



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2023년04월10일

(11) 등록번호 10-2520313

(24) 등록일자 2023년04월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06Q 50/06 (2012.01) G06N 3/12 (2023.01)
G06Q 30/02 (2023.01)

(52) CPC특허분류
G06Q 50/06 (2013.01)
G06N 3/126 (2023.01)

(21) 출원번호 10-2020-0180516

(22) 출원일자 2020년12월22일

심사청구일자 2020년12월22일

(65) 공개번호 10-2022-0089880

(43) 공개일자 2022년06월29일

(56) 선행기술조사문헌

JP2009245044 A*

(뒷면에 계속)

(73) 특허권자

연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

(72) 발명자

홍대훈

서울시 서대문구 연세로 50 연세대학교 제1공학관 A409

안중백

서울시 서대문구 연세로 50 연세대학교 제1공학관 A473

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

김인철

전체 청구항 수 : 총 13 항

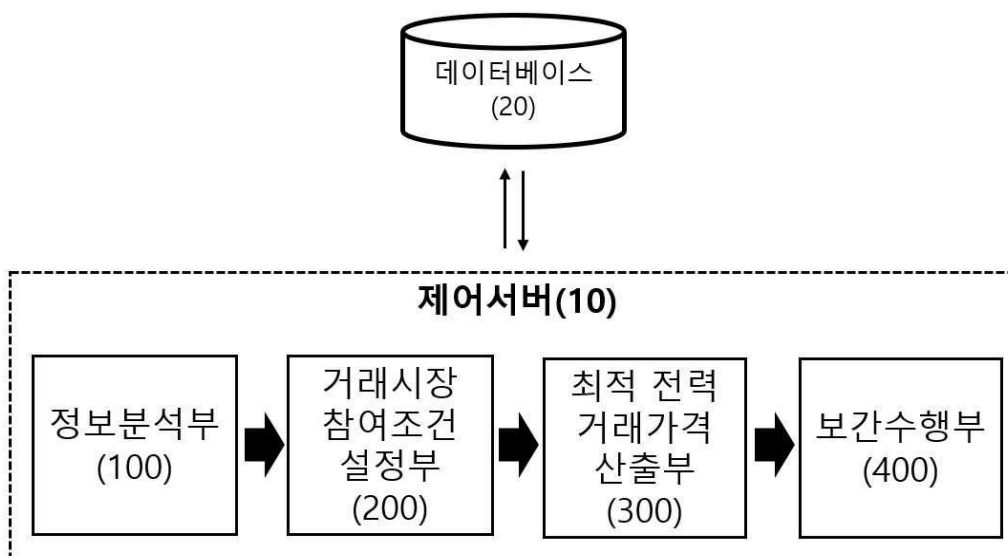
심사관 : 유선중

(54) 발명의 명칭 유전자 알고리즘을 이용한 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머의 최적 전력거래가격 결정시스템 및 결정방법

(57) 요약

본 발명은 연산기능을 가진 제어서버(10) 및 전력요금정보와 태양광발전량정보를 포함하는 정보데이터가 저장된 데이터베이스(20)가 네트워크로 연결되고, 컴퓨터에 의해 실행되는 전력거래가격 결정시스템으로서, 제어서버(10)는 데이터베이스(20)에 저장된 정보를 통해, 균등화발전원가(LCOE), 연간 태양광 발전량 및 전생애주기비용(LCC)를 산출하고, 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머의 정보를 정의하는 정보 분석부(100); 에너지 프로슈머의 최소 전력거래가격과 에너지 컨슈머의 최대 전력거래가격을 산출하는 거래시장 참여조건 설정부(200); 및 유전자 알고리즘을 통해 최적 전력거래가격을 산출하는 최적 전력거래가격 산출부(300)를 포함하는 것을 특징으로 하는 유전자 알고리즘을 이용한 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머의 최적 전력거래가격 결정시스템이다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G06Q 30/0283 (2023.01)

Y04S 50/10 (2013.01)

(72) 발명자

이민현

서울시 서대문구 연세로 50 연세대학교 제1공학관
A473

강현아

서울시 서대문구 연세로 50 연세대학교 제1공학관
A472

(56) 선행기술조사문헌

JP5063146 B2*

KR101911403 B1*

KR1020180101669 A*

이유수 외 1명, 에너지 프로슈머 활성화를 위한 제
도개선 방안 연구, 에너지경제연구원, 수시 연구
보고서, 2017.04.12*

이철용 외 9명, 태양광 원가분석을 통한 균등화 비
용 국제 비교 분석, 에너지경제연구원, 기본 연구
보고서, 2017.12.31.*

KR1020090073937 A

KR1020130127697 A

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1615011232

과제번호 151880

부처명 국토교통부

과제관리(전문)기관명 국토교통과학기술진흥원

연구사업명 국토교통기술촉진연구(R&D)

연구과제명 에너지 프로슈머 활성화를 위한, 커뮤니티 기반의 분산형 에너지 개인 간 거래(P2P)

사업 모델 평가 소프트웨어 개발

기 여 율 1/1

과제수행기관명 연세대학교 산학협력단

연구기간 2020.01.01 ~ 2020.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

연산기능을 가진 제어서버 및 전력요금정보와 태양광발전량정보를 포함하는 정보데이터가 저장된 데이터베이스가 네트워크로 연결되고, 컴퓨터에 의해 실행되는 전력거래가격 결정시스템으로서, 제어서버는

데이터베이스에 저장된 정보를 통해, 균등화발전원가(LCOE), 연간 태양광 발전량 및 전생애주기비용(LCC)를 산출하고, 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머의 정보를 정의하는 정보 분석부; 에너지 프로슈머의 최소 전력거래가격과 에너지 컨슈머의 최대 전력거래가격을 산출하는 거래시장 참여조건 설정부; 및 유전자 알고리즘을 통해 최적 전력거래가격을 산출하는 최적 전력거래가격 산출부를 포함하며,

상기 최적 전력거래가격 산출부는 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머의 이익을 표준화하는 표준화부; 적합도함수를 정의하여 에너지 컨슈머의 전력요금 절감액과 에너지 프로슈머의 잉여전력 판매이익을 도출하는 적합도함수부; 및 유전자알고리즘을 통해 파레토 최적해를 도출하는 최적해 도출부를 포함하며,

상기 적합도함수부는 다음 수학적식 8 및 수학적식 9를 통해 에너지 컨슈머의 전력요금 절감액(A)과 에너지 프로슈머의 잉여전력 판매이익(B)을 도출하며, 상기 적합도함수부는 다음의 수학적식 10으로 적합도함수를 정의하고,

상기 수학적식 10에 따른 적합도함수는 상호 트레이드 오프(trade-off) 관계에 있는 에너지 컨슈머의 전력요금 절감액(A)과 에너지 프로슈머의 잉여전력 판매이익(B) 모두를 최대화하는 최적화 목표를 가지며, 에너지 컨슈머와 에너지 프로슈머의 이익은 상기 수학적식 10의 적합도함수에 따른 가중치를 통해 동일 수준 또는 다른 수준으로 조절가능한 것을 특징으로 하는 유전자 알고리즘을 이용한 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머의 최적 전력거래가격 결정시스템.

[수학적식 8]

$$A = CE(C_1 - EP) + TP \times EP - CE(C_1)$$

[수학적식 9]

$$B = -CE(P_2) + TP \times (MEG - P_3) + CE(P_2 - (MEG - P_3))$$

[수학적식 10]

$$\text{적합도함수} = \sqrt{W_A(1 - S_A)^2 + W_B(1 - S_B)^2}$$

(수학적식 8, 9에서, CE(x)는 전력소비량 x에 따른 전력 요금을 의미한다. C₁은 에너지 컨슈머의 월 전력 소비량을 의미한다. EP(kWh)는 P2P 거래를 통해 에너지 프로슈머로부터 구매한 전력량을 의미한다. TP는 전력거래가격을 의미한다. MEG(kWh)는 태양광 발전 시스템의 발전량을 의미한다. P₂(kWh)는 실제 수전량을 의미한다. P₃(kWh)는 자가소비한 전력량을 의미한다.)

(수학적식 10에서, W_A 및 W_B는 S_A와 S_B의 가중치를 의미한다. S_A 및 S_{AB}는 표준화된 목적함수(Z_A) 및 목적함수(Z_B)의 값을 의미한다.)

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 정보 분석부는

태양광 발전시스템의 균등화발전원가(LCOE)를 다음 수학적식 1로 산출하는 것을 특징으로 하는 유전자 알고리즘을

이용한 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머의 최적 전력거래가격 결정시스템.

[수학식 1]

$$LCOE_{PV} = \frac{IIC + \sum_{y=1}^Y \frac{O\&M_y + RC_y}{(1+r)^y}}{\sum_{y=1}^Y \frac{EG_y \times (1-d)^y}{(1+r)^y}}$$

(여기서, $LCOE_{PV}$ (원/kWh)는 태양광 발전 시스템의 균등화발전비용 (LCOE)을 의미한다. $O\&M_y$ (원)는 y 년도의 운영 및 유지비용을 의미한다. IIC (원)는 초기투자비용을 의미한다. RC_y (원)는 y 년도의 교체비용을 의미한다. EG_y (kWh)는 연간 발전량을 의미한다. d 는 연간 성능저하율을 의미한다. r 은 실질할인율을 의미한다. Y (년)는 태양광 발전 시스템의 유효수명을 의미한다.)

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 정보 분석부는

월(month) 및 자가소비율 정보는 에너지 프로슈머의 정보로 정의하고,

계절(season) 및 전력구매율 정보는 에너지 컨슈머의 정보로 정의하고,

월별 전력소비량 정보는 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머의 공통 정보로 정의하는 것을 특징으로 하는 유전자 알고리즘을 이용한 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머의 최적 전력거래가격 결정시스템.

청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 거래시장 참여조건 설정부는

에너지 프로슈머가 전력 거래 시장에 참여하기 위한 최소 전력거래 가격을 다음의 수학식 4로 산출하는 것을 특징으로 하는 유전자 알고리즘을 이용한 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머의 최적 전력거래가격 결정시스템.

[수학식 4]

$$TP_{\min} \geq \max(LCOE_{PV}, \frac{CE(P_2) - CE(P_2 - (MEG - P_3))}{(MEG - P_3)})$$

(여기서, TP_{\min} (원)은 에너지 프로슈머의 최소 전력거래 가격을 의미한다. $LCOE_{PV}$ (원/kWh)는 태양광 발전 시스템의 균등화발전비용 (LCOE)을 의미한다. $CE(x)$ 는 전력소비량 x 에 따른 전력 요금을 의미한다. P_2 (kWh)는 실제 수전량을 의미한다. P_3 (kWh)는 자가소비한 전력량을 의미한다. MEG (kWh)는 태양광 발전 시스템의 발전량을 의미한다.)

청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 거래시장 참여조건 설정부는

에너지 컨슈머의 최대 전력거래가격을 다음의 수학식 6으로 산출하는 것을 특징으로 하는 유전자 알고리즘을 이용한 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머의 최적 전력거래가격 결정시스템.

[수학식 6]

$$TP_{\max} \leq \frac{CE(C_1) - CE(C_1 - EP)}{EP}$$

(여기서, TP_{\max} 은 에너지 컨슈머의 최대 전력거래 가격을 의미한다. $CE(x)$ (kWh)는 전력소비량 x 에 따른 전력요금을 의미한다. C_1 은 에너지 컨슈머의 월 전력 소비량을 의미한다($C_1 > EP$). EP (kWh)는 P2P 거래를 통해 에너지 프로슈머로부터 구매한 전력량을 의미한다.)

청구항 6

삭제

청구항 7

청구항 1에 있어서,

상기 표준화부는

다음 수학식 7을 통해 표준화를 수행하는 것을 특징으로 하는 유전자 알고리즘을 이용한 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머의 최적 전력거래가격 결정시스템.

[수학식 7]

$$S_A = \left| \frac{Z_A - Z_A^{\min}}{Z_A^{\max} - Z_A^{\min}} \right|$$

$$S_B = \left| \frac{Z_B - Z_B^{\min}}{Z_B^{\max} - Z_B^{\min}} \right|$$

(여기서, Z_A^{\max} 및 Z_B^{\max} 는 목적함수(Z_A) 및 목적함수(Z_B)의 최대값을 의미한다. Z_A^{\min} 및 Z_B^{\min} 는 목적함수(Z_A) 및 목적함수(Z_B)의 최소값을 의미한다. S_A 및 S_B 는 표준화된 목적함수(Z_A) 및 목적함수(Z_B)의 값을 의미한다.)

청구항 8

삭제

청구항 9

삭제

청구항 10

청구항 1에 있어서,

상기 최적해 도출부는

전력가격(TP)의 범위에 속하는 임의의 값들을 수학식 10의 적합도함수에 입력하여, 적합도함수값이 최소값이 될 때의 값을 최적 전력거래가격으로 결정하는 것을 특징으로 하는 유전자 알고리즘을 이용한 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머의 최적 전력거래가격 결정시스템.

청구항 11

청구항 1에 있어서,

최적 전력거래가격 산출부에서 결정된 이산화된 최적 전력거래가격으로 다항함수 보간을 수행하는 보간수행부가 더 구비되는 것을 특징으로 하는 유전자 알고리즘을 이용한 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머의 최적 전력거래 가격 결정시스템.

청구항 12

청구항 11에 있어서,

상기 보간수행부는 다음 수학적 식 11로 보간된 다항함수를 검증하는 것을 특징으로 하는 유전자 알고리즘을 이용한 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머의 최적 전력거래가격 결정시스템.

