(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0128731
(43) 공개일자 2023년09월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06Q 50/06 (2012.01) *G06Q 30/02* (2023.01)
G06Q 30/08 (2012.01) *H02J 3/00* (2006.01)
(52) CPC특허분류
G06Q 50/06 (2013.01)
G06Q 30/0206 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0025977
(22) 출원일자 2022년02월28일
심사청구일자 없음

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대학교)
(72) 발명자
원동준
서울특별시 서초구 신반포로15길 19, 111동 702호(반포동, 아크로리버파크)
최정훈
인천광역시 미추홀구 독정이로 35-7(숭의동)
이영상
인천광역시 미추홀구 한나루로463번길 98, 303호(용현동)
(74) 대리인
특허법인태백

전체 청구항 수 : 총 4 항

(54) 발명의 명칭 **이중 경매를 기반으로 하는 P2P 전력 거래 시스템**

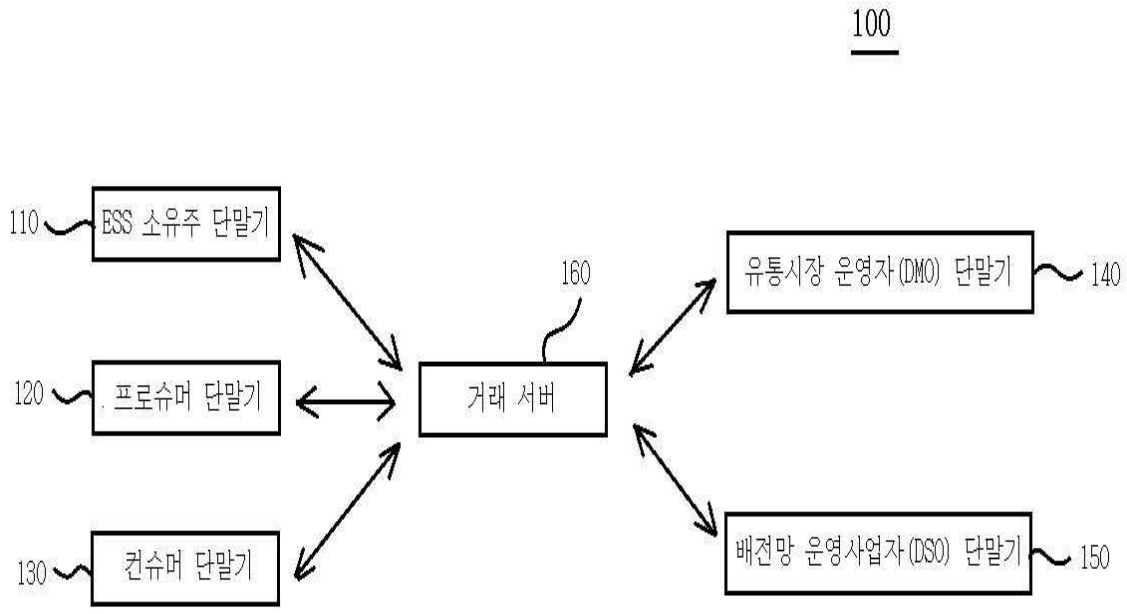
(57) 요 약

본 발명은 이중 경매를 기반으로 하는 P2P 전력 거래 시스템에 관한 것이다.

본 발명에 따르면,이중 경매 기반의 P2P 전력거래 참여를 통해 기존의 DMO(Distribution Market Operator)에서 획득한 전력 판매 및 구매 가격 정보와 P2P 전력거래 판매 및 구매 가격 정보를 이용하여 ESS의 최적 운영 정보

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도1



를 출력하는 ESS 소유주 단말기. 판매자 즉, 프로슈머가 소지하고 있는 단말기로서, DMO의 전력 판매 및 구매 가격 범위 내에서 결정된 입찰 가격을 거래 서버에 전달하는 프로슈머 단말기, 구매자 즉, 컨슈머가 소지하고 있는 단말기로서, 컨슈머로부터 입력된 구매 가격 및 전력에 대한 정보를 거래 서버에 전달하는 컨슈머 단말기 그리고, 복수의 프로슈머로부터 입력된 판매 가격 및 전력과 복수의 컨슈머로부터 입력된 구매 가격 및 전력을 이용하여 P2P 거래 방법에 의해 거래 매칭을 수행하고, 거래 매칭이 되지 않은 프로슈머들과 컨슈머들을 DMO 거래 방법을 이용하여 매칭을 수행하는 거래 서버를 포함한다.

