

# KERI Brief

## 로봇산업의 경쟁력 평가 및 정책과제 - 산업용 로봇을 중심으로 한 분석 -

이병기

한국경제연구원 선임연구원  
(LBK@keri.org)

**본** 연구는 우리나라 로봇산업 경쟁력을 미시자료를 이용하여 생산성 관점에서 분석하고 이 산업의 관련 규제를 찾아내어 성장 촉진을 위한 정책과제를 제시한다. 본 연구에서는 2005~2013년 간의 10인 이상의 「광업제조업통계조사보고서」 사업체 자료에 기초하여 로봇산업, 미래성장동력산업 및 제조업으로 구분하여 생산성의 변화 요인을 분해하여 분석하고, 미국·일본·독일 등 주요 선진국의 로봇산업 관련 정책을 분석하고, 로봇산업을 활성화하기 위해 관련 정책 및 규제를 검토하여 개선 방안을 제시하였다.

일본, 독일, 한국은 비교적 수출 특화도가 높은 국가로 나타나지만, 중국은 수입 특화도가 높은 국가인 것으로 나타나고 있다. 일본의 로봇산업은 2000~2014년 기간 중 높은 수출 특화도를 나타냈으며, 중국은 일본과는 정반대로 수입 특화도가 가장 높은 대표적인 국가이다. 한국의 로봇산업은 2004년 이전 기간에는 수입 특화도가 높았고 2004

~2010년까지 무역 특화도가 낮았지만, 2011년 이후 한국은 수출 특화도가 크게 증가하는 것으로 분석되었다.

2005~2013년 기간 중 제조업과 미래성장동력 산업의 생산성 증가율을 비교하여 보았을 때, 미래성장동력산업의 생산성 성장률은 1.6%로 제조업 전체의 생산성 성장률 0.7%보다 높은 것으로 나타났다. 2005~2013년 기간에 전반적으로 미래성장동력 관련 산업의 생산성 증가율이 1.6%로 가장 높았고, 미래성장동력 관련 산업 중 로봇산업의 생산성 증가율 또한 1.4%로 비교적 높은 것으로 나타났다. 로봇산업의 총요소생산성 증가율은 2005~2010년보다는 2010~2013년에 매우 빠르게 증가한 것으로 나타나고 있다. 한국의 로봇산업은 2004~2010년까지 무역 특화도가 낮지만, 2011년 이후 수출 특화도가 크게 증가한다는 무역특화도 분석결과와 궤를 같이한다.

총요소생산성 변화율에 미치는 각 요인별 영향의

정도를 분석하였을 때, 미래성장동력 산업의 경우 기업내효과는 52.3%, 순진입효과는 43.1%, 기업간 효과는 4.6%로 나타나, 미래성장동력 산업의 경우 기업내효과, 즉 기업의 기술변화가 총요소생산성 증가율에 미치는 영향이 가장 큰 것으로 나타났다. 제조업 전체의 경우 진입효과가 퇴출효과보다 커서 순진입효과는 양으로 나타나고 있으며, 퇴출효과가 비록 진입효과보다 작다고 하더라도 음으로 나타나는 것은 시장경제의 자연선택(natural selection) 메커니즘에 문제가 있음을 암시하는 것이다. 우리나라의 경우에는 중소기업에 대한 광범위하고도 과도한 정책자금 지원으로 계속기업의 생산성이 낮고 퇴출이 원활히 이루어지지 않은 현상을 뒷받침하는 것이라 볼 수 있다.

로봇산업활성화를 위한 관련 정책과 규제는 다음과 같은 방향으로 이루어져야 할 것이다. 첫째로 로봇산업의 활성화를 위해서는 미국, 일본, 독일 등과 마찬가지로 규제개혁을 적극 추진해야 할 것이다. 일본 아베 내각은 로봇산업 활성화를 위해 로봇 활용에 장애가 되는 규제완화 및 로봇 배리어 프리(robot barrier-free) 사회 구축을 위한 제도정비를 동시에 추진하고 있다. 우리나라의 경우 제조물책임법 및 의료관련법의 개정을 통해서 로봇의 활용을 높이는 방향으로 개선이 필요하다. 둘째로 최근 인간-로봇 협업로봇 기술 개발 및 시장이 형성되고 있으며, 인간-로봇 협업로봇 중심으로 인간 업무의 효율성을 극대화하기 위해 활용이 증대하고 있다. 일본의 경우 로봇 산업 발전에 암초로 작용했던 노동안전 위생규칙 제150조 4항에 의거한 산업용 로봇에 관한 설치 규제가 완화됨에 따라 로봇이 일본 제조업 경쟁력을 끌어올리고 있고 기업의 설비투자를 유도하고 있다. 우리나라의 경우에도 인간-로봇 협업 활성화를 위해 운전중인 산업용 로봇의 가동범위 및 설치와 관련하여 일본 등 선진국의 사례를 참고하여 「산업안전기준에 관한 규칙」의 검토

등이 필요하다. 셋째로 향후 로봇산업의 활성화 및 글로벌 경쟁력을 높이기 위해서는 영세한 규모의 기업규모를 확대할 수 있도록 규제 및 제도 개선이 필요하다. 우리나라 로봇산업은 그동안 높은 성장에도 불구하고 여전히 영세한 기업규모를 가지고 있는 것으로 나타나고 있다. 지능형 로봇법상 대기업은 지능형 로봇전문기업 지정 대상에서 제외되어 품질 확보 및 보급·확산을 촉진하기 위한 지원대상에서 제외되고 있다. 지능형 로봇법에서 전문기업 제도를 중소기업에만 적용하는 현행 조항의 개선이 필요하다. 지능형 로봇에 대한 투자는 대규모 비용이 소요되고 글로벌 대기업도 로봇에 대한 투자를 증대시키고 있다는 점을 고려할 때 로봇산업의 규모확대를 위한 제도개선이 필요하다. 넷째로 로봇산업은 하드웨어 중심의 정책에서 로봇 관련 하드웨어와 소프트웨어 기술 및 관련산업을 동시에 활성화하는 방향으로 법제가 개선되어야 한다. 최근 로봇산업은 하드웨어 중심의 로봇에서 인공지능과 로봇이 결합되고 제조 로봇과 서비스 로봇이 결합되는 형태로 진전되고 있어 소프트웨어와 하드웨어의 결합을 통한 기술개발로 진전되고 있다. 그러나 로봇법은 이러한 최근의 기술결합을 담아내기에는 한계가 나타나고 있어, 새로운 형태의 로봇기술 및 산업출현을 담아낼 수 있도록 관련법 내용의 보완이 필요하다.

## 1. 서론

### 1. 연구의 필요성

□ **로봇산업은 제4차 산업혁명의 핵심 산업으로 꼽히고 있고 또 미래성장동력 산업으로 주목되는 고부가가치 산업이며 미래 전략산업으로 성장할 것으로 기대**

- 4차 산업혁명의 빠른 진척과 함께 로봇산업의 성장성이 매우 높을 것으로 전망되면서 이 부문에 관심이 집중되고 있는 상황

- 우리나라 차세대 성장동력 산업인 로봇산업의 경쟁력 분석, 주요 관련 규제를 분석하여 향후 산업 성장을 도모하기 위한 정책과제 제시가 필요하지만, 로봇산업의 경쟁력 분석은 데이터 수집의 한계로 진전이 이루어지지 않고 있는 상태<sup>1)</sup>

- 로봇산업은 2004년 IT산업 발전 계획인 IT839중 9대 신성장동력으로 선정되었으며<sup>2)</sup> 2008년도에 「지능형 로봇개발 및 보급 촉진에 관한 법률」(이하 로봇법)이 제정되면서 다양한 형태의 로봇개발 촉진정책이 추진되기 시작<sup>3)</sup>

○ 현재 로봇산업은 첨단기술의 융합체로서 선제적 시장창출의 구도선점에 따라서 세계시장의 선두주자가 결정될 수 있는 미래산업으로 선진 각국에서는 신산업으로 로봇산업의 선점을 위하여 다양한 정책수단을 강구하고 있음

○ 로봇산업이 가지는 연구개발을 체계적으로 수행하게 하고, 초기시장 창출을 위한 보급 확대 정책으로 로봇랜드를 조성하고, 로봇 품질인증에 필요한 법률적 근거를 마련하기 위해 필요한 법률을 제정

□ **세계 각국은 자국의 제조업 혁신뿐만 아니라 고령화·저출산, 안전·건강 등을 중시하는 트렌드에 대**

**처하기 위해 로봇기술 활용을 본격화하고 있고, 세계적인 IT 대기업의 로봇산업 진출이 확대되는 추세**

- 세계적인 IT기업 등 글로벌 대기업의 본격적인 로봇산업 진출로 세계 로봇시장은 본격적인 기술경쟁에 돌입해 있으며, 서비스 로봇제품의 시장 진출이 더욱 확대되고 있는 추세

○ 세계 최대 검색엔진 회사인 구글은 로봇기업과 인공지능 전문기업 인수 등 로봇사업을 본격 추진하고 있고, 일본의 소프트뱅크는 프랑스의 알테바란 로보틱스사 인수 등 ICT를 활용한 인공지능 로봇 '페퍼'를 개발하였고, 아마존은 물류관리에 로봇을 적용하고 무인비행로봇을 활용할 예정으로 나타나는 등 대기업의 로봇산업 진출 확대

- 산업의 고부가가치화, 생산성 향상 등 제조업 경쟁력 제고, 재난 시 사람이 접근하기 어려운 현장 대응 및 복구, 저출산·고령화 진전에 따른 노약자 재활지원 등으로 로봇수요 증가

1) 배미경(2008)은 로봇산업을 산업자원부가 제시하는 특수부분별로 나누어 분석하고 있으나, 가용자료의 한계 및 부분별 분류상 미비점을 그대로 안고 있다는 한계가 있는 것으로 보임

2) IT839란 2004년 2월 참여정부의 정보통신 정책으로 8대 서비스와 3대 인프라 및 9대 신성장 동력을 통해 우리나라 IT산업을 총체적으로 발전시키겠다는 정보통신부의 종합적인 발전 계획. 8대 서비스는 휴대 인터넷 와이브로(WiBro), 위성 및 지상파 DMB, 홈 네트워크 서비스, 텔레매틱스 서비스, RFID 서비스, WCDMA, 지상파 DTB, 인터넷 전화 등이며, 3대 인프라에는 BcN, UNS, IPv6 등이 포함됨. 9대 신성장동력에는 차세대 이동통신기기, 디지털TV/방송기기, 홈네트워크 기기, 텔레매틱스 기기, 차세대 PC, 지능형 로봇, IT SoC, 임베디드 SW, 디지털 콘텐츠 등이 포함됨

3) 「지능형 로봇 개발 및 보급 촉진 법안」(서갑원 의원 대표발의), 2007.8.10.

