



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0024374
(43) 공개일자 2025년02월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06Q 50/06 (2024.01) G06Q 50/26 (2024.01)
(52) CPC특허분류
G06Q 50/06 (2024.01)
G06Q 50/26 (2024.01)
(21) 출원번호 10-2023-0105792
(22) 출원일자 2023년08월11일
심사청구일자 2023년08월11일

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대 학교)
(72) 발명자
원동준
서울특별시 서초구 신반포로15길 19, 111동 702호(반포동, 아크로리버파크)
한동준
인천광역시 남동구 하촌로60번길 11, 가동 401호(만수동, 동인빌라)
(74) 대리인
양성보

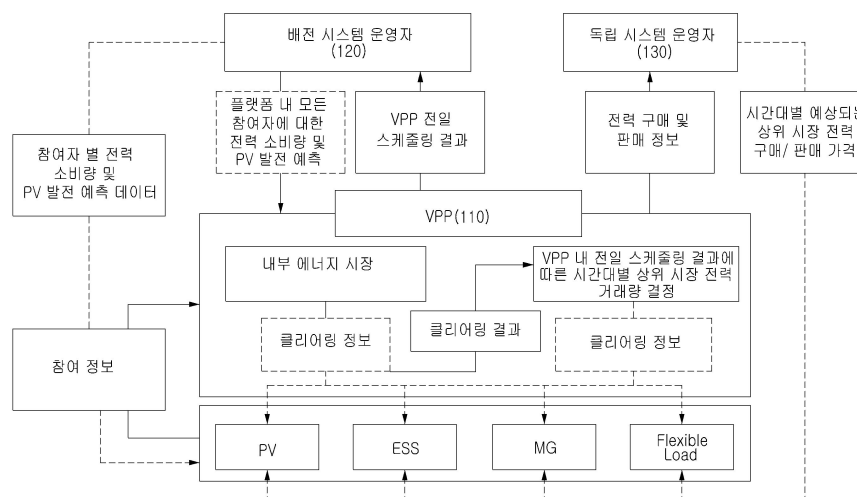
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 배전망 전압 안정성 향상을 위한 내부 에너지 시장을 보유한 VPP의 최적 전일 스케줄링 방법 및 시스템

(57) 요약

배전망 전압 안정성 향상을 위한 내부 에너지 시장을 보유한 VPP의 최적 전일 스케줄링 방법 및 시스템이 제시된다. 본 발명에서 제안하는 배전망 전압 안정성 향상을 위한 내부 에너지 시장을 보유한 VPP의 최적 전일 스케줄링 방법은 사전 스케줄링부를 통해 ESS(Energy Storage System) 및 MG(Microgrid) 내부 ESS의 사전 스케줄링을 구성하는 단계, 내부 에너지 시장 전력 매칭부를 통해 상기 사전 스케줄링을 기반으로 시간대별 플랫폼 내 전력 순부하량을 결정하고, 잉여 발전에 대한 내부 에너지 시장 전력량을 매칭하는 단계 및 발전 및 전력 수요 조정부를 통해 상기 매칭되지 않은 전력량과 MG의 전력 판매량을 이용하여 VPP(Virtual Power Plant)가 포함된 계통 내 전압 안정도에 따라 발전 및 전력 수요를 조정하는 단계를 포함한다.

대표도



(52) CPC특허분류

H02J 3/008 (2023.08)
H02J 2203/10 (2023.08)
H02J 2300/24 (2023.08)
Y04S 10/123 (2020.08)
Y04S 10/50 (2020.08)
Y04S 50/10 (2013.01)
Y04S 50/12 (2013.01)

신참규

인천광역시 서구 청마로 160, 404동 1802호(당하동, 풍림아이원아파트)

(72) 발명자

구동현

전라북도 전주시 덕진구 세병로 175, 1001동 502호(송천동2가, 에코시티더샵2차)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711192691
과제번호	2019M3F2A1073401
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	에너지클라우드 기술개발(과기정통부) (R&D)
연구과제명	에너지 클라우드 가상물리시스템 설계 및 최적 운영기술 개발
기 여 율	1/2
과제수행기관명	인하대학교
연구기간	2023.01.01 ~ 2023.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1415180925
과제번호	20210501010010
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국에너지기술평가원
연구사업명	재생에너지 전력계통 연계 대용량 고압모듈형 ESS 기술개발
연구과제명	재생에너지 연계 MMC타입 ESS기반 모바일 허브스테이션개발 및 운영실증
기 여 율	1/2
과제수행기관명	인하대학교
연구기간	2023.06.01 ~ 2024.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

사전 스케줄링부를 통해 ESS(Energy Storage System) 및 MG(Microgrid) 내부 ESS의 사전 스케줄링을 구성하는 단계;

내부 에너지 시장 전력 매칭부를 통해 상기 사전 스케줄링을 기반으로 시간대별 플랫폼 내 전력 순부하량을 결정하고, 잉여 발전에 대한 내부 에너지 시장 전력량을 매칭하는 단계; 및

발전 및 전력 수요 조정부부를 통해 상기 매칭되지 않은 전력량과 MG의 전력 판매량을 이용하여 VPP(Virtual Power Plant)가 포함된 계통 내 전압 안정도에 따라 발전 및 전력 수요를 조정하는 단계

를 포함하는 VPP 전일 스케줄링 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 사전 스케줄링부를 통해 ESS 및 MG 내부 ESS의 사전 스케줄링을 구성하는 단계는,

중개 사업을 통해 독립 시스템 운영자(Independent System Operator; ISO)에 의해 관리되는 상위 시장에 대하여 전력 구매 및 판매 가격에 따른 시간대별 전력구매가격을 예측하고, 상기 예측된 시간대별 전력구매가격을 기반으로 전일 전력 구매 비용 최소화를 목적으로 하는 스케줄링 최적화를 수행하는

VPP 전일 스케줄링 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 내부 에너지 시장 전력 매칭부를 통해 상기 사전 스케줄링을 기반으로 시간대별 플랫폼 내 전력 순부하량을 결정하고, 잉여 발전에 대한 내부 에너지 시장 전력량을 매칭하는 단계는,

