



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2017년06월15일
 (11) 등록번호 10-1742431
 (24) 등록일자 2017년05월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 H02S 20/32 (2014.01) H02S 40/22 (2014.01)
 H02S 50/00 (2014.01)
 (52) CPC특허분류
 H02S 20/32 (2015.01)
 H02S 40/22 (2015.01)
 (21) 출원번호 10-2016-0037043
 (22) 출원일자 2016년03월28일
 심사청구일자 2016년03월28일
 (56) 선행기술조사문헌
 KR1020100018710 A*
 KR1020120116217 A*
 *는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
 한밭대학교 산학협력단
 XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
 (72) 발명자
 김덕현
 XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
 (74) 대리인
 김대영

전체 청구항 수 : 총 2 항

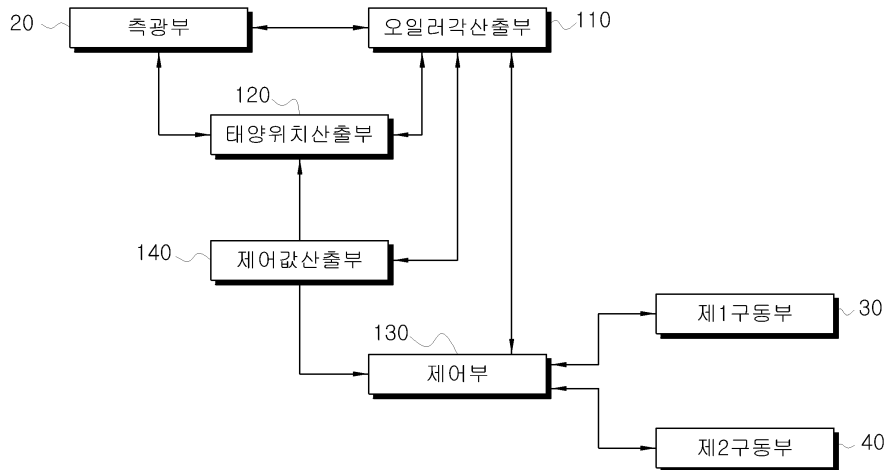
심사관 : 안지현

(54) 발명의 명칭 **개회로 및 폐회로 방식의 고 내구성 자체 검정 경위 태양광 추적방법 및 그를 위한 시스템**

(57) 요약

본 발명은 태양 추적을 위한 핵심부품인 모터의 제어값을 수학적으로 산출함으로 모터의 내구성을 향상시킴과 더불어 불필요한 모터의 작동을 줄여 빠르고 정확한 추적이 이루어지도록 하는 개회로 및 폐회로 방식의 고 내구성 자체 검정 경위 태양광 추적방법 및 그를 위한 시스템에 관한 것이다.

대표도 - 도3



(52) CPC특허분류

H02S 50/00 (2013.01)

Y02E 10/50 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1365002074

부처명 기상청

연구관리전문기관 한국기상산업진흥원

연구사업명 기후변화감시·예측및국가정책지원강화

연구과제명 에어로졸 물리변수 추출 및 응용 기술 개발

기여율 1/1

주관기관 한밭대학교 산학협력단

연구기간 2015.05.01 ~ 2016.04.30

명세서

청구범위

청구항 1

집광관(10)에 구비되며 복수로 분할된 광센서(22) 및 렌즈(21)로 이루어진 측광부(20)와, 상기 집광관(10)의 방위각과 고도각을 각각 조절하는 제1구동부(30) 및 제2구동부(40)를 구비하되, 장치좌표계가 설정된 태양광 추적 시스템에 있어서,

상기 광센서(22)에서 수집되는 4개의 신호가 같도록 상기 제1구동부(30) 및 제2구동부(40)를 제어하되, 시간별 제어값과, 이에 대응하는 태양의 위치벡터와, 장치좌표계에서의 태양의 위치벡터 사이의 비선형 함수의 해를 통해 설치된 장소의 지구좌표계와 상기 장치좌표계 사이의 오일러 각을 산출하는 오일러각산출부(110);

상기 측광부(20)로부터 얻어진 복수의 측정신호를 분석하여 태양의 방위각 및 고도각을 산출하는 태양위치산출부(120);

상기 제1구동부(30) 및 제2구동부(40)의 회동각도를 산출하고, 인가된 제어값에 의해 상기 제1구동부(30) 및 제2구동부(40)를 설정된 각도만큼 회동시키는 제어부(130);

상기 오일러 각, 태양의 방위각 및 고도각, 제1구동부(30) 및 제2구동부(40)의 현 시점에서의 회동각도를 사용한 수학적 계산을 통해 집광관에 대한 태양광이 수직이 되는 제어값을 산출하는 제어값산출부(140); 로 이루어지는 것을 특징으로 하는 개회로 및 폐회로 방식의 고 내구성 자체 검정 경위 태양광 추적시스템.

