(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0070818
(43) 공개일자 2022년05월31일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02J 3/32 (2006.01) *H02J 3/00* (2006.01)
H02J 3/38 (2022.01)
(52) CPC특허분류
H02J 3/32 (2013.01)
H02J 3/004 (2020.01)
(21) 출원번호 10-2020-0157776
(22) 출원일자 2020년11월23일
심사청구일자 2020년11월23일

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대학교)
(72) 발명자
원동준
서울특별시 서초구 신반포로15길 19, 111동 702호 (아크로리버파크)
김대수
인천광역시 서구 서달로179번길 6-10, 다동 609호 (진흥아파트)
김희준
인천광역시 미추홀구 비룡길11번길 17, 301호 (은선빌라5차)
(74) 대리인
김순웅

전체 청구항 수 : 총 7 항

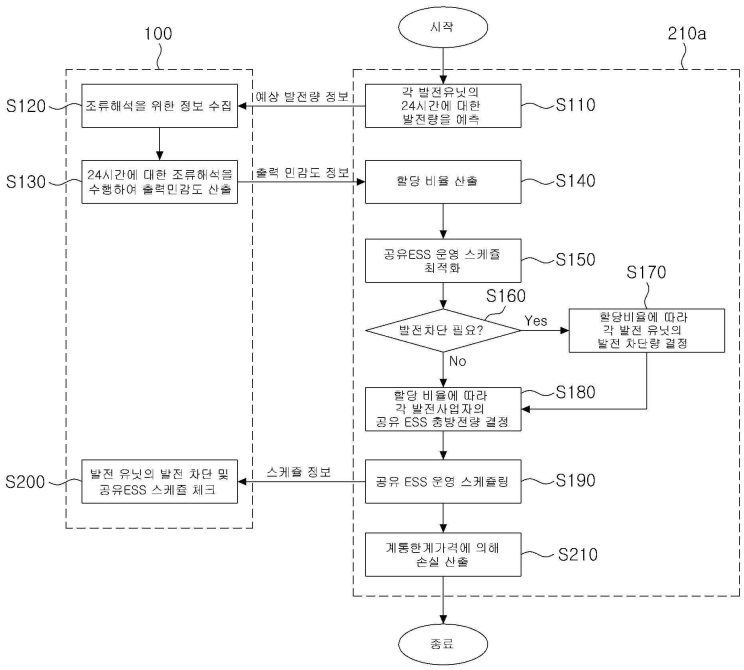
(54) 발명의 명칭 **출력 민감도 기반 공유 ESS 운영 시스템 및 방법**

(57) 요 약

본 발명은 출력 민감도 기반 공유 ESS 운영 시스템 및 방법에 관한 것으로, 상기 방법은 a) 다수의 발전 유닛들 중에서 미리 정해진 리더 유닛이 각 발전 유닛의 24시간에 대한 발전량을 예측하는 단계; b) 계통운영부가 상기 리더 유닛으로부터 예측된 발전량에 대한 정보를 수신하는 단계; c) 상기 계통운영부가 수신한 발전량에 대한 정

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도3



보를 이용하여 조류해석을 수행하고 이를 기반으로 출력 민감도를 산출하는 단계; d) 상기 리더 유닛이 상기 계통운영부로부터 상기 출력 민감도에 대한 출력 민감도 정보를 수신하고, 상기 출력 민감도 정보를 이용하여 할당 비율을 산출하는 단계; e) 상기 리더 유닛이 상기 정해진 시간마다 상기 계통 연계지점에서 요구되는 발전 차단량을 파악하여 발전 차단이 필요한지 여부를 판단하는 단계; 및 f) 상기 리더 유닛이 상기 할당 비율에 따라 상기 공유 ESS에 대한 상기 발전 유닛들의 충방전 전력량을 결정하는 단계를 포함한다. 이러한 본 발명은 충방전 스케줄링 및 출력 민감도 기반으로 개인 정산을 수행함과 동시에 발전 차단(Curtailment)을 최소화할 수 있고, 발전 사업자들의 이익을 최대화할 수 있는 효과가 있다.

(52) CPC특허분류
H02J 3/381 (2013.01)
H02J 2300/20 (2020.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711116062
과제번호	2019M3F2A1073401
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	에너지클라우드기술개발(과기정통부)(R&D)
연구과제명	에너지 클라우드 가상물리시스템 설계 및 최적 운영 기술 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	인하대학교
연구기간	2020.03.01 ~ 2020.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

a) 다수의 발전 유닛들 중에서 미리 정해진 리더 유닛이 각 발전 유닛의 24시간에 대한 발전량을 예측하는 단계;

b) 계통운영부가 상기 리더 유닛으로부터 예측된 발전량에 대한 정보를 수신하는 단계;

c) 상기 계통운영부가 수신한 발전량에 대한 정보를 이용하여 조류해석을 수행하고 이를 기반으로 상기 계통운영부와 상기 발전 유닛들이 연계되는 계통 연계지점에 흐르는 조류와 상기 발전 유닛이 위치한 모선에서 발전되는 발전량 사이의 민감도인 출력 민감도를 산출하는 단계;

d) 상기 리더 유닛이 상기 계통운영부로부터 상기 출력 민감도에 대한 출력 민감도 정보를 수신하고, 상기 출력 민감도 정보를 이용하여 상기 발전 유닛들에 대한 정해진 시간마다의 발전 차단량을 결정하기 위한 할당 비율을 산출하는 단계;

e) 상기 리더 유닛이 상기 정해진 시간마다 상기 계통 연계지점에서 요구되는 발전 차단량을 파악하여 발전 차단이 필요한지 여부를 판단하는 단계; 및

f) 상기 리더 유닛이 상기 할당 비율에 따라 상기 공유 ESS에 대한 상기 발전 유닛들의 충방전 전력량을 결정하는 단계;

