

# 해상풍력 기술의 사회-기술시스템 전환과정에 관한 탐색적 사례연구<sup>†</sup>

The Case Study on the Niche Experimentation in Offshore  
Wind Renewable Energy Transition

김봉균(Kim Bonggyun)\*, 김덕영(Kim Dukyoung)\*\*, 김경남(Kim Kyungnam)\*\*\*,  
김동환(Kim Donghwan)\*\*\*\*

## 목 차

- |                                  |                                     |
|----------------------------------|-------------------------------------|
| I. 연구 개요                         | IV. 에너지체제와 니치기술의<br>상호작용 및 니치실험의 설계 |
| II. 기존연구의 검토 및 분석틀               | V. 결 론                              |
| III. 다층적 관점에서 제반환경과<br>에너지체제의 변화 |                                     |

## 국 문 요 약

새로운 에너지 기술이 기존 사회시스템과 공존하며 확산되는 과정은 저탄소 사회로의 전환을 위해 꼭 필요하지만 어려운 여정이다. 정부주도로 추진되고 있는 서남해 2.5GW 해상풍력사업은 대용량 신재생에너지발전을 중앙전력계통으로 연계하는 것을 목표로 추진되고 있다. 따라서 성공적인 해상풍력 발전의 도입을 위해서는 기존 사회기술시스템의 전환도 병행되어야 한다.

본 연구는 다층적 관점과 전략적 니치관리를 방법론으로 해상풍력기술의 니치전략 적용에 대한 에너지 시스템 전환을 분석한다. 연구결과로서 새로운 기술이 기존 레짐(regime) - 환경상황(landscape) 과 연계, 소통을 거쳐 성장하는 과정을 다층적으로 분석하고 에너지체제와 신기술의 관계의 변화를 구조화 하였다. 또한 전략적 니치관리 연구를 적용하여 니치실험 착수단계에서 내재하는 장애요인을 진단하고 해상풍력 실증사업 지연의 원인을 파악하였다. 이를 통해 해상풍력 니치기술이 에너지체제와 다양한 제도 속에서 안정적으로 성장할 수 있다는 실천적 시사점을 도출하였다.

핵심어 : 신재생에너지기술, 해상풍력, 에너지전환, 사회·기술시스템, 시스템전환, 전략적니치관리, 다층적 관점

※ 논문접수일: 2014.1.20, 1차수정일: 2014.5.7, 2차수정일: 2014.6.12, 게재확정일: 2014.6.24

\* 고려대학교 그린스쿨 박사수료 (한국에너지기술평가원), kibon@ketep.re.kr, 02-3469-8351

\*\* 고려대학교 그린스쿨 석사수료 ((주)에코아이), peaceormi@naver.com

\*\*\* 고려대학교 그린스쿨 교수, i005034@korea.ac.kr

\*\*\*\* 고려대학교 그린스쿨 교수, donghwan@korea.ac.kr, 교신저자

† 이 논문은 미래창조과학부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다(2014 특화전문대학원 연계 학연협력지원사업).

## ABSTRACT

---

For the transition to the low carbon society, it is inevitable but difficult journey that the new energy technology spread co-exists with formal social system. The objective of offshore wind power plant that has been implemented by the government is to connect large capacity new renewable energy to the central electric power system. Therefore, for the successful introduction of offshore wind power system, the transition of the formal social technology system should be accompanied. This study analysis the energy system transition about niche strategy adjustment using Multiple Level Perspectives & Strategic Niche Management. It also multi level analyzes and structuralizes the process that new technology, as a research result, evolves through connecting and communicating with formal regime and landscape. Also, adjusting Strategic Niche Management, it diagnoses the obstructive factors in the initial stage of niche experiment and found the major reasons why offshore wind power test plant had been delayed. Through this study, it reaches to the practical implication that offshore niche technology could grow stably in the energy system and various policies.

Key Words : New Renewable Energy Technology, Offshore Wind Power, Energy Transition, Social·Technology System, System Transition, Strategy Niche Management, Multi-Level Perspective

---

## I. 연구 개요

### 1. 문제제기

풍력 발전은 지속 가능한 에너지 및 기후 변화 체제에 대응하는 핵심 수단인 신재생에너지의 대표적인 발전원이다. 육상 풍력 발전기가 활발히 설치됨에 따라 부지가 점점 고갈되고 설치 장소의 한계가 드러나고 있다. 또한 풍력 터빈의 출력을 높이기 위한 대형화는 소음과 거주 환경 문제를 야기하여 민원 발생이 급격히 증가하고 있는 실정이다. 최근 이러한 육상풍력 문제의 대안으로 풍력 선진국인 유럽 국가를 중심으로 해상 풍력 발전 시스템이 부상하고 있다. 해상 풍력은 발전기를 해상에 설치함에 따라 부지 확보가 양호해 대규모 풍력 발전 단지를 조성할 수 있다. 또한 바람의 품질이 육상에 비해 우수하여 육상 풍력 발전에 비해 높은 발전량을 유지할 수 있기 때문에 대용량 전력의 중앙 계통으로서 연계가 용이할 수 있다. 그러나 해상 풍력은 기술적 난이도와 정책 리스크가 높은 기술이다. 기술적으로는 해상의 악조건에서 운영되는 시스템 내구성이 요구되고 정책적으로는 지역 단위의 분산형 재생 에너지 제도와 긴밀한 관계가 필수적인 활동이다. 이러한 관점에서 해상 풍력 사업 착수의 발단은 2009년 정부의 '저탄소 녹색성장 기본법(이하 기본법)' 제정에서 찾아 볼 수 있다. 기본법 제정 이후 정부는 '10.11월 「해상풍력추진 로드맵」을 발표하여 해상 풍력 사업의 단계적인 개발 전략을 제시하였고, '11.11월 「서남해 2.5GW 해상풍력 종합추진계획」을 발표하고 해상풍력 추진단과 특수목적 법인을 구성하였다. 이는 해상에 재생 에너지 발전 단지를 구축하고 이를 통해 생산된 전력을 중앙에 연계하는 국가 단위의 추진계획이었다. 그러나 당초 2013년까지 마무리할 계획에 있던 서남해 해상풍력 1차 테스트베드(Test Bed)의 착공은 계속 미루어지고 있다. 정부와 발전사, 터빈 공급업체 뿐 아니라 건설 부문과의 협업 시스템과 비즈니스 이해관계에서 합의를 이끌어 내지 못하고 있으며 지역 주민과의 이해관계 및 해당 부처의 인허가 문제 역시 난항을 거치고 있다. 이러한 시행착오가 계속 뒤편에도 불구하고 아직까지 어떠한 어려움이 있는지는 잘 알려지지 않고 있다. 해상 풍력을 비롯한 신재생 에너지 대형 프로젝트의 추진에 있어 이해 관계자들 간에 발생하는 다양한 갈등 과정이 구조적으로 연구되지 않았기 때문이다. 에너지 정책을 성공적으로 추진함에 있어 새로운 기술이 사업화 되는 과정에서 나타나는 장애를 분석하고 해결 방안을 모색하는 타산지석의 연구가 필요한 시점이다.

### 2. 연구의 목적과 내용

정부는 신재생 에너지의 대표적인 기술인 해상 풍력 발전기를 서남해상에 설치하고 대용량

전원을 중앙 계통에 연계하는 니치실험(Niche Experiment)을 추진하고 있다. 신재생 에너지 비즈니스가 성장하기 위해서는 기존 사회 체제의 특성인 중화학 공업 기반의 산업구조, 중앙 집중적 전력 공급, 전력 수급 구조 속에서 보호받고 성장할 수 있는 공간이 마련되어야 한다. 기술이 사업화되고 확산되는 공간은 사회이다. 초기의 기술은 대부분 니치(Niche) 단계에서 나타난다. 다양한 니치기술이 기술 대안으로 제안되고 실험을 통해 사회와 정합성을 맞추어가는 과정에서 경쟁력 있는 니치가 선별된다. 경쟁력 있는 니치기술의 발전 방향으로 다른 기술들이 수렴되면서 하나의 기술 패러다임을 형성한다. 저탄소 사회로의 전환을 위해 개발된 새로운 기술이 기존 사회시스템과 공존하며 지배적 패러다임으로 사회에 확산되는 것은 쉽지 않은 여정이다. 사회의 수요와 반응에 정합된 기술은 결국 제품화되어 사회에 정착되고 사회 체제(Regime)가 변화되는 체제 전환 과정이 진행된다(Geels, 2002). 또한 다양한 이해 관계자가 관련된 니치 기술이 실험에 착수하기 위해서는 역할분담과 비용-편익의 분배가 적절히 설계되어야 한다. 2.5GW의 대용량 발전이 중앙 전력 계통으로 연계되는 것은 기술 개발의 과정이면서 동시에 이해 당사자 간의 정치적 관계가 지역민들의 실제거주 사회로 확장되는 과정이다. 새로운 에너지 기술은 기존 생태계 체제의 강력한 저항에 직면한다. 초기 신재생 에너지의 주력 발전 원이었던 육상 풍력을 해상 풍력으로 전환하기 위해 2011년 착수된 사업은 당초 계획보다 지연되고 있다. 신재생 에너지에서 발생한 대규모 전력을 중앙 계통에 연계하는 과정은 단순한 기술적 문제가 아니다. 에너지 기술이 사회에 적용되는 과정에서 발생하는 어려움은 기술적 문제 보다 다양한 이해 당사자들 간에 갈등이 크다. 한편 서남해 해상 풍력의 1단계인 100MW 실증이 당초 2014년 착공을 목표로 하였으나 지역민 민원 및 국방부와 공군 기지 레이더 협의, 터빈 공급사의 가격 조정 문제로 인해 착공 시기가 늦춰지고 있다. 니치 단계에 있는 해상 풍력이 실질적인 실험으로 정착하고 있지 못하다. 원자력 발전을 기저로 하는 중앙 집중적 전력 체제에서는 니치 단계의 해상 풍력 기술이 기존 체제의 고착현상(Lock in)을 극복해야한다. 고착을 넘어 전환으로 나아가기 위해서는 전력 공급업자, 사용자가 포함된 지역 단위의 분산 전원 에너지 시스템 구축에 대한 기반 설계가 병행되어야 한다. 본 연구는 정부가 초대형 장기 사업으로 추진하고 있는 GW급 규모의 신재생 에너지 발전 기술이 기존의 사회 체제에서 성장하여 새로운 에너지 시스템으로 전환되는 과정을 분석한다. 서남해에서 진행되고 있는 해상 풍력 사업은 분산전원 에너지 시스템 구축을 위한 니치 단계의 초기 실험이 진행되는 공간이다. 니치를 통한 에너지 시스템 전환에 관한 연구는 새로운 기술이 기존 레짐 - 환경상황과의 연계, 소통을 거쳐 성장하는 과정을 다층적으로 분석하고 실천적 대안을 제안한다.

