

제4차 산업혁명과 한국경제의 일자리 충격*

오 호 영**

논문 초록

본고에서는 향후 약 10년의 기간을 대상으로 한국경제에서 제4차 산업혁명에 따른 일자리 충격을 실증적으로 분석하고 인적자원 양성 및 활용 측면에서 정책대응 방향을 제시하고자 한다. 실증분석을 위하여 제4차 산업혁명에 따른 일자리 충격 관련 외국의 선행연구 방법론을 한국 데이터에 적용하고 결과를 도출하였다. 분석결과, 현재 한국경제에 존재하는 일자리 중 약 52%는 제4차 산업혁명에 따라 컴퓨터에 의해 대체될 위험이 높았으며, 특히 남성, 중장년, 저학력 근로자가 취약한 것으로 나타났다. 이는 추격형 경제에 최적화된 기존의 인적자원개발 전략을 제4차 산업혁명에 시급히 적응시켜 나갈 필요성을 제기하며, 구체적으로 인적자원개발 패러다임을 정부주도의 교육공급자 중심에서 산업계주도의 교육수요자 중심으로 전환해야 함을 시사한다. 아울러 제4차 산업혁명으로 인해 '학습-취업-은퇴'라는 국민의 단선직렬형 경력경로 패러다임이 다선병렬형으로 전환되는데 대응하여 학령기 중심의 학교 체제를 평생능력개발이 가능하도록 유연화하고, 정부부처도 '교육-노동-복지'를 칸막이식 운영에서 벗어나 협치시스템으로 개편할 필요가 있다.

핵심 주제어: 인적자원, 제4차 산업혁명, 일자리

경제학문헌목록 주제분류: J0

투고 일자: 2018. 4. 30. 심사 및 수정 일자: 2018. 6. 8. 게재 확정 일자: 2018. 7. 6.

* 본고는 2016년 한국직업능력개발원 기본과제로 수행한 보고서인 『직업의 미래와 인적자원개발 전략』 중 필자가 작성한 부분을 축약하고 수정한 것이다. 귀중한 의견을 주신 익명의 논문심사자분들께 감사드린다.

** 한국직업능력개발원 선임연구위원, e-mail: hyoh@krivet.re.kr

I. 연구배경 및 목적

20세기 공장제 대량생산 체제가 약화되는 가운데 인공지능, 빅데이터, 사물인터넷 등 기술혁신이 가속화됨으로써 전통적 인력양성 및 활용체제의 효용성이 저하되고 새로운 인적자원개발의 필요성이 증대되고 있다. 특히, 2016년초 인공지능 알파고와 이세돌 프로 간에 펼쳐진 바둑대결을 계기로 21세기 기술혁신의 시대에 인간의 역할은 무엇이며, 직업세계는 어떻게 변화하고, 학교에서는 무엇을, 어떻게 가르쳐야 하는가 등과 같은 근본적 화두가 대두되었다. 생산과정에서 전통적으로 사람이 담당해 온 역할을 로봇, 인공지능 등이 상당부분 대체할 것으로 전망됨에 따라 산업화시대의 대량생산체제에 최적화된 우리나라의 교육훈련시스템을 혁신하여 사회변화를 촉진하고 제4차 산업혁명에서 새로운 경쟁우위를 시급히 창출할 필요성이 높다.

미래연구에 대한 관심이 높아지고 활발한 연구가 진전되었음에도 불구하고, 상당수 연구들이 장기 트렌드나 거시적 수준에서의 경향성을 전망하는데 그치고 있다. 그동안 기술혁신의 현황과 전망, 인구고령화 및 저출산 등 인구구조의 변화, 연금추계 및 재정전망 등 다양한 미래연구들이 활발히 이루어졌으나, 교육, 훈련, 취업 등과 같이 일반국민들이 체감할 수 있는 분야에 대한 실천적 미래연구는 제한적이었다. 향후 10~20년은 기술혁신의 직업세계에 대한 충격이 본격적으로 진행될 것이며, 특히 인공지능, 로봇, 빅데이터, 사물인터넷 등의 기술혁신이 기존의 산업과 기술에 융복합됨으로써 과거와는 상이한 변화가 이루어질 전망이다(WEF, 2016a). 경제의 변동성 확대는 직종별 구성변화와 같은 점증적 변화뿐만 아니라, 신생직업의 등장, 기존 직업의 소멸 등 급변을 일으킴으로써 인력양성과 인력수요 간의 부조화를 심화시킬 것이다. 이에 효과적으로 대응하기 위해서는 학교에서의 신규인력 양성을 노동수요 변화에 맞춰 미래지향적으로 개편함과 동시에 기존 인력의 재배치, 이동성을 촉진하고 원활화하기 위한 직업훈련의 강화가 수반되어야 한다.

본 연구의 목적은 제4차 산업혁명¹⁾으로 대표되는 급격한 기술혁신으로 인한 일자리에 대한 충격을 계량분석하고 산업별, 직종별로 세분하는 한편, 인적속성별로 일자

1) 한국에서는 최근의 기술혁신을 포괄하는 용어로 제4차 산업혁명(the 4th industrial revolution)이라는 용어가 널리 사용되고 있으나 선진국에서 일반적으로 받아들여지는 것은 아니며 2차, 3차 산업혁명에 대해서조차 합의가 부재한 상황이다. 따라서, 본고에서는 산업 4.0(industry 4.0), 디지털화(digitalization), 컴퓨터화(computerization) 등의 용어를 제4차 산업혁명과 동일한 의미로 사용한다.

리 충격을 분해하여 정책적 시사점을 도출하는데 있다. 기술혁신이 향후 노동시장에 미칠 충격을 진단하기 위하여 직업별 컴퓨터 대체확률을 계산하고, 일자리에 미칠 영향을 직업별, 산업별, 학력별, 연령별로 상세히 분석한다. 그동안 컴퓨터는 계산, 사전에 정의된 반복작업에서 강점을 갖는 것으로 인식되어 왔으나, 통계적 추론, 자연 언어 처리, 패턴인식 등이 가능한 인공지능의 등장으로 인하여 상당수 직업이 인공지능에 의해 대체될 것이라는 전망이 있다. Frey and Osborne(2017)은 미국 자료를 이용하여 향후 10~20년 사이 컴퓨터가 대체할 가능성이 있는 미국 내 일자리는 전체 취업자의 47%에 달한다는 전망을 제시했다.

본고의 구성은 연구배경 및 목적에 이어 제Ⅱ장에서는 기술혁신과 일자리와 관련된 다양한 선행연구들을 검토하고 분석에 대한 시사점을 도출할 것이다. 제Ⅲ장에서는 Frey and Osborne(2017)의 방법론을 한국데이터에 적용하여 컴퓨터화에 따른 일자리 충격을 산업별, 직종별로 분석하고, 컴퓨터 대체위험이 높은 고위험군의 인적속성별 특성을 분석한다. 제Ⅳ장에서는 기술혁신에 따라 예상되는 노동시장의 변화에 대응하기 위한 국가인적자원개발 정책방향을 교육 및 훈련의 측면에서 제시한다. 결론적으로 추격형 경제에 최적화된 기존의 국가인적자원 전략을 제4차 산업혁명으로 대표되는 미래사회에 적응시켜 나가는 것이 시급하며, 구체적으로 정부주도의 교육공급자 중심에서 산업계주도의 교육수요자 중심으로 전환이 필요하다. 아울러 제4차 산업혁명으로 인해 ‘학습-취업-은퇴’라는 국민의 경력경로 패러다임이 단선직렬형에서 다선병렬형²⁾으로 전환될 것임에 대응하여 학령기 중심의 학교체제를 평생능력개발이 가능하도록 기능적으로 유연화해야 하며, 정부부처도 ‘교육-노동-복지’의 칸막이식 접근에서 벗어나 협력이 가능한 개방형의 협치모델로 개편해야 할 것이다.

2) 과거에는 생애주기에 따라 ‘학령기-근로기-은퇴기’가 단선형으로 구분되어 왔으나, 앞으로는 평생직장, 평생직업이 소멸하고 생애에 걸쳐 직장과 직업을 계속해서 바꾸면서 일을 지속하는 사회가 될 가능성이 높기 때문에 근로와 실업이 불규칙하게 반복되고 일하면서 학습하고 다음 직장과 직업을 준비할 수 있도록 다선병렬형으로 능력개발시스템을 혁신할 필요가 있다. 본고에서 다선병렬형 능력개발체제란 학습, 근로, 여가(혹은 은퇴)가 전통적인 생애주기와 무관하게 성인의 생애전반에 걸쳐 동시다발적으로 이루어질 수 있는 새로운 생활방식의 등장에 맞춰 전국민이 시간과 장소의 구애를 받지 않고 생애단계별로 필요한 학습을 받을 수 있는 시스템을 의미한다.

