

## 한국 바이오에너지기업의 기술수준 영향요인 분석

박창대 · 김두천 · 박중구<sup>†</sup>

서울과학기술대학교 에너지환경대학원

(2014년 7월 23일 접수, 2014년 11월 26일 수정, 2014년 11월 28일 채택)

### A Study on the Determinants of Technological Level in Korean Bioenergy Firms

Chang-Dae, Park · Doo-Chun, Kim · Jung-Gu, Park<sup>†</sup>

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

(Received 23 July 2014, Revised 26 November 2014, Accepted 28 November 2014)

#### 요 약

본 논문은 한국 바이오에너지기업을 대상으로 연구개발 효율성을 평가하는 지표 중 하나로서 기술수준을 세계최고수준과 대비하고, 이에 영향을 미치는 요인에 대해 분석하였다.

분석 방법론으로 기술수준에 영향을 미치는 영향변수(규모의 경제, 연구개발투자 및 인력 비중, 기업의 매출액, 국내시장의 경쟁정도)를 포함하는 분석모형을 설정하고, 한국 바이오에너지기업을 대상으로 설문조사를 실시한 후 다항회귀분석을 사용하였다.

분석결과, 한국 바이오에너지기업의 R&D 투자의 비중과 R&D 인력의 비중이 높을수록 그리고 기업의 규모가 클수록 기술수준에 긍정적인 영향을 미쳤다. 반면, 규모의 경제를 달성하거나 국내시장의 경쟁정도가 높을수록 기술수준에 부정적인 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

정책적 시사점은 한국 바이오에너지기업의 기술수준 제고를 위해 규모의 경제효과를 달성하고, 대·중 소기업 간 상생할 수 있도록 하는 정책을 추진할 필요가 있다.

**주요어** : 바이오에너지, 기술수준, 규모의 경제, R&D투자와 인력, 기업의 규모, 국내시장의 경쟁정도

**Abstract** - This study analyzes the technological level of Korean bioenergy firms and its determinants by using a multiple logistic regression analysis based on a survey.

As the result of analysis, the technological level of Korean bioenergy firms has been positively influenced by the firm size, R&D investments and R&D manpower, but negatively influenced by the competition in domestic market and economy of scale.

The policy implications of this study are related to achieve the economy of scale and coevolve between demand and supply-firms for the improvement of the technological level of Korean bioenergy firms.

**Key words** : Bioenergy, Technological Level, Firm size, R&D Investments, R&D Manpower, Competition in Domestic, Economy of Scale

#### 1. 서 론

세계 주요 국가들은 온실가스 감축목표를 설정하고, 이를 달성하기 위해 다양한 신재생에너지를 발굴하고 있다. 우리나라 역시 기후변화협약에 의하여 온실가스 의무감축국이 될 경우, 신재생에너지산업의

<sup>†</sup>To whom corresponding should be addressed.

Dept. of Energy Policy The Graduate School of Energy & Environment, Seoul National University of Science and Technology

Tel : 02-971-6598 E-mail : [pjg@seoultech.ac.kr](mailto:pjg@seoultech.ac.kr)

육성이 감축 목표 달성에 영향을 미칠 것으로 예상된다.

신재생에너지산업 중에서도 바이오에너지산업은 재생이 가능하고<sup>1)</sup>, 온실가스 감축에 직접 기여하는 탄소중화<sup>2)</sup>의 특징 때문에 주목을 받고 있다[3]. 바이오에너지산업은 바이오매스(유기성생물체)<sup>3)</sup>를 직접 또는 생·화학적, 물리적 변환과정을 통해 액체, 가스, 고체연료나 전기·열에너지 형태로 이용하는 업종을 포괄하고 있다[18]. 국내 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」을 기준으로, 바이오가스, 바이오에탄올, 바이오액화유 및 합성가스, 매립지가스, 바이오디젤, 펄프, 목재 칩, 펠릿 및 목탄 등과 같은 고체연료 산업이 이에 해당한다[29].

2010년 기준 세계 바이오에너지(폐기물포함) 소비는 1차 에너지 소비의 약 10%를 차지하고 있으며 [12], 향후 미국, 브라질, EU와 중국 등을 중심으로 높은 증가세를 보일 것으로 예상된다[13]. 현재 주요 소비처는 열에너지 활용이 주요 목적인 주거 부문이며, 전기 활용이 주요 목적인 산업 부문과 수송 부문에서 상대적으로 적은 것으로 나타났다. 그러나 열 또는 전기 시장에서 가격 경쟁력이 우수한 타 재생에너지의 보급이 확대되는데 대응하여 열 또는 전기시장보다는 수송 부문에서 2030년까지 200% 가량 성장할 것으로 예상된다[11].

