

국가 간 무역구조와 인적자본의 연구개발과급에 관한 연구*

한 응 용** · 전 응 일***

논 문 초 록

본 연구는 내생적 성장모형을 확장하여 OECD 22개 국가를 대상으로 국가 간 무역구조 및 인적자본이 연구개발과급에 미치는 영향을 검정하였다. 실증분석결과 무역은 연구개발과급의 간접경로임이 재확인되었다. 또한 총요소생산성은 G7 국가의 국외 연구개발스톡으로부터는 부(-)의 영향을, 비G7 국가의 국외 연구개발스톡으로부터는 정(+)의 영향을 받는 것으로 나타났으며, 인적자본은 기술추격을 촉진하는 효과가 있음이 검정되었다. 따라서 총요소생산성 증대를 위해서는 연구개발과 인적자본축적이 병행되어야 하며, 국외 연구개발투자가 국내 총요소생산성에 긍정적인 영향을 미치도록 적절한 무역구조의 설정이 필요하다.

핵심 주제어: 연구개발투자, 파급효과, 인적자본

경제학문헌목록 주제분류: F1, O3, O4

투고 일자: 2016. 11. 11. 심사 및 수정 일자: 2017. 1. 24. 게재 확정 일자: 2017. 2. 13.

* 본 논문은 제1저자의 박사학위논문 『연구개발과 경제성장에 관한 연구』 중 제3장과 한응용 외 (2017)를 수정·보완한 것이다. 이 논문에 대해 유익한 의견을 제시하여 주신 익명의 세 분 심사위원님께 진심으로 감사드린다.

** 제1저자, 한국과학기술기획평가원 연구위원, e-mail: hanwy@kistep.re.kr

*** 교신저자, 성균관대학교 경제학과 교수, e-mail: yjeon@skku.edu

I. 서 론

1990년대에 등장한 Romer(1990), Aghion and Howitt(1992) 및 Grossman and Helpman(1991) 등의 내생적 성장이론은 경제성장의 원천, 특히 총요소생산성의 결정요인에 대한 새로운 관심을 불러 일으켰다. 기술진보는 이윤을 추구하는 기업의 혁신 결과물로서 경제적 유인에 의해 경제시스템 내에서 일어나며, 이러한 기업의 경제행위는 연구개발이라는 형태로 나타난다. 연구개발의 누적된 노력은 기술적 지식의 축적을 대변하는 것으로 간주되며 또한 개방경제 하에서는 국가 간 연구개발의 파급효과로 인해 일국의 총요소생산성은 자국의 연구개발지출 뿐만 아니라 무역상대국의 연구개발지출에도 영향을 받게 된다. 즉, 세계 각국은 무역을 통해 타 국가에서 개발된 기술이 체화된 제품을 수입함으로써 자국의 생산성을 향상시킬 수 있다.¹⁾ Grossman and Helpman(1991)은 국가 간 기술이전의 다양한 경로를 제시하였는데, 경제학자들은 내생적 성장이론에 근거하여 무역(개방도), 인적자본 및 국가 간 기술확산과 경제성장 간의 관계에 대해 서로 상이하고 다양한 검정결과들을 제시하고 있으며, 특히 거시경제 차원에서 국가 간 무역과 기술확산의 관련성에 대해서는 아직 활발한 실증적 연구가 진행 중이다. 즉, 지식은 비체화되어 자유롭게 국가들 간에 파급되는 전 지구적 공공재라는 의견과 국제적인 지식파급은 국지적이며, 그 흐름은 국가 간의 무역구조에 의존한다는 견해가 상존하여 지식의 국제적 파급경로에 대하여는 아직 이론적인 합의가 이루어지지 못하고 있다(Fracasso and Vittucci Marzetti, 2015).

국외 연구개발지출이 국내 총요소생산성에 영향을 미치는 파급경로에 관한 선행 연구들에서 기술이전의 간접적인 파급(embodied knowledge spillovers) 경로로 무역(Coe and Helmpman, 1995; Coe, Helmpman and Hoffmaister, 2009) 및 국외 직접투자(Lee, 2005)를, 직접적인 파급(disembodied knowledge spillovers) 경로로는 국가 간의 기술무역(Mendi, 2007)을, 기술이전에 영향을 미치는 요인(흡수능력)으로는 기술수준 격차(Cameron, Proudman and Redding, 2005; Fracasso and Vittucci

1) Griliches(1992)는 연구개발의 파급(R&D Spillovers)을 Rent spillover와 Knowledge spillover로 구분하였다. Klenow and Rodriguez-Clare(2004)는 Griliches의 국가 간 지식파급을 고려한 성장모형을 통해 연구개발투자의 차이는 국가 간 생산성 격차를 낳으며, 타 국가로부터의 지식파급은 자국경제에 이득을 줄 수 있다는 것을 제시하였다.

Marzetti, 2014), 지리적 거리(Keller, 2002), 인적자본(Engelbrecht, 1997, 2002; Fracasso and Vittucci Marzetti, 2014) 및 자국의 연구개발집약도(Griffith, Redding and Reenen, 2004)를 중요한 요소로 간주하고 있다.²⁾ 그러나 이러한 연구들은 최근 내생적 성장이론에서 국가 간의 기술이전 및 생산성 격차의 중요한 요인으로 간주되고 있는 연구개발투자, 인적자본 및 기술수준 격차가 동시에 고려되지 못하고 선별적인 기술이전 경로와 국외 연구개발스톡의 산출방식(가중평균 및 대리변수)에 따른 유의성 검토에 한정되어 있다.

본 연구는 내생적 성장이론에 근거하여 국가 간 무역경로를 통한 연구개발의 파급효과를 최초로 분석한 Coe and Helpman(1995)의 모형을 연구개발, 인적자본 및 국가 간 기술격차를 동시에 고려하는 모형으로 확장하였다. 이러한 모형의 확장을 통해 논쟁의 쟁점인 “연구개발의 국가 간 파급효과가 무역구조에 의존하는가”의 경로의존성 여부와 함께 인적자본이 총요소생산성에 미치는 이중적 효과인 혁신창출을 통한 국내 총요소생산성 증가의 직접적인 효과와 국외 선진기술 습득역량 강화를 통해 선진기술추격으로 인한 총요소생산성 증대의 간접적인 효과를 검토하고자 한다. 본 논문과 이전 연구와의 주요한 차이점은 국가 간 기술격차와 함께 인적자본의 두 가지 역할을 동시에 고려하였다는 점이다. 기술적으로 후진국인 국가는 기술선진국의 기술을 흡수하여 개량함으로써 자국의 총요소생산성을 증가시킬 수 있으며, 이는 혁신을 통한 생산성 증가보다는 적은 비용이 소요된다. 그러나 이러한 선진기술을 흡수하는 데에는 자국의 연구개발활동을 통한 혁신역량의 배양과 이를 수행할 고급 인적자원이 요구된다(Griffith et al., 2004; Abramovitz, 1986).

이러한 점을 반영하여 국가 간의 기술수준차이를 주요 통제변수로 고려하고, 인적자본의 기술혁신 및 국외 기술이전 촉진효과를 검토한다.³⁾ 또한, 기술파급의 무

2) Keller(2004)는 국가 간 기술이전 경로를 실증적으로 검증한 문헌들을 종합적으로 분석하고 있으며, OECD 국가들에서의 생산성 성장은 국외로부터 도입된 기술진보에 기인하였음을 강조한다. 이러한 여러 요인들을 동시에 고려한 실증분석으로 Luintel, Khanand and Theodoridis(2014)는 OECD 16개국을 대상으로 1982년부터 2004년까지의 패널자료를 FMOLS 패널분석 기법을 적용하여 총요소생산성의 결정요인을 분석하였는데, 연구개발스톡(기업부문, 정부부문 및 국외부문) 및 인적자본과 함께 GDP 대비 ICT 투자비율 등 11가지의 추가적인 요인들의 유의성을 검증하였다. 그러나 내생적 성장이론에서 국가 간 기술이전의 중요한 요인으로 간주하는 기술수준 격차는 고려되지 않았다.

3) 인적자본(human capital)의 이러한 흡수능력을 고려한 연구로는 Nelson and Phelps(1966), Abramovitz(1986), Benhabib and Spiegel(1994), Engelbrecht(1997, 2002), Griffith,

역의존성 검정을 위해 국외 연구개발스톡의 가중평균방식에 따라 국가 간 기술과급 효과의 통계적 유의성에 차이가 있는가를 알아보고자 한다. 특히, 연구개발과 관련하여 G7국가와 비G7국의 국외 연구개발스톡을 구분함으로써 기술선도국(first-mover)과 기술추격국(fast-follower)의 연구개발스톡에 대한 국제적 과급효과에 차이가 존재하는가를 검정하고자 한다.⁴⁾ 이를 위해 분석자료는 최근에 발표된 Penn World Table 8.1(이하 PWT 8.1) 및 2015년 OECD의 과학기술주요지표를 활용하여 OECD 22개국의 1981년부터 2011년까지 기간에 대하여 패널분석기법인 동태최소자승법(DOLS)을 적용한다.

분석결과 국내 및 국외 연구개발스톡 및 인적자본은 선행연구들과 유사하게 총요소생산성의 중요한 결정요인으로 확인되었으며, 특히 인적자본의 역할을 고려할 경우 연구개발스톡의 총요소생산성에 대한 영향의 크기가 감소하는 것으로 나타났으며, 국외 연구개발스톡은 G7국가는 부(-)의 효과를 가지며, 비G7국가는 정(+)의 효과를 나타내었다. 또한 국외 연구개발스톡의 무역패널을 반영하는 가중평균 방법들 간에 모형의 적합성에 있어서 차이점이 있는 것으로 분석되어, Keller(1998)의 주장과 달리 무역구조는 국가 간 기술과급에 중요한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 한편 인적자본은 기술이전을 촉진하는 효과가 검증되어 기술후진국은 인적자본을 축적함으로써 기술선진국의 기술을 보다 용이하게 받아들여 자국의 총요소생산성 증가를 촉진시킬 수 있는 것으로 나타났다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제Ⅱ절에서는 연구개발의 국가 간 과급효과에 관한 이론적 배경을 소개하고 제Ⅲ절에서는 실증분석을 위한 모형설정에 대하여 설명한다. 제Ⅳ절에서는 실증분석 결과를 소개하고, 마지막으로 제Ⅴ절은 분석결과의 종합을 통한 시사점을 제시토록 한다.

Redding and Reenen(2004)이 있다. Coe, Helpman and Hoffmaister(2009)는 기술변경으로부터의 거리(기술격차) 등 총요소생산성에 영향을 미치는 다양한 변수들을 포함시켜 분석하였으나 유의성과 강건성(robustness)을 발견하지 못했으며, 인적자본과 연구개발스톡과의 교호효과를 시도하였으나 경제이론에 부합하는 부호 및 유의성을 발견하지 못하였다. 본 연구에서는 기술격차, 인적자본 및 기술격차와 인적자본의 교호효과 검정을 시도한 결과 모두 유의한 결과가 도출되었다.

