(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년12월31일
(11) 등록번호 10-1581685
(24) 등록일자 2015년12월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02J 7/00 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2014-0108226
(22) 출원일자 2014년08월20일
심사청구일자 2014년08월20일
(56) 선행기술조사문헌
KR101293462 B1*
KR1020110033278 A*
KR1020130022039 A*
JP2012068916 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
서강대학교산학협력단
서울특별시 마포구 백범로 35 (신수동, 서강대학교)
(72) 발명자
김홍석
서울특별시 마포구 서강대길 40 103동 202호 (대흥동, 마포자이2차아파트)
최요환
서울특별시 송파구 올림픽로 99 122동 104호(잠실동, 잠실엘스)
박세홍
서울특별시 송파구 오금로31길 27 101동 1204호 (방이동, 코오롱아파트)
(74) 대리인
특허법인충현

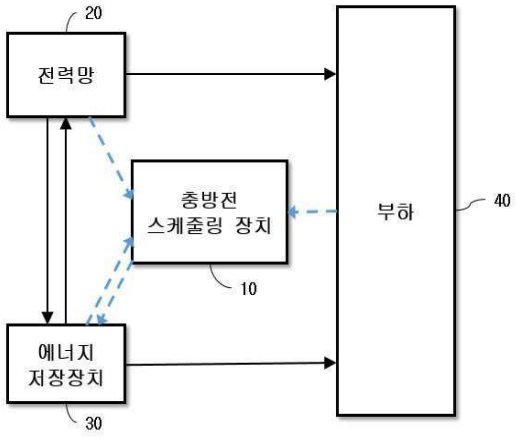
전체 청구항 수 : 총 14 항 심사관 : 박원규

(54) 발명의 명칭 **에너지 저장장치의 충방전 스케줄링 장치 및 방법**

(57) 요 약

본 발명은 에너지 저장장치의 충방전 스케줄링 장치 및 방법에 관한 것으로, 전력망과 연결되어 부하 측에 전력을 공급하기 위하여 전력망의 시간대별 요금 차이 및 에너지 저장장치의 내부 화학적 특성에 관한 감가상각을 적용한 에너지 저장장치의 충방전을 통해 전체적 비용을 최소화하고, 수요반응 신호에 따른 분산전원의 사용요소까지 함께 고려함에 따라 수요 전력 시장에서도 비용 효율적으로 전력을 공급할 수 있다.

대 표 도 - 도2



이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 H0502-13-1060
부처명 미래창조과학부
연구관리전문기관 정보통신산업진흥원
연구사업명 2013년도 IT/SW 창의연구과정(기술개발형)
연구과제명 전력위기 극복을 위한 고속 수요반응 기반의 에너지 IT 융합 플랫폼 개발
기 여 율 1/1
주관기관 서강대학교 산학협력단
연구기간 2013.09.01 ~ 2014.08.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

전력망(Grid)과 연결되어 부하 측(Load)에 전력을 공급하는 에너지 저장장치(energy storage device)의 충방전 스케줄링 장치에 있어서,

상기 에너지 저장장치의 화학적 특성 정보를 포함하는 데이터 시트(data sheet), 상기 전력망의 비용 정보 및 부하 프로파일 데이터(load profile data)을 입력받는 입력부;

상기 데이터 시트로부터 추출된 에너지 저장장치의 화학적 특성을 반영하되 상기 화학적 특성에 포함된 방전심도(Depth of Discharge, DoD)에 따른 감가상각을 적용하여 상기 에너지 저장장치에 대한 단위 시간당 에너지 상태의 변화에 따른 감가상각 비용을 산출하는 비용산출부;

상기 부하 프로파일 데이터로부터 목표 시점까지의 시간에 따른 필요 전력량을 추정하고, 상기 부하 측에서 요구하는 전력량이 '0' 이상인 값을 갖는 경우에는 전력망의 사용 요금을 선택하고 상기 부하 측에서 요구하는 전력량이 음의 값을 갖는 경우에는 분산전원의 사용 요금을 선택함으로써 상기 추정된 전력량을 상기 부하 측에 공급하기 위한 상기 전력망의 비용을 산출하며, 산출된 상기 전력망의 비용과 상기 에너지 저장장치의 감가상각 비용의 합이 최소가 되도록 하는 시간에 따른 상기 에너지 저장장치의 에너지 상태의 변동을 의미하는 충방전 경로를 생성하는 경로생성부; 및

상기 충방전 경로를 에너지 저장장치로 출력하는 출력부;를 포함하며,

상기 경로생성부는,

산출된 상기 전력량의 비용과 상기 감가상각 비용을 함께 고려하여 시간에 대한 에너지 저장장치의 상태로 설정하되, 설정된 상기 상태를 시간의 추이에 따라 상기 목표 시점까지 동적으로 변화시킴으로써 목표 구간에 대한 비용의 합이 최소가 되는 충방전 경로를 생성하는 것을 특징으로 하는 충방전 스케줄링 장치.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 전력망의 비용 정보는 일정한 주기 동안의 시간당 사용 요금 및 구매 요금인 것을 특징으로 하는 충방전 스케줄링 장치.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 부하 프로파일 데이터는 상기 부하 측을 구성하는 어플리케이션의 사용 특성을 반영한 통계적 예측자료인 것을 특징으로 하는 충방전 스케줄링 장치.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 에너지 저장장치의 화학적 특성은 에너지 저장장치 자체의 교체 비용, 사이클 수명(cycle life), 최대 출력량 및 방전율(current rate, C-rate)을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 충방전 스케줄링 장치.

청구항 5

삭제

청구항 6

제 4 항에 있어서,

상기 방전심도에 따른 감가상각의 기준은,

상기 방전심도를 파라미터로 한 사이클 수(cycle number)에 따른 용량(capacity) 그래프에서 미리 설정된 기준 지점에서의 사이클 수의 역수에 비례하는 것을 특징으로 하는 충방전 스케줄링 장치.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 경로생성부는 특정 시점(k)에서 목표 시점까지의 필요한 전력량(E)을 공급하는데 드는 전력망의 비용과 에너지 저장장치의 비용의 최소 합으로 정의되는 비용 최소화 함수 U(k,E)에 대하여 동적 프로그래밍(Dynamic Programming) 알고리즘을 적용하여 시간에 따른 상기 에너지 저장장치의 충방전 경로를 생성하는 것을 특징으로 하는 충방전 스케줄링 장치.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 입력부는 수요반응 신호(Demand Response Event Signal) 및 분산전원의 시간에 따른 요금을 입력받고,

상기 경로생성부는 상기 수요반응 신호를 수신하면 상기 에너지 저장장치의 감가상각 비용을 상기 분산전원의 시간에 따른 요금으로 대체하는 것을 특징으로 하는 충방전 스케줄링 장치.

청구항 9

제 8 항에 있어서,

상기 경로생성부는 상기 수요반응 신호를 수신하면 상기 에너지 저장장치의 에너지 상태가 낮아지는 방전 경로를 우선 선택하여 에너지 저장장치의 충방전 경로를 생성하는 것을 특징으로 하는 충방전 스케줄링 장치.

청구항 10

제 1 항에 있어서,

상기 경로생성부는 각 비용마다 가중치 변수를 포함하고, 운영 방침에 따라 가중치 값을 설정하여 충방전 경로를 생성하는 것을 특징으로 하는 충방전 스케줄링 장치.

청구항 11

전력망(Grid)과 연결되어 부하 측(Load)에 전력을 공급하는 에너지 저장장치(energy storage device)의 충방전 스케줄링 방법에 있어서,

부하 프로파일 데이터(load profile data), 전력망에 대한 일정한 주기 동안의 시간당 사용 요금 및 구매 요금, 분산전원의 시간에 따른 요금, 수요반응 신호(demand response event signal) 및 에너지 저장장치의 화학적 특성을 포함하는 데이터 시트(data sheet)를 입력받는 단계;

상기 에너지 저장장치의 데이터 시트로부터 도출된 화학적 특성을 반영하되 상기 화학적 특성에 포함된 방전심도(Depth of Discharge, DoD)에 따른 감가상각을 적용하여 상기 에너지 저장장치에 대하여 단위 시간당 에너지 상태의 변화에 따른 감가상각 비용을 산출하는 단계;

상기 부하 프로파일 데이터로부터 목표 시점까지의 시간에 따른 필요한 전력량을 추정하는 단계;

상기 부하 측에서 요구하는 전력량이 '0' 이상인 값을 갖는 경우에는 전력망의 사용 요금을 선택하고 상기 부하 측에서 요구하는 전력량이 음의 값을 갖는 경우에는 분산전원의 사용 요금을 선택함으로써 상기 추정된 전력량을 상기 부하 측에 공급하기 위한 상기 전력망의 비용을 산출하며, 산출된 상기 전력망의 비용 및 상기 에너지 저장장치의 감가상각 비용의 합이 최소가 되도록 하는 시간에 따른 에너지 저장장치의 에너지 상태의 변동을 의미하는 충방전 경로를 생성하는 단계; 및

상기 충방전 경로에 따라 에너지 상태가 높아지는 충전 경로인 때는 에너지 저장장치를 충전하고, 에너지 상태가 낮아지는 방전 경로인 때는 에너지 저장장치를 방전을 수행하는 단계;를 포함하되,

상기 충방전 경로를 생성하는 단계는

상기 수요반응 신호를 수신하면 상기 에너지 저장장치의 감가상각 비용을 상기 분산전원의 시간에 따른 요금으로 대체하여 충방전 경로를 생성하며,

산출된 상기 전력량의 비용과 상기 감가상각 비용을 함께 고려하여 시간에 대한 에너지 저장장치의 상태로 설정하되, 설정된 상기 상태를 시간의 추이에 따라 상기 목표 시점까지 동적으로 변화시킴으로써 목표 구간에 대한 비용의 합이 최소가 되는 충방전 경로를 생성하는 것을 특징으로 하는 충방전 스케줄링 방법.

청구항 12

제 11 항에 있어서,

상기 에너지 저장장치의 화학적 특성은 에너지 저장장치 자체의 교체 비용, 사이클 수명(cycle life), 최대 출력량 및 방전율(current rate, C-rate)을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 충방전 스케줄링 방법.

청구항 13

삭제

청구항 14

제 12 항에 있어서,

상기 방전심도에 따른 감가상각의 기준은

상기 방전심도를 파라미터로 한 사이클 수(cycle number)에 따른 용량(capacity) 그래프에서 미리 설정된 기준 지점에서의 사이클 수의 역수에 비례하는 것을 특징으로 하는 충방전 스케줄링 방법.

