

한국 로봇산업의 부문 별 성장잠재력 추정¹⁾

배 미경²⁾

논문초록

본 연구는 한국 최초로 로봇산업을 네 부문으로 분류하여 각 부문 별로 2000-2005년까지의 총 요소생산성증가율과 이를 구성하는 네 가지 요인을 추정하여 부문 별 성장전략 수립의 토대를 위한 실증분석을 시도하였다.

실증 분석결과, 년 평균 기술적 효율성이 지능형 로봇 부품 및 부분품 부문에서는 다소 하락하였으나 여타 부문에서는 거의 변화가 없으며 규모에 대한 보수 (RTS)는 전 부문에서 증가하고 있으나 전문 서비스용 로봇 부문은 규모에 대한 보수 증가 (IRS), 개인 서비스용 로봇 부문은 미약한 규모에 대한 보수 증가 (IRS), 제조업용 로봇 부문과 지능형 로봇 부품 및 부분품 부문은 규모에 대한 보수 감소 (DRS)가 나타나고 있다. 기술진보율 (TP)은 지능형 로봇 부품 및 부분품 부문에서는 양(+)의 수준을 유지하며 상승하여 총 요소생산성증가율이 지속적으로 향상되는 데에 결정적 기여를 하고 있어 성장잠재력이 가장 큰 부문으로 추정되나 여타 로봇산업 부문에서는 음 (-)의 수준이 지속적으로 개선되어 제조업용 로봇 부문, 전문서비스용 로봇 부문 등은 2005년도에, 개인서비스용 로봇 부문은 2004년도에 이르러 양(+)의 수준으로 전환되어 총 요소생산성 증가율 (\dot{TFP})의 상승을 주도하고 있다. 한편 총 요소생산성증가율 (\dot{TFP})이 음(-)의 수준에서 양 (+)의 수준으로 전환된 데에는 제조업용 로봇 부문에서는 배분효율성의 개선 (AE), 전문서비스용 로봇 부문에서는 규모 효과의 변화 (SC), 개인서비스용 로봇 부문에서는 기술적 효율성의 개선 (\dot{TE})이 뚜렷하게 기여하고 있다.

핵심주제어: 한국 로봇산업, 총 요소생산성 증가율, 기술진보율, 기술적 효율성 변화율, 규모의 효과 변화, 배분효율성의 개선

경제학문헌 목록 분류: L64, D24, C23

1) 이 논문은 2007년 정부 (교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (KRF 200711070000).

2) 경북대학교 경제통상학부, 702-701 대구광역시, 대한민국 mkpai@knu.ac.kr

I. 서론

지능형 로봇 산업은 한국 10대 차세대 성장동력산업³⁾의 하나로서 메카트로닉스 (mechatronics)⁴⁾의 정점에 위치하고 있는 고 부가가치 산업이며 우수한 IT 기술을 토대로 한 우리나라의 인공지능기술 융합 형 로봇산업은 경쟁력 있는 미래전략산업으로 성장할 것으로 기대된다.

일전에 MS Soft사의 Bill Gates회장은 "Scientific American," 2007년 1월호의 기고문에서 로봇공학산업의 전면적인 등장이 세상을 바꾸는 새로운 산업의 탄생임을 강조하고 1970년대 PC 혁명을 주도한 MS Basic과 같은 지능형 로봇 (Intelligent Robot)을 위한 MS Robotics Studio 개발의 진행과정을 설명하고 있다. 또한 국제로봇연맹 (IFR)은 2020년 세계로봇시장이 5000억 달러 규모로 성장하며 산업용 로봇과 서비스로봇시장의 규모가 같아질 것으로 전망하고 있다.

우리나라에서도 지능형 로봇은 2004년 입안·추진되고 있는 IT산업 발전계획인 IT 839 전략⁵⁾중 9대 신 성장 동력의 하나로 선정되어 급속하게 진행되고 있는 우리나라의 고령화 시대에 맞춰 친 고령화 실버산업으로서 육성하고 있다. 지능형 로봇의 개발방향은 인공지능을 가진 휴머노이드 로봇 (humanoid robot)과 네트워크 기반의 지능형 서비스로봇 (URC-Ubiquitous Robotic Companion)으로 구분되고 있다. 현재 세계 2위 로봇생산국인 미국은 상용화 보다는 근본적으로 인간에 가까운 로봇지능개발⁶⁾에 주력하고 있으며 지능형 서비스로봇이란 네트워크와 소프트웨어 기반의 지능형 로봇⁷⁾을 의미

3) 10대 차세대 성장동력 산업은 디지털 TV·방송, 디스플레이, 차세대 반도체, 차세대 이동통신, 지능형 홈 네트워크, 디지털 콘텐츠·SW 솔루션, 지능형 로봇, 미래형 자동차, 차세대 전지, 바이오 신약·장기산업 등을 말한다.

4) Pai (2007) 참조.

5) 정보통신부의 IT839 전략이란 8대 서비스-Wibro, DMB, 홈네트워크, 텔레매틱스, RFID, W-CDMA, 지상파 DTV, VolP-, 3대 인프라-BcN, USN, IPv6-, 9대 신 성장동력-차세대이동통신, 디지털 TV, 홈네트워크, IT SoC, 차세대 PC, 임베디드 S/W, DC·S/W솔루션, 텔레매틱스, 지능형 로봇-을 말한다.

6) MIT 미디어 랩의 Breazeal박사 팀이 개발한 사람의 행동과 말을 통해 스스로 학습하는 로코 (RoCo) 나 키스멧 (kismet)이 대표적이며 MIT는 로봇디자인과 뇌·기계간 인터페이스, 자연어 처리 등 지능형 로봇관련 3개 기술을 미래 10대 기술에 포함시켰다. 현재 미국은 기초기술이 세계최고 수준으로 군사, 우주, 보안 로봇분야에서는 절대적 우위에 있다.

7) 네트워크로봇 소프트웨어의 국가별 특허 건수는 한국이 384건 (31.1%), 일본이 514건 (41.6%), 미국이 221건

하며 우리나라의 경우에는 IT 기술 인프라와 아파트단지라는 주거특성이 시장을 창출하고 있다. 즉, 무선인터넷을 기반으로 한 네트워크로봇, 또는 유비쿼터스 (ubiquitous) 로봇이 통신을 통해 자신의 지능과 정보를 외부에서 공급받아 사용자에게 제공하는 것이다.

지능형 로봇 중 네트워크 기반의 유비쿼터스 로봇은 통신기기, 콘텐츠 개발 등 연관산업과급효과가 커서 네트워크 서비스시장이 확대됨으로써 지능형 로봇이 미래 IT산업의 재원창출원 (cash cow)이 될 수 있을 것으로 전망된다.

우리나라도 "Blue Ocean"인 로봇공학산업의 선도자가 되기 위한 구체적인 성장전략의 수립이 필요한 시점에 와 있었으나 현재 한국 표준산업분류 (KSIC: Korea Standard Industrial Classification)에는 "산업용 로봇"으로만 분류되어 있어 향후 고령화 시대의 성숙기에 들어섬에 따라 수요급증이 예상되며 차세대 성장동력으로 추진하고 있는 서비스용 로봇인 지능형 로봇에 대한 데이터의 수립 및 연구는 전무한 실정이었다.

이에 따라 지난 2007년 1월 17일 산업자원부는 여러 산업부문에 걸쳐있는 지능형 로봇산업을 제조업용 로봇, 전문서비스용 로봇, 개인서비스용 로봇, 지능형 로봇 부품 및 부분품 등의 부문으로 분류하고 있으나 각 부문 간 한국 표준산업분류상의 코드가 중복되고 로봇산업에 해당되는 품목의 비중이 크지 않다는 분류상의 한계를 노출하고 있다. 그러나 이러한 한계를 감안하더라도 본 연구는 차세대 성장동력산업인 지능형 로봇산업의 성장잠재력을 부문 별로 추정하는 최초의 실증분석으로써 성장잠재력을 내포하고 있는 총 요소생산성증가율을 기술진보율, 기술적 효율성의 개선, 규모의 경제효과 증대, 자원배분의 효율성 달성 등의 네 가지 기여요인으로 분해하여 분석한 결과를 토대로 부문에 따른 성장전략의 구축을 시도하였다.

다음 II장에서 본 연구의 방법론과 함께 III장에서는 사용 자료를 설명하였다. IV장에서 추정결과를 분석한 후 V장에서 결론을 제시하였고 부록에서는 한국 로봇산업의 현황을 설명하였다.

(17.9%), 그리고 유럽이 116건(9.4%)으로 우리나라는 일본과 서비스로봇의 상용화 경쟁을 하고 있다. 일본은 로봇시장 세계 1위이며 2004년부터 유비쿼터스 로봇과 비슷한 네트워크로봇 개발에 주력하고 있으며 혼다, 소니, 도시바 등이 지능형 로봇개발에 막대한 투자를 하고 있다. 로봇기술특히 분야에서는 일본의 소니, 마쓰시타, 혼다, 한국의 삼성, LG전자가 치열하게 경쟁하고 소니는 일본, 미국, 유럽 특허등록 1위, 한국에선 3위를 기록하고 삼성전자는 한국에서 1위, 미국에서 2위, 일본에서 4위를 기록하고 있다.

II. 추정방법

II.1. 총 요소생산성 증가율과 네 가지 기여요인

Kumbhakar (2000)는 총 요소생산성증가율 (total factor productivity growth)을 기술진보 (technical progress), 기술적 효율성 변동 (technical efficiency change), 배분의 효율성 변화(allocative efficiency change), 규모의 효과 (scale effects) 등의 네 가지 요인으로 분해하는 이론을 정립하였다.

$$y_{it} = f(x_{it}, t) \exp(-u_{it}), \quad i = 1, N, t = 1, T., \quad (1)$$

확률적 경계생산함수(stochastic frontier production function)를 나타내는 식 (1)에서 y_{it} 는 i 번째 사업체의 t 번째 시간의 생산량, $f(x_{it}, t)$ 는 확률적 생산경계, x 는 요소투입벡터, t 는 시간의 추이를 나타내는 지수로 기술변화 (technical change)를 나타내는 대리변수이다.

