International Labour Office

연구부서 조사 보고서 36호

로봇: 자동화가 세계적인 고용과 무역에 미치는 영향

프란체스코 카르보네로
에케하르트 에른스트
엔조 웨버

2018년 10월

연구부서 조사 보고서 36호

로봇 현황: 자동화가 세계적으로 고용과 무역에 미치는 영향

프란체스코 카르보네로[*]
에케하르트 에른스트[†]
엔조 웨버[§]

2018년 10월
국제노동기구

* 고용연구원(IAB), 교신 저자, 이메일: Francesco.Carbonero@iab.de
† 국제노동기구(ILO), 연구 부서, 이메일: ernste@ilo.org
§ 고용연구원(IAB), 이메일: Enzo.Weber@iab.de

감사의 말씀

의미 있는 논의와 제안을 해주신 Wolfgang Dauth, Stefan Kühn, Sabine Klinger, Hermann Gartner, Rossana Merola, Daniel Saaman 에게 감사드립니다. 소중한 의견과 자료를 보내주신 제네바 국제노동기구 연구부, 뉘른베르크 고용연구원(IAB) 거시경제예측분석부에게도 감사드립니다.

초록

로봇이 고용과 무역에 미치는 영향은 학계에서도, 대중 사이에서도 활발하게 논의되고 있는 주제이다. 특히 자동화가 인건비의 우위를 잠식하면서 신흥국의 일자리를 위협할 것이라는 우려가 많다. 우리는 로봇이 신흥국을 포함하여 전세계의 고용에 미치는 영향에 대한 증거를 제시한다. 로봇의 사용을 개념화하기 위해 로봇이 다양한 작업을 수행할 수 있는 능력이라고 정의되는 기술 진보 지수를 도입했다. 로봇은 전세계적인 고용에 통계적으로 유의미한 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그 효과는 선진국에서는 작지만, 신흥국에서는 2005~2014년 사이에 -14%의 영향을 미친 것으로 나타났다. 또한 우리는 국가 간 효과를 분석하여 로봇이 선진국의 오프쇼어링과 신흥국의 고용을 감소시킨다는 것도 발견했다.

키워드: 로봇, 기술, 고용, 오프쇼어링, 리쇼어링

JEL 분류: J23; O33; F16

목차

감사의 말씀

요약

1 서론 ····· 1

2 배경, 자료, 기술 통계 ····· 2

3 연구 방법 및 결과 ····· 7

3-1 고용 ····· 7

3-2 오프쇼어링, 리쇼어링 ····· 9

4 결론 ····· 11

참고 문헌 ····· 13

1 서론

로봇 확산에 대한 논의가 뜨겁다. 학계에서 관련 연구가 쏟아지고 있으며, 특히 로봇이 고용에 미치는 영향이 가장 큰 주목을 받고 있다. 우리는 관련 연구에 사용된 접근법을 산업-국가 패널을 사용하는 접근법(Graetz, Michaels, 2015; De Backer et al., 2018)과 지역 노동 시장에 초점을 맞추는 접근법(Acemoglu and Restrepo, 2017; Dauth 외, 2017; Chiacchio 외, 2018)으로 분류했다. 개도국에서도 로봇이 널리 확산되고 있지만, 기존 연구는 주로 선진국에 초점을 맞춰왔었다. 본 연구에서는 첫 번째 접근법을 채택하여 로봇이 개도국에 미치는 영향을 조명하고 자동화가 국제 생산 조직에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

로봇이 고용에 미치는 영향은 두 가지 접근법이 서로 다른 해석을 내놓을 뿐만 아니라 같은 접근법 내에서도 서로 엇갈린 의견을 제시하고 있다. Graetz와 Micahels(2015)는 선진국에서 로봇과 전체적인 고용 사이에 연관성을 찾을 수 없었다고 한 반면, De Backer 외.(2018)는 선진국 다국적기업들에서 로봇에 대한 투자와 고용 사이에 양의 상관관계가 나타난다고 주장한다. Acemoglu와 Restrepo(2017)는 근로자 1,000명 당 로봇이 1대 늘어날 때마다 미국의 고용률에 0.37 퍼센트 포인트의 부정적인 영향을 미친다고 한 반면, Chiacchio 외,(20180는 EU에서 그 영향이 0.16~0.20퍼센트 포인트라고 분석했다. 비슷한 연구에서 Dauth 외.(2017)는 로봇이 전체적인 고용에 부정적인 영향을 미치지 않지만, 그 이유는 서비스 부문에서 창출된 새로운 일자리가 제조업에서 줄어드는 일자리를 메꾸는 구성의 변화를 가져오기 때문이라는 결론을 내리고 있다.

본 연구는 두 가지 측면에서 기존 연구에 없던 새로운 시도를 하고 있다. 본 연구는 개도국에서 로봇이 고용에 미치는 영향을 규명한 첫 번째 연구이다. 중간-저소득 국가의 자동화 확산 정도는 고소득 국가와 비슷하게 나타나지만, 개도국들은 제한된 노동 시장 조직, 높은 수준의 비공식성, 높은 농업 부문의 비중 등과 같은 여러 가지 취약점을 가지고 있기 때문에 고용에 대한 부정적인 영향에 보다 취약한 구조를 가지고 있다. 뿐만 아니라 선진국들이 해외로 내보냈던 생산 라인을 다시 자국으로 불러들이는 이른바 리쇼어링 현상에 대한 관심도 높아지고 있다. 실제로 인건비 상승, 보다 짧고 유연한 공급망에 대한 수요 증가가 맞물리면서 오프쇼어링의 장점이 퇴색되고 있다. 따라서 선진국 기업들 입장에서는 특정 공정의 경우 해외에서 생산 라인을 운영하는 것보다 국내에서 자동화 수준을 높이는 것이 오히려 비용이 적게 드는 경우가 있다(UNCTAD(2016) 참조). 이는 중-저소득 국가의 고용에 더 큰 악영향을 미치는 요인이 될 수 있다. 본 연구에서는 로봇이 고소득국가의 오프쇼어링에 얼마나 영향을 미치는지, 그리고 이런 현상이 중-저소득 국가의 고용에 영향을 미치는지 측정했다.