청구항 15

제 11 항에 있어서,

상기 에너지 저장장치의 충방전 경로를 생성하는 단계는

특정 시점(k)에서 목표 시점까지의 추정된 필요 전력량(E)을 공급하는데 드는 전력망의 비용과 에너지 저장장치의 비용의 최소 합으로 정의되는 비용 최소화 함수 U(k,E)에 대하여 동적 프로그래밍(Dynamic Programming) 알고리즘을 이용하되,

상기 수요반응 신호를 수신하면 상기 에너지 저장장치의 에너지 상태가 낮아지는 방전 경로를 우선 선택하여 상기 에너지 저장장치의 충방전 경로를 생성하는 것을 특징으로 하는 충방전 스케줄링 방법.

청구항 16

제 11 항, 제 12 항, 제 14 항 및 제 15 항 중에 어느 한 항의 방법을 컴퓨터에서 실행시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 에너지 저장장치의 충방전 스케줄링 장치 및 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 에너지 저장장치의 운영에 있어서 전력망의 비용, 부하 프로파일 데이터, 수요반응 신호와 에너지 저장장치의 내부 화학적 특성 데이터를 고려하여 운영 비용을 최적화할 수 있는 에너지 저장장치의 충방전 스케줄링 장치 및 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 에너지 저장장치는 분산전원, 스마트 그리드 환경 등과 같이 차세대 전력 공급망에서 핵심적인 구성으로 중요성이 높아지고 있으며, 최근 태양광, 태양열, 풍력, 바이오 등과 같은 신재생 에너지에 대한 연구가 활발히 진행되어 감에 따라 신재생 에너지를 저장하는 장치로서도 부각되고 있다. 에너지 저장장치는 2차 전지로써 여러 번 충전 및 방전이 가능하지만 그 수명이 정해져 있기 때문에 사용 환경 및 목적에 맞는 효율적인 충전 및 방전의 스케줄링이 필요하다.

[0003] 에너지 저장장치는 데이터 센터 분야와 전기차 분야에서 주로 이용되고 있다. 데이터 센터는 항온항습을 유지하기 위하여 엄청난 양의 전력을 필요로 하고, 비상 정전시를 위한 대비책도 마련되어 있어야 한다. 따라서 에너지 저장장치를 통해 전자장비들의 냉각에 소비되는 엄청난 양의 전력을 보조적으로 공급하면서 비상 정전시에는 독립적으로 전력을 공급할 수 있는 전력 관리 시스템이 사용되고 있다. 이 경우 에너지 저장장치가 충분한 에너지를 저장하고 있기만 하면 에너지 저장장치를 사용하는 목적달성이 가능하다. 그리고 전기차 분야에서는 자동차라는 이동수단의 특성으로 인해 급속 충전이 필수적이고, 전기차 내부에 안정적으로 전력을 공급이 요구되어 이를 위하여 에너지 저장장치가 사용되고 있다. 이와 관련하여, 에너지 저장장치는 단시간에 효율적으로 충전할 수 있는 충전 방법 및 충전기 하드웨어에 관한 발명과 에너지 저장장치에 잔존하는 에너지의 양(State of Charge, SOC)을 신뢰성 있게 측정하는 발명이 주로 이루어지고 있다.

[0004] 또한, 전력망과 연결되어 산업용 또는 가정용 소비주체에 필요한 전력을 공급하는 분야에서는 시간대별 전력요금의 차이 특성에만 의존하여 에너지 저장장치를 보조적으로 사용하여 그의 충방전을 스케줄링하고 있다. 그러나 전력망과 연계되어 전력을 공급하는 운영 비용 측면에서 에너지 저장장치의 내부 화학적 특성을 고려하지 못하는 한계를 가지고 있으며, 이것은 궁극적으로 에너지 저장장치의 비용 효율적인 관리가 이루어지지 않아 소비자에게 요금의 부담을 가져오는 문제점이 발생할 수 있다.

[0005] 나아가 신재생에너지를 활용한 분산전원에서 에너지 저장장치를 이용하는 경우 역시 에너지 저장장치의 내부 화학적 특성을 반영하고, 수요반응 신호에 따른 전력소비패턴의 변화를 만족시킬 수 있는 에너지 저장장치의 충방전 스케줄링이 필요하다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 한국 공개특허공보 10-2013-0074046, 2013.07.04. 공개

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명이 해결하고자 하는 기술적 과제는, 종래의 에너지 저장장치의 충방전 스케줄링 장치가 부하 측에 필요한 전력을 공급하기 위하여 전력망의 시간대별 요금 차이만을 고려해 에너지 저장장치의 충방전 스케줄링이 전력망의 비용에만 의존적인 한계를 극복하고, 에너지 저장장치의 내부 화학적 특성 및 수요반응 신호를 전력 공급의 비용에 고려하지 않아 최소 비용으로 전력을 공급할 수 없는 문제점을 해결하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0008] 상기 기술적 과제를 해결하기 위하여, 본 발명의 일 실시예에 따른 전력망(Grid)과 연결되어 부하 측(Load)에 전력을 공급하는 에너지 저장장치(energy storage device)의 충방전 스케줄링 장치는 상기 에너지 저장장치의 화학적 특성 정보를 포함하는 데이터 시트(data sheet), 상기 전력망의 비용 정보 및 부하 프로파일 데이터(load profile data)을 입력받는 입력부; 상기 데이터 시트로부터 추출된 에너지 저장장치의 화학적 특성을 반영하여 상기 에너지 저장장치에 대한 단위 시간당 에너지 상태의 변화에 따른 감가상각 비용을 산출하는 비용산출부; 상기 부하 프로파일 데이터로부터 목표 시점까지의 시간에 따른 필요 전력량을 추정하고, 상기 추정된 전력량을 상기 부하 측에 공급하기 위한 상기 전력망의 비용과 상기 에너지 저장장치의 감가상각 비용의 합이 최소가 되도록 하는 시간에 따른 상기 에너지 저장장치의 에너지 상태의 변동을 의미하는 충방전 경로를 생성하는 경로생성부; 및 상기 충방전 경로를 에너지 저장장치로 출력하는 출력부;를 포함한다.

[0009] 일 실시예에 따른 에너지 저장장치의 충방전 스케줄링 장치에서, 상기 전력망의 비용 정보는 일정한 주기 동안의 시간당 사용 요금 및 구매 요금인 것을 특징으로 한다.

[0010] 일 실시예에 따른 에너지 저장장치의 충방전 스케줄링 장치에서, 부하 프로파일 데이터는 부하 측을 구성하는 어플리케이션의 사용 특성을 반영한 통계적 예측자료인 것을 특징으로 한다.

[0011] 일 실시예에 따른 에너지 저장장치의 충방전 스케줄링 장치에서, 상기 에너지 저장장치의 화학적 특성은 방전심도(Depth of Discharge, DoD), 에너지 저장장치 자체의 교체 비용, 사이클 수명(cycle life), 최대 출력량 및

방전율(current rate, C-rate)을 포함한다.

[0012] 일 실시예에 따른 에너지 저장장치의 충방전 스케줄링 장치에서, 상기 비용산출부는 상기 방전심도에 따른 감가상각을 적용하여 에너지 저장장치의 에너지 상태의 변화에 따른 감가상각 비용을 산출한다.

[0013] 상기된 실시예에서 상기 방전심도에 따른 감가상각의 기준은, 상기 방전심도를 파라미터로 한 사이클 수(cycle number)에 따른 용량(capacity) 그래프에서 미리 설정된 기준 지점에서의 사이클 수의 역수에 비례하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0014] 일 실시예에 따른 에너지 저장장치의 충방전 스케줄링 장치에서, 상기 경로생성부는 특정 시점(k)에서 목표 시점까지의 필요한 전력량(E)을 공급하는데 드는 전력망의 비용과 에너지 저장장치의 비용의 최소 합으로 정의되는 비용 최소화 함수 U(k,E)에 대하여 동적 프로그래밍(Dynamic Programming) 알고리즘을 적용하여 시간에 따른 상기 에너지 저장장치의 충방전 경로를 생성할 수 있다.

[0015] 일 실시예에 따른 에너지 저장장치의 충방전 스케줄링 장치에서, 상기 입력부는 수요반응 신호(Demand Response Event Signal) 및 분산전원의 시간에 따른 요금을 입력받고, 상기 경로생성부는 상기 수요반응 신호를 수신하면 상기 에너지 저장장치의 감가상각 비용을 상기 분산전원의 시간에 따른 요금으로 대체하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0016] 상기된 실시예에서 상기 경로생성부는 상기 수요반응 신호를 수신하면 상기 에너지 저장장치의 에너지 상태가 낮아지는 방전 경로를 우선 선택하여 에너지 저장장치의 충방전 경로를 생성할 수 있다.