청구항 2

삭제

청구항 3

집광관(10)에 구비되며 복수로 분할된 광센서(22) 및 렌즈(21)로 이루어진 측광부(20)와, 입력된 제어값을 통해 상기 집광관(10)의 방위각과 고도각을 각각 조절하는 제1구동부(30) 및 제2구동부(40)를 구비하되, 장치좌표계가 설정된 태양광 추적 시스템을 통해 수행되는 태양광 추적방법에 있어서,

상기 광센서(22)에서 수집되는 4개의 신호가 같도록 상기 제1구동부(30) 및 제2구동부(40)를 제어하는 단계(S 111)와, 시간별 제어값과, 이에 대응하는 태양의 위치벡터와, 장치좌표계에서의 태양의 위치벡터 사이의 비선형 함수의 해를 산출하는 단계(S 112)를 통해, 태양광 시스템이 구축된 위치의 지구좌표계를 기준점으로 시스템에 설정된 장치좌표계의 상대적 좌표인 오일러 각을 구하는 단계(S 110);

상기 측광부(20)로부터 얻어진 복수의 측정신호를 분석하되, 상기 오일러 각과 장치좌표계를 기준점으로 상기 제1구동부(30) 및 제2구동부(40)의 현재 회동각을 이용하여 태양의 방위각 및 고도각을 산출하는 단계(S 120);

상기 오일러 각과, 지구좌표계에 대한 태양의 방위각과, 상기 제1구동부(30) 및 제2구동부(40)의 현 시점에서의 회동각도를 사용한 수학적 계산을 통해 집광관에 대한 태양광이 수직이 되는 상기 제1구동부(30) 및 제2구동부(40)의 제어값을 결정하는 단계(S 130); 로 이루어지는 것을 특징으로 하는 개회로 및 폐회로 방식의 고 내구성 자체 검정 경위 태양광 추적방법.

청구항 4

삭제

발명의 설명

기술 분야

본 발명은 태양광 추적방법 및 그를 위한 시스템에 관한 것으로, 자세하게는 태양 추적을 위한 핵심부품인 모터

[0001]

의 제어값을 수학적으로 산출함으로 모터의 내구성을 향상시킴과 더불어 불필요한 모터의 작동을 줄여 빠르고 정확한 추적이 이루어지도록 하는 개회로 및 폐회로 방식의 고 내구성 자체 검정 경위 태양광 추적방법 및 그를 위한 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 친환경 에너지원으로 주목받는 태양광 발전은 화석 에너지의 고갈과 환경오염 문제의 주요 해결 수단으로 그 활용이 크게 증대되고 있다.
- [0003] 이러한 태양광 발전에서는 태양광을 가장 효율적으로 집광할 수 있도록 집광판의 각도를 조절하는 과정이 매우 중요함에 따라, 특정장소에 고정설치된 상태에서 계절이나 시간에 따라서 항상 움직이는 태양의 방향을 추적하기 위한 태양추적장치들이 개발된 바 있다.
- [0004] 이러한 태양추적장치들은 태양이 예측된 경로에 따라 주기적으로 움직임을 전제로 프로그램 및 광센서에 의하여 검출되는 신호출력에 따라 구동모터를 제어하여 태양을 추적하는 폐회로(closed loop)방식을 대부분 사용하고 있다.
- [0005] 하지만, 실제 현장에서는 비록 태양이 예측된 경로에 따라 주기적으로 움직이는 것이 불변하여도, 대기의 조건에 따라 빛이 굴절되어 지표면에 도달하기 때문에 이론상으로 예측된 방향으로만 추적장치를 가동할 수 없으므로 실제 태양광이 센서에 최적으로 입사되는지에 대한 능동적인 검증이 요구된다.
- [0006] 이를 위해 태양광의 영상이 사분할 광센서의 중앙에 맞히도록 집광판의 회전각을 정확히 결정하여야 하나, 앞서 언급한 폐회로 방식의 추적장치에서는 사분할 광센서에 맞힌 태양광의 신호 크기가 같아지도록 계속하여 두 축에 대한 모터의 회전 각도를 바꿔주는 것이 일반적이다.
- [0007] 이와 같은 이유로 365일 내내 동작해야 하는 태양광 발전기는 태양 추적장치의 모터 수명이 현저히 낮아지게 되며, 최적의 추적 값에서도 임의로 방향을 틀어서 최적의 값을 확인하는 과정이 더해짐에 따라 최적 조건에서 벗어나게 되므로 정밀도가 낮아지는 문제가 있었다.
- [0008] 또한, 구름이 존재하여 태양광을 원활히 얻을 수 없을 경우 실질적으로 태양광 추적이 불가능하므로 이론적으로 예측되는 태양의 위치를 계산하고 설치된 태양광 추적장치의 좌표계를 고려하여 추적장치의 모터를 회전시켜 태양광 없이도 스스로 태양의 추적이 가능하도록 하여야 하며, 이를 위해서는 추적장치의 설치시 원하는 방향으로 정확하게 정렬하여 설치하여야 한다.
- [0009] 따라서 추적장치를 이동형으로 제작하여 자주 이동하여야 하거나 다량으로 설치하여야 할 경우 원하는 방향으로 정확히 설치되도록 장치의 세팅에 많은 시간과 노력을 소요되었다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0010] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허 제10-1313282호(2013.09.30 공고)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0011] 본 발명은 상기와 같은 문제를 해결하기 위하여 창출된 것으로, 본 발명의 목적은 설치시 고도의 정렬이 필요 없어 이동 설치시에도 쉽게 태양광 추적이 가능하며 추적을 위한 모터 제어값을 수학적으로 정확하게 산출함에 따라 모터의 동작 시간을 줄여 모터의 수명 및 장치 내구성을 향상시킬 수 있는 개회로 및 폐회로 방식의 고 내구성 자체 검정 경위 태양광 추적방법 및 그를 위한 시스템을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0012] 상기와 같은 목적을 위한 본 발명에 따른 시스템은 집광판에 구비되며 복수로 분할된 광센서 및 렌즈로 이루어진 측광부와, 상기 집광판의 방위각과 고도각을 각각 조절하는 제1구동부 및 제2구동부를 구비하되, 장치좌표계가 설정된 태양광 추적방법 및 그를 위한 시스템에 있어서, 설치된 장소의 지구좌표계와 상기 장치좌표계 사이

