

電力技術의 現在와 未來

에너지 貯藏技術

趙 京 海

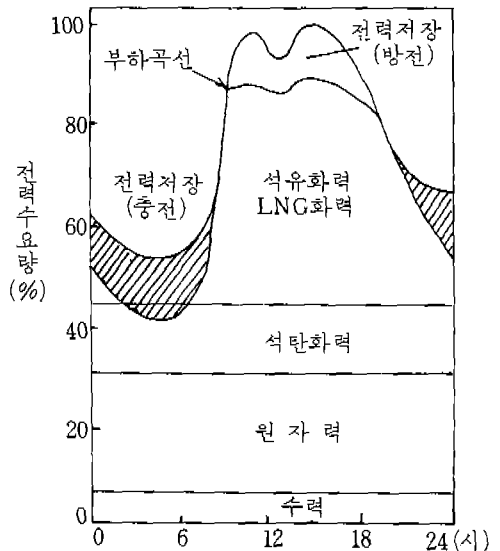
韓電 技術研究院 發電研究室長

1. 서 론

전력 에너지는 저장이 곤란하고 공급과 수요가 동시에 이루어지는 특징을 갖고 있어 필요한 발전설비는 최대 전력수요에 상응하는 용량을 보유하지 않으면 안된다. 전력수요는 일별, 계절별 및 주·야간별로 수시로 변동함에 따라 주간 최대부하와 심야부하의 비율이 어떤 경우 40%정도에 불과한 경우도 있다.

한편, 전력수요의 증가에 따라 발전설비의 단위기용량도 비례하여 늘어나, 최근에는 대용량 원자력발전소를 비롯한 화석연료 발전소의 기저부하설비가 늘어나게 되어 발전원가가 저렴한 이들 발전소의 효율적 운영 및 전력계통의 합리적인 부하관리가 과거 어느 때보다도 절실히 요구되고 있다. 특히 심야잉여전력을 합리적으로 이용하기 위한 에너지 저장장치가 있다면 부하평준화(Load Levelling) 기능에 의한 발전설비의 효율향상 및 발전원가 절감, 발전설비의 주

가전설을 억제할 수 있는 효과도 거둘 수 있어 장기전원계획 수립시에도 탄력적으로 대응할 수 있을 것이다.



〈그림 1〉 전력저장에 의한 부하 평준화

에너지 저장의 한 방법으로 현재 양수발전소가 실용화되었지만 대부분 부하 중심지에서 멀리 떨어진 장소에 건설되기 때문에 송전설비비, 송전손실의 문제점이 있고, 또한 건설에 적합한 입지선정상의 제약조건이 있어 이에 대응할 수 있는 에너지 저장장치 개발이 필연적이다. 본고에서는 이러한 에너지 저장장치의 종류, 특징, 기술개발현황 및 전망에 대해 기술하고자 한다.

2. 에너지 저장기술의 종류 및 특징

에너지 저장기술을 에너지 저장형태로 크게 분류하면 다음과 같다(그림 2).

