(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년06월03일
(11) 등록번호 10-2117671
(24) 등록일자 2020년05월26일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02J 3/38 (2006.01) *G06Q 50/06* (2012.01)
(52) CPC특허분류
H02J 3/381 (2013.01)
G06Q 50/06 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-0175342
(22) 출원일자 2019년12월26일
심사청구일자 2019년12월26일
(56) 선행기술조사문헌
KR101324483 B1*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
(주)제이에이치에너지
인천광역시 서구 북항로120번길 13-26 (원창동)
인천대학교 산학협력단
인천광역시 연수구 아카데미로 119 (송도동)
(72) 발명자
김용하
경기도 용인시 수지구 만현로67번길 9, 204동 701호(상현동, 만현마을2단지 아이파크)
(74) 대리인
특허법인 티앤아이

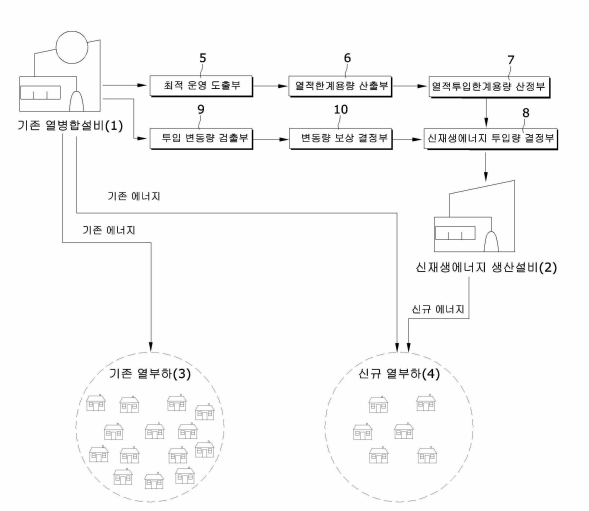
전체 청구항 수 : 총 3 항 심사관 : 박성민

(54) 발명의 명칭 **열병합설비와 신재생에너지원 결합형 스마트 에너지 운영 시스템**

(57) 요 약

본 발명은 열병합설비(기존 집단에너지설비)와 신재생에너지원이 결합된 스마트 에너지 운영 시스템에 관한 것으로, 상세하게는, 기존 집단에너지설비인 열병합설비의 최적 운영을 반영하여 신재생에너지원의 열적투입한계용량을 산정하고, 신규로 투입된 열부하로 에너지를 공급할 때 산정된 신재생에너지원의 열적투입한계용량을 토대로 신재생에너지원의 공급량을 결정하여 열병합설비의 최적 운영을 구현하는 열병합설비와 신재생에너지원 결합형 스마트 에너지 운영 시스템에 관한 것이다.

대 표 도 - 도2



(52) CPC특허분류
Y02E 20/14 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1415165253
부처명 산업통상자원부
연구관리전문기관 한국에너지기술평가원
연구사업명 ESS기술개발사업(R&D)
연구과제명 분산전원-ESS 통합 제어 및 전력 서비스 운영을 위한 VPP기술개발
기 여 율 1/1
주관기관 (주)누리텔레콤
연구기간 2019.05.01 ~ 2020.02.29

명 세 서

청구범위

청구항 1

에너지를 소비하는 기존 열부하;

상기 기존 열부하의 인근에 신규로 구축되어 에너지를 소비하는 신규 열부하;

열병합발전기, 첨두부하보일러 및 축열조를 포함하는 설비를 구성하여 기존 에너지를 생산하고, 생산된 기존 에너지를 상기 기존 열부하와 상기 신규 열부하로 공급하는 기존 열병합설비;

상기 기존 열병합설비를 구성하는 열병합발전기, 첨두부하보일러 및 축열조의 정보와, 상기 기존 열부하와 상기 신규 열부하를 포함하는 수용가의 최대 및 최소 열부하와 총 열부하량을 포함하는 수용가 정보를 제공받아 고려 대상 기간 동안 상기 기존 열병합설비의 수익이 최대가 되는 경로를 탐색하여 최적 운영을 도출하는 최적 운영 도출부;

상기 최적 운영 도출부를 통해 도출된 상기 기존 열병합설비의 최적 운영 결과를 이용하여 상기 기존 열병합설비의 열적한계용량을 산출하는 열적한계용량 산출부;

상기 열적한계용량 산출부를 통해 산출된 상기 기존 열병합설비의 열적한계용량을 이용하여 상기 신규 열부하로 투입할 수 있는 시간대별 신규 에너지의 열적투입한계용량을 산정하는 열적투입한계용량 산정부;

상기 열적투입한계용량 산정부에서 산정된 시간대별 신규 에너지의 열적투입한계용량 중 최대값을 갖는 열적투입한계용량을 상기 신규 열부하로 투입하는 신규 에너지의 투입량으로 결정하는 신재생에너지 투입량 결정부;

신재생에너지를 생산하는 적어도 1개소 이상의 생산설비를 구성하여 상기 신규 열부하로 공급할 신규 에너지를 생산하고, 상기 신재생에너지 투입량 결정부에서 결정된 신규 에너지의 투입량에 대응하는 신규 에너지를 상기 신규 열부하로 공급하는 신재생에너지 생산설비;

상기 기존 열병합설비에서 상기 신규 열부하로 공급되는 기존 에너지의 투입량을 감지하여 상기 기존 에너지의 투입량의 변동량을 산정하는 투입 변동량 검출부; 및

상기 투입 변동량 검출부의 검출 결과, 상기 기존 열병합설비에서 상기 신규 열부하로 공급되는 기존 에너지가 감소된 경우, 감소량 만큼 보상할 추가 투입량을 결정하여 상기 신재생에너지 투입량 결정부로 제공하는 변동량 보상 결정부; 포함하고,

상기 신재생에너지 투입량 결정부는 상기 열적투입한계용량 산정부에서 산정된 신규 에너지의 열적투입한계용량에 대응하는 신규 에너지의 투입량과, 상기 변동량 보상 결정부에서 결정된 신규 에너지의 추가 투입량을 합산하여 상기 신재생에너지 생산설비에서 상기 신규 열부하로 투입할 신규 에너지의 투입량을 결정하고,

상기 신재생에너지 생산설비는 상기 신재생에너지 투입량 결정부에서 결정된 신규 에너지의 열적투입한계용량에 대응하는 신규 에너지의 투입량과, 상기 변동량 보상 결정부에서 결정된 신규 에너지의 추가 투입량의 합산에 대응하는 투입량으로 신규 에너지를 상기 신규 열부하로 공급하는,

열병합설비와 신재생에너지원 결합형 스마트 에너지 운영 시스템.

청구항 2

삭제

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 최적 운영 도출부는,

상기 기존 열병합설비의 수익이 최대화되는 목적함수를 정의하는 과정과, 상기 목적함수에 대한 등호제약조건과 부등호제약조건을 설정하는 과정과, 상기 기존 열병합설비의 수익이 최대화되는 상기 목적함수의 최적 경로를 탐색하는 과정과, 탐색된 최적경로로부터 상기 기존 열병합설비의 수익이 최대가 되는 최적 운영 결과를 도출하는 과정을 통해 상기 기존 열병합설비의 수익이 최대가 되는 최적 운영을 도출하되,

상기 목적함수를 정의하는 과정은 상기 목적함수를 [수학식 1]과 같이 정의하고,

[수학식 1]

$$Max\ P = \sum_{j=1}^{N} HP(D_{t-Heat}^{j}) + \sum_{j=1}^{N} P(D_{t-Elec}^{j}) - \sum_{j=1}^{N_c}\sum_{i=1}^{N_c}(F(H_{t-CHP}^{i}))^{j} - \sum_{j=1}^{N_p}\sum_{i=1}^{N_p}(F(H_{t-PLB}^{i}))^{j}$$

단, $F(H_{t-CHP}^{i})$: t시간일 때 CHP의 연료비[원]
$F(H_{t-PLB}^{i})$: t시간일 때 PLB의 연료비[원)
N_c : CHP열원설비 수
N_p : PLB열원설비 수
$HP(D_{t-Heat}^{j})$: t시간일 때 열 판매비용[원]
$P(D_{t-Elec}^{j})$: t시간일 때 전력역송비용[원]
N : 고려대상 기간동안의 시간대의 갯수(j=1⋯N)

여기서, CHP는 열병합발전기, PLB는 첨두부하보일러를 나타냄,

상기 목적함수에 대한 등호제약조건과 부등호제약조건을 설정하는 과정에서는 상기 기존 열병합설비에서 생산한 열의 양은 상기 기존 열부하와 상기 신규 열부하에서 요구하는 열의 양과 동일해야 한다는 열 수급 제약조건을 [수학식 2]로 설정하고, 상기 기존 열병합설비에 포함된 열병합발전기의 열생산 상한치와 하한치의 제약은 [수학식 3]으로 설정하고, 상기 첨두부하보일러의 열출력 상한치와 하한치의 제약은 [수학식 4]로 설정하고, 상기 축열조는 열출력 중 즉시 최대 열출력으로 운전할 수 없고 단위 시간당 일정한 열출력 한도 내에서만 축열과 방열을 하고, 단위 시간당 축열과 방열의 한도는 [수학식 5]와 같이 설정하고,

[수학식 2]

$$H_{t-Load}^{j} = \sum_{i=1}^{N_c} H_{CHP,i}^{j} + \sum_{i=1}^{N_p} H_{PLB,i}^{j} + \sum_{i=1}^{N_a} H_{ACC,i}^{j}$$

단, H_{t-Load} : t시간일 때 열부하[Gcal](j=1⋯N)
$H_{CHP,i}$: i CHP의 열출력[Gcal](i=1⋯N_c)
$H_{PLB,i}$: i PLB의 열출력[Gcal](i=1⋯N_p)
N_a : 축열조 댓수
$H_{ACC,i}$: i ACC의 열출력[Gcal](i=1⋯N_a)

여기서, ACC는 축열조임,

[수학식 3]

$$H_{CHP,i}^{Min} \le H_{CHP,i}^{j} \le H_{CHP,i}^{Max}$$

단, $H_{CHP,i}^{Min}$: i CHP의 최소 열출력[Gcal](i=1$\cdots N_c$)
$H_{CHP,i}^{Max}$: i CHP의 최대 열출력[Gcal]
$H_{CHP,i}^{j}$: i CHP의 열출력[Gcal](j=1$\cdots N_c$)

