

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)(11) 공개번호 10-2024-0036942
(43) 공개일자 2024년03월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G06F 30/23 (2020.01) G06F 111/04 (2020.01)

G06F 111/06 (2020.01) G06F 30/17 (2020.01)

(52) CPC특허분류

G06F 30/23 (2020.01)

G06F 30/17 (2020.01)

(21) 출원번호 10-2022-0115611

(22) 출원일자 2022년09월14일

심사청구일자 2022년09월14일

(71) 출원인

인하대학교 산학협력단

인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대학교)

(72) 발명자

최길수

인천광역시 미추홀구 토금남로 79, 101동 1408호 (용현동, 우성아파트)

최민규

인천광역시 미추홀구 인하로148번길 15, 201호 (용현동)

(74) 대리인

양성보

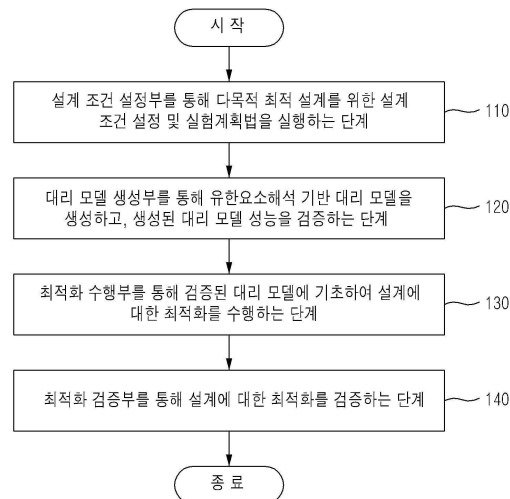
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 대리모델을 이용한 전동기 형상의 최적설계 방법 및 설계 시스템

(57) 요약

대리모델을 이용한 전동기 형상의 최적설계 방법 및 시스템이 제시된다. 본 발명에서 제안하는 대리모델을 이용한 전동기 형상의 최적설계 방법은 설계 조건 설정부를 통해 다목적 최적 설계를 위한 설계 조건 설정 및 실험계획법을 실행하는 단계, 대리 모델 생성부를 통해 유한요소해석 기반 대리 모델을 생성하고, 생성된 대리 모델 성능을 검증하는 단계, 최적화 수행부를 통해 검증된 대리 모델에 기초하여 설계에 대한 최적화를 수행하는 단계 및 최적화 검증부를 통해 설계에 대한 최적화를 검증하는 단계를 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G06F 2111/04 (2020.01)

G06F 2111/06 (2020.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711158316
과제번호	2021R1F1A1048754
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	기본연구
연구과제명	[Ezbaro] 모델 기반의 e-모빌리티용 통합 전동기 설계 프로세스 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	인하대학교
연구기간	2022.03.01 ~ 2023.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

설계 조건 설정부를 통해 다목적 최적 설계를 위한 설계 조건 설정 및 실험계획법을 실행하는 단계;
대리 모델 생성부를 통해 유한요소해석 기반 대리 모델을 생성하고, 상기 생성된 대리 모델 성능을 검증하는 단계;
최적화 수행부를 통해 상기 검증된 대리 모델에 기초하여 설계에 대한 최적화를 수행하는 단계; 및
최적화 검증부를 통해 상기 설계에 대한 최적화를 검증하는 단계를 포함하는 다목적 최적 설계 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,
상기 설계 조건 설정부를 통해 다목적 최적 설계를 위한 설계 조건 설정 및 실험계획법을 실행하는 단계는,
다목적 최적 설계를 위한 목적 함수, 설계 변수, 제한 조건을 포함하는 설계 조건을 설정하는 단계;
상기 설계 조건에 따른 실험계획법을 통해 초기 샘플을 생성하는 단계;
유한요소해석 프로그램을 이용하여 상기 초기 샘플에 대한 해를 계산하는 단계; 및
상기 계산된 해를 대리 모델 생성에 사용하도록 튜닝하는 단계를 포함하는 다목적 최적 설계 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,
상기 대리 모델 생성부를 통해 유한요소해석 기반 대리 모델을 생성하고, 상기 생성된 대리 모델 성능을 검증하는 단계는,
상기 유한요소해석 및 상기 대리 모델을 동시에 활용한 다목적 유전자 알고리즘을 실행하여 자손 세대 생성 후 설계공간 탐색을 진행하는 단계;
상기 유한요소해석 결과와 상기 대리 모델을 비교하여 대리 모델에 대한 오차 계산 및 오차 분석을 수행하는 단계;
상기 오차 분석 결과 수렴조건을 만족하는지 판단하여, 상기 수렴조건을 만족하지 않는 경우 상기 다목적 유전자 알고리즘을 실행하여 다음 부모 세대 생성 후 설계공간 재탐색을 진행하는 단계; 및
유한요소해석에 대한 재탐색 결과를 상기 대리 모델 훈련 집합에 추가하여 대리 모델을 재생성하는 단계를 포함하는 다목적 최적 설계 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,
상기 최적화 수행부를 통해 상기 검증된 대리 모델에 기초하여 설계에 대한 최적화를 수행하는 단계는,
상기 대리 모델만을 이용한 다목적 유전자 알고리즘을 실행하여 다음 부모 세대 생성 후 설계공간 탐색을 진행하는 단계;
상기 대리 모델만을 이용한 다목적 유전자 알고리즘을 실행하여 자손 세대 생성 후 설계공간 탐색을 진행하는

단계; 및

상기 대리 모델을 이용한 다목적 유전자 알고리즘의 수렴 조건을 만족하는지 판단하는 단계
를 포함하는 다목적 최적 설계 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 최적화 검증부를 통해 상기 설계에 대한 최적화를 검증하는 단계는,

상기 검증된 대리 모델을 통하여 얻은 파레토 프론트 셋을 유한요소해석 결과와 비교하는 단계; 및

상기 유한요소해석 결과 수렴조건을 만족하는지 판단하는 단계

를 포함하는 다목적 최적 설계 방법.

청구항 6

다목적 최적 설계를 위한 설계 조건 설정 및 실험계획법을 실행하는 설계 조건 설정부;

유한요소해석 기반 대리 모델을 생성하고, 상기 생성된 대리 모델 성능을 검증하는 대리 모델 생성부;

상기 검증된 대리 모델에 기초하여 설계에 대한 최적화를 수행하는 최적화 수행부; 및

상기 설계에 대한 최적화를 검증하는 최적화 검증부

를 포함하는 다목적 최적 설계 시스템.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 설계 조건 설정부는,

다목적 최적 설계를 위한 목적 함수, 설계 변수, 제한 조건을 포함하는 설계 조건을 설정하고,

상기 설계 조건에 따른 실험계획법을 통해 초기 샘플을 생성하고,

유한요소해석 프로그램을 이용하여 상기 초기 샘플에 대한 해를 계산하고, 상기 계산된 해를 대리 모델 생성에
사용하도록 튜닝하는

다목적 최적 설계 시스템.

청구항 8

제6항에 있어서,

상기 대리 모델 생성부는,

상기 유한요소해석 및 상기 대리 모델을 동시에 활용한 다목적 유전자 알고리즘을 실행하여 자손 세대 생성 후
설계공간 탐색을 진행하고,

상기 유한요소해석 결과와 상기 대리 모델을 비교하여 대리 모델에 대한 오차 계산 및 오차 분석을 수행하고,

상기 오차 분석 결과 수렴조건을 만족하는지 판단하여, 상기 수렴조건을 만족하지 않는 경우 상기 다목적 유전
자 알고리즘을 실행하여 다음 부모 세대 생성 후 설계공간 재탐색을 진행하고,

유한요소해석에 대한 재탐색 결과를 상기 대리 모델 훈련 집합에 추가하여 대리 모델을 재생성하는

다목적 최적 설계 시스템.

