



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2011년06월30일
(11) 등록번호 10-1045326
(24) 등록일자 2011년06월23일

(51) Int. Cl.

G06Q 50/00 (2006.01) H02J 3/38 (2006.01)

G06F 19/00 (2011.01)

(21) 출원번호 10-2009-0092365

(22) 출원일자 2009년09월29일

심사청구일자 2009년09월29일

(65) 공개번호 10-2011-0034888

(43) 공개일자 2011년04월06일

(56) 선행기술조사문헌

JP2005130550 A*

W02008073476 A2*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

한국전력공사

서울특별시 강남구 삼성동 167번지

(72) 발명자

이학주

대전광역시 유성구 관평동 예미지아파트 702-2402

채우규

대전광역시 유성구 전민동 삼성푸른아파트
106-903

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인이지

전체 청구항 수 : 총 8 항

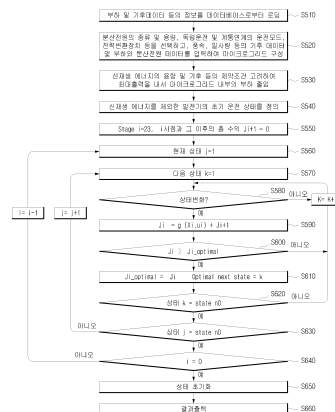
심사관 : 남인호

(54) 마이크로그리드 운영 시스템 및 방법

(57) 요약

본 발명은 다수의 분산전원으로 구성된 마이크로그리드에서 전력과 열 부하에 대한 제약조건과 전력거래 요금을 고려해서 마이크로그리드 운전에 따른 수익이 최대화가 되도록 각각의 분산전원 발전량을 결정하는 마이크로그리드 운영 시스템 및 방법에 관한 것이다. 본 발명의 일 실시예에 따른 마이크로그리드 운영 시스템은 적어도 하나의 분산전원을 포함하여 상기 마이크로그리드의 부하에 전력을 공급하는 마이크로그리드 시스템부, 상기 분산전원의 출력 최적 조건을 산출하여 수익 최적화된 분산전원 발전계획을 수립하는 분산전원 발전 계획 시스템부 및 상기 수립된 분산전원 발전계획에 따라 상기 분산전원을 제어하는 에너지 관리 시스템부를 포함하는 마이크로그리드 운영 시스템을 포함한다. 본 발명에 따르면 마이크로그리드의 효율적 운전과 경제적 운전이 가능하다.

대 표 도 - 도5



(72) 발명자

추철민

대전광역시 유성구 전민동 삼성푸른아파트 106-305

김주용

대전광역시 유성구 관평동 테크노밸리 대우아파트
213-202

특허청구의 범위

청구항 1

마이크로그리드의 운영 시스템에 있어서,

적어도 하나의 분산전원을 포함하여 상기 마이크로그리드의 부하에 전력을 공급하는 마이크로그리드 시스템부;

분산전원 기기정보, 부하, 전력요금, 기상 및 환경정보 중 적어도 하나의 정보가 저장되는 데이터베이스를 포함하고, 상기 정보를 이용하여 상기 마이크로그리드를 구성하는 적어도 하나의 분산전원을 온오프하여 운전방법에 따라 수익 최대화가 가능한 최적 조건을 산출하여 분산전원 발전계획을 수립하는 분산전원 발전 계획 시스템부; 및

상기 산출된 최적 조건에 따라 상기 마이크로그리드 시스템부에서 분산전원의 수익 극대화 운전을 수행하도록 상기 분산전원에 출력량을 제어하는 에너지 관리 시스템부를 포함하되,

상기 분산전원 발전계획 시스템부는 수익 최대화가 가능한 최적 조건을 산출하기 위하여 시간에 상응하는 복수의 스테이지(stage)를 설정하고, 각 스테이지에 상응하여 상기 분산전원의 각각의 상태를 천이하며 최종 스테이지부터 최초 스테이지로 천이하는 백워드(backward) 방법에 의해 발생하는 최적의 누적 수익을 산출하고, 상기 각 스테이지에 상응하여 산출된 누적 수익 중 최대 수익이 가능한 상기 분산전원의 최적 조건을 산출하는 것을 특징으로 하는 마이크로그리드 운영 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 분산전원 발전계획 시스템부에서 최적의 누적 수익을 산출하기 위하여 다음 수학식을 이용하는 마이크로그리드 운영 시스템,

$$J_i = g(x_i, u_i) + J_{i+1},$$

여기서, J_i 는 i 시점에서 현재의 상태 x_i 에 종속적이고 최종적인 i 시점부터 N (여기서 N 은 최종적인 스테이지)시점간의 축적된 최대 이익을 나타내는 지표이며, $g(x_i, u_i)$ 는 이익함수로 i 시점에서 에너지 저장장치를 포함한 발전기의 상태를 나타낸 상태변수 x_i 및 i 시점에서 발전기 온, 오프를 제어하는 변수 u_i 에 따라 발생하는 수익을 나타내는 지표임.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 i 는 하루 24시간을 시뮬레이션 하기 위하여 $i=0$ 부터 23까지 지정하고 우선 Stage $i=23$ 으로 설정하고, i 시점 이후의 총 수익인 $J_{i+1}=0$ 로 설정하고, $i=i-1$ 로 궤환하여 최종 스테이지부터 최초 스테이지로 천이하는 백워드(backward) 방법에 의한 누적 수익을 산출하는 것을 특징으로 하는 마이크로그리드 운영 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 분산전원 발전 계획 시스템부는

상기 분산전원 중 신재생 에너지원은 용량 및 기후를 포함하는 제약조건을 고려하여 최대출력으로 설정하고, 발전원과 저장장치의 출력 최적 조건을 산출하는 것을 특징으로 하는 마이크로그리드 운영 시스템.

