

녹색기술의 기술시스템 혁신을 위한 정책방향

서지영

I. 서론

우리나라는 OECD 국가 중 온실가스 배출량으로는 6위, 배출량 증가율로는 1위를 차지할 만큼 매우 높은 수준이다 (녹색성장위원회, 2009)). 이는 우리나라의 에너지 수급구조에서 화석연료가 차지하는 비중이 80%로 다른 나라들에 비해 매우 높기 때문이다²⁾. 국민의 생활수준이 높아짐에 따라 전기 소비량은 앞으로 증가할 것으로 전망되고 있기 때문에, 에너지 공급과 소비에 있어 탄소배출을 저감할 수 있는 방안에 대한 적극적 모색이 절실한 상황이다. 그러나 우리나라의 신재생에너지 공급비율은 2.43%에 불과하여 OECD 국가 중 최하위에 머물고 있는 것이 현실이다. 또한 신재생에너지 발전을 위한 기술 수준 또한 매우 낮은 것으로 나타났으며, 대부분 수입에 의존하고 있는 실정이다 (태양광은 75%, 풍력은 99.6%).

에너지 수급에 있어 자립도를 높이고, 소비량을 줄여야 될 필요는 비단 우리나라에만 해당하는 문제는 아니다. 1970년대 2차에 걸친 석유파동을 겪으면서 많은 국가들이 신재생에너지 기술개발과 보급에 관심을 갖게 되었다. 1980년대 후반부터는 환경문제 등에 대한 국제적인 차원에서의 논의가 지속되면서 신재생에너지기술개발과 보급을 촉진하였다. 이미 1970년대 OECD에서는 신재생에너지기술에 대한 연구개발예산을 크게 증가시켰고, 유럽연합은 전체 에너지 사용량에서 신재생에너지 사용의 비중을 1997년 14%에서 2020년 20%까지로 목표로 하고 있다(Lauber, 2002).

이러한 각국의 의지와 더불어 신재생에너지 산업은 지속적으로 성장하고 있다. 시장규모는 지난 5년 동안 연평균 28.2% 성장해, 2009년 1620억 달러에 달했다. 2020년에 이르면 세계 자동차 산업 규모와 맞먹는 1조 달러 시장으로 확대될 것으로 전망된다. 그러나 우리나라의 신재생에너지 세계시장 점유율은 1.4%로 매우 미미한 수준에 머물고 있다. 이러한 국내외적 상황은 신재생에너지의 생산이 단지 한 국가의 환경문제를 해결하기 위한 방안으로서가 아니라, 시장 성장의 잠재력이 큰 하나의 산업으로서 육성해야 할 필요가 있다는 것을 말해주고 있다.

신재생에너지 기술의 개발과 확산을 촉발하는 것이 과연 무엇인가 하는 문제에 있어 정부의 역할은 다른 기술분야와 달리 매우 강조되어 왔다. 신재생에너지 기술의 창출과 확산은 시장논리에 의해 촉발되기보다는 국가차원의 정책적 육성의 필요성에 의해 유도되는 분야이다. 신재생에너지는 기술의 선도성으로 인해 기술개발의 과정에서 발생하는 위험부담이 크기도 하거니와, 환경과 같은 공공재의 시장거래가 사실상 불가능하기 때문에 시장실패가 발생할 가능성이 큰 분야이다(Jaffe et al., 2005). 이에 따라 신재생에너지 기술혁신을 위한 정부의 정책적 개입은 시장형성을 통한 기술확산에 초점을 둔 수요견인 정책이 필수적이라는 인식이 지배적이다. 현재 우리 정부가 추진하고 있는 신재생에너지 자발적 공급협약(RPA, Renewable Portfolio Agreement)이나, 민간 주도의 보급 시스템을 강화하기 위해서 신재생에너지를 일정비율 의무적으로 공급토록 하는 신재생에너지 공급의무화(RPS, Renewable Portfolio Standard)제도, 그리고 공공건물 총 건축비의 5% 이상을 신재생에너지 설비에 투자토록 하는 것 등은 수요견인론에 입각한 시장확대전략으로 이해된다.

본 논문은 신재생에너지 기술을 필두로 하는 녹색기술의 혁신을 위한 정부의 정책적 수단으로

1) 과학기술정책연구원 부연구위원, science@stepi.re.kr

2) 미국 64%, 프랑스 53% (녹색성장위원회, 2009)

서 일반적으로 회자되는 수요견인 정책의 한계를 지적하고, 지속적인 혁신을 위해서는 녹색기술 시스템의 시스템적 기능 극대화가 필요하다는 점을 독일의 태양전지 육성정책 사례를 통해 보여 주고자 한다.

수요견인 정책이 녹색기술혁신(또는 일반적으로 녹색기술 전반에서의 혁신)의 경제적 효과를 창출하기 위한 필요성 속에서 도입되고 있으나, 실질적인 시장형성과 산업육성의 효과를 얻기 위해서는 수요견인정책으로 발생할 수 있는 혁신의 저해요인들을 억제해 나갈 필요가 있다. ‘시장 실패’의 요인들을 억제하기 위한 시장형성 촉진정책이 기술시스템의 유동성을 제한하는 틀로 작용할 때, 이는 ‘제도적 실패’의 요인들로 변질될 수 있다.

본 논문의 목적은 녹색기술혁신을 위한 정책적 개입이 시장실패와 제도적 실패라는 두 가지 위험을 피하기 위해 이루어지고 있으며, 이러한 접근법이 실제 현실에서 일어나고 있는 혁신의 다양한 양상을 반영하고 있지 못하다는 점을 밝히고자 하는데 있다. 수요견인이나, 기술투입이나 의 문제는 기술의 기술적 특성 그 자체를 통해 선험적으로 결정되는 것이 아니라, 기술혁신의 과정에서 기술시스템의 기능에 대한 검토와 판단을 통해 선택적으로 적용될 수 있는 정책수단이라는 것이다. 이러한 검토와 판단을 위해서는 기술시스템의 기능에 대한 항시적 분석이 이루어져야 할 것이다.

II. 기술혁신을 위한 정책적 개입에 대한 이론적 논의에 대한 고찰

1. 기술혁신의 동력

일반적으로 기술혁신을 촉진하는 동력으로서 수요견인론(Demand Pull)과 기술투입론(Technology Push)이 거론된다. 새롭고 창조적인 아이디어로부터 제품이 만들어지고, 산업이 성장해가기 위해서 무엇을 어떻게 해야 할 것인가에 대한 고민이다. 한쪽에서는 새로운 것(thing)의 활용방안에, 또 한쪽에서는 탐구와 창의적 아이디어의 지속적 공급에 중점을 둔다. 그러나 이 두 가지 틀에서 얘기되는 혁신동력에 대한 논의는 다만 이론적인 유형화일 뿐, 현실에서는 언제나 두 가지의 동력이 상호의존적으로 발휘되고 있다.