[수학적 식 11]

$$MAPE = \left(\sum_{i=0}^n \left| \frac{AV_i - EV_i}{AV_i} \right| \times \frac{1}{n} \right) \times 100$$

(여기서, MAPE는 평균 절대 백분율 오차를 의미한다. AV_i는 실제값을 의미한다. EV_i는 보간된 다항함수를 통해 얻은 결과값을 의미한다. n은 항의 개수를 의미한다.)

청구항 13

연산기능을 가진 제어서버 및 전력요금정보와 태양광발전량정보를 포함하는 정보데이터가 저장된 데이터베이스가 네트워크로 연결되고, 컴퓨터에 의해 실행되는 전력거래가격 결정방법으로서, 제어서버는

정보 분석부가 데이터베이스에 저장된 정보를 통해, 균등화발전원가(LCOE), 연간 태양광 발전량 및 전생애주기 비용(LCC)을 산출하고, 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머의 정보를 정의하는 S100 단계; 거래시장 참여조건 설정부가 에너지 프로슈머의 최소 전력거래가격과 에너지 컨슈머의 최대 전력거래가격을 산출하는 S200 단계; 및 최적 전력거래가격 산출부가 유전자 알고리즘을 통해 최적 전력거래가격을 산출하는 S300 단계를 수행하며,

S300 단계의 최적 전력거래가격 산출부는 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머의 이익을 표준화하는 표준화부; 적합도함수를 정의하여 에너지 컨슈머의 전력요금 절감액과 에너지 프로슈머의 잉여전력 판매이익을 도출하는 적합도함수부; 및 유전자알고리즘을 통해 파레토 최적해를 도출하는 최적해 도출부를 포함하며,

다음 수학적 식 8 및 수학적 식 9를 통해 에너지 컨슈머의 전력요금 절감액(A)과 에너지 프로슈머의 잉여전력 판매이익(B)을 도출하며, 상기 적합도함수부는 다음의 수학적 식 10으로 적합도함수를 정의하며,

상기 수학적 식 10에 따른 적합도함수는 상호 트레이드 오프(trade-off) 관계에 있는 에너지 컨슈머의 전력요금 절감액(A)과 에너지 프로슈머의 잉여전력 판매이익(B) 모두를 최대화하는 최적화 목표를 가지며, 에너지 컨슈머와 에너지 프로슈머의 이익은 상기 수학적 식 10의 적합도함수에 따른 가중치를 통해 동일 수준 또는 다른 수준으로 조절가능한 것을 특징으로 하는 유전자 알고리즘을 이용한 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머의 최적 전력거래 가격 결정방법.

[수학적 식 8]

$$A = CE(C_1 - EP) + TP \times EP - CE(C_1)$$

[수학적 식 9]

$$B = -CE(P_2) + TP \times (MEG - P_3) + CE(P_2 - (MEG - P_3))$$

[수학적 식 10]

$$\text{적합도함수} = \sqrt{W_A(1 - S_A)^2 + W_B(1 - S_B)^2}$$

(수학적 식 8, 9에서, CE(x)는 전력소비량 x에 따른 전력 요금을 의미한다. C₁은 에너지 컨슈머의 월 전력 소비량

을 의미한다. EP(kWh)는 P2P 거래를 통해 에너지 프로슈머로부터 구매한 전력량을 의미한다. TP 는 전력거래가 격을 의미한다. MEG (kWh)는 태양광 발전 시스템의 발전량을 의미한다. P_2 (kWh)는 실제 수전량을 의미한다. P_3 (kWh)는 자가소비한 전력량을 의미한다.)

(수학식 10에서, W_A 및 W_B 는 S_A 와 S_B 의 가중치를 의미한다. S_A 및 S_{AB} 는 표준화된 목적함수(Z_A) 및 목적함수(Z_B)의 값을 의미한다.)

청구항 14

삭제

청구항 15

청구항 13에 있어서,

상기 표준화부는

다음 수학식 7을 통해 표준화를 수행하는 것을 특징으로 하는 유전자 알고리즘을 이용한 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머의 최적 전력거래가격 결정방법.

[수학식 7]

$$S_A = \left| \frac{Z_A - Z_A^{\min}}{Z_A^{\max} - Z_A^{\min}} \right|$$

$$S_B = \left| \frac{Z_B - Z_B^{\min}}{Z_B^{\max} - Z_B^{\min}} \right|$$

(여기서, Z_A^{\max} 및 Z_B^{\max} 는 목적함수(Z_A) 및 목적함수(Z_B)의 최대값을 의미한다. Z_A^{\min} 및 Z_B^{\min} 는 목적함수(Z_A) 및 목적함수(Z_B)의 최소값을 의미한다. S_A 및 S_{AB} 는 표준화된 목적함수(Z_A) 및 목적함수(Z_B)의 값을 의미한다.)

청구항 16

삭제

청구항 17

삭제

청구항 18

청구항 11에 있어서,

상기 최적해 도출부는

전력가격(TP)의 범위에 속하는 임의의 값들을 수학식 10의 적합도함수에 입력하여, 적합도함수값이 최소값이 될 때의 값을 최적 전력거래가격으로 결정하는 것을 특징으로 하는 유전자 알고리즘을 이용한 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머의 최적 전력거래가격 결정방법.

청구항 19

하드웨어와 결합되어,

청구항 13, 청구항 15 또는 청구항 18 중 어느 한 항에 기재된 유전자 알고리즘을 이용한 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머의 최적 전력거래가격 결정방법을 컴퓨터에 의해 실행시키기 위하여 컴퓨터가 판독 가능한 기록매체에 저장된 컴퓨터 프로그램.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 최적 전력거래가격 결정시스템 및 결정방법에 관한 것이다. 구체적으로는 유전자 알고리즘을 이용한 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머의 최적 전력거래가격 결정시스템 및 결정방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근 태양열, 풍력 또는 소규모 열병합 발전 시스템과 같은 분산 발전 시스템에 대한 관심의 증가로 인해 전력의 최종 사용자는 "에너지 컨슈머(Energy Consumer)"로서의 전통적인 역할에서 벗어나 "에너지 프로슈머(Energy Prosumer)"로 변화하고 있다.

[0003] 에너지 프로슈머는 분산 발전 시스템을 통해 생산한 전력을 자가소비하고, 남은 잉여전력을 통해 수익을 창출할 수 있다

[0004] 다만, 현재는 한국전력공사와의 계약을 통해 상계거래를 하는 방법과 에너지저장장치 (Energy Storage System: ESS)에 잉여전력을 저장했다가 추후 사용하는 방법 두 가지가 있다. 그러나, ESS는 많은 기존 연구에서 경제성을 확보하기 힘들다고 하였으며, 상계거래는 고정된 가격에 판매하기 때문에 큰 수익을 얻기 어렵다.

[0005] 따라서, 본 발명에서는 잉여전력의 판매를 통해 더 많은 수익을 창출할 수 있도록 P2P 전력거래를 도입하고자 하였다.

[0006] P2P 전력거래 방식은 에너지 프로슈머가 분산 발전 시스템을 통해 생산한 전력 중 자가소비하고 남은 전력을 같은 전력망 내의 에너지 컨슈머에게 판매함으로써 이익을 창출할 수 있을 뿐만 아니라 장거리 송전에 따른 전력 손실 감소 및 지역에 대한 전력 공급의 안정화로 분산형 에너지 발전의 장점을 극대화시킬 수 있다.

[0007] 이와 관련하여 P2P 전력거래와 관련된 다양한 기술이 연구 및 개발중에 있다. 그런데, 각 국가별로 특화된 모델(예로, PICLO, Vandebron, Yeloha 등)을 제시하거나, 에너지 프로슈머의 에너지 소비패턴을 고려한 전력 판매가격 산정 등 에너지 프로슈머 또는 에너지 컨슈머의 이익을 극대화하는 것에 초점이 맞춰져 있는 문제점이 있었다. 그러나, P2P 전력거래시장이 성립하기 위해서는 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머 모두 적절한 수준의 이익을 얻는 것이 필수적이다.

[0008] 또한, 앞서 말한 바와 같이 각 국가별로 전력요금제도 및 전력시장 현황이 다르다. 하지만, 종래의 기술은 주로 실시간 거래를 통해 P2P 전력거래가 수행되기 때문에 대한민국의 전력요금제도와 맞지 않는 문제점이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0009] (특허문헌 0001) (문헌 1) 한국등록특허공보 제10-2128363호 (2020.06.24)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 본 발명에 따른 유전자 알고리즘을 이용한 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머의 최적 전력거래가격 결정시스템 및 결정방법은 다음과 같은 해결과제를 가진다.

[0011] 첫째, 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머의 전력거래시장 참여조건을 설정하고자 한다.

[0012] 둘째, P2P 전력거래시에, 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머가 동일한 수준의 이익을 얻을 수 있는 가격을 정하고자 한다.

[0013] 본 발명의 해결과제는 이상에서 언급한 것들에 한정되지 않으며, 언급되지 아니한 다른 해결과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0014] 본 발명은 연산기능을 가진 제어서버 및 전력요금정보와 태양광발전량정보를 포함하는 정보데이터가 저장된 데이터베이스가 네트워크로 연결되고, 컴퓨터에 의해 실행되는 전력거래가격 결정시스템으로서, 제어서버는 데이터베이스에 저장된 정보를 통해, 균등화발전원가(LCOE), 연간 태양광 발전량 및 전생애주기비용(LCC)을 산출하고, 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머의 정보를 정의하는 정보 분석부; 에너지 프로슈머의 최소 전력거래가격과 에너지 컨슈머의 최대 전력거래가격을 산출하는 거래시장 참여조건 설정부; 및 유전자 알고리즘을 통해 최적 전력거래가격을 산출하는 최적 전력거래가격 산출부를 포함할 수 있다.

[0015] 본 발명에 있어서, 상기 정보 분석부는 태양광 발전시스템의 균등화발전원가(LCOE)를 다음 수학적 식 1로 산출할 수 있다.

[0016] [수학적 식 1]

$$LCOE_{PV} = \frac{IIC + \sum_{y=1}^Y \frac{O\&M_y + RC_y}{(1+r)^y}}{\sum_{y=1}^Y \frac{EG_y \times (1-d)^y}{(1+r)^y}}$$

[0017]

[0018] (여기서, $LCOE_{PV}$ (원/kWh)는 태양광 발전 시스템의 균등화발전비용 (LCOE)을 의미한다. $O\&M_y$ (원)는 y 년도의 운영 및 유지비용을 의미한다. IIC (원)는 초기투자비용을 의미한다. RC_y (원)는 y 년도의 교체비용을 의미한다. EG_y (kWh)는 연간 발전량을 의미한다. d 는 연간 성능저하율을 의미한다. r 은 실질할인율을 의미한다. Y (연)는 태양광 발전 시스템의 유효수명을 의미한다.)

[0019] 본 발명에 있어서, 상기 정보 분석부는 월(month) 및 자가소비율 정보는 에너지 프로슈머의 정보로 정의하고, 계절(season) 및 전력구매율 정보는 에너지 컨슈머의 정보로 정의하고, 월별 전력소비량 정보는 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머의 공통 정보로 정의할 수 있다.

[0020] 본 발명에 있어서, 상기 거래시장 참여조건 설정부는 에너지 프로슈머가 전력 거래 시장에 참여하기 위한 최소 전력거래 가격을 다음의 수학적 식 4로 산출할 수 있다.

[0021] [수학적 식 4]

$$TP_{\min} \geq \max(LCOE_{PV}, \frac{CE(P_2) - CE(P_2 - (MEG - P_3))}{(MEG - P_3)})$$

[0022]

[0023] (여기서, TP_{\min} (원)은 에너지 프로슈머의 최소 전력거래 가격을 의미한다. $LCOE_{PV}$ (원/kWh)는 태양광 발전 시스템의 균등화발전비용 (LCOE)을 의미한다. $CE(x)$ 는 전력소비량 x 에 따른 전력 요금을 의미한다. P_2 (kWh)는 실제 수전량을 의미한다. P_3 (kWh)는 자가소비한 전력량을 의미한다. MEG (kWh)는 태양광 발전 시스템의 발전량을 의미한다.)

[0024] 본 발명에 있어서, 상기 거래시장 참여조건 설정부는 에너지 컨슈머의 최대 전력거래가격을 다음의 수학적 식 6으로 산출할 수 있다.

[0025] [수학적 식 6]

$$TP_{\max} \leq \frac{CE(C_1) - CE(C_1 - EP)}{EP}$$

[0026]

[0027] (여기서, TP_{\max} 은 에너지 컨슈머의 최대 전력거래 가격을 의미한다. $CE(x)$ (kWh)는 전력소비량 x 에 따른 전력요금을 의미한다. C_1 은 에너지 컨슈머의 월 전력 소비량을 의미한다($C_1 > EP$). EP (kWh)는 P2P 거래를 통해 에너지 프로슈머로부터 구매한 전력량을 의미한다.)

[0028] 본 발명에 있어서, 상기 최적 전력거래가격 산출부는 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머의 이익을 표준화하는 표준화부; 적합도함수를 정의하여 에너지 컨슈머의 전력요금 절감액과 에너지 프로슈머의 잉여전력 판매이익을 도

출하는 적합도함수부; 및 유전자알고리즘을 통해 파레토 최적해를 도출하는 최적해 도출부를 포함할 수 있다.

본 발명에 있어서, 상기 표준화부는 다음 수학적 7을 통해 표준화를 수행할 수 있다.

