creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[UCI]I804:24011-200000266202

2017년2월 碩士學位論文 태양광발전용 배터리 저장시스템에 관한 연구 김 흥 섭

2017年 2月
碩士學位論文

태양광발전용 배터리 저장시스템에 관한 연구

朝鮮大學校 産業技術融合大學院

電氣技術融合工學科

金 興 燮

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

태양광발전용 배터리 저장시스템에 관한 연구

A Study on the Battery Energy Storage System for Photovoltaics

2017年 2月 24 日

朝鮮大學校 産業技術融合大學院

電氣技術融合工學科

金 興 燮

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

태양광발전용 배터리 저장시스템에 관한 연구

指導敎授 曺 錦 培

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함.

2016年 11月

朝鮮大學校 産業技術融合大學院

電氣技術融合工學科

金 興 燮

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

金興燮의 碩士學位論文을 認准함

委員長　朝鮮大學校　敎授　李　愚　宣　印

委　員　朝鮮大學校　敎授　金　容　載　印

委　員　朝鮮大學校　敎授　曺　錦　培　印

2016年 11月

朝鮮大學校 産業技術融合大學院

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

목 차

ABSTRACT ---------- v
Ⅰ. 서 론 ---------- 1
Ⅱ. 이론적 고찰 ---------- 3
A. 태양광발전 ---------- 3
1. 태양전지 ---------- 7
2. 태양광발전시스템 ---------- 9
3. 태양광발전 동향 ---------- 13
B. 에너지저장시스템 ---------- 16
Ⅲ. 실 험 ---------- 21
A. 배터리 특성 ---------- 21
B. 충전 알고리즘 ---------- 22
Ⅳ. 결과 및 검토 ---------- 24
Ⅴ. 결 론 ---------- 30
【참 고 문 헌】 ---------- 32

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표목차

표 1. 주요 태양광 기업들의 2015년 실적 동향 ---------- 14
표 2. 국내 연도별 태양광 설치 현황 ---------- 15

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

도목차

그림 1. 태양전지의 구조 및 발전원리 ---- 3
그림 2. 태양광 모듈 제작 순서도 ---- 4
그림 3. 태양전지의 전류-전압 특성곡선 ---- 5
그림 4. 세대에 따른 태양전지의 분류 ---- 7
그림 5. 태양광발전시스템 구성요소 ---- 9
그림 6. 태양광발전시스템 계통도 ---- 10
그림 7. 고정식 태양광발전시스템 ---- 11
그림 8. 추적식 태양광발전시스템의 구조 ---- 12
그림 9. 태양광발전시스템 단가현황 및 전망 ---- 13
그림 10. 에너지저장시스템의 구성 ---- 16
그림 11. 리튬전지, 나트륨황전지 방식의 구조 ---- 17
그림 12. 에너지저장시스템용 이차전지의 종류와 특성 ---- 17
그림 13. BMS의 주요 기능 ---- 18
그림 14. BMS의 구성 ---- 20
그림 15. 배터리 특성 분석을 위한 시뮬레이션 ---- 21
그림 16. CV 충전 알고리즘 ---- 22
그림 17. CC 충전 알고리즘 ---- 22
그림 18. CC-CV 충전 알고리즘 ---- 23
그림 19. 방전전류에 따른 전압-용량 곡선 ---- 24
그림 20. 배터리 온도에 따른 전압-용량 변화 ---- 24
그림 21. 셀 밸런싱이 배터리 수명에 미치는 영향 ---- 25

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

그림 22. 셀 편차로 인한 배터리 용량 저하 ---------- 25
그림 23. 리튬전지의 방전전류와 전압과의 관계 ---------- 26
그림 24. CV 충전 알고리즘 및 특성 ---------- 27
그림 25. CC 충전 알고리즘 및 특성 ---------- 28
그림 26. CC-CV 충전 알고리즘 및 특성 ---------- 29

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

ABSTRACT

A Study on the Battery Energy Storage System for Photovoltaic

Kim Heung Sub
Advisor : Prof. Geum-Bae Cho, Ph.D.
Electrical Engineering Technology Convergence
Industrial Technology Convergence
Graduate School of Chosun University

The rapid growth of world wide industrial development has resulted in soaring energy usage, which has resulted in global warming and environmental pollution. As the problem of depletion of fossil fuels and rising oil prices emerges from society, developed countries in the US, Japan and Europe are pushing for green growth policy at the national level.

The energy storage system(ESS) can save the energy that is used and the remaining power in the system, and it can increase the utilization efficiency of the energy by supplying the system when the power is needed. It is possible to prepare for the unstable power supply of new and renewable energy sources and to play a role as demand manager through load leveling.

In this paper, we have studied battery characteristics and charge algorithm to develop solar energy - linked energy storage system. Simulation was carried out to apply the battery management system which monitors the status of the battery in real time and controls the battery to be used under optimal conditions. The SOC of the battery and the replacement time of the battery based on the simulation are then predicted and maintained And to secure the reliability and

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

safety of the system. As a result of analysis of the discharge curves according to the current size of the lithium ion battery, it was found that the discharge capacity increased as the current size was smaller, the internal electrochemical characteristics were increased with increasing temperature, and the discharge capacity was increased. In addition, through the application of the charging algorithm, we were able to analyze characteristics such as controlling the over-current and improving the charging efficiency by precisely controlling the charging time.

As a result of this study, it is expected that efficient operation and development of solar energy storage system will be possible through characteristics such as improvement of battery characteristics and charging efficiency according to charging algorithm.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Ⅰ. 서 론

최근 전력계통은 매년 전력수요의 증가로 인한 안정적인 전력수급에 어려움을 겪고 있는 실정이다. 미국을 비롯한 일본, 유럽 등의 선진 국가에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 스마트그리드 도입 등 다양한 방법으로 전력계통의 해결책을 모색하고 있다. 우리나라 역시 스마트그리드 확산과 신재생에너지 정책을 추진하고 있으며, 효율적인 전력시스템 관리를 위한 에너지저장시스템(ESS) 도입을 논의하고 있는 추세이다 [1,2].

대한민국의 에너지 및 석유 소비량은 세계 10위권인 에너지 다소비 국가이며, GDP의 8.2%를 에너지 수입에 투자하는 에너지 수입 의존도가 매우 높다. 그러므로 에너지 가격의 급격한 변화에 국가 경쟁력이 크게 영향을 받고 있는 상황이다. 2010년대에 접어들어, 교토 의정서에서 명시된 탄소 배출권 거래 제도의 수용에 관하여 미국, 일본, 중국 등 다수의 국가에서는 구체적인 실행계획을 미루고 있음에도 불구하고 대한민국은 아시아 국가 최초로 매년 GDP의 2%를 녹색시장에 투자하는 제도를 시행하기로 발표하였다. 이는 2020년까지 배출 전망치 대비 31%를 자발적으로 감축할 것으로 예상되고 있다. 전 세계적으로 에너지를 관리하기 위한 방안들이 다양한 측면에서 고려되고 있으며, 스마트 그리드 기술 및 에너지저장시스템 기술이 최적의 대안으로 주목을 받고 있는 현 시점에서 이에 대한 개발에 전력을 다하여야 할 필요성이 있다 [3].

에너지저장시스템은 경부하시 전력을 저장하여 피크발생시점에 사용함으로써 부하평준화를 통한 수요관리자원으로서의 역할을 수행할 수 있고, 피크분산, 주파수조정을 통해 발전소 건설비, 송전선 건설비 등의 설비투자를 절감할 수 있다. 이외에도 예비전력을 확보하여 동·하계의 전력 피크시 전력계통 운영을 효과적으로 할 수 있고 대규모 정전 사고에 대한 사전 예방이 가능하며 원전 등의 발전소 운영 시 비상전력으로 활용이 가능하다[4-6].

본 논문에서 연구한 태양광발전연계 에너지저장시스템은 과잉 생산 전력을 저장해 두었다가 전력이 필요한 시간과 장소에 공급을 해주는 에너지 저장장치로써, 주로 야

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

간에 전력을 저장하고 과부하시에는 저장한 전력을 사용하여 전력의 부하 평준화를 이루는 시스템이다. 이를 통해 발전소 건설비, 송전선 설치비 등과 같은 투자비를 절감할 수 있으며, 전력 피크와 대규모 정전 사고에 효과적으로 대응을 할 수 있을 뿐만 아니라 전력 예비율을 높이는데 최적화 되어있다. 또한 에너지저장시스템은 출력이 불규칙한 태양광, 풍력 등의 신재생 에너지원과 연료전지에 의한 에너지를 고품질의 전력으로 변환하여 저장할 수 있고 실시간 전력 거래가 가능하도록 하는 스마트그리드 구현을 위한 필수적인 기술이다. 이와 같은 다양한 장점을 보유하고 있음에도 불구하고 에너지저장시스템의 높은 초기투자비용 및 현 상황의 낮은 전기요금에 인한 수익을 창출하기 힘들다는 단점을 지니고 있어 에너지저장시스템의 보급화에 어려움이 있다. 출력이 불규칙한 신재생에너지원의 고품질 전력으로 변환과 동시에 실시간 전력 거래가 이루어지는 스마트그리드 구현을 위해서 반드시 필요한 기술인 에너지저장시스템을 보급하고 활성화하도록 정책을 추진하기 위해서는 정부차원의 보급기반 조성이 필요하다.

본 논문에서는 태양광발전연계 에너지저장시스템을 위한 신뢰성 및 안전성을 확보하고 배터리 관리 시스템을 비롯한 충방전 알고리즘을 개발하여 기본적으로 배터리의 상태를 실시간으로 모니터링 하여 최적화 제어를 할 수 있도록 하고자 한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Ⅱ. 이론적 고찰

A. 태양광발전

태양광발전은 태양에너지를 전기에너지로 변환시키는 기술로서 태양광에너지를 직류전기에너지로 변환시키는 기술과 이로 인해 발생한 직류전력을 교류로 변환시키는 기술로 나뉜다. 태양광발전은 반도체나 고분자, 염료 등의 물질로 구성된 태양전지를 활용하여 태양 빛을 받아 전기를 생성한다[7]. 태양전지는 P형 반도체와 N형 반도체를 접합하는 P-N구조로 이루어져 있고 태양 빛이 입사하면 반도체 내부에서 전자와 정공이 발생하게 된다[8]. 이때 전자는 N형 반도체, 정공은 P형 반도체로 이동을 하게 되고 접합부 양단에 전위차가 발생을 하게 된다. 즉 반도체는 태양 빛에 의해 전기를 발생시키게 되는데 이를 광기전력효과하고 한다. 아래의 그림 1은 태양전지의 구조 및 발전원리를 나타낸다.

