자원·환경경제연구 제 23 권 제 1 호
Environmental and Resource Economics Review
Volume 23, Number 1, March 2014 : pp. 91~132

ICT 자본 투입이 노동 및 에너지 수요에 미치는 영향: 한국, 미국, 영국의 제조업 및 전기·가스·수도사업의 생산구조 비교

김지효* · 허은녕**

요 약 : 본 논문은 한국, 미국, 영국의 제조업 및 전기·가스·수도사업에서 ICT 확산이 노동 및 에너지 수요에 어떠한 영향을 미치는지 연구하였다. 제조업에 대해서는 ICT 자본, 비ICT 자본, 노동, 전기, 연료, 재료를 생산요소로 가정하고, 전기·가스·수도사업에 대해서는 ICT 자본, 비 ICT 자본, 노동, 에너지·재료를 생산요소로 가정하여 요소 간 대체관계를 분석하였다. 모리시마 대체탄력성 추정결과 및 요소의 상대적 가격변화를 고려할 때, 3개 국가의 제조업 및 전기·가스·수도사업에서 ICT 자본은 노동을 대체하여 노동 수요를 감소시키는 것으로 나타났다. ICT 자본에 비해 전기 및 연료의 가격증가율이 높은 미국과 영국의 제조업에서 ICT 자본은 전기 및 연료를 대체하여 에너지 수요를 감소시키는 것으로 나타났다. 한국의 제조업에서 ICT 자본과 전기 및 연료가 대체관계에 있으나, 요소의 상대적 가격변화를 고려하면 ICT 자본이 에너지 수요 감소에 기여했다고 보기 어렵다. 3개 국가의 전기·가스·수도사업에서 ICT 자본은 에너지·재료를 거의 탄력적으로 대체하여 에너지·재료 수요를 감소시키는 것으로 분석되었다.

주제어 : ICT 자본, 에너지 수요, 노동 수요, 모리시마 대체탄력성

JEL 분류 : C51, D24, Q41

접수일(2014년 1월 22일), 수정일(2014년 2월 24일), 게재확정일(2014년 2월 27일)

* 서울대학교 국제에너지인력양성사업단, 주저자 및 교신저자(e-mail: jihyokim02@gmail.com)
** 서울대학교 에너지시스템공학부(e-mail: heoe@snu.ac.kr)

Effect of ICT Capital on the Demands for Labor and Energy in Major Industries of Korea, US, and UK

Jihyo Kim* and Eunnyeong Heo**

ABSTRACT : We investigate the effect of ICT capital on the demands for labor and energy in manufacturing and electricity·gas·water industries of Korea, US, and UK. Assuming ICT capital, non-ICT capital, labor, electricity, fuel, and material as input factors for manufacturing and ICT capital, non-ICT capital, labor and energy·material as input factors for electricity·gas·water industry, we estimate the Morishima elasticities of substitution. Considering the relative price changes of input factors, ICT capital has substituted labor in manufacturing and electricity·water·gas industries of the three countries. ICT capital has substituted both electricity and fuel in US and UK manufacturing. Although ICT capital has substituted electricity and fuel each other in Korean manufacturing, ICT capital is unlikely to decrease the demands for electricity and fuel when considering their relative price changes. ICT capital has substituted energy·material in electricity·gas·water industries of the three countries.

Keywords : ICT capital, labor demand, energy demand, Morishima elasticity of substitution

Received: January 22, 2014. Revised: February 24, 2014. Accepted: February 27, 2014.

* Adjunct Professor, International Energy Policy Program(IEPP), Seoul National University (e-mail: jihyokim02@gmail.com)

** Associate Professor, Department of Energy Systems Engineering, Seoul National University (e-mail: heoe@snu.ac.kr)

Ⅰ. 서 론

2013년부터 우리나라 정부는 핵심 국정 운영 철학으로 창조경제를 제시하여 관련 정책을 추진하고 있다. 영국, UN 등을 중심으로 논의되었던 창조경제의 기존 개념은 도시 및 지역정책 분야에서 문화산업과 지역 경제와의 연관성을 강조하여 경제를 활성화하고 일자리를 창출하는 것이다(고윤미, 2013). 우리나라 정부는 이 개념을 보다 확대하여 창조경제를 '창의성을 경제의 핵심가치로 두고 과학기술과 정보통신기술(ICT: information and communication technology) 융합을 통해 산업과 산업이 융화하고 산업과 문화가 융합하여 새로운 시장과 새 일자리를 만들어내는 것'으로 정의하고 있다.[1] 이 정의에 비추어보면, 한국에서 창조경제를 추인하는 핵심적 요소는 ICT의 확산과 발전이라고 할 수 있겠다.

에너지 정책분야에서도 창조경제의 기조가 이어졌다. 2014년 1월 최종 확정된 「제2차 에너지기본계획」[2]에서는 우리나라 에너지 정책 패러다임의 근본적인 변화를 위한 기본 방향을 발표하였는데, 여기에서 ICT를 활용하는 정책의 추진이 중요하게 다루어지고 있다. 「제2차 에너지기본계획」의 6개 중점과제 중 첫 번째 과제가 수요관리 중심의 에너지 정책전환인데, 이를 견인하기 위한 주요 방안 중 하나로 ICT를 활용한 수요관리시스템의 구축을 제시하였다. 이에 따르면, 세계 최고 수준의 ICT 인프라를 보유하고 있는 우리나라의 강점을 활용하여 에너지 절약에 ICT를 적극 도입하고, 에너지 절약과 관련되는 ICT 산업을 육성하는 것이 「제2차 에너지기본계획」의 주요한 정책 방안 중 하나라고 볼 수 있다.

본 연구의 목적은 산업 부문에 대하여 ICT 자본의 투입이 다른 생산요소의 수요에 어떠한 영향을 미치는지 파악하는 것이다. ICT 활용 증대는 산업 전반의 생산성을 향상시키는 동시에 생산비용을 감소시켜 기존 산업의 효율화에 기여한다고 알려져 있다(Romm, 2002; Oliner and Sichel, 2003; Kim and Heshmati, 2014). 이 과정에서 ICT 자본은 타 생산요소를 대체 혹은 보완하여 요소수요를 변화시킨다. ICT 자본 투입의 확대는 ICT 관련 신산업의 발전으로 이어져, 신규 고용을 비롯한 요소

1) 박근혜 대통령 취임사(2013.2.25.)

2) 산업자원통상부(2014), pp.51~55.

수요를 창출할 수 있다. ICT 관련 신산업은 전통 제조업에 비해 에너지를 적게 사용할 것이라고 예상된다(Romm, 2002). 이러한 ICT 자본 투입이 경제 전반에 미치는 영향을 종합적으로 고려하기 위해 본 논문은 산업의 생산구조를 분석하여 ICT 자본과 타 생산요소 간의 대체 및 보완관계를 연구하였다. 이 때, ICT 자본의 활용 증대가 노동 및 에너지 수요에 어떠한 영향을 미치는지 중점적으로 고찰하였다.

본 연구는 1980년대 이후의 자료를 사용하여 한국을 비롯한 주요 ICT 선진국인 미국과 영국의 제조업 및 전기·가스·수도사업의 비용함수를 추정하였다. 비용함수 추정은 그 결과를 활용하여 생산요소 간 대체·보완 관계를 도출할 수 있으므로 생산구조 분석에 자주 활용된다. 제조업에 대해서는 ICT 자본, 비ICT 자본, 노동, 전기, 연료,[3] 재료를 생산요소로 가정하고, 전기·가스·수도사업에 대해서는 ICT 자본, 비ICT 자본, 노동, 에너지·재료를 생산요소로 가정하여 비용함수를 추정하였다.[4] 이를 통해 제조업에서 대해서는 ICT 자본과 노동, ICT 자본과 전기, ICT 자본과 연료 간 대체관계를, 전기·가스·수도사업에 대해서는 ICT 자본과 노동, ICT 자본과 에너지·재료 간의 대체관계를 중점적으로 논의하였다. 만약 ICT 자본과 이들 생산요소가 대체관계에 있다면 ICT 자본의 투입 증가는 이들 생산요소 수요를 감소시킬 것이다. 본 연구의 결과는 창조경제의 추진과정에서 주요 산업의 ICT 투자가 노동 및 에너지 수요에 어떠한 영향을 미칠 것인지를 예상하는 근거자료로 활용될 수 있다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 제Ⅱ장은 ICT 투자가 노동 및 에너지 수요에 미치는 영향에 대한 선행연구들을 제시한다. 제Ⅲ장은 생산구조를 분석하고 가격 및 대체탄력성을 추정하기 위한 방법론을 소개한다. 제 Ⅳ장은 본 연구에서 사용한 자료의 출처, 작성방법 및 기초통계를 개관한다. 제 Ⅴ장은 제조업과 전기·가스·수도 산업에서의 생산요소 간 대체탄력성을 제시하고, ICT 자본의 투입이 노동 및 에너지 수요에 어떠한 영향을 미쳤는지 논한다. Ⅵ는 결론과 정책적 시사점을 제시한다.

3) 본 논문에서 '연료'는 석탄, 석유, 가스의 총합을 지칭한다.

4) 생산요소의 가정에 대해서는 'Ⅳ. 분석자료'에서 자세히 설명한다.

II. 선행연구

ICT가 타 생산요소의 수요에 어떠한 영향을 미치는지 고찰한 선행연구들은 크게 ICT가 노동 수요(고용)에 미치는 영향을 분석한 연구와 ICT가 전기 수요에 미치는 영향을 분석한 연구로 분류된다.[5] 전자는 다시 기능편향적 기술발전(SBTC: skill-based technological change) 가설을 검증한 연구, ICT 투자가 노동생산성에 미치는 영향을 분석한 연구, ICT 관련 산업의 고용파급효과를 분석한 연구, ICT 자본과 노동수요 간 대체/보완관계를 분석한 연구로 분류된다. 후자는 ICT 도입이 에너지 소비를 감소시키는 새로운 생산 패러다임, 즉 에너지와 경제 성장 간 탈동조화(decoupling) 경향을 이끌어내는 핵심 동인인지에 대한 논의로 요약될 수 있다.

기능편향적 기술발전 가설은 ICT를 비롯한 기술발전으로 인해 고학력노동(educated worker)[6]에 대한 수요가 증가하면서 고학력노동이 저학력노동을 대체한다는 가설이다(Chun, 2003; 문성배·홍동표, 2004). 기능편향적 기술발전 가설이 성립한다면, 고학력노동과 ICT 자본재 간에는 보완관계가 존재한다. 선행연구들은 생산함수 분석 또는 노동수요 함수 분석 등을 통해 기능편향적 기술발전 가설이 성립하는지 실증적으로 검증하였다. Berndt et al.(1992)는 회귀분석을 통해 미국 제조업에서 ICT를 비롯한 high-tech 자본과 고학력노동 간 보완성을 확인하였다. Chun(2003)은 wage premium 함수를 추정하여 미국 제조업에서 ICT 사용과 고학력노동 간 보완관계를 확인하였으며, ICT 사용 및 도입의 효과는 1970년 이후 미국 고학력노동 수요 증가분의 약 40%에 해당함을 보였다. O'Mahony et al.(2008)은 미국, 영국, 프랑스 제조업의 패널자료를 사용하여 wage premium 함수를 분석하였다. 그 결과, 고학력노동과 ICT 자본 간 보완관계를 확인하였으나, 그 외 학력군의 노동과 ICT 자본 간에는 보완관계를 확인하지 못하였다. 서환주 외(2000), 문성배·홍동표(2004)는 한국 산업에 대하여 기능편향적 기술발전 가설을 검증하였으나, 기능편향적 기술발전

5) 일부 선행연구에서는 ICT 대신 IT(information technology)의 영향을 분석하였다. 해당 연구에서 IT와 CT(communication technology)의 차이에 주목하지 않는 한, 본 논문에서는 ICT로 용어로 통일하여 기술한다.

6) '고학력 노동' 대신 '숙련 노동'(skilled-labor)이라는 용어를 사용하는 선행연구도 있으나, 본 논문에서는 이를 모두 '고학력 노동'으로 통일하여 기술한다.

가설에 부합되지 않는 결과들을 제시하였다. 서환주 외(2000)는 2002년도의 사업체 패널자료를 사용하여 생산함수를 분석한 결과, 고학력노동과 ICT 자본 간 보완관계가 유의하지 않음을 보였다. 문성배·홍동표(2004)는 1986년부터 1999년까지의 자료를 사용하여 비용함수를 분석한 결과, ICT 자본은 저학력노동은 물론 고학력노동에 대해서도 대체관계에 있는 것으로 나타났다.

ICT가 노동생산성에 미치는 영향에 대해서 최근의 연구들은 ICT가 노동생산성을 개선하는 데 영향을 미친다는 주장을 지지하고 있다.[7] ICT가 노동생산성을 개선하는데 큰 영향을 미친다면, ICT 자본의 투입 확대는 경제성장에는 긍정적인 영향을 미치는 반면 고용창출에는 부정적인 영향을 미칠 수 있다. Oliner and Sichel(2003)은 정상상태(steady-state)를 가정할 때, ICT 투자로 인해 미국 노동생산성은 매년 1.20~2.17% 증가한다고 분석하였다. Jalava and Pohjola(2007)은 성장회계(growth accounting)를 적용하여 1990년부터 2005년까지 핀란드 경제를 분석한 결과, 연평균 노동생산성 증가분의 절반을 상회하는 1.87%의 노동생산성 증가가 ICT 투자에서 기인하였음을 보였다. Timmer and van Ark(2005)는 1995년부터 2001년까지 미국과 EU의 노동생산성 변화를 비교한 결과, 동 기간 동안 미국의 노동생산성이 EU의 노동생산성보다 더 빠르게 증가한 이유는 ICT 자본 투자에서 비롯된다고 주장하였다. Martínez et al.(2010)은 1980년부터 2004년까지 미국의 노동생산성 증가분의 약 35%가 ICT 관련 기술변화에서 비롯되었다고 분석하였다. 조상섭(2002)은 우리나라 ICT 자본의 노동생산성 증가분에 대한 기여도는 약 8%라고 분석하였는데, 이 기여도는 다른 선진국에 비하면 미미한 수준이다.