[수학적 7]

$$S_A = \left| \frac{Z_A - Z_A^{\min}}{Z_A^{\max} - Z_A^{\min}} \right|$$

$$S_B = \left| \frac{Z_B - Z_B^{\min}}{Z_B^{\max} - Z_B^{\min}} \right|$$

(여기서, Z_A^{\max} 및 Z_B^{\max} 는 목적함수(Z_A) 및 목적함수(Z_B)의 최대값을 의미한다. Z_A^{\min} 및 Z_B^{\min} 는 목적함수(Z_A) 및 목적함수(Z_B)의 최소값을 의미한다. S_A 및 S_B 는 표준화된 목적함수(Z_A) 및 목적함수(Z_B)의 값을 의미한다.)

본 발명에 있어서, 상기 적합도함수부는 다음 수학적 8 및 수학적 9를 통해 에너지 컨슈머의 전력요금 절감액(A)과 에너지 프로슈머의 잉여전력 판매이익(B)을 도출할 수 있다.

[수학적 8]

$$A = CE(C_1 - EP) + TP \times EP - CE(C_1)$$

[수학적 9]

$$B = -CE(P_2) + TP \times (MEG - P_3) + CE(P_2 - (MEG - P_3))$$

(여기서, CE(x) 는 전력소비량 x에 따른 전력 요금을 의미한다. C_1 은 에너지 컨슈머의 월 전력 소비량을 의미한다. EP(kWh)는 P2P 거래를 통해 에너지 프로슈머로부터 구매한 전력량을 의미한다. TP 는 전력거래가격을 의미한다. MEG (kWh)는 태양광 발전 시스템의 발전량을 의미한다. P_2 (kWh)는 실제 수전량을 의미한다. P_3 (kWh)는 자가소비한 전력량을 의미한다.)

본 발명에 있어서, 상기 적합도함수부는 다음의 수학적 10으로 적합도함수를 정의할 수 있다. 수학적 10에 따른 적합도함수는 상호 트레이드 오프(trade-off) 관계에 있는 에너지 컨슈머의 전력요금 절감액(A)과 에너지 프로슈머의 잉여전력 판매이익(B) 모두를 최대화하는 최적화 목표를 가지며, 에너지 컨슈머와 에너지 프로슈머의 이익은 수학적 10의 적합도함수에 따른 가중치를 통해 동일 수준 또는 다른 수준으로 조절가능하다.

[수학적 10]

$$\text{적합도함수} = \sqrt{W_A(1 - S_A)^2 + W_B(1 - S_B)^2}$$

(여기서, W_A 및 W_B 는 S_A 와 S_B 의 가중치를 의미한다. S_A 및 S_B 는 표준화된 목적함수(Z_A) 및 목적함수(Z_B)의 값을 의미한다.)

본 발명에 있어서, 상기 최적해 도출부는 전력가격(TP)의 범위에 속하는 임의의 값들을 수학적 10의 적합도함수에 입력하여, 적합도함수값이 최소값이 될 때의 값을 최적 전력거래가격으로 결정할 수 있다.

본 발명에 있어서, 최적 전력거래가격 산출부에서 결정된 이산화된 최적 전력거래가격으로 다항함수 보간을 수행하는 보간수행부가 더 구비될 수 있다.

본 발명에 있어서, 상기 보간수행부는 다음 수학적 11로 보간된 다항함수를 검증할 수 있다.

[0046] [수학식 11]

$$MAPE = \left(\sum_{i=0}^n \left| \frac{AV_i - EV_i}{AV_i} \right| \times \frac{1}{n} \right) \times 100$$

[0047]

[0048] (여기서, MAPE는 평균 절대 백분율 오차를 의미한다. AV_i는 실제값을 의미한다. EV_i는 보간된 다항함수를 통해 얻은 결과값을 의미한다. n은 항의 개수를 의미한다.)

[0049] 본 발명은 연산기능을 가진 제어서버 및 전력요금정보와 태양광발전량정보를 포함하는 정보데이터가 저장된 데이터베이스가 네트워크로 연결되고, 컴퓨터에 의해 실행되는 전력거래가격 결정방법으로서, 제어서버는 정보 분석부가 데이터베이스에 저장된 정보를 통해, 균등화발전원가(LCOE), 연간 태양광 발전량 및 전생애주기비용(LCC)를 산출하고, 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머의 정보를 정의하는 S100 단계; 거래시장 참여조건 설정부가 에너지 프로슈머의 최소 전력거래가격과 에너지 컨슈머의 최대 전력거래가격을 산출하는 S200 단계; 및 최적 전력거래가격 산출부가 유전자 알고리즘을 통해 최적 전력거래가격을 산출하는 S300 단계를 수행할 수 있다.

[0050] 본 발명에 있어서, S300 단계의 최적 전력거래가격 산출부는 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머의 이익을 표준화하는 표준화부; 적합도함수를 정의하여 에너지 컨슈머의 전력요금 절감액과 에너지 프로슈머의 잉여전력 판매이익을 도출하는 적합도함수부; 및 유전자알고리즘을 통해 파레토 최적해를 도출하는 최적해 도출부를 포함할 수 있다.

[0051] 본 발명에 있어서, 상기 표준화부는 다음 수학식 7을 통해 표준화를 수행할 수 있다.

[0052] [수학식 7]

$$S_A = \left| \frac{Z_A - Z_A^{\min}}{Z_A^{\max} - Z_A^{\min}} \right|$$

$$S_B = \left| \frac{Z_B - Z_B^{\min}}{Z_B^{\max} - Z_B^{\min}} \right|$$

[0053]

[0054] (여기서, Z_A^{max} 및 Z_B^{max}는 목적함수(Z_A) 및 목적함수(Z_B)의 최대값을 의미한다. Z_A^{min} 및 Z_B^{min}는 목적함수(Z_A) 및 목적함수(Z_B)의 최소값을 의미한다. S_A 및 S_{AB}는 표준화된 목적함수(Z_A) 및 목적함수(Z_B)의 값을 의미한다.)

[0055] 본 발명에 있어서, 상기 적합도함수부는 다음 수학식 8 및 수학식 9를 통해 에너지 컨슈머의 전력요금 절감액(A)과 에너지 프로슈머의 잉여전력 판매이익(B)을 도출할 수 있다.

[0056] [수학식 8]

$$A = CE(C_1 - EP) + TP \times EP - CE(C_1)$$

[0057]

[0058] [수학식 9]

$$B = -CE(P_2) + TP \times (MEG - P_3) + CE(P_2 - (MEG - P_3))$$

[0059]

[0060] (여기서, CE(x)는 전력소비량 x에 따른 전력 요금을 의미한다. C₁은 에너지 컨슈머의 월 전력 소비량을 의미한다. EP(kWh)는 P2P 거래를 통해 에너지 프로슈머로부터 구매한 전력량을 의미한다. TP는 전력거래가격을 의미한다. MEG(kWh)는 태양광 발전 시스템의 발전량을 의미한다. P₂(kWh)는 실제 수전량을 의미한다. P₃(kWh)는 자가소비한 전력량을 의미한다.)

[0061] 본 발명에 있어서, 상기 적합도함수부는 다음의 수학식 10으로 적합도함수를 정의할 수 있다. 수학식 10에 따른 적합도함수는 상호 트레이드 오프(trade-off) 관계에 있는 에너지 컨슈머의 전력요금 절감액(A)과 에너지 프로

슈머의 잉여전력 판매이익(B) 모두를 최대화하는 최적화 목표를 가지며, 에너지 컨슈머와 에너지 프로슈머의 이익은 수학식 10의 적합도함수에 따른 가중치를 통해 동일 수준 또는 다른 수준으로 조절가능하다.

[0062] [수학식 10]

$$\text{적합도함수} = \sqrt{W_A(1-S_A)^2 + W_B(1-S_B)^2}$$

(여기서, W_A 및 W_B 는 S_A 와 S_B 의 가중치를 의미한다. S_A 및 S_{AB} 는 표준화된 목적함수(Z_A) 및 목적함수(Z_B)의 값을 의미한다.

본 발명에 있어서, 상기 최적해 도출부는 전력가격(TP)의 범위에 속하는 임의의 값들을 수학식 10의 적합도함수에 입력하여, 적합도함수값이 최소값이 될 때의 값을 최적 전력거래가격으로 결정할 수 있다.

본 발명은 하드웨어와 결합되어, 본 발명에 따른 유전자 알고리즘을 이용한 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머의 최적 전력거래가격 결정방법을 컴퓨터에 의해 실행시키기 위하여 컴퓨터가 판독 가능한 기록매체에 저장된 컴퓨터 프로그램으로 구현될 수 있다.

발명의 효과

본 발명에 따른 유전자 알고리즘을 이용한 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머의 최적 전력거래가격 결정시스템 및 결정방법은 다음과 같은 효과를 가진다.

첫째, 에너지 프로슈머의 최소 전력거래가격과 에너지 컨슈머의 최대 전력거래가격을 산출하여 전력거래시장 참여조건을 설정하는 효과가 있다.

둘째, 유전자알고리즘을 통해 에너지 프로슈머와 에너지 프로슈머가 동일한 수준의 이익을 얻을 수 있는 최적 전력거래가격을 결정하는 효과가 있다.

본 발명의 효과는 이상에서 언급된 것들에 한정되지 않으며, 언급되지 아니한 다른 효과들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

도 1은 본 발명에 따른 최적 전력거래가격 결정시스템의 구성도이다.

도 2는 본 발명에 따른 최적 전력거래가격 결정방법의 순서도이다.

도 3 및 도 4는 각각 월 전력소비량이 350kWh, 550kWh인 에너지 프로슈머가 에너지 컨슈머와 P2P 전력거래를 할 때 최적 전력거래 가격을 보여준다.

도 5 및 도 6은 각각 월 전력소비량이 350kWh, 550kWh인 에너지 컨슈머가 에너지 프로슈머와 P2P 전력거래를 할 때 최적 전력거래 가격을 보여준다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

이하, 첨부한 도면을 참조하여, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 본 발명의 실시예를 설명한다. 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 이해할 수 있는 바와 같이, 후술하는 실시예는 본 발명의 개념과 범위를 벗어나지 않는 한도 내에서 다양한 형태로 변형될 수 있다. 가능한 한 동일하거나 유사한 부분은 도면에서 동일한 도면부호를 사용하여 나타낸다.

본 명세서에서 사용되는 전문용어는 단지 특정 실시예를 언급하기 위한 것이며, 본 발명을 한정하는 것을 의도하지는 않는다. 여기서 사용되는 단수 형태들은 문구들이 이와 명백히 반대의 의미를 나타내지 않는 한 복수 형태들도 포함한다.

본 명세서에서 사용되는 "포함하는"의 의미는 특정 특성, 영역, 정수, 단계, 동작, 요소 및/또는 성분을 구체화하며, 다른 특정 특성, 영역, 정수, 단계, 동작, 요소, 성분 및/또는 군의 존재나 부가를 제외시키는 것은 아니다.

본 명세서에서 사용되는 기술용어 및 과학용어를 포함하는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 일반적으로 이해하는 의미와 동일한 의미를 가진다. 사전에 정의된 용어들은 관련기술문헌

과 현재 개시된 내용에 부합하는 의미를 가지는 것으로 추가 해석되고, 정의되지 않는 한 이상적이거나 매우 공식적인 의미로 해석되지 않는다.

