

# 공용 슈퍼컴퓨터 운영효과에 대한 경제성 분석

## (An Economic Analysis on the Operation Effect of Public Supercomputer)

이 형 진<sup>1)</sup>, 최 윤 근<sup>2)</sup>, 박 진 수<sup>3)\*</sup>

(Lee Hyung Jin, Choi Youn Keun, and Park Jinsoo)

**요약** 본 논문에서는 슈퍼컴퓨터 공동 활용의 효과에 대한 경제성 분석을 비용편익분석 방법을 통해 수행한다. 슈퍼컴퓨터를 활용함에 있어 국가센터 등에서 중앙 집중형 범용 시스템을 운영 및 서비스하는 체제와 개별 기관들이 자체적으로 구축·운영하는데 소요되는 비용을 추정하여 비교한다. 공동 활용의 경우 기존 슈퍼컴퓨터 도입 및 운영 실적에 근거하여 비용을 쉽게 추정할 수 있다. 그러나 개별 사용에 소요되는 비용은 실제로 운영하고 있지 않은 관계로 슈퍼컴퓨터의 성능 및 기반시설, 인적 요인 등에 의한 변동성을 고려한다면 그 추정이 매우 어려운 실정이다. 따라서 본 논문에서는 개별 사용 비용을 산출하는 객관적이고 타당한 방법을 제시하고 두 대안의 비용을 비교하여 공용 슈퍼컴퓨터 운영·서비스가 경제적 측면에서 얼마나 효과적인지를 분석한다. 분석결과에 따르면 공용 슈퍼컴퓨터의 활용이 개별 사용에 비해 운영비용 측면에서 연평균 약 103억원, 6년간 총 620억원이 절감된다. 따라서 공용 슈퍼컴퓨터의 활용은 개별 도입에 비해 상당한 규모의 경제적 효과를 가져 올 것으로 판단된다.

**핵심주제어** : 슈퍼컴퓨터, 경제성 분석, 비용편익분석, 현재가치

**Abstract** We performs the cost-benefit analysis, an economical analysis technique, to measure the effect of a shared public supercomputer. The costs of two given alternatives, to share the public supercomputer in a national center and to employ their own supercomputers in the organizations under the necessity, will be estimated and compared for decision making. In the case of sharing, we can simply predict the cost based on the results of the previous public supercomputer. The cost of individual introduction, however, is almost unpredictable since it has a remarkable variability due to the required system performances, locations, human factor, and so on. Accordingly, an objective and valid method to estimate the cost of individual cases will

\* Corresponding Author : jsf001@yongin.ac.kr

+ This work was supported by the Program of Construction and Operation for Large-scale Science Data Center funded by KISTI and by the Program of the Global hub for Experiment Data of Basic Science funded by the NRF.

Manuscript received May 16, 2018 / revised July 14, 2018 / accepted August 7, 2018

1) 한국과학기술정보연구원 대용량데이터허브센터, 제1저자  
2) 한국과학기술정보연구원 슈퍼컴퓨팅서비스센터, 제2저자  
3) 용인대학교 경영정보학과, 교신저자

be proposed in this research. Finally, we analyze the economic effect of operating public supercomputer by comparing the sharing cost with that of the individual employs. The results of analysis confirms that the sharing public supercomputer will reduce the operational cost about 10.3 billion won annually compared with the individual introduction. Accordingly, it is expected that the sharing public supercomputer will bring a considerable economical effect.

**Key Words** : Supercomputer, Economical Analysis, Cost-Benefit Analysis, Present Value

## 1. 서 론

초고속 연산을 수행하는 핵심적 인프라인 슈퍼컴퓨터(Supercomputer)는 학계 또는 기업에서 과학기술의 발전을 위해 반드시 활용해야하는 설비 중 하나이다. 그러나 슈퍼컴퓨터 시스템은 구축비용은 물론 운영에 있어서도 전문 인력이 소요되는 등, 비용, 공간, 인적 측면에서 매우 높은 비용이 발생한다. 또한 시간이 경과함에 따라 시스템 성능이 상대적으로 저하되기 때문에 일정기간 운영 후에 새로운 설비로 대체해야 한다. 슈퍼컴퓨터의 비용은 비단 성능저하에서만 크게 발생하는 것이 아니라 활용을 위한 네트워크 및 저장장치, 소프트웨어 등의 자원에 있어서도 발생할 수 있다. 이는 신규 개발되는 슈퍼컴퓨터의 성능이 지속적으로 향상되고 있으며[7-8] 최근 발생하는 데이터의 양이 기하급수적으로 증가하고 있기 때문이다. 이에 따라 국내 슈퍼컴퓨팅자원을 상호 연동하여 국가 과학기술 개발에 활용을 극대화하기 위해 ‘국가 슈퍼컴퓨팅 공동 활용 체제 구축사업 (Partnership and Leadership for National-Wide Supercomputing Infrastructure, PLSI)’을 추진한 바 있으며 [9][10] 한국과학기술정보연구원(Korea Institute of Science and Technology Information, KISTI)에서는 슈퍼컴퓨팅 기술을 활용하여 과학기술정보(Science and Technology Information, STI) 서비스 기반시설(Infrastructure)인 슈퍼컴퓨팅센터를 구축하여 운용중이다[13].