$u_{it} \geq 0$ 는 i 번째 기업의 시간 t 에서 생산량 수준으로 측정하는 기술적 비효율성을 나타내는 확률적 교란 항으로 시간에 따라 변화하며 잠재적 생산량 $f(x_{it}, t)$ 에 대한 실제생산량 $f(x_{it}, t)\exp(-u_{it})$ 의 비율로 정의된다.

식 (1)의 확률적 경계생산함수 $f(x_{it}, t)$ 를 對數로 전환하여 시간에 대해 전 미분하면 식 (2)와 같으며 향후 하 첨자 it 는 생략하며 j 는 노동과 자본을 나타내는 L 또는 K 이다.

$$\frac{d \ln f(x,t)}{dt} = \frac{\partial \ln f(x,t)}{\partial t} + \sum_j \frac{\partial \ln f(x,t)}{\partial x_j} \frac{dx_j}{dt}. \quad (2)$$

기술진보(TP)에 의해 발생한 경계 생산량의 변화는 생산경계의 시간에 대한

편미분 $\frac{\partial \ln f(x,t)}{\partial t}$ 이며 요소투입량의 변화에 의한 경계생산량의 변화는

$$\sum_j \frac{\partial \ln f(x,t)}{\partial x_j} \frac{dx_j}{dt} \text{로 측정된다.}$$

따라서 식 (2)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{d \ln f(x,t)}{dt} = TP + \sum_j \varepsilon_j \dot{x}_j \quad (3)$$

위의 식 (2)와 (3)으로부터 다음관계가 성립함을 알 수 있다.

$$\frac{\partial \ln f(x,t)}{\partial x_j} \frac{dx_j}{dt} = \varepsilon_j \dot{x}_j \quad (*)$$

식 (*)의 우변에 생산요소 j 의 산출량 탄력성 $\varepsilon_j = \frac{\partial \ln f(x,t)}{\partial \ln x_j}$ 를 대입하면

$$\frac{\partial \ln f(x,t)}{\partial x_j} \frac{dx_j}{dt} = \frac{\partial \ln f(x,t)}{\partial \ln x_j} \dot{x}_j \quad (**)$$

식 (**)의 우변은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial \ln f(x,t)}{\partial x_j} \frac{\dot{x}_j}{x_j} = \frac{\partial \ln f(x,t)}{\partial x_j} \dot{x}_j \quad (***)$$

따라서 (*)과 (***)에서 $\frac{dx_j}{dt} = x_j \dot{x}_j$, $\dot{x}_j = \frac{1}{x_j} \frac{dx_j}{dt} = \frac{d \ln x_j}{dt}$ 가 되므로

\dot{x}_j 은 시간에 따른 x_j 의 증가율을 나타낸다.

그러므로 식 (3)은 경제생산량의 변화가 기술진보와 요소투입량의 변화로 구성되고 있음을 보여준다.

식 (1)을 對數로 전환하여 시간 t 에 대해 전 미분하고 식(3)을 이용하면 식 (4)가 도출된다.

$$\frac{d \ln y}{dt} = \dot{y} = \frac{d \ln f(x,t)}{dt} - \frac{du}{dt} = TP + \sum_j \varepsilon_j \dot{x}_j - \frac{du}{dt} \quad (4)$$

식 (4)에서 $-\frac{du}{dt}$ 는 생산의 비효율성이 시간에 따라 감소하면서 생산경계 상에 존재하는 현존하는 기술수준 하에서의 최대생산량으로 접근하는 속도를 나타내는 기술적 효율성의 변화율로 식 (5)와 같이 잠재적 생산량 $f(x, t)$ 에 대한 실제생산량 $f(x, t)\exp(-u)$ 의 비율로 정의된다.

$$TE = \frac{f(x,t)\exp(-u)}{f(x,t)} = \exp(-u) \quad (5)$$

식 (5)을 對數로 전환하여 시간 t 에 대해 전 미분하면

$$\ln TE = -u \text{에서 } \frac{d \ln TE}{dt} = -\frac{du}{dt},$$

$$\frac{d \ln TE}{dTE} \frac{dTE}{dt} = \frac{1}{TE} \frac{dTE}{dt} = \dot{TE} = -\frac{du}{dt} \quad (6) \text{ 이 도출 된다.}$$

따라서 식 (4)의 총체적인 생산량 증가율의 변화는 기술진보, 요소투입량의

변화, 그리고 기술적 효율성의 변화에서 초래되고 있음을 알 수 있다. 기술진보가 陽이면 외생적인 기술변화 즉, 기술혁신이 주어진 요소투입량 하에서 생산경계를 상향 이동시키며, $\frac{du}{dt}$ 가 陰이면 기술적 효율성이 시간에 걸쳐 증가한다는 것을 의미한다.

또한 총 요소생산성 증가율 (\dot{TFP}) 은 요소투입증가율에 의해 설명되지 않는 생산량의 증가율로 정의되며 식 (7)로 표현된다.

$$\dot{TFP} = \dot{y} - \sum_j S_j \dot{x}_j \quad (7)$$

여기서 S_j 는 투입요소 j 의 비용이 총 비용에서 차지하는 비중을 나타낸다. 식 (6)을 식 (7)에 대입하여 정리하면 식 (8)이 도출된다.

$$\begin{aligned} \dot{TFP} &= TP - \frac{du}{dt} + \sum_j (\varepsilon_j - S_j) \dot{x}_j \\ &= TP - \frac{du}{dt} + (RTS - 1) \sum_j \lambda_j \dot{x}_j + \sum_j (\lambda_j - S_j) \dot{x}_j \end{aligned} \quad (8)$$

여기서 RTS 는 추정된 규모에 대한 보수, $\sum_j \frac{\partial \ln f(x,t)}{\partial \ln x_j} = \sum_j \varepsilon_j$ 를 나타내며 λ_j 는 투입생산요소 j 의 산출량 탄력성이 전체 산출량 탄력성에서 차지하는 비중, $\lambda_j = \varepsilon_j / \sum_k \varepsilon_k = \varepsilon_j / RTS$ 을 가리킨다.

따라서 규모의 탄력성 $RTS=1$ 이면 규모에 대한 보수는 불변, $RTS < 1$ 이면 규모에 대한 보수는 감소, $RTS > 1$ 이면 규모에 대한 보수는 증가한다.

규모요인의 변동은 식 (8)에서 $SC = (RTS - 1) \sum_j \lambda_j \dot{x}_j$ 로 측정되며 배분 효율성의 변화는 ($AE = \sum_j (\lambda_j - S_j) \dot{x}_j$) 로 측정된다. 여기서, 배분 효율성이란 시장에서 평가된 투입생산요소의 한계생산물가치가 투입생산요소의 시장가격과 일치할 때 달성된다.

따라서 총 요소생산성 증가율 (\dot{TFP})은 기술진보율 (TP), 기술적 효율성의 변화율 ($\dot{TE} = -\frac{du}{dt}$), 규모요인의 변화 ($SC = (RTS - 1) \sum_j \lambda_j \dot{x}_j$), 그리고 배분 효율성의 변화($AE = \sum_j (\lambda_j - S_j) \dot{x}_j$)로 구성된다.

II.2. 로봇산업의 확률적 경계생산모델

불균형 패널데이터를 이용하는 로봇산업의 확률적 경계생산함수 (stochastic frontier production function)를 추정하기 위해 초월대수 생산함수 (translog production function)를 가정하였으며 기술적 비효율성을 나타내는 u_{it} 는 이론적으로 보다 유연한 절단정규분포 (truncated-normal distribution)를 하며 시간에 따라 변동하는 패턴을 가진 함수형태를 사전적으로 가정하였다 (Battese와 Coelli (1992)).

$$\begin{aligned} \ln y_{it} = & \alpha_0 + \alpha_L \ln x_{Lit} + \alpha_K \ln x_{Kit} + \alpha_T t + \frac{1}{2} \beta_{LL} (\ln x_{Lit})^2 + \frac{1}{2} \beta_{KK} (\ln x_{Kit})^2 \\ & + \frac{1}{2} \beta_{TT} t^2 + \beta_{LK} \ln x_{Lit} \ln x_{Kit} + \beta_{TL} t \ln x_{Lit} + \beta_{TK} t \ln x_{Kit} + (v_{it} - u_{it}), \\ & i = 1, N, t = 1, T, u \geq 0. \end{aligned} \quad (9)$$

여기서 y_{it} 는 i 번째 기업의 t 년도 산출량, t 는 시간변수, x_{it} 는 i 번째 기업의 t 년도 $k \times 1$ 생산요소투입량 벡터, β 는 미지의 추정 모수, 그리고 L 과 K 는 각각 노동과 자본을 나타낸다.

v_{it} 는 독립적이며 동일한 $N(0, \sigma_v^2)$ 의 정규분포를 가정한 확률적 오차 항이며 생산경계에 못 미치는 실제 생산손실을 가리키는 기술적 비효율성을 나타내는 확률적 오차 항인 u_{it} 와는 독립이며 $u_{it} \geq 0$ 이다. 본 연구에서는 Battese와 Coelli (1992)가 아래와 같이 정의한 기술적 비효율성을 사용하였다.

$$u_{it} = u_i \exp(-\eta(t-T)), \quad (10)$$

여기서 u_{it} 는 독립적이며 동일한 $N(0, \sigma_u^2)$ 의 정규분포를 0에서 절단한 $N(\mu, \sigma_u^2)$ 의 분포를 가지며, η 는 기술적 비효율성의 시간에 걸친 변화를 추정하기 위한 모수로 η 가 양이면 기업의 기술적 효율성이 시간이 지나면서 개선될 것이며 음이면 기술적 효율성이 시간이 지나면서 악화되는 시간에 따라 변화하는 비효율성 (time-varying technical inefficiency)을 가정하고 있다.

분산의 모수는, σ_u^2 / σ^2 , $\sigma^2 = \sigma_u^2 + \sigma_v^2$ 로 전개하여 최우법 (maximum likelihood estimation)으로 추정하였으며 는 당연히 0 과 1 사이에 있게 된다.