청구항 9

제6항에 있어서,

상기 최적화 수행부는,

상기 대리 모델만을 이용한 다목적 유전자 알고리즘을 실행하여 다음 부모 세대 생성 후 설계공간 탐색을 진행하고,

상기 대리 모델만을 이용한 다목적 유전자 알고리즘을 실행하여 자손 세대 생성 후 설계공간 탐색을 진행하고,

상기 대리 모델을 이용한 다목적 유전자 알고리즘의 수렴 조건을 만족하는지 판단하는

다목적 최적 설계 시스템.

청구항 10

제6항에 있어서,

상기 최적화 검증부는,

상기 검증된 대리 모델을 통하여 얻은 파레토 프론트 셋을 유한요소해석 결과와 비교하고,

상기 유한요소해석 결과 수렴조건을 만족하는지 판단하는

다목적 최적 설계 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 대리모델을 이용한 전동기 형상의 최적설계 방법 및 설계 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 일반적인 전기기기 설계 시 경량화, 고폭, 고폭, 고폭, 저비용 등 다양한 설계목적(design objectives)을 동시에 달성하는 것이 요구된다. 이에 대한 종래의 접근법으로 설계변수의 범위를 고려한 전체 설계공간을 탐색(design space exploration)하는 방법이 널리 사용되었다. 기기 성능과 설계변수 사이의 강한 비선형성으로 인해 해석적 방법 보다는 유한요소해석(Finite Element Analysis; FEA) 기반 수치적 시뮬레이션이 설계공간 탐색에 주로 사용되고 있으나, 상대적으로 증가하는 계산시간으로 인해 일반적인 시행착오(trial and error)적인 접근법으로는 방대한 설계공간을 탐색하는 데는 어려움이 있다. 이에 보다 효율적이고 체계적인 설계공간 탐색을 위해 지난 수 년간 다목적 최적화 알고리즘을 이용하는 방법에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 그러나 다목적 최적화 알고리즘 역시 수많은 인자들에 대한 시뮬레이션이 필요하며 최적설계 과정 전반에 걸쳐서 유한요소해석 프로그램에 의존해야 하기 때문에 상당한 계산 시간이 소요된다.

[0004] 이러한 최적화 알고리즘 수행 시 계산 시간을 단축하기 위해 설계 변수와 목적 함수의 관계를 통계적 기법으로 근사하여 최적설계를 진행하는 '표면반응법(response surface method; RSM)'에 대한 연구가 최근 진행되었다. 또한, 컴퓨터 계산능력이 발전함에 따라 유한요소해석 프로그램을 이용한 전기기기의 특성해석이 산업현장에서 광범위하게 사용되고 있다. 일반적인 유한요소해석 프로그램의 경우 치수와 형상 등의 기하학적 변수와 매질의 특성이 입력변수로 주어지면, 기기 내 전자장을 수치적으로 계산할 수 있고 이를 이용해 자속밀도 분포, 역기전력, 출력 토크, 손실 등의 결과값을 도출할 수 있다. 기기 성능의 극대화를 위해 다양한 치수와 형상을 고려하게 되면 설계변수의 수가 증가하게 되고 이는 전체 설계공간의 확장 및 계산시간의 증가로 이어진다. 그러나 설계변수의 증가에 따라 계산시간이 지수적으로 증가하는 특성으로 인해 종래의 유한요소해석법 기반 표면반응법을 사용할 경우 막대한 계산비용이 발생하며, 대부분의 경우 개발 기간 내 최적 해를 도출하기 위해 구축에 상당한 비용이 소모되는 고성능 컴퓨팅(high performance computing)의 사용이 불가피하게 된다.

[0005] 이러한 단점을 극복하기 위해 유한요소해석 프로그램으로 계산한 실제 값과 대리 모델을 이용한 예측 값을 모두 활용하여 최적의 해를 탐색하는 방법이 최근에 제시되었다. 그러나 대리 모델 대비 유한요소해석법이 차지하는 비중에 따라 계산시간은 여전히 상당한 제약이 될 수 있다. 또한 전기기기 형상의 복잡성 및 목적 함수의 비선형적인 특성에 따라 대리모델 구축에 필요한 인자들의 숫자와 대리모델의 예측 정확도 역시 달라지게 되는데, 체계적인 접근법을 통해 실제 값과 예측 값의 차이를 최소화하는 프로세스를 구축할 필요가 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 한국 등록특허 제10-1882131호(2018.07.19)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 유한요소해석 프로그램으로 계산한 실제 값과 대리 모델을 이용한 예측 값을 모두 활용하여 최적의 해를 탐색하는 방법 및 설계 시스템을 제공하는데 있다. 전기기기 형상의 복잡성 및 목적 함수의 비 선형적인 특성에 따라 대리모델 구축에 필요한 인자들의 숫자와 대리모델의 예측 정확도를 체계적인 접근법을 통해 실제 값과 예측 값의 차이를 최소화하는 프로세스를 구축하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0009] 일 측면에 있어서, 본 발명에서 제안하는 대리모델을 이용한 전동기 형상의 최적설계 방법은 설계 조건 설정부를 통해 다목적 최적 설계를 위한 설계 조건 설정 및 실험계획법을 실행하는 단계, 대리 모델 생성부를 통해 유한요소해석 기반 대리 모델을 생성하고, 상기 생성된 대리 모델 성능을 검증하는 단계, 최적화 수행부를 통해 상기 검증된 대리 모델에 기초하여 설계에 대한 최적화를 수행하는 단계 및 최적화 검증부를 통해 상기 설계에 대한 최적화를 검증하는 단계를 포함한다.

[0010] 상기 설계 조건 설정부를 통해 다목적 최적 설계를 위한 설계 조건 설정 및 실험계획법을 실행하는 단계는 다목적 최적 설계를 위한 목적 함수, 설계 변수, 제한 조건을 포함하는 설계 조건을 설정하는 단계, 상기 설계 조건에 따른 실험계획법을 통해 초기 샘플을 생성하는 단계, 유한요소해석 프로그램을 이용하여 상기 초기 샘플에 대한 해를 계산하는 단계 및 상기 계산된 해를 이용해 대리 모델을 생성하고 모델 최적화를 위해 하이퍼 파라미터를 튜닝하는 단계를 포함한다.

[0011] 상기 대리 모델 생성부를 통해 유한요소해석 기반 대리 모델을 생성하고, 상기 생성된 대리 모델 성능을 검증하는 단계는 상기 유한요소해석 및 상기 대리 모델을 동시에 활용한 다목적 유전자 알고리즘을 실행하여 자손 세대 생성 후 설계공간 탐색을 진행하는 단계, 상기 유한요소해석 결과와 상기 대리 모델을 비교하여 대리 모델에 대한 오차 계산 및 오차 분석을 수행하는 단계, 상기 오차 분석 결과 수렴조건을 만족하는지 판단하여, 상기 수렴조건을 만족하지 않는 경우 상기 다목적 유전자 알고리즘을 실행하여 다음 부모 세대 생성 후 설계공간 재탐색을 진행하는 단계 및 유한요소해석에 대한 재탐색 결과를 상기 대리 모델 훈련 집합에 추가하여 대리 모델을 재생성하는 단계를 포함한다.

[0012] 상기 최적화 수행부를 통해 상기 검증된 대리 모델에 기초하여 설계에 대한 최적화를 수행하는 단계는 상기 대리 모델만을 이용한 다목적 유전자 알고리즘을 실행하여 다음 부모 세대 생성 후 설계공간 탐색을 진행하는 단계, 상기 대리 모델만을 이용한 다목적 유전자 알고리즘을 실행하여 자손 세대 생성 후 설계공간 탐색을 진행하는 단계 및 상기 대리 모델을 이용한 다목적 유전자 알고리즘의 수렴 조건을 만족하는지 판단하는 단계를 포함한다.