우리나라 역시 “그린홈 100만호 사업을 통한 가정용 펠릿 보일러 보급 추진”, “수송용 바이오연료 혼합사용의무제(RFS) 도입”, “지역별 바이오매스 부존 자원 특성을 고려한 ‘바이오매스 타운’ 조성” 등을 통해 바이오에너지산업을 적극 육성하고 있다. 이에 따른 우리나라 바이오에너지 공급비중은 2012년 1차 에너지 생산의 3.18%를 차지하고 있는 신재생에너지 중 15.08%를 차지하고 있으며, 폐기물에너지(67.77%) 다음으로 큰 비중을 나타내고 있다[17].

그러나 이러한 노력에도 불구하고 국내 바이오에너지의 기술 수준은 2009년 기준으로 세계 1위 기술

수준 대비 75% 정도에 불과하여 해외 선진국에 비해 상당한 격차를 나타내고 있는 것으로 나타났다[22]. 그에 대한 원인으로 바이오에너지의 주원료 중에 하나인 곡물은 원료비용이 높고 시장 환경에 따라 가격이 가변적이다. 또한 국내 부존자원 부족으로 인하여 원료확보가 어렵고[15] 투자와 인프라 구축이 미비하여 부가가치창출이 낮은 것을 극복하고[20], 유기성 폐자원 또는 해양바이오매스와 같은 비식용 바이오매스를 활용하기 위한 기술개발이 매우 중요하다.

본 논문은 한국 바이오에너지기업들의 연구개발 효율성을 평가하는 지표 중 하나로서 현재의 기술수준과 이에 영향을 미치는 규모의 경제, 국내시장 경쟁도, 연구개발(Research & Development, 이하 R&D)과 기업규모 간 인과관계를 분석하기로 한다.

본 논문구성은 I 장 서론에 이어, II장에서는 기술수준과 영향을 미치는 요인에 대한 기존의 선행연구들을 살펴본다. III장에서는 한국 바이오에너지기업의 기술개발 효율성에 대한 가설을 설정하고, 이를 분석하기 위한 방법론을 제시한다. IV장에서는 가설검정의 결과와 경제적·정책적 의미를 살펴보기로 한다. 마지막으로 V장에서는 주요 결과의 요약과 시사점을 도출하고 향후 연구과제 등을 제시하기로 한다.

## 2. 선행연구

기술혁신에 대한 논의는 기업의 기술혁신을 좌우하는 요인을 둘러싸고 다양한 방식으로 이루어지고 있다[14]. (Table 2.1 참조) Hecker and 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 넘으면 과잉경쟁 시에는 기술혁신에 부정적인 영향을 미치는 역 U자형 관계가 성립하는 반면, 현장혁신, 지식경영혁신,

- 1) 화석연료의 경우 생물유기체가 오랜 지질역사에서 만들어진 것으로 근본적으로는 바이오에너지에 포함될 수 있으나 재생가능성의 측면으로 보았을 때 지구의 엔트로피(Entropy; 무질서도)를 증가시키고 이 과정에서 지속적으로 이산화탄소 배출을 증가시킨다는 점에서 재생가능하지 않다[34].
- 2) Carbon Neutral : 유기성 자원 중 버려지는 바이오매스를 다시 에너지원으로 사용할 경우, 이용에 따른 발생 CO<sub>2</sub>는 원래 유기성 자원의 일부로서 지구 전체 CO<sub>2</sub> 발생량 측면에서 본다면 대기 중 CO<sub>2</sub>의 농도는 증가하지 않는다는 원리이다.
- 3) Biomass: 태양에너지를 받은 식물과 미생물의 광합성에 의해 생성되는 식물체·균체와 이를 먹고 살아가는 동물체를 포함하는 생물 유기체

Table 2.1. Referring to the Literature

author (year)	subject of analysis	methodology	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 investment-manpower, economic performance, patent, 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 investment positively, as the efficiency of R&D investment increased financial results got improved.
Kim & Choi (2011)	Korean manufacturing firms	Stochastic frontier analysis (SFA)	Efficiency of innovation, R&D investment-manpower, patent, listed or not, firm size, government support, etc.	R&D investment-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, firm size, market competition, R&D investment-manpower, 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.

대의협력혁신 등 경영혁신에는 줄기차게 긍정적인 영향을 미치는 것으로 분석되었다[10]. Wang(2007)과 신진교·장수덕(2009) 등은 제품혁신과 기업의 경영성과가 기술혁신에 대한 투자규모보다는 혁신활동의 효율성에 영향을 받는다고 분석하고 있다[28][32]. 김도훈·최종열(2011)은 한국의 제조업을 대상으로 R&D 인력과 R&D투자, 그리고 기업특성요인으로 기업규모가 제품혁신 효율성에 긍정적인 영향을 미치고, 제품혁신 효율성이 증가할수록 경영성과가 개선되고 있다는 것을 분석하였다[16]. Damanpour (2010)는 1983년부터 2003년 동안 나온 기업규모와 시장경쟁이 제품 및 공정혁신에 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 경영자원의존이론을 통해 살펴본 결과, 규모의 경제효과와 전·후방기업 간 상호협력 관계가 한국 에너지기업의 기술수준에 긍정적 영향을 미치는 것으로 분석하였다[24]. 마지막으로, Flor and 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[6].