- [0077] 본 발명은 분산형 발전을 통해 생산한 전력을 개인 간 (Peer-to-Peer; 이하 P2P) 거래할 경우, 전력거래 가격을 결정하는 방법에 관한 것이다. 구체적으로는, P2P 전력거래를 통해 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머가 이익을 얻기 위한 최소 및 최대가격을 결정하고, 이를 기반으로 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머가 동일한 수준의 이익을 얻을 수 있는 '최적 전력거래 가격'을 도출하는 방법에 관한 것이다.
- [0078] 본 발명에서의 P2P(Peer to Peer) 거래는 개인↔개인, 기관↔기관, 집단↔집단, 마이크로 그리드↔마이크로 그리드를 포함하는데, 본 명세서에서는 개인과 개인의 거래를 중심으로 설명하고자 한다.
- [0080] 본 발명은 P2P 전력거래 시장에 참여하는 에너지 프로슈머와 컨슈머가 최적의 수익을 얻을 수 있는 최적 전력거래 가격을 도출하는 것을 목표로 하여 대한민국에서 P2P 전력거래 정책을 성공적으로 수립하고자 하였다.
- [0081] 전력시장의 구조와 전기 요금 부과 방법이 국가마다 다르기 때문에 최적의 전력 거래 가격 산정에 큰 영향을 미칠 수 있는 점에서 본 연구는 우리나라 전력 시장의 현황을 반영하고자 하였다.
- [0082] 본 발명은 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머가 P2P 전력거래 시장에 참여하였을 때 이익을 얻을 수 있는 조건을 분석하여, 에너지 프로슈머는 LCOE와 최소 전력판매 가격을, 에너지 컨슈머는 최대 전력구매 가격을 계산하고, 이를 기반으로 다목적 최적화를 통해 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머가 동일한 수준의 이익을 얻을 수 있는 최적 전력거래 가격을 결정하는 방법에 관한 것이다.
- [0083] 본 발명은 '실시간 가격 분석'이 아닌 '월 단위 가격 분석'을 기반으로, 현재 대한민국의 전력요금 정산방법을 고려하여 최적 전력거래 가격을 책정할 수 있다.
- [0084] 본 발명은 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머가 동일한 수준의 이익을 얻을 수 있는 가격뿐만 아니라, 가중치의 조정을 통해 이를 조절할 수 있는 방법을 제시할 수 있다.
- [0085] 본 발명은 태양광 발전 시스템의 균등화발전비용을 분석하여, 태양광 발전 시스템의 설치 및 운영, 유지비용을 보전할 수 있는 최소 전력거래 가격을 책정할 수 있다.
- [0086] 본 발명은 P2P 전력거래 시장에 참여하는 에너지 프로슈머와 컨슈머가 최적의 수익을 얻을 수 있는 최적 전력거래 가격을 도출하는 것을 목표로 하여 대한민국에서 P2P 전력거래 정책을 성공적으로 수립하고자 하였다.
- [0087] 전력시장의 구조와 전기 요금 부과 방법이 국가마다 다르기 때문에 최적의 전력 거래 가격 산정에 큰 영향을 미칠 수 있는 점에서 본 연구는 우리나라 전력 시장의 현황을 다음과 같이 반영하고자 하였다.
- [0089] 이하에서는 도면을 참고하여 본 발명을 설명하고자 한다. 참고로, 도면은 본 발명의 특징을 설명하기 위하여, 일부 과장되게 표현될 수도 있다. 이 경우, 본 명세서의 전 취지에 비추어 해석되는 것이 바람직하다.
- [0091] 본 발명은 연산기능을 가진 제어서버(10) 및 전력요금정보와 태양광발전량정보를 포함하는 정보데이터가 저장된 데이터베이스(20)가 네트워크로 연결되고, 컴퓨터에 의해 실행되는 전력거래가격 결정시스템으로 구현될 수 있다.
- [0092] 본 발명에 따른 제어서버(10)는 정보 분석부(100), 거래시장 참여조건 설정부(200) 및 최적 전력거래가격 산출부(300)를 포함한다. 또한 보관수행부(400)를 더 포함할 수 있다.
- [0093] 본 발명에 따른 정보 분석부(100)는 데이터베이스(20)에 저장된 정보를 통해, 균등화발전원가(LCOE), 연간 태양광 발전량 및 전생애주기비용(LCC)을 산출하고, 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머의 정보를 정의할 수 있다.
- [0094] 본 발명에 따른 거래시장 참여조건 설정부(200)는 에너지 프로슈머의 최소 전력거래가격과 에너지 컨슈머의 최대 전력거래가격을 산출할 수 있다.
- [0095] 본 발명에 따른 최적 전력거래가격 산출부(300)는 유전자 알고리즘을 통해 최적 전력거래가격을 산출할 수 있다.
- [0097] 이하에서는 본 발명에 따른 정보 분석부(100)를 설명하고자 한다.
- [0098] 본 발명에 따른 정보 분석부(100)는 데이터베이스(20)에 저장된 정보를 통해, 균등화발전원가(LCOE), 연간 태양광 발전량 및 전생애주기비용(LCC)을 산출하고, 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머의 정보를 정의할 수 있다.
- [0100] 본 발명에서는 전력거래 가격에 영향을 미치는 요인으로 전력 요금제와 균등화발전비용(LCOE: Levelized Cost

of Electricity) 두 가지 요소를 고려하였다.

[0101] 우리나라의 전력 요금제에는 다음과 같다. 대한민국은 1973년 세계 석유파동 이후 주택용 전력요금제에 누진세를 도입하였으며, 최종적으로 2016년 12월 전력요금 개편 이후 3단계, 3배수로 운영되고 있다. 그러나, 이로 인해 200kWh 이하의 전력을 사용하는 소비자의 전력요금이 증가하여 기초사용량보장공제 제도를 신설하였다. 또한, 여름철에는 일반적으로 냉방으로 인해 전력이 많이 소비되기 때문에, 누진구간을 완화해서 운영하고 있다.

[0103] 표 1은 한국전력공사에서 제공하는 현재의 전력요금제를 나타낸 것이다.

표 1

분류	누진구간		기본요금	전력요금
			(원/호)	(원/kWh)
평시	구간 1	~ 200kWh	910	93.3
	구간 2	201 ~ 400kWh	1,600	187.9
	구간 3	401kWh ~	7,300	280.6
여름	구간 1	~ 300kWh	910	93.3
	구간 2	301 ~ 500kWh	1,600	187.9
	구간 3	501kWh ~	7,300	280.6

[0104]

[0105] 에너지 프로슈머가 P2P 전력거래를 통해 잉여전력을 판매할 때, 전력생산(투자)비용을 보전하기 위한 최소 전력 거래 가격을 산출하기 위해서는, LCOE를 고려해야 한다.

[0106] LCOE는 다양한 크기, 에너지원, 비용 등 다양한 기술로 생산되는 단위 전력 당 발전 단가를 비교하기 위해 정의된 개념이다. 따라서, 에너지 프로슈머의 관점에서 LCOE는 해당 시스템의 손익분기점을 달성하기 위한 최저 가격이라 할 수 있다.

[0107] 본 발명에 따른 정보 분석부(100)는 태양광 발전시스템의 균등화발전원가(LCOE)를 다음 수학적 식 1로 산출할 수 있다.

수학적 식 1

$$LCOE_{PV} = \frac{IIC + \sum_{y=1}^Y \frac{O\&M_y + RC_y}{(1+r)^y}}{\sum_{y=1}^Y \frac{EG_y \times (1-d)^y}{(1+r)^y}}$$

[0108]

[0109] (여기서, $LCOE_{PV}$ (원/kWh)는 태양광 발전 시스템의 균등화발전비용 (LCOE)을 의미한다. $O\&M_y$ (원)는 y년도의 운영 및 유지비용을 의미한다. IIC (원)는 초기투자비용을 의미한다. RC_y (원)는 y년도의 교체비용을 의미한다. EG_y (kWh)는 연간 발전량을 의미한다. d 는 연간 성능저하율을 의미한다. r 은 실질할인율을 의미한다. Y (연)는 태양광 발전 시스템의 유효수명을 의미한다.)

[0111] 태양광 발전 시스템의 발전량을 계산하기 위하여 캐나다 CanmetENERGY research centres에서 개발한 RETScreen ver.4를 사용하여 연간 태양광 발전량을 계산하였다. 이때, 태양광 발전 시스템의 설치 조건을 표 2와 같이 가 정하였다.

표 2

분류		상세
시설 유형		주거용
설치 목적		자가소비
태양광 발전 시스템	추적 방법	고정형
	방위	남향 (0°)
	경사각	33°
	설치 용량	3kW
인버터	용량	3kW
성능저하율		25년 동안 연간 0.8%

[0112]

[0113] 표 2에서, 시설 유형은 전력 요금 누진제로 인하여 P2P 전력거래를 도입하였을 경우 잉여전력의 거래를 통한 이익이 가장 클 것으로 예상되는 주거용 건물을 대상으로 하였다.

[0114] 설치 목적은 태양광 발전 시스템의 설치 목적에 따라서 에너지 프로슈머가 얻을 수 있는 이익이 변화하게 된다. 본 발명에서는 에너지 프로슈머가 태양광 발전 시스템을 통해 생산한 전력을 자가소비한 뒤 남은 잉여 전력을 통해 전력거래를 수행하는 것을 가정하였으므로, 설치 목적은 자가소비로 가정하였다.

[0115] 추적 방법은 본 발명 태양광 패널 (solar photovoltaic; solar PV)을 대상으로 분석을 진행하므로, 추적 방법을 fixed로 설정하였다.

[0116] 방위는 대한민국은 북반구에 위치하여, 일반적으로 남향일 때 태양광 패널의 발전량이 최대로 나타난다. 따라서 태양광 패널의 방위는 남향으로 설정하였다.

[0117] 경사각은 경사각은 태양광 패널의 발전에 있어 중요한 요소이다. 본 발명에서는 서울에서 발전량이 최대가 되는 경사각인 33° 로 설정하였다.

[0118] 설치 용량은 대한민국에서는 태양광 패널의 용량이 3kW 이하일 때 설치보조금을 지급하고 있다. 따라서 본 발명에서는 태양광 발전 시스템의 설치 용량 및 태양광 인버터 용량을 3kW로 설정하였다.

[0119] 연간 성능저하율은 기존 연구에 따르면, 태양광 패널의 수명은 25년이며, 이 기간동안 약 20% 감소하는 것으로 나타났다. 따라서, 본 발명에서는 이를 고려하여 연간 성능저하율을 0.8%라고 가정하였다.

[0121] 최종적으로 태양광 발전 시스템의 LCOE를 산출하기 위하여 전생애주기비용을 계산하였다. 이를 위해 전생애주기 비용 분석에 대한 가정사항을 표 3과 같이 설정하였다.

표 3

분류		상세
분석 시작 시점		2019
분석 종료 시점		2043 (2019년부터 25년간)
실질 할인율	전력가격 상승률	3.06%
	이자율	0.80%
설치 비용	유닛 당 가격	1,064,000원/kW
	보조금	560,000원/kW
운영 및 유지비용	운영 및 유지율 및 주기	설치 비용의 1% (매년)
교체 비용	교체율 및 주기	설치 비용의 9.5% (13년마다)

[0122]

[0123] 표 3에서, 분석 시작 시점: 분석 시작 시점은 최근의 태양광 발전 시장을 반영하기 위하여, 2019년으로 설정하였다.

[0124] 분석 종료 시점은 분석 종료 시점은 기존 연구에서 제시한 태양광 발전 시스템의 유효수명이 25년임을 고려하여

2043년으로 설정하였다.

- [0125] 실질 할인율은 실질 할인율은 다음과 같은 기관에서 관련 데이터를 수집하여 계산하였다: (i) 계통한계가격 (system marginal price; SMP)은 전력통계정보시스템에서 제공하는 데이터를 참조하였다; (ii) 명목이자율과 인플레이션률은 한국은행 경제통계시스템에서 제공하는 데이터를 참조하였다.
- [0126] 설치 비용은 설치 비용은 우리나라의 태양광 발전 사업 및 대여 사업 관련 서비스 업체인 해썬의 데이터를 기반으로 1,064,000원/kW으로 책정하였다. 그러나, 자가소비를 목적으로 건물에 설치하는 주거용 태양광 발전 시스템 (3kW 이하)의 경우, 신재생에너지 보급사업에 의거하여 560,000원/kW의 보조금을 정부로부터 지원받을 수 있다.
- [0127] 운영 및 유지비용과 교체 비용은 운영 및 유지비용과 교체 비용은 기존 연구를 기반으로 각각 설치 비용의 1% (매년) 그리고 9.5% (매 13년 마다)로 설정하였으며, 운영 및 유지비용은 매년 태양광 발전 시스템의 비용을, 교체 비용은 인버터의 교체 비용을 의미한다.
- [0129] 본 발명에 따른 정보 분석부(100)는 월(month) 및 자가소비율 정보는 에너지 프로슈머의 정보로 정의하고, 계절 (season) 및 전력구매율 정보는 에너지 컨슈머의 정보로 정의하고, 월별 전력소비량 정보는 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머의 공통 정보로 정의할 수 있다.
- [0131] 보다 구체적으로 설명하면, 본 발명에서는 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머의 입장에서 수익성이 보장되는 최소, 최대가격 데이터 베이스를 구축하기 위해 다음과 같이 3가지 기준을 정의할 수 있다.
- [0132] 제1 기준으로서, 에너지 프로슈머 입장에서는 월을, 에너지 컨슈머 입장에서는 계절을 정의하였다. 이는, 에너지 프로슈머의 경우, 태양광 발전 시스템의 발전량이 월별로 달라지기 때문에 전력거래 가격이 이에 따라 달라지고, 에너지 컨슈머의 경우 계절에 따라 전력요금 누진구간이 변화하여 전력거래 가격이 달라지기 때문이다.
- [0133] 제2 기준으로서, 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머 모두의 입장에서 월별 전력소비량을 정의하였다. 이는, 같은 양의 전력을 거래한다고 하더라도 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머의 월별 전력소비량에 따라 누진세에 기반한 전력요금과 이익이 달라지기 때문이다.
- [0134] 제3 기준으로서, 에너지 프로슈머의 입장에서 자가소비율을, 에너지 컨슈머의 입장에서 전력구매율을 정의하였다. 이는, 자가소비율이 에너지 프로슈머가 판매할 수 있는 전력량을, 전력구매율은 에너지 컨슈머가 구매하는 전력량을 결정하여 최소 및 최대가격 산정에 영향을 주기 때문이다(표 4 참조).

표 4

분류		설명
공통	월 전력소비량	50-600kWh (50kWh 간격)
	자가소비율	10-90% (10% 간격)
에너지 프로슈머	월	1월 - 12월
	전력구매율	10-90% (10% 간격)
에너지 컨슈머	계절	평시, 여름

- [0135]
- [0137] 이하에서는 본 발명에 따른 거래시장 참여조건 설정부(200)를 설명한다.
- [0138] 본 발명에 따른 거래시장 참여조건 설정부(200)는 에너지 프로슈머의 최소 전력거래가격과 에너지 컨슈머의 최대 전력거래가격을 산출할 수 있다.
- [0140] 본 발명에서는 에너지 프로슈머와 컨슈머가 P2P 전력거래를 통해 수익을 얻을 수 있는 최소, 최대 전력거래 가격을 산출하기 위하여 각각의 P2P 전력거래시장 참여 조건을 설정하였다.
- [0142] 먼저, 에너지 프로슈머의 최소 전력거래가격을 설명한다.
- [0143] 에너지 프로슈머는 기존의 전력거래 매커니즘인 상계거래를 통해 잉여전력을 판매하는 것 보다 더 많은 수익을 얻을 수 있다면, P2P 전력거래를 통해 잉여전력을 판매할 것이다. 이 경우 다음의 수학적 2를 만족해야 한다. 수학적 2에서 좌변은 P2P 전력거래 시 이익이고, 우변은 상계거래 시 이익이다.

