

디지털 혁신의 국제비교와 시나리오별 무역 영향 분석

최낙균 대외경제정책연구원 무역통상실
무역투자정책팀 선임연구위원
ngchoi@kiep.go.kr

이규엽 대외경제정책연구원 무역통상실
무역투자정책팀 부연구위원
kylee@kiep.go.kr

김혁황 대외경제정책연구원 무역통상실
무역투자정책팀 선임연구원
hhkim@kiep.go.kr

장윤종 산업연구원 선임연구위원
jang@kiet.re.kr



1. 연구의 배경 및 목적

- 4차 산업혁명은 ICT(Information and Communication Technology)가 경제 및 사회 전반에 융합되어 혁명적인 변화가 이루어지는 차세대 산업혁명을 의미
 - 구체적으로 인공지능(AI), 빅데이터(big data) 분석, 클라우드 컴퓨팅(cloud computing), 사물 인터넷(IOT: Internet of Things) 등의 기술이 기존 산업 및 서비스와 융합되거나 3D 프린팅, 나노테크놀로지(Nanotechnology), 생물 생산(Bio-production), 신물질 개발 등과 같은 신기술과 결합되어 모든 제품 및 서비스를 네트워크로 연결하고 사물을 지능화하는 것을 의미
- 4차 산업혁명에 따른 디지털 혁신은 종전의 디지털 발전과는 차원을 달리하게 됨.
 - 4차 산업혁명은 1차 산업혁명(증기기관), 2차 산업혁명(전기에너지), 3차 산업혁명(컴퓨터와 인터넷) 등과 다르게 지능과 정보가 융합된 기술을 통해 모든 경제 및 사회 활동에 광범위하고 신속하게 영향을 미침.
 - 종전의 디지털 발전은 주로 정보통신기술(ICT: Information Communication Technology)에 따른 인터넷과 모바일통신의 발전에 따른 것이었는데 반해, 4차 산업혁명에 따른 디지털 혁신은 가상세계와 현실세계, 즉 온라인과 오프라인이 초연결되면서 공진화(co-evolution)하는 발전 과정을 의미
- 이러한 변화에 대응하기 위해 문재인 정부의 국정 운영 5개년 계획은 4차 산업혁명의 선도기반을 구축하여 고부가가치를 창출하는 미래형 신산업을 발굴·육성하고, 주력산업의 경쟁력 제고로 산업경제의 활력을 회복하기 위한 세부 전략을 제시
 - 특히 제조 경쟁력과 ICT, 서비스 등의 융합을 통해 미래형 신산업을 육성하고, ICT·소프트웨어 혁신과 산업간 융합 추진으로 새로운 성장동력을 창출하며 경제성장을 견인하려는 정책을 추진
- 본 연구는 4차 산업혁명에 따른 디지털 혁신 및 활용 수준을 주요국별 및 산업별로 비교분석하고, 무역에 미치는 영향을 시나리오별로 분석하고자 함.

2. 조사 및 분석 결과

1) 디지털 혁신과 무역패턴의 변화

① 4차 산업혁명의 배경

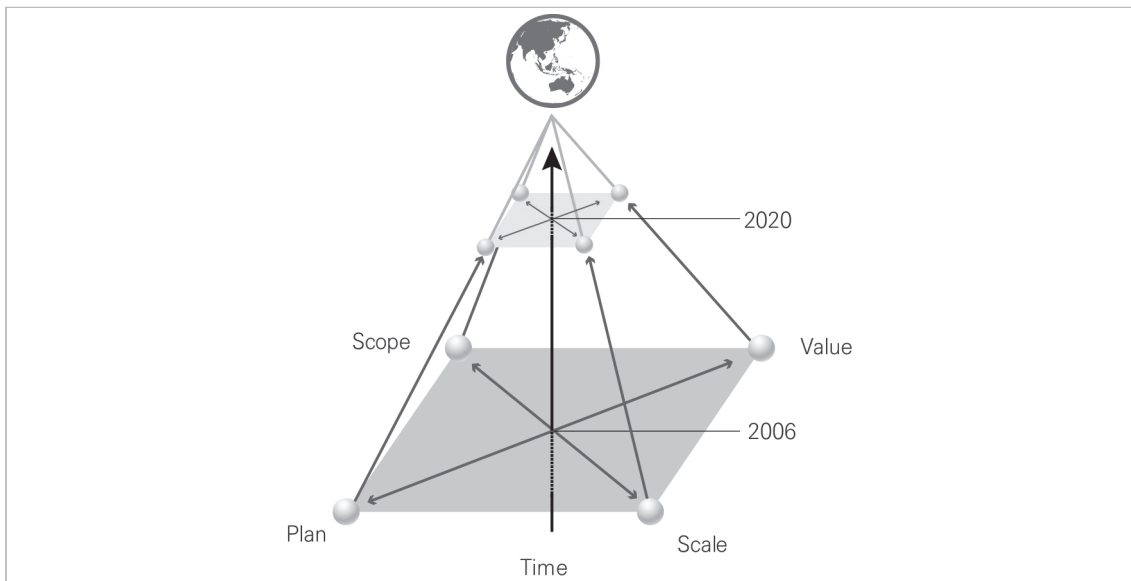
- 4차 산업혁명의 배경은 대량생산으로부터 대량 맞춤형 생산으로 변화한 이후 개인 맞춤형 생산(Personalized Production)으로 변화할 필요성이 증가한 데 있음.

- 소비자들의 니즈가 빠르게 개인화됨에 따라 생산시스템도 다양한 제품을 신속하고 저렴하게 생산할 수 있는 방향으로 전환하는 경쟁이 치열
- 이러한 배경에서 3D 프린팅에 해당하는 적층제조(additive manufacturing) 기술과 사이버·물리 시스템이 발전

- [그림 1]에서 나타나듯이 생산에서 규모와 범위, 계획과 가치 간에는 양자를 동시에 달성할 수 없는 상충관계(trade-off)가 존재한다는 것이 문제임.

- 다양성을 확대하는 경우 규모의 경제 상실에 따른 비용 상승이 불가피하게 됨. 독일에서는 이러한 상충관계를 생산의 다중 딜레마로 체계화하고 인더스트리 4.0을 통해 해결하기 위한 방안을 모색

그림 1. 생산의 다중 딜레마(Polylemma of Production)



자료: Brecher, et al.(2017), p. 13.

- 적층제조는 경우 제품당 생산규모는 작게 되지만 비용은 현행 생산방식에 비해 크게 높아지며 이를 줄이려는 노력이 바로 인더스트리 4.0임.

- 다양성과 비용을 동시에 달성하는, 구체적으로 한 제품을 하나씩만 생산하는 데 드는 비용(lot size 1 cost)을 대량 생산 비용과 같게 만드는 것이 바로 인더스트리 4.0의 지향 목표인 것임.
- 현실적으로 불가능한 다양성과 비용의 상충관계를 어떻게 해결할 수 있는가? 이를 위해서는 일차적으로 소비자의 다양한 니즈에 부합하는 최적의 제품 디자인과 생산방식을 찾아야 할 것임. 최종적으로는 선택된 방식에 따라 생산이 이루어질 수 있도록 해야 할 것이며 일차 조건을 충족하는 것이 바로 4차 산업혁명의 기본개념임.

- 구체적으로 4차 산업혁명은 아날로그적, 물리적 특성을 지닌 현실세계의 모든 사물과 현상을 디지털 데이터로 전환하고, 데이터 분석을 통해 해결책을 찾아내는 지능을 창출하는 데이터 중심의 혁명(data-driven revolution)임.

- 그에 따라 현실세계를 변화, 재창조하기 위해서는 그에 상응한 물리적 기술이 추가로 개발되어야 함.

