(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국

(43) 국제공개일
2018 년 11 월 1 일 (01.11.2018)

WIPO | PCT

(10) 국제공개번호
WO 2018/199387 A1

(51) 국제특허분류:
G06F 17/50 (2006.01)

(21) 국제출원번호: PCT/KR2017/006587

(22) 국제출원일: 2017 년 6 월 22 일 (22.06.2017)

(25) 출원언어: 한국어

(26) 공개언어: 한국어

(30) 우선권정보:
10-2017-0055221 2017 년 4 월 28 일 (28.04.2017) KR

(71) 출원인: 성균관대학교산학협력단 (RESEARCH BUSINESS FOUNDATION SUNGKYUNKWAN UNIVERSITY) [KR/KR]; 16419 경기도 수원시 장안구 서부로 2066, Gyeonggi-do (KR).

(72) 발명자: 정상용 (JUNG, Sang Yong); 06509 서울시 서초구 신반포로23길 41, 106동 308호, Seoul (KR). 서명기 (SEO, Myung Ki); 16433 경기도 수원시 팔달구 수성로 244번길 25, 107동 701호, Gyeonggi-do (KR).

(74) 대리인: 심경식 등 (SHIM, Kyoung-Shik et al.); 06719 서울시 서초구 반포대로 10, 신원빌딩 4층 (서초동), Seoul (KR).

(81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

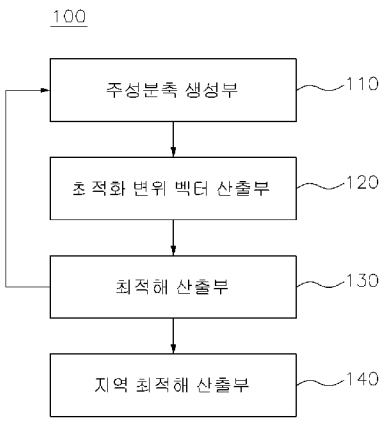
(84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 역내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

공개:
— 국제조사보고서와 함께 (조약 제21조(3))

WO 2018/199387 A1

(54) **Title:** METHOD FOR CALCULATING OPTIMAL SOLUTION FOR ELECTRICAL EQUIPMENT DESIGN, AND DEVICE THEREFOR

(54) **발명의 명칭:** 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 방법 및 장치



110 ... primary component axis generation unit
120 ... Optimal displacement vector calculation unit
130 ... Optimal solution calculation unit
140 ... Local optimal solution calculation unit

(57) **Abstract:** The present invention relates to a method for calculating an optimal solution for an electrical equipment design and a device therefor, the method comprising the steps of allowing: a primary component (PC) axis generation unit to generate a plurality of PC axes by respectively using a plurality of linear coupling coefficients generated by applying a primary component analysis (PCA) algorithm to each of plurality of initial solutions and at least one design function; an optimal displacement vector calculation unit to calculate an optimal displacement vector indicating a displacement amount of an optimal solution search on the basis of the plurality of linear coupling coefficients and the plurality of PC axes; and an optimal solution calculation unit to calculate a plurality of optimal solutions for the at least one design function by applying the optimal displacement vector on the basis of the plurality of initial solutions.

(57) **요약서:** 주성분축 생성부가, 복수의 초기해 및 적어도 하나의 설계 함수 각각에 대해 주성분분석(PCA) 알고리즘을 적용하여 생성된 복수의 선형결합계수 각각을 이용하여 복수의 주성분(PC)축을 생성하는 단계, 최적화 변위 벡터 산출부가, 복수의 선형결합계수 및 복수의 주성분축에 기초하여 최적해 탐색의 변위량을 나타내는 최적화 변위 벡터를 산출하는 단계 및 최적해 산출부가, 복수의 초기해를 기준으로 최적화 변위 벡터를 적용하여 적어도 하나의 설계 함수에 대한 복수의 최적해를 산출하는 단계를 포함하는, 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 방법 및 그 장치에 관한 것이다.

명세서

발명의 명칭: 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 방법 및 장치

기술분야

[1] 본 발명은 전기기기의 설계를 위한 최적해를 산출하기 위한 방법 및 그 장치에 관한 것이다.

[2] 나아가, 본 발명은 2017년 04월 28일 출원된 한국특허출원 제10-2017-0055221호의 이익을 주장하며, 그 내용 전부는 본 명세서에 포함된다.

배경기술

[3] 전기기기의 설계를 위해서는 전기기기의 설계를 위해 미리 설정된 설계 함수를 만족하는 최적해(Optimal Solution)를 산출하고, 산출된 최적해를 이용하여 전기기기 설계를 최적화하는 과정이 중요하다.

[4] 이러한, 최적해를 산출하는 방법은 일반적으로 전역 최적화(Global Optimization) 방법과 지역 최적화(Local Optimization) 방법을 포함하게 되며, 전역 최적화 방법은 최적해가 존재할 수 있는 전 영역을 탐색하는 방법으로 최적해에 근사하는 전역 최적해를 산출하기 위한 방법이며, 지역 최적화 방법은 전역 최적화 방법을 통해 산출된 전역 최적해에 기초하여 전역 최적해보다 최적해에 더욱 근사하는 지역 최적해를 산출하는 방법이다.

[5] 종래의 전역 최적화 방법은 최적해가 존재할 수 있는 전 영역을 탐색하기 때문에 함수 호출 횟수가 과도하게 많아지는 문제가 있으며, 그 결과 전역 최적해를 산출하기 위한 시간이 과도하게 소요되는 문제가 있다.

[6] 이와 관련하여, 발명의 명칭이 "분야간 변수의 처리 및 최적민감도정보를 이용한 다분야통합최적설계방법"인 한국 등록특허공보 제10-0393847호가 존재한다.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

[7] 본 발명의 목적은, 상기 문제점을 해결하기 위한 것으로, 복수의 초기해 및 적어도 하나의 설계 함수 각각에 대해 주성분분석(PCA) 알고리즘을 적용하여 생성된 복수의 선형결합계수 각각을 이용하여 복수의 주성분(PC)축을 생성하고, 복수의 선형결합계수 및 복수의 주성분축에 기초하여 최적해 탐색의 변위량을 나타내는 최적화 변위 벡터를 산출하며, 복수의 초기해를 기준으로 최적화 변위 벡터를 적용하여 적어도 하나의 설계 함수에 대한 복수의 최적해를 산출하기 위함이다.

[8] 더 나아가, 본 발명의 목적은 산출된 복수의 최적해를 전역 최적해로 활용하여 산출된 전역 최적해에 기설정된 지역 최적해 산출 알고리즘을 적용하여 지역 최적해를 산출하기 위함이다.

[9] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 이상에서 언급한 과제(들)로 제한되지

않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제(들)은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제 해결 수단

[10] 상기한 목적을 달성하기 위하여 본 발명의 실시예에 따른, 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 방법은 주성분축 생성부가, 복수의 초기해 및 적어도 하나의 설계 함수 각각에 대해 주성분분석(PCA) 알고리즘을 적용하여 생성된 복수의 선형결합계수 각각을 이용하여 복수의 주성분(PC)축을 생성하는 단계, 최적화 변위 벡터 산출부가, 복수의 선형결합계수 및 복수의 주성분축에 기초하여 최적해 탐색의 변위량을 나타내는 최적화 변위 벡터를 산출하는 단계 및 최적해 산출부가, 복수의 초기해를 기준으로 최적화 변위 벡터를 적용하여 적어도 하나의 설계 함수에 대한 복수의 최적해를 산출하는 단계를 포함한다.

[11] 일 실시예에 따르면, 주성분축 생성부가, 복수의 최적해를 복수의 초기해로 재설정하는 단계를 더 포함하며, 복수의 주성분 축을 생성하는 단계, 최적화 변위 벡터를 산출하는 단계 및 복수의 최적해를 산출하는 단계는 재설정된 복수의 초기해에 기초하여 수행된다.

[12] 일 실시예에 따르면, 복수의 주성분 축을 생성하는 단계, 최적화 변위 벡터를 산출하는 단계, 복수의 최적해를 산출하는 단계 및 복수의 초기해로 재설정하는 단계는 최적화 변위 벡터의 크기가 기설정된 크기보다 작아질 때까지 순차적으로 반복 수행된다.

[13] 예컨대, 최적화 변위 벡터는, 복수의 초기해 각각에 대한 선형결합계수와 적어도 하나의 설계 함수에 대한 선형결합계수 상호간의 비례관계를 나타내는 비례 부호, 복수의 선형결합계수 및 복수의 주성분축 각각의 정보량을 나타내는 정보량 분산 벡터에 기초하여 산출된다.

[14] 예를 들어, 최적화 변위 벡터는, 하기 수학식 1에 기초하여 산출된다.

[15] [수학식 1]

[16] $$d = \sum_{j=1}^{m}\left(\sum_{i=1}^{n+1} s_{ij} * a_{ij} * v_j\right)$$

[17] 여기서, d는 최적화 변위 벡터, a_{ij}는 j번째 주성분축에 대한 i번째 초기해의 선형결합계수, S_{ij}는 j번째 주성분축에 대한 i번째 초기해의 선형결합계수와 j번째 주성분축에 대한 특정 설계 함수의 선형결합계수 상호간의 비례관계를 나타내는 비례 부호, V_j는 j번째 주성분축의 정보량을 나타내는 정보량 분산 벡터이다.

[18] 예컨대, 복수의 최적해가 복수의 전역 최적해인 경우, 지역 최적해 산출부가, 복수의 전역 최적해에 기설정된 지역 최적해 산출 알고리즘을 적용하여 지역 최적해를 산출하는 단계를 더 포함한다.