우리가 내린 결론은 다음과 같다. 첫째, 로봇은 세계적인 단위에서 고용 성장에 부정적인 영향을 미치며, 선진국보다 신흥국에 미치는 영향이 11배 이상 크다. 둘째, 로봇이 고용에 미치는 영향은 선진국의 노동 집약도에 의해 영향을 받지 않지만, 신흥국에서는 그런 비단조 효과가 명확하지 않다. 우리는 변수의 장기 추세에 OLS 접근법을 적용하고, 고용과 로봇 사이의 내성성을 파악하기 위한 IV 접근법을 사용하여 이런 결과를 도출했다. 그 과정에서 우리는 로봇이 다양한 작업을 수행할 수 있는 능력에 기반한 기술 진보 정도를 측정하는 새로운 로봇량(stocks fo robot) 지표를 제안한다. 우리가 추정한 바에 따르면 2005년에서 2014년까지 로봇량이 24% 증가함에 따라 장기적인 고용이 1.3% 감소했다. 선진국에서는 고용 감소가 0.5%를 조금 넘는 수준이지만, 신흥국에서는 거의 14%에 달한다. 셋째, 선진국의 로봇은 오프쇼어링을 감소시키며, 이로 인해 같은 기간 동안 신흥국의 고용을 5% 감소시켰다.

이런 결과들은 대체로 자동화, 특히 로봇과 관련된 우려들은 개도국에서 가장 먼저, 그리고 가장 크게 나타난다는 것을 보여준다. 이는 자동화로 인한 중-저소득 국가의 일자리 감소 문제에 관한 세계은행의 경고와도 부합된다(World Bank, 2016 참고).

2 배경, 자료, 기술 통계

자동화가 고용에 미치는 영향에 대한 실증적 합의는 아직 이뤄지지 않고 있다. 그 가장 큰 이유는 자동화가 생산 공정에 영향을 미치는 채널이 단수가 아니라는 것이다. Acemoglu와 Restrepo(2018)는 구체적으로 자동화가 미치는 영향을 상쇄할 수 있는 4가지 기제로 생산성 효과, 자본 축적 효과, 자동화 심화(생산성 향상으로 인한 효과), 새로운 작업 창출을 들고 있다. 저자들은 동시에 자동화 단계(과도한 자동화) 또는 노동 시장이 새롭게 요구되는 기술에 적응할 수 있는 능력과 관련된 위험도 지적하고 있다.[1)]

최신 연구 문헌들은 로봇이 고용에 미치는 영향을 두 가지 접근법을 사용해서 분석하고 있다. 첫 번째는 국가-산업 수준의 자료를 이용한 패널 설정이었으며, 이 접근법에서는 경제적 효과가 약하거나 거의 나타나지 않았다(Graetz, Michaels, 2015; Debacker 외, 2018 참고). 두 번째 접근법은 지역 노동 시장에서 로봇의 역할에 초점을 맞춘다. 이 접근법에 따르면 미국과 EU에서 부정적인 효과가 나타난다(Acemoglu, Restrepo, 2017; Chiacchio 외, 2018 참고).[2)]

우리는 "자동으로 제어되고, 재프로그램이 가능하며, 다목적인 조작기로써 3개 이상의 축을 가지고 있으며, 산업 자동화 용도로 고정식 또는 이동식으로 사용할 수 있는" 기계(국제표준화기구, ISO)라고 로봇을 정의하는 국제로봇연맹(IFR)의 로봇에 관한 데이터를 사용했다. 우리가 사용한 로봇 관련 데이터는 43개국에 걸쳐 7가지 대분류, 13가지 소분류로 분류할 수 있는 제조업 데이터에 기반하고 있다. 고용, 부가 가치, 자본 투입에 관한 자료를 얻기 위해 로봇 데이터를 세계투입산출데이터베이스(WIOD)의 사회경제계정(SEA)로부터 얻은 산업 단위 정보와 통합했으며, WIOD가 제공하는 시장 환율을 사용하여 명목 가치를 미국 달러로 환산했다. 데이터를 통합한 결과, 41개국에 걸친 15개 부문의 데이터가 취합되었다. 데이터 가용성으로 인해 시간 차원은 2005~2014년으로 한정했다. IFR 데이터베이스에서 멕시코와 캐나다의 2010년 이전 정보는 "북미"로 통합되어 있다. 따라서 산업 부문 단위 로봇 비중에 적용된 2010년 이후의 성장률을 사용해서 해당 국가의 수치를 결정했다.

