

(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)(11) 공개번호 10-2021-0030124  
(43) 공개일자 2021년03월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H02J 7/35 (2006.01) H02J 3/18 (2019.01)  
H02J 3/38 (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
H02J 7/35 (2013.01)  
H02J 3/18 (2019.02)  
(21) 출원번호 10-2019-0111685  
(22) 출원일자 2019년09월09일  
심사청구일자 2019년09월09일

(71) 출원인  
연세대학교 산학협력단  
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)  
(72) 발명자  
박정욱  
서울특별시 서대문구 연세로 50 연세대학교  
강석주  
서울특별시 서대문구 연세로 50 연세대학교  
노진아  
서울특별시 서대문구 연세로 50 연세대학교  
(74) 대리인  
오위환, 나성곤, 정기택

전체 청구항 수 : 총 18 항

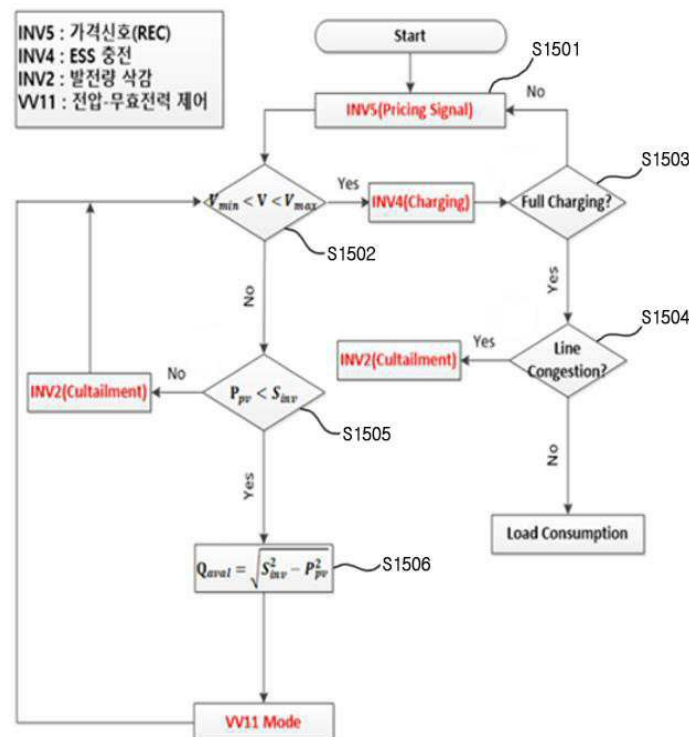
(54) 발명의 명칭 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS 및 그의 제어 방법

## (57) 요약

본 발명은 태양광 ESS 일체형 시스템에서 REC(Renewable Energy Certificate) 가중치를 활용한 충전 및 방전에 의한 수익창출 및 능동형 EMS(Energy Management System) 알고리즘 적용으로 배전계통 안정화가 가능하도록 한 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS 및 그의 제어 방법에 관한 것으로, 스마트 인

(뒷면에 계속)

대표도 - 도15b



버터의 INV5 기능을 수행하여 전력가격 정보를 파악하는 전력 가격 정보 판단부;태양광 ESS 일체형 시스템의 연계점전압( $V$ )을 측정하여 계통 전압 하한치( $V_{\min}$ ) 및 상한치( $V_{\max}$ ) 이내로 유지되는지를 판단하는 계통전압 유지 판단부;태양광 ESS 일체형 시스템의 ESS의 완충(Full Charging) 여부를 판단하는 ESS 완충 판단부;ESS 완충시에 선로 혼잡도(Line Congestion)를 기준으로 태양광의 발전전력을 소비하는 혼잡도 기준 전력소비부;계통 전압 유지범위를 벗어난 경우에 태양광 인버터를 이용하여 전압 안정화를 수행하는 전압 안정화부;공급가능한 최대 무효전력( $Q_{avail}$ )을 계산하고 계통 연계점 전압에 따라 무효전력을 출력하는 VV11 기능을 수행하는 무효전력 출력제어부;를 포함하는 것이다.

(52) CPC특허분류

*H02J 3/383* (2013.01)

*H02S 10/20* (2015.01)

*Y02E 10/56* (2020.08)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	20171220100330
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국에너지기술평가원
연구사업명	에너지기술개발사업
연구과제명	[RCMS]배전 혼잡선로 해소를 위한 태양광/ESS 일체형 시스템 및 EMS 개발
기 여 율	1/2
과제수행기관명	연세대학교 산학협력단
연구기간	2019.01.01 ~ 2019.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	2016R1E1A1A02920095
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	전략공모
연구과제명	전력계통 신뢰성 향상을 위한 신재생에너지원 통합 최적운영 및 해석 연구
기 여 율	1/2
과제수행기관명	연세대학교 산학협력단
연구기간	2018.10.01 ~ 2019.07.31

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS에서 충전을 제어하기 위하여,  
스마트 인버터의 INV5 기능을 수행하여 전력가격 정보를 파악하는 전력 가격 정보 판단부;  
태양광 ESS 일체형 시스템의 연계점전압( $V$ )을 측정하여 계통 전압 하한치( $V_{\min}$ ) 및 상한치( $V_{\max}$ ) 이내로 유지되는  
지를 판단하는 계통전압 유지 판단부;  
태양광 ESS 일체형 시스템의 ESS의 완충(Full Charging) 여부를 판단하는 ESS 완충 판단부;  
ESS 완충시에 선로 혼잡도(Line Congestion)를 기준으로 INV2 기능 수행으로 발전전력을 삭감하거나 태양광 발전 전력을 부하소비에 사용하는 혼잡도 기준 전력소비부;  
계통 전압 유지범위를 벗어난 경우에 태양광 인버터를 이용하여 전압 안정화를 수행하는 전압 안정화부;  
공급가능한 최대 무효전력( $Q_{\text{avail}}$ )을 계산하고 계통 연계점 전압에 따라 무효전력을 출력하는 VV11 기능을 수행하는 무효전력 출력제어부;를 포함하는 것을 특징으로 하는 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS.

#### 청구항 2

태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS에서 방전을 제어하기 위하여,  
스마트 인버터의 INV5 기능을 수행하여 전력가격 정보를 판단하는 전력 가격 정보 판단부;  
ESS의 저장된 전력을 방전하기 전에 배전선로의 혼잡도를 판단하는 배전선로 혼잡도 판단부;  
연계점 전압이 제한치를 벗어날 경우 VV11 모드의 수행으로 무효전력을 보상하여 전압 안정화를 수행하는 전압 안정화 수행부;  
INV2 기능을 수행하여 국내 배전선로의 용량인 10MW를 초과하지 않도록 방전할 수 있는 전력을 계산하는 전력 계산부;  
ESS에 충전된 전력을 방전하기 전에 연계점의 전압안정도를 판별하여 방전을 제어하는 전압 안정도 판별 및 방전 제어부;를 포함하는 것을 특징으로 하는 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS.

#### 청구항 3

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서, INV5 기능은 가격 결정 신호를 이용하여 저장능력을 가진 분산전원이 ESS의 충,방전 여부 및 충,방전 비율을 결정하는 것이고,  
INV2 기능은 계통 연계점에서의 분산전원 출력을 제한하며, 분산전원 발전량이 제한치를 초과할 경우 출력량을 삭감하거나 에너지저장장치에 여분의 발전량을 저장하는 것이고,  
VV11 기능은 유효전력 출력의 변동없이 연계점 전압(VRef)에 따른 무효전력(VarAval)을 생산하며 인버터의 용량을 고려하여 공급 가능한 무효전력의 수치를 퍼센트로 제시하고, 연계점 전압이 상승할수록 음의 무효전력을 출력하고 연계점 전압이 하강할수록 양의 무효전력을 출력하는 것을 특징으로 하는 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS.

#### 청구항 4

태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS에서 충전을 제어하기 위하여,  
전력 가격 정보 판단부에서 전력가격 정보를 파악하는 단계;

계통전압 유지 판단부에서 태양광 ESS 일체형 시스템의 연계점전압( $V$ )을 측정하여 계통 전압 하한치( $V_{\min}$ ) 및 상한치( $V_{\max}$ ) 이내로 유지되는지 판단하는 단계;

ESS 완충 판단부에서 ESS의 완충(Full Charging) 여부를 판단하는 단계;

혼잡도 기준 전력소비부에서 ESS 완충 시 태양광의 발전전력을 소비하는 단계;

전압 안정화부에서 계통 전압 유지범위를 벗어난 경우에 태양광 인버터를 활용하여 전압 안정화를 수행하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS의 제어 방법.

## 청구항 5

제 4 항에 있어서, 전력가격 정보를 파악하는 단계는,

가격 결정 신호를 이용하여 저장능력을 가진 분산전원이 ESS의 충,방전 여부 및 충,방전 비율을 결정하는 스마트 인버터의 INV5 기능을 통하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS의 제어 방법.

## 청구항 6

제 4 항에 있어서, 계통전압 유지 판단부에서 계통 전압 유지범위를 만족하는 것으로 판단되면 INV4 기능 수행하여 태양광 발전전력을 ESS에 충전하고,

INV4 기능은 저장능력을 가진 분산전원이 에너지 생산의 증감에 관여하도록 하며, 요청 명령은 해당 에너지 저장장치의 최대 출력의 백분율로 이루어지는 것을 특징으로 하는 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS의 제어 방법.

## 청구항 7

제 4 항에 있어서, 혼잡도 기준 전력소비부는 선로 혼잡도(Line Congestion)를 기준으로 국내 배전 일반 선로용량인 10MW 이상의 유효전력이 흐를 경우 INV2 기능 수행으로 발전전력을 삭감하고, 아닌 경우에는 태양광 발전전력을 부하소비에 사용하는 것을 특징으로 하는 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS의 제어 방법.

## 청구항 8

제 7 항에 있어서, INV2 기능은 계통 연계점에서의 분산전원 출력을 제한하며, 분산전원 발전량이 제한치를 초과할 경우 출력량을 삭감하거나 에너지저장장치에 여분의 발전량을 저장하는 기능인 것을 특징으로 하는 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS의 제어 방법.

## 청구항 9

제 4 항에 있어서, 전압 안정화를 수행하는 단계에서,

전압안정화는 태양광 인버터의 무효전력 출력으로 수행되며 태양광 인버터의 용량( $S_{inv}$ ) 보다 태양광 유효전력 출력( $P_{pv}$ )이 작을 경우에만 가능하고,  $P_{pv}$  가  $S_{inv}$  보다 작지 않을 경우 INV2 기능의 수행으로 태양광 유효전력을 삭감하고, 최종적으로 태양광 인버터에 무효전력을 출력할 수 있는 여유를 만들어 주는 것을 특징으로 하는 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS의 제어 방법.

