

한국 폐자원에너지기업의 기술수준 영향요인 분석

김근우 · 윤혜리 · 박중구[†]

서울과학기술대학교 에너지환경대학원

(2014년 7월 23일 접수, 2015년 5월 18일 수정, 2015년 5월 21일 채택)

An Analysis on the Determinants of Technological Level in Korean Waste-to-Energy Firms

Geun-U, Kim, Hye-ri, Yun, Jung-Gu, Park[†]

Graduate School of Energy & Environment, Seoul National University of Science and Technology

(Received 23 July 2014, Revised 18 May 2015, Accepted 21 May 2015)

요 약

본 논문은 한국 폐자원에너지기업을 대상으로 R&D 효율성을 평가하는 지표 중 하나로서 현재의 기술수준과 이에 영향을 미치는 요인에 대해 기술경제이론에 근거하여 분석하였다. 연구 방법으로는 한국 폐자원에너지기업을 대상으로 한 설문조사 데이터를 이용해 다항로지스틱회귀분석을 활용하였다.

분석의 결과, 국내 폐자원에너지기업의 기업규모, R&D투자 비중, R&D인력 비중은 기술수준에 긍정적인 영향을 미치지만, 국내시장 경쟁정도가 심할수록 기술수준에 부정적인 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 반면, 규모의 경제는 기술수준에 유의미한 영향을 미치지 못하는 것으로 분석되었다.

이러한 분석결과에 따른 정책적 시사점은 시장경쟁 과열이 기업의 기술수준에 부정적인 영향을 미치지 않도록 이해관계자 간 상생할 수 있는 협력체계를 구축해야 하며, 또한 생산량 증대 및 생산비용 감소를 통해 기업이 규모의 경제효과를 거둘 수 있도록 하는 노력이 필요하다는 것이다.

주요어 : 한국 폐자원에너지기업, 기술수준, R&D투자, R&D인력, 시장경쟁

Abstract - This study analyzes the technological level of Korean waste-to-energy(WTE) firms and its determinants by using a multiple logistic regression analysis based on a survey.

As the results of analysis, the technological level of Korean WTE firms has been positively influenced by the firm size, R&D expenditures, R&D manpower, but negatively influenced by the competition in domestic market. Also there is no significant effect of the economy of scale.

The policy implications of this study are as follows; First, the system in which stakeholders coevolve should be set up to prevent excessive market competition from having a bad effect on the technological level of Korean WTE firms. Second, it is needed to make an effort to achieve the economy of scale by increasing an output and decreasing cost in WTE firms.

Key words : Korean Waste-to-Energy Firms, Technological level, R&D expenditures, R&D manpower, Market competition

[†]To whom corresponding should be addressed.

Graduate School of Energy & Environment,
Seoul National University of Science and Technology,

To whom correspondence should be addressed.

E-mail: pjg@seoultech.ac.kr

1. 서론

21세기 들어 세계 각국은 온실가스 감축목표를 설정하고 저탄소에너지 공급시스템을 구축하기 위해 신재생에너지산업을 적극적으로 육성하고 있다. 세계적인 경기침체에도 불구하고 신재생에너지에 대한 투자는 지속적인 증가추세를 보이고 있으며, 2012년 신규로 2,850억 달러를 넘는 실적을 기록하였다[36]. 우리나라도 기후변화와 에너지수급에 대응하면서 새로운 성장동력을 필요로 하는 경제적 상황과 맞물려 범정부 차원에서 신재생에너지를 적극 육성하고 있다[20]. 실제로 정부는 신재생에너지 분야 연구개발(research & development, 이하 R&D)투자를 지속적으로 증가시키고 있으며, 2011년에는 4,575억 원을 투자하였다[34].

신재생에너지 중에서 폐자원에너지는 기존의 폐기물을 자원으로 순환하여 에너지로 이용하는 체계를 구축한다는 점에서 주목받고 있다. 실제 2011년 세계 1차 에너지공급량 중 폐기물에너지(바이오포함)는 약 10.0%를 차지했다[12]. 뿐만 아니라 세계적으로 폐자원에너지화 시장은 2008년 199억 달러에서 2013년 262억 달러로 연평균 5.6%씩 성장하였으며[17], 2015년부터 2020년까지는 연평균 6.9%의 비율로 성장할 것으로 전망된다[43]. 특히 앞선 기술로 다수의 폐자원에너지화 플랜트를 갖춘 서유럽 시장과 가파른 인구 증가로 인해 쓰레기문제가 대두되는 아시아 시장의 성장이 예상된다[43]. 이미 유럽연합(EU)은 1999년에 매립지침(landfill directive)을 수립하여 에너지화가 가능한 폐자원의 직매립을 금지하고 있다. 이를 통해 유럽 전체에서 RDF(refuse derived fuel) 생산과 이용이 매우 활성화되어 있다[21]. 한편, 중국은 산업화와 도시화로 인한 도시고형폐기물(municipal solid waste)의 급증, 경제성장으로 인한 에너지수요의 증가, 온실가스 감축의 동시적 대안으로 폐기물에너지화에 상당한 지원을 하고 있다[29].

국내에서도 폐기물에너지는 2012년 기준 신재생에너지 보급량 중 67.77%를 차지[19]하여 신재생에너지 중 가장 높은 공급기여도를 보이고 있다. 정부는 2008년 “폐자원 및 바이오매스 에너지화 종합대책”을 수립하였고, 동 실행계획에 따르면 2020년까지 폐자원에너지화 사업에 소요될 총 사업비는 3조7,734억 원에 이른대[32]. 또한 “제3차 신·재생에너지 기술개발 및 이용·보급 기본계획”에서 폐기물에너지를 통한

신·재생에너지보급량을 2020년에 7,764,000 TOE, 2030년에 11,021,000 TOE로 계획하였다[33]. 이는 2030년까지 폐기물에너지 보급량을 연평균 4.0%씩 증대시키는 계획이라고 할 수 있다.

그럼에도 불구하고 국내 폐자원에너지산업의 분야별 기술수준은 최고기술보유국 대비 77.8%로, 약 4.0~4.6년의 기술격차가 있는 것으로 분석되었다[24]. 실제 국내 대규모 폐자원에너지화 시설에는 주로 해외기술이 적용(75%)되고, 소규모 시설에만 국내기술이 적용(80%) 중인 것으로 조사된 바 있다[22]. 따라서 폐자원에너지화 시장에 참여하는 기업들이 기술혁신을 통해 자체기술을 확보하고 실용화능력을 갖춰 산업전체의 기술수준을 제고시킬 필요가 있다.

