

# A Study on Technology Innovation Framework through Analysis of RD&D Cases in Electric Power Industry

## 전력산업 RD&D 실증사례 분석을 통한 기술혁신 프레임워크 설정에 관한 연구

Sooman Park  
박수만

KEPCO Research Institute, Korea Electric Power Corporation, 105 Munji-ro Yuseong-gu, Daejeon 34056, Korea  
sooman.park@kepc.co.kr

### Abstract

This study aimed at proposing a RD&D good practice policy guidelines for energy technology innovation in electric power industry, we identified the success factors on energy RD&D through representative case analysis such as energy RD&D demonstration project and strategy plan, technology road map, etc. Based on a successful case study, we have identified the key elements needed to suggest when setting a RD&D technology innovation policy framework for technological competitiveness in the power industry sector. We have presented guidelines for energy technology innovation direction from the full cycle perspective of RD&D. The energy RD&D innovation system that we have established is meaningful in that the implications are derived and reflected through the case analysis of developed countries. The results of this study are as follows; Enhancement of R&D investment performance, commercialization of research achievements, promotion of export industrialization of electric power industry, establishment of RD&D governance system of power energy, etc.

*Keywords: Electric Power Industry, Energy Technology RD&D, Energy RD&D Strategy and Priorities, Government RD&D Funding and Policy Support, Energy RD&D Governance*

### I. 서론

현재 전력산업은 2015년 신기후체제 출범을 계기로 공공·민간 부문 모두 청정에너지 기술 혁신을 위한 노력을 경주하고 있다. 또한 인공지능, IoT 기술 등 4차 산업 혁명이 가속화되면서 기존 에너지산업과 서비스 간 융합 등을 통한 새로운 시장이 창출·확산되고 있다. 이러한 트렌드 변화에 맞춰 세계 각국은 전력에너지 등에 대한 투자를 경쟁적으로 확대하고 있다. 우리나라의 에너지 R&D에 대한 투자규모는 Table 1과 같으며 2010년 기준으로 국내 총생산(GDP) 비중 측면에서는 0.06%로 미국의 2배 수준이며, 절대치에서도 OECD 국가 중 5위의 수준으로 비교적 높은 투자를 하고 있다 [1]. 하지만 KISTEP(2014)의 기술수준평가에서는 우리나라의 에너지의 기술 수준은 세계 최고기술보유국 대비 스마트 그리드 기술은 90.3%로 상대적으로 높은 수준이나, 전 에너지부문으로는 77.9%, 기술격차 약 4.6년으로 미국, 일본, EU 등 선진국에 비해 낮은 상황이다 [2]. IEA(2012)의 한국 에너지 정책보고서에 따르면 한국은 신재생에너지 및 저탄소 발전 기술개발과 R&D 투자 효율의 극대화에 집중하고, 민간 부문의 투자확대를 위한 정책적 보완장치를 강화해야 한다고 권고하고 있다 [3].

따라서 글로벌 공통 현안으로 대두되고 있는 기후

변화 대응과 에너지 신산업 육성 등을 목표로 우리나라도 핵심기술개발 역량을 강화하고 연구결과물의 상용화 및 시장진입 촉진, 기후 신산업 모델을 창출하여야 한다. 이를 위해서는 에너지 신산업 분야를 중심으로 실증 연구 강화와 민-관 협업 생태계 조성, 전력에너지기술에 대한 사업화와 진흥 기능 강화 등과 같은 시장과 기술 중심의 새로운 패러다임으로 기술혁신 프레임워크를 제시할 필요가 있다.

본 연구에서는 기술혁신 정책 방향성 검토를 위해 미국, 일본, 중국, EU 등 해외의 대표적 RD&D 실증 프로젝트의 성공사례 분석과 IEA, 전문가 등이 권고하는 기술혁신정책 문헌 분석, 국내외 에너지기술 정책 비교 분석 등을 수행하고 전력산업 분야의 기술경쟁력 제고를 위해 필요한 핵심 요소 도출과 이를 고려하여 정책 방향을 제시하였다.

### II. 전력산업 전망 및 전력 기술의 속성

#### A. 전력산업의 현황 및 전망

전 세계의 전력 발전량은 2012년에 21.6조 kWh에서 2020년에 25.8조 kWh, 2040년까지 36.5조 kWh 규모로 증가할 것으로 전망되고 있다. 전력은 소득수준 향상에 따

Table 1. 우리나라 에너지부문 연구개발비 투자현황

		~2005	2006	2008	2010	2012	2014	계
에너지R&D	정부	12,343	3,766	5,358	6,680	7,126	6,933	67,290
총 투자규모	정부+민간	18,518	6,398	9,154	10,984	12,235	16,735	119,466
전력R&D	정부	2,863	997	1,234	1,136	673	726	11,897
	정부+민간	4,811	2,025	2,281	2,531	1,517	1,178	22,592

\* KETEP(2015), 2014 에너지R&D통계집(전력분야 공공 및 민간 섹터의 자체 연구개발비는 미포함)

Table 2. 세계 발전원별 전원Mix 구조 변화 전망 (2012~2040년)

		2012	2020	2025	2030	2035	2040
발전량 전망(조 kWh)		21.6	25.8	28.4	30.8	33.6	36.5
전원 비중 (%)	석유	5.1	3.5	2.5	1.9	1.8	1.6
	천연가스	22.2	20.5	22.2	24.4	26.2	27.7
	석탄	39.8	37.6	35.6	32.8	30.7	29.0
	원자력	10.6	12.0	12.0	12.7	12.8	12.3
	신재생	21.8	26.7	27.8	28.2	28.6	29.0