를 포함하는 것을 특징으로 하는 출력 민감도 기반 공유 ESS 운영 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 e) 단계에서 발전 차단이 필요하다고 판단된 경우, 상기 e) 단계와 상기 f) 단계 사이에

상기 리더 유닛이 상기 할당 비율에 따라 각각의 발전 유닛들에 대해 발전 차단량을 적용하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 출력 민감도 기반 공유 ESS 운영 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

g) 상기 리더 유닛은 상기 발전 유닛들에 대한 발전 차단량 및 결정된 상기 공유 ESS에 대한 상기 발전 유닛들의 충방전 전력량을 기반으로 상기 공유 ESS의 운영 스케쥴링을 수행하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 출력 민감도 기반 공유 ESS 운영 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 g) 단계에서의 상기 스케쥴링에 의해 도출된 스케쥴을 기반으로 상기 a) 단계에서 발전량을 예측하는 것을 특징으로 하는 출력 민감도 기반 공유 ESS 운영 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 출력 민감도는 아래의 수학식 1로 정의되는 것을 특징으로 하는 출력 민감도 기반 공유 ESS 운영 방법.

[수학식 1]

$$s_i(t) = \frac{\partial P_{pcc}(t)}{\partial P_i(t)} = \frac{\partial P_{12}(t)}{\partial P_i(t)} = real\left\{ - V_1(t) Z_{12} e^{j\theta_2(t)} \left(\frac{\partial \left| V_2(t) \right|}{\partial P_i(t)} + j \left| V_2(t) \right| \frac{\partial \theta_2(t)}{\partial P_i(t)} \right) \right\}$$

여기서, $s_i(t)$는 t 시간의 i 모선 출력 민감도이고,

$P_{12}(t)$는 t 시간의 PCC(Point of Common Coupling, 공통연결점) 지점 모선에 흐르는 조류 값이며,

Z_{12}는 PCC 지점 선로 임피던스 값이고,

$P_i(t)$는 t시간의 i모선 태양광 출력 값이며,

$V_1(t)$, $V_2(t)$는 t시간의 PCC 지점 모선 전압 값이고,

Θ1(t)는 t시간의 PCC 지점 모선 위상 값이다.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 할당 비율은 아래의 수학식 2로 정의되는 것을 특징으로 하는 출력 민감도 기반 공유 ESS 운영 방법.

[수학식 2]

$$\mu_i(t) = \frac{\frac{P_{pv,i}(t)}{P_{pv,i}^{total}(t)} \times (1 + s_i(t))}{\sum_{i=1}^{N_{pv}} \frac{P_{cur,i}(t)}{P_{cur,i}^{total}(t)} \times (1 + s_i(t))}$$

여기서, $u_i(t)$는 t시간의 발전 유닛 i의 할당 비율(%)이고,

$P_{pv,i}(t)$는 t시간의 발전 유닛 i의 발전량(kW)이며,

$P_{pv}^{total}(t)$ 는 t시간의 지역 내 발전 유닛들의 총 발전량(kW)이고,

$P_{cur}^{total}(t)$는 t시간에 지역 내 요구되는 발전 차단(curtailment)량(kW)이며,

$P_{cur,i}(t)$ 는 t시간에 발전 유닛 i의 발전 차단 할당량이고,

$s_i(t)$는 t 시간의 i 모선 출력 민감도이고,

N_{pv} 는 지역 내 총 발전 유닛들의 수이다.

청구항 7

제1항에 있어서,

다수의 발전 유닛들 중에서 상기 출력 민감도가 높은 발전 유닛을 상기 리더 유닛으로 정하는 것을 특징으로 하는 출력 민감도 기반 공유 ESS 운영 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 출력 민감도 기반 공유 ESS 운영 시스템 및 방법에 관한 것이다. 더욱 상세하게는 태양광 발전원의 전력계통 연계차단(curtailment)을 최소화하고 태양광 발전 사업자들의 이익은 최대화할 수 있는 출력 민감도 기반 공유 ESS 운영 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 전 세계적으로 에너지전환, 신성장 동력 확보를 위해 태양광산업에 집중적으로 투자하고 있다.

[0003] 한국 수출입은행에서 조사한 2019년 1분기 태양광산업 보고서에 의하면 미국, 중국, 인도 및 일본 등 주요 태양광 수요 국가들의 전년대비 태양광 설비 비중이 크게 증가하고 있고, 스페인, 네덜란드 등의 태양광 신흥시장 수요가 큰 폭으로 증가하였다.