수학식 2

$$CE(P_1) - CE(P_2) + TP_{\min} \times (MEG - P_3) \geq CE(P_1) - CE(P_2 - (MEG - P_3))$$

[0144]

[0145] 여기서 $CE(x)$ 는 전력소비량 x 에 따른 전력 요금을 의미한다. P_1 (kWh)는 에너지 프로슈머의 월별 전력소비량을 의미한다($P_1 = P_2 + P_3$). P_2 (kWh)는 실제 수전량을 의미한다. P_3 (kWh)는 자가소비한 전력량을 의미한다. MEG (kWh)는 태양광 발전 시스템의 발전량을 의미한다. TP_{\min} (원)은 에너지 프로슈머의 최소 전력거래 가격을 나타낸다.

[0147] 수학식 2를 기반으로 에너지 프로슈머가 P2P 전력거래를 통해 판매할 수 있는 잉여전력의 최소 거래가격은 다음의 수학식 3으로 정리할 수 있다.

수학식 3

$$TP_{\min} \geq \frac{CE(P_2) - CE(P_2 - (MEG - P_3))}{(MEG - P_3)}$$

[0148]

[0150] 또한, 에너지 프로슈머가 건물에 설치한 태양광 발전 시스템의 설치 및 운영, 유지비용이 보전되어야 한다.

[0151] 따라서 에너지 프로슈머의 최소 전력거래 가격은 태양광 발전 시스템의 LCOE 보다 커야 한다.

[0153] 이에, 본 발명에 따른 거래시장 참여조건 설정부(200)는 에너지 프로슈머가 P2P 전력 거래 시장에 참여하기 위한 최소 전력거래 가격을 다음의 수학식 4로 산출할 수 있다.

수학식 4

$$TP_{\min} \geq \max(LCOE_{PV}, \frac{CE(P_2) - CE(P_2 - (MEG - P_3))}{(MEG - P_3)})$$

[0154]

[0155] 여기서, TP_{\min} (원)은 에너지 프로슈머의 최소 전력거래 가격을 의미한다. $LCOE_{PV}$ (원/kWh)는 태양광 발전 시스템의 균등화발전비용 (LCOE)을 의미한다.

[0156] $CE(x)$ 는 전력소비량 x 에 따른 전력 요금을 의미한다.

[0157] P_2 (kWh)는 실제 수전량을 의미한다.

[0158] P_3 (kWh)는 자가소비한 전력량을 의미한다.

[0159] MEG (kWh)는 태양광 발전 시스템의 발전량을 의미한다.

[0161] 다음으로, 에너지 컨슈머의 최대 전력거래가격을 설명한다.

[0162] 대한민국의 전력시장은 한전이 설립한 자회사에서 생산한 전력을 한전에서 모두 구매한 후 이를 전력소비자에게 판매하는 구조로 되어있다.

[0163] 즉 현재 대한민국의 에너지 소비자는 한전에서만 전력을 구매할 수 있다. 따라서, 본 발명에서는 한전에서 전력을 구매하는 것과 에너지 프로슈머로부터 잉여전력을 구매하는 것을 비교하였다.

[0164] 결과적으로, 에너지 컨슈머는 한전에서 전력을 모두 구매하는 비용이 에너지 프로슈머로부터 전력의 일부를 구매하는 비용이 높을 경우 P2P 전력거래를 할 것이다. 이에 따라 수학식 5를 만족해야한다.

[0165] 수학식 5에서 좌변은 P2P 전력거래 시 전력요금이고, 우변은 상계거래 시 전력요금이다.

수학식 5

$$[0166] \quad CE(C_1 - EP) + TP_{\max} \times EP \leq CE(C_1)$$

[0167] 여기서, TP_{\max} 은 에너지 컨슈머의 최대 전력거래 가격을 의미한다. $CE(x)$ (kWh)는 전력소비량 x 에 따른 전력요금을 의미한다. C_1 은 에너지 컨슈머의 월 전력 소비량을 의미한다($C_1 > EP$). EP (kWh)는 P2P 거래를 통해 에너지 프로슈머로부터 구매한 전력량을 의미한다.

[0169] 본 발명에 따른 거래시장 참여조건 설정부(200)는 수학식 5에 기반하여, 에너지 컨슈머의 최대 전력거래가격을 다음의 수학식 6으로 산출할 수 있다.

수학식 6

$$[0170] \quad TP_{\max} \leq \frac{CE(C_1) - CE(C_1 - EP)}{EP}$$

[0171] 여기서, TP_{\max} 은 에너지 컨슈머의 최대 전력거래 가격을 의미한다. $CE(x)$ (kWh)는 전력소비량 x 에 따른 전력요금을 의미한다. C_1 은 에너지 컨슈머의 월 전력 소비량을 의미한다($C_1 > EP$). EP (kWh)는 P2P 거래를 통해 에너지 프로슈머로부터 구매한 전력량을 의미한다.

[0173] 이하에서는 본 발명에 따른 최적 전력거래가격 산출부(300)를 설명한다.

[0174] 본 발명에 따른 최적 전력거래가격 산출부(300)는 유전자 알고리즘을 통해 최적 전력거래가격을 산출할 수 있다.

[0175] 본 발명은 도출된 잉여 전력의 최소 및 최대 거래 가격을 기반으로 에너지 컨슈머 및 프로슈머의 최적 전력거래 가격을 도출하는 데 있어서, 트레이드 오프(trade-off) 문제를 해결하기 위해 유전자알고리즘(genetic algorithm; GA)과 파레토(pareto) 최적해를 도입하였다.

[0177] 본 발명에 따른 최적 전력거래가격 산출부(300)는 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머의 이익을 표준화하는 표준화부(310); 적합도함수를 정의하여 에너지 컨슈머의 전력요금 절감액과 에너지 프로슈머의 잉여전력 판매이익을 도출하는 적합도함수부(320); 및 유전자알고리즘을 통해 파레토 최적해를 도출하는 최적해 도출부(330)을 포함할 수 있다.

[0179] 먼저, 본 발명에 따른 표준화부(310)를 설명한다.

[0180] 본 발명에서는 최대 및 최소 극점을 정의하여 목표함수(objective function)인 에너지 컨슈머 및 에너지 프로슈머의 이익을 표준화 (standardization)할 수 있다. 이러한 표준화 과정을 통해 에너지 프로슈머의 이익과 에너지 소비자의 이익은 0과 1 사이의 값을 갖게 변환될 수 있다.

[0181]

[0182] 본 발명에 따른 표준화부(310)는 다음 수학식 7을 통해 표준화를 수행할 수 있다.

수학식 7

$$S_A = \left| \frac{Z_A - Z_A^{\min}}{Z_A^{\max} - Z_A^{\min}} \right|$$

$$S_B = \left| \frac{Z_B - Z_B^{\min}}{Z_B^{\max} - Z_B^{\min}} \right|$$

[0183]

[0184] 여기서, Z_A^{\max} 및 Z_B^{\max} 는 목적함수(Z_A) 및 목적함수(Z_B)의 최대값을 의미한다.

[0185] Z_A^{\min} 및 Z_B^{\min} 는 목적함수(Z_A) 및 목적함수(Z_B)의 최소값을 의미한다.

[0186] S_A 및 S_B 는 표준화된 목적함수(Z_A) 및 목적함수(Z_B)의 값을 의미한다.

[0188] 다음으로, 본 발명에 따른 적합도함수부(320)를 설명한다.

[0189] 최적화 목표를 고려하여 본 발명에서는 최적 전력거래 가격을 결정하기 위해 다음과 같은 적합도 함수를 사용하였다. 에너지 프로슈머와 컨슈머의 이익에 영향을 미치는 최적화 대상은 에너지 컨슈머의 전력요금 절감액 (A) 과 잉여전력 판매로 얻는 에너지 프로슈머의 이익 (B)으로 결정하였다(표 5 참조).

표 5

구분	최적화 목적함수	최적화 목표
목표A	잉여전력 구매를 통한 전기요금 절감액	최대화
목표B	잉여전력 판매를 통한 이익	최대화

[0190]

[0192] 본 발명에 따른 적합도함수부(320)는 다음 수학식 8 및 수학식 9를 통해 에너지 컨슈머의 전력요금 절감액(A)과 에너지 프로슈머의 잉여전력 판매이익(B)을 도출할 수 있다.

수학식 8

$$A = CE(C_1 - EP) + TP \times EP - CE(C_1)$$

[0194]

수학식 9

$$B = -CE(P_2) + TP \times (MEG - P_3) + CE(P_2 - (MEG - P_3))$$

[0195]

[0196] 여기서, $CE(x)$ 는 전력소비량 x 에 따른 전력 요금을 의미한다. C_1 은 에너지 컨슈머의 월 전력 소비량을 의미한다. $EP(kWh)$ 는 P2P 거래를 통해 에너지 프로슈머로부터 구매한 전력량을 의미한다. TP 는 전력거래가격을 의미한다. $MEG(kWh)$ 는 태양광 발전 시스템의 발전량을 의미한다. $P_2(kWh)$ 는 실제 수전량을 의미한다. $P_3(kWh)$ 는 자가소비한 전력량을 의미한다.

[0198] 여기서 S_A 와 S_B 가 최대화되면 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머에게 유리하다. 이를 기반으로 최적 전력거래 가

격을 도출하기 위한 적합도 함수(Fitness function)는 다음 수학적 10으로 정의될 수 있다.

수학적 10

$$\text{적합도함수} = \sqrt{W_A(1-S_A)^2 + W_B(1-S_B)^2}$$

[0200]

여기서, W_A 및 W_B 는 S_A 와 S_B 의 가중치를 의미한다. S_A 및 S_{AB} 는 표준화된 목적함수(Z_A) 및 목적함수(Z_B)의 값을 의미한다.

[0201]

다음으로, 본 발명에 따른 최적해 도출부(330)를 설명한다.

[0203]

본 발명에 따른 최적해 도출부(330)는 유전자알고리즘을 통해 파레토 최적해를 도출하는 최적해 도출부(330)을 포함할 수 있다.

[0204]

본 발명에 따른 최적해 도출부(330)는 전력가격(TP)의 범위에 속하는 임의의 값들을 수학적 10의 적합도함수에 입력하여, 적합도함수값이 최소값이 될 때의 값을 최적 전력거래가격으로 결정할 수 있다.

[0205]

최적해 도출부(330)에서 수행되는 유전자알고리즘을 예를 들어 설명하면 다음과 같다.

[0207]

전술한 단계에서 최소 거래가격 및 최대 거래가격이 각각 1과 10으로 결정되었다고 가정한다.

[0208]

이때, TP(최적 거래가격)의 값은 1에서 10 사이로 결정이 된다. TP의 값은 수학적 8과 9에 영향을 주어 결과값이 변하게 되며, 이는 곧 S_A 와 S_B 의 값이 변화함을 의미한다. 최종적으로 수학적 10에도 영향을 미치게 된다. 최적 전력거래 가격은 수학적 10의 결과값이 최소화되었을 때의 TP값을 의미한다.

[0209]

본 발명에서는 유전자 알고리즘(GA)을 통해 TP의 값을 도출할 수 있다. 예를 들어 TP가 1~10 사이로 결정되었을 경우, 유전자알고리즘은 초기염색체를 랜덤으로 설정한다(예로 2, 4, 6, 8, 10). 이후 이 값을 수학적 8과 수학적 9에 대입하게 되며, 수학적 10의 결과값을 도출한다.

[0210]

만약, TP의 값이 6일 때 수학적 10의 최소값이 나왔을 경우 유전자알고리즘은 랜덤값 대입범위를 좁혀서 다시 대입을 수행한다(예로, 4~8). 이를 계속해서 반복할 경우 최소값을 얻을 수 있는 TP의 값을 도출할 수 있으며, 소수점 이하의 자리는 설정에 따라 다양하게 대입할 수 있다(소수점 셋째자리까지 등).

[0211]

잉여전력의 최적 거래 가격의 범위는 이전 단계에서 계산된 전력의 최대 거래 가격과 최소 거래 가격 사이로 제한된다.

[0212]

이는 본 발명에서 전력의 최적 거래 가격을 결정하는 목적이 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머 중 한 명의 이익을 극대화하는 것이 아니라, 모두의 이익을 극대화하는 것이기 때문이다.

[0213]

이와 같이, TP는 전력거래가격을 나타내며, 유전자 알고리즘을 통해 수학적 10의 적합도함수(FITNESS FUNCTION)를 최소로 만드는 TP값이 파레토 최적해이며, '최적 전력거래가격'이 된다.

[0215]

이하에서는 본 발명에 따른 보간수행부(400)를 설명한다.

[0217]

본 발명에 있어서, 최적 전력거래가격 산출부(300)에서 결정된 이산화된 최적 전력거래가격으로 다항함수 보간을 수행하는 보간수행부(400)가 더 구비될 수 있다.

[0218]

본 발명은 예를 들어, 9개의 자가소비율 값과 9개의 전력구매율 값(예로 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90%)을 기반으로 전력 최적거래 가격을 도출하였기 때문에, 연속된 범위를 대상으로 최적 전력거래 가격을 계산할 수 없다.

[0220]

따라서 본 발명은 이산화된 최적 전력거래 가격을 기반으로 Matlab 2019a의 커브피팅 툴을 이용한 다항함수 보간을 통해 연속된 범위의 최적 전력거래 가격을 도출하였다.

[0221]

본 발명은 평균 절대 백분율 오차(mean absolute percentage error; MAPE) 개념을 도입하여 Matlab 2019a 소프트웨어를 통해 얻은 다항함수의 예측 정확도를 평가했다. MAPE는 예측 정확도를 결정하는 데 가장 많이 사용되는 지표 중 하나이다.

