

에너지연구개발(R&D)위한 기술계통도(Technology Tree) 기획방법론 활용 사례 - 에너지저장 기술 중심으로

강근영*, 윤가혜, 김동환**

A Case Study on the Technology Tree Methodology of Energy R&D

Geun young Kang*, Ga-Hye Yun and Donghwan Kim**

Abstract

Government spending on research and development increased continuously is much more important to decision-making methodology for rational investment. Rely on a group of minority experts in the application of a general methodology, a tipping effect occur in specific technology field or difficult balanced procedure and objective control to maintain. This paper presents a qualitative-quantitative methodology to avoid such risks by utilizing Technology-Tree pertaining to energy R&D planning of the government Energy Technology Development program. Especially Energy Technology Development program "energy storage system" is applied to the analysis of Technology-Tree, mapping and analysis of existing government-supported projects during the recent 5 years, is derived essential missing elements of the technology value chain. This study suggests that significant evidence is utilized for improving efficiency of government R&D budget considering the importance of technology, domestic research-based and so forth, could be used to implement the R&D project planning.

Key words

R&D Planning(R&D 기획방법론), Technology Tree(기술계통도), energy storage(에너지저장)

(접수일 2012. 11. 8, 수정일 2013. 1. 30, 게재확정일 2013. 5. 22)

* 고려대학교 그린스쿨대학원 에너지·환경정책기술학과 (Department of Energy Environment Policy and Technology, GREEN SCHOOL Graduate School of Energy and Environment, Korea University)

■ E-mail : amgang1974@naver.com ■ Tel : (02)6009-8793 ■ Fax : (02)6009-8759

** 고려대학교 공과대학 신소재공학과 (Department of Materials Science and Engineering, Korea University)

■ E-mail : donghwan@korea.ac.kr ■ Tel : (02)3290-3275 ■ Fax : (02)928-3584

Nomenclature

V : voltage
WH : watt hour, wh
KWH : kilowatt hour, kwh
KG : kilogram, kg

Subscript

ESS : energy storage system
LiB : lithium-ion battery
CAES : compressed air energy storage
RFB : redox flow battery

1. 에너지기술개발사업 개요

에너지기술개발사업은 1988년 대체에너지기술개발(현재 신재생에너지를 말함) 국가 기본계획을 토대로 사업이 태동하여 현재에 이르고 있다. 에너지기술개발사업은 에너지자원 기술개발, 신재생에너지기술개발, 전력 및 원자력발전기술개발, 방사성폐기물관리기술개발 등으로 구성되어 있으며, 1988년 7.5억원 예산으로 시작하여 2012년에는 7,000억원 이상 투자규모로 확대되었다.

이와 같은 예산증대에 따라 관련법 및 세부 실행계획 등에서 연구개발(R&D) 기획방법론을 마련하여 기획 추진에 대한 타당성을 구비하고 있다. 과학기술기본법에서는 기술예측, 기술로드맵, 기술영향 평가와 연구개발 중장기 계획에서는 보다 세부적인 특히 기술동향 조사, 경제성 분석의 기획방법론을 제시하여 정부 연구개발사업 추진 시 이를 준수하고 있다.

에너지기술개발사업은 일반적으로 “수요조사→기획 주제 검토→기획위한 전문가 그룹구성→기획보고서 작성”으로 기획절차를 거친다.

그런데 이러한 기획절차는 선형적¹⁾으로 단계별로 이루어

1) 선형적이란 연구개발(R&D)의 프로세스 관점에서 동시 진행되는 것 보다는 수요조사, 전문가 구성, 의사결정, 기획주제 확정 등 단계적 진행되는 의미로 시장 및 기술변화가 빠르게 반영되는 혁신 절차와 대비되는 관점임

Table 1. The Government's Energy R&D Technology budget trend(unit:10⁶won)

구분	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
에너지 자원	60,967	96,384	129,535	143,172	192,567	210,000	215,310	214,225
자원 순환	-	-	4,500	7,500	11,470	12,574	19,530	19,005
신재생	23,897	115,788	120,900	195,306	205,600	240,051	243,341	250,348
전력	101,081	98,137	112,500	123,387	114,475	113,621	108,783	67,386
원자력	59,404	62,475	66,800	66,761	77,000	80,000	110,108	67,386

(출처 : 한국에너지기술평가원 '에너지R&D통계'2012년)

지기 때문에 기획에 참여하는 전문가 그룹에만 의존할 수 밖에 없는 정성적 의사결정 방식이다. 이를 보완하는 방법으로써 정부의 연구개발사업을 기획하는 전담기관에서는 특히 기술동향조사와 경제성 분석의 정량적이고 외생적인 기획 기초 자료를 활용하고 있다. 추가적으로당해년도 지원할 기술 분야를 도출하는 과정은 수요조사와 기존 수립된 국가로드맵, 국가 산업 정책 목표 달성을 위한 해당년도 연구개발 정책 등이 고려되어 기획 된다.

본 연구에서는 기획방법론으로써 정부 지원한 연구과제에 대한 기술계통도(Technology Tree)²⁾ 분석을 제시한다. 이는 최근 5년 동안 정부지원 기술 분야의 기술별 정부지원금 및 민간매칭 펀드의 현금흐름(cash flow)을 분석을 통하여 기술계통도와 연계(mapping) 분석하였다. 정부가 지원할 기술을 도출하는 기획과정에서 기술계통도 상에서 누락된 요소 기술을 확인한다. 이러한 공백 기술은 기술 가치사슬(value chain)³⁾분석을 통한 필수적인 기술을 우선 고려하도록 하여 객관적이고 합리적으로 기획 주제가 도출되도록 기획방법론을 일부 개선 할 수 있다. 본 연구에서는 2011년도 에너지기술개발사업 중 “에너지저장” 기술 분야 기획 과정에 적용을 시도해서 실제 정부 연구개발 사업에서 합리적인 의사결정의 유의미한 근거자료로 활용될 수 있음을 제시하였다.