ICT 관련 산업의 성장이 고용 창출에 미치는 영향 및 ICT 자본 투입과 노동 수요 간 대체·보완관계에 대해서는 정량적으로 분석한 연구결과가 많지 않다. 박재운·김기홍(2010)은 산업연관분석을 적용하여 우리나라의 ICT제조업은 지속적으로 성장하고 있지만, 그에 상응하는 정도의 고용증가는 이루어지고 있지 않다는 분석결과를 제시하였다. Zakeri et al.(2012)는 Iran의 23개 제조업의 고용승수를 도출한 결과

7) Solow(1987)는 ICT는 생산성에 부정적인 영향을 미친다는 '생산성 역설(productivity paradox)'을 주장한 바 있으며, 이러한 Solow의 주장은 일부 실증연구에 의해 뒷받침되었다. 그러나 최근의 연구는 이러한 부정적인 영향은 ICT 도입 초기에 신규기기에 대한 조정과 학습비용에서 기인하며, 일시적이라고 보고 있다(Martínez et al., 2010; Kim and Heshmati, 2014).

ICT 제조업의 고용승수는 18번째로 타 제조업에 비해 고용유발효과가 크지 않다고 분석하였다. 홍효진 외(2010)는 매출액 1,000억 원 이상의 한국 기업들로 구성된 패널 자료를 분석한 결과 ICT 자본 투입과 노동 간에는 보완관계가 존재한다고 보였다. 반면, 박승록(2014)는 한국 등 6개 주요국의 산업을 분석하여 ICT 자본 투입과 노동 간에는 대체관계가 존재한다고 주장하였다.

ICT가 에너지 소비에 미치는 영향에 대한 본격적인 연구는 Walker(1985)로부터 시작되었다. Walker(1985)는 ICT의 확산을 통해 산업화된 국가에서 경제성장을 지속하면서 에너지 소비를 줄이는 것이 가능하다고 주장하였다. 이에 반하여, Mills(1999)는 ICT 관련 기기는 전기 소비를 수반한다는 특성에 주목하여, ICT 확산은 전기 소비를 증가시킨다고 주장하였다. Romm(2002)은 미국의 '인터넷 시대(1996~2000)'과 이전 시기의 에너지 소비 특성을 비교한 결과, '인터넷 시대'에는 에너지 소비와 경제성장 간의 탈동조화가 나타났다고 주장하였다. Takase and Murota(2004)는 미국과 일본의 전 산업에 대하여 ICT투자가 에너지 소비에 미치는 영향을 대체효과와 소득효과로 분리하였다. 그 결과, 일본에서는 대체효과가 나타나 ICT가 에너지 절약에 기여한 반면, 미국에서는 소득효과가 우세하여 ICT가 에너지 소비에 기여한 것으로 나타났다. Collard et al.(2005)은 프랑스 서비스 산업에 대해서 컴퓨터와 소프트웨어의 보급은 전기 소비를 증가시키는 반면, 통신설비의 보급은 전기소비를 감소시킨다고 분석하였다. Cho et al.(2007)은 1991년부터 2003년까지의 우리나라 제조업을 분석한 결과, ICT의 확산은 산업에 따라 차이는 있으나 전반적으로 전기 사용의 효율성을 증대시킴을 보였다. Sadorsky(2012)는 1993년부터 2008년까지 19개 개발도상국으로 구성된 패널자료를 분석하여 인터넷, 휴대폰, PC의 보급 확산은 장·단기에 걸쳐 전기소비량을 증가시킨다는 결과를 제시하였다.

상기 선행연구의 논의들을 종합하면 다음과 같다. 첫째, ICT 자본이 노동 수요 전반에 궁극적으로 어떠한 영향을 미치는지에 대해서는 명확한 결론을 내릴 수 없다. ICT 자본이 노동 수요에 미치는 영향을 파악하기 위해서는 고학력노동의 수요변화, 노동생산성의 변화, ICT 유관산업의 발전으로 인한 고용창출효과 등 노동수요에 상이한 방향의 영향을 미치는 다양한 요인을 종합적으로 고려해야 한다. 둘째, ICT 자본이 전기 수요를 비롯한 에너지 수요를 증가시키는지의 여부에 대해서도 명확한

결론을 내릴 수 없다. ICT 자본이 에너지 수요에 미치는 영향은 국가별, 자본유형별, 산업별로 다르게 나타났다. 셋째, 선행연구에서는 ICT와 노동, 혹은 ICT와 에너지만을 분석의 대상으로 삼아 제한적인 결과를 제시하였다. 넷째, 한국 자료를 사용해서 분석한 연구는 미국 등 다른 선진국을 분석한 연구와 일치하지 않는 결과를 제시하였다.

본 연구는 ICT 자본, 노동, 에너지를 개별적인 생산요소로 간주하는 비용함수를 최초로 분석하여, 한국, 미국 및 영국 주요 산업의 ICT 자본과 노동 간, ICT 자본과 에너지 간 대체 관계를 분석하였다. 이를 통해 본 연구는 선행연구에서 논의된 여러 요인들이 종합되면, ICT 자본이 노동과 에너지 수요에 최종적으로 어떠한 영향을 미치는지를 파악하고자 하였다. 또한 한국의 분석결과와 주요 ICT 선진국인 미국과 영국의 분석결과를 비교하여, 한국의 ICT 자본이 지속적으로 확대될 경우 생산구조가 어떻게 변화할 것인지를 예상할 수 있는 근거 자료를 제시하려고 하였다.

III. 분석 방법론

1. 비용함수

생산자의 요소수요와 관련한 의사결정은 크게 생산물 수요, 생산함수 및 요소비용에 의해 영향 받는다(남성일, 2013). 이러한 요소수요 간 관계를 분석하는 일반적인 방법은 생산함수와 쌍대관계(duality)에 있는 비용함수를 분석하는 것이다.[8] 이윤극대화(비용최소화) 생산자의 비용함수는 식 (1)과 같이 정의할 수 있다.

$$C(P, Y) = MinP \bullet X | f(X) \geq Y. \quad (1)$$

이 때, X는 요소투입벡터 $\{x_1, x_2, \cdots, x_n\}$, P는 요소가격벡터 $\{p_1, p_2, \cdots, p_n\}$, 그리고 Y는 산출량을 각각 의미한다.

8) 생산함수를 직접 분석하는 대신 쌍대관계에 있는 비용함수를 분석하는 방식의 이점은 Binswanger(1974)를 참조한다.

본 연구는 비용함수 근사에 널리 사용되어온 translog 함수(Christensen et al., 1973)를 적용하여 식 (1)을 근사하였다. 이 때, 중립적 기술변화(neutral technical change)[9]를 가정한 비용함수는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\ln C_t^* = \gamma_0 + \sum_{i=1}^{n}\gamma_i \ln p + \gamma_y \ln y_t + \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\gamma_{ij}\ln p \ln p_{jt};\ \ i,j = 1,\cdots,n. \tag{2}$$

식 (2)의 비용함수가 잘 정의된(well-defined) 생산기술을 대표하기 위해서는 비용함수의 요소가격에 대한 1차동차성 조건과 슬러츠키(Slutsky) 대칭성 조건을 만족해야 한다. 이에 본 연구에서는 식 (3)의 1차동차성 가정과 식 (4)의 슬러츠키 대칭성 가정을 식 (2)에 부과하여 요소가격에 대한 1차동차성 및 슬러츠키 대칭성을 만족하는 비용함수를 설정하였다.

$$\sum_{i=1}^{n}\alpha_i = 1,\quad \sum_{j=1}^{n}\beta_{ij} = 0,\quad i,j = 1,\cdots,n. \tag{3}$$

$$\beta_{ij} = \beta_{ji},\ \ i,j = 1,\cdots,n. \tag{4}$$

비용함수가 비용최소화(이윤극대화) 생산기술을 대표하는 쌍대성(duality) 조건을 만족하기 위해서는 정(+)의 값을 갖는 성질(positivity), 요소가격에 대한 단조증가성(monotonicity) 요소가격에 대한 오목성(concavity)을 만족해야 한다. 선행연구들은 공통적으로 translog 비용함수는 양(+)의 값을 갖는 성질과 요소가격에 대한 단조증가성은 잘 만족하지만, 요소가격에 대한 오목성은 만족하지 못하는 경향이 있음을 지적하였다(Barnett et al., 1985; Diewert and Wales, 1987; Feng and Serletis, 2008; 김지효·허은녕, 2010). 본 연구는 Ryan and Wales(2000)가 제안한 국지적으로 오목

9) ICT 자본에 대한 투자는 기술변화에 대한 대리변수(proxy)로 사용될 수 있다(Chun, 2003). 따라서 ICT 자본을 별도의 생산요소로 고려하는 상황에서 비중립적 기술변화(non-neutral technical change)를 가정하면 도리어 기술변화의 영향을 제대로 파악하기 어렵다. 이에 본고에서는 중립적 기술변화를 가정하였다.

성을 부과[10]한 translog 함수를 분석하였다. 김지효·허은녕(2010)은 한국 제조업 자료를 사용하여 국지적으로 오목성을 부과한 translog 함수(Ryan and Wales, 2000)와 그렇지 않은 translog 함수를 분석한 결과를 비교하여, 전자의 분석결과는 전 자료시점에 대해 오목성을 만족하지만 후자의 분석결과는 전 자료시점에 대해 오목성을 위반함을 보였다. 이에 본 연구는 국지적으로 오목성을 부과한 translog 함수(Ryan and Wales, 2000)를 분석하였다.

비용함수가 오목성을 만족하기 위한 필요충분조건은 비용함수의 요소가격에 대한 헤시안 행렬(Hessian matrix)이 음반정부호(negative semi-definiteness)를 가지는 것이다. 국지적 오목성의 부과는 식 (5)와 같이 헤시안 행렬 H가 하삼각행렬(lower triangular matrix) D로 촐레스키 분해(Cholesky decomposition)될 수 있다고 가정하는 데에서 출발한다.

$$H = DD', \quad D = [d_{ij}] \tag{5}$$

그렇다면, 식 (2)의 β_{ij}는 다음과 같은 식으로 치환할 수 있다.

$$\beta_{ij} = -[DD']_{ij} + \alpha_i\delta_{ij} - \alpha_i\alpha_j; \quad i,j = 1,\cdots,n \tag{6}$$

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{if} \quad i = j \\ 0 & otherwise \end{cases}$$

식 (3), (4), (6)의 제약을 부과하여 식 (2)의 비용함수를 추정하면 요소가격에 대한 1차동차성 및 슬러츠키 대칭성을 만족하면서 국지적으로 오목성을 부과한 비용함수의 계수를 도출할 수 있다. 이 때, 설명변수 간 공선성 문제를 최소화하고 자유도 손실을 줄이기 위하여, 대부분의 연구에서는 식 (2)의 비용함수를 직접 추정하기보다는 Shephard's lemma를 적용한 식 비용점유율 방정식을 추정한다(Feng and

10) 국지적으로(locally) 오목성을 부과하는 것은 분석자료 내의 한 시점에 오목성을 부과하는 것을 의미한다. translog 함수를 분석할 경우 전 자료시점에 대하여 오목성을 부과하면 유연성(flexibility)이 손실되므로(Diewert and Wales, 1987), Ryan and Wales(2001)는 이에 대한 대안으로 국지적으로 오목성을 부과한 translog 함수를 제안하였다.

Serletis, 2008; 김지효·허은녕, 2010). 본 연구에서 추정한 비용점유율 방정식은 다음과 같다.

$$S_i = \beta_i + \sum_{j=1}^{n} \beta_{ij} \ln p_j; \quad i, j = 1, \cdots, n \tag{7}$$

2. 가격탄력성 및 대체탄력성

식 (3), (4), (6)의 가정을 부과한 비용점유율 방정식 (7)을 추정한 계수 $\beta_{ij}(i, j = 1, \ldots, n)$를 이용해 자기가격탄력성(own-price elasticity, η_{ii})과 모리시마 대체탄력성(Morishima elasticity of substitution, σ_{ij})을 추정할 수 있다. 자기가격탄력성은 i번째 요소가격의 1% 가격변화에 따른 i번째 요소수요의 % 변화를 의미하며, 다음과 같이 정의된다.

$$\eta_{ii} = \frac{\beta_{ii}}{S_i} + S_i - 1; \quad i = 1, \cdots, n. \tag{8}$$

자기가격탄력성이 부(-)의 값을 가지면 가격상승은 수요하락을 가져온다는 수요의 법칙을 만족하지만, 그렇지 않으면 수요의 법칙을 위반한다고 볼 수 있다. 비용함수가 요소가격에 대해 오목하다면 부(-)의 자기가격탄력성을 가지게 된다(Considine and Mount, 1984).

본 연구는 모리시마 대체탄력성을 적용하여 생산요소 간 대체 및 보완관계를 측정하였다. 모리시마 대체탄력성은 생산요소가 2개 이상일 때 등량곡면(isoquant)의 곡률에 대한 정확한 측도이며, 가격비율의 변화 방향에 따른 비대칭적 수요변화를 반영할 수 있으며, 상대적 요소비용점유율에 대한 완벽한 비교정태적 정보를 제공한다(Blackorby and Russell, 1989). i번째 재화와 j번째 재화 간의 모리시마 대체탄력성은 다음과 같다.

$$\sigma_{ij} = \frac{\beta_{ij}}{S_i} - \frac{\beta_{jj}}{S_j} + 1; \quad i = 1, \cdots, n. \tag{9}$$

식 (9)의 모리시마 대체탄력성은 j번째 재화의 가격이 1% 변화함에 따라 i번째 재화와 j번째 재화의 수요의 비율이 몇 % 변화하는지를 나타낸다. 정(+)의 모리시마대체탄력성은 j번째 재화의 가격 증가 시, j번째 재화의 수요 대비 i번째 재화의 수요가 증가하였음을 의미한다. 따라서 모리시마 대체탄력성이 정(+)의 값을 가지면 두 재화는 서로 대체재 관계에 있다. 반면, 모리시마 대체탄력성이 부(-)의 값을 가지면 두 재화는 서로 보완재 관계에 있다.