본고는 한국 폐자원에너지기업들의 R&D 효율성을 평가하는 지표 중 하나로서 현재의 기술수준과 이에 영향을 미치는 요인 간 인과관계를 기술경제이론에 근거하여 분석하기로 한다.

논문의 구성은 I 장 서론에 이어, II장에서 선행연구를 살펴본다. III장에서는 기술수준에 영향을 미치는 요인별 선행연구를 바탕으로 한국 폐자원에너지기업의 기술수준에 대한 가설을 설정하고, 분석방법을 제시한다. IV장에서는 분석결과를 설명한다. 마지막으로 V장에서는 분석결과를 바탕으로 정책적 시사점을 도출하고 연구의 한계점과 향후 연구 과제를 제시하기로 한다.

2. 선행연구

기술혁신에 대한 논의는 기업의 기술혁신을 좌우하는 요인을 둘러싸고 다양한 방식으로 이루어지고 있다[13]. (<Table 2.1> 참조) Hecker & Ganter(2013)는 혁신을 기술혁신과 경영혁신으로 크게 분류하고, 독일기업을 대상으로 한 설문자료를 바탕으로 기술혁신과 경영혁신의 결정요인 간 중요한 차이가 있음을 분석하였다. 즉 시장경쟁이 증가할수록 기술혁신에 긍정적인 영향을 미치지만 특정 수준을 넘는 과잉경쟁 시에는 기술혁신에 부정적인 영향을 미치는 역U자형 관계가 성립하는 반면, 현장혁신, 지식경영혁신, 대외협력혁신 등 경영혁신에는 줄기차게 긍정적인 영향을 미치는 것으로 분석되었다[1]. Wang(2007)[44]과 신진교·장수덕(2009)[40] 등은 제품혁신과 기업의 경영성과가 기술혁신에 대한 투자규모보다는 혁신활동의 효율성에 영향을 받는다고 분석하고 있다. 김도훈·최

종열(2011)은 한국의 제조업을 대상으로 R&D 인력과 R&D 투자, 그리고 기업특성요인으로 기업규모가 제품 혁신 효율성에 긍정적인 영향을 미치고, 제품혁신 효율성이 증가할수록 경영성능이 개선되고 있다는 것을 분석하였다[18]. Damanpour(2010)는 1983년부터 2003년 동안 나온 기업규모와 시장경쟁이 제품 및 공정 혁신에 미치는 영향에 관한 논문들을 meta-analysis한

결과, 기업규모는 공정혁신보다 제품혁신에 영향을 미치는 반면, 시장경쟁은 제품혁신보다 공정혁신에 영향을 미치는 것으로 나타났다[4]. 이창수 외(2009)는 국내 에너지기업의 R&D 효율성을 평가하는 지표로서 세계최고수준 대비 현재의 기술수준을 설정하고 기술수준을 결정하는 요인을 기술경제이론과 경영자원의 존이론을 통해 살펴본 결과, 규모의 경제효과와 전·

Table 2.1. Referring to the Literature

author (year)	subject of analysis	method-ology	variables	analysis result
Hecker & Ganter (2013)	German firms	Survey	Technology · management innovation, market competition, firm size, speed of technological change, R&D intensity, innovation inhibitors, public support, etc.	There are significance differences in the determinants of technological and management innovation. While inverse U shape relationship exists between market competition and technology innovation, the market competition influences the management innovation positively.
Eric C. Wang (2007)	OECD 23 countries, other 7 countries	Stochastic frontier analysis (SFA)	R&D efficiency, R&D expenditures · manpower, patent, economic performance, external environmental factors, papers	The product innovation and business performances are influenced by R&D efficiency. The economic performances get improved as the R&D resources are used efficiently in national.
Shin · Jang (2010)	Korean SMEs	Survey, firm's data, regression analysis	Financial results, rewards, R&D efficiency, education and training, link with external techniques, financial support of government, etc.	Education and training and the linkage with external techniques influenced the efficiency of R&D expenditures positively, as the efficiency of R&D expenditures increased financial results got improved.
Kim · Choi (2011)	Korean manufacturing firms	Stochastic frontier analysis (SFA)	Efficiency of innovation, patent, R&D expenditures · manpower, firm size, government support, listed or not, etc.	R&D expenditures · manpower and firm size contributed to the efficiency of product innovation, the business performance get improved as the efficiency increased.
Fariborz Damanpour (2010)	Empirical study data related to product · process innovation	Meta analysis	Product · process innovation, market competition, firm size	Analyzed empirical research data on the relation between Product · process innovation and firm size · market competition. While firm size influenced product innovation, market competition influenced process innovation.
Lee et al. (2009)	Korean energy firms	Survey, multiple logistic regression analysis	Technological level, R&D expenditures · manpower, firm size, market competition, economy of scale, cooperation with R&D stream firms	Examined the R&D efficiency in Korean energy industry. The technological level is analyzed to have been positively influenced by economy of scale effect and cooperations for R&D between upstream and downstream firms.
Flor & Oltra (2004)	Spanish ceramic tile industry	Survey, comparative analysis	Technology innovation, R&D budget · group, R&D project with other organization, level of educational background of staff, literature-based innovation output, patent, etc.	Indicators of firms' technological innovation activity were reviewed and classified. The method based on direct information(self-assessment by managers) is more effective in identifying both product and process innovators. The method with secondary information(literature-based innovation output) provides the best results when identifying product innovators alone.

후방기업 간 상호협력 관계가 한국 에너지기업의 기술수준에 긍정적 영향을 미치는 것으로 분석하였다 [28]. 마지막으로, Flor & Oltra(2004)는 기술혁신을 분석하는 방법으로 설문 등 직접적인 정보를 이용하는 방법이 제품혁신과 공정혁신을 식별하는데 더 효과적인 반면, 문헌(literature-based innovation output, LBIO) 등 간접적인 방법은 제품혁신을 식별하는데만 효과적이라고 분석하였다[30].

본 논문은 선행연구를 기반으로 하여 한국의 폐자원에너지기업의 기술수준과 결정요인이라고 할 수 있는 기업규모, 국내시장의 경쟁정도, 매출액 대비 R&D 투자 비중, 총 종업원수 대비 R&D인력 비중, 규모의 경제 등 5가지 주요 변수 간 인과관계를 분석하기로 한다.