[0004] 국내 재생에너지 보급 정책 또한 세계적 흐름에 맞춰 재생에너지 발전량 비중을 2030년 기준 하에 20% 달성을 목표로 하고 있으며, 국내 태양광 시장 현황 또한 세계 태양광산업 시장의 흐름처럼 매해 지속적인 성장세를 유지하고 있음을 확인할 수 있다.

[0005] 그러나, 태양광 에너지는 일사량 및 온도에 의존하여 발전하는 특성으로 인해 예측하기 어려운 태양광 발전량의 불확실성과 변화폭이 큰 출력의 변동성을 지니고 있어 제어하는 것이 쉽지 않다.

[0006] 특히 태양광 발전량이 최대로 나오지만 에너지 수요가 적은 경우에는 태양광 설비를 배전망에서 분리하거나 제어를 통해 발전량을 줄여야 하며 이를 전력계통 연계차단(Curtailment, 이하 '발전 차단' 이라 함)이라 한다.

[0007] 최근 재생에너지 보급 정책에 의해 배전 계통에 연계되고 있는 태양광 설비보급이 증가하고 있으며, 이와 동시에 태양광 발전의 변동성으로 인하여 발생하는 문제를 해결하기 위한 발전 차단(Curtailment) 또한 증가하고 있다.

[0008] 신재생 발전량이 해당 발전원이 연계된 지역의 부하보다 적은 경우 발전 차단이 이루어지지 않는다면 지역 전체 순 부하가 감소하게 되어 역조류로 인한 피해 , 전기 품질(전압, 역률, 주파수)상 전력계통 및 계통 보호 장치 동작, 기기·선로에 피해를 입을 수 있기 때문에 신재생 발전을 계통에 연계하기 위해서는 계통 설비 운영에 효과적인 발전 차단 방법이 요구되고 있다.

[0009] 그러나, 발전 전력을 계통에 판매하여 이익을 얻는 신재생 발전 사업자들에게 계통 상황에 의해 이루어지게 되는 발전 차단은 이익 감소로 이어지기 때문에 발전 차단을 줄일 수 있는 방안과 적절한 보상체계 및 어떤 발전 사업자의 발전을 차단할 것인가를 정할 수 있는 공정한 규칙이 필요하다.

[0010] Mehdi Zeraati, Josep M. Guerrero 등은 모든 태양광 발전 사업자들의 용량비가 일치하도록 발전 차단량을 정하는 전략을 제안한 바 있으며, 이에 따르면 태양광 발전 사업자들은 지역 전체 발전 차단(Curtailment) 요구량 중 자신의 설치 용량에 비례하여 자신의 발전 차단량이 정해지게 된다.

[0011] 그러나, 위와 같은 방법은 계통 손실의 영향을 고려하지 않기 때문에 계통 연계지점에 흐르는 조류를 정확히 원하는 값으로 조절하기 어렵고, 개별적으로 에너지 저장 시스템를 설치하기엔 비용적으로 부담스럽다는 단점이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0012] (특허문헌 0001) 한국등록특허 제10-2028368호(2019.09.27.)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0013] 본 발명은 상기한 문제를 해소하기 위해 계통 연계지점에 흐르는 조류와 각 태양광 발전 사업자들이 위치한 모선 사이의 선로 손실 영향을 나타내는 출력 민감도 기반의 공유 ESS 운영 시스템 및 방법을 제공하는 것을 목적

으로 한다.

과제의 해결 수단

[0014] 상기한 목적을 달성하기 위해 본 발명은 출력 민감도 기반 공유 ESS 운영 방법을 제공하고, 상기 방법은 a) 다수의 발전 유닛들 중에서 미리 정해진 리더 유닛이 각 발전 유닛의 24시간에 대한 발전량을 예측하는 단계; b) 계통운영부가 상기 리더 유닛으로부터 예측된 발전량에 대한 정보를 수신하는 단계; c) 상기 계통운영부가 수신한 발전량에 대한 정보를 이용하여 조류해석을 수행하고 이를 기반으로 상기 계통운영부와 상기 발전 유닛들이 연계되는 계통 연계지점에 흐르는 조류와 상기 발전 유닛이 위치한 모선에서 발전되는 발전량 사이의 민감도인 출력 민감도를 산출하는 단계; d) 상기 리더 유닛이 상기 계통운영부로부터 상기 출력 민감도에 대한 출력 민감도 정보를 수신하고, 상기 출력 민감도 정보를 이용하여 상기 발전 유닛들에 대한 정해진 시간마다의 발전 차단량을 결정하기 위한 할당 비율을 산출하는 단계; e) 상기 리더 유닛이 상기 정해진 시간마다 상기 계통 연계지점에서 요구되는 발전 차단량을 파악하여 발전 차단이 필요한지 여부를 판단하는 단계; 및 f) 상기 리더 유닛이 상기 할당 비율에 따라 상기 공유 ESS에 대한 상기 발전 유닛들의 충방전 전력량을 결정하는 단계를 포함한다.

[0015] 이때, 상기 e) 단계에서 발전 차단이 필요하다고 판단된 경우, 상기 e) 단계와 상기 f) 단계 사이에 상기 리더 유닛이 상기 할당 비율에 따라 각각의 발전 유닛들에 대해 발전 차단량을 적용하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0016] 또한, 상기 방법은 g) 상기 리더 유닛은 상기 발전 유닛들에 대한 발전 차단량 및 결정된 상기 공유 ESS에 대한 상기 발전 유닛들의 충방전 전력량을 기반으로 상기 공유 ESS의 운영 스케쥴링을 수행하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0017] 또한, 상기 g) 단계에서의 상기 스케쥴링에 의해 도출된 스케쥴을 기반으로 상기 a) 단계에서 발전량을 예측할 수 있다.