의 오일러 각을 산출하는 오일러각산출부; 상기 측광부로부터 얻어진 복수의 측정신호를 분석하여 태양의 방위각 및 고도각을 산출하는 태양위치산출부; 상기 제1구동부 및 제2구동부의 회동각도를 산출하고, 인가된 제어값에 의해 상기 제1구동부 및 제2구동부를 설정된 각도만큼 회동시키는 제어부; 상기 오일러 각, 태양의 방위각 및 고도각, 제1구동부 및 제2구동부의 회동각도의 분석을 통해 제어값을 산출하는 제어값산출부; 로 이루어지는 것을 특징으로 한다.

[0013] 이때, 상기 측광부는 사분할 광센서로 이루어지되, 상기 오일러각산출부는 상기 사분할 광센서에서 수집되는 4개의 신호가 같도록 상기 제1구동부 및 제2구동부를 제어하되, 시간별 제어값과, 이에 대응하는 태양의 위치벡터와, 장치좌표계에서의 태양의 위치벡터 사이의 비선형 함수의 해를 통해 산출하는 것이 바람직하다.

[0014] 또한, 상기과 같은 목적을 위한 본 발명에 따른 방법은 집광관에 구비되며 복수로 분할된 광센서 및 렌즈로 이루어진 측광부와, 입력된 제어값을 통해 상기 집광관의 방위각과 고도각을 각각 조절하는 제1구동부 및 제2구동부를 구비하되, 장치좌표계가 설정된 태양광 추적방법 및 그를 위한 시스템을 통해 수행되는 태양광 추적방법에 있어서, 태양광 시스템이 구축된 위치의 지구좌표계를 기준점으로 시스템에 설정된 장치좌표계의 상대적 좌표인 오일러 각을 구하는 단계; 상기 측광부로부터 얻어진 복수의 측정신호를 분석하되, 상기 오일러 각과 장치좌표계를 기준점으로 상기 제1구동부 및 제2구동부의 현재 회동각을 이용하여 태양의 방위각 및 고도각을 산출하는 단계; 상기 오일러 각과, 지구좌표계에 대한 태양의 방위각과, 상기 제1구동부 및 제2구동부의 현재 회동각을 이용하여 상기 제1구동부 및 제2구동부의 제어값을 결정하는 단계; 로 이루어지는 것을 특징으로 한다.

[0015] 이때 상기 측광부는 사분할 광센서로 이루어지되, 상기 오일러 각을 구하는 단계는, 상기 사분할 광센서에서 수집되는 4개의 신호가 같도록 상기 제1구동부 및 제2구동부를 제어하는 단계; 시간별 제어값과, 이에 대응하는 태양의 위치벡터와, 장치좌표계에서의 태양의 위치벡터 사이의 비선형 함수의 해를 산출하는 단계; 로 이루어지는 것이 바람직하다.

발명의 효과

[0016] 본 발명은 집광관의 최적의 각도 위치를 결정하기 위하여 수학적으로 되먹임 반복법(feedback iteration)으로 그 위치를 결정하므로 태양광을 추적함에 있어 종래의 폐회로 방식에서와같이 모터를 움직여 가면서 최적의 각도 위치를 되먹임 반복을 하지 않기 때문에 모터의 수명을 연장할 수 있으며, 회전해야 하는 각도를 수학적으로 정확하게 찾기 때문에 추적된 태양광의 위치가 폐회로 방식보다 정확하고 빠르다.

