

슈퍼컴퓨팅 모델링 및 시뮬레이션의 산업연관분석 기반 경제적 파급효과 분석

김명일¹, 박성욱^{2*}, 김재성¹

¹한국과학기술정보연구원 가상설계센터, ²한국과학기술정보연구원 NTIS센터

An Economic Ripple Effect Analysis of Domestic Supercomputing Modeling and Simulation

Myungil Kim¹, Sung-Uk Park^{2*}, Jaesung Kim¹

¹Supercomputing Modeling & Simulation Center, KISTI

²NTIS Center, KISTI

요약 제조업은 우리나라의 경제성장을 이끌어온 핵심 원동력이었으나, 2000년대 이후 성장률이 큰 폭으로 감소하고 있으며, 매출액 및 고용이 지속적인 하락세를 보이고 있다. 또한, 우리나라의 제조업 투자는 큰 폭으로 감소한 반면, 미국, 독일, 일본 등 주요국들은 제조혁신 분야에 대한 투자를 확대하고 있다. 더불어 ICT 기술과 제조업의 융합을 통한 제조혁신 전략을 수립하고 강력하게 추진하고 있다. 제조업 혁신을 위해서는 제품 생산 공정의 변화를 통한 제품개발 기간단축 및 비용절감이 선행되어야 하며, 이를 위한 핵심요소는 제품 설계의 혁신이다. M&S(Modeling & Simulation)는 제품개발의 핵심 단계인 제품 설계 단계를 가상화하여 실제 물리적 제품 제작 및 실험 활동을 가상의 제품 제작(모델링)과 공학해석(시뮬레이션) 활동으로 대체하는 기술이다. 본 논문에서는 슈퍼컴퓨팅 기반 M&S의 경제적 파급효과를 분석하기 위해 한국은행의 투입·산출표인 산업연관표에 의거하여 분류함으로써 M&S 산업이 국내 산업부문 중 어느 부문에 속해 있는지 파악한다. 또한 슈퍼컴퓨팅 기반 M&S에 대한 파급효과를 이론적 차원에서 생산유발효과, 부가가치유발효과, 취업유발효과 및 전·후방 연쇄효과를 나누어 분석하고, M&S에 대한 각각의 파급효과를 한국은행의 투입·산출모형에 입각하여 분석한다. 한국과학기술정보연구원(KISTI)의 슈퍼컴퓨팅 M&S 예산(176억원, 2007~2016년)을 투입계수로 설정했을 때, 생산유발효과는 263억원, 부가가치유발효과는 148억원, 취업유발효과는 10억원 당 267명으로 분석되었다.

Abstract Since the 1970s, manufacturing has been one of the key driving forces that has led to Korea's economic growth. However, this growth rate has been reduced significantly since the 2000s, and shows that revenues and employment are steadily decreasing. In addition, while manufacturing investment in Korea has dropped sharply, the United States, Germany, Japan, and other major countries have increased investment in manufacturing. These countries have promoted manufacturing innovation strategies that include the convergence of information and communications technologies (ICT) and manufacturing. For manufacturing innovation, it is important for time and cost savings required for product development to be achieved by changes in the production process, especially product design. Modeling and simulation (M&S) is a process that replaces physical product design, mockup making, and testing, with virtual product creation (modeling) and engineering analysis (simulation). In this paper, we analyze the economic ripple effect of supercomputing M&S using an input-output model technique based on the input-output tables published by the Bank of Korea. When we set the M&S budget (about US\$16 million for the last 10 years) of the Korea Institute of Science and Technology Information (KISTI) as input coefficients, the effect on production inducement, value-added inducement, and employment inducement was analyzed to be US\$24 million, US\$13.4 million, and 267, respectively.

Keywords : Economic Ripple Effect, Manufacturing, Modeling, Simulation, Supercomputing

본 논문은 한국과학기술정보연구원 주요사업 지원으로 수행되었음.

*Corresponding Author : Sung-Uk Park(KISTI)

Tel: +82-42-869-0925 email: supark@kisti.re.kr

Received October 11, 2016

Revised November 3, 2016

Accepted November 10, 2016

Published November 30, 2016

1. 서론

우리나라는 GDP 대비 제조업 비중이 세계 1위인 31.1%(2012년)로, 제조 강국인 독일보다도 8.5%(독일 22.6%) 높으며, 일본보다도 10.1%(일본 21%) 높은 수준이다. 고용에서 제조업이 차지하는 비중도 16.9%(2011년)로 OECD 평균인 12.7%보다 훨씬 높다[1]. 또한, 제조업이 우리나라 산업구조에서 차지하는 비중은 50.2%(2010년)로 절반을 차지하고 있으며, 국내 총생산 기준 업종별 실질성장률도 서비스업(24%)과 더불어 가장 큰 비중인 24%(2014년)을 차지하고 있다.