청구항 5

삭제

청구항 6

삭제

청구항 7

삭제

청구항 8

적어도 하나의 분산전원을 포함하여 마이크로그리드의 부하에 전력을 공급하는 마이크로그리드 시스템부, 상기 분산전원의 출력 최적 조건을 산출하여 수익 최적화된 분산전원 발전계획을 수립하는 분산전원 발전 계획 시스템부 및 상기 수립된 분산전원 발전계획에 따라 상기 분산전원을 제어하는 에너지 관리 시스템부를 포함하는 마이크로그리드 운영 시스템에서 마이크로그리드를 운영하는 방법에 있어서,

상기 분산전원 발전계획 시스템부에서 분산전원 기기정보, 부하, 전력요금, 기상 및 환경정보 중 적어도 하나의 정보를 독출하는 단계;

상기 분산전원 발전계획 시스템부에서 상기 정보를 이용하여 상기 마이크로그리드를 구성하는 적어도 하나의 분산전원을 온오프하여 운전방법에 따라 수익 최대화가 가능한 최적 조건을 산출하는 단계; 및

상기 에너지 관리 시스템부에서 상기 산출된 최적 조건에 따라 상기 마이크로그리드 시스템부에서 분산전원의 수익 극대화 운전을 수행하도록 상기 분산전원에 출력량을 제어하는 단계를 포함하되,

상기 분산전원 발전계획 시스템부에서 정보를 이용하여 상기 마이크로그리드를 구성하는 적어도 하나의 분산전원을 온오프하여 운전방법에 따라 수익 최대화가 가능한 최적 조건을 산출하는 단계는

시간에 상응하는 복수의 스테이지(stage)를 설정하는 단계;

각 스테이지에 상응하여 상기 분산전원의 각각의 상태를 천이하며 최종 스테이지부터 최초 스테이지로 천이하는 백워드(backward) 방법에 의해 발생하는 최적의 누적 수익을 산출하는 단계;

상기 각 스테이지에 상응하여 산출된 누적 수익 중 최대 수익이 가능한 상기 분산전원의 최적 조건을 산출하는 단계를 포함하는 마이크로그리드 운영 방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

최적의 누적 수익을 산출하는 단계는 다음 수식식에 의해 산출하는 것을 특징으로 하는 마이크로그리드 운영 방법,

$$J_i = g(x_i, u_i) + J_{i+1},$$

여기서, J_i 는 i 시점에서 현재의 상태 x_i 에 종속적이고 최종적인 i 시점부터 N (여기서 N 은 최종적인 스테이지)시점간의 축적된 최대 이익을 나타내는 지표이며, $g(x_i, u_i)$ 는 이익함수로 i 시점에서 에너지 저장장치를 포함한 발전기의 상태를 나타낸 상태변수 x_i 및 i 시점에서 발전기 온, 오프를 제어하는 변수 u_i 에 따라 발생하는 수익을 나타내는 지표임.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 i 는 하루 24시간을 시뮬레이션 하기 위하여 $i=0$ 부터 23까지 지정하고 우선 Stage $i=23$ 으로 설정하고, i 시점 이후의 총 수익인 $J_{i+1}=0$ 로 설정하고, $i=i-1$ 로 궤환하여 최종 스테이지부터 최초 스테이지로 천이하는 백워드(backward) 방법에 의한 누적 수익을 산출하는 것을 특징으로 하는 마이크로그리드 운영 방법.

청구항 11

삭제

청구항 12

제8항에 있어서,

상기 분산전원 발전계획 시스템부에서 상기 정보를 이용하여 상기 마이크로그리드를 구성하는 적어도 하나의 분

산전원을 온오프하여 운전방법에 따라 수익 최대화가 가능한 최적 조건을 산출하는 단계는

상기 분산전원 발전계획 시스템부에서 상기 분산전원 중 신재생 에너지원은 용량 및 기후를 포함하는 제약조건을 고려하여 최대출력으로 설정하는 단계; 및

발전원과 저장장치를 온오프하여 운전방법에 따라 수익 최대화가 가능한 최적 조건을 산출하는 단계를 포함하는 마이크로그리드 운영 방법.

청구항 13

삭제

청구항 14

삭제

청구항 15

삭제

명세서

발명의 상세한 설명

기술분야

[0001] 본 발명은 다수의 분산전원으로 구성된 마이크로그리드에서 전력과 열 부하에 대한 제약조건과 전력거래 요금을 고려해서 마이크로그리드 운전에 따른 수익이 최대화가 되도록 각각의 분산전원 발전량을 결정하는 마이크로그리드 운영 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 최근 유가의 급등이나 환경에 관련된 규제 등으로 인하여 기존 발전기에 대한 제약이 많으므로 화석연료에 의존한 발전에서 과다한 초기 투자비에 의해 경제성이 상대적으로 낮음에도 불구하고 CO₂ 저감에 의한 환경보존을 위한 자구적인 노력으로 태양광 및 풍력 등의 신재생 에너지 확대 보급을 위한 세계적인 노력이 증가하고 있다.

