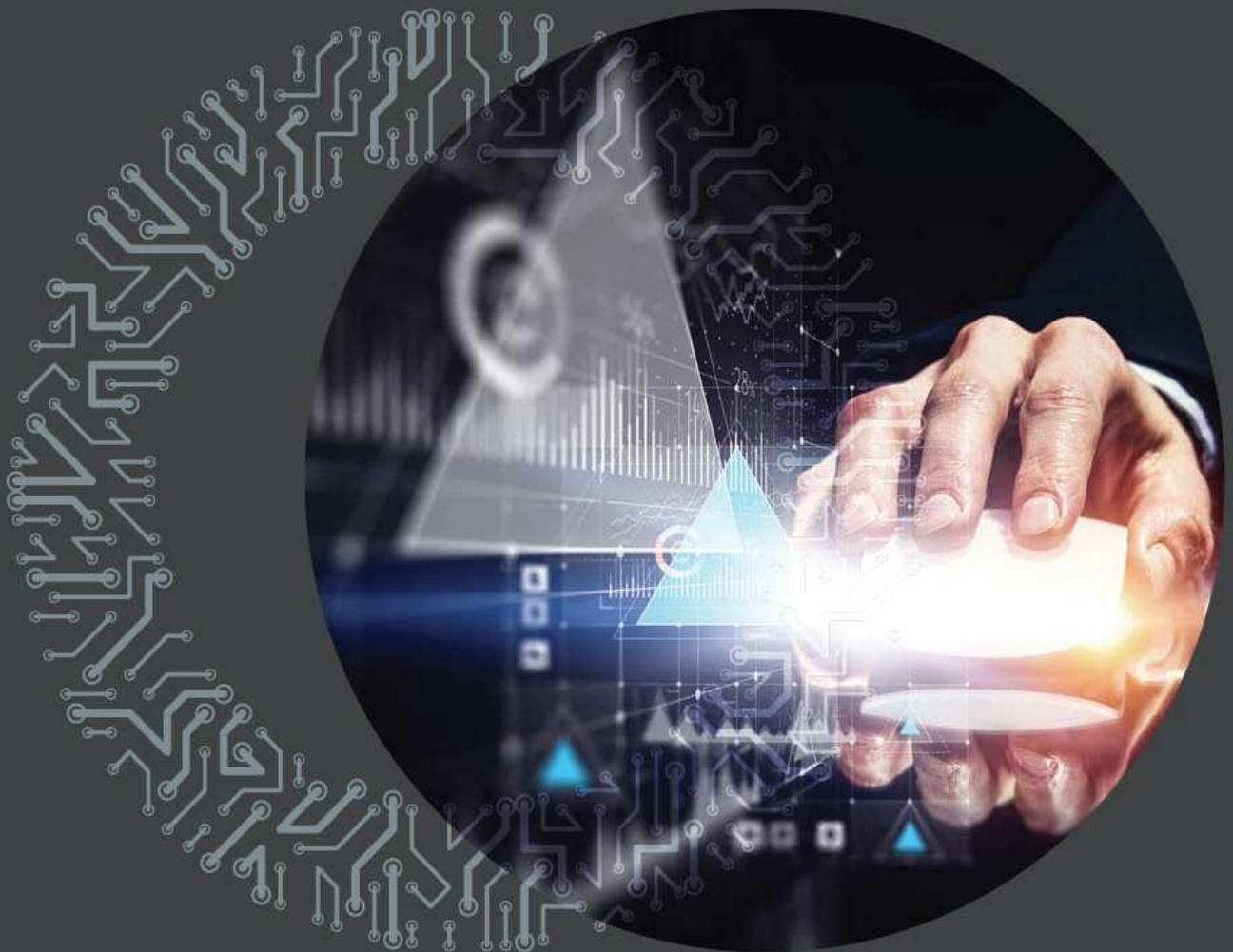


Insight Report

HPC 산업구조 변화 분석



※ 본 보고서의 내용은 필자의 개인적인 견해이며, 한국전자통신연구원의 공식 견해가 아님을 알려드립니다.



본 저작물은 공공누리 제4유형: 출처표시+상업적이용 금지+변경금지 조건에 따라 이용할 수 있습니다.

↓	요 약	0
	I. HPC 산업 개요	1
	II. HPC 산업구조 분석 방법론	9
	III. HPC 산업구조 분석 결과	14
	IV. 결론 및 시사점	21
	참고문헌	23



요 약

❏ 초고성능컴퓨팅의 중요성

- 인공지능의 빠른 성능 향상과 보급·확산을 위해서는 데이터를 수집·전달·저장·분석하는 초고성능 컴퓨팅 기술이 핵심 기반
 - 초고성능컴퓨팅은 지능정보사회를 이끄는 지능정보기술 분야의 혁신을 이끄는 핵심 역할을 수행하도록 성장
- 지능정보기술의 enabler 초고성능 컴퓨팅
 - 4차 산업혁명의 대표 분야 중 하나인 인공지능의 눈부신 성과는 고성능컴퓨팅(HPC: High Performance Computing)의 발전과 적극적인 활용이 있었기에 달성
 - 인공지능 분야의 주요 성공의 순간마다 고성능컴퓨팅이 핵심적인 역할 담당 (예: IBM 딥블루, IBM Watson, 구글 알파고)
- 혁신 플랫폼: 초고성능컴퓨팅+인공지능
 - 초고성능컴퓨팅과 인공지능의 결합은 방대한 데이터의 처리를 통해 지능정보화를 이끄는 혁신 플랫폼임
 - 방대한 데이터와 초고성능 컴퓨팅 파워를 결합하여 전통산업의 고도화, 신서비스의 창출, 사회문제 해결을 위한 거대 과학산업의 등장

❏ HPC 산업구조 분석 방법론

- 산업연관분석
 - 생산 활동을 통하여 이루어지는 산업간의 상호연관관계를 수량적으로 파악하는 분석방법을 산업연관분석이라 함
- RAS 방식 vs GRAS 방식
 - RAS기법은 기준년도의 투입산출계수와 원하는 년도 또는 지역의 부분적인 기존 통계자료를 활용하여 투입산출계수 또는 지역기술계수를 구하는 방법
 - RAS기법은 중간투입이나 중간수요자료 등의 집계과정에 많은 노력이 소요되고, 기존 통계자료가 그대로 이용될 수 없는 경우가 많음

요 약

- 반면에, GRAS 기법은 반복적 접근법의 수렴과정을 최적화 해법의 내장함수보다 쉽게 제어할 수 있어, 특히 RAS실행 불가능문제에 근접한 경우에 더욱 쉽게 해결할 수 있는 장점이 존재