(52) CPC특허분류
G06Q 30/08 (2023.01)
H02J 3/008 (2023.08)
Y04S 10/123 (2020.08)
Y04S 50/10 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711113631
과제번호 2020R1A2C1014111
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 개인기초연구(과기정통부)(R&D)
연구과제명 다양한 프로슈머들의 P2P(Peer-to-peer) 전력 거래를 고려한 강화학습 기반의 시스템 분산 운영 전략
기 여 율 1/2
과제수행기관명 인하대학교
연구기간 2010.03.01 ~ 2021.02.28
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711126530
과제번호 2019M3F2A1073401
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 에너지클라우드기술개발(과기정통부)(R&D)
연구과제명 에너지 클라우드 가상물리시스템 설계 및 최적 운영 기술 개발
기 여 율 1/2
과제수행기관명 인하대학교
연구기간 2021.01.01 ~ 2021.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

이중 경매를 기반으로 하는 P2P 전력 거래 시스템에 있어서,

이중 경매 기반의 P2P 전력거래 참여를 통해 기존의 DMO(Distribution Market Operator)에서 획득한 전력 판매 및 구매 가격 정보와 P2P 전력거래 판매 및 구매 가격 정보를 이용하여 ESS의 최적 운영 정보를 출력하는 ESS 소유주 단말기,

판매자 즉, 프로슈머가 소지하고 있는 단말기로서, DMO의 전력 판매 및 구매 가격 범위 내에서 결정된 입찰 가격을 거래 서버에 전달하는 프로슈머 단말기,

구매자 즉, 컨슈머가 소지하고 있는 단말기로서, 컨슈머로부터 입력된 구매 가격 및 전력에 대한 정보를 거래 서버에 전달하는 컨슈머 단말기 그리고,

복수의 프로슈머로부터 입력된 판매 가격 및 전력과 복수의 컨슈머로부터 입력된 구매 가격 및 전력을 이용하여 P2P 거래 방법에 의해 거래 매칭을 수행하고, 거래 매칭이 되지 않은 프로슈머들과 컨슈머들을 DMO 거래 방법을 이용하여 매칭을 수행하는 거래 서버를 포함하는 P2P 전력 거래 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 거래 서버는,

조류해석에 필요한 데이터를 배전계통운영자(Distribution System Operator, DSO)에게 전달하고, 전전력거래에 참여하기 전의 입력 데이터 기반의 조류해석과 참여했을 때의 입력 데이터 기반의 조류해석을 각각 수행한 다음,

상기 조류해석 결과를 이용하여 인센티브 또는 패널티를 산정하는 P2P 전력 거래 시스템.

청구항 3

제 2항에 있어서,

상기 패널티는,

P2P 전력거래를 통해 전체 전압의 편차 합이 커지거나 손실 전력이 증가하는 경우에 하기의 수학식을 이용하여 산정되는 P2P 전력 거래 시스템:

$$inc_{V,L}(t) = a(\triangle V_{ori}(t) - \triangle V_{res}(t)) + b(Loss_{ori}(t) - Loss_{res}(t))$$

청구항 4

제 2항에 있어서,

상기 인센티브는,

P2P 전력거래를 통해 전체 전압의 편차 합이 감소하고 손실 전이 감소하며 피크 전력 및 역송 전력이 감소하는 경우에 하기의 수학식을 이용하여 산정되는 P2P 전력 거래 시스템:

$$inc(t)=\begin{cases} inc_{V,L}(t)+c(P_{res}^{slack}(t)-P_{ori}^{slack}(t)) & \text{if, } t=t_A \\ inc_{V,L}(t)+c(P_{ori}^{slack}(t)-P_{res}^{slack}(t)) & \text{elseif, } t=t_B \\ inc_{V,L}(t) & \text{otherwise} \end{cases}$$

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 P2P 전력 거래 시스템에 관한 것으로서, 더욱 상세하게 설명하면 계통의 안정성과 프로슈머의 수익을 모두 고려할 수 있는 이중 경매 기반의 P2P 전력 거래 시스템에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 세계 발전 산업의 흐름이 탈 석탄화, 환경 친화, 분산 발전화로 기울어 감에 따라 기존에 저렴한 가격으로 전기를 생산해낼 수 있었던 석탄 발전이 온실 가스 발생 등의 환경문제로 인해 그 경쟁력을 잃고 있다.