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

### 3. 가설설정 및 분석방법론

#### 3-1. 규모의 경제

기업은 수익의 극대화를 위해서 장기적으로 생산량 증가에 따라 평균비용이 감소하는 규모의 경제효과를 거둘 필요가 있다. 실제로 세계적인 에너지 기업들은 규모의 경제효과를 거두기 위해 R&D 및 생산에 대한 투자를 증대시키고 있다. Zhou et

al.(2013)은 기술진보를 파악하는 지표로서 총요소생산성(total factor productivity, TFP)을 사용하였으며, TFP의 구성요소 중 하나로 규모효율성(scale efficiency)의 변화를 고려하였다[34]. 이에 따라 본고에서는 한국 바이오에너지기업의 기술수준과 이에 영향을 미치는 규모의 경제효과에 대해 다음과 같은 가설 1을 설정하기로 한다.

가설 1 : 한국 바이오에너지기업에 있어 ‘규모의 경제’가 클수록 해당 기업의 기술수준은 높다.

#### 3-2. R&D투자 비중

R&D투자는 Schumpeter 가설을 바탕으로 기술혁신을 나타내는 대리변수지표로 널리 이용되고 있다. 그러나 엄밀히 말하면 R&D투자는 기술혁신 그 자체라기보다는 이를 달성하기 위한 투입지표라고 할 수 있다[6].

일반적으로 R&D투자의 비중이 높을수록 기술혁신의 성과지표라 할 수 있는 기업(또는 산업)의 생산성 증가율이나 매출액 증가율, 특히 건수 등은 크며, 해당기업의 기술수준이 다른 기업들에 비해 높다고 할 수 있다. 김도훈·최종열(2011)은 한국 제조업의 제품혁신 성과를 추정하는데, R&D투자와 R&D인력을 제품혁신을 위한 투입변수로 사용하였다[16]. Hecker(2013)는 독일기업을 대상으로 R&D투자가 기술혁신에 긍정적인 영향을 미친 것으로 분석하였다[10]. 이러한 선행연구를 바탕으로 한국 바이오에너지기업의 기술수준과 이에 영향을 미치는 R&D투자에 대해 다음의 가설 2을 설정하기로 한다.

가설 2 : 한국 바이오에너지기업에 있어서 연구개발투자 비중이 클수록 해당기업의 기술수준은 높다.

#### 3-3. 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 차세대기술의 혁신을 효율적으로 추진하고 중요 첨단기술을 독자적 역량으로 개발하기 위해서는 그 주역이라고 할 수 있

는 우수한 R&D인력의 확보가 매우 중요하다. 기술개발인력을 충분히 확보하고 있는 기업은 국내외 경쟁업체에 비해 신기술을 개발할 수 있는 능력을 갖추고 있기 때문에 경쟁력을 한층 더 강화할 수 있다고 할 수 있다. 국내의 선행연구 중 김도훈·최종열(2011)은 제품혁신활동과 직접적인 관련이 있는 R&D인력이 제품혁신의 성과에 유의미한 영향을 미치는 것으로 분석하였다. 국제적으로도 기업의 R&D인력과 기술혁신에 관한 논의는 오래전부터 진행되어왔다[16]. Eldred & McGrath(1997)는 신제품개발활동의 연구개발체계가 조직의 구조, 조직특성과 R&D인력 등으로 구성된다고 하였다[5]. 또한 Souitaris(2002)는 그리스의 제조기업 105개를 대상으로 R&D인력의 규모와 질, 연구개발투자액 등과 같은 R&D역량이 혁신성과의 중요한 영향요인임을 분석하였다[30]. Hecker and Ganter(2013)도 R&D인력의 질을 나타내는 독립변수로서 직원의 학력을 도입하여 기술혁신에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 분석한 바 있다[10]. 이에 따라 한국 바이오에너지기업의 기술수준과 이에 영향을 미치는 R&D인력에 대해 다음과 같은 가설 3을 설정하기로 한다.

가설 3 : 연구개발인력을 국내외 경쟁사에 비해 상대적으로 충분하게 확보하고 있는 경우 그 바이오에너지기업의 기술수준은 높다.

### 3-4. 국내시장의 경쟁정도

Schumpeter(1934, 1942)는 19세기 말 유럽의 산업구조를 연구한 결과 새로운 아이디어, 신상품 및 공정 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[26][27]. 나아가 Schumpeter는 기술혁신에 의한 이러한 독점적 준지대 내지 독점력의 획득이 기업들로 하여금 기술혁신을 하도록 하는 촉진요인(incentive)이 되는 동시에 독점이윤을 획득한 기업은 R&D자금을 조달하는데 더 유리하다고 보았다.

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 있다[25]. 반면, Arrow(1962)는 동일한 초기비용과 수요조건 하

에서는 시장구조가 독점적일 때보다 경쟁적일 때 기술진보에 대한 인센티브(incentive)가 더 크다고 주장했다[2].