GRAS 방식을 통한 HPC 산업구조 분석

- 2014년 대비 2020년 HPC 산업은 각 분야별 유발계수의 효과가 좋아지는 것으로 나타남
 - 생산유발계수 효과의 경우 4개 분야 모두 효과가 상대적으로 크게 높아지는 경향을 나타내고 고용유발계수의 경우도 상대적으로 높아지는 경향을 보임
 - 그러나 부가가치 유발 효과는 상대적으로 조금 감소하는 경향을 보임
- 비교분석에 의한 HPC 산업구조 변화 의미
 - 2014년 까지 우리나라 HPC 산업은 상대적으로 초기에 미성숙 분야이지만 지능정보사회가 도래하면서 데이터 중심의 HPC 산업이 크게 성장함에 따라 산업 비중이 증가하고 HPC의 역할이 커지면서 각각의 유발계수가 커지는 것으로 분석

연구 결론 및 시사점

- 본 분석은 새로운 산업부문이 기존 ICT산업에서 발생할 경우에 전체 국민경제의 산업구조변화와 그 변화원인을 추적하는 데 중요한 산업연관표의 분리 및 확장방법을 적용하여 분석
 - 이 분석결과는 지속적으로 국민경제가 성장하기 위해서는 신산업의 창출이 중요함을 보여주는 결과 임
- 연구의 의의 및 한계
 - HPC산업과 같이 아직은 초창기 산업분야이지만 향후 지속적인 성장이 예상되고, 기존의 데이터로는 그 산업의 성장성이나 경제적 효과를 잘 보여주지 못할 때 유용하게 사용 할 수 있는 방안

I HPC 산업 개요

■ 초고성능(HPC, High Performance Computing) 컴퓨터

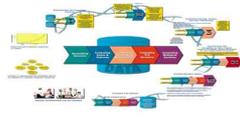
- 보통의 컴퓨터보다 연산속도가 수십 ~ 수백 배 이상 빠른 컴퓨터
 - 보통의 컴퓨터로는 풀기 어려운 대용량의 정보들을 초고속으로 생산·처리·활용하게 하는 컴퓨터 시스템
 - 복잡한 과학 및 산업 문제해결을 위하여, 일반 PC의 수천 배 혹은 그이상의 성능을 지닌 컴퓨터 시스템을 고속의 네트워크로 연결하여 에너지, 신약개발 등에 활용하는 국가 경쟁력의 핵심요소
- 초고성능컴퓨팅 정의(국가초고성능컴퓨터 활용 및 육성에 관한 법률 제2조)
 - 초고성능컴퓨터나 초고성능컴퓨터 기술을 이용
 - 고속의 전산망 활용, 특수목적의 실험시스템 구축, 응용 및 시스템 소프트웨어, 대용량데이터 관리 등을 포함하는 컴퓨팅, 통신 및 정보기술
- 초고성능컴퓨팅은 지능정보사회를 이끄는 지능정보기술 분야의 혁신을 이끄는 핵심 역할을 수행하도록 성장
 - 주요 키워드로 인공지능, 사물인터넷, 클라우드, 빅데이터, 모바일이며, 이들로부터 발생하는 대용량데이터의 저장, 전송, 처리를 위한 고성능컴퓨팅, 초고속네트워크, 대용량 저장장치 등의 연구개발과 운영(운용 및 활용) 등의 기술 요구
- HPC 컴퓨터 구분
 - 통상적으로 초대형 컴퓨터「5십만달러 이상」, 대형 컴퓨터「25만달러 ~ 49만달러」, 준·중형 컴퓨터「10만달러 ~ 24만달러」로 구분(IDC 2012 HPC 분류)
 - 「슈퍼컴퓨터」란 보통의 컴퓨터보다 연산속도가 수십~수백 배 혹은 그 이상 빠른 컴퓨터로, 보통의 컴퓨터로는 풀기 어려운 대용량의 정보들을 초고속으로 생산·처리·활용하게 하는 컴퓨터 시스템

※ 통상적으로 세계 성능 순위 500위권 내의 컴퓨터를 의미하며, <https://www.top500.org/> 에서 매년 2회(6월, 12월)에 걸쳐 순위 발표

HPC 구성 및 특성

- HPC는 시스템 HW, 시스템 SW, 응용 솔루션, 서비스로 구성하여, 일반 IT 분야를 넘어 바이오, 나노, 첨단기계 설계, 항공/우주, 국방 등 첨단 융합산업 및 서비스산업에 활용

그림 1. HPC 구성 및 개요

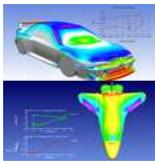
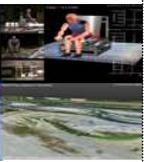
HPC 서비스	분석된 데이터 기반으로 다양한 개인형 맞춤 의료, 광고, 정보 서비스 등 비즈니스 서비스를 제공	
HPC 응용	과학계산, BT, NT, ET 등 산업응용 및 데이터 분석을 위하여 초고성능 컴퓨터에 설치·실행되는 소프트웨어(SW)	
HPC 시스템 SW	컴퓨터 시스템의 HW를 운영하고, 대규모 데이터 병렬 처리, 컴파일러, 개발 SW, 미들웨어 및 운영체제 등의 실행 환경을 제공하는 플랫폼 SW	
고성능 컴퓨터 (HPC 서버)	고성능 CPU, 차세대 메모리, 고성능 네트워크 등을 바탕으로 막대한 대용량 데이터를 초고속으로 처리하기 위한 기반 서버 하드웨어(HW)	

출처: 초고성능컴퓨터산업 발전전략, ETRI, 2014

● 초고성능컴퓨팅의 적용 분야

- 무형의 지적자산(예: 대용량 데이터)과 접목하여 ① 서비스 고부가가치화, ② 전통 산업의 주요제품을 선행적 설계, 시뮬레이션 등을 통한 산업 경쟁력 강화 ③ 과학, 에너지, 복지 등에 활용되어 새로운 거대 新산업을 창출

그림 2. HPC 적용 분야

전통 산업	① 자동차, 선박, 항공 등 설계, 사고 시뮬레이션을 통해 전통 산업 고도화 (예: 컴퓨터 기반 충돌 실험을 통한 원가 절감 및 개발시간 단축)		
서비스 산업	② 금융, 교육 등 전문서비스 산업, 자산관리 등 대규모 사무처리 서비스 수행, 무형의 지식자산과의 결합을 통한 新서비스 창출		
거대 과학 산업	③ 과학, 에너지, 복지, 신약개발 등 거대 산업·사회 문제해결을 위한 빅데이터 분석		

