

# 전력 저장(SMES 와 BES 를 중심으로)

김 호 용\*

(\*한국전기연구소 책임연구원)

## 1. 서 론

전력수요의 신장과 더불어 부하율 및 주야간 부하 격차가 점점 심화되어 현재의 70%, 60% 대에서 2000년대에는 60%, 50% 대로 하향될 전망이다. 이와 같은 수요변동에 대응하여 중간부하용 또는 피크 부하용 전원에는 중규모 화력발전 및 개스터어빈 발전이, 기저부하용 전원에는 원자력발전 및 대형 화력발전(일정출력운전)이 각각 이용되어 전체적으로 적절한 수급균형을 이루며 운전되고 있다. 따라서 현재 발전량의 약 50%(설비용량으로서는 약 36%)를 점유하고 있는 원자력발전의 구성비율이 현재 이상으로 유지될 경우 심야 경부하시에

- 공급력이 수요를 상회하는 소위 심야 잉여전력이 발생하며,
- 심야에 주파수 조정용량의 부족 등 수급조정능력이 저하하는

등의 문제가 발생한다.

이러한 문제점을 해결할 수 있는 전력저장기술로는 현재 실용화되어 사용되고 있는 양수발전이 있으나 입지환경상의 제약이 가장 큰 문제점으로 대두되고 있다. 아울러 원거리에 설치됨에 따라 송전손실 및 송전설비 추가등의 단점도 있으므로 새로운 전력저장에 대한 관심이 높아지고 있다. 따라서 본고에서는 표 1에서와 같이 전력저장설비에 대한 비교분

석을 통하여 신전력저장방식 중 향후 가장 빠른 시일내에 실용화가 예상되는 전지전력저장과 기술적과 급효과가 크고 효율이 우수한 초전도 전력저장에 대한 기술의 개요, 국내외 기술동향, 기술체계를 분석하며 아울러 전력저장의 국내외 수요과약 및 기술개발결과 활용방안에 대해 기술하기로 한다.

## 2. 전지전력저장

### 2.1 기술의 개요

전지전력저장에 관한 연구는 1960년부터 미국에서 시작되어 큰 관심을 끌어들였다. 축전지는 이미 100여 년전부터 우리 일상생활에 사용되어 왔으나 사용되어 온 대부분의 전지는 연축전지 및 니켈 카드뮴계의 알카리전지로서 에너지 밀도개선 및 Cost Down에 한계가 있기 때문에 이를 대규모의 전력저장용으로 이용하기 위해 개발되고 있는 것이 개량형 연축전지 및 신형전지 (Advanced battery)이며 대표적인 것으로는 나트륨/유황전지 (Sodium/sulfur battery), 아연/염소전지(Zn/Chloride battery), 아연/취소전지(Zn/Brome battery) 및 레독스 프로우전지(Redox flow battery)의 4가지가 있다. 신형전지는 기존의 연축전지에 비해 에너지 밀도가 3~4배정도 높고, 자원적으로 풍부하며 값이 저렴한 장점을 갖고 있다. 그러나 기술성, 신뢰성 및 경제성에 대한 지속적인 연구개발이 필요하며, 개량형 연축전지는 신뢰

표 1 전력저장설비의 기술특성, 입지환경, 경제성면에서의 비교

항 목		양수발전	축 전 지	초전도	압축공기	플라이휠
기술 특성	규 모 MWh(MW)	중~대 10 <sup>3~4</sup> (~10 <sup>3</sup> )	자 유 10 <sup>3~4</sup> (~10 <sup>3</sup> )	대 10 <sup>3~4</sup> (10 <sup>3</sup> ~)	소~중 10 <sup>2~3</sup> (~250)	소 1~10(~20)
	운전단위 hr	일, 주	일, 주	일, 주	일	분
	kWh/m <sup>3</sup>	1	~42	약 10	약 5	약 10
	효 율(%)	65~70	70~80	90~95	65~75	60~70
	수 명(년)	대(약 30)	중(10~20)	대(약 30)	중(약 20)	대(약 30)
	부하응답성	중	대	대	소	중
	기동정지 hr	수분	순시	순시	20~30분	순시
	보수관리	간편	간편	복잡	복잡	복잡
	건설기간	10년(1500 MW)	1년(10 MW)	10년(1000)	4.5년(220)	1년(1 MW)
입지 환경	입지 특성	산간지역(원격입지, 송전 손실 크다)	자유(수요지역내 가능, 송전손실작다)	지반건고지역(대 규모)	좌 동	자유(전지의 경우와 동일)
	환경 영향	광범위 수몰	업 다	없 다	소 음	소음·진동
	안전 대책	-	활물질누설 방지	-	고압공기누설방지	회전이상시의 대응
경제성	건설비용 (목표치) 엔 : 1986년 \$ : 1984년	15~30만엔/kW (일) 700~900 \$/kW (미)	21~26만엔/kW (일 : 8 hr 기준) 520~980 \$/kW (미 : 5 hr 기준)	30~60만엔/kW (일) 940 \$/kW (미)	약15만엔/kW (일) 495~580 \$/kW (미)	30~40만엔/kW (일) 1640 \$/kW (미)
	운전 비용	소	소	중	중	대
현기술개발수준		기존기술	중	소	서독, 有	소규모가능
기술적파급효과		소	대	대	중	중

(주) 경제성 : 일본 1 MW 파이롯트플랜트 건설비용 170~200 만엔/kW  
미국 10 MW 파이롯트플랜트 건설비용 1350 \$/kW

성면에서 가장 우수한 특성을 지닌 연속전지를 개선한 것이다.