공적 연구개발을 진흥하는 정부는 연구자들에게 슈퍼컴퓨팅 자원을 효과적으로 제공하여 기초과학 및 공학적 문제 해결을 지원하고 있다. KISTI의 슈퍼컴퓨팅센터는 2011년 제정된 슈퍼

컴퓨팅 육성 법률 시행령에 의거한 국가 센터로서 본 연구의 분석 대상으로 설정하였다. 향후 4차 산업혁명의 핵심 분야인 빅데이터 분야와 관련하여 슈퍼컴퓨터는 매우 중요한 역할을 한다. 특히 중소기업과 같은 소규모 연구기관은 물리적, 경제적 한계에 의하여 슈퍼컴퓨팅 자원의 확보에 있어 정부지원이 필요한 실정이다. 정부의 지원은 결국 예산 지출과 세수 확보의 순환구조를 지니게 되므로 경제성 분석이 요구된다. 본 연구에서 수행하는 경제성 분석은 향후 설치될 컴퓨팅 시설의 의사결정에 있어서도 중요한 역할을 하게 될 것이다.

슈퍼컴퓨터의 도입비용은 하드웨어 설비 자체의 비용도 중요하지만 설비가 차지하는 공간도 무시할 수 없기 때문에 높은 비용이 지속적으로 발생하게 된다. 유지보수를 위한 인력 측면에서의 비용과 소프트웨어적 측면을 고려한다면 비용은 더욱 증가하게 된다. 국가센터인 KISTI에서는 지난 1988년부터 국내 최고 사양의 공용 슈퍼컴퓨팅 서비스를 지속적으로 제공하고 있으며 2009년 11월에는 4호기인 TYCHYON II를 도입하여 운영 중이다. 그러나 보통 슈퍼컴퓨터는 그 수명을 5년여로 규정하고 있어 현재는 슈퍼컴퓨터 5호기의 도입이 진행되고 있는 상황이다. KISTI는 2016년 슈퍼컴퓨터 5호기 도입에 착수하였으며 2018년 1월부터 시범 서비스를 시작할 계획이다.

슈퍼컴퓨터의 운영효과를 분석하기 위해서는 각 기관이 슈퍼컴퓨터를 자체적으로 운영하는 상황과 비교하여 분석해야 한다. 공용 슈퍼컴퓨터의 사용이 주는 편익을 개별적 사용과 비교하는 것은 현실적으로 불가능하다고 보아야 한다. 그러나 공동 활용이든 개별 사용이든 간에 그

성과물만을 놓고 보면 크게 다르지 않다고 가정할 수 있다. 공동 활용의 경우 물리적 거리의 차이에 의해 발생하는 비용적 요소, 연구현장에 직접 설치를 통한 심리적 안정성 등의 요소 등이 비용 또는 편익으로 고려될 수 있다. 그러나 대부분의 국내의 슈퍼컴퓨터 활용 목적은 응용 소프트웨어 사용을 통한 연구수행이다. 이는 KISTI에서 서비스하고 있는 컴퓨팅 자원만으로도 충분히 연구를 수행할 수 있는 환경이다. 따라서 부가적인 비용과 편익을 고려하지 않는다고 해도 슈퍼컴퓨터 활용의 궁극적인 목적을 달성할 수 있다고 볼 수 있다. 따라서 본 연구는 두 투자안의 비용만을 고려하여 비교 분석을 수행하기 위해 개별 도입에 의해 창출된 편익을 기준으로 측정하여 비용을 추정하였으며 이는 본 연구가 갖는 차별성이라 할 수 있다.

경제성 분석에 있어서 가장 중요하지만 어려운 것은 비용이나 편익을 추정하는 방법이다. 앞서 언급한 바와 같이 편익을 배제한다 하더라도 비용의 추정은 매우 까다롭다. 일반적으로 과거에 유사한 시스템이 존재한 경우 발생했던 비용에 근거하여 추정할 수는 있다. 그러나 현존하지 않는 새로운 시스템에 대한 비용은 상황이나 시점에 따라 그 변동성이 매우 높기 때문에 정확한 추정이 현실적으로 불가능하다. 본 논문의 분석 대상 중 공용 슈퍼컴퓨터의 활용은 기존 4호기의 비용실적 정보와 5호기의 운영 및 도입에 관한 정보가 있기 때문에 비교적 용이하게 그 비용을 추정할 수 있다. 이에 반해 각 조직의 개별적 도입 및 운영비용은 슈퍼컴퓨터의 최소 필요 성능, 공간 및 기반적 문제, 소프트웨어, 운영인력 등에 의해 결정되므로 그 비용추정이 매우 어렵고 복잡해진다. 따라서 본 논문에서는 객관적이며 타당한 비용절감효과 계산방법을 적용하여 개별 사용의 최소 비용을 추정해 보고자 한다. 대부분의 기존연구가 슈퍼컴퓨터 도입에 따른 성능의 우월성에 대한 경제성 분석 또는 국내외 설치에 대한 위치적 분석인 반면 본 연구는 국내 설치 및 사용에 대한 동일한 상황 하에서의 분석이라는 점에 그 차별성이 있다. 또한 물리적 차원이 아닌 정보처리 단위를 고려한 새로운 비용 산출 방법론을 제시한 것에

학술적 가치를 둘 수 있다. 제안된 비용절감효과 계산에 의한 비용 추정 방법은 본 논문과 유사한 투자 상황 하에서의 보편적 방법으로 사용될 수 있을 것이다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 선행연구를 기술하고 본 연구가 갖는 차별성을 보다 구체화한다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 연구 방법 및 가정을 제시하고 기준투자대상을 선정한다. 4장에서는 두 투자안과 각각의 비용 추정 방법을 상술하고 제안된 방법에 따라 추정된 비용을 비교분석한다. 마지막으로 5장에서는 본 연구의 결과를 요약하고 추후 연구 과제를 제안한다.

