

---

# 전략적 니치관리(SNM)를 활용한 정부 신재생 R&D 성장과정 분석

---

김봉균\* · 문선우\*\*

---

## <목 차>

- I. 서론
- II. 기존연구 검토
- III. 연구방법
- IV. 정부 태양광 R&D 과제의 성장과정
- V. 결론 및 시사점

**국문초록** : 상대적으로 비싼 에너지비용이 소요되는 신재생에너지를 사업화하기 위해서는 혁신적인 기술진보가 필수적이다. 신재생에너지 기술은 타 기술에 비해 충분한 실증-보급의 검증과정을 거치는 Long term High Risk의 특성이 있다. 본 연구는 전략적 니치 관리(SNM, Strategic Niche Management) 개념을 적용하여 정부의 신재생에너지 R&D를 단기 성과지향에서 중장기적 성장으로, 에너지시스템의 효율화 중심에서 사회시스템과의 상호교류 중심으로 전환하는 정책실행적 모델을 제안하고자 한다. 이를 위해 다층적 관점(MLP, Multi-Level Perspective)을 분석틀로 하여 태양광 기술개발과제가 니치단계에서 사업화 단계로 성장하는 과정을 고찰하였다. 분석결과 박막실리콘과 CIGS의 급속한 발전의 배경에는 개발주체가 과거 메모리 반도체의 NAND와 NOR 간 경쟁에서 사전적 학습효과가 있었다. 이를 통해 니치기술 중 경쟁기술이 존재할수록 학습효과는 더욱 배가됨을 확인할 수 있었다. 또한 산업계를 중심으로 학계와 출연연구소가 공동연구를 추진할 때 사업화로 진행되는 가능성이 높았다. 따라서 정부 연구개발의 사업화를 촉진하기 위해서는 과제기획 단계에서 지

---

\* 한국에너지기술평가원 기획총괄팀(고려대학교 그린스쿨 박사과정, kibon@ketep.re.kr)

\*\* 고려대학교 그린스쿨 석사과정, (moonsunw@kist.re.kr)

원대상 발굴시 기존 시장을 확보하고 있는 산업군에서 얻을 수 있는 경험(실패 또는 성공), Network 형성 단계 등의 지식흐름을 검토할 필요가 있음을 제안한다. 본 연구가 구성한 전략적 니치 관리(Strategic Niche Management)의 개념들은 메타적 차원이며 향후, 실증을 위한 검증과 추가적 정합성 분석으로 구체화 할 것이다.

주제어: 기술사회시스템, 기술경영, 전환관리, 전략적 니치 관리, SNM, 다층적 관점, MLP, 태양광 산업, 태양광 연구개발

---

---

# A Study on the Growth Process and Strategic Niche Management of New Energy Technology: A Case Study with Government Supporting Photovoltaic R&D Project

Bong-Gyun Kim · Sun-Woo Moon

---

---

**Abstract** : Recently, environmentally friendly technology are becoming important due to reconsideration about climate change and environmental pollution. In addition, as well as technical skills and social interaction through an analysis of the nonlinear transition management and policy implementation are emerging. This study of the development of photovoltaic industry in Korea 10 years analyze with strategic niche management (SNM) based on the theoretical and multi-layered perspective (MLP) is used as the analytical framework. Choose the goverment-support project for niche technology, through a process of quantifying and analyze the phase transition to Regime with the numerical method and policy vision, learning effects, and network that key elements of SNM, MLP. Through the analysis of the photovoltaic industry technology-commercialization phase was investigated. This conventional overall and step-by-step model for technical management is proposed to replace exiting linear and narrow method and through the case study its validity was confirmed.

Key Words : R&D Project, Transition management, Strategic niche management, SNM, Multi-layered perspective, MLP, Photovoltaic industry, socio-technical systems

# I. 서론

## 1. 연구의 배경과 목적

지구 온난화에 따른 기후변화와 탄소기반 자원인 화석연료가격의 급등과 같은 글로벌 환경변화에 대응하여 환경 친화적이면서 지속가능한 기술-사회시스템의 구축 필요에 대한 국제적 합의에 따른 다양한 정책활동이 추진되고 있다. 글로벌 경제발전이 지속되면서 온실가스 배출을 저감하는 신기술 및 에너지시스템 구축이 그 중 대표적 활동이라고 볼 수 있다. 2012년 5월 국회는 배출권거래제 도입을 위한 “온실가스 배출권 할당과 거래에 관한 법률안”을 통과시킴에 따라 2015년부터 온실가스 배출권 거래가 시행된다. 법률안을 통해 녹색산업 육성의 제도적 기반이 마련됨에 따라 그린에너지 기술개발의 투자가 촉진될 것으로 기대된다. 그러나 배출권거래란 제도와 신기술이 상호조화를 이루어 효과적으로 운영되지 못한다면 당초의 예상과는 다르게 흘러 갈수 있다. 특히 그린에너지 분야는 공기업, 전후방산업의 과점화된 시장구조를 가지고 있고, 정부주도의 구조화된 시장과 정부의 R&D 투입 정도, 분야, 방식은 매우 높은 유기적 관계를 가진다. 이에 따라 민간 자원배분 왜곡 등 시스템 실패(System Failure)를 보정하는 정부의 역할이 무엇보다 중요한 분야이다.

이러한 상황에서 정부 R&D 기술의 기획, 관리 등 지원방식의 실효성 제고가 요구되고 있다. 기존의 과제성공률이 98% 이상에 달하지만 대규모 시장창출로 연결되는 성공은 실상 미흡하다는 이른바 “성공의 패러독스”에 대한 문제의식을 가지고 있다.<sup>1)</sup> 정부 R&D과제 성공률과 사업화율 간 차이를 줄이기 위해서는 신기술이 개발에 착수하는 것부터 실증, 보급을 통해 사회에서 활용되고 구성되는 방식을 설명할 수 있어야 한다. 특히, 배출권거래로 인해 기존의 Regime이 변하는 환경에서 기술의 성장과정을 볼 수 있는 프레임이 필요하다. 따라서 정부의 신재생에너지 R&D를 단기 성과지향에서 중장기적 성장으로, 에너지 시스템의 효율화 중심에서 사회시스템과의 상호교류 중심으로 전환하는 정책실행적 이론에 대한 연구가 필요하다.

본 연구는 정부연구개발을 통해 씨 뿌려진 기술이 사업화되는 성장과정을 살펴보고자 한다. 사업화에 성공한 기술은 여정상 어떠한 특징이 있었는지, 사업화로 연계되는데 중

---

1) 지식경제부는 2011년 3월 “2단계 R&D 프로세스 혁신”을 발표하면서 R&D “성공률은 높지만 진정한 성공은 드”물다는 점을 주요 문제점으로 언급하였다.

요한 요인은 무엇인지, 기존 기술과 체제가 새로운 기술의 성장과정에 주는 학습효과는 무엇인지의 확인하고자 한다. 이를 위해 본 연구는 니치단계에 있는 신기술의 성장을 시스템적 접근으로 분석하는 전략적 니치관리(SNM, Strategic Niche Management)를 이론적 기반으로 삼고, 다층적 관점(MLP, Multi-Level Perspective)의 틀을 구성하여 지식경제부 신재생에너지기술개발사업의 과거 10년간 태양광 R&D 지원과제 분석 사례를 제시하는 것으로 연구를 진행하였다.

## II. 기존연구 검토

### 1. 통합적 관점의 기술-사회시스템 : 전환관리(Transition Management)

송위진(2001)은 기술혁신 전개과정을 신기술이 사회 속에 자리 잡은 과정에 있어 기존 기술의 고착현상(Lock in)을 전환(Transition)하는 것으로 보았다. 이러한 기술사회적 관점은 기술혁신의 과정이 기술적 우월성만의 결과가 아니라, 기술과 사회체제간의 요소들이 하나의 시스템으로 구성되고, 시스템간의 경쟁에서 살아남은 기술이 생존하는 과정으로 파악했다. 결국 기술이 사업화되어 전환되는 과정은 기술이 사회와의 소통과 연결을 통해 사회적으로 구성되는 사회시스템 내의 활동과정이라고 볼 수 있다. 기술이 개발되어 사회에 조정되어 가면서 기술사회시스템이 구성되는 과정에 있어 진화경제학적 사조와 혁신능력 조성 등 연구가 발전되고 있으나 각기 개별이론으로 설명하기에는 다소 한계가 있다. 때문에 최근 기후변화에 따른 지속가능성의 이슈제기에 따른 기술혁신 분야는 개별이론의 통합적 관점에서 기술사회시스템을 분석하는 연구가 추진되고 있다. 이러한 통합적 접근방식에 대한 논의를 기술-그룹-지역-사회로 구체화하여 기술이 사회와 교류하고 정착되고 변화하는 이론적 기반을 마련코자 제안된 이론이 바로 전환관리이다(Kemp and Loorbach, 2003).

