연구보고서 18-03

디지털 혁신의 국제비교와 시나리오별 무역 영향 분석

최낙균
이규엽
김혁황
장윤종

KIEP 대외경제정책연구원
Korea Institute for International Economic Policy

연구보고서
18-03

디지털 혁신의 국제비교와 시나리오별 무역 영향 분석

최낙균 · 이규엽 · 김혁황 · 장윤종

KIEP 대외경제정책연구원
Korea Institute for International Economic Policy

연구보고서 18-03

디지털 혁신의 국제비교와 시나리오별 무역 영향 분석

인 쇄 2018년 12월 24일
발 행 2018년 12월 28일
발행인 이재영
발행처 대외경제정책연구원
주 소 30147 세종특별자치시 시청대로 370
세종국책연구단지 경제정책동
전 화 044) 414-1179
팩 스 044) 414-1144
인쇄처 유월애(02-859-2278)

정가 10,000원
ISBN 978-89-322-1702-4 94320
978-89-322-1072-8(세트)

서 언

4차 산업혁명은 지능정보기술이 경제 및 사회 전반에 융합되어 혁명적인 변화가 이루어지는 차세대 산업혁명을 의미합니다. 구체적으로 인공지능, 빅데이터 분석, 클라우드 컴퓨팅, 사물인터넷 등의 기술이 기존 산업 및 서비스와 융합되거나 3D 프린팅, 나노기술, 생물공학 등과 같은 신기술과 결합되어 모든 제품 및 서비스를 네트워크로 연결하고 사물을 지능화하고 있습니다.

특히 4차 산업혁명에 따른 디지털 혁신은 가상세계와 현실세계, 즉 온라인과 오프라인을 초연결하고 있으며 종전과 다른 새로운 비즈니스모델을 만들고 있고 있습니다. 4차 산업혁명을 선도하기 위해 우리나라 정부는 고부가가치 창출 미래형 신산업을 발굴·육성하고, 주력산업의 경쟁력을 제고하여 산업경제의 활력을 회복하기 위한 세부 전략을 추진하고 있습니다.

이러한 국내외 정책환경 변화에 대응하여 본 연구는 4차 산업혁명에 따른 디지털 혁신 및 활용 수준을 주요국별 및 산업별로 비교 분석하고, 무역에 미치는 영향을 시나리오별로 분석하였습니다. 본 연구는 본원 최낙균 선임연구위원의 책임하에 본원의 이규엽 부연구위원, 김혁황 선임연구원, 산업연구원의 장윤종 4차 산업혁명연구부장 등이 연구진으로서 원고를 집필하였습니다. 최낙균 선임연구위원은 제1장과 제5장을 집필하였고, 제2장은 장윤종 4차 산업혁명연구부장과 함께 공동집필하였습니다. 김혁황 선임연구원과 이규엽 부연구위원은 각각 제3장과 제4장을 집필하였습니다. 모든 연구진은 연구 과정에서 수시로 연구진 회의를 개최하고 연구방법론을 공유하면서 분석에 일관성을 기하고자 하였습니다.

본 연구의 심의 과정에서 여러 가지 좋은 의견을 주신 공주대학교의 박순찬 교수, 기획재정부의 김후진 대외경제총괄과장, 서울대학교의 이지홍 교수와 더불어 김상겸 원내자문위원에게 감사드립니다. 아무쪼록 이 보고서가 우리나라의 4차 산업혁명에 대한 이해도를 높이고 국내산업의 핵심역량을 강화하는 데 기여할 수 있기를 바랍니다.

2018년 12월

원장 이재영

국문요약

4차 산업혁명은 지능정보기술이 경제 및 사회 전반에 융합되어 혁명적인 변화가 이루어지는 차세대 산업혁명을 의미한다. 4차 산업혁명은 데이터에 기반하는 기술이 기존 산업 및 서비스와 융합되거나 신기술과 결합되는 과정으로서 지능정보기술이 로봇, 드론 등을 통해 구현되는 변화이다. 4차 산업혁명에서는 인터넷을 이용하여 물건과 물건, 물건과 사람, 사람과 사람을 연계하면서 새로운 비즈니스모델을 만들고 있고 있다.

이에 따라 4차 산업혁명에 따른 디지털 혁신은 종전의 디지털 발전과는 차원을 달리하게 된다. 본 연구는 4차 산업혁명에 따라 빠른 속도로 이루어지고 있는 디지털 혁신이 주요국 및 산업별로 어떻게 진행되고 있는지를 비교 분석하고, 향후 무역에 어떤 영향을 미칠 것인지를 시나리오별로 분석하는 데 초점을 맞추고 있다.

이를 위해 제2장에서는 4차 산업혁명에 따른 경제패러다임과 무역패턴의 변화에 대해 서술하였다. 최근 디지털 혁신은 기존 산업의 대량생산체제를 개인 맞춤형 생산으로 변화시켜야 할 필요성에 따라 빠른 속도로 이루어지고 있다. 특히 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 활용되고 있다. 그 결과 4차 산업혁명에 따른 디지털 혁신은 제품, 공정, 비즈니스모델 등 각 분야에서 빠르게 이루어지면서 기존 산업을 파괴적으로 재편하고 있다.

4차 산업혁명이 진행됨에 따라 디지털 혁신은 기술, 산업, 무역 등 경제 분야뿐 아니라 정치, 사회 등 모든 활동에서 혁명적인 변화를 가져올 것이다. 이에

OECD는 다음과 같이 향후 미래의 4가지 모습을 제시한 바 있다. 개인은 경제, 정치, 사회활동에서 주도적인 역할을 하고, 정부는 디지털 변혁에서 시민, 기업, 사회조직과 상호작용을 관리하는 플랫폼 정부로 변화하며, 글로벌 기술혁신 대기업들은 모든 경제활동에서 중심적인 역할을 하고, 인공지능이 정부와 기업이 수행하던 많은 부분을 대체하는 미래상이 그것이다. 이처럼 사물인터넷을 통해 수집된 생산 및 소비에 대한 정보가 빅데이터 분석과 AI 등을 통해 최적의 생산방식 및 소비자 선택을 유도함으로써 세계경제는 엄청난 변화를 겪게 될 것이다.

디지털 혁신은 기술특성, 기술발전 수준, 국가간의 기술격차 등 다양한 요인에 따라 무역에 영향을 미칠 것으로 보인다. 스마트 공장을 예로 들어보면, 스마트 공장 도입기에는 디지털 혁신을 통해 핵심장비의 생산성 향상을 추구하지만 기존 생산방식과 본질적인 차이를 갖지는 못하기 때문에 개별적인 기술 수준과 영향력에 의해 무역패턴이 결정된다. 스마트 공장의 성장기에는 데이터 기술에 의해 고객이 요구하는 제품을 신속하게 차질 없이 생산하게 되며 생산기업의 기술과 입지 요인의 비교우위가 리쇼어링을 초래할 수 있고 그 결과 국제무역패턴도 크게 변화될 것이다. 스마트 공장의 성숙기에는 현지에서 제품이 생산되는 분산형 제조(distributed manufacturing)가 등장하며 제조업의 서비스화와 분산형 제조업이 공존하는 형태로 무역이 전환될 것으로 예상된다.

제3장에서는 미국 특허 통계와 더불어 산업용 로봇 활용 통계, OECD 통계 등을 이용하여 디지털 혁신이 국제적으로 어느 정도 이루어지고 있는지를 정량적으로 비교 분석하였다. 우선 미국 특허 · 상표청(USPTO: US Patent and Trademark Office)에 등록된 실용특허 통계를 분석해보면 디지털 혁신 수준은

1998년과 2010년을 기점으로 계단형으로 증가하는 추이를 보이며 기술개발이 미국과 일본에 의해 주도적으로 이루어지는 것으로 나타났다. 주요국 중 일본의 특허 등록 건수는 2000년 이후 정체되어 있는 것과 달리 중국과 인도의 등록 건수는 2000년대 중반부터 빠르게 증가하고 있다. 산업별로는 컴퓨터, 전자 및 광학기기, 기계 및 장비, 컴퓨터 프로그래밍, 시스템 통합 및 관리업 등의 산업에 특허 등록이 집중되어 있으며, 이 중 컴퓨터 프로그래밍, 시스템 통합 및 관리업 등의 특허 등록 수가 최근 빠르게 증가하는 것으로 나타났다. 최근 기간(2010~15년)에 대해 미국, 일본, 한국, 대만, 중국, 인도의 기술 수준을 산업별로 분석하면 컴퓨터, 전자 및 광학기, 기계 및 장비산업 등에서 디지털 혁신이 활발하게 이루어지는 것으로 나타난다. 특히 미국과 인도는 컴퓨터 프로그래밍, 시스템 통합 및 관리업에서, 일본, 한국, 대만, 중국은 기타 제품 산업에서 디지털 혁신 수준이 높은 것으로 분석되었다.

산업용 로봇 활용 통계를 보면 한국은 3위의 로봇 설치국이며 4위의 로봇 운용국으로서 산업용 로봇을 활발히 이용하는 국가로 나타난다. 하지만 미국특허통계의 분석 결과에 따르면 한국의 디지털 혁신 수준은 양적 · 질적으로 꾸준히 높아져왔지만 미국 및 일본과 비교하면 아직까지는 낮은 것으로 나타났다. 최근 기간(2010~15년)에 대한 한국의 산업별 디지털 혁신 수준은 모든 산업에서 미국 및 일본과 중국 및 인도 사이에 위치하고 있으며 컴퓨터 프로그램밍 등의 경우에는 인도보다도 낮은 것으로 나타난다. 디지털 혁신기술별 한국의 수준은 인공지능, 사물인터넷, 빅데이터 기술에서 미국과의 격차가 다른 기술보다 상대적으로 큰 것으로 나타났으며, 사물인터넷과 빅데이터의 경우에는 중국 및

인도보다 낮은 수준인 것으로 나타났다. OECD 통계를 보더라도 한국은 기업 및 가계의 초고속 인터넷 이용률이 각각 99.3%와 99.5%로 매우 높음에도 불구하고 RFID 기술 이용률을 제외하면 기업의 ICT 기술 활용 수준은 높지 않은 것으로 나타났다.

제4장에서는 반사실적 분석(counterfactual analysis)이 가능한 이론적 무역모델을 구축하고 10가지 시나리오를 설정하여 디지털 혁신이 무역에 미치는 영향을 다양한 각도에서 분석하였다. 첫 번째 시나리오는 제3장에서 도출한 미국특허 통계의 분석 결과에 기반하여 디지털 혁신 수준을 산출하고 산업 수준의 디지털 혁신 시나리오를 설정하였다. 2~10번째 시나리오는 국가 수준에서 디지털 혁신이 이루어지는 시나리오다. 이는 디지털 기술이 증기기관이나 전기처럼 향후 범용기술로 활용되면서 국가 차원에서 모든 산업에 디지털 혁신이 다음과 같이 파급되는 경우를 고려한 것이다. 우선 파급 범위에 따라 디지털 혁신이 미국 산업 전체에만 확산되는 경우, 주요 5개국(미국, 일본, 유럽, 중국, 한국)에 확산되는 경우, 세계 전체에 확산되는 경우 등의 세 단계가 있다고 가정한다. 다음으로 국가 수준의 생산성이 각각 1%, 2%, 3% 세 단계로 향상된다고 가정한다. 이렇게 가정했을 때 가능한 경우의 수를 모두 고려하면 국가 수준의 디지털 혁신 시나리오는 모두 9(=3×3)개의 세부 시나리오로 구성된다.

산업 수준의 디지털 혁신 시나리오에 따라 분석한 결과를 보면 디지털 혁신이 활발하게 이루어지는 미국, 일본, 유럽, 한국 등의 국가 사이에서 교역이 상대적으로 크게 증가하는 패턴이 나타난다. 또한 국별 총 교역은 대체로 증가하나 디지털 혁신을 주도하는 국가와 산업을 중심으로 교역 증가에 따른 이익이

집적된다. 특히 미국과 일본의 경우 전기 · 기계와 컴퓨터 · 전자 산업에 총 교역 증가가 집중되며, 이에 반해 유럽과 한국의 수출 변화는 상대적으로 변동폭이 적은 것으로 나타난다. 한편 국가 수준의 디지털 혁신 시나리오에 따르면 디지털 혁신에 따라서 모든 국가가 수출 증가라는 과실을 누릴 수 있을 것으로 나타났다. 또한 디지털 혁신이 미국, 주요 5개국, 세계 전체 등으로 확산될수록 교역에 미치는 영향이 커지게 된다.

디지털 혁신이 우리나라 무역에 미치는 영향을 살펴보기 위해 산업 수준의 디지털 혁신 시나리오 분석 결과를 보면 우리나라의 교역증대효과(1.39%)는 미국(3.35%), 유럽(1.53%)에 미치지는 못해도 매우 긍정적인 것으로 나타난다. 이는 중국, 브라질, 인도 등 디지털 혁신 수준이 낮은 국가에 대한 효과가 거의 미미할 것이라는 점에 비추어보면 우리나라의 디지털 혁신 실적이 이들 나라에 비해 상대적으로 크며 우리의 산업구조가 디지털 혁신에 따른 중간재 수출증대효과를 기대할 수 있기 때문인 것으로 보인다. 국가 수준의 디지털 혁신 시나리오에 따르면 우리나라는 디지털 혁신이 이루어지는 나라에 대하여 무역이 증가하며 그렇지 않은 나라에 대해서는 효과가 나타나지 않는다. 국가 수준의 디지털 혁신이 미국, 주요 5개국, 세계 전체에서 나타나는 각각의 시나리오 분석 결과는 우리나라의 교역증대효과가 디지털 혁신이 나타나는 국가에 국한되어 나타남을 보여준다. 또한 국가 수준의 디지털 혁신이 국제적으로 확산될수록 우리나라의 교역증대효과가 증폭되는 것으로 나타났다.

제5장에서는 본 연구의 분석 결과를 요약하고, 디지털 혁신에 따른 긍정적인 효과를 극대화하기 위한 정책 시사점을 다음과 같이 도출하였다.

첫째, 디지털 혁신을 뒷받침하기 위한 정부 차원의 체계적인 로드맵이 마련되어야 한다. 4차 산업혁명 시대에 디지털 정책은 경제 및 사회 전반에 폭넓은 파급효과를 미칠 것으로 예상되므로 정책 수립 및 집행을 위한 체계적인 거버넌스 구축이 필요하다. 우리나라의 경우에는 4차산업혁명위원회가 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 있다.

둘째, 기술 수준이 낮은 소프트웨어와 프로그래밍을 중심으로 연구개발투자를 보다 활성화하고 디지털 혁신기술에 대한 경쟁력을 키워야 한다. 특히 미국 등 주요국과 격차가 큰 인공지능, 사물인터넷, 빅데이터 기술에 대한 연구개발 투자는 시급히 강화될 필요가 있다. 아울러 디지털 혁신이 효과적으로 이루어지기 위해 데이터 이동 및 정보처리의 상호운용 등과 관련된 각종 규제를 대폭 완화 내지는 철폐해야 한다.

셋째, 디지털 혁신이 교역상대국에 파급될수록 우리나라의 교역 확대에 도움이 되므로 국제무역규범을 디지털 혁신에 걸맞도록 정비해야 한다. 특히 4차 산업혁명에 따라 광범위한 생산제품군이 출시되고 디지털로 연결되는 소비자가 많아지게 되므로 시장접근에 대한 장애요인을 우선적으로 제거할 필요가 있다. 또한 유통, 물류, 금융, 데이터 이동 등에 대한 규제 완화와 기업환경 개선이 필요하며, 인터넷 프로토콜, 무선네트워크 등의 인프라 개선에 대해서도 국제적으로 논의할 필요가 있다.

차 례

표 차례

그림 차례

부록 표 차례

부록 그림 차례

제1장

서론

1. 연구의 의의 및 목적

4차 산업혁명은 ICT(Information and Communication Technology)가 경제 및 사회 전반에 융합되어 혁명적인 변화가 이루어지는 차세대 산업혁명을 의미한다. 구체적으로 인공지능(AI), 빅데이터(big data) 분석, 클라우드 컴퓨팅(cloud computing), 사물인터넷(IoT: Internet of Things) 등의 기술이 기존 산업 및 서비스와 융합되거나 3D 프린팅, 나노테크놀로지(Nanotechnology), 신물질 개발 등과 같은 신기술과 결합되어 모든 제품 및 서비스를 네트워크로 연결하고 사물을 지능화하는 것을 의미한다. 특히 4차 산업혁명에서는 인터넷을 이용하여 물건과 물건, 물건과 사람, 사람과 사람을 연계하여 새로운 비즈니스모델을 만들어낸다.

4차 산업혁명은 1차 산업혁명(증기기관), 2차 산업혁명(전기에너지), 3차 산업혁명(컴퓨터와 인터넷) 등과 다르게 지능과 정보가 융합된 기술을 통해 모든 경제 및 사회활동에 광범위하고 신속하게 영향을 미친다. 다시 말해 4차 산업혁명은 데이터에 기반하는 기술이 기존 산업 및 서비스와 융합되거나 신기술과 결합하는 과정(software)으로서 지능정보기술이 로봇, 드론(hardware) 등을 통해 구현되는 변화이다.

이에 따라 4차 산업혁명에 따른 디지털 혁신은 종전의 디지털 발전과는 차원을 달리하게 된다. 종전의 디지털 발전은 주로 정보통신기술에 따른 인터넷과 모바일 통신의 발전에 따른 것이었던 데 반해, 4차 산업혁명에 따른 디지털 혁신은 가상세계와 현실세계, 즉 온라인과 오프라인이 초연결되면서 공진화(co-evolution)하는 발전 과정을 의미한다.

한국 또한 이러한 변화에 대응하기 위해 문재인 정부는 국정운영 5개년 계획을 통해 4차 산업혁명의 선도기반을 구축하여 고부가가치 창출 미래형 신산업을 발굴 · 육성하고, 주력산업의 경쟁력 제고로 산업경제의 활력을 회복하기 위

한 세부 전략을 제시하였다. 특히 제조 경쟁력과 ICT, 서비스 등의 융합을 통해 미래형 신산업을 육성하고, ICT · 소프트웨어 혁신과 산업 간 융합 추진으로 새로운 성장동력을 창출하여 경제성장을 견인하려는 정책을 추진하고 있다. 이에 본 연구는 4차 산업혁명에 따른 디지털 혁신 수준을 주요국별 및 산업별로 비교 분석하고, 무역에 미치는 영향을 시나리오별로 분석하고자 한다.

2. 연구방법론 및 선행연구와의 차별성

가. 연구방법론

본 연구는 4차 산업혁명에 따른 디지털 혁신의 발전 및 활용 수준을 국제적으로 비교하고 디지털 혁신이 무역에 미치는 영향을 시나리오별로 정량 분석하고자 한다. 이를 위해 본 연구는 4차 산업혁명과 디지털 혁신이 무엇인지를 파악하기 위해 문헌조사 방법을 이용하여 기존 연구의 다양한 주장들을 검토하고 디지털 혁신을 가능케 하는 핵심기술이 무엇인지를 살펴본다. 또한 디지털 혁신에 따른 경제패러다임의 변화와 이러한 변화가 무역 및 비교우위 구조에 미치는 영향을 살펴보기 위해 OECD 등의 연구 결과를 토대로 기존의 연구 결과들을 분석하고 그 결과들을 비교 제시한다. 아울러 제품, 공정, 비즈니스모델 등 각 분야에서 전면적으로 이루어지고 있는 디지털 혁신이 무역에 어떤 영향을 미칠 것인지를 살펴보기 위해 기술특성, 기술격차, 산업의 변화 등에 대한 가설적인 분석틀을 제시한다.

또한 본 연구는 디지털 혁신 및 활용에 대한 국별 · 산업별 수준을 비교 분석하기 위해 미국 특허 · 상표청(USPTO)이 제공하는 1980~2015년 데이터를 이용하여 주요 국별 및 산업별 디지털 혁신 수준을 파악한다. 미국, 일본, 독일, 프랑스,

영국, 한국, 중국, 인도 등 주요국들은 핵심적인 특허를 대부분 미국특허로 신청하므로 미국의 특허 데이터를 활용하고자 한다. 구체적으로 미국 특허 · 상표청의 Patent Technology Monitoring Team(PTMT)이 제공하는 Custom Bibliographic Patent Data Extract DVD-롬을 이용하여 세계 주요국의 4차 산업 관련 특허 출원 데이터를 추출하고자 한다. 특히 특허번호(patent number), 특허출원국코드(state country code), 특허출원일(application date), 특허분류(classification), 특허피인용(cited patent) 등의 자료를 이용하기로 한다.[1)]

특허 데이터를 이용하여 국별 및 산업별 디지털 혁신 수준을 파악하기 위하여 본 연구는 국별 및 산업별 총특허 건수, 피인용 건수, H지수(Hirsh index) 등을 이용하도록 한다. 국별 및 산업별 총특허 건수는 특허의 양적인 측면을 반영할 수 있으나 특허별 질적인 수준을 반영하는 데는 충분하지 않다. 이에 타국, 타산업에서 인용되는 특허 건수도 이용하도록 한다. 이와 관련하여 Hall, Jaffe and Trajtenberg(2005) 등에서 지적하고 있는 바와 같이 특허의 피인용 건수와 특허의 질적 수준은 양의 상관관계를 가지는 것으로 나타난다. 다만 특허의 총피인용 건수는 영향력이 있는 소수의 특허, 예를 들어 기초적인 신기술을 제시한 특허가 특정 분야의 수치를 왜곡할 우려가 있다.

이에 따라 본 연구는 특허의 양적인 측면과 질적인 측면을 모두 반영하기 위한 지표로서 H지수를 이용하도록 한다. H지수는 Hirsh(2005)에서 제시된 지수로서 등록된 특허 건수가 많더라도 피인용 건수가 높은 특허의 수가 적으면 낮은 값을 가지게 되어 논문의 생산성과 인용 영향력을 적절하게 측정할 수 있다. 선행연구로서 이지홍, 임현경, 정대영(2018)과 Kwon, Lee and Lee(2017) 등은 H지수를 이용하여 각국별 특허 인용지수를 측정하고 있다. 국별 및 산업별 H지수가 높을수록 어느 특정 국가, 특정 산업의 특허가 많이 인용

1) 1995년 6월 미국특허법 개정에 따라 권리기간은 등록일부터 17년에서 출원일부터 20년으로 변경된 바 있다.

되었음을 뜻하며 상대적 기술 수준이 높음을 의미한다.

본 연구에서는 인공지능, 3D 프린팅, 사물인터넷(IoT), 빅데이터, 지능형로봇, 클라우드와 같이 4차 산업혁명과 관련성이 높은 분야의 디지털 혁신 수준을 비교분석하도록 한다. 산업별 수준을 분석하기 위해서 미국 특허자료에 부여되어 있는 미국특허분류(USPC: US Patent Classification) 코드와 산업분류코드를 연계할 필요성이 있다. 산업분류를 위해 국제표준산업분류(ISIC: International Standard Industrial Classification) 4차 코드 2단위를 이용한다. 그러나 USPC – ISIC Rev.4 간에 직접적인 연계표가 존재하지 않아 국제특허분류(IPC: International Patent Classification) 8차 코드와 유럽산업분류(NACE: Statistical Classification of Economic Activities) 2차 코드를 중간에 연계하였다. 즉 USPC – IPC V8 – NACE Rev. 2 – ISIC Rev. 4를 연계하여 미국 특허의 산업을 구분하였다.

이와 함께 본 연구는 세계로봇협회의 통계자료를 이용하여 기업의 로봇 활용 수준을 분석하도록 한다. 최근 주요국들은 디지털 혁신에 따른 생산 효율화를 구현하기 위해 산업용 로봇을 적극적으로 활용하고 있다. 이에 본 연구에서는 주요국별 및 산업별 산업용 로봇 사용 현황을 살펴보도록 한다. 또한 본 연구는 OECD의 가계 · 개인(households and individuals)과 더불어 기업(businesses)의 ICT 접근 및 이용 데이터를 이용하여 기업과 가계의 인터넷 사용 수준도 분석하도록 한다.

이와 함께 본 연구는 4차 산업혁명에 따른 디지털 혁신이 새로운 성장동력 창출을 통해 무역에 미치는 영향을 정량적으로 분석하고자 한다. 이를 위해 디지털 혁신에 따른 생산성 향상이 무역에 미치는 영향을 분석하기 위한 이론무역모형을 구축하였다. 특히 본 연구는 Caliendo and Parro(2015) 및 Eaton and Kortum(2002)을 토대로 확률적으로 주어지는 생산성과 더불어 디지털 혁신에 의해 변화될 수 있는 생산성 변수를 추가적으로 고려하여 이론모형을 구축하였다. 본 연구에서 고려하는 분석의 기본적인 아이디어는 디지털 혁신

→ 생산성 → 무역으로 이어지는 경로이다. 이러한 부분은 선행연구의 이론모델을 일반화한 것으로 이는 본 연구와 유사한 주제에 대한 연구 수행 시 사용할 수 있는 반사실적 분석(counterfactual analysis)이 가능한 새로운 이론적 기틀을 제공한다는 측면에서 학술적인 기여가 있는 것으로 판단된다.

4차 산업혁명에 따른 디지털 혁신은 최근 시작되어 앞으로 전례 없이 빠른 속도로 진행될 것이기 때문에 시계열 데이터로 무역에 미치는 영향을 분석하는 데는 한계가 있을 수밖에 없다. 이에 본 연구는 4차 산업혁명에 따른 디지털화가 무역에 미치는 영향을 분석하기 위해 구조적 접근법을 채택하여 반사실적 분석을 시도하였다. 이러한 접근법을 채택한 이유는 4차 산업혁명은 현재 진행중인 변화이기 때문에 정량적인 분석을 위한 데이터가 축적되어 있지 않고, 따라서 기존의 축약형 접근법(reduced-form econometric approach)을 사용할 수 없기 때문이다. 즉 4차 산업혁명이 언급되기 시작한 것이 불과 몇 년 전이기 때문에 그 이후의 시점부터 축적된 데이터가 충분치 않으며, 이들 데이터를 이용하여 분석할 경우 향후 폭발적으로 나타날 것으로 예상되는 경제사회적 변화를 제대로 포착할 수 없을 것이기 때문이다.

또한 본 연구는 시뮬레이션 분석을 위해 다수의 국가와 산업으로 구성된 이론모형이 생산기술, 산업별 중간재 교역, 산업연관관계 등을 반영할 수 있도록 모형 구조를 설계하였다. 이를 위하여 세계투입산출데이터베이스(WIOD: World input-Output Database), 세계통합무역솔루션(WITS: World Integrated Trade Solution) 등을 이용하여 4차 산업혁명에 따른 디지털 혁신이 무역에 미치는 시나리오별 영향을 정량적으로 분석하였다. 본 연구는 산업 수준 및 국가 수준에서 디지털 혁신이 파급되는 10가지 시나리오를 설정하고, 이 시나리오하에서 디지털 혁신이 무역에 미치는 영향을 다음과 같이 정량적으로 분석하였다(표 1-1 참고). 분석에 이용된 가정을 정리하면 다음과 같다.

첫째, 산업 수준의 디지털 혁신 시나리오를 설정하기 위해 인공지능, 3D 프린팅, 사물인터넷(IoT), 빅데이터, 지능형로봇, 클라우드 등의 분야에서 특허

등록 건수에 기반하여 국별로 산업에 상이한 근본생산성 변화가 나타남을 가정하였다. Jorgenson(2011)은 1960~2007년 동안 컴퓨터를 포함한 정보기술 산업에서 발생한 혁신이 미국의 생산성을 견인하는 역할을 했다고 지적하고 있다. 이 연구에 따르면 동 기간 동안 컴퓨터 및 주변장비(computer and peripheral equipment) 산업이 연평균 10.77% 증가, 반도체 및 다른 전자기기 산업이 8.86% 증가, 소프트웨어 퍼블리싱(software publishing)이 9.01% 증가함을 보고하고 있다. Caliendo *et al.*(2014)의 연구에서도 2002~07년, 2007~12년 동안 미국의 컴퓨터 관련 산업에서 변화한 생산성을 측정한(measured) 결과 연평균 14.6% 이상 증가했다고 보고하고 있다. 이러한 선행연구 결과를 토대로 본 연구는 디지털 혁신에 따라 생산성이 10% 향상되는 것을 기준으로 특허 등록 건수와 비례하여 디지털 혁신에 따른 생산성 증가효과를 가정하였다. 이러한 가정은 예상 변화폭의 최저치에 가까운 값이라는 의미가 있으며 보수적인(conservative) 가정이라고 볼 수 있다.

둘째, 국가 수준의 디지털 혁신 시나리오를 설정하기 위해 세계지식재산권기구(WIPO: World Intellectual Property Organization)에서 발간한 2015년 보고서 내용을 활용하였다. 이 보고서에 의하면 1300~1819년 중상주의(merchant capitalism) 기간 동안 데이터에 포함된 국가의 1인당 실질 GDP가 연평균 0.21% 증가하였다. 1820~1949년 산업혁명(industrial revolution) 기간에는 1인당 실질GDP가 연평균 1.10% 높아졌으며, 2차 세계대전 이후 1950~2010년 동안의 증가율은 연평균 2.08%에 달하는 것으로 보고하고 있다.[2)]

따라서 본 연구는 국가 수준의 디지털 혁신 시나리오를 설정하기 위해 다음의 9가지 경우를 고려하였다. ① 미국의 근본생산성만이 증가(1%, 2%, 3%)할 경우이다. ② 미국, 일본, 유럽, 한국, 중국을 포함한 주요 5개국의 디지털 혁신에 따른 교역효과이다. 주요 5개국에서 근본생산성이 동시에 증가(1%, 2%,

2) WIPO(2015), p. 8.

3%)할 경우이다. ③ 세계 디지털 혁신의 교역효과이다. 즉 분석대상국 모두에서 근본생산성이 동시에 증가(1%, 2%, 3%)할 경우이다. 국가 수준의 디지털 혁신 시나리오는 디지털 혁신기술이 범용기술(general purpose technology)로서 활용되는 미래상을 반영하기 위해 설정하였다.

표 1-1. 분석 시나리오

	시나리오		
산업 수준의 디지털 혁신 시나리오	(1) 인공지능, 3D 프린팅, 사물인터넷, 빅데이터, 지능형로봇, 클라우드 컴퓨팅 분야의 국별·산업별 디지털 혁신		
국가 수준의 디지털 혁신 시나리오	(2) 미국 생산성 1% 증가	(3) 미국 생산성 2% 증가	(4) 미국 생산성 3% 증가
	(5) 주요 5개국 생산성 1% 증가	(6) 주요 5개국 생산성 2% 증가	(7) 주요 5개국 생산성 3% 증가
	(8) 전 세계 생산성 1% 증가	(9) 전 세계 생산성 2% 증가	(10) 전 세계 생산성 3% 증가

나. 기존 연구와의 차별성

4차 산업혁명에 따른 디지털 혁신이 무역에 미치는 영향에 대해 정량적 분석 결과를 제시한 기존 연구는 많지 않다. 최근 4차 산업혁명에 대한 논의가 크게 확산되면서 AI, 디지털 변혁(digital transformation), 로봇, IoT, 3D 프린팅 등과 같은 용어들이 사회적 담론의 주제로 대두되었다. 현재까지의 논의를 종합해 보면, 향후 디지털 혁신을 구성하는 핵심기술이 무엇인지에 대해서는 대체적인 합의가 이루어졌다. 하지만 신제품 출시와 생산공정 혁신에 따른 산업의 비즈니스모델 그리고 국제무역의 변화에 대한 논의는 아직 초기 단계에 머물고 있다.

이는 무엇보다 4차 산업혁명이 향후 어떤 모습을 지닐지에 대해 매우 다양한 견해가 공존하기 때문이다. 본 연구는 4차 산업혁명에 따른 디지털 혁신이 산

업 및 국가생산성의 변화를 통해 무역에 영향을 미친다는 기본 경로에 초점을 맞추어 새로운 분석틀을 제시하였다. 또한 블랙박스에 있는 향후의 생산성 변화에 대해서는 기존 연구를 참고하여 다양한 시나리오를 설정하고 이를 토대로 시뮬레이션을 수행하였다.

본 연구와 관련된 기존 연구를 살펴보면 Marquez-Ramos and Martinez-Zarzoso(2010)는 중력모형을 이용하여 기술혁신이 부문별 수출에 미치는 영향을 분석하였다. 동 연구는 기술 창조, 기존 혁신의 전파, 최근 혁신의 전파, 인적 숙련도 등과 같은 구성요소를 이용하여 기술달성지수를 기술혁신의 대용지표로 사용하였다. 분석 결과에 따르면 기술혁신이 수출 성과에 미치는 효과가 비선형이며 긍정적 효과가 나오기 위해서는 문턱점(threshold)이 필요하다. Kwon, Lee, Lee(2017)는 미국특허청의 약 400만 개 특허를 이용하여 주요국의 기술진보를 분석하였다. 특히 동 연구는 주요 국별 및 분야별로 1980~2011년 기간의 특허 인용 정도와 빈도를 분석하였다. 특허데이터를 이용한 관련 연구로서 Aghion *et al.*(2017)은 프랑스의 기업별 특허데이터를 이용하여 수출이 혁신에 미치는 영향을 실증분석하였는데, 분석 결과를 보면 수출은 시장 규모와 혁신 인센티브를 증가시키게 된다. OECD(2016)는 컴퓨터, 통신, 소프트웨어 등에서 ICT의 이용에 대한 실증분석을 시도하였다. 동 연구는 2008~15년 기간에 7개 국가에서 통신, 데이터, information integration, ERP 등의 분야에 미친 ICT의 영향에 초점을 맞추었다.

이상과 같이 기술혁신과 무역 간의 관계에 대한 다양한 선행연구들이 존재하지만 본 연구는 기존 선행연구와 비교하여 차별화될 수 있다. 우선 본 연구는 4차 산업혁명에 따른 디지털 혁신 수준을 미국특허 데이터와 OECD 데이터 등을 이용하여 분석하였다. 특히 본 연구는 주요국별 · 산업별 특허 데이터, ICT, 로봇 등과 관련된 최근 데이터를 국제 비교하였으며, 최신의 분석이론모형을 이용하여 디지털 혁신이 국별 · 산업별로 미치는 영향을 시나리오별로 정량 분석을 시도했다는 점에서 차별성이 있다.

특히 본 연구는 Caliendo and Parro(2015) 및 Eaton and Kortum (2002)의 연구를 기반으로 확률적으로 주어지는 생산성과 더불어 디지털 혁신에 의해 변화될 수 있는 생산성 변수를 추가적으로 고려하여 이론모형을 구축하였다. 아울러 인공지능, 3D 프린팅, 사물인터넷(IoT), 빅데이터, 지능형로봇, 클라우드 등의 분야에서 특허 등록 건수에 기반하여 국별로 산업의 상이한 근본생산성 변화가 나타남을 가정하고, 이와 같은 디지털 혁신이 무역에 미칠 영향에 대해 다양한 시나리오를 설정하였다.

3. 연구 범위와 구성

제2장에서는 4차 산업혁명에 따른 디지털 혁신의 개념을 정의하도록 한다. 4차 산업혁명에 대해서는 아직까지 합의된 정의가 없으며 다양한 주장들이 공존한다. 본 연구는 그동안의 4차 산업혁명 및 핵심기술에 대한 논의 내용을 살펴보도록 한다. 또한 디지털 혁신에 따라 나타나는 규모의 경제, 범위의 경제, 디지털생태계, 경제의 서비스화 등의 변화를 통해 경제패러다임에 어떤 변화가 나타나는지를 살펴본다. 제품, 공정, 비즈니스모델 등 각 분야에서 전면적으로 이루어지는 디지털 혁신은 산업 분야에 어떠한 영향을 미치는가를 살펴보고, 4차 산업혁명에 따른 디지털 혁신의 발전단계별 기술특성, 기술격차, 산업의 변화 등을 설명한다. 아울러 디지털 혁신이 향후 무역패턴 및 비교우위 구조에 미치는 영향은 어떠한가를 정성적인 연구 방법에 따라 살펴보도록 한다.

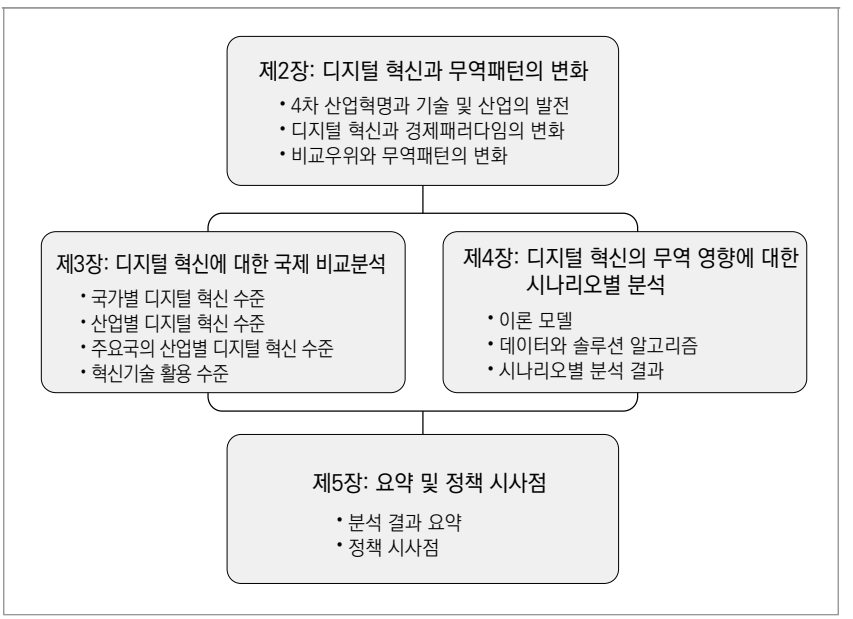
제3장에서는 디지털 혁신에 대한 국별 · 산업별 디지털 혁신 및 활용 수준을 비교 분석하고자 한다. 본 연구는 OECD(2017c)가 개발한 방법론을 토대로 미국특허 데이터를 이용하여 국가별 디지털 혁신 수준과 세계 전체의 산업별 혁신 수준을 비교하고 주요국의 산업별로도 세밀하게 분석하고자 한다. 또한 세계로봇협회의 데이터를 이용하여 산업용 로봇의 주요국별 및 산업별 활용 수준을 비교하고, OECD 데이터를 이용하여 기업의 ICT 기술 활용 수준과 기업

및 가계의 브로드밴드 이용 비중 등에 대해서도 비교 분석한다.

제4장은 제3장에서 도출된 데이터를 활용하여 시나리오를 설정하고 디지털 혁신이 무역에 미치는 영향을 정량적으로 분석하고자 한다. 특히 본 연구는 디지털 혁신에 의해 변화될 수 있는 생산성 변수를 추가적으로 고려하여 새로운 이론모형을 구축한다. 또한 세계투입산출표를 이용하여 이론모델과 데이터를 연계하고 산업 수준 및 국가 수준의 디지털 혁신에 대한 다양한 시나리오를 설정한다. 본 연구는 이렇게 구축한 이론모델과 데이터를 이용하여 디지털 혁신이 무역에 미치는 영향을 국별 및 산업별로 정량 분석하고자 한다.

마지막으로 제5장에서는 본 연구의 주요 연구 결과를 요약하고 향후 우리나라가 택해야 하는 정책 대응방안에 대한 시사점을 도출하고자 한다. 본 연구의 구성은 [그림 1-1]과 같다.

그림 1-1. 본 연구의 구성



제2장

디지털 혁신과 무역패턴의 변화

2016년 1월 개최된 다보스 포럼에서 슈밥 세계경제포럼 회장이 4차 산업혁명으로 일자리가 대폭 줄어들 것이라는 주장을 제기하면서 4차 산업혁명은 세계의 주목을 받기 시작하였다. 같은 해 3월 서울에서 개최된 인공지능 알파고와 세계 최고수인 이세돌의 바둑대국에서 인공지능이 일방적으로 승리하면서 4차 산업혁명에 대한 관심이 급격하게 상승하였고 4차 산업혁명에 대한 연구가 폭발적으로 증가하였다.

4차 산업혁명은 그동안 개별적으로 발전해오던 사물인터넷(IoT), 빅데이터, 인공지능, 적층제조, 로봇 등의 신기술들을 하나의 시스템 체계로 통합하면서 빠르게 발전하고 있다. 4차 산업혁명을 인더스트리 4.0(Industrie 4.0)으로 명명한 독일의 제조업 디지털 전환과 동일시하는 견해도 있지만, 현재 진행되는 4차 산업혁명은 제조업뿐만 아니라 헬스케어, 핀테크, 에너지 등 모든 산업과 기상, 재해 등 사회 각종 분야에 걸쳐 그 영향력을 광범위하게 발휘하고 있다.

1. 4차 산업혁명과 기술 및 산업의 발전

가. 4차 산업혁명의 배경

4차 산업혁명에 대해서는 아직까지 합의된 정의가 없으며 [표 2-1]에서 보듯이 다양한 주장들이 공존한다. 용어에 대해서도 동의하는 사람들이 오히려 소수이다. 그렇지만 현재 진행되는 기술혁신의 내용에 대해서는 대체적으로 유사한 주장을 하고 있다.

4차 산업혁명의 배경은 대량생산으로부터 대량 맞춤형 생산으로 변화한 이후 개인 맞춤형 생산(Personalized Production)으로 변화할 필요성이 증가한 데 있다. 소비자들의 니즈가 빠르게 개인화됨에 따라 생산 시스템도 다양한

제품을 신속하고 저렴하게 생산할 수 있는 방향으로 전환하는 경쟁이 치열해졌다. 3D 프린팅에 해당하는 적층제조(additive manufacturing) 기술과 사이버-물리 시스템이 발전한 것은 바로 이러한 배경에서이다.[3)]

표 2-1. 4차 산업혁명 관련 담론 현황

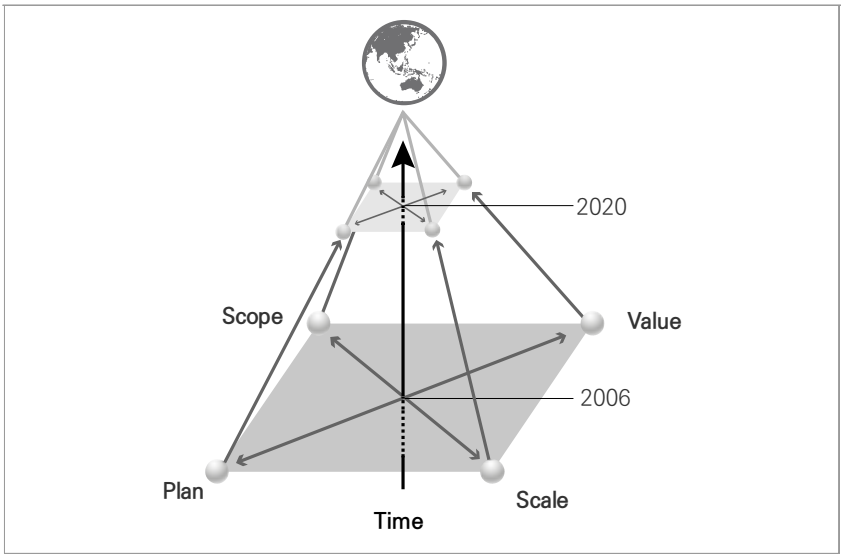
4차 산업혁명 유보론	4차 산업혁명론
Rifkin 3차 산업혁명론	
디지털 전환론 데이터 주도 혁신론	
[Brynjolfsson 2차 기계시대론] →	사이버물리시스템론 [독일]
	인공지능 주도론
	기술융합론 [Schwab]
	혁신패턴론 [Kensho]
	2차 기계시대 2차 물결론 [Brynjolfsson, 2017. 7]
	이민화 020 평행이론
	하원규 만물초지능네트워크론
	이성호 사물지능론

자료: 저자 작성.

[그림 2-1]에서 보듯이 문제는 생산에 있어서 규모와 범위, 계획과 가치 간에는 양자를 동시에 달성할 수 없는 상충관계(trade-off)가 존재한다는 것이다. 다양성을 확대하는 경우 규모의 경제 상실에 따른 비용 상승이 불가피하게 된다. 독일에서는 이러한 상충관계를 생산의 다중 딜레마로 체계화하고 인더스트리 4.0을 통해 해결하기 위한 방안을 모색하고 있다.[4)]

3) Hu(2013), p. 6.
4) Brecher, Özdemir, and Weber(2017), p. 13.

그림 2-1. 생산의 다중 딜레마(Polylemma of Production)



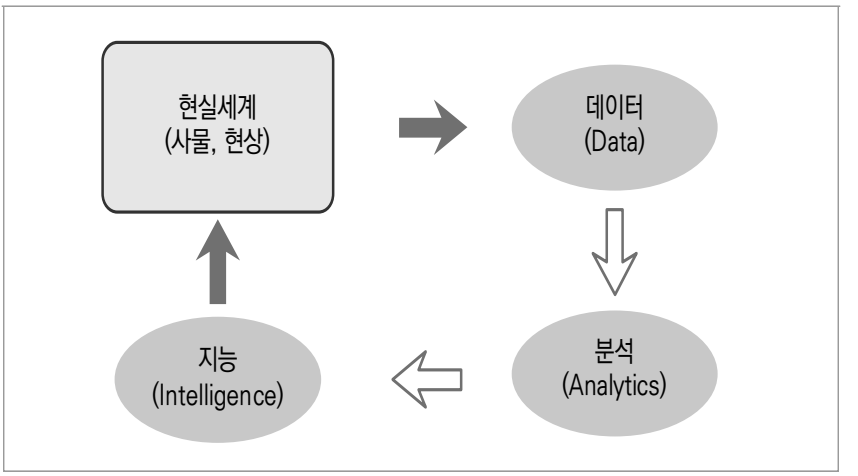
자료: Brecher, Özdemir, and Weber(2017), p. 13.

적층제조의 경우 제품당 생산 규모는 작아지지만 비용은 현행 생산방식에 비해 크게 높아진다.[5] 이를 줄이려는 노력이 바로 인더스트리 4.0이다. 즉 다양성과 비용을 동시에 달성하는, 구체적으로 한 제품을 하나씩만 생산하는 데 드는 비용(lot size 1 cost)을 대량생산 비용과 같게 만드는 것이 바로 인더스트리 4.0의 지향 목표인 것이다.

현실적으로 불가능한 다양성과 비용의 상충관계를 어떻게 해결할 수 있을까? 이를 위해서는 일차적으로 소비자의 다양한 니즈에 부합하는 최적의 제품 디자인과 생산방식을 찾아야 할 것이다. 최종적으로는 선택된 방식에 따라 생산이 이루어질 수 있도록 해야 한다. 그 일차 조건을 충족하는 것이 바로 4차 산업혁명의 기본개념이다.

5) Poprawe, Bleck, and Piller(2017), p. 28.

그림 2-2. 4차 산업혁명의 핵심원리



자료: 저자 작성.

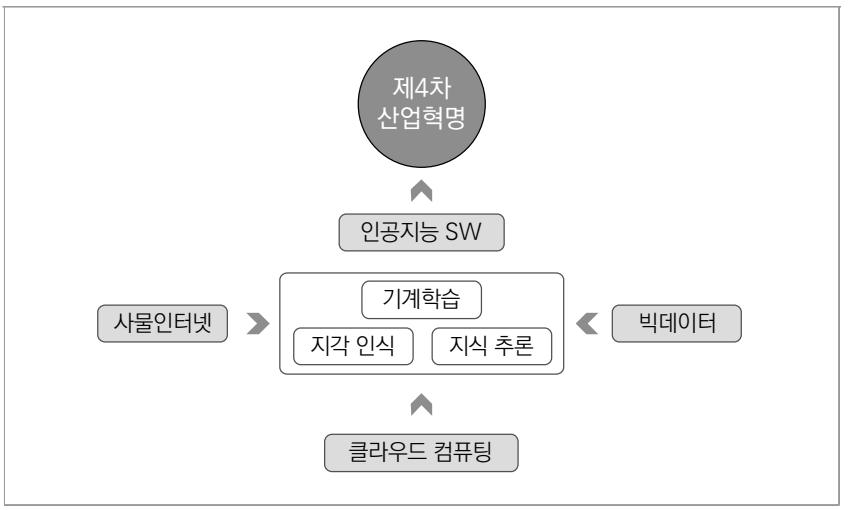
구체적으로 4차 산업혁명은 아날로그적, 물리적 특성을 지닌 현실세계의 모든 사물과 현상을 디지털 데이터로 전환하고, 데이터 분석을 통해 해결책을 찾아내는 지능을 창출하는 것이다. 그에 따라 현실세계를 변화, 재창조하기 위해서는 그에 상응한 물리적 기술이 추가로 개발되어야 한다. 현재 각 분야에서 진행되고 있는 기술혁신의 주류는 이 두 유형에 속해 있다.

나. 4차 산업혁명과 데이터 기술

개인별 맞춤형 적기 생산(Personalized On Demand Production)을 위한 최적의 디자인과 생산방식을 찾는 4차 산업혁명의 핵심기술은 대표적으로 사물인터넷(IoT), 빅데이터, 인공지능 등 세 가지로 구성된다. 데이터를 저장하고 분석작업을 수행하는 클라우드 컴퓨팅을 포함하기도 한다. IoT는 가치사슬상의 각 단위와 연관분야 모두를 연결하고 그로부터 데이터를 수집하는 역할을 한다. 수집된 데이터는 딥러닝 등 기계학습을 수행하는 인공지능을 통해 실시간으로 분석

되며 그로부터 최적의 솔루션을 도출하는 지능이 창출된다. IoT와 빅데이터가 3차 산업혁명의 핵심기술인 디지털 기술의 연장선상에 있다고 한다면, 인공지능은 4차 산업혁명을 주도하는 핵심 기술이라고 할 수 있다. 여기에서는 4차 산업혁명의 핵심기술들을 집합적으로 데이터 기술(data technology)이라고 부르기로 한다.[6]

그림 2-3. 4차 산업혁명의 데이터 기술



자료: 신지나 외(2016), p. 56.

DNA(Data, Network, AI 혹은 Algorithm)로 불리기도 하는 데이터 기술은 Bresnahan and Trajtenberg(1995)가 제시한 범용기술(General Purpose Technology)에 해당한다. 주목할 점은 데이터 기술은 이전의 산업혁명 핵심기술과 비교하여 범용성이 훨씬 넓다는 점이다. 데이터 기술은 모든 것에 지능을 융합하는 것이기 때문이다. 예를 들어 매해 발생하는 재난에 대해서는 최적의 대처 방법을 제시해줄 수 있다.

6) 데이터 기술에 관해서는 장윤종(2018), pp. 9~11 참고.

여기에서 주목할 점은 데이터 기술은 필요조건에 해당한다는 것이다. 즉 없어서는 안 되지만 그것만으로는 문제를 해결할 수 없다. 데이터 기술로 창출된 지능이 현실에서 발현되기 위해서는 보완기술로서 분야별 신기술(Domain New Technology)[7]이 필요하다. 예를 들어 제조업에서 맞춤형 생산이 실현되기 위해서는 로봇과 3D 프린팅 기술이 발전해야 한다.

데이터 기술은 디지털 기반에서 이루어지므로 지수적 혁신(exponential innovation)이 이루어지는 반면 분야별 기술은 3D 프린팅 기술과 같이 대부분 물리적 현실에서 사람이 개발해야 하므로 데이터 기술의 발전 속도와 비교할 수 없다. 따라서 4차 산업혁명의 실현 여부는 데이터 기술보다는 분야별 기술의 혁신 속도에 의해 결정될 가능성이 높다. 현재 산업별로 기술혁신 속도에 차이가 나타나고 있는데 데이터 수집 문제, 알고리즘 부재 등 데이터 기술의 문제일수도 있지만 대부분 분야별 기술의 혁신 속도가 늦기 때문이다.

다. 생산성 향상과 산업의 발전

4차 산업혁명에서 데이터 기술을 통한 생산성 향상과 산업 혁신은 제품, 공정, 비즈니스모델 등 각 분야에서 전면적으로 이루어진다.[8] 제품의 경우 대표적인 사례는 자율주행자동차이다. 자율주행자동차의 최고 단계는 무인자동주행으로 이동하는 것이다. 도로를 달리는 인공지능 로봇이라고 할 수 있다. 국내 가전업체들이 생산하는 필요한 곳을 찾아 스스로 냉방하는 인공지능 에어컨도 유사한 사례다.[9]

---

7) 장윤종(2018), p. 8 참고.
8) 이지효(2016), pp. 49~72.
9) 「LG전자, 인공지능 'LG 휘센 듀얼 에어컨' 필요한 곳 찾아 스스로 냉방한다」(2017. 1. 16), 보도자료, https://social.lge.co.kr/newsroom/lg_ai_whisen_0116/(검색일: 2018. 7. 5); 「삼성전자, AI · 빅스비로 진화된 2018년형 '무풍에어컨' 출시」(2018. 1. 24), 온라인 보도자료(검색일: 2018. 7. 5).

공정혁신의 대표적 사례는 인더스트리 4.0, 미래의 공장, 지능형 생산 등으로도 불리는 스마트 공장(smart factory)이다. 스마트 공장의 대표적인 사례는 아디다스의 스피드팩토리(SpeedFactory)이다.[10]

스피드팩토리가 실현한 혁신은 소비자가 스마트폰으로 디자인과 색깔을 고르고 아라미스라는 모션 캡처 기술로 맞춤 신발을 주문하면 24시간 내에 배송받는다는 것이다. 구체적으로 주문 후 5시간 내에 카본의 고속 3D 프린터가 150개에 달하는 신발 자재를 개별적으로 인쇄하고 로봇이 이를 자동으로 조립한다. 과거 5주 이상 걸리던 맞춤 생산과 비교해 보면 전혀 비교가 되지 않는다. 이처럼 스피드팩토리는 현실에서 가장 앞선 스마트 공장이지만 아직도 기술적으로 보완되어야 할 점이 많다. 예를 들어 신발 끈 공정 등은 아직도 인간에 의존하고 있으며, 카본이 3D 프린팅으로 생산하는 신발 안창은 아직 대량생산 기술에 이르지 못하고 있다. 현재 안스바흐 공장에서 50만 켤레를 생산하고 있는데, 이 수치는 아디다스 전체 생산량인 3억 6,000만 켤레의 0.2%에도 못 미치는 수준이다.[11]

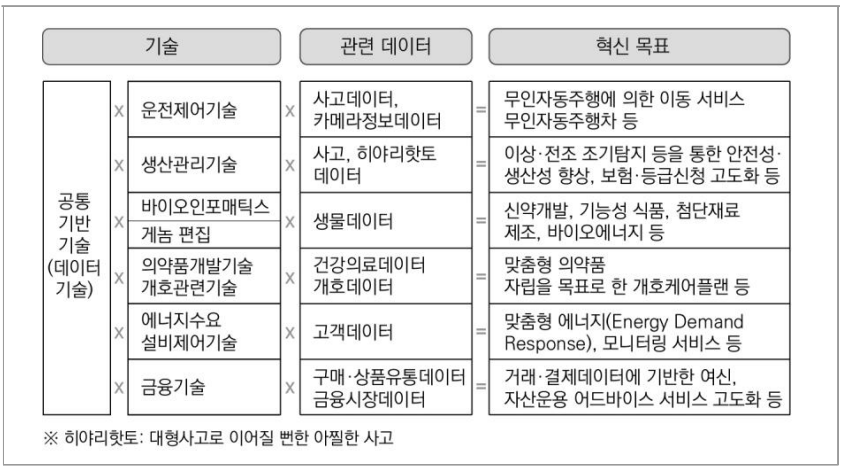
비즈니스모델 혁신의 대표적 사례는 플랫폼 모델로서 널리 알려진 우버의 차량 공유 서비스, 에어비앤비의 숙박 공유 서비스, 아마존의 글로벌 신 유통모델[12]이다. 앞에서 살펴본 스마트 공장의 실현을 통한 개인별 맞춤형 생산모델도 비즈니스모델 혁신에 해당한다.

이처럼 4차 산업혁명은 제품, 공정, 비즈니스모델의 혁신을 통해 기존 산업을 파괴적으로 재편한다. 여기에서 파괴(disruption)란 기존 산업이 4차 산업혁명을 통해 재탄생한 새 산업과 경쟁상대가 되지 않아 도태됨을 의미한다. 현재 이러한 파괴적 현상이 나타나고 있는 분야는 아마존이 영향을 미친 미국 소

10) Adidas, SPEEDFACTORY: The Future of How We Create, https://www.adidas.com/us/speedfactory(검색일: 2018. 7. 9).
11) 「[이민화 칼럼] 아디다스의 스피드 팩토리와 한국의 제조 혁신」(2017. 11. 27), 『이투데이』, http://www.etoday.co.kr/news/section/newsview.php?idxno=1567213(검색일: 2018. 4. 10).
12) 「'온라인 공룡' 아마존 · 알리바바… 유통 新모델로 오프라인 진격」(2018. 7. 2), http://news.hankyung.com/article/2018070141181(검색일: 2018. 7. 4).

매시장뿐이지만, 이는 4차 산업혁명이 이제 초기 도입단계에 불과하기 때문이다. 현재 혁신이 빠르게 이루어지고 있기 때문에 5~10년 사이에 엄청난 변화들이 전개될 것으로 예상된다. 이에 [그림 2-4]에서 보듯이 일본 경제산업성은 4차 산업혁명에 따른 산업의 혁신 방향을 분야별로 제시하고 있다.

그림 2-4. 일본의 4차 산업혁명 분야별 기술 조합 및 산업혁신 사례



자료: 經濟産業省(2017), p. 10.

산업 영향과 관련하여 주목할 또 하나의 중요한 흐름은 제조업의 서비스화[13]이다. 서비스화의 특징은 스마일 커브의 생산 전 단계의 체화 서비스(embodied services)와 생산 후 단계의 착근 서비스(embedded services)로 구분할 수 있다. 전자는 R&D와 같이 제품의 생산에 투입되는 요소이며 후자는 애플의 앱스토어와 같이 소비자들이 제품과 더불어 추가적으로 이용하는 서비스이다. 데이터 기술 수준이 향상되면서 제조업의 서비스화는 더욱 심화될 것이다. 또 다른 특징은 분산형 제조(distributed manufacturing)[14]이다.

13) Hallward-Driemeier and Nayyar(2018), pp. 146-148 참고.
14) Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Distributed_manufacturing(검색일: 2018. 5. 3) 참고.

2. 디지털 혁신과 경제패러다임의 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 된다.

가. 디지털 혁신의 특징과 핵심 기술

기업과 소비자 등 모든 경제주체들이 ICT 제품과 서비스를 널리 이용하면서 4차 산업혁명에 따른 디지털 혁신은 사회 전체적으로 확산되고 세계경제의 총생산성 증가를 유발하게 된다. 1990년대 중반 이후 넷스케이프(Netscape)가 월드 와이드 웹브라우저를 만들면서 인터넷이 널리 쓰이게 되었으며 디지털 경제라는 용어도 처음 사용되었다. 2000년대 중반에는 아이폰이 출시되면서 인터넷 사용 환경이 크게 개선되었으며 인공지능의 발전과 사물인터넷(IoT) 기술의 발전에 따라 디지털 혁신이 이루어지고 있다.

4차 산업혁명과 관련하여 전산화(digitization), 디지털화(digitalization), 디지털 혁신(digital innovation), 디지털 변혁(digital transformation) 등과 같은 관련된 여러 가지 용어가 혼재되어 사용되고 있다. 우선 전산화(digitization)는 아날로그 데이터 및 과정을 기계가 읽을 수 있는 포맷으로 전환하는 과정을 의미하며, 디지털화(digitalization)는 디지털 기술 및 데이터의 이용과 이에 따른 새로운 활동을 의미한다.[15] 디지털 데이터는 정보를 가공하고 변환하는 다양한 기능을 수행할 수 있기 때문에 아날로그 데이터와 정보처리의 속도와 정확성 등에서 비교가 되지 않는다. 이런 측면에서 전산화는 디지털화가 이루어지기 위한 필요충분조건이 된다. 이에 따라 전산화와 디지털화

15) OECD(2017b)는 digitization과 digitalization의 기본 개념을 구분하여 설명하고 있다. OECD(2017b), p. 7 참고.

는 혼용되어 사용되는 경우가 많다.

한편 디지털 혁신(digital innovation)은 정보통신기술과 관련된 재화 및 서비스의 신개발을 의미하며, 디지털 변혁(digital transformation)은 전산화 및 디지털화에 따른 경제사회적 변화를 의미하는 것으로 볼 수 있다. 디지털 혁신은 1990년대의 정보기술혁명에 따른 경제적 변화를 설명하기 위한 용어로서 많이 사용되어온 반면, 4차 산업혁명에 따른 변화를 설명할 때는 디지털 변혁이라는 용어가 많이 사용되고 있다. 기본적으로 디지털 혁신과 디지털 변혁은 큰 차이가 없지만 종전과 차별화하는 의미에서 최근에는 디지털 변혁이라는 용어가 널리 사용되고 있다.

디지털 혁신은 일반적으로 정보통신기술과 관련된 제품, 공정, 마케팅, 조직 등과 관련된 혁신을 의미하는바, 디지털 혁신의 개념에 대해 자세하게 설명하면 다음과 같다. Henfridsson, Yoo, and Svahn(2009)은 디지털 혁신이란 디지털 컴퓨터와 통신기술이 디지털이지 않은 제품(non-digital product)에 내장되는 것이라고 정의하고 있다. 이에 반해 Yoo *et al.*(2010)은 새로운 디지털화를 창출하는 디지털 기술로 가능하게 되는 혁신이 디지털 혁신이라고 설명한다. 또한 Åkesson(2009)은 ICT로 가능하게 된 혁신이지만 때로는 ICT 신제품을 의미한다고 설명하며, Whittle, Ferrario, and Southern(2012)[16]는 디지털 경제의 혁신이라고 단순하게 정의하고 있다.

OECD and Eurostat(2005)는 혁신 관련 데이터의 수집 및 해석에 관한 가이드라인으로서 Oslo Manual을 발간하였는데, 동 자료는 다음과 같이 네 가지 유형의 혁신을 정의하고 있다.[17] 첫째, 제품혁신(product innovation)은 특성이나 용도 측면에서 새롭거나 상당히 개선된 재화나 서비스를 도입하는 것을 의미하며, 여기에는 기술 사양, 부품, 재료, 소프트웨어, 사용자 편의성, 기

16) Whittle, Ferrario, and Southern(2012), http://www.dotrural.ac.uk/digitalfutures/sites/default/files/digitalfutures2012papers/Papers/Session1BTalesofEngagement/Whittle_etal_BeyondRitW.pdf(검색일: 2018. 4. 4).
17) OECD(2016), p. 14.

능적 특성 등이 포함된다. 둘째, 공정혁신(process innovation)은 새롭거나 상당히 개선된 생산 방법 또는 이송 방법을 이행하는 것을 의미하며, 여기에는 기술, 장비, 소프트웨어의 상당한 변화 등이 포함된다. 셋째, 마케팅 혁신(marketing innovation)은 제품디자인, 포장, 배치, 홍보, 가격정책 등에서 상당한 변화를 포함하는 새로운 마케팅 방법을 이행하는 것을 의미한다. 넷째, 조직혁신(organizational innovation)은 기업의 사업관행, 작업장 조직 또는 외부관계에서 새로운 조직적 방법(organizational method)을 이행하는 것을 의미한다.