이와 같이 우리나라 경제성장의 핵심 원동력이었던 제조업은, 2000년대 이후 성장률이 큰 폭으로 감소하고 있으며, 매출액 또한 지속적인 하락세를 보이고 있다. 대기업에 편중된 수출 산업 중심의 성장은 지속적 발전과 혁신을 추구하기에는 구조적인 한계가 있으며, 새로운 성장 동력 발굴도 지지부진한 상황이다. 2013년 ‘유엔 상품 교역 통계’에 따르면 우리나라의 세계시장 점유율 1위 품목은 65개로, 중국 1,538개의 4.2%에 불과하며 독일 733개, 미국 550개, 이탈리아 216개에 비해 현저히 낮은 수준이다. 또한 국내 제조업 경쟁력 지수는 세계 5위 수준(‘13년 기준)을 기록하고 있지만, 2010년의 3위에서 2단계 하락하였으며, 5년 뒤인 2018년 국내 제조업 경쟁력 지수는 중국, 인도, 브라질에 밀려 6위가 예상되고 있다[2].

미국, 독일, 일본 등 선진국들은 자국의 제조업 경쟁력 강화를 위한 다양한 전략을 수립하고 국가 차원에서 적극적으로 추진하고 있다. 과거 제조업 관련 정책 개발을 동반시켰던 선진국들은 제조 혁신을 최우선 산업 정책 이슈로 인식하고, 새로운 정책 방향을 모색하고 있다. 제조 부문 혁신을 도모하기 위한 R&D, 인력 개발, 기술 및 산업 보호 정책이 한층 강화될 것으로 예상되고 있어 우리나라 제조업은 위축될 가능성이 증대되고 있는 실정이다[3]. 또한 우리나라의 제조업 투자 증가세는 2010년 32.5%에서 2011년 5.4%로 무려 27.1% 감소된 반면, 미국, 독일, 일본 등 주요국들은 제조 혁신 분야에 대한 투자 확대로 제조업 투자 증가세가 빠르게 회복하고 있다.

전 세계적으로 생산설비의 기계화·자동화·집중화를 통해 제조업의 고부가가치화 노력이 성과를 거두면서, 최근에는 ICT(Information and Communication Technology) 기술 및 슈퍼컴퓨터와 같은 첨단 인프라와의 결합을 통해 제품 생산과정의 서비스화, 디지털화 등 새로운 방향

으로 진화하고 있다. 따라서 주요 선진국은 고부가의 신제품 개발 및 혁신적인 공정을 개발하는 등 첨단 ICT 기술과 제조업의 융합을 위한 「제조혁신 계획」을 수립하여 강력하게 추진하고 있다[4].

제조업 혁신을 위해서는 제품 생산 공정의 변화를 통한 제품개발 기간단축 및 비용절감이 선행되어야 하며, 이를 위한 핵심요소는 제품 설계의 혁신이다. M&S는 제품개발의 핵심 단계인 제품 설계 단계를 가상화(virtualization)하여 실제 물리적 제품 제작 및 실험 활동을 가상의 제품 제작(모델링)과 공학해석(시뮬레이션) 활동으로 대체하는 것을 의미한다. 슈퍼컴퓨팅 기반 M&S를 활용하면 신제품 개발에 소요되는 비용과 시간을 획기적으로 단축할 수 있으며, 제조업과의 연계성이 높고 부가가치 유발도가 높은 특징을 가지고 있다. M&S 기술은 제조업 전체로 활용이 확대되고 있으며, 글로벌 및 국내 시장이 급성장하는 추세이다. M&S의 핵심인 CAE(Computer Aided Engineering) 분야는 ‘16년 3조 4천억원 대의 글로벌 시장을 형성할 것으로 예상되며, 국내에서는 ‘16년 1,260억원 규모의 시장을 형성할 것으로 예상되고 있다[5].

본 논문에서는 슈퍼컴퓨팅 기반 M&S의 경제적 파급효과를 분석하기 위해 한국은행의 투입·산출표인 산업연관표에 의거하여 분류함으로써 M&S 산업이 국내 산업부문 중 어느 부문에 속해 있는지 파악한다. 또한 슈퍼컴퓨팅 기반 M&S에 대한 파급효과를 이론적 차원에서 생산유발효과, 부가가치유발효과, 취업자유발효과 및 전·후방 연쇄효과를 나누어 분석하고 M&S에 대한 각각의 파급효과를 한국은행의 투입·산출모형에 입각하여 분석한다.

본 논문의 2장에서는 M&S의 정의와 범위에 대해 개략적으로 설명한다. 3장에서는 국내외 M&S 관련 정책 및 활용 현황을 살펴보고, 제4장에서는 경제적 파급효과 분석 방법론에 대해 설명하고, 이를 통해 분석한 M&S의 경제적 파급효과에 대해 기술한다. 마지막으로 5장에서는 본 논문의 결론 및 향후 연구계획에 대해 논의한다.