Geels(2002)에 의하면 전환이란 기술-사회 시스템이 다른 체제들 간의 변화와 상호작용을 통해 다른 시스템으로 이동해 가는 것을 말한다. 때문에 전환은 새로운 기술에만 의한 것이 아니라, 기존 기술체계를 형성하고 있는 소비자, 개발자, 사회 전반의 문화 등

과의 관계 속에서 이루어진다. 따라서 지배적 기술이 되기 위해서는 니치와 기존체제 단계부터 사회적 요소들을 감안하면서 기술을 발전시켜야한다.

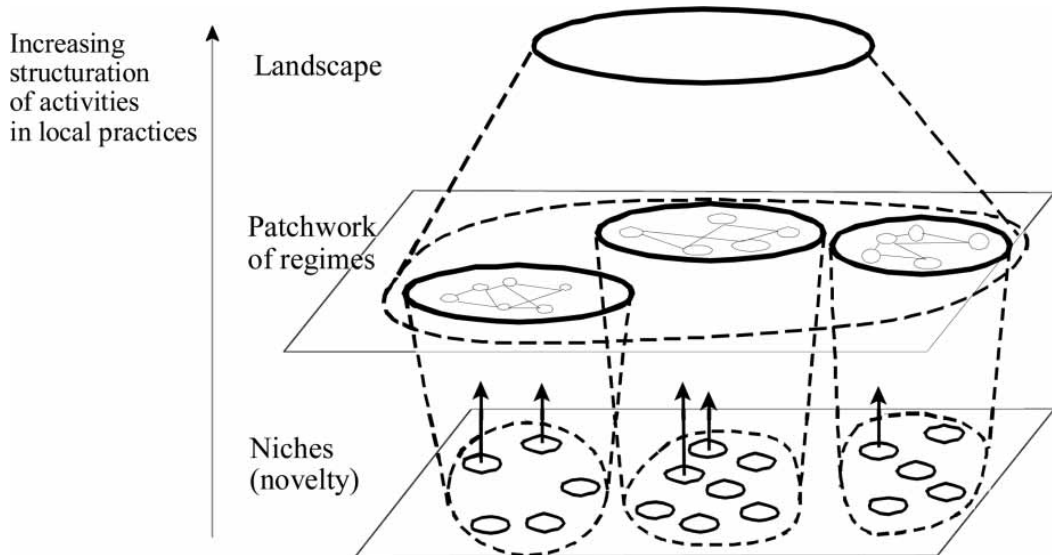
시스템 전체의 변화를 통해 나타나는 전환을 예측하고, 직접 관리하는 것은 어려운 일지만 전환관리를 통해 전환의 속도와 방향에 영향을 주는 것은 가능하다. 때문에 전환 전반을 계획하고 통제하는 것이 아니라 속도와 방향성에 영향을 주는 니치기술을 관리하는 것이다. 따라서 일관된 제도의 집행보다는 정책 및 기술의 실험과 실험을 통한 학습이 중요해 지고, 실험의 결과가 어떻게 기술-사회 Regime으로 진입하여 전환을 이루어 내는지가 중요해 졌다. 또한 Loorbach(2007)에 의하면 전환의 경로는 복수일 수 있다. 따라서 명확한 기준을 통해 복잡하게 상호작용하는 요소들을 관리할 수 있어야 한다.

대표적으로 1990년대 후반 네덜란드는 정부와 연구자 중심으로 Energy Transition 연구를 추진하면서 혁신시스템을 정책실행적 차원에서 분석한 결과 신기술이 기존기술을 대체하는 과정이 단지 시장 내 활동뿐만 아니라 정책, 제도, 관습의 요인이 얽혀있어 학습, 상호작용, 네트워크 구성을 통해 진화된다고 보았다. 이러한 연구결과를 반영하여 네덜란드 경제부(EZ)는 제4차 환경계획(NMP-4)를 통해 전환관리라는 프레임워크를 기초로 에너지 공급 및 에너지 생산-전환-활용 전반에서 현실적 실행지침으로 채택하였고, 이를 통해 궁극적으로 에너지효율, 신재생에너지원 확보, 산업육성기반 구축 등을 마련코자 했다.

## 2. 다층적 관점(MLP)

Geels(2004)는 전환관리가 개별적 활동의 부분혁신을 통해 이루어지는 것이 아니라 전체적 시스템을 혁신(systems of innovation)으로 진행한다고 보고 시스템 전반을 통합적으로 분석하는 관점을 주장하였다. 기존의 생산자 측면에서 혁신의 도입과 진행을 분석하는 관점에 문화, 네트워크, 유지관리 등 사용자 측면의 관점의 도입을 통해 넓은 시각에서 혁신을 접근할 수 있게 했다. 구체적으로 Geels(2004)는 전환 이론을 사회와 기술 상호작용하는 사회-기술 시스템으로 파악하고, 이들 시스템을 크게 3계층으로 구분하였다. 첫째 기술 혁신들이 출현하는 미시 단위(Micro)의 기술적 니치(Technological niche), 둘째 기술 엔지니어 네트워크와 새로운 규칙, 새로운 시장이 역동적인 관계를 맺는 중간 단위(Meso)의 사회-기술 Regime(Socio-technical Regime), 셋째 거시(Macro) 정치적, 문화적 변화와 같은 기술 외적 요인들이 실제 작동되는 사회-기술적 제반환경

(Socio-Technical Landscape)으로 <그림 1>와 같이 구성된다.



<그림 1> 다층적 관점(MLP)에서 계층구조 개념(Geels, 2002)

micro-level인 니치는 미시적 영역의 틈새를 말하는데, 여기서는 주로 기존에 사용하지 않던, 또는 기존의 방법과 정책에서 사용할 수 없던 기술들이 반영된 미시 영역(micro system)을 의미한다. Schot(1998)에 의하면 일반적인 시장체제에서 니치는 격리되거나 보호받는데, 이들 니치는 새로운 기술의 인큐베이터 역할을 하기도 한다. 예를 들어 온라인 정보교환 기술은 가속기 물리학자들 사이에서 개발, 발전되다가 HTTP의 형태로 나타나게 되고, 이는 정보혁명의 기반이 되는 인터넷의 창시가 되는데, 여기서 가속기 물리학자 집단이 니치가 되는 것이다. 인터넷 기술은 이 니치에서 학습을 통해 발전하게 되고 생산자-공급자-사용자뿐만 아니라 온라인 정보공유 시스템에 접근하는 사람들, 그런 기술을 필요로 하는 사람들과 네트워크를 구성하여 Regime 기술 혁신을 이룩하는 토대를 형성하게 한다. Socio-technical Regime은 기존의 Technical Regime<sup>2)</sup>을 업그레이드 한 것으로 기술적인 발전과정뿐 아니라 과학자, 정책가, 소비자, 기타 관심 그룹들이 연구 절차, 시스템 요약, 표준화 등을 통해 기술 발전에 영향을 주는 공간을 말한다. 앞서 소개한 소규모 그룹들의 상호작용 관계를 넘어(meta-coordination) 그룹들

2) Nelson와 Winter(1982)가 제기한 것으로 기술분야에 한정된 연구절차, 시스템, 규약 등을 주로 이야기 한다.

이 공유하게 되는 효율화, 저가화, 기술 지식, 매스미디어 문화, 노동력 등을 포괄하는 것을 기술사회 Regime(socio-technical regimes)이라 한다. macro-level인 Landscape는 Regime을 구성하는 사람들에게 직접적인 영향을 미치는 거시 경제, 정책, 문화적 경향성 등 외부 환경을 의미한다. Landscape는 Regime과 니치의 상하관계를 형성하여 포함하고 있으며, 때문에 그 변화가 10년 이상의 단위로 느리게 나타난다.

### 3. 전략적 니치관리(SNM)

다층적 관점에서 구분하였던 기술의 니치단계와 니치부터 정착단계로 전환되는 불연속적 과정에 대한 연구가 혁신정책의 새로운 분야로 부상했다. 그 중에서도 앞서 네덜란드의 지속가능개발 시기의 연구자들이 주축이 되어 연구가 진행 중인 혁신이론이 전략적 니치관리(SNM)이다. 니치 단계의 기술 관리를 통해 시스템 전반의 혁신과 전환을 모색하는 방법으로 급진적 혁신, 신기술의 성장을 조성하는 도구로서 시스템적 접근 방식에 대한 이론이다.

Schot와 Geels(2008)은 신기술의 성장에 있어 시장실패를 조정하는 정부역할을 정의한 전통적 시장 실패론적 접근은 혁신체제 상의 구조적 문제에 집중하는 시스템실패적 접근으로 확대할 필요가 있다고 주장하였다. 새로운 기술이 Regime에 진입하여 자리를 형성하는 것을 성공이라고 했을 때, 어떤 기술들이 어떤 환경에서 성공하는가에 초점을 두어 전체 시스템의 상호작용을 분석하여, 성공적으로 니치 기술을 선택하고 성장시켜야 한다고 주장하는 것이고, 그 이론적 배경으로 SNM을 제시하였다. 특히 니치 기술들이 전부 Regime을 형성하는 것은 아닌데, 기존의 기술들이 Regime과 시장을 형성하고 있는 경우 새로운 기술을 받아들이기 어려운 경우가 많다. 이러한 현상을 lock-in이라고 하는데, 사회적 관심, 경제적 이익, 정책적 비전 등과 부합된 니치기술은 이를 극복하여 성공의 가능성을 높일 수 있다는 것이다.

