(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2016-0147168
(43) 공개일자 2016년12월22일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B60L 11/18 (2006.01)
(52) CPC특허분류
B60L 11/184 (2013.01)
B60L 11/1848 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-0083388
(22) 출원일자 2015년06월12일
심사청구일자 2015년06월12일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
고락경
서울특별시 동대문구 이문로 37, 1401호 (회기동,회기역한일베라체캠퍼스)
주성관
서울특별시 노원구 노원로18길 19 211동 404호 (하계동,현대2차아파트)
장민석
서울특별시 동작구 상도로68길 29 101동 302호 (상도동,푸른솔아파트)
(74) 대리인
김등용, 김홍석

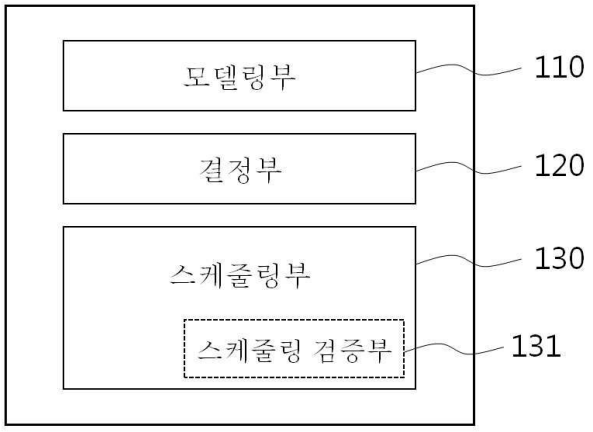
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 **전기철도 시스템에서 에너지 저장 장치의 스케줄링 방법 및 장치**

(57) 요 약

본 발명은 철도 시스템에서 에너지 저장 장치를 스케줄링하는 방법을 제안한다. 상기 에너지 저장 장치 스케줄링 방법은 에너지 저장 장치 및 전력 계통을 선형 모델로 모델링하는 단계; 스케줄링을 실행하는 해당 일이 속하는 해당 월의 목표 최대전력수요를 결정하는 단계; 및 상기 철도 시스템의 상기 에너지 저장 장치 및 상기 전력 계통의 제약 조건에 따라 혼합정수계획 모형을 이용하여 상기 에너지 저장 장치의 충·방전 스케줄을 도출하는 단계;를 포함할 수 있다.

대 표 도 - 도1



100

(52) CPC특허분류
B60L 2200/26 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 14RTRP-B067916-02
부처명 국토교통부
연구관리전문기관 국토교통과학기술진흥원
연구사업명 철도기술연구사업
연구과제명 도시철도 역사 복합에너지 통합해석 스케줄링 최적화 기술개발
기 여 율 1/1
주관기관 한국철도기술연구원
연구기간 2014.06.27 ~ 2015.06.26

명 세 서

청구범위

청구항 1

철도 시스템에서의 에너지 저장 장치 스케줄링 장치에서 수행되는 에너지 저장 장치의 스케줄링 방법에 있어서,

에너지 저장 장치 및 전력 계통을 선형 모델로 모델링하는 단계;

스케줄링을 실행하는 해당 일이 속하는 해당 월의 목표 최대전력수요를 결정하는 단계; 및

상기 철도 시스템의 상기 에너지 저장 장치 및 상기 전력 계통의 제약 조건에 따라 혼합정수계획 모형을 이용하여 상기 에너지 저장 장치의 충·방전 스케줄을 도출하는 단계;

를 포함하는 철도 시스템에서 에너지 저장 장치의 스케줄링 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 에너지 저장 장치 및 전력 계통을 선형 모델로 모델링하는 단계는,

상기 에너지 저장 장치의 충전량, 방전량 및 에너지 잔량, 그리고 상기 전력 계통의 전력 수급 상태를 선형 변수로 모델링하는 단계를 포함하는,

철도 시스템에서 에너지 저장 장치의 스케줄링 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 해당 월의 목표 최대전력수요를 결정하는 단계는,

해당 월의 초기 목표 최대전력수요와 기본요금 산정 기준월의 최대수요전력의 값을 비교하는 단계; 및

상기 해당 월의 초기 목표 최대전력수요와 상기 기본요금 산정 기준월의 최대수요전력의 값 중에서 큰 값을 상기 해당 월의 목표 최대전력수요 값으로 결정하는 단계;를 포함하는

철도 시스템에서 에너지 저장 장치의 스케줄링 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 에너지 저장 장치 및 상기 전력 계통의 제약 조건은 상기 에너지 저장장치의 최대 용량에 의한 제한, 에너지 잔량에 대한 제약, 전력 변환 시스템에 의한 제약, 상기 에너지 저장 장치의 성능 열화에 따른 수명 비용 산정 및 전력 수급 조건 중에서 하나 이상을 포함하는

철도 시스템에서 에너지 저장 장치의 스케줄링 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 에너지 저장 장치의 충·방전 스케줄을 도출하는 단계는

상기 에너지 저장 장치의 시간대별 충전량, 방전량, 및 에너지 잔량을 산출하는 단계를 포함하는,

철도 시스템에서 에너지 저장 장치의 스케줄링 방법.

청구항 6

철도 시스템의 에너지 저장 장치 및 전력 계통을 선형 모델로 모델링하는 모델링부;

스케줄링을 실행하는 해당 일이 속하는 해당 월의 목표 최대전력수요를 결정하는 결정부; 및

상기 철도 시스템의 상기 에너지 저장 장치 및 상기 전력 계통의 제약 조건에 따라 혼합정수계획 모형을 이용하여 상기 에너지 저장 장치의 충·방전 스케줄을 도출하는 스케줄링부;

를 포함하는 철도 시스템에서 에너지 저장 장치의 스케줄링 장치.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 결정부는 해당 월의 초기 목표 최대전력수요와 기본요금 산정 기준월의 최대수요전력의 값을 비교하고, 상기 해당 월의 초기 목표 최대전력수요와 상기 기본요금 산정 기준월의 최대수요전력의 값 중에서 큰 값을 상기 해당 월의 목표 최대전력수요 값으로 결정하는 것을 특징으로 하는 철도 시스템에서 에너지 저장 장치의 스케줄링 장치.