이들 신형전지와 연속전지를 비교하면 표 2 와 같다.

축전지저장 시스템의 주요 구성요소는 그림 1 과 같이 ① 전기에너지를 화학에너지로 저장시킬수 있는 전지 ② 교류를 직류 또는 그 역변환도 가능한 전력 변환장치부인 인버터 ③ 시스템을 운전·제어·감시

할 수 있는 감시제어장치로 구성된다.

## 2.2 국내외 기술동향

### 2.2.1 국내

국내에서의 전기에너지저장기술은 한전 및 과기처를 중심으로 하여 추진되고 있으며, 한전기술연구원은 심야부하의 합리적 이용방안 즉, 부하관리 개선

측면에서 전기연구소와 공동으로 1990년에 국내 최초로 자체 설계에 의한 20 kW 전력저장장치 시스템을 제작 설치하여, 각종 효율, 시스템 신뢰성 등에 대한 시험운전을 완료하였고, 1992년 부터는 1 MW 급 연구를 착수할 예정이며, 한국에너지기술연구소는 1992년 5월 현재 200 kW 시스템을 설치, 시험가동 준비중에 있다.

한편, 축전지 자체개발은 동력자원부의 지원하에 국책연구소인 한국표준연구소와 국내 산업체인 세방전지에서 연축전지 개량 연구에 전념하고 있고, 신

형전지 개발은 유공에서 아연/취소전지 개발에 착수 하였으나, 연구결과가 미미한 상태에 있는 실정이다.

세부기술별로 선진국과의 기술수준을 비교할때 우선 규모면에서 선진국에서는 1~10 MW 급의 축전지를 개발하고 있는 반면, 국내는 20 kW 급에 불과하며, 축전지 성능면에서 선진국은 약 1500 Cycle 정도의 수명을 갖고 있으나, 국내의 경우는 1000 cycle 미만인 것으로 평가되고 있다. 또한 전력변환장치인 인버터기술은 자기신포소자인 GTO (Gate Turn

표 2 신형전지와 연축전지의 특성 비교

항목 \ 종류	나트륨/ 유황전지	아연/ 염소전지	아연 취소전지	레독스 프로우전지	연축전지
반응식	$2Na + xS \rightleftharpoons Na_2S_x$	$Zn + Cl_2 \rightleftharpoons Zn^{2+} + 2Cl^-$	$Zn + Br_2 \rightleftharpoons Zn^{2+} + 2Br^-$	$Fe^{3+} + Cr^{2+} \rightleftharpoons Cr^{3+} + Fe^{2+}$	$Pb + PbO_2 + 2H_2SO_4 + 2H_2O \rightleftharpoons 2PbSO_4 + 2H_2O$
이론에너지 밀도(Wh/kg)	780	834	428	103	167
전압(V)	2.1	2.1	1.8	1.0	2.1
전해질	$\beta$ 알루미늄	ZnCl <sub>2</sub> 수용액	ZnBr <sub>2</sub> 수용액	HCl 수용액	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
작동온도(°C)	300~350	20~50	20~50	40~60	5~50
특징	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 완전밀폐형</li> <li>• 자기방전없음</li> <li>• 고온유지 장치필요</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 보조펌프 필요</li> <li>• 아연결정 석출방지 필요</li> </ul>	좌동	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 보조펌프 필요</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 신뢰성면에서 가장 안정적</li> </ul>

표 3 국내 전지저장기술 현황

연구기관	개발내용	기간	비고
한전기술연구원	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 20 kW 급 전지전력저장 시스템 개발</li> <li>○ MW 급 전지전력저장 시스템 개발</li> </ul>	'89-'91  계획중 ('92-)	한국전기연구소 공동
한국에너지기술연구소	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 200 kW 급 전지전력저장 시스템 개발</li> <li>- 시스템 엔지니어링 : 미국 벡텔사</li> <li>- 전지 : 경원전지</li> <li>- PCS, MCS : 이화전기</li> </ul>	'90-'93	