또한 이들은 한 분야의 Regime을 변화시킨 니치가 다른 Regime로 확대 적용하게 되기도 하고 Regime으로부터 영향을 받는다는 Regime transition을 제안하였다. 이 경우 복수의 니치들이 복수의 Regime의 기술 혁신을 주도하여 분야 전반에 걸친 기술 혁신을 주도하여 Regime 여러 개가 Landscape 변화를 주도하게 되기도 한다. 따라서 전략적으로 관리된 니치들은 Regime과 Landscape까지 시스템의 전환에 영향을 주게 된다. 각 계층별 전환의 속도가 다르고, 각 사회마다 차이를 가지고 있기 때문에 전환의 과정이 동



일하지 않지만, 학습을 통해 발전된 니치들은 Regime과 Landscape와 서로 영향을 주고 받으며 시스템 전환의 시발점이 된다. 이러한 과정에서 SNM은 기술 혁신을 사후에 분석하는 틀(ex-post framework)에 대한 연구에도 유용하지만, 실질적으로 급진적 혁신을 가능하게 해줄 도구(ex-ante tool)를 제공한다는 점에서도 의미가 있다.(Mourik et al, 2006)

박동오, 송위진(2008)은 기존의 혁신 이론들은 시장의 실패를 보완하기 위한 기술 도입에 초점을 두었다면, SNM은 시스템 전반에 대해 고려한다고 말한다. 신재생에너지로의 전환을 예로 들면 기존에는 기후변화와 지속가능한 발전의 필요성을 시장의 실패로 보고 이러한 상황을 개선하기 위해 풍력, 연료전지, 태양광 기술 등 몇 가지 기술에 보조금과 같은 인센티브를 제공하였다. 그러나 인센티브 제도는 광범위한 기술의 전환(transition)을 요구하는 환경에서는 큰 효과를 얻을 수 없었다. 이와 달리 SNM은 환경에 대한 사회적 관심, 정부의 정책적 방향, 시장 형성을 위한 경제성 등을 모두 고려하여 혁신을 이루게 해줄 기술의 제반환경에 초점을 두고 니치 관리를 통해 제반환경의 변화 가능성을 모색하는 것을 목표로 한다. 이는 단순히 문제점 지적에서 벗어나 새로운 사회-기술시스템의 발전 방향을 제시하고, 사회와 기술의 상호작용과 시스템 전반에 걸친 전환을 분석하는 관점을 가짐으로써 보다 발전적인 시각과 실제적인 과제 계획을 제공한다.

## 4 SNM과 MLP의 결합

Kemp(1999)는 니치기술이 다양하게 탄생하고 그중 기술이 선택되고, 실험되고, 확대되어 기술이 자립단계를 거치는 일련의 단계를 기술선택(Choice), 실험실 선택(Selection), 실험진행(Experiment), 실험확대(Scale up), 기술자립(정책보호해제)의 5가지 단계로 제안하였다. 하지만 니치가 성장하는 과정에서 미시적인 관점으로만 설명하였기 때문에 기존 사회체제와의 연계, 소통을 설명하는데 한계가 있다. 반면, MLP 연구는 하나의 Regime에 대해서 분석하는 것에 그친다. MLP의 관점에서 전환관리를 분석하면 니치기술이 기존 체제의 Lock-in에 의해 성장이 제한되는 경우가 많다.

Geels(2004)는 SNM과 MLP 각각의 한계를 보완하기 위해 기술사회시스템의 공급자, 파트너, 정부 등 혁신주체의 행위를 기술단계뿐 아니라 사회시스템의 거시적 범위의 관점으로 확대 적용하였다. 이는 기술사회시스템의 전환과정에 STS(Science and Technology Study) 관점을 적용하여 제안된 분석틀을 MLP로 확대하였고, MLP에 도입된 사용자 측면의 분석은 보다 넓은 시각에서 혁신을 접근할 수 있게 된다. 사회-기술 시스템

(socio-technical systems)은 서로 다른 그룹들 간에는 기준, 권리, 법과 같은 규칙들이 공유되면서 네트워크를 형성하게 된다. 각각의 그룹은 고유의 특징을 가지고 있으나 그 고유의 특성을 잃지 않으면서 상호 침투적인 관계(interpenetration)를 맺기도 한다. (Stankiewicz, 1992) 각각의 그룹이 서로 또 다른 그룹들과도 관계를 맺게 되기 때문이다. 이러한 관계를 넘어(meta-coordination) 그룹들이 공유하게 되는 효율화, 저가화, 기술 지식, 매스미디어 문화, 노동력 등을 포괄하는 것을 사회-기술 Regime(socio-technical regimes)이라 한다.

또한 니치 개발이 복수개의 Regime에 영향을 주는 것을 발견할 수 있다. Raven(2007)에 따르면, 니치-Regime의 상호작용에서 니치의 역할을 여러 가지로 구분할 수 있어 전환경로의 다양성을 꾀할 수 있게 된다. 그런 경우 규착, 정의, 기술적 상호관계, 기술 적용의 책임여부 등에 불확실성이 나타나 문제가 발생하기도 하지만, 하나의 니치가 하나의 Regime 전환으로만 연결되던 기존 전환경로 분석에 대한 한계를 극복할 수 있다.

따라서 SNM과 MLP를 동시에 적용하면, 니치 혁신이 전환의 시발점이 되고, 제반환경의 변화가 Regime 전환에 촉진역할을 하며, Regime의 불안요소들은 니치 개발의 기회를 제공한다는 점을 분석할 수 있다. 하지만 니치 혁신이 반드시 경쟁이나 기대에 의해서만 이루어지는 것은 아니다. Raven(2006)은 어떤 니치들은 한 Regime의 문제를 해결하는 경우, 다른 Regime에까지 확대적용 되기도 하는데, Regime에 필요한 니치가 다른 분야에서 선택되어져 전환을 이루는 경우라고 하였다. 영국의 유기농 식품과 온난화 니치에서 개발된 biomass가 신재생에너지 분야에서 Regime 전환을 이루는데 역할을 한 것이 대표적인 예이다.<sup>3)</sup> 특정 Regime을 위해 관리된 니치기술이 다른 Regime에 직접 활용되기도 하고, 학습효과를 주기도 하는 것이다. 또한 Regime의 전환을 가져오는 니치가 Regime의 내부에 소속되게 되기도 하는데. 때문에 니치를 다양한 방법으로 분류하는 것은 새로운 연구에 대한 여러 가지 아이디어를 얻는데 좋은 기회를 제공한다.

---

3) Smith(2005)가 연구한 내용으로, EU의 4F정책, 영국의 농촌살리기 등을 통해 주목받게 된 biomass가 신재생에너지 산업으로 연계된 사례를 말한다.

### Ⅲ. 연구방법

#### 1. 니치의 성장단계

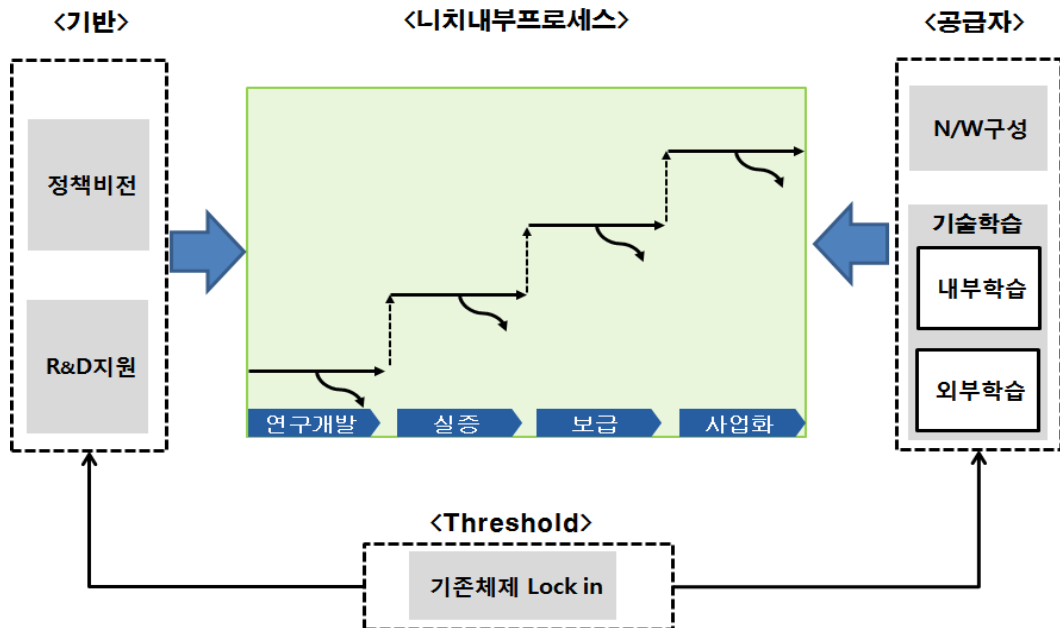
앞서 Kemp(1999)가 제시한 5가지 기술의 성장단계를 본 연구에서는 4단계로 수정 적용하였다. 니치 기술의 선정 단계에서 기술 선택이 먼저 이루어지고, 연구실이 후차적으로 선택되는 경우보다는 연구실에서 이미 선정되어 연구되어지고 있는 기술을 가지고 기술 경합을 통해 선택되는 과정을 고려하여 기술-실험실 선택 단계를 연구개발 단계로 묶어 <표 1>과 같이 수정 제안한다. 수정 제시한 단계 중 첫 번째인 연구개발 단계는 기술개발에 초점을 두고 정부의 지원을 받아 실험을 진행하는 단계이다.