PV(PhotoVoltaic)의 잉여 발전을 계산하고, 상기 잉여 발전에 따른 내부 에너지 시장에 대한 입찰 가격은 독립 시스템 운영자에 의해 관리되는 상위 시장에서의 전력 구매 및 판매 가격 사이에서 제시되고, 상기 내부 에너지 시장에 대한 입찰 가격과 상기 상위 시장에서의 전력 구매 가격의 최적화를 위한 매칭을 수행하는

VPP 전일 스케줄링 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 발전 및 전력 수요 조정부부를 통해 상기 매칭되지 않은 전력량과 MG의 전력 판매량을 이용하여 VPP가 포함된 계통 내 전압 안정도에 따라 발전 및 전력 수요를 조정하는 단계는,

ESS 또는 유연성부하(Flexible Load)에 따라 시간대별 변동된 전력에 대하여 조정 가격을 계산하고, VPP가 포함된 계통 내 전압 안정도에 따라 스케줄링을 최적화하는

VPP 전일 스케줄링 방법.

청구항 5

ESS 및 MG 내부 ESS의 사전 스케줄링을 구성하는 사전 스케줄링부;

상기 사전 스케줄링을 기반으로 시간대별 플랫폼 내 전력 순부하량을 결정하고, 잉여 발전에 대한 내부 에너지 시장 전력량을 매칭하는 내부 에너지 시장 전력 매칭부; 및

상기 매칭되지 않은 전력량과 MG의 전력 판매량을 이용하여 VPP가 포함된 계통 내 전압 안정도에 따라 발전 및

전력 수요를 조정하는 발전 및 전력 수요 조정부를 포함하는 VPP 전일 스케줄링 시스템.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 사전 스케줄링부는,

중개 사업을 통해 독립 시스템 운영자(Independent System Operator; ISO)에 의해 관리되는 상위 시장에 대하여 전력 구매 및 판매 가격에 따른 시간대별 전력구매가격을 예측하고, 상기 예측된 시간대별 전력구매가격을 기반으로 전일 전력 구매 비용 최소화를 목적으로 하는 스케줄링 최적화를 수행하는

VPP 전일 스케줄링 시스템.

청구항 7

제5항에 있어서,

상기 내부 에너지 시장 전력 매칭부는,

PV(PhotoVoltaic)의 잉여 발전을 계산하고, 상기 잉여 발전에 따른 내부 에너지 시장에 대한 입찰 가격은 독립 시스템 운영자에 의해 관리되는 상위 시장에서의 전력 구매 및 판매 가격 사이에서 제시되고, 상기 내부 에너지 시장에 대한 입찰 가격과 상기 상위 시장에서의 전력 구매 및 판매 가격의 최적화를 위한 매칭을 수행하는

VPP 전일 스케줄링 시스템.

청구항 8

제5항에 있어서,

상기 발전 및 전력 수요 조정부는,

ESS 또는 유연성부하(Flexible Load)에 따라 시간대별 변동된 전력에 대하여 조정 가격을 계산하고, VPP가 포함된 계통 내 전압 안정도에 따라 스케줄링을 최적화하는

VPP 전일 스케줄링 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 배전망 전압 안정성 향상을 위한 내부 에너지 시장을 보유한 VPP의 최적 전일 스케줄링 방법 및 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 분산자원(Distributed Energy Resources; DER)은 수요지 인근 또는 배전망에 연계되어 에너지, 용량, 보조서비스를 제공하거나 잉여 전기 해소 등이 가능한 전력 자원을 의미한다. 대표적인 분산 자원은 분산형 전원(예를 들어, 태양광, 풍력, 열병합 등), 에너지저장장치(예를 들어, ESS, 전기차 등), 수요자원(예를 들어, 수요반응, 에너지효율 등)이 있다.

[0003] 국내 분산 자원은 태양광을 중심으로 보급이 확대되어 분산 자원 중 태양광 비중은 48%이고, 분산형 전원 중 태양광의 비율은 70%로 다수의 태양광은 소규모, 분산화 되어 설치되어 있다. 한편, 태양광은 높은 출력 변동으로 인해 급전 지시가 어렵고, 기상 변화 예측으로 인해 출력 발전량이 간헐적인 특징이 있다. 만약, 시장에 참여하지 않아 발전량이 시간대별로 과약되지 않는 소규모 태양광의 비중이 확대되면, 덕커브(duck curve)로 대표되는 계통 운영상의 문제점을 야기할 수 있다. 이에 따라 한국 정부는 소규모 분산자원의 가시성을 높이고, 효율적인 전력계통 운영을 도모하기 위해 2019년 2월 소규모 전력중개시장(한국형 VPP 제도)을 도입했다.

[0004] 가상발전소(Virtual Power Plant; VPP)는 다양한 분산자원을 ICT(Information and Communications Technologies) 기술을 이용하여 하나의 발전소처럼 운영하는 통합관리 시스템이다. 분산 자원의 모집 형태에 따

라 공급형, 수요형, 융합형으로 구분하고 있으며, 자원 모집 및 운영 편의성, 법, 제도의 한계 등으로 공급형과 수요형 중심으로 VPP를 운영한다.