\* EIA (2016), International Energy Outlook 2016

라 세계적으로 가장 빠르게 증가하는 에너지원으로 이를 공급하기 위한 전력공급 인프라가 지속적으로 개발되고 있다. 전 세계의 GDP는 2005년부터 2012년까지 연평균 3.7% 성장한 반면, 세계 발전량은 연평균 3.2% 증가를 기록하였으며, 2012년부터 2040년까지 세계 GDP는 연평균 3.3% 성장하고, 발전량 증가율은 1.9%에 해당할 것으로 전망되고 있다 [4].

주요 국가들은 발전 부문의 화석연료 이용 축소를 통한 온실가스 배출 감축 정책의 추진이 예상되므로, Table 2와 같이 세계의 전원 Mix는 새로운 변화에 직면할 것으로 전망되고 있다. 특히, 미국의 청정에너지 정책, 중국의 재생에너지 확대정책, EU의 2030에너지 기본 목표 등은 주요국이 추진하고 있는 대표적인 청정에너지 정책이다. 세계 각국이 COP21 (Conference of Parties, 2015.12, 파리)에 제출한 국가별 기여방안 (INDCs: Intended Nationally Determined Contributions) 이행을 위한 세부 정책들은 향후 세계의 전원 Mix 구조변화 요인으로 작용할 것으로 전망하고 있다.

EIA(Energy Information Administration)에서 2016년에 발표한 에너지 전망(International Energy Outlook 2016)에 따르면 세계의 석탄 발전은 석탄 이용을 감축하기 위한 국가 정책 또는 국제적 합의에 따라 향후 수요 전망이 크게 변화할 것으로 예상됨에 따라 석탄 발전 비중은 2012년 40%에서 2040년에 29%로 감소할 것으로 전망하고 있다. 천연가스는 재생에너지 다음으로 가장 빠르게 증가하는 발전용 에너지원으로 2012년부터 2040년까지 연평균 2.7% 추세로 성장할 것으로 예측되며, 이에 따라 발전부문 비중은 2012년 22%에서 2040년 28%로 증가할 것으로 전망된다. 신재생에너지는 2012~2040년 기간 중 연평균 2.9% 증가하여 전 세계 발전 비중은 2012년 22%에서 2040년 29%로 증가할 것으로 전망된다.

한편, 우리나라 발전설비 규모는 세계 13위 수준으로 2016년말 기준 총 105 GW 규모로 2005년 62 GW 대비 약 69% 정도 증가하였다. 제7차 전력수급계획에 따르면 2029년 기준의 전력수요는 112 GW로 적정 설비에 비율 22%를 고려한 총 필요 발전설비 용량은 137GW로 증가될 것으로 전망되며, 동 기간 동안 신규 설비 및 건설 중인 확정 설비를 포함한 투자규모는 총 60조 원이

소요될 전망이다 [5].

우리나라의 전력 설비는 1980년 이전은 대부분 외국 자본과 기술, 기자재에 의해 의존하고 턴키방식으로 건설되었으나, 제4차 전원개발계획에 따라 전원개발방식을 외국 주도의 턴키방식에서 국내 주도형으로 과감한 정책 전환을 시도하면서 기술축적 및 기술 자립, 기자재의 국산화 등으로 국내 전력기술의 발전을 가져온 계기가 되었다. 이를 통해 1990년대에는 한국형표준화력인 500 MW급 초임계압발전소를 보령화력에 처음 설치한 이후 25여기 이상이 건설되었고, 2000년 이후에는 1,000 MW급 초초임계압발전 설계기술을 개발하고 2011년부터 신보령화력에 건설하고 있다. 전력망은 1970년대 중반까지 154 kV계통에 의지했으나, 1976년 345 kV 송전망을 통한 최초 송전에 성공하여 초고압 송전 시대를 열었으며, 1998년에 준공한 당진화력-신당진변전소 간 765 kV 송전선로는 국내 기술로 개발·설계·시공함으로써 세계에서 몇 안 되는 고전압 대전력 기술 보유국이 됐다 [6]. 이를 바탕으로 국내 전력산업계는 지난 반 세기 동안 급속한 경제성장에 따른 전력수요의 급증을 효과적으로 대처하는 등 짧은 기간 내에 전력산업 가치사슬 전반에 걸쳐 숙련된 인력과 폭넓은 기술을 보유하게 되었다.

향후 글로벌 전력산업은 신기후변화 체제의 대응, 신재생에너지의 확대, 비전통적 화석연료의 개발과 보급, 스마트그리드 보급 및 ICT기술과의 융합으로 인한 전력산업 구조변화, 주요 국가들의 전력설비 노후화, 전력산업부분의 무역시장 활성화 등과 같은 주요 이슈를 해결하는 방향으로 기술혁신과 전략적 R&D투자가 이루어질 것이다.