로봇의 수량에 관해서는 표 1을 보면, 2014년을 기준으로 로봇은 주로 일본, 미국, 경제 규모가 큰 EU 국가에 주로 설치되어 있으나, 중국, 인도, 브라질과 같은 신흥국의 비중도 무시할 수 없는 수준이다. 표의 마지막 열에는 2000~2014년 사이의 평균 부가가치 증가가 표기되어 있으나, 그 결과는 서로 엇갈리게 나타난다. 각 국가 집단 별로 빠르게 성장하는 국가와 느리게 성장하는 국가 모두에서 로봇이 확산되고 있는 것으로 나타났다.

로봇은 항상 일정 품질로, 거의 무한정 작업을 할 수 있기 때문에, 반복적인 작업을 하는 근로자의 비중이 높은 산업일수록 사람을 로봇으로 대체하는 것이 이득일 수 있다. 따라서 우리는 산업 부문 단위에서 20014년과 2005년 사이의 로봇 밀도(근로자 10,000명 당 로봇량) 변화와 2005년의 노동 집약도를 살펴보았다. 표 2를 보면, 전세계적으로 로봇은 주로 노동 집약도가 높은 부문에서 널리 확산되었음을 알 수 있다. 이런 현상은 특히 선진국에서 두드러지게

1) 후자에 대해서는 Warning, Weber(2018)의 디지털화가 채용 과정에 미치는 영향을 참고하라.
이 논문에서 저자들의 결론은 채용이나 해고에는 영향이 없었지만, 공석이나 탐색 포기는 증가했다는 것이다.
2) 예외적으로 Dauth 외.(2017)는 독일에 대한 연구에서 영향이 없다고 주장했다.

나타나며, 신흥국의 경우 고무, 플라스틱, 광물 제품, 산업 기계와 같이 자본 집약도가 높은 산업 부문에서도 로봇 사용이 증가했다.

그림 1은 선진국과 신흥국 두 그룹에서 시간의 흐름에 따라 로봇량이 어떻게 변화하고 있는지 살펴보기 위해 국가 별 로봇량을 시계열로 표시한 것이다. 일본과 중국의 경우 각각의 그룹 내에서 극단적인 값을 보였기 때문에 별도의 그래프로 표시했다. 선진국 중에서 일본 다음으로 한국, 미국, 독일이 로봇에 대한 투자가 가장 활발한 국가로 나타난 반면, 이탈리아의 투자는 감소세를 보였다. 신흥국 중에서 인도, 브라질, 멕시코가 가장 로봇량이 많은 것으로 나타났으며, 아시아와 유럽 국가들, 러시아가 그 뒤를 이었다. 중국은 2013년 이후로 세계에서 가장 많은 로봇을 설치한 국가이며, 2030년까지 매년 100,000대의 로봇을 추가적으로 설치한다는 계획을 가지고 있음을 감안한다면 그 규모는 더욱 커질 것으로 보인다.

표 1: 국가 별, 전체 샘플, 기술 통계(2014)

국가	로봇	근로자 (단위 1,000명)	2014~05 평균 부가가치 증가	국가	로봇	근로자 (단위 1,000명)	2014~05 평균 부가가치 증가
일본	295829	53310	0	터키	6286	20049	0.07
미국	219434	145951	0.04	스위스	5764	4161	0.07
중국	189358	858367	0.15	인도네시아	5201	74641	0.11
한국	176833	17547	0.07	덴마크	5119	2575	0.05
독일	175768	38307	0.05	헝가리	4302	3834	0.08
이탈리아	59823	18127	0.04	핀란드	4178	2196	0.05
타이완	43484	8308	0.03	슬로바키아	3891	1896	0.11
프랑스	32233	24545	0.05	포르투갈	2870	3794	0.05
스페인	27983	15495	0.06	러시아	2694	60265	0.14
영국	16935	26412	0.05	슬로베니아	1819	745	0.06
인도	11760	314882	0.11	루마니아	1361	6171	0.12
스웨덴	10742	4518	0.06	노르웨이	1008	2588	0.08
브라질	9557	93704	0.09	아일랜드	667	1593	0.07
체코	9543	4326	0.09	그리스	392	2625	0.04
멕시코	9277	25686	0.05	불가리아	197	2685	0.1
네덜란드	8470	7228	0.05	크로아티아	121	1304	0.07
캐나다	8180	16794	0.06	에스토니아	83	561	0.11
벨기에	7995	3795	0.06	리투아니아	57	1157	0.1
오스트레일리아	7927	10669	0.09	라트비아	19	791	0.1
오스트리아	7237	3697	0.06	몰타	12	172	0.07
폴란드	6401	12311	0.08				

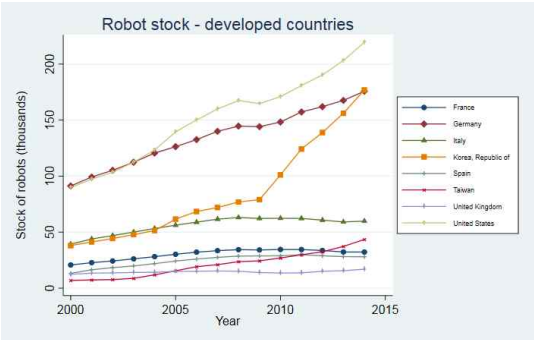
출처: IFR, SEA(WIOD)