3. 가설설정 및 분석방법

3-1. 가설설정

3-1-1. 기술경제이론

모든 산업에서 기술수준은 기업들의 자체적인 기술개발 노력에 크게 의존한다. 기업들은 경쟁적으로 R&D투자를 늘리고 R&D인력을 확보하여 자사의 기술영역(technological frontier)을 확대함으로써 신기술, 신제품을 개발하거나 생산하고자 한다. 이를 통해 시장점유율을 확대하고 매출액을 증대시키며, 여기서 창출된 수익으로 R&D투자를 증대시킴으로써 신기술·신제품의 개발 및 상업화를 촉진하고 있다. 따라서 어느 한 기업이나 한 산업, 한 나라의 성장과 기술개발은 상호 긍정적(+), 효과가 있는 것으로 분석된다 (Gomulka, 1990)[8]. 더 나아가, Dosi(1988)[5]는 기술개발능력(technological capability)의 차이가 기업 간, 국가 간 성장률 및 소득격차를 유발한다고 주장하고 있다.

본 연구는 기술경제이론에 입각하여 국내 폐자원에너지기업들의 독자적인(endogenous) 기술개발을 결정하는 요인들에 대해 기존의 선행연구들을 살펴보고, 한국 폐자원에너지기업들의 기술수준과 관련된 가설들을 설정하기로 한다.

① 기업규모 (통제변수)

기술혁신에 관한 산업조직론적 분석은 대기업과 중소기업 중 어느 규모의 기업이 보다 효율적으로 기술개발을 수행하고 있는지에 초점이 모아져 있다.

Schumpeter(1942)[38], Galbraith(1956)[7] 등은 대기업이 신기술을 빨리 이용할 수 있는 생산설비, 마케팅 및 자금조달능력 등을 확보하고 있기 때문에 기술혁신 과정에서 중소기업보다 더 유리한 위치에 있다고 분석하고 있다. 즉, 기술개발에는 막대한 R&D투자가 필요한 반면, 결과의 불확실성이 크기 때문에 이를 감당해 낼 수 있는 대기업이 중소기업보다 더 효율적이라는 것이다.

반면, Scherer(1980) 등은 중소기업이 기술개발에 보다 효율적이라는 반론을 제기하고 있다. 즉 기술개발에 대한 투자결정시 중소기업이 대기업보다 혁신적 기술에 신속적으로 대응할 수 있으며, R&D에 있어서도 최소 효율규모가 존재한다고 주장하고 있다[37]. Greer(1992)는 Scherer(1980)의 실증분석을 인용하면서, 기업규모의 증가가 임계점(critical point)에 도달하면, 이후 R&D 활동에 별로 영향을 미치지 못한다는 분석이 다수라고 주장하고 있다. 즉 기술혁신은 수많은 작은(minor) 발명들이 모여 이루어지는데, 이러한 작은 발명은 대기업보다 관료적이지(bureaucratic) 않고 혁신지향적인 중소기업에서 훨씬 더 많이 이뤄지고 있다는 것이다[9]. Sturgeon & Lee(2001)는 산업조직의 변화요인으로 혁신관련 행위(innovation-related activities)가 생산관련 행위(production-related activities)와 분리(delinking)되는 현상을 제기하면서 Schumpeter 대기업형 산업조직보다 분산형 중소기업 산업조직이 기술경쟁에서 우위에 서고 있다고 분석하고 있다[42].

국내의 선행연구를 살펴보면, 이원영·정진승(1985)[27], 김적교·조병택(1989)[16] 등은 한국 제조업의 경우 기업의 절대적 규모가 커질수록 기술개발 집약도는 감소하는 것으로 분석하고 있다. 또한 김도훈·최종열(2011)은 종업원수의 로그변환값을 기업규모의 대리변수로 하여 제품혁신 성과를 분석하고 있는데, 기업규모가 커질수록 제품혁신 성과가 향상되는 것으로 나타났으나, 기업규모의 제곱변수가 통계적으로 유의한 음(-)의 관계에 있어 기업규모와 제품혁신 성과 간에는 역U자 관계가 성립하여 기업규모가 특정 수준을 넘어설 경우 제품혁신 성과에 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났대[18].

그러나 현재 위와 같이 대립되는 견해 중 어느 것이 더 타당한 것인지에 대해서는 일반적 이론체계가 확립되어있지 않다. 결국, 기술개발의 특성에 대한 추정기간·시점, 업종별 특성, 표본기업의 수·규모별 분

포·연령 등 미시경제적 접근방법에 따라 달라질 수밖에 없을 것이다. 이러한 상반된 가설을 한국 폐자원 에너지기업을 대상으로 검증하기 위해 가설 1을 설정하기로 한다.

가설 1 : 한국 폐자원에너지기업에 있어서 ‘기업규모’가 클수록 해당기업의 기술수준이 높다.

② 국내시장 경쟁정도

Schumpeter(1934[39], 1942[38])는 19세기 말 유럽의 산업구조를 연구한 결과 새로운 아이디어, 신상품 및 신공정 등의 개발을 통해 시장에 진입한 혁신적 기업은 생산·조직·유통 등에서 기존의 방식을 탈피하여 독점적 준(準)지대(quasi-rent) 내지 초과이윤을 획득하게 된다는 사실을 발견했다. 나아가 Schumpeter는 기술혁신에 의한 이러한 독점적 준지대 내지 독점력의 획득이 기업들로 하여금 기술혁신을 하도록 하는 촉진요인(incentive)이 되는 동시에, 독점이윤을 획득한 기업은 R&D 자금을 조달하는데 더 유리하다고 보았다¹⁾. 한편, Scherer(1980)는 1964-1978년의 미국 에너지기업 87개 업종을 표본으로 한 Schumpeter 가설 검증에서 R&D변수와 시장집중도 간에 상당히 높은 상관관계가 존재하고 있다고 분석하고 있다²⁾.

반면, Arrow(1962)[3]는 동일한 초기비용과 수요조건 하에서는 시장구조가 독점적일 때보다 경쟁적일 때 기술진보에 대한 인센티브(incentive)가 더 크다고 주장했다.

이러한 양분된 주장과 달리 최근의 연구는 혁신과 경쟁간의 관계가 역 U자 모양을 따른다고 주장한다 [32]. Hecker & Ganter(2013)는 CIS(community innovation survey) IV의 2002-2004년 데이터를 활용하여 독일기업 2,789개를 대상으로 시장의 경쟁정도와 기술혁신 간 관계를 분석한 결과, 역U자 모양의 관계가 존재한다고 분석하였다[1]. 즉 경쟁강도가 중간 수준일 때 혁신에 대한 인센티브(incentive)가 최대화된다는 것이다. 이러한 선행연구를 바탕으로 한국 폐자원에너지기업의 기술수준과 이에 영향을 미치는 국내 시장구조에 대해 다음과 같은 가설 2를 설정한다.