## B. 전력 기술의 속성 및 정부·공공 등의 역할

전력산업은 대규모 자본투자가 이루어지는 장치산업이며 발전·송배전이 수직적으로 연결된 네트워크 산업이다. 전력기술 역시 막대한 투자규모 및 높은 실패 위험, 기술의 비배제성과 공공재적 특성 등 외부효과가 큰 범용성 기술로 기술개발 성과를 특정기업이 독점하기가 곤란하다. 따라서 미국, EU, 일본 등 대부분의 국가에서는 전력기술연구개발을 정부와 공공기관이 주도하고 산학연이 파트너십을 구성하여 기술개발을 수행하는 시스템

Table 3. 미국의 청정석탄발전 기술 실증 프로그램 사례

프로그램	지원기간	총투자비용	목적 및 성과
CCTDP	'85~'06	\$3.25B (1.3B/DOE)	신발전, 환경제어 등 청정석탄기술의 실증, 상용화 - 5차에 걸쳐 57개 프로젝트 선정, 33건 실증 사업 완료
PPII	'00~	\$71M (\$30M/DOE)	기존 및 신규 석탄발전설비의 효율향상 등 상용화 규모 실증 - 1차에 걸쳐 8건 선정, 4건 완료, 취소 3건, 중단 1건
CCPI	'02~	\$8.25B (\$1.5B/DOE)	석탄 발전의 이용률 및 신뢰성 신기술의 보급 가속화 - 3차에 걸쳐 18건 선정, 4건 완료, 진행 4건, 철회 7건 등
FutureGen	'04~'20	\$0.95B (\$0.62B/DOE)	IGCC, CCS 등을 포함한 Zero Emission 플랜트 실증 - 비용절감 및 기술혁신에 실패하여 중단(2010)
	'10~	\$1.3B (\$1.05B/DOE)	Oxy-Coal Carbon Capture & Storage

\* 미국: Clean Coal Demonstration Programs(www.netl.doe.gov)

- CCTDP (Clean Coal Technology Demonstration Program), PPII (Power Plant Improvement Initiative), CCPI (Clean Coal Power Initiative)

Table 4. 일본의 청정석탄발전 기술개발 로드맵 예시

Project	Eagle(Step 1~3)	Nakoso IGCC	Osaki CoolGen	Commercial Plant
	Pilot Plant	Commercial	Demonstration Plant	
Year	1995~2013	2001~2006	2012~2021	(2020's)
Feed Rate	150 ton/day	1,700 ton/day	1,180 ton/day	(3,500 ton/day)
Technology	IGCC+CCS	IGCC(Air-blown)	IGCC/FC +CCS	
Place	Fukuoka	Fukushima	Hiroshima	
Output	8 MW	250 MW	166 MW	(500 MW)
Operation	2002~	2007~	2017~(IGCC) 2019~(IGCC+CCS) 2020~(IGFC+CCS)	

\* 일본: Overview of NEDO's CCT Development (www.nedo.go.jp)

- Eagle (coal Energy Application for Gas, Liquid and Electricity) project

템을 운영한다. 이는 기술개발을 주도한 기업이 R&D 성과를 전유하거나 또는 타 기업이 그 성과를 침해하는 것을 막기 어렵기 때문이다.

이와 같은 전력 기술의 특성 때문에 대부분의 국가에서 전력 및 에너지 RD&D를 지원한다. 예를 들면 CO<sub>2</sub> 배출저감, 청정에너지 기술 등은 공공재적 특성이 매우 강하고, 이들의 성과물이 합리적인 시장 가격에 도달하는 시점을 예측할 수 없다. 그리고 민간의 자발적 참여와 투자를 유인하기가 어렵기 때문에 인센티브나 정책 및 제도적 지원 등이 필요하다.

정부 정책 지원의 또 다른 이유는 기술개발 및 성과를 실증·상용화하는 전주기 과정에서 거쳐야 하는 죽음의 계곡(Valley of death) 문제이다. 전력시스템은 장기간에 걸친 기술개발과 실증·상용화의 단계를 거치는데, 특히 실증·상용화 과정에서 장기간에 걸친 막대한 투자비로 인한 경제성 확보의 불확실성, 와해성 기술 출현 등의 기술적 리스크, 정부정책 변동에 따른 규제 리스크 등 때문에 민간 부문이 주도하는 신기술 실증 연구의 추진이 어려운 구조이다.

또한, 전력기술 혁신 전략은 일반적으로 Market pull의 전략보다는 Market pull과 technology push 전략을 적절히 조화시켜야 한다. 일반 산업분야는 개발된 신기술이 상용화에 근접할수록 정부 지원과 역할은 줄어들고 민간의 역할과 책임이 증가하면서 실증·상용화에 대한 민간의 투자를 확대하는 Market pull의 혁신 전략이 널리 이용된다. 하지만 전력 및 에너지 기술은 상기의 기술 특성을 고려하여 technology push 전략에 따른 시장의 시그널을 참여자들이 확신할 수 있도록 해야만 민간 등 참여자들로부터 더 많은 투자를 유인하고 기술혁신을 앞당기는 효과적인 방법으로 입증되었다 [7].

전력 및 에너지 기술은 이와 같은 속성으로 개발단계부터 상용화까지 수십억 달러이상의 막대한 비용이 요구되기 때문에 국가나 공공부문이 중요한 시장의 시그널을 장기적이고 반복적으로 제공하여야 한다. 기술혁신 전략은 개발단계에 따라 혁신의 주체, 프로젝트, 재원조달 방식, 민간과 공공의 역할 등이 상이하므로 그 요건도 상이하게 설계되어야 한다.