[수학식 4]

$$H_{PLB,i}^{Min} \le H_{PLB,i}^{j} \le H_{PLB,i}^{Max}$$

$H_{PLB,i}^{Min}$: i PLB의 최소 열출력[Gcal](i=1$\cdots N_p$)
$H_{PLB,i}^{Max}$: i PLB의 최대 열출력[Gcal]
$H_{PLB,i}^{j}$: i PLB의 열출력[Gcal](j=1$\cdots N_p$)

[수학식 5]

$$H_{ACC,i} - \triangle H_{ACC,i}^{Max} \le H_{ACC,i}^{t} \le H_{ACC,i} + \triangle H_{ACC,i}^{Max}$$

단, $\triangle H_{ACC,i}$: i ACC의 단위시간당 축·방열량[Gcal/h](i=1$\cdots N_a$)(t=1$\cdots N$)

상기 기존 열병합설비의 수익이 최대화되는 상기 목적함수의 최적 경로를 탐색하는 과정은,

상기 열병합발전기의 열생산과 상기 첨두부하보일러의 열출력을 산정하고, 상기 축열조의 초기 열 수위와 최종 시점에서의 상기 축열조의 열 수위가 동일하도록 하여 상기 기존 열병합설비의 수익이 최대가되는 경로를 탐색하되, 상기 축열조의 초기 열수위에서 t=1의 시간대로 천이하는데 변동하는 열부하($H_{Load}(1,s)$)는 [수학식 6]으로 계산하고, t=1의 시간대로 천이되는 열부하($H_{Load}(1,s)$)의 증감으로부터 상기 [수학식 1]에서 H_{1-CHP}^{i}과 H_{1-PLB}^{i}을 산정하고, 각 열부하에서 천이된 열부하가 상기 축열조의 열출력이 되고, 각 state의 초기 수익을 계산하며, 천이되는 경로 중에서 총 수익이 가장 큰 state 값만을 기억하며, [수학식 7]과 같이 최종 시점까지 상기 축열조의 열 수위에 의한 각 수익을 산정하고, 최종 stage인 t에서 [수학식 7]로부터 산정된 결과로 상기 목적함수가 최적인 경로를 탐색하는,

[수학식 6]

$$H_{Load}(1,s) = H_{ACC}^{Initial\,state} + \triangle H_{ACC}$$

단, $H_{Load}(1,s)$: State(1,s)의 열부하[Gcal]
$H_{ACC}^{Initial\,state}$: ACC 초기 열수위[Gcal]
$\triangle H_{ACC}$: ACC 시간당 축방열[Gcal/h]
s : 상태의 수

[수학식 7]

$$TR(t,S) = DC(t,S) + DPC(t-1,S)$$

단, TR : 현재시간까지 계산된 누적수익
DC : 현재시간 Stage의 State에서 계산된 수익
DPC : 전 시간 Stage의 State까지 계산된 누적 최대수익

열병합설비와 신재생에너지원 결합형 스마트 에너지 운영 시스템.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 열적투입한계용량 산정부는 1년 운전모의 중 t 시간일 때 발생된 최대 열부하가 [수학식 8]과 같이 상기 열병합발전기의 열생산 상한치와 상기 첨두부하보일러의 열출력 상한치의 합과 동일하면, t 시간일 때 상기 기존 열병합설비의 최적 운영에 의한 열적한계용량이 충족된 것으로 판단하여 상기 신규 에너지의 열적투입한계용량을 [수학식 9]로 산정하는,

[수학식 8]

$$H_{t-CHP}^{Max} + H_{t-PLB}^{Max} = H_{Load}^{Max}$$

단, H_{Load}^{Max} : 최대 열부하

H_{t-CHP}^{Max} : t시간에서의 CHP의 열생산 상한치

H_{t-PLB}^{Max} : t시간에서의 PLB의 열생산 상한치

[수학식 9]

$$E_{Renew}^{Max} = H_{Load}^{Max} - H_{t-\mathrm{Limit}} + H_{ACC}$$

단, H_{Load}^{Max} : 최대 열부하

$H_{t-\mathrm{Limit}}$: t시간일 때 집단에너지설비의 열적한계용량

H_{ACC} : ACC의 시간당 축·방열량

E_{Renew}^{Max} : 신재생에너지원의 열적투입한계용량

$H_{Load}^{Max} - H_{t-\mathrm{Limit}} + H_{ACC}$값중 최대값

열병합설비와 신재생에너지원 결합형 스마트 에너지 운영 시스템.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 열병합설비(기존 집단에너지설비)와 신재생에너지원이 결합된 스마트 에너지 운영 시스템에 관한 것으로, 상세하게는, 기존 집단에너지설비인 열병합설비의 최적 운영을 반영하여 신재생에너지원의 열적투입한계용량을 산정하고, 신규로 투입된 열부하로 에너지를 공급할 때 산정된 신재생에너지원의 열적투입한계용량을 토대로 신재생에너지원의 공급량을 결정하여 열병합설비의 최적 운영을 구현하는 열병합설비와 신재생에너지원 결합형 스마트 에너지 운영 시스템에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0003] 최근 에너지 및 환경문제에 대응하기 위해 세계 각국은 기후 변화 관련 정책을 발표하고 있고, 그 정책의 일환으로 지구 온난화의 원인인 온실가스 감축을 추진하고 있다. 이러한 국내외 정책 및 환경변화를 감안할 때 열병합발전과 신재생에너지원을 결합한 집단에너지 사업에 대한 관심이 점차 증가할 것으로 전망하고 있다.

[0004] 집단에너지는 일반적으로 주택단지와 산업단지 등과 같이, 다수의 열 수용가가 밀집된 지역을 대상으로, 열병합발전기, 첨두부하보일러, 자원회수시설 등 1개소 또는 그 이상의 집중된 에너지 생산시설에서 생산된 에너지를 주거지역이나 상업지역 또는 산업단지 내의 다수 수용가에게 일괄적으로 공급·판매하는 형태를 말한다.

[0005] 이러한 집단에너지 사업은 기존 화석 에너지에 비해 종합효율이 높기 때문에 에너지를 절감하여 미세먼지 배출을 줄여 환경오염문제 해결에 기여할 수 있고, 송전선로 확충 없이 건설이 가능하기 때문에 건설에 따른 사회적 비용과 장거리 송전으로 인한 전력손실을 최소화하는 등 다양한 편익이 발생한다는 점에서 이점이 있다.

[0006] 이처럼 국내외적으로 신재생에너지 확대를 위해 많은 투자가 진행되고 있고, 온실가스 감축의무의 시행과 같은 기후 변화 대책을 감안할 때, 향후 열병합발전과 신재생에너지원을 결합하여 기존의 방식으로 열을 공급하는 것이 아니라 신재생에너지원을 병합하여 사용하거나 신재생에너지원만으로 열을 공급하여 온실가스의 배출량을 줄일 수 있는 집단에너지 사업에 대한 관심은 더 높아질 것으로 전망하고 있다.

[0007] 이에 따라, 하드웨어적인 측면에서 집단에너지설비에 대한 기술개발은 많은 진척을 보이고 있으나, 최적 운영방식에서는 아직까지 초보적인 수준에 머무르고 있다. 특히 안정적인 주택공급과 부동산 안정화 정책에 따라 기존 집단에너지설비가 투입된 지역 인근에 신규 택지지구(신도시)나 스마트시티 등의 도시개발로 인해 열부하가 신규로 지속적으로 투입되고 있는 상황에서 기 투입된 집단에너지설비 사업자의 수익을 최대로 보장하기 위한 효율적인 운영방법을 제시하지 못하는 실정에 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0009] (특허문헌 0001) KR 10-1715451 B1, 2017. 03. 06.

(특허문헌 0002) KR 10-2005218 B1, 2019. 07. 23.

비특허문헌

[0010] (비특허문헌 0001) 김용하 외 4인, "운전모드를 고려한 열병합발전의 열거래 최적운전", 에너지 공학 제18권 제1호, 2009년3월, pp. 37 ~ 48.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0011] 따라서, 본 발명은 상기한 문제점을 해결하기 위해 제안된 것으로, 신규 열부하 투입으로 인해 신재생에너지원의 열적투입한계용량을 산정할 때 기존 열병합설비의 최적 운영을 반영하여 산정하고, 신규로 투입된 열부하로 에너지를 공급할 때 산정된 신재생에너지원의 열적투입한계용량을 토대로 신재생에너지원의 공급량을 결정하여 기존 열병합에너지의 최적 운영(수익을 최대화)을 구현하는 열병합설비와 신재생에너지원 결합형 스마트 에너지 운영 시스템을 제공하는데 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0013] 상기한 목적을 달성하기 위한 일 측면에 따른 본 발명은 에너지를 소비하는 기존 열부하; 상기 기존 열부하의 인근에 신규로 구축되어 에너지를 소비하는 신규 열부하; 열병합발전기, 첨두부하보일러 및 축열조를 포함하는 설비를 구성하여 기존 에너지를 생산하고, 생산된 기존 에너지를 상기 기존 열부하와 상기 신규 열부하로 공급하는 기존 열병합설비; 상기 기존 열병합설비를 구성하는 열병합발전기, 첨두부하보일러 및 축열조의 정보와, 상기 기존 열부하와 상기 신규 열부하를 포함하는 수용가의 최대 및 최소 열부하와 총 열부하량을 포함하는 수용가 정보를 제공받아 고려대상 기간 동안 상기 기존 열병합설비의 수익이 최대가 되는 경로를 탐색하여 최적 운영을 도출하는 최적 운영 도출부; 상기 최적 운영 도출부를 통해 도출된 상기 기존 열병합설비의 최적 운영 결과를 이용하여 상기 기존 열병합설비의 열적한계용량을 산출하는 열적한계용량 산출부; 상기 열적한계용량 산출부를 통해 산출된 상기 기존 열병합설비의 열적한계용량을 이용하여 상기 신규 열부하로 투입할 수 있는 시간대별 신규 에너지의 열적투입한계용량을 산정하는 열적투입한계용량 산정부; 상기 열적투입한계용량 산정부에서 산정된 시간대별 신규 에너지의 열적투입한계용량 중 최대값을 갖는 열적투입한계용량을 상기 신규 열부하로 투입하는 신규 에너지의 투입량으로 결정하는 신재생에너지 투입량 결정부; 및 신재생에너지를 생산하는 적어도 1개소 이상의 생산설비를 구성하여 상기 신규 열부하로 공급할 신규 에너지를 생산하고, 상기 신재생에너지 투입량 결정부에서 결정된 신규 에너지의 투입량에 대응하는 신규 에너지를 상기 신규 열부하로 공급하는 신재생에너지 생산설비를 포함하는 열병합설비와 신재생에너지원 결합형 스마트 에너지 운영 시스템을 제공한다.

