

한국 에너지기술혁신체제 분석 및 개선방안 연구

박중구[†] · 윤성필 · 박성환

서울과학기술대학교 에너지환경대학원

(2013년 7월 19일 접수, 2013년 9월 2일 수정, 2013년 9월 2일 채택)

An Analysis on the Advancement of Korean Energy Technology Innovation System

Jung-Gu, Park[†] · Seong-Pil, Yoon · Sung-Hwan, Park

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

(Received 9 July 2013, Revised 2 September 2013, Accepted 2 September 2013)

요 약

본 논문은 한국 에너지기술혁신체제 내에 존재하고 있는 고착(lock-in; Unruh, 2000, 2002) 요인을 분석하고 이를 해소할 수 있는 개선방향을 살펴보기로 한다. 고착요인은 한국 에너지산업을 형성해온 구조적 요인들로서, 시장·정부·산업내 부가가치창출망(value chain)·수요 등에서 대내외 환경변화에 대한 대응을 어렵게 하고 있는 요소들이다. 분석의 방법론은 case study적 자료분석을 택하기로 한다.

고착요인 중 정부측면에서 정책간 연계성의 미흡과 갈등, 에너지 시장측면에서는 독과점적 시장구조와 지배력, 산업내 부가가치창출망에서 망 자체의 미흡과 부가가치창출구조의 취약성, 수요측면에서 에너지 효율성의 저하 등이 분석되었다.

이에 따라 한국 에너지기술혁신체제의 개선을 이루기 위해서는 정부정책의 종합연계성 확보, 시장경쟁 촉진, 부가가치창출을 위한 산업조직 조정, 에너지효율성 제고 등이 정책적 시사점으로 제기되었다.

주요어 : 에너지기술혁신체제, 고착요인, 한국 분석

Abstract - This article analyzes the lock-in factors and their advancement direction of Korean energy innovation system(EIS), using case-study methodology. As the lock-in factors, which have been structural and complicated ones in the developing process of Korean EIS, are postulated government policies, market, industrial network, and demand condition.

The lock-in phenomena result from connecting and conflicting incompletely among government policies, competing and controlling oligopolistically in market, constructing insufficiently in intra-industrial value-chain, and lowering in demand efficiency.

To cope with these lock-in structure, connection among government policies, activation in market competition, coordination of industrial structure for added values, and upgrading in energy efficiency are needed.

Key words : Energy Innovation System, lock-in, Korean case

1. 서 론

[†] To whom corresponding should be addressed.
Professor, Department of Energy Policy, Graduate School of Energy & Environment, SNUT. Frontier B/D 319, Seoul National University of Science&Technology 172 Gongreung-dong, Nowon-gu, Seoul, 139-743, Korea
Tel : 02-970-6596 E-mail : pjg@seoultech.ac.kr

한국 에너지산업은 에너지 자주개발률(2010년, 10%) [13] 이 낮은 상황에서 수요·공급간 불일치의 해결, 온실가스 감축요구에 대한 대응, 그리고 신성장

동력 산업화 등을 위한 노력을 추진해 왔다.

세계적으로 에너지에 대한 수요는 증가하고 있는데 비해 공급이 제약됨에 따라 가격 등 에너지 안보에 어려움이 가중되고 있다. 우리나라는 97%의 에너지를 수입에 의존하면서 세계 10위의 에너지 다소비국으로서, 에너지 수급이 불안할 때마다 국가경제에 위기로인으로 작용하였다. 또한 21세기 들어 국제사회의 기후변화협약 등 환경에 관한 규제 강화는 산업경제 발전의 원동력이었던 기존 화석에너지에 대한 사용규제로 이어져 국내 경제활동에 매우 큰 영향을 미칠 것으로 예상된다. 그리고 세계 각국은 지구온난화와 기상이변에 따른 경제적 손실규모를 줄이고 21세기 들어 경험하게 된 세계 금융위기에 대응하는 경기대책 중 하나로서 신재생에너지의 개발, 에너지 효율 증대, 환경개선 등을 동시에 추구하는 녹색성장전략을 추진하고 있다 [5]. 신재생에너지 시장은 향후 10년간 연평균 15.1% 성장할 것으로 전망되며, 이는 1990년대 말 ~ 2000년대 초 정보통신시장의 연평균 성장률 16.8%에 비견된다. 우리나라도 녹색성장전략의 일환으로 신재생에너지산업을 추진하고 있다. 그러나 신재생에너지산업이 국내 에너지 및 산업구조에서 차지하는 비중은 2010년 2.6%로서 아직 미약한 것으로 분석되고 있다 [10].

우리나라의 이러한 에너지 수급, 온실가스 배출, 신재생에너지 산업기반 등에서 과제는 경제발전과정에서 에너지 확보의 긴급성으로 인해 에너지원의 변화에 애로를 겪으면서, 현재의 에너지 구조에 고착(lock-in: Unruh, 2000)된 모습을 반영하고 있다 [31]. 이제 에너지산업의 고도화 없이는 수급안정, 환경개선 및 보호와 안정적 경제성장은 불가능하다고 할 수 있다. 선진국들은 이와 같은 추세에 맞춰 에너지기술정책을 중심으로 효율성 제고-에너지 전환-환경보호-산업경쟁력 제고정책 등을 연계하여 통합운영하고 있다 [21].

이에 비해 우리나라의 에너지기술혁신체제(energy innovation system: EIS)는 기존 에너지기술 구조 및

정책에 고착되어 효율성과 효과성을 제고하지 못하고 있는 것으로 분석된다. 즉 정부정책 간 연계 미흡, 중소기업 및 대기업의 시장지배력 강화, 산업내 네트워크 효과의 미흡, 수요관리의 어려움 등을 겪어 왔다. 이에 따라 본고는 기존 구조의 고착구조를 해소하기 위한 EIS를 제시하기로 한다. 주요대상으로는 이제 시장진입기에 들어서 기술혁신이 빨리 이루어지고 있는 신재생에너지산업을 대상으로 하면서 이미 성숙단계에 들어선 화석연료 기반형 에너지산업 까지를 포괄하기로 한다¹⁾.

본 논문은 서론에 이어 II장에서 EIS와 관련된 이론과 분석결과에 대한 선행연구를 살펴보면 분석방법론을 설정하기로 한다. III장에서 한국EIS와 관련된 변수들을 구체적으로 분석하고, 마지막으로 IV장에서 요약과 정책적 시사점을 살펴보기로 한다.

2. 선행연구

에너지 기술개발과 혁신에 관한 이론은 전통적인 시스템(system)적 분석방법론을 원용할 수 있다. 전통적인 기술개발 및 혁신 시스템은 분석의 단위, 시스템의 범위, 시스템의 동태성 등을 고려하여 대략 5가지의 개념적 틀, 즉 국가혁신체제(national innovation system: NIS), 산업혁신체제(sectoral innovation system: SIS), 지역혁신체제(regional innovation system: RIS), 세계혁신체제(global innovation system: GIS), 기술특화혁신체제(technology specific innovation system: TSIS) 등으로 설명되고 있다.

이 중 에너지산업을 분석하는데 유용한 것으로 TSIS가 논의되어 왔다 [20]. 특히 1970년대 에너지 위기와 1990년대 기후변화에 대한 인식은 화석연료를 대체할 수 있는 대안 에너지원으로서 신재생에너지를 찾기 위한 기술혁신체제를 연구하는데 활용되었다. Jacobsson & Bergek(2004)은 신 바이오매스(biomass) 기술의 성공은 기술적 특징뿐만 아니라 기

1) Newell(2011)은 에너지 기술개발이 화석연료 기반 에너지산업에서 보다는 주로 신재생에너지산업에서 일어난다고 주장하고 있다[28]. 즉 ① 화석연료에너지에 있어서 기술개발은 점증적인 반면, 신재생에너지산업에 있어서 기술개발은 파괴적이다. ② 화석연료에너지산업은 응용연구를 위주로 하는 반면, 신재생에너지산업은 기초연구를 위주로 하고 있다. ③ 화석연료에너지산업에서는 정부의 역할이 감소하면서 기업의 역할이 강화되고 있는 반면, 신재생에너지산업에서는 정부의 역할이 중요하며, 정부와 기업 간 협동이 강화되고 있다. ④ 화석연료 에너지산업에서는 지식창출의 가치가 감소하거나 둔화추세에 있는 반면, 신재생에너지산업에서는 지식창출의 가치가 증가추이에 있다.