[0017] 일 실시예에 따른 에너지 저장장치의 충방전 스케줄링 장치에서, 상기 경로생성부는 각 비용마다 가중치 변수를 포함하고, 운영 방침에 따라 가중치 값을 설정하여 충방전 경로를 생성하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0018] 상기 기술적 과제를 해결하기 위하여, 본 발명의 다른 실시예에 따른 전력망(Grid)과 연결되어 부하 측(Load)에 전력을 공급하는 에너지 저장장치(energy storage device)의 충방전 스케줄링 방법은 부하 프로파일 데이터(load profile data), 전력망에 대한 일정한 주기 동안의 시간당 사용 요금 및 구매 요금, 분산전원의 시간에 따른 요금, 수요반응 신호(demand response event signal) 및 에너지 저장장치의 화학적 특성을 포함하는 데이터 시트(data sheet)를 입력받는 단계; 상기 에너지 저장장치의 데이터 시트로부터 도출된 화학적 특성을 반영하여 상기 에너지 저장장치에 대하여 단위 시간당 에너지 상태의 변화에 따른 감가상각 비용을 산출하는 단계; 상기 부하 프로파일 데이터로부터 목표 시점까지의 시간에 따른 필요한 전력량을 추정하는 단계; 상기 추정된 전력량을 상기 부하 측에 공급하기 위한 상기 전력망의 비용 및 상기 에너지 저장장치의 감가상각 비용의 합이 최소가 되도록 하는 시간에 따른 에너지 저장장치의 에너지 상태의 변동을 의미하는 충방전 경로를 생성하는 단계; 및 상기 에너지 상태의 충방전 경로에 따라 에너지 상태가 높아지는 충전 경로인 때는 에너지 저장장치를 충전하고, 에너지 상태가 낮아지는 방전 경로인 때는 에너지 저장장치를 방전하는 것을 수행하는 단계;를 포함하되, 상기 충방전 경로를 생성하는 단계는 상기 수요반응 신호를 수신하면 상기 에너지 저장장치의 감가상각 비용을 상기 분산전원의 시간에 따른 요금으로 대체하여 충방전 경로를 생성하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0019] 다른 실시예에 따른 에너지 저장장치의 충방전 스케줄링 방법에서, 상기 에너지 저장장치의 화학적 특성은 방전심도(Depth of Discharge, DoD), 에너지 저장장치 자체의 교체 비용, 사이클 수명(cycle life), 최대 출력량 및 방전율(current rate, C-rate)을 포함할 수 있고, 상기 에너지 저장장치의 비용을 산출하는 단계는 상기 방전심도에 따른 감가상각을 적용하여 에너지 저장장치의 에너지 상태의 변화에 따른 감가상각 비용을 산출하는 것을 특징으로 할 수 있으며, 상기 방전심도에 따른 감가상각의 기준은 상기 방전심도를 파라미터로 한 사이클 수(cycle number)에 따른 용량(capacity) 그래프에서 미리 설정된 기준 지점에서의 사이클 수의 역수에 비례하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0020] 다른 실시예에 따른 에너지 저장장치의 충방전 스케줄링 방법에서, 상기 에너지 저장장치의 충방전 경로를 생성하는 단계는 특정 시점(k)에서 목표 시점까지의 추정된 필요 전력량(E)을 공급하는데 드는 전력망의 비용과 에너지 저장장치의 비용의 최소 합으로 정의되는 비용 최소화 함수 U(k,E)에 대하여 동적 프로그래밍(Dynamic Programming) 알고리즘을 이용하되, 상기 수요반응 신호를 수신하면 상기 에너지 저장장치의 에너지 상태가 낮아지는 방전 경로를 우선 선택하여 상기 에너지 저장장치의 충방전 경로를 생성한다.

[0021] 한편, 이하에서는 상기 기재된 에너지 저장장치의 충방전 스케줄링 방법들을 컴퓨터에서 실행시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체를 제공한다.

발명의 효과

[0022] 본 발명의 실시예들에 따르면, 부하 측에는 전력을 공급하기 위하여 전력망의 시간대별 요금 차이 및 에너지 저장장치의 내부 화학적 특성에 관한 감가상각을 적용한 에너지 저장장치의 충방전을 통해 전체 운영 비용을 최소화할 수 있다. 나아가, 수요반응 신호에 따른 분산전원의 사용요소까지 함께 고려함에 따라 수요 전력 시장에서 비용 효율적으로 전력을 공급할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0023] 도 1은 전력망, 에너지 저장장치 및 부하가 연결된 일반적인 상황도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 에너지 저장장치의 충방전 스케줄링 장치 및 그와 상호작용하는 장치들을 나타낸 개념도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 에너지 저장장치의 충방전 스케줄링 장치의 내부 구성요소를 나타낸 개념도이다.

도 4a, 도 4b 및 도 4c는 전력망에 대한 3 종류의 요금제(TOU, CPP, RTP)를 시간에 따른 요금 그래프로 나타낸 것이다.

도 5는 에너지 저장장치의 데이터 시트로부터 분석된 방전심도를 파라미터로 한 사이클 수(cycle number)에 따른 용량(capacity) 그래프의 예시이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 에너지 저장장치의 충방전 스케줄링 장치가 생성한 최적의 충방전 경로의 예시이다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 에너지 저장장치의 충방전 스케줄링 장치가 시간에 따른 충방전 경로를 산출하기 위한 알고리즘이다.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 에너지 저장장치의 충방전 스케줄링 장치를 사용하여 2일 동안 시뮬레이션하여 측정한 값을 정규화 그래프로 나타낸 것이다.

도 9는 도 8의 시뮬레이션의 결과물로 시간에 대한 전력 양의 변화로 나타낸 그래프이다.

도 10은 본 발명의 다른 실시예에 따른 에너지 저장장치의 충방전 스케줄링 방법의 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0024] 본 발명에 관한 구체적인 내용의 설명에 앞서 이해의 편의를 위해 본 발명이 해결하고자 하는 과제의 해결 방안의 개요 혹은 기술적 사상의 핵심을 우선 제시한다.

[0025] 도 1은 전력망(Grid), 에너지 저장장치(energy storage device) 및 부하(Load)가 연결된 일반적인 상황도이다. 점선으로 표시된 화살표는 전력인 에너지의 흐름 방향을 의미하며 각각 시간에 따른 함수로 정의할 수 있다. 부하 측에 필요한 전력을 전력망 및 에너지 저장장치를 통해 공급하는 관계를 시간 t를 파라미터로 하는 함수로 정의하면 다음과 같다. 전력망의 전력을 $P_G(t)$, 부하 측의 필요한 전력을 $P_L(t)$, 에너지 저장장치의 출력 전력을 $P_B(t)$라고 정의하면, 이들의 관계는 수학식 1과 같이 수식화할 수 있다.

수학식 1

[0026]
$$P_L(t) = P_G(t) + P_B(t)$$

[0027] 도 1과 같은 상황에서 종래의 부하 측에 필요한 전력을 공급하기 위하여 전력망에 대하여 보조적으로 에너지 저장장치를 사용하는 경우, 전력망의 시간대별 요금에 따라 에너지 저장장치의 충방전이 결정되는 것이 일반적이다.

[0028] 그러나 에너지 저장장치는 2차 전지로서 제조될 때 충방전할 수 있는 횟수 즉 사이클 수(number of cycles)가

정해지고, 에너지 저장장치의 종류 및 방전심도(Depth of Discharge, DoD)에 따라 그 사이클 수가 달라진다. 또한 에너지 저장장치의 에너지 상태(energy state)는 유한한 상태 수로 표현할 때, 각각의 에너지 상태의 변화에 따른 비용은 동일하지 않으며 상태의 수가 일정하게 증가한다고 해서 비용 역시 일정하게 증가한다고 볼 수도 없다. 이것은 에너지 저장장치가 리튬이온 등으로 이루어진 화학 전지이기 때문이다. 이러한 에너지 저장장치의 내부 화학적 특성 때문에 에너지 저장장치 자체의 비용을 고려하지 않고 전력망의 비용만을 고려한 에너지 저장장치의 충방전 스케줄링은 에너지 저장장치의 효과적인 사용을 보장하지 못한다.

[0029] 따라서, 본 발명의 실시예들은 전력망과 연결되어 부하 측에 전력을 공급하는 에너지 저장장치에 대하여 에너지 저장장치의 내부 화학적 특성에 따른 비용을 고려한 에너지 저장장치의 충방전 스케줄링 장치를 제안한다.

[0030] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 에너지 저장장치의 충방전 스케줄링 장치(10) 및 그와 상호작용하는 장치인 전력망(20), 에너지 저장장치(30), 부하(40)를 나타낸 개념도이다. 실선은 전력인 에너지의 흐름을 나타내며, 점선은 데이터(정보)의 흐름을 나타낸다.

[0031] 전력망(20)은 일반적으로 전력을 공급하는 발전소, 송전탑 등이 될 수 있을 것이다. 에너지 저장장치(30)는 발전소에서 과잉 생산된 전력을 저장해 두었다가 일시적으로 전력이 부족할 때 송전해주는 저장장치를 말한다. 여기에는 전기를 모아두는 배터리와 배터리를 효율적으로 관리해주는 관련 장치들이 있다. 배터리식 에너지 저장장치는 리튬이온과 황산화나트륨 등을 사용한다. 최근에는 신재생 에너지를 저장하는 에너지 저장장치가 많아지고 있다. 부하(40)는 전력을 소비하는 주체를 의미한다. 가정용 또는 산업용 설비가 전력의 소비 주체가 될 수 있으며 각 소비 주체의 종류 및 시간에 따라 필요한 전력량, 전압 등의 구체적인 요구 사항이 달라질 수 있다.

[0032] 점선의 데이터의 흐름은 에너지 저장장치(30)의 충방전 스케줄링 장치(10)를 중심으로 전력망(20)으로부터 전력망에 대한 비용 정보, 에너지 저장장치(30)로부터 데이터 시트(data sheet) 및 부하 측(40)으로부터 부하 프로파일 데이터(load profile data)를 입력받아 비용 효율적인 에너지 저장장치의 충방전 경로를 에너지 저장장치(30)로 출력한다. 실선의 에너지 흐름은 전력망(20)과 에너지 저장장치(30)가 병렬로 연결되어 부하 측(40)에 에너지를 공급하며, 전력망(20)과 에너지 저장장치(30) 사이는 양방향으로 에너지가 공급될 수 있다. 분산 전원의 일부로써 에너지 저장장치(30)를 이용하는 경우 에너지 저장장치(30)의 잉여 에너지를 다시 전력망(20)에 되파는 것이 가능하고, 이를 표현한 것이 에너지 저장장치(30)에서 전력망(20)으로의 실선 화살표에 해당한다.

[0033] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 에너지 저장장치의 충방전 스케줄링 장치의 내부 구성요소를 나타낸 개념도이다. 상기 에너지 저장장치의 충방전 스케줄링 장치(10)는 입력부(11), 비용산출부(12), 경로생성부(13) 및 출력부(14)를 포함한다.

