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]I804:24011-200000267063

2019年 2月
碩士學位論文

ESS 연계 태양광발전설비의 역률저하 현상 연구

朝鮮大學校 産業技術融合大學院

電 氣 奇 術 融 合 工 學 科

崔 大 龍

2019年 2月 碩士學位論文
ESS 연계 태양광발전설비의 역률저하 현상 연구
崔 大 龍

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2019年 2月

碩士學位 論文

ESS 연계 태양광발전설비의 역률저하 현상 연구

朝鮮大學校 産業技術融合大學院

電氣奇術融合工學科

崔 大 龍

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

ESS 연계 태양광발전설비의 역률저하 현상 연구

A Study on Reduction Phenomenon of Power Factor for Photovoltaics Facilities with the ESS

2019年 2月 23日

朝鮮大學校 産業技術融合大學院

電氣奇術融合工學科

崔 大 龍

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

ESS 연계 태양광발전설비의 역률저하 현상 연구

指導敎授 崔 孝 祥

이 論文을 工學碩士學位 申請論文으로 提出함

2018年 11月

朝鮮大學校 産業技術融合大學院

電氣奇術融合工學科

崔 大 龍

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

崔大龍의 碩士學位 論文을 認准함

委員長 朝鮮大學校 教授 조 금 배 (印)

委 員 朝鮮大學校 教授 김 용 재 (印)

委 員 朝鮮大學校 教授 최 효 상 (印)

2018年 11月

朝鮮大學校 産業技術融合大學院

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

목 차

Ⅰ. 서론 ····· 1

Ⅱ. 에너지저장장치(ESS)와 태양광 발전설비 ····· 2

A. 에너지저장장치의 개념과 종류 ····· 2

1. 에너지저장장치의 정의 ····· 2

2. 에너지저장장치 시스템 구성 및 기능 ····· 2

3. 에너지저장장치 운영모드 ····· 5

B. 태양광발전설비 ····· 7

1. 태양광발절설비의 정의 ····· 7

2. 태양광발절설비의 유형 ····· 7

Ⅲ. ESS와 태양광발전설비 연계시 역률저하현상 ····· 11

A. ESS 와 태양광발전설비 연계시 역률저하 ····· 11

1. ESS와 계통연계형 태양광 인버터 역률 영향 ····· 11

2. 역률 개선이 전기설비에 미치는 영향 ····· 13

B. ESS와 태양광발전설비 연계시의 역률저하 원인과 대책 ····· 16

1. 역률 저하의 원인 ····· 16

2. 역률 저하의 대책 ····· 16

Ⅳ. 결론 ····· 20

참 고 문 헌 ····· 21

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

List of Tables

Table 2-1 ESS 시스템 구성 ····· 2
Table 2-2 태양광발전설비의 분류 ····· 8

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

List of Figures

Fig. 2-1 ESS적용 개념도 ····· 3
Fig. 2-2 PCS 구성도 ····· 4
Fig. 2-3 PMS UI 화면 ····· 4
Fig. 2-4 Battery 활용영역 ····· 5
Fig. 2-5 BMS 구성도 ····· 5
Fig. 2-6 Peak - Cut Mode ····· 6
Fig. 2-7 Schedule Mode ····· 6
Fig. 2-8 강제 충, 방전 Mode ····· 6
Fig. 2-9 독립형 태양광발전설비 ····· 9
Fig. 2-10 계통연계형 태양광발전설비 ····· 9
Fig. 2-11 하이브리드형 태양광발전설비 ····· 10
Fig. 3-1 ESS설비와 태양광발전설비의 연계 계통 단선도 ····· 12
Fig. 3-2 ESS 설비와 태양광발전설비 계통도 ····· 12
Fig. 3-3 상용전력 계통과 벡터도 ····· 12
Fig. 3-4 역률개선에 의한 출력증가 벡터도 ····· 13
Fig. 3-5 전압강하 계통도 ····· 14
Fig. 3-6 전류감소에 의한 변압기 및 배전선로 손실경감 벡터도 ····· 15
Fig. 3-7 ESS와 태양광발전설비가 동시 출력시 벡터도 ····· 16
Fig. 3-8 ESS설비와 태양광발전설비가 수전용량의 10%일 때 벡터도 ····· 17
Fig. 3-9 ESS 설비와 태양광발전설비 적정용량 분배 설치 ····· 18
Fig. 3-10 ESS 설비와 태양광발전설비 자동역률제어기 설치 ····· 19

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

ABSTRACT

A Study on Reduction Phenomenon of Power Factor for Photovoltaic Facilities with the ESS

Dae Yong Choi.
Advisor : Prof. Hyo Sang Choi, Ph.D.
Department of Electrical Technology Convergence Engineering
Graduate School of Chosun University

Due to the Government's policy of supplying renewable energy, photovoltaic power plant which is relatively inexpensive and easy to maintain when a building is newly constructed or extended or renovated is on the rise. In addition, public institutions' buildings are required to be equipped with ESS systems at least 5 percent of their waterfront transformer facilities in accordance with the regulations on the rationalization of energy use by public institutions in 2017.

Solar power generation systems in buildings convert sunlight into electricity during the day, which has significant effects on energy savings for building and Peak Cut for daytime power loads, as well as electricity cost savings due to the energy savings of buildings. However, if only photovoltaic array system was used, it would not be able to operate peak cut effectively during rainy season in summer, and in winter when it snows, this causes the power generating systems slow down. Although there are several ways to precisely control the peak load of a building, the system using Battery takes up a small amount of space in an energy storage system. Furthermore, the system

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

can supply the building with the lowest cost, fastest control and the battery charges power during light loads and supplies power to central or peak loads, it can also greatly reduce peak power. The purpose of this research is to establish a root cause analysis and countermeasures for the efficient and safe operation of the power plant by controlling the phenomenon of reduction in power efficiency and safety of the power system by using ESS systems and solar photovoltaic system.

