(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0100699
(43) 공개일자 2021년08월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02J 3/48 (2006.01) *G06Q 30/06* (2012.01)
G06Q 50/06 (2012.01) *H02J 3/00* (2006.01)
H02J 7/35 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H02J 3/48 (2013.01)
G06Q 30/06 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-7021574
(22) 출원일자(국제) 2019년12월12일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2021년07월09일
(86) 국제출원번호 PCT/US2019/065970
(87) 국제공개번호 WO 2020/123799
국제공개일자 2020년06월18일
(30) 우선권주장
201841047089 2018년12월12일 인도(IN)

(71) 출원인
제네럴 일렉트릭 컴퍼니
미국, 뉴욕 12345, 쉔넥태디, 원 리버 로드
(72) 발명자
버라 라즈니
미국 85259 애리조나주 스코츠데일 엔 110 플레이스 11610
사기 디팍 라즈
인도 560066 벵갈루루 이피아이피 122 (파스 투) 화이트필드 로드 웰치 테크놀로지 센터 존 에프.
티워리 아빈드 쿠마
미국 12309 뉴욕주 니스카유나 1365 반 앤트워프 빌리지 제이99
(74) 대리인
김태홍, 김진희

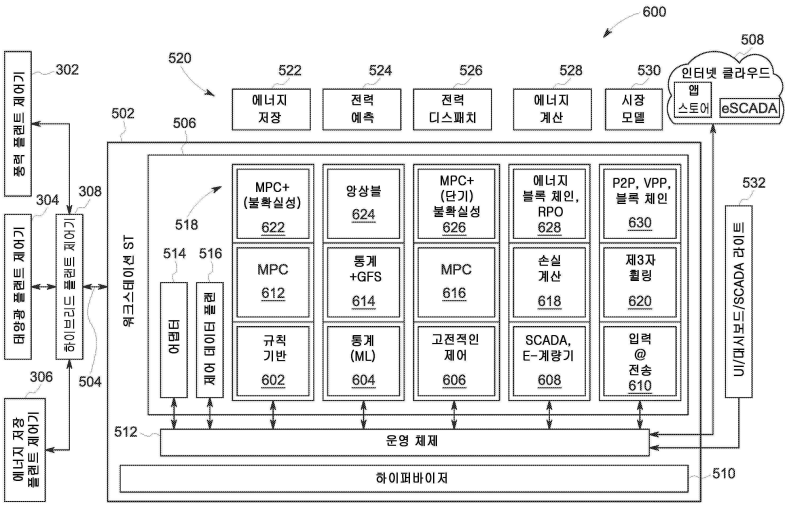
전체 청구항 수 : 총 24 항

(54) 발명의 명칭 **하이브리드 발전소**

(57) 요 약

하이브리드 발전소는 복수의 전력 소스 및 제어기, 하이브리드 플랜트 제어기 및 컴퓨팅 시스템을 포함한다. 제어기는 동작 설정 포인트에 따라 전력 소스를 동작시킨다. 하이브리드 플랜트 제어기는 동작 설정 포인트를 제어기로 전송한다. 컴퓨팅 시스템은 하이브리드 플랜트 제어기에 결합되고 제1 가입자로부터 입력 파라미터의 제1 세트를 수신하고, 제1 가입자에 대한 동작 파라미터를 결정하기 위해 제1 가입자가 가입하는 제1 레벨의 서비스를 수행한다. 컴퓨팅 시스템은 제2 가입자로부터 입력 파라미터의 제2 세트를 수신하고 제2 가입자에 대한 동작 파라미터를 결정하기 위해 제2 가입자가 가입하는 제2 레벨의 서비스를 수행한다. 그런 다음 컴퓨팅 시스템은 제1 가입자 및 제2 가입자에 대한 종합 동작 파라미터에 기초하여 동작 설정 포인트를 산출한다.

대 표 도



(52) CPC특허분류
G06Q 50/06 (2013.01)
H02J 3/003 (2020.01)
H02J 3/004 (2020.01)
H02J 7/35 (2013.01)
H02J 2300/24 (2020.01)
H02J 2300/28 (2020.01)
H02J 2300/40 (2020.01)
Y02E 10/56 (2020.08)
Y04S 10/50 (2020.08)

명 세 서

청구범위

청구항 1

하이브리드 발전소에 있어서

복수의 전력 소스;

대응하는 동작 설정 포인트에 따라, 상기 복수의 전력 소스에 대응하고 상기 복수의 전력 소스를 동작시키도록 구성된 복수의 제어기;

상기 복수의 제어기에 결합되고 상기 대응하는 동작 설정 포인트를 상기 복수의 제어기로 전송하도록 구성된 하이브리드 플랜트 제어기; 및

상기 하이브리드 플랜트 제어기에 결합되는 컴퓨팅 시스템을 포함하고,

상기 컴퓨팅 시스템은

상기 하이브리드 발전소의 제1 가입자로부터 입력 파라미터의 제1 세트를 수신하고;

상기 제1 가입자에 대한 동작 파라미터를 결정하기 위해, 상기 입력 파라미터의 제1 세트에 기초하여 상기 제1 가입자가 가입하는 제1 레벨의 서비스를 수행하고;

상기 하이브리드 발전소의 제2 가입자로부터 입력 파라미터의 제2 세트를 수신하고;

상기 제2 가입자에 대한 동작 파라미터를 결정하기 위해, 상기 입력 파라미터의 제2 세트에 기초하여 상기 제2 가입자가 가입하는 제2 레벨의 서비스를 수행하고;

상기 제1 가입자 및 상기 제2 가입자에 대한 종합 동작 파라미터에 기초하여 상기 대응하는 동작 설정 포인트를 산출하도록 구성되는,

하이브리드 발전소.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 복수의 전력 소스는 풍력 발전소, 광발전의 발전소 또는 에너지 저장 디바이스 중 둘 이상을 포함하는,

하이브리드 발전소.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 제1 레벨의 서비스는 에너지 저장, 전력 예측, 전력 디스패치, 에너지 계산, 또는 시장 모델링 중 적어도 하나에 대한 상기 동작 파라미터를 결정하기 위한 기본 처리를 포함하는,

하이브리드 발전소.

청구항 4

제3항에 있어서,

에너지 저장을 위한 상기 제1 레벨의 서비스는 상기 복수의 전력 소스의 적어도 하나의 에너지 저장 디바이스의 충전 상태를 제어하기 위해 미리 정의된 드룹 곡선(droop curve)에 기초하여 배터리 커맨드를 결정하는 규칙 기반 처리를 포함하는,

하이브리드 발전소.

청구항 5

제3항에 있어서,

전력 예측을 위한 상기 제1 레벨의 서비스는 단기 또는 중기 전력 생성 예측을 생성하기 위해 상기 복수의 전력 소스에 의해 생성된 전력에 대한 과거 데이터의 통계적 처리를 포함하는,

하이브리드 발전소.

청구항 6

제3항에 있어서,

전력 디스패치를 위한 상기 제1 레벨의 서비스는 상기 복수의 전력 소스의 에너지 저장 디바이스 및 재생 가능 전력 소스에 대한 동작 파라미터를 결정하기 위한 PID(proportional-integral-derivative) 제어 루프를 실행하는 것을 포함하는,

하이브리드 발전소.

청구항 7

제3항에 있어서,

에너지 계산을 위한 상기 제1 레벨의 서비스는 적어도 하나의 SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition) 시스템 또는 전기 계량기 시스템으로부터 에너지 소비 데이터를 수집하는 것을 포함하는,

하이브리드 발전소.

청구항 8

제3항에 있어서,

시장 모델링을 위한 상기 제1 레벨의 서비스는 전기 그리드 상호 연결에 대한 에너지 생산 및 공급을 제어하는 것을 포함하는,

하이브리드 발전소.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 제2 레벨의 서비스는 에너지 저장, 전력 예측, 전력 디스패치, 에너지 계산 또는 시장 모델링 중 적어도 하나에 대한 상기 동작 파라미터를 결정하기 위한 어드밴스드 처리를 포함하는,

하이브리드 발전소.

청구항 10

제9항에 있어서,

에너지 저장을 위한 상기 제2 레벨의 서비스는 상기 제2 가입자의 성능 요구 사항을 최적화하고 상기 적어도 하나의 에너지 저장 디바이스의 서비스 수명을 연장하기 위해, 상기 복수의 전력 소스의 적어도 하나의 에너지 저장 디바이스의 충전 상태를 제어하기 위한 배터리 커맨드를 결정하기 위한 입력 파라미터의 처리를 포함하는,

하이브리드 발전소.

청구항 11

제9항에 있어서,

전력 예측을 위한 상기 제2 레벨의 서비스는

글로벌 예측 시스템(global forecasting system ; GFS) 데이터를 수신하는 것; 및

단기간 최대 하루 전의 전력 생성 예측을 생성하기 위해, 상기 복수의 전력 소스에 의해 생성된 전력에 대한 과거 데이터 및 상기 GFS 데이터의 통계적 처리를 포함하는,

하이브리드 발전소.

청구항 12

제9항에 있어서,

전력 디스패치를 위한 상기 제2 레벨의 서비스는

날씨 데이터를 포함한 글로벌 예측 시스템(global forecasting system ; GFS) 데이터를 수신하는 것;

상기 복수의 전력 소스에 의한 전력 생성을 추정하기 위해 물리학 기반 모델을 실행하는 것;

상기 제2 가입자에 대한 단기 전력 수요를 예측하기 위해 예측 모델을 실행하는 것; 및

상기 예측된 단기 전력 수요에 기초하여 상기 복수의 전력 소스의 에너지 저장 디바이스 및 재생 가능 전력 소스에 대한 동작 파라미터를 결정하는 것을 포함하는,

하이브리드 발전소.

청구항 13

제9항에 있어서,

에너지 계산을 위한 상기 제2 레벨의 서비스는 상기 복수의 전력 소스 중 적어도 둘 사이에서 손실 데이터, DC 계량 데이터 및 전력 분할 데이터를 수집하는 것을 포함하는,

하이브리드 발전소.

청구항 14

제9항에 있어서,

시장 모델링을 위한 상기 제2 레벨의 서비스는 상기 복수의 전력 소스에 대한 생성 스케줄을 생성하고 상기 제2 가입자에 대한 소비 스케줄을 생성하는 것을 포함하는,

하이브리드 발전소.

청구항 15

제1항에 있어서,

상기 컴퓨팅 시스템은

상기 하이브리드 발전소의 제3 가입자로부터 제3 세트의 입력 파라미터를 수신하고;

상기 제3 가입자에 대한 동작 파라미터를 결정하기 위해 상기 제3 세트의 입력 파라미터에 기초하여 상기 제3 가입자가 가입하는 제3 레벨의 서비스를 수행하고;

상기 제1 가입자, 상기 제2 가입자 및 상기 제3 가입자에 대한 총 동작 파라미터에 기초하여 상기 대응하는 동작 설정 포인트 산출하도록 더 구성되는,

하이브리드 발전소.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 제3 레벨의 서비스는 에너지 저장, 전력 예측, 전력 디스패치, 에너지 계산, 또는 시장 모델링 중 적어도 하나에 대한 상기 동작 파라미터를 결정하기 위한 추가적인 어드밴스드 처리를 포함하는,

하이브리드 발전소.

청구항 17

제16항에 있어서,

에너지 저장을 위한 상기 제3 레벨의 서비스는 불확실성을 결정하고 상기 복수의 전력 소스의 적어도 하나의 에너지 저장 디바이스에 대한 과도한 사이클링을 방지하기 위한 전력 생성 예측의 처리를 포함하는,

하이브리드 발전소.

청구항 18

제16항에 있어서,

전력 예측을 위한 상기 제3 레벨의 서비스는

글로벌 예측 시스템(global forecasting system ; GFS) 데이터를 수신하는 것;

단기간 최대 하루 전의 전력 생성 예측을 생성하기 위해, 상기 복수의 전력 소스에 의해 생성된 전력에 대한 과거 데이터 및 상기 GFS 데이터의 통계적 처리; 및

상기 전력 생성 예측과 제3자 전력 생성 예측을 결합하는 것을 포함하는,

하이브리드 발전소.

청구항 19

제16항에 있어서,

전력 디스패치를 위한 상기 제3 레벨의 서비스는

날씨 데이터를 포함한 글로벌 예측 시스템(GFS) 데이터를 수신하는 것;

상기 복수의 전력 소스에 의한 전력 생성을 추정하기 위해 물리학 기반 모델을 실행하는 것;

상기 제2 가입자에 대한 단기 전력 수요를 예측하기 위해 예측 모델을 실행하는 것;

불확실성을 결정하기 위해 예측된 단기 전력 수요를 처리하는 것; 및

상기 예측된 단기 전력 수요 및 상기 불확실성에 기초하여 상기 복수의 전력 소스의 에너지 저장 디바이스 및 재생 가능 전력 소스에 대한 동작 파라미터를 결정하는 것을 포함하는,

하이브리드 발전소.

청구항 20

제16항에 있어서,

에너지 계산을 위한 상기 제3 레벨의 서비스는

재생 가능 구매 의무(renewable purchase obligation ; RPO) 계산을 활성화하는 것; 및

태깅 및 블록 체인 기술을 사용하여 에너지 거래를 추적하는 것을 포함하는,

하이브리드 발전소.

청구항 21

제16항에 있어서,

시장 모델링을 위한 상기 제3 레벨의 서비스는

피어투피어(peer-to-peer) 에너지 트레이딩을 가능하게 하는 것;

분배 네트워크 내에서 전력 판매를 가능하게 하는 것;

마이크로 그리드(microgrid) 내에서 에너지 트레이딩을 가능하게 하는 것; 및

가상 발전소를 정의하기 위해 상기 복수의 전력 소스 중 둘 이상의 에너지 종합을 가능하게 하는 것을 포함하는,

하이브리드 발전소.

청구항 22

제1항에 있어서,

상기 컴퓨팅 시스템은 부하 추종 방안에 따라 상기 대응하는 동작 설정 포인트를 산출하도록 더 구성되는,

하이브리드 발전소.

청구항 23

하이브리드 발전소에 의한 전력 생성을 제어하는 방법으로서,

실시간 및 과거 전력 생성 및 전력 수요 데이터에 기초하고, 전력 생성 예측 및 전력 수요 예측에 기초하여 적어도 하나의 에너지 저장 디바이스에 대한 에너지 저장 설정 포인트를 디스패치하는 단계;

상기 하이브리드 발전소에 대한 복수의 가입자에 대해, 상기 전력 생성 예측, 상기 전력 수요 예측 및 상기 적어도 하나의 에너지 저장 디바이스에 대한 실제 충전 고정자에 기초하여 동작 설정 포인트를 산출하는 단계; 및

상기 동작 설정 포인트를 상기 하이브리드 발전소의 복수의 전력 소스에 대한 복수의 제어기로 전송하는 단계를 포함하는,

방법.

청구항 24

제23항에 있어서,

에너지 저장 설정 포인트를 디스패치하는 단계는 상기 전력 생성 예측 및 상기 전력 수요 예측에서 불확실성을 결정하는 단계를 더 포함하는,

방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 우선권 주장 및 상호 참조

[0002] 이 출원은 2018년 12월 12일에 "상시 재생 가능 에너지 기반 발전소"라는 제목으로 제출된 인도 가출원 201841047089에 대해 우선권을 주장하며, 전체 내용은 본원에 참조로 포함된다.

[0003] 기술 분야

[0004] 본 명세서의 실시 예들은 일반적으로 재생 가능 에너지 기반 하이브리드 발전소에 관한 것이고, 특히 재생 가능 에너지 기반 하이브리드 발전소를 위한 제어 시스템에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0005] 화석 연료 발전소와 같은 기존 발전소는 일반적으로 알려진 에너지 생산 능력과 수요 예측에 의존하여 발전소 또는 다중 발전소의 에너지 생산을 제어한다. 풍력 터빈 또는 광발전 어레이와 같은 재생 가능 발전소는 일반적으로, 예를 들어, 풍력 및 햇빛과 같은 에너지 소스에 내재하는 불확실성으로 인해 관리하기가 더 어렵다. 다양한 유형의 수많은 전력 소스가 고유하고 끊임없이 변화하는 니즈(needs)를 갖는 다양한 소비자 또는 가입자에게 서비스를 제공하는 하이브리드 발전소에 결합되면 하이브리드 발전소 내의 전력 생성 및 저장 관리가 더욱 어려워진다.

도면의 간단한 설명

[0006] 본 명세서의 이들 및 다른 특징, 양태 및 이점은 도면 전체에 걸쳐 유사한 문자가 유사한 부분을 나타내는 첨부 도면을 참조하여 다음의 상세한 설명을 읽을 때 더 잘 이해될 것이다.