2. M&S의 정의

M&S는 경험에 의존하여 시행착오를 거쳐 제품을 개발하는 기존의 방식을 데이터 기반의 과학적 제품개발 방식으로 전환하는 스마트한 제조기술이다. 즉, 물리적

실험 없이 가상의 환경에서 시뮬레이션을 통해 제품의 성능과 특징을 분석하는 것이다. M&S에 기반을 둔 제품설계 기술은 제조기업의 제품 개발비용과 시간의 획기적인 절감은 물론 일자리 창출을 통한 국가 경제 부흥에 바탕이 되는 핵심 기술이다[6].

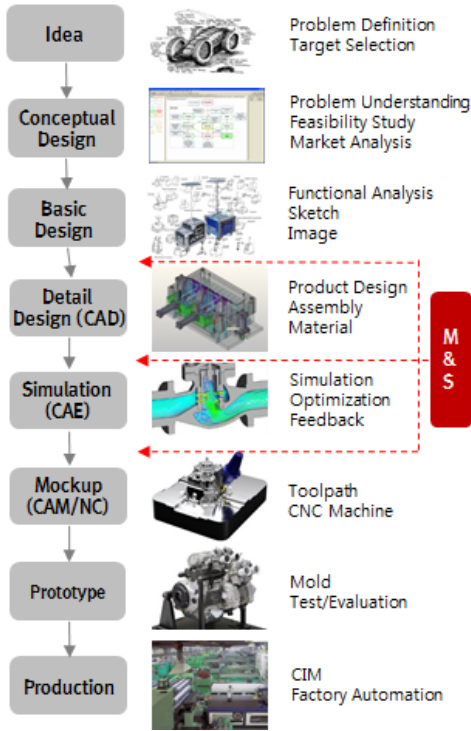


Fig. 1. M&S positioning in production process

기계, 자동차 등 주력산업의 부품은 설계단계에서 생산원가의 70~80%가 결정되는데, 설계단계에서 설계/성능검증 시뮬레이션을 해볼 경우 생산성의 혁신이 가능해진다. 기계류, 부품, 기자재 등 자본재산업 분야 중소기업들의 제조공정 최적화를 지원해 불량률 감소, 개발기간 단축 등 생산성 향상에 큰 기여를 한다. 한국과학기술정보연구원은 2004년부터 중소 제조기업을 대상으로 슈퍼컴퓨팅 기반의 M&S를 활용한 제품개발을 지원하고 있다. 관련 소프트웨어 및 기술의 개발과 더불어 구조해석, 열유체 해석을 중심으로 462개의 중소기업을 지원하였으며, 이를 통해 제품 개발시간 56%, 개발비용 59%를 절감한 것으로 조사되었다[6].

M&S는 산업의 가치사슬 중 전방에 위치하는 R&D, 디자인(모델링), 시뮬레이션 및 제조 영역까지 포함하고

있다. 특히 Fig. 1과 같이 제조업의 제품 개발 프로세스 상의 상세 제품설계(CAD, Computer Aided Design) 및 시뮬레이션(CAE, Computer Aided Engineering) 부문에 주로 해당된다.

3. M&S 관련 정책 및 활용 현황

3.1 국내외 M&S 관련 정책

해외 선진국은 90년대부터 제조경쟁력 강화를 위한 M&S의 중요성을 인식하고 지속적인 육성 및 보급 정책을 추진하고 있다. 최근에는 제조업에서의 M&S 활용을 촉진하는 정책을 수립하여 강력하게 추진하고 있다. 미국은 제조업 경쟁력 회복 정책(국가첨단제조 전략, 2012)의 일환으로 M&S 관련 제조 혁신기관을 구축 및 운영하여 제조업에서의 M&S 활용을 독려하고 있다. 유럽은 2013년부터 중소 제조기업의 M&S 활용 확대를 위해 공공·민간협업체 기반의 M&S 지원 프로젝트인 FORTISSIMO를 추진하고 있다. 일본은 혁신 설계·생산기술(M&S) 개발을 산업재흥계획(Japan is Back)의 전략적 이노베이션 10대 기술에 포함시켜 추진하고 있다.

우리나라는 제조업 동반성장형 新산업 창출을 위한 지식서비스 R&D 추진계획(2012), 창조비타민 프로젝트 추진계획(2013), 산업기술혁신 계획(2013), 제조업혁신 3.0 전략(2014), 제6차 산업기술혁신계획(2014) 등의 다양한 정책을 수립하여 국내 제조업 경쟁력 강화를 위해 노력하고 있다. 그러나, M&S를 활용한 제조업 혁신에 대한 부분은 간접적으로 포함되어 있을 뿐, 아직 구체적인 발전전략이 수립되지 않은 상황이다.