한편 디지털 변혁은 온라인상에서 전환된 디지털 데이터가 경제활동의 주된 부가가치를 창출하는 것을 뜻한다. 이러한 측면에서 보면 디지털 변혁은 디지털 혁신의 결과로 나타나는 변화를 의미한다. 4차 산업혁명 이전에는 현실세계의 ICT 관련 기계, 장비, 서비스 등이 서로 연결되지 않았지만 4차 산업혁명 이후에는 모든 기계와 장비들이 초연결되면서 데이터의 생성, 이용, 확산 등이 여러 측면에서 빠른 속도로 이루어지고 있다. 다시 말해 4차 산업혁명에 따른 디지털 변혁은 종전에 비해 데이터의 활용을 더욱 촉진하는 방향으로 확산되는 특징을 가지고 있다.

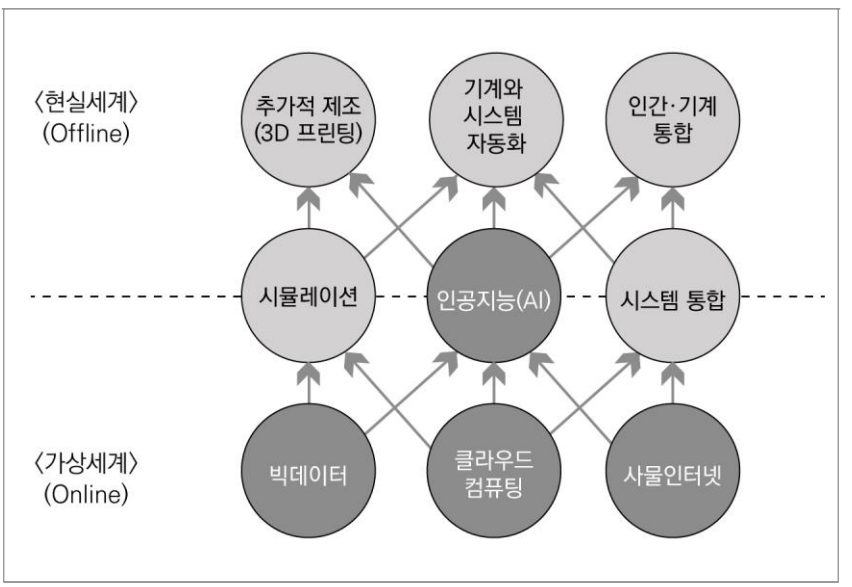
또한 4차 산업혁명 이전의 디지털 혁신은 정보통신기술(ICT: Information and Communication Technology)을 기반으로 한 데 반해 디지털 변혁은 데이터 기술(data technology)을 기반으로 하고 있다.[18] 즉 디지털 변혁은 '데이터 관련 제품 및 서비스가 새롭게 개발되거나 상당히 개선되어 온라인상에서 전환된 디지털 데이터가 경제활동의 주된 부가가치를 창출하는 현상'으로 볼 수 있다. 전산화와 디지털화가 4차 산업혁명이 진행되는 과정에서 나타나는

18) 중국 알리바바 그룹의 창업자인 마윈회장은 앞으로 글로벌 시장의 흐름에 대해 정보기술(Information Technology)의 시대가 저물고 데이터 기술(Data Technology) 혁명에 기반한 시장이 열릴 것이라고 언급한 바 있다. 2015년 5월 개최된 아시안리더십 콘퍼런스에 대한 조선일보의 기사 참고. 「마윈, "외모도 별로고 백도 없던 나, 고래보다 새우 잡아 성공했다"」(2015. 5. 20), http://news.chosun.com/site/data/html_dir/2015/05/20/2015052000233.html(검색일: 2018. 4. 10).

현상이라고 한다면 디지털 혁신과 디지털 변혁은 그 결과로서 나타나는 현상이라고 할 수 있다. 이상에서는 전산화, 디지털화, 디지털 혁신, 디지털 변혁 등의 개념상 특징과 차이에 대해 살펴보았는데, 이들은 모두 4차 산업혁명을 다른 차원에서 설명하고 있으므로 본 연구는 이 용어들을 모두 사용하도록 한다.

기존의 연구에 따르면, 4차 산업혁명에 따라 디지털화가 진전되면서 다양한 신제품 및 서비스가 개발되고 있다. OECD(2017a)는 디지털 변혁을 가져오는 기술로서 사물인터넷(IoT: Internet of Things), 클라우드 컴퓨팅, 빅데이터(Big Data) 등의 세 가지가 핵심기술이라고 설명하였다. 구체적으로 사물인터넷(IoT)은 기계, 재고, 제품 등의 상호연결을 가능하게 하며, 빅데이터와 내장된 소프트웨어는 IoT에 따라 생성된 방대한 디지털 데이터의 분석을 가능하게 하며, 클라우드 컴퓨팅은 연산 능력을 언제 어디서나 이용할 수 있게 해준다. 여기에 더 나아가 최근에는 인공지능(AI: Artificial Intelligence)이 빠른 속

그림 2-5. 디지털 혁신의 핵심 기술



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

도로 발전함에 따라 빅데이터를 클라우드 컴퓨팅을 통해 분석하면서 사물인터넷을 통해 현실세계의 기계와 장비를 통제할 수 있는 단계로 발전하고 있다. 이에 본 연구는 4차 산업혁명에 따른 디지털 혁신을 새로운 디지털화를 창출하는 디지털 기술이 있기에 가능해진 혁신으로 정의하고, 인공지능, 사물인터넷, 클라우드 컴퓨팅, 빅데이터 분석 등의 기술 분야에서 핵심적으로 이루어지는 것으로 보도록 한다.

나. 디지털 혁신에 따른 경제패러다임의 변화

OECD는 초디지털 미래의 모습에 대해 다음과 같은 4가지 시나리오를 제시하였다.[19] 첫째, 자기 선택(iChoose) 시나리오는 2030년에 개인이 경제, 정치, 사회활동에서 주도적인 역할을 하는 것이다. 정부와 기업은 권능을 가진 개인에 봉사하고 개인에게 더 많은 권한을 부여하기 위한 제도 개선 및 혁신을 하게 된다. 2030년에 개인들은 온라인 데이터와 신분증을 모바일폰에 가지고 다니면서 경제활동뿐만 아니라 시민 참여, 개인 개발 등을 위해 적극적으로 사용하게 된다. 이는 새로운 기회를 만들어내지만 동시에 사회적 불평등은 더욱 심화된다. 디지털 시대의 도전에 대한 집단적 해결책은 새로운 시민사회가 기존 다자 및 기업구조와 협업하면서 만들어가게 된다.

둘째 시나리오는 플랫폼 정부(platform governments)이다. 이 경우 정부는 디지털 변혁에서 매우 적극적으로 정부 자신의 온라인 플랫폼을 만들어 시민, 기업, 사회조직과 상호작용을 관리하게 된다. 기업들은 효과적인 정부서비스를 통해 경쟁적이며 생산적인 시장경제를 구축하는 데 필요한 신뢰할 수 있는 데이터를 얻게 된다.

셋째 시나리오는 기술거대기업(Tech Titans)이다. 글로벌 기술혁신 대기업

19) OECD(2018a), p. 21의 Box 2.5.

들은 모든 경제활동을 위한 중심 역할을 하며, 정부보다 일반 국민에 더욱 맞춤형 서비스를 제공한다. 또한 이러한 정통성에 기초해서 글로벌 거버넌스에서 그리고 기후변화와 디지털 보안 문제 등에 대한 도전을 해결하는 데 있어 더욱 적극적인 역할을 수행한다. 하지만 경제적, 정치적 권력의 전례 없는 집중으로 인해 투명성의 지속성 및 사회적 목표에 대한 책임의 문제를 확보할 수 있는 새로운 메커니즘의 필요성이 제기된다.

넷째, AI의 보이지 않는 손(Artificial Invisible Hands)이다. AI가 정부와 기업이 수행했던 조정 기능의 많은 부분을 대체하면서 자동화가 빠른 속도로 진행된다. 엄청난 데이터량, 인공지능 그리고 전 세계적으로 접근가능한 디지털 혁신의 수단 등으로 인해 경제활동이 분권화되고 지속적으로 변혁되는 세계가 도래한다. AI는 인간이 과거보다 그들의 동기와 행동을 더 잘 이해할 수 있게 하고 그들의 복지를 개선하는 선택을 할 수 있게 지도해준다. 사람들은 프라이버시를 잃는 대신에 빅데이터와 알고리즘의 다양한 혜택을 누리게 된다.

이상에서 살펴본 바대로 디지털 혁신에 따라 세계경제는 엄청난 변화를 겪게 된다. 이는 무엇보다 IoT와 인터넷을 통해 수집된 생산 및 소비에 대한 정보가 빅데이터 분석과 AI 등을 통해 최적의 생산방식 및 소비자 선택을 유도함으로써 가능해진다. 디지털 혁신에 따른 경제 패러다임의 변화를 크게 보면 다음과 같이 정리할 수 있다.[20]

20) OECD(2018a, 2017b)는 4차 산업혁명에 따른 디지털 변혁이 가져올 7가지 변화를 설명하고 있다. 첫째, 디지털 제품의 한계비용이 낮아져 기업들이 생산 규모를 빠르게 조정한다. 둘째, 기능의 디지털화가 범위(scope)를 확대하는 장벽을 낮추어준다. 셋째, 디지털 기술의 사용으로 경제사회적 기회와 동시에 혁신(disruption)이 이루어진다. 넷째, 데이터 이동과 온라인 플랫폼은 자본재의 서비스 잠재력을 개발하는 데 도움이 된다. 다섯째, 보이지 않는 디지털 가치의 이동 가능성이 위치, 거리 등의 전통적 제약요인을 약화시킨다. 여섯째, 인터넷의 구조와 디지털 기술이 개인에게 권한을 부여한다. 일곱째, 디지털 중개와 사회적 네트워크 등에 따라 데이터 흐름의 집중화가 나타난다. OECD(2018a), pp. 18-19; OECD(2017b), pp. 8-19.

1) 승자 독식의 원리와 규모의 경제

규모의 경제는 산업혁명 이후 대규모 생산에 따라 단위당 생산비용이 체감하면서 나타나는 경제효과를 의미한다. 4차 산업혁명 이전에 기업들은 소비자의 대표적 수요를 타겟으로 생산체제를 갖추었지만, 4차 산업혁명이 시작된 이후 점차 IoT와 빅데이터 분석 등을 통해 파악된 수요에 대응해서 생산체제를 구축하고 있다. 디지털화는 소비자들을 디지털로 연결해서 소비시장을 확대하는 효과도 가져오며, 클라우드 컴퓨팅과 AI는 아웃소싱을 통해 비핵심업무를 처리할 수 있게 하고 있다. 이에 기업들은 비핵심업무에 대한 투자를 할 필요가 없으며 경쟁력을 갖춘 핵심분야에 집중해서 생산 규모를 갖출 수 있게 되었다.

또한 디지털 제품의 경우에는 한계비용이 거의 0에 가까워진다. 디지털 혁명과 자동화가 널리 확산되기 이전의 기계적인 제품의 경우에는 생산단계에서 한 단위 생산에 소요되는 한계비용은 일정 생산량을 초과하면 한계체증의 법칙이 작용되지만 디지털 제품의 경우에는 한계비용 체증의 법칙이 더 이상 적용되지 않는다. 이에 따라 승자가 시장의 대부분을 차지하는 winner-takes-most의 원리가 작동하게 되었다.

최근의 주요 산업 동향을 살펴보면 승자가 거의 독식을 하는 경향(winner takes most)이 나타나고 있다. 구글사의 경우 미국 검색시장에서의 점유율이 2007년만 해도 50%를 소폭 상회하는 수준이었으나 2018년에는 90.8% 수준으로 증가하였다. Yahoo, Microsoft의 경우 2007년에 점유율이 각각 20%대 후반과 10% 수준이었으나, 2018년에는 2.4%, 2.2% 수준까지 급속하게 하락하였다. 2018년 현재 구글은 검색 기능(62.6%) 이외에도 이미지(22.6%), 유튜브(4.3%), 지도(1.3%) 등을 모두 합쳐 거의 지배적인 점유율을 차지하게 되었다.[21]

2017년 세계 스마트폰 점유율을 보면 삼성(20.9%), 애플(14.0%), 화웨이(9.8%), 오포(7.3%), 샤오미(6.5%) 등 5개사가 거의 60%에 육박하는 세계시

21) Business Insider, http://uk.businessinsider.com/how-google-retains-more-than-90-of-market-share-2018-4(검색일: 2018. 5. 3).

장 점유율을 보이고 있다. 이러한 점유율 통계는 판매 대수를 기준으로 한 것이며 판매액을 기준으로 하는 경우에는 상위 5개사의 점유율이 훨씬 높을 것으로 보인다.[22]

황의 법칙(Hwang's Law)에 따르면 반도체 메모리의 용량은 1년마다 2배씩 증가하게 되는데, 이 법칙에 따르면 반도체의 성능이 100배 증가하는 데 7년이 채 걸리지 않는다. 이에 따라 최근 개발되는 스마트폰은 1990년대의 슈퍼컴퓨터가 가지던 성능을 보여줄 수 있게 되었다. 기술력이 빠른 속도로 발전하기 때문에 후발주자가 선발주자를 따라가기가 어려운 상황이 된다. 세계 D-Ram 반도체의 경우 2017년 4분기 삼성, 하이닉스, 마이크론 등 상위 3개사의 시장점유율이 95.4%였는데 2018년 1분기에는 95.5%로 증가하여 시장을 석권하고 있다. 이처럼 시장점유율이 높은 배경은 기술 개발 속도가 빠르며 이에 수반되는 대규모 투자를 감당하기가 더욱 어려워지기 때문이다.[23]

2) 제품의 다양성 증가와 범위의 경제

[그림 2-6]에서 보듯이 19세기 중반 자동차 생산에 있어서는 공예적 생산방식이 채택되면서 제품의 다양성이 감소하는 대신에 생산량이 증가하는 추세를 보였다. 1913년 포드는 모델 T를 생산하면서 이동식 조립라인을 구축하여 포드시스템이라고 불리는 대량생산시스템을 갖추고 제조업의 생산방식에 혁명적인 변화를 가져왔다. 포드시스템 도입 이후에는 생산량이 비약적으로 증가했으나 제품 다양성에는 큰 변화가 없었다. 그 후에 유연생산방식(lean manufacturing)이 채택되고 맞춤형 생산방식이 확산되면서 제품의 다양성이 크게 증가하는 추세를 보이고 있다.

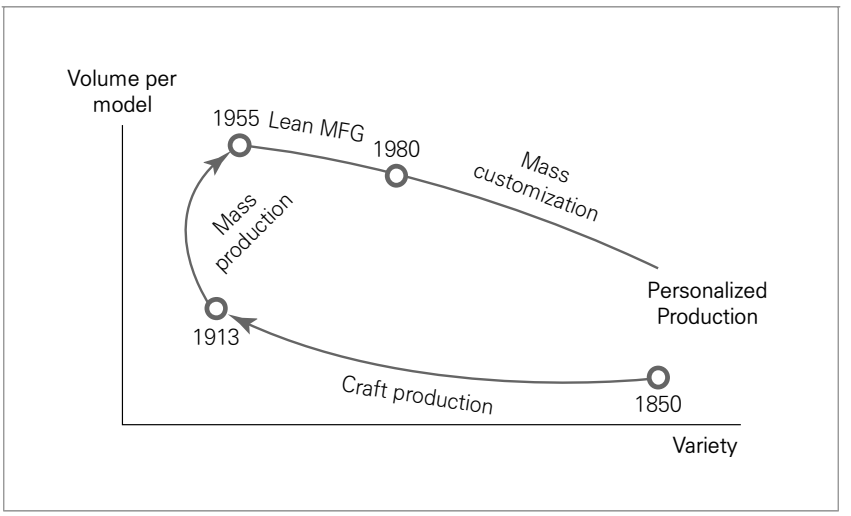
---

22) https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2018-02-22-gartner-says-worldwide-sales-of-smartphones-recorded-first-ever-decline-during-the-fourth-quarter-of-2017(검색일: 2018. 5. 3).

23) 삼성과 SK하이닉스의 D램의 영업이익률은 2018년 1분기에 각각 69%, 61%로 나타나는데, 이러한 영업이익이 대규모 투자를 가능하게 하는 요인으로 작용한다. http://news.einfomax.co.kr/news/articleView.html?idxno=3448780(검색일: 2018. 7. 20).

스마트폰의 경우 사진 촬영과 동영상, 웹 검색, 음성 및 화상 통화 등 다양한 소비자의 니즈에 부응하는 수많은 제품들이 출시되고 있다. 또한 소비자들이 원하는 스마트폰의 색깔과 디자인은 매우 다양하며 가격대도 천차만별이라고 할 수 있을 정도이다. 일부 소비자들은 소비자의 이름이 새겨진 개인별 제품 수요에 대하여 높은 가격을 지불하더라도 구입하겠다는 의사를 표시하기도 한다.

그림 2-6. 제조업 생산의 패러다임 변화



자료: Hu(2013), p. 4.

범위의 경제(economies of scope)는 생산 다각화에 따른 비용절감을 의미한다. 예를 들어 대기업은 자회사의 마케팅, 회계, 금융 등에 대한 수직통합을 통해 비용을 절약하는 이점을 누릴 수 있다. 앞서 구글의 예에서 보듯이 구글은 검색기능 이외에도 이미지, 유튜브, 지도 등과 같은 다양한 다각화 사업을 통해 비용을 절감하고 범위의 경제 효과를 누리고 있다. 거대 유통기업인 아마존(Amazon)의 경우 디지털화에 따라 창고, e-payment, 신용 등으로 업무 범위를 확대하면서 데이터 주도형 비즈니스모델(data-driven business model)을

개발하고 있다. 4차 산업혁명에서는 이처럼 디지털 정보를 이용하여 다양한 서비스를 제공할 수 있기 때문에 범위의 경제효과가 크게 작용할 것으로 보인다.

3) 디지털 생태계와 시장선도자

디지털 초연결로 인해 하드웨어, 애플리케이션, 운영시스템 등이 상호작용하면서 연결되는 생태환경이 만들어진다. 예를 들어 애플 아이폰의 사용자는 애플 앱스토어에서 상호 호환되는 앱을 사용하며, 애플 운영시스템을 사용한다. 또한 삼성의 스마트폰 사용자는 안드로이드 운영시스템을 이용하면서 안드로이드 환경에서 호환되는 앱을 사용하게 된다. 이러한 디지털 생태계는 사용자들에게 편이성과 친근감을 주면서 하드웨어와 소프트웨어 공급자와 사용자 간에 윈-윈의 시장을 형성하게 된다. 다만 스마트폰에서 안드로이드폰과 애플폰의 앱 사이에는 상호 호환성이 없기 때문에 하나의 생태계에 속하는 사용자가 다른 생태계로 이동하는 경우 시간과 비용이 발생하므로 일종의 감금효과(lock-in effect)가 나타나게 된다.

기업들은 디지털 생태계를 구축하기 위해 시장선도자(first mover)가 되고자 노력하고 있다. 디지털화에 따라 소비자들이 초연결되기 때문에 생산거점의 의미가 감소하고 소비자 수요에 대응하는 제품과 서비스의 신속한 공급이 시장경쟁에서 핵심적인 요소가 되었다. 애플사의 경우 IOS라고 하는 폐쇄적인 운영시스템을 먼저 출시하고 스마트폰 시장에 먼저 진출함으로써 관련된 애플리케이션 시장을 선점하였다.[24] 애플사의 생태계는 애플리케이션의 경쟁적 개발을 촉발하여 사용자의 편의성을 제고함으로써 애플사에게 큰 수익을 가져다주고 있다. 이러한 예에서 알 수 있듯이 기업들은 빠르게 시장을 선점하고 규모의

24) 디지털 시대의 세 가지 특징적 현상은 다음과 같다. 첫째, 시장선도자가 되어야 사업기회를 잡을 수 있다. 둘째, 생산효율화로 이윤을 추구하기 보다는 먼저 생산 규모를 키워 비용을 최소화한다. 이는 거의 제로에 가까운 통신 및 정보 공유 비용에 따라 winner-takes-most를 기대하기 때문이다. 셋째, 시장에서 제품이 사용되면서 반복적 학습이 이루어진다는 가정하에 제품이 완성되기 전에 먼저 아이디어를 출시한다. OECD(2017b), p. 12.

경제를 통해 생태계를 구축하려는 노력을 하고 있다. 디지털 관련 4대 기업으로 불리는 알파벳(구글), 애플, 아마존, 페이스북은 모두 시장선점을 통해 거대기업으로 발전하였다.

4) 경제의 서비스화

4차 산업혁명에 따라 생산활동이 로봇으로 자동화되고 IoT에 따라 최적의 공급시스템을 갖추게 되면 제품을 조립 및 생산하는 공정의 코스트가 크게 하락한다. 이와 함께 생산의 스마일커브에서 R&D와 제품기획 등 생산 이전단계와 마케팅과 애프터서비스 등 생산 이후 단계가 가치사슬에서 차지하는 비중은 높아진다. 경제 전체로 보면 제조업보다는 서비스업의 비중이 커지고 경제의 서비스화가 빠른 속도로 진행될 것이다.

또한 디지털 혁신에 따라 소비자와 소규모 생산자들의 무역거래 참여가 증가하고 블록체인 등의 기술에 따라 서비스무역의 새로운 생태계가 조성될 수 있다. 2000년대 중반이래 전통적인 실물자본 대신에 지식기반 자본(KBC: knowledge-based capital)에 대한 기업투자의 비중이 커지고 있다. 서비스 임대 거래비용이 상당히 낮은 수준에서 유지되는 한 개인이 실물자본을 소유하는 대신에 서비스 분야에 투자할 인센티브가 더욱 커진다.

기존의 투자정책은 투자자(소유자)에게 보상하는 개념에 근거하지만 자본이 서비스에 들어가는 디지털 경제에서는 이러한 정책이 유효하지 않게 된다. 무역정책의 경우 재화와 서비스교역을 구분하지만 국경간 데이터 이동 시에는 재화가 서비스의 보완재로 거래될 것으로 예상된다. 글로벌 가치사슬과 무역원활화를 통해 디지털 무역은 활성화된다. 데이터 이동에 따른 보안 문제가 앞으로 해결해야 할 과제이기는 하지만 데이터 이동의 확산은 제조업의 서비스화를 더욱 심화시키는 요인으로 작용하게 된다.

3. 비교우위와 무역패턴의 변화

가. 디지털 혁신에 따른 비교우위 구조의 변화

앞서 살펴보았듯이 4차 산업혁명에 따른 디지털 혁신은 제품 및 공정의 혁신을 통해 생산성 향상과 산업발전을 가져오며 세계경제의 미래를 변화시킬 것이다. 디지털 혁신이 세계무역에 어떤 영향을 미칠 것인지에 대한 연구는 아직 초기단계로서 최근 연구 결과들이 나오기 시작했다. Strange and Zucchella(2017)와 세계은행의 Hallward-Driemeier and Nayyar(2018)의 연구가 대표적이다.

*Multinational Business Review*의 2017년 5월호에 실린 Strange and Zucchella(2017)의 "인더스트리 4.0, 글로벌 가치사슬과 국제 비즈니스(Industry 4.0, global value chains and international business)"는 새로운 디지털 기술이 국제 비즈니스에 미친 영향을 연구한 최초의 논문이다. 동 논문은 새로운 디지털 기술로서 IoT, 빅데이터와 분석, 로봇, 적층제조 등 4개 기술을 제시하면서 이들 각각이 글로벌 가치사슬에 미치는 영향을 분석하고 있다. 동 논문의 연구 결과를 간략하게 살펴보기로 하자.[25]

먼저 IoT는 해외생산과 관련된 거래비용을 감소시키고, 국제분업 심화를 촉진하는 효과를 발휘할 것이다. 다만 사이버 리스크가 동시에 커져 시스템 작동 중단의 위험이 높아진다. 빅데이터와 분석은 공급, 생산, 판매 등 제반 무역 관련 활동의 최적화를 촉진하므로 무역과 국제 비즈니스를 확대하는 효과를 발휘한다.

로봇은 비용, 성과, 기능 면에서 지속적으로 개선되고 있으므로 로봇의 가용성이 커지고 비용이 낮아지면 로봇의 제조활동 입지에 미치는 영향은 커질 것이라고 지적한다. 여기에서 주목할 점은 현행 수출 개도국에서 임금과 여타 생

25) Strange and Zucchella(2017), pp. 174-181 참고.

산비용이 상승하고 세계 각국의 보호주의 조치가 증가하면 로봇의 영향으로 많은 활동들이 자국으로 리쇼어링될 가능성이 높아진다는 점이다. 이와 관련하여 Oldenski(2015)는 리쇼어링 현상의 총 규모는 제한된 영향만을 미칠 가능성이 높다고 지적한 바 있다.[26]

한편 적층제조는 무역과 국제 비즈니스에 미치는 영향이 상당히 클 것으로 예상한다. 대표적으로 글로벌 가치사슬의 단계가 생산활동의 수, 지역적 분산 정도, 독립 참여자들의 관계 측면에서 크게 축소될 것이라는 점을 강조한다. 적층제조는 기존 생산방식에서 불가능한 다양한 맞춤형 제품의 소규모 생산을 가능하게 하기 때문이다. 다만 적층제조 기술의 현 수준은 낮고 발전 속도는 느리며 규모의 경제도 없기 때문에 프로토타입이나 고가의 소량 부품, 교체부품 등의 생산에 국한될 수밖에 없다. 한편 소량 맞춤형 생산에 특화된 대규모 적층제조 센터(3D printing supercentres)가 현행 생산기지 인근에 신설될 가능성이 있다. 종합하면 적층제조의 잠재적 영향력은 상당히 크지만 현재의 기술 수준과 혁신 속도를 감안할 때 그 영향력은 제한적이다.

중소기업과 관련하여 로봇은 비용, 성과, 기능 면에서 지속적으로 개선되고 있으므로 중소기업의 로봇 활용은 확대될 것이며 아마존, 알리바바와 같은 유통 플랫폼의 성장은 중소기업의 글로벌 시장 진입을 더 용이하게 할 것이라고 지적한다. 또한 생산성이 증대되고 생산비용이 저하될 것이므로 생산입지의 결정은 생산비용보다 수요자 인접성이 더 큰 영향력을 미칠 것이라고 지적한다.

요약하면 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 강조하고 있다. 변화의 관건은 3D 프린팅 기술의 발전 속도로, 현재로서는 기술 수준이 낮고 발전 속도도 느려 변화는 제한적인 상태라고 지적한다.

---

26) Oldenski(2015), p. 1.

한편 세계은행의 Hallward-Driemeier and Nayyar(2018)는 인더스트리 4.0이 베트남 등 중국에 뒤이은 후발 개도국들의 제조업 주도 발전에 미치는 영향에 관한 보고서이다. 이 보고서는 4차 산업혁명의 영향을 IoT와 스마트 공장, 인공지능과 로봇, 3D 프린팅 등 세 측면에서 분석하고 있다. 이 보고서의 주요 내용을 간략하게 살펴보기로 하자.[27] 먼저 IoT와 스마트 공장의 영향에 관련하여 동 보고서는 가치사슬의 단축과 생산 이전 가능성을 제기하면서 제조과정의 서비스화를 강조한다. 서비스화의 핵심은 스마트 공장에서의 데이터 생성과 활용이다. GE가 항공기 엔진을 판매하는 대신 직접 관리하면서 예지정비(predictive maintenance) 등의 서비스를 하고 이용료를 받는 것이 대표적인 사례이다.

로봇과 관련해서는 필립스의 면도기와 아디다스의 신발을 예로 들면서 리쇼어링을 언급하고 있다. 다만 Strange and Zucchella(2017)와 마찬가지로 리쇼어링 효과는 제한적일 것이라고 전망하였다.[28] 독일 제조업 서베이를 인용하면서 2010년과 2012년 중반 사이에 전체 제조업체 중 리쇼어링에 적극적인 제조업체는 2%에 불과하다고 지적한다. 로봇 활용은 선진국에만 국한된 현상이 아니라 중국에서 특히 활발하게 전개되고 있으며 그 밖의 개도국들에서도 강화되고 있는 중이다. 이처럼 중국이 로봇 활용에 적극적으로 대처하면 아시아 분업의 안행이론(flying geese hypothesis)[29]이 더 이상 적용되지 못하는 문제를 초래한다. 즉 노동집약적 직무가 중국의 소득 상승과 함께 후발개도국으로 이전되어야 하는데 로봇 활용을 통해 계속 중국에 남을 가능성이 높아진다는 것이다. 그렇게 되면 후발개도국들도 로봇 도입에 적극 나서야 하는데, 이 경우 경제발전을 선도해온 제조업 주도 발전전략은 일자리 없는 성장이 될 가능성이 높아 후발개도국들은 딜레마에 빠지게 된다.

3D 프린팅과 관련해서는 후발개도국들이 3D 프린팅 활용 역량을 갖추는 것

27) Hallward-Driemeier and Nayyar(2018), pp. 77-110 참고.
28) Strange and Zucchella(2017), p. 174 참고.
29) https://en.wikipedia.org/wiki/Flying_geese_paradigm(검색일: 2018. 7. 9).

이 어려우며, 3D 프린팅에 규모의 경제가 작동한다면 3D 프린팅 활동은 리쇼어링에 따라 선진국 허브 지역에 집중될 가능성이 높다는 점을 지적한다. 동 보고서는 여기에서도 제조업의 서비스화를 강조한다. 3D 프린팅 공장이 있는 경우 생산 제품을 보내는 대신 생산 디자인과 관련 데이터를 보내면 되기 때문이다.

디지털 혁신은 비교우위 결정요인으로서 저임금의 중요성을 떨어트리는 한편, 현재 주요 선진국들의 스마트 공장 발전과 로봇 활용 확대를 초래함으로써 안행가설에 따라 저임금 노동집약적 활동이 후발개도국으로 이전되는 것을 어렵게 만든다. 이에 따라 후발개도국들은 두 가지 문제에 봉착하게 된다. 첫째, 안행가설이 작동하지 않음에 따라 후발개도국은 제조업 발전 여부가 불투명해지고 제조업 주도 발전이 어려워질 수도 있다. 둘째, 노동집약적 직무를 수행하기 위하여 제조업 발전을 도모하는 경우 로봇과 스마트 공장 도입을 적극 추진해야 하는데, 이렇게 되면 고용 없는 성장이 불가피하므로 제조업의 사회적 기여도는 하락하게 된다.

이에 따라 4차 산업혁명에 따른 디지털 혁신은 세계무역의 비교우위 구조에 상당한 영향을 미칠 것으로 보인다. 예를 들어 자동차 산업의 경우 종전에는 주로 기계부품 및 소재와 더불어 엔진, 트랜스미션 등 동력장치가 경쟁력의 핵심적인 요소였다. 그런데 4차 산업혁명에 따라 디지털 혁신이 이루어지면 기계적인 부품과 동력장치보다는 데이터를 처리하는 컴퓨터 기능이 더욱 중요해진다. 디지털 혁신에 따라 자동차는 기계가 아니라 전자장비로 변모하고 있는 것이다. 이러한 변화는 자동차 산업뿐 아니라 전 산업에 걸쳐 일어나고 있으며, 전통산업과 ICT 산업의 융복합이 빠른 속도로 확산되고 있다.

표 2-2. 디지털 혁신에 따른 가치사슬 및 비교우위의 변화

구분	4차 산업혁명 이전	4차 산업혁명 이후
생산방식	- 소품종 다량생산품목 위주로 교역	- 유연생산(production flexibility) - 다품종 소량생산품목의 교역 활성화
거래방식	- offline 위주의 물류가 주도	- IoT에 따라 digital trade 주도
가치사슬	- 생산과 조립 단계의 가치사슬 주도 - 생산 과정의 국제분할	- 제품 개발 · 관리 단계의 가치사슬 주도 → 스마일커브(smile curve) 변화 - 생산 과정의 복합화
해외투자	- 생산비 절감과 시장진출을 위한 오프쇼어링 활성화	- 품질관리 및 유연생산이 요구되는 산업의 리쇼어링 확대
고용효과	- 제조업무역은 고용 창출에 기여	- 서비스무역에 따른 고용유발효과 증대
국제무역	- 제조업 위주의 무역 거래 - 자본과 노동이 비교우위의 원천 - 안정적인 비교우위구조	- 서비스무역의 확대 - 입지(location)가 비교우위 원천으로 부각 - 제품 수명주기에 따른 비교우위의 빠른 변화

자료: 저자 작성.

또한 디지털 혁신에 따라 사물인터넷이 널리 사용되면서 디지털상거래 규모도 급증 추세를 보이고 있다. USITC(United States International Trade Commission)[30]에 따르면 세계 전체의 디지털상거래 규모는 2012년의 19조 3,000억 달러에서 2016년에는 27조 7,000억 달러 규모로 증가하였다.[31] 이 중에서 기업간(B2B) 거래는 23조 9,000억 달러로서 86%를 차지하는 것으로 나타난다. 기업-소비자(B2C) 거래는 3조 8,000억 달러 규모이며, 중국(2015년 기준 7,670억 달러)과 미국(2015년 기준 5,950억 달러)이 시장 규모가 가장 큰 것으로 나타난다. 앞으로 통신, 금융, 물류의 사물인터넷이 활성화되면 디지털상거래가 더욱 큰 비중을 차지할 것이다. 다만 4차 산업혁명에 따른 디

30) USITC(2017), pp. 13-23.

31) WTO(2017)에 따르면 2016년 세계 공산품 수출액은 15조 4,600억 달러에 달하며 서비스교역 규모는 4조 7,700억 달러에 달하는 것으로 나타난다. 이러한 통계에 비추어 보면 2016년 디지털상거래 규모는 세계 공산품 및 서비스교역 규모보다 훨씬 큰 것으로 보인다. WTO(2017), p. 13, https://www.wto.org/english/res_e/statis_e/wts2017_e/WTO_Chapter_03_e.pdf(검색일: 2018. 4. 5) 참고.

지털 혁신은 산업별로 다른 영향을 미치게 될 것으로 예상된다.

최근 진행되고 있는 4차 산업혁명은 디지털 혁신을 통해 전자, 자동차, 기계, 화학산업 등 주요 산업의 유연생산을 가능하게 하고 이에 따라 무역 및 투자패턴의 변화도 예상된다. 특히 전기 및 전자제품 등의 경우에는 앞으로 입지(location)가 비교우위의 주요 원천으로 작용할 것으로 예상된다.

나. 디지털 혁신에 따른 무역비용의 절감

디지털 혁신은 전자상거래 플랫폼을 활성화하고 수출입과정에서의 무역비용을 절감하여 무역 참여를 확대하는 효과를 가져온다. 전자상거래는 디지털 혁명이 시작된 90년대 중반에 활성화되기 시작하였지만 증가 속도는 인터넷 확산에 비해 빠르지 못하였다. 그런 와중에 스마트폰이 빠르게 확산되고 클라우드와 그것을 토대로 한 디지털 기술이 빠르게 발전하면서 전자상거래 플랫폼이 거래의 새로운 중심으로 부상하고 있다. 전자상거래 플랫폼은 현재 국내시장 중심으로 거래 증대를 촉진하고 있으나 향후 무역에서도 거래의 핵심적 위치를 차지할 것으로 예상된다.

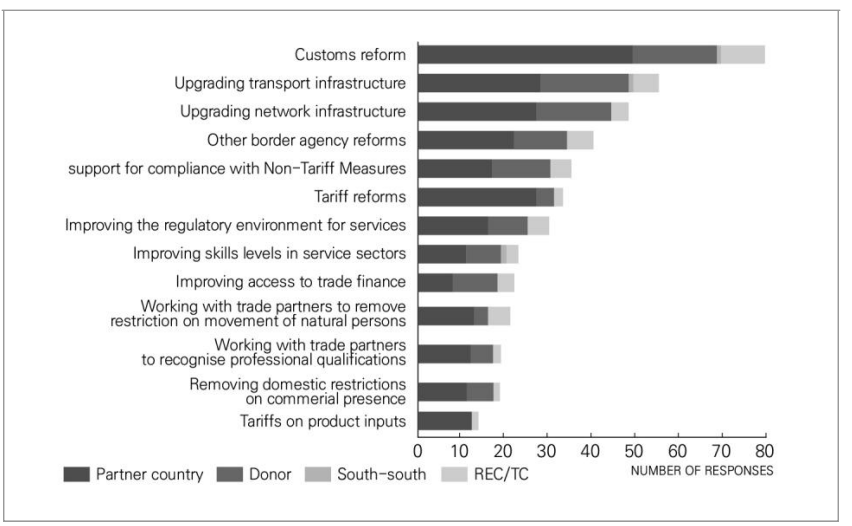
무역은 바이어 탐색뿐만 아니라 물류와 금융, 통관 등 다양한 과정을 거쳐야 하므로 정보가 부족하고 수출 규모도 크지 않은 중소기업에게는 무역과정이 진입장벽으로 작용한다. 이러한 상황에서 교역 플랫폼의 등장은 중소기업에게 무역 참여 기회를 제공하는 역할을 한다. 한편 디지털 혁신을 통해 물류, 금융, 통관 등 무역절차에서 상당한 수준의 비용 절감이 가능해지므로 이 또한 중소기업의 무역 참여 가능성을 높여준다.

무역비용을 측정한 Anderson and van Wincoop(2004)에 따르면, 선진국 기업의 경우 무역비용은 생산자 가격의 170%에 이르는 것으로 나타났다.[32]

32) Anderson and van Wincoop(2004), p. 691.

다시 말하면 수출기업이 생산한 100달러 제품을 수요자가 구매할 때는 무역비용 170달러가 추가되어 270달러가 된다는 것이다.[33] 무역비용에는 관세 및 통관비용, 물류비용, 정보비용, 계약 이행 비용 등 다양한 비용이 포함되는데, WTO/OECD/WB 등 국제기구의 주도 아래 무역비용 절감을 위한 무역지원 사업이 진행되고 있다. 이에 따르면 통관 개혁, 운송 인프라 확충, 네트워크 인프라 확충, 기타 국경기관 개혁, 비관세장벽 준수 지원, 관세 개혁, 서비스 규제 환경 개선 등이 핵심이슈이다. 이러한 정책적 노력에 디지털 혁신에 의한 무역비용 절감효과가 추가된다면 전체적으로 무역비용은 크게 하락할 수 있을 것으로 예상된다.

그림 2-7. 정책 개선에 의해 무역비용 절감효과가 크게 나타난 분야



자료: WTO/OECD(2015), p. 57, OECD/WTO(2015), 'Aid for Trade Monitoring exercise' 재인용.

디지털 혁신을 통해 각 과정에서 무역비용이 어떻게 하락할 수 있는지를 살펴보기로 한다. 디지털 혁신의 영향을 검토하기 위하여 수출입 성립에 필요한

33) WTO/OECD(2015), p. 41.

무역과정(trade procedure)을 4개 분야로 구분해보자. 먼저 거래가 성립되어야 하므로 수출업체가 수요자를 찾기 위한 정보 조사, 마케팅 등 다양한 요소들이 필요하며, 궁극적으로 계약이 실현되는 거래성사 과정이 요구된다. 둘째, 앞에서 살펴본 전자상거래 플랫폼의 넷째 구성요소인 수출입금융 과정이 필요하다. 셋째, 거래제품의 배달을 위한 물류 과정이 필요하다. 인터넷을 통해 배달(delivery)되는 서비스의 경우 온라인상에서 배달이 이루어지지만 재화의 경우 물류과정이 반드시 필요하다. 끝으로 통관과정이 필요하다.

무역에 참여하기 위해서는 제품의 경쟁력 확보가 필요조건이지만 그것만으로는 충분하지 않다. 자신의 제품을 필요로 하는 수요자를 찾는 데 많은 정보비용이 소요되며 물량이 많지 않은 경우 무역과정에 소요되는 비용 또한 상당히 큰 부담이 된다. 디지털 혁신은 수출입에 참여하는 모든 기업들에게 가격하락 효과를 제공하며 수요 증가에 따라서 수출입 물량이 증대하거나 이윤이 증가하는 효과를 가져다 줄 것이다. 한편 주목할 부분은 그동안 무역비용이 높아 수출에 참여할 엄두를 내지 못하던 기업들도 새롭게 무역에 참여할 기회가 생긴다는 점이다. 즉 디지털 혁신으로 인하여 무역의 진입장벽이 완화되면 중소기업들이 새롭게 무역에 참여할 기회를 가질 수 있는 것이다.

표 2-3. 전자상거래 수출 중 중소기업과 소비재의 비중(2016년)

(단위: %)

	중소기업	소비재
전자상거래 수출 (A)	66%	61%
전체 수출 (B)	20%	12%
(A)/(B)	3.3	5.1

자료: 이규엽 외(2017), pp. 98~99.

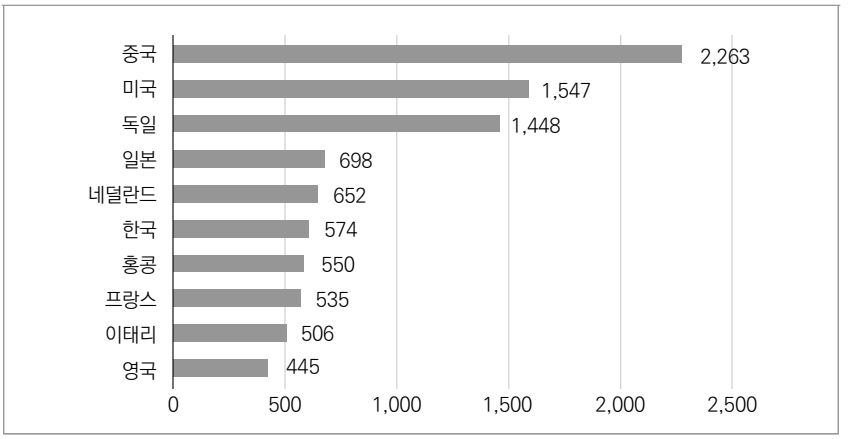
다. 디지털 혁신의 발전단계와 무역패턴

1) 무역 현황

4차 산업혁명에 따른 디지털 혁신이 무역에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 먼저 현행 무역구조의 특징을 살펴보기로 하자. 먼저 2017년 세계 수출 상위 10개국을 살펴보면 중국이 2조 2,630억 달러로 단연 1위이며 미국이 1조 5,470억 달러로 2위, 독일이 1조 4,480억 달러로 3위를 차지하였다. 그 뒤로 일본(6,980억 달러), 네덜란드(6,520억 달러), 한국(5,740억 달러)이 4~6위를 차지하고 있다(그림 2-8 참고).

그림 2-8. 2017년도 세계 10대 수출국

(단위: 십억 달러)

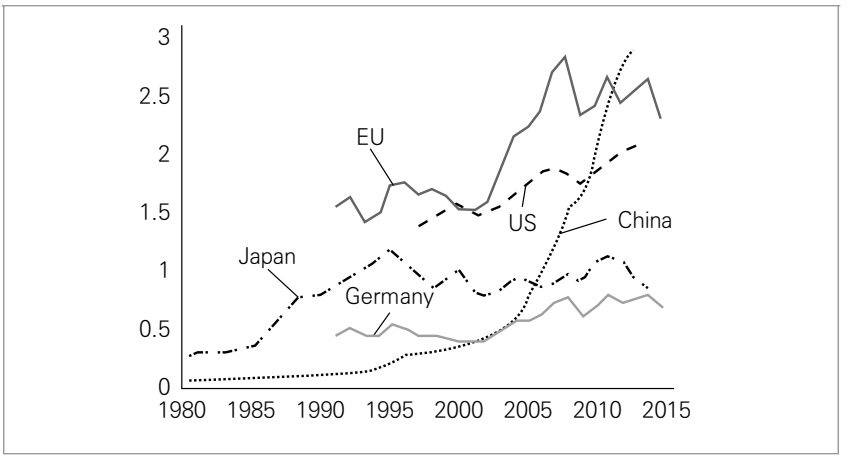


자료: statista, https://www.statista.com/statistics/264623/leading-export-countries-worldwide/(검색일: 2018. 10. 30).

중국이 압도적인 1위를 차지한 것은 2000년 이후의 급속한 수출주도 성장에 힘입은 것이다. [그림 2-9]에 따르면 중국의 제조업 생산액은 2000년에 독일과 일본보다도 적었으나 가파른 성장세를 통해 2010년 미국을 추월하였고 최근에는 EU 전체보다도 더 많은 상태가 되었다.

그림 2-9. 주요국의 제조업 부가가치 생산액 변화 추이(1980~2015년)

(단위: 조 달러)



자료: Poprawe, Bleck, and Piller(2017), p. 2.

무역 규모의 증가는 성격별로 크게 네 그룹으로 구분해서 살펴볼 수 있다. 첫째, 1990년대 이후 급증한 글로벌 가치사슬 재편 혹은 글로벌 생산 분절화(fragmentation)로 표현되는 가치사슬상의 직무(task) 기준 분업이다. 둘째, 부존자원에 토대를 둔 전통적인 비교우위에 입각한 산업간 분업이다. 셋째, 선진국들간에 주로 이루어지는 제품 다양성(variety)에 입각한 산업 내 수평분업이다. 끝으로 선후진국간에 이루어지는 품질(quality)에 입각한 산업 내 수직분업이다. 네 그룹의 증가세를 정확하게 파악하기는 곤란하지만 2000년대에는 직무분업이 가장 빠르게 증가한 것으로 평가된다.

무역 참여국은 선진국, 신흥산업국, 후발개도국 등 크게 세 그룹으로 구분할 수 있다. 신흥 산업국은 우리나라를 비롯하여 개도국 중에서 무역 규모가 크고 2000년대에 무역 규모 증가세를 나타낸 국가들을 지칭한다. 후발개도국은 무역 규모가 크지 않고 증가세도 크지 않은 국가들을 지칭한다.

이렇게 무역구조를 무역의 성격과 참여국의 성격으로 구분한 것은 4차 산업혁명의 신기술과 그로 인한 산업재편이 무역에 미치는 영향을 살펴보는 데 유

용하기 때문이다. 본 연구는 다음 두 가지 이슈에 초점을 맞추기로 한다. 첫째, 현재 무역과 관련하여 가장 큰 이슈는 오프쇼어링을 통해 글로벌 생산 분절화를 초래한 직무분업이 강화될 것인가, 약화될 것인가에 관한 것이다. 이른바 리쇼어링 문제이다. 다음으로 중요한 관심사는 우리나라가 포함된 신흥 산업국의 지위가 어떻게 변할 것인지에 관한 것이다. 만약 선진국으로의 리쇼어링과 후발개도국의 약진이 동시에 이루어진다면 신흥산업국의 지위는 현재보다 훨씬 열악해질 가능성이 있기 때문이다.

2) 디지털 혁신에 따른 무역 영향의 정성적 분석

4차 산업혁명에 따른 디지털 혁신의 무역 영향은 데이터 기술과 분야별 보완기술의 발전 수준에 따라 다음과 같은 세 가지 유형으로 구분할 수 있다. 첫째, 현행 무역 패턴이 유지, 강화되는 유형이다. 이 유형은 현행 직무(task) 중심의 분업체제인 글로벌 가치사슬이 확대, 심화되는 것을 말한다. 둘째, 현행 무역 패턴 변화 유형 중에서 선진국들이 개도국으로부터 수입하는 제품을 자국 생산으로 전환하는 리쇼어링 유형이다. 끝으로 모든 나라들이 분업 대신에 자국에서 생산하는 분산자족형 유형이다.

디지털 혁신의 무역 영향 강도는 기술특성, 기술발전 수준, 국가간의 기술격차에 의해서 결정될 것이다. 기술특성은 현행 기술의 연속적 발전인 점진적 혁신(incremental innovation)과 현행 기술을 대체하는 파괴적 혁신(disruptive innovation)으로 구분할 수 있다. 로봇의 경우 자동화를 심화하는 것으로서 현행 생산방식의 연장선상에서 이루어지는 것이기 때문에 점진적 혁신이라고 할 수 있다. 반면에 적층제조 기술인 3D 프린팅 기술은 현행 생산방식을 재편하는 것이므로 파괴적 혁신에 해당한다.

기술발전 수준은 크게 도입기, 성장기, 성숙기로 구분할 수 있다. 도입기는 스마트 공장의 목표인 개인 맞춤형 생산이 실현되기 전 단계를 의미한다. 성장기는 맞춤형 생산은 실현 가능하지만 비용이 높아 Porter의 제품 경쟁우위 유

형 중 차별화 우위 제품에만 영향력을 발휘하는 단계에 해당한다. 성숙기는 인더스트리 4.0의 최종 지향점으로서 개인별 맞춤형 제품을 대량생산 가격으로 생산할 수 있는 완전한 스마트 공장 실현 단계라고 할 수 있다. 국가간의 기술격차는 국제 분업을 결정하는 가장 중요한 요소로서 기술격차가 클수록 리쇼어링 가능성이 커질 것이다.

이상의 세 기준에 따른 무역패턴 변화 가능성을 예측해보면 [표 2-4]와 같다. 기술특성 측면에서 로봇 혁신이 강화되면 현행 패턴의 강화가, 3D 프린팅 혁신이 강화되면 리쇼어링의 강화가 예상된다. 기술격차 측면에서 선진국과 개도국 간의 혁신격차가 확대되면 리쇼어링이, 반대로 축소되면 현행 패턴 강화 경향이 나타날 것으로 예상된다. 한편 4차 산업혁명의 발전 단계 측면에서 보면 도입기에는 현행 패턴 강화, 성장기에서는 리쇼어링, 성숙기에는 분산자족형의 양상이 나타날 것으로 예상된다.

표 2-4. 4차 산업혁명에 따른 디지털 혁신의 무역 영향 분류

기술특징 / 무역패턴	기술특성		기술격차		기술발전 수준		
	로봇	3D	대	소	도입기	성장기	성숙기
현행패턴 강화	●			●	●		
리쇼어링		●	●			●	
분산자족형							●

자료: 저자 작성.

3) 제조업 디지털 혁신 발전단계에 따른 무역패턴의 변화

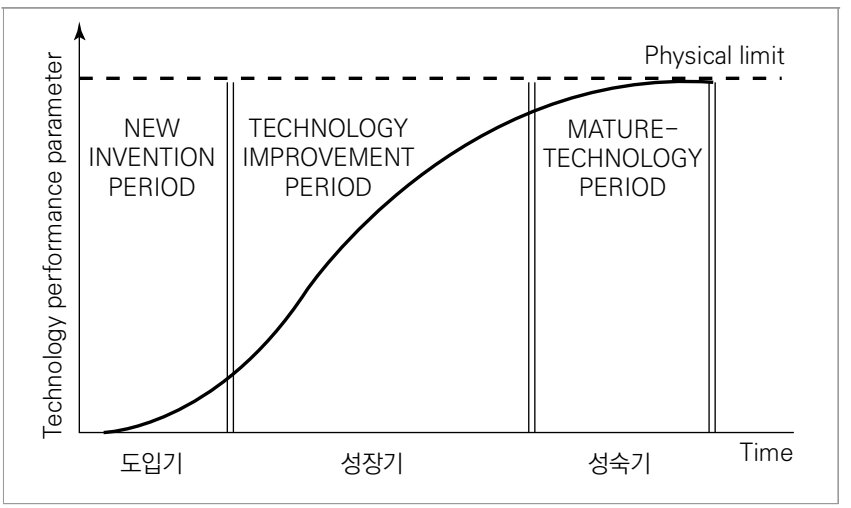
본 절에서는 스마트 공장의 예를 들어 제조업 디지털 혁신 발전단계에 따른 무역패턴 변화를 검토하기로 한다.

가) 스마트 공장 디지털 혁신 발전단계

독일은 2011년부터 인더스트리 4.0을 시작했지만 완성 시점은 대략 2035년으로 예상하고 있다.[34] 무려 25년이라는 긴 기간을 설정한 것은 그만큼 기술 난이도가 크고 기술발전 수준이 아직 미흡함을 의미한다. Strange and Zucchella(2017)는 2017년에 15~20년을 예상하였는데, 이를 연도로 환산하면 2032~37년으로서 독일이 예상한 기간과 거의 일치한다.[35]

스마트 공장의 기술발전 단계를 도입기, 성장기, 성숙기 등 3단계로 구분하면 성장기는 개인 맞춤형 생산의 확립 단계, 성숙기는 개인 맞춤형 제품의 비용이 대량생산 제품 비용과 일치하는 단계로 규정할 수 있다. 각 단계를 5년 단위로 구분한다면 도입기는 2023년까지, 성장기는 2024년부터 2028년까지, 성숙기는 2029년부터 2033년까지가 될 것이다.

그림 2-10. 스마트 공장 시스템 기술의 발전단계



자료: Slideshare, https://www.slideshare.net/magamawi/technology-commercialization-workshop-part-2 (검색일: 2018. 7. 12).

34) Plattform Industrie 4.0(2015), p. 15.
35) Strange and Zucchella(2017), p. 174.

나) 도입기의 무역 영향

스마트 공장 도입기의 특징은 연결과 지능화, 로봇과 3D 프린터 도입 및 효율화라고 할 수 있다. 이를 통해 핵심장비의 예지정비, 에너지 절감, 생산 흐름 최적화, 재고 감축, 생산성 향상 등을 추구하게 된다. 데이터 기술과 관련해서는 핵심지표의 실시간 시각화 실현이 목표이다.

도입기의 경우 개별 맞춤형 생산단계로 진입하지 못한 상태이기 때문에 기존 생산방식과 본질적인 차이를 갖지는 못한다. 그에 따라 무역에 미치는 영향은 앞에서 보았듯이 IoT, 로봇, 3D 프린터 등 개별 기술의 수준과 영향력에 의해 결정된다. 기술특성과 발전 수준, 기술격차를 조합하여 무역 영향을 살펴보면 [표 2-5]와 같다.

표 2-5. 스마트 공장 시스템 기술 도입기의 무역 영향

기술특성 \ 기술격차	대	소
로봇>3D 혁신	-	현행 패턴 강화
로봇 = 3D 혁신	리쇼어링(중)	차별화 제품 일부 리쇼어링
로봇<3D 혁신	리쇼어링(대)	차별화 제품 리쇼어링

자료: 저자 작성.

다) 성장기의 무역 영향

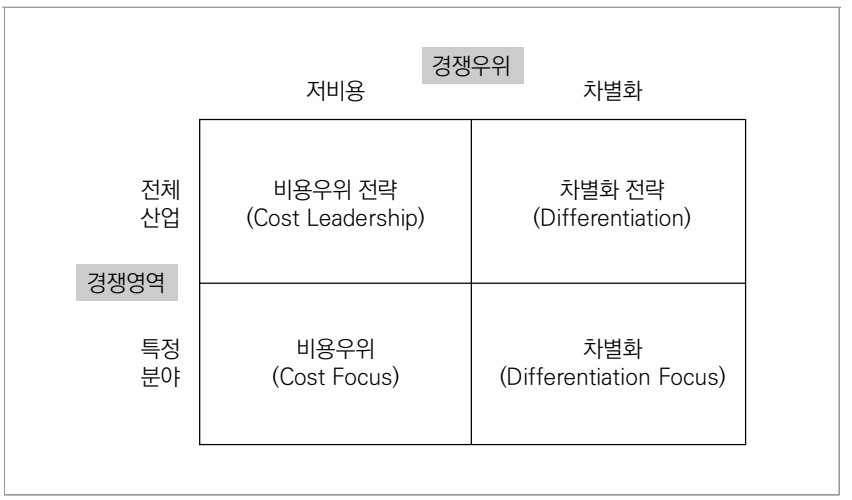
스마트 공장 성장기의 특징은 데이터 기술에 의해 시스템 연결을 완성하고 아디다스의 스피드팩토리와 같이 고객이 요구하는 제품을 신속하게 차질 없이 생산하는 것이다. 한 마디로 개별 맞춤형 적기 생산이 가능해진 단계이다.

이 단계에서는 맞춤형 생산의 완성도를 높이는 것도 중요 이슈지만 단위당 비용을 대량생산 수준으로 낮추는 것이 가장 중요한 과제 중 하나이다. 맞춤형 생산의 완성도 제고를 위해서는 3D 프린터 기술이 상대적으로 더 중요하며 비

용 절감을 위해서는 로봇 기술이 더 중요하다.

이 단계에서 영향을 받는 무역은 차별화 제품이다. 비용우위(cost leadership) 제품은 스마트 공장에서 생산하는 것이 불리하므로 현행 구조가 그대로 유지될 것이다. 차별화 제품을 현행 생산방식으로 생산하는 것과 스마트 공장에서 생산하는 것 중 어느 것이 더 유리할까? 이와 관련해서는 스마트 공장 시스템 기술의 파급 속도와 제품 생산에 요구되는 암묵지의 격차가 크게 영향을 미칠 것이다. 신기술 파급 속도는 길병원에 수입된 IBM의 인공지능 왓슨과 같이 스마트 공장 시스템을 판매하는 전문기업의 존재에 따라 결정된다. 안드로이드와 같이 손쉽게 신기술을 도입할 수 있다면 생산 공정에서는 열위를 면할 수 있다.

그림 2-11. 포터의 제품 경쟁우위 유형



자료: Porter(1990), p. 39.

이 경우 생산지를 결정하는 요소는 생산에 필요한 암묵지가 된다. 여기에는 두 가지 유형의 암묵지가 존재하는데 로봇이나 3D 프린터, 데이터 기술의 점진적 혁신을 추진하는 제품형 암묵지와 주어진 기술을 가지고 생산비용을 절감할 수 있는 공정형 암묵지이다. 현재 직무분업을 통해 수출하는 신흥산업국이 선진국과 공정형 암묵지에서 큰 차이를 나타낸다면 제품형 암묵지 차이의 크기에 상관없이 신흥산업국에서 생산하는 것이 유리하게 된다. 한편 공정형 암묵지의 격차가 작은 경우 제품형 암묵지의 차이도 작다면 신흥산업국이 비용우위를 유지할 수 있으므로 현행 무역 패턴을 유지할 가능성이 높다.

표 2-6. 스마트 공장 시스템 기술 성장기의 무역 영향

무역패턴 / 기술특성 조합	현행 패턴 우위	리쇼어링 우위	현행 패턴 우위	리쇼어링 우위
기술 파급 속도 (스마트 공장 시스템 기술)	대	소	대	대
제품형 암묵지 격차 (선진국 우위)	소, 대	대, 소	소	대
공정형 암묵지 격차 (신흥산업국 우위)	대	소, 대	소	소

자료: 저자 작성.

스마트 공장 시스템 기술산업에서 왓슨형 기업은 적고 애플형 직접 생산형 기업이 다수라면 기술 파급 속도는 현저하게 낮을 것이다. 스마트 공장 시스템 기술은 현재 독일, 일본, 미국 기업이 주도하고 있는데, 일반기계 산업에서도 경쟁형이 유지된 점에 비추어 애플형 기업이 주도한다는 가정은 사실 비현실적이다. 그럼에도 불구하고 경우의 수 측면에서 검토하면 기술 파급 속도가 낮은 경우 암묵지 격차의 대, 소에 상관없이 리쇼어링이 발생할 가능성이 높다. 한편 기술 파급 속도가 빠르다고 해도 공정형 암묵지의 격차는 작고 제품형 암묵지 격차는 클 경우 리쇼어링이 발생할 가능성이 큰 것으로 판단된다.

라) 성숙기의 무역 영향

스마트 공장 성숙기의 특징은 1개만을 생산하는데 드는 비용이 대량생산할 때의 1개 생산비용에 수렴한다고 가정하는 것이다. 이 경우는 알파고와 같이 데이터 기술, 로봇, 3D 프린터 기술이 완벽한 수준에 도달했다고 볼 수 있다. 이 경우에는 선진국의 입장에서 직무분업을 통한 무역을 할 이유가 존재하지 않게 된다. 그렇다고 무역이 완전히 없어지는 것은 아니다. 무역의 종류에는 직무분업 이외에도 부존자원 분업, 다양성에 입각한 수평분업, 품질에 입각한 수직분업이 존재하기 때문이다. 4차 산업혁명은 지능화를 통해 최적화는 달성할 수 있지만 제품 고유의 혁신을 만들어내지는 못한다. 이를 위해서는 창의성을 가지고 R&D를 할 수 있어야 하는데 약인공지능[36]은 그러한 역량을 갖고 있지는 못하기 때문이다. 품질에 의한 수직분업은 불필요해질 가능성이 높지만 비교우위와 창의성에 입각한 산업간 분업과 수평분업은 계속 존재할 것이다.

이 단계에서는 신흥산업국이 큰 도전에 봉착하게 된다. 스마트 공장 시스템은 완벽한 수준에 도달해 암묵지가 개입할 여지가 없어 후발개도국이나 신흥산업국, 선진국 어디에서 생산해도 품질과 비용에 차이가 없게 된다. 결국 스마트 공장 시스템을 수출하는 국가나 기업은 부를 축적할 수 있으나 시스템을 수입하여 제품을 생산하는 모든 기업은 이윤이 남지 않는 범용제품(commodity)을 생산하는 것과 같아 자본축적이 이루어지지 않는다. 반면 후발개도국들은 글로벌 사회 참여가 크게 증가할 것이다.

이 단계에 진입하면 세계 각지에 스마트 공장을 설치하고 제품 설계도가 온라인으로 거래되며 정작 제품은 현지에서 생산하는 분산형 제조(distributed manufacturing)가 등장할 것으로 예상된다. 즉 제조업의 서비스화와 분산형 제조업이 공존하는 형태로 무역이 전환하는 것이다.

이상과 같이 스마트 공장의 도입은 기술의 특성과 기술발전 수준뿐만 아니

36) 약인공지능(Weak AI)은 인간의 지시에 따라 특정한 분야의 일을 수행하는 인공지능으로서 제한된 기능을 뛰어넘는 강인공지능(Strong AI)에 대비되는 개념이다.

라 교역상대국간의 기술격차 등에 따라 무역패턴을 결정하게 된다. 본 절에서는 스마트 공장의 사례를 들어 4차 산업혁명에 따른 디지털 혁신이 무역에 미칠 영향을 정성적으로 분석하였는데, 디지털 혁신은 클라우딩컴퓨팅, 사물인터넷, 빅데이터, 인공지능, 로봇, 3D 프린팅(적층제조) 등 다양한 기술을 기반으로 이루어지기 때문에 무역 전반에 매우 복합적인 영향을 미치게 된다.

4. 소결

앞서 살펴보았듯이 최근 들어 디지털 혁신은 기존 산업의 대량생산체제를 개인 맞춤형 생산으로 변화시켜야 할 필요성에 따라 빠른 속도로 이루어지고 있다. 특히 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 활용되고 있다. 그 결과 4차 산업혁명에 따른 디지털 혁신은 제품, 공정, 비즈니스모델 등 각 분야에서 빠르게 이루어지면서 기존 산업을 파괴적으로 재편하고 있다.