The distribution system of buildings supplies power to the facility of the onsite transformer, and the power rate adjustment system, the condenser, is consisted of proper capacity. However, the adjustment device according to the capacity of the transformer of the ESS facility has limitations in the compensation process. This requires proper installation of compensation and proper desing that considered the capacity and installation. Because the right use of power will eventually be compatible with economics, each system's configuration and design must be appropriate and if it is designed and operated to make the system efficiently, it will be more economical than the previous system.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Ⅰ. 서론

정부의 신재생에너지 보급정책으로 인해 건축물의 신축.증축 및 개축시 비교적 설치비용이 저렴하고 유지보수가 쉬운 태양광발전설비가 증가하고 있는 추세다. 이로 인해 태양광 발전설비가 산업용 전기설비와 연계하고 있다. 또한 2017년에 강화된 공공기관 에너지이용 합리화 추진에 관한 규정에 따라 공공기관 건축물은 수변전 변압기 설비의 5% 이상을 의무적으로 ESS 설비로 설치하여야 한다.[1]. 건축물의 태양광 발전설비는 주간에 태양의 빛을 전기로 변환하여 건축물의 에너지 절감과 주간 전력 첨두부하의 Peak Cut에도 상당한 효과가 있으며 더불어 건축물의 에너지 절감으로 인한 전기 요금 절감 효과가 있다. 태양광 발전설비는 수변전설비 계통 3상4선식 22,900 V설비의 변압기 2차측인 3상4선 저압측 380/220 V 계통에 연계하여 수변전설비의 조명, 전열, 동력설비에 전력을 공급하고 있다. 하지만 태양광발전설비는 여름 장마철이나 겨울철 적설로 인한 발전이 저하되고 있어 태양광 발전설비만으로는 주간 전력 첨두부하의 Peak Cut을 효과적으로 운영하기 어렵다. 건축물의 첨두부하를 가장 안정적으로 제어하기 위해 여려가지 방법이 있으나 에너지저장장치(ESS)중 Battery를 이용한 System이 일반건축물에 적은 공간을 차지하여 가장 저렴하고 쉽고 빠르게 제어가 가능하고 경부하시에 전원을 충전하여 중부하시나 Peak 부하시 전원을 공급하기 때문에 Peak전력 절감에도 큰 효과가 있다[2]. 건축물의 수배전계통은 구내 변압기 설비로 전원을 공급하는데 통상 변압기 용량에 따라 역률 조정 장치인 콘덴서를 적정 용량으로 구성하고 있다. 그러나 태양광 발전설비와 ESS설비의 동작시 변압기용량에 따른 역률 조정 장치로 계속된 역률 저하 현상이 보상에 한계가 있어 전원측 역률이 저하되므로 이를 개선하기 위해 역률 보상 적정 설치와 변압기 용량을 고려한 적정 설계가 필요하다.

본 연구는 ESS설비와 태양광 발전 설비를 동시 사용할 때 나타나는 역률 저하현상과 이에 대한 대책 및 적정한 설계를 통해 전력계통의 역률 저하 현상을 제어하여 전력설비의 효과적이고 안전적인 운영이 가능하도록 원인 분석과 대책을 수립하는데 목적이 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Ⅱ. 에너지저장장치(ESS)와 태양광발전설비

A. 에너지저장장치(ESS)의 개념과 종류

1. 에너지저장장치(ESS)의 정의

에너지저장장치 (Energy Storage System, ESS)는 생산된 전력을 전력계통에 저장했다가 전력이 필요한 시간에 공급하여 에너지 효율을 높이는 시스템이다 [3]. 이는 경부하시에는 전력을 저장하고 Peak 부하시에는 저장했던 전력을 사용하여 부하를 평준화시킴으로 발전설비 투자비를 절감할 뿐만 아니라 전력운영의 안정화에 영향을 미칠 수 있다.

2. 에너지저장장치 시스템 구성 및 기능

에너지저장장치의 구성은 AC전원을 DC전원으로 변환하는 전력변환부인 PCS(Power Conversion System)과 에너지를 저장하는 배터리(Battery), PCS와 Battery에 대해 각각 제어 및 모니터링 기능을 수행하는 PMS(Power Management System)와 BMS(Battery Management System) 세 부분으로 이뤄진다[6]. 그림 2-1는 ESS 적용개념도에 대한 그림이고, 표 2-1는 ESS 시스템 구성에 관한 표이다.

Table 2-1 ESS 시스템 구성 [6]

구 분	내 용
PCS	- Grid Connect Part, Convert Part 구성 - AC/DC Convert 제어 및 독립운전 기능 수행
PMS	- ESS의 실시간 운영현황 모니터링 및 제어 - PCS 및 Battery 상태 모니터링
Battery	- PCS 명령에 의한 전력의 충전 및 방전 - 확장성을 고려한 랙(Rack) 단위의 시스템
BMS	- 실시간 Battery 상태 모니터링 및 PCS 통신 - C-Rate 및 SOC, SOH, 온도상태 감시

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Fig. 2-1 ESS 적용개념도[4]

a) PCS (Power Conversion System)

그림 2-2는 PCS 구성도이다. AC 전기를 DC 전기로 변환하여 배터리에 에너지를 저장하고 방전할 때는 DC전기를 AC전기로 변환하는 양방향 인버터 역할을 한다. 또한 Battery의 과방전, 과충전, 고온에 대비한 보호 시스템 기능도 가지고 있다.

b) PMS (Power Management System)

