

蓄電池利用 電力貯藏 시스템

嚴 英 昌

韓電 技術研究院 責任研究員

1. 序 論

최근 산업경제의 발전 및 생활수준의 향상에 따라 電力需要가 증가하고, 특히 여름철 냉방설비의 증가로 負荷率이 점차 하락하고 있는 실정이며, 또한 대용량 원자력발전 및 화력발전 등 基低電源의 비율이 높아지고 있어 負荷平準化를 위한 電力貯藏 시스템의 必要性이 고조되고 있다. 기존의 揚水發電所는 건설기간의 長期化, 立地여건의 제약, 인건비 상승에 따른 건설비 증가추세, 원거리 설치에 따른 送電損失, 中規模 시스템의 건설곤란 등의 취약점을 안고 있어 새로운 電力貯藏技術의 개발 필요성이 요구되고 있다.

이러한 새로운 전력저장기술의 하나로 蓄電池를 이용한 電力貯藏電池 시스템은 ①높은 에너지 밀도를 가지고 있고, ②기동, 정지 및 부하추종 등의 운전 특성이 우수하며, ③모듈 구조로 分散배치가 가능하고, ④진동, 소음이 작아서 환경에 끼치는 영향이 거의 없고, ⑤저장효율이 비교적 우수하며, ⑦입지제한이 거의 없어 需要地 근방에 설치 가능한 동시에 ⑧건설기간이 짧고 적용범위가 광범위하다는 등의 장점을 갖고 있어 가까운 시기에 실현 가능성이 가장 높은

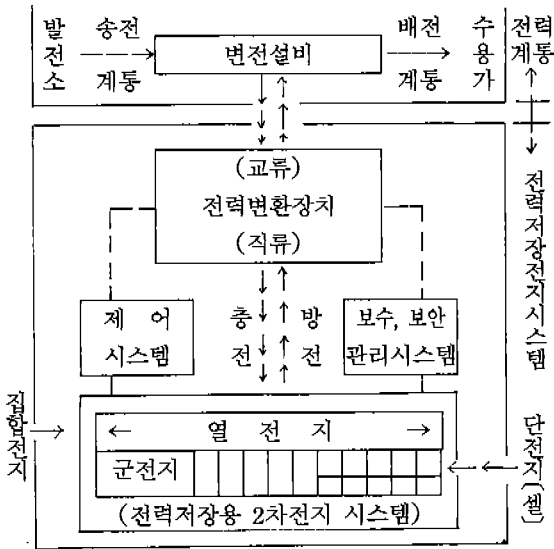
전력저장기술로 평가되고 있다.

따라서 先進 各國에서는 이러한 電力貯藏電池 시스템의 기술개발에 대한 필요성을 절감하여 전력회사를 중심으로 활발히 연구가 진행되어 일부 實用化된 곳도 있다. 한편 國內에서는 아직 實用化단계에 이르지 못하였으나 최근에 韓電 技術研究院에서는 韓國電氣研究所와 共同으로 20kW급 전력저장전지 시스템의 시험연구를 통하여 MW급 시스템의 실용화를 위한 기반을 마련하였다.

본고에서는 20kW급 전력저장 시스템의 시험운전 결과를 바탕으로 전력저장 시스템의 경제성 평가 및 실용화를 위한 MW급 시스템의 적용방안 등에 대하여 서술하고자 한다.

2. 電力貯藏電池 시스템의 개요

전력저장전지 시스템은 2次電池에 電氣 에너지를 化學 에너지로 저장하였다가 필요시에 電氣 에너지로 逆變化시켜 사용하는 장치로, 그림 1과 같이 2次電池 시스템, 電力變換裝置, 制御保護裝置 등으로 구성된다. 특히, 이 시스템의 중요한 부분의 하나인 蓄電池는



〈그림 1〉 전력저장장치 시스템의 구성

다수의 單電池로 구성되어 階層性을 가지고 있기 때문에 앞에 언급한 바와 같이 실용화에 많은 장점을 갖고 있다.