기술적 효율성의 시간에 따른 변동패턴이 η 로 고정되어 있어 시간에 따른 기업의 기술적 효율성 변화 패턴이 모든 기업에서 동일하여 표본 내 기업의

기술적 효율성의 순위가 초기부터 말기까지 같다는 사전적 가정이 강하다는 취약성은 있으나 추정 모수가 제한되어 있어 긴 시계열과 사업체 수가 많은 횡단면 데이터로 구성된 불균형 패널데이터를 분석하는 본 연구에 적합한 방법론이라고 판단된다.

즉, $\exp(-\eta(t-T))$ 는 각 기업이 동일한 기술적 비효율성의 시간에 따른 변동 패턴을 가지고 있어 비록 변화의 범위가 u_i 에 따라 다르나 기업 1의 기술적 효율성이 증가하면 기업 2의 기술적 효율성도 증가하는 것을 의미한다.

식 (11)은 노동의 산출량 탄력성 (output elasticity of labor), 식 (12)은 자본의 산출량 탄력성 (output elasticity of capital)이며 식 (13)는 규모에 대한 보수 (returns to scale)로 정의된다.

$$\varepsilon_L = \partial \ln f(x, t) / \partial \ln x_L = \alpha_L + \beta_{LK} \ln x_K + \beta_{LL} \ln x_L + \beta_{TL} t \quad (11)$$

$$\varepsilon_K = \partial \ln f(x, t) / \partial \ln x_K = \alpha_K + \beta_{KL} \ln x_L + \beta_{KK} \ln x_K + \beta_{TK} t \quad (12)$$

$$RTS = \varepsilon_L + \varepsilon_K \quad (13)$$

기술진보율 TP (rate of technical progress)는 식 (14)과 같이 정의된다.

$$TP = \partial \ln f(x, t) / \partial t = \alpha_T + \beta_{TT} t + \beta_{TL} \ln x_L + \beta_{TK} \ln x_K \quad (14)$$

위 식 (11)~(14)에서, $\ln x_L$ 와 $\ln x_K$ 는 식 (9)의 확률적 경계생산함수를 추정할 때의 투입요소수준의 표본평균을 의미한다. 여기서 기술진보의 유형은 非中立的 기술진보로 명시되어 β_{TL} 이 양의 값을 가지면 기술진보가 노동 사용적이며, β_{TK} 가 양의 값을 가지면 자본 사용적이며, β_{TL} 과 β_{TK} 가 모두 0 라면 중립적 기술진보를 의미한다.

III. 불균형 패널 데이터

본 연구에 사용된 불균형 패널 데이터는 1999-2005년까지 7년간 「광업·제조업 통계조사보고서」 및 「광업·제조업 센서스」에서 로봇산업의 네 부문으로 분류된 산업에 속한 사업체들 중 5인 이상의 종업원을 고용한 사업체들로 구성된 원시자료를 사용하였다.

자본 (K)은 실질유형고정자산, 노동 (L)은 종사자 수, 그리고 생산량은 실질부가가치 (VA)를 사용하였다. 실질부가가치는 2000년도 물가를 불변가격으로 하여 환산한 한국은행 78부문 GDP 디플레이터 중 로봇산업 부문에 해당하는 산업부문별 GDP 디플레이터로 각각 할인하여 도출하고 실질유형고정자산 역시 2000년도 물가를 불변가격으로 한 토지, 건물, 기계 및 구축물, 차량·선박, 기타 등으로 나누어 각각의 자산항목별 GDP 디플레이터를 사용하여 도출하였다.

노동비용 (C_L)은 근로자에 대한 보수로 임금, 퇴직급여, 복지후생비용을 포함하였고 자본비용 (C_K)은 임차료와 감가상각비의 합으로 측정하였다. 총 비용은 두 생산요소비용의 합계 ($C = C_L + C_K$)이며, 총 비용에 대한 노동비용과 자본비용의 비중은 ($S_L = C_L/C$, $S_K = C_K/C$) 총비용에서 차지하는 노동과 자본의 요소비용비율이다.

표 1은 로봇산업의 부문 별 확률적 경계생산함수에 사용된 변수들의 평균 및 표준편차를 보여준다.

표 1. 로봇 산업의 부문 별 확률적 경계생산함수에 사용된 변수들의 평균 및 표준편차

	로봇 산업 전체	제조업용 로봇	전문서비스용 로봇	개인서비스용 로봇	로봇 부품 및 부분품
총 사업체 수	68,489	6,257	4,215	6,780	15,209
총 관측치 수	27,422	14,675	10,371	16,680	36,709
노동	2.6475 (0.9560)	2.3759 (0.7116)	2.5449 (0.8400)	2.4610 (0.8449)	2.8333 (1.0350)
자본	5.8625 (1.7109)	5.7991 (1.3734)	5.9441 (1.5328)	5.5439 (1.6592)	6.0269 (1.8120)
부가가치	6.2728 (1.3222)	6.1618 (1.0031)	6.1535 (1.1970)	5.8471 (1.2383)	6.4707 (1.4451)
노동비중	0.8155 (0.0124)	0.8188 (0.0142)	0.8210 (0.0184)	0.8226 (0.0161)	0.8107 (0.0101)

주: 노동, 자본, 부가가치의 對數의 평균 값이며 ()안은 표준편차를 나타낸다.

표 1을 보면 로봇산업의 부문 간 노동비중은 유사하나 로봇 부품 및 부분품 부문의 노동, 자본, 부가가치 등의 對數의 평균 값과 표준편차가 여타 세 부문에 비해 큰 것을 알 수 있다.

IV. 추정결과

IV.1. 확률적 경계생산함수 형태에 대한 가설 검정

표 2는 확률적 경계생산함수의 형태에 대한 다섯 가지 가설검정 결과를 로봇산업 부문 별로 제시하고 있다. 귀무가설에 대한 검정은 우도 비 (likelihood-ratio test) 검정통계량인 $\lambda = -2 [L(H_0) - L(H_U)]$ 에 기초하며, $L(H_0)$ 는 제약이 있을 때 H_0 의 로그우도 값, $L(H_U)$ 은 제약이 없을 때의 H_U 의 로그우도 값을 나타낸다. 귀무가설이 사실이면 λ 는 점근적으로 제약의 수와 같은 자유도 (degrees of freedom)를 가지는 χ^2 분포를 이루고 $\gamma=0$ 을 포함할 경우에는 *mixed* χ^2 분포를 이룬다.

첫 번째 귀무가설인 $H_0: \gamma = \mu = \eta = 0$ 은 확률적 경계생산함수에 기술적 비효율성이 존재하지 않는다는 것을 의미한다.

두 번째 귀무가설인 $H_0: \eta = 0$ 은 기술적 비효율성이 시간에 따라 변화하지 않는다는 것이다.

세 번째 귀무가설인 $H_0: \alpha_T = \beta_{TT} = \beta_{TL} = \beta_{TK} = 0$ 은 기술진보가 발생하지 않았음을 나타낸다.

네 번째 귀무가설인 $H_0: \beta_{TL} = \beta_{TK} = 0$ 은 기술진보가 중립적 (neutral)임을 뜻한다.

다섯 번째 귀무가설인 $H_0: \beta_{LL} = \beta_{KK} = \beta_{LK} = \beta_{TT} = 0$ 은 생산함수의 형태가 콥-더글라스임을 의미한다. 위의 다섯 가지 귀무가설에 대한 검정은 1% 유의수준에서 시행되었다.

가설검정 결과 제조업용 로봇부문, 전문서비스용 로봇부문, 개인서비스용 로봇부문의 확률적 경계생산함수형태는 $H_0: \eta = 0$ 이 채택됨으로써 기술적 효율성이 시간에 따라 크게 변화하지 않았음을 알 수 있다.

표 3은 제조업용 로봇부문의 평균 기술적 효율성 (ATE)이 0.72 정도에서 안정되어 있고 전문서비스용 로봇부문의 평균 기술적 효율성 (ATE)이 0.67 내외로 큰 변화가 없으며 개인서비스용 로봇부문의 평균 기술적 효율성 (ATE)

도 0.68 정도로 안정적임을 보여주고 있다.

그러나 지능형 로봇 부품 및 부분품 부문의 확률적 경계생산함수 형태는 여타 세 부문과 달리 $H_0: \eta = 0$ 이 기각됨으로써 표 3에서 평균 기술적 효율성 (ATE)이 0.67에서 0.63으로 지속적으로 악화되어 온 것을 뒷받침하고 있다.

표 2. 로봇 산업 부문 별 확률적 경계생산함수의 형태에 대한 가설검정 결과

귀무가설	로그우도 함수	검정통계량 (λ)	임계 값	결정
로봇산업 전체				
$H_0: \gamma = \mu = \eta = 0$	-61725.2	14799.78	10.50*	H_0 기각
$H_0: \eta = 0$	-61802.25	154.14	6.63	H_0 기각
$H_0: \alpha_T = \beta_{TT} = \beta_{TL} = \beta_{TK} = 0$	-62773.2	2096.05	13.28	H_0 기각
$H_0: \beta_{TL} = \beta_{TK} = 0$	-62000.62	550.88	9.21	H_0 기각
$H_0: \beta_{LL} = \beta_{KK} = \beta_{LK} = \beta_{TT} = 0$	-61936.22	422.08	13.28	H_0 기각
제조업용 로봇				
$H_0: \gamma = \mu = \eta = 0$	-10477.9	1956.15	10.50*	H_0 기각
$H_0: \eta = 0$	-10478.44	1.102	6.63	H_0 채택
$H_0: \alpha_T = \beta_{TT} = \beta_{TL} = \beta_{TK} = 0$	-10816.19	676.606	13.28	H_0 기각
$H_0: \beta_{TL} = \beta_{TK} = 0$	-10530.22	104.676	9.21	H_0 기각
$H_0: \beta_{LL} = \beta_{KK} = \beta_{LK} = \beta_{TT} = 0$	-10696.35	436.932	13.28	H_0 기각
전문서비스용 로봇				
$H_0: \gamma = \mu = \eta = 0$	-8648.03	1817.45	10.50*	H_0 기각
$H_0: \eta = 0$	-8648.34	0.63	6.63	H_0 채택
$H_0: \alpha_T = \beta_{TT} = \beta_{TL} = \beta_{TK} = 0$	-8828.55	361.05	13.28	H_0 기각
$H_0: \beta_{TL} = \beta_{TK} = 0$	-8679.66	63.26	9.21	H_0 기각
$H_0: \beta_{LL} = \beta_{KK} = \beta_{LK} = \beta_{TT} = 0$	-8766.36	236.67	13.28	H_0 기각
개인서비스용 로봇				
$H_0: \gamma = \mu = \eta = 0$	-13654.6	3046.413	10.50*	H_0 기각

