



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0101669
(43) 공개일자 2018년09월13일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06Q 50/06 (2012.01) F24S 50/00 (2018.01)
(52) CPC특허분류
G06Q 50/06 (2013.01)
F24S 50/00 (2018.05)
(21) 출원번호 10-2017-0027450
(22) 출원일자 2017년03월03일
심사청구일자 없음

(71) 출원인
연세대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)
(72) 발명자
홍대훈
서울특별시 서초구 신반포로19길 10 22동 1204호
(반포동, 신반포한신아파트)
구충완
서울시 서대문구 연세로 50 연세대학교 제1공학관 A472
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
김인철

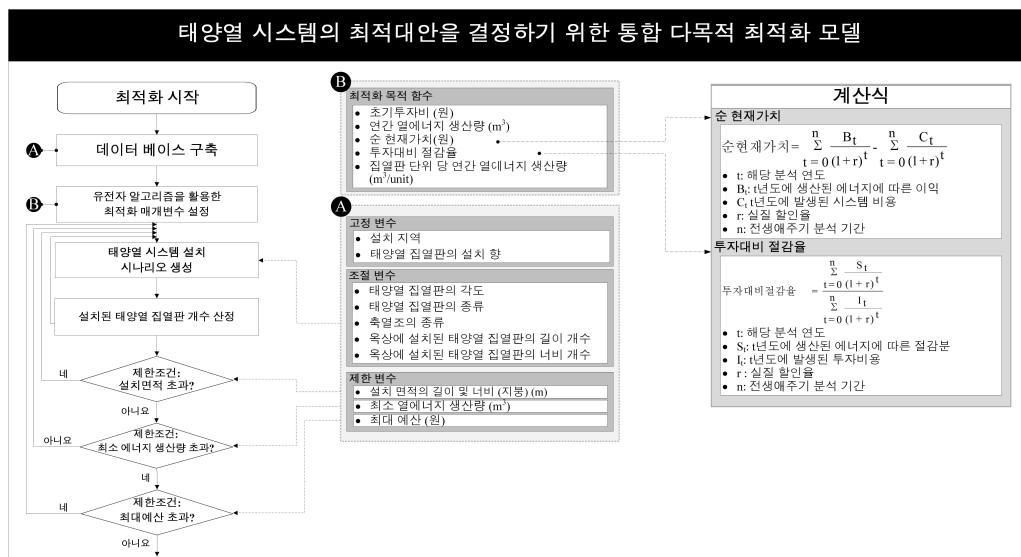
전체 청구항 수 : 총 1 항

(54) 발명의 명칭 태양열 시스템의 최적 대안을 결정하기 위한 통합 다목적 최적화 모델

(57) 요약

본 명세서는 태양열 시스템의 에너지 생산량, 경제성 및 환경성을 통합 분석방법을 개시한다. 본 명세서에 따른 태양열 시스템의 통합 분석 방법은, (a) 지역 지리 정보, 지역 기상 정보 및 태양열에너지 시스템 정보를 가진 데이터베이스를 구축하는 단계; (b) 고정변수, 조절변수 및 제한변수를 가진 태양열에너지 시스템 설치 시나리오를 생성하는 단계; (c) 태양열 집열관 효율, 총 집열관 면적 및 태양 일사량과 같은 영향 요인을 이용하여 태양열에너지 시스템의 에너지 생산량을 분석하는 단계; (d) 분석 시작시점, 분석기간, 실질 할인율 및 비용 가정사항을 이용하여 전생애주기 관점에서 경제성 및 환경성을 평가하는 단계; 및 (e) 유전자 알고리즘을 사용한 통합 다목적최적화(iMOO) 프로세스를 구축하는 단계;를 포함할 수 있다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

Y02E 10/40 (2013.01)

Y02E 10/52 (2013.01)

(72) 발명자

김지민

서울시 서대문구 연세로 50 연세대학교 제1공학관
A472

정재민

서울시 서대문구 연세로 50 연세대학교 제1공학관
A472

이명휘

서울시 서대문구 연세로 50 연세대학교 제1공학관
A472

이민현

서울시 서대문구 연세로 50 연세대학교 제1공학관
A472

지창윤

서울시 서대문구 연세로 50 연세대학교 제1공학관
A472

정광복

서울시 서대문구 연세로 50 연세대학교 제1공학관
A472

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2015R1A2A1A05001657

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관

연구사업명 중견연구자지원사업

연구과제명 유기체적 도시기반 탄소통합형 건설관리시스템 개발 (CIMSCITY

2.0)(2/3)(2015.5.1~2018.4.30)

기 여 율 1/1

주관기관 연세대학교 산학협력단

연구기간 2016.05.01 ~ 2017.04.30

명세서

청구범위

청구항 1

- (a) 지역 지리 정보, 지역 기상 정보 및 태양열에너지 시스템 정보를 가진 데이터베이스를 구축하는 단계;
- (b) 고정변수, 조절변수 및 제한변수를 가진 태양열에너지 시스템 설치 시나리오를 생성하는 단계;
- (c) 태양열 집열판 효율, 총 집열판 면적 및 태양 일사량과 같은 영향 요인을 이용하여 태양열에너지 시스템의 에너지 생산량을 분석하는 단계;
- (d) 분석 시작시점, 분석기간, 실질 할인율 및 비용 가정사항을 이용하여 전생애주기 관점에서 경제성 및 환경성을 평가하는 단계; 및
- (e) 유전자 알고리즘을 사용한 통합다목적최적화(iM00) 프로세스를 구축하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 태양열 시스템의 통합 분석 방법.