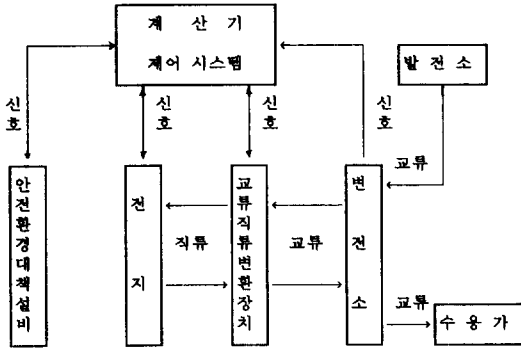


그림 1. 전력저장 시스템 구성도

Off) Thrister 소자를 사용하고 있으나, 국내수준은 Power Transistor 소자를 이용하고 있어 종합적인 면에서도 열세를 면치 못하고 있다. 그러나 최근 상공부에서 공업기반기술 구축을 위한 연구지원을 강화하고 있고, 파기처를 비롯한 동력자원부에서도 큰 관심을 갖고 있어, 이분야에 대한 기술개발이 집중적으로 지원된다면 가까운 시일내에 큰 효과 거둘 수 있을 것으로 기대된다.

2.2.2 국외

(1) 미국

기존의 연축전지를 이용한 대규모 에너지 저장용으로의 활용은 기술적, 경제적인 한계가 있어, 1966년 미국 Ford 사가 세계 최초 나트륨/유황전지(Na-S)인 일명 세라믹 전지를 개발, 발표함으로써 세계의 주목을 받아 왔으며, 그 이후 BEST(Battery Energy Storage Test)계획에서 실현을 보게 되었다. 그러나 BEST 계획의 연구달성목표가 어려워 지게 되고 오일쇼크가 가라앉음에 따라 예산이 삭감되는 등의 어려움을 겪게 되었다. BEST에서 개발시험된 축전지 저장시스템은 50kwh의 아연/염소전지(Zn/Cl<sub>2</sub>)이며 그외, GE, Exxon, Gould, NASA 및 EPRI 등에서도 깊은 관심을 갖고 연구개발하여, 현재 가장 큰 연구 Project 사업으로 추진하고 있는 대표적인 축전지 저장시스템은 EPRI 지원하에 Edison 전력에 설치 운영, 시험 중인 10 MW/40 MWh의 CHINO 플랜트이다.

(2) 일본

일본은 미국의 BEST 계획을 본받아, 미국의 축전

지 연구소인 Argone 연구소에 기술자를 파견하여 관련기술을 습득하였으며, 기존 연축전지의 개량 및 신형전지 개발을 착수하였다. 특히 1981년 부터 착수한 Moon-Light 에 의거 NEDO 주관하에 축전지에 대한 기술개발을 단계별로 수행하여 많은 성과를 얻었다. 개발중인 축전지로는 기존 연축전지의 성능을 개선한 개량형 연축전지와 신형전지인 나트륨/유황전지(Na-S), 아연/염소전지(Zn-Cl<sub>2</sub>), 아연/취소전지(Zn-Br<sub>2</sub>) 및 레독스 프로우전지(Redox flow)가 있으며, 1989년에는 이들 신형전지의 기술개발 성과를 종합평가하여 4가지 신형전지중 Na-S 전지 및 Zn-Br<sub>2</sub> 전지를 선정, 집중적인 기술개발을 추진하여, 현재 구주전력 및 관서전력에 각각 4 MWh 및 8 MWh의 신형전지 전력저장시스템을 설치, 시험가동중에 있다.

(3) 유럽

유럽중 가장 먼저 전지저장을 실용화한 국가는 독일이다. 독일은 이미 2차대전때 전시 비상용 전원으로 활용한 바 있으며, 축전지 개발은 HAGEN 사를 중심으로 기술축적이 많이 이루어져 왔다. 이러한 기술배경을 바탕으로 최근 통일되기 전의 구동독 내의 고립되어 있었던 서베를린지역의 비상용 전원공급 및 주파수 운전등을 목적으로 연축전지를 이용한 17 MWh BEWAG 플랜트가 1987년부터 운영 가동중에 있다. 표 4는 이들 선진국들의 주요연구현황을 나타낸다.

2.3 기술체계 분석

전지저장은 그림 2 에서와 같이 축전지를 계속/보호/관리하기 위한 보조시스템과 최적운용을 위한 Total 시스템, 축전지를 계통에 연결하기 위한 전력