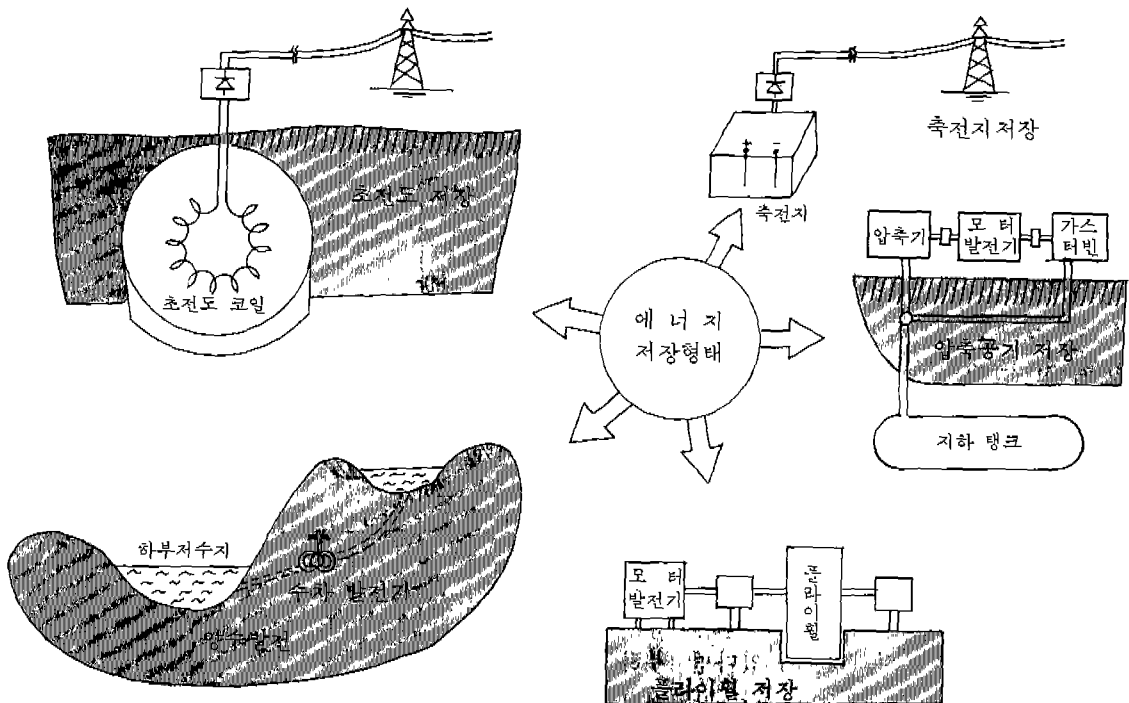
- 전기 에너지 - 초전도 에너지 저장
- 위치 에너지 - 양수발전
- 화학 에너지 - 축전지 전력저장
- 운동 에너지 - Flywheel 에너지 저장
- 압력 에너지 - 압축공기 저장
- 열 에너지 - 현열, 잠열 에너지 저장

가. 초전도 자기 에너지 저장

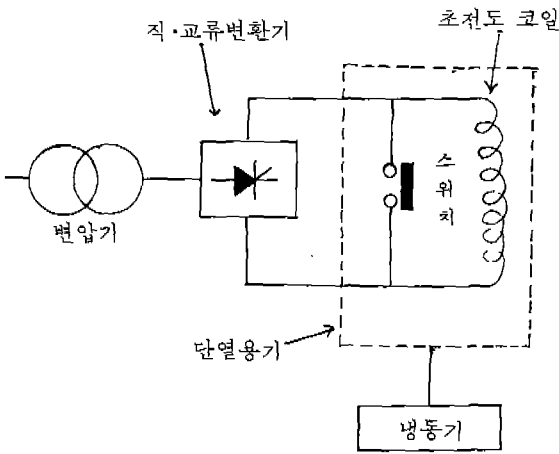
초전도 자기 에너지 저장은 일반적으로 코일의 인덕턴스(L)에 전류(I)를 흘리면 코일에 축적되는 에너지는 $E=1/2 LI^2$ 으로 풀이되며 이 자기 에너지는 코일에서 Joule 열로 방출된다. 그러나 어느 극저온도에서 코일의 저항이 0이 되는 특징을 가진 초전도 코일을 이용하면 이론적으로 무한한 에너지를 저장할 수 있는데, 이것이 바로 초전도 에너지 저장(SMES: Super-Conducting Magnetic Energy Storage)의 원리이다.

SMES의 구성요소를 그림으로 나타내면 그림 3과 같이 초전도 코일, 코일을 극저온으로 유지하기 위한 진공단열용기, 직·교류변환장치 및 냉동기로 구성되어 있다.

초전도 에너지 저장장치의 응용범위로는 분산형 전원으로서 계통안전용 유·무효 전력제어 및 보상, 부하평준화용으로 수 MWh급에서 수



(그림 2) 에너지 저장형태



〈그림 3〉 SMES의 기본원리

백 MWh까지 이용 가능한 장점을 갖고 있으나 다른 에너지 저장장치와 비교하여 에너지 밀도가 낮아 대형 초전도 코일을 사용하며 지하에 매설되어야 하는 특징을 갖고 있다.