② 디지털 혁신과 경제 패러다임의 변화

- 4차 산업혁명에 따라 디지털 혁신이 이루어지면 새로운 제품이 출시되고 기존 제품의 생산성도 대폭 향상될 뿐 아니라 생산, 판매, 소비 등 경제 전반에 걸쳐 큰 변화가 나타나게 됨.

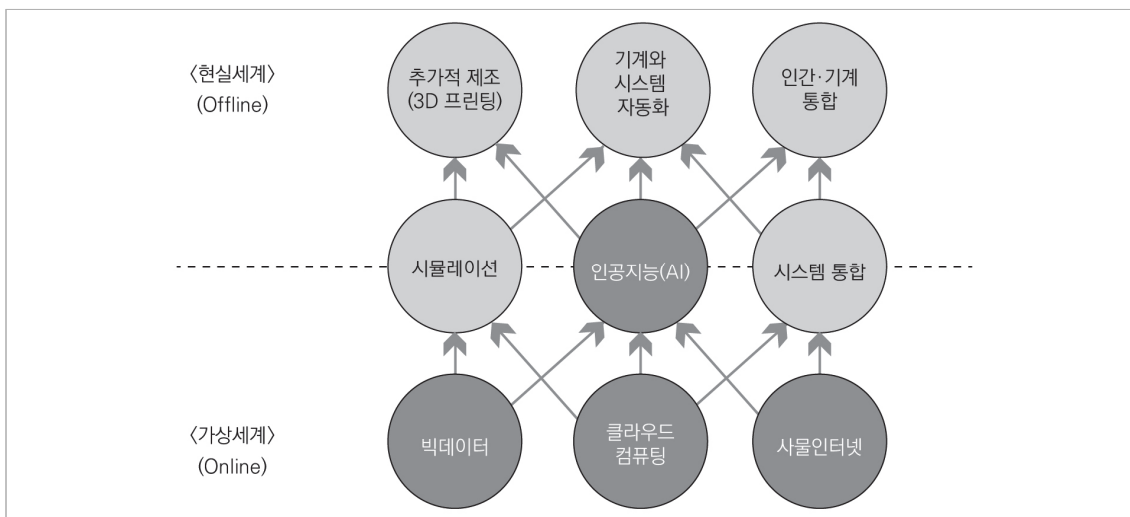
- 기업과 소비자 등 모든 경제주체들이 ICT 제품과 서비스를 널리 이용하면서 4차 산업혁명에 따른 디지털 혁신은 사회 전체적으로 확산되고 세계경제의 총생산성 증가를 유발

- 4차 산업혁명과 관련하여 전산화(digitization), 디지털화(digitalization), 디지털 혁신(digital innovation), 디지털 변혁(digital transformation) 등과 같은 여러 가지 용어가 혼재되어 사용

- 전산화(digitization)는 아날로그 데이터 및 과정을 기계가 읽을 수 있는 포맷으로 전환하는 과정이며, 디지털화(digitalization)는 디지털 기술 및 데이터의 이용과 이에 따른 새로운 활동을 의미
- 디지털혁신(digital innovation)은 정보통신기술과 관련된 재화 및 서비스의 신개발을 의미하는데 반해 디지털 변혁(digital transformation)은 전산화 및 디지털화에 따른 경제사회적 변화를 의미하므로 결국 디지털 혁신의 결과로 나타나는 변화를 의미
- 본 연구는 4차 산업혁명이 진행과정에 있기 때문에 디지털 혁신이라는 용어를 사용

- OECD(2017a)는 디지털 변혁을 가져오는 기술로서 사물인터넷(IOT: Internet of Things), 클라우드 컴퓨팅, 빅데이터(Big Data) 등의 세 가지가 핵심 기술이라고 설명
 - 구체적으로 사물인터넷(IOT)은 기계, 재고, 제품 등의 상호 연결을 가능하게 하며, 빅데이터와 내장된 소프트웨어는 IOT에 따라 생성된 방대한 디지털 데이터의 분석을 가능하게 하며, 클라우드 컴퓨팅은 연산능력을 언제 어디서나 이용할 수 있게 해줌.
 - 여기에 더 나아가 최근에는 인공지능(AI: Artificial Intelligence)이 빠른 속도로 발전되면서 빅데이터를 클라우드 컴퓨팅을 통해 분석하면서 사물인터넷을 통해 현실세계의 기계와 장비를 통제할 수 있는 단계로 발전
- 본 연구는 4차 산업혁명에 따른 디지털 혁신을 새로운 디지털화를 창출하는 디지털 기술로 가능하게 되는 혁신으로 정의하고, 인공지능, 사물인터넷, 클라우드 컴퓨팅, 빅데이터 분석 등의 기술분야에서 핵심적으로 이루어지는 것으로 설명(그림 2 참고)

그림 2. 디지털 혁신의 핵심 기술



자료: OECD(2017a), p. 5의 Figure 1을 저자 수정.

- 4차 산업혁명의 진행에 따라 디지털 혁신은 경제뿐 아니라 정치, 사회 등 모든 활동에서 혁명적인 변화를 가져올 것으로 예상되며 OECD는 다음과 같이 향후 미래의 모습을 제시
 - 개인은 경제, 정치, 사회 활동에서 주도적인 역할을 하고, 정부는 디지털 변혁에서 시민, 기업, 사회조직과 상호작용을 관리하는 플랫폼 정부로 변화되며, 글로벌 기술혁신 대기업들은 모든 경제활동에서 중심적인 역할을 하고, 인공지능이 정부와 기업이 수행하던 많은 부분을 대체하는 미래상을 제시

● 이처럼 디지털 혁신에 따라 세계경제는 엄청난 변화를 겪게 되는데, 디지털 혁신에 따른 경제 패러다임의 변화를 크게 보면 다음과 같이 정리

- 승자 독식의 원리와 규모의 경제: 디지털화는 소비자들을 디지털로 연결해서 소비시장을 확대하는 효과를 가져오며, 클라우드 컴퓨팅과 AI가 아웃소싱을 통해 비핵심업무를 처리할 수 있게 되면서 규모의 경제가 심화됨. 디지털 제품의 경우에는 한계비용 체증의 법칙은 더 이상 적용되지 않으며 승자가 시장의 대부분을 차지하는 winner-takes-most의 원리가 작동
- 제품의 다양성 증가와 범위의 경제: 디지털 혁신에 따라 맞춤형 생산방식이 확산되면서 제품의 다양성이 크게 증가하는 추세를 보이고 있음. 4차 산업혁명에서는 디지털 정보를 이용하여 다양한 서비스를 제공할 수 있기 때문에 범위의 경제효과가 크게 작용
- 디지털 생태계와 시장선도자: 디지털화에 따라 소비자들이 초연결되기 때문에 생산거점의 의미가 감소하고 소비자수요에 대응하는 제품과 서비스의 신속한 공급이 시장경쟁에서 핵심적인 요소가 되었음. 기업들은 디지털 생태계를 구축하기 위해 시장선도자(first mover)가 되기 위한 노력을 강화
- 경제의 서비스화: 4차 산업혁명에 따라 생산활동이 로봇으로 자동화되고 IOT에 따라 최적의 공급시스템을 갖추게 되면 제품을 조립 및 생산하는 공정의 코스트가 크게 하락함. 경제 전체로 보면 제조업보다는 서비스업의 비중이 커지고 경제의 서비스화가 빠른 속도로 진행

③ 비교우위와 무역패턴의 변화

● Strange and Zucchella(2017)는 IoT와 빅데이터에 의해 무역과 국제 비즈니스는 더욱 활성화될 것이며, 로봇의 발전으로 리쇼어링이 제한적이지만 확대될 것이고 3D 프린팅에 의해 글로벌 가치사슬이 단축되면서 무역구조와 글로벌 비즈니스에 큰 변화가 발생할 가능성이 있다는 점을 강조

- 디지털 혁신은 비교우위 결정요인으로서 저임금의 중요성을 떨어트리는 한편, 현재 주요 선진국들의 스마트 공장 발전과 로봇 활용 확대를 초래하여 안행가설에 따른 저임금 노동집약적 활동의 후발개도국으로의 이전을 어렵게 함.
- 디지털 혁신은 세계무역의 비교우위 구조에 상당한 영향을 미칠 것으로 예상

● 디지털 혁신의 무역 영향은 데이터기술과 분야별 보완기술의 발전 수준에 따라 다음과 같은 세 가지 유형으로 구분

- 첫째, 현행 무역 패턴이 유지, 강화되는 유형인데, 이는 현행 직무(task) 중심의 분업체제인 글로벌 가치사슬이 확대·심화되는 것을 말함. 둘째, 현행 무역 패턴이 변화하는 유형인데 이는 선진국들이 개도국으로부터 수입하는 제품을 자국 생산으로 전환하는 리쇼어링 유형임. 셋째, 모든 나라들이 분업 대신에 자국에서 생산하는 분산자족형 유형임.