<표 1> 니치 관리의 단계적 모델

단계	Kemp	수정 연구방법
1	기술선택(Choice)	연구개발
2	실험실 선택(Selection)	
3	실험진행(Experiment)	실증
4	실험확대(Scale up)	보급
5	기술자립(정책보호해제)	사업화

#### 2. 니치내부프로세스와 구성요소

본 연구는 정부의 성장단계별 지원활동인 연구개발→실증→보급→상용화로의 과제 성장에 있어 과제가 다음 단계로 진입하여 연속적 지원을 받는 경우에 대한 메타적 검증을 진행하고자 한다. 이를 위해 연구는 전략적 니치관리의 내부프로세스는 <그림 2>과 같이 기반정책 요인과 공급자 요인을 구분하여 독립변수로 보고, 계단식으로 성장 또는 탈락의 과정으로 정리였다. 또한 정부의 정책비전, 기술학습, 네트워크의 3개 요인이 니치 내부프로세스를 결정하는 역할을 한다고 보았다.



<그림 2> 니치 내부프로세스와 영향 요인들

첫째로, 정부의 정책비전은 비전제시를 통해 사회전반에 기대를 유발하여 R&D 단계의 기술 학습에 방향을 제시하고, 적절한 보호와 투자를 통해 니치 기술들을 Regime 단계와 Landscape 단계로 도약할 수 있게 해준다. 니치 혁신은 대부분 높은 기대를 가지게 만든다. 덴마크의 풍력, 독일과 일본 위주로 개발된 태양광은 모두 글로벌 에너지 혁신을 줄 것으로 기대되었다. 특히 해당 분야의 선두주자들은 관심과 지원을 받기 위해 혁신을 약속하고, 공언한다. 하지만 기대가 큰 만큼 기술적인 문제들이 큰 장애물이 되어 기대는 곧 hype-disappointment cycle(그림 4참조)을 이루게 된다. 니치 개발의 실패는 다른 니치 개발에 대한 기대로 이어지게 된다. 네덜란드 신재생에너지의 경우 풍력의 실패는 연료전지로, 연료전지의 실패는 태양광에 대한 관심으로 전환되었다. 반대로 니치 개발의 긍정적인 부분들은 다른 분야에 대한 기대를 감소시킨다. 이러한 이유로 정책 입안자는 각 기술에 대한 신뢰성을 중요한 판단 기준으로 삼게 되고, 해당 분야의 구성원들은 신뢰성을 높이려 하게 된다.

둘째, 기술학습은 2개의 단계로 나뉘어 진행되는데 국소 수준의 니치에서 다양한 기술 실험이 나타나고, 이 실험의 성공에서는 긍정적인 내용을, 실패에서는 반성적인 내용을 학습하게 된다. 니치 개발에서 프로젝트 진행상의 메커니즘이나 몇 가지 사실들에서, 그리고 Regime 전환을 가능하게 하는 다양한 Regime과 니치들의 상호작용에서 새로운 주제나

질문을 발견하는데 유리하다. 또한 기술경쟁을 통해 성장한 기존의 기술발전의 과정들이 새로운 기술에 학습효과를 주기도 한다. 경쟁을 통해 개발된 기술들은 그 문제점과 한계점에 대한 노하우를 쌓았기 때문에 유사한 경로를 통해 진입하게 되는 새로운 기술들은 기존의 기술이 겪었던 한계점을 빠른 속도로 극복하고 Regime으로 진입할 수 있게 된다.

하지만 너무 다양한 니치와 상호작용들은 오히려 혼잡하게 만들고, 특히 기업간의 비밀 유지로 인해 Regime 전환을 느리게 만든다. 대부분의 새로운 기술들, 니치에서 실험 과정을 겪는 기술들은 그 성공가능성이 추측에 의존하는 경우가 많기 때문에 기대에 못 미치는 결과를 내기도 한다. 이로 인해 새로운 기술의 실현 가능성을 낮게 평가하는 학습효과가 나타난다. 니치 개발 단계에서는 대개 Regime, Landscape에서 얻은 교훈들은 고려되지 않고, 기술적인 내용들에만 집중하는 경우가 많은데, 연료전지의 경우 경제성을 고려하지 않고 개발하는 바람에 상용화에 어려움을 겪게 되었다. 이처럼 기술적인 학습만을 고려하는 것은 부정적인 영향으로 나타나게 된다. 같은 맥락으로 새로운 기술들의 경우 기존 Regime에 부합하지 않는 경우가 많아, 이에 대한 학습효과로 이들보다 기존 방식에 적합한 기술들이 주목을 받게 되는 경우가 있다. 따라서 기존 기술과의 정합성 여부를 고려하게 하는 학습효과가 새로운 기술들을 육성하는데 보다 성공적인 사업화 전환에 기여를 하게 된다.

셋째, 기술적, 사회적 네트워크를 구성하는 일은 새로운 니치 기술의 지지층을 형성하는데 결정적인데, 관련 분야와 상호작용하는 일은 자본, 인력, 기술 등에 대한 지원을 얻을 수 있게 해준다. 따라서 네트워크가 넓어질수록 다양한 관점과 의견들이 제시되어 cognitive frame을 넓히고, second-order 학습을 가능하게 해준다. 특히 기존 Regime의 문제점에 대한 인식이 명확하게 되는 것은 새로운 기술이 Regime으로 진입하는데 유리하게 작용한다. 때문에 기존체제와 협력 연구하는 경우 기존 방식에서 주어진 문제점을 해결하는 방안에 대한 연구가 이루어져 니치 기술이 Regime으로 진입하는 경우가 많아진다. 또한 튼튼한(deep) 네트워크가 형성될수록 해당 분야에 지원받을 수 있는 것들이 많아 니치기술이 기존 Regime으로 진입하는 장벽을 낮추게 된다.

본 연구에서 정부는 촉진자로 정책비전과 R&D지원을 설정하고, 공급자인 개발자, 기업은 네트워크 구성, 기술학습의 요소로 구성한다. 특히, 기술학습은 공급자 네트워크 내의 자체내부 학습과 타 산업 Regime이 피드백과 같은 외부학습으로 구분한다. 또한 MLP 내 작동환경에서 사업화로 연계되거나 실패하는 문턱으로 기존체제의 Lock-in을 설정하고 촉진자와 공급자의 요인에 피드백을 준다. 각각의 요소는 니치 기술의 진화에 결정적인 영향을 미친다.

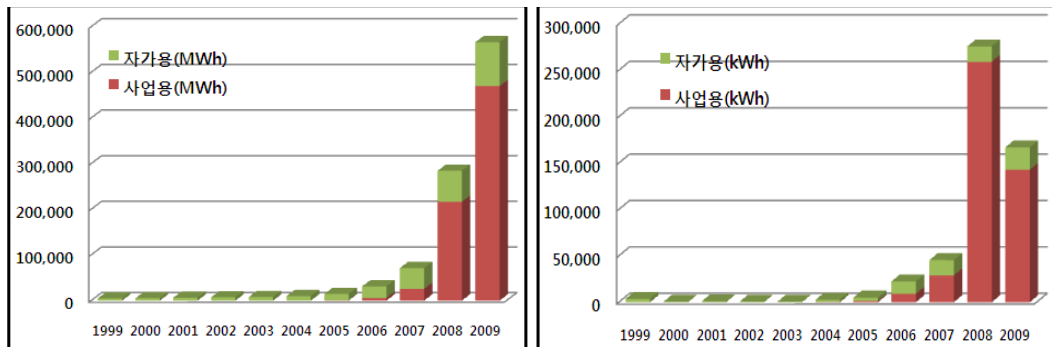
## IV. 정부 태양광 R&D 과제의 성장과정

### 1. 태양광산업의 발전과정 : 신재생에너지 산업의 보급현황

<표 2> 신재생에너지 공급량 (단위 : 천TOE)

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
공급량	906.8	1159.8	1419.0	1712.9	1897.2	2127.4	2453.2	2917.3	4436.4	4582.4	4879.2	5225.2	5608.8	5858.5	6086.2
(공급비중, %)	1.0	1.1	1.2	1.7	1.6	1.6	1.5	1.8	2.1	2.1	2.1	2.2	2.4	2.4	2.5
태양열	-	-	-	44.0	42.1	41.7	37.1	34.8	32.9	36.1	34.7	33.0	29.4	28.0	30.7
태양광	-	-	-	0.9	1.1	1.3	1.5	1.8	1.9	2.5	3.6	7.8	15.3	61.1	121.7
바이오	-	-	-	63.2	64.9	82.0	82.5	116.8	131.1	135.0	181.3	274.5	370.2	426.8	580.4
폐기물	-	-	-	1577.2	1760.5	1977.7	2308.0	2732.5	3039.3	3313.2	3705.5	3975.3	4319.3	4568.6	4558.1
수력	-	-	-	27.2	27.1	20.5	20.9	27.6	1225.6	1082.3	918.5	867.1	780.9	660.1	606.6
풍력	-	-	-	0.4	1.5	4.2	3.1	3.7	5.2	11.9	32.5	59.7	80.8	93.7	147.4
지열	-	-	-	-	-	-	-	0.1	0.4	1.4	2.6	6.2	11.1	15.7	22.1
수소·연료전지	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.5	1.7	1.8	4.4	19.2

신재생에너지는 <표 2>와 같이 다양한 에너지원을 포함하고 있다. 신재생에너지원 중에서 바이오 및 폐기물의 공급량이 다른 에너지원에 비해서 많다. 그 중 태양광을 보면 1998년부터 서서히 공급이 지원되면서 서서히 증가하다가 2008년 이후부터 급증하는 것을 알 수 있다. 이는 전세계적으로 각광을 받고 있는 태양광분야의 육성, 지원정책 등에 힘입어 현 정부에서 지원하고 있는 것을 알 수 있다.



