

설문조사를 통한 계산과학공학 R&D 현황조사 · 분석

김남규* · 조규진** · 홍중현*** · 이형진**** · 박성욱***** ·
고미현***** · 서신원*****

I. 서론

1. 연구배경

계산과학공학(Computational Science and Engineering)은 과학적 발견 및 제품개발 시 컴퓨터를 활용한 시뮬레이션으로 해결하는 방법론으로서 1980년대 이후 컴퓨터 성능의 폭발적인 향상과 컴퓨터계산 응용분야 확장을 통해 다양한 분야에서 활용 중이다.

2013년 노벨 화학상은 직접 실험을 하지 않고도 고분자의 움직임과 화학반응을 예측할 수 있도록 컴퓨터에서 계산하고 연구할 수 있는 시뮬레이션 프로그램인 참(CHARM)을 개발한 과학자들에게 수여되었다. 뿐만 아니라 현재 계산과학공학은 기초과학뿐만 아니라 응용과학은 물론 산업현장에서도 다양하게 활용 중으로 자동차업계에서는 충돌실험, 하중실험 등 다양한 실험을 실제 수행하기 전 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 분석을 수행하고 있다.

위에서 기술하였듯이 계산과학공학은 기초과학부터 산업에까지 다양한 분야에서 사용되고 있으며, IT기술이 발전하면서 더욱 그 효용성이 증대하고 있으나, 국내에서는 계산과학공학을 위한 인프라 규모, 활용하는 연구자의 수, 프로젝트의 규모 등 여러 가지 면에서 해외 선진국들의 수준에 미달인 상태이다. 일례로 계산과학공학의 중요한 인프라인 슈퍼컴퓨터의 국내보유대수는 9대로 세계 8위이나, 성능으로서는 세계 14위로 낮은 편이다. 또한 국가 슈퍼컴퓨팅 센터로써 한국과학기술정보연구원(이하 KISTI)에서 범용적인 목적으로 서비스하고 있는 슈퍼컴퓨터 4호기의 성능은 2015년 6월 현재 세계 순위 259위인 상태이다.

따라서 국가 R&D의 효율성 증대와 선도형 R&D 수행에 필요한 계산과학공학에 대한 발전을 논의하기 위하여 우선 국내 계산과학공학의 현황에 대한 기초 파악 및 분석을 통해 현재 국내의 상황에 대하여 진단하고 이에 맞는 정책적 제언이 절실한 상태이다.

본 논문에서는 국내 과학기술분야에서의 계산과학공학의 현황을 파악하고 분석하여 앞으로 발전 방향을 탐색하고 정책적인 제언을 위하여 다음과 같은 내용으로 구성하였다. 우선 국가 R&D 현황 및 계산과학공학의 개념과 특징을 기술한 뒤, 설문조사를 통한 국내 계산과학공학의 현황파악 및 분석하였다. 이 후 향후 추후 해 나가야할 국내 R&D를 위한 계산과학공학의 정책 방안 제시하였다.

* 김남규, 한국과학기술정보연구원, 정책연구부 선임연구원, 042-869-0588, ssgyu@kisti.re.kr
** 조규진, 한국과학기술정보연구원, 슈퍼컴퓨팅사무국 연구원, 042-869-1132, kcho@kisti.re.kr
*** 홍중현, 한국과학기술정보연구원, 슈퍼컴퓨팅사무국 연구원, 042-869-1689, jong-hyun@kisti.re.kr
**** 이형진, 한국과학기술정보연구원, 슈퍼컴퓨팅사무국장, 042-869-0773, longleg@kisti.re.kr
***** 박성욱, 한국과학기술정보연구원, 정책연구부 실장, 042-869-0925, supark@kisti.re.kr
***** 고미현, 한국과학기술정보연구원, 정책연구부 선임연구원, 042-869-0340, mihyungo@kisti.re.kr
***** 서신원, 한국과학기술정보연구원, 정책연구부 연구원, 042-869-1825, shinwonseo@kisti.re.kr

II. 본문

1. 관련연구

1) 계산과학공학

계산과학공학은 과학적 발견 및 제품개발을 실험이나 이론에 의존하지 않고, 컴퓨터를 활용한 시뮬레이션으로 해결하는 방법론이다. 컴퓨터 성능의 급격한 향상과 컴퓨터를 이용한 시뮬레이션을 적용하는 응용분야의 확장으로 1990년대 초부터 하나의 독립적 학문 분야로 인식되기 시작하였다. 계산과학공학은 다학제적이고 복합적인 새로운 학문 분야로 문제해결을 위한 수학적 모형화 과정, 수치해석, 알고리즘 개발, S/W 개발 및 실행, 결과 분석, 타당성 검증, 가시화 등 모든 과정을 포함한다. 또한 수학방정식 또는 데이터로 표시될 수 있는 과학, 공학 및 산업기술 영역뿐만 아니라 경제 및 금융 등 사회과학에도 적용되어 사용되고 있다.