[0003] 또한 분산전원의 초기 투자비용 및 운전비용 감소로 기존 발전기와의 단가를 비교하면 점차 낮아지는 추세를 보이고 있다. 이러한 이유로 분산전원이 포함된 마이크로그리드의 구성은 경쟁력이 있는 새로운 이슈로 부각되고 있다.

[0004] 한편, 2000년대 초반부터 신재생에너지를 포함한 분산전원의 확대보급을 위한 방안으로 분산전원과 부하로 구성되는 소규모 전력공급 시스템인 마이크로그리드를 도입하여 미국, 일본을 중심으로 마이크로그리드 시험장 건설 및 실험실 규모의 관련 기술개발이 활발하게 진행되고 있다.

[0005] 마이크로그리드는 다수의 분산전원과 에너지 저장장치 등으로 구성된 소규모 전력공급 시스템으로 전원과 부하의 클러스터로 정의할 수 있으며 전력과 열을 동시에 공급할 수 있는 새로운 전력공급 시스템이다.

[0006] 마이크로그리드는 상위 계통과 연계되어 운전되나 상위 계통에서 고장 등이 발생하는 경우 독립운전이 가능하여야 한다. 즉, 마이크로그리드는 i) 상위계통과 연계하여 운전이 가능한 연계운전 모드와 ii) STS 등을 이용하여 상위 계통과 분리하여 운전하는 독립운전 모드로 구분할 수 있다.

[0007] 현재 분산전원의 발전단가는 기존의 계통 발전기보다 높고, 전력 또는 열과 같은 수요가 다양하고 저장장치와 같은 저장장치가 존재하기 때문에 이러한 다양한 분산전원을 최적으로 운영 및 경제적 운영에 대한 제안이 없다는 문제점이 있다.

발명의 내용

해결하고자하는 과제

[0008] 본 발명은 상기 문제를 해결하기 위하여 안출된 것으로서, 분산전원 기기정보 및 기상정보와 부하패턴 등의 관련 정보를 이용하여 사용자가 선택한 분산전원을 마이크로그리드로 구성하고 다수의 분산전원에 대한 24시간 동안의 최적 발전계획을 결정하여 수익이 최대화되도록 하는 마이크로그리드 운영 시스템 및 방법을 제공하는 것이다.

[0009] 또한, 본 발명은 마이크로그리드를 구성하고 있는 분산전원이 부하에 공급하는 전력 및 열 공급가격과 상위계통으로 판매하는 전력가격의 합이 최대화가 되게 하는 목적함수의 최적 해를 구하여 수익이 최대화되는 마이크로그리드의 운영 시스템 및 방법을 제공하는 것이다.

[0010] 또한 본 발명은 이를 기반으로 마이크로 그리드를 전력시장에 효율적으로 참여시키고 확대 보급하는데 그 목적이 있다.

과제 해결수단

[0011] 본 발명의 일 측면에 따르면, 마이크로그리드 운영 시스템이 제공된다.

[0012] 본 발명의 일 실시예에 따른 마이크로그리드 운영 시스템은 적어도 하나의 분산전원을 포함하여 상기 마이크로그리드의 부하에 전력을 공급하는 마이크로그리드 시스템부, 상기 분산전원의 출력 최적 조건을 산출하여 수익 최적화된 분산전원 발전계획을 수립하는 분산전원 발전 계획 시스템부 및 상기 수립된 분산전원 발전계획에 따라 상기 분산전원을 제어하는 에너지 관리 시스템부를 포함하는 마이크로그리드 운영 시스템을 포함한다.

[0013] 본 발명의 다른 일 측면에 따르면, 마이크로그리드 운영 방법이 제공된다.

[0014] 본 발명의 일 실시예에 따른 마이크로그리드 운영 방법은 분산전원 기기정보, 부하, 전력요금, 기상 및 환경정보 중 적어도 하나의 정보를 독출하는 단계, 상기 정보를 이용하여 상기 마이크로그리드를 구성하는 적어도 하나의 분산전원을 온오프하여 운전방법에 따라 수익 최대화가 가능한 최적 조건을 산출하는 단계 및 상기 산출된 최적 조건에 따라 상기 분산전원에 출력량을 제어함으로써 분산전원의 수익 극대화 운전을 수행하는 단계를 포함하는 마이크로그리드 운영방법을 포함한다.

효 과

[0015] 본 발명은 전력과 열 제약조건, 마이크로그리드의 독립운전 및 상위계통 연계운전의 운전모드를 고려하여 분산전원의 출력 최적 조건을 구하고 이에 대한 정보를 마이크로그리드 운영시스템에 제공함으로써 마이크로그리드의 효율적 운전과 경제적 운전이 가능하다.

[0016] 또한, 본 발명은 전력거래에 대한 가격 정보를 이용함으로써 전력회사의 상용계통과 전력거래가 가능하여 마이크로그리드 운전방법에 따라 수익 최대화가 가능한 시스템으로 자율적인 시장참여 유도에 의한 마이크로그리드의 확대보급이 가능하다.