4) 국가별 기술격차는 미국을 기준으로 상대적 총요소생산성 격차를 구하여 지수화하였다(제3절을 참조). 또한, 기술선도국과 기술추격국은 선행연구들에 따라 G7국가와 그 외 국가로 구분하였는데, 2012년 기준으로 연구개발지출의 G7국가 집중도를 허핀달-허쉬만 지수(HHI)를 통해 살펴보면 0.21로 나타났으며, 이는 22개국 평균인 0.045의 약 4배에 가까운 수치이다.

II. 이론적 배경

Romer(1990)의 인적자본모형, Grossman and Helpman(1991)의 질적사다리 모형 및 Aghion and Howitt(1992)의 창조적파괴 모형 등의 내생적 성장이론은 혁신이 총요소생산성과 경제성장을 견인한다는 것을 이론화했다. 특히, Grossman and Helpman(1991)은 국내 연구개발 뿐만 아니라 무역을 통한 국외 연구개발도 중간재의 제품다양화와 품질향상을 통해 총요소생산성을 증가시키는 이론모형을 제시했다. 최근의 경제성장이론에서 무역은 국가 간 지식과급의 중요한 수단으로 간주되며 무역을 통해 외국의 고기술이 체화된 중간재가 수입되어 생산에 활용됨으로써 국내 생산성을 증가시키게 된다. 이러한 수입품의 품질은 외국의 연구개발 투자에 의한 기술개발에 영향을 받으므로 결국 국내 총요소생산성은 무역을 통한 국외 연구개발에 의해 영향을 받게 된다. Coe and Helpman(1995) (이하 CH)은 최초로 자국의 연구개발 활동뿐만 아니라 국외의 연구개발활동이 국가 간 무역으로 인한 일출효과를 통해 국내 총요소생산성에 미치는 영향을 식 (1)과 같이 모형을 설정하여 실증분석 하였다. 특히 추정 변수들 간의 장기적인 관계를 구하기 위하여 공적분방정식(error correction model)을 추정하였다는 점이 패널공적분 계량분석기법이 아직 완전히 발전하지 않은 시점에서 획기적인 시도였다.

$$TFP_{i,t} = f(SD_{i,t}, G7^*SD_{i,t}, m_{i,t-1}^*SF_{i,t}) \quad (1)$$

일국에서의 부문별 혹은 산업자료에 기반한 기존의 연구개발의 과급효과 분석과는 상이하게 CH는 거시자료를 기반으로 OECD 및 이스라엘 국가를 포함한 1971년~1990년 기간의 패널자료를 분석하였는데 총요소생산성(TFP)을 종속변수로 하고 국내 연구개발스톡($SD_{i,t}$)과 국외 연구개발스톡($SF_{i,t}$)을 설명변수로 설정하였다.⁵⁾ 일반적으로 연구개발스톡은 영구재고법(perpetual inventory method)으로 산출하는데, CH는 감가상각률을 5%로 상정하였다. 연구개발지출의 연 평균증가율(g)은 연구개발지출액의 로그 값을 기간 평균하여 구하며, 다음 식 (2)에 의해 초

5) 총요소생산성(TFP)은 콥더글러스 생산함수의 가정 하에 부가가치기준 산출량에 노동 및 자본 투입요소의 소득분배 몫을 지수로 하여 나눈 다음 1985년을 기준년도로 지수화하였다.

$m_{i,t-1}$ 은 i 국의 $t-1$ 기의 수입비율을 나타낸다.

기년도의 연구개발스톡(SD_0)을 기초로 하여 이후년도 연구개발스톡의 시계열 자료를 산출하였다.

$$SD_0 = \frac{RD_0}{0.05 + g}, \quad SD_{i,t} = (1 - 0.05)SD_{i,t-1} + RD_{i,t-1} \quad (2)$$

이후의 연구들은 국외 연구개발스톡의 가중평균 방법, 연구개발 이외에 혁신의 추가적인 요인 고려 및 모형의 추정방법에서 확장 및 발전되었다. Keller (1998)는 국외 연구개발스톡을 산출함에 있어서 상대국과의 상대적 교역량을 가중치로 사용한 것에 대하여 임의적으로 교역량을 산출하여 가중치로 사용한 경우에도 국외 연구개발스톡은 총요소생산성에 유의한 영향을 미치며 국가 간의 총요소생산성 차이를 보다 더 잘 설명한다고 주장하였다. 더 나아가 무역구조를 반영하지 않고 단순 합산한 경우에도 국외 연구개발스톡은 통계적으로 유의하게 정의 계수가 나옴에 따라 국외 연구개발투자의 파급효과에 무역구조가 중요하다는 CH의 연구결과에 이를 제기하였다. 즉, 무역은 연구개발의 국가 간 파급경로가 아니라는 주장이다.

국외 연구개발스톡의 산출을 위한 가중평균 방법에 있어서 CH는 각 국가의 국내 연구개발스톡에 상대국으로부터의 수입량이 자국의 총수입량에서 차지하는 비중을 곱하여 산출하였는데 이러한 방법은 무역의 방향은 반영하나 그 흐름의 강도(intense)는 반영하지 못하며 이로 인해 국외 연구개발스톡의 가중평균은 합산의 편의를 야기한다(Lichtenberg and de la Potterie, 1998, 이하 LP).⁶⁾ 이를 개선하기 위하여 LP는 국외 연구개발스톡의 가중치로서 상대국의 GDP대비 상대국으로부터 자국의 수입량을 사용할 것을 제안하였다.

따라서, 국내로 유입되는 국외 연구개발스톡은 각 국가들로부터의 수입 비중으로 가중평균하여 수입에 체화된 기술이전량으로 구할 수 있는데 가중치의 산출방식에 따라 세 가지 종류의 국외 연구개발스톡($SF_{i,t}$)을 산출할 수 있다. 그 가중평균 방법은 CH, LP 및 단순산술평균의 세 가지 방식이 활용된다. 먼저 CH 방식(biw:

6) 합산편의(aggregation bias)란 만약 2개의 무역 상대국의 경제규모가 비슷하다면 2개 국가가 합병한 경우를 가정하면 국외 연구개발스톡은 합병하지 않은 경우와 비교하여 반드시 증가하게 된다는 것이다. 또한 연구개발스톡의 지수화는 국외 연구개발스톡의 총요소생산성 탄력성에 편의를 발생시킨다.

bilateral import weight)은 국외 연구개발스톡을 $SF_{it}^{biw} = \sum_{j \neq i} (M_{ijt}/M_{it})SD_{jt}$ 같이 자국의 전체수입량에서 상대국가로부터의 수입량이 차지하는 비중을 가중치로 활용한다. 여기서 SD_{jt} 는 j 국가의 연구개발스톡을 나타내며, M_{ijt} 는 i 국의 j 국으로부터의 수입량이며, M_{it} 는 i 국가의 총수입량이다. LP는 CH의 산출방식에 대하여 두 나라가 병합되는 경우를 상정할 경우 국외 연구개발스톡의 총량은 변함이 없음에도 CH 방식에 의해 가중평균된 연구개발스톡은 언제나 증가한다는 점을 지적하며, 개선된 가중평균방법으로 $SF_{it}^{lp} = \sum_{j \neq i} (M_{ijt}/Y_{jt})SD_{jt}$ 을 제안하였다. 여기서 Y_{jt} 는 j 국의 명목GDP이다. 마지막으로 각국의 연구개발스톡에 동일한 가중치를 부여하는 단순산술평균 방법으로써 $SF_{i,t}^{avg} = \sum_{j \neq i}^n SD_{jt} / (n-1)$ 와 같이 구할 수 있다.

내생적 성장이론에서 인적자본은 R&D와 함께 혁신의 주요한 원천으로 간주된다(Lucas, 1988; Romer, 1990). 따라서 CH모형은 인적자본의 중요소생산성에 대한 영향을 고려하지 않음으로 인해 연구개발의 중요소생산성에 대한 효과는 누락된 변수로 인한 편의가 발생할 수 있다. Engelbecht(1997)은 CH모형에 Nelson and Phelps(1966) 및 Benhabib and Spiegel(1994)의 모형을 결합하여 인적자본이 국내혁신 및 흡수능력 배양을 통한 기술선진국 추격을 촉진하는 이중적 역할을 고려하여 식 (3)과 같이 모형을 설정하였다.

$$TFP_{i,t} = f(SD_{i,t}, G7^*SD_{i,t}, m_{i,t-1} * SF_{i,t}, H_{i,t-1}) \quad (3)$$

CH의 자료 중 인적자본에 관한 자료가 활용 가능한 19개 OECD 국가 및 이스라엘을 대상으로 1971년~1985년까지 기간에 대하여 분석하였는데, 국내외 연구개발의 계수들이 작아지기는 하나 통계적으로 유의한 값을 유지하였으며, 인적자본은 자국의 기술혁신 뿐만 아니라 기술선진국에 대한 추격을 촉진하는 것으로 나타났다.

분석방법론의 측면에서 CH연구는 두 가지 문제점이 있음이 지적되었다(Kao, Chiang and Chen, 1999). 첫째, 패널회귀분석 추정량의 점근적 분포는 단위근과 공적분의 존재에 영향을 받게 된다.⁷⁾ 따라서 만약 추정계수가 매우 작다면 이 추정값이 0이 아니라고 확신할 수 없게 된다. 둘째, 시계열 회귀추정치와 초일치성

(super-consistency) 을 지니더라도 표본이 크지 않을 경우 추정편의가 존재하며 이는 패널 회귀분석에서도 사라지지 않는다. 따라서 CH의 자국 및 국외 연구개발스톡이 중요소생산성에 밀접하게 연관되어 있다는 결론은 신뢰할 수 없게 된다. Kao and Chiang (2000)은 OLS추정의 이러한 단점을 보완한 추정법으로 점근적으로 평균이 0인 정규분포를 하는 완전수정최소자승추정(FMOLS) 및 동태최소자승추정(DOLS)을 제안하였다. Kao, Chiang and Chen (1999)은 이를 CH 자료에 적용한 결과 FMOLS는 국외 연구개발과 중요소생산성이 유의한 관계가 있는 것으로 나타났으나, DOLS는 국외 연구개발의 중요소생산성에 대한 영향이 유의하지 않는 것으로 나타났다. 따라서 DOLS 추정량이 공적분 패널회귀분석에서 FMOLS 보다 우월하다는 점을 고려하여 국제무역과 국가 간의 연구개발 파급효과가 서로 연관되어 있다는 CH의 가설을 기각하였다. 이후의 국가 간 연구개발의 파급효과에 관한 연구들은 추정방법론 측면에서는 자료의 비정상성(non-stationary)과 장기적인 공적분 관계 추정을 위해 Stock and Watson(1993)에 의해 시계열 분석에 도입되어 이후 Kao and Chiang (2000) 등에 의해 공적분 패널분석에 응용된 FMOLS 혹은 DOLS을 적용하고 있다.