### 3. 연구의 대상

2009년 정부는 '저탄소 녹색성장 기본법(이하 기본법)' 제정을 통해 새로운 에너지 체제에 대한 방향성을 제시하였다. 기존의 중앙 집중형 시스템에 분산형 재생 에너지의 역할을 확대하기 위해 제안된 대안이 해상 풍력 사업이다. 기본법 제정 이후 정부는 '10.11월 「해상풍력추진 로드맵」을 발표하여 해상 풍력 사업의 단계적인 개발 전략을 제시하였고, '11.11월 「서남해 2.5GW 해상풍력 종합추진계획」을 발표하였다. 서남해 해상 풍력 사업은 실증 4년, 시범 3년, 확산 3년, 총 10년에 걸쳐 12.6조원을 투자하는 대규모 사업이다. 한전 및 발전 6사를 중심으로 구성된 SPC는 서남해 해상 풍력 단지 조성을 위해 3단계로 구성 추진된다. 1단계 실증은 해상 테스트 베드(Test Bed) 구축을 목적으로 추진된다. 실증 단지는 부안 위도 인근에 31km<sup>2</sup>으로 구성되며 100MW<sup>1)</sup>의 용량을 가지고 추진된다. 2단계 시범사업은 실적(Track Record) 확보를 목적으로 추진되며 부안 위도 인근에서 영광 안마도 해상까지 연장된 84km<sup>2</sup>에서 400MW의 용량으로 추진된다. 1단계 실증은 매년 263GWh<sup>2)</sup>의 발전을 생산하고 2단계 시범사업은 매년 1,044GWh의 발전을 생산한다. 생산된 발전량은 154kV 서고장 S/S을 통해 계통 연계를 계획하고 있다. 시범 사업이 종료되고 민간 사업자가 참여하는 상업 운전은 부안 위도에서 영광 안마도 외해까지 총 378km<sup>2</sup> 단지에 2,000MW 용량으로 설치되며, 전력 년 5,220GWh를 생산할 계획이다. 100MW 실증을 포함한 전체 재생 에너지 발전규모는 2.5GW로 이는 원자력 발전소 2.5기에 해당한다. 특히 3단계 확산과정에서는 2GW급 전력을 345kV 새만금 변전소로 계통 연계한 후 고압 직류 송전기술을 해저 매설하여 진행된다. 계통 연계 거리가 80Km에 달하는

〈표 1〉 서남해 해상풍력 단계별 추진계획

구 분	① 실 증	② 시 범	③ 확 산
목 적	<ul style="list-style-type: none"> <li>해상 Test Bed 구축</li> <li>핵심기술 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Track Record 확보</li> <li>Biz 모델 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>대규모 단지 개발</li> <li>상업운전</li> </ul>
위 치	부안 위도 인근 ~ 영광 안마도 해상		부안 위도~영광 안마도 외해
면 적	31km <sup>2</sup>	84km <sup>2</sup>	378km <sup>2</sup>
용 량	100MW	400MW	2,000MW
계통연계	154kV 서고장S/S		345kV 새만금S/S
발전량	263GWh/년	1,044GWh/년	5,220GWh/년
사업주체	한전·발전6사		민간사, 한전 및 발전6사

\* 출처 : 서남해 2.5GW 해상풍력 종합추진계획(산업부, 2011)

- 1) 실증단지의 최대 개발 가능 규모이며 터빈사와의 공급계약에 의해 조정 가능
- 2) 용량(MW) × 365(일) × 24(시간) × 이용률(%)[이용률 : 실증 30.0%, 시범·확산 29.8%]

장거리 송신의 전력 손실을 최소화하고 전선 사용량 및 송전선로의 면적도 최소화 하도록 되어 있다.

## II. 기존연구의 검토 및 분석틀

### 1. 기존연구

#### 1) 사회기술시스템 이론의 등장

혁신 자체의 복잡성과 사회 및 경제 범위에서 발생하는 혁신을 설명하기 위해 혁신 체제 연구는 진화경제학, 제도주의이론과의 연계된 시스템 연구(전환이 아니라 연구)로 발전되고 있다. 기술과 사회를 연결하는 대표적 초기 연구로 기술결정론이 있다. 기술 결정론은 기술이 그 자체의 발전의 경로에 따라 진화되고 사회에 영향을 미친다고 보고 나아가 그것이 사회에 보편적 이익이 된다고 본다. 반면, 기술을 하나의 독립적 변수로 보지 않고 사회에 상호 영향을 받는다는 이론이 기술의 '사회적 구성론(the social construction of technology)'과 '사회적 형성론(Social Shaping of Technology)'이다. 비유커(Bijker, 1987)는 기술이 관련된 집단들과 상호작용을 통해 기술의 사회적 구성이 이루어진다고 주장하였다. 사회적 구성론은 각 집단들이 해당 분야의 문제와 해결책에 대한 서로 다른 견해의 충돌을 해결하는 것에 초점을 두고 있다. 또한 기술의 사회적 구성에 있어 사회적 변화를 주도하는 행위자의 경험과 체험의 맥락에서 전략적 장소인 실험실에서 기술과 그 외의 것들이 어떻게 네트워크를 구성해 가는지를 설명하는 행위자 네트워크 이론(actor-network theory)에 대한 연구가 진행되었다. 이에 따르면 주도적 행위자(actor)인 엔지니어들이 전략적으로 사회적 요소와 기술적 요소를 포괄하여 기술-사회체제(socio-technical ensemble)를 구축한다고 주장한다(Callon, 1986). 즉, 기술은 기술적으로 우월해서가 아니라, 네트워크 구축에 성공할 때 생존할 수 있다는 것이다. 마레르바(Malerba, 2002)는 산업 내 시스템이 가지고 있는 특성에 따라 다양성이 창출(Variety Generation)되고 선택과정(Selection)이 전개되고 시스템 내 주체 성격에 따라 정보교환, 협력, 경쟁을 통해 공진화(Coevolution)하여 궁극적으로 산업전환(Transformation)으로 이어진다고 주장하였다. 상호학습, 네트워크 등 진화경제학적 사조가 혁신 체제 및 제도주의 이론과 통합적으로 고려되면서 사회적 제도로서의 기술 혁신을 분석하는 사회·기술시스템 연구가 전개되기 시작하였다. 기술 혁신 전개 과정은 신기술이 사회 속에 정착된 기존 기술의 저항에

따른 고착현상(Lock in)을 어떻게 전환(Transition)하는가의 과정으로 볼 수 있다. 기술 사회적 관점은 기술 혁신의 과정이 기술적 우월성만의 결과가 아니라, 기술과 사회 체제간의 요소들이 하나의 시스템으로 구성되고, 시스템 간의 경쟁에서 살아남은 기술이 생존하는 과정으로 파악한다. 결국 기술이 사업화되어 사회 시스템의 전환을 견인하는 과정은 기술이 사회와의 소통과 연결을 통해 사회적으로 구성·형성되는 사회 시스템 내의 활동 과정이라고 볼 수 있다(송위진, 2013).

## 2) 에너지전환을 위한 사회기술시스템 연구

신재생 에너지와 같이 새로운 에너지 공급 시스템은 건설 및 구축에 10년 이상의 기간이 소요된다. 또한 새로운 시스템은 배출권 거래와 같은 정책과 함께 투자, 생활방식, 교통수단, 재정계획을 포함한 경제체제 자체의 전환 대책을 필요로한다(오오시마 겐이치, 2013). 1990년대 유럽 주요 국가에선 지속가능성(Sustainability)을 사회적 비전으로 삼으면서 정부 정책의 실현과 상호 작용을 통한 연구가 활발히 진행되었다. 사회기술 시스템의 시스템 전환 연구는 전 지구적 이슈인 기후 변화 체제 대응을 위한 정책 및 제도 설계에 효과적이다. 온실가스 배출량 감축에 대응하여 새로운 기술을 시스템에 적용할 경우 예상치 못한 문제가 발생한다. 온실가스를 저감하는 새로운 기술이 개발되었다 하더라도 실제 시스템에 적용하여 사업화되는 시점이 지연될수록 오히려 화력 발전소 등 온실가스 배출량이 큰 기존 시스템이 개선 정비 될 시간이 주어지고 이를 통해 화력 발전소의 효율성을 높여 기존 체제의 고착을 강화한다. 신기술이 기존기술을 대체하는 과정은 단지 시장 내 활동뿐만 아니라 정책, 제도, 관습의 요인과 얽혀있기 때문에 기술은 학습, 상호작용, 네트워크를 구성할 때 성장할 수 있다. 이를 기반으로 새로운 혁신정책의 실천 도구로 제안되어 연구가 진행 중인 방법론이 전환관리(Transition Management)이다. 대표적 사례가 2000년대 초반 네덜란드의 정부와 연구자 중심으로 진행한 바이오 에너지를 통한 에너지 전환 연구이다. 에너지 자원이 부족한 네덜란드는 2000년 초반 지속 가능한 발전을 위해 기존의 화석 연료를 대체하는 에너지 전환 정책을 실행하였다. 네덜란드의 혁신 연구자들은 혁신이론을 에너지 수급 및 에너지 생산-전환-활용 전반의 현실적 실행 지침으로 채택하여 지속 가능한 에너지 활용, 즉 에너지 전환 사회의 설계를 추진하였다. 네덜란드의 에너지전환정책은 “비전”-“실험”-“전환경로” 3개 요소로 구성된다(김병윤 2008). 먼저 바이오매스 에너지 시스템을 대상으로 비전과 목표를 설정하고 둘째로, 실증 및 파일럿 플랜트 등 실험을 추진하여 기존 시스템과 어떻게 반응하는지 검토하고 셋째로 비전을 달성하기 위해 실험을 채택하는 전환 경로를 선택하는 것이다. 장기정책으로 산업계-NGO-정부-과학기술계가 상호 합의하여 2020년까지 전력생산 및 수송 분야에 10~15%를 바이오매스로 전환하기로 합