수요견인론은 기술 그 자체가 가진 “기술적 기회(technological opportunities)”만으로는 기술의 확산이 어려울 것이라는 전제로부터 출발하고 있다. 시장에서의 수요가 변화함에 따라 새로운 기술개발에 대한 필요성도 대두된다는 것이다. 다른 말로 하자면, 새로운 기술개발이 부진할 경우, 또는 부진할 우려가 있는 경우, 기술 그 자체의 개발을 위한 연구자금 투입이나 연구환경 개선에 노력하기 보다는 그 기술을 활용하고자 하는 사람들이 더욱 많아질 수 있도록 해야 한다는 말이다. 기술투입론은 한 산업에서 특정한 선도기술이 가진 우월한 지위에 주목한다. 그 기술이 제품에 적용되었을 때 발현될 수 있는 기능적, 비용적 장점들은 시장에서의 부가가치를 상승시키는 요인이 되고, 이는 그 산업이 가지고 있던 정체성과 병목(Bottleneck)을 해소할 수 있는 전환점을 마련해 준다는 점이 부각된다. 이 또한 뒤집어 얘기하자면, 산업의 활성화는 새로운 발견과 지식의 창출이 이루어져야 가능하며, 보다 창의적인 연구개발이 이루어질 수 있도록 해야 한다는 것이다. 기술혁신을 위한 정책적 개입은 대부분 이 두 가지 방법 중 무엇을 택할 것인가에 초점이 맞추어져 있다. 어떠한 정책 방향을 택할 것인가를 결정하는데 있어 정책이 목표하는 바가 무엇인지는 중요한 결정요인이 된다.

녹색기술 분야는 수요견인론에 근거한 정책적 개입이 타당성을 갖는 분야이다. 그 이유는 기술혁신에 따르는 시장실패의 위험성 때문이다. 시장실패가 발생하는 이유는 다양하다, 우선, 어렵게 개발된 기술이 손쉽게 전이(knowledge spillovers)가 된다면, 부가가치가 절하되므로 시장에서

투자비용을 회수하기가 매우 어렵게 된다. 이 경우 기업은 새로운 제품의 경제성에 대한 회의로 인해 적극적인 제품개발을 시도하지 않는다. 또한 정보의 불평등도 시장실패의 요인이 된다. 연구기관에서 창출되는 연구성과에 대한 정보가 불충분하거나, 제품의 소비자 니즈에 대한 정보의 불충분도 기술의 확산을 저해한다. 이러한 시장실패가 발생할 가능성이 큰 분야는 그 기술의 ‘공공가치(public value)’가 커서 개발과 활용에 대한 사회적 필요성이 크지만, 기술활용으로부터 얻을 수 있는 경제적 이윤창출에 대한 기대는 적은 분야이다³⁾. 대표적으로 교육, 보건, 환경 등의 분야가 여기에 해당한다.

녹색기술이 갖는 가장 일차적인 사회적 기능은 환경보호와 유지이다. 공기나 바다와 같은 환경재(envrionmental goods)는 어느 개인의 소유가 아니며, 훼손을 복구하거나 방지하는데 드는 비용을 지불할 책임 또한 개인의 몫이 아니다. 환경변화의 원인규명과 방지를 위한 기술개발이 실제로 기후변화에 영향을 미쳤는지에 대한 검증 또한 매우 오랜 시간을 필요로 한다. 환경재의 유지와 개선을 위한 기술개발과 활용은 개인의 의지와 수요에 따라 이루어지지 않는다. 이는 달리 말해 환경재를 거래할 수 있는 시장이 존재하지 않는다는 말이다. 그럼에도 불구하고 환경의 오염과 훼손으로 인해 발생하는 재해를 예방하고, 사회적 손실을 줄이기 위해서는 기술의 확산이 절실히 요구된다. 녹색기술 분야에 대한 정부의 정책적 개입은 시장실패 요인의 발생을 억제하고, 궁극적으로는 기술의 혁신을 이끌어내기 위한 목적을 가진다고 볼 수 있겠다.

그렇다면, 우리가 신재생에너지 기술의 혁신 문제를 다룸에 있어 정책적으로 직면하고 있는 문제는 크게 세 가지로 볼 수 있다. 첫째, 시장이 없는 재화임에도 불구하고 기술이 확산될 수 있는 방안을 마련해야 한다. 둘째, 정책적 정당성을 얻기 위해서는, 기술혁신의 성과에 대한 검증(환경에 대한 긍정적 효과)에 많은 시간이 소요되어 그 결과가 불확실 함에도 불구하고, 이를 단기적인 경제적 성과로 가시화 시켜내야 한다. 셋째, 기술정책의 궁극적 목적인 기술혁신에 긍정적 효과를 얻기 위해서는, 단기적인 경제성 도출과 더불어 창조적 지식창출이 지속적으로 이루어지도록 해야 한다. 시장실패를 피하기 위해 사용되는 정책수단들에는 일반적으로 지적소유권의 보호, 세금감면, 융자지원, 공공조달, 규제 및 표준제도 제정 등이 거론된다. 이들은 기술의 개발자에 대한 보상과 개발된 기술의 활용에 대한 위험부담을 어느 정도 경감시켜줌으로써 새로운 기술이 시장을 형성해 나가는 것을 돕고, 새로운 지식창출이 이루어지는데 긍정적인 효과를 가져온다. 그런데 한 가지 문제가 남아 있다. 이러한 정책 수단들을 어느 시점에서 어떻게 제시해야 할 것인가?

2. 동전의 양면: 시장실패와 제도실패

기술혁신 성공 결과물의 성과의 경제적 가치를 전유하여 개발에 투입한 비용을 보상 받고자 하는 개발자와 이를 확산시켜 사회적 효용가치를 확대하고자 하는 사용자의 이해관계가 시장에서 거래를 통해 합의에 이를 수 있다면(negotiate) 정부의 개입은 불필요하다. 그러나 어떤 기술분야에서건 개발자가 산정하는 기술의 수요와 사용자가 가진 수요는 완벽히 일치할 수 없다. 기술에 대한 수요는 유동적이며, 이해관계 조정과 협상의 산물이기 때문이다 (Suh, 2009). 정부의 정책적 개입이 필요한 이유는 선도적 의제 창출을 통해 이해관계를 조정해야 하기 때문이다. 그러나 제도화된 법령이나 규제는 기술의 개발자나 생산자 모두에게 일종의 관성(inertia)을 형성하게 할 위험성이 크다. 따라서 정책적 개입은 언제나 시장의 유동성에 민감하게 반응해야 한다. ‘시장실패’를 피하기 위한 수요견인정책 또한 이러한 관성(inertia)을 형성하게 하는 위험성이 있으며, 이는 시간이 경과함에 따라 ‘제도적 실패’를 불러올 가능성이 있다. 1970년대에서 90년대 사이 캘리포니아의 풍력 발전의 사례는 수요견인론에 입각한 정책의 양면성을 잘 보여주고 있다.

3) Bozeman 은 공공가치를 ‘국민들에 대한 권리, 이익, 특권에 대하여 규범적으로 공감대가 존재하고 국민들 또한 사회에 대한 의무가 있으며 정부와 정책을 통해 그 기반을 형성해야만 하는 가치’라고 정의하였다 (Bozeman, 2002).

캘리포니아 풍력 발전 사업은 정부의 투자 세금 공제, 생산 세금 공제, 관세장벽 보증(guaranteed tariffs), 신재생에너지 의무화 등의 정책들을 통해 수익성을 높였고, 풍력발전의 신기술은 확산되었다. 풍력발전 기술확산의 초기 단계에서 정부의 이러한 정책수단들은 민간 부문 개발자들의 풍력 발전 수익성을 높이는 효과를 가져왔다. 그러나 1990년대 중반 이후 풍력발전 설비의 확산이 일정정도의 수준에 다다랐을 때, 캘리포니아 지역 풍력발전자(업체, 개인 포함)의 97%가 동일한 타입의 터빈을 이용하기에 이르렀고, 90%가 glass reinforced polyester 나 fibreglass 를 사용하고 있었다. 삼중 블레이드, 수직 축, up wind mounted design 은 이제 캘리포니아 지역 풍력발전 설비의 지배 디자인(dominant design)이 되었던 것이다. 지배 디자인이 등장한 이후 다양한 대안적 기술에 대한 개발은 급격히 줄어든다.

