 재정운용계획과의 연계

(330) 본 사업은 미래창조과학부가 발표한 ‘2014년도 정부연구개발투자 방향 및 기준’에 부합

(가) 중점추진분야 10개 중 ‘정보통신기술·소프트웨어를 통한 신성장동력 창출’, ‘창업촉진 및 중소기업 경쟁력 강화 지원’, ‘기초연구 및 창의적 연구 지원 확대’에 부합

(331) 본 사업은 2013년 9월 기획재정부가 발표한 2013년 ~ 2017년 '국가재정운용계획'에 부합

(가) 과학기술·정보통신기술 혁신역량 강화로 새로운 산업과 시장 기회를 선점하고 미래 먹거리를 창출하여 창조경제 기반 및 상생경제 생태계 조성

- ① 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터 기술을 국내 기업에 이전하여 정보통신기술 분야 블루오션에서 국내 중소기업, 벤처기업, 대기업이 상생하는 산업 생태계를 조성하고 글로벌 시장 창조
- ② 또한 초고성능컴퓨팅 기술은 대규모 계산을 가능케 해 타 과학기술분야의 경쟁력을 강화하는 기반기술

(나) 경제 분야 재정투자 내실화 방안 중 하나로 R&D 분야는 민간투자가 어려운 기초·거대과학·공공안전 분야 등에 집중하여 재원 배분

- ① 세계 최상위권 초고성능컴퓨터는 구축 및 운영비용이 대규모이고 국가적 차원의 핵심 연구개발 인프라 성격을 가지므로 민간투자를 통한 R&D가 어려움
- ② 초고성능컴퓨팅 기술은 기초·거대과학 분야의 대용량 계산 수행과 국가안보·재난대처에 직결되어 있는 기반기술로 이러한 재원배분 계획에 부합

(다) 제18대 정부 임기와 같이하는 첫 번째 중기 재정계획으로, 신정부의 국정철학과 국정기조를 충실히 반영

- ① 본 사업의 내용은 '일자리 중심의 창조경제'라는 국정목표에 부합
- ② 또한 140대 국정과제 중 12개가 본 사업 내용에 부합

4. 사업추진상의 위험요인

가. 재원조달상의 위험요인

(332) 정부의 연구개발 투자가 증가추세이고 차세대정보.컴퓨팅기술개발 등과 같은 소프트웨어 R&D 투자규모도 증가하는 추세이므로(‘소프트웨어 혁신전략’) 국고를 통한 재원조달이 용이할 것으로 전망

(가) 2017년 기준 R&D 분야 지출 전망은 19.9조 원으로, 이 중 기초연구 투자 지출이 40%를 차지해 약 8조원 규모

(나) 본 사업에서 연간 투입예산이 가장 많은 해는 2018년으로 총 359억 원의 예산이 투입되고 2017년 전체 기초연구 R&D 예산과 비교하여 약 0.45% 규모

(다) 본 사업의 '15~'19년 연평균 투입예산은 약 198억 원이고 2017년 전체 기초연구 R&D 예산과 비교하여 약 0.25%의 규모

(라) 따라서 정부 R&D재원의 규모가 2019년까지 같은 수준으로 지속될 경우 본 사업은 기존 재원범위 내에서 수용 가능한 규모로 판단

나. 법.제도적 위험요인

(333) (위험요인) 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터의 개발 이후 핵심기술 이전을 추진하는 과정에서 ‘WTO 보조금 협정’에 따른 분쟁의 소지가 있음

(가) 기술이전이 지나치게 유리한 조건으로 이루어지며(동 협정 제1.1조) 기술이전 대상이 특정 기업들로 명백하게 한정되는 경우(동 협정 제2조), 보조금 지급으로 간주될 수 있음

(나) 기술이전 조건을 수출 실적 혹은 국산품 사용과 직접적으로 연계할 경우 동 협정 제3조의 ‘금지보조금’에 해당할 소지가 있음

(다) 또한 기술이전의 결과 타국 경쟁업체에 부정적인 영향을 미칠 경우 동 협정 제5조의 ‘조치가능보조금’에 해당해 통상 분쟁이 발생할 소지가 있음

(334) (대응방안) 핵심기술 개발에 투입된 비용과 이전 대상 기술의 가치 등을 고려하여 합리적인 수준의 기술 라이선싱 가격을 책정하고 기술이전 대상 기업을 국내기업으로 한정하지 않음

제 7 장 기대효과

제 1 절 경제적 기대효과

□ 분석 개요

(335) (분석절차) 초고성능컴퓨팅 산업을 대상으로 산업연관분석을 통해 경제적 파급효과를 제시함으로써 경제적 기대효과를 분석하기 위해 다음의 분석절차를 수행