[0013] 상기 최적화 검증부를 통해 상기 설계에 대한 최적화를 검증하는 단계는 상기 검증된 대리 모델을 통하여 얻은 파레토 프론트(Pareto front) 셋을 유한요소해석 프로그램을 이용하여 검증하는 단계 및 상기 유한요소해석으로 검증한 파레토 프론트 셋이 최적 설계의 수렴조건을 만족하는지 판단하는 단계를 포함한다.

[0014] 일 측면에 있어서, 본 발명에서 제안하는 대리모델을 이용한 전동기 형상의 최적설계 시스템은 다목적 최적 설계를 위한 설계 조건 설정 및 실험계획법을 실행하는 설계 조건 설정부, 유한요소해석 기반 대리 모델을 생성하고, 상기 생성된 대리 모델 성능을 검증하는 대리 모델 생성부, 상기 검증된 대리 모델에 기초하여 설계에 대한 최적화를 수행하는 최적화 수행부 및 상기 설계에 대한 최적화를 검증하는 최적화 검증부를 포함한다.

발명의 효과

[0016] 본 발명의 실시예들에 따르면 대리 모델을 이용한 전동기 형상의 최적 설계 방법 및 설계 시스템을 통해 유한요소해석 프로그램으로 계산한 실제 값과 대리 모델을 이용한 예측 값을 모두 활용하여 최적의 해를 탐색할 수 있다. 전기기기 형상의 복잡성 및 목적 함수의 비 선형적인 특성에 따라 대리모델 구축에 필요한 인자들의 숫자와 대리모델의 예측 정확도를 체계적인 접근법을 통해 실제 값과 예측 값의 차이를 최소화할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0018] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 대리모델을 이용한 전동기 형상의 최적설계 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 설계 조건 설정부를 통해 다목적 최적 설계를 위한 설계 조건 설정 및 실험 계획법을 실행하는 과정을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 대리 모델 생성부를 통해 유한요소해석 기반 대리 모델을 생성하고, 상기 생성된 대리 모델 성능을 검증하는 과정을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 최적화 수행부를 통해 상기 검증된 대리 모델에 기초하여 설계에 대한 최적화를 수행하는 과정을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 최적화 검증부를 통해 상기 설계에 대한 최적화를 검증하는 과정을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 대리모델을 이용한 전동기 형상의 최적설계 시스템의 구성을 나타내는 도면이다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 유한요소해석 프로그램과 대리 모델을 기반으로 다목적 유전자 알고리즘을 실행한 파레토 프론트 셋 분포 결과를 나타내는 그래프이다.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 대리 모델의 예측 오차율을 나타내는 그래프이다.

도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 유한요소해석법과 대리 모델을 이용하여 얻은 파레토 프론트의 비교하기 위한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0019] 이하, 본 발명의 실시 예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.

[0021] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 대리모델을 이용한 전동기 형상의 최적설계 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

[0022] 본 발명에서는 유한요소해석 프로그램 기반 다목적 최적 설계 시 계산 시간이 증가하는 문제를 해결하기 위해 대리 모델에 기반한 다목적 최적 설계 알고리즘을 제안한다.

[0023] 제안하는 대리모델을 이용한 전동기 형상의 최적설계 방법은 설계 조건 설정부를 통해 다목적 최적 설계를 위한 설계 조건 설정 및 실험계획법을 실행하는 단계(110), 대리 모델 생성부를 통해 유한요소해석 기반 대리 모델을 생성하고, 상기 생성된 대리 모델 성능을 검증하는 단계(120), 최적화 수행부를 통해 상기 검증된 대리 모델에 기초하여 설계에 대한 최적화를 수행하는 단계(130) 및 최적화 검증부를 통해 상기 설계에 대한 최적화를 검증하는 단계(140)를 포함한다.

[0024] 단계(110)에서, 설계 조건 설정부를 통해 다목적 최적 설계를 위한 설계 조건 설정 및 실험계획법을 실행한다.

[0025] 단계(110)에서는 다목적 최적 설계를 위한 목적 함수, 설계 변수, 제한 조건을 포함하는 설계 조건을 설정하고, 상기 설계 조건에 따른 실험계획법을 통해 초기 샘플을 생성한다.

[0026] 복수의 설계 변수(multi-variable), 목적 함수(multi-objective), 멀티 모달(multi-modal)의 특성을 지닌 전기기기 최적 설계 문제에서, 전역 최적 해를 찾기 위한 최적화 탐색 방법으로 다목적 유전자 알고리즘(multi-objective genetic algorithm)을 사용한다.

- [0027] 이후, 유한요소해석 프로그램을 이용하여 상기 초기 샘플에 대한 해를 계산하고, 상기 계산된 해를 이용하여 대리 모델을 생성하며, 대리 모델의 최적화를 위해 하이퍼 파라미터를 튜닝한다.
- [0028] 단계(120)에서, 대리 모델 생성부를 통해 유한요소해석 기반 대리 모델을 생성하고, 상기 생성된 대리 모델 성능을 검증한다.
- [0029] 단계(120)에서는 유한요소해석 및 상기 대리 모델을 동시에 활용한 다목적 유전자 알고리즘을 실행하여 자손 세대 생성 후 설계공간 탐색을 진행한다.
- [0030] 상기 유한요소해석 결과와 상기 대리 모델을 비교하여 대리 모델에 대한 오차 계산 및 오차 분석을 수행하고, 상기 오차 분석 결과 다목적 유전자 알고리즘의 수렴조건을 만족하는지 판단한다.
- [0031] 상기 수렴조건을 만족하지 않는 경우, 수렴 조건을 달성하지 못할 경우 추가 유한요소해석 결과를 대리 모델의 훈련 집합(training set)에 추가한다.
- [0032] 상기 다목적 유전자 알고리즘을 실행하여 다음 부모 세대 생성 후 설계공간 재탐색을 진행하고, 유한요소해석에 대한 재탐색 결과를 상기 대리 모델 훈련 집합에 추가하여 대리 모델을 재생성한다.
- [0033] 상기 수렴조건을 만족하는 경우, 단계(130)로 이동한다. 대리 모델의 예측 오차가 수렴 조건을 달성하면 유한요소해석 프로그램을 제외하고 대리 모델만을 이용하여 다목적 유전자 알고리즘을 이용한 최적 설계를 진행한다.
- [0034] 단계(130)에서, 최적화 수행부를 통해 상기 검증된 대리 모델에 기초하여 설계에 대한 최적화를 수행한다.
- [0035] 단계(130)에서는 대리 모델만을 이용한 다목적 유전자 알고리즘을 실행하여 다음 부모 세대 생성 후 설계공간 탐색을 진행한다. 이후, 상기 대리 모델만을 이용한 다목적 유전자 알고리즘을 실행하여 자손 세대 생성 후 설계공간 탐색을 진행한다. 상기 대리 모델을 이용한 다목적 유전자 알고리즘이 최적 설계 수렴조건을 만족하는지 판단한다.
- [0036] 상기 수렴조건을 만족하지 않는 경우, 대리 모델만을 이용한 다목적 유전자 알고리즘을 실행하여 다음 부모 세대 생성 후 설계공간 탐색하는 과정부터 반복한다.
- [0037] 상기 수렴조건을 만족하는 경우, 단계(140)로 이동한다.
- [0038] 단계(140)에서, 최적화 검증부를 통해 상기 설계에 대한 최적화를 검증한다.
- [0039] 단계(140)에서는 검증된 대리 모델을 통하여 얻은 파레토 프론트 셋을 유한요소해석 결과와 비교하여 검증하고, 상기 대리 모델을 통해 얻은 파레토 프론트 셋이 최적 설계 수렴조건을 만족하는지 판단한다.
- [0040] 상기 수렴조건을 만족하지 않는 경우, 상기 다목적 유전자 알고리즘을 실행하여 다음 부모 세대 생성 후 설계공간 재탐색하는 과정부터 반복한다.
- [0041] 상기 수렴조건을 만족하는 경우, 대리모델을 이용한 전동기 형상의 최적설계 과정을 종료한다.
- [0043] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 설계 조건 설정부를 통해 다목적 최적 설계를 위한 설계 조건 설정 및 실험 계획법을 실행하는 과정을 설명하기 위한 흐름도이다.
- [0044] 본 발명의 실시예에 따른 설계 조건 설정부를 통해 다목적 최적 설계를 위한 설계 조건 설정 및 실험계획법을 실행하는 단계는 다목적 최적 설계를 위한 목적 함수, 설계 변수, 제한 조건을 포함하는 설계 조건을 설정하는 단계(210), 상기 설계 조건에 따른 실험계획법을 통해 초기 샘플을 생성하는 단계(220) 및 유한요소해석 프로그램을 이용하여 상기 초기 샘플에 대한 해를 계산하는 단계(230) 및 상기 계산된 해를 대리 모델 생성에 사용하도록 튜닝하는 단계(240)를 포함한다.
- [0045] 대리 모델을 이용한 전기기기 최적 형상 설계 과정은 4개의 단계로 구성되어 있다. 첫 단계는 도 2와 같이 최적화 문제 설정 및 실험설계 방법이다.
- [0046] 단계(210)에서 다목적 최적 설계를 위한 목적 함수, 설계 변수, 제한 조건을 포함하는 설계 조건을 설정하고, 단계(220)에서 상기 설계 조건에 따른 실험계획법을 통해 초기 샘플을 생성한다.
- [0047] 복수의 설계 변수(multi-variable), 목적 함수(multi-objective), 멀티 모달(multi-modal)의 특성을 지닌 전기기기 최적 설계 문제에서, 전역 최적 해를 찾기 위한 최적화 탐색 방법으로 다목적 유전자 알고리즘(multi-