## 청구항 10

제 9 항에 있어서,  $P_{pv}$  와  $S_{inv}$ 를 고려하여 공급가능한 최대 무효전력( $Q_{avail}$ )을 계산하고 계통 연계점 전압에 따라 무효전력을 출력하는 VV11 기능을 수행하고,

$Q_{avail}$  계산을 통하여 VV11 기능 수행시 공급가능한 최대 무효전력 출력이 제한되는 것을 특징으로 하는 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS의 제어 방법.

#### 청구항 11

제 10 항에 있어서, VV11 기능은 유효전력 출력의 변동없이 연계점 전압(VRef)에 따른 무효전력(VarAval)을 생산하며 인버터의 용량을 기준으로 공급 가능한 무효전력의 수치를 퍼센트로 제시하고,

연계점 전압이 상승할수록 음의 무효전력을 출력하고 연계점 전압이 하강할수록 양의 무효전력을 출력하는 것을 특징으로 하는 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS의 제어 방법.

#### 청구항 12

태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS에서 방전을 제어하기 위하여,

전력 가격 정보 판단부에서 전력가격 정보를 판단하는 단계;

배전선로 혼잡도 판단부에서 ESS의 저장된 전력을 방전하기 전에 배전선로의 혼잡도를 파악하는 단계;

배전선로가 혼잡할 경우에는 전압 안정화 수행부에서 연계점의 전압안정화 기능을 수행하고, 배전선로가 혼잡하지 않을 경우 전력 계산부에서 배전선로 용량을 기준으로 최대 방전할 수 있는 전력량을 계산하는 단계;

전압 안정도 판별 및 방전 제어부에서 ESS에 충전된 전력을 방전하기 전에 연계점의 전압안정도를 판별하여 방전 제어를 하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS의 제어 방법.

#### 청구항 13

제 12 항에 있어서, 전력 가격 정보 판단부에서 가격 결정 신호를 이용하여 저장능력을 가진 분산전원이 ESS의 충,방전 여부 및 충,방전 비율을 결정하는 INV5를 수행하여 ESS에 충전된 전력을 판매할 경우의 전력 가격 정보를 획득하는 것을 특징으로 하는 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS의 제어 방법.

#### 청구항 14

제 12 항에 있어서, 배전선로가 혼잡하지 않을 경우 전력 계산부에서 배전선로 용량을 기준으로 최대 방전할 수 있는 전력량을 계산하는 단계에서,

최대로 방전할 수 있는 전력량을 INV2 기능을 이용하여 계산하고, INV2 기능은 계통 연계점에서의 분산전원 출력을 제한하며, 분산전원 발전량이 제한치를 초과할 경우 출력량을 삭감하거나 에너지저장장치에 여분의 발전량을 저장하는 기능인 것을 특징으로 하는 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS의 제어 방법.

#### 청구항 15

제 12 항에 있어서, 배전선로가 혼잡할 경우에는 전압 안정화 수행부에서 연계점의 전압안정화 기능을 수행하는 단계에서,

연계점 전압이 제한치를 벗어날 경우 VV11 모드의 수행으로 무효전력을 보상하여 전압 안정화에 기여하는 것을 특징으로 하는 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS의 제어 방법.

#### 청구항 16

제 15 항에 있어서, VV11 기능은 유효전력 출력의 변동없이 연계점 전압(VRef)에 따른 무효전력(VarAval)을 생산하며 인버터의 용량을 고려하여 공급 가능한 무효전력의 수치를 퍼센트로 제시하고, 연계점 전압이 상승할수록 음의 무효전력을 출력하고 연계점 전압이 하강할수록 양의 무효전력을 출력하는 것을 특징으로 하는 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS의 제어 방법.

#### 청구항 17

제 12 항에 있어서, 전압 안정도 판별 및 방전 제어부에서,

연계점 전압이 제한치 이내일 경우 VW51 기능을 수행하여 연계점 전압에 따른 방전을 수행하고, 연계점 전압이 제한치를 벗어날 경우 WP41 모드를 수행하여 유효전력과 무효전력을 동시에 출력하여 전압안정화와 ESS 방전을

동시에 수행하는 것을 특징으로 하는 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS의 제어 방법.

## 청구항 18

제 17 항에 있어서, VW51 기능은 계통 연계점 전압의 상태에 따라 유효전력 출력량을 조절하는 기능으로 계통 연계점 전압이 상승할수록 유효전력 출력량이 비례하여 감소하도록 하는 것이고,

WP41은 계통 연계점에서 출력되는 유효전력에 따라 역률을 조정하여 전압을 안정화하는 기능으로 WP41은 curve의 형태로 동작이 입력되는 것을 특징으로 하는 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS의 제어 방법.

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 발명은 태양광 ESS 일체형 시스템에 관한 것으로, 구체적으로 REC(Renewable Energy Certificate) 가중치를 활용한 충전 및 방전에 의한 수익창출 및 능동형 EMS(Energy Management System) 알고리즘 적용으로 배전계통 안정화가 가능하도록 한 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS 및 그의 제어 방법에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0002] 일반적으로 ESS(Energy storage system)는 발전소에서 과잉 생산된 전력 또는 불규칙하게 생산되는 신재생 에너지를 저장해 두었다가 일시적으로 전력이 부족할 때 송전해 주는 저장장치를 말한다.

[0003] 구체적으로 ESS란 에너지를 필요한 때와 장소에 공급하기 위해 전기 전력계통에 전기를 저장해 두는 시스템을 말한다. 다시 말해서, 기존의 2차 전지처럼 하나의 제품에 시스템이 통합된 스토리지로 구성되는 하나의 집합체이다.

[0004] 최근 급속히 성장하고 있는 신재생 에너지인 태양광 발전시 불안정한 발전 에너지를 저장했다가 필요한 시점에 안정적으로 전력 계통에 다시 공급해주는 필수 장치로 ESS의 중요성이 대두되고 있다.

[0005] 만약 ESS가 없다면 태양광에 의존하는 불안정한 전력 공급으로 인해 전력 계통에 갑작스러운 단전 등 심각한 문제가 발생할 수 있다. 따라서, 이러한 환경에서 스토리지가 매우 중요한 분야로 대두되고 있다.

[0006] 이러한 ESS는 전력계통에서 발전, 송배전, 수용가에 설치되어 이용되고 있으며, 주파수 조정(Frequency Regulation), 신재생에너지를 이용한 발전기 출력 안정화, 첨두부하 저감(Peak Shaving), 부하 평준화(Load Leveling), 비상 전원 등의 기능으로 사용되고 있다.

[0007] 도 1은 종래 기술의 배전선로 전압안정화를 위한 전압-무효전력 드롭제어 및 전압-유효전력 드롭제어를 나타낸 그래프이다.

[0008] 종래 기술의 스마트 인버터 기술의 경우 태양광 인버터를 활용하여 배전선로 전압안정화 측면에서 연구가 많이 진행되어 왔다. 대표적으로 VW11 기능(전압-무효전력 드롭제어)과 VW51(전압-유효전력 드롭제어)가 있으며 해당 기능들에 대하여 그래프의 최적 기울기(드롭) 및 동작지점에 대한 선정방안이 주된 연구 내용이었다.

[0009] 하지만, 종래 기술들은 태양광과 ESS를 동시에 활용하여 배전계통 안정화에 대한 방안을 제시하지는 못하였다. 또한, 다양한 스마트 인버터 기능들을 활용하지 못하여 여러가지 계통 상황 변화에 따른 효율적인 관리방법을 제시하지 못하고 있다.

[0010] 따라서, 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기능을 이용하여 재생에너지 수용률 증가에 따른 배전선로 과부하 현상 등의 문제를 효율적으로 해결하기위한 새로운 기술의 개발이 요구되고 있다.

## 선행기술문헌

### 특허문헌

- [0011] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허 제10-1871237호  
(특허문헌 0002) 대한민국 등록특허 제10-1964740호  
(특허문헌 0003) 대한민국 등록특허 제10-1988485호

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

- [0012] 본 발명은 태양광 ESS 일체형 시스템의 활용성을 높이기 위한 것으로, REC(Renewable Energy Certificate)가 중치를 활용한 충전 및 방전에 의한 수익창출 및 능동형 EMS(Energy Management System) 알고리즘 적용으로 배전계통 안정화가 가능하도록 한 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS 및 그의 제어 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.
- [0013] 본 발명은 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기능을 이용하여 재생에너지 수용률 증가에 따른 배전선로 과부하 현상 등의 문제를 효율적으로 해결할 수 있도록 한 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS 및 그의 제어 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.
- [0014] 본 발명은 발전기 연계점의 출력 전력과 선로 전력, 부하량을 고려하여 선로 조류의 최대 전력량 제한을 제안하고 선로 혼잡구간을 방지할 수 있도록 한 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS 및 그의 제어 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.
- [0015] 본 발명은 공통 연계점 전압과 선로 전압이 상시전압 기준을 초과하지 않도록 태양광 ESS 일체형 시스템의 유/무효전력을 제어하여 전압을 효율적으로 조정할 수 있도록 한 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS 및 그의 제어 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.
- [0016] 본 발명은 배전계통의 전압변동시, 태양광 ESS 일체형 시스템이 이를 완화할 수 있도록 하여 효율적인 배전계통 안정화가 가능하도록 한 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS 및 그의 제어 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.
- [0017] 본 발명은 배전선로 용량인 10MW 이상의 분산전원의 연계를 가능하게 하며, 배전 혼잡선로 발생시 분산전원의 발전량을 ESS에 저장하여 배전계통 안정화에 유리하도록 한 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS 및 그의 제어 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.
- [0018] 본 발명은 스마트 인버터 기능의 효율적 배치를 통하여, 분산전원이 능동적으로 배전계통 운영에 관여하도록 하고, 전력 가격정보를 반영하여 수익성 창출을 도모할 수 있도록 한 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS 및 그의 제어 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.
- [0019] 본 발명의 다른 목적들은 이상에서 언급한 목적으로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 목적들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