[19] 상기한 목적을 달성하기 위하여 본 발명의 실시예에 따른, 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 장치는 복수의 초기해 및 적어도 하나의 설계 함수 각각에

대해 주성분분석(PCA) 알고리즘을 적용하여 생성된 복수의 선형결합계수 각각을 이용하여 복수의 주성분(PC)축을 생성하는 주성분축 생성부, 복수의 선형결합계수 및 복수의 주성분축에 기초하여 최적해 탐색의 변위량을 나타내는 최적화 변위 벡터를 산출하는 최적화 변위 벡터 산출부 및 복수의 초기해를 기준으로 최적화 변위 벡터를 적용하여 적어도 하나의 설계 함수에 대한 복수의 최적해를 산출하는 최적해 산출부를 포함한다.

[20] 일 실시예에 따르면, 주성분축 생성부는, 복수의 최적해를 복수의 초기해로 재설정하며, 주성분축 생성부가 복수의 주성분 축을 생성하고, 최적화 변위 벡터 산출부가 최적화 변위 벡터를 산출하고, 최적해 산출부가 복수의 최적해를 산출하는 동작은 재설정된 복수의 초기해에 기초하여 수행된다.

[21] 일 실시예에 따르면, 주성분축 생성부가 복수의 주성분 축을 생성하고, 최적화 변위 벡터 산출부가 최적화 변위 벡터를 산출하고, 최적해 산출부가 복수의 최적해를 산출하고, 주성분축 생성부가 복수의 최적해를 복수의 초기해로 재설정하는 동작은 최적화 변위 벡터의 크기가 기설정된 크기보다 작아질 때까지 순차적으로 반복 수행된다.

[22] 예를 들어, 최적화 변위 벡터는, 복수의 초기해 각각에 대한 선형결합계수와 적어도 하나의 설계 함수에 대한 선형결합계수 상호간의 비례관계를 나타내는 비례 부호, 복수의 선형결합계수 및 복수의 주성분축 각각의 정보량을 나타내는 정보량 분산 벡터에 기초하여 산출된다.

[23] 예컨대, 최적화 변위 벡터는, 하기 수학식 1에 기초하여 산출된다.

[24] [수학식 1]

[25] $$d = \sum_{j=1}^{m}\left(\sum_{i=1}^{n+1} s_{ij} * a_{ij} * v_j\right)$$

[26] 여기서, d는 최적화 변위 벡터, a_{ij}는 j번째 주성분축에 대한 i번째 초기해의 선형결합계수, S_{ij}는 j번째 주성분축에 대한 i번째 초기해의 선형결합계수와 j번째 주성분축에 대한 특정 설계 함수의 선형결합계수 상호간의 비례관계를 나타내는 비례 부호, V_j는 j번째 주성분축의 정보량을 나타내는 정보량 분산 벡터이다.

[27] 일 실시예에 따라, 복수의 최적해가 복수의 전역 최적해인 경우, 복수의 전역 최적해에 기설정된 지역 최적해 산출 알고리즘을 적용하여 지역 최적해를 산출하는 지역 최적해 산출부를 더 포함한다.

발명의 효과

[28] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 복수의 초기해 및 적어도 하나의 설계 함수 각각에 대해 주성분분석(PCA) 알고리즘을 적용하여 생성된 복수의 선형결합계수 각각을 이용하여 복수의 주성분(PC)축을 생성하고, 복수의 선형결합계수 및 복수의 주성분축에 기초하여 최적해 탐색의 변위량을 나타내는 최적화 변위 벡터를 산출하며, 복수의 초기해를 기준으로 최적화 변위

벡터를 적용하여 적어도 하나의 설계 함수에 대한 복수의 최적해를 산출함으로써, 최적해 산출에 있어 함수의 호출 횟수를 최소화함으로써 전기기기 설계를 위한 해석시간을 단축할 수 있다.

[29] 더 나아가, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 산출된 복수의 최적해를 전역 최적해로 활용하여 산출된 전역 최적해에 기설정된 지역 최적해 산출 알고리즘을 적용하여 지역 최적해를 산출함으로써, 보다 신속하게 지역 최적해를 산출할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[30] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른, 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 장치를 설명하기 위한 구성도이다.

[31] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른, 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 방법을 설명하기 위한 순서도이다.

[32] 도 3은 본 발명의 다른 실시예에 따른, 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 방법을 설명하기 위한 순서도이다.

[33] 도 4는 본 발명의 실시예에 따른, 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 방법에서 복수의 주성분축을 생성하는 단계를 설명하기 위한 도면이다.

[34] 도 5는 본 발명의 실시예에 따른, 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 방법 및 장치와 종래의 최적해 산출 방법의 함수 호출 횟수를 비교하기 위한 도면이다.

[35] 도 6a, 도 6b, 도 6c, 도 6d, 도 6e, 도 6f, 도 6g 및 도 6h는 본 발명의 실시예에 따른, 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 방법 및 장치와 종래의 최적해 산출 방법 각각에 기초하여 매입형 영구자석 동기전동기(IPMSM)을 설계하는 방법을 비교하기 위한 도면이다.

발명의 실시를 위한 형태

[36] 이하, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 본 발명의 기술적 사상을 용이하게 실시할 수 있을 정도로 상세히 설명하기 위하여, 본 발명의 가장 바람직한 실시예를 첨부 도면을 참조하여 설명하기로 한다. 우선 각 도면의 구성요소들에 참조부호를 부가함에 있어서, 동일한 구성요소들에 대해서는 비록 다른 도면상에 표시되더라도 가능한 한 동일한 부호를 가지도록 하고 있음에 유의해야 한다. 또한, 본 발명을 설명함에 있어, 관련된 공지 구성 또는 기능에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명은 생략한다.

[37] 이하, 본 발명의 실시예에 따른 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 방법 및 장치를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명하면 아래와 같다.

[38] 이제 도 1을 참조하여, 본 발명의 실시예에 따른 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 장치를 설명한다.

[39] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른, 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 장치를 설명하기 위한 구성도이다.

[40] 도 1에 도시된 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 장치(100)는 주성분축 생성부(110), 최적화 변위 벡터 산출부(120) 및 최적해 산출부(130)를 포함한다.

[41] 일 실시예에 따라, 본 발명의 실시예에 따른 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 장치(100)의 최적해 산출부(130)가 산출한 최적해가 전역 최적해인 경우, 본 발명의 실시예에 따른 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 장치(100)는 지역 최적해 산출부(140)를 더 포함할 수도 있으나, 본 발명은 이에 한정되지 않는다.

[42] 주성분축 생성부(110)는 복수의 초기해 및 적어도 하나의 설계 함수 각각에 대해 주성분분석(PCA) 알고리즘을 적용하여 생성된 복수의 선형결합계수 각각을 이용하여 복수의 주성분(PC)축을 생성한다.

[43] 최적화 변위 벡터 산출부(120)는 복수의 선형결합계수 및 복수의 주성분축에 기초하여 최적해 탐색의 변위량을 나타내는 최적화 변위 벡터를 산출한다.

[44] 최적해 산출부(130)는 복수의 초기해를 기준으로 최적화 변위 벡터를 적용하여 적어도 하나의 설계 함수에 대한 복수의 최적해를 산출한다.

[45] 예를 들어, 주성분축 생성부(110)는, 복수의 최적해를 복수의 초기해로 재설정하며, 주성분축 생성부(110)가 복수의 주성분 축을 생성하고, 최적화 변위 벡터 산출부(120)가 최적화 변위 벡터를 산출하고, 최적해 산출부(130)가 복수의 최적해를 산출하는 동작은 재설정된 복수의 초기해에 기초하여 수행된다.

[46] 이때, 주성분축 생성부(110)가 복수의 주성분 축을 생성하고, 최적화 변위 벡터 산출부(120)가 최적화 변위 벡터를 산출하고, 최적해 산출부(130)가 복수의 최적해를 산출하고, 주성분축 생성부(110)가 복수의 최적해를 복수의 초기해로 재설정하는 동작은 최적화 변위 벡터의 크기가 기설정된 크기보다 작아질 때까지 순차적으로 반복 수행된다.

[47] 그 결과, 발명의 실시예에 따른 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 장치(100)는 최적화 변위 벡터의 크기가 기설정된 크기보다 작아질 때까지 최적해 산출 동작을 반복(iteration)함으로써, 보다 정확한 최적해를 산출할 수 있다.

[48] 이때, 최적화 변위 벡터는, 복수의 초기해 각각에 대한 선형결합계수와 적어도 하나의 설계 함수에 대한 선형결합계수 상호간의 비례관계를 나타내는 비례 부호, 복수의 선형결합계수 및 복수의 주성분축 각각의 정보량을 나타내는 정보량 분산 벡터에 기초하여 산출된다.

[49] 예를 들어, 최적화 변위 벡터는, 하기 수학식 1에 기초하여 산출될 수 있다.

[50] [수학식 1]

[51] $$d = \sum_{j=1}^{m}\left(\sum_{i=1}^{n+1} s_{ij} * a_{ij} * v_j\right)$$

[52] 여기서, d는 최적화 변위 벡터, a_{ij}는 j번째 주성분축에 대한 i번째 초기해의 선형결합계수, S_{ij}는 j번째 주성분축에 대한 i번째 초기해의 선형결합계수와 j번째 주성분축에 대한 특정 설계 함수의 선형결합계수 상호간의 비례관계를

나타내는 비례 부호, V_j는 j번째 주성분축의 정보량을 나타내는 정보량 분산 벡터을 의미할 수 있다.

[53] 일 실시예에 따라, 최적해 산출부(130)에 의해 산출된 복수의 최적해가 복수의 전역 최적해(Global Optimal Solution)인 경우, 지역 최적해 산출부(140)는 복수의 전역 최적해에 기설정된 지역 최적해 산출 알고리즘을 적용하여 지역 최적해를 산출할 수 있다.

[54] 본 발명의 실시예에 따른 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 장치(100)에 대한 보다 구체적인 설명은 이하 도 2 내지 도 4를 참조하여 후술하도록 하며, 중복되는 설명은 생략한다.

[55] 이제, 도 2를 참조하여, 본 발명의 실시예에 따른 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 방법을 설명한다.