[0003] 그에 대한 대안으로 기존의 발전 방식에 비해 상대적으로 깨끗한 에너지를 생산해내는 재생에너지 보급이 빠르게 확산되고 있으며, 에너지 산업 패러다임의 전 세계적인 변화에 따라 다양한 에너지 신기술이 등장하고 있다.

[0004] 그리고, 에너지 신기술과 함께 이웃과 전력거래가 가능한 구조인 Peer-to-Peer 전력거래(이하 “P2P 전력거래”라고 함)라는 개념이 등장하기 시작하였다.

[0005] P2P 전력거래는 전력회사를 통하지 않고 개인 간 전력을 공유 및 거래할 수 있는 시스템으로 정의되며, 에너지를 생산하기도 하면서 동시에 소비하는 ‘에너지 프로슈머’들 간에서 계통이 아닌 이웃에게 잉여 전력을 판매하는 방식을 나타낸다.

[0006] 국내에도 소규모 분산자원에 관한 관심이 급증하면서, 분산자원을 통해 생산된 전력을 쉽고 경제적으로 판매하기 위한 방법으로 P2P 전력거래가 거론되고 있으며, 최근에는 태양광 발전 시스템을 통해 생산된 전기를 이웃에게 판매할 수 있고, 기존에 한전에서 월마다 발급하였던 전기요금 고지서에 P2P 전력거래 수익 등에 대한 정보를 별도로 표시하여 발급한다는 정부의 발표도 있었다.

[0007] 또한, 정부는 이웃 간 전력거래가 가능하도록 하는 관련 법안을 개정하였는데, 이 법안에 따르면 10kW 이하의 태양광 발전 설비를 보유한 자를 “프로슈머”라고 지칭하고, 자가소비 후에도 발생하는 잉여전력을 거래 대상으로 지칭하였으며, 프로슈머와 전력구매자 간의 전력거래 범위는 전력 손실을 감안해 동일 배전망을 그 범위로 하였다.

[0008] 그러나, 종래의 P2P 전력거래는 최적화 함수의 제약에서 전압 및 송전 혼잡 등의 문제 관련 하한/상한 관련 식을 사용하거나 P2P 전력거래 이후의 결과로 나타나는 계통의 상황을 분석한 것이 대부분이었다. 이는 역조류나 선로손실 등의 계통 안정도를 평가할 수 있는 특정 변수의 제약범위를 넘어서는 상황일 때만 조치를 취하거나, 계통 안정도 평가만 하는 경우 P2P 전력 거래가 계통을 더 안정적으로 운영하도록 추가적인 조치를 할 수 없는 문제점이 있었다.

[0009] 본 발명의 배경이 되는 기술은 한국공개특허 제 10-2021-0152431 호(2021.12.15.공개)에 개시되어 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 이와 같이 본 발명에 따르면, 가상발전소(VPP)내의 자가 소비를 극대화하여 실시간 시장에서의 잉여 전력 구매 및 판매를 최소화하는 가상발전소 운영 방법을 제공하기 위한 것이다.

과제의 해결 수단

[0011] 이러한 기술적 과제를 이루기 위한 본 발명의 실시예에 따르면, P2P 전력 거래 시스템은 이중 경매 기반의 P2P 전력거래 참여를 통해 기존의 DMO(Distribution Market Operator)에서 획득한 전력 판매 및 구매 가격 정보와 P2P 전력거래 판매 및 구매 가격 정보를 이용하여 ESS의 최적 운영 정보를 출력하는 ESS 소유주 단말기. 판매자 즉, 프로슈머가 소지하고 있는 단말기로서, DMO의 전력 판매 및 구매 가격 범위 내에서 결정된 입찰 가격을 거래 서버에 전달하는 프로슈머 단말기, 구매자 즉, 컨슈머가 소지하고 있는 단말기로서, 컨슈머로부터 입력된 구매 가격 및 전력에 대한 정보를 거래 서버에 전달하는 컨슈머 단말기 그리고, 복수의 프로슈머로부터 입력된 판매 가격 및 전력과 복수의 컨슈머로부터 입력된 구매 가격 및 전력을 이용하여 P2P 거래 방법에 의해 거래 매칭을 수행하고, 거래 매칭이 되지 않은 프로슈머들과 컨슈머들을 DMO 거래 방법을 이용하여 매칭을 수행하는 거래 서버를 포함한다.