- [0005] 태양광, 풍력, ESS 등으로 구성된 공급형 VPP는 운영 목적에 따라 CVPP와 TVPP로 구분되며, CVPP는 시장참여를 통한 계통 수급균형에 기여하고, VPP는 계통 안정화 목적을 가진 VPP이다. CVPP 운영을 통해 분산자원 보유자 및 중개사업자는 신규 수익 창출이 가능하고, 계통운영자 및 유틸리티는 효율적인 계통 운영이 가능하며, TVPP 운영을 통해 분산자원 보유자는 신규 수익 확보가 가능하고, 유틸리티는 배전망 투자 회피와 동시에 분산 자원 추가 수용이 가능해진다.
- [0006] 2022년 12월 기준 소규모 전력 중개사업자는 누적 148건으로 집계 되었고, 이를 통한 소규모 전력자원 용량은 2022년 6월 기준 2,968.6MW에 이른다. 하지만, 중개시장 참여로 인한 수익은 시장참여를 위한 투자 비용보다 낮아 분산 자원 보유자는 거래 과정이 복잡한 시장참여보다 한전 PPA 거래를 선호하고, 중개사업자의 활발한 참여 또한 이루어지지 않아 VPP를 이용한 송전망 운영 비용 절감 효과가 낮다.
- [0007] 국내 VPP는 배전망에 연계된 자원으로 구성되나, 송전망 운영을 위한 자원으로 활용되기 때문에 배전망의 영향이 고려되지 않은 채 운영되고 있다. 따라서, 국내 VPP 활성화를 위해 중개사업자의 VPP 운영 기술 및 비즈니스 모델 개발 노력이 필요하고, 정부는 중개사업자의 부족한 경제성을 보완 및 VPP가 전력망의 효율적인 운영에 기여할 수 있도록 시장제도 개선이 필요하다. 특히, 국내 VPP 도입 목적인 발전 및 소비 예측력 제고를 위해 배전망을 고려한 VPP 운영이 필요하며, 계통운영자와 망 사업자 간의 협조체계 구축과 동시에 배전망 영향을 고려한 VPP 운영 규정이 필요하다.
- [0008] 지난 2023년 6월 '분산에너지 활성화 특별법'이 제정되어 분산에너지 활성화 기반 조성 및 확대에 필요한 5년 단위 기본 계획 및 연도별 시행계획 수립을 위한 법적 토대가 마련되었다. 특별법은 배전 사업자에게 배전망 관리, 감독 역할 부여, 분산에너지 특화지역 지정 및 특화지역 내 분산에너지 사업자의 직접 전력 거래 및 전기사용자의 공급자 선택권 부여, 지역별 전기요금 적용에 관한 내용을 포함해, 앞서 언급한 단점 개선과 함께 향후 VPP 사업 확대를 기대할 수 있다.
- [0009] 국내 VPP 플랫폼은 참여자의 발전 예측 및 최적 운영 기능을 위주로 지원하고 있으나 전력 계통 운영에 도움이 되는 보조서비스 기술은 아직까지 지원하지 않고 있다. 또한, 국내외 VPP 플랫폼 운영은 플랫폼 자체의 비용 최소화를 위해 중앙 집중 형식으로 이루어지며 이는 참여자의 행동 자율성을 강제한다.
- [0010] 종래기술에 따르면, VPP 플랫폼 운영 시 전압 안정도 고려 및 게임 이론 등을 통한 참여자의 자유도를 보장하려는 노력이 있으나 플랫폼 내부에 시장을 개설하여 참여자의 자율성을 향상시키는 방안은 개시되지 않았다.
- [0011] 기존 VPP 기술들은 플랫폼의 비용 최소화를 목적으로 중앙 집중형 최적화를 진행하기에 참여자의 자율성이 저해되는 경우가 발생하고, VPP가 지원하는 보조서비스 기술은 주로 주파수 안정도 지원이며 전력 계통 운영 중 중요한 요소인 전압 안정도를 지원하는 경우는 거의 없다.

선행기술문헌

비특허문헌

- [0012] (비특허문헌 0001) [1] 한전 경영연구원, VPP 운영현황 및 활성화 방안, (2021.04)
- (비특허문헌 0002) [2] 산업통상자원부 보도자료, 소규모 전력중개사업 본격 시행, (2018.12)
- (비특허문헌 0003) [3] 스마트그리드 데이터 센터, 전기신사업사업자등록 통계

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0013] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 플랫폼 내부 에너지 시장 및 참여자의 전력 수요 변동에 따른 비용 지급을 통해 플랫폼 발전 및 전력 수요 참여자의 수익성을 향상시키고, 배전망 전압 안정성 향상을 위한 내부 에너지 시장을 보유한 VPP의 최적 전일 스케줄링 방법 및 시스템을 제공하는데 있다. 또한, 플랫폼이 포함된 계통의 전압 안정도 유지 및 플랫폼의 운영 비용 최소화를 목적으로 하는 새로운 비즈니스의 전일 스케줄링 방법 및

시스템을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

- [0014] 일 측면에 있어서, 본 발명에서 제안하는 배전망 전압 안정성 향상을 위한 내부 에너지 시장을 보유한 VPP의 최적 전일 스케줄링 방법은 사전 스케줄링부를 통해 ESS(Energy Storage System) 및 MG(Microgrid) 내부 ESS의 사전 스케줄링을 구성하는 단계, 내부 에너지 시장 전력 매칭부를 통해 상기 사전 스케줄링을 기반으로 시간대별 플랫폼 내 전력 순부하량을 결정하고, 잉여 발전에 대한 내부 에너지 시장 전력량을 매칭하는 단계 및 발전 및 전력 수요 조정부부를 통해 상기 매칭되지 않은 전력량과 MG의 전력 판매량을 이용하여 VPP(Virtual Power Plant)가 포함된 계통 내 전압 안정도에 따라 발전 및 전력 수요를 조정하는 단계를 포함한다.
- [0015] 상기 사전 스케줄링부를 통해 ESS 및 MG 내부 ESS의 사전 스케줄링을 구성하는 단계는 중개 사업을 통해 독립 시스템 운영자(Independent System Operator; ISO)에 의해 관리되는 상위 시장에 대하여 전력 구매 및 판매 가격에 따른 시간대별 전력구매가격을 예측하고, 상기 예측된 시간대별 전력구매가격을 기반으로 전일 전력 구매 비용 최소화를 목적으로 하는 스케줄링 최적화를 수행한다.
- [0016] 상기 내부 에너지 시장 전력 매칭부를 통해 상기 사전 스케줄링을 기반으로 시간대별 플랫폼 내 전력 순부하량을 결정하고, 잉여 발전에 대한 내부 에너지 시장 전력량을 매칭하는 단계는 PV(Photo Voltaic)의 잉여 발전을 계산하고, 상기 잉여 발전에 따른 내부 에너지 시장에 대한 입찰 가격은 독립 시스템 운영자에 의해 관리되는 상위 시장에서의 전력 구매 및 판매 가격 사이에서 제시되고, 상기 내부 에너지 시장에 대한 입찰 가격과 상기 상위 시장에서의 전력 구매 가격의 최적화를 위한 매칭을 수행한다.
- [0017] 상기 발전 및 전력 수요 조정부부를 통해 상기 매칭되지 않은 전력량과 MG의 전력 판매량을 이용하여 VPP가 포함된 계통 내 전압 안정도에 따라 발전 및 전력 수요를 조정하는 단계는 ESS 또는 유연성부하(Flexible Load)에 따라 시간대별 변동된 전력에 대하여 조정 가격을 계산하고, VPP가 포함된 계통 내 전압 안정도에 따라 스케줄링을 최적화한다.
- [0018] 또 다른 일 측면에 있어서, 본 발명에서 제안하는 배전망 전압 안정성 향상을 위한 내부 에너지 시장을 보유한 VPP의 최적 전일 스케줄링 시스템은 ESS 및 MG 내부 ESS의 사전 스케줄링을 구성하는 사전 스케줄링부, 상기 사전 스케줄링을 기반으로 시간대별 플랫폼 내 전력 순부하량을 결정하고, 잉여 발전에 대한 내부 에너지 시장 전력량을 매칭하는 내부 에너지 시장 전력 매칭부 및 상기 매칭되지 않은 전력량과 MG의 전력 판매량을 이용하여 VPP가 포함된 계통 내 전압 안정도에 따라 발전 및 전력 수요를 조정하는 발전 및 전력 수요 조정부부를 포함한다.