이러한 개선점을 반영한 연구로서 Lee (2005)는 직접적인 파급효과 경로로 국가 간 특허인용 자료를 기술적 근접성에 대한 대리변수로 활용하여 국외 연구개발스톡을 가중평균 하였으며, 간접적인 파급경로로는 중간재 무역과 함께 외국인 직접투자(FDI)를 고려하였는데, 직접적인 파급과 외국인 직접투자의 국내유입만이 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다. Mendi (2007)는 OECD의 기술무역수지 자료를 활용하여 국외 기술수입액의 누적액을 영구재고법으로 추계하여 국외 연구개발스톡을 구함으로써 비체화된 국외 연구개발의 파급효과를 측정하였고, 또한 미국과 일인당 국민소득수준의 국가별 차이를 기술수준 격차의 대리변수로 고려하였다. DOLS 기법으로 추정한 결과 G7국가를 제외하고 OECD국가들은 기술수입이 국내 중요소생산성에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. Coe, Helpman and Hoffmaister (2009)는 CH의 21개 OECD 국가 및 이스라엘(1971년~1990년)의 분석에 한국과 아이슬란드를 추가하여 24개국 34년간(1971~2004)의 시계열로 확장하였다. 고정효과모형(fixed effects)과 DOLS의 분석결과를 비교 제시하였는데 국외

7) Coe and Helpman (1995)는 추정계수 t 통계량의 점근적 분포가 알려져 있지 않아 분석결과에서 제시하지 않았다.

연구개발스톡 가중평균방식의 모형적합성을 상호 비교하였으며, 인적자본 변수가 자국 연구개발스톡 및 국외 연구개발스톡 추정계수에 미치는 영향을 비교분석하였다. DOLS 분석결과 기존의 분석결과와 동일하게 국내 및 국외 연구개발스톡은 중요소생산성에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 인적자본을 고려할 경우 국내 연구개발의 중요소생산성에 대한 영향이 G7국가와 기타 국가들 간에 통계적으로 유의적인 차이가 없었다. 한편 국외 연구개발스톡의 가중평균 방법에 따른 추정계수의 유의성을 살펴보면, CH와 LP 방식은 단순평균(Keller, 1998) 보다는 모형적합성이 우수한 것으로 나타났다.

연구개발스톡의 국가 간 파급효과 분석의 선행연구들의 특징을 요약하면 추정방법으로는 동태최소자승법(DOLS)의 활용에 모두 일치된 견해를 가지고 있으나, 국외 연구개발스톡의 가중평균 방법으로는 CH의 수입국의 무역가중치, LP의 무역상대국의 수출가중치 및 단순평균법 중 어느 것이 가장 적합한 것인지는 분석 자료 및 모형설정 방법에 따라 상이한 결과가 도출되고 있다. 또한 연구개발의 파급경로와 관련하여 직접적인 파급경로 및 간접적인 파급경로의 선택과 이에 영향을 미치는 변수들에 의하여 추정계수가 영향을 받는다.

Ⅲ. 실증분석 모형 및 변수 설정

본 연구는 OECD 22개 국가를 대상으로 1981년부터 2011년까지 기간에 대하여 국가 간 연구개발의 파급효과와 그 경로의 무역의존성을 검증하였다.⁸⁾ 또한, 무역 이외의 직접적인 경로를 거치지 않는 기술이전을 고려하기 위하여 이러한 기술이전의 대리변수로서 국가 간 기술격차를 사용하며, 연구개발 이외에 인적자본의 기술혁신 및 기술이전의 촉진효과를 함께 고려하였다. 즉, 인적자본은 자국의 기술혁신을 통한 중요소생산성 증대효과 이외에 기술이전을 촉진하는 조절효과를 동시에 지

8) 분석대상 22개국은 미국(USA), 한국(KOR), 호주(AUS), 오스트리아(AUT), 벨기에(BEL), 캐나다(CAN), 덴마크(DNK), 핀란드(FIN), 프랑스(FRA), 독일(DEU), 그리스(GRC), 아일랜드(IRL), 아이슬란드(ISL), 이탈리아(ITA), 일본(JPN), 네덜란드(NDL), 노르웨이(NOR), 포르투갈(PRT), 스페인(ESP), 스웨덴(SWE), 스위스(CHE), 영국(GBR)이며 최근의 Coe, Helpman and Hoffmaister(2009)의 연구결과와 비교를 위해 분석대상 국가 및 기간을 최대한 유사하게 유지하려고 하였으나 연구개발 관련 자료의 획득이 어렵거나 누락이 많은 이스라엘과 뉴질랜드는 제외하였다.

니고 있음을 고려하였다. 분석대상 기간은 1981년부터 2011년까지로, 이는 OECD의 연구개발통계가 제공하는 시작시점부터 이용 가능한 최근까지의 기간이다. 선행 연구들 대부분이 거시경제변수에 대한 자료는 OECD DB를 활용하고 무역개방도는 IMF의 데이터를 활용하였으며, 특히 연구개발을 포함한 모든 경제변수들을 기업부문에 한정하였다. 그러나 분석대상 22개 국가들의 기업부문에서 수행한 2013년 연구비 비중에 관한 OECD(2015b)의 자료를 살펴보면, 미국, 일본, 아일랜드 및 우리나라를 제외한 모든 국가가 70% 미만이며 포르투갈과 그리스는 절반수준에도 미치지 못한다. 이들 22개 국가의 평균적인 기업부문의 연구개발 수행 비중은 61.9%로 나머지 38.1%가 기업부문이 아닌 공공부문이나 대학에서 수행되는 것으로 나타났다. 따라서 이러한 연구수행 주체 구성의 국가별 특성으로 인한 연구개발투자액의 추계 편의를 방지하기 위하여 본 연구에서는 OECD DB 자료의 국가 전체의 총 연구개발 지출을 사용하였으며, 국내총생산, 자본, 노동 및 무역 개방도는 최근의 PWT 8.1에서 제공하는 자료를 사용함으로써 활용자료의 일관성을 제고하였다.

CH은 최초로 내생적 성장이론에 근거하여 국내 총요소생산성이 국외 연구개발스톡에 영향을 받는 실증모형을 구축하였는데, 본 연구에서는 내생적 성장이론에 근거하여 주요가설을 다음과 같이 설정하였다.

가설 1: 기술선도국과 기술후진국간에 연구개발스톡의 파급효과에 차이가 있을 것이다.

무역을 통한 국외 연구개발스톡의 파급효과와 관련하여 기술선도국(G7)과 기술후진국(비G7)의 보유기술 간에는 기술수준 차이로 인해 각각의 그룹에 미치는 영향이 다를 것으로 가정하여 22개국의 연구개발스톡을 두 그룹으로 분리하였다. 즉, 특정 G7국가 연구개발의 파급효과가 타 G7국가와 비G7국가에 미치는 효과가 서로 상이할 수 있으며, 또한 특정 비G7국가 연구개발의 파급효과가 G7국가와 타 비G7국가에 미치는 효과가 서로 상이할 수 있을 것이다. 이는 선진기술을 흡수하기 위해서는 자국의 혁신역량이 요구되며, 연구개발활동의 누적은 혁신의 촉진효과와 함께 신기술의 고갈효과를 함께 지니므로 그 순효과는 해당국가의 기술수준에 따라서 서로 상이할 것이다(Jones, 2005; Vandenbussche et al., 2006).

다음으로 Nelson and Phelps(1966)와 Benhabib and Spiegel(1994)에 따라 장

기적인 총요소생산성 결정요인으로서 인적자본을 추가로 고려하였으며, Griffith, Redding and Reenen(2004) 및 Cameron, Proudman and Redding(2005)의 기술격차와 흡수역량의 기술혁신에 대한 효과를 알아보기 위해 인적자본과 기술격차의 상승효과를 고려하였다. 이와 관련하여 다음과 같이 가설을 설정하고 인적자본과 연구개발의 총요소생산성에 대한 영향력과 그 크기를 비교하였다.

가설 2: 인적자본은 혁신활동을 통한 직접적인 효과와 함께 흡수역량 강화를 통한 국외 기술이전을 촉진함으로써 간접적으로 총요소생산성을 증가시키는 효과도 지닌다.

마지막으로 국가 간 연구개발스톡의 과급효과는 국가 간 무역형태에 의존하며, 이는 곧 무역의 가중평균방법에 의존할 것이다. 국가 간 무역형태를 가장 잘 반영하기 위해서는 수입국과 수출국 간의 무역강도를 측정하여야 하는데 먼저, 수출국의 경제에서 차지하는 수출비중은 해당 국가가 국제무역에서 차지하는 비교우위를 가장 잘 반영하며(LP), 다음으로 수입국에서의 해당국가의 수출품이 차지하는 비중(CH)은 양국 간의 경제의존성을 가장 잘 반영하는 것이므로 무역과 기술이전의 관련성에 대한 무역의 가중평균방법에 대하여 다음과 같이 가설을 설정하였다.

가설 3: 국가 간 연구개발의 과급효과는 무역경로를 통해 발생하며, 그 경로의 측정산식은 $LP > BIW > AVG$ 순으로 모형적합성이 우수할 것이다.

이상의 가설을 바탕으로 CH의 모형을 확장하여 다음과 같이 실증분석 모형을 설정하였다.

$$\begin{aligned} \ln TFP_{i,t} = & \alpha_i + \alpha_d \ln SD_{i,t} + \alpha_{g7} m_{i,t-1} \ln SF_{i,t}^{g7} + \alpha_{oc} m_{i,t-1} \ln SF_{i,t}^{oc} \\ & + \alpha_h \ln HC_{i,t} + \alpha_f \ln DTF_{i,t} + \alpha_{hf} \ln HC_{i,t} * \ln DTF_{i,t} + \epsilon_{i,t} \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 TFP 는 총요소생산성을 나타내며, 연구개발스톡은 국내 연구개발스톡(SD), G7국가로부터의 국외 연구개발스톡(SF^{g7}) 및 비G7국가로부터의 국외 연구개발스톡(SF^{oc})으로 나뉘며, 기타 요인으로 기술격차(DTF)를 고려한다.

$m_{i,t-1}$ 은 개방도로 수입액의 GDP 비중을 나타내며 PWT 8.1에서 제공하는 GDP 대비 상품 및 서비스 수입량을 사용하였다. 본 연구에서도 국가 간 연구개발의 파급효과에 관한 실증적 연구들과 동일하게 국외 연구개발의 영향이 수입규모에 따라 변화하도록 국외 연구개발스톡($\ln SF^{g7}, \ln SF^{oc}$)과 수입비중(개방도)의 교차항을 사용하였다. 즉, CH의 가설에 따라 동일한 무역구조를 가지더라도 보다 개방적인 국가는 국외 연구개발의 파급효과를 더욱더 많이 향유할 것이므로 개방도($m_{i,t-1}$)에 의해 국외 연구개발스톡의 총요소생산성 탄력성이 변화하도록 모형을 설정하였다. 기본모형 (4) 식의 추정계수 부호와 관련하여 연구개발스톡은 모두 총요소생산성 수준과 정(+)의 관계가 성립할 것으로 예측되나 기술격차는 미국과 개별 국가의 총요소생산성 수준의 차이로 산출하였으므로 부(-)의 관계로 나타날 것이다.