IV. 분석자료

본 연구는 한국, 미국, 영국의 제조업 및 전기·가스·수도사업의 생산구조를 국가별로 분석하여 ICT 자본의 투입이 노동과 에너지 등 다른 생산요소의 수요에 어떠한 영향을 미치는지 비교하였다. 식 (7)의 비용점유율 방정식을 추정하기 위해서는 요소별 비용 및 가격자료가 필요하다. 본 연구는 기본적으로 EU KLEMS[11] 데이터베이스에서 제공하는 자료를 활용하였으며, 부가적으로 IEA(International Energy Agency)에서 발간하는 「Energy Balances of OECD Countries」 및 「Energy Prices and Taxes」의 자료를 참고하였다. EU KLEMS 데이터베이스에서 제시하는 가장 최신자료를 사용하여, 한국에 대해서는 1980년부터 2005년까지의 26개 시계열로 구성된 분석자료를, 미국과 영국에 대해서는 1980년부터 2007년까지의 28개 시계열로 구성된 분석자료를 분석하였다. 자료 구성방법은 Berndt and Wood(1975), Serletis et al.(2010), Kim and Heo(2013)을 참조하였다.

제조업 분석 시, 산업별 에너지 소비 특성의 차이를 반영하기 위해 에너지 집약적(集約的) 제조업, 에너지 비집약적(非集約的) 제조업, 전체 제조업의 생산구조를 별도로 분석하였다. 에너지 집약적 제조업에는 펄프, 종이제품·인쇄 및 복사업(KSIC 17~18), 석유·석탄 및 화학제품 제조업(KSIC 19~22), 비금속광물제품 제조업(KSIC

11) EU KLEMS(http://www.euklems.net/)는 EU 가입국가를 비롯한 전 세계 주요 국가들의 경제성장과 생산성 분석을 위해 구축된 데이터베이스이다. 데이터베이스의 기초자료는 참여국 내 통계기관에서 제공하는 자료를 사용하지만, 데이터베이스에서 최종적으로 제공하는 자료는 EU KLEMS에서 규정한 표준 자료구축 절차에 따라 가공된 자료이다. 이러한 자료구축 방법론의 통일성은 서로 다른 국가의 비교 분석을 용이하게 한다. EU KLEMS 데이터베이스에 대한 보다 자세한 설명은 정선영(2011)의 각주 11을 참조한다.

23), 금속제품 제조업(KSIC 24)이 포함된다(Park, 1992). 에너지 비집약적 제조업에는 음·식료품 및 담배 제조업(KSIC 10~12), 섬유·의복 및 가죽제품 제조업(KSIC 13~15), 목재 및 나무제품 제조업(KSIC 16), 금속가공제품제조업(KSIC 25), 전기 및 전자기기 제조업(KSIC 26), 정밀기기 제조업(KSIC 27,~28) 기타 기계 및 장비 제조업(KSIC 29), 운송장비 제조업(KSIC 30~31), 가구 및 기타제품 제조업(KSIC 32~33)이 포함된다. 전기·가스·수도사업은 자료의 한계로 인해 세부 사업을 분석하지 않았다. 전기·가스·수도 사업에는 전기·가스·증기 및 공기조절 공급업(KSIC 35), 수도사업(KSIC 36)이 포함된다.[12)]

본 연구는 산업의 특성을 고려하여 제조업과 전기·가스·수도사업에 대해 각각 다른 생산요소 가정을 적용하였다. 제조업에 대해서는 ICT 자본(I), 비ICT 자본(K), 노동(L), 전기(E), 연료(F), 재료(M)의 6개 생산요소를 가정하였다.[13)14)] 산업의 비용함수를 분석한 선행연구들을 보면 자본, 노동, 에너지, 재료의 4개 생산요소를 가정하거나, 자본, 노동, 중간재의 3개 생산요소를 가정하는 것이 일반적이다(Kim, 2012). 본 연구는 ICT 자본이 다른 생산요소의 수요에 어떠한 영향을 미치는지 분석하는 것에 주된 목적을 두고 있으므로, 자본재를 ICT 자본과 비ICT 자본으로 분리하였다. ICT 자본은 속성상 전기의 사용을 수반하므로(Cho et al., 2007; Sadorsky, 2012), 에너지도 전기(P)와 연료(F)로 분리하였다.[15)] 이를 통해 제조업 부

12) 제 9차 한국표준산업분류(KSIC: Korean Standard Industrial Classification)에서 제시된 명칭과 분류코드를 기재하였다.

13) EU KLEMS에서는 computing equipment, communication equipment, software를 ICT 자본으로, residential structures, non-residential structures, machinery and equipment, transport equipment를 비ICT 자본으로 분류하였다(Timmer et al., 2007).

14) 본 연구에서 연료(F)는 최종에너지로 소비된 석탄, 석유, 가스의 합계(aggregate)를 의미한다. 원칙적으로는 연료의 합계를 계산할 시에 비에너지의 용도로 사용된 원료탄 및 납사를 제외해야 한다. 원료탄 및 납사를 제외하려면 이들의 소비량 및 이들에 대한 가격자료가 필요하다. IEA는 원료탄 및 납사에 대한 소비량 자료는 제공하고 있지만 이들에 대한 가격자료를 일관성 있게 제시하고 있지는 않다. 이러한 한계로 인하여 본 연구는 비에너지의 용도로 사용된 원료탄 및 납사를 연료에 포함시켰다. 선행연구들은 원료탄 및 납사를 연료 합계에 포함시키게 되면 연료의 자기가격탄력성 크기가 작아지고 연료와 타 생산요소 간 대체가능성이 줄어드는 방향으로 추정결과의 편의(bias)가 발생한다고 지적하였다(Considine, 1989; Jones, 1995; Steinbucks, 2012). 본 연구의 결과는 이러한 자료구축의 한계 및 그에 따른 편의를 감안하여 해석되어야 할 것이다.

15) Kim(2012)는 OECD 10개국의 제조업을 실증분석하여 자본과 에너지는 약분리가능(weakly separable)하지 않음을 보인 바 있다. 이 연구결과는 통상적인 생산요소의 가정과 달리, 자본을 ICT 자본과 비ICT 자본으로, 에너지를 전기와 연료로 나누어 생산요소를 가정할 수 있음을 뒷받침한다.

문에서 ICT 자본이 전기와 연료의 수요에 상이한 영향을 미치는지를 비교하였다. 반면, 전기·가스·수도사업에 대해서는 ICT 자본(I), 자본(K), 노동(L), 에너지·재료(O)의 4개 생산요소를 가정하였다. 전기·가스·수도사업의 특성 상 에너지와 재료의 구분이 모호하므로 에너지와 재료를 한 생산요소로 합산하여 생산구조를 분석하는 것이 더 적절하다고 판단하였다.

비용점유율(S_i) 자료는 각 생산요소별 비용을 이를 합산한 총비용으로 나누어 도출하였다. 제조업의 경우, ICT 자본, 비ICT 자본, 노동, 및 재료의 비용은 EU KLEMS 데이터베이스에서 제공하는 각 국가의 세부산업별 명목비용 자료를 사용하였다. 예를 들면, 에너지 집약적 제조업에 해당하는 세부산업들의 비용자료를 합산하여 ICT 비용, 비ICT 자본, 노동 및 재료의 연도별 비용을 산출하였다. 에너지 비집약적 제조업, 전체 제조업의 ICT 비용, 비ICT 자본, 노동 및 재료의 연도별 비용도 이와 동일한 방식으로 산출하였다. EU KLEMS 데이터베이스는 세부산업별 에너지비용은 제시하고 있으나 이를 전기와 연료비용으로 나눌 근거를 제시하고 있지는 않다. 이에 IEA에서 발간하는 「Energy Balances of OECD Countries」 및 「Energy Prices and Taxes」의 자료를 참고하여 EU KLEMS에서 제공하는 에너지 비용을 전기비용과 연료비용으로 분리하였다.[16] 전기·가스·수도사업의 경우, ICT 자본, 비ICT 자본, 노동의 비용은 EU KLEMS 데이터에서 제공하는 해당 산업의 명목비용 자료를 사용하였다. 에너지·재료의 비용은 EU KLEMS에서 제공하는 에너지 비용과 재료비용을 합산한 비용으로 정의하였다.

가격(p_i) 자료는 각 생산요소별 비용을 EU KLEMS에서 제공하는 요소투입지수로 나누어 도출하였다. 이 때, 세부산업의 요소투입지수를 합계하여 상위산업의 요소투입지수를 구하기 위해 Divisia-Törnqvist 지수(Diewert, 1976)를 적용하였다. 이

16) 전기비용과 연료비용을 도출하기 위해 다음의 단계를 거쳤다. 첫째, IEA(2011)의 자료를 활용하여 각 국가의 세부 산업별 석탄, 석유, 가스 및 전기 사용량을 구하였다. 원재료 용도로 에너지원의 가격을 별도로 구할 수 없음을 감안하여 원재료로 사용되는 석탄, 석유 및 가스의 사용량을 제하지 않았다. 둘째, IEA(2012)의 자료를 활용하여 각 국가의 석탄, 석유, 가스 및 전기에 대한 산업용 가격을 구하였다. 셋째, 사용량과 가격을 곱하여 각 국가의 세부 산업별 석탄, 석유, 가스 및 전기 비용을 산출한 다음, 석탄, 석유 및 가스 비용을 합산하여 연료비용으로 정의하였다. 이 때, IEA 제공 자료에 근거해 작성한 전기비용과 연료비용의 합, 즉 에너지비용은 자료 작성방식의 차이로 인해 EU KLEMS 데이터베이스에서 제공하는 에너지비용과 일치하지 않을 수 있다. 따라서 본 연구는 IEA 제공 자료를 통해 도출한 전기비용과 연료비용의 상대적 비중을 이용하여 EU KLEMS의 에너지비용은 전기비용과 연료비용으로 분리하였다.

는 Divisia index를 discrete Törnqvist 지수로 근사한 것으로, 상위산업의 요소비용 대비 세부산업의 요소비용의 비중을 가중치로 사용하여, 서로 다른 산업 간의 요소투입량을 기하평균한 수치이다. 제조업의 경우, ICT 자본, 비ICT 자본 및 재료의 가격은 앞서 구한 요소비용을 Divisia-Törnqvist 지수를 이용하여 분석 수준에 맞게 합산한 요소투입량지수로 나누어 구하였다. 노동가격은 노동비용을 피고용자 수로 나누어 산출하였다. 전기가격은 전기비용을 전기사용량으로 나누어, 연료가격은 연료비용은 석탄, 석유 및 가스 사용량을 합산한 수치로 나누어 도출하였다. 전기·가스·수도사업의 ICT 자본, 비ICT 자본, 노동, 에너지·재료 가격도 이와 동일한 과정을 거쳐 산출하였다. 모든 요소의 가격은 2000년도를 기준가격으로 지수화하였다(2000=100).

<표 1>~<표 4>에 각각 에너지 집약적 제조업, 에너지 비집약적 제조업, 전체제조업의 전기·가스·수도산업의 요소별 비용점유율 및 가격지수의 평균 및 평균증가율을

〈표 1〉 에너지 집약적 제조업의 비용점유율 및 요소가격지수 기초통계

국가	항목		ICT 자본(I)	비ICT 자본(K)	노동(L)	전기(E)	연료(F)	원재료(M)
한국	비용 점유율	평균	0.0045	0.1258	0.1323	0.0258	0.2047	0.5068
		변화율 (%)	4.1914	1.6173	0.8969	-3.7624	-0.3245	0.1771
	가격	평균	69.9730	73.4917	62.3502	99.2025	82.5712	84.6969
		변화율 (%)	6.5220	7.6651	11.2683	0.6392	4.0751	3.1080
미국	비용 점유율	평균	0.0195	0.1654	0.2939	0.0576	0.0620	0.4015
		변화율 (%)	5.3481	2.1080	-0.7508	-0.0872	0.1255	0.1266
	가격	평균	190.7504	85.9931	82.4844	91.2418	82.5095	91.1250
		변화율 (%)	-5.1976	5.7834	4.0887	2.8314	5.6806	2.5778
영국	비용 점유율	평균	0.0122	0.0998	0.3105	0.0942	0.0456	0.4377
		변화율 (%)	5.6527	0.0472	0.8641	-0.5834	1.4912	0.2249
	가격	평균	173.8001	108.9117	74.3914	113.9604	134.3769	89.2223
		변화율 (%)	-5.0702	4.0370	6.7087	2.8115	8.0221	3.1330

〈표 2〉 에너지 비집약적 제조업의 비용점유율 및 요소가격지수 기초통계

국가	항목		ICT 자본(I)	비ICT 자본(K)	노동(L)	전기(E)	연료(F)	원재료(M)
한국	비용 점유율	평균	0.0051	0.0800	0.1699	0.0127	0.0261	0.7064
		변화율 (%)	6.5593	1.9095	0.9150	-2.4300	-0.0239	-0.2692
	가격	평균	57.4329	87.3570	58.1475	99.2025	67.0870	64.3977
		변화율 (%)	5.7730	2.3565	11.6173	0.6392	8.5533	7.4668
미국	비용 점유율	평균	0.0175	0.0920	0.2973	0.0266	0.0290	0.5377
		변화율 (%)	5.5878	2.4059	-0.3008	-0.0779	-0.6473	0.2026
	가격	평균	196.5748	84.8814	78.5212	91.2418	68.3578	99.3722
		변화율 (%)	-4.9121	4.6470	4.5052	2.8314	5.2325	1.8982
영국	비용 점유율	평균	0.0142	0.0787	0.2090	0.0671	0.0354	0.5956
		변화율 (%)	2.4848	-0.2368	-0.2060	0.7727	3.5147	0.0751
	가격	평균	198.5297	86.3521	79.4235	113.9604	62.2631	92.4740
		변화율 (%)	-6.9123	3.7525	6.1537	2.8115	11.7987	2.9912

〈표 3〉 전체 제조업의 비용점유율 및 요소가격지수 기초통계

국가	항목		ICT 자본(I)	비ICT 자본(K)	노동(L)	전기(E)	연료(F)	원재료(M)
한국	비용 점유율	평균	0.0049	0.0971	0.1556	0.0176	0.0942	0.6307
		변화율 (%)	5.4900	1.5922	0.8679	-3.1777	-0.1676	-0.1389
	가격	평균	60.1402	63.5450	58.7890	99.2025	68.9360	84.4407
		변화율 (%)	5.9277	6.6785	11.9906	0.6392	5.7730	2.5404
미국	비용 점유율	평균	0.0183	0.1214	0.2962	0.0391	0.0423	0.4827
		변화율 (%)	5.5091	2.6010	-0.4349	-0.0162	-0.2673	0.0215
	가격	평균	194.8607	85.8766	79.5856	91.2418	86.0161	95.8022
		변화율 (%)	-5.1490	5.3991	4.3888	2.8314	5.0195	1.7804
영국	비용 점유율	평균	0.0133	0.0881	0.2535	0.0792	0.0397	0.5262
		변화율 (%)	3.4529	-0.1747	0.4159	0.1416	2.5459	0.0459
	가격	평균	208.2521	94.8622	76.2193	113.9604	125.3981	90.6887
		변화율 (%)	-6.9975	3.7434	6.8295	2.8115	7.7444	2.7325

정리하였다. ICT 자본 비용점유율을 국가별로 비교할 때, ICT 자본 비용점유율은 모든 산업에 대하여 미국에서 가장 크고, 한국에서 가장 작은 것으로 나타났다. 미국과 영국의 ICT 자본 비용점유율은 각각 0.0175~0.0253, 0.0122~0.0161 수준인데 반해, 한국의 ICT 자본 비용점유율은 0.0038~0.0051 수준에 불과하였다. 미국과 영국에서는 ICT 자본 가격이 평균적으로 감소하였으나 한국에서는 ICT 자본 가격이 평균적으로 상승하였음을 고려하면 ICT 자본의 투입증가폭은 한국보다 미국과 영국에서 두드러졌음을 알 수 있다. ICT 자본 비용점유율을 산업별로 비교할 때, 한국은 전기·가스·수도사업의 ICT 자본 비용점유율이 가장 낮은 반면, 미국과 영국은 전기·가스·수도사업의 ICT 자본 비용점유율이 가장 높은 것으로 분석되었다.