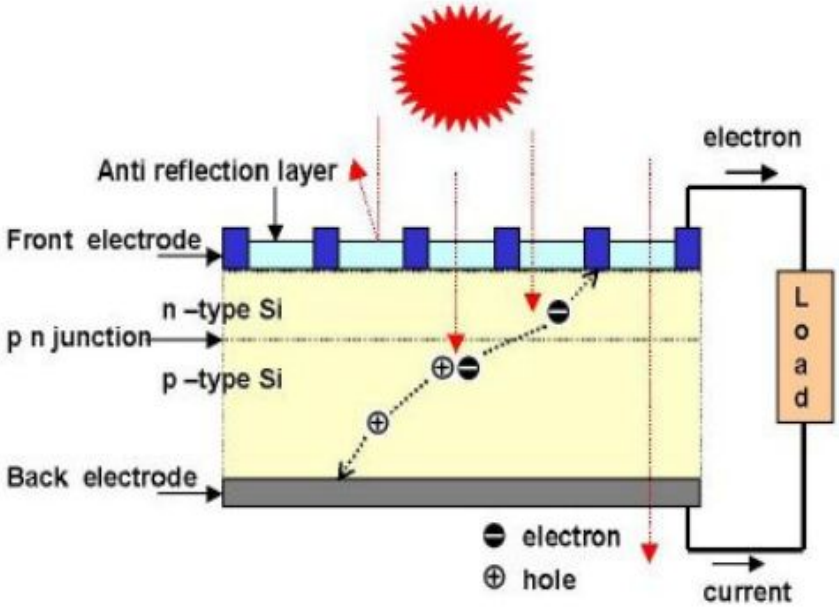


그림 1. 태양전지의 구조 및 발전원리

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

태양 빛을 전기로 변환하는 광기전력효과는 태양 빛이 태양전지를 통과하여 발생하는 물리적인 과정을 나타낸 것으로 광자 혹은 태양에너지의 입자들로 구성이 되어 있으며 광자는 각기 다른 에너지 레벨을 갖는 파장으로 나타나게 된다[9]. 태양전지를 활용한 발전은 태양으로부터 나오는 빛에 의해 시작되며, 태양으로부터 직접 지표에 도달하는 직달광과 구름, 건물, 지표면 등에 의해 반사되어 투사되는 산란광으로 이루어져 있다. 태양전지는 직달광과 산란광 모두를 활용하여 발전이 가능하며 맑은 날은 물론 흐린 날에도 발전이 가능하다. 뿐만 아니라, 무한정 에너지원인 태양을 이용하여 화학변화를 동반하지 않기 때문에 환경오염이 없는 청정발전방식이라는 점과 필요에 따라서는 소규모 및 대규모 시스템으로 설비가 가능하다는 장점을 지닌다[10,11].

태양전지 셀을 조립하여 모듈을 구성하는데 지상이나 지붕에 다음과 같은 모듈을 병렬식으로 설치한 것을 태양전지 어레이라고 한다. 태양전지 모듈은 태양전지 셀을 연결시켜 전압 및 출력을 얻을 수 있게 되어있고 태양전지 어레이는 스트링, 역류방지 소자, 바이패스 소자, 접속함 등으로 전기적 회로를 구성하고 있다.

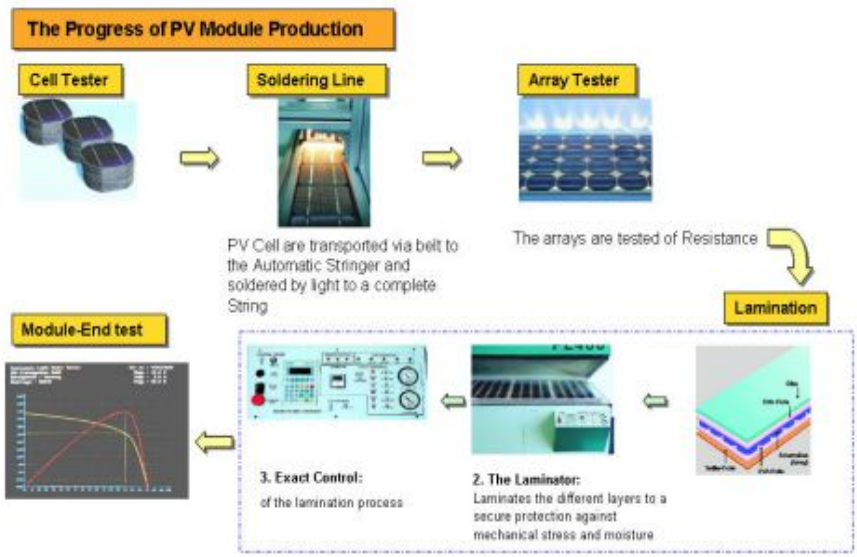


그림 2. 태양광 모듈 제작 순서도

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

스트링은 태양전지 모듈을 접속한 회로구성을 말하며 이는 태양전지 어레이가 출력전압을 만족시키도록 하는 역할을 한다. 각각의 스트링은 역류방지 소자를 통하여 접속되며 태양전지 모듈에 다른 전류가 들어가는 것을 방지하기 위해 설치한다. 바이패스 소자는 태양전지 모듈이 그늘에서 발전을 하지 못할 때 태양전지 셀에 흐르는 전류를 바이패스하는 역할을 하며 이는 태양전지 셀이 파손되지 않도록 하는 것이다. 마지막으로 접속함은 다수의 스트링에서 발생한 직류전력을 하나로 모아서 파워컨디셔너에 공급을 한다[10-12].

태양전지의 효율은 입사된 태양 복사에너지와 태양전지의 단자에서 나오는 전기적 출력에너지의 비율을 말하며, 이는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\eta = \frac{\text{태양전지의 전기적출력}}{\text{태양전지에 입사된 에너지}} \times 100(\%) \tag{1}$$

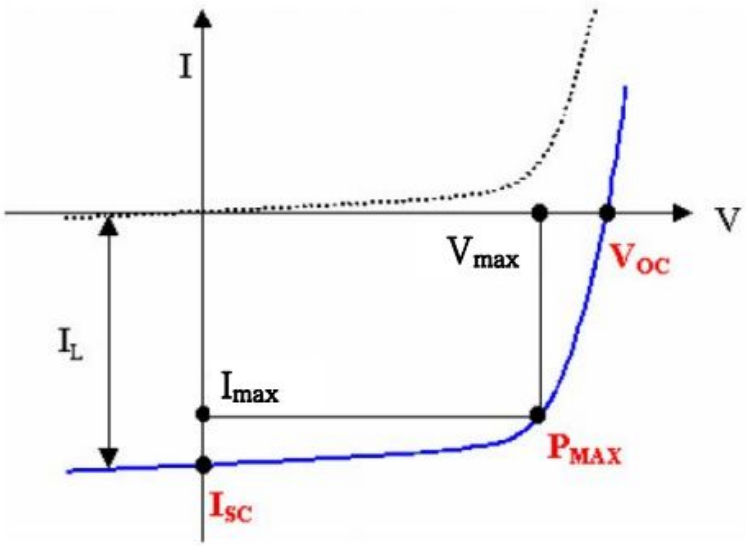


그림 3. 태양전지의 전압-전류 특성곡선

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

국제 전기규격표준화위원회는 지상용 태양전지에 관하여 태양복사의 통과 공기질량 조건을 1.5라고 규정하였고 100mW/㎠ 라는 입력광 파워에 대한 부하조건을 바꾼 경우에는 최대 전기 출력과의 비를 공칭효율이라고 정의하였다[13]. 실제로 태양전지의 공칭효율에 대한 측정은 태양반사광 스펙트럼을 활용한 솔라시뮬레이터를 통하여 이루어지고 있으며 그 출력파워가 공기질량 1.5, 100mW/㎠ 라는 입사광 조건을 설정하여 측정하고 있다. 이때 FF(Fill Factor)는 곡선인자라고 하고 태양전지의 성능을 나타내는 중요한 지수이며 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$FF = \frac{V_{max} \cdot I_{max}}{V_{oc} \cdot J_{sc}} \tag{2}$$

Vmax : 최대출력점전압

Imax : 최대출력점전류

Jsc : 단락광전류밀도(short circuit current density)

Voc : 개방전압(open circuit voltage)

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

1. 태양전지

태양전지는 태양광을 직접 전기 에너지로 변환을 하는 반도체 소자로 1980년대 실리콘 태양전지에 관한 연구가 성과를 나타내면서 태양전지의 효율이 향상되기 시작하였다. 1980년대 후반 실리콘 태양전지의 효율을 20%를 당성하게 되었고 이후 꾸준한 연구를 통해 매년 15~20%씩 시장이 성장하였다[14]. 현재는 전력 계통선의 접근이 어려운 산간도서와 같은 장소에 태양전지 설비가 설치되고 있으며 전력 공급을 통한 생활환경의 개선 및 환경오염을 줄여주는 발전방안으로서 각광을 받고 있다.

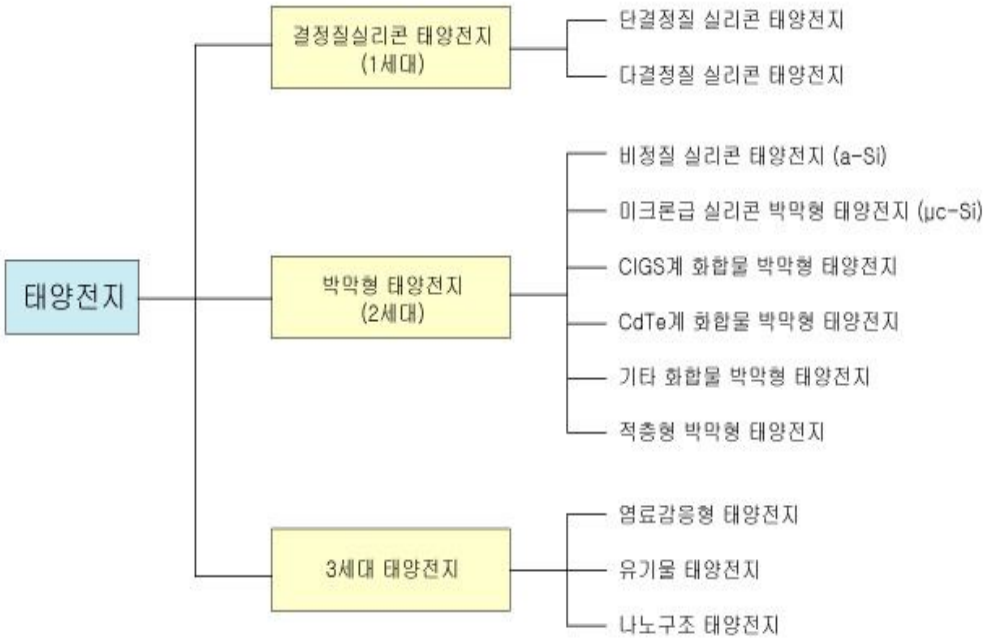


그림 4. 세대에 따른 태양전지의 분류

태양전지는 제 1세대 태양전지라고 할 수 있는 실리콘계 태양전지, 제 2세대 태양전지인 화합물 반도체 및 박막형 태양전지 그리고 제3세대인 유기 및 나노 반도체 소재 태양전지로 구분할 수 있다[15]. 현재 상용화 단계로 전원의 용도로 주로 이용되고 있는 실리콘 태양전지는 10~18% 대의 변환효율을 내고 있으며 1980년대부터 꾸준하게