OECD는 디지털 혁신으로 인해 기술, 산업, 무역 등 경제뿐 아니라 정치, 사회 등 모든 활동에서 혁명적인 변화가 일어나며 이에 따라 인공지능이 정부와 기업이 수행하던 많은 부분을 대체하는 미래상을 제시하였다. 사물인터넷을 통해 수집된 생산 및 소비에 대한 정보는 빅데이터 분석과 AI 등을 통해 최적의 생산방식 및 소비자 선택을 유도하고, 이로써 세계경제는 엄청난 변화를 겪게 될 것이다.

그동안 국제무역의 비교우위는 국내의 부존자원, 기술 수준, 지리적 요인 등에 따라 결정되는 것으로 인식되어왔다. 그런데 4차 산업혁명에 따라 디지털 혁신이 이루어지면 기술특성, 기술발전 수준, 국가간의 기술격차 등 다양한 요인에 따라 국제무역이 큰 변화를 겪게 될 것으로 보인다. 스마트 공장의 예를

들어보면, 스마트 공장 성장기에는 생산기업의 기술과 입지 요인의 비교우위가 리쇼어링을 초래할 수 있으며, 스마트 공장의 성숙기에는 현지에서 제품이 생산되는 분산형 제조가 등장하고 제조업의 서비스화와 분산형 제조업이 공존하는 형태로 무역이 전환될 것으로 예상된다.

이에 본 연구의 제3장에서는 미국특허 및 OECD 데이터를 이용하여 디지털 혁신 및 혁신기술의 활용 수준을 국제비교하고, 제4장에서는 동 분석 결과와 함께 다양한 시나리오를 설정하여 디지털 혁신의 무역 영향을 정량적인 연구방법에 따라 분석하도록 한다.

제3장

디지털 혁신에 대한 국제 비교분석

1. 선행연구 및 분석 방법

앞서 제2장에서는 4차 산업혁명과 디지털 혁신에 따른 기술, 산업, 무역 등 경제 분야의 변화에 대해 개략적으로 살펴보았다. 본 장에서는 디지털 혁신 및 활용 수준을 주요 국가 및 산업에 대해 비교 분석하도록 한다. 특히 디지털 혁신 수준은 미국 특허 · 상표청(USPTO: US Patent and Trademark Office)에 등록된 실용특허(utility patents) 자료를 이용하여 국가별 및 산업별로 비교하고, 혁신기술 활용 수준은 World Robotics의 산업용 로봇 자료와 OECD.Stat의 ICT 기술 이용률을 이용하여 국가별로 비교하도록 한다.

가. 선행연구

본 장에서 비교하고자 하는 디지털 혁신 수준은 넓은 의미에서 기술 수준을 비교하는 것과 유사하다. 기술 수준은 노동 및 자본과 같은 생산요소 이외에 경제성장의 주요 요인으로 기존 연구에서는 연구개발비, 인적자본, 생산성, 특허 건수 등을 기술 수준의 지표로 사용하고 있다. 이 중 연구개발비와 인적자본은 기술 창출을 위해 투입되는 요소이며, 생산성과 특허 건수는 기술 창출의 노력에 따른 결과물에 해당한다.

투입변수에 해당하는 연구개발비와 인적자본을 이용해 기술 수준을 측정한 연구, 특히 연구개발비를 이용한 연구는 다양한 분야에서 이뤄져왔다. 먼저 Berman, Bound, and Griliches(1994)는 미국 제조업의 노동수요가 기술진보에 의해 비숙련노동에서 숙련노동으로 이동함을 밝혔다. 이때 발생하는 기술진보는 컴퓨터에 대한 투자와 연구개발비로 평가하였다. 기업의 혁신활동이 규모(매출액, 종업원 수, 부가가치 등)에 미치는 효과를 분석한 Monte and Papagni(2003)는 기업의 R&D 투자를 혁신활동으로 정의하였다. Görg and

Görlich(2012)는 숙련편향적 기술진보를 고려하여 오프쇼어링이 노동시장에 미치는 영향을 분석하면서 연구개발비로 기술 변화를 측정하였다. 국내연구 중 서진교 외(2008)는 시장개방이 고용에 미친 영향을 분석하였으며 총 매출액에서 기술투자 비용이 차지하는 비중을 기술 수준으로 정의하고 이를 통제하였다. Barro(1991)는 인적자본으로 초등(primary) 및 고등(secondary) 학교 졸업률을 이용하였으며, R&D, 혁신 수준, 경제성장 간의 관계를 연구한 Ulku(2004)는 고졸자 비율과 연구개발비를 이용하여 인적자본 수준을, 특허 건수를 이용하여 혁신 수준을 측정하였다.

성과변수에 해당하는 생산성과 특허 건수로 기술 수준을 측정한 연구 중 Fagerberg(1987)는 특허 건수와 연구개발비를 활용하여 기술 수준 지표를 측정한 후 기술 수준의 향상이 경제성장에 미치는 효과를 분석하였다. Bilbao-Osorio and Rodriguez-Pose(2004)는 인구 100만 명당 특허 건수를 혁신역량으로 정의하고 EU 국가를 대상으로 연구개발비가 혁신역량에 미치는 영향을 분석한 후 이 혁신역량이 다시 경제성장에 미치는 효과를 분석하였다. 국내연구 중 강규호(2006)는 기술혁신이 고용에 미치는 효과를 분석하였는데 노동생산성이 향상되는 것을 기술혁신으로 정의하였다.

특히 국제적으로 기술 수준을 비교한 OECD(2018c)에서는 연구개발비뿐만 아니라 연구자 수, 특허 · 상표 · 디자인 등록 건수 등을 이용하여 기술 수준을 평가하였다. Cornell Univ., INSEAD, and WIPO(2018) 역시 연구개발비 규모, 연구자 수, 특허 및 논문 건수 외에도 제도 및 인프라 수준 등 다양한 항목을 고려하여 국가별 혁신 수준을 평가하고 있다. 기술 수준을 평가한 국내 연구에서도 특허자료는 일반적으로 이용되고 있다. 우리나라의 국가 핵심기술에 대한 기술 수준을 주요국과 비교 · 평가한 김윤정 외(2017, p. 9) 및 4차 산업혁명을 선도하는 주요 기술에 대한 기술 수준을 주요국과 비교 · 평가한 정보통신기술진흥센터(2018, p. 63)에서도 기술 수준을 평가하기 위한 평가항목으로 특허자료를 사용하고 있다. 즉 정확하고 엄밀한 기술 수준 분석을 위해서는 논

문 및 특허 분석, 기술 동향 분석, 전문가 정성평가 등 기술 수준을 평가하는 방법론을 따라야 하겠으나 본 장에서는 첨단기술인 디지털 혁신 수준을 분석하는 것이 목적이므로 특허자료를 분석하도록 한다.

물론 디지털 혁신 수준을 분석하기 위해 미국 이외에도 EU와 일본 등 주요 선진국에 등록된 모든 특허자료를 이용할 수도 있다. 그러나 윤문섭, 이우형(2002, p. 1)이 언급한 바와 같이 미국은 시장 규모가 크고 특허보호 수준이 높아 세계 각국의 중요한 신기술이 거의 대부분 미국특허로 권리화되어 있으므로 미국 특허 · 상표청에 등록된 실용특허만을 이용하여도 본 보고서에서 다루고자 하는 디지털 혁신 수준을 분석할 수 있을 것으로 생각된다. 최근 연구인 이지홍, 임현경, 정대영(2018) 역시 이러한 장점 때문에 미국의 특허자료만을 이용하여 한국의 혁신역량을 주요국과 비교하였다.

나. 분석 방법

본 장에서는 미국 특허 · 상표청에 등록된 실용특허를 이용하여 등록 건수, 피인용 건수, H지수(Hirsch Index) 등을 국가별 및 산업별로 정리하여 디지털 혁신 수준을 비교 · 분석하도록 한다. 그리고 본 장에서 작성한 국가별 및 산업별 특허 등록 건수는 제4장의 분석대상국에 대한 산업별 근본생산성의 변화를 도출하는 데에도 이용된다. 자세한 도출 방법은 제4장에서 설명하도록 한다.

특허의 등록 건수는 기술의 양을 평가하는 지표로, 피인용 건수는 기술의 질을 평가하는 지표로 주로 사용된다. 그리고 H지수는 [식 3-1]과 같이 국가 혹은 산업 내에 등록된 특허 건수가 많더라도 피인용 건수가 높은 특허의 수가 적으면 낮은 값을 가지게 되므로 기술 수준의 양적인 면과 질적인 면을 모두 고려할 수 있는 지표가 된다.[37]

37) 박지형 외(2015, p. 11)에 의하면 "H지수는 특허 데이터가 보여줄 수 있는 혁신의 정도를 단순하면서도 가장 충실하게 반영할 수 있는 지수"이나 이외 기술력지수(TS: Technology Strength), 현재영향

$$H\text{지수}_j = \max_{i \in j} \min(f(i),\ g(i)) \qquad \text{[식 3-1]}$$

여기서, j는 특허 i가 포함된 국가 혹은 산업, $f(i)$는 특허 i의 피인용 건수, $g(i)$는 특허 i의 피인용 건수 순위를 의미함.

따라서 H지수가 h라는 것은 이지홍, 임현경, 정대영(2018, p. 10)에서 설명하고 있는 바와 같이 해당 국가 혹은 산업 내 n개의 특허 중 h개의 특허는 피인용 건수가 h번 이상이며, $n-h$개의 특허는 피인용 건수가 h번 미만임을 의미한다.

산업별 기술 수준을 분석하기 위해서 미국 특허자료에 부여되어 있는 미국 특허분류(USPC: US Patent Classification)코드와 산업분류코드를 연계해야 한다. 산업분류는 국제표준산업분류(ISIC: International Standard Industrial Classification) 4차 코드 2단위를 이용한다. 그러나 USPC – ISIC Rev.4 간에 직접적인 연계표가 존재하지 않아 국제특허분류(IPC: International Patent Classification) 8차 코드와 유럽산업분류(NACE: Statistical Classification of Economic Activities) 2차 코드를 중간에 연계하였다. 즉 USPC – IPC V8 – NACE Rev.2 – ISIC Rev.4를 연계하여 미국 특허의 산업을 구분하였다.

이때 USPC – IPC V8 간의 연계표는 미국 특허 · 상표청에서,[38] IPC V8 – NACE Rev.2 간의 연계표는 Looy, Vereyen, and Schmoch(2015)에서,[39] NACE Rev.2와 ISIC Rev.4 간의 연계표는 유엔통계처(UNSD: United Nations Statistics Division)에서 구하였다.[40][41][42]

력지수(CII: Current Impact Index), 시장력확보지수(PFS: Patent Family Size) 등을 보완적으로 이용하여 기술 수준의 양적 · 질적 수준을 평가할 수도 있다.

38) USPC와 IPC V8 간의 연계표는 미국 특허 · 상표청(https://www.uspto.gov/web/patents/classification/index.htm, 검색일: 2018. 4. 30)에서 구하였다.

39) 정확한 분석을 위해서는 산업을 세분류하는 것이 바람직하나 IPC V8 – NACE Rew.2 간 연계표 내 산업분류가 중분류(2단위) 수준에서 이뤄져 산업을 세분류할 수 없었다.

40) NACE Rev.2와 ISIC Rev.4 간의 연계표는 유엔통계처(UNSD), https://unstats.un.org/unsd/cr/registry/regdnld.asp?Lg=1, 검색일: 2018. 4. 30)에서 구하였다.

본 장에서 사용한 미국 특허자료는 미국 특허·상표청의 PTMT(Patent Technology Monitoring Team)가 제공하는 Bibliographic Patent Data Extract DVD-ROM에서 추출하였다. 이 DVD는 1963~2015년에 대한 실용 특허자료를 제공하고 있으나 최근의 기술 수준을 비교·분석하는 것이 이 장의 목적이므로 1990년 이후부터의 특허 등록 변화를 살펴보기로 한다. 연도별 현황에 따르면 과거에는 계단형으로 증가하던 등록 건수는 2010년 이후 가파르게 증가하는 추이를 보인다. 실제 1990~97년과 1998~2009년 중 등록 건수는 각각 10만 건과 16만 건 수준에서 큰 변화가 없다. 그러나 2010년 22만 건이던 특허는 2015년 현재 30만 건으로 증가하였다. 따라서 이후 분석에서는 1990~97년, 1998~2009년, 2010~15년으로 시점을 구분하도록 한다.

그리고 USPC-ISIC 연계 과정에서 하나의 USPC 코드가 여러 개의 산업과 연계되는 현상이 나타났다. 이 경우 해당 특허를 연계 산업 모두에 포함시키는 중복 허용 방법과 해당 특허를 연계 산업의 수로 나누어 연계 산업에 포함시키는 중복 미허용 방법으로 구분하여 산업별 등록 건수를 계산하였다. 예를 들어 6개의 특허가 포함되어 있는 특허코드 1이 산업 A, B, C로 중복되어 연계되었다면, 첫째 방법에서는 산업 A, B, C 모두 6개의 특허를 가지게 되며(중복 허용), 둘째 방법에서는 산업 A, B, C 모두 2($= \frac{\text{특허 건수}}{\text{산업수}} = \frac{6}{3}$)개의 특허를 가지게 된다(중복 미허용). 첫째와 둘째 방법을 구분하여 연도별 특허 추이를 비교한 결과 두 방법 모두 유사한 추이를 가지는 것으로 나타났다. 첫째 방법으로 인해 중복되는 등록 건수가 어느 정도인지 알아보기 위해 중복 허용 건수 대비 중복 미허용 건수 비중을 계산한 결과 약 90% 수준에서 연도별로 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 즉 중복으로 인해 이중계산되는 특허는 전체 특허의 약

41) NACE Rev.2와 ISIC Rev.4의 코드를 비교한 결과 이 연구에서 사용하고자 하는 2단위 코드는 동일하였다.

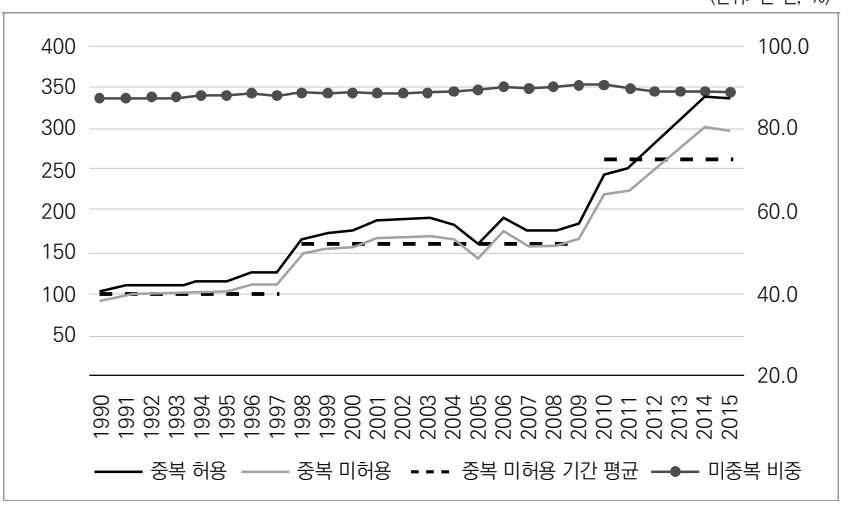
42) 산업 연계 결과 분류된 ISIC Rev.4의 2단위 코드에 대한 산업명은 [부록 표 1-1]에 명시되어 있다. 산업 연계 결과 대부분의 특허는 제조업을 중심으로 분류되며 서비스업은 42(토목 건설업), 43(전문직별 공사업), 62(컴퓨터 프로그래밍, 시스템 통합 및 관리업) 등 3개 산업으로만 분류된다.

10% 수준이다.

이외 산업분류 과정에서 산업이 구분되지 않은 특허코드가 존재하였으나 분석 기간(1990~2015년) 중 산업이 분류되지 못한 미분류 특허는 1만 5,594건으로 전체 특허의 0.4%에 불과해 미미하였다.

그림 3-1. 미국에 신고된 특허 등록 건수 추이

(단위: 천 건, %)



주: 미중복 비중은 중복 허용 건수 대비 중복 미허용 건수 비중임.
자료: 미국 특허·상표청(USPTO) DVD롬 자료(검색일: 2018. 4. 9)를 이용하여 저자 작성.

마지막으로 이 장은 디지털 혁신 수준을 국가별 혹은 산업별로 비교하는 것을 목적으로 하고 있으므로 최근 주요 기술인 인공지능, 지능형로봇, 3D 프린팅, 사물인터넷, 빅데이터, 클라우드 등 4차 산업혁명과 관련이 높은 기술(이하 디지털 혁신기술)을 중심으로 디지털 혁신 수준을 분석하고자 한다. 이를 위해 필요한 해당 기술분야별 관련 USPC 코드는 미국 특허·상표청에서 구하였다.[43] 이때 하나의 USPC 코드가 여러 개의 디지털 혁신기술에 포함되어 기술

43) 관련 기술분야에 대한 USPC 코드는 미국 특허·상표청(https://www.uspto.gov/web/patents/classification/uspcindex/indexr.htm, 검색일: 2018. 4. 30)에서 구하였다. 이때 인공지능은 Art

분야별 소계와 디지털 혁신기술에 대한 등록 건수가 일치하지 않는 현상이 발생한다. 그리고 디지털 혁신기술 중 클라우드 관련 기술의 특허가 가장 많은 것으로 나타났다.

표 3-1. 디지털 혁신기술별 등록 건수 현황

(단위: 건)

기술분야	1990~97년	1998~2009년	2010~15년	전 기간 (1990~2015년)
인공지능	1,265	3,584	5,774	10,623
지능형로봇	480	1,451	2,142	4,073
3D 프린팅	21,493	40,465	21,201	83,159
사물인터넷	195	3,525	9,703	13,423
빅데이터	2,068	8,070	12,436	22,574
클라우드	19,447	61,956	37,329	118,732
소 계	44,948	119,051	88,585	252,584
디지털 혁신기술	43,509	113,692	79,334	236,535

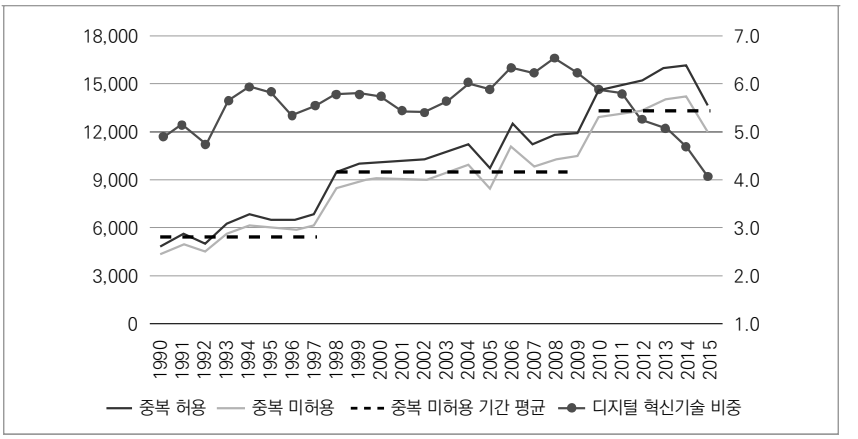
주: 소계는 각 기술분야의 단순합으로 중복 건수가 포함되며, 디지털 혁신기술은 중복을 제외한 건수를 의미함.
자료: 미국 특허·상표청(USPTO) DVD롬 자료(검색일: 2018. 4. 9)를 이용하여 저자 작성.

디지털 혁신기술에 대한 등록 건수 추이는 전체 등록 건수와 유사한 추이로 증가하고 있다. 즉 1990~97년 6천 건 수준이던 디지털 혁신기술의 등록 건수는 IT 산업이 호황을 맞이하는 1998년 이후 9천 건 수준으로 증가하였으며 2010년 이후에는 1만 2천 건 수준으로 증가하였다. 그러나 전체 등록 건수에서 디지털 혁신기술이 차지하는 비중은 2008년 6.5%로 최고치를 기록한 이후 2015년 4.0%로 하락하였다.

ificial Intelligence, 지능형로봇은 Robot, 3D 프린팅은 Printers and Printing, 사물인터넷은 Internet, 빅데이터는 Data Processing, Electrical, 클라우드는 Data Storage에 해당하는 기술분야이다.

그림 3-2. 미국에 신고된 디지털 혁신기술의 등록 건수 추이

(단위: 건, %)



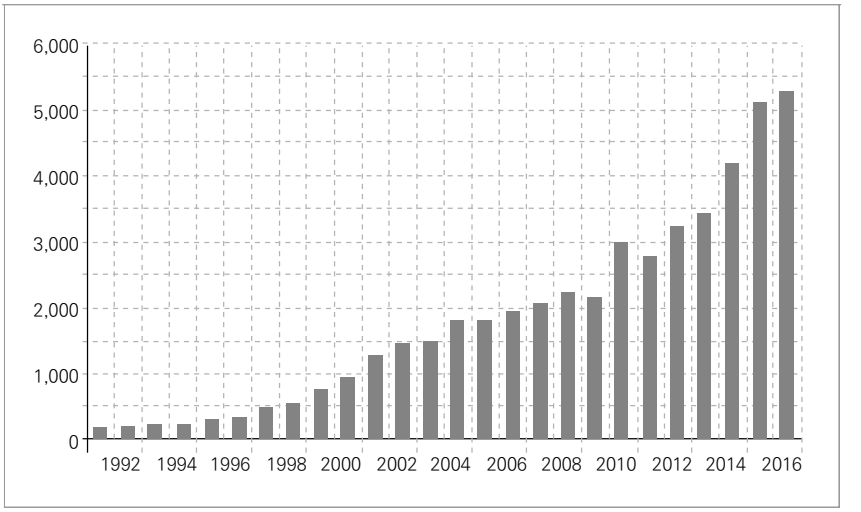
주: 디지털 혁신기술 비중은 중복 미허용 건수를 이용하여 계산함.
자료: 미국 특허 · 상표청(USPTO) DVD롬 자료(검색일: 2018. 4. 9)를 이용하여 저자 작성.

기술분야별 USPC 코드를 이용한 구분은 디지털 혁신기술을 포괄적으로 구분하고 있어 최근 유럽특허청(EPO(European Patent Office) 2017)에서 발표한 4차 산업혁명(4IR: Fourth Industrial Revolution)의 특허 현황과 같이 디지털 혁신기술에 대한 특허를 정확하게 구분하지 못한다는 한계를 가진다.

EPO(2017, p. 23)는 4차 산업혁명 관련 기술을 핵심기술(core technologies), 실행기술(enabling technologies), 응용분야(application domains) 등 크게 3가지로 구분하여 출원 건수 현황을 분석하였다. 이에 따르면 유럽특허청에 신고된 4차 산업혁명 관련 출원 건수 추이(그림 3-3)는 미국 특허 · 상표청에 신고된 디지털 혁신기술의 등록 건수 추이(그림 3-2)와 유사하게 계단형으로 증가하고 있다. 즉 유럽특허청에 신고된 출원 건수는 1990년대 중반부터 2000년대 초반까지와 2010년에는 빠른 증가 추이를 보이며 이외 기간에는 느린 증가 추이를 보인다. 다만 2015년과 2016년 유럽특허청에 신고된 출원 건수는 2014년에 비해 많이 증가하였으나 미국 특허 · 상표청에 신고된 등록 건수는 2015년에 감소한 것으로 나타나 차이를 보인다.

그림 3-3. 유럽에 신고된 4차 산업혁명 관련 특허 출원 건수 추이

(단위: 건)



자료: EPO(2017), p. 27, [그림 3.1].

마지막으로 혁신기술 활용 수준은 새롭게 개발된 기술의 전파속도를 평가하기 위해 World Robotics의 산업용 로봇 자료와 OECD.Stat의 ICT 기술 이용률을 비교하였다. 산업용 로봇이나 ICT 기술은 비교적 최근 개발된 기술이므로 이 기술에 대한 활용 수준이 높다는 것은 새로운 기술에 대한 전반적인 수요가 높고, 제도 및 기반시설이 이미 갖춰져 있음을 의미한다. 따라서 이들 기술에 대한 활용 수준이 높을수록 향후 개발될 기술의 전파속도 역시 높을 것으로 생각된다.

2. 국가별 디지털 혁신 수준

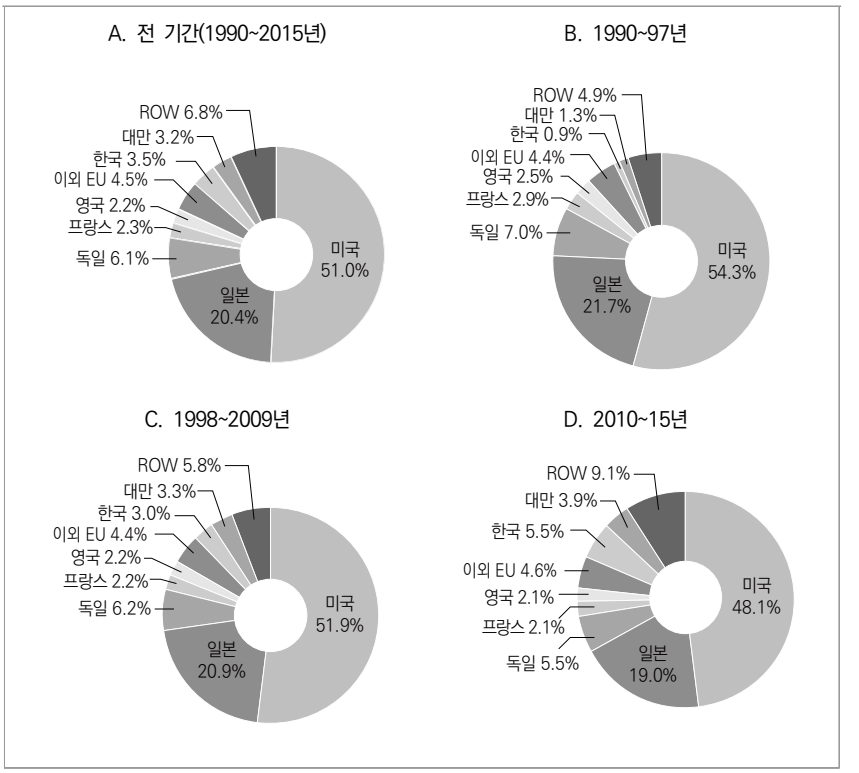
분석 기간(1990~2015년) 중 등록된 전체 특허의 51.0%는 미국이 등록한 것으로 나타났으며, 이외에는 일본과 독일이 많은 특허를 등록하고 있다. 즉 대부분의 특허는 선진국에 의해 등록되고 있다. 기간별로 특이한 점은 미국, 일본, 독일, 프랑스, 영국 등 선진국에 해당하는 국가의 비중은 최근으로 올수록 감소하고 있으며, 한국, 대만, 이외 EU,[44] ROW[45] 등 개도국에 해당하는 국가의 비중은 증가하고 있다는 것이다.[46] 특히 한국의 비중은 1990~97년 기간에 1% 미만이었으나 2010~15년에는 5.5%로 독일과 같은 수준으로 크게 증가하였다. 그럼에도 불구하고 미국과 일본, 독일을 비롯한 EU28의 비중은 최근 기간인 2010~15년 중에도 높게 나타나고 있어 선진기술의 생산이 선진국에 의해 주도되고 있음을 알 수 있다.

한편 일반적으로 독일은 기술강국으로 알려져 있음에도 불구하고 일본보다 낮은 비중을 기록하고 있다. 이러한 현상은 기존 연구인 이지홍, 임현경, 정대영(2018, p. 7)에서도 유사하게 나타나고 있다. 즉 1976~2015년에 출원된 509만 건 중 일본은 19.5%에 해당하는 99만 건을, 독일은 6.7%에 해당하는 34만 건을 출원하여 일본보다 비중이 낮다. 이와 같이 독일의 등록 건수 비중이 낮은 것은 독일이 미국 시장보다는 EU 시장을 중심으로 특허 등록을 활발히 하기 때문으로 생각된다. 실제 유럽특허청의 2008~17년 중 국가별 출원 현황에 따르면 독일이 26.0만 건을 출원하여 일본의 21.6만 건보다 많다.[47]

---

44) 이외 EU는 독일, 프랑스, 영국을 제외한 EU 28개 회원국을 의미한다.
45) ROW는 미국, 일본, EU 28개 회원국, 한국, 대만을 제외한 국가를 의미한다.
46) EU 28개 회원국 비중은 1990~97년 16.8%, 1998~2009년 15.0%, 2010~15년 14.4%로 감소하고 있다(그림 3-4 참고).
47) 유럽에 신고된 국가별 출원 건수는 유럽특허청(https://www.epo.org/about-us/annual-reports-statistics/statistics.html#granted, 검색일: 2018. 9. 20)에서 구함.

그림 3-4. 전체 등록 건수 주요국 비중

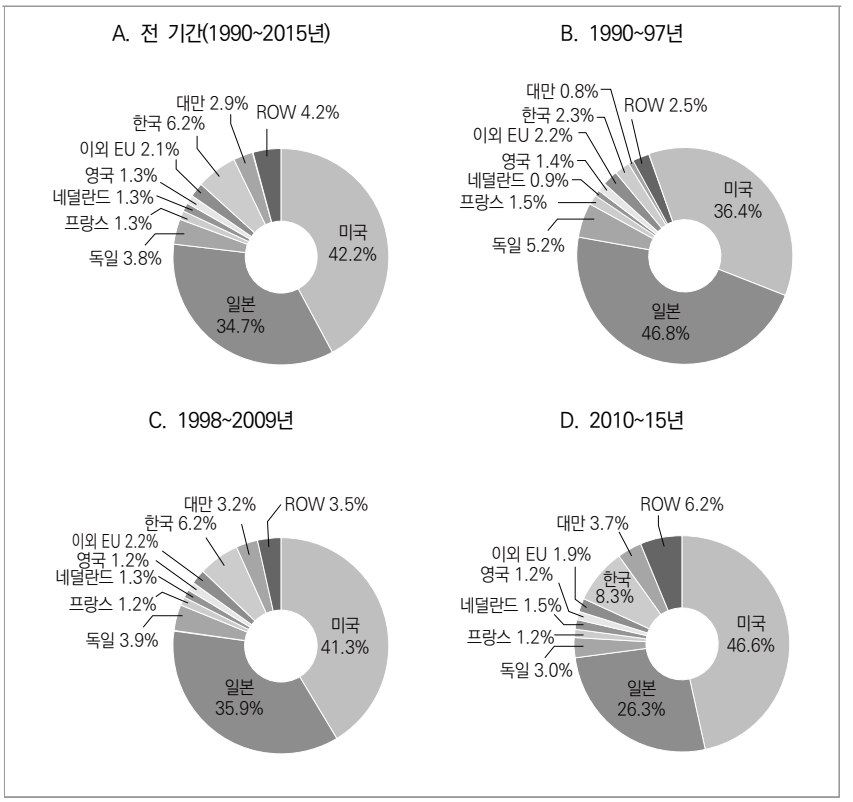


자료: 미국 특허·상표청(USPTO) DVD롬 자료(검색일: 2018. 4. 9)를 이용하여 저자 작성.

전체 등록 건수에서 나타난 특징은 디지털 혁신기술에서도 유사하게 나타나고 있다. 즉 미국과 일본 등 선진국을 중심으로 기술이 개발되고 있으며, 한국과 대만의 기술개발이 빠르게 성장하고 있다.[48] 디지털 혁신기술에서 특이한 점은 다른 선진국과 달리 미국의 비중이 증가하고 있다는 것이다. 한편 EPO(2017, p. 13)에 의하면 2011~16년 중 4차 산업혁명에 관련된 국가별 특허 출원 비중은 미국(25%), 일본(18%), 한국(13%), 독일(8%), 프랑스(6%), 중국(6%) 순으로 높아 순위는 본 연구와 유사하나 비중에는 약간의 차이가 있다.

48) EU 28개 회원국 비중은 1990~97년 11.2%, 1998~2009년 9.9%, 2010~15년 8.9%로 감소하고 있다(그림 3-5 참고).

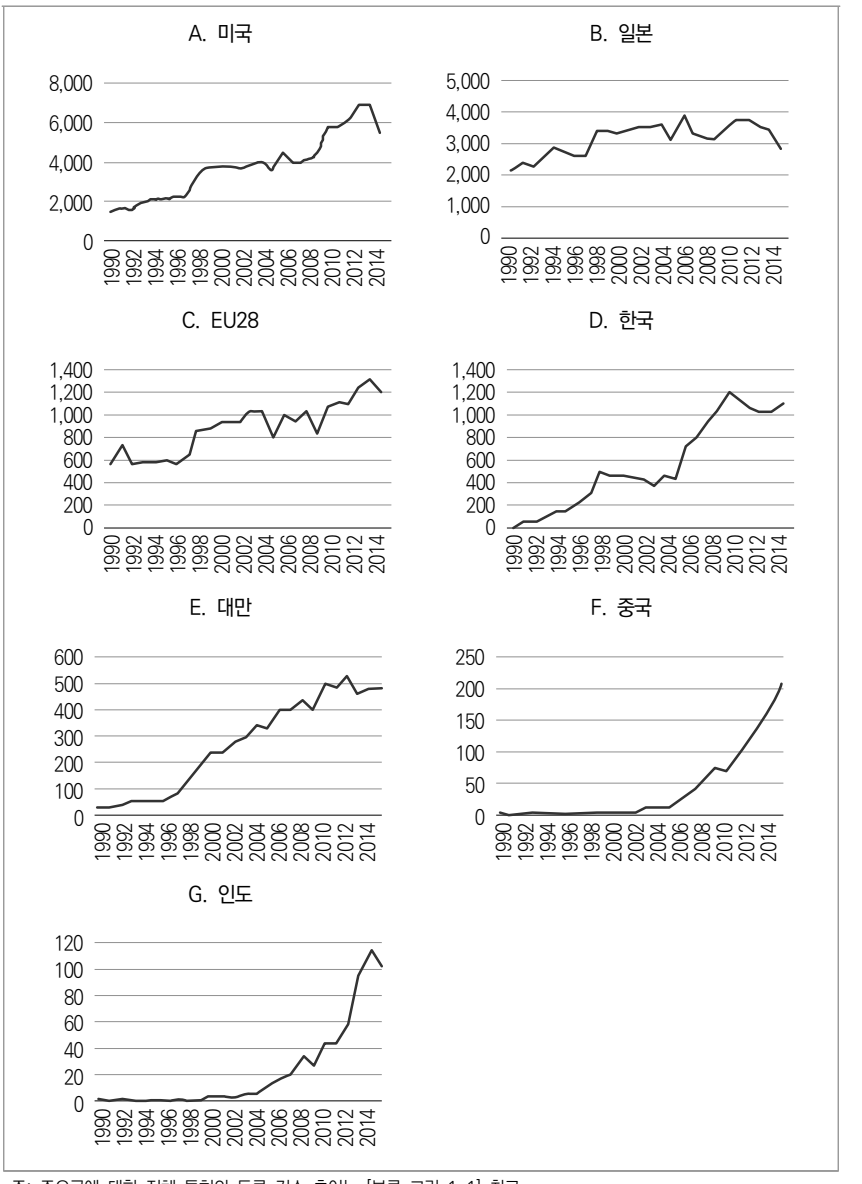
그림 3-5. 디지털 혁신기술 등록 건수 주요국 비중



자료: 미국 특허·상표청(USPTO) DVD롬 자료(검색일: 2018. 4. 9)를 이용하여 저자 작성.

주요국을 중심으로 디지털 혁신기술의 등록 건수 추이를 살펴보면 미국과 EU28의 등록 건수는 증가 추이를 보이는 것과 달리 일본의 등록 건수는 2000년대 이후 3천 5백건 수준에서 정체되어 있다. 한국과 대만 역시 증가 추이를 보이나 한국은 외환위기 이후인 2000년대 초반과 글로벌 금융위기 이후인 2010년대 초반에 오히려 감소 추이를 나타낸다. 다만 한국은 이외 기간에서 등록 건수가 빠르게 증가하여 2010년 이후 평균 등록 건수는 EU28과 비슷한 수준이다. 이외 신흥개도국 중 중국과 인도는 등록 건수가 많지는 않지만 2000년대 중반 이후부터 빠르게 증가하고 있다.

그림 3-6. 주요국의 디지털 혁신기술 등록 건수 추이



주: 주요국에 대한 전체 특허의 등록 건수 추이는 [부록 그림 1-1] 참고.
자료: 미국 특허·상표청(USPTO) DVD롬 자료(검색일: 2018. 4. 9)를 이용하여 저자 작성.

디지털 혁신기술의 변화를 최근(2010~15년) 등록 건수를 이용하여 기술분야별로 비교한 결과 대부분의 기술에서 미국과 일본의 기술 수준이 양적으로 뛰어난 것으로 나타났다. 특히 사물인터넷의 경우 미국의 비중이 85.9%로 매우 높게 나타났다. 한국은 지능형로봇과 클라우드에서 상대적으로 높은 기술 수준을 보유하고 있으며, 인공지능, 사물인터넷, 빅데이터 등에서는 선진국과의 기술차이가 큰 것으로 나타났다. 이외 인공지능은 다양한 국가에서 2%대의 비중을 나타내고 있어 경쟁 정도가 심한 기술분야로 생각된다.

그림 3-7. 최근(2010~15년) 디지털 혁신기술 분야별 등록 건수의 주요국 비중

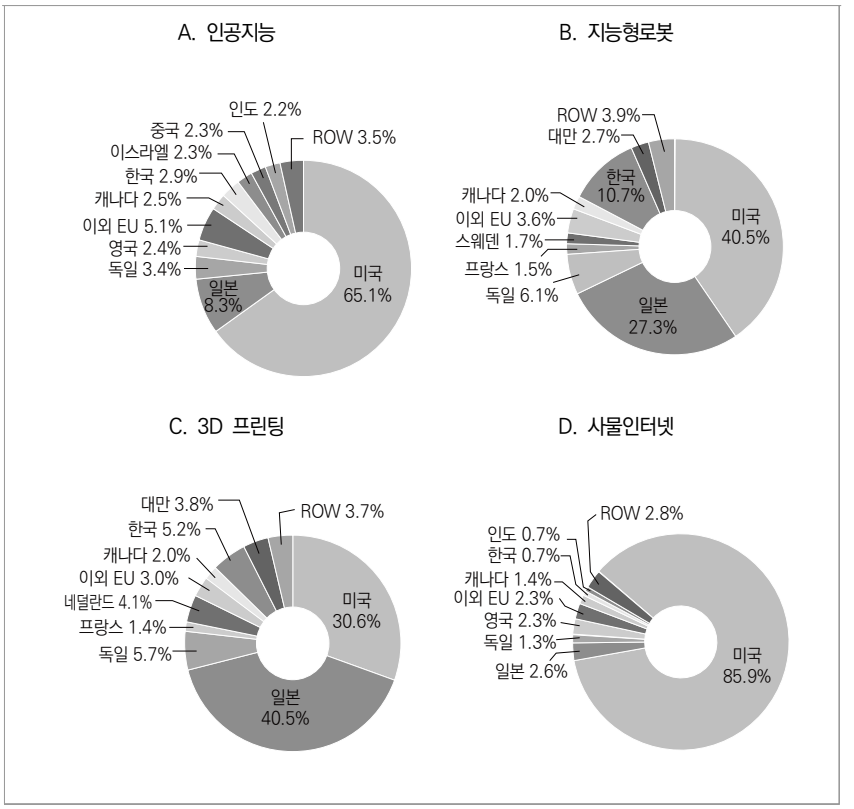
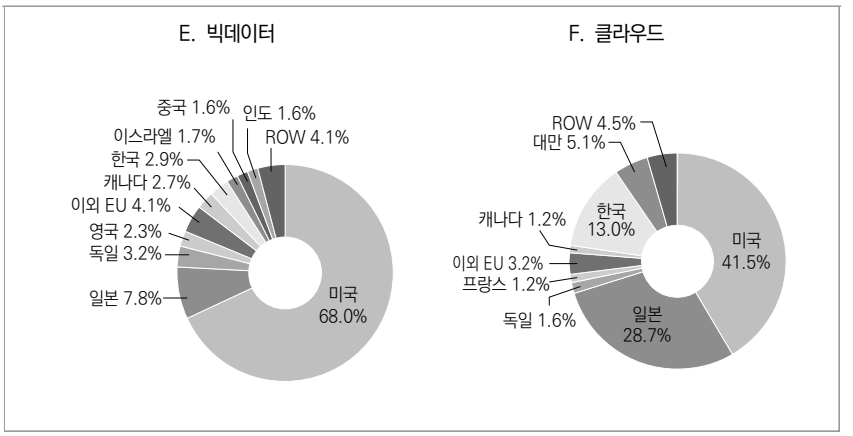


그림 3-7. 계속

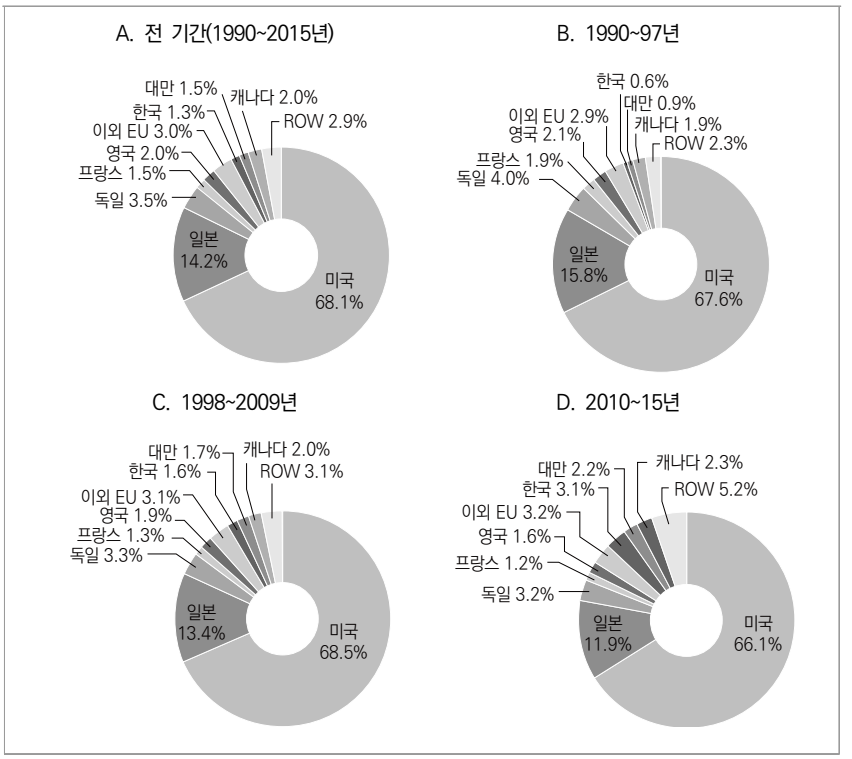


자료: 미국 특허·상표청(USPTO) DVD롬 자료(검색일: 2018. 4. 9)를 이용하여 저자 작성.

피인용 건수는 하나의 특허가 여러 개의 다른 특허에 인용될 수 있으므로 과거부터 특허를 많이 보유하고 있는 국가의 피인용 건수 비중이 높게 나타난다. 이러한 이유에서 피인용 건수 역시 등록 건수와 동일하게 미국의 비중이 높게 나타나고 있다. 피인용 건수에서도 등록 건수에서와 유사하게 미국, 일본, EU28 등 선진국의 비중은 감소하고[49] 한국, 대만, 여타국(ROW) 등 개도국의 비중은 증가하는 양상을 보이고 있다.

49) EU 28개 회원국 비중은 1990~97년 10.9%, 1998~2009년 9.7%, 2010~15년 9.2%로 감소하고 있다 (그림 3-8 참고).

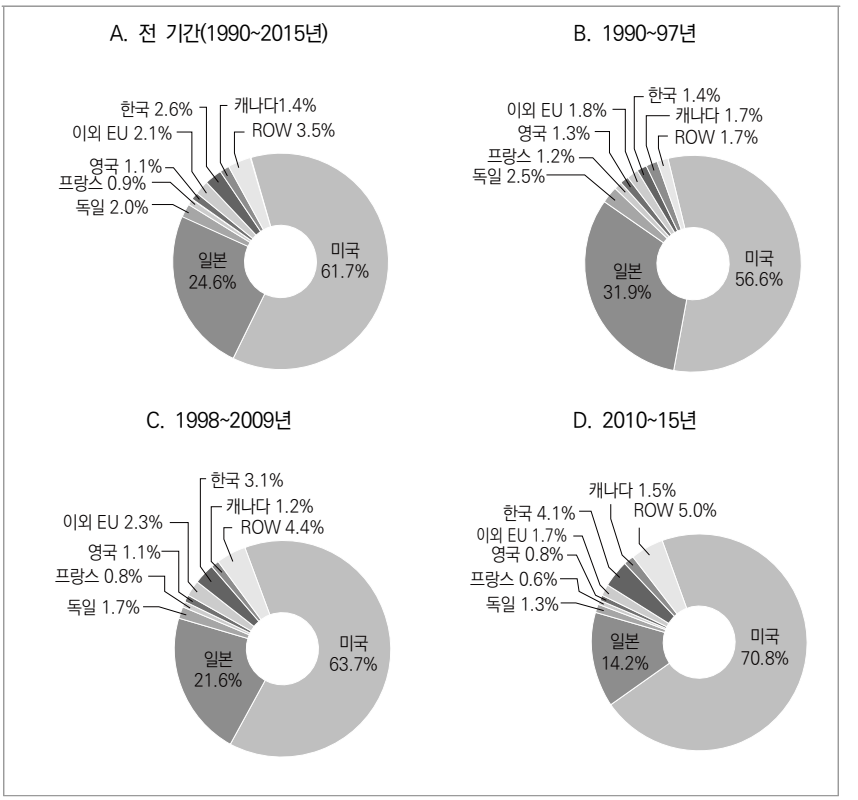
그림 3-8. 전체 피인용 건수의 주요국 비중



자료: 미국 특허·상표청(USPTO) DVD롬 자료(검색일: 2018. 4. 9)를 이용하여 저자 작성.

디지털 혁신기술에 대한 피인용 건수의 국가별 비중은 등록 건수에서와 유사한 추이를 보인다. 다만 미국의 비중이 등록 건수에서보다 더 크고 일본 비중 감소분 대부분이 미국 비중 증가분으로 전환된 것으로 보인다. 한국 비중은 과거(1990~97년) 1.4%로 캐나다(1.7%)보다 적었으나 최근(2010~15년)에는 4.1%로 증가하여 일본(14.2%) 다음으로 높은 비중을 나타낸다.

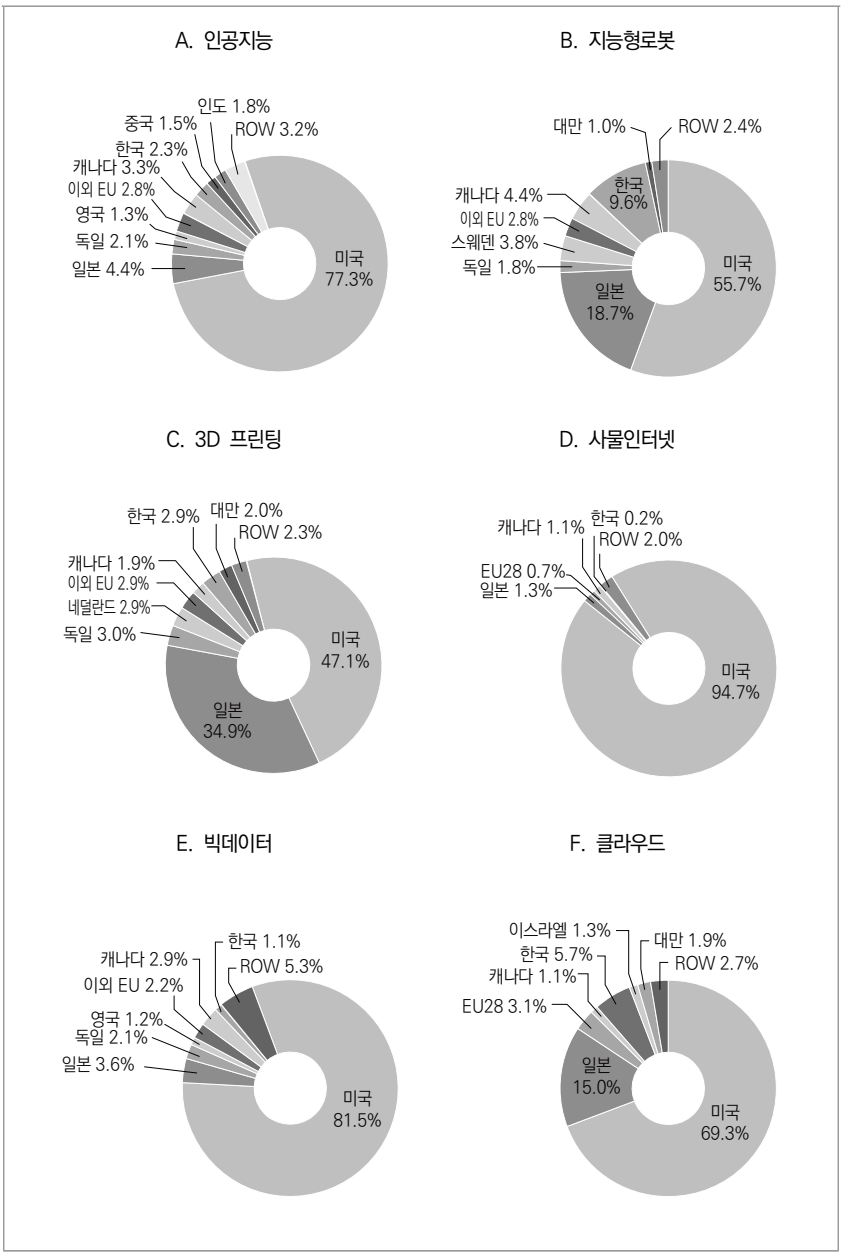
그림 3-9. 디지털 혁신기술 피인용 건수의 주요국 비중



자료: 미국 특허·상표청(USPTO) DVD롬 자료(검색일: 2018. 4. 9)를 이용하여 저자 작성.

최근(2010~15년) 기간 중 피인용 건수를 이용하여 디지털 혁신기술 분야별 주요국 비중을 비교한 결과 등록 건수와 유사한 결과가 나타났다. 즉 미국과 일본의 기술 수준은 질적으로도 뛰어날 뿐만 아니라 미국의 특허는 인공지능, 사물인터넷, 빅데이터, 클라우드에서 특히 더 많이 인용되고 있다. 한국의 특허는 지능형로봇과 클라우드에서 상대적으로 피인용 비중이 높으나 사물인터넷과 빅데이터에 대해서는 피인용 비중이 낮게 나타났다.

그림 3-10. 최근(2010~15년) 디지털 혁신기술 분야별 피인용 건수의 주요국 비중



자료: 미국 특허·상표청(USPTO) DVD롬 자료(검색일: 2018. 4. 9)를 이용하여 저자 작성.

다음으로 특허의 양적 · 질적 수준을 평가하는 H지수를 산출하여 국별 기술 수준을 평가해 보기로 한다. H지수는 피인용 건수가 측정지표로 사용되고 있어 피인용 건수에서와 같이 분석 기간에 따라 영향을 받게 된다. 즉 분석 시점이 과거일수록, 분석 기간이 길어질수록 H지수는 높게 계산되므로 시점별 비교보다는 각 시점에 대한 H지수를 비교하도록 한다.[50]

전체 특허에 대한 H지수는 기존 지표인 등록 건수 및 피인용 건수와 유사하게 분석되었으나 일부 국가에서 기존 지표보다 상대적으로 높은 H지수를 보이고 있다. 즉 기존 지표와 유사하게 선진국 중에서는 미국, 일본, EU28(영국, 독일, 프랑스)의 H지수가, 개도국 중에서는 한국, 대만, 중국, 인도의 H지수가 높게 나타났다. 그러나 EU28의 H지수는 기존 지표와 달리 일본보다 높고, 캐나다와 호주의 H지수 순위는 기존 지표와 비교하여 상대적으로 높게 나타났다. 또한 기존 지표에서 주요국으로 선정되지 못하였던 핀란드와 싱가포르가 H지수에서 주요국으로 선정되는 차이점이 발견되었다.

디지털 혁신기술에 대한 H지수 역시 미국과 일본을 중심으로 높으며, EU28은 일본보다 낮게 계산되었다. 캐나다는 한국과 더불어 모든 분석 기간에서 상위 5개국에 포함되고 있다. 한국의 전체 특허에 대한 H지수의 순위는 1990~97년 12위에서 2010~15년 4위로 증가하였으며, 디지털 혁신기술에 대한 H지수 순위는 1990~97년 5위에서 2010~15년 3위로 증가하였다.[51] 즉 한국의 전체 기술은 양적 · 질적으로 빠르게 성장하고 있으며, 디지털 혁신기술은 과거부터 양적 · 질적으로 높은 수준이었다고 평가할 수 있다.

미국, 일본 등 주요국을 중심으로 디지털 혁신기술 분야별 최근(2010~15년) H지수를 살펴본 결과 모든 기술에서 미국과 일본이 높은 기술 수준을 가지며 다음으로 캐나다의 기술 수준이 높은 것으로 나타났다. 한국은 지능형로봇,

50) 이와 달리 최근 지식재산권 보호 수준이 강화되고 있어 오히려 최근 기간에 피인용 건수가 증가하는 추이를 가질 수 있다.
51) 순위는 EU28, 이외 EU, ROW 등을 제외하고 계산한 것임.

3D 프린팅, 클라우드에서 상위 5개국에 포함되는 기술 수준을 가지며 중국과 인도는 인공지능에서 높은 기술 수준을 가지는 것으로 나타났다.

표 3-2. 기간별 주요국의 H지수

주요 국가	전체 특허 H지수				디지털 혁신기술 H지수			
	1990~97년	1998~2009년	2010~15년	전 기간	1990~97년	1998~2009년	2010~15년	전 기간
미국	515	534	155	607	235	290	77	330
EU28	248	250	69	305	80	102	25	115
영국	163	172	42	207	53	58	12	74
독일	170	166	47	202	46	59	15	67
프랑스	151	145	39	182	45	52	12	65
네덜란드	112	128	28	150	45	50	11	61
스웨덴	110	128	35	146	15	37	8	40
핀란드	71	117	32	128	8	21	9	24
이외 EU	121	149	40	169	35	47	13	57
일본	231	218	64	266	116	116	33	139
캐나다	165	177	51	215	56	67	18	86
이스라엘	113	161	45	178	26	63	17	69
호주	96	125	47	142	15	59	11	60
스위스	112	110	30	141	28	35	9	46
한국	93	125	50	137	46	71	20	75
대만	93	123	41	135	28	61	12	64
싱가포르	45	82	33	87	15	27	8	30
중국	32	59	29	64	4	17	14	19
인도	26	57	29	63	3	16	9	18
ROW	107	121	35	145	26	38	18	44

주: 1) 음영은 EU28, 이외 EU, ROW를 제외한 국가 중 상위 5개국을 표시함.
2) 주요국은 전 기술 H지수를 이용하여 도출하였으며, 디지털 혁신기술에 대한 H지수의 경우 벨기에와 이탈리아의 지수가 특정 기간에서 스웨덴과 핀란드보다 조금 높은 수준으로 나타남.
자료: 미국 특허·상표청(USPTO) DVD롬 자료(검색일: 2018. 4. 9)를 이용하여 저자 작성.

표 3-3. 디지털 혁신기술 분야별 주요국의 H지수 및 순위(2010~15년)

주요 국가	인공지능	지능형로봇	3D 프린팅	사물인터넷	빅데이터	클라우드
미국	30	23	44	47	46	75
EU28	10	9	14	13	15	21
영국	6	3	5	10	10	9
독일	7	5	10	7	9	9
프랑스	6	2	7	4	8	9
네덜란드	3	1	11	2	2	5
스웨덴	6	7	3	3	3	5
핀란드	1	2	1	2	3	6
이외 EU	5	5	6	7	8	11
일본	9	11	26	7	12	28
캐나다	10	9	8	8	12	13
이스라엘	5	4	4	6	7	17
호주	5	1	6	5	8	10
스위스	3	2	4	4	4	7
한국	6	9	10	3	6	19
대만	4	4	7	1	4	12
싱가포르	2	0	3	2	2	6
중국	7	2	3	1	8	12
인도	7	0	3	5	8	5
ROW	4	3	3	6	6	18

주: 음영은 EU28, 이외 EU, ROW를 제외한 국가 중 상위 5개국을 표시함.
자료: 미국 특허·상표청(USPTO) DVD롬 자료(검색일: 2018. 4. 9)를 이용하여 저자 작성.

앞에서 분석한 각 지표에 따르면 최근(2010~15년) 기술의 양적·질적 수준은 전체 특허의 경우 미국, 일본, 독일, 한국, 캐나다를 중심으로, 디지털 혁신기술의 경우 미국, 일본, 한국, 캐나다, 대만을 중심으로 상위 5개국에 포함되었다.

표 3-4. 최근(2010~15년) 지표별 상위 5개 국가

순위	전체 특허			디지털 혁신기술		
	등록	피인용	H지수	등록	피인용	H지수
1	미국	미국	미국	미국	미국	미국
2	일본	일본	일본	일본	일본	일본
3	독일	독일	캐나다	한국	한국	한국
4	한국	한국	한국	대만	캐나다	캐나다
5	대만	캐나다	독일, 호주	독일	대만	이스라엘

자료: 미국 특허·상표청(USPTO) DVD롬 자료(검색일: 2018. 4. 9)를 이용하여 저자 작성.

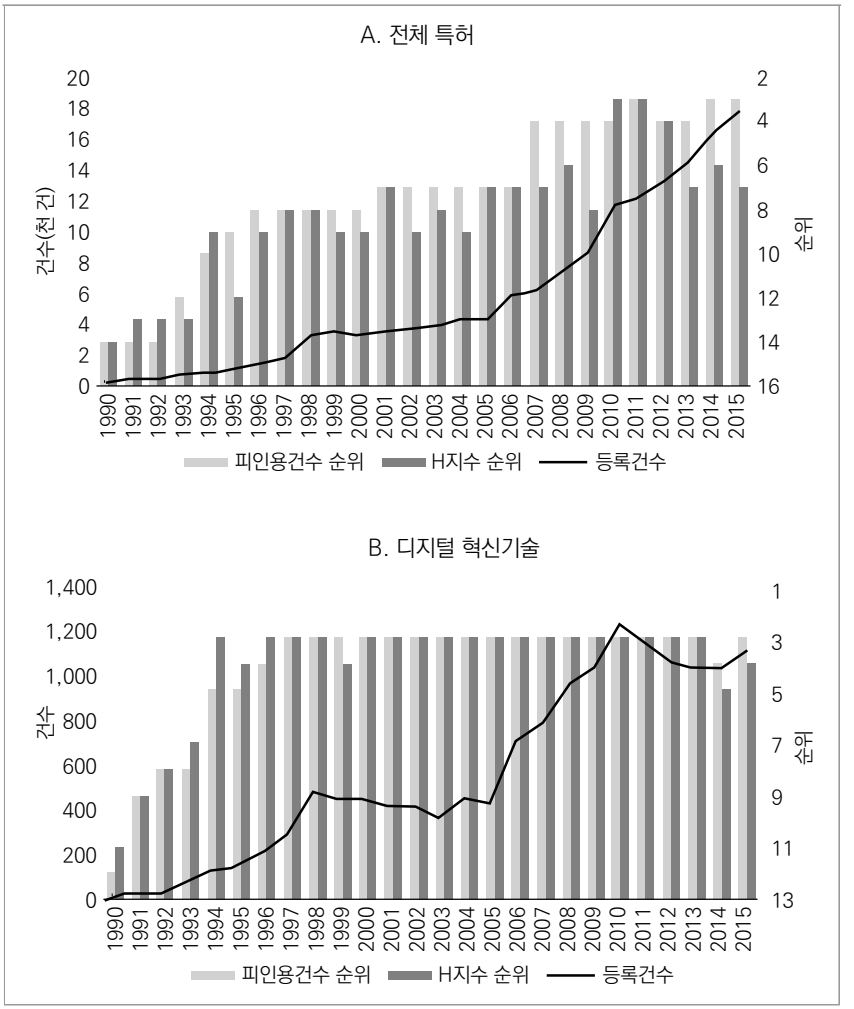
이제 한국의 기술 수준을 보다 자세히 살펴보기 위하여 먼저 전체 특허에 대해 등록 건수, 피인용 건수, H지수를 이용하여 한국의 기술 수준을 평가해보겠다. 한국의 등록 건수(양적 수준)는 꾸준히 증가하는 추이를 보이며, 특히 2006년 이후부터는 보다 빠르게 증가하는 추이를 나타냈다. 피인용 건수(질적 수준) 순위는 1996년 8위로 올라선 후 2006년까지 큰 변화가 없다가 2007년에 4위로 계단형 상승을 한 후 이를 유지하고 있다. H지수(양적·질적 수준) 순위는 피인용 건수 순위와 유사한 추이를 가지나 최근인 2013~15년에 들어 순위가 7위로 하락하는 모습을 보이고 있다.

다음으로 디지털 혁신기술에 대한 등록 건수(양적 수준)는 전반적으로 증가하는 추이를 보이나 전체 특허와 달리 외환위기 이후 기간(1998~2003년)과 글로벌 금융위기 이후 기간(2010~14년)에 감소하는 추이를 보인다. 피인용 건수(질적 수준) 순위는 2014년을 제외하면 1997년 이후 꾸준히 3위를 유지하고 있으며, H지수(양적·질적 수준) 순위는 전체 특허에서와 유사하게 최근인 2014년과 2015년에 각각 5위와 4위로 2000년 이후 유지된 3위에서 소폭 하락하였다.

이를 종합하면 한국의 양적·질적 기술 수준은 꾸준히 향상되고 있으며 최근 기술 수준은 상위권으로 평가할 수 있다. 다만 미국 및 일본과 비교하면 아직까

지는 기술 수준이 상대적으로 낮으며 최근 H지수 순위의 하락과 중국 및 인도의 기술 수준 향상을 고려하면 향후 EU 회원국과 같은 하락을 경험할 수도 있는 상황으로 평가된다.

그림 3-11. 미국 내 특허로 평가한 한국의 기술 수준 추이

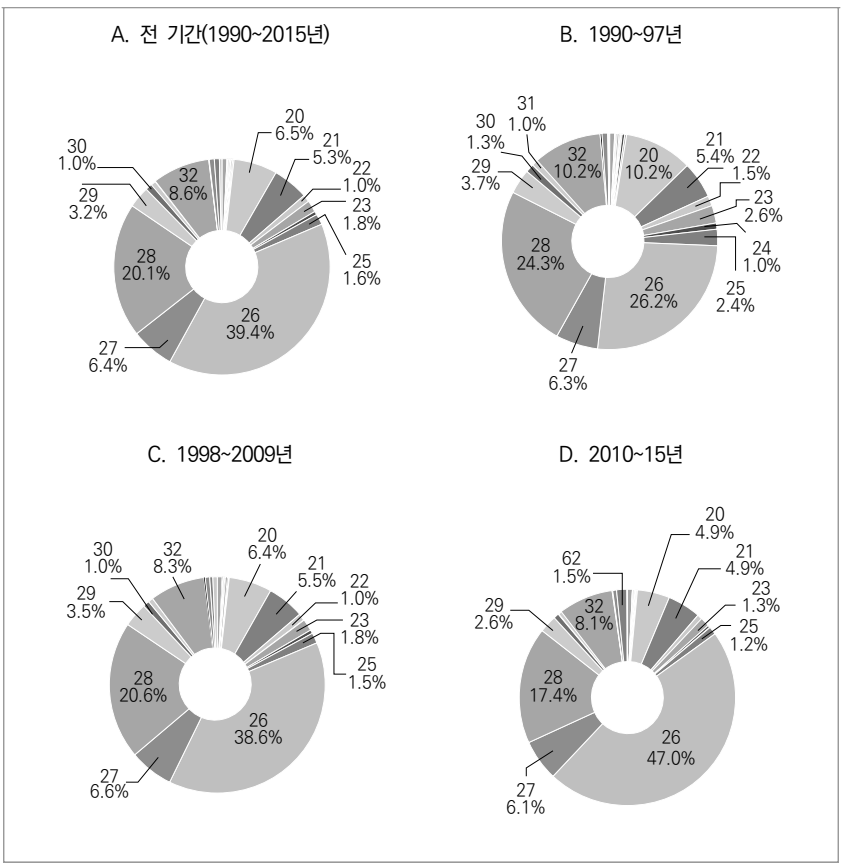


자료: 미국 특허·상표청(USPTO) DVD롬 자료(검색일: 2018. 4. 9)를 이용하여 저자 작성.