2) 기술나무로 직역하거나 일부 Tech-tree로 약어표현하나, 여기서는 현금흐름과 맵핑하는 개념으로 기술계통도로 칭함

3) 가치사슬은 정태적 모형 성격으로 속도가 빠른 산업에 있어서 적용하는 것은 한계가 있음. 따라서 사업별 특성에 따라 활동의 영역과 범위에 따라 가치사슬 구분해야함

2. 연구개발 기획방법론

연구개발 기획방법론은 장기적 미래관점에서 기술예측, 기술영향평가, 국가 중장기 계획 등을 바탕으로 단기 실행에서는 연구개발 포트폴리오(portfolio), 기술로드맵(TRM (Technology Road Map)), 기술계통도 분석 등이 이론적 범주이다. 기획방법론의 궁극적 적용 목표는 한정된 자원을 효율적으로 배치하는 것이다. 그러므로 정책적 및 기술적 우선순위 설정이 중요하다. 일부 연구개발 기획을 세부 실행할 때는 장기적 관점과 단기적 관점이 특성에 따라 혼재되어 적용 된다. 에너지 기술개발사업의 경우에는 기획, 과제관리, 성과확산 단계 중 시작시점인 기획단계에서 수요조사를 활용한 기술 동향 및 시장 동향 분석 자료를 주로 활용하고 있다. 특히 기초원천기술 중심의 교육과학기술부 추진과제와 달리 지식경제부 연구개발사업은 상업화를 지향하고 있기 때문에 대부분이 기업주도 또는 참여를 기본 전제조건으로 하며, 이를 통해 급변하는 산업동향을 반영하는 동시에 국가 연구개발사업이 미래시장 및 신 성장 동력을 창출토록 하는 우선순위를 두고 있다.

2.1 연구개발 우선순위 설정

연구개발의 우선순위 설정(priority setting)이란 중요기술 후보군으로부터 연구개발 투자 시 전략적 자원배분을 통해 우선적으로 고려해야 하는 중요한 기술들을 결정하는 것을 의미한다.

국가 차원의 연구개발 우선순위 설정은 국가의 연구개발 과정에서 한정된 자원배분을 위한 우선순위를 결정하는 것이다. 이는 경제적·기술적 차원에서 자원을 효율적으로 투자함으로써 국가의 전략적 목적을 효율적으로 달성하고자 하는데 있다.

우선순위 설정은 궁극적으로 자원배분과 연계되며, 광의로 해석될 경우 국가적 목표 설정 및 과학기술역량 조사를 통한 전략분야 설정, 예산 배분, 프로젝트 선정 등 폭넓은 과정으로 볼 수 있다. 우선순위 모델은 기술주도 모델과 수요견인 모델이 있고 상호 조화를 이뤄 활용되고 있다.

기술주도(technology push) 및 수요견인모델(demand pull)은 국가 연구개발의 우선순위 설정과 관련된 대표적 이론으로 전반적으로 기술주도 모델에서 경제·사회적 수요견인 모델로 발전해 왔다.

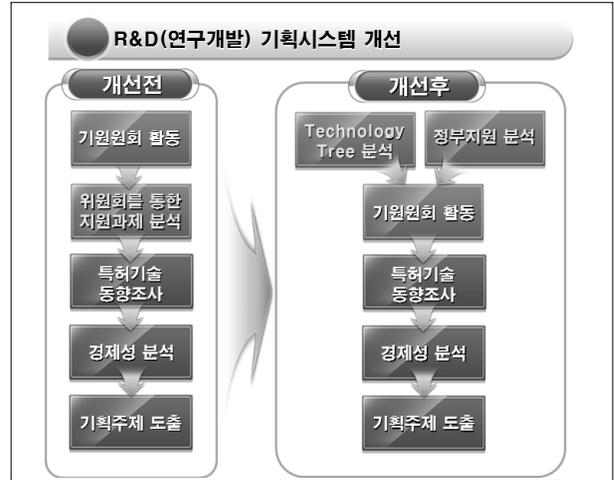


Fig. 1 The improvement of R&D Planning system

그래도 궁극적으로 과학기술 우선순위 설정의 두 극단적인 모델은 어디까지나 이론적인 관점에서 논의되고 실질적으로는 ‘기술주도’와 ‘수요견인’모델의 상호조화를 이루는 방향으로 활용되고 있다. 또한, 연구개발 기획의 주체인 기획위원회에 속한 외부 전문가들에 의해 기획 후보과제별로 경제성 분석 및 특허 기술동향 조사를 실시함으로써 기획후보과제의 우선순위 결정시 객관성을 높여 주는 외생적 분석 자료⁴⁾를 활용한다. 경제성 분석 내용을 좀 더 살펴보면, 가장 합리적인 우선순위 설정 모델이 될 수도 있는 비용편익(cost-benefit) 분석에 기초한 것이다. 비용편익 분석은 연구개발 비용, 신기술 평가, 기술개발로 인한 기업의 비용 절감 효과, 성공 가능성, 기술 수명, 기술 채택률, 경제적 파급효과, 핵심이익 존재 가능성 등을 다루게 된다. 이러한 사항은 정량적 자료로 기획과정에서 전문가에 제시되는 모델이다.

2.2 기술계통도(Technology Tree) 도입

본 연구에서는 국가 연구개발사업의 기획단계에서 일부 정책적 결정 및 전문가 그룹에 의존하여 이뤄지는 사항을 객관적이고 효율적인 의사결정으로 추진되도록 개선된 방법론을 기획절차에 도입하는 것이 목적이다.

에너지기술개발사업을 실제적으로 관리하고 운영하는 전담기관에서 기획하는 시점 전까지 정부가 지원했고 그 시점

4) 외생적이라 함은 외부 경제성 분석 전문가 및 특허분석 전문가에 의해 생성된 자료를 말함

에서 지원하고 있는 과제를 모수로 한다. 정부지원 과제에 대한 현금흐름 분석(국가R&D에 대한 정부지원금을 말함)을 통하여 기술계통도 분석과 연계를 실시하고, 기술 가치사슬에서 공백기술을 분석하여 기획과정에 적용한다. 추가적으로 연구기관별, 지역별 편중도 분석 등 총괄 현황 분석 자료인 내부 기술백서 자료를 기획위원회에 정량적 자료로 제시한다. 기획과정에서 구성된 전문가 그룹에서 사전 학습이 이뤄지도록 하며 기획과제 도출시 적용하여 의사결정이 합리적이고 타당하게 이뤄질 수 있는 내생적 분석 자료⁵⁾를 추가하는 기획방법론 제시한다. 아래 그림에서 기획 시에 적용시점을 도식화 하였다. 본문에서는 에너지기술개발사업 기술 분야인 에너지저장 기술 분야를 사례 분석한다.