청구항 8

제6항에 있어서,

상기 스케줄링부는 상기 에너지 저장 장치의 충·방전 스케줄의 실현 가능 여부를 검증하는 스케줄링 검증부를 포함하는 철도 시스템에서 에너지 저장 장치의 스케줄링 장치.

청구항 9

제6항에 있어서,

상기 에너지 저장 장치 및 상기 전력 계통의 제약 조건은 상기 에너지 저장장치의 최대 용량에 의한 제한, 에너지 잔량에 대한 제약, 전력 변환 시스템에 의한 제약, 상기 에너지 저장 장치의 성능 열화에 따른 수명 비용 산정 및 전력 수급 조건 중에서 하나 이상을 포함하는 철도 시스템에서 에너지 저장 장치의 스케줄링 장치.

청구항 10

기록매체에 저장되는 철도 시스템의 에너지 저장 장치 스케줄링 프로그램으로서, 상기 프로그램은 컴퓨팅 시스템에서 실행되는,

에너지 저장 장치 및 전력 계통을 선형 모델로 모델링하는 명령어 세트;

스케줄링을 실행하는 해당 일이 속하는 해당 월의 목표 최대전력수요를 결정하는 명령어 세트; 및

상기 철도 시스템의 상기 에너지 저장 장치 및 상기 전력 계통의 제약 조건에 따라 혼합정수계획 모형을 이용하여 상기 에너지 저장 장치의 충·방전 스케줄을 도출하는 명령어 세트를 포함하는 철도 시스템의 에너지 저장 장치 스케줄링 프로그램.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 전기철도 시스템에서 에너지 저장 장치의 스케줄링 방법 및 장치에 관한 것으로, 보다 특정하게는 전기철도 시스템에서 에너지 저장 장치의 충전 및 방전 상태 변화를 최소화하며 목표 최대전력수요를 낮출 수 있는 에너지 저장 장치의 스케줄링 방법 및 장치에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 전기철도 시스템은 일반적으로 산업용 전기요금을 부과받고 있으며, 이는 크게 기본요금과 전력량 요금으로 구분된다. 기본요금은 최대수요전력에 따라 산출되는 요금이고, 전력량 요금은 계절, 시간에 따른 사용량에 비례하여 부과되는 요금이다. 사용자의 편의성을 위하여 사용 전력량을 임의로 줄일 수 없는 철도 시스템의 특성상 최대수요전력을 줄여 기본요금을 절약하려는 노력이 행해지고 있다. 이러한 노력의 일환으로 에너지 저장 장치(Energy Storage System, ESS)에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다.

[0003] 에너지 저장 장치는 전력을 저장하여 특정시간에 원하는 만큼 방전이 가능한 장치이며, 전자식 제어를 받기 때문에 빠른 응답 특성이 있다. 이러한 특징 때문에 발전량이 일정하지 않은 신재생 에너지의 발전량을 저장하여 일정한 출력으로 방전하거나 가선의 순간 전압 변화를 감지하여 전압에 따라 빠른 충·방전을 시행하여 전압 안정화에 기여하는 단주기 운전 혹은 전기 요금이 낮은 시간대에 에너지 저장장치를 충전하여 최대부하 시간에 방전하여 전기요금 단가 차이를 통해 전기요금을 절감하거나 부하 집중시간대의 피크부하를 저감시키는 장주기 운전으로 운영되고 있다.

[0004] 에너지 저장 장치 스케줄링은 에너지 저장 장치와 철도 시스템 내의 신재생 에너지원 등을 수학적으로 모델링하고 계통의 제약을 만족하는 동시에 전기 요금을 최소화하는 에너지 저장 장치의 충·방전 일정을 도출하는 과정이다.

[0005] 에너지 저장 장치의 배터리는 충·방전을 거듭할수록 성능 열화가 발생하며, 이 성능 열화가 특정 수준을 넘겼을 경우 배터리의 수명이 완료되었다 판단하며 수명이 완료된 배터리는 교체되어야 한다. 이러한 에너지 저장 장치의 성능 열화의 원인으로는 높은 보관온도, 깊은 방전, 잦은 충·방전이 있다.

[0006] 종래의 에너지 저장 장치 스케줄링 방법은 상술한 에너지 저장 장치의 성능 열화와 관련된 정보를 충분히 반영하지 못하고 있다. 특히, 새벽 시간대에 최대 허용 용량까지 충전하였다가 낮에 최소 용량까지 방전하는 장주기 에너지 저장 장치의 경우 충·방전 시행 시 DoD(Depth of Discharge, 방전의 깊이)의 값이 크므로, 배터리 수명에 큰 영향을 미치는바, 이에 의한 에너지 저장 장치의 성능 열화를 최소화할 필요가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명은 에너지 저장 장치의 성능 열화를 최소화하면서 기본요금을 절약하기 위하여 안출한 것으로서, 본 발명이 이루고자 하는 기술적인 과제는 기본요금을 최소화하는 당월의 목표 최대전력수요를 결정하고, 에너지 저장 장치의 성능 열화를 일으키는 충·방전 상태변화를 최소화하는 최적의 에너지 저장 장치 스케줄링 방법 및 장치를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0008] 본 발명의 일 실시예에 따른 철도 시스템에서 에너지 저장 장치의 스케줄링 방법은, 에너지 저장 장치 및 전력 계통을 선형 모델로 모델링하는 단계; 스케줄링을 실행하는 해당 일이 속하는 해당 월의 목표 최대전력수요를 결정하는 단계; 및 상기 철도 시스템의 상기 에너지 저장 장치 및 상기 전력 계통의 제약 조건에 따라 혼합정수계획 모형을 이용하여 상기 에너지 저장 장치의 충·방전 스케줄을 도출하는 단계;를 포함한다.