[0017] 또한, 본 발명은 구현한 시스템은 사용자가 직접 마이크로그리드 설계를 위해 구성요소만 선택하게 되면 간단하게 시스템을 구성할 수 있어 사용자의 편의성 제공이 가능하고 전력 및 열 부하의 제약조건을 고려한 마이크로그리드의 경제적인 운전 전략을 사전에 검증할 수 있다.

[0018] 또한, 본 발명은 전력시장 가격과 연동이 가능하여 마이크로그리드의 운전 전략에 대한 사전 분석으로 이를 이용하여 마이크로그리드 사업모델 개발을 위한 분석이 가능하다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

[0019] 본 발명은 다양한 변환을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 상세한 설명에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변환, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다.

[0020] 이하, 본 발명의 실시예를 첨부한 도면들을 참조하여 상세히 설명하기로 한다.

[0021] 도 1 내지 도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 마이크로그리드 운영시스템의 구성을 설명하기 위한 도면이다.

- [0022] 도 1에 도시된 바와 같이, 마이크로그리드 운영시스템은 다수의 분산전원과 전력변환장치를 구성요소로 하는 마이크로그리드 시스템부(100), 수익최대화를 분산전원의 출력 최적 조건을 산출하는 분산전원 발전 계획 시스템부(200), 상위계통인 메인 그리드와 연계되는 상위계통 연계부(300) 및 최적화된 분산전원 발전 계획에 따라 분산전원을 제어하고 관리하는 에너지관리 시스템부(400)를 포함한다.
- [0023] 마이크로그리드 시스템부(100)는 마이크로그리드 내의 부하(161)에 전력을 공급한다.
- [0024] 마이크로그리드 시스템부(100)는 도 2에 도시된 바와 같이 다수의 분산전원(101, 102, 103, 104, 111, 112)과 전력변환장치(131, 141, 142, 151) 및 에너지 저장장치(121) 등으로 구성된다.
- [0025] 도 2를 참조하면, 실선은 통상의 배전선을 나타내며, 점선은 통신선을 나타내며, 굵은 막대선은 열전달 경로를 나타낸다.
- [0026] 마이크로그리드 시스템부(100)는 출력의 직접적인 제어가 가능한 보일러(101), 열병합 발전기(102), 연료전지(103), 마이크로터빈(104)과 전력변환장치(131), 태양광 발전(112)과 그 전력변환장치(142), 풍력발전(111)과 그 전력변환장치(141) 중 적어도 하나의 분산전원을 포함할 수 있다.
- [0027] 또한, 마이크로 그리드 시스템부(100)는 에너지저장장치(121) 및 전력변환장치(151)를 더 포함할 수 있으며, 내부계통에 의해 마이크로그리드 내부의 부하에 전력을 공급할 수 있다.
- [0028] 분산전원 발전계획 시스템부(200)는 도 3에 도시된 바와 같이, 분산전원 기기정보 관련 데이터베이스(201), 부하 및 전력요금 데이터베이스(202)와 기상 및 환경정보 관련 데이터베이스(203), 동적계획법을 이용한 다수의 분산전원 발전계획부(211)로 구성된다.
- [0029] 분산전원 발전계획 시스템부(200)는 각종 DB(201~203)에 기록되어 있는 부하패턴, 전기요금 및 풍속, 일사량, 기온 등을 분산전원 발전계획부(211)에 입력한다. 분산전원 발전계획부(211)은 분산전원의 수익 최대화를 위해 분산전원 최적 출력(221)을 산정하고 이를 에너지 관리시스템부(400)로 전송한다.
- [0030] 한편, 상위계통 연계부(300)는 마이크로그리드 시스템부(100)와 상위계통인 배전계통을 연계한다.
- [0031] 상위계통 연계부(300)는 분산전원의 발전량이 마이크로그리드 부하보다 클 경우에는 마이크로 그리드 시스템부(100)와 상위계통과 전력거래가 가능하다.
- [0032] 상위계통 연계부(300)는 마이크로그리드 시스템부(100)와 정지형 개폐기(Static Transfer Switch, 이하 STS라 함)(303)에 통하여 상위계통(301)과 연계된다. 또한, 상위계통의 고장이 발생하게 되면 STS(303)에 의해 상위계통(301)과 분리하여 독립운전을 하게 된다.
- [0033] 에너지관리 시스템부(400)는 효율적인 에너지관리를 위하여 마이크로그리드 시스템부(100)와 통신망을 통하여 연결된다.
- [0034] 에너지관리 시스템부(400)는 분산전원 발전계획 시스템부(200)의 결과를 반영하여 마이크로그리드 시스템부(100)의 분산전원에 출력량을 지령하고 제어를 통하여 분산전원의 수익 극대화 운전을 수행한다.
- [0035] 다음은 마이크로그리드의 경제적 운전을 위한 목적함수를 설명하기로 한다.
- [0036] 분산전원 발전계획 시스템부(200)는 24시간 동안 마이크로그리드를 구성하는 다수의 분산전원을 On/Off하여 운전방법에 따라 수익 최대화가 가능한 최적 조건을 산출한다.
- [0037] 우선, 마이크로그리드의 운전에 의한 수입은 마이크로그리드의 부하에 공급한 열, 전력 및 상위 계통과 거래한 전력의 합으로 나타내며 수학식1과 같이 나타낸다.