본 분석에 사용된 변수들에 대한 자료는 PWT 8.1과 OECD MSTI DB로부터 모두 얻었다. 총요소생산성(TFP)은 규모수익 불변의 Cobb-Douglas 생산함수의 가정으로부터 부가가치 기준 산출에 노동 및 자본투입의 소득 분배 몫을 기간평균한 값을 산출탄력성으로 하여 산출하였다. 즉, $TFP = Y/K^\alpha L^{1-\alpha}$, Y 는 실질GDP, K 는 자본스톡, L 은 노동투입(연 근로시간)을 나타내며, α 는 각 국가별로 분석기간(1981년~2011년)의 자본소득 분배 몫의 평균값이며, 모든 값은 2005년을 기준으로 지수화하였다. 총요소생산성 도출에 사용된 PWT 8.1 자료 중 Y 는 국민계정상의 실질국내총생산(RGDPNA)을, 자본스톡은 국민계정상의 총자본형성을 이용하여 구축한 실질자본스톡(RKNA)을 사용하였다. 노동투입의 경우에는 고용자수(EMP)에 연 평균근로시간(AVH)을 곱하여 총 근로시간을 사용하였다.

연구개발스톡($SD_{i,t}$)을 구하기 위해 필요한 자료들은 OECD의 주요과학기술지표(2015) DB를 활용하였다. 연구개발스톡을 구하기 위해서는 실질연구개발투자액($RD_{i,t}$)의 시계열 자료를 필요로 하는데, 2005년 미국 달러기준의 실질 총연구개발투자액(GERD)을 사용하였다.⁹⁾ 연구개발스톡은 영구재고법으로 산출하였으며, 감가상각률은 CH과 유사하게 5%를 상정하고, 연구개발지출의 연 평균증가율(g)은 1996/1981년도의 지출액의 로그 값을 기간 평균하여 구함으로써 다음 식

9) 기존의 많은 연구에서는 기업부문의 연구개발투자액(BERD)을 활용하였는데 이는 정부를 포함하는 공공부문의 연구개발은 단기적인 상업적 목적을 지니지 않은 기초연구가 대부분이므로 민간부문에 대한 연구가 집중되었다. 그러나 본 연구는 PWT의 거시경제변수들을 활용하므로 경제전체의 변수들로서 총연구개발투자액(GERD)을 활용하였다.

(5)에 의해 초기년도의 연구개발스톡(SD_{81})을 기초로 하여 이후년도 연구개발스톡의 시계열 자료를 산출하였다.

$$SD_{81} = \frac{RD_{81}}{0.05 + g}, \quad SD_{i,t} = (1 - 0.05)SD_{i,t-1} + RD_{i,t-1} \quad (5)$$

본 연구에서는 $LP(SF_{it}^{lp} = \sum_{j \neq i} (M_{ijt}/Y_{jt})SD_{jt})$ 의 방식에 의해 산출된 국외 연구개발스톡을 G7국가와 비G7국가로 구분하여 실증분석을 수행하였는데 세 가지 가중평균방식의 모형적합성을 상호 비교한 결과 LP 방식이 우수하였기 때문이다.¹⁰⁾ 무역의 상대적 비중 산출을 위해 필요한 M_{ijt} 는 OECD DB의 부가가치 기준 교역량 자료를 활용하였는데, 이는 분석대상 22개국 간의 무역가중치를 산출해야 하므로 PWT 8.1의 전 세계 국가들과의 교역에 근거한 개방도를 적용할 수 없기 때문이다. 그러나 실증분석 모형에서의 개방도($m_{i,t}$)는 PWT 8.1에서 제공하는 자료를 활용하였다. 그리고, $Y_{i,t}$ 는 OECD의 주요과학기술지표(2015) DB의 자료를 활용하여 연구개발에 관한 자료와의 일관성을 제고하였다.

한편, 국가들 간의 기술격차($DTF_{i,t}$; 총요소생산성 차이)를 구하기 위해서는 먼저 국가 간 일정시점에서 비교 가능한 총요소생산성을 산출해야 한다. PWT 8.1는 개별국가의 시계열적 총요소생산성과는 달리 일정시점에서 국가 간의 총요소생산성 비교를 위해 CTFP(TFP level at current PPPs(USA=1)) 값을 제공하고 있다. 그러나 Jones(2015)에 따르면 CTFP는 국가 간에 서로 다른 투입요소의 분배 몫을 적용하고 있으므로 국가 간 동일한 기술수준을 가정하더라도 총요소생산성이 달라지게 되므로 국가 간의 총요소생산성 비교에는 적합하지 않은 값이다. 따라서 본 연구에서는 Jones(2015)의 제안에 따라 발전회계(Development Accounting) 방법을 적용하여 자본소득 분배 몫을 1/3으로 가정하고 인적자본을 고려한 노동확장적 총요소생산성(A_t)을 구한 다음 미국을 기준으로 여타 국가의 총요소생산성을 지수화하였다. 이를 구체적으로 살펴보면 먼저, 다음과 같은 총생산함수를 가정하면, $Y_{i,t} = K_{i,t}^{\alpha}(A_{i,t}h_{i,t}L_{i,t})^{1-\alpha}$ 이로부터 노동확장적 총요소생산성($A_{i,t}$) 산출식을

10) 가중평균방법의 우수성 검정을 위해 국외 연구개발스톡을 G7국가와 비G7국가로 구분하지 않고 합산하여 모형적합성을 검정하였으며, 분석결과는 제4절 참조

(6) 과 같이 도출할 수 있다.

$$\ln A_{i,t} = \frac{1}{1-\alpha} \ln Y_{i,t} - \frac{\alpha}{1-\alpha} \ln K_{i,t} - \ln h_{i,t} - \ln L_{i,t} \tag{6}$$

본 산식에 필요한 모든 자료는 PWT 8.1로부터 구하였으며 $Y_{i,t}$ 는 CGDPO, $K_{i,t}$ 는 CK, $L_{i,t}$ 는 평균노동시간(AVH) 과 노동자수(EMP) 를 곱한 값, $h_{i,t}$ 는 인당 인적자본지수를 나타낸다. 11) 다음으로 미국의 중요소생산성을 기준으로 각 국가별 기술수준격차를 지수화하면 다음과 같이 기술수준격차 지수를 산출할 수 있다.

$$\begin{aligned} \ln DTF_{i,t} = \ln \left(\frac{A_{us,t}}{A_{i,t}} \right) &= \frac{1}{1-\alpha} \ln \left(\frac{Y_{us,t}}{Y_{i,t}} \right) - \frac{\alpha}{1-\alpha} \ln \left(\frac{K_{us,t}}{K_{i,t}} \right) \\ &\quad - \ln \left(\frac{h_{us,t}}{h_{i,t}} \right) - \ln \left(\frac{L_{us,t}}{L_{i,t}} \right) \end{aligned} \tag{7}$$

인적자본($h_{i,t}$)에 관한 자료는 Barro and Lee에서 제공하는 25세이상 평균학습 년한을 사용하였다. Barro-Lee는 1950년부터 2010년까지 5년마다의 자료를 제공 하므로 본 분석기간에 대하여는 선형보간을 사용하여 년도별 시계열자료를 생성하 였고, 2011년은 외삽법으로 추정하였다. 12)

분석기간 동안 주요변수들의 증가비율을 <Table 1>에서 살펴보면 중요소생산성 (A) 은 1981년에서 2011년까지 평균적으로 약 31% 증가하였다. 그러나 국가 간 차 이(표준편차)는 Coe, Helpman and Hoffmaister (2009)와 비교하여 매우 감소하였 다. 13) 한국은 중요소생산성이 87%의 가장 많은 증가율을 기록하였으나 이탈리아,

11) PWT 8.1은 국가 간 비교를 위한 다양한 산출 및 자본자료를 제공하고 있다. 특히 일정시점에서의 국가 간 생산능력을 비교할 경우에는 CGDPO가 적합한 것으로 제안하고 있다 (Feenstra, Robert and Marcel, 2015).

12) PWT 8.1에도 Mincer의 교육보수를 반영한 인적자본을 제공하고 있으나 선행연구들과의 활 용자료의 유사성을 견지하기 위해 널리 활용되고 있는 Barro and Lee의 자료를 활용하였다.

13) Coe, Helpman and Hoffmaister (2009)의 분석결과에서 표준편차가 0.64였으나 본 연구의 분석결과에서는 0.19로 약 1/3 수준이하로 떨어졌다. 특히 아일랜드, 핀란드, 한국, 노르웨 이 등 국가의 중요소생산성 증가율이 매우 낮아 졌다. 이는 분석기간이 10년 이후로 이동한 것과 활용자료의 차이에 기인하는 것으로 생각된다.

〈Table 1〉 Summary statistics

Nation	A11/A81	S_{11}^d/S_{81}^d	S_{11}^{lp}/S_{81}^{lp}	$S_{11}^{lpg7}/S_{81}^{lpg7}$	$S_{11}^{lpng7}/S_{81}^{lpng7}$	hc11/hc81	m11/m81
USA	1.41	3.00	3.07	2.77	4.54	1.12	2.01
Korea	1.87	37.38	8.12	7.77	14.26	1.65	1.36
Australia	1.23	6.92	6.18	5.06	28.60	1.09	1.98
Austria	1.39	4.82	5.85	5.92	5.57	1.21	1.87
Belgium	1.19	2.86	3.28	2.96	4.37	1.34	1.89
Canada	1.03	3.67	3.89	3.84	5.56	1.31	1.46
Denmark	1.33	6.04	3.60	2.77	6.04	1.56	1.52
Finland	1.57	8.29	3.33	2.58	4.84	1.40	1.49
France	1.39	2.39	3.24	2.76	4.72	1.76	1.84
Switzerland	1.13	2.38	4.16	3.92	6.00	1.22	1.77
Germany	1.46	2.13	4.45	3.87	5.26	1.72	2.19
Spain	1.19	8.92	7.42	6.39	14.09	1.84	2.10
UK	1.49	1.51	2.97	2.65	3.75	1.53	1.79
Greece	1.05	11.12	1.64	1.36	4.09	1.58	1.65
Ireland	1.42	11.16	9.26	7.37	27.14	1.45	0.71
Iceland	1.25	12.54	4.14	2.73	14.31	1.42	1.27
Italy	1.08	2.49	3.45	2.93	5.87	1.53	1.99
Japan	1.29	3.63	2.88	2.17	8.02	1.32	1.40
Netherlands	1.36	2.51	3.74	2.97	7.60	1.23	1.76
Norway	1.27	3.76	4.52	3.50	10.07	1.35	0.84
Portugal	1.12	17.39	5.96	4.65	11.34	1.83	1.85
Sweden	1.35	3.94	3.47	2.66	5.43	1.25	1.59
Average	1.31	7.22	4.48	3.80	9.16	1.44	1.65
Standard deviation	0.19	7.92	1.89	1.71	6.94	0.22	0.38

Notes: A: TFP, S^d : domestic R&D stock, S^{lp} : foreign R&D stock defined using trade partner's export weights, S^{lpg7} : G7 nations' foreign R&D stock, S^{lpng7} : non-G7 nations' foreign R&D stock, hc : human capital, m : openness.