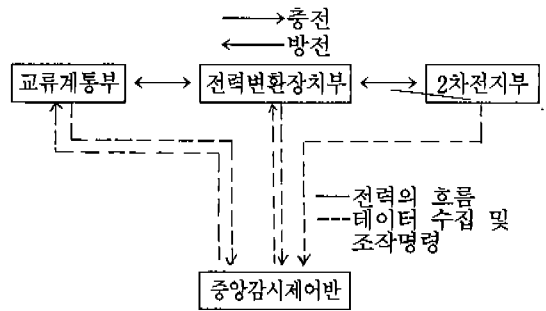
한편, 전력저장장치 시스템에 대한 주요 연구 개발현황을 살펴 보면 美國의 경우 CHINO 變電所에 세계 最大容量인 40MMh 시스템이 운전중에 있고, 日本은 新型電池를 이용한 8,000kWh 및 4,000kWh 시스템이 실증 운전시험중에 있으며, 獨逸은 17MW의 BEWAG 시스템이 설치되어 가동중에 있다.

3. 20kW급 전력저장장치 시스템의 구성

韓電 技術研究院은 韓國電氣研究所와 共同으로 MW급 전력저장장치 시스템의 실용화에 필요한 설계·제작기술을 확립하고, 負荷관리용으로서의 성능을 확인하고자 20kW급 시험설비를 설계, 제작하였다.

본 장에서는 이와 관련된 내용을 전체 시스템 구성, 2차 電池部, 전력변환장치, 중앙감시제어반, 배전반 및 모의부하, 실증시험실 등으로 나누어 살펴 보기로 한다.

3.1 전체 시스템 구성 및 기본조건



〈그림 2〉 20kW BESS 전체 시스템 구성

〈표 1〉 설비규모 및 조건

항 목	규모 및 조건
출 력 용 량	80kWh(20kW×4hrs)
회 로 전 압	AC 3φ 3W 380V, DC 360V
회 로 전 류	AC 3A, DC 56A
회 선 수	AC 1회선, DC 1회선
전력변환장치	자력식전압형 20kVA
연 계 리 액 터	% 임피던스=10
축 전 지	개량형연전지 500AH(5hr)×180Cell

20kW급 電力貯藏電池 시스템(BESS: Battery Energy Storage System)의 구성은 그림 2와 같이 2차 電池部, 電力變換部, 中央監視制御盤, 交流系統部로 이루어지고, 시스템의 설비규모 및 조건은 표 1과 같다.

3.2 2차 電池部

BESS에서 가장 중요한 부분의 하나인 2차電池는 국내 電池 메이커의 연구기술진과 공동으로 負荷平準化用 20kW 4시간用 改良型 鉛축전지를 개발하여 설치하였고, 축전지 설계 및 제작에 관한 기술은 앞으로 實用化가 기대되는 大容量 BESS 개발에 적용될 수 있도록 연구방향을 맞추었다.

3.3 電力變換裝置部

전력저장장치 시스템(BESS)의 구성요소 중에 直交變換 시스템은 電池部와 電力系統을 연결하는 장



△ 전지실

〈표 2〉 개량형 鉛축전지

항 목	사 양
공 칭 전 압	DC 360V
직 렬 셀 수	180 cell
전 지 열 수	1열(3구분)
공 칭 용 량	500AH/5시간운
형 식	Tubular type
외 형 치 수	L128×W158×H519×TH556
액 입 중 량	23kg/cell

치로서 그 구성 및 특성에 따라 전체 시스템의 성능 및 운전특성이 크게 좌우된다. 여기서의 변환장치는 차후 MW급 플랜트의 종합효율 70% 이상을 고려하여 揚水발전 이상의 운전성능을 목표로 하고 있으며, Pilot급 20kW 시스템의 실증시험을 통하여 대용량에 따른 제반사항과 운전특성을 검토하였다.