계산과학공학은 컴퓨터를 이용하여 연구문제를 해결하는 학문이므로 과학, 공학, 산업, 의학 등에서 다양한 분야의 연구문제를 컴퓨터를 활용하여 해결하기 위해서는 해당 학문분야에 대한 이해가 필수이다. 또한 계산과학공학을 이용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 하면 많은 비용을 절감 가능하며, 실제 실험이 불가능하거나 실험 비용이 많이 소요되는 과학 문제를 시뮬레이션을 통해 해결함으로써 경제적 효용성을 획득할 수 있다. 이렇게 다양한 분야의 많은 문제들이 계산과학공학이 아니면 연구가 불가능하거나, 연구가 가능하더라도 계산과학공학으로 해결하는 것이 시간과 비용 면에서 훨씬 효율적이다. 또한 이론과 실험으로는 해결하기 어려운 도전적인 문제들에 대한 대체방법으로써 계산과학공학 활용할 수 있으므로 R&D에서 계산과학공학의 중요성은 지속적으로 증대되고 있다.

2. 설문조사 및 분석

1) 계산과학공학 현황 설문조사의 틀

계산과학공학 현황을 조사하기 위하여 인터넷을 통한 설문조사를 수행하였다. 설문대상은 NTIS에서 계산과학공학을 수행하고 있거나 수행할 수 있을 것으로 간주되는 분야의 연구책임자들 및 KISTI의 슈퍼컴퓨터 사용자 리스트를 활용하여 480명의 기존 슈퍼컴퓨터 사용자와 연구회의 연구원들을 대상으로 설문조사 수행하였다. 설문은 총 31문항으로 구성되었으며, 설문조사는 KISTI의 설문조사 시스템을 통하여 설문지를 구성하고 수집하였다.

2) 기초통계분석

설문조사기간은 2015년 8월 12일부터 9월 4일이었으며, 총 171명이 설문에 응답하였고 이 중 계산과학공학 연구자가 94명, 비계산과학공학 연구자가 77명이었다. 응답자의 소속기관으로는 정부출연연구소가 63.2%으로 다수를 차지하였고, 그 후로 국립대학교 19.9%, 사립대학교 12.8%로 정부출연연구소와 대학이 거의 대부분을 차지하였다.

3) 설문분석

계산과학공학을 활용한 연구 진행 의사를 묻는 질문에 55%만이 계산과학공학을 활용하여 연구를 수행한

다고 응답하였다.

계산과학공학 방법론 활용 프로젝트에서 사용한 컴퓨팅 자원은 다수의 컴퓨팅 자원에 관한 질의문항을 사용하는 것이 일반적이므로 중복응답이 가능하게 설정하였다. 가장 많이 사용하는 컴퓨팅자원이 클러스터였으며 이와 거의 대등하게 슈퍼컴퓨터를 사용하는 것으로 응답하였으며 그 외 컴퓨터 H/W발달로 인하여 워크스테이션과 PC를 사용한다는 응답자가 3, 4순위였으며, 최근 떠오르는 기술인 클라우드 컴퓨팅이 3건, 기타 2건이 그리드컴퓨팅 사용한다고 응답하였다.

계산과학공학 방법론 활용 프로젝트에서 사용한 응용 S/W 종류도 복수의 S/W를 사용할 수 있으므로 중복응답이 가능한 문항으로 가장 많이 사용하는 S/W는 상용 S/W로 44.7%를 차지하였고, 그 뒤로 자체개발 S/W 29.8%, 오픈소스 S/W 20.2%로 응답하였다. 그리고 기타 5.3%로는 상용 S/W, 자체개발 S/W, 오픈소스 S/W를 모두 활용한다고 답변하였다.

R&D 사업에 계산과학공학 방법론을 활용함에 있어서 느끼는 어려움의 정도는 「대체로 어려움」이 31.9%인데 비해 「보통」이 35.1%, 「별로 어렵지 않음」이 20.2%로 활용하는데 큰 어려움이 없는 연구자들과 어려움을 겪는 연구자들의 비율이 비슷한 것으로 확인하였다.

