에너지공학, 제18권 제2호(2009)
Journal of Energy Engineering, Vol. 18, No. 2, pp. 75~86 (2009)

한국 에너지기업의 기술수준 결정요인 분석

이창수† · 윤성필 · 박중구
서울산업대학교 에너지환경대학원 에너지정책학과
(2008년 2월 12일 접수, 2009년 6월 26일 수정, 2009년 6월 29일 채택)

Determinants of Technological Level in Korean Energy Industry

Chang Soo, LEE†, Seong Pil, Yoon, Jung Gu, Park
Graduate School of Energy & Environment, Seoul National University Technology(SNUT)
(Received 12 February 2008, Revised 26 June 2009, Accepted 29 June 2009)

요 약

본고는 한국 에너지 기업의 기술수준을 세계 최고수준과 대비하고, 이러한 기술수준을 결정하는 요인들을 기술경제이론과 경영자원의존이론을 통해 살펴보았다. 한국 에너지기업의 세계최고수준 대비 기술수준은 기술경제적 요인인 규모의 경제효과와 전방기업과 후방기업간 협력적 관계 등에 의해 긍정적 영향을 받고 있는 것으로 분석되었다. 반면, 국내시장의 경쟁정도, 연구개발투자 비중, 연구개발인력 비중 등은 국내 에너지기업의 세계 최고수준 대비 제품기술수준에 영향을 미치지 못하고 있는 것으로 분석되고 있다.
이 분석에서 얻을 수 있는 정책적 시사점은 한국 에너지기업의 기술수준을 제고하기 위해서는 국내시장을 더욱 경쟁적으로 전환해야 하며, 연구개발투자와 연구개발인력 등을 확충하고 부가가치사슬 상에서 전방기업과 후방기업 간 공동발전을 촉진하는 정책을 추진할 필요가 있다는 것이다.

주요어 : 한국 에너지기업, 기술수준, 독자 기술개발능력, 전·후방기업 간 협력

Abstract — This paper studies examines the R&D efficiency in Korean energy industry by making multiple logistic regression of the product technological level with firms' endogenous technological efforts and cooperations for R&D between upstream and downstream firms. The technological level of Korean energy industry is analyzed to have been positively influenced by economy of scale effect and cooperations for R&D between upstream and downstream firms, but negatively impacted by firm size, and not impacted by competitive market structure, R&D investment, and R&D manpowers.
The implications of this study are as follows: i) to heighten the technological level, domestic market would be transformed to be more competitive; ii) Korean Energy industry should make efforts intensifying R&D-related manpowers and investments; iii) although the firm size is analyzed to have negative impact on technological level, firms, lager or smaller, must be supported to accumulate technological capabilities; iv) R&D-cooperating efforts between upstream and downstream firms on the value-chain should be supported.

Key words : Korean Energy Industry, Technological level, Endogenous Technological Capability, R&D Stream Firms

1. 서 론

21세기 들어 세계 에너지정책은 전 세기까지의 에너지의 안정적 수급정책에서 에너지의 효율성 증대정책 쪽으로 전환하고 있다. 이것은 기본적으로 구조적 유가인상과 기후변화협약에 대한 대응을 기반으로 하고 있지만, 에너지 확보를 둘러싸고 발생 가능한 안전보장(security)에 대한 도전에 반응하고 있는 것으로 이해된다.

이러한 정책기조의 전환에 따라 세계 각국은 에너지를 산업, 또는 제조업으로 보면서 "결코 끝나지 않을 것 같

†To whom correspondence should be addressed
KGS 27-3, Daechi 3 Dong, Kangnam Gu, SEOUL, 135-283 KOREA
E-mail : gassago@hanmail.net

은 에너지 위기를 끝낼 수 있는(Ballonoff, 1997)" 에너지산업의 육성을 서두르고 있다. 미국, 유럽, 일본 등 세계 주요국가(기업)들은 심화되는 세계적 에너지 기술경쟁에서 유망원천기술을 선점하기 위해 독자적으로 연구개발투자를 확대하고 있는 등 과학기술역량의 제고를 도모하고 있다. 또한 기술개발의 위험을 감소시키고 기술개발의 효율성을 제고하기 위해 기업 간 전략적 제휴를 강화하고 있다. 이에 비해 국내 에너지 기업의 기술수준은 첨단기술의 개발 및 실용화 능력을 가진 선진국에 비해 뒤떨어지고 있는 것이 사실이다. 1970년대 2차례의 오일쇼크를 겪으면서 에너지다변화 정책이 채택되었고, 그 결과 석유정제기술과 원자력에너지 생산기술은 세계적인 수준으로 성장했지만, 연료전지, 풍력, 바이오매스 등 최근 주목받고 있는 신에너지기술은 여전히 선진국 대비 50-70%수준에 불과하다(한국공학한림원, 2007).

세계 에너지기업의 경쟁력과 상대적 위치는 경쟁과 협력이 반복되면서 형성된 세계 산업 및 기술의 위계질서 위에서 부존자원의 정도에 따라 결정되고 있다고 할 수 있다(Anderson, Arrow, and Pines, 1988; Grossman & Helpman, 1990; Caselli & Coleman II, 2003)[1].

한국 에너지기업들이 선진국과 후발국 사이에서 뒤틀리고 있는 새로운 국제기술 질서에 대응하기 위해서는 에너지 특유의 기술혁신체제(energy-specific innovation)를 구축할 필요가 있다(Negro 외, 2006; Godoe & Nygaard, 2006)). 즉 에너지 산업에서 연구개발의 효과성(effectiveness)과 효율성(efficiency)을 제고해야 한다. 연구개발의 효과성을 높이기 위해서는 독자적인 기술개발 기반을 구축하여 선·후진국 사이에서 틈새기술, 전략적이면서 동태적 비교우위를 가질 수 있는 기술개발, 상품화 하는 노력이 필요하다. 그리고 효율성을 제고하기 위해서는 위와 같이 선택된 기술 및 상품을 연구개발 하는 투자를 확대하는 한편, 연구개발의 위험을 줄여 경제적으로 개발하고 상품화하기 위해 관련기업 간 협력을 확대해야 한다. 기술개발에서 독특한 비교우위를 가지지 않고서는 경쟁력 강화를 도모할 수 없으며, 오히려 세계적인 산업 및 기술의 위계질서에서 종속적인 위치에 처할 수도 있기 때문이다.

본고에서는 한국 에너지기업들의 연구개발 효율성을 평가하는 지표 중 하나로서 현재의 기술수준과 이를 결정하고 있는 독자적인 기술개발 요인과 전방기업과 후방기업 간 협력관계 등에 대해 살펴보기로 한다[2].