그리스, 캐나다는 10% 미만의 증가율을 나타내었다. 국내 연구개발선투자는 다른 변수들과 비교하여 가장 크게 증가하였는데 한국은 1981년 대비 2011년에는 37배로 가장 많이 증가하였고 영국은 1.51배로 51%의 증가에 그쳤다. 국가 간 차이에 있어서도 연구개발 저량은 가장 큰 격차를 보이는데 한국을 제외하였을 경우에는 평균적으로 5.78배 증가하였으며, 국가 간 표준편차도 3.27로 다소 감소한다.

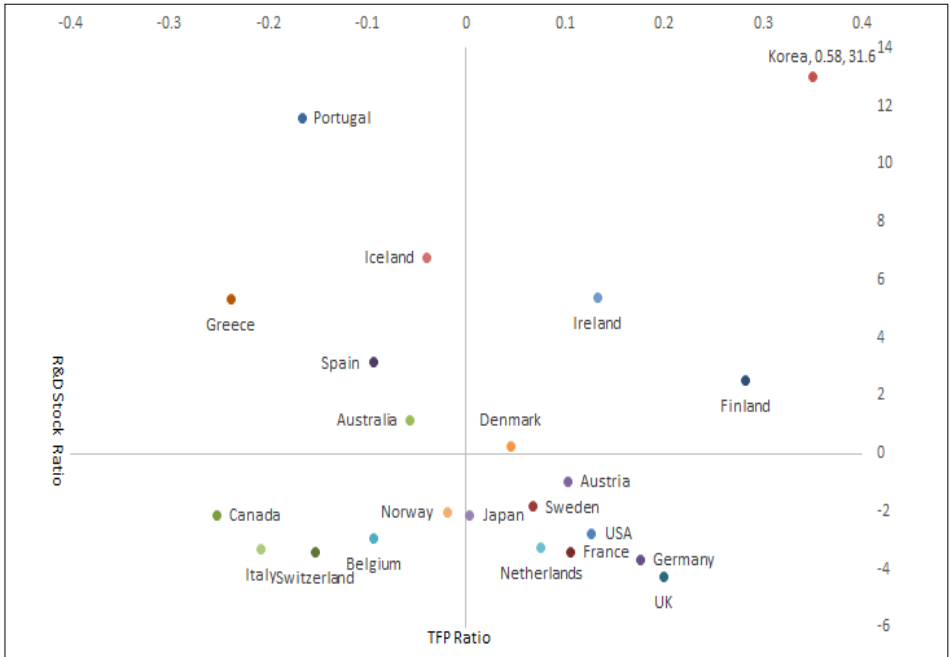
총요소생산성의 변화와 연구개발스톡의 변화를 한국을 제외한 21개 국가의 평균값을 원점으로 하여 사분면에 각 국가들을 분류하면 <Figure 1>와 같다.¹⁴⁾ 제 1 사분면의 국가들은 연구개발스톡과 총요소생산성의 증가율이 평균을 상회하는 국가들로 아일랜드, 핀란드, 덴마크 및 한국이 여기에 속한다. 제 2 사분면은 연구개발스톡은 평균이상으로 증가하였으나, 총요소생산성은 평균이하의 증가율을 보이는 국가로 호주, 스페인, 그리스, 아이슬란드, 및 포르투갈은 기술혁신의 노력에 비하여 경제적 성과가 낮은 국가로 분류된다.

제 3 사분면은 기술혁신의 노력과 경제적 성과가 모두 낮은 국가로 캐나다, 이탈리아, 스위스, 벨기에 및 노르웨이가 속한다. 마지막으로 제 4 사분면은 연구개발스톡은 평균이하로 증가하였으나, 총요소생산성은 평균이상으로 증가한 국가로 미국, 독일, 영국, 일본 및 프랑스 등 G5국가와 오스트리아, 스웨덴 및 네덜란드가 속한다. G7국가들은 1981년 기준으로 연구개발스톡이 모두 상위권 7위를 기록하고 있어서 2011년 기준으로 증가비율이 모두 평균이하로 나타나고 있다. 한국을 제외한 기준으로 연구개발스톡은 포르투갈이 가장 높은 증가비율을 나타내었고, 영국이 가장 낮은 비율을 나타낸다. 총요소생산성은 핀란드가 가장 높은 증가비율을 나타내고, 캐나다가 가장 낮은 증가비율을 나타낸다.

인적자본(hc)은 1981~2011년 기간 동안 44%의 평균증가율을 나타내고 있는데 스페인 및 포르투갈이 가장 높은 증가율을 보이며, 호주 및 미국이 가장 낮은 증가율을 기록하였다. 한국은 65%의 증가율을 기록하였으며, 2011년 기준으로 미국이 1위, 한국은 9위의 높은 인적자본을 갖추고 있는 국가이며, 일본은 12위를 기록하였다. 국가들의 무역개방의 증가율은 미국, 독일, 스페인 등의 국가가 가장 많이 증가하였으며 노르웨이, 아일랜드는 오히려 감소하였으나, 평균적으로는 65% 증가하여 OECD 국가들 간의 교역량이 국민경제에서 차지하는 비중은 평균적으로는 보다 높아졌음을 알 수 있다. 또한 미국의 경우 독일과 스페인 다음으로 교역량이 늘어났는데 이는 국외 연구개발스톡의 증가에도 크게 영향을 미친 것으로 분석된다. 우리나라는 36%의 수입비중이 증가하여 2011년에는 수입비중이 22개국 중 14위로 높은 국가이며, 미국과 일본은 각각 22위, 21위를 차지하고 있다.

14) 한국은 총요소생산성 및 연구개발스톡의 증가비율이 최고로 높은 국가로 여타 국가와 차이가 지나치게 커서 제외하였다.

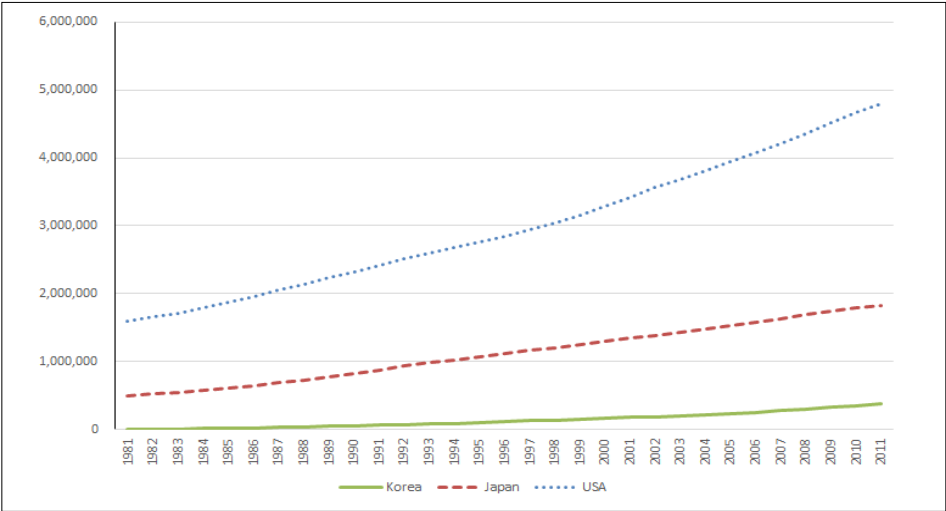
〈Figure 1〉 Increase in Total Factor Productivity and R&D Stock



Notes: TFP ratio (A_{11}/A_{81}) and Domestic R&D stock ratio (S_{11}^d/S_{81}^d) were each normalized by subtracting average value of 21 countries except Korea. Because of its extraordinary large value, Korea is shown in the north-east corner on the first quadrant.

국내 연구개발스톡(S^d)은 평균적인 증가비율이 높으며, 국가 간 증가비율의 차이가 큰 것으로 나타났는데 총요소생산성이 높은 선진국들은 증가비율이 낮은 반면, 우리나라를 비롯하여 소규모 국가들은 높은 증가비율을 보이고 있다. 한국, 미국 및 일본의 연구개발스톡의 시계열 변화를 〈Figure 2〉에서 살펴보면 3개 국가 간 절대량의 격차는 점점 더 커지는 것으로 나타난다. 이는 절대규모 면에서 미국이 각 년도별 연구개발투자가 크기 때문이다. OECD (2015b) 주요과학기술지표에 의하면, 2011년 기준으로 미국은 일본의 2.9배 한국의 7.5배의 연구개발비를 지출하고 있다. 이러한 연구개발비 지출에서의 절대규모 차이는 연구개발스톡의 증가액에 반영되어 절대규모에서 큰 차이를 나타내고 있다. 그러나, 한국은 2011년 경제규모를 고려한 GDP 대비 연구개발 지출비율이 4.04%로 가장 높으며, 연구개발스톡의 규모는 1981년 22개국 중 16위에서 2011년에는 7위로 상승하였다. 이러한 집중적인 기술혁신의 노력은 동기간 동안 총요소생산성을 1.87배 가량 증가시켰다.

〈Figure 2〉 Trends in domestic R&D capital stocks of Korea, USA and Japan

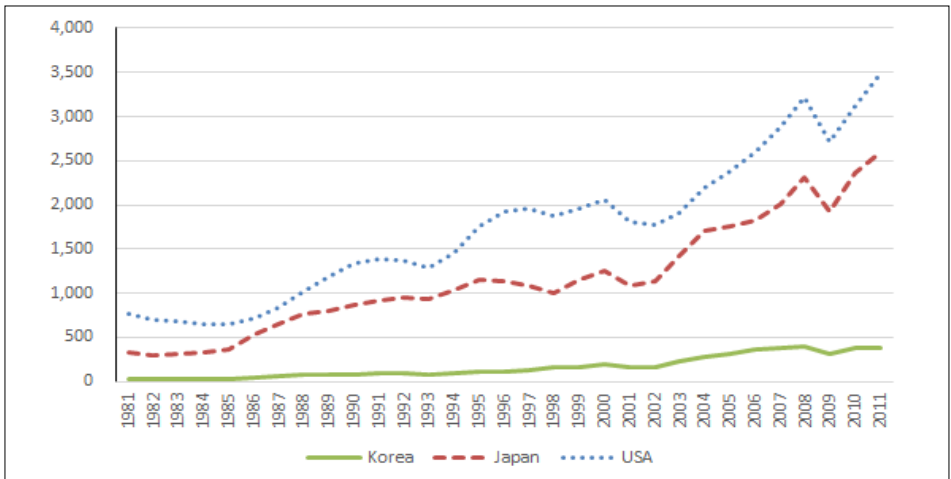


Notes: in million U.S. dollars at 2005 prices and PPP exchange rates.