objective genetic algorithm)을 사용한다. 이후, 단계(230)에서 유한요소해석 프로그램을 이용하여 상기 초기 샘플에 대한 해를 계산하고, 단계(240)에서 상기 계산된 해를 대리 모델 생성에 사용하도록 튜닝한다. 대리 모델 구축 과정에서 베이지안(Bayesian) 최적화 등의 최적화 알고리즘을 통해 하이퍼 파라미터를 튜닝하여 모델의 예측 정확도를 향상시킬 수 있다.

- [0049] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 대리 모델 생성부를 통해 유한요소해석 기반 대리 모델을 생성하고, 상기 생성된 대리 모델 성능을 검증하는 과정을 설명하기 위한 흐름도이다.
- [0050] 본 발명의 실시예에 따른 대리 모델 생성부를 통해 유한요소해석 기반 대리 모델을 생성하고, 상기 생성된 대리 모델 성능을 검증하는 단계는 상기 유한요소해석 및 상기 대리 모델을 동시에 활용한 다목적 유전자 알고리즘을 실행하여 자손 세대 생성 후 설계공간 탐색을 진행하는 단계(310), 상기 유한요소해석 결과와 상기 대리 모델을 비교하여 대리 모델에 대한 오차 계산 및 오차 분석을 수행하는 단계(320), 상기 오차 분석 결과 수렴조건을 만족하는지 판단(330)하여, 상기 수렴조건을 만족하지 않는 경우 상기 다목적 유전자 알고리즘을 실행하여 다음 부모 세대 생성 후 설계공간 재탐색을 진행하는 단계(340) 및 유한요소해석에 대한 재탐색 결과를 상기 대리 모델 훈련 집합에 추가하여 대리 모델을 재생성하는 단계(350)를 포함한다.
- [0051] 단계(310)에서 유한요소해석 및 상기 대리 모델을 동시에 활용한 다목적 유전자 알고리즘을 실행하여 자손 세대 생성 후 설계공간 탐색을 진행한다.
- [0052] 단계(320)에서 상기 유한요소해석 결과와 상기 대리 모델을 비교하여 대리 모델에 대한 오차 계산 및 오차 분석을 수행하고, 단계(330)에서 상기 오차 분석 결과 수렴조건을 만족하는지 판단한다.
- [0053] 상기 수렴조건을 만족하지 않는 경우, 단계(340)에서 수렴 조건을 달성하지 못할 경우 추가 유한요소해석 결과를 대리 모델의 훈련 집합(training set)에 추가한다.
- [0054] 단계(350)에서 상기 다목적 유전자 알고리즘을 실행하여 다음 부모 세대 생성 후 설계공간 재탐색을 진행하고, 유한요소해석에 대한 재탐색 결과를 상기 대리 모델 훈련 집합에 추가하여 대리 모델을 재생성한다.
- [0055] 위의 과정을 수렴조건이 만족될 때까지 반복하며, 이후 수렴 조건을 만족하면 단계(130)로 이동한다. 대리 모델의 예측 오차가 수렴 조건을 달성하면 유한요소해석 프로그램을 제외하고 대리 모델만을 이용하여 다목적 유전자 알고리즘을 이용한 최적 설계를 진행한다.
- [0057] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 최적화 수행부를 통해 상기 검증된 대리 모델에 기초하여 설계에 대한 최적화를 수행하는 과정을 설명하기 위한 흐름도이다.
- [0058] 본 발명의 실시예에 따른 최적화 수행부를 통해 상기 검증된 대리 모델에 기초하여 설계에 대한 최적화를 수행하는 단계는 상기 대리 모델만을 이용한 다목적 유전자 알고리즘을 실행하여 다음 부모 세대 생성 후 설계공간 탐색을 진행하는 단계(410), 상기 대리 모델만을 이용한 다목적 유전자 알고리즘을 실행하여 자손 세대 생성 후 설계공간 탐색을 진행하는 단계(420) 및 상기 대리 모델을 이용하여 다목적 유전자 알고리즘의 수렴조건이 만족되었는지 판단하는 단계(430)를 포함한다.
- [0059] 단계(410)에서는 대리 모델만을 이용한 다목적 유전자 알고리즘을 실행하여 다음 부모 세대 생성 후 설계공간 탐색을 진행한다. 대리 모델은 유한요소해석 프로그램 대비 계산 시간이 굉장히 적게 소모되기 때문에, 이 과정에서 상당한 설계 시간을 절감할 수 있다.
- [0060] 단계(420)에서는 상기 대리 모델만을 이용한 다목적 유전자 알고리즘을 실행하여 자손 세대 생성 후 설계공간 탐색을 진행한다. 단계(430)에서는 상기 대리 모델을 이용하여 다목적 유전자 알고리즘의 수렴조건이 만족되었는지 판단한다.
- [0061] 상기 수렴조건을 만족하지 않는 경우, 대리 모델만을 이용한 다목적 유전자 알고리즘을 실행하여 다음 부모 세대 생성 후 설계공간 탐색하는 과정부터 반복한다.
- [0062] 위의 과정을 수렴조건이 만족될 때까지 반복하며, 이후 수렴 조건을 만족하면 단계(140)로 이동한다.
- [0064] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 최적화 검증부를 통해 상기 설계에 대한 최적화를 검증하는 과정을 설명하

기 위한 흐름도이다.