대규모 양수발전에 이용 가능한 규모인 5000만kWh급에 있어서는 코일의 지름이 약 500~1000m 정도로 크게 될과 동시에 코일의 축방향과 반지를 방향으로 막대한 전자력이 작용하게 되어 인체 및 주위환경에 크게 영향을 미치게 된다. 따라서 초전도 에너지 저장장치의 실용화를 위해서는 자체가 인체에 미치는 영향분석 및 대책, 입지선정방안, 초전도재료의 개발, 대형 냉동기 제조기술 및 대전류 변환기술 개발 등 해결해야 할 문제점이 산적해 있다.

현재 SMES 개발현황을 보면, 1970년대초 미국 위스콘신대학을 중심으로 요소기술 개발이 시작되어 일본·소련 등에서 적극적으로 기술개발하고 있다. 최근 미국은 '91년부터 3개년계획으로 21MW Plant를 건설하여 '93년부터 각종 시험을 예정하고 있으며, 벅켈 및 에바스코양 회사가 기술개발에 참여하고 있다.

일본은 NEDO가 10MWh급 SMES의 개념설계를 한 바 있고 장기계획으로는 '92년부터 10MWh Plant 시험을 시작으로 2000년 이후에는

5,000MWh급 SMES도 계획하고 있다.

한편, 소련은 모스크바의 고온연구소에서 100MJ의 코일을 30MW 전력변환기에 접속하여 제동안정화시험을 시도하고 있으며, 한국은 한국전력 기술연구원에서 서울대학교와 '84년부터 기초연구를 시작하여 현재는 20kVA 초전도발전기 및 0.5MJ 초전도 에너지 저장장치 개발을 추진 중에 있어 그 실용화는 2000년 이후에야 가능할 것으로 전망된다.

나. 축전지 전력저장

축전지 전력저장 시스템은 고성능 2차전지(충전 및 방전이 가능한 전지)를 이용, 심야전력을 저장하여 주간 첨두부하시에 방출하는 부하평준화 기능을 갖는 에너지 저장 시스템으로서, 다른 어느 에너지 저장기술보다 실용화에 근접한 기술이라 할 수 있겠다. 또한 도시근교의 변전소나 도시내에 설치할 수 있다면 송전손실이나 송전설비비의 절감도 가능하여 도심지역의 계통전력공급은 물론, 전력계통 안정화에도 크게 기여될 수 있을 것으로 전망된다.

전력저장 전지 시스템의 주요 구성요소의 하나인 축전지는 이미 100년 이상의 역사를 갖고 있어 그 이용은 용이한 편이나 기존의 연축전지는 에너지 밀도 및 가격면에서 불리하여 최근에는 신형전지를 이용한 저장 시스템을 적극적으로 연구개발하고 있다. 개발중인 신형전지로는 나트륨-유황전지(Sodium-Sulphur), 아연-염소전지(Zinc-Chloride) 아연-취소전지(Zinc-Brome) 및 레독스플로우(Redoxflow)가 있으며, 이중 실용화 측면에 더 가장 기대되는 전지는 나트륨-유황전지 및 아연-취소전지이다. 신형전지의 특징으로는 자원공급에 제한이 없고 에너지 밀도가 연축전지에 비해 이론상 3~5배 정도로 높고 Compact화 할 수 있어 대량 생산시 Costdown이 가능하며 단기간에 건설 가능한 장점도 갖고 있다.

축전지 개발과 아울러 중요시되는 기술은 시스템 기술개발이다. 축전지가 직류이므로 이를 전

력제통과 연계운전하기 위한 직·교류 변환기술, 운전제어 기술, 보호장치기술 및 환경안전평가 기술 등 System 기술확립이 필요하다.