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

기술개발을 한 결과 효율 향상을 비롯한 원가 절감 등으로 태양광 셀 시장을 형성하고 있다. 향후에도 꾸준한 성장세를 유지할 것으로 예상되지만, 원 재료인 실리콘 소재의 가격 상승에 따른 요인 및 가격 경쟁력 확보에 어려움이 있어 최근에는 박막형 태양전지나 유기 및 나노 반도체 소재의 태양전지로 관심이 집중되고 있는 실정이다. 특히 CIGS, CdTe 등의 박막형 태양전지와 염료 감응형 태양전지에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다[16]. 실리콘 소재의 태양전지에 비해 화합물 태양전지는 박막을 구성하는 소재의 물성 및 구조에 있어 광흡수계수가 높아 광흡수층이 얇아도 빛을 효과적으로 흡수할 수 있다는 장점이 있다. 이는 원소재의 소비를 줄여 가격경쟁력을 높일 수 있다는 의미를 갖는다.

박막형 태양전지의 경우 실리콘계와 화합물계로 구분을 하고 구조적 특성을 통해 결정형과 박막형 태양전지로 구분을 할 수 있다. 결정형에는 단결정, 다결정 실리콘 태양전지 등이 있으며 박막형으로는 비정질 실리콘, 다결정 화합물 반도체 태양전지가 있다. 화합물 반도체는 CIGS 및 CdTe 등이 있고 식물의 광합성으로부터 모색한 유기물 소재와 전도성 염료와 포리머 등과 같은 무기물 소재에 대한 연구가 현재 연구적 관심을 받고 있다[17].

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. 태양광발전시스템

태양광발전시스템은 생산효과적, 재생가능적인 요소로 인해 에너지 수입 대체를 비롯한 경제적인 측면에서 장점을 가지고 있다. 현재 우리나라에서는 건물 대부분의 지붕이나 옥상을 활용하지 않고 있는 실정이고, 이러한 공간을 활용한 태양광 모듈 설치는 연간 23,950,700TOE라는 양의 에너지를 생산할 수 있다고 산출에 의해 추정할 수 있다. 뿐만 아니라, 태양광발전의 잠재량을 극대화 한다면 에너지 수입을 대체할 수 있는 긍정적 요소가 될 수 있다[18]. 태양광발전은 축전기술의 발전에 의해 축전지와 연계한 에너지저장시스템을 활용한다면 경제성이 더욱 향상될 것으로 전망된다.

태양광발전시스템은 태양전지에 의해 직류가 발전되며 부하는 교류전류를 필요로 하므로 직류를 교류로 변환해주는 장치인 인버터가 필요하다. 태양전지에 의하여 발생된 에너지를 야간에 활용하기 위해서는 주간에 생산된 에너지를 축전지를 활용하여 저장하여야 한다. 장시간 태양전지를 활용한 발전이 불가할 경우에는 발전기를 사용하는 경우도 존재한다.

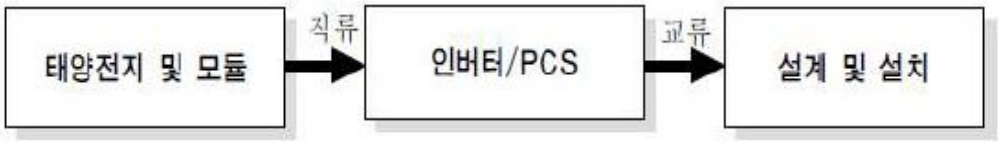


그림 5. 태양광발전시스템 구성요소

태양광발전시스템은 계통 연계형 시스템과 독립형 시스템으로 구분할 수 있으며 계통 연계형 시스템의 경우 전력회사에서 공급하는 상용전기와 같은 방식으로 사용된다. 태양광 발전을 하지 않는 시간에는 전력계통으로부터 전력을 공급받고 반대로 태양광 발전 전력이 남을 경우에는 전력계통으로 보내는 시스템이다[13]. 반면 독립형 시스템은 섬이나 등대와 같이 전력시설이 미비한 지역에서 활용이 되며 전기를 저장하는 설비가 필수적이므로 축전지를 활용하고 있다. 그림 6은 태양광발전시스템의 계통도를 보여준다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

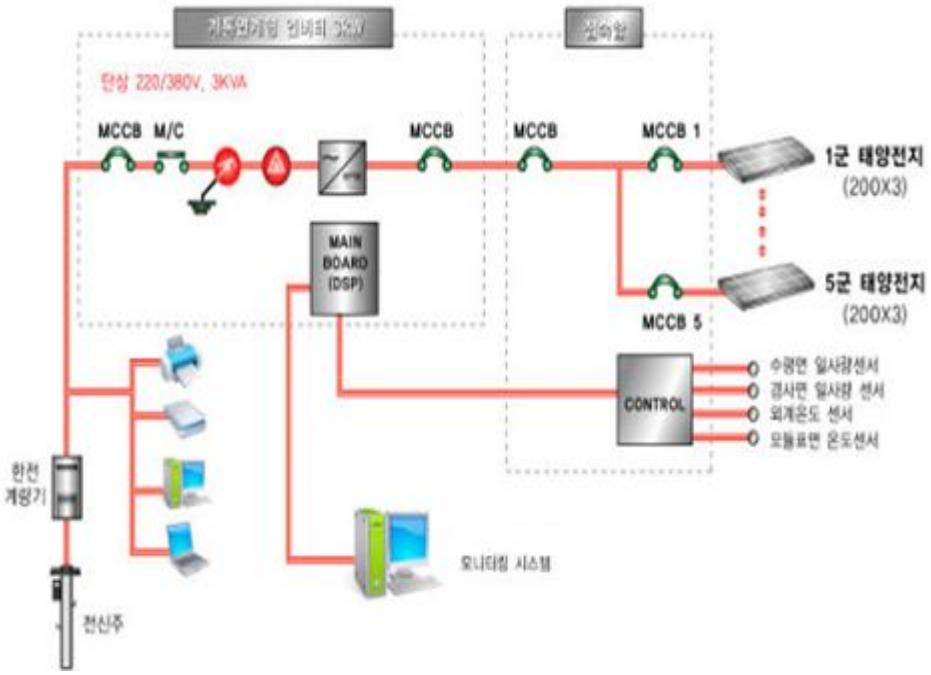


그림 6. 태양광발전시스템 계통도

계통 연계형 태양광발전시스템의 경우 독립형 시스템에 비해 구조가 간단하고 태양광 모듈과 인버터가 직접적으로 연결되어 있어 모듈로부터 발생하는 직류전원과 전력계통으로부터 발생하는 교류전원이 서로 균형을 유지하는 상태로 교류부하에 전력을 공급하는 형태이다[19,20]. 따라서 축전설비가 별개로 필요하지 않아 저가로 구현을 할 수 있고 축전지에 의한 충방전 손실이 발생하지 않기 때문에 효율개선이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 하지만 모듈에 의해 발생된 전력이 인버터를 통해 전력계통으로 직접 연결되어 있어 인버터에서 발생되는 고조파에 의한 영향을 전력계통에 줄 수 있다는 단점이 있다. 그럼에도 불구하고 계통 연계형 태양광발전시스템은 유지보수가 간단하며 높은 시스템 효율을 가지고 있어 건물용 및 주택용 태양광발전으로 사용하는데 이상적인 형태이다[18].

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

일반적으로 사고의 경우, 계통을 보호하기 위한 계통 연계 보호 장치와 인버터로 구성되어 있는 파워컨디셔너는 태양전지어레이에서 발전한 직류전원을 교류전력으로 변환하고 전력제어 부분에서는 전기적 보호 및 감시의 기능을 한다. 이러한 파워컨디셔너의 핵심요소는 인버터이기 때문에 파워컨디셔너 자체를 인버터라고 지칭하기도 한다. 산업용에서 다수의 파워컨디셔너를 활용하는 경우에는 파워컨디셔너에서 공급되는 배선을 하나로 하기 위한 목적으로 교류를 설치하는 경우도 있으며 파워컨디셔터에 의해 교류로 변환된 전력은 산업용으로는 분전반이나 수변전 설비로, 가정용에서는 분전반으로 접속된다[21].

태양광발전시스템은 설치대의 추적방식에 의해 고정식 발전시스템과 추적식 발전시스템으로 분류할 수 있다. 고정식 발전시스템의 경우 구조가 안정적이며 설치 면적의 제약을 받지 않는 곳에 주로 설치되고 있다[18]. 풍속이 강한 산간, 도서지방에 주로 설치되고 있으며 대용량 시스템에 특화되어 있는 발전시스템이다. 하지만 추적식에 비해 발전효율이 낮다는 단점이 존재한다. 이를 극복하기 위해 착안된 방식이 고정 가변형 발전시스템이다. 계절과 월별에 따라 태양전지 어레이의 위치를 변화시켜 발전시키는 방식으로 고정식 발전시스템과 비교했을 때 15~20% 정도의 발전량을 증가시킬 수 있다.

그림 7. 고정식 태양광발전시스템

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

추적식 발전시스템의 경우 태양빛이 태양전지 어레의 표면의 전체면에 수직으로 입사할 수 있도록 태양의 위치를 추적하는 형태로 발전효율을 극대화하기 위한 방식이다 [21]. 추적식 시스템은 단축식과 양축식 구조로 분류하며 단축식은 태양전지 어레이의 지지대가 상하 혹은 좌우의 한 축으로만 추적하는 방식이고, 양축식은 상하, 좌우를 동시에 추적할 수 있도록 설계된 방식이다. 고정식 발전시스템에 비해 발전효율이 높다는 장점을 지니고 있으나, 설치면적에 제약이 있으며 풍속이 강한 지역에서는 유지보수가 어렵다는 단점이 있다.

추적식 발전 시스템의 경우 센서와 컨트롤러를 통해 태양의 위치를 추적하며 최대 일사량을 추적하는 감지식 발전시스템, 태양의 연중 이동경로를 추적하는 프로그램을 활용하는 제어식 발전시스템이 존재하고 이들의 장점을 혼합한 혼합형 추적방식으로 분류된다. 그림 8은 추적식 태양발전시스템의 구조이다.