그림 2-3은 PMS UI 여러 화면들을 갈무리한 그림이다. ESS의 충전과 방전 및 운영현황, Battery의 SOC(State Of Charge), SOH(State Of Health) 상태 모니터링과 각 운영환경에 맞게 PCS를 제어하는 기능을 가지고 있다. 실시간 계통, PCS, 배터리간의 전류 및 전력 감시, 실시간 Battery상태 모니터링, PCS 고장 시 고장항목확인 및 Fault List 제공 하는 것이 PMS의 주요 기능이다.

c) Battery

그림 2-4는 Battery 활용영역을 나타내고 있다. Battery는 발생되는 유효전력을 저장하고 그 전력을 필요로 할 때 까지 높은 출력 밀도를 유지해야 하며 긴 충,방전 수명과 낮은 자가 방전율의 성능이 좋아야 한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

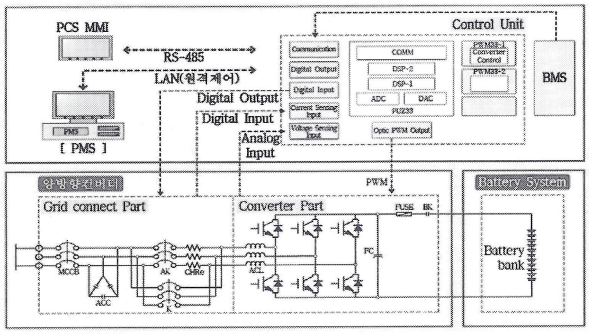


Fig. 2-2 PCS 구성도[6]

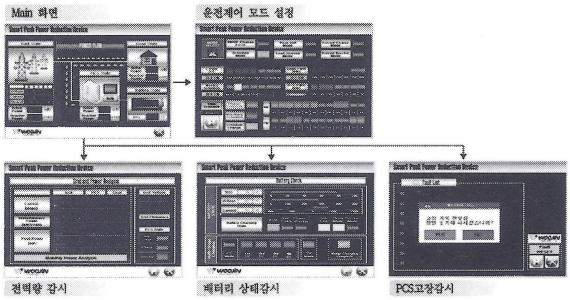


Fig. 2-3 PMS UI 화면 [6]

d) BMS (Battery Management System)

Battery 상태에 대한 모니터링, 즉 SOC, SOH 및 열관리, 저항 측정과 여타 다른 종류들의 진단과 온도 측정 및 셀의 전압을 측정하는 기능들을 수행한다. BMS 구성도는 그림 2-5와 같다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

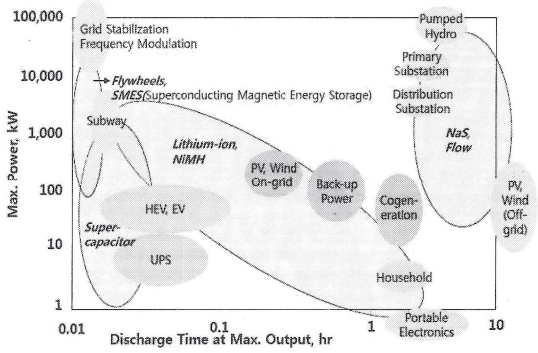


Fig. 2-4 Battery 활용영역 [6]

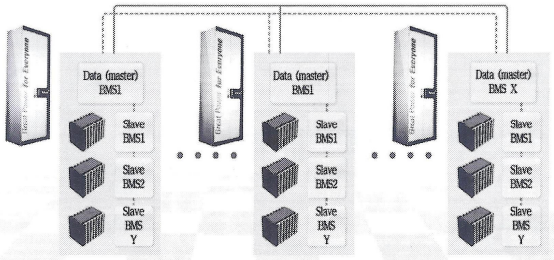


Fig. 2-5 BMS 구성도 [6]

3. 에너지저장장치 운영모드

a) Peak-Cut Mode

경부하 시간대 전기 에너지를 저장하여 최대부하시간 또는 최대 전력관리장치와 연계하여 Peak전력 상승시에 저장에너지를 방전하는 방식으로 경제적인 가성비를 높일 수 있다. 그림 2-6는 Peak-Cut Mode 설명하는 그래프이다.

b) Schedule Mode

그림 2-7는 Schedule Mode를 설명하는 그래프이다. 전기 요금이 저렴한 경부하 시간에 전력을 충전하고 한전에서 계시한 요금 기준에 따른 최대 부하시간에 충전한 전력이 공급되도록 설정함으로써 경부하와 최대부하의 요금차이를 해소하여 전기요금을 절감할 수 있는 운영 방식이다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

c) 강제 충·방전 Mode

그림 2-8는 강제 충·방전 Mode에 관한 그림이다. 운영자의 수동조작이나 요구에 의해 충전과 방전이 가능한 방식이다.