한편, 〈Table 1〉에서 LP 방식에 의한 국외 연구개발스톡을 G7국가와 비G7국가로 구분하였을 경우 G7국가의 평균증가율은 낮아지는 반면 비G7국가의 평균증가율은 높아졌다. 또한 G7국가로부터의 국외 연구개발스톡의 편차는 줄어드는 반면 비G7국으로부터의 국외 연구개발스톡은 국가간 편차가 매우 큰 것으로 나타난다. 비G7국가의 국외 연구개발스톡을 한국, 일본 및 미국에 대한 시계열적 변화로 나타낸 것이 〈Figure 3〉이다. 이를 통해 살펴보면 G7국가에 속한 미국과 일본은 매우 유사한 형태를 나타내고 있고, 2000년대 이후 매우 급격하게 증가하고 있는 것으로 나타나며 그 격차는 국내 연구개발스톡보다는 적은 것으로 보인다. 그리고 미국은 일본 보다는 1.3배, 한국보다는 9.4배 높은 수준이다. 그러나 증가율에서는 일본이 2.1배, 미국이 1.5배 증가한 반면 한국은 2.7배 증가하여 국외로부터의 연구개발과급량이 크게 증가하였다. G7국가로부터 과급되는 연구개발스톡을 〈Figure 4〉에서 살펴보면, 일본은 1980년대 중반에는 미국과 비슷한 수준이었으나, 이후 정체된 수준을 유지하는 반면 미국은 꾸준한 증가추세를 보이고 있다. 한국은 꾸준한 증가추세를 유지하여 일본과 적은 격차를 보이고 있으며, 2011년에는 미국은 한국의 2.9배 일본의 2.1배의 수준을 기록하고 있다. 미국은 비G7국가와 G7국가로부터의 연구개발과급량이 크게 증가하고 있으나 일본은 G7국가로부터의 연구개발과급량은 정체되어 있는 반면 비G7국가로부터의 연구개발과급량이 증가하고 있다.

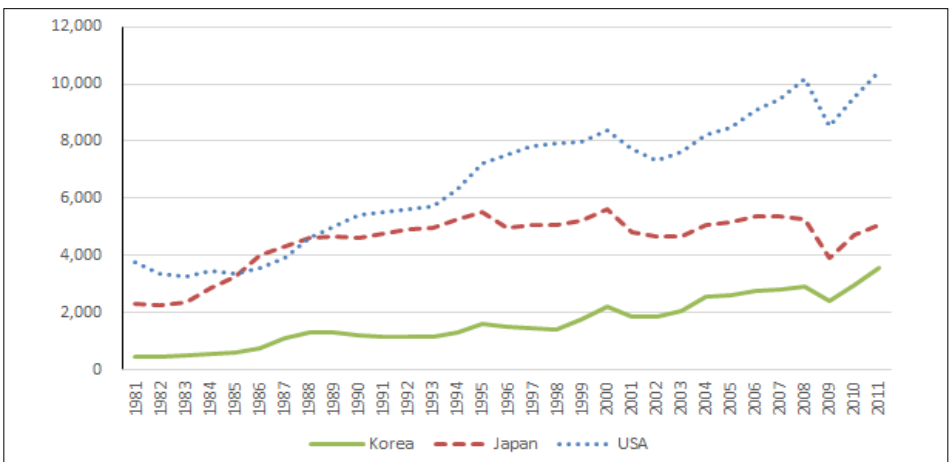
우리나라는 G7국가로부터의 과급량이 급격히 증가하고 있으며, 비G7국가로부터의 연구개발과급량은 2000년대 이후 늘어나고 있는 추세이다. 그러나 대부분의 국가에서 G7국가로부터의 연구개발과급량이 국외 연구개발스톡의 대부분을 차지하고 있다.

〈Figure 3〉 Trends in foreign R&D capital stocks of Korea, Japan and USA from non-G7 countries



Notes: in million U.S. dollars at 2005 prices and PPP exchange rates.

〈Figure 4〉 Trends in foreign R&D capital stocks of Korea, Japan and USA from G7 countries



Notes: in million U.S. dollars at 2005 prices and PPP exchange rates.

IV. 실증분석결과

패널공적분 계량분석은 먼저 단위근 과정과 공적분관계에 대한 대한 검정을 수행한 다음 모형을 추정하는 절차로 진행된다. 본 연구에서는 단위근 존재여부의 검정을 위해 시계열 기법인 Augmented Dickey-Fuller(ADF) 검정을 패널 단위근 검정에 적용한 LLC(Levin, Lin and Chu, 2002), IPS(Im, Pesaran and Shin, 2003) 및 CIPS(Pesaran, 2007)를 적용하였다. 패널 단위근 검정은 횡단면 개체들 사이에 공통적으로 단위근 과정을 가정하는 검정과 개별적 단위근 과정을 가정하는 검정으로 나눌 수 있으며, 또한 횡단면 개체들 사이에 서로 종속성을 가정하는 검정으로 나눌 수 있다. LLC는 횡단면 개체들이 공통적으로 단위근 과정을 갖는 것으로 가정하며, IPS는 상이한 단위근 과정을 갖는 것으로 가정하고 있다. 한편 CIPS는 횡단면적 의존성을 고려하는 패널단위근 검정법이다. LLC, IPS 및 CIPS 검정결과는 <Table 2>와 같다.

단위근 검정은 총요소생산성($\ln TFP$), 국내 연구개발스톡($\ln SD$), LP 정의에 따른 국외 연구개발스톡의 G7국가($\ln SF_{g7}$), 비G7국가($\ln SF_{oc}$) 및 개방도와의 교차항, 개방도(m), 인적자본($\ln HC$), 기술격차($\ln DTF$) 및 흡수역량($\ln HC * \ln DTF$)에 대하여 각각 수행하였다. 국내 연구개발스톡은 LLC와 CIPS 검정은 단위근을 가진다는 귀무가설을 기각하였으나, IPS는 기각하지 않았다. 기술격차와 인적자본의 흡수역량은 LLC를 제외한 IPS 및 CIPS 모두 귀무가설을 기각하지 못하였다. 인적자본은 LLC 및 IPS 검정에서 귀무가설이 기각되지 않았다. 따라서 모든 검정에서 일관되게 기각되는 경우는 없으므로 모든 변수들이 비정상성을 지니는 것으로 간주하였다.

단위근 검정결과 모든 변수들이 비정상성을 지니므로 만약 변수들 간에 공적분 관계가 존재하지 않는다면 이들 변수들 간의 회귀분석은 가성추정 결과를 산출할 것이다. 그러나 만약 변수들 간에 공적분관계가 성립한다면 OLS 추정은 변수들 간의 장기적인 관계를 추정하게 되며 이러한 추정으로부터 얻게 되는 잔차는 정상성을 지닌다. 공적분 검정을 위한 다양한 검정법이 제안되었는데 본 연구에서는 일반적으로 널리 활용되고 있는 Pedroni(1999)와 Kao(1999)의 공적분 검정법을 적용하였다. 시간차원이 낮(높)을 경우에는 Kao 검정이 Pedroni 검정보다 검정력이 높(낮)으므로 상호보완적인 두 검정법을 채택하였다. 추정식들에 대한 공적분 검정결

과는 <Table 3>와 같다. 총요소생산성과 국내 및 국외 연구개발스톡 간의 추정식이 Pedroni 검정은 공적분관계가 성립하지 않는다는 귀무가설을 기각하지 못하였으나, Kao 검정은 이를 기각하였다. 나머지 모형들은 두 검정법 모두 귀무가설을 기각함으로써 추정모형들의 변수들 간에는 공적분 관계가 성립하는 것으로 판단된다.

<Table 2> Panel unit root tests(1981~2011, 22 countries)

	LLC	IPS	CIPS
lnTFP	-1.04	0.46	-1.73
lnSD	-3.86***	-0.25	-2.74***
lnSF _{g7}	-0.12	0.90	-1.67
lnSF _{oc}	-0.29	3.24	-2.01
m*lnSF _{g7}	2.21	1.18	-1.76
m*lnSF _{oc}	1.99	2.19	-1.95
m	1.65	1.20	-1.92
lnHC	-0.11	0.18	-2.05*
lnDTF	-2.93***	-0.63	-1.94
lnHC *lnDTF	-16.2*	-0.20	-1.82

Notes: *, **, and *** indicate 10%, 5%, and 1% significance, respectively.

<Table 3> Panel cointegration tests(1981~2011, 22 countries)

	Pedroni		Kao
	Panel	Group	
lnTFP, lnSD, mlnSF _{g7} , mlnSF _{oc}	-1.73**	-1.44**	-1.87**
lnTFP, lnSD, mlnSF _{g7} , mlnSF _{oc} , lnHC	-2.62***	-2.22**	-1.83**
lnTFP, lnSD, mlnSF _{g7} , mlnSF _{oc} , lnHC, lnDTF	-4.01***	-3.26***	-3.03***
lnTFP, lnSD, mlnSF _{g7} , mlnSF _{oc} , lnHC, lnDTF, lnHC *lnDTF	-4.07***	-2.82***	-2.98***

Notes: *, **, and *** indicate 10%, 5%, and 1% significance, respectively.

추정식의 변수들 간에 공적분 관계가 성립하는 것으로 검정되었으므로 다음은 이들 각 추정식의 변수들간의 장기적인 관계를 추정하여야 한다. 패널공적분 추정방법으로 FMOLS와 DOLS가 널리 사용되고 있는데 Kao and Chiang(2000) 및 Wagner and Hlouskova(2010)는 패널공적분 관계식 추정에 있어서 DOLS가

FMOLS보다 우수함을 보였다. 따라서 본 연구에서는 DOLS에 의해 각각의 모형을 추정하였으며, 고정효과(fixed effects)에 의한 추정결과도 함께 제시하였는데 그 결과는 <Table 4>와 같다.

<Table 4> Estimates with G7 and non-G7 R&D stock(fixed effects, DOLS)

lnTFP	fixed effects		DOLS	
	Separating R&D	Pooling R&D	Separating R&D	Pooling R&D
lnSD	0.058*** (7.02)	0.062*** (7.95)	0.042*** (3.16)	0.065*** (4.79)
mInSF _{G7}	-0.005 (-0.26)		-0.083*** (-3.29)	
mInSF _{oc}	0.038** (1.98)		0.135*** (4.82)	
mInSF		0.029*** (9.01)		0.031*** (5.75)
lnHC	0.248*** (8.43)	0.249*** (8.47)	0.193*** (3.76)	0.200*** (3.89)
ln DTF	-0.203* (-1.84)	-0.161 (-1.51)	-0.896*** (-3.69)	-0.790*** (-3.39)
ln HC · lnDTF	-0.027 (-0.58)	-0.049 (-1.07)	0.306*** (2.98)	0.226** (2.30)
Adj-R ²	0.85	0.85	0.96	0.95
Obs.	682	682	589	591

Notes: *, **, and *** indicate 10%, 5%, and 1% significance, respectively, and () denote t value.