[0014] 또한, 상기 기존 열병합설비에서 상기 신규 열부하로 공급되는 기존 에너지의 투입량을 감지하여 상기 기존 에너지의 투입량의 변동량을 산정하는 투입 변동량 검출부; 및 상기 투입 변동량 검출부의 검출 결과, 상기 기존 열병합설비에서 상기 신규 열부하로 공급되는 기존 에너지가 감소된 경우, 감소량 만큼 보상할 추가 투입량을 결정하여 상기 신재생에너지 투입량 결정부로 제공하는 변동량 보상 결정부를 더 포함하고, 상기 신재생에너지 투입량 결정부는 상기 열적투입한계용량 산정부에서 산정된 신규 에너지의 열적투입한계용량에 대응하는 신규 에너지의 투입량과, 상기 변동량 보상 결정부에서 결정된 신규 에너지의 추가 투입량을 합산하여 상기 신재생에너지 생산설비에서 상기 신규 열부하로 투입할 신규 에너지의 투입량을 결정하고, 상기 신재생에너지 생산설비는 상기 신재생에너지 투입량 결정부에서 결정된 신규 에너지의 열적투입한계용량에 대응하는 신규 에너지의 투입량과, 상기 변동량 보상 결정부에서 결정된 신규 에너지의 추가 투입량의 합산에 대응하는 투입량으로 신규 에너지를 상기 신규 열부하로 공급할 수 있다.

[0015] 또한, 상기 최적 운영 도출부는 상기 기존 열병합설비의 수익이 최대화되는 목적함수를 정의하는 과정과, 상기 목적함수에 대한 등호제약조건과 부등호제약조건을 설정하는 과정과, 상기 기존 열병합설비의 수익이 최대화되

는 상기 목적함수의 최적 경로를 탐색하는 과정과, 탐색된 최적경로로부터 상기 기존 열병합설비의 수익이 최대가 되는 최적 운영 결과를 도출하는 과정을 통해 상기 기존 열병합설비의 수익이 최대가 되는 최적 운영을 도출하되,

[0016] 상기 목적함수를 정의하는 과정은 상기 목적함수를 [수학식 1]과 같이 정의하고,

[0017] [수학식 1]

[0018]
$$Max\ P = \sum_{j=1}^{N} HP(D_{t-Heat}^{j}) + \sum_{j=1}^{N} P(D_{t-Elec}^{j}) - \sum_{j=1}^{N_c}\sum_{i=1}^{N_c}(F(H_{t-CHP}^{i}))^{j} - \sum_{j=1}^{N_p}\sum_{i=1}^{N_p}(F(H_{t-PLB}^{i}))^{j}$$

[0019]
단, $F(H_{t-CHP}^{i})$: t시간일 때 CHP의 연료비[원]
$F(H_{t-PLB}^{i})$: t시간일 때 PLB의 연료비[원)
N_c : CHP열원설비 수
N_p : PLB열원설비 수
$HP(D_{t-Heat}^{j})$: t시간일 때 열 판매비용[원]
$P(D_{t-Elec}^{j})$: t시간일 때 전력역송비용[원]
N : 고려대상 기간동안의 시간대의 갯수(j=1⋯N)

[0020] 여기서, CHP는 열병합발전기, PLB는 첨두부하보일러를 나타냄,

[0021] 상기 목적함수에 대한 등호제약조건과 부등호제약조건을 설정하는 과정에서는 상기 기존 열병합설비에서 생산한 열의 양은 상기 기존 열부하와 상기 신규 열부하에서 요구하는 열의 양과 동일해야 한다는 열 수급 제약조건을 [수학식 2]로 설정하고, 상기 기존 열병합발전기의 열생산 상한치와 하한치의 제약은 [수학식 3]으로 설정하고, 상기 첨두부하보일러의 열출력 상한치와 하한치의 제약은 [수학식 4]로 설정하고, 상기 축열조는 열출력 중 즉시 최대 열출력으로 운전할 수 없고 단위 시간당 일정한 열출력 한도 내에서만 축열과 방열을 하고, 단위 시간당 축열과 방열의 한도는 [수학식 5]과 같이 설정하고,

[0022] [수학식 2]

[0023]
$$H_{t-Load}^{j} = \sum_{i=1}^{N_c} H_{CHP,i}^{j} + \sum_{i=1}^{N_p} H_{PLB,i}^{j} + \sum_{i=1}^{N_a} H_{ACC,i}^{j}$$

[0024]
단, H_{t-Load} : t시간일 때 열부하[Gcal](j=1⋯N)
$H_{CHP,i}$: i CHP의 열출력[Gcal](i=1⋯N_c)
$H_{PLB,i}$: i PLB의 열출력[Gcal](i=1⋯N_p)
N_a : 축열조 댓수
$H_{ACC,i}$: i ACC의 열출력[Gcal](i=1⋯N_a)

[0025] 여기서, ACC는 축열조임,

[0026] [수학식 3]

[0027]
$$H_{CHP,i}^{Min} \le H_{CHP,i}^{j} \le H_{CHP,i}^{Max}$$

단, $H_{CHP,i}^{Min}$: i CHP의 최소 열출력[Gcal](i=1$\cdots N_c$)
$H_{CHP,i}^{Max}$: i CHP의 최대 열출력[Gcal]
$H_{CHP,i}^{j}$: i CHP의 열출력[Gcal](j=1$\cdots N_c$)

[0028]

[0029] [수학식 4]

[0030] $$H_{PLB,i}^{Min} \le H_{PLB,i}^{j} \le H_{PLB,i}^{Max}$$

$H_{PLB,i}^{Min}$: i PLB의 최소 열출력[Gcal](i=1$\cdots N_p$)
$H_{PLB,i}^{Max}$: i PLB의 최대 열출력[Gcal]
$H_{PLB,i}^{j}$: i PLB의 열출력[Gcal](j=1$\cdots N_p$)

[0031]

[0032] [수학식 5]

[0033] $$H_{ACC,i} - \triangle H_{ACC,i}^{Max} \le H_{ACC,i}^{t} \le H_{ACC,i} + \triangle H_{ACC,i}^{Max}$$

[0034] 단, $\triangle H_{ACC,i}$: i ACC의 단위시간당 축·방열량[Gcal/h](i=1$\cdots N_a$)(t=1$\cdots N$)

[0035] 상기 기존 열병합설비의 수익이 최대화되는 상기 목적함수의 최적 경로를 탐색하는 과정은,

[0036] 상기 열병합발전기의 열생산과 상기 첨두부하보일러의 열출력을 산정하고, 상기 축열조의 초기 열 수위와 최종 시점에서의 상기 축열조의 열 수위가 동일하도록 하여 상기 기존 열병합설비의 수익이 최대가되는 경로를 탐색하되, 상기 축열조의 초기 열수위에서 t=1의 시간대로 천이하는데 변동하는 열부하($H_{Load}(1,s)$)는 [수학식 6]으로 계산하고, t=1의 시간대로 천이되는 열부하($H_{Load}(1,s)$)의 증감으로부터 상기 [수학식 1]에서 H_{1-CHP}^{i}과 H_{1-PLB}^{i}을 산정하고, 각 열부하에서 천이된 열부하가 상기 축열조의 열출력이 되고, 각 state의 초기 수익을 계산하며, 천이되는 경로 중에서 총 수익이 가장 큰 state 값만을 기억하며, [수학식 7]과 같이 최종 시점까지 상기 축열조의 열 수위에 의한 각 수익을 산정하고, 최종 stage인 t에서 [수학식 7]로부터 산정된 결과로 상기 목적함수가 최적인 경로를 탐색할 수 있다.

[0037] [수학식 6]

[0038] $$H_{Load}(1,s) = H_{ACC}^{Initial\,state} + \triangle H_{ACC}$$

단, $H_{Load}(1,s)$: State(1,s)의 열부하[Gcal]
$H_{ACC}^{Initial\,state}$: ACC 초기 열수위[Gcal]
$\triangle H_{ACC}$: ACC 시간당 축방열[Gcal/h]
s : 상태의 수

[0039]

[0040] [수학식 7]

[0041] $$TR(t,S) = DC(t,S) + DPC(t-1,S)$$

단, TR : 현재시간까지 계산된 누적수익
DC : 현재시간 Stage의 State에서 계산된 수익
DPC : 전 시간 Stage의 State까지 계산된 누적 최대수익

[0042]

[0043] 또한, 상기 열적투입한계용량 산정부는 1년 운전모의 중 t 시간일 때 발생된 최대 열부하가 [수학식 8]과 같이 상기 열병합발전기의 열생산 상한치와 상기 첨두부하보일러의 열출력 상한치의 합과 동일하면, t 시간일 때 상기 기존 열병합설비의 최적 운영에 의한 열적한계용량이 충족된 것으로 판단하여 상기 신규 에너지의 열적투입한계용량을 [수학식 9]로 산정할 수 있다.