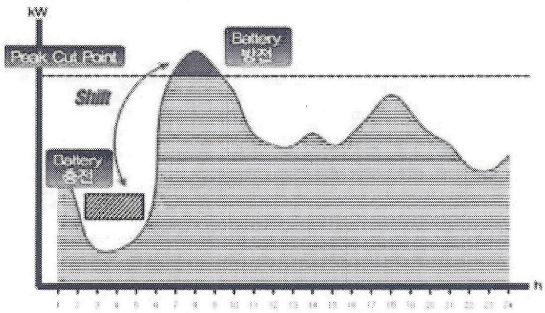


Fig. 2-6 Peak - Cut Mode

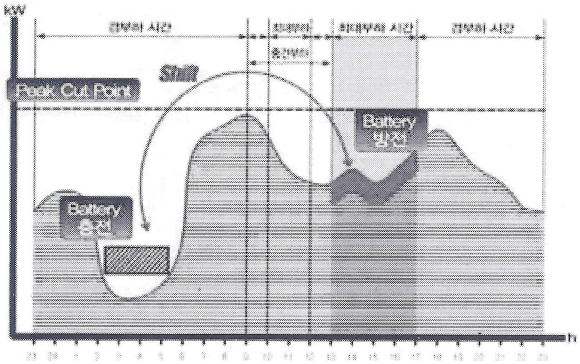


Fig. 2-7 Schedule Mode

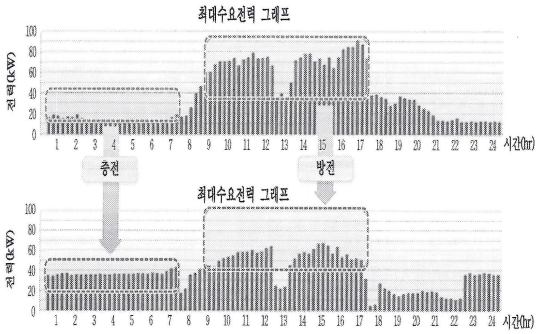


Fig. 2-8 강제 충, 방전 Mode

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

B. 태양광발전설비

1. 태양광발전설비의 정의

태양광 발전이란 태양에너지를 전기에너지로 변환시키는 기술을 말한다. 태양빛이 가지고 있는 에너지에 의해 태양전지에 정공과 전자가 발생하게 되는데 정공은 P형 반도체쪽으로 흐르게 되고 전자는 N형 반도체쪽으로 모이게 되면서 전위차가 발생되고 전류가 흐르게 된다. 이는 무한하고 무공해한 태양의 빛을 전력으로 바꿔 사용할 수 있는 것으로 폐기물이 발생되고 자연 재해시 위험이 많은 화학에너지를 대체하는 것으로 유의미하다.

2. 태양광발전설비의 유형

태양광발전설비는 상용 전력계통 연계 유무에 따라 독립형 태양광발전설비와 계통연계형 태양광발전설비로 분류할 수 있으며 타른 에너지원에 의한 발전방식과 결합된 하이브리드형을 별도로 구분하기도 한다. 표 2-3는 태양광발전설비의 분류의 모든 종류를 한 눈에 파악할 수 있도록 만든 표이다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 2-2 태양광발전설비의 분류

분				류	내 용
태양전지 Array 형태	추적식	방향		단방향식	· 태양의 한측만 추적함 · 상·하 추적형, 좌·우 추적형 · 양방향보다 발전량이 적음
				양방향식	· 상시 태양의 방향을 추적 · 설치 단가 높으나 발전량은 25~50%증가 · 대형발전소나 태풍 지역은 권장하지 않음
		방식		감지식	· Sensor를 이용하여 태양을 추적하는 방식 · 종류와 형태에 따라 다소 오차가 발생
				프로그램식	· 컴퓨터 프로그램으로 태양의 이동궤도 추적 · 비교적 안정적, 설치위치에 따른 수정 필요
				혼합식	· 가장 이상적인 방식 · 프로그램으로 추적하나 Sensor또한 동시사용
	반고정형				· Array 경사각을 계절별, 월별로 위치를 변화. · 고정형과 추적형의 중간정도의 발전량
	고 정 형				· 가장 경제적이고 안정된 구조 · 발전사업자용이나 풍속이 강한 곳 · 발전효율은 다소 낮으나 적은 초기 투자비, 손쉬운 유지 보수등이 장점.
태양 전지판	집광유무	평판형			· 집광이 되지 않는 태양광선을 태양전지에 그대로 입사하는 보편적 태양전지판
		집광형			· Plannel lens를 사용, 태양광선을 집광시킨 뒤 태양전지에 빛을 조사시켜 발전하는 방식 · 반드시 양방향 Array로 구성 되야함 ,생산 가격이 높고 구조가 복잡하여 비경제적
태양전지의 규모	소형				· 적은 용량의 태양전지를 이용 · 라디오, TV, 휴대용전원, 가로등, 유·무인 측정기, 유·무인 중계소, 부표등 소형 시스템
	소규모				· 200kW미만의 태양전지 용량을 갖는 발전소 · 등대용, 도서용, 주택용, 산간벽지, 비상대피소전원 등 계통선의 공급이 어려운 지역에 이용.
	중규모				· 200kW~1,000kW 태양전지 용량 · 발전사업자용과 전축물에 연결하는 계통연계형 및 비상전원공급을 위한 시스템으로 구분 · 현재 국내에 가장 많이 시설되어 있는 규모
	대규모				· 1,000kW 이상의 발전소,
부하형태 및 이용방법	독립형				· 24시간 안정적인 공급이 가능한 시스템, ESS 활용
	계통연계형				· 태양전지의 DC를 AC로 변환하여 직접 계통 연계 방식

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

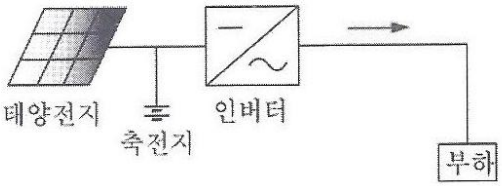
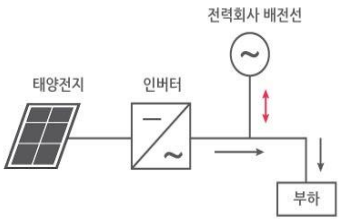


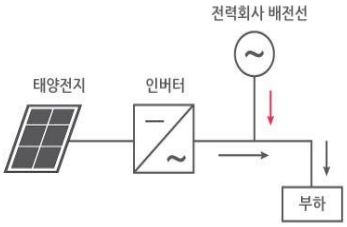
Fig. 2-9 독립형 태양광발전설비

a) 독립형 태양광발전설비

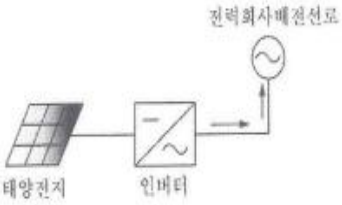
상용전원이 없거나 공급받기가 힘든 경우 태양광발전설비에 의한 독립된 전원을 사용하기 위한 방법으로 등대, 각종 중계소, 인공위성, 산산도서,벽지의 전원 공급용과 독립형 가로등 전원에 사용되고 있다. 상용 전력계통과 독립하여 태양광발전 전력만으로 부하에 전력을 공급하며 발전의 불안정성을 보완하기 위하여 부하용도에 따라 축전지와 보조 발전기를 사용하는 경우도 있다. 독립형 태양광발전설비를 도식화 하자면 그림 2-9와 같다.