[56] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른, 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 방법을 설명하기 위한 순서도이다.

[57] 도 2에 도시된 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 방법은 복수의 주성분축을 생성하는 단계(S210), 최적화 변위 벡터를 산출하는 단계(S220) 및 복수의 최적해를 산출하는 단계(S230)를 포함한다.

[58] S210 단계는, 주성분축 생성부(110)가, 복수의 초기해 및 적어도 하나의 설계 함수 각각에 대해 주성분분석(PCA) 알고리즘을 적용하여 생성된 복수의 선형결합계수 각각을 이용하여 복수의 주성분(PC)축을 생성하는 단계를 의미할 수 있다.

[59] 이때, 주성분분석(Principal Component Analysis, PCA) 알고리즘은 하나의 관측 대상에 대해 많은 관측값(다변량)이 있는 경우, 각각의 변수의 분산 및 공분산의 패턴을 간결하게 표현하는 주성분(Principal Component, PC)을 원래의 변수의 선형결합으로서 추출하는 일종의 통계기법이다.

[60] 예컨대, 주성분분석 알고리즘은 p개의 변수가 있는 경우 p개의 변수 각각에서 얻은 정보를 p보다 작거나 같은 k개의 변수로 요약하는 것으로, p차원 공간의 축을 회전시켜 많은 변수의 분사를 가장 잘 반영한 p보다 작거나 같은 k개의 축을 찾아내는 기법을 의미할 수 있다.

[61] 여기서, 주성분분석 알고리즘은 종래에 공지된 바와 같으므로 그 구체적인 설명은 생략한다.

[62] 이제 도 4를 참조하여, S210 단계에 대하여 보다 상세히 설명한다.

[63] 도 4는 본 발명의 실시예에 따른, 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 방법에서 복수의 주성분축을 생성하는 단계를 설명하기 위한 도면이다.

[64] 도 4에 도시된 디자인 파라미터(Design Parameter) 중 $X_1, X_2, \ldots X_n$ 각각은 설계 변수로써 복수의 초기해를 의미할 수 있으며, f(x)는 설계 함수를 의미할 수 있고, $PC_1, PC_2, \ldots PC_{n+1}$ 각각은 복수의 주성분축을 의미할 수 있고, $a_{11}, a_{12}, a_{21}, \ldots a_{(n+1)(n+1)}$은 복수의 선형결합계수를 의미할 수 있다.

[65] 이 경우, S210 단계에서 주성분축 생성부(110)는 복수의 초기해($X_1, X_2, ... X_n$) 및 적어도 하나의 설계 함수(f(x)) 각각에 대해 주성분분석 알고리즘을 적용하여 생성된 복수의 선형결합계수($a_{11}, a_{12}, a_{21}, ... a_{(n+1)(n+1)}$)를 이용하여 복수의 주성분축($PC_1, PC_2, ... PC_{n+1}$)을 생성할 수 있다.

[66] 예를 들어, S210 단계에서 생성된 복수의 주성분축 중 PC_1 축은 $PC_1=a_{11}X_1 + a_{21}X_2 + a_{31}X_3 + ... + a_{(n+1)1}f(x)$와 같이 복수의 초기해($X_1, X_2, ... X_n$) 및 적어도 하나의 설계 함수(f(x))가 복수의 선형결합계수($a_{11}, a_{21}, a_{31}, ... a_{(n+1)1}$)를 통해 선형 결합된 형태로 표현될 수 있다.

[67] 마찬가지로, S210 단계에서 생성된 복수의 주성분축 중 PC_{n+1} 축은 $PC_{n+1}=a_{1(n+1)}X_1 + a_{2(n+1)}X_2 + a_{3(n+1)}X_3 + ... + a_{(n+1)(n+1)}f(x)$와 같이 복수의 초기해($X_1, X_2, ... X_n$) 및 적어도 하나의 설계 함수(f(x))가 복수의 선형결합계수($a_{1(n+1)}, a_{2(n+1)}, a_{3(n+1)}, ... a_{(n+1)(n+1)}$)를 통해 선형 결합된 형태로 표현될 수 있다.

[68] 즉, S210 단계에서 주성분축 생성부(110)는 복수의 주성분축($PC_1, PC_2, ... PC_{n+1}$) 각각을 상술한 바와 같이 복수의 초기해($X_1, X_2, ... X_n$) 및 적어도 하나의 설계 함수(f(x))가 복수의 선형결합계수를 통해 선형 결합된 형태로 생성할 수 있다.

[69] 이때, S210 단계에서 생성된 복수의 주성분축($PC_1, PC_2, ... PC_{n+1}$)의 개수는 복수의 초기해($X_1, X_2, ... X_n$) 및 적어도 하나의 설계 함수(f(x)) 개수의 총합보다 작거나 같은 개수일 수 있으며, 본 발명은 생성된 복수의 주성분축의 개수에 한정되지 않는다.

[70] 이때, S210 단계에서 생성된 복수의 주성분축($PC_1, PC_2, ... PC_{n+1}$) 각각은 복수의 초기해($X_1, X_2, ... X_n$) 뿐만 아니라 적어도 하나의 설계 함수(f(x)) 자체에 대한 정보 또한 포함하게 되며, 그 결과, S220 단계 및 S230 단계에서 복수의 주성분축($PC_1, PC_2, ... PC_{n+1}$)에 기초하여 최적해를 산출함에 있어서, 함수의 호출을 줄일 수 있는 효과가 발생한다.

[71] S220 단계는 최적화 변위 벡터 산출부(120)가, 복수의 선형결합계수 및 복수의 주성분축에 기초하여 최적해 탐색의 변위량을 나타내는 최적화 변위 벡터를 산출하는 단계를 의미할 수 있다.

[72] 이때, 최적화 변위 벡터는 복수의 초기해로부터 시작하여 복수의 최적해를 결정하기 위해, 복수의 초기해를 기준으로 탐색 방향 및 탐색 길이를 의미하는 벡터를 의미할 수 있다.

[73] 예를 들어, 최적화 변위 벡터는, 복수의 초기해 각각에 대한 선형결합계수와 적어도 하나의 설계 함수에 대한 선형결합계수 상호간의 비례관계를 나타내는 비례 부호, 복수의 선형결합계수 및 복수의 주성분축 각각의 정보량을 나타내는 정보량 분산 벡터에 기초하여 산출될 수 있다.

[74] 이때, 최적화 변위 벡터는, 하기 수학식 1에 기초하여 산출될 수 있다.

[75] [수학식 1]

[76] $$d = \sum_{j=1}^{m}\left(\sum_{i=1}^{n+1} s_{ij} * a_{ij} * v_j\right)$$

[77] 여기서, d는 최적화 변위 벡터, a_{ij}는 j번째 주성분축에 대한 i번째 초기해의 선형결합계수, S_{ij}는 j번째 주성분축에 대한 i번째 초기해의 선형결합계수와 j번째 주성분축에 대한 특정 설계 함수의 선형결합계수 상호간의 비례관계를 나타내는 비례 부호, V_j는 j번째 주성분축의 정보량을 나타내는 정보량 분산 벡터이다.

[78] 수학식 1에서 설명된 바와 같이 최적화 변위 벡터(d)는 j 번째 주성분축(PC_j)에 대한 i번째 초기해(X_i)의 선형결합계수(a_{ij}), j번째 주성분축(PC_j)에 대한 i번째 초기해(X_i)의 선형결합계수(a_{ij})와 j번째 주성분축(PC_j)에 대한 설계 함수(f(x))의 선형결합계수($a_{(n+1)j}$) 상호간의 비례관계를 나타내는 비례 부호(S_{ij}) 및 j번째 주성분축(PC_j)의 정보량을 나타내는 정보량 분산 벡터(V_j)의 곱의 총합에 의해 결정될 수 있다.

[79] 이때, 비례 부호(S_{ij})는 아래 수학식 2에 의해 산출될 수 있다.

[80] [수학식 2]

[81] $$\begin{cases} a_{ij}a_{(n+1)j} > 0, s_{ij} = 1 \\ a_{ij}a_{(n+1)j} < 0, s_{ij} = -1 \end{cases}$$

[82] 여기서, S_{ij}는 비례 부호, a_{ij}는 j번째 주성분축(PC_j)에 대한 i번째 초기해(X_i)의 선형결합계수, $a_{(n+1)j}$는 j번째 주성분축(PC_j)에 대한 설계 함수(f(x))의 선형결합계수를 의미한다.

[83] 이제, 주성분분석 알고리즘에 성질에 기초하여 수학식 2를 설명한다.

[84] 주성분분석 알고리즘에 의해 생성된 주성분축(PC)에 포함된 선형결합계수는 주성분축으로 변환되기 이전의 설계 변수(초기해) 및 설계 함수 상호간의 관계를 의미한다.

[85] 예를 들어, j번째 주성분축(PC_j)에 대한 i번째 초기해(X_i)의 선형결합계수(a_{ij})와 j번째 주성분축(PC_j)에 대한 설계 함수(f(x))의 선형결합계수($a_{(n+1)j}$)가 서로 동일한 부호인 경우 i번째 초기해(X_i)와 설계 함수(f(x))는 서로 비례관계임을 의미할 수 있다.

[86] 반대로, j번째 주성분축(PC_j)에 대한 i번째 초기해(X_i)의 선형결합계수(a_{ij})와 j번째 주성분축(PC_j)에 대한 설계 함수(f(x))의 선형결합계수($a_{(n+1)j}$)가 서로 다른 부호인 경우 i번째 초기해(X_i)와 설계 함수(f(x))는 서로 반비례관계임을 의미할 수 있다.

[87] 더 나아가, j번째 주성분축(PC_j)에 대한 i번째 초기해(X_i)의 선형결합계수(a_{ij})와 j번째 주성분축(PC_j)에 대한 설계 함수(f(x))의 선형결합계수($a_{(n+1)j}$)의 부호가 동일하고 크기가 서로 비슷하다면, i번째 초기해(X_i)가 증가하면 설계 함수(f(x)) 또한 증가함을 의미하게 된다.