[0017] 또한, 추적장치의 지구좌표계에 대한 위치정보(오일러 각)를 찾고 이를 이용하기 때문에 설치시 정확하게 장치 세팅의 필요가 없어 설치비용이 적고 빠른 설치 및 태양추적이 가능하며, 추적장치를 옮기면서 태양광을 추적해야 하는 경우에도 시간 및 비용적으로 매우 효율적인 활용이 가능하다.

[0018] 또한, 위도 22.5도 이하의 지역에서는 태양광의 고도가 수직이 되는 날이 존재하게 되며 이 경우 종래와 같이 두 축을 제어하여 방위각과 고도각을 조절함으로 태양광을 추적하는 태양 추적장치는 추적 불능의 상태에 빠지게 되나, 본 발명에서는 태양의 고도각을 90도가 아닌 다른 각도가 되도록 임의로 조절함으로 기존의 방식의 한계를 극복하여 원활한 추적이 이루어질 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0019] 도 1은 본 발명의 적용 대상인 태양광 추적장치의 제1타입을 나타낸 개념도,
- 도 2는 본 발명의 적용 대상인 태양광 추적장치의 제2타입을 나타낸 개념도,
- 도 3은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 구성 및 연결관계를 나타낸 블록도,
- 도 4는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 태양광 추적절차를 나타낸 순서도,
- 도 5는 거울에서의 입사광 및 반사광의 방향벡터를 도시한 개념도,
- 도 6은 사분할 광센서를 통해 태양의 위치를 산출하는 원리를 나타낸 개념도 이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0020] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명 개회로 및 폐회로 방식의 고 내구성 자체 검정 경위 태양광 추적방법 및 그를 위한 시스템의 구성을 구체적으로 설명한다.

[0021] 도 1은 본 발명의 적용 대상인 태양광 추적장치의 제1타입을 나타낸 개념도, 도 2는 본 발명의 적용 대상인 태

양광 추적장치의 제2타입을 나타낸 개념도로서, 본 발명의 시스템이 적용 가능한 다양한 태양광 추적장치 중 대표적인 두 종류의 장치의 개략적인 구조를 나타내고 있다.