(a) 태양광 에너지 생산량

(b) 국내 태양광 보급량

<그림 3> 태양광 에너지 생산량 및 보급량

<그림 3>에 나타난 바와 같이 태양광 보급량 및 에너지 생산량도 2007년 이후 급속히

4) 에너지관리공단 신재생에너지센터의 통계자료를 활용했다.

증가하고 있는 것을 알 수 있다. 이는 2011년 말로 종료한 발전차액제도(FIT, Feed In Tariff)를 정부가 지원하면서 태양광 보급량이 증가하게 되면서 정부가 태양전지의 효율 향상 및 가격저감이라는 두 마리의 토끼를 잡기 위해서 지원하고 있다. 또한, 2012년부터 실시되는 신재생에너지 의무할당제(RPS, Renewable Portfolio Standards)를 대비하여 민간 및 공공부문에서 태양광같은 신재생에너지에 대한 관심이 높아지고 있으며, 민간 부문에서는 수 MW급의 대규모 발전소를 설치할 계획을 수립하면서 태양광 보급량이 증가할 것으로 예상하고 있다.

## 2. 분석대상

본 연구의 분석대상은 지식경제부 신재생에너지기술개발사업을 통해 추진된 태양광 R&D과제이다. 태양광 기술은 태양광을 직접 전기로 변환하는 발전방식으로 핵심은 태양전지(Solar Cell 또는 Photovoltaic Cell)이다. 태양전지 구성소재에 따라 실리콘, 화합물, 유기 및 염료감응형 등으로 구분되는데, 신재생에너지기술개발사업의 과거 10년간 태양광 R&D과제 101개를 분석틀에 적용하여 구성소재별 태양전지의 니치기술이 어떠한 내부적 프로세스를 통해 어떻게 성장하는지 정량화 과정을 거쳐 분석하였다. 2012년도 지식경제부 신재생에너지기술개발사업 태양광분야 과제를 기획하기 위해서 그린에너지 전략로드맵 중 태양광의 중단기 전략대상, 에너지미래원천 및 전력계통 연계에 필요한 시스템을 바탕으로 산·학·연 전문가 10명으로 구성된 7개 분야 Working Group<sup>5)</sup>(이하, WG)을 2011년도 하반기부터 운영하였다.

또한, 신규과제 기획을 위해서 태양광 분야 R&D 지원이 확대된 2008년부터 2011년까지 101개 지원과제로 구성된 WG과 동일하게 7개 분야로 분류하여 종료과제, 계속과제에 대해서 중복지원, 사업화(양산화) 및 실증 가능성 등 R&D 성과물의 사업연계성 전반에 대해서 검토 및 분석하였다.

에너지기술평가원에 구축된 평가관리시스템 자료 분석, WG과의 정기적인 미팅 및 e-mail 설문 조사 등을 통해서 종료된 과제의 사업 연계성 등을 검토 분석하였다.

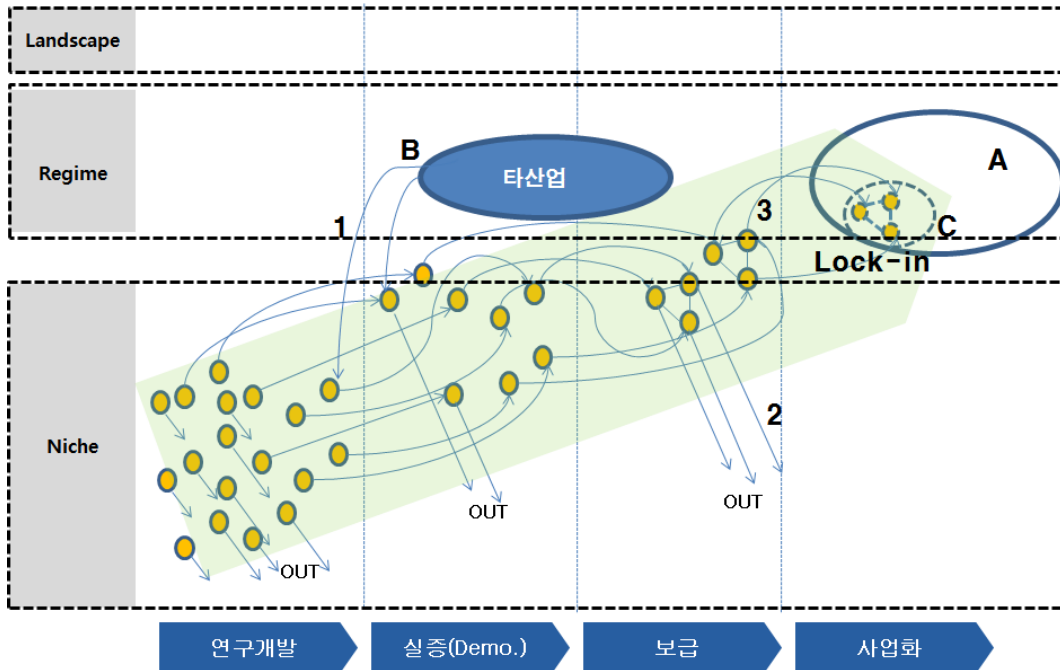
신재생에너지 분야 중에서 전 세계적으로 R&D와 연계하여 산업화가 진행되고 있는 분야는 태양광, 풍력, 바이오 등이 있지만, 발전차액제도(FIT, Feed In Tariff) 또는 신재

---

5) Working Group, 결정질 실리콘, 박막(CIGS, a-Si), 유기(염료감응형, 유기박막), 차세대(나노, 양자점), CPV, BIPV 및 시스템

생에너지 의무할당제도(RPS, Renewable Portfolio Standard)가 적용되어 보급 단계까지 활성화 된 분야는 태양광과 바이오 정도이다. 또한 국내는 타 신재생분야에 비해서 태양광 분야의 가치 사슬(Value Chain) 및 Supply Chain이 잘 구성되어 있고, 보급사업에 대한 지원도 확대되고 있는 상황이다. 이 중에서 태양광이 발전하는데 있어서 가장 중요한 핵심기술은 다양한 태양전지의 셀/모듈 기술이다. 따라서, 태양전지를 결정질 Si와 박막(실리콘박막, CIGS박막) 및 유기(염료감응형/유기박막)으로 분류하여 태양광 분야 중에서 R&D에서 사업화까지의 진행정도를 검토하여 국내 태양광 기술의 산업화 수준 등을 파악할 수 있는 토대를 마련하고자 한다.

### 3. MLP와 SNM을 통한 태양광 R&D 과제 성장 분석



<그림 4> 니치-Regime 전환과 Hype-disappointment cycle

본 연구는 니치단계의 기술을 정부의 성장단계별 지원활동인 연구개발→실증→보급→상용화의 주기로 보았다. 다른 한축은 MLP의 니치→Regime→Landscape의 층간 축으로 하여 매트릭스를 구성하였다. <그림 4>처럼 기술개발에 성공을 하여 작은 원을 형성한 니치라 할지라도 일부는 다음단계로 진화하지 못하고 탈락된다.[2] 진화는 실증단계, 보



급단계를 거치면서 기존 Regime[A]의 문턱인 Lock in과 직면하게 된다. 최종적으로 살아남은 니치는 상호 연결된 군[C]을 형성하여 기존 Regime 내 일부 공간[C]을 확보하고 생존하게 된다. Regime은 니치가 공간을 확보하는 메인 Regime과 동시에 관련한 다른 Regime[B]의 영향[1]도 동시에 받게 된다.