[88] 반대로, j번째 주성분축(PC_j)에 대한 i번째 초기해(X_i)의 선형결합계수(a_{ij})와 j번째 주성분축(PC_j)에 대한 설계 함수(f(x))의 선형결합계수($a_{(n+1)j}$)의 부호가 다르고 크기가 서로 크게 상이하다면, i번째 초기해(X_i)가 증가하면 설계

함수(f(x))는 감소하되 상호간의 연관관계는 크지 않음을 의미하게 된다.

[89] 상술한 설명에 기초하여 수학식 2를 설명하면, j번째 주성분축(PC_j)에 대한 i번째 초기해(X_i)의 선형결합계수(a_{ij})와 j번째 주성분축(PC_j)에 대한 설계 함수(f(x))의 선형결합계수($a_{(n+1)j}$)의 부호가 서로 같은 경우 비례 부호(S_{ij})는 1을 의미하고, j번째 주성분축(PC_j)에 대한 i번째 초기해(X_i)의 선형결합계수(a_{ij})와 j번째 주성분축(PC_j)에 대한 설계 함수(f(x))의 선형결합계수($a_{(n+1)j}$)의 부호가 서로 다른 경우 비례 부호(S_{ij})는 -1을 의미할 수 있다.

[90] 이때, j번째 주성분축의 정보량을 나타내는 정보량 분산 벡터(V_j) 아래 수학식 3에 기초하여 산출될 수 있다.

[91] [수학식 3]

[92] $$v_j = \mathrm{var}(PC_j)$$

[93] 이때, V_j는 j번째 주성분축의 정보량을 나타내는 정보량 분산 벡터, PC_j는 j번째 주성분축, var()은 분산벡터 생성 함수를 의미한다.

[94] 상술한 수학식 3에서와 같이, 정보량 분산 벡터(V_j)는 j번째 주성분축(PC_j)에 분산벡터 생성 함수를 적용하여 생성될 수 있으며, 정보량 분산 벡터(V_j)는 j번째 주성분축(PC_j)이 가지는 정보량을 의미할 수 있다.

[95] 일 실시예에 따르면, S220 단계에서 최적화 변위 벡터 산출부(120)는 S210 단계에서 생성된 복수의 주성분축을 모두 활용하여 최적화 변위 벡터(d)를 산출할 수 있다.

[96] 일 실시예에 따르면, S220 단계에서 최적화 변위 벡터 산출부(120)는 S210 단계에서 생성된 복수의 주성분축 중 포함하는 정보량이 많은 순서대로 상위 기설정된 개수의 주성분축 만을 활용하여 최적화 변위 벡터(d)를 산출할 수도 있다.

[97] S230 단계는 최적해 산출부(130)가, 복수의 초기해를 기준으로 최적화 변위 벡터를 적용하여 적어도 하나의 설계 함수에 대한 복수의 최적해를 산출하는 단계를 포함한다.

[98] 예를 들어, S230 단계에서 최적해 산출부(130)는 복수의 초기해($X_1, X_2, \ldots X_n$)에 최적화 변위 벡터(d)를 합산함으로써 설계 함수(f(x))를 만족하는 복수의 최적해를 산출할 수 있다.

[99] 예컨대, 1번째 초기해(X_1)의 X축 초기 좌표가 3이고 최적화 변위 벡터가 X축 방향으로 -1인 경우, 1번째 초기해(X_1)에 대응되는 1번째 최적해는 2로써 산출될 수 있다.

[100] 이제 도 3을 참조하여, 복수의 최적해를 산출하는 과정이 반복 수행(iteration)되며, 생성된 복수의 최적해가 전역 최적해인 경우를 설명한다.

[101] 도 3은 본 발명의 다른 실시예에 따른, 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 방법을 설명하기 위한 순서도이다.

[102] 이때, S310 단계, S320 단계 및 S330 단계 각각에 대한 설명은 각각 상술한 S210 단계, S220 단계 및 S230 단계와 동일하므로 중복되는 설명은 생략한다.

[103] 예를 들어, 본 발명의 다른 실시예에 따른 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 방법은 복수의 최적해를 복수의 초기해로 재설정하는 단계(S360)를 더 포함할 수 있다.

[104] 즉, 본 발명의 실시예에 따른 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 방법은 주성분축 생성부(110)가, 복수의 최적해를 상기 복수의 초기해로 재설정하는 단계를 더 포함할 수 있으며, 이 경우, 복수의 주성분 축을 생성하는 단계(S310), 최적화 변위 벡터를 산출하는 단계(S320) 및 복수의 최적해를 산출하는 단계(S330)는 재설정된 복수의 초기해에 기초하여 수행될 수 있다.

[105] 이 경우, 복수의 주성분 축을 생성하는 단계(S310), 최적화 변위 벡터를 산출하는 단계(S320) 및 복수의 최적해를 산출하는 단계(S330)는 2회에 걸쳐 수행되기 때문에, 총 2회에 걸쳐 수행된 복수의 최적해는 1회에 걸쳐 수행된 복수의 최적해보다 더욱 정확한 값을 가질 수 있다.

[106] 한편, 본 발명의 다른 실시예에 따른 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 방법은 최적화 변위 벡터(d)의 크기가 기설정된 크기보다 작은지 여부를 판단하는 단계(S340)를 더 포함할 수 있다.

[107] 상술한 바와 같이, 최적화 변위 벡터(d)는 부호 및 크기를 가지는 형태이며 최적화 변위 벡터(d)가 기설정된 크기보다 작아지는 경우에 생성되는 최적해는 설계 함수의 목적에 맞는 해일 수 있으며, 그 결과 반복 수행이 종료될 수 있다.

[108] 예를 들어, 기설정된 크기가 0.1인 경우 S340 단계에서 최적해 산출부(130)는 최적화 변위 벡터(d)의 크기가 0.1 보다 작은 경우에 반복 수행을 종료할 수 있다.

[109] S340 단계의 판단 결과, 최적화 변위 벡터(d)의 크기가 기설정되 크기보다 작지 않은 경우 상술한 S360 단계가 수행될 수 있다.

[110] 다시 말해, 복수의 주성분 축을 생성하는 단계(S310), 최적화 변위 벡터를 산출하는 단계(S320), 복수의 최적해를 산출하는 단계(S330) 및 복수의 초기해로 재설정하는 단계(S360)는 최적화 변위 벡터(d)의 크기가 기설정된 크기보다 작아질 때까지 순차적으로 반복 수행될 수 있다.

[111] 한편, S310 단계, S320 단계, S330 단계 및 S360 단계가 반복 수행된 결과 생성된 복수의 최적해가 복수의 전역 최적해인 경우, 본 발명의 다른 실시예에 따른 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 방법은 지역 최적해를 산출하는 단계(S350)를 더 포함할 수도 있다.

[112] 즉, S350 단계는, 복수의 최적해가 복수의 전역 최적해인 경우, 지역 최적해 산출부(140)가, 복수의 전역 최적해에 기설정된 지역 최적해 산출 알고리즘을 적용하여 지역 최적해를 산출하는 단계를 의미할 수 있다.

[113] 이때, 지역 최적해 산출 알고리즘은 기 공지된 MADS(Mesh Adaptive Direct Search)를 비롯한 각종 지역 최적해 산출 알고리즘일 수 있으며, 본 발명은 특정 지역 최적해 산출 알고리즘에 한정되지 않는다.

[114] 일 실시예에 따르면, S350 단계는 S340 단계의 판단 결과 최적화 변위 벡터(d)의 크기가 기설정된 크기보다 작은 경우에 수행될 수 있다.

[115] 이제 도 5를 참조하여, 본 발명의 실시예에 따른 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 방법 및 장치와 종래의 최적해 산출 방법의 함수 호출 횟수를 비교한다.

[116] 이때, 본 발명의 실시예에 따른 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 방법 및 장치에 종래의 지역 최적화 알고리즘인 MADS가 더 적용된 경우를 PCO with MADS로 설명하고, 종래의 전역 최적화 알고리즘인 PSO에 종래의 지역 최적화 알고리즘인 MADS가 더 적용된 경우를 PSO with MADS로 설명한다.

[117] 도 5에 도시된 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 방법 및 장치와 종래의 최적해 산출 방법의 함수 호출 횟수를 비교하기 위하여, 기 공지된 6차원 하트만(six-dimensional Hartman, H6) 실험 함수에 본 발명의 실시예에 따른 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 방법 및 장치와 종래의 최적해 산출 방법을 적용하였다.

[118] 이때, 6차원 하트만 실험 함수는 미리 알려진 하나의 전역 최적해와 복수 개의 지역 최적해를 가지는 함수를 의미한다.

[119] 도 5에 도시된 바와 같이, 종래의 최적해 산출 방법(PSO with MADS)에 따르면 6차원 하트만 함수에 적절한 전역 최적해를 찾기 위해서는 평균적으로 3069.4회의 함수호출이 필요한 반면, 본 발명의 실시예에 따른 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 방법 및 장치(PCO with MADS)에 따르면 6차원 하트만 함수에 적절한 전역 최적해를 찾기 위해서 평균적으로 1602회의 함수호출이 필요함을 확인할 수 있다.

[120] 다시 말해, 본 발명의 실시예에 따른 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 방법 및 장치는 종래의 최적해 산출방법에 비해 절반 가량의 함수 호출 횟수만으로도 동일한 효과를 발생시킬 수 있다.

[121] 이제, 도 6a, 도 6b, 도 6c, 도 6d, 도 6e, 도 6f, 도 6g 및 도 6h는 본 발명의 실시예에 따른, 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 방법 및 장치와 종래의 최적해 산출 방법 각각에 기초하여 매입형 영구자석 동기전동기(IPMSM)을 설계하는 방법을 비교한다.