$H_0: \eta=0$	-13656.13	3.07	6.63	H_0 채택
$H_0: \alpha_T = \beta_{TT} = \beta_{TL} = \beta_{TK} = 0$	-13895.64	482.092	13.28	H_0 기각
$H_0: \beta_{TL} = \beta_{TK} = 0$	-13706.28	103.366	9.21	H_0 기각
$H_0: \beta_{LL} = \beta_{KK} = \beta_{LK} = \beta_{TT} = 0$	-13748.15	187.12	13.28	H_0 기각
지능형 로봇 부품 및 부분품				
$H_0: \gamma = \mu = \eta = 0$	-34556.1	5787.755	10.50*	H_0 기각
$H_0: \eta=0$	-34592.01	71.924	6.63	H_0 기각
$H_0: \alpha_T = \beta_{TT} = \beta_{TL} = \beta_{TK} = 0$	-35735.54	2358.97	13.28	H_0 기각
$H_0: \beta_{TL} = \beta_{TK} = 0$	-34806.49	500.886	9.21	H_0 기각
$H_0: \beta_{LL} = \beta_{KK} = \beta_{LK} = \beta_{TT} = 0$	-34833.25	554.4	13.28	H_0 기각

IV.2. 규모에 대한 보수 (Returns to Scale)

표 3을 보면 제조업용 로봇 부문과 지능형 로봇 부품 및 부분품 부문에서는 규모에 대한 보수 감소 (DRS)가 나타나고 있으나 전문 서비스용 로봇부문은 규모에 대한 보수 증가 (IRS)가 뚜렷하고 개인 서비스용 로봇부문은 미약하나 규모에 대한 보수 증가 (IRS)가 나타나고 있음을 알 수 있다.

또한 전 부문에서 규모에 대한 보수 (RTS)가 시간에 따라 점차 증가하고 노동에 대한 산출량 탄력성 (ϵ_L)의 증가와 자본에 대한 산출량 탄력성 (ϵ_K)의 감소가 동시에 나타나고 있다.

이는 로봇산업에서 물적 자본 (physical capital)에 비해 인적 자본 (human capital)을 포함하는 노동의 증가가 산출량 증가에 미치는 충격이 상대적으로 더 크다는 것을 의미한다.

표 3. 로봇산업 부문 별 년 평균 기술적 효율성 (ATE), 기술적 효율성의 변화율 (\dot{TE}), 규모에 대한 보수 (RTS)

	년도	로봇산업 전체	제조업용 로봇	전문 서비스용 로봇	개인 서비스용 로봇	지능형 로 봇 부품 및 부분품
ATE	2000	0.545	0.710	0.669	0.679	0.667
	2001	0.540	0.715	0.673	0.678	0.662
	2002	0.528	0.728	0.678	0.675	0.657
	2003	0.517	0.728	0.679	0.676	0.647
	2004	0.511	0.728	0.677	0.682	0.644
	2005	0.498	0.723	0.677	0.678	0.632
	2000-2005	0.523	0.722	0.675	0.678	0.651
\dot{TE}	2000	-0.0298	-0.0266	-0.0084	-0.0114	-0.0091
	2001	-0.0090	0.0063	0.0058	-0.0012	-0.0080
	2002	-0.0232	0.0188	0.0069	-0.0044	-0.0066
	2003	-0.0210	-0.0001	0.0013	0.0017	-0.0159
	2004	-0.0110	-0.0003	-0.0027	0.0080	-0.0049
	2005	-0.0263	-0.0070	-0.0004	-0.0049	-0.0190
	2000-2005	-0.0201	-0.0014	0.0004	-0.0020	-0.0106
RTS	2000	0.968	0.949	1.118	1.000	0.941
	2001	0.965	0.952	1.124	1.008	0.949
	2002	0.963	0.956	1.130	1.016	0.958
	2003	0.960	0.959	1.136	1.024	0.966
	2004	0.958	0.962	1.143	1.032	0.975
	2005	0.955	0.965	1.149	1.040	0.983

	2000-2005	0.961	0.957	1.133	1.020	0.962
		(0.319)	(0.060)	(0.066)	(0.047)	(0.030)

주: 1) () 안은 점근적 표준오차. 2) $RTS = \varepsilon_L + \varepsilon_K$.

IV.3. 총 요소생산성 증가율의 네 가지 기여요인

표 4-5, 그림 1-2의 추정결과에서 우선 제조업용 로봇 부문을 보면 기술진보율 (TP)은 비록 음(-)의 수준이나 지속적으로 개선되어 2005년도에 비로소 양 (+)의 수준인 0.0147로 전환됨으로써 총 요소생산성 증가율 (\dot{TFP})을 상승시키고 있으며 노동사용적이며 자본절약적인 기술진보를 나타내고 있다 ($\beta_{TL} = 0.0236$ (t값= 6.07), $\beta_{TK} = -0.0204$ (t값= -10.22)).

총 요소생산성증가율 (\dot{TFP})이 음(-)의 수준에서 점차 개선되어 2004년도에 이르러 양 (+)의 수준으로 전환된 데에는 그림 5에서와 같이 배분효율성의 개선 (AE)이 가장 크게 기여하고 있다.

둘째, 전문서비스용 로봇부문에서 기술진보율 (TP)은 비록 음(-)의 수준이나 지속적으로 개선되어 2005년도에 비로소 양 (+)의 수준인 0.0069를 시현함으로써 총 요소생산성 증가율 (\dot{TFP})을 향상시키는 결정적 요인이 되고 있으며 역시 노동사용적이며 자본절약적인 기술진보를 나타내고 있다 ($\beta_{TL} = 0.0258$ (t값= 5.89), $\beta_{TK} = -0.0197$ (t값= -8.12)).

총 요소생산성증가율 (\dot{TFP})이 음(-)의 수준에서 점차 개선되어 2005년도에 이르러 양 (+)의 수준으로 전환된 데에는 그림 4에서 뚜렷하게 보여주는 바와 같이 규모요인의 변화 (SC)가 가장 뚜렷하게 기여하고 있다.

셋째, 개인서비스용 로봇부문을 보면 기술진보율 (TP)은 비록 음(-)의 수준이나 지속적으로 개선되어 2004년도에 비로소 양 (+)의 수준인 0.0114를 시현함으로써 총 요소생산성 (\dot{TFP})증가율을 0.0192의 양(+)의 수준으로 전환시키는 결정적 요인이 되고 있으며 노동사용적이며 자본절약적 기술진보를 나타내고 있다 ($\beta_{TL} = 0.0259$ (t값= 7.57), $\beta_{TK} = -0.0179$ (t값= -10.02)). 표 3과 그림

3을 보면 기술적 효율성의 개선 (\dot{TE})이 총 요소생산성 증가율 (\dot{TFP})을 양 (+)의 수준으로 전환시키는 데에 크게 기여하고 있음을 알 수 있다.

끝으로, 지능형 로봇 부품 및 부분품 부문의 총 요소생산성증가율 (\dot{TFP})은 지속적으로 양 (+)의 값을 가지고 상승하였으며 여타 세 부문의 총 요소생산성 증가율 (\dot{TFP})에 비해 월등히 높고 이에 결정적인 기여를 하고 있는 요인이 기술진보율 (TP)임을 보여주고 있는 반면 표 3과 그림 3을 보면 기술적 효율성의 개선 (\dot{TE})은 네 부문 가운데 가장 저조하다. 이는 생산경계를 상향 이동시키는 기술진보가 급속하게 진행되는 산업에서 나타나는 현상으로 기술혁신의 선도자 (technological innovation leader)에 의한 생산경계의 상향 이동을 신속하게 따라잡지 (catch up) 못하는 다수의 기술 혁신의 후발자들 (technological innovation followers)이 상대적으로 뒤처지면서 기술적 비효율성을 노출하기 때문이다.

즉, 2000-2005년 간 평균 총 요소생산성 증가율 (\dot{TFP})은 0.0557에 이르며 2000-2005년 간 평균 기술진보율 (TP)은 0.0653이며 기술진보는 노동사용적, 자본절약적 기술진보 ($\beta_{TL}=0.0366$ (t값=16.77), $\beta_{TK}=-0.0282$ (t값=-22.52))를 나타내고 있다. 따라서 한국의 로봇 산업 네 부문 가운데 지능형 로봇 부품 및 부분품 부문에서 총 요소생산성 증가율과 이에 기여하는 기술진보의 크기가 내포하는 성장잠재력이 가장 명료하게 나타나는 것을 알 수 있다.