### 과제의 해결 수단

- [0020] 상기와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS는 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS에서 충전을 제어하기 위하여, 스마트 인버터의 INV5 기능을 수행하여 전력가격 정보를 파악하는 전력 가격 정보 판단부;태양광 ESS 일체형 시스템의 연계점전압( $V$ )을 측정하여 계통 전압 하한치( $V_{\min}$ ) 및 상한치( $V_{\max}$ ) 이내로 유지되는지를 판단하는 계통전압 유지 판단부;태양광 ESS 일체형 시스템의 ESS의 완충(Full Charging) 여부를 판단하는 ESS 완충 판단부;ESS 완충시에 선로 혼잡도(Line Congestion)를 기준으로 INV2 기능 수행으로 발전전력을 삭감하거나 태양광 발전 전력을 부하소비에 사용하는 혼잡도 기준 전력소비부;계통 전압 유지범위를 벗어난 경우에 태양광 인버터를 이용하여 전압 안정화를 수행하는 전압 안정화부;공급가능한 최대 무효전력( $Q_{\text{avail}}$ )을 계산하고 계통 연계점 전압에 따라 무효전력을 출력하는 WV11 기능을 수행하는 무효전력 출력제어부;를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0021] 다른 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS는 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS에서 방전을 제어하기 위하여, 스마트 인버터



의 INV5 기능을 수행하여 전력가격 정보를 판단하는 전력 가격 정보 판단부; ESS의 저장된 전력을 방전하기 전에 배전선로의 혼잡도를 판단하는 배전선로 혼잡도 판단부; 연계점 전압이 제한치를 벗어날 경우 WV11 모드의 수행으로 무효전력을 보상하여 전압 안정화를 수행하는 전압 안정화 수행부; INV2 기능을 수행하여 국내 배전선로의 용량인 10MW를 초과하지 않도록 방전할 수 있는 전력을 계산하는 전력 계산부; ESS에 충전된 전력을 방전하기 전에 연계점의 전압안정도를 판별하여 방전을 제어하는 전압 안정도 판별 및 방전 제어부;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0022] 여기서, INV5 기능은 가격 결정 신호를 이용하여 저장능력을 가진 분산전원이 ESS의 충,방전 여부 및 충,방전 비율을 결정하는 것이고, INV2 기능은 계통 연계점에서의 분산전원 출력을 제한하며, 분산전원 발전량이 제한치를 초과할 경우 출력량을 삭감하거나 에너지저장장치에 여분의 발전량을 저장하는 것이고, WV11 기능은 유효전력 출력의 변동없이 연계점 전압(VRef)에 따른 무효전력(VarAval)을 생산하며 인버터의 용량을 고려하여 공급 가능한 무효전력의 수치를 퍼센트로 제시하고, 연계점 전압이 상승할수록 음의 무효전력을 출력하고 연계점 전압이 하강할수록 양의 무효전력을 출력하는 것을 특징으로 한다.

[0023] 다른 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS의 제어 방법은 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS에서 충전을 제어하기 위하여, 전력 가격 정보 판단부에서 전력가격 정보를 파악하는 단계; 계통전압 유지 판단부에서 태양광 ESS 일체형 시스템의 연계점전압(V)을 측정하여 계통 전압 하한치( $V_{min}$ ) 및 상한치( $V_{max}$ ) 이내로 유지되는지 판단하는 단계; ESS 완충 판단부에서 ESS의 완충(Full Charging) 여부를 판단하는 단계; 혼잡도 기준 전력소비부에서 ESS 완충 시 태양광의 발전전력을 소비하는 단계; 전압 안정화부에서 계통 전압 유지범위를 벗어난 경우에 태양광 인버터를 활용하여 전압 안정화를 수행하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0024] 여기서, 전력가격 정보를 파악하는 단계는, 가격 결정 신호를 이용하여 저장능력을 가진 분산전원이 ESS의 충,방전 여부 및 충,방전 비율을 결정하는 스마트 인버터의 INV5 기능을 통하여 이루어지는 것을 특징으로 한다.

[0025] 그리고 계통전압 유지 판단부에서 계통 전압 유지범위를 만족하는 것으로 판단되면 INV4 기능 수행하여 태양광 발전전력을 ESS에 충전하고, INV4 기능은 저장능력을 가진 분산전원이 에너지 생산의 증감에 관여하도록 하며, 요청 명령은 해당 에너지 저장장치의 최대 출력의 백분율로 이루어지는 것을 특징으로 한다.

[0026] 그리고 혼잡도 기준 전력소비부는 선로 혼잡도(Line Congestion)를 기준으로 국내 배전 일반 선로용량인 10MW 이상의 유효전력이 흐를 경우 INV2 기능 수행으로 발전전력을 삭감하고, 아닌 경우에는 태양광 발전 전력을 부하소비에 사용하는 것을 특징으로 한다.

[0027] 그리고 INV2 기능은 계통 연계점에서의 분산전원 출력을 제한하며, 분산전원 발전량이 제한치를 초과할 경우 출력량을 삭감하거나 에너지저장장치에 여분의 발전량을 저장하는 기능인 것을 특징으로 한다.

[0028] 그리고 전압 안정화를 수행하는 단계에서, 전압안정화는 태양광 인버터의 무효전력 출력으로 수행되며 태양광 인버터의 용량( $S_{inv}$ ) 보다 태양광 유효전력 출력( $P_{pv}$ )이 작을 경우에만 가능하고,  $P_{pv}$  가  $S_{inv}$  보다 작지 않을 경우 INV2 기능의 수행으로 태양광 유효전력을 삭감하고, 최종적으로 태양광 인버터에 무효전력을 출력할 수 있는 여유를 만들어 주는 것을 특징으로 한다.

[0029] 그리고  $P_{pv}$  와  $S_{inv}$ 를 고려하여 공급가능한 최대 무효전력( $Q_{avail}$ )을 계산하고 계통 연계점 전압에 따라 무효전력을 출력하는 WV11 기능을 수행하고,  $Q_{avail}$  계산을 통하여 WV11 기능 수행시 공급가능한 최대 무효전력 출력이 제한되는 것을 특징으로 한다.

[0030] 그리고 WV11 기능은 유효전력 출력의 변동없이 연계점 전압(VRef)에 따른 무효전력(VarAval)을 생산하며 인버터의 용량을 기준으로 공급 가능한 무효전력의 수치를 퍼센트로 제시하고, 연계점 전압이 상승할수록 음의 무효전력을 출력하고 연계점 전압이 하강할수록 양의 무효전력을 출력하는 것을 특징으로 한다.

[0031] 또 다른 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS의 제어 방법은 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS에서 방전을 제어하기 위하여, 전력 가격 정보 판단부에서 전력가격 정보를 판단하는 단계; 배전선로 혼잡도 판단부에서 ESS의 저장된 전력을 방전하기 전에 배전선로의 혼잡도를 파악하는 단계; 배전선로가 혼잡할 경우에는 전압 안정화 수행부에서 연계점의 전압안정화 기능을 수행하고, 배전선로가 혼잡하지 않을 경우 전력 계산부에서 배전선로 용량을 기준으로 최대 방전할 수 있는 전력량을 계산하는 단계; 전압 안정도 판별 및 방전 제어부에서 ESS에 충전된 전력을



방전하기 전에 연계점의 전압안정도를 판별하여 방전 제어를 하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

- [0032] 여기서, 전력 가격 정보 판단부에서 가격 결정 신호를 이용하여 저장능력을 가진 분산전원이 ESS의 충,방전 여부 및 충,방전 비율을 결정하는 INV5를 수행하여 ESS에 충전된 전력을 판매할 경우의 전력 가격 정보를 획득하는 것을 특징으로 한다.
- [0033] 그리고 배전선로가 혼잡하지 않을 경우 전력 계산부에서 배전선로 용량을 기준으로 최대 방전할 수 있는 전력량을 계산하는 단계에서, 최대 방전할 수 있는 전력량을 INV2 기능을 이용하여 계산하고, INV2 기능은 계통 연계점에서의 분산전원 출력을 제한하며, 분산전원 발전량이 제한치를 초과할 경우 출력량을 삭감하거나 에너지 저장장치에 여분의 발전량을 저장하는 기능인 것을 특징으로 한다.
- [0034] 그리고 배전선로가 혼잡할 경우에는 전압 안정화 수행부에서 연계점의 전압안정화 기능을 수행하는 단계에서, 연계점 전압이 제한치를 벗어날 경우 VV11 모드의 수행으로 무효전력을 보상하여 전압 안정화에 기여하는 것을 특징으로 한다.
- [0035] 그리고 VV11 기능은 유효전력 출력의 변동없이 연계점 전압(VRef)에 따른 무효전력(VarAval)을 생산하며 인버터의 용량을 고려하여 공급 가능한 무효전력의 수치를 퍼센트로 제시하고, 연계점 전압이 상승할수록 음의 무효전력을 출력하고 연계점 전압이 하강할수록 양의 무효전력을 출력하는 것을 특징으로 한다.
- [0036] 그리고 전압 안정도 판별 및 방전 제어부에서, 연계점 전압이 제한치 이내일 경우 VW51 기능을 수행하여 연계점 전압에 따른 방전을 수행하고, 연계점 전압이 제한치를 벗어날 경우 WP41 모드를 수행하여 유효전력과 무효전력을 동시에 출력하여 전압안정화와 ESS 방전을 동시에 수행하는 것을 특징으로 한다.
- [0037] 그리고 VW51 기능은 계통 연계점 전압의 상태에 따라 유효전력 출력량을 조절하는 기능으로 계통 연계점 전압이 상승할수록 유효전력 출력량이 비례하여 감소하도록 하는 것이고, WP41은 계통 연계점에서 출력되는 유효전력에 따라 역률을 조정하여 전압을 안정화하는 기능으로 WP41은 curve의 형태로 동작이 입력되는 것을 특징으로 한다.

### 발명의 효과

- [0038] 이상에서 설명한 바와 같은 본 발명에 따른 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS 및 그의 제어 방법은 다음과 같은 효과가 있다.
- [0039] 첫째, REC(Renewable Energy Certificate) 가중치를 활용한 충전 및 방전에 의한 수익창출 및 능동형 EMS(Energy Management System) 알고리즘 적용으로 배전계통 안정화가 가능하도록 한다.
- [0040] 둘째, 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기능을 이용하여 재생에너지 수용률 증가에 따른 배전선로 과부하 현상 등의 문제를 효율적으로 해결할 수 있도록 한다.
- [0041] 셋째, 발전기 연계점의 출력 전력과 선로 전력, 부하량을 고려하여 선로 조류의 최대 전력량 제한을 제안하고 선로 혼잡구간을 방지할 수 있도록 한다.
- [0042] 넷째, 공통 연계점 전압과 선로 전압이 상시전압 기준을 초과하지 않도록 태양광 ESS 일체형 시스템의 유/무효전력을 제어하여 전압을 효율적으로 조절할 수 있도록 한다.
- [0043] 다섯째, 배전계통의 전압변동시, 태양광 ESS 일체형 시스템이 이를 완화할 수 있도록 하여 효율적인 배전계통 안정화가 가능하도록 한다.
- [0044] 여섯째, 배전선로 용량인 10MW 이상의 분산전원의 연계를 가능하게 하며, 배전 혼잡선로 발생시 분산전원의 발전량을 ESS에 저장하여 배전계통 안정화에 유리하도록 한다.
- [0045] 일곱째, 스마트 인버터 기능의 효율적 배치를 통하여, 분산전원이 능동적으로 배전계통 운영에 관여하도록 하고, 전력 가격정보를 반영하여 수익성 창출을 도모할 수 있도록 한다.