[122] 도 6a, 도 6b, 도 6c, 도 6d, 도 6e, 도 6f, 도 6g 및 도 6h는 본 발명의 실시예에 따른, 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 방법 및 장치와 종래의 최적해 산출 방법 각각에 기초하여 매입형 영구자석 동기전동기(IPMSM)을 설계하는 방법을 비교하기 위한 도면이다.

[123] 도 6a에 도시된 바와 같이, 매입형 영구자석 동기전동기(IPMSM)는 X_1, X_2, ... X_{14}의 총 14개의 설계변수에 기초하여 설계되는 경우를 가정한다.

[124] 또한 도 6b에 도시된 바와 같이, 매입형 영구자석 동기전동기(IPMSM)는 130KW의 전력, 250Nm의 토크, 4965 r/min의 속도를 가지며, 3개의 페이즈(phase), 12개의 폴(pole)과 72개의 슬롯(slot)을 가지며, 외곽 지름(outer diameter)은 230mm 이고, 영구 자석은 1.32T가 되도록 설계되는 경우를 가정한다.

[125] 도 6a에 도시된 바와 같이, 설계 변수 X_1의 초기해는 78.2, 설계 변수 X_2의

초기해는 18, 설계 변수 X_3의 초기해는 2.4, 설계 변수 X_4의 초기해는 113, 설계 변수 X_5의 초기해는 24.5, 설계 변수 X_6의 초기해는 3.9, 설계 변수 X_7의 초기해는 1.7, 설계 변수 X_8의 초기해는 2.1, 설계 변수 X_9의 초기해는 79.2, 설계 변수 X_{10}의 초기해는 0, 설계 변수 X_{11}의 초기해는 0, 설계 변수 X_{12}의 초기해는 2.9, 설계 변수 X_{13}의 초기해는 1.6, 설계 변수 X_4의 초기해는 0.7로 각각 설정하였다.

[126] 이 경우, 본 발명의 실시예에 따른 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 방법 및 장치(PCO with MADS)에 따르면, 설계 변수 X_1의 최적해는 78.4, 설계 변수 X_2의 최적해는 18, 설계 변수 X_3의 최적해는 2.4, 설계 변수 X_4의 최적해는 112, 설계 변수 X_5의 최적해는 26.7, 설계 변수 X_6의 최적해는 3.5, 설계 변수 X_7의 최적해는 1.1, 설계 변수 X_8의 최적해는 1.0, 설계 변수 X_9의 최적해는 81, 설계 변수 X_{10}의 최적해는 6.6, 설계 변수 X_{11}의 최적해는 0.5, 설계 변수 X_{12}의 최적해는 2.1, 설계 변수 X_{13}의 최적해는 1.4, 설계 변수 X_4의 최적해는 0.5로 각각 결정되었다.

[127] 한편, 종래의 최적해 산출 방법(PSO with MADS)에 따르면, 설계 변수 X_1의 최적해는 78.4, 설계 변수 X_2의 최적해는 18, 설계 변수 X_3의 최적해는 2.4, 설계 변수 X_4의 최적해는 112, 설계 변수 X_5의 최적해는 26.2, 설계 변수 X_6의 최적해는 3.5, 설계 변수 X_7의 최적해는 1.1, 설계 변수 X_8의 최적해는 1.0, 설계 변수 X_9의 최적해는 81, 설계 변수 X_{10}의 최적해는 7, 설계 변수 X_{11}의 최적해는 0.5, 설계 변수 X_{12}의 최적해는 2.6, 설계 변수 X_{13}의 최적해는 1.4, 설계 변수 X_4의 최적해는 0.5로 각각 결정되었다.

[128] 한편, 도 6d를 참조하면, 설계 함수 f(x)의 초기값은 21.21로, 고조파 왜율(THD)의 초기값은 9.91%로, 평균토크의 초기값은 255.51Nm로, 토크 리플의 초기값은 22.59%로 설정한 경우를 가정한다.

[129] 이 경우, 본 발명의 실시예에 따른 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 방법 및 장치(PCO with MADS)에 따라 설계된 매입형 영구자석 동기전동기(IPMSM)의 스펙은 설계 함수 f(x)는 8.70으로, 고조파 왜율(THD)은 4.56%으로, 평균토크는 253.56Nm, 토크 리플은 8.28%로 설계되었다.

[130] 한편, 종래의 최적해 산출 방법(PSO with MADS)에 따라 설계된 매입형 영구자석 동기전동기(IPMSM)의 스펙은 설계 함수 f(x)는 8.86으로, 고조파 왜율(THD)은 4.39%으로, 평균토크는 253.68Nm, 토크 리플은 8.93%로 설계되었다.

[131] 즉, 본 발명의 실시예에 따른 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 방법 및 장치(PCO with MADS)와 종래의 최적해 산출 방법(PSO with MADS)은 서로 거의 일치하는 최적해값과 서로 거의 일치하는 매입형 영구자석 동기전동기(IPMSM)를 설계할 수 있음을 확인할 수 있다.

[132] 그러나, 도 6d에 도시된 바와 같이, 매입형 영구자석 동기전동기(IPMSM)를 설계하기 위하여 본 발명의 실시예에 따른 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 방법 및 장치(PCO with MADS)는 2041회의 함수 호출이 필요하였으며 그 연산시간은 26.1 시간인데 비하여, 종래의 최적해 산출 방법(PSO with MADS)는

2820회의 함수 호출이 필요하였으며 그 연산시간은 36.1시간에 이르는 것으로 비교할 수 있다.

[133] 즉, 서로 거의 유사한 매입형 영구자석 동기전동기(IPMSM)를 설계하기 위하여, 본 발명의 실시예에 따른 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 방법 및 장치(PCO with MADS)는 종래의 최적해 산출 방법(PSO with MADS)에 비해, 약 72%의 함수호출 횟수와 연산시간 만으로도 구동할 수 있음을 확인할 수 있다.

[134] 도 6e에 도시된 바와 같이, Back-EMF의 측면에서 본 발명의 실시예에 따른 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 방법 및 장치(PCO with MADS)와 종래의 최적해 산출 방법(PSO with MADS)는 서로 거의 일치하는 결과를 보임을 확인할 수 있다.

[135] 한편, 도 6f에 도시된 바와 같이, 토크의 측면에서 본 발명의 실시예에 따른 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 방법 및 장치(PCO with MADS)와 종래의 최적해 산출 방법(PSO with MADS)는 서로 거의 일치하는 결과를 보임을 확인할 수 있다.

[136] 도 6g에 도시된 바와 같은 설계 변수의 초기해에 기초하여 생성된 매입형 영구자석 동기전동기(IPMSM)에 비해, 도 6h에 도시된 바와 같은 본 발명의 실시예에 따른 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 방법 및 장치(PCO with MADS)에 기초하여 생성된 최적해에 기초하여 생성된 매입형 영구자석 동기전동기(IPMSM)는 보다 최적화된 설계가 가능함을 확인할 수 있다.

[137] 이상에서 본 발명에 따른 바람직한 실시예에 대해 설명하였으나, 다양한 형태로 변형이 가능하며, 본 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 특허청구범위를 벗어남이 없이 다양한 변형예 및 수정예를 실시할 수 있을 것으로 이해된다.

청구범위

[청구항 1] 주성분축 생성부가, 복수의 초기해 및 적어도 하나의 설계 함수 각각에 대해 주성분분석(PCA) 알고리즘을 적용하여 생성된 복수의 선형결합계수 각각을 이용하여 복수의 주성분(PC)축을 생성하는 단계;
최적화 변위 벡터 산출부가, 상기 복수의 선형결합계수 및 상기 복수의 주성분축에 기초하여 최적해 탐색의 변위량을 나타내는 최적화 변위 벡터를 산출하는 단계; 및
최적해 산출부가, 상기 복수의 초기해를 기준으로 상기 최적화 변위 벡터를 적용하여 상기 적어도 하나의 설계 함수에 대한 복수의 최적해를 산출하는 단계를 포함하는, 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 방법.

[청구항 2] 제1항에 있어서,
상기 주성분축 생성부가, 상기 복수의 최적해를 상기 복수의 초기해로 재설정하는 단계를 더 포함하며,
상기 복수의 주성분 축을 생성하는 단계, 상기 최적화 변위 벡터를 산출하는 단계 및 상기 복수의 최적해를 산출하는 단계는 재설정된 상기 복수의 초기해에 기초하여 수행되는, 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 방법.

[청구항 3] 제2항에 있어서,
상기 복수의 주성분 축을 생성하는 단계, 상기 최적화 변위 벡터를 산출하는 단계, 상기 복수의 최적해를 산출하는 단계 및 상기 복수의 초기해로 재설정하는 단계는 상기 최적화 변위 벡터의 크기가 기설정된 크기보다 작아질 때까지 순차적으로 반복 수행되는, 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 방법.

[청구항 4] 제1항에 있어서,
상기 최적화 변위 벡터는,
상기 복수의 초기해 각각에 대한 선형결합계수와 상기 적어도 하나의 설계 함수에 대한 선형결합계수 상호간의 비례관계를 나타내는 비례부호, 상기 복수의 선형결합계수 및 상기 복수의 주성분축 각각의 정보량을 나타내는 정보량 분산 벡터에 기초하여 산출되는, 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 방법.

[청구항 5] 제1항에 있어서,
상기 최적화 변위 벡터는,
하기 수학식 1에 기초하여 산출되는, 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 방법.

[수학식 1]

$$d = \sum_{j=1}^{m}\left(\sum_{i=1}^{n+1} s_{ij} * a_{ij} * v_j\right)$$

여기서, d는 최적화 변위 벡터, a_{ij}는 j번째 주성분축에 대한 i번째 초기해의 선형결합계수, S_{ij}는 j번째 주성분축에 대한 i번째 초기해의 선형결합계수와 j번째 주성분축에 대한 특정 설계 함수의 선형결합계수 상호간의 비례관계를 나타내는 비례 부호, V_j는 j번째 주성분축의 정보량을 나타내는 정보량 분산 벡터임.