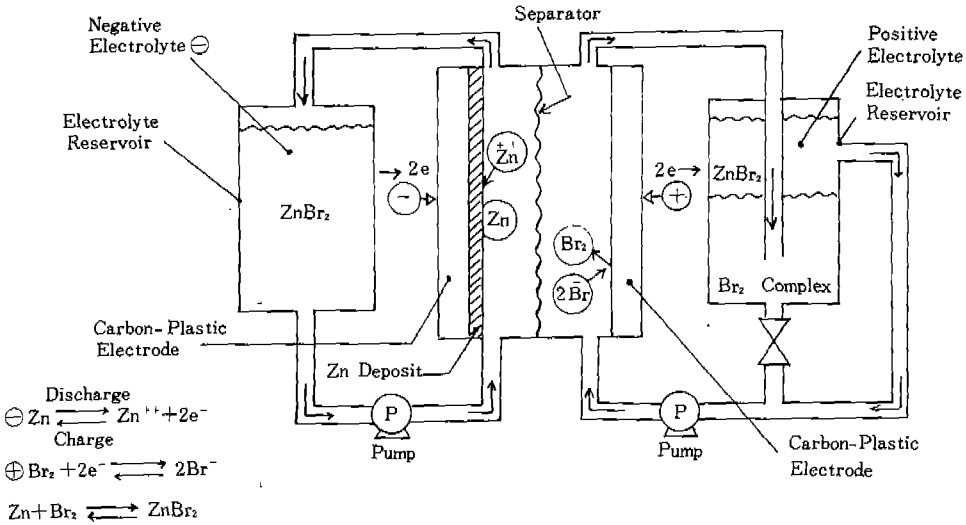
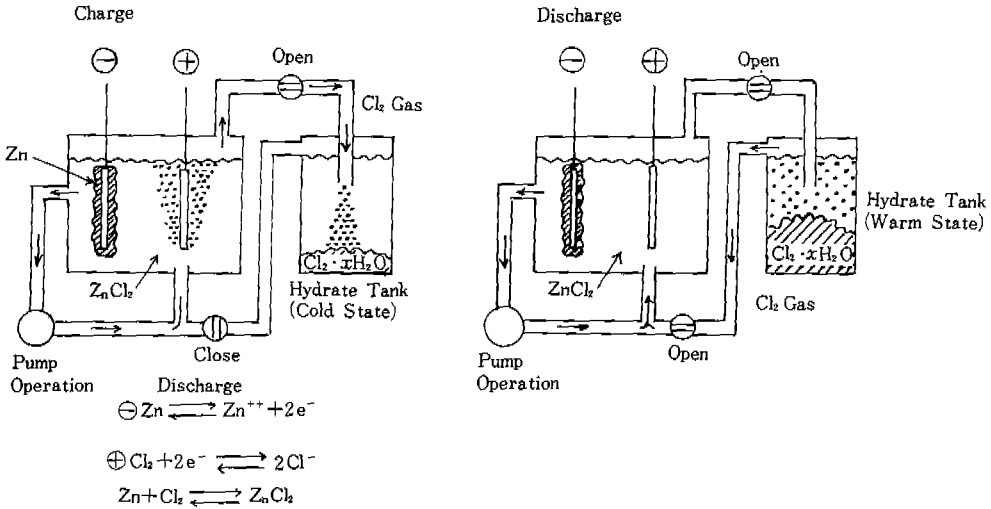
이러한 축전지 저장 시스템이 기존의 양수발전과 같은 부하평준화의 역할을 하기 위해서는

- ① 충방전시간 : 8시간 충전, 8시간 방전
- ② 종합효율 : 70% 이상

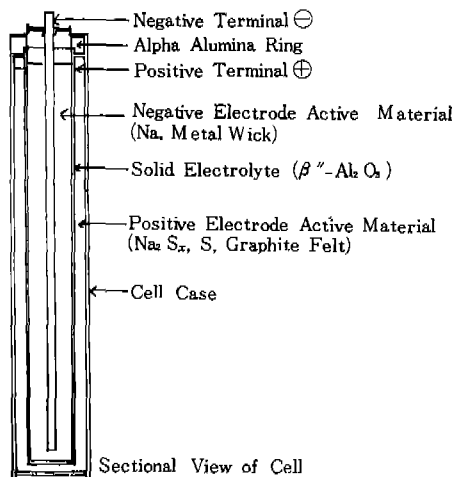
③ 축전지 수명 : 1500회 이상

④ 환경대책 : 환경기준 만족 등의 조건들을 만족해야 한다.