발명의 설명

기술 분야

- [0001] 본 모델은 태양열 시스템의 분석 방법론에 관한 것으로, 더욱 상세하게는, 에너지 생산량, 경제성 및 환경성 통합 분석 모델에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 화석 연료 사용이 전 세계적으로 증가함에 따라 지구 온난화와 같은 다양한 기후 문제가 발생한다. 이러한 환경 문제를 해결하기 위해 전 세계는 다양한 신재생 에너지 기술에 많은 관심을 기울이고 있다. 그중에서 태양 에너지에 큰 관심을 보이고 있는데, 특히, 태양열 에너지 시스템은 태양 복사열을 열로 변환하는 고효율 시스템이다. 태양열 에너지 시스템은 화석 연료 사용을 줄여 경제적으로 이산화탄소 배출량을 줄일 수 있다. 그리고 오늘날 가정이나 산업에 적용 할 수 있는 가장 널리 사용되는 신재생 에너지 기술 중 하나이다.

- [0003] 한국의 제 2차 에너지 기본계획에 따르면 2000년부터 2012년까지의 최종 에너지 소비량은 연평균 2.8% 증가했으며, 전체 에너지 소비량의 38%를 차지하고 있다. 따라서 한국 정부는 신재생 에너지 공급을 확대하고 있으며, 2035 년까지 전체 에너지 공급량 중에서 신재생 에너지 점유율을 11 %로 확대 할 계획이다. 한국 정부는 신재생 에너지의 확장 된 이행을 촉진하기 위해 주택 지원이나 건물 지원과 같은 인센티브 정책을 통해 초기 투자비용을 지원한다. 한국의 태양열 에너지 시스템은 2013년에 총 48,473 m² 설치되었으며, 27,812 석유환산톤 (TOE)을 생산한다. 한국 정부는 제 4차 신재생에너지 기본계획에 따르면 태양열 에너지 시스템의 점유율은 2012 년 0.3%에서 2035 년까지 7.9% (21.2 % 연간 평균 증가율) 까지 계획하고 있으며, 신재생 에너지 기술 중 가장 크게 증가한다. 태양열 에너지 시스템은 정부 지원금과 높은 효율성은 여러 장점이 있지만 높은 초기투자비용과 에너지 생산량이 기후에 많은 영향을 받기 때문에 이러한 어려움이 있기 때문에 태양열 시스템을 도입하기 위해 전생애주기 과정에서 분석이 필요하다. 이러한 평가를 위해 가장 중요한 것은 (i) 지역 요인 및 (ii) 건물 특성 등을 고려하여 정확한 열에너지 생산량을 분석하는 것이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0004] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 태양열 시스템의 에너지 생산량, 경제성 및 환경성을 통합 분석하는 모델을 제공하는 데에 있다.

- [0005] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 최적화 알고리즘을 활용하여 의사결정자로 하여금, 태양열 시스템을 도입할 시 태양열 시스템의 최적 대안을 제시할 수 있는 데에 있다.

[0006] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 의사결정자가 에너지 생산량, 경제성 및 환경성을 고려할 때, 통합 다목적최적화 방법론을 활용하여, 각각의 관점에서 가중치 적용을 통한 통합지표로 산정할 수 있는 모델을 구축하는 데에 있다.

[0007] 본 발명의 해결과제는 이상에서 언급된 것들에 한정되지 않으며, 언급되지 아니한 다른 해결과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확히 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0008] 상술한 과제를 해결하기 위한 본 명세서에 따른 태양열 시스템의 통합 분석 방법은, (a) 지역 지리 정보, 지역 기상 정보 및 태양열에너지 시스템 정보를 가진 데이터베이스를 구축하는 단계; (b) 고정변수, 조절변수 및 제한변수를 가진 태양열에너지 시스템 설치 시나리오를 생성하는 단계; (c) 태양열 집열판 효율, 총 집열판 면적 및 태양 일사량과 같은 영향 요인을 이용하여 태양열에너지 시스템의 에너지 생산량을 분석하는 단계; (d) 분석 시작시점, 분석기간, 실질 할인율 및 비용 가정사항을 이용하여 전생애주기 관점에서 경제성 및 환경성을 평가하는 단계; 및 (e) 유전자 알고리즘을 사용한 통합다목적최적화(iMOO) 프로세스를 구축하는 단계;를 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0009] 본 명세서에 따른 통합 분석 방법은 최적화 알고리즘을 활용하여 의사결정자로 하여금, 태양열 시스템을 도입할 시 태양열 시스템의 최적 대안을 제시할 수 있다.

[0010] 본 발명의 해결과제는 이상에서 언급된 것들에 한정되지 않으며, 언급되지 아니한 다른 해결과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확히 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0011] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 태양열 시스템 통합 분석 모델의 그래픽 사용자 인터페이스를 보여주는 개념도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 태양열 시스템 통합 분석 모델의 최적 대안을 결정하기 위한 흐름도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 태양열 시스템 통합 분석 모델의 그래픽 사용자 인터페이스를 보여주는 개념도이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 태양열 시스템 통합 분석 모델의 최적 대안을 결정하기 위한 흐름도이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 태양열 시스템 통합 분석 모델의 그래픽 사용자 인터페이스를 보여주는 개념도이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 태양열 시스템 통합 분석 모델의 그래픽 사용자 인터페이스를 보여주는 개념도이다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 태양열 시스템 통합 분석 모델의 그래픽 사용자 인터페이스를 보여주는 개념도이다.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 태양열 시스템 통합 분석 모델의 그래픽 사용자 인터페이스를 보여주는 개념도이다.

도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 태양열 시스템 통합 분석 모델의 그래픽 사용자 인터페이스를 보여주는 개념도이다.