[0009] 본 발명의 일 실시예에 따른 철도 시스템에서 에너지 저장 장치의 스케줄링 장치는 에너지 저장 장치 및 전력 계통을 선형 모델로 모델링하는 모델링부; 스케줄링을 실행하는 해당 일이 속하는 해당 월의 목표 최대전력수요를 결정하는 결정부; 및 상기 철도 시스템의 상기 에너지 저장 장치 및 상기 전력 계통의 제약 조건에 따라 혼합정수계획 모형을 이용하여 상기 에너지 저장 장치의 충·방전 스케줄을 도출하는 스케줄링부;를 포함한다.

[0010] 본 발명의 일 실시예에 따른 철도 시스템의 에너지 저장 장치 스케줄링 프로그램은 .기록매체에 저장되는 프로그램으로서, 컴퓨팅 시스템에서 실행되는, 에너지 저장 장치 및 전력 계통을 선형 모델로 모델링하는 명령어 세트; 스케줄링을 실행하는 해당 일이 속하는 해당 월의 목표 최대전력수요를 결정하는 명령어 세트; 및 상기 철도 시스템의 상기 에너지 저장 장치 및 상기 전력 계통의 제약 조건에 따라 혼합정수계획 모형을 이용하여 상기 에너지 저장 장치의 충·방전 스케줄을 도출하는 명령어 세트를 포함한다.

발명의 효과

[0011] 본 발명의 실시 예에 따른 전기철도 시스템에서의 에너지 저장 장치 스케줄링 방법 및 장치는 에너지 저장장치의 성능 열화를 일으키는 충·방전 상태변화를 최소화함으로써 에너지 저장 장치의 수명을 늘릴 수 있으며, 스케줄링을 시행하는 월의 적정 최대 부하량을 산정함으로써 기본요금 절약이 가능하다.

도면의 간단한 설명

[0012] 본 발명의 상세한 설명에서 인용되는 도면을 보다 충분히 이해하기 위하여 각 도면의 상세한 설명이 제공된다.

도 1은 일 실시예에 따른 전기철도 시스템에서 에너지 저장 장치 스케줄링 장치의 기능 블록도이다.

도 2는 도 1에 도시된 에너지 저장 장치 스케줄링 장치에서 수행되는 전기철도 시스템에서 에너지 저장 장치의 스케줄링 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 3은 도 2에 도시된 당월 목표 최대전력수요를 결정하는 단계의 세부 흐름도를 도시한다.

도 4는 도 2에 도시된 에너지 저장 장치의 최적 스케줄링 도출 단계에서 스케줄링 실현 가능성을 검증하는 방법의 세부 흐름도를 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0013] 본 명세서에 개시되어 있는 본 발명의 개념에 따른 실시 예들에 대해서 특정한 구조적 또는 기능적 설명은 단지 본 발명의 개념에 따른 실시 예들을 설명하기 위한 목적으로 예시된 것으로서, 본 발명의 개념에 따른 실시 예들은 다양한 형태들로 실시될 수 있으며 본 명세서에 설명된 실시 예들에 한정되지 않는다.

[0014] 본 발명의 개념에 따른 실시 예들은 다양한 변경들을 가할 수 있고 여러 가지 형태들을 가질 수 있으므로 실시 예들을 도면에 예시하고 본 명세서에서 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명의 개념에 따른 실시 예들을 특정한 개시 형태들에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물, 또는 대체물을 포함한다.

[0015] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 의미를 갖는 것으로 해석되어야 하며, 본 명세서에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.

[0016] 이하, 본 명세서에 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 실시 예들을 상세히 설명한다.

[0017] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 에너지 저장 장치 스케줄링 장치(100)의 기능 블록도이다.

[0018] 도 1을 참조하면, 에너지 저장 장치 스케줄링 장치(100)는 에너지 저장 장치를 모델링하는 모델링부(110), 당월 목표 최대전력수요를 결정하는 결정부(120) 및 에너지 저장 장치의 최적 스케줄링을 도출하는 스케줄링부(130)를 포함하며, 스케줄링부(130)는 도출된 스케줄링의 실현 가능성을 검증하기 위한 스케줄링 검증부(131)를 더 포함할 수 있다.

[0019] 실시예에 따라, 에너지 저장 장치 스케줄링 장치(100)는 모델링부(110), 결정부(120) 및 스케줄링부(130)의 전반적인 기능 및 동작을 제어하는 중앙 프로세서(미도시)를 포함할 수 있다. 또는, 모델링부(110), 결정부(120) 및 스케줄링부(130)가 각각의 자체 프로세서(미도시)에 의해 작동되며, 프로세서(미도시)들이 상호 유기적으로 작동함에 따라 에너지 저장 장치 스케줄링 장치(100)가 전체적으로 작동될 수도 있다. 또는, 에너지 저장 장치 스케줄링 장치(100)의 외부 프로세서(미도시)의 제어에 따라, 모델링부(110), 결정부(120) 및 스케줄링부(130)가 제어될 수도 있다.

[0020] 에너지 저장 장치 스케줄링 장치(100)는 에너지 저장 장치를 스케줄링하기 위해 각종 데이터를 처리하는 과정에서 발생하는 입출력 데이터를 저장하기 위한 데이터베이스(미도시)를 더 포함할 수 있다. 또한, 에너지 저장 장치 스케줄링 장치(100)는 데이터베이스(미도시)의 데이터 입출력을 관할하는 메모리 제어부(미도시)를 더 포함할 수도 있다.

[0021] 에너지 저장 장치 스케줄링 장치(100)는 전력계통 관리 서버(미도시) 또는 에너지 저장 장치(미도시)와 연결될 수 있다. 에너지 저장 장치 스케줄링 장치(100)는 충·방전 스케줄을 생성하여 에너지 저장 장치(미도시)에게로 전송하며, 에너지 저장 장치(미도시)는 에너지 저장 장치 스케줄링 장치(100)에서 생성되는 충·방전 스케줄에 따라 에너지 충·방전을 수행한다.