이러한 목적에 따라 제II절에서는 한국 에너지기업의 기술수준을 결정하는 기업들의 자체적인 노력과 전방기업과 후방기업 간 협력관계에 대한 기존의 연구결과들을 살펴보고 한국 에너지기업의 기술개발 효율성에 대한 가설들을 설정하기로 한다. 이후 제 III절에서 가설검정의 결과와 경제적·기술적 의미를 살펴보기로 한다. 마지막으로 IV절에서는 요약 및 에너지기업에 대한 시사점과 향후 연구과제를 제시하기로 한다.

2. 기존연구와 가설설정

박중구 교수의 연구인 "한국 제조업의 기술수준 결정요인 분석(2004)"에 이은 연구로서 동 연구를 근간으로 검토하였으며, 이에 따르면 기술개발활동에 대한 기존이론은 크게 기술경제이론과 경영자원의존이론(resource dependence theory)으로 나눌 수 있다. 기술경제이론에 따르면, 규모의 경제, 기술수준은 연구개발투자, 연구개발인력, 국내시장의 경쟁정도, 기업규모 등의 영향에 따라 결정된다. 한편, 경영자원의존이론에 따르면, 에너지기업의 기술수준은 종사하고 있는 산업고유의 시스템적 특정을 고려하여 전방기업과 수많은 후방기업 간 상호의존 관계에 따라 달라진다.

본고에서는 위에서 언급한 양대 이론을 절충하여 이들 이론의 주요 결정변수를 모두 포함하는 분석모형을 설정하기로 한다.

2-1. 기술경제이론

모든 산업에서 기술수준은 기업들의 자체적인 기술개발 노력에 크게 의존한다. 에너지기업들은 경쟁적으로 연구개발투자를 늘리고 연구개발인력을 확보하여 자사의 기술영역(technological frontier)을 확대함으로써 신기술, 신제품을 개발하거나 생산하고자 한다. 이를 통해 시장점유율을 확대하고 매출액을 증대시키며, 또 여기서 창출된 수익으로 연구개발투자를 증대시킴으로써 신기술·신제품의 개발 및 상업화를 촉진하고 있다.

따라서 어느 한 기업이나 한 산업, 한 나라의 성장과 기술개발은 상호 긍정적인(+)효과가 있는 것으로 분석된다(Gomulka, 1990; Fagerberg, 1994). 더 나아가, Dosi (1988)는 기술개발능력(technological capability)의 차이가 기업 간, 국가 간 성장률 및 소득격차를 유발한다고 주장하고 있다.

---

1) Holland(1998)는 대등한 입장에 있는 경제주체 간 상호작용 속에서 틈새를 창출하는 세계경제를 적응적 비선형 네트워크(adaptive nonlinear network)라고 설명하고 있다.

2) 여기서 전방기업과 후방기업은 국가에너지위원회(2006)의 국가에너지기본계획에 정의된 대로, 전방기업은 엔지니어링회사, 중전기기회사, 정유업계, 발전사 등과 한전, 석유공사, 가스공사 등을, 후방기업은 신재생에너지사업자, 도시가스회사, 구역전기사업자, 에너지절약전문기업을 포함한다.

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

2-1-1. 규모의 경제

에너지 기업이 수익을 극대화하기 위해서는 생산량이 증가함에 따라 단위생산비용이 감소하는 규모의 경제효과를 거둘 필요가 있다. 실제로 세계적인 에너지 기업들은 규모의 경제효과를 거두기 위해 연구개발 및 생산에 대한 투자를 증대시키고 있다. 또한 안정된 시장의 확보와 경쟁력 강화를 위해 적정규모의 기술투자를 하고 있다. 이에 따라 본고에서는 한국 에너지기업의 기술수준과 이에 영향을 미치는 규모의 경제효과에 대해 다음과 같은 가설 1을 설정하기로 한다.

가설 1 : 한국 에너지기업에 있어서 '규모의 경제'가 클수록 해당기업의 기술수준은 높다.

R&D 준비금 제도에 따르면 법인의 경우 매출액의 3%를 중소기업의 연구 및 인력개발비용에 대하여는 25%를 세액에서 공제하는 조세특례제한법을 운영하고 있어 한국가스공사(매년 200억 원) 및 S-Oil의 경우 많은 비용을 연구개발에 사용하여 인텔리전트 피그, 천연가스의 DMF변환시설, 세계 최고수준의 초저유황경유 제조 등 규모의 경제에 따른 연구비 투자에 따른 결과라고 할 수 있다.

2-1-2. 국내시장 경쟁정도

Schumpeter(1934, 1942)는 19세기 말 유럽의 산업구조를 연구한 결과 새로운 아이디어, 신상품 및 신공정 등의 개발에 의해 시장에 진입한 혁신적 기업은 생산·조직·유통 등에서 기존의 방식을 탈피하여 독점적 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 연구개발 자금을 조달하는데 더 유리하다고 보았다.[3] 한편, Scherer(1980)는 1964-1978년의 미국 에너지기업 87개 업종을 표본으로 한 Schumpeter 가설 검정에서 연구개발변수와 시장집중도 간에 상당히 높은 상관관계가 존재하고 있다고 분석하고 있다.[4]

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

최근 들어 Schumpeter가설의 검정에 관한 연구동향을 살펴보면, 분석 대상산업의 수명주기(life cycle) 관점에서 파악하는 경향이 두드러진다. 즉, 산업의 초기단계에서는 경쟁적 시장에 진입한 중소기업의 기술혁신이 더 활발한 반면, 성숙단계에 진입하면 독과점적 시장에서 대기업의 기술혁신이 더 활발하게 이루어지고 있다고 분석하고 있다. 본고에서는 한국 에너지기업의 기술수준과 이에 영향을 미치는 시장경쟁 정도에 대해 다음과 같은 가설 2를 설정하기로 한다.

가설 2 : 한국 에너지기업에 있어서 국내시장구조가 경쟁적일수록 국내외 경쟁사에 비해 기술수준이 높다.

2-1-3. 연구개발투자 비중

연구개발투자는 Schumpeter가설의 검정을 위한 모델의 종속변수, 즉 기술혁신을 나타내는 대리변수지표로 널리 이용되고 있다. 그러나, 엄밀히 말하면 R&D 투자액은 기술혁신 그 자체라기보다는 Scherer(1980)의 분석에서와 같이 이를 달성하기 위한 투입지표라고 할 수 있다.

일반적으로 연구개발투자의 비중이 높을수록 기술혁신의 성과지표라 할 수 있는 기업(또는 산업)의 생산성 증가율이나 매출액 증가율, 특허 건수 등은 크며, 해당 기업의 기술수준이 다른 기업들에 비해 높다고 할 수 있다. 이에 따라 다음 가설 3을 설정하기로 한다.