- [0065] 본 발명의 실시예에 따른 최적화 검증부를 통해 상기 설계에 대한 최적화를 검증하는 단계는 상기 검증된 대리 모델을 통하여 얻은 파레토 프론트 셋을 유한요소해석 결과와 비교하는 단계(510) 및 상기 유한요소해석 결과 수렴조건을 만족하는지 판단하는 단계(520)를 포함한다.
- [0066] 단계(510)에서는 검증된 대리 모델을 통하여 얻은 파레토 프론트 셋을 유한요소해석 이용하여 다시 계산하고, 결과와 비교하여 대리 모델 사용에 따른 오차를 최소화한다. 단계(510)에서는 상기 유한요소해석 결과 수렴조건을 만족하는지 판단한다.
- [0067] 상기 수렴조건을 만족하지 않는 경우, 상기 다목적 유전자 알고리즘을 실행하여 다음 부모 세대 생성 후 설계공간 재탐색하는 단계(340)부터 반복한다.
- [0068] 상기 수렴조건을 만족하는 경우, 대리모델을 이용한 전동기 형상의 최적설계 과정을 종료한다.
- [0069] 위 검증 과정을 통해 대리 모델의 불확실성을 최소화하며, 설계 조건을 만족하는 최종의 최적 해를 선택할 수 있다.
- [0071] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 대리모델을 이용한 전동기 형상의 최적설계 시스템의 구성을 나타내는 도면이다.
- [0072] 본 실시예에 따른 대리모델을 이용한 전동기 형상의 최적설계 시스템(600)은 프로세서(610), 버스(620), 네트워크 인터페이스(630), 메모리(640) 및 데이터베이스(650)를 포함할 수 있다. 메모리(640)는 운영체제(641) 및 다목적 최적 설계 루틴(642)을 포함할 수 있다. 프로세서(610)는 설계 조건 설정부(611), 대리 모델 생성부(612), 최적화 수행부(613) 및 최적화 검증부(614)를 포함할 수 있다. 다른 실시예들에서 대리모델을 이용한 전동기 형상의 최적설계 시스템(600)은 도 6의 구성요소들보다 더 많은 구성요소들을 포함할 수도 있다. 그러나, 대부분의 종래기술적 구성요소들을 명확하게 도시할 필요성은 없다. 예를 들어, 대리모델을 이용한 전동기 형상의 최적설계 시스템(600)은 디스플레이나 트랜시버(transceiver)와 같은 다른 구성요소들을 포함할 수도 있다.
- [0073] 메모리(640)는 컴퓨터에서 판독 가능한 기록 매체로서, RAM(random access memory), ROM(read only memory) 및 디스크 드라이브와 같은 비소멸성 대용량 기록장치(permanent mass storage device)를 포함할 수 있다. 또한, 메모리(640)에는 운영체제(641)와 다목적 최적 설계 루틴(642)을 위한 프로그램 코드가 저장될 수 있다. 이러한 소프트웨어 구성요소들은 드라이브 메커니즘(drive mechanism, 미도시)을 이용하여 메모리(640)와는 별도의 컴퓨터에서 판독 가능한 기록 매체로부터 로딩될 수 있다. 이러한 별도의 컴퓨터에서 판독 가능한 기록 매체는 플로피 드라이브, 디스크, 테이프, DVD/CD-ROM 드라이브, 메모리 카드 등의 컴퓨터에서 판독 가능한 기록 매체(미도시)를 포함할 수 있다. 다른 실시예에서 소프트웨어 구성요소들은 컴퓨터에서 판독 가능한 기록 매체가 아닌 네트워크 인터페이스(630)를 통해 메모리(640)에 로딩될 수도 있다.
- [0074] 버스(620)는 대리모델을 이용한 전동기 형상의 최적설계 시스템(600)의 구성요소들간의 통신 및 데이터 전송을 가능하게 할 수 있다. 버스(620)는 고속 시리얼 버스(high-speed serial bus), 병렬 버스(parallel bus), SAN(Storage Area Network) 및/또는 다른 적절한 통신 기술을 이용하여 구성될 수 있다.
- [0075] 네트워크 인터페이스(630)는 대리모델을 이용한 전동기 형상의 최적설계 시스템(600)을 컴퓨터 네트워크에 연결하기 위한 컴퓨터 하드웨어 구성요소일 수 있다. 네트워크 인터페이스(630)는 대리모델을 이용한 전동기 형상의 최적설계 시스템(600)을 무선 또는 유선 커넥션을 통해 컴퓨터 네트워크에 연결시킬 수 있다.
- [0076] 데이터베이스(650)는 대리모델을 이용한 전동기 형상의 최적설계를 위해 필요한 모든 정보를 저장 및 유지하는 역할을 할 수 있다. 도 6에서는 대리모델을 이용한 전동기 형상의 최적설계 시스템(600)의 내부에 데이터베이스(650)를 구축하여 포함하는 것으로 도시하고 있으나, 이에 한정되는 것은 아니며 시스템 구현 방식이나 환경 등에 따라 생략될 수 있고 혹은 전체 또는 일부의 데이터베이스가 별개의 다른 시스템 상에 구축된 외부 데이터베이스로서 존재하는 것 또한 가능하다.
- [0077] 프로세서(610)는 기본적인 산술, 로직 및 대리모델을 이용한 전동기 형상의 최적설계 시스템(600)의 입출력 연산을 수행함으로써, 컴퓨터 프로그램의 명령을 처리하도록 구성될 수 있다. 명령은 메모리(640) 또는 네트워크 인터페이스(630)에 의해, 그리고 버스(620)를 통해 프로세서(610)로 제공될 수 있다. 프로세서(610)는 신뢰지

수 평가부(611) 및 분석부(612)를 위한 프로그램 코드를 실행하도록 구성될 수 있다. 이러한 프로그램 코드는 메모리(640)와 같은 기록 장치에 저장될 수 있다.