### III. 글로벌 에너지 RD&D 실증 사례 및 기술혁신 정책 구조 분석

#### A. 글로벌 전력·에너지 RD&D 실증 혁신 사례 분석 - 발전부문 중심으로

미국은 청정석탄발전기술의 개발 및 상용화를 위해 CCTDP, PPII, CCPI, Vision 21, FutureGen 등 Table 3과 같은 다양한 정부 주도의 RD&D 프로그램과 Initiatives를 통해 상용화 규모의 실증 프로젝트를 지원하고 있다. DOE는 이들 프로그램의 재정적, 기술적 리스크를 줄이기 위해 DOE, 비연방 공공단체, 사용자 및 기술 개발자 간에 비용 분담 파트너십 체결, 프로젝트에 대한 중간평가를 통해 계속, 중지 등을 결정하며, 착수 과제 중 50%가량을 중지하는 등 과제의 지속/중단 여부에 대한 의사결정을 시행하였다. DOE 프로그램은 성공과 실패를 경험하면서 정부-연구계-산업계의 파트너십 강화, 투자비 분담 등 산업계와의 역할 정립, 실증 사업에 대한 정부의 지속적인 지원 및 이에 대응하는 연구기관에 대한 책임 부과, 신기술에 대한 산업계의 피드백 강화, 실제 사용자 환경에서의 상용화 규모 실증 수행, NEPA (National Environmental Policy Act) 규정에 따른 프로젝트의 환경적 영향 검토

Table 5. 중국의 전력기술(HVDC) 기술 자립 및 실증 사례

기술 자립 추진 (1980~1987)	제작기술확보 단계 (1989~2002)	기술도입 단계 (1999~2009)	기술 성숙기 (2010~)
Pilot 프로젝트 추진	ABB, Siemens 터키 일부 물량 국내제작	기술협력, 기술이전, 기술훈련 노하우 확보	±800 kV 공동 설계 제작

등의 제도개선을 이뤄냈다.

일본은 정부 주도로 선샤인계획, 문라이트계획, 뉴 선샤인계획, Cool Earth 등의 청정발전기술개발계획을 중장기 관점에서 지속적으로 추진하고 있다. 이들 프로그램내에 있는 Eagle Project, Osaki CoolGen Project, 노후 석탄발전소 성능 복구 Project 등의 대형 기술개발을 통해 A-USC, IGCC, IGFC, CCS, 가스터빈 등을 집중 개발하였다. 초초임계압발전 플랜트(USC)는 1981년부터 20여년에 걸쳐 정부지원하에 EPDC 주관으로 전력회사·발전설비 제작사·소재 메이커 등 관련 산·학·연이 참여하여 1단계('83~'94)에 소재 및 설계 기술 개발 및 50 MW급 Demo Plant 구축, 2단계('94~'01)에 1,000 MW기술의 실증과 상용화를 달성하였다. 또한, 일본의 IGCC 실증 사업은 2001년 정부와 협력하여 동경전력 등 9개 전력 회사, J-POWER, CRIEPI, MHI 등이 공동 출자하여 Clean Coal Power R&D Co. Ltd.를 설립하고, 이를 중심으로 진행된 Eagle 프로젝트를 통해 2007년 나코소 발전소에 250 MW IGCC 실증 플랜트를 성공적으로 구축·운영하였으며, 본 프로젝트의 기술개발은 1980년대부터 시작하여 1983년 2톤/일급, 1997년에 200톤/일급, 이후에는 2,000톤/일급으로 격상하면서 개발 및 실증·보급의 과정을 거쳤다. 일본의 청정석탄발전 기술로드맵은 Table 4와 같다.

중국의 전력산업은 풍부한 내수시장을 바탕으로 외자유치 혹은 국제 협력사업을 통해 기술을 습득하여 자립하는 과정을 통해 핵심기술의 국산화를 추진하는 것이 특징이다. USC의 경우 GE, MHI, Siemens 등의 글로벌 제작사의 설비와 기술도입, 중국의 제조업체인 동방중기터빈유한회사, 하얼빈중기터빈 유한회사 등이 참여하여 제조기술을 확보하였다. IGCC는 GreenGen 계획에 따라 과학기술부 등 정부부처의 지원 하에 국영 화넝그룹을 중심으로 8개의 전력회사가 참여하는 GreenGen Ltd. Co를 설립하여 250MW급 IGCC를 2012년 준공하였다. HVDC 경우에도 자국내 프로젝트 수요를 기반으로 중앙정부 및 지방정부의 확고한 지원정책과 지원, 제작사의 참여, 전력공기업의 사업화 추진, 기술도입 등 적극적 기술 확보 추진, R&D 기관간의 협업 등을 통해 장기간에 걸쳐 기술 자립에 성공한 사례로 Table 5와 같다.

유럽은 청정발전기술에 대한 유럽연합의 장기 계획 하에 30년 이상 여러 프로그램을 통해 꾸준히 추진하였다. 80년대 COST 501 프로그램을 비롯하여 후속 Thermie, Comtes 700, NextGen Power, Macplus 등 프로그램들이 EU 회원국 내의 산학연 간 역할을 구분하여 컨소시엄을 구성하여 개발·실증하였다. 차세대 화력발전기술인 A-USC의 경우 Thermie 프로그램을 통해 개발된 플랜트 기술을 실증하기 위해 유럽연합의 FrameWork 프로그램에 반영하여 EU, 전력 기업 및 민간 제조사가 각각 부지 제공, 실증 설비 공동 투자 등을 통해 본 기술을 실증하였다.