도 1은 본 명세서의 일 실시 예에 따른 재생 가능 에너지 기반 하이브리드 발전소의 블록도 표현이다.

도 2a-2h는 본 명세서의 일 실시 예에 따른 도 1의 하이브리드 발전소에서 전력 소스의 예시적인 구성의 블록도 표현을 도시한다.

도 3은 본 명세서의 일 실시 예에 따른 하이브리드 발전소를 위한 제어 시스템의 블록도 표현이다.

도 4는 본 명세서의 일 실시 예에 따른 다중 플랜트 제어 시스템의 블록도 표현이다.

도 5는 본 명세서의 일 실시 예에 따른, 하이브리드 발전소를 위한 제어 시스템의 블록도 표현이다.

도 6은 본 명세서의 일 실시 예에 따른, 하이브리드 발전소를 위한 예시적인 제어 시스템의 블록도 표현이다.

도 7은 정규화된 평균 부하 수요 추세를 나타내는 그래픽 표현이다.

도 8은 본 명세서의 양태들에 따른, 부하 추종 방식으로 전력이 어떻게 생성될 수 있는지를 나타내는 그래픽 표현이다.

도 9는 본 명세서의 일 실시 예에 따른 하이브리드 발전소에서 부하 추종 전력 생성을 용이하게 하기 위한 시스템이다.

도 10은 본 명세서의 일 실시 예에 따른 하이브리드 발전소에 대한 부하 추종 전략을 예시하는 그래픽 표현이다.

도 11은 본 명세서의 일 실시 예에 따른 부하 추종 방식으로 전력을 생성하는 방법의 흐름도이다.

도 12는 본 명세서의 일 실시 예에 따른 도 11의 하루 전 스케줄러 스테이지의 방법 단계를 보여주는 흐름도이다.

도 13은 본 명세서의 일 실시 예에 따른 도 11의 하루 중 MPC 기반 접근_스테이지의 방법 단계를 보여주는 흐름도이다.

도 14는 본 명세서의 일 실시 예에 따른, 하루 동안 그리고 다양한 단기 예측 윈도우 동안 부하 수요를 보여주는 그래픽 표현이다.

도 15는 전력 생산의 MPC 기반 단기 예측값에 대한 불확실성을 보여주는 그래픽 표현이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0007] 이들 실시 예의 간결한 설명을 제공하기위한 노력으로, 실제 구현의 모든 특징이 명세서에서 설명되지 않을 수 있다. 임의의 엔지니어링 또는 설계 프로젝트에서와 같이 임의의 그러한 실제 구현을 개발할 때 시스템 관련 및 비즈니스 관련 제약 조건을 준수하는 것과 같은 개발자의 특정 목표를 달성하기 위해 수많은 구현 특정 결정을 내릴 수 있다.

[0008] 본 명세서의 다양한 실시 예의 구성 요소를 설명할 때, 관사 "a", "an" 및 "the"는 하나 이상의 구성 요소가 있음을 의미하는 것으로 의도된다. 용어 "포함하는(comprising, including)" 및 "갖는"은 포괄적인 것으로 의도되고 나열된 요소 이외의 추가 요소가 있을 수 있음을 의미한다.

[0009] 본 명세서에서 사용되는 용어 "할 수 있다" 및 "일 수 있다"는 일련의 상황 내에서 발생할 수 있는 가능성을 나타내며; 특정 재산, 특성 또는 기능의 소유 및/또는 한정된 동사와 관련된 능력, 역량 또는 가능성 중 하나 이상을 표현하여 다른 동사를 한정한다. 따라서, "할 수 있다" 및 "일 수 있다"의 사용은 수정된 용어가 지정된 용량, 기능 또는 사용에 대해 명백히 적절하거나, 가능하거나 또는 적합함을 나타내며, 일부 상황에서는 수정된 용어가 때때로 적절하거나, 가능하거나 또는 적합하지 않을 수 있음을 고려한다.

[0010] 도 1은 본 명세서의 일 실시 예에 따른 재생 가능 에너지 기반 하이브리드 발전소(100)의 블록도 표현이다. 일부 실시 예에서, 재생 가능 에너지 기반 하이브리드 발전소(100)는 하나 이상의 전력 소스를 포함할 수 있다. 전력 소스는 하나 이상의 풍력 터빈(102), 하나 이상의 광발전(photovoltaic ; PV) 모듈(104), 에너지 저장 디바이스 세트(106) 및 기타 유형의 전력 생성 소스(예 : 수력 터빈, 석탄 기반 발전소, 가스 터빈 또는 이들의 조합-미도시)를 포함할 수 있다.

[0011] 일부 실시 예에서, 풍력 터빈(102)은 하나 이상의 클러스터에 설치될 수 있다. 풍력 터빈(102)의 이러한 클러스터는 개별적으로 또는 집합적으로 풍력 발전 단지로 지칭될 수 있다. 풍력 터빈(102)은 풍력 에너지에 기초하여 전기를 생성할 수 있다.

[0012] 또한, 특정 경우에, 다중 PV 모듈(104)이 태양광 발전 지역에 배열될 수 있다. PV 모듈(104)은 하루 중 시간, 일사량, 기상 조건 등에 따라 전기를 생성하도록 구성된다. PV 모듈(104)은 태양광 발전 지역에서 직렬 조합, 병렬 조합 또는 직렬 병렬 조합으로 배열될 수 있다. PV 모듈(104) 각각은 직렬 조합, 병렬 조합 또는 직렬 병렬 조합으로 배열된 하나 이상의 PV 패널을 포함할 수 있다. 또한, 에너지 저장 디바이스 세트(106)는 하나 이상의 배터리, 커패시터, 플라이휠(flywheel) 기반 에너지 저장 시스템, 펌핑된 수력 에너지 저장 시스템, 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다. 이하의 설명에서 "에너지 저장 디바이스"와 "배터리"라는 용어는 상호 교환적으로 사용된다.

[0013] 더욱이, 도 1의 전력 소스는 본 명세서의 범위를 제한하지 않고 다양한 구성으로 상호 연결될 수 있다. 도 1의 전력 소스의 일부 이러한 예시적인 구성은 도 2a-2h에 도시되어 있다. 하이브리드 발전소(100)의 동작 동안, 하나 이상의 이러한 전력 소스에 의해 생성된 전력은 상호 연결 포인트(point of interconnect ; POI ; 110)를 통해 전력 그리드(108) 및/또는 하나 이상의 전기 부하에 공급될 수 있다. 예를 들어, 전력 그리드(108)는 유틸리티 전력 그리드 또는 마이크로 그리드일 수 있다. 전력 소스는 전력 그리드(108) 또는 POI(110)의 전기 부하에 연결될 수 있다.

[0014] 도 2a-2h는 본 명세서의 일 실시 예에 따른 도 1의 하이브리드 발전소(100)에서 전력 소스의 예시적인 구성의 블록도 표현을 도시한다. 예를 들어, 도 2a는 도 1의 하이브리드 발전소(100)에서 하나의 예시적인 풍력 터빈(102)의 연결을 도시하는 예시적인 구성의 블록도 표현을 도시한다. 도 2a에 도시된 바와 같이, 풍력 터빈(102)은 이중 공급 유도 발전기(doubly-fed induction generator ; DFIG ; 202)를 통해 POI(110)에 연결될 수 있다. 특히, DFIG(202)의 고정자 권선(204)은 변압기(208)를 통해 단지 케이블(206)에 연결될 수 있다. DFIG(202)의 회전자 권선(210)은 회전자 측 컨버터(212) 및 라인 측 컨버터(214)를 통해 고정자 권선(204)에 연결될 수 있다. 회전자 측 컨버터(212)는 직류(direct current ; DC) 링크(216)를 통해 라인 측 컨버터(214)에 결합된다. 예로서, 회전자 측 컨버터(212) 및 라인 측 컨버터(214)는 양방향 AC-DC 컨버터일 수 있다.

[0015] 또한, 도 2b는 도 1의 하이브리드 발전소(100)에서 두 개의 예시적인 PV 모듈(104)의 연결을 묘사하는 예시적인 구성의 블록도 표현을 도시한다. 도 2b에 도시 된 바와 같이, PV 모듈(104)은 DC-AC 컨버터(218)를 통해 POI(110)에 연결될 수 있다. DC-AC 컨버터(218)는 PV 모듈(104)에 의해 생성된 DC 전력을 POI(110)에 공급하기에 적합한 AC 전력으로 변환하도록 구성된다.

[0016] 또한, 도 2c는 도 1의 하이브리드 발전소(100)에서 에너지 저장 디바이스 세트(106 ; 예를 들어, 배터리)의 연결을 나타내는 예시적인 구성의 블록도 표현을 도시한다. 도 2c에 도시된 바와 같이, 에너지 저장 디바이스(106)는 양방향 DC-AC 컨버터(220)를 통해 POI(110)에 연결될 수 있다. 양방향 DC-AC 컨버터(220)는 에너지 저장 디바이스(106)로부터 수신된 DC 전력을 필요할 때마다 POI(110)에 공급하기 적합한 AC 전력으로 변환하도록 구성된다. 또한, 일부 실시 예에서, 에너지 저장 디바이스(106)는 양방향 DC-AC 컨버터(220)를 통해 충전될 수 있다.

[0017] 또한, 도 2d는 도 1의 하이브리드 발전소(100)에서 예시적인 풍력 터빈(102)과 두 개의 PV 모듈(104)의 연결을 도시하는 예시적인 구성의 블록도 표현을 도시한다. 예를 들어, 풍력 터빈(102)은 도 2a에 도시된 것과 유사한 방식으로 POI(110)에 연결될 수 있다. 또한, PV 모듈(104)은 DC-DC 컨버터(222)를 통해 회전자 측 컨버터(212)와 라인 측 컨버터(214) 사이의 DC- 링크(216)에 연결될 수 있다. 유사하게, 도 2e는 도 1의 하이브리드 발전소(100)에서 예시적인 풍력 터빈(102)과 에너지 저장 디바이스 세트(106)의 연결을 도시하는 예시적인 구성의 블록도 표현을 도시한다. 예를 들어, 풍력 터빈(102)은 도 2a에 도시 된 것과 유사한 방식으로 POI(110)에 연결될 수 있다. 또한, 에너지 저장 디바이스(106)는 회전자 측 컨버터(212)와 라인 측 컨버터(214) 사이의 DC 링크(216)에 직접 또는 DC-DC 컨버터(224)를 통해 연결될 수 있다.

[0018] 또한, 도 2f는 도 1의 하이브리드 발전소(100)에서 예시적인 풍력 터빈(102), 한 쌍의 PV 모듈(104) 및 에너지 저장 디바이스 세트(106)의 연결을 도시하는 예시적인 구성의 블록도 표현을 도시한다. 예를 들어, 도 2f의 구성에서, 풍력 터빈(102) 및 PV 모듈(104)은 도 2d에 도시된 것과 유사한 방식으로 서로 연결된다. 추가로, 에너지 저장 디바이스(106)는 도 2c에 도시된 것과 유사한 방식으로 POI(110)에 연결될 수 있다.

[0019] 또한, 도 2g는 도 1의 하이브리드 발전소(100)에서 예시적인 풍력 터빈(102), 한 쌍의 PV 모듈(104) 및 에너지 저장 디바이스 세트(106)의 연결을 나타내는 다른 예시적인 구성의 블록도 표현을 도시한다. 예를 들어, 도 2g의 구성에서, 풍력 터빈(102) 및 PV 모듈(104)은 도 2d에 도시된 것과 유사한 방식으로 서로 연결된다. 추가적으로, 에너지 저장 디바이스(106)는 도 2g에 도시된 바와 같이 DC-DC 컨버터(226)를 통해 라인 측 컨버터(214)

(또는 DFIG(202)의 고정자 권선(204))에 연결될 수 있다.

[0020] 또한, 도 2h는 도 1의 하이브리드 발전소(100)에서 예시적인 풍력 터빈(102), 한 쌍의 PV 모듈(104) 및 에너지 저장 디바이스 세트(106)의 연결을 도시하는 또 다른 예시적인 구성의 블록도 표현을 도시한다. 예를 들어, 도 2g의 구성에서, 풍력 터빈(102)은 도 2a에 도시된 것과 유사한 방식으로 POI(110)에 연결될 수 있다. 추가로, PV 모듈(104) 및 에너지 저장 디바이스(106) 모두는 도 2h에 도시 된 바와 같이 각각의 DC-DC 컨버터(228 및 230)를 통해 라인 측 컨버터(214)와 회전자 측 컨버터(212) 사이의 DC- 링크(216)에 연결될 수 있다.

[0021] 또한, 일부 실시 예에서, 도 1 및 도 2a-2h에 도시된 이러한 구성에서 전력 소스의 통합은 전력 디스패치의 제어, 부하 추종 전력 생성을 향상시키고, PV 모듈(104)로부터의 전력 생성의 낭비를 감소시키고 및/또는 하이브리드 발전소(100)에서 에너지 저장 디바이스(106)의 수명을 개선한다. 또한, 도 1 및 도 2a-2h에 도시된 구성은 비 제한적이라는 점에 유의해야 한다. 전력 소스는 필요한 전력 수요 및 기타 시스템 요구 사항을 달성하기 위해 적절한 배열로 연결될 수 있다.

[0022] 이제 도 3으로 이동하면, 본 명세서의 일 실시 예에 따른 도 1의 하이브리드 발전소(100)를 위한 제어 시스템(300)의 블록도 표현이 도시된다. 도 3의 제어 시스템(300)은 하이브리드 발전소, 예를 들어 도 1의 하이브리드 발전소(100)에 동작 가능하게 결합될 수 있다. 비 제한적인 예로서, 도 3의 제어 시스템(300)은 풍력 발전 단지 제어기(302), 태양광 플랜트 제어기(304), 에너지 저장 플랜트 제어기(306) 또는 하이브리드 플랜트 제어기(308) 중 하나 이상을 포함한다.

[0023] 일부 실시 예에서, 풍력 발전 단지 제어기(302)는 하나 이상의 풍력 터빈(102 ; 도 1에 도시됨)에 동작 가능하게 결합될 수 있고 하나 이상의 풍력 터빈(102)의 동작을 제어하도록 구성될 수 있다. 또한, 태양광 플랜트 제어기(304)는 태양광 발전 지역에 배치된 하나 이상의 PV 모듈(104 ; 도 1에 도시 됨), 일련의 PV 모듈(104) 또는 이들의 조합에 동작 가능하게 결합될 수 있다. 태양광 플랜트 제어기(304)는 PV 모듈(104), 일련의 PV 모듈(104) 또는 이들의 조합의 동작을 제어하도록 구성될 수 있다. 더욱이, 에너지 저장 플랜트 제어기(306)는 에너지 저장 디바이스 세트(106 ; 예를 들어, 도 1에 도시된 배터리)에 동작 가능하게 결합될 수 있고 에너지 저장 디바이스 세트(106)의 충전 및 방전을 제어하도록 구성될 수 있다.

[0024] 또한, 하이브리드 플랜트 제어기(308)는 풍력 발전 단지 제어기(302), 태양광 플랜트 제어기(304) 및 에너지 저장 플랜트 제어기(306)에 동작 가능하게 결합되고 그 동작을 제어하도록 구성된다. 특히, 하이브리드 플랜트 제어기(308)는 풍력 발전 단지 제어기(302), 태양광 플랜트 제어기(304) 및 에너지 저장 플랜트 제어기(306)에 설정 포인트를 분배하도록 구성될 수 있다. 도 3의 실시 예에서, 하이브리드 플랜트 제어기(308)는 풍력 발전 단지 제어기(302), 태양광 플랜트 제어기(304) 및 에너지 저장 플랜트 제어기(306)와는 별도로 도시되어 있다. 일부 다른 실시 예에서, 풍력 발전 단지 제어기(302), 태양광 플랜트 제어기(304), 에너지 저장 플랜트 제어기(306) 중 임의의 제어기는 하이브리드 플랜트 제어기(308)로서 동작되도록 구성될 수 있다.