계산과학공학 연구자 중 슈퍼컴퓨터를 사용하지 않는 연구자들에 대한 조사한 결과, 74.5%가 슈퍼컴퓨터를 사용한다고 응답하고 25.5%가 사용하지 않는다고 응답하여 많은 계산과학공학 연구자들이 슈퍼컴퓨터를 사용하는 것으로 파악되었다.

연구 분야별 계산과학공학 및 슈퍼컴퓨터 활용 정도는 과학기술표준분류에서는 기계분야가 24명으로 계산과학공학 연구자가 가장 많았으나 슈퍼컴퓨터 사용자는 12명으로 계산과학공학 연구자의 50%로 나타났으며, 또한 슈퍼컴퓨터 사용자의 경우 물리학에서 22명으로 가장 높은 사용 비율을 차지하는 것으로 파악되었다.

계산과학공학 연구자이지만, 슈퍼컴퓨터를 사용하지 않는 이유로 「연구수행에 슈퍼컴퓨터가 필요 없음」이 가장 높은 응답률을 보였다. 그리고 「슈퍼컴퓨터 관련 인력이 부족해서」, 「H/W, S/W 활용을 위한 교육 부족」, 「최적화/병렬화 지원 부족」, 「소속기관의 재정적 지원 부족」은 0%로 집계되었다. 기타로는 「기타 장비의 활용」, 「망분리로 인한 외부 슈퍼컴퓨터 접속 불가」, 「현재 수준의 PC로도 가능」, 「활용의 즉각성 부족」과 같은 답변을 얻었다.

계산과학공학 연구자들 중 슈퍼컴퓨터를 사용하는 사용자들에 대한 조사분석한 결과, 슈퍼컴퓨터를 연구 및 업무에 활용하는데 있어 제한요소로는 「긴 대기시간」이 가장 큰 이유로 선택되었으며 전체 비율의 34.3%를 차지하였다. 기타사항으로는 사용료, 사용시간, 그리고 2개 이상의 복합적인 요소들이 포함하였다.

비계산과학공학 연구자들을 대상으로 한 설문조사에서 계산과학공학 방법론을 활용하지 못하는 가장 큰 이유로는 「계산과학공학을 잘 몰라서」라는 답변이 44.6%로 가장 높은 비율을 차지였고, 기타 이유로는 「과제가 없음」, 「시뮬레이션 결과 보다 엄격한 증명 등의 결과가 요구됨」, 「직접 분석할 시간의 부족」, 「익숙하지 않음」 등으로 응답하였다.

비계산과학공학 연구자들을 대상으로 국가과학기술연구회에서 계산과학공학 적용이 가능한 국가 R&D 사업을 대상으로 계산과학공학에 대한 지원을 한다면 R&D에 계산과학공학을 적용하겠다고 답한 응답자가 77명중 60명으로 총 77.92%를 차지하였다.

계산과학공학을 활성화하기 위한 방안으로 계산과학공학을 활용하는 연구자들의 의견으로는 H/W 지원구축 및 사용 비용이 전체 28.2%로 가장 높게 나타났으며, 그 뒤로 계산과학공학활용 국가 R&D 프로그램, S/W 라이선스 비용 등으로 응답하였다.

계산과학공학 방법론 활용 의향 여부를 떠나 이 분야를 육성하기 위한 방안으로는 우선적으로 지원되어야 하는 것은 인적 지원(교육 및 인력양성)이 30.3%로 가장 높은 비율을 차지하였고, 다음으로는 H/W 지원 서

비스(컴퓨팅, 데이터, 네트워크), 정책 지원(생태계 구축, 법제 정비, 프로그램 운영) 순으로 응답하였다.

