

제4차 산업혁명의 일자리 충격

-새로운 분석모형을 중심으로-

2017. 9.

김강현, 라정주

연구진

연구책임자 김 강 현 연구위원(행정학 박사)

연구진 라 정 주 선임연구위원(경제학 박사)

유 한 나 연구원(경제학 석사)

요약	i
제1장 서론	1
제1절 연구배경 및 목적	3
제2절 연구내용 및 방법	5
제2장 제4차 산업혁명의 개념과 미래	9
제1절 제4차 산업혁명의 개념	11
제2절 제4차 산업혁명의 미래전망과 일자리 패러다임 분석	14
제3장 주요 선행연구 분석	19
제1절 주요 선행연구	21
제2절 선행연구의 한계	25
제3절 종합분석	27
제4장 제4차 산업혁명의 일자리 충격효과 분석	29
제1절 분석모형 설계	31
제2절 정량분석 절차 및 파라미터 값	33
제3절 정량분석 결과	37

제5장 정책 제언	55
제1절 노동부문	59
제2절 제도부문	63
제3절 교육부문	67
부록	71
참고문헌	88

표 목 차

〈표 1-1〉 주요 연구내용	5
〈표 1-2〉 연구방법	6
〈표 2-1〉 주요국가의 4차 산업혁명 대응 개념	13
〈표 3-1〉 Autor et al.(2003)의 직무유형 분류	22
〈표 3-2〉 주요 선행연구	28
〈표 4-1〉 파라미터 값	36
〈표 4-2〉 유형별 직업 분류	45
〈표 4-3〉 유형별 취업자수(2015년)	47
〈표 4-4〉 연령에 따른 유형별 취업자 비율(% , 2015년)	49
〈표 4-5〉 민감도 분석	53
〈표 5-1〉 주요국의 4차 산업혁명 준비정도(순위)	58
〈표 5-2〉 정책 제언	58
〈표 5-3〉 비반복적 인지 노동의 세부적 분류	60
〈표 5-4〉 4차 산업혁명시대 제·개정이 필요한 노동 관련법	65
〈표 5-5〉 글로벌 창의지수	68
〈표 5-6〉 스웨덴의 대학입시 국어문제(예)	69

그림 목 차

[그림 2-1] 4차 산업혁명의 개념 정의	12
[그림 2-2] 4차 산업혁명에 의한 일자리 자동화 분야 변화	12
[그림 2-3] 제4차 산업혁명의 미래전망과 일자리	15
[그림 2-4] 미국의 유형별 노동 비중 변화	17
[그림 3-1] 미국 일자리의 숙련도별 고용비중 변화(1980-2005)	24
[그림 4-1] 모형의 틀	32
[그림 4-2] 보정(Calibration) 절차	34
[그림 4-3] 컴퓨터자본 생산기술 향상에 따른 거시변수 변화	40
[그림 4-4] 물건 생산용 컴퓨터자본 수요량과 반복적 노동 수요량, 대인 서비스 생산용 컴퓨터자본 수요량과 비반복적 육체 노동 수요량 간의 관계	42
[그림 4-5] 비반복적 인지 노동 수요량과 반복적 총노동 수요량, 일반자본 수요량과 반복적 총노동 수요량 간의 관계	42
[그림 4-6] 유형별 노동 수요량(일자리) 변화율	43
[그림 4-7] 유형별 일자리 변화(실물단위)	48
[그림 4-8] 시간에 따른 유형별 일자리 변화(실물단위)	48
[그림 4-9] 연령에 따른 유형별 일자리 변화(실물단위)	50

요약

1. 서론

본 연구는 4차 산업혁명으로 인한 일자리의 변화 양상을 거시경제적으로 분석함으로써 사회적 관심과 논의를 촉발하고, 정책적 제언을 제공한다. 이를 위해 독자적인 분석모형을 설계하고, 우리나라 자료를 이용하여 정량 분석을 실시한다.

2. 주요 선행연구 분석

구분	Autor and Dorn (2013)	Frey and Osborne (2013, 2017)
주요내용	<ul style="list-style-type: none">반복적(중위 숙련) 노동은 비중이 줄고, 비반복적 육체(하위 숙련) 노동과 비반복적 인지(상위 숙련) 노동은 비중이 늘어나는 U자형 변화가 나타나는 것을 분석일자리와 컴퓨터 간의 대체성을 일반균형모형으로 발전시킴	<ul style="list-style-type: none">702개 직업에 대한 컴퓨터 대체 확률 추정미국의 직업 중 47%가 자동화 될 수 있는 고위험군에 해당됨을 밝힘임금과 교육수준이 낮을수록 자동화에 의한 대체확률 높음
한계	<ul style="list-style-type: none">고용에 대한 제4차 산업혁명의 특성을 미반영	<ul style="list-style-type: none">기술수준에만 의존하여 대체확률을 분석(부분균형)

3. 제4차 산업혁명의 일자리 충격효과 분석

가. 분석모형

본 연구의 분석모형은 Autor and Dorn(2013)의 모형을 확장한 동태 확률적 일반균형모형이다.

나. 분석결과

첫째, 인간의 노동을 대체할 수 있는 컴퓨터자본 생산기술이 약 4.13% 상승(기존연구에 따른 추정)하면, 20년 동안 비반복적 인지 노동자(예, 신 제품을 개발하는데 필요한 소프트웨어를 디자인할 수 있는 능력을 가진 엔지니어)는 5.92% 증가하는 반면, 반복적 노동자(예, 공장에서 부품을 조립하는 종사자)와 비반복적 육체 노동자(예, 손님을 직접 상대하는 음식점 종업원)는 각각 3.97%, 17.04% 감소한다. 이를 실물단위로 나타내면 비반복적 인지 노동자는 334,820명이 증가하는 반면, 반복적 노동자와 비반복적 육체 노동자는 각각 589,390명, 989,646명이 감소한다. 종합적으로는 제 4차 산업혁명에 의해 20년 동안 1,244,217명이 감소한다.

둘째, 연령별로 살펴보면, 20년 동안 50-59세에서 노동자의 순감소량(349,312명)이 가장 많고, 15-29세에서 노동자의 순감소량(185,327명)이 가장 적다.

셋째, 하위 숙련노동자, 중위 숙련노동자, 상위 숙련노동자 간 임금격차가 확대된다.

넷째, 총생산량은 늘어나는데 총노동 수요량은 줄어들게 되는 ‘고용 없는 성장’이 촉발된다.

4. 정책 제언

첫째, 컴퓨터에 의해 대체되는 근로자에 대한 전직을 지원해야 한다. 이를 위해 대체위협에 직면한 취약근로자의 실태를 분석하여 전직 가능한 맞춤형 직종을 제시하고, 실업 기간 동안 사회보장서비스를 패키지로화하여 제공하는 것이 필요하다. 또한, 4차 산업혁명에 적합한 직무교육을 국가직무능력표준과 연계하여 추진하여야 하며, 창조적(Creative) 노동과 사회적(Social) 노동이 필요한 일자리로 전직이 될 수 있도록 지원해야 한다.

둘째, 4차 산업혁명에 따라 늘어나는 비정형 근로자를 보호할 수 있는 대책을 강구해야 한다. 이를 위해 비정형 근로자가 사회보장보험에 가입할 수 있도록 지원하고, 호봉제 중심의 임금체계를 직무와 성과 중심으로 전환하는 것이 필요하다.

셋째, 비반복적 인지 노동이 필요한 일자리를 많이 창출해야 한다. 이를 위해 창조적 노동이 필요한 일자리를 창출하기 위한 전문기관들을 정비하고, 사회적 노동이 필요한 일자리를 창출하기 위한 전문기관을 확대해야 한다.

넷째, 4차 산업혁명의 일자리 변화에 대응하기 위해 노동 관련법을 보완해야 한다. 이를 위해 다양한 종류의 근로자와 노동방법을 반영할 수 있도록 노동 관련법을 세분화하고, 노동 관련법을 제도적으로 제·개정해야 한다.

다섯째, 4차 산업혁명의 전망을 고려한 최저임금제를 적용해야 한다. 4차 산업혁명이라는 프레임에서 볼 때, 최저임금의 급격한 인상은 컴퓨터에 의해 대체되어 가장 많이 감소할 것으로 예상되는 비반복적 육체 노동의 자동화를 촉진하게 된다. 따라서 4차 산업혁명의 일자리 충격을 완화하기

위해 최저임금의 급격한 인상을 자제해야 한다. 또한, 업종의 이질성을 반영하여 최저임금제를 적용할 필요가 있다.

여섯째, 4차 산업혁명시대에서 요구되는 비반복적 인지 노동자를 육성하기 위한 교육제도를 구축해야 한다. 이를 위해 창조적 지능과 사회적 지능을 배양할 수 있도록 대학입시 제도를 스웨덴과 같은 방향으로 과감히 변경해야 한다.

제4차 산업혁명의 일자리 충격

- 새로운 분석모형을 중심으로 -

제1장

서론

제1장 서론

제1절 연구배경 및 목적

1. 연구배경

4차 산업혁명이 시대적 화두가 되고 있다. 인공지능(AI)와 정보통신기술(ICT)의 발전으로 대표되는 차세대 산업혁명인 4차 산업혁명에 대해 장밋빛 전망도 있지만 급격한 기술발전은 산업발전 뿐만 아니라 고용에도 심각한 영향을 끼칠 것으로 예상된다. 미국의 경제학자 Jeremy Rifkin이 『노동의 종말(1995)』에서 “진보의 대가로 노동자가 사라질 것”이라는 취지의 주장을 한 이래 일자리에 대한 관심이 계속되고 있다.

2016년 1월 개최된 세계경제포럼(World Economic Forum)에서는 제조와 정보통신기술을 융합해 경쟁력을 제고하는 4차 산업혁명이 화두가 되었다. 인공지능, Machine Learning, 로봇기술, 나노기술, 3D프린팅과 같은 분야에서의 발전이 비즈니스 뿐만 아니라 노동시장에 까지 광범위하게 영향을 미칠 것으로 예상되었기 때문이다(WEF, 2016). 세계경제포럼에 따르면, 향후 5년 동안 약 200만개의 새로운 일자리가 창출되고, 약 710만개의 일자리가 사라질 것으로 전망된다. 그리고 이에 따른 대량실업과 소득 불평등 심화 등은 사회 유지 자체를 위협할 것이라는 전망도 나오고 있다.

2016년 4월 인간을 대표한 이세돌이 구글의 알파고와의 바둑 대국에서 패한 사건은 사회 전반에 걸쳐 일자리 대체에 대한 우려와 함께 인공지능으로 대표되는 4차 산업혁명의 도래를 다시 한 번 생각하게 하는 계기가 되었다. 하지만 우리 사회의 담론은 4차 산업혁명의 일자리 충격에 대한 정밀한 분석과 예측 보다는 일자리에 대한 비관적 전망이 만연해 있다.

4차 산업혁명이라는 거스를 수 없는 새로운 패러다임이 시작되었지만, 우리의 사유체계와 가치관은 3차 산업의 시각에 멈추어 있다. 4차 산업혁명을 목도하는 현실에서 필요한 것은 새로운 시각을 바탕으로 한 철저한 분석과 명확한 정책적 대안일 것이다. 이를 위해 본 연구에서는 4차 산업혁명이 어떻게 거시경제적으로 영향을 미치며 일자리 변화를 촉진하는지를 규명하는 것이 우리 사회가 직면한 시급한 과제로 보고 연구를 진행한다.

2. 연구목적

본 연구는 4차 산업혁명으로 인한 일자리의 변화 양상을 거시경제적으로 분석함으로써 아직까지 우리 사회에 부족한 사회적 관심과 논의를 촉발하고, 정책적 제언을 제공한다. 이를 위해 연구목적을 세분화하여 제시하면 다음과 같다.

첫째, 거시경제분석모형을 통해 4차 산업혁명의 일자리 변화를 분석한다.

둘째, 4차 산업혁명의 일자리 변화에 대한 대응방안을 도출함으로써 실무계의 활용성이 높은 정책적 시사점을 제시한다.

제2절 연구내용 및 방법

1. 연구내용

본 연구는 4차 산업혁명에 따른 일자리 변화를 진단하고 대응방안을 모색하는 것을 주요 연구내용으로 한다. 연구범위는 시간적으로 2017년 3~8월까지로 하며, 우리나라 및 해외 선진국을 공간범위로 한다.

표 1-1 주요 연구내용



본 연구의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 4차 산업혁명의 개념과 미래를 분석하고, 제3장에서는 선행연구를 검토한다. 제4장에서는 동태 확률적 일반균형모형을 통해 일자리 충격효과를 분석하고, 제5장에서는 이를 바탕으로 정책 대안을 제시한다.

제2장에서는 4차 산업혁명의 개념과 변화 동인을 살펴보고, 미래사회와 산업변화 전망 등에 대한 분석을 시도한다.

제3장에서는 기존연구를 분석하여 그 한계를 살펴본다.

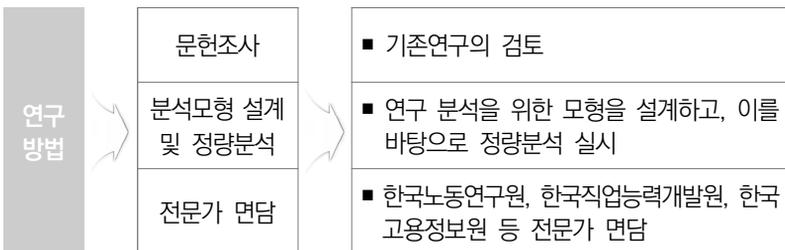
제4장에서는 4차 산업혁명의 일자리 충격을 전망하기 위해 새롭게 설계한 분석모형을 기반으로 정량분석을 실시한다.

마지막으로 제5장에서는 정부를 비롯한 실무계의 정책 활용성을 높이고, 4차 산업혁명시대에서의 일자리 정책 수립에 도움이 되는 실질적인 정책 제언을 도출한다.

2. 연구방법

본 연구는 문헌조사, 분석모형 설계 및 정량분석, 전문가 면담을 통해 수행된다.

표 1-2 연구방법



(1) 문헌조사

4차 산업혁명의 일자리 충격효과를 분석하는데 필요한 모형을 설계하기 위하여 관련 기존연구를 검토한다.

(2) 분석모형 설계 및 정량분석

4차 산업혁명이 일자리에 미치는 영향을 분석하기 위한 새로운 모형을 설계하고, 이를 바탕으로 정량분석을 실시한다.

(3) 전문가 면담

보다 체계적이고 과학적인 분석을 위해 한국노동연구원, 한국직업능력개발원, 한국고용정보원 등의 전문가로부터 조언을 구하고, 이를 연구보고서에 반영한다.

제4차 산업혁명의 일자리 충격
- 새로운 분석모형을 중심으로 -

제2장

제4차 산업혁명의 개념과 미래

제2장 제4차 산업혁명의 개념과 미래

제1절 제4차 산업혁명의 개념

‘4차 산업혁명’이란 키워드가 우리나라에서 본격적으로 언급되기 시작한 것은 2016년 세계경제포럼에서 주제로 다루어진 직후이다. 불과 1년 반 만에 4차 산업혁명은 대선의 주요공약이자 정부의 국정과제로 떠올랐다.

4차 산업혁명에 대해서는 여러 논쟁이 진행 중이다. 일단 표현의 적정성이다. 독일의 인터스트리 4.0, 미국의 디지털 트랜스포메이션 등 유사 개념이 있지만, 학계에서는 정의조차 제대로 내리지 못한 용어를 너무 쉽게 쓴다는 지적이 있다. 4차 산업혁명의 개념에 대한 다양한 의견이 있지만, 이를 종합하여 한마디로 정의하면 ‘4차 산업혁명 = 제조 + 알고리즘’으로 이해할 수 있다. 4차 산업혁명시대에서는 3차 산업혁명시대와 다르게 물건을 단지 제조하는 것에만 그치지 않고 빅데이터를 기반으로 한 알고리즘을 결합함으로써 완성품의 개념이 복합적으로 바뀌어지기 때문이다(예를 들면, 사물인터넷).

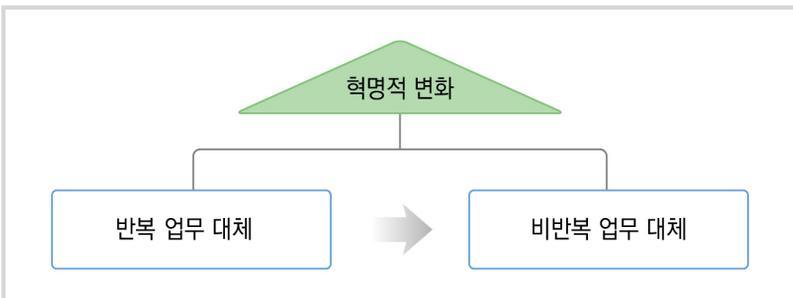
그림 2-1 4차 산업혁명의 개념 정의



* 자료 : 자체 분석

4차 산업혁명의 개념은 새로운 인식으로 접근해야 한다. 그동안 반복적 업무(Routine tasks)는 컴퓨터에 의해 대체될 수 있고 비반복적 업무(Nonroutine tasks)는 대체될 수 없다고 믿어왔다. 우리사회가 2016년 알파고의 진화에 놀란 것은 그동안 우리가 인식해왔던 인공지능의 한계를 넘어섰기 때문이다. 즉, 4차 산업혁명은 반복적 분야를 넘어서 비반복적 분야에서도 컴퓨터에 의해 대체될 수 있다는 것을 의미하며, 이점에서 새로운 혁명이라 볼 수 있는 것이다.

그림 2-2 4차 산업혁명에 의한 일자리 자동화 분야 변화



* 자료 : 자체 분석

4차 산업혁명이라는 용어는 상징적 기호이다. 다음의 <표 2-1>에서 보는 바와 같이 주요 국가들은 4차 산업혁명이라는 용어 대신 미래 산업화를 위한 목적에서 다양한 대응개념을 적용하여 추진하고 있다. 국가별로 쓰는 용어는 다르지만 인공지능, 빅데이터 등 신기술을 적극적으로 장려하고 이를 기존 산업과 융합해 경제·산업의 패러다임을 바꾼다는 목표에서 공통점이 있다. 중요한 것은 4차 산업혁명을 어떻게 정의하느냐 뿐만 아니라 어떻게 준비하고, 대응해야 하는지에 대한 심도 있는 정책개발일 것이다.

표 2-1 주요국가의 4차 산업혁명 대응 개념

구분	한국	미국	일본	독일	중국
명칭	4차 산업혁명	Digital Transformation	로봇新戰略	Industry 4.0	中國製造 2025
주요 내용	인공지능, 빅데이터, IoT 등 13개 선도 기술 중심	IoT, 인공지능, 머신러닝 등을 활용한 사업의 디지털화	로봇을 기반으로 한 신경제 창출	스마트공장, 인공지능, 로봇을 통한 제조업 부흥	노동 집약형 제조업을 기술집약적 스마트 제조업으로 전환

* 자료 : 하원규·최남희(2015) 내용 재구성

제2절 제4차 산업혁명의 미래전망과 일자리 패러다임 분석

1. 미래전망

4차 산업혁명은 우리사회에 어떤 영향을 미칠 것인가?