연구개발스톡의 총요소생산성에 대한 효과의 DOLS 추정결과를 살펴보면, 국내 연구개발스톡보다는 국외 연구개발스톡의 효과가 보다 큰 것으로 나타났다. 그러나 국외 연구개발스톡의 영향은 G7국가는 부(-)의 파급효과를 지니는 반면, 비G7국가는 정(+)의 파급효과를 지니는 것으로 나타났다. 추정방법에 따른 차이를 살펴보면 고정효과모형에서는 G7국가는 부(-)의 효과를 나타내나 통계적 유의성이 없는 반면, DOLS 추정에서는 통계적으로 유의한 부(-)의 값으로 나타났다. 또한 DOLS 추정에서는 비G7국가만을 고려할 경우 국외로부터의 연구개발 파급효과는 국내 연구개발의 파급효과보다 큰 것으로 나타났다. 인적자본은 두 추정 방법 모두에서 국내 및 해외 연구개발보다도 총요소생산성의 탄력성이 큰 것으로 나타났다. 국가 간 기술이전은 교역제품을 통한 체화된 기술이전 뿐만 아니라 비체화된 기술

이전도 발생하며 이는 인적자본의 흡수역량에 의해 좌우된다. DOLS 추정결과를 살펴보면, 인적자본의 흡수역량 제고를 통한 총요소생산성 증대효과는 연구개발 및 인적자본보다도 더 큰 것으로 나타났다. 그러나 고정효과모형 추정결과에서는 인적자본의 흡수능력 제고효과가 부(-)의 유의성이 없는 것으로 나타났다. 따라서 패널 시계열 자료의 분석에서 단위근 및 공적분을 고려한 추정방법은 변수들 간의 장기적 관계 추정에 매우 중요함을 재확인하였다. 국외 연구개발의 종합적인 효과 검정을 위해 G7국가 및 비G7국가의 구분없이 합산하여 총요소생산성의 국외 연구개발스톡 탄력성을 추정하였다. DOLS 추정결과를 보면, 인적자본의 탄력성은 증가한 반면, 국외 연구개발스톡의 탄력성은 매우 작아졌다. 그러나 인적자본의 흡수역량 효과는 통계적 유의성이 유지되었다. 그러나 고정효과모형에 의한 연구개발스톡의 국내 및 국외 탄력성 추정계수는 DOLS와 유사하게 나타났으나, 기술격차 및 인적자본의 흡수역량 효과는 유의성이 없는 것으로 나타났다.

한편, G7국가와 비G7국가의 국외 연구개발스톡이 각각의 그룹국가의 총요소생산성에 미치는 영향에 대한 차이를 알아보기 위하여 기술격차 변수를 제외한 모형을 추정하였으며, 그 결과는 <Table 5>와 같다.¹⁵⁾

<Table 5> Dynamic OLS estimates with G7 and non-G7 countries

lnTFP	DOLS		
	G7 countries	non-G7 countries	all countries
lnSD	0.195*** (6.30)	0.072*** (3.71)	0.093*** (05.84)
mInSF _{g7}	-0.157** (-2.28)	-0.163*** (-3.68)	-0.097*** (-3.00)
mInSF _{oc}	0.145** (1.99)	0.214*** (4.29)	0.134*** (3.63)
lnHC	0.372*** (6.30)	0.308*** (3.15)	0.359*** (5.41)
Adj-R ²	0.93	0.92	0.92
Obs.	189	405	594

Notes: *, **, and *** indicate 10%, 5%, and 1% significance, respectively, and () denote t value.

15) 기술격차를 고려할 경우 미국을 기준으로 기술격차를 지수화하므로 G7그룹에서 미국이 제외된다. 따라서 인적자본만을 포함함으로써 미국을 포함한 G7그룹과 기타 국가 그룹 간에 국외 연구개발스톡이 미치는 영향의 차이를 추정하였다.

G7국가로부터의 국외 연구개발스톡은 G7국가들 및 기타 국가들에 모두 부(-)의 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 비G7국가에 대한 영향이 보다 큰 것으로 나타났다. 한편 비G7국가로부터의 국외 연구개발스톡은 두 그룹 국가 모두에 정(+)의 파급효과를 지니는 것으로 나타났으며, 그 효과는 인적자본보다는 작지만 국내 연구개발스톡보다는 큰 것으로 나타났다. 이로부터 G7국가로부터의 연구개발스톡은 혁신축진효과(standing on shoulders)보다는 고갈효과(fishing out)가 큰 것으로 추정된다.

국외 연구개발스톡의 국내 총요소생산성에 미치는 영향의 크기는 가중평균 방식에 영향을 받는가의 여부에 대해서는 선행연구들에서 알 수 있듯이 많은 논란의 대상이 되고 있다. 이는 곧 국가 간 연구개발의 결과인 기술이 무역경로를 통하여 이전하는가와 관련된 논쟁이다. 본 연구에서는 가중평균 방식에 따른 국내 총요소생산성에 대한 국외 연구개발스톡 탄력성 추정계수의 유의성 비교를 통해 어느 가중평균방법이 모형에 보다 적합하게 나타나는가를 검정하였다. 검정에는 무역량과 인적자본이 포함된 모형을 활용함으로써 기존연구 결과와 비교 가능하도록 하였다. 모형추정은 DOLS를 기본으로 하였고 FMOLS와 OLS에 의한 추정결과를 추가로 제시하여 추정방법이 가중평균방식의 적합성에 미치는 영향도 함께 분석하였는데 그 결과는 <Table 6>과 같다.

<Table 6> Alternative definitions of foreign R&D capital (DOLS, FMOLS, fixed effects)

	DOLS			DOLS	FMOLS	fixed effects
lnTFP	①LP/BIW	②LP/AVG	③BIW/AVG	④ALL	⑤ALL	⑥ALL
lnSD	0.165*** (11.28)	0.169*** (11.50)	0.145*** (11.70)	0.176*** (11.50)	0.115*** (8.07)	0.111*** (14.4)
mInSF ^{LP}	0.092*** (4.57)	0.080*** (4.08)		0.145*** (6.76)	0.100*** (4.09)	0.091*** (6.66)
mInSF ^{BIW}	-0.057*** (-4.51)		0.075 (1.37)	-0.126* (-1.85)	0.088 (1.13)	0.121*** (2.82)
mInSF ^{AVG}		-0.052*** (-4.11)	-0.087 (-1.55)	0.037 (0.55)	-0.145* (-1.88)	-0.172*** (-4.05)
lnHC	0.213*** (3.22)	0.203*** (3.04)	0.366*** (7.09)	0.181** (2.48)	0.152** (2.25)	0.174*** (4.74)
Adj-R ²	0.87	0.87	0.88	0.90	0.76	0.77
Obs.	619	619	624	617	660	682

Notes: *, **, and *** indicate 10%, 5%, and 1% significance, respectively, and () denote t value.

분석결과 <모형 ①>의 LP와 BIW의 비교에서는 LP방식은 정(+)의 유의적인 값을 나타내는 반면 BIW는 부(-)의 유의적인 값을 나타내어 LP방식이 보다 모형에 적합한 것으로 나타났고, <모형 ②>의 LP와 AVG의 비교에서는 LP는 여전히 정(+)의 유의적인 값을 나타내는 반면 AVG는 부(-)의 유의적인 값을 나타내어 LP방식이 보다 모형에 적합한 것으로 나타났다. 다음으로 <모형 ③>의 BIW와 AVG의 비교에서는 BIW는 정(+)의 값을 나타내었으나 유의성은 없는 반면, AVG는 부(-)의 값을 나타내었으며, 유의성도 없었다. 마지막으로 <모형 ④~⑥>의 LP, BIW와 AVG 세 가지 모두를 동시에 고려한 경우에는 LP는 여전히 유의적인 정(+)의 값을 나타내는 반면, BIW는 유의성은 있으나 부(-)의 값을 나타내었고, AVG는 유의성이 없는 정(+)의 값을 나타내었다. 이상의 DOLS 추정방법에서는 LP방식은 BIW 및 AVG 방식보다 경제학적 이론에 보다 부합하는 것으로 나타났으나 BIW 및 AVG는 유의성이 없거나 유의성이 있을 경우에는 부(-)의 값을 나타내어 경제이론과 부합하지 않았다. 이에 추가하여 FMOLS 및 고정효과모형을 적용한 결과 LP방식은 정(+)의 유의적인 값을 유지하였고, BIW는 고정효과모형에서만 정(+)의 유의적인 값을 나타내었다. 반면 AVG는 FMOLS 및 고정효과모형 모두에서 부(-)의 유의적인 값을 나타내었다. 이상의 분석결과를 통하여 국외 연구개발스톡의 모형적합성을 살펴보면 LP>BIW>AVG 순으로 우월한 것으로 분석되어, Keller(1998)의 주장과는 달리 무역형태는 국가 간 기술이전에 영향을 미치는 것으로 나타났다.¹⁶⁾ 따라서 수입을 매개로 국외 연구개발스톡이 국내 경제에 미치는 효과를 측정할 경우 단순평균보다는 수입국이 상대국에 의존하는 무역비중을, 한층 더 나아가 자국의 수입이 수입상대국의 경제에서 차지하는 비중을 고려하는 것이 보다 적합하다.

V. 결 론

Coe and Helpman(1995)의 국가 간 기술과급이 무역을 통해 발생한다는 연구결과가 발표된 이후 국외 연구개발스톡의 가중평균 방법의 개선(Lichtenberg and Potterie, 1998), 기술과급 촉진자로서 인적자본의 고려(Engelbrecht, 1997, 2002),

16) Coe, Helpman and Hoffmaister(2009)는 개방도를 고려한 모형에서는 CH 및 LP 모두 AVG 방식보다 우월하며, 개방도를 고려하지 않은 모형에서는 BIW>LP>AVG 순으로 우월한 것으로 분석되었다.

시계열 자료의 비정상성을 고려한 계량적 추정방법의 개선(Kao, Chiang and Chen, 1999) 등을 통해 그 결과를 재검정하는 연구들이 뒤를 이었다. Keller(1998)는 임의로 상정한 국가 간의 무역형태를 적용하였을 경우가 기술과급효과는 더 크게 나타났다으며 국가 간의 생산성 차이를 보다 잘 설명한다는 분석결과를 제시하여, 국가 간 연구개발의 과급효과는 무역을 통해 전달되며, 무역형태는 기술과급을 결정하는 중요한 요소라는 Coe and Helpman(1995)의 주장에 의문을 제기하였다. Coe, Helpman and Hoffmaister(2009)는 Coe and Helpman(1995) 논문의 분석범위를 확장하고 패널공적분 추정방법인 DOLS 추정법을 활용하여 국가 간 기술과급에 대한 무역형태의 중요성을 재확인하였으며, 또한 인적자본을 고려할 경우에도 연구개발의 국가 간 과급효과는 유의한 것으로 나타났다. 그러나 국가 간의 기술격차와 인적자본의 기술이전 촉진효과는 검정되지 못하였다.

본 연구는 국가 간의 기술격차 및 인적자본이 국내 총요소생산성에 미치는 효과를 추가로 고려함으로써 기존 실증모형을 확장하였다. 실증분석결과 국내 및 국외 연구개발스톡과 인적자본은 국내 총요소생산성의 중요한 결정요인이라는 기존 연구 결과를 재확인하였다. 또한 국외 연구개발스톡의 가중평균방법의 모형적합성에 있어서 $LP > BIW > AVG$ 순으로 우수한 것으로 나타나 Keller(1998)의 주장과는 달리 무역구조는 국가 간 기술과급에 중요한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 특히, 인적자본은 혁신을 통한 직접적인 총요소생산성 증대와 함께 선진기술 흡수능력의 배양을 통한 국외 기술이전 촉진의 이중적 효과가 있음이 검증되었다. 즉, 기존 연구들과는 달리 DOLS 추정에 의해 인적자본의 기술이전 촉진효과가 통계적으로 유의한 정(+)의 값으로 검증됨으로써 기술후진국은 인적자본 축적을 통해 선진기술 이전을 촉진시킬 수 있다는 Barro(1991)의 결과를 재확인하였다.