표 4. 로봇 산업 부문 별 기술진보 (TP), 규모효과의 변화(SC), 배분효율성의 변화 (AE), 총 요소생산성 증가율 (\dot{TFP})

	년도	로봇산업 전체	제조업용 로봇	전문 서비스용 로봇	개인 서비스용 로봇	지능형 로 봇 부품 및 부품품
TP	2000	0.0335	-0.0946	-0.1003	-0.0456	0.0285
	2001	0.0438	-0.0727	-0.0789	-0.0313	0.0432
	2002	0.0542	-0.0508	-0.0574	-0.0171	0.0579
	2003	0.0645	-0.0290	-0.0359	-0.0028	0.0726
	2004	0.0748	-0.0071	-0.0145	0.0114	0.0873
	2005	0.0852	0.0147	0.0069	0.0256	0.1020
	2000-2005	0.0593	-0.0399	-0.0467	-0.0099	0.0653
SC	2000	0.0022	-0.0003	-0.0308	0.00001	0.0011
	2001	0.0015	0.0016	0.0003	-0.0001	0.0024
	2002	-0.0011	0.0042	-0.0157	-0.0003	-0.0032
	2003	0.0033	0.0075	0.0346	-0.0001	0.0035
	2004	0.0004	-0.0010	0.0039	-0.0003	-0.00008
	2005	0.0005	-0.00002	0.0012	-0.0026	0.0001
	2000-2005	0.0011	0.0020	-0.0010	-0.0006	0.0006
AE	2000	-0.0137	0.0022	-0.0130	-0.0018	-0.0029
	2001	0.0052	-0.0018	0.0017	0.0027	0.0048
	2002	0.0058	0.0008	-0.0016	0.0015	0.0041
	2003	-0.0043	0.0162	-0.0021	-0.00006	-0.0002
	2004	-0.0051	0.0134	0.0018	0.0001	0.0020
	2005	0.0009	-0.0066	-0.0015	0.0016	-0.0054
	2000-2005	-0.0018	0.0040	-0.0024	0.0006	0.0004

\dot{TFP}	2000	-0.0078	-0.1194	-0.1527	-0.0589	0.0177
	2001	0.0415	-0.0666	-0.0710	-0.0300	0.0425
	2002	0.0356	-0.0269	-0.0678	-0.0202	0.0522
	2003	0.0425	-0.0053	-0.0022	-0.0012	0.0600
	2004	0.0590	0.0049	-0.0115	0.0192	0.0844
	2005	0.0603	0.0010	0.0061	0.0197	0.0778
	2000-2005	0.0385	-0.0353	-0.0498	-0.0119	0.0557

표 5. 로봇산업 부문 별 확률적 경계생산함수의 추정계수

	로봇산업 전체	제조업용 로봇	전문서비스용 로봇	개인서비스용 로봇	지능형 로봇 부품 및 부분품
α_0	3.1682	3.2725	3.2389	2.7434	2.8746
	(1.01)	(38.64)	(33.79)	(43.82)	(60.12)
α_L	0.6102	0.9001	0.7591	0.7868	0.5853
	(4.21)	(20.02)	(15.97)	(23.32)	(26.06)
α_K	0.2716	0.1802	0.2253	0.2658	0.2650
	(1.61)	(7.15)	(7.74)	(13.38)	(18.85)
α_T	0.0883	-0.0757	-0.0917	-0.0387	0.0658
	(2.55)	(-5.71)	(-5.71)	(-3.15)	(7.14)
β_{LL}	0.0075	0.0098	-0.0226	0.0174	0.0116
	(0.09)	(0.93)	(-1.94)	(2.05)	(2.53)
β_{KK}	0.0063	0.0159	0.0023	0.0097	0.0126
	(7.53)	(6.17)	(0.76)	(4.61)	(9.14)
β_{TT}	0.0103	0.0218	0.0214	0.0142	0.0147
	(0.69)	(19.70)	(14.89)	(12.65)	(17.55)
β_{LK}	0.0039	-0.0310	0.0194	-0.0207	-0.0040
	(0.06)	(-3.63)	(2.03)	(-3.07)	(-1.08)
β_{TK}	-0.0214	-0.0204	-0.0197	-0.0179	-0.0282
	(-16.68)	(-10.22)	(-8.12)	(-10.02)	(-22.52)
β_{TL}	0.0188	0.0236	0.0258	0.0259	0.0366
	(1.31)	(6.07)	(5.89)	(7.57)	(16.77)
σ^2	0.8385	1.2546	1.7816	1.8788	2.6466
	(0.10)	(16.59)	(14.65)	(11.99)	(32.52)

γ	0.7367	0.8632	0.8807	0.8901	0.9001
	(0.29)	(89.45)	(107.57)	(87.92)	(249.06)
μ	0.5025	-2.0814	-2.5053	-2.5865	0.0147
	(0.03)	(-10.37)	(-9.80)	(-8.11)	(17.55)
η	-0.0355	0.0023	0.0052	-0.0064	-0.0338
	(-0.37)	(0.49)	(0.98)	(-1.42)	(-9.77)

다음의 그림 1-5는 로봇산업의 부문 별 추정결과의 차이를 더욱 알기 쉽게 보여주고 있다.

그림 1.

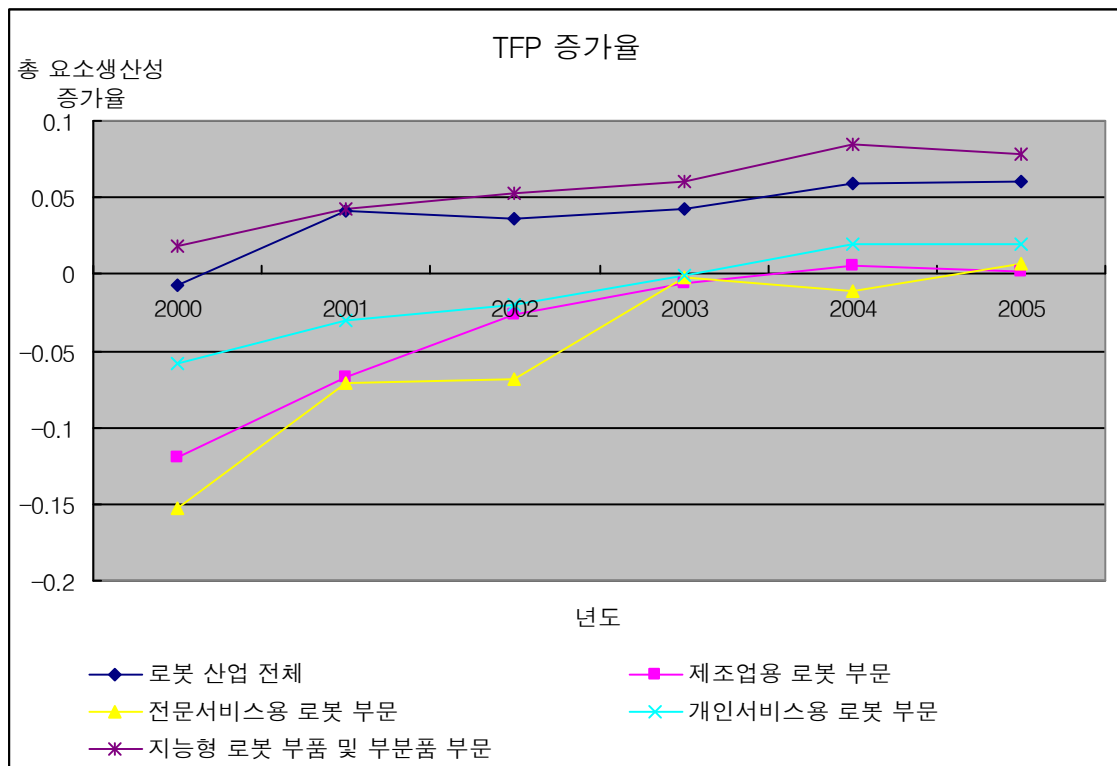


그림 1을 보면 로봇산업의 모든 부문에서 총 요소생산성증가율 (\dot{TFP})은 지속적으로 개선되고 있으나 지능형 로봇 부품 및 부분품 부문의 총 요소생산성 증가율 (\dot{TFP})이 가장 높고 전문서비스용 로봇 부문의 총 요소생산성

증가율 (TFP)이 가장 저조함을 알 수 있다.

그림 2.

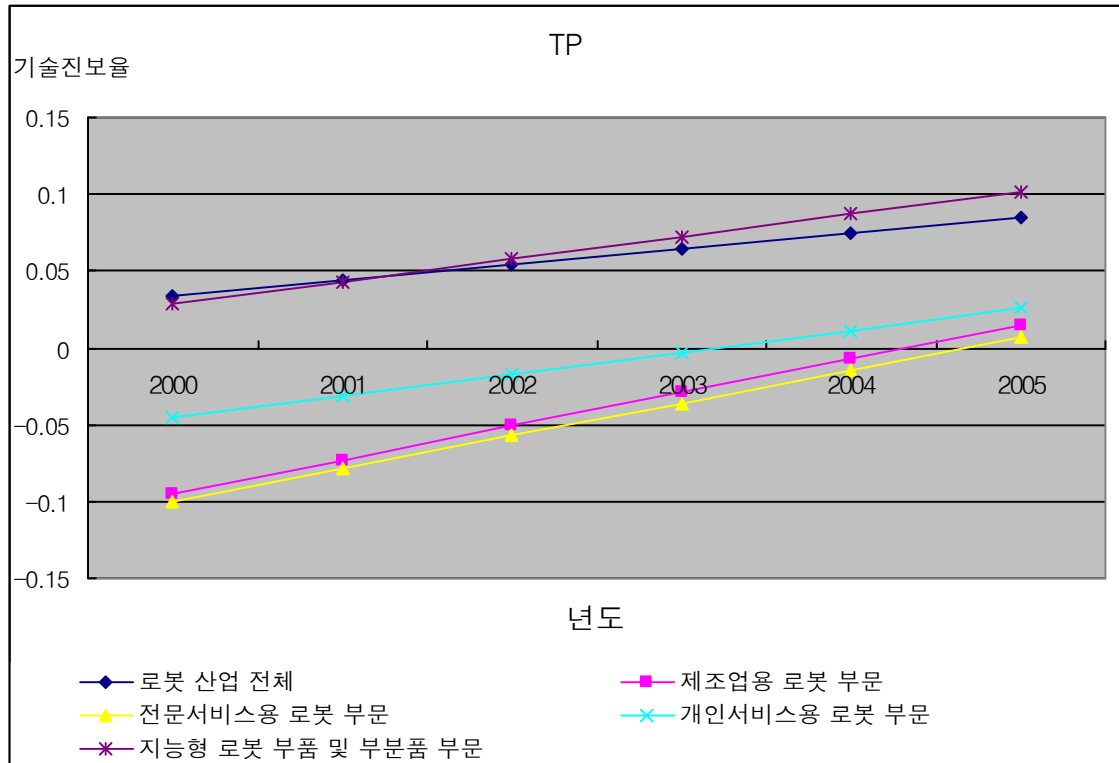


그림 2는 로봇산업 전 부문의 기술진보율 (TP)이 시간에 걸쳐 모두 상승하는 것을 보여주며 지능형 로봇 부품 및 부분품 부문, 개인서비스용 로봇 부문, 제조업용 로봇 부문, 전문서비스용 로봇 부문 등의 순으로 기술진보율 (TP)이 높게 나타나고 있음을 알 수 있다.