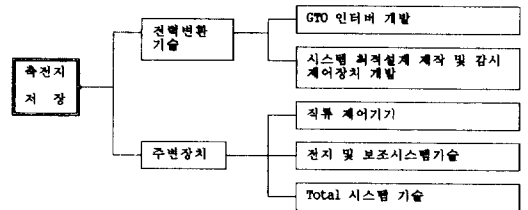


그림 2. 전지저장의 기술체계도

표 4 국외 전지저장기술 현황

국명	실시기관	용 량	설치장소	주 용 도	전지종류	변환방식	운전기간
일본	NEDO	1MW (4MWh)	배전용 S/S	부하평준화	개량형연전지	자려식	1986-
		1MW (8MWh)	"	"	나트륨-유황	"	1991-
		1MW (4MWh)	"	"	"	아연-취소	"
	동경전력	100kW (400 kWh)	"	부하평준화 피크컷트	나트륨-유황	"	1991-
	관서전력	60kW (48kWh)	"	부하평준화	Redox flow	"	1989-
미국	남캘리포니아 에디슨	10MW (40MWh)	배전용 S/S	부하평준화	연전지	자려식	1988-
	웨스트리코 전력청	21MW (17MWh)	낙도 계통	순동예비력 주파수조정	"	자려식	1992-
독일	BEWAG	8.5MW/17MW (14.4MWh)	고립 계통	주파수조정	"	타려식	1987-
남아프리카	오하네스버그 금광산	4MW (7.4MWh)	수용가	비상용전원 피크컷트	"	자려식	1988-

변환장치 및 감시제어장치로 분류된다.

기술개발을 위해 기술의 성격을 핵심, 관련 및 공통기술로 분류하여 세부과제에 대해 정리하면 다음과 같다.

**핵심 기술**

- 1) 전력변환기술
  - GTO 인버터 개발 : 소자특성향상, 회로의 고성능화를 통한 고효율화 및 구성요소 단순화를 통한 비용절감
  - 시스템 최적설계, 제작 및 감시제어장치 개발 : 전체 시스템에 대한 신뢰성 및 안정성을 확보할 수 있는 최적설계기술과 관리 및 보수 유지를 위한 무인화 감시제어 기술

**관련 기술**

- 2) 주변장치기술
  - 직류제어기기 및 축전지 보조시스템 개발 : 고성능 전지개발 및 전지구성 및 지지 그리고

계측/보호/관리를 위한 보조시스템 개발

**공통 기술**

- Total 시스템 기술 : 전체시스템을 실운용 및 실용화하기 위한 시험평가 및 운전시험기술

**3. 초전도전력저장**

**3.1 기술의 개요**

초전도 에너지저장장치(Sperconducting Magnetic Energy Storage : SMES)의 기본원리는 초전도 코일의 온도를 극저온으로 낮추면 이론적으로 코일의 저항이 ZERO가 되어 무한한 전류를 흘릴수 있으므로 전류의 2승에 비례하는 에너지의 저장이 가능하다는 초전도 특성을 이용한 것으로서 주요 구성 요소는 그림 3과 같이 대전류를 안정적으로 저장·방출시키기 위한 초전도코일, 극저온으로 유지시키기 위한 극저온용기(Cryostat), 냉각시스템 및 단열장치, 직류를 교류로 변환 또는 역변환시켜 대전류를 충방전시키는 인버터, 콘버터 및 직류기기인 주

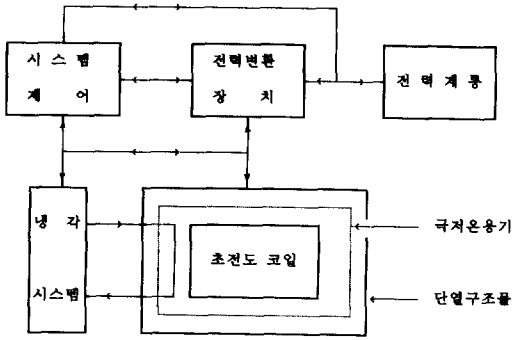


그림 3. 초전도저장시스템 구성도

변장치, 그리고 이러한 장치의 시스템 구성을 통한 시스템 최적화, 운용기술 등의 Total 시스템 기술로 크게 구분된다.

### 3.2 국내외 기술동향

#### 3.2.1 국내

##### (1) 한전기술연구원/서울대학교

1985년 서울대학교와 한전기술원 공동으로 25KJ 급 SMES 연구를 시작하여 전력계통 연계 운전특성 및 계통안정화 특성을 검토하였으며 현재는 0.5 MJ 급 SMES 연구를 진행하고 있다.

##### (2) 한국전기연구소

1990년 1 kJ 급 전력저장용 초전도자석 및 극저온 송전시스템을 개발하였으며 현재 저온초전도 선재 및 MRI 용 초전도 자석개발과 SMES 및 초전도 관련 요소기술 개발을 진행하고 있다. 또한 SMES 용

모의 송전시스템 구축과 함께 현재 보유중인 125 kJ 급 초전도 자석을 이용한 계통 연계특성 연구를 계획중에 있다.

#### 3.2.2 국외

##### (1) 미국

미국은 주로 전력회사나 에너지성(DOE) 주관아래 위스콘신대학, 전력연구소(EPRI) 등에서 시스템 설계, 설치 및 적용기술에 대한 연구를 추진하여 오고 있다. 최근에는 EPRI가 SDI 계획의 일환으로 1989년 20 MWh 급 SMES Project를 시작하여 레이저빔 용 전원(400 MW-100초)과 전력저장용 전원(10 MW-2시간)의 2중 용도로 설계하였으며, 1999년에 실제 통에 대한 실증시험을 완료할 예정이다.