[0223]

다항함수 보간은 9개의 이산화된 최적 전력거래 가격을 기반으로 도출하였기 때문에, 보간된 다항함수에 대한

[0224]

검증은 이산화된 최적 전력거래 가격의 중간값을 대상으로 하였다. 이때 MAPE는 다음의 수학적 식 11을 기반으로 계산할 수 있다.

수학적 식 11

$$MAPE = \left(\sum_{i=0}^n \left| \frac{AV_i - EV_i}{AV_i} \right| \times \frac{1}{n} \right) \times 100$$

[0225]

[0226]

여기서, MAPE는 평균 절대 백분율 오차를 의미한다. AV_i는 실제값(전술한 방식대로 도출한 결과값)을 의미한다. EV_i는 보간된 다항함수를 통해 얻은 결과값을 의미한다. n은 항의 개수를 의미한다.

[0228]

한편, 본 발명은 연산기능을 가진 제어서버(10) 및 전력요금정보와 태양광발전량정보를 포함하는 정보데이터가 저장된 데이터베이스(20)가 네트워크로 연결되고, 컴퓨터에 의해 실행되는 전력거래가격 결정방법으로 구현될 수 있다.

[0229]

결정방법 발명은 전술한 결정시스템 발명과 발명의 카테고리는 상이하나, 실질적인 기술사상과 구성이 공통된다. 이에, 중요한 부분을 위주로 설명하고, 공통사항은 결정시스템 발명의 내용을 원용하고자 한다.

[0231]

본 발명에 따른 유전자 알고리즘을 이용한 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머의 최적 전력거래가격 결정방법은 정보 분석부(100)가 데이터베이스(20)에 저장된 정보를 통해, 균등화발전원가(LCOE), 연간 태양광 발전량 및 전 생애주기비용(LCC)을 산출하고, 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머의 정보를 정의하는 S100 단계; 거래시장 참여 조건 설정부(200)가 에너지 프로슈머의 최소 전력거래가격과 에너지 컨슈머의 최대 전력거래가격을 산출하는 S200 단계; 및 최적 전력거래가격 산출부(300)가 유전자 알고리즘을 통해 최적 전력거래가격을 산출하는 S300 단계를 수행할 수 있다.

[0233]

본 발명에 있어서, S300 단계의 최적 전력거래가격 산출부(300)는 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머의 이익을 표준화하는 표준화부(310); 적합도함수를 정의하여 에너지 컨슈머의 전력요금 절감액과 에너지 프로슈머의 잉여 전력 판매이익을 도출하는 적합도함수부(320); 및 유전자알고리즘을 통해 파레토 최적해를 도출하는 최적해 도출부(330)를 포함할 수 있다.

[0234]

본 발명에 따른 표준화부(310)는 수학적 식 7을 통해 표준화를 수행할 수 있다.

[0235]

본 발명에 따른 적합도함수부(320)는 수학적 식 8 및 수학적 식 9를 통해 에너지 컨슈머의 전력요금 절감액(A)과 에너지 프로슈머의 잉여전력 판매이익(B)을 도출할 수 있다.

[0236]

본 발명에 따른 적합도함수부(320)는 다음의 수학적 식 10으로 적합도함수를 정의할 수 있다.

[0237]

본 발명에 따른 최적해 도출부(330)는 전력가격(TP)의 범위에 속하는 임의의 값들을 수학적 식 10의 적합도함수에 입력하여, 적합도함수값이 최소값이 될 때의 값을 최적 전력거래가격으로 결정할 수 있다.

[0239]

한편, 본 발명은 컴퓨터프로그램으로 구현될 수도 있다. 본 발명은 하드웨어와 결합되어, 본 발명에 따른 유전자 알고리즘을 이용한 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머의 최적 전력거래가격 결정방법을 컴퓨터에 의해 실행시키기 위하여 컴퓨터가 판독 가능한 기록매체에 저장된 컴퓨터 프로그램으로 구현될 수 있다.

[0241]

본 발명의 실시예에 따른 방법들은 다양한 컴퓨터수단을 통하여 판독 가능한 프로그램 형태로 구현되어 컴퓨터로 판독 가능한 기록매체에 기록될 수 있다. 여기서, 기록매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 기록매체에 기록되는 프로그램 명령은 본 발명을 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 예컨대 기록매체는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CDROM, DVD와 같은 광 기록매체(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 장치를 포함한다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어를 포함할 수 있다. 이러한 하드웨어 장치는 본 발명의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.

실시예 1

- [0243] 이하에서는, 실시예를 통해 본 발명에 따른 최적 전력거래가격 결정시스템 및 결정방법을 설명하고자 한다.
- [0244] 본 실시예에서는 에너지 프로슈머가 설치한 발전 시스템으로써 태양광 발전 시스템을 적용하였다.
- [0245] 일 실시예로서, 첫째, 본 발명은 에너지 프로슈머가 서울에서 판매할 수 있는 잉여전력량을 결정하기 위해 지역 및 태양광 시스템 정보를 고려하였다.
- [0246] 둘째, 본 발명은 에너지 프로슈머의 경제성을 확보하기 위해 LCC 분석을 수행하고 (i) 태양광 발전량 계산을 통해 계산된 태양광 발전량을 기반으로 LCOE를 계산 하였다.
- [0247] 셋째, 본 발명은 LCOE와 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머를 고려한 전력 시장 구조를 기반으로 잉여전력의 최소 및 최대 거래 가격에 대한 데이터베이스를 구축했다.
- [0249] 재정리하면, 본 발명에서는 (1) 태양광 발전량 계산 (2) PV 시스템의 LCC 분석 및 LCOE 계산 (3) 전력의 최소 및 최대 거래 가격에 대한 데이터베이스 구축 (4) 최적화 목표의 표준화 (5) 적합도 함수의 정의 및 (6) GA에 기초한 파레토(Pareto) 최적해의 도출 등 6 단계를 통해 최적 전력거래 가격을 도출할 수 있다.
- [0250] 먼저, 정보 분석부에서 데이터베이스를 수립하고 정보를 정의하는 것은 다음과 같다.
- [0251] 에너지 프로슈머가 설치한 태양광 발전 시스템의 LCOE를 도출하기 위해 태양광 발전 시스템의 발전량과 생애주기비용에 대한 분석을 수행하였다.
- [0252] 태양광 발전 시스템의 발전량은 RETScreen 4.0을 사용하여 계산할 수 있으며, 이를 위해 기설정된 가정사항은 상기 표 2와 같다.
- [0253] 생애주기비용 계산을 위해 기설정된 가정사항은 상기 표 3과 같다.
- [0254] 상기 변수들은 상기 수학적 식 1에 대입하여 태양광 발전 시스템의 LCOE를 도출할 수 있다.
- [0255] 또한, 최적 전력거래 가격 도출을 위한 시나리오 수립을 위해 상기 표 4와 같이 변수를 설정하였다.
- [0257] 다음으로, 전력거래시장 참여조건을 설정하는 구성은 다음과 같다.
- [0258] 에너지 프로슈머의 월 전력소비량, 자가소비율을 상기 수학적 식 3에 대입하여 다수개의 최소 전력거래 가격을 결정할 수 있다. 이때, 월에 따라 태양광 발전 시스템의 발전량이 다르게 적용된다.
- [0260] 에너지 프로슈머는 본 항에서 결정된 최대 전력거래가격과 전 단계에서 계산되는 LCOE 중 더 큰 값을 최소 전력 판매 가격으로 결정할 것이며, 이는 상기 수학적 식 4를 통해 결정된다(아래 표 6 참조).
- [0261] 표 6의 경우, 환율은 센트당 11.932원을 적용하였다(2019년 9월 24일 기준).

표 6

월별전력 소비량	자가 소비율	최소 전력거래 가격 (US\$/kWh)											
		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
50kWh	10%	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72
	20%	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72
	30%	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72
	40%	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72
	50%	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72
	60%	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72
	70%	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72
	80%	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72
	90%	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72
150kWh	10%	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72
	20%	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72
	30%	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72
	40%	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72
	50%	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72
	60%	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72
	70%	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72
	80%	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72
	90%	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72
250kWh	10%	9.88	8.61	7.16	6.62	6.54	7.74	8.74	7.69	8.24	7.90	10.72	11.47
	20%	6.74	5.78	4.72	4.72	4.72	5.14	6.84	5.93	5.51	5.26	7.38	7.98
	30%	6.44	5.42	4.72	4.72	4.72	4.72	6.55	5.58	5.14	4.88	7.15	7.82
	40%	6.05	4.97	4.72	4.72	4.72	4.72	6.17	5.13	4.72	4.72	6.84	7.61
	50%	5.50	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	5.63	4.72	4.72	4.72	6.38	7.28
	60%	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.85	4.72	4.72	4.72	5.68	6.75
	70%	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	5.64
	80%	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72
	90%	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	-
350kWh	10%	15.60	14.71	12.60	11.62	11.49	13.66	11.56	11.22	14.45	13.96	16.20	16.74
	20%	15.17	14.20	11.93	10.89	10.75	13.07	10.97	10.67	13.93	13.39	15.84	16.47
	30%	14.54	13.50	11.05	9.97	9.82	12.28	11.46	11.02	13.22	12.64	15.30	16.05
	40%	13.52	12.47	9.87	8.76	8.61	11.19	12.26	11.54	12.20	11.57	14.37	15.28
	50%	8.89	8.89	6.90	5.98	5.86	8.04	8.89	8.89	8.89	8.39	8.89	8.88
	60%	8.87	8.88	6.37	5.34	5.21	7.76	8.87	8.88	8.88	8.21	8.86	8.80
	70%	8.84	8.88	5.49	4.72	4.72	7.24	8.80	8.88	8.88	7.87	-	-
	80%	-	8.88	4.72	4.72	4.72	5.80	-	8.80	8.88	6.83	-	-
	90%	-	-	4.72	4.72	4.72	4.72	-	-	-	-	-	-
450kWh	10%	22.55	20.65	18.53	17.76	17.65	19.37	15.59	14.72	20.10	19.61	20.95	21.18
	20%	20.27	18.34	16.33	15.64	15.54	17.10	14.96	13.99	17.80	17.33	17.91	17.90
	30%	21.15	18.46	15.99	15.20	15.10	16.91	13.82	12.80	17.77	17.18	17.90	17.89
	40%	23.07	18.69	15.46	14.56	14.45	16.59	14.12	12.56	17.72	16.94	17.90	17.89
	50%	30.58	19.24	14.54	13.52	13.40	15.97	22.54	15.37	17.62	16.45	17.92	-
	60%	-	8.88	8.89	8.88	8.89	8.88	-	8.92	8.88	8.90	-	-
	70%	-	-	8.90	8.88	8.89	8.88	-	-	-	-	-	-
	80%	-	-	-	8.80	8.86	-	-	-	-	-	-	-
	90%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
550kWh	10%	24.78	23.79	22.69	23.14	22.96	23.12	18.10	16.85	23.50	23.24	25.46	26.08
	20%	24.05	22.89	21.74	22.38	22.17	22.18	18.17	16.52	22.58	22.30	24.91	25.77
	30%	17.90	17.91	17.90	19.21	19.01	17.91	18.34	15.87	17.91	17.91	17.91	17.91
	40%	17.90	17.91	17.90	19.68	19.40	17.91	19.10	14.14	17.91	17.91	17.93	18.02
	50%	-	17.93	17.90	20.71	20.23	17.92	-	8.85	17.91	17.92	-	-
	60%	-	-	17.90	24.58	23.14	-	-	-	-	-	-	-
	70%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	80%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	90%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

[0262]

[0264]

에너지 컨슈머의 월 전력소비량, 전력구매율을 상기 수학적 식 6에 대입하여 다수개의 최대 전력거래 가격을 결정할 수 있다. 이때, 계절에 따라 전력요금제가 다르게 적용될 수 있다(아래 표 7 참조).

[0265]

표 7의 경우, 환율은 센트당 11.932원을 적용하였다(2019년 9월 24일 기준).

표 7

전력소비량	전력 구매율	최대 전력거래 가격 (US\$/kWh)	
		당시	하계
50kWh	10%	8.88	8.88
	20%	5.45	5.45
	30%	3.63	3.63
	40%	2.72	2.72
	50%	2.18	2.18
	60%	1.82	1.82
	70%	1.56	1.56
	80%	1.36	1.36
	90%	1.21	1.21
150kWh	10%	8.88	8.88
	20%	8.91	8.91
	30%	8.90	8.90
	40%	8.90	8.90
	50%	8.89	8.89
	60%	8.89	8.89
	70%	8.89	8.89
	80%	7.86	7.86
	90%	6.99	6.99
250kWh	10%	17.90	8.85
	20%	26.85	16.51
	30%	20.86	13.97
	40%	17.87	12.70
	50%	16.08	11.94
	60%	14.87	11.43
	70%	14.02	11.07
	80%	13.38	10.79
	90%	12.14	9.84
350kWh	10%	17.93	17.93
	20%	17.91	16.27
	30%	17.91	13.82
	40%	17.91	12.58
	50%	19.18	14.02
	60%	17.46	13.17
	70%	16.24	12.56
	80%	15.32	12.10
	90%	14.35	11.49
450kWh	10%	26.74	17.90
	20%	28.85	17.90
	30%	25.20	17.91
	40%	23.38	16.77
	50%	22.28	15.19
	60%	22.54	15.55
	70%	20.59	14.60
	80%	19.13	13.89
	90%	17.99	13.33
550kWh	10%	26.74	35.81
	20%	26.73	26.86
	30%	29.23	23.88
	40%	26.40	22.38
	50%	24.70	20.91
	60%	23.57	18.90
	70%	23.10	18.46
	80%	21.32	17.27
	90%	19.94	16.34

[0266]

[0268] 그 후, 최적화 목표의 표준화, 적합도 함수의 정의, 유전자알고리즘(GA)을 사용한 파레토 최적해의 도출을 수행한다.