표 2: 부문별, 전체 샘플, 기술 통계

	전세계		선진국		신흥국	
산업 부문	로봇 밀도 증가 (2014-2005)	노동 집약도 (2005)	로봇 밀도 증가 (2014-2005)	노동 집약도 (2005)	로봇 밀도 증가 (2014-2005)	노동 집약도 (2005)
농업	13	0.009	14	0.001	9	0.029
전자	3035	0.008	2995	0.003	3143	0.02
목재 및 제지	-23	0.007	-39	0.004	22	0.013
자동차	6019	0.006	5106	0.003	8509	0.017
건설	28	0.005	29	0.003	25	0.011
섬유	3	0.004	-2	0.002	17	0.01
고무, 플라스틱, 광물 제품	733	0.004	201	0.002	2183	0.008
교육/연구/개발	2	0.004	-21	0.002	64	0.008
기본 금속	1172	0.003	1257	0.003	940	0.005
산업 기계	249	0.003	-64	0.002	1102	0.007
화학	306	0.002	383	0.001	96	0.004
식음료	749	0.001	878	0.001	397	0.003
공공 인프라	1	0.001	-1	0	8	0.002
광업, 채석	4	0.001	4	0	1	0.001

출처: IFR, SEA(WIOD)

그림 1: 로봇량 변화(단위 1,000대)



3. 연구 방법 및 결과

3.1 고용

우리는 연도 t 에 국가 j 의 산업부문 i 의 산출 Y는 오직 노동 N과 로봇 R의 조합으로만 생산된다, 즉 $Y_{i,j,t} = F(N_{i,j,t}, R_{i,j,t})$라고 가정하고 분석을 실시했다. 국가 j의 산업부문 i의 임금을 W_{ij}라고 하면, 노동 수요는 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다:

$$N_{ijt} = F(Y_{ijt}, W_{ijt}, R_{ijt}), \quad (1)$$

2절에서 이미 살펴봤듯이 노동집약적인 부문일수록 로봇이 다 많이 증가했다. 따라서 국가 j의 산업부문 i의 고용/자본 비율이 해당 국가의 연도 t 평균값을 상회하면 1의 값을, 그렇지 않으면 0의 값을 가지는 가변수를 추가했다. De Backer 외.(2018)과 마찬가지로 로봇과의 상호작용에 이 변수를 사용했다. 동시적 내생성을 피하기 위해 샘플 기간이 시작하는 시점 즉 2005년의 노동집약도 변수를 측정했다.

그 밖에도 두 가지 내생성이 발생할 수 있는 요인을 해결해야 했다. 첫째, 고용과 로봇 투자 양쪽 모두 경기 순환 과정에서 일시적 변동에 영향을 받을 수 있으며, 이로 인해 로봇의 효과가 과대평가될 수 있다. 둘째, 역인과성이 문제가 될 수 있다. 예를 들어 노동 인구가 충분할 경우 로봇에 대한 투자 유인이 줄어들 수 있다. 첫 번째 문제를 해결하기 위해 우리는 각 변수의 로그값의 장기 추세를 사용한 Karabarbounis, Neiman(2013)의 방법을 따랐다. 이 방법을 사용하면 일시적인 동시적 충격의 영향을 제거할 수 있다. 두 번째 내생성 문제에 대해서는, 먼저 로봇의 기술 수준과 로봇이 할 수 있는 작업과 같이 이런 유형의 자동화가 가진 고유의 특성으로 인해 나타난 결과만을 로봇 투자로 간주한다면, 우리의 예측이 편향되지 않을 것이라는 데 착안했다. 따라서 우리는 로봇의 충격을 국가 단위의 로봇 기술진보(TP) 지표로 나타냈다. 우리는 다양한 작업을 할 수 있는 로봇의 능력에 집중했다. 이는 로봇이 보다 많은 다양한 작업을 할 수 있다는 것은 관련 기술이 진보했다는 것을 의미하는 반면, 같은 작업에 투입되는 로봇의 수가 증가했다는 것은 기술 진보라기 보다 자본 투자의 증가를 의미한다는 생각에 따른 것이다.[3] 이를 위해 각 적용 분야 즉 작업 별 로봇량에 관한 IFR 데이터를 활용했다. 각 적용 분야 별 로봇의 비중을 계산한 후, TP 지수를 연도 t의 로봇 비중의 표준편차의 역으로 계산했다. 로봇이 다양한 작업을 할 수 있는 능력이 높고, 여러 적용 분야에 걸쳐 고르게 분포되어 있을수록 표준 편차가 낮을 것이고, 따라서 TP 지표가 높을 것이기 때문이다.

이 방법의 타당성을 검증하기 위해 우리는 최근 들어 기술적 발전이 두드러졌던 다른 기술 투입, 즉 정보통신기술(ICT)과 비교했다.[4] 우리는 특히 일군의 EU 국가들과 미국을 대상으로 평균 ICT 가격 지수에서 로봇 비중의 평균 표준 편차를 비교했다.[5] 부록에 첨부된 그림 A1은 두 계열의 산포도를 나타낸다. 하방 추세인 두 계열의 허위상관을 피하기 위해, 각 변수를 상수 및 선형 추세에 대해 회귀하여 잔차의 상관성을 계산했다. 우리가 얻은 값은 0.91이었다.[6]

---

3) Acemoglu, Restrepo(2018)도 비슷한 맥락에서, 작업 대체와 구분되는 기존 기술 개선을 "자동화의 심화"로 정의한다. 전자는 자동화가 노동을 대체하고 노동 수요에 악영향을 미치지만, 후자는 이미 자동화된 작업의 생산성을 향상시키며, 노동 수요를 오히려 증가시킬 수도 있다.