(가) 초고성능컴퓨팅 산업 재분류 기준 설정

(나) 부문 통합 및 분석을 위한 자료의 재분류 (2011년도 산업연관표 사용)

* 총거래표, 수입거래표, 국산거래표, 산업별 취업자 및 피용자수

(다) 투입계수행렬, 부가가치벡터, 고용계수벡터 등 산출

(라) 생산유발계수, 부가가치계수, 고용유발계수 도출 및 경제적 파급효과 산출

(336) (최종수요) 초고성능컴퓨터 기반 구축 및 자체기술 개발을 통해 세계 서버 시장의 2% 를 추가 점유하는 경우의 매출액으로 산정

<표 42> 최종수요

2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	계(억원)
8,146	16,601	16,916	17,238	17,565	17,899	18,585	18,239	18,939	150,128

* 자료(세계시장) : ITCandor, 2013 기준 CAGR 1.9% 적용치, 환율 1,100원 적용

* 2022년 매출액은 세계시장의 1%, 2023년 이후는 2% 가정

□ 초고성능컴퓨팅 산업 분류

(337) 초고성능컴퓨팅 산업은 단순히 컴퓨터로만 구성된 단일 산업이라기보다는 다양한 산업으로 구성된 종합산업에 해당

(338) 선행 연구를 기반으로 산업연관표의 산업 분류를 재분류

(가) 산업연관표 소분류 168부문 중 8개 부문을 초고성능컴퓨팅 산업으로 통합하고, 나머지는 산업연관표 통합대분류(28부문) 수준으로 분류

(나) 초고성능컴퓨팅 산업을 통합하여 얻어진 산업연관분석에 사용되는 분류체계는 28기타 다음에 00 초고성능컴퓨팅으로 기술

□ 산업연관분석

(339) (생산유발계수) 초고성능컴퓨팅 산업의 생산유발계수 열 합계는 1.9078이며, 이는 초고성능컴퓨팅 산업의 최종수요 한 단위가 증가하면 전 산업에 걸쳐 약 1.9배의 직간접적 생산유발효과가 발생함을 의미

(340) (산업영향력계수) 초고성능컴퓨팅 산업의 영향력 계수는 0.9678이며 1보다 작으므로 초고성능컴퓨팅 산업이 전체 산업에 미치는 생산유발효과의 영향은 평균 이하

(341) (산업감응도계수) 초고성능컴퓨팅 산업의 감응도 계수는 1.0913이며 1보다 크므로 전체 산업에 미치는 전방연쇄효과의 영향은 평균 이상

(342) (부가가치유발계수) 초고성능컴퓨팅 산업의 부가가치유발계수는 0.5888이며, 이는 초고성능컴퓨팅 산업의 최종수요가 1단위 증가할 때 국민경제 전체에 직·간접적으로 유발되는 부가가치는 약 0.59단위임을 의미

(343) (노동유발계수) 초고성능컴퓨팅 산업의 취업유발계수와 고용유발계수는 각각 6.7과 5.8로, 이는 초고성능컴퓨팅 산업의 최종수요 10억원이 발생할 경우 직·간접적으로 약 6.7명의 취업을 유발하고, 약 5.8명의 고용을 유발

□ 파급효과분석

(344) (생산유발/부가가치유발) 2022년부터 2030년까지 9년간 발생하는 생산유발액은 2015년도 가치로 약 15.7조 원, 부가가치유발액은 4.86조 원으로 예상

(345) (고용유발) 9년간 약 8.7만명 일자리 창출 예상

<표 43> 경제적 파급효과

(단위 : 억 원, 명)

연도	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	계
생산유발(명목)	15,540	31,671	32,273	32,886	33,511	34,147	34,796	35,457	36,131	286,412
생산유발(현재)	10,683	20,637	19,933	19,252	18,595	17,961	17,348	16,756	16,184	157,349
부가가치유발(명목)	4,796	9,775	9,960	10,149	10,342	10,539	10,739	10,943	11,151	88,395
부가가치유발(현재)	3,297	6,369	6,152	5,942	5,739	5,543	5,354	5,171	4,995	48,562
고용유발	4,724	9,628	9,811	9,998	10,188	10,381	10,579	10,780	10,984	87,074

제 2 절 과학기술적 기대효과

- (초고성능컴퓨터 자체기술 확보) 초고성능컴퓨터 관련 자체기술 확보를 통해 IT 강국으로서의 위상을 제고하고 초고성능컴퓨터 분야의 국가브랜드 구축

(346) 초고성능컴퓨터 자체기술 확보를 통해 산업기술 분야에 편중된 IT 강국의 국가이미지를 원천기술 분야까지 확장하여 IT 전분야에 걸친 새로운 국가브랜드 구축