[0022] 에너지 저장 장치 스케줄링 장치(100)는 데이터통신망을 거쳐 전력계통 관리 서버 등과 통신할 수 있다. 상기 데이터통신망은, 개방형 인터넷, 폐쇄형 인트라넷을 포함한 유선 인터넷망, 이동 통신망과 연동된 무선 인터넷 통신망, TCP(Transmission Control Protocol)/IP(Internet Protocol), UDP(User Datagram Protocol)과 같은 프로토콜 기반의 데이터 통신을 포함하여 각종 데이터 통신이 가능한 컴퓨터 네트워크 등의 가능한 통신 수단을 포함하는 넓은 개념이다. 예를 들어 에너지 저장 장치 스케줄링 장치(100)는, IP소켓 방식 또는 웹 소켓 방식을

기반으로 데이터통신을 수행할 수 있다.

[0023] 이하에서는 도 1과 도 2를 참조하여 에너지 저장 장치 스케줄링 장치(100)의 동작을 상술하도록 한다. 도 2는 도 1에 도시된 에너지 저장 장치 스케줄링 장치(100)에서 수행되는 전기철도 시스템에서의 에너지 저장 장치의 스케줄링 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

[0024] 에너지 저장 장치 스케줄링 장치(100)에 의한 스케줄링은 스케줄링을 도출하고자 하는 날의 하루 전날에 이루어질 수 있다. 스케줄링을 시행하기에 앞서, 하루 전날에 다음 날(스케줄링을 도출하고자 하는 날)의 전력 수요 및 스케줄링을 도출하고자 하는 날이 속하는 월의 최대부하($P_{Load}^{PredPeak}$)에 대한 예측이 선행되어야 하며, 종래의 시계열 모형 등을 이용하여 예측할 수 있다. 이때, 에너지 저장 장치 스케줄링 장치(100)는 별도 장치에 의하여 예측된 값을 수신하거나, 에너지 저장 장치 스케줄링 장치(100)에 포함된 예측부(미도시)에 의하여 예측된 값을 이용할 수 있다.

[0025] 단계 S210에서, 에너지 저장 장치 스케줄링 장치(100)의 모델링부(110)는 철도 시스템의 전력계통 관련 정보를 이용하여 에너지 저장 장치의 모델링을 실시한다.

[0026] 에너지 저장 장치의 모델링을 위해 입력되는 데이터는 에너지 저장 장치의 최대 용량($Cap_{ESS,Max}$[kWh]), 최대 충전량($P_{Charge,Max}$[kW]) 및 최대 방전량($P_{Discharge,Max}$[kW])을 포함한다. 일 실시예에서 모델링부(110)는 에너지 저장 장치가 최대 $P_{Charge,Max}$, $P_{Discharge,Max}$ 만큼 충전 및 방전을 수행할 수 있는 전력 변환 시스템(Power Conversion System, PCS)에 의해 충전 및 방전이 수행되는 탱크와 같이 모델링한다.

[0027] 선형계획법 및 혼합정수계획법에서 사용가능한 모델은 선형 모델과 정수 값을 가지는 불연속 모델로 제한되기 때문에 에너지 저장장치의 에너지 잔량(State of Charge, SoC[%])은 충·방전량에 따라 선형으로 변화하는 모델을 사용한다.

[0028] 이때, 에너지 저장 장치의 충전과 방전에 의하여 특정 시간(t)에서의 부하($Load_t$[kW])와 외부 계통으로부터 구매해오는 전력($P_{buy,t}$[kW])의 값은 다를 수 있다. 즉, 특정 시간에서의 부하($Load_t$)와 에너지 저장 장치의 전체 충·방전량(P_t[kW])을 합한 값과 전력 구매량($P_{buy,t}$)이 동일하며, P_t는 시간 t에서의 에너지 저장 장치의 충전량($P_{Charge,t}$[kW])과 방전량($P_{Discharge,t}$[kW])으로 분리된다.

[0029] $$P_{buy,t} = Load_t + P_t$$

[0030] $$P_t = P_{Charge,t} - P_{Discharge,t}$$

[0031] 이때, 도시철도의 열차와 역사를 운영하기 위하여 필요한 전력($Load_t$)은 상술한 바와 같이 스케줄링 수행 전에 별도의 예측 알고리즘에 의해 예측되며, 일정 시간 단위로 예측될 수 있다. 예를 들어, 기본요금이 15분 단위 평균 전력의 최댓값을 사용하므로, 15분 단위로 예측된 전력 데이터($Load_t$)를 에너지 저장 장치 모델링 및 스케줄링을 위한 입력데이터로 수신한다. 그리고, 전력량 요금의 단가 차이를 이용하기 위하여 최소 24시간 길이로 예측된 전력 데이터($Load_t$)를 수신한다.

[0032] 또한, 에너지 저장 장치의 모델링을 위해 입력되는 데이터는 충전 시 효율 및 방전 시 효율을 포함한다. 전력 변환 시스템은 충·방전 수행 시 일정한 효율을 가지는데, 충전 시와 방전시의 효율을 각각 eff_{Charge}, $eff_{Discharge}$로 정의한다. eff_{Charge}와 $eff_{Discharge}$의 값의 차이가 크지 않을 경우 라운드 트립(round-trip) 효율을 대신 사용할 수 있다.

[0033] 또한, 에너지 저장 장치의 모델링을 위해 입력되는 데이터는 에너지 저장 장치의 사용 SoC 범위, 에너지 저장 장치의 수명, 및 에너지 저장 장치의 충·방전 상태변화에 의한 패널티 정보를 포함한다.

[0034] 에너지 저장 장치는 충전 상태에서 방전상태로 전환할 때 혹은 그 반대 과정에서 성능 열화가 일어나며, 상태

변화가 2번 일어날 경우 1 Cycle이라 한다. 시간 t에서 충전 또는 방전 중임을 나타내는 값을 각각 y_t 및 z_t 로 정의하며, 시간 t에서 충전 또는 방전 중일 경우 1, 아닐 경우 0의 값을 가지는 이진변수이다.