[0012] 상기 거래 서버는, 조류해석에 필요한 데이터를 배전계통운영자(Distribution System Operator, DSO)에게 전달하고, 전전력거래에 참여하기 전의 입력 데이터 기반의 조류해석과 참여했을 때의 입력 데이터 기반의 조류해석을 각각 수행한 다음, 상기 조류해석 결과를 이용하여 인센티브 또는 패널티를 산정할 수 있다.

[0013] 상기 패널티는, P2P 전력거래를 통해 전체 전압의 편차 합이 커지거나 손실 전력이 증가하는 경우에 하기의 수학식을 이용하여 산정될 수 있다.

$$inc_{V,L}(t) = a(\Delta V_{ori}(t) - \Delta V_{res}(t)) + b(Loss_{ori}(t) - Loss_{res}(t))$$

[0014]

[0015] 상기 인센티브는, P2P 전력거래를 통해 전체 전압의 편차 합이 감소하고 손실 전이 감소하며 피크 전력 및 역송 전력이 감소하는 경우에 하기의 수학식을 이용하여 산정될 수 있다.

$$inc(t) = \begin{cases} inc_{V,L}(t) + c(P_{res}^{slack}(t) - P_{ori}^{slack}(t)) & \text{if, } t = t_A \\ inc_{V,L}(t) + c(P_{ori}^{slack}(t) - P_{res}^{slack}(t)) & \text{elseif, } t = t_B \\ inc_{V,L}(t) & \text{otherwise} \end{cases}$$

[0016]

발명의 효과

[0017] 이와 같이 본 발명에 따르면, 한 명의 판매자와 다수의 구매자만 존재하였던 기존 경매 메커니즘에서 다수의 판매자와 다수의 구매자가 경매에 참여하는 이중 경매 메커니즘을 적용해 구매자의 가격협상력을 증대시킬 수 있고, 동적 계획법으로 계산의 복잡성을 감소시킴으로써 최적의 행동 결정을 도출해낼 수 있다.

[0018] 또한, 본 발명에 따르면, 전력거래 활동의 참여 대상을 프로슈머, 컨슈머, ESS 소유주, DMO(Distribution Market Operator), DSO(Distribution System Operator), TM(Trading Manager)로 세분화하여 전력거래 시 참여자 간 최적의 이익 도출을 위한 행동을 결정하도록 했고, 계통의 안정도에 긍정적인 영향을 주는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0019] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 P2P 전력 거래 시스템을 설명하기 위한 구성도이다.

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 이중 경매를 기반으로 하는 P2P 전력 거래 구조를 설명하기 위한 개념도이다.

도 3은 P2P 전력 거래 시스템을 구성하는 각 개체 간의 데이터 흐름을 나타내는 예시도이다.

도 4는 동적 계획법이 적용된 P2P 전력 거래 시스템 알고리즘을 설명하기 위한 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0020] 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 상세히 설명하기로 한다. 이 과정에서 도면에 도시된 선들의 두께나 구성요소의 크기 등은 설명의 명료성과 편의상 과장되게 도시되어 있을 수 있다.

[0021] 또한 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서, 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 이러한 용어들에 대한 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.

[0022] 이하에서는 도 1 내지 도 4를 이용하여 본 발명의 실시예에 따른 P2P 전력 거래 시스템에 대해 더욱 상세하게 설명한다.

[0023] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 P2P 전력 거래 시스템을 설명하기 위한 구성도이다.

[0024] 도 1에 도시된 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 P2P 전력 거래 시스템(100)은 ESS 소유주 단말기(110), 프로슈머 단말기(120), 컨슈머 단말기(130), 유통시장 운영자(Distribution Market Operator, DMO) 단말기(140), 배전망 운영사업자(Distribution System Operator, DSO) 단말기(150) 및 거래 서버(160)를 포함한다.

[0025] ESS 소유주 단말기(110)는 ESS 소유주가 소지하고 있는 단말기로서, 이중 경매 기반의 P2P 전력거래 참여를 통해 기존의 유통시장(DM)에서 획득한 전력 판매 및 구매 가격 정보와 P2P 전력거래 판매 및 구매 가격 정보를 이용하여 ESS의 최적 운영 정보를 출력한다.

[0026] 또한, ESS 소유주 단말기(110)는 기존의 ESS 최적 스케쥴링의 충/방전 경매를 기반으로 시간대에 따라 판매자 혹은 구매자로서 정보를 거래 서버에 전달한다.