II. 선행연구 분석 및 시사점 도출

1. 기술혁신과 일자리, 숙련

기술혁신이 고용, 근로자에게 요구되는 숙련에 미치는 영향에 대해 경제학에서는 아담스미스 이래로 낙관론과 비관론이 대립하여 왔다. 낙관론자들은 기술혁신으로 인하여 근로자의 숙련이 고도화하고 생산성이 높아져 경제성장과 고용증가에 기여한다는 입장을 취하는 반면, 비관론자는 기술혁신으로 인해 기계가 인간의 노동을 대체하여 취업기회를 축소시키고 근로자의 탈숙련화를 가져옴으로써 소득양극화를 초래한다고 본다. 고전파, 신고전파 등 주류 경제학에서는 실업은 일시적 현상에 불과하고 장기적으로 마찰적 실업(frictional unemployment) 만이 존재할 뿐이며, 기술혁신 역시 노동시장에 일시적 불균형을 초래하여 실업을 야기할 수는 있지만 가격기능이 작동함에 따라 장기적으로 노동시장은 균형을 회복하고 실업은 소멸된다고 주장한다(Ehrenberg and Smith, 2011). 주류 경제학에서 기술혁신에도 불구하고 실업이 존재하지 않고 노동시장이 균형을 회복하는 메커니즘은 가격조정, 즉 임금의 유연성(flexibility of wage)을 통해서 달성되며, 노동시장 내에 임금조정을 방해는 규제가 존재할 경우에만 실업이 지속된다고 본다. 낙관론자들도 기술혁신에 따른 노동의 대체를 인정하지만, 일자리의 보상메커니즘(compensation mechanism)이 작동되어 기계에 의한 노동의 대체를 상쇄하는 일자리 신규창출이 이루어진다고 주장한다. Vivarelli (1996)는 이 같은 보상메커니즘이 작동하는 방식을 여섯 가지로 설명하고 있는데 투자증가, 새로운 기계의 생산, 신제품 생산의 증가, 가격하락, 임금하락, 소득증가 등이다.

기술혁신에도 불구하고 대규모 실업은 존재하지 않을 것으로 보는 낙관론은 주로 근대경제학을 중심으로 이론적 기반을 갖추고 있는 반면에 기술혁신에 따라 고용기회가 감소할 것이라는 견해는 사회학자나 미래학자들 사이에서 제기되어 왔다. 비관론자인 Rifkin(1995)은 기계에 의한 인간노동의 대체가 궁극적으로 ‘노동의 종말’을 가져올 것으로 예상하면서 대규모 실업이 불가피하다고 주장하였다. 기술혁신에 의한 노동대체의 가장 현실적인 위협은 정보통신기술(ICT)의 비약적 혁신에 상당부분 기인하며, 특히 인공지능, 빅데이터, 로봇 등은 인간노동에 위협요인으로 간주된다. 생산과정에서 인간의 노동을 대체하는 유력한 기술은 컴퓨터인데, 컴퓨터의 속도, 처리용량은 비약적으로 상승한 반면 가격은 극적으로 하락하였다. Nordhaus(2001)에 따르면, 계산작

업당 비용은 1850~1950년까지는 비교적 일정한 수준을 유지하였으나 이후 극적으로 하락하여 2010년에는 극히 미미한 수준이 되었다. Brynjolfsson and McAfee(2014)는 컴퓨터관련 기술은 특정영역에 국한하여 제한된 영향을 미치는 특정기술(special technology)이 아니라 인간의 삶, 생산, 사회 전반에 영향을 미치는 범용기술(general purpose technology)로 정의되며, 컴퓨터가 앞으로 인간의 직업을 대체하는 것은 물론 현재에 있어서도 실업의 상당부분은 컴퓨터에 기인하는 것으로 보았다.

Schwab(2016)은 인공지능, 사물인터넷, 로봇, 스마트카, 3D프린팅, 나노기술, 생체기술, 양자컴퓨터 등의 기술진보가 가속적으로 이루어지는 오늘날의 상황을 근본적이고 구조적인 변화로 진단하면서 영향이 미치는 크기, 속도, 범위를 고려할 때 제4차 산업혁명이 진행 중인 것으로 보았다.³⁾ 그에 따르면, 제4차 산업혁명은 속도의 측면에서 이전의 산업혁명과 달리 선형적이고 점진적인 변화가 아니라 가속적으로 진행되고 있으며, 변화의 폭과 깊이의 측면에서는 전방위적으로 이루어지는 기술혁신으로 인하여 경제, 사회, 개인의 삶 전반에 영향을 미치고, 시스템의 측면에서는 국가, 기업, 산업, 사회 등 전방위적으로 영향을 미치는 것으로 평가하였다.

기술진보가 가속화되고 있다는 주장자체에 반기를 들거나, 기술진보에 따른 일자리 영향이 전반적으로는 없을지 모르지만 특정계층에게 부정적 영향이 편향될 것이라는 연구들도 있다. Gordon(2012)은 기술혁신이 가속적인 것이 아니라 둔화되고 있음을 주장하면서 인류역사상 기술혁신이 가장 활발했던 시기를 20세기 말부터 21세기 초까지의 컴퓨터화가 아니라 1891~1972년으로 평가하였다. Gordon(2012)은 미국의 노동생산성을 살펴보았는데, 1891~1972년까지 연평균 2.3% 상승한 반면 이후 1972~1996년간은 2/3수준인 1.4%에 그쳤으며, 이러한 경제성장률의 둔화는 기술혁신의 둔화에 기인하는 것으로 평가하였다. 기술혁신이 인간의 노동을 대체하지 않더라도 직업별로 편향된 영향을 미친다는 연구도 있다. 예컨대, 미국 등 선진국에서는 1980년대 이후 컴퓨터의 도입으로 인하여 학력별 임금격차가 확대되는 현상이 관찰되었는데, 이를 설명하는 이론으로는 숙련편향적 기술진보(skill-biased technological change)와 직무편향적 기술진보(task-biased technological change)가 있다. 숙련편향적 기술진보는 대표적으로 Goldin and Katz(2008)에 의해 주장되었는데, 그들에

3) 1차 산업혁명은 증기기관을 통한 기계화생산(mechanical production)으로 1784년에 시작되었고, 2차 산업혁명은 노동분업, 전기의 힘을 바탕으로 한 대량생산(mass production)의 시대로 1870년에 시작되었으며, 3차 산업혁명은 전자제품, 컴퓨터를 통한 자동화생산(automated production)의 시대로 1969년에 시작되었다. 4차 산업혁명은 디지털혁명이어서 3차 산업혁명에 기초하여 진행되고 있으며, 사이버, 실물영역에 걸친 융합기술로 특징된다(WEF, 2016a).

따르면 컴퓨터의 도입으로 인하여 대졸자에 대한 노동수요가 고졸자에 비해 상대적으로 더 빨리 증가함으로써 학력별 임금격차가 발생한 것으로 보았다. 반면, 직무편향적 기술진보는 Autor et al. (2003)에 의해 주장되었는데, 실제 현장연구를 통해 기업에서 컴퓨터의 도입에 따른 고용량, 임금, 수행직무에 대한 영향을 분석하였다. 그들에 따르면 컴퓨터는 근로자의 학력별로 상이한 영향을 미치는 것이 아니라 수행직무에 따라 상이한 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 그들은 컴퓨터에 의해 대체되기 쉬운 반복적 과업(routine tasks)은 주로 고졸자가 수행하고 창의력, 리더십 등을 요하는 추상적 과업(abstract tasks)은 주로 대졸자가 수행하는 특성을 발견하였다. 그들은 1980년대 이후 반복적 과업이 컴퓨터로 대체되면서 사무직 등에 종사하던 고졸자들이 대거 육체노동 과업으로 편입되었고 그 결과 저숙련 서비스업을 중심으로 일자리가 늘어남으로써 고용 및 임금의 양극화가 진행된 것으로 보았다.

2. 기술혁신과 일자리 감소 규모

기술혁신이 일자리 공포로 연결된 이유 중의 하나는 제4차 산업혁명으로 인하여 대규모 고용감소를 전망한 일련의 연구들이 연이어 발표된 것에서 찾을 수 있으며 여기서는 이를 살펴본다.

우선 세계경제포럼(WEF: World Economic Forum, 이하 WEF)⁴⁾에서는 15개 국가 371개 경영진에 대한 설문을 기초로 ‘미래고용보고서(The Future of Jobs)’를 발간하였다(WEF, 2016b). WEF(2016b)에 따르면 기술혁신과 사회경제적 변화로 인해 2015-2020년까지 전 세계에서 710만개의 일자리(jobs)가 사라지고 200만개의 일자리가 새로 생겨 510만개의 일자리가 순감할 것으로 전망된다. WEF(2016b)에 따르면 미래에 감소할 주요 직군으로는 사무행정직군 475.9만개, 제조생산 160.9만개, 건설광업 49.7만개 등이며, 사라지는 직업군은 기계에 의해 대체될 것으로 예상되었다. 예컨대, 사무행정 업무의 경우 앞으로 컴퓨터의 정보처리량과 속도가 비약적으로 상승하여 우수한 직원 한 명과 고성능 컴퓨터로 현재 수백 명이 수행하던 업무를 대체하게 될 것이다. 반복작업의 특성을 갖는 제조업생산의 경우도 컴퓨터성능의 개선과 코딩기술의 적용으로 제조공정의 자동화가 빠르게 진행됨으로써 인간노동이 기계로 빠르게 대체될 것이다.