태양광은 기존 전력시스템 Regime은 물론 반도체, 디스플레이 등 디지털어플라이언스의 Regime에 영향을 주고 받는다. MLP, SNM을 동시에 적용하여, 니치 개발이 복수개의 Regime에 영향을 주는 것을 분석할 수 있었다. 또한 MLP내 작동환경은 니치내부 프로세스에 집중하였다. 니치내부프로세스의 주요 핵심인자를 토대로 본 연구의 분석 구성요소를 도출하였다. MLP 내 작동환경에서 사업화로 연계되거나 실패하는 문턱으로 기존체제의 Lock-in을 설정하였다. 이는 니치 내부프로세스의 일부이나, 태양광의 경우, 보조금 지급에 따른 매출발생을 넘어 기존 전력그리드와의 실질적 연계라는 제도적 문턱을 살펴보고자 한다. 또한 기술의 도입과 확산이 기존체제와의 저항에 직면하기도 하는데 이에 대한 극복 과정을 통한 학습과정은 오히려 혁신을 가속시키기도 한다. Unruh(2002)는 이러한 측면에서 신재생에너지는 전기시스템이란 기존체제의 고착현상을 극복하고 진입자리를 마련하여 성장하는 측면을 포괄 할 수 있는 분야라고 강조하였다. 특히 태양광은 효율과 가격에서 필요요건을 갖춘 기술이 기존 화석연료 기반의 중앙 전력체제에 맞추어 제도화 및 사회화되고 있다. 초기의 태양광 신기술은 대부분 니치(Niche) 단계에서 나타나고, 다양한 니치기술이 기술대안으로 제안되어 사회와의 정합성에서 가장 경쟁력 있는 니치가 등장하여 다른 기술들은 이에 수렴되면서 하나의 패러다임을 형성한다. 따라서 정부연구개발사업을 통한 태양광 R&D의 혁신성과를 증대하기 위해서는 니치기술이 기업, 학계, 연구계로부터 자유롭게 생성됨은 물론 부상된 니치기술이 살아갈 수 있는 생존의 영역을 잘 관리하고, 사회와 소통할 수 있는 기회를 제공함으로써 니치기술 간의 공정한 경쟁체제를 구축해야 한다.

또한 태양전지의 R&D는 산-학-연이 공동 또는 분담 연구를 하고 있으며, 상호간의 Network를 형성하면서, 기반기술이 되는 학교 또는 연구소의 기술을 기업에서 사업으로 연계하기 위한 다양한 시도를 하며, 기존 체제에 대한 진입 장벽을 낮추고자 하고 있다. 태양광은 기존의 중앙통제적 전력시스템에 연결되는 것을 목표로 하는데, 전력시스템은 오랜기간동안 축적되어온 거대 기술-사회시스템으로서 태양광 등 개별기술로는 이해 불가능하다. 특히 우리나라 전력시스템은 정부민간의 조직-제도가 경로의존적으로 발전하기 때문에 기존 전력시스템 Regime을 대체하기 어려울뿐더러 기존 시스템보다 설사 뛰어난 성능을 가지고 있더라도 적용되어 요소분야를 대체하는데도 장시간이 소요된

다. MLP에서는 기존 체제를 중간단계의 Regime으로 파악하지만, 본 논문에서는 전력시스템은 니치기술이 생존경쟁을 벌여야하는 하나의 공간으로 파악하여 별도 요인으로 구성하였다.

#### 4. 니치기술의 성장과정과 네트워크

<표 2>를 보면 정부 신재생에너지기술개발사업이 4가지 니치기술에 착수한 연구과제는 101개로 그중 20% 수준인 21개가 실증(Demonstration)으로 진화되었다. 21개 중 70%인 14개가 다시 보급사업과 연계되어 정부지원에 따른 상용화가 진행되었고 그 중 35% 수준인 5개가 사업화에 성공하였다. 각 단계로 파악해 볼 때, 니치기술의 연구개발 단계가 실험이 진행되는 실증으로 진화되는 과정에 치열한 경쟁이 있음을 알 수 있다. 실증단계의 경우 보급과의 연계가 70% 수준에 달하는 것으로 볼 때, 니치기술이 실증으로 진화되는 과정이 Bottleneck이며 가장 어려운 과정으로 볼 수 있다. 실증단계는 기술에 대한 신뢰성, 실증사이트의 지역적 고려사항, 대규모 예산소요 등 리스크요인이 상존한다. 따라서 기술개발 성공률이 90%를 넘지만 실증과 진화여부로 본다면 실제 성공률은 매우 20% 수준이다. 그러나 단위과제 2~3개가 통합되어 추진되는 실증의 특성을 감안할 때, 실증연계는 보다 높은 수준이다.

<표 3> 태양광 분야 지원과제 현황

Niche <sup>6)</sup>	연구(갯수)	실증(갯수)	보급(갯수)	사업화(갯수)	비고
결정질 Si	44	11	6	4	사업확장/ 경제규모
실리콘박막	22	4	3	(1)	양산계획
CIGS	15	3	3	1(1)	양산단계
유기/염료감응	20	3	2(1)	(1)	R&D 단계/ 양산 검토
계	101	21	14(1)	5(3)	

무엇보다도, 각 단계별 진입경로에 있어 니치기술유형에 따라 조금씩 차이점이 발견된

6) 유기/염료감응 분야의 괄호 안에 포함 된 숫자는 현재 보급 및 사업 검토 중으로 향후 양산 검토 예정인 과제이다. 실리콘박막 분야의 사업화에 괄호 안 숫자는 현재 사업화 검토 중으로 2015년 이후에 사업화할 계획이다. 유기/염료감응 분야 중 유기 태양전지는 현재 R&D 단계이다.

다는 점이다. 신재생에너지 중 태양광에 지원된 분야는 <표 3>를 보면 주로 결정질 실리콘 태양전지가 43.56% (44/101건)로 다른 전지에 비해서 집중되어 있는 것을 알 수 있다. 결정질 태양전지 시장을 잠식하고 신규 시장을 창출할 것으로 기대되고 있는 박막 태양전지에 대한 지원도 분야별로 비슷한 비율로 지원되고 있다. 현재 사업화 가능성을 보이고 있는 분야는 실리콘박막(a-Si 포함)과 CIGS 태양전지이며, 이 중에서 CIGS는 연구개발을 통해서 양산단계(사업화)를 준비하는 중이다. 차세대 태양전지인 유기/염료감응 태양전지는 현재까지 R&D 단계에 있으며 2015년 이후 사업화를 하기 위해서 연구개발 중이다.

<표 4> 니치기술의 주관기관에 따른 사업화 현황

주관기관	N/W 구성	연구(갯수)	실증(갯수)	보급(갯수)	사업화(갯수)
기업	학-연	22	11	8	5
	학	11	6	4	-
	연	6	3	2	2
	-	8	1	1	1
학계	산-연	1	-	-	-
	연	3	-	-	-
	-	21	-	-	-
연구계	산-학	1	-	-	-
	산	2	-	-	-
	학	16	-	-	-
	-	10	-	-	-
계		101	21	15	8

R&D 과제를 수행하는 주관기관은 기업, 학계 및 연구소이며, 주관기관의 역할에 따라 연구개발과제의 성공 및 향후 사업화가 가능하다. <표 4>를 보면, 학교 및 연구소가 주관기관인 경우에는 실증-보급-사업화로 연계되지 않고, 기술확보에 머무는 것으로 나타나고 있다. 이는 학계는 순수 원천기술, 연구소는 연구를 통해서 얻어진 결과를 기업으로 기술이전이라는 상황을 고려하면 학계, 연구소, 기업으로 연구 개발이 진행되기 때문에 학계와 연구소가 주관인 경우에는 실증단계로 발전될 수 있으나 사업화로 전개는 쉽지 않을 것이다. 그러나 기업이 주관인 경우에는 산-학-연, 산-연 또는 기업자체적으로 연구개발을 진행하는 경우에 보급에서 사업화로 연계되는 것을 알 수 있다. 산-학의 경우에는 보급단계에 머물고 있어 향후 사업화의 진행 여부를 판단할 수 없다. <표 4>에서 알 수 있듯이 산-학-연 또는 산-연이 Network를 형성하여 과제를 수행한 경

우가 향후 사업화의 가능성이 높다는 것을 알 수 있다.

연구단위별 Network뿐 아니라, 연구분야별 Network도 기술의 사업화 과정에서 중요한 역할을 한다. 실리콘 분야의 실리콘 표면 부동화 기술은 박막실리콘이나 CIGS에 적용되어 효율을 올리기도 하고, 박막실리콘의 박막증착 기술은 CIGS 진공방식 분야에 적용되기도 한다. 또한 유기 태양전지 등과 박막실리콘이 공동연구를 통해 유기 하이브리드 탠덤(Tandem) 태양전지를 개발하기도 한다. 탠덤 태양전지의 경우, 효율이 현재는 연구 단계에 주로 머물러 있으나 사업화 진행 잠재력이 높은 것으로 평가받고 있다. 때문에 연구분야가 상이한 경우에도 Network를 형성하여, 사업화 연계 가능성을 확보할 수 있다.

## 5. 정책비전

세계 주변 정세의 변화는 대부분 수출에 의존하고 있는 국내 산업계에 큰 영향을 줄 수 밖에 없다. 기업 Marketing 전략이 변화하면 국내 태양광 R&D 전략에도 큰 영향을 주고 있다. 이는 태양전지 산업이 내외부 환경변화, 정부의 정책적 지원, 연구개발자 간의 Network 형성 등에 의해서 R&D의 사업연계 가능성이 영향을 받고, 또한 R&D의 변화에 따라 기업의 Marketing 전략 패러다임이 변동될 수 있음을 의미한다.