[0025] 일부 실시 예에서, 풍력 발전 단지 제어기(302), 태양광 플랜트 제어기(304), 에너지 저장 플랜트 제어기(306) 또는 하이브리드 플랜트 제어기(308) 중 하나 이상은 개별적으로 특별히 프로그래밍된 범용 컴퓨터, 전자 프로세서, 예를 들어 마이크로 프로세서, 디지털 신호 프로세서 및/또는 마이크로 컨트롤러를 포함할 수 있다. 또한, 풍력 발전 단지 제어기(302), 태양광 플랜트 제어기(304), 에너지 저장 플랜트 제어기(306) 또는 하이브리드 플랜트 제어기(308)는 입력/출력 포트 및 전자 메모리와 같은 저장 매체를 포함할 수 있다. 마이크로 프로세서의 다양한 예는 RISC(reduced instruction set computing) 아키텍처 유형 마이크로 프로세서 또는 CISC(complex instruction set computing) 아키텍처 유형 마이크로 프로세서를 포함하지만 이에 제한되지 않는다. 또한, 마이크로 프로세서는 단일 코어 유형 또는 다중 코어 유형일 수 있다. 대안으로, 풍력 발전 단지 제어기(302), 태양광 플랜트 제어기(304), 에너지 저장 플랜트 제어기(306) 또는 하이브리드 플랜트 제어기(308) 중 하나 이상은 프로세서가 있는 회로 기판과 같은 하드웨어 요소로 구현되거나 개인용 컴퓨터(personal computer ; PC) 또는 마이크로 컨트롤러와 같은 프로세서에서 실행되는 소프트웨어로 구현될 수 있다. 하이브리드 플랜트 제어기(308)에 의해 수행되는 동작의 세부 사항은 도 5-15와 관련하여 설명된다.

[0026] 도 4는 본 명세서의 일 실시 예에 따른 다중 플랜트 제어 시스템(400)의 블록도 표현이다. 예로서, 다중 플랜트 제어 시스템(400)은 복수의 하이브리드 플랜트 제어기(308)를 포함할 수 있으며, 여기서 각각의 하이브리드 플랜트 제어기(308)는 도 3에 설명된 하이브리드 플랜트 제어기(308)와 유사할 수 있고,

[0027] 각각의 하이브리드 발전소(100)에 배치된 풍력 발전 단지 제어기(302), 태양광 플랜트 제어기(304) 및 에너지 저장 플랜트 제어기(306) 중 하나 이상의 동작을 제어하도록 구성될 수 있다. 도 4는 하이브리드 플랜트 제어기

-1, 하이브리드 플랜트 제어기-2 및 하이브리드 플랜트 제어기-3의 3개의 하이브리드 플랜트 제어기(308)를 포함하는 것으로 도시되어 있다. 본 명세서의 범위를 제한하지 않고, 다중 플랜트 제어 시스템(400)은 또한 이러한 하이브리드 플랜트 제어기(308)를 3 개보다 적거나 많게 포함할 수 있다.

[0028] 또한, 일부 실시 예에서, 다중 플랜트 제어 시스템(400)은 또한 다중 플랜트 제어기(402)를 포함할 수 있다. 다중 플랜트 제어기(402)는 하이브리드 플랜트 제어기(308 ; 예를 들어, 하이브리드 플랜트 제어기 1-3)에 동작 가능하게 결합되어 그 동작을 제어하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 다중 플랜트 제어기(402)는 하이브리드 플랜트 제어기 1-3(308)로부터 데이터를 수신하고 하이브리드 플랜트 제어기 1-3(308)에 다양한 설정 포인트를 전달하도록 구성될 수 있다. 또한, 일부 실시 예에서, 도 4의 다중 플랜트 제어 시스템(400)은 별도의 다중 플랜트 제어기(402)를 포함하지 않을 수 있고, 대신 하이브리드 플랜트 제어기(308) 중 하나는 마스터 제어기로 기능하도록 구성될 수 있고 다른 하이브리드 플랜트 제어기(308)는 마스터 하이브리드 플랜트 제어기의 감독 제어 하에 슬레이브 제어기로 기능할 수 있다. 이러한 구성에서, 마스터 하이브리드 플랜트 제어기는 다중 플랜트 제어기(402)로 기능할 수 있다.

[0029] 일부 실시 예에서, 다중 플랜트 제어기(402)는 특별히 프로그래밍된 범용 컴퓨터, 전자 프로세서, 예를 들어 마이크로 프로세서, 디지털 신호 프로세서 및/또는 마이크로 컨트롤러를 포함할 수 있다. 또한, 다중 플랜트 제어기(402)는 입력/출력 포트 및 전자 메모리와 같은 저장 매체를 포함할 수 있다. 마이크로 프로세서의 다양한 예는 RISC(reduced instruction set computing) 아키텍처 유형 마이크로 프로세서 또는 CISC(complex instruction set computing) 아키텍처 유형 마이크로 프로세서를 포함하지만 이에 제한되지 않는다. 또한, 마이크로 프로세서는 단일 코어 유형 또는 다중 코어 유형일 수 있다. 대안적으로, 다중 플랜트 제어기(402)는 프로세서가 있는 회로 기판과 같은 하드웨어 요소 또는 개인용 컴퓨터(personal computer ; PC) 또는 마이크로 컨트롤러와 같은 프로세서에서 실행되는 소프트웨어로 구현될 수 있다.

[0030] 도 5는 본 명세서의 일 실시 예에 따른 하이브리드 발전소(100)를 위한 제어 시스템(500)의 블록도 표현이다. 도 5의 제어 시스템(500)은 도 3에서 이미 설명된 하나 이상의 컴포넌트를 포함할 수 있다. 이에 대한 설명은 여기서 반복하지 않는다. 비 제한적인 예로서, 도 5의 제어 시스템(500)은 워크 스테이션(502), 풍력 발전 단지 제어기(302), 태양광 플랜트 제어기(304), 에너지 저장 플랜트 제어기(306) 또는 하이브리드 플랜트 제어기(308) 중 하나 이상을 포함한다.

[0031] 워크 스테이션(502)은 하이브리드 플랜트 제어기(308)에 결합될 수 있다. 일부 실시 예에서, 워크 스테이션(502)은 하이브리드 플랜트 제어기(308)가 위치하는 하이브리드 발전소(100)에 위치하는 서버 컴퓨터 일 수 있거나 원격으로 하이브리드 플랜트 제어기(308)에 결합될 수 있다. 예를 들어, 워크 스테이션(502)은 유선 또는 무선 통신 링크(504)를 통해 하이브리드 플랜트 제어기(308)에 결합될 수 있다. 특정 다른 실시 예에서, 워크 스테이션(502)의 기능은 본 명세서의 범위를 제한하지 않고 풍력 발전 단지 제어기(302), 태양광 플랜트 제어기(304), 에너지 저장 플랜트 제어기(306) 또는 하이브리드 플랜트 제어기(308) 중 하나 이상에서 구현될 수 있다.

[0032] 일부 실시 예에서, 워크 스테이션(502)은 특별히 프로그래밍된 범용 컴퓨터, 전자 프로세서, 예를 들어 마이크로 프로세서, 디지털 신호 프로세서 및/또는 마이크로 컨트롤러를 포함할 수 있다. 또한, 워크 스테이션(502)은 입력/출력 포트 및 전자 메모리(506)와 같은 저장 매체를 포함할 수 있다. 대안적으로, 워크 스테이션(502)은 프로세서가 있는 회로 기판과 같은 하드웨어 요소 또는 개인용 컴퓨터(personal computer ; PC) 또는 마이크로 컨트롤러와 같은 프로세서에서 실행되는 소프트웨어로 구현될 수 있다. 일부 실시 예에서, 워크 스테이션(502)은 또한 인터넷 클라우드(508), 예를 들어 Amazon Web Services™ 클라우드에 연결될 수 있다.

[0033] 워크 스테이션(502)의 전자 메모리(506)는 워크 스테이션(502)에 배치된 프로세서에 의해 실행될 수 있는 프로그램 명령을 포함하는 다양한 프로그램 모듈을 포함할 수 있다. 예를 들어, 프로그램 모듈은 하이퍼바이저(hypervisor ; 510), 운영 체제(operating system; OS ; 512), 데이터 통신 어댑터(514), 제어 데이터 플레인(516) 및 플랜트 제어 서비스 모듈(518)을 포함할 수 있다. 예를 들어, 하이퍼바이저(510)는 OS(512) 및 플랜트 제어 서비스 모듈(518)과 같은 애플리케이션을 하부의 물리적 하드웨어에서 분리하는 프로세스를 격리하는 알려진 프로그램이다.

[0034] 플랜트 제어 서비스 모듈(518)은 레벨-1 서비스, 레벨-2 서비스 및 레벨-3 서비스 중 하나 이상을 포함할 수 있다. 비록, 도 5에는 3 가지 레벨의 서비스 만이 도시되어 있으나, 본 명세서는 이와 관련하여 제한되지 않으며 임의의 수의 서비스가 워크 스테이션(502)에 의해 호스팅될 수 있다. 이러한 서비스가 워크 스테이션(502)의 프로세서에 의해 실행될 때, 워크 스테이션(502)은 에너지 저장(522), 전력 예측(524), 전력 디스패치(526), 에너

지 계산(528), 시장 모델링(530) 또는 이들의 조합을 포함하지만 이에 제한되지 않는 다양한 파라미터(520)에 대한 제어 및 최적화를 용이하게 할 수 있다.

[0035] 일부 실시 예에서, 각각의 파라미터(520)에 대해, 레벨-1 서비스는 파라미터(520)의 제어를 용이하게 하기 위해(예를 들어, 최적화를 위한 목적으로) 특정 기본 처리를 수행하는 것을 포함할 수 있다. 유사하게, 각각의 파라미터(520)에 대해, 레벨-2 서비스는 파라미터(520)의 제어를 용이하게 하기 위해(예를 들어, 최적화 목적으로) 특정 어드밴스드(advanced) 레벨 처리를 수행하는 것을 포함할 수 있다. 또한, 각각의 파라미터(520)에 대해, 레벨-3 서비스는 파라미터(520)의 제어를 용이하게 하기 위해(예를 들어, 최적화 목적으로) 특정 프리미엄 레벨 처리를 수행하는 것을 포함할 수 있다. 일부 실시 예에서, 워크 스테이션(502)은 적절한 수수료 또는 가입 요금으로 레벨-1 서비스 목록, 레벨-2 서비스 목록 및 레벨-3 서비스 목록으로부터 하나 이상의 서비스에 가입하기 위한 다양한 옵션으로 하이브리드 발전소(100)의 사용자/고객/관리자에 대한 사용자 인터페이스(532)를 용이하게 할 수 있다. 플랜트 제어 서비스 모듈(518)의 추가 세부 사항은 도 6과 관련하여 설명된다.

[0036] 일부 실시 예에서, 하이브리드 발전소(100)의 사용자/고객/관리자에 의해 가입된 서비스에 따라, 워크 스테이션(502)은 가입된 서비스에 대응하는 파라미터(520)를 제어/최적화하도록 구성된다. 비 제한적인 예로서, 파라미터 "에너지 저장(522)"에 대해, 레벨-2 또는 레벨-3 서비스가 하이브리드 발전소(100)의 사용자/고객/관리자에 의해 가입되지 않은 경우, 하이브리드 발전소(100)의 에너지 저장(522)에 대한 설정 포인트는 레벨-1 서비스에 포함된 기본 레벨 처리를 기반으로 결정될 수 있다. 그러나, 파라미터 "에너지 계산(528)"의 경우, 하이브리드 발전소(100)의 사용자/고객/관리자에 의해 레벨-2 서비스가 가입된 경우, 하이브리드 발전소(100)에 대한 에너지 계산(5285)은 에너지 계산(528)에 대응하는 레벨-2 서비스의 어드밴스드 레벨 처리를 사용하여 수행될 수 있다.

[0037] 이해되는 바와 같이, 이들 서비스(예를 들어, 레벨-1, 레벨-2 서비스 및 레벨-3 서비스)는 내부 소스(기존 자산 레벨 데이터 캡처 버퍼) 및/또는 외부 소스(날씨 정보, 예측 등)로부터의 추가 센서 정보를 사용하여 대응하는 파라미터(520)가 어떻게 결정되는 방식에서 구별된다. 이러한 서비스에 대한 알고리즘의 기본적인 복잡성은 기본(예 : 레벨-1 서비스)에서 프리미엄(예 : 레벨-3 서비스)으로 증가할 수 있다. 일부 실시 예에서, 이들 서비스 중 임의의 것에 대한 가입의 액세스(access) 또는 활성화(activation)는 라이센스 서비스를 통해 제어될 수 있다. 라이센스 서비스는 고객이 무엇에 가입했는지에 따라 중앙 위치(예 : 클라우드 서버(508) 및/또는 원격 동작 서버)에 설치될 수 있다. 일부 실시 예에서, 하나 이상의 서비스에 대한 가입 활성화는 고객의 중앙 라이센스 구성에서 이용 가능한 것에 대한 고객의 위치에서의 자동화된 라이센스 확인 검사를 통해 달성될 수 있다. 서비스는 고객이 가입하거나 가입 취소할 수 있으며 중앙 라이센스 서버에서 추적할 수 있다. 특정 실시 예에서, 고객의 위치에서의 구성이 선택된 서비스의 사용을 검증하기 위해 선택된 애플리케이션과 일치하는 것을 보장하기 위한 주기적인 점검이 수행될 수 있다.

[0038] 위의 접근법은 라이센스/가입을 확인하기 위해 네트워크 연결이 필요하지만, 네트워크 연결이 좋지 않거나 네트워크 연결이 이용가능하지 않은는 시나리오에서는 활성화 코드, 암호, 가상 사설망(VPN) 토큰 등 중 하나 이상을 포함할 수 있는 일련의 확인 스테이지 후에 솔루션 공급자에 의해 가입이 수동으로 수행될 수 있다. 다른 특정 실시 예에서, 고객은 구성 사용자 인터페이스를 사용하여 서비스를 활성화 또는 비활성화할 수 있다. 구성 사용자 인터페이스는 서비스에 대응하는 사용 통계 및/또는 서비스의 실제 사용에 기초하여 결정된 가입에 대한 대응 비용을 디스플레이할 수 있다.

[0039] 도 6은 본 명세서의 일 실시 예에 따른 하이브리드 발전소(100)에 대한 예시적인 제어 시스템(600)의 블록도 표현이다. 도 6의 제어 시스템(600)은 도 5에 도시된 블록과 유사한 하나 이상의 블록을 포함하며, 이에 대한 설명은 여기서 반복하지 않는다. 특히, 도 6의 제어 시스템(600)의 워크 스테이션(502)은 에너지 저장(522), 전력 예측(524), 전력 디스패치(526), 에너지 계산(528), 시장 모델링(530), 또는 이들의 조합과 같은 파라미터(520)에 대해 하이브리드 발전소(100)의 사용자/고객/관리자에 의해 가입될 수 있는 다양한 서비스를 제공할 수 있는 발전소 제어 서비스 모듈(518)을 포함한다.

[0040] 일부 실시 예에서, 예로서, 파라미터 "에너지 저장(522)"에 대한 레벨-1 서비스는 규칙 기반 처리(602)를 수행하는 것을 포함할 수 있다. 이러한 규칙 기반 처리(602)를 사용하여, 에너지 저장 디바이스 세트(106)의 충전 상태(state of charge ; SOC)는 SOC가 충전의 상단 또는 충전의 하단을 향해 이동하는 것으로부터 유지될 수 있는 미리 정의된 드룹 곡선을 사용하여 관리될 수 있다. 드룹 곡선은 SOC를 원하는 범위로 구동하기 위해 배터리 커맨드(command)에 대한 바이어스를 포함할 수 있다. 또한, 예로서, 파라미터 "전력 예측(524)"에 대한 레벨-1 서비스는 통계 처리(604)를 수행하는 것을 포함할 수 있다. 이러한 통계 처리(604)는 중기 및 단기 예측에 적합

할 수 있다. 전력 예측(524)을 위한 통계 처리(604)는 생성될 수 있는 전력을 예측하기 위해 하이브리드 발전소(100)에 의해 생성된 전력에 대한 과거 데이터를 이용하는 자동 회귀 통합 이동 평균(autoregressive integrated moving average ; ARIMA)에 기초한 통계 방법을 사용할 수 있다. SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition) 데이터 스트림을 통해 이미 이용 가능한 것 이외의 추가 센서 데이터는 필요하지 않을 수 있다. 이 기본 응용의 한계는 모델 예측 제어(model predictive control ; MPC)를 사용할 수 있는 경우 또는 예견 기간이 더 긴 경우이다. 또한, 예를 들어, 파라미터 "전력 디스패치(526)"에 대한 레벨-1 서비스는 일반적으로 배터리 및 재생 가능 자산을 사용하는 고전적인(606) PID(Proportional-Integral-derivative) 기반 편차 보정을 포함할 수 있다. 이 전력 디스패치 접근법에는 예측 능력이 없을 수 있다. 또한, 예를 들어, 파라미터 "에너지 계산(528)"에 대한 레벨-1 서비스는 SCADA 및/또는 E-계량기(608)를 포함할 수 있다. 이러한 기본 에너지 계산 기법에서, SCADA 내의 플랜트 레벨 데이터의 기본 디스플레이 및 저장이 제공된다. 또한 에너지는 기존 AC 에너지 계량(metering) 솔루션을 통해 계산된다. 더욱이, 예를 들어, 파라미터 "시장 모델링(530)"에 대한 레벨-1 서비스는 그리드 상호 연결에서 기본 에너지 생산 및 입력(610)을 제공하는 것을 포함할 수 있다. 여기에는 고정 및 주파수 응답과 같은 기본 그리드 특징도 포함될 수 있다.