##### (2) 일본

일본은 1969년 구주대학에서 SMES 이론연구가 시작 되었으며, 그후 80년대 들어와서 문부성 주관으로 기초기반기술을, SMES 에너지저장 연구회가 시스템 설계기술을, 통산성산하 NEDO에서 시스템 설치기술 및 적용기술을 각각 분담하여 연구개발하여 왔으나, 1985년 이후 초전도 연구조합(RASMES)이 결성되어 총괄적인 연구를 수행하고 있으며, 국제 초전도 연구센터(ISTEC)에서 중·소규모 SMES의 응용연구를 진행하고 있다.

##### (3) 독립국가연합

독립국가연합의 SMES 연구는 기초기반기술, 설계

연구기관	개발내용	기간	비고
한전기술연구원	○ 25 kJ 급 연구  ○ 0.5 MJ 급 연구중 - 전력계통안정화용 - SMES 설계 및 특성 조사	'87-	서울대 공동
한국전기연구소	○ 1 kJ 급 초전도 Magent 개발 - 에너지축적 및 자장발생 시험용 ○ SMES 용 모의 송전계통 구축  ○ 저온 초전도 선재 개발중	'90  계획중 ( '92- ) '91-	

및 설치기술 등을 Kurchatov 원자력 연구소에서, 시스템 적용기술은 전력종합연구소가 각각 담당하고 있다. 그의 1989년에 SEN-E 라는 SMES Project 가 소비에트 과학 아카데미연구소에서 시작되어 1996년 계통연계시험을 목표로 100 MJ (27 kWh) SMES 가 설계 되었고, 현재 비공식적인 자료에 의하면 수백 MJ 의 SMES 가 연구중에 있다고 알려지고 있다.

### 3.3 기술체계 분석

초전도저장은 그림 4 에서와 같이 초전도선재 및 초전도코일을 극저온으로 유지하기 위한 용기인 Cryostat, 이의 계속적인 운전에 필요한 냉각시스템 및 초전도 마그네트를 운용하기 위한 주변장치와 SMES 시스템의 구축 및 최적화, 최적운용기술인 Total 시스템 등 5개의 세부과제로 분류할 수 있다.

이들 세부과제의 기술개발을 위해 기술의 성격을 핵심, 관련 및 공통기술로 분류하여 정리하면 다음과 같다.

핵심 기술

#### 1) 초전도코일 기술

- 초전도 코일 개발(설계, 제조, 평가) : 유언 코일 구조의 안전설계 및 전자력 지지를 위한 고강도 AI 합금의 용접법
- 안정화 초전도 선재개발 : 초전도체 제조/가공/조립기술 및 완전 안정화를 위한 냉각구조, 도체와 안정화재와의 전기 및 열적 접속법

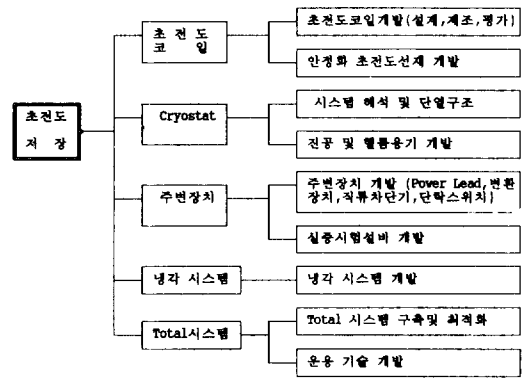


그림 4. 초전도저장의 기술체계도

표 5 선진국의 초전도 저장기술 개발동향

국명	실시기관	용 량	목 적	개 발 내 용	기간
미국	BPA-LANL	8kWh 급	전력계통 안정화용	실계통 연계시험	'78-'87
	SDI-EPRI	20MWh 급	전력저장/레이저전원용	'99년 실계통 연계시험	'88-'99
	Wisconsin 대학	1-10 GWh	대규모 전력저장	개념설계	'76-'83
일본	중부전력	1MJ	전력계통 적용 효과 실험적검증	운전효과의 검증	'88-'92
	관서전력	2.5MJ	"	시스템의 기능 검토	'89-'94
	NEDO	10MWh 급	전력저장	개념설계 및 평가	'82-'84
소련	SEN-E	27kWh 급	SMES 시스템연구	연계시험	'89-'96
	Kurchatov 원자력연구소	2.5MJ	레이저전원용	운전시험 완료	'78-'80
독일	문헨공과 대학	35kWh 급	전력계통 적용연구	신형전지와조합 운용 초-시간 총방전 시험	'88-'92
캐나다	HYDRO-QUEBEC	300MJ 급	전력계통 안정화용		

주) 1 Wh = 3600 J

2) Cryostat(헬륨 및 진공용기)

- 시스템 해석 및 단열구조: 초전도 코일의 열, 구조해석 및 단열지지 구조 개발기술
- 진공 및 헬륨용기 개발: 용기 설계 및 성형 가공/제작기술

토목재료의 특성, 자계에 의한 영향평가 기술 및 Quench 시 보호 시스템 등이다.