<표 5> 태양전지 산업관련 정책비전

	결정질 Si	실리콘박막	CIGS	유기/염료감응
정책비전 설정	<ul style="list-style-type: none"> <li>에너지 안보(Energy Security) 확보</li> <li>신재생에너지 보급 확대를 위한 RPS, 발전차액제도 등 지원 대책</li> <li>교토의정서에 따른 CO2 감축을 위한 정책</li> </ul>			

또한, China Risk 및 유럽발 금융위기로 기존 세계 Top 10이었던 Q-Cell(獨), SunTech(中), SunPower(美) 등이 사업 축소, 파산신청, 부분 매각 등을 검토하면서 결정질 시장의 판도를 바꾸고 있는 시점이다. 하지만 일본이 원전사태 이후 원자력 분야를 포기하고 태양광 등 신재생에너지 분야로 눈을 돌린 것은 태양광에게 커다란 기회가 될 것이다. 때문에 Sharp, Sanyo(日), OCI(韓) 등은 태양전지의 효율을 이룬 한계치인 25%의 셀효율을 달성을 위해 노력하거나 폴리실리콘에서 규모의 경제를 확보하려는 노력하고 있는 중이다.

산업화 및 시장이 성숙되어 있는 결정질 실리콘 태양전지는 별도 기획팀을 운영하고 시장이 미형성된 박막 태양전지는 현재 진행하고 있는 방식과 동일하게 R&D를 지원하

는 방안이 검토되고 있다. 일본이 결정질 실리콘 태양전지 관련 전문가(학·연·산)들의 기술 공유하기 위해서 추진하고 있는 “All Japan Project”와 같은 프로젝트를 추진할 예정이다. 정부는 기술개발사업을 통해 연구개발을 직접지원하고, 프로토타입 개발이 성공한 경우에 실증(Demonstration)과제로 까지 발전시켜 추가 지원을 하고 있다.

실증이 완료된 이후에는 신재생에너지 보급사업을 토대로 보급목표치를 설정하고 민간투자와 병행하여 정부예산을 지원한다. 보급사업의 목표설정이란 제도의 도입(예로, 총 전력 내 신재생에너지 비율설정하는 RPS)은 연구개발 및 보급 양쪽에 영향을 미치게 된다. 해당제도의 도입이 보급이라는 관점에서는 양(+의 효과를 가질 수 있지만, 동시에 급속한 보급물량을 해외에 의존하고, 단순한 시스템 적용에 따라 원천적 R&D는 오히려 음(-)의 효과를 가질 수 있다. 실제 2006년 신재생에너지 설비국산화는 77.5%를 차지했지만 2010년은 63.4%로 감소했다.<sup>7)</sup> 이러한 상황을 방지하기 위해서는 보급목표치라는 아젠다 설정에 앞서 제도 간 Coordination을 감안하는 정책 간 거버넌스의 작동이 필요하다. R&D를 주관하는 기관과 정부부서와 보급을 주관하는 기관과 정부부서의 정책비전이 상이하면 니치성장에 틈새가 발생할 수도 있다.

## 6. 학습효과

태양전지는 국내 반도체 및 디스플레이 산업이 세계 Top Leader가 되기 위해서 경험했던 학습효과를 결정질 및 박막 태양전지에 접목하여 우리나라가 갖고 있는 최대 장점인 제조기술을 최대한 살리고 있다.

<표 6> 태양전지 산업의 학습효과와 관련 기존 산업

구분	결정질 Si	실리콘박막	CIGS	유기/염료감응
학습	내부 환경	<ul style="list-style-type: none"> <li>반도체 메모리용량 매년 2배 증대(1M→2M→4M)</li> <li>반도체 메모리에서 NAND 대 NOR 구조의 비교 우위</li> <li>LCD와 PDP의 시장 잠식 및 확대를 위한 비교 우위</li> <li>반도체 및 디스플레이(TFT 기술 등) 기술을 바탕으로 태양전지 진입</li> </ul>		
	외부 환경	<ul style="list-style-type: none"> <li>폴리실리콘 가격 하락에 따른 박막태양전지 위기</li> <li>China Risk를 극복하기 위한 결정질 태양전지의 저가격화 및 고효율화</li> <li>유럽의 금융위기 및 일본의 후쿠시마 원전 사태에 따른 태양광 시장분위기 급변</li> </ul>		
기반역량	반도체산업	반도체 및 디스플레이 산업		인쇄산업

7) 지식경제부가 2011년 발표한 연도별 신재생에너지 보급목표 대비 실적을 참고하였다.

태양전지는 내외부 환경 변화에 따른 학습을 통해서 산업화할 수 있는 기회의 장을 마련할 수 있다. 내부환경은 국내 산업 중에서 세계 Top Leader로서 시장 및 기술을 선도하고 있는 반도체의 메모리와 디스플레이 사업이고, 외부환경은 세계 주변 정세 및 태양전지의 주재료가 되는 폴리실리콘의 가격 변화이다.

우선 결정질 실리콘 태양전지의 학습효과는 1990년대에 메모리 반도체의 약국이던 우리나라를 <표 6>에서 알 수 있듯이 세계 Top Leader로 바꿀 수 있는 계기가 된 메모리 용량 확대이다. 매년 1M, 2M, 4M, 8M 씩 2배씩 수직 상승시키면서 메모리 용량을 확대하여 성공한 경험이 결정질 실리콘 태양전지에 학습효과로 작용하여 매년 에너지 변환 효율을 매년 1%씩 향상시키는 연구개발로 진행되고 있다.

박막전지 중 실리콘박막과 CIGS는 메모리 반도체 소자의 구조인 NAND와 NOR의 비교 우위를 갖고 경쟁하던 시기와 유사하다. 현재 메모리 시장에서 대세를 이루고 있는 NAND구조처럼 실리콘박막과 CIGS 태양전지가 경쟁을 하면서 박막산업을 확장하고 있다.

태양전지 시장의 85%이상을 점유하고 있는 결정질 실리콘의 새로운 경쟁상대로 떠오르는 것은 다양한 소재를 사용할 수 있는 박막 태양전지이다. 디스플레이시장에서 모델별 고유의 시장을 갖고 경쟁하던 LCD와 PDP가 서로 간의 시장을 잠식하기 위해서 경쟁하던 40인치 이상의 대형디스플레이 제작이 어려울 것으로 판단되던 LCD가 기술적 한계를 극복하면서 PDP 시장을 잠식한 것처럼 박막태양전지가 갖고 있는 장점을 살리고 기술적 한계를 극복하면 태양전지 시장의 판도가 변하게 될 것이다.

그러나 폴리실리콘의 가격이 고공행진할 것으로 기대했던 세계 태양전지 업체의 기대와 달리 2011년 이후 폴리실리콘 가격이 하락하기 시작하면서 결정질 태양전지를 대체할 것으로 기대를 모았던 실리콘박막 시장이 축소되면서 연구개발 및 기업에 영향을 주고 있다. 폴리실리콘의 가격하락은 결정질 실리콘 태양전지와 경쟁관계 있던 실리콘박막 태양전지에 큰 여파를 주었다. 실리콘 박막이 갖고 있는 장점인 가격 경쟁력이 더 이상 merit가 없어지면서 실리콘 박막 태양전지에 대한 R&D 지원을 축소하면서 2012년 신규 과제 대상에서 제외되었다.

이처럼 내부적 환경요인은 태양전지의 R&D를 통해서 사업화로 연계할 수 있는 기회의 장을 마련하지만, 외부적 환경요인은 사업을 주도하는 기업의 요구에 따라 태양전지 분야의 R&D의 새로운 패러다임을 형성함으로써 사업화 자체를 급격하게 변화시킬 수 있다. 또한 반도체 및 디스플레이 산업으로 형성된 기반기술의 바탕 위에서 시작된 산업으로 태양전지의 공정 개발 등을 통한 효율 향상 및 저가격화를 위한 연구가 사업으로 연계되면서 태양전지 제조장비라는 새로운 시장을 형성하고 있다.

