

전지전력저장시스템 기술



에너지자원기술개발지원센터
공학박사 고 요

1. 개 요

전지전력저장시스템의 전압형 자력식 전력변환 장치는 결국 MW급 전지전력저장시스템에 적용되 게 된다. 자력식 전력변환장치의 사양은 다음과 같다.

- 충전과 방전 운전이 요구된다.
- 교류출력은 전력계통에 연결된다.
- 직류전압은 충방전운전에 따라 변화한다.
- 높은 변환 효율이 요구된다.

자력식 변환장치의 손실특성과 유효 무효전력제 어 범위는 MW급 전력저장시스템의 운전을 효율 적으로 하는데 있어서 매우 중요하다.

현재 MW급 전력저장전지시스템의 개발은 종합 효율을 70% 이상, 양수발전소 이상의 운전성능을 목표로 하고 있다. 이를 위하여 시스템의 주요 구 성요소인 자력식 변환장치도 96% 이상의 고효율 화를 목표로 하고 있다.

이 변환장치의 개발목표를 달성하기 위해서는 충방전 전 운전영역에 있어서 정확한 손실평가를 하고 이에 따른 최적 운전제어범위를 설정하여 운

전할 필요가 있다.

정확한 손실평가를 위해서는 변압기, 리액터등 의 교류저항손실, 스위칭소자들의 손실을 종합적 으로 평가할 필요가 있다. 이중에 스위칭소자의 손실은 지금까지 통전전류의 파형을 고려하지 않고 또한 역병렬 다이오드의 손실도 고려하지 않고 계산되어 와서 정확한 평가가 이루어 지지 않고 있었다.

여기서는 효율산정시 매우 중요한 소자의 손실 을 산정하기 위하여 앞서 고려하지 않은 부분들을 고려하고 보다 정확한 계산을 위하여 전지의 운전 상태의 변화까지 고려한 새로운 산정법을 시뮬레 이터(축약장치)를 통하여 산출하고 이를 MW급 전력저장시스템용 자력식 변환장치의 최적운전에 적용하고자 한다.

자력식전력변환장치의 운전제어 범위는 전력저 장시스템의 운전출력(유효전력, 무효전력), 전지 의 충방전에 대응한 전압-전류 특성 그리고 변환 장치의 손실에 따라서 결정되어야 한다. 그러나 지금까지는 운전제어 범위가 변환장치의 손실을 고려하지 않고 결정되어 왔다. 결국 이 오차는 여

유도를 갖는 시스템의 운전으로 보완되어 왔으며 이는 효율저하의 한 원인이 되었다.

이러한 점을 보완하여 최적설계를 함으로써 시스템의 최적운전을 도모할 수 있다.

2. 변환장치

전지전력저장시스템의 구성요소중 변환장치시스템은 전지시스템과 전력계통을 연결하는 것으로 그 구성 및 특성에 의하여 저장시스템의 성능이 크게 좌우된다. 변환장치에는 자려식과 타려식이 있다.

한편 전지전력저장시스템의 주요한 설치장소는 배전용 변전소뱅크의 2차측 모선이 될 것이며 정전력운전에 의하여 일부하조정(Load Levelling)을 하게 된다. 이 때 그 용량은 배전용 변전소뱅크 부하의 10~30%가 적당하고 배전용 변전소 1뱅크의 용량이 40~60MW인점을 고려하면 4~18MW가 되게 된다. 그러나 한번에 목표용량을 달성하기 보다는 MW급의 단위기를 생각해 볼 필요가 있다.

이러한 MW급의 변환장치로서는 종래에는 타려식이 적용되었으나 최근 GTO등의 자기소호형 소자의 발달에 의하여 자려식 변환장치의 소형화, 저코스트화, 고효율화가 진행되고 있고 타려식과 비교하여 무효전력제어도 가능하다는 잇점이 있어 자려식 변환장치의 적용이 가능해 지고 있다. 따라서 배전용 변전소에 설치될 전지전력저장시스템의 실용화시에는 변환장치로 자려식의 채용이 주류를 이루게 될 것이다. 배전용 변전소에 설치되는 것외에 수용가의 피크컷트용으로 사용될 100KW급의 전지전력저장시스템에도 Power Tr.를 이용한 자려식 변환장치가 적용될 것으로 생각

된다.