수학식 1

$$R_k = P_k^e \cdot p_k^e + P_k^h \cdot p_k^h + P_{k, sell}^e \cdot p_{k, sell}^e$$

[0038]

[0039] 여기서, k 는 시간구간, R_k 는 k 에서의 총수입이며 P_k^e , P_k^h , $P_{k, \text{sell}}^e$ 는 각각 k 에서의 전력 및 열 공급량 및 상위계통으로 판매한 전력량을 나타낸 것이다. 또한, ρ_k^e , ρ_k^h , $\rho_{k, \text{sell}}^e$ 은 전력단가, 열 단가와 전력판매단가로 표시된다.

[0040] 한편, 마이크로그리드의 총비용은 분산전원 발전비용, 기동 및 정지비용, 상위계통으로부터의 전력구매 비용 및 저장장치 수명단축 비용의 합이며 수학적식 2와 같이 나타낸다.

수학적식 2

$$C_{k_{\text{total}}} = c_{G,i}(P_{k,i}) + C_{k,i}^{\text{up/dn}} + C_{k_{\text{buy}}} + C_{bw}$$

[0041]

[0042] 여기서 분산전원의 발전비용은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$c_{G,i}(P_{k,i}) = u_{k,i} \cdot (aP_{k,i}^2 + bP_{k,i} + c)$$

[0043]

[0044] 여기서, i 는 분산전원, $P_{k,i}$ 는 분산전원 i 의 출력이며 [kW]로 나타내고, $c_{G,i}(P_{k,i})$ 는 전력 $P_{k,i}$ 의 발전비용이다.

[0045] 분산전원의 기동 및 정지비용은 다음 수학적식 3로 나타낸다.

수학적식 3

$$C_{k,i}^{\text{up/dn}} = u_{k,i} \cdot I(x_{k-1,i} < 0)S_i + (1 - u_{k,i}) \cdot (c_i^{\text{fix}} + I(x_{k-1,i} > 0)T_i)$$

[0046]

[0047] 여기서, S , T 는 분산전원의 시간당 기동 및 정지 비용이며, c_i^{fix} 는 분산전원 i 의 시간당 고정비용이다.

[0048] $u_{k,i}$ 는 시간구간 k 에서의 발전기 운전 상태로 $u_{k,i} = 0$ 이면 오프상태, $u_{k,i} = 1$ 은 온 상태를 나타낸다.

[0049] $x_{k,i}$ 는 시간구간 k 에서 분산전원 i 의 온 또는 오프 누적시간을 나타내는 상태변수이다.

$$C_{k_{\text{buy}}} = P_{k_{\text{buy}}}^e \cdot \rho_{k_{\text{buy}}}^e$$

[0050]

[0051] 로 나타내며 $P_{k_{\text{buy}}}^e$ 와 $\rho_{k_{\text{buy}}}^e$ 는 k 에서 각각 상위계통으로부터 구매한 전력량과 구매단가이다.

[0052] 저장장치(121)의 수명단축비용은 수학적식 4와 같이 나타낸다.

수학적식 4

$$C_{bw} = \frac{C_{\text{rep}_{bat}}}{N_{bat} \cdot Q_{\text{lifetime}} \cdot \sqrt{n_{rt}}}$$

[0053]

[0054] 여기서, $C_{\text{rep}_{bat}}$ 는 저장장치 बैं크의 교체비용, N_{bat} 는 बैं크 내의 저장장치 수, Q_{lifetime} 은 저장장치 1개의 단위수명이고, n_{rt} 는 저장장치의 효율이다.

[0055] 저장장치(121)의 수명은 다음의 수학식5와 같이 나타낸다.

수학식 5

$$Q_{lifetime} = f_i \cdot d_i \left(\frac{q_{\max} \cdot V_{nom}}{1000 W/kW} \right)$$

[0056]

[0057] f_i : 실패 싸이클 수

[0058] d_i : 방전율[%]

[0059] q_{\max} : 저장장치의 최대 용량 [kWh]

[0060] V_{nom} : 저장장치 정격전압 [V] 이다.

[0061] 결과적으로 마이크로그리드의 수익은 다음 수학식 6과 같이 나타낸다.

수학식 6

$$\Pi_k = R_k - \sum_{i=1}^N c_{G,i}(P_{k,i}) - \sum_{i=1}^N C_{k,i}^{up/dn} - C_{k,buy}$$

[0062]

[0063] 여기서 N은 분산전원의 총 대수이다.

[0064] 본 발명에서 목적함수는 24시간 동안 마이크로그리드를 구성하는 다수의 분산전원을 On/Off하여 최대 수익을 실현할 수 있도록 하는 것이며, 수학식7과 같이 나타낸다.

수학식 7

$$\max_{u_{k,j}} \sum_{k=1}^{24} (\Pi_k)$$

[0065]

[0066] 다음은 마이크로그리드의 수익 최대화가 가능한 목적함수의 최적 해를 구하기 위한 분산전원 운전 및 정지 상태, 상태변화, 출력 및 부하, 저장장치 방전조건, 전력변환장치의 용량과 송전용량에 대한 제약조건에 관한 것이다.

