(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0106135
(43) 공개일자 2023년07월12일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02J 3/38 (2022.01) *B60L 53/64* (2019.01)
G06Q 50/06 (2012.01) *H02J 3/32* (2006.01)
(52) CPC특허분류
H02J 3/381 (2013.01)
B60L 53/64 (2019.02)
(21) 출원번호 10-2023-0000917
(22) 출원일자 2023년01월03일
심사청구일자 2023년01월03일
(30) 우선권주장
1020220000539 2022년01월03일 대한민국(KR)

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
최승연
서울특별시 영등포구 신길로28길 9, 103동 604호
손용주
서울특별시 동작구 만양로8길 50, 108동 1106호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
김등용

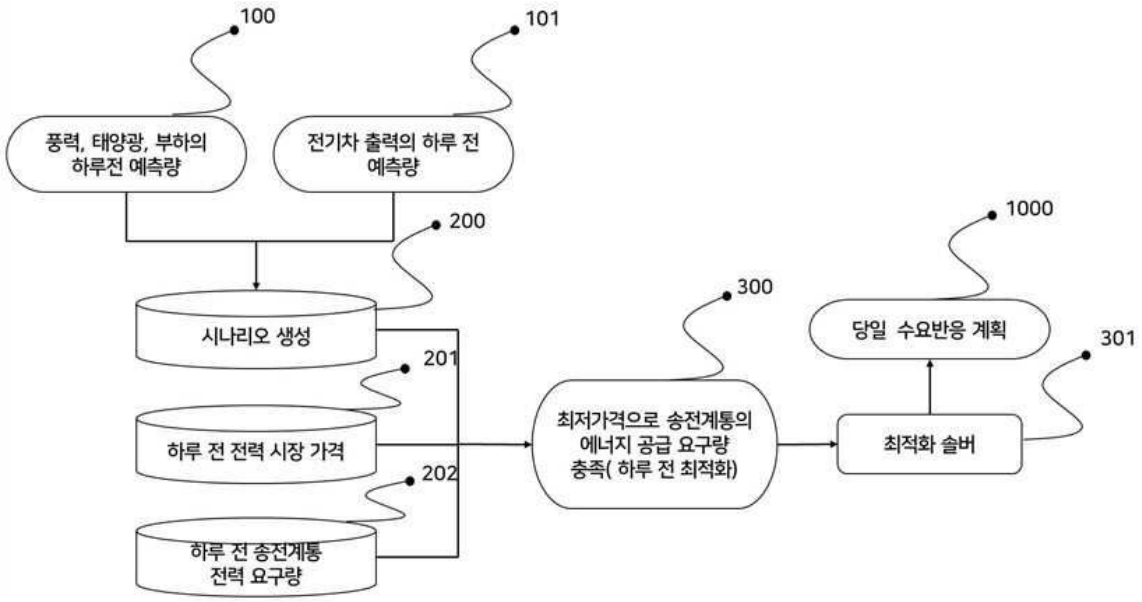
전체 청구항 수 : 총 4 항

(54) 발명의 명칭 **재생에너지 보급 증가 환경에서의 송전계통운영 및 배전계통운영 협조 방법**

(57) 요 약

재생에너지 보급 증가 환경에서의 송전계통운영 및 배전계통운영 방법이 개시된다. 상기 방법은 적어도 프로세서(processor)를 포함하는 컴퓨팅 장치에 의해 수행되고, 재생 에너지 발전 예측량, 부하 예측량, 전기차 출력의 예측량, 과거의 전력 시장 가격, 및 과거의 송전계통 전력 요구량에 대한 정보를 기초로 당일 수요반응 계획을 생성하는 제1 최적화 과정, 및 상기 당일 수요반응 계획, 당일의 전력 시장 가격, 및 당일의 송전계통 전력 요구량 정보를 기초로 배터리 에너지 저장 시스템 및 전기차 스케줄링 정보를 생성하는 제2 최적화 과정을 포함한다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
G06Q 50/06 (2013.01)
H02J 3/003 (2020.01)
H02J 3/004 (2020.01)
H02J 3/322 (2020.01)
B60Y 2200/91 (2013.01)
H02J 2203/20 (2020.01)
H02J 2300/22 (2020.01)
Y04S 10/123 (2020.08)
Y04S 10/126 (2020.08)

(72) 발명자
이병준
서울특별시 서초구 서초중앙로 200, 14동 405호
장길수
서울특별시 중랑구 신내로21길 16, 513동 503호

주성관
서울특별시 노원구 노원로18길 19, 211동 404호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711135188
과제번호	2020R1A4A1019405
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	집단연구지원(R&D)
연구과제명	에너지 전환 환경에서의 통합 유연전력시스템 기술 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	고려대학교 산학협력단
연구기간	2021.06.01 ~ 2022.02.28

명 세 서

청구범위

청구항 1

적어도 프로세서(processor)를 포함하는 컴퓨팅 장치에 의해 수행되는 송전계통운영(Transmission System Operation, TSO) 및 배전계통운영(Distribution System Operation, DSO) 방법에 있어서,

재생 에너지 발전 예측량, 부하 예측량, 전기차 출력의 예측량, 과거의 전력 시장 가격, 및 과거의 송전계통 전력 요구량에 대한 정보를 기초로 당일 수요반응 계획을 생성하는 제1 최적화 과정; 및