그림 8. 추적식 태양발전시스템의 구조

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3. 태양광발전 동향

태양광발전 시장은 세계적인 경기침체에도 불구하고 꾸준하게 성장세를 지속하고 있다. 미국, 일본, 중국 등 기존의 주요 투자국들의 수요가 지속적으로 증가하고 있고 터키, 인도, 멕시코 등을 비롯한 신흥 국가들의 수요도 급속하게 증가되고 있는 실정이다. 태양광발전 시장이 성장할 수 있는 원동력은 태양광발전 기술의 발전에 따른 발전단가의 하락으로부터 기인한다[15]. 2016년 기준 주요 태양광 프로젝트 발전단가는 페루 $48/MWh, 멕시코 $35.5/MWh, 두바이 $29.9/MWh 정도이며 이는 과거 대비 큰 폭으로 하락하고 있는 실정이다. 물론 모든 지역에서 다음과 같은 가격대를 형성하는 것은 아니지만, 이는 석탄을 활용한 발전에 경쟁력을 갖는 수준으로 떨어질 가능성이 높다는 증거가 되고 있다[3].

그림 9. 태양광발전시스템 단가현황 및 전망

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2016년 기준 글로벌 태양광발전 시스템 평균가격은 $1.2/W로 2015년 대비 7% 하락하였고 2020년에는 $1/W 미만으로 하락될 것으로 전망되고 있다. 즉 태양광 발전의 경제성은 지속적으로 개선되고 있으며 2020년 이후에는 가장 경쟁력있는 발전원으로 부상할 것이라고 전망된다. 가격경쟁력이 확보됨에 의해 태양광발전 산업의 성장이 지속적으로 이루어질 것이라는 판단이다[3]. 특히 중국과 미국의 태양광발전 단가가 2020년 이후에는 20% 이상 하락할 것으로 예상되며, 중장기적으로는 2025년을 기점으로 석탄 발전보다 더 저렴한 에너지원이 될 것으로 전망된다. 이는 세계의 발전 산업이 경제성과 친환경성을 지닌 태양광발전 산업 중심으로의 이동이 불가피할 것이라고 판단된다[3].

표 1 주요 태양광 기업들의 2015년 실적 동향

구분 (단위 : 백만 달러)	2013		2014년 합계		2015 1Q		2015 2Q		2015 3Q		2015 4Q	
	매출	영업이익	매출	영업이익	매출	영업이익	매출	영업이익	매출	영업이익	매출	영업이익
First Solar	3,309	679	3,391	441	469	-70	896	57	1,271	398	942	132
Canadian Solar	1,654	130	2,960	367	861	79	637	32	850	31	1,120	105
Trina	1,775	-36	2,285	120	558	29	723	60	792	5.5	962	81
JA Solar	1,187	-15	1,824	107.5	385	24	437	25	601	47	718	40
Yingli	2,216	-185	2,083	-35	455	-10.7	438	-29	351	-450	330	적자 지속
JinkoSolar	1,151	105	1,619	152	441	37	516	38	637	60	950	75
Hanwha Q cells	780	-67	779	-32	333	-17	338	1	427	38	700	53

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

태양광발전 사업을 진행하고 있는 기업들은 매출액의 개선 추이가 지속되고 있는 상황이다. 주요 기업들의 매출이 큰 폭으로 증가하고 있으며 이에 따른 영업이익은 5~10% 대의 양호한 상황이 지속되고 있다. 한화 Q-Cell의 2015년도 4분기의 매출액은 전분기에 비해 64%나 증가를 하였고, 영업이익 또한 40% 증가한 4천만 달러를 기록한 것으로 나타났다. 이는 태양광 매출 상위 기업들의 실적이 앞으로도 전반적으로 개선되는 추이를 나타낼 것으로 예상된다.

국내의 태양광발전 신규 설치량은 2015년 1GW로 사상 최고치를 기록하였고 2016년에는 1.2GW가 설치될 전망이다. 이는 신재생에너지 의무사용 정책인 RPS가 시행함으로 인해 국내에서의 태양광발전 시장이 성장을 하고 있다. RPS 시장 통합은 접근성이 용이한 태양광 수요를 늘리는 계기가 될 것으로 예상되며 2차 국가에너지 기본계획에 따라 2035년까지 태양광발전 17.5GW를 구축할 예정이며 발전량 기준으로 신재생에너지 발전량의 22%를 담당할 것으로 계획된다.

표 2 국내 연도별 태양광 설치 현황

구분	보급정책	설치용량 (kW)		
		2013년	2014년	2015년
보조금	주택지원	20,634	22,392	21,000
	건물지원	5,589	5,118	6,000
	지역지원	11,349	10,989	14,000
	융복합지원		5,632	5,000
의무화	공공기관설치의무화	11,466	15,987	33,000
	RPS	406,816	865,200	924,000
총 설치용량 (kW)		455,854	925,318	1,003,000

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

B. 에너지저장시스템

화석연료 사용으로 인한 심각한 기후변화에 의해 화석에너지 사용 제약이 점점 심화되고 있는 실정이다. 이에 따라 미국, 일본, 유럽 등 주요 선진국들은 국가적 차원에서 에너지 산업에 대한 규제와 지원을 강화하고 있다[22]. 에너지 관련 기술개발과 사업화 연구를 학계와 연구소를 통해 진행되고 있으며, 기업은 새로운 시장을 개척하기 위한 신기술들을 개발하고 있다. 현재 에너지 산업은 ICT와 결합을 함으로 인해 유통과 거래, 관리기술 등에서 혁신을 가져오고 있으며 재생 에너지, 에너지관리시스템, 마이크로 그리드 등 시장과 산업을 창출하고 있다. 그중 핵심으로 분류되는 분야가 에너지저장시스템(ESS) 이다[23].

에너지저장시스템은 생산된 전력을 저장해 두었다가 필요시에 공급함으로써 전력이용의 효율을 높여주는 시스템이다. 에너지저장시스템의 사용으로 태양광, 풍력 등의 신재생 에너지의 출력이 안정화 되었으며 에너지 활용 효율성도 높일 수 있으므로 주요 에너지 강국들은 에너지저장시스템을 에너지 분야의 핵심 성장 동력으로 지정하고 집중적으로 지원하고 있다.

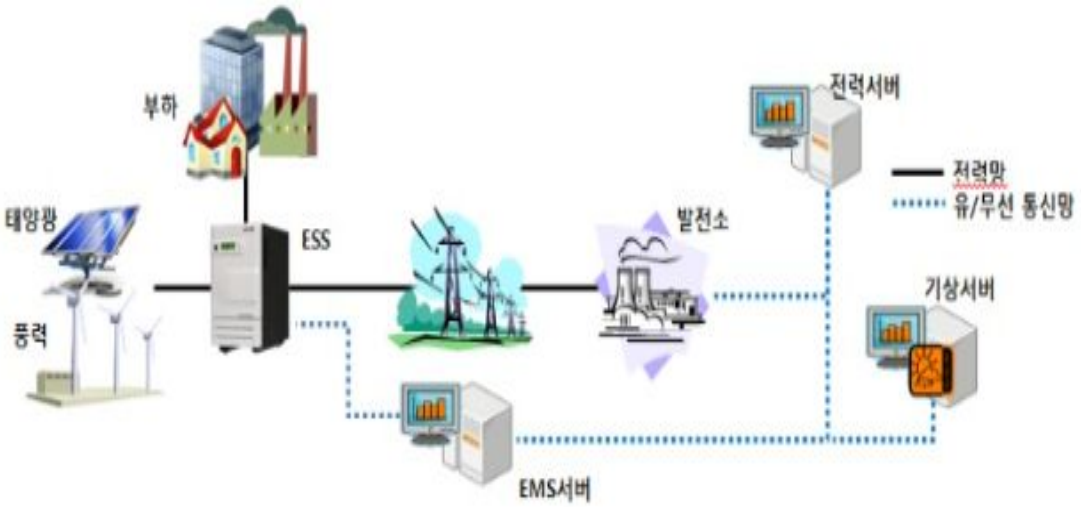


그림 10. 에너지저장시스템의 구성

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

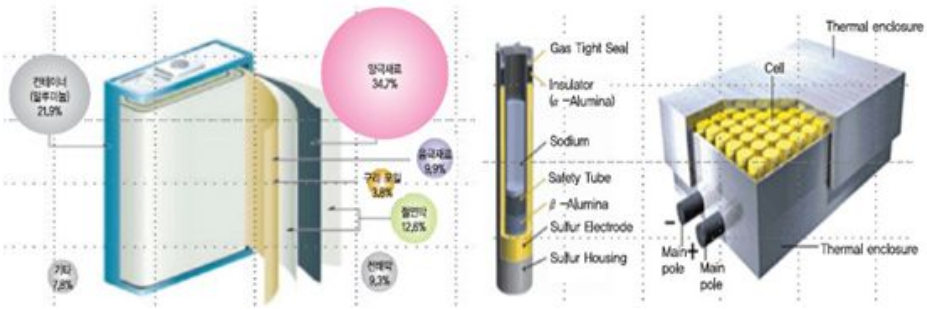


그림 11. 리튬전지, 나트륨황전지 방식의 구조

에너지저장시스템은 에너지의 저장 방식에 따라 배터리 방식과 비배터리 방식으로 구분한다. 이때 배터리 방식에는 리튬전지, 나트륨황전지, 리독스플로전지, 슈퍼캐패시터 등이 활용되며 비배터리 방식으로는 양수, 플라이휠, 압축공기저장 등의 기술이 적용되고 있다[23,24]. 뿐만 아니라, 에너지저장시스템은 용도에 따라 주파수 조절용, 신재생출력 안정용, 피크감소용 등으로 분류가능하다. 현재 연구 및 실증이 가장 활발하게 이루어지고 있는 분야는 배터리 방식의 에너지저장시스템이며 본 논문에서도 이에 대한 연구를 진행하였다[23,25].