이러한 양분된 주장과 달리 최근의 연구는 혁신과 시장경쟁 간 관계가 역 U자 모양을 따른다고 주장한다. Hecker and Ganter(2013)는 CIS(community innovation survey) IV의 2002-2004년 데이터를 활용하여 독일기업 2,789개를 대상으로 시장의 경쟁도와 기술혁신 간 관계를 분석한 결과, 역 U자 모양의 관계가 존재한다고 분석하였다[10]. 즉 경쟁강도가 중간 수준일 때 혁신에 대한 인센티브(incentive)가 최대화된다는 것이다. Damanpour(2010)는 제품과 공정혁신에 있어서 시장경쟁이 미치는 영향에 대한 논문들을 모아 분석한 결과 시장경쟁은 제품혁신보다 공정혁신에 영향을 미치는 것으로 나타났다[4]. 이에 따라 한국 바이오에너지기업의 기술수준과 이에 영향을 미치는 국내시장구조에 대해 다음과 같은 가설 4을 설정하기로 한다.

가설 4 : 한국 바이오에너지기업에 있어서 국내시장구조가 경쟁적일수록 국내외 경쟁사에 비해 기술수준이 높다.

### 3-5. 기업의 규모

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

Schumpeter(1942), Galbraith(1956) 등은 대기업이 신기술을 빨리 이용할 수 있는 생산설비, 마케팅 및 자금조달능력 등을 확보하고 있기 때문에 기술혁신 과정에서 중소기업보다 더 유리한 입장에 있다고 분석하고 있다[7][27]. 즉, 기술개발에는 막대한 R&D 투자가 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[25]. Greer(1992)는 Scherer(1980)의 실증분석을 인용하면서, 기업규모의 증가가 임계점(critical point)에 도달하면 R&D활동에 별로 영향을 미치지 못한다는 분석

이 다수라고 주장하고 있다[8][25]. 즉 기술혁신은 수많은 작은(minor) 발명들이 모여 이루어지는데, 이러한 작은 발명은 대기업보다 관료적이지(bureaucratic) 않고 혁신지향적인 중소기업에서 훨씬 더 많이 이뤄지고 있다는 것이다. Sturgeon and 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[31]. Damanpour(2010)는 제품과 공정혁신에 있어서 기업 규모가 미치는 영향에 대한 논문들을 모아 분석한 결과, 기업규모가 공정혁신보다 제품혁신에 영향을 미치는 것으로 분석하였다[4].

국내의 선행연구를 살펴보면 김도훈·최종열(2011)은 종업원수의 로그변환값을 기업규모의 대리변수로 하여 제품혁신 성과를 분석한 결과, 기업규모가 커질수록 제품혁신 성과가 향상되는 것으로 분석하였다. 그러나 그들은 기업규모의 제곱변수는 통계적으로 유의한 음(-)의 관계를 나타내 기업규모와 제품혁신 성과 간에는 역 U자 관계가 성립하여 기업규모가 특정 수준을 넘어설 경우 제품혁신 성과에 부정적인 영향을 미치는 것으로 분석하였다[16].

현재 위와 같이 대립되는 견해 중 어느 것이 더 타당한 것인지에 대해서는 일반적 이론체계가 확립되어 있지 않다. 결국, 기술개발의 특성에 대한 추정기간·시점, 업종별 특성, 표본기업의 수·규모별 분포·연령 등 미시경제적 접근방법에 따라 달라질 수밖에 없을 것이다. 이러한 상반된 가설을 한국 바이오에너지기업을 대상으로 검증하기 위해 가설 5를 설정하기로 한다.

가설 5 : 한국 바이오에너지기업에 있어서 기업규모가 클수록 해당기업의 기술수준이 높다.

### 3-6. 분석방법론

위에서 설정한 가설들을 검증하기 위해 국내외 경쟁기업과 비교한 기술수준 및 그 결정요인에 대한 자료를 구체적 실물통계로 구하기에는 많은 어려움이 따른다. 동일 업종 내에서도 가격이나 기능에 따라 천차만별이며, 통일된 지표로 측정하기도 어렵기 때문이다. 따라서 본 논문은 기술수준과 이에 영향을 주는 요인을 분석하기 위해 한국 바이오에너지기업을

대상으로 설문조사 자료를 활용하기로 하였다. 이것은 선행 연구에서도 살펴본 다수의 논문들이 설문방식을 채택하고 있는 이유와 동일하다[6].

설문내용은 Kotabe(1992)가 'Global Sourcing Strategy'에서 활용한 설문과 분석방법을 참고하고 서울과학기술대학교 에너지환경대학원 에너지정책학과, 신재생에너지협회, 한국에너지기술평가원의 예비검토를 거쳐 likert type scale로 평가하여 정량화하였다. 설문은 3~7점 척도로 하여 오름차순으로 구성하였다[23].