술의 개발, 확산, 사업화 또는 기각시키는 사회적 시스템에 의해 결정된다고 분석하고, 이러한 사회·기술적 시스템을 TSIS라고 명명하고 있다 [23]. 이 TSIS의 활성화는 기업가활동(entrepreneurial activities), 지식개발 및 학습(knowledge development & learning), 네트워크를 통한 지식확산(knowledge diffusion through networks), 기술선택(guidance of the search), 시장형성(market formation), 자원동원 가능성(resources mobilization), 우호연계세력의 지원(support from advocacy coalitions) 등에 의존하고 있는 것으로 분석되고 있다. 위 시스템 기능들이 서로 독립적으로 기능하지 않고 무수한 상호작용을 통해 비선형적이면서 긍정적인 인과관계를 형성할 때 TSIS는 성과를 실현하게 된다.

Carlsson & Stanckiewicz(1991)은 TSIS를 "구체적인 경제·산업환경 속에서 특별한 제도적 기반을 갖고 상호작용하는 기관들의 동태적 네트워크이며 기술의 창출·확산·활용에 영향을 미치는 체계"로 정의하고 있다 [20]. Unruh(2000)는 TSIS는 고착화되면 대체하기 어렵고, 대안기술이 기존체계를 개선할 수 있다 하더라도 오랫동안 채용되지 않는다고 분석하고 있다 [31]. 즉 현재 산업경제는 경로의존적이면서 규모에 대한 수확체증의 법칙에 의해 추동된 기술적·제도적 진화의 과정을 통해 화석연료에 기반을 둔 에너지체제에 고착되어 왔다고 분석하고 있다. Unruh는 이러한 환경을 "Carbon Lock-in"으로 명명하고 있다. 즉 탄소절약적(Carbon-saving) 기술이 가지고 있는 기술적·경제적·환경적 이점에도 불구하고, 이러한 기술의 확산을 방해하는 시장과 정책 실패들이 지속적으로 일어나고 있다는 것이다. Unruh는 고착화는 기술체계와 지배적 제도들 간 종합상호작용을 통해 발생하고 있으며, 환경에 대한 외부불경제 효과와 비용중립적 또는 비용효율적 개선방법이 있음에도 불구하고 화석연료에 기반을 둔 산업기반이 유지되고 있다고 설명하고 있다. Schot 등(1994)은 현재 시스템을 해체할 수 있는 요인을 발견하기 어렵고, 환경이 현재의 지배적 기술로는 해결할 수 없는 새로운 도전을 만나서 현재 시스템이 생명력을 잃을 때나 가능하다고 설명하고 있다 [30].

이에 비해 Jacobsson & Johnson(2000)은 재생에너지 기술의 발전은 신기술의 개발과 공동진화하는 새로운 TSIS의 개발을 분석함으로써 가능하다고 주

장하고 있다 [24]. Jacobsson & Bergek(2004)는 새롭게 등장하는 TSIS는 형성단계(formative phase)와 발전단계(developmental stage)를 거치게 된다고 분석하고 있다 [23]. 즉 형성단계에서는 시장규모는 작는데 비해 경쟁적인 디자인(design)이 존재하고 신규진입자가 많으며, 기술시장·규제 등 불안정성은 높게 나타나며, 이를 극복하기 위해서는 해당 신기술이 개발되어 수요자에 의해 평가를 받고 경제적·환경적 우수성이 증명되는 틈새시장을 형성할 필요가 있다 [25]. 발전단계는 형성단계를 통과한 신기술이 지배적 디자인으로 선택되어 시장이 빨리 성장하며 생산비용이 빠른 속도로 낮아지는 특징을 나타내고 있다. 여기서 현재 에너지 시스템의 고착상태를 풀려면 여러 TSIS들이 성공적으로 개발되어 현재 시스템의 일부를 넘겨받아야 하는 것이 중요하다. Jacobsson & Bergek(2004)는 TSIS를 구성하는 혁신기능 간 상호작용을 통해 현재 시스템 속에서 창조적 파괴과정을 창출할 수 있는 동력(momentum)을 설정하고 선순환적 사이클을 형성하는 것이 중요하다고 설명하고 있다 [23].

특히 에너지 시스템처럼 경로의존적(path dependent)이며 고착화된(locked-in) 기술시스템을 기술·사회적으로 바람직한 새로운 시스템으로 전환하기 위해서는 기술개발에 있어서 전략적 틈새관리(strategic niche management)가 중요하게 되었다 [6] [25].

Mourki et al.(2006)은 전략적 틈새를 확장하는데 있어서 좀 더 치밀한 기획이 필요하다고 분석하고 있다 [26]. 즉 새로운 기술을 선택할 때 현재의 기술로는 해결하지 못하는 사회적 문제를 분명하게 해결하고 기술적, 경제적, 사회적으로 신뢰성과 의미를 충족시키는 것이 중요하다는 것이다. 또한 Caniels & Romijn(2006)은 전략적 틈새관리가 성공적으로 정착하기 위해서는 이와 관련된 기술, 과학, 정책, 사회문화, 사용자 및 시장 등의 제반 환경, 사회적 요소들 간 네트워크가 정교하고 치밀하게 활성화될 필요가 있다고 분석하고 있다 [19]. 특히 전략적 틈새기술의 시장을 형성하는 문제와 관련하여 적절한 마케팅 기법의 활용이 필요하다고 주장하고 있다. 신기술로 전환하는 과정에서 적절한 마케팅이 이루어지지 않을 경우 신기술의 존재가 결정되기도 하기 때문이다. 신기술의 확산과 관련하여 도입을 위한 할부 지원 등 금융적 지원도 중요한데, 이러한 방법들이 시장에서

기업이 금융적 지속가능의 상태를 담보해 주는데 기여하기 때문이다. Rotmans 등(2001)은 이러한 전략적 틈새관리를 통해 한세대 정도에 걸쳐 사회 내에서 점진적이고 지속적인 구조적 변화과정을 통해 사회-기술체제의 전환을 이룩할 수 있을 것으로 내다보고 있다 [29]. Jacobsson & Bergek(2004) 등은 TSIS의 활성화는 기업가활동(entrepreneurial activities), 지식개발 및 학습(knowledge development & learning), 네트워크를 통한 지식확산(knowledge diffusion through networks), 기술선택(guidance of the search), 시장형성(market formation), 자원동원가능성(resources mobilization), 우호연계세력의 지원(support from advocacy coalitions) 등에 의존하고 있는 것으로 분석하고 있다 [23]. 위 시스템 기능들이 서로 독립적으로 기능하지 않고 무수한 상호작용을 통해 비선형적이면서 긍정적인 인과관계를 형성할 때 TSIS는 성과를 실현하게 된다.