4) ICT 가격 감소가 노동 시장에 미치는 영향에 대해서는 Carbonero 외,(2017) 참고

5) 샘플 국가들은 오스트리아, 덴마크, 프랑스, 독일, 이탈리아, 네덜란드, 스페인, 영국, 미국이었다. ICT 가격 지수의 출처는 EUKLEMS 2005-2015이다.

6) 각 계열의 1차 차분의 상관성도 계산했다: 0.74.

최종적으로 우리가 도출한 추정식은 다음과 같다:

$$N_{ij} = {}_0 + {}_1 robots_{ij} + {}_2 robots_{ij} \times li_{2005} + {}_3 li_{2005} + {}_4 V A_{ij} + {}_5 W_{ij} + u_{ij}. \quad (2)$$

우리는 WIOD를 국가 및 산업 고정 효과를 가진 2005~2014년 사이의 IFR 데이터와 통합하여 산업 부문 수준에서 식 2를 도출했다.

표3은 OLS 기법의 결과를 보여준다. 세계 수준에서 로봇량의 추정 효과의 계수는 -0.032, 유의수준 5%였다. 이는 로봇량이 1% 증가할 때 고용이 0.054% 감소한다는 것을 의미한다. 영향을 구체적으로 수치화하자면 2005~2014년 사이에 그랬던 것처럼 평균 로봇량이 20% 이상 증가하면, 고용은 0.8% 감소한다. 이 효과는 노동 집약도의 영향을 받는다. 노동집약적 산업은 자본집약적 부문보다 받는 영향이 33% 이상 더 크게 나타났다. 이 효과는 주로 계수 -0.031을 기록한 신흥국들이 주도했다. 신흥국의 경우 2005~2014년 사이의 로봇량 변화를 고려하면, 고용이 1.2% 감소했다고 할 수 있으며, 노동집약적인 부문이 4.3%로 고용 감소 효과가 가장 큰 것으로 추정됐다.

표 3: 로봇 및 노동 집약도로 회귀분석한 고용. OLS 기법

종속 변수: 고용	세계		선진국		개도국	
로봇량	−0.032**	−0.027**	−0.000	−0.005	−0.031*	−0.010
	(0.013)	(0.012)	(0.005)	(0.007)	(0.018)	(0.014)
로봇량 × 노동집약도		−0.037**		0.012		−0.108***
		(0.019)		(0.01)		(0.027)
노동집약도	−0.000	0.012	0.003	0.002	−0.010	0.055***
	(0.005)	(0.008)	(0.004)	(0.004)	(0.008)	(0.013)
N	477	477	360	360	117	117
R^2	0.90	0.91	0.85	0.86	0.93	0.95

추세 변수, 국가 및 산업 고정효과를 사용한 회귀분석. 추세는 선형 추세에 대한 회귀의 계수. 괄호 안은 로버스트 표준 오차. 유의도 *, **, ***은 0.10, 0.05, 0.01에서 유의미함을 나타냄. 통제변수: 부가 가치, 임금. 추정치는 2005년 부문 별 고용으로 가중함.

표 4는 IV 기법을 사용한 결과를 보여준다. 모든 계수는 OLS 기법보다 크며, 보다 정확한 것으로 나타났다. 따라서 로봇이 고용에 미치는 부정적인 영향은 내생성 문제로 인한 것이 아니다. 국제 수준에서 그 정도는 -0.055로 증가하며, 이는 2005~2014년 동안 전체적인 고용에 미친 부정적인 영향이 1.3%라는 것을 의미한다. 선진국은 0.54%를 기록했으며, 신흥국에서는 거의 14%의 감소 효과가 나타났다.

이런 수치들이 기존 연구 결과들과 부합되는지 평가하기 위해, 로봇이 하나 증가하면 총고용을 5.6명 감소시킨다는 Acemolgu, Restrepo(2017)의 로봇이 고용에 미치는 총영향을 사용했다. 우리는 2000년에서 2014년 사이에 미국에 몇 대의 로봇이 설치되었는지 계산하고, 그 수치에 5.6을 곱한 값을 고용에서 뺐다. 그 결과 고용율이 0.52%(선진국 전체는 0.57%) 감소했다는 결과가 나왔으며, 이는 우리의 기저효과 0.54%와 매우 가까운 수치이다.

우리는 산업 로봇에 관한 데이터를 가지고 있기 때문에, 로봇이 전체 고용 중 제조업 부문 고용이 차지하는 비중에 부정적인 영향을 미치는지에 대해서도 살펴볼 수 있었다. 부록의 표 A1은 부정적인 효과, 특히 선진국보다 개도국에서 더 강한 부정적인 효과를 보여주지만, 양쪽 모두 그 효과는 통계적으로 약하게 나타났다.

표 4: 로봇 및 노동 집약도로 회귀분석한 고용. IV 기법

종속 변수: 고용	세계		선진국		개도국	
로봇량	−0.055**	−0.044**	−0.029***	−0.034***	−0.343***	−0.329
	(0.028)	(0.018)	(0.009)	(0.009)	(0.112)	(0.48)
로봇량 × 노동집약도		−0.023		0.012		−0.011
		(0.044)		(0.019)		(0.411)
노동집약도	0.007	0.015	0.002	0.001	−0.016	−0.010
	(0.008)	(0.015)	(0.005)	(0.005)	(0.021)	(0.217)
N	477	477	360	360	117	117
R^2	0.84	0.85	0.8	0.8	0.35	0.38

추세 변수, 국가 및 산업 고정효과를 사용한 회귀분석. 추세는 선형 추세에 대한 회귀의 계수. 괄호 안은 로버스트 표준 오차. 유의도 *, **, ***은 0.10, 0.05, 0.01에서 유의미함을 나타냄. 통제변수: 부가 가치, 임금. 추정치는 2005년 부문 별 고용으로 가중함.