설문조사 대상은 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법의 “바이오에너지 등의 기준 및 범위”를 기준으로 선정하였으며, 한국에너지관리공단 신재생에너지센터의 등록기업과 신재생에너지협회 회원기업, 바이오에너지협회 회원기업, 에너지기술평가원 로드맵 보고서에 포함된 기업 등을 참조하여 조사하였다. 조사한 업체들 중에서 금융감독원 전자공시시스템(DART)과 중소기업청, 대한상의 기업 데이터베이스(DB)를 통해 매출액, 종업원 수, 현재 사업영위 등이 검증된 233개 기업을 모집단으로 하였다.

조사방법은 검증된 233개 업체에 전화를 이용해 최적의 응답자를 사전 접촉한 후 이메일을 보내어 설문을 회수하는 방식을 사용하였다. 조사기간은 2013년 11월 초부터 2013년 12월 초까지 약 1개월이었다. 조사기간은 분석결과를 해석하는데 중요한데, 이는 이 기간 동안 한국 바이오에너지산업의 동향이 중요한 변수이기 때문이다.

한국 바이오에너지기업의 기술수준 영향요인 분석을 위해 가설설정에서 사용된 변수들은 다음과 같이 대리변수들로 설문을 설정하였다.

① 규모의 경제는 “귀사가 생산하는 주력제품은 어느 정도 규모의 경제를 누리고 있는가?”라는 질문에 대한 응답여부를 대리변수로 간주한다.

② 연구개발투자 비중은 각 기업의 매출액 중 실제로 연구개발에 투입된 금액의 비중(%)을 기준으로 구분한다.

③ 연구개발인력 비중은 각 기업의 종업원 총수에서 연구개발 분야에 종사하는 연구원 수가 차지하는 비중(%)을 기준으로 구분한다.

④ 국내시장 경쟁정도는 “귀사의 주력제품은 국내 시장에서 어느 정도 경쟁 상태에 있는가?”라는 질문에 대한 응답여부를 대리변수로 간주한다.

⑤ 기업규모의 대리변수로서는 매출액을 대리변수

로 사용하기로 한다.

⑥ 마지막으로, 종속변수에 해당하는 한국 바이오 에너지기업의 기술수준은 “귀사 주력제품의 기술수준은 세계 최고수준 대비 어느 수준에 있는가?”라는 질문에 대한 응답여부를 대리변수로 간주한다.

기본 통계적 방법으로는 SPSS(Statistical Package for the Social Science) 20.0을 사용하였다. 여기서 사용한 방법은 자료가 지수 평가에 의존하기 때문에 분석목적에 맞추어 종속변수와 독립변수 간 영향에 대하여 다항회귀분석(multiple logistic regression)을 이용하였다.

## 4. 분석결과

### 4.1. 빈도분석

설문조사의 결과, 설문응답을 한 바이오에너지업체는 233개 중 47개로, 20.2% 회수율을 나타냈다.

다음으로, 가설설정에 사용된 설문별 빈도분석 결과는 Table 4.1과 같다.

### 4.2. 모형분석

Table 4.2는 독립변수들의 표본평균, 표준편차 및 변수 간 Pearson 상관계수(correlation coefficient) 등을 나타내고 있다. 본 논문에서 사용된 것과 같은 설문조사자료(survey data)의 회귀분석에서 다중공선성(multi-collinearity) 문제가 흔히 발생한다. 다중공선성이 생기면 추정량의 분산이 커져 회귀식의 추정치가 불안정하고 신뢰할 수 없어지며, 추정오차가 심각하게 커지므로 통계적 추정이 의미가 줄어든다.<sup>4)</sup>

이를 감안하면 독립변수 간 상관관계의 유무를 나타내는 기준을  $\pm 0.500$ 으로 할 경우, 기술수준에 영향을 미치는 변수로 설정된 독립변수들 중 R&D투자와 R&D인력 간에 다중공선성이 있는 것으로 분석된다. 따라서 R&D투자 변수만을 포함한 모형(Model 1)과 R&D인력 변수만을 포함한 모형(Model 2)으로 나누어 실시하기로 한다.

$$\text{Model 1: } TI = f(Se, Re, Sa, Com)$$

$$\text{Model 2: } TI = f(Se, Rm, Sa, Com)$$

여기서 TI은 바이오에너지기업의 기술수준(technological level), Se는 규모의 경제(scale of economy), Re는 R&D투자 비중(R&D expenditures), Rm은 R&D인력 비중(R&D manpower), Sa는 매출액(sales), Com은 국내시장 경쟁정도(competition in domestic market)를 나타낸다.

설문응답을 바탕으로 한국 바이오에너지기업의 기술수준 영향요인을 분석한 결과는 Table 4.3과 같다.

우선 전술한 가설들에서 시사된 바와 같이, 한국 바이오에너지기업의 세계 최고 대비 제품기술수준은 규모의 경제, 국내시장 경쟁정도, R&D투자와 인력비중과 매출액 등으로부터 모두 긍정적인(+) 영향을 받을 것으로 가정되었다.