[0067] 첫째, 분산전원의 기동 및 정지 최소시간에 대한 제약조건으로 발전기의 제어변수 $u_{k,i}$ 는 운전상태를 1로 정지 상태는 0으로 지정한다.

$$u_{k,i} = \begin{cases} 1 & 1 \leq x_{k,i} < t_i^{up} \\ 0 & -1 \geq x_{k,i} > -t_i^{dn} \\ 1, 0 & otherwise \end{cases}$$

[0068]

[0069] 둘째, 본 발명에 있어서 상태변화에 대한 제약조건은 다음 식과 같다.

$$x_{k+1,i} = \begin{cases} \max(1, x_{k,i} + 1) & \text{if } u_{k+1,i} = 1 \\ \min(-1, x_{k,i} - 1) & \text{if } u_{k+1,i} = 0 \end{cases}$$

[0071] 셋째, 출력에 대한 제약조건은 다음과 같이 나타낸다.

$$P_{\min,i} \leq P_{k,i} \leq P_{\max,i}$$

[0073] 넷째, 전력 및 열에 대한 부하의 제약조건은 다음과 같이 나타낸다.

$$\sum_i P_{k,i}^e + P_k^{e,exchange} \geq P_k^{e,load}$$

$$\sum_j P_{k,j}^h \geq P_k^{h,load}$$

[0075] 다섯째, 저장장치의 충, 방전 제약조건은 다음과 같이 나타낸다.

$$(SoC)_k \geq (SoC)_{\min}$$

[0077] 여섯째, 분산전원에 대한 전력변환장치의 용량에 대한 제약조건은 다음과 같이 나타낸다.

$$P_k^{convert} \leq P_{\max}^{convert}$$

[0079] 일곱째, 송전용량에 대한 제약조건은 다음과 같다.

$$P_k^{trans} \leq P_{\max}^{trans}$$

[0081] 도 5 및 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 다수의 분산전원으로 구성된 마이크로그리드에서 최대 수익 발생을 위한 마이크로그리드 운영방법을 설명하기 위한 도면이다.

[0082] 본 발명에 적용한 마이크로그리드 운영방법은 각 시간대별 마이크로그리드 운전에 대한 가치평가를 통해 최대 이익을 발생하기 위한 분산전원의 출력 결정방법이다.

[0083] 단계 S510에서, 분산전원 발전계획 시스템부(200)는 부하 및 기후데이터 등의 필요정보를 데이터베이스로부터 로딩 한다.

[0084] 단계 S520에서, 분산전원 발전계획 시스템부(200)는 분산전원의 종류 및 용량, 독립운전 및 계통연계의 운전모드, 저장장치, 전력변환장치 등을 선택하고 풍속, 일사량 등의 기후 데이터 및 부하와 분산전원 데이터를 입력하거나 파일형태의 자료를 불러와서 마이크로그리드를 구성한다.

[0085] 단계 S530에서, 분산전원 발전계획 시스템부(200)는 마이크로그리드의 경제적 운전을 위하여 풍력발전(111), 태양광발전(112) 등의 신재생 에너지는 발전단가가 상대적으로 매우 저렴하므로 용량 및 기후 등의 제약조건을 고려하여 최대출력을 내서 마이크로그리드 내부의 부하를 줄인다.