▣ 로봇산업의 성장잠재력 및 경쟁력을 평가하고 제조업 및 다른 미래성장동력 산업과의 경쟁력을 비교·평가하는 작업 필요

- 일관성있는 로봇산업 관련 데이터 수집을 통해 로봇산업의 성장잠재력 및 경쟁력을 분석하고, 이를 미래성장동력 산업과 제조업의 성장잠재력 및 경쟁력과 비교 평가

○ 2007년 산업자원부는 여러 산업 부문에 걸쳐 있는 로봇산업을 제조용 로봇, 전문서비스형 로봇, 개인서비스용 로봇, 지능형 로봇부품 및 부분품 등의 4개 부문으로 특수 분류하고 있으나, 각 부문 간 한 국표준산업분류상의 코드가 중복되고 로봇산업에 해당하는 품목의 비중이 크지 않다는 분류상의 한계를 노출<sup>4)</sup>

- 로봇산업에 대한 성장잠재력을 평가하여 현재 추진 중인 미래성장동력 관련 산업 정책, 특히 로봇산업 관련 정책 및 규제정책에 대한 시사점 제시

## 2. 연구의 목적

▣ 미시자료를 이용하여 우리나라 로봇산업 경쟁력을 생산성 관점에서 분석하고 이 산업의 성장을 억제하는 관련 제도들을 찾아내어 성장 촉진을 위한 정책과제를 제시

- 로봇산업진흥원의 「로봇산업 실태조사 결과보고서」 자료 및 「광업제조업조사보고서」 사업체 기초원자료(raw data)를 활용한 미시 생산성 분석을 통해 경쟁력을 종합 평가하고 그 결과를 제시

- 로봇산업은 현 정부가 추진 중인 미래성장동력 산업의 하나<sup>5)</sup>로서 본 연구에서는 제조업 관련 미래성장동력 9개 산업과 로봇산업의 생산성을 분석하여 미래성장동력 관련 산업의 장기 경쟁력의 변화 추이를 분석

▣ 본 연구에서는 중요요소생산성의 증가율을 진입퇴출 효과, 기업간 자원배분 효과, 기업내 기술개발 효과 등 4가지 요인으로 분해하여 분석한 결과를 토대로 로봇산업과 제조업 부문 9대 미래성장동력산업의 성장잠재력 및 경쟁력을 분석하고 정책적 시사점을 제시

4) 산업자원부 보도자료, 『로봇산업, 30년만에 이제야 한눈에』, 2007.1.17.

5) 미래창조과학부, 「2016년도 미래성장동력 종합실천계획」, 2016.3. 정부는 총 19개 산업을 미래성장동력산업으로 지정, 미래성장동력산업을 구성하는 산업군을 검토해 보면, 지능형 로봇, 스마트 자동차, 스마트 바이오 생산시스템, 신재생에너지하이브리드시스템, 멀티미디어 직류송배전 시스템, 초임계Co2발전시스템, 지능형반도체, 융복합소재, 첨단소재 가공시스템 등 9개 산업은 제조업 관련 산업이며, 5G 이동통신, 심해저/극한환경 해양플랜트, 고기능 무인기, 착용형 스마트 기기, 실감형 콘텐츠, 가상훈련시스템, 맞춤형 웰니스케어, 재난안전관리 스마트 시스템, 지능형 사물인터넷, 빅데이터 등 10개 산업은 비제조업임

## II. 로봇산업의 경쟁력 분석

### 1. 로봇산업의 현황

□ 국내 로봇산업의 생산규모는 2004년 로봇산업이 차세대 성장동력으로 선정되면서 비교적 빠른 성장을 지속

- 국제로봇연맹(IFR, International Federation of Robotics)은 ‘로봇’(robot)을 ‘산업용 로봇’(industrial robot)과 ‘서비스 로봇’(service robot)으로 구분<sup>6)</sup>

○ 산업용 로봇은 “자동적으로 조정되고, 재프로그램 할 수 있으며, 3개 이상의 축(axis)을 가진 프로그램이 가능한 다목적의 기계장치로서 산업자동화 장치로 사용하기 위하여 바닥이나 모바일 장치에 고정되어 있는 장치”<sup>7)</sup>로 규정

○ 서비스 로봇에 대한 국제적 정의가 없는 점을 감안하여 서비스 로봇을 “제조작업을 제외한 분야에서 사람의 편의(복지)와 장치에 이용하기 위하여 반자동 또는 전자동으로 서비스를 수행하는 로봇”으로 규정

- 우리나라의 경우 로봇법에서는 “외부 환경을 인식하고 상황을 판단하여 자율적으로 동작하는 기계장치”(로봇법, 제2조)로 정의

○ 우리나라에서는 산업자원부가 2007년 로봇을 제조업용 로봇, 전문서비스용 로봇, 개인서비스용 로봇, 네트워크용 로봇, 지능형 로봇 및 부분품 등으로 ‘특수 분류’하고 있음

○ 최근 로봇산업 특수분류 작업을 진행중이지만 그 분류결과는 아직 미발표 상태

- 본 연구에서는 로봇산업을 분석할 때 실증분석에서는 여러 종류의 통계를 사용하고 있지만, 일관

성있게 구할 수 있는 산업용 로봇 데이터를 가지고 분석

○ 다만, 로봇산업 관련 통계는 아직 미정비 상태로 산업용 로봇은 특수분류 상 제조업용 로봇, UN Comtrade 상의 산업용 로봇(industrial robots), 광공업통계조사보고서 상의 산업용 로봇 또는 지능형 로봇과 그 개념 및 포괄범위가 유사

○ 이하의 실증 분석에서는 사용하는 통계에 따라 제조업용 로봇, 산업용 로봇 등으로 원래의 통계자료에 나와 있는 용어를 사용하지만, 그 안의 내용은 일관성 있게 ‘산업용 로봇’을 의미

□ 우리나라 부문별 로봇산업의 현황을 생산액 및 근로자 수 1인당 생산액, 1기업당 생산액을 계산하여 기업규모와 생산성을 추계

- 로봇산업의 생산액은 2005년 3,300억 원 정도였으나, 2014년 2조 6천억 원으로 급격히 증가

○ 2014년 기준으로 볼 때, 제조업용 로봇의 비중이 74.3%이며, 로봇부품 및 부분품의 비중이 12.9%, 개인서비스용 로봇이 10.3%, 나머지 전문서비스용 로봇이 2.5%를 차지하고 있음

6) 국제로봇연맹 홈페이지(<http://www.ifr.org>) 참조. 지능형 로봇(intelligent Robot)은 “주어진 환경에서 인간이 할 수 있는 일을 단순히 대신하는 것은 물론, 별도의 조작 없이도 스스로 주변의 상황을 인지하여 행동하는 능력을 가진 로봇”으로서 현재의 과학기술을 고려한다면 산업용 로봇(industrial robot), 서비스 로봇(service robot) 등 모든 로봇이 지능형 로봇의 범주에 포함됨

7) 즉, 인간의 팔에 해당하는 매니플레이트 및 기억장치로 구성하여 기억장치의 정보에 따라서 매니플레이트의 신축, 굴절, 상하이동, 좌우이동, 선회동작 또는 이들의 복합동작을 자동적으로 할 수 있는 기계

- 평균 기업규모를 나타내는 1기업당 생산액은 2005년 18억 원에서 2014년 53억 원으로 증가한 것으로 나타나고 있으나, 로봇산업은 비교적 그 기업규모가 영세한 규모인 것으로 나타나고 있음
- 1기업당 생산액은 제조업용 로봇산업의 경우 2011년까지 꾸준히 증가하였으나 그 이후 정체상태를 나타내고 있음
- 2009년 이후 개인서비스용 로봇산업의 기업규모가 비교적 빠르게 증가한 것으로 나타남

- 2014년 「기업실태조사결과」를 기준으로 볼 때 지능형 로봇산업의 대기업 비중은 2.6%, 중견기업은 4.0%, 중소기업은 93.4%인 것으로 나타나 이 산업의 대부분은 중소기업 규모인 것으로 나타남
- 생산액을 종업원 수로 나눈 1인당 생산액은 2005년 1억 5천만 원 정도였으나 2014년 1억 9천만 원으로 증가
- 2009년 1인당 생산액은 2억 원 정도였으나 그 이후 정체상태 지속

〈표 1〉 로봇산업의 부문별 생산액 현황

(단위: 십억 원)

구분	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
제조업용 로봇	219 (66.3)	627 (87.2)	641 (85.0)	702 (84.9)	832 (81.6)	1,411 (79.1)	1,48 (76.8)	1,618 (75.9)	1,696 (76.4)	1,967 (74.3)
전문서비스용 로봇	9 (2.7)	12 (1.7)	9 (1.2)	12 (1.5)	15 (1.5)	99 (5.6)	68 (3.2)	36 (1.7)	38 (1.7)	66 (2.5)
개인서비스용 로봇	36 (10.8)	25 (3.4)	35 (4.7)	36 (4.4)	60 (5.9)	172 (9.6)	239 (11.2)	296 (13.9)	265 (11.9)	273 (10.3)
로봇부품 및 부분품	53 (15.9)	48 (6.6)	69 (9.2)	77 (9.3)	113 (11.1)	103 (5.7)	191 (8.9)	183 (8.6)	222 (10.0)	341 (12.9)
총계	330	720	754	827	1,020	1,785	2,146	2,133	2,221	2,647

자료: 산업통상자원부·한국로봇산업진흥원·한국로봇산업협회, 『로봇산업 실태조사결과보고서』, 각연도

〈표 2〉 로봇산업의 기업당 생산액

(단위 : 백만 원)

구분	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
제조업용 로봇	3,648	8,146	8,434	8,880	8,761	11,289	10,841	11,560	10,533	10,750
전문서비스용 로봇	675	955	734	641	469	2,030	1,365	646	641	1,027
개인서비스용 로봇	916	1,028	1,104	821	1,253	2,769	4,200	5,802	4,570	4,624
로봇부품 및 부분품	1,033	996	1,031	1,241	1,327	959	1,835	1,499	1,793	1,766
총계	1,835	4,233	4,033	4,053	3,924	5,204	5,913	5,795	5,525	5,304

자료: 산업통상자원부·한국로봇산업진흥원·한국로봇산업협회, 『로봇산업 실태조사결과보고서』, 각연도

〈표 3〉 부문별 1인당 생산액

(단위: 백만 원)