상기 당일 수요반응 계획, 당일의 전력 시장 가격, 및 당일의 송전계통 전력 요구량 정보를 기초로 배터리 에너지 저장 시스템 및 전기차 스케줄링 정보를 생성하는 제2 최적화 과정을 포함하는,

송전계통운영 및 배전계통운영 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

전체 계통의 주파수 변동성을 완화시키기 위한 전기차의 출력 정보를 생성하는 제어 정보 생성 과정을 더 포함하고,

송전계통운영 및 배전계통운영 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 재생 에너지 발전 예측량은 풍력 발전과 태양광 발전의 하루전 예측량을 의미하고,

상기 전기차 출력의 예측량은 전기차의 출발, 도착 시점, 및 이동 거리에 대한 예측량을 의미하고,

상기 과거의 전력 시장 가격은 하루 전 전력 시장 가격을 의미하고,

상기 과거의 송전계통 전력 요구량은 하루 전 송전계통 전력 요구량을 의미하는,

송전계통운영 및 배전계통운영 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 제어 정보 생성 과정은,

수학식을 이용하여 상기 전기차의 출력 정보를 생성하고,

상기 수학식은 $P_{i,t}^{EV,RT} = P_{i,t}^{EV,2nd} + k_{in}\frac{d\Delta f}{dt} + k_d\Delta f$ 이고,

상기 $P_{i,t}^{EV,RT}$ 는 상기 전기차의 실시간 출력을, 상기 $P_{i,t}^{EV,2nd}$ 는 상기 전기차의 스케줄링 계획을, 상기 Δf는 계통 주파수 변동, 상기 k_{in} 은 관성 제어 상수, 상기 k_d는 드룹 제어 상수를 의미하는,

송전계통운영 및 배전계통운영 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 재생에너지의 보급이 증가하는 환경에서 송전계통운영 및 배전계통운영 협조 방안에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 증가하는 계통 유연성 자원, 수요반응, 전기차(EV)와 배터리 에너지 저장 시스템(BESS)과 같은 최신 기술의 적용은 송전계통운영(TSO, Transmission System Operation)과 배전계통운영(DSO, Distribution System Operation)의 협조를 필요로 하며, 이를 위해서는 각각의 역할과 책무에 대한 정확한 정의가 수립되어야 한다.

[0003] 계통 유연성 자원 활용 극대화와 더불어 프로슈머, 수요반응의 주체로서의 소비자 참여 증가를 위해서는 정밀한 수준의 송전-배전계통운영 협조 방식이 개발되어야 한다. 또한, 송전계통에 예비력을 조달하기 위해 예비력 조달과정에 대한 시간 세분화 방법이 적용되어야 한다. 따라서, 배전계통에서 각 시간 프레임에서 계통 보조 서비스 타입에 따라 계통내 예비력 공급이 가능한 분산형 유연성 자원을 특정할 수 있어야 한다.

[0004] 송전계통은 계통에 주파수 응답과 관성을 제공하던 기존의 화력 발전소의 수가 감소하는 문제에 봉착하였다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 송전계통 운영자와 배전계통 운영자는 새로운 방식의 운영 협조를 통해 분산형 전원과 수요 반응의 활용을 극대화하여야 한다.

[0005] 본 발명에서 제시한 새로운 송전계통운영(TSO) 및 배전계통운영(DSO) 협조 방안은 하루 전 경제 급전 방식, 당일 경제 급전 방식, 배전계통운영을 위한 실시간 주파수 제어를 포함한다. 또한, 본 발명은 송전계통운영 요구사항을 충족하는 동시에, 계통 유연성 자원의 이익을 극대화 하는 소비자의 시장 참여를 도모할 수 있다.

[0006] 본 발명에서 제시한 경제 급전은 수요반응(DR), 배터리 에너지 저장 시스템(BESS) 스케줄링, 전기차(EV) 충방전 스케줄링을 포함하며, 이는 혼합 2차 계획법(Mixed-Integer Quadratic Programming Problem)을 구성한다.

[0007] 본 발명에서는 경제 급전 결과에 기반한 전기차의 드룹 제어와 관성 제어를 포함한 실시간 주파수 제어 방법을 제시한다.

[0008] 본 발명에서 다양한 시간 프레임에서의 여러 타입의 보조 서비스를 제공하기 위한 배전계통운영 측면에서의 분산형 유연성 자원의 적용을 제시한다.

선행기술문헌

특허문헌

[0009] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허 제2021-0052925호 (2021.05.11. 공개)

(특허문헌 0002) 대한민국 등록특허 제2276778호 (2021.07.14. 공고)

(특허문헌 0003) 대한민국 공개특허 제2019-0073340호 (2019.06.26. 공개)

(특허문헌 0004) 대한민국 등록특허 제1850426호 (2018.04.19. 공고)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 본 발명이 이루고자 하는 기술적인 과제는 재생에너지 보급 증가 환경에서의 차세대 송전계통운영 및 배전계통운영 협조 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0011] 본 발명의 일 실시예에 따른 송전계통운영 및 배전계통운영 방법은 적어도 프로세서(processor)를 포함하는 컴퓨팅 장치에 의해 수행되는 송전계통운영(Transmission System Operation, TSO) 및 배전계통운영(Distribution System Operation, DSO) 방법으로서, 재생 에너지 발전 예측량, 부하 예측량, 전기차 출력의 예측량, 과거의 전력 시장 가격, 및 과거의 송전계통 전력 요구량에 대한 정보를 기초로 당일 수요반응 계획을 생성하는 제1 최적화 과정, 및 상기 당일 수요반응 계획, 당일의 전력 시장 가격, 및 당일의 송전계통 전력 요구량 정보를 기초로 배터리 에너지 저장 시스템 및 전기차 스케줄링 정보를 생성하는 제2 최적화 과정을 포함한다.