## 2. 선행연구

### 2.1 경제성 분석방법

경제성 분석은 해당 사업이 어느 정도의 경제적 효과가 있는지를 사회적 또는 국가 관점에서 파악하기 위한 것으로 비용편익분석, 비용효과분석, 비용효용분석 등이 있다. 우리나라는 예비타당성조사에 있어 비용편익분석과 비용효과분석을 정책적으로 권하고 있다(“2018년도 예비타당성조사 운용지침”, 기획재정부, 2018). 대안 선택과 같은 의사결정에 있어 각 대안의 시간적 지속성을 고려한 일관적이고 객관적인 방법 중 대표적인 기법은 비용편익분석이다[1]. 비용편익분석은 매우 다양한 분야의 경제성 분석을 위해 응용되는 방법으로서 대표적인 평가기법으로는 순현재가치법, 비용편익비율법, 내부수익률법 등이 있다[11]. 특히 비용편익분석은 환경적 요인과 같이 정량적 비용을 직접 산출하기 힘든 경우에도 활용이 가능하다[5,18]. 비용효과분석은 대안 평가에 있어 그 성과를 정량적 화폐가치로 측정하기 어려운 경우에 활용되는 방법이다. 즉, 비용이 투자되는 반면 편익은 각 상황에 맞는 정성적 결과로서 건강관리(Healthcare) 또는 의료분야의 경우 질보정수명(Quality-Adjusted Life Years, QALY)으로 대표된다[2][4]. 비용효용분석은 효용을 편익으로 다루는 방법으로서 비용

효과분석의 특별한 경우로 볼 수 있다.

본 연구에서 사용된 비용편익분석의 평가기준은 비용에 대한 순현재가치(Net Present Value, NPV)이다. 현재가치는 사회적 할인율  $r$ , 분석기간  $T$ 에 대해 다음과 같이 정의 된다.

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (1)$$

여기서  $B_t$ 는 분석기간 중  $t$  시점의 편익 추정치이며  $C_t$ 는 비용을 의미한다. 평가기준에 있어 비용편익비율은 순현재가치가 작음에도 투자 규모가 작아 편익비용비율이 높게 추정되는 경우가 존재한다. 따라서 편익비용비율은 자본제약이 있으면서 여러 가지 상호독립적인 투자 사업들이 선택되어야 할 경우에 유용하다. 내부수익률(Internal Rate of Return, IRR)은 사회적 할인율을 추정할 필요가 없으나 계산과정이 복잡하고 다수의 내부수익률이 나타날 수 있다는 문제점이 존재한다. 또한 본 연구는 편익을 고려하지 않으므로 비용편익비율과 내부수익률은 평가기준으로 부적합하다. 편익을 고려하지 않으면 비용편익비율의 계산이 불가능한 것은 자명하다. 내부수익률은 순현재가치를 0으로 만드는 할인율로 정의되는데 본 연구의 경우 식 (1)의 편익에 해당하는 항이 정의되지 않으므로 내부수익률 역시 정의되지 않는다.

## 2.2 경제성 분석방법

본 절에서는 기존의 경제성 분석 관련연구들 중에서 본 연구와의 연관성을 고려하여 비용편익분석 기법을 적용한 연구들을 살펴본다. 대부분의 선행연구는 앞서 언급한 평가기준인 순현재가치, 비용편익비율, 내부수익률 등을 일반적으로 적용하지만 비용을 추정하는 방법은 상황에 따라 다양하다. Kim 등은[6] GIS사업의 비용편익분석 평가모형을 정의하고 평가절차, 평가지침, 평가방안, 비용과 편익항목을 제시하였다. 비용의 경우 기존의 연구사례를 적용하여 다양한 항목을 구성하여 추정하였으며, 편익의

경우 조직내부의 비용절감과 비용회피, 조직외부의 민원서비스 향상 편익, 세입증대 등으로 구분하였다. Jeong과 Lee는[12] RFID 도입에 대한 비용편익분석 모형을 제시하였다. 해당 연구는 도입에 대한 정량적 편익은 물론 SCOR(Supply Chain Operations Reference) 모형을 적용하여 정성적 효과를 반영하였다. 반영한 효과 항목으로는 주문 프로세스 개선, 생산 프로세스 개선, 운영 프로세스 개선, 계획 프로세스 개선, 재고관리 프로세스 개선 등을 들 수 있다. Song 등[14]은 비용편익분석을 이용하여 컴퓨팅 및 데이터 센터의 경제성과 과급효과를 분석하였다. 해당 연구는 센터설립에 관련된 분석이므로 센터를 설립해서 절감되는 방문비용을 편익으로 산출하였다. De Assunção 등은[15] 클라우드 컴퓨팅 환경 하에서 자원의 용량 확장에 대한 비용편익 분석을 수행하였다. 해당 기관에서 사용하는 스케줄링 전략을 적용하여 시뮬레이션을 구축·수행하고 그 결과를 바탕으로 비용을 추정하였다. Kim 등은[17] 국내 클라우드 컴퓨팅 서비스 투자 및 경제적 효과에 대한 경제성 분석을 사례분석을 통해 수행하였다. 클라우드 컴퓨팅 서비스가 기업에 가져올 수 있는 비용절감만을 편익으로 계상하였다. 유지보수 비용, 사용료, 리스 비용 등을 이용하여 각 투자대안에 대한 비용을 추정하고 순현재가치 비교를 수행하였다. Lajunen은[18] 하이브리드형 버스와의 전기 버스의 비용편익분석을 수행하였다. 해당 연구는 에너지 소비에 초점을 맞추고 다양한 설정 하에서의 시뮬레이션 모형을 수립, 이를 이용하여 비용을 추정하였다. An 등은[19] 지능형 식품 포장 및 유통관리 시스템의 도입 대안들에 대한 비용편익분석을 수행하였는데, 공급망 참여자별 활용도의 관심에 따라 적용 범위, 적용 장비, 적용 시나리오별 경제성 분석 자료를 제공하였다.