가설 2 : 한국 폐자원에너지기업에 있어서 ‘국내시장 구조’가 경쟁적일수록 해당기업의 기술수준은 높다.

③ R&D투자 비중

R&D투자는 Schumpeter가설의 검정을 위한 모델의 종속변수, 즉 기술혁신을 나타내는 대리변수지표로 널리 이용되고 있다. 그러나 엄밀히 말하면 R&D투자액은 기술혁신 그 자체라기보다는 Scherer(1980)의 분석에서와 같이 이를 달성하기 위한 투입지표라고 할 수 있다. 일반적으로 R&D투자의 비중이 높을수록 기술혁신의 성과지표라고 할 수 있는 기업(또는 산업)의 생산성 증가율이나 매출액 증가율, 특허 건수 등이 크며, 해당기업의 기술수준이 다른 기업들에 비해 높다고 할 수 있다. 김도훈·최종열(2011)은 제조업 제품 혁신 성과 결정요인으로 제품혁신활동과 직접적인 관련이 있는 R&D투자가 제품혁신 성과 효율성에 긍정적인 영향을 미친 것으로 분석하였다. Hecker & Ganter(2013)는 독일기업을 대상으로 R&D투자가 기술혁신에 긍정적인 영향을 미친 것으로 분석하였다. 이러한 선행연구를 바탕으로 한국 폐자원에너지기업의 기술수준과 이에 영향을 미치는 R&D투자에 대해 다음의 가설 3을 설정한다.

가설 3 : 한국 폐자원에너지기업에 있어서 ‘R&D투자 비중’이 높을수록 해당기업의 기술수준은 높다.

④ R&D인력 비중

기술개발을 위한 환경요인으로서 R&D인력의 중요성은 아무리 강조해도 지나침이 없다. 특히 기업들이 종래의 자본주도형에서 한 단계 더 나아가 선진국과 같은 혁신주도형 단계에 진입하는 시점에서는 더욱 그러하다. 즉, 산업발전의 후발개도국(기업)으로서 선진국(기업) 기술의 모방단계를 벗어나 재래기술의 혁신을 효율적으로 추진하고 중요 첨단기술을 독자적 역량으로 개발하기 위해서는 그 주역이라고 할 수 있는 우수한 R&D인력의 확보가 매우 중요하다. 즉 R&D역량 중 현대 기업의 인적자원은 곧 경쟁력의 원

1) Kamien & Schwarz(1982)와 Nelson & Winter(1982) 등은 Schumpeter가 설정한 시장구조와 기술혁신간의 관계에 관한 가설을 Schumpeter Mark I로, 기업규모와 기술혁신간의 관계에 관한 가설을 Schumpeter Mark II로 명명하고 있다.

2) Scherer는 기술진보율(혁신) 즉 종속변수의 대리변수로서 성과지표인 노동생산성의 평균상승률을 이에 영향을 미치는 독립변수로서 혁신의 투입지표인 연구개발투자 변수를 포함하고 있다.

천이며 혁신의 주체라고 할 수 있다[15]. 기술개발인력을 충분히 확보하고 있는 기업은 국내외 경쟁업체에 비해 신기술을 개발할 수 있는 능력을 갖추고 있기 때문에 경쟁력을 한층 더 강화할 수 있다고 말할 수 있다. 국내의 선행연구 중 김도훈·최종열(2011)은 제품혁신활동과 직접적인 관련이 있는 R&D인력이 제품혁신의 성과에 통계적으로 유의한 영향을 미치는 것으로 분석하였다. Eldred & Mcgrath(1997)는 신제품 개발활동의 R&D체계 요인이 조직의 구조, 조직특성, R&D인력 등으로 구성된다고 하였다[6]. 또한 Souitaris(2002)는 그리스의 제조업을 대상으로 기업의 R&D인력의 규모와 질, R&D투자와 같은 R&D역량이 혁신성과의 중요한 결정요인임을 분석하였다[41]. Hecker & Ganter(2013)도 R&D인력의 질을 나타내는 독립변수로서 직원의 학력을 도입하여 기술혁신에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 분석한 바 있다. 이에 따라 한국 폐자원에너지기업의 기술수준과 이에 영향을 미치는 R&D인력에 대해 다음과 같은 가설 4를 설정한다.

가설 4 : ‘R&D인력’을 국내외 경쟁사에 비해 상대적으로 충분히 확보하고 있는 경우 그 기업의 기술수준은 높다.

⑤ 규모의 경제

기업이 수익을 극대화하기 위해서는 생산량이 증가함에 따라 단위생산비용이 감소하는 규모의 경제효과를 거둘 필요가 있다. 실제로 세계적인 에너지기업들은 규모의 경제효과를 거두기 위해 R&D 및 생산에 대한 투자를 증대시키고 있다. 또한 안정된 시장의 확보와 경쟁력 강화를 위해 적정규모의 기술투자를 하고 있다. Xiaoyan Zhou 외(2013)[45]은 기술진보를 파악하는 지표로서 총요소생산성(total factor productivity, TFP)을 사용하였으며, TFP의 구성요소 중 하나로 규모효율성(scale efficiency)의 변화를 측정하였다. 이에 따라 한국 폐자원에너지기업의 기술수준과 이에 영향을 미치는 규모의 경제효과에 대해 다음과 같은 가설 5를 설정한다.

가설 5 : 한국 폐자원에너지기업에 있어서 ‘규모의 경제’를 이룰수록 해당기업의 기술수준은 높다.

3-2. 분석방법

국내외 경쟁기업과 비교한 기술수준을 구체적 실물 통계로 구하기에는 많은 어려움이 따른다. 동일 업종 내에서도 가격이나 기능에 따라 천차만별이며, 통일된 지표로 측정하기도 어렵기 때문이다. 따라서 본고는 기술수준을 결정하는 요인을 분석하기 위해 Flor & Oltra(2004)의 연구결과를 참고하여 국내 폐자원에너지기업을 대상으로 한 설문조사 자료를 활용하기로 하였다.

이상에서 살펴본 기술경제이론을 응용하여, 한국 폐자원에너지기업의 기술수준을 결정하는 요인으로 설정된 독립변수의 대리변수는 다음과 같다.