3.2 M&S 관련 기술 개발 및 활용 현황

대부분의 글로벌 기업은 M&S의 활용이 신제품 개발에 소요되는 시간과 비용을 획기적으로 줄여, 혁신적인 제품을 생산하여 시장에 빠르게 진입할 수 있도록 하는 핵심 기술임을 인식하고 있다. 이러한 M&S의 핵심은 Fig. 2와 같이 전처리-해석-후처리로 이어지는 일련의 M&S 프로세스를 지원하는 M&S SW이다. 미국의 글로벌 M&S SW 기업인 Ansys, MSC, CD-adapco 등은 전 세계 시장의 90% 이상을 점유하고 있으며, 기존의 단일 분야 M&S SW 개발에서 다분야 통합 M&S 영역으로

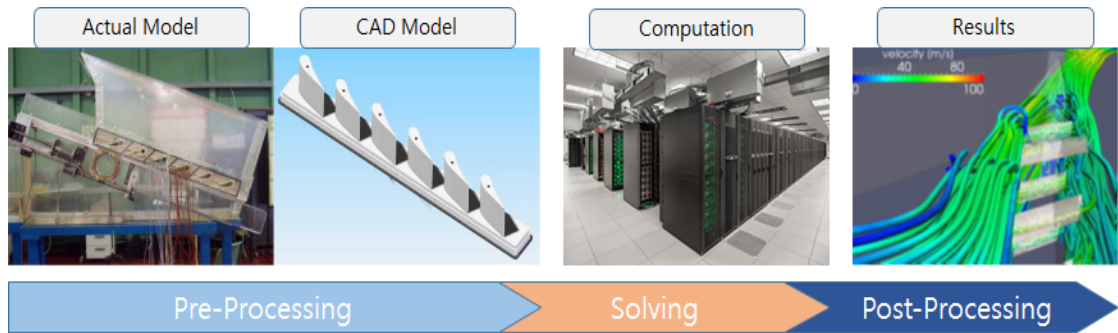


Fig. 2. M&S Process (Pre-Processing, Solving, Post-Processing)

확대하고 있는 추세이다. 유럽은 M&S를 확장하여 설계, 제품개발 뿐 아니라 프로세스 관리까지 통합하여 제공하고 있으며, 실감형 가상화, IoT 기반 빅데이터 분석 등의 최신 기술을 활용한 새로운 영역 발굴을 위해 노력하고 있다. 일본은 제품설계에서부터 제조까지 이르는 제품개발 전 주기에 일본의 슈퍼컴퓨터인 K-Computer를 활용하여 제품개발 기간의 획기적 단축과 품질향상을 도모하고 있다.

우리나라는 슈퍼컴퓨터를 보유하고 있는 한국과학기술정보연구원이 중소기업을 대상으로 2004년부터 슈퍼컴퓨터를 이용한 M&S 기술지원을 수행하고 있으며, 2007부터는 M&S 관련 기술 및 보급형 SW의 개발을 위해 노력하고 있다. 국내 M&S SW 시장의 규모는 매우 작지만, 특수한 분야에 활용성 높은 M&S SW 개발을 통해 시장 지배력을 확대하고 있는 추세이다. 주요 글로벌 기업에서의 M&S 활용사례를 살펴보면, 미국의 Rocket Crafter는 하이브리드 로켓엔진 제작에 M&S 기술과 3D 프린팅 기술을 적용하여 개발시간을 60% 단축하고, 개발비용을 50% 절감하였다. 독일의 Porsche는 자체 고성능컴퓨터 도입을 통해 자동차 개발시 필요한 가상풍동시뮬레이션 시간을 24시간 이내로 획기적으로 단축했다. 항공기를 제작하는 Boeing은 고성능컴퓨터 기반의 M&S 기술을 적용하여 80년대에 77회 실시하던 물리적 실험을 5회 이하로 획기적으로 줄여 비행기 제작에 소요되는 비용과 시간을 단축했다. 한국의 엔유씨 전자는 한국과학기술정보연구원의 슈퍼컴퓨팅 M&S 지원을 통해 원액기의 착즙율을 크게 향상시켜, 원액기의 매출이 19억원(2010년)에서 298억원(2011년)으로 급상승하는 효과가 있었다.

4. 경제적 파급효과 분석

4.1 산업연관분석의 의의 및 구조

한 국가 경제에서 각 산업들은 생산활동을 위해 상호간에 재화와 서비스를 구입하고 판매하는 과정을 통해 직접 또는 간접적으로 서로 관계를 맺게 되는데, Table 1과 같은 산업연관표는 일정기간(보통 1년) 동안의 이러한 산업간 거래관계를 일정한 원칙에 따라 행렬식으로 기록한 통계표이다. Table 1에서 총투입액은 중간투입과 부가가치를 합산한 것이고, 총산출액은 중간수요와 최종수요의 합에서 수입을 뺀 것이고, 총투입액은 총산출액을 의미한다. 또한 세로방향은 각 산업부문이 해당 상품의 생산을 위하여 지출한 생산비용의 구성인 투입구조를 설명하고 있으며, 가로방향은 각 산업부문의 생산물이 어떤 부문에 중간 수요 또는 최종 수요 형태로 얼마나 판매되었는가하는 배분구조를 의미한다.