4) 이하의 내용은 WEF(2016a)을 참고로 작성되었다.

Arntz, Gregory and Zierahn (2016)은 OECD 21개국의 PIAAC (The Programme for the International Assessment of Adult Competencies: 성인 역량 국제평가 프로그램) DB를 활용하여 자동화 위험도를 분석하였다. 그들은 직업수준 분석에서 한 단계 더 미시적으로 내려가 개인이 수행하는 다양한 과업수준에서 분석을 통해 직업별 자동화 확률을 계산하였다. 따라서, 동일한 직업으로 분류된다고 하더라도 개인이 수행하는 과업은 상이할 수 있으며, 개인별 과업을 기초로 자동화 확률을 계산하고 이것을 사후적으로 직업수준에서 종합하는 방식으로 분석을 진행하였다. 이 결과 미국의 취업자 중 9%가 자동화 위험에 노출된 것으로 나타나 직업에 기초한 분석결과와 비교하여 자동화 위험의 정도는 크게 낮은 것으로 평가되었다. 그들에 따르면 한국의 경우 6%로서 비교대상국 자동화 위험도가 에스토니아와 함께 가장 낮았고, 독일과 오스트리아가 12%로서 가장 높았다. 그들은 이러한 국가간 차이를 신기술 채택의 차이, 근로조직의 차이에 기인하는 것으로 보았다.

Frey and Osborne (2016)은 2010년 기준으로 향후 10~20년 내에 컴퓨터화에 의해 인간의 일자리가 대체될 확률을 직업별로 계산하고 이를 근거로 향후 미국 노동시장에서 컴퓨터로 대체될 일자리 수를 정량적으로 추정하였다. 그들은 미국 자료를 이용하여 총 702개 직종에 대해 직업별 컴퓨터 대체확률을 계산하고 이를 바탕으로 컴퓨터에 의해 대체될 가능성이 70% 이상인 고위험 직종에 종사하는 취업자가 2010년 기준으로 미국 전체 취업자의 47%라는 결과를 도출하였다. 이들의 연구는 현재 존재하는 직업이 컴퓨터에 의해 대체될 확률을 고려하였을 뿐, 새로운 직업의 생성, 기존 직업의 성장은 고려하지 못했다는 점에서 한계를 갖으나 컴퓨터 기술혁신이 일자리에 미칠 영향을 정량화하였다는 점에서 연구의 의의를 갖는다. 그들에 따르면 인공지능, 빅데이터의 등장으로 인하여 컴퓨터화가 곤란하리라 생각되었던 비반복적이면서 인지적인 과업(non-routine cognitive tasks)이 점차 컴퓨터화하고 있으며, 자연어로 사용자 인터페이스가 확장되고 컴퓨터가 인간의 여러 가지 요구에 즉각 반응할 수 있도록 만듦으로써 무인자동화를 확대하고 있다. 비반복적 육체노동 과업(non-routine manual tasks) 역시 컴퓨터화가 어려울 것으로 생각되었으나, 로봇기술의 눈부신 발전은 다양한 육체노동 과업을 로봇이 수행할 수 있도록 만들고 있다.

미국의 노동통계국(U. S. Bureau of Labor Statistics 이하 BLS)은 10년을 단위로 미래의 고용전망을 실시하고 있다. 미국 BLS의 고용전망(employment projection)은 구직자, 커리어 카운슬러, 학생 등이 진로관련 의사결정에 활용하고, 교육훈련 전문가가 수요자 중심의 교육 및 훈련 프로그램을 개발하고, 노동력을 확보하며, 경제 개

발과 관련된 정책 및 전략을 수립하는 데 활용된다(U.S. Bureau of Labor Statistics, 2015a). 최근 발표된 ‘고용전망 2014-2024’에 따르면 의료건강 관련 산업에서 고용이 가장 빠르게 증가할 것이며, 관련 산업 분야에서 신직업의 창출 가능성이 높을 것으로 전망됐다(U.S. Bureau of Labor Statistics, 2016b). 그리고 가정 의료 보조원, 물리치료사, 개인 재정 어드바이저 등 2014~24년의 10년 간 빠르게 증가할 것으로 전망되는 직업을 소개하면서, 대부분의 직업이 고등교육을 필요로 할 것으로 전망했다(U.S. Bureau of Labor Statistics, 2015b: Table 5 참조).

3. 시사점

이상의 선행연구 검토를 통해 본고에서 시도하고 있는 기술혁신에 따른 일자리 충격 분석에 있어서 다음과 같은 시사점을 도출할 수 있다. 첫째, 기술혁신과 일자리에 대한 영향은 전망기간, 전망방법, 전망범위 등에 따라 연구결론이 크게 상이하며 낙관론과 비관론이 혼재되어 있음을 확인할 수 있다. 따라서, 보편적이고 일반적으로 합의된 미래연구방법론은 존재하지 않으며 연구자가 선택한 특정한 연구방법론은 소기의 분석방향과 목적에 국한하여 의미를 가질 수 있으며, 이러한 점에서 선행연구들은 일정한 한계를 갖는다.

둘째, 기존의 선행연구들은 공통적으로 기술혁신에 따른 인간노동의 기계에 의한 대체규모를 추정할 뿐 기술혁신에 따라 새롭게 창출되거나 증가될 일자리에 대해서는 제대로 분석하지 못하는 한계를 안고 있다. 기술혁신에 따른 기존 직업의 대체가능성을 탐색하기 위한 다양한 연구방법론이 개발되어 실제 연구에 적용되고 있으나, 새로운 직업의 탄생, 기존 직업의 확대 및 성장 등에 대해서는 설득력있는 연구방법론이 제시되지 않고 있다. 따라서, 기존의 연구들은 대부분 기술혁신에 따른 일자리 충격을 일자리의 소멸과 쇠퇴라는 측면에 초점을 맞추어 다루고 있으며, 일자리의 탄생과 성장의 측면은 상대적으로 간과되고 있음을 알 수 있다.

셋째, 기술혁신에 따른 일자리 총량에 대한 충격의 크기와 무관하게 공정혁신, 제품혁신 등에 따라 직업의 구성, 기존 직업수행에 필요한 직무구성의 변화는 불가피하며 이는 기존 근로자는 물론 청년 구직자들에게 새로운 숙련습득을 위한 평생학습 과제를 제기한다. 다시 말하면, 기술혁신에 따른 일자리 충격이 심대할 것이라는 선행연구는 물론이거니와 그 충격이 작을 것이라는 연구에 있어서도 변화하는 숙련수요에 대응한 교육훈련과 적응능력의 향상은 여전히 중요하다는 점이다.

Ⅲ. 컴퓨터화와 일자리 충격

1. 실증분석 전략

본 연구에서는 기본적으로 Frey and Osborne (2017) 이 추정 한 직업별 컴퓨터 대체 확률을 한국 데이터에 적용하여 컴퓨터화에 따른 직업세계 영향을 분석한다.⁵⁾ 인공지능, 로봇 등 신기술이 개발되고 상용화되어 실제 노동시장에 도입됨으로써 직업세계에 충격을 미치기까지는 국가별 노동시장, 법과 제도, 생산기술, 기업문화 등 다양한 요소의 영향을 받을 것이기 때문에 미국의 직업별 컴퓨터 대체확률을 한국에 그대로 적용하는 것에는 신중한 접근을 요한다. 그러나, 세계화로 인해 국가간 장벽이 약화되고 글로벌 경쟁이 치열하게 전개되고 있기 때문에 경쟁력이 확인된 새로운 생산 방식의 도입은 국가 간에 약간의 시차는 존재할 수 있으나 보편적 수용성을 부정하기는 어렵다.

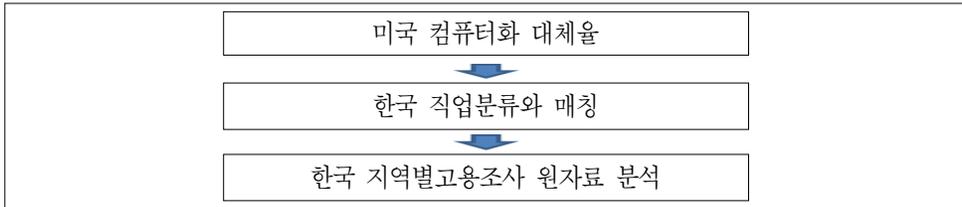
특히, 한국은 IT강국으로 컴퓨터 분야에서 미국과의 기술격차가 크지 않고 생산기술의 적용에 있어서 시차문제는 중요하지 않으리라 예상해볼 수 있고, 구체적인 직업 수준에서의 수행직무 역시 한국과 미국 간에 큰 차이가 없을 것이기 때문에 직업별 컴퓨터 대체확률 역시 유사하다고 볼 수 있다. 미래창조과학부·정보통신기술진흥센터(2016)에 따르면, 인공지능·인공지능 분야에서의 기술격차를 가장 앞선 것으로 평가받는 미국과 비교해보면 한국은 2.4년 뒤져 있으며, 유럽 1.3년, 일본 1.6년, 중국 2.8년 등으로 나타나고 있다. 아울러 Frey and Osborne(2017)의 전망기간이 향후 10-20년 이후의 기술변화를 고려하고 있기 때문에 미국과 한국의 신기술 적용 시차문제는 크게 중요하지 않을 것으로 판단된다.