가설로 설정된 모형(Model)의 적합성을 먼저 살펴보면, Model 1은 F값이 10.155로 1% 유의수준에서 적합하며, Durbin-Watson은 1.859로 잔차들 간에 상관관계가 없어 적합한 것으로 나타나고 있다. Model 2 역시 F값이 11.497로 1% 유의수준에서 적합하며, Durbin-Watson은 1.382로 잔차들 간에 상관관계가 없어 적합한 것으로 나타나고 있다.

가설검정의 결과, 한국 바이오에너지기업의 기술수준은 두 모형에서 R&D투자와 R&D인력, 그리고 매출액으로 대변되는 기업규모로부터 긍정적인 영향을 받는 것으로 분석되었다. 반면, 규모의 경제와 국내시장의 경쟁정도는 가설에서 예상된 것과 반대(-)의 영향을 받고 있는 것으로 분석되었다.

구체적으로 살펴보면, ① ‘규모의 경제’를 나타내는 변수는 두 모델에서 모두 기술수준에 부정적인(-) 영향을 미치면서 통계적으로 유의미한 것으로 나타났다. 이로써 규모의 경제가 클수록 기술 수준이 높아진다는 가설 1은 기각되었다.

4) 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 종속에 가까운 관계가 있을 때 다중공선성 문제가 발생한다. 즉, 적어도 하나의 독립변수가 다른 독립변수들의 선형결합으로 표기된다는 의미이며, 이러한 경우는 회귀모형에서 필요 없는 변수가 된다.

**Table 4.1.** Technological Level & Its Determinants of Korean Bioenergy Firms

classification	contents	weight (%)
technological level against world-best level	very delayed (0-20%)	6.4
	significantly delayed (21-40%)	14.9
	slightly delayed (41-60%)	17.0
	delayed but likely pursuing (61-80%)	23.4
	significantly pursuing (81-90%)	21.3
	very pursuing (91-99%)	8.5
economy of scale	now world-best (100%)	6.4
	need to expand largely	61.7
	need to expand slightly	27.7
competition in domestic market	now satisfied	10.6
	very monopolistic	0
	slightly monopolistic	10.6
	on average	29.8
	slightly competitive	42.6
R&D expenditures / sales	very competitive	17.0
	under 1%	46.8
	1~3%	19.1
	3~5%	10.6
	5~7%	8.5
	7~9%	2.1
	9~11%	0
R&D manpower / employees	above 11%	10.6
	under 1%	29.8
	1~3%	34.0
	4~6%	4.3
	7~9%	4.3
	10~12%	10.6
	13~15%	2.1
sales (billion won)	above 16%	14.9
	under 1	57.4
	1~3	25.5
	3~5	6.4
	5~10	2.1
	10~25	0
	25~50	0
	50~100	8.5
	100~150	0
150~500	0	
above 500	0	

**Table 4.2.** Sample Mean, Standard Deviation and Correlation Coefficients of Independent Variables

independent variables	sample mean	standard deviation	1	2	3	4	5
1. economy of scale	1.49	0.688	1	-0.001	0.007	-0.148	0.055
2. R&D expenditures / sales	2.41	1.939		1	0.663***	-0.311**	-0.044
3. R&D manpower / employee	2.98	2.162			1	-0.331**	0.124
4. competition in domestic market	3.66	0.891				1	0.233
5. sales	1.96	1.706					1

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



**Table 4.3.** Multiple Regression Analysis on Determinants of Technological Level in Korean Energy Firms

independent variables	model 1			model 2		
	signal forecast	estimated coefficients	VIF	signal forecast	estimated coefficients	VIF
1. economy of scale	+	-0.622**	1.035	+	-0.604**	1.031
2. R&D expenditures / sales	+	0.361***	1.120			
3. R&D manpower / employee				+	0.350***	1.195
4. competition in domestic market	+	-0.536**	1.225	+	-0.459**	1.278
5. sales	+	0.400***	1.077	+	0.319***	1.130

model1: R<sup>2</sup>=0.504, adj.R<sup>2</sup>=0.454, F=10.155\*\*\*, Durbin-Watson=1.856  
 model2: R<sup>2</sup>=0.529, adj.R<sup>2</sup>=0.483, F=11.497\*\*\*, Durbin-Watson=1.382

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

이와 같은 결과는 설문응답기업의 61.7%가 ‘규모의 경제를 달성하기 위해 생산이 크게 늘어나야 한다고 응답하였으며, 설비투자부진의 주된 원인으로 내수부진을 응답한 기업이 45.7%로 나타나고 있기 때문인 것으로 해석된다. 또한 한국 바이오에너지산업이 현재 제품혁신이 중점적으로 이루어지는 도입·성장의 초기 단계이기 때문에 규모의 경제를 달성하지 못하고 있음을 반증하고 있다고 할 수 있다[9][15].

② ‘R&D투자 비중’을 나타내는 변수는 기술수준에 긍정적인(+) 영향을 미치면서 통계적으로 유의미한 것으로 나타났다. 따라서 기업의 매출액 중 R&D투자가 차지하는 비율이 높을수록 그 기업의 기술수준이 높아진다는 가설 2는 채택되었다.