- [0022] 먼저, 제1타입으로서 도 1과 같이 집광판(10) 및 이에 설치되는 사분할 광센서(22)와, 두 개의 각도의 조절이 가능하도록 회전하는 거울(M1, M2)과, 이 두 회전하는 거울을 통하여 입사되는 태양광의 방향을 바꾸는 고정된 거울(M3), 그리고 태양광의 방향을 산출하기 위한 사분할 광센서(22)로 상기 고정된 거울(M3)로부터의 빛을 일부 반사시키는 빔분할기와 같은 거울형 광학부품(M4)과, 상기 회전하는 두 거울(M1, M2)을 회전하는데 필요한 제1구동부(30) 및 제2구동부(40), 태양광을 사분할 광센서(22)에서 영상을 맺히도록 하는 렌즈(21) 등으로 구성된다.
- [0023] 다음 제2타입으로서, 앞서 살펴본 도 1과 같이 태양을 반사시키는 장치가 요구되지 않고 특정수단에 태양광이 수직으로 입사되도록 하는 비교적 간단한 구조의 장치로 이때의 특정수단은 집광판(10)이나, 태양광을 모으는 렌즈나 반사면 등의 수단이 될 수 있다. 제2타입의 장치 역시 집광판(10)에 설치되는 사분할 광센서(22)와, 태양광을 사분할 광센서(22)에 입사시키는 렌즈(21), 그리고 상기 집광판(10)의 방위각 및 고도각을 조절하기 위해 회전시키기 위해 각각 모터를 구비하는 제1구동부(30) 및 제2구동부(40)로 구성된다.
- [0024] 이와 같은 추적장치에 공통으로 구비되는 제1구동부(30) 및 제2구동부(40)는 기본적으로 서보모터와 같이 회동각도의 미세한 제어가 가능한 전동모터 및 회전축으로 구성되며, 이외에도 상기 제1구동부(30) 및 제2구동부(40)의 제어를 위한 제어부(130)와, 광센서의 아날로그 측정신호를 디지털 신호로 바꾸는 변환수단과 등이 기본적으로 구비된다.
- [0025] 도 3은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 구성 및 연결관계를 나타낸 블록도, 도 4는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 태양광 추적절차를 나타낸 순서이다.
- [0026] 앞서 설명한 형태의 추적장치에 본 발명이 적용됨에 따라 본 발명은 집광판(10)과 이에 구비되며 복수로 분할된 광센서(22) 및 렌즈(21)로 이루어진 측광부(20)와, 상기 집광판(10)의 방위각과 고도각을 각각 조절하는 제1구동부(30) 및 제2구동부(40)를 구비하게 된다. 또한, 기본적으로 장치좌표계가 설정되며, 오일러각산출부(110)와, 태양위치산출부(120)와, 제어부(130)와, 제어값산출부(140)의 주요구성을 구비한다.
- [0027] 상기 측광부(20)는 태양광에 대한 상기 집광판(10)의 각도 등을 원활히 파악할 수 있도록 다수의 광센서로 이루어지며, 최소 4개의 광센서로 이루어지게 되며 본 발명의 바람직한 실시예에서는 사분할 광센서(22)가 적용된다.
- [0028] 상기 오일러각산출부(110)는 본 발명에 따른 시스템이 구축된 장소의 지구좌표계와 상기 장치좌표계 사이의 상대좌표에 해당하는 오일러 각을 산출하고, 상기 태양위치산출부(120)는 상기 측광부(20)로부터 얻어진 복수의 측정신호를 분석하여 태양의 방위각 및 고도각을 산출한다.
- [0029] 또한, 상기 제어부(130)는 상기 제1구동부(30) 및 제2구동부(40)의 회동각도를 산출하고, 인가된 제어값에 의해 상기 제1구동부(30) 및 제2구동부(40)를 설정된 각도만큼 회동시키는 제어를 수행하고, 상기 제어값산출부(140)는 상기 오일러 각, 태양의 방위각 및 고도각, 제1구동부(30) 및 제2구동부(40)의 회동각도의 분석을 통해 상기 제1구동부(30) 및 제2구동부(40)가 태양 추적을 위해 회동해야 할 제어값을 산출하여 인가하게 된다.
- [0030] 본 발명에 따른 태양광의 추적방법은 동일하게 앞서 언급한 시스템을 통해 수행됨을 전제로 하며, 1) 태양광 시스템이 구축된 위치의 지구좌표계를 기준점으로 시스템에 설정된 장치좌표계의 상대적 좌표인 오일러 각(Euler Angle)을 구하는 단계(S 110), 2) 상기 측광부(20)로부터 얻어진 복수의 측정신호를 분석하되, 상기 오일러 각과 장치좌표계를 기준점으로 상기 제1구동부(30) 및 제2구동부(40)의 현재 회동각을 이용하여 태양의 방위각 및 고도각을 산출하는 단계(S 120), 3) 상기 오일러 각과, 지구좌표계에 대한 태양의 방위각과, 상기 제1구동부(30) 및 제2구동부(40)의 현재 회동각을 이용하여 상기 제1구동부(30) 및 제2구동부(40)의 제어값을 결정하는 단계(S 130)로 진행된다.
- [0031] 이때 상기 오일러각산출부(110)를 통해 수행되는 오일러 각을 구하는 단계(S 110)는 상기 사분할 광센서(22)에서 수집되는 4개의 신호가 같도록 상기 제1구동부(30) 및 제2구동부(40)를 제어하는 단계(S 111)를 통한 폐회로 방식으로 태양광을 추적하는 과정을 포함하게 되며, 이 과정에서 상기 제1구동부(30) 및 제2구동부(40)가 얼마만큼의 각도로 회전되었는지를 기록이 이루어지게 된다. 기록된 상기 제1구동부(30) 및 제2구동부(40)의 회전각은 특정지역에서 특정 시간에 예측되는 태양광의 위치와 지구의 절대좌표인 지구좌표계에 대한 오일러 각에 의하여 결정되므로 이 과정에서 오일러 각을 구한다.