구체적으로 Frey and Osborne(2017)의 직업별 컴퓨터 대체확률 추정방법을 살펴보면, 그들은 미국직업정보망 O*NET의 2010년판 직업정보를 이용하여 903개 직종별로 컴퓨터 대체확률을 추정하였다. O*NET의 직업분류는 표준직업분류와 유사하

5) 본 논문에서 Frey and Osborne(2017)의 연구방법론을 적용한 이유는 이들의 연구가 4차 산업혁명에 따른 일자리 충격 분야에서 가장 많이 인용되고 있는 대표적인 실증연구이며, 직업별 컴퓨터 대체확률을 공표하여 한국에 적용이 가능하기 때문이다. 이밖에도 OECD 21개국의 PIAAC(성인 역량 국제평가 프로그램) DB를 활용하여 자동화 위험도를 분석한 Arntz, Gregory and Zierahn(2016), 계량모형과 직업전문가의 정성적 보정을 거쳐 10년 단위의 미래 고용전망을 수행하고 있는 미국의 노동통계국(U.S. Bureau of Labor Statistics 이하 BLS) 등이 있으나, 한국 데이터에 대한 적용이 용이하지 않으며 접근방식이 상이하여 배제하였다.

지만 보다 더 상세하기 때문에 양자를 일치시키기 위해서는 약간의 조정작업이 필요하며, 최종적으로 2010년 표준직업분류 6단위 기준 702개 직종에 대해 컴퓨터대체확률을 계산하였다. 구체적인 실증분석 절차는 다음과 같다.

〈그림 1〉 실증분석 절차



본 연구에서는 김세움(2015)의 연구에서 적용한 자료결합 방법을 따르고 있으며, Frey and Osborne(2017)의 직업별 컴퓨터 대체확률을 산업 및 직업을 고려하여 가능한 한 가장 유사하게 한국자료와 연결하였다. 구체적으로, 통계청의 「지역별고용조사」는 직업소분류(3단위) 수준에서 자료를 제공하고 있기 때문에 미국자료와 한국 자료를 연결하기 위해서는 추가적인 작업이 필요하다. 김세움(2015)은 한국고용정보원의 2012년도 직업사전을 이용하여 미국의 직종과 최대한 유사한 한국직종을 파악하여 일치시키는 방식으로 매칭작업을 수행하였고,⁶⁾ 본 연구에서는 이를 그대로 수용하여 결과분석에 활용하였다. Frey and Osborne(2017)은 직업별로 컴퓨터에 의한 인간노동의 대체확률을 추정하고, 직업을 컴퓨터 대체확률의 크기에 따라 저위험군, 중위험군, 고위험군의 세 가지 범주로 구분하였다. 직업별 컴퓨터 대체확률은 0~1 사이의 값을 갖는데, 0은 컴퓨터로 대체가 불가능하여 인간이 직무를 수행해야 하는 직업, 1은 인간의 노동이 컴퓨터에 의해 완전히 대체될 수 있는 직업을 각각 의미한다. Frey and Osborne(2017)은 직업별 컴퓨터 대체확률을 기준으로 0~0.3미만은 저위험 직업군, 0.3~0.7미만은 중위험 직업군, 0.7~1.0은 고위험 직업군으로 분류하였다. 본 연구에도 Frey and Osborne(2017)의 직업별 컴퓨터 대체확률을 한국 데이터에 적용하고 대체확률 값의 크기에 따라 직업군 범주를 세 가지로 분류한 후, 고위험 직업군에 속한 직종은 컴퓨터에 의해 인간노동이 대체될 가능성이 높다고 보고 이를 중심으로 분석한다.⁷⁾ 다만, 4차 산업혁명은 컴퓨터화, 디지털화의 특징을 가지기는

6) 자세한 매칭방법에 대해서는 김세움(2015) pp.11-12를 참조할 수 있다.

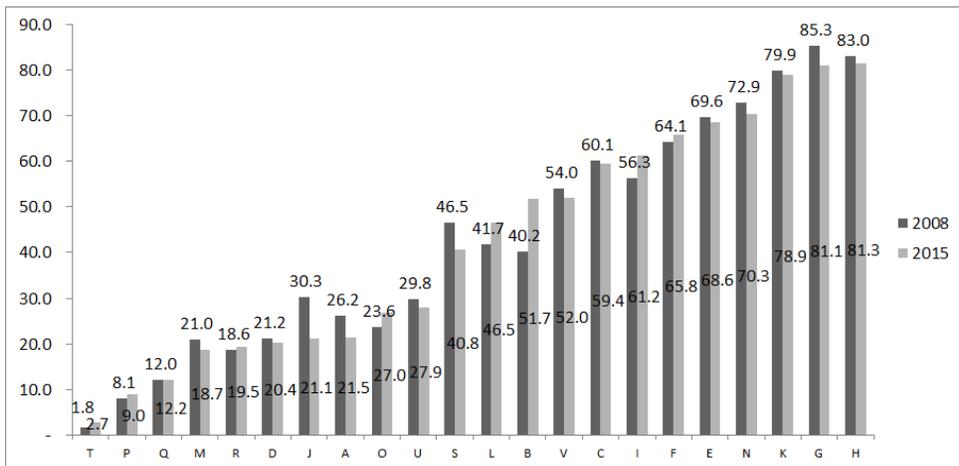
7) 참고로 고용직업분류 기준 126개 분석대상 직업 중 컴퓨터 대체확률 0.9+: 14개, 0.8-0.9: 26개, 0.8-0.7: 17개, 0.7-0.6: 10개, 0.6-0.5: 13개, 0.4-0.5: 9개 등이다.

하지만 모든 직무의 컴퓨터화(혹은 디지털화)를 의미하는 것은 아니므로 본 논문의 결과해석은 좀 더 유보적으로 할 필요가 있다.

2. 산업 및 직업별 일자리 충격

실증분석 결과를 살펴보면, 우리나라에서 컴퓨터 대체확률 고위험 직업군은 2015년 기준 전체 일자리의 52.0%에 달하는 12,434천개이며, 이같은 수치는 Frey and Osborne(2017)이 분석한 미국의 47%에 비해 더 높다. 이는 제4차 산업혁명에 따른 일자리 충격이 미국보다 한국에서 더 클 것임을 시사하는 것이다. 2015년 기준 산업별 컴퓨터 대체 고위험 직종에 종사하는 비율을 비교해보면 운수업이 81.3%로 가장 높고, 도매 및 소매업 81.1%, 금융 및 보험업 78.9%, 사업시설관리 및 사업지원서비스업 70.3% 등의 순으로 나타났다. 2015년 기준 고위험 직종에 종사하는 비율이 가장 낮은 산업은 자가소비생산활동 2.7%, 교육서비스업 9.0%, 보건업 및 사회복지서비스업 12.2% 등의 순이다.

〈그림 2〉 산업별 컴퓨터 대체 고위험 취업자 비율(단위: %)

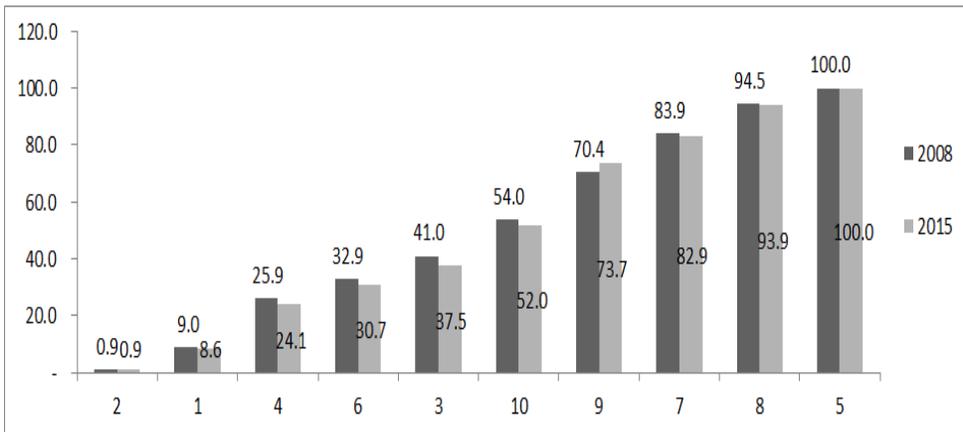


주: A-농업·임업 및 어업, B-광업, C-제조업, D-전기·가스·증기 및 수도 사업, E-하수폐기물 처리 원료 재생 및 환경 복원업, F-건설업, G-도매 및 소매업, H-운수업, I-숙박 및 음식점업, J-출판 영상 방송통신 및 정보 서비스업, K-금융 및 보험업, L-부동산업 및 임대업, M-전문 과학 및 기술 서비스업, N-사업시설 관리 및 사업 지원 서비스업, O-공공행정·국방 및 사회보장행정, P-교육 서비스업, Q-보건업 및 사회복지서비스업, R-예술·스포츠 및 여가 관련 서비스업, S-협회 및 단체 수리 및 기타 개인서비스업, T-자가소비생산 활동, U-국제 및 외국기관, V-계

자료: 통계청(각 년도). 『지역별 고용조사』 2008, 2015 상반기 원자료를 이용하여 작성.