3. 산업별 디지털 혁신 수준

본 장의 1절에서 설명한 바와 같이 산업별 디지털 혁신 수준은 하나의 특허가 하나 이상의 산업에 포함되는 경우 해당 산업에 특허 건수를 그대로 적용하

그림 3-12. 전체 등록 건수의 산업별 비중



주: 1) 전체 등록 건수에서 차지하는 비중이 1% 미만인 산업은 표시하지 않음.
2) 표시된 코드에 대한 산업명은 다음과 같음. 20(화학물질 및 화학제품), 21(의료용 물질 및 의약품), 22(고무제품 및 플라스틱 제품), 23(비금속 광물 제품), 24(1차 금속), 25(금속가공 제품), 26(컴퓨터, 전자 및 광학기기), 27(전기장비), 28(기계 및 장비), 29(자동차 및 트레일러), 30(기타 운송장비), 31(가구), 32(기타 제품), 62(컴퓨터 프로그래밍, 시스템 통합 및 관리업).

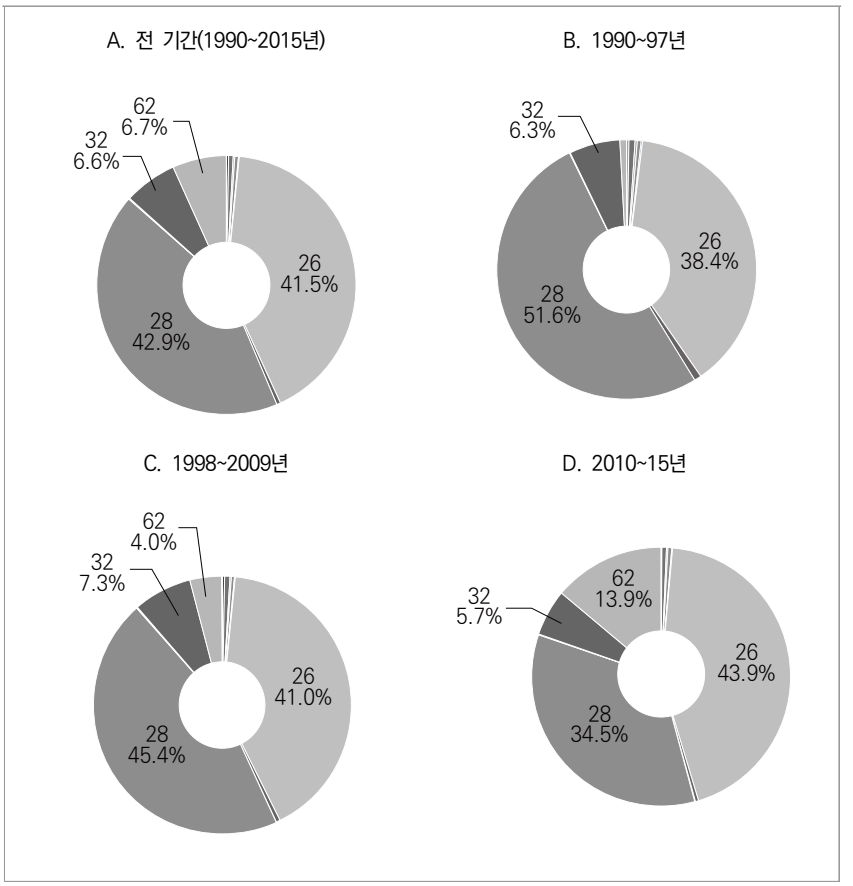
자료: 미국 특허·상표청(USPTO) DVD롬 자료(검색일: 2018. 4. 9)를 이용하여 저자 작성.

는 중복 허용의 경우와 중복되는 산업의 수로 나누어 특허 건수를 계산하는 중복 미허용의 경우로 구분된다. 본 보고서의 본문에는 중복 미허용의 경우를 이용하여 혁신 수준을 설명하고 중복 허용에 해당하는 통계는 부록에 기술하도록 한다.

전체 특허의 경우 전 기간 중 등록 건수가 전체 등록 건수의 5%를 초과하는 산업은 20(화학물질 및 화학제품), 21(의료용 물질 및 의약품), 26(컴퓨터, 전자 및 광학기기), 27(전기장비), 28(기계 및 장비), 32(기타 제품) 등 6개 산업이 있다. 이 중 26(컴퓨터, 전자 및 광학기기)산업의 비중은 증가하는 추이를, 20(화학물질 및 화학제품), 28(기계 및 장비), 32(기타 제품)산업의 비중은 감소하는 추이를 보이며, 21(의료용 물질 및 의약품)과 27(전기장비)산업의 비중은 큰 변화가 없으나 감소하는 추이를 보이고 있다.

디지털 혁신기술에 대한 등록 건수는 전체 특허와 유사하게 26(컴퓨터, 전자 및 광학기기), 28(기계 및 장비), 32(기타 제품), 62(컴퓨터 프로그래밍, 시스템 통합 및 관리업)산업에 집중되어 있으며, 이 중 26(컴퓨터, 전자 및 광학기기)과 62(컴퓨터 프로그래밍, 시스템 통합 및 관리업)산업의 비중은 증가 추이를, 28(기계 및 장비)과 32(기타 제품)산업의 비중은 감소 추이를 보인다. 전체 특허와 다른 점은 최근 기간(2010~15년)에 62(컴퓨터 프로그래밍, 시스템 통합 및 관리업)산업의 비중이 13.9%로 높게 나타나는 것이다.

그림 3-13. 디지털 혁신기술 등록 건수의 산업별 비중



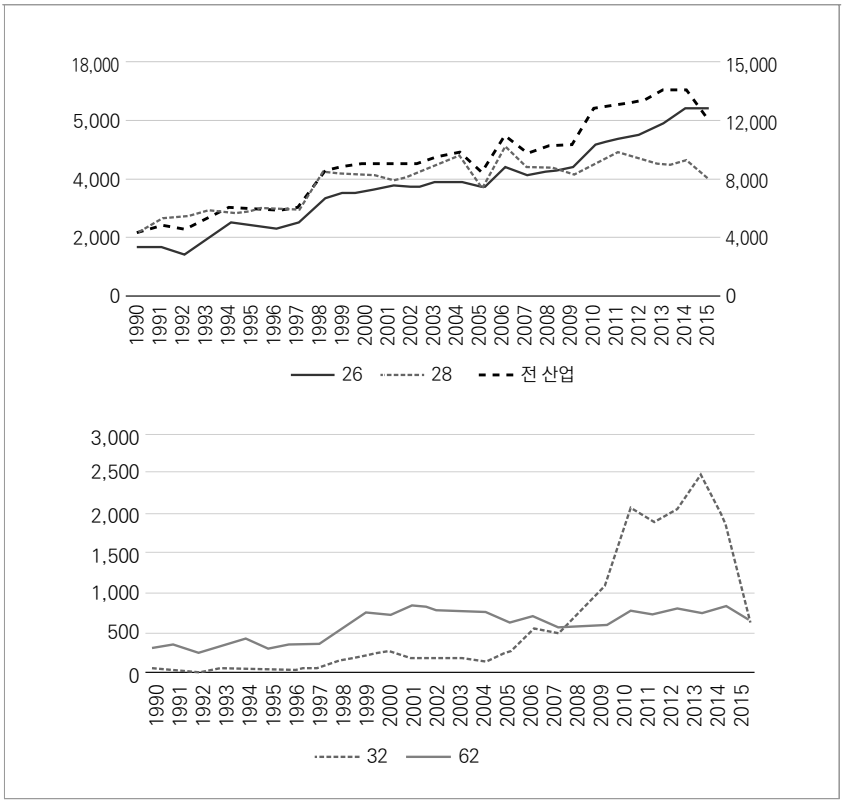
주: 1) 전체 등록 건수에서 차지하는 비중이 1% 미만인 산업은 표시하지 않음.
2) 표시된 코드에 대한 산업명은 다음과 같음. 26(컴퓨터, 전자 및 광학기기), 28(기계 및 장비), 32(기타 제품), 62(컴퓨터 프로그래밍, 시스템 통합 및 관리업).
자료: 미국 특허·상표청(USPTO) DVD롬 자료(검색일: 2018. 4. 9)를 이용하여 저자 작성.

상기 4개 주요 산업에 대한 등록 건수 추이를 살펴본 결과 26(컴퓨터, 전자 및 광학기기)산업의 경우는 전 산업과 유사한 추이를 보이며 증가하고 있다. 이와 달리 28(기계 및 장비)과 32(기타 제품)산업은 2000년대 들어 크게 증가하지 못하고 횡보하면서 최근 기간 이들 산업에 대한 비중 감소가 나타났다. 62

(컴퓨터 프로그래밍, 시스템 통합 및 관리업)산업은 2000년대 중반부터 빠르게 증가하였으나 최근 급감하는 추이를 보였다.

그림 3-14. 디지털 혁신기술 주요 산업의 등록 건수 추이

(단위: 건)

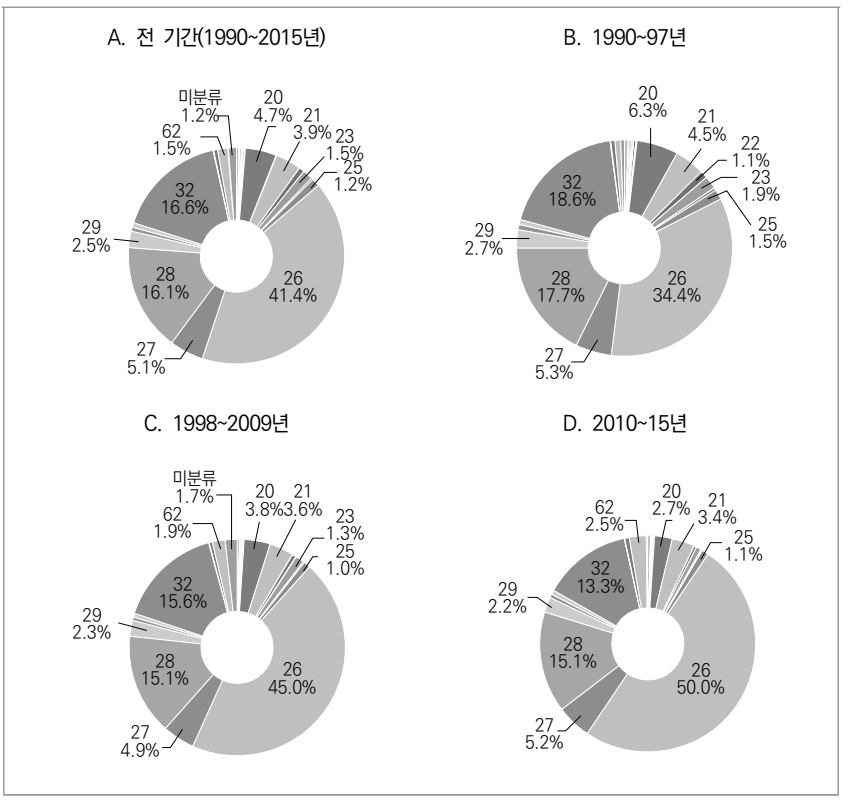


주: 1) 전 산업은 왼쪽, 26과 28산업은 오른쪽임.
2) 표시된 코드에 대한 산업명은 다음과 같음. 26(컴퓨터, 전자 및 광학기기), 28(기계 및 장비), 32(기타 제품), 62(컴퓨터 프로그래밍, 시스템 통합 및 관리업).
자료: 미국 특허·상표청(USPTO) DVD롬 자료(검색일: 2018. 4. 9)를 이용하여 저자 작성.

전체 특허에 대한 피인용 건수 추이는 대체로 등록 건수 추이와 유사하나 28(기계 및 장비)과 32(기타 제품)산업 그리고 20(화학물질 및 화학제품)과 27(전기장비)산업의 순위가 다르고, 20(화학물질 및 화학제품)과 21(의료용

물질 및 의약품)산업의 비중이 5%를 초과하지 못한다는 점에서 다르다. 피인용 건수의 주요 산업으로는 20(화학물질 및 화학제품), 21(의료용 물질 및 의약제품), 26(컴퓨터, 전자 및 광학기기), 27(전기장비), 28(기계 및 장비), 32(기타 제품) 등이 있으며, 이 중 26(컴퓨터, 전자 및 광학기기)산업의 비중은 증가 추이를, 20(화학물질 및 화학제품)과 32(기타 제품)산업은 감소 추이를, 이외 산업의 비중은 감소 추이를 보이나 그 규모는 상대적으로 작다.

그림 3-15. 전체 특허 피인용 건수의 산업별 비중

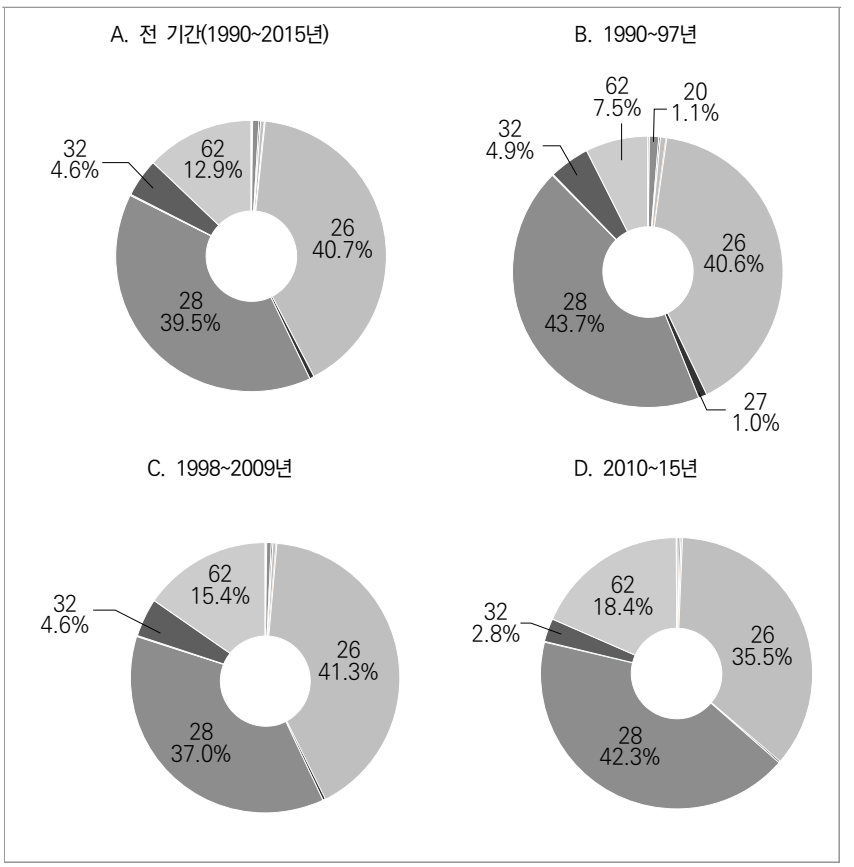


주: 1) 전체 등록 건수에서 차지하는 비중이 1% 미만인 산업은 표시하지 않음.
2) 표시된 코드에 대한 산업명은 다음과 같음. 20(화학물질 및 화학제품), 21(의료용 물질 및 의약품), 22(고무제품 및 플라스틱제품), 23(비금속 광물제품), 25(금속가공제품), 26(컴퓨터, 전자 및 광학기기), 27(전기장비), 28(기계 및 장비), 29(자동차 및 트레일러), 32(기타 제품), 62(컴퓨터 프로그래밍, 시스템 통합 및 관리업).

자료: 미국 특허·상표청(USPTO) DVD롬 자료(검색일: 2018. 4. 9)를 이용하여 저자 작성.

디지털 혁신기술에 대한 피인용 건수는 등록 건수에서와 동일하게 26(컴퓨터, 전자 및 광학기기), 28(기계 및 장비), 32(기타 제품), 62(컴퓨터 프로그래밍, 시스템 통합 및 관리업)산업에 집중되어 있으나, 등록 건수에서와 달리 1990~97년과 비교하여 2010~15년 비중은 62(컴퓨터 프로그래밍, 시스템 통합 및 관리업)산업에서만 증가하였다.

그림 3-16. 디지털 혁신기술 피인용 건수의 산업별 비중



주: 1) 전체 등록 건수에서 차지하는 비중이 1% 미만인 산업은 표시하지 않음.
2) 표시된 코드에 대한 산업명은 다음과 같음. 20(화학물질 및 화학제품), 26(컴퓨터, 전자 및 광학기기), 27(전기장비), 28(기계 및 장비), 32(기타 제품), 62(컴퓨터 프로그래밍, 시스템 통합 및 관리업).
자료: 미국 특허·상표청(USPTO) DVD롬 자료(검색일: 2018. 4. 9)를 이용하여 저자 작성.

마지막으로 산업별 H지수에 의하면 기존 지표인 등록 건수 및 피인용 건수와 비교하여 산업별 순위에서 약간의 차이가 있을 뿐 기술 수준이 높은 산업은 유사하게 도출되고 있다. 전체 특허의 경우 32(기타 제품)와 26(컴퓨터, 전자 및 광학기기)산업의 기술 수준이 가장 높고 다음으로 28(기계 및 장비)과 62(컴퓨터 프로그래밍, 시스템 통합 및 관리업)산업의 기술 수준이 높다. 디지털 혁신기술의 경우 기간에 따라 순위가 변경되지만 26(컴퓨터, 전자 및 광학기기), 28(기계 및 장비), 62(컴퓨터 프로그래밍, 시스템 통합 및 관리업)산업이 1~3위를 차지하고 있다.

다만 H지수에서의 가장 큰 특징은 기존 지표와 달리 서비스업인 62(컴퓨터 프로그래밍, 시스템 통합 및 관리업)산업의 경쟁력이 높게 분석되었다는 점이다. 전체 특허의 경우 전 기간 등록 건수의 62산업 비중은 1% 미만, 피인용 건수의 62산업 비중은 1.5%로 미미한 것과 달리, H지수는 345로 3번째로 높다. 디지털 혁신기술에서는 전 기간 등록 건수의 62산업 비중은 6.7%, 피인용 건수의 62산업 비중은 12.9%로 모두 3위로 높지만 H지수는 271로 가장 높다.

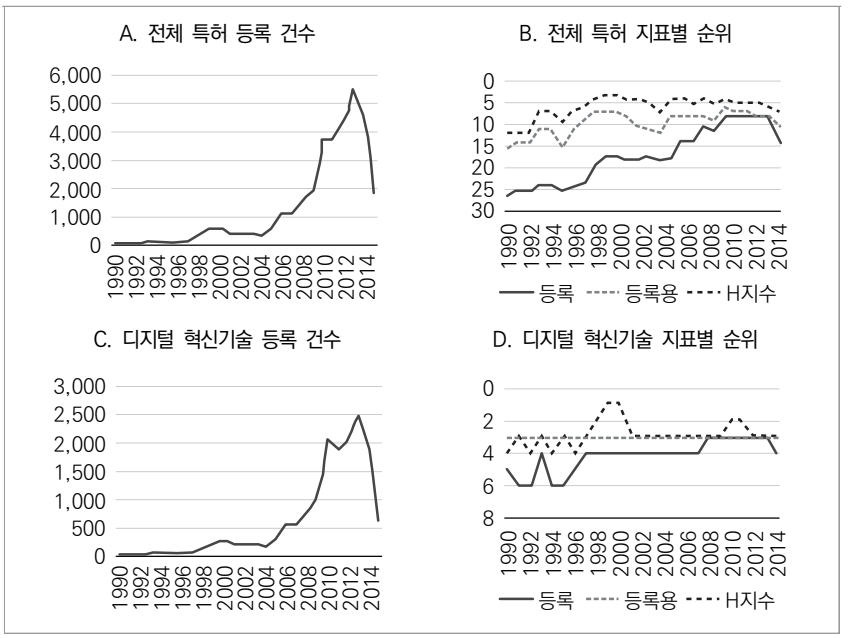
표 3-5. 기간별 주요 산업의 H지수

산업		전체 특허 H지수				디지털 혁신기술 H지수			
코드	산업명	1990~1997년	1998~2009년	2010~2015년	전 기간	1990~1997년	1998~2009년	2010~2015년	전 기간
20	화학제품	170	151	38	198	45.7	40	9.3	55
21	의약품	213	189	45	243	-	-	-	-
26	전자기기	405	433	111	490	171	195	55	232
27	전기장비	163	172	58	197	48	31	7	54
28	기계장비	259	257	88	301	168	175	75	208
32	기타 제품	450	417	135	500	68	77	20	90
62	프로그래밍	206	310	60	345	143	242	49	271

주: 정확한 산업명은 [부록 표 1-1] 참고.
자료: 미국 특허·상표청(USPTO) DVD롬 자료(검색일: 2018. 4. 9)를 이용하여 저자 작성.

기존 지표와 달리 H지수가 높게 분석된 62(컴퓨터 프로그래밍, 시스템 통합 및 관리업)산업의 등록 건수 추이를 살펴본 결과 2005년까지 1천 건 미만이던 62산업의 등록 건수는 2006년 이후부터 빠르게 증가하여 2013년 5,501건으로 증가하였다. 그러나 2014년 4,450건, 2015년 1,873건으로 급격히 하락하는 특이한 현상이 관측되었다. 이러한 추이 변화는 디지털 혁신기술에 포함된 62산업에서도 유사하게 나타나고 있다. 즉 2005년까지 5백 건 미만이던 등록 건수는 2006년 555건으로 늘어난 이후 빠르게 증가하여 2013년 2,484건으로 증가하였으나 2014년 1,849건, 2015년 637건으로 급감한다. 다만 디지털 혁신기술에 포함된 62산업의 등록 건수 · 피인용 건수 · H지수 순위는 과거부터 높게 유지되고 있다는 차이가 있다.

그림 3-17. 62산업(컴퓨터 프로그래밍, 시스템 통합 및 관리업)에 대한 등록 건수 및 지표별 순위 추이



자료: 미국 특허 · 상표청(USPTO) DVD롬 자료(검색일: 2018. 4. 9)를 이용하여 저자 작성.

앞에서 분석한 각 지표에 따르면 최근(2010~15년) 기술의 양적 · 질적 수준 면에서 전체 특허의 경우 26(컴퓨터, 전자 및 광학기기), 28(기계 및 장비), 32(기타 제품)산업을 중심으로 21(의료용 물질 및 의약품), 27(전기장비), 62(컴퓨터 프로그래밍, 시스템 통합 및 관리업)산업이 상위 5개 산업에 포함되었다. 디지털 혁신기술의 경우 26(컴퓨터, 전자 및 광학기기), 28(기계 및 장비), 62(컴퓨터 프로그래밍, 시스템 통합 및 관리업)산업이 주요 산업으로 도출되었으며, 32(기타 제품)와 20(화학물질 및 화학제품)산업이 상위 5개 산업에 포함되었다.

표 3-6. 최근(2010~15년) 지표별 상위 5개 산업

순위	전체 특허			디지털 혁신기술		
	등록	피인용	H지수	등록	피인용	H지수
1	26(전자기기)	26(전자기기)	32(기타제품)	26(전자기기)	28(기계장비)	28(기계장비)
2	28(기계장비)	28(기계장비)	26(전자기기)	28(기계장비)	26(전자기기)	26(전자기기)
3	32(기타제품)	32(기타제품)	28(기계장비)	62(프로그래밍)	62(프로그래밍)	62(프로그래밍)
4	27(전기장비)	27(전기장비)	62(프로그래밍)	32(기타제품)	32(기타제품)	32(기타제품)
5	21(의약품)	21(의약품)	27(전기장비)	20(화학제품)	20(화학제품)	20(화학제품)

주: 정확한 산업명은 [부록 표 1-1] 참고.
자료: 미국 특허 · 상표청(USPTO) DVD롬 자료(검색일: 2018. 4. 9)를 이용하여 저자 작성.

다음으로 주요 산업 중 최근(2010~15년)에 특허 등록을 활발히 하는 상위 10대 기업을 살펴본 결과 산업별로 20(화학물질 및 화학제품)은 바스프(독일)가, 21(의료용 물질 및 의약품)은 NOVARTIS AG(스위스)가, 26(컴퓨터, 전자 및 광학기기)은 IBM(미국)이, 27(전기장비)은 삼성SDI(한국)가, 28(기계 및 장비)은 캐논(일본)이, 32(기타 제품)는 Boston Scientific Scimed(미국)가, 62(컴퓨터 프로그래밍, 시스템 통합 및 관리업)는 IBM(미국)이 가장 많은 특허를 보유하고 있는 것으로 나타났다.

한국기업은 삼성전자, 삼성SDI, LG전자, LG화학 등 4개 기업만이 상위 10대 기업에 포함되었으며, 26(컴퓨터, 전자 및 광학기기), 27(전기장비), 28(기

계 및 장비)산업에서 특허를 다수 보유하고 있다. 특히 26(컴퓨터, 전자 및 광학기기)과 28(기계 및 장비)산업은 삼성전자가 높은 순위를 유지하고 있으며, 27(전기장비)산업에서는 삼성전자, 삼성SDI, LG전자 등 다수의 한국기업이 상위 10대 기업에 포함되어 있다.

표 3-7. 최근(2010~15년) 전체 특허의 주요 산업별 상위 10대 등록기업

A. 20산업(화학물질 및 화학제품)

순위	기업명	등록 건수
1	BASF SE	1,717
2	DU PONT	893
3	DOW GLOBAL Technologies	804
4	EXXONMOBIL Chemical	782
5	UOP	648
6	P&G	565
7	SUMITOMO Chemical	507
8	FUJIFILM	457
9	3M Innovative Properties	445
10	LG Chemical	392
합계		7,209

B. 26산업(컴퓨터, 전자 및 광학기기)

순위	기업명	등록 건수
1	IBM	35,585
2	SAMSUNG Electronics	22,566
3	MICROSOFT	12,036
4	SONY	11,982
5	CANON	10,507
6	TOSHIBA	10,458
7	QUALCOMM	9,849
8	PANASONIC	8,745
9	INTEL	8,525
10	FUJITSU	8,165
합계		138,417

C. 27산업(전기장비)

순위	기업명	등록 건수
1	SAMSUNG SDI	1,939
2	HON HAI PRECISION IND.	1,658
3	TOYOTA JIDOSHA K.K.	1,442
4	PANASONIC	1,371
5	GE	1,252
6	GM Global Tech. Operations	1,209
7	LG Electronics	1,145
8	SAMSUNG Electronics	1,098
9	DENSO CORPORATION	852
10	HONDA Motor	804
합계		12,769

D. 28산업(기계 및 장비)

순위	기업명	등록 건수
1	CANON	8,478
2	RICOH	5,010
3	SEIKO EPSON	4,503
4	SAMSUNG Electronics	4,237
5	BROTHER	4,229
6	GE	3,650
7	XEROX	3,298
8	SONY	2,825
9	TOSHIBA	2,675
10	FUJI XEROX	2,584
합계		41,489

표 3-7. 계속

E. 32산업(기타제품)

순위	기업명	등록 건수
1	BOSTON SCIENTIFIC SCIMED	1,975
2	COVIDIEN LP	1,926
3	ETHICON	1,066
4	WARSAW ORTHOPEDIC	1,062
5	MEDTRONIC INC.	857
6	IGT	821
7	TYCO Healthcare	788
8	COOK Medical	765
9	P&G	712
10	FUJIFILM	694
합계		10,666

F. 62산업(컴퓨터 프로그래밍 등)

순위	기업명	등록 건수
1	IBM	1,096
2	GOOGLE	530
3	AMAZON Technologies	524
4	SAP	438
5	TRADING Tech. Int.	403
6	EBAY INC.	400
7	BANK OF AMERICA	392
8	AMERICAN EXPRESS*	317
9	JP MORGAN CHASE	308
10	MICROSOFT	291
합계		4,698

주: 1) AMERICAN EXPRESS*는 AMERICAN EXPRESS TRAVEL RELATED SERVICES를 의미함.
2) 음영은 한국기업을 표시한 것이며, 등록 건수는 반올림한 값임.
자료: 미국 특허·상표청(USPTO) DVD롬 자료(검색일: 2018. 4. 9)를 이용하여 저자 작성.

이외 2011~16년 중 4차 산업혁명에 관련된 특허 출원이 많은 상위 25대 기업을 조사한 EPO(2017, p. 57)에 의하면 한국의 삼성그룹과 LG그룹은 각각 1,634건과 1,125건의 특허를 유럽특허청에 출원하여 1위와 2위 기업에 선정되었다.

4. 주요국의 산업별 디지털 혁신 수준

국가별 디지털 혁신 수준에서 살펴본 바와 같이 미국과 일본의 기술 수준은 한국보다 높은 것으로 평가되었으며, 대만은 우리와 비슷한 기술 수준을, 중국과 인도의 기술 수준은 한국을 빠르게 추격하는 것으로 분석되었다. 여기서는 디지털 혁신기술에 있어서 한국의 기술 수준이 어느 산업을 중심으로 이들 국

가와 차이가 나며, 또한 좁혀지고 있는지를 최근 기간인 2010~15년을 기준으로 살펴보도록 한다.

2010~15년 주요국의 산업별 디지털 혁신 수준에 따르면 분석지표에 따라 순위의 차이는 있으나 주요국 모두 26(컴퓨터, 전자 및 광학기기)과 28(기계 및 장비)산업에 대한 기술 수준이 높은 것으로 분석되고 있다. 특히 미국과 인도는 62(컴퓨터 프로그래밍, 시스템 통합 및 관리업)산업에 대한 기술 수준이 높으며, 일본, 한국, 대만, 중국은 32(기타 제품)산업에 대한 기술 수준이 높다. 디지털 혁신기술에 대한 한국의 기술 수준은 모든 산업에서 미국 및 일본과 중국 및 인도 사이에 위치하고 있다. 미국과 일본이 26과 28산업에 대한 기술 수준이 높은 만큼 한국 역시 지금과 같이 이들 산업의 기술개발에 집중해야할 필요가 있는 것으로 파악된다.

이외에 62(컴퓨터 프로그래밍, 시스템 통합 및 관리업)산업의 경우 산업별 디지털 혁신 수준에서 살펴본 바와 같이 산업 비중이 증가하고 있는 산업으로 디지털 혁신기술에서 차지하는 중요도 또한 높아지고 있다고 볼 수 있다. 그러나 한국의 62(컴퓨터 프로그래밍, 시스템 통합 및 관리업)산업에 대한 기술 수준은 다른 산업에 비해 미국과의 차이가 크고, 인도보다 뒤처져 있다. 따라서 디지털 혁신기술의 기술 수준 향상을 위해서는 62(컴퓨터 프로그래밍, 시스템 통합 및 관리업)산업에 주목할 필요가 있다.

마지막으로 주요국의 디지털 혁신기술 분야별 기술 수준을 살펴본 결과 한국은 인공지능, 사물인터넷, 빅데이터 기술에서 미국과의 기술격차가 다른 기술보다 상대적으로 큰 것으로 나타났으며, 중국 및 인도와 유사한 기술 수준을 보이고 있다. 특히 사물인터넷과 빅데이터의 경우 중국 및 인도보다 뒤처져 있는 지표도 있어 4차 산업혁명에 뒤처지지 않기 위해서는 위의 3개 기술에 대한 연구개발이 지금보다 활발히 이뤄져야 할 것으로 판단된다.

표 3-8. 최근(2010~15년) 디지털 혁신기술에 대한 주요국의 산업별 기술 수준

A. 등록 건수

주요 산업		미국	일본	한국	대만	중국	인도
코드	산업명						
20	화학제품	207	135	31	21	6	1
26	전자기기	14,376	8,314	4,730	1,655	405	340
27	전기장비	177	67	33	43	14	0
28	기계장비	11,010	10,237	1,245	786	272	39
32	기타제품	1,437	1,703	431	345	51	1
62	프로그래밍	9,413	245	63	26	28	75
전 산업		36,939	20,889	6,591	2,909	792	456

B. 피인용 건수

주요 산업		미국	일본	한국	대만	중국	인도
코드	산업명						
20	화학제품	359	81	19	17	2	0
26	전자기기	30,352	9,996	5,159	1,604	286	355
27	전기장비	208	39	9	12	3	0
28	기계장비	50,123	9,773	760	309	364	27
32	기타제품	1,887	1,637	229	203	15	0
62	프로그래밍	25,949	299	108	10	13	107
전 산업		109,420	21,912	6,309	2,165	682	489

C. H지수

주요 산업		미국	일본	한국	대만	중국	인도
코드	산업명						
20	화학제품	8.3	3.0	2.7	1.0	1.0	0.0
26	전자기기	49.0	25.0	19.0	12.0	8.0	8.0
28	전기장비	75.0	23.0	9.0	5.0	12.0	3.0
32	기계장비	16.0	14.0	5.0	5.0	2.0	0.0
62	기타제품	48.0	9.0	4.0	2.0	2.0	6.0

주: 값은 반올림한 것이며, 음영은 상위 산업을 표시함. 정확한 산업명은 [부록 표 1-1] 참고.
자료: 미국 특허·상표청(USPTO) DVD롬 자료(검색일: 2018. 4. 9)를 이용하여 저자 작성.

표 3-9. 최근(2010~15년) 디지털 혁신기술 분야별 주요국의 기술 수준

A. 등록 건수

기술유형	미국	일본	한국	대만	중국	인도
인공지능	3,758	481	168	52	131	126
지능형로봇	867	585	230	57	24	4
3D 프린팅	6,481	8,578	1,111	812	219	22
사물인터넷	8,338	251	67	17	23	71
빅데이터	8,462	969	362	145	202	198
클라우드	15,488	10,713	4,862	1,903	340	197

B. 피인용 건수

기술유형	미국	일본	한국	대만	중국	인도
인공지능	8,564	488	259	47	169	195
지능형로봇	2,446	823	421	42	8	0
3D 프린팅	9,198	6,812	576	395	40	37
사물인터넷	22,980	307	46	5	12	89
빅데이터	20,530	913	277	57	230	268
클라우드	61,495	13,319	5,023	1,675	395	120

C. H지수

기술유형	미국	일본	한국	대만	중국	인도
인공지능	30	9	6	4	7	7
지능형로봇	23	11	9	4	2	0
3D 프린팅	44	26	10	7	3	3
사물인터넷	47	7	3	1	1	5
빅데이터	46	12	6	4	8	8
클라우드	75	28	19	12	12	5

주: 값은 반올림한 것임.
자료: 미국 특허·상표청(USPTO) DVD롬 자료(검색일: 2018. 4. 9)를 이용하여 저자 작성.

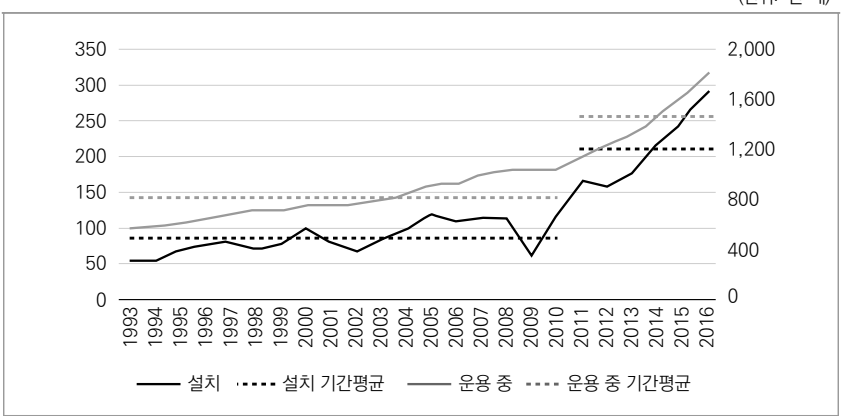
5. 혁신기술 활용 수준

가. 산업용 로봇 활용 수준

산업용 로봇은 전반적으로 증가하는 추이를 보이며, 2011년 이후부터는 보다 빠른 증가 추이를 보인다. 실제로 1993~2010년까지 전 세계적으로 약 8만 6천 대가 설치되었던 것이 2011년 이후 빠르게 증가하여 2011~16년 중 평균 설치대수는 21만 2천 대로 2.5배 증가하였다. 운용되는 평균 로봇의 수 역시 1993~2010년 79만 9천 대에서 2011~16년 144만 2천 대로 1.8배 증가하였다.

그림 3-18. 산업용 로봇 사용 현황

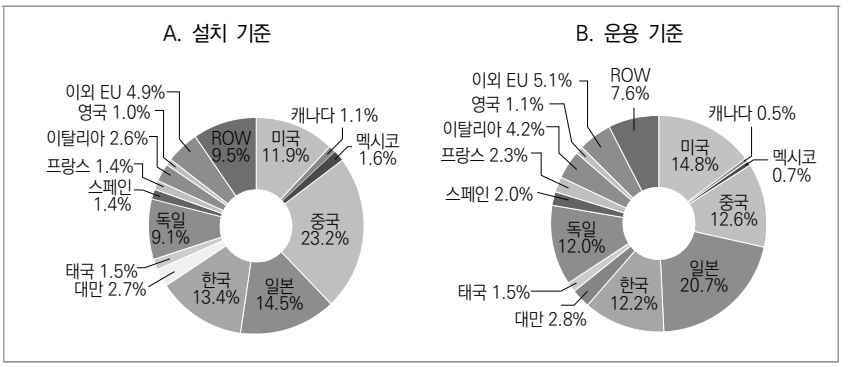
(단위: 천 대)



주: 설치 및 설치 기간평균은 왼쪽, 운용 중 및 운용 중 기간평균은 오른쪽임.
자료: World Robotics, https://my.worldrobotics.org/(검색일: 2018. 7. 16) 자료를 이용하여 저자 작성.

2011~16년 중 산업용 로봇을 많이 사용하는 상위 5개국을 살펴본 결과 중국, 일본, 한국, 미국, 독일 순으로 많은 로봇이 설치되어 있으며, 일본, 미국, 중국, 한국, 독일 순으로 로봇을 많이 운용하고 있다. 이들 상위 5개국에는 최근(2011~16년)에 설치된 전 세계 산업용 로봇의 72.1%가 설치되었으며, 전 세계에서 운용 중인 로봇의 72.2%가 운용되고 있다.

그림 3-19. 최근(2011~16년) 산업용 로봇 사용 주요국 비중

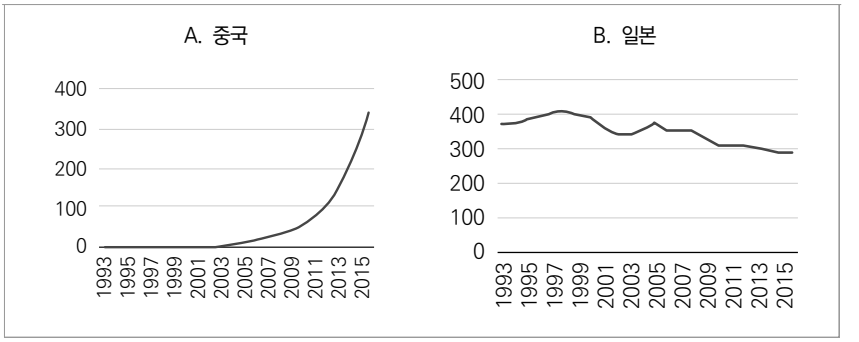


자료: World Robotics, https://my.worldrobotics.org/(검색일: 2018. 7. 16) 자료를 이용하여 저자 작성.

산업용 로봇 설치 대수는 일본을 제외한 모든 주요국에서 증가하는 추이를 보이고 있으며, 운용 중인 로봇 역시 일본을 제외하고 모두 증가 추이를 나타낸다.[52] 특히 중국이 운용 중인 로봇은 2005년 처음으로 1만 대를 초과한 이후 2013년 10만 대를 초과하였으며 2016년 현재 34만 대를 기록할 만큼 빠르게 증가하고 있다.

그림 3-20. 주요국의 산업용 로봇 운용 현황

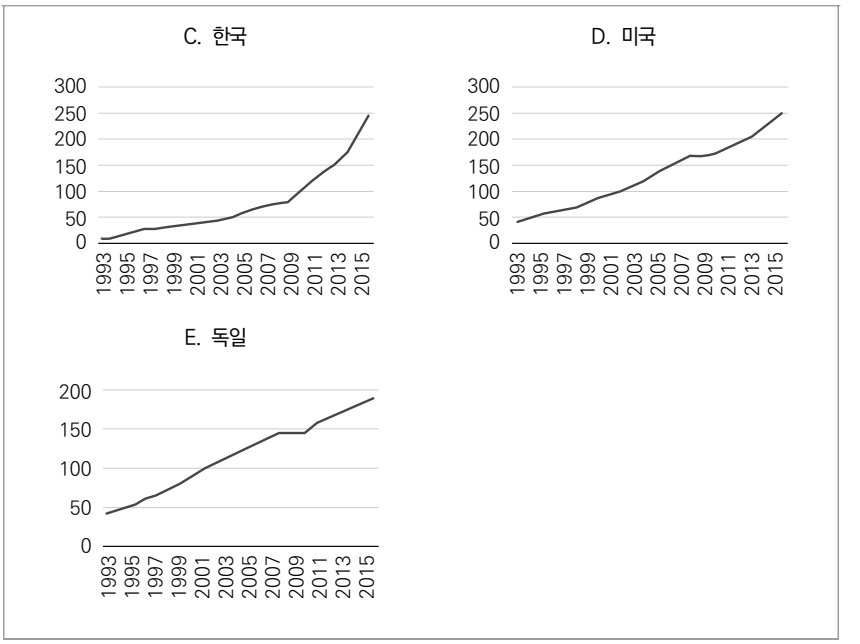
(단위: 천 대)



52) 주요국의 산업용 로봇 설치 현황은 [부록 그림 1-12] 참고.

그림 3-20. 계속

(단위: 천 대)

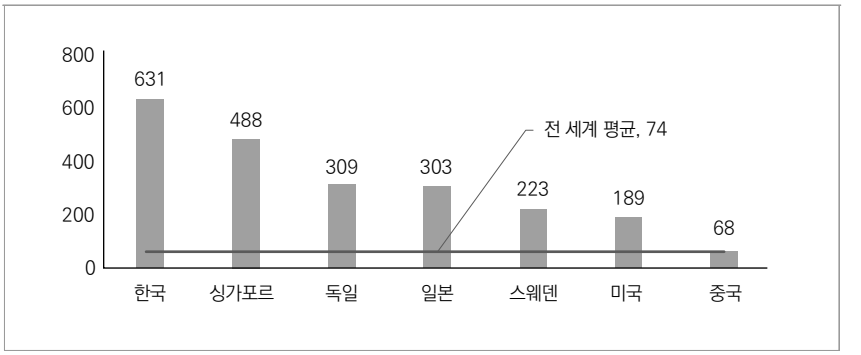


자료: World Robotics, https://my.worldrobotics.org/(검색일: 2018. 7. 16) 자료를 이용하여 저자 작성.

다만 근로자 1만 명당 운용 중인 로봇의 수는 2016년 현재 한국, 싱가포르, 독일, 일본, 스웨덴에서 높게 나타나고 있으며 중국은 전 세계 평균인 74대보다 낮은 68대를 기록하고 있다. 따라서 향후 중국의 산업용 로봇에 대한 잠재수요는 여타국에 비해 높다고 평가할 수 있다.

이상을 정리하면 한국은 3위 로봇 설치국이며, 4위 로봇 운용국으로 산업용 로봇 이용이 활발한 국가 중 하나이다. 특히 한국은 근로자 1만 명당 운용 중인 로봇의 수가 2016년 631대로 전 세계에서 가장 많다. 설치되는 로봇의 수는 2009년까지 매년 1만 대 전후 수준이었으나 2010년에 2만 4천 대로 증가한 이후 빠르게 증가하여 2016년에는 4만 1천 대가 설치되었다(부록 그림 1-12 참고). 운용 중인 로봇의 수는 2009년 7만 9천 대까지 꾸준히 증가하였으며, 이후 보다 빠르게 증가하여 2016년 현재 24만 6천 대가 운용 중에 있다.

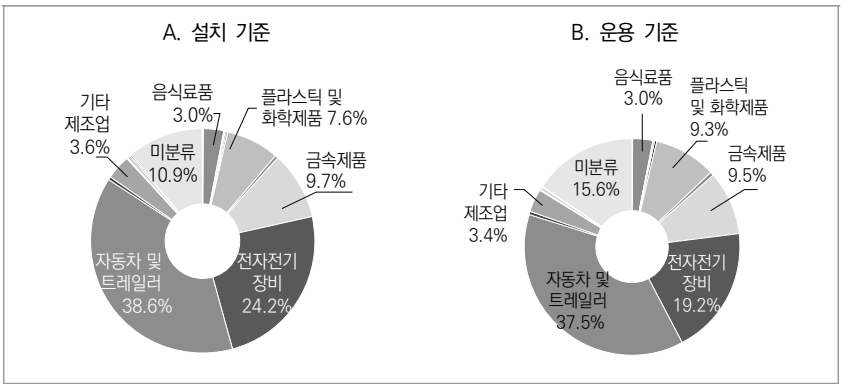
그림 3-21. 2016년 기준 근로자 1만 명당 운용 로봇 수



자료: IFR(2017, p. 69)의 [그림 2-9]와 [그림 2-10]을 이용하여 저자 작성.

마지막으로 최근(2011~16년) 전 세계 설치 및 운용 중인 로봇의 산업별 비중을 살펴본 결과 설치된 로봇의 88.1%, 운용 중인 로봇의 83.6%가 제조업에 사용될 만큼 상업용 로봇의 상당수는 제조업에 집중되어 있으며, 특히 자동차 및 트레일러, 전자전기장비, 금속제품, 플라스틱 및 화학제품 등의 제조업에 다수 사용되고 있다.

그림 3-22. 최근(2011~16년) 전 세계 산업용 로봇 사용 주요 산업 비중



주: 비중이 1% 미만인 산업은 표시하지 않음.
자료: World Robotics, https://my.worldrobotics.org/(검색일: 2018. 7. 16) 자료를 이용하여 저자 작성.

산업별 사용 비중을 주요국에 대해서 살펴본 결과 한국을 제외한 주요국 모두는 자동차 및 트레일러와 전기전자장비 순으로 다수의 로봇을 사용하고 있는 것과 달리 한국은 전자전기장비와 자동차 및 트레일러 순으로 로봇 사용이 많다. 그리고 한국은 상기 언급한 2개 산업 외에는 사용 비중이 낮은 것과 달리 다른 주요국은 플라스틱 및 화학제품과 금속제품에서도 로봇 사용 비중이 높게 나타난다는 차이점을 보인다.

그림 3-23. 최근(2011~16년) 주요국에서 운용 중인 로봇의 산업별 비중

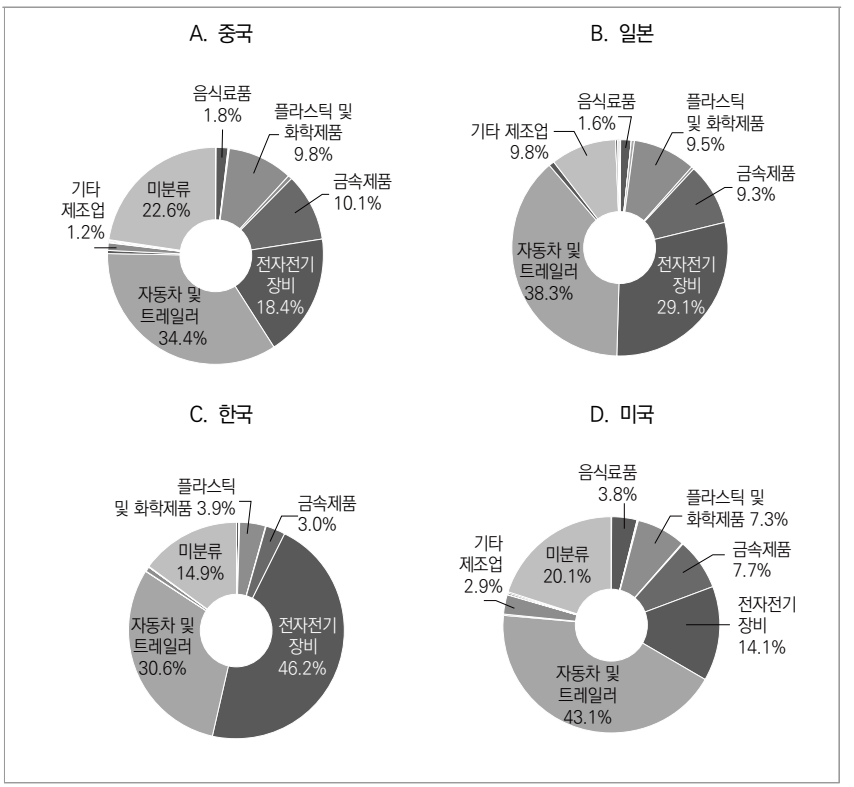
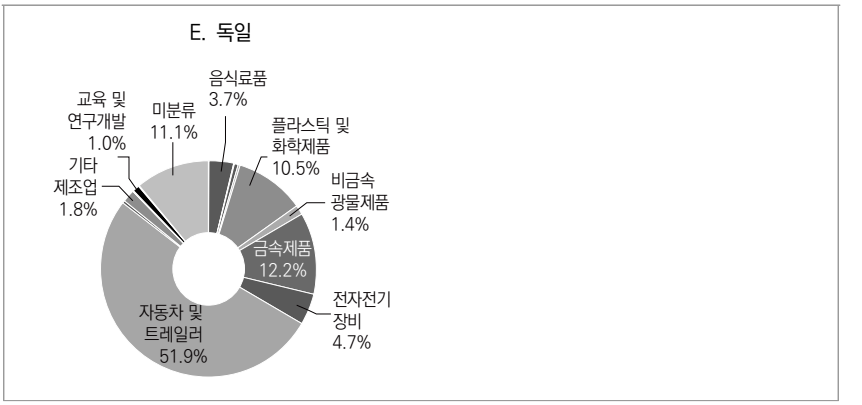


그림 3-23. 계속



주: 비중이 1% 미만인 산업은 표시하지 않았으며, 설치 로봇에 대한 비중은 [부록 그림 1-13] 참고.
자료: World Robotics, https://my.worldrobotics.org/(검색일: 2018. 7. 16) 자료를 이용하여 저자 작성.

나. 기업의 ICT 기술 활용 수준

OECD.Stat에서는 정보통신기술(ICT: Information and Communication Technology)을 활용하는 기업의 비중을 근로자 수가 10인 이상인 기업을 대상으로 국가별로 제시하고 있다. 다만 OECD.Stat의 자료는 ICT 항목에 따라 제공되는 국가가 다르며 유럽국가를 중심으로 자료가 정리되어 있어 앞에서 분석한 주요국과 비교하기가 불가능하다.

따라서 본 연구에서는 기업의 ICT 기술 활용 수준을 평가하기 위하여 ICT 기술을 기반으로 하는 전사적 자원관리(ERP)[53] 및 고객관계관리(CRM)[54] 시

53) 전사적 자원관리(ERP: Enterprise Resource Planning)는 회사의 모든 정보뿐만 아니라, 공급 사슬 관리, 고객의 주문정보까지도 포함하여 통합적으로 관리하는 시스템을 말한다(Wikipedia, https://ko.wikipedia.org/wiki/%EC%A0%84%EC%82%AC%EC%A0%81_%EC%9E%90%EC%9B%90_%EA%B4%80%EB%A6%AC, 검색일: 2018. 7. 18).

54) 고객관계관리(CRM: Customer Relationship Management)는 소비자들을 자신의 고객으로 만들고 이를 장기간 유지하기 위해 고객, 판매자, 협력자와 내부정보를 분석 · 저장하는 시스템을 말한다(Wikipedia, https://ko.wikipedia.org/wiki/%EA%B3%A0%EA%B0%9D_%EA%B4%80%EA%B3%84_%EA%B4%80%EB%A6%AC, 검색일: 2018. 7. 18).

스템과 RFID[55] 기술의 사용 현황을 비교하도록 한다. 분석 결과에 의하면 ERP 및 CRM 시스템은 평균적으로 약 30%의 기업이 사용 중에 있으며, RFID 기술은 13%의 기업만이 사용하고 있어 전반적으로 보급 수준이 높은 편은 아닌 것으로 나타난다. 특히 RFID의 경우 한국을 제외하면 대부분의 상위국에서도 이용 비중이 20% 미만으로 보급 수준이 낮다. 특이한 점은 각 기업 관리 프로그램별로 이용률이 높은 국가가 다수 중복되는 것과 달리 한국은 RFID 기술에 있어서만 이용률이 높게 나타나고 있음을 알 수 있다.

표 3-10. 기업 관리 프로그램을 이용하는 기업 비중

(단위: %)

ERP 소프트웨어 이용			CRM 소프트웨어 이용			RFID 기술 이용		
순위	국가	비중	순위	국가	비중	순위	국가	비중
1	벨기에	54.0	1	네덜란드	47.4	1	한국	41.8
2	네덜란드	48.0	2	독일	47.0	2	핀란드	22.9
3	리투아니아	46.7	3	벨기에	43.2	3	벨기에	20.5
4	스페인	46.0	4	오스트리아	42.8	4	오스트리아	19.2
5	룩셈부르크	40.6	5	룩셈부르크	39.5	5	룩셈부르크	18.1
6	덴마크	40.5	6	핀란드	38.6	6	네덜란드	18.0
7	오스트리아	40.4	7	스페인	37.0	7	슬로바키아	17.8
8	포르투갈	39.9	8	덴마크	35.6	8	독일	15.5
9	핀란드	38.6	9	스웨덴	35.1	9	슬로베니아	14.8
10	프랑스	38.1	10	노르웨이	34.8	10	스페인	14.7
14	한국	35.9	29	한국	15.4			
단순평균		32.4	단순평균		29.2	단순평균		12.9

주: 1) 근로자가 10인 이상인 기업이 대상임.
2) 비중은 국가별 최근 자료를 이용하였으며, 단순평균은 자료 제공국 전체에 대한 평균임.
3) 음영은 모든 기업 관리 프로그램에서 상위 10위국에 해당한 국가를 표시함.

자료: OECD.Stat(https://stats.oecd.org/, 검색일: 2018. 7. 18)의 Information and Communication Technology 자료를 이용하여 저자 정리.

55) RFID(Radio-Frequency Identification)는 주파수를 이용하여 무선으로 ID를 식별하는 시스템으로 먼 거리에서 정보를 인식할 수 있으며, 일명 전자태그로 불린다(Wikipedia, https://ko.wikipedia.org/wiki/RFID, 검색일: 2018. 7. 18).

각국의 최근 혁신기술에 대한 이용률을 분석한 결과에 따르면 이 또한 높지 않은 것으로 나타나고 있다. 클라우드 컴퓨팅 서비스를 도입한 평균 기업 비중은 27.9%로 높지 않으며, 빅데이터 분석을 수행한 평균 기업 비중 역시 11.0%로 낮다. 특히 빅데이터 분석수행의 경우 가장 높은 비중을 가지는 국가인 네덜란드의 비중이 19.1%로 다른 기술에 비해 상대적으로 낮은 이용률을 보이고 있다.

표 3-11. 주요 혁신기술을 사용한 기업 비중

(단위: %)

클라우드 컴퓨팅 구매			빅데이터 분석수행		
순위	국가	비중	순위	국가	비중
1	핀란드(2017)	65.6	1	네덜란드(2016)	19.1
2	덴마크(2017)	50.5	2	벨기에(2016)	17.0
3	스웨덴(2016)	48.2	3	영국(2016)	15.4
4	노르웨이(2017)	48.0	4	핀란드(2016)	14.8
5	일본(2016)	46.9	5	포르투갈(2016)	13.4
6	아이슬란드(2014)	43.1	6	에스토니아(2016)	12.7
7	호주(2016)	42.5	7	룩셈부르크(2016)	12.5
8	브라질(2017)	40.5	8	리투아니아(2016)	12.0
9	벨기에(2017)	39.6	9	덴마크(2016)	11.7
10	아일랜드(2016)	36.1	10	그리스(2016)	11.4
28	한국(2015)	12.9	21	한국(2015)	3.6
단순평균		27.9	단순평균		11.0

주: 1) 근로자가 10인 이상인 기업이 대상임.
2) ( ) 안은 최근자료 연도이며, 단순평균은 자료 제공국에 전체에 대한 평균임.
자료: OECD.Stat(https://stats.oecd.org/, 검색일: 2018. 7. 18)의 Information and Communication Technology 자료를 이용하여 저자 정리.

다만 기업의 ICT 기술 활용 수준을 평가하기 위한 지표로 사용된 컴퓨터 네트워크를 이용한 구매 기업 비중은 상대적으로 높게 나타나고 있다. 실제 컴퓨터 네트워크를 이용하여 판매 및 구매를 이용하는 기업 비중을 살펴보면 평균 구매 비중은 45.3.%로 판매 비중 23.2%에 비해 이용률이 높다. 이용률이 가장

높은 뉴질랜드에서도 구매 비중이 85.5%로 높은 것과 달리 판매 비중은 50.4%로 상대적으로 낮게 나타나고 있다.

표 3-12. 컴퓨터 네트워크를 이용한 판매/구매 기업 비중

(단위: %)

판매(receiving order)			구매(placing order)		
순위	국가	비중	순위	국가	비중
1	뉴질랜드(2016)	50.4	1	뉴질랜드(2016)	85.5
2	호주(2016)	45.6	2	덴마크(2014)	71.9
3	스위스(2011)	34.5	3	아이슬란드(2014)	71.8
4	아이슬란드(2014)	33.9	4	호주(2016)	70.0
5	아일랜드(2017)	32.8	5	캐나다(2013)	67.7
6	스웨덴(2017)	31.0	6	브라질(2017)	64.2
7	덴마크(2017)	30.2	7	오스트리아(2017)	62.6
8	노르웨이(2017)	30.2	8	미국(2007)	62.6
9	콜롬비아(2016)	27.7	9	노르웨이(2017)	58.5
10	벨기에(2017)	25.8	10	체코(2017)	57.3
34	한국(2016)	8.7	24	한국(2015)	34.4
단순평균		23.2	단순평균		45.3

주: 1) 근로자가 10인 이상인 기업이 대상임.
2) ( ) 안은 최근자료 연도이며, 단순평균은 자료 제공국에 전체에 대한 평균임.
자료: OECD.Stat(https://stats.oecd.org/, 검색일: 2018. 7. 18)의 Information and Communication Technology 자료를 이용하여 저자 정리.

종합하면 ICT 기술 활용 수준이 높은 대부분의 국가는 기업 및 가계에 초고속 인터넷이 잘 보급되어 있어 이를 활용하기 위한 기반은 충분히 구축되어 있으나 이를 적극적으로 활용하는 국가는 많지 않은 것으로 보인다. 즉 기업 및 가계의 초고속 인터넷 이용 비중은 상당히 높음에도 불구하고 앞에서 살펴본 바와 같이 ERP 이용, 클라우드 컴퓨팅 구매, 컴퓨터 네트워크를 이용한 구매 중 일부 국가에서만 이들 기술을 이용하는 기업이 50%를 초과한다.

표 3-13. 기업 및 가계의 초고속 인터넷 이용 비중

(단위: %)

기업			가계		
순위	국가	비중	순위	국가	비중
1	덴마크(2017)	100.0	1	한국(2017)	99.5
1	핀란드(2017)	100.0	2	네덜란드(2017)	97.8
1	리투아니아(2017)	100.0	3	룩셈부르크(2017)	97.0
1	네덜란드(2017)	100.0	4	아이슬란드(2017)	96.2
5	프랑스(2017)	99.5	5	노르웨이(2017)	93.8
6	한국(2015)	99.3	6	핀란드(2017)	93.4
7	슬로베니아(2017)	98.9	7	영국(2017)	93.1
8	라트비아(2017)	98.7	8	스웨덴(2017)	93.1
9	오스트리아(2017)	98.2	9	덴마크(2017)	92.1
10	콜롬비아(2016)	98.2	10	독일(2017)	91.6
33	일본(2016)	90.8	34	일본(2011)	65.1
단순평균		96.0	단순평균		43.8

주: 1) 기업은 근로자가 10인 이상인 기업이 대상임.
2) ( ) 안은 최근 자료 연도이며, 단순평균은 자료 제공국에 전체에 대한 평균임.
자료: OECD.Stat(https://stats.oecd.org/, 검색일: 2018. 7. 18)의 Information and Communication Technolog 자료를 이용하여 저자 정리.

한국의 경우에도 기업 및 가계의 초고속 인터넷 이용률이 각각 99.3%와 99.5%로 매우 높음에도 불구하고 컴퓨터 네트워크를 이용한 판매 및 구매 기업 비중은 각각 8.7%와 34.4%로 낮다. 즉 RFID 기술 이용률을 제외하면 ERP, CRM, 클라우드 컴퓨팅 구매 등 모든 면에서 낮은 비중을 기록하고 있어 한국 역시 기업의 ICT 기술 활용 수준은 높지 않은 것으로 보인다.

6. 소결

본 장에서는 디지털 혁신 수준과 혁신기술 활용 수준을 국가별 및 산업별로 정리하였다. 디지털 혁신 수준은 1990~2015년까지 미국 특허 · 상표청에 등록된 실용특허를 이용하여 등록 건수, 피인용 건수, H지수 등을 국가별 및 산업별로 비교 · 분석하여 평가하였다. 혁신기술 활용 수준은 World Robotics의 산업용 로봇 자료와 OECD.Stat의 ICT 기술 이용률을 이용하여 국가별로 비교하였다.

분석 결과에 따르면 디지털 혁신 수준은 1998년과 2010년을 기점으로 계단형으로 증가하는 추이를 보이며 기술개발이 미국과 일본에 의해 주도적으로 이루어지는 것으로 분석되었다. 다만 주요국 중 일본의 등록 건수는 2000년 이후 정체되어 있는 것과 달리 중국과 인도의 등록 건수는 2000년대 중반부터 빠르게 증가하고 있다. 산업별로는 26(컴퓨터, 전자 및 광학기기), 28(기계 및 장비), 62(컴퓨터 프로그래밍, 시스템 통합 및 관리업)산업에 기술이 집중되어 있으며, 이 중 62(컴퓨터 프로그래밍, 시스템 통합 및 관리업)산업의 기술 수준은 최근 빠르게 향상되고 있는 것으로 나타났다. 마지막으로 최근 기간(2010~15년)에 대해 미국, 일본, 한국, 대만, 중국, 인도의 기술 수준을 산업별로 비교한 결과 대상국 모두에서 26(컴퓨터, 전자 및 광학기기)과 28(기계 및 장비)산업의 기술 수준이 높은 것으로 나타났다. 특히 미국과 인도는 62(컴퓨터 프로그래밍, 시스템 통합 및 관리업)산업에서, 일본, 한국, 대만, 중국은 32(기타 제품)산업에서 기술 수준이 높게 분석되었다.