본 논문은 한국EIS의 현황과 과제를 분석하기 위해서 TSIS를 기본으로 고착요인과 연계시키고 에너

지기술개발의 특징을 고려하여 정부정책, 시장, 산업네트워크, 수요 등으로 구분하여 분석하기로 한다 (<Table 1> 참조) [32]. EIS로서 TSIS의 첫째요인인 지식능력은 지식의 선택, 조직, 기술, 학습능력을 포괄하는데, 이를 기존의 구조에 고착시키는 요인으로는 지배적 디자인, 표준기술구조 및 부품, 양립가능성을 들 수 있다. 그런데 실제적으로 에너지기술개발이, 특히 자원부족국가에서는 제조업과 달리 정부정책으로서 추진되고2), 국가기간 망산업이라는 특징에 따라 정부정책에 따라 촉진될 수 있다는 점에서 본 논문에서는 정부정책을 EIS분석요인으로서 설정하기로 한다. 다음으로 TSIS의 둘째요인인 산업네트워크를 고착화시키는 요인은 기존의 소비자-공급자 관계, 관행, 훈련 등 조직요인과 산업표준, 기술상관관계, 공동특화자산 등 산업요인, 그리고 수요의 선호와 효율성 등 사회요인을 지적할 수 있다. 본 논문에서는 에너지산업의 공급측면으로서 독과점적 산업조직과 이에 따른 기술개발 및 투자, 수요창출의 의존성 등을 나타내는 시장요인과 에너지기술 상관관계에 기반

Table 1. EIS Analytical Framework of Korea

TSIS (Carlsson & Stanckiewicz, 1991)	LOCK-IN (Unruh, 2002)	this article
knowledge capability (selection, organization, technology, learning)	technological (dominant design, standard technological architectures and components, compatibility)	governmental policies
industrial network	organizational (routines, training, departmentalization, customer-supplier relations)	market
	industrial (industry standards, technological inter-relatedness, co-specialized assets)	industrial network
	societal (system socialization, adaptation of preferences and expectations)	demand
institutional infrastructure	institutional (government policy intervention, legal frameworks, departments/ministries)	governmental policies

2) Henderson & Newell(2011)은 제조업과 에너지산업에 있어서 혁신의 특징을 아래와 같이 분석하고 있다.[22]

	제조업	에너지산업
정부정책	정책의 효과 감소	정책이 기초연구개발 촉진
시장	Antitrust, IP, 표준 등을 통한 경쟁촉진이 혁신촉진	대규모·기존기업군이 혁신주도
산업 네트워크	매우 복잡한 value-chain이 혁신 촉진	value-chain 미흡
수요(induced 포함)	신기술 수요가 혁신촉진	저탄소에너지원에서 조차 아직 작용하지 않음

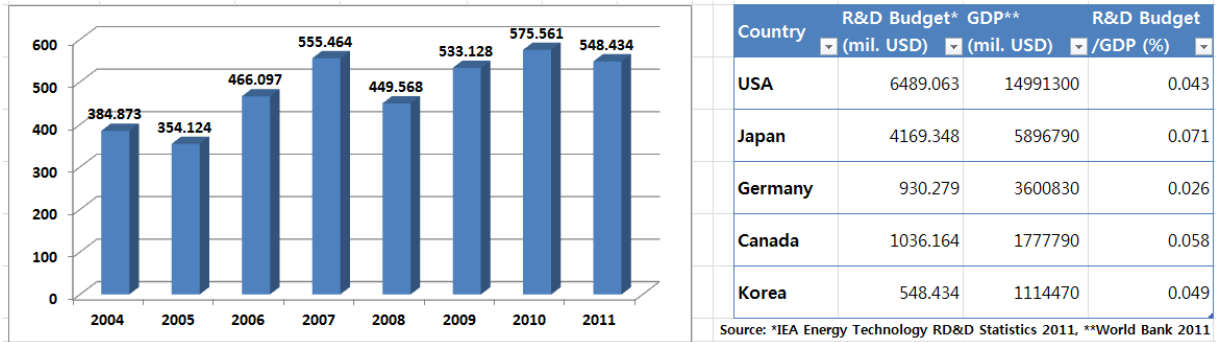


Fig. 1. Energy R&D Investment/GDP Level Comparison of Major Countries
 source : *IEA Energy Technology RD&D Statistics, (2011), **World Bank, (2011) [33]

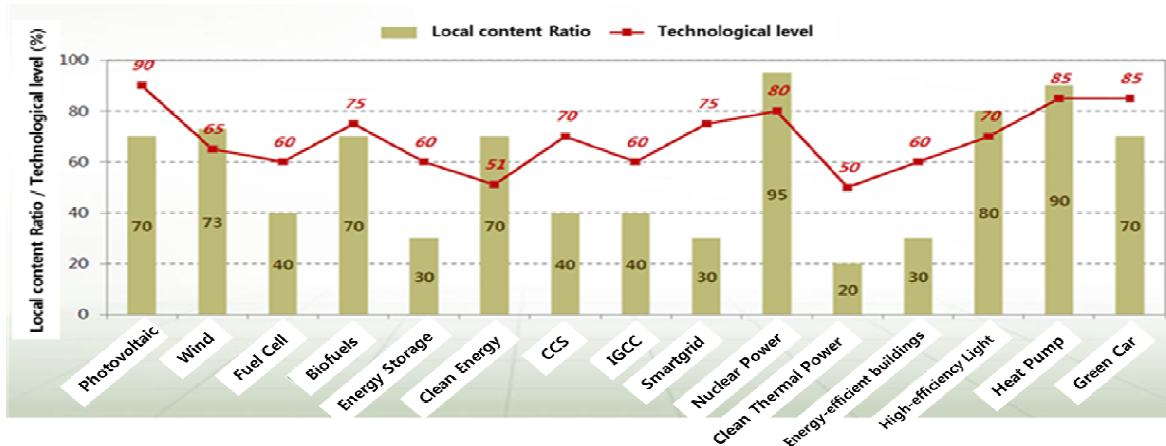


Fig. 2. Technological Level and Localization Ratio of Korean Green Energy Industries
 source : Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning : “Special Committee on 15 Technologies”, (2012) [15]

을 둔 산업네트워크를 분석하기로 한다. 그리고 에너지산업의 특징이라고 할 수 있는 생산-전환-소비 등 에너지체인에서 공급, 산업요인 이외에 수요의 효율성을 제기하기로 한다. 마지막으로 TSIS를 구성하면서 고착요인이 될 수 있는 관련 법 및 정책, 부처 등을 정책요인에 포함시켜 분석하기로 한다. 이러한 TSIS를 구성하는 세 변수를 고려하면서 한국 에너지산업에서 고착구조를 해소하고 공급의안정성, 수요의 효율성, 온실가스 감축, 신성장동력을 확보하기 위한 체제를 구상하기로 한다.

3. 한국 EIS의 현황과 과제

본 장에서는 II장의 선행연구를 통해 정리한 정부정책, 시장, 산업네트워크, 수요구조 등을 통해 한국 EIS의 현황과 과제를 분석하기로 한다.

우선, 2011년 현재 한국의 국내총생산(GDP) 대비 에너지기술 연구개발(R&D)투자의 비중은 약 5%로

미국(4%), 독일(3%)에 비해서는 높은 반면, 일본(7%), 캐나다(6%)에 비해서는 낮은 것으로 나타났다 (Fig. 1 참조). 그러나 R&D 투자의 절대규모는 미국의 8%, 일본의 13% 수준으로 매우 미흡한 것으로 나타났다. 또한 한국의 에너지기술 R&D예산은 국가총 R&D예산의 4% 수준으로, 일본 20%, 미국 6.5%에 비해 미흡한 것으로 분석된다. 에너지 기업의 연구개발의 방향도 약 67% 정도가 1~2년 내에 활용가능한 개발연구의 비중이 높은 반면, 기초원천기술의 연구에 대한 투자는 미흡한 것으로 나타났다. 이러한 정부 R&D 규모로는 녹색기술 및 산업의 성장동력화에는 부족한 것으로 평가된다.