보통 자려식 변환장치는 직류전원에서 교류출력을 얻어 부하의 진동기등을 구동하는 인버터로 사용되며, 교류출력을 전력계통에 접속하여 연계하는 예는 태양광발전등의 분산형전원 외에는 별로 없다. 또한 전지전력저장시스템과 같이 전지의 충방전에 따른 정류동작과 인버터동작의 양방향 동작을 하는 자려식 변환장치의 예도 없다. 전지전력저장시스템은 또한 전지충방전에 따라 전지전압이 변화하고 정전력운전을 행하고 있는 경우에는 전지전압의 변동에 따라 전지전류도 변동하기 때문에 변환장치의 동작범위가 보통보다 넓다. 그래서 전지전력저장용 자려식 변환장치의 특성을 구하기 위하여는 이러한 사항을 충분히 고려할 필요가 있다.

전지전력저장시스템은 저코스트도 중요하지만 전체 에너지효율을 높일 필요가 있기 때문에 전력 변환장치의 손실을 최소화 하는 노력이 필요하다.

그래서 전지전력저장용 자려식 변환장치의 손실에 관하여 검토를 하고 변환장치의 동작점에 미치는 영향을 상세한 산정식을 얻어 분석하여 손실에 의한 자려식 변환장치의 운전특성에 미치는 영향을 분석할 필요가 있다. 또한 전지전력저장시스템 시뮬레이터에 의하여 손실특성과 운전특성에의 영향을 확인하고 자려식 변환장치의 손실저감 방법을 제시한다.

3. 자려식 변환장치의 기본특성

자려식 변환장치는 내부전류원 혹은 소자 자체의 자기소호능력에 의하여 전류를 자유롭게 하여 유효전력 외에 무효전력의 조정을 행하고 교류출력중의 고조파 성분을 감소시키는 것도 가능하다.

자려식 변환장치에는 전류형과 전압형이 있고 쌍대관계에 있다.

전지전력저장시스템에서는 전지가 전압원이 되고 충방전에 대응하여 직류전류의 방향이 변하므로 충방전을 연속으로 하기 위하여는 전압형을 적용할 필요가 있다. 한편 초전도 에너지저장에 있어서는 직류측이 전류원으로 되고 직류전류의 방향이 일정하고 직류전압의 극성을 절환할 필요가 있으므로 전류형을 적용할 필요가 있다.

전압형 자려식 변환장치에서는 교류출력도 전압원으로 되고 이것과 전력계통 전압과의 사이에 전력을 전달하게 된다. 이 때문에 전압형 자려식 변환장치와 전력계통과의 사이에는 연계용 임피던스가 필요하게 된다. 이 임피던스는 연계용 변압기 리액턴스와 연계 리액터의 임피던스로 구성된다.

(그림 1)에 나타낸 바와 같이 계통전압(실효치 V_s)과 변환장치에 발생하는 교류전압(기준파 실효치 V_c)에 위상차 α (V_c 가 V_s 에 대하여 α 진상)가 있는 경우에는 연계임피던스의 리액턴스를 X_c 로 하여 저항분을 무시하면

$$\text{유효전력} : P = V_s V_c \sin \alpha / X_c \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{무효전력} : Q = V_s (V_c \cos \alpha - V_s) / X_c \dots (2)$$

로 나타낸다. 계통전압 V_s 를 일정으로 하면 P, Q 는 위상차 α 와 변환장치 출력전압 V_c 를 제어하는 것으로 가능하다.

자려식 변환장치의 교류출력전압제어 방법으로는 이 방법과 다른 것이 고려될 수 있다. 대표적인 구성과 제어방법으로는

(1) 단상 브릿지 3대를 조합시킨 삼상변환기의 펄스폭 제어방식

(2) 삼상 브릿지 구성 변환기의 펄스폭 제어방식 등을 생각할 수 있다. 이들 방법은 어느것도 변환

장치의 출력교류전압의 기본파를 자유롭게 변화시키는 것이 가능하나 방식에 따라 직류전압에 대한 출력교류전압 최대치(직류전압이용율)가 다르게 된다.