먼저, 산업부문의 변화가 나타날 것으로 전망된다. 4차 산업혁명이 산업구조 재편을 촉발할 것으로 예상됨에 따라 정부에서는 이에 대응하여 11대 신산업분야¹⁾를 규정하고 산업구조 고도화를 추진하고 있다.

다음으로 4차 산업혁명을 통해 산업변화와 함께 기존의 경제시스템을 변화시켜 노동구조에 미치는 영향도 클 것으로 예상된다. 인공지능의 진출 영역이 다변화되면서 일을 인공지능에 맡기고 인간은 비상시적으로 관리만 해도 되는 노동구조인 Gig economy²⁾, 플랫폼 노동³⁾ 등 다양한 형태로 변화될 것이다.

마지막으로는 본 연구에서 중점적으로 살펴볼 내용으로 일자리 변화에 대한 전망이다. 4차 산업혁명으로 인해 반복적 업무와 비반복적 육체 업무(Nonroutine manual tasks)가 인공지능 등 컴퓨터에 의해 대체됨으로써 줄어들 것으로 예상된다. 또한, 비반복적 인지 노동(Nonroutine cognitive labor)은 컴퓨터와 대체적 관계보다는 보완적 관계에 있기 때문에 늘어날

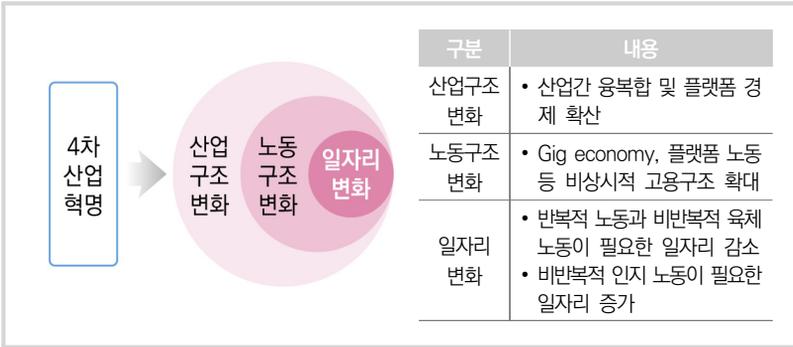
1) 11대 신산업은 자율주행차, 스마트 선박, IoT, 로봇, 바이오헬스, 드론, 프리미엄 소비재, 에너지, AR/VR, 차세대 디스플레이, 차세대 반도체이다(4차 산업혁명시대 신산업 창출을 위한 정책과제, 산업통상자원부, 2017).

2) Gig economy는 기업들이 필요에 따라 단기 계약직이나 임시직으로 인력을 총원하고 그 대가를 지불하는 형태의 경제를 의미한다(KB금융지주경제연구소, 2016).

3) 플랫폼 노동이란 시장의 기능을 하는 플랫폼에서 노동이 상품처럼 거래되는 형태를 의미한다(한국노동연구원, 2016).

것으로 예상된다.

그림 2-3 제4차 산업혁명의 미래전망과 일자리



* 자료 : 자체 분석

2. 일자리 패러다임 분석

1) 인간과 기계의 역할 변화

4차 산업혁명의 일자리 충격에 대한 전망은 이미 2016년 세계경제포럼에서 공론화된 바 있다. 세계경제포럼은 4차 산업혁명을 화두로 일자리 영향을 분석한 ‘일자리 미래’ 보고서를 발표했다. 보고서에 따르면, 향후 5년간 전 세계 고용의 65%를 차지하는 선진국 및 신흥시장 15개국에서 일자리 710만개가 사라지고, 210만개의 일자리가 창출되어 종합적으로 500만개의 일자리가 감소할 것으로 예상된다.

인공지능인 알파고가 우리나라의 이세돌을 이기고, 2017년에는 세계 최고라는 중국의 커제까지 꺾으면서 인간의 일자리가 자칫 로봇에 의해 대체

되지 않는지에 대한 우려가 제기되고 있다. 2017년 4월 27일 한국언론진흥재단 미디어연구센터가 발표한 설문조사 결과에 따르면, 응답자의 89.9%가 '4차 산업혁명으로 전체적인 일자리가 줄어들 것'이란 항목에 동의했다.

이 같은 우려는 얼마나 사실에 근거한 것일까? 인간에 의해 이루어지는 업무의 자동화로 특정한 생산 영역에서 생산성이 향상될 것임은 일견 사실이다. 그리고 그 이면에 일자리 감소라는 요인은 분명 존재하고 있다. 이런 변화는 특히 정교하지 않은 동작을 반복적으로 수행하는 직업군에서 빠르게 일어날 것으로 전망된다. 반복적인 업무는 자동화하여 쉽게 대체할 수 있기 때문이다.

4차 산업혁명이 고용에 미치는 영향을 생각할 때 두 가지 점에 유의할 필요가 있다. 첫 번째는 로봇이 인간이 수행하는 업무를 대체하여 일자리가 감소하는 측면만 있는 것이 아니라 로봇이 할 수 없는 영역을 인간이 보완함으로써 새로운 일자리가 증가하는 측면도 있다는 것이다.

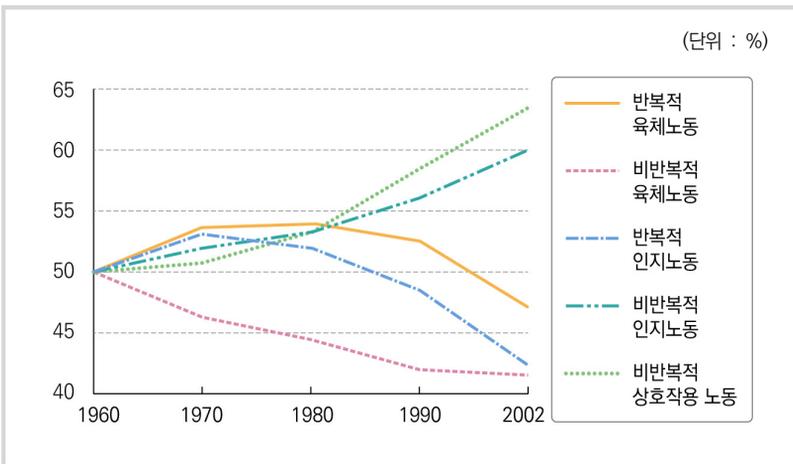
두 번째는 창의성이나 판단력 등 인간 고유의 역량이 중요하게 작용하는 분야에서 인간의 노동수요가 증가할 수 있다는 점이다. 이와 관련한 구체적인 논의는 후술하기로 한다.

2) 비반복적 인지 업무의 증가와 역량의 변화

대량생산과 분업을 특징으로 하는 3차 산업혁명시대에는 반복적인 육체노동, 매뉴얼 학습을 통한 인지적 기술을 요구하는 직업이 대부분이었다. 그러나 4차 산업혁명사회로 들어서면서 대부분의 일자리는 비반복적이고, 협업을 요구하는 형태로 바뀌고 있다. Levy and Murnane(2004)의 연구에 의하면, 매뉴얼 기반의 반복적 업무는 급속도로 축소되고, 비반복적인

업무가 점차 확대되고 있다. 즉, 틀에 박힌 정형화된 노동과 단순한 인지적 기술을 요구하는 업무는 감소하고 있으며, 비반복적인 분석기술과 대인관계(In-person) 기술을 요구하는 업무가 증가하는 방향으로 노동시장이 변화되고 있다.

그림 2-4 미국의 유형별 노동 비중 변화



* 자료 : Levy and Murnane(2004)

제4차 산업혁명의 일자리 충격
- 새로운 분석모형을 중심으로 -

제3장

주요 선행연구 분석

제3장 주요 선행연구 분석

제1절 주요 선행연구

본 절에서는 제4차 산업혁명에 의한 일자리 변화 관련 선행연구를 살펴보고자 한다.

1. Autor et al.(2003)

Autor et al.(2003)는 정형편향적 기술진보(Routine-biased technological change, RBTC) 가설을 제시하면서 반복적인 업무를 수행하는 직종에서 기술진보에 의한 자동화, 즉 직업대체 가능성이 높다는 것을 실증연구를 통해 밝혔다. 이 가설은 생산기술의 진보가 정형화된 업무, 즉 반복적이고 절차적이며, 사전에 규정된 방식에 따라 수행되는 업무를 자본재로 대체하는 방향으로 이루어진다고 보는 입장을 취하고 있다. 즉, 루틴화 가설(Routinization hypothesis)을 통해 기술진보로 인해 발생하는 인간 노동력의 대체는 사전 프로그래밍이 가능한 직종 위주로 나타나게 된다고 분석하였다. 이 경우 루틴화가 가능한 직종의 고용비중은 점차 줄어드는 반면, 비반복적인 업무를 수행하면서 컴퓨터와 보완성을 갖는 직종의 경우에는 고용비중이 높아지는 양상이 나타난다고 주장하였다.

〈표 3-1〉은 Autor et al.(2003)가 RBTC 가설을 증명하기 위해 개념적으로 상정한 직무유형 매트릭스이다. 직무를 루틴화 수준에 따라 반복적 업무와 비반복적 업무로 구분하고, 이를 다시 인지적 업무(분석적이고 상호작용이 필요한 업무)와 육체적 업무로 나누었다.

표 3-1 Autor et al.(2003)의 직무유형 분류

구분	반복적 업무	비반복적 업무
인지적 업무 (분석적이고 상호작용이 필요한 업무)	<ul style="list-style-type: none"> 기록보존 계산 반복적인 고객 서비스 (예, 은행원) 	<ul style="list-style-type: none"> 가설 수립 및 검증 의료 진단 법문서 작성 설득 및 판매 경영 또는 관리
육체적 업무	<ul style="list-style-type: none"> 고르기 또는 분류하기 반복적인 조립 	<ul style="list-style-type: none"> 수위 업무 트럭 운전

* 자료 : Autor et al.(2003)

2. Frey and Osborne(2013, 2017)

Frey and Osborne(2013, 2017)은 급속하게 이루어지고 있는 기술진보 상황을 반영하여 미국 내 702개 직종에 대해 컴퓨터에 의한 대체 확률을 추정하였다. 또한, 이를 바탕으로 미국의 직업 중 47%가 자동화될 수 있는 고위험군에 해당됨을 밝혔다. Frey and Osborne(2013, 2017)의 연구는 기술진보에 따라 그동안 루틴화가 어렵다고 간주되어 왔던 비반복적 업무 까지도 자동화되어 대체될 수 있다고 분석한 점이 큰 특징이다. 즉, 이들은 다른 기존연구(예를 들면, Autor and Dorn, 2013)와 달리 반복적 업무뿐만 아니라 사람을 상대하는 비반복적 육체 업무(예를 들면, 간병인)도 이제 대체될 수 있다고 주장하였다. 이러한 주장을 바탕으로 이들은 임금과

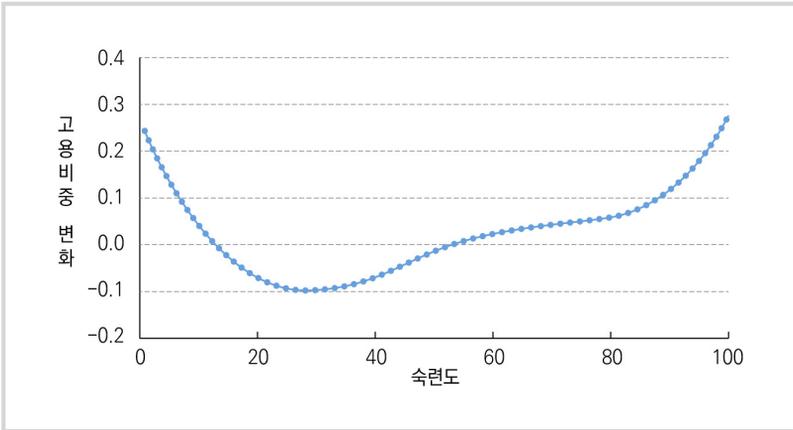
교육수준이 가장 낮은 비반복적 육체 업무가 자동화될 가능성이 가장 높은 반면, 임금과 교육수준이 가장 높은 비반복적 인지 업무는 자동화될 가능성이 가장 낮다고 분석하였다.

3. Autor and Dorn(2013)

Autor and Dorn(2013) 연구의 가장 큰 특징은 <그림 3-1>과 같이 반복적 노동(중위 숙련노동)은 비중이 줄고, 비반복적 육체 노동(하위 숙련노동)과 비반복적 인지 노동(상위 숙련노동)은 비중이 늘어나는 U자형 변화가 나타난다는 것을 분석하였다는 것이다. 반복적 노동(중위 숙련노동)은 컴퓨터에 의해 대체되어 비중이 줄어든다. 그러나 이들은 대인 서비스와 같은 비반복적 육체 노동(하위 숙련노동)이 필요한 직업으로 이동한다. 따라서 비반복적 육체 노동(하위 숙련노동)의 비중은 늘어난다. 또한, 비반복적 인지 노동(상위 숙련노동)은 컴퓨터와 대체적 관계보다는 보완적 관계에 있기 때문에 늘어난다.

Autor and Dorn(2013)의 연구는 Autor et al.(2003) 연구의 한계를 극복하였다는 것에 큰 의의가 있다. Autor et al.(2003)의 연구는 반복적 노동 비중이 줄고, 비반복적 육체 및 인지 노동 비중이 늘어나는 선진국의 고용변화를 설명하지 못하였다. Autor and Dorn(2013)의 연구는 비반복적 육체 노동은 자동화될 수 없다는 가정 하에 이러한 한계를 극복하였다.

그림 3-1 미국 일자리의 숙련도별 고용비중 변화(1980-2005)



* 자료 : Autor and Dorn(2013)

4. Arntz et al.(2016)

Arntz et al.(2016)의 연구는 직업(Occupation)이 아니라 보다 세부적인 과업(Task)을 기준으로 OECD 국가들에 대한 일자리의 자동화 가능성을 추정한 것으로, Frey and Osborne(2013, 2017) 연구의 한계를 보완하였다. Frey and Osborne(2013, 2017)의 연구는 동일 직업 내 과업(반복, 비반복)의 이질성을 통제하지 못하였다. 따라서 Frey and Osborne(2013, 2017)의 연구는 직업의 자동화 가능성을 과대 추정하는 문제점을 가지고 있다. 즉, Frey and Osborne(2013, 2017)의 연구는 컴퓨터에 의해 대체될 가능성이 높은 미국의 고위험군 일자리 비중을 47%라고 추정하였으나, Arntz et al.(2016)의 연구에 의하면, 그 비중은 9%로 축소된다. 이렇게 동일 직업 내 과업의 이질성을 통제한 Arntz et al.(2016)의 연구는 컴퓨터에 의해 대체될 우리나라의 일자리 비중을 6%로 추정하였다.

5. 김세움(2015)

김세움(2015)의 연구는 Frey and Osborne(2013, 2017)의 연구에서 나온 직업별 대체확률이 우리나라의 경우에도 동일할 것이라는 가정을 바탕으로 우리나라의 직업별 자동화 가능성을 산출하였다. 그 결과, 우리나라 전체 일자리의 55~57%가 컴퓨터에 의해 대체될 확률이 높은 고위험군으로 분석되었다.

6. 박가열(2016)

박가열(2016)의 연구는 각 직업별 업무수행능력에 대해 현직 종사자들을 대상으로 설문조사한 다음, 이를 바탕으로 전문가들이 각각 기술에 의해 대체될 가능성을 응답하고, 이를 비교하여 각 직업 세부분류별 업무능력대체비율을 도출한 것이다. 이에 따르면, 2020년에는 1/3 이상의 취업자가, 2025년에는 2/3 이상의 취업자가 대체될 가능성이 높은 고위험군에 속한다.

제2절 선행연구의 한계

앞에서 살펴본 선행연구는 다음과 같은 문제점을 가지고 있다.

첫째, Autor et al.(2003)의 연구는 반복적 노동 비중이 줄고, 비반복적 육체 및 인지 노동 비중이 늘어나는 선진국의 고용변화를 설명하지 못하였다.

둘째, Frey and Osborne(2013, 2017)의 연구는 컴퓨터가 대체하기 어려운 기술수준을 해당직업이 얼마나 보유하고 있는지 여부만을 판단기준으로 하여 직업의 자동화 가능성을 분석하였는데, 이는 부분균형적 관점이다. 노동비용과 자동화비용의 상대변화 등을 같이 고려하는 일반균형적 관점이 필요하다. 또한, 이 연구는 동일 직업 내 과업의 이질성을 통제하지 못하여 직업의 대체확률을 과대추정하는 문제점도 가지고 있다.

셋째, Autor and Dorn(2013)의 연구는 고용에 대한 제4차 산업혁명의 특성을 반영하지 못하였다. 즉, 컴퓨터에 의해 대체될 수 있는 영역을 반복적 노동이 필요한 직업으로 한정하였다. Frey and Osborne(2013, 2017)이 지적하는 것과 같이 제4차 산업혁명에서는 비반복적 노동이 필요한 직업, 특히 비반복적 육체 노동이 필요한 직업도 컴퓨터에 의해 대체될 수 있다.

넷째, Arntz et al.(2016)의 연구도 Frey and Osborne(2013, 2017) 연구의 한계점인 동일 직업 내 이질성만을 추가적으로 통제한 것이기 때문에 기술수준에만 의존하여 컴퓨터에 의한 대체확률을 분석하는 부분균형적 관점을 내재하고 있다.

다섯째, 김세움(2015)의 연구는 Frey and Osborne(2013, 2017)의 연구에서 추정된 일자리의 자동화 가능성을 우리나라의 직업분류에 매칭시켜서 분석한 것이기 때문에 Frey and Osborne(2013, 2017) 연구의 문제점을 그대로 내포하고 있다.

여섯째, 박가열(2016)의 연구는 전문가 설문조사에 의존한 분석이기 때문에 이론적 배경이 부족하다는 문제점을 가지고 있다.

제3절 종합분석

앞에서 살펴본 선행연구를 종합하면, <표 3-2>와 같다. 이를 바탕으로 제4차 산업혁명의 일자리 변화 관련 기존연구는 크게 Autor and Dorn(2013)의 연구와 Frey and Osborne(2013, 2017)의 연구로 요약될 수 있다. 전자는 컴퓨터에 의해 대체될 수 있는 영역을 반복적 노동으로 한정하면서 노동비용과 자동화비용을 같이 고려하는 일반균형적 접근을 하고 있지만, 후자는 그 영역을 비반복적 노동으로 확대하면서 기술수준에만 의존하여 일자리의 자동화 가능성을 분석하는 부분균형적 접근을 하고 있다. 빅데이터와 센서링 기술능력이 크게 향상되어 ‘Machine Learning’ 기술이 광범위하게 적용되는 제4차 산업혁명시대에서는 컴퓨터에 의해 자동화될 수 있는 영역을 비반복적 노동으로 확대하는 것이 타당하고, 또한 보다 종합적인 일반균형적 접근이 요구된다.