한편 한국의 디지털 혁신 수준을 살펴보면 양적 · 질적 측면 모두에서 기술 수준이 꾸준히 높아지고 있으며 최근의 기술 수준은 상위권에 위치하고 있다. 다만 미국 및 일본과 비교하면 아직까지는 기술 수준이 상대적으로 낮은 것으로 평가된다. 특히 최근의 H지수 순위 하락과 중국과 인도의 기술 수준 향상을

고려하면 향후 EU 회원국과 같은 하락을 경험할 수도 있는 상황으로 평가된다. 그리고 최근(2010~15년) 한국의 산업별 기술 수준은 국가별 현황에서 살펴본 바와 같이 모든 산업에서 미국 및 일본과 중국 및 인도 사이에 위치하고 있다. 특히 62(컴퓨터 프로그래밍, 시스템 통합 및 관리업)산업의 경우 한국의 기술 수준은 인도보다 낮게 나타나고 있다. 디지털 혁신기술 분야별 한국의 기술 수준은 인공지능, 사물인터넷, 빅데이터 기술에서 미국과의 기술격차가 다른 기술보다 상대적으로 큰 것으로 나타났으며, 중국 및 인도와 유사한 기술 수준을 보이고 있다. 특히 사물인터넷과 빅데이터의 경우 중국 및 인도보다 기술 수준이 낮은 것으로 나타났다.

산업용 로봇은 전반적으로 증가 추이를 보이며 2011년 이후부터는 이전 기간보다 더 빠른 증가 추이를 나타냈다. 산업용 로봇은 미국, 일본, 한국, 중국, 독일을 중심으로 전 세계 로봇의 약 72%가 설치 및 운용 되고 있으며, 일본에서만 최근 운용로봇의 수가 감소하고 있다. 한국은 세계 3위의 로봇 설치국이자 4위의 로봇 운용국으로 산업용 로봇을 활발히 이용하는 국가로 나타났다. 특히 근로자 1만 명당 운용 중인 로봇의 수는 2016년 기준 631대로 가장 많다. 그리고 2011~16년 기간에 설치 및 운용 중인 로봇의 다수는 자동차 및 트레일러, 전자전기장비, 금속제품, 플라스틱 및 화학제품 등의 제조업에서 사용되고 있다. 다만 주요국이 자동차 및 트레일러 제조업에 다수의 로봇을 사용하는 것과 달리 한국은 전자전기장비에 다수의 로봇을 사용하는 차이점이 있다.

마지막으로 기업의 ICT 기술 활용 수준이 높은 상위 10개국을 비교한 결과 분석자료의 제약으로 상위 10개국 대부분은 유럽국가로 나타났으며, 초고속 인터넷에 대한 기업 및 가계의 이용 비중은 높은 반면 기업의 ICT 기술 이용률은 상대적으로 높지 않은 것으로 나타났다. 그리고 한국은 특히 기업 및 가계의 초고속 인터넷 이용률이 각각 99.3%와 99.5%로 매우 높음에도 불구하고 RFID 기술 이용률을 제외하면 기업의 ICT 기술 활용 수준은 높지 않은 것으로 나타났다.

이상의 결과를 종합하면 한국은 향후 소프트웨어 혹은 프로그래밍에 대한 기술경쟁력 향상에 더욱 집중할 필요가 있다. 왜냐하면 한국은 여타 주요국과 동일하게 26(컴퓨터, 전자 및 광학기기)과 28(기계 및 장비)산업에 대해서는 상대적으로 높은 기술경쟁력을 보유하고 있으며, 산업용 로봇 이용 역시 이들 산업을 중심으로 활발하게 이뤄지고 있다. 그러나 산업별 현황에서 살펴본 바와 같이 최근 디지털 혁신기술은 서비스업을 중심으로 빠르게 성장하고 있는데 한국의 해당 분야 기술 수준은 인도에도 뒤처지고 있다. 뿐만 아니라 디지털 혁신기술 중 인공지능, 사물인터넷, 빅데이터 기술 분야에서 미국과의 기술격차가 다른 기술보다 상대적으로 크게 나타나고 있으며, 이 중 사물인터넷과 빅데이터는 중국 및 인도보다도 낮은 수준이었다. 그 밖에 한국은 RFID 기술 이용률을 제외하면 ICT 기술 및 소프트웨어에 대한 기업 이용률이 낮은 것으로 나타나고 있다. 따라서 한국의 기술 수준이 낮은 소프트웨어와 프로그래밍을 중심으로 연구개발투자를 보다 활성화하고 디지털 혁신기술에 대한 경쟁력을 키워야 한다.

제4장

디지털 혁신의 무역 영향에 대한 시나리오별 분석

1. 선행연구와 차별성

본 장에서는 앞의 제3장 분석 결과를 이용하여 디지털 혁신에 따른 생산성 향상에 대한 다양한 시나리오를 설정한 후, 디지털 혁신이 무역에 미칠 영향에 관한 정량분석(quantitative analysis)을 실시한다.[56] 디지털 혁신은 데이터와 알고리즘(algorithm)에 기반을 둔 새로운 기술의 출현을 뜻한다(Gullec and Paunov 2017).[57]

가. 선행연구

일국경제의 동태적인 변화 양상을 설명하기 위한 근본적인 요소로서 혁신의 역할을 강조한 Schumpeter(1934)와 생산성이 혁신에 의해 내생적으로 결정되는 메커니즘을 보여주었던 Romer(1990)가 강조한 공통점은 혁신과 생산성 간의 높은 상관관계이다. 두 변수간의 상관관계는 계량분석을 통해 기업, 산업, 국가 수준에서 다양한 방법으로 실증연구된 바 있다(Hall 2011; Masso and Vahter 2008; Mairesse and Robin 2010; Sterlacchini 1989).

혁신과 생산성을 다루는 국제무역의 최근 연구는 Melitz(2003) 모델을 사용한다. 동질적 생산성을 가진 기업을 고려한 Krugman(1980) 모델을 확장한 Melitz(2003)는 산업 내 교역(intra-industry trade)에서 무역자유화가 상이한 생산성을 가진 기업의 시장진입, 생산, 수출, 시장퇴출에 영향을 줄 수 있음을 보였다. Atkeson and Burstein(2010)은 기업의 혁신에 대한 선택을

56) 일반적으로 디지털 혁신의 증가가 기업과 산업의 생산성 향상, 무역 증대와 경제성장, 소비자 후생 증가 등에 기여할 것이라고 기술한다. 하지만 기술된 내용이 엄밀한 추정이나 정량분석을 담은 보고서나 논문의 주요 결과에 기대고 있다고 보기 어렵다. 최소한 디지털 혁신의 무역효과에 관한 정량적인 분석(quantitative analysis)을 담고 있는 보고서나 논문은 없다.

57) 경제학에서 전통적인 의미의 혁신은 제품 또는 공정혁신을 가리킨다. 이 측면에서 바라보면 디지털 혁신이란 데이터와 코드 또는 알고리즘에 기반을 둔 제품 또는 공정혁신을 뜻한다(Guellec and Paunov 2017, p. 1).

Melitz(2003) 모델에 추가하였다. 무역비용이 감소할 경우 Melitz(2003)의 결과에서 보여주는 것처럼 기업의 시장진입, 퇴출, 수출액 변화 등이 발생할 뿐만 아니라 기업의 혁신에도 상당한 영향을 줄 수 있다. 무역자유화를 고려할 때 무역비용의 변화 측면에서 접근하는 방식 대신에 세계 수요의 변화 측면에서 접근한 Aghion *et al.*(2017)은 긍정적인 수출충격이 발생할 경우 시장 규모효과(market size effect)가 기업혁신 활동을 높이는 방향으로 작용하지만 경쟁효과(competition effect)가 이를 상쇄시킨다는 결과를 도출하였다. 본 장의 연구도 Melitz(2003) 모델에 혁신 관련 변수를 직접 반영하는 방법을 고려해 볼 수 있으나, Melitz(2003) 타입의 모델은 본 연구가 상정하는 주요 질문에 답하기 위해 필요한 반사실적 분석을 수행하기 어렵다.

본 연구에서 고려하는 이론은 리카르도 모델과 밀접하게 관련되어 있다. 리카르도 모델은 국가간 서로 다른 생산성(productivity)을 기본 가정으로 채택한다. 리카르도 모델에서 국가의 산업별 생산성 수준은 무역패턴을 설명하기 위한 비교우위의 판단지표가 된다(생산성 → 무역). 세계경제가 2국가 2산업으로 구성되어 있다고 가정해보자. 국가를 A와 B로, 산업을 X와 Y로 부르자. 만약 A국 X산업의 생산성이 B국 X산업의 생산성에 비해 상대적으로 높으면 리카르도 모델의 예측은 A국이 B국으로 X산업 상품을 수출하는 것이다. 달리 말하면 B국은 Y산업에서 비교우위를 가지므로 A국으로 Y산업 상품을 수출하고 X산업 상품을 수입한다. 리카르도 모델의 핵심은 외생변수로 채택된 생산성이 즉각적으로 국가간 무역패턴을 결정한다는 점이다.

이제 4차 산업혁명에 따른 디지털 혁신이 A국의 X산업에서 발생하고 그 결과로 A국 X산업의 생산성이 증가한다고 가정해 보자. 이 경우 A국 X산업에서 증가된 생산성은 A국의 생산가능곡선(production possibility frontier)을 확장한다. 따라서 A국은 B국으로 X산업에서 생산한 상품의 수출을 늘린다. 따라서 전통적인 리카르도 모델은 디지털 혁신의 양(+)의 교역효과를 가져오게 된다. 그러나 현실은 2국가 2산업 리카르도 모델에 비해 한결 더 복잡하다. 세

계경제는 다국가 · 다산업으로 구성되어 있고, 생산을 위한 국별 · 산업별 생산성 수준도 상이하며, 중간재 교역 비중도 높고, 산업간 연관관계도 강하다. 전통적인 리카르도 모델의 한계를 개선하고 현실을 더 잘 반영한 모델이 Eaton and Kortum(2002)이다. Eaton and Kortum(2002)은 리카르도 모델을 다국가로 이루어진 세계경제로 확장하고 국별로 상이한 생산성을 바탕으로 국가간 무역패턴을 설명하였다. Caliendo and Parro(2015)는 산업별로 상이한 생산성, 중간재 교역, 산업간 연관관계를 반영하여 Eaton and Kortum (2002)을 확장하였다. 따라서 본 연구에서는 Caliendo and Parro(2015)를 확장하여 디지털 혁신의 교역효과를 살펴보았다.

나. 차별성

혁신과 생산성의 높은 상관관계를 고려할 때, 4차 산업혁명에 따른 디지털 혁신은 생산성 향상에 기여하게 될 것이다. 다시 말해서 특정 국가에서 생산성 향상을 가져온 산업은 이전에 비해 더 높은 비교우위(comparative advantage)를 가질 것이라고 예측할 수 있다. 비교우위의 변화는 곧 국가간 산업별 무역패턴의 변화를 의미한다. 따라서 4차 산업혁명에 따른 디지털 혁신은 무역에 상당한 효과를 가져오게 될 것이다. 또한 단기적으로 미국을 포함한 주요국에서 디지털 혁신 관련 특허가 일부 산업에 집중되고 있으나, 장기적으로는 Brynjolfsson, Rock, and Syverson(2017)의 지적처럼 디지털 혁신의 결과 인공지능, 지능형로봇, 3D 프린팅, 사물인터넷, 빅데이터, 클라우드와 같은 기술이 범용기술(general purpose technology)로서 활용됨으로써 전 산업에 걸쳐 생산성 향상에 기여할 것이라는 합리적인 추론도 해볼 수 있다.

디지털 혁신 자체가 내재하는 성격이 다양하고 디지털 혁신에 따른 파급경로가 상이한 까닭에 디지털 혁신의 무역효과를 정량적으로 분석하기 위한 이론

모델 구축에는 어려움이 존재한다. 본 장의 연구는 분석모형의 단순화를 위해 디지털 혁신과 생산성 경로(link)에 주목한다. 기존 연구는 특허 정보를 기술혁신의 대리변수로서 사용하고 있는데, 예를 들어 Aghion *et al.*(2017)은 유럽의 특허 정보가 담긴 데이터를 활용하여 혁신을 측정하고 수출과의 상관관계를 추정한 바 있다. 본 보고서의 제3장에서도 Aghion *et al.*(2017)이 사용한 데이터와 다르게 미국에서 집계된 특허 정보를 활용한 바 있다.[58]

본 연구는 유럽의 특허 데이터에 비해 더 방대한 자료를 제공하는 미국 특허·상표청(US Patent and Trademark Office)이 축적한 특허 정보를 사용했다. 미국의 높은 특허 보호 수준을 감안할 때 미국 특허 데이터로부터 얻을 수 있는 정보의 신뢰성도 높은 편이다. 제3장에서는 미국 특허·상표청에서 제공하는 원데이터를 활용하여 특허 등록 건수를 체계적으로 정리했을 뿐만 아니라 피인용 건수와 H지수(Hirsch Index)를 산출하고, 4차 산업혁명과 관련성이 높은 기술에 초점을 맞추어 디지털 혁신 수준을 국별, 산업별로 비교 분석했다. 2010~15년 기간 동안 미국은 디지털 혁신 관련 전체 특허 등록 건수에서 약 47%, 피인용 건수에서 약 71%의 비중을 차지한다. 인공지능, 지능형로봇, 3D 프린팅, 사물인터넷, 빅데이터, 클라우드 등으로 나누어 살펴보면 국별로 다소 차이가 있지만 대체적으로 미국, 일본, 유럽, 한국의 디지털 혁신 수준이 높은 편이며 최근 중국이 빠르게 성장하고 있음을 확인할 수 있었다. 비교 분석을 통해 파악한 다양한 정보를 본 장의 모델 구축과 시나리오 설정 단계에서 사용하기로 한다.

본 연구는 디지털 혁신에 따른 생산성 향상을 강조한 정량적 이론무역모델을 고안하였다. 본 장에서 구축한 분석모형은 Caliendo and Parro(2015)와 Eaton and Kortum(2002)에 기반을 두지만 이들의 모델과 다르게 확률적으

58) 기존 연구에서 혁신의 대리변수로서 특허 정보(특허 등록 건수, 피인용 지수, H지수 등) 외에 R&D 지출액, 생산액 대비 R&D 지출액 등도 널리 사용된 바 있다. 하지만 본 연구에서 특허 정보를 사용한 이유는 국별 산업별 수준에서 특허 정보를 포함한 데이터 이외의 자료가 제한적으로만 존재하거나 부재하기 때문이다.

로 주어지는 생산성과 더불어 디지털 혁신에 따라 변화할 수 있는 생산성 변수를 추가하였다. 즉 Eaton and Kortum(2002)과 Caliendo and Parro (2015)는 국가간 교역을 잘 설명하지만 본 장의 관심사인 혁신을 고려하지는 않는다. 본 연구의 기본적인 아이디어는 디지털 혁신 → 생산성 → 무역으로 이어지는 경로이다. 이 부분은 선행연구의 이론모델을 일반화한 것으로 이해해볼 수 있다.

본 연구에서 디지털 혁신의 무역효과를 분석하기 위해 채택한 방법론은 국제무역 분야에서 사용하는 구조적 접근법(structural approach)이다.[59] 이러한 접근법이 최신의 기법(state-of-the-art)이기도 하지만 이 접근법을 채택한 더 근본적인 이유는 4차 산업혁명에 따른 디지털 혁신의 무역효과와 같은 질문에 답하기 위해 필요한 반사실적 분석(counterfactual analysis)을 가능하게 하기 때문이다. 이는 기존의 축약형 계량 접근법(reduced form econometric approach)의 한계를 보완한다는 측면에서 학술적 기여가 크다.[60]

기존 문헌에서 디지털 혁신의 무역효과에 관한 연구가 미비할 수밖에 없었던 주요한 이유는 주제의 속성에서 그 근거를 찾을 수 있다. 디지털 혁신의 무역효과를 분석하기 위해 국제무역에서 주로 사용해왔던 축약형 계량 접근법을 채택할 경우 관련 데이터의 부재 또는 제약으로부터 자유로울 수 없다. 4차 산업혁명이라는 용어가 등장한 것이 몇 년 되지 않은 까닭으로 그동안 축적된 데이터가 부재할 경우 디지털 혁신의 무역효과를 분석하는 것은 불가능하다. 데이터가 존재하더라도 축약형 계량경제학적 모델을 통해 분석된 디지털 혁신의

59) Dekle, Eaton, and Kortum(2008)은 반사실적 분석을 수행하기 위한 방편으로 구조적 접근을 채택하여 이론모델을 구축하고 실제 데이터를 연계한 연구방법론을 개발하였다. 최근 국제무역 분야에서 Dekle, Eaton, and Kortum(2008)의 연구 이후 Antras and Chor(2017), Caliendo and Parro (2015), Costinot and Rodriguez-Clare(2014) 등이 구조적 접근법을 채택하여 반사실적 분석연구를 수행한 바 있으며 이러한 접근법이 일반적인 분석방법론으로 받아들여지는 추세이다.

60) 본 장의 연구는 혁신과 생산성에 대한 계량경제학적인 실증 결과를 제공하고 혁신의 생산성 효과에 관한 기존의 논의에 참여하기 위함이 아님을 밝힌다.

무역효과는 과거에 발생한 디지털 혁신 증가에 따른 무역의 평균한계효과(average partial effect)를 의미한다. 다시 말해서 기존의 계량경제학적 분석법에 따른 디지털 혁신의 무역효과 추정치를 4차 산업혁명에 따른 디지털 혁신의 증가가 앞으로 미치게 될 무역효과를 보여주는 것이라고 해석하기에는 무리가 따른다.

본 장에서 고안한 이론모델은 다수의 국가와 산업으로 구성된 세계경제에서 국별로 상이한 생산기술, 산업별 중간재 교역, 생산의 산업간 연관관계 등을 포함한다. 디지털 혁신의 교역효과를 정량적으로 분석하기 위해 본 장에서 구축한 이론모델과 WIOD, WITS 등에서 제공하는 데이터를 연계하였다. 본 장의 연구는 크게 네 가지 분석 결과를 제공한다. 첫째, 산업 수준의 생산성 향상을 고려한 디지털 혁신의 교역효과이다. 둘째, 국가 수준의 생산성 향상을 고려한 미국 디지털 혁신의 교역효과이다. 셋째, 국가 수준의 생산성 향상을 고려한 미국, 일본, 유럽, 한국, 중국이 포함된 주요 5개국 디지털 혁신의 교역효과이다. 넷째, 국가 수준의 생산성 향상을 고려한 세계 디지털 혁신의 교역효과이다. 둘째부터 넷째까지 설정한 시나리오는 디지털 혁신에 따른 기술이 범용기술(general purpose technology)로서 활용되는 바를 염두에 두고 분석대상 국가의 범위를 확장해 본 것이다. 교역효과를 구체적으로 살펴보기 위해 국별 총 교역 변화, 국가간 교역 변화, 산업별 총 교역 변화, 산업별 수출 비중 변화로 나누어 분석했다. 아울러 기준연도 수출액 정보와 총 교역 변화 결과를 활용하여 디지털 혁신에 따라 증가한 수출액 수준도 예측해 보았다. 본 장의 분석 결과는 4차 산업혁명 관련 정책 수립 시 우리 정부가 참고할 만한 무역통상 관련 기초자료로서 활용될 수 있는바 정책적 기여도 예상된다.

2. 이론모델

본 장에서 구축하고자 하는 이론모델은 기본적으로 리카르도 모델을 확장한 Eaton and Kortum(2002)과 Caliendo and Parro(2015)에 기반을 둔다. 본 보고서와 이들 기존 연구의 가장 큰 차이점 중 하나는 디지털 혁신에 의한 생산성 변화를 반영하고 있다는 점이다. 세계경제는 N국가 S산업으로 구성되어 있으며 따라서 세계에는 $N \times S$ 산업이 존재한다. 국가를 지칭하는 기호로는 $i, n \in \{1,2,...,N\}$을 사용하고, 산업은 $j, k \in \{1,2,...,J\}$를 사용하자. 국가 내에 존재하는 경제주체로는 소비자와 생산자가 있다. 소비자는 최종재를 소비하고 비탄력적으로 노동을 공급한다. 생산자는 최종재 생산자와 중간재 생산자로 나뉘며 생산함수는 국별 · 산업별로 상이하다. 소비자는 효용 극대화를, 생산자는 이윤 극대화를 추구한다. 세계무역에는 무역비용이 존재하며 세계무역수지 균형은 항상 유지된다. 모든 시장은 마찰(frictions)이 없이 완전경쟁적(perfectly competitive)이다. 이 모델에서 산업간 노동의 이동은 자유로우나 국가간 노동의 이동은 허용되지 않는다.

가. 소비자

국가 $n \in \{1,...,N\}$에 살고 있는 대표소비자는 J개 산업의 상품과 서비스를 포함한 소비벡터 $x_n = (x_n^1, x_n^2, ..., x_n^J)$을 소비한다. 소비된 x_n은 1차 동조적 효용함수인 콥-더글라스(Cobb-Douglas)를 통해 대표소비자의 효용을 높인다. 효용함수를 수식을 통해 구체적으로 표현하면 $U(x_n) = \prod_{j=1}^{J} (x_n^j)^{\alpha_n^j}$와 같다. 여기서 U는 효용함수이고, x_n^j는 국가 n 산업 j에서 생산한 상품 또는 서비스이다.[61] $\alpha_n^j \in (0,1)$은 국가 n 대표소비자가 산업 j에서 생산된 상품이

61) 대표소비자의 소비는 모든 산업에서 중간재로 사용되고 남은 부분이다.

나 서비스에 대해 지니고 있는 선호의 강도를 나타내는 파라미터(parameter)이다. 이 파라미터는 대표소비자의 상품과 서비스에 대한 선호 정도가 국별로 상이함을 의미한다. 물론 α_n^j가 커질수록 해당 산업의 상품 또는 서비스에 대한 선호도가 증가한다. 1차 동조적 효용함수의 특성에 따라 모든 국가에서 $\sum_{j=1}^{J} \alpha_n^j = 1$ 조건이 만족한다.

대표소비자는 노동의 공급자 역할도 동시에 수행한다. 대표소비자는 주어진 임금 수준 w_n에서 노동 L_n을 공급함으로서 $w_n L_n$ 임금소득을 얻는다. x_n^j에 상응하는 시장가격을 P_n^j로 나타내면 대표소비자가 직면하는 예산제약식이 $\sum_j^J x_n^j P_n^j \leq w_n L_n$로 표현된다. 주어진 가격과 임금수준하에서 대표소비자는 예산제약 조건식을 만족하는 효용극대화 소비벡터를 선택한다.

$$\max_{\{x_n^j\}_{j=1}^J} \prod_{j=1}^{J} (x_n^j)^{\alpha_n^j}, \quad \sum_{j=1}^{J} x_n^j P_n^j = w_n L_n. \qquad \text{[식 4-1]}$$

국가 n 대표소비자의 효용 극대화를 만족하기 위한 필요조건은 $x_n^j P_n^j = \alpha_n^j w_n L_n$이다. 이 조건으로부터 산업 j에서 생산되는 상품이나 서비스 에 대한 대표소비자의 선호가 소비 규모를 결정함을 알 수 있다. 대표소비자가 직면하는 국가 n의 가격지수는 효용 극대화 조건과 1차 동조적 효용함수의 특성에 따라 $P_n = \Pi_{j=1}^{J} (P_n^j / \alpha_n^j)^{\alpha_n^j}$로 도출된다.

나. 중간재 생산자

국가 n 산업 j에 존재하는 중간재 생산자는 완전경쟁적인 시장 구조에서 중간재를 공급한다. 중간재 생산을 위해서는 주어진 중간재 수요에 맞추어 노동과 타 산업의 최종재가 생산투입요소로서 필요하다. 중간재 생산자가 보유한 생산성 수준은 국별 · 산업별로 상이하다. 국별 · 산업별로 상이한 생산성을 모델에서 구

현하기 위해 Eaton and Kortum(2002)과 Caliendo and Parro(2015)의 연구에서 고려한 방식과 같이 국가 n 산업 j 중간재 생산자의 생산성(idiosyncratic productivity)을 확률변수로 취급한다. 산업 j에서 중간재 생산자의 생산성벡터 $z^j = (z_1^j, z_2^j, \ldots, z_N^j)$는 프리쳇 분포(Frechet distribution)로부터 추출된다. 프리쳇 분포에 따른 생산성벡터 z^j의 결합밀도함수는 다음과 같다.

$$\phi^j(z^j) = e^{-\sum_{n=1}^{N}(z^{j_n})^{-\theta^j}}, \qquad \text{[식 4-2]}$$

여기서 θ^j는 형상변수(shape parameter)이다. 이 형상변수는 산업별로 다르지만 국별로는 같으며 $\theta^j > \sigma^j - 1$을 만족한다고 가정한다.[62]

디지털 혁신에 따른 생산성 변화를 고려하기 위해 국가 n 산업 j 중간재 생산자가 프리쳇 분포로부터 추출한 생산성 z_n^j와 차별된 근본생산성(fundamental productivity) 변수를 도입하자.[63] 디지털 혁신은 근본생산성 T^{j_n}에만 영향을 미친다.[64] 이론적 측면에서 디지털 혁신과 생산성벡터 z^j가 서로 독립적(independent)일 필요가 있다. 그 이유는 두 변수 사이의 독립성이 깨진다는 말의 의미는 디지털 혁신이 프리쳇 분포 자체를 이동시킨다는 뜻으로 해석될 수 있는데 이는 매우 강한 가정이기 때문이다.[65]

중간재 생산자의 규모수익불변(constant returns to scale) 생산함수는 프리쳇 분포로부터 추출된 생산성 변수와 디지털 혁신에 따라 결정되는 근본생산성 변수를 포함한 $y_n^j(z_n^j) = z_n^j(T_n^j l_n^j(z_n^j))^{\gamma_n^j} \prod_{k=1}^{J} m_n^{k,j}(z_n^j)^{\gamma_n^{k,j}}$이다. 여기서 $y_n^j(z_n^j)$는 국가 n 산업 j에서 생산성 z_n^j을 보유한 중간재 생산자가 산출하는

62) $\sigma^j(>0)$는 산업 j의 중간재간 대체탄력성이다.

63) Hsieh and Ossa(2016)와 Caliendo *et al.*(2014)이 사용한 근본생산성(fundamental productivity) 용어를 차용했다.

64) 디지털 혁신에 따른 생산성 변화를 고려하지 않으려면 모든 국가와 산업의 근본생산성 수준을 $T_n^j = 1$로 동일하게 부여하면 그만이다. 대신에 미국 컴퓨터 · 전자 산업의 생산성 10% 증가를 고려하려면 $\hat{T}_{\text{미국}}^{\text{컴퓨터전자}} = 1.1$로 두어야 한다. 이 부분에 대한 자세하게 설명은 '다. 2) 분석 시나리오'를 참고하기 바란다.

65) 유사한 문제의식을 공유한 논문으로 Caliendo *et al.*(2014)을 참고하기 바란다.

중간재 생산량을 나타낸다. l_n^j는 국가 n 산업 j 중간재 생산자가 고용한 노동자수이고, $m_n^{k,j}$는 국가 n 산업 j 중간재 생산자가 사용한 산업 k의 상품이나 서비스 투입량이다. $\gamma_n^{k,j}$는 국가 n 산업 j 중간재 생산자가 투입한 산업 k의 상품이나 서비스 비중이고, γ_n^j는 국가 n 산업 j의 부가가치 비중이다. 생산함수가 규모수익불변의 특성을 가지고 있으므로 $\gamma_n^j = 1 - \sum_{k=1}^{J} \gamma_n^{k,j}$ 조건은 항상 성립한다.

중간재 생산자가 주어진 생산함수를 고려하여 풀어야 하는 단위생산비용 최소화 문제를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} &\min_{l_n^j(z_n^j),\{m_n^{k,j}(z_n^j)\}_{k=1}^{J}} w_n l_n^j(z_n^j) + \sum_{k=1}^{J} P_n^k m_n^{k,j}(z_n^j) \\ &s.t.\ \ z_n^j (T_n^j l_n^j(z_n^j))^{\gamma_n^j} \prod_{k=1}^{J} m_n^{k,j}(z_n^j)^{\gamma_n^{k,j}} = 1, \end{aligned} \qquad \text{[식 4-3]}$$

여기서 P_n^j는 국가 n 산업 j의 최종재 가격 수준이다.

최적화(optimization)를 통해 도출된 중간재 생산자의 단위생산비용은

$$c_n^j(z_n^j) = B_n^j w_n^{\gamma_n^j} \Pi_{k=1}^{J} (P_n^k)^{\gamma_n^{k,j}}, \qquad \text{[식 4-4]}$$

여기서 $B_n^j = [(1-\beta_n)^{(\beta_n - 1)} (\beta_n)^{\beta_n}]^{\gamma_n^j} [\Pi_{k=1}^{J} (\gamma_n^{k,j})^{-\gamma_n^{k,j}}] (\gamma_n^j)^{-\gamma_n^j}$는 상수이고 w_n은 국가 n의 임금 수준이다. 국제무역을 고려하지 않는 상태에서 완전경쟁적인 중간재 시장에서는 국가 n 산업 j의 중간재 단위생산가격이 $c_n^j / z_n^j (T_n^j)^{\gamma_n^j}$로 결정된다. 단위생산가격이 $c_n^j / z_n^j (T_n^j)^{\gamma_n^j}$을 초과하지 않는 한 기업은 생산을 지속하지만, 만약 초과하게 되면 그러한 기업은 시장에서 퇴출된다고 해석할 수 있다.

국가 n 산업 j에서 생산한 중간재 생산물의 균형가격을 $p_n^j(z_n^j)$라고 하자. 완전경쟁시장 조건과 규모수익불변 생산함수의 특성을 이용하여 생산성 z_n^j를 보유한 중간재 생산자가 투입된 노동에 $l_n^j(z_n^j) w_n = \gamma_n^j p_n^j(z^{j_n}) y_n^j(z_n^j)$을, 투입

된 산업 k 상품 또는 서비스에 $P_n^k m_n^{k,j}(z_n^j) = \gamma_n^{k,j} p_n^j(z_n^j) y_n^j(z_n^j)$을 지불한다는 결과를 도출할 수 있다.

다. 최종재 생산자

국가 n 산업 j의 최종재 생산자는 중간재를 결합하여 최종재를 산출한다. 생산기술은 Ethier(1982)가 고안한 생산함수를 따르고 구체적인 수식으로 표현하면 $Y_n^j = [\int \ d_n^j(z^{j_n})^{1-1/\sigma^j} \phi^j(z^j) dz^j]^{\sigma^j/(\sigma^j-1)}$과 같다. Y_n^j는 국가 n 산업 j 최종재 산출량을 의미하고, d_n^j는 국가 n 산업 j의 중간재 수요이다. $\sigma^j(>0)$는 산업 j의 중간재간 대체탄력성이다.

최종재 생산자가 이윤 극대화를 달성하기 위해 풀어야 하는 식은

$$\max_{\{d_n^j(z^j)\}_{R_+^N}} P_n^j \, Y_n^j - \int p_n^j(z^j) d_n^j(z^j) \phi^j dz^j. \qquad \text{[식 4-5]}$$

최종재 생산자는 최적화를 통해 $d_n^j(z^j) = (p_n^j(z^j)/P_n^j)^{-\sigma^j} Y_n^j$로 표현되는 중간재 수요함수를 도출한다. $P_n^j = [\int p_n^j(z^{j_n})^{1-\sigma^j} \phi^j(z^j) dz^j]^{1/(1-\sigma^j)}$는 국가 n 산업 j의 최종재 가격이다. 최종재 가격에 포함된 중간재 가격 $p_n^j(z^j)$는 모든 국가의 산업 j에서 제시하는 가격 중 가장 낮은 중간재 가격이다. $p_n^j(z^j)$가 결정되는 메커니즘(mechanism)을 이해하기 위해 국제무역을 살펴보자.

라. 국제무역

최종재 생산자가 중간재를 수입할 때 고려하는 조건은 무역비용을 포함한 총비용이다. 최종재 생산자는 중간재 조달 시 국내와 국외 시장에서 제시된 가격 중 가장 낮은 가격을 선택한다(Eaton and Kortum 2002; Caliendo and

Parro 2015). 따라서 최종재 생산자가 수입할 때 지불하는 가격은 산업 수준의 생산성과 근본생산성, 단위생산비용, 무역비용 모두가 종합적으로 고려된 후 시장에서 결정된 중간재 생산물의 균형가격이다. 최종재 생산자가 중간재를 수입하기 위해 풀어야 하는 선택 문제를 수식으로 표현하면

$$p_n^j(z^j) = \min_i \left\{ \frac{c_n^j \kappa_{ni}^j}{z_i^j (T_n^j)^{\gamma_n^j}} \right\}. \qquad [식\ 4\text{-}6]$$

여기서 κ_{ni}^j는 산업 j에서 국가 n과 j 사이에 발생하는 무역비용이다. [식 4-6]에서 눈여겨 봐야 할 부분은 근본생산성 T_n^j이다. 특정 국가 특정 산업에서 근본생산성이 증가할 경우 해당 산업의 중간재 생산물 가격 수준은 하락한다. 이 결과는 향상된 근본생산성이 다른 국가와 펼치는 가격경쟁에서 상대적인 우위를 점하는 데 기여할 수 있음을 시사한다. 다만 [식 4-6]을 통해 유추할 수 있는 것은 가격 수준의 하락이 반드시 중간재 생산물 수출 증가라는 결과로 이어지는 것은 아니다.

최종재 생산자가 중간재 가격비교를 한 후, 중간재 수입을 통해 최종재를 산출하면, 이에 상응하는 최종재 가격 수준도 함께 결정된다. 최종재 가격은 $P_n^j = [\int p_n^j(z^{j_n})^{1-\sigma^j} \phi^j(z^j) dz^j]^{1/(1-\sigma^j)}$로 표현된다. [식 4-2]에서 제시한 프리쳇 분포함수의 특징을 이용하면 간단한 계산을 통해 최종재 가격을 다음과 같이 구체적으로 표현할 수 있다.

$$P_n^j = \Gamma(\xi_n^j)^{1/(1-\sigma^j)} \left[\sum_{i=1}^{N} (c_n^j \kappa_{ni}^j)^{-\theta^j} (T_n^j)^{\theta^j \gamma_n^j} \right]^{-1/\theta^j}, \qquad [식\ 4\text{-}7]$$

여기서 $\Gamma(\xi_n^j)$는 $\xi_n^j = 1 + (1-\sigma^j)/\theta^j$ 수준(level)에서 평가된 감마함수 값이다. 국가 n 산업 j에서 디지털 혁신의 증가로 근본생산성 T_n^j가 변화하는 경우 [식 4-7]로부터 국가 n 산업 j의 최종재 가격이 영향을 받는다는 사실을 알 수 있다. 뿐만 아니라 본 장의 이론모델이 일반균형을 전제하므로 특정 국가 특정

산업에서 디지털 혁신에 의한 근본생산성이 변화할 경우, 그에 따른 파급효과가 타 국가로 전이될 수 있음을 수식을 통해서 추론할 수 있다.

다음으로 산업 j에서 국가간 무역 비중을 계산해 보자. 국가 n 산업 j에서 지출한 총비용(X_n^j)을 $X_n^j = P_n^j Y_n^j$라고 정의하면, 산업 j에서 국가 n이 국가 i에 지출한 비용을 X_{ni}^j라고 표현할 수 있다. 산업 j에서 국가 n이 지출한 총비용 X_n^j 중에서 국가 n이 국가 i로부터 중간재를 수입할 때 지출한 비용이 차지하는 비중은 균형에서 $\Pr\left[p_{ni}^j(z^j) \leq \min_{m \neq i}\left\{p_{nm}^j(z^j)\right\}\right]$의 확률과 비례한다. 따라서 산업 j에서 국가 n과 i 사이의 무역 비중을 나타내는 식은 $X_{ni}^j = \Pr\left[p_{ni}^j(z^j) \leq \min_{m \neq i}\left\{p_{nm}^j(z^j)\right\}\right] X_n^j$ 조건을 이용하여 도출할 수 있다. 프리쳇 분포함수의 특성과 앞서 도출한 중간재 균형가격을 이용하여 계산을 해보면, 산업 j에서 국가 n과 i 사이의 무역 비중 π_{ni}^j가 다음과 같이 도출된다.

$$\pi_{ni}^j = \left[\frac{c_i^j \kappa_{ni}^j \Gamma(\xi_n^j)^{1/(1-\sigma^j)}}{(T_i^j)^{\gamma_i^j} P_n^j}\right]^{-\theta^j} \qquad \text{[식 4-8]}$$

[식 4-8]을 통해 알 수 있는 바와 같이 디지털 혁신에 따른 근본생산성 T_n^j의 변화는 국가간 무역 비중에도 영향을 미친다. 근본생산성 변화가 단위생산비용에 영향을 미치고 중간재 수출가격에도 영향을 주기 때문에 국가간 무역 비중에도 파급효과가 도달한다.

마. 세계시장균형

N개 국가와 J개 산업으로 구성된 세계경제의 균형에서 각 국가의 대표소비자는 [식 4-1]을 통해 효용 극대화를 추구하고, 중간재 생산자는 [식 4-3]을 통해 단위생산비용 최소화를 달성하며, 최종재 생산자는 [식 4-5]를 통해 이윤극대화 전략을

취한다. 균형에서는 모든 국가에서 최종재 시장과 노동시장이 청산되고, 세계경제의 총 수출과 총 수입은 항상 같다($\sum_j \sum_n \pi_{ni}^j X_n^j = \sum_j \sum_n \pi_{in}^j X_i^j$). 세계경제의 균형을 만족하기 위한 조건식을 정리하면 다음과 같다.

(N개) 노동시장 청산조건

$$\sum_{j=1}^{J} L_n^j = \sum_{j=1}^{J} \int_{R_+^N} l_n^j(z)\phi_n^j(z)dz = L_n.$$

($N \times J$개) 최종재시장 청산조건

$$x_n^j + \sum_{j=1}^{J} m_n^{k,j} = c_n^j + \sum_{j=1}^{J} \int_{R_+^N} m_n^{k,j}(z)\phi_n^j(z)dz = Y_n^j.$$

($N \times J$개) 중간재 생산자의 단위생산비용

$$c_n^j = B_n^j w_n^{\gamma_n^j} \prod_{k=1}^{J} (P_n^k)^{\gamma_n^{kj}}.$$

($N \times J$개) 최종재 생산물의 균형가격

$$P_n^j = \Gamma(\xi_n^j)^{1/(1-\sigma^j)} \left[\sum_{i=1}^{N} (c_n^j \kappa_{ni}^j)^{-\theta^j} (T_n^j)^{\theta^j \gamma_n^j} \right]^{-1/\theta^j}.$$

($N \times N \times J$개) 산업별 국가간 무역 비중

$$\pi_{ni}^j = \left[\frac{c_i^j \kappa_{ni}^j \Gamma(\xi_n^j)^{1/(1-\sigma^j)}}{(T_i^j)^{\gamma_i^j} P_n^j} \right]^{-\theta^j}.$$

($N \times J$개) 국별 산업별 균형지출

$$X_n^j = \sum_{k=1}^{J} \gamma_n^{j,k} \sum_{i=1}^{N} X_{in} + \alpha_n^j w_n L_n.$$

다음으로 세계경제균형을 도출한 이론모델을 확장하여 디지털 혁신에 따른 근본생산성 변화가 세계경제균형을 변화시킬 경우 이를 충족하기 위한 식을 도출하고, 균형식을 만족하는 상태에서 디지털 혁신에 따른 생산성 변화가 교역에 미치는 영향을 파악할 수 있는 방법을 기술하고자 한다.

바. 세계경제균형의 변화

디지털 혁신에 따라 근본생산성이 향상되면 이는 단위생산비용에 영향을 미친다. 변화된 단위생산비용은 해당 산업의 재화를 중간재로 사용하는 타 국가의 수요에 영향을 미치기 때문에 국가간 무역 비중에도 영향을 준다. 이러한 변화는 세계경제를 구성하는 모든 국가의 모든 산업에 일반균형효과를 일으키게 되며 그 결과 각 국가의 산업별 가격지수, 지출 등에도 영향을 미친다. 앞서 세계경제균형을 도출하였으나 근본생산성 변화에 따른 균형의 변화를 살펴보지는 않았다.

반사실적 분석(counterfactual analysis)을 위해 디지털 혁신에 따라 근본생산성(T_n^j)이 변화할 경우 세계경제균형이 어떻게 변화하게 될지 수식으로 추적해보자. 우선 근본생산성 변화를 $\widehat{T}_n^j$라고 표현하자. 꺾은선은 변화 후의 근본생산성을 변화 전의 근본생산성 수준으로 나눈 값이다. 본 장에서 사용하는 변화율은 변화 후의 변수 값을 변화 전의 변수 값으로 나눈 것을 의미하며 변화가 발생하는 모든 변수에서 동일하게 적용하였다.

근본생산성 변화에 따른 단위생산비용 변화, 최종재 생산물의 균형가격 변화, 산업별 국가간 무역 비중 변화, 국별 산업별 지출 변화를 정리하면 다음과 같다.

($N\times J$개) 단위생산비용 변화

$$\hat{c}_n^j = \hat{w}_n^{\gamma_n^j} \prod_{k=1}^{J} (\hat{P}_n^k)^{\gamma_n^{k,j}}. \qquad \text{[식 4-9]}$$

($N\times J$개) 최종재 생산물의 균형가격 변화

$$\hat{P}_n^j = \left[\sum_{i=1}^{N} \pi_{ni}^j (\hat{c}_n^j \hat{\kappa}_{ni}^j)^{-\theta^j} (\hat{T}_n^j)^{\theta^j \gamma_n^j} \right]^{-1/\theta^j}. \qquad \text{[식 4-10]}$$

($N\times N\times J$개) 산업별 국가간 무역 비중 변화

$$\hat{\pi}_{ni}^j = (\hat{T}_i^j)^{\gamma_i^j \theta^j} \left[\frac{\hat{c}_i^j \hat{\kappa}_{ni}^j}{\hat{P}_n^j} \right]^{-\theta^j}. \qquad \text{[식 4-11]}$$

($N\times J$개) 국별 산업별 지출 변화

$$\hat{X}_n^j X_n^j = \sum_{k=1}^{J} \gamma_n^{j,k} \sum_{i=1}^{N} \hat{X}_{in} X_{in} + \alpha_n^j (\widehat{w_n L_n}) w_n L_n. \qquad \text{[식 4-12]}$$

변화 후 세계무역수지 균형식은 $\sum_j \sum_n (\pi_{ni}^j)'(X_n^j)' = \sum_j \sum_n (\pi_{in}^j)'(X_i^j)'$이다. 세계경제균형의 변화를 구성하는 [식 4-9]~[식 4-12]의 개수는 총 ($N\times J$)+($N\times J$)+($N\times N\times J$)+($N\times J$)개이다. [식 4-9]~[식 4-12]에 있는 내생변수 $\{\hat{c}_n^j\}, \{\hat{P}_n^j\}, \{\hat{\pi}_{ni}^j\}, \{\hat{X}_n^j\}$의 개수는 총 ($N\times J$)+($N\times J$)+($N\times N\times J$)+($N\times J$)개이다. 따라서 모델 구조 내에서 균형해가 내생적으로 (endogenously) 결정된다.

변화된 세계경제균형을 설명하는 내생변수의 균형해를 이용하여 본 연구가 초점을 맞추어 설명하고자 하는 부분은 디지털 혁신의 무역효과이다. 세계경제균형의 변화를 도출하는 과정에서 근본생산성 변화가 무역과 관련된 변수에 미치는 영향을 계산해 볼 수 있다. 분석 결과에서 제시하는 주요 내용으로는 국별 총 교역 변화, 국가간 교역 변화, 산업별 수출 및 비중 변화 등이 있다. $E_{ni}^j{}'$

(E_{ni}^{j})는 변화 후(전) 산업 j에서 국가 n이 국가 i로 수출한 총액이다.[66] 이를 이용하면 국별 총 교역 변화는 $\sum_i\sum_j[(E_{ni}^{j})' - E_{ni}^{j}]/\sum_i\sum_j E_{ni}^{j}$, 국가간 교역 변화는 $\sum_j[(E_{ni}^{j})' - E_{ni}^{j}]/\sum_j E_{ni}^{j}$, 산업별 총 수출 변화는 $\sum_i[(E_{\ni}^{j})' - E_{\ni}^{j}]/\sum_i E_{\ni}^{j}$, 산업별 수출 비중 변화는 $(E_{ni}^{j})'/(\sum_i E_{ni}^{j})' - E_{ni}^{j}/\sum_i E_{ni}^{j}$로 측정할 수 있다.

3. 데이터와 솔루션 알고리즘

가. 데이터

이론모델과 데이터를 연계하기 위해 활용한 자료는 2016년에 배포된 세계투입산출데이터(WIOD: World Input-Output Database)이다. 이 데이터는 여타국(ROW)을 포함한 총 44개국과 국제표준산업분류표(ISIC REV 4: International Standard Industrial Classification of All Economic Activities Revision 4)를 기준으로 분류된 56개 산업으로 구성되어 있다. WIOD 2016 자료를 사용하는 이유는 이론모델 구축 시 주로 취급하는 부가가치 비중, 중간재 투입계수, 생산액 등의 정보를 추출할 수 있다는 유용성 때문이다.

[표 4-1]은 본 장에서 다루는 분석대상 국가를 정리한 것이다. 분석의 용이성을 높이기 위해 본 연구에서는 유럽연합(European Union)에 해당하는 국가 28개국을 '유럽'이라는 하나의 나라로 취급하였으며 스위스와 노르웨이를 여타국에 포함하였다.

66) 프라임과 함께 있는 변수는 세계무역균형 조건을 만족하는 상태에서 [식 4-9]~[식 4-12]로부터 산출할 수 있는 변화 후 내생변수 균형해이다.

표 4-1. 본 장에서 분류한 국가 목록

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.

[표 4-2]는 본 장의 분석에서 초점을 맞춘 산업을 정리한 것이다. 분석대상 산업 선정 시 컴퓨터, 광학, 전자(ISIC REV 4, Division 26), 기계 및 장비(ISIC REV 4, Division 28), 컴퓨터 프로그래밍(ISIC REV 4, Division 62) 등 4차 산업혁명과 관련된 산업을 타 산업과 분리하였다. WIOD 2016 자료상의 산업분류를 유지하기 위해 노력하였으나, 분석대상 국가간 WITS 데이터의 가용 여부가 불확실하거나 누락된 경우 솔루션 알고리즘의 실행을 위해 일부 산업은 통합하였다. WIOD 2016에 속한 56개 산업을 47개로 다시 분류하여 제조업(농업 포함) 분야는 컴퓨터 · 전자, 전기 · 기계 산업을 포함한 15개 산업으로, 서비스 분야는 컴퓨터 프로그래밍 산업을 포함한 32개 산업으로 구성했다(서비스 분류는 부록 1 참고).

표 4-2. 본 장에서 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	기타제조업제품

자료: 저자 작성.

WIOD 2016 자료를 활용하여 국별 · 산업별 부가가치 비중, 중간재 투입계수, 생산액 등의 데이터를 생성하였다. 기준연도는 2014년으로 설정하였으며 그 이유는 2014년 데이터가 WIOD 2016에서 제공하는 가장 최신의 것이기 때문이다. WITS가 제공하는 국별 산업의 관세 정보는 2015년을 기준으로 하였다. 추출한 관세 정보를 산업분류 ISIC REV. 4 기준으로 맞추고 본 연구에서 분류한 산업과 연계하였다. 본 연구에서 사용한 관세 정보는 국가간 산업의 가중평균관세율(weighted average tariff)이다.

나. 분석 시나리오

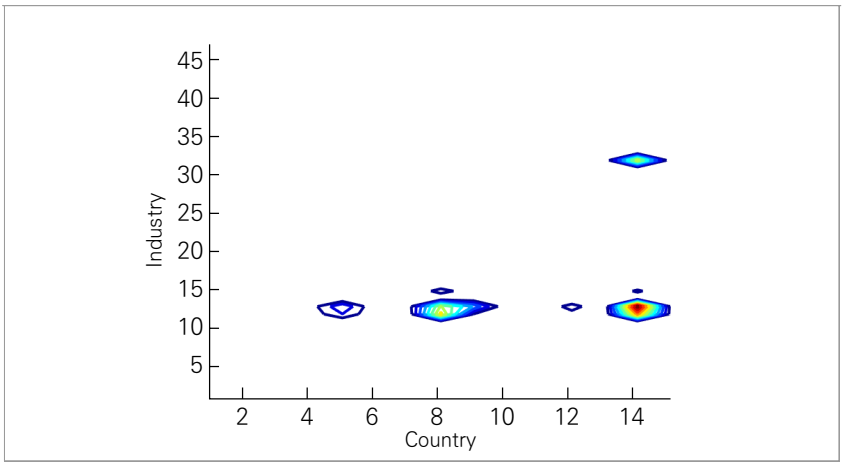
이론모델 구동(rendering)을 위해 가장 필요한 초기 정보는 디지털 혁신에 따른 근본생산성의 변화 값이다. 현실적으로 디지털 혁신이 국별 또는 산업별 근본생산성을 정량적으로 얼마나 변화시킬지, 그에 대한 정확한 답변을 찾는 것은 사실상 불가능에 가깝다. 한 가지 대안으로 고려해 볼 수 있는 방법은 디지털 혁신과 관련된 대리변수 데이터를 충분히 확보하여 근본생산성 변화를 추정해보는 것이다. 기존 연구에서 혁신과 관련된 대리변수로서 연구개발 지출액, 생산액 대비 연구개발 지출액, 특허 등록 건수, 피인용 지수 등이 생산성 추정에 활용된 바 있다. 혁신을 포괄하는 데이터의 범위를 더 좁혀 본 장에서 다루는 '디지털' 혁신의 대리변수를 고려하고자 한다면 데이터 가용범위는 더 축소된다. 디지털 혁신과 관련된 데이터가 충분히 축적되어 있지 않은 까닭으로 본 연구에서 디지털 혁신의 근본생산성 변화를 추정하는 작업은 시도하기 어렵다. 디지털 혁신에 따른 근본생산성 변화 추정치를 사용할 수 없기 때문에, 본 장의 연구에서는 기존 연구가 보고하는 생산성 변화에 대한 추정치 정보를 활용하는 방법을 차선책으로 삼았다.

분석 시나리오를 설정하기 위해 우선 2011~15년 미국 특허 · 상표청에 집적된 디지털 혁신 관련 특허 정보를 확인했다. 현재 연구시점에서 가용한 디지털 혁신 관련 특허 정보는 국별 · 산업별 디지털 혁신 집중도를 대략적으로 가늠해 볼 수 있는 단서를 제공한다. 또한 특허 정보를 확인하는 이유는 근본생산성에 변화가 발생한다면 디지털 혁신이 집중되는 국가와 산업을 중심으로 변화가 시작될 확률이 높을 것이라는 합리적 추론에 기인한다. [그림 4-1]에서 등고선(contour line)으로 표현한 것처럼 특허 등록 건수로 파악한 디지털 혁신은 미국, 일본, 한국, 유럽 등에서 컴퓨터 · 전자, 전기 · 기계, 컴퓨터 프로그래밍 산업 등에 편중된다.[67]

다음으로 디지털 혁신이 집중된 산업을 중심으로 해당 산업의 생산성 변화

를 보고한 기존 연구를 검토했다. 첫째, 한국생산성본부(2015)는 업종별 총요소생산성 증가율을 제시한다. 이 보고서의 분석 결과는 국가간 비교 가능한 것으로서, 특히 미국의 전기 · 전자장비 업종에서 생산성이 16%를 상회하는 수준으로 증가했다고 밝힌다. 둘째, Jorgenson(2011)은 1960~2007년 동안 컴퓨터 및 주변장비(computer and peripheral equipment) 산업의 생산성이 연평균 10.77% 증가, 반도체 및 다른 전자기기 산업의 생산성이 8.86% 증가, 소프트웨어 퍼블리싱(software publishing) 산업의 생산성이 9.01% 증가함을 보고한다. Caliendo *et al.*(2014)에서도 2002~07년, 2007~12년 동안 미국의 컴퓨터 관련 산업에서 변화된 생산성을 측정한(measured) 결과 해당 산업의 생산성이 연평균 14.6% 이상 증가함을 보여준다.[68]

그림 4-1. 디지털 혁신 관련 특허 등록 건수 집중도



주: 가로축은 국가(표 4-1)를, 세로축은 산업(표 4-2, 부록 1)을 나타내며, 밝은 색깔일수록 특허 등록 건수가 많아짐을 의미함.

자료: 2011~15년 기간 미국 특허 · 상표청(https://www.uspto.gov/web/patents/classification/index.htm, 검색일: 2018. 4. 30)에서 집계한 특허 정보 중에서 디지털 혁신과 관련성이 높은 특허 등록 건수를 이용하여 저자 작성.

67) 앞서 언급한 바와 같이 특허 등록 건수 이외에 피인용 지수 또는 H지수(Hirsh Index)를 사용하여 나타내더라도 정성적인 결과는 동일한 함의를 갖는다.

68) Bloom, Sadun, Van Reenen(2012)은 미국 정보기술(informationa technology) 산업의 생산성 향상에 관한 논의를 다루고 있으니 관심 있는 독자는 참고하기 바란다.

산업 수준(industry level)의 근본생산성 변화는 궁극적으로 국가 수준의 근본생산성 변화에 기여할 것이다.[69] 본 연구에서 채택한 접근 방법은 디지털 혁신에 따른 근본생산성 변화가 국가 내 산업별로 상이하더라도, 개별적인 산업 수준의 근본생산성 변화를 국가 수준으로 환원하여 국별로 하나의 근본생산성 변화 값만을 고려하는 것이다. 이 방법은 국가 수준의 근본생산성 변화를 고려하는 것이 근본생산성 변수의 차원(dimension)을 대폭 축소할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 그러나 여전히 남아 있는 문제점은 국가 수준에서 근본생산성 변화를 고려할 때 국별로 다를 수 있는 근본생산성 변화 값을 어떻게 처리할 것인지에 대한 대안의 부재이다. 비록 강한 가정일 수 있으나 현실적인 대안이 없음을 감안할 때 국별로 동일한 근본생산성 변화를 고려하는 방식은 연구에서 시도해볼 만한 접근법이라고 판단된다.

국가 수준(country level)에서는 오랜 기간 동안 노동생산성이 지속적으로 증가해왔다. 1인당 실질GDP와 본 연구에서 사용하는 근본생산성의 관계를 잠시 살펴보자. 산업 수준의 생산함수 $y_n^j(z_n^j) = z_n^j(T_n^j l_n^j(z_n^j))^{\gamma_n^j} \prod_{k=1}^{J} m_n^{k,j}(z_n^j)^{\gamma_n^{k,j}}$를 국가 수준의 단일 산업 무역모델에 부합하도록 바꿔 써보자. 방법은 부가가치 비중(γ_n^j)을 1로 설정하고 산업표시 기호인 j를 삭제하는 것으로 충분하다.[70] 제약조건을 반영하면 생산함수는 $y_n = z_n T_n l_n$로 표현된다. 1인당 국가총생산으로 고쳐 쓰면 $y_n/l_n = z_n T_n$가 된다. z_n은 프리쳇 분포에서 추출되고 변하지 않는다. 따라서 1인당 국가총생산 변화는 $\widehat{y_n/l_n} = \widehat{T}_n$로 표현할 수 있다. 즉 1인당 실질GDP의

69) 특정 국가의 특정 산업에 집중된 디지털 혁신은 시간이 경과하면서 세계 경제의 네트워크를 통해 확산(knowledge spillover)될 것이다. 하지만 관련 지식이 확산되는 과정에는 마찰(frictions)이 존재할 수 있으며, 이에 따라 디지털 혁신이 범용기술로서 확산될 때 지식 확산의 속도와 파급 경로가 달라질 수 있다. 본 연구에서 개발한 모델은 디지털 혁신기술이 범용기술로서 국가 수준에서 세계로 전파되는 경로와 속도를 설명하지는 못한다. 지식의 확산에 대한 부분을 다루지 못하는 것은 본 연구에서 개발한 모델의 한계로 지적될 수 있다. 하지만 기존 문헌에서도 지식 확산을 다룰 수 있는 적절한 무역모델이 매우 제한적으로 존재한다는 사실은 학자들 사이에도 널리 알려져 있다(Goldfarb and Trefler 2018).

70) 국가 수준의 단일 산업 무역모델에서는 산업이 오직 하나이므로 생산함수에서 중간재를 생산투입요소로서 고려할 여지가 없다. 단일 산업 무역모델에 대한 더 자세한 설명은 '다. 솔루션 알고리즘'을 참고하기 바란다.

증가는 본 연구에서 국가 수준의 단일 산업 무역모델을 통해 바라본 근본생산성 증가로 해석할 수 있다.

기존 문헌에서 확인할 수 있는 생산성 관련 정보로 WIPO(World Intellectual Property Organization, 세계지식재산권기구)에서 발간한 2015년 보고서 내용을 참고할 수 있다. 이 보고서에 의하면 1300~1819년 중상주의(merchant capitalism) 기간 동안 데이터에 포함된 국가의 1인당 실질GDP는 연평균 0.21% 증가했다. 1820~1949년 산업혁명(industrial revolution) 기간에는 1인당 실질GDP가 연평균 1.10%로 높아졌으며, 2차 세계대전 이후 1950~2010년 동안은 2.08%에 달하는 것으로 보고하고 있다.[71] Crafts(2004)는 1870~1910년 범용기술(GPT: General Purpose Technology)로서 증기엔진이 영국의 생산성을 0.3%포인트 높였음을 추정했다. O'Mahony and Timmer(2009)는 1995~2005년 정보통신기술(ICT)이 생산성의 0.6%포인트 증가에 기여했을 것으로 측정했다. Graetz and Michaels(2015)는 1993~2007년 로봇이 생산성을 0.37%포인트 높인다고 보고했다. McKinsey(2017)는 디지털 혁신기술로 인한 자동화가 생산성을 0.3~2.2% 증가시킬 것으로 추정했다.

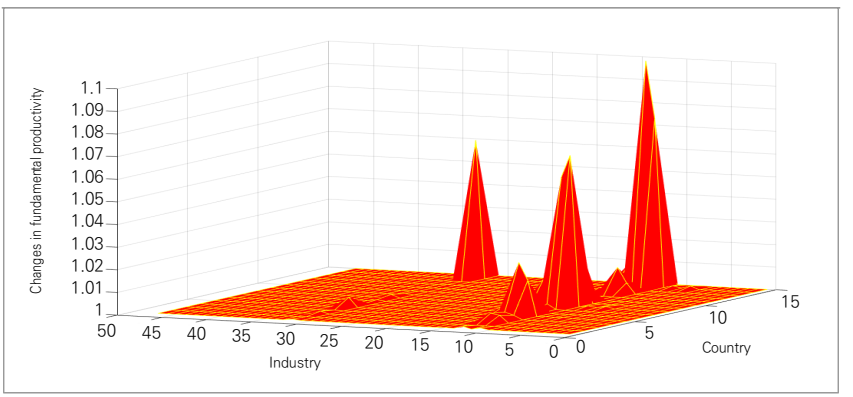
정리하면 본 장의 연구에서는 크게 두 가지 분석 시나리오를 상정하기로 한다. 하나는 특허 정보를 활용하여 '산업 수준(industry level)'의 근본생산성 향상을 고려한 디지털 혁신의 무역효과를 분석하는 것이다. 다른 하나는 WIPO와 선행연구에서 제시한 생산성 추정치 정보를 활용하여 '국가 수준(country level)'의 근본생산성 향상을 고려한 디지털 혁신의 무역효과를 분석하는 것이다. 후자의 경우는 디지털 혁신에 따른 기술이 범용기술(general purpose technology)로서 활용되는 바를 염두에 둔 것으로 앞서 언급했듯이 국별로 균일한(uniform) 근본생산성 향상을 고려하였다.

'산업 수준의 근본생산성 향상'을 고려한 디지털 혁신의 교역효과를 다루는 분석 시나리오에서는 분석대상 15개 국가에서 발생하는 디지털 혁신에 의한

71) WIPO(2015), p. 8.

근본생산성 변화벡터가 $(\hat{T}_1^1, \hat{T}_1^2, \ldots, \hat{T}_1^{47}, \hat{T}_2^1, \hat{T}_2^2, \ldots, \hat{T}_2^{47}, \ldots, \hat{T}_{15}^1, \hat{T}_{15}^2, \ldots, \hat{T}_{15}^{47})$와 같다. 구체적인 벡터 요소값은 [그림 4-2]에서 제시한 것과 동일하다. 미국의 컴퓨터 · 전자 산업에서 디지털 혁신의 증가로 인해 근본생산성이 10% 향상된 경우를 기준으로 설정하자.[72] 미국 컴퓨터 · 전자 산업의 근본생산성 10% 향상에 해당하는 특허 등록 건수를 기준으로, 분석대상국 산업별 근본생산성의 변화를 각 산업의 특허 등록 건수와 비례(proportion)하여 적용하자. 이러한 방식을 따르게 되면 미국 전기 · 기계 산업의 근본생산성 변화는 7.47%이다.

그림 4-2. 디지털 혁신에 따른 근본생산성 변화



주: 국가는 [표 4-1]을, 산업은 [표 4-2]와 [부록 1]을 참고하기 바람.
자료: 저자 작성.

'국가 수준의 근본생산성 향상'을 고려한 디지털 혁신의 교역효과를 다루는 분석에서는 세 가지 시나리오를 설정하였다. 첫째로 고려한 시나리오는 미국의 디지털 혁신이다. 즉 미국의 근본생산성만이 증가($\hat{T}_{\text{미국}} = 1\%, 2\%, 3\%$)할 경우이다. 둘째, 미국, 일본, 유럽, 한국, 중국을 포함한 주요 5개국의 디지털 혁신에 따른 교역효과이다. 주요 5개국에서 근본생산성이 동시에 증가($\hat{T}_n = 1\%, 2\%, 3\%,$

72) 반사실적 분석을 수행한 다른 연구 중 예를 들어 Hsieh and Ossa(2016)나 Caliendo *et al.*(2014)의 경우에도 산업 수준의 생산성 변화에 대한 기준을 10%로 삼은 바 있음도 참고했다.