[0269] 최적 전력거래 가격을 도출하기 위해 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머가 P2P 전력거래를 통해 얻을 수 있는 이익을 각각 잉여전력 판매로 얻는 에너지 프로슈머의 이익과 에너지 컨슈머의 전력요금 절감액으로 정의하였다.

[0270] 잉여전력 판매로 얻는 에너지 프로슈머의 이익은 상기 수학식 9를 통해 결정할 수 있다. 에너지 컨슈머의 전력요금 절감액은 상기 수학식 8을 통해 결정할 수 있다.

[0271] 상기 수학식 8과 9를 기반으로 도출한 최적화 목표는 상기 수학식 7에 대입하여 0 - 1 사이의 값을 갖도록 표준화할 수 있다.

[0272] 표준화된 최적화 목표값은 상기 수학식 10에 대입하여 적합도 함수값을 결정할 수 있다. 이때, 적합도 함수값이 최소화 될 경우 그 때의 전력 거래가격을 최적 전력거래 가격으로 결정하고 저장한다.

[0274] 앞 단계에서 결정된 다수개의 최적 전력거래 가격으로 구성된 데이터베이스를 기반으로, Matlab 2019a의 curve

fitting tool을 이용하여 최적 전력거래 가격을 계산할 수 있는 다항함수를 도출할 수 있다.

- [0275] 여기서 도출된 다항함수를 통해 예측한 값과, 전술한 각 과정을 거쳐 계산된 값을 상기 수학적 식 11에 대입하여 다항함수의 예측 정확도를 검증할 수 있다.
- [0277] 본 발명을 활용하여, 에너지 프로슈머 및 에너지 컨슈머의 최적 전력거래 가격을 산정하고 이를 분석하였다. 도 3 및 도 4는 각각 월 전력소비량이 350kWh, 550kWh인 에너지 프로슈머가 에너지 컨슈머와 P2P 전력거래를 할 때 최적 전력거래 가격을 보여준다.
- [0279] 에너지 프로슈머의 입장에서 최적 전력거래 가격의 변화는 다음과 같이 해석할 수 있다.
- [0280] 첫째, 에너지 컨슈머의 월 전력소비량이 증가함에 따라 최적 전력거래 가격의 범위가 높아지는 것으로 나타났다. 이는 누진제로 인하여 에너지 컨슈머의 월 전력소비량이 증가함에 따라 한전에 지불해야할 전력요금 이 급격하게 증가하게되며, 에너지 컨슈머는 잉여전력의 구입을 통해 누진 구간을 낮추면 큰 이익을 얻을 수 있기 때문이다.
- [0281] 그러나, 도 4에서 보는 바와 같이 월 전력소비량이 너무 높을 경우 최소 전력거래 가격이 높게 형성되어 거래할 수 있는 경우가 크게 감소한다.
- [0283] 둘째, 에너지 프로슈머의 자가소비율이 높을수록 최적 전력거래 가격이 낮아지는 것으로 나타났다. 이는 에너지 프로슈머의 자가소비율이 높을수록 누진구간이 낮아져 얻을 수 있는 이익이 증가하기 때문이다.
- [0284] 그러나, 도 4에서 보는 바와 같이 에너지 프로슈머의 월 전력소비량이 550kWh인 경우 자가소비율이 증가하여도 최적 전력거래 가격은 계속 하락하지 않고 10~30%구간까지 감소하다가 증가하게 되는데, 이는 에너지 프로슈머의 자가소비율이 증가함에 따라 판매가능한 잉여전력의 양이 감소하게 되는데, 이에 비해 에너지 프로슈머가 얻는 이익이 크게 증가하지 않기 때문이다.
- [0286] 셋째, 에너지 컨슈머의 전력구매율이 높을수록 최적 전력거래 가격이 낮아지는 경향을 보였다. 이는 에너지 컨슈머가 에너지 프로슈머로부터 더 많은 전기를 구매함에 따라 얻을 수 있는 이익이 점차 감소하기 때문이다.
- [0287] 그러나 특정 구역 (250kWh : 20 %, 350kWh : 43 %, 450kWh : 12 %, 44 %, 550kWh : 28 %)에서는 에너지 컨슈머가 잉여전력을 구매하면 최적 전력거래 가격이 크게 상승한다. 이는 해당 구역에 해당하는 에너지 컨슈머가 에너지 프로슈머로부터 잉여전력을 구매할 경우 누진구간이 감소하여 전력요금을 크게 감소시킬 수 있기 때문이다.
- [0289] 도 5 및 도 6은 각각 월 전력소비량이 350kWh, 550kWh인 에너지 컨슈머가 에너지 프로슈머와 P2P 전력거래를 할 때 최적 전력거래 가격을 보여준다.
- [0291] 에너지 컨슈머의 입장에서 최적 전력거래 가격의 변화는 다음과 같이 해석할 수 있다.
- [0293] 첫째, 에너지 컨슈머의 월 전력소비량이 증가함에 따라 최적 전력거래 가격의 범위가 높아지는 것으로 나타났다. 이는 에너지 컨슈머의 월 전력소비량이 증가하고, 누진제가 적용되면 에너지 컨슈머가 한전에 지불해야하는 전력요금이 크게 증가하기 때문이다.
- [0294] 그러나, 누진구간 1단계가 적용 되는 에너지 컨슈머가 에너지 프로슈머로부터 잉여전력을 구매할 경우 에너지 컨슈머의 월 전력소비량은 최적 전력거래 가격의 변화에 큰 영향을 주지 않았다. 이는 누진구간 1단계에 속하는 에너지 컨슈머는 기본요금이 낮아 잉여전력을 구매해도 큰 이익을 얻을 수 없기 때문이다.
- [0296] 둘째, 에너지 컨슈머의 전력구매율이 높을수록 최적 전력거래 가격은 낮아졌으나 특정 구간에서는 상승하였다. 이는 해당 구간에서 P2P 전력거래를 통해 잉여전력을 구매하면 에너지 컨슈머가 누진구간을 낮출 수 있고 한전에 지불해야하는 전력 요금을 크게 줄일 수 있기 때문이다.
- [0298] 셋째, 에너지 프로슈머의 자가소비율이 증가함에 따라 최적 전력거래 가격이 하락하다 일정 수준을 유지하는 것으로 나타났다. 이는 에너지 프로슈머가 일정량의 전력을 자가소비하여 누진구간을 감소시킨 이후에는 추가적인 자가소비를 통해 얻을 수 있는 이익이 줄어들기 때문이다.
- [0299] 또한, 에너지 프로슈머의 월 전력소비량이 550kWh일 때 최적 전력거래 가격이 하락했다가 다시 상승하는 이유는 에너지 프로슈머의 자가소비율이 30% 이상이면 잉여전력 구매를 통해 얻는 이익이 크지 않기 때문이다.
- [0301] 앞서 설명한 ‘iMOO 방법론 기반 최적화’를 통해 수립한 10% 단위의 데이터베이스를 기반으로 본 발명은

Matlab R2019a 소프트웨어의 curve fitting tool을 사용하여 다항함수 보간을 수행했다.

[0303] 다항함수 보간을 통해 최적화 모델을 통해 계산하지 않은 구간 (예로, 11 %, 12 %, etc)의 데이터를 계산할 수 있으며, 에너지 프로슈머와 컨슈머의 입장에서 최적 전력거래 가격을 다항함수를 통해 계산할 수 있다.

[0305] 본 발명은 다항함수의 차수, 곡선의 형태, R-square 값을 고려하여 다항함수 보간을 수행하였으며, 에너지 컨슈머의 월간 전력 사용량이 50kWh 인 경우는 이산화된 최적 전력거래 가격이 2개 밖에 없기 때문에 보간에서 제외되었다(다음 표 8 참조).

표 8

에너지 프로슈머	에너지 컨슈머		차수	R-square	Adj. R-square
월 전력소비량	월 전력소비량	전력구매율			
250kWh	150kWh	10%	4	0.9705	0.9410
		20-90%	4	0.9705	0.9410
	250kWh	10%	6	0.9966	0.9864
		20-90%	6	0.9965	0.9860
	350kWh	10%	7	0.9704	0.7629
		20-90%	7	0.9704	0.7629
	450kWh	10%	7	0.9963	0.9705
		20-90%	7	0.9963	0.9705
	550kWh	10%	7	0.9962	0.9695
		20-90%	7	0.9961	0.9690

[0306]

[0308] 다음의 표 9는 에너지 프로슈머의 월 전력소비량이 250kWh인 경우의 보간된 다항함수를 나타낸다.

표 9

에너지 프로슈머	에너지 컨슈머		보간된 다항함수
	월 전력소비량	전력구매율	
250kWh	150kWh	15%	$(-7.955 \times 10^{-8})x^4 + (7.955 \times 10^{-6})x^3 + (-1.989 \times 10^{-4})x^2 + (4.697 \times 10^{-4})x + 7.728$
		25%-85%	$(-7.955 \times 10^{-8})x^4 + (7.955 \times 10^{-6})x^3 + (-1.989 \times 10^{-4})x^2 + (4.697 \times 10^{-4})x + 6.818$
	250kWh	15%	$(-3.955 \times 10^{-9})x^6 + (1.3 \times 10^{-6})x^5 + (-1.705 \times 10^{-4})x^4 + (1.13 \times 10^{-2})x^3 + (-0.3925)x^2 + 6.481x - 23.06$
		25%-85%	$(-3.954 \times 10^{-9})x^6 + (1.3 \times 10^{-6})x^5 + (-1.704 \times 10^{-4})x^4 + (1.129 \times 10^{-2})x^3 + (-0.3921)x^2 + 6.476x - 23.93$
	350kWh	15%	$(-2.51 \times 10^{-11})x^7 + (7.276 \times 10^{-9})x^6 + (-7.922 \times 10^{-7})x^5 + (3.923 \times 10^{-5})x^4 + (-8.054 \times 10^{-4})x^3 + (1.385 \times 10^{-3})x^2 + 0.1387x + 11.2$
		25%-85%	$(-2.51 \times 10^{-11})x^7 + (7.276 \times 10^{-9})x^6 + (-7.922 \times 10^{-7})x^5 + (3.923 \times 10^{-5})x^4 + (-8.054 \times 10^{-4})x^3 + (1.385 \times 10^{-3})x^2 + 0.1387x + 10.29$
	450kWh	15%	$(-1.518 \times 10^{-11})x^7 + (3.964 \times 10^{-9})x^6 + (-2.778 \times 10^{-7})x^5 + (-1.058 \times 10^{-5})x^4 + (2.297 \times 10^{-3})x^3 + (-0.1106)x^2 + 2.037x + 5.169$
		25%-85%	$(-1.518 \times 10^{-11})x^7 + (3.964 \times 10^{-9})x^6 + (-2.778 \times 10^{-7})x^5 + (-1.058 \times 10^{-5})x^4 + (2.297 \times 10^{-3})x^3 + (-0.1106)x^2 + 2.037x + 4.259$
	550kWh	15%	$(-1.002 \times 10^{-10})x^7 + (3.862 \times 10^{-8})x^6 + (-6.084 \times 10^{-6})x^5 + (5.021 \times 10^{-4})x^4 + (-2.306 \times 10^{-2})x^3 + 0.575x^2 + (-6.983)x + 47.57$
		25%-85%	$(-1.016 \times 10^{-10})x^7 + (3.913 \times 10^{-8})x^6 + (-6.16 \times 10^{-6})x^5 + (5.079 \times 10^{-4})x^4 + (-2.331 \times 10^{-2})x^3 + 0.5811x^2 + (-7.054)x + 46.98$

[0309]

[0311]

앞서 수행한 다항함수 보간의 검증은 MAPE의 개념을 기반으로 수행하였다.

[0312]

본 발명에서는 에너지 프로슈머 및 컨슈머의 자가소비율과 전력구매율이 각각 10 ~ 90 % (10% 간격)인 경우를 대상으로 데이터베이스를 구축하였기 때문에, 검증은 데이터베이스의 중간값인 15 ~ 85%의 데이터를 대상으로 진행하였다.

[0314]

검증을 위해 최적화 모델을 통해 계산한 실제 값, 보간된 다항함수에 의해 예측된 예측값 및 MAPE는 다음과 같다(표 10, 표 11, 표12 및 수학적 11 참조). 결과적으로 보간된 다항함수의 평균 MAPE는 4.1 %로 높은 수준의 정확도를 보였다.