III. 종합 및 정책적 제언

1. 설문분석종합

인프라측면에서 계산과학공학 연구자들이 사용하는 인프라로 클러스터와 슈퍼컴퓨터가 거의 같은 건수로 응답하였는데, 클러스터의 경우 규모와 상관없이 자체적으로 구축하여 사용하고 있다는 것을 반증하는 것으로, 이러한 자체 시스템을 위한 예산, 구축 및 운영인력, 공간, 유지운영비 등에 대한 요구사항이 존재한다고 할 수 있다. 그리고 슈퍼컴퓨터 사용자가 계산과학공학 연구자의 3/4을 차지하여 슈퍼컴퓨터 인프라에 대한 지원확대가 곧바로 계산과학공학 지원확대로 이어질 수 있는 환경임을 파악할 수 있다. 한편으로는 슈퍼컴퓨터를 사용하지 않는 계산과학공학 연구자들은 연구수행에 슈퍼컴퓨터 인프라 사용의 필요성을 인지하지 못하고 있어 이러한 연구자들을 대상으로 슈퍼컴퓨터 사용 시 얻을 수 있는 장점에 대한 홍보가 필요함을 알 수 있다. 마지막으로 슈퍼컴퓨터 사용자 중 긴 대기시간과 CPU 코어 수 제한이 연구수행의 장애요인으로 응답하였는데 이는 현재 KISTI에서 운영하는 슈퍼컴퓨터 4호기의 용량이 사용자들의 요구사항에 비해서 상당히 부족함을 반영하는 결과라고 해석할 수 있다. 또한 CPU 코어 수 부족은 컴퓨터 자원뿐만 아니라 동시에 활용할 수 있는 CPU 코어수의 부족과 함께, 상용 S/W를 사용할 시에 한번에 사용할 수 있는 CPU 코어수의 제한을 모두 반영하는 결과로 분석 가능하다.

S/W측면에서 사용하는 S/W로 상용 S/W가 가장 많이 차지하였으며, 계산과학공학 S/W들이 고가이며, 대부분 CPU 코어 당 비용을 청구하므로 S/W 구매 및 유지보수 비용에 대한 해결책 마련이 필요함을 알 수 있다. 한편 자체개발 S/W 및 오픈소스 S/W 사용이 50%에 달해, 계산과학공학 S/W 개발 및 활용에 대한 지원을 통해 상용 S/W에 대한 문제점 해결이 가능함을 시사한다.

교육측면에서 계산과학공학을 사용하는데 크게 어려움이 없는 연구자도 많았으나, 40%정도의 연구자는 어려움을 느끼고 있어서 이런 문제를 해결해줄 수 있는 인력지원, 교육 등이 필요함을 알 수 있다.

한편 계산과학공학 방법론을 사용하지 못하는 이유로 계산과학공학을 잘 몰라서, 인프라 부족, S/W 부족 등의 응답이 2/3를 차지하여 이런 부분을 지원하면 사용가능성이 증대될 수 있다. 그리고 국가 R&D에 계산과학공학에 대한 지원이 있다면 계산과학공학을 적용하겠다고 답한 응답자가 다수를 차지하므로써 이에 대하여 지원이 필요함을 알 수 있다. 또한 계산과학공학 연구자들은 계산과학공학 활성화에 H/W 구축 및 사용 비용, 계산과학활용 국가 R&D 프로그램, S/W 라이선스 비용 등 인프라와 과제, S/W 지원이 필요하다고 응답하였다. 이는 국내에서 계산과학공학 활용을 위하여 기초적인 인프라, 예산투자, S/W 비용해소와 같은 아주 기초적인 요소들부터 지원을 해야함을 시사한다.

비계산과학공학 연구자들을 대상으로 국가 R&D 사업을 대상으로 계산과학공학에 대한 지원을 한다면 R&D에 계산과학공학을 적용하겠다고 답한 응답자가 77.92%로 향후 국가 R&D에서 계산과학공학에 대한 지원을 통하여 활용활성화 및 저변확대가 가능할 것으로 예상된다.

마지막으로 모든 응답자들이 교육 및 인력양성 등 인적자원 지원, H/W 자원 지원, 정책 지원, S/W 지원 등순으로 응답하였다. 이는 인적 지원이 1순위인 것은 계산과학공학의 저변확대를 위해서는 계산과학공학의 전문인력 양성 및 교육이 급선무라는 것으로 해석할 수 있다. 또한 교육, H/W와 S/W, 그리고 이를 지속적으로 체계적으로 지원하기 위한 국가적인 지원 필요성 제기하였으므로 정책적으로 중장기 지원이 필수임을 파

악하였다.