[0035] 에너지 저장 장치는 전체 용량에 비해 실제 사용 가능한 용량이 일정 수준 이하로 떨어질 때 수명이 다했다고 평가한다. 에너지 저장 장치 운전 중 SoC는 일정 수준 이내에 존재하여야 하며, 사용 SoC 범위에 따라 수명이 다할 때까지 정해진 사이클(Cycle) 수명을 가진다. 시간 t에서 충·방전 상태변화가 일어날 경우 1, 아닐 경우 0의 값을 가지는 이진변수 u_t를 통하여 상태변화를 감지하며, 이러한 상태 변화에 따라 부과되는 패널티를 수명 비용($C_{Discharge,t}$ [원/Cycle])으로 정의한다. 예를 들어, 에너지 저장 장치의 가격을 사이클 수명으로 나눈 값을 수명 비용으로 사용할 수 있다.

[0036] 단계 S220에서 에너지 저장 장치 스케줄링 장치(100)의 결정부(120)는 스케줄링을 실행하는 해당 일이 속하는 해당 월의 목표 최대전력수요($P_{Load}^{MonthlyPeak}$)를 결정한다.

[0037] 도 3은 도 2에 도시된 스케줄링을 실행하는 해당 월의 목표 최대전력수요($P_{Load}^{MonthlyPeak}$)를 결정하는 단계의 세부 흐름도를 도시한다.

[0038] 기본요금은 검침 당월을 포함한 직전 12개월 중 기본요금 산정 기준월의 최대수요전력($P_{Load}^{YearlyPeak}$) 및 당월 최대수요전력 중 가장 큰 최대수요전력을 기준으로 산정된다. 예를 들어, 기본요금 산정 기준월은 검침 당월을 포함한 직전 12개월 기간에 포함되는 7~9월(하계) 또는 12~2월(동계)을 의미하며, 기본요금 산정 기준월의 최대수요전력($P_{Load}^{YearlyPeak}$)은 기본요금 산정 기준월 중에서 최대수요전력이 가장 큰 월의 최대수요전력을 의미한다. 이때, 당월 최대수요전력이 기본요금 산정 기준월의 최대수요전력($P_{Load}^{YearlyPeak}$)보다 낮을 경우 당월 최대부하를 경감하기 위하여 방전을 수행할 필요가 없으므로, 이를 고려하여 해당 월의 목표 최대전력수요($P_{Load}^{MonthlyPeak}$)를 결정함으로써 에너지 저장 장치의 수명을 늘릴 수 있다.

[0039] 단계 S221에서 결정부(120)는 스케줄링을 실행하는 해당 월의 예측 최대 부하($P_{Load}^{PredPeak}$), 기본요금 산정 기준월의 최대수요전력($P_{Load}^{YearlyPeak}$) 및 목표 최대 부하 저감율(Peak Shaving Rate, PSR)을 입력 값으로 수신한다.

[0040] 해당 월의 예측 최대부하($P_{Load}^{PredPeak}$)는 별도 장치에 의하여 예측된 값을 수신하여 이용하거나, 에너지 저장 장치 스케줄링 장치(100)에 포함된 당월 최대부하 예측부(미도시)에 의하여 예측된 값을 이용할 수 있다. 해당 월의 예측 최대 부하($P_{Load}^{PredPeak}$)에 대하여 몇 % 수준으로 유지할 것인 지를 나타내는 PSR 값은 관리자가 설정할 수 있으며, 미리 설정된 PSR 값을 이용하는 것도 가능하다.

[0041] 단계 S222에서 결정부(120)는 해당 월의 초기 목표 최대전력수요와 기본요금 산정 기준월의 최대수요전력($P_{Load}^{YearlyPeak}$)의 값을 비교한다. 해당 월의 초기 목표 최대전력수요는 해당 월의 예측 최대 부하($P_{Load}^{PredPeak}$)에 PSR을 곱한 값을 의미한다.

[0042] 단계 S223에서 결정부(120)는 해당 월의 초기 목표 최대전력수요가 기본요금 산정 기준월의 최대수요전력($P_{Load}^{YearlyPeak}$) 보다 더 **작을** 경우, 기본요금 산정 기준월의 최대수요전력($P_{Load}^{YearlyPeak}$)을 해당 월의 목표 최대전력수요($P_{Load}^{MonthlyPeak}$) 값으로 결정하고, 과정을 종료한다.

[0043] 단계 S224에서 해당 월의 초기 목표 최대전력수요가 기본요금 산정 기준월의 최대수요전력($P_{Load}^{YearlyPeak}$)보다 더 **클** 경우 해당 월의 초기 목표 최대전력수요 값을 해당 월의 목표 최대전력수요($P_{Load}^{MonthlyPeak}$) 값으로 결정한다.

[0044] 단계 S225에서 해당 월의 초기 목표 최대전력수요 값이 기본요금 산정 기준월의 최대수요전력($P_{Load}^{YearlyPeak}$) 값보다 더 클 경우 해당 월이 기본요금 산정 기준월(예를 들어, 1월, 2월, 7월 ,8월, 9월, 또는 12월)에 속하는지 확인한다. 이때, 해당 월이 기본요금 산정 기준월에 속하지 않는 경우 과정을 종료한다.

[0045] 단계 S226에서 해당 월이 기본요금 산정 기준월에 속하는 경우 기본요금 산정 기준월의 최대수요전력($P_{Load}^{YearlyPeak}$) 값을 해당 월의 목표 최대전력수요($P_{Load}^{MonthlyPeak}$) 값으로 갱신한다.

[0046] 단계 S230에서 에너지 저장 장치 스케줄링 장치(100)의 스케줄링부(130)는 스케줄링을 위한 최적화 식을 구축하여 에너지 저장 장치의 최적 스케줄링을 도출한다.