- [0032] 시스템이 구축된 임의의 시간과 장소에서 태양광을 원하는 좌표계의 특정 방향(주로 수직입사 방향)으로 입사시키기 위해서는 원하는 좌표계도 끊임없이 태양이 움직이는 방향과 같은 방향으로 움직여야 한다. 즉 태양이 움직이고 그 방향으로 좌표계가 따라가는 형식으로 추적이 이루어진다.
- [0033] 이때 태양이 움직인 후 집광판(10)에 부착된 사분할 광센서(22)의 수집 광량은 비대칭을 띄게 된다. 이러한 비대칭 값으로부터 태양광의 이전 위치(사분할 광센서의 수집 신호가 모두 대칭을 유지할 수 있는 위치)에 대한 상대적인 위치를 찾아내는 것이 장치좌표계에 대한 태양광의 방향(방위각, 고도각)을 측정하고 결정하는 과정이다. 이 과정은 사분할 광센서(22)의 전류 값을 통해 사분할 광센서(22)로 입사되는 빛의 방향을 측정(유추/역산)하는 것으로부터 시작된다.
- [0034] 태양광의 사분할 광센서(22) 입사각은 태양광의 사분할 광센서(22)에 대한 위치 벡터와, 오일러 각, 상기 제1구동부(30) 및 제2구동부(40)를 구성하는 모터의 회동각도에 의하여 결정된다.
- [0035] 결국, 사분할 광센서(22)가 구비된 장치좌표계에 대한 방향(방위각, 고도각)을 측정하고 결정하는 과정은 수학적 과정으로, 측정된 장치좌표계에서 태양 방향 벡터는 오일러 매트릭스와 도 1과 같은 타입에서의 회전 거울의 수학적 표현인 거울 매트릭스 그리고 태양광의 지구좌표계에 대한 실제 방향벡터의 곱으로 구성된다. 장치좌표계에 대한 태양광의 방향(방위각, 고도각)을 측정하고 결정하는 과정은 이러한 수학적 표현에서 역행렬 매트릭스를 구하여 지구 좌표계에 대한 태양광의 위치 벡터를 구하는 과정으로 구성된다.
- [0036] 장치좌표계의 지구좌표계에 대해 결정된 오일러 각과 태양광의 지구좌표계에 대한 태양의 방위각과, 제1구동부(30) 및 제2구동부(40)의 현재 상태에 대한 회전각(좌표)을 이용하여 더 회전시켜야 하는 회전각 즉 제어값을 결정하는 과정은 수학적으로 비선형 방정식을 푸는 과정에 해당한다. 즉 제1구동부(30) 및 제2구동부(40) 나중 회전위치가 수학적으로는 미지수이고 방정식을 구성하는 변수로는 미지수는 제1구동부(30) 및 제2구동부(40)의 각도 좌표이고, 입력 변수로는 현재의 지구좌표계에 대한 태양위치 벡터와 시스템의 장치좌표계에 대한 오일러 각이 있다.
- [0037] 방정식은 장치좌표계의 태양 위치 벡터가 (0,0,1)이 되도록, 즉 집광판(10)의 직각 좌표계에서 태양의 방향이 수직인 z축 방향으로 존재하도록 하는 제1구동부(30) 및 제2구동부(40)를 구성하는 모터의 위치각을 결정하는 것이다.
- [0038] 즉 본 발명은 현재 전 세계적으로 사용되고 있는 도 1 및 도 2와 같은 두 가지 타입의 태양광 추적장치에서 집광판(10)의 방위각과 고도각을 결정함에 있어 제1구동부(30) 및 제2구동부(40)를 통해 회전되는 두 회전 축의 각도를 더욱 빠르고 보다 정확하게 결정하도록 하며, 이러한 일련의 과정은 다음의 수학적식을 통해 설명된다.
- [0039] 도 5는 거울에서의 입사광 및 반사광의 방향벡터를 도시한 개념도 이다.
- [0040] 잘 알려진 것처럼 도 5와 같이 거울에서 입사광의 방향벡터(\hat{k}_1)와 반사광의 방향벡터(\hat{k}_2) 및 거울 면에 수직인 방향의 벡터(\hat{n})에 대하여 다음의 [수학식 1]이 성립한다.

수학식 1

$$\hat{k}_2 = \hat{k}_1 - 2(\hat{k}_1 \cdot \hat{n}) \hat{n}$$

- [0041]
- [0042] 여기서 거울의 법선 방향벡터를 (n_x, n_y, n_z)라 한다면, 거울은 수학적으로 다음의 [수학식 2]와 같이 매트릭스로 표현 가능하고 임의의 입사광에 대하여 반사된 광을 간단하게 정의할 수 있다.

수학식 2

$$\hat{k}_2 = M \hat{k}_1$$

[0043]

$$M = 1 - 2 \hat{n} \cdot \hat{n}^T$$

[0044]

[0045] 즉 거울이 일정 각도(θ)로 회전하는 경우 장치 좌표계에서 바라본 거울의 법선 단위벡터의 방향이 바뀌어 $(n_x', n_y', n_z') = R(\theta) \times (n_x, n_y, n_z)$ 거울의 수학적 표현은 회전된 좌표계에서 다음과 같은 [수학식 3]으로 표현된다.

수학식 3

$$M' = 1 - 2(\hat{n}' \cdot \hat{n}')^T = 1 - 2[R(\theta) \hat{n}] \cdot [R \hat{n}]^T$$

[0046]

$$= R(\theta) 2(\hat{n}' \cdot \hat{n}')^T R(\theta)^T = R(\theta) M R(\theta)^T$$

[0047]

[0048] 이에 따라, 도 1에 있는 각 거울(M1, M2, M3, M4)의 각 법선 벡터는 아래 [수학식 4]와 같이 표현되고, 이러한 법선을 [수학식 2]에 대입하면 각 거울의 매트릭스를 구할 수 있다.

수학식 4

$$\hat{n}_1 = (0, -\frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{2}})$$

[0049]

$$\hat{n}_2 = (0, \frac{1}{\sqrt{2}}, -\frac{1}{\sqrt{2}})$$

[0050]

$$\hat{n}_3 = (\frac{1}{\sqrt{2}}, 0, -\frac{1}{\sqrt{2}})$$

[0051]

$$\hat{n}_4 = (-\frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{2}}, 0)$$

[0052]

[0053] 특히 태양광을 받는 첫 번째 거울(M1)과 두 번째 거울(M2)은 각각 z, 및 -y 축에 대하여 도면에서 표시된 방향으로 즉 태양광을 바라볼 수 있는 저고도 방향인 수직에서 남쪽으로 θ 각과 동쪽으로 φ 각 만큼 회전을 하게 된다. 그러므로 각 거울의 회전 행렬은 다음의 [수학식 5]와 같이 표현된다.