2. 계산과학공학 발전을 위한 정책적 제언

우선 계산과학공학을 수행하기 위하여 가장 기초적인 인프라의 경우 분석결과에서 보듯이 연구자들이 자체적으로 구축하여 사용하는 클러스터 시스템을 가장 많이 사용하고 있다. 따라서 이러한 시스템 구축 및 유지 보수, 운영인력, 공간, 기반시설 등에 대한 예산 확보 필요하다. 그러나 각 기관에 계산과학공학 연구자들의 숫자가 극소수이어서 인프라 투자를 위한 거대 과제 수주가 힘든 상황이며, 한번 과제를 수행하더라도 컴퓨터 자원 특성상 5년 정도 경과 후 교체에 필요한 예산 확보가 힘들며, 차기 과제를 수주하지 못한다면 구축된 인프라는 활용불가하다. 또한 이론을 바탕으로 S/W를 운영 또는 개발하여 연구를 수행하는 과제는 인프라의 필요성 및 관련 예산 투자에 대한 정책당국의 인식이 부족하다. 따라서 계산과학공학 연구자들이 자신의 S/W를 활용하는데 집중할 수 있도록 시스템 구축 및 운영을 위한 공간과 기반시설(공조, 항온항습 등)을 갖추고 전문적인 운영인력들이 상주하여 서비스할 수 있는 전문기관의 역할이 중요하다. 계산과학공학 연구자들의 3/4이 이용하는 슈퍼컴퓨터는 「국가 초고성능컴퓨터 활용과 육성에 관한 법률」의 시행령에서 지정된 KISTI에서 국내에서 유일하게 공공에게 서비스되는 범용 슈퍼컴퓨터로서 현재 긴 대기시간과 자원부족으로 연구자들이 원활하게 사용하지 못하는 상황이다. 현재 차기 슈퍼컴퓨터 도입을 위한 예비타당성 조사가 통과되어 슈퍼컴퓨터 5호기 도입을 준비 중이므로, 투자확대를 통하여 차기 슈퍼컴퓨터 도입은 물론이거니와 다양한 계산과학공학 연구자들의 수요에 대응할 수 있는 서비스 확대가 필요하다.

인프라에서 활용하여 R&D를 수행할 수 있는 S/W의 경우, 계산과학공학 연구자 가장 많이 사용하는 상용 S/W들은 대부분 고가여서 개별 연구자 또는 연구그룹에서 충분히 구매하지 못하고 있으며, 이는 KISTI 슈퍼컴퓨팅 센터의 상황도 비슷하다. 또한 동시에 많은 컴퓨팅자원을 이용하지 못하거나, 동시 사용자 수의 제한 때문에 계산시간 단축이 중요한 계산과학공학의 연구수행에 장애를 초래한다. 이에 연구자들이 사용하는 상용 S/W에 대한 조사 후, 우선적으로 수요가 많은 S/W에 관하여 예산 투자 확대를 통하여 수월한 연구 수행 환경 조성이 필요하다. 또한 상용 S/W가 필요한 연구자들이 S/W를 공동으로 사용할 수 있는 인프라 구축(예 : 정부출연연구소 private cloud) 및 S/W를 공동구매를 통해 비용절감 및 운영 효율성 확보가 필요하다. 한편으로는 기존에 사용되는 오픈소스 S/W의 활용확대 및 정책적으로 자체개발 S/W 지원이 필요하다. 현재 계산과학공학에서 자체개발 S/W 및 오픈소스 S/W 사용이 50%에 달하고 있으나, 오픈소스 S/W의 경우 각 S/W마다 개발된 기간과 수준에 따라 연구에 즉시 사용할 수 있는 S/W가 한정되어 있고, 사용법을 배우는데 많은 시간이 소요되고, S/W 결과물에 대한 검증문제 등 다양한 난제들이 존재한다. 또한 자체개발 S/W의 경우 계산과학공학을 수행하면서 S/W 개발까지 할 수 있는 인력이 많지 않은 상황이며, 계산과학공학 관련 S/W 개발 R&D 과제가 소규모이거나 극히 드문 상태이다. 그러나 상용 S/W에 대한 비용을 절감하고 대체하기 위해서, 또한 새로 발생하는 계산과학공학 연구에 관련된 S/W 대응을 위해서 장기적인 관점에서 중장기적으로 S/W 개발 및 오픈소스 S/W의 활용확산에 대한 지속적인 지원 및 투자가 필요하다.