- ① 기업규모는 통제변수로서, 종업원 수를 대리변수로 사용한다.
- ② 국내시장 경쟁정도는 “귀사의 주력제품은 국내 시장에서 어느 정도 경쟁 상태에 있는가”라는 질문에 대한 응답을 대리변수로 간주한다.
- ③ R&D투자 비중은 각 기업의 매출액 중 실제로 R&D에 투입된 금액의 비중(%)을 기준으로 구분한다.
- ④ R&D인력 비중은 각 기업의 총 종업원수에서 R&D 분야에 종사하는 연구원 수가 차지하는 비중(%)을 기준으로 구분한다.
- ⑤ 규모의 경제는 “귀사가 생산하는 주력제품은 어느 정도 규모의 경제를 누리고 있는가”라는 질문에 대한 응답을 대리변수로 간주한다.
- ⑥ 마지막으로, 종속변수에 해당하는 한국 폐자원에너지기업의 기술수준은 “귀사 주력제품의 기술수준은 세계최고기술 보유국 대비 어느 수준에 있는가”라는 질문에 대한 응답을 대리변수로 간주한다.

설문의 내용은 Kotabe(1992)[25]가 ‘Global Sourcing Strategy’에서 활용한 것을 바탕으로 하여 서울과학기술대학교 에너지환경대학원 에너지정책학과, 신재생에너지협회, 한국에너지기술평가원의 예비검토를 거쳐 Likert-type scale(3~8 척도)로, 오름차순으로 구성하여 정량화하였다.

설문대상 기업은 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 시행령 제 2조」의 “바이오에너지 등의 기준 및 범위”를 기준으로 조사하였다. 특히 한국에너지관리공단 신재생에너지센터와 한국환경산업

기술원의 등록기업, 한국환경공단의 고품연료제품 인증업체(2013.10.14. 기준)와 한국에너지기술평가원의 발전전략보고서에 포함된 기업들을 1차적으로 조사하였다. 이어 금융감독원 전자공시시스템(DART)과 중소기업청, 대한상공회의소 기업 데이터베이스(DB)를 통해 매출액, 종업원 수, 현재 사업영위 등을 2차적으로 검증하여 총 249개 기업을 모집단으로 선정하였다.

조사방법은 검증된 249개 업체와 직접 통화하여 실제 폐자원에너지 관련 업무를 담당하는 최적의 응답자를 사전 접촉한 후 이메일을 보내어 설문을 회수하는 방식으로 하였다. 조사기간은 2013년 11월 초 ~ 2013년 12월 초까지 약 1개월이었다. 한편, 모든 통계 데이터는 변수 간 척도의 차이에 따라 유발되는 문제점을 제거하기 위하여 척도를 표준화(normalize)하는 Z값으로 전환하였다³⁾. 기본 통계적 방법으로는 SPSS (Statistical Package for the Social Science) 20.0을 사용하여, 변수의 특성과 분석목적에 맞추어 빈도분석, 상관분석 및 서수적(ordinal) 데이터를 대상으로 다항로지스틱회귀분석을 이용하였다.

4. 분석결과

4-1. 빈도분석 결과

설문조사의 결과, 설문에 응답한 폐자원에너지기업은 249개 중 45개로, 18.1%의 회수율을 나타냈다. <Table 4.2>는 설문조사의 빈도분석 결과를 나타내고 있다.

4-2. 회귀분석 결과

<Table 4.3>은 독립변수들의 표본평균, 표준오차 및 변수 간 Pearson 상관계수(correlation coefficient)를 나타내고 있다⁴⁾. 본고에서 사용된 것과 같은 설문조사자료(survey data)의 회귀분석에서는 다중공선성(multi-collinearity) 문제가 흔히 발생한다. 다중공선성이 존재할 시 추정량의 분산이 커져 회귀식의 추정치

가 불안정하고 신뢰할 수 없어지며, 추정오차가 심하게 커지므로 통계적 추정이 의미가 줄어든다⁵⁾. 이를 감안하여 독립변수 간 상관관계의 유무를 나타내는 기준을 ± 0.500 으로 할 경우, 국내 폐자원에너지기업들의 기술수준에 영향을 미치는 변수로 설정된 독립변수들 중 R&D투자 비중과 R&D인력 비중 간에 다중공선성의 우려가 있을 것으로 판단된다.

회귀분석에서 다중공선성을 제거하는 일반적인 방법은 다중공선성이 우려되는 독립변수를 제외한 모형을 설정하여 분석하는 것이다[10]. 이에 따라 아래와 같이 R&D인력 비중을 제외한 모형(model 1)과 R&D투자 비중을 제외한 모형(model 2)으로 나누어 분석하였다.

Model 1 :

$$TL_i = \beta_1 FS_i + \beta_2 CDM_i + \beta_3 RDE_i + \beta_5 ES_i + \varepsilon_i$$

Model 2 :

$$TL_i = \beta_1 FS_i + \beta_2 CDM_i + \beta_4 RDM_i + \beta_5 ES_i + \varepsilon_i$$

여기서, TL_i 는 i 번째 기업의 기술수준(technological level), FS 는 기업규모(firm size), CDM 은 국내시장 경쟁정도(competition in domestic market), RDE 는 R&D투자 비중(R&D expenditures), RDM 은 R&D인력 비중(R&D manpower), ES 는 규모의 경제(economy of scale), ε 는 오차항(error term)을 나타낸다.

<Table 4.4>는 한국 폐자원에너지기업의 기술수준을 종속변수로 하는 회귀분석의 결과를 나타내고 있다. 우선 전술한 가설과 같이, 세계최고기술 보유국 대비 한국 폐자원에너지기업의 주력제품 기술수준은 기술경제적 요인인 기업규모(종업원 수), 국내시장 경쟁정도, R&D투자 비중, R&D인력 비중, 규모의 경제로부터 모두 긍정적인(+) 영향을 받을 것으로 가정되었다.

분석의 결과, 가설로 설정된 모형의 적합성을 나타내는 F값은 Model 1이 5.042, Model 2가 4.847로, 두 모델 모두 독립변수들이 1%의 통계적 유의수준에서

3) 변수들 각각의 평균과 표준편차를 고려하여 분포 간 점수를 비교하기 위해, 모든 정규분포 곡선에서 활용될 수 있도록 표준화할 필요가 있다.

4) 기업의 규모는 통제변수로서 독립변수 간 상관분석에서 제외된다.