### 도면의 간단한 설명

- [0046] 도 1은 종래 기술의 배전선로 전압안정화를 위한 전압-무효전력 드롭제어 및 전압-유효전력 드롭제어를 나타낸 그래프
- 도 2a는 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기능을 나타낸 특성 그래프

- 도 2b는 국내 실제 배전 계통(태양광 ESS 일체형 시스템 9MW 연계)의 일 예를 나타낸 구성도
- 도 3은 INV2 기능을 이용한 제어기 구성도
- 도 4는 INV2 기능의 유효전력 출력 제한 특성 그래프
- 도 5는 INV4 기능을 이용한 제어기 구성도
- 도 6은 INV4 기능의 ESS 출력제어 결과 그래프
- 도 7은 INV5를 이용한 ESS 충방전 제어 구성도
- 도 8은 태양광 ESS 일체형 시스템의 INV5 기능을 나타낸 (좌)REC 인센티브 시간 신호 및 (우)가격신호 반영한 ESS충전 특성 그래프
- 도 9는 VW11 기능을 이용한 무효전력-전압 제어 특성 그래프
- 도 10a내지 도 10d는 VW11 기능을 적용한 무효전력 보상 결과 (a)부하변동 (b)제어신호 (c)연계점 전압 (d)무효 전력 출력 그래프
- 도 11은 VW51의 전압-유효전력 제어 그래프
- 도 12a 내지 도 12d는 VW51 기능 시뮬레이션 결과 (a)전압 기준신호 (b)최소부하 시 VW51 모드 (c)유효전력 출력 (d)최대부하 시 VW51 모드 그래프
- 도 13은 WP41 기능인 유효전력-역률 제어 그래프
- 도 14a 내지 도 14d는 WP41 기능 시뮬레이션 결과 (a)태양광 ESS 일체형 시스템 유효전력 변동 (b)WP41 모드 동작 (c)역률 신호 (d)무효전력 출력 그래프
- 도 15a는 본 발명에 따른 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS(충전) 구성도
- 도 15b는 본 발명에 따른 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS(충전) 제어를 위한 플로우 차트
- 도 16a는 본 발명에 따른 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS(방전) 구성도
- 도 16b는 본 발명에 따른 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS(방전) 제어를 위한 플로우 차트

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0047] 이하, 본 발명에 따른 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS 및 그의 제어 방법의 바람직한 실시 예에 관하여 상세히 설명하면 다음과 같다.
- [0048] 본 발명에 따른 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS 및 그의 제어 방법의 특징 및 이점들은 이하에서의 각 실시 예에 대한 상세한 설명을 통해 명백해질 것이다.
- [0049] 도 2a는 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기능을 나타낸 특성 그래프이고, 도 2b는 국내 실제 배전 계통(태양광 ESS 일체형 시스템 9MW 연계)의 일 예를 나타낸 구성도이다.
- [0050] 국내의 재생에너지 수용률 증가에 따라 배전선로 과부하 현상이 증가하고 있으며, 본 발명은 태양광 ESS 일체형 시스템을 활용하여 이를 해결하기 위한 것이다.
- [0051] 본 발명에 따른 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS 및 그의 제어 방법은 REC(Renewable Energy Certificate) 가중치를 활용한 충전 및 방전에 의한 수익창출 및 능동형 EMS(Energy Management System) 알고리즘 적용으로 배전계통 안정화가 가능하도록 한 것이다.
- [0052] 태양광 ESS 일체형 시스템은 태양광 및 에너지저장장치(ESS)가 연계점을 공유하여 계통에 연계되는 특성이 있으며, 해당 연계점에서의 배전선로 과부하가 발생하지 않도록 태양광 출력을 ESS에 저장할 수 있다. 이와 같은 제어를 수행하기 위해서는 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기능이 요구된다.
- [0053] 국제표준 IEC 61850-90-7에서는 컨버터 기반 분산전원에 대하여 배전계통의 안정도 향상을 위한 스마트 인버터 기능의 표준을 제시하며, 본 발명은 최종적으로 해당 기능들을 태양광 ESS 일체형 시스템에 적용한 배전

EMS(Energy Management System) 알고리즘을 제안한다.

- [0054] 본 발명에 적용되는 스마트 인버터 기능들은 도 2a에서와 같고, 2b의 국내 실제 계통에 태양광 ESS 일체형시스템을 9MW급으로 연계하여 그 기능이 기본적으로 모의된다.
- [0055] 본 발명에 따른 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS 및 그의 제어 방법에서는 이와 같은 스마트 인버터 기능들의 각각의 효과를 분석한 뒤, 해당 기능들을 기반으로 배전 EMS 알고리즘을 구성한다.
- [0056] 먼저, INV1(connect/disconnect from grid) 기능은 분산전원 시스템이 계통의 연계점에서 연결 또는 분리하는 기능으로, 분산전원 탈락 이후 재연계 시 급격한 전압변동을 방지하기 위하여 유효전력증가 기율기에 대한 제한치를 설정할 수 있도록 하는 것이다.
- [0057] 그리고 INV2(adjust maximum generation level up/down) 기능을 설명하면 다음과 같다.
- [0058] 도 3은 INV2 기능을 이용한 제어기 구성도이고, 도 4는 INV2 기능의 유효전력 출력 제한 특성 그래프이다.
- [0059] INV2 기능은 계통 연계점에서의 분산전원 출력을 제한하며, 분산전원 발전량이 제한치를 초과할 경우 출력량을 삭감하거나 에너지저장장치에 여분의 발전량을 저장하는 기능이다.
- [0060] 태양광 ESS 일체형 시스템에 적용할 제어 모델을 도 3과 같이 구성할 수 있으며 출력 제한치를 고려하여 ESS에 여분의 전력을 저장한다. INV2 기능 적용 시, 도 4와 같이 태양광 출력의 계통 투입량을 제한할 수 있다.(태양광출력 9MW, 출력제한 7MW, ESS 충전 2MW)
- [0061] 그리고 INV3(adjust power factor) 기능은 지령치를 통해 인버터의 고정된 역률을 변경하는 스마트 인버터 기능이다. 태양광 ESS 일체형 시스템의 경우에도 지령치를 통하여 역률을 변경가능 하며, 그에 따라 유효전력 및 무효전력의 출력 변화가 가능하다.
- [0062] 그리고 INV4(request active power (charge or discharge storage) 기능을 설명하면 다음과 같다.
- [0063] 도 5는 INV4 기능을 이용한 제어기 구성도이고, 도 6은 INV4 기능의 ESS 출력제어 결과 그래프이다.
- [0064] INV4 기능은 저장능력을 가진 분산전원이 에너지 생산의 증감에 관여하도록 하며, 요청 명령은 해당 에너지 저장장치의 최대 출력의 백분율로 이루어진다.
- [0065] 도 5는 INV4 기능을 적용한 제어모델로 부하량이 계통에서 공급 가능한 전력량보다 클 경우 ESS를 통하여 부족한 전력을 보강하는 것이다.
- [0066] 도 6을 통하여 태양광 ESS 일체형 시스템에서 INV4 기능의 동작을 확인한다.
- [0067] 그리고 INV5(pricing signal for charge/discharge action) 기능을 설명하면 다음과 같다.
- [0068] 도 7은 INV5를 이용한 ESS 충방전 제어 구성도이고, 도 8은 태양광 ESS 일체형 시스템의 INV5 기능을 나타낸 (좌)REC 인센티브 시간 신호 및 (우)가격신호 반영한 ESS충전 특성 그래프이다.
- [0069] INV5 기능은 가격 결정 신호를 이용하여 저장능력을 가진 분산전원이 ESS의 충,방전 여부 및 충,방전 비율을 결정하며, 도 7은 태양광 ESS 일체형 시스템에서 가격신호에 따라 ESS 충전 레퍼런스 신호를 설정하는 것을 나타낸 것이다.
- [0070] 도 8은 태양광 ESS 일체형시스템에 대한 REC 가격정보를 반영한 ESS 충,방전 결과로 REC 인센티브 제도 시간대의 신호를 받아들여 전력을 충전한다.
- [0071] 그리고 VV11(available vars support with no impact on watts) 기능을 설명하면 다음과 같다.
- [0072] 도 9는 VV11 기능을 이용한 무효전력-전압 제어 특성 그래프이고, 도 10a내지 도 10d는 VV11 기능을 적용한 무효전력 보상 결과 (a)부하변동 (b)제어신호 (c)연계점 전압 (d)무효전력 출력 그래프이다.
- [0073] VV11 기능은 유효전력 출력의 변동없이 연계점 전압(VRef)에 따른 무효전력(VarAval)을 생산하며 인버터의 용량을 고려하여 공급 가능한 무효전력의 수치를 퍼센트로 제시한다.
- [0074] VV11 기능에 해당하는 무효전력-전압 제어는 도 9에 나타나 있으며, 연계점 전압이 상승할수록 음의 무효전력을 출력하고 연계점 전압이 하강할수록 양의 무효전력을 출력한다.
- [0075] IEC 61850-90-7에서는 도 10a내지 도 10d에 제시된 P1, P2, P3, P4의 값을 규정하고 있으며 표 1은 본 발명의

실시 예에서 태양광 ESS 일체형 시스템에 적용한 동작지점이다.

표 1은 VW11 기능을 적용한 무효전력 보상 예시이다.

표 1

VW11 모드	전압 (pu)	VarAval (Mvar)
VRef	1.026	0
P1	0.994	2
P2	1.014	0
P3	1.035	0
P4	1.055	-2

도 10a내지 도 10d는 태양광 ESS 일체형 시스템의 VW11 기능 수행 결과로, (a)와 같은 부하 변동 상황에 대응하여 (b)와 같은 VW11 기능 동작 신호가 발생한다.