종류	Li(리튬이온)		Redox Flow	NaS	납축전지	Ni-Cd
	LTO소재	LMO소재				
설치모습						
용도	휴대폰, 전기차 전력계통 주파수조정용		피크조절용	피크조절용	자동차, 변전소제어용	항공기, 철도
수명(Cycle)	9,000	2,000~4,000	3,000~5,000	3,000	200~300	1,000
효율	90%	90%	60~80%	87%	85%	70~90%
가격	초고가	고가	중가	중가	저가	저가
특징	• 단시간 충방전 용이 • 고에너지밀도 • 초소형에서 대용량 가능 • 친환경, 저유지보수비용		• 대용량가능 • 부피 大 • 저효율	• 대용량가능 • 부피 大 • 고온유지필요 • 고열,폭발위험, 유해물질	• 유해물질 • 수명짧음 • 저용량	• 메모리효과 • 고온불안정 • 환경오염

그림 12. 에너지저장시스템용 이차전지의 종류와 특성

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

에너지저장시스템을 위한 배터리는 BMS, PCS, EMS 등과 같이 다양한 제품을 토대로 하나의 시스템으로 연동하여 관리 및 통제를 통합적으로 제어할 수 있도록 한 시스템이다[26]. 일반적으로 이차전지를 이용한 에너지 저장 시스템과 전기 자동차에 사용되는 전지는 용량에 따라 직·병렬로 다수의 배터리가 사용된다. 많은 배터리를 일괄적으로 관리하고 제어하기 위해서 배터리관리시스템(BMS, Battery Management System)이 필수적인 요소로 자리잡고 있다. BMS는 배터리의 전류, 전압, 온도를 측정하고 배터리의 고장 유무 및 안전상태를 진단하고 배터리의 온도와 셀 밸런싱을 제어하며, PCS 및 운영시스템과 통신하여 배터리의 데이터를 제공하는 기능을 한다[27-29].

배터리관리시스템의 역할은 배터리의 상태를 실시간으로 모니터링하고 최적의 조건으로 사용할 수 있도록 제어한다. 배터리의 SOC 및 교체시기를 예측하여 유지보수를 할수 있도록 하며 시스템의 신뢰성 및 안전성을 확보한다. 배터리관리시스템은 상태감시부, 알고리즘 연산부, 명령 제어부, 보호 회로부, 통신부로 분류할 수 있으며 상태감시부에서는 배터리를 안정적으로 운영할 수 있도록 셀의 전압, 전류, 온도 등을 측정한다. 알고리즘 연산부에서는 SOC와 SOH 및 셀 밸런싱 알고리즘을 연산하며 명령 제어부에서는 보호 기능을 수행하기 위해 스위치에 제어 신호를 보내는 기능을 담당한다. 보호 회로부에서는 과전압, 과전류를 감시하고 차단하는 기능을 담당한다[28].

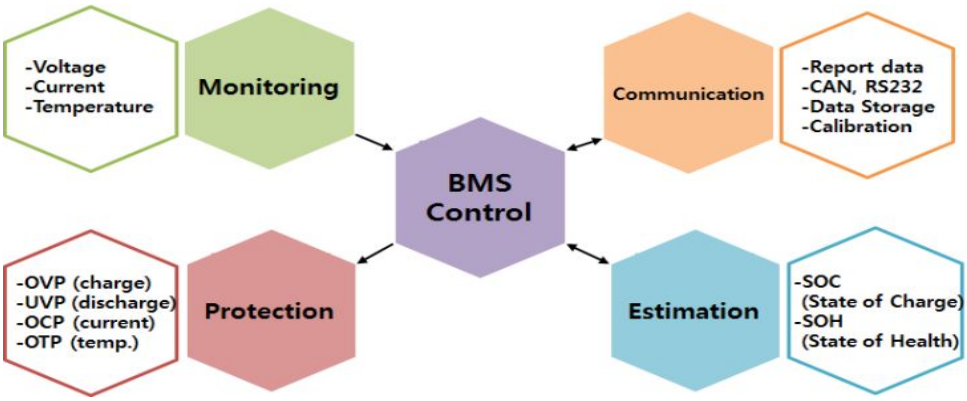


그림 13. BMS의 주요 기능

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

이차전지는 일차전지와 달리 충방전을 여러 번 수행할 수 있으며, 서로 다른 에너지 저장 상태를 가질 수 있다. 에너지 저장능력은 용량으로 정의가 가능하며, 이때 용량은 배터리의 만충 상태에서 만방 상태까지 전류를 일정하게 방전했을 때의 방전 전하의 총량이라 정의한다. 만충 상태는 수용할 수 있는 전하를 손상되지 않은 범위 안에서 최대로 받은 상태이며 일정 전압으로 충전하여 더 이상 전류가 흐르지 않는 상태를 정의한다. 만방 상태 역시 만충 상태와 유사하며 배터리가 손상되지 않는 범위에서 방전이 가능한 전하를 완전히 배출한 상태이다[30].

SOC는 배터리의 용량을 결정하는 요소로 방전 전류의 선택, 온도 및 노화의 영향을 중요하게 고려한다. 일반적으로 배터리 제조사에서 제공하는 용량은 정격 용량 Q_{rated}으로 상온에서 만충 상태부터 만방 상태까지 규정된 전류조건 i_{rated}로 방전했을 때의 값으로 정의하며 아래 식과 같이 나타낸다.

$$Q_{rated} = \int_{\tau} i_{rated}\, dt \tag{3}$$

고온이나 저온에서 동작할 경우 배터리의 방전 용량은 상온 결과와 다르게 측정된다. 이는 고온 시에는 내부의 전기화학적 특성이 활발하여 방전 용량이 증가하며 저온인 경우는 용량이 감소한다. 노화 역시 방전 용량을 감소시키는 원인이 된다.

SOH는 방전 용량이나 전류에 따른 전압 변화 정보를 비교하여 판단할 수 있다. SOH 예측은 SOC 추정에 비해 간단하며 실험 데이터에 근거한다. 게다가 단시간의 충방전이나 일시적인 외부 요인으로 인한 값의 가변성이 적다. 하지만 과충전 또는 과방전이 오래 지속될 경우에는 배터리의 노화는 필연적이므로 운용 가능한 허용 전류 범위 안에서 충방전을 수행하는 것이 좋다.

배터리 팩은 단위 셀의 직병렬 조합이며 안전한 운용을 위하여 팩을 구성하는 셀 간의 상이한 전기화학적 특성을 최소화하여야 한다. 셀 간의 전압 및 SOC 불균형이 존재하면 팩의 과충방전 및 수명 저하를 야기할 수 있다. 즉 충전시에는 단자 전압이 높은 셀에 과충전이, 방전시에는 단자 전압이 낮은 셀에 과방전이 가해진다. 과충전과

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

과방전 반복될 경우 셀의 용량이 급격히 저하되며 노화가 심화된다[31,32].

직병렬로 조합한 배터리에서 가장 용량이 작은 셀로 인한 팩의 만방 및 만충 전압이 결정되며 그 외의 셀들은 만충이나 만방이 되지 않은 상태에서 충전과 방전을 멈추게 된다. 이로 인한 동작 가능한 방전 용량의 제한이 가해지므로 효율적인 팩의 사용이 불가능하다. 따라서 배터리 팩의 높은 배터리 용량을 유지하기 위해서는 수명주기 동안 BMS의 셀 밸런싱 기능이 중요한 요소가 된다.

BMS의 주 역할은 스택의 모든 셀을 모니터링하고 최대 및 최소 SOC 한계를 벗어나서 충전 또는 방전이 일어나지 않도록 하는 것이다. 직병렬 셀 어레이의 경우 병렬로 연결된 셀은 셀 간의 도전 경로가 존재하며 시간의 경과에 따라 충전 상태가 균등하게 된다. 하지만 직렬연결의 경우 다양한 요인들로 인해 시간이 경과함에 따른 셀의 충전 상태가 달라지는 경향이 있다[33]. 이는 팩 전반에 걸친 셀 간 임피던스의 차이나 온도 편차 등에 의한 SOC의 불일치로 배터리 팩의 충방전 사이클마다 셀 편차를 줄이도록 관리하여도 누적 불일치는 점진적으로 증가하게 된다.

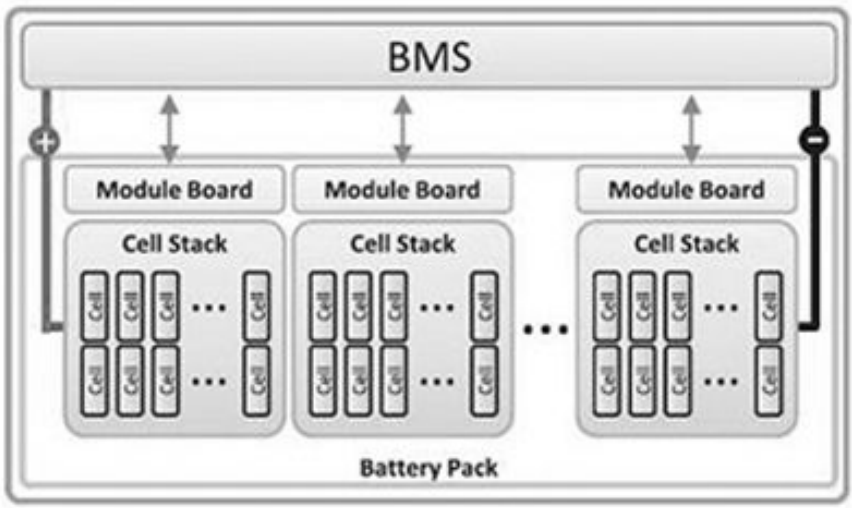


그림 14. BMS의 구성

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Ⅲ. 실 험

A. 배터리 특성

BMS의 주요 역할은 모든 셀을 모니터링하고 SOC의 한계를 벗어나서 충전 또는 방전되지 않도록 하는 것이다. 이러한 BMS의 역할을 위해 리튬이온 전지의 방전전류에 의한 특성과 온도에 의한 특성을 분석하여야 한다. 이를 위하여 리튬이온 배터리에 각기 다른 전류 값을 인가하여 이에 따른 방전용량을 분석할 수 있도록 시뮬레이션을 수행하였고, 고온이나 저온에서 동작 시 측정되는 배터리의 방전 용량을 알아보기 위해 온도를 -20℃, -10℃, 0℃, 23℃, 45℃를 인가하여 측정하였다. 뿐만 아니라 셀 밸런싱에 의한 배터리 수명과 셀 편차로 인한 배터리 용량 변화를 측정하기 위해 셀 밸런싱과 셀 편차를 변화시키는 실험을 적용하였다.