[0041] 이제 레벨-2 서비스를 참조하면, 예를 들어 파라미터 "에너지 저장(522)"에 대한 레벨-2 서비스는 성능 요구 사항 및 배터리 수명의 최적화를 허용하는 MPC 기법/알고리즘(612)을 포함할 수 있다. 유리하게는, 에너지 저장(522)에 대한 이 MPC 기반 접근법은 전력 조절 목표를 충족하면서 배터리 수명을 적극적으로 연장할 수 있다. 또한, 예로서, 파라미터 "전력 예측(524)"에 대한 레벨-2 서비스는 전술 한 통계 처리 및 글로벌 예측 시스템(global forecasting system ; GFS)으로부터 수신된 정보에 기초하는 처리(614)하는 단계를 포함할 수 있다. 이러한 GFS 기반 처리(614)는 하이브리드 발전소(100)에 의해 생성될 수 있는 전력을 예측하기 위한 단기, 중기 및 장기(예를 들어, 하루 전까지)에 적합할 수 있다. 전력 디스패치(526)를 위한 이 레벨-2 서비스는 GFS로부터 얻은 기상 데이터의 사용과 하이브리드 발전소에 의해 생성될 수 있는 전력을 추정하기위한 다양한 물리 기반 모델의 사용을 포함한다. 더욱이, 예로서, 파라미터 "전력 디스패치"에 대한 레벨-2 서비스는 일반적으로 전력 디스패치가 예측 모델링에 기초하여 결정되는 MPC(616) 기반 접근법을 포함할 수 있다. 이러한 예측 접근법에서 배터리 및 재생 가능 자산 디스패치 결정은 단기 예측을 기반으로 한다. 이는 레벨-1의 고전적인 제어(606) 접근법을 사용하는 것에 비해 성능을 향상시키고 배터리 수명을 보존한다. 또한, 예를 들어, 파라미터 "에너지 계산(528)"에 대한 레벨-2 서비스는 손실, DC 계량 및 다중 소스 포인트 간의 전력 분할의 추정을 고려하는 손실 계산(loss accounting ; LA ; 618) 기법을 포함할 수 있다. 더욱이, 예로서, 파라미터 "시장 모델링(530)"에 대한 레벨-2 서비스는 "제3자 휠링(620)" 메커니즘을 사용하는 것을 포함할 수 있다. 제3자 휠링(620) 메커니즘은 하이브리드 발전소(100)와 부하 간의 스케줄링, 이러한 트랜잭션(예를 들어, 개방형 액세스, 휠링, 에너지 뱅킹 등)을 가능하게 하는 시장 메커니즘을 포함할 수 있다.

[0042] 이제 레벨-3 서비스로 넘어 가면, 예를 들어 파라미터 "에너지 저장(522)"에 대한 레벨-3 서비스는 좋지 않은 예견 예측 품질로 인한 배터리의 과도한 사이클링을 유리하게 방지하는 MPC 알고리즘(612)의 불확실성에 대한 계산(622)을 포함할 수 있다. 또한, 예를 들어, 파라미터 "전력 예측(524)"에 대한 레벨-3 서비스는 제3자 예측 서비스가 통계(604 ; 예를 들어, 기계 학습) 및 GFS(614) 기반 방법과 함께 사용될 수 있는 앙상블(624) 기법을 수행하는 것을 포함할 수 있다. 이 접근법은 다중 소스를 활용하여 향상된 예측을 제공하는 최적의 가중치를 결정한다. 더욱이, 예를 들어, 파라미터 "전력 디스패치(526)"에 대한 레벨-3 서비스는 일반적으로 MPC(616) 기반 접근법의 불확실성에 대한 계산(626)를 포함할 수 있다. 이는 예측의 불확실성을 명시적으로 모델링하는 공식을 포함하여 MPC(616) 기법의 견고성을 향상시키고, 불량 예측이 디스패치 품질에 미치는 해로운 영향을 완화시킨다. 또한, 예를 들어, 파라미터 "에너지 계산(528)"에 대한 레벨-3 서비스(528)는 다중 오프 테이크에 걸친 플릿 레벨(fleet level) 에너지 트레이드를 가능하게 하기 위해, 에너지 블록 체인, 재생 가능 구매 의무(renewable purchase obligation ; RPO) 계산, 트랜잭션 추적 및 블록 체인 기술을 사용한 태깅을 포함하는 기법(628)을 사용할 수 있다. 더욱이, 예로서, 파라미터 시장 모델링(530)에 대한 레벨-3 서비스는 P2P(Peer-to-Peer) 트레이딩, 유통망 내 전력 판매, 마이크로 그리드 내 트레이딩, 가상 발전소(virtual power plant ; VPP) 기반의 다중 자원 종합과 같은 기법(630)을 포함할 수 있다.

[0043] 예를 들어, 일부 실시 예에서, 다중 자원의 VPP 기반 종합에서, 서로 다른 위치에서 물리적으로 연결된 다중 자원(예를 들어, 전력 소스)은 공통 및/또는 분산 전력 생성 목표를 충족하기 위해 제어 관점에서 종합될 수 있다. 이러한 목표의 예는 전력 소스의 유효 전력 제어를 활용하는 다중 자원의 제어, 에너지 유출 또는 부족을 방지하기위한 배터리 제어에 의해 관리될 수 있는 신뢰할 수 있는 전력으로 부하의 조합을 제공하는 동시에 또한 전압 유지, 변압기 부하의 피크 쉐이빙 및 기타 이러한 요구 사항과 같은 로컬 제어 요구 사항을 충족하는 것일 수 있다. 이러한 종합과 전력 소스의 플릿 레벨 제어에 의해 에너지 저장의 크기를 줄일 수 있으며, 또한

더 넓은 지리적 영역에 자원의 분포로 인해 전력 생성의 자연적인 평준화의 이점을 가질 수 있다. 유리하게도, 이 VPP 기반의 다중 자원 종합은 전체 에너지 비용(부하에 대한)을 줄이고 전력 소스에 대한 수익을 증가(오프테이커에게 직접 판매)시키며 시스템 레벨에서 유효 전력의 제어를 개선한다. 다른 특정 실시 예에서, 풍력, 태양광 및 펌핑된 저장 플랜트의 플릿이 그리드 및 부하에 다양한 서비스를 제공하도록 제어될 때 벌크 시스템 레벨(예를 들어, 전송 레벨)에서 생성 자원의 가상화가 또한 달성될 수 있다.

[0044] 일부 실시 예에서, 사용자 인터페이스(532)는 워크 스테이션(502)에 연결된 디스플레이 스크린(도시되지 않음) 상에 디스플레이된다. 사용자 인터페이스(532)는 하이브리드 발전소(100)의 사용자/고객/관리자에게 전술된 레벨-1, 레벨-2 및/또는 레벨-3 서비스 중 하나 이상을 선택하기 위한 다양한 옵션을 제공할 수 있다. 선택된 서비스는 하이브리드 발전소(100)의 사용자/고객/관리자에 의해 해당 가입 수수료를 지불함으로써 가입될 수 있다.

[0045] 이하의 설명에서는 MPC 기반 접근법이 설명된다. MPC 기반 접근법은 부하 추종 방식으로 하이브리드 발전소(100)에 의한 전력 생산을 돕는다.

[0046] 부하 추종은 동작 일 동안 부하 패턴을 일치시키는 하이브리드 발전소(100)의 능력을 의미한다. 핵심 요구 사항은 부하에 의해 요구될 때 그리고 요구됨에 따라 전력을 제공하는 것일 수 있다. 이러한 의미에서 하이브리드 발전소(100)는 부하 수요를 따른다. 이해되는 바와 같이, 전기 가격은 부하 수요와 직접적인 상관 관계가 있다. 유리하게는, 피크 기간으로 전환된 재생 가능 전력을 조달할 수 있는 능력은 다른 고가의 생성 소스로부터 피크 기간 동안 이루어질 수 있는 전력 조달을 상쇄하는 데 도움이 된다.

[0047] 예를 들어 인도와 같은 특정 국가에서 수요 피크 기간은 대부분 시간대 관점에서 잘 정의되어 있으며 예를 들어 오전 6~9시 및 오후 6~9시에 발생한다. 시스템에서 조명 부하의 상대적 구성은 이 패턴에 영향을 미치는 중요한 역할을 한다. 일반적으로 아침 피크는 시스템의 조명 부하 구성과 직접 관련될 수 있는 훨씬 더 큰 저녁 피크보다 낮다. 도 7은 예를 들어, 타밀 나두(Tamil Nadu) 주에 대한 (2017)연도 매월의 시간당 정규화된 평균 부하 수요 경향의 예를 보여주는 그래픽 표현(700)을 도시한다. 도 7에 도시된 경향에 도시된 바와 같이, 전력 수요는 하루에 두 피크가 있다.

[0048] 기존 재생 가능 발전소(하이브리드 또는 기타)에서는 일반적으로 하루 중 시간과 기존 재생 가능 발전소에서 생성되는 전력을 고려하지 않는다. 따라서 이러한 시나리오에서는 생성된 전력과 부하 수요가 일치하지 않을 수 있다. 그러한 한 가지 예는 전체 저녁 피크 기간 동안 전력을 생산하지 못할 수 있는 PV 발전소일 수 있다.

[0049] 본 명세서의 양태에 따른 부하 추종 하이브리드 전력 생성은 이러한 피크 전력 수요를 충족시키기 위한 원하는 레벨의 부하 추종을 제공하도록 하이브리드 발전소(100)의 에너지 저장을 이용하여 하이브리드 발전소(100)의 전력 출력을 제어할 수 있다. 도 8은 본 명세서의 양태에 따라, 예를 들어, 37.5 MWh 에너지 저장을 갖는 하이브리드 발전소에서 부하 추종 방식으로 전력이 어떻게 생성될 수 있는지를 나타내는 그래픽 표현(800)을 도시한다. 하이브리드 발전소(100)가 부하 추종 요구 사항(기간 및 피크)을 충족할 수 있는 정도는 플랜트 레벨에서 저장 크기 및 다른 BOP(balance-of-plant) 한계에 의해 제한될 것이다. 도 8은 오전 6시에 발생하는 낮 동안의 제1 피크(즉, 아침 피크 ; 802) 및 오후 6시에 발생하는 제2 피크(즉, 저녁 피크 ; 804)를 도시한다. 하이브리드 발전소(100)의 에너지 저장 디바이스(106)는 저전력 수요 기간 동안 충전되고 피크(802 및 804)의 전력 수요를 충족시키기 위해 방전될 수 있다.

[0050] 이제 도 9를 참조하면, 본 명세서의 일 실시 예에 따른 하이브리드 발전소(100)에서 부하 추종 전력 생성을 촉진하기 위한 시스템(900)이 제시된다. 도 9에 도시된 시스템(900)은 다양한 서브 시스템과 그 사이의 인터페이스를 포함한다. 하이브리드 옵티마이저(902)는 특정 실시간 및 이력 정보에 기초하여 최적의 저장 디스패치 커맨드를 결정한다. 하이브리드 옵티마이저(902)는 예측 애플리케이션(904), 그리드 인터페이스(906) 및 하이브리드 플랜트 제어기(308)와 인터페이스한다. 하이브리드 옵티마이저(902)는 경제적으로 유익한 또는 성능 메트릭에 기초하여 에너지 저장에 대한 설정 포인트를 결정한다. 최적의 디스패치를 결정할 때 플랜트 출력의 불확실성이 고려될 수도 있다. 데이터 교환 사양은 표 1-4에 표로 정리되어 있다.

표 1

[0051] **표 1: 예측 애플리케이션 : 데이터 인터페이스 사양**

Input/Output	Name	From Block	Notes
입력	GFS 데이터	외부	풍력 및 태양광 전력 생성에 대한 장기 예측을 구체화하는 데 사용할 수 있는 기상 예측 관련 데이터가 포함되어 있다. 여기에는 풍속, 방향, 공기 밀도, GHI(일사량) 등과 같은 데이터가 포함된다.
입력	태양광 전력	하이브리드 플랜트 제어	시간 블록 내에 태양광 전력 생산(구성 가능). 시계열 기반 예측에 사용할 과거 데이터를 기록하는 데 사용된다.
입력	풍력 전력	하이브리드 플랜트 제어	시간 블록(구성 가능)의 풍력 전력 생산. 이는 시계열 기반 예측에 사용할 과거 데이터를 기록하는 데 사용된다.
출력	플랜트 예측	-	구성 가능한 시간 단계 및 예견 기간 에서 플랜트 전력 예측

표 2

[0052] **표 2: 그리드 인터페이스 : 데이터 인터페이스 사양**

Input/Output	Name	From Block	Notes
입력	LDC 수요 예측	외부	미래의 시스템 레벨 수요 예측을 포함. 동작일에 대해 관찰된 시스템 수요도 포함될 수 있다.
입력	업데이트된 예측	하이브리드 옵티마이저	하이브리드 옵티마이저를 기반으로한 플랜트에 대한 업데이트된 예측을 포함.
입력	피크 전력	하이브리드 옵티마이저	옵티마이저의 하루 전 스케줄러를 기반으로 예약된 전력을 포함(피크 기간에만 해당)
출력	시스템 수요	-	다음 동작일에 대한 시스템 수요 예측. 이는 하루 전 스케줄러가 피크 기간에 대한 스케줄 설정 포인트를 결정하는 데 사용된다.

표 3

[0053] **표 3: 하이브리드 옵티마이저 : 데이터 인터페이스 사양**

Input/Output	Name	From Block	Notes
입력	플랜트 예측	예측 애플리케이션	플랜트 레벨 예측 전력
입력	시스템 수요	그리드 인터페이스	다음날 시스템 수요
입력	플랜트 전력	하이브리드 플랜트 제어	실제 플랜트 출력(피드백)
입력	배터리 SOC	하이브리드 플랜트 제어	저장의 실제 SOC(종합)
출력	배터리 설정 포인트	-	지시된 배터리 전력
출력	업데이트된 설정 포인트	-	예측 업데이트(비-피크)
출력	피크의 스케줄 전력	-	피크에 대한 스케줄(하루 전 스케줄러)

표 4

[0054] **표 4: 하이브리드 플랜트 제어 : 데이터 인터페이스 사양**

Input/Output	Name	From Block	Notes
입력	배터리 설정 포인트	하이브리드 옵티마이저	지시된 배터리 전력
출력	플랜트 전력	-	하이브리드 옵티마이저 용(피드백)
출력	배터리 SOC	-	하이브리드 옵티마이저 용(피드백)
출력	태양광 전력	-	예측 애플리케이션 용(피드백)
출력	풍력 전력	-	예측 애플리케이션 용(피드백)
출력	자원 설정 포인트	-	외부 루프 하이브리드 플랜트 제어기에서 개별 플랜트/제어기/유닛으로 전송된 설정 포인트 포함

[0055] 하이브리드 옵티마이저(902)를 다시 참조하면, 하이브리드 옵티마이저(902)는 주어진 저장 자원으로부터 가능한 최상의 값을 도출하기 위해 에너지 저장을 위한 최적 디스패치 패턴을 결정할 수 있다. 일부 실시 예에서, 하이브리드 옵티마이저(902)는 또한 하이브리드 발전소(100)의 전력 생산에 내재된 불확실성을 고려할 수 있다. 부하 추종 응용의 경우, 하이브리드 옵티마이저(902)는 최적의 디스패치 패턴을 결정하면서, 피크가 아닌 기간과 비교하여 피크 기간 동안 더 정확한 응답에 대한 필요성을 고려할 수도 있다.

[0056] 부하 추종 관점에서, 하이브리드 옵티마이저(902)에 대한 설계 의도는 예를 들어 도 10에 명시된 디스패치를 충족시키는 것이다. 도 10은 본 명세서의 일 실시 예에 따른 하이브리드 발전소(100)에 대한 부하 추종 전략을 예시하는 그래픽 표현을 도시한다. 도 10에 표시된 바와 같이, 아침 및 저녁 피크를 충족하기 위해 충분한 저장 용량이 필요할 수 있다. 하루 중 다른 모든 시간은 "비-피크"로 간주되며 피크 스케줄을 충족하고 비-피크 기간 동안 예측에 대한 편차를 방지하기 위해 배터리의 SOC를 준비하는 기회로 사용된다(그렇게 하는 것이 경제적인 경우).