구분	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
제조업용 로봇	178	150	153	225	394	440	267	267	281	254
전문서비스용 로봇	110	20	66	38	34	61	68	33	31	71
개인서비스용 로봇	117	34	38	55	64	87	223	311	182	184
로봇부품 및 부분품	132	28	75	106	72	44	85	75	81	92
총계	146	92	122	171	201	196	204	203	194	191

자료: 산업통상자원부·한국로봇산업진흥원·한국로봇산업협회, 『로봇산업 실태조사결과보고서』, 각연도

## 2. 로봇산업의 무역경쟁력 변화추이

### □ 본 연구에서 사용한 무역특화도와 현시비교우위 계산을 위해 사용한 자료

- UN Comtrade database에서 HS 847950번 산업용 로봇(industrial robots)의 수출과 수입 자료를 이용하여 분석

### □ 일본·독일·미국·중국 등 주요 산업용 로봇 생산국 간 무역특화도 비교

- 일본, 독일, 미국, 한국, 중국 등은 주요 산업용 로봇 수출 및 수입국인 것으로 나타나고 있으며, 이들 국가들의 무역특화도를 분석해서 비교

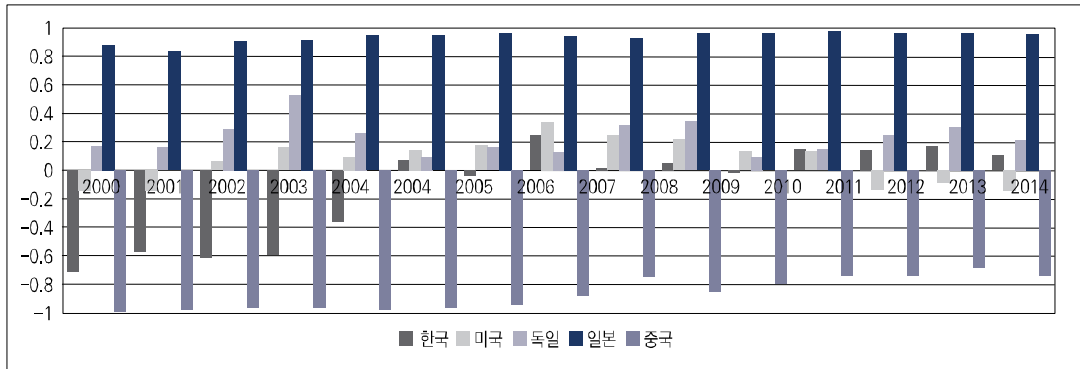
○ 무역특화지수(TSI: trade specification index)는 상품의 “총수출액(X)과 총수입액(M)의 차이”를 “총수출액과 총수입액의 합”으로 나눈 지표. 즉  $i$ 는 국가이고  $k$ 는 상품이라 할 때,  $TSI_{ik} = (X_{ik} - M_{ik}) / (X_{ik} + M_{ik})$

○ 이 지수가 1이면 완전 수출특화, -1이면 완전 수입특화를 의미

- <그림 1>에 나타나듯, 일본, 독일, 한국은 비교적 수출 특화도가 높은 국가로 나타나지만, 중국은 수입 특화도가 높은 국가인 것으로 나타나고 있음

- 일본은 전 기간 동안에 매우 높은 수출 특화도를 나타내고 있는 유일한 국가로 나타나고 있음
- 한국의 산업용 로봇산업은 2004년 이전 기간에는 수입 특화도가 높은 것으로 나타나고 있고, 2004~2010년까지 무역 특화도가 낮지만, 2011년 이후 한국의 수출 특화도가 크게 증가하는 것으로 분석되고 있음
- 미국은 2002~2012년 기간에 수출특화도가 6%~33%로 나타나고 있으나, 2000~2011년 기간과 2012~2013년 이후 수입 특화도를 보여주고 있음
- 중국은 일본과는 정반대로 수입 특화도가 로봇생산 주요 국가 중 가장 높은 대표적인 국가임

〈그림 1〉 주요 국가별 산업용 로봇의 무역특화지수 추이



자료: UN Comtrade database(2017)

〈표 4〉 주요 국가별 산업용 로봇의 무역특화지수 추이

국가	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
한국	-0.71	-0.57	-0.61	-0.58	-0.36	0.08	-0.04	0.25	0.01	0.06	-0.01	0.15	0.14	0.17	0.11
미국	-0.13	-0.13	0.06	0.16	0.09	0.14	0.18	0.34	0.25	0.21	0.13	0.14	-0.12	-0.07	-0.13
독일	0.17	0.16	0.29	0.52	0.26	0.09	0.16	0.13	0.32	0.34	0.10	0.15	0.25	0.31	0.21
일본	0.88	0.83	0.91	0.92	0.95	0.95	0.96	0.94	0.92	0.96	0.96	0.98	0.96	0.96	0.95
중국	-1.00	-0.97	-0.96	-0.95	-0.97	-0.96	-0.94	-0.87	-0.75	-0.85	-0.79	-0.73	-0.72	-0.68	-0.73

자료: UN Comtrade database(2017)

□〈그림 2〉는 산업용 로봇산업의 주요 국가간 현시비교우위 지수를 비교 분석한 결과를 보여주고 있음

- 현시비교우위(RCA) 지수를 이용하여 일본, 독일, 미국, 중국과 한국을 비교한 것으로, 일본-독일-한국의 순서로 일본과의 격차가 큰 상태에서 최근 독일, 한국, 일본 간에 산업용 로봇 경쟁을 하고 있는 상태

○ 현시비교우위(RCA: revealed comparative advantage) 지수란 “세계 총수출액(TX)에서 특정상품의 수출액( $TX_k$ )이 차지하는 비중”과 “특정국의 총수출액( $X_i$ )에서 그 국가의 동 상품 총수출액( $X_{ik}$ )이 차지하는 비중”간의 비율. 즉,  $i$ 는 국가이고  $k$ 는 상품이라 할 때,  $RCA_{ik} = (X_{ik}/X_i)/(TX_k/TX)$

○ 이 지수가 1보다 크면 특정국이 특정상품에 비교우위가 있다고 판단

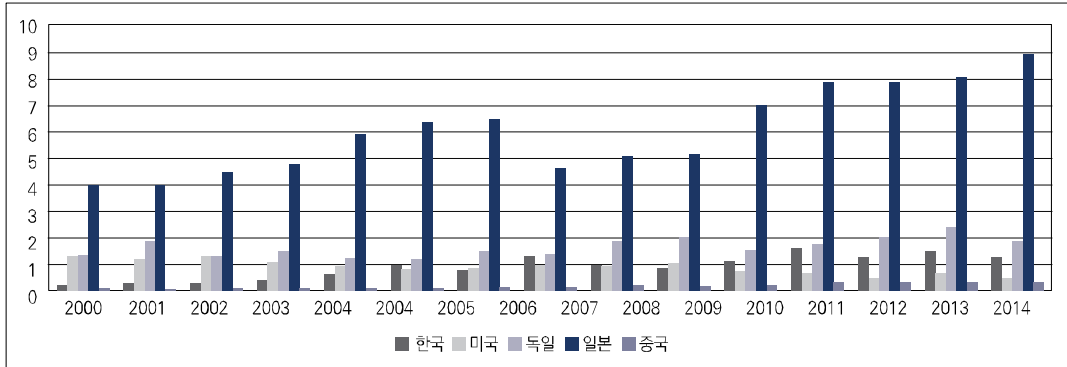
- 현시비교우위 분석 결과, 일본은 산업용 로봇산업에서 현저한 국제적인 비교우위를 나타내고 있는 것으로 나타나고 있으며, 최근 들어서 현시비교우위가 더욱 증가하고 있는 것으로 나타나고 있음

- 독일은 일본 다음으로 높은 현시비교우위를 나타내고 있고 최근 그 지수가 높은 수준을 유지하고 있는 상태

- 미국은 로봇산업의 현시비교우위지수가 최근 들어서 서서히 감소하는 추세를 나타내고 있으며, 중국은 로봇 주요 생산국 중 가장 낮은 현시비교우위를 나타내고 있는 국가로 나타나고 있음



〈그림 2〉 주요국별 산업용 로봇의 현시비교우위 추이



자료: UN Comtrade database(2017)

〈표 5〉 주요국별 산업용 로봇의 현시비교우위 추이

국가	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
한국	0.19	0.25	0.23	0.37	0.60	0.96	0.76	1.26	0.93	0.83	1.06	1.59	1.23	1.48	1.24
미국	1.27	1.12	1.28	1.03	0.91	0.79	0.85	0.99	0.87	1.05	0.71	0.63	0.44	0.62	0.42
독일	1.32	1.88	1.23	1.45	1.22	1.18	1.47	1.35	1.88	2.01	1.50	1.71	2.03	2.38	1.88
일본	4.00	3.94	4.46	4.71	5.90	6.34	6.44	4.61	5.09	5.13	7.01	7.83	7.85	8.07	8.90
중국	0.00	0.02	0.03	0.04	0.03	0.04	0.05	0.08	0.15	0.12	0.18	0.29	0.27	0.28	0.25

자료: UN Comtrade database(2017)

### 3. 로봇산업의 경쟁력 및 성장잠재력 분석: 미래 성장동력산업 간 비교

#### (1) 기초자료

□ 「광업제조업통계조사보고서」 원시자료를 이용하여 로봇산업의 생산성변화 요인을 분석하여 로봇산업의 성장잠재력 및 경쟁력을 평가

- 이 분석에서는 2005~2013년간의 10인 이상의 「광업제조업통계조사보고서」 사업체 자료에 기초하여 산업용 로봇산업, 미래성장동력 산업과 제조업으로 구분하여 분석<sup>8)</sup>

- 「광업제조업통계조사보고서」 원시자료의 유형고정 자산, 종업원 수, 원재료비, 부가가치 자료를 이용

하여 본 연구에서 경쟁력의 지표로 사용하는 생산성 변화추이 및 그 변화 요인들을 분석

- 분석대상은 1년 이하의 단기생존기업(short-lived firm)은 제외하였으며 중요소생산성 추정에 사용된 각종 비용점유율(cost share) 자료가 음인 경우는 분석에서 배제하였으며, 중요소생산성 상하 양측의 0.05%는 분석에서 제외

- 결국, 2005~2014년 기간에 매년 5만~6만 개의 사업체가 본 연구에서 사용되었으며, 총 57만 여개의 사업체 자료를 분석에 사용

8) 2015년도 「광업제조업통계조사보고서」는 「전국사업체조사」결과 집계가 아직 발표되고 있지 않아 현재의 분석에서는 사용할 수 없었음

〈표 6〉 연도별 분석대상 사업체 수

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
전체기업	52,556	54,695	56,303	57,745	55,334	54,838	53,837	59,134	59,887	60,213	63,563