산업연관분석 또는 투입산출분석은 산업연관표를 바탕으로 산업간 상호연관관계를 수량적으로 분석한 방법인 것이다. 산업연관분석은 최종수요가 유발하는 생산, 고용, 소득 등 각종 파급효과를 산업부문별로 구분하여 분석할 수 있기 때문에 경제정책의 수립, 정책효과의 측정 등에 활용되고 있다. 한국은행의 산업연관표를 이용하여 슈퍼컴퓨팅 기반 M&S에 대한 생산, 부가가치, 취업 등의 파급효과를 추정하기 위해 산업연관표의 통합소분류에서 'S/W개발공급'과 '기타 과학기술서비스'에 속하는 행과 열을 모두 '0'으로 대체하여 만들고 파급효과 추정을 위한 각종 계수도 이를 통해 산출하여 유발효과를 얻을 수 있다.

Table 1. Basic Structure of Input-Output Tables

Domestic	Intermediate Demand					Final Demand	Imports	Total Output		
	1	2	·	·	n					
I n p u t	1	x11	x12	·	·	·	x1n	Y1	M1	X1
	2	x21	x22	·	·	·	x2n	Y2	M2	X2
	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
	n	xn1	xn2	·	·	·	xnn	Yn	Mn	Xn
Value Added	V1	V2	·	·	·	Vn	Imports			
Output	X1	X2	·	·	·	Xn				

4.2 각종 계수의 산출

각 산업부문이 해당 부문의 재화나 서비스 생산에 사용하기 위하여 다른 부문으로부터 구입한 원재료 등의 중간 투입액을 총투입액으로 나누어 산출한 계수를 투입 계수라 하고, 투입계수를 산업연관표의 내생부문과 같은 모양으로 배열한 행렬을 투입계수표라 설명한다. 슈퍼컴퓨팅 기반 M&S에 대한 경제적 파급효과를 산출하기 위해서는 수입된 재화 또는 서비스로 인한 산출효과를 배제해야 하므로 수입거래 금액을 제외한 국산 투입계수는 식(1)과 같다.

$$ij \text{ 산업 간의 국산투입계수 } a_{ij} = \frac{X_{ij} - M_i}{X_j} \quad (1)$$

• X_{ij} : ij 산업간 중간투입, M_i : 수입, X_i : 총 투입

생산유발계수는 식(1)을 이용하여 ‘S/W 개발 공급’ 부문을 외생변수화 한 후에 식(2)를 사용하여 생산유발 계수를 산출한다.

$$\text{생산유발계수} = A_s^d (I - A^d)^{-1} \quad (2)$$

- A_s^d : 슈퍼컴퓨팅 기반 M&S의 국산투입계수 행벡터
- I : 1로 이루어진 대각 행렬(diagonal matrix)
- A^d : 국산투입계수(a_{ij}) 행렬

부가가치계수는 총 산출에서 부가가치가 차지하는 비중을 나타내며, 산업연관표에서 각 산업의 부가가치 합계를 총 산출로 나누어 식(3)처럼 구한다.

$$i \text{ 산업의 부가가치계수 } v_i = \frac{V_i}{X_i} \quad (3)$$

• V_i : 부가가치 합계, X_i : 총 투입

노동계수란 일정기간 동안 생산활동에 투입된 노동량을 총산출액으로 나눈 계수로 한 단위의 생산에 직접 필요한 노동량을 의미하며, 노동량에 자영업주 및 무급가족종사자를 포함하느냐의 여부에 따라 취업자계수와 고용계수로 구분한다.

$$\text{취업계수 } l_w = \frac{L_w}{X}, \text{ 고용계수 } l_e = \frac{L_e}{X} \quad (4)$$

• L_w : 취업자수, L_e : 피용자수, X : 총산출액

노동유발계수는 어느 산업의 생산물을 한 단위 생산하는데 직접 필요한 노동량 뿐 아니라 생산과급과정에서 간접적으로 필요한 노동량까지 포함하고 있으며 식(5)로 나타내며, 본 논문에서는 취업자유발계수를 이용하여 취업자유발효과를 분석한다.

$$\begin{aligned} \text{취업자유발계수} &= \hat{l}_w (I - A^d)^{-1} \\ \text{고용유발계수} &= \hat{l}_e (I - A^d)^{-1} \end{aligned} \quad (5)$$

• \hat{l} : 노동계수의 대각행렬, I : 단위행렬, A^d : 국산 투입계수행렬

또한 감응도계수는 전 부문의 최종수요를 모두 한단 위씩 증가시키기 위해 I번째 산업이 생산해야 할 단위의 산업 평균치에 대한 비율로 계산된다. 영향력계수는 전 산업 평균 생산유발계수에 대한 산업별 생산유발계수의 비율을 의미한다.