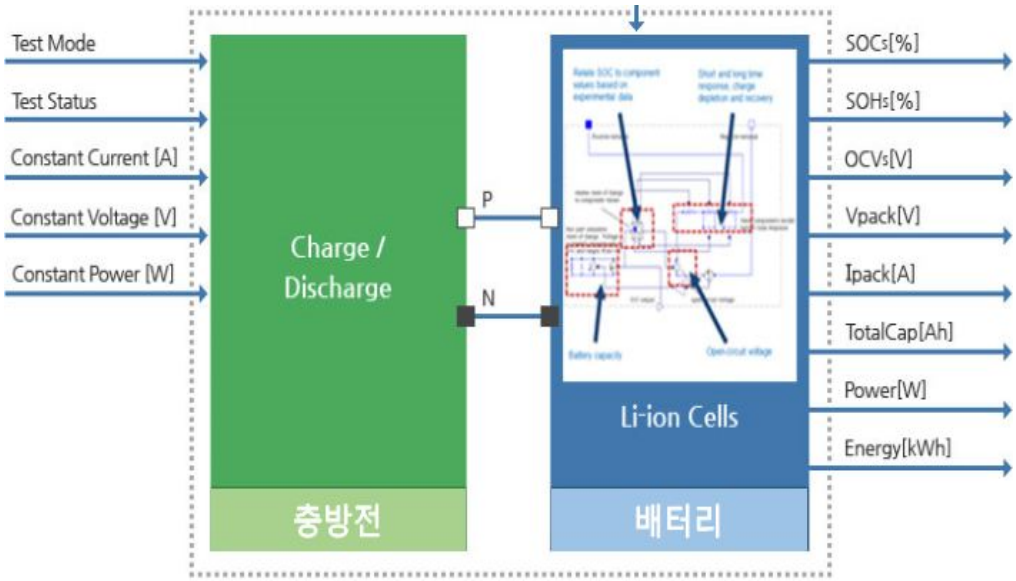


그림 15. 배터리 특성 분석을 위한 시뮬레이션

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

B. 충전 알고리즘

양방향 DC-DC 컨버터의 제어 컨트롤 소프트 웨어를 통한 배터리 충방전 알고리즘을 구현하여 배터리를 제어하고자 하였다. 배터리 충전 알고리즘은 크게 정전압 충전, 정전류 충전, 정전류-정전압 충전으로 구분할 수 있다. 정전압 충전 알고리즘은 배터리에 전압을 일정하게 인가하는 충전방법으로 그림15와 같은 알고리즘을 적용하였고, 정전류 충전은 배터리가 충전될 때까지 정전류로 충전하는 방법으로 그림 16과 같이 알고리즘을 설계하였다.

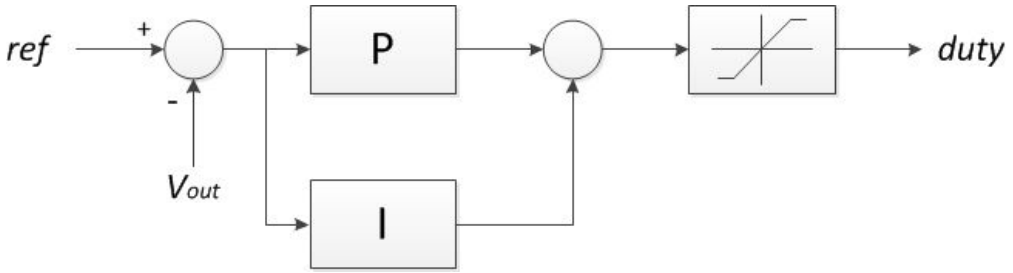


그림 16. CV 충전 알고리즘

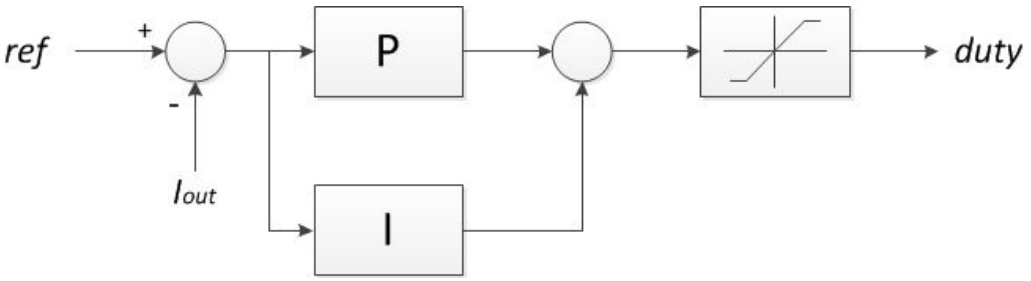


그림 17. CC 충전 알고리즘

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

마지막으로 정전류-정전압 충전 방법은 배터리를 안정적으로 충전하기 위한 충전 알고리즘으로 추정된 SOC를 이용하여 일정 구간까지는 정전류로 배터리를 충전하다가 정전압 모드로 변경하여 정전압으로 배터리를 충전하는 방식을 선택하였다.

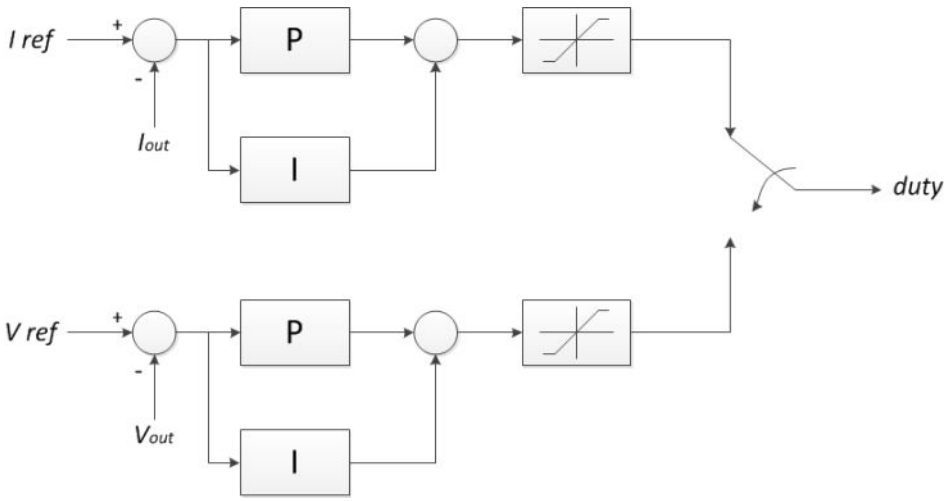


그림 18. CC-CV 충전 알고리즘

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Ⅳ. 결과 및 검토

리튬이온 배터리의 전류 크기에 따른 방전 곡선을 분석한 결과 그림 19과 같이 전류의 크기가 작을수록 방전용량이 증가한다는 것을 확인할 수 있었다. 뿐만 아니라, 고온이나 저온에서 동작하는 배터리의 방전 용량은 상온에서 측정한 용량과 다른 값을 나타내었다. 이는 고온 시 내부의 전기화학적 특성이 활발해지고 방전 용량이 증가하며 저온인 경우 용량이 감소하는 것을 의미하며 그림 19와 같은 곡선을 나타내었다.

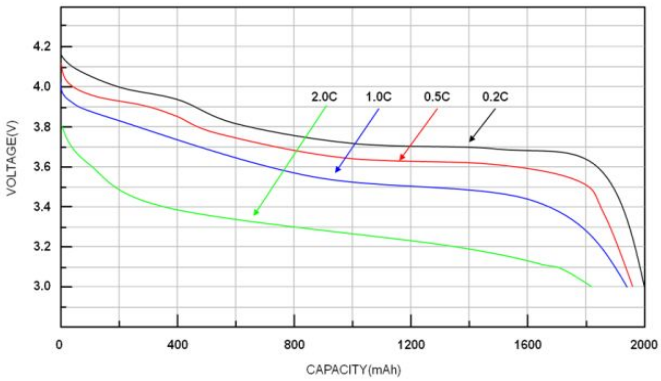


그림 19. 방전전류에 따른 전압-용량 곡선

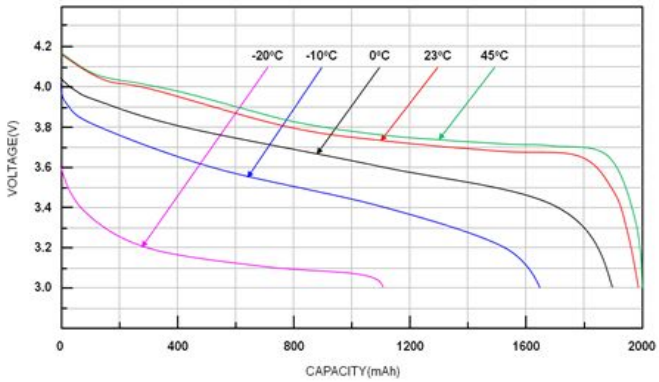


그림 20. 배터리 온도에 따른 전압-용량변화

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

셀 밸런싱에 의한 배터리 수명과 셀 편차로 인한 배터리 용량 변화를 측정하기 위해 셀 밸런싱과 셀 편차를 변화시키는 실험을 진행한 결과 셀 밸런싱을 적용하였을 경우, 셀 밸런싱이 없을 경우에 비해 배터리 사이클이 높아질수록 가용 용량이 현저하게 감소하는 것을 확인하였다. 셀 편차에 의한 배터리 용량의 저하는 그림 22과 같은 결과를 얻었으며 이는 시간 경과에 따른 충전 상태가 달라지는 것을 나타내었다.

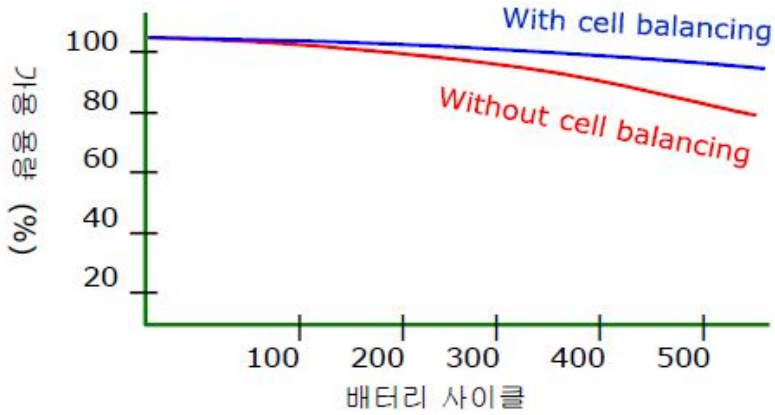


그림 21. 셀 밸런싱이 배터리 수명에 미치는 영향

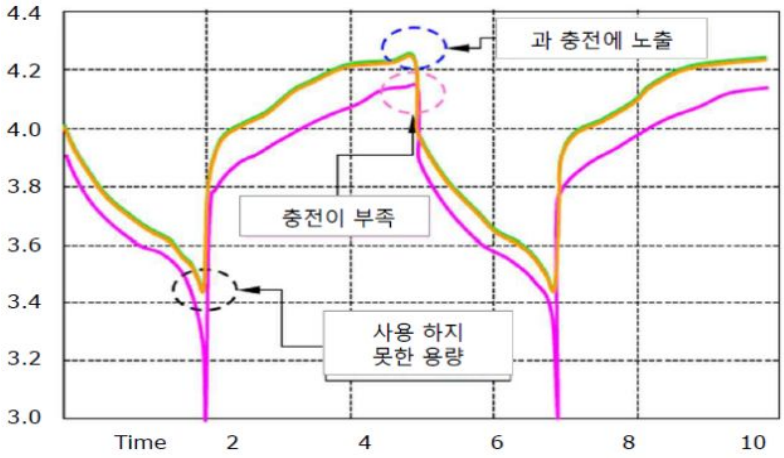


그림 22. 셀 편차로 인한 배터리 용량 저하

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

방전 및 충전 전류의 크기에 따른 배터리의 강압 전하가 존재하므로 배터리 전압을 가지고 배터리의 잔량을 정확히 판단하는 것이 쉽지 않다. 따라서 알고리즘에 의해 배터리의 특성 파악을 진행하였고 그림 23과 같은 시간에 따른 전압특성을 분석하였다. 1C 정도의 방전 그래프에서 선형적인 부분이 존재하는 것을 확인하였고 SOC가 30~90%의 범위에 존재할 경우의 공칭전압을 통해 배터리 SOC를 유추할 수 있음을 증명하였다.