[0047] 구체적으로, 스케줄링부(130)는 철도 시스템의 전력계통 관련 제약조건에 따라 혼합정수계획법(Mixed Integer Programming, 이하 MIP)을 이용하여, 스케줄링을 도출하고자 하는 해당 일의 각 시간대별 에너지 저장장치의 충전량($P_{Charge,t}$), 방전량($P_{Discharge,t}$), 및 에너지 잔량(SoC)을 산출한다.

[0048] 기본요금을 최소화하는 MIP 모형은 아래 관계식에 따라 결정된다.

[0049] $$\min Cost = C_t P_{buy,t} + C_{Discharge,t} u_t$$

[0050] $Cost$는 하루의 전체 사용 요금을 나타내며, C_t는 시간 t에서의 전력량 요금 단가를 의미한다. 상술한 바와 같이, 전력 구매량($P_{buy,t}$)은 부하($Load_t$)와 에너지 저장장치의 충·방전량의 합과 동일하며, $C_{Discharge}$는 에너지 저장 장치의 충·방전 상태 변화에 따라 부과되는 패널티 비용(수명 비용)을 의미한다.

[0051] 철도 시스템의 전력 관련 제약조건은 에너지 저장장치의 충전량과 방전량의 제약 조건을 포함한다. y_t와 z_t는 각각 에너지 저장장치가 충전·방전 중임을 나타내며, 아주 작은 값인 ϵ에 의하여 충/방전이 일어날 경우 반드시 1이 될 것을 보장한다.

[0052] $$\epsilon y_t \leqq P_{charge,t} \leqq y_t P_{Charge,Max}$$
$$\epsilon z_t \leqq P_{Discharge,t} \leqq z_t P_{Discharge,Max}$$

[0053] 이때, 에너지 저장장치의 PCS가 충전과 동시에 방전을 수행할 수 없을 경우, y_t와 z_t의 합은 1보다 작거나 같다는 제약을 더 포함할 수 있다.

[0054] 또한, 에너지 저장 장치의 충전·방전 상태 변화는 아래 식에 의하여 감지된다.

[0055] $$-u_t \leqq y_t - y_{t-1} \leqq u_t$$
$$u_t \leqq y_t + y_{t-1} \leqq 2 - u_t$$

[0056] 에너지 저장장치의 충전·방전 상태가 변화하는 것을 감지하기 위하여, y_t의 변화에 따라 u_t가 반응한다. 구체적으로, 충전 및 방전이 없는 상태는 방전 상태의 특수한 경우로 판단하며 충전상태의 변화를 살펴 y_t가 y_{t-1}과 다른 값을 가질 경우 u_t가 1, y_t와 y_{t-1}과 같은 값을 가질 경우 u_t가 0이 되도록 한다.

[0057] 철도 시스템의 전력 관련 제약조건은 에너지 저장장치의 SoC 관련 제약 조건을 포함할 수 있다. 에너지 저장장치의 SoC를 계산하는 식은 아래와 같다.

[0058] $$SoC_t = SoC_{t-1} + (P_{Charge,t} eff_{Charge} - P_{Discharge,t} / eff_{Discharge,t}) * T'$$

[0059] T'은 스케줄링 시간 단위에 따른 보정 값으로, n분 단위로 스케줄링을 시행할 경우 T'의 값은 n/60이 된다. 예를 들어 스케줄링 시간 단위가 15분 단위일 경우, 단위 시간동안 충전된 전력량[kWh]은 1/4을 곱해주어야 한다.

[0060] 상기 SoC를 바탕으로 에너지 저장 장치 기동 시 SoC의 범위를 제약하는 조건식은 아래와 같다.

[0061] $$SoC_{Min} \leqq SoC_t \leqq SoC_{Max}$$

[0062] 또한, 에너지 저장 장치 스케줄링 전날 마지막 시간의 에너지 잔량(SoC_T)과 스케줄링 해당일의 첫 시간의 에너지 잔량(SoC_1)의 값을 동일하게 하여, 에너지 저장 장치의 에너지 잔량의 연속성을 보장한다. 이때, 전기요금 최소화를 위하여 SoC_1과 SoC_T 값을 에너지 저장 장치의 최소 에너지 잔량(SoC_{Min})과 동일하게 할 수 있다.

[0063] $$SoC_1 = SoC_T = SoC_{Min}$$

[0064] 철도 시스템의 전력 관련 제약조건은 최대 부하 제한 관련 조건을 포함할 수 있다. 예를 들어, 전력 구매량($P_{buy,t}$)은 결정부(120)에서 결정한 해당 월의 목표 최대 전력 수요($P_{Load}^{MonthlyPeak}$)를 넘어서는 안 된다.

[0065] $$P_{buy,t} \leq P_{Load}^{MonthlyPeak}$$

[0066] 이때, 에너지 저장 장치의 용량의 한계로 인하여 해당 제약을 만족하지 못해 문제를 푸는 것이 불가능할 경우 물리적으로 수행 가능한 수준까지 최대 부하 제한을 완화시킬 필요가 있다. 따라서, 일 실시예에 따른 스케줄링부(130)는 스케줄링 검증부(131)를 더 포함할 수 있다.

[0067] 도 4는 도 2에 도시된 에너지 저장 장치 스케줄링의 최적 스케줄링 도출 단계에서 스케줄링 검증부(131)가 스케줄링 실현 가능성을 검증하는 방법의 세부 흐름도를 도시한다.

[0068] 단계 S231에서 스케줄링 검증부(131)는 스케줄링을 실행하는 해당 일이 속하는 해당 월의 목표 최대전력수요($P_{Load}^{MonthlyPeak}$)를 입력 값으로 수신한다.

[0069] 단계 S232에서 스케줄링 검증부(131)는 해당 월의 목표 최대전력수요($P_{Load}^{MonthlyPeak}$)를 기준으로 상술한 방법에 따라 도출된 스케줄링의 시뮬레이션(simulation)을 실행한다.