## 7. 기존 체제의 Lock in

최근에 발생한 Black out처럼 국내 전력시장이 계절적 요인이 없어지고 상시 대기전력 확보가 필요한 시점이다. 이처럼 전력수요의 피크치에 대기전력을 확보하기 위한 방안으로 일본은 원자력, 화력 및 수력 등이 담당하는 기저부하의 공급이 부족한 시기에 태양광에서 생산한 전력을 사용하기 위하여 에너지저장 시스템(ESS, Energy Saving System)에 대한 연구를 지속적으로 하고 있다.(NEDO, PV 2030+) 태양광 및 풍력을 위한 새로운 개념의 에너지 저장 시스템인 ESS가 확보되지 않은 상황에서 신재생에너지는 기저부하용으로 전력망에 연계할 수 없을 것이다. 이점을 고려하면 자연환경의 영향을 받는 태양광 분야의 에너지 저장 시스템이 확보되지 않은 상황에서 전력 연계의 피리를 극복하기 어려울 것이다.(표 7 참조)

<표 7> 태양전지와 기존체계 연계성

	태양전지 학습요인과 기대사항
내부환경	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 전력시장 수요 급증 : 계절적 요인 배제</li> <li>• 전력 수요 피크치를 위한 대기전력 확보 : ESS 시스템 개발 등</li> </ul>
외부환경	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기후 온난화로 인한 한반도 주변의 기후 변화</li> <li>• 한국-일본-중국을 연계하는 Super Grid를 통한 전력 수급 안정화</li> </ul>

기후온난화로 인한 한반도 주변기후가 춘-하-추-동이 뚜렷한 4계절에서 여름-겨울이 존재하는 아열대 기후로 변하면서 난방 및 냉방 수요가 급증하였다. 이로 인해 전력수요가 계절에 관계없이 기존 전력을 담당하는 기저부하와 전력수요의 피크시간대(10~15시)를 담당하는 대기전력 모두 에너지저장시스템이 필요한 시점이다. 태양광발전시스템에서 생산된 에너지를 저장하는 ESS뿐만 아니라 생산된 전력을 효율적으로 운영·관리하는 모니터링 시스템을 구축하여 단순히 에너지를 생산하는 차원에서 벗어나 에너지 저장, 관리 등을 통해서 국내 에너지 안보를 구축할 필요가 있다.

## 8. 연구의 한계점과 후속연구

본 연구는 기술혁신에 대한 전환관리의 이론적인 검토이므로 실증성보다는 메타적인 연구로 진행되었다. 따라서 실증을 위한 검증과 추가적인 정합성 연구가 진행되어야 한

다. 태양광 분야는 Value chain이 많고, 네트워크를 형성하는 분야가 다양하기 때문에 다양한 전환경로에 대한 Regime을 분석하여 Regime에 포함된 니치의 출처 분석을 통해 다른 분야의 니치가 태양광 분야에 주는 영향에 대한 분석이 필요하다. 또한 니치 관리에 대한 다양한 정량화와 모델링을 통해 객관적으로 비교판단할 수 있는 근거를 마련하고, 한국의 지속가능발전에 대한 점진적 정책비전 구성에 나타나는 풍력, 연료전지, 바이오 디젤 등 다른 신재생에너지원에 대한 사례에 대한 분석을 통해 이론 적용의 적절성 연구가 진행될 필요가 있다. 더불어 국가혁신체제 역시 규제-기술-산업 내 가치사슬의 세부적 지침을 형성에 대한 것과 정부 공무원과 기업, 경제학자, 혁신연구자, 과학자 집단을 포괄하는 다양한 전문가가 참여하는 정책실무적 연구가 추가 진행되어야 한다.

## V. 결론 및 시사점

전략적 니치 관리(Strategic Niche Management)를 기본개념으로 하여 다층적 관점(MLP, Multi-Level Perspective)을 분석틀로 사용한 본 연구를 통해 정부의 태양광 기술개발과제가 니치단계에서 사업화 단계로 성장하는 과정을 고찰하였다. 이상의 분석결과를 요약해 보면, 네트워크 차원에서 산업계를 중심으로 학계와 출연연구소가 공동연구를 추진할 때 사업화로 진행되는 가능성이 높았다. 기술학습의 관점에서 박막실리콘과 CIGS의 급속한 발전의 배경에는 국내 반도체 산업을 세계 Top Leader로 이끈 기술개발 주체가 과거 메모리 반도체의 NAND와 NOR 간 경쟁발전을 통한 사전적 학습효과가 있다고 보았다. 니치기술 중 경쟁기술이 존재할수록 학습효과는 더욱 배가되는 것으로 파악된다. 태양광 연구 개발주체들이 이미 반도체와 디스플레이 산업군의 경쟁으로 통해 축적된 경험 및 기술적 노하우, 산-학-연이 연계한 네트워크가 니치기술의 성장에 반영되고 있음을 시사하고 있다. 이를 통해 본 연구는 정부 연구개발의 사업화를 촉진하기 위해서는 과제기획 단계에서 지원대상 발굴시 기존 시장을 확보하고 있는 산업군에서 얻을 수 있는 경험(실패 또는 성공), Network 형성 단계 등의 지식흐름을 검토할 필요가 있음을 제시한다.

또한 본 연구에서는 정부R&D라는 정책실무적 분야에 집중하는 대신 Geels 등이 논의하고 있는 지속가능한 성장과 이에 대한 혁신적 이론 논의로 까지는 연구범위를 확장하지 않았다. 향후 전략적 니치관리 방법론의 정부R&D에 적용하는 연구는 국가혁신체제



와 상호보완적 관계를 통해 발전시켜야 할 것이다. 혁신의 당사자인 기업이 수익을 위해 기술혁신을 추진한다면, 국가는 혁신체제를 구축하여 지속가능한 경제발전을 추구해야 한다. 국가혁신체제에서 지속가능성의 개념은 보다 구체적으로 논의되어야 한다. 지속가능성은 기술-공정-제품-영업의 비즈니스 모델 전환의 문제로 Regime Change 이상인 Landscape Change를 전제로 한다. 따라서 지속가능한 환경을 지향하는 기술이 제품으로 완성되어 사업화되기 위해서는 초기 단계에서 국가의 전략이 중요하다.

## 참고문헌

### (1) 국내문헌

- 김병윤 (2008), “네델란드의 에너지전환”, STEPI Working Paper, WP-2008-08.
- 박동오, 송위진 (2008), “지속가능한 기술을 향한 새로운 접근”, 『과학기술학연구』 제8권 제2호, 57-81.
- 송위진 (2001), “기술선택의 정치과정과 기술학습”, 『과학기술학연구』 제1권 제1호, 179-200.
- 에너지관리공단 신재생에너지센터.

### (2) 국외문헌

- Bijker, W., T. Huges and T. Pinch(eds) (1987) “The Social Construction of Tehcnological Systems”, MIT Press, Cambridge, MA.
- Bloor D. (1976), “Knowledge and Social Imagery”, Routledge and Kegan Paul, London.
- EZ(2004), “Innovation in Energy policy : Energy Transition : State of Affairs and the Way ahead”
- Geels F.W. (2002), “Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study”, *Research Policy* 31, 1257-1274.
- Geels, F. W. (2004), “From sectoral systems of innovation to socio-technical systems Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory”, *Research Policy*, 33(6-7), pp 897-920.
- Geels, F.W. and R.P.J.M. Raven(2006), “Non-linearity and expectations in niche-development trajectories: Ups and downs in Dutch biogas development (1973-2003)”, *Technology Analysis & Strategic Management*, 18(3/4), 375-392.
- Geels, F.W. and Raven, R.P.J.M.(2007), “Socio-cognitive evolution and co-evolution in competing technical trajectories: Biogas development in Denmark (1970-2002)”, *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 14(1), 63-77.
- Kemp, R. and D. Loorbach (2003), “Governance for Sustainability Through Transition Managment”, paper for EAEPE 2003 Conference November 7-10, 2003 Maastricht, Netherlands. pp. 1-27.
- Kemp, R., and D. Loorbach (2005) ‘Dutch Policies to Manage the transition to Sustainable Energy’, in *Jahrbuch Ökologische Ökonomik 4 Innovationen und Nachhaltigkeit*, Metropolis Verlag, Marburg, 123-150.
- Loorbach, D. (2007), “Governance for sustainability” Editorial, *Sustainability:Science, Practice, &Policy*, Vol 3, Issue 2, pp.1-4. (<http://ejournal.nbii.org>).
- R. Mourik, A. D. Groot, H. Jeeninga, “Challenges in the Transition Toward a Hydrogen-Based

- Society: an In-Depth Study to Assess The Potential of a Transition to a Hydrogen-Based Energy Supply in Europe”, *InterJEnerCleanEnv.* v7. i3. 40 pages 239-254.
- Nelson RR, Winter SG (1982) “An evolutionary theory of economic change”, Bellknap, Cambridge, MA.
- Schot, J.W. and Geels, F.W.(2008), “Strategic niche management and sustainable innovation journeys: Theory, findings, research agenda and policy”, *Technology Analysis & Strategic Management*, 20(5), 537-554.
- Schot J.W.(1998), “The usefulness of evolutionary models for explaining innovation. The case of the Netherlands in the nineteenth century” *Hist Technol*, 14:173-200.
- Smith, A.(2005), “The alternative technology movement: an analysis of its framing and negotiations of technology development” *Human Ecology Review*, 12 (2),106-119.
- Stankiewicz, R. (1992) “Technology as an autonomous socio-cognitive system.” In: Grupp, H. (Ed.), *Dynamics of Science-Based Innovation*. Springer-Verlag, Berlin, pp. 19-44.
- Unruh, G. C.(2000), “Understanding Carbon Lock-in”, *Energy Policy*, 34(10), 1185-1197.
- Van den Ende, J., Kemp, R.(1999). “Technological transformations in history: how the computer regime grew out of existing computing regimes”, *Research Policy*, 28, 833-851a.

□ 투고일: 2012. 02. 09 / 수정일: 2012. 05. 21 / 게재확정일: 2012. 07. 12