그리고 이러한 인프라와 S/W를 이용하여 계산과학공학을 사용하는 연구를 향상시키고, 연구분야를 확대하며, S/W 개발하기 위해서는 계산과학공학 교육과정 확대 및 투자 증대를 통해 인력 양성 및 확보가 필수이다. 계산과학공학을 사용하는데 어려움을 느끼는 정도는 연구자마다 다르나, 많은 연구자들이 연구수행에 어려움을 느끼고 있으며, 관련된 연구인력을 구하는 것도 어려운 상황임을 알 수가 있다. 이는 계산과학공학의 경우 전문분야 및 관련 수학, 프로그래밍 등 다양한 분야를 배워야함에 따라 배우는데 많은 시간이 소요되는 것이 진입장벽으로 작용하기 때문이다. 관련하여 대학교에 계산과학공학 전공개설을 확대하고, 이공계 학과에 계

산과학공학 관련 과목 개설 및 대학원에서 전문교육과정을 설치하는 방안이 필요하다. 그리고 기존 KISTI와 같은 계산과학공학을 수행하는 전문기관에서 운영하고 있는 단기교육과정에 대한 확대 및 홍보 강화를 통해 계산과학공학에 대한 교육보급을 확산해야 할 것이다.

마지막으로 위에서 기술한 계산과학공학을 위한 인프라, S/W, 교육 지원을 위해서는 국가적으로 계산과학공학 지원방안 및 체계 수립을 추진해야 한다. 국내 계산과학공학 저변확대 및 비계산과학공학 연구자들의 전환을 위해서는 계산과학공학 지원을 위한 국가적인 정책수립 및 R&D 지원이 필요하다. 따라서 국가 R&D 사업에서 실험을 수행해야 하는 과제 중 계산과학공학 활용이 가능할 경우, 계산과학공학을 이용하는 참여자에게 선정평가 시 인센티브 추가하는 방안을 검토해야 한다. 또한 국가 R&D 사업에서 계산과학공학 관련 대규모 과제를 추진하여 관련 기존 연구자들은 물론 비계산과학공학 연구자들도 계산과학공학 활용에 대한 인식 전환 유도해야 한다.

그리고 현재 국내 계산과학공학에 대한 인프라, S/W 비용, S/W 개발, 교육 등 가장 기초적인 부분에서의 수요충족이 부족하므로 이에 대한 관련 투자 확충 필요하다. 계산과학공학을 위한 S/W 개발 및 오픈소스 S/W 활용에 대한 장기적이고 지속가능한 예산 투자가 필요하며 현재 상용 S/W를 이용한 과제들이 안정적으로 규모를 확장할 수 있도록 S/W 비용에 대한 투자 확대 및 많이 사용되고 있는 S/W에 대한 공동구매와 공동활용을 위한 인프라, 서비스 관련 국가 R&D 과제를 신설해야 한다.

한편으로 국내 계산과학공학의 확산과 인지도 향상을 위하여 성공사례 발굴 및 홍보 강화 방안이 필요하다. 계산과학공학을 이용하여 경비절감, 효율성 향상, 새로운 발견 등의 성공사례를 창출할 수 있는 신규 과제 발굴해야 한다. 또한 이러한 과제들의 성공사례를 대학교 및 정부출연연구소 등에 홍보하여 계산과학공학에 대한 인지도를 높이고, 계산과학공학으로 학생 및 연구자들의 진입을 촉진시켜야 한다. 또한 이렇게 유입되는 비계산과학공학 연구자들이 쉽게 계산과학공학을 사용할 수 있는 S/W 플랫폼 개발을 통하여 진입장벽을 낮추는 과제 진행이 필요하다. 이러한 다양한 계산과학공학을 위한 전방위적이고 국가적인 R&D 지원이 각 기관과 과제간의 체계적이고 유기적인 협력과 조율을 통해서만이 효과적인 계산과학공학의 진흥을 이끌어 낼 것이다.

참고문헌

곽지훈, (2009), “서울대학교 계산과학 협동과정 교육 및 연구 현황”, 『Supercomputing』, 17 : 23-27.

국가과학기술자문회의 (2004), “계산과학공학의 육성방안 연구”.

한국과학기술정보연구원 (2012), “대용량 과학기술 실험데이터 공동활용 및 활성화 연구”.

한국과학기술정보연구원 (2015), “Future Intelligence 제2호”.

한국과학기술정보연구원 (2015), “Future Intelligence 제3호”.

한국과학기술정보연구원 (2015), “Future Intelligence 제4호”.

한국연구재단 (2014), “국가 초고성능컴퓨팅 개발 활용 선도 인력양성 계획연구”.

Angela B. Shiflet, George W. Shiflet (2014), *Introduction to Computational Science: Modeling and Simulation for the Sciences (2nd Edition)*, Princeton University Press.