[청구항 6] 제1항에 있어서,
상기 복수의 최적해가 복수의 전역 최적해인 경우,
지역 최적해 산출부가, 상기 복수의 전역 최적해에 기설정된 지역 최적해 산출 알고리즘을 적용하여 지역 최적해를 산출하는 단계를 더 포함하는, 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 방법.

[청구항 7] 복수의 초기해 및 적어도 하나의 설계 함수 각각에 대해 주성분분석(PCA) 알고리즘을 적용하여 생성된 복수의 선형결합계수 각각을 이용하여 복수의 주성분(PC)축을 생성하는 주성분축 생성부;
상기 복수의 선형결합계수 및 상기 복수의 주성분축에 기초하여 최적해 탐색의 변위량을 나타내는 최적화 변위 벡터를 산출하는 최적화 변위 벡터 산출부; 및
상기 복수의 초기해를 기준으로 상기 최적화 변위 벡터를 적용하여 상기 적어도 하나의 설계 함수에 대한 복수의 최적해를 산출하는 최적해 산출부를 포함하는, 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 장치.

[청구항 8] 제7항에 있어서,
상기 주성분축 생성부는,
상기 복수의 최적해를 상기 복수의 초기해로 재설정하며,
상기 주성분축 생성부가 상기 복수의 주성분 축을 생성하고, 상기 최적화 변위 벡터 산출부가 상기 최적화 변위 벡터를 산출하고, 상기 최적해 산출부가 상기 복수의 최적해를 산출하는 동작은 재설정된 상기 복수의 초기해에 기초하여 수행되는, 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 장치.

[청구항 9] 제8항에 있어서,
상기 주성분축 생성부가 상기 복수의 주성분 축을 생성하고, 상기 최적화 변위 벡터 산출부가 상기 최적화 변위 벡터를 산출하고, 상기 최적해 산출부가 상기 복수의 최적해를 산출하고, 상기 주성분축 생성부가 상기 복수의 최적해를 상기 복수의 초기해로 재설정하는 동작은 상기 최적화 변위 벡터의 크기가 기설정된 크기보다 작아질 때까지 순차적으로 반복 수행되는, 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 장치.

[청구항 10] 제7항에 있어서,
상기 최적화 변위 벡터는,
상기 복수의 초기해 각각에 대한 선형결합계수와 상기 적어도 하나의 설계 함수에 대한 선형결합계수 상호간의 비례관계를 나타내는 비례 부호, 상기 복수의 선형결합계수 및 상기 복수의 주성분축 각각의

정보량을 나타내는 정보량 분산 벡터에 기초하여 산출되는, 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 장치.

[청구항 11] 제7항에 있어서,
상기 최적화 변위 벡터는,
하기 수학식 1에 기초하여 산출되는, 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 장치.

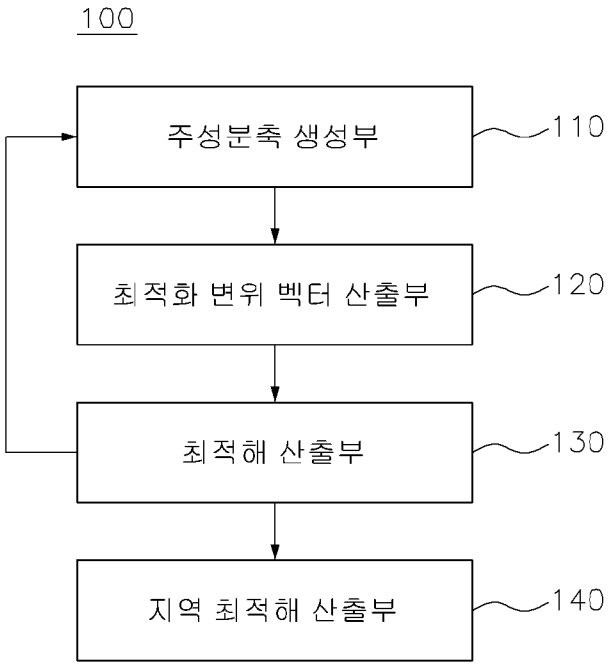
[수학식 1]

$$d = \sum_{j=1}^{m}\left(\sum_{i=1}^{n+1} s_{ij} * a_{ij} * v_j\right)$$

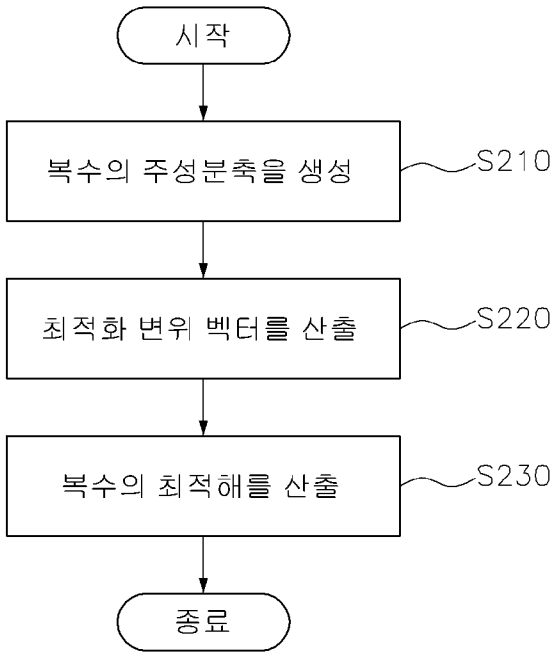
여기서, d는 최적화 변위 벡터, a_{ij}는 j번째 주성분축에 대한 i번째 초기해의 선형결합계수, S_{ij}는 j번째 주성분축에 대한 i번째 초기해의 선형결합계수와 j번째 주성분축에 대한 특정 설계 함수의 선형결합계수 상호간의 비례관계를 나타내는 비례 부호, V_j는 j번째 주성분축의 정보량을 나타내는 정보량 분산 벡터임.

[청구항 12] 제1항에 있어서,
상기 복수의 최적해가 복수의 전역 최적해인 경우,
상기 복수의 전역 최적해에 기설정된 지역 최적해 산출 알고리즘을 적용하여 지역 최적해를 산출하는 지역 최적해 산출부를 더 포함하는, 전기기기 설계를 위한 최적해 산출 장치.

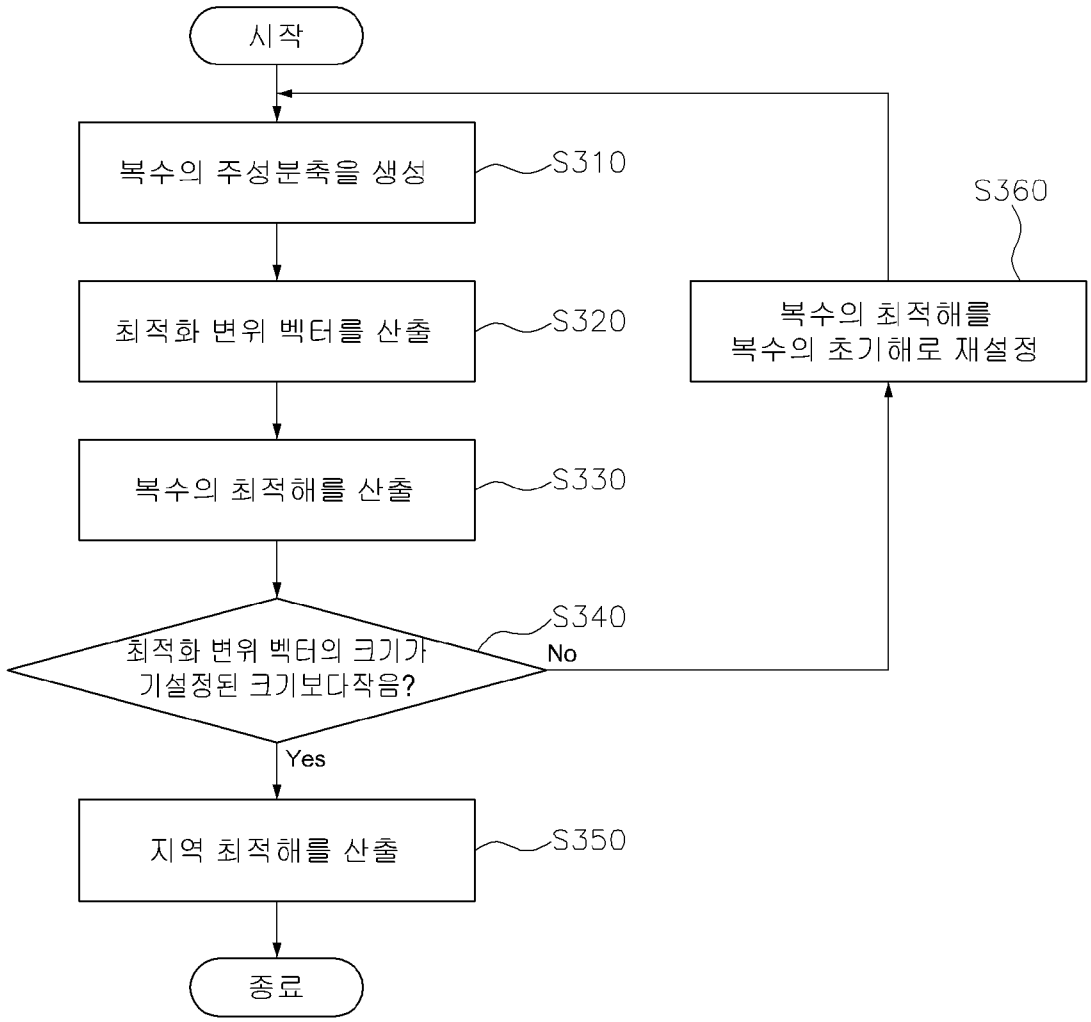
[도1]


100
주성분축 생성부
110
최적화 변위 벡터 산출부
120
최적해 산출부
130
지역 최적해 산출부
140

[도2]