[0034] 입력부(11)는 다른 주변 장치로부터 에너지 저장장치(10)의 충방전 스케줄링에 필요한 정보를 입력받는다. 구체적으로 전력망(20)의 비용에 대한 정보를 전력망(20)으로부터 입력받고, 에너지 저장장치(30)로부터 데이터 시트를 입력받으며 부하(40) 측으로부터 부하 프로파일 데이터를 입력받는다. 먼저, 전력망(20)의 비용 정보는 일정한 주기 동안의 시간당 사용 요금을 말한다. 부하(40) 측에서 필요한 전력이 시간에 따라 달라지기 때문에 탄력적으로 요금을 책정하여 운영한다. 일정한 주기란 보통 24시간인 하루이고, 시간을 구간으로 구분하여 주간, 야간, 심야에 요금을 상이하게 책정하여 요금제를 결정할 수 있다. 이와 같은 시간당 사용 요금을 나타내는 요금제의 종류는 다양하며 주로 사용되는 TOU(Time Of Use) 요금제, CPP(Critical Peak Pricing) 요금제, RTP(Real-Time Pricing) 요금제는 각각 도 4a 내지 도 4c에서 시간(Hour)에 따른 요금(won/kWh) 그래프로 나타내고 있다. 상세히 설명하면, 도 4a는 24시간을 기준으로 전력 수요가 높은 시간대를 피크(Peak)로 보고 평소보다 높은 요금을 책정한 TOU 요금제를 나타낸 것이다. 도 4b는 피크 영역 중에서 위기 지점에 대하여 더 높은 요금을 책정한 CPP 요금제를 나타낸 것이다. 마지막으로 도 4c는 실시간으로 전력 수요에 정비례하는 요금을 책정한 RTP 요금제를 나타낸 그래프이다. 이와 같이 다양한 종류의 요금제를 시간에 따른 함수 $C(t)$로 입력받는 것이다.

[0035] 또한, 전력망(20)에 대한 비용 정보에는 분산전원의 일부로써 에너지 저장장치(30)를 이용하는 경우에 대하여 에너지 저장장치(30)의 잉여 에너지를 다시 전력망(20)에 되팔 때의 구매 요금도 비용 정보에 포함될 수 있다.

[0036] 데이터 시트는 특정 에너지 저장장치가 제조될 때 작성되는 것으로 화학 전지로써의 특성을 포함한 에너지 저장장치 자체의 정보를 기록한 것이다. 구체적으로 데이터 시트에는 방전심도, 에너지 저장장치 자체의 교체 비용, 사이클 수명, 최대 출력량 및 방전율에 대한 값이 포함되어 있다. 예를 들어, 방전심도는 100%, 에너지 저장장치 자체의 교체 비용은 100만원, 사이클 수명은 방전심도가 100%일 때를 기준으로 1,000회, 최대 출력량은

70kW, 최대 방전율은 1로 결정된 에너지 저장장치가 제조되면 그의 데이터 시트에 상기 값들이 기재된다. 이 중에 사이클 수명에 대하여 방전심도를 파라미터로 한 사이클 수(가로축)에 따른 용량(세로축) 그래프 형태로 제공될 수 있으며, 그 예는 도 5와 같다.

[0037] 부하 프로파일 데이터는 시간에 대한 전력량 값을 나타낸 함수로 정의될 수 있다. 부하 프로파일 데이터는 과거의 사용을 기록한 자료가 될 수 있으며, 일반적으로 부하 프로파일 데이터는 최근 3일, 5일, 10일 동안의 시간에 따른 전력 사용량에 대하여 평균값을 취해 활용한다. 전력 사용량은 계절 및 날씨에 영향을 많이 받아서 수요량이 달라진다. 즉, 여름철 땡볕 더위가 이어지는 경우 냉방으로 인해 전력 소모가 급증하는 것이 그 예이다. 그렇기 때문에 특정 시점부터 목표 시점까지와 온도가 비슷한 과거의 데이터를 활용하여 부하 프로파일 데이터를 산출할 수도 있다.

[0038] 또한 부하(40) 측의 소비 주체가 가정용 전력 소모 주체인지 산업용 전력 소모 주체인지에 따라서도 부하 프로파일 데이터가 달라질 수 있다. 가정용의 경우 아침이나 저녁, 밤 시간에 전력 소모가 주로 이루어지고 산업용의 경우 주로 오전에서 오후까지의 낮 시간대에 전력 소모가 이루어지는 것이 일반적이기 때문이다. 그러므로 필요한 전력량이 얼마인지 아는 것은 미래를 예측하는 것이고, 부하 프로파일 데이터는 부하 측을 구성하는 어플리케이션의 사용 특성을 반영한 통계적 예측자료가 될 수 있다.

[0039] 따라서 입력부(11)는 가로축을 시간, 세로축을 전력량을 나타내는 그래프의 형태로 부하 프로파일 데이터를 입력받을 수 있다. 이후에 설명할 도 8에서는 본 발명의 실시예로써 시뮬레이션을 한 결과 그래프에서 입력부(11)가 입력받는 전력망의 요금 및 부하 프로파일 데이터가 시간에 따른 그래프로써 예시되어 있다.

[0040] 비용산출부(12)는 데이터 시트로부터 추출된 에너지 저장장치(30)의 화학적 특성을 반영하여 에너지 저장장치(30)에 대한 단위 시간당 에너지 상태의 변화에 따른 감가상각 비용을 산출한다. 에너지 저장장치(30)의 화학적 특성을 반영하기 위해 방전심도에 따른 감가상각을 적용하여 에너지 저장장치(30)의 에너지 상태의 변화에 따른 감가상각 비용을 산출하고, 이때 감가상각의 기준은 방전심도를 파라미터로 한 사이클 수에 따른 용량 그래프에서 미리 설정된 기준 지점에서의 사이클 수의 역수에 비례하게 된다. 도 5를 참조하면, 방전심도를 파라미터로 그 값이 100% 인 경우, 50% 인 경우 등을 그래프에 나타내고 있다. 보통 에너지 저장장치(30)는 전체 용량의 80%까지만 이용가능하게 된 때 수명이 다했다고 판단하여 교체하게 된다. 따라서 미리 설정된 기준 지점은 전체 용량의 80%까지만 이용가능하게 된 지점으로 설정할 수 있다. 이와 달리 에너지 저장장치(30)의 운영 방침에 따라 기준 지점을 달리 설정할 수도 있을 것이다.

[0041] 에너지 저장장치(30)의 감가상각 비용은 $W(k,E)$ 함수로 수학식 2와 같이 수식화할 수 있다.

수학식 2

[0042] $$W(k,E)=\sum_{t=k}^{T} C_B(E(t),E(t+1))$$

[0043] 수학식 2는 특정 시점 k부터 운영이 종료되는 목표 시점 T까지 에너지 저장장치(30)의 감가상각 비용을 산출하는 수식이다. 수학식 2는 다시 수학식 3으로 구체화할 수 있다.

수학식 3

[0044] $$C_B(E(k),E(k+1))=\left|\frac{E(k)-E(k+1)}{\Delta E}\right|\times\frac{C_B}{2NL}$$

[0045] 수학식 3은 Δt 의 변화에 따른 에너지 저장장치(30)의 감가상각 비용을 수식화한 것으로, 절대값 안의 분수는

에너지 상태가 1만큼 변동될 때 얼마큼 에너지 양이 변화하였는지를 나타내고, $\frac{C_B}{2NL}$ 은 에너지 저장장치(30)의 에너지 양자화 단위(Energy quantization unit)가 N개 일 때에 에너지 상태가 1만큼 변동될 때 발생하는 $\frac{C_B}{L}$ 에너지 저장장치(30)의 감가상각을 나타낸다. 은 에너지 저장장치(30)의 비용을 방전심도 값이 100%일 때의 사이클 수로 나눈 값으로써 1 사이클당 에너지 저장장치(30)의 감가상각을 의미한다. 사이클 수명은 초기 용량의 60~80% 용량으로, 사용할 수 있는 용량이 줄어들었을 때까지의 충방전 횟수를 의미한다. 앞서 기준이 되는 지점을 80%로 설정하는 것을 설명한 것과 마찬가지로 여기 사이클 수명은 80%로 정의한다. 수학식 4는 충전과 방전이 사이클 수명에 미치는 영향은 동일하다고 가정한 것이며, ΔE 는 에너지 저장장치(30) 전체용량($E_{\max}$)을 에너지 저장장치(30) 에너지의 상태 수, N으로 나눈 값($\Delta E = \frac{E_{\max}}{N}$)으로 정의할 수 있다.

[0046] 수학식 3과 관련하여 에너지 저장장치(30)의 감가상각 비용을 산출하는데 에너지 저장장치(30)의 방전심도 값을 반영하는 것을 상세히 설명하고자 한다. 에너지 상태는 단위 시간당 에너지 양의 변화를 말한다. 다만, 에너지 상태를 단순히 에너지 저장장치의 최대 용량을 유한한 에너지 상태의 개수(N)로 나누어 값을 알 수가 없다. 왜냐하면 에너지 저장장치(30)의 화학적 특성으로 인해 각각의 에너지 상태의 변화에 따른 비용은 동일하지 않기 때문이다. 예를 들어, 에너지 저장장치(30)의 에너지 상태를 백분율로 표현했을 때, 60% 에너지 상태에서 61% 에너지 상태로 변동되는 경우의 비용과 10% 에너지 상태에서 11% 에너지 상태로 변동되는 경우의 비용이 같지 않다. 나아가, 비용이 일률적이지 않기 때문에 상태의 수가 일정하게 증가한다고 해서 비용 역시 일정하게 증가한다고 볼 수도 없다. 따라서 수학식 3과 같이 방전심도에 따라 달라지는 변수 L을 이용하여 에너지 상태의 변동에 대한 비용을 산출해야 한다.

[0047] 경로생성부(13)는 부하 프로파일 데이터로부터 목표 시점까지의 시간에 따른 필요한 전력량을 추정한다. 입력부(11)에 의해 입력받은 부하(40) 측을 구성하는 어플리케이션의 사용특성을 반영한 통계적 예측자료인 부하 프로파일 데이터를 기반으로 목표 시점까지 필요한 전력량을 추정하게 된다. 필요한 전력량만큼 부하(40) 측에 전력을 공급하기 위한 에너지 저장장치(30)의 충방전 경로를 생성하는데, 이때의 충방전 경로는 전력망(20)의 비용과 에너지 저장장치(30)의 감가상각 비용의 합이 최소가 되도록 하는 시간에 따른 에너지 저장장치(30)의 에너지 상태의 변동을 의미한다.

[0048] 특정 시점(k)에서 목표 시점까지의 필요한 전력량(E)을 공급하는데 드는 전력망(20)의 비용과 에너지 저장장치(30)의 비용의 최소 합으로 정의되는 비용 최소화 함수 $U(k,E)$ 에 대하여 동적 프로그래밍(Dynamic Programming) 알고리즘을 적용하여 시간에 따른 에너지 저장장치(30)의 충방전 경로를 생성할 수 있다. 동적 프로그래밍 알고리즘은 벨만 방정식(Bellman equation)과 같은 최단 경로 찾는 알고리즘이 될 수 있다. 본 발명에 따른 실시예들은 벨만 방정식을 이용하고 있지만, 플로이드-워셜 알고리즘(Floyd-Warshall) 등과 같은 다른 알고리즘을 이용할 수 있을 것이다.