표 3-2 주요 선행연구

구분	주요내용	한계
Autor et al.(2003)	<ul style="list-style-type: none"> 반복적인 노동은 컴퓨터에 의해 대체되어 감소되고, 비반복적인 노동은 컴퓨터와 상호보완적으로 증가한다는 것을 실증분석함 직종을 반복, 비반복, 육체, 인지의 영역으로 분류함 	<ul style="list-style-type: none"> 반복적 노동 비중이 줄고, 비반복적 육체 및 인지 노동 비중이 늘어나는 U자형 특성 반영 제한
Frey and Osborne (2013, 2017)	<ul style="list-style-type: none"> 직업에 대한 컴퓨터 대체 확률 추정 미국의 직업 중 47%가 자동화될 수 있는 고위험군에 해당됨을 밝힘 비반복적 업무까지도 자동화될 수 있다고 분석 임금과 교육수준이 낮을수록 자동화에 의한 대체확률 높음 	<ul style="list-style-type: none"> 기술수준에만 의존하여 대체확률 분석(부분균형)
Autor and Dorn (2013)	<ul style="list-style-type: none"> 반복적 노동은 비중이 줄고, 비반복적 육체 노동과 비반복적 인지 노동은 비중이 늘어나는 U자형 변화가 나타나는 것을 분석 비반복적 업무(비반복적 육체 업무)는 자동화될 수 없다고 분석 일자리와 컴퓨터 간의 대체성을 일반균형모형으로 발전시킴 	<ul style="list-style-type: none"> 고용에 대한 제4차 산업혁명의 특성을 미반영
Arntz et al. (2016)	<ul style="list-style-type: none"> 과업을 기준으로 대체가능성을 분석하여 OECD 국가의 자동화 가능성을 추정한 연구(한국의 경우 6%) Frey and Osborne(2013, 2017) 연구의 한계인 동일 직업 내 과업(반복, 비반복)의 이질성을 통제하여 보다 정밀한 분석을 실시 	<ul style="list-style-type: none"> 기술수준에만 의존하여 대체확률 분석(부분균형)
김세움 (2015)	<ul style="list-style-type: none"> Frey and Osborne(2013, 2017)의 연구에서 추정된 일자리의 자동화 가능성을 우리나라의 직업분류에 매칭시켜 분석 우리나라 전체 일자리의 55~57%가 컴퓨터에 의해 대체될 확률이 높은 고위험군으로 분석 	<ul style="list-style-type: none"> Frey and Osborne(2013, 2017) 연구의 한계를 극복하지 못함
박가열 (2016)	<ul style="list-style-type: none"> 전문가 설문조사를 통해 획득된 컴퓨터에 의한 대체가능성을 비교하여 업무능력대체비율 산출 	<ul style="list-style-type: none"> 전문가 설문조사에 의존하여 이론적 배경이 부족함

제4차 산업혁명의 일자리 충격
- 새로운 분석모형을 중심으로 -

제4장

제4차 산업혁명의 일자리 충격효과 분석

제4장 제4차 산업혁명의 일자리 충격효과 분석

제1절 분석모형 설계4)

본 연구의 분석모형은 Autor and Dorn(2013)의 모형을 확장한 동태 확률적 일반균형모형(Dynamic Stochastic General Equilibrium Model)이다. Autor and Dorn(2013)의 모형은 Frey and Osborne(2017)의 연구에서 지적하는 것과 같이 고용에 대한 제4차 산업혁명의 특성이 반영되어 있지 않다.⁵⁾ 즉, 비반복적 육체 직업은 컴퓨터자본에 의해 대체되지 않는다.⁶⁾ 따라서 본 연구는 Autor and Dorn(2013)의 모형을 확장하여 비반복적 육체 직업이 컴퓨터자본에 의해 대체되도록 설계한다. 또한, Autor and Dorn(2013)의 연구는 컴퓨터자본 생산기술을 시간에 따라 일정비율로 증가하는 것으로 가정함으로써 비정상적(Non-stationary)인 모형을 채택한 반면, 본 연구는 컴퓨터자본 생산기술이 확률변수이면서 수렴하는 정상적(Stationary) 모형을 선정하였다. 뿐만 아니라, Autor and

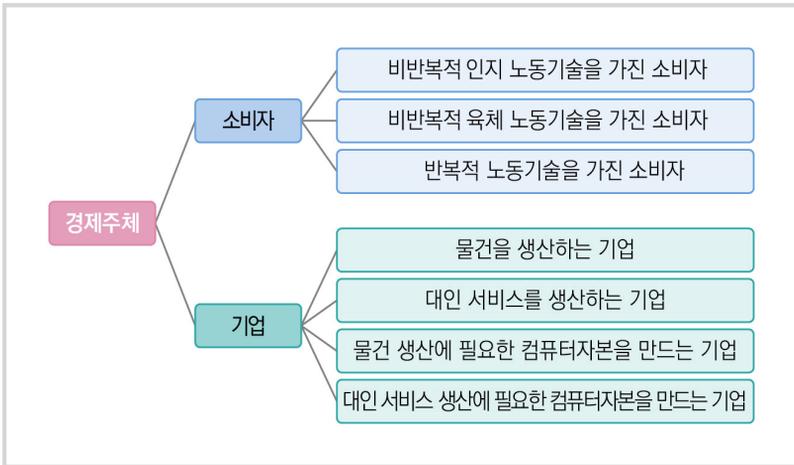
4) 세부적인 모형의 환경 및 균형에 대해서는 부록을 참조한다.

5) 고상원 등 6명(2017)의 연구에 따르면, 우리나라의 경우에도 Autor and Dorn(2013)의 연구(미국의 경우)와 같이 중위 숙련노동자가 줄지만, 하위와 상위 숙련노동자가 늘어나는 'U'자형 고용 변화 현상이 최근까지의 특징으로 나타난다. 따라서 우리나라에 대한 제4차 산업혁명의 일자리 충격효과 분석에 있어서 Autor and Dorn(2013)의 모형을 기본으로 제4차 산업혁명의 특성을 반영하도록 분석모형을 발전시키는 것은 타당하다.

6) 본 연구에서 컴퓨터자본은 반복적 노동 서비스 또는 비반복적 육체 노동 서비스를 제공하는 컴퓨터와 컴퓨터 제어 장비를 의미한다.

Dorn(2013)의 모형은 점근적 접근(Asymptotic Approach)을 통해 개념적 의미를 도출하는데 그친 반면, 본 연구는 동태 확률적 일반균형모형을 바탕으로 보정(Calibration)을 실시한다.

그림 4-1 모형의 틀



* 자료 : 자체 분석

〈그림 4-1〉은 분석모형이 어떻게 구성되었는지에 대한 전체적인 설명을 해준다. 분석모형의 경제주체는 소비자와 기업으로 나누어진다. 소비자는 세 가지의 유형으로 나누어진다. 첫 번째 유형은 비반복적 인지 노동기술을 가진 소비자로 신제품을 개발하는데 필요한 소프트웨어를 디자인할 수 있는 능력을 가진 엔지니어를 예로 들 수 있다. 두 번째 유형은 비반복적 육체 노동기술을 가진 소비자로서 손님을 직접 상대하는 음식점 종업원을 예로 들 수 있다. 세 번째 유형은 반복적 노동기술을 가진 소비자로서 공장에서 부품을 조립하는 종사자를 예로 들 수 있다. 기업은 네 가지의 유형으로 나누어진다. 즉, 물건을 생산하는 기업, 대인 서비스를 생산하는 기업, 물

건 생산에 필요한 컴퓨터자본을 만드는 기업, 대인 서비스 생산에 필요한 컴퓨터자본을 만드는 기업으로 나누어진다.⁷⁾

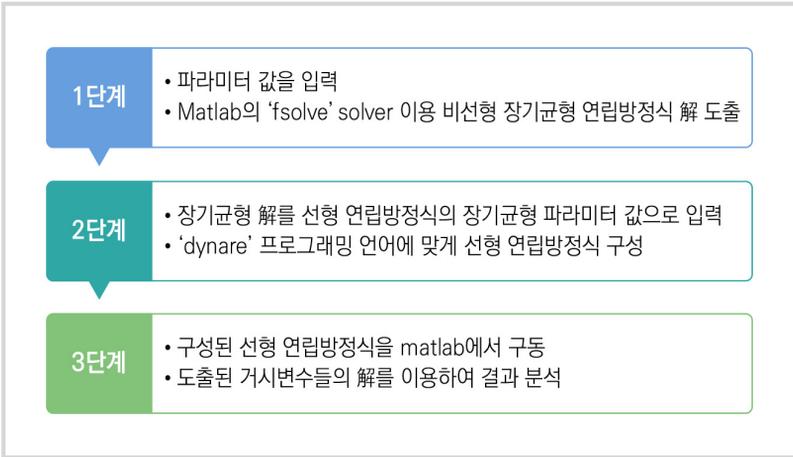
제2절 정량분석 절차 및 파라미터 값

1. 정량분석 절차

여기에서는 앞에서 도출한 분석모형을 활용하여 보정(Calibration)을 실시하려고 한다. 그 절차는 <그림 4-2>와 같이 3단계로 나누어진다. 1단계에서는 먼저, 앞에서 살펴본 제약조건, 1계 조건, 시장 청산 조건에 파라미터 값을 입력한다. 그 다음 모형의 장기균형조건들을 도출한 후 Matlab의 'fsolve' solver를 이용하여 解를 구한다. 2단계에서는 우선 1단계에서 도출된 장기균형 解를 로그 선형화된 연립방정식의 장기균형 파라미터 값으로 입력한다. 그 다음 'dynare' 프로그래밍 언어에 맞게 로그 선형화된 연립방정식을 구성하여 Matlab에 입력한다. 3단계에서는 구성된 선형 연립방정식을 Matlab에서 구동시켜 거시변수들의 解를 도출한다. 도출된 결과를 이용하여 제4차 산업혁명의 일자리 충격을 분석한다.

7) 여기서, 물건은 Autor and Dorn(2013)의 연구와 같이 대인 서비스를 제외한 모든 것으로 제조업 제품뿐만 아니라 금융과 같은 고급 서비스도 포함된다.

그림 4-2 보정(Calibration) 절차



* 자료 : 자체 분석

2. 파라미터 값

정량분석을 위한 파라미터 값은 <표 4-1>과 같이 설정하였다. 비반복적 인지 노동의 기여도 γ 와 반복적 총노동의 기여도 α 는 한국은행의 노동소득분배율을 이용하여 도출하였다. 한국은행의 2015년도 자료에 따르면, 노동소득분배율은 $0.635(\text{피용자보수} \div [\text{피용자보수} + \text{영업이익}])$ 이다.⁸⁾ 노동소득분배율 중에서 비반복적 인지 노동과 반복적 총노동이 차지하는 비율은 관측할 수 없기 때문에 확률적으로 각각 50%를 적용하여 비반복적 인지 노동의 기여도 γ 와 반복적 총노동의 기여도 α 는 각각 $0.3175(0.635 \times 0.5)$ 를 적용하였다. 반복적 노동과 물건 생

8) 정량분석에 사용되는 파라미터 값의 기준연도는 자료의 가용성을 고려하여 2015년으로 선정하였다.

산용 컴퓨터자본 간의 대체탄력성 관련 파라미터 ρ 와 비반복적 육체 노동과 대인 서비스 생산용 컴퓨터자본 간의 대체탄력성 관련 파라미터 η 는 Autor and Dorn(2013)의 모형을 따라 설정하였다. 이에 따르면, 반복적 노동과 물건 생산용 컴퓨터자본 간의 대체탄력성 $\omega = 1/(1-\rho)$ 가 대인 서비스를 생산하는데 필요한 비반복적 육체 노동과 대인 서비스 생산용 컴퓨터자본 간의 대체탄력성 $\phi = 1/(1-\eta)$ 보다 더 작아야한다. 따라서 전자와 후자를 각각 3($\rho=2/3$), 5($\eta=4/5$)로 설정한 뒤, 민감도 분석을 통해 주요 결과가 얼마나 민감하게 반응하는지 살펴보도록 하였다. 컴퓨터자본 생산기술 AR(1) 계수 ϕ , 노동공급 파라미터 ψ 의 값은 각각 Hansen(1985)과 Chari et al.(2000)의 연구에서 사용된 0.95, 1.25를 적용하였다. 소비의 기간 간 대체탄력성 파라미터 σ 에 대한 값은 Hansen(1985)의 연구에서 사용된 1에 근접한 0.99를 사용하였다. 연 감가상각률 δ 는 김명규·김성태(2010)의 연구에서 활용된 0.04 값을 적용하였다. 시간에 대한 할인계수 β 에 대한 값은 World Development Indicators로부터 획득된 2015년 실질이자율을 활용하여 $0.987(1 \div [1+\text{실질이자율}])$ 로 설정하였다. 확률오차항의 표준편차 θ 에 대한 값은 Arntz et al.(2016)의 연구를 활용하여 선정하였다. Arntz et al.(2016)의 연구에 따르면, 10년 또는 20년 내 컴퓨터자본에 의해 대체될 총노동의 비중은 6%이다. 이는 통계청의 2015년도 총노동자수 26,317,000명 중 1,579,020명에 해당된다. 본 연구의 분석모형에서 20년 내 컴퓨터자본에 의해서 대체될 총노동자수를 여기에 최대한 맞추면 (1,579,037명), 확률오차항의 표준편차 θ 의 값은 약 4.13이다. 반복적 노동의 비중 α , 비반복적 육체 노동의 비중 τ , 컴퓨터자본 생산요소 파라미터 ν , 물건소비의 기여도 μ 에 대한 관측 자료가 없기 때문에 확률적으로 각각 50%를 적용하였다. 이들에 대해서도 추후 민감도 분

석을 실시하여 주요 결과가 얼마나 민감하게 반응하는지 살펴보고록 하겠다.

표 4-1 파라미터 값

기호	정 의	파라미터 값
γ	비반복적 인지 노동의 기여도	0.3175
χ	반복적 총노동의 기여도	0.3175
ρ	반복적 노동과 물건 생산용 컴퓨터자본 간의 대체탄력성 관련 파라미터	2/3
η	비반복적 육체 노동과 대인 서비스 생산용 컴퓨터자본 간의 대체탄력성 관련 파라미터	4/5
α	반복적 노동의 비중	0.5
τ	비반복적 육체 노동의 비중	0.5
ν	컴퓨터자본 생산요소 파라미터	0.5
ϕ	컴퓨터자본 생산기술 AR(1) 개수	0.95
δ	감가상각률	0.04
μ	물건 소비의 기여도	0.5
σ	소비의 기간 간 대체탄력성 파라미터	0.99
ψ	노동공급 파라미터	1.25
β	시간에 대한 할인계수	0.987
θ	확률오차항의 표준편차	4.13

제3절 정량분석 결과

1. 거시변수 변화

〈그림 4-3〉은 외생적 충격에 의해 컴퓨터자본 생산기술이 약 4.13% 상승할 경우 거시변수들이 어떻게 변화하는지를 보여준다. 노동이 컴퓨터자본에 의해 어느 정도 대체될 것인지를 분석한 핵심문헌인 Frey and Osborne(2013, 2017)과 Arntz et al.(2016)의 연구에서 고려된 최대기간은 20년이기 때문에 충격반응함수(Impulse response function)의 지속기간도 20년으로 설정하였다. 각 변수들은 컴퓨터자본 생산기술의 외생적 충격에 의해 증가 또는 감소한 후 장기균형상태(Steady state)로 수렴한다. 따라서 이후 분석은 각 변수의 최초 반응에 초점을 맞춘다. 컴퓨터자본 생산기술이 약 4.13% 상승하면 물건 생산용 컴퓨터자본 가격과 대인 서비스 생산용 컴퓨터자본 가격이 각각 2.74%, 3.33% 감소한다. 컴퓨터자본 가격이 하락하면, 물건 생산용 컴퓨터자본 수요량과 대인 서비스 생산용 컴퓨터자본 수요량이 각각 5.52%, 4.92% 증가한다. 물건 생산용 컴퓨터자본 수요량이 증가하면 대체 관계에 있는 반복적 노동 수요량이 0.24% 감소하고, 대인 서비스 생산용 컴퓨터자본 수요량이 증가하면 대체 관계에 있는 비반복적 육체 노동 수요량이 1.42% 감소한다. 즉, 〈그림 4-4〉와 같이 물건 생산용 컴퓨터자본 수요량과 반복적 노동 수요량, 대인 서비스 생산용 컴퓨터자본 수요량과 비반복적 육체 노동 수요량은 각각 반비례한다. 여기서 주목할 것은 물건 생산용 컴퓨터자본 수요량이 증가한 만큼 반복적 노동 수요량이 감소하지 않았다는 것이다. 이는 물건 생산용 컴퓨터자본 수요량과 반복적 노동 수요량이 완전대체의 관계에 있지 않기 때문이다. 결과적으로 반복적 총노동 수요량은 증가하게 된다. 비반복적 인지 노

동 수요량, 반복적 총노동 수요량, 일반자본 수요량은 Cobb-Douglas 합수형태를 취하기 때문에 상호 간의 대체탄력성은 '1'이다. 즉, 비반복적 인지 노동 수요량, 반복적 총노동 수요량, 일반자본 수요량은 상호 대체적이기 보다 상호 보완적이다. 따라서 <그림 4-5>와 같이 반복적 총노동 수요량이 증가함에 따라 비반복적 인지 노동 수요량과 일반자본 수요량이 증가한다. 전자는 0.59% 증가하는 반면, 후자는 최초 반응하지 않다가 시간이 흐름에 따라 서서히 증가한다. 일반자본 수요량이 이와 같이 반응하는 이유는 현재의 일반자본량은 과거에 결정되었기 때문이다. 비반복적 인지 노동 수요량, 반복적 총노동 수요량, 일반자본 수요량이 증가하기 때문에 물건 생산량이 1.17% 증가한다. 마찬가지로, 대인 서비스 생산용 컴퓨터자본 수요량이 증가하여 대체 관계에 있는 비반복적 육체 노동 수요량이 감소하였지만, 완전대체 관계에 있지 않기 때문에 대인 서비스 생산량은 2.42% 증가한다. 반복적 노동 수요와 비반복적 육체 노동 수요가 줄면 해당 단위 임금이 각각 0.82%, 2.66% 감소하고, 비반복적 인지 노동 수요가 늘면 해당 단위임금이 0.58% 증가한다.⁹⁾ 또한, 일반자본 수요가 늘면 일반자본 가격이 1.17% 증가한다.