이러한 사실은 정부의 수요견인정책이 새로운 시장의 창출을 통한 기술확산에 긍정적 영향을 미치나, 개발자와 생산자 모두의 학습활동(learning)에 일정한 패턴을 형성시킨다는 것을 말해주고 있다. 초기에는 다양한 기술적 대안들이 시험되고, 다양한 사용 컨텍스트 속에서 활용되다가 시장의 확대와 사용규범이 제도화 되기 시작하면서 기업의 관심은 쉽게 적용이 가능한 기술을 활용하여 최대의 이윤을 창출하는 것에 집중된다. 캘리포니아의 사례를 볼 때, 이러한 기술적 시험(trial)의 정체는 한동안 지속되다가 1990년대 후반 점차 양상이 달라지기 시작한다. 기존의 지배적 디자인이 해결하지 못하는 새로운 문제들에 대한 기술적 탐색이 시작된 것이다.

위의 사례는 기술혁신을 위한 정책적 개입이 어떠한 결과(시장형성이나 기술적 진보)를 낳던 간에, 궁극적 목적인 기술의 혁신을 지속적으로 담보하지 못한다는 것을 보여준다. 문제는 다양한 기술적 대안들 중에서 무엇을 언제 어떻게 지원하여, 기술적 대안의 다양성을 확보해야 하는가이다. 시장실패의 요인을 제거하기 위해 투입되는 정책적 수단들이 제도화 되어 하나의 기술적 대안에 사회적 권력을 부여할 때, 이제는 제도적 실패의 위험이 다가오고 있음을 인식해야 한다.

이러한 문제의식 속에서 녹색기술혁신을 위한 정부 개입의 정당성에 관한 논의의 초점을 ‘시장 실패’가 아닌 ‘시스템 실패(system failure)’를 억제하는 방향으로 전환할 필요가 있다. 시스템 실패론의 밑바닥에는 기술혁신의 동력을 ‘기술적 기회 창출’이나 ‘수요 창출’이라는 고도로 정제된 추상적 개념으로 소급하여 설명하는 것에 대한 비판이 깔려 있다. 기술혁신의 동력은 어느 한 가지 요인으로 설명될 수 없으며, 기술의 생성과 확산에 관련된 다양한 사회적, 경제적, 기술적 요소들이 기술혁신을 위한 긍정적 피드백을 형성하고 있는가, 그렇지 못한가에 달려 있다는 것이다 (Yang & Oppenheimer, 2007). 기술시스템에 대한 이론적 논의는 기술혁신의 동력을 보다 다양한 측면에서 볼 수 있게 한다.

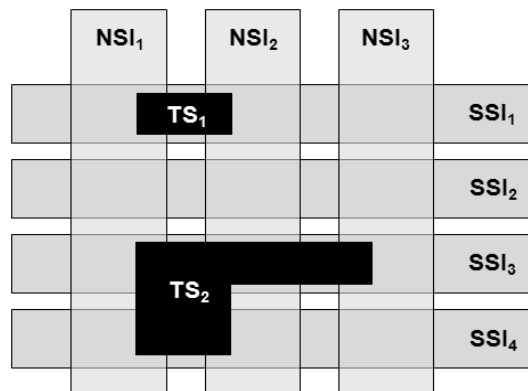
III. 녹색기술의 시스템적 혁신을 위한 이론적 논의

1. 기술시스템 개념과 시스템적 혁신을 위한 기능적 접근

기존의 혁신체제론은 기술혁신의 상호작용을 강조하면서 등장하였다(Kline and Rosenberg, 1987; Lundvall, 1992). 혁신체제는 새로운 기술을 획득/개량하며 확산을 위한 기술개발 관련 행동과 상호작용을 수행하는 공공 및 민간부문 조직들간의 네트워크(Freeman, 1987) 또는 기술혁신성과에 영향을 미치면서 주된 역할을 수행하는 조직체들의 집합(Nelson and Rosenberg, 1993)으로 정의된다. 스웨덴의 경제학자인 Lundvall은 “국가생산시스템”의 개념과 “국가혁신체계”라는 용어를 처음으로 사용하였다. 국가혁신체계(NIS: National Innovation System)는 기업, 대학, 연구소 등 혁신주체들의 새로운 지식창출, 확산(학습), 활용을 극대화하여 국가 경쟁력을 제고하는

민간 및 공공조직과 제도들의 네트워크를 말한다. 국가혁신체계는 한 국가경제의 주요 산업분야 혁신체계들의 총합으로 이루어지며 또는 한 국가내의 개별 지역혁신체계들의 총합으로 이루어진다. 전자를 산업혁신체계(SIS: Sectoral Innovation System), 후자를 지역혁신체계(RIS: Regional Innovation System)라고 한다. 산업과 지역을 총체적으로 아우르는 국가혁신체계는 어떤 특정 국가라는 범주내에서 접근한다. 기술시스템(TIS)은 국가 또는 지역, 기존의 산업에 국한되지 않고 신기술의 창출과 확산, 활용을 위한 전체적인 관점에서 접근하는 혁신체제론이다. 시스템적 혁신을 위한 이러한 다양한 접근방식은 배타적이지 않고 상호 보완적으로 이해되어야 한다. 기술혁신의 특성에 따라 국가차원에서 접근할 것인지, 지역 또는 기존의 산업차원에서 접근할 것인지 그리고 마지막으로 기술단위로 설정하여 정책을 설명할 것인지에 대한 결정에 따라 달라질 수 있다(Carlsson, 1997; Sung, 2006). 다음 그림은 시스템적 혁신을 어떤 범주에서 관찰하고, 분석할 것인가에 따른 개념적 연관관계를 잘 보여주고 있다.

그림 1 국가혁신시스템(NSI), 산업혁신시스템(SSi)과 기술시스템(TS)의 관계



TS: Technological System
 NSI: National System of Innovation
 SSi: Sectoral System of Innovation

자료: Markard and Truffer, 2008.

새로운 기술 개발과정에서 요구되는 다양한 주체들의 상호작용은 국지적인 범주 내에서만 국한될 수 없다. 기존의 국가혁신체계와 지역혁신체계론은 이러한 한계점을 가지고 있으며 산업혁신체계는 이미 완성된 제품 또는 산업에 대하여 정의된 개념으로 신기술의 창출을 통한 시장형성을 설명하는 데는 한계가 있다. 이를 극복하기 위하여 제안된 개념이 기술시스템(TS: Technological System)이다. 신재생에너지기술에 대한 시스템적 접근은 혁신시스템 중 기술시스템의 접근이 적합하다. 신재생에너지기술은 국가 또는 지역의 경계가 없으며 이미 완성된 제품이나 기술 등이 정립되지 않고 새로운 기술의 출현을 통해 시장이 형성될 수 있는 분야이기 때문이다.

기술시스템의 정의는 특정한 제도적 하부구조(institutional infrastructure)하에서 기술을 창출, 확산하고 활용을 목적으로 상호 영향을 주고받는 경제주체들의 네트워크이다(Carlsson and Stankiewicz, 1991). 여기에서 '제도적 하부구조'란 기술창출과 확산의 과정을 지원하고 통제하는 제도적인 조정의 집합, 즉 법규나 조직들을 말한다(Sung, 2006). 제도적 하부구조는 크게 지식의 생산과 유통에 관련된 것과 기본적인 경제제도와 정부의 역할로 구분된다. 전자는 연구개발제도,

교육기관, 공공 또는 민간연구소, 그리고 각종 기술센터를 포함하고 후자는 기술혁신과정에 내재하는 불확실성과 위험을 낮추는 금융시스템과 특허제도를 포함한다. 또한 정부의 구매정책, 보조금제도 등 정책지원도 제도적 하부구조의 범주안에 속한다.