그림 3.

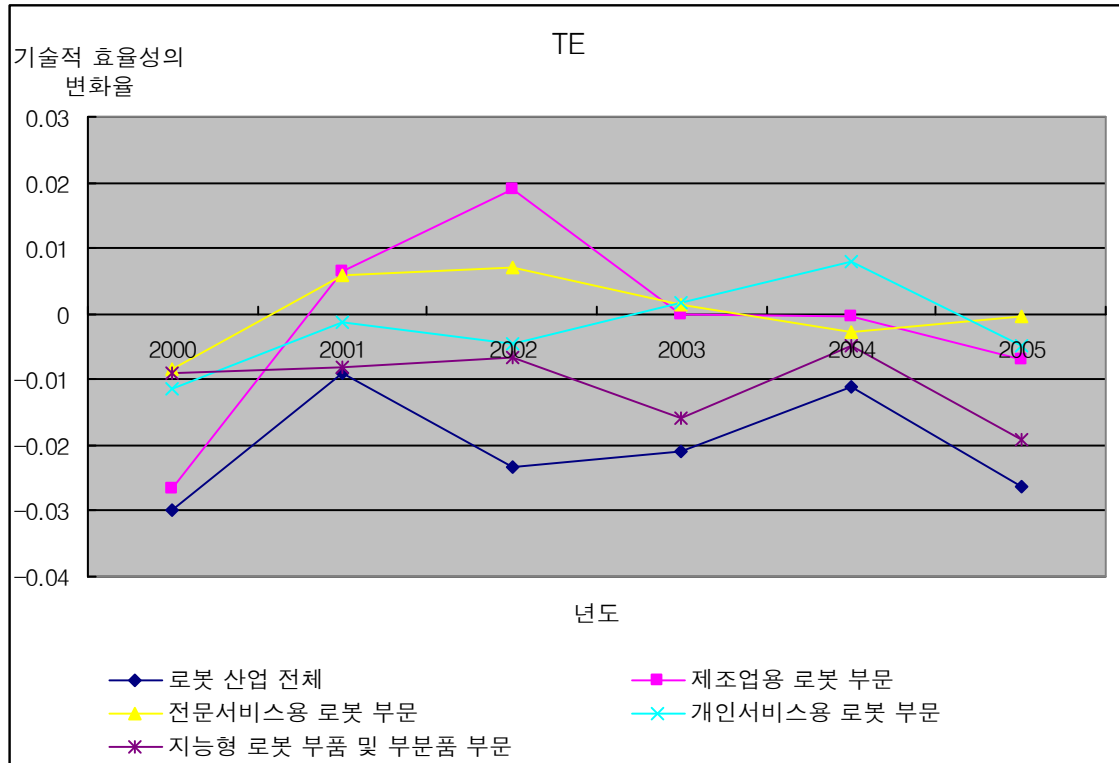


그림 3을 보면 로봇산업의 각 부문 별 기술적 효율성의 변화율 (\dot{TE})이 매우 불안정하며 \dot{TE} 의 상대적 크기의 부문 간 순서가 그림 2에서의 TP의 상대적 크기의 부문 간 순서와 逆으로 전개되는 것을 볼 수 있으며 이는 TP가 클수록 \dot{TE} 는 상대적으로 악화될 것이라는 사실을 확인해 주고 있다.

그림 4.

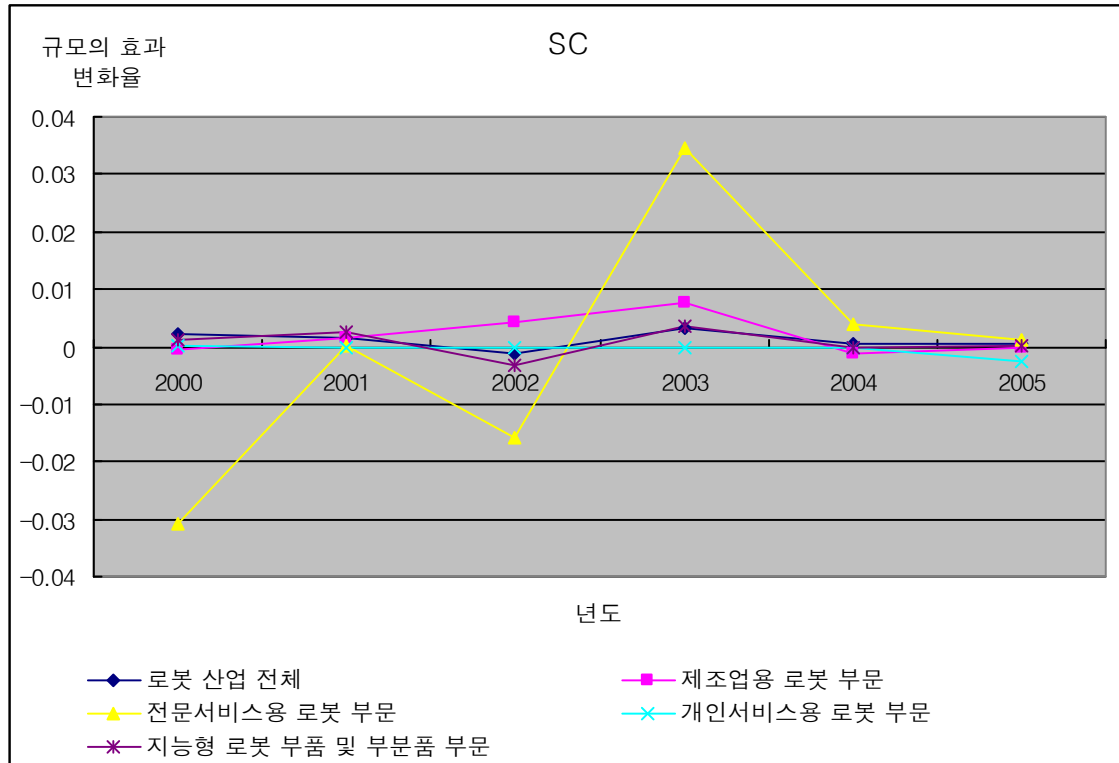


그림 4는 규모에 대한 보수증가 (IRS)를 시현하고 있는 전문서비스용 로봇 부문을 제외하고는 규모 요인의 변화 (SC)가 완만함을 보여준다. 규모에 대한 보수 불변 (CRS)에 가까운 개인 서비스용 로봇 부문의 규모요인의 변화 (SC)는 거의 없고 그 다음으로 규모에 대한 보수 불변 (CRS)에 근접하는 규모에 대한 보수 감소 (DRS)를 나타내는 제조업용 로봇 부문과 지능형 로봇 부품과 부분품 부문 역시 규모 요인의 변화 (SC)가 0에 근접하고 있다.

그림 5.

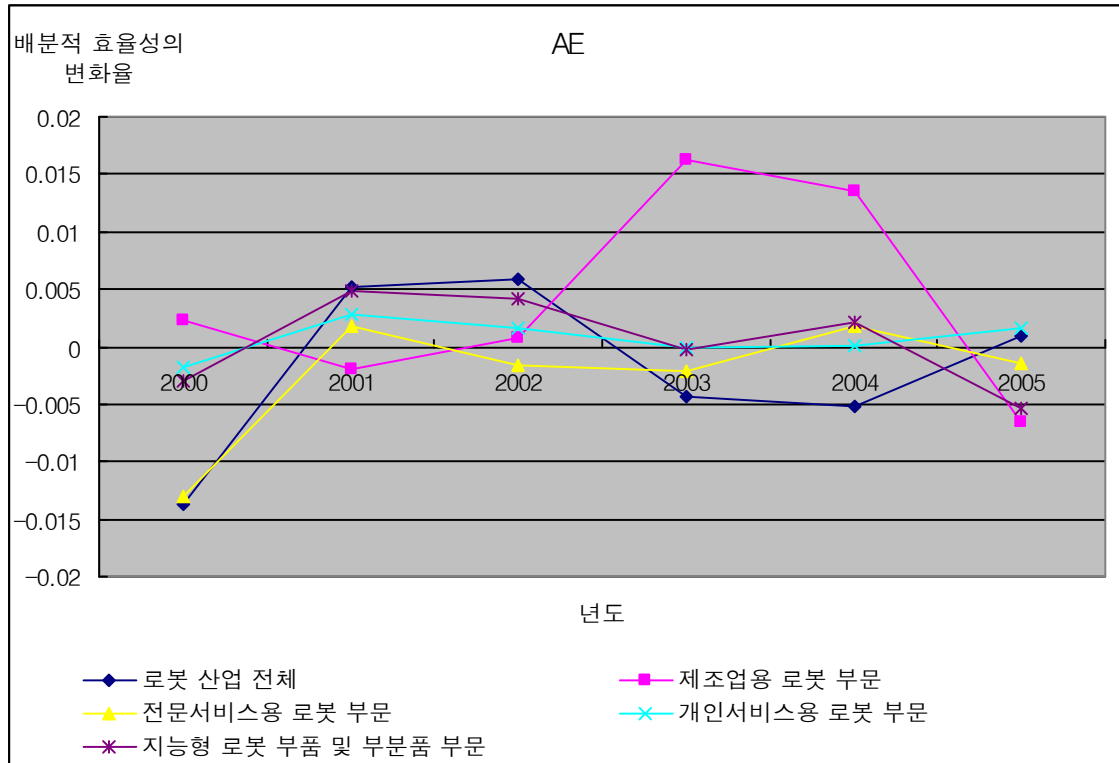


그림 5에서는 제조업용 로봇 부문과 전문 서비스용 로봇 부문과는 달리 개인 서비스용 로봇 부문과 지능형 로봇 부품 및 부분품 부문 등에서 배분효율성의 변화 (AE)가 완만하게 나타남을 알 수 있다.

V. 결론

본 연구는 산업자원부가 최초로 시도한 로봇산업의 분류체계를 따라 로봇산업을 네 개 부문으로 나누어 각 부문 별로 2000-2005년까지의 총 요소생산성 증가율 (TFP)과 이를 구성하는 네 가지 기여요인으로 분해하여 부문 별 성장전략 수립을 위한 실증 분석 결과를 최초로 제시하였다.