위상차 α

V_c 변환기 교류전압 (실효치 V_c) V_s 전원(계통)전압 (실효치 V_s)

교류전류	유효전력	무효전력
I_{ac}	P	Q

연계리액터
(리액턴스 X_c)

$$V_c = V_c e^{j\omega t - \alpha}$$

$$I_{ac} = (V_c - V_s) / jX_c$$

(그림 1) 전압형 자려식 변환장치와 계통과의 연계

전지전력저장 시뮬레이터는 소자수가 작고 제어도 간단하여 심상브릿지 구성 펄스폭 제어방식이 채용되고 있고 교류측 전압의 기본파 실효치는

$$V_c = \frac{2\sqrt{6}}{\pi} E_d \sin\left(\frac{\pi}{6} - \beta\right) \dots\dots\dots (3)$$

E_d : 직류전압(전지전압)

β : 펄스폭제어각 ($0 \leq \beta \leq \frac{\pi}{6}$)

이다. 그래서 (1)식 및 (2) 식은 각각

$$P = \frac{2\sqrt{6}}{\pi X_c} E_d V_s \sin\left(\frac{\pi}{6} - \beta\right) \sin \alpha \dots (4)$$

$$Q = \frac{V_s}{X_c} \left\{ \frac{2\sqrt{6}}{\pi} E_d V_s \sin\left(\frac{\pi}{6} - \beta\right) \cos \alpha - V_s \right\} \dots\dots\dots (5)$$

로 되고 E_d 가 일정이면 α 와 β 를 제어하는 것에 의하여 유효전력, 무효전력이 조정 가능하다. 여기서는 삼상브릿지 구성변환기의 펄스폭 제어방식에 관하여 검토하기로 한다. (4) 식 및 (5) 식에서 E_d , V_s 일정으로 하여 α , β 를 변환한 경우 P, Q 제어 특성을 구하면 고 충전이 대칭이다. 또한 유효전력은 위상차 α 로, 무효전력은 펄스폭 제어각 β 로 제어하는 것이 가능하다.

전지전력저장시스템의 경우 충전으로 전지전압이 변동하므로 유효전력, 무효전력을 일정하게 유지하기 위하여는 펄스폭 제어각 β 를 변화시켜 (3) 식의 교류출력 전압을 일정하게 유지할 필요가 있고 전압변동이 크면 β 의 동작범위가 크게 된다.

4. 유효, 무효전력 제어범위

앞에서 기술한 기본특성은 자력식 변환장치의 설계시에 이용 가능한 것이나 손실에 관하여는 고려되지 않았다. 실제의 변환장치에는 여러가지 손실이 존재하기 때문에 이를 밝힐 필요가 있다. 전지전력저장시스템 시뮬레이터를 이용하여 손실이 있는 경우의 특성에 관하여 검토하고 다음에는 손실의 이론식에 관하여 검토 비교하고자 한다.

무부하의 경우 자력식 변환장치 출력전압에 관하여 (3)식과 시뮬레이터 출력을 비교하면 잘 일치하는 것으로 보아 시뮬레이터 동작에는 문제가 없는 것으로 판단된다. 그래서 시뮬레이터를 이용하여 유효전력, 무효전력의 제어특성을 구했다. 전지전력저장시스템은 충전에 따라 전지전압이 변동

하므로 직류전압변동을 고려할 필요가 있고 또한 변압기의 변환기측 전압의 크기(변압기의 권선비)가 제어특성에 어떻게 영향을 끼치는가를 검토할 필요가 있다. 그래서 그것을 파라미터로 한 특성을 구했다. 시뮬레이터에 의한 유효·무효전력 특성은 충전전에 대칭되지 않고 충전시에는 무효전력이 진상으로, 또한 방전시에는 지상으로 이동한다. 그래서 주로 α 에 의해서 유효전력이 또한 주로 β 에 의해서 무효전력이 조정되는 것은 β 가 크면 지상의 무효전력이 된다.

변압기 전압에 대하여는 직류전압의 경우와 역의 경향이 되어 그 영향은 직류전압에 의한 영향보다 크다.

전지전력저장시스템은 충전지에는 전지전압이 상승하고 방전시에는 전지전압이 감소한다. 그 때문에 계통전압을 일정하게 하고 충전전중의 무효전력을 일정하게 유지하기 위해서는 방전말기에 전지전압이 저하될 때에도 소정의 무효전력을 발생시킬 수 있도록 계통전압(변환기용 변압기의 변환기측 전압)을 결정하고 충전시에 전지전압이 상승한 때에는 펄스폭 제어각 β 를 크게하여 출력교류전압기본파를 일정하게 유지할 필요가 있다.