직업별로 전체 취업자 수 대비 컴퓨터 대체확률 고위험 직업군에 종사하는 취업자 수 비율을 비교해보면, 2015년 기준으로 판매종사자가 100%로서 가장 높고, 장치기계조작 및 조립종사자 93.9%, 기능원 및 관련기능종사자 82.9%, 단순노무종사자 73.7% 등의 순으로 나타났다. 가장 낮은 비율을 보인 직업은 전문가 및 관련종사자 0.9%, 관리자 8.6%, 서비스종사자 24.1%, 농림·어업숙련종사자 30.7% 등의 순으로 나타났다.

〈그림 3〉 직업대분류별 컴퓨터 대체 고위험 취업자 비율(단위: %)



주: 1-관리자, 2-전문가 및 관련 종사자, 3-사무 종사자, 4-서비스 종사자, 5-판매 종사자, 6-농림·어업 숙련 종사자, 7-기능원 및 관련기능 종사자, 8-장치기계 조작 및 조립 종사자, 9-단순노무종사자, 10-계.

자료: 통계청(각 년도), 『지역별 고용조사』 2008, 2015 상반기 원자료를 이용하여 작성.

3. 인적속성별 일자리 충격

성별로 컴퓨터 대체확률 고위험 직업군에 종사하는 취업자 수 비율을 살펴보면, 2015년 기준으로 남자 55.0%, 여자 47.9%로 남자가 여자에 비해 7.1%p 더 높았다. 2008년과 2015년을 비교해보더라도 컴퓨터 대체확률 고위험 직업군에 종사하는 비율은 남자가 55.9% (2008년)→55.0% (2015년)로 약간 감소한 반면, 여자는 51.3% (2008년)→47.9% (2015년)로 비교적 큰 폭의 감소세를 보였다. 이 같은 분석 결과는 직종별로 다소간의 차이가 있겠으나, 전체적으로 남자에 비해 여자에게 있어서 기술혁신에 따른 일자리 충격의 강도가 덜 심각할 것임을 의미한다. 이는 취업자 구성에 있어서 남성의 경우 컴퓨터 대체확률 고위험군인 제조업 생산직 취업비중이

높은 반면, 여성은 컴퓨터 대체확률이 상대적으로 낮은 교육, 의료 등 서비스업 취업 비중이 높기 때문이다. 기술혁신과 숙련수요의 측면에서 보면 노동시장에서 점차 증가하는 숙련은 사회적 스킬(social skill)로서 남성보다는 여성이 우위에 있으며, 1980년대 이래 노동시장에서 성별 격차가 축소된 것은 일부 이에 기인하는 것으로 보는 견해도 있다(Deming, 2015). 사회적 스킬은 기계에 의한 대체가 용이하지 않은 특성으로 인해 4차 산업혁명의 일자리 충격이 남성보다 여성에서 약화되어 나타날 수 있다. 미래의 인적자원개발, 숙련형성 관점에서 사회적 스킬 함양이 기계와 인간노동의 보완관계를 높이고 일자리를 지키는 전략이 될 수 있으므로 사회적 스킬 함양을 위한 교과과정, 교수학습방법의 개발 등을 검토할 필요가 있다.

〈표 1〉 전체취업자 성별 위험정도(단위: 천명, %)

		저위험	중위험	고위험	계
2008	남자	1,617,658 (12.9)	3,917,262 (31.2)	7,019,424 (55.9)	12,554,343 (100)
	여자	1,643,860 (18.6)	2,653,088 (30.1)	4,518,185 (51.3)	8,815,134 (100)
	계	3,261,517 (15.3)	6,570,350 (30.7)	11,537,609 (54.0)	21,369,477 (100)
2015	남자	1,818,456 (13.1)	4,430,066 (31.9)	7,630,166 (55.0)	13,878,688 (100)
	여자	2,028,500 (20.2)	3,205,893 (31.9)	4,804,622 (47.9)	10,039,014 (100)
	계	3,846,956 (16.1)	7,635,959 (31.9)	12,434,788 (52.0)	23,917,702 (100)
증감	남자	200,798 (1.69)	512,804 (1.77)	610,742 (1.20)	1,324,345 (1.44)
	여자	384,640 (3.05)	552,805 (2.74)	286,437 (0.88)	1,223,880 (1.87)
	계	585,439 (2.39)	1,065,609 (2.17)	897,179 (1.08)	2,548,225 (1.62)

주: 증감의 ()는 연평균 증감률.

자료 : 통계청(각 년도), 『지역별 고용조사』 2008, 2015 상반기 원자료를 이용하여 작성.

다음으로 연령별로 컴퓨터 대체확률 고위험 직업군에 종사하는 비율을 비교해보면 50세 이상의 연령계층이 가장 취약하고 15~29세 연령계층이 상대적으로 양호하게 나타났다. 2015년 기준으로 컴퓨터 대체확률 고위험 직종에 종사하는 비율은 15~29세 48.6%, 30~49세 47.4%, 50세 이상 60.1%로서 50세 이상이 특히 취약하였다. 2008년과 2015년을 비교해보더라도 다른 연령계층에 비해 50세 이상에서 컴퓨터 대체확률 고위험 직종에 종사하는 비율이 상대적으로 더 빠르게 증가하여 기술혁신에 따른 일자리 충격의 강도가 가장 심각할 것으로 예상되었다.

(표 2) 전체취업자 연령별 위험정도(단위: 천명, %)

		저위험	중위험	고위험	계
2008	15-29세	810,780 (24.1)	946,249 (28.1)	1,612,082 (47.8)	3,369,112 (100)
	30-49세	1,909,669 (16.1)	3,784,797 (31.8)	6,193,542 (52.1)	11,888,008 (100)
	50세+	541,068 (8.9)	1,839,304 (30.1)	3,731,984 (61.1)	6,112,356 (100)
	계	3,261,517 (15.3)	6,570,350 (30.7)	11,537,609 (54.0)	21,369,477 (100)
2015	15-29세	851,039 (22.4)	1,100,328 (29.0)	1,842,125 (48.6)	3,793,491 (100)
	30-49세	2,221,912 (18.8)	3,987,999 (33.8)	5,592,602 (47.4)	11,802,513 (100)
	50세+	774,005 (9.3)	2,547,632 (30.6)	5,000,061 (60.1)	8,321,698 (100)
	계	3,846,956 (16.1)	7,635,959 (31.9)	12,434,788 (52.0)	23,917,702 (100)
증감	15-29세	40,259 (0.69)	154,079 (2.18)	230,043 (1.92)	424,379 (1.71)
	30-49세	312,243 (2.19)	203,202 (0.75)	-600,940 (-1.45)	-85,495 (-0.10)
	50세+	232,937 (5.25)	708,328 (4.76)	1,268,077 (4.27)	2,209,342 (4.51)
	계	585,439 (2.39)	1,065,609 (2.17)	897,179 (1.08)	2,548,225 (1.62)

주: 증감의 ()는 연평균 증감률.

자료: 통계청(각 년도). 「지역별 고용조사」 2008, 2015 상반기 원자료를 이용하여 작성.

학력별로 컴퓨터 대체확률 고위험 직종에 종사하는 비율을 비교해보면 고졸 이하가 가장 취약하고 4년제대졸 이상은 상대적으로 양호하게 나타났다. 2015년 기준으로 컴퓨터 대체확률 고위험 직업군에 종사하는 비율은 고졸 이하 68.8% 전문대졸 47.4% 4년제대졸 이상 26.4%로서 고졸 이하가 특히 취약하였다. 그러나 2008년과 2015년을 비교해보았을 때 다른 학력계층에 비해 4년제대졸 이상에서 컴퓨터 대체확률 고위험 직종에 종사하는 비율이 상대적으로 더 빠르게 증가하는 것으로 나타났다.