도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 태양열 시스템 통합 분석 모델의 최적대안 선정을 보여주는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0012] 1 단계 : 데이터베이스 구축

[0013] 최적의 태양열에너지 시스템 대안을 제시하기 위해 태양열에너지 시스템과 관련된 영향 요소를 고려했다. 먼저 기존에 발표된 연구, 한국 공공 기관 및 지리 정보에 기반하여 다음과 같은 데이터베이스를 구축했다. 태양열 시스템의 최적대안을 제시하기 위한 변수는 (i) 지역 지리 정보, (ii) 지역 기상 정보, (iii) 태양열에너지 시

시스템 정보 등 3 가지 범주로 나눌 수 있다. 구축 된 데이터베이스는 2 단계 및 3 단계에서 사용된다.

[0014] 지역 지리 정보로서, 한국의 16 개 주요 도시의 위도는 지리 정보를 제공하는 구글어스에서 수집되었다. 자오선 고도는 다음 수학적식을 통해 계산된다.

[0015] <수학적식 1>

[0016]
$$\tau = 90^\circ - \phi - \varepsilon$$

[0017] (여기서, τ 는 태양의 최소 입사각, ϕ 는 지역 위도, ε 은 지구 축의 경사각)

[0018] 지역 기상 정보로 월별 총 일사량을 계산 한 신재생에너지 데이터 센터에서 한국의 16 개 대표 도시의 월별 태양 일사량을 수집했다. 한국의 월간 외기온도와 월간 시수온도는 한국 기상청에서 가장 최신 자료로 수집되었다. 월간 시수온도는 건물에 공급되는 물의 온도이다.

[0019] 태양열에너지 시스템의 정보로서, 다음과 같은 집열판 및 축열조에 대한 시스템 정보를 조달청에서 수집되었다. (i) 집열판 : 폭, 길이, 면적, 집열효율 수정계수 및 열 손실 계수, (ii) 축열조 : 지름, 높이 및 용량.

[0021] 2 단계 : 태양열에너지 시스템 설치 시나리오 생성

[0022] 최적의 태양열에너지 시스템 대안을 구하기 위해 1단계에서 구축한 데이터베이스를 고려해야한다. (i) 고정변수, (ii) 조절변수 및 (iii) 제한변수 등 세 범주로 구분한다.

[0023] 고정변수는 태양열에너지 시스템이 설치되는 동안 조정될 수없는 다음 과 같은 변수이다 : (i) 대상 건물의 지역, (ii) 건물의 시설 유형, 그리고 (iii) 태양열 집열판의 향 (AoC). 태양열 집열판의 향은 태양열 집열판의 설치 방위각으로, 태양열 집열판이 남쪽 (0°)을 향할 때 효율이 가장 높다.

[0024] 태양열에너지 시스템을 설치할 때 다음과 같은 조절변수를 고려할 수 있다 : (i) 태양열 집열판 각도 (SoC), (ii) 태양열 집열판 종류 (ToC), (iii) 축열조 종류 (ToS), (iv) 옥상에 설치된 태양열 집열판의 길이 개수 (NoC_L), (v) 옥상에 설치된 태양열 집열판의 너비 개수 (NoC_W).

[0025] 제한변수는 태양열에너지 시스템 설치시 고려해야 할 제한 사항이다. 다음과 같은 제한 변수는 설치 가능한 태양열 시스템의 모든 시나리오에서 제외해야 하는 시나리오를 제거 해준다. 즉, 옥상면적의 길이, 옥상면적의 너비, 최소 열에너지 생산량 한도 및 (iv) 최대 예산 한도.

[0026] 위의 세 가지 변수들을 고려하여 대상 건물에 대한 최적의 태양열에너지 시스템을 제시하기 위한 시나리오를 생성할 수 있다.

[0028] 3 단계: 태양열에너지 시스템의 에너지 생산량 분석

[0029] 2 단계에서 생성 된 태양열에너지 시스템 시나리오를 분석하여 최적 대안을 제시하기 위해 태양열에너지 시스템의 열에너지 생산량을 태양열 집열판 효율, 총 집열판 면적 및 태양 일사량과 같은 영향 요인을 고려하여 계산될 수 있다.

[0030] 수학적식 2는 각도를 기준으로 태양 일사량을 계산한다.

[0031] <수학적식2>

[0032]
$$H_T = H_b R_b + H_d (1 + \cos \beta) / 2 + H_p (1 - \cos \beta) / 2$$

[0033] (여기서, H_T 는 일일 경사면 평균 일사량 ($\text{kWh}/\text{m}^2/\text{day}$), H_b 는 일일 수평면 직달 일사량 ($\text{kWh}/\text{m}^2/\text{day}$), R_b 는 수평면에서의 월간 경사 일사량 비율 ($\text{kWh}/\text{m}^2/\text{day}$), β 는 집열판의 기울기 ($^\circ$), H 는 일일 수평면 총 일사량 ($\text{kWh}/\text{m}^2/\text{day}$) ρ_g 는 지면 반사율 (0.2))

[0034] H는 일일 총 일사량이며 수학식 3을 사용하여 계산된다.

[0036] <수학식 3>

$$[0037] \quad H = H_b + H_d$$

[0038] 여기서, H_b 는 일일 수평면 직달 일사량 ($\text{kWh}/\text{m}^2/\text{day}$), H_d 는 일일 수평면 산란 일사량 ($\text{kWh}/\text{m}^2/\text{day}$)

[0039] R_b 는 수학식 4, 수학식 5, 수학식 6에 의해 계산된다.