의했다. 이에 따라 목표를 달성하기 위한 경로를 가스화(Gasification), 열분해(Pyrolysis), 바이오연료(Biofuel) 등 3가지로 설정하였다. 이후, 2003년 가스화 R&D 투입을 시작으로 실증 등 실험을 진행하고 있다. 3개의 전환 경로는 30개의 개별적인 기술 사회적 옵션이 연계 형태로 그룹화 하였다(Kemp, R., and D. Loorbach 2005). 니치 기술이 성공적으로 주류 기술 시스템으로 자리매김할 것인지 여부는 어렵게 형성한 니치를 어떻게 전략적으로 관리 하느냐에 달려 있다. 사회적 전환 이론은 연구 개발 프로젝트를 기획 평가하는데 도움이 되는 실천적 교육 자료로까지 발전하고 있다(Sterrenberg, 2013). 한국의 경우 스마트그리드를 사례로 하여 사회 기술 시스템의 다층적 관점을 적용한 연구가 진행되었다(Mah, Ngar-yin, 2012). 정부 주도의 제주도 스마트그리드 실증 사업의 추진 배경 및 민간 영역과의 상호 작용을 거시적 관점에서 정리하였다. 그러나 시스템 통합적인 스마트그리드에서 구체적 니치 신기술을 무엇으로 정할 것인지가 분명치 않다. 그렇다 보니 니치 기술 차원에서 기존 전력체제에 어떻게 보호받고 성장되어 전환으로 연결되는 지는 분석되지 않았다.

## 2. 분석틀

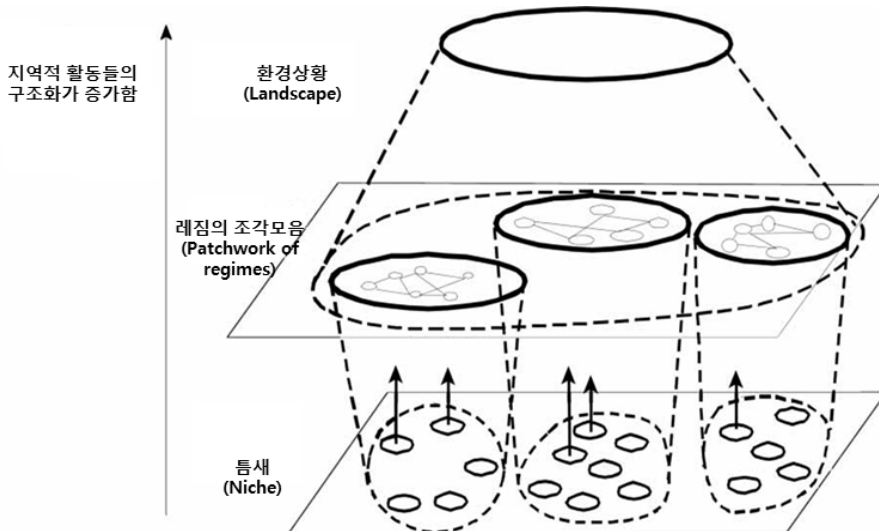
본 연구는 한국적 에너지 체제에서 니치기술이 성장하면서 관계를 맺는 제도와 시민, 이해 당사자와의 상호 작용을 파악하는 방법론으로 네덜란드 학자 Geels가 제시한 니치 기술의 시스템 전환 분석틀인 다층적 관점(MLP, Multi Level Perspectives)과 전략적 니치관리(SNM, Strategic Niche Management)를 동시에 적용한다.

### 1) 다층적 관점(Multi-Level Perspective)

기존에는 환경 파괴를 시장의 실패로 보고 이러한 상황을 개선하기 위해 풍력, 연료전지, 태양광등 신기술에 보조금과 같은 인센티브를 제공하였다. 그러나 인센티브 제도는 광범위한 기술의 전환(transition)을 요구하는 환경에서는 큰 효과를 얻을 수 없었다. 환경에 대한 사회적 관심, 정부의 정책적 방향, 시장 형성을 위한 경제성 등을 모두 고려하여 혁신을 이루어줄 니치 기술의 제반 환경을 관리할 때 비로소 효과를 얻을 수 있다(박동오, 송위진, 2008). 이에 기술과 사회의 접점을 다층적 측면에서 조명하는 이른바 '다층적 관점(Multi-Level Perspective)'의 개념이 제안되었다. MLP는 기술이 사회와 상호작용하는 활동을 거시(Macro)-중간범위(Meso)-미시(Micro)로 구분하여 분석하는 것이다(Geels, 2002). 거시적 측면은 정치적, 문화적 변화와 같은 기술 외적 요인들이 작용하는 사회-기술적 제반 환경을 뜻한다. 중간 범위적 측면은 기술 개발 행위자, 제도, 시장이 관계를 맺는 사회-기술체제(Regime)를 의미한다. 미시적 측면은



기술개발을 통해 혁신이 출현하는 니치를 의미한다. 거시환경(landscape)은 사회기술체제(Regime)를 구성하는 사람들에게 직접적인 영향을 미치는 거시 경제, 정책, 문화적 경향성 등 외부 환경을 의미한다. 거시환경은 사회 기술 체제와 니치 간에 상하 관계를 형성하고 그 변화가 10년 이상의 단위로 느리게 나타난다. 사회-기술체제 내에는 다양한 이해 당사자들이 존재하고 그들은 각자의 특성을 가지고 협력과 조율을 진행되는데 그 속에는 일종의 규약(Rule)이 존재하고 있다. 기존 체제의 안정을 추구하는 고착 현상이 이해 당사자들의 행동 방식에 영향을 미치게 되는 것이다. 한편, 미시 단계에서 다양한 니치들이 기존체제에서 새로운 실험을 벌이면서 기존 체제의 규약을 따르지 않는 혁신 패턴이 발생한다(Geels, 2006). MLP 방법론 들은 니치-사회기술체제-거시환경의 상호 활동을 살펴보는 분석틀의 역할을 한다.



(그림 1) 다층적 관점(MLP)에서 계층구조 개념(Geels(2002) 에서 인용)

## 2) 전략적 니치관리 (Strategic Niche Management)

대형 해상풍력 단지가 안정화 되고 사회기술 시스템의 변화로 이어지기 위해서는 신기술 도입 과정에 있어 사회기술 시스템과의 충돌을 분석하고 새로운 기술 요소가 성장·발전할 수 있는 실행적 정책이 도입되어야 한다. 전략적 니치관리(SNM)는 정책 목표를 설정하고 이를 달성하기 위한 기술적 실험을 어떻게 성장시키고 정착시켜야 할지를 분석하는 정책적 방법론이다. 전략적 니치관리는 레짐에 영향을 미치는 ‘아래로 부터’ 즉 니치로부터의 경로를 강조하며, 예측되거나 계획되지 않은 자연스러운 전환이 아닌 ‘의식적인 전환(Purposive transition)’이

이루어질 수 있다고 주장한다. 미시적 수준인 ‘니치’에서 발생하는 기술적·사회적 혁신이 다른 범위나 더 넓은 범위로의 확대를 통해 레짐에 영향을 미치면서 시스템 전환이 점진적으로 이루어지는 것이다(김유진, 2012). 신재생 에너지의 바이오매스의 경우, 가스화하는 기술과 제도를 잘 구축하여 수행되는지 실험을 한 후 효과적인 경우에 적용 범위를 점증적으로 확장해 나가고, 그렇지 않은 경우 수정 조치를 취할 수 있도록 시스템을 구축하는 것이다. 전략적 니치관리는 개념적으로는 1)기술의 선택 → 2)실험의 선택 → 3)실험의 설치 → 4) 실험의 확대 → 5) 보호 해체의 수순으로 이루어진다(Kemp et al., 1999).