또한 모의시험을 통한 充放電의 모든 영역에서의 운전제어 범위와 정확한 손실을 평가하여 보다 합리적인 검토를 할 필요가 있다. 이에 따라 모의 시스템인 20kW급 直交變換 시스템을 電力系統에 연계하기 위해서는 系統과의 同期, 인버터 출력전압의 조정, 有無效電力의 제어 및 高調波 함유량의 저감 등을 고려하여야 한다. 이러한 관점에서 BESS용 전력변환장치에 대한 기술적인 검토결과를 바탕으로 20kW급 전력변환장치의 사양을 표 3과 같이 설계하였으며, 그림 3은 20kW급 전력변환 시스템의 單

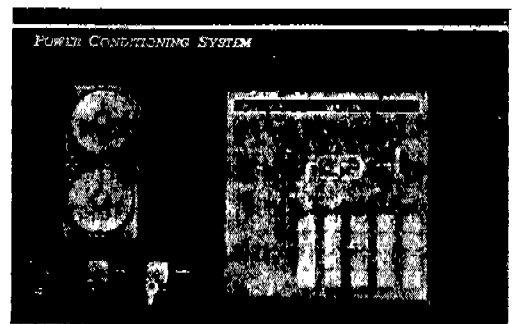
〈표 3〉 20kW급 전력변환장치 사양

항 목	사 양
전력변환장치(인버터)	자려식
출 렬 전 렬	20kW
직 류 전 압	360V
DC Circuit Breaker	500A(3ms)
직 류 리 액 터	有
주 회로 사용소자	Power Transistor
사 용 소 자 수	24개
주 회 로 구 성	단상×6개, 12상 다중화
출 렬 Tr	2대
냉 각 방 식	강제풍냉식
연 계 리 액 터	1개/상
연 계 리 액 터 % X	10
고 조 파 필터	有(11, 13조파)

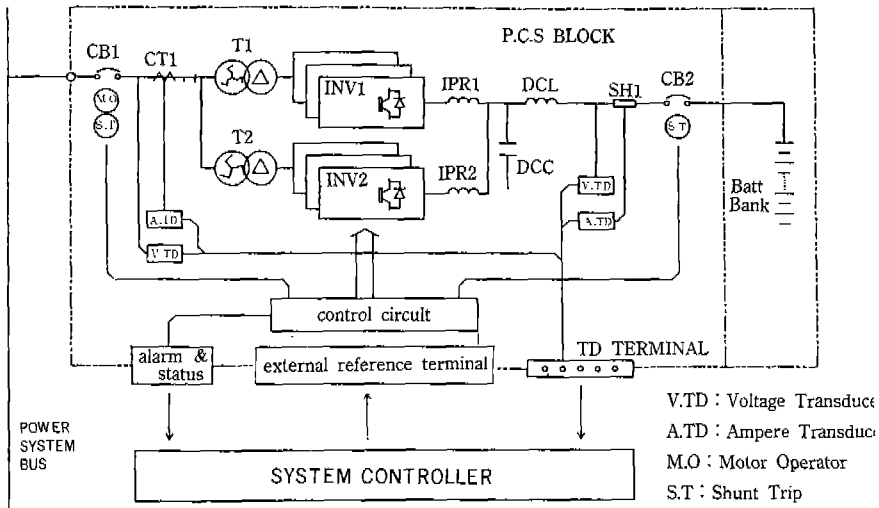
線圖를 나타낸다.

3·4 中央監視制御盤

電力貯藏電池 시스템(BESS)용 중앙감시제어반은 20kW급 BESS 시험실의 중앙감시제어실에 설치한 것으로, 배전반, 전력변환장치부 및 2차전지부 등의 전기계통 단말(변환기, 감시점검, 조작 릴레이)로부터 전송되어 오는 각종 감시정보 및 제어정보를 중앙 감시제어실에 설치한 컴퓨터 시스템(PC-286)이 분류, 분석, 처리하여 관리인원의 극소화, 사고의 미연 방지, 사고원인 분석 및 신속한 대처에 의한 人命 및



△ 20KVA BESS용 전력변환장치



〈그림 3〉 PCS의 One Line Diagram

財産의 保護, 最適환경 유지 등의 효과를 갖도록 시스템을 구성하였다.

3·5 配電盤 및 모의부하

本 研究에서 제작한 BESS用 배전반은 AC 3相 380V의 계통선을 전력변환장치에 연결하여 계통연계 운전을 할 수 있게 하고, 전력변환장치와 모의부하 사이에 단독부하 운전을 하기 위한 회로로 구성되어 있다. 또한 交流와 直流계통상의 각종 데이터를 측정할 수 있도록 變成器(PT, CT)와 트랜스듀서를 포함하고 있으며, 시스템 및 전원계통의 보호와 중요운전을 위하여 각종 차단기로 구성되어 있다.