● 디지털 혁신의 무역 영향 강도는 기술특성, 기술발전 수준, 국가간의 기술격차에 의해서 결정될 것임.

- 기술특성은 현행 기술의 연속적 발전인 점진적 혁신(incremental innovation)과 현행 기술을 대체하는 파괴적 혁신(disruptive innovation)으로 구분할 수 있음. 로봇의 경우 자동화를 심화하는 것으로서 현행 생산방식에서 이루어지는 것이기 때문에 점진적 혁신이라고 할 수 있음. 반면에 적층제조기술인 3D 프린팅 기술은 현행 생산방식을 재편하는 것이므로 파괴적 혁신에 해당됨.
- 기술발전 수준은 크게 도입기, 성장기, 성숙기로 구분됨. 우선 도입기는 스마트공장의 목표인 개인 맞춤형 생산이 실현되기 전 단계를 의미함. 성장기는 맞춤형 생산은 실현 가능하지만 비용이 높아 Porter의 제품 경쟁우위 유형 중 차별화 우위 제품에만 영향력을 발휘하는 단계에 해당함. 성숙기는 인터스트리 4.0의 최종 지향점으로서 개인별 맞춤형 제품을 대량생산 가격으로 생산할 수 있는 완전한 스마트공장 실현단계라고 할 수 있음.
- 국가간의 기술격차는 국제 분업을 결정하는 가장 중요한 요소로서 기술격차가 클수록 리쇼어링의 가능성이 커질 것임.

● 이상의 세 기준에 따른 무역패턴의 변화 가능성을 예측해보면 다음과 같음.

- 기술 특성 측면에서 로봇 혁신이 강화되면 현행 패턴이 강화되는 반면, 3D 프린팅 혁신이 강화되면 리쇼어링의 강화가 예상됨. 기술격차 측면에서 선진국과 개도국 간의 혁신격차가 확대되면 리쇼어링, 반대로 축소되면 현행 패턴 강화 경향이 나타날 것으로 예상됨. 한편 4차 산업혁명의 발전단계 측면에서 도입기에는 현행 패턴 강화, 성장기에서는 리쇼어링, 성숙기에는 분산자축형의 양상이 나타날 것으로 예상됨.

2) 디지털 혁신에 대한 국제 비교분석

① 디지털 혁신기술 수준

● 미국 특허·상표청(USPTO: US Patent and Trademark Office)에 등록된 실용특허(utility patents)

자료를 이용하여 주요국의 디지털 혁신기술 수준을 산업별로 비교

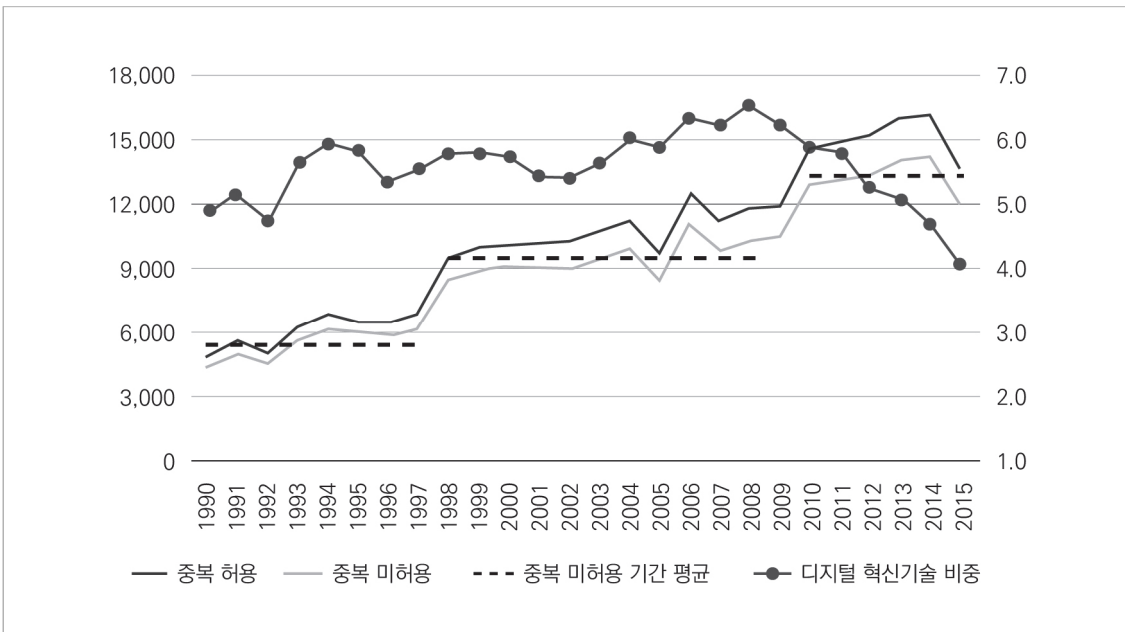
- 미국은 시장규모가 크고 특허보호 수준이 높아 세계 각국의 중요한 신기술이 거의 대부분 미국 특허로 권리화되어 있으므로 USPTO에 등록된 실용특허를 이용함(윤문섭, 이우형 2002, p. 1).
- 디지털 혁신기술은 인공지능, 지능형 로봇, 3D 프린팅, 사물인터넷, 빅데이터, 클라우드 등 6개 기술분야와 관련된 특허로 정의
- 1990~2015년 중 디지털 혁신기술에 대한 양적 기술 수준(등록건수), 질적 기술 수준(피인용건수), 양적·질적 기술 수준(H지수)을 비교

- 미국특허분류(USPC)코드, 국제특허분류(IPC) 8차 코드, 유럽산업분류(NACE) 2차 코드, 국제 표준산업분류(ISIC) 4차 코드를 연계하여 ISIC Rev.4 2단위 기준으로 산업을 구분

- 디지털 혁신기술에 대한 등록건수는 1998년과 2010년을 기점으로 계단형으로 증가하는 추이를 가짐(그림 3 참고).

그림 3. USPTO에 등록된 디지털 혁신기술의 등록건수 추이

(단위: 건, %)



주: 디지털 혁신기술 비중은 중복 미허용건수를 이용하여 계산함.