이에 따라 우리나라의 에너지 기술수준은 2012년 선진국 대비 60% 수준에 불과하며, 국산화율은 평균 56%인 것으로 조사되었다(Fig. 2 참조). 그나마 태양광, 원자력, 히트펌프 등의 기술수준은 상대적으로 높은 반면, 청정연료, 청정화력발전 등은 취약한 것으로 분석되었다. 국산화율은 원자력, 히트펌프, 태양광,

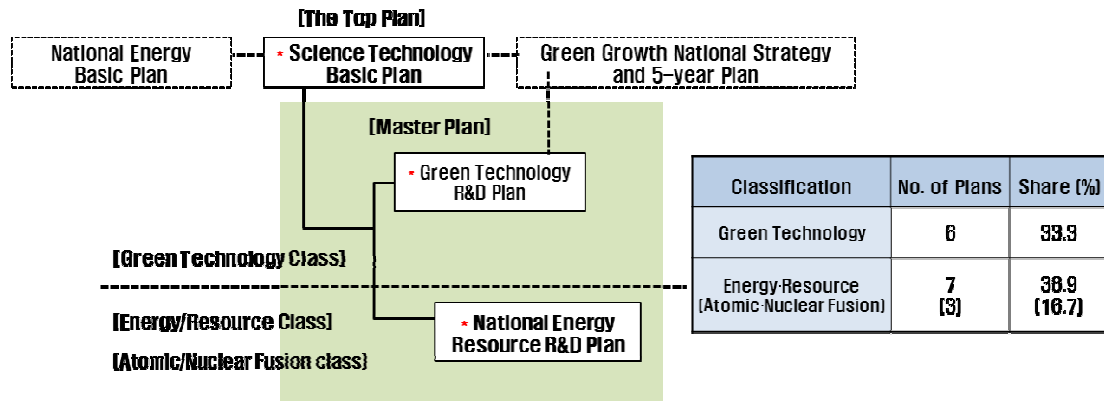


Fig. 3. Link map between mid- and long-term Planning in Energy Sector
 source : National Science & Technology Council, The Survey, Analysis & Evaluation on Mid- and Long-term plan of Korean S&T, (2010) [2]

Table 2. Legal Basis, Establishment Time and Coverage by Comprehensive Plan in Energy Sector

name of plan	legal plan	establishment date	energy	resource	nuclear	weather	environment
green technology R&D plan	x	2009.1	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
climate change response R&D master plan	x	2008.12	⊙	⊙		⊙	⊙
national energy resource R&D plan	o	2006.5	⊙	⊙			⊙

풍력, 바이오연료, 청정연료 등에서는 높은 반면, 연료전지, 에너지저장, CCS, IGCC, 스마트그리드, 청정화력발전, 에너지절약형 건물 등에서는 매우 취약한 것으로 분석되었다.

3-1. 정부정책

에너지산업은 다른 산업에 비해 기술발전의 영향을 많이 받는다. 따라서 에너지기술혁신을 위한 정책이나 법도 기술발전 속도에 맞추어 변화할 필요가 있다 [5].

2013년 현재 우리나라의 에너지법 체계는 저탄소녹색성장기본법을 중심으로 에너지법 및 개별 에너지지원법으로 구성되어 있다. 한국의 에너지 R&D는 1987년 대체에너지개발촉진법 제정에 따른 대체에너지기술개발로 시작되었으며, 에너지 절약(에너지이용합리화법), 에너지자원 기술개발(에너지법), 전력산업 기술개발 및 인프라 구축(전기사업법), 원자력 연구개발(전기사업법), 신재생 인력양성 및 기반구축(신에너지 및 재생에너지 개발이용보급촉진법), 에너지자원 순환 등 사회적 필요성에 따라 추진되어 왔다.

이러한 법체계에 기반으로 두고 2010년 이래 에너지·환경 분야에 대한 기술개발투자의 확대 및 다양한 정책이 수립·추진되어 왔다. 국가 차원의 기술개발 관련계획 72개(2010년) 중 에너지·환경분야가 17개로, 생명분야(20개) 다음으로 많다. 기술개발분야별로 최상위계획-분야별 종합계획-분야별 세부계획간 연계지도를 보면, 에너지분야는 최상위계획인 과학기술기본계획의 7대R&D분야 중 국가주도기술분야, 글로벌 이슈대응분야 등으로 집중개발이 계획되어 있다(Fig. 3 참조). 분야별 종합계획으로는 전 기술분야를 포괄하는 신성장동력종합계획 중 녹색기술분야에 지정되어 있으며, 8개 기술분야별 종합계획 중에는 녹색기술R&D종합대책, 기후변화대응R&D마스터플랜, 환경기술개발종합계획, 국가에너지지원기술개발기본계획 등으로 추진 중에 있다.

그러나 위와 같은 에너지분야 기술개발계획들은 종합계획 간 연계성이 불명확하며, 위상 및 내용 등에서 차별화되어 있지 않은 것으로 분석되었다 (<Table 2> 참조). 이러한 특징은 세부계획 간에도, 예를 들어 신재생에너지 공급 목표 및 실적에도 그대

Table 3. Supply Targets and Performances in Renewable Energy Sector

classification (%)	2003	2006	2008	2011	2020	2030
renewable energy supply accomplishment	2.1	2.2	2.6	2.75		
2nd renewable energy basic plan	2.1	3.0		5.0		
national energy resource R&D plan				5.0		
3rd renewable energy basic plan	2.06	2.24	2.37 (2007 year)	3.0	6.1	11.0

Table 4. Renewable Energy R&D Status and Budget Structure of Central Office Group

Ministries	Plan	Budget(Million Won)	
		2009	2010
Ministry of Education and Science Technology	기후변화대응기초원천기술개발 (신재생에너지분야)	9,550	9,550
"	고효율 수소에너지 제조·저장·이용 기술개발	9,500	9,300
Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries	농림기술개발(신재생에너지분야)	2,765	3,105
"	해조류 바이오에너지화 연구	800	1,500
Rural Development Administration	농업바이오에너지 생산기술개발	2,200	3,050
Korea Forest Service	임업기술연구개발(신재생에너지분야)	1,030	1,009
"	산림과학기술개발(신재생에너지분야)	130	180
Ministry of Environment	폐자원에너지화 및 Non-CO2 온실가스사업단 (폐자원분야)	6,927	7,500
"	폐기물 인력양성	1,680	2,400
Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs	해양에너지 실용화 기술개발	5,800	9,500
"	해양에너지 전문인력양성	900	1,100
"	해양바이오에너지 기술개발	2,724	4,180
Defense Acquisition Program Administration	국방녹색기술개발	7,685	16,375
Ministry of Knowledge Economy	신재생에너지 기술개발	205,600	240,051
"	신재생에너지 인력양성	9,740	9,000
"	신재생에너지설비보급기반구축	4,140	3,700
"	광역경제권 선도산업 육성	36,631	53,000
	합 계	307,802	374,500

source : National Science & Technology Council, (2010) [2]

Table 5. Renewable Energy R&D Status of Local Governments

Local Governments	Plan	Budget(Million Won)	
		2009	2010
Daegu Metropolitan City	차세대 선도산업기술 연구개발사업	994	994
Ulsan Metropolitan City	에너지기술연구개발사업	-	300
Gyeongsangbuk-do	에너지·환경기업 육성 특성화사업	500	500
Gyeongsangnam-do	그린에너지 인력양성사업	1,000	700
	합 계	2,494	2,494

로 드러나고 있다(<Table 3> 참조).

한국의 신재생에너지 R&D예산은 2009년 3,544억 원에서 2010년 4,235억 원으로 19.5% 증가하였다. 이 중 중앙정부의 예산이 3,745억 원으로 88.4%를 차지하고 있으며, 2009년 3,078억 원 대비 21.7% 증가하였다. 다음으로 정부출연연구기관이 465억 원으로 11.0%, 지방자치단체가 25억 원으로 0.6%를 차지하고 있다. 가장 큰 비중을 차지하고 있으며 증가추세에 있는 중앙 8개 부처의 신재생에너지사업을 구분하면(<Table 4> 참조), '10년 기준으로 지경부 3,058억 원(81.6%), 교과부 189억 원(5.0%), 방위사업청 164억 원(4.4%), 국토부 148억 원(3.9%), 환경부 99억 원(2.6%), 농식품부 46억 원(1.2%), 농진청 30억 원(0.8%), 산림청 12억 원(0.3%)의 순서를 나타내고 있다.

다음으로, 지방자치단체의 신재생에너지 R&D에 대한 독자적 지원은 미흡한 실정인 것으로 나타났다(<Table 5> 참조).