5) 다중회귀모형에서 최소 제곱 추정치는 $b=(X'X)^{-1}X'y$ 로 주어짐. 수학적으로 $X'X$ 가 정칙행렬이면 역행렬은 항상 존재하기 때문에 최소제곱 추정치를 계산하는 데 문제가 없다. 그러나 설명(독립)변수들 간에 상관관계가 매우 커 $X'X$ 가 계산상으로 비정칙(computationally near-singular)에 가까운 경우를 쉽게 접할 수 있다. 이러한 상황에서는 $X'X$ 의 행렬식이 거의 0에 가깝게 된다. 바꾸어 말하면 주어진 독립(설명)변수들 간의 1차 종속 또는 1차 종속이 가까운 관계가 있을 때 다중공선성 문제가 발생한다. 즉, 적어도 하나의 독립변수가 다른 독립변수들의 선형결합으로 표기가 된다는 의미이며, 이러한 경우는 회귀모형에서 필요 없는 변수가 된다.

Table 4.2. The results of frequency analysis

classification	contents	weight (%)
firm size (number of employees)	less than 10	44.4
	10 ~ 19	28.9
	20 ~ 49	17.8
	50 ~ 99	2.2
	100 ~ 199	2.2
	200 ~ 299	2.2
	300 ~ 499	0
	more than 500	2.2
competition in domestic market	very monopolistic	4.4
	slightly monopolistic	6.7
	on average	35.6
	slightly competitive	35.6
	very competitive	17.8
R&D expenditures / sales	under 1%	26.7
	1~3%	26.7
	3~5%	24.4
	5~7%	4.4
	7~9%	0
	9~11%	8.9
	above 11%	8.9
R&D manpower / employees	under 1%	37.8
	1~3%	31.1
	4~6%	11.1
	7~9%	0
	10~12%	4.4
	13~15%	2.2
	above 16%	13.3
economy of scale	need to expand largely	62.2
	need to expand slightly	22.2
	now satisfied	11.1
technological level against world-best level	very delayed (0-20%)	2.2
	significantly delayed (21-40%)	6.7
	slightly delayed (41-60%)	6.7
	delayed but likely pursuing (61-80%)	40.0
	significantly pursuing (81-90%)	15.6
	very pursuing (91-99%)	15.6
	now world-best (100%)	11.1

Table 4.3. The results of correlation analysis among independent variables

independent variables	sample mean	standard deviation	1	2	3	4
1. competition in domestic market	3.56	1.013	1	-.348*	-.277	.246
2. R&D expenditures / sales	2.87	1.914		1	.583**	.023
3. R&D manpower / employees	2.62	2.070			1	.154
4. economy of scale	1.47	.702				1

*, **, *** imply statistical significances of 10%, 5% and 1%, respectively

Table 4.4. The results of multiple regression analysis

independent variables	signal forecast	model 1		model 2	
		estimated coefficients	VIF	estimated coefficients	VIF
1. firm size (control variable)	+	0.362**	1.481	0.348**	1.476
2. competition in domestic market	+	-0.305*	1.381	-0.322**	1.355
3. R&D expenditures / sales	+	0.398***	1.169	-	-
4. R&D manpower / employees	+	-	-	0.384**	1.160
5. economy of scale	+	0.082	1.263	0.053	1.304
F-value		5.042***		4.847***	
Durbin-Watson		2.144		2.242	

*, **, *** imply statistical significances of 10%, 5% and 1%, respectively

종속변수를 잘 설명하고 있는 것으로 볼 수 있다. 또한 일반적으로 분산팽창지수(VIF)가 10 이상일 경우 독립변수의 다중공선성 문제가 발생할 수 있다고 판단하므로[10], 각기 두 모형에서 적용된 독립변수들 간에는 다중공선성의 우려가 없는 것으로 분석된다.

① ‘기업규모’는 모형 1, 모형 2 모두에서 한국 폐자원에너지기업의 기술수준에 긍정적인(+) 영향을 미치고 있으며, 통계적으로 유의미한 것으로 분석되었다. 이로써 기업규모가 클수록 해당기업의 기술수준이 높다는 가설 1은 채택되었다. 이러한 분석결과는 한국 폐자원에너지기업의 기술수준에 있어서 Scherer의 ‘중소기업의 효율성 우위가설’은 지지받지 못하는 반면, Schumpeter-Galbraith의 ‘대기업 우위가설(chumpeter Mark II)’이 보다 설득력 있는 것으로 분석된다. 이는 국내 신재생에너지 시장이 아직 성숙기에 접어들지 않아 기술개발 투자에 대한 위험도가 높은 데서 비롯된 것이라 할 수 있다[26]. 폐자원에너지산업 역시 민

간이 적극적으로 투자를 주도하기는 어려운 상황이며 [14], 그나마 대기업은 자기재원을 통해 기술개발에 나설 수 있으나 중소기업으로선 여력이 마땅치 않은 것이 현실이다[26]. 다시 말해, 기업규모가 클수록 기업의 투자리스크가 감소하여[11] 좀 더 안정적으로 기술개발 투자에 집중, 핵심기술을 확보할 수 있는 것과 같은 맥락으로 볼 수 있다.

② ‘국내시장 경쟁정도’는 모형 1, 모형 2 모두에서 기술수준에 부정적인(-) 영향을 미치면서 통계적으로 유의미한 것으로 나타났다. 이로써 국내시장이 경쟁적일수록 해당기업의 기술수준이 높다는 가설 2는 기각되었다. 이러한 분석결과는 한국 폐자원에너지기업의 기술수준에 있어서 경쟁적 시장구조가 기술진보에 더 높은 인센티브(incentive)를 부여한다는 Arrow의 가설이 지지받지 못하는 반면, 독점력 획득이 기업의 기술 혁신 촉진요인(incentive)이라는 Schumpeter의 가설이 보다 설득력 있는 것으로 분석된다. 설문분석의 결과, 한국 폐자원에너지시장이 독점적(설문응답기업의 11.1%)

이기보다는 경쟁적(53.4%)인 것으로 나타난다. 이는 에너지화 대상 폐기물이 기존 폐기물처리시장에서 이미 활용되고 있기 때문에, 폐자원에너지시장이 기존 시장과 과열 경쟁이 이뤄지는 것으로 볼 수 있다[43]. 뿐만 아니라 해외기술 도입을 통한 대규모 공급과 매출증대에 초점이 맞춰진 기업의 시장참여로 인해 시장경쟁이 과열되고 있다. 실제로 국내 대규모 폐자원 에너지화 시설에는 주로 해외기술이 적용(75%)된 반면, 소규모 시설에만 국내기술이 적용(80%) 중인 것으로 조사되고 있다[22].