가설 3 : 한국 에너지기업에 있어서 R&D투자 비중이 클수록 해당기업의 기술수준이 높다.

2-1-4. 연구개발인력 비중

기술개발을 위한 환경요인으로서 연구개발인력의 중요성은 아무리 강조해도 지나침이 없다. 특히 우리나라 에너지기업이 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

3) 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.

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

위해서는 그 주역이라고 할 수 있는 우수한 연구개발인력의 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 말할 수 있다. 이에 따라 다음 가설 4를 설정하기로 한다.

가설 4: 연구개발인력을 국내외 경쟁사에 비해 상대적으로 충분하게 확보하고 있는 경우 그 에너지기업의 기술수준은 높다.

2-1-5. 기업규모

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. 즉, 기술개발에는 막대한 연구개발투자가 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 신축적으로 대응할 수 있으며, 연구개발에 있어서도 최소 효율규모가 존재한다고 주장하고 있다. Greer(1992)는 Scherer(1980)의 실증분석을 인용하면서, 기업규모의 증가가 임계점(critical point)에 도달하면, 이후 연구개발활동에 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.

Sturgeon 외(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. 최근 들어 모듈형 산업조직(modular industry organization)이 활성화되면서 혁신능력과 기업의 규모와 범위, 진입조건 등의 관계에 대해서 다른 관점을 제공하고 있다. 즉 제조공정상 많은 부분을 외부조달(outsourcing)하고 있는 기업들은 더 이상 생산과 관련된 고정자산에 재정적, 관리적 투자를 하지 않으며, 기술혁신에 집중하면서 조직적으로나 지리적으로 보다 유연한 구조를 형성하고 있다는 것이다. 시장 지배적 기업들의 시장위치는 생산설비에 대한 대규모의 기업특유적(firm-specific) 투자에 의해 보호되지 않으며, 시장진입도 기존 기업이 대규모의 사내 고정자산을 활용하여 장벽을 쌓을 수 없게 되어 유연하게 바뀌고 있다.

국내의 선행연구를 살펴보면, 이원영·정진승(1985), 김적교·조병택(1989) 등은 한국 제조업의 경우 기업의 절대적 규모가 커질수록 기술개발 집약도는 감소하는 것으로 분석하고 있다.

그러나 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 에너지기업을 대상으로 검증하기 위해 가설 5를 설정하기로 한다.

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

2-1-6. 전방기업과 후방기업 간 협력정도

산업의 기술개발에 관한 기술경제이론은 산업고유의 시스템적 특성이라고 할 수 있는 전방기업과 수많은 후방기업 간 상호 의존관계를 간과하고 있다. 예를 들어, 자동차나 전자제품은 무수히 많은 부품을 조립하여 생산하게 되는데, 이때 이들 제품의 품질과 가격은 완제품 조립기업과 부품 제공기업간의 종합적인 기술개발 및 상호이익이 되기 위해서는 연구개발에서 디자인, 제조, 마케팅에 이르기까지 부가가치를 창출할 수 있는 공급사슬(supply chain)의 모든 과정에서 자본·정보 등 경영자원을 교환, 공유하는 것이 매우 종요하다(Banerji & Sambharya, 1996). 특히, 협력관계가 장기간 지속적으로 이루어지면서 상호 신뢰관계가 형성되고 공동투자, 자산의 전용성 등을 통해 상호 의존관계가 심화되는 것을 '系列(계열, 게이레쓰)관계'로 발전한 것으로 볼 수 있다(Gelach, 1993).

Lyons 외(1990) 등은 조립 대기업과 부품공급 중소기업 간에 협력관계를 맺음으로써 양자 간에 가질 수 있는 유리한 점과 불리한 점을 분석하고 있다. 특히, 기술개발과 관련하여 조립 대기업은 기술적으로 앞서 있는 전문 부품업체들로부터 첨단부품을 공급받을 수 있으며, 부품기업은 조립 대기업의 개발계획에 부응하는 연구개발을 수행함으로써 그 효과를 높일 수 있다고 분석하고 있다. Womack 외(1993) 등은 일본 완성차기업의 경우 신제품 개발 모델변화를 추구할 때, 개발구상 단계부터 필요부품의 생산을 담당하는 부품기업들과 공동개발체제를 구축하고 있다고 분석하고 있다.

한편, Helper(1987)는 미국 완성차기업의 수직적 통합 정책 및 외부 부품공급기업과의 퇴출시스템(exit system)에 기초한 거래관계는 부품기업의 기술진보를 유도하는데 성공하지 못했다고 주장하고 있다. 이는 완성차기업과 부품기업 간 관계는 퇴출 시스템보다는 신뢰의 증대, 계약기간의 장기화, 정보공유의 확대 등에 바탕을 둔 협력시스템(voice system)으로 변화해야 만 부품업체의 기술진보에 긍정적인 영향을 줄 수 있다는 것을 시사하고 있다. 1990년대 이후 미국의 자동차 '빅3'과 유럽(EU)의 자동차산업도 일본 기업과의 경쟁에 뒤지지 않기 위해 조립기업과 부품공급기업 간 효율적인 계열시스템 구축 등 업계 간 공조체제를 강화하고 있다. 이러한 협력관계에 의한 기술수준의 제고 정도를 한국 제조업을 대상으로 검증하기 위해 가설 6을 설정하기로 한다.

가설 6 : 한국 에너지기업에 있어서 전방기업과 후방기업 간 상호협력의 정도가 클수록 해당기업의 기술수준이 높다.

3. 변수선택과 분석방법론

3-1. 변수의 선택

이상에서 살펴본 기술경제이론 및 경영자원의존이론을 응용하여, 한국 에너지기업의 기술수준을 결정하는 요인으로 설정된 기술경제적 변수와 경영자원의존이론의 상호협력을 나타내는 대리변수는 다음과 같이 선정되었다.

① 규모의 경제는 "귀사가 생산하는 주력제품은 어느 정도 규모의 경제를 누리고 있는가?"라는 설문에 대한 응답여부를 대리변수로 간주한다.

② 국내시장 경쟁정도는 "귀사의 주력제품은 국내시장에서 어느 정도 경쟁 상태에 있는가?"라는 설문에 대한 응답여부를 대리변수로 간주한다.

③ 연구개발투자 비중은 각 기업의 매출액 중 실제로 연구개발에 투입된 금액의 비중(%)을 기준으로 구분한다.

④ 연구개발인력 비중은 각 기업의 종업원 총수에서 연구개발 분야에 종사하는 연구원 수가 차지하는 비중(%)을 기준으로 구분한다.