여기서 n은 미국, 일본, 유럽, 한국, 중국)할 경우이다. 이러한 시나리오를 추가한 이유는 3장의 분석에서 살펴본 바와 같이 미국 이외에 디지털 혁신이 활발한 국가로 일본, 유럽, 한국이 거론될 수 있기 때문이다. 주요 5개국을 선정할 때 중국을 포함시킨 이유는 3장의 비교 분석 결과에서도 살펴보았듯이 디지털 혁신에 대한 중국의 절대적인 수치는 다른 주요국에 비해 작지만 증가 속도가 빠르기 때문이다. 셋째, 세계 디지털 혁신의 교역효과이다. 즉 분석대상국 모두에서 근본생산성이 동시에 증가($\hat{T}_n = 1\%, 2\%, 3\%$, 여기서 n은 분석대상 모든 국가)할 경우도 고려하였다. 국가 수준의 근본생산성 향상에 대한 시나리오는 범용기술의 확산을 고려하기 위해 고안된 것이며, 이에 따라 선택해야 할 근본생산성 증가폭은 기존 연구의 결과를 참고했음을 밝혀 둔다.

다. 솔루션 알고리즘

'산업 수준의 근본생산성 향상'을 고려한 디지털 혁신의 교역효과를 다루는 시나리오에서 분석 결과를 산출하기 위해서는 [식 4-9]~[식 4-12]로 구성된 $(N\times J)+(N\times J)+(N\times N\times J)+(N\times J)$개의 세계경제균형 변화율 식에서 내생변수의 균형값을 구하는 솔루션 알고리즘이 필요하다. 우선 모든 국가의 임금 벡터를 시작점으로 삼고, 임금 벡터의 요소인 국별 임금 변화가 없음을 초기값으로 설정한다. 임금 변화율 초기 값을 이용하면 ($N\times J$)개로 구성된 단위생산비용 변화(식 4-9)와 ($N\times J$)개로 구성된 최종재 생산물의 균형가격 변화(식 4-10)을 내생적으로 결정할 수 있다. 다음으로 임금변화율 초기 값과 연동된 단위생산비용 변화 값과 최종재 생산물의 가격 변화 값을 활용하면, ($N\times N\times J$)개 산업별 국가간 무역 비중 변화 값이 산출된다. 임금변화율 초기 값에 대응하는 단위생산비용 변화 값, 최종재 생산물의 균형가격 변화 값, 산업별 국가간 무역 비중 변화 값을 활용하여 ($N\times J$개) 국별 산업별 균형지출의 변화를 계산할 수 있다.

다음으로 내생적으로 결정한 모든 균형 값이 변한 후 세계무역수지 균형식 $\sum_j \sum_n (\pi_{ni}^j)'(X_n^j)' = \sum_j \sum_n (\pi_{in}^j)'(X_i^j)'$을 만족하는지 여부를 살펴본 뒤, 세계무역수지 불균형을 개선하는 방향으로 임금변화 초기 값을 보정한다. 솔루션을 얻기 위한 알고리즘은 임금변화 초기 값을 지속적으로 업데이트(update)하면서 [식 4-9]에서 [식 4-12]에 이르는 모든 계산을 반복적으로 수행하는 방식을 따른다.[73] 근본생산성 변화가 없는 경우 세계경제균형 변화 값을 산출하여 그 결과를 기본 균형 변화율로 삼고, 시나리오에 따라 근본생산성이 변화할 때 새롭게 형성되는 세계경제균형 변화 값을 솔루션 알고리즘을 통해 산출한다.

'국가 수준의 근본생산성 향상'을 고려한 디지털 혁신의 교역효과를 다루는 시나리오에서도 앞서 설명한 방식과 동일한 솔루션 알고리즘을 사용하여 분석 결과를 도출할 수 있다. 다만 국가 수준의 단일 산업 무역모델을 고려해야 하기 때문에 '앞의 이론모델'에서 몇 가지 제약요건을 부여할 필요가 있다. 여기서 단일 산업의 의미는 무역이 가능한 산업이 단 하나만 존재함을 뜻한다. 무역이 가능한 산업이 하나이므로 단일 산업 무역모델은 국가 수준으로 구축한 무역모델과 같다. 따라서 단일 산업 무역모델은 리카르도 모델을 확장한 Eaton and Kortum(2002)에 근본생산성을 추가한 것으로 이해해도 무방하다. 소비자는 각각 상품과 서비스라는 복합재(composite goods)를 최적 선택하여 효용극대화에 도달한다. 앞서 보여준 소비자의 최적 선택이 복수개 산업에서 생산되는 상품과 서비스를 통해서 이루어지는 것과는 다르다. 따라서 소비자 효용함수도 $U(x_n) = x_n^T x_n^{NT}$로 변형되어야 한다. 여기서 T는 무역이 가능한 산업, NT는 무역이 가능하지 않은 산업을 의미한다. 이 때 효용극대화 필요조건은 $x_n^T p_n^T = \alpha_n^T w_n L_n$가 된다. 생산성 벡터는 $z = (z_1, z_2, ..., z_N)$로 충분하다. 부가가치 비중(γ_n^j)은 1로 설정하고 형상변수(θ)는 산업 평균값을 사용하기로 한

73) 임금변수 변화 값과 연동된(corresponding) 모든 다른 변수 값이 무역수지 오차를 10억 분의 1 미만으로 만들 때 세계경제균형으로 간주한다.

다. 국가 수준의 단일 산업 무역모델에서는 산업연관 관계를 고려하는 것이 아니기 때문에 WIOD 데이터의 일부 정보만 사용된다. 마지막으로 국별로 상이한 관세 수준을 결정해야 한다. 이를 위해 WITS 데이터에서 추출한 국가간 산업별 관세정보를 국가 수준에서 평가해야 한다. 여러 가지 방법이 있을 수 있으나 본 연구에서는 국가 내 산업별 가중평균관세 데이터의 중위값(median)을 사용하였다.[74]

4. 시나리오별 분석 결과

이제 이론모델과 데이터를 활용하여 앞 절에서 설명한 시나리오를 바탕으로 디지털 혁신의 교역효과에 대해 분석한 결과를 제시한다. '산업 수준의 근본생산성 향상'에서는 본 장의 연구에서 구축한 산업연관 관계를 고려한 무역모델을 활용하고, '국가 수준의 근본생산성 향상'을 고려하기 위해서는 국가 수준의 단일 산업 무역모델을 사용했다.[75]

가. 산업 수준의 디지털 혁신 시나리오

산업 수준의 근본생산성 향상을 고려하여 디지털 혁신의 교역효과에 대해 분석한 결과를 '국별 총 교역 변화', '국가간 교역 변화', '산업별 총 교역 변화', '산업별 수출 비중 변화'로 나누어 기술한다.

74) 본문에서 균형식을 도출하는 과정을 간소화했기 때문에 솔루션 알고리즘에 관한 설명은 큰 흐름에서 계산논리 과정만을 포함한다. 솔루션 알고리즘에 관한 상세과정 설명은 자세한 수식과 함께 후속연구에서 수록할 예정이다.

75) 단일 산업 무역모델에 대한 설명은 '다. 솔루션 알고리즘'을 참고하기 바란다.

1) 국별 총 교역 변화

[표 4-3]은 산업 수준의 근본생산성 증가를 고려하여 디지털 혁신에 따른 국별 총 교역 변화를 $\sum_i \sum_j [(E_{ni}^j)' - E_{ni}^j] / \sum_i \sum_j E_{ni}^j$ 식을 이용하여 계산하고 정리한 것이다.

표 4-3. 산업 수준의 디지털 혁신 시나리오 – 국별 총 교역 변화

(단위: %)

국가	국별 총 교역 변화
호주	0.32
브라질	0.28
캐나다	1.11
중국	-0.36
유럽	1.53
인도	0.45
인도네시아	0.64
일본	5.71
한국	1.39
멕시코	0.12
러시아	0.69
대만	0.60
터키	0.22
미국	3.35
ROW	0.68

주: 시나리오에서 부여한 근본생산성의 변화는 [그림 4-2]를 참고.
자료: 저자 작성.

위의 표에서 보듯이 산업 수준에서 디지털 혁신에 따라 증가된 근본생산성은 중국을 제외한 모든 분석대상국가의 총 교역을 늘릴 것이라는 예측치를 보여준다. 미국의 총 교역은 3.35%, 일본의 총 교역은 5.71% 증가할 것으로 예측된다. 한국과 유럽의 총 교역도 각각 1.39%, 1.53% 늘어날 것으로 나타난다. 디지털 혁신 수준이 낮은 국가인 중국, 브라질, 인도, 인도네시아, 멕시코,

러시아, 터키 등은 디지털 혁신에 따른 근본생산성의 변화가 해당 국가의 총 교역에 상대적으로 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타난다. 중국의 교역 변화 계산 결과가 음(-)의 값을 갖는 이유는 복합적인 요인이 기여한 것으로 보인다. 3장에서 살펴본 바와 같이 중국의 디지털 혁신 관련 특허 실적이 다른 주요국에 비해 상대적으로 낮아 디지털 혁신에 따른 근본생산성 증가가 중국에게 큰 영향을 주지 못한다. 중국의 낮은 근본생산성 증가는 중국이 주요 교역국가인 미국, 유럽, 일본, 한국 등과 가격 경쟁에서 열위에 놓이게 됨을 의미한다. [식 4-6]에서 나타낸 바와 같이 근본생산성의 증가는 국가간 가격 경쟁에서 비교우위를 안겨 준다. 하지만 주어진 생산 기술과 투입산출 구조에서 중국의 근본생산성이 증가하더라도 교역상대국의 근본생산성 증가보다 증가폭이 상대적으로 낮다면, 이는 중국이 가격경쟁에서 비교열위에 처함을 뜻한다. 주어진 결과는 한국이 디지털 혁신이 집중된 산업에서 선진국보다 뒤처지지 않도록 노력해야 함을 시사한다고 해석할 수 있다. 산업 수준에서 디지털 혁신에 따른 국별 총 교역 변화 결과는 추후 제시할 국가 수준의 근본생산성 향상을 고려한 디지털 혁신의 교역효과 예측 결과와 보완적으로 살펴볼 필요가 있다.

2) 국가간 교역 변화

[표 4-4]는 산업 수준에서 디지털 혁신에 따른 근본생산성 증가가 촉발하는 국가간 교역 변화를 $\sum_j[(E_{ni}^j)' - E_{ni}^j]/\sum_j E_{ni}^j$ 식을 통해 계산하고 결과를 정리한 것이다. 1행은 수출국을 의미하고 1열은 수입국을 의미한다. 앞의 [표 4-3]에서 나타낸 결과는 총 교역 효과에 대한 유용한 정보를 제공하기는 하나 총 교역 변화 정보만 있을 뿐 '국가간' 교역 변화에 대한 정보는 찾을 수 없다. 그러나 [표 4-4]는 국가간 교역 변화를 자세히 나타내고 있다.

표 4-4. 산업 수준의 디지털 혁신 시나리오 – 국가간 교역 변화

(단위: %)

수출 / 수입	호주	브라질	캐나다	중국	EU	인도	인도네시아	일본	한국	멕시코	러시아	대만	터키	미국	ROW
호주	–	−1.3	−3.7	−1.9	−0.5	−0.7	−2.2	−0.1	−0.9	−3.0	0.1	−0.1	−1.3	7.4	−0.6
브라질	0.3	–	−3.6	−0.4	1.0	−0.6	0.0	8.1	1.8	−1.7	1.1	1.2	−0.1	−0.2	0.3
캐나다	−2.2	−0.9	–	−3.6	−2.0	−0.5	−0.7	3.5	−2.7	−3.2	1.0	−2.0	−1.6	3.2	−0.1
중국	−0.4	−0.4	−3.5	–	0.0	−1.7	−0.1	3.0	0.7	−3.0	−0.5	−0.3	0.1	−1.7	−0.8
유럽	0.6	0.7	−0.8	−0.3	–	0.6	0.5	11.0	2.3	−1.0	1.1	1.2	0.4	3.7	1.0
인도	0.9	0.6	−1.8	−1.2	−0.1	–	1.1	5.7	0.4	−1.0	0.8	0.2	0.3	1.0	0.7
인도네시아	−0.2	−0.4	−4.0	−0.5	1.8	−2.2	–	10.0	0.2	−3.4	−0.3	1.3	−0.5	4.0	−0.4
일본	2.1	3.6	3.8	3.6	10.3	7.4	3.5	–	6.6	2.8	2.2	5.3	4.9	11.0	3.6
한국	0.6	0.5	−1.6	−0.4	1.0	0.8	0.9	3.2	–	−1.4	0.5	1.3	4.2	5.4	0.3
멕시코	−1.7	−3.1	−2.8	−4.4	−2.9	−0.8	−1.7	3.0	−2.8	–	0.0	−2.6	−3.0	2.7	−2.8
러시아	−0.7	−0.3	−2.7	−0.5	0.9	−0.8	−0.1	3.4	1.1	−1.8	–	1.3	−0.3	4.2	−0.2
대만	−0.1	−0.4	−1.6	−3.0	−1.5	−0.2	0.0	3.9	−0.0	−3.1	−0.5	–	0.4	7.4	−1.3
터키	−0.0	−0.6	−2.2	−1.3	0.3	−1.4	−0.2	15.8	0.8	−2.2	−0.1	0.5	–	1.7	−0.3
미국	2.2	3.2	2.5	1.5	5.8	4.3	1.8	11.4	4.6	1.0	3.6	3.4	2.5	–	3.2
ROW	−0.3	−0.4	−2.1	−1.5	0.2	−0.6	−0.1	4.6	0.8	−2.2	−0.1	0.1	−0.6	4.6	–

주: 1) 1행은 수출국, 1열은 수입국을 나타냄.
2) 시나리오에서 부여한 근본생산성의 변화는 [그림 4-2]를 참고.
자료: 저자 작성.

[표 4-4]에서 나타나는 특징적인 결과는 디지털 혁신이 활발하게 발생하는 미국, 일본, 유럽, 한국 등의 국가 사이에서 교역이 상대적으로 크게 증가하는 패턴이 나타난다는 점이다. 미국은 유럽으로 수출을 3.7%, 일본으로 수출을 11.0%, 한국으로 수출을 5.4% 증가시킬 것으로 예측된다. 일본도 유럽으로 수출을 11.0%, 한국으로 수출을 3.2%, 미국으로 수출을 11.4% 늘린다. 유럽은 일본으로 수출을 10.3%, 한국으로 수출을 1.0%, 미국으로 수출을 5.8% 증가시킨다. 한국은 유럽으로 수출을 2.3%, 일본으로 수출을 6.6%, 미국으로 수출을 4.6% 늘릴 것으로 예측된다. 미국, 일본, 유럽, 한국을 제외한 다른 국가 사이의 교역 변화폭은 미국, 일본, 유럽, 한국 사이의 교역 변화폭에 비해 작은 편이며 교역 감소(-)라는 결과도 상당수 나타난다.

3) 산업별 총 교역 변화

[표 4-5]는 산업 수준에서 디지털 혁신에 따른 근본생산성의 증가가 촉발하는 산업별 총 교역 변화를 $\sum_i[(E_{ni}^j)' - E_{ni}^j]/\sum_i E_{ni}^j$ 식을 통해 계산한 결과를 정리한 것이다. 국별 총 교역 변화를 보여주는 [표 4-3]과 국가간 교역 변화를 보여주는 [표 4-4]와는 달리 아래의 [표 4-5]는 국별로 존재하는 산업의 총 교역액 변화에 대한 정보를 보여주고 있다.

표 4-5. 산업 수준의 디지털 혁신 시나리오 – 산업별 총 교역 변화

(단위: %)

산업	호주	브라질	캐나다	중국	EU	인도	인도네시아	일본	한국	멕시코	러시아	대만	터키	미국	ROW
농림	0.65	0.47	0.34	1.41	−0.15	0.24	1.61	−5.91	2.57	1.82	0.61	3.50	0.74	−2.57	0.44
광업	0.36	0.39	1.91	1.76	−1.36	−1.16	0.73	−9.99	−1.12	1.24	0.81	3.94	0.29	−4.78	0.38
식품	0.53	0.24	0.44	0.77	0.11	0.07	0.28	−1.87	0.55	0.62	0.32	0.88	0.28	−0.60	0.28
섬유	0.21	0.20	0.02	0.67	−0.23	−0.04	0.68	−3.57	0.08	0.31	0.19	0.70	0.29	−1.47	0.30
목재	1.06	1.09	0.82	1.29	−0.13	0.35	0.87	−4.08	0.53	1.29	0.31	2.05	0.21	−1.46	0.72
펄프	0.96	0.83	0.61	2.26	−0.31	−0.05	1.21	−7.91	0.86	1.55	0.47	2.75	0.67	−2.30	0.62
석유	1.01	1.56	1.43	1.15	0.31	0.17	0.70	−4.48	0.68	0.46	1.12	2.08	0.67	−2.39	0.58
화학	5.14	5.52	2.43	10.09	3.36	2.70	5.73	−22.24	1.33	2.89	5.69	3.79	5.77	−7.28	4.73
고무	0.23	0.24	1.07	1.03	−0.16	0.00	1.22	−3.08	0.29	1.12	0.07	0.95	0.28	−1.19	0.74
비금속	0.27	0.46	0.74	0.35	−0.05	−0.01	−0.14	−1.25	0.06	0.74	−0.19	0.36	0.18	−0.40	0.03
철강	−0.13	0.38	1.38	0.33	−0.49	−0.45	0.06	−2.53	0.25	2.04	0.07	0.77	−0.27	−1.35	0.22
기계	−5.95	−7.02	0.21	−2.82	5.07	−3.17	−6.57	48.23	1.51	−3.81	−6.04	4.00	−4.89	53.37	0.81
전자	−2.83	−3.20	−1.52	−1.13	0.56	−2.62	−2.10	4.31	1.63	−1.11	−3.51	0.16	−2.70	10.40	−1.07
운송	1.04	0.85	0.98	2.67	0.20	0.12	1.37	−6.22	2.50	1.26	0.85	2.88	0.77	−1.74	1.59
기타	0.11	−0.03	0.34	0.18	0.04	−0.02	0.11	−0.03	0.07	0.43	−0.15	0.34	−0.09	−0.02	0.11

주: 1) 산업은 [표 4-2]를 참고.
2) 시나리오에서 부여한 산업 수준의 근본생산성 변화는 [그림 4-2]를 참고.
자료: 저자 작성.

[표 4-5]에서 파악할 수 있는 특징은 미국과 일본은 전기 · 기계와 컴퓨터 · 전자 산업에 총 교역 증가가 집중된다는 점이다. 예를 들어 미국의 전기 · 기계 산업 총 교역이 53.37% 증가하고 컴퓨터 · 전자 산업의 총 교역도 10.40% 증

가할 것으로 예측된다. 일본의 전기기계 산업 총 교역도 48.23% 증가하고 컴퓨터 · 전자 산업의 총 교역은 4.31% 늘어날 것으로 나타난다. 유럽과 한국은 같은 산업에서 총 교역의 증가가 미국과 일본에 비해 상대적으로 작다.[76]

4) 전기 · 기계 산업의 수출 변화

[표 4-6]은 산업 수준에서 디지털 혁신에 따른 근본생산성 증가가 촉발하는 전기 · 기계 산업의 국가간 수출 변화를 $[(E_{ni}^{\text{전기기계}})' - E_{ni}^{\text{전기기계}}]/E_{ni}^{\text{전기기계}}$ 식을 이용하여 계산하고 결과를 정리한 것이다. [표 4-5]에서 디지털 혁신에 따른 근본생산성 향상으로 미국과 일본의 전기 · 기계 산업에서 총 교역이 증가함을 보였지만 이 정보로는 해당 산업에서 국가간 교역이 어떻게 변화했는지는 알 수 없다.

[표 4-6]에 나타낸 바와 같이 미국과 일본은 전기 · 기계 산업에서 모든 교역상대국으로 수출을 크게 늘릴 것으로 예측된다. 주요국을 중심으로 살펴보면, 전기 · 기계 산업에서 미국은 중국으로 수출을 66.7%, 유럽으로 수출을 68.0%, 일본으로 수출을 80.2%, 한국으로 수출을 58.0% 늘린다. 같은 산업에서 일본은 중국으로 수출을 53.5%, 유럽으로 수출을 54.7%, 한국으로 수출을 45.6%, 미국으로 수출을 58.7% 확대할 것으로 예측된다. 한국과 유럽은 전기 · 기계 산업의 수출 증가가 미국과 일본에 비해 상대적으로 약한 수준으로 나타난다. 중국은 교역상대국으로 전기 · 기계 산업 수출이 대부분 감소할 것으로 예측된다.

---

76) 미국과 일본의 수출 변화에서 나타난 전기 · 기계와 컴퓨터 · 전자 외의 산업에서는 총 교역이 일제히 감소하는 결과는 모델의 특성에서 기인한 것으로 보인다. 이 연구에서 구축한 모델이 생산물 시장이 완전경쟁적이고 노동의 증감이 없는 완전고용을 가정하고 있으므로, 특정 산업에서 근본생산성 변화가 집중되면 해당 산업의 단위생산비용 감소와 함께 노동과 중간재 수요를 일제히 늘리게 된다. 주어진 노동자원으로 근본생산성 변화가 비균질적으로 반영될 경우 [표 4-5]의 결과처럼 다소 극단적인 예측치가 산출될 수 있다.

표 4-6. 산업 수준의 디지털 혁신 시나리오 – 전기 · 기계 산업의 수출 변화

(단위: %)

수출 / 수입	호주	브라질	캐나다	중국	유럽	인도	인도네시아	일본	한국	멕시코	러시아	대만	터키	미국	ROW
호주	–	-13.4	-10.8	-11.1	-2.6	-11.4	-13.3	37.6	-6.8	-14.6	-13.4	-5.7	-13.7	49.4	-8.5
브라질	-4.9	–	-2.4	-2.8	6.5	-3.1	-5.1	50.5	2.0	-6.6	-5.3	3.2	-5.6	63.4	0.1
캐나다	-24.8	-25.2	–	-23.1	-15.8	-23.4	-25.0	19.0	-19.4	-26.2	-25.1	-18.4	-25.4	29.2	-20.9
중국	-3.0	-3.4	-0.5	–	8.6	-1.1	-3.2	53.5	4.0	-4.7	-3.3	5.3	-3.7	66.7	2.1
유럽	-2.3	-2.7	0.3	-0.1	–	-0.4	-2.5	54.7	4.8	-4.0	-2.6	6.1	-3.0	68.0	2.9
인도	-12.0	-12.4	-9.7	-10.0	-1.5	–	-12.2	39.3	-5.6	-13.6	-12.3	-4.5	-12.7	51.2	-7.4
인도네시아	-3.1	-3.5	-0.6	-0.9	8.5	-1.2	–	53.4	3.9	-4.8	-3.4	5.1	-3.8	66.5	2.0
일본	4.9	4.4	7.6	7.2	17.4	6.9	4.6	–	12.5	3.0	4.5	13.8	4.1	80.2	10.4
한국	-8.0	-8.5	-5.7	-6.0	3.0	-6.3	-8.3	45.6	–	-9.7	-8.4	-0.2	-8.7	58.0	-3.2
멕시코	-23.2	-23.5	-21.2	-21.4	-14.0	-21.7	-23.4	21.6	-17.6	–	-23.4	-16.6	-23.7	32.0	-19.1
러시아	-5.8	-6.3	-3.4	-3.7	5.4	-4.0	-6.0	49.1	1.0	-7.5	–	2.2	-6.5	61.8	-0.9
대만	-19.6	-20.0	-17.5	-17.8	-10.0	-18.1	-19.8	27.2	-13.8	-21.1	-19.9	–	-20.2	38.1	-15.4
터키	-5.8	-6.2	-3.3	-3.6	5.5	-3.9	-6.0	49.2	1.1	-7.4	-6.1	2.3	–	61.9	-0.8
미국	0.3	-0.2	2.9	2.5	12.2	2.2	0.0	58.7	7.5	-1.5	-0.1	8.8	-0.5	–	5.6
ROW	-7.0	-7.5	-4.6	-5.0	4.1	-5.2	-7.3	47.1	-0.3	-8.7	-7.4	0.9	-7.7	59.7	–

주: 1) 1행은 수출국, 1열은 수입국을 의미함.
2) 시나리오에서 부여한 산업 수준의 근본생산성의 변화는 [그림 4-2]를 참고.
자료: 저자 작성.

5) 컴퓨터 · 전자 산업의 수출 변화

[표 4-7]은 산업 수준에서 디지털 혁신에 따른 근본생산성 증가가 촉발하는 컴퓨터 · 전자 산업의 국가간 교역 변화를 $[(E_{ni}^{\text{컴퓨터전자}})' - E_{ni}^{\text{컴퓨터전자}}]/E_{ni}^{\text{컴퓨터전자}}$ 식을 이용하여 계산하고 결과를 정리한 것이다. [표 4-5]에서 디지털 혁신에 따른 근본생산성 향상에 따라 미국과 일본의 컴퓨터 · 전자 산업에서 총 수출이 확대함을 보였지만 이 정보로는 해당 산업에서 국가간 교역이 어떻게 변화했는지는 알 수 없다.

[표 4-7]에서 나타낸 바와 같이 컴퓨터 · 전자 산업에서 미국이 교역상대국으로 수출을 늘린다는 결과가 도드라진다. 주요국을 중심으로 살펴보면, 미국은 중국으로 수출을 9.8%, 유럽으로 수출을 11.4%, 일본으로 수출을 15.6%,

한국으로 수출을 12.0% 늘린다. 같은 산업에서 한국의 수출 증가는 양호한 수준으로 판단된다. 한국은 중국으로 수출을 1.0%, 유럽으로 수출을 2.5%, 일본으로 수출을 6.4%, 미국으로 수출을 4.6% 늘리는 것으로 예측된다. 컴퓨터 · 전자 산업에서 한국의 대중국, 대일본, 대미국 수출실적은 일본보다는 적지만 유럽보다는 많을 것으로 예측된다.

표 4-7. 산업 수준의 디지털 혁신 시나리오 – 컴퓨터 · 전자 산업의 수출 변화

(단위: %)

수출 / 수입	호주	브라질	캐나다	중국	유럽	인도	인도네시아	일본	한국	멕시코	러시아	대만	터키	미국	ROW
호주	–	−4.0	−3.8	−2.6	−0.6	−3.8	−3.5	3.6	1.1	−3.7	−4.2	−0.6	−3.8	9.9	−2.4
브라질	−2.5	–	−2.1	−0.9	1.1	−2.1	−1.9	5.4	2.9	−2.0	−2.5	1.2	−2.1	11.8	−0.7
캐나다	−5.9	−5.7	–	−4.3	−2.4	−5.5	−5.3	1.7	−0.7	−5.4	−5.9	−2.4	−5.5	7.9	−4.2
중국	−4.2	−4.1	−3.9	–	−0.7	−3.9	−3.6	3.5	1.0	−3.8	−4.3	−0.7	−3.9	9.8	−2.5
유럽	−2.8	−2.7	−2.4	−1.2	–	−2.4	−2.2	5.0	2.5	−2.3	−2.8	0.8	−2.4	11.4	−1.0
인도	−3.1	−2.9	−2.7	−1.5	0.5	–	−2.5	4.7	2.2	−2.6	−3.1	0.5	−2.7	11.1	−1.3
인도네시아	−2.7	−2.5	−2.3	−1.1	0.9	−2.3	–	5.1	2.6	−2.2	−2.7	0.9	−2.3	11.6	−0.9
일본	0.9	1.0	1.2	2.5	4.6	1.2	1.5	–	6.4	1.3	0.8	4.6	1.2	15.6	2.7
한국	−2.3	−2.2	−2.0	−0.7	1.3	−2.0	−1.7	5.5	–	−1.9	−2.4	1.3	−2.0	12.0	−0.6
멕시코	−5.9	−5.7	−5.5	−4.3	−2.4	−5.5	−5.3	1.7	−0.7	–	−5.9	−2.4	−5.5	7.9	−4.2
러시아	−2.0	−1.8	−1.6	−0.4	1.6	−1.6	−1.4	5.9	3.4	−1.5	–	1.7	−1.6	12.4	−0.2
대만	−4.5	−4.4	−4.1	−2.9	−1.0	−4.1	−3.9	3.2	0.7	−4.0	−4.5	–	−4.1	9.5	−2.8
터키	−3.5	−3.3	−3.1	−1.9	0.1	−3.1	−2.9	4.3	1.8	−3.0	−3.5	0.1	–	10.7	−1.7
미국	−0.8	−0.6	−0.4	0.8	2.9	−0.4	−0.2	7.2	4.6	−0.3	−0.8	2.9	−0.4	–	1.0
ROW	−3.8	−3.6	−3.4	−2.2	−0.2	−3.4	−3.1	4.0	1.5	−3.3	−3.8	−0.2	−3.4	10.3	–

주: 1) 1행은 수출국, 1열은 수입국을 의미함.
2) 시나리오에서 부여한 산업 수준의 근본생산성의 변화는 [그림 4-2]를 참고.
자료: 저자 작성.

6) 산업별 수출 비중 변화

[표 4-8]은 산업 수준에서 디지털 혁신에 따른 근본생산성 증가가 야기하는 산업별 수출 비중 변화를 $(E_{ni}^{j})'/(\sum_i E_{ni}^{j})' - E_{ni}^{j}/\sum_i E_{ni}^{j}$ 식을 통해 계산하고 정리한 것이다.

[표 4-5]부터 [표 4-7]을 통해 살펴본 바와 같이 디지털 혁신에 따른 근본생산성

변화는 미국의 전기 · 기계와 컴퓨터 · 전자 산업의 수출을 크게 늘리고, 일본의 전기 · 기계 산업의 수출도 크게 확대시킨다. 같은 산업에서 유럽과 한국의 수출 변화는 미국과 일본에 비해 상대적으로 변동폭이 작다. 이 결과는 [표 4-8]의 산업별 수출 비중 변화를 확인하더라도 질적으로 동일한 정보를 얻을 수 있다.

본 장에서 구축한 이론모델을 통해 WIOD, WITS, 특허 정보를 활용하고 산업 수준의 근본생산성 향상을 고려하여 디지털 혁신의 교역효과를 국별 총 교역, 국가간 교역, 산업별 총 교역, 전기 · 기계와 컴퓨터 · 전자 산업의 수출, 산업별 수출 비중 변화로 나누어 살펴보았다. 특허 정보를 통해 식별한 바와 같이 디지털 혁신 관련 특허는 특정 국가, 특정 산업에 집중된다. 이를 바탕으로 근본생산성 변화를 생성하였고 그에 따른 교역효과를 분석했다.

표 4-8. 산업 수준의 디지털 혁신 시나리오 – 산업별 수출 비중 변화

(단위: %)

산업	중국		유럽		일본		한국		미국	
	기준	변화 후	기준	변화 후	기준	변화 후	기준	변화 후	기준	변화 후
농림	0.6	0.6	1.5	1.5	0.2	0.2	0.2	0.2	4.6	4.4
광업	0.2	0.2	1.3	1.3	0.1	0.1	0.2	0.2	2.1	1.9
식품	1.5	1.5	5.4	5.3	0.7	0.6	1.0	1.0	3.6	3.5
섬유	12.3	12.4	3.1	3.1	1.0	0.9	2.3	2.3	0.9	0.9
목재	0.7	0.7	0.7	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.4
펄프	0.9	0.9	2.1	2.0	0.9	0.8	0.6	0.6	2.0	1.9
석유	0.6	0.6	2.9	2.9	1.5	1.3	5.8	5.8	4.7	4.4
화학	1.7	1.8	20.8	21.2	10.8	7.9	8.8	8.8	32.3	29.0
고무	3.1	3.2	2.5	2.4	3.8	3.5	3.0	3.0	2.2	2.1
비금속	1.8	1.8	1.3	1.3	1.4	1.3	0.8	0.8	0.7	0.7
철강	8.2	8.2	8.7	8.5	10.5	9.7	9.7	9.5	4.6	4.4
기계	8.9	8.7	15.5	16.0	**18.3**	**25.6**	9.7	9.7	**9.5**	**14.2**
전자	49.7	49.3	13.9	13.8	28.4	28.1	45.5	45.7	**13.7**	**14.6**
운송	2.6	2.7	17.4	17.2	21.2	18.8	11.8	11.9	17.3	16.4
기타	7.3	7.3	2.8	2.7	1.2	1.1	0.6	0.6	1.3	1.3
	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

주: 1) 산업분류는 [표 4-1]을 참고.
2) 시나리오에서 부여한 산업 수준의 근본생산성의 변화는 [그림 4-2]를 참고.
자료: 저자 작성.

특허 정보는 연구시점 현재 가용한 최선의 정보 중 하나임에 분명하지만 디지털 혁신 관련 기술이 '전기'나 '정보통신'처럼 향후 범용기술(general purpose technology)로 활용되어 국가 수준의 근본생산성이 향상되는 경우를 포괄하지는 못한다. 이러한 관점에서 산업 수준의 근본생산성 향상을 고려한 디지털 혁신에 대한 교역효과 분석은 상대적으로 단기 분석에 속한다고 볼 수 있다. 다음으로 본 장에서 구축한 이론모델을 통해 산업 수준이 아닌 '국가 수준'에서 근본생산성 변화를 고려하고자 한다. 국가별로 근본생산성 변화가 상이할 수 있으나 이를 모두 고려하는 것은 사실상 불가능하므로, 비록 강한 가정이기는 하나 분석대상국가 모두가 균등한 근본생산성 향상을 경험하는 경우로 한정하여 간단한 분석을 수행한다.

나. 국가 수준의 디지털 혁신 시나리오

'국가 수준의 디지털 혁신 시나리오'에서는 앞서의 시나리오와 다르게 '산업 수준'이 아닌 '국가 수준'에서 세 가지 시나리오를 살펴보는데, 각 시나리오에서 '국가 수준'에서 근본생산성 변화가 각각 1%, 2%, 3% 증가한 경우의 결과를 제시한다. 분석모델을 통해 나타나는 결과를 '국별 총 교역 변화', '국가간 교역 변화'로 나누어 기술한다.[77]

1) 국별 총 교역 변화

[표 4-9]는 디지털 혁신에 따라 국가 수준의 근본생산성이 각각 1%, 2%, 3% 증가할 경우 국별 총 교역이 변화하는 정도를 $\sum_i \sum_j [(E_{ni}^j)' - E_{ni}^j] / \sum_i \sum_j E_{ni}^j$ 식을 통해 계산하고 나타난 결과를 정리한 것이다. '미국'이 의미하는 것은 디지털 혁신에 따라 미국 근본생산성만이 증가($\hat{T}_{미국} = 1\%, 2\%, 3\%$)하는 경우이다.

77) 국가 수준의 단일 산업 무역모델을 사용하는 경우에는 무역이 가능한 산업이 오직 하나임을 가정하므로 '산업별 총 교역 변화', '산업별 수출 비중 변화' 등에 대한 결과는 제외되었다.

'주요 5개국'이 의미하는 것은 디지털 혁신에 따라 주요 5개국 근본생산성만이 동시 증가($\hat{T}_n = 1\%, 2\%, 3\%$ 여기서 n은 미국, 일본, 유럽, 한국, 중국)하는 경우이다. '세계 확산'이 의미하는 것은 디지털 혁신에 따라 모든 분석대상국 근본생산성이 동시 증가($\hat{T}_n = 1\%, 2\%, 3\%$ 여기서 n은 [표 4-1]에 나타난 15개 국가)하는 경우이다.

[표 4-9]에서 확인할 수 있는 특징적인 결과를 정리하면 다음과 같다. 첫째, 국가 수준의 근본생산성 향상을 고려한 디지털 혁신은 국별 총 교역을 높일 것으로 예측한다. [표 4-9]에서도 간단히 확인할 수 있는 바와 같이 분석대상국가 모두의 총 교역 변화는 양(+)의 값을 갖는다. 예를 들어 근본생산성 1% 증가의 경우에서 '세계'를 살펴보면, 한국의 총 교역이 3.77% 증가할 것으로 예측된다.

둘째, 디지털 혁신이 국별 총 교역에 미치는 영향은 '미국', '주요 5개국', '세계'의 경우로 나아갈수록 커진다. 주어진 근본생산성 변화의 크기와 무관하게, '미국'에서 나타난 결과에 비해 '세계'에서 확인할 수 있는 국별 총 교역의 증가 정도가 크다. 예를 들어 근본생산성 1% 증가 시 '미국'의 경우에서는 한국의 총 교역이 0.46% 증가하나, '세계'의 경우에서 한국의 총 교역은 3.77%로 더 커진다.

셋째, 디지털 혁신에 따른 근본생산성 변화의 크기가 커질수록 국별 총 교역의 변화도 커진다. 고려하는 시나리오별로 근본생산성 변화가 1%인 경우의 총 교역 변화에 비해 3%인 경우의 총 교역 변화 정도가 크다. 예를 들어 '세계'의 경우 근본생산성 1% 증가 시 한국의 총 교역이 3.77% 증가할 것으로 예측되지만 근본생산성 3% 증가 시 한국의 총 교역은 11.24% 증가할 것으로 나타난다.

표 4-9. 국가 수준의 디지털 혁신 시나리오 – 국별 총 교역 변화

(단위: %)

	근본생산성 1% 증가			근본생산성 2% 증가			근본생산성 3% 증가		
	미국	주요 5개국	세계	미국	주요 5개국	세계	미국	주요 5개국	세계
호주	0.34	1.37	3.48	0.52	2.60	6.90	0.71	3.85	10.41
브라질	0.54	1.44	4.08	0.84	2.66	8.05	1.14	3.90	12.18
캐나다	1.06	1.43	3.18	2.08	2.81	6.36	3.11	4.21	9.62
중국	0.61	3.23	4.12	0.93	6.29	8.11	1.27	9.46	12.27
유럽	0.69	3.03	4.05	1.05	5.82	7.90	1.41	8.70	11.89
인도	0.59	1.12	3.73	0.82	1.89	7.20	1.05	2.67	10.77
인도네시아	0.51	1.31	4.22	0.70	2.32	8.29	0.89	3.36	12.53
일본	0.52	3.13	3.87	0.81	6.13	7.63	1.11	9.25	11.53
한국	0.46	3.11	3.77	0.70	6.09	7.45	0.94	9.18	11.24
멕시코	1.08	1.43	3.24	2.11	2.80	6.49	3.15	4.20	9.82
러시아	0.34	1.50	3.88	0.47	2.82	7.71	0.61	4.18	11.67
대만	0.39	1.25	3.14	0.58	2.31	6.15	0.78	3.39	9.21
터키	0.34	1.41	3.80	0.47	2.63	7.52	0.60	3.87	11.37
미국	2.01	2.85	3.72	3.89	5.60	7.38	5.81	8.46	11.17
ROW	1.17	2.39	4.62	1.45	3.91	8.50	1.74	5.47	12.53

주: 국가 수준의 근본생산성 향상을 고려한 디지털 혁신의 교역효과를 살피는 시나리오로서 '미국'은 미국 한 나라에서만, '주요 5개국'은 미국, 일본, 유럽, 한국, 중국을 포함한 다섯 개 국가에서, '세계'는 ROW를 포함한 분석대상국 전체에서 근본생산성이 증가하는 경우를 뜻함.

자료: 저자 작성.

2) 국가간 교역 변화

[표 4-10]은 디지털 혁신에 따라 국가 수준의 근본생산성이 각각 1%, 2%, 3% 증가할 경우 국가간 교역이 변화하는 정도를 $\sum_j[(E_{ni}^j)' - E_{ni}^j]/\sum_j E_{ni}^j$ 식을 통해 계산하고, 나타난 결과를 한국과 미국을 중심으로 정리한 것이다.[78] [표 4-9]는 국별 총 교역 변화 결과에 대해 유용한 정보를 제공하기는 하나 국가간 교역 변화에 대한 정보는 찾을 수 없다. [표 4-10]에서 나타난 특징을 간단히 정리하면 다음과 같다.

78) 모든 국가의 분석 결과를 본문에 나타낼 수 없기 때문에 한국과 미국을 중심으로 분석 결과를 제시한다. 한국과 미국 이외의 결과에 대해서는 부록을 참고하기 바란다.

표 4-10. 국가 수준의 디지털 혁신 시나리오 – 국가간 교역 변화

(단위: %)

한국 (수출국)	근본생산성 1% 증가			근본생산성 2% 증가			근본생산성 3% 증가		
	미국	주요 5개국	세계	미국	주요 5개국	세계	미국	주요 5개국	세계
호주	-0.14	1.56	3.05	-0.24	3.20	6.23	-0.33	4.85	9.48
브라질	-0.03	1.70	3.66	-0.10	3.39	7.42	-0.16	5.11	11.31
캐나다	-0.07	1.45	2.98	-0.17	2.87	5.99	-0.29	4.31	9.05
중국	0.11	3.80	3.76	0.20	7.72	7.65	0.28	11.82	11.68
유럽	0.02	3.57	3.52	0.03	7.26	7.14	0.04	11.09	10.89
인도	0.01	1.61	3.05	0.11	3.34	6.26	0.21	5.09	9.55
인도네시아	0.02	1.72	3.66	0.09	3.52	7.51	0.15	5.34	11.50
일본	0.01	3.54	3.43	0.03	7.23	6.98	0.06	11.06	10.64
멕시코	0.03	1.41	3.03	0.00	2.78	6.09	-0.02	4.17	9.21
러시아	-0.00	1.65	3.46	-0.01	3.31	7.03	-0.02	4.99	10.72
대만	-0.11	1.47	2.68	-0.17	3.01	5.45	-0.24	4.57	8.26
터키	0.07	1.59	3.46	0.08	3.12	6.95	0.07	4.68	10.54
미국	1.98	3.54	3.52	3.97	7.16	7.10	6.01	10.91	10.80
ROW	0.91	2.53	4.48	0.91	4.17	8.16	0.90	5.83	11.97

미국 (수출국)	근본생산성 1% 증가			근본생산성 2% 증가			근본생산성 3% 증가		
	미국	주요 5개국	세계	미국	주요 5개국	세계	미국	주요 5개국	세계
호주	1.64	1.78	3.17	3.43	3.69	6.53	5.25	5.63	9.97
브라질	1.76	1.91	3.78	3.57	3.88	7.72	5.42	5.89	11.81
캐나다	1.72	1.66	3.10	3.49	3.36	6.28	5.30	5.08	9.54
중국	1.90	4.02	3.89	3.87	8.23	7.95	5.90	12.65	12.18
유럽	1.81	3.79	3.64	3.70	7.77	7.44	5.64	11.92	11.39
인도	1.80	1.83	3.17	3.79	3.83	6.56	5.82	5.87	10.05
인도네시아	1.81	1.94	3.78	3.76	4.01	7.81	5.76	6.12	12.00
일본	1.80	3.76	3.55	3.70	7.74	7.28	5.66	11.89	11.14
한국	1.76	3.69	3.44	3.63	7.61	7.08	5.55	11.69	10.83
멕시코	1.82	1.62	3.15	3.67	3.27	6.39	5.57	4.94	9.70
러시아	1.79	1.86	3.58	3.66	3.80	7.33	5.57	5.78	11.22
대만	1.68	1.69	2.80	3.49	3.50	5.75	5.34	5.35	8.75
터키	1.87	1.81	3.58	3.75	3.61	7.25	5.68	5.46	11.04
ROW	2.72	2.75	4.60	4.61	4.66	8.46	6.55	6.62	12.47

주: 국가 수준의 근본생산성 향상을 고려한 디지털 혁신의 교역효과를 살피는 시나리오로서 '미국'은 미국 한 나라에서만, '주요 5개국'은 미국, 일본, 유럽, 한국, 중국을 포함한 다섯 개 국가에서, '세계'는 ROW를 포함한 분석대상국 전체에서 근본생산성이 증가하는 경우를 뜻함.

자료: 저자 작성.

첫째, '미국'의 경우에 한국 교역 증가의 대부분은 미국을 상대국으로 한다. [표 4-9]에서 '미국'의 근본생산성 1% 증가 시 한국의 총 교역이 0.46% 증가함을 보고했다. 한국의 총 교역 변화(0.46% 증가)는 미국에 대한 교역이 1.98% 증가한 것이 주요 요인이다. 미국을 다른 국가에 대한 한국의 교역은 증가하기도 하고 감소하기도 하나 그 증감폭은 1% 미만에 불과하다. 이 결과는 근본생산성 변화의 크기와 상관없이 동일하게 나타난다.

둘째, '주요 5개국'의 경우 발생하는 한국의 교역 증가도 대부분 미국, 일본, 유럽, 중국에 대한 수출에서 나타난다. [표 4-9]에서 '주요 5개국'의 근본생산성 1% 증가 시 한국의 총 교역이 3.11% 증가함을 보고했다. 한국의 총 교역 변화(3.11% 증가)는 미국, 일본, 유럽, 중국에 대한 수출 증가가 주요 요인이다. [표 4-10]에서 확인할 수 있는 바와 같이 한국은 중국에 대한 수출을 3.80%, 유럽에 대한 수출을 3.57%, 일본에 대한 수출을 3.54%, 미국에 대한 수출을 3.54% 늘릴 것으로 예측되는 반면, 주요 5개국 이외 국가(ROW를 제외)에 대한 한국의 수출 증가는 2% 미만에 그치는 것으로 나타난다. 이 결과도 근본생산성 변화의 크기와 상관없이 동일하게 나타난다.

셋째, '세계'의 경우에 근본생산성 변화의 크기가 커질수록 한국과 미국의 교역 변화도 커진다. '세계' 근본생산성이 1% 증가하는 경우에 한국의 국가간 교역 증가폭은 2.68~4.48%이지만, 3% 증가하는 경우에는 그 증가폭이 8.26~11.97%에 달한다. 미국도 근본생산성 1% 증가 시에는 국가간 교역 증가폭이 2.80~4.60%선이지만, 3% 증가 시에는 그 증가폭이 8.75~12.47%에 이른다.

3) 디지털 혁신에 따라 증가한 수출액 수준

[표 4-11]은 국별로 디지털 혁신에 따라 증가한 수출액 수준의 예측치 결과를 보여준다. 국가 수준의 근본생산성이 각각 1%, 2%, 3% 증가할 경우 국별로 예측되는 수출증가율 정보(표 4-9)와 2015년 수출액 정보를 기준연도로 활용하여 국별로 증가한 수출액 수준에 대한 예측치를 산출하여 정리한 것이다. 이

작업의 의미는 [표 4-8]과 [표 4-9]에서 디지털 혁신의 교역효과를 변화율 중심으로 설명한 점을 보완한다는 측면이 있다. [표 4-11]에서 괄호 안의 정보는 합계를 기준으로 각 국가의 증가한 수출액이 차지하는 비중을 나타낸다. 디지털 혁신이 확산되는 경우 증가한 수출액 규모를 상대적으로 비교하기 위해 '산업 수준의 근본생산성 향상'에서 파악한 국별 총 교역 변화(표 4-3) 정보를 활용하여 동일한 방법으로 증가한 수출액 예측치를 계산한 표에 넣었다.

표 4-11. 국별 디지털 혁신에 따라 증가한 수출액 수준의 예측치

(단위: 백만 달러)

	산업 수준	근본생산성 1% 증가			근본생산성 2% 증가			근본생산성 3% 증가		
		미국	주요 5개국	세계	미국	주요 5개국	세계	미국	주요 5개국	세계
세계	157,033	119,318	283,711	463,522	155,222	372,620	681,369	512,421	1,521,945	2,625,823
	(100.0)	(100.0)	(100.0)	(100.0)	(100.0)	(100.0)	(100.0)	(100.0)	(100.0)	(100.0)
호주	569	603	2,413	6,126	920	4,573	12,128	1,241	6,772	18,298
	(0.4)	(0.5)	(0.9)	(1.3)	(0.5)	(0.9)	(1.4)	(0.5)	(0.9)	(1.4)
브라질	395	776	2,055	5,800	1,196	3,781	11,454	1,625	5,545	17,335
	(0.3)	(0.7)	(0.7)	(1.3)	(0.6)	(0.7)	(1.3)	(0.6)	(0.7)	(1.3)
캐나다	3,767	3,621	4,866	10,811	7,070	9,562	21,640	10,589	14,330	32,726
	(2.4)	(3.0)	(1.7)	(2.3)	(3.8)	(1.8)	(2.4)	(4.1)	(1.9)	(2.5)
중국	-3,542	6,032	32,175	41,055	9,293	62,631	80,832	12,623	94,255	122,229
	(-2.3)	(5.1)	(11.3)	(8.9)	(5.0)	(12.0)	(9.1)	(4.9)	(12.3)	(9.2)
EU	24,621	11,038	48,669	64,978	16,807	93,440	126,816	22,700	139,758	190,970
	(15.7)	(9.3)	(17.2)	(14.0)	(9.0)	(17.9)	(14.3)	(8.8)	(18.2)	(14.4)
인도	1,159	1,525	2,904	9,646	2,107	4,888	18,601	2,701	6,904	27,820
	(0.7)	(1.3)	(1.0)	(2.1)	(1.1)	(0.9)	(2.1)	(1.0)	(0.9)	(2.1)
인도네시아	870	685	1,776	5,720	944	3,149	11,233	1,208	4,549	16,978
	(0.6)	(0.6)	(0.6)	(1.2)	(0.5)	(0.6)	(1.3)	(0.5)	(0.6)	(1.3)
일본	27,842	2,527	15,261	18,840	3,951	29,896	37,193	5,403	45,055	56,207
	(17.7)	(2.1)	(5.4)	(4.1)	(2.1)	(5.7)	(4.2)	(2.1)	(5.9)	(4.2)

표 4-11. 계속

	산업 수준	근본생산성 1% 증가			근본생산성 2% 증가			근본생산성 3% 증가		
		미국	주요 5개국	세계	미국	주요 5개국	세계	미국	주요 5개국	세계
한국	4,918	1,628	10,995	13,345	2,472	21,540	26,321	3,332	32,448	39,738
	(3.1)	(1.4)	(3.9)	(2.9)	(1.3)	(4.1)	(3.0)	(1.3)	(4.2)	(3.0)
멕시코	363	3,218	4,251	9,642	6,265	8,333	19,295	9,375	12,478	29,191
	(0.2)	(2.7)	(1.5)	(2.1)	(3.3)	(1.6)	(2.2)	(3.6)	(1.6)	(2.2)
러시아	1,179	573	2,562	6,639	808	4,828	13,171	1,045	7,139	19,942
	(0.8)	(0.5)	(0.9)	(1.4)	(0.4)	(0.9)	(1.5)	(0.4)	(0.9)	(1.5)
대만	1,998	1,299	4,149	10,454	1,944	7,691	20,445	2,600	11,290	30,631
	(1.3)	(1.1)	(1.5)	(2.3)	(1.0)	(1.5)	(2.3)	(1.0)	(1.5)	(2.3)
터키	352	551	2,288	6,179	759	4,268	12,218	970	6,286	18,465
	(0.2)	(0.5)	(0.8)	(1.3)	(0.4)	(0.8)	(1.4)	(0.4)	(0.8)	(1.4)
미국	65,736	39,395	55,778	72,865	76,148	109,805	144,603	113,811	165,667	218,794
	(41.9)	(33.0)	(19.7)	(15.7)	(40.6)	(21.0)	(16.3)	(44.2)	(21.6)	(16.4)
ROW	26,807	45,847	93,569	181,422	57,020	153,485	333,535	68,420	214,656	491,404
	(17.1)	(38.4)	(33.0)	(39.1)	(30.4)	(29.4)	(37.5)	(26.6)	(28.0)	(36.9)

주: 1) 괄호는 세계에서 차지하는 비중을 나타냄.
2) '산업 수준'은 분석대상국가 특정 산업의 근본생산성 향상을 고려한 디지털 혁신의 교역효과를 분석한 시나리오를 뜻함. 그 외는 국가 수준의 근본생산성 향상을 고려한 디지털 혁신의 교역효과를 살피는 시나리오로서 '미국'은 미국 한 나라에서만, '주요 5개국'은 미국, 일본, 유럽, 한국, 중국을 포함한 다섯 개 국가에서, '세계'는 ROW를 포함한 분석대상국 전체에서 근본생산성이 증가하는 경우를 뜻함.

자료: 저자 작성.

[표 4-11]에 나타난 결과 중 두 가지 특징만을 간략히 언급하기로 하자. 첫째, '미국', '주요 5개국', '세계'로 이어지는 시나리오에서, 디지털 혁신의 확산은 수출액 총합의 증가에 기여할 것으로 예측된다. '미국'의 경우 디지털 혁신에 따른 근본생산성 1% 증가 시에는 전 세계의 수출증가 총액이 약 1,193억 달러 수준이고 3% 증가 시 약 5,124억 달러에 달한다. '세계'를 고려하면 디지털 혁신에 따른 근본생산성 1% 증가 시에는 분석대상국가 모두에서 발생하는 수출증가 총액이 약 4,635억 달러 수준으로 늘어나며, 3% 증가 시 2조 6,258억 달러로 커진다.

둘째, '미국'에서 고려하는 바와 같이 미국에서만 디지털 혁신에 따른 근본

생산성이 증가할 경우, 세계 수출증가 총액에서 미국이 차지하는 비중이 33.0~44.2%에 달하지만 '세계'의 경우로 확산되면 미국이 차지하는 비중은 15.7~16.4%로 감소한다. '미국'에 비해 '세계'에서 수출액 증가 규모 중 미국이 차지하는 비중은 감소하지만 수출액 증가 규모 자체는 더 커진다. 한국의 근본생산성이 증가하는 '주요 5개국'의 경우 세계 수출증가 총액에서 한국이 차지하는 비중이 3.9~4.2%에 이르지만 '세계'의 경우에는 한국이 차지하는 비중이 2.9~3.0%로 감소한다. 이 결과에 대한 해석도 위의 미국 비중 감소와 마찬가지로 수출액 증가 규모 중 한국의 '비중'이 감소하는 것이지 수출액 증가 규모 자체가 감소함을 뜻하는 것이 아님에 유의할 필요가 있다.

5. 소결

본 장에서는 디지털 혁신이 무역에 미치는 영향을 살펴보기 위해 반사실적 분석(counterfactual analysis)이 가능한 이론적 무역모델을 구축하고 고려 가능한 시나리오를 설정하여 다양한 각도에서 결과를 제시했다.

본 연구의 분석 결과에 따르면 디지털 혁신은 특정 국가 및 특정 산업에 집중되는 경향이 나타난다. 또한 디지털 혁신이 집중된 산업을 중심으로 근본생산성이 향상된다면 국별 총 교역은 대체로 증가하나 디지털 혁신을 주도하는 국가와 산업을 중심으로 교역 증가에 따른 이익이 집적됨을 보았다. 그러나 디지털 혁신에 따른 기술이 범용기술로 받아들여지고 국가 수준의 근본생산성 향상을 고려한 모델에서는 디지털 혁신에 따른 근본생산성 증가가 총 교역 증가로 이어져, 모든 국가가 수출 증가라는 과실을 누릴 수 있을 것으로 예측하였다.

마지막으로 본 장에서 수행한 분석의 한계를 간단히 언급하기로 한다. 예측(prediction)을 위해서는 적합한 이론모델 구축이 필수이고, 예측의 정확성(precision)을 높이기 위해서는 모델에 상응하는 많은 정보가 요구된다. 하지

만 현실적으로 연구에 사용할 수 있는 디지털 혁신 관련 데이터가 충분히 축적되어 있지 않다. 분석의 질적 향상을 위해서는 향후 축적될 디지털 혁신 관련 데이터를 활용하여 디지털 혁신 증가가 생산성 향상으로 이어지는 경로를 추정해 볼 수 있다. 특허 정보를 활용하여 근본생산성 변화치를 부여하는 대신에 계량경제학적인 기법을 통해 구한 추정치를 활용할 수 있다면 분석 시나리오를 더 현실적으로 설정할 수 있을 것이다. 또한 디지털 혁신에 내재된 다양한 특성이 모델에 반영되지 못한 점은 한계로 지적될 수밖에 없다. 디지털 혁신에 따른 규모의 경제, 범위의 경제, 지식의 외부성 등 다양한 파급경로도 존재하고, 디지털 혁신의 파급대상과 범위도 상이할 수 있다. 디지털 혁신에 따른 무역패턴도 본 장에서 다루는 리카르도 무역모델과 다를 수 있다. 이외에도 본 장의 모델은 디지털 혁신에 따른 생산기술과 글로벌 가치사슬(global value chain)의 변화 등도 반영할 수 없었다. 열거한 모든 분석의 한계는 향후 연구에서 보완해 나갈 예정이다.

제5장

요약 및 정책 시사점

1. 분석 결과 요약
2. 정책 시사점

1. 분석 결과 요약

본 연구는 4차 산업혁명에 따라 빠른 속도로 이루어지고 있는 디지털 혁신이 주요국 및 산업별로 어떻게 진행되고 있는지를 비교 분석하고, 향후 무역에 어떤 영향을 미칠 것인지를 시나리오별로 분석하는 데 초점을 맞추고 있다.

이를 위해 제2장에서는 4차 산업혁명에 따른 기술과 산업의 발전에 대해 서술하였다. 최근 디지털 혁신은 기존 산업의 대량생산체제를 개인 맞춤형 생산으로 변화시켜야 할 필요성에 따라 빠른 속도로 이루어지고 있다. 특히 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 활용되고 있다. 그 결과 4차 산업혁명에 따른 디지털 혁신은 제품, 공정, 비즈니스모델 등 각 분야에서 빠르게 이루어지면서 기존 산업을 파괴적으로 재편하고 있다.

4차 산업혁명이 진행됨에 따라 디지털 혁신은 기술, 산업, 무역 등 경제뿐 아니라 정치, 사회 등 모든 활동에서 혁명적인 변화를 가져올 것이다. 이에 OECD는 다음과 같이 향후 미래의 4가지 모습을 제시한 바 있다. 개인은 경제, 정치, 사회활동에서 주도적인 역할을 하고, 정부는 디지털 변혁에서 시민, 기업, 사회조직과 상호작용을 관리하는 플랫폼 정부로 변화하며, 글로벌 기술혁신 대기업들은 모든 경제활동에서 중심적인 역할을 하고, 인공지능이 정부와 기업이 수행하던 많은 부분을 대체하는 미래상이 그것이다. 이처럼 사물인터넷을 통해 수집된 생산 및 소비에 대한 정보가 빅데이터 분석과 AI 등을 통해 최적의 생산방식 및 소비자 선택을 유도함으로써 세계경제는 엄청난 변화를 겪게 될 것이다.

디지털 혁신은 기술특성, 기술발전 수준, 국가간의 기술격차 등 다양한 요인에 따라 무역에 영향을 미칠 것으로 보인다. 스마트 공장의 예를 들어보면, 스

마트 공장 도입기에는 디지털 혁신을 통해 핵심장비의 생산성 향상을 추구하지만 기존 생산방식과 본질적인 차이를 갖지는 못하기 때문에 개별 기술 수준과 영향력에 의해 무역패턴이 결정된다. 스마트 공장의 성장기에는 데이터 기술에 의해 고객이 요구하는 제품을 신속하게 차질 없이 생산하게 된다. 이때 생산기업의 기술과 입지 요인의 비교우위가 리쇼어링을 초래할 수 있으며 그 결과 국제무역패턴도 크게 변화할 것이다. 스마트 공장의 성숙기에는 현지에서 제품이 생산되는 분산형 제조(distributed manufacturing)가 등장하며 제조업의 서비스화와 분산형 제조업이 공존하는 형태로 무역이 전환될 것으로 예상된다.

제3장에서는 미국특허통계와 더불어 산업용 로봇 활용 통계, OECD 통계 등을 이용하여 디지털 혁신이 국제적으로 어느 정도 이루어지고 있는지를 정량적으로 비교 분석하였다. 우선 미국 특허 · 상표청(USPTO)에 등록된 실용특허 통계를 분석한 결과 디지털 혁신 수준은 1998년과 2010년을 기점으로 계단형으로 증가하는 추이를 보이며 기술개발이 미국과 일본에 의해 주도적으로 이루어지는 것으로 나타났다. 주요국 중 일본의 등록 건수는 2000년 이후 정체되어 있는 데 반해 중국과 인도의 등록 건수는 2000년대 중반부터 빠르게 증가하고 있다. 산업별로 살펴보면 컴퓨터, 전자 및 광학기기, 기계 및 장비, 컴퓨터 프로그래밍, 시스템 통합 및 관리업 등의 산업에 특허 등록이 집중되어 있으며, 이 중 컴퓨터 프로그래밍, 시스템 통합 및 관리업 등의 특허 등록 건수가 최근 빠르게 증가하는 것으로 나타났다. 최근 기간(2010~15년)에 대해 미국, 일본, 한국, 대만, 중국, 인도의 기술 수준을 산업별로 분석하면 컴퓨터, 전자 및 광학기기, 기계 및 장비산업 등에서 디지털 혁신이 활발하게 이루어지는 것으로 나타난다. 특히 미국과 인도는 컴퓨터 프로그래밍, 시스템 통합 및 관리업에서, 일본, 한국, 대만, 중국은 기타 제품 산업에서 디지털 혁신 수준이 높은 것으로 분석되었다.

산업용 로봇 활용 통계를 보면 한국은 세계 3위의 로봇 설치국이며 4위의 로봇 운용국으로서 산업용 로봇을 활발히 이용하는 국가로 나타난다. 하지만 미국 특

허통계의 분석 결과에 따르면 한국의 디지털 혁신 수준은 양적 · 질적 모든 측면에서 꾸준히 높아지고 있지만 미국 및 일본과 비교하면 아직까지는 낮은 수준으로 나타났다. 최근 기간(2010~15년)에 대한 한국의 산업별 디지털 혁신 수준은 모든 산업에서 미국 및 일본과 중국 및 인도 사이에 위치하고 있으며 컴퓨터 프로그램밍 등의 경우에는 인도보다도 낮은 것으로 나타난다. 디지털 혁신기술별 한국의 수준은 인공지능, 사물인터넷, 빅데이터 기술에서 미국과의 격차가 다른 기술보다 상대적으로 큰 것으로 나타났으며, 사물인터넷과 빅데이터의 경우에는 중국 및 인도보다 낮은 수준인 것으로 나타났다. OECD 통계를 보더라도 한국은 기업 및 가계의 초고속 인터넷 이용률이 각각 99.3%와 99.5%로 매우 높음에도 불구하고 RFID(radio frequency identification) 기술 이용률을 제외하면 기업의 ICT 기술 활용 수준은 높지 않은 것으로 나타났다.

제4장에서는 반사실적 분석(counterfactual analysis)이 가능한 이론적 무역모델을 구축하고 10가지 시나리오를 설정하여 디지털 혁신이 무역에 미치는 영향을 다양한 각도에서 분석하였다. 1번째 시나리오는 제3장에서 도출한 미국 특허 · 상표청(USPTO) 데이터에 기반하여 디지털 혁신 수준을 산출하고 산업 수준의 디지털 혁신 시나리오를 설정하였다. 2~10번째 시나리오는 국가 수준에서 디지털 혁신이 이루어지는 시나리오다. 이는 디지털 기술이 증기기관이나 전기처럼 향후 범용기술로 활용되면서 국가 차원에서 모든 산업에 디지털 혁신이 다음과 같이 파급되는 경우를 고려한 것이다. 우선 파급 범위에 따라 디지털 혁신이 미국 산업 전체에만 확산되는 경우, 주요 5개국(미국, 일본, 유럽, 중국, 한국)에 확산되는 경우, 세계 전체에 확산되는 경우 등의 세 단계가 있다고 가정한다. 다음으로 국가 수준의 생산성이 각각 1%, 2%, 3% 세 단계로 향상된다고 가정한다. 이렇게 가정했을 때 가능한 경우의 수를 모두 고려하면 국가 수준의 디지털 혁신 시나리오는 모두 9(=3×3)개의 세부 시나리오로 구성된다.