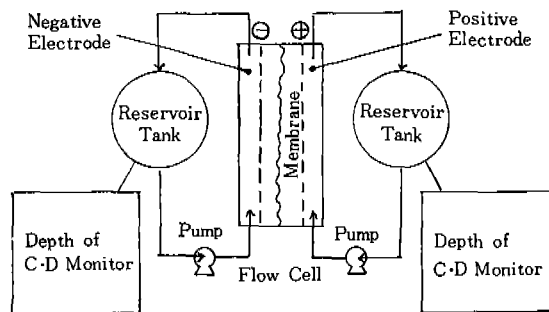
한편, 해외 기술개발현황을 보면, 독일의 경우 서 베르린의 베타(BEWAG) 전력회사가 순동예비력과 주파수 조정용으로 17MW (14.4MWh) 플랜트를 1986년에 건설, 현재 운전중에 있고,



〈그림 4 / 신형 전지의 종류 (a)〉



Sodium Sulphur Battery



Schematic View of Redox Flow Battery

〈그림 4〉 신형 전지의 종류 (b)

미국은 California주에 에디슨전력이 10MW (40 MWh)의 전력저장설비를 건설하여 운전연구를 수행중에 있다. 또한 일본은 NEDO 주관하에 1980년도부터 4 가지 신형전지에 대한 요소기술 개발을 시작하여 '84년에는 10kW급, '87년에는 1000kW급 Pilot Plant 건설을 위한 60kW급 신형전지 모듈 제작에 착수함과 동시에 '85년부터는 1,000kW급 연속전지 저장 Plant를 건설, '86년 2월부터 시험운전에 들어갔다.

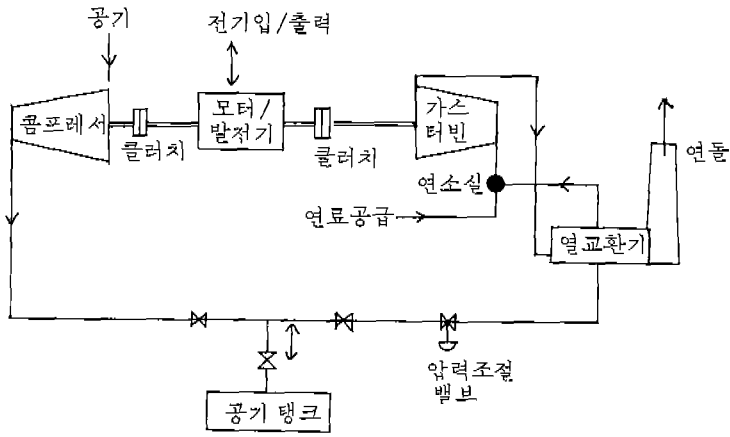
한편 신형전지를 이용한 MW급 시스템으로는

나트륨/유황전지 1,000kW (8,000kWh) 시스템을 판서전력이 타즈미발전소에, 아연/취소전지 1,000 kW (4000kWh)를 구주전력이 마주쿠발전소에 설치하여 '90년 11월 및 12월부터 각각 운전 연구에 착수하였다.

앞으로 이 신형전지 전력저장 시스템의 본격적인 도입이 예상되는 1995년 이후에는 부하평준화 기능에 따라서 첨두부하용 발전설비의 대체효과로 인한 화력발전 효율향상 및 도시 근교에 분산배치됨으로써 송전손실 감소효과를 기대