국내의 슈퍼컴퓨터센터 또는 슈퍼컴퓨터에 관련된 경제성 분석은 극히 드물다. Lee는[3] 슈퍼컴퓨터센터가 수행한 과제들의 활용사례를 통해 경제적 효과를 분석하였다. 해당 연구는 슈퍼컴퓨터의 활용효과가 투자대비 20배 이상의 경제적 효과를 보여줌을 입증하였으나 해당 연구의

발표시기가 1998년인 것을 고려한다면 현재의 상황과는 상이할 것으로 판단된다. Kim 등은 [16] 중소기업 슈퍼컴퓨팅 서비스의 연간 경제적 가치를 직접적 경제 가치와 이로부터 파생되는 간접적 경제 가치로 구성하여 분석하였다. 직접적 경제 가치는 제품개발 비용감소, 제품개발 기간 단축, 시장선점 등에 의해 발생하는 가치로 판단하고 이를 수혜 기업의 설문조사 결과를 바탕으로 산출하였다. 간접적 경제 가치는 생산유발 효과를 고려하여 산업연관분석법을 적용하였다.

본 연구는 선행된 경제성 분석 연구들과는 다른 새로운 비용추정 방법을 제시한다. 슈퍼컴퓨터 도입에 따른 운영 측면에서의 비용을 추정하기 위해 비용절감 효과계수를 체계적인 방법으로 도출한다. 개별 도입과 공동 활용의 편익차를 최소한으로 줄이기 위해 개별 도입을 기준투자로 설정하고 동일한 편익을 보장하는 공동 활용 비용을 산출하여 적용한다. 앞서 살펴 본 슈퍼컴퓨터 관련 선행연구들과는 다른 관점에서의 분석이라는 점과 시기적 차이점을 고려한다면 본 논문은 기존과는 차별적인 연구결과를 제시한다고 볼 수 있다.

### 3. 연구모형

#### 3.1 연구방법 및 가정

일반적으로 비용편익 분석은 여러 대안 중에서 목표 달성에 가장 효과적인 대안을 찾기 위해 각 대안이 초래할 비용과 편익을 비교 분석한다. 그러나 본 연구의 주요 목적은 공용 슈퍼컴퓨터의 도입 효과를 분석하는 것이므로 대안 시스템과의 비교 분석은 현실적으로 불가능하다. 다만 기존에 슈퍼컴퓨터를 사용하는 기관들이 그들의 필요성능을 공용 슈퍼컴퓨터가 대신한다는 가정을 통해 기존 기관들의 개별 사용과 공동 활용을 투자 대안으로 설정하면 대안의 비교가 가능해진다. 따라서 본 연구에서는 각 기관의 자체 도입 및 사용과 국가센터의 슈퍼컴퓨

팅자원을 공동 활용하는 두 대안에 대한 비용편익 분석을 수행함으로써 국가센터의 공용자원 이용이 각 기관의 개별이용에 비해 얼마나 많은 편익을 가져올 수 있는지 파악해 보고자 한다.

두 대안을 비교하기 위해서는 각 대안에 대한 비용편익비, 현재가치, 내부수익률 등의 경제성 평가를 수행하여 이들을 비교해야 하지만 본 연구에서는 편의상 각 기관의 자체이용을 기준투자로 두고 이에 상대적으로 국가센터의 공용자원이용을 대체투자로 정하여 대체투자가 기준투자에 비해 가져올 수 있는 비용과 편익의 절감 또는 증대 효과를 현재가치로 환산하고자 한다. 즉, 본 연구는 각 기관들이 고가의 슈퍼컴퓨팅자원을 구매하는 대신 국가센터의 슈퍼컴퓨팅자원을 이용함으로써 발생하는 기회비용적인 편익을 추정하여 투자비용의 절감 효과를 산정하려는 시도이다.

두 대안의 경제성평가를 위해서는 비용과 편익을 모두 고려해야 하겠지만 두 대안 모두 슈퍼컴퓨터를 사용한다는 전제하에 있으므로 이를 통한 연구나 개발의 성과적 측면만 고려한다면 편익부분은 동일하다고 가정할 수 있다. 따라서 두 대안에 필요한 비용만을 고려해도 의사결정에는 충분하다 할 것이다. 그러나 기준투자의 비용추정이 현실적으로 불가능하기 때문에 본 연구에서는 대체투자의 비용분석을 선행한다. 대체투자인 공용 슈퍼컴퓨터 도입의 경우 이미 기존에 사용 중인 4호기가 있으므로 이를 바탕으로 고정비용접근법을 사용하여 비용을 추정할 수 있다.