(a) 역송전이 있는 시스템



(b) 역송전이 없는 시스템



(c) 발전사업자용 시스템

Fig. 2-10 계통연계형 태양광발전설비

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

b) 계통연계형 태양광발전설비

주택이나 빌딩의 옥상 벽면, 유리창 또는 지상에 설치하여 비상용전원과 대규모의 발전시스템에 이르기 까지 다양하게 적용되고 있다. 그림 2-10는 계통연계형 태양광발전설비의 세 가지 종류의 방법을 나타낸 그림이다.

c) 하이브리드형 태양광발전설비

두 가지 이상의 발전방시과 결합하여 보다 더 안정적인 전원을 공급받는 방식을 말하며, 가장 대표적인 방식으로는 태양광발전설비와 풍력발전설비를 결합하여 주간과 야간 동시에 안정된 전원을 공급 받을 수 있도록 하는 방식이다. 그림 2-11는 하이브리드형 태양광발전설비에 관한 그림이다.

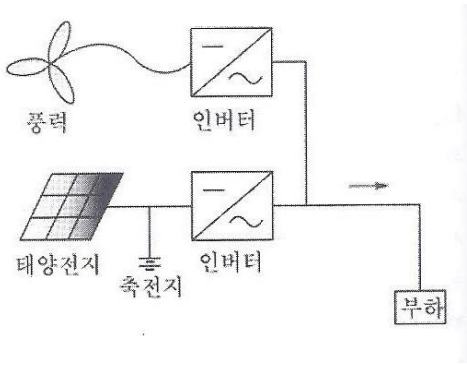


Fig. 2-11 하이브리드형 태양광발전설비

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Ⅲ. ESS와 태양광발전설비 운전시 역률저하 현상

A. ESS 와 태양광발전설비 연계시의 역률저하

정부의 신재생에너지 보급 정책과 보조금 지원 및 최근 석유 값의 급등으로 신재생에너지 수요가 많아지고 있다. 초기 설치비용이 상대적으로 저렴하기 때문에 태양광발전설비가 증가하는 추세이다. 100 kW이상의 중대형 발전설비가 산업용전기설비와 연계하는 경우가 많다. 이런 경우에 전원 측에서 계측된 역률이 저하되는 현상이 발생할 수 있다[8].

1. ESS와 계통연계형 태양광 인버터 역률 영향

한국전력공사 전기공급약관 제41조에서는 사용설비의 역률을 지상역률 90%이상으로 유지하도록 요구 하고 있어서 계통연계형 전력변환장치 업체에서 생산시 정격출력 역률을 99%정도로 제어하도록 하고 있다. 또한 계통연계형 전력변환장치의 경우 계통의 역률을 검출하여 연계점의 무효전력을 출력하는 active filter 기능이 있지만 유효전력의 출력과 무효전력 출력을 유지하기 위해서는 설계 설치용량 기준대비 150%이상의 출력을 하는 전력변환장치가 필요하다[9].

일반적인 건물 수변전설비에서 Peak cut용으로 ESS설비와 계통연계형 태양광발전설비를 연계하여 운전시 연계된 수전변압기 1차측의 역률저하의 문제가 발생되어진다. 전력의 특성상 무효전력과 유효전력이 함께 공급된다. 이 두 전력의 위상차를 역률(cosΘ) 이라고 하고 이 위상차가 없는 경우를 역률 100%라고 한다. 그림 3-1은 ESS설비와 태양광발전설비의 연계 계통 단선도를 나타낸 그림이고, 그림 3-2 ESS는 설비와 태양광 발전설비 계통도를, 그림 3-3는 상용전력 계통과 벡터도를 설명하는 그림이다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