설문조사 결과, 설문응답기업의 51.1%가 매출액 대비 R&D투자 비중이 1% 이상이라고 응답하였으며, 그 중에서 5%이상으로 응답한 기업이 21.2%이다. 또한 설문응답기업의 72.4%가 기술개발투자수준이 현재기술수준을 따라가는데 보통이상으로 응답하였다. 이러한 분석결과는 한국 바이오에너지기업의 기술수준에 있어서 R&D투자 비중이 높을수록 해당기업의 기술혁신성도가 높다는 일반적인 선행연구뿐만 아니라 김도훈·최종열(2011), Hecker and Ganter(2013)의 연구와도 다르지 않다[10][16].

그러나 국내 바이오에너지의 기술 수준은 2009년 기준으로 세계 1위 기술수준 대비 75% 정도에 불과하여 해외 선진국에 비해 상당한 격차를 나타내고 있는 것으로 나타났다. 따라서 기술력을 확보하여 아직 성숙기에 이르지 못한 국내산업을 육성하기 위해 정부의 R&D투자가 지속적으로 이뤄져야 한다[21][22].

③ ‘R&D인력 비중’을 나타내는 변수는 기술수준에 긍정적인(+) 영향을 미치면서 통계적으로 유의미한 것으로 나타났다. 즉 기업의 종업원수 중 R&D인력의 수가 차지하는 비율이 높을수록 그 기업의 기술수준이 높아진다는 가설 3은 채택되었다.

이러한 결과는 설문응답기업의 34%가 R&D인력의 비중이 1~3%, 36.2%가 4%이상으로 응답하였으며, R&D인력이 현재기술수준을 따라가는데 59.6%가 보통이상이라고 응답한 것으로도 반증할 수 있다. 또한 김도훈·최종열(2011)의 선행연구가 제품혁신활동과 직접적인 관련이 있는 R&D인력이 제품혁신의 성과에 유의미한 영향을 미친다는 결과가 한국 바이오에너지산업에 있어서도 다르지 않음을 보여준다[16].

④ ‘국내시장의 경쟁정도’을 나타내는 변수는 두 모델에서 모두 기술수준에 부정적인(-) 영향을 미치면서 통계적으로 유의미한 것으로 나타났다. 이로써 국내시장의 경쟁 정도가 높을수록 기술수준이 높아진다는 가설 4는 기각되었다.

이러한 결과는 1989년 바이오에너지산업이 중소기업 고유업종에서 폐지됨에 따라 대기업이 새롭게 시장에 진입하면서 과당경쟁이 발생하고, 수요에 비해 공급이 과잉되어 중소기업의 입지가 어려워지고 있는 것으로 반증할 수 있다. 또한 고체기반의 바이오에너지 원료 중 하나인 우드 칩의 경우 별도의 품질관리 기준이 마련되어 있지 않고 목재 제재공장에서 부산물로 발생하는 것을 포함하고 있기 때문에 다수의 기업이 전문기술과 상관없이 시장에 참여하고 있기 때문이기도 하다[20][33].5)

5) 목재를 가공하는 기업에서 부산물이 발생할 경우, 사업장 폐기물로 분류되어 (실제로 바이오에너지와 상관이 없음에도 불구하고) 바이오-SRF 기업으로 등록되는 경우가 있다.

⑤ 기업 규모를 대변하는 ‘매출액’은 두 모델에서 모두 기술수준에 긍정적인(+) 영향을 미치면서 통계적으로 유의미한 것으로 나타났다. 따라서 기업 규모가 클수록 해당기업의 기술수준이 높다는 가설 5는 채택되었다.

이러한 분석 결과는 대기업들의 시장 진출로 인해 국내에 부족한 바이오매스 자원 확보를 위해 조립사업, 바이오플랜트 수주 등에 총력을 기울이고 있으며, 생산과 판매 및 유통 등 가치사슬(value-chain)의 수직적 통합 및 사업 확대를 진행하고 있는 것으로 반증할 수 있다[9][15].

### 5. 요약과 정책적 시사점

본 논문은 한국 바이오에너지기업의 기술수준을 세계최고수준과 대비하고, 이에 영향을 미치는 요인에 대해 분석하였다.

분석의 결과, 한국 바이오에너지기업의 세계최고수준 대비 기술수준은 R&D투자비중과 R&D인력비중이 높을수록, 기업규모가 클수록 높은 것으로 나타났다. 반면, 규모의 경제효과를 거두지 못하고 있고 국내시장에서 경쟁이 극심함에 따라 기술수준은 악영향을 받고 있는 것으로 분석되었다.

이러한 분석결과로부터 한국 바이오에너지기업의 기술수준에 영향을 미치는 요인에 대해 정책적 시사점을 살펴보고자 한다. 첫째, 정부는 바이오에너지산업이 규모의 경제효과를 거둘 수 있도록 생산규모를 확대하며, R&D투자와 R&D인력에 투자할 수 있도록 정책적 지원을 확대할 필요가 있다. 둘째, 정부는 바이오에너지산업이 시장형성 이전에 과도한 경쟁으로 경영의 어려움을 겪지 않도록 대·중소기업 간 상생할 수 있는 정책적 지원을 시행할 필요가 있다.