대체투자 비용절감 효과는 다음과 같이 크게 세 가지 측면에서 측정이 가능하다. 첫째, 하드웨어 시스템의 비용절감이다. 개별 기관들이 슈퍼컴퓨터 및 건물을 따로 구입하지 않고 공동 이용할 경우 발생하는 기회비용이라 할 수 있다. 둘째는 소프트웨어 비용절감으로서 개별 기관들이 소프트웨어를 따로 구입하지 않고 공동 이용할 경우에 발생하는 기회비용이다. 마지막으로 운영 인력 임금 절감을 들 수 있다. 개별 기관들이 슈퍼컴퓨터 운영 및 유지를 위해 따로 인력을 채용하지 않고 공동 이용할 경우 발생하는 기회비용을 나타낸다. 또한 사용기관별 필요성능을 산정하기 위해 연중 최대사용주간, 즉

사용시간이 가장 많은 주의 총 이용시간을 충족시킬 수 있는 기종을 기관별로 도입한다고 가정한다. 그러나 슈퍼컴퓨터와 소규모 서버 집합은 같지 않으므로 여러 사용기관 중 반드시 슈퍼컴퓨터가 필요한 기관을 대상으로 하며 슈퍼컴퓨터를 사용하는 기관 중 세계 상위 500위 정도의 시스템을 활용하는 기관을 대상으로 기준을 설정하고 분석을 수행한다. 또한 슈퍼컴퓨터 4호가 도입된 이후 시스템 활용이 성숙단계에 들어선 2012년의 요구 성능을 기준으로 수행한다.

### 3.2 기준투자 대상선정

2009년 국가센터에 도입된 슈퍼컴퓨터 4호기 TYCHYON II는 32,000개 코어를 갖는 CPU 클러스터로 구성되어 있으며 도입당시 실측성능이 세계 14위를 기록했다. 세계 500위에 해당하는 영국의 University of Reading에서 사용하는 슈퍼컴퓨터의 실측성능인 20.051테라플롭스(Terra-Floating Point Operations Per Second, TFLOPS)를 훨씬 웃돌고 있다. 따라서 본 연구에서는 2009년 11월 당시의 성능치

를 기준으로 세계 상위 500위 내에 있는 기관과 동일하거나 그 이상인 성능의 슈퍼컴퓨팅 자원을 필요로 하는 국내 사용기관을 대상으로 분석을 수행하였으며 중소규모의 서버급 성능을 필요로 하는 기관은 분석대상에서 제외하였다. 이와 같은 기준으로 분석대상기관을 정리해 보면 Table 1의 결과와 같다. Table 1의 첫 열은 슈퍼컴퓨터가 필요한 상위 13개 기관으로서 대학, 연구소 등으로 구성되어있다. 편의상 잘 알려진 기관 또는 국가 기관의 경우 대문자로 약자를 표기하였다. 대표적인 기관으로는 서울대학교, 한국과학기술정보연구원, 포항공과대학교 등을 들 수 있다. Table 1에서 보는 바와 같이 가장 높은 성능이 필요한 서울대학교가 세계 순위 43위인 프랑스의 Total Exploration Production과 유사하기 때문에 세계 순위 14위인 4호기는 이를 충분히 만족시킬 수 있다. 이와 같이 개별 사용을 기준투자로 설정한 이유는 개별 사용에 의해 발생할 편익 요소를 기준으로 삼아 공동 활용이 동일한 편익을 가져올 것이라는 가정을 보장하기 위함이다.

Table 1 Required Performances of Supercomputers in Korean Top 13 Ranked Institutions Comparing with World-Widely Ranked Institutions

Korean Institution	Required Performance (TFLOPS)	World-wide Ranking in 2009*				
		Rank	International Institution	Nation	Actual Performance (TFLOPS)	Ideal Performance (TFLOPS)
SNU	105.6	41	Total Exploration Production	France	106.1	122.9
KISTI	56.0	83	ERDC MSRC	US	56.3	71.1
POSTECH	52.7	87	IDRIS	France	52.8	67.4
Yonsei Univ.	50.1	95	Kyoto University	Japan	50.5	61.2
KIST	37.4	142	Automotive Company	Japan	37.4	48.9
KIAS	36.4	151	Financial Institution	Spain	36.4	68.9
Korea Univ.	33.1	179	Logistic Services (C)	US	33.0	62.2
KAIST	26.9	277	Purdue University	US	26.8	52.2
KRISS	26.3	298	Financial Institution (D)	Germany	26.2	49.2
S. W. Univ.**	26.0	301	Merlion Trade GmbH	Austria	25.9	32.6
Chosun Univ.	22.7	436	Caltch	US	22.6	37.7
GIST	20.7	486	China Petroleum University	China	20.6	29.5
Hangyang Univ.	20.6	487	Food Industry	UK	20.6	38.4

\*Top500 List - November 2009 : TOP500 Supercomputer Site. <http://www.top500.org/list/2009/11>