물건에 대한 수요함수 형태는 모든 유형의 소비자에 동일하다. 따라서 소비자별 물건 소비량의 이질성에 영향을 미치는 중요한 요소는 유형별 노동 수요량이다. 특히나 물건가격을 '1'로 표준화하였기 때문에 소비자별 물건 소비량의 증감 패턴도 유형별 노동 수요량에 의해 결정된다. 즉, 반복적 노동 수요량과 비반복적 육체 노동 수요량이 감소함에 따라 반복적 노동기술을 가진 소비자의 물건 소비량과 비반복적 육체 노동기술을 가진 소비자의 물건 소비량도 각각 0.51%, 0.88% 감소하는 반면, 비반복적 인지 노동

9) 비반복적 육체 노동, 반복적 노동, 비반복적 인지 노동이 각각 하위, 중위, 상위 숙련노동임을 고려할 때, 유형별 단위임금의 이러한 변화는 유형별 노동자 간 임금격차를 확대시킨다.

기술을 가진 소비자의 물건 소비량은 비반복적 인지 노동 수요량의 증가패턴을 따라 초기에는 약간 감소하지만 증가추세를 보인다. 따라서 세 가지 유형을 통합한 물건 소비량은 최초 0.41% 감소하였다가 서서히 회복되어 13년부터는 증가추세를 보인다. 유형별 소비자의 대인 서비스 소비량은 대인 서비스 가격에 의해 크게 영향을 받는다. 대인 서비스 생산량이 증가하였기 때문에 대인 서비스 가격은 2.84% 떨어진다. 대인 서비스 가격이 감소하면, 유형별 소비자의 대인 서비스 소비량은 증가한다. 즉, 반복적 노동 기술을 가진 소비자의 대인 서비스 소비량은 2.33% 증가하고, 비반복적 육체 노동기술을 가진 소비자의 대인 서비스 소비량은 1.96% 증가하며, 비반복적 인지 노동기술을 가진 소비자의 대인 서비스 소비량은 2.69% 증가한다. 유형별 소비자의 대인 서비스 소비량 패턴에도 유형별 노동 수요량의 패턴이 반영되어 비반복적 육체 노동기술을 가진 소비자의 대인 서비스 소비량 증가폭이 가장 작고 비반복적 인지 노동기술을 가진 소비자의 대인 서비스 소비량 증가폭이 가장 크다. 따라서 세 가지 유형을 통합한 대인 서비스 소비량은 2.42% 증가한다.

이상의 결과를 바탕으로 경제 전체에 대한 거시변수 변화를 살펴보면 다음과 같다. 물건 생산량과 대인 서비스 생산량을 결합한 총생산량은 1.52% 증가하고, 물건 소비량과 대인 서비스 소비량을 결합한 총소비량은 1.09% 증가한다. 총생산량과 총소비량의 증가와 함께 총투자량도 1.45% 증가한다. 반복적 노동 수요량, 비반복적 육체 노동 수요량, 비반복적 인지 노동 수요량을 결합한 총노동 수요량은 0.34% 감소한다. 여기서 주목할 것은 총생산량은 늘어나는데 총노동 수요량은 줄어들게 되는 ‘고용 없는 성장’이 촉발된다는 것이다. 이러한 결과는 기존의 주장과 일치되는 것이다(예를 들면, Brynjolfsson and McAfee, 2011).

그림 4-3 컴퓨터자본 생산기술 향상에 따른 거시변수 변화

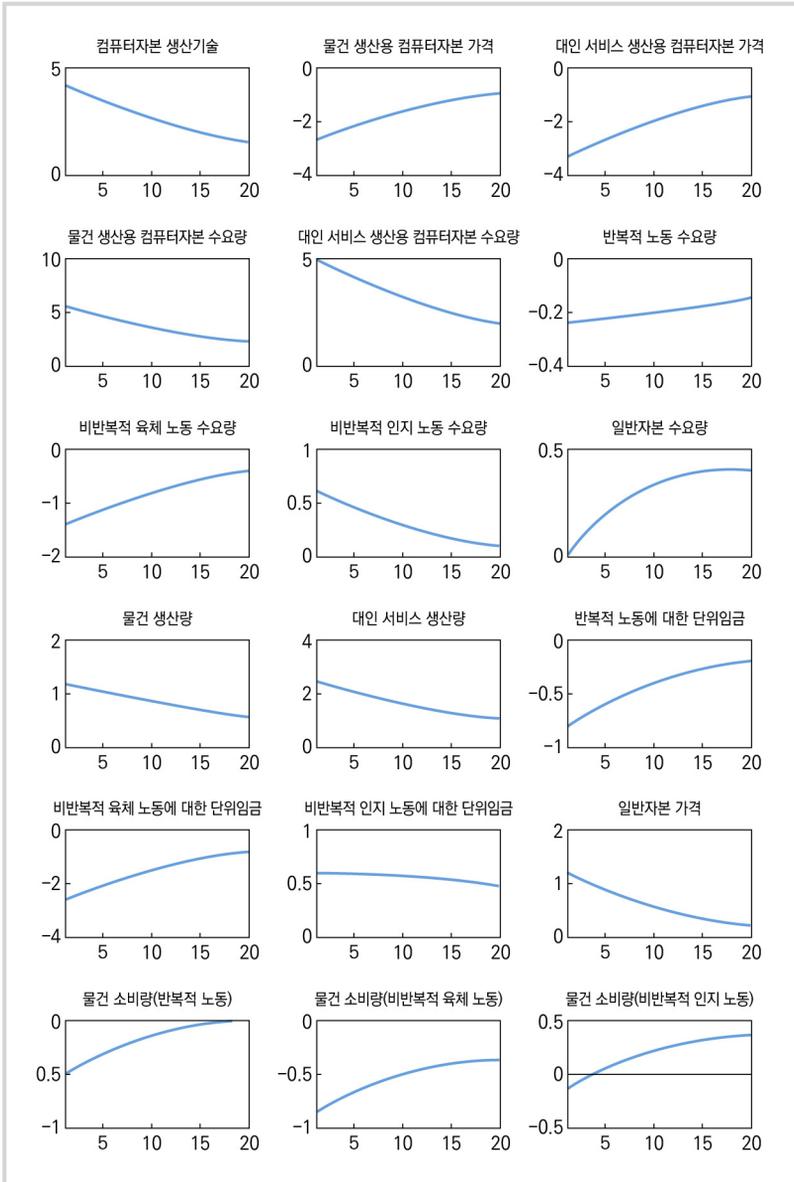
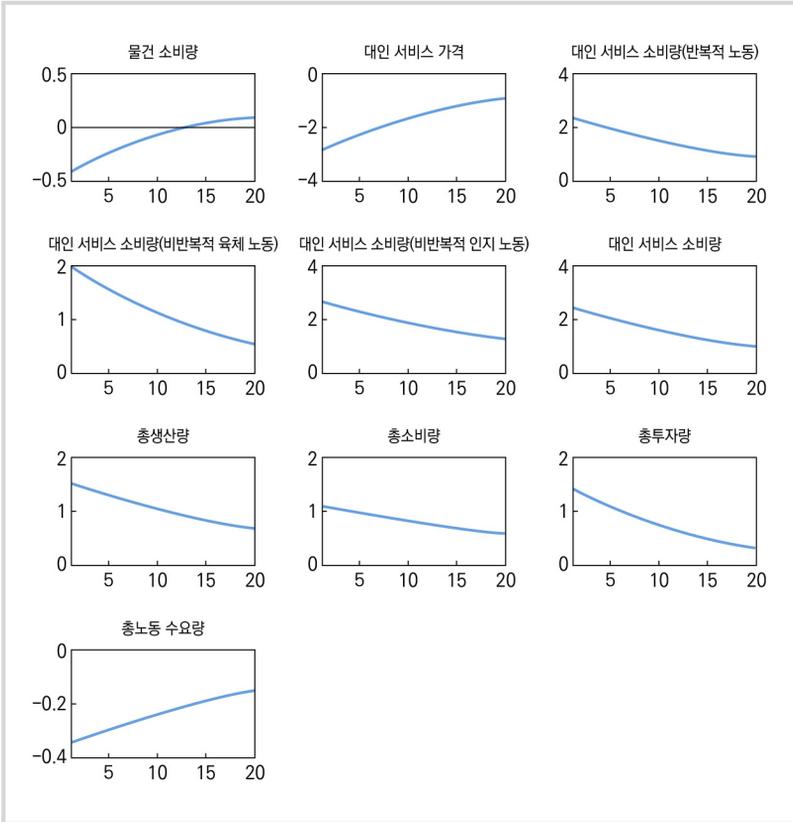
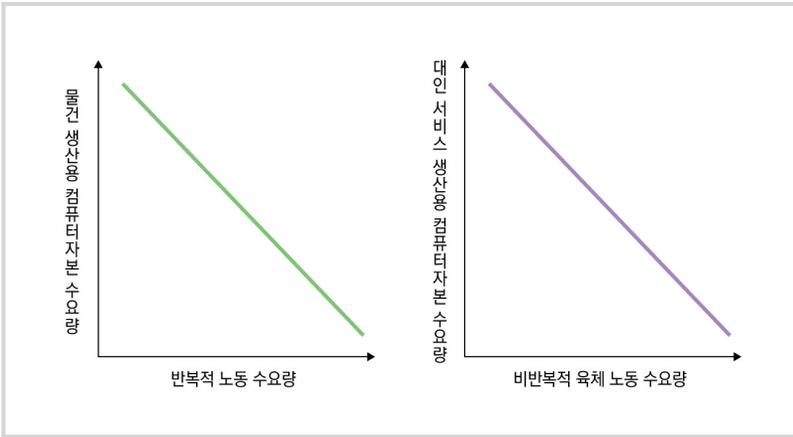


그림 4-3 계속



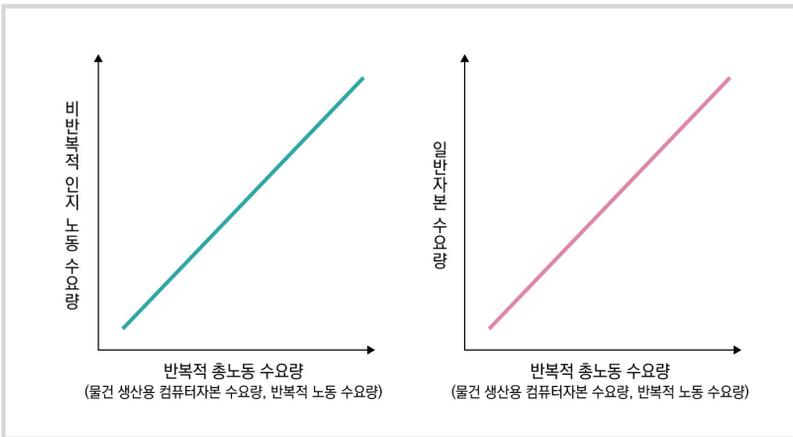
* 자료 : 자체 분석

그림 4-4 물건 생산용 컴퓨터자본 수요량과 반복적 노동 수요량, 대인 서비스 생산용 컴퓨터자본 수요량과 비반복적 육체 노동 수요량 간의 관계



* 자료 : 자체 분석

그림 4-5 비반복적 인지 노동 수요량과 반복적 총노동 수요량, 일반자본 수요량과 반복적 총노동 수요량 간의 관계

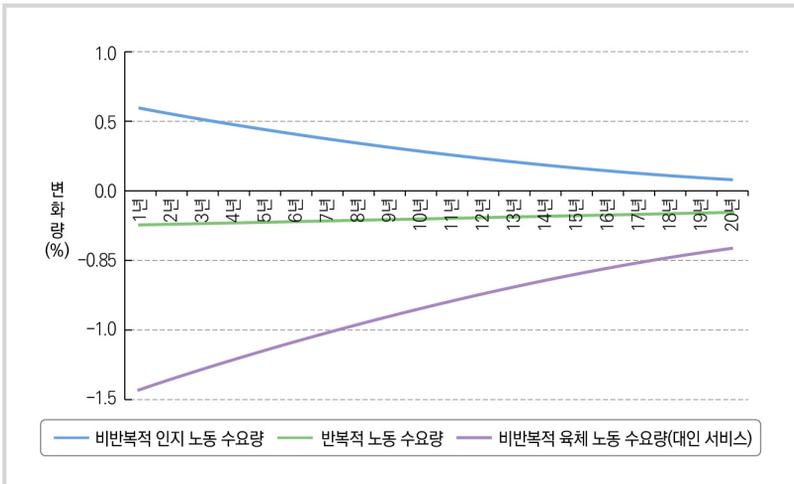


* 자료 : 자체 분석

2. 일자리 변화

제4차 산업혁명의 일자리 충격을 보다 집중적으로 살펴보기 위하여 앞에서 살펴본 거시변수 중 일자리에 관련된 변수만을 선별하면, <그림 4-6>과 같다. 컴퓨터자본 생산기술 향상에 따라 20년 동안 비반복적 인지 노동 수요량(일자리)은 5.92% 증가하는 반면, 반복적 노동 수요량(일자리)과 비반복적 육체 노동 수요량(일자리)은 각각 3.97%, 17.04% 감소한다. 비반복적 육체 노동이 반복적 노동보다 더 많이 컴퓨터자본에 의해 대체되어 감소폭이 더 크다. 이는 Autor and Dorn(2013)의 연구와 다른 결과로 Frey and Osborne(2017)의 예측과 일치된다. 즉, 제4차 산업혁명의 특성을 반영한 결과이다.

그림 4-6 유형별 노동 수요량(일자리) 변화율



* 자료 : 자체 분석

컴퓨터자본 생산기술 향상에 의해 촉발된 일자리 변화를 실물단위로 나타내기 위하여 우리나라 직업을 비반복적 인지 노동이 필요한 직업, 반복적 노동이 필요한 직업, 비반복적 육체 노동이 필요한 직업으로 분류해야 한다. 이를 위해 Spitz-Oener(2006)와 Autor and Dorn(2013)의 연구에서 제시하는 유형별 노동 특성을 활용하였다. 즉, 통계청의 2015년 지역별 고용조사에서 활용된 직업군(한국표준직업분류 2단위)을 유형별 노동 특성에 맞추어 분류하였다. 그러나 한국표준직업분류 2단위 수준의 분류는 Arntz et al.(2016)의 연구에서 지적하듯이 동일한 직업 내에서의 유형별 노동 특성을 통제할 수 없다는 문제점을 가지고 있다. 더 상세한 수준의 직업분류는 자료가 가용하지 않기 때문에 본 연구의 한계점으로 남기고자 한다. <표 4-2>는 비반복적 인지 노동이 필요한 직업, 반복적 노동이 필요한 직업, 비반복적 육체 노동이 필요한 직업(대인 서비스)으로 분류한 결과를 보여준다. 괄호 안에 있는 것은 해당직업의 대표적인 세부직업을 예로서 제시한 것이다.

표 4-2

유형별 직업 분류

구분	비반복적 인지 노동	반복적 노동		비반복적 육체 노동 (대인서비스)
직업	<ul style="list-style-type: none"> • 공공/기업 고위직 (기업CEO) • 행정/경영지원 관리직 (기관부서장) • 전문서비스 관리직 (연구관리자) • 건설/전기/생산 관련 관리직(전력공급 관리자) • 판매/고객서비스 관리직 (영업부서 관리자, 여행업체 관리자) • 과학 전문가/관련직 (생명과학 연구원) • 정보통신 전문가/기술직 (응용소프트웨어 개발자, 데이터베이스 개발자) • 공학 전문가/기술직(환경공학 기술자, 항공기조종사, 도시계획 및 설계가) 	<ul style="list-style-type: none"> • 경영/회계 관련 사무직 (경리사무원, 단순자료 입력원) • 금융/보험 사무직 (은행출납 사무원, 보험청구 사무원) • 법률/감사 사무직 (법무 사무원) • 상담/통계/안내/기타 사무직(통계자료집계원, 예약 및 발권 사무원) • 농/축산 숙련직(낙농업자) • 임업 숙련직(벌목원) • 어업 숙련직 (어패류 양식원) • 식품가공관련 기능직 (정육원, 도축원) • 섬유/의복/가죽 관련 기능직 (재단사, 가죽의복 제조원) 	<ul style="list-style-type: none"> • 식품가공관련 기계조작직 (국수기계 조작원) • 섬유/신발 관련 기계조작직(카펫 직조기계 설치/조작원) • 화학관련 기계조작직 (화학물분쇄기 조작원) • 금속/비금속 관련 기계조작직(용접기 조작원, 유리 용해로 조작원) • 기계제조/관련 기계조작직 (금속기계 부품 조립원) • 전기/전자 관련 기계조작직(발전터빈장치 조작원) • 운전/운송 관련직 (열차 기관사) • 상/하수도/재활용처리 관련 기계조작직(용수처리기 조작원) 	<ul style="list-style-type: none"> • 이미용/예식/의료보조 서비스직(헤어디자이너, 간병인) • 운송/여가 서비스직 (승무원, 관광안내원) • 조리/음식 서비스직 (음식점 종업원) • 영업직(자동차 영업사원) • 매장 판매직 (백화점 판매원, 매장캐셔) • 방문/노점/통신판매 관련직 (핸드폰가입 서비스 판매원, 텔레마케터) • 경찰/소방/보안 관련 서비스직(경찰관, 소방관, 보안요원)

구분	비반복적 인지 노동	반복적 노동	비반복적 육체 노동 (대인서비스)
	<ul style="list-style-type: none"> • 보건/사회복지/종교 관련 직(의사, 물리 및 작업치료사, 사회복지사) • 교육 전문가/관련직 (교수, 컴퓨터 강사) • 법률/행정 전문직 (판사, 검사) • 경영/금융 전문가, 관련직 (금융상품개발 전문가) • 문화/예술/스포츠 전문가, 관련직(방송작가, 디자이너, 배우, 화가) 	<ul style="list-style-type: none"> • 목재/가구/악기/간판 관련 기능직(간판 제작/설치원) • 금속성형관련 기능직 (용접원, 주조원) • 운송/기계 관련 기능직 (자동차정비원, 공업기계 설치원) • 전기/전자 관련 기능직 (PC수리원) • 건설/채굴 관련 기능직 (철근절단공, 도배공) • 영상/통신 장비 관련 기능직 (인터넷서비스 설치원) • 기타 기능 관련직 (배관공, 방역원) 	<ul style="list-style-type: none"> • 목재/인쇄/기타 기계조작 직(종이 제조장치 조작원) • 건설/광업 관련 단순노무 직(운하공사 인부) • 운송관련 단순노무직 (택배원) • 제조관련 단순노무직(부속품 단순분류원, 수작업 라벨부착원) • 청소/경비 관련 단순노무 직(청소원/환경미화원, 재활용품 수거원) • 가사/음식/판매 관련 단순노무직 (주방보조원, 주유원) • 농림어업/기타 서비스 단순노무직(과수원 단순노무자, 가스점검원)

* 자료 : 통계청 지역별 고용조사(2015)에서 활용된 직업을 Spitz-Oener(2006), Autor and Dorn(2013)의 연구를 바탕으로 자체 분류

앞에서 분류한 직업의 취업자를 유형별로 종합하면 <표 4-3>과 같다. 비반복적 인지 노동이 필요한 직업의 취업자는 5,651,000명으로 전체에서 차지하는 비율이 21%이고, 반복적 노동이 필요한 직업의 취업자는 14,858,000명으로 56%를 차지하며, 비반복적 육체 노동이 필요한 직업(대인 서비스)의 취업자는 5,808,000명으로 22%를 차지한다.