### III. 다층적 관점에서 제반환경과 에너지체제의 변화

#### 1. Landscape level에서의 변화

에너지에 대한 국가 사회적 체제는 ‘한강의 기적’으로 대변되는 압축적 산업화 과정과 궤를 같이 한다. 원자력을 기저 발전으로 하는 전력 시스템 구축과 정부 정책의 강한 추진자 역할은 국가의 빠른 경제 성장에 큰 역할을 담당하였다. 전력 시장에 시장 경쟁의 체계 개편을 논의하는 과정에서도 싸고 풍부한 전력은 대중의 복지와 중소기업의 경쟁력 유지의 측면에서 여전히 강력한 담론을 형성하고 있다. 이명박 정부는 2008년 8.15 광복절 담화문에서 “저탄소 녹색성장”이라는 새로운 국가발전 패러다임을 제시하였다. 교토의정서에서 한국은 non-Annex I 국가로 분류되어 감축 의무는 없지만, 2020년까지 CO2 배출량을 BAU 대비 30%(2005년 대비 4%) 감축 목표를 제시하였다. 또한 기후 변화 체제 하에 능동적인 대응을 통해 수출 경쟁력 확보 및 기업 경쟁력 강화, 신 성장 동력의 기회를 창출 할 수 있다고 강조하였다. 산업부 로드맵(2011)에 따르면 풍력 발전을 통해 2015년 고용 4.7만명, 내수 2조원, 수출 8.2조의 목표를 설정하고 있다. 에너지 시스템 내에서 제도의 기준점을 형성하는 것은 먼저 국가에너지기본계획이다. 국가에너지기본계획은 2008년 8월 27일 국가에너지위원회가 20년 단위 장기 계획으로서 “제1차 국가에너지기본계획(2008~2030)”을 심의하고 확정했다. 기존의 에너지 정책 계획은 에너지원별 실행 정책<sup>3)</sup>단위 차원에서 수립되었다. 제1차 국가에너지기본계획의 특징은 건국 이래 최초로 수립된 20년 단위 장기 에너지 계획이다. 동시에 에너지관련 계획들에 대해 원칙과 방향을 제시하는 에너지 분야 최상위 계획이다. 제1차 국가에너지기본계획은 2030년 신재

3) “에너지이용합리화계획”, “전력수급기본계획”, “천연가스장기수급계획”, “신재생에너지 기본계획”, “해외자원개발 기본계획”

생 에너지의 비중을 11%로 설정했다. 이러한 목표를 달성하기 위해서는 기존의 수력발전, 폐기물을 제외하고 중앙 계통에 연결할 수 있는 대규모 신재생 발전이 필요하다. 대표적 대안으로 제시된 것이 풍력 발전이다. 국내 풍력 발전 시스템은 1987년 “대체에너지촉진법”에 따라 시작되었다. 풍향 품질이 적합한 육상 부지를 필요로 하는 육상 풍력 발전은 이미 포화 상태에 도달하였다. 또한 육상 풍력 발전에 따른 소음 등에 인한 민원이 지속적으로 발생하고 있다(KETEP, 2011). 1차 국가에너지기본계획이 화석 에너지 비중을 축소하고 신재생 에너지 비중을 확대하는 의미가 있으나 기본적으로 에너지 소비가 늘어나는 방향을 추구하고 있다는 비판에 자유롭지 못하다. 제1차 국가에너지기본계획의 주요내용은 원자력의 전력 비중을 기존 대비 26%에서 41%로 확대하는 것을 핵심으로 한다. 후쿠시마 원전 사고는 국가에너지기본계획<sup>4)</sup>의 이러한 기조에 문제를 제기하고 있다. 더불어 노후 원전의 안전문제 및 신규 원전도입 그리고 방사성 폐기물이 제기되고 있다.

## 2. Regime level에서의 변화

우리나라 에너지 시스템의 핵심인 전력망의 성격은 크게 3가지로 정의할 수 있다. 중앙집중형 시스템, 통제형 관계, 저렴한 가격이다. 에너지 정책의 전환을 위해서는 중앙집중형 시스템 대신 분산형 재생에너지의 참여를 확대하고, 통제형 관계를 최종 사용자의 활발한 참여 및 정보 공개를 통한 쌍방향 관계로 전환하고, 저렴한 가격을 수급에 반영하는 가격으로 전환하는 것이 선행되어야 한다.

### 1) 정부주도 에너지체제의 변화

우리나라 에너지 정책의 지배적 담론인 “싸고 풍부한 전력 공급”, “중앙 집중적 공급중심”은 경제 성장의 밑바탕을 형성하였다. 이러한 에너지 정책을 실행하는 것은 정부의 지휘통제(Command & Control)와 한전과 같이 정부로 부터 위임받은 독점적 기획-실행 기관이었다(조성봉, 2000). 전력 산업 구조 개편에 관한 논의는 압축적 산업화 과정의 근간이었던 정부의 강한 역할이 시장 경쟁으로 전환되는 과정에서의 갈등 상황에서 나오게 되었다. 시장 경쟁의 전환기에도 싸고 풍부한 전력은 대중의 복지와 중소 중견 기업 등 여전히 저렴한 전력 수요에 의해 강력한 담론을 형성하고 있다. 저렴한 전력 가격 체계는 국가 전력 소비 구조의 50%를 차지하는 중화학 공업 기반의 국가 산업 구조와 연관되어 있다. 국가의 에너지 효율<sup>5)</sup>이 0.314

4) 1차 국가기본은 MB 정부 초기의 원자력 중심의 전력체계를 중심으로 구성

5) 에너지원단위: 전체 에너지사용량(TOE)/GDP(천달러), 2008년 기준

로 일본의 0.0095나 미국의 0.198, 프랑스 0.176에 비해 훨씬 높다. 이유는 에너지 다소비 업종 중심의 산업 구조이기 때문이다(이재훈, 2010). 중화학공업 기반의 다소비형 산업에 저렴하고 안정적인 전력을 공급하기 위해 정부는 중앙 통제적 전력 발전 체제를 구축하였다(조성봉, 2000). 한전(2010)에 따르면 산업용 전기요금이 kW당 76원인 반면 가정용은 120원으로 보다 저렴하다. 한국에서 산업용 전기의 비중은 53.6%로 OECD 평균인 32%를 훨씬 초과한다(IEA, 2011). 전기요금은 가장 강력하게 규제되고 있는 가격 중의 하나라고 할 수 있다. 우선 주무부처인 산업통상자원부는 전기사업법을 통하여 전기요금을 규제하고 있다. 즉, 동법 제17조(공급 규정)에 따라 일반 전기 사업자인 한전은 전기요금 기타 공급조건에 관한 공급규정을 정하여 장관의 허가를 받아야 한다. 이밖에도 전기요금은 “물가안정에 관한 법률”에 의하여 공공요금으로 규정되어 있어서 정부의 가장 강력한 가격 규제의 대상이다. 물가 안정에 관한 법률에 의하여 공공요금으로 규정이 되면 지경부와 기재부의 협의가 필요하다. 기본적으로 대용량 발전을 하는 원자력 발전은 기저 발전으로 활용되고 있기 때문에 국내의 값싼 전기요금은 원자력 발전소의 역할에 기인한다(조성봉, 2000). 제1차 기본계획(2009)에서 제시한 2030년 원전 비중(59%) 확대는 후쿠시마 원전사고와 9.15 정전사고를 거쳐 새로운 개편을 요구받고 있다. 전력 산업 내에서 신규 전원구성에 대한 패러다임 변화가 진행되고 있는 것이다.

## 2) 에너지 믹스의 다각화

2010년 제1차 국가에너지기본계획에 따르면 총발전량 대비 신재생에너지의 발전량은 2.98%이다. “제 3차 신재생에너지 기술개발 및 이용보급 기본계획(2008)”에 따른 보급 목표치는 <표 2>와 같이 ‘15년 4.3%, ‘20년 6.1%, ‘30년 11%로 설정하였다. 원별 목표전망을 살펴보면, 현재의 폐기물 중심에서 바이오에너지, 태양전지, 풍력으로 바뀌고 있다. 보급의 절대량 기준으로 본다면 태양광 보급은 목표를 달성한 반면, 태양열은 달성율이 73%, 바이오에너지는 75% 수준에 그쳤다. 수력의 경우 당초 예상한 발전량 대비 실제 발전 비율은 10%에 불과하다(국회예산정책처, 2010). 신재생 에너지의 보급 사업은 중앙 정부와 지방 재정이 공동 분담한다. 따라서 정상적 가격 설정이 없는 정부의 보급 목표는 정부 재정에 부담이 될 수 있다. 또한, 보급의 부진은 태양광, 풍력의 성능대비 가격경쟁력 부족으로 볼 수 있다. 그럼에도 불구하고 풍력 발전의 2030년 보급 목표량은 400만TOE 수준으로 태양광의 3배 수준에 달한다. 이는 바이오, 폐기물 등 열을 통한 전기 생산을 제외하고 직접적 전력 생산을 하는 발전 방식으로는 가장 큰 규모이다.