VW11 기능이 적용된 경우(청색선)와 미적용된 경우(적색선)의 전압과 무효전력이 (c)와 (d)에 나타나 있으며 VW11 기능이 없을 경우 부하가 증가함에 따라 연계점 전압이 급속도로 감소하지만, VW11을 적용할 경우 연계점 전압에 따른 무효전력 출력으로 일정한 범위의 전압을 유지한다.

그리고 VW51(generating by voltage) 기능을 설명하면 다음과 같다.

도 11은 VW51의 전압-유효전력 제어 그래프이고, 도 12a 내지 도 12d는 VW51 기능 시뮬레이션 결과 (a)전압 기준신호 (b)최소부하 시 VW51 모드 (c)유효전력 출력 (d)최대부하 시 VW51 모드 그래프이다.

VW51 기능은 계통 연계점 전압의 상태에 따라 유효전력 출력량을 조절하는 기능으로 도 11에서 제시된 바와 같이 계통 연계점 전압이 상승할수록 유효전력 출력량이 비례하여 감소한다.

VW51 기능의 커브 모양은 부하 상태를 반영하여 변화할 수 있으며 본 발명의 실시 예에서 모의한 배전선로(도 2b)의 최소부하 및 최대부하를 반영한 결과는 표 2에서와 같다.

표 2는 VW51 기능 적용 예시로 (좌)최소부하, (우)최대부하를 나타낸 것이다.

표 2

최소부하 (4.78MW)	전압 (pu)	유효 전력	최대부하 (14.7MW)	전압 (pu)	유효 전력
VRef	1.026	9MW	VRef	1.020	9MW
P1(VRef*0.995)	1.023	9MW	P1(VRef*0.99)	1.009	9MW
P2(VRef*1.005)	1.033	9MW	P2(VRef*1.01)	1.030	9MW
P3(VRef*1.010)	1.038	0MW	P3(VRef*1.02)	1.040	0MW
P4(VRef*1.015)	1.043	0MW	P4(VRef*1.03)	1.050	0MW

도 12a 내지 도 12d는 태양광 ESS 일체형 시스템의 VW51 기능 수행 결과로, (a)와 같은 전압 변동 사항에 대하여 (c)와 같은 유효전력 출력이 가능하다.

도 12의 (b)와 (d)는 각각 최대부하 및 최소부하 시의 (a)의 전압을 반영한 유효전력 출력을 나타낸 것으로 최대부하일 경우 상대적으로 더 많은 유효전력 출력이 가능하다.

그리고 WP41, WP42(feed-in power controls power factor) 기능을 설명하면 다음과 같다.

- [0089] 도 13은 WP41 기능인 유효전력-역률 제어 그래프이고, 도 14a 내지 도 14d는 WP41 기능 시뮬레이션 결과 (a)태양광 ESS 일체형 시스템 유효전력 변동 (b)WP41 모드 동작 (c)역률 신호 (d)무효전력 출력 그래프이다.
- [0090] WP41 및 WP42은 계통 연계점에서 출력되는 유효전력에 따라 역률을 조정하여 전압을 안정화하는 기능으로 WP41은 curve의 형태로 동작이 입력되고 WP42는 array의 형태로 동작이 입력된다.
- [0091] 도 13은 WP41의 기능을 적용한 것으로 계통으로 투입되는 유효전력이 변화할 경우 태양광 ESS 일체형 시스템의 역률을 조정하여 계통 전압안정화에 기여하는 것을 나타낸 것이다.
- [0092] 표 3은 WP41 기능의 동작지점을 나타낸 것으로 태양광 ESS 일체형 시스템의 유효전력 출력에 따라 역률의 크기 및 그 부호를 결정한다.

표 3

WP41 모드	유효전력 (MW)	역률
WStr	3	0.9(+)
WStop	7	0.9(-)
Wmax	9	0.9(-)

- [0093]
- [0094] 도 14a 내지 도 14d는 태양광 ESS 일체형 시스템의 WP41 적용 결과로, (a)와 같은 태양광 ESS 일체형 시스템의 유효전력 출력(9MW → 8MW → 6MW → 3MW)에 대하여 (c)와 같은 역률의 변화를 보인다.
- [0095] 도 14의 (b)는 (a)의 태양광 ESS 일체형 시스템 유효전력 출력에 대응하는 WP41의 그래프이며 (d)는 (c)의 일체형 시스템의 역률 변화에 따른 무효전력 출력 변화를 나타낸 결과이다.
- [0096] 이상에서 설명한 스마트 인버터 기능을 이용하는 본 발명에 따른 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS 및 그의 제어 방법을 구체적으로 설명하면 다음과 같다.
- [0097] 정부에서는 재생에너지 사업확대의 일환으로 태양광에 ESS를 결합하여 생산한 전력에 대하여 REC(Renewable Energy Certificate) 가중치 5.0을 부과하고 있다.
- [0098] REC 5.0 부여로 인하여 태양광 사업자들은 높은 수익을 기대할 수 있고, 본 발명의 일 실시 예에서는 REC 5.0이 부과되는 오전 10시부터 오후 4시까지에 대하여 태양광에서 생산되는 전력을 ESS에 충전하는 것을 포함한다.
- [0099] REC 가중치를 활용한 충전 및 방전을 통한 수익창출과 더불어 본 발명의 능동형 EMS는 아래와 같은 배전계통 안정화 기술을 포함한다.
- [0100] 먼저, 발전기 연계점의 출력 전력과 선로 전력, 부하량을 고려하여 선로 조류의 최대 전력량 제한을 제안하고 선로 혼잡구간을 방지하는 구성을 포함한다.
- [0101] 그리고 공통 연계점 전압과 선로 전압이 상시전압 기준을 초과하지 않도록 태양광 ESS 일체형 시스템의 유/무효 전력을 제어하여 전압을 조정하는 구성을 포함한다.
- [0102] 그리고 배전계통의 전압변동시, 태양광 ESS 일체형 시스템이 이를 완화하기 위한 구성을 포함한다.
- [0103] 도 15a는 본 발명에 따른 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS(충전) 구성도이다.
- [0104] 본 발명에 따른 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS는 충전을 제어하기 위한 구성으로, 스마트 인버터의 INV5 기능을 수행하여 전력가격 정보를 파악하는 전력 가격 정보 판단부(10)와, 태양광 ESS 일체형 시스템의 연계점전압( $V$ )을 측정하여 계통 전압 하한치( $V_{min}$ ) 및 상한치( $V_{max}$ ) 이내로 유지되는지를 판단하는 계통전압 유지 판단부(11)와, 태양광 ESS 일체형 시스템의 ESS의 완충(Full Charging) 여부를 판단하는 ESS 완충 판단부(12)와, ESS 완충시에 선로 혼잡도(Line Congestion)를 기준으로 태양광의 발전전력을 소비하는 혼잡도 기준 전력소비부(13)와, 계통 전압 유지범위를 벗어난 경우에 태양광 인버터를 이용하여 전압 안정화를



수행하는 전압 안정화부(14)와, 공급가능한 최대 무효전력( $Q_{avail}$ )을 계산하고 계통 연계점 전압에 따라 무효전력을 출력하는 VV11 기능을 수행하는 무효전력 출력제어부(15)를 포함한다.

- [0105] 도 15b는 본 발명에 따른 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS(충전) 제어를 위한 플로우 차트이다.
- [0106] REC(Renewable Energy Certificate) 가중치 적용시, 오전 10시 ~ 오후 4시의 충전 알고리즘을 나타낸 것이다.
- [0107] 먼저, 전력 가격 정보 판단부(10)에서 스마트 인버터 기능 중 INV5를 수행하여 전력가격 정보를 파악하는 단계를 수행하고, 태양광 출력전력을 ESS에 저장할 경우 REC 가중치를 받을 수 있는 시각을 파악한다.(S1501)
- [0108] 이어, 계통전압 유지 판단부(11)에서 태양광 ESS 일체형 시스템의 연계점전압( $V$ )을 측정하여 계통 전압 하한치( $V_{min}$ ) 및 상한치( $V_{max}$ ) 이내로 유지되는지 파악하는 단계를 수행한다.(S1502)
- [0109] 계통 전압 유지범위 만족 시 INV4 기능 수행을 통한 태양광 발전전력을 ESS에 충전한다.
- [0110] 그리고 ESS 완충 판단부(12)에서 태양광 ESS 일체형 시스템의 ESS의 완충(Full Charging) 여부를 판단하는 단계를 수행한다.(S1503) ESS가 완충 될 경우 태양광의 발전전력을 소비하는 단계로 이동한다.
- [0111] 이어, 혼잡도 기준 전력소비부(13)에서 ESS 완충 시 태양광의 발전전력을 소비하는 단계를 수행한다.(S1504)
- [0112] 선로 혼잡도(Line Congestion)을 고려하여 배전선로가 혼잡할 경우(즉, 국내 배전 일반 선로용량인 10MW 이상의 유효전력이 흐를 경우) INV2 기능 수행으로 발전전력을 삭감하고, 선로가 혼잡하지 않을 경우 태양광 발전 전력을 부하소비에 사용한다.
- [0113] 그리고 전압 안정화부(14)에서 계통 전압 유지범위를 벗어난 경우에 태양광 인버터를 활용하여 전압 안정화 단계를 수행한다.(S1505)
- [0114] 전압안정화는 태양광 인버터의 무효전력 출력으로 수행되며 태양광 인버터의 용량( $S_{inv}$ ) 보다 태양광 유효전력 출력( $P_{pv}$ )이 작을 경우에만 가능하고,  $P_{pv}$  가  $S_{inv}$  보다 작지 않을 경우 INV2 기능의 수행으로 태양광 유효전력을 삭감하고, 최종적으로 태양광 인버터에 무효전력을 출력할 수 있는 여유를 만들어 준다.
- [0115]  $P_{pv}$  와  $S_{inv}$ 를 고려하여 공급가능한 최대 무효전력( $Q_{avail}$ )을 계산하고 계통 연계점 전압에 따라 무효전력을 출력하는 VV11 기능을 수행한다.  $Q_{avail}$  계산을 통하여 VV11 기능 수행시 공급가능한 최대 무효전력 출력이 제한된다.
- [0116] 도 16a는 본 발명에 따른 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS(방전) 구성도이다.
- [0117] 본 발명에 따른 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS는 방전을 제어하기 위한 구성으로, 스마트 인버터의 INV5 기능을 수행하여 전력가격 정보를 판단하는 전력 가격 정보 판단부(20)와, ESS의 저장된 전력을 방전하기 전에 배전선로의 혼잡도를 판단하는 배전선로 혼잡도 판단부(21)와, 연계점 전압이 제한치를 벗어날 경우 VV11 모드의 수행으로 무효전력을 보상하여 전압 안정화를 수행하는 전압 안정화 수행부(22)와, INV2 기능을 수행하여 국내 배전선로의 용량인 10MW를 초과하지 않도록 방전할 수 있는 전력을 계산하는 전력 계산부(23)와, ESS에 충전된 전력을 방전하기 전에 연계점의 전압안정도를 판별하여 방전을 제어하는 전압 안정도 판별 및 방전 제어부(24)를 포함한다.
- [0118] 도 16b는 본 발명에 따른 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS(방전) 제어를 위한 플로우 차트이다.
- [0119] REC(Renewable Energy Certificate) 가중치 미적용시, 오후 4시 ~ 익일 오전 10시 방전 알고리즘을 나타낸 것이다.
- [0120] 먼저, 전력 가격 정보 판단부(20)에서 스마트 인버터 기능 중 INV5를 수행하여 전력가격 정보를 판단하는 단계를 수행하여 ESS에 충전된 전력을 판매할 경우의 전력 가격 정보를 획득한다.(S1601)
- [0121] 이어, 배전선로 혼잡도 판단부(21)에서 ESS의 저장된 전력을 방전하기 전에 배전선로의 혼잡도를 파악하는 단계를 수행한다.(S1602)
- [0122] 여기서, 배전선로가 혼잡할 경우에는 전력을 배전선로로 보낼 수 없으므로 전압 안정화 수행부(22)에서 연계점의 전압안정화 기능을 수행하고(S1603), 배전선로가 혼잡하지 않을 경우 전력 계산부(23)에서 배전선로 용량을