- 시스템 운용기술개발: 시스템을 구축한후 실증시험 설비를 통해 실운용에 필요한 기술개발 및 운용 S/W 개발

관련 기술

3) 주변장치

- 주변장치개발: Power Lead, 변환장치, 직류 차단기, 단락스위치 개발
- 실증시험설비개발: 초전도 저장장치에 대한 실증시험용 설비개발

4) 냉각시스템

- 냉각시스템 개발: 초전도 코일의 연속, 운용 측면을 고려한 효율 및 신뢰성이 확보된 냉각 시스템 개발

공통 기술

5) Total 시스템

- 시스템 구축 및 최적화 기술: 각각의 장치들을 효과적으로 구축하기 위한 기술로 암반 및

4. 기술수요

본 항에서는 전력저장장치(BES 및 SMES)에 대한 국외의 도입가능량을 조사분석하였으며, 국내에서의 전력저장시스템에 대한 도입을 전망하기 위하여 장기전원계획에 의거한 전력수급 조정측면과 대체에너지개발 측면에서의 종합 도입전망을 검토한다.

4.1 국외

해외에서의 전력저장의 도입가능량에 대해 정확한 자료를 공표한 국가는 없으나, 미국은 전체 발전용량의 3%를 계획하고 있고, 일본의 경우는 표 6에서와 같이 대규모 시스템, 중소규모 시스템, Peak 부하용, 기타 전기자동차용 등에 대해서 추진기간으로 2000년대 이전을, 그리고 보급기간은 Cost-Down

표 6 일본의 전력저장 도입 잠재량 및 시장규모

규모별	구분	시 산 방법	잠재도입 가능량		비 고
			2000년	2030년	
부 하 평준하	대규모	총전원설비의 10% 정도	2,200만 kW	3,600만 kW	200년대 경제성목표 25만엔/kWh
	중규모	배전용설비(77 kV)의 10%	2억 2,200만 kW	3억 7,000만 kW	
	소규모	도시지역발전 설비의 20%	79만 kW	13만 kW	
Peak Cut 용		대형수용가 설비의 20%	7,200만 kW	8,100만 kW	
기타 전기 자동차용 등		소형자동차의 5% (2000년) 20% (2030년)	125만대 (30 kWh/대) 500만 kW	500만대 (30kWh/대) 1,875만 kW	
총 계			32,179만 kW	50,710만 kW	
실현 가능 규모			1,600만 kW	25,000만 kW	



이 가일층 이루어져 본격적으로 보급할 수 있는 기간으로 2000년 이후를 검토하였다.

우선 대규모시스템은 부하평준화가 주목적이기 때문에 양수발전에 대응되는 기술이므로 장래 전원용량의 10% 정도(양수발전소 설비용량 비율에 상당)를 필요로 한다고 계산하고, 중규모시스템은 배전용 변전소에 설치하여 변전소 자체부하에 대한 부하평준화용 임을 감안하여 배전용 변전설비용량의 20% 정도, 소규모시스템은 단독전원에 사용되므로 도서 지역의 내연발전설비 용량의 20%, Peak 부하용은 대형 수송계약 전력의 20% 그리고, 기타 전기자동차 등은 현 보유수송차의 5~20%를 계상하여 잠재 도입량을 시산하였다.

## 4.2 국 내

### 4.2.1 도입 전망

국내의 전력저장시스템의 도입전망을 위하여 전력수급 조정측면과 대체에너지 개발 측면에서 살펴 보면 다음과 같다.

### (1) 전력수급 조정측면

전력계통을 운용하는데 있어서 발전 원가의 절감과 전력계통의 원활한 운용이 가장 큰 관심사다. 이들 발전원가의 절감과 원활한 운용에 대한 문제점은 연동적이면서도 개별적으로 검토될 수 있다. 예를 들어 대용량 원자력, 석탄 화력의 감발운전 및 기동정지를 줄이기 위한 방안으로 심야전력 창출기기를 사용하는 것은 발전원가의 절감보다는 계통의 원활한 운용에 목적을 둔 것이다. 반면에 양수 발전과 같은 전력저장 시스템은 계통의 원활한 운전과 아울러 주간 피크전력을 담당할 수 있으므로 발전원가의 절감에도 기여하게 된다.

전원의 특성을 고려할 때 이들 대책은 근본적으로 차이가 있다. 즉 대체적으로 원자력은 설비용량을 가능한한 높게 유지하기 위하여 기저부하용 전원으로, DSS 화력은 주간의 부하증가에 대응하는 중간 부하용 전원으로, 전력저장은 부하추종능력이 우수한 첨두부하용 전원으로 각각 운용되고 있다. 이러한 특징, 운용을 근거로 심야원자력부하추종, 화력 DSS의 장래전망을 분석하면 표 7과 같이 된다.