기술시스템의 구성요소를 구체적으로 구분하면 첫째, 경제주체(actors)로 기술 또는 재무적으로 강한 영향력을 가지고 있는 공급자, 수요자, 벤처캐피탈리스트 등을 말한다. 두 번째 구성요소는 네트워크이다. 기술시스템 내에 존재하는 다양한 경제주체들간의 상호 연계를 의미하는 것으로 이를 통해 지식과 정보의 교류 및 확산이 이루어지며 각 주체들의 의사결정에 도움을 준다. 세 번째 구성요소는 제도 하부구조로 기술의 창출과 확산·활용을 지원하고 통제하는, 법과 규범을 말한다(Equist and Johnson, 1997). 그러나 기술시스템을 각 구성요소에 의해 단순하고 선형적인 방법으로 설명하는 것은 매우 어려우며 기술하부구조, 제도하부구조, 산업네트워크의 구성요소별 주체들 또는 조직, 지식과 기술 등의 상호 연계 체계로 설명할 필요가 있다. 우선 정부는 독립된 주체로 각 구성요소에 직·간접적인 영향을 미치고 각 구성요소들은 내부적으로 세부 구성요소 간 지속적인 연계와 커뮤니티를 형성해 나가면서 시스템을 강화시킨다. 그리고 3개의 구성요소들도 마찬가지로 상호교류를 활발히 하고 필요한 경우 정부와의 상호작용을 통해 합법성을 이끌어 내기도 한다.

기술에 따라 기술시스템의 산업네트워크에 속해있는 ‘연합체’의 형성이 선행되기도 하는데 예를 들어 ‘기후변화협약’에 대한 국가별 탄소감축 목표를 달성하기 위해서 신기술의 개발에 앞서 ‘연합체’가 형성되고 기술개발목표가 수립된다. 이때 ‘연합체’는 시장을 형성하고, 이를 유인할 수 있는 정책적 지원을 이끌어내는 데 중요한 역할을 한다. ‘연합체’는 다양한 이해관계자들에 의해 조직되며 각 주체들의 의견을 수렴해서 강력한 영향력을 행사한다.

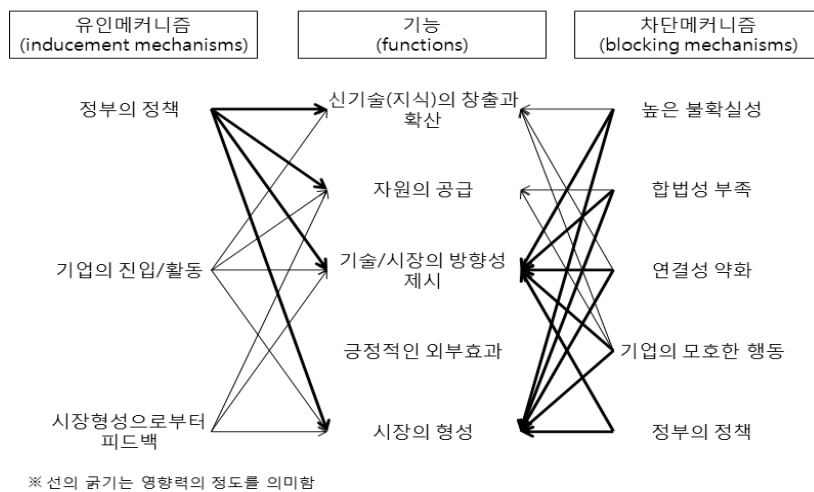
2. 기술시스템에 대한 기능적 접근

우리는 흔히 새로이 개발되는 기술을 두 가지 유형 중 하나로 구별하고 싶어 한다. 창조적이며, 새로운 기술인가, 그렇지 않고 기존의 틀 안에서 개선된 기술인가를 따져 묻는다. 그 이유는 전자와 후자의 혁신전개 양상이 완전히 다르다고 믿기 때문이다. 전자의 경우, 기술 변화에 영향을 받는 행위자의 범위는 후자에 비해 매우 크며, 그 변화는 오랜 시간에 걸쳐 진행된다. 법제, 시장구조, 기업활동 등에 큰 영향을 미치며, 이는 기존의 제도와 생산활동에서 적용되었던 행동 규범들이 완전히 다른 규범으로 대체되는 것을 의미한다. 그러나 Christensen 이 이러한 기술혁신의 구분에 주의를 요구했던 것 처럼, 이분법적 구분은 매우 큰 오해를 불러일으키기도 한다. 그는 기존의 기술과 완전히 다른 새로운 기술의 개발과 확산이 이루어지는 방식을 단절적 혁신(disruptive innovation)으로 일컬으며, 그 반대인 지속적 혁신(sustainable innovation)과 대비시켰다. 그러나 그 스스로 밝히고 있듯이 이러한 구분이 이루어지는 근거는 기술 그 자체에 있지 않다. 단절적 혁신은 단절을 야기하는 기술 자체가 얼마나 새로운 것인가를 의미하는 것이 아니다. 기술이 개발, 확산되는 방식이 얼마나 기존 패러다임의 연속선 상에 있는가 아니면 단절적인가에 따라 결정된다. 기업의 생산방식과 조직은 기존의 패러다임에 따라 구조화되어 있다. 새로운 기술이 도입됨으로써 겪게 되는 기술 레짐(technological regime)의 변화는 기존 생산방식과 제도적 규범과 충돌하게 된다. 단절적 혁신은 이러한 변화의 과정에서 기존의 기술레짐에 연관된 다양한 Stakeholder 들의 상호연계가 단절되고, 완전히 새로운 연계구조가 형성된다는 것을 의미한다. 지속적 혁신은 기존의 레짐에 일정부분 변화를 가져오는 것을 의미한다. 이는 혁신이 단절적인가, 지속적인가 하는 문제를 기술 그 자체의 속성에 관한 개념으로 볼 것이 아니라, 기술을 둘러싼 기술과 사회, 정치와 산업의 연계구조가 어느 부분에서 어떻게 변화하고 있는지에 대한 관심으로 전환할 것을 요구한다.

기술시스템은 동태적으로 작동하고 있으며 이를 분석하기 위해서는 시스템의 기능들이 어떤 역할을 수행하는지 살펴보아야 한다(Rickne, 2000; Johnson and Jacobsson, 2001). 기술시스템의 기능들은 구성요소들과 성과사이의 중간 수준을 의미한다(Huang and Wu, 2007). 기술시스템이 시스템적으로 작동하기 위해 갖추어야 할 기능들에 대해 다음과 같이 정리할 수 있겠다(Johnson, 1998; Johnson and Jacobsson, 2001).