\*\*Sookmyung Women's University

## 4. 분석방법 및 결과

### 4.1 대체투자의 비용절감 효과 추정

기준투자인 슈퍼컴퓨터의 개별 사용에 대한 비용 추적은 간단하지 않다. 사용지역이나 요구 사양에 따라 그 변동성이 매우 크기 때문에 비용을 추정하더라도 정확한 값이라 할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 보다 객관적인 판단을 위해 각 기관의 CPU 클러스터 점유시간을 기준으로 하여 기준투자가 대체투자에 비해 얼마만큼의 비용절감 혹은 비용증가를 가져오는지 산출하여 비용절감 효과를 추정하고자 한다. 합리적 비용절감 효과를 계산하기 위해서는 최악의 상황, 즉 자원을 가장 많이 소모하는 상황을 고려해야 한다. 따라서 먼저 기준투자에 있어 연중 점유시간이 가장 긴 주간의 총 CPU 사용시간을 연중 최대사용주간의 점유시간(Occupancy Time in the Peak Week, OTPW)이라 정의하고 이를 계산한다. Table 1에 선정된 기관들을 대상으로 연중 OTPW와 그 합을 계산하면 Table 2와 같다. 이는 KISTI의 슈퍼컴퓨터 운용현황 보고서(2012년 12월)에 의한 결과이다. Table 2에 나열된 결과는 2012년 기준 환산결과이며 이는 2012년에 4호기의 가장 많은 자원을 사용했기 때문이다. 이러한 연중 OTPW는 각 기관이 최소한으로 필요한 자원을 정량화 한 것이라 볼 수 있다. 따라서 선정된 기준투자 기관들의 연중 OTPW를 모두 합하면 기관들이 개별 슈퍼컴퓨터를 구비하여 사용해야 하는 필요 자원의 총 합이다. 2012년 당시 슈퍼컴퓨터 4호기의 평균 주간 제공가능 점유시간은 4,300,800 시간이다. 즉 슈퍼컴퓨터를 분석대상 13개 기관이 공동으로 사용해도 연중 OTPW에 대한 요구 성능을 4,300,800 시간으로 만족시킬 수 있다는 의미이다. 이를 재해석하면 대체투자의 4,300,800 시간이 기준투자의 8,050,209 시간을 대체할 수 있다고 볼 수 있는 바 기준투자가 대체투자보다 약 1.8718배 ( $8,050,209 / 4,300,800$ ) 정도의 비용이 더 든다고 판단할 수 있다. 따라서 1.8718의 역수인 0.5342를 대체투자의 비용절감 효과계수로 볼 수 있다. 즉 대체투자인 슈퍼컴퓨터 공동

활용 비용을 비교적 정확히 추정하면 이에 1.8718배를 한 비용이 기준투자인 개별 사용의 최소비용이 될 것이다.

Table 2 Occupancy Time in the Peak Week for the Target Institutions (2012)

Institution	Occupancy time (hour)
SNU	1,652,083
KISTI	876,500
POSTECH	825,254
Yonsei Univ.	784,207
KIST	584,989
KIAS	569,352
Korea Univ.	517,776
KAIST	420,638
KRISS	411,557
S. W. Univ.	406,207
Chosun Univ.	354,819
GIST	323,917
Hanyang Univ.	322,909
Total	8,050,209

### 4.2 비용추정 및 분석

먼저 대체투자인 국가센터에 의한 공용 슈퍼컴퓨터의 연간 비용을 고정비용접근법으로 추정해 보자. 2016년과 2017년에 발생한 비용은 기발생비용으로서 추정치가 아닌 실제 값을 사용할 수 있다. Table 3은 KISTI에서 5호기를 도입하기 위해 2016년부터 2017년까지 실제 집행한 예산을 요약한 결과이다. 이중 초기 설비에 사용된 금액은 기준투자인 개별 사용과의 비교가 불가능하기 때문에 메인시스템에 필요한 하드웨어 비용, 소프트웨어 비용, 그리고 운영 인력 비용만으로 비용을 측정해야 한다. 물론 초기 기반시설 관련 비용은 개별적으로 도입할 경우 그 비용이 슈퍼컴퓨터 사용 조직 수에 근사적으로 정비례하여 막대한 비용이 발생하게 되겠지만 그 비용을 산출하기 매우 어렵고 각 조직에서 필요로 하는 성능, 예산 등의 문제로 인해 조직별로 서로 크게 다를 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 해당 항목을 제외하고 순

수하게 연구 및 기술개발에 사용되는 자원 위주의 비용만을 측정하여 해당 항목을 비교함으로써 분석의 객관성을 높이고자 한다. 즉 2016년과 2017년의 비용 중 임대료와 소프트웨어 비용인 9,161백만원이 순수 운영에 소요된 비용으로 보고 2018년 이후의 비용은 메인시스템에 대한 임대료, 소프트웨어 비용, 운영 인력 비용의 세 가지 항목에 대해서만 고려하도록 한다.

Table 3 Execution of the Budget for the Supercomputer No. 5

Process	Executed cost (million won)	
	2016	2017
Infrastructure	design	383
	supervision	-
	input current	1,211
	construction	- 12,034
	spare power source	1,139 7,032
	reserve	11 2,729
Lease payment for main system (supercomputer)		6,926
Software environment		2,235
Total		2,744 32,256

2018년 이후의 비용은 다음과 같이 추정할 수 있다. 먼저 임대료(Lease Payment)의 경우 시스템 가격인 약 548억(54,800백만)원을 30개월간 10회 분할하여 납부하는 방식으로 초기 3개월간인 2017년 말에 약 70억원(Table 1의 6,926백만원)을 1회 납부하였고 나머지 27개월간 9회에 걸쳐서 회당 약 55.4억(5,540백만=47,874백만/9회+수수료)원씩 분납한다. 다음으로 소프트웨어 비용의 경우 2017년 신규 라이선스 구매비용 1,335백만과 기존 소프트웨어 유지보수비 900만에 해당하는 2,235백만원이 이미 발생하였고 매년 기존 소프트웨어 유지보수비 900만원과 신규 구입한 소프트웨어의 라이선스 갱신비용을 구입비의 33%로 계산하면 445백만원으로 총 1,345백만원의 비용이 예상된다. 마지막으로 운영인력 임금의 경우 KISTI 슈퍼컴퓨팅센터에서 운영된 기존 4호기에 대한 2017년의 임금 1,327백만원에 사회적 할인율 4.5%("예비타당성조사 수행 총괄지침", 기획재정부, 2018)를 적용하여 추

정이 가능하다. 이와 같은 방법으로 2018년부터 2022년까지 5년간의 운영비용을 추정하여 정리해 보면 Table 4와 같다.