발명의 효과

[0012] 송전계통 운영자와 배전계통 운영자의 역할과 책무를 명확히 정의한다. 두 운영 주체간의 새로운 협조방식을 제안하여 송전계통과 배전계통이 동시에 분산형 전원을 활용하는 문제점 해결에 기여할 수 있다.

[0013] 분 발명에서는 배전계통 운영자 측면에서 활용 가능한 분산형 유연성 자원을 최대한 활용하여 세분화된 시간 프레임에서 다각화된 보조 서비스를 제공할 수 있는 방법을 제시한다. 이로써 충분한 분산형 유연성 자원의 활용과 높은 소비자 참여 수준을 달성할 수 있다.

[0014] 주파수 변동에 대한 배전계통에서의 실시간 보조 서비스 제공을 위해서 경제 급전을 기반으로 전기차의 드룹 제어와 관성 제어가 적용되었다. 본 발명을 통해 배전계통 운영자는 빠른 주파수 응답을 제공하기 위해 EV를 유연성 자원으로 활용할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0015] 본 발명의 상세한 설명에서 인용되는 도면을 보다 충분히 이해하기 위하여 각 도면의 상세한 설명이 제공된다.

도 1은 본 발명에서 제안하는 방법의 제1 최적화 과정을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 2는 본 발명에서 제안하는 방법의 제2 최적화 과정을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 3은 본 발명에서 제안하는 방법의 제어 정보 생성 과정을 설명하기 위한 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0016] 본 명세서에 개시되어 있는 본 발명의 개념에 따른 실시예들에 대해서 특정한 구조적 또는 기능적 설명들은 단지 본 발명의 개념에 따른 실시예들을 설명하기 위한 목적으로 예시된 것으로서, 본 발명의 개념에 따른 실시예들은 다양한 형태들로 실시될 수 있으며 본 명세서에 설명된 실시예들에 한정되지 않는다.

[0017] 본 발명의 개념에 따른 실시예들은 다양한 변경들을 가할 수 있고 여러 가지 형태들을 가질 수 있으므로 실시예들을 도면에 예시하고 본 명세서에서 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명의 개념에 따른 실시예들을 특정한 개시 형태들에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물, 또는 대체물을 포함한다.

[0018] 제1 또는 제2 등의 용어는 다양한 구성 요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성 요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성 요소를 다른 구성 요소로부터 구별하는 목적으로만, 예컨대 본 발명의 개념에 따른 권리 범위로부터 벗어나지 않은 채, 제1 구성 요소는 제2 구성 요소로 명명될 수 있고 유사하게 제2 구성 요소는 제1 구성 요소로도 명명될 수 있다.

[0019] 어떤 구성 요소가 다른 구성 요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성 요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성 요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성 요소가 다른 구성 요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는 중간에 다른 구성 요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다. 구성 요소들 간의 관계를 설명하는 다른 표현들, 즉 "~사이에"와 "바로 ~사이에" 또는 "~에 이웃하는"과 "~에 직접 이웃하는" 등도 마찬가지로 해석되어야 한다.

[0020] 본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로서, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 본 명세서에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성 요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성 요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0021] 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 가진다. 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.

[0022] 이하, 본 명세서에 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 실시예들을 상세히 설명한다. 그러나, 특허출원의 범위가 이러한 실시예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 각 도면에 제시된 동일한 참조 부호는 동일한 부

재를 나타낸다.

[0023] 본 발명에서는 송전계통운영 및 배전계통운영 협조 방법에 대하여 기술한다. 송전계통운영 및 배전계통운영 협조 방법은 송전계통운영 및 배전계통 운영 방법, 최적화 방법, 제어 방법, 제어 정보 생성 방법 등으로 명명될 수도 있다. 또한, 방법은 적어도 프로세서(processor) 및/또는 메모리(memory)를 포함하는 컴퓨팅 장치(computing device)에 의해 수행될 수 있다. 즉, 방법을 이루는 단계들 중 적어도 일부는 컴퓨팅 장치의 프로세서의 동작으로 이해될 수도 있다.

[0024] 또한, 컴퓨팅 장치는 물리적으로 분리되지 않은 단일의 컴퓨팅 장치를 의미하거나 물리적으로 분리된 복수의 컴퓨팅 장치들을 의미할 수 있다. 예컨대, 방법을 이루는 제1 최적화 과정, 제2 최적화 과정, 및 제어 정보 생성 과정은 각각 별도의 컴퓨팅 장치에 의해 수행될 수 있다. 다른 예로, 방법을 이루는 제1 최적화 과정, 제2 최적화 과정, 및 제어 정보 생성 과정 중 적어도 둘은 하나의 컴퓨팅 장치에 의해 수행되는 것도 가능하다. 예컨대, 제1 최적화 과정은 제1 컴퓨팅 장치에 의해 수행되고, 제2 최적화 과정과 제어 정보 생성 과정은 제2 컴퓨팅 장치에 의해 수행될 수 있다. 컴퓨팅 장치는 PC(Personal Computer), 서버(server), 태블릿 PC, 랩탑 컴퓨터 등으로 구현될 수 있다.