[0049] 비용 최소화 함수는 에너지 저장장치(30)의 감가상각 비용 및 전력망(20)의 비용에 대한 합으로 수학식 4와 같이 수식화할 수 있다.

수학식 4

[0050] $$U(k,E) = V(k,E) + \eta W(k,E)$$

[0051] 수학식 4에서 함수 V 는 본 발명의 실시예들에서 전력망(20)의 비용을 산출하는 것으로써 운영 비용(OPEX, Operating Expenditure)을 의미한다. 함수 W 는 본 발명의 실시예들에서 에너지 저장장치(30)의 감가상각 비용을 산출하는 식이고, 자본적 지출(CAPEX, Capital Expenditures)을 의미한다. $\eta W(k,E)$ 는 가중치 변수 η 가 곱해진 값으로 η 는 에너지 저장장치 비용에 대한 가중치 파라미터로 정의 가능하다. 종래와 같이 에너지 저장장치(30)의 비용을 고려하지 않고자 하는 경우 η 값이 0이 되고, 일반적으로 전력망(20)과 에너지 저장장치(30)의 비용을 함께 고려하고 할 때는 1 또는 그 이상이 된다. 다만, 이러한 가중치 변수는 전력망(20) 및 에너지 저장장치(30) 각각에 부여되어 운영 방침에 따라 달리 설정될 수 있을 것이다. 즉, 경로생성부(13)은 각 비용마다 가중치 변수를 포함하여 운영자의 운영 방침에 따라 가중치 값을 설정하여 충방전 경로를 생성할 수 있다.

[0052] 전력망(20)에 대하여 특정 시점(k)에서 운영이 종료되는 시점(T)까지의 사용 전력 요금의 합을 나타내는 함수 V 은 수학식 5와 같이 수식화할 수 있다.

수학식 5

[0053] $$V(k,E)=\sum_{t=k}^{T}P_G(t)C(t)$$

[0054] 상기 수학식 5에서 E 는 부하 측에 필요한 전력량, $P_G(t)$ 는 전력망(20)으로부터 공급되는 전력량, $C(t)$ 는 시간당 전력량의 사용 요금을 나타낸다.

[0055] 분산전원의 일부로써 에너지 저장장치(30)가 이용되는 경우에 수요반응(Demand Response)을 반영하여 전체 전력 공급의 비용을 산출할 필요성이 있다. 수요반응이란, 도매전력가격이 높게 형성되거나 계통 신뢰도가 위험해진 시간대에 전기 사용량을 줄이도록 유도하기 위하여 설계되었으며 소비자들이 인센티브 또는 시간대별 전기요금의 변동에 반응하여 전력소비패턴을 변화시키는 것으로 정의한다. 본 발명의 실시예들은 분산전원의 사용요소를 반영하여 수요반응 신호가 수신되면 에너지 저장장치의 충방전에 영향을 줄 뿐만 아니라 다시 전력망(20)에 잉여의 전력을 공급하여 되파는(Resell) 기능까지도 고려하였다.

[0056] 수요반응 신호를 수신하면 에너지 저장장치(30)를 통해 부하 측에 전력을 공급하고, 잉여 에너지는 전력망(20)으로 되팔게 된다. 따라서 수요반응 신호를 반영하여 잉여의 에너지를 다시 전력망(20)에 되파는 비용을 고려하는 함수는 수학식 5를 변형하여 수학식 6과 같이 수식화할 수 있다.

수학식 6

[0057] $$V(k,E)=\sum_{t=k}^{T}[P_G(t)C(t)1_{\{P_G(t)\geq 0\}}+P_G(t)D(t)1_{\{P_G(t)<0\}}]$$

[0058] $1_{\{조건\}}$은 괄호 안의 조건이 참이면 1, 거짓이면 0 값이 된다. 수학식 6에서 $P_G(t)\geq 0$ 의 경우는 부하(40) 측에서 요구하는 전력량이 에너지 저장장치(30)가 공급가능한 전력 이상인 구간에서 산출되는 감가상각 비

용을 의미하고, $P_G(t) < 0$ 의 경우에는 에너지 저장장치(30)가 공급가능한 전력이 부하(40) 측에서 요구하는 전력보다 큰 구간에서 산출되는 감가상각 비용을 의미한다. 이때에는 공급 후 남는 전력을 분산전원 단가 $D(t)$ 로 전력망(20)에 되팔아서 경제적 이득을 얻을 수 있다. 이렇듯 각 단위 시간마다 $P_G(t)$ 의 조건에 따라 전력망 사용 요금 $C(t)$ 또는 분산전원의 사용 요금 $D(T)$ 를 선택적으로 취하여 V 가 계산된다. 이는 입력부(11)가 수요반응 신호(Demand Response Event Signal) 및 분산전원의 시간에 따른 요금을 입력받고, 경로생성부(13)는 상기 수요반응 신호를 수신하면 상기 에너지 저장장치(30)의 감가상각 비용을 상기 분산전원의 시간에 따른 요금으로 대체할 수 있는 것을 의미한다. 경로생성부(13)는 수요반응 신호를 수신하면 상기 에너지 저장장치(30)의 에너지 상태가 낮아지는 방전 경로를 우선 선택하도록 하기 위하여 분산전원의 사용 요금 $D(T)$ 을 책정한다. 이에 따라서 분산전원의 사용 요금이 높게 책정되면 수요반응에 적극 참여하게 되어 상기 에너지 저장장치(30)로부터 부하(40) 측에 전력을 공급하는 방전이 일어나게 되는 것이다.

[0059] 그렇다면 충분히 작은 시간단위 Δt 에 따른 에너지 변화가 일어날 때에 발생하는 비용 즉, $\Delta U(E(k), E(k+1))$ 는 수학식 7과 같이 정의할 수 있다.

수학식 7

$$\begin{aligned}\Delta U(E(k),E(k+1)) = {} & P_G(k)C(k)1_{\{P_G(k)\geq 0\}}\Delta t \\ & + P_G(k)D(k)1_{\{P_G(k)<0\}}\Delta t \\ & + \eta C_B(E(k),E(k+1))\end{aligned}$$

[0060]

[0061] 수학식 7은 $P_G(t)$ 의 범위 조건에 따라 달라지는 운영비용(OPEX 값)과 Δt 만큼 변화하는 에너지 저장장치(30)의 감가상각으로 표현되는 $C_B(E(k), E(k+1))$ 및 가중치 변수 η 의 곱으로 표현되는 자본적 지출(CAPEX)의 합으로 계산할 수 있다.

[0062] 비용 최소화 함수 $U(k,E)$ 에 대하여 벨만 방정식을 이용하여 충방전 경로를 생성하기 위한 수식은 아래 수학식 8 및 수학식 9가 된다.

수학식 8

$$U(k,E) = \min_{E(k+1)}\{\Delta U(E,E(k+1)) + U(k+1,E(k+1))\}$$

[0063]

수학식 9

$$E^*(k) = \underset{E(k)}{\arg min}\{\Delta U(E^*(k-1), E(k)) + U(k, E(k))\}$$

[0064]

[0065] 수학식 8은 벨만 방정식을 이용하여 비용 최소화 함수를 정의한 것으로 후방 순환(backward recursion)을 통해 함수 $U(T,E)=0$ 이 알려진 T 시점부터 거꾸로 연산이 진행된다.

[0066] 보다 상세히 연산 과정을 설명하면, 앞에 기재된 수학식 6은 특정 시점 k에서부터 운영이 종료되는 시점인 T까지의 사용 전력요금의 합계를 뜻하므로 종료 시점인 T에서의 $U(T,E)$ 값이 0이 되는 것을 확인할 수 있다. 그 후 벨만 방정식을 통해 Δt 만큼의 시간축을 거쳐 진행될 때마다 거리 변수(distance vector)가 가장 짧은 경로(shortest path)를 통과하게 된다. 이렇게 순환적으로 구해진 $U(k,E)$ 를 수학식 9에 대입하여 전방순환(forward recursion) 방법을 통해 최적의 충방전 경로를 산출할 수 있다. 이러한 방식은 에너지 저장장치(30)와 전력망(20)이 갖추어진 조건하에서 비용의 최소화를 통한 운영 알고리즘 구현에 적합한 방식이라고 할 수 있다.

[0067] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 에너지 저장장치(30)의 충방전 스케줄링 장치가 생성한 최적의 충방전 경로의 예시를 나타낸 개념도이다. 도 6과 같이 충방전 경로는 시간(T)을 가로축으로, 에너지 상태(E)를 세로축으로 한 그래프에 나타낼 수 있다. 시간에 따라 에너지 상태가 높아지는 것은 에너지 저장장치(30)가 저장하고 있는 에너지 양이 늘어나는 것으로 충전을 의미하고, 그와 반대로 시간에 따라 에너지 상태가 낮아지는 것은 에너지 저장장치(30)가 저장하고 있는 에너지 양이 줄어드는 것으로 방전을 의미한다. 충전 경로일 때 전력망(20)이 부하(40) 측으로 전력을 공급하면서 동시에 전력망(20)으로부터 에너지 저장장치(30)가 전력을 공급받는 것이다. 방전 경로일 때 에너지 저장장치(30)가 부하(40) 측으로 전력을 공급하는 것이고, 수요반응 신호를 수신하면 부하(40) 측으로 전력을 공급하고도 남는 잉여 에너지는 다시 전력망(20)으로 공급하여 비용적인 측면에서 되팔 수 있다.

[0068] 출력부(14)는 경로생성부(13)가 생성한 충방전 경로를 에너지 저장장치(30)로 출력한다. 출력된 충방전 경로에 따라 에너지 저장장치(30)의 충전 또는 방전을 수행하여 비용 효율적인 에너지 저장장치(30)의 사용을 도모할 수 있게 된다.

[0069] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 에너지 저장장치의 충방전 스케줄링 장치가 시간에 따른 충방전 경로를 산출하기 위한 알고리즘이다. 도 7의 알고리즘은 충방전 스케줄링 장치가 동작하는 개념적인 원리에 관한 것으로 최종 산출물은 시간에 따른 에너지 저장장치의 충방전 경로가 되며, 알고리즘의 각 단계는 도 3의 충방전 스케줄링 장치의 각 구성요소들이 수행하는 기능들과 대응되어 있다.