[0018] 이때, 상기 출력 민감도는 아래의 수학식 1로 정의되는 것을 특징으로 한다.

[0019] [수학식 1]

[0020]
$$s_i(t) = \frac{\partial P_{pcc}(t)}{\partial P_i(t)} = \frac{\partial P_{12}(t)}{\partial P_i(t)} = real\left\{ - V_1(t) Z_{12} e^{j\theta_2(t)} \left(\frac{\partial |V_2(t)|}{\partial P_i(t)} + j |V_2(t)| \frac{\partial \theta_2(t)}{\partial P_i(t)} \right) \right\}$$

[0021] 여기서, $s_i(t)$는 t 시간의 i 모선 출력 민감도이고, $P_{12}(t)$는 t 시간의 PCC(Point of Common Coupling, 공통연결점) 지점 모선에 흐르는 조류 값이며, Z_{12}는 PCC 지점 선로 임피던스 값이고, $P_i(t)$는 t시간의 i모선 태양광 출력 값이며, $V_1(t)$, $V_2(t)$는 t시간의 PCC 지점 모선 전압 값이고, $\Theta 1(t)$는 t시간의 PCC 지점 모선 위상 값이다.

[0022] 또한, 상기 할당 비율은 아래의 수학식 2로 정의되는 것을 특징으로 한다.

[0023] [수학식 2]

[0024]
$$\mu_i(t) = \frac{\frac{P_{pv,i}(t)}{P_{pv,i}^{total}(t)} \times (1 + s_i(t))}{\sum_{i=1}^{N_{pv}} \frac{P_{cur,i}(t)}{P_{cur,i}^{total}(t)} \times (1 + s_i(t))}$$

[0025] 여기서, $u_i(t)$는 t시간의 발전 유닛 i의 할당 비율(%)이고, $P_{pv,i}(t)$는 t시간의 발전 유닛 i의 발전량(kW)이며, $P_{pv}^{total}(t)$는 t시간의 지역 내 발전 유닛들의 총 발전량(kW)이고, $P_{cur}^{total}(t)$는 t시간에 지역 내 요구되는 발전 차단(curtailment)량(kW)이며, $P_{cur,i}(t)$는 t시간에 발전 유닛 i의 발전 차단 할당량이고, $s_i(t)$는 t 시간의

i 모선 출력 민감도이고, N_{pv} 는 지역 내 총 발전 유닛들의 수이다.

[0026] 이때, 다수의 발전 유닛들 중에서 상기 출력 민감도가 높은 발전 유닛을 상기 리더 유닛으로 정하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0027] 본 발명은 태양광 발전 사업자들이 계통 연계지점에 하나의 ESS를 공유함으로써 개별적으로 ESS를 설치하여야 하는 부담을 제거함과 동시에 편익을 최대화할 수 있는 장점이 있다. 또한, 충방전 스케줄링 및 출력 민감도 기반으로 개인 정산을 수행함과 동시에 발전 차단(Curtailment)을 최소화할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0028] 도 1은 본 발명에 따른 출력 민감도 기반 공유 ESS 운영 시스템의 개념도이다.

도 2는 본 발명에 따른 출력 민감도 기반 공유 ESS 운영 시스템의 계통도이다.

도 3은 본 발명에 따른 출력 민감도 기반 공유 ESS 운영 방법을 설명하기 위한 순서도이다.

도 4 및 도 5는 각각 공유 ESS를 적용하기 전과 후의 시뮬레이션 결과에 대한 출력제한 그래프이다.

도 6은 공유 ESS 구축 및 발전 차단 여부에 따른 커뮤니티 이익의 시뮬레이션 결과를 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0029] 이하, 본 발명의 실시예를 첨부된 도면들을 참조하여 상세하게 설명한다. 우선 각 도면의 구성 요소들에 참조부호를 첨가함에 있어서, 동일한 구성 요소들에 대해서는 비록 다른 도면상에 표시되더라도 가능한 한 동일한 부호를 가지도록 하고 있음에 유의해야 한다. 또한, 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명은 생략한다. 또한, 이하에서 본 발명의 바람직한 실시예를 설명할 것이나, 본 발명의 기술적 사상은 이에 한정하거나 제한되지 않고 당업자에 의해 실시될 수 있음은 물론이다.

[0030] 도 1은 본 발명에 따른 출력 민감도 기반 공유 ESS 운영 시스템의 개념도이다.

[0031] 도 1에 도시된 바와 같이 본 발명에 따른 출력 민감도 기반 공유 ESS 운영 시스템(10)은 계통운영부(100), 다수의 발전 유닛(210a, 210b)들의 그룹인 커뮤니티(200), 공유 ESS(300)(Energy Storage System, 에너지 저장 시스템, 이하 'ESS'라 함)를 포함한다.