- ① 새로운 지식의 창출과 확산: 기술시스템의 핵심이자 출발하는 기능으로 지식의 범위와 깊이가 정의되며 창출된 지식은 시스템내에서 상호작용을 통해 확산되며 다양한 기술들과 융·복합될 수 있다.
- ② 기술 수요자와 공급자들에 대한 탐색의 방향 제시: 기술시스템이 개발되면 해당 기술과 관련된 수요자와 공급자들이 시스템내로 진입할 수 있다. 이때 기술시스템의 형성은 기업 또는 다른 주체들이 새로운 시스템을 이해하고 가치창출의 기회를 모색할 수 있는 방향을 찾는데 도움을 준다.
- ③ 자본과 역량 등 자원의 공급: 자본과 기술역량은 혁신시스템에 있어서 모든 활동을 가능하게 하는 기본적인 투입물으로써 매우 중요하다. 다양한 주체들이 시스템내로 진입하게 되면서 인적자원, 자금, 기술과 지식 등의 자원이 자연스럽게 유입되고 시스템을 확대할 수 있다.
- ④ 긍정적인 외부효과의 창출: 긍정적인 외부효과 개념은 신고전주의 경제학에서 소개되었다. 투자자들이 투자를 통해 얻게 된 성과를 전유할 수 없고(free utilities) 사회적으로 공유하게 되면서 더 이상의 투자를 하고자하는 의지를 상실하게 된다는 개념이다. 그러나 이러한 외부효과는 정부의 정책 등 제도적 하부구조의 형성을 통해 극복될 수 있다.
- ⑤ 시장의 형성: 신기술이 창출되고 기술시스템이 형성되는 단계에는 아직 시장이 존재하지 않는다. 기술시스템을 통해 보호된 시장(nursing market)이 형성될 수 있고 이 시장은 이후 연계시장(bridging market)으로 연결된다(Andersson and Jacobsson, 2000). 연계시장은 기술시스템의 성장을 촉진하고 시장의 확대시키는 기능을 한다.

기술시스템에는 기능을 촉진하는 촉진요인들과 기능을 저해하는 저해요인들이 있는데, 촉진요인으로서의 정부의 정책, 기업의 진입과 활동, 시장형성을 통한 feedback loop 가 있으며 저해요소로서는 기술의 불확실성, 신기술의 법적 근거 부족 등을 들 수 있겠다. 촉진요소와 저해요소들은 기술시스템의 기능에 개별적으로 영향을 미치는데 각각 다음과 같은 메카니즘으로 시스템의 기능에 작용하게 된다.



자료: Jacobsson and Bergek, 2004.

(그림 2) 신재생에너지기술의 유인메커니즘과 차단메커니즘

녹색기술분야는 정부의 정책이 촉진요인으로서 중요한 역할을 할 수 있다. 정부의 연구개발 투자, 시범서비스 프로그램, 법·제도적 변화 등은 녹색기술의 개발과 시장의 형성을 촉진할 수 있다. 이후 다양한 역량을 가진 기업들이 진입함으로써 기술의 새로운 활용컨셉들이 개발되고, 인적·물적자원이 공급된다. 시장형성과 확대 프로세스를 거치면서 기업들이 매출을 발생시키고 연구개발투자를 확대하면, 시장이 확대되는 긍정적인 피드백 과정을 거친다. 그러나 차단메커니즘은 녹색기술개발과 활용의 주체들에게 기술과 시장에 대한 예측을 어렵게 함으로써 향후 기술개발과 목표 시장에 대한 모호한 태도를 가지도록 한다.

다음 장에서 살펴볼 사례를 통해 시스템 기능의 촉진요인과 저해요인이 정부의 정책적 개입으로 어떻게 발현되는지를 살펴보고자 한다.

IV. 녹색기술시스템의 혁신 기능 촉진을 위한 정부의 정책 사례 : 독일의 태양광 산업의 발전과정

독일은 여러 다른 국가들과 마찬가지로 에너지 공급의 수입의존도를 낮추고, 공급 안정성을 확보하기 위해 신재생에너지 공급 비중을 지속적으로 높이려는 계획을 가지고 있다. 독일의 재생에너지 공급 현황을 살펴보면, 2007년 말 온실가스 배출을 21.3% 감축하였으며, 최종전기사용량(FEC)에서 신재생에너지가 차지하는 비율은 1998년 3.1%에서 2008년 9.5%로 증가했다(BMU, 2009). 전체 에너지 공급에서 신재생에너지가 차지하는 비율을 2020년까지 최소한 30%로 증대시키고, 총 난방에너지 소비에서 재생에너지가 차지하는 비율을 현재 약 7%로, 2020년까지 14%로 증대시키고자 한다(BMU, 상동). 특히 독일 정부가 중점을 두고 있는 것은 태양에너지의 활용이다⁴⁾. 독일이 태양으로부터 얻는 에너지를 통해 점유하고 있는 세계시장의 비율은 47%에 이른다. ‘재생가능에너지법’ 2003년에서 2005년 사이에 태양광 발전에 의한 전력공급이 3배 증가했다. 이처럼 태양광 발전을 통한 신재생에너지 공급량이 증가하고 있고, 산업의 규모가 확대되고 있는 오늘날과 같은 상황은 1970년대부터 시작된 신재생에너지 기술의 개발과 확산을 위한 정부정책의 긍정적 효과로 인식되고 있다. 다음에서는 독일의 태양전지 기술의 확산과정에 대한 고찰을 통해 정책적 개입이 기술개발과 확산에 미친 영향에 대해 살펴보기로 한다.

독일의 신재생에너지기술의 개발은 1960년대 미국이 유럽으로의 항공우주 관련 기술의 수출을 제한하는 것을 계기로 독일의 텔레퐁켄(Telefunken)⁵⁾과 지멘스(Siemens)가 결정질 태양전지의 개발을 시도하면서 시작되었다. 그러나 미국이 곧 수출을 재개하면서 태양전지의 개발은 중단되었다. 연구를 다시 재개시킨 것은 1970년대 불어닥친 두 차례의 오일쇼크였다. 독일정부는 1977년부터 태양전지에 대한 연구개발에 정부자금을 투입하기 시작한다. 오일쇼크는 유럽사회 전반에 환경에 대한 인식을 바꾸는 중요한 계기로 작용한다. 당시까지 별다른 문제의식 없이 석탄, 석유와 같은 화석연료를 사용해 왔던 데 대한 반성이 일어나고, 원자력 에너지에 대한 반감으로 이어졌다.

이러한 사회적 변화는 지금까지 신재생에너지에 대한 모색이 과학적 탐구욕에 의한 실험실 탐색의 수준이었던 것을 국가적 차원의 개발과제로 이끌어내었다(Meyer-Abich and Schefold, 1986).

독일정부는 태양전지와 관련된 지식창출에 대한 본격적인 투자를 시작한다. 1977년부터 1989년

4) 태양에너지는 지구상에 존재하는 에너지 중 가장 이용가치가 높다. 174pw 중 89pw를 차지하며, 이는 전체 에너지 수요의 10000배에 해당한다.