[0070] 도 7의 충방전 스케줄링 알고리즘에서 사용되는 변수의 정의는 다음 표 1과 같고, 아래 알고리즘에 대한 설명에서 대괄호 안에 숫자를 기재한 것은 알고리즘의 각각의 줄 번호를 지칭한다.

표 1

[0071]

변 수	변수 설명
$C(t)$	전기 사용 요금
$D(t)$	분산 전원 요금
$P_L(t)$	부하 프로파일
$E(t)$	에너지 저장장치(배터리) 충전 상태

$P_G(t)$	전력망 전력(Power)
$P_B(t)$	에너지 저장장치의 출력 전력
C_B	에너지 저장장치 교체비용
$E_{\max}$	에너지 저장장치의 최대 용량
Δt	단위 시간
η	가중치 변수
L	방전심도가 100%일 때의 사이클 수
ΔE	에너지 상태 단위
N	에너지 저장장치의 에너지 상태의 개수

[0072] 알고리즘은 [9]비용 최소화 함수를 계산하기 위하여 [21] $U(0,0)$ 이 산출될 때까지 [18]벨만 방정식을 수행한다. [9]비용 최소화 함수는 [13]전력망의 비용(Running cost)과 가중치 변수가 곱해진 [10]에너지 저장장치의 감가상각 비용(Lifetime cost)의 최소 합으로 구체화된다. 시간 지표(time index) k를 시작 시점 0부터 목표 시점 T까지 충분히 작은 시간단위 Δt 에 따른 에너지 변화가 일어날 때에 발생하는 비용[16]을 $P_G(t)$ 에 따라 값을 계산하고, 벨만 방정식[18]을 적용하여 [9]비용 최소화 함수를 계산하여 최종적으로 [23]최적의 충방전 경로를 결정하게 된다.

[0073] 본 발명의 일 실시예에 따른 에너지 저장장치의 충방전 스케줄링 장치를 사용하여 전력망, 에너지 저장장치, 부하 측을 대상으로 시뮬레이션을 수행하였다. 표 2는 시뮬레이션 조건이다.

표 2

[0074]

종 류	값	
방전심도 (DoD)	100%	
에너지 저장장치 용량	70kWh	
시간 단계(Time step)	15분 (총 192 time unit)	
총 스케줄링 시간	2일	
최대 방전율(C-rate)	1	
에너지 저장장치의 최대 출력	70kWh * 1(1/h) = 70kW	
전력 요금 종류	TOU(Time of Use) : 3 단계 요금제	최소 요금: 56원 중간 요금: 109원 최대 요금: 191원
$P_G < 0$	전력망으로 전력 되파는 것을 허용	
분산전원 요금	120원	
수요반응 신호	발생 시간: 13시~ 16시 (52~64, 148~160 time unit 구간)	
에너지 저장장치 교체비용	1,000,000원	
사이클 수(DoD 100% 기준)	1,000회	

[0075] 도 8은 표 2의 조건에 따라 시뮬레이션을 수행한 결과로써, 2일 동안의 시간에 대한 부하 측에 공급된 전력량,

전력망 요금 및 에너지 저장장치의 사용량을 측정한 값을 정규화 그래프로 나타낸 것이다. 즉, 본 발명의 일 실시예에 따른 에너지 저장장치의 충방전 스케줄링 장치가 생성한 충방전 경로에 따라 실험예로써 에너지 저장장치를 충전 또는 방전한 결과 그래프이다. 일점 쇄선의 그래프는 부하(도면에서 Load) 측에서 시간에 따라 소비하는 전력을 나타내고, 점선의 그래프는 시간에 따른 전력망 요금(도면에서 Electricity Price)을 나타내고, 실선의 그래프는 에너지 저장장치(도면에서 Battery SOC)의 잔존하는 에너지 양을 나타낸다. 여기서 일점 쇄선의 그래프는 부하 프로파일 데이터에 해당하며, 도 3의 충방전 스케줄링 장치(10)의 입력부(11)이 입력받는 데이터가 된다.

[0076] 전력망의 요금에만 의존하여 에너지 저장장치를 충방전하는 경우, 전력망의 요금 그래프와 배터리 충방전 그래프가 서로 반비례 형태로 나타나겠지만 본 발명에 따른 일 실시예의 결과물에서의 충방전 그래프는 반드시 전력망의 요금 그래프에 반비례하는 곡선에 해당하지 않는 것을 확인할 수 있었다.

[0077] 도 9는 도 8의 시뮬레이션의 결과물로 시간에 대한 전력 양의 변화로 나타낸 그래프이다. 일점 쇄선(Load)으로 표기된 부하 측의 전력 값이 0 값을 기준으로 크게 벗어나지 않고 있다. 이는 공급 과잉이나 공급 부족의 상태가 발생하지 않고 안정적으로 전력이 공급되었음을 의미한다. 점선으로 표기된 전력망의 전력과 실선으로 표기된 에너지 저장장치의 전력은 서로 보완적으로 부하 측에 전력을 공급하기 때문에 반비례 관계가 도시된 것을 확인할 수 있다.

[0078] 따라서 도 8 및 도 9를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 에너지 저장장치의 충방전 스케줄링 장치가 에너지 저장장치의 화학적 특성으로 방전심도에 따른 감가상각 비용을 이용함에 따라서 충방전을 스케줄링하여 실시함으로써 안정적으로 부하 측에 전력을 공급하고 목적하는 비용의 최소화를 달성할 수 있음을 확인할 수 있다.

[0079] 도 10은 본 발명의 다른 실시예에 따른 에너지 저장장치의 충방전 스케줄링 방법의 흐름도이다. 충방전 스케줄링 방법의 각 단계는 아래와 같이 도 3의 충방전 스케줄링 장치의 세부 구성과 일부 대응되는바, 구체적인 설명은 중복되어 기재하지 않고 대응관계를 기재한다.

[0080] S101 단계에서, 부하 프로파일 데이터(load profile data), 전력말에 대한 일정한 주기 동안의 시간당 사용 요금 및 구매 요금, 수요반응 신호(demand response event signal) 및 에너지 저장장치의 화학적 특성을 포함하는 데이터 시트(data sheet)를 입력받는다. 도 3의 입력부와 대응되는 구성이다.

[0081] S102 단계에서, 에너지 저장장치의 데이터 시트로부터 도출된 화학적 특성을 반영하여 상기 에너지 저장장치에 대하여 단위 시간당 에너지 상태의 변화에 따른 감가상각 비용을 산출한다. 화학적 특성은 방전심도(Depth of Discharge, DoD), 에너지 저장장치 자체의 교체 비용, 사이클 수명(cycle life), 최대 출력량 및 방전율(current rate, C-rate)을 포함하며, 방전심도에 따른 감가상각을 적용하여 에너지 저장장치의 에너지 상태의 변화에 따른 감가상각 비용을 산출하는데, 방전심도에 따른 감가상각의 기준은 방전심도를 파라미터로 한 사이클 수(cycle number)에 따른 용량(capacity) 그래프에서 미리 설정된 기준 지점에서의 사이클 수의 역수에 비례하는 것을 특징으로 한다. 도 3의 비용산출부와 대응되는 구성이다.

[0082] S103 단계에서 부하 프로파일 데이터로부터 목표 시점까지의 시간에 따른 필요한 전력량을 추정한다. 도 3의 경로생성부에 포함되는 구성이다.

[0083] S104 단계에서 상기 추정된 전력량을 상기 부하 측에 공급하기 위한 상기 전력망의 비용 및 에너지 저장장치의 감가상각 비용의 합이 최소가 되도록 하는 시간에 따른 에너지 저장장치의 에너지 상태의 변동을 의미하는 충방전 경로를 생성한다. 수요반응 신호를 수신하면 상기 에너지 저장장치의 감가상각 비용을 상기 분산전원의 시간에 따른 요금으로 대체한다. 수요반응 신호를 고려함으로써 분산전원의 일부로써 에너지 저장장치가 이용되는 경우에도 활용이 가능하다. S103과 함께 도 3의 경로생성부에 포함되는 구성이다.

[0084] 나아가, 충방전 경로를 생성하는 방법은 특정 시점(k)에서 목표 시점까지의 추정된 필요 전력량(E)을 공급하는데 드는 전력망의 비용과 에너지 저장장치의 비용의 최소 합으로 정의되는 비용 최소화 함수 U(k,E)에 대하여 동적 프로그래밍(Dynamic Programming) 알고리즘을 이용할 수 있다. 충방전 경로를 생성할 때에도 수요반응 신호를 수신하면 에너지 저장장치의 에너지 상태가 낮아지는 방전 경로를 우선 선택한다. 수요 반응은 전력망인 도매전력가격이 높게 형성되거나 계통 신뢰도가 위험해진 시간대에 전기사용량을 줄이도록 유도하기 위해 설계되어 수요 반응 신호가 수신면 전력소비패턴을 변화시키는 방법으로 에너지 상태가 낮아지는 방전 경로를 우선 선택하도록 하는 것이다.

[0085] S105 단계에서, 충방전 경로에 따라 에너지 상태가 높아지는 충전 경로인 때는 에너지 저장장치를 충전하고, 에너지 상태가 낮아지는 방전 경로인 때는 에너지 저장장치를 방전을 수행한다. 도 3의 구성과 대응되지는

않으나, 도 3의 출력부로 충방전 경로를 출력하는 것을 포함하며, 상기 단계는 예를 들어 에너지 저장장치를 제어하는 제어 시스템이 충전 및 방전을 수행하게 되는 것이 일반적이다. 이에 따른 에너지 저장장치 충방전 제어 시스템은 수요반응 신호를 반영하여 에너지 저장장치가 부하 측에 전력을 공급하는 것과 함께 방전시에 전력망으로 잉여의 에너지를 되팔아 비용적인 측면에서 효율적일 것이다.

[0086] 한편, 본 발명의 실시예들은 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록 매체에 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드로 구현하는 것이 가능하다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록 매체는 컴퓨터 시스템에 의하여 읽혀질 수 있는 데이터가 저장되는 모든 종류의 기록장치를 포함한다.