표 7 전력저장과 화력 DSS, 원자력 부하추종운전의 비교

항목	전력저장	화력 DSS	원자력부하추종
운전성	○ 기동·정지·부하응답 특성이 우수하다.	○ 조류등의 제약에 따라 DSS의 실시에 한계가 있다. ○ 실재는 기동회수에 제약이 있다.	○ 미리 정해놓은 부하패턴에 따라 운전이 가능하지만 부하추종의 유연성이 부족하다.
경제성	○ 연료비가 싼 원자력 등 Base 전원의 이용율이 증대한다. ○ 저장에 따른 손실이 있으나 효율이 높으므로 유리하다.	○ 기동시 기동손실을 가져온다.	○ 연료비가 싼 원자력의 설비 이용율이 저하한다.
	우수	보통	나쁨
평가	○ 원자력 정상운전을 고려하는 경우 저장의 경제성은 극히 양호하다. ○ 부하변동 등에도 유연하게 대응할 수 있다.	○ DSS의 실시는 계통의 공급 신뢰도와 큰 관계를 가지고 있으므로 실시에 한계가 있다. ○ IEA에서 정한 국제 협약에 따르면 석유 화력발전소의 신설은 원칙적으로 금지되고 있다.	○ 원자력의 출력 억제는 경제성 측면에서 손실이 매우 크다.

이와 같이 화력 DSS 및 원자력 부하추종운전에는 운용성 및 경제성의 제약이 있고, 원자력 비율의 증대, 부하율의 저하 경향이 진전되어 가고 있으므로 원활한 전력수급조성과 에너지 및 전력설비의 효율적 이용을 위한 전력저장설비의 도입이 필요하다.

(2) 심야전력이용 측면

최근 심야전력 활용이 문제로 대두된 것은, 발전원가의 절감을 위한 원자력 발전소의 급격한 도입에 있다. 이러한 원자력 발전소를 감발 운전하지 않으면서, 계통운용상 주파수를  $60 \pm 0.1\text{Hz}$ 의 범위내로 90% 이상 유지하려면, 심야 시간대의 원자력 발전 비중을 60~70% 이하로 억제시켜야 한다. 실제로 표 8 에서와 같이 계통운용상 필요한 심야부하는 약 3,000~4,000 MW에 이르고 있는 반면 심야부하 창출 필요량 및 개발 계획량에 따른 심야부하 부족량은 표 9 와 같다.

아울러 심야부하 창출 계획량은 계약전력을 기준으로 한 것으로 온도조절기 등이 부착된 전기 운수기와 전기 난방기를 고려한 경우, 부족량은 이보다 훨씬 심화 될 것으로 보인다. 물론, 1995년 무주 양수발전소(600 MW)가 계획되어 건설될 예정이나 부하조절이 어려운 원자력발전소와 유연탄 화력발전소

표 8 계통운용상 필요한 심야부하 조성량

(단위 : MW)

년도	원자력발전	필요부하	최소부하	심야부하 조성량
1989	7,616	10,880	6,566	4,314
1990	7,616	10,880	6,966	3,914
1991	7,616	10,880	7,432	3,448
1996	9,416	13,451	10,194	3,257
2001	12,116	17,309	13,378	3,931

표 9 심야부하 창출 필요량 및 개발 계획량에 따른 부족량

(단위 : MW)

년도	필요량 (A)	계획량 (B)	차이 (A-B)	양수동력 (C)	부족량 (A-B-C)
1989	4,314	455	3,859	1,000	2,859
1990	3,914	830	3,084	1,000	2,084
1991	3,448	1,305	2,143	1,000	1,143

의 도입은 계속 계획되고 있어, 심야전력을 흡수할 수 있는 대책이 시급하다고 생각된다. 표 10은 1995년 이후, 발전소 건설계획으로 이 표에 의하면, 원자력 이외에도 1995년부터 2001년 사이에 석탄 화력이 9,320 MW나 도입되게 되며, 이에 비하여 1999년 양수 1, 2호기 (700 MW) 및 2001년 양수 3호기 (500 MW)가 도입 될 예정이므로 기저부하의 대량 도입에 따른 심야부하 창출의 필요성은 더욱 절실하다.

이러한 계통운용상의 문제를 해결하기 위한 심야부하 창출 대상을 수용가별로 분석해 보면, 산업용 대동력의 경우 이미 시차제 요금제에 의하여 심야 시간대에 저렴한 요금을 적용받고 있으므로 추가 창출은 어렵고, 산업용 소동력은 대부분 중소기업으로 심야전력을 이용하는 심야작업시, 시간외 근무에 따른 인건비의 추가 지불로 심야전력 이용의 경제적 이익이 그리 크지않게 된다. 따라서 심야부하의 창출대상은 심야시간에 축열을 하였다가 주간시간에 축열된 에너지를 이용하는 가정용 및 업무용 수용가에 국한되게 된다. 그러나 이러한 심야전력을 이용한 축열시스템도 아직까지는 경제성이 문제가 되어 도입이 미미한 실정이다.