5) 현재 AEG

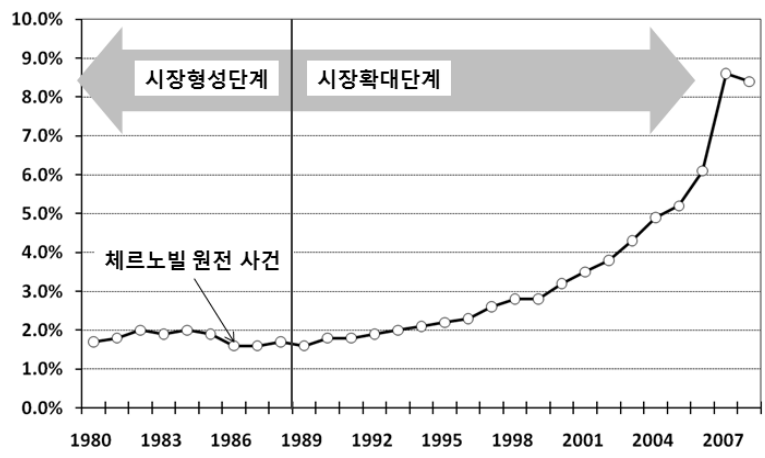
사이에 태양전지분야에 대한 연구개발 프로그램을 통해 18개 대학과 39회사, 12연구기관에 정부의 연구개발 자금이 투입되었다. 당시 연구개발자금은 태양전지(Cell)의 개발에 가장 많이 투입되었으나, 단지 전지의 개발뿐만 아니라, 태양광 발전과 관련된 전반적인 기술분야를 포괄하는 것이었다 (Jacobsson et. al., 2004). 당시 발표된 정부 부처의 보고서들을 살펴보면, 태양전지개발의 초기단계인 1970년대말에서 80년대 중반까지는 매우 다양한 유형의 태양전지들이 경쟁적으로 개발되었던 것을 알 수 있다. 이는 태양전지 기술시스템이 지식 창출활동에 있어 어느 하나의 기술패러다임에 종속되지 않았으며, 결과적으로 기술적 다양성 속에서 효율성과 경제성을 둘러싼 경쟁적 개발이 가능하도록 하였다.

연구개발에 대한 투자와 더불어 독일정부는 1983년 민간기업의 관심을 이끌어내기 위해 300~340 Kw 정도 규모의 태양광 발전 시설을 설치하여 신재생에너지 생산을 전시적으로 보여주려 했었는데, 여기에서는 다양한 유형의 태양전지들의 효율이 시험되기도 하였다. 이는 기업의 투자와 기술의 다양한 활용을 촉진하기 위한 의도로 시행되었는데, 실제 기업의 투자에 미친 효과는 미미하였다.

신재생에너지에 대한 광범위한 관심을 이끌어낸 계기는 정부정책의 선도적 역할 때문이었다기 보다는 외부에서 주어졌다고 볼 수 있다. 바로 체르노빌 원전 사건이 그 결정적 계기가 되었다. 1986년 체르노빌 원전 사건이 발생하면서 기존 에너지원, 특히 원자력에 대한 국민들의 부정적인 시각이 정부를 강하게 압박하면서 신재생에너지에 대한 사회적 관심은 증폭되었다. 당시 수상이었던 Helmut Kohl은 대국민 성명을 통해 신재생에너지의 개발강화를 약속했으며, 이는 연구개발뿐만 아니라 기술확산을 위한 방안의 모색에 정부가 보다 적극적으로 나서게 되는 계기가 되었다.

정부의 이와 같은 정책의지 표명은 태양전지 기술시스템의 지식창출 기능 뿐만 아니라, 기업의 투자를 유도하는 데 매우 큰 효과를 가져왔다. 독일의 대기업인 Bayernwerk, Siemens, BMW는 1989년 태양전지와 연료전지 개발을 위한 협력체제를 만들었고, Bayernwerk와 Siemens는 곧이어 세계에서 가장 규모가 큰 태양전지 전문기업인 Siemens Solar를 설립하였다.

독일의 태양전지 기술시스템에서 시장형성이 본격적으로 시작된 것은 체르노빌 사건 이후 이러한 일련의 계기들이 있었기 때문이다. 정부의 연구개발 투자 확대는 중소기업이 새로운 활로를 모색하는데 있어 방향을 제시하는 역할을 하였다. 기업들의 참여는 태양전지와 관련된 기술들이 실험실이라는 특정한 환경을 벗어나, 다양한 사용컨텍스트 속에서 응용될 수 있는 계기들을 만들어내게 된다. 이는 태양전지 기술시스템에서의 지식확산이 정부주도가 아닌 민간 영역으로 넘어가게 되는 계기가 된다. 다음 그림은 독일의 신재생 에너지 시장확대가 체르노빌 사건을 시점으로 시작되고 있다는 것을 보여준다.



자료: IEA, Contribution of renewable energies and energy from wastes.

(그림 3) 독일의 신재생에너지 비중 추이

태양전지 기술의 산업적 활용에 대한 기대와 니즈는 태양전지 관련 기업들사이에 다양한 네트워크가 결성되도록 하는데, 이러한 네트워크의 역할은 체르노빌 사건 이전과 이후에 있어 다소 차이를 보인다. 이전 결성된 독일 태양에너지 협회⁶⁾나 독일 태양에너지 산업협회, 독일 태양에너지 전문가 협회 등은⁷⁾ 1970년대 중반 이후 독일정부가 태양에너지 연구개발을 처음 시작할 무렵에 결성되었다⁸⁾. 이들의 활동은 일반적인 이해관계 그룹의 활동과 마찬가지로 태양에너지 기술 개발과 산업 활성화에 관련된 학자, 기업들의 권익을 보호하고, 정책이슈들을 발굴, 제기하는 역할을 수행하는 것으로 보인다. 그러나 1988년 등장한 유로솔라(Eurosolar)는 정치권에 속한 정당 관계자나 의원들의 모임으로서, 태양에너지의 개발을 정치적 이슈화 하는 것을 목적으로 결성된 정치집단이다. 이들은 태양전지 뿐만 아니라 태양에너지와 관련된 정책을 기획하고, 정책의제들에 대해 보다 광범위한 정책적 지지를 얻어내는데 목적을 두고 있다. 이들의 활동은 독일 태양광 산업을 확대하는데 매우 중요한 역할을 하는데, 1990년 시작된 1000-roof 프로그램이나 차액보상제도와 같은 보급정책에 대한 의제를 제기하고, 결정하는데 큰 영향력을 행사했다.

1000-roof 프로그램은 독일 태양광 산업에서 체르노빌 사건 이후 또 하나의 전기를 마련하게 한다. 이 프로그램은 지금까지 중점을 두어왔던 태양광 발전시설 설립 외에도 소형 태양전지의 개발과 활용으로 기술활용의 범위를 넓히는 계기가 되었다. 이 프로그램과 더불어 많은 중소기업들이 시장에 진입하였으며, 태양광 산업과 관련된 많은 이해집단들이 생겨났다. 이들은 1000-roof 프로그램이 성공을 거두며 진행되고 있는 가운데, 새로운 의제를 제기하기에 이르는데, 태양광 발전에 대한 비용을 정부에서 지원해 줄 수 있는 방안 마련과 1000-roof 프로그램의 후속 프로그램 마련이었다. 기업은 보다 더 적극적이고, 광범위한 시장확대 프로그램을 요구하게 되었고, 이는 기업의 이해관계를 대변하는 협회와 정당의 정책적 논쟁을 불러일으켰다. 결국 독일 정부는 태양광 발전에 투자하는 기업의 비용을 일정부분 보상해주는 전력의무구매법을 통과시키기에 이르렀다. 이러한 정책 관련 이해관계 집단들의 제도화에 대한 노력은 당시까지 연방정부 차원에서 논의되었던 산업활성화의 의제를 지방정부에로까지 확산시키는 결과를 낳았다. 1990년대 초 독일 내 태양광 관련 네트워크들과 신재생에너지 산업 활성화를 꾀하는 정치적 네트워크(예, Eurosolar)들은 지방정부로 하여금 클러스터 사업을 구상하게 하고, 지역차원에서의 가격보상제도를 도입하도록 하는데 큰 영향을 미친다.