산업 수준의 디지털 혁신 시나리오에 따라 분석한 결과를 보면 디지털 혁신이 활발하게 이루어지는 미국, 일본, 유럽, 한국 등의 국가 사이에서 교역이 상

대적으로 크게 증가하는 패턴이 나타난다. 또한 국별 총 교역은 대체로 증가하나 디지털 혁신을 주도하는 국가와 산업을 중심으로 교역 증가에 따른 이익이 집적된다. 특히 미국과 일본의 경우 전기 · 기계와 컴퓨터 · 전자 산업에 총 교역 증가가 집중되며, 이에 반해 유럽과 한국의 수출 변화는 상대적으로 변동폭이 작은 것으로 나타난다. 한편 국가 수준의 디지털 혁신 시나리오에 따르면 디지털 혁신에 따라서 모든 국가가 수출 증가라는 과실을 누릴 수 있을 것으로 나타났다. 또한 디지털 혁신이 미국, 주요 5개국, 세계 전체 등으로 확산될수록 교역에 미치는 영향이 커지게 된다.

디지털 혁신이 우리나라의 무역에 미치는 영향을 살펴보기 위해 산업 수준의 디지털 혁신 시나리오의 분석 결과를 보면 우리나라의 교역증대효과(1.39%)는 미국(3.35%), 유럽(1.53%)에 미치지는 못해도 매우 긍정적인 것으로 나타난다. 중국, 브라질, 인도 등 디지털 혁신 수준이 낮은 국가에 미치는 교역증대 효과가 거의 미미할 것이라는 점에 비추어 생각하면, 우리나라의 디지털 혁신 실적이 이들 나라에 비해 상대적으로 크며 우리의 산업구조가 디지털 혁신에 따른 중간재 수출증대효과를 기대할 수 있기 때문인 것으로 보인다. 국가 수준의 디지털 혁신 시나리오에 따르면 우리나라는 디지털 혁신이 이루어지는 나라에 대하여 무역이 증가하며 그렇지 않은 나라에 대해서는 효과가 나타나지 않는다. 국가 수준의 디지털 혁신이 미국, 주요 5개국, 세계 전체에서 나타나는 각각의 시나리오 분석 결과는 우리나라의 교역증대효과가 디지털 혁신이 나타나는 국가에 국한되어 나타남을 보여준다. 또한 국가 수준의 디지털 혁신이 국제적으로 확산될수록 우리나라의 교역증대효과가 증폭되는 것으로 나타났다.

2. 정책 시사점

최근 4차 산업혁명에 대한 논의가 사회적 담론의 주제로 대두되었다. 현재까지의 논의를 종합해 보면, 향후 디지털 혁신을 구성하는 핵심기술이 무엇인지에 대해서는 대체적인 합의가 이루어졌다. 하지만 신제품 출시와 생산공정 혁신에 따른 비즈니스모델 그리고 국제무역의 변화에 대한 논의는 아직 초기 단계에 머물고 있다. 우리나라는 디지털 혁신에 따른 긍정적인 효과를 극대화하는 반면 부정적인 효과는 최소화할 수 있도록 다각적인 대응방안을 마련해야 한다.

가. 디지털 혁신을 위한 체계적 로드맵 수립

제2장의 분석 결과에 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 활용되고 있다. 사물인터넷을 통해 수집된 생산 및 소비에 대한 정보가 빅데이터 분석과 AI 등을 통해 최적의 생산방식 및 소비자 선택을 유도함으로써 세계경제는 엄청난 변화를 겪게 될 것이다.

이처럼 데이터가 점차 중요해지면서 디지털 혁신의 여러 요소들이 작동하게 된다. 데이터의 수집, 이동, 가공 등이 디지털 혁신을 가져오고 가치를 융합적으로 창조하고 상각되지 않는 자본으로서 데이터의 역할을 강화시키며 복합적인 혁신을 촉진한다. 데이터 주도(data-driven) 경제와 사회에서 정보의 비대칭성은 개인에서 조직으로, 전통적 기업과 정부에서 데이터 주도 기업으로 권력이 이동함을 의미하게 된다.

이에 따라 정부 차원에서 체계적인 지원체제와 디지털 혁신을 뒷받침하기

위한 로드맵을 마련해야 한다. 현재 OECD 회원국의 디지털 전략 추진체계를 보면 각각의 전략 요소를 수행하는 기관이 OECD 회원국별로 상이하게 나타난다(표 5-1 참고). 예를 들어 일부 국가의 경우 상위의 정부조직(총리실, 대통령 등)이나 디지털 전담 장관급 기구가 총괄기능을 맡는 경우가 있다. 또한 디지털 비전담 장관급이 총괄기능을 맡는 경우가 있는가 하면 여러 장관에 분산되거나, 여러 공조직과 민간에 분산되는 등 다양한 형태가 있다.

디지털 관련 정책 개발과 조정은 비전담 부처가 담당하는 경우가 더 많은 것으로 나타난다. 또한 대부분의 경우에 장관급 조직이 정책을 이행하고 있으며, 사후적인 정책 감독기능도 디지털 비전담 부처와 조직이 담당하는 경우가 많다. OECD 회원국의 국가 디지털 전략에 대한 거버넌스 현황을 보면 감독기능을 담당하는 부처가 총괄 및 조정기능을 담당하는 부처와 유사한 것으로 나타난다. 이에 반해 세부적인 정책 개발과 이행기능은 여러 부처에 분산하거나 공공 및 민간조직에 위임하여 담당케 하는 경우가 많은 것으로 나타난다.

표 5-1. OECD 회원국의 국가 디지털 전략에 대한 거버넌스

담당 기관	총괄	정책개발	조정	이행	감독
국가수반	4(11.8%)	0(0%)	5(15.2%)	1(2.9%)	6(18.8%)
디지털 전담 부처	8(23.5%)	1(2.9%)	10(30.3%)	3(8.8%)	8(25.0%)
디지털 비전담 부처	15(44.1%)	2(5.9%)	13(29.4%)	1(2.9%)	11(34.4%)
여러 부처에 분산	6(17.6%)	14(41.2%)	5(15.2%)	26(76.5%)	7(21.9%)
공공 및 민간조직	1(2.9%)	17(50.0%)	0(0%)	3(8.8%)	0(0%)

주: OECD 회원국이 국가 디지털 전략의 각 기능을 어떻게 수행하고 있는가를 보여주기 위해 각각의 기능을 담당하는 기관별 국가 수를 표시함. 괄호 안의 숫자는 OECD 국가에서 차지하는 비중을 의미함.
자료: OECD(2017c), p. 37의 Table 1.2.

디지털 혁신을 효과적으로 추진하기 위해서는 전담 부처가 정책총괄, 조정, 감독 등을 체계적으로 담당하고 세부적인 정책 집행은 하부 조직에 위임해야

한다. 4차 산업혁명 시대에 디지털 정책은 경제 및 사회 전반에 폭넓은 파급효과를 미칠 것으로 예상되므로 정책 수립 및 집행을 위한 일관된 거버넌스가 필요하기 때문이다. 우리나라의 경우에는 4차 산업혁명위원회가 대통령 직속으로 설치되어 국가 디지털 전략에 대한 기획 및 조정기능을 담당하는 것으로 보이는데, 평가 및 감독기능을 강화해서 우리 경제의 4차 산업혁명 이행을 체계적으로 추진할 필요가 있다.

나. 디지털 관련 경쟁력 강화 및 규제 완화

제3장의 연구 결과에 따르면 우리나라의 디지털 혁신 수준은 양적 · 질적으로 꾸준히 높아지고 있으나 미국 및 일본과 비교하면 아직까지는 수준이 상대적으로 낮으며 사물인터넷과 빅데이터의 경우 중국 및 인도보다도 기술 수준이 낮은 것으로 나타났다. 또한 우리나라의 기업 및 가계의 초고속 인터넷 이용률은 매우 높지만 RFID 기술 이용률을 제외하면 기업의 ICT 기술 활용 수준도 높지 않은 것으로 나타났다. 따라서 우리나라는 기술 수준이 낮은 소프트웨어와 프로그래밍을 중심으로 연구개발투자를 보다 활성화하고 디지털 혁신기술에 대한 경쟁력을 키워야 한다. 특히 미국 등 주요국과 격차가 큰 인공지능, 사물인터넷, 빅데이터 기술에 대한 연구개발투자는 시급히 강화될 필요가 있다.

또한 제2장에서 살펴보았듯이 디지털 혁신은 승자가 대부분을 차지하는 경향(winner-takes-most)이 강하므로 우리 정부는 생산 및 교역을 하는 기업들이 기회로 이용할 수 있도록 적극적으로 디지털 관련 규제 개혁을 실시해야 한다. 창의적인 기술 개발을 위해서는 정부의 규제가 가급적 최소화되어야 하며 유선 및 무선통신망, 플랫폼, 장치 등 인프라를 제대로 구축할 수 있도록 관련 제도를 마련해야 한다(그림 5-1 참고).

아울러 데이터 이동 및 정보처리의 상호운용 등과 관련된 각종 규제가 완화 내지는 제거되는 규제환경이 마련되어야 디지털을 통한 경제활동이 활발하게

이루어질 수 있다. 또한 디지털 무역이 이루어지는 경로를 생각해 보면 서비스와 재화가 국내에서뿐만 아니라 국제적으로도 무역장벽 없이 거래될 수 있어야 한다. 디지털의 조력을 받는 제품과 서비스는 차량, 선박, 항공기 등과 같은 실물 수단뿐 아니라 온라인상에서 디지털로 이동할 수 있다. 또한 기업과 소비자뿐 아니라 정부도 디지털로 조력을 받는 이동 과정에 참여하게 된다.

이에 따라 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 각종 규제가 철폐 내지는 완화될 필요가 있다.

그런데 디지털 혁신이 빠른 속도로 이루어지는 데 반해 일반적으로 정부의 규제와 관련 정책은 느리게 반응하는 경향이 있다. 이는 정부의 특성상 관련 제도 개혁 및 대응방안 마련에 시간이 많이 소요되기 때문이다. 정부가 디지털 혁신을 앞장서서 이끌어 가는 제도를 선제적으로 마련하기는 어렵다. 이러한 점을 고려하여 일부 선진국에서는 디지털 경제와 관련된 규제를 세밀하게 마련하기보다는 규제의 원칙만을 포괄적으로 제시하는 샌드박스[79]라는 정책 혁신을 시도하고 있다.

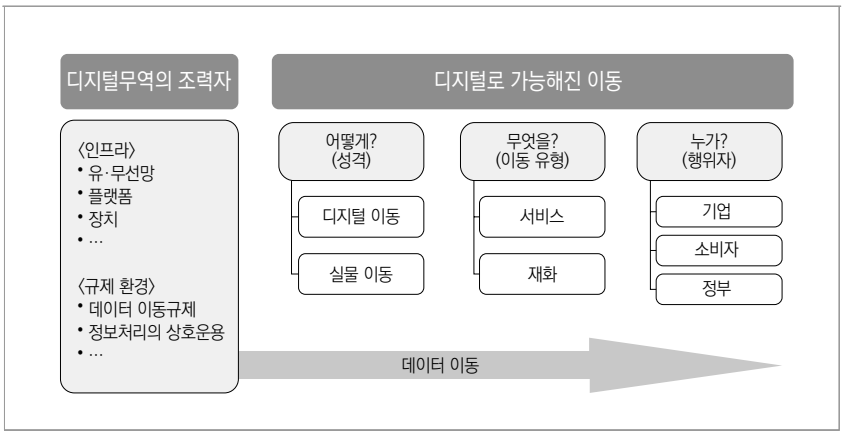
영국은 핀테크 산업 육성을 위해 금융상품 개발 및 비즈니스모델 제공과 관련된 창업기업에 대한 Project Innovate를 도입하였다. 이러한 시도는 영국의 city가 오랜 역사 동안 금융산업에서 세계 일류의 경쟁력을 가지고 있으며, 다양한 제도적 시행착오를 통해 효과적인 금융중재기능을 확보했기 때문에 가능했다. 또한 미국 행정부는 ICANN에 인터넷 주소 관리(IANA: Internet Assigned Numbers Authority) 기능을 이행한 바 있다.[80]

---

79) 샌드박스(Sandbox)는 모래 놀이터처럼 규제가 없는 환경에서 다양한 제품을 출시할 수 있도록 허용하는 정책이다.

80) "NTIA Announces Intent to Transition Key Internet Domain Name Functions"(2014. 3. 14), 보도자료, https://www.ntia.doc.gov/press-release/2014/ntia-announces-intent-transition-key-internet-domain-name-functions(검색일: 2018. 5. 9).

그림 5-1. 디지털 이동의 흐름



자료: OECD(2018b), p. 11의 Box1.

미국은 그동안 정부기관에서 인터넷주소를 관리했으나 새로운 디지털 환경에 대응하기 위해 민간기구인 ICANN에 그 기능을 이관하였다. 일본의 경우에는 핀테크와 더불어 인공지능, IoT 등에 대한 규제 샌드박스를 도입하였다. 우리나라도 신산업, 신기술 분야에서 규제 샌드박스를 도입하여 새로운 제품, 서비스를 내놓을 때 일정 기간 동안 기존의 규제를 면제 또는 유예시키고 있다.

규제 샌드박스는 정부가 시범사업이나 임시 허가 등의 방식으로 기존의 규제를 면제 또는 유예함으로써 새로운 제품이나 서비스를 신속하게 출시할 수 있도록 허용하는 제도이다. 정부의 제도적인 규제는 문제가 발생하는 것을 사전에 예방하는 것인 데 반해 규제 샌드박스는 문제가 있는 경우 사후에 규제하는 방식이다.

디지털 서비스와 제품들은 기존에 출시된 서비스 및 제품과는 완전히 다른 경우가 많기 때문에 소비자와 경제 전반에 예기치 못한 리스크를 초래할 수도 있다. 그렇다고 해서 이러한 리스크를 제거하기 위한 정부의 지나친 개입과 규제는 디지털 혁신의 혜택을 사전에 봉쇄하는 부작용을 초래할 수도 있다. 따라

서 합법적인 규제 목적을 달성하면서 동시에 디지털 혁신의 이익을 누릴 수 있도록 규제 샌드박스를 적극 활용할 필요가 있다.

특히 생산제품의 다양성이 확대되는 디지털 혁신의 특성에 따라 중소기업은 제품 출시 과정에서 여러 상이한 규제를 동시에 받는 경우가 발생하게 된다. 정부로서는 중소기업에 대해 최소 허용(de minimis) 규제를 면제해줄 수 있는지도 검토할 수 있을 것이다. 즉 중소기업에 대한 특정 규제가 규제의 목적에 비추어 과도하거나 불필요한 경우에는 해당 규제의 적용을 중소기업에 대해서는 면제하는 방안도 고려할 수 있다.

다. 디지털 혁신의 국제적 파급 확대를 위한 무역규범 정비

제4장의 분석 결과에 따르면 우리나라의 무역은 디지털 혁신이 이루어지는 나라에 대해서는 증가하지만 그렇지 않은 나라에 대해서는 증가하지 않는 것으로 나타났다. 또한 국가 수준의 디지털 혁신이 국제적으로 확산될수록 우리나라의 교역증대효과가 증폭되는 것으로 나타났다. 따라서 무역정책 관점에서 보면 디지털 혁신이 교역상대국에 파급될 수 있도록 국제규범을 효과적으로 만들어 나가는 것이 우리나라의 교역 확대에 도움이 된다.

하지만 디지털 혁신의 경우 국제규범을 만들기가 어려운데, 이는 다음과 같은 이유 때문이다.[81] 첫째, 재화와 서비스의 구분이 어렵다. 예를 들어 전자책과 일반적인 책의 구분이 어려우며 여기에 GATT와 GATS 중 어느 규범을 적용해야 하는지에 대한 논란이 제기될 수 있다. 둘째, 현재의 서비스 분류체계가

81) OECD(2018b)는 시장개방의 6대 원칙으로 투명성, 무차별성, 규제목적을 초과하는 무역제한효과의 회피, 조치의 조화, 상호인정, 경쟁 등을 들고 있다. OECD(2018b)에 따르면 시장개방은 외국의 재화 및 서비스 공급자가 차별적이거나 과도하게 부담이 되며 제약적인 조건을 가지지 않는 상태에서 국내 시장에서 경쟁할 수 있는 능력을 가지도록 하는 규제적 환경으로 특징 지을 수 있다고 설명한다. 이에 따라 시장개방은 단지 무역 및 투자장벽을 제거하는 것뿐만 아니라 정책 결정 과정에 대한 적절한 국제적 접근방식을 채택하는 것을 의미한다. OECD(2018b)는 이러한 관점에서 디지털 무역의 경우 규범 정립이 어렵다고 설명하고 있다. OECD(2018b), pp. 40-41 참고.

부적합하다. 이에 따라 WTO 양허스케줄은 클라우드 컴퓨팅, 온라인게임, 모바일 앱, 인터넷 플랫폼 서비스 등을 분류하기가 어렵다. 셋째, 서비스의 경계가 약화되고 있는데, 예를 들어 기본통신과 부가통신, 통신서비스와 시청각서비스 간의 구분이 어렵다. 넷째, 재화에 서비스가 내포되어 있는 스마트 제품의 경우 유사한 이슈가 발생해서 세관당국이 높은 세율을 부과하는 문제가 나타날 수 있다.

전통적 무역규범은 재화와 서비스를 구분하고 국경이동 여부를 판단의 근거로 삼는다. 여러 입지에서 시장에 서비스 또는 서비스와 재화의 결합을 공급하게 되면 특정 무역규범을 식별하기가 어려워진다. 또한 어느 한 흐름에 장애가 있는 경우 디지털 무역에 큰 영향이 나타나게 된다.[82]

현행 국제규범에서 디지털 무역과 관련되는 협정문과 선언문을 살펴보면, GATT 협정은 디지털로 이동이 가능해진 상품에 대해서 관세 및 비관세장벽을 완화하면 디지털 무역이 더욱 활성화될 수 있게 된다.[83] 2017년 2월에 발효된 WTO 무역원활화협정은 수출입의 통관절차를 원활화하는 조치를 이행토록 하므로 디지털 무역과 관련된다. 또한 무역기술장벽에 대한 TBT 협정은 정보기술과 전자제품에 적용되는 기술규제 및 표준에 대한 정부조치를 포함하며, 정보기술협정(ITA)과 지식재산권협정(IPR)은 ICT 제품 및 서비스의 교역과 관련된다.

한편 GATS는 디지털 상품 및 서비스와 관련하여 중요한 규범을 다루고 있는데, 최혜국대우(MFN) 및 투명성에 대한 일반 원칙은 모든 서비스교역에 적용되는 조항이다. 서비스 양허스케줄은 디지털 서비스의 시장접근과 내국민대우에 직접적으로 적용되는 것이다. 또한 GATS 통신서비스협정(통신에 대한

82) OECD(2018b)는 데이터의 이동에 따라 글로벌 가치사슬의 조정이 가능해지며, 더 효율적인 무역 원활화를 이행할 수 있게 함으로써 디지털통상을 뒷받침한다고 설명한다. 또한 데이터의 이동에 따라 제조업의 서비스화가 심화된다고 지적하면서 무역규범에 미치는 영향을 설명한다. OECD(2018b), pp. 14-19 참고.

83) 온라인으로 주문이 이루어지는 소포의 경우 상품무역에 대한 GATT 협정이 적용된다.

부속서와 기본통신서비스협정)과 금융서비스협정(금융서비스에 대한 부속서)도 관련되어 있다. 또한 WTO는 1998년에 전자상거래에 대해 관세를 부과하지 않기로 합의하였으며, 2017년 부에노스아이레스에서 개최된 WTO 각료회의에서도 전자상거래에 대한 모라토리움을 지속하기로 합의하였다.

전자상거래는 공급자와 소비자 간의 거리를 거의 1/3로 줄여 무역을 확대시킬 뿐만 아니라 세계시장에 연결되지 않던 공급자와 소비자를 연결시키고 있다.[84] WTO는 전자상거래에 대한 잠정적인 모라토리움을 연장하고 있으나 다자무역규범에 합의하지 못하고 있다. 이에 반해 최근 체결되고 있는 지역무역협정은 디지털 관련 조항들을 협정문에 포함하고 있다. 2017년 5월 현재 WTO에 통보된 무역협정의 27%에 해당하는 75개 무역협정이 디지털 무역에 대한 명시적인 규정을 포함하고 있다.[85] 특히 2014년부터 2016년까지만 보면 거의 2/3에 해당되는 지역무역협정이 디지털 무역과 관련된 규정을 두고 있다.

디지털 혁신에 따른 무역의 흐름을 촉진하기 위해 시장접근과 서비스 규제 완화뿐만 아니라 4차 산업혁명의 인프라 구축 등이 필요하다. 이에 따라 이러한 이슈에 대한 국제적 논의는 앞으로 활발하게 이루어질 필요가 있다(표 5-2 참고). 특히 4차 산업혁명에 따라 광범위한 생산제품군이 출시되고 디지털로 연결되는 소비자가 많아지게 되므로 시장접근에 대한 장애요인이 우선적으로 제거될 필요가 있다. 또한 디지털 혁신을 촉진하기 위해 유통, 물류, 금융, 데이터 이동 등에 대한 국제적 규범 제정이 필요하며, 인터넷 프로토콜, 무선네트워크 등의 인프라 개선과 관련된 국제적 논의도 필요하다.

84) Monteiro and Teh(2017), p. 4.
85) Monteiro and Teh(2017)는 최근의 지역무역협정은 전자상거래와 관련된 관세, 무차별적인 대우, 전자서명, 소비자 보호, 데이터 보호, 서류 없는 거래 등을 포함하고 있다고 설명한다. Monteiro and Teh(2017), pp. 5-6.

표 5-2. 디지털 무역의 촉진 요소

	재화	번들 제품(재화 + 서비스)	서비스
특정 규정	비관세장벽		
	관세		
	무역원활화		
		시장접근과 무차별원칙 국내규제 지식재산권 투명성	
지원서비스 및 재화	서비스를 지원하는 재화	(컴퓨터, 스마트폰, 태블릿)	
		재화에 대한 지원서비스(물류, 운송)	
인에이블링 서비스		소매 및 금융서비스	
		컴퓨터서비스	
	기업환경	(경쟁 정책, 설립 규제, 원산지 규정, 분쟁해결)	
		데이터 이동	
인프라		통신서비스	
	인프라 사용에 영향을 미치는 조치(도메인 이름, 인터넷 프로토콜)		
	장비 사용 및 접근에 영향을 미치는 조치(케이블, 무선 네트워크)		

자료: OECD(2018b), p. 45를 토대로 저자 작성.

참고문헌

[국문자료]

강규호. 2006.「기술혁신과 고용창출」.『경제분석』, 제12권 제1호, pp. 53~74. 한국은행 금융경제연구원.

김윤정, 안소영, 강선영, 김가영, 이정은, 임성민, 최문정. 2017.『2016년 기술수준 평가(총괄본)』. 연구보고 2017-064. 한국과학기술기획평가원.

박지형, 안덕근, 이석배, 이지홍. 2015.『국가/산업별 특허혁신지수의 개발에 관한 기초연구』. 대외경제정책연구원. (내부자료)

서진교, 이홍식, 박순찬, 김우영. 2008.『시장개방과 글로벌 아웃소싱이 고용에 미치는 영향 분석』. KIEP 중장기통상전략연구 08-04.

신지나, 조성배, 차두원, 최민석, 한상기. 2016.「인공지능 기술은 어디까지 왔는가(2장)」.『인공지능은 어떻게 산업의 미래를 바꾸는가』. 한스미디어.

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

이규엽, 배찬권, 이수영, 박지현, 유세별. 2017.『디지털상거래가 무역과 고용에 미치는 영향』. 대외경제정책연구원.

이지홍, 임현경, 정대영. 2018.「4차 산업혁명과 한국의 혁신역량: 특허자료를 이용한 국가·기술별 비교 분석, 1976-2015」.『BOK 경제연구』, 제2018-1호.

이지효. 2016.『대담한 디지털 시대』. ㈜알에이치코리아.

장윤종. 2018.「4차 산업혁명 주도 데이터기술 산업의 변화와 한국의 과제」.『월간 KIET 산업경제』, Vol. 214. 산업연구원.

정보통신기술진흥센터. 2018.『4차 산업혁명을 선도하는 주요 기술 대상 기술 수준 평가 및 기술 수준 향상방안』.

한국생산성본부. 2015.『2015년 총요소생산성 국제비교』. 한국생산성본부(Korea Productivity Center).

[일문자료]

經濟産業省. 2017.『新産業構造 ビジョン: 一人ひとりの、世界の課題を解決す る日本の未来』. 經濟産業省.

[영문자료]

Aghion, Philippe, Antonin Begeaud, Matthieu Lequien, and Marc Melitz. 2017. "The Impact of Exports on Innovation: Theory and Evidence." Manuscript at Harvard University.

Åkesson, M. 2009. *Digital Innovation in the Value Networks of Newpapers.* Gothenburg Studies in Informatics, Report 42. (September)

Anderson, James and Eric van Wincoop. 2004. "Trade Costs." *Journal of Economic Literature,* Vol. XLII, pp. 691-751. (September)

Antras, Pol and Davin Chor. 2017. "On the Measurement of Upstreamness and Downstreamness in Global Value Chains." National Bureau of Economic Research Working Paper No. 24185.

Atkeson, Andrew and Ariel Tomás Burstein. 2010 "Innovation, Firm Dynamics, and International Trade." *Journal of Political Economy,* 118(3), pp. 433-484.

Barro, Robert J. 1991. "Economic Growth in a Cross Section of Countries." *The Quarterly Journal of Economics,* 106(2), pp. 407-443.

Berman, Eli, John Bound, and Zvi Griliches. 1994. "Changes in the Demand for Skilled Labor within U.S. Manufacturing: Evidence from the Annual Survey of Manufacturers." *The Quarterly Journal of Economics,* 109(2), pp. 367-397.

Bilbao-Osorio, Benat and Andres Rodriguez-Pose. 2004. "From R&D to Innovation and Economic Growth in the EU." *Growth and Change,* 35(4), pp. 434-455.

Bloom, Nicholas, Raffaella Sadun, and John Van Reenen. 2012. "Americans Do IT Better: US Multinationals and the Productivity Miracle." *American Economic Review*, 102(1), pp. 167-201.

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.

Bresnahan, Timothy F. and M. Trajtenberg. 1995. "General purpose technologies 'Engines of growth'?" *Journal of Econometrics,* 65, pp. 83-108.

Brynjolfsson, Erik, Daniel Rock, and Chad Syverson. 2017. "Artificial Intelligence and the Modern Productivity Paradox: A Clash of Expectations and Statistics." National Bureau of Economic Research Working Paper No. 24001.

Crafts, Nicholas. 2004. "Steam as a General Purpose Techonology: A Growth Accounting Perspective." *The Economic Journal,* Vol. 114, pp. 338-351.

Caliendo, Lorenzo, Fernando Parro, Esteban Rossi-Hansberg, and Pierre-Daniel Sarte. 2014. "The Impact of Regional and Sectral Productivity Changes on the U.S. Economy." National Bureau of Economic Research Working Paper No. 20168.

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.

Cornell Univ., INSEAD, and WIPO. 2018. *Global Innovation Index 2018: Energizing the World with Innovation.* S. Dutta, B. Lanvin, and S. Wunsch-Vincent eds.

Costinot, Arnaud and Andres Rodriguez-Clare. 2014. "Trade Theory with Numbers: Quantifying the Consequences of Globalization." *Handbook of International Economics,* 4, pp. 197-261

Dekle, Robert, Jonathan Eaton, and Samuel S. Kortum. 2008. "Global Rebalancing with Gravity: Measuring the Burden of Adjustment." *IMF Staff Papers,* 55(3), pp. 511-540.

Eaton, Jonathan and Samuel Kortum. 2002. "Technology, Geography, and Trade." *Econometrica,* Vol. 70, pp. 1741-1779.

EPO(European Patent Office). 2017. *Patents and the Fourth Industrial Revolution: The Inventions Behind Digital Transformation.*

Ethier, Wilfred J. 1982. "National and International Returns to Scale in

the Modern Theory of International Trade." *The American Economic Review,* 72(3), pp. 389-405.

Fagerberg, Jan. 1987. "A Technology Gap Approach to Why Growth Rates Differ." *Research Policy* 16, pp. 87-99.

Graetz, Georg and Guy Michaels. 2015. "Robots at Work: The Impact on Productivity and Jobs." CEP Disscussion Paper No. 1335.

Goldfarb, Avi and Daniel Trefler. 2018. "AI and International Trade." National Bureau of Economic Research Working Paper No. 24254.

Görg, Holger and Dennis Görlich. 2012. "Offshoring, Wages and Job Security of Temporary Workers." IZA Discussion Paper Series No. 6897.

Guellec, Doninique and Caroline Paunov. 2017. "Digital Innovation and the Distribution of Income." National Bureau of Economic Research Working Paper No. 23987.

Hall, Bronwyn H. 2011. "Innovation and Productivity." National Bureau of Economic Research Working Paper No. 17178.

Hall, B. H., A. Jaffe, and M. Trajtenberg. 2005. "Market Value and Patent Citations." *Rand Journal of Economics,* Vol. 36, pp.16-38.

Hallward-Driemeier, Mary and Gaurav Nayyar. 2018. *Trouble in the Making? The Future of Manufacturing-Led Development*. World Bank.

Henfridsson, O., Y. Yoo, and F. Svahn. 2009. "Path Creation in Digital Innovation: A Multi-Layered Dialectics Perspective." *Prouts: Working Papers on Information System*, 9(20). Viktoria Institute, Sweden.

Hirsh, J. E. 2005. "An Index to Quantify an Individual's Scientific Research Output." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,* Vol. 102, pp. 16569-16572.

Hsieh, C. and R. Ossa. 2016. "A Global View of Productivity Growth in China." *Journal of International Economics,* Vol. 102, pp. 209-224.

Hu, S. Jack. 2013. *Evolving Paradigms of Manufacturing: From Mass Production to Mass Customization and Personalization.*

IFR(International Federation of Robotics). 2017. *World Robotics*

Industrial Robots.

Jorgenson, D. W. 2011. "Innovation and Productivity Growth." *American Journal of Agricultural Economics*, 93(2), pp. 276-296.

Krugman, Paul. 1980. "Scale Economies, Product Differentiation, and the Pattern of Trade." *American Economic Review,* 70, pp. 950-959.

Kwon, S., J. Lee, and S. Lee. 2017. "International Trends in Technological Progress: Evidence from Patent Citations, 1980-2011." *Economic Journal,* Vol. 127, pp. F50-F70.

Looy, Bart Van, Caro Vereyen, and Ulrich Schmoch. 2015. "Patent Statistics: Concordance IPC V8 - NACE REV.2(version 2.0)." Eurostat.

Marquez-Ramos, Laura and Inmaculada Martinez-Zarzoso. 2010. "The Effect of Technological Innovation on Internatinal Trade." *Economics,* Vol. 4, pp. 1-37.

Mairesse, J. and S. Robin. 2010. "Innovation and Productivity: A Firm-level Analysis for French Manufacturing and Services Using CIS3 and CIS4 data(1998-2000 and 2002-2004)." Paris: CREST-ENSAE.

Masso, J. and P. Vahter. 2008. "Technological Innovation and Productivity in Late Transition Estonia: Econometric Evidence from Innovation Surveys." *European Journal of Development Research,* 20, pp. 240-261.

Mckinsey. 2017. "A Future That Works: Automation, Employment, And Productivity." Mckinsey Global Institute.

Melitz, Marc. 2003. "The Impact of Trade on Intra-Industry Reallocations and Aggregate Industry Productivity." *Econometrica,* 71, pp. 1695-1725.

Monte, Alfredo Del and Erasmo Papagni. 2003. "R&D and the Growth of Firms: Empirical Analysis of a Panel of Italian Firms." *Research Policy,* 32, pp. 1003-1014.

Monteiro, J-A. and R. Teh. 2017. "Provisions on electronic commerce in regional trade agreements." WTO Staff Working Paper No. ERSD-2017-11.

Oldenski, Lindsay. 2015. "Reshoring by US Firms: What Do the Data Say?" Policy Brief No. PB 15-14. Peterson Institute for

International Economics. (September)
OECD. 2016. *New Evidence on ICT Usage Across Countries and Sectors: 2008 to 2012.*
_____. 2017a. *Going Digital: Making the Transformation Work for Growth and Well-Being.* DSTI/CDEP/GD(2017)2.
_____. 2017b. *Vectors of Digital Transformation.* DSTI/CDEP/GD(2017)4/REV1.
_____. 2017c. *OECD Digital Economy Outlook 2017.*
_____. 2018a. *Going Digital in a Multilateral World.* C/MIN(2018)6.
_____. 2018b. *Digital Trade and Market Openness.* TAD/TC/WP(2018)3.
_____. 2018c. *Main Science and Technology Indicators,* Vol 2018/1.
OECD and Eurostat. 2005. *Oslo Manual Guidelines for Collecting and Interpreting Innovation Data.*
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.
Plattform Industrie 4.0. 2015. *Umsetzungsstrategie Industrie 4.0, Ergebnisbericht der Plattform Industrie 4.0.*
Poprawe, Reinhart, Wolfgang Bleck, and Frank Thomas Piller. 2017. "Direct, Mold-Less Production Systems(Chapter 2)." Christian Brecher, Denis Özdemir eds. *Integrative Production Technology - Theory and Applications.* Springer International Publishing.
Porter, Michael E. 1990. *Competitive Advantage*. Free Press.
Romer, Paul. 1990. "Endogenous Technological Change." *Journal of Political Economy,* 98(5), pp. 71-102.
Schumpeter, Joseph A. 1934. "The Theory of Economic Development: An Inquiry into Profits, Capital, Credit, Interest, and the Business Cycle." University of Illinois at Urbana-Champaign's Academy for Entrepreneurial Leadership Historical Research Reference in Entrepreneurship.
Sterlacchini, Alessandro. 1989. "R&D, Innovations, and Total Factor Productivity Growth in British Manufacturing." *Applied Economics,* 21, pp. 1549-1562.
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.

Ulku, Hulya. 2004. "R&D, Innovation, and Economic Growth: An Empirical Analysis." IMF Working Paper WP/04/185.

USICT(U.S. International Trade Commission). 2017. *Global Digital Trade I* : Market Opportunities and Key Foreign Trade Restrictions. USITC Publication 4716.

WIPO(World Intellectual Property Organization). 2015. "Breakthrough Innovation and Economic Growth." *World Intellectual Property Report.* Economics and Statistics Series.

WTO/OECD. 2015. *Aid for Trade at a Glance* 2015.

Yoo, Y., K. Lyytinen, V. Thummadi, and A. Weiss. 2010. "Unbounded Innovation with Digitalization: A Case of Digital Camera." Presented at the Academy of Management Annual Meeting 2010. (January)

[인터넷 자료]

"NTIA Announces Intent to Transition Key Internet Domain Name Functions." 2014. (March 14). 보도자료. https://www.ntia.doc.gov/press-release/2014/ntia-announces-intent-transition-key-internet-domain-name-functions(검색일: 2018. 5. 9).

「[이민화 칼럼] 아디다스의 스피드 팩토리와 한국의 제조 혁신」. 2017.『이투데이』. http://www.etoday.co.kr/news/section/newsview.php?idxno=1567213(검색일: 2018. 4. 10).

「'온라인 공룡' 아마존 · 알리바바… 유통 新모델로 오프라인 진격」. 2018.『한국경제』. (7월 2일). http://news.hankyung.com/article/2018070141181(검색일: 2018. 7. 4).

「마윈, "외모도 별로고 백도 없던 나, 고래보다 새우 잡아 성공했다"」. 2015.『조선일보』. (5월 20일). http://news.chosun.com/site/data/html_dir/2015/05/20/2015052000233.html(검색일: 2018. 4. 10).

「삼성 · SK하이닉스 D램 영업이익률 69% 돌파… 점유율 73%」. 2018.『연합인포맥스』. (5월 15일). http://news.einfomax.co.kr/news/articleView.html?idxno=3448780(검색일: 2018. 7. 20).

「삼성전자, AI · 빅스비로 진화된 2018년형 '무풍에어컨' 출시」. 2018. 보도자료.

(1월 24일). https://news.samsung.com/kr/%EC%82%BC%EC%84%B1%EC%A0%84%EC%9E%90-AI%C2%B7%EB%B9%85%EC%8A%A4%EB%B9%84%EB%A1%9C-%EC%A7%84%ED%99%94%EB%90%9C-2018%EB%85%84%ED%98%95-%EB%AC%B4%ED%92%8D%EC%97%90%EC%96%B4%EC%BB%A8(검색일: 2018. 7. 5).

「LG전자, 인공지능 'LG 휘센 듀얼 에어컨' 필요한 곳 찾아 스스로 냉방한다」. 2017. 보도자료. (1월 16일). https://social.lge.co.kr/newsroom/lg_ai_whisen_0116/(검색일: 2018. 7. 15).

미국 특허 · 상표청(USPTO: US Patent and Trademark Office). https://www.uspto.gov/web/patents/classification/index.htm(검색일: 2018. 4. 30).

유럽특허청(EPO: European Patent Office). https://www.epo.org/about-us/annual-reports-statistics/statistics.html#granted(검색일: 2018. 9. 20).

유엔통계처(UNSD: United Nations Statistics Division). https://unstats.un.org/unsd/cr/registry/regdnld.asp?Lg=1(검색일: 2018. 4. 30).

Adidas, SPEEDFACTORY: The Future of How We Create. https://www.adidas.com/us/speedfactory(검색일: 2018. 7. 9).

Business Insider. http://uk.businessinsider.com/how-google-retains-more-than-90-of-market-share-2018-4(검색일: 2018. 5. 3).

https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2018-02-22-gartner-says-worldwide-sales-of-smartphones-recorded-first-ever-decline-during-the-fourth-quarter-of-2017(검색일: 2018. 5. 3).

OECD.Stat. Information and Communication Technology. https://stats.oecd.org(검색일: 2018. 7. 18).

Slideshare. https://www.slideshare.net/magamawi/technology-commercialization-workshop-part-2(검색일: 2018. 7. 12).

Statista. https://www.statista.com/statistics/264623/leading-export-countries-worldwide/(검색일: 2018. 10. 30).

Whittle, J. E. O., M. Ferrario, and R. M. Southern. 2012. "Beyond Research in the Wild: Citizen-Led Research as a Model for Innovation in the Digital Economy." Digital Futures 2012. http://www.dotrural.ac.uk/digitalfutures/sites/default/files/digitalfutures2012papers/Papers/Session1BTalesofEngagement/Whittle_etal_BeyondRitW.pdf(검색일: 2018. 4. 4).

Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Distributed_manufacturing(검

색일: 2018. 5. 3).
_____. https://en.wikipedia.org/wiki/Flying_geese_paradigm(검색일: 2018. 7. 9).
_____. https://ko.wikipedia.org/wiki/%EA%B3%A0%EA%B0%9D_%EA%B4%80%EA%B3%84_%EA%B4%80%EB%A6%AC(검색일: 2018. 7. 18).
_____. https://ko.wikipedia.org/wiki/%EC%A0%84%EC%82%AC%EC%A0%81_%EC%9E%90%EC%9B%90_%EA%B4%80%EB%A6%AC(검색일: 2018. 7. 18).
_____. https://ko.wikipedia.org/wiki/RFID(검색일: 2018. 7. 18).
WIOD(World Input-Output Database). https://wiod.org/(검색일: 2018. 5. 23).
WITS(World Integrated Trade Solution). https://wits.worldbank.org/(검색일: 2018. 5. 23).
World Robotics. https://my.worldrobotics.org/(검색일: 2018. 7. 16).
WTO. 2017. *World Trade Statistical Review 2017.* https://www.wto.org/english/res_e/statis_e/wts2017_e/WTO_Chapter_03_e.pdf(검색일: 2018. 4. 5).

[DVD 자료]

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

부 록

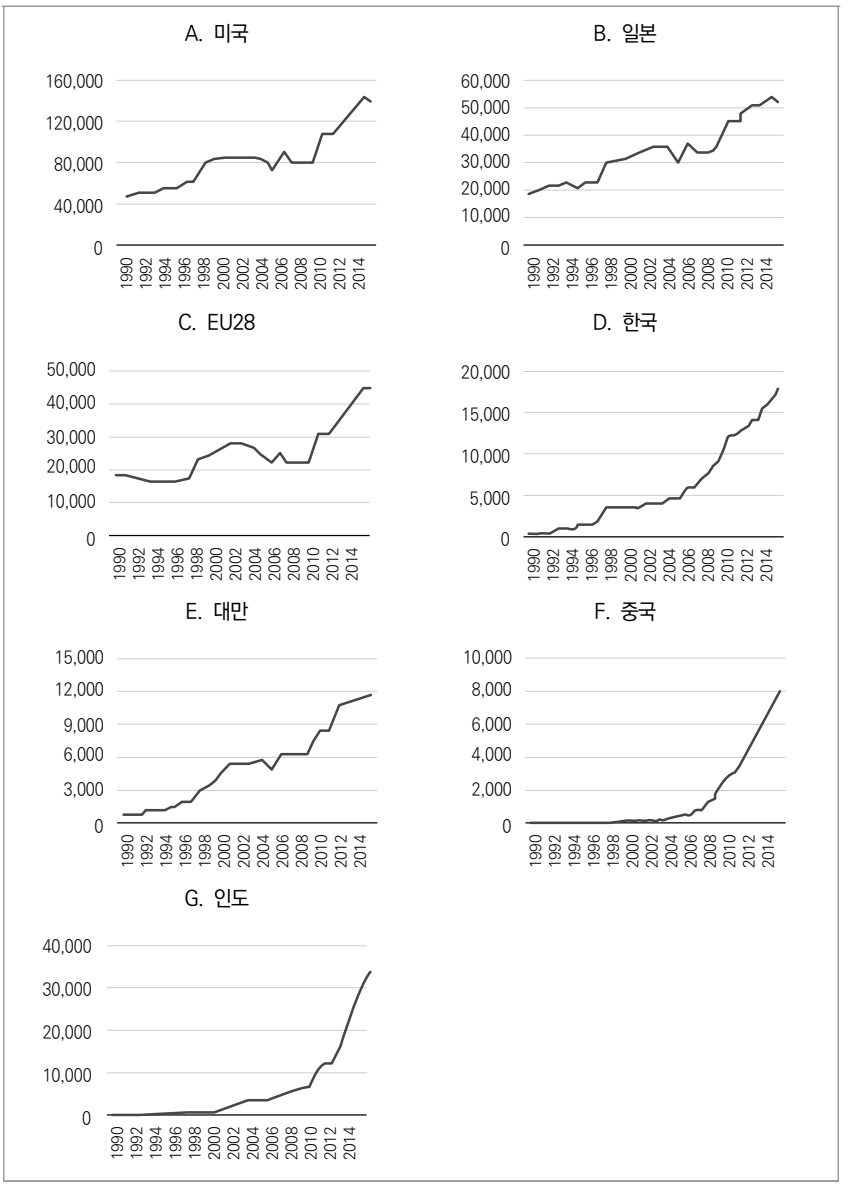
1. 중복 허용 현황
2. 산업분류
3. 국가 수준의 근본생산성 향상

[부록 1] 중복 허용 현황

부록 표 1-1. ISIC Rev.4 2단위 산업명

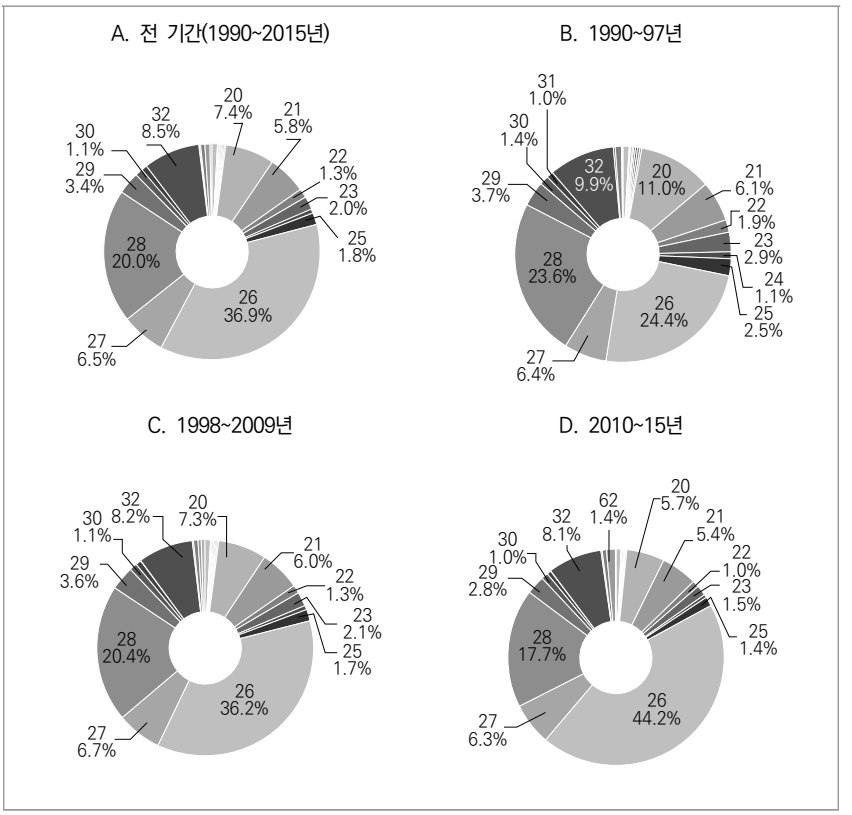
2단위 코드	산업명
10	식료품 제조업
11	음료 제조업
12	담배 제조업
13	섬유 제조업
14	의복 제조업
15	가죽과 관련 제품 제조업
16	목재 및 나무제품, 코르크 제조업
17	종이 및 종이제품 제조업
18	인쇄 및 기록매체 복제업
19	코크스, 석유정제품 제조업
20	화학물질 및 화학제품 제조업
21	의료용 물질 및 의약품 제조업
22	고무제품 및 플라스틱제품 제조업
23	비금속 광물제품 제조업
24	1차 금속 제조업
25	금속가공제품 제조업
26	컴퓨터, 전자 및 광학기기 제조업
27	전기장비 제조업
28	기계 및 장비 제조업
29	자동차 및 트레일러 제조업
30	기타 운송장비 제조업
31	가구 제조업
32	기타 제품 제조업
33	기계 및 장비 수리 · 설치업
42	토목 건설업
43	전문직별 공사업
62	컴퓨터 프로그래밍, 시스템 통합 및 관리업
XX	미분류

부록 그림 1-1. 주요국의 전체 등록 건수 추이



자료: 미국 특허·상표청(USPTO) DVD롬 자료(검색일: 2018. 4. 9)를 이용하여 저자 작성.

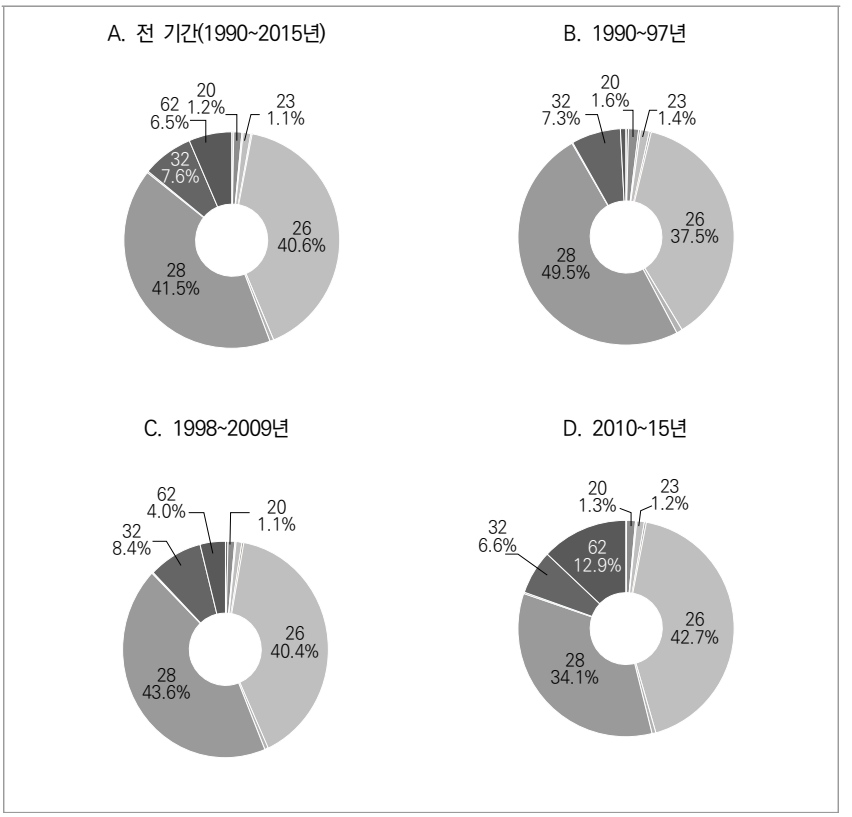
부록 그림 1-2. 전체 등록 건수의 산업별 비중(중복 허용)



주: 1) 전체 등록 건수에서 산업이 차지하는 비중이 1% 미만인 산업은 표시하지 않음.
2) 표시된 코드에 대한 산업명은 다음과 같음. 20(화학물질 및 화학제품), 21(의료용 물질 및 의약품), 22(고무제품 및 플라스틱 제품), 23(비금속 광물 제품), 24(1차 금속), 25(금속가공 제품), 26(컴퓨터, 전자 및 광학기기), 27(전기장비), 28(기계 및 장비), 29(자동차 및 트레일러), 30(기타 운송장비), 31(가구), 32(기타 제품), 62(컴퓨터 프로그래밍, 시스템 통합 및 관리업).

자료: 미국 특허·상표청(USPTO) DVD롬 자료(검색일: 2018. 4. 9)를 이용하여 저자 작성.

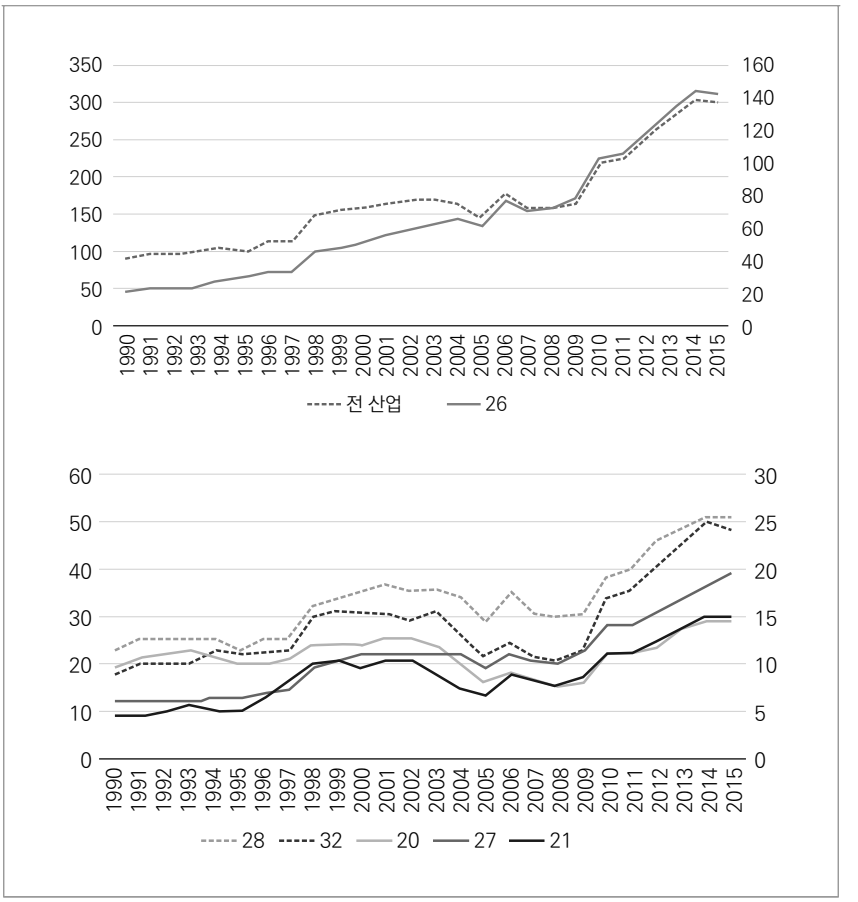
부록 그림 1-3. 디지털 혁신기술 등록 건수의 산업별 비중(중복 허용)



주: 1) 전체 등록 건수에서 차지하는 비중이 1% 미만인 산업은 표시하지 않음.
2) 표시된 코드에 대한 산업명은 다음과 같음. 20(화학물질 및 화학제품), 23(비금속 광물 제품), 26(컴퓨터, 전자 및 광학기기), 28(기계 및 장비), 32(기타 제품), 62(컴퓨터 프로그래밍, 시스템 통합 및 관리업).
자료: 미국 특허·상표청(USPTO) DVD롬 자료(검색일: 2018. 4. 9)를 이용하여 저자 작성.

부록 그림 1-4. 전체 특허 주요산업의 등록 건수 추이(중복 미허용)

(단위: 천 건)



주: 1) 전 산업과 28산업은 왼쪽, 이외 산업은 오른쪽임.
2) 표시된 코드에 대한 산업명은 다음과 같음. 20(화학물질 및 화학제품), 21(의료용 물질 및 의약품), 26(컴퓨터, 전자 및 광학기기), 27(전기장비), 28(기계 및 장비), 32(기타 제품).

자료: 미국 특허·상표청(USPTO) DVD롬 자료(검색일: 2018. 4. 9)를 이용하여 저자 작성.

부록 그림 1-5. 전체 특허 주요 산업의 등록 건수 추이(중복 허용)

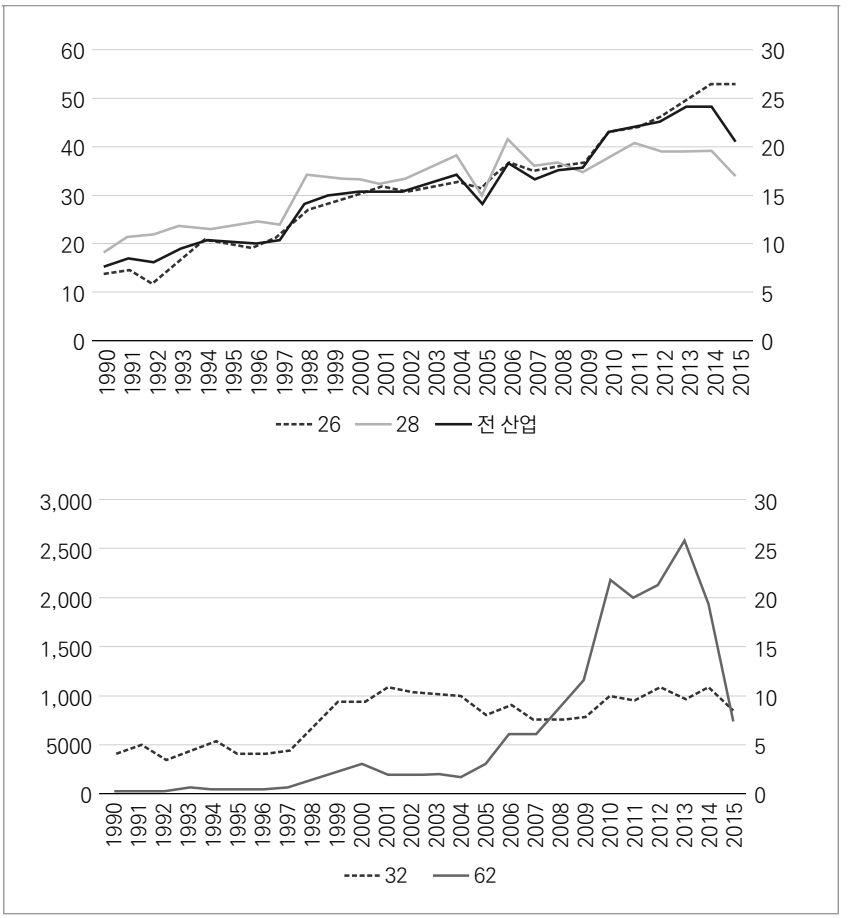
(단위: 천 건)

주: 1) 전 산업과 28산업은 왼쪽, 이외 산업은 오른쪽임.
2) 표시된 코드에 대한 산업명은 다음과 같음. 20(화학물질 및 화학제품), 21(의료용 물질 및 의약품), 26(컴퓨터, 전자 및 광학기기), 27(전기장비), 28(기계 및 장비), 32(기타 제품).

자료: 미국 특허·상표청(USPTO) DVD롬 자료(검색일: 2018. 4. 9)를 이용하여 저자 작성.

부록 그림 1-6. 디지털 혁신기술 주요 산업의 등록 건수 추이(중복 허용)

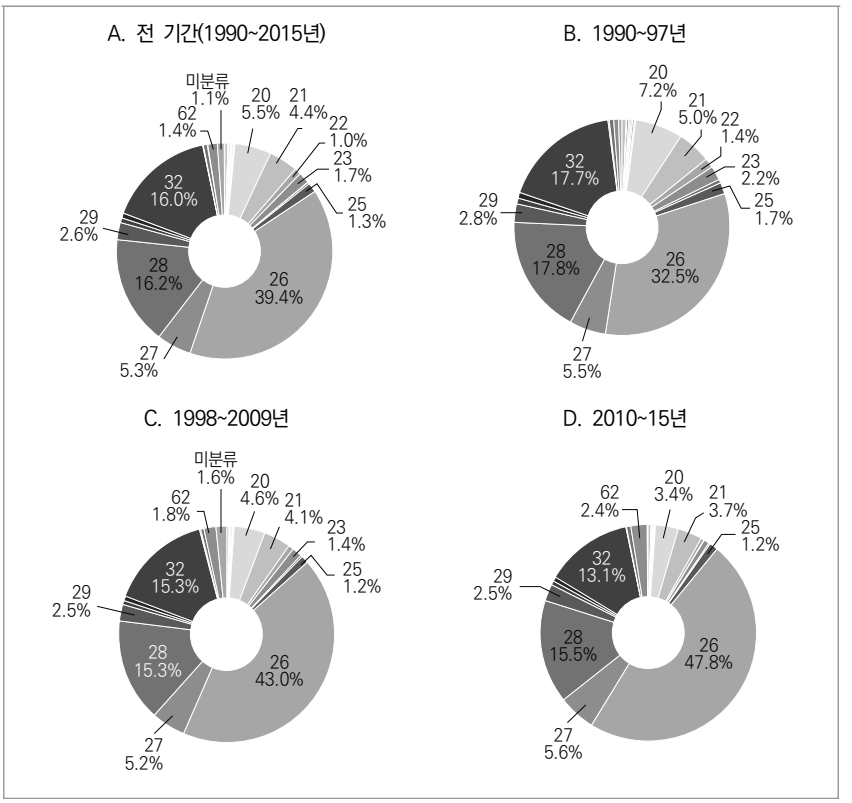
(단위: 건)



주: 1) 전 산업은 왼쪽, 26과 28산업은 오른쪽임.
2) 표시된 코드에 대한 산업명은 다음과 같음. 26(컴퓨터, 전자 및 광학기기), 28(기계 및 장비), 32(기타 제품), 62(컴퓨터 프로그래밍, 시스템 통합 및 관리업).

자료: 미국 특허·상표청(USPTO) DVD롬 자료(검색일: 2018. 4. 9)를 이용하여 저자 작성.

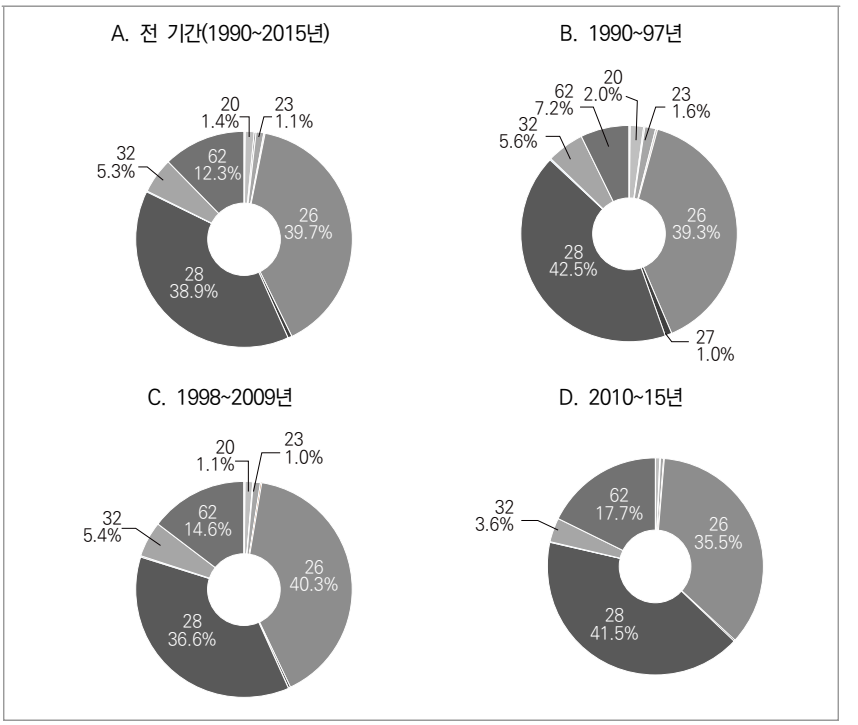
부록 그림 1-7. 전체 특허 피인용 건수의 산업별 비중(중복 허용)



주: 1) 전체 등록 건수에서 차지하는 비중이 1% 미만인 산업은 표시하지 않음.
2) 표시된 코드에 대한 산업명은 다음과 같음. 20(화학물질 및 화학제품), 21(의료용 물질 및 의약품), 22(고무제품 및 플라스틱 제품), 23(비금속 광물 제품), 25(금속가공 제품), 26(컴퓨터, 전자 및 광학기기), 27(전기장비), 28(기계 및 장비), 29(자동차 및 트레일러), 32(기타 제품), 62(컴퓨터 프로그래밍, 시스템 통합 및 관리업).

자료: 미국 특허·상표청(USPTO) DVD롬 자료(검색일: 2018. 4. 9)를 이용하여 저자 작성.