[0025] 도 1은 제안하는 방법에 포함되는 제1 최적화 과정을 설명하기 위한 흐름도이다.

[0026] 제1 최적화 과정은 하루 전 최적화 과정으로 명명될 수 있다.

[0027] 우선, 예측 정보, 즉 재생 에너지 예측 정보(100), 부하의 예측 정보(100), 및 계통 유연성 자원(101)에 대한 예측 정보 중 적어도 하나가 수신된다(또는 수집된다). 재생 에너지 예측 정보는 풍력 발전(또는 풍력 발전기), 태양광 발전(또는 태양광 발전기), 및 기타 재생 에너지 등 중 적어도 하나에 의한 발전량에 대한 예측값을 의미할 수 있다. 부하의 예측 정보는 미래(즉, 예측 시점이나 예측 구간)의 부하량에 대한 예측값을 의미할 수 있다. 계통 유연성 자원, 예컨대 전기차(또는 전기자동차)에 대한 예측 정보는 예측 시점(또는 예측 구간)의 출력에 대한 예측값을 의미할 수 있다. 또 다른 예로, 전기차 하루 전 예측이란 전기차의 출발, 도착 시점, 및 전기차의 이동 거리를 의미할 수 있다. 여기서, 예측량이나 예측 정보는 미리 정해진 시점(또는 구간 동안)의 예측량에 대한 정보로써, 임의의 예측 기법(예컨대, 공지의 예측 기법)을 통해 수행된 결과를 의미할 수 있다. 구체적인 예시로, 예측량이나 예측 정보는 예측 시점(예측 구간)의 하루 전 임의의 시점에서 예측이 수행된 결과물로써, 다음날의 예측 정보를 의미할 수 있다. 이에 따라, 제1 최적화 과정을 하루 전 최적화 과정이라 명명할 수 있다.

[0028] 수신된 예측 정보는 시나리오 생성(200)을 위한 확률 분포 정보를 생성하는 과정에 이용될 수 있다. 다시 말하면, 확률 밀도 함수(또는 확률 분포 함수)를 이용하여 풍력, 태양광, 부하의 하루 전 예측량과 전기차 하루 전 예측의 시나리오를 생성할 수 있다.

[0029] 또한, 시나리오(200), 시장 가격(201), 및 송전계통 전력 요구량(202)에 대한 정보가 수신된다(또는 수집된다). 시나리오(200)는 예측 정보에 기초하여 생성되거나, 또는 생성된 시나리오가 수신될 수 있다.

[0030] 하루 전 최적화의 목적은 최소한의 운영 비용으로 TSO(송전계통운영)의 공급 요구량을 만족시키는 것이다(300). 하루 전 최적화의 출력은 하루 동안의 수요반응 스케줄링(1000)이다. BESS와 EV 스케줄링 계획은 하루 전 예측 불확실성으로 인해 이 과정에서 배제될 수 있다.

[0031] i(i∈I)는 모선의 번호, t(t∈T)는 시간, k(k∈K)는 시나리오 순서, v(v∈V)는 EV의 번호를 의미한다고 하자. $v_{k,t}^{arr}$는 k번째 시나리오의 t 시점에 EV가 충전소에 도착하는 것을 의미하며, $v_{k,t}^{dep}$는 k번째 시나리오의 t 시점에 EV가 충전소를 떠나는 것을 의미한다. 따라서, $P_{i,t,k}^{LD}$는 유효전력, $P_{i,t,k}^{WT}$는 풍력발전량, $P_{i,t,k}^{PV}$는 태양광 발전량을 의미한다. 그 외, EV의 행동에 따른 시나리오는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

[0032] [수학식 1]

[0033] $$E_{k,t,\max}^{EV} = \sum_{v=1}^{V} E_v^{rated} u_{v,k,t} \quad \forall k,t$$

[0034] [수학식 2]

[0035] $$P_{k,t,\max}^{EV,ch/dis} = \sum_{v=1}^{V} p_v^{rated} u_{v,k,t} \quad \forall k,t$$

[0036] [수학식 3]

$$E_{k,t}^{EV,arr} = \sum_{v_{k,t}^{arr}=1}^{V_{k,t}^{arr}} \left(E_{v_{k,t}^{arr}}^{rated} - E_{v_{k,t}^{arr}}^{dri} \right) \quad \forall k,t$$

[0037]

[0038] [수학식 4]

$$E_{k,t}^{EV,dep} = \sum_{v_{k,t}^{dep}=1}^{V_{k,t}^{dep}} E_{v_{k,t}^{dep}}^{rated} \quad \forall k,t$$

[0039]