자료: 광업제조업통계보고서 원자료(2004~2014)

□ 총 19개 미래성장동력 산업 중 비제조업 미래성장동력 산업을 제외한 9개 제조업 관련 미래성장동력 산업의 부문별 경쟁력을 분석하고 산업용 로봇산업을 경쟁력 변화추이와 비교<sup>9)</sup>

- 임길환(2015)은 19개 미래성장동력 산업 가운데 미래성장동력 관련 산업을 한국 표준산업분류로 재정의하는 방식을 사용하여 분석: 스마트 자동차, 지능형 로봇, 스마트 바이오 생산시스템, 신재생에너지 하이브리드 시스템, 멀티미디어 직류 송배전 시스템, 초임계CO2 발전시스템, 지능형 반도체, 융복합소재, 첨단소재가공시스템 등 9개 산업을 대상으로 분석(부표 1) 참조
- 미래성장동력 산업에 대한 명확한 관련 산업 규정이 없는 상황에서 본 연구에서도 같은 분류 방식을 사용하여 분석

(2) 분석모델

□ 산업용 로봇산업의 생산성변화 분석을 통하여 산업용 로봇산업의 경쟁력 및 성장잠재력을 분석하기 위해 중요소생산성을 가지고 분석<sup>10)</sup>

- 본 분석에서 중요소생산성(total factor productivity)은 다음의 식(1)과 같이 Caves et al.(1982), Good et al.(1996), Aw et al.(2000) 등의 방식을 따라 추정하였고, 이 TFP추정치를 생산성 분해(productivity decomposition) 하기 위한 방법론을 적용. 즉,

$$\ln P_{it} = (\ln Y_{it} - \overline{\ln Y_i}) + \sum_{s=2}^t (\overline{\ln Y_s} - \overline{\ln Y_{s-1}}) \quad (1)$$

$$- \sum_{l=1}^N \frac{1}{2} (S_{lit} + \overline{S_l}) (\ln X_{lit} - \overline{\ln X_{lt}})$$

$$- \sum_{s=2}^t \sum_{l=1}^N \frac{1}{2} (\overline{S_{ls}} + \overline{S_{ls-1}}) (\ln X_{ls} - \overline{\ln X_{ls-1}})$$

여기서,

$i$ : 개별기업,  $l$ : 개별투입요소(노동, 자본, 중간재),  $t$ : 시점

$Y$ : 생산액,  $K$ : 자본,  $L$ : 종업원수,

$M$ : 중간재,  $(K, L, M) \in X$

$P$ : 중요소생산성,  $Y$ : 생산액,

$S$ : 투입요소의 비용 점유율,  $X$ : 투입요소의 투입량

- 식(1)을 바탕으로 추정된 생산성의 변화율( $\Delta P$ )을 Hyttinen and Maliranta(2013, HM방식), Melitz and Polanec(2015, DOP방식)에 따라 생산성 증가율에 기여하는 요인별로 분해분석

[HM방식]

$$\Delta P_{jt} = W_{jt}^E [P_{jt}^E - P_{jt}^C] + W_{jt-1}^D [P_{jt-1}^C - P_{jt-1}^D] \quad (2)$$

$$+ \sum_{i \in C} \Delta w_{it}^C [p_{it} - P_{jt}^C] + \sum_{i \in C} w_{it}^C \Delta p_{it}$$

9) 본 분석은 아직 명시적으로 산업획정이 이루어지지 않은 미래성장동력 산업을 분석하는 것으로 미래성장동력 분야의 관련산업 군을 대상으로 산업부문별로 분석한 결과를 제시함

10) 본 연구에서는 이 분야의 대표적인 방법론 중 하나인 Hyttinen-Maliranta방법론을 사용하였고, 추가적으로 Dynamic Olley-Pakes(DOP)방법론 등을 이용하여 분석한 결과를 함께 제시하였음

[DOP방식]

$$\begin{aligned} \Delta P_{jt} &= W_{jt}^E [P_{jt}^E - P_{jt}^C] + W_{jt-1}^D [P_{jt-1}^C - P_{jt-1}^D] \\ &\quad + \sum_{i \in C} [(w_{it}^C - \overline{W_{jt}^C})(p_{it} - \overline{P_{jt}^C}) \\ &\quad - (w_{it-1}^C - \overline{W_{jt-1}^C})(p_{it-1} - \overline{P_{jt-1}^C})] \\ &\quad + (\overline{P_{jt}^C} - \overline{P_{jt-1}^C}) \\ &= W_{jt}^E [P_{jt}^E - P_{jt}^C] + W_{jt-1}^D [P_{jt-1}^C - P_{jt-1}^D] \\ &\quad + \Delta cov_{jt}^C + \Delta \overline{P_{jt}^C} \end{aligned} \quad (3)$$

여기서, 식(2), (3)에서 변수가 소문자인 경우 개별기업 수준, 대문자인 경우 산업수준에 대응함

$i$  = 개별기업,  $j$  = 특정산업,  $t$  = 시점,

$Z \in \{C, E, D\}$ ,  $C$ : 존속기업,  $E$ : 진입기업,  $D$ : 퇴출기업,

$$W_{jt}^Z = \sum_{i \in Z, j} L_{it} / \sum_{i \in Z \cup C, j} L_{it}, \quad P_{jt}^Z = \sum_{i \in Z, j} w_{it}^Z p_{it},$$

$\overline{W}$ ,  $\overline{P}$ : 산업 평균 가중치 및 생산성,

$$\overline{p}_{it} = \frac{1}{2}(p_{it} + p_{i,t-1}), \quad \overline{w}_{it}^C = \frac{1}{2}(w_{it}^C + w_{it-1}^C),$$

$$\Delta w_{it}^C = w_{it}^C - w_{i,t-1}^C, \quad \Delta p_{it} = p_{it} - p_{i,t-1}$$

- 식(2), (3)에서 첫 번째 항은 진입효과, 두 번째 항은 퇴출효과, 세 번째 항은 기업간 효과, 네 번째 항은 기업내 효과를 의미

- 식(2)에서 대문자 변수는 산업수준의 변수를, 소문자 변수는 기업수준의 변수를 의미함. 첫 번째 항은 진입효과, 두 번째 항은 퇴출효과, 세 번째 항은 기업간 효과, 네 번째 항은 기업내 효과를 의미

- 이같은 산업생산성 증가율의 분해 방법론에서 앞의 세 항은 외부적인 구조조정이 산업생산성 증가에 미치는 영향을 측정하는 반면, 마지막 항은 기업의 내부적인 구조조정이 산업의 생산성 증가에 미치는 영향을 측정<sup>11)</sup>

### (3) 분석결과

#### 가. 전체 분석결과

▣ 2005~2013년 기간 중 제조업과 미래성장동력 산업의 생산성 증가율을 비교하여 보았을 때, 미래성장동력산업의 생산성 성장률은 1.6%로 제조업 전체의 생산성 성장률 0.7%보다 높은 것으로 나타났음

- 2005~2013년 기간에 전반적으로 미래성장동력 관련 산업의 생산성 증가율이 1.6%로 가장 높았고, 미래성장동력 관련 산업 중 산업용 로봇산업의 생산성 증가율 또한 1.4%로 비교적 높은 것으로 나타났음

▣ 2005~2013년 기간 중 산업용 로봇산업의 생산성 증가율은 미래성장동력 산업 중에서 비교적 높은 편이며, 제조업의 생산성 증가율보다 높은 것으로 나타났다

- 산업용 로봇산업의 총요소생산성 증가율은 2005~2010년보다는 2010~2013년에 매우 빠르게 증가한 것으로 나타나고 있음

- 한국의 산업용 로봇산업은 2004~2010년까지 무역특화도가 낮지만, 2011년 이후 한국의 산업용 로봇산업은 수출 특화도가 크게 증가한다는 무역특화도 분석결과와 궤를 같이하는 것으로 보임

11) 진입기업의 가중평균 생산성이  $t$ 기에 존속기업의 가중평균 생산성 보다 높다면(낮다면) 진입효과는 양(음)으로 나타남. 퇴출기업의 가중평균 생산성이  $t-1$ 년의 존속기업의 가중평균 생산성보다 낮다면(높다면) 퇴출효과는 양(음)으로 나타남. 세 번째 항인 기업간 효과는 두 경우에 양이 될 수 있음. 우선 투입요소의 비중이 증가하는 기업의 총요소생산성이 존속기업의 가중평균 총요소생산성보다 생산성이 높다면 세 번째 항은 양으로 나타남. 또한 투입요소의 비중이 감소하는 기업이 존속기업의 가중평균 총요소생산성보다 생산성이 낮다면 세 번째 항은 양으로 나타남. 마지막 항 기업내 생산성은 존속기업의 총요소생산성 증가율에 그 기업의 평균 투입 점유율을 가중합한 값으로 나타남

**나. 연도별 산업별 생산성 분해 분석결과**

□ 2005~2013년 기간 중 총요소생산성 증가율을 기간 별로 추정해 본 결과, 2005~2009년도 보다는 2010~2013년도 기간의 생산성 증가율이 높았던 것으로 나타났음

- 미래성장동력 산업의 경우에 2000년대 후반 기간인 2005~2009년 기간에는 0.4%, 2010년도 이후 기간인 2010~2013년 기간에는 3.1%의 높은 생산성 증가를 나타냈으며, 전체기간의 생산성 증가율은 1.6%로 나타났음
- 제조업의 경우 2005~2009년 기간의 생산성 증가율은 0.2%, 2010~2013년 기간은 1.3%로 나타났으며, 2005~2013년 기간에는 0.7%의 생산성 증가율을 나타내었음
- 2005~2013년 기간 동안에 산업용 로봇산업의 총요소생산성은 1.4%로 나타나고 있고, 기간을 나누어 2000년대 후반 기간인 2005~2009년 기간에는 -0.7%, 2010년도 이후 기간인 2010~2013년 기간에는 4.0%의 높은 생산성 증가를 나타냄

□ Hyttinen-Maliranta방법론과 Dynamic Olley-Pakes방법론을 사용하여 총요소생산성 변화 요인을 순진입효과(net entry effect), 기업간 효과 및 기업내 효과로 구분하여 총요소생산성 증가율에 미치는 영향의 정도를 분석한 결과를 보여주는 것이 <표 7>임<sup>12)</sup>

- 총요소생산성 변화율에 미치는 각 요인별 영향의 정도를 분석하였을 때, 미래성장동력 산업의 경우 기업내 효과는 52.3%, 순진입효과는 43.1%, 기업간 효과는 4.6%로 나타나, 기업내 효과, 즉 기업의 기술변화가 총요소생산성 증가율에 미치는 영향이 가장 큰 것으로 나타났음