[0041] <수학식 4>

$$[0042] \quad R_b = \left[\cos(\phi - \beta) \cos \delta \sin W'_S + \frac{\pi}{180} \times W'_S \sin(\phi - \beta) \sin \delta \right] / \left[\cos \phi \cos \delta \sin W_S + \frac{\pi}{180} \times W_S \sin \delta \right]$$

[0043] (여기서 ϕ 는 위도 각 ($^\circ$), β 는 집열판의 기울기 ($^\circ$), δ 는 적위 ($^\circ$), W_S 는 수평면의 태양 각도 ($^\circ$), W'_S 는 경사면의 태양 각도 ($^\circ$))

[0044] <수학식 5>

$$[0045] \quad W_S = \cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta)$$

[0046] <수학식 6>

$$[0047] \quad W'_S = \min[\cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta), \cos^{-1}(-\tan(\phi - \beta) \tan \delta)]$$

[0048] (여기서 'min'은 대괄호 안에있는 두 항목 중 작은 것을 의미)

[0049] 집열판의 효율은 수학식 2와 수학식 7을 사용하여 집열판 경사면에 닿는 일사량 정보를 적용하여 결정된다.

[0050] <수학식 7>

$$[0051] \quad \eta = Q_u / A_c I_T = F_r(\tau \alpha) - F_r U_L \times (T_i - T_a) / I_T$$

[0052] (여기서 η 는 태양열시스템의 효율 (%), Q_u 는 태양열 시스템 일일 에너지 생산량 (kWh/day), A_c 는 태양열시스템 집열판 총 면적 (m^2), I_T 는 일일 직달 일사량 ($\text{kWh}/\text{m}^2/\text{day}$), $F_r(\tau \alpha)$ 은 집열효율 수정계수, $F_r U_L$ 은 열손실 계수 [$(\text{W}/\text{m}^2)/^\circ \text{C}$], T_i 는 집열판 유입수 공급 온도 ($^\circ \text{C}$), T_a 는 외기온도 ($^\circ \text{C}$))

[0053] 마지막으로, 태양열에너지 시스템을 통해 생산되는 열에너지는 수학식 8에 의해 계산된다.

[0054] <수학식 8>

$$[0055] \quad Q_u = \eta A_p I_T$$

[0056] (여기서, Q_u 는 일일 열에너지 생산량 (kWh/day), η 는 효율 (%), A_p 는 총 집열판 면적 (m^2), I_T 는 직달 일사량 ($\text{kWh}/\text{m}^2/\text{day}$))

[0058] 4 단계 : 전생애주기 관점에서 경제성 및 환경성 평가

[0059] 경제성 및 환경성 평가를 위해 전생애주기 비용 (LCC) 및 전생애주기 이산화탄소 (LCCO₂) 분석이 수행되었다. 결과 분석을 위해 다음과 같은 4가지 가정을 수립했다: (i) 분석 시작시점과 분석기간, (ii) 실질 할인율, (iii) 비용 가정사항 (전생애 주기 과정에서 발생하는 비용 및 절감 비용을 의미 : 전기 요금, 가스 요금, 정부 보조금, 온실가스배출 감축실적 정부구매 (KCERs)).

[0060] 이자율은 수학적식 9에 의해 계산된다.

[0061] <수학적식 9>

$$i = (1 + i_n) / (1 + f) - 1$$

[0062]

[0063] 5 단계 : 유전자 알고리즘을 사용한 통합다목적최적화 (iMOO) 프로세스 구축

[0064] 에너지 생산량, 경제성 및 환경성을 통합적으로 분석하여 보다 직관적이고 단순하게 적용 가능한 모델인 iMOO 모델은 다음 6 단계에 따라 파레토 최적에 기반을 둔 최적 대안을 제시한다 : (i) 문제정의 (ii) 최적화 목적함수의 정의, (iii) 데이터 구조의 확립, (iv) 최적화 목적함수의 표준화, (v) 적합 함수의 정의, (vi) 유전 알고리즘의 구현.

[0065] 태양열에너지 시스템은 다음과 같이 최적 대안을 정의한다 : (i) 에너지 생산량; (ii) 경제성 및 환경성 평가. 따라서, 이 모델에서는 에너지, 경제성 및 환경성 평가와 관련된 목적함수를 고려한다.

[0066] 최적화 대안을 결정하기 위해서, 목적함수는 에너지와 경제성 및 환경성 평가에 의해 정의되었다. 그러므로 이 모델의 최종 목적 함수는 (i) 초기 투자비 (IIC)의 최소화, (ii) 연간 열에너지 생산량 (AHG), 순 현재가치 (NPV), 투자대비 절감율 (SIR) 및 집열판 단위 당 연간 열에너지 생산량 (AHG/unit)의 최대화.

[0067] 태양열에너지 시스템의 최적 대안을 계산하기 위해 지역 정보 및 집열판과 축열조 대한 정보를 1단계에서 수집했다. 지역 정보는 한국의 16 개 대표 지역의 외기온도, 일사량 및 위도가 수집되었다. 조달청에서 26 종류의 집열판과 27 종류의 축열조 정보를 수집하였다. 제안 된 목적 함수는 수학적식 10, 수학적식 11, 수학적식 12, 수학적식 13을 사용하여 최대 극점 (Z^+)과 최소 극점 (Z^-)의 두 극한점으로 표준화된다.

[0068] <수학적식 10>

$$Z^+ = \{Z_A^{\max}, Z_B^{\max}\}$$

[0069]

[0070] <수학적식 11>

$$Z^- = \{Z_A^{\min}, Z_B^{\min}\}$$

[0071]

[0072] (여기서 Z^+ 는 최대 극점, Z^- 는 극한 최소 점, Z_A^{\max} 및 Z_B^{\max} 는 각각 A 및 B의 최적화 목표의 최대값, Z_A^{\min} 및 Z_B^{\min} 은 A 및 B의 최적화 목표의 최소값)

[0073] <수학적식 12>

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

[0074]

[0075] <수학적식 13>

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

[0076]

[0077] (여기서, S_A 는 Z_A 의 표준화, S_B 는 Z_B 의 표준화)