- 감응도계수 = $\frac{\text{생산유발계수의 행합}}{\text{생산유발계수의 총합}}$
- 영향력계수 = $\frac{\text{생산유발계수의 열합}}{\text{생산유발계수의 총합}}$

4.3 경제적 파급효과 분석

사회과학, 공학, 자연과학 등 다양한 분야의 경제적 파급효과를 분석하기 위해 산업연관분석이 활용되고 있다[7][8][9]. 산업연관분석은 경제부문 간의 재화와 서비스의 흐름이 비교적 안정적이라는 점을 활용하여 경제체계의 모습을 보다 자세하게 통계적으로 분석함으로써 경제현상에 대한 설명을 구체적으로 해주는 역할을 하고

있다. 특히 산업연관분석은 한 나라의 경제정책수립 및 효과분석과 관련된 분야에 많이 이용되고 있어 국내 M&S의 경제적 파급효과 분석을 하는데 타당하다고 볼 수 있다.

Table 2. Classification of M&S in Input-Output Tables

Category(78)	Sub Category(168)
62. S/W Development and Computer related services	132. S/W Development and Distribution
73. Scientific and technical services	148. Other Scientific and technical service

우선, 슈퍼컴퓨팅 기반 M&S는 산업연관분석을 적용하기 위해 Table 2와 같이 통합소분류의 ‘S/W 개발공급’과 ‘기타 과학기술서비스’에 적용시켰다. 이는 한국과학기술정보연구원의 슈퍼컴퓨팅 기반 M&S가 기술개발과 서비스지원으로 구분되어 있기 때문이며, 이를 통해 슈퍼컴퓨팅 기반 M&S에 대한 경제적 파급효과를 보다 자세히 살펴볼 수 있다. 본 논문에서는 식(1)~식(5)를 통하여 생산유발계수, 부가가치유발계수, 수입유발계수, 취업자유발계수를 산출하여 Table 3에 정리를 하였으며 각각의 유발계수는 슈퍼컴퓨팅 기반 M&S에 대한 최종 수요가 한 단위 증가하는 경우에 전 산업에서 직·간접적으로 일어나는 유발효과를 설명하고 있다.

Table 3. Inducement Coefficients for Supercomputing M&S

Classification	Production I.C	Value Added I.C	Employment I.C (Person/1M)	Degree of Sensitivity	Power of Dispersion
S/W Development & Distribution (132)	1.498	0.825	13.9	0.727	0.759
Other Scientific and technical Service(148)	1.491	0.849	15.6	1.255	0.755
Average of All Industries	1.969	0.659	12.6	Compares to ‘1’	

*I.C: Inducement Coefficients

*The Bank of Korea(2016)[10]

Table 3에서 먼저 ‘S/W 개발공급’에 대한 통합소분류에 대해 살펴보면, 생산유발계수는 1.498로 전체 평균인 1.969보다 작지만 부가가치유발계수는 전체 평균 0.659보다 큰 0.825이고, 취업자유발계수도 전체 평균 12.6명보다 훨씬 큰 13.9명으로 부가가치유발과 취업자유발효과가 전체 평균보다 훨씬 큼을 알 수 있다. 그리고 ‘기타

과학기술서비스’에 대한 통합소분류를 살펴보면, 생산유발계수는 1.491로 전체 평균인 1.969보다 작지만 부가가치유발계수는 전체 산업평균(0.659)와 S/W개발공급(0.825)보다도 높았다. 취업자유발계수 또한 전체 산업평균(12.6)과 S/W개발공급(13.9)보다도 큰 10억원당 15.6명이다.

Table 4. Annual Budget of KISTI (Million won)

year	Supercomputing M&S		
	S/W Development and Distribution	Other Scientific and Technical Service	Sub Total
2007	75	1,161	1,236
2008	100	1,032	1,132
2009	350	845	1,195
2010	380	560	940
2011	340	1,124	1,464
2012	440	2,097	2,537
2013	440	1,758	2,198
2014	560	1,315	1,875
2015	388	913	1,301
2016	1,800	1,943	3,743
Total	4,873	12,748	17,621

또한, 국민경제는 특정 산업군에서 생산해 낸 산출물을 타 산업에서 이용하고 또한 타 산업에서 생산해 낸 산출물이 여타산업에서 이용되는 파급효과, 혹은 가치사슬에 의하여 생산 활동이 이루어진다. 가치사슬 상에서 슈퍼컴퓨팅 기반 M&S가 앞에 있는 산업에 영향을 미치는 효과를 전방연쇄효과라고 하며 가치사슬상에서 뒤에 있는 산업에 영향을 미치는 효과를 후방연쇄효과라고 한다. ‘S/W개발공급’에 대한 통합소분류 기준으로 보면 슈퍼컴퓨팅 기반 M&S에 대한 감응도계수가 0.727로 1보다 작으므로 전방연쇄효과가 적고 영향력계수도 0.759이므로 1보다 작으므로 후방연쇄효과가 적다고 볼 수 있다. 하지만 ‘기타 과학기술서비스’에 대한 통합소분류 기준으로 보면 슈퍼컴퓨팅 기반 M&S의 감응도계수가 1.255로 전방연쇄효과가 큰 산업으로 판단할 수 있다.