[0027] 프로슈머 단말기(120)는 판매자 즉, 프로슈머가 소지하고 있는 단말기로서, DMO의 전력 판매 및 구매 가격 범위 내에서 결정된 입찰 가격을 거래 서버에 전달한다.

[0028] 컨슈머 단말기(130)는 구매자 즉, 컨슈머가 소지하고 있는 단말기로서, 컨슈머로부터 입력된 구매 가격 및 전력에 대한 정보를 거래 서버에 전달한다.

[0029] 마지막으로 거래 서버(160)는 프로슈머 단말기로부터 수신된 판매 가격 및 전력 정보를 이용하여 판매 가격이 가장 낮은 프로슈머부터 판매 가격이 가장 높은 프로슈머까지 정렬한다. 그리고, 거래 서버는 컨슈머 단말기로부터 수신된 구매 가격 및 전력 정보를 이용하여 구매 가격이 가장 높은 컨슈머부터 판매 가격이 가장 낮은 컨슈머까지 정렬한다.

[0030] 그 다음, 거래 서버는 프로슈머 그룹과 컨슈머 그룹의 판매 가격 및 전력, 구매 가격 및 전력을 이용하여 P2P 거래 방법에 의해 거래 매칭을 수행한다. 그리고 거래 서버는 거래 매칭이 되지 않은 프로슈머 그룹과 컨슈머 그룹을 DMO 거래 방법을 이용하여 매칭을 수행한다.

[0031] 한편 거래 서버는 조류해석에 필요한 데이터를 DSO(Distribution System Operator)에게 제출하고 전력거래에 참여하기 전의 입력 데이터 기반의 조류해석과 참여했을 때의 입력 데이터 기반의 조류해석을 각각 수행한다.

[0032] 그 다음, 거래 서버는 P2P 전력거래를 통해 달라진 시간 단위로 수행되는 조류해석 결과를 바탕으로 인센티브(패널티)를 산정한다. 이때, P2P 전력거래를 통해 전체 전압의 편차 합이 커지거나 손실 전력이 증가한다면, 거래 서버는 하기의 수학식 1을 이용하여 패널티를 산정한다.

수학식 1

[0033] $$inc_{V,L}(t) = a(\Delta V_{ori}(t) - \Delta V_{res}(t)) + b(Loss_{ori}(t) - Loss_{res}(t))$$

[0034] 반면에 P2P 전력거래를 통해 전체 전압의 편차 합이 감소하고 손실 전이 감소하며 피크 전력 및 역송 전력이 감소한다면, 거래 서버는 하기의 수학식 2를 이용하여 인센티브를 산정한다.

수학식 2

$$inc(t)=\begin{cases} inc_{V,L}(t)+c(P_{res}^{slack}(t)-P_{ori}^{slack}(t)) & \text{if, } t=t_A \\ inc_{V,L}(t)+c(P_{ori}^{slack}(t)-P_{res}^{slack}(t)) & \text{elseif, } t=t_B \\ inc_{V,L}(t) & otherwise \end{cases}$$

[0035]

[0036] 그 다음, 거래 서버는 이중 경매를 기반으로 매칭이 완료되면, 매칭 전력 데이터를 프로슈머 단말기 및 컨슈머 단말기에 각각 전달한다.

[0037] 이와 같이 본 발명에 따르면, 한 명의 판매자와 다수의 구매자만 존재하였던 기존 경매 메커니즘에서 다수의 판매자와 다수의 구매자가 경매에 참여하는 이중 경매 메커니즘을 적용해 구매자의 가격협상력을 증대시킬 수 있고, 동적 계획법으로 계산의 복잡성을 감소시킴으로써 최적의 행동 결정을 도출해낼 수 있다.

[0038] 또한, 본 발명에 따르면, 전력거래 활동의 참여 대상을 프로슈머, 컨슈머, ESS 소유주, DMO(Distribution Market Operator), DSO(Distribution System Operator), TM(Trading Manager)로 세분화하여 전력거래 시 참여자 간 최적의 이익 도출을 위한 행동을 결정하도록 했고, 계통의 안정도에 긍정적인 영향을 주는 효과가 있다.