〈표 4〉 전기·가스·수도산업의 비용점유율 및 요소가격지수 기초통계

			ICT 자본(I)	비ICT 자본(K)	노동(L)	에너지·재료(O)
한국	비용점유율	평균	0.0038	0.4042	0.1000	0.4920
		변화율(%)	-1.5931	0.4053	0.9618	0.4369
	가격	평균	96.3410	67.7289	71.1993	80.4055
		변화율(%)	-0.5443	6.3175	13.3802	3.9998
미국	비용점유율	평균	0.0253	0.3967	0.1383	0.4398
		변화율(%)	6.5289	2.1215	1.0696	-1.3314
	가격	평균	171.1878	91.5026	77.4036	89.3810
		변화율(%)	-4.7092	4.6823	5.8521	4.2688
영국	비용점유율	평균	0.0161	0.2043	0.1187	0.6610
		변화율(%)	4.2660	0.4433	-2.1933	0.5039
	가격	평균	173.3860	92.4513	78.2913	108.7484
		변화율(%)	-6.1751	4.5057	5.7042	4.0804

V. 분석결과

본 연구는 SUR(Seemingly unrelated regression model) 방법론을 적용하여 우리나라, 미국, 영국의 제조업 및 전기·가스·수도사업에 대하여 식 (7)의 비용점유율 방정식을 추정하였다(Zellner, 1962). 여러 국가의 생산구조를 비교한 다수의 선행연구

(Griffin and Gregory, 1976; Roy et al., 2006; 박승록, 2014)는 각 국가의 비용점유율 및 요소가격 시계열을 패널(panel) 형태로 통합한 자료를 사용하였다. 개별국가의 시계열자료를 사용하는 것에 비해 패널자료를 사용할 때 얻을 수 있는 장점은 자료 수가 증가로 인하여 분석의 자유도가 증가한다는 것과 요소수요의 장기간 변화를 관찰할 수 있다는 것이다(Koetse et al, 2008). 그러나 패널자료를 사용할 경우에는 식 (7)의 비용점유율 방정식을 추정에 있어 β_{ij}가 서로 다른 국가에 대해 동일하다는 가정을 부과하게 된다(Roy et al., 2006). 이 가정은 상이한 생산요소 간의 대체성에 있어 국가 간 이질성(heterogeneity)을 고려하지 못하게 한다.[17] 따라서 본 연구는 국가에 따라 생산기술의 형태가 다르다고 간주하여, 국가별로 각각의 비용점유율 방정식을 추정하였다.[18] 마찬가지로 제조업과 전기·가스·수도사업의 생산구조가 다르다고 간주하여, 이들 산업을 별도로 분석하였다. <표 1>~<표 4>에 제시한 산업별·요소별 평균 비용점유율을 보면, 제조업 부문과 전기·가스·수도사업의 생산구조는 큰 차이가 있을 것으로 사료된다.

한국, 미국, 영국의 제조업 부문에 대하여 비용점유율 방정식 (7)을 추정한 결과를 <표 9>~<표 11>에 제시하였다(<부록> 참조). 이 경우 시계열자료의 개수는 최소 26개, 최대 28개에 불과한 상황에서 6개의 생산요소를 가정해야 하므로, 자유도 손실의 문제가 발생할 수 있다. 따라서 산업별 생산구조 차이의 가정을 다소 완화하여 에너지 집약적 제조업, 에너지 비집약적 제조업, 전체 제조업의 시계열 자료를 통합한 패널자료를 분석하였다.[19] 한국, 미국, 영국의 전기·가스·수도사업에 대하여

17) 식 (8)의 자기가격탄력성과 식 (9)의 모리시마 대체탄력성은 β_{ij}의 추정치에 근거해 산출된다. 즉, β_{ij}는 요소 간 대체 및 보완에 관한 생산기술을 대표하는 계수이다.

18) 국가별로 각각의 비용점유율 방정식을 추정하면 국가별 분석기간의 차이에서 야기되는 추정상 문제가 발생하지 않는다.

19) 개별 국가의 에너지 집약적 제조업, 에너지 비집약적 제조업, 전체 제조업의 β_{ij}는 동일하나 비용점유율의 상수항은 산업에 따라 다르다고 가정하였다. 그 결과, 제조업 부문의 비용점유율 방정식 (7)은 아래와 같이 재정의된다.

$$S_i = \beta_i + \delta_{iD_1} D_1 + \delta_{iD_2} D_2 + \sum_{j=1}^{n} \beta_{ij} \ln p_j; \quad i, j = 1, \cdots, n.$$

여기에서 D_1은 에너지 집약적 제조업을 나타내는 더미변수(dummy variable)이고 D_2는 에너지 비집약적 제조업을 나타내는 더미변수이다. 즉, 비용점유율 방정식의 상수항은 에너지 집약적 제조업에 대해서는 $\beta_i + \delta_{iD_1}$, 에너지 비집약적 제조업에 대해서는 $\beta_i + \delta_{iD_2}$, 전체 제조업에 대해서는 β_i로 계산될 수 있다.

비용점유율 방정식 (7)을 추정한 결과를 <표 12>~<표 14>에 제시하였다(<부록> 참조). 이 경우, 4개의 생산요소를 가정하기 때문에 우려할만한 정도의 자유도 손실이 발생하지 않는데다가 세부산업에 대한 자료를 구할 수 없으므로 시계열자료를 분석하였다.

1. 요소 간 대체성

한국, 미국, 영국의 에너지 집약적 제조업 부문 자기가격탄력성 및 모리시마 대체탄력성을 추정한 결과를 <표 5>에 제시하였다. 마찬가지로 에너지 비집약적 제조업 및 전체 제조업의 자기가격탄력성 및 모리시마 대체탄력성을 각각 <표 6>과 <표 7>에 제시하였다. 모든 국가 및 산업에 대하여 자기가격탄력성은 전 자료구간에 걸쳐 부(-)의 값을 가지므로 수요의 법칙을 만족하는 결과가 도출되었다고 볼 수 있다.[20)]

〈표 5〉 에너지 집약적 제조업: 자기가격탄력 및 모리시마 대체탄력성

i \ j	ICT 자본(I)	비ICT 자본(K)	노동(L)	전기(E)	연료(F)	재료(M)
1. 한국						
I	***-0.9980 (0.0024)	***0.9674 (0.0051)	***1.0305 (0.0051)	***1.0386 (0.0322)	***1.0111 (0.0020)	***0.9991 (0.0025)
K	-0.1758 (0.1524)	***-0.7715 (0.0392)	***0.9621 (0.0501)	***0.5103 (0.1780)	***0.8837 (0.0427)	***0.8877 (0.0434)
L	***1.7969 (0.1758)	***0.9756 (0.0307)	***-0.7759 (0.0186)	***0.7236 (0.1015)	***0.7881 (0.0264)	***0.9158 (0.0222)
E	***1.2105 (0.1869)	***0.9261 (0.0287)	***0.9662 (0.0200)	***-0.9743 (0.0086)	***1.0225 (0.0118)	***1.0166 (0.0068)
F	***1.4169 (0.0968)	***0.9882 (0.0234)	***0.8292 (0.0203)	***1.1919 (0.0958)	***-0.8048 (0.0521)	***1.0522 (0.0082)
M	**0.6228 (0.3070)	***1.0142 (0.0400)	***1.0835 (0.0247)	***1.2245 (0.2315)	***1.1660 (0.0213)	***-0.5469 (0.0183)

20) 이는 동일한 자료에 다른 생산요소의 가정을 적용해서 한국, 영국, 미국 제조업의 생산구조를 분석한 Kim and Heo(2013)과 다른 결과이다. Kim and Heo(2013)은 국지적 오목성을 사전 부과하지 않은 translog 함수를 추정하여 일부 생산요소 및 자료구간에 대해 정(+)의 자기가격탄력성이 나타남을 보였다. 본 연구는 Kim and Heo(2013)과 달리, 국지적 오목성을 사전적으로 부과한 translog 함수를 추정하여 생산자 이론의 쌍대성(duality) 가정에 잘 부합하는 결과를 제시하였다.

〈표 5〉 에너지 집약적 제조업: 자기가격탄력 및 모리시마 대체탄력성(계속)

i \ j	ICT 자본(I)	비ICT 자본(K)	노동(L)	전기(E)	연료(F)	재료(M)
2. 미국						
I	***-1.4076 (0.0478)	***1.4621 (0.0440)	***1.4439 (0.0443)	***1.3408 (0.0521)	***1.4355 (0.0491)	***1.4288 (0.0546)
K	***1.3584 (0.0993)	***-0.8367 (0.0286)	***0.8336 (0.0431)	***0.8995 (0.0741)	***0.8401 (0.1879)	***1.1471 (0.0397)
L	***1.1595 (0.1410)	***0.5428 (0.1177)	***-0.5547 (0.0448)	***0.5546 (0.1044)	-0.1001 (0.1163)	***1.0138 (0.0509)
E	***0.6895 (0.0774)	***0.9638 (0.0262)	***0.9428 (0.0154)	***-0.9424 (0.0071)	***0.8301 (0.0354)	***1.0907 (0.0146)
F	***1.0299 (0.0238)	***0.9496 (0.0611)	***0.8326 (0.0167)	***0.8464 (0.0324)	***-0.9401 (0.0284)	***1.1678 (0.0244)
M	***1.6108 (0.1850)	***1.9299 (0.0992)	***1.7952 (0.0380)	***2.3626 (0.1194)	***2.8425 (0.1880)	***-1.1666 (0.0833)
3. 영국						
I	***-0.9964 (0.0102)	***0.9549 (0.0316)	***1.0838 (0.1537)	***0.8993 (0.0365)	***1.0991 (0.0529)	***0.9812 (0.0166)
K	***0.5829 (0.3077)	***-1.0074 (0.0571)	***0.9194 (0.0220)	***0.8603 (0.0679)	***1.1160 (0.1273)	***1.3209 (0.0283)
L	***3.1855 (0.4506)	***0.1287 (0.0800)	***-0.4400 (0.0502)	***0.2483 (0.0756)	***0.3655 (0.1183)	***0.7800 (0.1063)
E	0.0362 (0.3211)	***0.7772 (0.0609)	***0.8631 (0.0218)	***-0.9058 (0.0358)	***1.5287 (0.1293)	***1.1246 (0.0250)
F	***1.7026 (0.1867)	***1.3875 (0.0460)	***1.3425 (0.0098)	***1.5950 (0.0515)	***-1.3388 (0.2263)	***1.3952 (0.0169)
M	0.0947 (0.0947)	***2.3535 (0.1330)	***1.3930 (0.0817)	***1.7884 (0.1495)	***1.4926 (0.2203)	***-0.9135 (0.1059)

주 1) 대각열에는 자기가격탄력성(η_{ii})을, 그 외에 대해서는 모리시마 대체탄력성(σ_{ij})을 기재하였다.
주 2) 괄호 안에는 가격탄력성과 모리시마 대체탄력성의 표준오차(standard error)를 기재하였다.
주 3) 자기가격탄력성과 모리시마대체탄력성의 평균 및 표준오차는 5,000번의 반복 시뮬레이션(Krinsky and Robb, 1986)에 의해 산출되었다.
주 4) ***, **, *은 각각 계수가 1%, 5%, 10% 수준에서 유의함을 의미한다.

1) 에너지 집약적 제조업

에너지 집약적 제조업 부문의 ICT 자본과 노동, ICT 자본과 전기, ICT 자본과 연료 간의 모리시마 대체탄력성 추정결과에서 나타나는 주요한 특징은 다음과 같다(<표 5> 참조). 첫째, 한국, 미국, 영국에서 ICT 자본과 노동 간에는 1% 수준에서 통계적으로 유의한 대체관계가 존재한다. ICT 자본가격 상승 시 노동수요의 상대적 변화를 나타내는 σ_{LI}는 한국에서 1.7969, 미국에서 1.1595, 영국에서 3.1855로 추정되었다. 노동가격 상승 시 ICT 자본수요의 상대적 변화를 나타내는 σ_{IL}는 한국에서 1.0305, 미국에서 1.4439, 영국에서 1.0838로 추정되었다. 둘째, ICT 자본과 전기는 대체재 관계에 있으며, 대부분의 대체탄력성은 통계적으로 유의하였다. ICT 자본가격 상승 시 전기수요의 상대적 변화를 나타내는 σ_{EI}는 한국에서 1.2105, 미국에서 0.6895, 영국에서 0.0362로 분석되었다. 전기가격 상승 시 ICT 자본수요의 상대적 변화를 나타내는 σ_{IE}는 한국에서 1.0386, 미국에서 1.3408, 영국에서 0.8993으로 분석되었다. 셋째, ICT 자본과 연료는 모두 1% 수준에서 통계적으로 유의한 대체재 관계에 있는 것으로 나타났다. ICT 자본가격 상승 시 연료수요의 상대적 변화를 나타내는 σ_{FI}는 한국에서 1.4169, 미국에서 1.0299, 영국에서 1.7026으로 분석되었다. 연료 가격상승 시 ICT 자본 수요의 상대적 변화를 나타내는 σ_{IF}는 한국에서 1.0111, 미국에서 1.4355, 영국에서 1.0991로 분석되었다.