⑤ 기업규모의 대리변수로서는 보통 매출액이나 자본금 또는 유형고정자산 등을 많이 사용하지만, 여기서는 종업원 수를 대리변수로 사용하기로 한다.

⑥ 경영자원의존론적 요소인 전방기업과 후방기업 간 상호 협력변수는 협력적 도급관계의 정도를 대리변수로 간주한다. 즉 전방기업의 후방기업에 대한 전속성(exclusivity)의 정도, 계약기간(longevity)의 장·단기, 양자 간 상호협력 및 친밀성(closeness)의 강약 등 세 가지를 선택하고(Richardson, 1993), 이를 단순 평균한 값으로 삼았다. 이 세 요소가 길거나 강할수록 상호 협력의 정도는 깊다고 해석할 수 있다.

⑦ 마지막으로, 종속변수에 해당하는 한국 에너지기업의 기술수준은 "귀사 주력제품의 기술수준은 세계 최고수준 대비 어느 수준에 있는가?"라는 설문에 대한 응답여부를 대리변수로 간주한다.

3-2. 자료 및 분석방법론

제II절에서 설명한 바와 같이, 국내외 경쟁기업과 비교한 기술수준을 구체적 실물통계로 구하기에는 많은 어려움이 따른다. 동일 업종 내에서도 가격이나 기능에 따라 천차만별이며, 통일된 지표로 측정하기도 어렵기 때문이다. 따라서 본고에서는 기술수준을 결정하는 요인을 분석하기 위해 국내 에너지기업을 대상으로 설문조사 자료를 활용하기로 하였다.

설문의 내용은 'Kotabe(1992)가 Global Sourcing Strategy'에서 활용한 것을 바탕으로 하여 서울산업대학교 에너지환경대학원의 예비검토를 거쳐, 그 동안 정성분석 또는 빈도분석에 그쳤던 변수들을 Likert-type 스케일(scale)로 평가하여 정량화하였다.

즉, 가설검정에 있어서 독립변수에 해당하는 변수들은 2-7점 척도로 측정되었다. 즉, 규모의 경제효과를 측정하는 생산규모의 적정성은 3점 척도로, 시장구조의 특징을 나타내는 국내시장 경쟁정도는 7점 척도로 측정하였다. 또한 매출액 대비 연구개발투자 비중과 종업원 수 대비 연구개발인력 비중은 각각 7점 척도로, 기업규모를 나타내는 종업원 수는 300명을 기준으로 2점 척도로 측정하였다. 한편, 경영자원의존이론의 관점에서 사용한 전방기업-후방기업 간 상호 협력 변수는 7점 척도로 측정되었다. 그리고 가설검정에서 종속변수인 세계 최고기업과 비교한 제품기술수준은 7점 척도로 측정되었다. 위 변수들은 척도가 높을수록 에너지기업들이 각 항목에서 평가하는 빈도나 정도가 점점 크거나 높아지는 오름차순으로 정리되었다.

다음으로 조사된 내용을 간략하게 살펴보면(<Table. 1> 참조), 1,000개의 에너지 기업(한국신용평가정보 확인기업은 598개)중 응답한 에너지기업(307개, 회수율 30.7%)의 19.6%가 주력제품이 '규모의 경제를 누리고 있다'고 응답한 반면, '규모의 경제'를 누리기 위해 '생산을 크게 늘려야 한다.'고 응답한 기업은 41.6%, '생산을 조금 늘려야 한다.'는 의견은 38.8%를 차지했다. '국내시장에서의 경쟁정도'에 대해서는 '매우 독과점적'이라고 응답한 기업이 4.1%, '상당히 독과점적'이라고 응답한 기업이

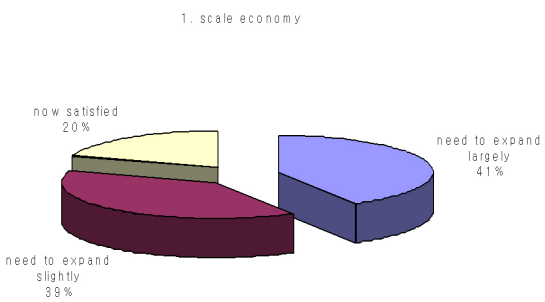
Table 1. Technological Level & Its Determinants of Korean Energy Firms.

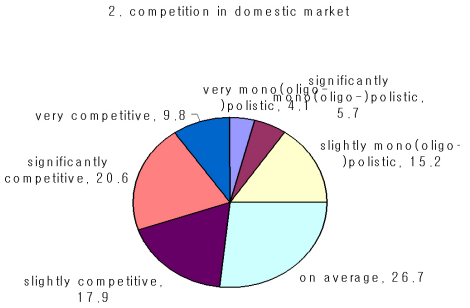
	classification	contents	weight(%)
1	scale economy	need to expand largely	41.6
		need to expand slightly	38.8
		now satisfied	19.6
2	competition in domestic market	very mono(oligo-)polistic	4.1
		significantly mono(oligo-)polistic	5.7
		slightly mono(oligo-)polistic	15.2
		on average	26.7
		slightly competitive	17.9
		significantly competitive	20.6
		very competitive	9.8
3	R&D expenditures / sales	under 1%	8.2
		1-2%	14.5
		3-4%	15.5
		5-6%	20.9
		7-8%	8.6
		9-10%	14.1
		above 11%	18.2
4	R&D manpower / employees	under 1%	2.2
		1-3%	20.4
		4-6%	15.6
		7-9%	10.2
		10-12%	17.8
		13-15%	7.6
		above 16%	26.2
5	cooperation between upstream- and downstream firms	very uncooperative	4.9
		significantly uncooperative	10.8
		slightly uncooperative	18.5
		on average	44.5
		slightly cooperative	11.9
		significantly cooperative	7.7
		very cooperative	1.7
6	number of employees	under 300	86.7
		above 300	13.3
7	technological level against world-best level	very delayed(0-20%)	3.2
		significantly delayed(21-40%)	2.5
		slightly delayed(41-60%)	16.7
		delayed but likely pursuing(61-80%)	19.6
		significantly pursuing(81-90%)	26.7
		very pursuing(91-98%)	18.1
		now world-best level(100%)	13.2

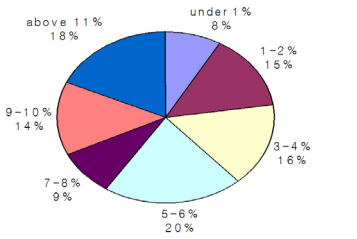
source : SNUT(2007), 「Survey on Technological Capabilities of Korean Energy Firms」