- [0086] 단계 S540에서, 분산전원 발전계획 시스템부(200)는 신재생 에너지를 제외한 적어도 하나의 발전기의 초기 운전 상태를 정의한다.
- [0087] 단계 S550에서, 분산전원 발전계획 시스템부(200)는 하루 24시간을 시뮬레이션 하기 위하여 $i=0$ 부터 23까지 지정하고 우선 Stage $i=23$ 으로 설정하고, i 시점 이후의 총 수익인 $J_{i+1}=0$ 로 설정한다. 여기서, i 가 23부터 시작하는 것은 백워드 방식을 사용하기 위함이다.
- [0088] 단계 S560에서, 분산전원 발전계획 시스템부(200)는 에너지 저장장치를 포함한 발전기의 현재 상태를 나타내는 변수인 j 를 state 1로 설정한다.
- [0089] 단계 S570에서, 분산전원 발전계획 시스템부(200)는 현재 상태에서 다음 상태의 최적점을 구하기 위한 에너지 저장장치를 포함한 발전기의 다음 상태를 나타내는 변수인 k 를 state 1로 설정한다.
- [0090] 단계 S580에서, 분산전원 발전계획 시스템부(200)는 신재생 에너지를 제외한 적어도 하나의 에너지 저장장치를 포함한 발전기의 상태가 변화되었는지 판단한다.
- [0091] 단계 S590에서, 분산전원 발전계획 시스템부(200)는 판단결과 에너지 저장장치를 포함한 발전기의 상태가 변화가 없다면 $J_i = g(x_i, u_i) + J_{i+1}$ 로 설정한다. 여기서, J_i 는 i 시점에서 현재의 상태 x_i 에 종속적이고 최종적인 i 시점부터 N (여기서 N 은 최종적인 스테이지)시점간의 축적된 최대 이익을 나타내는 지표이며, $g(x_i, u_i)$ 는 이익 함수로 i 시점에서 에너지 저장장치를 포함한 발전기의 상태를 나타낸 상태변수 x_i 및 i 시점에서 발전기 온, 오프를 제어하는 변수 u_i 에 따라 발생하는 수익이다.
- [0092] 예를 들면, 처음에는 $i=23$ 이므로 $J_{23}(\text{state } 1)=g(x_{23}, u_{23}) + J_{24}$ 이고 $J_{23}(\text{state } 1)$ 는 모든 가능한 상태(state)를 변경하며, 최적의 수익이 발생하는 상태를 찾는 경우, 23 시점에서 24시점을 위한 최적 상태를 알 수 있다.
- [0093] 단계 S600에서, 분산전원 발전계획 시스템부(200)는 $J_i > J_{i_optimal}$ 인지 판단한다.
- [0094] 단계 S610에서, 분산전원 발전계획 시스템부(200)는 $J_i > J_{i_optimal}$ 인 경우, J_i 가 기존에 검출되었던 $J_{i_optimal}$ 보다 더 큰 수익을 내기 때문에 $J_{i_optimal}=J_i$, Optimal next state= k 로 설정한다.
- [0095] 단계 S620에서, 분산전원 발전계획 시스템부(200)는 각 발전기 및 에너지 저장장치의 상태 k 에 대한 연산을 시행하며 가능한 모든 state의 연산이 시행되지 않았을 경우 $k=k+1$ 로 궤환한다.
- [0096] 단계 S630에서, 분산전원 발전계획 시스템부(200)는 시간 i 에서의 발전기(신재생에너지 제외) 및 저장장치의 상태 j 가 지정된 모든 state에 대한 $j=j+1$ 로의 궤환에 의해 최적화를 연산하여 모든 연산이 완료되면 종료한다.
- [0097] 단계 S640에서, 분산전원 발전계획 시스템부(200)는 $i=0$ 인 최초 스테이지까지 각 발전기 및 에너지 저장장치의 state를 변화시켜 가면서 $J_{i_optimal}$ 의 최대가 되는 점을 검출한다.
- [0098] 분산전원 발전계획 시스템부(200)는 도 7을 참조하여 이를 더욱 상세히 설명하면, 백워드(backward) 스테이지 계산법으로 예를 들면, 스테이지 23에서 스테이지 0까지 궤환하며, 모든 상태(state 1부터 state n)를 분석하여 최종 스테이지부터 누적 수익이 최적인 상태를 파악할 수 있다.
- [0099] 단계 S650에서, 분산전원 발전계획 시스템부(200)는 즉, 상태 j 와 k 에 대하여 목적함수가 최소가 되는 지점은 제어변수 u 를 결정함으로써 결정이 되고 총 24시간에 대한 제어변수가 최종적으로 결정이 된다. 그 후 마지막으로 초기상태를 입력하고, 수익이 최대 가능한 최적 조건을 출력한다.
- [0100] 본 발명의 실시 예는 다양한 컴퓨터로 구현되는 동작을 수행하기 위한 프로그램 명령을 포함하는 컴퓨터 판독 가능 매체를 포함할 수 있다. 상기 컴퓨터판독 가능 매체는 프로그램 명령, 로컬 데이터 파일, 로컬 데이터구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체는 본 발명을 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터소프트웨어 담당자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다.
- [0101] 상기에서는 본 발명의 바람직한 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 하기의 특허 청구의 범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

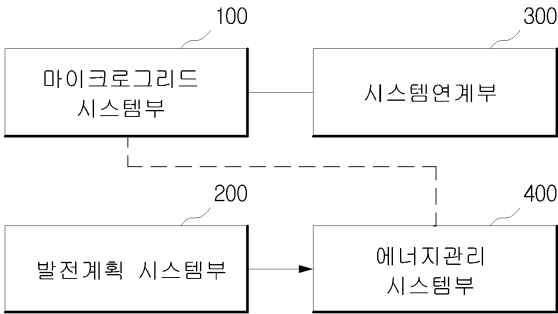
도면의 간단한 설명

[0102] 도 1 내지 도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 마이크로그리드 운영시스템의 구성을 설명하기 위한 도면.

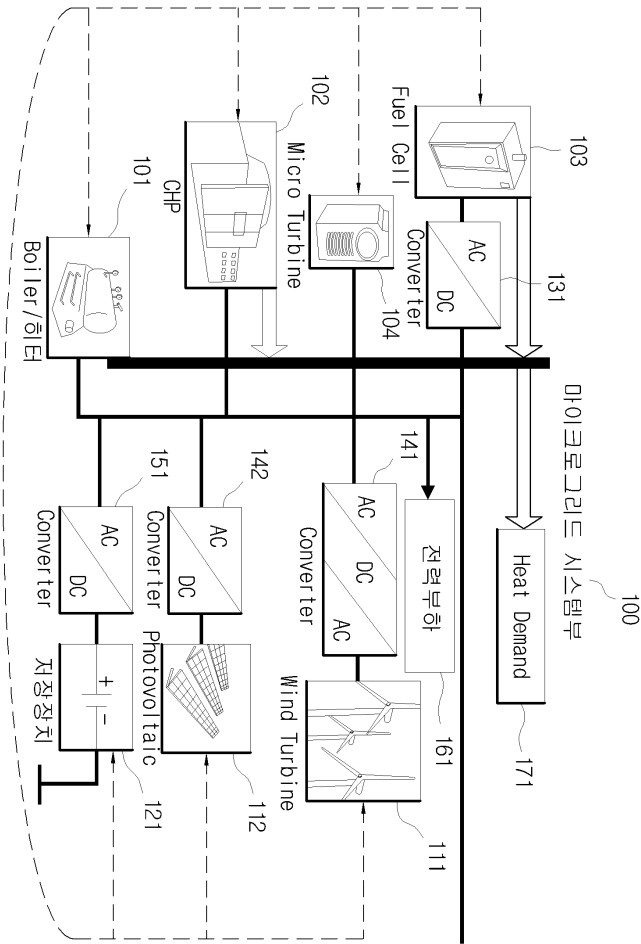
[0103] 도 5 및 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 다수의 분산전원으로 구성된 마이크로그리드에서 최대 수익 발생을 위한 마이크로그리드 운영방법을 설명하기 위한 도면.