발명의 효과

- [0019] 본 발명의 실시예들에 따르면 VPP에 참여하는 발전 사업자는 플랫폼 내부 에너지 시장 참여 및 플랫폼의 중개 사업을 통한 전력 시장 참여 두 가지 방법으로 자신의 발전량을 입찰 할 수 있고, VPP 중개 사업 시 전력 수요자는 자신의 시간대 별 전력 수요 중 일부를 다른 시간대로 이동 시킬 시 받는 정산금을 통해 전력 구매 비용을 최소화 할 수 있다. 본 발명의 실시예에 따르면, 전력 판매자는 2개의 시장을 통해 자신의 수익성을 더욱 향상시킬 수 있고, 소비자는 전력 구매 비용을 절감할 수 있으며, 플랫폼은 운영 비용 최소화 및 전압 안정도를 향상시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0020] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 배전망 전압 안정성 향상을 위한 내부 에너지 시장을 보유한 VPP의 최적 전일 스케줄링을 위한 기본 구조를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 배전망 전압 안정성 향상을 위한 내부 에너지 시장을 보유한 VPP의 최적 전일 스케줄링 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.
- 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 배전망 전압 안정성 향상을 위한 내부 에너지 시장을 보유한 VPP의 최적 전일 스케줄링 시스템의 구성을 나타내는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0021] VPP 운영 시 플랫폼만의 운영 비용 최소화뿐만 아니라 참여자의 자율성 및 수익 향상을 위한 노력이 필요하다.

재생에너지의 발전 비중이 높아짐에 따라 배전 계통 운영자의 운영은 기존과 달리 복잡해지고 있기 때문에 중개 사업체인 VPP에서 계통 운영을 도와주는 보조서비스 역할을 할 수 있어야 한다. 본 발명은 내부 에너지 시장 및 중개 사업을 통한 발전 사업자의 수익 향상, 전력 수요 변동에 따른 인센티브 지급을 통한 전력 수요 참여자의 비용 절감, 플랫폼의 운영 비용 절감 및 전압 안정도를 유지하는 전일 스케줄링 알고리즘을 제안한다. 이하, 본 발명의 실시 예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.