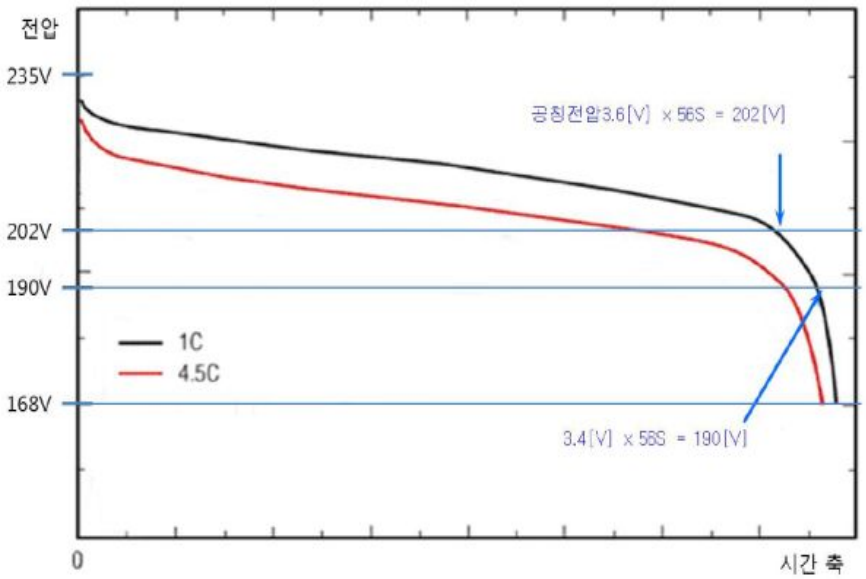
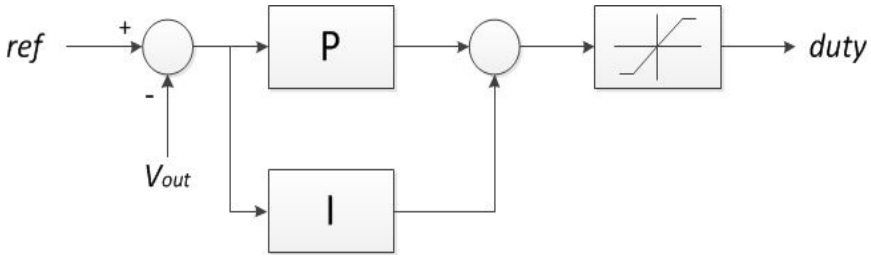


그림 23. 리튬전지의 방전전류와 전압과의 관계

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

정전압 충전은 설정된 전압으로 일정하게 유지되도록 충전하는 방법으로 CV충전 알고리즘을 통해 분석하였고 충전 초기에 배터리 전압이 낮으면 과전류가 발생하는 것을 확인하였다. 이로 인해 충전시간이 증가되는 것을 분석을 통해 알 수 있었다.



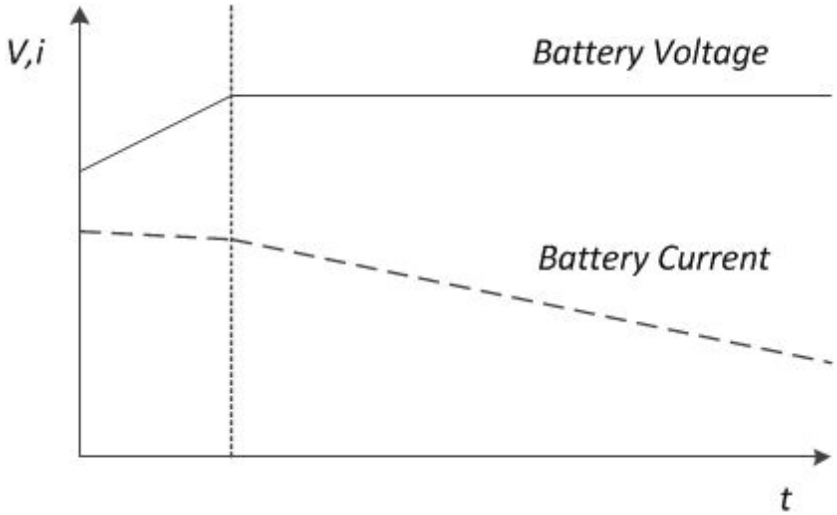
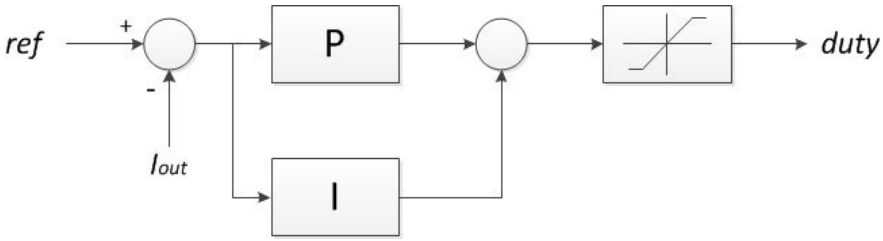


그림 24. CV 충전 알고리즘 및 특성

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

정전류 충전은 배터리가 충전될 때까지 정전류로 충전하는 방법으로 CC 충전 알고리즘을 통해 분석하였고, 그 결과 만충이 되면 충전 효율이 나빠지는 것을 확인할 수 있었고 이를 보완하기 위해 충전 시간을 정확하게 설정하지 않을 경우 과충전 문제가 발생할 수 있다는 것을 확인하였다. 따라서 정전류 충전에 있어 충전 시간을 정확하게 설정하여야 하는 것을 재확인하였다.



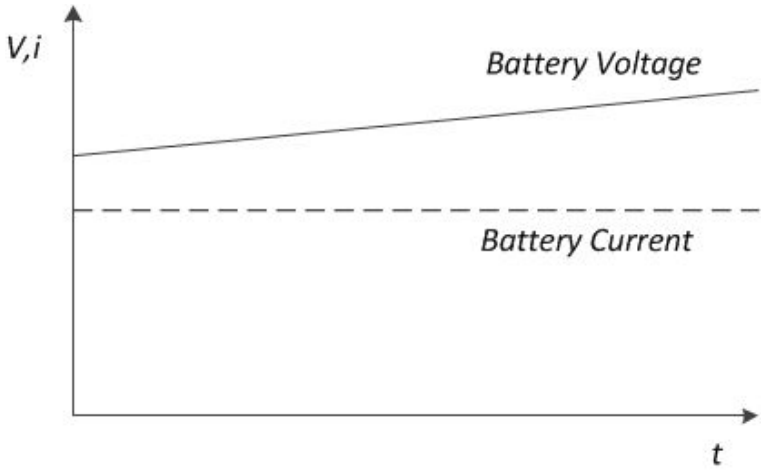
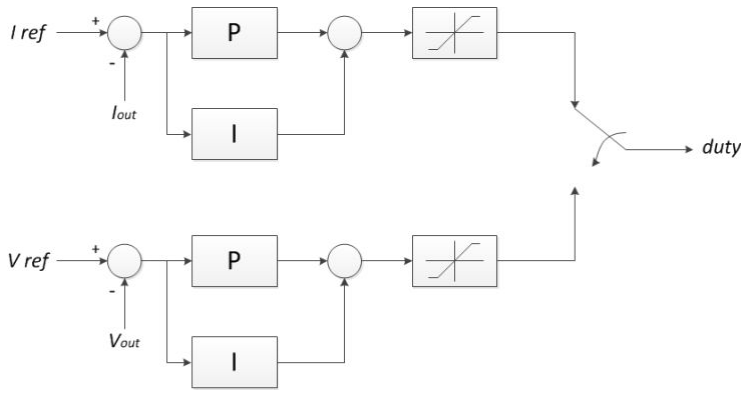


그림 25. CC 충전 알고리즘 및 특성

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

배터리를 효율적으로 충전하기 위해 정전압 충전 제어와 정전류 충전 제어를 혼합한 정전류-정전압 충전 알고리즘을 통해 분석하였고, 정전류 모드에서 일정한 전류로 설정한 SOC까지 충전이 되는 것을 확인하였다. 이로 인해 배터리의 충전 속도를 빠르게 할 수 있었으며 SOC가 설정값 이상으로 상승하였을 때 정전압 모드가 되고 충전 전류가 급속하게 줄어들게 되어 효과적인 충전이 가능한 것을 알 수 있었다.



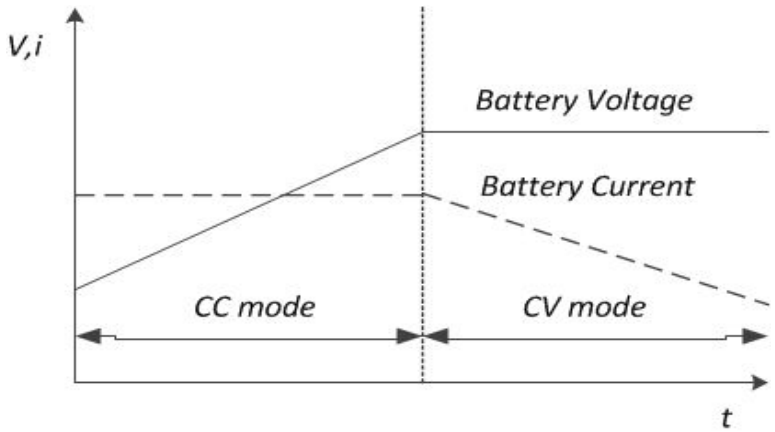


그림 26. CC-CV 충전 알고리즘 및 특성

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

V. 결 론

전 세계적인 산업발전의 급속한 성장은 에너지의 사용량을 급증시키는 결과를 초래하였고 이로 인해 지구 온난화 및 환경오염이라는 결과를 가져왔다. 화석연료가 고갈되고 유가가 상승하는 문제가 사회적인 떠오르면서 이를 해결하기 위하여 미국, 일본, 유럽의 선진 국가들은 그린 성장 정책을 국가적인 차원에서 추진하고 있다. 환경을 보호와 에너지의 절약, 효율적인 에너지 활용 및 고효율 친환경 기술에 대한 연구가 진행되고 있다. 친환경 기술로 대표적인 신재생에너지원으로는 태양광, 태양열, 풍력, 연료전지, 지열 등이 존재하고 이를 에너지저장시스템을 접목한 기술에 대한 관심이 높아지고 있다.