고려하여 최대로 방전할 수 있는 전력량을 INV2 기능을 이용하여 계산한다.(S1604)

- [0123] (S1603) 단계는 배전선로 혼잡시에 EMS는 전압안정화 기능을 수행하고, 연계점 전압이 제한치를 벗어날 경우 WV11 모드의 수행으로 무효전력을 보상하여 전압 안정화에 기여한다.
- [0124] (S1604) 단계는 INV2 기능을 수행하여 국내 배전선로의 용량인 10MW를 초과하지 않도록 방전할 수 있는 전력을 계산하는 것이다.
- [0125] 이어, 전압 안정도 판별 및 방전 제어부(24)에서 ESS에 충전된 전력을 방전하기 전에 연계점의 전압안정도를 판별하는 단계를 수행한다.(S1605)
- [0126] 여기서, 연계점 전압이 제한치 이내일 경우 VW51 기능을 수행하여 연계점 전압에 따른 방전을 수행하고, 연계점 전압이 제한치를 벗어날 경우 WP41 모드를 수행하여 유효전력과 무효전력을 동시에 출력하여 전압안정화와 ESS 방전을 동시에 수행한다.
- [0127] 이상에서 설명한 본 발명에 따른 태양광 ESS 일체형 시스템의 스마트 인버터 기반 능동형 배전 EMS 및 그의 제어 방법은 REC(Renewable Energy Certificate) 가중치를 활용한 충전 및 방전에 의한 수익창출 및 능동형 EMS(Energy Management System) 알고리즘 적용으로 배전계통 안정화가 가능하도록 한 것이다.
- [0128] 1MW 이하의 소규모 신재생발전원에 대해서는 전력망 접속보장의 정책을 펼치고 있어, 배전계통에 분산전원을 접속하고자 하는 사업 및 그에 대한 수요가 증가하고 있는 실정이다. 이로 인해 배전 일반선로의 유효전력 제어와 같은 시스템 개선을 위한 연구 및 관련 시장이 크게 확대될 것으로 전망되고 있다.
- [0129] 본 발명은 선로혼잡을 해결하는 새로운 기술 제안으로 전력품질 안정화, 전력망 분석, 모니터링, 데이터 취득 기술 등을 접목하여 분산전원이 직접적으로 계통운영의 안정화에 참여함으로써 향후 실현될 배전계통 관리 기술과 향후 배전계통의 정보통신망 구성을 위한 기반 기술을 제공하고, 계통 안정화 참여로 인한 기타 계통 보상설비 설치에 필요한 비용 절감을 유도한다.
- [0130] 이상에서의 설명과 같이 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 본 발명이 구현되어 있음을 이해할 수 있을 것이다.
- [0131] 그러므로 명시된 실시 예들은 한정적인 관점이 아니라 설명적인 관점에서 고려되어야 하고, 본 발명의 범위는 전술한 설명이 아니라 특허청구 범위에 나타나 있으며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 차이점은 본 발명에 포함된 것으로 해석되어야 할 것이다.

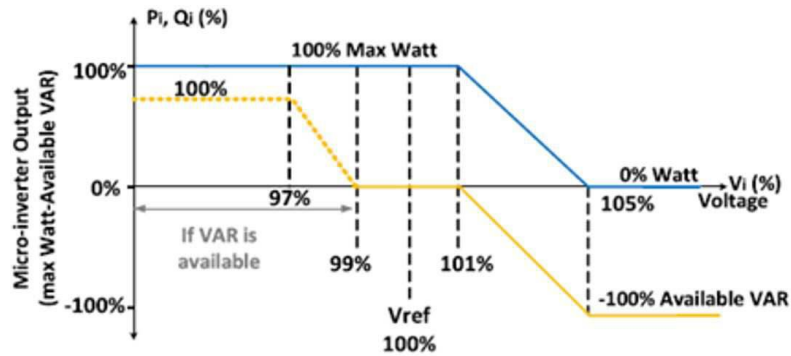
### 부호의 설명

- |        |                        |                  |
|--------|------------------------|------------------|
| [0132] | 10. 전력 가격 정보 판단부       | 11. 계통전압 유지 판단부  |
|        | 12. ESS 완충 판단부         | 13. 혼잡도 기준 전력소비부 |
|        | 14. 전압 안정화부            | 15. 무효전력 출력제어부   |
|        | 20. 전력 가격 정보 판단부       | 21. 배전선로 혼잡도 판단부 |
|        | 22. 전압 안정화 수행부         | 23. 전력 계산부       |
|        | 24. 전압 안정도 판별 및 방전 제어부 |                  |