## B. 국내 전력산업 RD&D 현황분석 및 문제점 고찰

상기 III.A절에서 제시한 글로벌 전력산업 RD&D 사례를 국내 실정에 맞게 접목하기 위하여 국내의 전력산업 RD&D의 현상 진단을 수행하였다. 이를 위해 에너지 공기업을 포함한 산·학·연·정 등 모든 주체가 참여하는 전력R&D포럼을 운영하였으며, 본 포럼에서는 국내의 전력산업 RD&D 현상과 문제점을 진단하고 다음과 같은 시사점을 도출하였다.

먼저, 연구과제 기획단계에서 수요자의 니즈의 반영이 미흡한 것으로 나타났다. 이는 과제의 기획 및 발굴이 학계와 출연연구소 등에 의해 주도되었고, 이러한 현상으로 특히 전력산업 RD&D 사업화 성공률이 19.1%로 원자력(40.4%), 신재생에너지(36.8%) 등과 비교해 저조한 것으로 나타났다 [8].

둘째는 RD&D 성과평가 시스템의 보완이다. 연구과제를 모니터링하는 시스템은 잘 갖춰진 것으로 평가되는 반면 기술의 수명 주기를 고려한 단계별 지속/중단 평가 체계가 미흡한 것으로 도출되었다. 미국의 CCTDP와 CCPI 프로그램의 경우 RD&D 단계별 평가를 통해 각각 경쟁력이 없는 프로젝트를 취소하거나 중단시키고 있다.

셋째는 기술의 상용화를 촉진하기 위해서 체계적인 성능시험 및 인증, Track Record 확보 등의 실증 서비스를 제공할 수 있는 전력 R&D 종합 실증 설비가 필요하다. 스페인의 CIUDEN 프로젝트(CCS, CFB, Pulverized Coal Boiler 실증단지 운영), 일본 MHI의 T-Point(가스터빈), 독일 Ampacity(초전도케이블 실증) 등의 사례처럼 기술 선진국인 미국, 일본, 유럽 등에서는 청정 발전, HVDC 등 전력 신기술의 실증을 정부 주도로 추진하고 있다.

그 밖에 도출된 개선사항으로는 현행 전력 RD&D 체계에서는 실증과정에서 발생하는 각종 리스크를 분산할 수 있는 제도 및 법규가 미흡한 것으로 평가되므로 이에 대한 대책이 필요하며, 전력산업 RD&D 거버넌스 체계 내에서 진흥 기능이 미흡하므로 기술의 상용화와 보급을 담당하는 기능 강화, 국가와 공공부문 등에서 수립한 로드맵 간의 연결 관계가 명확하지 않아 기술 전략의 일관성이 훼손될 수 있고, 국내 전력산업의 확장성 한계를 극복하고 수출산업화를 위한 동반성장 생태계의 구축 등이 필요하다는 이슈가 도출되었다.

## C. 전력산업 RD&D 혁신을 위한 정책 구조 분석

전력에너지산업의 기술적 특성으로 인해 다른 산업 분야와 달리 상업화까지의 기술개발 전체 과정에서 정부와 공공분야의 정책지원과 역할이 중요하다. 2010년 IEA에서 발행한 에너지 기술로드맵에 따르면 전력 및 에너지 기술개발과 상업화에 따른 기대이익이 민간의 자발적 동기부여에 충분한 수준이라 할지라도 시장 메커니즘에 의한 기술개발, 상업화의 속도를 가속화하거나 초기시장 형성(Early adoption)을 유인하기 위해서는 여전히 정부의 역할이 중요하다고 제시하고 있다.

따라서, 정부의 전력·에너지 기술 정책은 전력 시장의 수요와 공급의 문제와 더불어 기술혁신이나 환경보호 등과 같은 외생 변수가 추가됨에 따라 발생할 수 있