표 4-3 유형별 취업자수(2015년)

구분	비반복적 인지 노동	반복적 노동	비반복적 육체 노동 (대인 서비스)
취업자수(명)	5,651,000	14,858,000	5,808,000
비율(%)	21	56	22

* 자료 : 통계청의 지역별 고용조사(2015)를 활용한 자체 분석

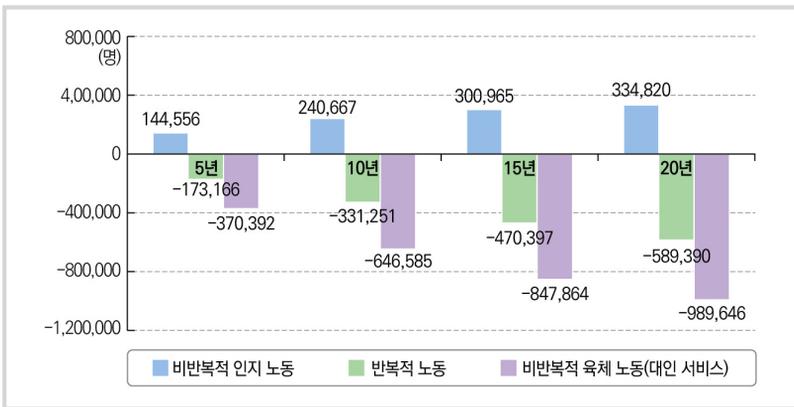
이제, 유형별 취업자수에 컴퓨터자본 생산기술 향상에 의해 촉발된 20년 동안의 유형별 일자리 변화(비반복적 인지 노동 수요량 5.92%, 반복적 노동 수요량 -3.97%, 비반복적 육체 노동 수요량 -17.04%)를 반영하면, <그림 4-7>과 같다. 비반복적 인지 노동은 334,820명이 증가하는 반면, 반복적 노동과 비반복적 육체 노동(대인 서비스)은 각각 589,390명, 989,646명이 감소한다. 종합적으로는 제4차 산업혁명에 의해 1,244,217명이 감소한다.

그림 4-7 유형별 일자리 변화(실물단위)



* 자료 : 자체 분석

그림 4-8 시간에 따른 유형별 일자리 변화(실물단위)



* 자료 : 자체 분석

〈그림 4-7〉은 컴퓨터자본 생산기술 향상에 따른 일자리 변화를 20년에 걸쳐 살펴본 것이다. 이를 시간에 따라 분석해보면, 〈그림 4-8〉과 같

다. 외생적 충격에 의해 컴퓨터자본 생산기술이 4.13% 향상되면, 5년 동안 비반복적 인지 노동은 144,556명이 증가하는 반면, 반복적 노동과 비반복적 육체 노동(대인 서비스)은 각각 173,166명, 370,392명이 감소한다. 10년 동안에는 비반복적 인지 노동은 240,667명이 증가하는 반면, 반복적 노동과 비반복적 육체 노동(대인 서비스)은 각각 331,251명, 646,585명이 감소한다. 15년 동안에는 비반복적 인지 노동은 300,965명이 증가하는 반면, 반복적 노동과 비반복적 육체 노동(대인 서비스)은 각각 470,397명, 847,864명이 감소한다. 20년에 대해서는 <그림 4-7>과 동일하다.

다음은 컴퓨터자본 생산기술 향상에 의해 촉발된 일자리 변화를 연령별로 살펴보고자 한다. 이를 위해 2015년 기준 연령에 따른 유형별 취업자 비율을 우선 살펴보면, <표 4-4>와 같다. 비반복적 인지 노동이 필요한 직업의 취업자 비율은 30-39세가 32%로 가장 높고, 60세 이상이 5%로 가장 낮다. 반복적 노동이 필요한 직업의 취업자 비율은 40-49세와 50-59세가 각각 25%로 가장 높고, 15-29세가 12%로 가장 낮다. 비반복적 육체 노동이 필요한 직업(대인 서비스)의 취업자 비율은 40-49세와 50-59세가 각각 26%로 가장 높고, 60세 이상이 12%로 가장 낮다.

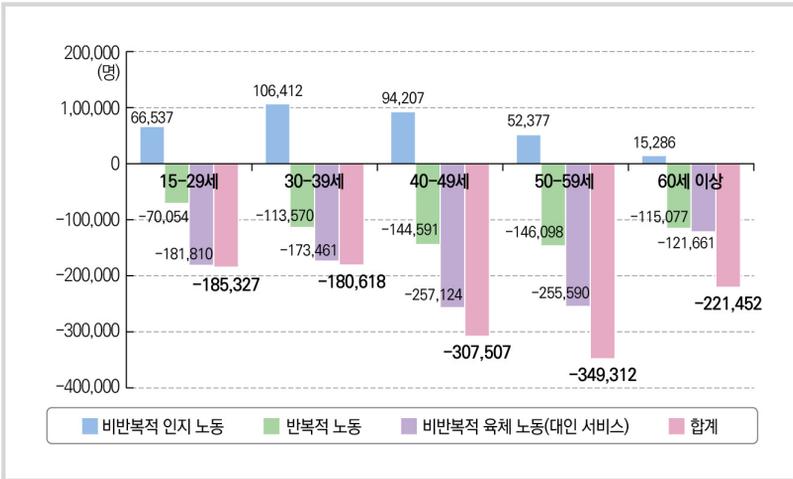
표 4-4 연령에 따른 유형별 취업자 비율(% , 2015년)

구분	15-29세	30-39세	40-49세	50-59세	60세 이상
비반복적 인지 노동	20	32	28	16	5
반복적 노동	12	19	25	25	20
비반복적 육체 노동 (대인 서비스)	18	18	26	26	12

* 자료 : 통계청의 지역별 고용조사(2015)를 활용한 자체 분석

〈표 4-4〉에서 살펴본 연령에 따른 유형별 취업자 비율이 향후 20동안 그대로 유지된다는 가정 하에 외생적 충격에 의해 컴퓨터자본 생산기술이 향상될 경우 연령에 따른 유형별 일자리 변화를 다음과 같이 분석할 수 있다. 〈그림 4-7〉에서 분석된 유형별 일자리 변화량(비반복적 인지 노동 변화량 334,820명, 반복적 노동 변화량 -589,390명, 비반복적 육체 노동 변화량 -989,646명)에 연령에 따른 유형별 취업자 비율을 반영하면, 〈그림 4-9〉와 같다. 유형별 노동 변화량을 종합한 순변화량을 기준으로 50-59세에서 감소량(349,312명)이 가장 많고, 15-29세에서 감소량(185,327명)이 가장 적다.

그림 4-9 연령에 따른 유형별 일자리 변화(실물단위)



* 자료 : 자체 분석

3. 민감도 분석

관측 자료가 제한되어 확률적으로 50%를 적용한 경우와 통상적인 범위 내에서 임의의 값을 사용한 경우 파라미터 값 변경에 따라 도출된 분석결과가 얼마나 민감하게 반응하는지를 살펴보면, <표 4-5>와 같다. 노동소득분배율 중에서 비반복적 인지 노동의 기여도 γ 와 반복적 총노동의 기여도 λ 를 각각 0.1905(0.635×0.3), 0.4445(0.635×0.7)로 변경시키거나 반대로 각각 0.4445(0.635×0.7), 0.1905(0.635×0.3)로 변경시켰을 때 20년간 유형별 노동 수요량 변화율은 기준 분석결과에 비해 유의미한 차이를 보이지 않는다. 반복적 노동과 물건 생산용 컴퓨터자본 간의 대체탄력성 관련 파라미터 ρ 를 '2/3'(반복적 노동과 물건 생산용 컴퓨터자본 간의 대체탄력성 $\omega=3$)에서 '1/2'(반복적 노동과 물건 생산용 컴퓨터자본 간의 대체탄력성 $\omega=2$)로 감소시키면, 컴퓨터자본 생산기술 향상에 따른 반복적 노동 수요량 변화율은 기준 분석결과에 비해 감소 폭이 줄어든다. 이는 물건 생산용 컴퓨터자본에 의한 반복적 노동 대체정도가 감소하였기 때문이다. 반대로, 반복적 노동과 물건 생산용 컴퓨터자본 간의 대체탄력성 관련 파라미터 ρ 를 '3/4'(반복적 노동과 물건 생산용 컴퓨터자본 간의 대체탄력성 $\omega=4$)로 증가시키면, 컴퓨터자본 생산기술 향상에 따른 반복적 노동 수요량 변화율은 기준 분석결과에 비해 감소 폭이 증가한다. 이는 물건 생산용 컴퓨터자본에 의한 반복적 노동 대체정도가 증가하였기 때문이다. 비반복적 육체 노동과 대인 서비스 생산용 컴퓨터자본 간의 대체탄력성 관련 파라미터 η 를 '4/5'(비반복적 육체 노동과 대인 서비스 생산용 컴퓨터자본 간의 대체탄력성 $\phi=5$)에서 '3/4'(비반복적 육체 노동과 대인 서비스 생산용 컴퓨터자본 간의 대체탄력성 $\phi=4$)로 감소시키면, 컴

퓨터 생산기술 향상에 따른 비반복적 육체 노동 수요량 변화율은 기준 분석결과에 비해 감소 폭이 줄어든다. 이는 대인 서비스 생산용 컴퓨터자본에 의한 비반복적 육체 노동 대체정도가 감소하였기 때문이다. 반대로, 비반복적 육체 노동과 대인 서비스 생산용 컴퓨터자본 간의 대체탄력성 관련 파라미터 η 를 '5/6'(비반복적 육체 노동과 대인 서비스 생산용 컴퓨터자본 간의 대체탄력성 $\theta=6$)으로 증가시키면, 컴퓨터자본 생산기술 향상에 따른 비반복적 육체 노동 수요량 변화율은 기준 분석결과에 비해 감소 폭이 증가한다. 이는 대인 서비스 생산용 컴퓨터자본에 의한 비반복적 육체 노동 대체정도가 증가하였기 때문이다. 반복적 노동의 비중 α 를 '0.5'에서 '0.3'으로 감소시키면, 컴퓨터자본 생산기술 향상에 따른 반복적 노동 수요량 변화율은 기준 분석결과에 비해 감소 폭이 증가하고, 반면 '0.7'로 증가시키면, 감소 폭이 줄어든다. 비반복적 육체 노동의 비중 τ 를 '0.5'에서 '0.3'으로 감소시키면, 컴퓨터자본 생산기술 향상에 따른 비반복적 육체 노동 수요량 변화율은 기준 분석결과에 비해 감소 폭이 증가하고, 반면 '0.7'로 증가시키면, 감소 폭이 줄어든다. 반복적 노동의 비중 α 와 비반복적 육체 노동의 비중 τ 는 유형별 노동 수요량에 직접적인 영향을 미치기 때문에 다른 파라미터에 비해 민감도가 크다. 컴퓨터자본 생산요소 파라미터 ν 와 물건소비의 기여도 μ 에 대한 값도 각각 '0.5'에서 '0.3'과 '0.7'로 변경시켰을 경우 기준 분석결과에 비해 유의미한 차이를 보이지 않는다. 그 이유는 상기 파라미터들은 유형별 노동 수요량에 간접적인 영향을 미치기 때문이다.

상기의 결과를 종합해보면, 컴퓨터자본 생산기술 향상에 따른 유형별 노동 수요량 변화율은 파라미터가 유형별 노동 수요량에 직접적인 영향을 미치는지 여부에 따라 감소 또는 증가 폭이 차이가 나지만 부호의 방향은 변하지 않는다.

표 4-5 민감도 분석

구분	유형별 노동 수요량 변화율(% , 20년간)		
	반복적 노동 수요량	비반복적 육체 노동 수요량	비반복적 인지 노동 수요량
기준	-3.97	-17.04	5.92
$\gamma = 0.1905, \chi = 0.4445$	-2.41	-17.68	8.02
$\gamma = 0.4445, \chi = 0.1905$	-5.16	-16.63	4.24
$\rho = 1/2$	-1.05	-17.04	5.41
$\rho = 3/4$	-5.77	-17.04	6.21
$\eta = 3/4$	-4.01	-16.29	5.88
$\eta = 5/6$	-3.93	-17.56	5.96
$\alpha = 0.3$	-7.92	-17.61	6.67
$\alpha = 0.7$	-0.65	-16.57	4.48
$\tau = 0.3$	-4.85	-23.89	5.10
$\tau = 0.7$	-3.67	-9.86	6.20
$\nu = 0.3$	-3.69	-16.09	5.26
$\nu = 0.7$	-4.71	-18.93	6.84
$\mu = 0.3$	-3.09	-17.36	6.74
$\mu = 0.7$	-4.87	-16.36	5.08

* 자료 : 자체 분석

제4차 산업혁명의 일자리 충격
- 새로운 분석모형을 중심으로 -

제5장

정책 제언

제5장 정책 제언

4차 산업혁명의 파고는 일자리 충격을 중심으로 우리사회에 많은 과제를 남길 것으로 예상된다. 개인과 기업 그리고 정부는 향후에 당면하게 될 변화에 대비해야 하며, 특히 정부는 구체적인 정책을 마련하여 긴 호흡으로 준비할 필요가 있다. 현재의 교육 시스템 상 2017년 현재 학업을 시작한 학생은 2030년을 전후하여 노동시장에 진입하게 된다. 그들은 자신이 미래에 직면하게 될 직업의 세계에 대해 충분히 준비하고 있을까? 그리고 우리의 사회경제적 시스템과 교육은 이를 충분히 뒷받침할 수 있을까? 이런 질문은 4차 산업혁명을 당면하고 있는 국가에 공통적으로 적용될 수 있는 의문일 것이다. 하지만 독일의 ‘Arbeit 4.0’이나 일본의 ‘일의 미래 2035’와 같은 정책보고서에는 4차 산업혁명의 기술혁신으로 일자리가 증감할지에 대한 언급이 없다. 본 연구는 분석모형을 통해 이에 대한 체계적인 분석을 제시하였다. 그러나 무엇보다 중요한 것은 우리가 어떻게 대응할 지에 관한 문제일 것이다.

UBS(2016)에 따르면, 우리나라의 4차 산업혁명 준비정도는 조사대상국 139개국 중에 25위에 불과하다. 세부항목별로 살펴보면, 노동시장 유연성(83위), 제도적 시스템(62위), 교육수준(23위) 순으로 준비정도가 낮다. 이러한 3개의 항목들은 일자리와 밀접한 관련이 있는 분야이다.

표 5-1 주요국의 4차 산업혁명 준비정도(순위)

구분	전체	노동시장 유연성	교육시스템 유연성		인프라 유연성	제도적 시스템
			교육수준	혁신수준		
미국	5	4	6	4	14	23
일본	12	21	21	5	12	18
독일	13	28	17	6	10	19
한국	25	83	23	19	20	62

* 자료 : UBS(Union Bank of Switzerland), Annual Report 2016

따라서 제4차 산업혁명의 일자리 변화에 대한 대응방안도 <표 5-2>와 같이 노동부문, 제도부문, 교육부문을 나누어서 제시하기로 한다.

표 5-2 정책 제언

노동부문	제도부문	교육부문
① 직무대체 직종 근로자의 전직 지원 - 취약근로자 실태분석 - 사회보장서비스 제공 - 11대 유망기술 관련 직무교육 실시 - 창조적·사회적 일자리 중심의 전직 지원	④ 노동 관련법의 제도적 보완 - 노동 관련법의 세분화 - 노동 관련법의 제·개정	⑥ 4차 산업혁명시대에 요구되는 인재 육성 - 비반복적 인지 노동자를 육성하기 위한 교육제도 구축 - 비반복적 인지 노동자를 육성하기 위해 창조적 지능과 사회적 지능을 배양하도록 교육개혁 방향 설정 - 대학입시 제도를 스웨덴과 같은 방향으로 과감히 변경
② 비정형 근로자 보호대책 강구 - 사회보장보험 가입 지원 - 성과중심 임금체계로 전환	⑤ 4차 산업혁명의 전망을 고려한 최저임금제 적용 - 급격한 인상 자제(급격한 인상은 가장 많이 감소할 것으로 예상되는 비반복적 육체 노동의 자동화를 촉진) - 업종의 이질성을 반영하여 적용	
③ 일자리 창출 - 창조적 일자리 창출을 위한 전문기관 정비 - 사회적 일자리 창출을 위한 전문기관 확대		

* 자료 : 자체 분석

제1절 노동부문

1. 직무대체 직종 근로자의 전직 지원

제4장에서 분석한 바와 같이 4차 산업혁명으로 인해 반복적 노동자와 비반복적 육체 노동자가 컴퓨터에 의해 대체될 것으로 예상된다. 따라서 이들의 원활한 전직을 지원하는 것이 시급하다.

이를 위해서는 먼저 대체위협에 직면한 취약근로자의 실태를 분석하여 전직 가능한 맞춤형 직종을 제시하고, 실업 기간 동안 사회보장서비스를 패키지로 제공하여 제공하는 방안을 모색하는 것이 바람직하다. 또한, 향후 구조적 실업에 대비하여 노동시장에서 근로자의 전직이 원활하게 이루어지도록 하는 정책이 필요하다. 이를 위해 정부에서 수집·제공하고 있는 노동 통계정보의 인력수급전망을 정비하여 대체 위협에 놓은 직업을 식별이 용이하도록 조치할 필요가 있다. 이러한 역할은 현 정부의 일자리위원회에서 주도적으로 수행하는 것이 바람직하다.

둘째, 4차 산업혁명에 적합한 직무교육을 실시하는 것이 필요하다. 4차 산업혁명에 대비하여 정부에서 선정한 11대 유망기술을 중심으로 고용과 투자가 확대될 것으로 예상됨에 따라 이들에 대한 직무교육을 강화하는 것이 필요하다. 그리고 상기 유망기술 분야에서 요구되는 역량을 국가직무능력표준¹⁰⁾ 기반으로 개발하고 국가공인자격인증제도와 연계하여 공신력을 확보하는 것도 고려할 필요가 있다. 4차 산업혁명과 관련된 11대 유망기술

10) 국가직무능력표준(NCS: National Competency Standard)은 산업현장에서 직무를 수행하기 위해 요구되는 지식, 기술, 태도 등을 국가가 설정한 수준에 맞게 직무 분야별, 수준별로 체계화한 것이다(교육부).

분야에 맞는 국가직무능력표준을 개발하고 이를 직무기준으로 활용하여 교육·훈련 현장에 반영하고, 산업현장에서는 실무형 인재 채용과 직무중심 인사관리에 활용함으로써 국가차원의 직업교육체계를 확립할 수 있다.