(표 3) 전체취업자 학력별 위험정도(단위: 천명, %)

		저위험	중위험	고위험	계
2008	고졸	474,417 (3.7)	3,518,800 (27.7)	8,730,539 (68.6)	12,723,756 (100)
	전문대졸	526,903 (20.9)	809,365 (32.2)	1,179,373 (46.9)	2,515,641 (100)
	4년제대졸+	2,260,197 (36.9)	2,242,186 (36.6)	1,627,697 (26.6)	6,130,080 (100)
	계	3,261,517 (15.3)	6,570,350 (30.7)	11,537,609 (54.0)	21,369,477 (100)
2015	고졸	404,487 (3.1)	3,611,075 (28.0)	8,864,726 (68.8)	12,880,288 (100)
	전문대졸	642,788 (20.4)	1,011,478 (32.2)	1,489,288 (47.4)	3,143,555 (100)
	4년제대졸+	2,799,680 (35.5)	3,013,405 (38.2)	2,080,774 (26.4)	7,893,859 (100)
	계	3,846,956 (16.1)	7,635,959 (31.9)	12,434,788 (52.0)	23,917,702 (100)
증감	고졸	-69,930 (-2.25)	92,275 (0.37)	134,187 (0.22)	156,532 (0.17)
	전문대졸	115,885 (2.88)	202,113 (3.24)	309,915 (3.39)	627,914 (3.23)
	4년제대졸+	539,483 (3.11)	771,219 (4.31)	453,077 (3.57)	1,763,779 (3.68)
	계	585,439 (2.39)	1,065,609 (2.17)	897,179 (1.08)	2,548,225 (1.62)

주: 증감의 ()는 연평균 증감률.

자료: 통계청(각 년도). 「지역별 고용조사」 2008, 2015 상반기 원자료를 이용하여 작성.

4. 로짓분석

여기서는 컴퓨터 대체확률 고위험 직종 종사자의 특성을 보다 심층적으로 분석하기 위하여 로짓분석(logit analysis)을 시도한다. 연령, 성, 학력 등에 따라 컴퓨터 대체확률 고위험 직종에 종사할 확률이 상이할 것이나, 앞의 기술통계 분석만으로는 여러 가지 변수들의 독립적인 효과를 측정할 수 없기 때문에 로짓분석을 통해 개별 변수들의 효과를 살펴볼 수 있을 것이다. 분석을 위하여 취업자를 대상으로 컴퓨터 대체확률 70% 이상의 고위험 직종에 속하면 '1', 컴퓨터 대체확률 70% 미만의 비고위험 직종에 속하면 '0'의 값을 갖는 이항 종속변수를 구성하고, 이에 대해 성, 연령, 학력 등 여러 가지 설명변수를 투입하는 방식으로 로짓모형을 추정하였다.⁸⁾

분석에 사용한 자료는 통계청(각 년도)의 2015년 상반기 「지역별 고용조사」 원자료이며, 이중 경제활동상태가 취업자로 분류된 취업자만을 분석대상으로 한다. 앞의 분석에서와 마찬가지로 직업별 컴퓨터 대체확률을 이용하여 취업자를 대상으로 컴퓨터 대체확률 70% 이상의 고위험 직종 여부를 식별하였다. 다음 <표 4>에는 컴퓨터 대체확률 고위험직종 여부에 따른 기술통계가 제시되어 있다. 주요 변수로는 성더미, 연령더미로서 15~29세 청년층, 30~49세 중년층, 50세 이상 중장년층의 세 집단으로 나누었고, 학력더미는 고졸이하, 전문대졸, 4년제졸, 대학원졸 등의 네 집단으로, 근로형태더미는 상용직, 임시일용직, 비임금근로 등의 세 집단으로 각각 나누어 분석하였다.

<표 4> 컴퓨터 대체확률 고위험 직종여부별 기술통계 취업자 전체(단위: 명, 비율)

변수	비고위험 직종			고위험 직종		
	관측치(명)	평균	표준편차	관측치(명)	평균	표준편차
성(남자=1, 여자=0)	160,251	0.536	0.499	182,758	0.612	0.487
연령(중년층=1, 기타=0)	160,251	0.543	0.498	182,758	0.493	0.500
”(중장년층=1, 기타=0)	160,251	0.323	0.467	182,758	0.393	0.488
”(청년층=1, 기타=0)	160,251	0.134	0.341	182,758	0.113	0.317
학력(전문대=1, 기타=0)	160,251	0.136	0.342	182,758	0.102	0.303
”(4년제=1, 기타=0)	160,251	0.339	0.473	182,758	0.124	0.330
”(대학원이상=1, 기타=0)	160,251	0.073	0.260	182,758	0.006	0.077
”(고졸이하=1, 기타=0)	160,251	0.453	0.498	182,758	0.768	0.422
근로형태(상용직=1, 기타=0)	160,251	0.578	0.494	182,758	0.370	0.483
”(임시일용직=1, 기타=0)	160,251	0.176	0.381	182,758	0.289	0.453
”(비임금=1, 기타=0)	160,251	0.246	0.431	182,758	0.341	0.474

자료: 통계청(각 년도). 「지역별 고용조사」 2008, 2015 상반기 원자료를 이용하여 작성.

8) 로짓모형에 대한 자세한 설명은 Long and Freese(2006)을 참고할 수 있다.

로짓분석 결과를 살펴보면, 추정모델은 변수조합에 따라 세 가지로 구성하였으며 결과해석은 설명변수가 가장 많이 포함된 <모델3>으로 하였다. 모형은 전체적으로 유의하였으며, 결과해석의 편의를 위하여 설명변수 1단위 증가시의 한계효과(marginal effect)로 계산하여 제시하였다. 주요 결과를 정리하면 다음과 같다.

우선 취업자 전체를 대상으로 분석한 <표 5>에 따르면, 컴퓨터 대체확률 고위험 직종에 속할 확률은 남자가 여자에 비해 59.1% 높았으며, 연령은 청년층을 기준으로 했을 때 중년층이 9.0% 낮은 반면 중장년층은 29.4% 낮았다. 중장년층의 경우 학력, 근로형태 등을 통제할 경우 컴퓨터 대체확률이 크게 낮아져 중장년층의 저학력 및 임시일용직 비율이 높은 영향이 작용하는 것으로 해석되었다. 근로형태에 따른 컴퓨터 대체확률 고위험 직종에 속할 확률은 비임금근로를 기준으로 했을 때 상용직이 53.5% 낮은 반면 임시일용직은 10.7% 높게 나타났다.

<표 5> 컴퓨터 대체확률 고위험 직종 로짓분석 취업자 전체

	모델1	모델2	모델3
성(남자=1, 여자=0)	0.310*** (0.007)	0.523*** (0.008)	0.591*** (0.008)
연령(중년층=1, 기타=0)	0.031*** (0.011)	-0.059** (0.012)	-0.090** (0.012)
"(중장년층=1, 기타=0)	0.0334*** (0.011)	-0.167** (0.013)	-0.294** (0.013)
학력(전문대=1, 기타=0)		-0.883** (0.012)	-0.754** (0.012)
"(4년제=1, 기타=0)		-1.647** (0.010)	-1.506* (0.010)
"(대학원이상=1, 기타=0)		-3.170** (0.032)	-2.982 (0.032)
근로형태(상용직=1, 기타=0)			-0.535 (0.009)
"(임시일용직=1, 기타=0)			0.107*** (0.010)
상수	-0.182** (0.010)	0.491*** (0.012)	0.687 (0.014)
Log likelihood	-235,073.9	-212,292.8	-209,546.0
Number of obs	343,009	343,009	343,009
LR chi2(3)	3885.62	49447.85	54941.45
Prob > chi2	0	0	0
Pseudo R2	0.0082	0.1043	0.1159

자료: 통계청(각 년도). 『지역별 고용조사』 2008, 2015 상반기 원자료를 이용하여 작성.

다음으로 전공계열이 컴퓨터 대체확률 고위험 직종에 종사할 확률에 미치는 영향을 분석하기 위하여 전문대졸 이상의 취업자만을 분석대상으로 한정하였다. 전공별 컴퓨터 대체위험이 대체로 낮은 전공계열은 교육계열, 의약계열, 예체능계열 등이며, 컴퓨터 대체위험이 높은 전공계열은 인문사회계열, 공학계열, 자연계열 등으로 나타

났다.