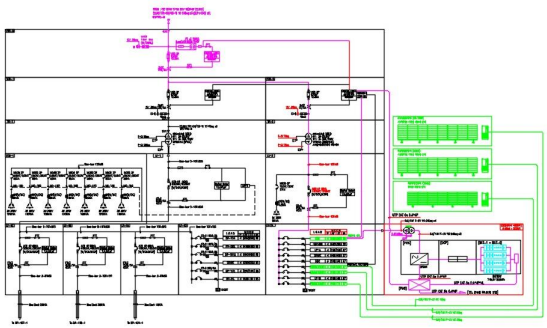


Fig. 3-1 ESS설비와 태양광발전설비의 연계 계통 단선도

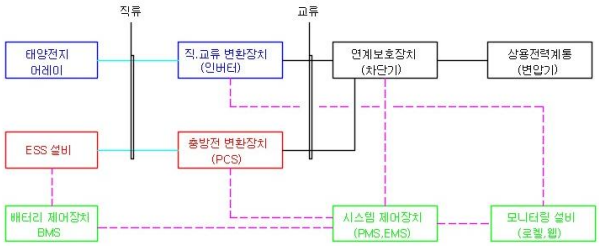


Fig. 3-2 ESS 설비와 태양광 발전설비 계통도

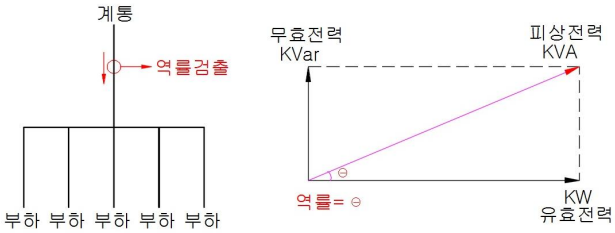


Fig. 3-3 상용전력 계통과 벡터도

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. 역률 개선이 전기 설비에 미치는 영향

역률 저하가 종국에 의미하는 것은 피상전력에서의 유효전력의 사용률이 낮아지므로 경제적인 면에서의 손실이 증가된다는 것을 기반으로 하기 때문에 역률 개선이 요구 된다. 역률을 개선할 경우 설비용량의 여유도 증가, 전압강하의 경감, 변압기 및 배전선로의 손실 경감, 전력요금의 경감등의 효과를 볼 수 있게 된다[10].

a) 설비용량의 여유도 증가

그림 3-4 는 역률 개선에 의한 출력증가 벡터도로 전력용 콘덴서 용량을 구하는 방식과 증가 유효 전력, 증가 피상전력을 구하는 방식은 다음과 같다.

- 전력용 콘덴서 용량

$$Q_c = P(\tan\theta_1 - \tan\theta_2) \tag{1}$$

$$= W_1 \cos\theta_2 (\tan\theta_1 - \tan\theta_2) \tag{2}$$

- 증가 유효 전력

$$P_2 = P - P \tag{3}$$

$$= W_1 \cos\theta_2 - W_1 \cos\theta_1 = W_1 (\cos\theta_2 - \cos\theta_1) \tag{4}$$

- 증가 피상 전력

$$W_2 = \frac{P_2}{\cos\theta_1} \tag{5}$$

$$= \frac{W_1 (\cos\theta_2 - \cos\theta_1)}{\cos\theta_1} = W_1 (\frac{\cos\theta_2}{\cos\theta_1} - 1) \tag{6}$$

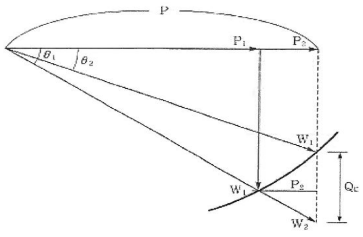


Fig. 3-4 역률개선에 의한 출력증가 벡터도

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

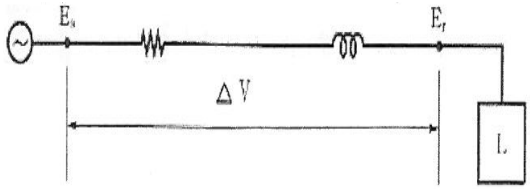


Fig. 3-5 전압강하 계통도

b) 전압강하 경감

그림 3-5는 전압강하 계통도로 콘덴서 설치전후의 전압강하는 다음과 같다.

- 콘덴서 설치전 전압강하

$$\triangle V = E_s - E_r \tag{7}$$

$$= I(R\cos\theta_1 + X\sin\theta_1) = \frac{P_r}{E_r\cos\theta_1}(R\cos\theta_1 + X\sin\theta_1) \tag{8}$$

$$= \frac{P_r}{E_r}(R + X\tan\theta_1) \tag{9}$$

- 콘덴서 설치후 전압강하

$$\triangle V' = \frac{P_r}{E_r}(R + X\tan\theta_2) \tag{10}$$

- 전압강하 경감

$$\triangle V - \triangle V' = \frac{P_r X}{E_r}(\tan\theta_1 - \tan\theta_2) \rightarrow \triangle V > \triangle V' \tag{11}$$

$$(\theta_1 > \theta_2) \rightarrow (\cos\theta_1 < \cos\theta_2) \rightarrow (\tan\theta_1 > \tan\theta_2) \tag{12}$$

c) 변압기 및 배전선로의 손실경감

- 전력손실

$$P_l = I^2 R \tag{13}$$

$$P_l = (\frac{P}{E\cos\theta})^2 R = \frac{P^2}{E^2\cos^2\theta} R \rightarrow \therefore P_l \propto \frac{1}{\cos^2\theta} \tag{14}$$

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

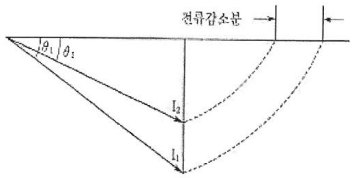


Fig. 3-6 전류감소에 의한 변압기 및 배전선로 손실경감 벡터도

즉, 전력손실은 역률의 제곱에 반비례 한다. 그림 3-6은 변전류감소에 의한 변압기 및 배전선로 손실경감 벡터도이다. 전력손실 경감률은 식(15)과 같다.

$$\alpha = \frac{I_1^2 R - I_2^2 R}{I_1^2 R} = 1 - \frac{I_2^2 R}{I_1^2 R} = (1 - \frac{\cos^2\theta_1}{\cos^2\theta_2}) \tag{15}$$

d) 전력요금의 경감

- 역률 요금 (한전 전기공급 약관)

주간 시간대 (09시~23시)	심야 시간대 (23시~09시)
수전단 지상분 역률 : 90 % 기준	수전단 진상분 역률 : 95 % 기준
60 %까지 1 %마다 기본요금 0.5 % 추가	1 %마다 기본요금 0.5 % 추가
95 %까지 1%마다 기본요금 0.5 % 감액	최대 17.5 %까지 역률요금 발생

- 전기요금 = 기본 요금 + 전력사용량요금
- 기본요금 = 계약전력 × 계약전력단가 × $(1 + \frac{90 - \text{역률}}{200})$
- 전력사용량요금 = 전력사용량 × 전력단가