[0044] [수학식 8]

$$H_{t-CHP}^{Max} + H_{t-PLB}^{Max} = H_{Load}^{Max}$$

단, H_{Load}^{Max} : 최대 열부하

H_{t-CHP}^{Max} : t시간에서의 CHP의 열생산 상한치

H_{t-PLB}^{Max} : t시간에서의 PLB의 열생산 상한치

[0045]

[0046] [수학식 9]

$$E_{Renew}^{Max} = H_{Load}^{Max} - H_{t-\mathrm{Limit}} + H_{ACC}$$

단, H_{Load}^{Max} : 최대 열부하
$H_{t-\mathrm{Limit}}$: t시간일 때 집단에너지설비의 열적한계용량
H_{ACC} : ACC의 시간당 축·방열량
E_{Renew}^{Max} : 신재생에너지원의 열적투입한계용량
$H_{Load}^{Max} - H_{t-\mathrm{Limit}} + H_{ACC}$값중 최대값

[0047]

발명의 효과

[0049] 이상에서 설명한 바와 같이, 본 발명에 따른 스마트 에너지 운영 시스템에 따르면, 기존 열병합설비의 최적 운영을 반영하여 신재생에너지원의 열적투입한계용량을 산정하고, 이를 토대로 신규로 투입되는 신규 열부하에 대해 에너지를 공급할 때 열병합설비의 최적 운영을 해치지 않는 범위(수익을 극대화하는 범위) 내에서 신재생에너지원의 공급량을 결정하여 열병합설비를 최적 운영하도록 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0051] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 스마트 에너지 운영 시스템의 사업 개념도.

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 스마트 에너지 운영 시스템의 구성을 도시한 도면.

도 3은 본 발명에 따른 기존 열병합설비의 최적 운영을 도출하는 과정을 도시한 흐름도.

도 4는 기존 열부하가 최대 열부하를 발생시킬 때 각각의 열부하를 시간대별로 도시한 그래프.

도 5는 기존 열부하가 최대 열부하를 발생시키는 4주차의 2018년 SMP(System Marginal Price) 시간대별 가격을 도시한 그래프.

도 6은 본 발명에 따른 기존 열병합설비의 최적 운영 결과 그래프를 도면.

도 7은 각 시간대별 신재생에너지원의 열적투입한계용량을 나타낸 도면.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0053] 이하, 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 기술적 특징을 구체적으로 설명하기로 한다.

[0055] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 스마트 에너지 운영 시스템의 사업 개념도이다.

[0056] 도 1을 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 스마트 에너지 운영 시스템은 기존 열병합설비(1)를 통해 생산된 열에너지(이하, '기존 에너지'라 함)를 기존 열부하(3)로 공급 운영 중에 기존 열병합설비(1)가 투입된 지역 인근에 신규 개발로 인해 신규로 투입되는 신규 열부하(4)가 구축된 경우 기존 열병합설비(1)의 수익을 최대화하는 범위 내에서 신재생에너지 생산설비(2)에서 신규 열부하(4)로 투입되는 신재생에너지의 투입량을 효율적으로 운용할 수 있는 스마트 에너지 운영을 제공한다.

[0057] 기존 열병합설비(1)는 기존 집단에너지설비로서, 열 및/또는 전기에너지를 생산하여 공급하는 생산시설로서, 열병합발전기(CHP, Combined Heat and Power), 첨두부하보일러(PLB, Peak Load Boiller), 축열조(ACC, ACCumulator) 및 소각로를 포함한다. 이외에도, 배열회수장치(HRSG, Heat Recovery Steam Generator) 등과 같이 통상적인 열병합발전시스템에 구비되어 있는 부수적인 설비들을 더 포함할 수 있다.

[0058] 도 1과 같이, 신재생에너지 생산설비(2)는 태양광에너지, 지열에너지, 해양에너지, 바이오에너지, 연료전지에너지 등 중 적어도 어느 하나의 친환경 신재생에너지를 생산하는 설비로서, 태양광발전기, 지열발전기, 해양발전기, 바이오발전기, 연료전지발전기 중 적어도 1개소 이상을 포함할 수 있다. 그리고, 신재생에너지 생산설비(2) 내에는 열과 전력을 저장하기 위해 축열조와 ESS(Energy Storage System) 등이 설치될 수 있다.

[0059] 신재생에너지 생산설비(2)는 기존 열병합설비(1) 내에 구축되거나 기존 열병합설비(1)와 별도로 신규 열부하(4)로 에너지를 공급하기 위한 신재생에너지원으로서, 기존 열병합설비(1)와 결합하여 새로운 집단에너지설비를 구성할 수 있고, 이렇게 구성된 집단에너지설비 내에서 기존 열병합설비(1)와 병합하여 운영될 수도 있다.

[0060] 신규 열부하(4)가 새롭게 구축되어 신재생에너지 생산설비(2)로부터 에너지를 공급할 때 기존 열병합설비(1)의 수익을 보존하는 것이 무엇보다 중요하다. 즉, 신재생에너지 생산설비(2)를 통해 신규 열부하(4)로 에너지를 공급할 때 기존 열병합설비(1)의 최적 운영을 해치지 않는 범위 내에서 에너지 투입량이 결정되어야 한다.

[0061] 신재생에너지 생산설비(2)에서 신규 열부하(4)로 공급되는 에너지 투입량은 신재생에너지원의 열적투입한계용량으로 결정된다. 즉, 신재생에너지원의 열적투입한계용량은 기존 열병합설비(1)의 수익이 최대화되는 범위 내에서 신재생에너지 생산설비(2)에서 신규 열부하(4)로 공급되는 에너지 투입량을 의미한다. 신재생에너지 생산설비(2)에서 신규 열부하(4)로 에너지를 공급할 때 기존 열병합설비(1)의 최적 운영을 해치지 않기 위해 신재생에너지원의 열적투입한계용량 산정시 기존 열병합설비(1)의 수익이 최대가 되는 최적 운영을 도출하고, 이를 반영하여 산정해야 한다.

[0062] 기존 열부하(3)는 기존 열병합설비(1)가 투입된 지역 내 또는 인근에 설치되어 기존 열병합설비(1)로부터 기존 에너지를 공급받아 소비하는 시설이다. 신규 열부하(4)는 기존 열병합설비(1)가 투입된 지역(혹은 구역) 인근에 신규 개발을 통해 형성된 시설로서, 기존 열병합설비(1)에서 생산되는 기존 에너지와 신재생에너지 생산설비(2)의 신재생에너지원으로부터 생산된 에너지(이하, '신규 에너지'라 함)를 공급받아 소비한다. 예를 들어, 기존 열부하(3)와 신규 열부하(4)는 주택단지(아파트 등), 상가, 빌딩, 병원, 산업단지, 업무, 상업용 건물, 공공기관 등을 포함한다.

[0063] 기존 열부하(3)는 기존 열병합설비(1)로부터 기존 에너지를 공급받아 소비하고, 신규 열부하(4)는 기존 열부하(3)와 마찬가지로 기존 열병합설비(1)를 통해 기존 에너지를 공급받는 동시에 기존 열병합설비(1)의 열적한계용량을 초과하는 용량에 대해 신재생에너지 생산설비(2)로부터 신규 에너지를 공급받아 소비하도록 구성된다.

[0064] 기존 열병합설비(1)의 열적한계용량은 기존 열병합설비(1)의 수익이 최대가 되는 범위, 즉 최적 운영을 해치지

않는 범위 내에서 결정되어야 하며, 기존 열병합설비(1)의 지역 인근에 신규로 신규 열부하(4)가 구축시 기존 열병합설비(1)를 운영하는 사업자의 수익을 보존하는 측면에서 매우 중요한 요소로 고려되어야 한다.

[0065] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 스마트 에너지 운영 시스템의 구성을 도시한 도면이다.

[0066] 도 2를 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 스마트 에너지 운영 시스템은 기존 열병합설비(1) 내에 구축된 각종 설비들의 정보와, 기존 열부하(3)와 신규 열부하(4)를 포함하는 수용가의 최대 및 최소 열부하와 총 열부하량을 토대로 기존 열병합설비(1)의 수익이 최대화되는 최적 운영을 도출하는 최적 운영 도출부(5)를 포함한다.

[0067] 최적 운영 도출부(5)는 기존 열병합설비(1)의 정보, 즉 설비들의 정보(열병합발전기/첨두부하보일러/축열조의 정보)와, 수용가의 최대 및 최소 열부하와 수용가의 총 열부하량을 포함하는 수용가 정보를 제공받아 고려대상 기간(설정기간) 동안 기존 열병합설비(1)의 수익이 최대가 되는 경로를 탐색하여 최적 운영을 도출한다.

[0068] 기존 열병합설비(1)에 대한 정보는 열병합발전기(CHP)의 열생산 상한치 및 하한치와, 첨두부하보일러(PLB)의 열출력 상한치 및 하한치와, 축열조(ACC)의 용량 및 시간당 축·방열량과, 열병합발전기(CHP)의 연료비와, 첨두부하보일러(PLP)의 연료비와, 기존 열병합설비(1)의 열 판매비용 및 전력역송비용 등을 포함할 수 있다.

[0069] 도 3은 본 발명에 따른 기존 열병합설비의 최적 운영을 도출하는 과정을 도시한 흐름도이다.

[0070] 도 3을 참조하면, 최적 운영 도출부(5)는 일례로 본 발명자에 의해 제안된 대한민국 등록특허 제10-1715451호(등록일: 2017.03.06.)를 통해 획득한 시뮬레이터를 이용하여 기존 열병합설비(1)의 수익이 최대화되는 최적 운영을 도출할 수 있다.

[0071] 최적 운영 도출부(5)는 기존 열병합설비(1)의 수익이 최대화되는 목적함수를 정의하고(S11), 상기 목적함수에 대한 등호제약조건과 부등호제약조건을 설정하고(S12), 수익이 최대가 되는 상기 목적함수의 최적 경로를 탐색하고(S13), 탐색된 최적경로로부터 기존 열병합설비(1)의 수익이 최대가 되는 최적 운영을 도출(S14) 한다.

[0072] 상기 목적함수를 정의하는 과정(S11)에서 상기 목적함수는 기존 열병합설비(1)의 수익이 최대가 되는 수익 최대값을 산출하기 위한 함수로서, [수학식 1]과 같이 정의할 수 있다.