2.3 기획방법론 개선 제언

기존 기획방법론은 기획과제 도출과정에서 특히 기술동향 조사와 경제성 분석을 토대로 실시되던 사항이었다. 본 연구에서 제시된 기획과정에서 추가로 기술계통도 분석에 따른 현금흐름 분석 등 실시를 통하여 이러한 요인들이 다양하게 고려되어 각 요소들의 상호 작용으로 기획방식과 절차가 새로이 학습되어 지는 효과가 있다. 즉, 다양한 기획정책 실험들이 수행되면서 새로운 기획시스템에 대한 지식이 축적되고(learning), 기획 추진에 정당성이 확보되며(expectation), 전체적으로 추가되는 요소를 기획시스템 내부에 활용, 지원하는 네트워크가 강화 된다. 더 나아가 혁신적 관점에서 보면, 기획과제 도출과정을 외생적 자원과 내생적 자원이 활용하여 미래에 기획 혁신 시스템을 형성한다. 다시 말해서, 혁신체제론에서는 기존의 경제시스템을 변화시키는 ‘혁신능력(innovating capability)’이 경제시스템의 진화와 성과에 결정적으로 중요하다.

궁극적으로 R&D 기획 시스템과 혁신능력이 작용되는 것과 같이 내부(기술계통도 분석 등)와 외부 자원(특히 및 경제성 분석 등)을 활용하여 내외부 자원과 조직 루틴(organizational routine)을 통합하여 새로운 자원과 루틴을 형성하는 능력으로서 동태적 능력(dynamic capability)에 견줄 수 있다.

즉, 현재 기획시스템이 어떤 자원을 가지고 있는가가 중요

5) 내생적이라 함은 전담기관 관리 자료를 토대로 생성해 낼 수 있는 자료로 기획위원 전문가와 기획 전담기관에서 활용할 수 있는 자료를 말함(비공개를 요하는 자료는 아님)

한 것이 아니라 내부 자원과 외부 자원이 작용하여 미래에 어떤 시스템이 향상되어 형성될 수 있는가의 혁신론의 기본적인 문제인식과 기획시스템 문제인식이 상응할 수 있다.

본 연구에서 주장하는 내부적 자원인 내생적 자료와 외부적 자원인 기획위원, 특히 기술동향 조사, 경제성 분석 등이 상호 작용하여 기획시스템에서 작용되도록 조직이 구성되고 기획시스템⁶⁾이 전반적으로 향상될 수 있는 가능성을 제기하는 것이다.

현재 시점 이후에 이뤄지는 기획 방법론을 현재 시점 이전에서 전개된 과정을 분석하여 현재와 연계하여 과거 기술추진 과정, 현재 기술 분석, 미래 기술예측의 삼박자를 이루는 기술기획을 실무적으로 추진 되도록 제안하는 것이다. 물론 과거 기술추진 과정 분석은 기획 실무 주체의 내부적인 자료에 의존하고 비공개 일 수는 있고, 미래 기술예측은 외부 의존적으로 공개 자료로 공개 필요성이 상존하여 서로 상충될 수도 있다. 또한, 추진되었거나 추진하고 있는 과제는 한정된 정부재원으로 집중 투입된 기술 분야로써 시장수요를 따랐겠지만, 당시 연구 환경과 제반 여건 등에 따라 기술수요 측면에서 수행된 사항도 일부 포함 될 수 상충성도 존재한다.

3. 에너지저장기술 기술계통도 분석

2011년도 에너지기술개발사업 중 에너지저장기술 사업에 대하여 추진사례를 살펴보고자. 사례에서는 정부지원금에 따른 현금흐름 분석을 통한 가치사슬에서 공백기술이 확인되고, 현재 기존의 연구기반 위에서 수행할 수 있는 기술만이 기획되는 문제를 인식한다. 미래가 요구하는 기술 체계에서 필수적인 핵심기술이 기획되도록 하는 것이 방법론 개선의 구체적 목적이다.

외부 전문기관에 의존된 외생적 분석 자료가 기획시스템 내부에서 작동하기 위해서는 기획위원회에서 기획 의도와 기획의 가치, 설정된 목표 등에 부합되어 수용성이 제고 되어야 한다. 여기서 기획위원회의 기획 위원의 성향이나 가치관, 지

6) 여기서 기획시스템 향상이란 연구개발의 주제 도출의 합리성과 정당성을 추구하는 것이지만, 연구개발 궁극적인 목표인 기술 축적과 상업화 달성 측면에서 보면, 불확실성이 높은 기획단계에서 연구개발 종료 시 목표하는 바를 연구개발 종료시점에 성공할 수 있는 시장욕구, 기술욕구, 사회적 욕구를 충족시키는 방향을 말함

식의 정도 등도 또한 중요한 요소로 작용한다. 그러나 기술계통도 분석은 객관적 자료를 근거로 제시되는 정량적 지표이므로 기획후보 과제를 대상으로 우선순위를 결정하는 단계까지 과제 도출의 객관성을 제고와 타당한 근거로 활용된다.

본 연구에서는 2011년도 에너지기술개발사업 기획과정에서 에너지저장 기술 분야를 구체적으로 실시하여 보겠다. 기술계통도는 과거 기술 추진현황, 연구기반이 조성된 분야, 연구관심분야, 기술수요분야 등과 현재 시점으로 볼 수 있다. 기술계통도에 근간하여 정부지원금 추이 및 연구수행 주체 분석을 통한 연구기반과 기업 활동 및 연구 활동까지 추정해 볼 수 있도록 최근 5년간 분석을 실시하였다.