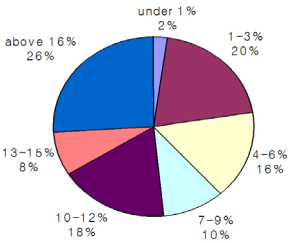
5.7%, '약간 독과점적'이라고 응답한 기업이 15.2%를 차지하여 독과점적이라고 응답한 기업이 25%인 반면, '약간 경쟁적'이라고 응답한 기업은 17.9%, '상당히 경쟁적'이라고 응답한 기업은 20.6%, '매우 경쟁적'이라고 응답한 기업은 9.8%를 차지하여 경쟁적이라고 응답한 기업은 48.3%로 조사되었다. '매출액 대비 연구개발투

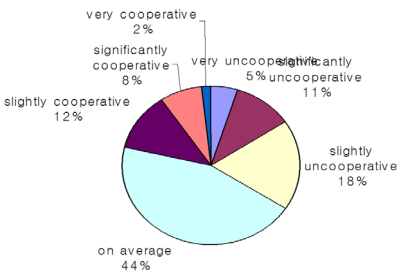
자액'은 4% 이하라고 답한 기업이 전체 응답기업의 38.2%인 반면, 5% 이상이라고 응답한 기업은 61.8%이었다. '전체 종업원 중에서 연구개발인력의 비율'이 6% 이하라고 답한 기업이 38.2%인 반면, 7% 이상이라고 응답한 기업은 61.8%이었다. '전방기업과 후방기업 간 협력관계'는 '매우 비협력적'이라고 응답한 기업이 4.9%, '상당히 비협력적'인 경우가 10.8%, '약간 비협력적'적인 경우가 18.5%로서 비협력적인 경우가 34.2%인 반면, '약간 협력적'인 경우가 11.9%, '상당히 협력적'인 경우가 7.7%, '매우 협력적'인 기업이 1.7%를 차지하여 협력적인 경우가 21.3%에 그친 것으로 조사되었다. '종업원수'를 기준으로 응답기업의 86.7%가 종업원 300인 미만인 중소기업인 반면, 300인 이상인 대기업은 13.3%를 차지하고 있는 것으로 조사되었다.

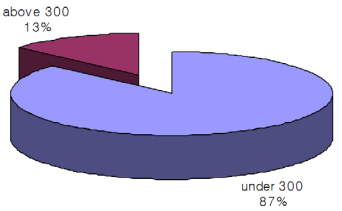


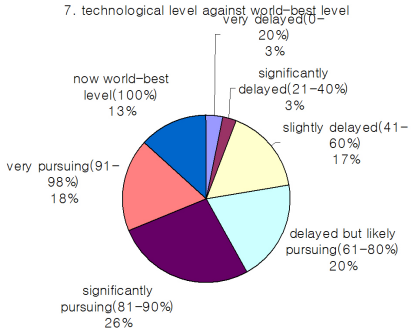












끝으로, '한국 에너지기업의 제품기술수준'은 '세계 최고수준'에 비해 58.9%, 즉 '추격 가능한 수준'으로 평가되었다. 구체적으로는 세계 최고수준에 '매우 뒤져 있다'고 응답한 기업이 응답기업의 3.2%, '상당히 뒤져있다'고 응답한 기업이 2.5%, '약간 뒤져있다'고 응답한 기업이 16.7%로 조사된 반면, 뒤져있으나 '추격이 가능하다'고 응답한 기업은 19.6%, '상당히 추격가능하다'고 응답한 기업은 26.7%, '매우 추격 가능하다'고 응답한 기업은 18.1%, '세계 최고수준'이라고 응답한 기업도 13.2%나 되는 것으로 조사됐다.

한편, 모든 변수의 데이터는 변수 간 척도의 차이에 따라 유발되는 문제점을 제거하기 위하여 척도를 표준화(normalize)하는 Z값으로 전환하였다.[5] 기본 통계적 방법론으로는 SAS(Statistical Analytic System) 통계 패키지를 활용하여, 변수의 특성과 분석목적에 맞추어 빈도분석 및 二項반응(binary response) 또는 序數的반응(ordinal response) 데이터를 대상으로 催尤추정법(maximum likelihood method: ML법)을 활용하는 線形多項로지스틱 회귀분석(multinomial logistic regression analysis)을 이용하였다(SAS, 1997).

4. 실증분석

<Table 2>는 로지스틱 절차(logistic procedure)에 사용된 독립변수들의 표본평균, 표준편차 및 변수 간 Pearson 상관계수(correlation coefficient) 등을 나타내고 있다. 본고에서 사용된 것과 같은 설문조사자료(survey data)의 회귀분석에서 다중공선성(multi-collinearity) 문제가 흔히 발생한다. 다중공선성이 생기면 추정량의 분산이 커져 회귀식의 추정치가 불안전정하고 신뢰할 수 없어지며, 추정오차가 심각하게 커지므로 통계적 추정이 의미가 줄어든다.[6]

이를 감안하면 독립변수 간 상관관계의 유무를 나타내는 기준을 ±0.500으로 할 경우, 국내 에너지기업들의 제품기술수준에 영향을 미치는 변수로 설정된 독립변수들은 다중공선성이 없는 것으로 밝혀졌다.

<Table 3>은 한국 에너지기업의 세계 최고 경쟁사와 대비한 제품기술수준을 종속변수로 하는 다항 로지스틱 회귀분석의 결과를 나타내고 있다. 우선 전술한 '가설'에서 시사된 바와 같이, 한국 에너지기업의 세계 최고 대비 제품기술수준은 기술경제적 요인인 규모의 경제, 국내시장 경쟁정도, 연구개발인력 비중, 연구개발투자 비중 및 종업원 수 등과 경영자원 의존이론적 요인인 전방기업과 후방기업 간 상호협력 등으로부터 모두 긍정적인(+) 영향을 받을 것으로 가정되었다.

가설로 설정된 모형(Model)의 적합성을 나타내는 F값은 4.88로서 독립변수들이 1%의 통계적 유의수준으로 종속변수를 잘 설명하고 있다는 것을 나타내고 있다.

실제로 가설검정의 결과를 보면(<Table 3> 참조), 한국 에너지기업체들의 기술수준은 규모의 경제와 전·후방 기업간 상호협력관계로부터 긍정적인 영향을 받고 있는 것으로 분석되었다. 반면, 종업원 수로 대변되는 기업규모는 가설에서 예상된 것과 반대(-)의 영향을 받고 있는 것으로 나타났으며, 국내시장 경쟁정도, 연구개발투자 비중, 연구개발인력 비중 등은 국내 에너지기업의 세계 최고수준 대비 기술수준에 영향을 미치지 못하고 있는 것으로 분석되었다.