셋째, 창조적(Creative) 노동과 사회적(Social) 노동이 필요한 일자리로 전직이 될 수 있도록 지원해야 한다. 앞에서 분석한 것처럼 4차 산업혁명으로 인해 반복적 노동과 비반복적 육체 노동은 줄지만, 비반복적 인지 노동은 늘어난다. 따라서 컴퓨터에 의해 대체된 반복적 노동자와 비반복적 육체 노동자가 비반복적 인지 노동이 필요한 일자리로 전직될 수 있도록 지원하는 것이 필요하다. 비반복적 인지 노동은 <표 5-3>과 같이 주로 창조적 노동과 사회적 노동으로 나누어지기 때문에 컴퓨터에 의해 대체된 노동자들이 이 두 부문으로 전직될 수 있도록 지원하는 것이 필요하다. 여기서 주목할 것은 4차 산업혁명의 일자리 충격을 대응하기 위해서 창조적 노동이 필요한 일자리로의 전직뿐만 아니라 우리사회에서 정책적으로 그동안 소외되어왔던 사회적 노동이 필요한 일자리로의 전직 또한 중요하다는 것이다.

표 5-3 비반복적 인지 노동의 세부적 분류

구분	요소	대표적인 직업
창조적 노동	독창성	컴퓨터 시스템 분석가, 빅데이터 분석가, ICT 엔지니어 등
	예술적 재능	음악가, 가수, 무용가, 트레이너 등
사회적 노동	사회적 통찰력	사회학자, 사회복지 전문가, 작가, 비평가, 사회조사 분석사 등
	협상	협상전문가, 에이전트 등
	설득	영업 전문가, 컨설턴트 등

* 자료 : Frey and Osborne(2013, 2017) 내용 재구성

2. 비정형 근로자 보호대책

4차 산업혁명이 가속화되면 기존의 전통적인 고용구조에 큰 변화가 예상된다. 직무는 작은 단위로 세분화되고, 플랫폼 경제와 직접거래의 확산으로 거래비용이 감소하여 정규직 수요가 감소되는 반면, 비정형 근로형태가 확대될 것이므로 이들에 대한 기본적인 권리를 보호하기 위한 사회안전망을 재정비할 필요가 있다.¹¹⁾ 이를 위해 다양한 형태의 근로환경을 조성하는 것이 필요하며, 다음과 같은 구체적인 정책적 지원이 선행되어야 한다.

첫째, 4차 산업혁명에 의해 늘어나는 비정형 근로자가 사회보장보험에 가입할 수 있도록 지원해야 한다. 이와 더불어 이들이 ‘특수형태근로종사자’로서의 법적 지위를 보장받을 수 있는 방안도 모색해야 한다.

둘째, 유연한 고용환경을 조성하기 위해 호봉제 중심의 임금체계를 직무와 성과 중심의 임금체제로 전환해야 한다. 4차 산업혁명이 진전되면 과거의 연공서열에 기초한 호봉제는 그 근거가 취약해진다. 호봉제는 기본적으로 경험과 숙련을 반영하는 보상시스템으로 조직에 먼저 들어온 사람이 업무지식과 기술이 앞설 것이라는 전제 하에서 작동되는 것이다. 하지만 4차 산업혁명시대에는 정형화된 숙련도보다 창의와 사회성 등 자동화되지 못하는 분야 중심의 직무가 중요하게 인정받는다.

11) OECD(2017)에 따르면, 우리나라의 현재 임시근로자 비중은 22.3%로 일본(7.2%)의 약 3배이다.

3. 일자리 창출

앞에서 살펴본 것처럼, 4차 산업혁명으로 인해 반복적 노동과 비반복적 육체 노동은 줄어들지만, 비반복적 인지 노동은 늘어난다. 따라서 비반복적 인지 노동이 필요한 일자리를 많이 창출하는 것이 필요하다. 이를 위해서 정책적으로 고려해야 될 것은 다음과 같다.

첫째, 창조적 노동이 필요한 일자리를 창출하기 위한 전문기관들을 정비해야 한다. 앞에서 살펴본 것처럼 창조적 노동은 독창성뿐만 아니라 예술적 재능도 필요로 한다. 창조적 노동이 필요한 창업을 지원하기 위한 현재의 전문기관들은 독창성을 필요로 하는 일자리 창출에 집중되어 있다. 물론 이러한 노력도 4차 산업혁명의 일자리 충격을 흡수하기에 턱없이 부족하다. 그러나 현 시점에서 창조적 노동이 필요한 창업을 지원하기 위한 전문기관들이 예술적 재능을 필요로 하는 일자리 창출에는 매우 소홀하다는 점을 지적하지 않을 수 없다. 따라서 독창성뿐만 아니라 예술적 재능도 필요로 하는 일자리를 보다 많이 창출할 수 있도록 관련 전문기관들을 체계적으로 정비할 필요가 있다.

둘째, 사회적 노동이 필요한 일자리를 창출하기 위한 전문기관을 확대해야 한다. 현재 우리나라는 사회적 노동이 필요한 일자리를 창출하기 위한 전문기관이 매우 부족하다. 앞에서 살펴본 것과 같이 사회적 노동은 사회적 통찰력, 협상, 설득 등의 능력을 필요로 한다. 이러한 능력은 오랜 시간에 걸쳐 형성되는 것으로 청년층에 비해 장·노년층에서 많이 보유하고 있다. 따라서 사회적 노동이 필요한 일자리 창출은 장·노년층의 실업문제를 해소하는데 많은 도움이 될 것으로 보인다. 앞의 분석에서 살펴본 것처럼 장·노년층이 청년층에 비해 컴퓨터에 의해 보다 더 많이 대체될 것으로 예

상되기 때문에 사회적 노동이 필요한 일자리를 많이 창출하는 것은 당면과제로서도 매우 중요하다. 우리나라의 경우 청년 일자리 창출에 대해서는 청년위원회, 청년 일자리 플러스센터 등 다양한 전문기관이 있는 반면, 장·노년층의 일자리 창출에 대한 전문기관은 매우 부족한 실정이다. 미국은 ‘노인청(Administration of aging)’이라는 정부기관이 운영되고 있고, EU에서는 ‘노인복지분과위원회’라는 별도의 위원회 조직이 구성되어 있다. 장·노년층의 일자리를 창출하는데 필요한 전문기관을 새롭게 설립하는 것은 재정적으로 힘들 수 있기 때문에 전국에 분포하고 있는 노인정과 마을회관을 활용하는 방안을 고려해볼 수 있다.

제2절 제도부문

1. 노동 관련법의 제도적 보완

4차 산업혁명이 진행됨에 따라 일하는 방식과 일자리의 형태에 급격한 변화가 예상된다. 현행 근로기준법은 전통적 근로방식과 일자리 구조에 기반하여 만들어진 법체계이다. 18세기말 증기기관과 공장제 생산시스템을 기반으로 한 최초의 산업혁명이 등장하자 사람들은 일상생활과 일자리에 이르기까지 삶의 모든 것이 바뀌는 혼란스럽고 이해하기 어려운 시대를 겪었다. 이전에 지켜지던 규범과 관습들은 더 이상 통용될 수 없었고 이런 혼란을 보고 토인비는 1884년 당시의 변화를 산업혁명이라고 일컬었다. 그 혼돈과 격변의 시대에 산업현장에서 일하는 노동자를 보호하기 위해 태동한 법체계가 노동법이다.

우리의 노동법 체계는 여전히 1차 산업혁명 당시의 이념을 그대로 거저에 깔고 있다. 수세기 동안 정해진 시간에 같은 장소에 모여 일을 하는 것을 전제로 하여 같은 일을 하면 같은 임금을 받고, 오래 일할수록 많은 임금을 받아야 한다고 믿었던 시대에 만들어진 법률체계와 해석론이 지금까지 유지되고 있는 것이다(이동웅, 2017).

하지만, 자동화, 스마트 워크, 유연근무제, 플랫폼 노동 등 다양한 형태의 변화가 감지되고 있는 상황에서 획일적인 근로시간, 임금산정 및 지급 방법 등을 규정하고 있는 노동법제와 단일의 단체협약과 취업규칙 구조는 4차 산업혁명의 변화에 대응하기 어려운 족쇄가 되고 있다. 따라서 4차 산업혁명시대를 대비하기 위해서 다음과 같은 정책이 필요하다.

첫째, 다양한 종류의 근로자와 노동방법을 반영할 수 있도록 노동 관련법을 세분화해야 한다. 독일은 ‘노동 4.0 백서’¹²⁾를 통해 플랫폼 노동 등 4차 산업혁명에 대비한 새로운 노동형태에 대한 정책대응을 준비하고 있다.

둘째, 노동 관련법을 제도적으로 제·개정해야 한다. 4차 산업혁명시대의 고용형태 변화에 대응하여 <표 5-4>에 제시된 노동 관련법을 선제적으로 제·개정해야 한다.

12) 독일은 2015년부터 노동조합과 전문가, 시민이 주축이 되어 4차 산업혁명이 노동시장에 미칠 영향을 분석하여 2016년 11월 그 내용을 백서 ‘노동 4.0’으로 공표하였다.

표 5-4 4차 산업혁명시대 제·개정이 필요한 노동 관련법

구분	대상
근로기준법	제16조(계약기간), 제18조(단시간근로자의 근로조건), 제23조(해고 등의 제한), 제93조~97조(취업규칙에 관한 내용) 등
근로기준법 시행령	제28조(탄력적 근로시간제), 제29조(선택적 근로시간제), 제31조(재량근로의 대상업무), 제41조(근로시간의 계산), 제59조(규제의 재검토) 등
근로기준법 시행규칙	제12조(야간 또는 유일근로의 인가), 제15조(취업규칙의 신고) 등
고용정책 기본법	제11조(직업안정기관의 설치), 제12조(민간에 의한 고용서비스 제공 지원), 제13조(고용영향평가), 제13조의 3(재정 지원 일자리 사업 통합정보전산망의 구축·운영 등) 등
단체협약	회사와 노동조합 간 체결한 협약 내용
자자체 노사발전 조례	자자체별 노사관계, 일자리, 고용정책과 관련된 내용

* 자료 : 법제처 국가법령정보센터

2. 4차 산업혁명의 전망을 고려한 최저임금제 적용

2018년의 최저임금은 금년 대비 16.4% 인상한 시간당 7,530원으로 결정되었다. 1988년 우리나라에 최저임금제도가 도입된 이후 역대 최고수준의 인상폭이다. 노동이 유일한 소득원이거나 주요한 원천인 사람들이 노동으로 최소한의 인간다운 삶을 보장받도록 하는 것은 국가의 당연한 책무이다. 이런 점에서 최저임금제는 사회통합과 근로자의 자존감과 정체성을 지켜주는 기능을 한다. 하지만 다른 한편으로 최저임금의 급격한 인상은 시장에 대한 과도한 개입으로 볼 수 있다.

4차 산업혁명이라는 프레임에서 볼 때, 최저임금의 급격한 인상은 컴퓨

터에 의해 대체되어 가장 많이 감소할 것으로 예상되는 비반복적 육체 노동의 자동화를 촉진하게 된다. 앞에서 살펴본 것처럼 대인서비스를 제공하는 비반복적 육체 노동자들은 4차 산업혁명에 의해 가장 많이 감소할 것으로 예상되는 저임금 수령 대상자들로 대부분 최저임금제에 적용을 받는다. 컴퓨터에 의해 대체되어 4차 산업혁명시대에 가장 많이 감소할 것으로 예상되는 상기 노동자들의 최저임금을 급격하게 상승시키면, 고용주는 늘어나는 노동비용을 줄이기 위해 해당 노동자들을 자동화시킬 유인에 더 빠지게 된다. 이는 4차 산업혁명의 일자리 충격을 더욱 가속화시키는 결과를 초래하게 만든다. 따라서 4차 산업혁명의 일자리 충격을 완화하기 위해서는 최저임금의 급격한 인상을 자제해야 한다.

또한, 업종의 이질성을 반영하여 최저임금제를 적용할 필요가 있다. 현행 단일화된 최저임금제를 개선하여 업종별로 노동강도와 노동실태 등을 고려하여 차등적용 하는 것이 바람직하다. 일본에서는 노동강도를 감안하여 가벼운 업무나 시행령에서 정하는 자에 대해서는 최저임금제를 일괄 적용하지 않고 일정 비율을 감액해 지급할 수 있는 여지를 두고 있다. 또한, 일정한 사업이나 직종에 대해서는 소관 부처 장관이나 지자체에서 특정 금액의 최저임금을 정할 수 있도록 하고 있다. 업종별 특성을 고려하지 않고 최저임금제를 일괄 적용하면, 4차 산업혁명시대에서는 최저임금제를 많이 적용받는 업종일수록 컴퓨터에 의해 대체되는 일자리가 더 많이 늘어날 것이기 때문에 업종간 고용의 불평등이 심화될 것이다.

제3절 교육부문

1. 4차 산업혁명시대에서 요구되는 인재 육성

4차 산업혁명시대에는 새로운 교육제도를 필요로 한다. 그동안 산업혁명으로 촉발된 사회변화와 일자리 영향은 최상위 기능 및 기술 친화적인 측면이 강하게 나타났다. 산업혁명의 때 순간마다 이에 적응하기 위한 창의성과 적응력 배양이 요구되어 왔고, 노동공급의 질이 이에 대응하지 못하면 고용감소와 불평등이 확대되었다.

McAfee(2009)가 주장한 바와 같이 현재의 교육제도는 50년 전에 필요로 했던 노동자의 역량 개발에 적합한 것이다. 교육이 4차 산업혁명 시대에 필요한 역량을 함양하기 위해서는 그에 걸 맞는 방식으로 전환되어야 한다.

기술이 진보하면서 일자리를 위협할수록 교육의 중요성은 높다고 볼 수 있다. Bessen(2015)은 근로자들이 신기술에 적응하는 과정에서 교육의 표준화가 중요하다고 강조하며, 역사적으로 기술혁신과 생산성 개선이 실질임금의 증가로 이어지기까지 많은 시간이 소요되기 때문에 이를 산업전반으로 확산되게 하는 원동력이 바로 교육이라고 보았다. Goldin and Kat(2008)는 19~20세기 미국의 교육에 대한 투자는 기술이 비숙련 노동 업무를 더 많이 자동화함으로써 생길 수 있는 불평등을 방지하는데 기여했다고 보고 있다.

이러한 교육의 역할은 4차 산업혁명시대에서도 매우 중요하다. 앞에서 살펴본 것처럼 4차 산업혁명시대에서는 비반복적 인지 노동자를 육성해야 한다. <표 5-3>에서 살펴본 것처럼, 비반복적 인지 노동자는 창조적 지능

과 사회적 지능을 통해서 배양된다. 이를 위해서 가장 시급한 것은 교육제도를 바꿔야하는데, 이는 대학입시와 밀접하게 연결되어 있다. 우리나라는 대학입시가 어떻게 바뀌느냐에 따라 초·중·고등 교육제도가 크게 영향을 받는다. 그럼, 어떤 방향으로 대학입시 제도를 바꿀 것인가가 중요한 문제로 대두되는데, 스웨덴의 예를 간단히 살펴봄으로써 이에 대한 해답을 찾을 수 있다. 스웨덴은 <표 5-5>에서 볼 수 있듯이 2014년 기준 글로벌 창의지수가 전체 139개 국가 중 가장 높은 국가이다.

표 5-5 글로벌 창의지수

순위	국가	기술	재능	관용	글로벌 창의 지수
1	스웨덴	5	2	7	0.923
2	미국	3	8	8	0.902
3	핀란드	2	2	29	0.894
4	덴마크	7	4	14	0.878
5	호주	15	7	5	0.870
:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:
27	한국	8	24	62	0.598

* 자료 : Martin Prosperity Institute, Global Creativity Index 2014

위와 같이 스웨덴의 글로벌 창의지수가 높은 이유는 바로 교육이 창의적이기 때문이다. 스웨덴은 대학입시 문제를 출제할 때 수험생이 얼마나 창의적인 사고를 가지고 있는지를 평가한다. <표 5-6>은 스웨덴의 대학입시에서 국어문제를 어떻게 출제하는지에 대한 예를 보여준다. 문제 자체는 간단하지만, 이에 대한 답은 수험생의 창의적인 사고를 요구하고 있다. 이와 같이 대학입시에서 창의적인 사고를 요구하고 있기 때문에 스웨덴의 초·중·고등 교육방식 또한 창의성 배양에 중점을 두고 있다.

표 5-6 스웨덴의 대학입시 국어문제(예)

“총리가 사회통합을 높이기 위한 아이디어를 공모하고 있다. 총리에게 보낼 편지를 써보아라”

* 자료 : Ministry of Education and Research, Sweden

우리나라의 경우도 4차 산업혁명시대에서 요구되는 창조적 지능과 사회적 지능을 배양하기 위해서 대학입시 제도를 스웨덴과 같은 방향으로 과감히 변경할 필요가 있다. 정권이 바뀔 때마다 교육제도가 계속 바뀌어 많은 혼선을 가져온 것이 우리의 현실이다. 즉, 교육개혁이 정작 필요하기 보다는 정치적 논리에 의해서 이루어진 경우가 많다. 이제는 4차 산업혁명시대가 도래하면서 신중하면서 과감하게 교육제도를 변경할 때이다.

제4차 산업혁명의 일자리 충격
- 새로운 분석모형을 중심으로 -

부 록

부록

1. 모형의 환경

가. 기호 정의

분석모형에 사용될 각 기호는 <표-부-1>과 같이 정의된다.