- 제조업의 경우 순진입효과는 78.1%, 기업내 효과는 43.8%, 기업간 효과는 10.3%로 나타나 제조업 전체에서는 순진입이 생산성에 미친 효과가 가장 큰 것으로 나타나고 있음(기존의 해외 관련 논의에 대해서는 <부표 2> 참조)

- 제조업 전체의 경우 진입효과가 퇴출효과보다 커서 순진입효과는 양으로 나타나고 있으며, 퇴출효과가 비록 진입효과보다 작다고 하더라도 음으로 나타나는 것은 시장경제의 자연선택(natural selection) 메커니즘에 문제가 있음을 암시하는 것임
- Nishimura et al.(2005)은 일본에서는 총요소생산성을 기준으로 효율적인 기업이 퇴출되고 비효율적인 기업이 일본의 경제위기 기간중에 생존하는 역설이 발생하였음을 보여주고 있으며, 이런 현상은 1996년 이후 거시적인 총요소생산성의 하락의 원인이며 심각한 경기후퇴기에 자연선택 메커니즘이 잘못 작동되고 있음을 암시하는 것이라고 지적
- 우리나라의 경우에는 중소기업에 대한 광범위하고도 과도한 정책자금 지원으로 계속기업의 생산성이 낮고 퇴출이 원활히 이루어지지 않은 현상과 함께 최근 국내의 대기업과 그 관련 기업이 해외 투자를 확대한 현상을 반영하는 결과라 볼 수 있음

- 지능형 로봇산업의 분석결과에 따르면, 생산성에 미치는 순진입효과(즉, 진입효과-퇴출효과)는 21.3%, 기업간 효과는 61.5%, 기업내 효과는 17.2%였음

□ Hyttinen-Maliranta(HM)방법론과 Dynamic Olley-Pakes(DOP) 방법론으로 추정한 생산성 분해 분석결과, 다음과 같은 몇가지 정책적인 시사점을 얻을 수 있음

12) 예컨대 생산성에 대한 순진입효과는 (순진입추정치/생산성 변화율\*100)으로 계산

- <표 7>의 분석결과, 산업용 로봇산업의 경우 제조업 전체나 미래성장동력 산업에 비해 순진입효과가 생산성 증가에 미친 효과, 기업내 효과가 생산성에 미친 효과가 상대적으로 낮은 것으로 나타나고 있음
- 순진입이 생산성에 미친 효과는 제조업에서 가장 높은 것으로 나타났고, 그 다음이 미래성장동력 산업이었음. 미래성장동력 산업 가운데에서도 일부 산업을 제외하면 산업용 로봇산업의 진입효과가 생산성 향상에 미친 영향은 낮은 편인 것으로 나타남
- 기술혁신 효과를 나타내는 기업내 효과가 생산성에 미친 영향은 미래성장동력 산업이 가장 높고, 그 다음이 제조업인 것으로 나타났음. 기업내 효과가 음인 3개 산업을 제외하면 나머지 6개 산업 중 산업용 로봇산업은 기업내 효과가 가장 낮은 것으로 나타나고 있음
- 한국의 경우 순진입효과(진입효과-퇴출효과) 추정치는 대부분 양의 추정치를 나타내고 있으나,

Hyytinen-Maliranta방법론과 Dynamic Olley-Pakes 방법론의 어느 것으로 추정하여보아도 퇴출효과는 진입효과에 비해 그 규모가 작으며 음을 나타내고 있음

- 우리나라의 경우 전체 분석기간에 진입효과에서 퇴출효과를 뺀 순진입효과는 융복합소재산업을 제외하면 모두 양을 나타내고 있음
- 최근에 칠레와 한국의 생산성 분해분석을 한 Asturias, Hur and Kehoe(2017)는 한국의 경우에 퇴출효과는 음, 진입효과는 양이라는 우리의 분석결과와 일치하는 결과를 얻고 있으며, 추정방법에 따라 순진입효과가 생산성에 미친 영향 정도는 차이가 있는 것으로 나타나고 있음<sup>13)</sup>

13) Asturias et al.(2017)의 연구에서도 Foster, Haltiwanger and Krizan(2001, FHK), Melitz and Polanec(2015, DOP), Griliches and Regev(1995, GR) 등의 생산성 분해 방법론을 사용하여 한국의「공업제조업통계보고서」 원자료를 기초자료로 활용하여 추정하였음. 분석결과에 의하면 FHK, GR의 순진입의 생산성 기여도 추정치는 양이었으나, MP의 순진입 추정치는 음으로 추정되고 있음

<표 7> Hyytinen-Maliranta방법 및 Dynamic Olley-Pakes 방법 총요소생산성 분해 분석결과

	산업	구분기간	순진입 효과			기업간 효과	기업내 효과	생산성 증가율
			순진입 효과	진입 효과	퇴출 효과			
HM방식	산업용(지능형)로봇	2005~2009	-0.0012	0.0042	-0.0054	0.0069	-0.0132	-0.0074
		2010~2013	0.0080	0.0051	0.0029	0.0103	0.0218	0.0402
		2005~2013	0.0029	0.0046	-0.0017	0.0084	0.0024	0.0137
	미래성장동력 전체	2005~2009	0.0085	0.0096	-0.0011	0.0020	-0.0064	0.0041
		2010~2013	0.0049	0.0086	-0.0038	-0.0009	0.0268	0.0307
		2005~2013	0.0069	0.0092	-0.0023	0.0007	0.0083	0.0159
	제조업 전체	2005~2009	0.0047	0.0044	0.0002	0.0011	-0.0038	0.0019
		2010~2013	0.0012	0.0064	-0.0052	0.0002	0.0115	0.0129
		2005~2013	0.0031	0.0053	-0.0022	0.0007	0.0030	0.0068
DOP방식	산업용(지능형)로봇	2005~2009	-0.0012	0.0042	-0.0054	0.0059	-0.0122	-0.0074
		2010~2013	0.0080	0.0051	0.0029	0.0160	0.0161	0.0402
		2005~2013	0.0029	0.0046	-0.0017	0.0104	0.0004	0.0137
	미래성장동력 전체	2005~2009	0.0085	0.0096	-0.0011	-0.0073	0.0029	0.0041
		2010~2013	0.0049	0.0086	-0.0038	0.0062	0.0197	0.0307
		2005~2013	0.0069	0.0092	-0.0023	-0.0013	0.0104	0.0159
	제조업 전체	2005~2009	0.0047	0.0044	0.0002	-0.0004	-0.0023	0.0019
		2010~2013	0.0012	0.0064	-0.0052	0.0005	0.0112	0.0129
		2005~2013	0.0031	0.0053	-0.0022	0.0000	0.0037	0.0068

〈표 8〉 Hyytinen-Maliranta방법 및 Dynamic Olley-Pakes 방법 중요소생산성 분해 분석결과(기타 산업)

산업	구분기간	HM방식					
		순진입 효과	진입 효과	퇴출 효과	기업간 효과	기업내 효과	생산성 증가율
스마트 자동차	2005~2009	0.0108	0.0101	0.0007	-0.0003	0.0054	0.0158
	2010~2013	0.0063	0.0117	-0.0054	-0.0016	0.0205	0.0251
	2005~2013	0.0088	0.0108	-0.0020	-0.0009	0.0121	0.0199
산업용(지능형)로봇	2005~2009	-0.0012	0.0042	-0.0054	0.0069	-0.0132	-0.0074
	2010~2013	0.0080	0.0051	0.0029	0.0103	0.0218	0.0402
	2005~2013	0.0029	0.0046	-0.0017	0.0084	0.0024	0.0137
스마트 바이오 생산시스템	2005~2009	0.0066	0.0082	-0.0016	0.0077	0.0157	0.0301
	2010~2013	0.0159	0.0159	0.0000	0.0053	0.0101	0.0312
	2005~2013	0.0107	0.0116	-0.0009	0.0066	0.0132	0.0306
신재생에너지 하이브리드 시스템	2005~2009	0.0121	0.0117	0.0004	0.0019	-0.0060	0.0080
	2010~2013	-0.0029	0.0063	-0.0091	-0.0103	0.0162	0.0030
	2005~2013	0.0054	0.0093	-0.0038	-0.0035	0.0039	0.0058
멀티미디어 직류 송배전시스템	2005~2009	0.0070	0.0074	-0.0004	0.0031	-0.0168	-0.0067
	2010~2013	0.0094	0.0132	-0.0038	-0.0032	0.0134	0.0197
	2005~2013	0.0081	0.0100	-0.0019	0.0003	-0.0034	0.0050
초임계CO2 발전시스템	2005~2009	0.0127	0.0115	0.0012	0.0001	-0.0184	-0.0055
	2010~2013	0.0046	0.0119	-0.0073	-0.0043	0.0105	0.0108
	2005~2013	0.0091	0.0117	-0.0026	-0.0018	-0.0055	0.0017
지능형 반도체	2005~2009	0.0079	0.0138	-0.0059	0.0069	-0.0183	-0.0036
	2010~2013	0.0033	0.0027	0.0006	0.0017	0.0628	0.0678
	2005~2013	0.0059	0.0089	-0.0030	0.0046	0.0177	0.0281
융복합 소재	2005~2009	0.0007	-0.0044	0.0050	-0.0025	0.0060	0.0042
	2010~2013	-0.0113	-0.0067	-0.0045	0.0014	-0.0065	-0.0164
	2005~2013	-0.0046	-0.0054	0.0008	-0.0008	0.0004	-0.0050
첨단소재 가공시스템	2005~2009	0.0048	0.0075	-0.0027	0.0036	-0.0242	-0.0157
	2010~2013	0.0083	0.0109	-0.0025	0.0006	0.0100	0.0190
	2005~2013	0.0064	0.0090	-0.0026	0.0023	-0.0090	-0.0003
미래성장동력 전체	2005~2009	0.0085	0.0096	-0.0011	0.0020	-0.0064	0.0041
	2010~2013	0.0049	0.0086	-0.0038	-0.0009	0.0268	0.0307
	2005~2013	0.0069	0.0092	-0.0023	0.0007	0.0083	0.0159
제조업 전체	2005~2009	0.0047	0.0044	0.0002	0.0011	-0.0038	0.0019
	2010~2013	0.0012	0.0064	-0.0052	0.0002	0.0115	0.0129
	2005~2013	0.0031	0.0053	-0.0022	0.0007	0.0030	0.0068

○ Fukao et al.(1996)의 연구에서는 일본 제조업의 진입 및 퇴출의 생산성 효과를 추정한 결과, 퇴출효과가 음으로 나타나지만 전반적으로는 생산성이 높은 사업체의 진입으로 순진입효과는 생산성 증가율을 높인다는 결과를 얻고 있음<sup>14)</sup>

- 기업간 효과는 생산성이 높은 기업들이 시장점유율을 높이고 있거나 생산성이 낮은 기업들의 시장점유율이 감소하고 있음을 의미하지만 산업간 차이가

큰 것으로 나타나고 있음

○ 이것은 퇴출효과가 음으로 나타남에도 불구하고 그 크기는 진입효과에 비해 작은 것으로 나타나며, 따라서 순진입효과를 통해 산업내에서 생산성 증가율이

14) Fukao and Kwon(2006)의 연구에서도 1990년대 일본 기업데이터를 사용한 분석결과 퇴출 효과가 음으로 나타나고 있다는 결과를 얻음.