수학식 1

[0073]

$$Max\ P= \sum_{j=1}^{N} HP(D_{t-Heat}^{j}) + \sum_{j=1}^{N} P(D_{t-Elec}^{j}) - \sum_{j=1}^{N_c}\sum_{i=1}^{N_c}(F(H_{t-CHP}^{i}))^{j} - \sum_{j=1}^{N_p}\sum_{i=1}^{N_p}(F(H_{t-PLB}^{i}))^{j}$$

[0074]

단, $F(H_{t-CHP}^{i})$: t시간일 때 CHP의 연료비[원]

$F(H_{t-PLB}^{i})$: t시간일 때 PLB의 연료비[원)

N_c : CHP열원설비 수

N_p : PLB열원설비 수

$HP(D_{t-Heat}^{j})$: t시간일 때 열 판매비용[원]

$P(D_{t-Elec}^{j})$: t시간일 때 전력역송비용[원]

N : 고려대상 기간동안의 시간대의 갯수(j=1⋯N)

[0075] 여기서, CHP는 열병합발전기, PLB는 첨두부하보일러를 나타낸다.

[0076] 이후, 기존 열병합설비(1)의 수익이 최대화되는 최적 운영을 도출하기 위해 기존 열병합설비(1)의 열병합발전기(CHP), 첨두부하보일러(PLB), 축열조(ACC)을 제약한다. 이를 위해, 상기 목적함수에 대한 등호제약조건과 부등호제약조건을 설정한다(S12).

[0077] 등호제약조건과 부등호제약조건은 [수학식 2] 내지 [수학식 5]와 같이 설정한다.

[0079] 열 수급 제약조건

[0080] 기존 열병합설비(1)에서 생산하는 총 열의 양은 열부하에서 요구하는 총 열의 양과 동일해야 한다. 즉, 기존 열병합설비(1)에서 생산한 열의 양은 수용가에서 요구하는 열의 양과 같아야 한다는 열 수급 제약조건은 [수학식 2]로 나타낼 수 있다.

수학식 2

[0081]
$$H_{t-Load}^{j} = \sum_{i=1}^{N_c} H_{CHP,i}^{j} + \sum_{i=1}^{N_p} H_{PLB,i}^{j} + \sum_{i=1}^{N_a} H_{ACC,i}^{j}$$

[0082]
단, H_{t-Load} : t시간일 때 열부하[Gcal](j=1⋯N)
$H_{CHP,i}$: i CHP의 열출력[Gcal](i=1⋯N_c)
$H_{PLB,i}$: i PLB의 열출력[Gcal](i=1⋯N_p)
N_a : 축열조 댓수
$H_{ACC,i}$: i ACC의 열출력[Gcal](i=1⋯N_a)

[0083] 여기서, ACC는 축열조이다.

[0085] CHP(열병합발전) 제약조건

[0086] CHP의 열생산 상한치(최대 열출력)와 하한치(최소 열출력)의 제약은 [수학식 3]과 같다.

수학식 3

[0087]
$$H_{CHP,i}^{Min} \le H_{CHP,i}^{j} \le H_{CHP,i}^{Max}$$

[0088]
단, $H_{CHP,i}^{Min}$: i CHP의 최소 열출력[Gcal](i=1⋯N_c)
$H_{CHP,i}^{Max}$: i CHP의 최대 열출력[Gcal]
$H_{CHP,i}^{j}$: i CHP의 열출력[Gcal](j=1⋯N_c)

[0090] PLB(첨두부하보일러) 제약조건

[0091] PLB의 열출력 상한치(최대 열출력)와 하한치(최소 열출력)의 제약은 [수학식 4]와 같다.

수학식 4

[0092]
$$H_{PLB,i}^{Min} \le H_{PLB,i}^{j} \le H_{PLB,i}^{Max}$$

[0093]

$H_{PLB,i}^{Min}$: i PLB의 최소 열출력[Gcal](i=1$\cdots N_p$)
$H_{PLB,i}^{Max}$: i PLB의 최대 열출력[Gcal]
$H_{PLB,i}^{j}$: i PLB의 열출력[Gcal](j=1$\cdots N_p$)

[0095] ACC(축열조)의 제약조건

[0096] ACC의 제약조건은 열출력 중 즉시 최대 열출력으로 운전할 수 없고, 단위 시간당 일정한 열출력 한도 내에서만 축열과 방열을 할 수 있다. 이때, 단위 시간당 축·방열의 한도는 [수학식 5]와 같다.

수학식 5

[0097]

$$H_{ACC,i} - \triangle H_{ACC,i}^{Max} \le H_{ACC,i}^{t} \le H_{ACC,i} + \triangle H_{ACC,i}^{Max}$$

[0098] 단, $\triangle H_{ACC,i}$: i ACC의 단위시간당 축·방열량[Gcal/h](i=1$\cdots N_a$)(t=1$\cdots N$)

[0099] 그리고, ACC를 최적으로 운전하기 위해서 동적계획법을 사용하였으며, 1주(168시간) 단위로 시뮬레이션을 수행하였다.

[0100] 이후, 수익이 최대가 되는 상기 목적함수의 최적 경로를 탐색한다(S13). 이 과정에서는 CHP와 PLB의 열출력을 산정하고, ACC의 초기 열수위와 최종 시점의 ACC의 열수위가 같도록 하여 기존 열병합설비(1)의 수익 최대화인 경로를 하기와 같이 탐색한다.

[0101] ACC의 초기 열수위에서 t=1의 시간대로 천이할 때 변동하는 열부하는 [수학식 6]으로 계산한다.

수학식 6

[0102]

$$H_{Load}(1,s) = H_{ACC}^{Initial\,state} + \triangle H_{ACC}$$

[0103] 단, $H_{Load}(1,s)$: State(1,s)의 열부하[Gcal]
$H_{ACC}^{Initial\,state}$: ACC 초기 열수위[Gcal]
$\triangle H_{ACC}$: ACC 시간당 축방열[Gcal/h]
s : 상태의 수

[0104] t=1의 시간대로 천이되는 열부하의 증감으로부터 [수학식 1]의 H_{1-CHP}^{i}, H_{1-PLB}^{i}을 산정한다. 이때, 각 열부하에서 천이된 열부하가 ACC의 열출력이 된다.

[0105] 이후, 각 State의 초기 수익을 계산하고, 천이되는 경로 중에서 총수익이 가장 State 값만을 기억하고, [수학식 7]과 같이 최종 시점까지 ACC의 열수위에 의한 각 수익을 산정한다.

수학식 7

[0106] $$TR(t,S) = DC(t,S) + DPC(t-1,S)$$

[0107] 단, TR : 현재시간까지 계산된 누적수익
DC : 현재시간 Stage의 State에서 계산된 수익
DPC : 전 시간 Stage의 State까지 계산된 누적 최대수익

[0108] 최종 Stage인 t에서 상기 [수학식 7]으로부터 산정된 결과를 토대로 [수학식 1]에서 정의된 목점함수가 최적인 경로를 산정한다(S13). 그리고, 이렇게 산정된 목적함수의 최적경로로부터 최적인 CHP, PLB, ACC의 최적 운영 결과를 도출한다(S14).

[0109] 도 2와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 스마트 에너지 운영 시스템은 최적 운영 도출부(5)를 통해 도출된 기존 열병합설비(1)의 최적 운영 결과를 이용하여 기존 열병합설비(1)의 열적한계용량을 산출하는 열적한계용량 산출부(6)를 포함한다.

[0110] 열적한계용량 산출부(6)는 기존 열병합설비(1)의 최적 운영 결과를 토대로 하기와 같이 기존 열병합설비(1)의 수익이 최대화되는 범위 내에서 열적한계용량을 산정하다.

[0111] 예를 들어, 기존 열병합설비(1)의 최적 운영 결과를 통해 t 시간마다 최적 운영을 수행했을 때, CHP의 열생산 상한치를 'H_{t-CHP}^{Max}'라 하고, PLB의 열출력 상한치를 'H_{t-PLB}^{Max}'라 하고, ACC의 시간당 축·방열량을 'H_{ACC}'라 하고, 1년 중 고려대상인 기간 중 운전모의 하고자 하는 해당 주의 Week 번호에 최대 열부하가 발생하는 주의 'Week 번호'를 입력하고, 이때, 해당 최대 열부하를 'H_{Load}^{Max}'로 한다.

[0112] 수용가의 최대 열부하가 CHP의 열생산 상한치 및 PLB의 열출력 상한치와, ACC의 시간당 축·방열량을 합친값 보다 작거나 같은 경우($H_{Load}^{Max} \le H_{t-CHP}^{Max} + H_{t-PLB}^{Max} + H_{ACC}$N)를 충족할 때에는 기존 열병합설비(1)는 열부하를 충족한다. 하지만, 상기 최대 열부하가 CHP의 열생산 상한치 및 PLB의 열출력 상한치와 ACC의 시간당 축·방열량을 합친값보다 큰 경우($H_{t-CHP}^{Max} + H_{t-PLB}^{Max} + H_{ACC} < H_{Load}^{Max}$)에는 열부하를 충족시킬 수 없다.

[0113] 즉, 상기 최대 열부하가 CHP의 열생산 상한치 및 PLB의 열출력 상한치와, ACC의 시간당 축·방열량을 합친값과 같은 경우($H_{t-CHP}^{Max} + H_{t-PLB}^{Max} + H_{ACC} = H_{Load}^{Max}$)가 t 시간일 때, CHP, PLB 및 ACC의 열적한계용량이 된다. 결국, 최대 열부하가 CHP의 열생산 상한치 및 PLB의 열출력 상한치와 ACC의 시간당 축·방열량을 합친값과 같은 경우($H_{t-CHP}^{Max} + H_{t-PLB}^{Max} + H_{ACC} = H_{Load}^{Max}$)가 t 시간일 때, 기존 열병합설비(1)의 열적한계용량이 된다.

[0114] 한편, ACC는 열부하 공급에 필요한 열을 '일시' 저장하는 시설로 열수요가 낮은 시간에 열을 축열하며, 열수요가 높은 시간에 열을 방열하는 기능을 한다. 따라서, ACC는 온전한 열생산 설비라 볼 수 없으므로, ACC가 방열하는 양을 신재생에너지원의 열적투입한계용량에 포함하여야 한다. 즉, t시간일 때 기존 열병합설비(1)의 최적 운영에 의한 열적한계용량($H_{t-Limit}$)은 [수학식 8]을 충족하는 경우이다.