BESS의 단독부하운전 특성을 시험하기 위하여 설치한 모의부하는 전체용량 21kW로 과열방지를 위한 2개의 팬을 갖추고 있으며, 計測量을 단계적으로 변화시킬 수 있도록 하였다.

3·6 實證試驗室

실증시험실은 中央 컴퓨터 시스템과 그래픽 패널 등이 배치된 감시제어실과 전력변환장치, 배전반, 모의부하 등으로 구성된 器機室, 180개의 鉛축전지 cell로 구성된 축전지실로 이루어져 있으며, 그림 4는

시험실 배치도이다.

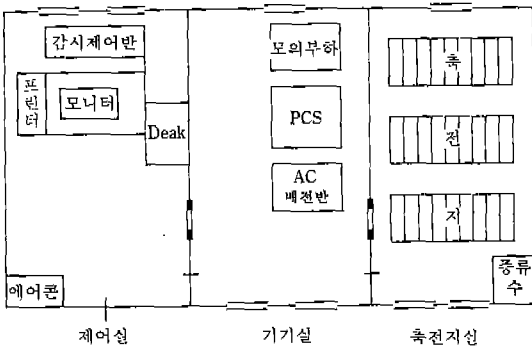
4. 運轉試驗 및 評價結果

시험전력계통은 그림 5와 같이 實系統과의 연계 운전을 위해서 전기연구소내 6.6kV BUS에 300kVA 6.6kV/380V 변압기가 개입되어 구성되어 있다. 또한 단독운전시험을 위해 BESS側 系統의 모의저항 부하 21kW를 MG2 개폐기로 연결시켜 두었다.

운전시험 및 평가는 크게 단독운전시험과 계통연계 시험으로 나누어 수행하였으며, 특히 계통연계운전을 위한 기본성능시험으로 容量 특성, 充放電 특성, 自己 放電率 특성, 效率 특성 이외에 負荷平準化를 위한 운전 패턴 시험 및 무효전력 보상을 위한 調相운전특성 등을 확인하였다. 운전시험 평가결과는 표 4,5와 같으며, 이 표에 나타난 바와 같이 20kW급 BESS에 대하여 만족할만한 시험결과를 얻었다.

5. BESS의 경제성 분석 및 도입전망

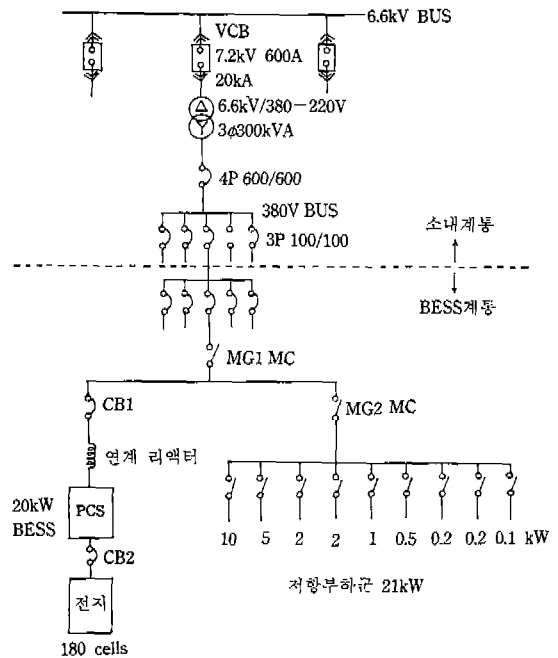
5·1 經濟性 分析



〈그림 4〉 기기 배치도

電力系統의 합리적인 운용을 위한 전력저장 수단으로서의 電池 시스템의 적용은 우리나라의 경우 揚水발전소의 代替가 그 첫번째 목표일 수 있다. 이것은 BESS의 기능이 負荷平準化로 양수발전소의 기능과 동일하기 때문이다. 따라서 BESS의 도입을 위해서는 경쟁대상이 되는 揚水電源보다 建設單價 측면에서나 發電費用 측면에서 경제성이 있어야 하기 때문에 이 두가지 측면에서 경제성 분석을 실시하였다.