부록 그림 1-8. 디지털 혁신기술 피인용 건수의 산업별 비중(중복 허용)



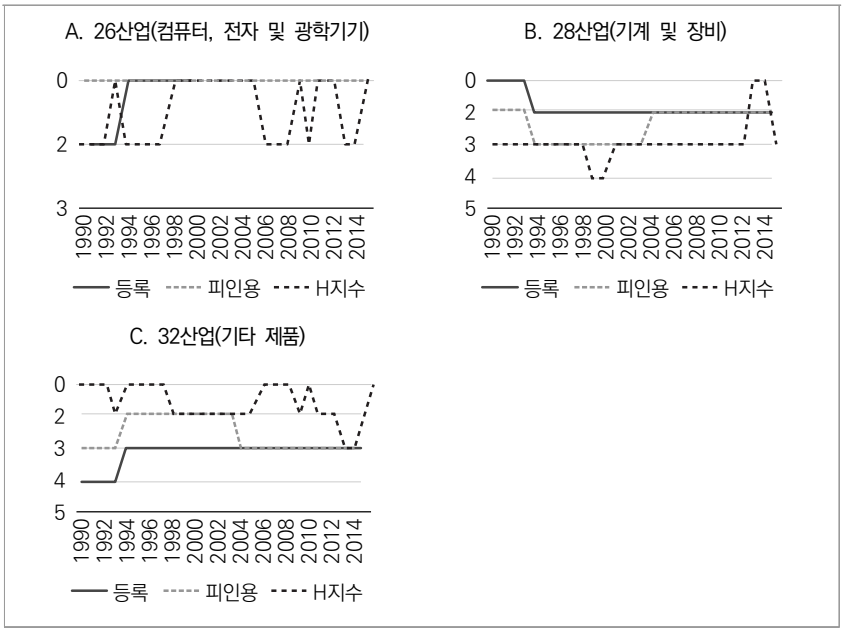
주: 1) 전체 등록 건수에서 차지하는 비중이 1% 미만인 산업은 표시하지 않음.
2) 표시된 코드에 대한 산업명은 다음과 같음. 20(화학물질 및 화학제품), 23(비금속 광물 제품), 26(컴퓨터, 전자 및 광학기기), 27(전기장비), 28(기계 및 장비), 32(기타 제품), 62(컴퓨터 프로그래밍, 시스템 통합 및 관리업).
자료: 미국 특허·상표청(USPTO) DVD롬 자료(검색일: 2018. 4. 9)를 이용하여 저자 작성.

부록 표 1-2. 기간별 주요 산업의 H지수 및 순위(중복 허용)

산업		전체 특허 H지수				디지털 혁신 기술 H지수			
코드	산업명	1990~1997년	1998~2009년	2010~2015년	전 기간	1990~1997년	1998~2009년	2010~2015년	전 기간
20	화학제품	207	188	45	244	65	57	14	79
21	의약품	240	211	48	277	-	-	-	-
26	전자기기	424	462	114	523	177	200	61	240
27	전기장비	179	191	66	216	48	33	7	54
28	기계장비	275	277	89	322	177	186	75	222
32	기타제품	460	442	136	520	77	88	25	103
62	프로그래밍	213	311	60	347	150	247	49	278

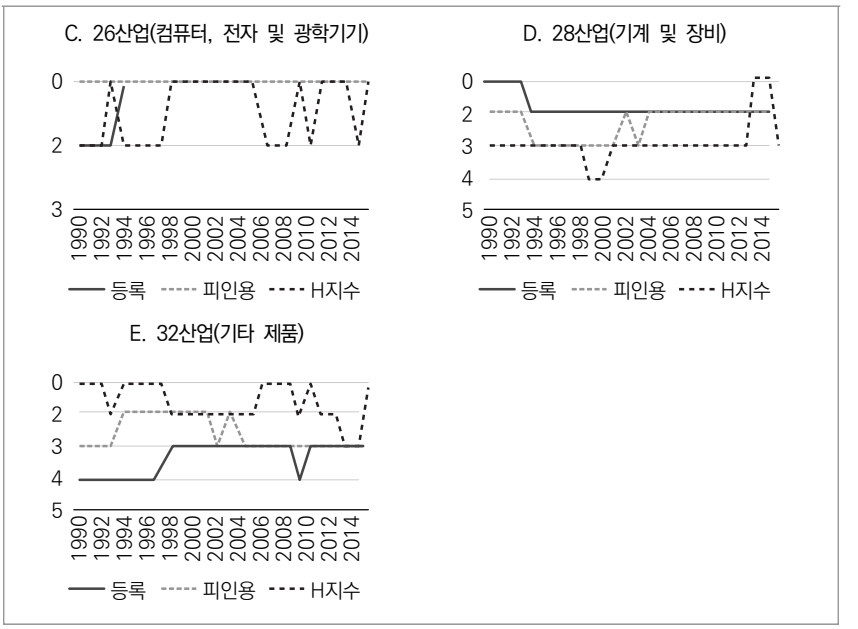
주: 정확한 산업명은 [부록 표 3-1] 참고.
자료: 미국 특허·상표청(USPTO) DVD롬 자료(검색일: 2018. 4. 9)를 이용하여 저자 작성.

부록 그림 1-9. 주요 산업 전체 특허에 대한 지표별 순위 추이(중복 미허용)



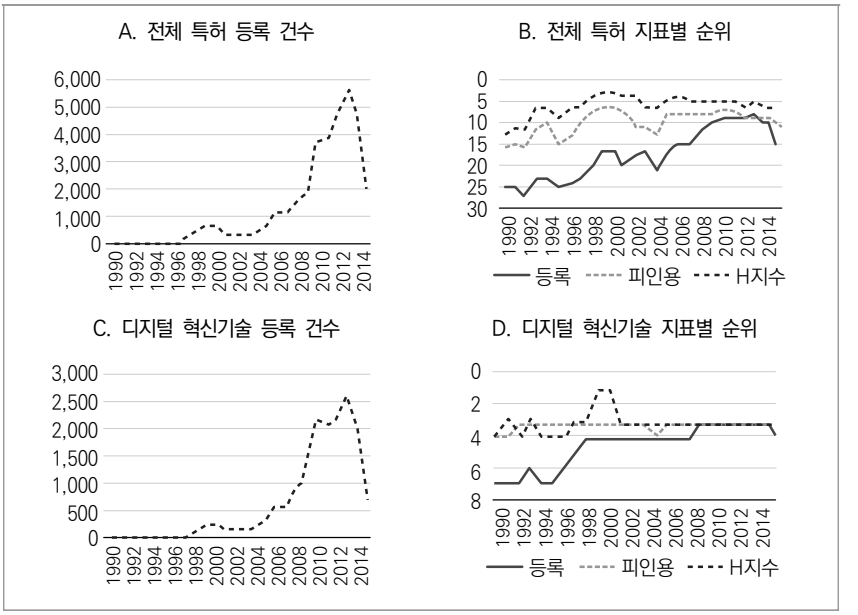
자료: 미국 특허·상표청(USPTO) DVD롬 자료(검색일: 2018. 4. 9)를 이용하여 저자 작성.

부록 그림 1-10. 주요 산업 전체 특허에 대한 지표별 순위 추이(중복 허용)



자료: 미국 특허·상표청(USPTO) DVD롬 자료(검색일: 2018. 4. 9)를 이용하여 저자 작성.

부록 그림 1-11. 62산업(컴퓨터 프로그래밍, 시스템 통합 및 관리업)에 대한 등록 건수 및 지표별 순위 추이(중복 허용)



자료: 미국 특허·상표청(USPTO) DVD롬 자료(검색일: 2018. 4. 9)를 이용하여 저자 작성.

부록 표 1-3. 최근 기간(2010~15년) 중 지표별 상위 5개 산업(중복 허용)

순위	전체 특허			디지털 혁신기술		
	등록	피인용	H지수	등록	피인용	H지수
1	26(전자기기)	26(전자기기)	32(기타제품)	26(전자기기)	28(기계장비)	28(기계장비)
2	28(기계장비)	28(기계장비)	26(전자기기)	28(기계장비)	26(전자기기)	26(전자기기)
3	32(기타제품)	32(기타제품)	28(기계장비)	62(프로그래밍)	62(프로그래밍)	62(프로그래밍)
4	20(화학제품)	27(전기장비)	27(전기장비)	32(기타제품)	32(기타제품)	32(기타제품)
5	27(전기장비)	21(의약품)	62(프로그래밍)	20(화학제품)	20(화학제품)	20(화학제품)

주: 정확한 산업명은 [부록 표 3-1] 참고.
자료: 미국 특허·상표청(USPTO) DVD롬 자료(검색일: 2018. 4. 9)를 이용하여 저자 작성.

부록 표 1-4. 최근(2010~15년) 전체 특허의 주요 산업별 상위 10대 등록기업(중복 허용)

A. 20산업(화학물질 및 화학제품)

순위	기업명	등록 건수
1	BASF SE	1,857
2	DU PONT	983
3	DOW GLOBAL Technologies	860
4	EXXONMOBIL Chemical	803
5	UOP	708
6	P&G	698
7	L'OREAL S.A.	580
8	SUMITOMO Chemical	571
9	3M Innovative Properties	539
10	NOVARTIS AG	528
합계		8,127

B. 26산업(컴퓨터, 전자 및 광학기기)

순위	기업명	등록 건수
1	IBM	35,970
2	SAMSUNG Electronics	23,138
3	SONY	12,375
4	MICROSOFT	12,254
5	CANON	12,149
6	TOSHIBA	10,753
7	QUALCOMM	9,899
8	PANASONIC	9,033
9	INTEL	8,591
10	FUJITSU	8,237
합계		142,399

C. 27산업(전기장비)

순위	기업명	등록 건수
1	SAMSUNG SDI	1,958
2	HON HAI PRECISION IND.	1,846
3	TOYOTA JIDOSHA K.K.	1,539
4	PANASONIC	1,524
5	GE	1,463
6	GM Global Tech. Operations	1,295
7	LG Electronics	1,271
8	SAMSUNG Electronics	1,218
9	DENSO CORPORATION	971
10	HONDA Motor	915
합계		14,000

D. 28산업(기계 및 장비)

순위	기업명	등록 건수
1	CANON	10,025
2	RICOH	5,632
3	SEIKO EPSON	4,874
4	SAMSUNG Electronics	4,733
5	BROTHER	4,663
6	GE	4,254
7	XEROX	3,789
8	SONY	3,097
9	GM Global Tech. Operations	2,958
10	TOSHIBA	2,910
합계		46,935

부록 표 1-4. 계속

E. 32산업(기타제품)

순위	기업명	등록 건수
1	BOSTON SCIENTIFIC SCIMED	2,005
2	COVIDIEN LP	1,964
3	IGT	1,607
4	ETHICON	1,068
5	WARSAW ORTHOPEDIC	1,065
6	FUJIFILM	934
7	MEDTRONIC	859
8	GE	802
9	TYCO Healthcare	793
10	COOK Medical	769
합계		11,866

F. 62산업(컴퓨터 프로그래밍 등)

순위	기업명	등록 건수
1	IBM	1,110
2	GOOGLE	533
3	AMAZON Technologies	532
4	SAP	444
5	BANK OF AMERICA	418
6	TRADING Tech. Int.	403
7	EBAY	402
8	AMERICAN EXPRESS*	327
9	JP MORGAN CHASE	314
10	USAA	293
합계		4,776

주: 1) AMERICAN EXPRESS*는 AMERICAN EXPRESS TRAVEL RELATED SERVICES를 의미함.
2) 음영은 한국기업을 표시한 것이며, 등록 건수는 반올림한 값임.
자료: 미국 특허·상표청(USPTO) DVD롬 자료(검색일: 2018. 4. 9)를 이용하여 저자 작성.

부록 표 1-5. 최근 전체 특허에 대한 주요국의 산업별 기술 수준(중복 미허용)

A. 등록 건수

주요 산업		미국	일본	한국	대만	중국	인도
코드	산업명						
20	화학제품	35,487	12,493	2,660	1,153	1,386	766
21	의약품	41,739	6,970	1,607	997	1,090	1,183
26	전자기기	346,888	144,652	55,196	35,944	18,549	8,544
27	전기장비	36,732	21,891	7,900	7,768	3,776	337
28	기계장비	114,188	73,722	12,345	8,710	3,935	1,158
32	기타 제품	83,093	12,555	2,091	2,774	1,011	205
전 산업		756,623	299,805	86,107	61,760	31,746	12,789

B. 피인용 건수

주요 산업		미국	일본	한국	대만	중국	인도
코드	산업명						
20	화학제품	38,877	7,467	945	332	484	224
21	의약품	54,436	3,548	517	305	210	351
25	금속가공품	17,205	1,570	361	1,476	418	35
26	전자기기	744,120	144,140	52,188	29,362	12,757	9,689
27	전기장비	63,654	19,432	5,449	9,621	4,430	260
28	기계장비	215,384	61,473	9,009	5,324	2,777	925
29	자동차	25,987	14,012	1,066	673	199	81
32	기타 제품	252,757	13,272	1,522	2,544	697	132
62	프로그래밍	53,540	622	173	33	44	295
전 산업		1,531,759	274,887	72,544	51,908	22,970	12,275

부록 표 1-5. 계속

C. H지수

주요 산업		미국	일본	한국	대만	중국	인도
코드	산업명						
20	화학제품	35.0	18.0	8.0	6.0	8.5	5.0
21	의약품	43.0	16.0	9.0	7.0	6.0	8.0
23	비금속광물	26.0	15.0	9.0	4.0	4.0	2.0
26	전자기기	105.0	61.0	47.0	37.0	24.0	28.0
27	전기장비	53.0	23.5	21.0	22.0	16.0	6.0
28	기계장비	87.0	35.0	22.0	14.0	16.0	11.0
29	자동차	33.0	20.0	8.0	8.0	6.0	5.0
31	가구	23.0	10.0	9.0	10.0	7.0	1.0
32	기타 제품	135.0	31.0	16.0	14.0	9.0	5.0
62	프로그래밍	59.0	9.0	7.0	3.0	3.0	8.0

주: 값은 반올림한 것이며, 음영은 상위 산업을 표시함. 정확한 산업명은 [부록 표 3-1] 참고.
자료: 미국 특허·상표청(USPTO) DVD롬 자료(검색일: 2018. 4. 9)를 이용하여 저자 작성.

부록 표 1-6. 최근 전체 특허에 대한 주요국의 산업별 기술 수준(중복 허용)

A. 등록 건수

주요 산업		미국	일본	한국	대만	중국	인도
코드	산업명						
20	화학제품	47,893	15,248	3,248	1,504	1,777	1,060
21	의약품	50,763	8,466	1,943	1,227	1,380	1,446
26	전자기기	362,716	157,258	56,994	37,382	19,085	8,698
27	전기장비	43,254	24,771	8,559	8,775	4,165	385
28	기계장비	130,070	83,718	13,953	9,883	4,414	1,329
32	기타 제품	91,169	15,387	2,442	3,164	1,162	229
전 산업		843,839	341,098	92,704	67,778	34,562	13,867

B. 피인용 건수

주요 산업		미국	일본	한국	대만	중국	인도
코드	산업명						
20	화학제품	54,283	8,996	1,138	410	614	332
21	의약품	64,484	4,376	612	363	302	447
25	금속가공품	20,938	2,438	456	1,697	477	44
26	전자기기	778,051	155,166	53,201	30,487	13,134	9,777
27	전기장비	76,075	22,585	5,956	10,821	4,876	289
28	기계장비	241,945	68,437	9,748	5,988	3,039	1,029
29	자동차	31,255	16,907	1,229	967	282	93
32	기타 제품	267,980	16,399	1,762	2,880	781	142
62	프로그래밍	54,745	657	189	33	44	295
전 산업		1,669,747	308,361	75,898	56,585	24,732	12,765

부록 표 1-6. 계속

C. H지수

주요 산업		미국	일본	한국	대만	중국	인도
코드	산업명						
20	화학제품	43	20	10	6	10	6
21	의약품	46	18	10	7	8	9
25	금속가공품	28	13	8	11	8	3
26	전자기기	105	63	47	37	25	28
27	전기장비	58	25	22	24	17	7
28	기계장비	88	35	23	14	16	11
29	자동차	34	22	9	10	7	5
32	기타 제품	136	35	16	15	9	5
62	프로그래밍	59	9	7	3	3	8

주: 값은 반올림한 것이며, 음영은 상위 산업을 표시함. 정확한 산업명은 [부록 표 3-1] 참고.
자료: 미국 특허·상표청(USPTO) DVD롬 자료(검색일: 2018. 4. 9)를 이용하여 저자 작성.

부록 표 1-7. 최근 디지털 혁신기술에 대한 주요국의 산업별 기술 수준(중복 허용)

A. 등록 건수

주요 산업		미국	일본	한국	대만	중국	인도
코드	산업명						
20	화학제품	493	353	85	51	14	1
23	비금속광물	455	330	84	47	15	0
26	전자기기	15,577	9,999	4,950	1,766	430	348
27	전기장비	232	74	38	49	15	0
28	기계장비	12,441	11,494	1,419	864	299	46
29	자동차	116	18	4	9	5	1
32	기타 제품	1,804	2,413	559	412	59	1
62	프로그래밍	9,911	277	73	29	30	76
전 산업		41,198	25,054	7,254	3,246	880	473

B. 피인용 건수

주요 산업		미국	일본	한국	대만	중국	인도
코드	산업명						
20	화학제품	676	215	51	22	2	0
26	전자기기	32,729	11,702	5,356	1,669	291	359
27	전기장비	242	45	11	16	5	0
28	기계장비	52,899	10,755	890	332	369	31
32	기타 제품	2,418	2,543	351	254	17	0
62	프로그래밍	26,966	330	124	10	13	107
전 산업		116,993	25,824	6,845	2,321	699	497

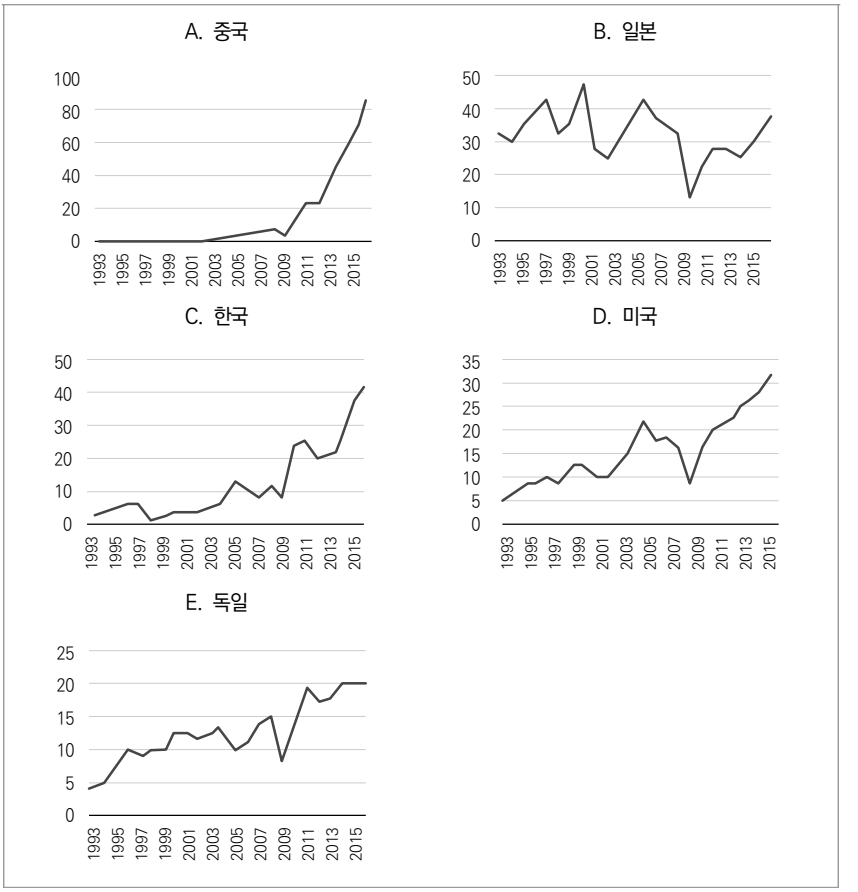
C. H지수

주요 산업		미국	일본	한국	대만	중국	인도
코드	산업명						
20	화학제품	11.0	5.0	3.0	2.0	1.0	0.0
26	전자기기	53.0	28.0	20.0	12.0	8.0	8.0
27	전기장비	6.0	3.0	2.0	2.0	2.0	
28	기계장비	75.0	23.0	10.0	5.0	12.0	3.0
32	기타 제품	18.0	18.0	6.0	6.0	2.0	0.0
62	프로그래밍	48.0	9.0	5.0	2.0	2.0	6.0

주: 값은 반올림한 것이며, 음영은 상위 산업을 표시함. 정확한 산업명은 [부록 표 3-1] 참고.
자료: 미국 특허 · 상표청(USPTO) DVD롬 자료(검색일: 2018. 4. 9)를 이용하여 저자 작성.

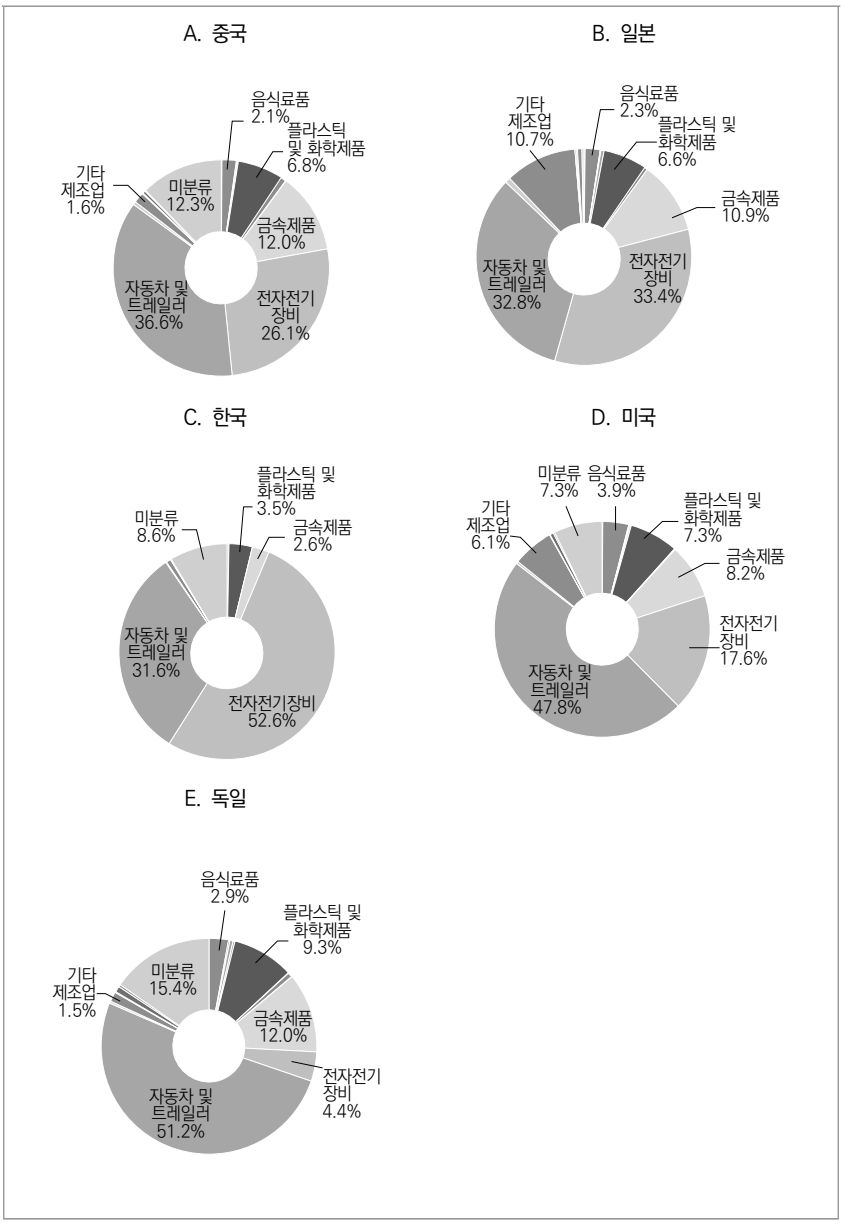
부록 그림 1-12. 주요국의 산업용 로봇 설치 현황

(단위: 천 대)



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

부록 그림 1-13. 최근(2011~16년) 주요국의 설치 로봇 이용 산업별 비중



주: 비중이 1% 미만인 산업은 표시하지 않음.
자료: World Robotics, https://my.worldrobotics.org/(검색일: 2018. 7. 16) 자료를 이용하여 저자 작성.

[부록 2] 산업분류

[표 4-1]에서 보여준 산업분류 이외 총 32개로 분류한 서비스 산업 목록은 다음과 같다.

부록 표 2-1. [표 4-2] 이외 산업 목록

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

부록 표 2-1. 계속

순번과 산업명
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

[부록 3] 국가 수준의 근본생산성 향상

부록 표 3-1. 국가 수준의 디지털 혁신 시나리오 – 국가간 교역 변화: '미국' 생산성 향상 1%

(단위: %)

	호주	브라질	캐나다	중국	유럽	인도	인도네시아	일본	한국	멕시코	러시아	대만	터키	미국	ROW
호주	–	-0.10	-0.48	-0.20	-0.19	-0.26	-0.12	-0.17	-0.14	-0.52	-0.12	-0.19	-0.19	1.64	0.75
브라질	0.05	–	-0.37	-0.09	-0.08	-0.15	-0.01	-0.05	-0.03	-0.41	-0.01	-0.08	-0.08	1.76	0.86
캐나다	0.01	-0.03	–	-0.12	-0.11	-0.18	-0.04	-0.09	-0.07	-0.44	-0.04	-0.12	-0.12	1.72	0.83
중국	0.19	0.15	-0.23	–	0.07	-0.01	0.13	0.09	0.11	-0.26	0.13	0.06	0.06	1.90	1.01
유럽	0.10	0.06	-0.32	-0.03	–	-0.09	0.05	-0.00	0.02	-0.35	0.04	-0.03	-0.03	1.81	0.92
인도	0.09	0.05	-0.33	-0.04	-0.03	–	0.04	-0.01	0.01	-0.36	0.04	-0.04	-0.04	1.80	0.91
인도네시아	0.10	0.06	-0.32	-0.03	-0.02	-0.09	–	0.00	0.02	-0.35	0.05	-0.03	-0.03	1.81	0.92
일본	0.09	0.05	-0.33	-0.05	-0.03	-0.11	0.03	–	0.01	-0.37	0.03	-0.04	-0.04	1.80	0.91
한국	0.05	0.01	-0.37	-0.09	-0.08	-0.15	-0.01	-0.06	–	-0.41	-0.01	-0.08	-0.08	1.76	0.86
멕시코	0.10	0.07	-0.31	-0.03	-0.02	-0.09	0.05	0.00	0.03	–	0.05	-0.02	-0.02	1.82	0.92
러시아	0.08	0.04	-0.34	-0.06	-0.05	-0.12	0.02	-0.02	-0.00	-0.38	–	-0.05	-0.05	1.79	0.89
대만	-0.03	-0.07	-0.45	-0.17	-0.15	-0.23	-0.09	-0.13	-0.11	-0.48	-0.09	–	-0.16	1.68	0.79
터키	0.15	0.11	-0.27	0.02	0.03	-0.04	0.10	0.05	0.07	-0.30	0.10	0.02	–	1.87	0.97
미국	2.06	2.02	1.64	1.93	1.94	1.86	2.01	1.96	1.98	1.60	2.01	1.93	1.93	–	2.90
ROW	0.99	0.95	0.57	0.85	0.87	0.79	0.93	0.89	0.91	0.53	0.93	0.86	0.86	2.72	–

주: 첫 번째 열은 수입국을, 첫 번째 행은 수출국을 의미함.
자료: 저자 작성.

부록 표 3-2. 국가 수준의 디지털 혁신 시나리오 – 국가간 교역 변화: '주요 5개국' 생산성 향상 1%

(단위: %)

	호주	브라질	캐나다	중국	유럽	인도	인도네시아	일본	한국	멕시코	러시아	대만	터키	미국	ROW
호주	–	-0.09	-0.34	1.92	1.81	-0.20	-0.03	1.71	1.56	-0.26	-0.14	-0.43	-0.13	1.78	0.79
브라질	-0.15	–	-0.21	2.06	1.95	-0.07	0.10	1.85	1.70	-0.13	-0.01	-0.30	0.01	1.91	0.93
캐나다	-0.39	-0.20	–	1.81	1.70	-0.31	-0.15	1.60	1.45	-0.37	-0.25	-0.55	-0.24	1.66	0.68
중국	1.91	2.11	1.85	–	4.05	2.00	2.17	3.95	3.80	1.93	2.06	1.76	2.07	4.02	3.01
유럽	1.69	1.88	1.63	3.94	–	1.77	1.94	3.73	3.57	1.71	1.83	1.53	1.85	3.79	2.79
인도	-0.23	-0.04	-0.29	1.98	1.87	–	0.02	1.77	1.61	-0.21	-0.09	-0.38	-0.08	1.83	0.85
인도네시아	-0.12	0.07	-0.18	2.08	1.98	-0.04	–	1.88	1.72	-0.10	0.02	-0.28	0.03	1.94	0.95
일본	1.67	1.86	1.60	3.91	3.80	1.75	1.92	–	3.54	1.69	1.81	1.51	1.82	3.76	2.76
한국	1.60	1.79	1.54	3.84	3.73	1.68	1.85	3.63	–	1.62	1.74	1.44	1.75	3.69	2.69
멕시코	-0.43	-0.24	-0.49	1.77	1.66	-0.35	-0.19	1.56	1.41	–	-0.29	-0.59	-0.28	1.62	0.64
러시아	-0.20	-0.01	-0.26	2.01	1.90	-0.12	0.05	1.80	1.65	-0.18	–	-0.35	-0.04	1.86	0.88
대만	-0.37	-0.18	-0.43	1.84	1.73	-0.29	-0.12	1.63	1.47	-0.34	-0.23	–	-0.21	1.69	0.71
터키	-0.25	-0.06	-0.31	1.95	1.84	-0.17	-0.01	1.74	1.59	-0.23	-0.11	-0.41	–	1.81	0.82
미국	1.66	1.85	1.60	3.91	3.80	1.74	1.91	3.69	3.54	1.68	1.80	1.50	1.82	–	2.75
ROW	0.67	0.86	0.61	2.90	2.79	0.75	0.92	2.69	2.53	0.69	0.81	0.52	0.83	2.75	–

주: 첫 번째 열은 수입국을, 첫 번째 행은 수출국을 의미함.
자료: 저자 작성.

부록 표 3-3. 국가 수준의 디지털 혁신 시나리오 – 국가간 교역 변화: '세계' 생산성 향상 1%

(단위: %)

	호주	브라질	캐나다	중국	유럽	인도	인도네시아	일본	한국	멕시코	러시아	대만	터키	미국	ROW
호주	5	3.30	2.66	3.43	3.23	2.88	3.53	3.21	3.05	2.73	3.20	2.36	3.05	3.17	4.19
브라질	3.45	–	3.26	4.04	3.84	3.49	4.14	3.81	3.66	3.34	3.81	2.96	3.66	3.78	4.81
캐나다	2.78	3.23	–	3.36	3.16	2.81	3.46	3.14	2.98	2.66	3.13	2.29	2.98	3.10	4.12
중국	3.56	4.01	3.37	–	3.95	3.59	4.25	3.92	3.76	3.44	3.92	3.07	3.77	3.89	4.92
유럽	3.32	3.77	3.12	3.90	–	3.35	4.00	3.68	3.52	3.20	3.67	2.82	3.52	3.64	4.67
인도	2.85	3.30	2.66	3.43	3.23	–	3.53	3.21	3.05	2.73	3.20	2.36	3.05	3.17	4.19
인도네시아	3.46	3.91	3.27	4.04	3.85	3.49	–	3.82	3.66	3.34	3.81	2.97	3.67	3.78	4.81
일본	3.22	3.68	3.03	3.80	3.61	3.26	3.91	–	3.43	3.11	3.58	2.73	3.43	3.55	4.57
한국	3.12	3.57	2.93	3.70	3.50	3.15	3.80	3.48	–	3.00	3.47	2.63	3.33	3.44	4.47
멕시코	2.83	3.28	2.64	3.41	3.22	2.87	3.51	3.19	3.03	–	3.19	2.34	3.04	3.15	4.18
러시아	3.26	3.71	3.07	3.84	3.65	3.30	3.95	3.62	3.46	3.14	–	2.77	3.47	3.58	4.61
대만	2.48	2.93	2.29	3.06	2.86	2.51	3.16	2.84	2.68	2.36	2.83	–	2.69	2.80	3.82
터키	3.26	3.71	3.06	3.84	3.64	3.29	3.94	3.62	3.46	3.14	3.61	2.76	–	3.58	4.61
미국	3.32	3.77	3.12	3.90	3.70	3.35	4.00	3.68	3.52	3.20	3.67	2.82	3.52	–	4.67
ROW	4.27	4.73	4.08	4.86	4.66	4.31	4.96	4.63	4.48	4.15	4.63	3.77	4.48	4.60	–

주: 첫 번째 열은 수입국을, 첫 번째 행은 수출국을 의미함.
자료: 저자 작성.

부록 표 3-4. 국가 수준의 디지털 혁신 시나리오 – 국가간 교역 변화: '미국' 생산성 향상 2%

(단위: %)

	호주	브라질	캐나다	중국	유럽	인도	인도네시아	일본	한국	멕시코	러시아	대만	터키	미국	ROW
호주	–	-0.13	-0.89	-0.34	-0.29	-0.45	-0.23	-0.28	-0.24	-0.96	-0.18	-0.29	-0.26	3.43	0.67
브라질	0.05	–	-0.76	-0.20	-0.15	-0.31	-0.09	-0.14	-0.10	-0.82	-0.04	-0.15	-0.12	3.57	0.81
캐나다	-0.03	-0.07	–	-0.27	-0.23	-0.38	-0.17	-0.22	-0.17	-0.90	-0.12	-0.23	-0.20	3.49	0.73
중국	0.34	0.30	-0.46	–	0.14	-0.01	0.20	0.15	0.20	-0.53	0.25	0.14	0.17	3.87	1.11
유럽	0.18	0.14	-0.63	-0.07	–	-0.18	0.04	-0.01	0.03	-0.69	0.09	-0.02	0.01	3.70	0.94
인도	0.26	0.22	-0.55	0.01	0.06	–	0.12	0.07	0.11	-0.61	0.17	0.06	0.09	3.79	1.02
인도네시아	0.23	0.20	-0.57	-0.01	0.03	-0.12	–	0.05	0.09	-0.64	0.14	0.04	0.06	3.76	1.00
일본	0.18	0.14	-0.63	-0.07	-0.02	-0.18	0.04	–	0.03	-0.69	0.09	-0.02	0.01	3.70	0.94
한국	0.11	0.07	-0.70	-0.14	-0.09	-0.25	-0.03	-0.08	–	-0.76	0.02	-0.09	-0.06	3.63	0.87
멕시코	0.15	0.11	-0.66	-0.10	-0.05	-0.21	0.01	-0.04	0.00	–	0.06	-0.05	-0.02	3.67	0.91
러시아	0.13	0.09	-0.67	-0.11	-0.07	-0.22	-0.01	-0.06	-0.01	-0.74	–	-0.07	-0.04	3.66	0.90
대만	-0.03	-0.07	-0.83	-0.27	-0.23	-0.38	-0.17	-0.22	-0.17	-0.90	-0.12	–	-0.20	3.49	0.73
터키	0.22	0.18	-0.58	-0.03	0.02	-0.13	0.08	0.03	0.08	-0.65	0.13	0.02	–	3.75	0.98
미국	4.12	4.08	3.29	3.87	3.91	3.75	3.98	3.93	3.97	3.22	4.03	3.92	3.94	–	4.92
ROW	1.05	1.01	0.24	0.80	0.85	0.69	0.91	0.86	0.91	0.18	0.96	0.85	0.88	4.61	–

주: 첫 번째 열은 수입국을, 첫 번째 행은 수출국을 의미함.
자료: 저자 작성.

부록 표 3-5. 국가 수준의 디지털 혁신 시나리오 – 국가간 교역 변화: '주요 5개국' 생산성 향상 2%

(단위: %)

	호주	브라질	캐나다	중국	유럽	인도	인도네시아	일본	한국	멕시코	러시아	대만	터키	미국	ROW
호주	–	-0.11	-0.61	3.96	3.76	-0.33	-0.06	3.52	3.20	-0.45	-0.23	-0.78	-0.14	3.69	0.75
브라질	-0.35	–	-0.43	4.16	3.95	-0.14	0.12	3.71	3.39	-0.26	-0.04	-0.60	0.05	3.88	0.94
캐나다	-0.85	-0.43	–	3.64	3.43	-0.64	-0.38	3.19	2.87	-0.76	-0.54	-1.09	-0.45	3.36	0.43
중국	3.83	4.27	3.74	–	8.31	4.04	4.32	8.06	7.72	3.92	4.15	3.57	4.24	8.23	5.17
유럽	3.38	3.82	3.30	8.06	–	3.60	3.87	7.59	7.26	3.47	3.70	3.13	3.80	7.77	4.72
인도	-0.40	0.02	-0.48	4.11	3.90	–	0.07	3.66	3.34	-0.31	-0.09	-0.65	-0.00	3.83	0.89
인도네시아	-0.23	0.20	-0.31	4.28	4.07	-0.02	–	3.84	3.52	-0.14	0.08	-0.48	0.17	4.01	1.06
일본	3.36	3.79	3.27	8.03	7.81	3.57	3.85	–	7.23	3.45	3.68	3.10	3.77	7.74	4.69
한국	3.23	3.67	3.15	7.90	7.68	3.44	3.72	7.44	–	3.32	3.55	2.97	3.64	7.61	4.56
멕시코	-0.93	-0.52	-1.02	3.54	3.34	-0.73	-0.47	3.10	2.78	–	-0.63	-1.18	-0.54	3.27	0.34
러시아	-0.42	-0.00	-0.51	4.08	3.87	-0.22	0.05	3.63	3.31	-0.34	–	-0.67	-0.03	3.80	0.86
대만	-0.71	-0.29	-0.79	3.78	3.57	-0.51	-0.24	3.33	3.01	-0.62	-0.40	–	-0.31	3.50	0.57
터키	-0.60	-0.18	-0.68	3.89	3.68	-0.40	-0.13	3.44	3.12	-0.52	-0.30	-0.85	–	3.61	0.68
미국	3.28	3.72	3.20	7.95	7.74	3.49	3.77	7.49	7.16	3.37	3.60	3.03	3.69	–	4.61
ROW	0.41	0.83	0.32	4.94	4.73	0.61	0.88	4.49	4.17	0.49	0.72	0.15	0.80	4.66	–

주: 첫 번째 열은 수입국을, 첫 번째 행은 수출국을 의미함.
자료: 저자 작성.

부록 표 3-6. 국가 수준의 디지털 혁신 시나리오 – 국가간 교역 변화: '세계' 생산성 향상 2%

(단위: %)

	호주	브라질	캐나다	중국	유럽	인도	인도네시아	일본	한국	멕시코	러시아	대만	터키	미국	ROW
호주	–	6.78	5.43	7.04	6.65	5.90	7.20	6.56	6.23	5.59	6.56	4.83	6.32	6.53	7.66
브라질	6.97	–	6.61	8.23	7.84	7.09	8.39	7.75	7.42	6.77	7.75	6.00	7.50	7.72	8.86
캐나다	5.54	6.53	–	6.79	6.40	5.66	6.95	6.32	5.99	5.35	6.32	4.59	6.07	6.28	7.41
중국	7.20	8.21	6.84	–	8.07	7.32	8.63	7.98	7.65	7.00	7.98	6.23	7.74	7.95	9.09
유럽	6.70	7.70	6.34	7.96	–	6.82	8.12	7.48	7.14	6.50	7.48	5.73	7.23	7.44	8.58
인도	5.82	6.81	5.46	7.07	6.68	–	7.23	6.59	6.26	5.63	6.59	4.87	6.35	6.56	7.69
인도네시아	7.06	8.06	6.70	8.33	7.93	7.18	–	7.84	7.51	6.86	7.84	6.09	7.59	7.81	8.95
일본	6.53	7.53	6.17	7.79	7.40	6.65	7.95	–	6.98	6.34	7.31	5.57	7.07	7.28	8.42
한국	6.33	7.33	5.97	7.59	7.20	6.45	7.75	7.11	–	6.14	7.11	5.37	6.86	7.08	8.21
멕시코	5.65	6.64	5.29	6.90	6.51	5.76	7.06	6.42	6.09	–	6.42	4.69	6.18	6.39	7.52
러시아	6.59	7.59	6.23	7.85	7.46	6.71	8.01	7.37	7.03	6.39	–	5.63	7.12	7.33	8.47
대만	5.01	6.00	4.66	6.26	5.87	5.13	6.41	5.78	5.45	4.82	5.78	–	5.54	5.75	6.87
터키	6.50	7.50	6.14	7.76	7.37	6.62	7.92	7.28	6.95	6.31	7.28	5.54	–	7.25	8.39
미국	6.66	7.66	6.30	7.92	7.53	6.78	8.08	7.44	7.10	6.46	7.44	5.70	7.19	–	8.54
ROW	7.71	8.72	7.35	8.98	8.59	7.83	9.15	8.50	8.16	7.51	8.50	6.74	8.25	8.46	–

주: 첫 번째 열은 수입국을, 첫 번째 행은 수출국을 의미함.
자료: 저자 작성.

부록 표 3-7. 국가 수준의 디지털 혁신 시나리오 – 국가간 교역 변화: '미국' 생산성 향상 3%

(단위: %)

	호주	브라질	캐나다	중국	유럽	인도	인도네시아	일본	한국	멕시코	러시아	대만	터키	미국	ROW
호주	–	−0.16	−1.31	−0.48	−0.40	−0.64	−0.35	−0.40	−0.33	−1.41	−0.24	−0.39	−0.33	5.25	0.59
브라질	0.05	–	−1.15	−0.31	−0.23	−0.47	−0.18	−0.23	−0.16	−1.24	−0.07	−0.22	−0.17	5.42	0.76
캐나다	−0.07	−0.11	–	−0.43	−0.35	−0.59	−0.30	−0.35	−0.29	−1.36	−0.20	−0.34	−0.29	5.30	0.63
중국	0.50	0.46	−0.70	–	0.22	−0.02	0.27	0.22	0.28	−0.80	0.37	0.23	0.28	5.90	1.21
유럽	0.25	0.21	−0.95	−0.11	–	−0.27	0.02	−0.03	0.04	−1.04	0.13	−0.02	0.04	5.64	0.96
인도	0.43	0.39	−0.77	0.07	0.14	–	0.20	0.15	0.21	−0.87	0.30	0.16	0.21	5.82	1.14
인도네시아	0.37	0.33	−0.83	0.01	0.09	−0.15	–	0.09	0.15	−0.93	0.24	0.10	0.15	5.76	1.08
일본	0.27	0.23	−0.93	−0.09	−0.01	−0.25	0.04	–	0.06	−1.02	0.15	0.00	0.05	5.66	0.98
한국	0.17	0.13	−1.03	−0.19	−0.11	−0.35	−0.06	−0.11	–	−1.12	0.05	−0.10	−0.05	5.55	0.88
멕시코	0.19	0.15	−1.01	−0.17	−0.09	−0.33	−0.04	−0.09	−0.02	–	0.07	−0.08	−0.02	5.57	0.90
러시아	0.19	0.15	−1.01	−0.17	−0.09	−0.33	−0.04	−0.09	−0.02	−1.10	–	−0.08	−0.03	5.57	0.90
대만	−0.03	−0.07	−1.22	−0.39	−0.31	−0.54	−0.25	−0.31	−0.24	−1.31	−0.15	–	−0.24	5.34	0.68
터키	0.29	0.25	−0.91	−0.07	0.01	−0.23	0.06	0.01	0.07	−1.00	0.17	0.02	–	5.68	1.00
미국	6.24	6.20	4.97	5.86	5.94	5.69	6.00	5.94	6.01	4.87	6.11	5.95	6.01	–	6.99
ROW	1.11	1.08	−0.09	0.75	0.83	0.59	0.88	0.83	0.90	−0.19	0.99	0.84	0.90	6.55	–

주: 첫 번째 열은 수입국을, 첫 번째 행은 수출국을 의미함.
자료: 저자 작성.

부록 표 3-8. 국가 수준의 디지털 혁신 시나리오 – 국가간 교역 변화: '주요 5개국' 생산성 향상 3%

(단위: %)

	호주	브라질	캐나다	중국	유럽	인도	인도네시아	일본	한국	멕시코	러시아	대만	터키	미국	ROW
호주	–	-0.14	-0.90	6.06	5.74	-0.47	-0.10	5.35	4.85	-0.64	-0.32	-1.14	-0.16	5.63	0.70
브라질	-0.56	–	-0.66	6.31	5.99	-0.23	0.14	5.60	5.11	-0.41	-0.08	-0.90	0.08	5.89	0.94
캐나다	-1.31	-0.66	–	5.50	5.19	-0.99	-0.62	4.80	4.31	-1.16	-0.84	-1.66	-0.68	5.08	0.17
중국	5.79	6.49	5.68	–	12.76	6.14	6.54	12.35	11.82	5.95	6.30	5.42	6.47	12.65	7.38
유럽	5.11	5.80	5.00	12.37	–	5.45	5.85	11.62	11.09	5.27	5.61	4.74	5.79	11.92	6.69
인도	-0.58	0.08	-0.68	6.29	5.97	–	0.12	5.58	5.09	-0.42	-0.10	-0.92	0.07	5.87	0.92
인도네시아	-0.34	0.32	-0.44	6.54	6.22	-0.01	–	5.84	5.34	-0.19	0.14	-0.69	0.30	6.12	1.16
일본	5.08	5.77	4.97	12.33	12.00	5.42	5.82	–	11.06	5.24	5.58	4.71	5.75	11.89	6.66
한국	4.89	5.58	4.78	12.13	11.80	5.24	5.63	11.39	–	5.05	5.39	4.52	5.57	11.69	6.47
멕시코	-1.45	-0.80	-1.55	5.36	5.04	-1.12	-0.75	4.66	4.17	–	-0.97	-1.79	-0.81	4.94	0.03
러시아	-0.66	-0.01	-0.77	6.20	5.88	-0.33	0.04	5.49	4.99	-0.51	–	-1.01	-0.02	5.78	0.83
대만	-1.06	-0.41	-1.17	5.77	5.45	-0.74	-0.37	5.07	4.57	-0.91	-0.59	–	-0.43	5.35	0.42
터키	-0.96	-0.31	-1.07	5.88	5.56	-0.64	-0.27	5.17	4.68	-0.81	-0.49	-1.31	–	5.46	0.53
미국	4.93	5.62	4.82	12.18	11.84	5.28	5.67	11.43	10.91	5.09	5.44	4.57	5.61	–	6.51
ROW	0.13	0.79	0.02	7.04	6.72	0.46	0.83	6.33	5.83	0.28	0.61	-0.22	0.77	6.62	–

주: 첫 번째 열은 수입국을, 첫 번째 행은 수출국을 의미함.
자료: 저자 작성.

부록 표 3-9. 국가 수준의 디지털 혁신 시나리오 – 국가간 교역 변화: '세계' 생산성 향상 3%

(단위: %)

	호주	브라질	캐나다	중국	유럽	인도	인도네시아	일본	한국	멕시코	러시아	대만	터키	미국	ROW
호주	–	10.36	8.24	10.77	10.16	8.98	10.99	10.00	9.48	8.50	10.01	7.31	9.66	9.97	11.22
브라질	10.59	–	10.05	12.62	12.00	10.80	12.84	11.84	11.31	10.31	11.84	9.11	11.49	11.81	13.08
캐나다	8.34	9.93	–	10.33	9.73	8.55	10.55	9.57	9.05	8.07	9.58	6.89	9.23	9.54	10.78
중국	10.96	12.58	10.41	–	12.38	11.17	13.22	12.21	11.68	10.68	12.22	9.47	11.86	12.18	13.46
유럽	10.17	11.78	9.63	12.19	–	10.38	12.42	11.42	10.89	9.90	11.42	8.69	11.07	11.39	12.65
인도	8.84	10.44	8.31	10.84	10.23	–	11.06	10.07	9.55	8.57	10.08	7.38	9.73	10.05	11.29
인도네시아	10.78	12.40	10.23	12.81	12.19	10.99	–	12.03	11.50	10.50	12.03	9.29	11.68	12.00	13.27
일본	9.92	11.53	9.39	11.94	11.33	10.14	12.17	–	10.64	9.65	11.17	8.45	10.82	11.14	12.40
한국	9.62	11.22	9.08	11.63	11.02	9.83	11.85	10.86	–	9.34	10.86	8.15	10.51	10.83	12.08
멕시코	8.50	10.09	7.97	10.49	9.89	8.71	10.71	9.73	9.21	–	9.73	7.05	9.39	9.70	10.94
러시아	10.00	11.61	9.46	12.02	11.40	10.21	12.24	11.24	10.72	9.73	–	8.53	10.90	11.22	12.48
대만	7.56	9.13	7.03	9.54	8.93	7.77	9.75	8.78	8.26	7.29	8.78	–	8.44	8.75	9.98
터키	9.83	11.44	9.29	11.85	11.23	10.04	12.07	11.07	10.54	9.56	11.08	8.36	–	11.04	12.30
미국	10.09	11.70	9.55	12.11	11.49	10.30	12.33	11.33	10.80	9.81	11.34	8.61	10.99	–	12.57
ROW	11.24	12.87	10.70	13.29	12.66	11.46	13.51	12.50	11.97	10.97	12.51	9.75	12.15	12.47	–

주: 첫 번째 열은 수입국을, 첫 번째 행은 수출국을 의미함.
자료: 저자 작성.

Executive Summary

International Comparison and Trade Effects of Digital Innovation According to Various Scenarios

Nakgyoon Choi, Kyu Yub Lee, Hyuk-Hwang Kim, and Yoonjong Jang

The fourth industrial revolution is the next generation industrial revolution driven by intelligence information technology. Specifically, the digital innovations related to artificial intelligence, big data analysis, cloud computing, and the internet of things have driven hyper-connection between all products and services through global networks, thereby advancing the data-driven economy.

This study describes the trend of digital innovations in the wake of the fourth industrial revolution, discussing the changes in the economic paradigm and international trade patterns in the future. This study also compares industry-level digital innovation by country using the data on patents reported to the US Patent and Trademark Office (USPTO), as well as the dataset provided by the OECD and the International Federation of Robotics. We simulate the effect of digital innovation on trade according to various scenarios, setting up the theoretical model for counter-factual analysis using data from World Input-Output Table released in 2016. In order to quantify the trade effects from digital innovation, we add fundamental productivity into a multi-country and multi-sector Ricardian model with input-output linkages, trade in intermediate

goods, and sectoral heterogeneity.

According to the results of the analysis, the significant improvement in the world's digital innovation, led by the US and Japan, shows an increasing step curve during the years of 1998 and 2010. The quantitative and the qualitative level of Korea's digital innovation is steadily rising, and the latest data rank it at a high level. However, Korea's level of digital innovation is still relatively low compared to the US and Japan. When considering the recent drop in Korea's H index with an increase in the level of digital innovation in China and India, Korea may experience a similar decline as the EU.

Overall, industrial robots are showing an increase in the level of digital utilization. Around 72% of the world's industrial robots are installed and operated in the US, Japan, Korea, China and Germany. Korea is the third largest robot installation station, and the fourth largest robot operator country which uses industrial robots actively. In particular, the number of robots that are operated per 10,000 workers in Korea is 631, the largest rate in 2016. As for the other indicators of digital utilization, despite the nation's high usage rate of high-speed internet at enterprises (99.3%) and households (99.5%), the usage of ICT at enterprises is not that high in Korea, with the exception of the RFID utilization rate.

For the simulations, this study considers ten different scenarios depending on productivity shocks from sector-level and country-level. At a bottom line, counterfactual analysis based on a variant of the Ricardian model shows that digital innovation is beneficial to international trade. In other words, if digital innovation boosts fundamental productivity, it triggers growth in international trade at both sector-level and country-level. If countries/sectors have higher productivity due to digital innovation, those become

much more competitive in producing goods or services, affecting trade share, price, expenditure, and many others within the model.

As fundamental productivity induced by digital innovation becomes higher and the number of countries that experience enhanced productivity grows larger, the model predicts that world trade volumes will become larger accordingly. However, the growth in trade volumes are uneven. Although digital innovation contributes to growth in world trade volumes, increases in world trade are concentrated in certain countries and/or sectors that lead digital innovations.

The above-mentioned results of this study indicate that the Korean government must step up wide-ranging deregulation measures to facilitate digital innovations. In addition, trade rules such as Technical Barriers to Trade (TBT), Intellectual Property Rights (IPR), Telecommunication Agreements, and Electronic Commerce need to be urgently revised through the WTO negotiations. Policy governance also needs to be set up to systematically support digital innovation in private sectors.

KIEP 연구보고서 발간자료 목록

■ 2018년

18-01 글로벌 부동산 버블 진단 및 영향 분석/
정형식 · 김경훈 · 김효상 · 양다영 · 강은정

18-02 리쇼어링의 결정요인과 정책 효과성 연구/
이수영 · 최혜린 · 김혁황 · 박민숙

18-03 디지털 혁신의 국제비교와 시나리오별 무역 영향 분석/
최낙균 · 이규엽 · 김혁황 · 장윤종

■ 2017년

17-01 대ASEAN FDI 결정요인의 특징과 정책적 시사점 /
정형곤 · 방호경 · 이보람 · 백종훈

17-02 중동지역의 전력산업 정책과 국내기업 진출 확대방안 /
이권형 · 손성현 · 장윤희 · 유광호

17-03 중국의 일대일로 전략 평가와 한국의 대응방안 /
이승신 · 이현태 · 현상백 · 나수엽 · 김영선 · 조고운 · 오윤미

17-04 한국 중소기업의 동남아 주요국 투자실태에 대한 평가와 정책 시사점 /
곽성일 · 정재완 · 김제국 · 신민이

17-05 부패 방지의 국제적 논의와 무역비용 개선의 경제적 효과 /
김상겸 · 박순찬 · 강민지

17-06 북한의 무역과 산업정책의 연관성 분석 /
최장호 · 임수호 · 이석기 · 최유정 · 임소정

17-07 주요국의 4차 산업혁명과 한국의 성장전략: 미국, 독일, 일본을 중심으로 / 김규판 · 이형근 · 김종혁 · 권혁주

17-08 세계 무역둔화의 구조적 요인 분석과 정책 시사점 /
최낙균 · 강준구 · 이홍식 · 한치록

17-09 환율변화가 한국기업에 미치는 영향분석과 정책적 시사점: 기업데이터 분석을 중심으로 / 윤덕룡 · 김효상

17-10 남미공동시장(MERCOSUR)의 경제환경 변화와 한 · MERCOSUR 기업간 협력 활성화 방안 / 권기수 · 김진오 · 박미숙 · 김효은

KIEP 설립 이후 현재까지의 모든 발간자료 원문은 홈페이지(http://www.kiep.go.kr)에 수록되어 있습니다.

17-11 국제금융시장 통합이 한국 통화정책과 장기금리에 미치는 영향 및 정책 시사점 / 김경훈 · 김소영 · 강은정 · 양다영

17-12 원산지 누적 조항의 무역비용 추정과 경제적 효과 / 정 철 · 박순찬 · 박인원 · 김민성 · 곽소영 · 정민철

17-13 아프리카 소비시장 특성 분석과 산업단지를 통한 진출방안 / 박영호 · 정재욱 · 김예진

17-14 미국 신정부 통상정책 방향 및 시사점: 미 · 중 관계를 중심으로 / 윤여준 · 김종혁 · 권혁주 · 김원기

17-15 한 · 유라시아경제연합(EAEU) 산업협력 증진방안 / 박정호 · 염동호 · 강부균 · 민지영 · 윤지현

17-16 ODA 성과평가 개선방안과 정책과제: 영향력평가를 중심으로 / 허윤선 · 정지선 · 이주영 · 유애라 · 윤상철 · 이종욱

17-17 인도 제조업의 세부 업종별 특성 분석을 통한 한 · 인도 협력방안 / 이 웅 · 배찬권 · 이정미

17-18 수출이 국내 고용에 미치는 영향 / 황운중 · 이수영 · 김혁황 · 강영호

17-19 디지털상거래가 무역과 고용에 미치는 영향 / 이규엽 · 배찬권 · 이수영 · 박지현 · 유새별

17-20 북한 외화획득사업 운영 메커니즘 분석: 광물부문(무연탄 · 철광석)을 중심으로 / 임수호 · 양문수 · 이정균

17-21 뉴노멀 시대 중국의 지역별 혁신전략과 한국의 대응방안 / 정지현 · 이상훈 · 노수연 · 오종혁 · 박진희 · 이한나 · 최재희

17-22 대외개방이 국내 분배구조에 미치는 영향 / 김영귀 · 남시훈 · 금혜윤 · 김낙년

17-23 중국의 제조업 발전 현황과 한국의 대응방안 / 이현태 · 최장호 · 최혜린 · 김영선 · 오윤미 · 이준구

17-24 신보호무역주의하에서의 비관세조치 현황과 영향에 관한 연구: UNCTAD 비관세조치 분류체계를 중심으로 / 조문희 · 김종덕 · 박혜리 · 정민철

17-25 글로벌 통상환경 변화와 일본의 통상정책 / 김규판 · 이형근 · 이정은 · 김제국

17-26 아시아 주요국의 4차 산업혁명 추진전략과 협력방안: 중국, 인도, 싱가포르를 중심으로 / 조충제 · 정재완 · 송영철 · 오종혁

17-27 국제 에너지시장 구조변화의 거시경제효과 분석 /
안성배 · 김기환 · 김수빈 · 이진희 · 한민수

17-28 브렉시트 이후 EU 체제의 전망과 정책 시사점 /
조동희 · 이철원 · 오태현 · 이현진 · 임유진

17-29 한 · 중 · 일의 서비스 무역 규제분석 및 정책적 시사점 /
최보영 · 이보람 · 이서영 · 백종훈 · 방호경

17-30 대중국 서비스무역 활성화 방안: 주요 업종별 · 지역별 분석 /
이상훈 · 정지현 · 김홍원 · 박진희 · 이한나 · 최지원 · 김주혜 · 최재희

17-31 온실가스 감축을 위한 국제사회의 탄소가격제 도입과 경제영향
분석 / 문진영 · 한민수 · 송지혜 · 김은미

17-32 투자주도 성장정책의 이론과 정책의 국제비교 / 표학길

최낙균(崔洛均)

서울대학교 무역학과 졸업, 미국 University of Texas at Austin 경제학 박사
대외경제정책연구원 부원장 역임, 무역위원회 위원 역임
대외경제정책연구원 무역통상실 무역투자정책팀 선임연구위원
(現, E-mail: ngchoi@kiep.go.kr)

저서 및 논문

"Did Anti-dumping Duties Really Restrict Import? - Empirical Evidence from the US, the EU, China, and India"(*East Asian Economic Review*, 2017)
『글로벌 가치사슬에서 수출부가가치의 결정요인 분석과 정책시사점』(공저, 2015) 외

이규엽(李揆燁)

미국 Michigan State University 경제학과 Instructor
미국 Michigan State University 경제학 박사
대외경제정책연구원 무역통상실 무역투자정책팀 부연구위원
(現, E-mail: kylee@kiep.go.kr)

저서 및 논문

"A Quantitiative Trade Model with Unemployment"(2018)
『디지털상거래가 무역과 고용에 미치는 영향』(공저, 2017) 외

김혁황(金赫璜)

고려대학교 경제학 박사
대외경제정책연구원 무역통상실 무역투자정책팀 선임연구원
(現, E-mail: hhkim@kiep.go.kr)

저서 및 논문

『수출이 국내 고용에 미치는 영향』(공저, 2017)
"The Effect of Economic Sanction against North Korea on North Korea-China Trade"(공저, 2016) 외

장윤종 (張允鍾)

서울대학교 경제학과 졸업, 프랑스 파리 10 대학(Université Paris X Nanterre) 경제학 박사
산업연구원 부원장 역임, 국가과학기술자문회의 위원 역임
산업연구원 선임연구위원(現, E-mail: jang@kiet.re.kr)

저서 및 논문

The Political Economy of New Regionalism in Northeast Asia : Dynamics and Contradictions(Co-authored, 2018)
『4차 산업혁명의 경제사회적 충격과 대응방안』(공저, 2017) 외

KIEP 발간자료회원제 안내

■ 본 연구원에서는 본원의 연구성과에 관심있는 전문가, 기업 및 일반에 보다 개방적이고 효율적으로 연구 내용을 전달하기 위하여 「발간자료회원제」를 실시하고 있습니다.

■ 발간자료회원으로 가입하시면 본 연구원에서 발간하는 모든 보고서를 대폭 할인된 가격으로 신속하게 구입하실 수 있습니다.

■ 회원 종류 및 연회비

회원종류	배포자료	연간회비		
S	외부배포 발간물 일체	기관회원	개인회원	연구자회원*
		30만원	20만원	10만원
A	East Asian Economic Review	8만원		4만원

* 연구자 회원: 교수, 연구원, 학생, 전문가풀 회원

■ 가입방법

우편 또는 FAX 이용하여 가입신청서 송부 (수시접수)
30147 세종특별자치시 시청대로 370 세종국책연구단지 경제정책동
대외경제정책연구원 연구조정실 기획성과팀
연회비 납부 문의전화: 044) 414-1179 FAX: 044) 414-1144
E-mail: sklee@kiep.go.kr

■ 회원특전 및 유효기간

- S기관회원의 특전: 본 연구원 해외사무소(美 KEI) 발간자료 등 제공
- 자료가 출판되는 즉시 우편으로 회원에게 보급됩니다.
- 모든 회원은 회원가입기간에 가격인상과 관계없이 신청하신 종류의 자료를 받아보실 수 있습니다.
- 본 연구원이 주최하는 국제세미나 및 정책토론회에 무료로 참여하실 수 있습니다.
- 연회원기간은 加入月로부터 다음해 加入月까지입니다.

KIEP 발간자료회원제 가입신청서

기관명 (성명)	(한글)	(한문)
	(영문: 약호 포함)	
대표자		
발간물 수령주소	우편번호	
담당자 연락처	전화 FAX	E-mail :
회원소개 (간략히)		
사업자 등록번호	종목	

회원분류 (해당란에 ✓ 표시를 하여 주십시오)

	S 발간물일체	A 계간지
기 관 회 원 ☐ 개 인 회 원 ☐ 연 구 자 회 원 ☐		

* 회원번호 * 갱신통보사항

(* 는 기재하지 마십시오)

특기사항

Policy Analysis 18-03

International Comparison and Trade Effects of Digital Innovation According to Various Scenarios

Nakgyoon Choi, Kyu Yub Lee, Hyuk-Hwang Kim, and Yoonjong Jang

4차 산업혁명은 지능정보기술이 경제 및 사회전반에 융합되어 혁명적인 변화가 이루어지는 차세대 산업혁명을 의미한다. 본 연구는 4차 산업혁명에 따른 기술과 산업의 발전에 대해 살펴보고 경제패러다임 및 무역패턴의 변화를 분석하였다. 또한 미국특허자료와 OECD통계 등을 이용하여 디지털 혁신 수준을 국별 및 산업별로 비교 분석하였다. 아울러 반사실적 분석이 가능한 이론적 무역모형을 구축하고 디지털혁신이 무역에 미치는 영향을 시나리오별로 분석하였다.

94320
9 788932 217024

KIEP 대외경제정책연구원
Korea Institute for International Economic Policy

ISBN 978-89-322-1702-4
978-89-322-1072-8(세트)

정가 10,000원

30147 세종특별자치시 시청대로 370 세종국책연구단지 경제정책동
T.044-414-1114 F.044-414-1001 · www.kiep.go.kr