[0040] 위 수학식에서, $E_{k,t,\max}^{EV}$는 충전소의 동적 최대충전용량, E_v^{rated}는 EV v의 정격에너지, $u_{v,k,t}$는 k번째 시나리오의 t 시점에서 EV v의 계통연계상태를 의미하는 이진 변수(1은 연계상태, 0은 분리상태를 의미), $P_{k,t,\max}^{EV,ch/dis}$는 EV의 동적 최대 충·방전량, p_v^{rated}는 EV v의 정격전력, $E_{k,t}^{EV,arr}$는 k번째 시나리오의 t 시점에 EV가 충전소에 도착하여 에너지가 증가하는 것, $E_{k,t}^{EV,dep}$는 k번째 시나리오의 t 시점에 EV가 충전소를 떠나 에너지가 감소하는 것, $E_{v_{k,t}^{arr}}^{dri}$는 EV $v_{k,t}^{arr}$가 일상 주행 후 소비한 전력을 의미한다. 수학식 1은 동적 최대 EV 에너지 용량은 k번째 시나리오의 t 시점에서 충전소에서 사용 가능한 모든 EV의 정격에너지 합을 나타내며, 이는 수학식 2의 동적 최대 EV 전력에도 동일하게 적용된다. 수학식 3은 k번째 시나리오의 t 시점에서 충전소의 에너지 증가가 주행 후 도착한 EV의 남은 에너지의 합임을 의미하며, 수학식 4는 t 시점에서 충전소의 에너지 감소는 충전이 완료되어 떠나는 EV의 합임을 의미한다.

[0041] 시나리오 생성 과정(200) 이외에도, 하루전 전력 도매 시장 가격, 하루 전 송전계통 측 전력 수요량 예측값이 수신된다(또는 수집된다). 즉, 도 1의 200, 201, 및 202는 하루 전 최적화 과정에서 배전계통운영 측면의 기본적인 데이터 입력을 구성한다. 이때, 배전계통 운영자의 책무는 최소 가격으로 송전계통의 전력 공급 필요량을 충족하는 것이다(300). 만약 배전계통 운영자가 송전계통 운영자의 전력 공급 필요량을 충족시키지 못했을 경우 패널티로 비용이 부과될 수 있다. 전력 도매 시장 가격은 배전계통 운영자가 송전계통 운영자에게 전력을 판매하는 가격을 의미한다. 배전계통운영비용 F_1은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

[0042] [수학식 5]

$$F_1 = \sum_{k \in K} \pi_k \left(C_k^{TSO} + C_k^{CTM} - C_k^{EV} - C_k^{RES} - C_k^{BESS} - C_k^{TSO,pen} \right)$$

[0043]

[0044] [수학식 6]

$$C_k^{TSO} = \sum_{t \in T} P_{t,k}^{TSO,sell} C_t^{TSO,sell} \tau - \sum_{t \in T} P_{t,k}^{TSO,buy} C_t^{TSO,buy} \tau$$

[0045]

[0046] [수학식 7]

$$C_k^{CTM} = \sum_{t \in T} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \gamma_j \Pr_0 P_{i,t,k}^{LD} \alpha_{j,t} L_j \tau$$

[0047]

[0048] [수학식 8]

$$C_k^{EV} = \sum_{t \in T} \sum_{i \in I} P_{i,t,k}^{EV,dis} C_t^{EV,dis} \tau - \sum_{t \in T} \sum_{i \in I} P_{i,t,k}^{EV,ch} C_t^{EV,ch} \tau$$

[0049]

[0050] [수학식 9]

$$C_k^{RES} = \sum_{t \in T} \sum_{i \in I} \left(P_{i,t,k}^{WT} + P_{i,t,k}^{PV} \right) C_t^{RES} \tau$$

[0051]

[0052] [수학식 10]

$$C_k^{BESS} = \sum_{t \in T} \sum_{i \in I} \left(P_{i,t,k}^{BESS,dis} + P_{i,t,k}^{BESS,ch} \right) C_t^{BESS,OM} \tau$$

[0053]

[0054] [수학식 11]

[0055] $$C_k^{TSO,pen} = \sum_{t \in T} P_{t,k}^{TSO,Imb} C_t^{TSO,pen} \tau$$

[0056] 위 수학식에서, j는 수요반응 가격레벨, J는 수요반응 가격레벨의 집합, τ는 시간 길이, π_k는 k번째 시나리오의 확률, C_k^{TSO}는 배전계통 운영자와 송전계통 운영자 간 전력교환수익 또는 총비용, $P_{t,k}^{TSO,sell/buy}$는 송전계통 운영자와 배전계통 운영자 간 판매하거나 구입하는 전력량, $C_t^{TSO,sell}$은 송전계통 운영자와 배전계통 운영자 간 판매하거나 구입하는 가격, C_k^{CTM}은 고객에게 전력을 팔아서 얻은 배전계통 운영자의 수익, γ_j는 수요반응레벨 j에서의 가격비율, $\Pr_0$은 수요반응 없는 고객에 대한 원가, $\alpha_{j,t}$는 가격레벨 j에 대한 이진 결정, L_j는 가격레벨 j의 수요반응 비율, C_k^{EV}는 EV 소유자에게 배전계통 운영자가 주는 보조금, $C_t^{EV,ch/dis}$는 EV 소유자와 계약된 충·방전 가격, $P_{i,t,k}^{EV,ch/dis}$는 EV의 충·방전 전력량, C_k^{RES}는 신재생에너지원 구매비용, $P_{i,t,k}^{WT/PV}$는 신재생에너지원 사업자로부터 구매한 전력량, C_t^{RES}는 신재생에너지원 구매비용, C_k^{BESS}는 총 배터리 에너지 저장 시스템의 운영 비용, $C_t^{BESS,OM}$는 배터리 에너지 저장 시스템의 비용 상관계수, $P_{i,t,k}^{BESS,ch/dis}$는 배터리 에너지 저장 시스템의 충·방전 전력량, $C_k^{TSO,pen}$은 송전계통 운영자의 요구량을 충족하지 못할 시 배전계통 운영자에게 부과되는 벌금(패널티), $C_t^{TSO,pen}$는 벌금 상관계수, $P_{t,k}^{TSO,Imb}$는 음이 아닌 송전계통 운영자 불균형 전력을 의미한다.