구체적으로 살펴보면, ① '규모의 경제'를 나타내는 변수는 기술수준에 긍정적인(+) 영향을 미치면서 통계적으로도 유의미한 것으로 나타났다. 이로써 규모의 경제가 클수록 기술 수준이 높아진다는 가설 1('Schumpeter Mark II')은 채택되었다.

② '국내시장의 경쟁 정도'를 나타내는 변수는 기술 수준에 부정적인(-) 영향을 미치면서 통계적으로도 무의미한 것으로 나타났다. 이로써 국내시장의 경쟁 정도가 클수록 기술수준이 높아진다는 가설 2('Schumpeter Mark I')는 기각되었다.

이와 같은 결과는 한국 에너지 시장이 독점적(설문응답기업의 25%)이기보다는 경쟁적(48.3%)이긴 하지만, 내부적으로 수·위탁관계를 분석하면 시장경쟁에 의한 경우(37.5%)보다는 시장경쟁이 아닌 계약 등의 형태에 의한 경우(62.5%)가 크기 때문인 것으로 해석된다. 계약의 형태로 보면, 여러 중소기업과 하도급관계를 맺는 다수 발주 및 조달(multiple sourcing)방식이 62%를 차지하고 있는 반면, 1개 특정사와 하도급관계를 맺는 단수발주 및 조달(single sourcing)방식이 20%, 초기진입 또는 기술개발단계에서는 경쟁하다가 수주계약 시에는 특정 최우수기업과만 하도급관계를 맺는 병행발주 및 조달

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

6) 다중회귀모형에서 최소 제곱 추정치는 $b=(X'X)^{-1}X''y$로 주어짐. 수학적으로 X'X가 정칙행렬이면 역행렬은 항상 존재하기 때문에 최소제곱 추정치를 계산하는 데 문제가 없다. 그러나 설명(독립)변수들 간에 상관관계가 매우 커 X'X가 계산상으로 비정칙(computa- tionallynear-singular)에 가까운 경우를 쉽게 접할 수 있다. 이러한 상황에서는 X'X의 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 표기가 된다는 의미이며, 이러한 경우는 회귀모형에서 필요 없는 변수가 된다.

Table 2. Sample Mean, Standard Deviation and Correlation Coefficients of Independent Variables.

independent variables	sample mean	standard deviation	1	2	3	4	5	6
1. scale economy	2.16	1.766	1	0.330**	0.027	- 0.004	0.051	0.484**
2. competition in domestic market	4.66	1.735	0.330**	1	- 0.110	- 0.074	- 0.044	0.162**
3. R&D expenditures / sales	4.52	1.985	- 0.004	- 0.074	1	0.461**	- 0.320**	- 0.004
4. R&D manpower / employees	4.37	2.073	0.027	- 0.110	0.461**	1	- 0.173**	- 0.003
5. Number of employees	3.27	2.232	0.051	- 0.044	- 0.173**	- 0.320**	1	0.155**
6. cooperation between upstream and downstream firms	4.13	1.798	0.484**	0.162**	- 0.003	- 0.004	0.155**	1

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

Table. 3. Multiple Regression Analysis on Determinants of Technological Level in Korean Energy Firms

independent variables	signal forecast	estimated coefficients
1. scale economy	+	0.278***
2. competition in domestic market	+	- 0.047
3. R&D expenditures / sales	+	0.009
4. R&D manpower / employees	+	0.048
5. Number of employees	+	- 0.128*
6. cooperation between upstream and downstream firms	+	0.142**
F-value		4.882***

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

(parallel sourcing)방식이 18%를 차지하고 있는 것으로 조사되었다. 특히 다수발주 및 조달방식의 경우 종업원 수가 적고 매출액이 10 ~ 30억 원 미만인 중소기업의 비중이 상대적으로 높은 것으로 조사되었다.

③ '연구개발 투자비중' 변수는 한국 에너지기업의 기술 수준에 긍정적인(+) 영향을 미치고 있으나 통계적으로는 유의미하지 않는 것으로 나타났다. 따라서 기업의 매출액 중 연구개발투자가 차지하는 비율이 높을수록 그 기업의 기술 수준이 높아진다는 가설 3은 기각되었다.

설문조사 결과, 매출액 대비 연구개발 투자비중이 5 ~ 6%인 에너지기업이 가장 많았으며, 종업원 수와 매출액이 적을수록, 연구개발인력의 비율이 클수록 높은 투자 비중을 보이는 것으로 조사되었다. 또한 국내 에너지기업의 연구개발투자가 현재 세계최고수준의 기술을 추격하는데는 충분한 수준(설문응답기업의 31.3%)이라는 인식이 불충분한 수준(27.7%)이라는 인식보다 높았으나, 향후 신기술의 개발을 위해서는 불충분한 수준(44.2%)이라는 인식이 충분한 수준(25.5%)이라는 인식보다 높은 것으로 조사되었다.

④ '연구개발인력 비중' 변수는 한국 에너지기업의 기술수준에 긍정적인(+) 영향을 미치고 있으나, 통계적으로 유의미하지 않은 것으로 나타났다. 즉, 기업의 종업원 수 중 연구개발인력의 수가 차지하는 비율이 높을수록 그 기업의 기술 수준이 높아진다는 가설 4는 기각되었다. 이러한 결과는 설문응답 에너지기업의 77.5%가 종업원의 수 100인 미만인 것을 감안할 때 적은 종업원 수에 비하여 과학자나 엔지니어로 구성되는 연구개발인력의 비중이 높다고 할지라도 실제로 연구개발에 주력하는 인력의 절대규모는 적다는데 기인한다.

이러한 결과는 국내 에너지기업에 종사하는 기업이 연구개발인력이 현재 수준의 기술을 추격하거나 신기술의 개발에도 불충분한 것으로 나타난 설문조사의 결과를 반영하고 있다. 그러나 이러한 연구개발인력의 부족은 우리나라 에너지 산업의 발전 단계가 자본 투입 주도형 단계를 지나 혁신 주도형 단계에 진입하려는 시점에서 심각한 문제를 초래할 수 있다.

⑤ 기업 규모를 대변하는 종업원 수는 한국 에너지기업의 기술 수준에 부정적인(-) 영향을 미치고 있으며, 통계적으로도 유의성이 있는 것으로 분석되었다. 이로써 가설 5, 즉 기업규모가 클수록 해당기업의 기술수준이

높다는 가설은 기각되었다.