에너지 집약적 제조업 부문의 자기가격탄력성 및 타 생산요소간 모리시마 대체탄력성 추정결과에서 나타나는 주요한 특징은 다음과 같이 요약될 수 있다(<표 5> 참조). 첫째, 자기가격탄력성의 크기가 가장 큰 생산요소, 즉, 가격 상승 시 가장 크게 수요가 감소하는 생산요소는 한국과 미국에서는 ICT 자본으로 나타났다. ICT 자본가격이 연평균 4.9414% 증가한 한국과는 달리 미국에서는 ICT 자본은 가격이 하락한 유일한 생산요소이다. 따라서 분석기간 동안 미국의 ICT 자본투입은 매우 빠른 속도로 증가하였을 것이라 예상된다. 영국의 경우, 연평균 가격증가율이 8.0221%로 가장 높은 생산요소인 연료의 자기가격탄력성의 크기가 가장 크게 나타났다. 이는 분석기간 동안 영국의 에너지 집약적 제조업에서는 다른 생산요소에 비해 연료 사용량의 감소가 두드러졌음을 의미한다. 둘째, 자기가격탄력성의 크기가 가장 작은

생산요소, 즉 가격 상승 시 수요 감소폭이 가장 작은 생산요소는 한국에서는 재료, 미국과 영국에서는 노동으로 나타났다. 셋째, 모든 모리시마 대체탄력성이 정(+)의 값을 가지는 것으로 추정되었다. 이는 3국의 에너지 집약적 제조업에서 모든 생산요소가 대체재 관계에 있음을 의미한다.

2) 에너지 비집약적 제조업

에너지 비집약적 제조업 부문의 ICT 자본과 노동, ICT 자본과 전기, ICT 자본과 연료 간의 모리시마 대체탄력성 추정결과에서 나타나는 주요한 특징은 다음과 같다(<표 6> 참조). 첫째, 한국, 미국, 영국에서 ICT 자본과 노동 간에는 1% 수준에서 통계적으로 유의한 대체관계가 존재한다. σ_{LI}는 한국에서 1.8999, 미국에서 1.1820, 영국에서 2.3828로 추정되었다. σ_{IL}는 한국에서 1.0241, 미국에서 1.4713, 영국에서 1.1176로 추정되었다. 둘째, ICT 자본과 전기는 1% 유의수준에서 통계적으로 유의한 대체재 관계에 있다. σ_{EI}는 한국에서 1.2299, 미국에서 0.6695, 영국에서 0.3064로 분석되었다. σ_{IE}는 한국에서 1.0749, 미국에서 1.2653, 영국에서 0.8561으로 분석되었다. 셋째, ICT 자본과 연료는 모두 1% 수준에서 통계적으로 유의한 대체재

〈표 6〉 에너지 비집약적 제조업: 자기가격탄력 및 모리시마 대체탄력성

i \ j	ICT 자본(I)	비ICT 자본(K)	노동(L)	전기(E)	연료(F)	재료(M)
1. 한국						
I	***-0.9977 (0.0045)	***0.9467 (0.0082)	***1.0241 (0.0039)	***1.0749 (0.0642)	***1.0729 (0.0166)	***1.0003 (0.0018)
K	-0.3350 (0.1698)	***-0.7564 (0.0627)	***0.8856 (0.0702)	0.0610 (0.3430)	***0.7244 (0.1412)	***0.8293 (0.0653)
L	***1.8999 (0.1879)	***1.0374 (0.0369)	***-0.7600 (0.0627)	***0.5602 (0.2100)	-0.0563 (0.1165)	***0.9354 (0.0167)
E	***1.2299 (0.2046)	***0.8821 (0.0460)	***0.9743 (0.0152)	***-0.9876 (0.0039)	***1.1837 (0.0970)	***1.0121 (0.0048)
F	***1.5223 (0.1051)	***1.0436 (0.0373)	***0.9399 (0.0154)	***1.4429 (0.1929)	***-1.0514 (0.0366)	***1.1082 (0.0058)
M	***0.5682 (0.3351)	***0.9754 (0.0639)	***1.0612 (0.0188)	***1.3806 (0.4648)	***1.9605 (0.1760)	***-0.3321 (0.0131)

〈표 6〉 에너지 비집약적 제조업: 자기가격탄력 및 모리시마 대체탄력성(계속)

i \ j	ICT 자본(I)	비ICT 자본(K)	노동(L)	전기(E)	연료(F)	재료(M)
2. 미국						
I	***-1.4373 (0.0509)	***1.5175 (0.0453)	***1.4713 (0.0475)	***1.2653 (0.0691)	***1.4794 (0.0585)	***1.4560 (0.0559)
K	***1.3831 (0.1057)	***-0.9117 (0.0348)	***0.8379 (0.0424)	***0.7786 (0.1631)	*0.5292 (0.5534)	***1.1120 (0.0296)
L	***1.1820 (0.1472)	*0.3036 (0.1779)	***-0.5536 (0.0443)	0.2054 (0.1938)	***-1.9288 (0.2913)	***0.9742 (0.0474)
E	***0.6695 (0.0822)	***0.9352 (0.0470)	***0.9437 (0.0152)	***-0.9736 (0.0326)	***0.5022 (0.1030)	***1.0678 (0.0109)
F	***1.0358 (0.0252)	***0.9122 (0.1093)	***0.8393 (0.0164)	***0.6643 (0.0712)	***-0.9772 (0.0326)	***1.1298 (0.0182)
M	***1.4695 (0.1967)	***2.0714 (0.1774)	***1.6476 (0.0375)	***3.1681 (0.2631)	***5.1579 (0.5492)	***-0.8864 (0.0623)
3. 영국						
I	***-0.9920 (0.0055)	***0.9407 (0.0383)	***1.1176 (0.0226)	***0.8561 (0.0500)	***1.1174 (0.0650)	***0.9861 (0.0122)
K	***0.7536 (0.2212)	***-1.0523 (0.0401)	***0.8527 (0.0325)	***0.7916 (0.0930)	***1.1417 (0.1567)	***1.2875 (0.0207)
L	***2.3828 (0.2896)	-0.1290 (0.1033)	***-0.4213 (0.0748)	***-0.0598 (0.1040)	0.1573 (0.1544)	***0.6520 (0.1153)
E	***0.3064 (0.2309)	***0.7279 (0.07440)	***0.7972 (0.0323)	***-0.9330 (0.0219)	***1.6495 (0.1590)	***1.0913 (0.0183)
F	***1.7012 (0.1340)	***1.4760 (0.0559)	***1.4102 (0.0145)	***1.7616 (0.0709)	-1.4368 (1.1710)	***1.4801 (0.0124)
M	0.3531 (0.5477)	***2.4815 (0.1613)	***1.3192 (0.1204)	***1.8581 (0.2049)	***1.4311 (0.2709)	***-0.6618 (0.0780)

주 1) 대각열에는 자기가격탄력성(η_{ii})을, 그 외에 대해서는 모리시마 대체탄력성(σ_{ij})을 기재하였다.
주 2) 괄호 안에는 가격탄력성과 모리시마 대체탄력성의 표준오차(standard error)를 기재하였다.
주 3) 자기가격탄력성과 모리시마대체탄력성의 평균 및 표준오차는 5,000번의 반복 시뮬레이션(Krinsky and Robb, 1986)에 의해 산출되었다.
주 4) ***, **, *은 각각 계수가 1%, 5%, 10% 수준에서 유의함을 의미한다.

관계에 있는 것으로 나타났다. σ_{FI}는 한국에서 1.5223, 미국에서 1.0385, 영국에서 1.7012로 분석되었다. σ_{IF}는 한국에서 1.0729, 미국에서 1.4794, 영국에서 1.1174로 분석되었다.

에너지 비집약적 제조업 부문의 자기가격탄력성 및 타 생산요소 간 모리시마 대체탄력성 추정결과에서 나타나는 주요한 특징은 다음과 같이 요약될 수 있다(<표 6> 참조). 첫째, 자기가격탄력성의 크기가 가장 큰 생산요소는 한국과 영국에서는 연료이며, 미국에서는 ICT 자본으로 나타났다. 분석기간 동안 미국에서 ICT 자본가격이 하락하였음을 고려하면, 에너지 비집약적 제조업에서도 미국의 ICT 자본 투입의 증가가 두드러졌음을 알 수 있다. 둘째, 자기가격탄력성의 크기가 가장 작은 생산요소는 한국에서는 재료, 미국과 영국에서는 노동으로 나타났다. 셋째, 한국의 σ_{KI}와 σ_{LF}, 미국의 σ_{LF}, 영국의 σ_{LK}와 σ_{LE}는 부(-)의 값을 가지는 것으로 분석되었다. 이때, 미국의 σ_{LF}는 통계적으로 유의한 부(-)의 값을 가지므로, 미국의 에너지 비집약적 제조업에서는 연료 가격 상승 시 노동이 연료를 보완하는 것으로 볼 수 있다. 넷째, 그 외 의 모든 모리시마 대체탄력성은 정(+)의 값을 가지는 것으로 추정되었다.

〈표 7〉 전체 제조업: 자기가격탄력 및 모리시마 대체탄력성

i \ j	ICT 자본(I)	비ICT 자본(K)	노동(L)	전기(E)	연료(F)	재료(M)
1. 한국						
I	***-0.9993 (0.0075)	***0.9572 (0.0067)	***1.0261 (0.0043)	***1.0549 (0.0465)	***1.0215 (0.0045)	***0.9999 (0.0020)
K	-0.2492 (0.1602)	***-0.7701 (0.0509)	***0.9214 (0.0593)	***0.3054 (0.2531)	***0.8370 (0.0622)	***0.8594 (0.0540)
L	***1.8475 (0.1798)	***1.0103 (0.0329)	***-0.7675 (0.0156)	***0.6552 (0.1509)	***0.6578 (0.0379)	***0.9292 (0.0185)
E	***1.2191 (0.1943)	***0.9043 (0.0374)	***0.9717 (0.0166)	***-0.9825 (0.0058)	***1.0495 (0.0260)	***1.0314 (0.0054)
F	***1.4447 (0.1002)	***0.9933 (0.0302)	***0.8698 (0.0170)	***1.2856 (0.1399)	***-0.9267 (0.0320)	***1.0552 (0.0065)
M	***0.5949 (0.3191)	***0.9920 (0.0519)	***1.0680 (0.0206)	***1.2910 (0.3373)	***1.2911 (0.0472)	***-0.4124 (0.0147)

〈표 7〉 전체 제조업: 자기가격탄력 및 모리시마 대체탄력성(계속)

i \ j	ICT 자본(I)	비ICT 자본(K)	노동(L)	전기(E)	연료(F)	재료(M)
2. 미국						
I	***-1.4227 (0.0492)	***1.4888 (0.0446)	***1.4577 (0.0460)	***1.3136 (0.0584)	***1.4548 (0.0521)	***1.4425 (0.0548)
K	***1.3708 (0.1026)	***-0.8814 (0.0664)	***0.8363 (0.0427)	***0.8513 (0.1093)	***0.7388 (0.3076)	***1.1234 (0.0331)
L	***1.1714 (0.1443)	***0.4339 (0.1451)	***-0.5541 (0.0442)	***0.4159 (0.1391)	***-0.6962 (0.1718)	***0.9876 (0.0485)
E	***0.6794 (0.0801)	***0.9507 (0.0357)	***0.9434 (0.0152)	***-0.9611 (0.0199)	***0.7230 (0.0577)	***1.0754 (0.0121)
F	***1.0321 (0.0245)	***0.9319 (0.0834)	***0.8359 (0.0165)	***0.7733 (0.0479)	***-0.9612 (0.0330)	***1.1412 (0.0203)
M	***1.5163 (0.1913)	***1.9648 (0.1345)	***1.6968 (0.0377)	***2.6459 (0.1761)	***3.5496 (0.30741)	***-0.9896 (0.0691)
3. 영국						
I	***-0.9935 (0.0067)	***0.9479 (0.0346)	***1.0985 (0.0187)	***0.8781 (0.0428)	***1.1050 (0.0575)	***0.9841 (0.0138)
K	***0.6996 (0.2444)	***-1.0297 (0.0435)	***0.8889 (0.0269)	***0.8268 (0.0797)	***1.1273 (0.1380)	***1.2953 (0.0235)
L	***2.6382 (0.3406)	***0.0126 (0.0901)	***-0.4424 (0.0614)	0.1040 (0.0889)	**0.2785 (0.1322)	***0.7204 (0.1077)
E	0.2312 (0.2563)	***0.7551 (0.0671)	***0.8332 (0.0267)	***-0.9208 (0.0280)	***1.5731 (0.1401)	***1.1035 (0.0208)
F	***1.6704 (0.1490)	***1.4201 (0.0506)	***1.3656 (0.0120)	***1.6648 (0.0609)	***-1.3769 (0.2178)	***1.4256 (0.0140)
M	0.2894 (0.6085)	***2.3931 (0.1456)	***1.3425 (0.0994)	***1.8069 (0.1756)	***1.4449 (0.2389)	***-0.7655 (0.0883)

주 1) 대각열에는 자기가격탄력성(η_{ii})을, 그 외에 대해서는 모리시마 대체탄력성(σ_{ij})을 기재하였다.
주 2) 괄호 안에는 가격탄력성과 모리시마 대체탄력성의 표준오차(standard error)를 기재하였다.
주 3) 자기가격탄력성과 모리시마대체탄력성의 평균 및 표준오차는 5,000번의 반복 시뮬레이션(Krinsky and Robb, 1986)에 의해 산출되었다.
주 4) ***, **, *은 각각 계수가 1%, 5%, 10% 수준에서 유의함을 의미한다.