수학식 8

$$H_{t-CHP}^{Max} + H_{t-PLB}^{Max} = H_{Load}^{Max}$$

단, H_{Load}^{Max} : 최대 열부하

H_{t-CHP}^{Max} : t시간에서의 CHP의 열생산 상한치

H_{t-PLB}^{Max} : t시간에서의 PLB의 열생산 상한치

[0115]

[0116] 한편, 수용가의 최대 열부하가 기존 열병합설비(1)의 열적한계용량($H_{t-Limit}$)을 넘어서게 되면, 기존 열병합설비(1) 만으로는 열 공급이 불가능하므로 신재생에너지 생산설비(2)를 이용하여 신규 에너지(신재생에너지)를 공급해야 한다.

[0117] 이에 따라, 도 2와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 스마트 에너지 운영 시스템은 열적한계용량 산출부(6)를 통해 산출된 기존 열병합설비(1)의 열적한계용량을 이용하여 신재생에너지 생산설비(2)에서 신규 열부하(4)로 투입할 수 있는 신재생에너지원(신규 에너지) 열적투입한계용량을 산정하는 열적투입한계용량 산정부(7)를 포함하다.

[0118] 열적투입한계용량 산정부(7)는 기존 열병합설비(1)의 열적한계용량을 토대로 시간대별 신재생에너지원의 열적투입한계용량($E_{t-Renew}$)을 산정한다. 예를 들어, 시간대별 신재생에너지원의 열적투입한계용량($E_{t-Renew}$)은 기존 열병합설비(1)의 열적한계용량($H_{t-Limit}$)을 초과하는 열부하량과 ACC의 방열량을 합산한 값이 될 수 있다.

[0119] 이때, 열적투입한계용량 산정부(7)는 신재생에너지원의 열적투입한계용량($E_{t-Renew}$)을 시간대별 산정값 중 최대값을 이용하게 되면, 다른 시간대의 기존 열병합설비(1)의 열적한계용량($H_{t-Limit}$)을 초과하는 열부하량을 충족할 수 있으므로, 신재생에너지원의 열적투입한계용량(E_{Renew}^{Max})을 [수학식 9]와 같이 산정할 수 있다.

수학식 9

$$E_{Renew}^{Max} = H_{Load}^{Max} - H_{t-\mathrm{Limit}} + H_{ACC}$$

단, H_{Load}^{Max} : 최대 열부하

$H_{t-\mathrm{Limit}}$: t시간일 때 집단에너지설비의 열적한계용량

H_{ACC} : ACC의 시간당 축·방열량

E_{Renew}^{Max} : 신재생에너지원의 열적투입한계용량

$H_{Load}^{Max} - H_{t-\mathrm{Limit}} + H_{ACC}$값중 최대값

[0120]

[0121] 따라서, 열적투입한계용량 산정부(7)는 기본 열병합설비(1)의 수익이 최대가 되는 최적 운영 결과를 반영하여 신재생에너지원 열적투입한계용량을 산정함으로써 기존 열병합설비(1)의 수익을 최대화하는 범위 내에서 신재생에너지 생산설비(2)에서 신규 열부하(4)로 투입되는 신재생에너지의 투입량을 효율적으로 결정할 수 있다.

[0122] 신재생에너지의 투입량, 즉 신규 에너지의 투입량은 신재생에너지 투입량 결정부(8)에 의해 결정된다. 신재생에너지 투입량 결정부(8)는 열적투입한계용량 산정부(7)를 통해 산정된 신재생에너지원(신규 에너지) 열적투입한계용량을 토대로 신재생에너지 생산설비(2)에서 신규 열부하(4)로 공급되는 신규 에너지의 투입량을 결정한다.

[0123] 신재생에너지 투입량 결정부(8)에서 결정된 신규 에너지의 투입량, 즉 신재생에너지 생산설비(2)에서 신규 열부하(4)로 공급되는 신규 에너지의 투입량은 열적투입한계용량 산정부(7)에서 산정된 열적투입한계용량 산정부(7)에서 산정된 시간대별 신규 에너지의 열적투입한계용량 중 최대값을 갖는 열적투입한계용량과 같다.

[0124] 한편, 도 2와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 스마트 에너지 운영 시스템은 기존 열병합설비(1)에서 신규 열부하(4)로 기존 에너지를 공급(투입)하는 중에 기존 에너지 투입량이 변동되는 경우 이를 감지하는 투입 변동량 검출부(9)를 더 포함한다.

[0125] 기존 열병합설비(1)를 구성하는 열병합발전기나 첨두부하보일러 등의 각종 설비의 고장 및 수리, 기타 여러가지 원인에 의해 100% 가동이 어려워 생산량이 감소할 수 있는데, 이 경우 신규 열부하(4)로 공급되는 기존 에너지의 투입량이 감소한다.

[0126] 신재생에너지 생산설비(2)는 신재생에너지 투입량 결정부(8)에서 결정된 신규 에너지 투입량 만큼만 신규 열부하(4)로 공급한다. 이 때문에 기존 열병합설비(1)에서 기존 에너지 투입량이 감소하는 경우 신규 열부하(4)는 기존 에너지 투입량 감소분 만큼 필요로 하는 에너지를 공급받지 못하여 운영에 문제가 발생할 수 있다.

[0127] 투입 변동량 검출부(9)는 기존 열병합설비(1)에서 신규 열부하(4)로 투입되는 기존 에너지 투입량을 감지하여 그 변동량, 즉, 감소량을 감지한다. 예를 들어, 기존 에너지 투입량의 변동량은 기존 열병합설비(1)의 설비 가동률 정보를 토대로 산정하는 방식으로 감지하거나, 혹은 기존 열병합설비(1)의 기존 에너지 생산량을 토대로 산정하는 방식으로 감지하거나, 기존 열병합설비(1)에서 신규 열부하(4)로 기존 에너지를 수송하는 열수송시설을 통해 수송되는 수송량을 토대로 감지할 수 있다.

[0128] 도 2와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 스마트 에너지 운영 시스템은 투입 변동량 검출부(9)를 통해 기존 열병합설비(1)에서 신규 열부하(4)로 투입되는 기존 에너지의 감소량을 토대로 보상할 변동량을 결정하는 변동량 보상 결정부(10)를 더 포함한다.

[0129] 변동량 보상 결정부(10)는 투입 변동량 검출부(9)를 통해 검출된 변동량, 즉 기존 에너지의 감소량에 대응하여 신재생에너지 생산설비(2)에서 신규 열부하(4)로 추가로 투입할 신규 에너지의 추가 투입량을 결정하여 신재생에너지 투입량 결정부(8)로 제공한다. 이때, 신규 에너지의 추가 투입량은 기존 에너지의 감소량과 동일하다.

[0130] 그리고, 신재생에너지 투입량 결정부(8)는 열적투입한계용량 산정부(7)에서 산정된 신재생에너지원의 열적투입한계용량에 대응하는 신규 에너지의 투입량과, 변동량 보상 결정부(8)에서 결정된 신규 에너지의 추가 투입량을 합산하여 신재생에너지 생산설비(2)에서 신규 열부하(4)로 투입할 신규 에너지의 투입량을 결정한다.

[0131] 신재생에너지 생산설비(2)는 기존 열병합설비(1)의 기존 에너지 감소량에 대응하여 신재생에너지 투입량 결정부(8)에서 새롭게 결정된 신규 에너지의 투입량만큼 신규 에너지를 신규 열부하(4)로 공급하여 안정적인 에너지 공급이 이루어지도록 한다.

[0132] 한편, 기존 열병합설비(1)가 정상적으로 가동되는 경우에는 투입 변동량 검출부(9)를 통해 감지하고, 신재생에너지 투입량 결정부(8)는 추가 투입량없이 열적투입한계용량 산정부(7)에서 산정된 신재생에너지원 열적투입한계용량에 대응하도록 신규 에너지 투입량을 결정한다. 결국, 신재생에너지 생산설비(2)는 신재생에너지원 열적투입한계용량에 대응하는 투입량으로 신규 에너지를 신규 열부하(4)로 공급한다.

[0134] <u>실험 조건</u>

[0135] 1. CHP, PLB, ACC 입력 데이터

[0136] 기존 집단에너지설비(1)는 CHP 2대, PLB 1대, ACC 1대로 구성하였다.

[0137] CHP는 5개의 운전모드 중 가스터빈 단독운전(Mode2)을 제외한 4가지 운전모드(열부하 추종운전모드, 전기부하 추종운전모드, 최대열부하 추종운전모드, 열부하/전기부하 혼합운전모드)로 운전 중이고, 그때의 열생산 하한치와 상한치는 [표 1]과 같다.

표 1

[0138]

	운전모드	열생산 하한치 [Gcal/h]	열생산 상한치 [Gcal/h]
CHP 1	1	25	50
	3	25	50
	4	27	60
	5	20	45
CHP 2	1	25	60
	3	25	60
	4	27	70
	5	20	55

[0139] PLB의 열출력 하한치와 상한치는 [표 2]와 같다.

표 2

[0140]

	열출력 한한치 [Gcal/h]	열출력 상한치 [Gcal/h]
PLB	0	100

[0141] ACC의 용량과 시간당 축·방열량은 [표 3]과 같다.

표 3

[0142]

	용량 [Gcal/h]	시간당 축·방열량 [Gcal/h]
ACC	400	8

[0143] CHP와 PLB의 연료비 함수는 열출력의 2차함수로 구성하였으며, 계수는 [표 4]와 같다.

표 4

[0144]

	운전 모드	연료비 계수		
		a	b	c
CHP	1	0.0071	33.069	569.8
	3	0.0102	11.008	25.8
	4	0.0051	59.016	-281.27
	5	0.0263	26.621	343.21

	연료비 계수		
	a	b	c
PLB	0.0178	42.7160	25.792

[0146] 2. 기존 열병합설비의 최적 운영 분석 및 결과

[0147] 이러한 부하 입력데이터와 설비 입력데이터를 토대로 수용가 열부하의 특성을 분석하면 [표 5]와 같다.

표 5

[0148]

최대열부하[Gcal/h]	305.05
최소열부하[Gcal/h]	121.49
총열부하량[Gcal]	36,510.99

[0149] 도 4는 상기 조건에서 기존 열부하가 최대 열부하를 발생시킬 때 각각의 열부하를 시간대별로 도시한 그래프이고, 도 5는 기존 열부하가 최대 열부하를 발생시키는 4주차의 2018년 SMP(System Marginal Price) 시간대별 가격을 도시한 그래프이다.