3.1 기술 개념

에너지저장 시스템(Energy Storage System)⁷⁾은 다양한 에너지 형태의 에너지를 저장하는 기술로서 전력저장, 열저장, 물리화학적 저장을 통칭한다. 에너지저장 원리에 따르면 위치에너지 저장인 양수발전과 압축공기 저장, 기계에너지 저장인 플라이휠, 전기에너지 저장인 슈퍼커패시터, 전기화학에너지 저장인 이차전지 등이 있다. 기술개발이 열과 기계적 에너지 저장분야 보다는 전력저장 위주로 추진되어 이 분야 중심으로 분석했다. 에너지저장시스템은 생산된 전력을 전력계통(Grid)에 저장했다가 전력이 가장 필요한 시기에 공급하여 에너지 효율을 높이는 시스템이다.

태양광, 풍력 등 외부 환경에 따라 출력변동성이 심한 신재생 에너지원을 고품질 전력으로 전환하여 전력망에 연계 가능하다. 에너지저장시스템을 발전량과 발전시점이 불규칙한 태양광, 풍력 등과 결합하여 시간대별로 전력공급을 일정하게 조정하여 신재생 전력 안정화에 기여할 수 있다.

또한, 에너지 저장을 통한 전력 효율 극대화는 공급자와 소비자가 정보를 교환하여 에너지 효율을 최적화하는 스마트그리드의 핵심 요소이다.

휴대폰, 노트북 등 소형 IT기기 중심에서 전기차, 에너지 저장장치 등 대형으로 확대되고, 시장 규모도 2008년 140억 달러에서 연평균 10% 성장하여 2015년에는 270억 달러 이상으로 성장할 전망이다.

7) ESS (Energy Storage System) : 리튬이온전지와 같은 기존의 중소형 이차 전지를 대형화하거나 회전에너지, 압축 공기 등 기타 방식으로 대규모 전력을 저장

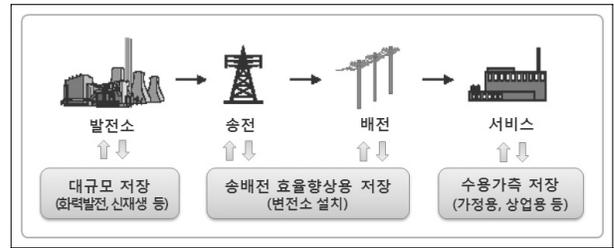


Fig. 2 The schematic diagram to Energy storage system (출처 : 한국에너지기술평가원 '에너지저장 로드맵' 2012년)

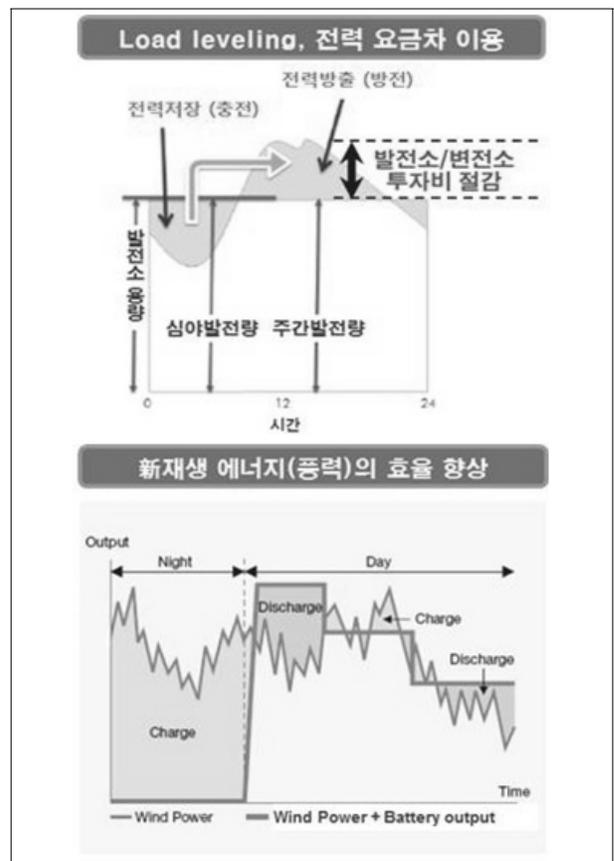


Fig. 3 The effect of Energy storage system (출처 : 한국에너지기술평가원 '에너지저장 로드맵' 2012년)

3.2 기술계통도(Technology Tree) 분석

에너지저장 장치는 배터리 저장(electrochemical)과 비배터리 저장방식(non-electrochemical)으로 분류된다. 배터리 방식은 화학적 에너지형태로 저장했다가 사용하는 방식으로 이차전지가 대표적이고, 비배터리 방식은 물리적 에너지

Table 2. Secondary battery type

전지종류	작동전압(V)	에너지밀도 (Wh/kg)	안정성	제조비용
납	1.9	70	우수	우수
	다양한 분야에서 사용되나, 무겁고 에너지밀도가 낮음			
니켈카드뮴	1.2	90	우수	보통
	고출력 용도로 사용, 낮은 에너지밀도, 유해성			
니켈수소	1.2	200	우수	보통
	프리우스 등 HEV에 사용, 메모리효과 및 에너지밀도 높음			
리튬이온	3.6	300	열등	보통
	경량 및 높은 에너지밀도, 폭발 위험성이 있음			
리튬폴리머	3.6	300	우수	열등
	경량/고출력/고안정성, 형태가 자유로우나 고가격			

형태로 저장했다가 사용하는 양수발전, 압축공기저장이 대표적이다. 본 연구에서는 에너지저장기술 중 이차전지 위주로 하였다. 주로 이차전지 중심으로 기술개발이 이루어졌고 시장 선호 등 에너지저장 기술 중 고효율, 고성능, 우수한 충방전 특성으로 기술을 주도하였고 지속 추진할 것이다.

이차전지 개념은 전기를 저장했다가 모두 사용한 이후에도 다시 반복적으로 충전하고 사용할 수 있는 전지를 의미하며, 환경 친화적이고 경제성이 있어 미래 사회에서 가전, 교통, 전력망 등에서 활용되는 유망한 신산업이다.