- [0078] 최적 대안을 결정하기 위해 표준화된 목적함수를 활용한다. 최적화 목표는 IIC의 최소화와 AHG, NPV, SIR 및 AHG/unit의 최대화다. 태양열에너지 시스템의 최적 대안은 iMOO 점수가 가장 낮은 시나리오로 수학적 14인 적합도 함수를 사용하여 계산된다.
- [0079] <수학적 14>
- $$\text{적합도함수} = \sqrt{(S_A - 0)^2 + (1 - S_B)^2 + (1 - S_C)^2 + (1 - S_D)^2 + (1 - S_E)^2}$$
- [0080]
- [0081] (여기서 S_A, S_B, S_C, S_D 및 S_E 는 각각 IIC, AHG, NPV, SIR 및 AHG/unit의 최적화 목표에 대한 표준화, iMOO 점수는 적합도 함수 값)
- [0082] 존 홀랜드가 1970 년에 개발 한 유전자 알고리즘은 교차 연산자를 사용하여 대안을 검색하는 데 중요한 역할을 하는 최적화 알고리즘이다. 제안된 모델은 소프트웨어 프로그램 인 'Evolver 5.5' 를 기반으로 유전자 알고리즘을 사용했다. 유전자 알고리즘을 적용하기 위해 본 발명에서는 2 단계에서 고려한 조절변수 인 SoC, ToC, ToS, NoC_L 및 NoC_W뿐만 아니라 제한변수인 설치면적의 제한, 최소 연간 열에너지 생산량 한도 및 최대 예산 한도를 사용했다.
- [0084] 6 단계 : 마이크로소프트 엑셀 기반 비주얼베이직 어플리케이션을 활용하여 모델 개발
- [0085] 본 발명에서는 마이크로소프트 엑셀 기반 비주얼베이직 어플리케이션을 활용하여 태양열에너지 시스템의 iMOO 모델을 개발했다. 도 1, 도 3, 도 5, 도 6, 도 7, 도 8, 및 도 9는 iMOO 모델의 그래픽 사용자 인터페이스(GUI)를 보여준다. 도 2와 도 4는 iMOO 모델의 의사 결정 프로세스를 보여준다. GUI에는 다음과 같은 7 가지 부분이 있다.
- [0086] Part (A), 최적화 목표 : 최종 의사 결정자는 iMOO 점수를 결정할 수 있는 목적함수 (IIC, AHG, SIR 및 AHG/unit)를 선택할 수 있다. (도 1 ('A'참조) 및 도 2의 ('B'))
- [0087] Part (B), 고정 변수 : 대상 건물의 지역과 AoP 정보를 설정한다. 관련 데이터베이스는 1 단계에서 정보를 수집하였다 (도 2의 ('A'), 도 3의 ('B') 및 도 4의 ('C')).
- [0088] Part (C), 조절 변수 : 2 단계에서 조절변수는 SoC, ToC, ToS, NoC_L 및 NoC_W로 정의 하였다. 태양열에너지 시스템의 조절변수는 대상 건물의 특성에 따라 다를 수 있다. 유전자알고리즘을 사용하여 조절변수에 대한 최적 대안이 제안되었다 (도 2의 ('A') 및 도 5의 ('C')).
- [0089] Part (D), 제한 변수 : 2 단계에서, 옥상 길이, 옥상 너비, 최소 연간 열에너지 생산량 한도 및 최대 예산 한도와 같은 제한변수를 제시했다. 태양열에너지 시스템의 잠재적 설치 시나리오는 제한변수 (도 2의 ('A') 및 도 6의 ('D'))를 고려하여 선택된다.
- [0090] Part (E), 표준화 : 5 단계에 따라 iMOO 모델의 iMOO 점수를 결정하기 위해 목적함수의 최대 극점과 최소 극점을 결정했다. 목적함수의 표준화 후에, iMOO 점수를 결정하기 위한 적합도 함수는 수학적 14를 사용하여 계산된다. (도 4 및 도 7의 ('E')).
- [0091] Part (F), 전생애주기 관점에서 경제성 및 환경성 평가 : 최종 의사 결정자가 직관적인 의사 결정을 할 수 있도록 경제성 및 환경성 평가의 결과는 그래프로 표시된다. (i) IIC, (ii) 교체비용, (iii) 수선비용 및 (iv) 에너지 생산량을 통한 이익 (도 2의 ('B'), 도 4 및 도 8의 ('F')).
- [0092] Part (G), Trade-off 분석 : 최종 의사 결정자가 직관적인 의사 결정을 할 수 있도록 목적함수 인 NPV, AHG 및 SIR 간의 관계를 2 차원 그래프로 표현한다. (도 9의 ('G')).
- [0094] 태양열시스템 분석 모델 검증
- [0095] 본 발명에서는 개발된 태양열시스템 분석 모델의 신뢰도를 검증하기 위해 전 세계에서 가장 많이 사용되고 있는 신재생에너지시스템 분석 프로그램인 'Retscreen' 프로그램과 개발된 태양열시스템 분석 모델과 비교 하였다. 'Retscreen' 프로그램은 캐나다 천연자원부에서 산업, 정부 및 학계에 종사하는 70 명이상의 전문가들이 모여 개발하였다. 개발된 태양열시스템 분석 모델의 신뢰도를 검증하기 위해 본 발명에서는 실제 태양열 시스템을 운

영중인 상업용 빌딩, 대학교 기숙사, 초등학교 및 고등학교를 선택했다.

[0096] 개발된 태양열시스템 분석 모델은 ‘Retscreen’ 프로그램과 연간 열에너지 생산량을 비교 분석 하였다. 비교 분석 방법으로 변동계수 제곱근 오차 (CV(RMSE))를 활용 하였다. CV(RMSE)는 시뮬레이션 모델의 유사성을 결정 하는 방법으로 통계 분석 방법론 중 하나이다. CV (RMSE)가 0 %에 가까울수록 서로 다른 시뮬레이션 모델이 유사함을 판단할 수 있다. CV(RMSE)는 수학식 15에 의해 계산된다.