표-부-1 기호 정의

기호	정 의	기호	정 의
$U_{o,t}$	유형별 소비자의 t기 효용	$L_{nc,t}$	t기의 비반복적 인지 노동 수요량
$C_{g,t}^o$	유형별 소비자의 t기 물건 소비량	$L_{r,t}$	t기의 반복적 노동 수요량
$C_{s,t}^o$	유형별 소비자의 t기 대인 서비스 소비량	$L_{nm,t}$	t기의 비반복적 육체 노동 수요량
$I_{o,t}^s$	유형별 소비자의 t기 노동 공급량	$R_{g,t}$	t기의 물건 생산용 컴퓨터자본 수요량
ψ	노동공급 파라미터	$R_{s,t}$	t기의 대인 서비스 생산용 컴퓨터자본 수요량
$p_{s,t}$	t기 대인 서비스 가격	γ	비반복적 인지 노동의 기여도
$I_{o,t}$	유형별 소비자의 t기 투자량	χ	반복적 총노동의 기여도
$w_{o,t}$	t기 유형별 단위임금	α	반복적 노동의 비중
$\pi_{s,t}$	t기 대인 서비스 이윤	$\pi_{rg,t}$	t기 물건 생산용 컴퓨터자본 이윤
$\pi_{rs,t}$	t기 대인 서비스 생산용 컴퓨터자본 이윤	$\pi_{g,t}$	t기 물건 이윤
r_t	t기 일반자본 가격	ρ	반복적 노동과 물건 생산용 컴퓨터자본 간의 대체탄력성 관련 파라미터
$K_{o,t}^s$	유형별 소비자의 t기 일반자본 공급량	$p_{rg,t}$	t기 물건 생산용 컴퓨터자본 가격
δ	감가상각률	τ	비반복적 육체 노동의 비중

기호	정 의	기호	정 의
β	시간에 대한 할인계수	η	비반복적 육체 노동과 대인 서비스 생산용 컴퓨터자본 간의 대체탄력성 관련 파라미터
σ	소비의 기간 간 대체탄력성 파라미터	z_t	t기 컴퓨터자본 생산기술
$\lambda_{o,t}$	t기 유형별 라그랑주 승수	ε_t	평균이 '0'이고 표준편차가 θ 인 정규분포를 따르는 확률오차항
E_t	조건부 기대연산자	$Y_{rg,t}$	물건 생산용 컴퓨터자본을 만드는데 투입되는 t기 물건량
$Y_{rs,t}$	대인 서비스 생산용 컴퓨터자본을 만드는데 투입되는 t기 물건량	$Y_{g,t}$	t기 물건 생산량
μ	물건 소비의 기여도	$Y_{s,t}$	t기 대인 서비스 생산량
K_t	t기 일반자본 수요량	$p_{rs,t}$	t기 대인 서비스 생산용 컴퓨터자본 가격
$R_{g,t}^s$	t기의 물건 생산용 컴퓨터자본 생산량	$R_{s,t}^s$	t기 대인 서비스 생산용 컴퓨터자본 생산량
ϕ	컴퓨터자본 생산기술 AR(1) 계수	ν	컴퓨터자본 생산요소 파라미터

나. 효용 및 생산함수

소비자의 효용함수는 식(1)과 같다.

$$U_{o,t} = \frac{[(C_{g,t}^o)^\mu (C_{s,t}^o)^{1-\mu}]^{1-\sigma}}{1-\sigma} - \frac{(L_{o,t}^s)^{1+\psi}}{1+\psi} \quad (1)$$

여기서, O 는 비반복적 인지 노동기술을 가진 소비자, 비반복적 육체 노동기술을 가진 소비자, 반복적 노동기술을 가진 소비자를 의미하고, $\mu \in (0,1)$ 이며, $\sigma > 0$ 이다. 소비자의 t 기 효용은 물건과 대인 서비스를 통해 얻어지는 효용에서 노동공급을 통해 발생하는 비효용(Disutility)을 제외한 것이다. 물건과 대인 서비스에 대한 소비는 Cobb-Douglas 함수 형태를 취한다. 즉, 물건 소비와 대인 서비스 소비 간의 대체 탄력성은 '1'이다.

기업의 생산함수는 다음과 같이 네 가지로 나누어진다. 첫째, 물건을 생산하는 기업의 생산함수는 식(2)와 같은 형태를 따른다.

$$Y_{g,t} = L_{nc,t}^\gamma \left[\alpha L_{r,t}^\rho + (1-\alpha) R_{g,t}^\rho \right]^\frac{\chi}{\rho} K_t^{1-\gamma-\chi} \quad (2)$$

여기서, 반복적 노동과 물건 생산용 컴퓨터자본 간의 대체탄력성 $\omega = 1/(1-\rho) > 1$ 이고, $\alpha, \gamma, \chi \in (0,1)$ 이다. 제약 $\omega > 1$ 은 Autor and Dorn(2013)의 모형에 따라 반복적 노동과 물건 생산용 컴퓨터자본 간의 대체탄력성이 물건 소비와 대인 서비스 소비 간의 대체 탄력성(1)보다 더 커야하기 때문이다.¹³⁾ t 기 물건 생산량은 두 가지 형태의 함수로 이루어져

있다. 먼저, 반복적 노동 수요량과 물건 생산용 컴퓨터자본 수요량에 의한 CES(Constant Elasticity of Substitution) 함수 형태를 띠고, 비반복적 인지 노동 수요량, 반복적 총노동 수요량(CES 함수), 일반자본 수요량에 의해 Cobb-Douglas 함수 형태를 취한다.¹⁴⁾

둘째, 대인 서비스를 생산하는 기업의 생산함수는 식(3)과 같다.

$$Y_{s,t} = [\tau L_{nm,t}^{\eta} + (1 - \tau) R_{s,t}^{\eta}]^{\frac{1}{\eta}} \quad (3)$$

여기서, 비반복적 육체 노동과 대인 서비스 생산용 컴퓨터자본 간의 대체탄력성 $\phi = 1/(1 - \eta) > \omega$ 이고, $\tau \in (0, 1)$ 이다. 제약 $\phi > \omega$ 은 Frey and Osborne(2013, 2017)의 연구를 따른 것이다. 즉, 컴퓨터자본이 반복적 노동(중위 숙련노동)보다 대인 서비스를 생산하는데 필요한 비반복적 육체 노동(하위 숙련노동)을 더 많이 대체할 것으로 예상하기 때문이다. MGI(2013)의 연구에 따르면, 대인 서비스 로봇시장이 매년 약 20%씩 성장하고 있어 이러한 전망은 실현될 가능성이 높다. t기 대인 서비스 생산량은 비반복적 육체 노동과 대인 서비스 생산용 컴퓨터자본의 결합으로 산출된다. 여기서, 주목할 것은 비반복적 육체 노동이 대인 서비스 생산용 컴퓨터자본에 의해 대체될 수 있기 때문에 Autor and Dorn(2013)의 모형과 다르다는 것이다.

13) Autor and Dorn(2013)의 모형에 따르면, 반복적 노동자가 물건 생산용 컴퓨터자본에 의해 대체되어 비반복적 육체 직업(대인 서비스업)으로 이동하여 중위 숙련노동자(반복적 노동자)가 줄지만, 하위(비반복적 육체 노동자)와 상위(비반복적 인지 노동자) 숙련노동자가 늘어나는 'U'자형 고용 변화 현상이 발생되기 위해서는 반복적 노동과 물건 생산용 컴퓨터자본 간의 대체탄력성이 물건 소비와 대인 서비스 소비 간의 대체 탄력성보다 더 커야한다.

14) 본 연구에서 일반자본은 컴퓨터자본을 제외한 모든 자본을 의미한다.

셋째, 물건 생산에 필요한 컴퓨터자본을 만드는 기업의 생산함수는 식(4)와 같다.

$$R_{g,t}^S = e^{z_t} Y_{g,t}^\nu \quad (4)$$

여기서, $\nu \in (0,1)$ 이다. 이 함수형태는 Autor and Dorn(2013)의 모형을 준용한 것으로 다른 점은 컴퓨터자본 생산기술이 확률변수이면서 수렴한다는 것이다. 즉, 컴퓨터자본 생산기술은 식(5)와 같이 AR(1) 형태를 따른다.

$$z_t = (1 - \phi)\bar{z} + \phi z_{t-1} + \varepsilon_t \quad (5)$$

여기서, $\varepsilon_t \sim N(0, \theta^2)$ 이다. 식(4)가 Autor and Dorn(2013)의 모형과 또 다른 점은 물건 생산용 컴퓨터자본을 만드는데 투입되는 t 기 물건량에 대한 함수의 오목성(Concavity)을 보장하기 위해 ν 가 추가되었다는 점이다. t 기의 물건 생산용 컴퓨터자본 생산량은 컴퓨터자본 생산기술과 물건 생산용 컴퓨터자본을 만드는데 투입되는 물건량에 의해 결정된다.¹⁵⁾

넷째, 대인 서비스 생산에 필요한 컴퓨터자본을 만드는 기업의 생산함수는 식(6)과 같다.

$$R_{s,t}^S = e^{z_t} Y_{rs,t}^\nu \quad (6)$$

t 기의 대인 서비스 생산용 컴퓨터자본 생산량은 컴퓨터자본 생산기술과

15) Autor and Dorn(2013)의 연구와 같이 t 기의 물건 생산용 컴퓨터자본은 $t+1$ 기 전에 완전히 감가상각된다.

대인 서비스 생산용 컴퓨터자본을 만드는데 투입되는 물건량에 의해 결정된다.¹⁶⁾

다. 자본 축적

소비자의 투자량은 식(7)과 같다.

$$I_{o,t} = K_{o,t+1}^S - (1 - \delta)K_{o,t}^S \quad (7)$$

소비자의 t기 투자량은 t+1기 일반자본량에서 감가상각된 t기 일반자본량을 제외한 것이다.

2. 모형의 균형

가. 기업의 이윤극대화 문제

기업의 유형이 네 가지이기 때문에 기업의 이윤극대화 문제는 다음과 같이 네 가지로 나누어진다.

(1) 물건을 생산하는 기업의 이윤극대화 문제

물건을 생산하는 기업은 식(8)과 같은 이윤극대화 문제에 봉착한다.

16) 물건 생산용 컴퓨터자본과 같이 t기의 대인 서비스 생산용 컴퓨터자본은 t+1기 전에 완전히 감가상각된다.

$$\max_{L_{nc,t}, r_t, R_{g,t}, K_t} \pi_{g,t} = L_{nc,t}^{\gamma} \left[\alpha L_{r,t}^{\rho} + (1-\alpha) R_{g,t}^{\rho} \right]^{\frac{\chi}{\rho}} K_t^{1-\gamma-\chi} - w_{nc,t} L_{nc,t} - w_{r,t} L_{r,t} - \rho_{rg,t} R_{g,t} - r_t K_t \quad (8)$$

여기서, 물건을 기준재(Numeraire)로 간주하고 그 가격을 '1'로 표준화하였다. 물건을 생산하는 기업의 t기 이윤을 극대화하기 위하여 비반복적 인지 노동 수요량, 반복적 노동 수요량, 물건 생산용 컴퓨터자본 수요량, 일반자본 수요량에 대한 1계 조건(First-order condition)을 구하여 정리하면, 식(9)-(12)와 같다.

$$\gamma L_{nc,t}^{\gamma-1} \left[\alpha L_{r,t}^{\rho} + (1-\alpha) R_{g,t}^{\rho} \right]^{\frac{\chi}{\rho}} K_t^{1-\gamma-\chi} = w_{nc,t} \quad (9)$$

$$L_{nc,t}^{\gamma} \chi \left[\alpha L_{r,t}^{\rho} + (1-\alpha) R_{g,t}^{\rho} \right]^{\frac{\chi}{\rho}-1} \alpha L_{r,t}^{\rho-1} K_t^{1-\gamma-\chi} = w_{r,t} \quad (10)$$

$$L_{nc,t}^{\gamma} \chi \left[\alpha L_{r,t}^{\rho} + (1-\alpha) R_{g,t}^{\rho} \right]^{\frac{\chi}{\rho}-1} (1-\alpha) R_{g,t}^{\rho-1} K_t^{1-\gamma-\chi} = \rho_{rg,t} \quad (11)$$

$$L_{nc,t}^{\gamma} \left[\alpha L_{r,t}^{\rho} + (1-\alpha) R_{g,t}^{\rho} \right]^{\frac{\chi}{\rho}} (1-\gamma-\chi) K_t^{-\gamma-\chi} = r_t \quad (12)$$

식(9)는 비반복적 인지 노동 수요량과 해당 단위임금이 반비례하는 비반복적 인지 노동 수요함수이고, 식(10)은 반복적 노동 수요량과 해당 단위임금이 반비례하는 반복적 노동 수요함수이다. 식(11)은 물건 생산용 컴퓨터자본 수요량과 해당 컴퓨터자본 가격이 반비례하는 물건 생산용 컴퓨터자본 수요함수이고, 식(12)는 일반자본 수요량과 일반자본 가격이 반비례하는 일반자본 수요함수이다.

(2) 대인 서비스를 생산하는 기업의 이윤극대화 문제

대인 서비스를 생산하는 기업은 식(13)과 같은 이윤극대화 문제에 봉착한다.

$$\max_{L_{nm,t}, R_{s,t}} \pi_{s,t} = p_{s,t} [\tau L_{nm,t}^\eta + (1-\tau)R_{s,t}^\eta]^\frac{1}{\eta} - w_{nm,t}L_{nm,t} - p_{rs,t}R_{s,t} \quad (13)$$

대인 서비스를 생산하는 기업의 t기 이윤을 극대화하기 위하여 비반복적 육체 노동 수요량, 대인 서비스 생산용 컴퓨터자본 수요량에 대한 1계 조건을 구하여 정리하면, 식(14)-(15)와 같다.

$$p_{s,t} [\tau L_{nm,t}^\eta + (1-\tau)R_{s,t}^\eta]^\frac{1}{\eta}-1 \tau L_{nm,t}^{\eta-1} = w_{nm,t} \quad (14)$$

$$p_{s,t} [\tau L_{nm,t}^\eta + (1-\tau)R_{s,t}^\eta]^\frac{1}{\eta}-1 (1-\tau)R_{s,t}^{\eta-1} = p_{rs,t} \quad (15)$$

식(14)는 비반복적 육체 노동 수요량과 해당 단위임금이 반비례하는 비반복적 육체 노동 수요함수이고, 식(15)는 대인 서비스 생산용 컴퓨터자본 수요량과 해당 컴퓨터자본 가격이 반비례하는 대인 서비스 생산용 컴퓨터자본 수요함수이다.

(3) 물건 생산에 필요한 컴퓨터자본을 만드는 기업의 이윤극대화 문제

물건 생산에 필요한 컴퓨터자본을 만드는 기업은 식(16)과 같은 이윤극대화 문제에 봉착한다.

$$\max_{Y_{rg,t}} \pi_{rg,t} = p_{rg,t} e^{z_t} Y_{rg,t}^v - Y_{rg,t} \quad (16)$$

물건 생산에 필요한 컴퓨터자본을 만드는 기업의 t기 이윤을 극대화하기 위하여 물건 생산용 컴퓨터자본을 만드는데 투입되는 물건량에 대한 1계 조건을 구하여 정리하면, 식(17)과 같다.

$$p_{rg,t} e^{z_t} v Y_{rg,t}^{v-1} = 1 \quad (17)$$

식(17)은 컴퓨터자본 생산기술과 물건 생산용 컴퓨터자본 가격이 반비례한다는 것을 보여준다.

(4) 대인 서비스 생산에 필요한 컴퓨터자본을 만드는 기업의 이윤극대화 문제

대인 서비스 생산에 필요한 컴퓨터자본을 만드는 기업은 식(18)과 같은 이윤극대화 문제에 봉착한다.

$$\max_{Y_{rs,t}} \pi_{rs,t} = p_{rs,t} e^{z_t} Y_{rs,t}^v - Y_{rs,t} \quad (18)$$

대인 서비스 생산에 필요한 컴퓨터자본을 만드는 기업의 t기 이윤을 극대화하기 위하여 대인 서비스 생산용 컴퓨터자본을 만드는데 투입되는 물건량에 대한 1계 조건을 구하여 정리하면, 식(19)와 같다.

$$p_{rs,t} e^{z_t} v Y_{rs,t}^{v-1} = 1 \quad (19)$$

식(19)는 컴퓨터자본 생산기술과 대인 서비스 생산용 컴퓨터자본 가격이 반비례한다는 것을 보여준다.

나. 소비자의 효용극대화 문제

소비자의 효용극대화 문제는 식(21)의 예산제약 하 식(20)의 효용을 극대화하기 위하여 물건 소비량, 대인 서비스 소비량, 노동 공급량, 일반자본 공급량을 결정하는 문제로 정리된다.

$$\max_{\{C_{g,t}^o, C_{s,t}^o, L_{o,t}^s, K_{t+1}^s\}_{t=0}^{\infty}} E_0 \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \left\{ \frac{[(C_{g,t}^o)^\mu (C_{s,t}^o)^{1-\mu}]^{1-\sigma}}{1-\sigma} - \frac{(L_{o,t}^s)^{1+\psi}}{1+\psi} \right\} \quad (20)$$

$$C_{g,t}^o + p_{s,t} C_{s,t}^o + l_{o,t} = w_{o,t} L_{o,t}^s + r_t K_{o,t}^s \quad (21)$$

식(21)의 우변은 소비자의 수입으로 첫 번째 항은 소비자의 임금소득이고, 두 번째 항은 소비자가 물건을 생산하는 기업에 일반자본을 제공함으로써 벌어들인 자본소득이다. 식(21)의 좌변은 소비자의 지출로 물건과 대인 서비스를 얼마나 소비하고, 투자를 얼마나 할 것인가를 나타낸다. 소비자의 효용을 극대화하기 위하여 물건 소비량, 대인 서비스 소비량, 노동 공급량, 일반자본 공급량에 대한 1계 조건을 구하여 정리하면, 식(22)-(25)와 같다.

$$\mu(C_{g,t}^o)^{\mu(1-\sigma)-1} (C_{s,t}^o)^{(1-\mu)(1-\sigma)} = \lambda_{o,t} \quad (22)$$

$$(C_{g,t}^o)^{\mu(1-\sigma)} (1-\mu)(C_{s,t}^o)^{(1-\mu)(1-\sigma)-1} = p_{s,t} \lambda_{o,t} \quad (23)$$

$$(l_{o,t}^s)^w = \lambda_{o,t} W_{o,t} \quad (24)$$

$$\lambda_{o,t} = \beta E_t \lambda_{o,t+1} (r_{t+1} + 1 - \delta) \quad (25)$$

식(22)는 물건 소비량과 해당 가격이 반비례하는 물건 수요함수이고, 식(23)은 대인 서비스 소비량과 해당 가격이 반비례하는 대인 서비스 수요함수이다. 식(24)는 노동 공급량과 단위임금이 비례하는 노동 공급함수이다. 식(25)는 전형적인 '오일러 방정식(Euler Equation)'이다.

다. 시장 청산 조건

본 모형에서는 물건 시장, 대인 서비스 시장, 노동 시장, 일반자본 시장, 컴퓨터자본 시장이 존재한다. Walras의 법칙에 따라 대인 서비스 시장, 노동 시장, 일반자본 시장, 컴퓨터자본 시장 청산 조건이 충족되면 물건 시장 청산 조건은 자동으로 충족된다. 따라서 물건 시장 청산 조건을 제외하고 대인 서비스 시장, 노동 시장, 일반자본 시장, 컴퓨터자본 시장 청산 조건을 살펴보면, 다음과 같다.

(1) 대인 서비스 시장

대인 서비스 시장 청산 조건은 식(26)과 같다.

$$C_{s,t}^{nc} + C_{s,t}^{nm} + C_{s,t}^r = Y_{s,t} \quad (26)$$

식(26)의 좌변은 대인 서비스의 총 수요량이고, 우변은 대인 서비스의 총 공급량이다.

(2) 노동 시장

노동 시장 청산 조건은 식(27)–(29)와 같다.

$$L_{nc,t} = L_{nc,t}^s \quad (27)$$

$$L_{nm,t} = L_{nm,t}^s \quad (28)$$

$$L_{r,t} = L_{r,t}^s \quad (29)$$

식(27)–(29)의 좌변은 각각 비반복적 인지 노동, 비반복적 육체 노동, 반복적 노동의 총 수요량이고, 우변은 각각 해당 노동의 총 공급량이다.