〈표 1〉 신형 전지의 특징 및 종류

구분 \ 종류	나트륨유황 (Na-S)	아연 염소 (Zn-Cl ₂)	아연 취소 (Zn-Br ₂)	레독스플로우 (Redox Flow)	납 (Lead-Acid)
활 물 질	Na/S 액체 / 액체	Zn/Cl ₂ 고체 / 기체	Zn/Br ₂ 고체 / 액체	Cr/Fe 액체 / 액체	Pb/PbO ₂ 고체 / 고체
전 해 질	β 알루미나 (고체)	ZnCl ₂	ZnBr ₂	HCl, HBr	H ₂ SO ₄
이론 에너지 밀도 (Wh/kg)	792	828	430	103	167
전 압 (V)	2.0	2.1	1.8	1.0	2.1
작동 온도 (°C)	350	상온	상온	상온	상온
개발 회사	유 아 사 FORD, ABB	후루가와 EDA	명 전 자 EXXON	미쓰이조선	일본전지



〈그림 5〉 CAES System 개략도

할 수 있을 것으로 전망된다. 한편 수용가에서 직접적으로 설치한 경우 심야전력요금 적용에 의한 경제성도 크게 기대된다.

이 시스템의 응용분야로는 제조업, 빌딩, 전철 사업 등이 있고 태양광발전, 풍력발전 등 간헐적발전 시스템을 비롯하여 전기자동차에도 응용되는 등 광범위한 파급효과도 거둘 수 있을 것으로 전망된다. 일본의 경우 2000년경에는 전력설비의 5~7%를 축전지저장설비로 계획하고 있다.

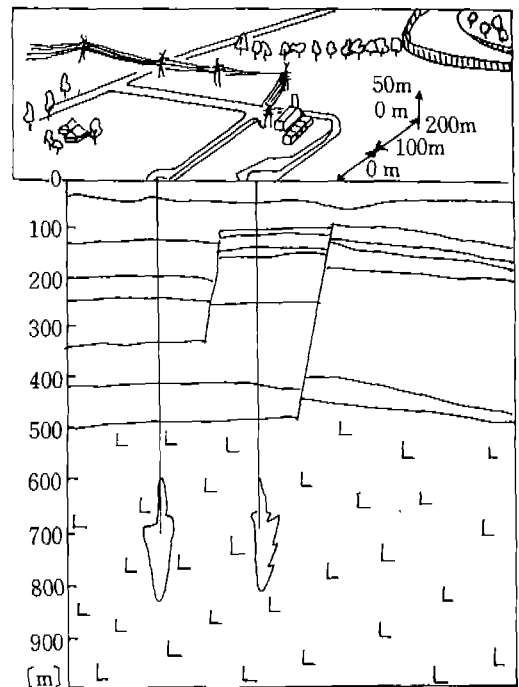
그러나 상용화를 위해서는 축전지 Costdown을 위한 기술개발이 선행되어야 하고, 나아가 축전지 수명향상 및 설비의 신뢰성, 축전지 수명향상 및 점검보수의 용이화에 대한 기술개발도 함께 이루어져야 할 것이다.

다. 압축공기 저장

압축공기 저장(Compressed Air Energy Storage: CAES) 방식은 심야전력을 이용, 압축기로 공기를 압축시켜 지하 탱크에 저장했다가 주로 첨두부하시에 가스 터빈을 돌려 발전하는 방식이다. 비교적 시스템은 간단하나 압축공기를 저장하기 위한 천연적인 지하저장소나 가공 지하 탱크 설비가 필요하다.

CAES용의 가스 터빈은 그림 5와 같은 형식

이 일반적으로 컴프레서, 발전·전동기 및 가스 터빈이 직렬로 연결되어 있다. 심야에는 가스 터빈을 분리하여 컴프레서측만을 운전, 압축공기를 탱크에 저장하고 주간에는 터빈측 클러치를



〈그림 6〉 Huntorf 발전소(암염층 탱크)

결합하고 콤프레서축을 분리하여 압축공기 탱크의 공기를 예열한 다음 가스 터빈에서 연료와 혼합하여 고온 고압의 작동유체로 하여금 터빈을 구동하여 발전하는 것이다.

에너지 저장 효율면에서 보면 기존의 양수발전소가 65~72%, 신형전지 저장이 65~75%, 향후 개발될 SMES는 90% 정도이고 CAES도, SMES와 같은 수준으로 비교된다.