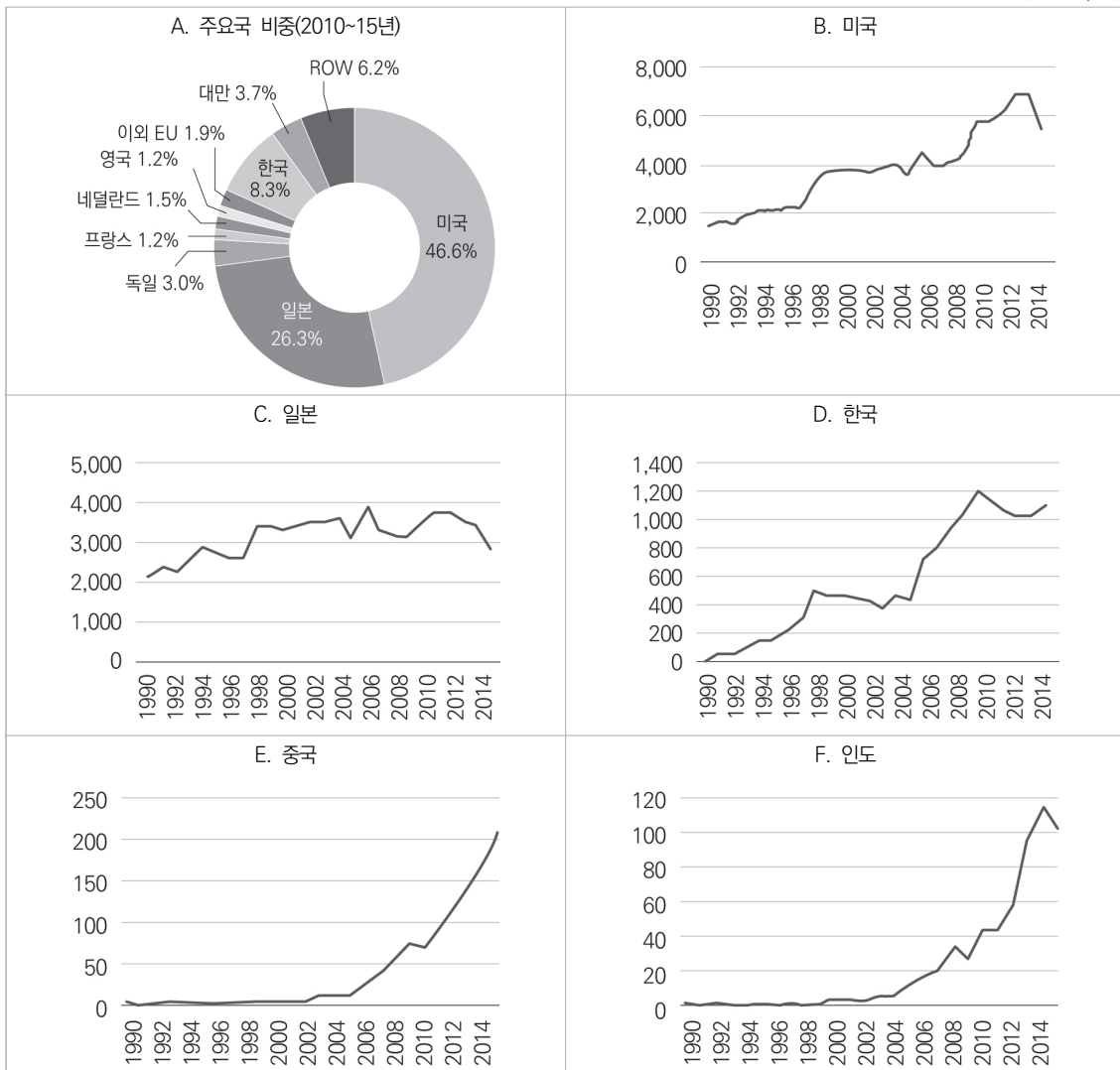
자료: USPTO DVD롬 자료(검색일: 2018. 4. 9)를 이용하여 저자 작성.

- 1990~97년 6천 건 수준이던 디지털 혁신기술의 등록건수는 IT 산업이 호황을 맞이하는 1998년 이후 9천 건 수준으로 증가하였으며 2010년 이후에는 1만 2천 건 수준으로 증가

- 국가별 디지털 혁신기술 수준에 의하면 혁신기술은 미국과 일본을 중심으로 향상되고 있으며, 주요국 중 일본의 등록건수는 2000년 이후 정체되어 있는 것과 달리 중국과 인도의 등록건수는 2000년대 중반부터 빠르게 증가하는 추이를 보임(그림 4 참고).

그림 4. 주요국의 디지털 혁신기술 등록건수 추이

(단위: %, 건)



자료: USPTO DVD롬 자료(검색일: 2018. 4. 9)를 이용하여 저자 작성.

- 최근(2010~15년) 디지털 혁신기술의 46.6%는 미국에 의해, 26.3%는 일본에 의해, 8.3%는 한국에 의해 등록되었으며, 독일, 영국, 프랑스 등 EU 28의 비중은 과거(1990~97년) 11.2%에서 최근(2010~15년) 8.9%로 감소하는 특징을 보임.
- 최근(2010~15년) 피인용건수에서 각국이 차지하는 비중은 미국(70.8%), 일본(14.2%), 한국(4.1%) 순으로 높으며, H지수 역시 미국(77), 일본(33), 한국(20) 순으로 높음.

- 산업별 디지털 혁신기술 수준은 26산업(컴퓨터, 전자 및 광학기기), 28산업(기계 및 장비), 62산업(컴퓨터 프로그래밍, 시스템 통합 및 관리업), 32산업(기타 제품)에서 높게 나타남.
 - 최근(2010~15년) 등록건수의 43.9%는 26산업에, 34.5%는 28산업에, 13.9%는 62산업에, 5.7%는 32산업에 등록됨.
 - 전체 피인용건수에서 각 산업이 차지하는 비중은 28산업(42.3%), 26산업(35.5%), 62산업(18.4%), 32산업(2.8%) 순으로 높으며, H지수 역시 28산업(75), 26산업(55), 62산업(49), 32산업(20) 순으로 높음.
- 즉 최근(2010~15년) 디지털 혁신기술에 대한 양적 및 질적 기술 수준은 미국, 일본, 한국에서 높으며, 26산업, 28산업, 62산업에서 높게 나타남(표 1 참고).
 - 이외 국가별 순위는 대만, 캐나다, 독일, 이스라엘에서 높게 나타나며, 산업별 순위는 32산업(기타 제조)과 20산업(화학물질 및 화학제품)에서 높게 나타남.

표 1. 최근(2010~15년) 지표별 상위 5개 국가 및 산업

순위	디지털 혁신기술의 국가별 순위			디지털 혁신기술의 산업별 순위		
	등록	피인용	H지수	등록	피인용	H지수
1	미국	미국	미국	26(전자기기)	28(기계장비)	28(기계장비)
2	일본	일본	일본	28(기계장비)	26(전자기기)	26(전자기기)
3	한국	한국	한국	62(프로그래밍)	62(프로그래밍)	62(프로그래밍)
4	대만	캐나다	캐나다	32(기타제품)	32(기타제품)	32(기타제품)
5	독일	대만	이스라엘	20(화학제품)	20(화학제품)	20(화학제품)

자료: USPTO DVD롬 자료(검색일: 2018. 4. 9)를 이용하여 저자 작성.

- 한국의 디지털 혁신기술에 대한 양적 및 질적 기술 수준은 꾸준히 증가하고 있으며, 최근 기술 수준 역시 상위권으로 평가할 수 있음.
 - 다만 한국의 기술 수준은 미국 및 일본과 비교하여 아직까지는 상대적으로 낮으며, 최근 H지수 순위의 하락과 중국 및 인도의 기술 수준 향상을 고려하면 향후 EU 회원국과 같은 하락을 경험할 수도 있는 상황으로 판단됨.
 - 특히 62산업(컴퓨터 프로그래밍, 시스템 통합 및 관리업)의 경우 디지털 혁신기술에서 차지하는 중요도가 높아지는 산업이나 한국의 기술 수준은 인도보다 낮은 것으로 나타남.
 - 그리고 6개 기술분야 중 인공지능, 사물인터넷, 빅데이터에 대한 기술 수준은 다른 기술분야보다 미국과의 기술격차가 상대적으로 크게 나타났으며, 사물인터넷과 빅데이터의 경우 중국 및 인도보다 뒤처져 있는 지표도 발견됨.