시작
복수의 주성분축을 생성
S210
최적화 변위 벡터를 산출
S220
복수의 최적해를 산출
S230
종료

[도3]



[도4]

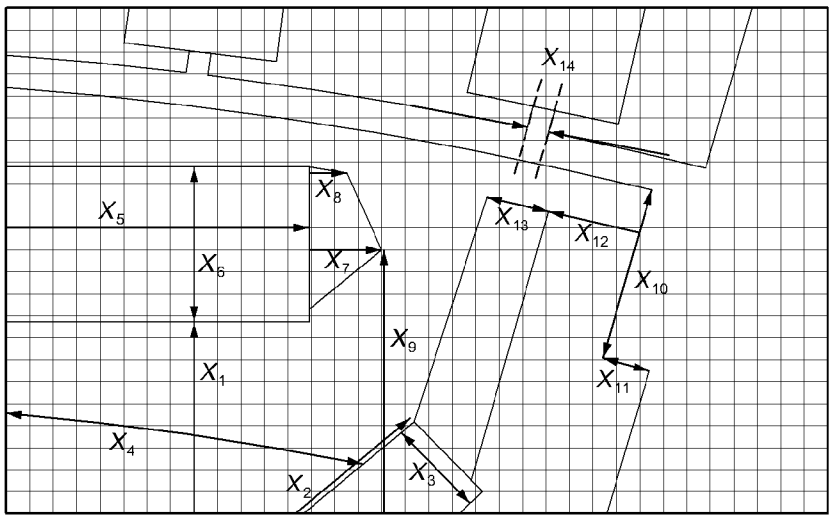
Design Parameter	PC_1	PC_2	...	PC_{n+1}
X_1	a_{11}	a_{12}		$a_{1(n+1)}$
X_2	a_{21}	a_{22}		$a_{2(n+1)}$
...	...	...	...	...
X_n	a_{n1}	a_{n2}		$a_{n(n+1)}$
$f(x)$	$a_{(n+1)1}$	$a_{(n+1)2}$		$a_{(n+1)(n+1)}$

[도5]

PSO with MADS			
No.	Function call	Value	Position (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)
1	3439	-3.32	(0.20,0.15,0.48,0.28,0.31,0.66)
2	2041	-3.32	(0.20,0.15,0.48,0.28,0.31,0.66)
3	3389	-3.32	(0.20,0.15,0.48,0.28,0.31,0.66)
4	3289	-3.32	(0.20,0.15,0.48,0.27,0.31,0.66)
5	3189	-3.32	(0.20,0.15,0.48,0.28,0.31,0.66)
Avg.	3069.4		

PCO with MADS			
No.	Function call	Value	Position (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)
1	1388	-3.32	(0.20,0.15,0.48,0.28,0.31,0.66)
2	1316	-3.32	(0.20,0.15,0.48,0.28,0.31,0.66)
3	1732	-3.32	(0.20,0.15,0.48,0.28,0.31,0.66)
4	1904	-3.32	(0.20,0.15,0.48,0.28,0.31,0.66)
5	1670	-3.32	(0.20,0.15,0.48,0.28,0.31,0.66)
Avg.	1602.0		

[도6a]



[도6b]

	Parameters	Spec.	Unit
Performance	Power	130	[kW]
	Torque	250	[Nm]
	Speed	4965	[r/min]
General	No. of Phase	3	-
	No. of Pole and Slot	12 / 72	-
	Outer Diameter	230	[mm]
	Permanent Magnet	1.32	[T]

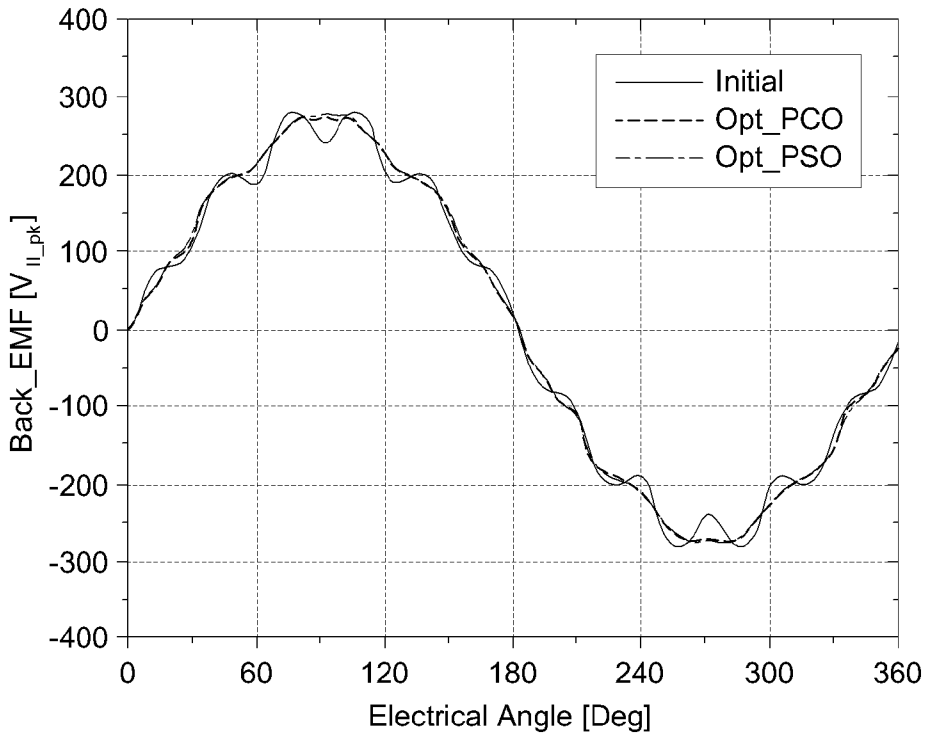
[도6c]

	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14
Initial	78.2	18	2.4	113	24.5	3.9	1.7	2.1	79.2	0	0	2.9	1.6	1.7
Opt_PCO	78.4	18	2.4	112	26.7	3.5	1.1	1.0	81	6.6	0.5	2.1	1.4	0.5
Opt_PSO	78.4	18	2.4	112	26.2	3.5	1.1	1.0	81	7	0.5	2.6	1.4	0.5

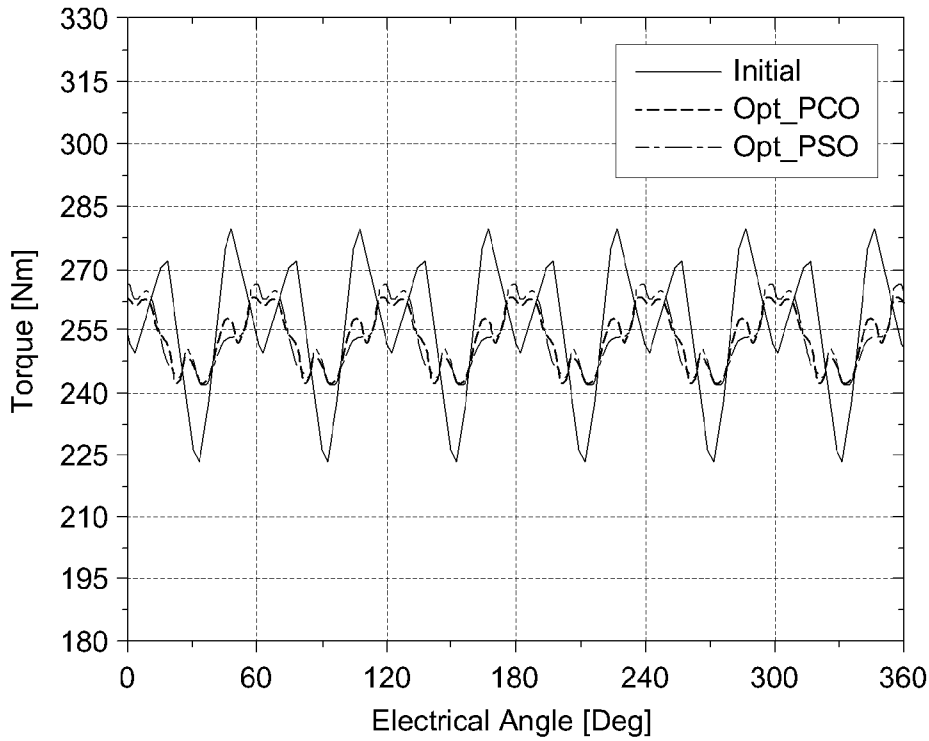
[도6d]

Performance	Model		
	Initial	Opt_PCO	Opt_PSO
f(x)	21.21	8.70	8.86
THD [%]	9.91	4.56	4.39
Avg. Torque [Nm]	255.51	253.56	253.68
Torque ripple [%]	22.59	8.28	8.93
Function call No.	-	2041	2820
Computation time [h]	-	26.1	36.1

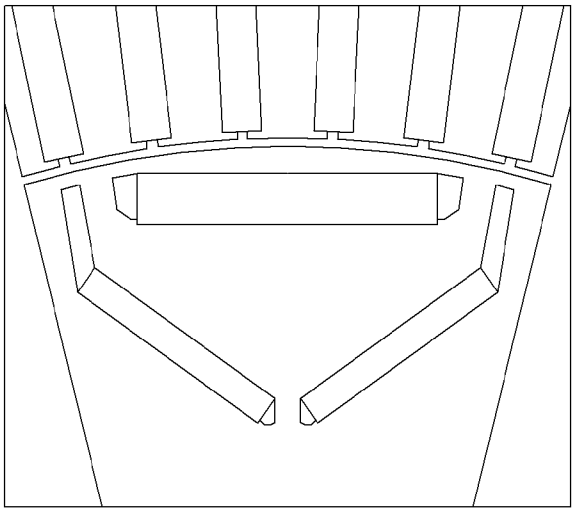
[도6e]