이러한 분석결과는 한국 에너지 기업의 기술 수준에 있어서는 Schumpeter-Galbraith의 '대기업 우위 가설'('Schumpeter Mark II')은 지지를 받지 못하는 반면, Scherer의 '중소기업의 효율성 우위 가설'이 설득력을 갖는 것으로 의미한다. 이러한 결과는 설문응답 에너지기업의 86.7%가 중소기업이라는 것을 반영하고 있다고 할 수 있다.

⑥ 경영자원의존이론에 해당하는 변수인 '전방기업과 후방기업 간 상호협력 정도'는 한국 에너지기업의 기술수준에 긍정적인(+) 영향을 미치고 있으며, 통계적으로도 유의성이 있는 것으로 분석되었다. 즉, 전방기업과 후방기업 간 협력의 강도가 높을수록 시너지(synergy)효과가 발생하여 기술 수준도 높아지게 됨을 확인할 수 있다.

5. 결 론

본고는 한국 에너지기업의 기술수준을 결정하는데 영향을 미치는 기술경제 이론적 변수와 경영자원 이론적 변수들의 영향을 살펴보았다. 한국 에너지기업의 세계 최고수준 대비 기술수준은 기술경제적 요인인 규모의 경제와 전·후방기업간 상호협력관계로부터 긍정적인 영향을 받고 있는 것으로 분석 되었다. 반면, 국내시장의 경쟁정도, 연구개발투자 비중, 연구개발인력 비중 등은 국내 에너지기업의 세계 최고수준 대비 제품기술수준에 영향을 미치지 못하고 있는 것으로 분석되고 있다.

이제 이러한 설문조사 및 실증분석 결과로부터 한국에너지기업의 제품기술수준을 제고하기 위한 정책적 시사점을 살펴보기로 한다.

첫째, <Table 1>에서 설명한 바와 같이 한국 에너지기업의 제품기술수준은 세계 최고수준에 비해 58%가 '추격 가능한 수준'이라고 평가하고 있다. 그리고 기술개발을 '기초연구 → 응용연구 → 개발연구'의 세 단계로 분류할 경우, 국내 에너지 기업의 기술개발 대상기술은 기초연구, 응용연구 및 실제경험으로부터 획득한 지식을 활용하여 제품 생산 및 공정개선을 목적으로 하며 1~2년 이내에 실용화 가능한 '개발연구' 부문에 치중되어 있는 것(72.1%)으로 조사되었다. 반면, 특정 응용 목적 없이 새로운 과학 및 지식의 획득을 위한 이론적 연구이며 불확실성이 크고 5~10년 후 활용가능한 기초연구에 대해서는 설문응답기업의 8.0%가, 그리고 기초연구의 결과 및 지식을 활용하여 특정 실용적 목적을 가진 기반적 연구로 3~5년 이내에 활용한 응용연구에 대해서는 19.9%가 종사하고 있는 것으로 조사되었다.

그러나 제품의 수명주기(product life cycle)로 보아 개발연구부문에서는 후발 개도국의 추격속도가 매우 빠르다는 점을 감안한다면 한국과 중국 등 후발 개도국 간 기술격차는 빠른 속도로 단축될 가능성이 있다. 설문조사의 결과, 한국 에너지기업의 기술수준은 2007년 현재 중국에 비해 4-5년 앞서 있는 것으로 나타났다. 그러나 앞선 기술이 2년 내에 실용화 가능한 개발연구에 해당하기 때문에 중국의 추격속도에 따라 2 ~ 3년 정도로 단축될 가능성을 나타내고 있다. 이에 따라 첨단기술을 확보하여 선진국과의 기술경쟁에 대응하기 위해서는 기술개발대상 분야를 좀더 높은 수준의 원천기술의 개발로 이동할 필요가 있다. 이를 위해서는 당장 눈앞의 이익을 실현할 수 있는 제품개발 쪽에 중점을 두고 선진국에서 이미 개발된 제품의 모방을 통한 개발에 주력하는 추격(catching-up)의식을 극복하고, 중·장기적 기술경쟁력을 향상시킴으로서 기초·기반기술 분야에서 선두주자(front-runner)가 되겠다는 기업의지와 정부지원이 필요하다.

둘째, 시장경쟁의 정도가 높을수록 기술개발이 촉진될 수 있다는 가설과 다르게 한국 에너지기업의 기술수준의 결정은 이와 상관관계가 없는 것으로 분석되었다. 이에 따라 한국 에너지기업의 기술수준을 제고하기 위해서는 국내시장을 더욱 경쟁적으로 전환해야 한다는 정책적 시사점을 얻을 수 있다.

셋째, 국내 에너지기업의 연구개발 활동에 영향을 미치지 못하고 있는 연구개발투자의 부족을 보완하는 정책적 노력이 필요하다. 에너지 산업구조의 첨단기술화 및 융·복합화에 대응하고 선진국의 기술보호주의를 극복하기 위해서는 핵심기술을 개발할 수 있는 연구개발투자의 확충이 무엇보다 중요하기 때문이다.

그러나 2005년 현재 정부의 에너지 연구개발 투자는 미국의 1/27, 일본의 1/23 수준에 불과하며, 국가 총 연구개발투자 중 에너지분야 비중 역시 일본이 20.7%인 반면, 한국은 4.1%로 매우 미흡한 실정이다. 또한 에너지산업의 경쟁력 강화를 위해 필요한 중장기적인 융·복합 비즈니스 모델도 부족한 것으로 지적되고 있다(원장묵, 2007).

설문조사의 결과, 연구개발 활동과 관련한 정부의 역할로 한국 에너지기업은 연구개발자금 지원의 확대(41%)를 가장 중시하며, 이어 판로개척 지원(14.8%), 산·학·연 연계강화 지원(10.2%), 연구인력양성 지원(7.8%) 등 소프트웨어적 인프라 확충을 중요시하는 것으로 조사되었다. 반면, 첨단연구개발 설비확충(3.2%) 등 하드웨어적 지원에 대한 응답비중은 상대적으로 낮았다. 이에 따라 정부의 연구개발에 대한 지원은 하드웨어적 지원보다는 소프트웨어적 지원으로 전환해야 할 것으로 생각된다.

넷째, 국내 에너지기업의 연구개발 활동에 영향을 미치지 못하고 있는 연구개발인력의 부족을 보완하는 정책적 노력이 필요하다. 즉 연구개발인력의 수급을 전망하고, 수급을 맞출 수 있는 교육·훈련제도의 확충과 특히

현안이 되어 있는 이공계 기피현상의 극복 등에 대한 계획을 제시할 필요가 있다.