상기문제를 해결할 수 있는 방안은 각종 저장설비 뿐이며, 현재로서는 양수발전소와 비교하여 경제성이 다소 떨어지나, 앞으로 기술개발 및 주위여건(양수발전 부지확보의 어려움)등을 고려하면 충분한 가능성이 있다고 예상된다.

(3) 주간 피크부하 저감측면

표 10 발전소 건설계획('95~2001) (단위 : MW)

년도	시설용량	최대수요	설비에비율	비고
1995	31,366	26,775	17.1	
1996	34,410	28,752	19.1	
1997	36,708	30,617	19.9	
1998	39,216	35,532	20.5	
1999	41,768	34,353	21.6	양수 700 MW
2000	44,103	36,336	21.4	
2001	46,898	38,409	22.1	양수 500 MW

표 11 전력저장 도입가능량

규모	항목	적용대상	용도	도입가능량		비고
				2000년	2010년	
대규모	부하 평준화용 (GW 급)	전력회사	양수발전 대체	160만 kW	410만 kW	* 경제성 목표 90~120만 원/kW
중규모	분산배치형 (MW 급)	전력회사, 산업체	○주간 Peak Cutting ○심야부하 창출 ○정전압, 정주파수 유지	363만 kW	672만 kW	

주) 경제성목표액은 “전지전력저장 시스템연구(’89~’91)” 연구결과 참조.

최근 전원설비 확보가 심각한 문제로 제기되어 있어 가까운 시일내에 제한송전이 불가피하다는 발표가 있었으며, 현재도 예비율이 5%(1991년 기준) 내외로 유지되고 있어서 계통운용상 어려운 점이 많은 실정이다. 이러한 상황에서 심야에 전기를 저장하였다가 피크부하대에 방전하는 전력저장시스템은 심야 부하 창출과 함께 주간피크를 저감하는데 효과적인 대책이 되리라 예상된다.

(4) 지역내 전력수급 불균형축면

특히 경인지역의 경우가 전력수급 불균형으로 인한 전압강하, 정주파수유지 등의 문제점이 있어, 현재 차기초고압 격상대책 등이 논의되고 있는 실정이다. 이러한 차기초고압 격상대책은 지역간 전력수급 불균형문제는 해결할 수 있으나, 지역내 전력수급 불균형문제는 해결될 수 없으므로 전력저장시스템 등의 분산형전원 시스템을 도입함으로써 지역내의 전력수급 문제해결에 기여할 수 있다.

4.2.2 도입가능량 분석

부하평준화용 대규모의 경우 양수발전설비에 대응되는 용도인 점을 감안하여 “장기전력 수급 공청회(1991. 7)” 자료에 따라 2000년과 2010년의 도입가능량은 각각 1.6GW 및 4.1GW로 산정하였다.

분산배치형 중규모의 경우는 변전소의 부하특성을 세분하여 실제 1988년 배전용 변전소를 대상으로 정

출력운전의 경우에 대해 도입가능량을 분석한 결과 도입가능용량은 주변압기용량의 약 15% 였으므로 이를 적용한 결과 향후 2010년까지의 도입가능량은 표 11과 같이 각각 3.6GW 및 6.7GW로 산정되었다.

5. 기술개발결과 활용방안

5.1 최종 수혜자

기술적용 가능분야	기술적용목적	수혜자
전력계통운용	○ 양수발전 대체 ○ 장거리 계통 및 발전기의 안정도 향상 ○ 도시부에서 부하평준화 ○ 순시 전압저하 대응 및 전압안정성 개선 ○ 태양광, 풍력 등 자연에너지의 유효이용	전력회사
현지설치용	○ 대형빌딩의 부하 평준화 ○ 대형 업무용빌딩의 고신뢰성 전원(UPS) ○ 제철소용 대형공장의 부하평준화 ○ 레이저빔용 전원	산업체
수송	○ 전철 회생제동용 전원 ○ 자기부상열차용 전원 ○ 전기자동차	철도, 자동차 등 수송관련 업체



- 
- [5] 超電導 電力 貯藏 研究發表會 技術研究發表 論文集, 日本工業クラブ, 平成 3年 12月 13日.  
[6] 超電導에너지-貯藏による 電力系統의 安定化, 電力中央研究所 報告, 181044, 昭和 57年 8月.  
[7] 超電導技術의 電力시스템への 適用可能性, Yasuo

Hashimoto et. al., IEE Japan, Vol. 111-B, No. 4, '91.

- [8] Wisconsin Superconductive Energy Storage Project, EES Reporet, No. 53.
- 



**김호용(金豪溶)**

1952년 9월 1일생. 1979년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1985년 UT at Austin 전기공학과 졸업. 현재 한국 전기연구소 책임연구원.