[0070] 단계 S233에서 스케줄링 검증부(131)는 시뮬레이션 결과에 따라 상기 스케줄링의 실현 가능 여부를 판단하고, 실현 가능한 경우 스케줄링 검증을 종료한다.

[0071] 상기 스케줄링이 에너지 저장 장치의 최대 용량($Cap_{ESS,Max}$) 한계에 의하여 스케줄링의 실현이 불가능한 것으로 판단되는 경우, 단계 S234에에서 스케줄링 검증부(131)는 최대 부하 제한을 완화하고, 스케줄링을 재검증한다.

[0072] 예를 들어, 결정부(120)에 입력되는 PSR 값을 수정하여 해당 월의 목표 최대 전력 수요($P_{Load}^{MonthlyPeak}$)를 다시 결정하거나, 해당 월의 목표 최대 전력 수요($P_{Load}^{MonthlyPeak}$)를 직접 수정하여 최대 부하 제한을 완화할 수 있다.

[0073] 해당 월의 목표 최대 전력 수요($P_{Load}^{MonthlyPeak}$) 값을 재설정한 후, 단계 S231로 되돌아가 수정된 목표 최대 전력 수요($P_{Load}^{MonthlyPeak}$) 값을 입력하여 이후 과정을 반복 수행한다(S232~S234). 반복 수행 결과, 스케줄링이 실현 가능한 것으로 판단되는 경우 해당 과정을 종료한다.

[0074] 스케줄링부(130)는 실현 가능성이 검증된 스케줄링을 바탕으로 에너지 저장장치의 시간대별 충전량($P_{Charge,t}$), 방전량($P_{Discharge,t}$), 및 에너지 잔량(SoC)를 산출할 수 있다.

[0075] 상술한 철도 시스템에서의 에너지 저장 장치 스케줄링 방법은 컴퓨터에서 실행될 수 있는 프로그램으로 작성가능하고, 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체를 이용하여 상기 프로그램을 동작시키는 범용 디지털 컴퓨터에서 구현될 수 있다. 구체적으로, 철도 시스템의 에너지 저장 장치 스케줄링 프로그램은 컴퓨팅 시스템에서 실행되는, 에너지 저장 장치 및 전력 계통을 선형 모델로 모델링하는 명령어 세트; 스케줄링을 실행하는 해당 일이 속하는 해당 월의 목표 최대전력수요를 결정하는 명령어 세트; 및 상기 철도 시스템의 상기 에너지 저장 장치 및 상기 전력 계통의 제약 조건에 따라 혼합정수계획 모형을 이용하여 상기 에너지 저장 장치의 충·방전 스케줄을 도출

하는 명령어 세트를 포함한다.

[0076] 상기 에너지 저장 장치 스케줄링 프로그램은 상기 기록매체에 저장되며, 상기 기록매체는 마그네틱 저장매체(예를 들면, 롬, 플로피 디스크, 하드디스크 등), 광학적 판독 매체(예를 들면, 시디롬, 디브이디 등)와 같은 저장매체를 포함한다. 또한, 상기 기록매체는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템에 분산되어 분산방식으로 컴퓨터가 읽을 수 있는 명령어 세트가 저장되고 실행될 수 있다.

[0077] 본 발명에서 개시된 블록도들은 본 발명의 원리들을 구현하기 위한 회로를 개념적으로 표현한 형태라고 당업자에게 해석될 수 있을 것이다. 유사하게, 임의의 흐름 차트, 흐름도, 상태 전이도, 의사코드 등은 컴퓨터 판독가능 매체에서 실질적으로 표현되어, 컴퓨터 또는 프로세서가 명시적으로 도시되든지 아니든지 간에 이러한 컴퓨터 또는 프로세서에 의해 실행될 수 있는 다양한 프로세스를 나타낸다는 것이 당업자에게 인식될 것이다.

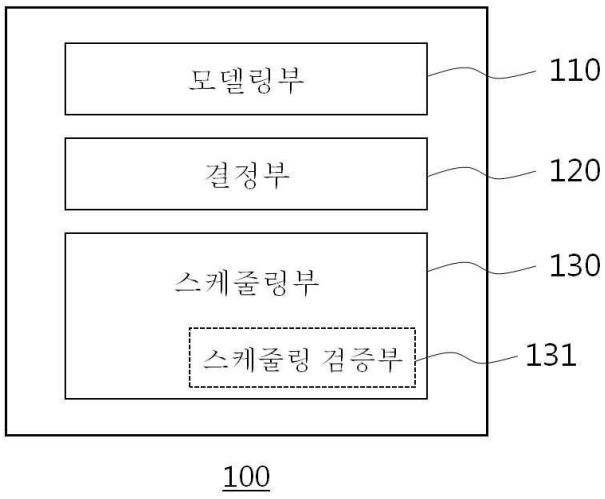
[0078] 도면들에 도시된 다양한 요소들의 기능들은 적절한 소프트웨어와 관련되어 소프트웨어를 실행할 수 있는 하드웨어뿐만 아니라 전용 하드웨어의 이용을 통해 제공될 수 있다. 프로세서에 의해 제공될 때, 이런 기능은 단일 전용 프로세서, 단일 공유 프로세서, 또는 일부가 공유될 수 있는 복수의 개별 프로세서에 의해 제공될 수 있다.

[0079] 또한, 용어 "제어부" 또는 "...부"의 명시적 이용은 소프트웨어를 실행할 수 있는 하드웨어를 배타적으로 지칭하는 것으로 해석되지 말아야 하며, 제한 없이, 디지털 신호 프로세서(DSP) 하드웨어, 소프트웨어를 저장하기 위한 판독 전용 메모리(ROM), 랜덤 액세스 메모리(RAM), 및 비휘발성 저장장치를 묵시적으로 포함할 수 있다.