[0098] <수학식 15>

$$CV(RMSE) = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{12} (AHG_i - AHG_{Retscreen_i})^2}{n-1}}}{\overline{AHG_{Retscreen}}} \times 100$$

[0099]

[0100] (여기서, AHG_i 는 개발된 태양열 시스템의 각 월의 열에너지 생산량, $AHG_{Retscreen_i}$ 는 ‘Retscreen’ 프로그램의 각 월의 열에너지 생산량, $AHG_{Retscreen}$ 은 ‘Retscreen’ 프로그램의 월간 평균 열에너지 생산량)

[0101] 제안 된 모델의 시뮬레이션 기반 데이터와 ‘Retscreen’ 프로그램 사이의 오차율은 상업용 빌딩 4.07 %, 대학교 기숙사 14.02%, 초등학교 15.93%, 고등학교 9.61%로 제시되었다. 미국냉난방공조기술자학회(ASHRAE) 가이드 라인 14는 시뮬레이션 모델 간의 유사성 기준을 CV (RMSE)의 오차 범위는 ± 20 %로 제시 했다. 개발된 태양열 시스템 분석 모델은 ASHRAE 가이드라인의 기준을 충족되므로, 개발된 태양열 시스템 분석 모델의 신뢰성이 검증되었다.

[0103] 태양열 시스템 분석 모델 적용

[0104] 본 발명에서 개발된 태양열 시스템 모델이 최적 대안을 제시할 수 있는지 파악하기 위해 다음의 순서로 사례 분석을 수행하였다: (i) 대상 건물 선정, (ii) 변수 설정, (iii) 최적화 수행 및 최적 태양열 시스템 제안.

[0105] 대상 건물은 실제 태양열 시스템을 운영하고 있는 건물 중에서 건물 유형과 지역 요인을 고려하여 선정되었다. 한국에서는 신 재생 에너지 공급 의무화 제도를 기반으로 공공 기관은 2017 년에 전체 에너지 소비의 21 %를 신 재생에너지 시스템을 도입 해야한다. 건물의 대상을 선정하기 위해 총 에너지의 15.7 %와 14.2 %를 소비하는 에너지 다소비 건물 유형인 상업 시설과 교육 시설을 선정한다. 따라서 본 발명에서는 (i) 에너지 소비 비율이 높은 시설, (ii) RPS가 적용되는 시설, (iii) 다양한 지역의 시설을 기준으로 상업용 빌딩, 대학교 기숙사, 초등학교 및 고등학교를 하나씩 선정 하였다.

[0106] 각 대상 건물의 연간 열에너지 소비량은 상업용 빌딩 (195,733 kWh), 대학교 기숙사 (1,119,925 kWh), 초등학교 (74,487 kWh), 고등학교 (1,171,800kWh) 이다. 한국에서는 고효율 보일러와 태양열 에너지 시스템을 사용하여 대부분의 열 에너지를 가정용 온수를 통해 공급된다. 이 개발된 태양열 에너지 시스템 분석 모델에서, 건물이 요구하는 열 에너지 소비량을 충족 시킬 수 있도록 최적 대안을 제시해 준다.

[0107] 태양열 시스템 분석 모델은 전 생애주기 관점에서 다음과 같은 목적함수 (즉, IIC, AHG, NPV, SIR 및 AHG/unit)을 고려하였다. 고정변수 중 하나 인 각 대상 건물의 지역은 상업용 빌딩 (서울), 대학교 기숙사 (수원), 초등학교 (부산), 고등학교 (아산)이다. 그리고 AoC는 상업용 빌딩 (52.7°), 대학교 기숙사 (2.25°), 초등학교 (344°), 고등학교 (0°) 이다.

[0108] SoC는 태양열 에너지 시스템의 연간 열에너지 생산량에 영향을 주기 때문에 각 지역의 지역 요인을 고려하여 최적화 수행 중에 조절된다. 26가지 종류의 태양열 집열판과 27가지 축열조 정보를 조달청에서 수집하였다.

[0109] 각 대상 건물의 옥상 면적 (상업용 빌딩 ($496.8m^2$), 대학교 기숙사 ($340.4m^2$), 초등학교 ($215.7m^2$), 고등학교 ($629.2m^2$))를 고려하여 NoC_L 및 NoC_W가 결정된다. 최대 예산 한도는 실제 태양열 시스템을 설치한 사례를 종합 하여 1,000,000,000 원으로 설정하였다. 이러한 변수들을 기반으로 설치 가능한 시나리오가 생성된다.

[0110] 결과 분석 및 논의

[0111] 태양열 시스템의 설치 가능한 시나리오를 생성하기 위해 고정변수, 조절변수 및 제한변수가 정의 하였다. 조절변수 다음과 같은 특정 범위 내에서 정의되었다 : (i) SoC: 0° 부터 -90° ; (ii) ToC: 1번부터 26번; 그리고 (iii) ToS: 1번부터 27번. 옥상면적을 고려하여 마지막으로 설치 가능한 면적까지 계산하였다.

[0112] 각 대상 건물의 태양열 시스템의 설치 가능한 시나리오는 최대 11,498,760가지이다. 최적 대안을 제시하기 까지 불과 131초 소비 되었다.

[0113] 이러한 설치 가능한 시나리오를 고려하여 각 대상 건물의 최적 태양열 시스템 대안은 표 1에서 제시한다.