② 디지털 혁신기술 활용 수준

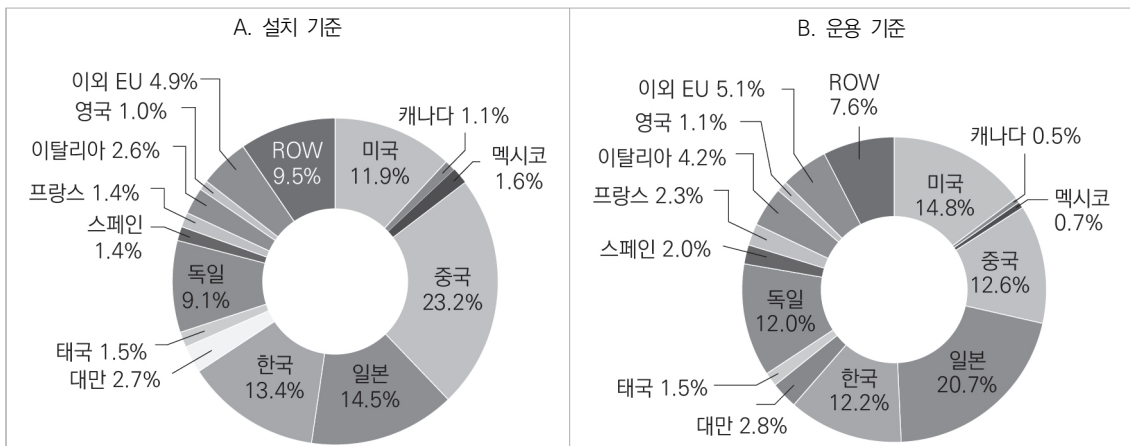
● World Robotics의 산업용 로봇 자료와 OECD.Stat의 ICT 기술 이용률을 이용하여 디지털 혁신기술 활용 수준을 국가별로 비교

- World Robotics는 산업용 로봇의 설치·운용 자료를 국가별 및 산업별로, OECD.Stat은 근로자 수가 10인 이상인 기업을 대상으로 ICT 기술 이용률을 국가별로 제공하고 있음.
- 산업용 로봇이나 ICT 기술에 대한 활용 수준이 높다는 것은 새로운 기술에 대한 전반적인 수요가 높고, 제도 및 기반시설이 이미 갖춰져 있음을 의미

● 산업용 로봇의 경우 중국, 일본, 한국, 미국, 독일 순으로 최근(2011~16년) 많이 설치하며, 일본, 미국, 중국, 한국, 독일 순으로 많이 운용하고 있음(그림 5 참고).

- 상기 상위 5개국은 전 세계 산업용 로봇의 약 72%를 설치·운용하고 있음.

그림 5. 최근(2011~16년) 산업용 로봇 사용의 주요국 비중



자료: World Robotics(<https://my.worldrobotics.org/>), 검색일: 2018. 7. 16) 자료를 이용하여 저자 작성.

● 상기 주요국 모두는 자동차 및 트레일러, 전기전자장비, 금속제품, 플라스틱 및 화학 제품을 중심으로 다수의 산업용 로봇을 설치·운용하고 있음.

- 최근(2011~16년) 설치 중인 산업용 로봇의 산업별 비중은 자동차 및 트레일러(38.6%), 전자전기장비(24.2%), 금속제품(9.74%), 플라스틱 및 화학 제품(7.6%) 순으로 높으며, 운용 중인 로봇의 산업별 비중 역시 자동차 및 트레일러(37.5%), 전자전기장비(19.2%), 금속제품(9.5%), 플라스틱 및 화학 제품(9.3%) 순으로 높음.
- 다만 중국, 일본, 미국, 독일은 자동차 및 트레일러에 다수의 산업용 로봇을 운용하고 있는 것과 달리 한국은 자동차 및 트레일러(30.6%)보다 전자전기장비(46.2%)에 더 많은 로봇을 운용하고 있음.

- ICT 기술 이용률에 따르면 대부분의 국가는 기업 및 가계에 초고속 인터넷이 잘 보급되어 있어 이를 활용하기 위한 기반시설은 잘 구축되어 있으나 이를 적극적으로 활용하는 국가는 많지 않은 것으로 나타남.
 - 기업 및 가계의 초고속 인터넷 이용률은 다수의 국가에서 90%를 초과하나 기업 관리 프로그램인 ERP, CRM, RFID 기술 이용률과 클라우드 컴퓨팅 구매 및 빅데이터 분석수행기업 비중, 그리고 컴퓨터 네트워크를 이용한 판매 및 구매 기업 비중 등은 일부 국가에서만 50%를 초과함.
- 한국은 산업용 로봇은 적극적으로 이용하고 있으나 ICT 기술 활용 수준은 높지 않은 것으로 나타남.
 - 한국은 3위 로봇 설치국, 4위 로봇 운용국으로 산업용 로봇 이용이 활발한 국가 중 하나이며, 특히 근로자 1만 명당 운용 중인 로봇의 수는 2016년 631대로 전 세계에서 로봇을 가장 많이 사용하고 있음.
 - 그리고 한국 기업 및 가계의 초고속 인터넷 이용률은 각각 99.3%와 99.5%로 높으나 RFID 기술을 제외한 이외 ICT 기술의 활용 순위는 20위권 밖으로 활용 수준은 높지 않은 것으로 나타남.

3) 디지털 혁신¹⁾의 무역 영향에 대한 시나리오별 분석

- ① 본 연구는 다음과 같이 디지털 혁신에 따른 근본 생산성(fundamental productivity) 변화를 강조한 정량 무역모델 개발과 분석 시나리오를 설정
- 구조적 접근법(structural approach)에 기초한 이론무역모델 제시
 - Eaton and Kortum(2002)과 Caliendo and Parro(2015)의 연구를 확장하여 디지털 혁신에 따른 생산성 향상을 강조한 정량적 이론무역모델을 고안함.
 - 디지털혁신에 관한 데이터 부재 또는 제약으로 인해 축약형 계량 접근법(reduced-form econometric approach)을 채택하기 어려우며, 이러한 한계를 보완하기 위해 구조적 접근법을 선택함.
 - 구축한 이론모델을 기초로 실제 데이터와 연계하여 반사실적 분석(counterfactual analysis)을 수행
 - [이론모델] 다수의 국가와 산업으로 구성된 세계경제에서 국별로 상이한 생산기술, 산업별 중간재 교역, 생산의 산업간 연관관계 등을 이론모델에 반영
 - [모델과 데이터] 구축한 이론무역모델에서 균형식을 도출하고, 이를 바탕으로 하여 WIOD, WITS 등에서 제공하는 데이터와 연계한 후 반사실적 분석 수행

1) 디지털 혁신은 데이터와 알고리즘에 기반을 둔 새로운 기술의 출현을 의미.