Table 4 Prediction of Operating Cost for the Supercomputer No. 5

Category	Predicted cost* (million won)					
	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Hardware	6,926	22,160	22,160	5,540	-	-
Software	2,235	1,345	1,345	1,345	1,345	1,345
Manpower	-	1,387	1,449	1,514	1,582	1,653
Total	9,161	24,892	24,954	8,399	2,927	2,999

\*All the values rounded off to the nearest whole number.

기준투자안인 슈퍼컴퓨터의 개별 도입에 의한 사용의 비용은 앞 절에서 설명한 바와 같이 대체투자의 운영비용을 대체투자의 비용절감 효과계수인 0.5432로 나누어 추정할 수 있다. Table 5는 기준투자와 대체투자를 비교하기 위해 2017년부터 2022년까지 6년간의 연간비용을 KDI 지침인 4.5%의 할인율을 적용하여 2018년 현재가치(Present Value, PV)로 환산하여 정리한 결과이며 기준투자의 경우 십만 자리에서 반올림한 결과이다. 앞서 설명한 바와 같이 기준투자의 총비용은 물론 운영비용도 직접 추정이 어렵기 때문에 비용절감 효과계수를 적용하여 그 최소비용을 추정한 결과로 볼 수 있다. Table 5의 결과로부터 운영비용의 현재가치를 비교해 보면 대체투자인 공용 슈퍼컴퓨터의 활용이 기준투자인 개별 도입 사용에 비해 연평균 약 103억(10,333백만)원 절감됨을 알 수 있으며 총 비용으로는 약 620억(61,999백만)원 절감됨을 알 수 있다.

Table 5의 결과에서 추정된 기준투자의 비용은 전체 비용이 아닌 최소 운영비용임에 주의해야 한다. 따라서 Table 5에 제시된 대체투자의 비용절감은 최소한의 절감효과만을 보여준다고 판단할 수 있다. 이에 개별 도입에 따른 설비비용 및 시스템의 안정적 운영을 위한 여유율 등을 포함한 전체 비용을 고려한다면 대안투자인 공용 슈퍼컴퓨터의 활용에 의한 비용절감 효과는 더욱 클 것임을 확인할 수 있다.



Table 5 Comparison of Present Values between Two Investment Proposals (2018)

Investment	Present value of predicted cost* (million won)						Total
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
Alternative	9,573	24,892	23,880	7,692	2,565	2,515	71,116
Standard	17,919	46,592	44,698	14,397	4,802	4,707	133,115
Difference	8,346	21,701	20,818	6,705	2,236	2,192	61,999

\*All the values rounded off to the nearest whole number.

본 연구에서 제안된 비용절감 효과계수는 민감도 분석에 매우 유용하다. 기준투자인 개별 도입이 대체투자인 공동 활용에 비해 그 운영비용이 1.8718배이므로 선형적인 관계로 해석된다. 기준투자 비용  $C_S$ 와 대체투자 비용  $C_A$ 의 차액  $C_D$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$C_D = C_S - C_A = 1.8718C_A - C_A = 0.8718C_A \quad (2)$$

결국 비용 절감액은 대체투자의 0.8718배로 표현된다. 사회적 할인율  $r$ 에 대해 대체투자의 2018년 순현재가치  $NPV_A$ 는 식 (1)의 좌측 항에 의해 다음과 같이 정의된다.

$$NPV_A = 9161(1+r) + 24892 + 24954(1+r)^{-1} + 8399(1+r)^{-2} + 2927(1+r)^{-3} + 2999(1+r)^{-4} \quad (3)$$

물론 기준투자의 순현재가치는 식 (2)에 의해  $NPV_S = 1.8718NPV_A$ 로 표현된다. 따라서 식 (2), (3)을 활용한다면 다양한 상황 하에서의 민감도 분석이 가능할 것이다.

## 5. 결론

본 연구에서는 국가센터인 KISTI에서 관리하는 공용 슈퍼컴퓨터의 활용이 각 조직의 개별 도입 사용에 비해 얼마나 큰 비용절감효과를 얻을 수 있는지 비용편익분석을 통해 확인하였다. 편익효과에 대한 부분은 동일하다는 가정 하에

비용만을 추정하여 비교하였으며 추정이 거의 불가능한 개별 도입 사용의 비용추정에 대한 객관적이고 합리적인 방법을 제시하였다. 2018년 현재가치로 환산한 분석결과에 따르면 대체투자인 공용 슈퍼컴퓨터의 활용이 기준투자인인 개별 도입 사용에 비해 연평균 약 103억원, 2017년부터 2022년까지 6년간의 총 비용이 약 620억원 절감될 수 있다는 결과를 확인하였다. 본 결과로부터 기준투자인 개별 도입 사용의 비용이 운영비용의 최소 추정치이며 설비비용을 감안한다면 비용절감 효과는 훨씬 더 높을 것으로 예상할 수 있다.