〈표 2〉 신재생에너지 원별 목표전망(3차 신재생기본계획)      위: 천TOE, %

	2008	2010	2015	2020	2030	증가율
태양열	33	40	63	342	1,882	20.2
태양광	59	138	313	552	1,364	15.3
풍 력	106	220	1,084	2,035	4,155	18.1
바이오	518	987	2,210	4,211	10,357	14.6
수 력	946	972	1,071	1,165	1,447	1.9
지 열	9	43	280	544	1,261	25.5
해 양	0	70	393	907	1,540	49.6
폐기물	4,688	5,097	6,316	7,764	11,021	4.0
합 계	6,360	7,566	11,731	17,520	33,027	7.8
비 중	2.58%	2.98%	4.33%	6.08%	11.0%	

### 3) 신재생에너지 보급을 위한 RPS 제도의 실행

신재생에너지 보급 사업은 “신에너지 및 재생 에너지개발, 이용, 보급 촉진법” 제 27조와 “신재생에너지설비의 지원, 설치, 관리에 관한 기준<sup>6)</sup>에 따라 1993년 1,488백만원(정부지원)으로 시작하여 2009년 1,800억원(정부지원)으로 확대되었다. 정부는 신재생 에너지 보급 확대의 획기적 조치로서 “신에너지 및 재생 에너지개발, 이용, 보급 촉진법” 제 17조에 따라 발전차액 지원제도(Feed in Tariff)를 2002년 도입하였다. 발전차액지원제도는 신재생 에너지 발전 사업자로 하여금 시장보다 높은 가격을 보장하여 안정적 수익을 제공하기 때문에 투자 유치와 연구 개발에 대한 자금 조달을 용이하게 하는 장점이 있다. 이를 통해 시장 경쟁력이 떨어지는 초기 기술의 혁신을 촉진하는데 효과적이다(Fed Bosselman et al., 2010). 반면 보조금을 지급하는 정부 입장에서는 재정 부담의 문제가 있다. 태양광의 경우 2006년부터 2010년까지 발전량이 100배 증가했고 지원금도 84배 증가하였다. 연료 전지의 경우 2006년부터 2010년까지 발전량이 820배 증가했고 지원금도 670배 증가하였다. 2010년 한해 보조금으로 지급된 예산은 3,300 억원을 초과한다. 그럼에도 불구하고 전력 총생산 중 신재생 에너지가 차지하는 비중은 2% 수준이며 그중 수력을 제외하면 1%에 미치지 못한다는 비판이 있다. 스페인, 영국, 이탈리아 등 발전차액지원제도를 채택한 국가들이 2008년 이후 금융위기에 따라 보조금을 삭감한 것도 작용하였다(신정희, 2011). 우리나라는 2008년 제1차 국가에너지기본계획(‘08~’30)에 따라 2030년까지 총 에너지 소비량의 11%를 신재생에너지로 충당한다는 목표를 설정했다. 그러나 신재생 에너지의 보급 실적이 저조함에 따라 보급 목표 달성을 위한 획기적 정책 전환으로

6) 지경부 고시 2009-332호

등장한 것이 의무할당제(RPS, Renewable Portfolio Standard)이다. 2008년 정부는 발전차액 지원제도를 중단하고 이를 대체하는 의무할당제(RPS)를 2012년부터 도입하기로 발표하였다. RPS에 따라 500MW이상의 발전 설비를 보유한 14개 발전 사업자<sup>7)</sup>는 총 발전량에서 연도별 신재생 의무 비율에 맞추어 신재생 에너지를 의무적으로 공급해야 한다. 공급 의무량은 공급 의무자의 총 발전량에 의무 비율을 곱해서 산정한다.

〈표 3〉 연도별 RPS 의무비율

연도	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19	'20	'21	'22
의무비율(%)	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0

\* 출처 : RPS 공급의무자별 의무공급량 공고(산업부, 2013)

RPS는 공급 의무량을 정부가 직접 할당하기 때문에 국가 차원의 보급 목표 달성이 용이하다(신정희 2011). 공급 의무자들은 공급할 에너지원을 경제적 판단에 의해 포트폴리오를 구성하고 이를 통해 신재생 에너지 전력에 대한 가격 인하를 촉진할 수 있다. FIT가 가지는 정부의 재정부담이 RPS에서는 부담을 완화하는 장점을 가진다. 반면 RPS는 FIT에 비해 거래과정이 복잡하고 그에 따른 추가적 거래비용이 들게 된다. 공급의무화 비율을 자체 발전으로 충족하지 못할 경우에는 의무할당기관이나 공급인증서 거래시장을 통해 부족분의 신재생에너지를 구입해야 한다. 이러한 거래시장의 제도적 구축에는 탐색비용 및 계약비용이 추가적으로 발생한다(권태형 2012).

## IV. 에너지체제와 니치기술의 상호작용 및 니치실험의 설계

### 1. 니치기술의 선택

해상 풍력은 신재생 에너지 목표량을 충족하기 위한 중요한 대안 중 하나이다. 특히 풍력 에너지 산업은 에너지 안보 및 기후 변화 대응을 위한 정책 수단으로써, 그리고 고용창출 등 경제 활성화를 위한 투자유발의 수단으로써 의미를 가진다. 마샬 피셔(Marshall L. Fisher, 2007)은 해상풍력 산업의 기술적 특성을 4가지 기준에서 혁신적 기술의 유형에 가까운 특성을 가지고 있다고 분석하였다. 첫째, 각 국가별 신재생에너지 정책 및 인허가 관련 단지 개발 지원

7) 6개 발전자회사, 지역난방공사, 수자원공사, 포스코파워, K-파워, GS EPS, GS파워, MPC 울촌전력, MPC 대산전력 등 14개 발전회사

등이 시장 수요에 영향을 준다. 둘째, 일반적인 에너지 제품의 특성인 네트워크 효과에 따라 일단 시장에 진입한 기술의 수명 주기는 비교적 길다. 셋째, 해상 풍력용 터빈의 경우, 시장 수요 대비 신뢰성 있는 제품 공급이 아직 부족하다. 넷째, 해상 풍력은 해상 환경 특성 상 강한 바람과 파도, 염해로 인한 설비의 부식 등으로 터빈의 잦은 고장이 발생한다. 또한 터빈의 주요 부품인 터빈 제어, 요 시스템, 로터, 기어박스, 발전기, 드라이브 체인 등의 고장율의 범위는 5%~57%로 넓다는 점이다(BTM, 2011). 해상풍력 최대 단지 조성국가는 바다에 둘러 쌓여있는 영국과 제조 중심의 중소기업을 기반으로 한 독일을 꼽을 수 있다. 한편, 유럽 등 풍력 발전 선진국에서도 이해관계자와의 문제에 봉착하였고 대안으로 풍황 자원이 우수하고 민원소지가 적은 해상 풍력 발전으로의 전환이 가속화되었다. 해상풍력이 해상에 단지를 건설함으로써 대 단지화가 가능한 장점이 있으나 해상단지건설에 들어가는 투자비가 육상에 비해 2배 이상인 단점이 있다(Dexia, 2007). 한국이 해상 풍력 발전을 선택하게 되는 이유는 크게 두 가지로 요약할 수 있다. 첫째, 의무할당제도의 시행에 따라 설정된 대규모 신재생 에너지 목표량을 공급할 수 있는 주 에너지 원이라는 점이다. 한국수력원자력(2013)에 따르면 풍력 발전의 판매 단가는 100.98원/kWh로 태양광의 599.3원/kWh, 신재생 에너지 전체 평균 단가 118.66원/kWh 보다 저렴하다. 또한 기존 발전원인 유류 단가 253.04원/kWh와 비교하더라도 해상 풍력 발전은 가격 경쟁력이 있는 대규모 신재생 발전 원이다. 풍력 발전의 건설 난제인 환경 및 생활 침해에 따른 지역주민의 민원을 해결할 수 있는 효과적 기술이 해상 풍력인 것이다.

## 2. 니치실험의 선택

### 1) 서남해 해상풍력사업의 시작

'08년부터 '12년까지 5년간 풍력발전 설치량은 연평균 12.4%로 증가하였다. 또한, 풍력발전은 '13년부터 17년까지 총 5년간 연평균 9.3%로 증가할 전망이다. 특히 해상풍력은 연 38.0%로 상승할 전망이며, 풍력전체 대비 비중은 '08년 1.8%수준에서 '17년에는 18.4%수준으로 확대될 것으로 예상된다(산업부 2010).

〈표 4〉 해상풍력 전력발전 용량 전망(단위 : MW)

년도	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17
풍력전체(A)	28,190	38,103	39,404	41,712	44,951	40,350	47,600	45,105	50,880	57,685
해상풍력(B)	344	689	1,444	470	1,131	2,917	3,107	4,866	7,025	10,594
B/A(%)	1.2%	1.8%	3.7%	1.1%	2.5%	7.2%	6.5%	10.8%	13.8%	18.4%

\* 출처 : 해상풍력추진로드맵(산업부, 2010)

2009년 제1차 국가에너지기본계획 발표 이후 정부는 '08년 10월 “국내 해역의 중형 해상풍력 발전 플랜트 타당성 조사연구(이하 해상풍력 타당성 조사)”를 착수하여 국내 해상풍력의 잠재량을 파악하고 발전시스템 건설에 적합한 유망 후보지를 선정하는 연구를 진행하였다. 이후 2010년 10월 산업통상자원부는 대통령 산하 녹색성장위원회에 “신재생에너지발전전략”을 보고하고 2010년 11월 “해상풍력추진협의회”를 개최하여 “해상풍력추진로드맵”을 발표하였다. 해상풍력 타당성 조사(2011)에서는 한반도 서남해상의 전북 부안위도 해상을 해상 풍력에 있어 가장 적합한 장소로 선정하였다. 낮은 수심과 강한 지반층은 해상 풍력지 선정에 큰 이점이 되었다. 이에 본 실험도 서남해 지역을 실험장소로 선택하였다.