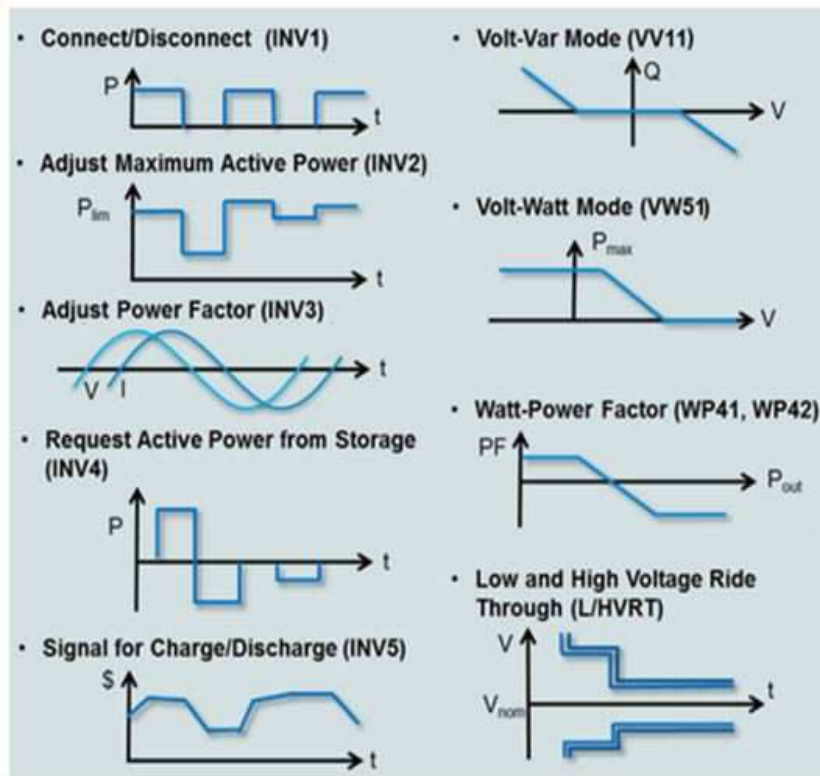


도면

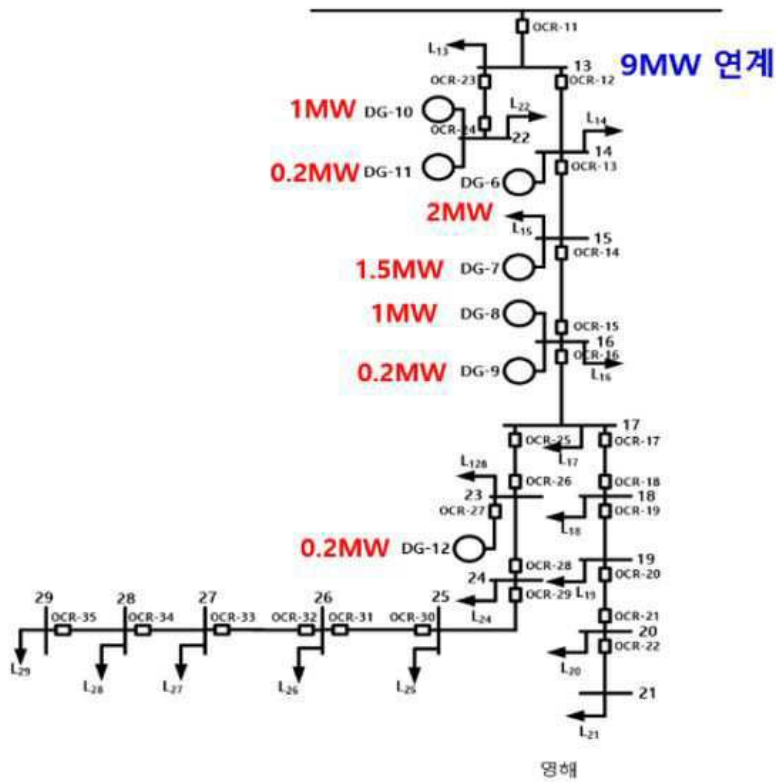
도면1



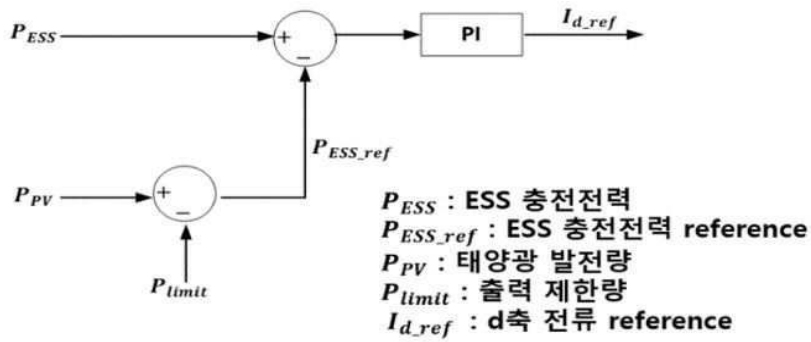
도면2a



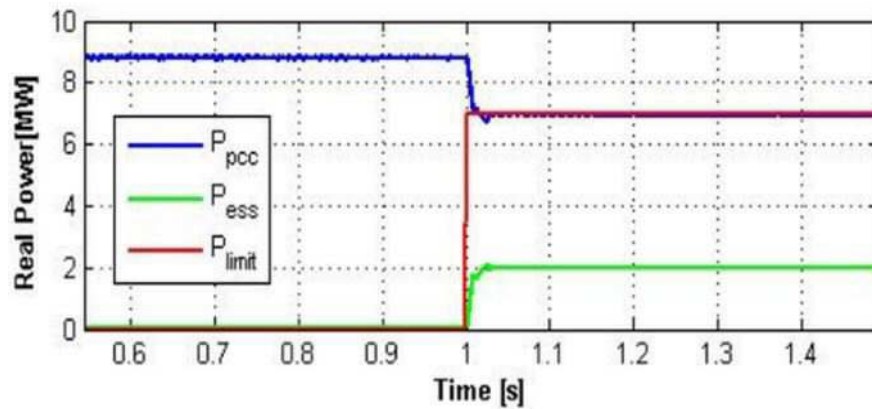
도면2b



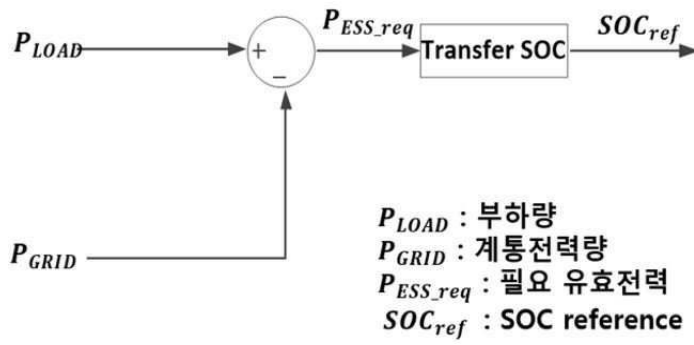
도면3



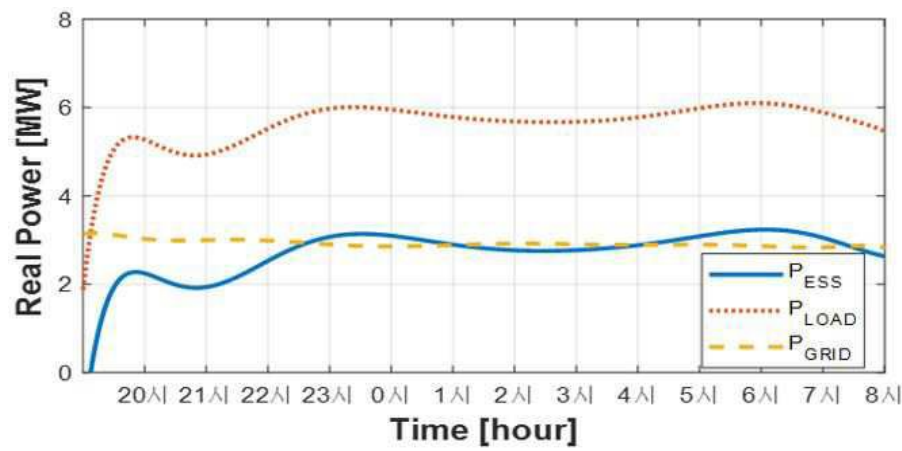
도면4



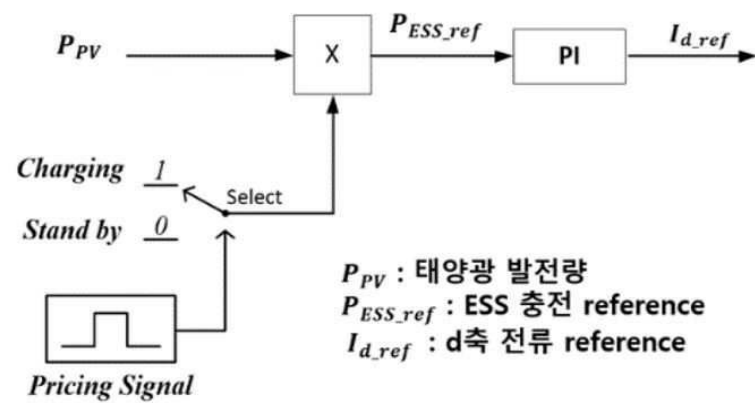
도면5



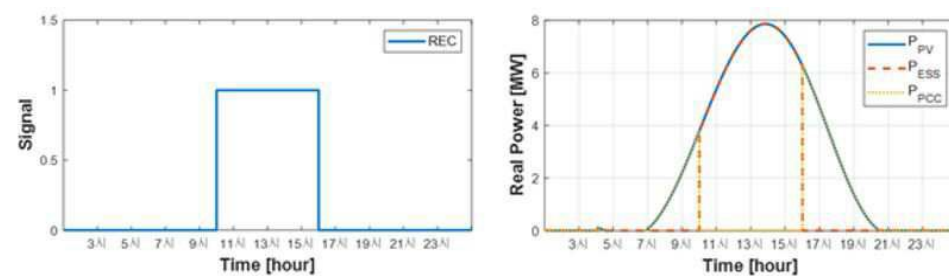
도면6



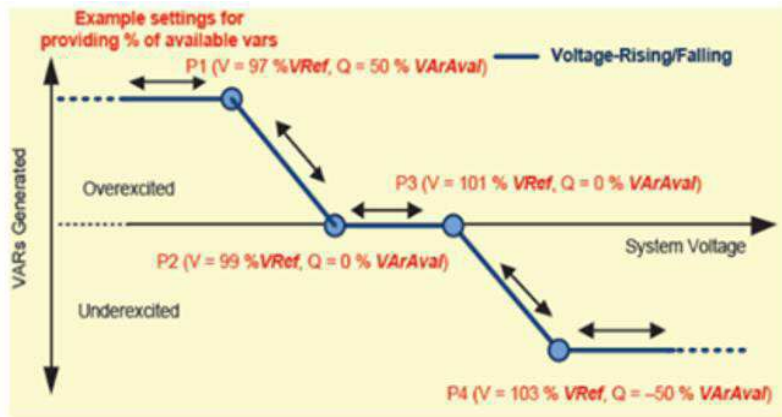
도면7



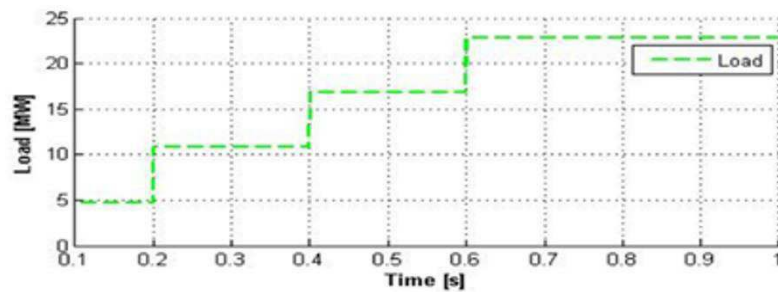
도면8



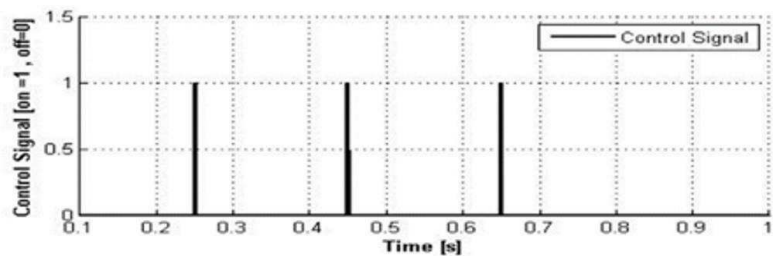
도면9



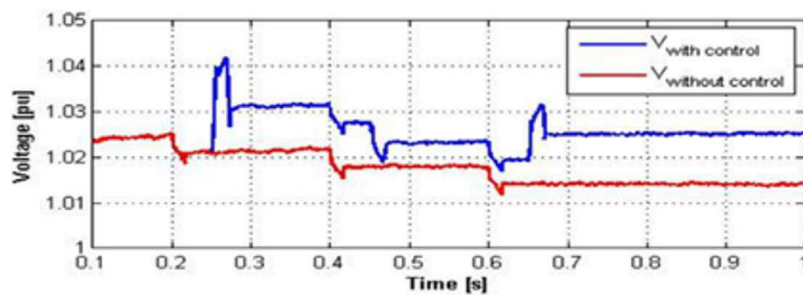
도면10a



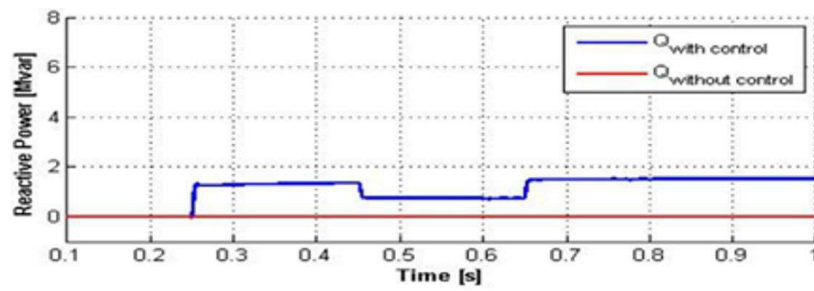
도면10b