3.2 오프쇼어링, 리쇼어링

본 연구의 두 번째 주제는 다음과 같은 질문에 답하는 것이다: 생산의 세계화가 각 국가들에서 로봇의 역할에 얼마나 영향을 미쳤는가? 특히 선진국과 신흥국에서 로봇이 고용 성장에 미친 영향이 크게 다르게 나타난다는 점에서 신흥국이 국제 공급망에 편입됨으로써 자동화로 인해 더 큰 영향을 받는 것인지 규명할 필요가 있다. 따라서 이어지는 분석의 목표는 무역의 역학이라는 측면에서 자동화가 고용에 미치는 효과를 측정하는 것이다.

선진국과 개도국 양쪽 모두에서 자동화의 확산으로 인해 발생한 오프쇼어링과 리쇼어링이 고용에 미치는 잠재적인 충격에 대한 활발한 논의가 이뤄지고 있다. UNCTAD(2016)는 로봇이 저렴해지고 노동을 보다 쉽게 대체할 수 있게 되면 저소득 국가가 가진 전통적인 저임금의 장점이 퇴색될 수 있을 것이라고 주장한다. 이 시나리오에 따르면 가장 큰 영향을 받는 산업은 제조업이다. 개도국의 노동의 질이 높아지면서 자연스럽게 올라간 인건비로 인해 부정적인 효과가 더욱 커질 수 있다. 예를 들어 보스턴 컨설팅 그룹의 보고서에 따르면 2004년에서 2014년 사이에 중국과 멕시코의 임금은 각각 500%, 67% 상승했다(Sirkin 외, 2014). 이런 문제를 비롯한 다양한 문제들로 인해 GE, 플랜트로닉스 같은 여러 기업들이 다시 모국으로 복귀하고 있다(각각 Crooks 2012, Cattan, Martin, 2012 참고).

이와 같은 가격 경쟁력으로의 수렴 현상은 앞으로도 계속될 것으로 보이며, 생산자들이 생산라인을 선진국에서 개도국으로 옮길 유인을 줄일 것으로 보인다. A.T. Kearney의 연구에 따르면 기존에 오프쇼어링으로 혜택을 보던 국가들이 그렇지 않았던 국가들보다 더 큰 일자리 감소를 겪게 될 것이다(Gott, Sethi, 2017).

그럼에도 오프쇼어링은 당분간 계속될 것으로 보인다. 중국은 여전히 대부분의 투자를 받아들이는 국가로 남아 있다. 인건비가 실제로 상승한다고 해도, 개도국은 새로운 니즈와 수요가 발생하는 자체 시장의 성장을 함께 경험하게 된다. 예를 들어 2020년이 되면 중국의 중산층 인구가 미국의 전체 인구보다 많아질 것으로 예상된다(Atsmon, Magni, 2012).

우리는 계량경제학 분석을 통해 이런 질문들에 답하고자 했다: 로봇이 선진국의 오프쇼어링을 감소시키는가? 만일 그렇다면, 그로 인해 신흥국의 고용이 감소하는가? 첫 번째 질문에 답하기 위해 우리는 기존 연구들과 비슷한 방식으로, 전체 비에너지 투입 중 신흥국으로부터 수입된 비에너지 투입의 비중을 사용하여 오프쇼어링 지수를 계산했다. 그리고 3.1절에서와 비슷한 방식으로 OLS, IV 기법을 사용했다. 두 번째 질문에 대해서는 신흥국의 각 부문 별로 *무역-가중 로봇* 기법을 사용했다. 즉 특정 국가 및 부문에 대한 수출 비중으로 가중한 선진국의 로봇량을 계산했다. 그리고 이 기법을 (국내 로봇량을 통제 변인으로 한)신흥국의 고용을 설명하는데 사용했다.

표 5는 첫 번째 분석의 결과이다. OLS 기법을 사용할 경우 로봇이 선진국의 오프쇼어링에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 노동집약도와의 상호작용도 더 정확한 추정치를 나타내지 않았다. 그러나, IV 기법을 사용하면 5% 유의수준에서 계수가 -0.038로 계산됐다. 상호작용이라는 측면에서 노동집약 부문과 자본 집약 부문 사이에 유의미한 차이는 없는 것으로 보인다. 따라서 이런 결과를 놓고 볼 때 2005년에서 14년 사이의 선진국의 로봇 증가는 오프쇼어링에 거의 -0.7%에 가까운 영향을 미쳤다고 할 수 있다.

표 5: 로봇이 선진국의 오프쇼어링에 미친 영향

종속 변수: 선진국의 오프쇼어링	OLS		IV	
로봇량	0.004	0.01	−0.038**	−0.030**
	(0.01)	(0.015)	(0.015)	(0.015)
로봇량 × 노동집약도		−0.013		−0.017
		(0.018)		(0.035)
노동집약도	−0.006	−0.004	−0.003	−0.001
	(0.004)	(0.005)	(0.005)	(0.007)
N	343	343	343	343
R^2	0.42	0.42	0.14	0.14

추세 변수, 국가 및 산업 고정효과를 사용한 회귀분석. 추세는 선형 추세에 대한 회귀의 계수. 괄호 안은 로버스트 표준 오차. 유의도 *, **, ***은 0.10, 0.05, 0.01에서 유의미함을 나타냄. 통제변수: 부가 가치, 임금. 추정치는 2005년 부문 별 고용으로 가중함.