다섯째, 한국 에너지기업의 국내·외 경쟁사 대비 제품 기술수준은 종업원 수로 평가한 기업규모가 클수록 높지 않은 것으로 나타났는데, 이러한 결과는 개발연구에 치중하고 있는 중소기업의 기술개발력을 강화하는 한편, 세계 최고수준 대비 기술수준을 제고하기 위해 필요한 기초연구 및 응용연구를 담당할 수 있는 대기업의 연구개발노력을 확대하기 위한 정책적 노력이 필요하다는 것을 의미한다.

여섯째, 경영자원 측면에서 상호 협력관계가 한국 에너지기업의 기술수준을 높이는데 많은 기여를 하는 것으로 나타났는데, 향후 기술추격의 가능성과 기술융합화 요구, 신기술개발의 난이도 등을 고려하여 관련기업 간 공동개발이나 전략적 제휴를 통해 공동발전(coevolution)을 촉진하는 기업문화가 조장되어야 한다(Eisenhardt and Galunic, 2000).

그러나 '중소기업이 대기업과 상호협력 하에 기술개발, 자동화투자, 공정혁신 등을 통해 달성한 이익을 공동분배하는 규칙이 확립되어 있느냐?'하는 설문에 대해 설문응답기업의 65.6%가 부정적인 답변을 하고 있다. 이에 따라 한국 에너지기업이 지속적으로 발전하기 위해서는 대·중소기업 간에 기술개발과 생산비용의 절감을 위해 공동으로 노력하고 그 성과를 공유하는 가치경영기법(VA, VE)을 적극적으로 활용할 필요가 있다.

마지막으로 본 연구의 한계와 향후 연구과제를 지적해 두고자 한다. 우선 기술수준을 결정요인을 평가함에 있어 중소기업과 대기업을 분리하여 좀 더 객관적이고 정확한 자료가 나타나도록 본래의 개념을 대리하는 변수를 명확히 하지 못한 점을 들 수 있다. 그러나 한편으로 이러한 지표들에 대한 정확한 통계를 획득하기도 어렵기 때문에 객관적인 지표를 구하고 활용할 필요가 있다.

향후 연구과제로는 에너지기업 기술수준의 정도와 그 결정요인들을 규모와 업종별로 분류하여 좀 더 미시적으로 분석할 필요가 있다. 또한 전략적 접근방식에 따라 한국 에너지기업의 기술발전방향을 제시해 볼 필요가 있다는 점이다.

참고문헌

1. 박중구 SNUT. "한국 제조업의 기술수준 결정요인 분석", 公共經濟 제9권 제1호, (2004).
2. 김적교·조병택. "연구개발 시장 규모 및 생산성", 한국개발연구원, (1989).
3. 원장묵. "에너지기술 R&D 추진전략", 에너지공학회 추계학술대회 특별강연, (2007).
4. 이원영·정진승. "시장구조와 기술혁신", 한국개발연구, 7(4), (1985).
5. 한국공학한림원. "미래에너지의 국가 어젠다", (2007).
6. Anderson, P.W, Arrow, K.J, & Pines, D.eds. "The Economy as an Evolving Complex System", Redwood City, CA: Addison-Wesley Publishing Company, (1988).
7. 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).
8. Banerji, K. & Sambharya, R.B. "Vertical Keiretsu and International Market Entry : The Case of the Japanese Automobile Ancillary Industry", Journal of International Business Studies, First Quarter, pp.89-113, (1996).
9. Ballonoff, P. Energy: Ending the Never-Ending Crisis, Cato Institute, (1997).
10. Caselli, F. & Coleman Ⅱ W.J. "The World Technology Frontier", Working Paper, Harvard University, (2003).
11. Dosi, G. "Procedures and Microeconomic Effect of Innovations", Journal of Economic Literature, 26(3), pp. 1120-1171, (1998).
12. Eisenhardt, K. M. & D.c. Galunic "Coevolving: at Last, a Way to Make Synergies Work", Harvard Business Review, pp. 91-101, (2000).
13. Galbraith, J.K. "American Capitalism", 2nd ed., Boston: Houton Mifflin, (1956).
14. Gelach, M.L. "The Japanese Corporate Network: A Block Model Analysis", Administrative Science Quarterly, 37, (1992).
15. Godoe, H. and Nygaard, S. "System Failure, Innovation Policy and Patents: Fuel Cells and Related Hydrogen Technology in Norway 1990-2002," Energy Policy, Vol. 34, pp. 1697-1708, (2006).
16. Greer, D.F. "Industrial Organization and Public Policy", 3rd ed. New York: Macmillan, pp. 664-666, (1992).
17. Gomulka, S. "The Theory do Technological Change and Economic Growth", New York: outedge, (1990).
18. Grossman, G.M. & Helpman, P. "Innovation and Growth in the Global Economy", MIT Press : Cambridge, (1990).
19. Helper, S. "Supplier Relation and Technical Change : Theory and Application to th US Automobile Industry", Ph.D. Dissertation, Harvard University, (1987).
20. Holland, J.H. "The Global Economy as an Adaptive Process", in Anderson, P. W., Arrow, K.J. and Pines, D. eds., The Economy as an Evolving Complex system, Redwood City, CA:Addison-Wesley Puhlishing Company, (1988).
21. Kamien, M.I. & Schwartz, N.L. Market Structure and Innovation, Cambridge: Cambridge University Press, (1982).
22. Kotabe, M. "Gloval Sourcing Strategy: R&D, Manufacturing and Marketing Interfaces", Mew. York: Quorum Books, (1992).
23. Lyons, T.F, Krachenberg, A.R, & J.W. Henke. "Mixed Motive Marriages: What's next for Buyer-Supplier Relations?", Sloan Management Review, 29(1), pp. 29-36, (1990).

24. Negro, S.O, Hekkert, M.P, & Smits, R.E. “Explaining the Failure of the Dutch Innovation Systems for Biomass Digestion - A Functional Analysis,” Energy Policy, Vol. 34, (2006).
25. Nelson, R.R. & Winter, S.G. “The Schumpeterian Tradeoff Revisited,” American Economic Review, Vol. 72, No.1, (1982).
26. SAS/STAT. User's Guide, Vol. 2 Fourth Edition, (1994).
27. Scherer, F.M. Industrial Market Structure and Economic Performance, Rand McNally, (1980).
28. Schumpeter, J.A. The Theory of Economic Development, Cambridge: Harvard University Press, (1934).
29. Schumpeter, J.A. Capitalism, Socialism, and Democracy(1942), New York: Harper & Row, (1942).
30. Smika, M.J. Competitive Ties: Subcontracting in the Japanese Automobile Industry, New York: Columbia, (1991).
31. 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, May 21, (2001).
32. Womack, J.P, Jones, D.T, & Roos, D. The Machine that Changed the World, New York: Macmillan Publishing Company, (1993).