〈표 6〉 컴퓨터 대체확률 고위험 직종여부별 기술통계_전문대졸 이상(단위: 명, 비율)

변수	고위험 아님			고위험		
	관측치(명)	평균	표준편차	관측치(명)	평균	표준편차
성(남자=1, 여자=0)	87,731	0.612	0.487	42,427	0.656	0.475
연령(중년층=1, 기타=0)	87,731	0.646	0.478	42,427	0.642	0.479
”(중장년층=1, 기타=0)	87,731	0.175	0.380	42,427	0.149	0.356
”(청년층=1, 기타=0)	87,731	0.178	0.383	42,427	0.209	0.406
학력(전문대=1, 기타=0)	87,731	0.248	0.432	42,427	0.440	0.496
”(4년제=1, 기타=0)	87,731	0.619	0.486	42,427	0.534	0.499
”(대학원이상=1, 기타=0)	87,731	0.133	0.340	42,427	0.026	0.158
”(고졸이하=1, 기타=0)	87,731	0.743	0.437	42,427	0.546	0.498
근로형태(상용직=1, 기타=0)	87,731	0.089	0.285	42,427	0.166	0.372
”(임시일용직=1, 기타=0)	87,731	0.167	0.373	42,427	0.288	0.453
”(비임금=1, 기타=0)	87,728	0.386	0.487	42,423	0.462	0.499
전공계열(인문사회계열=1, 기타=0)	87,728	0.385	0.543	42,423	0.462	0.857
”(교육계열=1, 기타=0)	87,728	0.090	0.286	42,423	0.021	0.142
”(공학계열=1, 기타=0)	87,728	0.251	0.434	42,423	0.283	0.450
”(자연계열=1, 기타=0)	87,728	0.120	0.324	42,423	0.145	0.353
”(의약계열=1, 기타=0)	87,728	0.076	0.265	42,423	0.019	0.136
”(예체계열=1, 기타=0)	87,728	0.078	0.268	42,423	0.070	0.256

자료: 통계청(각년도). 『지역별 고용조사』 2008, 2015 상반기 원자료를 이용하여 작성.

이하에서는 전문대졸 이상 취업자를 대상으로 한 로짓모형 추정결과를 설명변수가 가장 많이 포함된 〈모델3〉을 기준으로 살펴본다. 컴퓨터 대체확률 고위험 직종에 속할 확률은 남자가 여자에 비해 24.1% 높았는데, 이것은 취업자 전체를 대상으로 한 59.1%에 비해 크게 낮아진 것이다. 연령은 청년층을 기준으로 했을 때 중년층이 23.4% 낮은 반면 중장년층은 38.8% 각각 낮아, 전체취업자를 대상으로 한 분석의 결과와 비교했을 때 고학력 청년층의 컴퓨터 대체확률 고위험 직종 종사확률이 상대적으로 높게 평가되었다. 근로형태에 따른 컴퓨터 대체확률 고위험 직종에 속할 확률은 비임금근로를 기준으로 했을 때 상용직이 93.3% 낮고, 임시일용직도 3.0% 낮았다. 이를 전체 취업자를 대상으로 한 결과와 비교한다면, 상용직은 물론 임시일용직의 경우에도 컴퓨터 대체확률 고위험 직종에 속할 확률이 상대적으로 낮게 나타났다. 마지막으로 전공계열별로 보면, 예체능계열을 기준으로 했을 때, 인문사회계열은

57.0%, 자연계열은 47.4%, 공학계열은 39.3% 각각 높고, 교육계열은 92.4%, 의 약계열은 116.9% 각각 낮은 것으로 나타났다.

〈표 7〉 컴퓨터 대체 확률 고위험 직종 로짓분석_전문대졸 이상 취업자

	모델1	모델2	모델3
성(남자=1, 여자=0)	0.330*** (0.013)	0.420*** (0.014)	0.241*** (0.015)
연령(중년층=1, 기타=0)	-0.084** (0.016)	-0.196** (0.017)	-0.234** (0.017)
" (중장년층=1, 기타=0)	-0.116** (0.021)	-0.375** (0.022)	-0.388** (0.023)
학력(전문대=1, 기타=0)	-0.744** (0.013)	-0.738** (0.013)	-0.796** (0.014)
" (4년제=1, 기타=0)	-2.254** (0.033)	-2.178** (0.034)	-2.156** (0.034)
" (고졸이하=1, 기타=0)		-0.920** (0.015)	-0.933** (0.016)
근로형태(상용직=1, 기타=0)		0.010*** (0.022)	-0.030** (0.022)
" (비임금=1, 기타=0)			0.570*** (0.025)
전공계열(인문사회계열=1, 기타=0)			-0.924** (0.044)
" (교육계열=1, 기타=0)			0.393*** (0.027)
" (공학계열=1, 기타=0)			0.474*** (0.029)
" (자연계열=1, 기타=0)			-1.169** (0.045)
" (예체계열=1, 기타=0)	-0.271** (0.016)	0.371*** (0.022)	0.234*** (0.030)
Loglikelihood	-77,948.3	-75,450.2	-73,231.4
Number of obs	130,158	130,158	130,151
LR chi2(5)	8436.83	13432.9	17859.24
Prob > chi2	0	0	0
Pseudo R2	0.0513	0.0817	0.1087

자료: 통계청(각 년도). 「지역별 고용조사」 2008, 2015 상반기 원자료를 이용하여 작성.

IV. 주요 분석결과 및 정책적 시사점

본 연구에서는 Frey and Osborne(2017)의 직업별 컴퓨터 대체확률을 한국 데이터에 적용하여 컴퓨터화에 따른 직업세계에 대한 영향을 분석하였으며, 주요 결과와 이에 따른 시사점을 정리해보면 다음과 같다.

첫째, 제4차 산업혁명에 따라 인간의 노동이 기계로 대체될 위험성이 높은 일자리에 종사하는 일자리는 전체 취업자의 52%에 달하는 것으로 추정되었다. 미국을 대상으로 한 Frey and Osborne(2017)의 연구에서는 같은 수치가 47%에 그쳐, 우리나라의 일자리가 미국보다 4차 산업혁명에 취약한 것으로 드러났다. 이에 대응하기 위해서는 교육혁신을 통해 미래 숙련수요에 능동적으로 대응하는 것이 급선무이나, 본질적으로 교육의 발전 속도는 기술의 발전과 노동시장의 변화 속도를 따라가기에 역부

족이라는 한계가 있다. 현재 학교교육과 직업훈련기관에서 주로 가르치고 양성하는 숙련은 상당부분 생산직, 기능직, 사무직종에 적합하다고 할 수 있는데, 제4차 산업혁명으로 인해 로봇, 컴퓨터가 이들 직종의 인간노동을 우선적으로 대거 대체할 위험이 높다. 이들 직종의 인간노동을 로봇으로 대체하지 않을 경우에는 국가경쟁력의 후퇴가 불가피할 것이고, 대체할 경우에는 미래사회에 준비되지 않은 유희노동력을 복지제도로 수용해야하는 부담이 발생하여 진퇴양란의 상황에 처할 수 있다. 지금은 어린 학생, 청년들에게 미래사회에 생존력, 적응력을 키워주기 위해서는 무엇을 가르칠 것인지, 어떻게 가르칠 것인지, 어떤 능력을 키워줄 것인지에 대한 근본적 성찰이 필요한 시점이다.

둘째, 2015년 기준 산업별 컴퓨터 대체 고위험 직종에 종사하는 비율을 비교해보면 운수업이 81.3%로 가장 높고, 도매 및 소매업 81.1%, 금융 및 보험업 78.9%, 사업시설관리 및 사업지원서비스업 70.3% 등의 순으로 나타났다. 직업별로는 판매종사자가 100%로서 가장 높고, 장치기계조작 및 조립종사자 93.9%, 기능원 및 관련기능종사자 82.9%, 단순노무종사자 73.7% 등의 순이다. 가장 낮은 비율을 보인 직업은 전문가 및 관련종사자 0.9%로, 관리자 8.6%, 서비스종사자 24.1% 등이었다. 컴퓨터화에 따른 일자리 충격이 산업별, 직업별로 상이하게 전개될 가능성이 높으므로 고용축소 직종에서 고용확대 직종으로 인력의 이동성을 촉진하는 정책적 대응이 필요하다. 이를 위한 전제조건은 직업교육 및 훈련의 확대를 통해 고용확대 직종에서 필요한 숙련을 체계적으로 습득할 수 있는 기회를 고용축소 직종에 있는 재직자들에게 보다 확대하는 것이다. 실업자 중심의 직업훈련을 재직자에게 대대적으로 확대하는 제도적 개선이 필요하며, 교육훈련 기관, 교사, 교육기자재 및 장비 등 직업교육 훈련 공급 인프라를 숙련수요에 적합하도록 재설계할 필요가 있다. 또한, 숙련수요 변화를 조기에 인식하여 인력양성에 적용하는 것이 중요하므로 빅데이터를 활용한 숙련전망기법의 개발도 시급하다.

셋째, 인적속성별로 컴퓨터 대체확률을 분석해보면, 기술혁신에 따른 일자리 충격이 여자보다는 남자, 연령별로는 50세 이상의 중장년층, 학력별로는 고졸이하의 저학력층에게 보다 심각할 것으로 나타났다. 다만, 최근 4년제 대졸이상의 고학력에서도 컴퓨터 대체확률 고위험 직종에 종사하는 비율이 상대적으로 더 빠르게 증가하는 현상을 보였다. 저숙련의 불안정취업자, 비정규직 등 고용위기가 취약한 계층에게서 4차 산업혁명의 일자리 충격이 집중적으로 나타날 수 있으므로 실업급여 등 사회안전망의 확충과 더불어 복지와 연계한 직업교육훈련을 확대함으로써 이들의 고용가능성

을 높이고 삶의 질을 제고하며 국가의 복지부담을 완화하는 정책이 필요하다. 기술혁신으로 인한 일자리 파괴가 현실화되고 노동력의 대규모 유희화가 전개될 경우 산업경쟁력의 저하, 복지체제의 균열, 계층간 사회갈등이 심각한 양상으로 전개될 수 있다.