CAES의 효율을 높이기 위해서는 우선 고온에 견디는 가스 터빈이 개발되어야 한다. 현대의 기술로는 1,100℃ (가스 터빈 입구온도), '95년 이후에는 1,300℃, 2000년에는 1,500℃에 견디는 재질개발이 예상되어 시스템 전체효율도 50%에 가깝게 실현 가능할 것으로 기대된다.

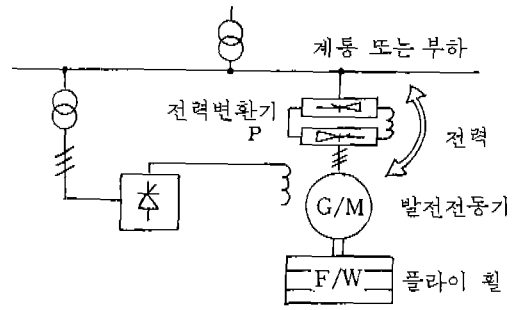
그러나 CAES의 보급을 위해서는 무엇보다도 심층 지하에 설치하기 위한 탱크 전조기술 개발이 병행하여 추진되어야 한다.

서독 하노버 근교에 있는 Huntorf 압축공기저장발전소는 용량 290MW의 출력으로 1978년부터 1일 약 2시간 정도 발전하고 있다. 이 발전소의 공기저장 탱크는 약 30만m³의 천연 암염 공동으로 되어 있어 CAES의 최적조건을 갖추고 있다. 최근 미국 알라바마 전력도 지하 600m의 암염층을 이용, 약 50만m³의 압축공기 저장 탱크를 만들어 110MW의 CAES발전소를 '91.4월부터 가동하기로 되어 있다.

라. 플라이 휠 저장(Fly Wheel)

플라이 휠 에너지 저장의 기본원리는 원판을 회전축에 고정시켜 회전시킴으로써 얻는 관성 에너지를 이용하는 것으로, 이미 자동차, 프레스 등에서 많이 이용되고 있고 최근에는 이를 이용한 무정전장치도 개발되고 있다.

전력계통에 있어서의 에너지 저장과정을 보면 심야에 계통전력에서 전원을 받으면 발전-전동기는 전동기로 구동되어 Flywheel에 관성 Moment가 저장되었다가 주간 부하시 발전-전동기는 발전기로 가동되어 전력변환기를 거쳐 부하에 전기를 공급하는 방식으로, 주요 구성요소는



〈그림 7〉 Fly Wheel 발전설비 구성도

- ① 발전·전동기 ② 플라이 휠 ③ 전력변환기 ④ 진공용기로 크게 구분된다.

저장되는 에너지는 $E = 1/2 I \omega^2$ 으로 표시되고 허용 최고속도 범위내에서의 중량당 에너지는

$$e_w = 2.72 K_s \sigma_a / \rho$$

여기서 K_s : 형상계수 (플라이 휠 형태로 결정되는 상수)

σ_a : 재료의 허용응력

ρ : 재료의 비중량

으로서 e_w 를 크게 하기 위해서는 가볍고 강한 재료, 즉 비강도가 높은 재료사용이 요구된다. 이 Fly wheel에 쓰이는 재료로는 보통 FRP

형상	명칭	형상계수 K_s
	뿔형 원판	1.0
	형 원판	0.9
	평단 원판	0.606
	림벌이 원판	0.4
	구멍벌이 평단원판	0.303
	보스벌이 평단원판	0.303

〈그림 8〉 플라이 휠 단면과 형상계수

〈표 2〉 플라이 휠 재료의 비교

재 료	인장강도 σ_s [kg/m ²]	허용응력 σ_a [kg/m ²]	밀도 ρ	비강도 C_a/ρ	중량·에너지 밀도 e_w [Wh/kg]
주 철	35	17	7.4	2.23	3.0
주 강	50	25	7.7	3.25	4.4
고 력 강	80	40	7.8	5.13	6.9
마르에이강강	200	100	7.8	12.8	17.3
Al합금(24S)	45	23	7.7	8.52	11.5
티탄합금(6Al-4V)	55	28	4.4	6.36	8.6
E글라스/에폭시**	140	70	2.1	33.3	45
S글라스/에폭시**	175	90	2.1	42.3	58
카본/에폭시**	210	110	1.6	68.8	93
보론/에폭시**	210	110	2.2	50.0	68
케플러/에폭시**	175	90	1.4	64.3	87
SiC/에폭시**	240	120	2.4	50.0	68
축전지(현행)	-	-	-	-	30