다음으로 정부출연연구기관의 신재생에너지 R&D 추진현황을 보면, 12개 기관에서 기초·원천 기술개발 또는 기관의 특성에 맞는 요소기술개발을 추진하고 있다(<Table 6> 참조).

그러나 중앙 각 부처별로 신재생에너지 연구개발 예산이 매년 대폭 확대되고 있음에도 불구하고 투자의 효율성 및 성과가 미흡한 결과를 낳고 있는 것으로 분석되었다 [2]. 이는 효율적 예산배분을 위한 부처 간 상시협의 기구가 부재함에 따라 부처간 연계·협력을 통한 R&D투자의 선택과 집중이 미흡한 것에 기인한다. 실제로 신재생에너지 연구개발계획이 최종확정기구로 지정된 국가과학기술위원회의 중장기계획과 연계·조정기능이 부족하고, 국가 이산화탄소포집·처리 종합추진계획(교과부), 신재생에너지산업기반강화계획(지경부), 이차전지경쟁력강화방안(지경부) 등 신규계획이 크게 증가하고 있으나 계획간 상호연계가 미흡하다. 특히 여러 부처가 관련된 분야에서 종합계획 및 일부 세부계획이 법적 근거없이 수립·추진되고 있는 것으로 나타나고 있다. 또한 중앙정부 부처와 지방자치단체의 신재생에너지 R&D사업 간에도 연계 및 협력이 이루어지지 않고 있는 것으로 분석되었다.

이와 같이 에너지기술개발 프로젝트가 분산화됨에 따라 에너지시스템화하기 위한 실질적인 기술개발이 이루어지지 않고 있으며, 특히 에너지 기술개발이 용

용 및 상용화 R&D에 치중되어 있어 원천기술, 융·복합 기술 등 첨단기술화해 가는데 대응이 미흡한 것으로 평가되고 있다. 그리고 R&D 이후 국제표준화, 실증과 보급에 이르는 전주기적 지원체계가 미흡하여 경제적 성과를 창출하는데 미흡한 것으로 분석되고 있다. 에너지 기술개발을 위한 산·학·연 연계 조차 아직 단선적 구조, 즉 기초연구는 대학(학)이, 응용연구는 정부출연연구원(연)이, 개발연구는 민간기업(산)이 담당하는 체제를 이루고 있어 효과적이지 못한 것으로 분석된다.

이제 한국의 에너지 기술개발에 많은 투자가 이루어졌지만 성과가 미흡하고, 특히 산업화의 성과가 낮은 것에 대한 대안이 필요하다. 이를 해결하지 못할 경우, 에너지 공급의 안정성 상실, 산업경쟁력 약화, 경제적·기술적인 종속의 심화 등 경제정책 및 에너지정책의 심각한 난항이 초래될 것으로 예상된다. Xavier(2009)는 녹색기술(green technologies)를 창출하기 위해서는 다양한 정책들이 결합되어 추진될 필요가 있다고 주장한다 [34]. 즉 이산화탄소 및 각종 온실가스에 배출에 대한 가격 설정, 연구개발, 조세, 정부조달, 공공부문과 민간부문간 위험분산, 중소기업 정책 등이 우선 연결될 필요가 있고, 추가적으로 기술영향평가, 저탄소사회로 이행을 용이하게 하는 기반 구축, 대규모 프로젝트에 대한 국제공동협력, 교육 및 훈련, 국제적 정책통합이 필요하다고 주장하고 있다.

3-2. 시장

2012년 현재 한국의 에너지 산업조직은 Fig. 4에서 보는 바와 같이, 종업원 수 500인 이상, 매출액 5,000억원 이상의 기업군과 300인 미만, 매출액 500억원 이하의 중소기업군으로 구성되어 있는 것으로 분석되었다. 종업원 수를 기준으로 재분류하면, 종업원 수 500인 이상의 대기업과 공기업이 약 11%를 차지하는 반면, 100인 이하의 중소기업이 약 78%를 차지하는 것으로 나타났다. 그리고 100인 이상 500인 미만의 중소·중견기업으로 중간 역할을 담당하는 기업군이 약 11%를 차지하여 상대적으로 부족한 것으로 분석되었다. 이러한 산업조직을 다시 매출액 규모로 구분하면, 1,500억원 이상의 기업군이 약 9%를 차지하는 반면, 500억원 이하의 중소기업이 약 85%를 차지하는 것으로 나타났다. 여기서도 500억원 이

Table 6. Renewable Energy R&D Status of Government-funded Research Institutions

Government-funded research institutions	Plan	Budget(Million Won)	
		2009	2010
Korea Institute of Industrial Technology	연성 태양전지 대면적 표면처리 기술연구 등 5개	2,940	1,386
Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources	심부 지열수 자원확보 기술개발	2,484	2,559
Korea Institute of Machinery and Materials	풍력-엔진 하이브리드 발전시스템 설계기술 개발 등 3개	4,107	4,397
Korea Institute of Materials Science	광변환 효율이 향상된 유기태양전지 모듈 개발 등 5개	1,732	3,530
Korea Institute of Energy Research	차세대 태양전지 원천기술개발 등 9개	10,620	15,240
Korea Electrotechnology Research Institute	대규모 풍력전원의 전력계통 통합 제어기술연구 등 11개	4,978	4,022
Korea Research Institute of Chemical Technology	태양전지 및 연료전지 기반소재기술 개발 등 2개	3,073	2,978
	산업기술연구회 소계	29,934	34,112
Korea Institute of Science and Technology	유/무기 박막 태양전지 고효율화 원천기술개발 등 3개	7,879	8,588
Korea Basic Science Institute	친환경 나노소재 개발 등 2개	680	480
Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology	저탄소 녹색성장을 위한 바이오매스/에너지 기술개발	973	1,191
Korea Research Institute of Standards and Science	수소에너지 안전측정 기술개발	3,663	1,094
Korea Institute of Ocean Science & Technology	해조류를 이용한 바이오에너지 자원화 기술개발	1,000	1,000
	기초기술연구회 소계	14,195	12,353
	합 계	44,129	46,465

source : National Science & Technology Council, (2010) [2]

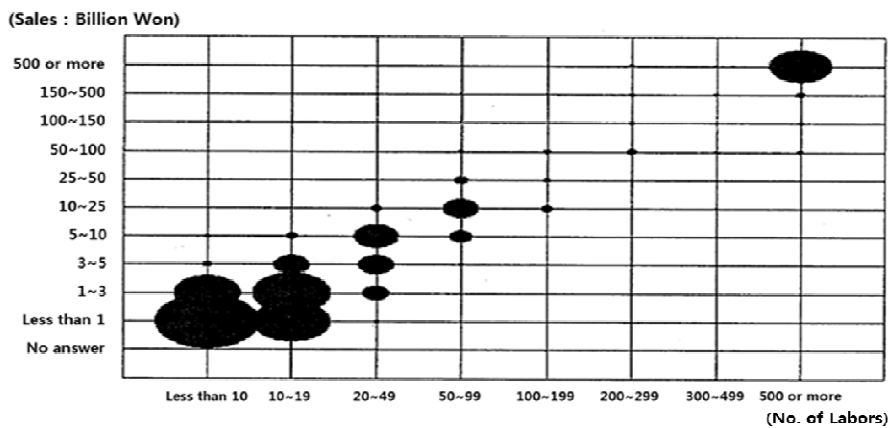


Fig. 4. Industrial Structure of Korean Energy Industry

source : Korea Industrial Technology Foundation : “A Structural analysis of Korean energy industry”, (2007) [14]

Table 7. Comparison on Unit Cost of Equipment Among Power Generation Resources

Source of Power	Coal	LNG	Renewables	
			Photovoltaic	Wind
Unit cost of equipments (ten thousand Won/kw)	118.3	58.0	58.0	840

상 1,500억원 이하의 매출액을 나타낸 기업이 약 6%를 차지하여 상대적으로 미흡한 것으로 분석되었다.