여기서 슈퍼컴퓨팅 기반 M&S의 경제적 파급효과를 산출하기 위해서는 어떤 투입변수가 가장 중요한 요소인지 판단해야 한다. 이에 투입변수는 정부에서 투입하는 국가 R&D 예산을 사용할 것이다. 본 논문에서는 슈퍼컴퓨터를 보유하고 있는 한국과학기술정보연구원의 정부 R&D 예산을 투입변수로 사용하여 슈퍼컴퓨팅 기반 M&S의 경제적 파급효과를 산출 할 것이다. 앞에서 설명했듯이 Table 4와 같이 R&D예산을 기술개발과 서비스지원으로 구분하여 살펴볼 것이며 기술개발은 ‘S/W

개발공급'에 서비스지원은 '기타 과학기술서비스'에 대한 통합소분류로 매치시켜 분석할 것이다.

우선, Table 3에서 구한 슈퍼컴퓨팅 기반 M&S의 유발계수를 바탕으로 경제적 파급효과를 계산하기 위해 산업연관표를 통해 산출한 생산유발계수를 활용하여 생산유발효과를 추정한다. 또한 부가가치유발효과는 슈퍼컴퓨팅 기반 M&S를 통해 얻을 수 있는 국민경제적인 순가치이며, 생산유발효과 중 부가가치 귀속부분을 부가가치계수를 통해 추정할 수 있다. 슈퍼컴퓨팅 기반 M&S 관련 시장이 확대됨에 따라 취업자의 증가로 이어지는 관점에서 취업자유발효과를 추정할 수 있으며 이는 생산유발효과에 취업자유발계수를 곱하여 산출할 수 있다. 다만, 10년간의 예산투입에 대한 슈퍼컴퓨팅 기반 M&S의 경제적 파급효과를 단순히 한국은행의 산업연관표계수를 사용했다는 점과 더불어 지난 10년간의 분석임에도 불구하고 최근의 산업연관표 계수를 사용했다는 점은 추후 연구에서 보완해야 할 사항으로 판단된다. 그럼에도 불구하고 본 논문에서는 지난 10년간 슈퍼컴퓨팅 기반 M&S에 대해 어느 정도의 경제적 파급효과가 있는지 분석된 논문이 없어 그동안 기술개발과 서비스지원을 해오면서 이에 대한 경제적 파급효과를 직접 분석했다는데 의의를 두고 있다.

Table 5는 지난 10년 동안 슈퍼컴퓨팅 기반 M&S가 유발하는 경제적 파급효과를 설명하고 있다. 먼저 슈퍼컴퓨팅 기반 M&S의 R&D개발 생산유발효과는 73억원, R&D개발 부가가치유발효과는 40억원, R&D개발 취업자유발효과는 68명으로 산출되었다. 또한, 슈퍼컴퓨팅 기반 M&S의 서비스지원 생산유발효과는 190억원, 서비스지원 부가가치유발효과는 108억원, 서비스지원 취업자유발효과는 199명으로 산출되었다.

Table 5. Economic Ripple Effect of Supercomputing M&S(Million won/Person per billion won)

	Production Inducement Effect	Value Added Inducement Effect	Employment Inducement Effect
R&D	73	40	68
Consulting	190	108	199
Total	263	148	267

5. 결론

본 논문에서는 한국은행의 산업연관분석을 활용하여

한국과학기술정보연구원에서 지난 10년간 수행한 슈퍼컴퓨팅 기반 M&S에 대한 경제적 파급효과를 분석하였다. 슈퍼컴퓨팅 기반 M&S가 R&D개발과 서비스지원으로 구분되어 있으므로, 본 논문에서는 두 개의 영역으로 구분하여 산업연관표의 통합소분류를 적용하였다.

우선, 슈퍼컴퓨팅 기반 M&S의 산업연관분석을 적용하기 위해 통합소분류의 'S/W 개발공급'과 '기타 과학기술서비스'에 적용시키고, 유발계수를 산출하였다. 'S/W 개발공급'의 경우, 생산유발계수는 1.498, 부가가치유발계수는 0.825, 취업자유발계수는 13.9명으로 분석되었고, '기타 과학기술서비스'의 경우, 생산유발계수는 1.491, 부가가치유발계수는 0.849, 취업자유발계수는 10억원당 15.6명으로 조사되었다. 이러한 유발계수와 10년간의 슈퍼컴퓨팅 M&S 투입 예산(투입변수, 약 176억원)을 기반으로 경제적 파급효과를 산출하였다. 분석결과로 슈퍼컴퓨팅 기반 M&S에 대한 경제적 파급효과는 생산유발효과는 지난 10년간 263억원, 부가가치유발효과는 148억원, 취업자유발효과는 10억원당 267명의 효과가 있음을 알 수 있다.