수학식 5

$$\begin{pmatrix} n_{2,x}' \\ n_{2,y}' \\ n_{2,z}' \end{pmatrix} = R(\theta) \begin{pmatrix} n_{2,x} \\ n_{2,y} \\ n_{2,z} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & 0 & \sin(\theta) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\theta) & 0 & \cos(\theta) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} n_{2,x} \\ n_{2,y} \\ n_{2,z} \end{pmatrix}$$

[0054]

$$\begin{pmatrix} n_{1,x}' \\ n_{1,y}' \\ n_{1,z}' \end{pmatrix} = R_{-y}(\varphi) r = \begin{pmatrix} \cos(\varphi) & -\sin(\varphi) & 0 \\ \sin(\varphi) & \cos(\varphi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} n_{1,x} \\ n_{1,y} \\ n_{1,z} \end{pmatrix}$$

[0055]

[0056] 그러므로 도 1 에 있는 각 거울(M1, M2, M3, M4)의 매트릭스는 다음의 [수학식 6]과 같이 표현된다.

수학식 6

$$M_1 = \begin{pmatrix} \cos(\varphi) & -\sin(\varphi) & 0 \\ \sin(\varphi) & \cos(\varphi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos(\varphi) & \sin(\varphi) & 0 \\ -\sin(\varphi) & \cos(\varphi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

[0057]

$$M_2 = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & 0 & \sin(\theta) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\theta) & 0 & \cos(\theta) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos(\theta) & 0 & \sin(\theta) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\theta) & 0 & \cos(\theta) \end{pmatrix}$$

[0058]

$$M_3 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

[0059]

$$M_4 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

[0060]

[0061] 또한, 지표면의 지구좌표계에 대하여 임의의 방향으로 고정된 장치좌표계에서 바라본 태양 입사광의 단위 벡터 (\hat{K}_{old}^{system})는 두 거울의 회전에 의하여 다음의 [수학식 7]과 같이 바뀌어 표현될 수 있다.

수학식 7

$$K_{new}^{\rho} = M_4^B M_3 R(\theta) M_2 R(-\theta) K_{sun}^{system\rho} = M_t K_{old}^{system\rho}$$

[0062]

[0063] 같은 방법으로, 도 2와 같이 장치 좌표계가 장치에 고정되고, 그 좌표축을 기준점으로 도 1에서 표시된 z 및 y 축에 대하여 x 축을 동쪽으로 φ 각, 그리고 z' 혹은 z축을 y' 축을 회전축으로 하여 θ 각 만큼 회전시키면 회전하지 않은 장치좌표계에 대하여 태양이 \hat{K}_{old}^{system} 방향으로 진행하는 경우 회전된 좌표계에서는 다음과 같은 [수학식 8]로 표현된다.

수학식 8

[0064]
$${}^{\rho} K_{new} = M_t \cdot {}^{\rho} K_{old}^{system} = R_y(\varphi)R_z(-\varphi) {}^{\rho} K_{sun}^{system} = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & 0 & -\sin(\theta) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(\theta) & 0 & \cos(\theta) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos(\varphi) & \sin(\varphi) & 0 \\ -\sin(\varphi) & \cos(\varphi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} {}^{\rho} K_{old}^{system}$$

[0065] 그러므로 도 1 타입의 추적장치와 도 2 타입의 추적장치는 수학적으로 동일한 방식이 채택하고 있으며, 본 발명에서 제시하는 기술은 제시한 타입 이외 대부분의 추적장치에 적용 가능하다.

[0066] 일반적으로 태양 추적장치에서 특정 지점의 지구좌표계는 그 지점에서 경도를 따라서 x축을 설정하고 동쪽으로 y축 그리고 수직 방향을 z축으로 결정한다. 이때 장치좌표계도 이와 일치하도록 하는 것이 추적 알고리즘을 간소화하고 오차를 줄일 수 있다.

[0067] 하지만, 실제 추적장치를 설치함에 있어 이러한 지구좌표계와 장치좌표계의 일치하는 어려울 뿐 아니라 한번 설치 후 지속적으로 사용하기 때문에 이의 보정 없이는 지속적인 오차가 존재할 수밖에 없다.

[0068] 이러한 두 좌표계의 사이에 존재하는 오차는 오일러 각으로 정의할 수 있다. 도 1 및 2에서는 이와 같이 다른 서로 다른 두 좌표계를 보여주고 있으며, 두 좌표 사이에서 한 좌표계를 회전시켜 다른 좌표계와 일치시키는 각도를 찾게 된다.