먼저 建設비용 측면에서의 BESS의 適用限界 工事費는 BESS를 도입하여 부하증가에 대한 송변전설비 및 대상電源의 증가지연 效果로 볼 수 있는데 전력계통의 10년간 확충계획을 시뮬레이션하여 BESS에 의한 설비투자 지연효과를 정량적으로 평가하면 표 6과 같다.



〈그림 5〉 20kW BESS 전체계통단선도

이 표에서와 같이 BESS를 도시중심부의 配電用 變電所에 설치할 경우, 送變電설비 및 揚水發電의 投資증강 지연효과를 고려한 限界工事費(경제적 설치비용)은 kW당 약 55萬~85萬원 정도이고 정량화할 수 없는 효과까지 고려하면 90萬~120萬원 정도로 추정된다.

또한 發電費用 측면에서의 경제성, 분석을 위하여

〈표 4〉 단독운전시 평가결과

항 목	목 표 치	실 측 치	조 건	
단 독 운 전	출력전압 변동	± 2.0% 이내	± 2.25% 이내	무부하↔정격부하
	출력주파수 변동	60Hz± 0.1%	0.06% 이내	0~20kW출력
	출력전압순시변동률	-	± 1% 이내	0→kW, 10→20kW
	출력전압변동회복시간	-	4~5cycles	상 등
소 음	고조파 특성	전압왜율 2% 이내	무부하 1.5%	10% 연계 리액터
			10kW 1.74	순저항 부하
			20kW 2.22	
	70dB	68~71dB	주변소음 35dB 포함	

똑같은 가정하에 揚水發電비용과 BESS 發電 비용을 계산하면, 각 115.6(원/kWh)와 184.3(원/kWh)이 산출된다. 따라서 발전단가 측면에서 BESS가 양수 전원보다 경제성이 있기 위해서는 BESS의 수명연장

및 시스템 효율 등의 개선이 필요하다 할 수 있다.

5·2 經濟性 目標

앞에서 揚水發電과 비교하여 전력저장 전지 시스템

〈표 5〉 계통연계 운전시 평가결과

항 목		목 표 치	실 측 치	조 건
계 통 성 능 연 계	출력 주파수 변동	60Hz± 0.1%	0.16% 이내	편도(충전 또는 방전) 직류입력 직류입력 방치기간 28일(세방측) DC 23kW방전 (300AH 117kWH dc) DC 15kW 충전 (319 AH 130 kWh dc) 편도(DC↔AC) WH효율(AH효율 94%) WH효율
	변환장치효율	90%	약 89%	
	계통연계전 손실	—	1kW	
	계통연계전 손실	—	1.3kW~2kW	
	자기방전을	—	0.48%	
	매일충방전시 방전소요시간	—	5° 20'정도	
	매일충전방전시 충전소요시간	—	10° 20'정도	
계	매일충방전시 PCS, 전지 전체 시스템 효율	PCS 90% 이상 전지 85% 이상 전체 68.8% 이상	PCS 89% 전지 89.9% 전체 약 70%	
	부하평준화 운전특성	68.8% (70%)	약 65.87%	DC 23kW방전-DC 15kW 충전으로 6사이클운전후 균등충전
운 전	무효전력보상특성	—	지상 10kVAR~ 진상 10kVAR	조상기역할(L,C)가능
	소 음 특 성	70dB	68~71dB	충방전 5,10,15,20kW일 때 (주변소음 35dB포함)

〈표 6〉 BESS 한계공사비

(단위: 천원)

대 상 지 역	전원관련		전력계통 관련		배전용변전소 관련		기 타	합 계
	양수전원	전원선	송전계통	변전계통	배전용 변전소	인 입 계 통		
도 시 중심부	227.3 (285.8)	40.1 (187.8)	77.3 (107.1)	91.7 (104.7)	91.7 (82.8)	18.5 (93.9)	355.7	881.5 (1188.2)
도 시 주변부	227.3	40.1	77.3	72.9	74.5	5.7	353.7	851.5
농 촌 지 역	227.3	40.1	72.9	72.9	57.4	28.6	353.7	857.3

(주) ()는 국내의 설비년경비와 kW·km단가 적용

(BESS)의 경제적인 建設費用을 계산한 결과, kW당 90~120萬원 정도가 산정되었다. 현재 국내에서는 본 研究의 20kW급 개량형 연속전지 BESS가 최초로 개발되어 운전 및 시험평가는 마쳤는데, 이 시스템의 kW당 가격은 약 640萬원으로, 앞으로 揚水電源과의 경쟁을 위해서는 약 5/1정도의 비용절감이 요구되며 이를 위한 관련기술의 지속적인 研究開發이 필요하다.