[0057] 부하 추종 기법은 업데이트 레이트(rate)가 본질적으로 다르기 때문에 서로 다른 프레임 레이트에서 실행될 수 있는 두 가지 다른 스테이지/단계로 구성된다. 도 11은 본 명세서의 일 실시 예에 따른 부하 추종 방식으로 전력을 생성하는 방법의 흐름도이다. 도 11의 첫 번째 스테이지는 하이브리드 발전소(100)가 충족할 수 있는 피크 기간에 대한 전력 스케줄을 결정하는 것이 목표인 하루 전 스케줄링 스테이지를 나타낸다. 이는 (피크 기간동안 전력 할당 레벨을 결정하는데 사용되는) 시스템에 대한 수요 예측과 다음 날에 대한 예측된 플랜트 전력을 기반으로 결정된다. 첫 번째 스테이지는 하루 전에 완료되며 피크 기간의 전력 스케줄은 동작 일 동안 고정된다. 다음은 첫 번째 스테이지에 대한 하이 레벨 요약이다.

[0058] 첫 번째 스테이지-하루 전 스케줄러

[0059] - 예측을 기반으로 다음날 최적의 스케줄을 결정

[0060] - 성능(스케줄에서 가장 낮은 편차)

[0061] - 부하 곡선 형태 시스템을 사용하고 곡선의 형태를 추종하도록 에너지를 스케일링.

[0062] - 피크 기간에는 가장 높은 우선 순위가 주어질 수 있다.

[0063] - 다음날 스케줄 제출

[0064] 도 12는 본 명세서의 일 실시 예에 따른 하루 전 스케줄러의 흐름도이다. 하루 전 스케줄러의 목적은 예측된 전력 및 예측된 시스템 수요를 기반으로 다음 동작 일의 실행 가능한 스케줄을 결정하는 것이다. 부하 디스패치 센터의 수요 프로파일은 지역에서 예측된 에너지를 '재분배'하는데 사용되는 프로파일로 사용될 수 있다. 이상적인 시나리오에서 플랜트 출력이 이 스케일링된 프로파일과 정확히 일치하면 부하 추종 전력 출력이 생성될 수 있다. 특정 사례에서 이러한 부하 추종을 달성하는데 필요한 에너지 저장 디바이스의 크기는 비용이 많이 들 수 있다. 따라서, 일부 실시 예에서, 하이브리드 발전소(100)의 부하 추종 거동은 부하 디스패치 센터에 대한 값이 최대화되는 몇 개의 피크 기간 동안 구성될 수 있다. 하루 전 스케줄러는 주요 피크 기간에 대한 스케줄을 결정하기 때문에 중요하다. 스케줄이 너무 높다고 결정되면 배터리 용량이 이를 충족시킬 만큼 충분하지 않을 수 있다. 반면에 피크 스케줄이 너무 낮다고 결정되면 정확도에 문제가 없지만 다른 구간의 플랜트 전력이 이 기간 동안 전력을 초과하면 이것은 기술적으로 피크가 아닐 것이다.

[0065] 다시 도 11을 참조하면, 두 번째 스테이지는 실시간 최적 제어 스테이지를 포함하며, 여기서 배터리 디스패치는 후퇴 수평선 공식(receding horizon formulation)에서 MPC 접근법을 기반으로 결정된다. 아이디어는 현재 피드백뿐만 아니라 미래 상태의 단기 예측에 기초하여 에너지 저장 디바이스(들)의 디스패치를 결정하는 것이다. 이는 정확도/값 요구 사항이 구간에서 다를 때 특히 중요하다. 다음은 두 번째 스테이지에 대한 하이 레벨 요약이다.

[0066] 두 번째 스테이지-하루 중 MPC

[0067] - 목표는 가능한 한 가깝게 스케줄을 충족시키는 것이다(최소 편차).

[0068] - 주간 전력을 예측하기 위해 모델 예측 접근법(후퇴 수평선 형식)을 사용하고, 최적의 배터리 디스패치를 결정.

[0069] - 가장 높은 준수로 피크 스케줄을 충족하는 제어 목표에 기초하여 조정된 단기 예측

[0070] - 보다 미세한 시간 단계(5분, 10분, 15분 등)에서 최적화 문제를 해결

[0071] - 하이브리드/플랜트/배터리 제어기에 최적의 배터리 디스패치 제출

[0072] - 업데이트된 하루 중 예측을 조절기, 예를 들어 ISO(Independent System Operator), RTO(Regional Transmission Operator), SLDC(State Load Dispatch Center) 또는 이들의 조합에 제출

[0073] 도 13은 본 명세서의 일 실시 예에 따른 하루 중 MPC 기반 접근법의 흐름도이다. 하루 중 MPC 기반 접근법/알고리즘의 목적은 플랜트 전력 및 저장 SOC 피드백을 기반으로 실시간으로 저장 설정 포인트를 결정하는 것이다. 이 접근법은 MPC를 기반으로 하며 현재 정보와 짧은 예측 윈도우(도 14 참조)를 사용하여 저장을 위한 최적의 디스패치를 결정한다. 도 14는 하루 동안 그리고 다양한 단기 예측 기간 동안의 부하 수요를 보여주는 그래픽 표현이다.

[0074] 전력 생성의 단기 예측 값 기반 MPC는 특정 불확실성을 포함할 수 있다는 점에 주목할 수 있다. 일부 실시 예에서, 워크 스테이션(502)은 또한 하이브리드 발전소(100)에서 사용되는 에너지 저장 디바이스(106)의 전체 수명을 향상시키기 위해 이러한 불확실성에 대한 고려를 용이하게 할 수 있다. 도 15는 전력 생성의 단기 예측 값 기반 MPC에 대한 불확실성을 보여주는 그래픽 표현이다. 일부 실시 예에 따르면, MPC 솔루션이 플랜트 예측 확실성이 높을 때에만 디스패치에 영향을 미치는 것을 보장하기 위해 불확실성의 예측에 기초하여 전력 디스패치 설정 포인트가 결정될 수 있다. 일부 실시 예에서, 불확실성 계산이 있는 MPC 솔루션은 $\mathrm{MPC_obj} = \sum \frac{1}{\sigma(t)} * Cost(t)$ 로 표현될 수 있으며, 여기서 $\sigma(t)$ 는 MPC로부터의 플랜트 예측에 대한 불확실성이다.

[0075] 다음은 MPC 기법을 사용하여 수행된 플랜트 예측에 대한 불확실성을 결정하는 몇 가지 세부 사항이다. 예를 들어, 언제든지 t의 실제 예측/예측 값은 $y_t = \hat{y}_t + e_t$ 와 같이 나타낼 수 있다. 여기서 y_t 는 실제 예측 값을 나타내고 $\hat{y}_t$ 는 MPC 기법/모델을 사용하여 예측된 값을 나타내고, e_t 는 예측에서 관찰된 오류를 나타낸다.

[0076] 개발된 예측 모델(예 : MPC 기술/모델)의 목적은 모든 t 에서 $|e_t|$ 을 최소화 하는 것이다. 개발된 모델의 경우 e_t 값은 모델 개발 중에 고려된 고유한 가정에서 비롯된 분포에서 도출된다. 예를 들어, 자동 회귀 모델에서 e_t 는 백색 잡음으로 간주된다. e_t 의 범위가 상당히 크면 개발된 모델의 목적을 달성하지 못할 수 있다. e_t 의 범위를 가능한 한 작게하는 것이 바람직할 수 있다. 이상적인 시나리오에서는 $|e_t| \to 0$ 다.

[0077] 예를 들어, y_t 의 예측 범위는 $\left(\left[\widehat{y_t^l}, \widehat{y_t^u}\right], p\right)$ 로 정의될 수 있고, 여기서 $\widehat{y_t^l}$ 는 하한을 나타내고, $\widehat{y_t^u}$ 는 상한을 나타내고, p 는 확률을 나타낸다. 수학적으로 $Prob\left(y_t \in \left[\widehat{y_t^l}, \widehat{y_t^u}\right] \mid \hat{y_t}\right) \geq p$ 이다. $\left[\widehat{y_t^l}, \widehat{y_t^u}\right]$ 는 예측 값의 불확실성을 정의한다. 일부 실시 예에서, 예측된 값의 불확실성은 모델의 불확실성, 모델의 파라미터의 불확실한 추정(즉, 이러한 파라미터에 대한 신뢰 구간) 및 예측되는 특정 포인트와 관련된 개별 무작위성을 포함할 수 있다.

[0078] 일부 실시 예에서, 단일 단계 전 예측 모델에서 불확실성을 결정하는 방법은 다음 단계 중 하나 이상을 포함할 수 있다.

[0079] - ForecastModel을 사용하여 시계열 데이터의 알려진 타임 스탬프에서 변수에 대한 단일 단계 전 값 예측.

[0080] - 시계열 데이터의 알려진 타임 스탬프에 대한 오류 벡터를 생성.

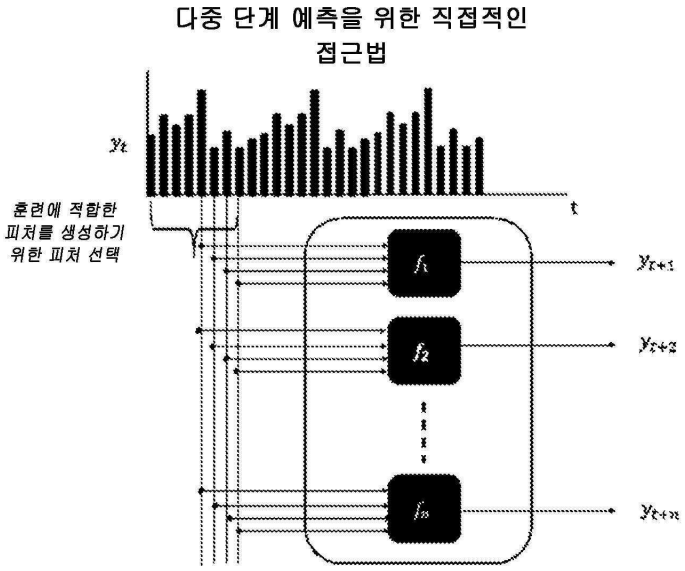
[0081] - $\mathcal{D}_e$ 는 오류 분포를 나타낸다.

[0082] - $\mathcal{D}_e$ 의 $e_t^l = \frac{1-p^{th}}{2}$ 백분위 수 및 $\mathcal{D}_e$ 의 $e_t^u = \frac{1+p^{th}}{2}$ 백분위 수

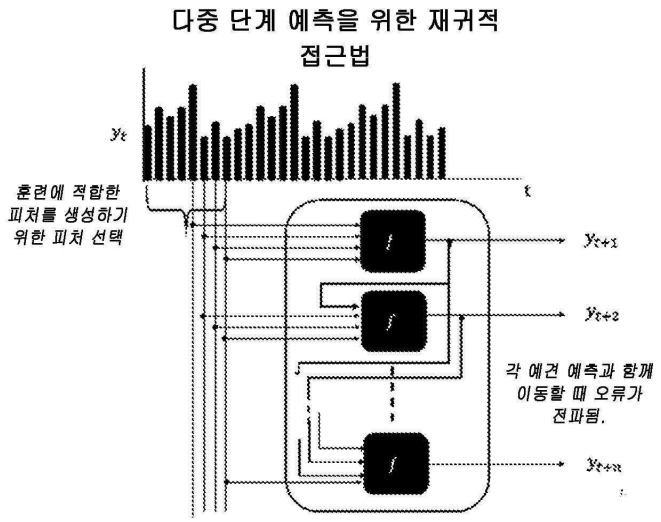
[0083] - $\widehat{y_t^l} = \hat{y_t} + e_t^l$ 및 $\widehat{y_t^u} = \hat{y_t} + e_t^u$

[0084] ForecastModel이 자기 회귀 모델이면 $\mathcal{D}_\varepsilon$가 정규 분포를 따른다는 것을 알 수 있다.

[0085]



[0086]



[0087] 일부 실시 예에서, 다중 단계 사전 예측 모델에서 불확실성을 결정하는 방법은 다음 단계 중 하나 이상을 포함할 수 있다. 다중 단계 예측 모델에 대한 입력에는 ForecastModel 및 시계열 데이터의 정보와 확률 p가 포함될 수 있다. 단계에는 다음 중 하나 이상이 포함될 수 있다.

[0088] - ForecastModel을 사용하여 시계열 데이터의 알려진 타임 스탬프에 대한 변수를 기반으로 다중 단계 전 값 예측

[0089] - 시계열 데이터의 알려진 타임 스탬프에서 각 예견에 대한 오류 벡터를 생성.

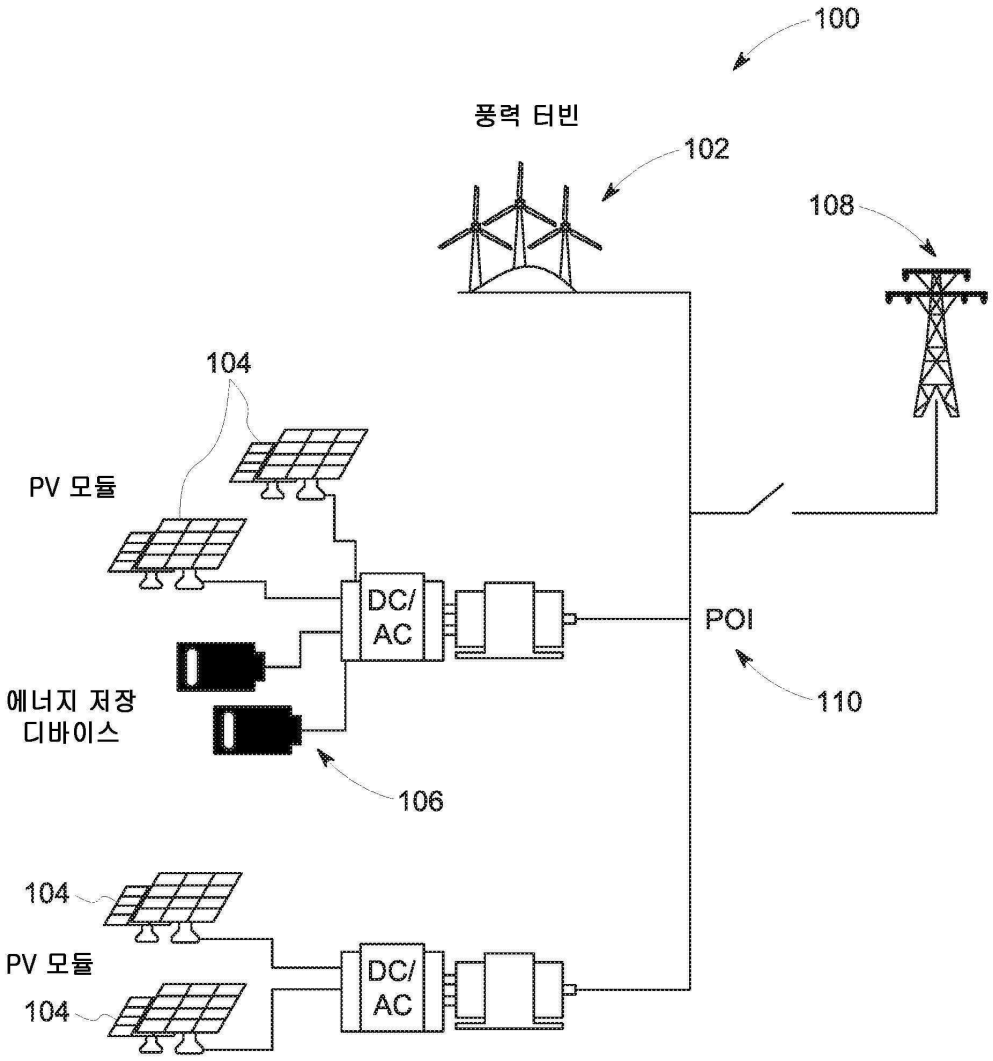
[0090] - $\mathcal{D}_\varepsilon$는 오류 분포를 나타낸다.