3) 전체 제조업

전체 제조업 부문의 ICT 자본과 노동, ICT 자본과 전기, ICT 자본과 연료 간의 모리시마 대체탄력성 추정결과에서 나타나는 주요한 특징은 다음과 같다(<표 7> 참조). 첫째, 한국, 미국, 영국에서 ICT 자본과 노동 간에는 1% 수준에서 통계적으로 유의한 대체관계가 존재한다. σ_{LI}는 한국에서 1.8475, 미국에서 1.1714, 영국에서 2.6382로 추정되었다. σ_{IL}는 한국에서 1.0261, 미국에서 1.4577, 영국에서 1.0985로 추정되었다. 둘째, ICT 자본과 전기 간에는 대체관계가 존재하며, 대부분의 대체탄력성이 1% 유의수준에서 통계적으로 유의하였다. σ_{EI}는 한국에서 1.2191, 미국에서 0.6794, 영국에서 0.2312로 분석되었다. σ_{IE}는 한국에서 1.0549, 미국에서 1.3136, 영국에서 0.8781로 분석되었다. 셋째, ICT 자본과 연료는 모두 1% 수준에서 통계적으로 유의한 대체재 관계에 있는 것으로 나타났다. σ_{FI}는 한국에서 1.4447, 미국에서 1.0321, 영국에서 1.6704로 분석되었다. σ_{IF}는 한국에서 1.0215, 미국에서 1.4548, 영국에서 1.1050로 분석되었다.

전체 제조업 부문의 자기가격탄력성 및 타 생산요소간 모리시마 대체탄력성 추정결과에서 나타나는 주요한 특징은 다음과 같이 요약될 수 있다(<표 7> 참조). 첫째, 자기가격탄력성의 크기가 가장 큰 생산요소는 한국과 미국에서는 ICT 자본, 영국에서는 연료로 나타났다. 둘째, 자기가격탄력성의 크기가 가장 작은 생산요소는 한국에서는 재료, 미국과 영국에서는 노동으로 나타났다. 셋째, 한국의 σ_{KI}를 제외한 모든 모리시마 대체탄력성이 정(+)의 값을 가지는 것으로 나타났다. 한국의 10% 수준에서 σ_{KI}는 통계적으로 유의하지 않았다. 따라서 이 결과는 3국의 전체 제조업 부문에서 거의 모든 생산요소 간에 대체재 관계가 존재함을 의미한다. 본 연구에서 도출한 전체 제조업 부문의 생산요소간 대체재 및 보완재 관계는 유사한 생산요소의 구성을 가정하여 한국, 미국 및 영국 제조업의 요소 간 대체탄력성을 분석한 가장 최근의 연구인 김지효·허은녕(2010),[21] Feng and Serletis(2008),[22] 박승록(2014)와 일치한다.

---

21) 김지효·허은녕(2010)의 연구에서는 전기와 자본 간의 가격탄력성이 부(-)의 값을 가지는 것으로 분석되었다. 그러나 이들 가격탄력성 추정치를 이용해 계산한 전기와 자본 간 모리시마 대체탄력성은 정(+)의 값을 가지므로, 본 연구결과는 김지효·허은녕(2010)의 연구결과와 일치한다.

22) Feng and Serletis(2008)는 1953년부터 2001년까지의 미국 제조업 자료를 사용하여 정규성을 만족시키는 asymptotic ideal model 및 normalized quadratic 함수에 근거한 모리시마 대체탄력성 분석결과

4) 전기·가스·수도사업

전기·가스·수도사업의 ICT 자본과 노동, ICT 자본과 에너지·재료 간 모리시마 대체탄력성 추정결과에서 나타나는 주요한 특징은 다음과 같다(<표 8> 참조). 첫째, 한국, 미국, 영국에서 ICT 자본과 노동 간에는 1% 수준에서 통계적으로 유의한 대체관계가 존재한다. σ_{LI}는 한국에서 1.5272, 미국에서 0.7771, 영국에서 2.4010로 추정되었다. σ_{IL}는 한국에서 1.0273, 미국에서 1.3795, 영국에서 1.1601로 추정되었다. 둘째, ICT 자본과 에너지·재료 간에는 가격비율의 변화 방향에 따라 대체관계 여부가 달라지는 것으로 분석되었다. ICT 자본가격 상승 시 에너지·재료의 수요 변화를 나타내는 σ_{OI}는 한국에서 1.3158, 미국에서 −0.3673, 영국에서 −0.0441로 추정되었다. 에너지·재료의 가격 상승 시 ICT 자본의 수요 변화를 나타내는 σ_{IO}는 한국에서 1.0049, 미국에서 1.2925, 영국에서 0.9941로 추정되었다. 즉, 에너지·재료가격 상승 시 ICT 자본은 에너지·재료를 대체하는 반면, ICT 자본가격 상승 시 에너지·재료의 수요변화 양상은 국가에 따라 다르게 나타났다.

전기·가스·수도사업의 자기가격탄력성 및 타 생산요소간 모리시마 대체탄력성 추정결과에서 나타나는 주요한 특징은 다음과 같이 요약될 수 있다(<표 8> 참조). 첫째, 자기가격탄력성의 크기가 가장 큰 생산요소는 3개 국가에서 모두 ICT 자본으로 나타났다. 분석기간 동안 3개 국가의 전기·가스·수도사업 부문에서는 ICT 자본 가격이 평균적으로 하락하였다. 따라서 ICT 자본의 자기가격탄력성 추정결과는 이들 국가에서 ICT 자본의 투입 증가가 다른 요소의 투입량 증가에 비해 두드러졌음을 의미한다. 둘째, 자기가격탄력성의 크기가 가장 작은 생산요소는 3개 국가에서 모두 에너지·재료로 나타났다. 이는 에너지·재료의 투입이 중요한 전기·가스·수도사업의 특성과 관련된 것으로 보인다. 셋째, 한국의 σ_{KI}, 미국과 영국의 σ_{OI}는 부(-)의 값을 가지는 것으로 분석되었다. 그 외 모든 요소 간 모리시마 대체탄력성은 통계적으로 유의한 정(+)의 값을 가지는 것으로 분석되었다.

를 제시하였다. asymptotic ideal model에 근거한 모리시마 대체탄력성의 경우, 일부 요소 간 보완성을 의미하는 추정치를 제시하였다. 그러나 normalized quadratic 함수에 근거한 모리시마 대체탄력성은 모든 요소에 대해 정(+)의 값을 가지는 것으로 나타났다.

〈표 8〉 전기·가스·수도사업: 자기가격탄력성 및 모리시마 대체탄력성

i \ j	ICT 자본(I)	비ICT 자본(K)	노동(L)	에너지·재료(O)
1. 한국				
I	***-0.9974(0.0010)	***0.9904(0.0029)	***1.0273(0.0077)	***1.0049(0.0012)
K	-0.3885(0.3216)	***-0.3613(0.0538)	***0.6215(0.1408)	***0.6114(0.0919)
L	***1.5272(0.2263)	***0.8100(0.0939)	***-0.7456(0.0729)	***0.8382(0.0739)
O	***1.3158(0.1565)	***0.6541(0.0502)	***0.8057(0.0817)	***-0.3502(0.0491)
2. 미국				
I	***-1.3181(0.0915)	***1.4052(0.1053)	***1.3795(0.0533)	***1.2925(0.0965)
K	***2.1728(0.3169)	***-0.6043(0.0636)	***1.0516(0.1542)	***0.9299(0.0634)
L	***0.7771(0.1547)	***0.5536(0.1872)	***-0.3975(0.1367)	**0.3602(0.1501)
O	*-0.3673(0.1782)	***0.6237(0.0702)	***0.1515(0.0749)	***-0.2627(0.0682)
3. 영국				
I	***-0.9972(0.0375)	***0.9940(0.0379)	***1.1601(0.0352)	***0.9941(0.0393)
K	***0.5347(0.1631)	***-0.6313(0.0972)	***0.8280(0.1687)	***0.7924(0.1229)
L	***2.4010(0.0791)	***1.1060(0.0919)	***-0.9915(0.0555)	***1.1052(0.0631)
O	-0.0441(0.1319)	***0.7917(0.0965)	***0.9035(0.1030)	***-0.2717(0.0424)

주 1) 대각열에는 자기가격탄력성(η_{ii})을, 그 외에 대해서는 모리시마 대체탄력성(σ_{ij})을 기재하였다.
주 2) 괄호 안에는 가격탄력성과 모리시마 대체탄력성의 표준오차(standard error)를 기재하였다.
주 3) 자기가격탄력성과 모리시마대체탄력성의 평균 및 표준오차는 5,000번의 반복 시뮬레이션(Krinsky and Robb, 1986)에 의해 산출되었다.
주 4) ***, **, *은 각각 계수가 1%, 5%, 10% 수준에서 유의함을 의미한다.

2. ICT 자본 투입이 노동 및 에너지 수요에 미치는 영향

<표 5>~<표 8>에서 제시된 에너지 집약적 제조업, 에너지 비집약적 제조업, 전체 제조업, 전기·가스·수도사업 부문에서 생산요소의 모리시마 대체탄력성 추정결과를 통해 ICT 자본의 투입이 노동 및 에너지 수요에 어떠한 영향을 미치는지 논의할 수 있다. <표 5>~<표 7>을 보면, 3개국의 모든 제조업 부문에서 σ_{IL},. σ_{LI} , σ_{IE}, σ_{EI}, σ_{IF}, σ_{FI}의 추정치는 정(+)의 값을 가지며, 이들 중 대부분은 통계적으로 유의하였다. <표 8>을 보면, 3개국의 전기·가스·수도사업에서 σ_{IL}, σ_{LI}는 통계적으로 유의한

정(+)의 값을 가지는 반면, σ_{IO}와 σ_{OI}의 부호는 엇갈리는 것으로 분석되었다. 이러한 모리시마 대체탄력성에 근거해서 ICT 자본 투입이 노동 및 에너지 수요에 미치는 영향을 고찰하기 위해서는 모리시마 대체탄력성의 비대칭성을 고려해야한다(Kim and Heo, 2013). 즉, 모리시마 대체탄력성은 가격비율의 변화 방향에 따라 그 크기와 부호가 달라지는 비대칭성을 가지고 있으므로, ICT 자본의 가격상승률과 노동 및 에너지의 가격상승률을 비교하여 어느 방향의 대체가 우세한지를 파악해야 한다(<표 1>~<표 4> 참조).

분석기간 동안 3개 국가의 모든 산업 부문에 대해 ICT 자본의 가격상승률보다 노동의 가격상승률이 높은 것으로 나타났다. 이는 노동가격 상승 시 ICT 자본수요 변화가 ICT 자본가격 상승 시 노동수요 변화보다 두드러질 것임을 시사한다. 3개 국가의 에너지 집약적 제조업, 에너지 비집약적 제조업, 전체 제조업, 전기·가스·수도 사업에 대해, 노동가격 상승 시 ICT 자본수요 변화를 나타내는 σ_{IL}는 모두 1보다 크고 1% 수준에서 통계적으로 유의한 것으로 추정되었다. 이는 3개 국가의 주요 산업 부문에서 ICT 자본이 노동을 대체하며, 그 정도가 탄력적임을 의미하는 결과이다. 본 연구결과는 선행연구에서 논의한 ICT와 노동 간 관계에 영향을 미치는 여러 유형의 영향들이 복합되어 ICT 자본투입 증가는 궁극적으로 노동수요 감소로 이어짐을 시사한다. 이는 ICT의 확산이 고용없는 성장(jobless growth)로 이어질 수 있다는 일각의 우려(박승록, 2013)를 뒷받침한다.

σ_{IL}의 크기를 국가별로 비교하면, 모든 산업 부문에 대해 미국의 σ_{IL}의 크기가 가장 크고 한국의 σ_{IL}의 크기가 가장 작은 것으로 분석되었다. 이는 3개 국가 중에서 노동가격 상승 시 ICT 자본으로 노동을 대체하는 정도가 가장 큰 나라가 미국임을 의미한다. 또한 미국과 영국에서는 분석기간 동안 ICT 자본가격이 감소하였음을 감안할 때, 통계적으로 유의한 정(+)의 값을 가지는 σ_{LI}의 추정치는 ICT 자본 가격하락으로 인해 ICT 자본과 대체관계에 있는 노동의 수요가 감소하였음을 시사한다. 즉, ICT 자본 투입으로 인한 노동수요의 감소는 한국보다는 미국과 영국에서 두드러지게 나타난다. 이는 ICT 선진국일수록 ICT 자본이 노동을 대체하는 경향이 심화됨을 시사한다.

한국에서는 모든 제조업 부문에서 ICT 자본 가격상승률이 전기 가격상승률보다

높은 반면, 미국과 영국에서는 모든 제조업 부문에 대해 ICT 자본 가격상승률이 전기 가격상승률보다 낮은 것으로 나타났다. 즉, 한국 제조업 부문에서는 ICT 자본가격 상승 시 전기가 ICT 자본을 대체하는 경향이 ICT 자본이 전기를 대체하는 경향보다 우세하다. 반면, 미국과 영국 제조업 부문에서는 ICT 자본이 전기를 대체하는 경향이 우세하다. 이러한 요소가격변화의 상대적 차이를 고려하면, 분석기간 동안 미국과 영국의 제조업 부문에서는 ICT 자본투입은 전기의 수요를 감소시키는데 기여한 반면, 한국의 제조업에서는 그렇지 않은 것으로 보인다. 이 때, σ_{IE}의 추정치에 근거하면 영국에 비해 미국의 제조업 부문에서 ICT 자본투입으로 인한 전기수요 감소가 두드러지는 것을 알 수 있다. 단, 한국 제조업에서 전기가격 변화 시 ICT 자본 수요 변화를 나타내는 σ_{IE}의 추정치는 모두 1% 수준에서 통계적으로 유의하게 나타났다는 결과를 주목할 필요가 있다. σ_{IE}의 추정결과는 만약 전기가격이 ICT 자본 가격에 비해 빠르게 상승한다면, 한국 제조업은 ICT 자본 투입을 통해 전기수요의 감소를 달성할 수 있는 생산구조임을 시사한다.

한국의 에너지 집약적 제조업에서는 ICT 자본 가격상승률이 연료 가격상승률보다 높은 반면, 에너지 비집약적 제조업에서는 ICT 자본 가격상승률이 연료 가격상승률보다 낮았다. 이는 한국의 에너지 집약적 제조업에서는 연료로 ICT 자본을 대체하는 경향이 우세하였으나 에너지 비집약적 제조업에서는 ICT 자본으로 연료를 대체하는 경향이 우세함을 나타낸다. 미국과 영국은 모든 제조업 부문에 대해 ICT 자본 가격상승률이 연료 가격상승률보다 낮았다. 따라서 미국과 영국에서는 ICT 자본이 연료의 사용을 감소시키는데 기여하였음을 알 수 있다.