출처: 초고성능컴퓨터산업 발전전략, ETRI, 2014

📖 **지능정보기술과 HPC**

● 제4차 산업혁명은 지능정보기술이 변화의 동인

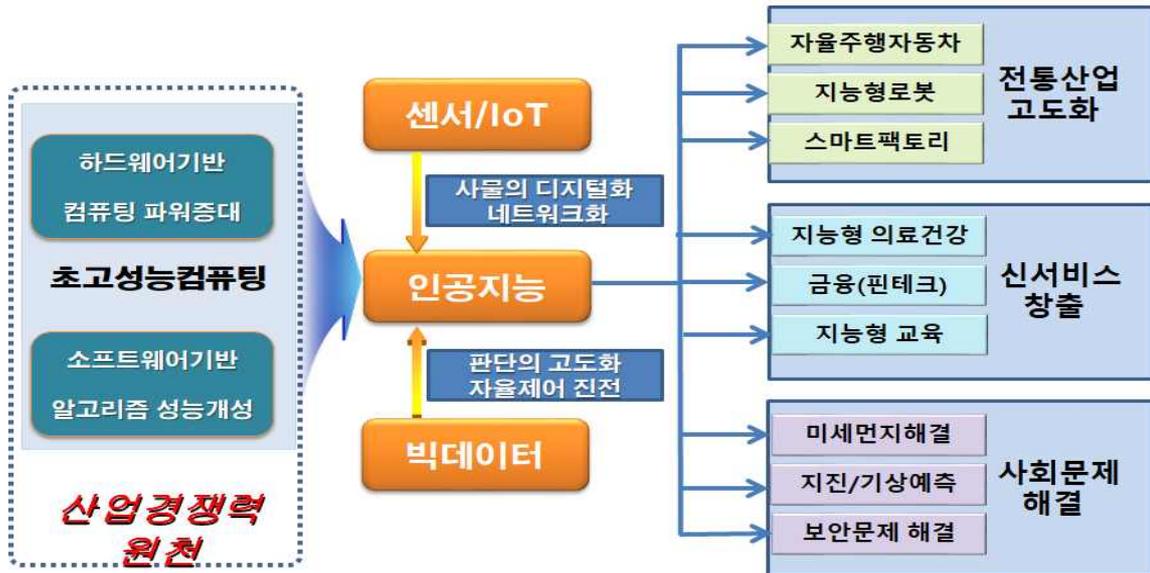
- 지능정보기술은 수확체증이 가능할 정도의 높은 생산성을 제공하며, 빠르게 산업구조를 재편 촉발
- 대규모 설비 투자(자본) 및 인건비 절감(노동) 여부 보다는 기술혁신 여부가 중요
 - ※ 구글(종업원 약 6만명/수익 \$234억) vs. GM(종업원 약 21만명/수익 \$97억)('15)
 - ※ 차량 공유 업체 우버의 기업가치는 80조원에 육박하여 GM·포드 등 기존 기업 추월

- 물리적, 생물학적, 디지털적 세계를 빅데이터(BigData)로 통합하고, 고성능 컴퓨팅 기반 데이터 처리를 통해 경제 및 산업 전반에 걸쳐 생산성 향상 추구
- 인공지능의 빠른 성능 향상과 보급·확산을 위해서는 데이터를 수집·전달·저장·분석하는 초고성능 컴퓨팅 기술이 핵심 기반
- 각종 데이터를 수집하고 실시간으로 전달하며(IoT·Mobile), 수집된 데이터를 효율적으로 저장하고 그 의미를 분석(Cloud·Big Data)

● 지능정보기술의 enabler 초고성능 컴퓨팅

- 4차 산업혁명의 대표 분야 중 하나인 인공지능의 눈부신 성과는 고성능컴퓨팅(HPC: High Performance Computing)의 발전과 적극적인 활용이 있었기에 달성
- 인공지능 분야의 주요 성공의 순간마다 고성능컴퓨팅이 핵심적인 역할 담당 (예: IBM 딥블루, IBM Watson, 구글 알파고)
 - ※ 2016년 3월, 알파고는 이세돌과의 대결에서 30초 동안 약 10만 개의 경우의 수 탐색
 - ※ 연산성능: IBM Deep Blue(11.38 GFlops), IBM Watson(80 TFlops), Google AlphaGo(약 300 TFlops)
- 방대한 양의 데이터를 수집, 구축하고 이를 축적, 해석을 통해 데이터의 지능화를 가능케 하는 초고성능컴퓨팅은 지능정보사회 구현의 시발점이며 핵심요소
- 복잡한 과학 및 산업 문제해결을 위하여, 일반 PC의 수천 배 혹은 그 이상의 성능을 지닌 컴퓨터 시스템을 고속의 네트워크로 연결하여 에너지, 신약개발 등에 활용하는 국가 경쟁력의 핵심요소

그림 2. 산업 경쟁력의 원천 HPC



- 세계 각국은 국가의 과학 리더십과 산업 경쟁력이 초고성능컴퓨팅 자원에 의해 결정될 것으로 내다보고, 초고성능컴퓨팅 자원의 확보 및 활용 전략을 수립

※ 미국, 중국, 일본, EU는 모두 엑사스케일 슈퍼컴퓨터 경쟁에서 적극적으로 나서고 있으며, 중국의 부상에 위협을 느끼고 미국은 보다 적극적으로 대응에 나서고 있음

활용기술과 HPC

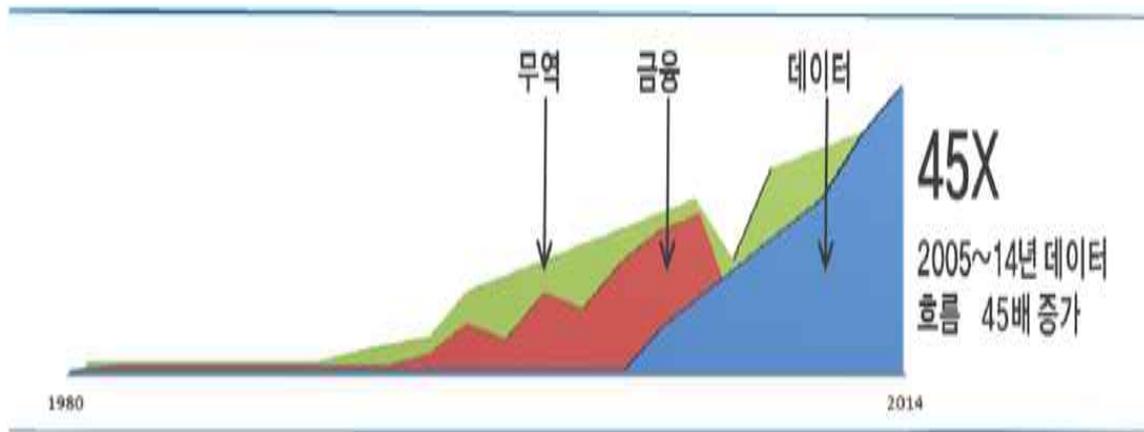
● 디지털 기반 강화

○ 세계 경제에서 무역 및 금융 흐름 증가세는 완만해진 반면 데이터 흐름은 폭발적으로 증가

- 무역 및 금융 분야에 비해 데이터는 2005~14년 데이터 흐름이 45배 증가하는 등 폭발적인 성장세

- 2014년 전 세계 GDP 7.8 조 달러 중 데이터 흐름을 통한 GDP 증가분은 2.8 조 달러(상품 무역 효과를 상회)