[0087] 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록 매체의 예로는 ROM, RAM, CD-ROM, 자기 테이프, 플로피디스크, 광 데이터 저장장치 등이 있으며, 또한 캐리어 웨이브(예를 들어 인터넷을 통한 전송)의 형태로 구현하는 것을 포함한다. 또한, 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록 매체는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템에 분산되어, 분산 방식으로 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드가 저장되고 실행될 수 있다. 그리고 본 발명을 구현하기 위한 기능적인(functional) 프로그램, 코드 및 코드 세그먼트들은 본 발명이 속하는 기술 분야의 프로그래머들에 의하여 용이하게 추론될 수 있다.

[0088] 이상과 같이 본 발명에서는 구체적인 구성 요소 등과 같은 특정 사항들과 한정된 실시예 및 도면에 의해 설명되었으나 이는 본 발명의 보다 전반적인 이해를 돕기 위해서 제공된 것일 뿐, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상적인 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다.

[0089] 따라서, 본 발명의 사상은 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니되며, 후술하는 특허청구범위뿐 아니라 이 특허청구범위와 균등하거나 등가적 변형이 있는 모든 것들은 본 발명 사상의 범주에 속한다고 할 것이다.

부호의 설명

[0090] 10: 충방전 스케줄링 장치

11: 입력부 12: 비용산출부

13: 경로생성부 14: 출력부

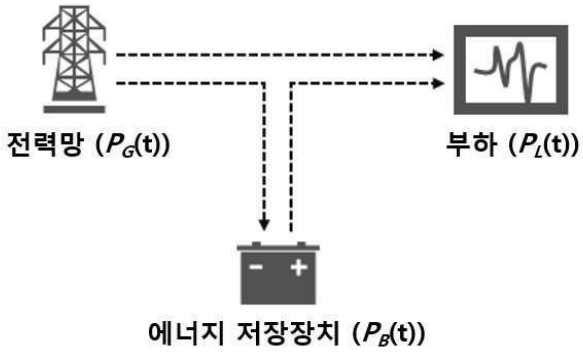
20: 전력망

30: 에너지 저장장치

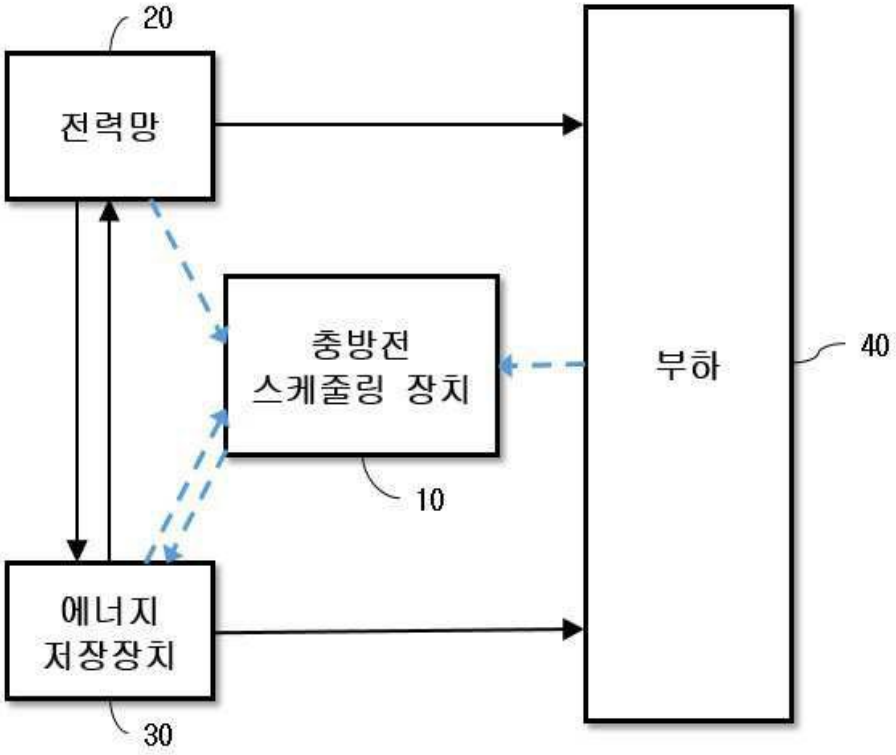
40: 부하

도면

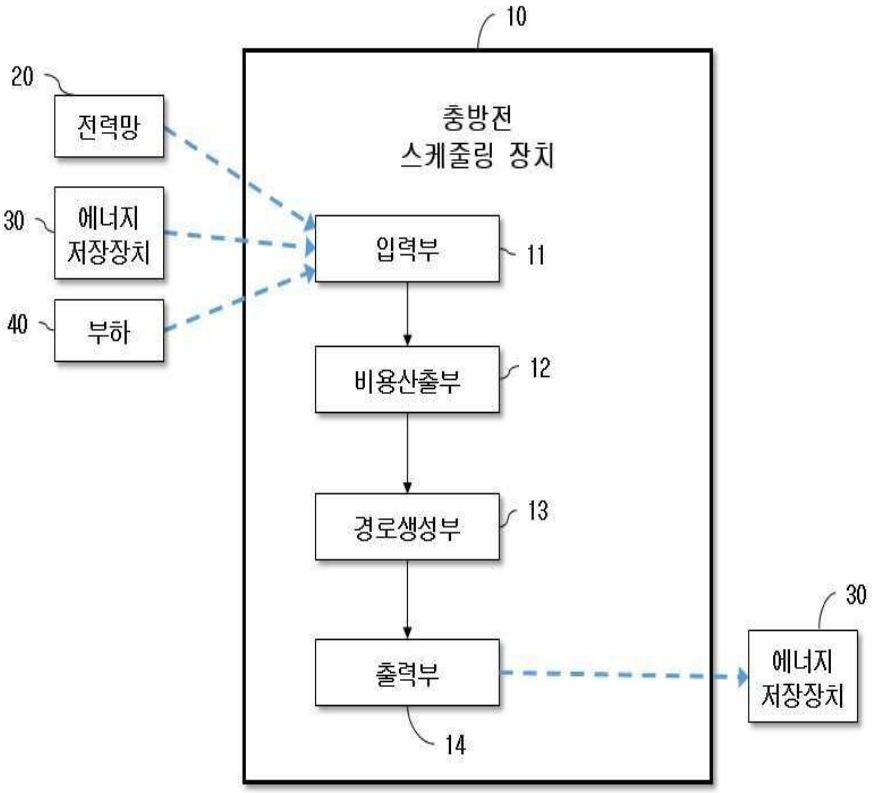
도면1



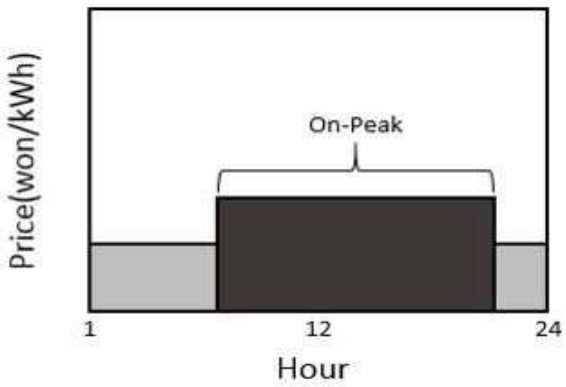
도면2



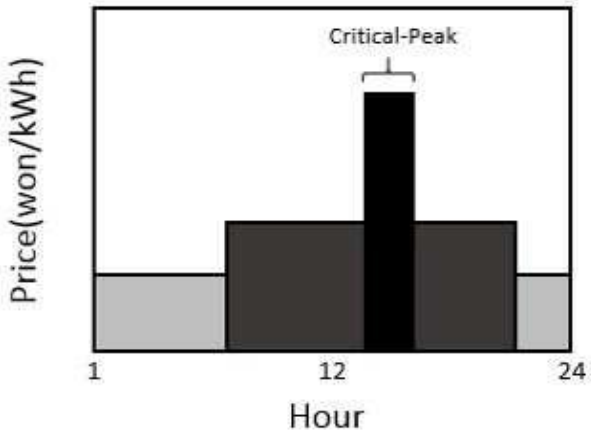
도면3


10
충방전
스케줄링 장치
20
전력망
30
에너지
저장장치
40
부하
입력부
11
비용산출부
12
경로생성부
13
출력부
14
30
에너지
저장장치