③ ‘R&D투자 비중’은 모형 1에서 기술수준에 긍정적인(+) 영향을 미치면서 통계적으로도 유의미한 것으로 나타났다. 이로써 ‘R&D투자 비중’이 클수록 해당 기업의 기술수준이 높다는 가설 3은 채택되었다. 이러한 분석결과는 한국 폐자원에너지기업의 기술수준에 있어서 R&D투자 비중이 높을수록 해당기업의 기술 혁신성고가 높다는 일반적인 선행연구뿐만 아니라 김도훈·최종열, Hecker & Ganter의 연구와도 다르지 않다. 그러나 국내 폐자원에너지산업의 기술수준은 최고기술보유국(EU) 대비 77.8%로, 약 4.0~4.6년의 기술격차가 있는 것으로 조사된 바 있다[24]. 실제 설문 조사결과, 현재 기술수준을 따라가는 데 R&D투자가 부족하다고 응답한 기업이 55.6%를 차지하였고, 73.3%가 향후 신기술 개발을 위해서 R&D투자가 부족하다고 응답한 것으로 조사되었다. 따라서 기술력을 확보하여 아직 성숙기에 이르지 못한 국내산업을 육성하기 위해 정부의 R&D투자가 지속적으로 이뤄져[35] 기업의 혁신적 산출물 증가에 기여할 수 있어야 한다[31].

④ ‘R&D인력 비중’은 모형 2에서 기술수준에 긍정적인(+) 영향을 미치면서 통계적으로도 유의미한 것으로 나타났다. 이로써 ‘R&D인력’을 국내외 경쟁사에 비해 상대적으로 충분하게 확보하고 있는 경우 그 기업의 기술수준이 높다는 가설 4는 채택되었다. 이는 R&D인력을 충분히 확보할수록 해당기업의 기술혁신 성과가 높다는 김도훈·최종열, Eldred & Mcgrath, Souitaris의 선행연구가 국내 폐자원에너지산업에 있어서도 다르지 않음을 보여준다. 그러나 실제 설문조사의 결과, R&D투자 비중과 마찬가지로 R&D인력이 제조업 평균(8.1%)[23] 이하라고 답한 기업이 80.0% 이상이며, 향후 신기술 개발을 위해 R&D인력이 부족하다고 응답한 기업도 77.8%를 차지하였다.

⑤ ‘규모의 경제’는 모형 1, 모형 2 모두에서 기술수준에 긍정적인(+) 영향을 미치지만 통계적으로도 유

의미하지 않은 것으로 나타났다. 이로써 ‘규모의 경제’를 이룰수록 해당기업의 기술수준이 높다는 가설 5는 기각되었다. 이러한 분석결과는 한국 폐자원에너지기업의 기술수준에 있어서 규모효율성(scale efficiency)이 기술진보에 긍정적인 영향을 미친다는 Xiaoyan Zhou의 가설이 설득력 있는 것으로 분석된다. 기존의 폐기물이 자원으로 재인식되면서 관련기술이 발달하고 폐자원에너지시장이 형성되고 있다. 그러나 폐자원업체의 경쟁우위요소로서 적정 처리규모를 유지하는 것이 중요하다. 즉, 적시에 폐기물을 선입·선출하고 순차적으로 처리하는 규모의 경제를 달성할 필요가 있다[43]. 그러나 설문 응답기업의 11.1%만이 현재 규모의 경제효과를 달성하고 있는 반면, 84.4%가 규모의 경제 달성을 위해서 생산이 늘어야 한다고 응답한 것으로 조사되었다. 따라서 한국 폐자원에너지기업의 생산량이 아직 규모의 경제효과를 나타낼 수 있는 수준에 이르지 못해, 기술수준이 낮고 기술요소가 가장 효율적으로 활용되지 못하고 있는 것으로 분석된다.

5. 요약과 정책적 시사점

본 논문은 한국 폐자원에너지기업을 대상으로 R&D 효율성을 평가하는 지표 중 하나로서 현재의 기술수준과 이에 영향을 미치는 요인에 대해 기술경제이론에 근거하여 분석하였다.

분석의 결과, 국내 폐자원에너지기업의 기술수준은 기업규모, R&D투자 비중, R&D인력 비중이 클수록 긍정적인 영향을 받지만, 국내시장 경쟁정도가 심할수록 부정적인 영향을 받는 것으로 분석되었다. 반면, 규모의 경제는 기술수준에 유의미한 영향을 미치지 못하는 것으로 분석되었다.

이러한 분석결과로부터 한국 폐자원에너지기업의 기술수준을 제고하기 위한 정책적 시사점을 살펴보기로 한다. 우선, 국내 폐자원에너지기업의 R&D활동에 유의한 영향을 미치는 기업규모, R&D투자와 R&D인력의 부족을 보완하는 정책적 노력이 필요하다. 특히 아직 성숙단계에 이르지 못한 국내 폐자원에너지시장과 같은 산업 초기단계에서는 정부의 선도적인 R&D 지원이 요구된다[14]. 더불어 기업의 적극적인 기술개발 투자를 통한 기술 확보로 품질제고 및 시장 활성화가 필요하다[14]. 다음으로, 폐자원에너지시장의 경쟁과열로 인해 기업의 기술수준에 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타남에 따라 폐자원을 활용하는 생산

자, 처리자, 이용자가 상생할 수 있는 협력체계를 구축하는 정책적 노력이 요구된다[43]. 마지막으로, 폐자원의 적정 처리규모를 유지하는 것이 폐자원에너지 기업의 중요 경쟁우위요소인 만큼 기업은 규모의 경제효과를 거둘 수 있는 수준으로 제품 생산량을 증가시켜 생산비용을 감소시키는 노력이 필요하다.

끝으로, 본 논문은 한국 폐자원에너지산업 내 관련 기업의 실질통계를 수집하기 어려워 설문조사를 시행한 것과 45개 기업의 설문응답으로 산업전체를 분석한 한계점을 지니고 있다. 향후 한국 폐자원에너지산업이 발전하여 실질통계를 기반으로 보다 정밀한 분석이 이루어질 수 있을 것으로 기대된다.