시뮬레이터의 실험결과와 식 (4) 및 식 (5)에 의한 특성이 상이한 것은 회로의 손실에 의한 것이라 생각된다. 그래서 손실을 고려한 경우의 특성이 어떻게 영향을 끼치는가를 고찰하고 일반적인 전지전력저장용 자력식 변환장치의 특성을 구하는 계산식을 도출했다.

5. 전력저장용 연축전지기술

가. 개요



전기가 인류사회의 생활에 도입된 이래 그 응용에 있어서 발전의 속도가 다른 어떠한 에너지원보다도 빠르게 전개되었다. 그리고 현대의 고도정보화 시대의 시대적 요구와 국민 생활 수준의 향상, 생활 패턴의 다양화에 따라 그 수요와 활용 범위가 폭넓게 증대되고 있다고 하겠다. 이러한 현상은 전력에너지의 높은 제어성, 활용도의 폭넓음, 그리고 무엇보다도 청결하고 편리하다는 점에는 누구나 공감하는 사실일 것이다. 그러나 이러한 산업 사회의 눈부신 발전에 따라, 에너지원의 효율적인 이용 측면에서 심각한 정책적, 경제적, 사회적, 그리고 환경적인 새로운 문제점으로 대두되고 있다.

이러한 문제점으로는 선진각국은 물론이고, 최근 우리나라의 경우도 이로 인한 현상으로 인하여 나타나고 있는 문제점으로서, 냉방설비가 주요인으로 되고 있는 하계피크시 적정 공급예비율 유지곤란, 지구 및 지역 환경 문제의 현실화와 이에 따른 전원입지 확보 곤란, 원자력발전 등의 대용량 전원의 원격 편재화로 인한 지역간 수급불균형, 그리고 주·야간의 부하 격차의 심화 등을 들 수 있다.

이러한 문제점들을 해결하기 위하여 국내는 물론 해외에서도 여러 분야에서 많은 연구가 진행되고 있다. 예를 들면, 기저공급력과 수요특성에 따른 발전원별 발전량의 조절이나, 열병합발전, 가스 터빈을 이용한 발전, 태양열, 태양광, 석탄의 개질에 따른 효율의 증대, 풍력, 조력, 핵융합 및 연료전지에 의한 발전 등 대체에너지의 개발과 기저부하의 창출을 위한 초전도 저장, 플라이휠일 저장, 압축공기 저장, 증기저장, 양수발전, 그리고 전지전력저장 등의 도입에 대한 연구가 그것이다.

이러한 각종 시스템들은 그 나름대로의 장단점

을 가지고 있으나 전력의 송전손실, 설치지역의 한계성, 수요에 대한 대응속도, 그리고 경제성 등에 대한 종합적인 점을 고려하여 선정하여야 할 것이다. 현재 국내에서 실용화 되어 있는 전력저장 기술로서는 양수발전이 있으나, 건설기간의 장기화, 입지조건의 제약, 인건비 상승에 따른 건설비 증가추세, 원거리 배치에 따른 송전손실 및 송전설비의 추가, 중소규모 시스템의 건설곤란 등의 문제점이 지적되고 있다.

또한, 원자력발전은 안전성 문제 및 원격편재화 그리고 지역주민의 합의사항 등에 대한 문제를 제외하고라도 수요운용의 탄력성이 떨어진다. 즉, 원자력발전을 효율적으로 이용하기 위한 필수적인 사항은 기저부하의 창출이라는 것이다. 이것은 원자력발전이 부하조정 능력이 떨어지기 때문이며, 한번 가동에 들어간 원자력발전은 그 에너지를 사용할 수 있는 기저부하의 범위내에서만 효율적, 경제적인 수 있기 때문이다. 현재 국내에서는 이러한 기저부하의 창출을 주로 양수발전에 의존하고 있으나 입지적 조건에 의하여 적용의 한계성이 있다는 것이 차기의 에너지 정책에 대안이 될 수 없다. 선진국의 예를 보면 산업화가 가속화 되어 가고, 국민생활의 수준이 향상될수록 주·야간 및 계절에 따른 부하 불균형이 심해지고 있으며, 또한 지역에 따른 불균형도 심해진다. 한전의 향후 발전원별 발전량의 전망에서 나타난 바와 같이 향후 원자력의 의존도가 오는 2000년에는 전체 발전량의 35% 이상을 2010년에는 전체 발전량의 50% 수준이 될 것으로 전망하고 있다.