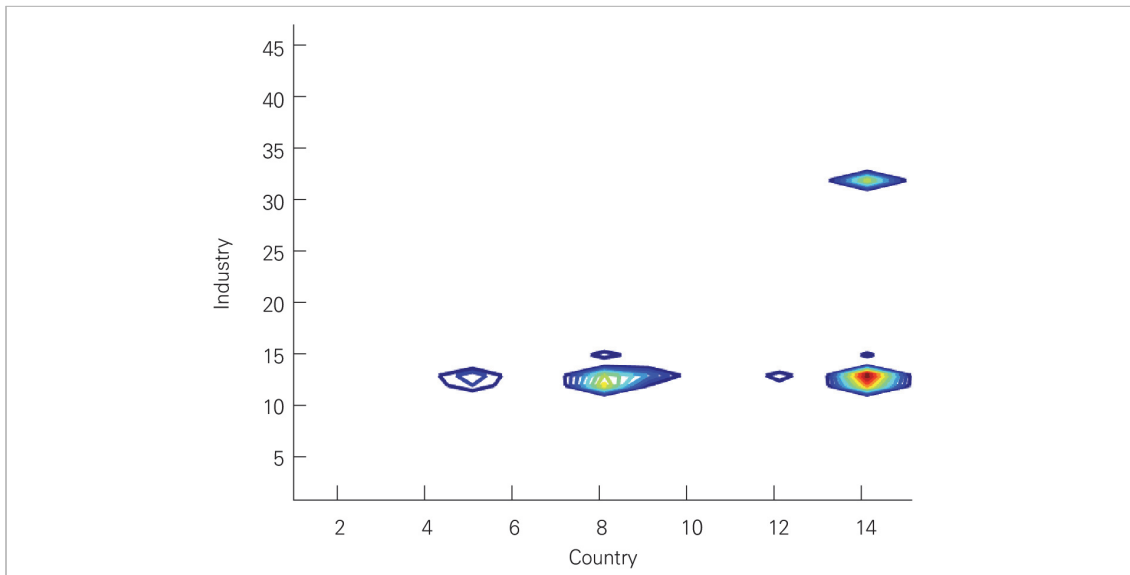
● 산업 수준의 디지털 혁신 파급 시나리오 설정

- 미국특허상표청(USPTO)에서 제공하는 특허 데이터를 분석한 결과, 미국, 일본, 한국, 유럽 등을 중심으로 컴퓨터·전자, 전기·기계, 컴퓨터 프로그래밍 산업에서 디지털 혁신이 집중됨을 확인(그림 6 참고).
- 디지털 혁신 관련 특허등록건수 집중도를 활용하여 디지털 혁신에 따른 산업 수준의 생산성 변화를 생성(그림 7 참고).
- 산업 수준의 생산성 향상을 고려한 디지털 혁신의 교역효과를 분석

● 국가 수준의 디지털 혁신 파급 시나리오 설정

- 범용기술(GPT)이 생산성 향상에 기여한 기존 문헌의 결과를 참고.
- 예를 들어 증기엔진이 생산성을 0.3%p 향상(Crafts 2004), 정보통신기술이 생산성을 0.6%p 향상(O'Mhony and Timmer 2009), 로봇이 생산성을 0.37%p 향상(Graetz and Michaels 2015), 디지털 혁신기술로 인한 자동화가 생산성을 0.3~2.2% 높일 것으로 추정(McKinsey 2017)
- 디지털 혁신에 따른 생산성 변화 폭을 달리 설정함(1%, 2%, 3%)과 동시에 ① 미국 주도 ② 미국, 유럽, 일본, 한국, 중국을 포함한 주요 5개국 주도 ③ 디지털 혁신이 범용기술(GPT)로서 세계로 확산될 경우 등을 고려한 시나리오를 설정

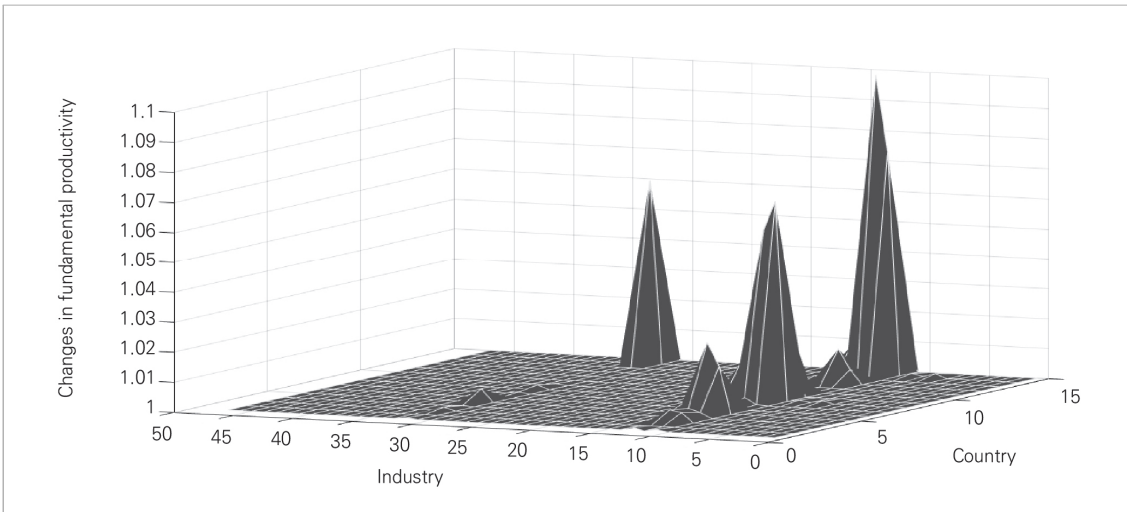
그림 6. 디지털 혁신 관련 특허등록건수 집중도



주: 가로 축은 국가(부표 1)를 세로 축은 산업(부표 2와 부표 3)을 나타내며, 밝은 색깔일수록 특허등록건수가 높아짐을 의미함.

자료: 2011~15년 기간 미국특허상표청(US Patent and Trademark Office)에서 집계한 특허정보 중에서 디지털혁신과 관련성이 높은 특허등록건수를 이용하여 저자 작성.

그림 7. 디지털 혁신에 따른 산업수준의 근본생산성 변화



주: 국가는 [부표 1]을, 산업은 [부표 2]와 [부표 3]을 참고
자료: 저자 작성.

② 산업 수준의 디지털 혁신 파급 시나리오 분석 결과

● 산업 수준의 디지털 혁신은 교역증대에 긍정적인 효과를 미침.

- 산업 수준의 디지털 혁신에 따른 생산성 향상은 분석대상국가의 국별 총교역을 높일 것으로 예측
- 한국의 교역증대효과 1.39%는 미국 3.35%, 유럽 1.53%에 미치지지는 못해도 매우 긍정적인 것으로 평가할 수 있음.
- 이는 중국, 브라질, 인도 등 디지털 혁신 수준이 상대적으로 낮은 국가에 대한 교역증대효과가 미미할 것이라는 점에 비추어보면 한국의 디지털 혁신 실적이 이들 나라에 비해 상대적으로 큼.
- 또한 우리의 산업구조가 디지털 혁신에 따른 중간재 수출증대효과를 기대할 수 있기 때문인 것으로 보임.

● 산업 수준의 디지털 혁신은 한국, 미국, 일본, 유럽 사이의 교역을 크게 늘리는 데 기여할 것으로 예측

- 산업 수준의 디지털 혁신에 따라 생산성이 향상될 때 한국은 유럽으로의 수출을 2.3%, 일본으로의 수출을 6.6%, 미국으로의 수출을 4.6% 늘릴 것으로 예측
- 국가간 교역증대효과는 한국, 미국, 일본, 유럽에서 뚜렷이 나타남.
- 한국, 미국, 일본, 유럽을 제외한 다른 국가 사이의 교역 변화 폭은 한국, 미국, 일본, 유럽 사이의 교역 변화 폭에 비해 작은 편이며 교역감소효과를 보이는 결과도 있음.