1998년 총선에서 사민-녹색 연립정부가 탄생하면서 신재생에너지 산업은 본격적으로 확대된다. 이는 태양전지 기술시스템의 기술확산과 관련된 기능들이 활성화 되었다는 것을 의미한다. 1999년 1월에 10만 개의 지붕에 태양광 모듈을 설치하는 계획이 시작됐으며, 태양광발전 시스템 설치를 위한 저리자금 용자가 제공되었다. 이는 중소기업의 시장진입 장벽을 낮추는데 큰 공헌을 하였다. 태양전지 기술시스템이 자발적 시스템으로서의 기능을 갖출 수 있었는데, 이는 시스템이 기능하는데 필요한 자원이 이제 정부가 아닌 기업에서 투입되기 때문이다. 이러한 자원이동(resource mobilization)은 중소기업들만의 힘으로는 한계가 있는데, 1998년 대기업인 Shell 이 독일 태양광 산업에 투자를 결정하면서 자원이동의 속도가 높아졌다.

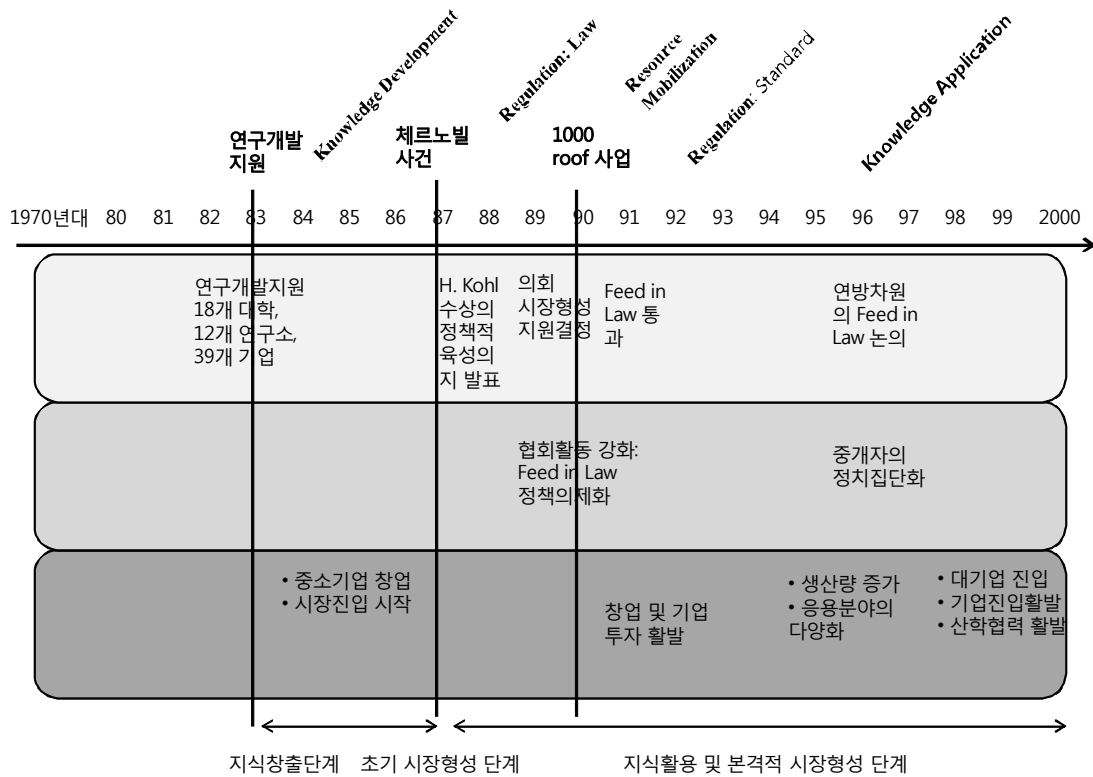
2003년에는 130MW급 태양광발전시스템이 독일 내에 설치되었고, 2004년에는 200MW 이상으로 태양광발전시스템이 증가했다.

2004년은 독일 태양광 산업의 또 하나의 전기가 되는데, 재생에너지자원법(EEG)가 제정되면서 태양광 발전에 대한 차액보상제도(Feed in Tariff)가 실시되었다. 이 제도가 도입된 이후 기업의 투자는 그 이전에 비해 폭발적으로 증가했는데, 이는 시장전망에 대한 확신을 가질 수 있었기 때문이다.

6) Deutsche Gesellschaft fuer Solar Energie

7) Deutsche Verband fuer Solar Industrie

지금까지 살펴 본 독일 태양광 산업의 발전 과정을 그림으로 나타내 보면 다음과 같다.



이 그림에서 태양전지 기술시스템의 여러 기능들은 정치분야, 산업분야, 그리고 네트워크가 연속된 Feedback loop 을 형성하면서 발전해 온 것을 볼 수 있다. 이러한 Feedback loop 은 정부에서 민간으로의 자원이동을 촉진할 수 있었고, 기술의 다양한 활용에 대한 적극적 시험이 이루어질 수 있었다. 이 과정에서 주목할 만한 것은 독일의 태양광 산업계의 정책활동이다. 이들은 정치계와 산업계의 중간에서 중개적 역할을 수행하는데, 한편으로는 정책 제안과 의사결정에 대한 적극적 개입으로써 시장확대를 위한 제도적 기반을 마련하고, 또 한편으로는 기업의 투자를 유도함으로써 태양전지 기술이 다양한 컨셉 속에서 활용될 수 있도록(technological application) 했다. 다시 말해, 산업의 니즈가 정책에 수용되고, 정책적 의사결정이 자원이동을 촉진하여 산업을 확대하는 Feedback loop 를 형성하는데 중요한 역할을 수행한 것이다.

V. 결론

녹색기술혁신에 대한 정책적 개입의 정당성을 시장실패에서 찾을 것인가, 아니면 제도적 실패에서 찾을 것인가의 문제는 단일하게 규정지을 수 없다. 시장실패를 피하기 위해 제기된 수요권 이론은 '수요'를 언제나 정확히 계산되고, 정형화하여 예측가능 한 것으로 전제하지만 현실에서 '수요'는 기술의 개발자, 생산자, 사용자의 이해관계에 따라 달리 정의될 수 있는 가변적인 개념이다 (Suh, 2009). 또한 제도적 실패를 피하기 위해 제기된 기술투입론은 기술개발 과정에서 끊임없이 요구되는 시장과의 상호작용과 여러 분야의 지식을 서로 연계하는 과정에서 요구되는 제도적, 문화적 요소들의 개입이 갖는 중요성을 도외시 하고 있다. 본 논문에서는 지금까지 일반적

으로 수용되어져 왔던 시장실패와 제도적 실패가 기술시스템의 시스템적 기능이 원활하지 못했을 경우 발생할 수 있는 동전의 양면과 같은 혁신저해 요인이라는 점을 논의했다.

독일의 태양광 산업의 발전과정을 관찰하면서, 기술의 개발과 확산을 위한 다양한 정책적 수단들이 산업의 니즈와 연계되었을 때 발생하는 시장확대와 기술개발의 효과들을 살펴보았다. 독일의 사례는 이러한 feedback loop 형성의 성공적 사례로 꼽혀진다. 그러나 현실에서 이러한 feedback loop 를 만들어 내는 것이 결코 쉬운 일은 아니다. 네덜란드의 풍력터빈의 경우⁹⁾나, 스웨덴의 태양열 집열관 기술의 사례¹⁰⁾와 같이 개발과 확산과정에서 부딪히는 제도적 문제들이 정치권의 정책의제로 다루어지지 못했거나, 사회적 인프라의 구축이 미비하여 민간영역으로의 자원 이동에 실패한 경우도 나타난다.