전기·가스·수도사업의 경우 3개 국가에서 ICT 자본 가격상승률이 에너지·재료 가격상승률보다 낮았다. 이 때, 에너지·재료가격 상승 시 ICT 자본 수요변화를 나타내는 σ_{IO} 가 모두 통계적으로 유의한 정(+)의 값을 가지도록 추정되었다는 결과에 근거하면, 3개 국가의 전기·가스·수도사업에서는 ICT 자본이 에너지·재료의 수요를 감소시키는데 기여하였다고 볼 수 있다. σ_{IO}의 크기를 국가별로 비교하면, ICT 자본 투입이 에너지·재료의 수요를 감소시키는 정도는 미국에서 가장 크며, 영국에서 가장 작은 것으로 나타났다. 한국에서 σ_{IO}는 1보다 큰 값을 가지므로, ICT 자본 투입

이 증가할 경우 한국의 전기·가스·수도사업의 에너지·재료는 탄력적으로 감소하는 것으로 분석되었다.

이상의 논의결과를 요약하면 ICT 자본의 가격상승률이 타 생산요소의 가격상승률보다 낮은 미국과 영국에서는 제조업과 전기·가스·수도사업에 걸쳐 ICT 자본 투입으로 인해 노동 및 에너지의 수요는 감소한다. 그러나 ICT 자본의 가격상승률이 노동의 가격상승률보다는 낮으나 에너지의 가격상승률보다 높은 한국 제조업 부문에서는 ICT 자본 투입이 노동 수요의 감소에는 기여하지만 에너지의 수요 감소에 기여한다고 보기는 어렵다. 한국 제조업에서 ICT 자본과 전기 및 연료가 보완성을 가지는 것은 아니므로, 전기 및 연료 등 에너지의 가격상승률이 ICT 자본의 가격상승률보다 높아진다면 ICT 자본이 에너지 수요를 대체하는 방향으로 생산구조 변화가 가능할 것이다. 한국의 전기 · 가스 · 수도사업에서 ICT 자본 투입은 노동 및 에너지 · 재료의 수요를 탄력적으로 감소시키는데 기여한다.

Ⅵ. 결 론

본 연구는 한국, 미국, 영국의 제조업 및 전기·가스·수도사업의 요소 간 대체관계를 분석하여, 창조경제의 화두인 ICT의 확산이 노동 및 에너지의 수요에 어떠한 영향을 미치는지 파악하고자 하였다. 한국에 대해서는 1980년부터 2005년까지의 시계열자료를, 미국과 영국에 대해서는 1980년부터 2007년까지의 시계열자료를 분석하였다. 제조업 부문은 에너지 집약적 제조업, 에너지 비집약적 제조업, 전체 제조업으로 구분하고, ICT 자본(I), 비ICT 자본(K), 노동(L), 전기(E), 연료(F), 재료(M)을 생산요소로 가정하여 자기가격탄력성 및 모리시마 대체탄력성을 추정하였다. 전기·가스·수도사업은 산업의 특성 및 데이터 가용성을 고려하여, ICT 자본(I), 비ICT 자본(K), 노동(L), 에너지·재료(M)을 생산요소로 가정하여 자기가격탄력성 및 모리시마 대체탄력성을 추정하였다.

모리시마 대체탄력성 추정결과와 요소의 상대적 가격변화를 고려할 때, 한국, 미국, 영국의 제조업 및 전기·가스·수도사업에서 ICT 자본은 노동을 탄력적으로 대체하여 노동 수요를 감소시키는 것으로 나타났다. ICT 자본에 비해 전기 및 연료의 가

격증가율이 높은 미국과 영국의 제조업에서 ICT 자본은 전기 및 연료를 거의 탄력적으로 대체하여 에너지 수요를 감소시키는 것으로 나타났다. 한국의 제조업에서 ICT 자본과 전기 및 연료가 대체관계에 있는 것으로 분석되었다. 그러나 한국 제조업에서는 ICT 자본의 가격상승률이 전기 및 연료의 가격상승률보다 높아, ICT 자본과 전기 및 연료 간 대체관계가 ICT 자본이 이들 에너지의 수요 감소에 기여함을 의미한다고 보기 어렵다. 한국, 미국, 영국의 전기·가스·수도사업에서 ICT 자본은 에너지·재료를 거의 탄력적으로 대체하여 에너지·재료 수요를 감소시키는 것으로 분석되었다.

ICT가 노동 수요에 미치는 영향을 고찰한 선행연구에 비추어 본 연구의 결과를 해석하면, 본 연구에서 도출한 ICT 자본과 노동 간 대체성은 ICT로 인한 생산성 개선 및 저학력노동 수요의 감소의 효과가 ICT로 인한 고학력노동 수요의 증가 및 신산업 고용창출의 효과보다 우세함을 시사한다. ICT가 에너지 수요에 미치는 영향은 분석한 선행연구는 ICT는 생산 패러다임 변화 및 효율성 증진을 유도하여 에너지 수요 감소에 기여한다는 주장과 ICT 관련 기기의 도입은 전기 수요의 증가를 야기한다는 주장으로 분류된다. 본 연구 결과, 대체의 방향성에는 차이가 있으나 한국, 미국, 영국의 산업에서 ICT 자본과 에너지는 전반적으로 대체성을 가지는 것으로 분석되었다. 따라서 본 연구 결과는 ICT가 에너지 수요 감소에 기여할 수 있다는 전자의 주장을 뒷받침한다.

본 연구의 의의는 다음의 세 가지로 요약될 수 있다. 첫째, 본 연구의 주요한 결과는 창조경제의 주요한 요소인 ICT의 확산이 우리나라 주요 산업의 생산구조에 어떠한 영향을 미칠 수 있는지 예측하는데 활용될 수 있다. 또한 ICT 도입을 통해 산업부문의 에너지를 절약하기 위해서는 ICT 자본과 에너지의 상대가격 변화도 중요한 요인이라는 정책적 시사점을 도출하였다. 둘째, 본 연구는 한국과 주요 ICT 선진국인 미국과 영국의 사례를 비교 분석하였다. 미국과 영국은 한국과 유사한 산업구조를 가지고 있지는 않지만 ICT 자본의 비용점유율이 한국에 비해 월등하게 높다. 따라서 미국과 영국의 사례 분석결과는 향후 한국 산업에서 ICT가 현재보다 확산될 경우의 생산구조를 유추할 수 있는 참고자료로 활용될 수 있다. 셋째, 본 연구는 ICT의 확산이 경제에 미치는 영향에 관한 기존 연구를 확장하고 보강하였다. 본 연

구는 ICT 자본, 노동, 에너지를 개별적인 생산요소로 간주하는 비용함수를 최초로 분석하여, ICT 자본이 타 생산요소에 미치는 영향을 종합적으로 도출하였다.

본 연구는 자료의 한계로 인해 최근의 생산구조 변화를 반영하지 못했다는 한계를 가진다. 특히, 한국의 경우 한국의 경우 2005년까지만 산업별 ICT 투자 자료가 존재하여, 2005년 이후 ICT 확산으로 인한 산업의 생산구조 변화를 분석하지 못하였다. 그리고 제조업과 전기·가스·수도사업로 분석대상이 한정된 것도 본 연구의 주요한 한계라 하겠다. 지식기반사회로 변화함에 따라 서비스업의 중요성도 증대되고 있으며, 서비스업에서의 ICT확산도 매우 중요한 이슈로 다루어지고 있다. 따라서 서비스업에서의 ICT확산이 고용 및 에너지 수요에 어떠한 영향을 미치는지를 고찰하는 후속 연구가 필요할 것이다. 마지막으로 본 연구결과는 ICT가 노동 및 에너지 수요에 종합적으로 미치는 영향만 분석하였을 뿐, 어떠한 경로를 통해 이들 수요에 영향을 미치는지는 분석하지 못하였다. 후속연구에서는 선행연구에서 언급한 세부 영향요인들을 각각 고려하여 이 영향요인들의 효과를 합산할 필요가 있다고 사료된다.

[References]

1. 고윤미,『해외 창조지수 현황 분석 및 국내 창조경제지수 개발을 위한 제언』, Issue Paper 2013-03, 한국과학기술기획평가원, 2013.
2. 김지효· 허은녕, “정규성 개선에 중점을 둔 제조업 에너지 수요구조 모형 연구: 오목성 조건을 만족하는 Translog 비용함수 모형”,「자원환경경제연구」, 제19권 제3호, 2010, pp. 633-658.
3. 남성일, “한국의 노동수요: 문헌연구”,「노동경제논집」, 제 36권, 제 1호, 2013, pp. 1-44.
4. 문성배· 홍동표, “요소대체성, 요소편향적 기술변화가 고학력노동 수요 결정에 미친 영향 분석”,「경제학연구」, 제 52집, 제4호, 2004, pp. 63-86.
5. 박승록, “창조경제에서 정보통신기술의 활용과 일자리 창출 및 성장”,「2014 경제학 공동학술대회 (사)한국생산성학회 발표논문집」, 2014, pp. 27-52.
6. 산업자원통상부,『제2차 에너지기본계획』, 2014.

7. 서환주·허재준·이영수, “ICT확산, 기업조직, 제품차별화, 숙련노동의 보완관계”, 「경제학연구」, 제52집, 제 2호, 2004, pp. 33-65.
8. 정선영, “정보통신산업의 총요소생산성 국제비교: 기술적 효율성을 감안한 접근방법”, 「경제학연구」, 제59집, 제1호, 2011, pp. 25-53.
9. 조상섭, “정보통신자본(IT capital stock)의 노동생산성 기여도 분석”, 「정보통신정책연구」, 제9권, 제1호, 2002, pp. 119-139.
10. 홍효진·홍필기·이영수, “IT투자가 노동수요에 미치는 영향에 관한 연구”, 「정보화정책」, 제17권, 제4호, 2010, pp. 44-60.
11. Barnett, W. A., Y. W. Lee, and M. D. Wolfe, “The three dimensional global properties of the minflex laurent, generalized leontief, and translog flexible functional forms,” *Journal of Econometrics*, Vol. 30, 1985, pp. 3-31.
12. Berndt, E. R., C. J. Morrison, and L. S. Rosenblum, 『High-tech capital formation and labor composition in U.S. manufacturing industries: An exploratory analysis』, NBER Working Paper No. 4010, National Bureau of Economic Research, Cambridge, 1992.
13. Berndt, E. R., and D. O. Wood, “Technology, prices, and the derived demand for energy,” *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 57, 1975, pp. 259-268.
14. Binswanger, H. P., “A cost function approach to the measurement of elasticities of factor demand and elasticities of substitution,” *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 56, 1974, pp. 377-386.
15. Blackorby, C. and P. R. Russell, “Will the real elasticity of substitution please stand up? (A comparison of Allen/Uzawa and Morishima elasticities),” *The American Economic Review*, Vol. 79, 1989, pp. 882-888.
16. Cho, Y., J. Lee, and T-Y. Kim, “The impact of ICT investment and energy price on industrial electricity demand: dynamic growth model approach,” *Energy Policy*, Vol. 35(9), 2007, pp. 4730-4738.
17. Christensen, L. R., D. W., Jorgenson, and L. J. Lau, “Transcendental logarithmic production frontiers,” *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 55, 1973, pp. 28-45.
18. Chun, H., “Information technology and the demand for educated workers: disentangling the impacts of adoption versus use,” *Review of Economics and Statistics*, Vol. 85,

2003, pp. 1-8.

19. Collard, F., P. Fève, and F. Portier, (2005) “Electricity consumption and ICT in the French service sector,” Energy Economics, 27, pp. 541-550.
20. Considine, T. J., “Separability, functional form and regualtory policy in models of interfuel substitution,” *Energy Economics*, Vol. 11, 1989, pp. 82-94.
21. Considine, T. J., and T. D. Mount, “The use of linear logit models for dynamic input demand systems,” The Review of Economics and Statistics, Vol. 66, 1984, pp. 434-443.
22. Diewert, W. E. “Exact and superlative index numbers,” *Journal of Econometrics*, Vol. 4, 1976, pp. 115-145.
23. Diewert, W. E., and T. J. Wales, “Flexible functional forms and global curvature conditions,” *Econometrica*, Vol. 55, 1987, pp. 43-68.
24. EU KLEMS, 『EU KLEMS Growth and Productivity Accounts』, 2013.
25. Feng. G. and A. Serletis, “Productivity trends in U.S. manufacturing: Evidence from the NQ and AIM cost functions,” *Journal of Econometrics*, Vol. 142, 2008, pp. 281-311.
26. Griffin, J. M. and P. R. Gregory, “An intercountry translog model of energy substitution responses,” *The American Economic Review*, Vol. 66, 1976, pp. 845-857.
27. IEA, 『Energy Blances of OECD Countries 2011 Edition』, International Energy Agency, Paris, 2011.
28. IEA, 『Energy Prices and Taxes: Quarterly Statistics(First Quarter 2012)』, International Energy Agency, Paris, 2012.
29. Jalava, J. and M. Pohjola, (2007) “ICT as a source of output and productivity growth in Finland,” *Telecommunication Policy*, Vol. 31, 2007, pp. 463-472.
30. Jones, C. T., “A dynamic analysis of interfuel substitution in U.S. industrial energy demand,” *Journal of Business and Economic Statistics*, Vol. 13, 1995, pp. 459-465.
31. Kim, J., 『Separability and Substitutability between Energy and Capital: Evidences from KLEM Analyses of 10 OECD Countries』, Ph.D. Dissertation, Department of Energy Systems Engineering, Seoul National University, 2012.
32. Kim, J. and E. Heo, “Asymmetric substitutability between energy and capital: Evidence form the manufacturing sectors in 10 OECD countries,” *Energy Economics*, Vol. 40, 2013, pp. 81-89.