〈표 8〉 계속

산업	구분기간	DOP방식					
		순진입 효과	진입 효과	퇴출 효과	기업간 효과	기업내 효과	생산성 증가율
스마트 자동차	2005~2009	0.0108	0.0101	0.0007	-0.0035	0.0085	0.0158
	2010~2013	0.0063	0.0117	-0.0054	0.0053	0.0136	0.0251
	2005~2013	0.0088	0.0108	-0.0020	0.0004	0.0108	0.0199
산업용(지능형) 로봇	2005~2009	-0.0012	0.0042	-0.0054	0.0059	-0.0122	-0.0074
	2010~2013	0.0080	0.0051	0.0029	0.0160	0.0161	0.0402
	2005~2013	0.0029	0.0046	-0.0017	0.0104	0.0004	0.0137
스마트 바이오 생산시스템	2005~2009	0.0066	0.0082	-0.0016	0.0044	0.0191	0.0301
	2010~2013	0.0159	0.0159	0.0000	-0.0007	0.0161	0.0312
	2005~2013	0.0107	0.0116	-0.0009	0.0021	0.0177	0.0306
신재생에너지 하이브리드 시스템	2005~2009	0.0121	0.0117	0.0004	0.0042	-0.0083	0.0080
	2010~2013	-0.0029	0.0063	-0.0091	-0.0048	0.0107	0.0030
	2005~2013	0.0054	0.0093	-0.0038	0.0002	0.0002	0.0058
멀티미디어 직류 송배전 시스템	2005~2009	0.0070	0.0074	-0.0004	-0.0014	-0.0124	-0.0067
	2010~2013	0.0094	0.0132	-0.0038	0.0045	0.0058	0.0197
	2005~2013	0.0081	0.0100	-0.0019	0.0012	-0.0043	0.0050
초임계CO2 발전시스템	2005~2009	0.0127	0.0115	0.0012	0.0016	-0.0199	-0.0055
	2010~2013	0.0046	0.0119	-0.0073	0.0028	0.0034	0.0108
	2005~2013	0.0091	0.0117	-0.0026	0.0022	-0.0095	0.0017
지능형 반도체	2005~2009	0.0079	0.0138	-0.0059	-0.0247	0.0132	-0.0036
	2010~2013	0.0033	0.0027	0.0006	0.0145	0.0500	0.0678
	2005~2013	0.0059	0.0089	-0.0030	-0.0073	0.0295	0.0281
융복합 소재	2005~2009	0.0007	-0.0044	0.0050	0.0015	0.0019	0.0042
	2010~2013	-0.0113	-0.0067	-0.0045	0.0022	-0.0073	-0.0164
	2005~2013	-0.0046	-0.0054	0.0008	0.0018	-0.0022	-0.0050
첨단소재 가공시스템	2005~2009	0.0048	0.0075	-0.0027	0.0024	-0.0229	-0.0157
	2010~2013	0.0083	0.0109	-0.0025	-0.0016	0.0122	0.0190
	2005~2013	0.0064	0.0090	-0.0026	0.0006	-0.0073	-0.0003
미래성장동력 전체	2005~2009	0.0085	0.0096	-0.0011	-0.0073	0.0029	0.0041
	2010~2013	0.0049	0.0086	-0.0038	0.0062	0.0197	0.0307
	2005~2013	0.0069	0.0092	-0.0023	-0.0013	0.0104	0.0159
제조업 전체	2005~2009	0.0047	0.0044	0.0002	-0.0004	-0.0023	0.0019
	2010~2013	0.0012	0.0064	-0.0052	0.0005	0.0112	0.0129
	2005~2013	0.0031	0.0053	-0.0022	0.0000	0.0037	0.0068

높아지는 바람직한 순환과정을 거친다는 것을 의미

□ 미래성장동력 9대 산업별 생산성 변화를 기간별로 Hyytinen-Maliranta방법 및 Dynamic Olley-Pakes 방법을 사용하여 추정된 결과를 〈표 8〉에 정리하여 제시

- Hyytinen-Maliranta 방법 및 Dynamic Olley-Pakes 방법 등으로 추정된 생산성 증가율 및 순진입효과

는 모두 동일한 추정치를 보여주고 있음

- 제조업 부문 9개 미래성장동력 산업의 총요소생산성 증가율은 융복합 소재산업 및 첨단소재가공시스템산업을 제외하면 모두 양의 증가율을 나타내고 있음

○ 전기간 중에는 스마트 바이오 생산시스템산업, 스마트 자동차산업, 지능형 반도체산업 등의 생산성 증가율이 높은 것으로 나타났음

- 2005~2009년 기간에 스마트 바이오 생산업, 스마트 자동차 산업의 생산성 증가율이 비교적 높았으며, 2010~2013년 기간에는 지능형 반도체, 지능형 로봇 산업, 스마트 바이오 생산시스템산업 등에서 높은 생산성 향상을 나타내었음
  - 순진입효과는 첨단소재가공시스템산업을 제외하면 모두 양의 추정치를 보여주고 있어 진입이 생산성 향상에 어느 정도 긍정적인 영향을 주는 것으로 나타나고 있음
  - 순진입이 생산성에 긍정적인 영향을 주는 정도가 큰 산업으로는 멀티미디어 직류 송배전 시스템업, 초임계CO2 발전시스템업, 신재생에너지하이브리드 시스템업, 융복합업 등이며 나머지 산업의 경우에는 진입의 생산성 효과가 낮은 것으로 나타남
  - 기업내 효과의 생산성 효과가 비교적 큰 산업으로는 지능형 반도체업, 신재생하이브리드 시스템업, 스마트 자동차업 등인 것으로 나타났으며, 지능형 로봇산업은 기업간 효과가 생산성에 미치는 영향이 비교적 큰 것으로 나타나고 있음
- 결론적으로, 생산성을 이용한 성장잠재력 분석 결과 및 이것이 주는 시사점은 다음과 같은 몇 가지로 요약할 수 있음**
- 첫째, 산업용 반도체 산업의 생산성 증가율은 미래 성장동력 산업중 비교적 높은 생산성 증가율을 나타내고 있어 성장잠재력이 높은 것으로 나타나고 있으며, 2000년대 말보다 2010년 초에 매우 높은 생산성 증가율을 나타내어 최근 들어 성장잠재력이 높아지고 있다는 해석이 가능함
  - 2005~2013년 기간 중 미래성장동력 산업의 생산성 증가율이 1.6%로 높았고, 그 중 산업용 로봇산업의 생산성 증가율이 높은 것으로 나타나고 있음. 특히 2010~2013년 기간 중 산업용 로봇산업은 지능형 반도체산업의 생산성 증가율 6.8% 다음으로 높은 4.0%를 기록하였음
  - 둘째, 산업용 로봇의 경우 순진입(net entry)이 총요소생산성 증가율에 미치는 영향이 낮은 것으로 분석되고 있어 로봇산업에 보다 효율적인 기업의 진입 촉진 및 규모차별적인 제도의 개선이 필요함을 시사
  - 순진입이 생산성증가에 미치는 영향을 볼 때, 제조업은 45.6%, 미래성장동력 산업은 43.4%였는데 비해 산업용 로봇의 경우 17.5%로 나타나고 있으며, 로봇산업의 경우에 순진입이 생산성 증가율에 기여하는 정도가 비교적 낮은 것으로 나타나고 있음
  - 셋째, 산업용 로봇의 경우 기업내 기술개발 효과가 생산성 증가율에 기여하는 정도는 미래 성장동력 산업 중 일부 산업을 제외하면 낮은 것으로 나타나고 있음
  - 이것은 산업용 로봇 산업내에서 활동하는 기업들의 기술혁신이 그 산업의 생산성 증가율에 미치는 영향이 매우 낮다는 것을 의미하는 것으로 로봇산업 부문의 기술혁신의 필요성이 매우 높다는 것을 시사함



### III. 분석결과의 요약 및 정책적 시사점

#### 1. 분석결과의 요약

□ 본 연구에서는 미시자료를 이용하여 우리나라 로봇산업의 경쟁력을 분석하고 이 산업의 활성화 및 성장 촉진을 위한 제도의 개선방안을 제시

□ 일본, 독일, 한국의 산업용 로봇산업은 비교적 수출 특화도가 높은 국가로 나타나지만, 중국의 산업용 로봇산업은 수입 특화도가 높은 국가인 것으로 나타나고 있음

- 일본의 산업용 로봇산업은 2000~2014년 기간 중 높은 수출 특화도를 나타냈으며, 중국은 일본과는 정반대로 수입 특화도가 가장 높은 대표적인 국가임

- 한국의 산업용 로봇산업은 2004년 이전 기간에는 수입 특화도가 높았고 2004~2010년까지 무역 특화도가 낮았지만, 2011년 이후 한국은 수출 특화도가 크게 증가하는 것으로 분석

- 현시비교우위 분석 결과, 일본은 산업용 로봇산업에서 현저한 국제적인 비교우위를 나타내었고, 최근 들어 현시비교우위가 더욱 증가하고 있는 것으로 나타났음

- 우리나라 산업용 로봇산업의 수출경쟁력은 1위 국가인 일본에 비해 현저히 낮은 상태로 나타나고 있음

□ 2005~2013년 기간 중 제조업과 미래성장동력 산업의 생산성 증가율을 비교하여 보았을 때, 미래성장동력 산업의 생산성 성장률은 1.6%로 제조업 전체의 생산성 성장률 0.7%보다 높은 것으로 나타났음.