(347) 비용, 성능, 전력의 세 가지 측면에서 외국의 다른 모델보다 우수한 한국형 플래그십 모델 개발로 선진국과의 기술격차를 해소하고 초고성능컴퓨터 기술 선도국으로 도약

- (초고성능컴퓨터 연구개발 토양 마련) 기존의 취약한 초고성능컴퓨터 연구개발 환경을 개선하여 국내에서 안정적인 후속 연구개발과 함께 본 사업에서 확보한 기술 수준을 유지할 수 있는 토양 마련

(348) 초고성능컴퓨터 연구개발의 전반적이고 일관된 방향을 제시하여 국내 역량 집중

(349) 초고성능컴퓨터 기술의 여러 세부분야에서 우수 연구개발 인력을 양성하여 후속 연구개발이 국내에서 지속적으로 이루어질 수 있는 기반 조성

(350) 초고성능컴퓨터 자체기술 확보 과정에서 파생되는 다양한 원천기술과 파생기술들을 국내 관련 산업분야에 융합하여 국내 IT 산업 혁신을 도모하고 초고성능컴퓨터 연구개발 생태계 조성

- (유관 IT 산업 경쟁력 제고) 초고성능컴퓨터의 자체기술 확보를 통해 빅데이터, 클라우드 컴퓨팅, 서버 및 모바일 컴퓨팅 등 유관 IT 산업의 경쟁력 제고

(351) 초고성능컴퓨터 기술은 IT 분야의 원천기술로써, 자체기술 확보를 통해 하드웨어와 소프트웨어를 아우르는 IT 전 분야의 기술경쟁력을 강화 가능

- (과학기술 혁신) 향후 초고성능컴퓨터 수요가 가파르게 증가할 것으로 예상되는 바이오/해양 분야에 특화된 한국형 초고성능컴퓨터와 응용 소프트웨어를 자체개발하여 세계적 수준의 바이오/해양 분야 연구개발 인프라 제공

(352) 한국형 초고성능컴퓨터를 사용하여 수요 증가에 보다 유연하게 대응하고 적시에 초고성능컴퓨팅 자원을 제공할 수 있음

(353) 바이오 분야 응용소프트웨어는 기초과학 연구에서 신약 개발, 맞춤형 진료에 이르기까지 다양한 분야의 혁신에 기여함

(354) 해양 분야 응용소프트웨어는 한반도 연안부터 전지구 영역에 이르는 해양환경 예측 기술의 연구 개발에 활용

제 3 절 사회적 기대효과

- (국가 이미지 제고) 초고성능컴퓨터 관련 자체기술 확보를 통해 IT 강국으로서의 위상을 제고
- (국가 위기관리) 국가 위기관리 능력과 직결된 초고성능컴퓨터 시스템을 국산화함으로써 국방, 에너지 등 국가 안위와 직결된 문제의 해결, 미래전략 수립, 선제적 대응 등에 활용
- (창조산업 육성) 초고성능컴퓨터와 산업·문화의 융합을 통해 기존 산업을 뛰어넘는 신 시장을 개척할 수 있는 창조산업 육성
 - (355) 한국형 플래그십 초고성능컴퓨터 핵심기술의 이전을 통해 국내에 초고성능컴퓨팅 전문기업을 육성하고 일자리를 창출
 - (가) 기존 모바일 기기 관련 중소기업이 기술이전을 통해 초고성능컴퓨팅 관련 기업으로 전환함으로써 기업의 새로운 성장 동력 마련
 - (나) 초고성능컴퓨팅, 클라우드컴퓨팅, 빅데이터 등 다양한 IT 분야에서 기술력과 생산성을 갖춘 벤처기업의 창업을 유도하여 글로벌 강소기업을 육성
 - (356) 중소기업과 대기업이 상생할 수 있는 초고성능컴퓨터 및 관련 분야의 산업 생태계 조성
 - (가) 중소기업이 부품을 생산하여 대기업에 제공하던 기존 산업 생태계와 달리 대기업이 COTS (CPU, 가속기, 메인 메모리 등)를 생산·공급하고, 중소기업이 이를 이용해 초고성능컴퓨터 시스템 및 소프트웨어를 개발·판매하거나 대기업에 시스템을 OEM으로 납품하는 구조의 초고성능컴퓨터 산업 생태계가 조성
 - (나) 초고성능컴퓨터 기술과 관련된 클라우드 컴퓨팅, 빅데이터, 서버 산업 역시 비슷한 구조를 가짐
 - (다) 중소기업이 소수의 대기업에 부품을 납품하는 구조로 양자 간의 불균형이 발생하기 쉬운 타 산업에 비해, 중소기업과 대기업이 자연스럽게 대등한 위치에서 동반성장할 수 있는 구조로 창조경제 생태계의 대표적 사례 창출