도면

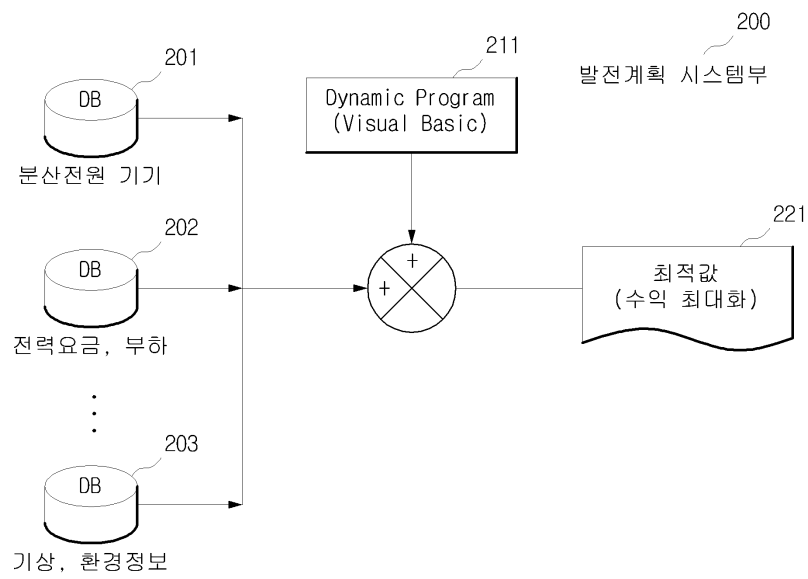
도면1



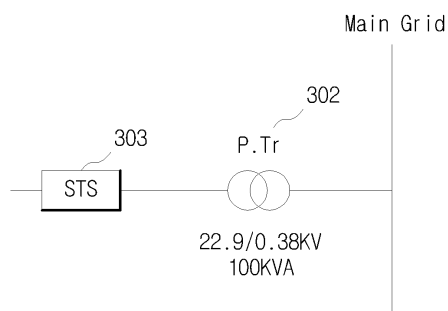
도면2



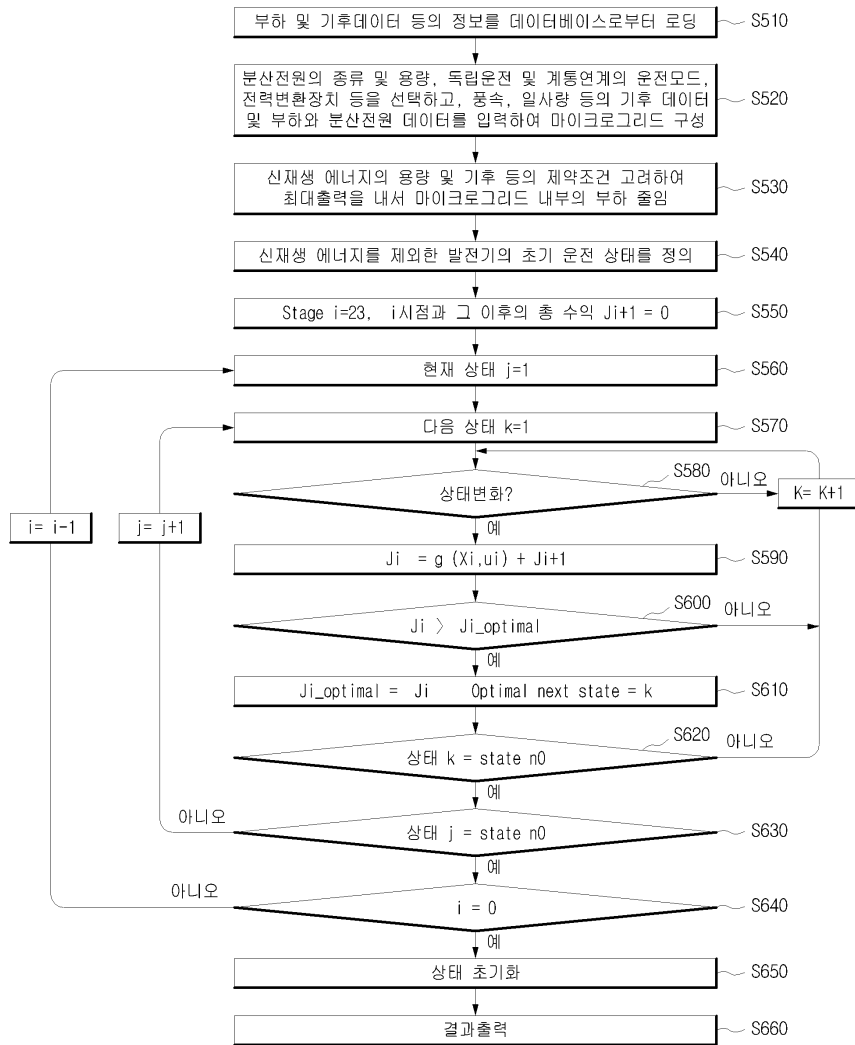
도면3



도면4



도면5



도면6