③ 국가 수준의 디지털 혁신 파급 시나리오 분석 결과

- 국가 수준의 디지털 혁신 파급이 국제적으로 확산될수록 한국의 교역증대효과가 증폭되는 것으로 나타남.
 - 미국이 주도하는 디지털 혁신에 따라 근본생산성 1% 증가를 고려할 경우 한국의 교역증대효과는 0.46%에 불과
 - 디지털 혁신이 국제적으로 확산될 경우, 한국의 교역증대효과는 3.77%로 크게 증가
- 국가 수준의 디지털 혁신 파급력이 커질수록 한국의 교역증대효과도 커짐.
 - 디지털 혁신이 국제적으로 확산될 때 근본생산성이 1% 증가할 경우, 한국의 교역증대효과는 3.77%임.
 - 세계로 확산된 디지털 혁신이 근본생산성을 3% 높이는 경우를 고려하면, 한국의 교역증대효과는 11.24%에 이를 것으로 예측됨.
- 한국은 디지털 혁신이 이루어지는 나라에 대하여 무역이 증가하며, 그렇지 않은 나라에 대해서는 효과가 잘 나타나지 않음.
 - 미국이 주도하는 디지털 혁신에 따라 한국의 교역이 증가할 것으로 예상되는데, 한국의 교역증가는 미국으로 증가한 수출이 대부분 설명함.
 - 미국 주도 디지털 혁신이 근본생산성을 1% 높일 때 한국의 총교역은 0.46% 증가하는데, 한국의 교역증대효과 0.46%는 한국이 미국으로의 수출을 증가시킨 점이 주요인임.
 - 마찬가지로 디지털 혁신을 주도하는 주요 5개국(미국, 일본, 유럽, 한국, 중국) 시나리오를 고려할 때, 한국의 교역증대효과 3.11%는 한국이 미국, 일본, 유럽, 중국으로의 수출을 증가한 점이 주요한 요인으로 나타남.

③ 분석의 한계와 보완점

- 디지털 혁신의 생산성 효과에 대한 엄밀한 추정으로 분석을 보완할 필요
 - 혁신과 생산성 사이의 관계는 기존 문헌에서 활발히 연구된 편이지만, '디지털 혁신'과 생산성의 관계에 관한 연구는 상대적으로 미미
 - 이는 디지털 혁신 관련 데이터가 분석을 수행할 수 있을 정도로 충분히 축적되어 있지 않은 까닭이며, 향후 엄밀한 계량경제학적 분석을 통해 디지털 혁신의 생산성 효과를 추정할 수 있다면 본 연구가 수행한 반사실적 분석의 한계를 개선할 수 있음.
- 디지털 혁신이 미치는 다양한 파급경로를 고려할 필요
 - 본 연구는 디지털 혁신이 미칠 다양한 파급경로 중 생산성 변화에 초점을 맞추고 모델을 개발하

여 정량 분석을 수행하였으나, 향후 규모의 경제, 범위의 경제, 외부성 등 다양한 파급 경로를 추가하여 분석을 보완할 필요가 있다고 판단함.

- 디지털 혁신의 무역 영향에 관한 분석결과는 규모의 경제, 범위의 경제, 외부성 등을 고려하지 않은 상태에서 도출된 것으로서, 디지털 혁신이 미치는 다양한 파급경로를 추가한다면 본 연구에서 제시한 디지털 혁신의 무역 영향에 관한 결과 값은 한층 더 커질 것으로 예상해볼 수 있음.

3. 정책 제언

1) 디지털 관련 기술 경쟁력 강화 및 규제 완화

- 본 연구의 분석 결과에 따르면 우리나라의 디지털 혁신 수준은 양적·질적으로 꾸준히 높아지고 있으나 미국 및 일본과 비교하면 아직까지는 상대적으로 낮으며 사물인터넷과 빅데이터의 경우 중국 및 인도보다 기술 수준이 낮은 것으로 나타났다.
 - 따라서 우리나라는 기술 수준이 낮은 소프트웨어와 프로그래밍을 중심으로 연구개발투자를 보다 활성화하고 디지털 혁신기술에 대한 경쟁력을 키워야 함. 특히 미국 등 주요국과 격차가 큰 인공지능, 사물인터넷, 빅데이터 기술에 대한 연구개발투자는 시급히 강화될 필요가 있음.
- 본 연구의 실증분석에 따르면 디지털 혁신이 확산될수록 승자가 대부분을 차지하는 경향(winner-takes-most)이 강화되므로 우리 정부는 생산 및 교역을 하는 기업들이 기회로 이용할 수 있도록 적극적으로 디지털 관련 규제개혁을 해야 함.
 - 창의적인 기술개발을 위해서는 정부의 규제가 가급적 최소화되어야 하며 유선 및 무선 통신망, 플랫폼, 장치 등 인프라를 제대로 구축할 수 있도록 관련 제도를 마련해야 함.
- 데이터 이동 및 정보처리의 상호 운용 등과 관련된 각종 규제가 완화 내지는 제거되는 규제환경이 마련되어야 디지털을 통한 경제활동이 활발하게 이루어질 수 있음.
 - 디지털 무역이 이루어지는 경로를 생각해보면 서비스와 재화가 국내에서만 아니라 국제적으로도 무역장벽 없이 거래될 수 있어야 함.
 - 디지털 혁신에 따른 무역효과를 극대화하기 위해서는 물적 및 제도적 인프라뿐만 아니라 디지털 이동의 수단(온라인과 오프라인), 대상(제품과 서비스), 경제주체(정부, 기업, 소비자) 등에 대한 각종의 규제가 철폐 내지는 완화될 필요가 있음.

- 디지털 서비스와 제품들은 기존에 출시된 서비스 및 제품들과 완전히 다른 새로운 경우가 많기 때문에 소비자와 경제 전반에 예기치 못한 리스크를 제기할 수도 있음. 그렇다고 해서 이러한 리스크를 제거하기 위한 정부의 지나친 개입과 규제는 디지털 혁신의 혜택을 사전에 봉쇄하는 부작용을 초래할 수도 있음.
 - 따라서 합법적인 규제 목적을 달성하면서 동시에 디지털 혁신의 이익을 누릴 수 있도록 규제 샌드박스를 적극 활용할 필요가 있음.

2) 디지털 혁신의 국제적 파급 확대를 위한 무역규범 정비

- 본 연구의 분석 결과에 따르면 우리나라의 무역은 디지털 혁신이 이루어지는 나라에 대해서는 증가하지만 그렇지 않은 나라에 대한 무역은 증가하지 않으며, 국가 수준의 디지털 혁신 파급이 국제적으로 확산될수록 우리나라의 교역증대효과가 증폭되는 것으로 나타남.
 - 따라서 무역정책 관점에서 보면 디지털 혁신이 교역상대국에 파급될 수 있도록 국제규범을 효과적으로 만들어나가는 것이 우리나라의 교역확대에 도움이 됨.
- 현행 국제규범에서 디지털 무역과 관련된 협정문과 선언문을 살펴보면, GATT 협정은 디지털로 이동이 가능하게 된 상품에 대해서 관세 및 비관세 장벽을 완화하면 디지털 무역이 더욱 활성화될 수 있게 됨.
 - 2017년 2월에 발효된 WTO 무역원활화협정은 수출입의 통관절차를 원활화하는 조치를 이행토록 하므로 디지털 무역과 관련됨. 무역기술장벽에 대한 TBT 협정은 정보기술과 전자제품에 적용되는 기술 규제 및 표준에 대한 정부조치를 포함하며, 정보기술협정(ITA)과 지식재산권협정(IPR)은 ICT 제품 및 서비스의 교역과 관련됨.
- GATS는 디지털 상품 및 서비스와 관련하여 중요한 규범을 다루고 있는데, 최혜국대우(MFN) 및 투명성에 대한 일반원칙은 모든 서비스교역에 적용되는 조항임.
 - 서비스 양허스케줄은 디지털 서비스의 시장접근과 내국민대우에 직접적으로 적용되는 것임. 또한 GATS 통신서비스협정(통신에 대한 부속서와 기본통신서비스협정)과 금융서비스협정(금융서비스에 대한 부속서)도 관련되어 있음.
- 디지털 혁신에 따른 무역의 흐름을 촉진하기 위해 시장접근과 서비스 규제 완화뿐만 아니라 4차 산업혁명의 인프라 구축 등이 필요
 - 4차 산업혁명에 따라 광범위한 생산제품군이 출시되고 디지털로 연결되는 소비자가 많아지게 되므로 시장접근에 대한 장애요인이 우선적으로 제거될 필요가 있음.
 - 디지털 혁신을 촉진하기 위해 유통, 물류, 금융, 데이터 이동 등에 대한 국제적 규범 제정이 필요하며, 인터넷 프로토콜, 무선네트워크 등의 인프라 개선과 관련된 국제적 논의도 필요함.