## 2) 서남해 해상풍력의 혁신주체

서남해 해상풍력 추진은 단지선정부터 지반조사 및 환경영향평가를 거쳐 인허가를 득하고 제품검토를 통해 터빈계약, 발주, 제작 및 해상구조물 설치의 복잡한 수명주기를 가진다 (KETEP, 2013). 개발주체는 크게 정부, 기업, 지자체, 특수목적법인 등 4개로 구분할 수 있다. 환경부, 해양수산부는 인허가 등 제도정비를 산업부는 RPS 등 신재생에너지 여건조성 및 해상풍력 사업추진을 담당한다. 그 외 군사시설 관련 사항은 국방부, 영해 사항은 외교부, 해양보호물 관리는 문화체육관광부가 담당하면서 6개의 중앙정부부처가 관계한다. 풍력터빈 개발 및 운전은 민간주도로 개발하도록 구성되어 있다. 해상풍력발전 시스템을 구성하는 공급망에 따라 시스템, 건설사, 부품사, 금융사들이 참여한다. 이를 위해 최종의사결정기구로서 지자체, 발전사, 풍력제조업체, 부품사, 건설사 등 CEO로 해상풍력추진협의회를 구성하고 한전 사장이 협의회장을 맡도록 하고 있다. 2010년 정부는 해상풍력사업단을 구성하여 정부와 해상풍력추진협의회 간 정보의 가교역할을 수행토록 하였다. 사업단은 풍력단지 기획, 조정 및 인허가, R&D를 지원하는 사업 실무 총괄적 역할을 담당한다. 해상풍력의 실증 및 시범사업에 대해 운영주체는 한전과 발전6개사가 설립한 특수목적 법인(SPC)이 담당한다. 특수목적법인의 주요역할은 첫째 RPS 의무대상자로서 서남해 해상풍력개발 시범사업에 대한 개발 협약을 시행하는 것이다. 둘째 시스템 사업자와 터빈에 대한 계약을 체결을 담당한다. 기초구조물 건설은 터빈사업자와 함께 구성하는 컨소시엄으로 개별 건설사가 참여하여 계약하게 된다. 계약은 터빈운영에 있어 경제성, 공급시점, 고장에 따른 A/S에 관해 주체간의 수익확보 및 배분가능성에 대한 협의를 통해 정한다.

## 3) Niche 연구개발

개발 계획 확정 후, 최근 2년간 직·간접적으로 연관된 R&D로 전체 예산 중 단지개발 운영분



야에 20.9%, 계통연계 및 해상변전소 관련분야 기술에 17.5%, 지지구조물분야에 24.8%, 풍력 발전터빈분야에 18.0% 수준으로 지원하고 있다. 민간 기업의 해상 풍력 기술을 통한 국내 특허 출원 동향은 2009년 19건, 2010년 39건, 2011년 59건, 2012년 66건으로 지속적으로 증가하고 있다. 과거 2003~2012년까지 10년간 출원된 해상 풍력 기술은 풍력 발전기 설치 또는 운송방법 관련 기술이 22.7%, 기초 또는 지지 구조물 관련 기술이 17.1%, 부유식 해상 풍력 발전 관련 기술이 16.1%, 풍력이나 파력 등과의 복합 발전 장치 관련 기술이 10.4%를 각각 차지하고 있다. 해상 구조물 및 타워의 운송 설치에 대한 기반 노하우가 있는 현대중공업과 삼성중공업, 대우조선해양이 출원을 주도하고 있다. 또한 해상 풍력 발전기의 인증을 위한 테스트 베드용 니치실험은 제주도 김녕풍력발전단지에서 진행되고 있다. 해상 풍력 발전기는 육상 풍력과는 다르게 고장 발생 시 수리가 용이하지 않아 제품 신뢰성을 확보하는 것이 제품의 경쟁력 확보에 필수적이다. 또한 해상의 염분에 노출된 환경에서 오랜 시간 지속적으로 발전하기 위해서는 낮셀 등 발전기기 모듈의 밀폐 환경을 실험해야 한다. 현대중공업은 5.5MW의 시제품 실험을 주로 김녕에서 실시하고 있으나 제주도와 서남해의 지반 상황에 호환되는 실험 결과를 도출하기 어려운 한계가 있다.

### 3. 니치실험의 설치 : 사회기술시스템과의 상호작용

#### 1) 중앙계통그리드와의 연계노력

해상 풍력은 해상에서 전력을 생산하고 이를 육상까지 송전하여 전력 계통에 연계하는 절차를 거친다. 한전의 중앙전력계통에 연계하는 것이 경제적으로나 공급 안정성 측면에서나 유리하다. 기존 전력망에 전력을 안정적으로 연계하고 원활한 전력을 공급하기 위해서는 해상 풍력 단지 내의 전력 계통 연결과 육상 변전소까지의 전력선을 연계하는 계통 연계가 필수적이다. 중앙 계통에 연결되기 위해서는 기존의 전력 그리드 체제가 요구하는 조건에 맞추어야 한다. 첫째는 전력 품질이다. 풍력 발전은 바람의 세기와 위치, 상태가 예측 불가능하여 출력 변동이 심하다. 이는 전압 변동에 큰 영향을 미쳐 계통 연계의 기술적 장애를 야기한다. 전력 계통에 있어 전력 품질은 전력 공급자 입장에서는 공급 신뢰성이고, 전력 수요자 측면에서는 전기 설비에 공급되는 전력의 상태를 의미한다. 전력 품질을 개선하지 않으면 계통 연계를 통해 다른 전기 사용자에게 악영향을 미치고 전력 공급 기기에다 문제를 발생시킬 수 있다. 둘째, 추가적 비용의 부과이다. 육상의 전력공급계통으로 연결시키는 시설비가 추가로 소요된다. 또한 해상 환경 상황에 적응할 수 있도록 송배전 설비를 갖추어야 한다. 해상 풍력 단지에서 집진된 전력의 규모가 대형인 경우는 다시 육상 송전 계통을 별도 구축해야 한다. 전력 송전 방식은 교류 송전이 적용

되고 있다. 교류 송전은 케이블 구간의 장거리 화와 고전압 화에 따라 송전 용량이 제한되는 단점이 있다. 해상 풍력 발전 사업의 경우는 전력을 계통 연계하는 데 큰 비용이 투입되기 때문에 비용 분담 주체 설정이 중요하다. 발전 사업자가 계통 연계 비용을 부담할 경우는 발전 사업자들의 경제성이 보장되지 못한다. 반면 한전이 전액 부담하는 경우 이는 전기 요금의 상승을 초래할 수 있다. 때문에 발전사와 한전이 계통 연계에 대한 비용 부담의 책임을 두고 합의가 이루어지지 못하고 있다. 한전, 발전사, 터빈사업자는 GW급 신재생 발전을 중앙 계통에 연결하는 니치활동을 처음으로 전개하면서 비용 분담에 대한 의견 차이로 합의점은 찾지 못하였다. 정부는 해상 풍력의 이해관계를 조정하면서 실증을 주관하는 특수목적법인의 설립을 추진하기 위해 한국전력과 한수원 등 6개 발전사를 독려하였다. 이후 해당 공기업 이사회의 의결을 통해 설립은 결정되었으나 정부와 한국전력간의 전력 요금에 연계한 정책 조율 문제로 특수목적법인 설립은 당초 계획보다 약 9개월 지연되었다. 설립의 지연은 1단계 실증단지(100MW)의 공사 기간에 영향을 미쳐 최소 1년 또는 2년 이상의 사업 연장이 불가피하게 되었다.

## 2) 경제성 확보를 위한 제도 적용 수준 조정

발전 회사는 직접 발전소를 지어서 생산해도 되고 다른 발전 사업자에게 발전량에 대한 공급 인증서(REC, Renewable Energy Certificate)를 구입해도 된다. REC는 발전사 간의 매매의 단위인데 1개의 REC는 1,000kW를 인증한다. 즉 발전사는 1,000kW단위로 1 REC를 인증하여 판매가 가능한 것이다. 한편, REC는 발전 대상 설비에서 공급된 신재생 에너지 전력량에 REC 가중치를 곱해 발급 받는다<sup>8)</sup>. 따라서 신재생 에너지 발전 사업자는 기본 계통한계가격에 신재생 에너지 REC 확보를 통해 기존 발전차액 지원제도에서 지원받던 부분을 충당해야 하므로 REC 가중치는 경제성과 직결되는 문제가 된다. REC 가중치를 높게 배정받을수록 공급 기업의 사업 경제성 보장이 되는 반면, 신재생 에너지 구매자 입장에서는 불리하게 작동한다. REC 가중치는 육지에 멀리 떨어져 있는 해상일수록 많이 받는 것이 원칙이다. '해상풍력 연계거리'에 따라 가중치 설정이 달라지는데 당초 접속점과 연계점 간 거리로 규정되어 있었으나 '측량·

〈표 5〉 현행 해상풍력 REC 가중치 현황

구 분	연계거리		비 고
	5km 이하	5km 초과	
가중치	1.5	2.0	예) 가중치 2.0인 경우 풍력에너지 발전량 1kWh에 대해 2.0kWh의 인증서 발급

\* 출처 : 해상풍력개발 기반조성연구팀(KETEP, 2013)

8) 100kw 태양광발전설비를 설치하는 경우, REC=100kw\*일평균발전시간\*365일\*REC가중치/1000

수로조사 및 지적에 관한 법률' 개정(2012년)에 따라 해안선과 해안선에서 가장 근접한 발전기 중앙부와의 직선거리로 변경하였다.

기존에는 접속점과 연계점간의 거리를 통해 REC 가중치를 2.0으로 인정받았던 것에 비해, 변경된 기준은 해안선 간 근접한 발전기 중앙부 간 거리로 산정하여 REC 가중치가 1.5로 변경된다. REC 가중치가 1.5로 변경되어 발전 사업자 및 터빈 공급자 입장에서는 경제성이 떨어지는 결과를 낳았다. 터빈 공급자는 계통 연계 거리 산정에 있어 풍력 단지 내 터빈 당 내부 연계 거리 역시 포함하여 REC 가중치를 재 산정해야 한다고 주장하고 있다. REC를 통한 안정적인 수익 확보를 제도적으로 보호받고자 하는 것이다. 따라서 공인인증서의 가중치를 지속적으로 유지하기 보다는 해상 풍력의 성숙 정도에 따른 단계적 조정이 필요하다. 정부와 발전사는 30년을 기준으로 터빈 공급사의 수익 모델과 정부 재원의 절충안에 있어 REC 가중치의 유기적인 변동에 초점을 맞추는 방향으로 진행하고 있다. 참여 이해 당사자의 초기 수익률을 REC 가중치 조정을 통해 보존하되 사업 운전 개시 후 매 3년 주기로 조정 역시 고려할 수 있다. 정부는 연구 개발 예산을 통해 터빈 공급자의 비용 부담을 간접적으로 지원하는 방안을 마련하였으나 사업 주체는 직접적인 경제성 보존을 요구하고 있다. 사업 주체인 특수목적법인과 터빈 공급사 간의 터빈 공급협약이 지연은 투자 경제성을 보존하는 방식의 차이 때문이다. 정부는 추가적 재정 지원은 최소화하되 의무할당제 기준을 설정하여 발전사의 민간의 투자를 요구하고 있다.