그림 2. HPC 적용 분야



출처: 초고성능컴퓨터산업 발전전략, ETRI, 2014

- 데이터가 경제적 자산이 되는 시대에 진입하며 초고성능 컴퓨팅은 국가 경쟁력 고도화를 위한 핵심 수단으로 대두
 - 개방형 데이터를 활용하여 매년 3조 달러 부가가치 생산하고 이중 미국이 1.3조 달러 차지(맥킨지, 2016)
 - 기업이 데이터에 기반한 의사결정 방식을 채택한 경우 성과나 생산성이 5~10% 향상(데이터산업 백서, 2016)
- 혁신 플랫폼: 초고성능컴퓨팅+인공지능
 - 초고성능컴퓨팅과 인공지능의 결합은 방대한 데이터의 처리를 통해 지능정보화를 이끌 혁신 플랫폼임
 - 초고성능컴퓨팅은 데이터 중심 컴퓨팅과 시뮬레이션을 기반으로 과학 발견의 패러다임을 변화시키고 있으며, 산업 적용을 통해 기술 혁신의 단초를 제공
 - ※ 중력파 관측소(LIGO)의 중력파 검출성공(2015.09), 고성능컴퓨팅에 대한 투자 \$1당 \$515의 수익 창출(2013년 추산치의 44% 증가,

2015.08, IDC)

- 생산, 유통되는 대규모 데이터에 대한 거대 규모의 계산을 통해 진보와 혁신을 위한 통찰이 요구됨

※ 2013년 4.4조GB 생성, 2020년 약 10배가 증가한 44조 GB 전망 (EMC, 2014)

○방대한 데이터와 초고성능 컴퓨팅 파워를 결합하여 전통산업의 고도화, 신서비스의 창출, 사회문제 해결을 위한 거대 과학산업의 등장

- 폭발적인 데이터(텍스트, 이미지, 비디오, 지형 데이터 등)는 고성능컴퓨팅 자원 기반 딥 러닝을 통해 자율주행 자동차, 전문가 추천 시스템, 의료, 헬스케어, 기상, 보안 등 타산업과의 융합을 통해 활용 실 사례 확대

- 인공지능 학습을 위한 데이터 및 계산 규모 문제는 저비용, 고효율을 보장하는 고성능컴퓨팅 시스템이 필수적임

※ 심층신경망(Deep Neural Network) 학습의 핵심은 처리시간, 효율적인 HW(병렬처리, 이기종컴퓨팅, 고속 인터커넥트 등)이며 이는 고성능컴퓨팅의 성능 향상 요소와 정확하게 일치

HPC 시장전망

● 세계 HPC 시장전망

- 세계 HPC 시장은 2016년 356억불 시장 규모에서 21년 439억불 시장 규모로 성장 할 것으로 예측 되고, 특히 HPC 서비스 분야가 높은 성장률을 보여 16년 38억 불 시장에서 21년 42억불 시장 규모로 성장 할 것으로 예상
- HPC 시장에서 가장 큰 비중을 차지하는 것은 서버, 저장장치, 네트워크 등 고성능 컴퓨터와 관련된 HW 시장으로 16년 200억불 시장규모에서 21년 255억불 시장규모로 성장이 예상 됨

그림 3. 세계 HPC 시장 전망

(단위: M \$)

구분	16년	17년	18년	19년	20년	21년
HPC 서비스	3,824	3,877	3,939	4,010	4,090	4,174
HPC 응용	2,053	2,090	2,134	2,183	2,238	2,296
HPC 시스템 SW	9,694	10,042	10,432	10,867	11,351	11,985
고성능 컴퓨터	20,016	20,915	21,895	22,983	24,192	25,489
서버	11,471	11,947	12,480	13,072	13,730	14,443
저장장치	5,778	6,113	6,460	6,845	7,272	7,722
네트워크	2,767	2,855	2,955	3,066	3,190	3,324
전체	35,587	36,924	38,400	40,043	41,871	43,944

출처: Intersect360 Research, HPC Market Update, ISC 17, 2017

● 국내 HPC 시장전망

- 국내 HPC 시장은 2016년 1조 231억 원 시장 규모에서 21년 1조 2,566억 원불 시장 규모로 성장 할 것으로 예측 되고, 한국의 경우 고성능 컴퓨터 관련 HW 분야가 높은 성장률을 보여 16년 5,156억 원 시장에서 21년 6,496억 원 시장 규모로 성장 할 것으로 예상

그림 4. 국내 HPC 시장 전망

(단위: 억 원)

구분	16년	17년	18년	19년	20년	21년
HPC 서비스	1,208	1,225	1,244	1,267	1,292	1,319
HPC 응용	649	660	674	690	707	725
HPC 시스템 SW	3,218	3,342	3,480	3,634	3,806	4,026
고성능 컴퓨터	5,156	5,373	5,613	5,880	6,176	6,496
서버	3,585	3,734	3,901	4,086	4,291	4,514
저장장치	697	738	779	826	877	932
네트워크	874	902	933	969	1,008	1,050
전체	10,231	10,600	11,012	11,471	11,981	12,566

* 추정방법 : HPC Market Update, ISC 17(Intersect360 Research)의 세계시장 자료를 중심으로 IDC(2016)에서 나오는 서버, 저장장치, 시스템SW 등의 국제 국내 시장 비율을 적용하여 자체 추정함