(3) 일반자본 시장

일반자본 시장 청산 조건은 식(30)과 같다.

$$K_t = K_{nc,t}^s + K_{nm,t}^s + K_{r,t}^s \quad (30)$$

식(30)의 좌변은 일반자본의 총 수요량이고, 우변은 일반자본의 총 공급량이다.

(4) 컴퓨터자본 시장

컴퓨터자본 시장 청산 조건은 식(31)–(32)와 같다.

$$R_{g,t} = R_{g,t}^s \quad (31)$$

$$R_{s,t} = R_{s,t}^s \quad (32)$$

식(31)–(32)의 좌변은 각각 물건 생산용 컴퓨터자본, 대인 서비스 생산용 컴퓨터자본의 총 수요량이고, 우변은 각각 컴퓨터자본의 총 공급량이다.

라. 모형의 解

확률변수를 포함하는 비선형 연립방정식에 대한 解를 구하기 위해서는 앞에서 살펴본 제약조건, 1계 조건, 시장 청산 조건에 대한 로그 선형화(Log-linearization)가 필요하다. 각각의 조건에 대한 로그 선형화는 다음과 같다.

$$(\gamma - 1)\hat{L}_{nc,t} + \chi[\alpha\bar{L}_t^\rho + (1-\alpha)\bar{R}_g^\rho]^{-1}\alpha\bar{L}_t^\rho\hat{L}_{t,t} + \chi[\alpha\bar{L}_t^\rho + (1-\alpha)\bar{R}_g^\rho]^{-1}(1-\alpha)\bar{R}_g^\rho\hat{R}_{g,t} + (1-\gamma-\chi)\hat{K}_t = \hat{W}_{nc,t} \quad (33)$$

$$\gamma\hat{L}_{nc,t} + \left(\frac{\lambda}{\rho} - 1\right)[\alpha\bar{L}_t^\rho + (1-\alpha)\bar{R}_g^\rho]^{-1}\rho\alpha\bar{L}_t^\rho\hat{L}_{t,t} + (\rho - 1)\hat{L}_{t,t} + \left(\frac{\lambda}{\rho} - 1\right)[\alpha\bar{L}_t^\rho + (1-\alpha)\bar{R}_g^\rho]^{-1}(1-\alpha)\rho\bar{R}_g^\rho\hat{R}_{g,t} + (1-\gamma-\chi)\hat{K}_t = \hat{W}_{t,t} \quad (34)$$

$$\gamma\hat{L}_{nc,t} + \left(\frac{\lambda}{\rho} - 1\right)[\alpha\bar{L}_t^\rho + (1-\alpha)\bar{R}_g^\rho]^{-1}\rho\alpha\bar{L}_t^\rho\hat{L}_{t,t} + \left(\frac{\lambda}{\rho} - 1\right)[\alpha\bar{L}_t^\rho + (1-\alpha)\bar{R}_g^\rho]^{-1}\rho(1-\alpha)\bar{R}_g^\rho\hat{R}_{g,t} + (\rho - 1)\hat{R}_{g,t} + (1-\gamma-\chi)\hat{K}_t = \hat{\rho}_{g,t} \quad (35)$$

$$\gamma\hat{L}_{nc,t} + \left(\frac{\lambda}{\rho} - 1\right)[\alpha\bar{L}_t^\rho + (1-\alpha)\bar{R}_g^\rho]^{-1}\rho\alpha\bar{L}_t^\rho\hat{L}_{t,t} + \left(\frac{\lambda}{\rho} - 1\right)[\alpha\bar{L}_t^\rho + (1-\alpha)\bar{R}_g^\rho]^{-1}(1-\alpha)\rho\bar{R}_g^\rho\hat{R}_{g,t} - (\gamma + \chi)\hat{K}_t = \hat{f}_t \quad (36)$$

$$\hat{\rho}_{s,t} + \left(\frac{1}{\eta} - 1\right)[\tau\bar{L}_{nm}^\eta + (1-\tau)\bar{R}_s^\eta]^{-1}\eta\tau\bar{L}_{nm}^\eta\hat{L}_{nm,t} + (\eta - 1)\hat{L}_{nm,t} + \left(\frac{1}{\eta} - 1\right)[\tau\bar{L}_{nm}^\eta + (1-\tau)\bar{R}_s^\eta]^{-1}(1-\tau)\eta\bar{R}_s^{\eta-1} = \hat{W}_{nm,t} \quad (37)$$

$$\hat{\rho}_{s,t} + \left(\frac{1}{\eta} - 1\right)[\tau\bar{L}_{nm}^\eta + (1-\tau)\bar{R}_s^\eta]^{-1}\eta\tau\bar{L}_{nm}^\eta\hat{L}_{nm,t} + \left(\frac{1}{\eta} - 1\right)[\tau\bar{L}_{nm}^\eta + (1-\tau)\bar{R}_s^\eta]^{-1}\eta(1-\tau)\bar{R}_s^\eta\hat{R}_{s,t} + (\eta - 1)\hat{R}_{s,t} = \hat{\rho}_{s,t} \quad (38)$$

$$\bar{p}_{ig} e^{\bar{z}} v \bar{Y}_{ig}^{v-1} \hat{p}_{ig,t} + \bar{p}_{ig} e^{\bar{z}} v \bar{Y}_{ig}^{v-1} \bar{z} \hat{z}_t + \bar{p}_{ig} e^{\bar{z}} v (\nu - 1) \bar{Y}_{ig}^{v-1} \hat{Y}_{ig,t} = 0 \quad (39)$$

$$\bar{p}_{rs} e^{\bar{z}} v \bar{Y}_{rs}^{v-1} \hat{p}_{rs,t} + \bar{p}_{rs} e^{\bar{z}} v \bar{Y}_{rs}^{v-1} \bar{z} \hat{z}_t + \bar{p}_{rs} e^{\bar{z}} v (\nu - 1) \bar{Y}_{rs}^{v-1} \hat{Y}_{rs,t} = 0 \quad (40)$$

$$\hat{z}_t = \phi \hat{z}_{t-1} + \varepsilon_t \quad (41)$$

$$\bar{C}_g^{\text{nc}} \hat{C}_{g,t}^{\text{nc}} + \bar{p}_s \bar{C}_s^{\text{nc}} \hat{p}_{s,t} + \bar{p}_s \bar{C}_s^{\text{nc}} \hat{C}_{s,t}^{\text{nc}} + \bar{K}_{nc}^s \hat{K}_{nc,t+1}^s = \bar{w}_{nc-nc} \bar{L}_{nc,t}^s \hat{W}_{nc,t} + \bar{w}_{nc-nc} \bar{L}_{nc,t}^s \hat{L}_{nc,t}^s + \bar{r} \bar{K}_{nc,t}^s \hat{r}_t + \bar{r} \bar{K}_{nc,t}^s \hat{K}_{nc,t}^s + (1-\delta) \bar{K}_{nc,t}^s \hat{K}_{nc,t}^s \quad (42)$$

$$\bar{C}_g^{\text{nm}} \hat{C}_{g,t}^{\text{nm}} + \bar{p}_s \bar{C}_s^{\text{nm}} \hat{p}_{s,t} + \bar{p}_s \bar{C}_s^{\text{nm}} \hat{C}_{s,t}^{\text{nm}} + \bar{K}_{nm}^s \hat{K}_{nm,t+1}^s = \bar{w}_{nm-nm} \bar{L}_{nm,t}^s \hat{W}_{nm,t} + \bar{w}_{nm-nm} \bar{L}_{nm,t}^s \hat{L}_{nm,t}^s + \bar{r} \bar{K}_{nm,t}^s \hat{r}_t + \bar{r} \bar{K}_{nm,t}^s \hat{K}_{nm,t}^s + (1-\delta) \bar{K}_{nm,t}^s \hat{K}_{nm,t}^s \quad (43)$$

$$\bar{C}_g^r \hat{C}_{g,t}^r + \bar{p}_s \bar{C}_s^r \hat{p}_{s,t} + \bar{p}_s \bar{C}_s^r \hat{C}_{s,t}^r + \bar{K}_r^s \hat{K}_{r,t+1}^s = \bar{w}_{r-r} \bar{L}_{r,t}^s \hat{W}_{r,t} + \bar{w}_{r-r} \bar{L}_{r,t}^s \hat{L}_{r,t}^s + \bar{r} \bar{K}_{r,t}^s \hat{r}_t + \bar{r} \bar{K}_{r,t}^s \hat{K}_{r,t}^s + (1-\delta) \bar{K}_{r,t}^s \hat{K}_{r,t}^s \quad (44)$$

$$[\mu(1-\sigma) - 1] \hat{C}_{g,t}^{\text{nc}} + (1-\mu)(1-\sigma) \hat{C}_{s,t}^{\text{nc}} = \hat{\lambda}_{nc,t} \quad (45)$$

$$[\mu(1-\sigma) - 1] \hat{C}_{g,t}^{\text{nm}} + (1-\mu)(1-\sigma) \hat{C}_{s,t}^{\text{nm}} = \hat{\lambda}_{nm,t} \quad (46)$$

$$[\mu(1-\sigma) - 1] \hat{C}_{g,t}^r + (1-\mu)(1-\sigma) \hat{C}_{s,t}^r = \hat{\lambda}_{r,t} \quad (47)$$

$$\mu(1-\sigma) \hat{C}_{g,t}^{\text{nc}} + [(1-\mu)(1-\sigma) - 1] \hat{C}_{s,t}^{\text{nc}} = \hat{p}_{s,t} + \hat{\lambda}_{nc,t} \quad (48)$$

$$\mu(1-\sigma) \hat{C}_{g,t}^{\text{nm}} + [(1-\mu)(1-\sigma) - 1] \hat{C}_{s,t}^{\text{nm}} = \hat{p}_{s,t} + \hat{\lambda}_{nm,t} \quad (49)$$

$$\mu(1-\sigma) \hat{C}_{g,t}^r + [(1-\mu)(1-\sigma) - 1] \hat{C}_{s,t}^r = \hat{p}_{s,t} + \hat{\lambda}_{r,t} \quad (50)$$

$$\psi \hat{L}_{nc,t}^s = \hat{\lambda}_{nc,t} + \hat{W}_{nc,t} \quad (51)$$

$$\psi \hat{L}_{nm,t}^s = \hat{\lambda}_{nm,t} + \hat{W}_{nm,t} \quad (52)$$

$$\psi \hat{L}_{r,t}^s = \hat{\lambda}_{r,t} + \hat{W}_{r,t} \quad (53)$$

$$\hat{\lambda}_{nc,t} = E_t(\hat{\lambda}_{nc,t+1} + \beta \bar{r} \hat{r}_{t+1}) \quad (54)$$

$$\hat{\lambda}_{nm,t} = E_t(\hat{\lambda}_{nm,t+1} + \beta \bar{r} \hat{r}_{t+1}) \quad (55)$$

$$\hat{\lambda}_{r,t} = E_t(\hat{\lambda}_{r,t+1} + \beta \bar{r} \hat{r}_{t+1}) \quad (56)$$

$$\bar{C}_s^{nc} \hat{C}_{st}^{nc} + \bar{C}_s^{nm} \hat{C}_{st}^{nm} + \bar{C}_s^r \hat{C}_{st}^r = \left(\frac{1}{\eta}\right) \left[\bar{L}_{nm}^{\eta} + (1-\tau) \bar{R}_s^{\eta} \right]^{-1} \tau \eta \bar{L}_{nm}^{\eta} \hat{L}_{nm,t} + \left(\frac{1}{\eta}\right) \left[\bar{L}_{nm}^{\eta} + (1-\tau) \bar{R}_s^{\eta} \right]^{-1} (1-\tau) \eta \bar{R}_s^{\eta} \hat{R}_{st} \quad (57)$$

$$\hat{L}_{nc,t} = \hat{L}_{nc,t}^s \quad (58)$$

$$\hat{L}_{nm,t} = \hat{L}_{nm,t}^s \quad (59)$$

$$\hat{L}_{r,t} = \hat{L}_{r,t}^s \quad (60)$$

$$\bar{K} \hat{K}_t = \bar{K}_{nc}^s \hat{K}_{nc,t}^s + \bar{K}_{nm}^s \hat{K}_{nm,t}^s + \bar{K}_r^s \hat{K}_{r,t}^s \quad (61)$$

$$\bar{Z} \hat{Z}_t + \nu \hat{Y}_{rg,t} = \hat{R}_{g,t} \quad (62)$$

$$\bar{Z} \hat{Z}_t + \nu \hat{Y}_{rs,t} = \hat{R}_{s,t} \quad (63)$$

$$\bar{I}_{nc} \hat{I}_{nc,t} = \bar{K}_{nc}^s \hat{K}_{nc,t+1}^s - (1-\delta) \bar{K}_{nc}^s \hat{K}_{nc,t}^s \quad (64)$$

$$\bar{I}_{nm} \hat{I}_{nm,t} = \bar{K}_{nm}^s \hat{K}_{nm,t+1}^s - (1-\delta) \bar{K}_{nm}^s \hat{K}_{nm,t}^s \quad (65)$$

$$\bar{I}_r \hat{I}_{r,t} = \bar{K}_r^s \hat{K}_{r,t+1}^s - (1-\delta) \bar{K}_r^s \hat{K}_{r,t}^s \quad (66)$$

각 변수에 대해서 ‘ $\hat{\cdot}$ ’의 기호는 $\hat{X}_t = \log X_t - \log \bar{X}$ 를 의미한다. 여기서 ‘ \cdot ’의 기호는 변수의 장기균형 값을 의미한다. 결국, 선형화된 34개의 연립방정식을 이용하여 34개의 내생변수 $\hat{C}_{g,t}^{nc}$, $\hat{C}_{g,t}^{nm}$, $\hat{C}_{g,t}^r$, $\hat{C}_{s,t}^{nc}$, $\hat{C}_{s,t}^{nm}$, $\hat{C}_{s,t}^r$, $\hat{H}_{g,t}$, $\hat{H}_{s,t}$, $\hat{Y}_{ig,t}$, $\hat{Y}_{is,t}$, $\hat{L}_{nc,t}$, $\hat{L}_{nm,t}$, $\hat{L}_{r,t}$, $\hat{L}_{nc,t}^s$, $\hat{L}_{nm,t}^s$, $\hat{L}_{r,t}^s$, \hat{K}_t , $\hat{K}_{nc,t+1}^s$, $\hat{K}_{nm,t+1}^s$, $\hat{K}_{r,t+1}^s$, $\hat{W}_{nc,t}$, $\hat{W}_{nm,t}$, $\hat{W}_{r,t}$, \hat{r}_t , $\hat{p}_{ig,t}$, $\hat{p}_{is,t}$, $\hat{p}_{s,t}$, $\hat{\lambda}_{nc,t}$, $\hat{\lambda}_{nm,t}$, $\hat{\lambda}_{r,t}$, \hat{z}_t , $\hat{l}_{nc,t}$, $\hat{l}_{nm,t}$, $\hat{l}_{r,t}$ 에 대한 解를 도출한다.

참고문헌

- 고상원·권규호·김대일·이정민·홍석철·홍재화(2017), “4차 산업혁명의 고용 효과,” 한국개발연구원, 4차 산업혁명 대응을 위한 중장기 정책방향 세미나.
- 김명규·김성태(2010), “동태 CGE 모형을 이용한 한국 법인세 인하의 경제적 파급효과 분석,” 경제학연구, 58(3), pp. 75-119.
- 김세움(2015), “기술진보에 따른 노동시장 변화와 대응,” 한국노동연구원, 정책연구 2015-05.
- 박기열·천영민·홍성민·손양수(2016), “기술변화에 따른 일자리 영향 연구,” 한국고용정보원, 기본연구 2016-30.
- 이동웅(2017), “2017년 노사관계 환경과 전망,” 한국인사관리협회, 월간 인사관리 2017년 5월호(통권 333호).
- 하원규·최남희(2015), *제4차 산업혁명*, 컨텐츠하다.
- 한국노동연구원(2016), “플랫폼 노동 혹은 클라우드 워크,” 한국노동연구원 국제노동브리프 2016년 8월호.
- KB금융지주경제연구소(2016), “각 이코노미의 이해와 향후 전망,” KB금융지주경제연구소 KB 지식비타민 16-58호.
- Arntz, M., T. Gregory, and U. Zierahn(2016), “The risk of automation for jobs in OECD countries: a comparative analysis,” OECD Social, Employment and Migration Working Papers No. 189.
- Autor, D. H, F. Levy, and R. J. Murnane(2003), “The skill content of recent technological change: An empirical exploration,”

- Quarterly Journal of Economics, 118(4), pp. 1279–1333.
- Autor, D. H. and D. Dorn(2013), “The growth of low-skill service jobs and the polarization of the US labor market,” *American Economic Review*, 103(5), pp. 1553–1597.
- Bessen, J(2015), “Toil and Technology,” *Finance and Development*, 52(1).
- Brynjolfsson, E. and A. McAfee(2011). *Race against the machine: how the digital revolution is accelerating innovation, driving productivity, and irreversibly transforming employment and the economy*, Digital Frontier Press, Lexington, MA.
- Chari, V. V., P. J. Kehoe, and E. R. McGrattan(2000), “Sticky price models of the business cycle: can the contract multiplier solve the persistence problem?,” *Econometrics*, 68(5), pp. 1151–1179.
- Frey, C. B. and M. A. Osborne(2013), “The future of employment: how susceptible are jobs to computerization?,” Oxford Martin School, September.
- (2017), “The future of employment: how susceptible are jobs to computerization?,” *Technological Forecasting and Social Change*, 114, pp. 254–280.
- Goldin, C and L. Katz(1998), “The origins of technology-skill complementarity,” *Quarterly Journal of Economics*, 113(3), pp 693–732.
- (2008), *Race between education and technology*, Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Hansen, G. D.(1985), “Indivisible labor and the business cycle,”

- Journal of Monetary Economics, 16(3), pp. 309–327.
- Levy, F. and R. J. Murnane(2004), *The new division of labor*, New Jersey: Princeton University Press.
- McAfee, A.(2009), *Enterprise 2.0: new collaborative tools for your organization's toughest challenges*, Harvard Business Press.
- MGI(2013), “Disruptive technologies: advances that will transform life, business, and the global economy,” Technical Report, McKinsey Global Institute.
- Spitz-Oener, A.(2006), “Technical change, job tasks, and rising educational demands: looking outside the wage structure,” *Journal of Labor Economics*, 24(2), pp. 235–270.
- World Economic Forum(2016), “The Future of Jobs: Employment, Skills and Workforce Strategy for the Fourth Industrial Revolution,” Executive Summary.

제4차 산업혁명의 일자리 충격 - 새로운 분석모형을 중심으로 -

발행일 : 2017년 9월

발행처 : (재)파이터치연구원

주 소 : (04511) 서울특별시 중구 통일로 2길 16(AIA 타워 4층)

전 화 : 02-6190-8975

팩 스 : 02-6190-8979

인 쇄 : 경성문화사 02) 786-2999

본 내용의 무단복제를 금함

제4차 산업혁명의 일자리 충격

-새로운 분석모형을 중심으로-