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

B. ESS와 태양광발전설비 연계시의 역률저하 원인과 대책

1. 역률저하의 원인

ESS와 계통연계형 태양광 발전 설비는 상용전력과 병행하여 전력을 공급하므로 ESS와 계통연계형 태양광 발전 설비는 유효전력(DC→AC변환공급)만 공급하므로 부하 설비는 상용전원과 같은 전원을 받게 되므로 부하운전에는 전혀 지장이 없으나 수전 변압기 1차측 역률 측정 지점에서는 ESS와 태양광발전설비에서 출력되는 유효전력만큼 줄어들어 위상차가 증가하면서 역률 저하 현상이 발생되어 지게 된다. ESS와 태양광발전 설비가 동시 출력시 벡터도는 그림 3-7과 같다.

2. 역률 저하 대책

a) 수전변압기 용량의 10% 이내 ESS와 태양광 발전 설비 연계

그림 3-4처럼 ESS와 태양광발전 설비가 동시 출력시 수전설비 용량의 40%이상을 연계하면 위상차가 증가하여 역률이 상당히 저하되어 설비에 악영향을 미치는 것을 알 수 있다. 가정을 하면 100 kW유효전력이고 40 kVar의 무효전력인 경우 상용전력 운전시는 역률이 92.85%이지만,

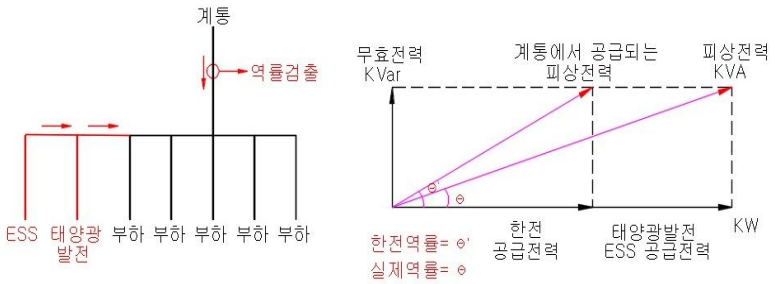


Fig. 3-7 ESS와 태양광발전 설비가 동시 출력시 벡터도

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

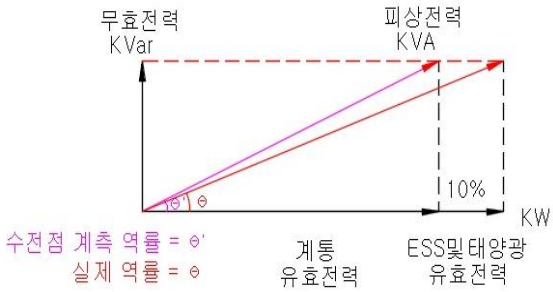


Fig. 3-8 ESS와 태양광발전 설비가 수전용량의 10%일 때 벡터도

$$\cos\theta = \frac{100}{\sqrt{100^2 + 40^2}} = 0.9285 \tag{16}$$

ESS와 계통연계형 태양발전 설비를 10%정도만 동시 상용전력과 운전시 역률이 91.385%가 되어 약간의 역률감소만 나타나므로 설비에 큰 영향이 없다[11]. 그림 3-8는 ESS와 태양광발전 설비가 수전용량의 10%일 때 벡터도이다.

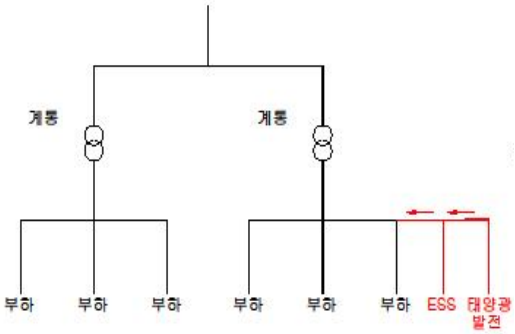
$$\cos\theta' = \frac{90}{\sqrt{90^2 + 40^2}} = 0.9138 \tag{17}$$

b) ESS와 계통연계형 태양광 발전 설비 전력변환장치 용량의 증대

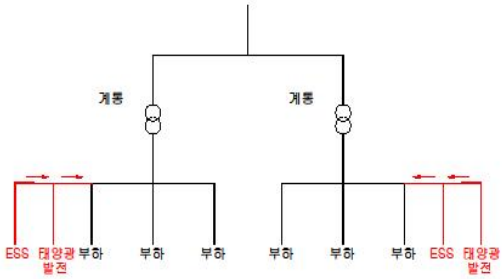
ESS와 계통연계형 태양광 발전설비 전력변환장치의 경우 계통의 역률을 검출 후 연계점에 무효전력을 공급하는 active filter 기능이 있지만 유효전력과 무효전력까지 적정하게 출력하기 위해서는 적정설치용량보다 150%이상의 출력을 하는 전력변환장치가 필요하다[9].