이런 부정적인 효과는 기존 연구(De Backer 외, 2018), 그리고 로봇의 사용으로 인해 특정 산업에서 해외에서 생산된 투입량이 줄어둘 수 있다는 가정에 부합된다. 다음 단계는 선진국의 로봇의 확산으로 인한 수입 비중 감소가 신흥국의 고용 수준에 영향을 미쳤는지 확인하는 것이다. 이를 위해 우리는 무역-가중 로봇 기법을 사용했다.

표 6은 두 번째 분석의 결과를 보여준다. OLS 추정에서는 거의 영향이 나타나지 않으며, 앞서 살펴 본 표 3의 결과와 비슷한 결과를 보였다. 그러나 IV 추정에서는 무역-RKWNWD 로봇의 계수가 유의수준 5%에서 -0.431로 나타났다. 이 변수가 2005~2014년 사이에 12% 변화함으로써 고용이 5% 감소한 것이다.

표 6: 선진국의 로봇이 신흥국의 고용에 미친 영향

종속 변수: 신흥국의 고용	OLS		IV	
무역-가중 로봇량	−0.014	−0.014	−0.431**	−0.341
	(0.063)	(0.052)	(0.173)	(0.809)
가중 로봇량 × 노동집약도		0.016		0.043
		(0.08)		(0.927)
노동집약도	0.008	0.058***	0.007	0.05
	(0.007)	(0.015)	(0.014)	(0.153)
N	113	113	113	113
R^2	0.94	0.79	0.96	0.86

추세 변수, 국가 및 산업 고정효과를 사용한 회귀분석. 추세는 선형 추세에 대한 회귀의 계수. 괄호 안은 로버스트 표준 오차. 유의도 *, **, ***은 0.10, 0.05, 0.01에서 유의미함을 나타냄. 통제변수: 부가 가치, 임금. 추정치는 2005년 부문 별 고용으로 가중함.

표5와 6은 선진국의 로봇 확산이 선진국의 오프쇼어링과 신흥국의 고용에 부정적인 영향을 미친다는 것을 보여준다. 리쇼어링이 고용을 감소시킬 수 있기 때문에, 이 둘을 결합하여 타당성 검사를 실시했다. 오프쇼어링 지수가 총 비에너지 투입 대비 수입 비에너지 투입으로 정의되기 때문에, 표5의 IV 효과 -0.038%를 2005-2014 사이 평균 선진국 총비에너지 투입 값에 적용했다. 그 결과 290억$라는 수치가 나왔다. 고용 효과를 감안하여 표 6의 IV 추정치 -0.43%를 2005-2014 사이의 평균 신흥국 임금에 적용했다. 그 결과는 237억$로 수입 감소량과 상당히 유사한 결과가 나왔다.

4. 결론

본 연구에서 우리는 로봇이 고용과 무역에 미치는 영향에 대한 새로운 증거를 제시했다. 특히 로봇의 사용이 선진국과 신흥국 모두에서 증가하고 있다는 사실을 입증했다. 공급망이 국제화된 상황에서 로봇이 선진국의 오프쇼어링 추세에 영향을 주는지, 그리고 이를 통해 신흥국의 고용에 영향을 주는지 살펴봤다. 달리 말해 로봇의 확산이 리쇼어링으로 이어지는지, 즉 선진국 기업 입장에서 기존에 저임금 신흥국으로 오프쇼어링했던 생산 라인을 다시 모국으로 불러들이는 것이 더 이득인지 살펴봤다.

연구 결과 로봇은 2005~2015년 사이에 국제 고용을 1.3% 감소시켰다. 이 효과는 선진국에서는 -0.54%로 비교적 작았지만, 신흥국에서는 14%로 훨씬 높게 나타났다. 이런 추정치는 도구변수를 이용한 회귀분석의 결과이며, 경기 효과로 인한 자동화에 대한 구조적 수요를 배제하기 위해, 로봇이 다양한 작업을 수행할 수 있는 능력으로 정의한 로봇 기술 발전 지수를 사용했다. 우리는 보다 강건한 접근법을 사용하여 De Backer 외(2018)의 결과를 확인했으며, 로봇이 오프쇼어링 추세를 감소시킨다는 것을 보였다. 같은 맥락에서 우리는 선진국에서의 로봇 확산이 신흥국의 고용에 부정적인 영향을 미친다는 것을 발견했으며, 로봇 추동 리쇼어링을 통한 국가 간 효과의 첫 번째 증거를 제시했다. 결론적으로 로봇이 고용에 미치는 부정적인 효과는 주로 신흥국에 집중되어 있으며, 국내적 구조와 국제 공급망 양쪽 모두를 통해 영향을 미친다.

로봇의 확산을 살펴보는 것은 자동화가 기계적 작업에 미치는 영향을 살펴보는 좋은 방법 중 하나지만, 기계적 작업은 현재 인간 근로자가 수행하는 작업의 한 부분일 뿐이다. 보다 넓은 범위의 자동화까지 연구 범위를 확대하기 위해서는 인공 지능에 관한 데이터를 수집해야 할 것이다(인공 지능이 노동 시장에 미치는 영향에 관한 Ernst 외, 2018의 논의 참고).

참고 문헌

Acemoglu, D.; Restrepo, P. 2017. "Robots and jobs: Evidence from US Labor Markets", in *NBER Working Paper No. w23285*.