[0057] 상기 과정에서 태양광, 풍력, 부하의 불확실성을 반영하고 송전계통 측의 요구량을 만족시키기 위하여 배전계통 운영자는 최적화(301)를 통해 수요 반응을 수행하고 배터리 에너지 저장 시스템과 전기차에 대하여 급전한다. 따라서, 하루 전 최적화 과정을 통해 전일(whole-day) 수요반응 계획을 도출할 수 있다. 하루 전 예측의 불확실성으로 인해, 본 과정에서는 배터리 에너지 저장 시스템과 전기차에 대한 스케줄링은 수행되지 않는다. 배터리 에너지 저장 시스템과 전기차 스케줄링은 불확실성을 고려한 제2 최적화 과정(당일 최적화 과정)에서 수행된다.

[0058] 도 2는 본 발명에서 제안하는 방법의 제2 최적화 과정을 설명하기 위한 흐름도이다.

[0059] 제2 최적화 과정은 당일 최적화 과정으로 명명될 수 있다. 소비자의 편의성을 고려하여 수요반응 스케줄링은 하루 전 최적화 이후 고정될 수 있다. 이는 배전계통 운영자가 당일에 소비자로 하여금 수요 반응을 통한 부하 변동을 요구하지 않음을 의미한다. 그러나, 배터리 에너지 저장 시스템과 전기차 스케줄링은 단기 불확실성을 고려하여 당일 최적화 과정에서 최적화된다. 전일(whole-day) 수요반응 계획(1000), 태양과, 풍력, 부하, 전기차의 불확실성(1001), 당일 전력 가격(1002), 당일 송전계통운영 전력 요구량(1003)은 당일 최적화 과정에서 배전계통운영의 기본 입력 데이터를 구성한다. 이때, 배전계통 운영자의 책무는 배터리 에너지 저장 장치(배터리 에너지 저장 시스템)와 전기차 스케줄링을 통해 송전계통 운영자의 전력 공급 요구량을 최소 가격으로 공급하는 것이며, 최적화된 전기차 출력은 실시간 주파수 제어의 기준점으로 설정된다. 만일 배전계통 운영자가 송전계통의 전력 공급 요구량을 충족시키지 못했을 경우 배전계통 운영자에게 (302)에서의 비용이 패널티로 적용될 수 있다.

[0060] 제2 최적화 과정은 롤링(rolling) 최적화 과정이다. 본 과정에서 태양광, 풍력 발전기 출력과 부하량의 결정론적 예측이 사용되었고, 이에 따라 태양광, 풍력 발전기와 부하는 결정론적 파라미터로 간주된다. 전기차의 특성 역시 결정론적으로 고정된다. 이와 별개로 불확실성을 고려하여 각 롤링 최적화 과정에서는 첫 번째 시차 결정만이 구현되고 나머지는 사용하지 않는다. 이에 따라 근 미래에 태양광, 풍력, 부하예측 정확도가 높아졌을 때 더 유용하게 활용될 수 있다. 롤링 최적화 과정에서 배터리 에너지 저장 시스템과 전기차 스케줄링 계획은 다시 최적화된다. 배전계통운영비용 F_2와 C^{CTM}은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

[0061] [수학식 12]

[0062] $$F_2 = C^{TSO} + C^{CTM} - C^{EV} - C^{RES} - C^{BESS} - C^{TSO,pen}$$

[0063] [수학식 13]

[0064] $$C^{CTM} = \sum_{t \in T} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \gamma_j \mathrm{Pr}_0 P_{i,t}^{LD} \overline{\alpha_{j,t}} L_j \tau$$

[0065] 위 수학식에서, $\overline{\alpha_{J,t}}$ 는 일일 수요반응 스케줄링 계획(1000)을 의미하며, τ는 0.25h를 나타낸다. 수학식 12의 변수들은 수학식 1 내지 수학식 4와 유사한 의미와 계산 과정을 거치지만, 수학식 5 내지 수학식 11에서는 더 이상 시나리오를 고려하지 않는다.

[0066] 도 3은 본 발명에서 제안하는 방법의 제어 정보 생성 과정을 설명하기 위한 흐름도이다.

[0067] 제어 정보 생성 과정은 실시간 주파수 제어 정보 생성 과정이다. 제2 최적화 과정의 각 시간 간격에서도, 급격한 구름의 이동이나 강풍 등 특별한 조건 아래에서는 태양광과 풍력 발전기의 출력이 급격히 변동할 수 있다. 이는 전체 전력 계통에 급격한 주파수 변동을 초래하여 주파수가 허용 가능한 범위를 초래할 수 있다. 세번째 과정에서는 롤링 최적화로부터 도출한 전기차 충방전 스케줄링 결과(10000)와 태양광, 풍력, 부하의 실시간 측정치(10001)를 배전계통운영의 기본적인 입력 데이터로 사용한다. 배전계통 운영자는 전기차 출력을 드룹 제어 및 관성 제어(실시간 제어)(10002)를 통해 제어하여 계통의 주파수 변동성을 완화할 수 있다. 실시간 주파수 제어 과정은 전기차의 실시간 출력(10003)을 도출한다. 즉, 제어 정보 생성 과정에서는 전기차의 실시간 출력을 도출할 수 있고, 이에 따라 배전계통 운영자는 계통의 주파수 변동성을 완화할 수 있다.