결론적으로 본 연구의 검증결과에 근거한 인적자본의 기술이전 촉진효과를 고려할 때 무역 이외의 직접적인 기술과급도 총요소생산성 증대에 중요하게 작용하고 있다. 따라서 국외 과학자의 국내유치, 국제공동연구 장려 및 국내 연구자들의 국외 연구자와의 교류 촉진 등의 국제협력을 장려할 필요가 있다. 또한 시계열 자료의 비정상성을 고려한 분석방법의 적용을 통해 기술후진국은 인적자본의 축적을 통해 기술선진국을 추격할 수 있다. 이는 기술후진국이 기술선진국을 추격하기 위해서는 인력육성정책과 연구개발(R&D) 정책이 동시에 고려될 때 정책의 시너지 효과를 얻을 수 있다는 시사점을 찾을 수 있다. 또한 국외 연구개발의 총요소생산성에

대한 파급효과에 있어서 G7국가보다는 비G7국가로부터의 파급효과가 유의한 정(+)의 효과가 있는 것으로 나타났는데, 이는 선진국의 기술을 흡수하려면 자국의 연구개발을 통한 흡수역량 배양이 뒤따라야 하며, 그렇지 않을 경우에는 선진국 기술을 흡수할 수 없다는 것으로 해석된다(Klenow and Rodriguez-Clare, 2004). 즉, 국외 연구개발투자의 파급효과는 선행연구에서처럼 일률적으로 긍정적인 효과를 지니기보다는 국가 간의 상대적 기술수준 격차에 따라 상이한 효과를 지닌다. 이와 관련하여 향후 연구방향 및 과제를 제언하면, 본 연구에서는 기술선도국가(G7)와 기술추격국가(비G7)로 이분화하였으나 향후 국가별로 보다 세분화된 모형의 확장을 통해 국외 연구개발 파급이 국내 경제성장을 촉진하도록 국가 간 무역구조에 대한 최적형태 설정의 노력이 필요하다.

■ 참 고 문 헌

1. 한웅용 외, 『연구개발의 OECD 국가 간 파급효과에 관한 연구』, 한국과학기술기획평가원, 2017.
(Translated in English) Han, Woongyong et al., *A Study of R&D Spillover Effects in OECD Countries*, KISTEP, 2017.
2. Abramovitz, M., "Catching Up, Forging Ahead, and Falling Behind," *Journal of Economic History*, Vol. 46, No. 2, 1986, pp.385-406.
3. Aghion, P., and P. Howitt, "A Model of Growth through Creative Destruction," *Econometrica*, Vol. 60, No. 2, 1992, pp.323-351.
4. Barro, R. J., "Economic Growth in a Cross Section of Countries," *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 106, No. 2, 1991, pp.407-443.
5. Benhabib, J., and M. M. Spiegel, "The Role of Human Capital in Economic Development: Evidence from Aggregate Cross-Country Data," *Journal of Monetary Economics*, Vol. 34, No. 2, 1994, pp.143-173.
6. Cameron, G., J. Proudman, and S. Redding, "Technological Convergence, R&D, Trade and Productivity Growth," *European Economic Review*, Vol. 49, No. 3, 2005, pp.775-807.
7. Coe, D. T., and E. Helpman, "International R&D Spillovers," *European Economic Review*, Vol. 39, No. 5, 1995, pp.859-887.

8. Coe, D. T., E. Helpman, and A. W. Hoffmaister, "International R&D Spillovers and Institutions," *European Economic Review*, Vol. 53, No. 7, 2009, pp.723-741.
9. Engelbrecht, H., "International R&D Spillovers, Human Capital and Productivity in OECD Economies: An Empirical Investigation," *European Economic Review*, Vol. 41, No. 8, 1997, pp.1479-1488.
10. Engelbrecht, H., "Human Capital and International Knowledge Spillovers in TFP Growth of a Sample of Developing Countries: An Exploration of Alternative Approaches," *Applied Economics*, Vol. 34, No. 7, 2002, pp.831-841.
11. Feenstra, C., R. Inklaar, and P. Timmer, "The Next Generation of the Penn World Table," *American Economic Review*, Vol. 105, No. 10, 2015, pp.3150-3182.
12. Fracasso, A., and G. Vittucci Marzetti, "International R&D Spillovers, Absorptive Capacity and Relative Backwardness: A Panel Smooth Transition Regression Model," *International Economic Journal*, Vol. 28, No. 1, 2014, pp.137-160.
13. _____, "International Trade and R&D Spillovers," *Journal of International Economics*, Vol. 96, No. 1, 2015, pp.138-149.
14. Griffith, R., S. Redding, and J. Van Reenen, "Mapping the Two Faces of R&D: Productivity Growth in a Panel of OECD Industries," *Review of Economics and Statistics*, Vol. 86, No. 4, 2004, pp.883-895.
15. Griliches, Z., "The Search for R&D Spillovers," *Scandinavian Journal of Economics*, Vol. 94, 1992, pp.S29-47.
16. Grossman, G., and E. Helpman, "Quality Ladders in the Theory of Growth," *Review of Economic Studies*, Vol. 58, No. 1, 1991, pp.43-61.
17. Im, K., M. Pesaran, and Y. Shin, "Testing for Unit Roots in Heterogeneous Panels," *Journal of Econometrics*, Vol. 115, 2003, pp.53-74.
18. Jones, C. I., "Growth and Ideas," in P. Aghion and S. Durlauf (eds.) *Handbook of Economic Growth (Elsevier)* Volume 1B, 2005, pp.1063-1111.
19. _____, "The Fact of Economic Growth," National Bureau of Economic Research, Inc, NBER Working Papers, 2015, No.21142.
20. Kao, C., "Spurious Regression and Residual-Based Tests for Cointegration in Panel Data," *Journal of Econometrics*, Vol. 90, No. 1, 1999, pp.1-44.
21. Kao, C., M. Chiang, and B. Chen, "International R&D Spillovers: An Application of Estimation and Inference in Panel Cointegration," *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, Vol. 61, 1999, pp.691-709.
22. Kao, C., and M. Chiang, "On the Estimation and Inference of a Cointegrated Regression in Panel Data," in Baltagi, B. H. et al. eds., *Nonstationary Panels, Panel Cointegration and Dynamic Panels*, 15, Amsterdam: Elsevier, 2000, pp.179-222.
23. Keller, W., "Are International R&D Spillovers Trade-Related? Analyzing Spillovers among Randomly Matched Trade Partners," *European Economic Review*, Vol. 42, No. 8, 1998, pp.1469-1481.
24. _____, "Geographic Localization of International Technology Diffusion," *American Economic Review*, Vol. 92, No. 1, 2002, pp.120-142.

25. _____, "International Technology Diffusion," *Journal of Economic Literature*, Vol. 42, No. 3, 2004, pp.752-782.
26. Klenow, P. J., and A. Rodriguez-Clare, "Externalities and Growth," National Bureau of Economic Research, Inc, NBER Working Papers, 2004, No.11009.
27. Lee, G., "International R&D Spillovers Revisited," *Open Economies Review*, Vol. 16, No. 3, 2005, pp.249-262.
28. Levin, A., C. Lin, and C. Chu, "Unit Root Tests in Panel Data: Asymptotic and Finite-Sample Properties," *Journal of Econometrics*, Vol. 108, 2002, pp.1-24.
29. Lichtenberg, F. R., and van Pottelsberghe de la Potterie, B., "International R&D Spillovers: A Comment," *European Economic Review*, Vol. 42, No. 8, 1998, pp.1483-1491.
30. Lucas, R. J., "On the Mechanics of Economic Development," *Journal of Monetary Economics*, Vol. 22, No. 1, 1988, pp.3-42.
31. Luintel, K. B., M. Khan, and K. Theodoridis, "On the Robustness of R&D," *Journal of Productivity Analysis*, Vol. 42, No. 2, 2014, pp.137-155.
32. Mendi, P., "Trade in Disembodied Technology and Total Factor Productivity in OECD Countries," *Research Policy*, Vol. 36, No. 1, 2007, pp.121-133.
33. Nelson, R. R., and E. S. Phelps, "Investment in Humans, Technological Diffusion, And Economic Growth," *American Economic Review*, Vol. 56, 1966, pp.69-75.
34. OECD, *Main Science and Technology Indicators*, 2015/2, January 2015a.
35. _____, *Science, Technology and Industry Scoreboard*, 2015b.
36. Pedroni, P., "Critical Values for Cointegration Tests in Heterogeneous Panels with Multiple Regressors," *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 61, 1999, pp.653-670.
37. Pesaran, M. H., "A Simple Panel Pnit Root Test in the Presence of Cross Section Dependence," *Journal of Applied Econometrics*, 22, 2007, pp.265-312.
38. Romer, P. M., "Endogenous Technological Change," *Journal of Political Economy*, Vol. 98, No. 5, 1990, pp.S71-S102.
39. Stock, H. and W. Mark, "A Simple Estimator Of Cointegrating Vectors In Higher Order Integrated Systems," *Econometrica*, Vol. 61, 1993, pp.783-820.
40. Vandenbussche, J., P. Aghion, and C. Meghir, "Growth, Distance to Frontier and Composition of Human Capital," *Journal of Economic Growth*, Vol. 11, No. 2, 2006, pp.97-127.
41. Wagner, M., and J. Hlouskova, "The Performance of Panel Cointegration Methods: Results from a Large Scale Simulation Study," *Econometric Reviews*, Vol. 29, No. 2, 2010, pp.182-223.

International Trade, Human Capital and R&D Spillovers*

Woongyong Han** · Yongil Jeon***

Abstract

This study extended the endogenous growth model of Coe and Helpman (1995) to examine the effects of trade and human capital on R&D spillovers in 22 OECD countries (1981 to 2011). The analysis confirmed that trade is an indirect channel of R&D spillovers. In addition, TFP is negatively influenced by foreign R&D stocks of G7 countries, and positively by those of non-G7 countries. Furthermore, Human capital promotes technology catching up. The implications of this study are as follows. In order to increase TFP productivity, it is necessary to accumulate human capital along with R&D expenditure, and to establish a proper international trade network so that foreign R&D investments have positive effects on domestic TFP.

Key Words: R&D expenditure, spillover effects, human capital

JEL Classification: F1, O3, O4

Received: Nov. 11, 2016. Revised: Jan. 24, 2017. Accepted: Feb. 13, 2017.

* This paper is a result of modification and supplement to the chapter 3 of first author's doctorate thesis and Han *et al.* (2017). We are grateful to three anonymous referees for helpful comments.

** First Author, Researcher, Korea Institute of S&T Evaluation and Planning, 4F Tower, 60 Mabang-ro, Seocho-gu, Seoul 06775, Korea, Phone: +82-2-589-2282, e-mail: hanwy@kistep.re.kr

*** Corresponding Author, Professor of Economics, Sungkyunkwan University, 25-2, Sungkyunkwan-ro, Jongno-gu, Seoul 03063, Korea, Phone: +82-2-760-0487, e-mail: yjeon@skku.edu