에너지저장시스템(ESS)은 생산된 전력중 사용하고 남은 전력을 계통에 저장하여 두었다가 전력이 필요한 시기에 공급하는 시스템으로 에너지의 이용 효율을 높일 수 있다. 신재생에너지원의 불안정한 전력공급에 대비할 수 있으며 부하평준화를 통한 수요관리자원으로서의 역할을 수행할 수 있을 것으로 판단된다. 뿐만 아니라, 주파수 조정 및 피크분산을 통해 발전소 설비 등의 비용을 절감할 수 있다. 이는 에너지 이용 효율성을 향상시키고 세계적 관심이 집중되고 있는 신재생에너지원 정책에 따른 신재생에너지원 활용도 및 전력공급 시스템을 안정화시킬 수 있다.

본 논문에서는 태양광발전연계 에너지저장시스템을 개발하기 위하여 배터리 특성 및 충전 알고리즘에 대한 연구를 진행하였다. 배터리의 상태를 실시간으로 모니터링하고 최적의 조건으로 사용할 수 있도록 제어하는 역할을 하는 배터리관리시스템을 적용하기 위한 시뮬레이션을 진행하였으며 이를 토대로 한 배터리의 SOC 및 교체시기를 예측하여 유지보수를 할 수 있도록 하고 시스템의 신뢰성 및 안전성을 확보하고자 하였다. 리튬이온 배터리의 전류 크기에 따른 방전 곡선을 분석한 결과 전류의 크기가 작을수록 방전용량이 증가한다는 것과 온도의 증가에 따른 내부의 전기화학적 특성이 활발해지고 방전 용량이 증가한다는 결과를 얻었다. 게다가 충전 알고리즘의 적용을 통해 과전류를 제어하고 충전시간의 정확한 제어를 통한 충전 효율의 개선과 같은 특성을 분석할 수 있었다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

본 연구의 실험결과 배터리 특성의 개선 및 충전 알고리즘에 따른 충전 효율 증가와 같은 특성을 통해 태양광발전연계 에너지저장시스템의 효율적인 운영과 개발이 가능할 것으로 사료된다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

<참 고 문 헌>

[1] H. J. Cha, S. H. Lee, “Design and inplementation of photovoltaic power conditioning system using a current based maximum power point tracking,” IEEE IAS Annual Meeting, pp. 1-5, 2008.

[2] K. S. Choi, Y. K. Ahn, Y. C. Park, W. C. Park, H. M. Seo, K. M. Jung, and K. H. Seo, "Architectural design of home energy saving system based on realtime energy-awareness," Proceedings of the 4th International Conference, pp. 1-5, 2009.

[3] 유권종, 박경은, “태양광산업 기술동향과 미래전망,” 한국세라믹학회, 제 13 권, 제 3 호, 2010.

[4] D. Connolly, H. Lund, P. Finn, B. V. Mathiesen, and M. Leahy, "Practical Operation Strategies for Pumped Hydroelectric Energy Storage (PHES) Utilizing Electricity Price Arbitrage", Energy Policy (39), pp. 4189-4196, 2011

[5] C. Y. Leong, A. R. Ramli, and T. Perumal, "A rule-based framework for heterogeneous subsystems management in smart home environment," IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 55, 2009, pp. 1208-1213.

[6] J. P. Barton, and D. G. Infield, "Energy Storage and Its Use with Intermittent Renewable Energy", IEEE Transactionson Energy Conversion, Vol.19, pp.441-448, 2004.

[7] K. Hussein, I. Muta, T. Hoshino, M. Osakada, “Maximum photovoltaic power tracking: An algorithm for rapidly changing atmosphere conditions,” Proc. Inst. Electr. Eng., Vol. 142, No. 1, pp. 59-64.

[8] A. A. Akhil, G. Huff, A. B. Currier, B. C. Kaun, D. M. Rastler, S. B. Chen, A. L. Cotter, D. T. Bradshaw, W. D. Gauntlett, "(forthcoming) DOE/EPRI 2013 Electricity Storage Handbook in Collaboration with NRECA", 2013.

[9] 유권종, 김홍성, 송진수, 정영석, 강기환, 이병구, 최규하, “순시치 제어기를 이용한 태양광발전용 전력변환장치 동작특성,” 전력전자학회 논문지, 4 권, 1 호, 1999.

[10] S. West, and P. T. Krein, "Switched-Capacitor Systems for Battery Equalization", IEEE Modern Techniques and Technology (MTT 2000)", Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference of Students, Post-graduates and Young Scientists, pp.57-59, 2000.

[12] J. Gow, C. Manning, “Controller arrangement for boost converter systems sourced from solar photovoltaic arrays or other maximum power sources,” Proc. Inst. Electr. Eng. Electr. Power Appl., Vol 147, No. 1, pp.15-20, Jan.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2000.

[13] P. Denholm, E. Ela, B. Kirby and M. Milligan, "The Role of Energy Storage with Renewable Electrici ty Generation. NREL/TP-6A2-47187", Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory, 2010.

[14] A. Poullikkas, "A Comparative Overview of Large-scale Battery Systems for Electricity Storage", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol.27, pp.778-788, 2013.

[15] 이강연, 정병호, 조금배, 백형래, 정해덕, “BESS 를 적용한 계통연계형 PV 시스템의 운전특성에 관한 연구,” 한국태양에너지학회 논문집, Vol. 26, No. 2, 2006.

[16] C. J. Rydh, and B. A. Sand , "Energy Analysis é of Batteries in Photovoltaic Systems. Part II: Energy Return Factors and Overall Battery Efficiencies", Energy Conversion & Management, Vol.46, pp.1980-2000, 2005.

[17] California Energy Commission (CEC), "Comparative Costs of California Central Station Electricity Generation", CEC-200-2009-07SF. Sacramento, CA: CEC, 2010.

[18] 정두용, 이수원, 원충연, 최병준, 한희민, 서광덕, “리튬 폴리머 배터리 에너지저장장치 기반의 50kW 급 계통연계형 파워스테이션 개발,” 전력전자학회 추계학술대회, pp. 249-251, 2009.

[19] A. H. Mohsenian-Rad, V. Wong, J. Jatskevich, and R. Schober, "Optimal and autonomous incentive-based energy consumption scheduling algorithm for smart grid" Innovative Smart Grid Technologies, ISGT, 2010.

[20] Mohamed Daowd, Noshin Omar, Peter Van Den Bossche, and Joeri Van Mierlo, “Passive and Active Battery Balancing Comparison Based on MATLAB Simulation", 7th IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, VPPC’1, 2011.

[21] Y. Kuo, T. Liang, J. Chen, “Novel maximum power point tracking controller for photovoltaic energy converstion system,” IEEE Trans. Ind. Electron., Vol. 48, No. 3, pp. 594-601, June, 2001.

[22] A. Thomas. Stuart, and Wei Zhu, "Fast Equalization for Large Lithium Ion Batteries", IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, Vol.24, pp.27-31, 2009.

[23] ESS의 종류별 특징과 구성, Available: http://www.elecreview.co.kr/ 전기평론

[24] C. H. Lin, “World solar cell market: key research findings 2009,” [Online]. Available: http://www.yanoresearch.com/press/pdf/527.pdf

[25] 이상회, “50kW 멀티스트링 태양광 인버터 해석 및 설계,” 충남대학교, 박사학위논

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

문, 2011.
[26] 이옥진, “10kWh급 태양광 에너지저장시스템 실증연구,” 경북대학교, 석사학위논문, 2015.
[27] 김대원, 최준호, 정성교, 김재철, 최병수, “전지전력 저장시스템 유효 및 무효전력제어,” 대한전기학회 하계학술대회, pp. 1189-1191, 1999.
[28] D. Bhatnagar, V. Loose, "Evaluating Utility Procured Electric Energy Storage Resources: A Perspective for State Electric Utility Regulators", SAND2012-9422. Albuquerque, NM: Sandia National Laboratories.
[29] T. Remus, L. Marco, R. Pedro, “Grid converters for photovoltaic and wind power systems,” WILEY, 2011.
[30] S. B. Kjaer, J. K. Pedersen, F. Blaabjerg, "A review of single-phase grid-connected inverters for photovoltaic modules," IEEE Trans. on Ind. Appl., Vol. 41, No. 5, 2005.
[31] 권정민, “계통 연계형 태양광 PCS,” 박사학위논문, 포항공과대학교, 2009.
[32] O. Wasynzczuk, “Dynamic behavior of a class of photovoltaic power systems,” IEEE Trans. Power App. Syst., Vol. PAS-102, No. 1, pp. 3031-3037, Sep. 1983.
[33] J. Kwon, K. Nam, B. Kwon, “Photovoltaic power conditioning system with line connection,” IEEE Trans. Ind. Electron., Vol. 53, No. 4, pp. 1048-1054, August, 2006.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

감사의 글

석사학위를 마무리하는 이 시점에서 변함없는 모습으로 항상 저에게 힘이 되어 주시는 모든 분들에게 진심으로 감사드립니다.

가장 먼저 지도교수님이신 조금배 교수님과 이우선 교수님께 감사의 말씀을 드립니다. 대학을 졸업한 지 30년이 지난 시점에서 대학원을 입학하여 어느덧 2년이 지났습니다.

객지(전주)에서 더군다나 사업을 영위하면서 대학원 공부를 병행하기란 저에게 쉽지 않은 일이었으나, 여러 교수님들의 지도와 편달로 인해 본 석사학위를 마무리 할 수 있었습니다.

돌이켜보면 지난 2년이 길다면 길고 짧다면 짧을 수 있는 세월이었습니다. 나이 60세에 다시 전공 학문을 대하면서 '배움은 정말 끝이 없구나!' 라고 생각하였고 세파에 시달리며 살아온 저로서는 다시금 감회가 새롭게 느껴지는 순간입니다.

이 모든 것에 대하여 이우선 교수님, 조금배 교수님께 다시 한번 진심으로 감사 드립니다. 두 분의 앞날에 희망과 축복만이 가득하길 바라고 가족의 행복을 기원하며 감사의 글을 줄입니다.

감사합니다.

2016년 12월

김 홍 섭

Collection @ chosun