우선 년 평균 기술적 효율성의 추이를 보면 지능형 로봇 부품 및 부분품 부문의 년 평균 기술적 효율성은 다소 하락하였으나 여타 세 부문의 년 평균 기술적 효율성은 변화가 없는 것으로 나타났다. 한편 규모에 대한 보수

(RTS)를 보면 전문서비스용 로봇 부문은 규모에 대한 보수 증가 (IRS)가 뚜렷하고, 개인서비스용 로봇 부문은 미약하나마 규모에 대한 보수 증가 (IRS)를 보이고 있으며 제조업용 로봇 부문과 지능형 로봇 부품 및 부분품 부문은 규모에 대한 보수 감소 (DRS)를 나타내고 있다.

또한 전 부문에서 규모에 대한 보수 (RTS)가 시간에 따라 점차 증가하고 노동에 대한 산출량 탄력성 (ε_L)의 증가와 자본에 대한 산출량 탄력성 (ε_K)의 감소가 동시에 나타나고 있다. 이는 로봇산업에서 물적 자본 (physical capital)에 비해 인적 자본 (human capital)을 포함하는 노동의 증가가 산출량 증가에 미치는 충격이 상대적으로 더 크다는 것을 의미한다.

둘째, 기술진보율 (TP)은 지능형 로봇 부품 및 부분품 부문을 제외한 여타 세 부문에서는 비록 음(-)의 수준이나 지속적으로 상승하여 제조업용 로봇 부문, 전문서비스용 로봇 부문 등은 2005년도에, 개인서비스용 로봇 부문은 2004년도에 이르러 비로소 양(+)의 수준으로 전환되면서 총 요소생산성 증가율 (\dot{TFP}) 향상에 크게 기여하고 있다.

또한 총 요소생산성증가율 (\dot{TFP})이 음(-)의 수준에서 점차 개선되어 양(+)의 수준으로 전환된 데에는 제조업용 로봇 부문은 배분효율성의 개선 (AE)이, 전문서비스용 로봇 부문은 규모요인의 변화 (SC)가, 개인서비스용 로봇 부문은 기술적 효율성의 개선 (\dot{TE})이 크게 기여하고 있다.

셋째, 지능형 로봇 부품 및 부분품 부문의 기술진보율 (TP)은 지속적으로 양(+)의 수준을 유지하며 증가하여 총 요소생산성증가율이 지속적으로 양(+)의 수준을 유지하며 상승하는 데 결정적 기여를 함으로써 총 요소생산성증가율과 이에 기여하는 기술진보의 크기가 내포하고 있는 성장잠재력이 가장 명료하게 나타나고 있다.

따라서 로봇산업 성장의 토대가 되는 지능형 부품 및 부분품 부문의 총 요소생산성 증가율 (\dot{TFP})이 지속적으로 상승하고 있고 이를牽引하는 주요 핵심요인이 기술진보율 (TP)이며 2005년도에 들어와서는 여타 로봇산업 부문의 기술진보율 (TP)도 총 요소생산성증가율 (\dot{TFP}) 향상의 결정적 기여요인이라는 실증분석결과는 한국 로봇산업의 성장잠재력을 확인할 수 있는 고무적인 결과로 판단된다. 그러므로 향후 전 세계적인 신 성장동력산업으로 자리매김하고 있는 지능형 로봇산업의 글로벌 경쟁력 (global competitiveness)을 확보하기 위해서는 로봇 산업 부문 별로 특화된 성장전략을 수립하여 과감한 연구개발투자를 통해 기술혁신을 창출하고 선택과 집중을 통한 효율성 개선

과 더불어 규모의 경제 역시 도모하는 한편 요소생산성에 부합하는 보수가 이루어지는 시장에서의 배분효율성의 개선이 시급하다고 판단된다.

Measurement of the growth potential for the Robot Industry of Korea

Abstract

This paper investigated the of growth potential of the four sub-sectors of robot industry of Korea by analyzing the 2000-2005 total factor productivity (TFP) growth. Four contributors to the TFP growth, rate of technical progress (TP), changes in technical efficiency, changes in scale effects, and changes in allocative efficiency of the four robot industrial sectors of Korea were estimated using 1999-2005 micro-level unbalanced panel data. Empirical results showed that the TFP growth of the intelligent robot parts and components sector exhibited high technical progress (TP) which was a key contributor to the TFP growth whereas the other three sectors showed positive level of technical progress and TFP growth only recent 2004-2005. Strong increasing returns to scale (IRS) of the professional robot sector formed a striking contrast to the decreasing returns to scale (DRS) of the manufacturing robot sector and intelligent robot parts and components sector. In conclusion, the high level of TFP growth supported by the technical progress (TP) for the intelligent robot parts and components sector was greater in magnitude than the other three assembled robot sectors revealed the growth potential of the robot industry of Korea.

Key words: the robot industry of Korea, TFP growth, technical progress, technical efficiency, scale effects, allocative efficiency

JEL: L64, D24, C23

부록

한국 로봇산업의 현황과 분류체계

현재 산업자원부는 로봇산업의 목표로 KillerApp 창출을 위한 원천·핵심·부품기술의 확보전략 수립, 효율적인 R&D 시스템 구축, 그리고 수요중심의 R&D 프로세스 구축을 추진하고 있다. 또한 로봇제품화에 필수적인 돌파(breakthrough) 기술인 기술적 중요성과 타 분야에서 원용할 수 없는 로봇고유기술인 기술적 고유성을 가진 전략기술 추진이 필요하여 6대 중점기술 개발에 집중하고 있다. 6대 중점기술은 미래선도기술인 안드로이드(Android), 휴머노이드(Humanoid) 로봇기술, 원천핵심 기술 및 공통기반 기술인 물체핸들링 기술(Object handling), 이동기술(Mobile Navigation), 위치 인식(Localization), 환경인식(Environment Recognition) 및 로봇지능(intelligence) 기술, 부품기술인 센서와 액추에이터, 시제품 기술인 플랫폼(software & hardware platform) 및 통합(system integration) 기술로 가사지원 로봇, 노인부양 및 재활 로봇, 교육 로봇, 사회 및 국방 로봇, 인프라 로봇, 초정밀 로봇 등을 포함하고 있다.

표 6은 로봇산업의 분류체계 구축내역이며 표 7은 최근 생산현황을 나타내고 있다. 산업자원부에 따르면 표 6의 네트워크 로봇의 세부분류는 로봇 플랫폼, 로봇 부분품, 로봇용 S/W 콘텐츠, 로봇용 Telecom Service 등으로 구성되나 네트워크 로봇은 개발의 초기단계에 있어 명확하게 분류하기 어렵고 여타 로봇산업 품목과 중복될 우려가 있음에도 불구하고 네트워크 로봇산업에 대한 연구개발지원을 위해 개략적으로 분류한 것으로 실태조사 및 지속적인 연구를 통한 보완의 필요성을 강조하고 있다.

표 6. 로봇산업의 부문 별 산업 분류 체계

분류기호	항목 명	한국표준산업분류 코드 별 연계내역
	제조업용 로봇	
1-1	이 적재용 로봇	29169
1-2	공작물 착탈용 로봇	29169
1-3	용접용 로봇	29291
1-4	표면처리용 로봇	29194, 29395
1-5	조립, 분해용 로봇	29291, 29395
1-6	가공용 로봇	29291, 29299
1-7	공정용 로봇	29192, 29395
1-8	시험, 검사용 로봇	29399, 33219
1-9	기타 제조업용 로봇	29395
2	전문 서비스용 로봇	
2-1	빌딩관련서비스용 로봇	29395, 34201, 31991
2-2	극한작업용 로봇	29194, 29395, 31999, 35310
2-3	의료복지용 로봇	33199
2-4	사회 인프라 공사용 로봇	29332, 29395, 33219
2-5	군사용 로봇	29161, 29400, 31991, 34201, 35310
2-6	농림어업용(생물생산용) 로봇	29310
2-9	기타 전문서비스용 로봇	29395, 36932
3	개인 서비스용 로봇	
3-1	가사용 로봇	29310, 29519, 31991
3-2	생활지원용 로봇	29519, 33192, 33199, 35920, 36931
3-3	여가지원용 로봇	29169, 36931, 36941, 36942, 36949
3-4	교육 및 연구용 로봇	36975
3-9	기타 개인서비스용 로봇	29519, 36960
4	네트워크 로봇	
9	지능형 로봇 부품 및 부분품	
9-1	로봇용 구조부품 및 부분품	29395
9-2	로봇용 구동부품 및 부분품	29121, 29142, 31101, 29395
9-3	로봇용 센싱부품 및 부분품	32199
9-4	로봇용 제어부품 및 부분품	30013, 32300, 33220
9-5	로봇용 통신부품 및 부분품	32201, 32202
9-6	로봇용 소프트웨어	32199, 72209
9-9	기타 로봇용 부품 및 부분품	29395, 31109, 31301, 31402

자료: 산업자원부

표 7. 로봇산업의 부문 별 생산 현황

(단위: 백만 원, %)

분류기호	품목명	2003	2004	2005	년 성장율
	계	167,983	256,204	330,235	40.2
1	제조업용 로봇	118,954	178,039	218,908	35.7
1-1	이 적재용 로봇	44,781	89,967	105,293	53.3
1-2	공작물 착탈용 로봇	6,404	10,737	15,657	56.4
1-3	용접용 로봇	42,673	53,312	66,499	24.8
1-4	표면처리용 로봇	246	0	737	73.1
1-5	조립, 분해용 로봇	15,990	14,424	11,577	-14.9
1-6	가공용 로봇	0	0	0	0.0
1-7	공정용 로봇	142	302	376	62.7
1-8	시험, 검사용 로봇	700	715	724	1.7
1-9	기타 제조업용 로봇	8,018	8,582	18,045	50.0
2	전문서비스용 로봇	6,019	8,569	8,781	20.8
2-1	빌딩 서비스용 로봇	1,508	4,561	3,836	59.5
2-2	극한 작업용 로봇	1,210	1,324	1,700	18.5
2-3	의료 복지용 로봇	640	381	726	6.5
2-4	사회 인프라용 로봇	309	367	345	5.7
2-5	군사용 로봇	24	0	0	-100.0
2-6	생물 생산용 로봇	1,717	1,936	2,138	11.6
2-9	기타 전문 서비스용 로봇	611	0	36	-75.7
3	개인서비스용 로봇	18,459	26,804	35,735	39.1
3-1	가사용 로봇	2,944	5,567	7,141	55.7
3-2	생활 지원용 로봇	237	597	914	96.4
3-3	여가 지원용 로봇	6,462	9,643	9,476	21.1