[0091] - $\mathcal{D}_\varepsilon$의 $e_t^l = \frac{1-p^{th}}{2}$ 백분위 수 및 $\mathcal{D}_\varepsilon$의 $e_t^u = \frac{1+p^{th}}{2}$ 백분위 수

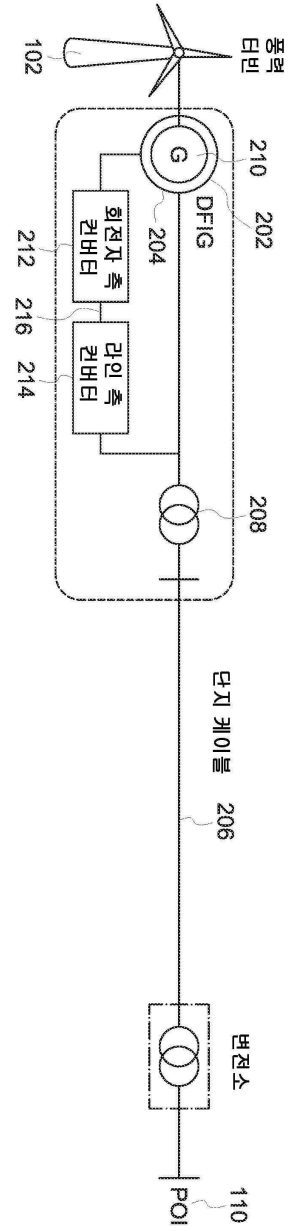
[0092] - $\widehat{y_t^l} = \hat{y}_t + e_t^l$ 및 $\widehat{y_t^u} = \hat{y}_t + e_t^u$

도면

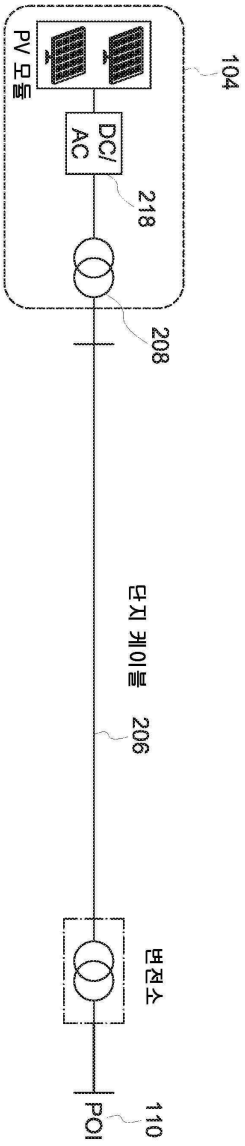
도면1


100
풍력 터빈
102
108
104
PV 모듈
DC/
AC
POI
110
에너지 저장
디바이스
106
104
PV 모듈
104
DC/
AC

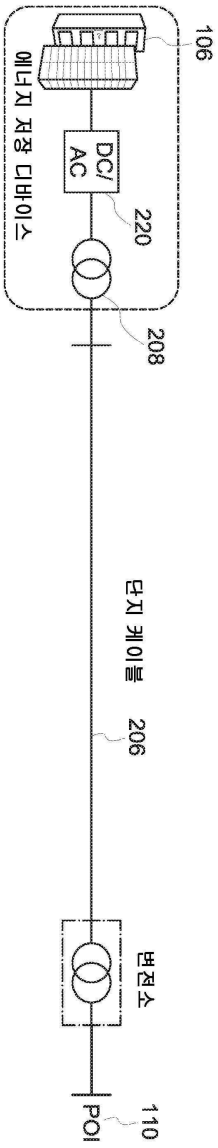
도면2a


풍력 터빈
102
G
DFIG
210
202
204
회전자 측 컨버터
212
라인 측 컨버터
216
214
208
단지 케이블
206
변전소
POI
110

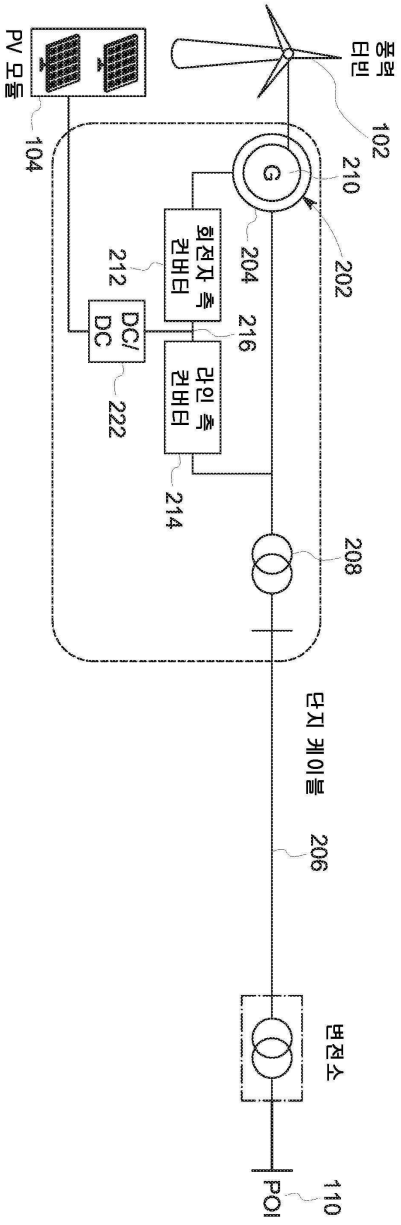
도면2b



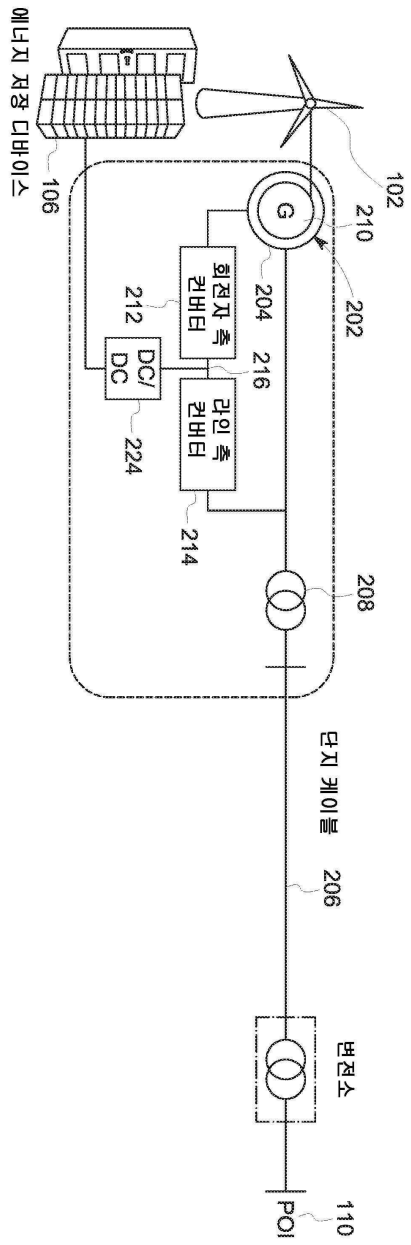
도면2c



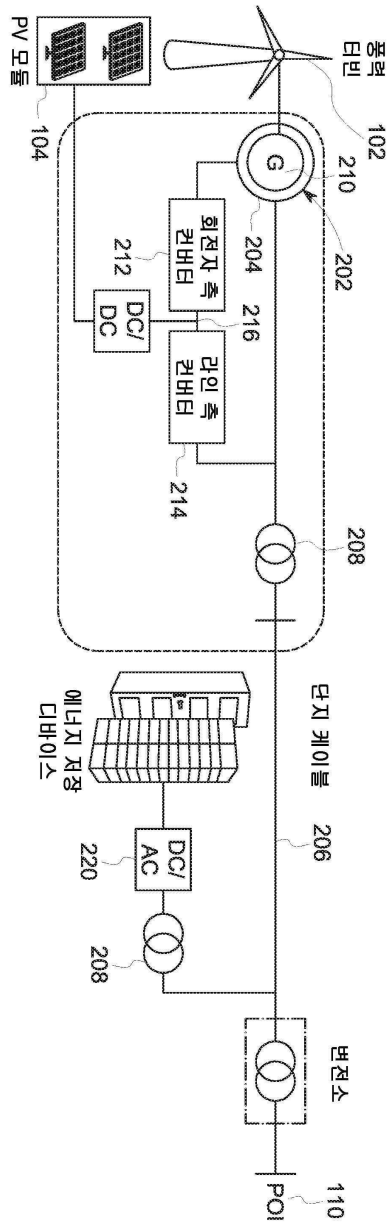
도면2d


풍력 터빈
102
PV 모듈
104
G
210
202
204
회전자 측 컨버터
212
DC/DC
222
216
라인 측 컨버터
214
208
단지 케이블
206
변전소
POI
110

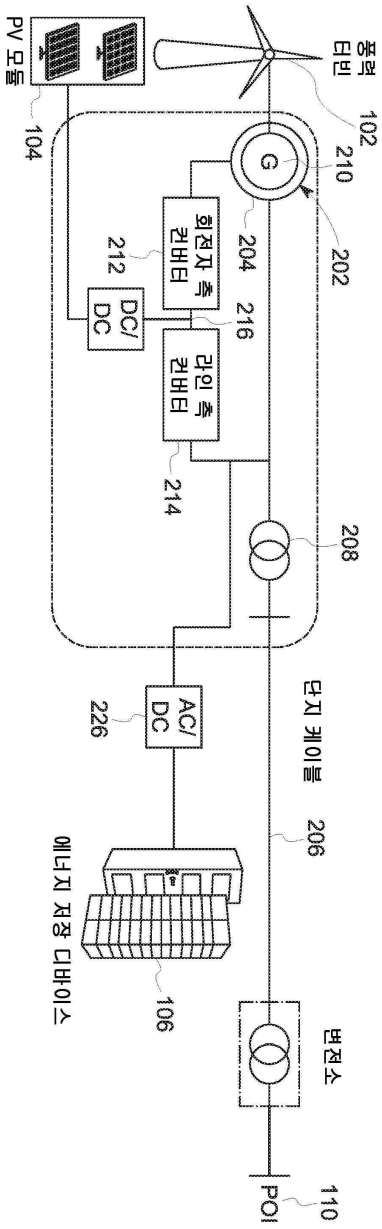
도면2e


에너지 저장 디바이스
106
102
G
210
202
204
회전자 측 컨버터
212
DC/DC
224
216
라인 측 컨버터
214
208
단지 케이블
206
변전소
POI
110

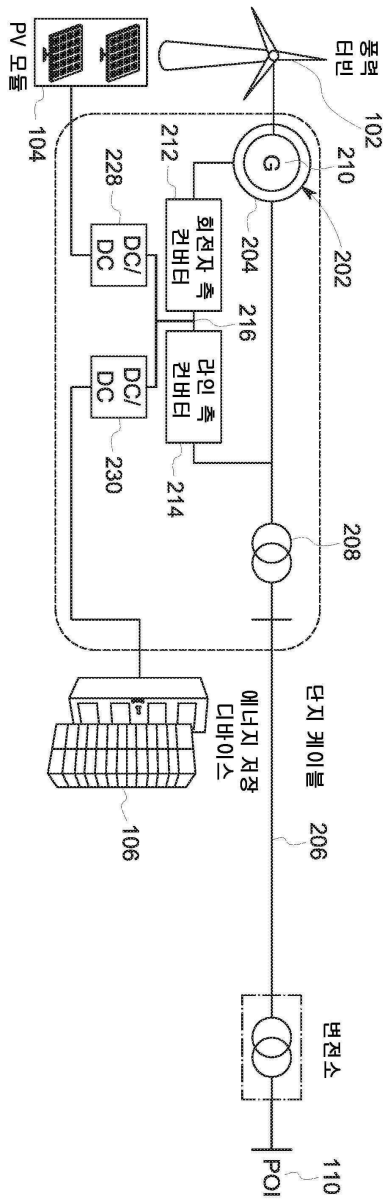
도면2f


풍력 터빈
102
PV 모듈
104
G
210
202
204
회전자 측 컨버터
212
DC/DC
216
라인 측 컨버터
214
208
단지 케이블
206
에너지 저장 디바이스
DC/AC
220
208
변전소
POI
110

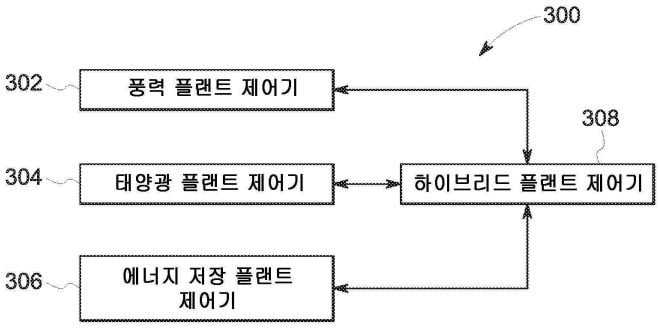
도면2g


풍력 터빈
102
PV 모듈
104
G
210
202
204
회전자 측 컨버터
212
DC/DC
216
라인 측 컨버터
214
208
단지 케이블
206
AC/DC
226
에너지 저장 디바이스
106
변전소
POI
110

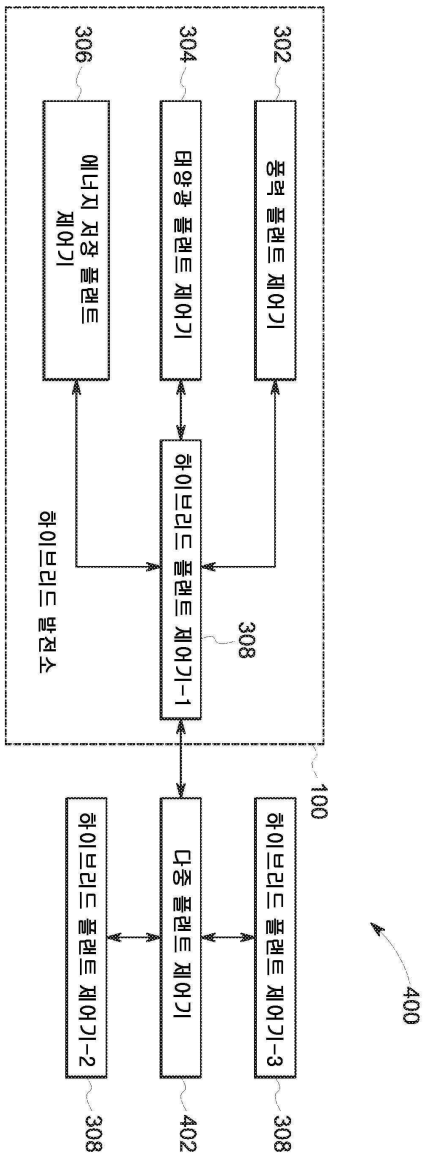
도면2h


PV 모듈
104
풍력 터빈
102
G
210
202
212
228
DC/DC
회전자 측 컨버터
204
216
DC/DC
라인 측 컨버터
230
214
208
에너지 저장 디바이스
106
단지 케이블
206
변전소
POI
110