- 2005~2013년 기간에 미래성장동력 산업의 생산성 증가율은 1.6%로 가장 높았고, 미래성장동력 산업

중 산업용 로봇산업의 생산성 증가율 또한 1.4%로 비교적 높은 것으로 나타났음

□ 산업용 로봇산업의 총요소생산성은 2005~2013년 기간 동안에 1.4%로 나타나고 있고, 2000년대 후반 기간인 2005~2009년 기간에는 -0.7%, 2010년도 이후 기간인 2010~2013년 기간에는 4.0%의 높은 생산성 증가를 나타냄

- 한국의 산업용 로봇산업은 2004~2010년까지 무역 특화도가 낮지만, 2011년 이후 한국의 산업용 로봇산업은 수출 특화도가 크게 증가한다는 무역특화도 분석결과와 궤를 같이하는 것으로 나타남

- 미래성장동력 산업의 경우에 2000년대 후반 기간인 2005~2009년 기간에는 0.4%, 2010년도 이후 기간인 2010~2013년 기간에는 3.1%의 높은 생산성 증가를 나타냈으며, 전체기간의 생산성 증가율은 1.6%로 나타났음

□ 산업용 로봇산업의 경우 미래성장동력 산업 중에서도 기업내 기술혁신이 생산성에 기여하는 정도는 적은 것으로 분석되고 있음

- 총요소생산성 변화율에 미치는 각 요인별 영향의 정도를 분석하였을 때, 미래성장동력 산업의 경우 기업내 기술변화가 생산성 증가에 기여하는 정도가 가장 컸던 것으로 나타남

- 제조업 전체의 경우 순진입의 생산성 기여 정도는 미래성장동력 산업과 비슷하지만, 기업내 기술변화가 생산성에 미치는 효과가 상대적으로 낮은 것으로 나타났음

## 2. 정책적 시사점

□ 우리나라 로봇산업의 비교우위가 높은 것으로 나타나지만, 세계 1위 비교우위국가인 일본에 비해 현저히 낮은 무역특화도를 나타내고 있는 것은 아직도 로봇산업의 국제경쟁력이 낮다는 것을 의미

- 현시비교우위 분석 결과, 일본은 산업용 로봇산업에서 현저한 국제적인 비교우위를 나타내었고, 최근 들어 현시비교우위가 더욱 증가하고 있는 것으로 나타났으나, 우리나라 산업용 로봇산업의 수출 경쟁력은 1위 국가인 일본에 비해 현저히 낮은 상태로 나타나고 있음

- R&D 확대 등을 통한 기술경쟁력을 확보하는 것이 로봇산업의 기술경쟁력 우위를 높일 수 있는 전략이 될 수 있을 것임

- 로봇산업의 기술혁신을 위한 R&D 활성화를 위한 인센티브 제공 및 HW산업인 동시에 SW산업이라는 점에서 HW 중심의 R&D정책에서 소프트웨어 경쟁력을 높일 수 있도록 제도 개선

□ 로봇산업의 활성화 및 글로벌 경쟁력을 높이기 위해서는 보다 효율적인 기업의 진입이 원활하게 이루어질 수 있도록 제도 개선이 필요함

- 우리나라 로봇산업은 그동안 높은 성장에도 불구하고 여전히 영세한 기업규모를 가지고 있으며 중소·중견기업을 우대하고 지원하는 프로그램을 운영하고 있는 중임

- 로봇산업에 대한 투자는 대규모 비용이 소요되고 글로벌 대기업도 로봇에 대한 투자를 증대시키고 있다는 점을 고려할 때 로봇산업의 규모 확대 및 대기업의 시장진입 확대를 위한 인센티브 제공 등 제도개선이 필요

- 로봇법상 대기업은 로봇전문기업 지정대상에서 제외되어 품질 확보 및 보급·확산을 촉진하기 위한 지원에서 제외

○ 로봇법에서 전문기업제도를 중소기업에만 적용하는 현행 조항의 개선이 필요

○ 대기업집단에 속하는 기업은 로봇전문기업으로 지정 대상에서 제외되어 품질 확보 및 보급·확산을 촉진하기 위한 지원 불가

○ 대기업 보다는 중소·중견기업을 지원하는 데 집중, 이들의 기술·제품을 한 단계 업그레이드시키겠다는 취지였지만, 최근 알파고(구글), 왓슨(IBM) 등 인공지능(AI) 프로그램 개발에 글로벌 정보통신(IT) 대기업들이 치열한 경쟁을 벌이고 있는 점을 감안하면 이 규정은 시대 흐름에 역행

- 로봇법은 로봇산업에 대해 상당한 투자가 필요하고 글로벌 경쟁력 확보가 필요한 분야라는 점을 고려하지 못한 것으로 보임<sup>15)</sup>

○ 우리나라 로봇산업은 그동안 높은 성장에도 불구하고 여전히 영세한 기업규모를 가지고 있기 때문에 규모확대를 통한 대외 경쟁력 향상 필요

○ 로봇에 대한 투자는 대규모 비용이 소요되고 글로벌 대기업도 로봇에 대한 투자를 증대시키고 있다는 점을 고려할 때 로봇산업의 활성화를 위한 로봇전문기업제도 개선이 필요<sup>16)</sup>

15) 김윤명(2015) 참조

16) 전경련(2016) 참조

<p>□ 로봇산업의 성장잠재력 확충을 위한 차별지원 해소 및 기술혁신 활성화 이외에도 로봇산업 그 자체의 성장을 위한 인간-로봇 협동로봇 도입 확대 등 관련 부문의 제도개선 필요</p> <p>- 최근 인간-로봇 협업로봇 기술 개발 및 시장이 형성되고 있으며, 인간-로봇 협업로봇 중심으로 인간 업</p>	<p>무의 효율성을 극대화하기 위해 활용</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 일본은 로봇산업 관련 다양한 법률에서 규제하는 다양한 형태의 로봇사용 규제들을 선정하여 개혁하는 조치 추진중</li> <li>○ 로봇 산업 발전에 암초로 작용했던 노동안전 위생규칙 제150조 4항에 의거한 산업용 로봇에 관한 설치 규제가 완화된에 따라 일본 로봇업계는 로봇이 일본</li> </ul>
---	---

〈표 9〉 로봇전문기업 지정기준

	주요내용
사업목적	- 지능형로봇을 주된 사업으로 하는 일정요건을 갖춘 기업을 지능형로봇전문기업으로 지정하고, 이를 지원하여 지능형로봇산업의 진흥을 위하고자 함
법적근거	- 지능형로봇 개발 및 보급 촉진법: 제42조의2 지능형로봇전문기업의 지정 - 지능형로봇 개발 및 보급 촉진법 시행령: 제31조의2 지능형로봇전문기업의 지정기준 / 제31조의3 지능형로봇전문기업 지정절차 / 제31조의4 지능형로봇전문기업에 대한 지원 - 지능형로봇 개발 및 보급 촉진법 시행규칙
지정기준	- 지능형 로봇의 부품 및 완제품, 관련 시스템의 개발·제조와 로봇서비스를 주된 사업으로 하는 기업 중 연간 총 매출액이 5억 원 이상인 기업 - 로봇산업(로봇산업 특수분류 기준)에 속하는 부품·완제품, 관련 시스템 및 로봇서비스의 연간 매출액이 연간 총 매출액의 100분의 50 이상인 기업 - 「독점규제 및 공정거래에 관한 법률」 제14조 제1항에 따른 상호출자제한기업집단에 속하지 아니하는 기업
지정기업 지원내용	- 한국로봇산업진흥원 등 로봇 유관기관 홈페이지 內 지정기업 홍보자료 게시 - 로봇관련 사업참여 우대 등 지능형 로봇제품 개발 및 판매 촉진을 위한 지원혜택 부여(로봇시범보급사업 참여 우대, 로봇산업클러스터조성사업 참여 우대, 품질인증 획득 지원, 로봇랜드 조성지역에서의 제품 전시 우대 등)

자료: 한국로봇산업진흥원 홈페이지 정리

〈표 10〉 일본의 로봇산업 관련 규제의 개혁내용

관련법	추진 내용
전파법	원격조작이나 무인구동 로봇에서 사용하는 전파의 취급 등 로봇의 활용을 지원하는 새로운 전파 이용 시스템 정비
의약품의료기기등법	환자의 부담 삭감 등이 기대되는 수술지원 로봇 등 로봇기술을 활용한 신의료기기 심사의 신속화
항공법	재해현장에서 활용도가 높은 무인비행형 로봇의 구체적인 운용룰 마련
도로교통법 등	탐승형 이동 지원 로봇 상용화 검토
공공인프라 유지·보수 관련 법령	로봇의 효과적인 활용 등 각종 로봇의 현장 검증, 시행, 평가를 통해 로봇의 활용 방안 마련
간병관련 제도	현행 3년에 1번인 간병보험대상 기기의 추가 절차의 탄력화

자료: 한일재단 일본경제연구센터(2016)

제조업 경쟁력을 끌어올리고 정체된 기업의 설비투자를 유도하는 기폭제가 될 것으로 기대<sup>17)</sup>

- 규제 완화로 로봇 설치에 따른 비용이 절감됨에 따라 일손이 부족했지만 비용 때문에 주저하던 중소기업에까지 로봇 도입이 확산된다면, 아베 정부가 외치는 로봇에 의한 산업혁명도 충분히 가능
- 우리나라의 경우에도 인간-로봇 협업 활성화를 위해 운전중인 산업용 로봇의 가동범위 및 설치와 관련하여 일본 등 선진국의 사례를 참고하여 「산업안전기준에 관한 규칙」의 개선 등 필요
- 5년전 이미 공표된 ISO 10218-1,2에 포함된 협동작업 안전요구 조건까지 만족하는지 여부를 검증하는 작업을 지원해줄 수 있는 국내인증시스템(인증연구, 인증지원, 인증컨설팅 등) 마련이 필요<sup>18)</sup>

#### □ 로봇산업의 정확한 분석을 저해하는 로봇산업의 특수분류 코드의 조속한 확정 필요

- 현재 로봇산업의 특수분류가 확정되지 않아 이 산업의 관련 경제분석이 어려운 상태이며, 로봇산업의 활성화를 위해서는 로봇 산업의 범위 확정 등 산업분류를 명확히 설정하는 노력 필요
- 산업용로봇 구분 뿐만 아니라 최근 빠른 성장을 나타내고 있는 서비스 로봇의 범위 확정을 가능한 빠르게 진행시키는 것이 바람직함

17) 일본 아베 내각은 로봇산업 활성화를 위해 로봇 활용에 장애가 되는 규제완화 및 로봇 배리어 프리(robot barrier-free) 사회 구축을 위한 제도정비를 동시에 추진

18) 임성수(2016) 참조

**[참고문헌]**

김영환 외, 『지능형로봇 개발 및 보급 촉진법 일부개정법률안(김영환 의원 대표발의)』, 2011.6.20.

김윤명, “제4차 산업혁명의 선구적 법률, 지능형로봇 개발 및 보급 촉진법,” 『월간 SW 중심사회』, 2017.1., pp.72-83.

김호성, 『지능형로봇 개발 및 보급 촉진법 일부개정법률안 검토보고서(김영환 의원 대표발의, 이병수 의원 대표발의)』, 지식경제위원회, 2011.11.