II HPC 산업구조 분석 방법론

산업구조 분석 방법론

● 산업연관분석

- 생산 활동을 통하여 이루어지는 산업간의 상호연관관계를 수량적으로 파악하는 분석방법을 산업연관분석이라 함
 - 국민경제의 순환과정은 소득순환과 산업간 순환의 두 가지 측면에서 파악되는데, 국민소득 분석이 소득순환을 대상으로 국민경제 전체의 활동을 분석
 - 산업연관분석은 이러한 소득이 발생하는 배후의 생산구조를 산업부문간의 기술적인 상호의존 관계에 주목하여 국민경제를 구성하고 있는 산업의 단계에서 포착하면서 최종수요를 외생변수로 부여함으로써 그것이 국민경제에 미치는 파급효과를 분석
- 산업연관표의 거시적 정보를 이용하여 우리나라 산업의 장기간 산업구조변화분석을 실시
 - 산업연관분석은 분석단위인 1년간 투입과 산출의 관계가 일정하다는 가정에서 산업수요의 변화에 대한 각 산업의 생산활동에 미치는 영향을 측정
 - 산업연관분석관점에 따라서 생산유발효과, 부가가치유발효과 그리고 고용유발효과를 측정하여 시간별 그리고 산업별로 측정계수를 비교하는 일반 균형방법[한국은행, 산업연관표 해설 참조].
- 산업연관분석모형을 설명하기에 앞서 몇 가지 산업연관표의 활용방법에 대한 유의사항이 존재
 - 산업연관분석방법에는 여러 가지 분석방법, 수요형, 공급형 그리고 혼합형이 제시되고 있고,
 - 산업연관표의 실측표와 연장표의 차이로, 실측표는 직접 자료를 추계하여 작성하나, 연장표는 실측표에 근거하여 몇 가지 기법을 이용하여 확정하고 우리나라의 경우에 연장하는 방법으로 RAS방식을 이용¹⁾

1) 한국은행은 2005년까지는 끝자리가 0, 5로 끝나는 해를 대상으로 5년마다 실측표를 작성하고 3, 8,로 끝나는 해를 대상으로 연장표 작성해오다 2006년부터 산업연관표 연장표를 매년 발표하고 있음.

● RAS 방식

- RAS기법은 기준년도의 투입산출계수와 원하는 년도 또는 지역의 부분적인 기존 통계자료를 활용하여 투입산출계수 또는 지역기술계수를 구하는 방법
 - $n \times n$ 행렬인 기준연도의 투입계수 행렬 $A(0)$ 로부터 예측연도의 투입계수 행렬 $A(1)$ 을 추정하는 하나의 방법
 - 이 기법은 기존통계자료에서도 구할 수 있는 총산출과 부가가치, 최종수요의 통계를 이용하여 투입산출분석에 이용되는 중간투입과 중간수요의 합계를 구하고 여기에 기본년도나 지역의 투입계수를 적용하여 변형시, 기본이 되는 투입계수를 중간투입과 중간수요에 대하여 투입과 산출 양 방향으로 일정수준의 오차범위까지 수렴토록 조정
- RAS 방식의 장점
 - 투입계수의 non-negativity가 보장됨, 이것은 투입산출 분석의 가장 기본적인 원리를 충족시켜주는 것
 - 투입계수가 안정적 임, 이는 지역과 관련이 있는 기본년도의 투입계수표를 이용하고, 또한 지역산업의 부문별 중간 투입 및 수요의 중간 합계치를 활용하여 조정하는 방법론 때문
 - 이용 가능한 기존 통계자료를 최대한 이용하여 투입산출계수의 변형을 유도하여 이에 따라 실제 조사된 기존 통계자료의 영향을 투입계수에 간접적으로 반영시킬 수 있게 됨
- RAS 방식의 단점
 - 중간투입이나 중간수요자료 등의 집계과정에 많은 노력이 소요되고, 중간 투입이나 중간수요 자료는 기존 통계자료가 그대로 이용될 수 있는 것이 없고 대부분이 다른 자료를 통하여 작성하거나 때로는 실제로 조사해야 하는 경우도 있음
 - 또한 통계자료가 존재하는 항목도 투입산출분석개념과 동일하지 않은 경우가 많아서 그대로 쓸 수가 없는 경우가 허다 함

● GRAS 방식

- 본 연구에서 적용한 GRAS방법은 Günlük-Senesen와 Bates(1988)가 처음 제안하였으며, Junius와 Oosterhaven(2003)에 의해 더욱 엄격하게 공식화
 - Lenzen et al. (2007) 등이 나중에 제안한 소위 KRAS방법이 투입산출(IO)의 균형/양수 및 음의 요소가 있는 행렬에 대하여 이중비례방법으로 특별한 경우로 인정되지만, 본 연구에서 적용한 GRAS방법은 투입산출 실무자들 사이에서 실무에서 구현하는 프로그래밍이 상대적으로 단순하기 때문에 여전히 매우 보편적임
 - GRAS방법의 매력적 기능 중에 하나는 반복적인 절차에서 쉽게 사용할 수 있는 분석 해를 도출하는 가용성에 있어, GRAS결과를 도출하기 위해 고성능(비선형 방정식)프로그램(예: GAMS)을 사용할 필요가 없음
- GRAS분석 방법의 장점
 - 투입산출 분석은 고성능 프로그램에 대한 접근권한이 없는 반면에 반복적 접근법으로 Excel 또는 R과 같은 널리 사용되는 소프트웨어에 쉽게 접근할 수 있음
 - 투입산출분야에서 GRAS알고리즘으로부터 도출된 조정승수는 분석초점이 될 수 있는 명백한 경제적 의미를 가지고 있음[Stone, 191; Toh, 1998, Van der Linden and Dietzenbacher, 2000 참조].
 - * 이 조정승수가 GRAS분석 해를 구성하는 반복접근법으로 구현가능
 - 반복적 접근법의 수렴과정을 최적화 해법의 내장함수보다 쉽게 제어할 수 있어, 특히 RAS실행 불가능문제에 근접한 경우에 더욱 쉽게 해결할 수 있는 장점이 존재
- GRAS방법론
 - 먼저 A 와 X 을 초기 그리고 조정된 행렬로 정의. 이때 a_{ij} 와 x_{ij} 는 각 해당 행렬의 요소임. Junius and Oosterhaven(2003)은 비중 $z_{ij} = x_{ij}/a_{ij}$ 로 정의하였음. GRAS문제는 다음과 같이 서술 됨²⁾

2) 다양한 행렬확장방법에 대한 기초적 기술은 Miller et al.(2009)을 참조

$$\min_{z_{ij}} \sum_{ij} |a_{ij}| z_{ij} \ln\left(\frac{z_{ij}}{e}\right) \quad (1)$$

s.t

$$\sum_j a_{ij} z_{ij} = u_i \quad (2)$$

$$\sum_i a_{ij} z_{ij} = v_j \quad (3)$$

u_i, v_j 는 각 행과 열의 총계

- 제약조건 수식 (2)과 (3)는 수정된 행렬이 외부에서 주어진 행과열의 총합과 같아야한다는 조건. 초기행렬 A 을 $A = P - N$ 으로 분해. 여기서 P 는 정의 요소로 구성된 행렬을 N 는 부의 요소로 구성된 절대 값의 행렬을 말함
- 상기 수식의 GRAS해는 다음과 같다[Lenzen et al. 2007 참조]

$$x_{ij} = r_i a_{ij} s_j \text{ for } a_{ij} \geq 0 \quad (4)$$

$$x_{ij} = r_i^{-1} a_{ij} s_j^{-1} \text{ for } a_{ij} < 0 \quad (5)$$

r_i, s_j 는 다음 2차 방정식의 해

$$p_i(s) r_i^2 - u_i r_i - n_i(s) = 0 \quad (6)$$

$$p_j(r) s_j^2 - u_j s_j - n_j(r) = 0 \quad (7)$$

- 여기서 각 이차방정식의 계수는 다음과 같이 정의

$$p_i(s) = \sum_j p_{ij} s_j, p_j(r) = \sum_i r_i p_{ij}, n_i(s) = \sum_j \frac{n_{ij}}{z_j}, n_j(r) = \sum_i \frac{n_{ij}}{r_i} \quad (8)$$