[0114] <표 1>

대상시설	조절변수					목적함수						
	SoC (°)	ToC	ToS	NoC_L	NoC_W	집열판 개수	IIC (원)	AHG (kWh)	NPV (원)	SIR	AHG/unit (kWh/m ²)	iMOO 점수
상업용 빌딩	26	20 번	13 번	14	7	98	-45,810,000	145,465	142,151,000	2.35 5	1,484	0.339
대학교 기숙사	27	20 번	1 번	5	16	80	-37,800,000	126,077	121,633,000	2.40 5	1,576	0.347
초등학교	28	20 번	2 번	7	8	56	-36,660,000	57,705	87,386,000	2.04 1	1,030	0.499
고등학교	32	20 번	10 번	5	18	90	-43,290,000	141,775	26,933,000	1.16 2	1,575	0.455

[0115]

[0116]

[0117] 본 발명을 활용하여 각 대상 시설의 최적 대안을 선정할 수 있었다. 본 발명의 최적 대안은 의사결정자가 태양 열에너지 시스템을 고려할 때 의사결정지원모델로써 활용할 수 있다.

[0118] 마지막으로, 다목적최적화의 결과를 보다 쉽게 설명하기 위해 상업용 빌딩의 3가지 대안과 비교 분석을 수행 하였다. (도 10) : (i) 초기투자비용 (도 10의 'Part A'), (ii) 연간 열에너지 생산량 (도 10의 'Part B'), (iii) 순 현재가치 (도 10의 'Part C'), (iv) iMOO 점수 (도 10의 'Part D'). 최종 의사 결정자는 순 현재 가치 및 연간 열에너지 생산량을 더욱 신중하게 고려한다면 태양열 시스템의 최적대안을 선호 할 수 있다 (도 10의 검정색 선). 그러나 최대 예산이 충분하지 않은 경우 대안 1 (도 10의 진한회색 선)을 대신 선택할 수 있다.

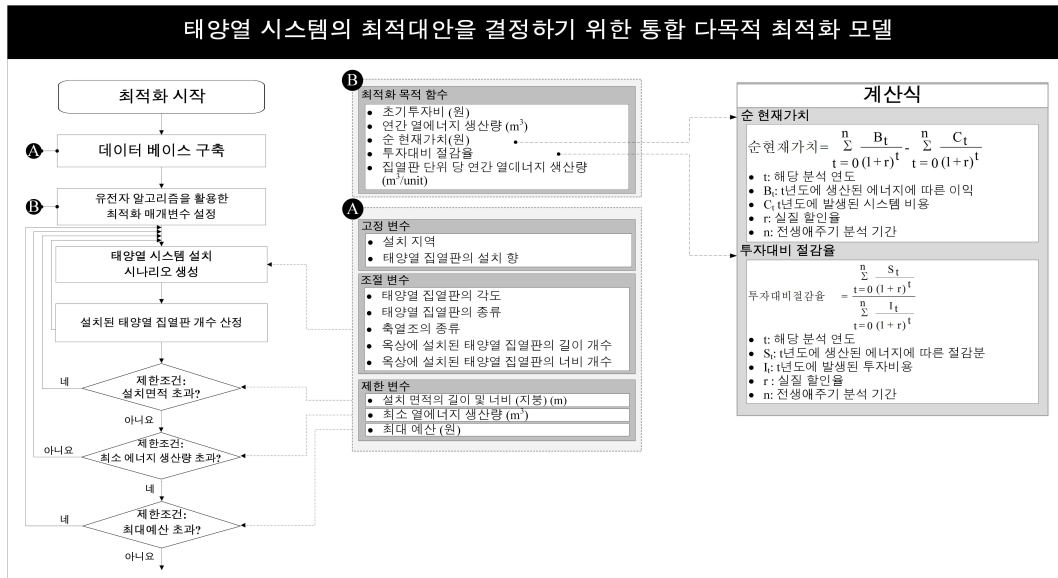
[0119] 최적대안 (검정색 선), 대안 1 (진한회색 선) 및 대안 2 (연한회색 선)의 세 가지 대안 시나리오를 비교 분석 하였다. 초기 투자비용이 낮을수록 순 현재가치와 연간 열에너지 생산량이 클수록 시나리오는 최적의 솔루션으로 가까이 이동합니다. 다른 대안들에 비해, 최적의 해결책은 초기투자비용 (도 10의 'Part A')에 불리했다. 그러나 순 현재가치 (도 10의 'Part B')와 연간 열에너지 생산량 (도 10의 'Part C')는 다른 두 가지 대안 보다 더 많이 생산한다. 둘째, 두 가지 대안 시나리오의 절충 분석 결과에서 볼 수 있듯이 최적 대안 (검정색 선)은 대안 1 (도 10의 진한회색 선)보다 초기투자비용 (도 10의 'Part A')에 더 불리했다. 그러나 순 현재가치 (도 10의 'Part B')와 연간 열에너지 생산량 (도 10의 'Part C')보다 우수하다. iMOO 점수가 0에 가장 가까운 대안이 최적 대안으로 선정된다. 따라서 최적대안 (도 10의 검정색 선)의 iMOO 점수는 대안 1 (도 10의 진한회색 선)보다 iMOO 점수가 0에 가깝기 때문에 최적 대안으로 제시할 수 있다.