이와 같은 분석결과는 한국 에너지 산업조직이 호리병형 구조를 가지고 있는 것을 나타내며, 한국 에너지산업의 발전과정에서 초래된 것으로 해석된다. 한국의 에너지 공급체계는 1970~80년대 탄광산업에서 일부 기업을 제외하고는 전기, 가스, 석탄산업에서 공기업의 형태로 출발하였거나 석유산업에서 외국 대기업과 합작회사의 형태로 출발하였다. 전통적으로 화석에너지의 공급이 제한되어 있으며 재생 불가능하다는 시각에 따라 전력, 가스, 열에너지 등 소위 땅에너지는 장치산업적 특징을 나타내면서 공급량이 증가함에 따라 평균생산비용이 감소하는 추세를 보였다. 이는 소위 자연독점 요인으로서 하나의 기업이 해당 에너지 시장의 공급자 역할을 전담하는 것이 사회 전체적으로 비용경제적이라는 분석을 유도하였다.

이러한 공급구조가 현재까지 한국에서 에너지 산업조직의 독과점적 특성을 고착시키고 있다. 이러한 한국 에너지산업조직은 석탄석유, 가스, 전기산업 등에서 수평연합의 공기업 또는 민간기업의 형태를 가지고 있는 선진국의 형태와 다르다.

그러나 2002년 전력산업 구조개편 이후 자연독점의 경제적 비효율성과 기술진보, 온실가스저감과 관련된 신재생에너지산업에 대한 정부정책 등에 대응하여 에너지 산업조직의 자연독점적, 수직결합적 특징에 변화가 초래된 것으로 해석된다. 특히 자연독점기업이 성숙산업화 됨에 따라 투자 및 경영의 비효율성은 끊임없이 개선의 대상이 되었으며, 중소·중견기업들이 신재생에너지의 기술개발과 사업화 등을 기반으로 완전경쟁시장에 뛰어들었던 것으로 분석된다. 정부는 2008년 「국가에너지기본계획」을 통해 '30년까지 전체 에너지의 11%를 신재생에너지로 공급할 것을 제시하고 있다.

그러나 국내 태양광 및 풍력발전 등 신재생에너지 기업들은 주로 설치서비스사업 위주로 사업을 추진하고 있으며, 핵심부품에서 약 30% 국산화율을 이루

면서 많은 부분을 수입에 의존하고 있다. 이에 따라 한국의 신재생에너지기업들의 부가가치는 주로 조립·가공·생산공정에서 창출되고 있는 것으로 분석되었다

[4]. 이는 고부가가치 제조업으로 성장한 기업들이 기존의 제품생산, 특히 조립공정에 주력하던 전략에서 벗어나 부가가치사슬에서 상류부문이나 하류부문에서 부가가치를 창출한다는 스마일 곡선 (smile curve)을 보이고 있는 것과 반대의 모습인 것으로 분석된다.

실제로 한국의 신재생에너지 기업들은 개발 및 보급에 있어서 낮은 경제성, 투자규모의 부족, 국내기반의 취약 등에 따라 어려움을 겪고 있는 것으로 분석되었다. 첫째, 한국의 신재생에너지는 화석연료에 비해 높은 설비단가를 보이고 있으며(<Table 7> 참조), 현재 기술수준에서는 자생적으로 시장창출을 하기 어려운 실정이다. 정부가 발전차액지원을 통해 일반전력보다 1.1~9배의 높은 가격을 보장하고 있으나, 바람 등 자연조건에 따른 가동률 제약(약20%) 등으로 경제성 확보에 어려움을 겪고 있다. 또한 내수시장이 협소하여 대량생산을 통한 원가절감 등 경쟁력 제고에도 한계를 안고 있다. 둘째, 다른 국가들과 같이 한국정부도 연구개발, 발전차액, 보급 등을 위해 지원을 확대하고 있으나, 선진국에 비해 절대투자가 미흡한 실정이다. 과거 10년간 R&D투자액이 일본의 7%, 미국의 4% 수준에 불과한 것으로 나타나고 있다. 발전차액지원에 대해서는 기준가격이 너무 낮아 투자를 저해하고 있다는 관련기업들과 국가예산으로 비싼 에너지를 지원하고 있다는 정부의 회의적인 시각에 따라 갈등이 빚어지고 있다.

셋째, 신재생에너지와 관련된 산업기반이 취약하여 성장에 한계를 나타내고 있는 것으로 분석되었다. 즉 연료전지, 태양광, 풍력 등에서 핵심설비에 대한 수입 의존이 높고, 연구인력, 연구기반 등 기술개발을 위한 인프라도 열악하게 나타나고 있다. 이에 더해 자연조건도 타국에 비해 크게 유리하지 않은 상황에 있는 것으로 분석되었다. 풍력은 풍향이 좋은 백두대간 등

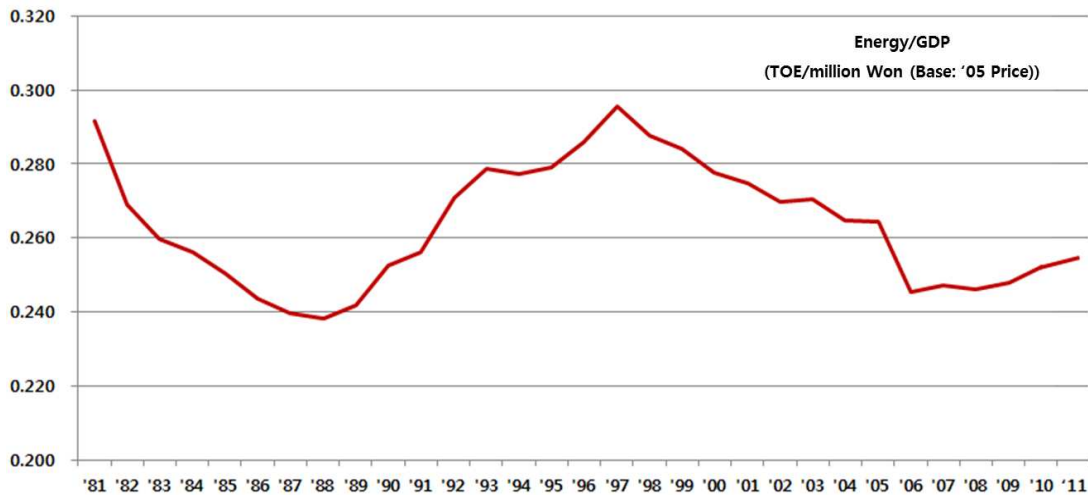


Fig. 5. Energy Efficiency : Fluctuation by Energy Price
 source : Korea Energy Management Corporation : “Energy Statistics Handbook”, (2013) [12]

도 개발에 제약을 받고 있으며, 태양광에서는 KW당 3.3평이 필요한 부지문제와 아파트 위주의 주거형태가 애로가 되고 있다.

3.3. 산업네트워크

앞에서 분석한 바와 같이 한국 에너지산업에서 자연독점을 달성한 에너지기업들은 에너지 공기업의 형태로 운영되었으며, 망에너지의 생산, 수송, 분배 기능 까지 수직적으로 결합한 공급시스템을 갖추게 되었다. 에너지원 별로 보면, 전기산업은 원료의 수입부터 발전-송-배전-판매에 이르기 까지 모든 부가가치망에서 한국전력과 자회사로 수직통합되어 있다. 석유산업은 개발과 비축공정은 공기업이, 도입과 판매는 민간 대기업이 독립적으로 운영하고 있다. 게다가 시스템 제작기업, 1·2차 협력기업들 역시 대부분 대기업 위주로 구성되어 있다. 따라서 에너지 공기업들의 투자방향과 일치하지 않는 기술개발 및 사업화는 불가한 실정이다.