- 위 2차 방정식의 해는 다음과 같음

$$r_i = \frac{u_i + \sqrt{u_i^2 + 4p_i(s)n_i(s)}}{2p_i(s)} \quad (9)$$

$$s_j = \frac{v_j + \sqrt{v_j^2 + 4p_j(r)n_j(r)}}{2p_j(r)} \quad (10)$$

- 상기 수식을 이용하여 GRAS방법의 해를 탐색하는 알고리즘은 다음과 같음

반복 0: 모든 i 에 대하여 $r_i(0) = 1$ 로 정한다

반복 $t = 1, 2, \dots, M$: 수식 (9)과 (10)에서 순차적으로 $s_j(t), r_i(t)$ 을 구한다

반복 M : $s_j(M) - s_j(M-1) < \epsilon$ 인 경우에 수식 (4)과 (5)를 이용하여 x_{ij} 을 구한다

- 투입산출표의 확장하는 과정에서 중요한 역할과 경제적 의미를 갖는 것이 r, s 임 [Lahr et al. 2004 참조], Stone(1961)은 r 을 연관 산업에 발생한 대체효과로 규정하였음. 역시 동일한 관점에서 볼 때, s 는 연관 산업 사이에 발생하는 보완효과로 간주할 수 있음³⁾

3) Lahr et al. (2004)는 r, s 의 기존 Stone적 해석에 대하여 신중하게 언급하고 있음

III HPC 산업구조 분석 결과

■ HPC 산업의 국민경제구조 분석 방법

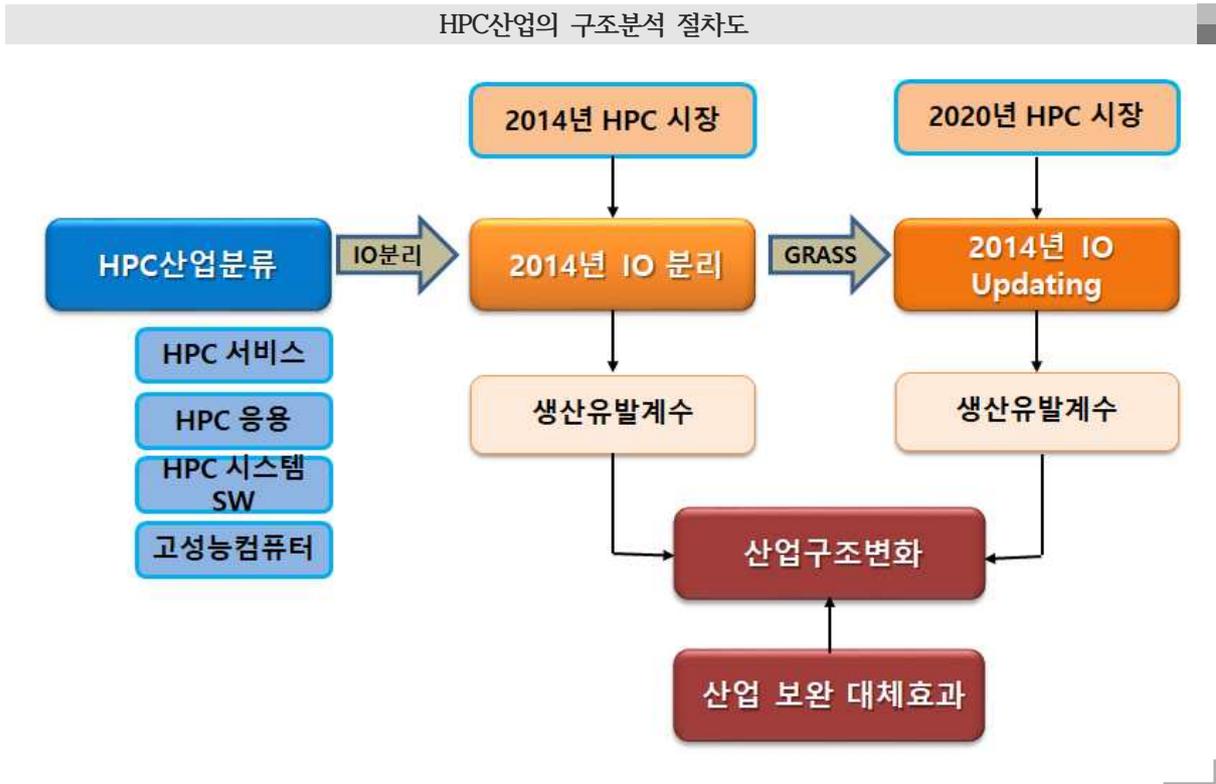
● GRAS 방식을 적용한 HPC 산업구조 분석

- 본 연구는 GRAS방식의 적용은 가장 산업발전이 빠른 ICT분야에 대한 분석사례로 ICT산업, 특히 HPC산업에 대한 사례분석은 다음과 같은 이유에서 GRAS방법적용에 중요한 의미가 있음
 - 첫째, ICT산업의 투입산출분석을 위한 시기적절한 투입산출표가 존재해야 함. 그러나 공식적 투입산출표는 일반적으로 5년 단위로 발간되기 때문에 빠른 산업발전에 비하여 적절한 투입산출표를 구하기가 어려움
 - 둘째, ICT 산업에서 기술적 변화속도가 빠르기 때문에 해당 산업구조 및 전체 국가산업구조가 빠르게 변화하여, 이를 반영하기 위하여 기존 투입-산출표를 ICT 산업환경에 조정할 필요(Updating)가 존재한다.