본 연구에서는 기준투자에 대한 최소 운영비용만을 고려하였으나 설비비용 및 실제 비용을 시뮬레이션과 같은 시행착오적 접근방법을 이용한다면 보다 정확한 비용을 추정할 수 있을 것이다. 그러나 본 연구의 목적은 공용 슈퍼컴퓨터의 운영효과를 판단하기 위한 근거를 제시하는 것이므로 그 효과가 입증된 이상 보다 상세한 결과를 얻는 것은 무의미할 것으로 판단된다. 추후 연구과제로는 공용 슈퍼컴퓨터의 효과적 활용을 위한 전략적 정책연구, 자원배분에 관한 문제 등에 관한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## References

- [1] Drèze, J., and Stern, N., "The Theory of Cost-Benefit Analysis," Handbook of public economics, Vol. 2, pp. 909-989, 1987.
- [2] Garber, A. M., and Phelps, C. E.,

- “Economic Foundations of Cost-effectiveness Analysis,” *Journal of Health Economics*, Vol. 16, No. 1, pp. 1-31, 1997.
- [3] Lee, J. H., “A Study on the Role and B/C Analysis of National Supported Supercomputing Center,” *Journal of Korea Technology Innovation Society*, Vol. 1, No. 3, pp. 402-418, 1998.
- [4] Bleichrodt, H., and Quiggin, J., “Life-Cycle Preferences over Consumption and Health: When is Cost-Effectiveness Analysis Equivalent to Cost-Benefit Analysis?,” *Journal of Health Economics*, Vol. 18, No. 6, pp. 681-708, 1999.
- [5] Ackerman, F., and Heinzerling, L., “Pricing the Priceless: Cost-Benefit Analysis of Environmental Protection,” *University of Pennsylvania Law Review*, Vol. 150, No. 5, pp. 1553-1584, 2002.
- [6] Kim, J. O., Heo, Y., and Yu, K. Y., “Development of Cost-Benefit Analysis Model for GIS Projects,” *Journal of the Korean Society for Geospatial Information Science*, Vol. 12, No. 1, pp. 79-85, 2004.
- [7] Anderson, D. P., “BONIC: A System for Public Resource Computing and Storage,” in *Grid Computing*, 2004. *Proceedings. Fifth IEEE/ACM International Workshop*, pp. 4-10, 2004.
- [8] Craven, S., and Athanas, P., “Examining the Viability of FPGA Supercomputing,” *EURASIP Journal on Embedded Systems*, Vol. 2007, No. 1, pp. 13-13, 2007.
- [9] Kim, S. J., Sung, J. W., Jang, J. H., and Lee, S. D., “Implementation of Resource Monitoring System for PLSI,” *Proceeding of the Korea Contents Association Conference*, Vol. 5, No. 1, pp. 517-521, 2007.
- [10] Woo, J., Park, S., Lee S., and Kim, H., “Performance Analysis of Global Shared Filesystem for the PLSI,” *Proceeding of the Korea Contents Association Conference*, Vol. 5, No. 1, pp. 509-512, 2007.
- [11] Boardman, A. E., Greenberg, D. H., Vining, A. R., and Weimer, D. L., “Cost-Benefit Analysis,” Pearson, 2008.
- [12] Jeong, J. H., and Lee, Y. H., “Development of a Process Centered RFID Cost-Benefit Analysis Model and Tool,” *The Journal of Society for e-Business Studies*, Vol. 13, No. 3, pp. 173-188, 2008.
- [13] Lee, Y. S., and Kim, J. S., “The Present Status and Analysis of Science and Technology Information (STI) Service Policy in Korea: Centered on Representative National STI Institute,” *Government Information Quarterly*, Vol. 26, No. 3, pp. 516-524, 2009.
- [14] Song, S., Gwon, S., Park, J., and Lee, H., “A Study on the Economic Effect Analysis of the Mass Experiment Data Center,” in *Proceedings on 2009 Spring Joint Conference of Korean Institute of Industrial Engineers*, pp. 1391-1398, 2009.
- [15] de Assunção, M. D., di Costanzo, A., and Buyya, R., “A Cost-Benefit Analysis of Using Cloud Computing to Extend the Capacity of Clusters,” *Cluster Computing*, Vol. 13, No. 3, pp. 335-347, 2010.
- [16] Kim, J., Lee, S. M., Kim M., and Jang, J. G., “Economic Value Analysis of Supercomputing Service for Small and Medium-Sized Businesses,” *IE Interfaces*, Vol. 23, No. 4, pp. 319-326, 2010.
- [17] Kim, T., Yang, J. Y., and Yang H. D., “Economic Evaluation of Cloud Computing Investment Alternatives,” *Journal of the Korea Industrial Information Systems Research*, Vol. 16, No. 3, pp. 121-135, 2011.
- [18] Lajunen, A., “Energy Consumption and

Cost-Benefit Analysis of Hybrid and Electric City Buses," Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol. 38, pp. 1-15, 2014.

- [19] An, H., Yoon, B., Han, H., Lee, J., Alfian, G., and Rhee, J., "Study on Cost-Benefit Analysis of Intelligent Food Packaging, Distribution Management System for Kimchi Logistics in School Food Service Scenario," Journal of the Korean Society of Supply Chain Management, Vol. 17, No. 2, pp. 155-163, 2017.



**이 형 진** (Lee Hyung Jin)

- 정회원
- 성균관대학교 산업공학과 학사
- 성균관대학교 산업공학과 석사
- 성균관대학교 기술경영학과 박사
- 한국과학기술정보연구원 대용량데이터허브센터 책임연구원
- 관심분야 : 과학기술정책, 기술예측, 연구데이터 개방·활용 전략



**최 윤 근** (Choi Youn Keun)

- 정회원
- 전북대학교수의학과 학사
- 영국카디프대학교전산학과 석사
- 한국과학기술정보연구원 슈퍼컴퓨팅서비스센터 선임연구원
- 관심분야 : 병렬프로그래밍 언어, 시뮬레이션, 빅데이터 분석



**박 진 수** (Park Jinsoo)

- 정회원
- 성균관대학교 산업공학과 학사
- 성균관대학교 산업공학과 석사
- 성균관대학교 산업공학과 박사
- 용인대학교 경영행정대학 경영정보학과 조교수
- 관심분야 : 정보시스템, 수요예측, 시뮬레이션