심지어 한국의 신재생에너지산업 내 산업조직에서도 수직계열화가 추진되고 있으며, 생산공정, 정제·유통공정, 설비공급공정, 발전공정, 서비스공정 등에서 전문적 기업들이 나타나지 않고 있다 [17]. 이에 따라 중소기업 혁신기업들은 전체 시스템의 개발에 중복적으로 재투자하고 있으며, 공정별 전문기업들조차 통합 연계하여 하나의 신재생에너지산업 비즈니스를 완결시키지 못하고 있는 것으로 분석되고 있다.

이는 전기전자산업, 자동차 등 기존 제조업뿐만 아니라 태양광발전, 고체조명 등에서 세계적으로 나타나고 있는 플랫폼(platform)형 네트워크로 이행하지 못하는 원인이 되고 있다 [16].

이에 비해 선진 기업들은 융·복합제품의 개발 및 산업화를 활성화하기 위해 제품의 모듈화(modularity) 및 서브 시스템(sub-system)화를 촉진하면서 이를 위해 단품생산기업 간 콘소시엄을 통한 새로운 산업조직을 형성하고 있다. 예를 들어, 일본의 연료전지산업에서는 연료전지와 주변기기의 설계, 제작을 담당하는 전기제조업체, 발전효율을 높이기 위해 고분자기술을 제공하는 대학, 천연가스, 프론가스를 고순도의 수소가스로 바꾸는 기술과 열이용의 노하우(know-how)를 제공하는 가스회사, 연료전지를 활용하여 가정용 발전시스템을 공동개발하는 해외벤처 등이 각각 전문성에 기반을 두고 유한책임사업조합을 구성해 참여하고 있다. 또 다른 예로, 일본의 녹색 뉴딜(Green New Deal)전략은 녹색성장의 기반을 구축하기 위해 녹색기술산업과 기존주력산업 간에 공급 네트워크의 확산에 초점을 맞추고 있다 [18]. 일본의 태양광발전산업은 실리콘기업, 유리기업, 화학기업, 제조장비 기업 등 지금까지 타 분야에서 종사하던 기업들이 태양광발전시장의 확대에 힘입어 태양광발전으로 구조조정하거나, 태양광발전을 위한 설비비용의 인하에 따라 발전사업으로 업종전환하는 사례가 나타나고 있다. 또한 관련기술 간 융·복합화를 통

Table 8. Energy Intensity of Major Countries

	2007	2008	2009	2010	2011
North America	0.202	0.198	0.195	0.196	-
Germany	0.121	0.121	0.120	0.120	0.109
United Kingdom	0.100	0.098	0.097	0.096	0.091
Japan	0.122	0.117	0.118	0.120	0.115
Korea, South	0.265	0.261	0.262	0.267	0.267
China	0.689	0.672	0.684	0.662	0.658
World	0.245	0.246	0.250	0.252	-

source : recalcation based on each country's statistics

해 환경벤처기업이 새로이 창출되고 있는 것으로 조사되고 있다. 이를 통해 소비자의 의식변화를 촉진하는 효과에 이르기 까지 경제·사회·환경 등 전 분야에서 동시다발적 변화를 시도하고 있는 것으로 분석된다.

이와 같은 기업 간 조합형은 선진국에서 주로 지역 기술혁신시스템(RIS)으로 구체화되고 있다. 예를 들어, 독일의 베를린(Berlin)시와 브란덴부르크(Brandenburg)시는 태양광·풍력·지열·바이오 에너지, 발전기 및 엔지니어링, 에너지 그리드 및 저장, 에너지 효율제고 기술 등을 혁신추구형 클러스터 중 하나로 추진하는데 협력하기로 결정하였다. 이 클러스터는 독일의 수도권 지역에서 에너지산업의 경쟁력 촉진, 고용과 매출액 성장 확보, 문제해결형 에너지 솔루션을 제공함으로써 부가가치사슬을 집약화하였다. 즉 수도권 내 경제·과학·공공기관들과 약 5만 명의 인력을 동원할 수 있는 500여개 기업과 30개의 연구기관 및 대학이 참여하여 지역 내 부가가치를 제고하고 있다.

3.4. 수요

넷째로, 수요측면에서 고착요인은 국가의 경제활동에 투입된 에너지 소비의 효율성을 평가하는 에너지 원단위 지표로 평가될 수 있다. 에너지 원단위 지표는 국내총생산(Gross Domestic Product: GDP) 1,000 달러 당 1차 에너지 소비량(TOE)으로 계산된다. 한국의 에너지 원단위는 1981년 이래 2011년 현재까지 0.24 ~ 0.30에 걸쳐 있으며, 2006년 이후 다시 상승 추세를 보이고 있다(Fig. 5 참조).

그런데 한국의 에너지 원단위는 2011년 0.27로서, 영국(0.09), 독일(0.11), 일본(0.12)보다 매우 높은 것

으로 분석되었다. 심지어 2010년에는 세계 평균(0.25)보다 높은 것으로 분석되고 있다(<Table 8> 참조). 이러한 높은 에너지 원단위는 경제성장 과정에서 에너지 다소비산업의 비중이 높으며, 산업부문 에너지를 소비하는 보일러가 노후화되거나 전력을 소비하는 전동기의 고효율화제품의 보급률이 낮은 것에 기인한다. 또한 가정·상업부문에서는 대기전력, 조명, 가스냉방 등의 고효율화가 부진하고, 소득수준의 향상에 따른 전기난방 수요와 가전기기의 대형화 등이 진행되고 있는데 기인한다. 이러한 분석결과는 에너지 수요관리 측면에서 효율향상과 수요대응 프로그램이 원활히 추진되어야 함에도 불구하고 기존 행위자들의 기득권이나 규제, 산업구조 등에 고착되어 있거나 변화에 대한 불확실성 등에 극복하지 못하고 경로 의존성(path-dependence)에 지배를 받아왔기 때문으로 해석된다.

이에 비해 선진국들의 수요관리는 규제, 인센티브, 제도·시스템의 개선 등을 적절히 조화시켜 체계적이며 장기간 지속가능한 시스템에 의해 에너지이용 합리화를 추진하고 있다. 에너지 고효율화를 위해 효율등급제와 최저효율제 대상범위의 확대 및 효율기준 강화 등 각종 수단(요율조정, 용자, 세액공제, 리베이트, 기준갱신 등)을 전략적으로 연계 추진하고 있다. 또한 에너지 공급자가 효율향상을 위한 노력을 강화하도록 규제를 도입 또는 강화하고 있다.

4. 요약 및 정책적 시사점

본 논문은 한국 EIS에 있어서 투자 대비 성과가 미흡한 구조를 TSIS에 기반을 둔 산업발전의 고착요인에 따라 분석하였다. 주로 신재생에너지 기술개발 및

사업화를 대상으로 분석한 결과 정부 정책간 연계성 미흡, 독과점적 시장구조, 산업내 부가가치창출망의 미흡, 수요측면에서 에너지효율성의 저하 등이 고착요인으로 드러났다.

이러한 분석결과에 따라 한국EIS의 고착요인을 개선하기 위해서는 정부정책의 연계성 확보, 시장경쟁의 촉진, 부가가치창출을 위한 산업내 네트워크의 강화, 에너지효율성의 제고 등이 필요한 것으로 생각된다³⁾.

우선, 한국 EIS에서 효율성과 효과성을 제고하기 위해서는 원천기술을 해결하기 위한 돌파기술의 획득, 융·복합화, 그리고 산업화 까지를 고려한 시스템이 모색되어야 한다. 에너지산업의 네트워크 특징을 고려하여 자원 및 신재생에너지, 에너지변환 및 전력, 에너지 효율향상, 온실가스처리 등 에너지기술 등을 상호 연계한 종합프로그램의 추진이 절실하다. 이를 위해서는 관련정책을 둘러싸고 정부부처 간 경쟁과 협력을 촉진할 필요가 있다. 즉 에너지 공급의 원활화와 저탄소친환경 성장이라는 공통의 목적을 달성하고 여러 부처에서 이루어지고 있는 정책들의 실효성을 제고하기 위해서는 부처 간의 지배구조를 활성화하여 정책모순과 갈등을 해결하고, 정책시스템의 가외성, 빈틈, 비정합성 등을 고려하는 정책통합을 실시할 필요가 있다 [6].