### 3) 사회적 수용성 확보

수아레즈 비베로(Suarez Vivero)는 해상 풍력 사업에 대해 이해 관계자의 영향력(Influence)과 프로젝트에 미치는 효과(Importance)에 대한 연구를 통해 이해 관계자를 3가지 유형으로 구분하였다. 첫번째 유형은 어촌계, 지역 의회, 환경부, 국방부, 해양수산부, 농림부, 두번째 유형은 금융 기관, 환경단체, 해양청, 세번째 유형은 노동부, 풍력 클러스터, 공급자다. 특히, 첫번째 유형인 어촌계, 환경부 등은 해상 풍력 이해 관계자의 영향력 및 프로젝트에 미치는 효과가 매우 큰 그룹으로 보았다. 특히 어촌계의 사회 수용성 문제는 정부의 인허가와 밀접하게 연결되어 있다(Vivero, 2007). 어촌계의 어업 피해 정도에 따른 보상을 진행하기 위해서는 먼저 해상 풍력에 따른 환경 영향 및 보상 계획에 대한 지역 주민 설명회를 통해 의견을 수렴해야 한다. 이를 통해 지역 대표와의 보상 약정을 체결하고 전문 기관을 통해 피해 정도를 조사해야 한다. 피해 정도에 대한 감정 평가에 근거하여 대상자 별 보상이 진행되는 것이다. 해상풍력실증사업을 추진하는 당위성을 지역 주민에게 설명하기 위해 2013년 4월 30부터 5월 10일까지 추진했던 사전 설명회는 주민들의 반대로 무산되었다. 수협 및 어촌 계장들은 해상 풍력 단지 개발 사업에 따른 조업 구역 축소, 소음·진동으로 인한 주변 어장 피해 등을 주장하였다. 과거

영광 원전 관련 소송이 끝나지 않아 고창군 어민의 양금이 많이 남아 있는 선례도 지역 주민과의 사전적 공감대 형성을 어렵게 하고 있다. 부안군의 경우에도 방폐물 처리장 추진을 주민 동의 없이 진행하면서 부정적 감정이 남아 있는 상황이다. 그 후, 새만금 사업을 추진하여 주민을 설득했지만 어획량이 감소되면서 정부 주도 계획에 대한 불신이 남아있다. 1990년, 영광원자력발전소 건설에 있어 고창·영광·부안 지역 주민과의 충분한 수용성 확보 실패에 대한 피해는 지금까지 이어지고 있다. 사회적 수용성을 확보하기 위해서는 구체적인 피해 규모를 산정하고 보상 등 포괄적인 경제적 효과가 주민에게 긍정적 효과를 줄 수 있음을 입증해야 한다. 또, 환경보전과 주민 생계 피해보상 그리고 해상풍력을 통한 새로운 소득원 창출을 제시할 수 있어야 한다. 실증 단지 개발 예정 해역의 20km<sup>2</sup>는 직접 관련 어업권은 없으나 인근 지역 어업 현황은 신고 어업건수가 10,125건이고 그중 허가 건수는 986건이다. 허가에 따른 조업 구역의 축소 및 유사 확산 피해에 따른 어업피해 현황에 대해 해상 풍력 추진단은 '13년 5월 지역사회 수용성 향상 방안을 논의하고 한국관광공사와 함께 해상 풍력에 따른 관광상품 개발 협의를 진행하였다. 또한 해상수산물개발원 및 수산자원관리공단과는 대체 어장 조성을 통한 소득증대 방안을 논의하였다. 정부는 군산항을 해상 풍력 배후 항만으로 선정하면서 해상 풍력 유지 보수 및 운영에 있어 전문 지원 기지화를 통한 지역 경제 활성화를 홍보하고 있다. 그밖에 새로운 소득원 창출방안을 제시하는 활동으로는 첫째 대체어장에 대한 조성, 둘째 해상풍력단지의 관광상품 개발, 홍보활동을 강화한 현장 견학 상품 등이 제시되고 있다. 새로운 경제적 가치를 창출하는 방안으로 CDM(Clean Development Mechanism) 사업도 검토할 수 있다<sup>9)</sup>. 한전과 발전 6개 사는 2014년 신재생 에너지 사업 추진 계획을 발표하였다. 해상 풍력 사업을 통한 발전 판매 및 구매의 성과를 해당 어민과 공유하고 혜택을 체감하는 어촌마을 참여형 사업이 제시되었다. 또한 한전이 출자하되 펀딩 회사를 통해 이자를 연금 형태로 지급하는 계획 또한 검토하고 있다. 지역 주민과 성과를 공유하는 다양한 방안이 모색되면서 사회적 수용성 확보 노력도 계속되고 있다.

#### 4. 실험의 확대 : 정책배열

100MW 해상 풍력 니치가 설치되어 2.5GW 수준으로 확대를 위해서는 소규모의 해상 풍력 니치를 통해 실험 성공 후 단계적으로 확대해 나가는 방향을 모색해야 한다. 해상 풍력의 니치

9) 서남해 해상풍력발전을 통한 이산화탄소 감축량은 실증단계에서 15.7만톤/년, 시범사업단계에서 62.6만톤/년이 추정된다(KETEP, 2013). 이에 따라 향후 유엔의 CDM 사업으로 등록하여 온실가스 배출권을 확보할 경우 이산화탄소 톤 당 거래가격을 10유로라고 볼 때 실증과 시범사업을 통해 발생하는 이산화탄소 절감에 따른 수익은 매년 121억 원 수준에 이른다(KETEP, 2013)

실험이 확대되어 지속되기 위해서는 기술이 성장해 기술 자체만으로도 효용성을 얻을 수 있도록 보호해야 한다. 기존의 화력 발전 중심의 전력 계통에서 벗어나 점차적으로 분산 전원을 통해 계통 연계한 후 이 기술이 고착화 될 수 있도록 기술 보호가 필요하다. 이를 위해서는 정부와 발전사, 터빈 공급업체 그리고 건설 부문 간의 협업과 비즈니스 관계에 대한 경제적 설계가 필요하다. 또한 제도적 조치를 통해 해상 풍력 발전이 제공하는 경제적 기회를 확보하고 나아가 기술을 산업화함으로써 기업들은 고용을 창출하며 신 수종 사업 개척으로 충분히 활용하는 비전이 공유 되어야 한다. 즉, 주민과의 이해 관계 및 해당 부처의 인허가를 얻기 위해서는 해상 풍력과 지역 단위 분산 전원의 비전을 구체화하고 상호간 신뢰성을 확보해야 한다. 신뢰성 확보를 위해 정부가 추진하는 다양한 정책들이 사회적 비전에 맞추어 일관성 있게 배열되어야 한다. 제도간의 배열에 있어 실행차원에서 서로 어긋나는 틈새가 발생한다. 먼저 타 지역에서 진행 중인 테스트베드(Test Bed) 건설(김녕(14MW), 영광(40MW))을 통해 확보한 기술 학습이 서남해 해상 풍력 단지로 피드백 되는데 틈새가 있다. 기술적 구조물에 대한 실험은 지역별로 서로 다른 지반 구조를 감안하여 피드백 할 수 있는 환경 조건 하에서 실시해야 한다. 둘째는 의무할당 제도에 따라 발전 의무량은 매년 늘지만 풍력 발전을 설치하는 인허가는 여전히 불투명하다. 인허가 취득의 어려움과 지역 민원보상의 여건은 정부의 불명확한 비전과 목표 제시에 따른 실행 제도의 불일치에서 발생한다. 셋째는 서남해 단지에 앞서 추진한 영광, 신 울진발전소 등 정부주도 에너지정책과 지역주민과의 갈등이 원만해 해결되지 못한 부정적 피드백이 여전히 남아있다. 따라서 지역 주민에 관계된 정부의 포괄적 에너지 정책의 설득 정책과 서남해 해상 풍력의 지역 주민 합의 정책이 연계되어 진행되어야 한다.