3) 디지털 혁신을 위한 체계적 로드맵 수립

- 본 연구의 분석결과에 따르면 최근 아날로그적 특성을 지닌 현실세계의 모든 사물과 현상을 디지털 데이터로 전환하는 과정이 급속하게 이루어지고 있으며, 데이터 분석을 통해 해결책을 찾아내는 인공지능도 경제·사회의 여러 분야에서 널리 활용
 - 사물인터넷을 통해 수집된 생산 및 소비에 대한 정보는 빅데이터 분석과 AI 등을 통해 최적의 생산방식 및 소비자선택을 유도함으로써 세계경제는 엄청난 변화를 겪게 될 것임.
- 데이터가 점차 중요해지면서 디지털 혁신의 여러 요소들이 작동하게 되며, 데이터의 수집, 이동, 가공 등이 디지털 혁신을 가져오고 가치를 융합적으로 창조하며 상각되지 않는 자본으로서 데이터의 역할을 강화하고 복합적인 혁신을 촉진
 - 데이터 주도(data-driven) 경제와 사회에서 정보의 비대칭성은 개인에서 조직으로, 전통적 기업에서 데이터 주도 기업으로, 정부에서 데이터 주도 기업으로 권력이동을 의미
- 범정부 차원의 디지털 혁신을 뒷받침하기 위한 로드맵을 마련하는 것이 필요
 - 현재 OECD 회원국의 디지털 전략의 추진체계를 보면 각각의 전략요소를 수행하는 기관이 OECD 회원국별로 상이하게 나타남. 예를 들어 일부 국가의 경우 상위의 정부조직(총리실, 대통령 등)이나 디지털 전담 장관급 기구가 총괄기능을 맡는 경우가 있으며, 디지털 비전담 장관급이 총괄기능을 맡는 경우가 있는가 하면 여러 장관에 분산되거나, 여러 공조직과 민간에 분산되는 등 다양한 형태가 있음.
- 디지털 혁신을 효과적으로 추진하기 위해서는 전담부처가 정책 총괄, 조정, 감독 등을 체계적으로 담당하고 세부적인 정책 집행을 하부 위임해야 함.
 - 4차 산업혁명시대에 디지털 정책은 경제 및 사회 전반에 폭넓은 파급효과를 미칠 것으로 예상되므로 정책 수립 및 집행을 위한 일관된 거버넌스가 필요하기 때문임.
 - 우리나라의 경우에는 4차 산업혁명위원회가 대통령 직속으로 설치되어 국가디지털전략에 대한 기획 및 조정 기능을 담당하는 것으로 보이는데, 평가 및 감독 기능을 강화해서 우리 경제의 4차 산업혁명 이행을 체계적으로 추진할 필요가 있음. **KIEP**



[참고문헌]

[국문자료]

윤문섭, 이우형. 2002. 『IT 및 BT 분야의 기술 수준평가 및 정책적 시사점: 미국특허의 인용도 분석』. 연구보고서 2002-13. 과학기술정책연구원.

[영문자료]

- Brecher, Christian, Denis Özdemir, and Anja R. Weber. 2017. “Integrative Production Technology – Theory and Applications(Chapter 1).” Christian Brecher, Denis Özdemir eds. *Integrative Production Technology: Theory and Applications*. Springer.
- Caliendo, Lorenzo and Fernando Parro. 2015. “Estimates of the Trade and Welfare Effects of NAFTA.” *The Review of Economic Studies* , 82(1), pp. 1-44.
- Crafts, Nicholas. 2004. “Steam as a General Purpose Techonology: A Growth Accounting Perspective.” *The Economic Journal*, Vol. 114, pp. 338-351.
- Eaton, Jonathan and Samuel Kortum. 2002. “Technology, Geography, and Trade.” *Econometrica*, Vol. 70, pp. 1741-1779.
- Graetz, Georg and Guy Michaels. 2015. “Robots at Work: The Impact on Productivity and Jobs.” CEP Discussion Paper No. 1335.
- Mckinsey. 2017. “A Future That Works: Automation, Employment, And Productivity.” Mckinsey Global Institute.
- OECD. 2017a. Going Digital: Making the Transformation Work for Growth and Well-Being. DSTI/CDEP/GD(2017)2.
- O’Mahony, Mary and Marcel P. Timmer. 2009. “Output, Input and Productivity Measures at the Industry Level: The EU KLEMS Database.” *The Economic Journal*, 119, pp. 374-403.
- Strange, Roger and Antonella Zucchella. 2017. “Industry 4.0, Global Value Chains and International Business.” *Multinational Business Review*, Vol. 25, No. 3, pp. 174-184.

[인터넷 자료]

World Robotics. <https://my.worldrobotics.org/>(검색일: 2018. 7. 16).

[DVD 자료]

미국 특허 · 상표청(USPTO: US Patent and Trademark Office). DVD롬(검색일: 2018. 4. 9).

[부록]

부표 1. 분석 국가목록

순번	국가
1	호주
2	브라질
3	캐나다
4	중국
5	유럽
6	인도
7	인도네시아
8	일본
9	한국
10	멕시코
11	러시아
12	대만
13	터키
14	미국
15	ROW

자료: 저자 작성.

부표 2. 분석에 초점을 맞춘 산업

순번	산업
1	농림 · 어업
2	광업
3	식품 · 음료 · 담배
4	섬유 · 의복 · 가죽
5	목재 · 목재제품
6	펄프 · 종이
7	석탄 · 석유제품
8	화학제품 · 의약품
9	고무 · 플라스틱
10	기타 비금속
11	철강 · 금속
12	전기 · 기계
13	컴퓨터 · 전자
14	운송기기
15	기타 제조업제품

자료: 저자 작성.



부표 3. [부표 2] 이외 산업목록

순번과 산업명
16. Electricity, gas, steam and air conditioning supply
17. Water collection, treatment and supply
18. Sewerage; waste collection, treatment and disposal activities
19. Construction
20. Wholesale and retail trade and repair of motor vehicles and motorcycles
21. Wholesale trade, except of motor vehicles and motorcycles
22. Retail trade, except of motor vehicles and motorcycles
23. Land transport and transport via pipelines
24. Water transport
25. Air transport
26. Warehousing and support activities for transportation
27. Postal and courier activities
28. Accommodation and food service activities
29. Publishing activities
30. Motion picture, video and television programme production
31. Telecommunications
32. Computer programming, consultancy and related activities; information service activities
33. Financial service activities, except insurance and pension funding
34. Insurance, reinsurance and pension funding, except compulsory social security
35. Activities auxiliary to financial services and insurance activities
36. Real estate activities
37. Legal and accounting activities; activities of head offices; management consultancy activities
38. Architectural and engineering activities; technical testing and analysis
39. Scientific research and development
40. Advertising and market research
41. Other professional, scientific and technical activities; veterinary activities
42. Administrative and support service activities
43. Public administration and defence; compulsory social security
44. Education
45. Human health and social work activities
46. Other service activities
47. Activities of households as employers

자료: 저자 작성.