도면

도면1

최적화수행				
유전자 알고리즘	태양열 시스템의 최적대안을 결정하기 위한 통합 다목적 최적화 모델			
	분류	값	주의	
	통합다목적최적화 (iMOO) 점수	0.5440		가중치
최적화 목표	☑ 초기 투자비 (IIC) (원) (경부보조금포함)	85,044,000 (원)	최소화	1.00
	☑ 연간 열에너지 생산 (AHG) (m3)	18,054 (m3)	최대화	1.00
	☑ 순 현재가치 (NPV) (원)	224,548,558 (원)	최대화	1.00
	☑ 투자대비수익률 (SIR)	2.202	최대화	1.00
	☑ 집열판 단위 당 연간 열에너지 생산량 (AHG/unit) (m3/unit)	196.24 m3/unit	최대화	1.00

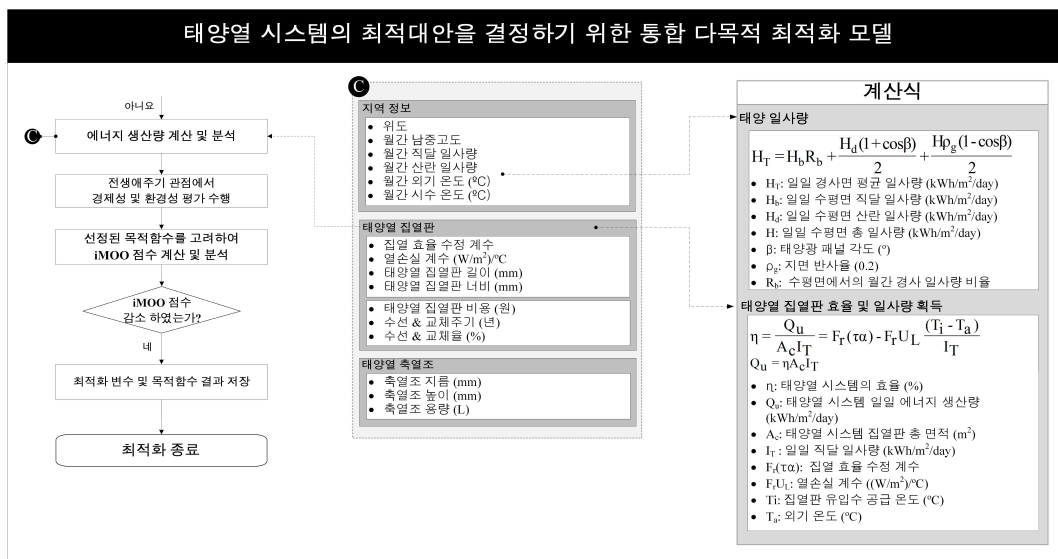
도면2



도면3

Part (B)	지역: 서울, 대한민국	1	1	16
	태양열 집열판의 향 (AoP) (°)	20 (°)	0 (°)	90 (°)

도면4



도면5

Part (C)	태양열 집열판의 각도 (SoC) (°)	33 (°)	0 (°)	90 (°)
	태양열 집열판의 종류 (ToC)	5 번	1 번	27 번
조절 변수	축열조의 종류 (ToS)	3 번	1 번	27 번
	축열조에 설치된 태양열 집열판의 길이 개수 (NoC_L)	4 (개)	NoP_L (최대 설치 가능 개수)	2 (개)
	축열조에 설치된 태양열 집열판의 너비 개수 (NoC_W)	23 (개)	NoP_W (최대 설치 가능 개수)	8 (개)

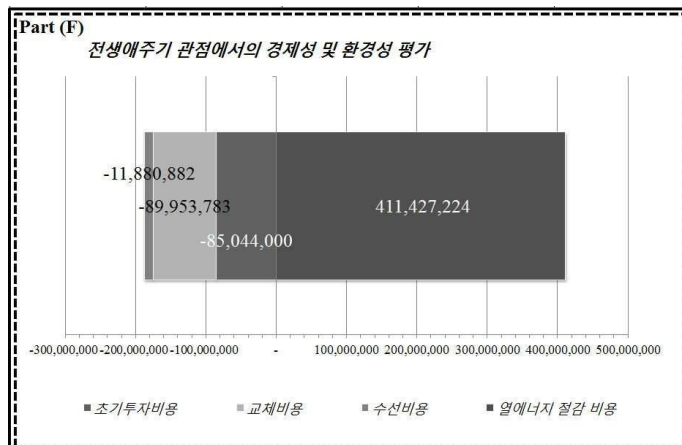
도면6

제한변수	Part (D)	설치된 옥상면적의 길이 (m)	17.51 (m)	옥상면적의 길이 (m)	10.00 (m)
		설치된 옥상면적의 너비 (m)	27.14 (m)	옥상면적의 너비 (m)	10.00 (m)
		연간 열에너지 생산 (AHG) (m3)	18,054 (m3)	최소 열에너지 생산량 한도 (m3)	3,246 (m3)
		초기 투자비 (IC) (원) (정부보조금포함)	141,740,000 (원)	최대 예산 한도 (원)	200,000,000 (원)

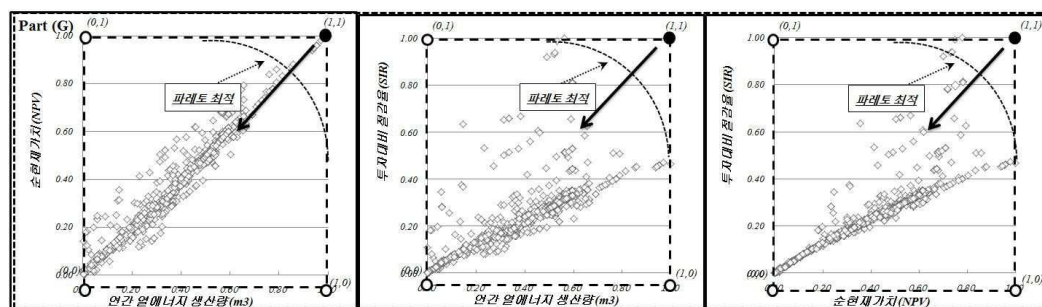
도면7

Part (E)					
최적화 목표 최대값	최적화 목표 최소값	표준화 값	변수 선택		
117,600,000	-	0.7232	1	TRUE	
28,284	3,051	0.5946	1	TRUE	
478,769,049	- 68,392,062	0.5354	1	TRUE	
6.152	0.534	0.2968	1	TRUE	
242.43	80.98	0.7139	1	TRUE	

도면8



도면9



도면10