- [0023] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 배전망 전압 안정성 향상을 위한 내부 에너지 시장을 보유한 VPP의 최적 전일 스케줄링을 위한 기본 구조를 설명하기 위한 도면이다.
- [0024] 본 발명의 실시예에 따른 배전망 전압 안정성 향상을 위한 내부 에너지 시장을 보유한 VPP의 최적 전일 스케줄링을 위한 기본 구조는 배전 계통을 운영하는 배전 시스템 운영자(Distribution System Operator; DSO)(120)와 상위 전력 시장을 운영하는 독립 시스템 운영자(Independent System Operator; ISO)(130) 및 분산 에너지 자원을 결합하는 가상발전소(Virtual Power Plant; VPP)(110)로 구성되어 있다. 예를 들어, 현재 국내에서 DSO는 한전, ISO는 전력거래소로 이해될 수 있다.
- [0025] VPP(110) 내부 계통도는 VPP 운영자가 알고 있다고 가정하며, VPP에 참여하는 자원은 ESS(Energy Storage System), PV(PhotoVoltaic), MG(Microgrid), 유연성 부하(Flexible Load)로 구성되어 있다.
- [0026] 플랫폼에 참여하는 발전 사업자별 예측 발전량 및 플랫폼 내 모선 별 전력 소비량에 대한 정보는 DSO(120)와 각 참여자로부터 받아온다고 가정한다. 다시 말해, 플랫폼 내 모든 참여자에 대한 전력 소비량 및 PV 발전 예측 데이터를 DSO(120)로부터 수신한다.
- [0027] VPP(110)의 사전 스케줄링을 위해 제공받는 상위 시장 전력 구매 및 판매 가격은 ISO(130)가 제공한다.
- [0028] VPP(110)의 전일 스케줄링 결과는 DSO(120)로 전송되어 DSO가 보유한 배전 계통의 운영 시 참고 할 수 있도록 하며 ISO(130)에는 중개된 전력 판매 및 구매 예정인 전력량을 전송한다. VPP(110)는 전력 구매뿐만 아니라 판매 정보도 ISO(130)에 전송한다.
- [0029] VPP(110)의 전일 스케줄링 결과를 DSO(120)로 전송하는 이유는 VPP가 포함된 전력 계통은 DSO(120)가 관리하는 배전 계통에 포함되어 있기 때문에 DSO(120)의 계통 운영을 위해선 VPP의 스케줄링이 필요하다.
- [0030] VPP(110) 내부에는 자체 내부 에너지 시장을 보유하고 있으며 VPP(110)에 참여하는 발전 사업자들은 1차적으로 에너지 시장에서 전력을 모두 입찰하려고 노력하며 입찰되지 않은 발전량을 중개 사업을 통해 ISO(130)에 입찰한다.
- [0032] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 배전망 전압 안정성 향상을 위한 내부 에너지 시장을 보유한 VPP의 최적 전일 스케줄링 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.
- [0033] 본 발명의 실시예에 따른 배전망 전압 안정성 향상을 위한 내부 에너지 시장을 보유한 VPP의 최적 전일 스케줄링 방법은 사전 스케줄링부를 통해 ESS 및 MG 내부 ESS의 사전 스케줄링을 구성하는 단계(210), 내부 에너지 시장 전력 매칭부를 통해 상기 사전 스케줄링을 기반으로 시간대별 플랫폼 내 전력 순부하량을 결정하고, 잉여 발전에 대한 내부 에너지 시장 전력량을 매칭하는 단계(220) 및 발전 및 전력 수요 조정부부를 통해 상기 매칭되지 않은 전력량과 MG의 전력 판매량을 이용하여 VPP가 포함된 계통 내 전압 안정도에 따라 발전 및 전력 수요를 조정하는 단계(230)를 포함한다.
- [0034] 단계(210)에서, 사전 스케줄링부를 통해 ESS 및 MG 내부 ESS의 사전 스케줄링을 구성한다.
- [0035] 먼저, 사전 스케줄링을 위한 파라미터 초기화를 수행하고, 상기 파라미터를 이용하여 ESS 및 MG의 사전 스케줄링을 구성한다. 사전 스케줄링이 필요한 이유는 내부 에너지 시장에서 구매할 전력 수요량을 결정하고, 중개 사업 시 전력 수요 이동에 대한 인센티브 산정을 위함이다.
- [0036] 본 발명의 실시예에 따른 MG는 태양광 발전과, ESS와 전력 소비자가 모두 포함된 개체이며, 내부 에너지 시장에 참여하지 않고 플랫폼의 전력 중개 사업에만 참여한다.
- [0037] 본 발명의 실시예에 따른 예상 가격 계산(211)에 있어서, ESS 스케줄링은 발전 및 전력 수요를 조정하는 단계(230)에서 변동 될 수 있으나 MG는 사전 스케줄링 기반으로 그대로 진행된다.

$$\pi_{\text{exp}}^t = \frac{\pi_{\text{Grid},\text{buy}}^t + \pi_{\text{Grid},\text{sell}}^t}{2} \quad (1)$$

ESS의 스케줄링 최적화(212)를 위해 시간대별 전력구매가격이 필요하며, 본 발명에서는 시간대별 예측된 상위 시장(다시 말해, 중개 사업을 통해 ISO가 관리하는 시장)에서 전력 구매 및 판매 가격의 절반을 기반으로 구성된다.

$$\min \sum_t (P_{ch}^t - P_{dch}^t) \pi_{\text{exp}}^t \quad (2)$$

$$P_{PV}^t - P_{ch}^t + P_{dch}^t = P_d^t \quad (3)$$

$$SOC_{ESS}^t - \frac{\eta_{ch}}{C_{ESS}} P_{ch}^t + \frac{1}{\eta_{dch} * C_{ESS}} P_{dch}^t = SOC_{ESS}^{t-1} \quad (4)$$

$$SOC_{ESS}^{\text{end}} = SOC_{ESS}^{\text{ini}} \quad (5)$$

$$\mu_{ch}^t + \mu_{dch}^t \leq 1 \quad (6)$$

$$\begin{cases} P_{ch}^t - \mu_{ch}^t P_{rate}^{ESS} \leq 0 \\ P_{dch}^t - \mu_{dch}^t P_{rate}^{ESS} \leq 0 \end{cases} \quad (7)$$

본 발명의 실시예에 따르면, ESS는 시간대별 예상 가격을 기반으로 하루 전체의 전력 구매 비용 최소화를 목적으로 하는 스케줄링을 구성하고, 상기 수식(2) 내지 수식(7)은 일반적인 ESS 스케줄링을 위한 모델링 과정을 나타낸다.

단계(220)에서, 내부 에너지 시장 전력 매칭부를 통해 상기 사전 스케줄링을 기반으로 시간대별 플랫폼 내 전력 순부하량을 결정하고, 잉여 발전에 대한 내부 에너지 시장 전력량을 매칭한다.

상기 사전 스케줄링을 기반으로 시간대별 플랫폼 내 전력 순부하량이 결정될 수 있다. 태양광 발전(PhotoVoltaic; PV) 사업자들은 자신의 잉여 발전을 계산하고(221), 상기 잉여 발전에 대해 내부 에너지 시장에 입찰 가격을 ISO 시장 구매/판매 가격 사이에서 자유롭게 제시할 수 있다(222).

본 발명의 실시예에 따르면, MG 내부 PV 발전량은 내부 에너지 시장에 참가하지 않으며 중개 사업에만 참여한다.

$$\min \sum_t (P_{grid,D}^t \pi_{buy}^t + P_{Local,D}^t \pi_{Local,buy}^t) \quad (3)$$

$$\sum P_{PV\text{local},\text{sell}}^t = \sum P_{Local,D}^t \quad (9)$$

$$\sum P_{grid,D}^t = \sum P_{total,D}^t - \sum P_{Local,D}^t \quad (10)$$

내부 에너지 시장은 계통 조건을 고려하지 않으며 PV 발전 사업자들이 제시한 전력 판매 비용과 ISO 시장에서 구매하는 전력 구매 비용을 비교하여 최적화가 이루어진다(223). 단계(220)에서 낙찰되지 않은 발전 사업자의 전력 판매량은 플랫폼의 중개 사업을 통해 상위 시장에 입찰된다.