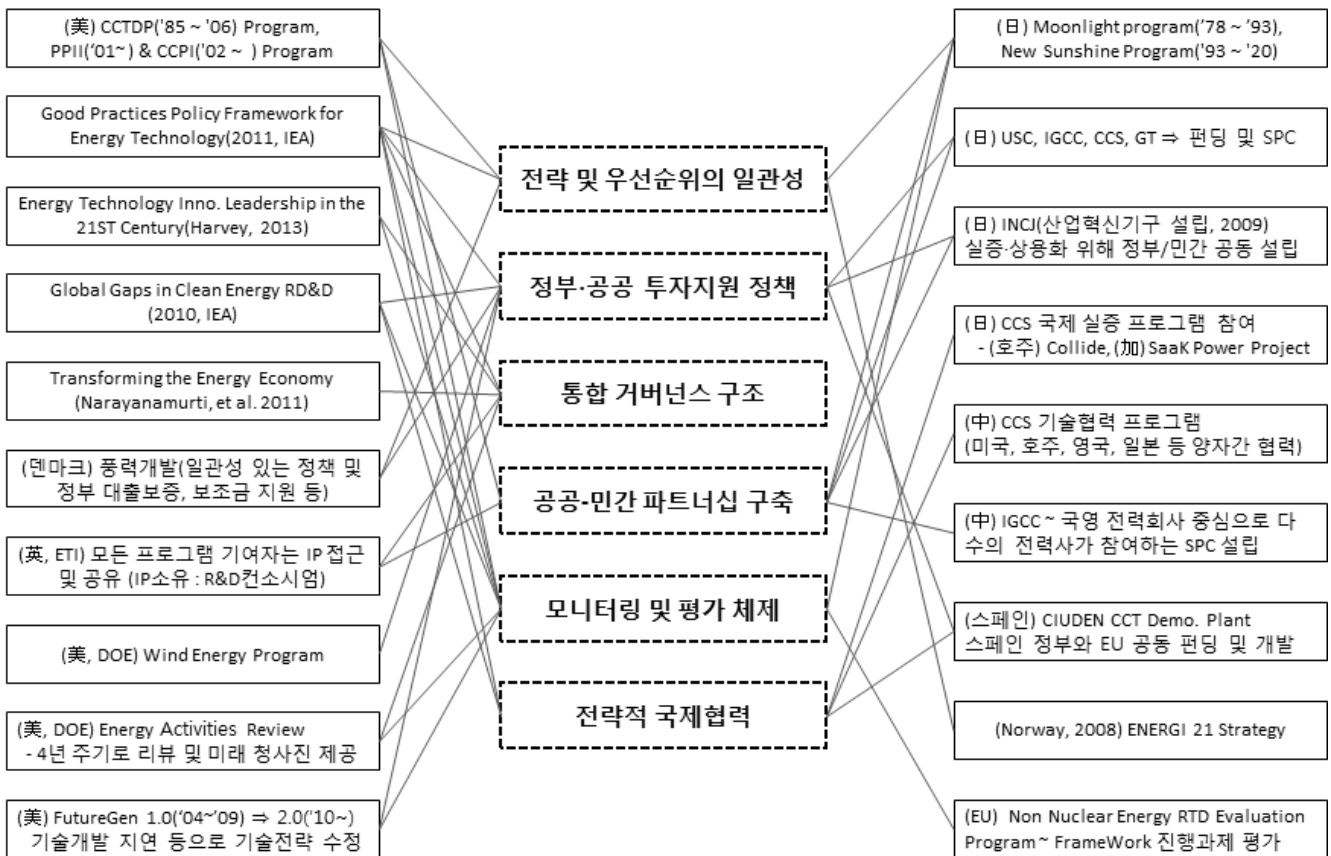


Fig. 1. 에너지 RD&D 대표 사례 및 기술정책 문헌조사를 통해 도출한 기술혁신정책 프레임워크.

는 시장실패의 문제를 해결하는 방향으로 수립해야 한다. 전력·에너지기술 혁신은 연구 단계, 엔지니어링 개발 단계, 그리고 상업화단계로 구분할 수 있으며, 각 단계 별로 혁신 주체, 프로그램, 재원조달방식, 민간과 공공부문의 역할이 상이하므로 정책 요건도 상이하게 설계되어야 한다 [9].

첫째, 연구 단계는 혁신 성공률을 높이기 위해서는 연구주체에 관한 네트워크가 규모에 도달하도록 혁신 허브에 자원을 집중하고, 조기에 실패를 발견하여 중지시킬 수 있도록 stage gate 연구를 진행하여야 한다. 둘째, 엔지니어링 개발단계에서는 연구 아젠다 도출에 반드시 민간이 직접 참여할 수 있도록 하고 정부주도의 연구 플랫폼을 구축하여 민간과 공유해야 한다. 셋째, 상업화단계에서 에너지시스템은 수십억 달러 이상의 비용이 투입되므로 정부는 민간이 투자를 확신할 수 있도록 시장의 신호를 장기적 또는 영구적으로 제공하는 한편 세계 혜택이나 보조금 등에 유동성을 부여하여 기술이 채택되고 거래될 수 있도록 반영해야 한다.

무엇보다, 정부와 공공부문의 기술혁신 정책은 민간 부문의 RD&D 활동을 촉진하는 실행수단임과 동시에 제약요인이 될 수 있으므로 전력·에너지 시스템에 대한 국가비전을 공유하고 정부와 민간의 투자가 서로 배제하는 리스크를 줄이는 유연한 방향으로 설계하는 것이 보다 효과적이다 [10].

전력에너지 RD&D 사례조사를 바탕으로 도출된 주요 요소는 Fig. 1과 같고, 전력에너지 RD&D의 혁신 정책 프레임워크를 설계할 때는 RD&D 전략과 투자 우선순위

의 일관성 유지, 적정 규모의 공공 재정 및 정책 지원, 상호 공조된 RD&D 통합 거버넌스 구축, 공공-민간 부문간 파트너십, RD&D 활동에 대한 모니터링 및 평가체계, 전략적 국제협력 체계 등의 요소들을 고려해야 성공적으로 개발·실증·상용화로 이어질 수 있다.

#### IV. 전력산업 기술경쟁력 강화를 위한 RD&D 혁신 전략

본 연구에서는 국내 전력산업의 기술경쟁력 강화를 위해 글로벌 에너지부문 RD&D 혁신 정책 구조 분석, 선진국 전력산업 RD&D 실증 혁신 사례조사, 기타 문헌조사 등을 통해 RD&D의 전주기 관점의 이슈를 분석하여 기술혁신정책 프레임워크를 도출하였으며, 이를 바탕으로 RD&D 투자성과 제고, 실증 RD&D 확대를 통한 연구성과물의 상용화 촉진, 전력산업 수출 산업화 촉진, 전력산업 RD&D 거버넌스 체계 정립 등 4가지의 기술혁신 전략을 제시하였다.