[0040] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 하여 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 당해 기술이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호범위는 아래의 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

[0041] 100 : P2P 전력 거래 시스템

110 : ESS 소유주 단말기

120 : 프로슈머 단말기

130 : 컨슈머 단말기

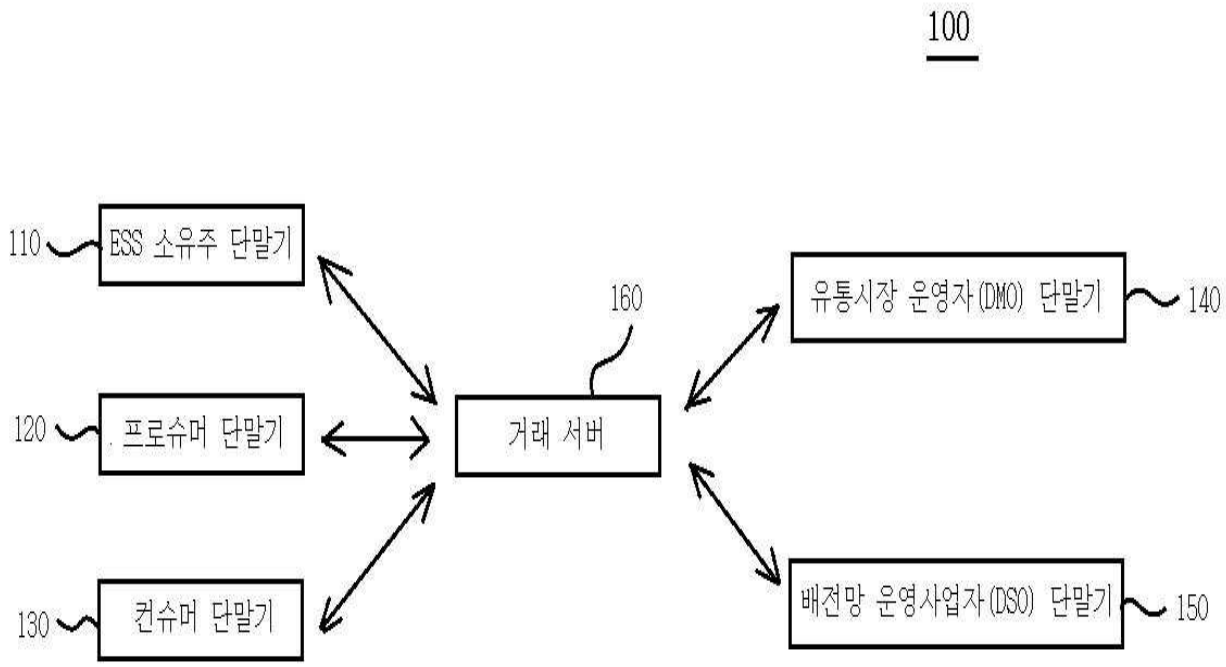
140 : 유통시장 운영자(DMO) 단말기

150 : 배전망 운영사업자(DSO) 단말기

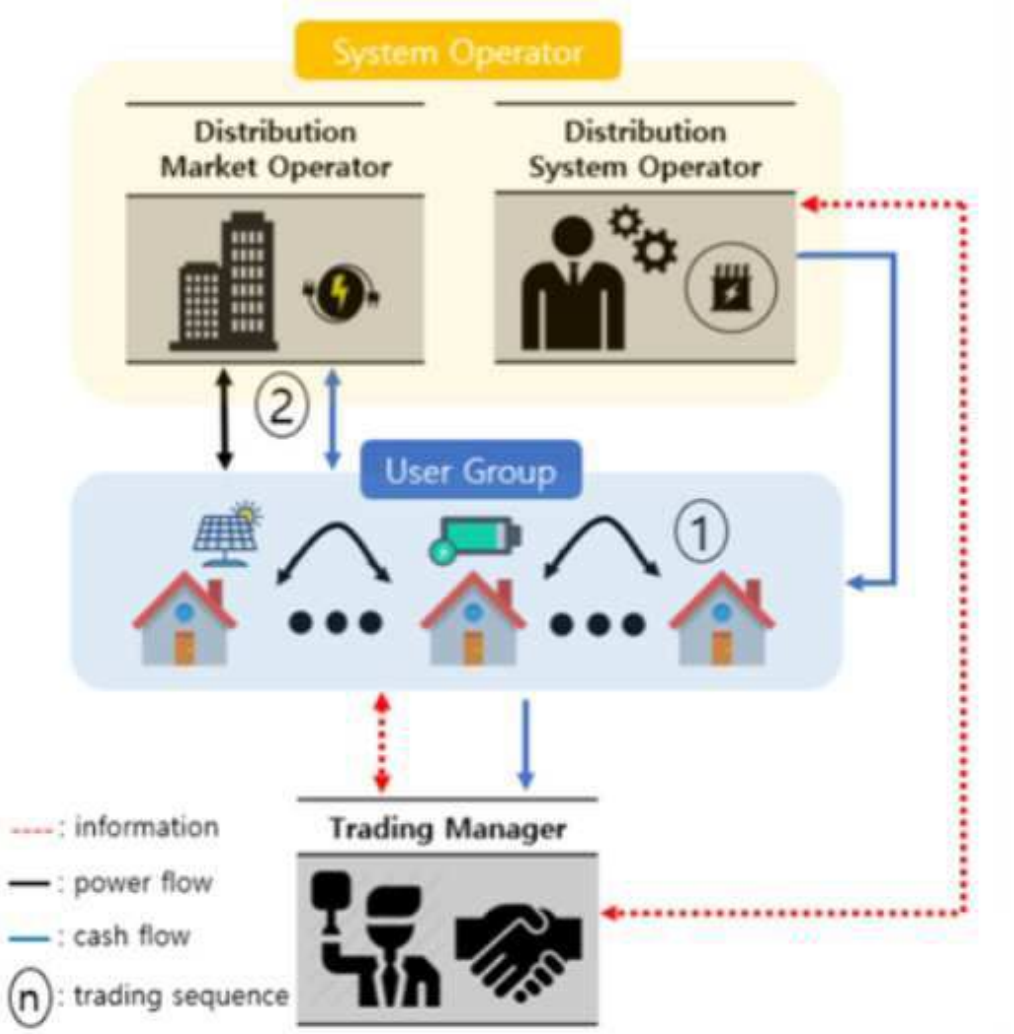
160 : 거래 서버

도면

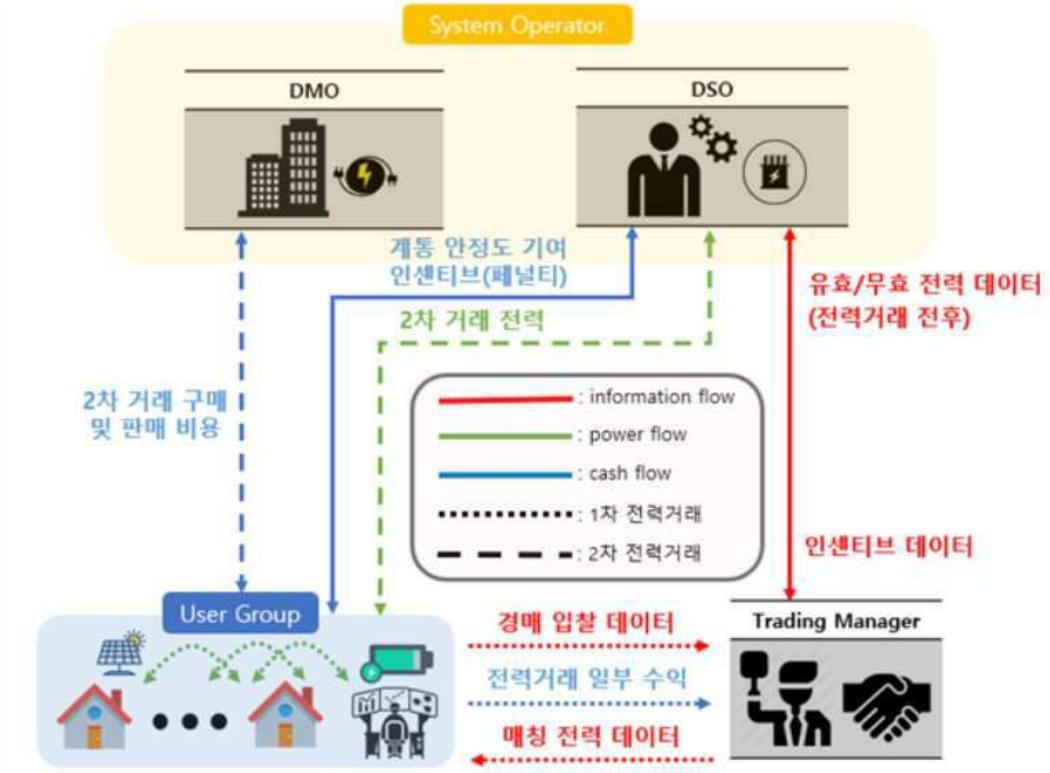
도면1


100
110
ESS 소유주 단말기
120
프로슈머 단말기
130
컨슈머 단말기
160
거래 서버
유통시장 운영자(DMO) 단말기
140
배전망 운영사업자(DSO) 단말기
150