결론적으로 미래사회에서 학습은 학령기뿐만 아니라 생애전체에 걸쳐서 필수적으로 이루어지는 활동이 될 가능성이 높으며, 사회는 구성원 각자에게 개인별 맞춤형의 학습기회를 충분히 제공할 의무를 지게 될 것이다. 직업생애(career life)를 유지, 강화하기 위하여 교육훈련이 생애전반에 걸쳐 요구되고, 교육훈련이 선택제가 아닌 생존을 위한 필수재로 부상할 경우 국가는 전기나 수도처럼 기본 인프라로서 교육훈련을 전국민에게 제공할 의무를 갖게 될 것이다. 특히, 국민이 교육훈련을 제대로 받기 위해서는 충분한 교육훈련 시간, 교육훈련 비용, 교육훈련 기간의 생계비 등이 보장되어야 하며, 실업자에게 실업급여가 지급되듯 교육훈련과 복지제도의 연계성 제고가 요청된다.

제4차 산업혁명으로 인해 평생직장, 평생직업 시대가 종언을 고하고 취업, 실업이 불규칙적으로 반복되면서 생애에 걸쳐 다수의 직장, 직업에 종사하는 새로운 생애과정이 대두될 가능성이 높다. ‘학습-취업-은퇴’라는 단선직렬형 경력경로 패러다임을 다선병렬형으로 전환하여 ‘일-학습-여가’가 생애에 걸쳐 병존이 가능하도록 하고, 학령기 중심의 경직적 학교체제를 전국민의 평생능력개발 체제로 개방화, 유연화하는 구조개혁이 시급하다. 이는 Riley and Riely (1994)가 지금까지 “교육-노동생산-여가의 연령분절형 생애과정(각각 청소년기-중년기-노년기에 배타적으로 경험)”이 지배적이었으나 앞으로는 “교육|노동생산|여가의 연령통합형 생애과정(연령과 관계없이 평생에 걸쳐 교육을 받고 노동과 생산을 하고 여가를 즐기는 생애과정을 경험)”으로 전환된다고 전망한 것과 동일한 맥락이다. 또한, 로봇의 인간노동 대체현상이 광범위하게 진행되어 일자리가 절대적으로 축소되고 취약계층에게 그 부담이 집중된다면 소득불평등이 심화되고 빈곤문제가 사회문제화 될 것이며, 이는 사회보장제도의 근본적 혁신을 요구하게 된다. 일-학습-복지가 선순환 구조로 상호 연계성을 갖도록 하려면 분절되어 칸막이식으로 운영되고 있는 교육부, 고용노동부, 보건복지부가 상호연계되어 협력할 수 있는 시스템 재설계가 필요하며, 이를 바탕으로 사회안전망을 기반으로 국민 모두의 교육훈련에 대한 접근성을 높이고 일을 통해 가치를 실현할 수 있는 기회를 확대함으로써 생산적 복지체제 구축을 모색할 수 있을 것이다.

본 논문의 한계로는 무엇보다 4차 산업혁명에 따른 새로운 제품, 서비스, 산업, 직

업의 창출 측면을 제대로 분석하지 못하고 일자리 대체 측면만을 다루었다는 점을 들 수 있다. 아울러, 기술혁신에 따른 일자리의 기술적 대체가능성을 분석하였을 뿐 경제적, 사회적, 정치적 수용가능성은 제대로 고려하지 못하였다. 산업과 직업의 경로 의존성을 고려할 때 노동조합, 자격, 각종 규제, 이익단체 등은 기계에 의한 인간노동 대체의 제약요인으로 작용할 수 있으며 임금이라는 비용요소 역시 중요하게 고려되어야 한다. 또한, 직업에서 요구되는 직무의 일부가 컴퓨터화 된다고 하여 일자리가 대체되는 것은 아니라는 지적역시 차후의 연구에서 반영할 필요가 있으며, 한국의 직업현실에 적합하게 개발된 한국고용정보원의 KNOW데이터를 이용한 분석역시 시도해볼만한 충분한 가치가 있다. 기술혁신에 따른 고용충격은 소득계층에 따라 상이하게 전개될 가능성이 높고 이는 소득불평등 및 빈곤에 커다란 영향을 미칠 수 있으므로 이에 대한 추가적인 연구 역시 필요하다.

■ 참고 문헌

1. 김세음, 『기술진보에 따른 노동시장 변화와 대응』, 한국노동연구원, 2015.
2. 배무기, 『노동경제학』, 제2판, 경문사, 1991.
3. 통계청, 『지역별 고용조사』, 2008년, 2015년 각년도 원자료.
4. Arntz, M., T. Gregory and U. Zierahn, "The Risk of Automation for Jobs in OECD Countries: A Comparative Analysis," OECD Social, Employment and Migration Working Papers. No. 189. OECD Publishing, Paris, 2016.
5. Autor, David, Frank Levy and Richard Murnane, "The Skill Content of Recent Technological Change: An Empirical Exploration," *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 118, No. 4, 2003, pp.1279-1333.
6. Brynjolfsson, Erik and Andrew McAfee, *The Second Machine Age*, New York NY: W. W. Norton & Company, 2014.
7. Ehrenberg, Ronald G. and Robert S. Smith, *Modern Labor Economics: Theory and Public Policy*, 11th Edition, Prentice Hall, 2011.
8. Frey, Carl B. and Michael A. Osborne, "The Future of Employment: How Susceptible are Jobs to Computerisation?" *Technological Forecasting & Social Change*, 114, 2017, pp. 254-280.
9. Goldin, Claudia and Lawrence F. Katz, *The Race Between Education and Technology*, Cambridge MA: Belknap Press, 2008.
10. Gordon, Robert J., "Is U. S. Economic Growth Over? Faltering Innovation Confronts the Six Headwinds," NBER Working Paper no. 18315, National Bureau of Economic Research, 2012.
11. Long, J. Scott and Jeremy Freese, *Regression Models for Categorical Dependent Variables Using Stata*, Stata Press, 2006.

12. Nordhaus, William D., "The Progress of Computing," Cowles Foundation Discussion Paper No. 1324. September, Cowles Foundation for Research in Economics at Yale University, 2001.
13. Rifkin, J., *The End of Work: The Decline of the Global Labor Force and the Dawn of the Post-market Era*, New York: G. P. Putnam's Sons, 1995.
14. Riley, M. W., and J. W. Jr. Riley, "Age Integration and the Lives of Older People," *Gerontologist*, Vol. 34, No. 1, 1994, pp.110-115.
15. Schwab, Klaus, *The Fourth Industrial Revolution*, World Economic Forum, 2016.
16. U.S. Bureau of Labor Statistics, *Projections Methodology*, 2016a.
17. _____, *Employment Projections: 2014-24 Summary*, 2016b.
18. _____, *Employment Projections*, 2015a.
19. _____, *New Release-Employment Projections-2014-24*, 2015b.
20. Vivarelli, M., "Technical Change and Employment: A Twofold Critique," TSER Conference on Technology, Economic Integration and Social Cohesion, Paris, November 22-23, 1996.
21. WEF, *The Fourth Industrial Revolution: What it Means, How to Respond*, World Economic Forum, 2016a.
21. _____, *The Future of Jobs*, World Economic Forum, 2016b.

The Fourth Industrial Revolution and Job Crisis in the Korean Economy

Ho-Young Oh*

Abstract

This paper exhibits an empirical analysis on the job shock caused by the fourth industrial revolution in the Korean economy over the next decade and presents policy responses in terms of human resources development and utilization. The result shows that about 52 percent of jobs currently in the Korean economy were at high risk of being replaced by computers during the fourth industrial revolution, especially among men workers, poorly educated workers, and the aged workers. This raises the need to adapt the existing human resources development strategies optimized for the future society represented by the fourth industrial revolution, and specifically focused on enhancing the life-long learning opportunities for all the people including currently employed or not. In addition, the traditional monorail career path paradigm of “education-work-retirement” should be transformed into a new multirail career path paradigm, in which people can have the opportunity to access to education & training regardless of age, working condition.

Key Words: human resources, the fourth industrial revolution, jobs

JEL Classification: J0

Received: April 30, 2018. Revised: June 8, 2018. Accepted: July 6, 2018.

* Senior Economist, Head of Strategic Planning, Korea Research Institute for Vocational Education & Training, #1204 Social Policy Building (D), Sejong National Research Complex, 370, Sicheong-daero, Sejong-si 30147, Korea, Phone: +82-44-415-5326, e-mail: hyoh@krivet.re.kr