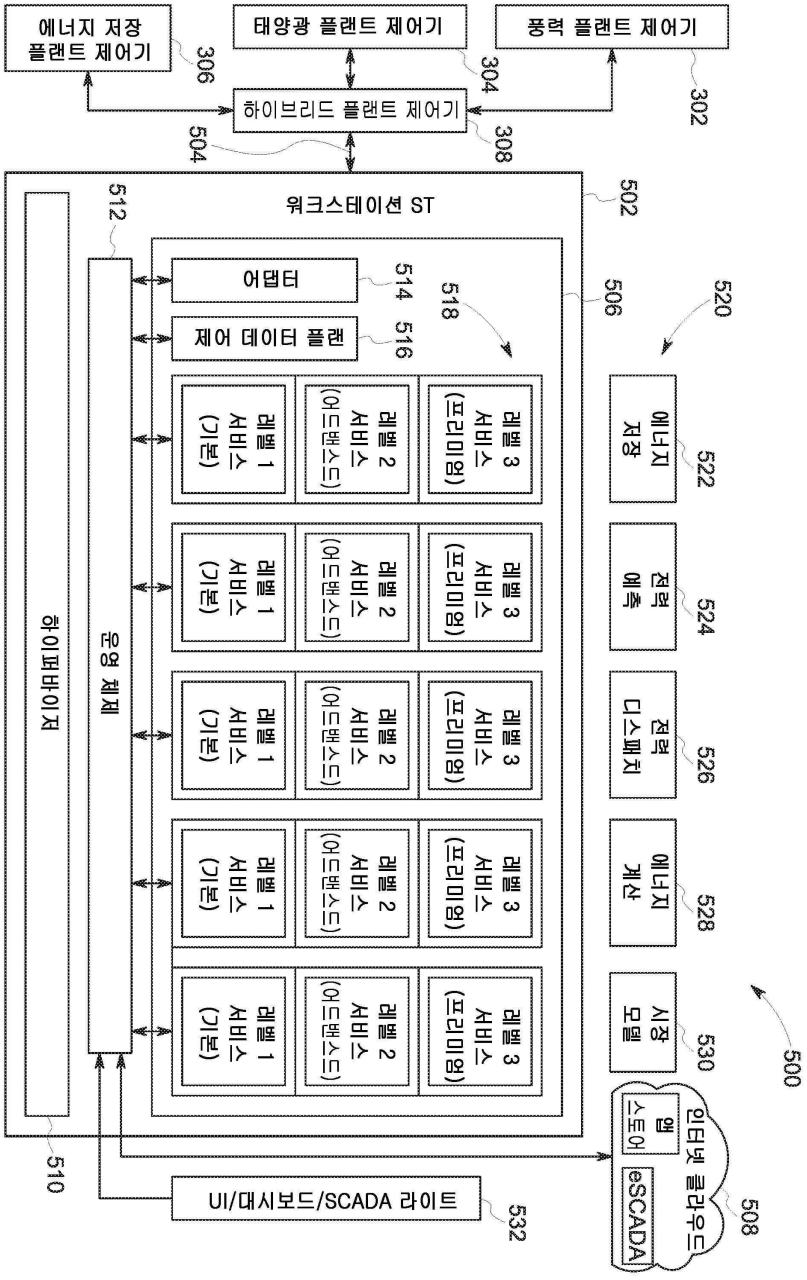
도면3


300
302
풍력 플랜트 제어기
308
304
태양광 플랜트 제어기
하이브리드 플랜트 제어기
306
에너지 저장 플랜트 제어기

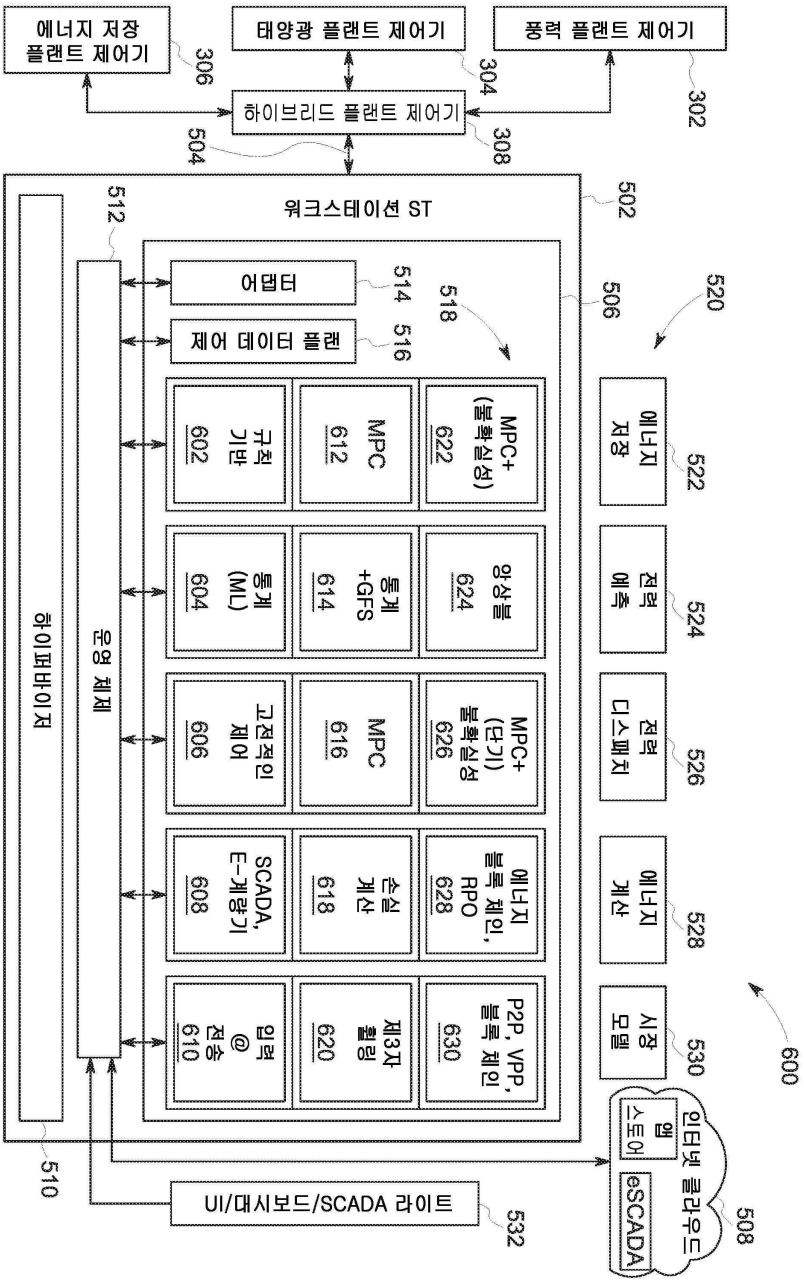
도면4


306
304
302
에너지 저장 플랜트 제어기
태양광 플랜트 제어기
풍력 플랜트 제어기
하이브리드 발전소
하이브리드 플랜트 제어기-1
308
100
하이브리드 플랜트 제어기-2
다중 플랜트 제어기
하이브리드 플랜트 제어기-3
308
402
308
400

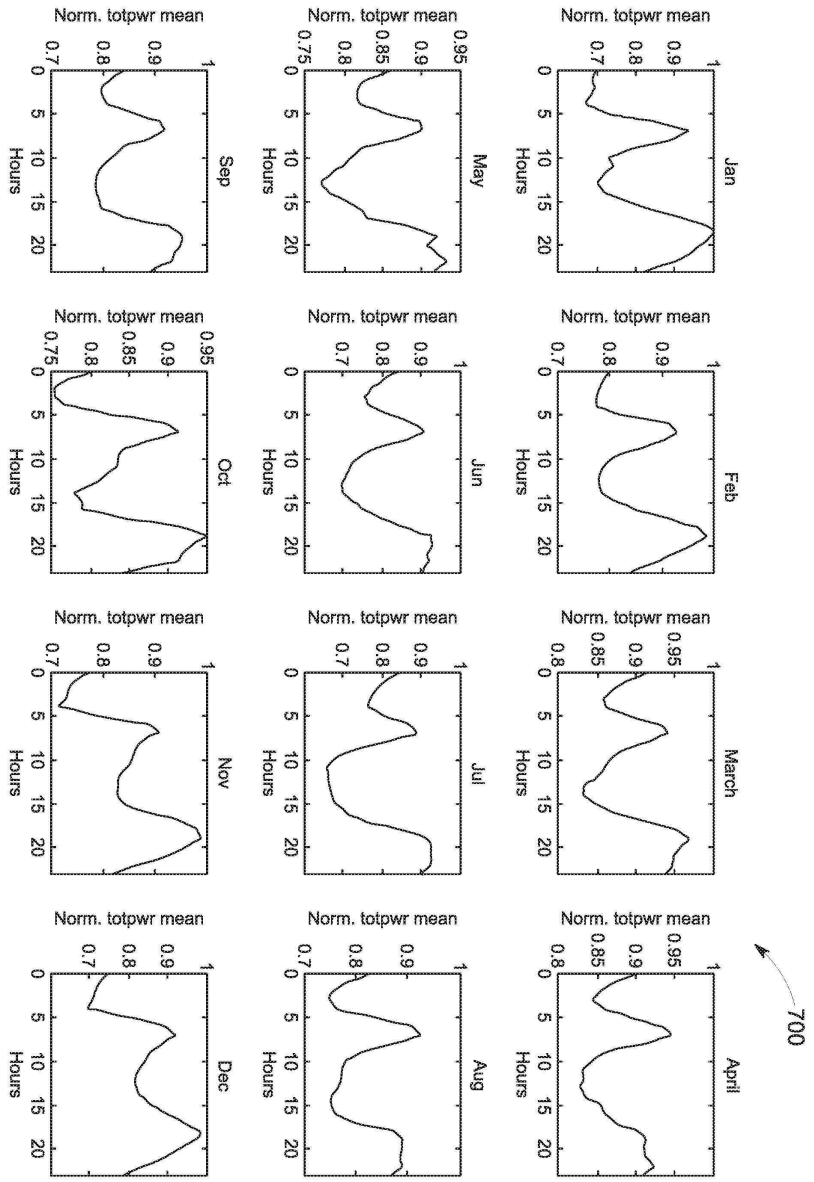
도면5


에너지 저장 플랜트 제어기
306
태양광 플랜트 제어기
304
풍력 플랜트 제어기
302
하이브리드 플랜트 제어기
308
504
워크스테이션 ST
502
512
어댑터
514
제어 데이터 플레
516
518
506
520
레벨 1 서비스 (기본)
레벨 2 서비스 (어드밴스드)
레벨 3 서비스 (프리미엄)
에너지 저장
522
전력 예측
524
전력 디스패치
526
에너지 계산
528
시장 모델
530
500
하이퍼바이저
운영 체제
510
UI/대시보드/SCADA 라이트
532
인터넷 클라우드
508
엠 스토어
eSCADA

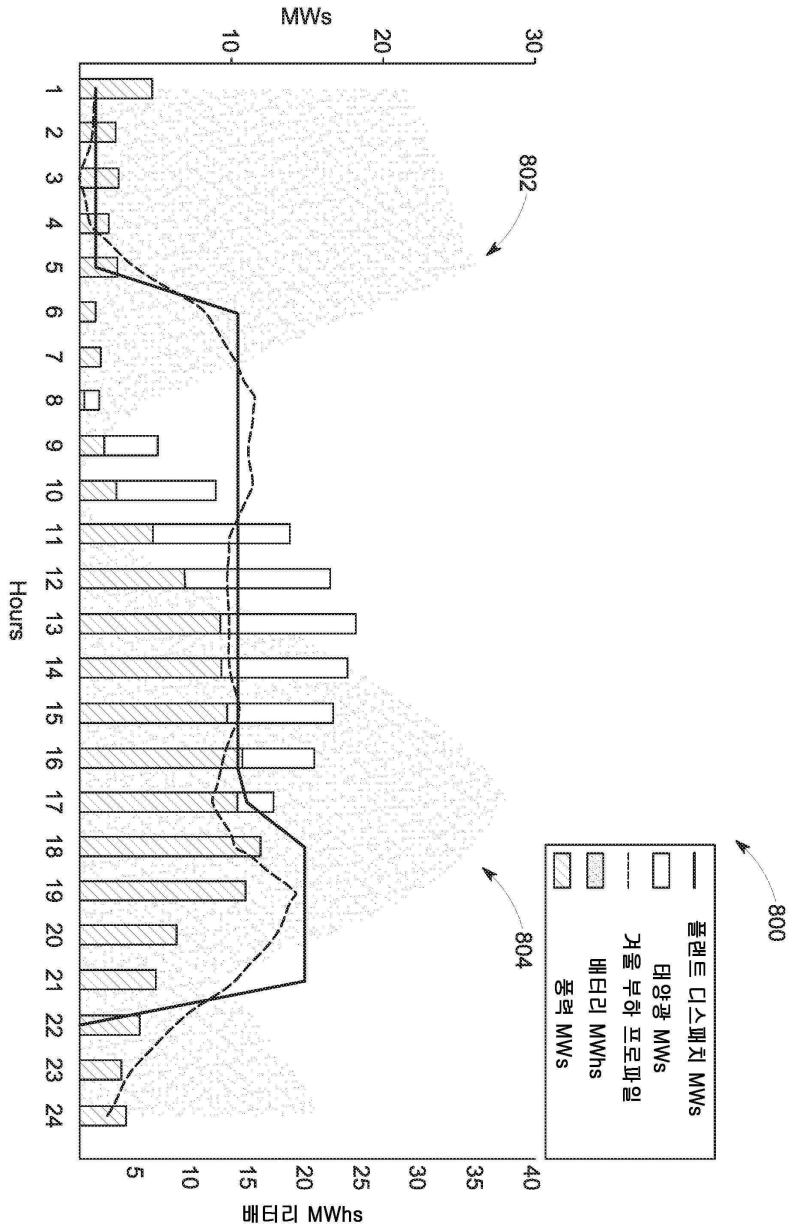
도면6


에너지 저장 플랜트 제어기
306
태양광 플랜트 제어기
304
풍력 플랜트 제어기
302
하이브리드 플랜트 제어기
308
504
워크스테이션 ST
502
512
어댑터
514
제어 데이터 플랜
516
518
506
520
규칙 기반 602
MPC 612
MPC+ (불확실성) 622
통계 (ML) 604
통계 +GFS 614
앙상블 624
고전적인 제어 606
MPC 616
MPC+ (단기) 불확실성 626
SCADA, E-계량기 608
손실 계산 618
에너지 블록 체인, RPO 628
입력 @ 전송 610
제3자 휠링 620
P2P, VPP, 블록 체인 630
운영 체제
하이퍼바이저
510
에너지 저장 522
전력 예측 524
전력 디스패치 526
에너지 계산 528
시장 모델 530
600
인터넷 클라우드
앱 스토어
eSCADA
508
UI/대시보드/SCADA 라이트
532

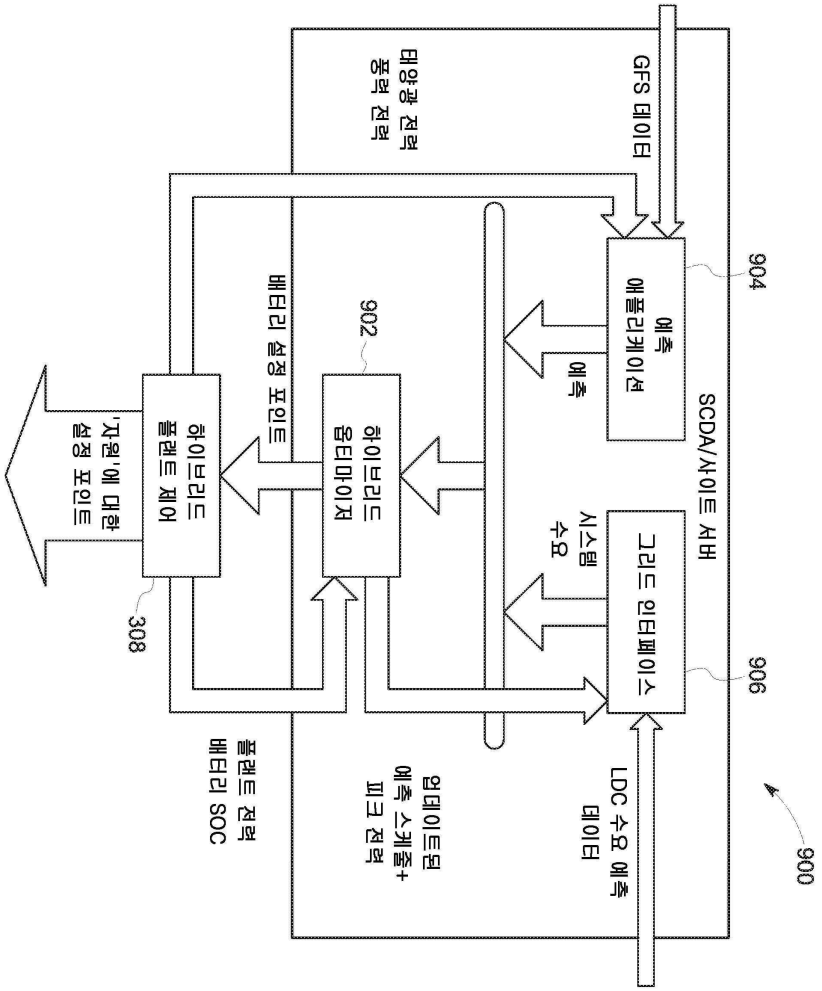
도면7


Norm. totpwr mean
Hours
Jan
Feb
March
April
May
Jun
Jul
Aug
Sep
Oct
Nov
Dec
700

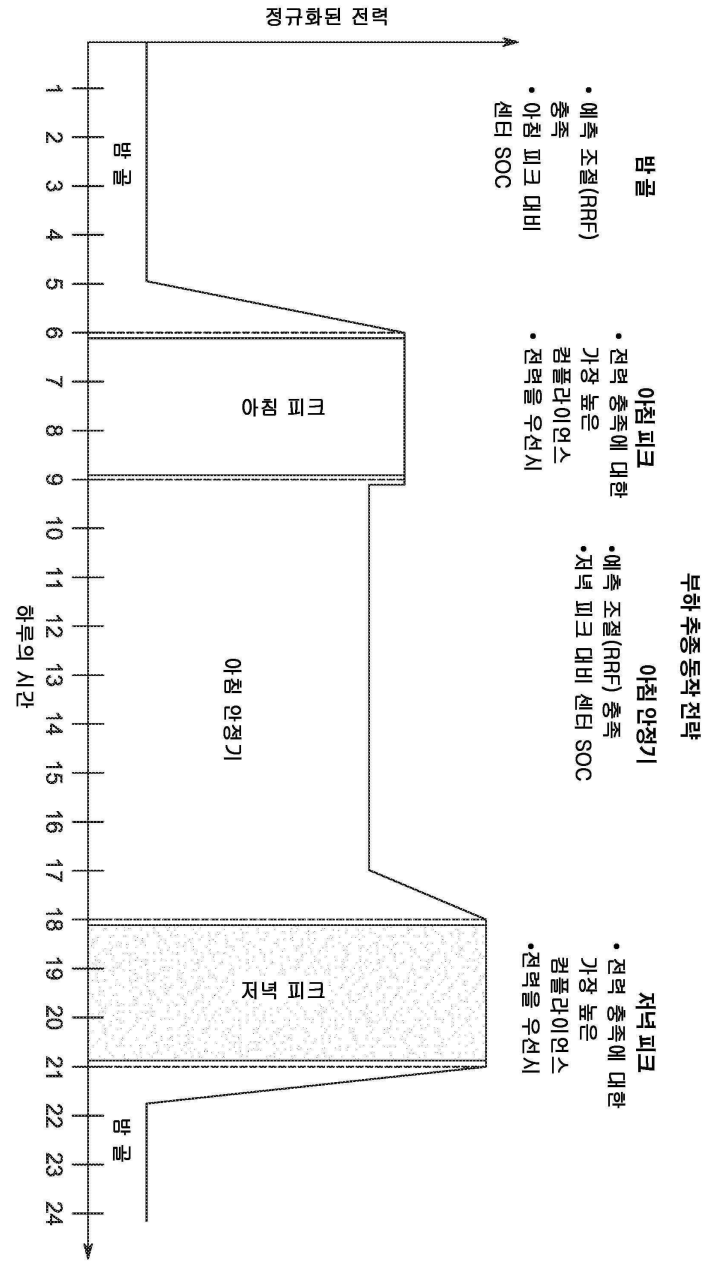
도면8


MWs
10
20
30
802
804
800
Hours
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24
5 10 15 20 25 30 35 40
배터리 MWhs
플랜트 디스패치 MWs
태양광 MWs
겨울 부하 프로파일
배터리 MWhs
풍력 MWs