[0032] 계통운영부(100)는 한전 계통의 계통운영자가 운영하는 시스템으로 구현될 수 있다. 이러한 계통운영부(100)는 배전 계통망의 조류해석을 수행하여 출력 민감도를 산출하는 등의 기능을 수행한다.

[0033] 커뮤니티(200)는 다수의 발전 유닛(210a, 210b)들로 이루어지는데, 여기서 발전 유닛(210a, 210b)들은 태양광 발전 사업자가 운영하는 태양광 발전 장치일 수 있다.

[0034] 이러한 발전 유닛(210a, 210b)들은 다수의 발전 유닛(210a, 210b)들을 대표하는 하나의 리더 유닛(210a)과 다수의 발전 유닛(210b)으로 구분되며, 리더 유닛(210a)은 커뮤니티(200) 내의 발전 유닛(210a, 210b)들에 대한 발전 차단(curtailment)량을 산출되는 할당 비율에 따라 결정하여 공유 ESS(300)에 대한 각 발전 유닛(210a, 210b)들의 충방전량을 조율하는 역할을 한다.

[0035] 공유 ESS(300)는 커뮤니티(200) 내의 발전 유닛(210a, 210b)들이 생산한 전력을 공급받아 충전하고 스케쥴에 따라 전해진 때에 방전하여 한전계통으로 전력을 공급하는 역할을 한다.

[0036] 도 2는 본 발명에 따른 출력 민감도 기반 공유 ESS 운영 시스템의 계통도이다.

[0037] 예를 들어 본 발명의 출력 민감도 기반 공유 ESS 운영 시스템(10)은 IEEE 22번 버스를 사용하며 도 2에 도시된 바와 같이 PV(태양광 발전 유닛) 설치 노드가 구성된 계통으로 이루어질 수 있다.

[0038] 한편, 본 발명에 따른 출력 민감도 기반 공유 ESS 운영 방법은 발전 유닛(210a, 210b)을 운영하는 태양광 발전 사업자들이 계통에 추가적으로 연계되었을 때 편익을 보장받음과 동시에 연계되었을 때 발생하는 문제점을 자체적으로 해결할 수 있는 운영 방안을 제공한다.

[0039] 이러한 본 발명에 따른 방법은 저전압 배전계통에서 태양광 연계 시 출력 변동성으로 인한 안정도를 고려하여 변동성을 대처함으로써 개별이익을 얻을 수 있으며, ESS를 공유함으로써 공통의 이익을 추구할 수 있는 장점이

있다.

[0040] 도 3은 본 발명에 따른 출력 민감도 기반 공유 ESS 운영 방법을 설명하기 위한 순서도이다.

[0041] 이하, 도 3을 참고하여 본 발명에 따른 출력 민감도 기반 공유 ESS 운영 방법을 설명한다.

[0042] 먼저, 다수의 발전 유닛들(210a, 210b) 중에서 선정된 리더 유닛(210a)이 각 발전 유닛(210a, 210b)의 24시간에 대한 발전량을 예측한다(S110).

[0043] 이때, 리더 유닛(210a)은 다수의 발전 유닛(210a, 210b)들 중에서 출력 민감도가 높은 발전 유닛으로 정하며 이러한 리더 유닛(210a)의 선정은 계통운영부(100)가 각 발전 유닛(210a, 210b)의 출력 민감도를 산출한 후 이를 종합하여 수행한다.

[0044] 이후, 계통운영부(100)는 리더 유닛(210a)으로부터 조류해석을 위한 정보로써 예측된 발전량에 대한 정보를 수신한다(S120).

[0045] 이어서, 계통운영부(100)는 수신한 발전량에 대한 정보를 이용하여 조류해석을 수행하고, 이를 기반으로 계통운영부(100)와 발전 유닛들(210a, 210b)이 연계되는 계통 연계지점에 흐르는 조류와 발전 유닛(210a, 210b)이 위치한 모선에서 발전되는 발전량 사이의 민감도인 출력 민감도를 산출한다(S130).

[0046] 이때, 출력 민감도가 높다는 것은 발전 유닛(210a, 210b)이 위치한 모선과 계통 연계지점 사이의 손실이 적어 발전 유닛(210a, 210b)의 발전량이 계통 연계지점 조류에 미치는 영향이 높다는 것으로 출력 민감도가 높을수록 계통 연계지점에서 바라본 등가 임피던스가 작다는 것을 의미한다.

[0047] 여기서, t시간의 출력 민감도는 아래의 [수학식 1]과 같이 정의된다.

수학식 1

[0049]
$$s_i(t) = \frac{\partial P_{pcc}(t)}{\partial P_i(t)} = \frac{\partial P_{12}(t)}{\partial P_i(t)} = real\left\{ - V_1(t) Z_{12} e^{j\theta_2(t)} \left(\frac{\partial |V_2(t)|}{\partial P_i(t)} + j |V_2(t)| \frac{\partial \theta_2(t)}{\partial P_i(t)} \right) \right\}$$

[0050] 여기서, $s_i(t)$는 t 시간의 i 모선 출력 민감도이고, $P_{12}(t)$는 t 시간의 PCC(Point of Common Coupling, 공통연결점) 지점 모선에 흐르는 조류 값이며, Z_{12}는 PCC 지점 선로 임피던스 값이고, $P_i(t)$는 t시간의 i모선 태양광 출력 값이며, $V_1(t)$, $V_2(t)$는 t시간의 PCC 지점 모선 전압 값이고, $\Theta 1(t)$는 t시간의 PCC 지점 모선 위상 값이다.