둘째로, 이러한 기술개발 노력과 함께 개발기술에 대한 시장형성과 수익성을 창출하는 정책을 빼놓아서는 안된다. 이를 위해서 현재 독과점적 산업조직을 탈피하여야 하며, 특히 국내 에너지기업이 기술개발-부품조달-생산-마케팅에 이르는 부가가치창출공정에서 죽음의 계곡에 빠지지 않도록 적극 지원할 필요가 있다. 바이오 매스산업에 실패한 것으로 분석된 네덜란드의 경우에도 정책적 시사점으로서 정부정책은 기술roadmap을 통한 기술선택 지도, 시장형성, 자원조달 등 3가지 기능을 강화하는데 초점을 두어야 하는 것으로 분석되었다 [27].

셋째로, 에너지 시스템을 저탄소·친환경 에너지에 맞도록 설정하여 에너지의 생산, 전달, 활용에 관련된 부가가치사슬을 새롭게 형성할 필요가 있다. 이를 위해 기술별 맞춤형 기술획득 정책 추진, 공급사슬

(supply chain) 분석을 통한 연관산업의 육성, 상용화를 위한 전주기적 지원체계 마련, 그린에너지 통합 실증단지 구축 등이 절실하다. 특히 EIS의 구축 과정에서 현재까지 각 공정 또는 활동인자들의 활성화에 기여해 온 정책기조를 전환하여, 이들이 생태계 내에서 부가가치사슬에 걸쳐 기업연합(consortium)을 형성하고 기업연합 간 경쟁과 협력을 촉진하는 새로운 산업조직을 구축할 필요가 있다. 여기서 부가가치사슬에 걸쳐 전문기업들 간 플랫폼 조직인 미국의 유한책임회사(limited liability company)나 일본의 유한책임사업조합, 그리고 한국의 조세감면특별법 상 동업기업을 참조할 필요가 있다.

마지막으로, 에너지이용의 효율성을 제고하는 수요관리정책이 중요하게 되었다. 산업구조를 저 에너지 소비형 구조로 전환하고, 기후변화협약 및 환경규제 강화에 부합하도록 에너지이용 효율을 증대시키는 노력이 필요하다.

그러나 본 논문은 분석요인들 간 상관관계를 분석하지 못하고 case study적 분석을 실시하였다는 점에서 한계점을 갖는다. 이는 통계분석에 적합한 통계들을 찾지 못하였기 때문이며, 이러한 문제점을 극복하기 위해 에너지 R&D 및 부가가치창출사슬에 대한 통계를 국가단위에서 종합하는 노력이 필요하다.

참고문헌

1. 국가과학기술위원회, 녹색기술 R&D 종합대책, (2009)
2. _____, 2010년도 과학기술분야 중장기계획 조사·분석 보고서, (2010)
3. 교육과학기술부, 기후변화대응R&D마스터플랜, (2008)
4. 김덕한·박성환·박중구, “한국 신재생에너지기업의 경제적 성과와 기술수준 분석,” 한국혁신학회지, Vol. 3, No. 2, (2009)
- 5] 녹색성장위원회 그린북 편찬위원회, 「녹색성장 1.0」, 교보문고, (2013)
6. 박동오·송위진, 정책 조정의 새로운 접근-정책 통합-. 한국정책학회 2008년 춘계학술대회 발표논문

3) Henderson & Newell(2011)은 타 제조업의 기술혁신체제로부터 EIS에 대한 시사점으로 ① 공적 R&D지원 규모의 확대와 관리 효율화 필요, ② 신재생에너지산업군에서 신기술의 진입 및 배치를 위해 시장경쟁 촉진, ③ 중소기업의 독자기술·특화 기업이 진입가능하고, value-chain 형성 지원 필요, ④ low carbon 에너지에 대한 수요창출이 특히 기술진화의 초기단계에 중요하다는 점들을 제시하고 있음.

- 문, (2008)
7. 산업자원부, 국가에너지자원기술개발기본계획, (2006)
 8. _____, 제2차 신재생에너지기본계획, (2003)
 9. _____, 제3차 신재생에너지기본계획, (2008)
 10. 산업통상자원부(2012)
 11. 손재익, “신재생에너지 기술개발의 동향과 적정 기술확보”, (2012)
 12. 에너지관리공단, 에너지통계핸드북, (2013)
 13. 지식경제부, 2012년도 국가에너지자원통계, (2012)
 14. 한국산업기술재단, “한국 에너지 산업의 구조 분석” (2007)
 15. 한국에너지기술평가원, 15개 기술분야 전문가 위원회, (2012)
 16. 니시구치 야스오, 「기술을 중시하는 경영」, 한국산업기술진흥협회 번역, (2011)
 17. 井熊 均 編著, 京都議定書로 加速되는 에너지비즈니스, 일간공업신문사 2006, (2006)
 18. 三木 優 編著, 「Green New Deal」, 근대Sales 사, (2009)
 19. Caniels, M.C.J. and Romijn, H.A., Strategic Niche Management as an Operational Tool for Sustainable Innovation: Guidelines for Practice, paper for the Schumpeter Conference 2006, Nice, France, (2006)
 20. Carlsson, B. and Stanckiewicz, R., "On the Nature, Function and Composition of Technological Systems," Journal of Evolutionary Economics, Vol. 1. No. 2, (1991)
 21. EU, European Strategic Energy Technology Plan 20/20 by 2020, (2008)
 22. Henderson, R.M. & Newell, R. G. eds., Accelerating Energy Innovation: Insights from Multiple Sectors, Chicago: National Bureau of Economic Research, (2011)
 23. Jacobsson, S. and Bergek, A., "Transforming the Energy Sector: the Evolution of Technological Systems in Renewable Energy Technology," Industrial and Corporate Change, Vol. 13. No. 5, (2004)
 24. Jacobsson, S. and Johnson, A., "The Diffusion of Renewable Energy Technology: an Analytical Framework and Key Issues for Research," Energy Policy, Vol. 28. No. 9, (2000)
 25. Kemp, R., Schot, J. and Hoogma, R., "Regime Shifts to Sustainability Through Processes of Niche Formation: The Approach of Strategic Niche Management," Technology Analysis & Strategic Management, Vol. 10. No. 2, (1998)
 26. Mourki, R. and Raven, R.P.J.M., A Practioner's View on Strategic Niche Management, Energy Research Center of the Netherlands Report, (2006),
 27. Negro, S.O., Hekkert, M.P, and Smits, R.E, "Explaining the Failure of the Dutch Innovation Systems for Biomass Digestion - A Functional Analysis," Energy Policy, Vol. 34, (2006)
 28. Newell, R.G., "The Energy Innovation System: a Historical Perspective," in Henderson, R.M. & Newell, R. G. eds., Accelerating Energy Innovation: Insights from Multiple Sectors, Chicago: National Bureau of Economic Research, (2011)
 29. Rotmans, J., Kemp, R. and van Asselt, M., "More Evolution than Revolution: Transition Management in Public Policy," Foresight, Vol. 3. No. 1, (2001)
 30. Schot, J., Hoogma, R., and Elzen, B., "Strategies for Shifting Technological Systems: the Case of Automobile System," Futures, Vol. 26, No. 10, (1994)
 31. Unruh, G.C., "Understanding carbon lock-in," Energy Policy, Vol. 28, pp. 817-830, (2000)
 32. _____, "Escaping carbon lock-in", Energy Policy, Vol. 30, pp. 317-325, (2002)
 33. World Bank, State and Trends of the Carbon Market, (2007, 2008, 2009)
 34. Xavier, L., "Eco-Innovation in the Context of Green Growth Policies," in Technological Innovation Strategy for Green Growth, STEPI Seminar, Korea, (2009)