References

1. Achim Hecker and Alois Ganter.: "The Influence of Product Market Competition on Technological and Management Innovation: Firm-Level Evidence from a Large-Scale Survey", *European Management Review*, Vol. 10, pp. 17-33, (2013)
2. Aghion, P., N. Bloom, R. Blundell, R. Griffith and P. Howitt.: "Competition and innovation: An inverted-U relationship", *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 120, pp. 701-728, (2005)
3. Arrow, K. J.: "Welfare and the Allocation of Resources for Invention", in R. R. Nelson (ed), *The Rate and Direction of Inventive Activity: Economic and social Factors*, Princeton University Press, pp. 602-625, (1962)
4. Damanpour F.: "An Integration of Research Findings of Effects of Firm Size and Market Competition on Product and Process Innovations", *British Journal of Management*, Vol. 21, pp. 996-010, (2010)
5. Dosi, G.: "Procedures and Microeconomic Effect of Innovations", *Journal of Economic Literature*, Vol. 26(3), pp. 1120-1171, (1988)
6. Eldred, E. W. and McGrath, M. E.: "Commercializing New Technology-I", *Research Technology Management*, Vol. 40, No.1, pp.41-47, (1997)
7. Galbraith, J. K.: "American Capitalism", 2nd ed., Boston: Houton Mifflin, (1956)
8. Gomulka, S.: "The Theory Do Technological Change and Economic Growth", New Work, outedge. (1990)
9. Greer, D.F.: "Industrial Organization and Public Policy", 3rd ed. New York: Macmillan, pp. 664-666, (1992)
10. Gwon, S. H.: "Regression Analysis-based on Utilizing Statistical Software SAS · SPSS-", *Freedom Academy*, (2010)
11. Heo, E. N., Lee, U. J.: "An Analysis of Time Varying Beta Risk in Domestic Renewable Energy Company", *Environmental and Resource Economics Review*, Vol. 22, No. 1, pp. 99-125, (2013)
12. IEA: "Key World Energy Statistics 2012", (2012)
13. Kim, E. Y.: "A Study on the Determinants of Technological Innovation in the Korean Manufacturing Firms", *Journal of Industrial Economics B56and Business*, vol. 24, no. 3, pp.1451-1478, (2011)
14. Kim, J. B.: "Trend and Plan for Reaction of Waste-to-Energy", *Economic Research Institute of the Korea Development Bank*, (2009)
15. Kim, J. E.: "Impact of Innovative SME's Research and Development Capabilities on the Patent Performance and New Product Development", *Department of Management of Technology, Graduate School of Konkuk University*, (2013)
16. Kim, J. K. and Cho, B. T.: "R&D and Market Development, Productivity", *Korea Development Institute Journal of Economic Policy*, (1989)
17. Kim, K. H.: "The Market Prospect of Waste-to-Energy Industry", *Korea Environmental Industry & Technology Institute*, (2014)
18. Kim, D. H. and Choi, J. Y. : "Analyzing Outcomes and Determinants of Product Innovation by Sectoral Types in the Korean Manufacturing Industry", *Journal of Industrial Economics and Business*, Vol. 24, No. 3, pp.1615-1633, (2011)
19. Korea Energy Management Corporation: "2012 New & Renewable Energy Statistics", (2013)
20. _____: "2012 The White Paper of Renewable Energy", (2012)
21. Korea Environmental Industry & Technology

- Institute: "Technological Trend Report of Waste-to-Energy", (2013)
22. Korea Institute for Industrial Economics & Trade: "Make-up Plans of Industrial Ecosystem for Co-evolution between Large Renewable Companies and Small Renewable Business", (2012)
 23. _____: "Technological Level of Korean Manufacturing Industry and R&D Trend", (2012)
 24. Korea Institute of Science & Technology Evaluation and Planning: "2012 Technological Level Assessment - 120 National Strategic Technology", (2013)
 25. Kotabe, M.: "Global Sourcing Strategy: R&D, Manufacturing and Marketing Interfaces" Mew. York: Quorum Books, (1992)
 26. Lee, J. W.: "Disturbing and risk Factors and Financial System of Renewable Energy Industry", The Export-Import Bank of Korea, (2009)
 27. Lee, W. Y. and Jung, J. S.: "Market Structure and Innovation", Korea Development Institute Journal of Economic Policy, Vol. 7, (1985)
 28. Lee. C. S.: "Determinants of Technological Level in Korean Energy Industry", Journal of Energy Engineering, Vol. 18, No. 2, pp. 75-86, (2009)
 29. Lijun Zheng, Jiancheng Song, Chuanyang Li, Yunguang Gao, Pulong Geng, Binni Qu, Linyan Lin.: "Preferential policies promote municipal solid waste (MSW) to energy in China : Current status and prospects", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 36, pp.135-148, (2014)
 30. M. L. Flor and M. J. Oltra: "Identification of Innovating Firms through Technol-ogical Innovation Indicators: An Application to the Spanish Ceramic Tile Industry", Research Policy, Vol. 33, pp. 323-336, (2004)
 31. Michael Peters, Malte Schneider, Tobias Griesshaber, Volker H. Hoffmann.: "The impact of technology-push and demand-pull policies on technical change - Does the locus of policies matter?", Research Policy, Vol. 41, pp. 1296-1308, (2012)
 32. Ministry of Environment: "Comprehensive Countermeasures and Action Plan for Waste-Resource and Biomass Energy" (2009)
 33. Ministry of Knowledge Economy: "The third Plan on R&D, Usage and Supply of Renewable Energy", (2008)
 34. National Science & Technology Commission: "The R&D Portfolio on the Energy", (2012)
 35. Park, N. E.: "A Study on Improvement of Investment Efficiency between R&D Budget Preparation and Execution in the Field of Environment", Korea Institute of Science & Technology Evaluation and Planning, (2013)
 36. REN21: "Renewables 2013 Global Status Report", (2012)
 37. Scherer, F. M.: "Industrial Market Structure and Economic Performance", Rand McNally, (1980)
 38. Schumpeter, J. A.: "Capitalism, Socialism, and Democracy", New York: Harper & Row, (1942)
 39. : "The Theory of Economic Development", Cambridge: Harvard University Press, (1934)
 40. Shin, J. K. and Chang, S. D.: "Determinants of R&D Investment Efficiency in Manufacturing SMEs", Journal of Human Resource Management Research, Vol. 16, no. 4, pp. 165-178, (2009)
 41. Souitaris, V.: "Firm-Specific Competencies Determining Technological Innovation : A Survey in Greece", R&D Management, Vol. 32, No.1, pp.61-77, (2002)
 42. Sturgeon, T. J. & Lee, J. R.: "Industry Co-evolution and the Rise of a Shared Supply-base for Electronics Manufacturing", presented at the meson and Winter Conference, (2001)
 43. Suh, M. H.: "2012 Green Technology Knowledge Map - Waste-to-Energy", Korea Institute of Science and Technology Information, (2013)
 44. Wang, E.: "R&D efficiency and economic performance: A cross-country analysis using the stochastic frontier approach", Journal of Policy Modeling, Vol. 29, pp. 345-360, (2007)
 45. Xiaoyan Zhou, Jie Zhang, Junpeng Li.: "Industrial structural transformation and carbon dioxide emissions in China", Energy Policy, vol. 57, pp. 43-51, (2013)