[0052] 이어서, 리더 유닛(210a)은 계통운영부(100)로부터 출력 민감도에 대한 출력 민감도 정보를 수신하고, 수신한 출력 민감도 정보를 이용하여 발전 유닛(210a, 210b)들에 대한 정해진 시간(t)마다의 발전 차단량을 결정하기 위한 할당 비율을 산출한다(S140).

[0053] 여기서, 할당 비율은 발전 유닛(210a, 210b)들에 대한 발전 차단(curtailment) 및 공유 ESS(300)에 대한 충방전량을 결정하는데 이용되며, 아래의 [수학식 2]와 같이 정의된다.

수학식 2

$$\mu_i(t) = \frac{\frac{P_{pv,i}(t)}{P_{pv,i}^{total}(t)} \times (1 + s_i(t))}{\sum_{i=1}^{N_{pv}} \frac{P_{cur,i}(t)}{P_{cur,i}^{total}(t)} \times (1 + s_i(t))}$$

[0055]

[0056] 여기서, $u_i(t)$는 t시간의 발전 유닛 i의 할당 비율(%)이고, $P_{pv,i}(t)$는 t시간의 발전 유닛 i의 발전량(kW)이며, $P_{pv}^{total}(t)$는 t시간의 지역 내 발전 유닛들의 총 발전량(kW)이고, $P_{cur}^{total}(t)$는 t시간에 지역 내 요구되는 발전 차단(curtailment)량(kW)이며, $P_{cur,i}(t)$는 t시간에 발전 유닛 i의 발전 차단 할당량이고, $s_i(t)$는 t 시간의 i 모선 출력 민감도이고, N_{pv}는 지역 내 총 발전 유닛들의 수이다.

[0058] 이와 같이 할당 비율이 산출된 후 리더 유닛(210a)은 공유 ESS(300)의 운영 스케쥴을 최적화하고(S150), 정해진 시간(t)마다 계통 연계지점에서 요구되는 발전 차단량을 파악하여 발전 차단(curtailment)이 필요한지 여부를 판단한다(S160).

[0059] 이때, S160 단계에서 발전 차단이 필요하다고 판단된 경우, 리더 유닛(210a)은 상기 할당 비율에 따라 각각의 발전 유닛(210a, 210b)에 대해 발전 차단량을 적용하고(S170), 발전 차단이 필요없다고 판단되면 S160 단계에 이어서 할당 비율에 따라 공유 ESS(300)에 대한 발전 유닛(210a, 210b)들의 충방전 전력량을 결정한다(S180).

[0060] 이와 같은 작업을 수행한 후 리더 유닛(210a)은 발전 유닛(210a, 210b)들의 발전 차단량 및 공유 ESS(300)에 대한 충방전 전력량을 토대로 하여 익일 또는 미래의 지정된 기간동안에 대한 공유 ESS(300)의 운영 스케쥴링을 수행하고(S190), 계통운영부(100)는 리더 유닛(210a)으로부터 공유 ESS(300)의 운영 스케쥴을 수신하여 체크한다(S200).

[0061] 이때, 리더 유닛(210a)은 S190 단계에서 도출된 스케쥴을 기반으로 상기 S110 단계에서 발전량을 예측할 수 있다.

[0062] 마지막으로, 리더 유닛(210a)은 계통한계가격(SMP, System Marginal Price)에 기초하여 커뮤니티(200)와 각 발전 유닛(210a, 210b)에 대한 손실을 산출한다(S210).

[0064] 도 4 및 도 5는 각각 공유 ESS를 적용하기 전과 후의 시뮬레이션 결과에 대한 출력제한 그래프이다.

[0065] 구체적으로 도 4는 출력제한이 250kW일 때 공유 ESS(300)를 탑재하지 않은 경우이며, 그래프에서 볼 수 있듯이 출력제한을 상회하여 역조류 현상이 심화되고 있음을 알 수 있다.

[0066] 반면, 도 5에서와 같이 공유 ESS(300)를 적용한 후의 시뮬레이션 결과를 보면 13시 내지 15시에서의 역조류 현상이 크게 개선된 것을 확인할 수 있다.

[0067] 도 4 및 도 5를 참고하면 본원 발명에서와 같이 커뮤니티(200) 내에서 공유 ESS(300)를 활용할 경우, 계통의 역조류 현상을 개선하여 안정성을 증진시킬 수 있는 효과가 나타남을 확인할 수 있다.

[0068] 도 6은 공유 ESS 구축 및 발전 차단 여부에 따른 커뮤니티 이익의 시뮬레이션 결과를 나타낸 그래프이다.

[0069] 도 6에서 Case A-1은 PCC지점에서 발전 차단(curtailment)이 발생하지 않으며 공유 ESS(300)가 없는 경우이며, Case A-2는 공유 ESS(300)를 구축하여 충발전을 고려한 경우이다.

[0070] 또한, Case B-1은 공유 ESS(300)가 없을 때 발전 차단이 요구되는 상황이며, Case B-2는 공유 ESS(300)로 인해

발전 차단이 요구되지 않는 상황이다.