[0150] 기존 열병합설비(1)가 기존 에너지를 투입하고 있던 기존 열부하(3)가 최대 열부하를 발생시키는 주차는 4주차로 확인되었고, 이때, 열부하 각각의 구성은 도 4와 같다.

[0151] 상기한 입력 데이터를 토대로 전술한 방법으로 기존 열병합설비(1)의 특성을 반영하여 최적 운영을 수행하였을 때, CHP와 PLB의 열생산량, ACC의 방열량을 구하면, [표 6]과 같다. 이때, 공급해야 되는 열부하량은 36,510.99[Gcal]인 반면, 생산되는 열은 34,060.08[Gcal]이므로 400[Gcal]이 부족하게 되어 ACC에 축열된 열을 방열하게 된다.

표 6

[0152]

	[Gcal]
CHP 열생산량	19,252.67
PLB 열생산량	14,807.41
CHP, PLB 총 열생산량	34,060.08
ACC 방열량	400.01

[0153] 기존 열병합설비(1)의 최적 운영 결과는 도 6과 같다.

[0154] 도 6은 본 발명에 따른 기존 열병합설비의 최적 운영 결과 그래프를 나타낸다.

[0155] 도 6과 같이, 2시간부터 51시간까지만 ACC가 방열되고, CHP 2대와 PLB 1대가 운전하는 것을 볼 수 있다. 이는 연료비 함수를 토대로 열부하량, SMP(계통한계가격) 및 기존 집단에너지설비(1)의 특성을 고려하였을 때, 각 설비가 동시에 운전하는 것이 더 경제적인 것으로 산정되었기 때문이다. 하지만, 1~2, 7~9, 22~25, 41~58, 65~81, 90~96, 103~104, 115~119, 140~142 시간대와 같이 총 69시간대에 걸쳐서 기존 집단에너지설비(1)가 최적 운영하였을 때 열부하를 충족시키지 못하는 것을 볼 수 있는데, 이는 CHP, PLB 및 ACC 각각의 열생산량의 합이 열부하를 충족시키지 못한다는 것을 의미한다. 이때, 기존 열병합설비(1)의 열적한계용량은 230[Gcal/h]로 산정되었다.

[0156] 이상에서 설명한 바와 같이, 본 발명에서는 열부하에 대하여 기존 열병합설비(1)의 최적 운영을 산정하고, 기존 열병합설비(1)의 최적 운영을 해치지 않는 범위 내에서 신재생에너지원의 열적투입한계용량을 결정한다. 이를 통해 기존 열병합설비(1)의 최적 운영을 수행하였을 때의 결과가 $H_{Load}^{Max} > H_{t-\mathrm{Limit}}$ 이면, 기존 열병합설비(1) 만으로는 열부하를 충족할 만큼 에너지를 공급할 수 없으므로, 신재생에너지 생산설비(2)를 통해 기존 열병합설비(1)의 열적한계용량을 초과한 부분만큼을 신재생에너지를 공급해주어야 한다.

[0157] 도 7은 각 시간대별 신재생에너지원의 열적투입한계용량을 나타낸 도면이다.

[0158] 도 7과 같이, 각 시간대별 신재생에너지원의 열적투입한계용량은 $E_{Renew} = H_{Load}^{Max} - H_{t-\mathrm{Limit}} + H_{ACC}$ 를 이용하여 산정할 수 있다. 신재생에너지원의 열적투입한계용량 E_{Renew} 는 다른 시간대의 $H_{t-\mathrm{Limit}}$ 를 초과하는 열부하량을 충족할 수 있으므로, 최대 열부하인 46시간일 때의 신재생에너지원의 열적투입한계용량이 신재생에너지원의 열적투입한계용량으로 결정될 수 있다. 즉, 본 예시에서, 신재생에너지원 열적투입한계용량 E_{Renew} 은 83.05[Gcal/h]로 산정된다.

[0160] 이상에서와 같이 본 발명의 기술적 사상은 바람직한 실시예에서 구체적으로 기술되었으나, 상기한 바람직한 실시예는 그 설명을 위한 것이며, 그 제한을 위한 것이 아니다. 이처럼 이 기술 분야의 통상의 전문가라면 본 발명의 기술 사상의 범위 내에서 본 발명의 실시예의 결합을 통해 다양한 실시예들이 가능함을 이해할 수 있을 것이다.