나. 전력저장용 연속전지

이러한 대책중의 하나로서 부하지역 근방에 모

들단위로 설치, 운용이 가능한 분산형 전력저장 설비가 고려될 수 있다. 이러한 용도의 새로운 전력저장기술에는 전지 전력저장, 초전도 전력저장, 압축공기 저장, 플라이휠 저장, 증기 저장, 그리고 양수발전등 많은 저장시스템들이 있으나, ① 높은 에너지 밀도를 가지고 있고, ② 기동정지 및 부하 추종 등의 운전특성이 우수하며, ③ 모듈구조로 분산배치가 가능하고, ④ 진동, 소음이 작아서 환경에 끼치는 영향이 거의 없고, ⑤ 저장효율이 비교적 우수하며, ⑥ 입지제약이 거의 없어 수요지 근방에 설치가 가능하고, ⑦ 모듈구조로 양산이 가능하여 건설기간이 짧고, 비용절감 가능성이 높으며, ⑧ 자원적인 문제에 있어서 그 공급이 무난하고, ⑨ 적용범위가 광범위하다는 점에 있어서 전력저장 전지시스템(BESS : Battery Energy Storage System)이 가장 가까운 시기에 실용화가 가능한 저장기술로서 평가되고 있다. 선진 각국에서는 이러한 전력저장전지시스템의 기술개발에 대한 필요성을 인식해서 전력회사의 활발한 연구수행 결과 일부 실용화 된 곳도 있다.

미국의 경우에는 가장 빨리 개발에 착수하여 BEST(Battery Energy Storage Test : DOE, EPRI, PG & G사가 공동으로 출자)가 계획되어 추진되고 있다. 이것은 각종 신형전지의 시험 시설로 이미 625kW, 1.8MWh의 연축전지(C&D사), 500kWh 아연-염소전지의 시험을 끝냈다. 또한 현재 시험 운전중인 시스템으로는 10MW/4hr용으로 연축전지를 이용한 전력저장시스템이 SCE사 관할 Chino변전소에 설치되어 부하관리용으로 시험 운전중이다.

유럽에서는 서베르린 지구에서 피크부하 대책 및 주파수 조정을 주목적으로 8.5MW/17MW시스템이 건설되어 실 운용하고 있다. 전지는 총량

14.4MWh(5시간을), 1.2kV의 연축전지(CSM 전지)이고 변환장치는 2조의 타여식을 이용하고 있다. 그러나 얼마전 동/서독의 통일로 인하여 이 주파수 조정용으로의 운용이 필요가 없게 되어 일본 또는 미국과 같이 부하평준화 또는 부하관리용으로의 활용 및 개발이 전환되고 있다.

일본의 경우도 1982년 부터 통산성이 Moon Light 계획에 따라 일본전지, 도시바의 협력을 얻어 관서전력에서 2차 전지를 이용한 부하평준화용 전력저장시스템의 실용화 연구를 추진하고 있다. 특히 Tatsumi 시스템의 경우, Advanced Lead-Acid Battery(개량형 연축전지 7500Ah×526개)를 사용한 에너지 저장시스템으로 일반 배전용 변전소에 설치하여 역률 1의 전력을 공급하고 있고, 신형전지전력저장시스템으로는 현재 1MW급 신형전지(Na/S, Zn/Br) 전력저장시스템이 각각 타즈미, 이마꾸쿠변전소에 설치되어 운전되고 있다.

각국의 개발 현황에서와 같이 이러한 전지전력 저장시스템에 적용하기 위한 전지의 연구개발은 여러 종류가 검토되고 있다. 예를 들면 Na/S, Zn/Br, Zn/Cl 및 연축전지가 그것이다. 그러나 이러한 전지기술 중에서 기술적 수준, 대용량화, 안전성 및 신뢰성, 그리고 경제성 등의 현실적 측면에서는 연축전지가 가장 적합할 것이다. 미국의 경우에 Zn/Cl 전지는 기술적인 문제와 효율 때문에 연구개발을 포기하였고, Zn/Br은 환경문제와 수명이 짧아 중단되었으며, Na/S는 독성 때문에 연구가 중단되었다. 현재는 개량형 연축전지를 이용한 전력저장시스템이 연구중이거나, 실용화 되어진 곳도 있다. 이렇듯 전지전력저장시스템에 적용하기 위한 전지로서는 현재까지의 기술수준, 신뢰성, 경제성, 수명, 그리고 안전성 측면에서 연축전지가 가장 적합한 것으로 평가되고 있다.