(섬유강화 플라스틱)이 많이 쓰이는데, 이는 위에 언급한 높은 비강도성질뿐만 아니라 안전성 면에서 우수하기 때문이다. 그러나 대형으로 제작하는 제조성, 신뢰성 면에서 특수한 합금강이 주로 쓰이고 있으며 향후 기술개발면에서는 FRP 재료개발에 중점을 두는 추세에 있다.

Fly Wheel 에너지 저장장치는

- ① 에너지 저장·방출을 임의의 시간 및 규모로 할 수 있고
- ② 에너지 밀도가 비교적 높고
- ③ 분산형 전원으로 입지적 제한없이 설치 가능하다.

는 등의 특징을 갖고 있어, 그 응용분야로는 전차선 전력저장장치, 공업용 전력안정공급설비, 컴퓨터용 무정전 전원장치, 핵융합시험장치 전원 및 부하평준화용 전력저장 시스템 등이다.

실제 이용된 특수한 사례를 보면, 일본 원자력연구소에서 '85년 운전 개시한 토카막장치(JT60)에서는 12GJ의 대량 에너지를 필요로 하는데, 이 에너지는 28ton의 물을 1초 동안에 0℃에서 100℃로 올리는 열량에 해당되어 만약 계통에서 이 전력을 받는다면 계통에 동요를 일으켜 피해를 줄 수 있으므로 별도의 Fly Wheel에

너지 저장 장치를 설치하여 에너지를 공급하고 있다. 이 발전기의 구성도를 보면 발전기와 플라이 휠의 무게는 약 1,000ton, 플라이 휠의 직경은 6.6m, 길이 2.4m 방출 에너지는 4020MJ, 회전속도는 400~600RPM이다.

플라이 휠 에너지 저장 시스템이 보다 효율적이고 신뢰성있게 운전이 되기 위해서는 ① 회전손실의 저감(고진공에서의 회전기술) ② 고에너지 밀도화(Fly Wheel 재료개발) ③ 전력변환장치개발 등의 해결해야 할 문제점이 많이 있으며, 이들 문제점들은 머지않은 장래에 해결에 해결될 것으로 전망되며 그 확대·이용 보급도 점차 증가할 것으로 예측된다.

3. 결 론

전력저장설비에는 실용화되어 사용중인 양수 발전소를 비롯하여 여러 종류가 있고 그 특징상 기동정지의 용이성, 신속한 부하 추종성, 운전 예비력 확보면에서 그 역할이 기대된다. 특히 신행전지 저장 시스템은 부하에 근접해서 설치가 가능하고 신뢰도가 높은 양질의 전원으로써 타 에너지 저장장치보다 빨리 실용화될 것으로 기대된다. 또한 앞에 언급한 에너지 저장장치 외에 축열조 시스템, 즉 심야전력으로 열을 만들어 주간 냉방부하에 이용하는 잠열방식과 고온으로 가열된 세라믹을 주간의 난방에 이용하는 현열방식이 있으며, 고온에서 저온으로 또는 그 반대로 이동하는 열을 이용하는 히트펌프 방식도 점차 그 이용이 확산되는 추세에 있다.

이러한 에너지 저장기술은 전력계통의 부하평준화를 도모함으로써 기저부하인 원자력 및 석탄발전소의 열효율 향상은 물론 전력계통의 안정도 향상, 고품질의 전력공급, 순동예비력으로써의 예비력 확보 및 장래 분산형전원인 태양광 발전, 풍력발전과 연계하여 효율적으로 이용이 확대될 수 있는 전망도 있어 정부를 비롯한 국제 연구기관에서도 보다 많은 관심을 갖고 기술 개발에 힘써야 할 것이다.