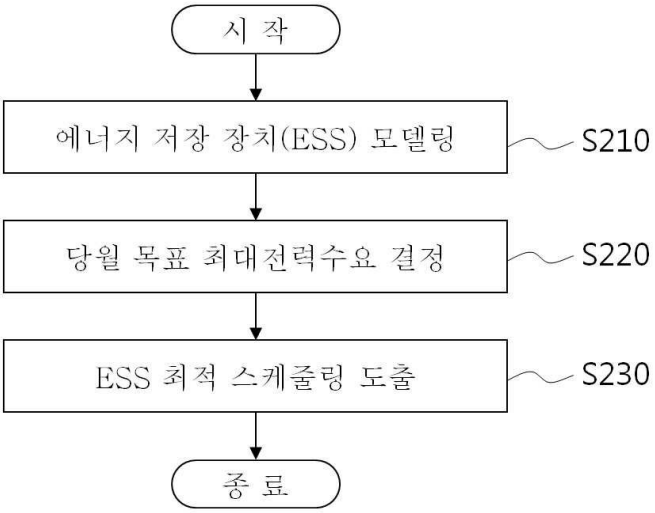
[0080] 본 명세서에서 본 발명의 원리들의 '일 실시예'와 이런 표현의 다양한 변형들의 지칭은 이 실시예와 관련되어 특정 특징, 구조, 특성 등이 본 발명의 원리의 적어도 하나의 실시예에 포함된다는 것을 의미한다. 따라서, 표현 '일 실시예에서'와, 본 명세서 전체를 통해 개시된 임의의 다른 변형 예들은 반드시 모두 동일한 실시예를 지칭하는 것은 아니다.

도면

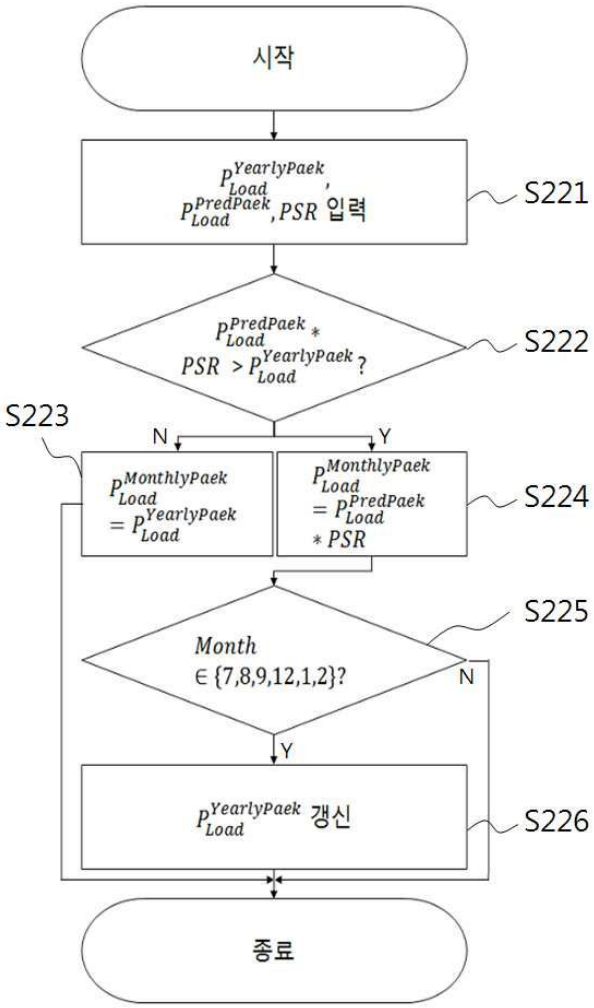
도면1



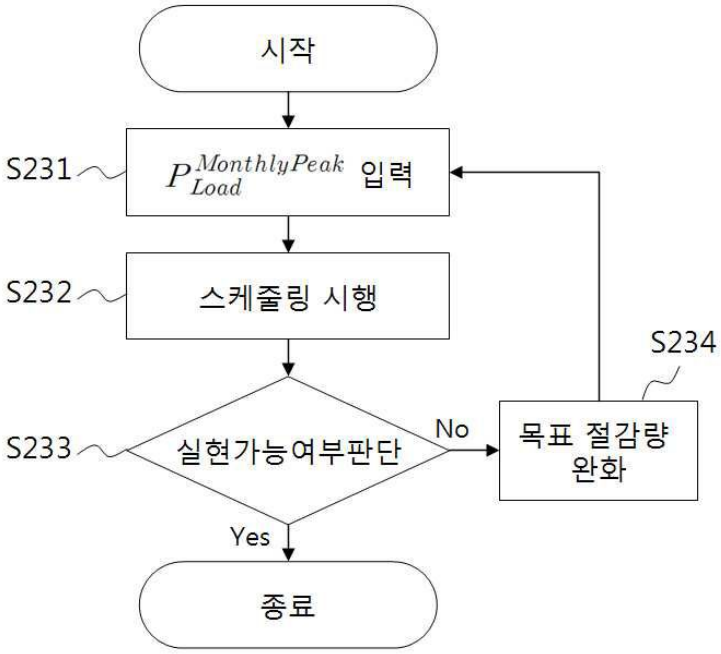
도면2


시 작
에너지 저장 장치(ESS) 모델링
S210
당월 목표 최대전력수요 결정
S220
ESS 최적 스케줄링 도출
S230
종 료

도면3


시작
$P_{Load}^{YearlyPaek}$, $P_{Load}^{PredPaek}$, PSR 입력
S221
$P_{Load}^{PredPaek} * PSR > P_{Load}^{YearlyPaek}$?
S222
S223
N
Y
$P_{Load}^{MonthlyPaek} = P_{Load}^{YearlyPaek}$
$P_{Load}^{MonthlyPaek} = P_{Load}^{PredPaek} * PSR$
S224
Month ∈ {7,8,9,12,1,2}?
S225
N
Y
$P_{Load}^{YearlyPaek}$ 갱신
S226
종료

도면4


시작
S231
$P_{Load}^{MonthlyPeak}$ 입력
S232
스케줄링 시행
S233
실현가능여부판단
No
S234
목표 절감량 완화
Yes
종료