33. Kim, T-Y. and A. Heshmati,『Economic Growth: The New Perspectives for Theory and Policy』, Springer, 2014.
34. Koetse, M. J., H. L. F. de Groot, and R. J. G. M. Florax, “Capital-energy substitution and shifts in factor demand: A meta-analysis,” *Energy Economics*, Vol. 30, 2008, pp. 2236-2251.
35. Krinsky, I. and A. L. Robb, “On approximating the statistics properties of elasticities,” *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 68, 1986, pp. 715-719.
36. Martínez, D., J. Rodríguez, and J. L. Torres, “ICT-specific technological change and productivity growth in the US: 1980-2004,” *Information Economics and Policy*, Vol. 22, 2010, pp. 121-129.
37. Mills, M. P.,『The Internet Begins with Coal: A Preliminary Exploration of the Impact of the Internet on Electricity Consumption』Greening Earth Society, Arlington, VA, 1999.
38. O’Mahony, M., C. Robinson, and M. Vecchi, “The impact of ICT on the demand for skilled labour: A cross-country comparison,” *Labour Economics*, Vol. 15, 2008, pp. 1435-1450.
39. Oliner, S. D. and D. E. Sichel, “Information technology and productivity: where are we now and where are we going?” *Journal of Policy Modeling*, Vol. 25, 2003, pp. 477-503.
40. Park, S.-H., “Decomposition of industrial energy consumption: An alternative method,” *Energy Economics*, Vol. 14, 1992, pp. 265-270.
41. Romm, J., “The internet and the new energy economy,” *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 36, 2002, pp. 197-210.
42. Roy, J., A. H. Sanstad, J. A. Sathaye, and R. Khaddaria, “Substitution and price elasticity estimates using inter-country pooled data in a translog cost model,” *Energy Economics*, Vol. 28, 2006, pp. 706-719.
43. Ryan, D. L., and T. J. Wales, “Imposing local concavity in the translog and generalized Leontief cost functions,” *Economics Letters*, Vol. 67, 2000, pp. 253-260.
44. Sadorsky, P., “Information communication technology and electricity consumption in emerging economics,” *Energy Policy*, Vol. 48, 2012, pp. 130-136.

45. Serletis, A., G. Timilsina, and O. Vasetsky, “International evidence on sectoral interfuel substitution,” *The Energy Journal*, Vol. 31, 2010, pp. 1-29.
46. Solow, R.,『We’d Better Watchout』, New York Times Book Review, 1987.
47. Steinbucks, J. “Interfuel substitution and energy use in the U.K. manufacturing sector,” *The Energy Journal*, Vol. 33, 2012, pp. 1-30.
48. Takase, K., and Y. Murota, “The impact of IT investment on energy: Japan and US comparison in 2010,” *Energy Policy*, Vol. 32(11), 2004, pp. 1291-1301.
49. Timmer, M. P. and B. van Ark, “Does information and communication technology drive EU-US productivity growth differentials?” *Oxford Economic Papers*, Vol. 57(4), 2005, pp. 693-716.
50. Timmer, M., T. van Moergastel, E. Stuivenwold, and G. Ypma,『EU KLEMS Growth and Productivity Accounts』, Version 1.0 ed., EU KLEMS consortium, 2007.
51. Walker, W. “Information technology and the use of energy,” *Energy Policy*, Vol. 13(5), 1985, pp. 458-476.
52. Zakeri, Z., M. E. Kalukan, V. Faaliyat, and E. Cheraian, “The job creation potential of the information and communication technology sector: the case of Iran,” *International Conference on Economics and Finance Research*, Vol. 32, 2012, pp. 22-25.
53. Zellner, A., “An efficient method of estimating seemingly unrelated regressions and test for aggregation bias,” *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 57, 1962, pp. 348-368.

〈부록 표 1〉 비용함수 추정결과(한국, 제조업)

계수	추정치	계수	추정치
β_I	***0.0067(0.0004)	β_{KE}	***-0.0091(0.0035)
β_K	***0.1061(0.0023)	β_{KF}	-0.0026(0.0029)
β_L	***0.1626(0.0026)	β_{KM}	-0.0049(0.0049)
β_E	***0.0115(0.0011)	β_{LL}	***0.0118(0.0024)
β_F	***0.0873(0.0051)	β_{LE}	*-0.0044(0.0026)
β_M	***0.6258(0.0047)	β_{LF}	***-0.0232(0.0026)
β_{II}	-1.0310×10^{-5}(0.2149)	β_{LM}	0.0038(0.0032)
β_{IK}	***-0.0043(0.0006)	β_{EE}	-2.8532×10^{-6}(1.4461)
β_{IL}	***0.0036(0.0007)	β_{EF}	*0.0043(0.0023)
β_{IE}	0.0009(0.0008)	β_{EM}	**0.0083(0.0034)
β_{IF}	***0.0016***(0.0004)	β_{FF}	0.0019(0.1214)
β_{IM}	-0.0017(0.0012)	β_{FM}	***0.0216(0.0041)
β_{KK}	**0.0127(0.0048)	β_{MM}	***-0.0272(0.0092)
β_{KL}	***0.0083(0.0022)		
Dummy 변수			
δ_{ID_1}	**-0.0008(0.0004)	δ_{ED_1}	***0.0089(0.0010)
δ_{ID_2}	0.0007(0.0005)	δ_{ED_2}	-0.0014(0.0012)
δ_{KD_1}	***0.0274(0.0027)	δ_{FD_1}	***0.1055(0.0104)
δ_{KD_2}	***-0.0244(0.0051)	δ_{FD_2}	***-0.0706(0.0056)
δ_{LD_1}	***-0.0215(0.0039)	δ_{MD_1}	***0.8805(0.0074)
δ_{LD_2}	***0.0109(0.0034)	δ_{MD_2}	***1.0849(0.0077)
Number of observations			78
Log likelihood			1402.3

주 1) I는 ICT 자본, K는 비ICT 자본, L은 노동, E는 전기, F는 연료, M은 재료를 의미한다.
주 2) D_1과 D_2는 각각 에너지 집약적 제조업과 에너지 비집약적 제조업을 나타내는 더미변수이다.
주 3) 괄호 안에는 표준오차(standard error)를 기재하였다.
주 3) ***, **, *은 각각 계수가 1%, 5%, 10% 수준에서 유의함을 의미한다.

〈부록 표 2〉 비용함수 추정결과(미국, 제조업)

계수	추정치	계수	추정치
β_I	***0.0242(0.0030)	β_{KE}	-0.0058(0.0042)
β_K	***0.1269(0.0074)	β_{KF}	-0.0084(0.0098)
β_L	***0.2855(0.0026)	β_{KM}	***0.0581(0.0159)
β_E	***0.0385(0.0011)	β_{LL}	***0.0442(0.0131)
β_F	***0.0371(0.0040)	β_{LE}	***-0.0167(0.0045)
β_M	***0.4878(0.0114)	β_{LF}	***-0.0495(0.0049)
β_{II}	***-0.0068(0.0008)	β_{LM}	***0.0663(0.0111)
β_{IK}	***0.0056(0.0016)	β_{EE}	-4.2133×10^{-6}(2.6629)
β_{IL}	***0.0049(0.0019)	β_{EF}	***-0.0089(0.0018)
β_{IE}	***-0.0049(0.0012)	β_{EM}	***0.0363(0.0058)
β_{IF}	0.00044(0.0004)	β_{FF}	-0.0001(0.3107)
β_{IM}	0.0007(0.0029)	β_{FM}	***0.0664(0.0098)
β_{KK}	-0.0003(0.0183)	β_{MM}	***-0.2278(0.0334)
β_{KL}	***-0.0492(0.0126)		
Dummy 변수			
δ_{ID_1}	**0.1050(0.0004)	δ_{ED_1}	***0.0177(0.0015)
δ_{ID_2}	**-0.0007(0.0004)	δ_{ED_2}	***-0.0140(0.0017)
δ_{KD_1}	***0.0448(0.0107)	δ_{FD_1}	***0.0249(0.0062)
δ_{KD_2}	***-0.0303(0.0100)	δ_{FD_2}	-0.0046(0.0064)
δ_{LD_1}	-0.0037(0.0044)	δ_{MD_1}	***0.9153(0.0141)
δ_{LD_2}	**-0.0114(0.0048)	δ_{MD_2}	***1.0610(0.0157)
Number of observations			84
Log likelihood			1360.5

주 1) I는 ICT 자본, K는 비ICT 자본, L은 노동, E는 전기, F는 연료, M은 재료를 의미한다.
주 2) D_1과 D_2는 각각 에너지 집약적 제조업과 에너지 비집약적 제조업을 나타내는 더미변수이다.
주 3) 괄호 안에는 표준오차(standard error)를 기재하였다.
주 3) ***, **, *은 각각 계수가 1%, 5%, 10% 수준에서 유의함을 의미한다.

〈부록 표 3〉 비용함수 추정결과(영국, 제조업)

계수	추정치	계수	추정치
β_I	***0.0166(0.0018)	β_{KE}	***-0.0224(0.0052)
β_K	***0.0794(0.0029)	β_{KF}	0.0012(0.0036)
β_L	***0.2710(0.0025)	β_{KM}	*-0.0132(0.0071)
β_E	***0.0613(0.0033)	β_{LL}	***0.0777(0.0156)
β_F	***0.0248(0.0028)	β_{LE}	***-0.0414(0.0066)
β_M	***0.5469(0.0066)	β_{LF}	***-0.0131(0.0030)
β_{II}	-4.4426×10^{-6}(0.48401)	β_{LM}	0.0100(0.0251)
β_{IK}	-0.0040(0.0047)	β_{EE}	-6.0281×10^{-7}(5.7161)
β_{IL}	***0.0231(0.0047)	β_{EF}	***0.0191(0.0038)
β_{IE}	***-0.0087(0.0030)	β_{EM}	***0.0533(0.0105)
β_{IF}	*0.0028(0.0016)	β_{FF}	-5.9519×10^{-7}(4.0062)
β_{IM}	-0.0132(0.0082)	β_{FM}	-0.0100(0.0070)
β_{KK}	-4.2303×10^{-6}(3.5755)	β_{MM}	***-0.1215(0.0454)
β_{KL}	***-0.0562(0.0066)		
Dummy 변수			
δ_{ID_1}	-6.2779×10^{-5}(0.0017)	δ_{ED_1}	***0.0153(0.0055)
δ_{ID_2}	0.0021(0.0017)	δ_{ED_2}	0.0042(0.0042)
δ_{KD_1}	0.0002(0.0046)	δ_{FD_1}	0.3157(0.0047)
δ_{KD_2}	0.0025(0.0041)	δ_{FD_2}	***0.0216(0.0056)
δ_{LD_1}	***0.0699(0.0037)	δ_{MD_1}	***0.9115(0.0105)
δ_{LD_2}	***-0.0657(0.0033)	δ_{MD_2}	***1.0353(0.0095)
Number of observations			84
Log likelihood			1253.1

주 1) I는 ICT 자본, K는 비ICT 자본, L은 노동, E는 전기, F는 연료, M은 재료를 의미한다.
주 2) D_1과 D_2는 각각 에너지 집약적 제조업과 에너지 비집약적 제조업을 나타내는 더미변수이다.
주 3) 괄호 안에는 표준오차(standard error)를 기재하였다.
주 3) ***, **, *은 각각 계수가 1%, 5%, 10% 수준에서 유의함을 의미한다.

〈부록 표 4〉 비용함수 추정결과(한국, 전기·가스·수도사업)

계수	추정치	계수	추정치
β_I	***0.0035(0.00041)	β_{IO}	***0.0018(0.0006)
β_K	***0.4205(0.0114)	β_{OO}	***0.0921(0.0211)
β_L	***0.1015(0.0047)	β_{KL}	-0.0140(0.0108)
β_O	***0.4745(0.0145)	β_{KO}	***-0.0739(0.0198)
β_{II}	-4.6196×10^{-6}(0.3530)	β_{LL}	**0.0150(0.0071)
β_{IK}	***-0.0043(0.0011)	β_{LO}	-0.0035(0.0079)
β_{IL}	***0.0025(0.0007)	β_{OO}	***0.0757(00.0235)
Number of observations			26
Log likelihood			250.99

주 1) I는 ICT 자본, K는 비ICT 자본, L은 노동, O은 에너지·재료를 의미한다.
주 2) 괄호 안에는 표준오차(standard error)를 기재하였다.
주 3) ***, **, *은 각각 계수가 1%, 5%, 10% 수준에서 유의함을 의미한다.

〈부록 표 5〉 비용함수 추정결과(미국, 전기·가스·수도사업)

계수	추정치	계수	추정치
β_I	***0.0300(0.0006)	β_{IO}	***-0.0217(0.0036)
β_K	***0.3773(0.0140)	β_{KK}	-0.0004(0.0914)
β_L	***0.1479(0.0020)	β_{KL}	0.0069(0.0210)
β_O	***0.4448(0.0154)	β_{KO}	-0.0303(0.0271)
β_{II}	***-0.0070(0.0019)	β_{LL}	***0.0631(0.0186)
β_{IK}	***0.0238(0.0054)	β_{LO}	***0.0749(0.0102)
β_{IL}	0.0049(0.0057)	β_{OO}	***0.1269(0.0291)
Number of observations			28
Log likelihood			276.63

주 1) I는 ICT 자본, K는 비ICT 자본, L은 노동, O은 에너지·재료를 의미한다.
주 2) 괄호 안에는 표준오차(standard error)를 기재하였다.
주 3) ***, **, *은 각각 계수가 1%, 5%, 10% 수준에서 유의함을 의미한다.

〈부록 표 6〉 비용함수 추정결과(영국, 전기·가스·수도사업)

계수	추정치	계수	추정치
β_I	***0.0222(0.0005)	β_{IO}	***-0.0126(0.0017)
β_K	***0.2106(0.0036)	β_{KK}	*0.0332(0.0196)
β_L	***0.1079(0.0036)	β_{KL}	-0.0009(0.0119)
β_O	***0.6593(0.0066)	β_{KO}	-0.0284(0.0195)
β_{II}	-0.0002(0.0005)	β_{LL}	***-0.0125(0.0063)
β_{IK}	**-0.0039(0.0018)	β_{LO}	-0.0033(0.0116)
β_{IL}	***0.0166(0.0010)	β_{OO}	0.0443(0.0279)
Number of observations			28
Log likelihood			293.98

주 1) I는 ICT 자본, K는 비ICT 자본, L은 노동, O은 에너지·재료를 의미한다.
주 2) 괄호 안에는 표준오차(standard error)를 기재하였다.
주 3) ***, **, *은 각각 계수가 1%, 5%, 10% 수준에서 유의함을 의미한다.