[0068] [수학식 14]

[0069] $$P_{i,t}^{EV,RT} = P_{i,t}^{EV,2nd} + k_{in} \frac{d\Delta f}{dt} + k_d \Delta f$$

[0071] 수학식 14에서, $P_{i,t}^{EV,RT}$ 는 EV의 실시간 출력(10003), $P_{i,t}^{EV,2nd}$ 는 EV의 스케줄링 계획(10000), Δf는 계통 주파수 변동, k_{in} 은 관성 제어 상수, k_d 는 드룹 제어 상수를 의미한다.

[0072] 본 발명에서 배전계통 운영자는 배터리 에너지 저장 시스템, 전기차, 부하를 관리할 의무가 있다. 송전계통 관리자는 분산형 전원을 관리할 필요 없이, 에너지 필요량을 배전계통 운영자에게 전달하는 의무만을 가진다. 본 발명에서 제시한 송전계통운영과 배전계통운영의 동작 협조 방안을 통해 송전계통 관리자와 배전계통 관리자가 동시에 분산형 전원을 관리하는 문제를 해결할 수 있다.

[0073] 본 발명에서는 수요반응, 배터리 에너지 저장 장치(배터리 에너지 저장 시스템), 전기차는 서로 다른 타입의 계통 서비스를 제공하기 위하여 서로 다른 세분화된 시간 프레임에서 작동한다. 수요반응은 첫 번째 과정(제1 최적화 과정)에서 계획되고, 배터리 에너지 저장 시스템은 주로 두번째 과정(제2 최적화 과정)에서 계획되며 전기차의 충방전 스케줄은 주로 두 번째와 세 번째 과정(제어 정보 생성 과정)에서 계획되고 제어된다. 이러한 방법을 통해 분산 유연성 자원의 충분한 활용과 소비자의 전력 계통 참여를 극대화할 수 있다. 또한, 본 발명에서는 소정의 최적화 기법을 이용할 수 있고, 예시적으로 혼합 정수 2차 계획법(Mixed-Integer Quadratic Programming Problem)이 이용될 수 있다.

[0074] 본 발명에서, 계통의 주파수 변동을 완화하기 위하여 경제 급전 결과에 기반한 실시간 드룹 제어와 실시간 관성 제어가 전기차 제어에 적용된다. 이러한 방법으로, 배전계통 운영자는 전기차의 유연성을 활용하여 전체 계통에 빠른 속도의 주파수 응답을 제공할 수 있다.

[0075] 이상에서 설명된 장치는 하드웨어 구성 요소, 소프트웨어 구성 요소, 및/또는 하드웨어 구성 요소 및 소프트웨어 구성 요소의 집합으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 실시예들에서 설명된 장치 및 구성 요소는, 예를 들어, 프로세서, 콘트롤러, ALU(Arithmetic Logic Unit), 디지털 신호 프로세서(Digital Signal Processor), 마이크로컴퓨터, FPA(Field Programmable array), PLU(Programmable Logic Unit), 마이크로프로세서, 또는 명령(instruction)을 실행하고 응답할 수 있는 다른 어떠한 장치와 같이, 하나 이상의 범용 컴퓨터 또는 특수 목적 컴퓨터를 이용하여 구현될 수 있다. 처리 장치는 운영 체제(Operation System, OS) 및 상기 운영 체제 상에서 수행되는 하나 이상의 소프트웨어 애플리케이션을 수행할 수 있다. 또한, 처리 장치는 소프트웨어의 실행에 응답하여, 데이터를 접근, 저장, 조작, 처리 및 생성할 수도 있다. 이해의 편의를 위하여, 처리 장치는 하나가 사용되는 것으로 설명된 경우도 있지만, 해당 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는, 처리 장치가 복수 개의 처

리 요소(Processing Element) 및/또는 복수 유형의 처리 요소를 포함할 수 있음을 알 수 있다. 예를 들어, 처리 장치는 복수 개의 프로세서 또는 하나의 프로세서 및 하나의 콘트롤러를 포함할 수 있다. 또한, 병렬 프로세서(Parallel Processor)와 같은, 다른 처리 구성(Processing Configuration)도 가능하다.