[0071] 도 6에 도시된 각 케이스에 대해 공통적으로 확인할 수 있는 것은 공유 ESS(300)를 구축함에 따라 커뮤니티의 이익이 증가한다는 것이다.

[0072] 상술한 바와 같이 본 발명은 태양광 발전 사업자들이 계통 연계지점에 하나의 ESS를 공유함으로써 개별적으로 ESS를 설치하여야 하는 부담을 제거함과 동시에 편익을 최대화할 수 있고, 충방전 스케줄링 및 출력 민감도 기반으로 개인 정산을 수행함과 동시에 발전 차단(Curtailment)을 최소화할 수 있어 매우 유용한 것이다.

[0073] 이상의 설명은 본 발명의 기술 사상을 예시적으로 설명한 것에 불과한 것으로서, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위 내에서 다양한 수정, 변경 및 치환이 가능할 것이다. 따라서 본 발명에 개시된 실시예 및 첨부된 도면들은 본 발명의 기술 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시예 및 첨부된 도면에 의하여 본 발명의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아니다. 본 발명의 보호범위는 청구 범위에 의해서 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술 사상은 본 발명의 권리 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

[0074] 10: 출력 민감도 기반 공유 ESS 운영 시스템

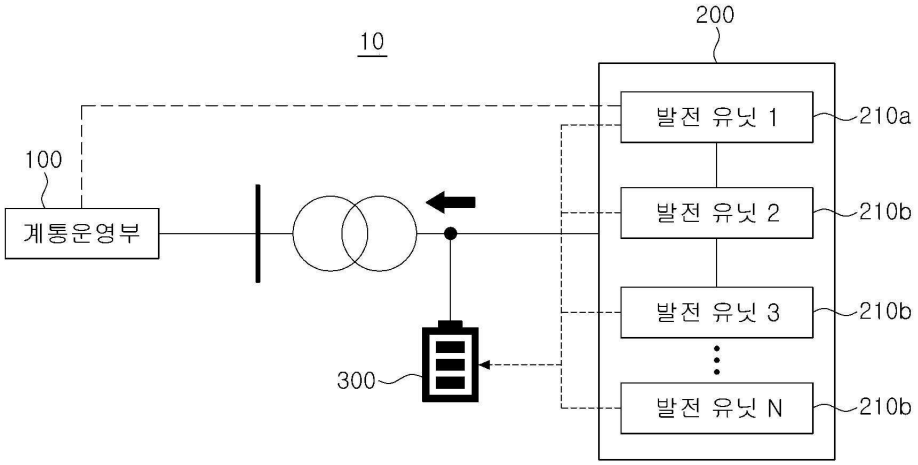
100: 계통운영부 200: 커뮤니티

210a: 리더 유닛 210b: 발전 유닛

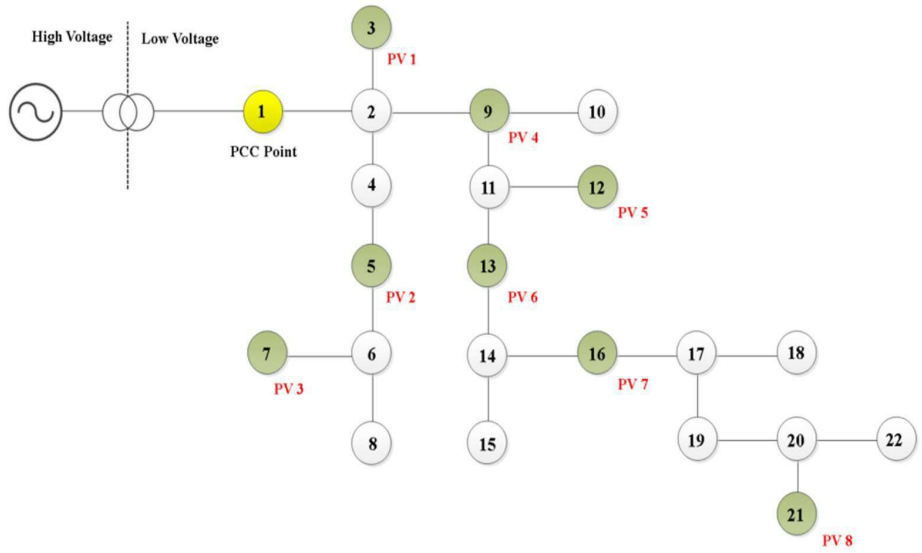
300: 공유 ESS

도면