- [0078] 설계 조건 설정부(611), 대리 모델 생성부(612), 최적화 수행부(613) 및 최적화 검증부(614)는 도 1의 단계들(110~140)을 수행하기 위해 구성될 수 있다.
- [0079] 대리모델을 이용한 전동기 형상의 최적설계 시스템(600)은 설계 조건 설정부(611), 대리 모델 생성부(612), 최적화 수행부(613) 및 최적화 검증부(614)를 포함할 수 있다.
- [0080] 본 발명의 실시예에 따른 설계 조건 설정부(611)는 다목적 최적 설계를 위한 설계 조건 설정 및 실험계획법을 실행한다.
- [0081] 본 발명의 실시예에 따른 설계 조건 설정부(611)는 다목적 최적 설계를 위한 목적 함수, 설계 변수, 제한 조건을 포함하는 설계 조건을 설정하고, 상기 설계 조건에 따른 실험계획법을 통해 초기 샘플을 생성한다.
- [0082] 복수의 설계 변수(multi-variable), 목적 함수(multi-objective), 멀티 모달(multi-modal)의 특성을 지닌 전기기기 최적 설계 문제에서, 전역 최적 해를 찾기 위한 최적화 탐색 방법으로 다목적 유전자 알고리즘(multi-objective genetic algorithm)을 사용한다.
- [0083] 이후, 유한요소해석 프로그램을 이용하여 상기 초기 샘플에 대한 해를 계산하고, 상기 계산된 해를 대리 모델 생성에 사용하도록 튜닝한다.
- [0084] 본 발명의 실시예에 따른 대리 모델 생성부(612)는 대리 모델 생성부를 통해 유한요소해석 기반 대리 모델을 생성하고, 상기 생성된 대리 모델 성능을 검증한다.
- [0085] 본 발명의 실시예에 따른 대리 모델 생성부(612)는 유한요소해석 및 상기 대리 모델을 동시에 활용한 다목적 유전자 알고리즘을 실행하여 자손 세대 생성 후 설계공간 탐색을 진행한다.
- [0086] 상기 유한요소해석 결과와 상기 대리 모델을 비교하여 대리 모델에 대한 오차 계산 및 오차 분석을 수행하고, 상기 오차 분석 결과 수렴조건을 만족하는지 판단한다.
- [0087] 상기 수렴조건을 만족하지 않는 경우, 수렴 조건을 달성하지 못할 경우 추가 유한요소해석 결과를 대리 모델의 훈련 집합(training set)에 추가한다.
- [0088] 상기 다목적 유전자 알고리즘을 실행하여 다음 부모 세대 생성 후 설계공간 재탐색을 진행하고, 유한요소해석에 대한 재탐색 결과를 상기 대리 모델 훈련 집합에 추가하여 대리 모델을 재생성한다.
- [0089] 상기 수렴조건을 만족하는 경우, 검증된 대리 모델에 기초하여 설계에 대한 최적화를 수행하는 단계로 이동한다. 대리 모델의 예측 오차가 수렴 조건을 달성하면 유한요소해석 프로그램을 제외하고 대리 모델만을 이용하여 다목적 유전자 알고리즘을 이용한 최적 설계를 진행한다.
- [0090] 본 발명의 실시예에 따른 최적화 수행부(613)는 최적화 수행부를 통해 상기 검증된 대리 모델에 기초하여 설계에 대한 최적화를 수행한다.
- [0091] 본 발명의 실시예에 따른 최적화 수행부(613)는 대리 모델만을 이용한 다목적 유전자 알고리즘을 실행하여 다음 부모 세대 생성 후 설계공간 탐색을 진행한다. 이후, 상기 대리 모델만을 이용한 다목적 유전자 알고리즘을 실행하여 자손 세대 생성 후 설계공간 탐색을 진행한다. 대리 모델을 이용하여 다목적 유전자 알고리즘을 수행하고, 다목적 유전자 알고리즘의 수렴 조건을 만족하는지 판단한다.
- [0092] 상기 수렴조건을 만족하지 않는 경우, 대리 모델만을 이용한 다목적 유전자 알고리즘을 실행하여 다음 부모 세대 생성 후 설계공간 탐색하는 과정부터 반복한다.
- [0093] 상기 수렴조건을 만족하는 경우, 설계에 대한 최적화를 검증하는 단계로 이동한다.
- [0094] 본 발명의 실시예에 따른 최적화 검증부(614)는 최적화 검증부를 통해 상기 설계에 대한 최적화를 검증한다.
- [0095] 본 발명의 실시예에 따른 최적화 검증부(614)는 검증된 대리 모델을 통하여 얻은 파레토 프론트 셋을 유한요소해석 결과와 비교하여 대리 모델 사용에 따른 오차를 최소화하고, 상기 유한요소해석 결과 수렴조건을 만족하는지 판단한다.
- [0096] 상기 수렴조건을 만족하지 않는 경우, 상기 다목적 유전자 알고리즘을 실행하여 다음 부모 세대 생성 후 설계공간 재탐색하는 과정부터 반복한다.

- [0097] 상기 수렴조건을 만족하는 경우, 대리모델을 이용한 전동기 형상의 최적설계 과정을 종료한다.
- [0099] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 유한요소해석 프로그램과 대리 모델을 기반으로 다목적 유전자 알고리즘을 실행한 파레토 프론트 셋 분포 결과를 나타내는 그래프이다.
- [0100] 도 7은 토크 밀도와 재료 비용을 목적 함수로 설정하여 다목적 유전자 알고리즘으로 찾은 파레토 프론트 셋 결과를 목적 함수 공간에 분포도로 나타낸 그림이다. 도 7(a)는 유한요소해석 프로그램만을 사용한 다목적 유전자 알고리즘 실행 결과이며, 도 7(b)는 제안하는 대리 모델을 이용한 전동기 형상의 최적 설계 방법 및 설계 시스템을 이용하여 계산한 결과이다. 계산 결과 파레토 프론트 셋 분포는 거의 일치하였으며, 이는 대리 모델을 이용한 최적 설계 결과가 유한요소해석 결과와 거의 유사한 성능을 보장하는 것을 의미한다.
- [0102] 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 대리 모델의 예측 오차율을 나타내는 그래프이다.
- [0103] 도 8은 베이지안 최적화를 통해 하이퍼 파라미터를 조정하여 얻은 고성능 대리 모델의 예측 오차율을 나타낸다. 1000개의 인자들에 대해 오차를 계산한 결과 모든 인자들에 대하여 0.25% 미만의 오차가 발생했으며, 토크 밀도와 재료 비용에 대하여 각각 0.018%와 0.009%의 매우 낮은 평균 오차를 보였다.
- [0105] 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 유한요소해석법과 대리 모델을 이용하여 얻은 파레토 프론트의 비교하기 위한 그래프이다.
- [0106] 도 9는 다목적 유전자 알고리즘을 유한요소해석 프로그램과 대리 모델을 이용한 전동기 형상의 최적 설계 방법 및 설계 시스템으로 계산한 최적의 파레토 프론트를 비교하는 그림이다. 제안하는 대리 모델을 이용한 전동기 형상의 최적 설계 방법 및 설계 시스템을 이용한 파레토 프론트와 유한요소해석 기반 접근법을 사용하여 계산한 파레토 프론트가 거의 일치하는 결과를 보인다. 대리 모델을 이용한 전동기 형상의 최적 설계 방법 및 설계 시스템을 이용할 경우, 유한요소해석법 대비 전체 최적 설계에 소요되는 시간은 약 65.6% 절감되는 성능을 보였다.
- [0108] 이상에서 설명된 장치는 하드웨어 구성요소, 소프트웨어 구성요소, 및/또는 하드웨어 구성요소 및 소프트웨어 구성요소의 조합으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 실시예들에서 설명된 장치 및 구성요소는, 예를 들어, 프로세서, 콘트롤러, ALU(arithmetic logic unit), 디지털 신호 프로세서(digital signal processor), 마이크로컴퓨터, FPGA(field programmable gate array), PLU(programmable logic unit), 마이크로프로세서, 또는 명령(instruction)을 실행하고 응답할 수 있는 다른 어떠한 장치와 같이, 하나 이상의 범용 컴퓨터 또는 특수 목적 컴퓨터를 이용하여 구현될 수 있다. 처리 장치는 운영 체제(OS) 및 상기 운영 체제 상에서 수행되는 하나 이상의 소프트웨어 애플리케이션을 수행할 수 있다. 또한, 처리 장치는 소프트웨어의 실행에 응답하여, 데이터를 접근, 저장, 조작, 처리 및 생성할 수도 있다. 이해의 편의를 위하여, 처리 장치는 하나가 사용되는 것으로 설명된 경우도 있지만, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는, 처리 장치가 복수 개의 처리 요소(processing element) 및/또는 복수 유형의 처리 요소를 포함할 수 있음을 알 수 있다. 예를 들어, 처리 장치는 복수 개의 프로세서 또는 하나의 프로세서 및 하나의 콘트롤러를 포함할 수 있다. 또한, 병렬 프로세서(parallel processor)와 같은, 다른 처리 구성(processing configuration)도 가능하다.
- [0109] 소프트웨어는 컴퓨터 프로그램(computer program), 코드(code), 명령(instruction), 또는 이들 중 하나 이상의 조합을 포함할 수 있으며, 원하는 대로 동작하도록 처리 장치를 구성하거나 독립적으로 또는 결합적으로(collectively) 처리 장치를 명령할 수 있다. 소프트웨어 및/또는 데이터는, 처리 장치에 의하여 해석되거나 처리 장치에 명령 또는 데이터를 제공하기 위하여, 어떤 유형의 기계, 구성요소(component), 물리적 장치, 가상 장치(virtual equipment), 컴퓨터 저장 매체 또는 장치에 구체화(embodiment)될 수 있다. 소프트웨어는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템 상에 분산되어서, 분산된 방법으로 저장되거나 실행될 수도 있다. 소프트웨어 및 데이터는 하나 이상의 컴퓨터 판독 가능 기록 매체에 저장될 수 있다.
- [0110] 실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등