한편, 선진 각국에서는 大容量(MW급) BESS를 계통에 연계하여 시험운전을 하고 있으며, 실용화를 위한 기술개발이 활발히 진행되고 있다. 日本에서는 鉛축전지 BESS의 實用化 目標(1995年)로 kW당 13萬엔을, 신형전지의 경우는 21~26萬엔을 目標(2,000年)로 정하고 있다. 또한 美國에서는 세계 최대규모인 CHINO 變電所의 10MW급 개량형 연속전지 BESS가 kW당 \$ 1,356이 소요되어 개발되었고, 目標 실용화 目標로 약 \$ 600~\$ 800을 예상하고 있다.

6. 實用化를 위한 MW급 적용방안 및 기본설계방안

BESS를 電力系統에 도입하여 配電用 變電所의 負荷平準化用으로 적용하기 위해서는 설치장소 및 규모(容量)를 도입효과와 시스템 기술 측면에서 분석할 필요가 있다.

표 7은 자체 개발한 適正場所 선정 알고리즘에 의한 시뮬레이션을 통하여 京仁지역과 鎭山지역을 대상으로 분석한 결과를 나타낸 것으로, 이들 지역이 특히 電力의 수급불균형이 심한 곳이기 때문에 BESS를 도입하면 그 효과가 클 것으로 예상되며, 설치용량에 대한 분석결과는 主變壓器 용량의 10~20%로서 5~10MW 規模가 적당한 것으로 나타났다.

〈표 7〉 적정장소 분석결과

대상지역	관할전력관리처	총 주변압기 (M.Tr 수)	적정 주변압기수 (M.Tr 수)
경인 지역	남서울	94개	42개
경인 지역	서울	59개	24개
부산 지역	부산	87개	30개

〈표 8〉 MW급 BESS 설비규모

항 목	규 모
출력용량	4MWh(1MW×4h)
회로전압	AC 660V, DC 1,320V
회로전류	DC 760A
회로 수	AC1회선, DC 1회선
변환장치	자력식 인버터 방식 1,000kVA
출력변압기	자냉식 몰드형 1,200kVA
축 전 기	개량형 연속전지 6,000Ah×660개

한편 20kW급 BESS의 설계 및 시험운전자료를 바탕으로 국내 배전계통의 특성을 고려한 MW급 BESS의 설비규모는 표 8과 같다.

7. 結 論

本 研究는 전력저장전지 시스템의 실용화를 위한 기초연구로서 pilot 규모의 20kW급 BESS의 설계, 제작, 시험운전을 통하여 MW급 BESS의 개발 및 實用化 방안을 검토하였다. 20kW급 BESS의 실증연구에서는 국내 최초로 계통연계 시스템의 제작 및 시운전에 성공함으로써 負荷平準化를 위한 BESS의 적용 가능성을 확인하였다.

또한 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 경제성 分析을 통하여 기존 揚水發電의 대체를 위한 경제성 目標을 도출하였다.

따라서 本 研究결과에서도 알 수 있듯이 電力貯藏電池 시스템(BESS)의 實系統 적용을 위해서는 앞으로 경제성 확보 및 계통연계기술 확립을 위한 지속적인 연구가 필요하며 특히 시스템의 高效率化를 위하여 鉛축전지 개량 및 新型電池 개발에 대한 研究가 계속되어야 할 것이다.

한편 韓電 技術研究院에서는 20kW급 BESS 개발의 다음단계로, MW급 시스템 개발에 착수하여 新型電池 및 系統連繫技術 개발을 비롯한 시스템 設計, 製作을 위한 보다 심도있는 연구를 해 나갈 계획으로 있어, 가까운 장래에 蓄電池에 의한 電力貯藏電池 시스템은 새로운 電力의 供給·需要관리 매체로서 實系統에 적용되어 각광받을 것으로 확신한다.