3-4	교육용 로봇	4,359	5,353	11,777	64.4
3-9	기타 개인 서비스용 로봇	4,457	5,644	6,427	20.1
4	네트워크 로봇	3,900	7,931	14,150	90.5
9	지능형 로봇 부품 및 부분품	20,651	34,861	52,661	59.7
9-1	로봇용 구조 부품 및 부분품	600	400	500	-8.7
9-2	로봇용 구동부품 및 부분품	7,141	9,029	17,049	54.5
9-3	로봇용 센싱부품 및 부분품	1,035	7,152	10,974	225.6
9-4	로봇용 제어부품 및 부분품	917	1,250	1,971	46.6
9-5	로봇용 통신부품 및 부분품	1,324	1,948	2,541	38.5
9-6	로봇용 소프트웨어	941	1,827	4,753	124.7
9-9	기타 로봇용 부품 및 부분품	8,693	13,255	14,873	30.8

자료: 산업자원부

표 7을 보면 로봇생산액은 2003년~ 2005년간 평균 40.2%의 성장세를 지속하고 있으며 제조업용 로봇의 생산액은 평균 35.7%, 전문서비스용 로봇은 평균 20.8%, 개인서비스용 로봇은 평균 39.18%, URC 네트워크용 로봇의 생산액은 평균 90.5%, 로봇 부품 및 부분품 생산은 평균 59.7%의 성장을 보이고 있다.

표 8. 지능형 로봇산업의 부문 별 현황 (2005년)

부문	기업체 수	종사자 수 (명)	평균자본금 (백만 원)	특허 보유건 수	내수용 출 하	수출용 출 하
제조업용 로봇	60 (33.3%)	1,229 (54.3%)	42,612.6	150 (45.6%)	292,940 (76.4%)	90,450 (23.6%)
전문서비스용 로봇	13 (7.2%)	80 (3.5%)	35,375.6	32 (9.7%)	13,572 (99.5%)	75 (0.5%)
개인서비스용 로봇	39 (21.7%)	306 (13.5%)	1,018.2	85 (25.8%)	38,279 (85.1%)	6,710 (14.9%)
네트워크 로봇	17 (9.4%)	248 (11.0%)	1,610.5	20 (6.1%)	13,340 (83.1%)	2,721 (16.9%)
로봇 부품 및 부품	51 (28.3%)	399 (17.6%)	2,562.4	42 (12.8%)	78,518 (71.3%)	31,547 (28.7)
계	180(100%)	2,262(100%)	17,857.8	329(100%)	436,649	131,503

자료: 산업자원부.

주: 1) ()안은 구성비를 나타냄. 2) 총 출하= 내수용 출하+수출용 출하. 내수용 출하비중과 수출용 출하비중은 총 출하에 대한 비중 임.

표 8의 2005년도 지능형 로봇산업의 부문 별 현황을 보면 제조업용 로봇은 대기업이 생산하고 서비스 용 로봇은 중소벤처기업이 생산하는 양극화 구조이며 100여 개의 로봇관련 중소기업은 대부분 자본금 100억 원 미만의 영세기업으로 성장의 한계를 노출하고 있다. 로봇기업 180개사 중 제조업용 로봇 생산기업의 비중과 종사자 비중이 각각 전체의 33.3%와 54.3%로 가장 크며 로봇 생산기업의 평균자본금은 178억 원이나 제조업용 로봇 평균자본금은 426억 원으로 가장 높다.

특허보유현황을 보면 제조업이 총 329건 중 150건으로 가장 많고 그 다음이 개인서비스용 로봇이 85건으로 25.8%를 차지하고 있으나 네트워크로봇은 20건 불과하여 12.8%에 가장 낮다.

로봇의 내수용 및 수출용 출하가 총 출하액에서 차지하는 비중을 보면 내수용 출하가 76.9%를 차지하고 있음을 알 수 있다.

표 9. 국내 로봇산업의 현황 (2005년)

매출액 규모	기업체 수	설립 년도	기업체 수	성장단계	기업체 수
1억 원 미만	35 (19.4%)	1970년 이전	3 (1.7%)	진입검토기	28 (15.6%)
1억 원~10억 원	53 (29.4%)	1971년~1980년	16 (8.9%)	개발단계	37 (20.6%)
10억 원~50억 원	74 (41.1%)	1981년~1990년	9 (5.0%)	생산단계	73 (40.6%)
50억 원~100억 원	7 (3.9%)	1991년~2000년	91 (50.6)	성장기	31 (17.2%)
100억 원 이상	11 (6.1%)	2000년 이후	61 (33.9%)	성숙기	11 (6.1%)
계	180 (100%)	계	180 (100%)	계	180 (100%)

자료: 산업자원부

주: ()안은 구성비를 나타냄

표 9에서 매출액 규모는 10-50억 원이 41.1%를 차지하고 있으며 설립 년도는 1991-2000년도 까지 91개사가 설립되었고 2000년도 이후는 61개사가 설립되었다. 로봇산업의 성장단계를 보면 생산단계가 73개사 40.6%로 가장 많고 진입검토 및 개발단계가 36.2%를 차지함으로써 생산단계 점유율은 매년 증가될 것으로 예측된다.

표 10의 지능형 로봇산업의 부문 별 연구개발현황을 보면 2005년도 연구개발 건수는 1,246건에서 2006년도 1,401건으로 12.4% 증가하였으나 연구개발비는 676억 원에서 296 억 원으로 감소되었으며 총 연구개발비 중 자체 개발비 비중은 2005년 84.4%에서 2006년 71.5%로 감소하였다.

제조업용 로봇기업의 연구개발 건수는 2005년 113건에서 2006년 112건으로 감소하고 전문서비스용 로봇기업의 연구개발 건수는 2005년 33건에서 2006년 14건으로 감소하고 있다. 개인서비스용 로봇 기업의 연구개발 건수는 2005년 165건에서 2006년 67건으로, 네트워크용 로봇의 연구개발 건수는 2005년 81건에서 2006년 30건으로 크게 감소하고 있다.

한편, 로봇 부품 및 부분품 기업은 연구개발 건수는 2005년 854건에서 2006년 1,178건으로 무려 72.5% 나 비약적으로 증가하고 있다.

표 10. 지능형 로봇산업의 부문 별 연구개발 현황

		2005 (실적)		2006 (계획)	
		건 수	금액 (백만 원)	건 수	금액 (백만 원)
제조업용 로봇	공동개발	15	2,933	22	4,096
	위탁개발	13	2,703	5	2,415
	기술도입	9	113	9	240
	자체개발	76	11,688	76	12,715
	계	113	17,437	112	19,466
전문서비스용 로봇	공동개발	0	0	0	0
	위탁개발	0	0	0	0
	기술도입	7	163	4	116
	자체개발	26	491	10	33
	계	33	654	14	149
개인서비스용 로봇	공동개발	4	310	0	0
	위탁개발	3	80	13	390
	기술도입	4	1,021	2	12
	자체개발	154	8,226	52	4,493
	계	165	9,637	67	4,895
네트워크용 로봇	공동개발	19	1,739	5	421
	위탁개발	2	290	1	140
	기술도입	2	20	1	13
	자체개발	58	24,665	23	1,112
	계	81	26,704	30	1,686
지능형 로봇 부품 및 부품	공동개발	8	1,051	4	592
	위탁개발	7	0	9	0

	기술도입	3	100	1	9
	자체개발	836	12,078	1,164	2,870
	계	854	13,229	1,178	3,471
전체	공동개발	46	6,038	31	5,109
	위탁개발	25	3,073	28	2,945
	기술도입	25	1,417	17	390
	자체개발	1,150	57,138	1,325	21,223
	계	1,246	67,661	1,401	29,667

참고문헌

산업자원부, <http://www.mocie.go.kr>, 「로봇산업 승인 통계집」, 2007년 1월 17일 보도자료.

이 향구 「차세대 성장동력 기술과 산업 동향」, 산업연구원, 2007.

김 원규 「산업비전 2030」, 산업연구원, 2006.

Battese, G. E. and Coelli, T. J., "Frontier Production Functions, Technical Efficiency and Panel Data: With Application to Paddy Farmers in India," *Journal of Productivity Analysis* 3, 1992. pp. 153-169.

Coelli, T. J., "A Guide to FRONTIER Version 4.1: A Computer Program for Stochastic Frontier Production and Cost Function Estimation." CEPA Working Paper, Center for Efficiency and Productivity Analysis, University of New England, Armidale, Australia, 1996.

Kim, Sangho and Han, Gwanho, "A Decomposition of Total Factor Productivity

Growth in Korean Manufacturing Industries: A Stochastic Frontier Approach," *Journal of Productivity Analysis*, 16, 269-281, 2001.

Kodd, D.A. and Palm, F.C., "Wald Criteria for Jointly Testing Equality and Inequality Restrictions," *Econometrica* 54, 1243-1248, 1986.

Kumbhakar, S.C., "Estimation and Decomposition of Productivity Change when Production is not Efficient: A Panel Data Approach," *Econometric Reviews* 19, 425-460, 2000.

Majumdar, R. and Subrahmanya, B., "Total Factor Productivity in Indian Electronic Sector after Liberalization: Sources and Outcomes," *Asia Pacific Productivity Conference 2006*, Seoul.

Pai, M. K., "What explains the recent growth in the Korean mechatronics industry?" *산업경제연구*, 제 20권 제 4호, 2007.

Solow, Robert, "A Contribution to the Theory of Economic Growth," *Quarterly Journal of Economics*, 1956.