끝으로, 본 논문은 한국의 바이오에너지산업 관련 기업들의 실질통계를 수집하기 어려워 설문조사를 시행하였다는 점에서 한계를 지니고 있다. 이후 한국 바이오에너지산업이 발전할 경우 관련 실질통계를 기반으로 한 보다 정밀한 분석이 이루어질 수 있을 것으로 기대된다.

### References

1. 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)

2. 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)

3. Bae, J. G. : Waste-resource Biomass Energy Policy & Technology, A-JIN (2013)

4. Damanpour F. : An Integration of Research Findings of Effects of Firm Size and 5. Market Competition on Product and Process Innovations, *British Journal of Management*, Vol. 21, pp. 996~1010 (2010)

5. Eldred, E. W. and McGrath, M. E. : Commercializing New Technology-I, *Research Technology Management*, Vol. 40, No.1, pp.41-47 (1997)

6. Flor M. L. and Oltra M. J. : Identification of Innovating Firms through Technological Innovation Indicators: An Application to the Spanish Ceramic Tile Industry, *Research Policy*, Vol. 33, pp. 323-336 (2004)

7. Galbraith, J.K. : "American Capitalism", 2nd ed., Boston : Houton Mifflin (1956)

8. Greer, D. F. : *Industrial Organization and Public Policy*, 3rd ed. New York: Macmillan, pp. 664-666 (1992)

9. Hana Institute of Finance : *Analysis on Commercialization of Bio-energy & Fuel Cell* (2007)

10. Hecker, A. and Ganter, A. : 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)

11. International Energy Agency : *Energy Technology Perspectives 2010* (2010)

12. International Energy Agency : *Key World Energy Statistics 2012* (2012)

13. International Energy Agency : *World Energy Outlook 2013* (2013)

14. Kim, E. Y. : A Study on the Determinants of Technological Innovation in the Korean Manufacturing Firms - Focusing on Technological Regime -, Journal of Industrial Economics and Business, Vol. 24, No.3, pp. 1451-1478 (2011)
15. Kim, Y. I. : 2012 Green Technology Knowledge Map-Bioenergy, Korea Institute of Science and Technology Information (2013)
16. 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)
17. Korea Energy Management Corporation, New & Renewable Energy Center : 2012 New & Renewable Energy Classification Supply Ratio (2013)
18. Korea Energy Management Corporation, New & Renewable Energy Center : New & Renewable Energy Introduction-Biomass-Summary, <http://www.energy.or.kr/knrec/11/KNREC110700.asp>, (2013)
19. Korea Institute for Industrial Economics & Trade : Major Issue & Countermeasures of New & Renewable Energy Industry (2012)
20. Korea Institute for Industrial Economics & Trade : Make-up Plans of Industrial Ecosystem for Coevolution between Large Renewable Companies and Small Renewable Business (2012)
21. Korea Institute of Science & Technology Evaluation and Planning : A Research of the improvement for R&D budget between compilation and execution in environmental field (2013)
22. Korea Institute of Science & Technology Evaluation and Planning : Green Energy Strategy Roadmap 2011 - Biofuel (2011)
23. Kotabe, M. : "Global Sourcing Strategy: R&D, Manufacturing and Marketing Interfaces", New York: Quorum Books (1992)
24. Lee, C. S. : Determinants of Technological Level in Korean Energy Industry, Journal of Energy Engineering, Vol. 18, No. 2, pp. 75-86 (2009)
25. Scherer, F. M. : Industrial Market Structure and Economic Performance, Rand McNally (1980)
26. Schumpeter, J. A. : The Theory of Economic Development, Cambridge: Harvard University Press (1934)
27. Schumpeter, J. A.: Capitalism, Socialism, and Democracy, New York: Harper & Row (1942)
28. Shin, J. K. and Jang, 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)
29. So, J. Y. : A Analysis on Domestic and Foreign Biomass & Waste-to-Energy of Potential and Securing for RPS, Basic Research Report 13-22, Korea Energy Economics Institute (2013)
30. Souitaris, V. : Firm-Specific Competencies Determining Technological Innovation : A Survey in Greece, R&D Management, Vol. 32, No.1, pp.61-77 (2002)
31. Sturgeon, T. J. & Lee, J. R. : Industry Co-evolution and the Rise of a Shared Supply-base for Electronics Manufacturing, presented at the mason and Winter Conference (2001)
32. 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)
33. Yoon, Y. M. : A Study on Usage Pattern & Revitalization of Korea Bioenergy, Korea Rural Economic Institute, World Agriculture, Vol.162 (2014)
34. Zhou, X., Zhang, J., Li, J. : Industrial structural transformation and carbon dioxide emissions in China, Energy Policy, vol. 57, pp. 43-51 (2013)