첫째, RD&D 투자성과를 극대화해야 한다. 이를 체계화하기 위해서는 전력 RD&D를 발굴, 기획하는 과정은 국가 전체적인 에너지 비전과 정합성이 확보되어야 하고 일관성을 유지해야 한다. 전력기술 분야별 투자 우선순위에 따라 top-down 방식의 과제 발주와 RD&D 과제 선정과정에서 수요자의 의견 수렴이 의무화되어야 한다. 전력 기술의 경우 그 수요자(공공, 제작사)와 개발자(대학, 정부출연연구소, 기타)의 입장 차이로 개발 이후 성과나 활용을 담보할 수 없는 구조이므로, 발굴 단

계부터 개발 주체와 수요자인 설비운영부서나 기술정책 부서가 참여하는 R&D협의체를 운영하여 갭(gap)을 줄일 필요가 있다. 아울러, 전력 RD&D 활동에 대한 모니터링과 평가 체계의 효율성을 높일 수 있도록 수요자 측면에 입각한 RD&D 단계별 기술의 유효성, 실현 및 활용 가능성에 대해 사전적으로 정의된 stage gate를 바탕으로 하는 평가시스템으로 전환되어야 한다. 일본의 Moonlight program, New Sunshine Program, Cool Earth나 미국의 CCTDP Program, CCPI Program, FutureGen Program 등은 국가가 수십년 이상 장기간에 걸쳐 일관된 R&D 정책과 우선순위, 평가 시스템을 통해 자국의 신기술개발과 산업화 효율적으로 추진한 모범적 사례이다.

둘째, 연구성과물의 상용화를 촉진하기 위해서는 실증 RD&D를 확대하여야 한다. 정부는 실증 연구 투자를 확대하여 민간 투자를 유인하고, 민간 부문은 실증 RD&D를 통해 Track Record를 확보하고 신기술의 시장수요를 창출하여야 한다. 특히 최근 세계적인 이슈로 부각되고 있는 CCS기술과 같은 기후변화대응기술은 국내 실증을 넘어 해외에서 진행되고 있는 프로젝트나 GCCSI (Global Carbon Capture and Storage Institute) 프로그램에 공동으로 참여하는 등 비용효과적인 개발 및 실증을 고려할 필요가 있다. 그리고, 정부는 실증과정에서 발생하는 각종 리스크의 분산, 인센티브 강화 등의 시스템을 제도화하여 지원할 필요가 있다. 이러한 제도적 장치가 시행되면 공공-민간부문에는 실증 플랜트 구축과 운영과정에서 발생하는 리스크와 고장 시 발생하는 유무형적 손실을 최소화 할 수 있다. 또한, 정부-공공-민간은 유기적인 파트너십을 구성하여 공동으로 실증 연구 수요를 발굴하고, 이의 상용화를 촉진하기 위한 체계적인 성능시험, 인증 및 실증 서비스의 제공, Track Record 확보 등의 용이성을 제공할 수 있는 전력 RD&D 종합실증단지를 정부-공공-민간이 함께 구축해야 한다. 미국, 일본, 유럽 등 선진국의 경우 청정 발전, HVDC 등 전력신기술의 실증을 정부 주도로 추진하였고, 실증과 상용화를 위해 관련 산학연이 공동으로 출자하는 별도의 전담기구를 운영하였을 뿐만 아니라 운영경비, 조세지원 등 인센티브를 제공하고 있다.

셋째, 전력산업의 수출산업화를 촉진해야 한다. 세계 최고수준인 전력산업의 해외시장 진출을 촉진하기 위해서는 국가별 맞춤형 기술 탐색, 시범사업 등을 효과적으로 지원하는 가치 수출진흥조직이 필요하며, 이를 활용하여 해외 전력시스템 수요에 조직적으로 대응하는 전략이 필요하다. 또한, 해외 연구기관과의 공동연구 또는 해외 실증 등의 전략적 국제협력을 강화하여 R&D가 수출의 전초기지 역할을 담당할 필요가 있다. 현재 우리나라의 플랜트산업은 해외 시장 진출 과정에서 업체간 과당경쟁으로 인한 수주 마진 저하, 원천기술 미확보에 따른 국제 경쟁력 열위, 전문 인력 부족 등 문제로 어려움을 겪고 있다. 이를 위해 일본의 경제산업성이 주도하는 해외인프라사업 촉진연구회나 산업혁신기구 (INCJ, Innovation Network Corporation of Japan)를 벤치마킹할 필요가 있다. 일본의 산업혁신기구는 산학연 공동연구센터를 통해서 개발된 기술의 실증, 상용화를 지원하기 위한 목적으로 운영되며, 이를 위해 기술의 개발, 실증, 상용화,

수출 산업화까지의 각 단계별 맞춤형으로 육성프로그램을 운영한다.