부호의 설명

[0162] 1 : 기존 열병합설비

2 : 신재생에너지 생산설비

3 : 기존 열부하

4 : 신규 열부하

5 : 최적 운영 도출부

6 : 열적한계용량 산출부

7 : 열적투입한계용량 산정부

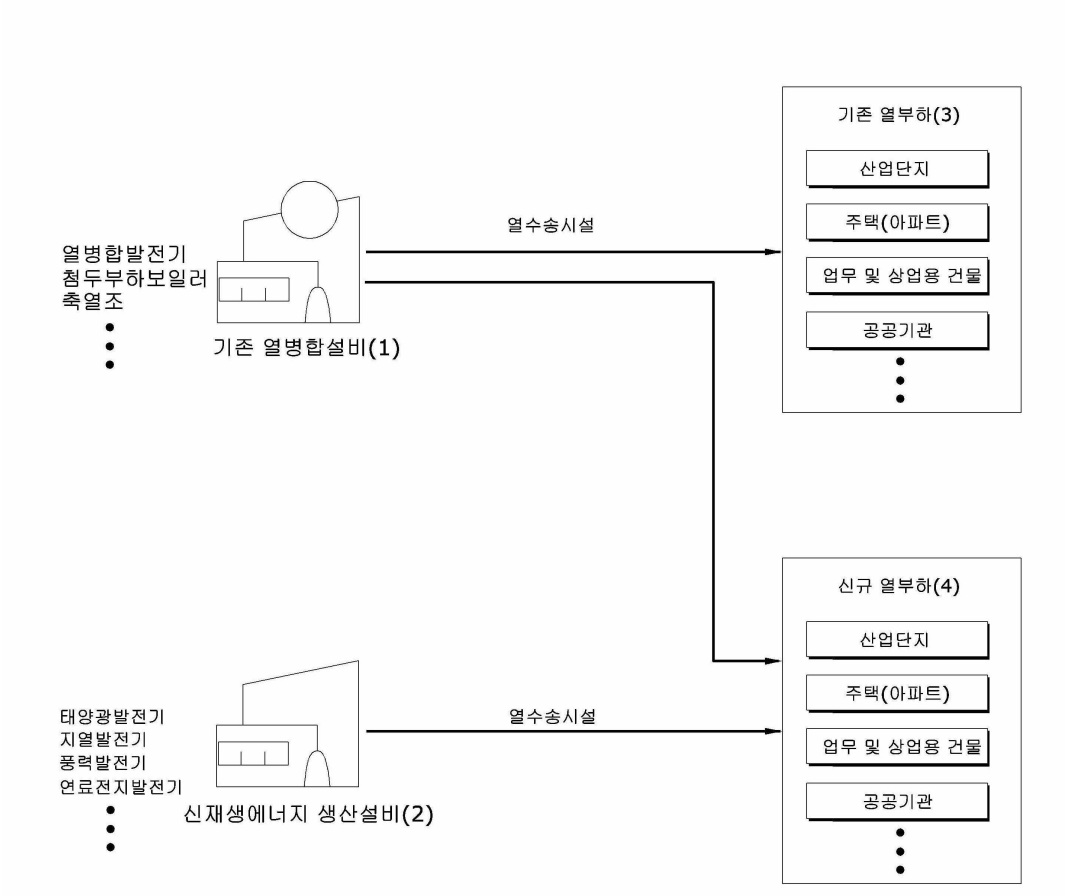
8 : 신재생에너지 투입량 결정부

9 : 투입 변동량 검출부

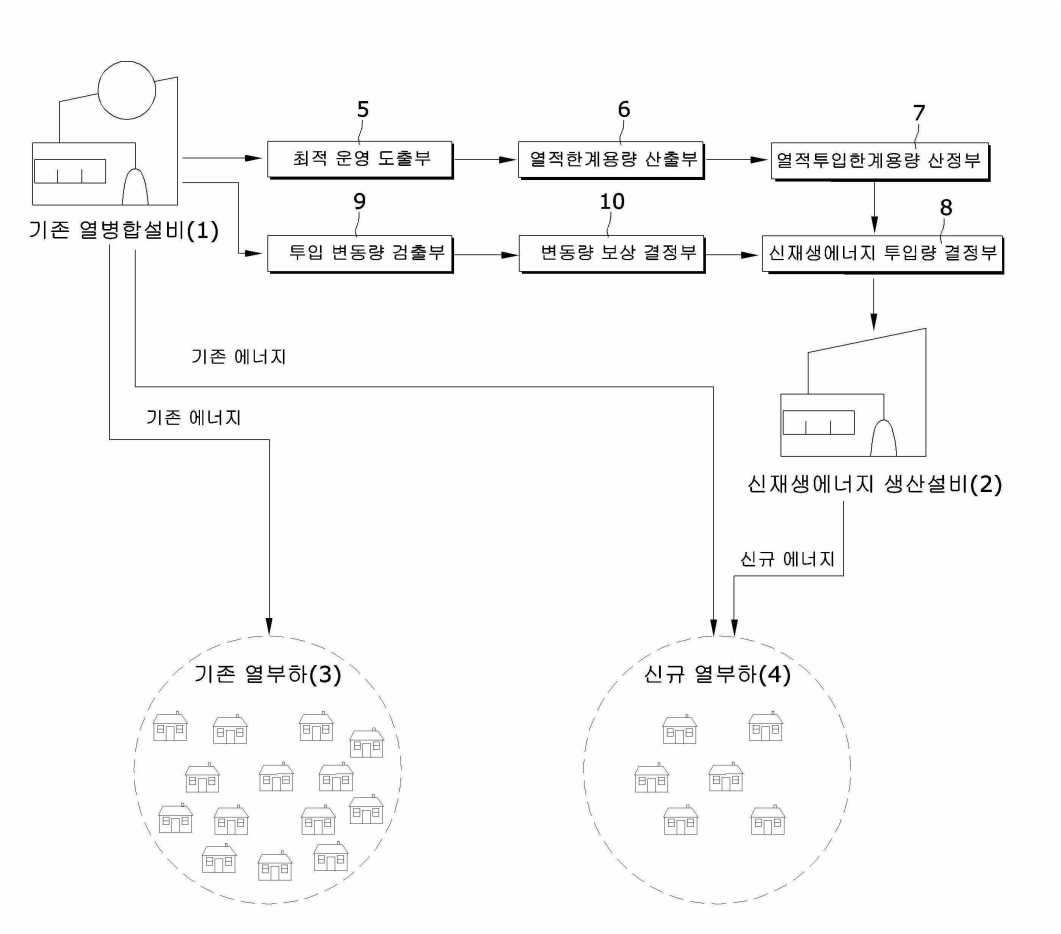
10 : 변동량 보상 결정부

도면

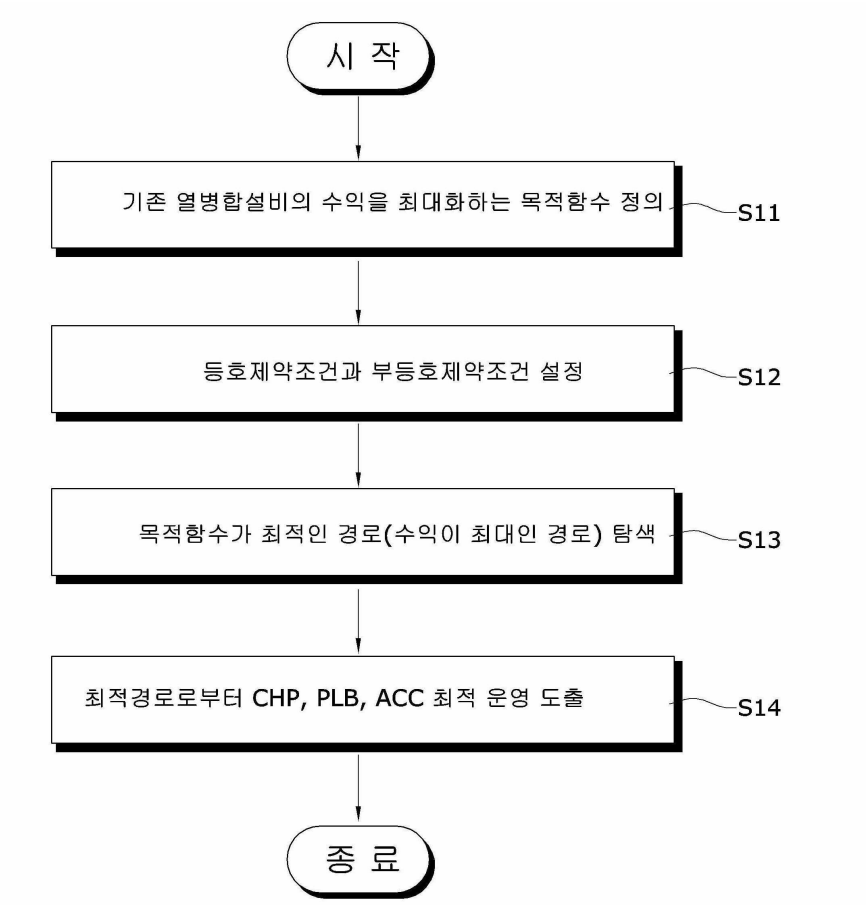
도면1



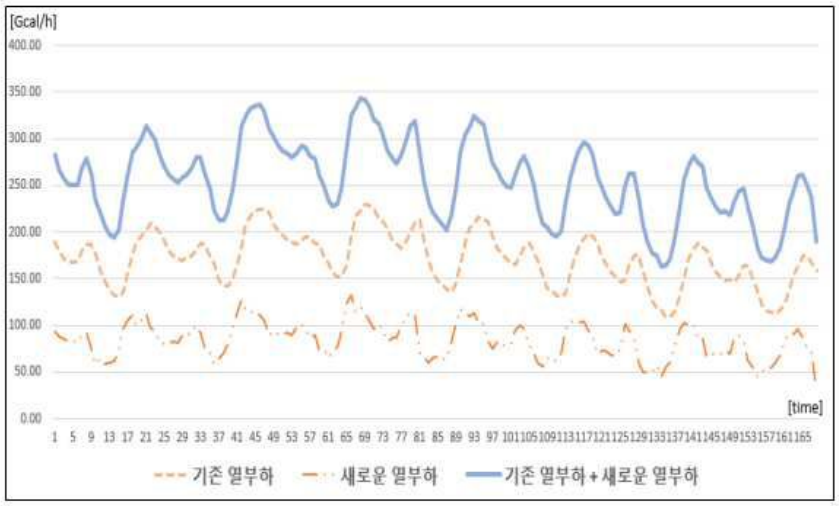
도면2


5
최적 운영 도출부
6
열적한계용량 산출부
7
열적투입한계용량 산정부
기존 열병합설비(1)
9
투입 변동량 검출부
10
변동량 보상 결정부
8
신재생에너지 투입량 결정부
기존 에너지
기존 에너지
신재생에너지 생산설비(2)
신규 에너지
기존 열부하(3)
신규 열부하(4)

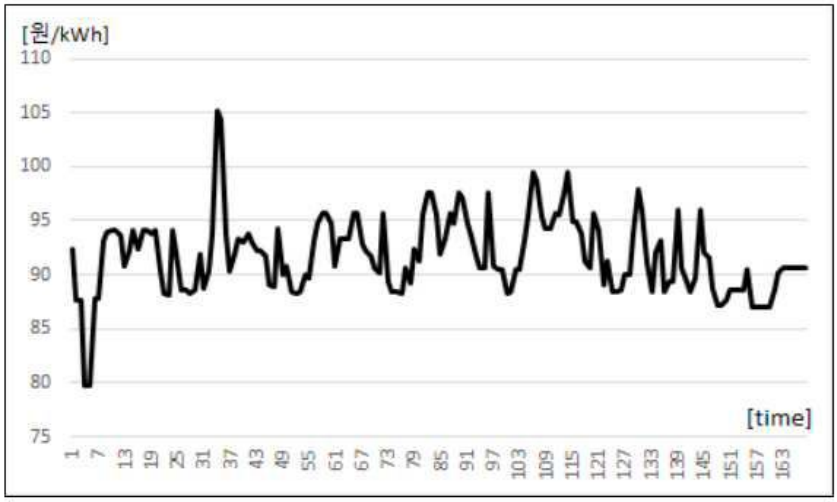
도면3


시 작
기존 열병합설비의 수익을 최대화하는 목적함수 정의
S11
등호제약조건과 부등호제약조건 설정
S12
목적함수가 최적인 경로(수익이 최대인 경로) 탐색
S13
최적경로로부터 CHP, PLB, ACC 최적 운영 도출
S14
종 료

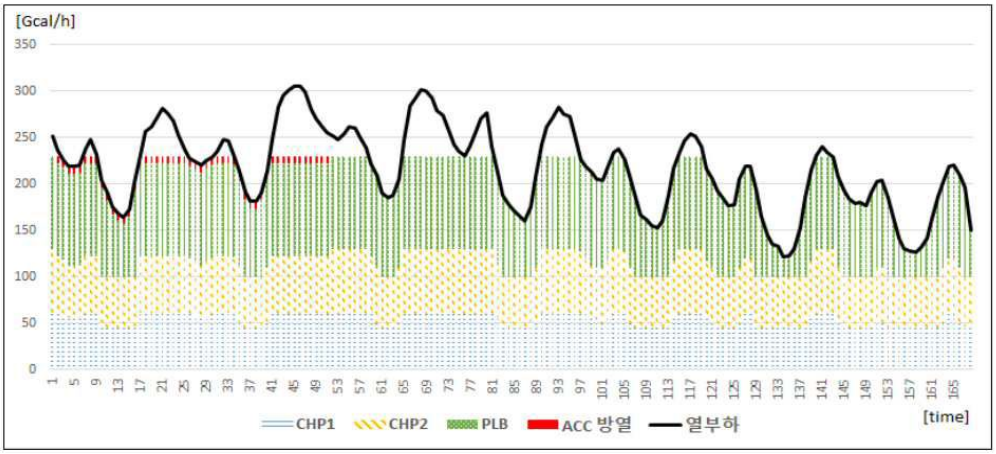
도면4


[Gcal/h]
400.00
350.00
300.00
250.00
200.00
150.00
100.00
50.00
0.00
[time]
기존 열부하
새로운 열부하
기존 열부하+새로운 열부하

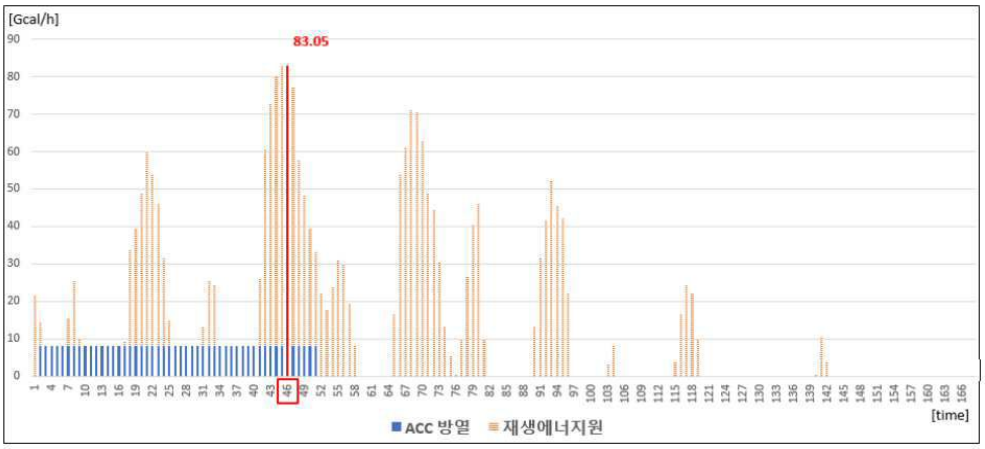
도면5


[원/kWh]
110
105
100
95
90
85
80
75
[time]

도면6


[Gcal/h]
350
300
250
200
150
100
50
0
CHP1
CHP2
PLB
ACC 방열
열부하
[time]

도면7


[Gcal/h]
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
83.05
ACC 방열
재생에너지원
[time]