이차전지의 경량화, 고전압, 고밀도 추세에 따라 기존의 니켈수소전지보다 메모리효과⁸⁾도 없는 리튬이온전지의 시장이 커지고 있다.

이차전지는 미래성장동력산업 중추적 기술로 중요하다. 화석연료 고갈로 인한 에너지 수급 문제, 온실가스 배출로 인해 지구온난화가 심화되고 있어, 세계 각국은 효율적으로 에너지를 저장하고 활용 고효율 이차전지 기술개발 노력 중이다. 현재 MP3 플레이어, 휴대폰, 디지털카메라, 노트북, 스마트폰, 태블릿PC 등 소형화 고용량 전력을 요구하는 첨단융합기

8) 이차(2차)전지는 양극과 음극의 전압 차이를 통해 전기를 저장하고 발생시키고, 핵심소재로는 양극활 물질, 음극활물질, 전해질, 분리막이 있음. 이차전지는 양극활 물질 종류에 따라 납축전지, 니켈카드뮴전지(Ni-Cd), 니켈수소전지(Ni-MH), 리튬이온·폴리머전지(LiB/LiPB) 등이 있음. 완전히 방전되지 않은 상태에서 재충전을 하게 되면 전지의 실제 충전 가능한 용량이 감소하는 효과. LIB에서는 없음

Table 3. The technology system of ESS⁹⁾

대분류	중분류	소분류	세분류				
LIB	전극 재료	Anode	산화물계	층상 Ni-Co계	Spinnel Mn	층상 Ni-Mn-Co계	올리핀 철계
			불화계	페로브스카이트형	미립자 석출형	-	-
		Cathode	S계	Sulfur	Li2S-Cu	-	-
			탄소계	Hard carbon	Graphite	-	-
			산화물계	Li-TiO2	SiO	SnO	-
			합금계	Si	Sn	S	-
	전해질재료	유기전해액	EC	DMC	EMC	-	
		gel polymer	PVDF	아크릴계	-	-	
		Ion 액체계	EMI-FSI	EMI-TFSI	-	-	
		dry polymer	PEO계	-	-	-	
	격리막 (seperator)	폴리올레핀계	-	-	-	-	
		세라믹스계	-	-	-	-	
		부직포계	-	-	-	-	
	무기전고체 Li전지	S계 재료	Li-S	-	-	-	
		유황계 고체전해질	-	-	-	-	
산화물 고체전해질		-	-	-	-		
리튬금속		-	-	-	-		
금속-공기전지	Li-공기	dendrite	석출제어	-	-		
	Zn-공기	-	-	-	-		
신금속전지	Mg 전지	-	-	-	-		

기로 발전하고 있어 이차전지의 기술력이 시장을 좌우한다.

기술개발현황은 기업·연구소 등에서 기술개발을 추진 중이나 상용화 정도, 원천·부품소재 기술 수준, 실증 경험 측면에서 선진국보다 열세다. 일부 기술(리튬이온전지, 슈퍼 커패시터, 플라이휠)은 상용화 단계에 도달하였으나, 그 외의 기술은 초기 기술개발 단계 수준이다.

기술 수준은 리튬이온전지는 최고수준의 제조기술로 해외 수출¹⁰⁾이 가시화되었으나, 전반적인 ESS 원천·부품소재 기술은 미흡하다. R&D 실증 현황은 가정용 ESS의 실증을 추진

9) 에너지저장 기술 중 이차전지 중심의 기술체계 분류로 실시
10) (삼성SDI) 미국 AES사에 20MW급 ESS 공급계약(2010.9), (LG화학) 미국 SCE사에 10kWh급 가정용 ESS 공급계약(2010.10)

중이나 초기단계이고, 향후 가장 큰 수요가 예측되는 전력망 용 대규모 ESS 실증은 전무하다. 단, 제주 스마트그리드 실증단지에 5kWh급 가정용 ESS 실증 추진 중(2009.12~2013.5)이고, 대구시 100가구에 10kWh급 리튬이온전지 시스템 실증사업 추진 중(2010.6~2013.5)이다.

기술체통도 분석은 아래 표와 같은 기술체계를 토대로 실시되었다.

3.3 현금흐름(cash flow) 분석

우리나라는 2009년 이후 리튬이온전지 등 일부 기술에 대한 연구개발 과제 진행했으나, 연구개발(R&D) 투자 비중¹¹⁾이 작고 선진국의 투자 규모와 큰 차이¹²⁾가 있어 원천 기술 획득을 통한 파급효과를 창출하는 데 한계가 있다.

연구개발 정부예산증감 추이는 2005년부터 2011년까지 지속적으로 증가하고 있으며, 최근 5년간 정부출연금 530억 원 투자되고 있으며, 중대형과제 예산 비중이 90%를 상회하여 정책부합성과 시장 시급성을 고려한 분야 집중 지원됐다.

에너지저장 분야의 민간부담금의 경우 정부출연금의 약 40%를 투자하고 있으며, 대기업의 활발한 진출에 힘입어 민간에서의 연구개발 투자는 급속히 증가 예상 된다.

연구개발 동향은 세부기술 분야별 예산현황 과 세부기술 분야 중에서 LIB (Lithium-ion Battery) 분야의 연구개발 예산 규모가 급격히 증가하고 있다. 이는 상용화 및 실증 과제의 증가에 기인하며, 새로운 에너지 저장시스템(Super-Capacitor, RFB (Redox Flow Battery), NaS Battery etc.)에 대한 시장 요구가 증대된다.

세부기술 분야 중에서 CAES (Compressed Air Energy Storage)분야는 1단계 사업을 완료하여 기계연구원을 위주로 실증사업을 자체적으로 수행하고 있으며, LIB의 경우 실증사업 및 양극/음극재의 투자 개발비의 비중이 높고, V2G (Vehicle to Grid)는 2009년 이후 투자되고, 전기자동차 전지는 LIB와 동일 기술 분야로 연관되어 있다.