단계(230)에서, 발전 및 전력 수요 조정부를 통해 상기 매칭되지 않은 전력량과 MG의 전력 판매량을 이용하여 VPP가 포함된 계통 내 전압 안정도에 따라 발전 및 전력 수요를 조정한다.

$$\min \sum_t \left(P_{VPP,buy}^t \pi_{Grid,buy}^t - P_{VPP,sell}^t \pi_{Grid,sell}^t - \sum_i \pi_{adj}^{i,t} P_{adj}^{i,t} \right)$$

$$\begin{cases} P_{VPP,sell}^t = \sum_i^{N_{PV}} P_{PV}^{t,i} + \sum_i^{N_{MG}} P_{MG,sell}^{t,i} \\ P_{VPP,buy}^t = \sum_i^{NB} P_d^{t,i} + \sum_i^{N_{FE}} (-P_{FL,up}^{t,i} + P_{FL,dn}^{t,i}) \\ \quad + \sum_i^{N_{ESS}} (-P_{ESS,dch}^{t,i} + P_{ESS,chg}^{t,i}) + \sum_i^{N_{MG}} P_{MG,buy}^{t,i} \end{cases} \quad (11)$$

중개 사업을 통해 판매하는 전력은 단계(220)에서 매칭되지 않은 발전 사업자의 전력량과 MG의 전력 판매량으로 구성된다.

중개 사업을 통해 구매하는 전력은 시간대별 순부하에서 ESS 및 유연성 부하에 의해 조정된 부하(다시 말해, ESS 및 유연성 부하에 의해 감소 또는 증가한 전력량)에 따라 결정될 수 있다.

ESS 또는 유연성부하가 시간대 별로 변동시킨 전력에 대해 π_{adj}^t 만큼 인센티브를 받을 수 있다(231).

$$\pi_{i,flexdown}^t = \pi_{grid,buy}^t \left(1 + \frac{\partial P_{Loss}^t}{\partial P_{i,D}^t} \right)$$

$$\pi_{i,flexup}^t = \pi_{grid,buy}^t \left(1 - \frac{\partial P_{Loss}^t}{\partial P_{i,D}^t} \right) \quad (12)$$

여기서, $\pi_{i,flexdown}^t$ 은 t시간에 i모선의 부하 증가 시 받는 금액이고, $\pi_{i,flexup}^t$ 은 t시간에 i모선의 부하 감소 시 받는 금액이다.

π_{adj}^t 는 특정 시간대 t에 i모선의 부하를 감소시킨 경우와 부하를 증가시킨 경우로 나뉘지며, 특정 시간대 t에서 상위 시장에서 구매하는 전력 가격과 i모선에서 부하 변동에 따른 전력 전송 민감도에 의해 결정된다.

전력 전송 민감도는 단계(210) 및 단계(220)을 통해 결정된 모선 스케줄링을 기반으로 모선별로 전력 수요를 증가 또는 감소하였을 때 계통 전체의 전력 손실 변동량을 의미한다.

$$P_{i,inj}^t = \sum_{j=1}^{NB} (-B'_{ij} * \theta_j^t + G_{ij} * V_j^t) \quad i=1,2 \dots NB$$

$$Q_{i,inj}^t = \sum_{j=1}^{NB} (-G'_{ij} * \theta_j^t - B_{ij} * V_j^t) \quad i=1,2 \dots NB$$

$$B = \begin{bmatrix} B_{11} & \dots & B_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ B_{N1} & \dots & B_{NN} \end{bmatrix}$$

$$B' = \begin{bmatrix} B_{11} - b_{11} & \dots & B_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ B_{N1} & \dots & B_{NN} - b_{NN} \end{bmatrix}$$

$$G = \begin{bmatrix} G_{11} & \dots & G_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ G_{N1} & \dots & G_{NN} \end{bmatrix}$$

$$G' = \begin{bmatrix} G_{11} - g_{11} & \dots & G_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ G_{N1} & \dots & G_{NN} - g_{NN} \end{bmatrix}$$