본 논문은 슈퍼컴퓨팅 기반 M&S에 대한 경제적 파급효과를 분석한 논문이 기존에 없어서 한국과학기술정보연구원이 수행하는 슈퍼컴퓨팅 기반 M&S에 대한 경제적 파급효과를 최초로 분석했다는데 그 의의가 있다. 하지만, 본 논문에서 활용된 한국은행의 산업연관표를 통한 경제적 파급효과 분석은 슈퍼컴퓨팅 기반 M&S에 대한 R&D 투자 등의 직접적인 효과를 고려하지 못하는 점에서 과소평가의 우려가 있고, 가격의 변화를 고려하지 못하는 정태분석이라는 점에서 효과를 과대평가할 우려가 상존하고 있어서 과소 또는 과대평가의 상대적 크기에 대해 단정적인 평가를 내리기는 어려운 점이 존재하고 있다. 또한 산업연관표가 5년마다 작성되어 발표됨에도 불구하고, 지난 10년간의 M&S 분석을 최근의 발표된 산업연관표만 활용한 점 등은 추후 보완할 연구로 남아 있다.

References

- [1] S. Y. Kim and E. C. Lee, *First Mover Strategy of Manufacturing in Korea*, pp. 1-11, POSRI Report, 2015.
- [2] Samuel R. Allen, Joseph Echevarria and Deborah L. Wince-Smith, *2013 Golobal Manufacturing Competitiveness Index*, pp. 1-80, Deloitte and U.S.

Council on Competitiveness, 2012.

- [3] John Lee, *VIP Report: Status Assessment and Implications for Manufacturing Innovation Policy*, pp. 1-20, Hyundai Research Institute, 2014.
- [4] Yong-Yul, Kim, "Manufacturing Innovation and HPC(High Performance Computing) Utilization", *Journal of Korea Technology Innovation Society*, vol. 19, no. 2, pp. 231-253, 2016.
- [5] TechNavio, *CAE Market in EMEA Region 2014-2018*, pp. 1-134, TechNavio, 2013.
- [6] Jaesung Kim, et al., *Supercomputing Modeling & Simulation for Smart Manufacturing Innovation*, pp. 1-396, KISTI, 2015.
- [7] K. W. Hong, H. C. Kim and J. T. Lee, "The Analysis of Economic Effect of School Food service using the Input-Output Analysis", *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, vol. 11, no. 10, pp. 3747-3755, 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2010.11.10.3747>
- [8] B. G. Jee, T. G. Kim and G. H. Lee, "Economic Impact of Tourism Industry in Korea - An Input-Output Analysis", *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, vol. 12, no. 7, pp. 3039-3045, 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2011.12.7.3039>
- [9] S. U. Park and S. H. Han, "An Economic Ripple Effect Analysis of National Scientific Data Center Construction", *Journal of Information Management*, vol. 42, no. 3, pp. 55-69, 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1633/jim.2011.42.3.055>
- [10] The Bank of Korea, 2013 Updated Input-Output Tables, Economic Statistics System[Internet], The Bank of Korea, c2016, Available From: <http://ecos.bok.or.kr/>. (accessed Aug., 10, 2016)

박 성 욱(Sung-Uk Park)

[정회원]



- 2007년 2월 : 전남대학교 일반대학원 경제학과 (경제학박사)
- 2007년 8월 : 영국 Sussex Univ. SPRU 과학기술정책과정 수료
- 2009년 3월 : 일본 정보통신연구기구(NICT) 객원연구원
- 2012년 5월 ~ 2014년 5월 : 한국 과총 정책연구소 전문위원
- 2005년 6월 ~ 현재 : 한국과학기술정보연구원 선임연구원

<관심분야>

과학기술정책, 기술경제, 기술가치평가

김 재 성(Jaesung Kim)

[정회원]



- 1999년 2월 : 포항공과대학교 산업공학과 (공학석사)
- 2003년 2월 : 포항공과대학교 산업공학과 (공학박사)
- 2003년 3월 ~ 2013년 2월 : 한국과학기술정보연구원 선임연구원
- 2013년 3월 ~ 현재 : 한국과학기술정보연구원 책임연구원

<관심분야>

Modeling & Simulation, 제품설계, 슈퍼컴퓨팅, 제조혁신

김 명 일(Myungil Kim)

[정회원]



- 2000년 2월 : 중앙대학교 일반대학원 컴퓨터공학과 (공학석사)
- 2004년 2월 : 중앙대학교 일반대학원 컴퓨터공학과 (공학박사)
- 2004년 3월 ~ 현재 : 한국과학기술정보연구원 선임연구원

<관심분야>

Modeling & Simulation, 슈퍼컴퓨팅, 과학기술연구망