우리나라의 경우, 정부의 녹색기술에 대한 개발의 의지는 경제성장이라는 목표와 동시에 제기되었기 때문에, 경제적 효과 창출이라는 과제를 해결해야 할 부담이 어느 나라보다 크게 다가온다. 그러나 시장확대는 앞서 독일의 사례에서 살펴본 바와 같이 정책과 산업이 얼마나 긴밀한 feedback loop 를 형성하고 있는가에 달려있다. 이를 위해서는 다양한 녹색기술 시스템이 시스템적 기능 - 지식창출, 시장형성, 네트워크 구축, 재생산 기반 구축 - 을 어떻게 수행하고 있는지에 대한 면밀한 점검과 분석이 따라야 할 것이다.

참고문헌

- 성태경 (2006), “과학기술혁신정책의 새로운 접근방법으로서의 기술시스템: 그 개념 및 실제 적용사례”, 기술혁신학회지 제9권, pp 715-739.
- Andersson, B.A. and Jacobsson, S. (2000), “Monitoring and assessing technology choice: the case of solar cells”, Energy Policy 28, pp 1037-1049.
- Bozeman, B. (2002), “Public-Value Failure: When Efficient Markets May Not do”, Public Administration Review 62, pp 145-161.
- Carlsson, B. and Stankiewicz, R. (1991), “On the nature, function and composition of technological systems”, Journal of Evolutionary Economics 1, pp 93-118.
- Carlsson, B. and Jacobsson, S. (1997), In search of a useful technology policy—general lessons and key issues for policy makers. In: Carlsson B. (eds.), Technological Systems and Industrial Dynamics, Kluwer Press, Boston.
- Carlsson, B. (ed.), (1997), Technological Systems and Industrial Dynamics, Kluwer Academic Publishers, Boston, Dordrecht, London.
- Edquist, C. and Johnson, B. (1997), “Institutions and Organizations in Systems of Innovation”. In: Edquist, C. (ed.): Systems of Innovation: Technologies, Institutions and Organizations. Pinter Publishers. London.
- Foxson, T.J., Gross, R., Chase, A., Howes, J., Arnall, A. and Anderson, D. (2005), “UK innovation systems for new and renewable energy technologies: drivers, barriers and systems failures”, Energy Policy 33, pp 2123-2137.
- Freeman, C. (1995), “The National System of Innovation in historical perspective”, Cambridge Journal of Economics 19, pp 5-24
- Huang, Y.H. and Wu, J.H. (2007), “Technological system and renewable energy policy: A case study of solar

9) 네덜란드 풍력터빈의 경우, 빌딩에 풍력터빈을 설치하는 법안이 통과되지 못함으로 인해 기업의 투자를 이끌어내지 못한 결과를 초래했다. 이 법안의 제정이 실패로 돌아간 이후, 기업의 투자를 유인할 어떠한 인센티브도 만들어내지 못했으며, 그 밖의 다른 기술적 대안에 대한 투자도 이루어지지 않았다.

10) 스웨덴은 태양열에너지 집열관 기술의 수준은 상용화 단계에 이르렀으나, 기업의 니즈와 사회적 인프라의 불일치로 인해 실패한 사례이다. 기업의 니즈는 대규모 주택에 대한 집열관 설치였으나, 스웨덴 정부가 지속적으로 추진하고 있는 주택보급 사업은 소규모 주택 중심이었으므로 기업의 시장진입이 저조하였다.

- photovoltaic in Taiwan”, *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 11, pp 345-356.
- Hughes, T.P. (1983), *Networks of Power: Electrification in Western Society, 1880-1930*. The Johns Hopkins University Press. Baltimore.
- IEA, Contribution of renewable energies and energy from wastes.
- Jacobsson, S. and Bergek, A. (2004), “Transforming the energy sector: the evolution of technological systems in renewable energy technology”, *Industrial and Corporate Change* 13, pp 815-849.
- Jaffe, A.B., Newell, R.G. and Stavins, R.N. (2005), “A tale of two market failures: Technology and environmental policy”, *Ecological Economics* 54, pp 164-174.
- Johnson, A. (1998), *Functions in Innovation System Approaches*. Department of Industrial Dynamics, Chalmers University of Technology, Göteborg. Working paper.
- Johnson, A. and Jacobsson, S. (2000), “The diffusion of renewable energy technology: an analytical framework and key issues for research”, *Energy Policy* 28, pp 625-640.
- Johnson, A. and Jacobsson, S. (2001), “Inducement and Blocking Mechanisms in the Development of a New Industry: The Case of Renewable Energy Technology in Sweden”. In: Coombs, R., Green, K., Walsh, V. and Richards, A. (eds.): *Technology and the Market: Demand, Users and Innovation*. Edward Elgar, Cheltenham/Northampton.
- Kline, S.J. and Rosenberg, N. (1987), *An Overview of Innovation*, In: Landau, R. and Rosenberg, N. (eds.), *The Positive Sum Strategy*, Washington, D.C., National Academy Press.
- Lauber, V. (2002), *Renewable Energy at the EU Level*, In: Reiche D., Editor, *Handbook of Renewable Energies in the European Union*, Peter Lang, Frankfurt.
- Lauber, V. and Jacobsson, S. (2006), “The politics and policy of energy system transformation-explaining the German diffusion of renewable energy technology”, *Energy Policy* 34, pp 256-276.
- Loiter, J.M. and Norberg-Bohm, V. (1999), “Technology policy and renewable energy: public roles in the development of new energy technologies”, *Energy Policy* 27, pp 85-97.
- Lundvall, B.-Å. (1992), Introduction, In: Lundvall, B.-Å. (ed.): *National Systems of Innovation - toward a Theory of Innovation and Interactive Learning*. Pinter Publishers. London, pp 1-19.
- Meyer-Abich K.M. and Schefold, B. (1986), *Die Grenzen der Atomwirtschaft* (third ed.), Beck, Munich.
- Nelson, R. and Rosenberg, N. (1993). *Technical innovation and national systems*, In: Nelson, R. (eds.), *National Innovation Systems*. Oxford Univ. Press, Oxford.
- Nemet, G.F. (2009), “Demand-pull, technology-push, and government-led incentives for non-incremental technical change”, *Research Policy* 38, pp 700-709.
- OECD (1998), *Technology, Productivity and Job Creation - Best Policy Practice*.
- Owen, A.D. (2006), “Renewable energy: Externality costs as market barriers”, *Energy Policy* 34, pp 632-642.
- Rickne, A. (2000), *New Technology-Based Firms and Industrial Dynamics. Evidence from the Technological System of Biomaterials in Sweden, Ohio and Massachusetts*, Department of Industrial Dynamics, Chalmers University of Technology, Göteborg.
- Simonis, U.E. 1998, *Global environmental management. On measures of climate policy and how to use them*, In: Dieter Detke (eds.), *The challenge of globalization for Germany’s Social Democracy. A policy agenda for the 21st century*. New York, Oxford: Berghahn Books.
- Sung, T.K. and Carlsson, B. (2004), “An International Comparison of Technological Systems: The Case of CNC Machine Tools in Korea, Sweden, and U.S.A.”, *Journal of Technology Innovation* 12, pp 21-46.
- Truffer, B. and Markard, J. (2008), “Technological innovation systems and the multi-level perspective: Towards an integrated framework”, *Research Policy* 37, pp 596-615.
- Yang, C.J. and Oppenheimer, M. (2007), “A 'Manhattan Project' for Climate Change?”, *Climate Change* 80, pp 199-204.