$$V_{\min} \leq V_j^t \leq V_{\max}$$

$$\theta_{\min} \leq \theta_j^t \leq \theta_{\max} \quad (13)$$

- [0064] 내부 에너지 시장과 달리 단계(230)에서는 VPP가 포함된 계통 내 전압 안정도도 고려해야 하기 때문에 조류 해석을 통해 전압 안정도를 만족하도록 스케줄링을 구성할 수 있다(232). 다시 말해, 모션 별 전압의 크기를 구하기 위해 구성된 전력 스케줄링에 기반한 조류 해석을 통해 산정된다. 내부 에너지 시장 정산 시에는 해당 조건을 고려하지 않지만 중개 사업에서는 해당 조건을 고려한다.
- [0066] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 배전망 전압 안정성 향상을 위한 내부 에너지 시장을 보유한 VPP의 최적 전일 스케줄링 시스템의 구성을 나타내는 도면이다.
- [0067] 본 실시예에 따른 VPP 전일 스케줄링 시스템(300)은 프로세서(310), 버스(320), 네트워크 인터페이스(330), 메모리(340) 및 데이터베이스(350)를 포함할 수 있다. 메모리(340)는 운영체제(341) 및 배전망 전압 안정성 향상을 위한 내부 에너지 시장을 보유한 VPP의 최적 전일 스케줄링 루틴(342)을 포함할 수 있다. 프로세서(310)는 사전 스케줄링부(311), 내부 에너지 시장 전력 매칭부(312) 및 발전 및 전력 수요 조정부(312)를 포함할 수 있다. 다른 실시예들에서 VPP 전일 스케줄링 시스템(300)은 도 3의 구성요소들보다 더 많은 구성요소들을 포함할 수도 있다. 그러나, 대부분의 종래기술적 구성요소들을 명확하게 도시할 필요성은 없다. 예를 들어, VPP 전일 스케줄링 시스템(300)은 디스플레이나 트랜시버(transceiver)와 같은 다른 구성요소들을 포함할 수도 있다.
- [0068] 메모리(340)는 컴퓨터에서 판독 가능한 기록 매체로서, RAM(random access memory), ROM(read only memory) 및 디스크 드라이브와 같은 비소멸성 대용량 기록장치(permanent mass storage device)를 포함할 수 있다. 또한, 메모리(340)에는 운영체제(341)와 배전망 전압 안정성 향상을 위한 내부 에너지 시장을 보유한 VPP의 최적 전일 스케줄링 루틴(342)을 위한 프로그램 코드가 저장될 수 있다. 이러한 소프트웨어 구성요소들은 드라이브 메커니즘(drive mechanism, 미도시)을 이용하여 메모리(340)와는 별도의 컴퓨터에서 판독 가능한 기록 매체로부터 로딩될 수 있다. 이러한 별도의 컴퓨터에서 판독 가능한 기록 매체는 플로피 드라이브, 디스크, 테이프, DVD/CD-ROM 드라이브, 메모리 카드 등의 컴퓨터에서 판독 가능한 기록 매체(미도시)를 포함할 수 있다. 다른 실시예에서 소프트웨어 구성요소들은 컴퓨터에서 판독 가능한 기록 매체가 아닌 네트워크 인터페이스(330)를 통해 메모리(340)에 로딩될 수도 있다.
- [0069] 버스(320)는 VPP 전일 스케줄링 시스템(300)의 구성요소들간의 통신 및 데이터 전송을 가능하게 할 수 있다. 버스(320)는 고속 시리얼 버스(high-speed serial bus), 병렬 버스(parallel bus), SAN(Storage Area Network) 및/또는 다른 적절한 통신 기술을 이용하여 구성될 수 있다.
- [0070] 네트워크 인터페이스(330)는 VPP 전일 스케줄링 시스템(300)을 컴퓨터 네트워크에 연결하기 위한 컴퓨터 하드웨어 구성요소일 수 있다. 네트워크 인터페이스(330)는 VPP 전일 스케줄링 시스템(300)을 무선 또는 유선 커넥션을 통해 컴퓨터 네트워크에 연결시킬 수 있다.
- [0071] 데이터베이스(350)는 배전망 전압 안정성 향상을 위한 내부 에너지 시장을 보유한 VPP의 최적 전일 스케줄링을 위해 필요한 모든 정보를 저장 및 유지하는 역할을 할 수 있다. 도 3에서는 VPP 전일 스케줄링 시스템(300)의 내부에 데이터베이스(350)를 구축하여 포함하는 것으로 도시하고 있으나, 이에 한정되는 것은 아니며 시스템 구현 방식이나 환경 등에 따라 생략될 수 있고 혹은 전체 또는 일부의 데이터베이스가 별개의 다른 시스템 상에 구축된 외부 데이터베이스로서 존재하는 것 또한 가능하다.
- [0072] 프로세서(310)는 기본적인 산술, 로직 및 VPP 전일 스케줄링 시스템(300)의 입출력 연산을 수행함으로써, 컴퓨터 프로그램의 명령을 처리하도록 구성될 수 있다. 명령은 메모리(340) 또는 네트워크 인터페이스(330)에 의해, 그리고 버스(320)를 통해 프로세서(310)로 제공될 수 있다. 프로세서(310)는 사전 스케줄링부(311), 내부 에너지 시장 전력 매칭부(312) 및 발전 및 전력 수요 조정부(312)를 위한 프로그램 코드를 실행하도록 구성될 수 있다. 이러한 프로그램 코드는 메모리(340)와 같은 기록 장치에 저장될 수 있다.
- [0073] 사전 스케줄링부(311), 내부 에너지 시장 전력 매칭부(312) 및 발전 및 전력 수요 조정부(312)는 도 2의 단계들(210~230)을 수행하기 위해 구성될 수 있다.
- [0074] VPP 전일 스케줄링 시스템(300)은 사전 스케줄링부(311), 내부 에너지 시장 전력 매칭부(312) 및 발전 및 전력 수요 조정부(312)를 포함할 수 있다.
- [0075] 본 발명의 실시예에 따른 사전 스케줄링부(311)는 ESS 및 MG 내부 ESS의 사전 스케줄링을 구성한다.
- [0076] 본 발명의 실시예에 따른 사전 스케줄링부(311)는 중개 사업을 통해 독립 시스템 운영자(Independent System Operator; ISO)에 의해 관리되는 상위 시장에 대하여 전력 구매 및 판매 가격에 따른 시간대별 전력구매가격을

예측하고, 상기 예측된 시간대별 전력구매가격을 기반으로 전일 전력 구매 비용 최소화를 목적으로 하는 스케줄링 최적화를 수행한다.

[0077] 본 발명의 실시예에 따른 내부 에너지 시장 전력 매칭부(312)는 상기 사전 스케줄링을 기반으로 시간대별 플랫폼 내 전력 순부하량을 결정하고, 잉여 발전에 대한 내부 에너지 시장 전력량을 매칭한다.

[0078] 본 발명의 실시예에 따른 내부 에너지 시장 전력 매칭부(312)는 PV(PhotoVoltaic)의 잉여 발전을 계산하고, 상기 잉여 발전에 따른 내부 에너지 시장에 대한 입찰 가격은 독립 시스템 운영자에 의해 관리되는 상위 시장에서의 전력 구매 및 판매 가격 사이에서 제시되고, 상기 내부 에너지 시장에 대한 입찰 가격과 상기 상위 시장에서의 전력 구매 및 판매 가격의 최적화를 위한 매칭을 수행한다.

[0079] 본 발명의 실시예에 따른 발전 및 전력 수요 조정부(312)는 상기 매칭되지 않은 전력량과 MG의 전력 판매량을 이용하여 VPP가 포함된 계통 내 전압 안정도에 따라 발전 및 전력 수요를 조정한다.