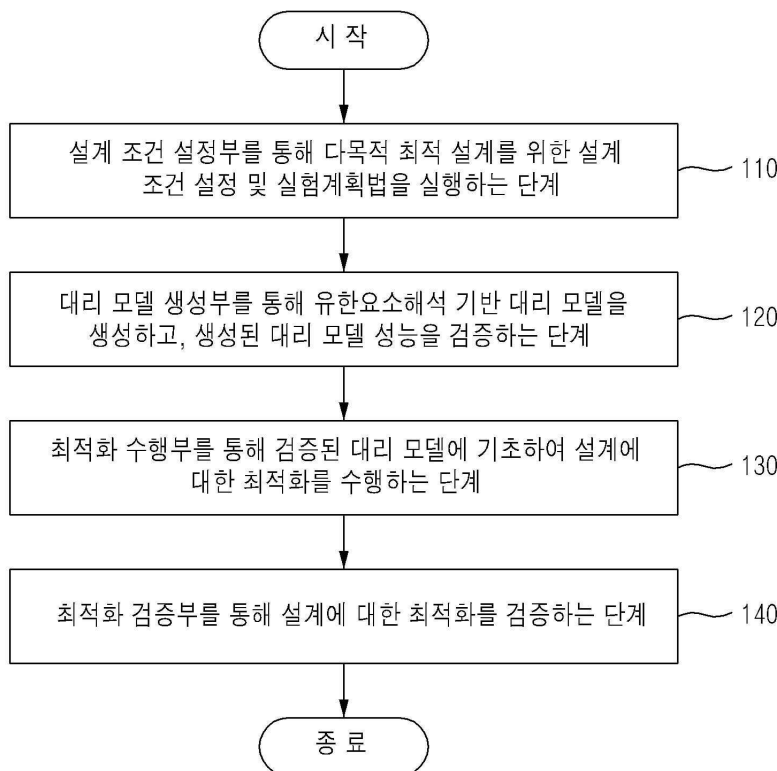
을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예를 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다.

[0111] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.

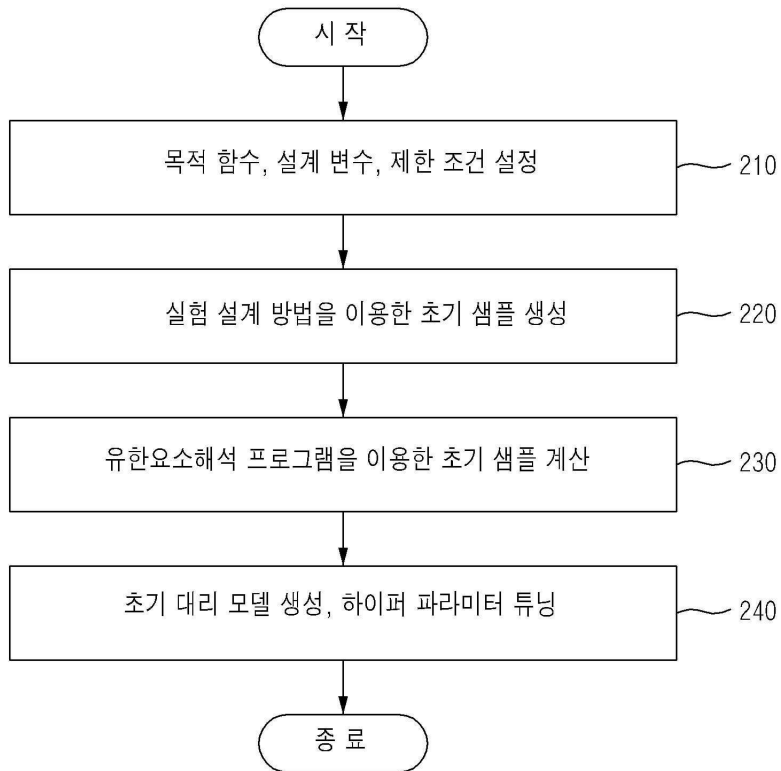
[0112] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