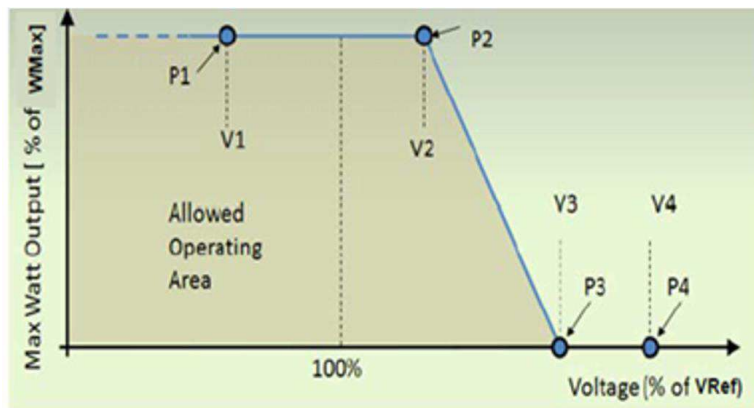
도면10c



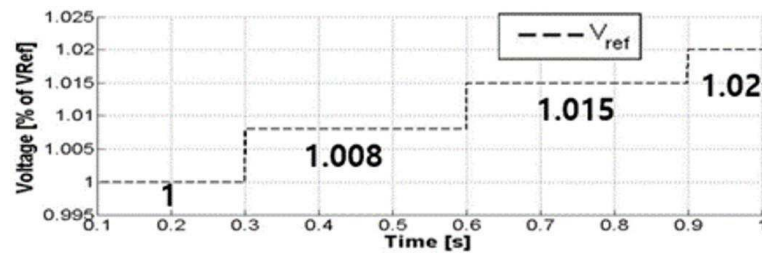
도면10d



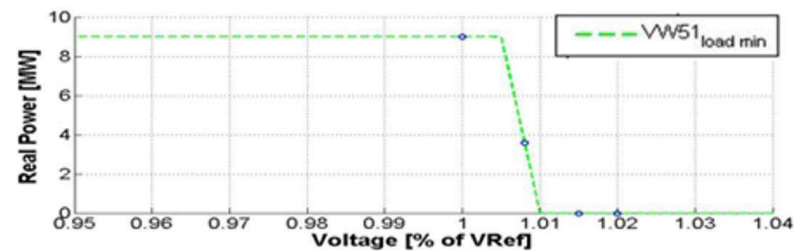
도면11



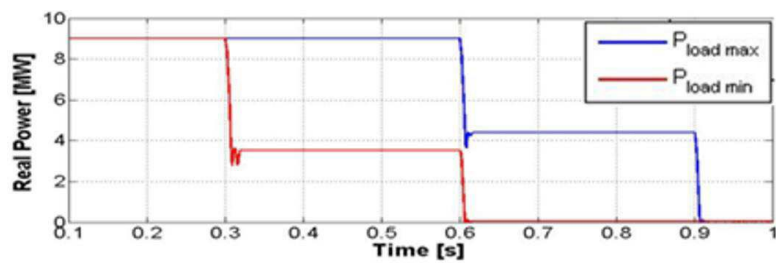
도면12a



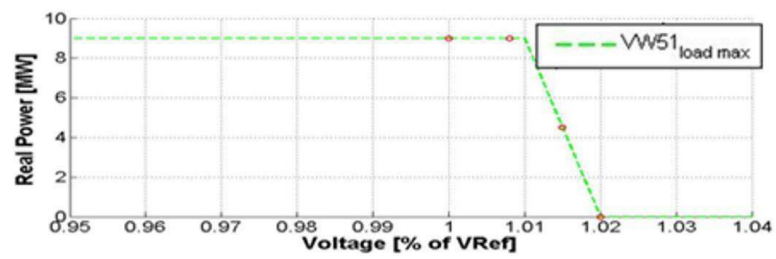
도면12b



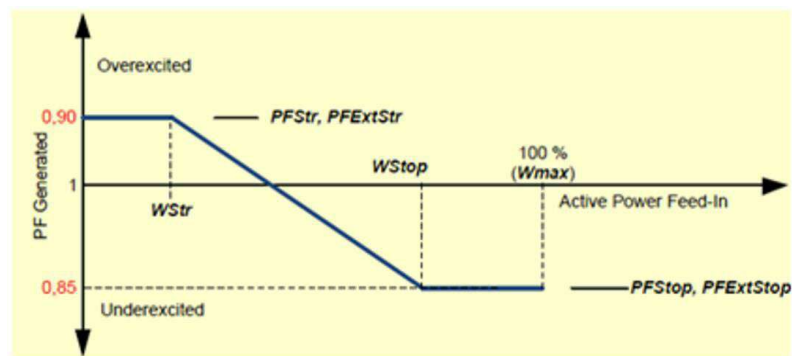
도면12c



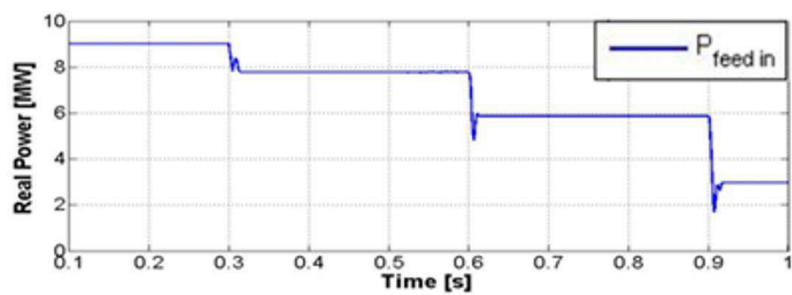
도면12d



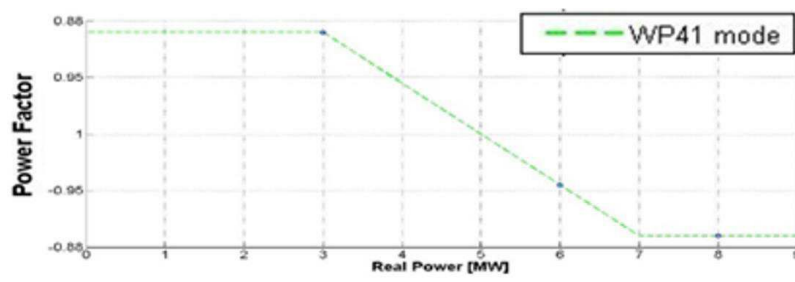
도면13



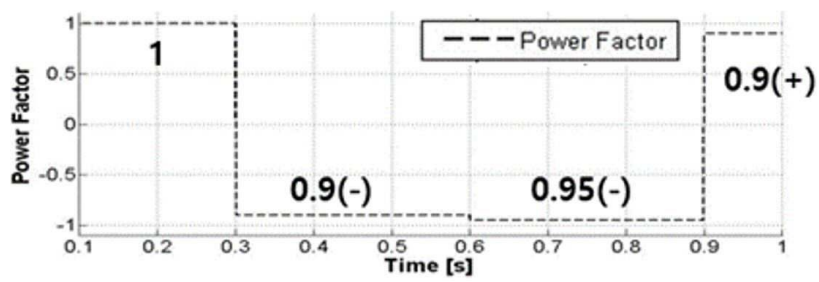
도면14a



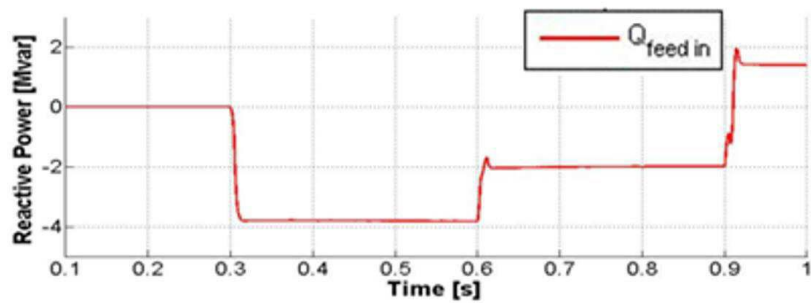
도면14b



도면14c



도면14d

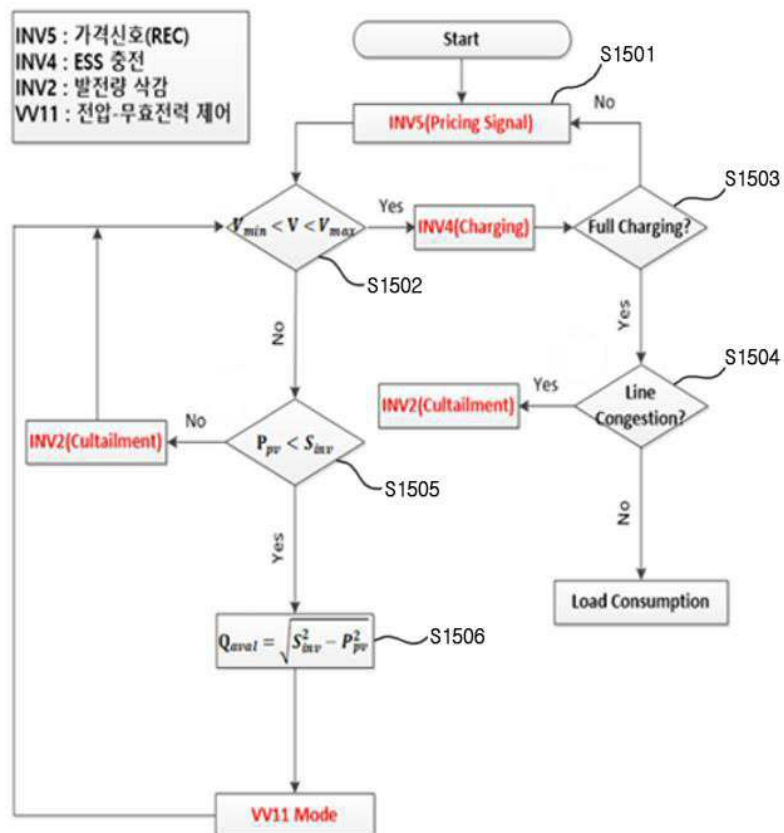




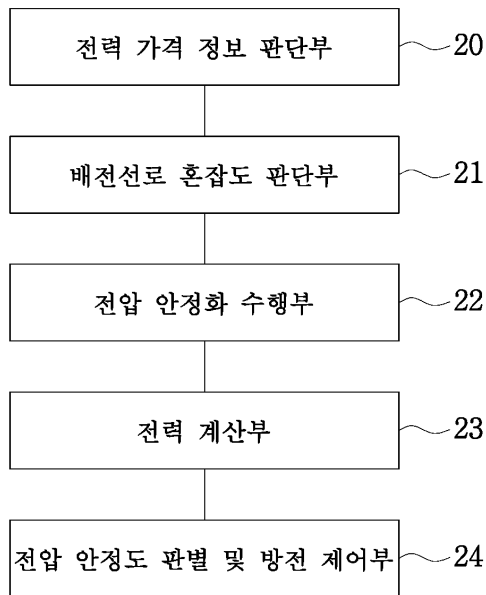
도면15a



도면15b



도면16a



도면16b