● 산업구조분석 절차

- 1단계: 2014년 투입산출표를 이용하여 HPC 산업을 분류
 - HPC 산업은 앞에서 언급한 것 과 같이 새로운 네 개 산업부분으로 분류할 수 있음
 - * 이 단계에서 기존 투입산출표를 새로운 산업부분으로 분리하는 복잡한 작업이 필요함 이 방법에 대해서는 조병선 외(2015)를 참조
- 2단계: 2014년 투입산출표를 이용하여 12개 산업부분으로 분리하여 생산유발 계수를 중심으로 산업구조 분석
 - 이 기본 산업연관표를 기반으로 2020년도의 산업연관표를 GRAS방식을 이용하여 Updating
- 앞에서 설명한 단계에서 투입산출표를 2020년도로 조정하기 위해서는 적어도 부분적인 정보가 필요
 - 기존 투입산출표를 분리하기 위해서 새로운 산업부분의 비중이 필요하고

- 2020년도의 산출과 투입 전망이 필요함 이는 미래에 대한 전망이기 때문에 적절한 방식에 의한 전망 또는 예측기관의 자료를 활용 함



📄 HPC 산업의 구조변화 결과

● 산업분류 재구성

- 분석을 위한 기본 산업분류는 다음과 같이 2014년도 투입산출표(161부문)를 이용하여 분류
- 단지 HPC산업은 주로 정보통신산업에서 분류하였지만, 그들 산업범위가 정보통신산업을 넘는 산업범위임을 주의해야 함

HPC산업 분석을 위한 산업연관 분류표

분류	내 용	본 연구 분류Code
농수산 광물	농수산업 광물 원유 등	1
식료 섬유 목재	식료품 섬유 목재 종이	2
석유 화학	석유 화학 시멘트 유리 등	3
철 기계	금속제품, 기계 장치	4
운송 산업/ 서비스	자동차, 석박, 항공 산업 및 서비스	5
전기 기기	전기, 전자 제품	6
유틸리티	전력, 가스, 수도	7
건설	건설업, 토목업	8
금융	금융 산업	9
기타 서비스	의료, 사회, 문화 서비스 등	10
정보통신 산업	ICT 산업	11
HPC 산업	HPC 산업	12

- HPC 산업은 추후 분석을 위하여 4가지 산업(서비스, 응용, 시스템 SW, 고성능컴퓨터)의 세분류 체계로 하여 분석 함

● 2014년 우리나라 주요산업의 부문(12 부문)별 유발계수

- 본 연구는 GRAS방식의 적용은 가장 산업발전이 빠른 ICT분야에 대한 분석사례로 ICT산업, 특히 HPC산업에 대한 사례분석은 다음과 같은 이유에서 GRAS방법적용에 중요한 의미가 있음
 - 첫째, ICT산업의 투입산출분석을 위한 시기적절한 투입산출표가 존재해야 함. 그러나 공식적 투입산출표는 일반적으로 5년 단위로 발간되기 때문에 빠른 산업발전 에 비하여 적절한 투입산출표를 구하기가 어려움

- 둘째, ICT 산업에서 기술적 변화속도가 빠르기 때문에 해당 산업구조 및 전체 국가산업구조가 빠르게 변화하여, 이를 반영하기 위하여 기존 투입-산출표를 ICT 산업환경에 조정할 필요(Updating)가 있음

2014년 주요산업 유발계수

Code	분류	생산 유발계수	부가가치 유발계수	고용 유발계수
1	농수산 광물	2.314	0.977	33.153
2	식료 섬유 목재	3.240	0.969	22.658
3	석유 화학	3.454	0.974	21.074
4	철 기계	3.584	0.990	16.374
5	운송 산업/서비스	3.225	0.967	18.358
6	전기 기기	3.053	0.984	14.400
7	유틸리티	2.754	0.954	18.561
8	건설	2.990	0.973	20.030
9	금융	1.974	0.947	12.950
10	기타 서비스	2.095	0.973	20.732
11	정보통신 산업	3.083	0.982	12.612
12	HPC 산업	1.916	0.970	16.590

- 2014년 우리나라 주요 산업의 평균 유발계수는 생산유발계수: 2.81, 부가가치유발계수: 0.97, 고용유발계수 18.96 임
- HPC 산업은 생산유발계수: 1.92, 부가가치유발계수: 0.97, 고용유발계수 16.59 로 전체적으로 타 산업에 비해 상대적으로 유발계수 효과가 미진한 것으로 나타남

● 2014년 우리나라 주요산업의 부문(15부문)별 유발계수

2014년 주요산업 유발계수

Code	분류	생산 유발계수	부가가치 유발계수	고용 유발계수
1	농수산 광물	2.713	0.804	7.036
2	식료 섬유 목재	2.042	0.542	9.265
3	석유 화학	3.464	0.608	5.858
4	철 기계	3.319	0.505	6.585
5	운송 산업/서비스	1.959	0.613	10.806
6	전기 기기	2.000	0.550	6.553
7	유틸리티	1.822	0.565	6.533
8	건설	1.059	0.696	13.693
9	금융	1.552	0.840	10.709
10	기타 서비스	3.383	0.799	16.639
11	정보통신 산업	2.047	0.577	5.896
12	고성능컴퓨터	1.238	0.795	7.984
13	시스템SW	1.148	0.823	8.022
14	응용분야	1.030	0.843	10.480
15	서비스분야	1.056	0.886	13.022

- HPC 산업을 고성능컴퓨터, 시스템 SW, 응용분야, 서비스분야 등 4개 분야로 나누어 보면
 - 고성능컴퓨터 부문이 상대적으로 생산유발계수가 높고(1.24), 서비스 분야가 상대적으로 부가가치 유발계수(0.89)와 고용유발계수(13.02)가 높은 것으로 나타남
 - 이는 일반적으로 기기분야가 생산유발계수가 상대적으로 높고 서비스 분야가 부가가치 유발계수나 고용유발계수가 상대적으로 높은 경향과 일치하게 나타난 결과임

● 2020년 우리나라 주요산업의 부문(15부문)별 유발계수

- 2014년 투입산출표를 2020년까지 업데이트하기 위하여 2020년 HPC 시장에 대한 예측 자료를 활용하여 GRASS 방법을 적용하고, HPC 산업을 고성능컴퓨터, 시스템 SW, 응용분야, 서비스분야 등 4개 분야로 나누어 보면
 - 고성능컴퓨터 부문의 경우 생산유발계수는 1.60, 부가가치 유발계수는 0.77, 고용유발계수는 9.44로 나타남
 - 시스템 SW 부문의 경우 생산유발계수는 1.37, 부가가치 유발계수는 0.80, 고용유발계수는 10.31로 나타남
 - 응용분야의 경우 생산유발계수는 1.26, 부가가치 유발계수는 0.80, 고용유발계수는 11.57로 나타남
 - 서비스분야 부문의 경우 생산유발계수는 1.13, 부가가치 유발계수는 0.81, 고용유발계수는 13.17로 나타남