그러면 여기서 전지전력저장시스템용 전지의 국내 기술개발 현황을 살펴보기로 한다. 국내에 전지전력저장시스템이 연구되기 시작한 것은 벌써 10여년이 되었다. 1988년 한국전기연구소에서 20kW급 전력저장시스템에 대한 연구를 약 2년에 걸쳐 시스템 전체 효율이 약 70%의 우수한 결과를 얻었으며, 그 후로 200kW급이 동력자원연구소에 의하여 연구되었다. 현재는 상용화를 위한 계통연계형 1MW급 전지전력저장시스템의 선행연구가 한국전기연구소에 의하여 '95년부터 약 4개년간 목표로 연구가 진행되고 있으며 여기에서 사용되는 연축전지는 선진국 수준의 전지가 적용되었다. 이 연구가 끝나면, 실용화급 규모의 연구를 위하여 10MW급 규모의 전지전력저장시스템의 야심찬 연구계획을 수립하고 있다.

한편, 실용화를 위한 시범운전중인 전지전력저장시스템으로는 한국에너지기술연구소에 의하여 충남 보령군 호도에 90kW급이, 전남 여천군 하와도에 60kW급이, 그리고 제주 마라도에 30kW급이 독립형으로 태양광발전용 시스템이 시범 보급되어 운전되고 있다.

한편, 한국전력공사의 통계에 따르면 '95년 현재 에너지원별 발전량을 살펴보면, 총 발전량 67,029GWh중 수력이 3.0%, 석탄이 26.4%, 유류가 22.8%, LNG가 11.5%, 그리고 원자력이 36.3%를 나타내고 있다. 이러한 발전량의 비율은 2000년에는 원자력이 37.5%, 석탄이 35.5%, LNG가 17.8%, 석유 7.2%, 그리고 수력이 2%를 전망하고 있으며, 2010년에는 원자력이 45.5%, 석탄이 35.7%, LNG가 14.0%, 석유 3.4%, 그리고 수력

이 1.4%를 전망하고 있다. 여기서 주목하여야 할 부분은 원자력에 의한 발전 의존량이 2010년의 경우에는 전체의 약 50% 수준에 이른다.

그러면 여기서 국내의 연축전지 기술수준을 살펴보기로 하자. 이러한 전지전력저장용 연축전지는 고신뢰성, 대용량화, 장수명, 고효율, 고에너지 밀도화 그리고 유지보수의 편리함이 요구된다. 현재까지의 국내의 연축전지기술을 주도해온 S사의 기술을 기준으로 살펴보면, 현재는 다른 용도로 사용하고 있으나, 이미 방전심도 80%에 1300cycle 이상인 10,000Ah(암페어아우어 : 전지의 용량을 결정하는 단위) 전지를 약 10년전에 개발하여 판매하고 있으며, 4000Ah급의 충방전효율이 90%, 수명이 1800cycle 이상으로 상면적효율을 극대화한 DIN type의 고효율, 장수명 연축전지를 개발하여 한국 전기연구소의 1MW급 연구 프로젝트에 적용하였다. 이것은 선진국의 전지기술에 조금도 뒤지지 않는 기술로 평가된다. 한편, 현재는 가격을 현격하게 낮추고, 유지보수가 거의 불필요하면서 장수명이고, 고에너지 밀도화를 위한 연구를 수행하고 있으며, 연구 결과가 성공적으로 진행되어 그 기술의 일부를 상품화한 완전 무보수형 겔타입 밀폐형 연축전지를 판매하고 있다. 이 연구의 최종적인 결과는 오는 2000년 이내에 완료될 목표로 수행하고 있다고 한다. 한편 이러한 새로운 기술이 확립되면 무인화 운전이 가능한 시스템에 적용이 가능하여 유지보수 경비를 대폭 절감할 수 있어 전지전력저장시스템의 실용화를 앞당길 수 있을 것으로 기대된다.