Super-Capacitor는 새로운 차세대 전지시스템으로 2011년도 연구개발 투자가 확대되었다.

11) 에너지기술개발사업 대비 ESS투자 비중:2009년 6.13%,2010년 8.38%

12) 미국의 경우, 2009~2010년에 ARPA-E 프로젝트를 통해 에너지저장 기술개발에 92백만 달러 투자→우리나라 투자비의 9배 이상 수준

Table 4. The R&D budget of ESS

구분	'07년	'08년	'09년	'10년	'11년
ESS*예산(A) (단위:백만원)	954	4,788	11,808	16,820	19,155
에너지자원 기술개발사업 예산(B)	129,535	143,172	192,567	200,800	215,310
ESS 투자 비중(A/B, %)	0.74	3.34	6.13	8.38	11.191

(출처 : 지식경제부 '에너지저장 추진전략'2011년)

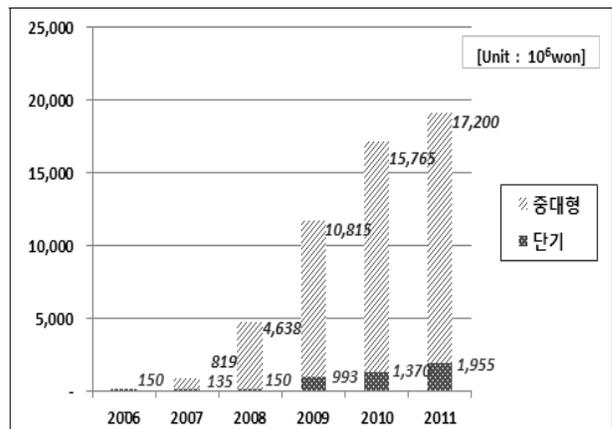


Fig. 4 The Government Large · medium & small scale project trend in ESS (unit:10⁶won)

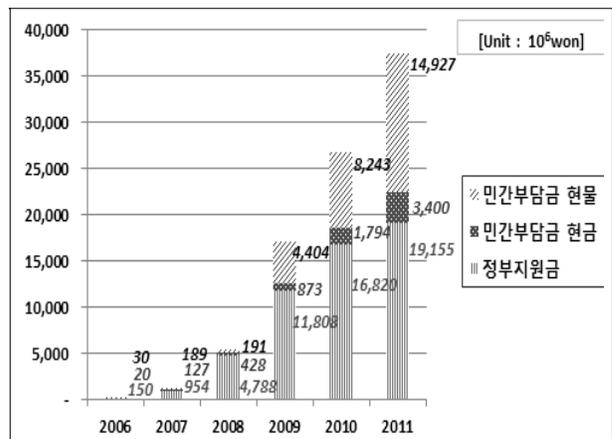


Fig. 5 The Government vs Private Investment

기관유형별 예산의 경우 지원 초기에는 연구소 위주의 연구개발 투자가 많이 이루어졌으나, 최근에 들어 대기업의 연구개발사업 참여 빈도가 급속히 증가되고 있으며, 특히 에너지저장 분야 실증 사업의 경우, S社, 한국전력공사 등 대기업 위주의 실증 사업(50%)을 진행하였다.

기관형태별 경우 예산의 증가에 따른 주관기관의 예산은

증가하고 있으며, 한편 참여기관의 경우 전체 예산 규모의 증가 및 중대형 과제의 일반형 과제로의 전환 등으로 예산이 지속적으로 증가되고 있으며, 향후에도 지속적으로 증가 예상된다.

에너지저장 분야 연구비 지원순위를 보면 2008년까지는 연구소 위주의 연구를 수행하였으며, 2009년 이후부터 중대형 과제의 대기업 참여가 많이 이루어졌다.

Table 5. The Government's R&D budget in ESS type (unit:10⁶won)

구분/년도	2006	2007	2008	2009	2010	2011
CAES		819	773	940		
LiB	150	135	4,015	4,743	8,960	10,205
RFB				2,440	2,290	
V2G				3,550	2,700	2,700
Capacitor				135	2,870	3,140
NAS						3,110

Table 6. The Government's R&D budget in ESS component technology (unit:10⁶won)

구분	Actua-tor	Sa-ver	Cathode/Anode/Electrode	전해질	분리막 (Membrane)	check/stack	응용/실증	모듈
CAES	1,639	893						
LiB			7,040	1,680	1,240	738	12,950	4,560
RFB				1,550	2,050 (1,130)			
V2G								8,950
Capacitor			3,215					2,930
NAS			918					2,192

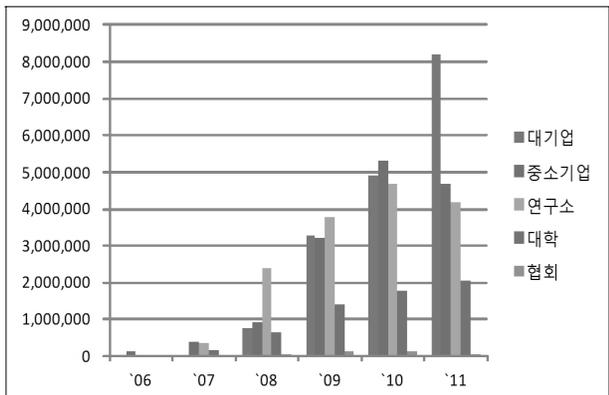


Fig. 6 The Government R&D budget supported by research institution types in ESS (unit:10³won)

에너지저장 분야의 지역별 예산의 경우 2008년까지는 서울 및 대전 위주의 지역 편중이 두드러졌으나, 2010년 실증사업의 개시 및 에너지저장 분야의 사업화에 따른 연구개발 투자 증가로 인하여 전국적으로 연구비가 지속적으로 증가한다.