2020년 주요산업 유발계수

Code	분류	생산 유발계수	부가가치 유발계수	고용 유발계수
1	농수산 광물	1.236	0.725	15.962
2	식료 섬유 목재	2.143	0.540	9.914
3	석유 화학	3.616	0.605	8.292
4	철 기계	3.511	0.740	9.746
5	운송 산업/서비스	2.992	0.520	9.220
6	전기 기기	2.054	0.723	8.790
7	유틸리티	1.899	0.959	11.108
8	건설	1.816	0.390	8.778
9	금융	1.456	0.851	13.812
10	기타 서비스	3.949	0.810	16.654
11	정보통신 산업	3.008	0.523	4.689
12	고성능컴퓨터	1.596	0.771	9.443
13	시스템SW	1.367	0.796	10.313
14	응용분야	1.257	0.802	11.574
15	서비스분야	1.126	0.811	13.165

- 2014년 과 2020년 HPC 산업에 대한 비교분석
 - 2014년 대비 2020년 HPC 산업은 각 분야별 유발계수의 효과가 좋아지는 것으로 나타남
 - 생산유발계수 효과의 경우 4개 분야 모두 효과가 상대적으로 크게 높아지는 경향을 나타내고 고용유발계수의 경우도 상대적으로 높아지는 경향을 보임
 - 그러나 부가가치 유발 효과는 상대적으로 조금 감소하는 경향을 보임
 - 상기 비교 분석 결과는 HPC 산업이 초기분야에서 성장하는 중요분야로 늘어남에 따른 현상으로 분석 가능
 - 2014년 까지 우리나라 HPC 산업은 상대적으로 초기에 미성숙 분야이지만 지능정보사회가 도래하면서 데이터 중심의 HPC 산업이 크게 성장함에 따라 산업 비중이 증가하고 HPC의 역할이 커지면서 각각의 유발계수가 커지는 것으로 분석

IV 결론 및 시사점

● 연구의 목적

- 본 분석은 새로운 산업부문이 기존 ICT산업에서 발생할 경우에 전체 국민 경제의 산업구조변화와 그 변화원인을 추적하는 데 중요한 산업연관표의 분리 및 확장방법을 적용하여 분석
 - 이 분석방법론의 적용은 최근 빠른 기술변화에 따른 새로운 산업의 생성과 그 영향을 국가 경제구조의 관점에서 이해하는 데 중요한 역할을 함
 - 특히 HPC 산업을 비롯하여 인공지능, 빅데이터, IoT 등 최근에 급성장하는 산업분야로 기존의 시장데이터로는 분석이 불가능한 분야에 대한 영향 및 예측을 하고자 함
- 최근 가장 중요한 신 산업부분중에 하나인 HPC 산업에 대한 기존 국민 경제구조에 미치는 영향을 분석함
 - 또한 2020년에 대한 산업구조를 전망함으로써 경제구조변화의 방향을 제공하고, 더욱 중요한 분석결과로 산업연관표를 확장하는 과정에서 각 산업의 보완 및 대체관계를 전망할 수 있는 측정치를 얻을 수 있음

● 연구분석 결과

- 새로운 HPC산업부분이 국민경제에 편입됨으로써 해당 산업뿐만 아니라 기존 산업의 생산유발효과가 증대함
 - 2014 대비 2020년 HPC산업의 유발계수를 보면 생산유발계수 효과의 경우 HPC 산업 4개 분야 모두 효과가 상대적으로 크게 높아지는 경향을 나타내고 고용유발계수의 경우도 상대적으로 높아지는 경향을 보임
- 상기 비교 분석 결과는 HPC 산업이 초기분야에서 성장하는 중요분야로 늘어남에 따른 현상으로 분석 가능
 - 2014년 까지 우리나라 HPC 산업은 상대적으로 초기에 미성숙 분야이지만 지능정보사회가 도래하면서 데이터 중심의 HPC 산업이 크게 성장함에 따라 산업 비중이 증가하고 HPC의 역할이 커지면서 각각의 유발계수가 커지

는 것으로 분석 됨

- 이 분석결과는 지속적으로 국민경제가 성장하기 위해서는 신산업의 창출이 중요함을 보여주는 결과임

● 연구의 의의 및 한계

- 본 분석은 기존 ICT 산업부문에서 분화, 융합하는 새로운 ICT 산업분야에 대한 적절한 경제성 분석을 위한 방법론을 제시함
 - HPC산업과 같이 아직은 초창기 산업분야이지만 향후 지속적인 성장이 예상되고, 기존의 데이터로는 그 산업의 성장성이나 경제적 효과를 잘 보여주지 못할 때 유용하게 사용 할 수 있는 방안
- 그러나 RAS 방식이나 GRAS 방식 모두 현재의 불완전한 정보 하에서 예측치 또는 활용 가능한 정보를 이용하여 미래의 산업구조에 대한 분석을 함
 - 불완전한 정보 또는 현재 활용가능한 정보가 얼마나 정확한 정보인가에 따라 미래 산업구조를 분석하는데 영향을 미치는 한계가 있음

※ | 참고문헌

한국은행, 해당 연도, 『산업연관표』

조병선, 이종용, 조상섭, (2015), "소프트웨어산업 구조변화에 따른 산업획정과 경제적 효과분석," 『전자통신동향분석』, 30권 2호, PP.59-67.

Junius, T. and J. Oosterhaven, (2003), "The Solution of Updating or Regionalizing a Matrix with Both Positive and Negative Elements." *Economic Systems Research*, Vol.15, pp.87-96.

Lahr, Michael and Mesnard, Louis, (2004), "Biproportional Techniques in Input-Output Analysis: Tables Updating and Structural Analysis," *Economic Systems Research*, Vol.16, pp.115-134.

Lenzen, M., R. Wood and B. Gallego, (2007), "Some Comments on the GRAS Method," *Economic Systems Research*, Vol.19, pp. 461-465.

Lindner S. et al., (2012), "Disaggregating Input-Output Models with Incomplete Information," *Economic Systems Research*, Vol.24, pp.329-347.

Miller R. and Blair, P. (2009), *Input-Output Analysis*, Cambridge Press.

Stone, R., (1961), *Input-Output and National Accounts*, OEEC.

Temurshoev et al. (2013), "A Note on the GRAS Method," *Economic Systems Research*, Vol.24, pp.361-367.

저자소개

조 병 선 ETRI 미래전략연구소 기술경제연구본부 기술경제연구그룹
책임연구원
e-mail: tituscho@etri.re.kr Tel. 042-860-1136

HPC 산업구조 변화 분석

발 행 인 : 한 성 수

발 행 처 : 한국전자통신연구원 미래전략연구소 기술경제연구본부

발 행 일 : 2017년 12월

ETRI 한국전자통신연구원
미 래 전 략 연 구 소

34129 대전광역시 유성구 가정로 218
전화 : (042) 860-3874, 팩스 : (042) 860-6504

* 주의 : 본서의 일부 또는 전부를 무단으로 전제하거나 복사하는 것은
저작권 및 출판권을 침해하게 되오니 유의하시기 바랍니다.