넷째, 국가 에너지기본계획과 부합하도록 전력산업 RD&D 거버넌스 체계를 유지해야 한다. 중장기적인 RD&D 방향의 설정, 패키지형 RD&D 정책 수립, 전력공기업간의 유기적 협력 등의 기술 정책이 일관성 있게 추진되어야 한다. 거버넌스 체계는 전력산업 RD&D 전주기 내의 기관들의 독립성과 책임성을 조화되 RD&D 혁신 허브를 육성하고, 이러한 인프라를 활용하여 기술의 실증과 상용화 초기단계까지 체계적으로 연구를 수행할 수 있도록 설계할 필요가 있다. 현행 에너지법 제 11조 6항의 진흥 기능 관리 범위가 실증 및 시범적용 단계까지이지만 초기 상용화 단계까지 확장하여 그 기능을 거버넌스에 포함할 필요가 있다.

## V. 결론

전력산업은 국가 기간산업으로서 타 산업에 비해 초기 설비투자비용이 크고 투자회수기간이 길기 때문에 전력산업을 활성화하기 위해서는 중장기적인 정책이 요구된다. 세계의 주요 국가들은 신기후변화 체제에 대응하기 위한 전력 및 에너지 관련 기술개발에 경쟁적으로 R&D 투자를 확대하고 있다. 이처럼 세계 각국이 전력 및 에너지 R&D 투자활성화에 노력하는 이유는 R&D를 통해 원천기술 확보, 국산화, 실증을 통한 Track Record 확보 등이 수출경쟁력의 원천으로 작용하기 때문이다.

현재까지 우리나라는 전력 핵심 설비의 국산화를 위해 정부에서 대규모 RD&D 투자에도 불구하고 국내에서 개발된 국산화 제품의 사용률이 저조한 문제가 나타나고 있다. 이는 전력 설비가 갖는 개별 품목 특성과 시스템 특성을 고려하지 못했기 때문이다. 개별 품목은 개발 및 적용 형태로 국산화하여 활용이 가능하지만, 시스템 단위의 개발은 실계통 실증이나 실증플랜트의 구축을 통한 운영·검증 등을 통해 Track record 확보가 선행되어야 사업화가 이뤄진다. 이러한 요인 때문에 두 가지 요소를 분리해서 전략을 수립해야 한다. 아울러 전력산업의 기술적 특성으로 인해 다른 산업분야와 달리 산업화까지의 기술개발 전체 과정에서 정부와 공공분야의 정책지원과 역할이 중요하므로 RD&D 정책은 크게 민간의 R&D 참여 확대를 유인하기 위한 방향, 그리고 RD&D의 투자 효율성을 높이는 정책방향으로 나누어 수립할 필요가 있다.

민간의 R&D 참여 확대를 촉진하기 위해서는 먼저 전력기술혁신 비전의 일관성과 신뢰성을 확보하고 개발 제품 또는 시스템을 사용하겠다는 안정적인 장기적인 시그널을 반복적으로 제공하여야 한다. 둘째, 정부와 공공, 민간의 적절한 역할 분담을 통한 전략적 RD&D 투자와 테마별 혁신 허브를 육성해야 한다. 끝으로 RD&D의 실증 리스크를 완화하기 위한 제도 및 인센티브 등의 강화가 이뤄져야 한다.

RD&D의 투자 효율성을 높이는 정책방향으로 먼저 개발품의 성능시험 및 인증, 실증 및 Track record 확보 등 서비스를 제공할 수 있는 전력RD&D 종합실증단지를

구축해야 하며, 본 프로젝트는 산학연간 파트너십을 구성하여 공동으로 추진·활용하고 개방해야 한다. 둘째, 전력 RD&D를 발굴, 기획 및 선정과정에서 기술 수요자의 참여와 의견 수렴이 의무화되어야 한다. 셋째, 전력 기술의 특수성을 고려하여 각 개발 단계별로 혁신 주체, 재원조달방식, 민간과 공공부문의 역할 등의 정책 요건을 차별화하여 설계하여야 한다. 마지막으로 전력산업의 수출산업화를 촉진하기 위해서는 정부의 정책지원, 최적 컨소시엄 구성과 supply chain 구축 등이 동반되어야 하므로 정부와 공공-민간이 유기적으로 연계되어 수요 발굴과 이에 체계적으로 대응하는 거버넌스 체계를 정립할 필요가 있다.

## REFERENCES

- [1] 민윤지, “한국과 OECD 국가의 에너지기술 R&D 투자규모 비교,” 통상정보연구 제16권 제4호, 2014.9.
- [2] KISTEP(2014), 2014년 기술수준평가-에너지자원극한분야.
- [3] IEA (2012), Energy Policies of IEA Countries-Korea 2012 Review.
- [4] EIA (2016), International Energy Outlook 2016.
- [5] 산업통상자원부(2015), 제7차 전력수급기본계획(2015~2029), 2015.7.
- [6] 한국전력공사(2015), KEPCO in Seoul(더 큰 세상으로, 한국 전력사).
- [7] IEA 2010), Energy Technology Roadmap-Global Gaps in Clean Energy RD&D.
- [8] KETEP(2013), 2013 에너지R&D사업 성과활용조사·분석 보고서.
- [9] Hal Harvey, Jeffrey Rissman, and Sonia Aggarwal, “Energy Technology Innovation Leadership in the 21st Century”, 2013. 1.
- [10] IEA (2011), Good Practice Policy Framework for Energy Technology Research, Development and Demonstration.
- [11] 전력연구원(2015), 전력산업 핵심설비 국산화율 제고방안 최종보고서.
- [12] KETEP(2015), 2014 에너지R&D통계집.
- [1] 민윤지, “한국과 OECD 국가의 에너지기술 R&D 투자규모