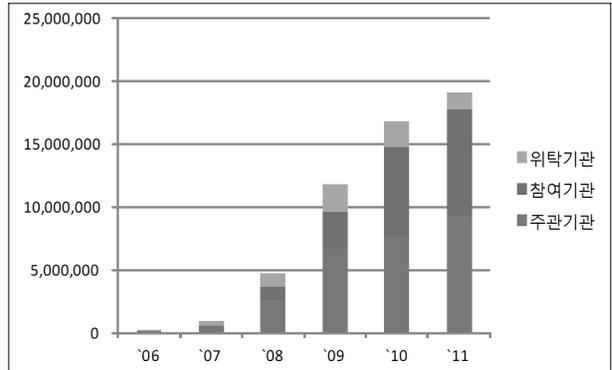


Fig. 7 The Government R&D budget by research institutions participation types in ESS (unit:10³won)

Table 7. The rank of supporting Government R&D budget in ESS (unit:10⁶won)

No	2006	2007	2008	2009	2010	2011
1	Ni社: 130	K연구원: 300	J연구원: 838	Si社: 1,350	SD社: 1,322	Si社: 5,380
2	C대학: 20	K社: 150	P연구원: 526	P연구원: 1,310	J연구원: 1,231	R연구원: 1,099
3		P社: 142	KA연구원: 410	J연구원: 736	P연구원: 1,162	Si社: 761
4		Ni社: 115	K연구원: 303	S전자: 540	Si社: 630	P연구원: 636
5		H연구원: 70	H자동차: 280	Si社: 485	K社: 567	SS社: 598

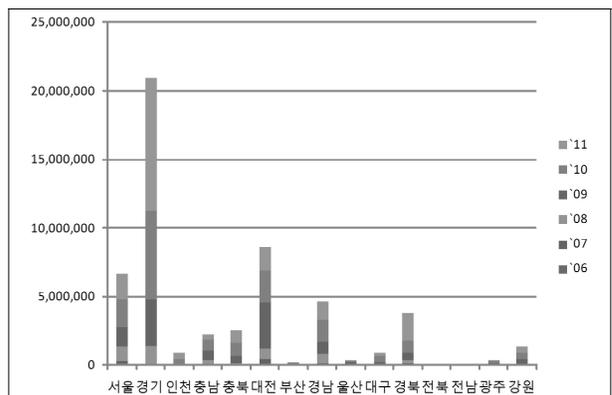


Fig. 8 The Government ESS R&D budget locally (unit:10³won)

지금까지 에너지저장 기술 분야에 대한 기술계통도 분석 자료를 제시하였고, 분석 자료가 기획위원회에 작용하여 기획과제로 도출되는 과정에서 작용토록 하는 것이 분석 시도 목적이다.

최근 기획되어 사업 공고된 과제를 살펴보면 '그래핀 제어 전기저장기술' 'LIB 제어 기술' '재생에너지 단주기 출력변동 안정화용 슈퍼커패시터 개발' 등 기술계통도에서 분석된 요소 기술분야를 근간으로 기술 적용분야를 새롭게 다양하게 시도되고 있다. 기술 흐름에 따라 기업체와 관련연구기관에서는 연구기반을 구축하고 구축된 기반 위에서 새로운 기술개발이 추진되어 가고 있다. 에너지저장 기술 분야에서는 LIB 중심으로 연구기반이 구축되어 왔고 NAS 등 기술 분야 연구를 시도하며 연구 환경을 조성하면서 새로운 기획이 이뤄져가고 있는 상황을 분석 자료를 통해 인지할 수 있다.

4. 결론

에너지저장 기술에 대한 연구개발 전담기관인 한국에너지 기술평가원에서 관리하는 자료에 근거하여 최근 5년간 전반적인 흐름을 볼 수 있는 보완된 기술계통도 분석 기획방법론을 제시하였다. 국가 연구개발(R&D)이 외부 전문가에 의존적인 기획을 추진하고 있고, 기획을 추진하는 주체인 전문가들은 해당 전문 기술 분야 중심으로 바라보는 관점이 자의적으로 자연스럽게 연결되어 지는 것이다. 이 시점에서 정부지원금과 민간부담금의 현금흐름을 기술계통도와 연계를 통한 내생적 분석 자료는 기획 추진 시에 사전 단계에서 해당 기술 분야 전문가들 간에 충분한 이해와 논의를 통하여 숙지하고 기획을 실시한다면 가치 기술상에 필요 공백 기술이 도출될 수 있다. 또한, 기술 로드맵과 수요조사 등 기획 기초 자료부터 시작되는 기획과정에 기술이 선택되어 지는 과정에 이르기까지 경제성 분석과 특히 기술동향 조사 등 외생적 분석 자료와 제시된 기술계통도 분석의 내생적 분석 자료까지 추가하여 합리적이고 타당한 기획 주제 도출이 될 수 있다.

연구개발에서 기획은 국가연구개발 예산의 효율적 집행과 사업추진 실효성과 생산성 제고를 위해서 실시되는 사항이다. 연구개발 실행을 위한 처음 단계인 기획은 시대적 정책 요구와 시장 수요와 기술 견인 등 다양한 요소를 접목하고 감

안하여 수행 되어야 할 것이다.

기획방법론 중 일반화 된 기술로드맵은 다면적이지 동태적이고, 작성 주체와 상황에 따라 전략적 선택을 나타내고 있는 자료인데 반해 본 연구에서 제시된 기술계통도 분석은 주어진 시점에서 기술의 계층적 연관구조를 분석하는 정태적 분석 자료로 작성자에 따라 큰 차이가 없는 것이 방법론의 장점이라 할 수 있다. 기술계통도의 전개는 핵심 기술(Core technology)을 기능적으로 세분화하여 전개함으로써 각각의 해당 분야 전문가의 기술수준을 파악하게 할 수 있고, 평가되어 가장 '이상적인 기술'이 선택되어 지는데 작용 되는 것이다. 분석 시 요소기술 전개가 광범위한 개념으로 전개되며 핵심기술이 선정 이후 자원배분 및 기술 확보 방안 등에서 실행력이 떨어지는 전략이 도출됨으로 요소기술을 최소 단위까지 전개하는 것이 중요하다. 물론 기술로드맵도 정부 지원된 과제 언급과 기술계통도 분석의 일부가 포함되는 자료를 제시하는 경우도 있으나 차별성이 존재한다. 기술계통도를 통해 기술 구조를 분석하고 현금흐름(cash flow)을 통해서는 기술체계에서 선택되고 집중된 기술 분야를 분석할 수 있다.