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



a) ESS 및 태양광 발전 집중설치

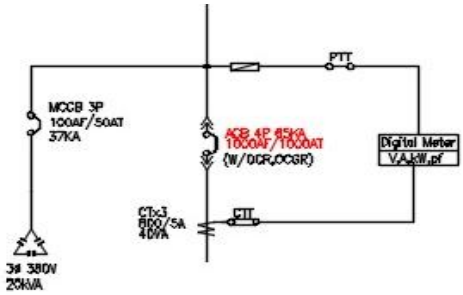


b) ESS 및 태양광 발전 분산설치

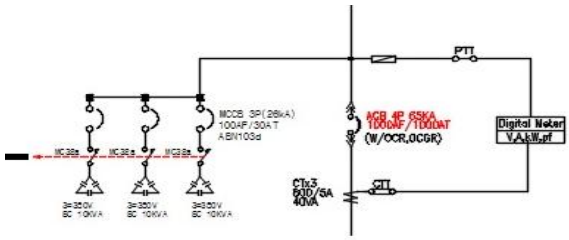
Fig. 3-9 ESS와 태양광발전 설비 적정용량 분배 설치

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



a) 자동역률 제어기 설치전



b) 자동역률 제어기 설치후

Fig. 3-10 ESS와 태양광발전 설비 자동역률제어기 설치

c) ESS와 계통연계형 태양광 발전 설비의 적정 분배 설치

설치할 수변전 설비에 단일 Bank가 아닌 여러Bank의 변압기가 있으면 한 대의 Bank에 집중 시설하지 않고 각 Bank에 ESS와 계통연계형 태양광발전설비를 적정 분배하여 설치한다. 그림 3-9는 ESS와 태양광발전설비 적정용량 분배설치에 관한 그림이며, 그림 3-10 ESS와 태양광발전 설비 자동역률제어기 설치에 관한 그림이다.

d) 자동역률조정장치 설치

ESS와 계통연계형 태양광 발전설비를 상용전원에 연계하여 운전시 역률이 저하되는 것을 자동보상에 주는 자동역률조정장치를 설치하여 역률 보상이 가능하며 이장치는 운전 용량에 따라 가변이 되도록 군을 구성하는 것이 필요하다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Ⅳ. 결론

본 논문에서는 ESS와 계통연계형 태양광 발전설비를 상용계통 수변전설비와 연계시 역률저하에 대한 원인과 대책을 알아보고 이에 대한 적절한 대책을 검토하여 전력설비의 효과적이고 안정적인 운영이 가능하도록 하는 설비 등을 알아보았다.

실제로 산업현장에서 운용되고 있는 ESS와 계통연계형 태양광 발전설비가 상용계통 설비와 연계시 역률저하 대책인 수전변압기 용량의 10% 이내 ESS와 태양광 발전 설비 연계, ESS와 계통연계형 태양광 발전 설비 전력변환장치 용량의 증대, ESS와 계통연계형 태양광 발전 설비의 적정 분배 설치, 자동역률조정장치 설치를 적용하여 안정적인 전력설비 운용이 되도록 역률 저하에 대한 방안을 고려하도록 제시하였다.

이번 연구 결과를 토대로 ESS와 계통연계형 태양광 발전설비를 상용계통 수변전설비와 연계시 역률저하에 대한 원인을 분석하고 보완책을 제시함으로써 역률저하를 예방하여 전력시설물의 전력운용의 안정성이 향상된다면 전력손실 감소, 설비용량의 효율적 운용, 전압강하의 감소, 전력계통의 안정도 향상에 기여하고 전력요금 절감에도 큰 효과를 가져 올 수 있을 것으로 기대한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

참 고 문 헌

[1] 산업부 고시 제2017-13호

[2] 2014.vol.28 No.4 한국조명전기설비학회 2-3 Page.

[3] 건축전기설비기술사 문제해설 2014. 김세동 99-101page.

[4] 신재생에너지 에너지 저장기술 시스템. 조금배 서길모 최연옥

[5] 나무위키 (https://namu.wiki/w/BMS)

[6] 2014.vol.28 No.4 한국조명전기설비학회 9 Page.

[7]https://m.blog.naver.com/PostView.nhn?blogId=energzone&logNo=220293011289&proxyReferer=https%3A%2F%2Fwww.google.co.kr%2F

[8] 2011.06. 전력기술인 .한국전력기술인협회 21-23 Page.

[9] 한국전력공사 전기공급약관 41조.

[10] 정용기, '신 전기설비기술계산핸드북', (주)의제전기설비연구원, 2007.

[11] 헥스파워시스템(주) 기술자료집

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

감 사 의 글

석사과정을 위해 교정에 들어 선 것이 며칠 전 같은데 벌써 2년이 지났습니다. 현장에서 실무를 하면서 학업을 병행하는 일은 마음처럼 어떤 한가지에 온전히 집중하기는 어려움이 있었지만 이렇게 학위과정을 마무리 하게 되어서 기쁘고 감사한 마음입니다. 그렇기에 지난 2년 동안 교정에서 만났던 모든 분들이 감사하고 함께 공부했던 시간들은 제게 좋은 추억으로 남습니다.

제 자신을 보면 현장에서의 경력과 경험은 적지 않지만 공학도로서는 부족한 부분들이 있었습니다. 그런 저에게 학문적인 가르침을 주신 교수님들께 감사합니다. 본 논문이 있기까지 지도와 성원을 보내시고 후학 양성과 산학협력을 위해 여러 격려와 구체적인 조언을 주신 최효상 지도교수님, 또한 학위기간 동안 물심양면으로 조언을 아끼지 않으시고 끝까지 지도해주신 조금배 교수님, 또한 저를 산업기술융합대학원으로 이끌어 주시며 전기기술사의 나아갈 방향을 알려주신 서길모 교수님과 산업기술융합대학원의 많은 교수님들께 다시 한 번 더 깊은 감사의 마음을 전합니다.

마지막으로, 갑작스런 사정으로 귀국해서 여러모로 힘든 중에도 최선을 다해 논문이 마무리되는 작업에 헌신의 노력을 해준 사랑하는 아내 윤춘이에게 깊은 감사를 드리고 그 영광을 드립니다. 또 타국에서 공부하며 응원해준 사랑하는 현우, 한얼, 다은, 정우, 휘, 지연과 늘 저를 자랑스러워하시는 부모님과 이 땅에서의 긴 여행을 마치신 장모님께도 깊은 감사를 드립니다.

Collection @ chosun