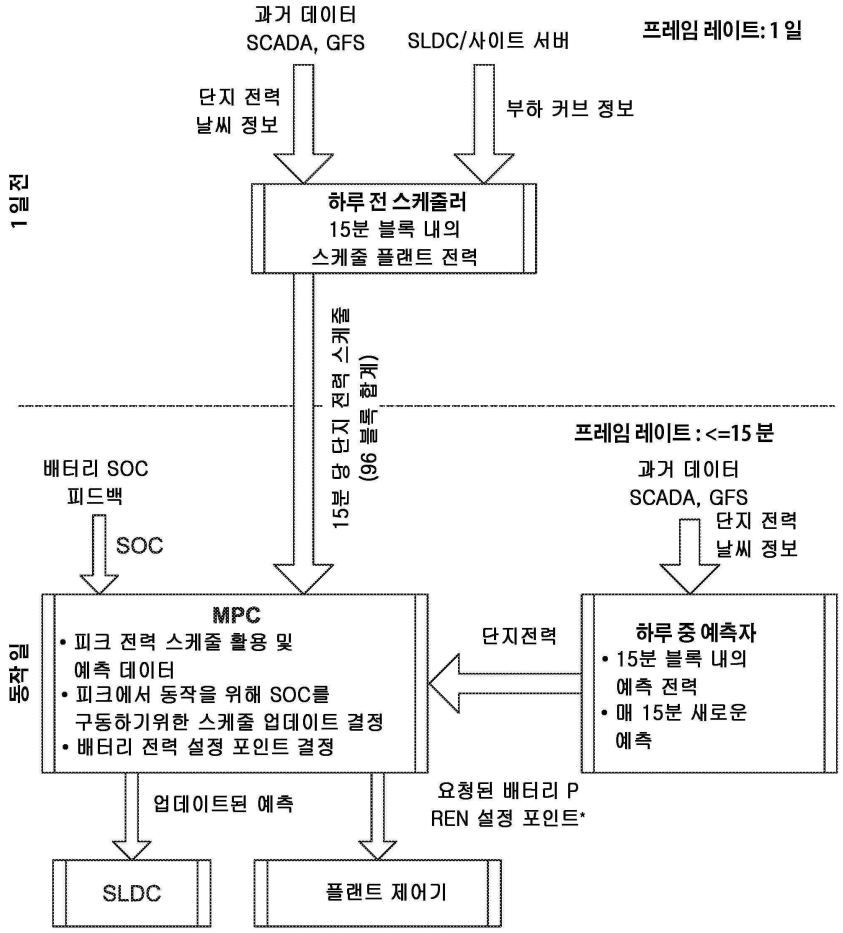
도면9


태양광 전력
풍력 전력
GFS 데이터
904
예측
애플리케이션
예측
SCDA/사이트 서버
배터리 설정 포인트
902
하이브리드
옵티마이저
시스템
수요
그리드 인터페이스
906
'자원'에 대한
설정 포인트
하이브리드
플랜트 제어
308
900
플랜트 전력
배터리 SOC
업데이트된
예측 스케줄+
피크 전력
LDC 수요 예측
데이터

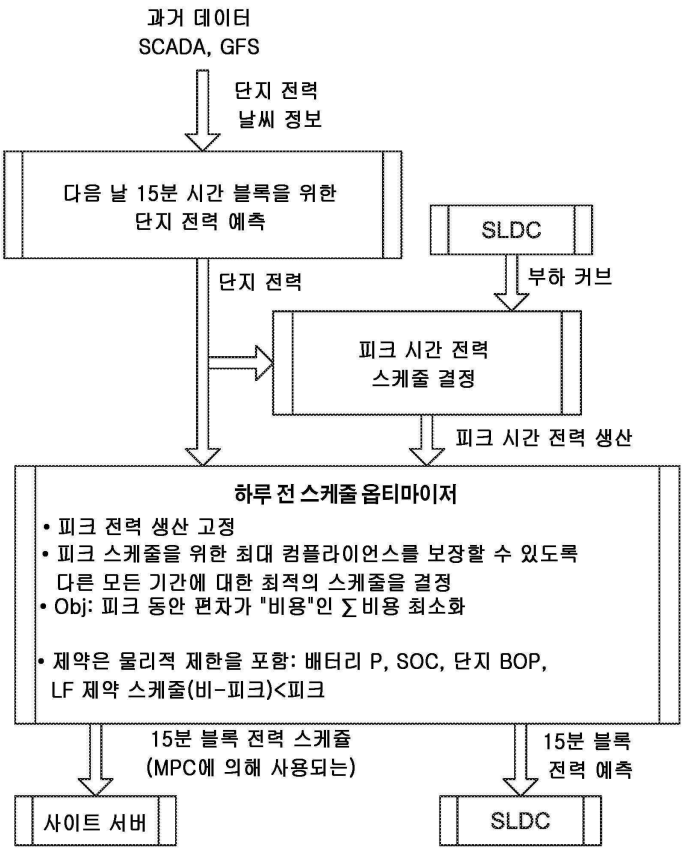
도면10


부하 추종 동작 전략
정규화된 전력
하루의 시간
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24
밤 골
아침 피크
아침 안정기
저녁 피크
밤 골
밤 골
• 예측 조절(RRF) 충족
• 아침 피크 대비 센터 SOC
아침 피크
• 전력 충족에 대한 가장 높은 컴플라이언스
• 전력을 우선시
아침 안정기
•예측 조절(RRF) 충족
•저녁 피크 대비 센터 SOC
저녁 피크
• 전력 충족에 대한 가장 높은 컴플라이언스
•전력을 우선시

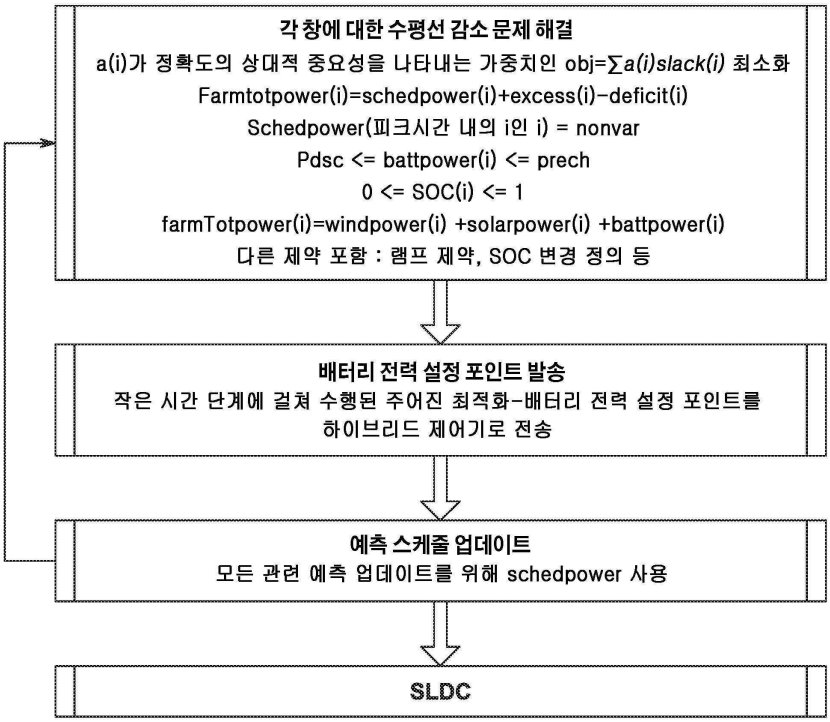
도면11


과거 데이터
SCADA, GFS
SLDC/사이트 서버
프레임 레이트: 1 일
단지 전력
날씨 정보
부하 커브 정보
1 일 전
하루 전 스케줄러
15분 블록 내의
스케줄 플랜트 전력
15분 당 단지 전력 스케줄
(96 블록 합계)
프레임 레이트 : <=15 분
배터리 SOC
피드백
SOC
과거 데이터
SCADA, GFS
단지 전력
날씨 정보
동작 일
MPC
• 피크 전력 스케줄 활용 및
예측 데이터
• 피크에서 동작을 위해 SOC를
구동하기위한 스케줄 업데이트 결정
• 배터리 전력 설정 포인트 결정
단지전력
하루 중 예측자
• 15분 블록 내의
예측 전력
• 매 15분 새로운
예측
업데이트된 예측
요청된 배터리 P
REN 설정 포인트*
SLDC
플랜트 제어기

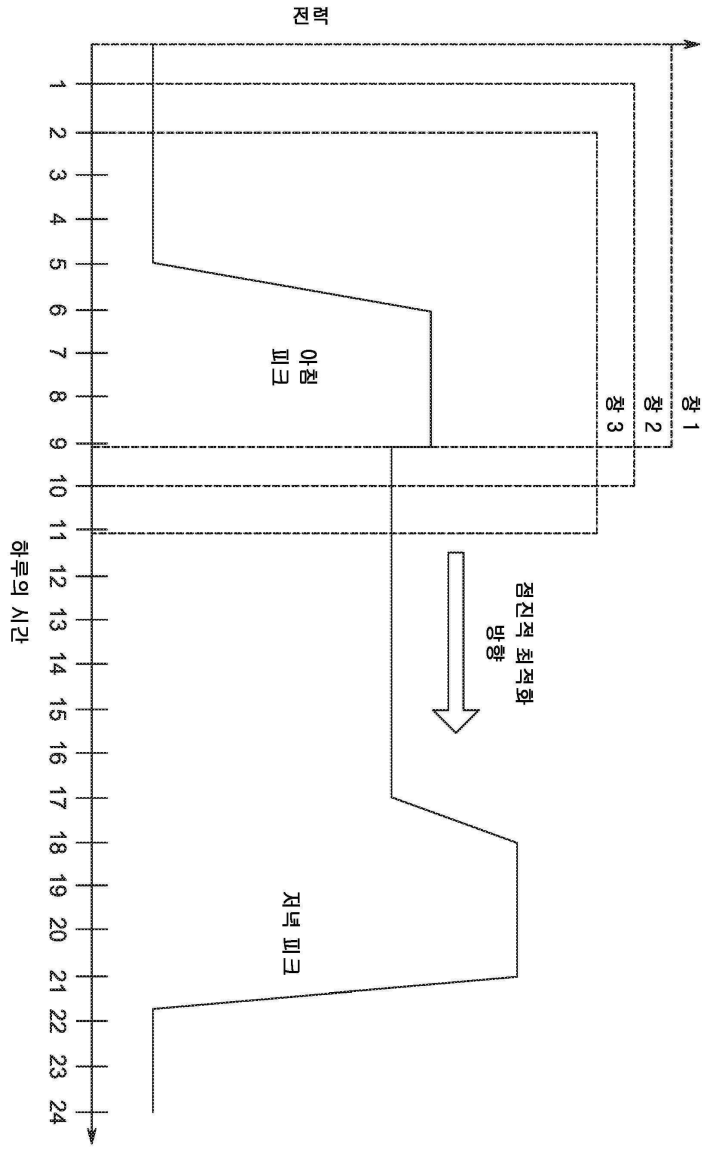
도면12


과거 데이터
SCADA, GFS
단지 전력
날씨 정보
다음 날 15분 시간 블록을 위한
단지 전력 예측
SLDC
부하 커브
단지 전력
피크 시간 전력
스케줄 결정
피크 시간 전력 생산
하루 전 스케줄 옵티마이저
• 피크 전력 생산 고정
• 피크 스케줄을 위한 최대 컴플라이언스를 보장할 수 있도록
다른 모든 기간에 대한 최적의 스케줄을 결정
• Obj: 피크 동안 편차가 "비용"인 ∑비용 최소화
• 제약은 물리적 제한을 포함: 배터리 P, SOC, 단지 BOP,
LF 제약 스케줄(비-피크)<피크
15분 블록 전력 스케줄
(MPC에 의해 사용되는)
15분 블록
전력 예측
사이트 서버
SLDC

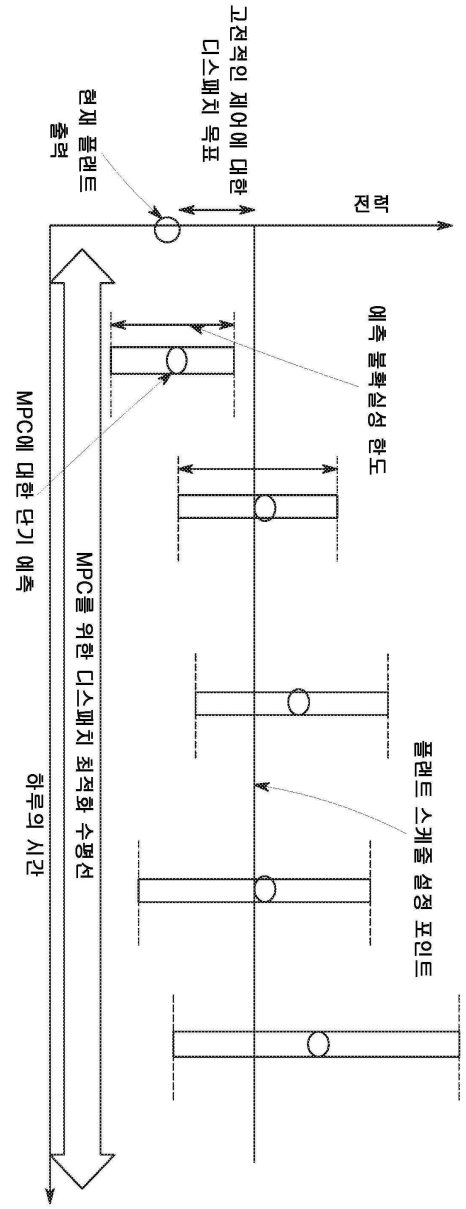
도면13


각 창에 대한 수평선 감소 문제 해결
a(i)가 정확도의 상대적 중요성을 나타내는 가중치인 obj=∑a(i)slack(i) 최소화
Farmtotpower(i)=schedpower(i)+excess(i)-deficit(i)
Schedpower(피크시간 내의 i인 i) = nonvar
Pdsc <= battpower(i) <= prech
0 <= SOC(i) <= 1
farmTotpower(i)=windpower(i) +solarpower(i) +battpower(i)
다른 제약 포함 : 램프 제약, SOC 변경 정의 등
배터리 전력 설정 포인트 발송
작은 시간 단계에 걸쳐 수행된 주어진 최적화-배터리 전력 설정 포인트를
하이브리드 제어기로 전송
예측 스케줄 업데이트
모든 관련 예측 업데이트를 위해 schedpower 사용
SLDC

도면14


전력
창 1
창 2
창 3
아침 피크
저녁 피크
점진적 최적화 방향
하루의 시간
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24

도면15


고전적인 제어에 대한 디스패치 목표
현재 플랜트 출력
확전
예측 불확실성 한도
MPC에 대한 단기 예측
MPC를 위한 디스패치 최적화 수평선
플랜트 스케줄 설정 포인트
하루의 시간