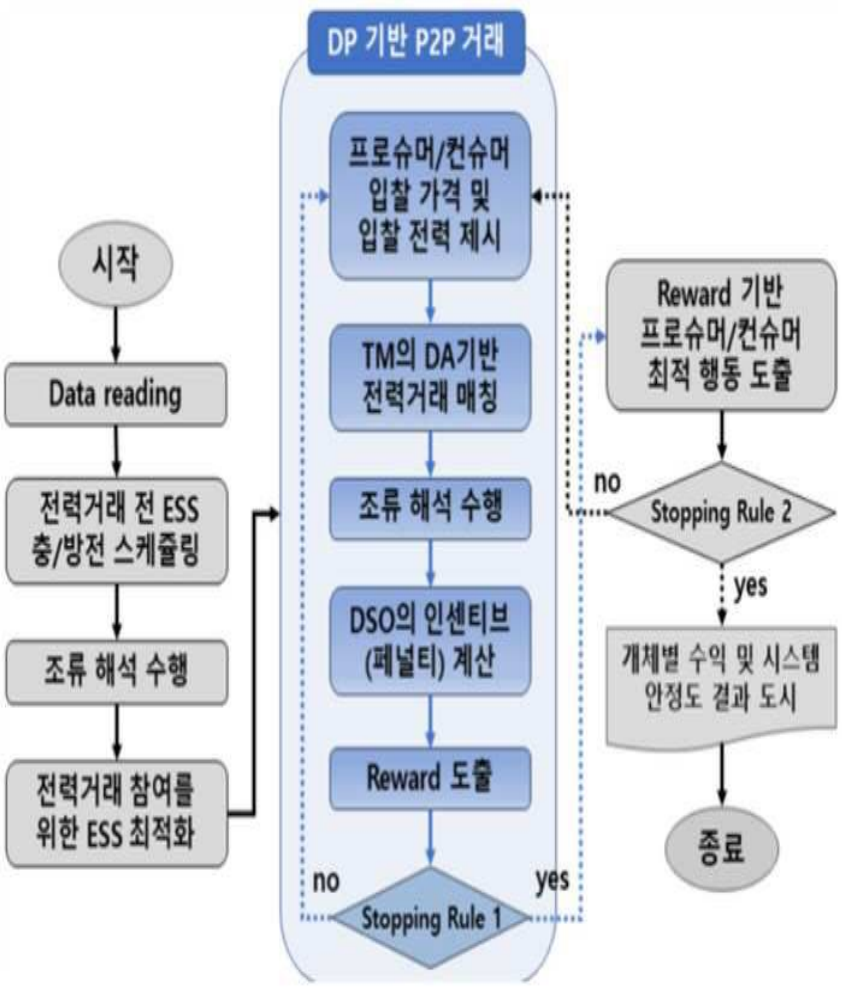
도면2


System Operator
Distribution Market Operator
Distribution System Operator
2
User Group
1
: information
: power flow
: cash flow
n : trading sequence
Trading Manager

도면3


System Operator
DMO
DSO
계통 안정도 기여
인센티브(페널티)
2차 거래 전력
유효/무효 전력 데이터
(전력거래 전후)
2차 거래 구매
및 판매 비용
: information flow
: power flow
: cash flow
: 1차 전력거래
: 2차 전력거래
인센티브 데이터
User Group
경매 입찰 데이터
전력거래 일부 수익
매칭 전력 데이터
Trading Manager

도면4


DP 기반 P2P 거래
시작
Data reading
전력거래 전 ESS 충/방전 스케줄링
조류 해석 수행
전력거래 참여를 위한 ESS 최적화
프로슈머/컨슈머 입찰 가격 및 입찰 전력 제시
TM의 DA기반 전력거래 매칭
조류 해석 수행
DSO의 인센티브 (페널티) 계산
Reward 도출
no
Stopping Rule 1
yes
Reward 기반 프로슈머/컨슈머 최적 행동 도출
no
Stopping Rule 2
yes
개체별 수익 및 시스템 안정도 결과 도시
종료