[0080] 본 발명의 실시예에 따른 발전 및 전력 수요 조정부(312)는 ESS 또는 유연성부하(Flexible Load)에 따라 시간대별 변동된 전력에 대하여 조정 가격을 계산하고, VPP가 포함된 계통 내 전압 안정도에 따라 스케줄링을 최적화한다.

[0082] 이상에서 설명된 장치는 하드웨어 구성요소, 소프트웨어 구성요소, 및/또는 하드웨어 구성요소 및 소프트웨어 구성요소의 조합으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 실시예들에서 설명된 장치 및 구성요소는, 예를 들어, 프로세서, 콘트롤러, ALU(arithmetic logic unit), 디지털 신호 프로세서(digital signal processor), 마이크로컴퓨터, FPGA(field programmable gate 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(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 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는, 처리 장치가 복수 개의 처리 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.

[0083] 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, 구성요소(component), 물리적 장치, 가상장치(virtual equipment), 컴퓨터 저장 매체 또는 장치에 구체화(embodiment)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.

[0084] 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), 및 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.

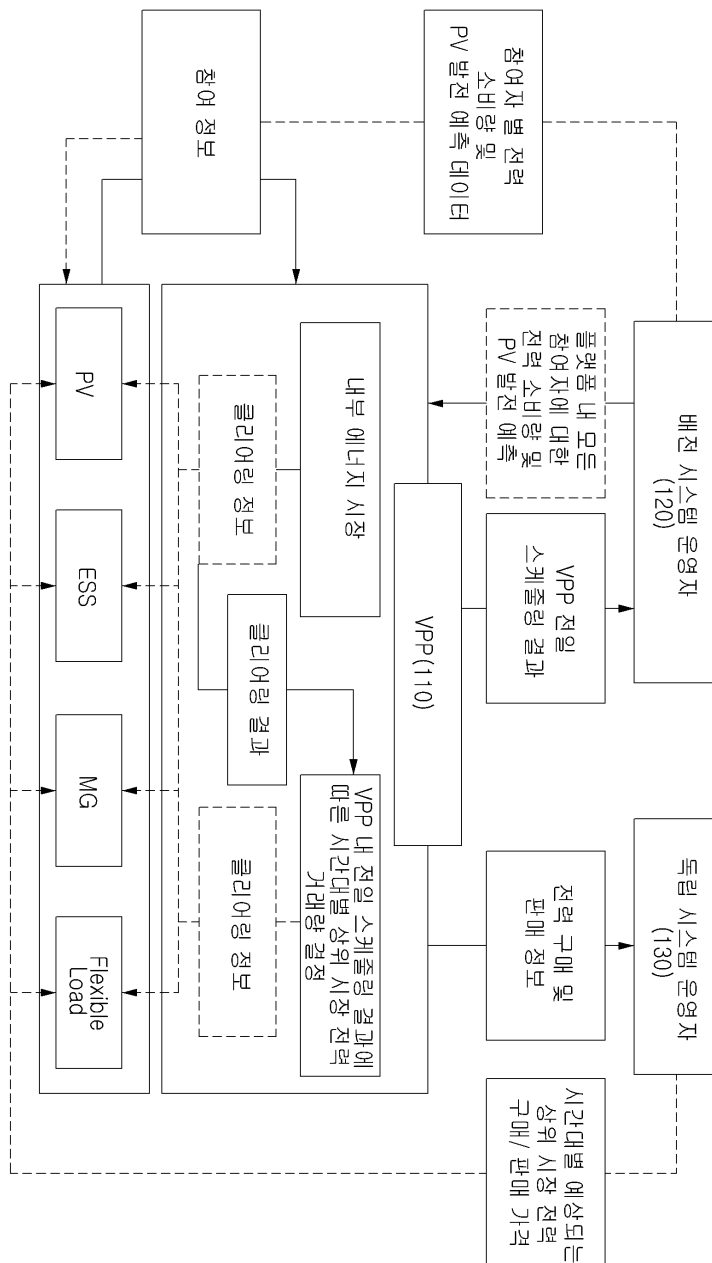
[0085] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성

될 수 있다.

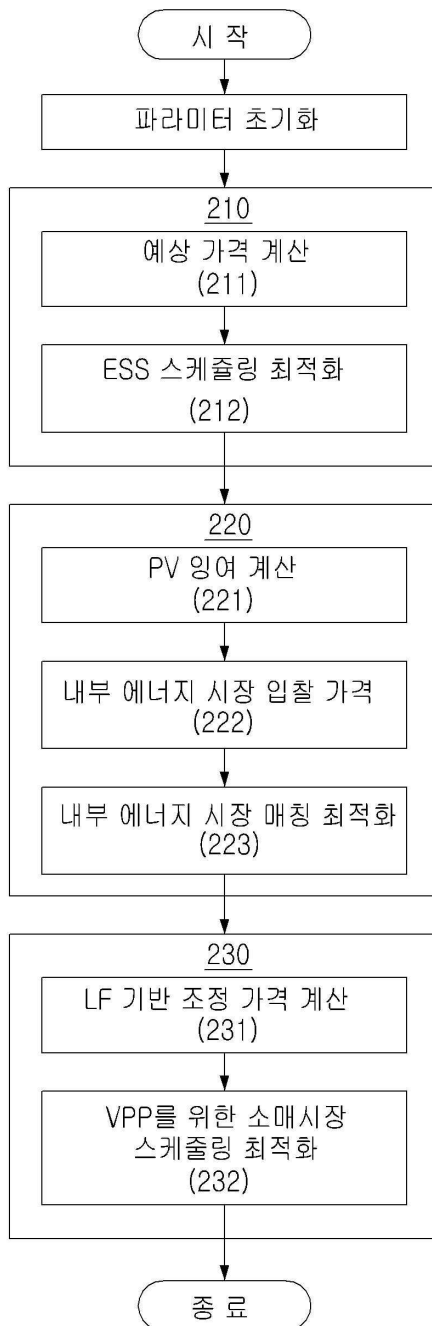
[0086] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

도면

도면1



도면2



도면3