마틴 포드, 『로봇의 부상』, 세종서적, 2016.

무억협회, 『일본의 로봇산업 동향과 육성전략』, 2015.7.

배미경, “한국 로봇산업의 부문별 성장잠재력 추정,” 『한국경제연구』, 제21권, 2008, pp.5-32.

백부헌, “글로벌 로봇산업 동향과 전망 : World Robotics 2014, IFR을 중심으로,” 『로봇이슈브리프』, 2014-7호, 2014.

산업통상자원부·한국로봇산업진흥원, 『로봇산업 인력수급 전망체계 개발』, 2014.7.

신윤정 외, 『로봇산업의 R&D 투자성과 분석과 시사점』, 산업연구원, 2013.12.

이병기, 『기업 진입퇴출의 생산성과와 진입규제 개혁 과제』, 한국경제연구원, 2014.

이영철, 『지능형 서비스로봇-법제도 개선방안 연구』

임길환, 『미래성장동력 정책평가』, 국회예산정책처, 2016.12.

전경련, 『대기업집단 규제현황』, 2016.4.12.

차원웅, 『아마존의 제4차 산업혁명 전개 방향 분석: 자율트럭+로봇+드론을 이용한 물류배송 하이퍼루프와 서비스』, 디지코 보고서, 2017.

통계청, 『로봇산업 특수분류 2차 개정』, 2015.

임성수, “협동작업용 산업용로봇(Collaborative Robot)의 등장”, 한국로봇학회, 『로봇과 인간』, 제13권 제3호, 2016.7., pp.26-31.

하진로보스틱스, “새로운 시도로 세계 로봇시장을 선도하는 일본,” 하진로보스틱스 홈페이지, 2017.3.2.

한국산업기술진흥원, 『미국 지능형로봇 산업별 수요분석 및 법제도 현황』, 2016.10.

한일재단 일본경제연구센터, 『일본의 지능형로봇 법·제도 현황 및 시장 수요』, 일본경제리포트. 2016.11.29.

한일재단 일본지식정보센터, 『일본의 산업용 로봇 시장 분석』, 일본지식리포트, 2014.2.

Ahn, Sanghoon, Kyoji Fukao, and HyeogUg Kwon. "The internationalization and performance of Korean and Japanese firms: An empirical analysis based on micro-data.", 2004.

Asturias, J., S. Hur, T.J. Kehoe, "Firm entry and exit and aggregate growth", Federal Reserve Bank of Minneapolis Research Department Staff Report, Feb 2017.

Aw, Bee Yan, Sukkyun Chung, and Mark J. Roberts. "Productivity and turnover in the export market: micro-level evidence from the Republic of Korea and Taiwan (China)". The World Bank Economic Review 14.1 2000: pp.65-90.

Baldwin, J.R., and W. Gu, "Firm dynamics and productivity growth : a comparison of the retail trade and manufacturing sectors", Ind Corp Change, January 11, 2011.

Barnes, M., J. Haskell, and M. Maliranta, "The Sources of Productivity Growth : Micro-Level Evidence for the OECD", Paper presented at the OECD Workshop on Firm-Level Statistics, November 26-27, 2001.

Berbon, P. and N.J. Waticins, The Industrial Internet: Robotics, Automation, and the Future of Manufacturing, Tekes - the Finnish Funding Agency for Innovation, Future Watch Report, 2014.

Caves, D. W., L. R. Christensen, and W. E. Diewert, "The Economic Theory of Index Numbers and the Measurement of Input, Output and Productivity", *Econometrica*, 1982, pp.1393-1413.

Christensen, Henrik, Goldberg, L. Kumar, V. and E. Messina, A Roadmap for U.S. Robotics—From Internet to Robotics, Robotics-Virtual Organization, Report, workshop "Manufacturing

- and automation robotics”, Washington D.C., October 2, 2012.
- Disney, R., J. Haskel and Y. Heden, “Restructuring and productivity growth in UK manufacturing”, *The Economic Journal*, Vol.113, No. 489, July 2003, pp.666-694.
- Foster, Lucia, John C. Haltiwanger, and Cornell John Krizan, “Aggregate productivity growth: lessons from microeconomic evidence”, New developments in productivity analysis. University of Chicago Press, 2001. pp.303-372.
- Fukao, K., and H. U. Kwon, “Why Did Japan’s TFP Growth Slow Down in the Lost Decade? An Empirical Analysis Based on Firm-level Data of Manufacturing Firms,” *Japanese Economic Review*, 57(2), 2006, pp.195-228.
- Good, David H., M. Ishaq Nadiri, and Robin C. Sickles, Index number and factor demand approaches to the estimation of productivity. No. w5790. National Bureau of Economic Research, 1996.
- Hyytinen, A. and M. Maliranta, “Firm Lifecycles and Evolution of Industry Productivity”, *Research Policy* 42(5), 2013, pp.1080-1098.
- IFR, *Positive Impact of Industrial Robots on Employment*, London: Metra Martech Limited, 2011.
- Keisner, C.A., J. Raffo, and S. Wunsch-Vincent, *Breakthrough technologies - Robotics, innovation and intellectual property*, Economic Research Working Paper No. 30, 2015.
- Kumaresan, N., & Miyazaki, K., “An Integrated Network Approach to Systems of Innovation — The Case of Robotics in Japan”, *Research Policy*, 28(6), 1999, pp.563-585.
- Mansfield, E., “Technological Change in Robotics : Japan and the United States”, *Managerial and Decision Economics*, Vol.10, 1989, pp.19-25.
- Melitz, Marc J., and Sašo Polanec, “Dynamic Olley-Pakes productivity decomposition with entry and exit”, *The Rand Journal of Economics* 46(2), 2015: pp.362-375.
- Nishimura, K.G. et al., “Does the Natural Selection Mechanism Still Work in Severe Recessions? Examination of the Japanese Economy in the 1990s”, *Journal of Economic Behavior & Organization* Vol.58, 2005, pp.53-78.
- SCF Associates Ltd, *Competitiveness in emerging Robot technologies*, Nov. 2009.

〈부표 1〉 제조업 내 미래성장동력 기술 및 산업 연관표

9개 제조업 미래성장동력 기술	KSIC5	본산업(KSIC-9)
스마트 자동차	26429	기타 무선 통신장비 제조업
	27211	항행용 무선기기 및 측량기구 제조업
	30121	승용차 및 기타 여객용 자동차 제조업
	30320	자동차 차체용 부품 제조업
	30392	자동차용 전기장치 제조업
	30399	그외 기타 자동차 부품 제조업
산업용(지능형) 로봇	29280	산업용 로봇 제조업
스마트 바이오 생산시스템	27213	물질 검사, 측정 및 분석기구 제조업
	27214	속도계 및 적산계기 제조업
	27215	기기용 자동측정 및 제어장치 제조업
	27216	산업처리공정 제어장비 제조업
	58222	응용 소프트웨어 개발 및 공급업
신재생에너지하이브리드 시스템	28111	전동기 및 발전기 제조업
	28119	기타 발전기 및 전기변환장치 제조업
	62021	컴퓨터시스템 통합 자문 및 구축 서비스업
	28112	변압기 제조업
	35119	기타 발전업
멀티미디어 직류 송배전 시스템	28112	변압기 제조업
	28119	기타 발전기 및 전기변환장치 제조업
	28121	전기회로개폐, 보호 및 접속장치 제조업
	28122	배전반 및 전기자동제어반 제조업
초임계CO2 발전시스템	28119	기타 발전기 및 전기변환장치 제조업
	29119	기타 기관 및 터빈 제조업
	29176	증류기, 열교환기 및 가스발생기 제조업
	35119	기타 발전업
지능형 반도체	58221	시스템 소프트웨어 개발 및 공급업
	26110	전자집적회로 제조업
	27213	물질검사, 측정 및 분석기구 제조업
	29271	반도체 제조용 기계 제조업
융복합 소재	23999	그 외 기타 분류안된 비금속 광물제품 제조업
	20129	기타 기초무기화학물질 제조업
	20131	무기안료 및 기타금속산화물 제조업
	20302	합성수지 및 기타 플라스틱물질 제조업
첨단소재가공시스템	25924	절삭가공 및 유사처리업
	26299	그외 기타 전자부품 제조업
	27213	물질 검사, 측정 및 분석기구 제조업
	27214	속도계 및 적산계기 제조업
	27215	기기용 자동측정 및 제어장치 제조업
	27216	산업처리공정 제어장비 제조업
	29221	전자응용 공작기계 제조업
	29222	금속 절삭기계 제조업
	29223	금속 성형기계 제조업
	58222	응용소프트웨어 개발 및 공급업
	72129	기타 엔지니어링 서비스업
72919	기타기술시험, 검사 및 분석업	

〈부표 2〉 기존 생산성 변화 요인별 분해 분석 결과

연구자	국가	분석 단위	기간	연간 총요소 생산성 증가(%)	기업내 효과	자원배분 효과	기업간 효과	공분산 효과	순진입 효과	진입 효과	퇴출 효과
Barnes et al.(2001)	핀란드	기업	1987~ 1992	1.08	-1.02	1.27	0.57	0.7	0.82	0.58	0.24
	프랑스	기업	1987~ 1992	-1.54	-2.03	0.29	0.32	-0.03	0.2	0.18	0.02
	이탈리아	기업	1987~ 1992	3.1	1.64	0.43	0.71	-0.28	1.02	1.09	-0.06
	네덜란드	기업	1987~ 1992	0.54	0.83	-0.03	0.49	-0.52	-0.26	0.03	-0.29
	영국	기업	1987~ 1992	-0.9	-1.39	0.28	-0.21	0.49	0.21	0.05	0.15
Ahn et al.(2004)	한국	사업체	1990~ 1998	3.51	1.42	0.08	-0.28	0.36	2.01	1.95	0.06
Fukao & Kwon(2006)	일본	기업	1994~ 2001	0.31	0.17	0.05	-0.01	0.06	0.09	0.16	-0.07
Baldwin and Gu (2011)	캐나다	기업	1984~ 1998	0.60	0.70	0.05	0.05	-	0.25	0.28	-0.03
Asturias et al. (2017)	칠레	사업체	2001~ 2006	3.4	-	-	-	-	-1.73	-	-
	한국	사업체	2009~ 2014	1.4	-	-	-	-	-0.23	-	-
이병기(2017)	한국	사업체 (HM방식)	2005~ 2013	0.68	0.30	0.07	0.07	-	0.31	0.53	-0.22
	한국	사업체 (DOP방식)	2005~ 2013	0.68	0.37	0.00	-	-	0.31	0.53	-0.22