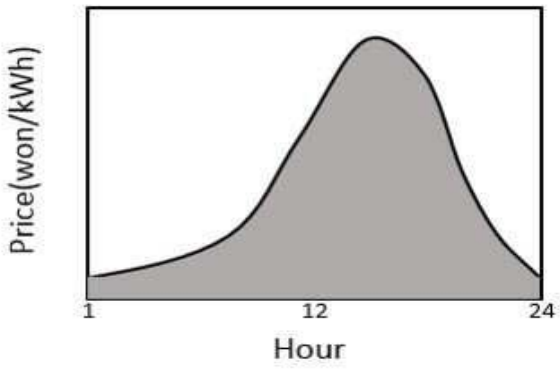
도면4a


Price(won/kWh)
On-Peak
1
12
24
Hour

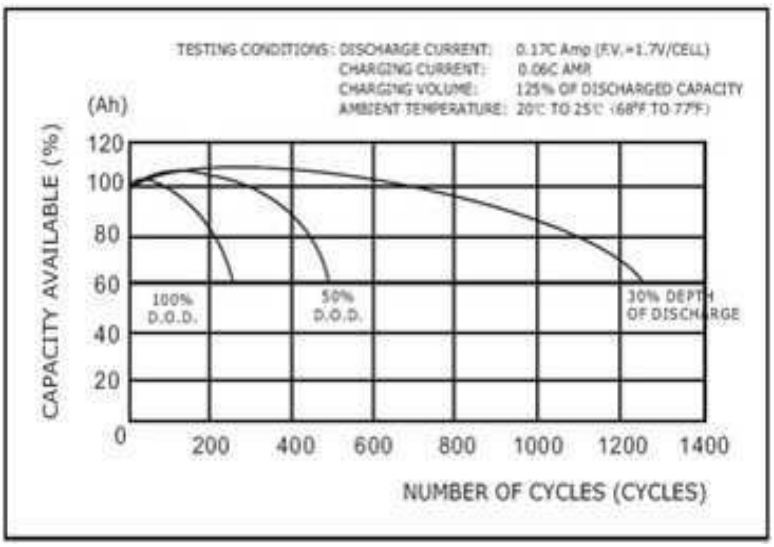
도면4b



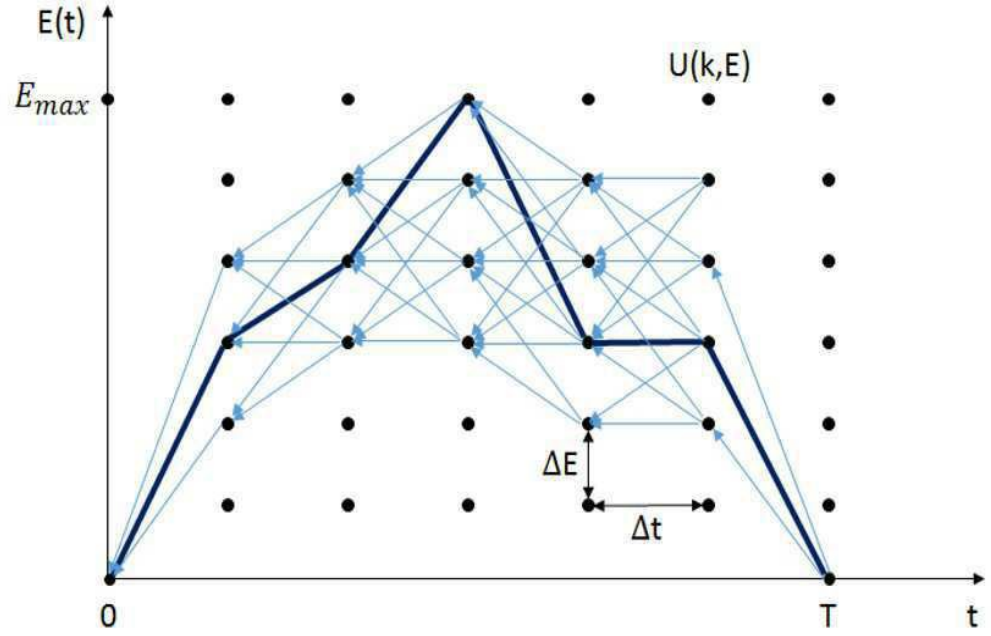
도면4c



도면5



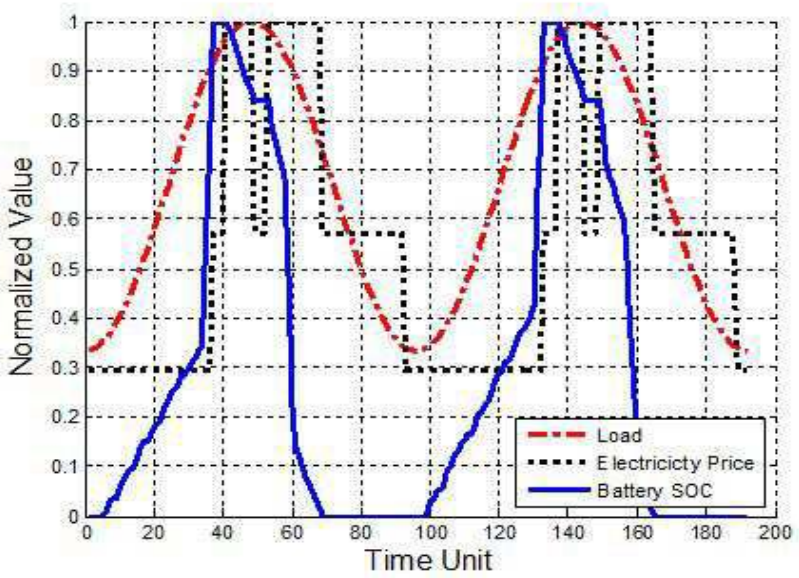
도면6



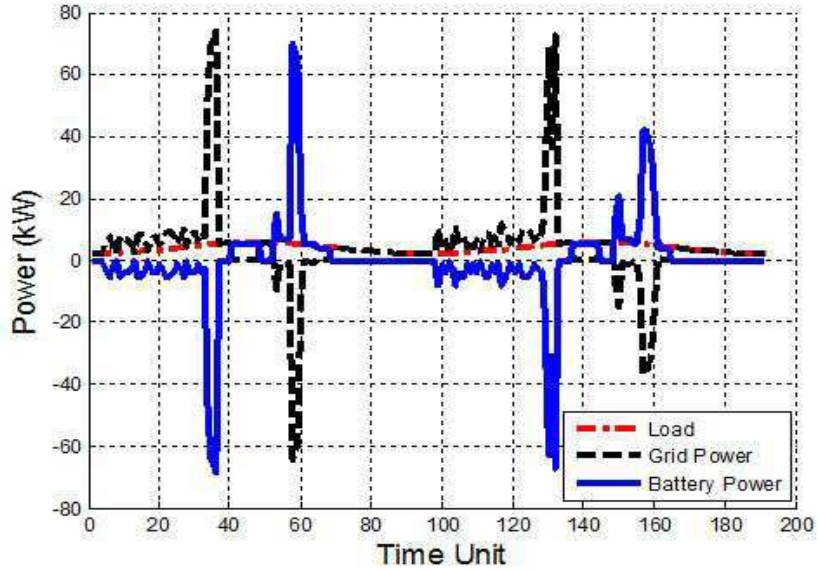
도면7

(1) **get**
(2) $C(t)$: Electricity Price
(3) $P_L(t)$: Load Profile
(4) DR Event Signal
(5) **begin**
(6) objective function $U(0,0)$
(7) $U(0,0)$: Minimum value function
(8) **compute**
(9) $U(k,E) = V(k,E) + \eta W(k,E)$ with
(10) $W(k,E) = \sum_{t=k}^{T} C_B(E(t),E(t+1))$: Lifetime cost
(11) $C_B(E(k),E(k+1)) = \left| \frac{E(k)-E(k+1)}{\Delta E} \right| \times \frac{C_B}{2NL}$
(12) $\Delta E = \frac{E_{\max}}{N}$: Energy equalization unit
(13) $V(k,E) = \sum_{t=k}^{T} [P_G(t)C(t)1_{\{P_G(t) \geq 0\}} + P_G(t)D(t)1_{\{P_G(t) < 0\}}]$: Running cost
(14) for k=T:0 all T time unit
(15) assign differential cost
(16) $\Delta U(E(k),E(k+1)) = P_G(k)C(k)1_{\{P_G(k) \geq 0\}}\Delta t + P_G(k)D(k)1_{\{P_G(k) < 0\}}\Delta t + \eta C_B(E(k),E(k+1))$
(17) according to the range of $P_G(t)$
(18) compute $U(k,E) = \min_{E(k+1)} \{\Delta U(E,E(k+1)) + U(k+1,E(k+1))\}$
(19) end for
(20) **until**
(21) $U(0,0)$is calculated
(22) **determine**
(23) optimal charging/discharging path
(24) **end**

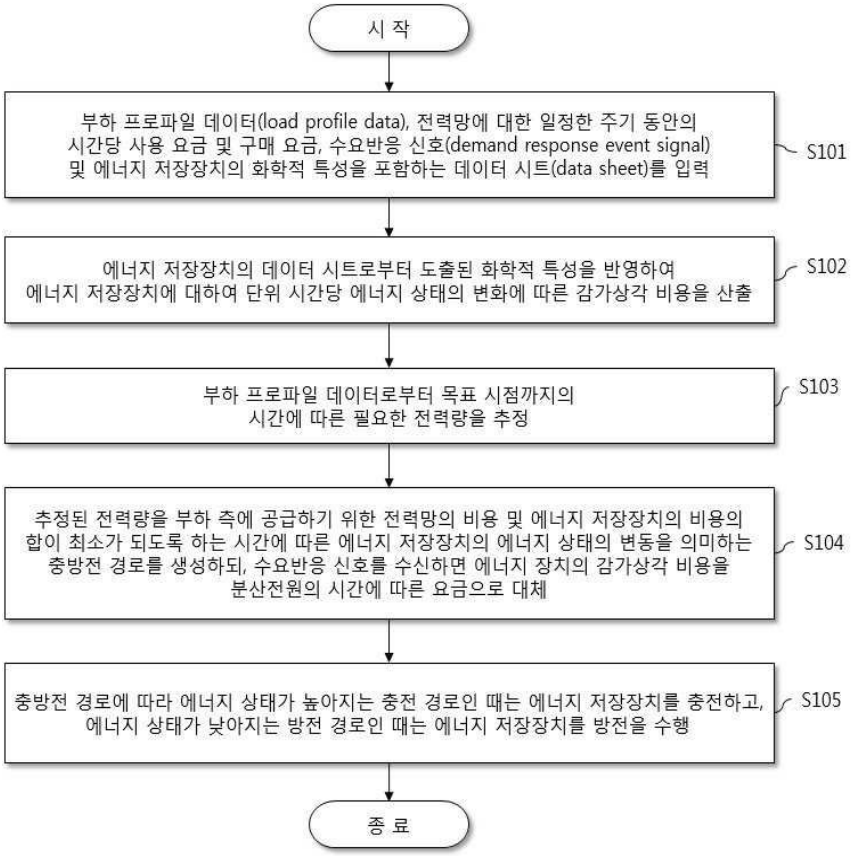
도면8


Normalized Value
Time Unit
Load
Electricicty Price
Battery SOC

도면9


Power (kW)
Time Unit
Load
Grid Power
Battery Power

도면10


시 작
부하 프로파일 데이터(load profile data), 전력망에 대한 일정한 주기 동안의 시간당 사용 요금 및 구매 요금, 수요반응 신호(demand response event signal) 및 에너지 저장장치의 화학적 특성을 포함하는 데이터 시트(data sheet)를 입력
S101
에너지 저장장치의 데이터 시트로부터 도출된 화학적 특성을 반영하여 에너지 저장장치에 대하여 단위 시간당 에너지 상태의 변화에 따른 감가상각 비용을 산출
S102
부하 프로파일 데이터로부터 목표 시점까지의 시간에 따른 필요한 전력량을 추정
S103
추정된 전력량을 부하 측에 공급하기 위한 전력망의 비용 및 에너지 저장장치의 비용의 합이 최소가 되도록 하는 시간에 따른 에너지 저장장치의 에너지 상태의 변동을 의미하는 충방전 경로를 생성하되, 수요반응 신호를 수신하면 에너지 장치의 감가상각 비용을 분산전원의 시간에 따른 요금으로 대체
S104
충방전 경로에 따라 에너지 상태가 높아지는 충전 경로인 때는 에너지 저장장치를 충전하고, 에너지 상태가 낮아지는 방전 경로인 때는 에너지 저장장치를 방전을 수행
S105
종 료