—. 2018. Artificial intelligence, automation and work Working Paper 24196, National Bureau of Economic Research.

Atsmon, Y.; Magni, M. 2012. "Meet the Chinese consumer of 2020", in *McKinsey Quarterly*, No. 205, p. 28.

Carbonero, F.; Offermanns, C.; Weber, E. 2017. The fall of the labour income share: the role of technological change and imperfect labour markets Technical report, IAB-Discussion Paper 28/2017.

Cattan, N.; Martin, E. 2012. "Mexico Replaces China as U.S. Supplier With No Wage Gains: Jobs", in *Bloomberg Business*.

Chiacchio, F.; Petropoulos, G.; Pichler, D. 2018. "The impact of industrial robots on eu employment and wages: A local labour market approach", in *Bruegel Working Papers*.

Crooks, E. 2012. "GE takes 1bn risk in bringing jobs home", in *Financial Times*.

Dauth, W.; Findeisen, S.; Südekum, J.; Woessner, N. 2017. "German Robots - The Impact of Industrial Robots on Workers", in *CEPR Discussion Paper No. DP12306*.

De Backer, K.; DeStefano, T.; Menon, C.; Suh, J.R. 2018. "Industrial robotics and the global organisation of production", in *OECD Science, Technology and Industry Working Papers, 2018/03, OECD Publishing, Paris.*

Ernst, E.; Merola, R.; Samaan, D. 2018. "The economics of artificial intelligence: Implications for the future of work", in *ILO Future of Work Research Paper Series No. 5*.

Gott, J.; Sethi, A. 2017. "The Widening Impact of Automation", in *A.T. Kearney*

Research Report. Graetz, G.; Michaels, G. 2015. "Robots at work", in *CEP*

Discussion Paper No 1335.

Karabarbounis, L.; Neiman, B. 2013. "The Global Decline of the Labor Share", in *The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 129, No. 1, pp. 61-103.

Sirkin, H.L.; Zinser, M.; Rose, J. 2014. "The Shifting Economics of Global Manufacturing: How Cost Competitiveness Is Changing Worldwide", in *Boston Consulting Group, August*.

UNCTAD 2016. *Robots and industrialization in developing countries* (Policy Brief No.50).

Warning, A.; Weber, E. 2018. Digitalisation, hiring and personnel policy: evidence from a representative business survey Technical report, Institute for Employment Research, Nuremberg, Germany.

World Bank 2016. *World Development Report 2016: Digital Dividends* (Washington, DC: World Bank.).

부록

표 A1: 로봇이 제조업 고용에 미치는 영향

종속 변수: 신흥국의 고용	OLS			IV		
	세계	선진국	신흥국	세계	선진국	신흥국
로봇량 증가	-0.009	0.009	-0.030**	-0.046	-0.004	-0.072
	(0.10)	(0.006)	(0.011)	(0.030)	(0.009)	(0.054)

괄호 안은 표준 오차. 유의도 *, **, ***은 0.10, 0.05, 0.01에서 유의미함을 나타냄.
통제변수: 부가 가치, 임금. 연도 고정 효과

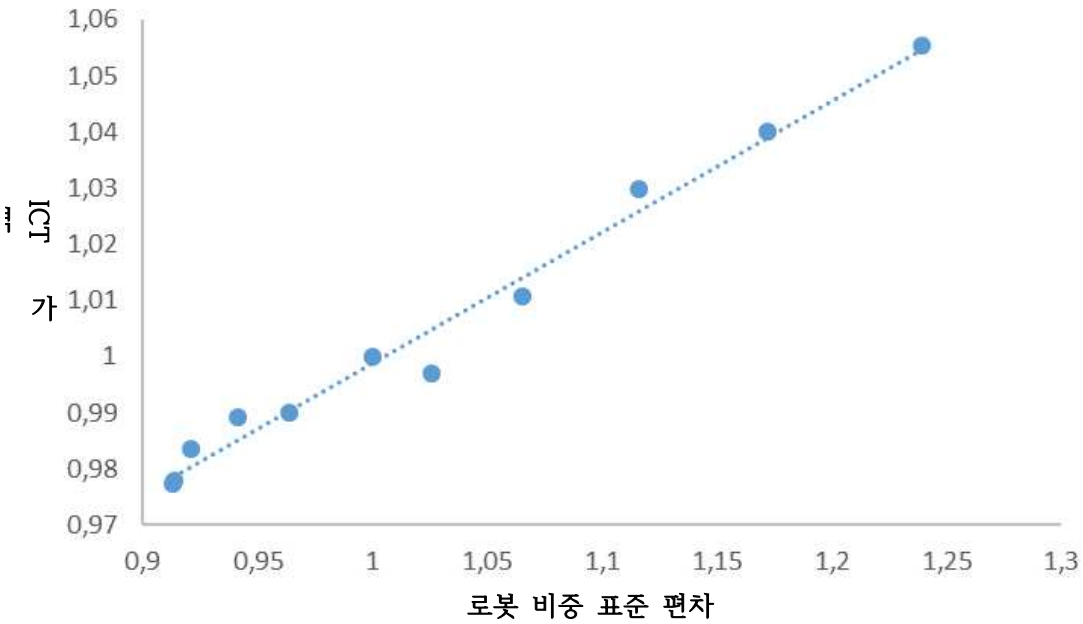



그림 A1: 용도 vs ICT 가격 지수에 따른 로봇 비중의 표준 편차(2005=1).