표 10

에너지 프로슈머	에너지 컨슈머		실제값							
	월 전력 소비량	전력 구매율	에너지 프로슈머의 자가소비율							
			15%	25%	35%	45%	55%	65%	75%	85%
250 kWh	150 kWh	15%	7.51	7.51	7.50	7.50	7.51	7.51	7.25	6.76
		25-85%	6.81	6.81	6.81	6.81	6.81	6.81	6.56	6.06
	250 kWh	15%	12.02	14.68	12.64	11.49	10.77	10.27	9.90	9.48
		25-85%	11.32	13.99	11.94	10.80	10.07	9.57	9.20	8.79
	350 kWh	15%	12.02	12.01	12.01	13.22	12.18	11.46	10.93	10.53
		25-85%	11.33	11.32	11.31	12.52	11.48	10.76	10.24	9.83
	450 kWh	15%	19.31	16.39	15.14	14.44	14.00	13.80	12.96	12.32
		25-85%	18.61	15.69	14.44	13.75	13.30	13.11	12.27	11.63
	550 kWh	15%	16.43	17.67	16.26	15.41	14.84	14.61	13.72	13.03
		25-85%	15.73	16.98	15.56	14.71	14.14	13.91	13.02	12.33

[0315]

표 11

에너지 프로슈머	에너지 컨슈머		예측값							
	월 전력 소비량	전력 구매율	에너지 프로슈머의 자가소비율							
			15%	25%	35%	45%	55%	65%	75%	85%
250 kWh	150 kWh	15%	7.71	7.71	7.72	7.75	7.75	7.68	7.48	7.06
		25-85%	6.80	6.80	6.81	6.84	6.84	6.77	6.57	6.15
	250 kWh	15%	16.29	15.34	12.60	11.37	10.73	9.72	8.72	7.96
		25-85%	15.41	14.48	11.77	10.60	10.08	9.33	8.85	9.01
	350 kWh	15%	12.34	12.16	12.24	12.58	12.49	11.68	10.88	10.67
		25-85%	11.43	11.25	11.33	11.67	11.58	10.77	9.97	9.76
	450 kWh	15%	17.89	16.89	15.31	14.78	14.79	14.46	13.75	13.36
		25-85%	16.98	15.98	14.40	13.87	13.88	13.55	12.84	12.45
	550 kWh	15%	15.59	17.59	17.31	15.87	15.30	15.26	14.94	14.90
		25-85%	14.71	16.77	16.55	15.13	14.47	14.13	13.12	11.83

[0316]

표 12

에너지 프로슈머	에너지 컨슈머		예측값							
	월 전력 소비량	전력 구매율	에너지 프로슈머의 자가소비율							
			15%	25%	35%	45%	55%	65%	75%	85%
250 kWh	150	15%	2.7%	2.7%	2.9%	3.2%	3.2%	2.3%	3.2%	4.5%
	kWh	25-85%	0.1%	0.2%	0.1%	0.4%	0.4%	0.6%	0.3%	1.5%
	250	15%	35.5%	4.5%	0.3%	1.0%	0.3%	5.3%	11.9%	16.0%
	kWh	25-85%	36.1%	3.5%	1.4%	1.8%	0.0%	2.5%	3.8%	2.6%
	350	15%	2.6%	1.2%	1.9%	4.8%	2.5%	2.0%	0.5%	1.3%
	kWh	25-85%	0.9%	0.6%	0.2%	6.8%	0.8%	0.1%	2.6%	0.8%
	450	15%	7.4%	3.0%	1.1%	2.3%	5.6%	4.7%	6.1%	8.4%
	kWh	25-85%	8.8%	1.8%	0.3%	0.9%	4.3%	3.4%	4.7%	7.1%
	550	15%	5.1%	0.4%	6.5%	3.0%	3.1%	4.5%	8.9%	14.4%
	kWh	25-85%	6.5%	1.2%	6.4%	2.8%	2.3%	1.5%	0.7%	4.1%

[0317]

[0319]

그러나 에너지 컨슈머의 월 전력소비량이 250kWh이고 에너지 프로슈머의 자가소비율이 15%인 경우 MAPE가 높은 것으로 나타났는데(각각 35.5%, 36.1%), 이는 해당 구간에서 최적 전력거래 가격이 급격하게 변화하기 때문이다.

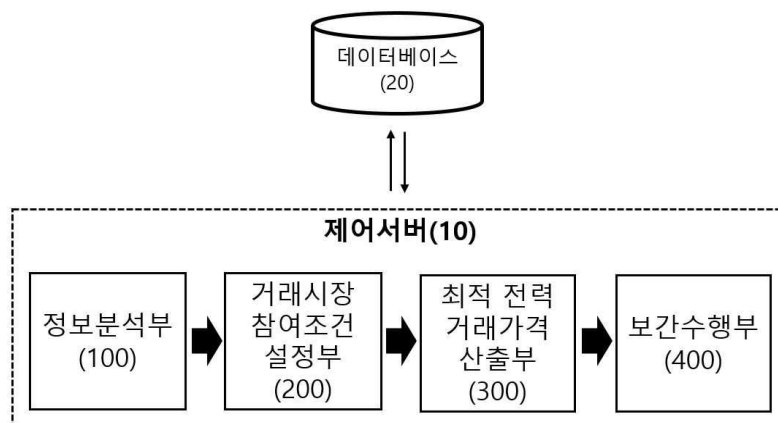
- [0321] 본 발명에서 제안된 최적 전력거래 가격 도출방법을 통해, 대한민국에서 아직 도입되지 않은 P2P 전력거래가 도입될 시, 시장의 활성화를 위해 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머가 모두 손해를 보지 않고 동일한 수준의 이익을 얻을 수 있는 가격을 제시할 수 있다.
- [0322] 본 발명을 통해 P2P 전력거래 시장의 참여자인 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머는 임의의 거래상대와 P2P 전력거래를 할 경우 양자가 동일한 수준의 이익을 얻을 수 있는 거래 가격을 계산할 수 있으며, 이를 기반으로 P2P 전력거래를 통해 얻을 수 있는 이익을 예측할 수 있다.
- [0323] 이를 기반으로 에너지 프로슈머와 에너지 컨슈머는 각각 적정한 수준의 이익을 얻을 수 있는 거래 상대를 결정할 수 있어 경제성 부분에서 매우 효과적일 것으로 기대된다.
- [0325] 본 명세서에서 설명되는 실시예와 첨부된 도면은 본 발명에 포함되는 기술적 사상의 일부를 예시적으로 설명하는 것에 불과하다. 따라서, 본 명세서에 개시된 실시예들은 본 발명의 기술적 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이므로, 이러한 실시예에 의하여 본 발명의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아님은 자명하다. 본 발명의 명세서 및 도면에 포함된 기술적 사상의 범위 내에서 당업자가 용이하게 유추할 수 있는 변형예와 구체적인 실시 예는 모두 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

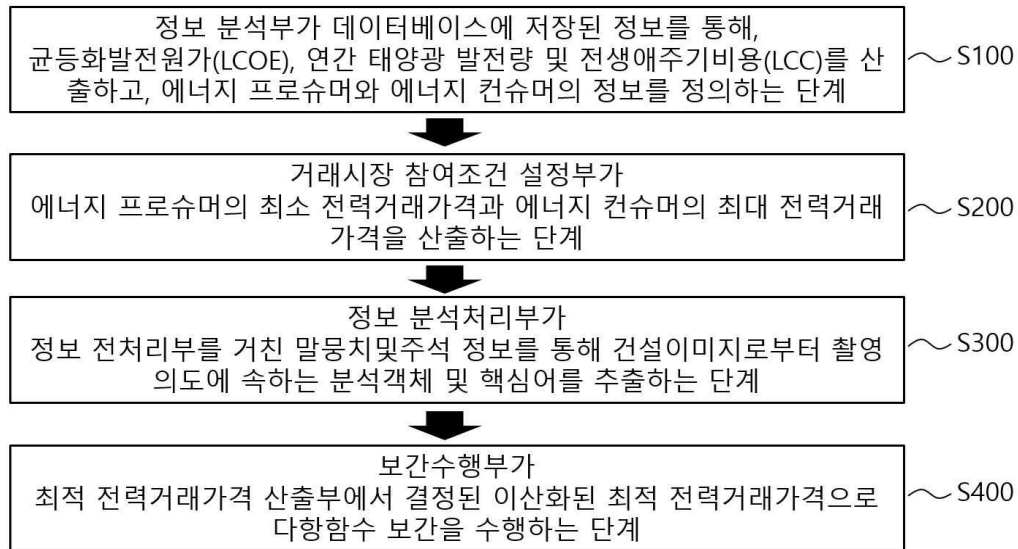
- [0326] 10 : 제어서버
 20 : 데이터베이스
 100 : 정보 분석부
 200 : 거래시장 참여조건 설정부
 300 : 최적 전력거래가격 산출부
 310 : 표준화부
 320 : 적합도합수부
 330 : 최적해 도출부
 400 : 보간수행부

도면

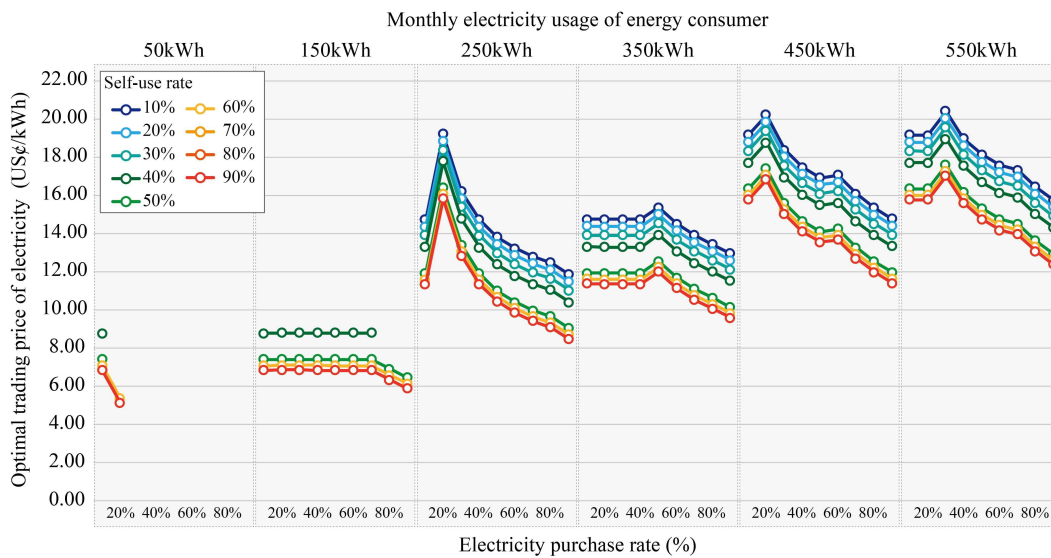
도면1



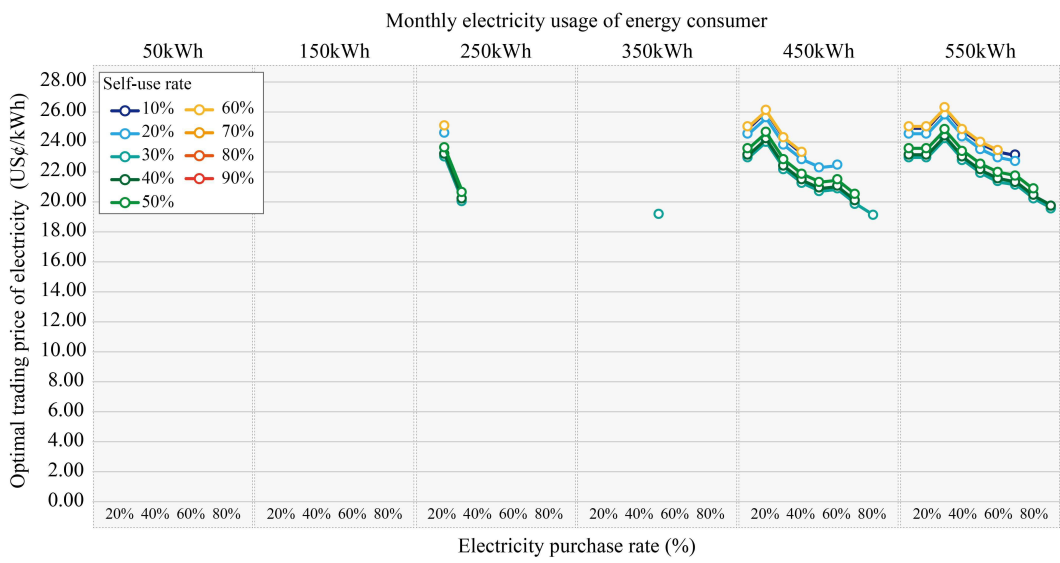
도면2



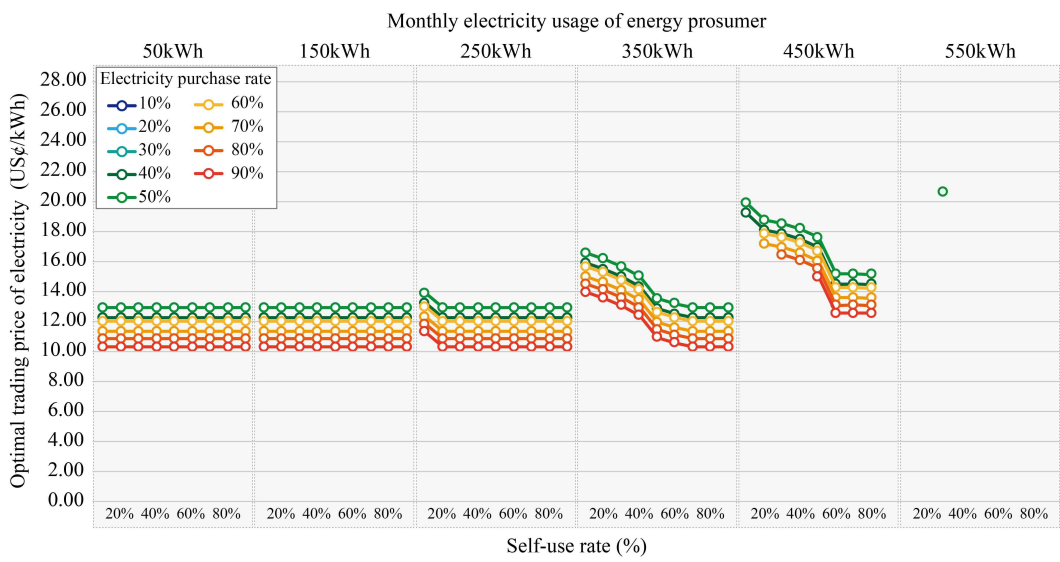
도면3



도면4



도면5



도면6