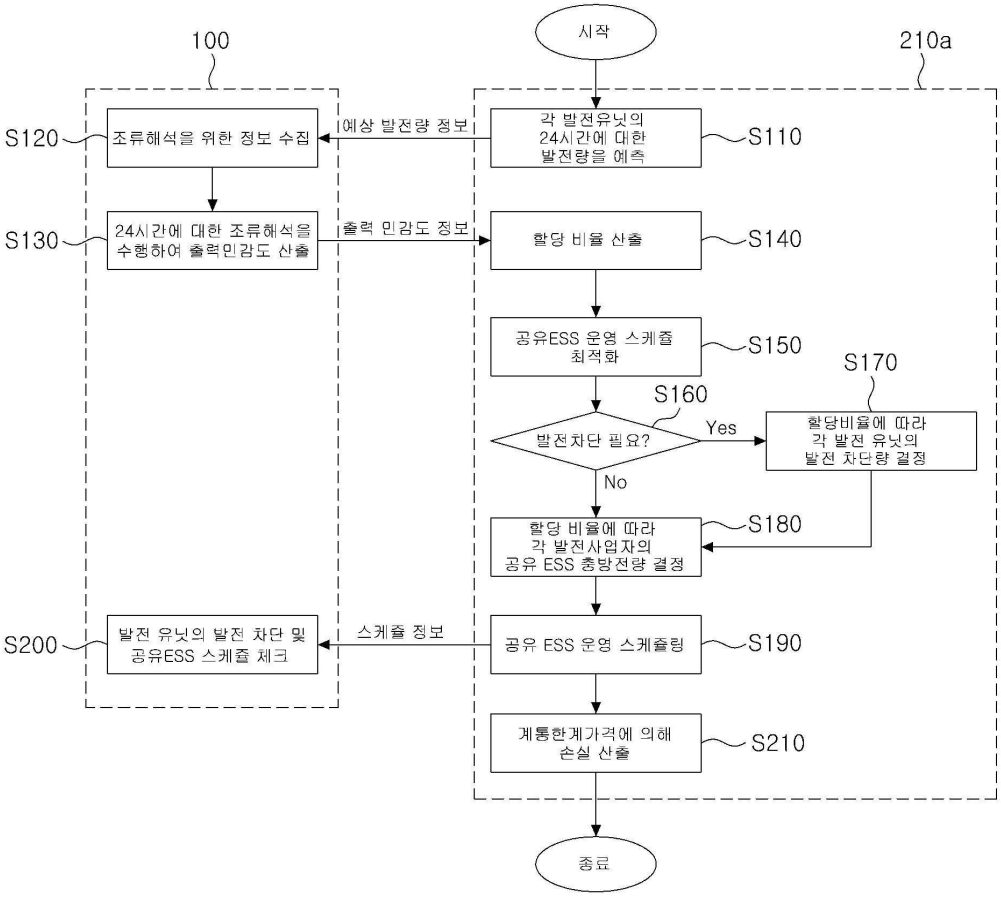
도면1



도면2


High Voltage
Low Voltage
PCC Point
PV 1
PV 2
PV 3
PV 4
PV 5
PV 6
PV 7
PV 8
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22

도면3


100
210a
시작
S120
조류해석을 위한 정보 수집
예상 발전량 정보
각 발전유닛의 24시간에 대한 발전량을 예측
S110
S130
24시간에 대한 조류해석을 수행하여 출력민감도 산출
출력 민감도 정보
할당 비율 산출
S140
공유ESS 운영 스케줄 최적화
S150
S160
발전차단 필요?
Yes
No
S170
할당비율에 따라 각 발전 유닛의 발전 차단량 결정
할당 비율에 따라 각 발전사업자의 공유 ESS 충방전량 결정
S180
S200
발전 유닛의 발전 차단 및 공유ESS 스케줄 체크
스케줄 정보
공유 ESS 운영 스케줄링
S190
계통한계가격에 의해 손실 산출
S210
종료

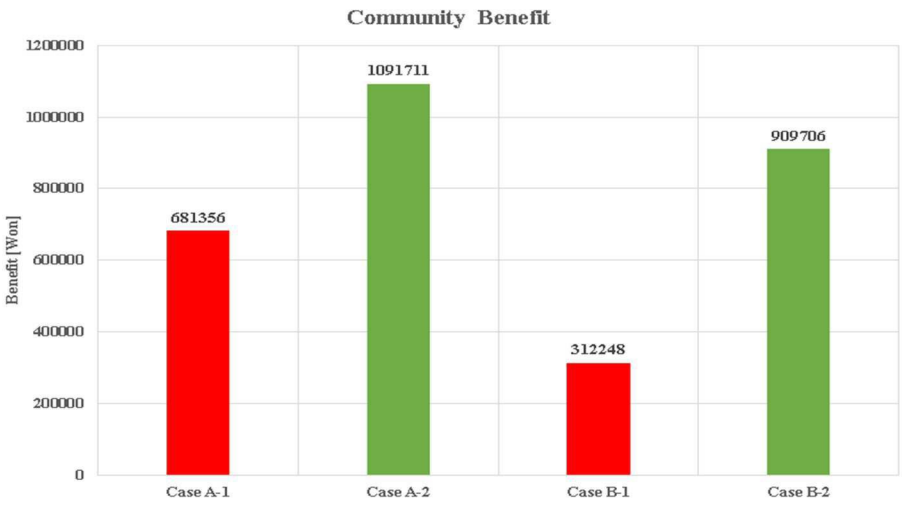
도면4


공유 ESS 적용 전
400
300
200
100
0
-100
-200
-300
-400
-500
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24

도면5


공유 ESS 적용 후
400
300
200
100
0
-100
-200
-300
-400
-500
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24

도면6


Community Benefit
Benefit [Won]
1200000
1000000
800000
600000
400000
200000
0
681356
1091711
312248
909706
Case A-1
Case A-2
Case B-1
Case B-2