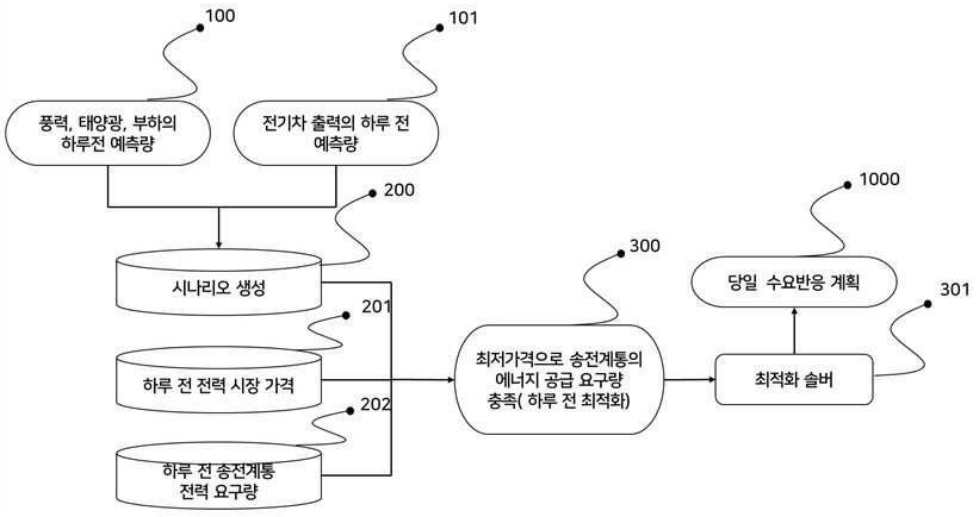
[0076] 소프트웨어는 컴퓨터 프로그램(Computer Program), 코드(Code), 명령(Instruction), 또는 이들 중 하나 이상의 조합을 포함할 수 있으며, 원하는 대로 동작하도록 처리 장치를 구성하거나 독립적으로 또는 결합적으로(Collectively) 처리 장치를 명령할 수 있다. 소프트웨어 및/또는 데이터는, 처리 장치에 의하여 해석되거나 처리 장치에 명령 또는 데이터를 제공하기 위하여, 어떤 유형의 기계, 구성 요소(Component), 물리적 장치, 가상 장치(Virtual Equipment), 컴퓨터 저장 매체 또는 장치, 또는 전송되는 신호 파(Signal Wave)에 영구적으로, 또는 일시적으로 구체화(Embody)될 수 있다. 소프트웨어는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템 상에 분산되어서, 분산된 방법으로 저장되거나 실행될 수도 있다. 소프트웨어 및 데이터는 하나 이상의 컴퓨터 판독 가능 기록 매체에 저장될 수 있다.

[0077] 실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예를 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(Magnetic Media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(Optical Media), 플롭티컬 디스크(Floptical Disk)와 같은 자기-광 매체(Magneto-optical Media), 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다. 상기된 하드웨어 장치는 실시예의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.

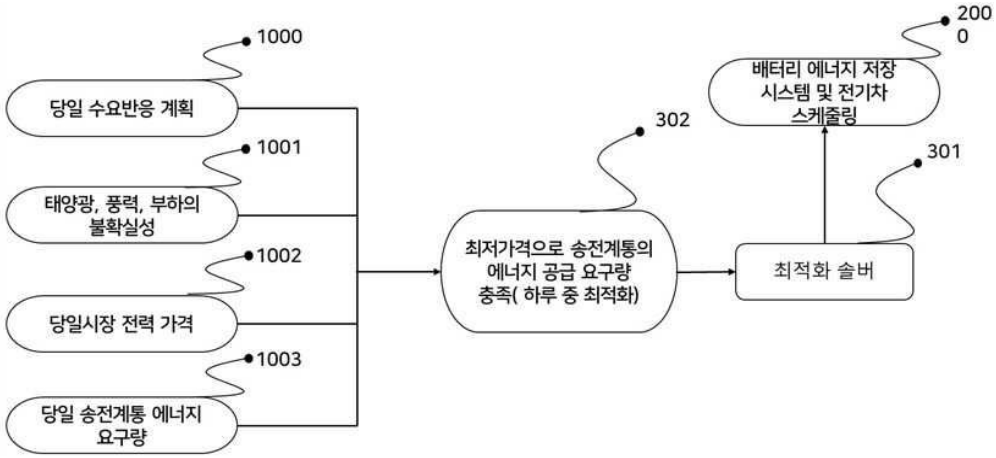
[0078] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성 요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성 요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 등록청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

도면

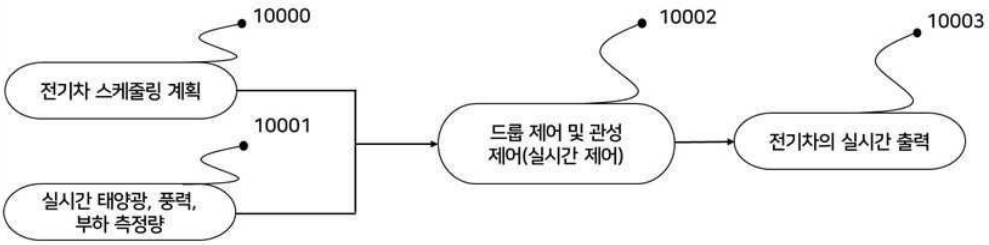
도면1



도면2


1000
당일 수요반응 계획
1001
태양광, 풍력, 부하의 불확실성
1002
당일시장 전력 가격
1003
당일 송전계통 에너지 요구량
302
최저가격으로 송전계통의 에너지 공급 요구량 충족(하루 중 최적화)
2000
배터리 에너지 저장 시스템 및 전기차 스케줄링
301
최적화 솔버

도면3


10000
전기차 스케줄링 계획
10001
실시간 태양광, 풍력, 부하 측정량
10002
드룹 제어 및 관성 제어(실시간 제어)
10003
전기차의 실시간 출력