도면

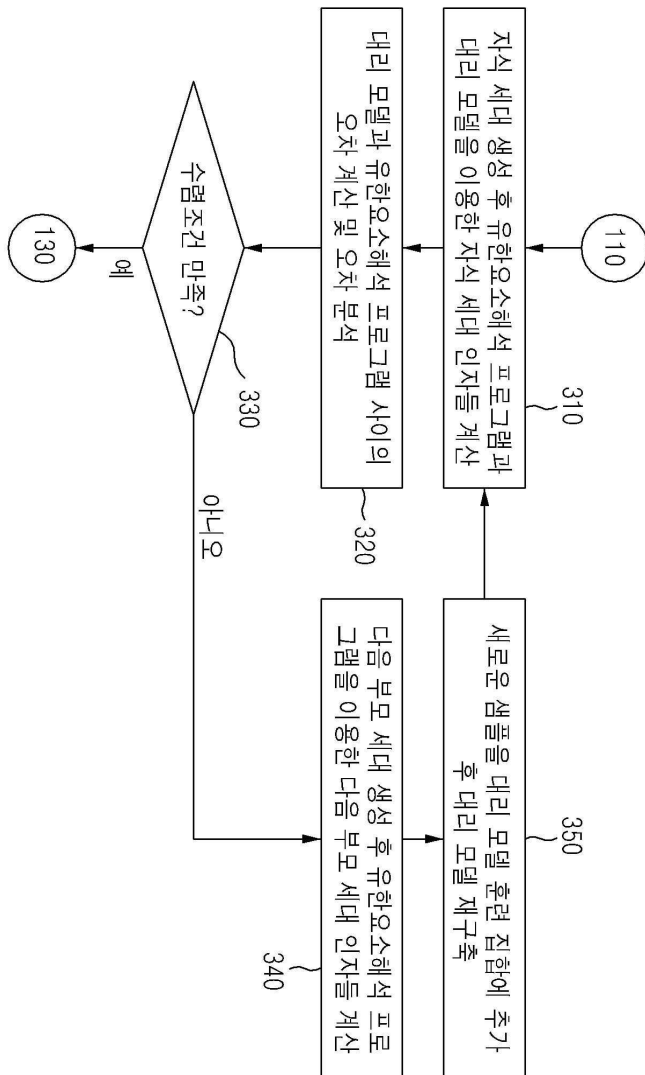
도면1



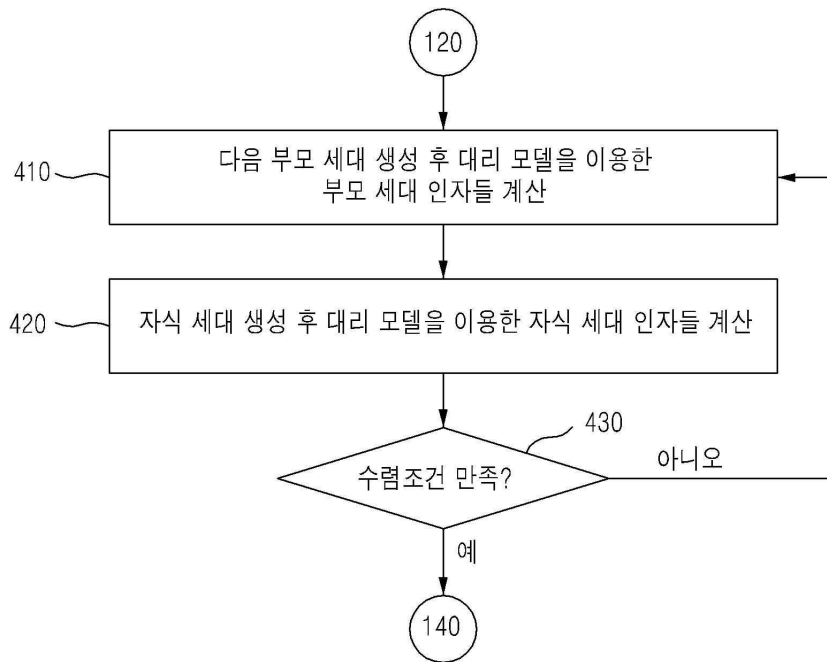
도면2



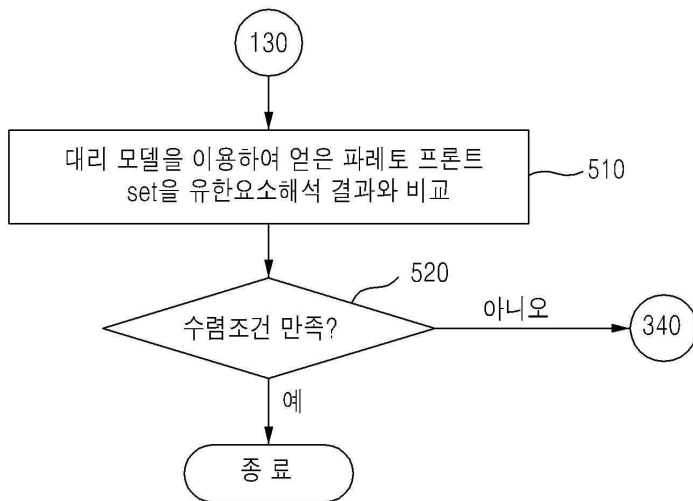
도면3



도면4

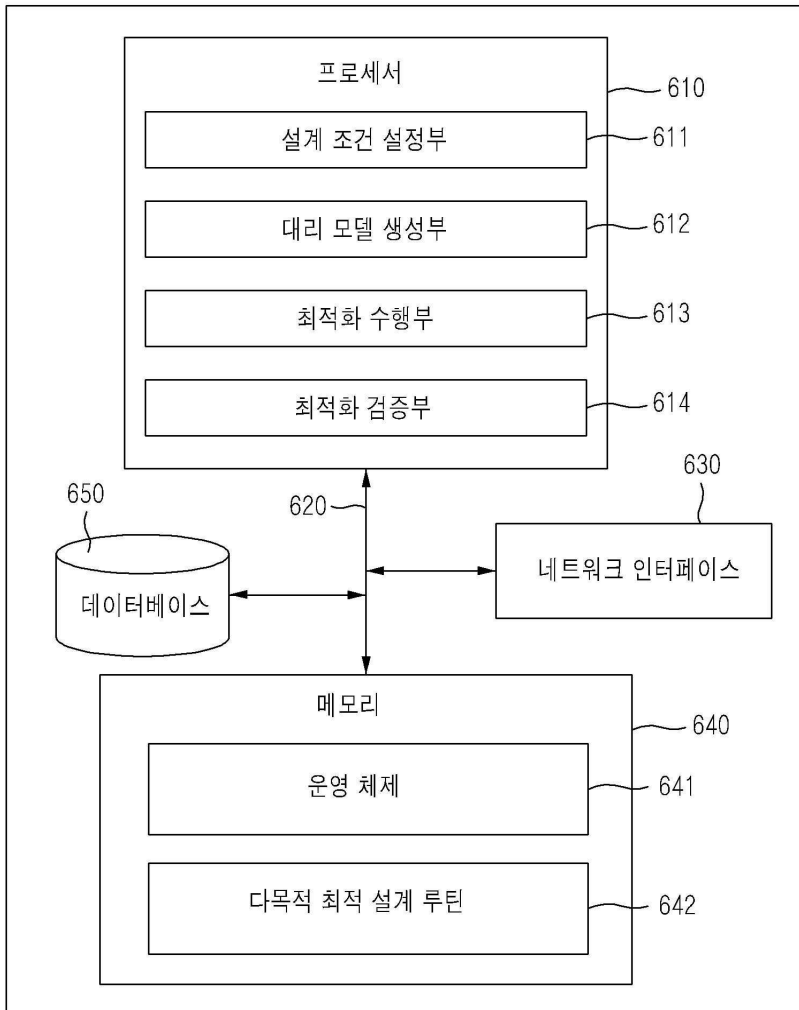


도면5

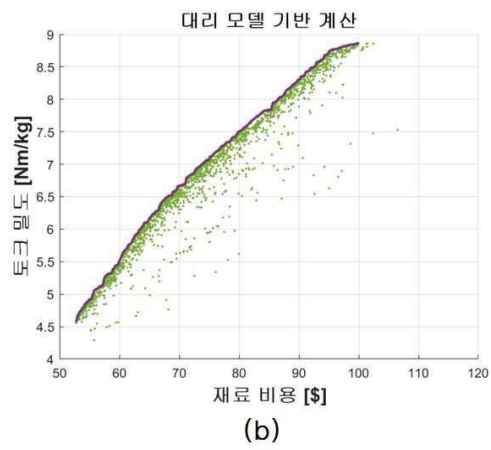
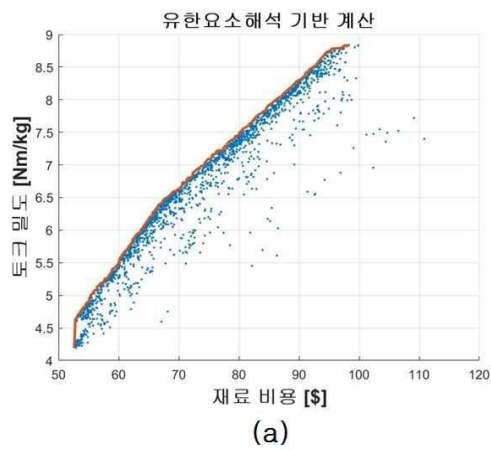


도면6

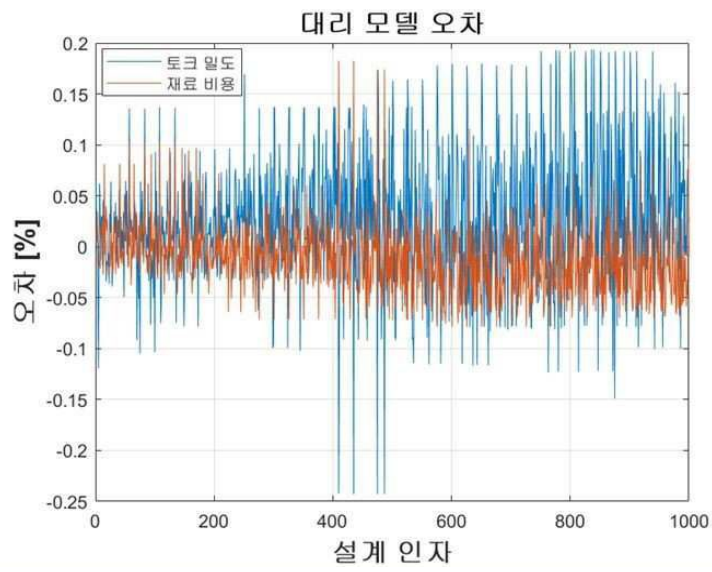
600



도면7



도면8



도면9