기획되기 전까지 지원됐고, 지원하고 있는 과제에 대한 기술계통도 분석과 현금흐름 분석, 추가적으로 연구기관별, 지역별 편중도 분석 등 총괄 현황 분석 자료이다. 전담기관 내부에서 기술백서 수준 자료로 매년 작성되는 하나의 프로그램이 계속해서 실시되고 관리된다면 지속적으로 이어져 기술의 전반적 흐름을 파악할 수 있다. 우선순위 설정 면에서는 기획 사전 단계 학습효과로 간접적으로 의사결정에 작용할 수 있다.

연구개발 기획방법론 측면에서 기술계통도 분석은 기술예측, 기술로드맵, 기술영향평가, 국가과학기술 중장기 계획 등의 모델들과 함께 작동하여 유의미한 기획 결과로 도출되기 위한 지속적으로 작동하여 활용되는 것이 목적이다. 이러한 방법론에 의해 실현되는 기획 결과가 확정적으로 유효할 수는 없다. 다만, 새로운 과학기술 진보와 사회 경제적 환경 변화 요인이 다수 상호작용하기 때문이다. 따라서 기술예측과 기술영향 평가, TRM (Technology Road Map) 등을 수정하고 보완하여 최신화하는 기획시스템 마련되어 본 연구에 제시한 기술계통도 분석과 병행되어야 할 것이다.

요약하면, 기술기획 방법론으로 제시된 연구개발 포트폴리오, 기술예측, 기술로드맵은 미래 시장과 필요 기술이 예측된

미래 지향적 개념과 절차를 소개하는 자료이다. 이에 반해 지원과제 분석을 실시한 현금흐름과 연계한 기술계통도 분석 자료는 과거 실적 분석 자료이다. 미래 예측 분석 자료와 과거 분석 자료를 매칭하여 현재 추진되어야 하는 기술 도출이 타당성을 유지할 수 있다. 또한, 지금까지 기획 방법론이 외부에서 분석되어진 추진되고 있는 데 반해 기술계통도 분석 자료는 전담기관 관리 자료를 바탕으로 분석되어진 내생적 자료로 상호 보완적으로 기획과정에서 활용 될 수 있다. 실제로 기획과정에서는 다양한 전문가와 산·학·연 계층 전문가 등 많은 인력들의 참여가 필수적이다. 더 많은 정보를 수집하고 철저한 분석 자료는 합리적 의사결정이 이뤄질 수 있는 유의미한 근거 자료이다.

다만 기술계통도 분석을 토대로 우선순위 등 의사결정 과정에서 도출된 기획과제가 최종 공고되어 관련기술 연구를 위한 수요자를 모집하고 선정하는 단계까지 일대일 서로 매칭되는 부분을 연계하지 못한 본 연구 한계도 있다.

References

- [1] Park, C. G., Hong, J. S., Park, Y. G., Choi, K. R. 2000, "A Study on a Model for Energy R&D strategies Using AHP", Energy Engg, Vol. 9, No. 3, pp. 269-270, 277.
- [2] KETEP., 2012, "Energy R&D statistical data", KETEP, seoul, pp. 68-72.
- [3] Lee, J. J., Hyen, B. W., Choi, Y. H. 2011, "Science and technology policy: phenomenon and theory", KM CO, seoul, pp. 76-77, 167, 182, 196-198.
- [4] Albert H. Teich., 1994, "Priority-setting and economic payoffs in the basic research: An American perspective", Higher Education 28, Netherlands, pp. 1.
- [5] Lee, J. O., Lee, G. H., Jeong, S. Y., Jo, S. B., Yeun, J. H. 2007, "R&D Management", KM CO, seoul, pp. 137-167.
- [6] Song, W. J. 2010, "Science, technology and innovation policy of the 2000s: pursuit of creation and integration", hanwul academy, seoul, pp. 15-20.
- [7] Moon, S. Y. 2004, "Strategic Planning Methodology for National R&D Projects of Emerging Technology: Integrated Procedure of TRM and KM", STEPI, Policy research 2004-10, pp. 56-72, 78, 80.
- [8] Jang, D. H. 2004, "R&D strategic planning manual", STEMI, seoul, pp. 154-157, 168-199, 262-264.
- [9] Karpsoo KIM. 2004, "A Study on Best Practice Model of R&D Planning System: Comparison between Korea and Japan", STEPI, Policy research 2002-09, pp. 12, 15, 16-26.
- [10] KETEP. 2011, "Green Energy strategic Roadmap: Energy Storage System (ESS)", KETEP, seoul, pp. 14-18, 124, 130, 139, 142, 152, 156.
- [11] Jang D. H. 2004, "Technology Roadmap", STEMI, seoul, pp. 11-12, 35-53.
- [12] Andreas Falui. 1973, "Planning Theory", Pergamon Press, Oxford, pp. 36.
- [13] KETEP. 2012, "Energy Technology R&D Warehouse: Energy Storage System (ESS)", KETEP, seoul, pp. 10, 73-89.
- [14] Ministry of Knowledge Economy. 2011, "Energy Storage System Technology Development & Industrialization strategy (K-ESS 2020)", MKE, Gyeong Ki, pp. 3-10.

강근영



1997년 건국대학교 공과대학 공학사
2012년 고려대학교 그린스쿨대학원
에너지환경정책기술학과 수료

현재 산업자원통상 R&D 전략기획단 전문위원
고려대학교 그린스쿨대학원 에너지환경정책기술학과
(E-mail : young1974@osp.go.kr)

윤가혜



2006년 서울대학교 지구환경시스템공학부 공학사
2008년 서울대학교 에너지시스템공학부 공학석사

현재 한국에너지기술평가원 연구원
(E-mail : ghyun@ketep.re.kr)

김동환



1982년 서울대학교 금속공학과 공학사
1984년 서울대학교 금속공학과 공학석사
1992년 스탠포드 대학교 재료공학과 공학박사

현재 고려대학교 신소재공학부 교수
(E-mail : donghwan@korea.ac.kr)