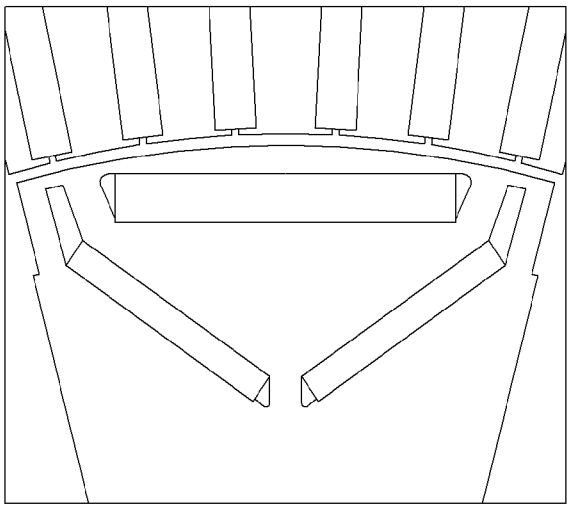
[도6f]



[도6g]



[도6h]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/KR2017/006587

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06F 17/50(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G06F 17/50; G06F 17/10; G05B 13/02; G05B 19/418; G06K 9/46; G05B 23/02; G06T 7/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Korean Utility models and applications for Utility models: IPC as above
Japanese Utility models and applications for Utility models: IPC as above

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

eKOMPASS (KIPO internal) & Keywords: main ingredient analysis, design function, optimal solution exploration, vector, linear coupling, design

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2013-003971 A (IHI CORP.) 07 January 2013 See paragraphs [0017], [0020], [0057]-[0068], [0083], [0087], [0090]-[0094] and [0107]; claims 6-7; and figures 3-5.	1-12
A	JP 2012-074007 A (FUJI ELECTRIC CO., LTD.) 12 April 2012 See paragraphs [0050] and [0054]-[0067]; and figures 4-5 and 9.	1-12
A	KR 10-2010-0116502 A (KOREA ELECTRIC POWER CORPORATION) 01 November 2010 See paragraphs [0022]-[0023] and [0026]-[0128]; claim 1; and figures 2-5.	1-12
A	KR 10-1548455 B1 (INDUSTRY-UNIVERSITY COOPERATION FOUNDATION HANYANG UNIVERSITY ERICA CAMPUS) 28 August 2015 See paragraph [0015] and claim 1.	1-12
A	KR 10-2013-0103085 A (INDUSTRY-UNIVERSITY COOPERATION FOUNDATION HANYANG UNIVERSITY ERICA CAMPUS) 23 September 2013 See paragraphs [0013] and [0040]-[0045]; and claim 1.	1-12
A	JP 4028490 B2 (TOSHIBA CORP.) 26 December 2007 See paragraphs [0011]-[0018]; claims 1-3; and figure 1.	1-12
A	JP 2010-061439 A (FUJITSU LTD.) 18 March 2010 See claims 1-3.	1-12

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
26 JANUARY 2018 (26.01.2018)	**26 JANUARY 2018 (26.01.2018)**

Name and mailing address of the ISA/KR
Korean Intellectual Property Office
Government Complex-Daejeon, 189 Seonsa-ro, Daejeon 302-701, Republic of Korea
Facsimile No. +82-42-481-8578

Authorized officer

Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (January 2015)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/KR2017/006587

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	KR 10-0393847 B1 (LEE, Hyung Joo) 09 August 2003 See claims 1-5.	1-12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/KR2017/006587

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member	Publication date
JP 2013-003971 A	07/01/2013	NONE	
JP 2012-074007 A	12/04/2012	JP 5751045 B2	22/07/2015
KR 10-2010-0116502 A	01/11/2010	CN 101872181 A	27/10/2010
		JP 2010-256328 A	11/11/2010
		JP 5431178 B2	05/03/2014
		KR 10-1360790 B1	11/02/2014
		US 2010-0274745 A1	28/10/2010
		US 8781979 B2	15/07/2014
KR 10-1548455 B1	28/08/2015	NONE	
KR 10-2013-0103085 A	23/09/2013	KR 10-1337499 B1	05/12/2013
JP 4028490 B2	26/12/2007	JP 2005-202515 A	28/07/2005
JP 2010-061439 A	18/03/2010	CA 2670818 A1	04/03/2010
		CN 101667217 A	10/03/2010
		JP 5282493 B2	04/09/2013
		KR 10-1008915 B1	19/01/2011
		KR 10-2010-0028470 A	12/03/2010
		US 2010-0057410 A1	04/03/2010
		US 8412494 B2	02/04/2013
KR 10-0393847 B1	09/08/2003	KR 10-2003-0000230 A	06/01/2003

국 제 조 사 보 고 서

국제출원번호
PCT/KR2017/006587

A. 발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC))

G06F 17/50(2006.01)i

B. 조사된 분야

조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재)
G06F 17/50; G06F 17/10; G05B 13/02; G05B 19/418; G06K 9/46; G05B 23/02; G06T 7/00

조사된 기술분야에 속하는 최소문헌 이외의 문헌
한국등록실용신안공보 및 한국공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC
일본등록실용신안공보 및 일본공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC

국제조사에 이용된 전산 데이터베이스(데이터베이스의 명칭 및 검색어(해당하는 경우))
eKOMPASS(특허청 내부 검색시스템) & 키워드: 주성분분석, 설계 함수, 최적해 탐색, 벡터, 선형결합, 설계

C. 관련 문헌

카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
X	JP 2013-003971 A (IHI CORP.) 2013.01.07 단락 [0017], [0020], [0057]-[0068], [0083], [0087], [0090]-[0094]와 [0107]; 청구항 6-7; 및 도면 3-5 참조.	1-12
A	JP 2012-074007 A (FUJI ELECTRIC CO., LTD.) 2012.04.12 단락 [0050]과 [0054]-[0067]; 및 도면 4-5와 9 참조.	1-12
A	KR 10-2010-0116502 A (한국전력공사) 2010.11.01 단락 [0022]-[0023]과 [0026]-[0128]; 청구항 1; 및 도면 2-5 참조.	1-12
A	KR 10-1548455 B1 (한양대학교 에리카산학협력단) 2015.08.28 단락 [0015] 및 청구항 1 참조.	1-12
A	KR 10-2013-0103085 A (한양대학교 에리카산학협력단) 2013.09.23 단락 [0013]과 [0040]-[0045]; 및 청구항 1 참조.	1-12
A	JP 4028490 B2 (TOSHIBA CORP.) 2007.12.26 단락 [0011]-[0018]; 청구항 1-3; 및 도면 1 참조.	1-12
A	JP 2010-061439 A (FUJITSU LTD.) 2010.03.18 청구항 1-3 참조.	1-12

☒ 추가 문헌이 C(계속)에 기재되어 있습니다.

☒ 대응특허에 관한 별지를 참조하십시오.

* 인용된 문헌의 특별 카테고리:

"A" 특별히 관련이 없는 것으로 보이는 일반적인 기술수준을 정의한 문헌

"E" 국제출원일보다 빠른 출원일 또는 우선일을 가지나 국제출원일 이후에 공개된 선출원 또는 특허 문헌

"L" 우선권 주장에 의문을 제기하는 문헌 또는 다른 인용문헌의 공개일 또는 다른 특별한 이유(이유를 명시)를 밝히기 위하여 인용된 문헌

"O" 구두 개시, 사용, 전시 또는 기타 수단을 언급하고 있는 문헌

"P" 우선일 이후에 공개되었으나 국제출원일 이전에 공개된 문헌

"T" 국제출원일 또는 우선일 후에 공개된 문헌으로, 출원과 상충하지 않으며 발명의 기초가 되는 원리나 이론을 이해하기 위해 인용된 문헌

"X" 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌 하나만으로 청구된 발명의 신규성 또는 진보성이 없는 것으로 본다.

"Y" 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌이 하나 이상의 다른 문헌과 조합하는 경우로 그 조합이 당업자에게 자명한 경우 청구된 발명은 진보성이 없는 것으로 본다.

"&" 동일한 대응특허문헌에 속하는 문헌

국제조사의 실제 완료일	국제조사보고서 발송일
2018년 01월 26일 (26.01.2018)	2018년 01월 26일 (26.01.2018)

ISA/KR의 명칭 및 우편주소
대한민국 특허청
(35208) 대전광역시 서구 청사로 189, 4동 (둔산동, 정부대전청사)
팩스 번호 +82-42-481-8578

심사관
노지명
전화번호 +82-42-481-8528

국 제 조 사 보 고 서

국제출원번호
PCT/KR2017/006587

C (계속). 관련 문헌

카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
A	KR 10-0393847 B1 (이형주) 2003.08.09 청구항 1-5 참조.	1-12

국제조사보고서
대응특허에 관한 정보

국제출원번호
PCT/KR2017/006587

국제조사보고서에서 인용된 특허문헌	공개일	대응특허문헌	공개일
JP 2013-003971 A	2013/01/07	없음	
JP 2012-074007 A	2012/04/12	JP 5751045 B2	2015/07/22
KR 10-2010-0116502 A	2010/11/01	CN 101872181 A	2010/10/27
		JP 2010-256328 A	2010/11/11
		JP 5431178 B2	2014/03/05
		KR 10-1360790 B1	2014/02/11
		US 2010-0274745 A1	2010/10/28
		US 8781979 B2	2014/07/15
KR 10-1548455 B1	2015/08/28	없음	
KR 10-2013-0103085 A	2013/09/23	KR 10-1337499 B1	2013/12/05
JP 4028490 B2	2007/12/26	JP 2005-202515 A	2005/07/28
JP 2010-061439 A	2010/03/18	CA 2670818 A1	2010/03/04
		CN 101667217 A	2010/03/10
		JP 5282493 B2	2013/09/04
		KR 10-1008915 B1	2011/01/19
		KR 10-2010-0028470 A	2010/03/12
		US 2010-0057410 A1	2010/03/04
		US 8412494 B2	2013/04/02
KR 10-0393847 B1	2003/08/09	KR 10-2003-0000230 A	2003/01/06