## V. 결 론

본 연구는 서남해 해상 풍력 사업을 국가 전력 시스템으로 전환하기 위해 정부 주도로 진행되고 있는 니치 실험으로 정의하였다. 새로운 기술 요소 도입을 위한 니치 실험은 기존 정책들과의 모순과 갈등에 직면하게 된다. ‘서남해 2.5GW 해상풍력 개발사업’은 사업 초반 다양한 변수로 인해 추진이 지연되어왔다. 사업을 담당하는 특수목적법인의 설립이 당초보다 지연되었을 뿐만 아니라, 2013년 9월까지 서남해 위도·안마도 지역주민의 의견을 수렴한 뒤에 전원 개발사업 허가를 신청할 계획이었으나 아직 사업 설명회도 개최하지 못하였다. 국방부의 레이더 간섭 이 의제기도 예상치 못한 변수였다. 터빈사 및 해상 구조물 건설, 항구 및 토목 등 다양한 민간 사업자와의 계약 문제도 경제성 보장문제로 협의가 진행 중이다. 당초 초기 투자 비용이 많이

드는 단점이 있으나 육상에 비해 민원의 소지가 적다는 이유로 추진되었으나 인식하지 못했던 환경 및 민원의 문제도 발생하였다. 영광 원전의 사례에서 보여 지듯, 지역주민과의 신뢰성을 어떻게 확보하느냐는 향후 추진될 신재생 에너지 발전단지에 큰 영향을 미칠 것이다. 서남해 해상 풍력 사업은 정부 중심의 위계적 정책들 속에서 위원회, 개별적 프로그램이 공통의 목표에 대한 공유보다는 개별적 활동자체에 머물러 있었음을 확인할 수 있다. 본 연구는 서남해 단지 개발의 착수과정의 문제를 초기 진단하기 위해 전략적 니치관리를 적용하였다. 이를 통해 니치 실험 단계별 요소별로 봉착하고 있는 문제점을 진단하고 기술이 안정적으로 확산할 수 있도록 세가지 정책실행적 대안을 제시하였다. 첫째는 타 지역 해상풍력 실험과 서남해 해상풍력의 계통연계 추진 간의 배열이다. 상호간의 피드백 학습 연계가 필요하다. 둘째는 의무할당제 추진과 해상 풍력 인허가에 있어 발전 의무량에 맞추어 정부의 신재생 인허가의 수준도 맞추어 가야할 것이다. 셋째, 해상 풍력 발전기 단지에 관계된 지역 주민과의 사회적 갈등상황 조정을 위해서는 지역에 연계된 타 에너지 정책 사업인 발전소 건설 등과 연계된 설득 합의 정책이 진행되어야 한다. 이러한 혁신 틈새에 대한 논의는 향후 서남해 이외에서 논의되고 대형 신재생에너지 발전 프로젝트의 추진에 있어 예방적 피드백 역할을 할 것이다. 그러나 니치실험이 확대되고 사회 전환으로 나아가기 위한 방안을 마련함에 있어 인허가, 보상, 전력 계통 연계, 터빈 제작 및 인증, 시공에 대한 단편적 접근으로는 한계를 가지고 있다. 단지 개발에 관계된 다양한 개별적인 정책들은 각자의 논리가 있기 때문에 절충되거나 타협되기 어렵다. 서남해 해상 풍력 발전의 니치가 착수되고 성장하기 위해서는 각 부문의 정책 간 상호 작용과 양립 가능성을 높여야 한다. 또, 이에 대한 관련 정책의 통합적인 배열에 대해 심층적 추가 연구가 진행되어야 할 것이다.

## 참고문헌

- 국가에너지위원회 (2008), 「제1차 국가에너지기본계획(2008~2030)」, 서울.
- 국회예산정책처 (2010), 「신재생에너지보급사업평가」, 서울.
- 권태형 (2012), “신재생에너지 시장확대를 위한 정책수단의 비교”, 「정부학연구」, 18(1).
- 김병윤 (2008), “네덜란드의 에너지전환”, 「STEPI Working Paper」, WP-2008-08.
- 김태은 (2009), “제도변화와 대체요인으로서 딜레마 대응에 관한 연구: 신, 재생에너지 발전차액지원제도를 중심으로”, 「한국행정학보」, 43(4): 179-208.
- 박동우·송위진 (2008), “지속가능한 기술을 향한 새로운 접근”, 「과학기술학연구」, 8(2): 57-81.
- 박상욱 (2011), “수소경제 실현가능성 제고를 위한 전략적 니치 관리”, 「한국수소 및 신에너지

학회 논문집」.

- 산업통상자원부 (2008), 「제3차 신재생에너지 기술개발 및 이용보급 계획」, 서울.
- 산업통상자원부 (2008), 「제4차 전력수급기본계획」, 서울.
- 산업통상자원부 (2011), 「서남해 2.5GW 해상풍력 종합추진계획」, 서울.
- 산업통상자원부 (2011), 「해상풍력추진로드맵」, 서울.
- 산업통상자원부 (2013), 「제6차 전력수급기본계획」, 서울.
- 성지은·정병걸·송위진 (2012), “지속가능한 사회기술시스템으로의 전환과 백캐스팅-네덜란드의 지속가능한 교통·식품·가정 시스템 전환 사례를 중심으로”, 「과학기술학 연구」, 2.
- 송성수 (2002), “한국 과학기술정책의 특성에 관한 시론적 고찰”, 「과학기술학연구」, 2(1).
- 송위진 (2001), “기술선택의 정치과정과 기술학습”, 「과학기술학연구」, 1(1): 179-200.
- 송위진 (2003), “사회기술시스템과 과학기술혁신정책”, 「한국기술혁신학회」, 16(1).
- 신정희 (2011), “에너지공급에 있어 국가의 과제와 지속가능한 재생에너지 보급촉진제도”, 「부산대 법학연구」, 52(4).
- 에너지경제연구원 (2010), 「유럽의 해상풍력 정책방향에 관한 연구」, 산업통상자원부.
- 오오시마 겐이치 (2013), 「재생에너지의 정치경제학」, 아카데미프레스.
- 이재훈 (2010), 「녹색성장과 에너지지원전략」, 서울: 나남출판.
- 임성진 (2005), “지구온난화방지를 위한 독일의 에너지정책”, 「국제정치논총」, 45(3).
- 조성봉·김진우 (2000), 「전력산업의 개혁방향과 주요 정책과제」, 에너지경제연구원.
- 한국수력원자력 (2013), 「원자력발전백서」, 서울.
- 한국에너지기술평가원 (2013), 「해상풍력기반조성연구」, 산업통상자원부.
- Bijker, W., Hughes, T and Pinch, T.(eds) (1987), *The Social Construction of Technological Systems*, MIT Press, Cambridge, MA.
- Bosselman, F. (2006), “Energy, Economics and the Environment: Cases and Materials”, *Energy, Economics and the Environment: Cases and Materlals*, Foundation Press.
- BTM Consulting (2011), *Offshore Wind Energy Operation and Maintenance*, Wind Energy Update.
- de Vivero, Juan, L. S. and Inmaculada, M. A. (2007), “An exercise in Stakeholder Analysis for a hypothetical offshore wind farm in the Gulf of Cadix”, *Science and Policy Integration for COastal System Assessment*, SPICOSA Draft Report.
- Dexia Hypothekenbank Berlin AG (2007), *Alternative Energies*, Equitiy Research Sector Report.

- Dosi, G. (1982), "Technological Paradigms and Technological Trajectories: A Suggested Interpretation of the Determinants and Directions of Technical Change", *Research policy*, 11(3): 147-162.
- Elzen, B., Geels, F.W. and Green, K. (2004), "System Innovation and the Transition to Sustainability: Theory", *Evidence and Policy*, Edward Elgar.
- EZ (2004), *Innovation in Energy policy : Energy Transition : State of Affairs and the Way ahead*.
- Fisher, M. L. (1997), "What is the Right Supply Chain for your Product?", *Harvard business review*, 75: 105-117.
- Geels, and Frank W. (2002), "Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study", *Research policy*, 31(8): 1257-1274.
- Geels, and Frank W. (2004) "Understanding System Innovations: A Critical Literature Review and a Conceptual Synthesis, System Innovation and the Transition to Sustainability: Theory", *evidence and policy*, (2004): 19-47.
- Geels, and Frank 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): 897-920.
- 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.
- IEA (2011), *Energy Prices & Taxes, 4th Quarter*, OECD.
- Kemp, R. and Loorbach, D. (2005), "Dutch Policies to Manage the Transition to Sustainable Energy", in *Jahrbuch Ökologische Ökonomik 4 Innovationen und Nachhaltigkeit*, MetropolisVerlag, Marburg, 123-150.
- Lundvall, B. (1992), "National System of Innovation-Toward a Theory of Innovation and Interactive Learning", *Research Policy*, 24(2): 320.
- Mah, Ngar-yin (2012), "Governing the Transition of Socio-Technical Systems : A Case Study of the Development of Smart Grids in Koera", *Energy policy*, 45: 133-144.
- Malerba, F. (2002), "Sectoral Systems of Innovation and Production", *Research policy*, 31(2): 247-264.
- Nelson, R. R. and Sidney, G. w. (1982), "An evolutionary theory of economic change",



*Harvard Business School Press, Cambridge.*

Pavitt (1984), "Patterns of Technical Change: Towards a Taxonomy and Theory", *Research Policy*, 13(6): 343-373.

Sterrenberg (2013), *Low Carbon Transition through system innovation : theoretical notions and application*, pioneers into practice mentoring program.

Van der Linden (2005), "Review of international experience with renewable energy obligation support mechanisms", *Netherlands: Petten*, ECN-C-05-025.

#### 김봉균

고려대학교 그린스쿨(에너지환경정책기술대학원)에서 박사과정을 수료하고 현재 에너지기술평가원에 재직 중이다. 관심분야는 전략적 니치관리를 통한 에너지전환정책, 에너지기술 혁신체제, R&D기획평가, 등이다.

#### 김덕영

고려대학교 그린스쿨(에너지환경정책기술대학원)에서 석사과정을 수료하고 현재 (주)에코아이에서 목표 관리제 및 배출권거래제 전략수립을 담당하고 있다. 관심분야는 기후변화 정책 연구, 배출권거래제 전략수립 등이다.

#### 김경남

홍익대학교에서 "재무관리" 전공으로 경영학 박사학위를 취득하였으며, 현재 고려대학교 그린스쿨대학원 (에너지환경정책기술전문대학원) 교수로 근무 중이다. 주요 연구 분야는 에너지·환경 분야의 기술 정책, 비즈니스 연구(금융, 경제성분석) 등이다.

#### 김동환

서울대학교에서 금속공학으로 석사학위를 받았으며, 미국 스탠포드 대학교에서 재료공학 박사학위를 받았다. 현재 고려대학교 신소재공학과에서 교수로 근무 중이다. 2004년~2008년까지 5년간 산업통상자원부 태양광사업단 단장을 역임하였다. 실리콘 태양전지를 연구하고 있으며 국제전문학술지에 140여편의 논문을 발표하였다.