[0069] 도면에서 (x, y, z) 좌표를 (x', y', z') 좌표와 일치시키는 방법은 먼저 두 좌표계의 z축을 일치시킨 후 z축을 중심으로 회전시키면 나머지 두 좌표축도 일치하도록 하는 것이다. 이러한 방식으로 두 좌표계가 일치하도록 하나의 좌표계를 회전시키는 각도를 정의하는 것이 오일러 각이다.

[0070] 즉 (x, y, z) 좌표계에서 z축과 z' 축을 일치시키기 위하여 z' 방향을 (x, y, z) 좌표계에서 두 각도(θ, φ)를 규정할 수 있는데, 이는 z 축을 중심으로 φ각 만큼 회전시키고 다시 y축으로 θ각 만큼 회전시키면 모든 방향을 다 정의할 수 있다는 개념이다. 이렇게 z 축을 일치시킨 후 다시 z 축을 중심으로 φ각 만큼 회전하면 모든 축이 일치된다. 수학적으로 두 좌표계 사이에 3개의 각도만 정의하면 되는데, 이를 오일러 각이라고 한다.

수학식 9

[0071]
$$\begin{pmatrix} x_{system} \\ y_{system} \\ z_{system} \end{pmatrix} = M_{Euler} {}^{\rho} r_E = M_{Euler} \begin{pmatrix} x_E \\ y_E \\ z_E \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\gamma) & -\sin(\gamma) \\ 0 & \sin(\gamma) & \cos(\gamma) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos(\beta) & 0 & \sin(\beta) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\beta) & 0 & \cos(\beta) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos(\alpha) & -\sin(\alpha) & 0 \\ \sin(\alpha) & \cos(\alpha) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_E \\ y_E \\ z_E \end{pmatrix}$$

[0072] 즉 지구좌표계(X_E, Y_E, Z_E)와 장치좌표계(X_{system}, Y_{system}, Z_{system}) 사이엔 오일러 각으로 정의되는 오차가 존재하게 되는데, 이러한 오일러 각은 다음의 방법으로 찾을 수 있다.

[0073] 폐회로 제어법은 정량적인 값이 없이도 제어 가능한 방법이다. 즉 측광부(20)를 구성하는 사분할 광센서(22)에서 측정되는 4개 신호크기가 같도록 제어하면 태양광은 측광부(20)의 중앙에 위치한 것으로 판단할 수 있으며, 이러한 방법은 최초로 태양광이 측광부(20)에 입력되기만 하면 추적이 가능하다.

[0074] 이러한 방식은 수 십분 정도의 추적만으로도 각 시각별 두 모터의 회전각(θ_m, φ_m : m=1, 2, ... N_m)을 추적하여

기록하면 시간별 모터의 회전각 $M = ((\theta_m^1, \varphi_m^1), (\theta_m^1, \varphi_m^2), \dots, (\theta_m^{N_m}, \varphi_m^{N_m}))^T$ 과 태양광의 지구좌표계에서

시간별 태양의 위치벡터 $S = ((\theta_s^1, \varphi_s^1), (\theta_s^1, \varphi_s^2), \dots, (\theta_s^{N_m}, \varphi_s^{N_m}))^T$, 그리고 추적장치의 장

치좌표계에서 바라본 태양광은 항상(0,0,1) 방향이기 때문에 측정값 $Y = ((0, 0, 1)^T, (0, 0, 1)^T, \dots, (0, 0,$

1)^T)를 알 수 있다. 두 벡터의 함수관계는 오일러 각에 의하여 결정된다. 즉 모터의 회전각($\overset{\rho}{M}$)과 태양위치($\overset{\rho}{P}$), 그리고 장치 좌표계에서 바라본 태양 위치 벡터($\overset{\rho}{Y}$)는 다음과 같이 표현된다.

수학식 10

$$Y = M_t(M)M_{Euler}(X)K_{sun}^E(\Phi) = F(X, M, \Phi)$$

[0075]

[0076] 여기서 미지수를 나타내는 벡터는 오일러 각을 나타내며, [수학식 10]과 같이 나타나는 비선형 함수 F의 해 X는 가우스 뉴턴방법에 의해 일반적으로 다음과 같은 [수학식 11]을 통해 그 해가 구해진다.

수학식 11

$$X_{n+1} = X_n - [\nabla_X G(X)]^{-1} G(X) = X_n - [K^T S_z^{-1} K]^{-1} K^T [y - F(X)]$$

[0077]

$$\nabla_X G(X) \approx K^T S_z^{-1} K$$

[0078]

$$K = \nabla_X F(X), G(X) = K^T [Y - F(X)]$$

[0079]

[0080] 시스템 구축은 지구좌표계와 장치좌표계가 일치하도록 구축하기 때문에 초기 되먹임에서 초기 오일러 각은 $X_0 = (0, 0, 0)$ 으로 주고 되먹임을 수행하면 해(a, b, g)가 잘 수렴할 수 있다. 오일러 각이 주어진 경우 장치좌표계에서 얻어지는 태양광의 단위 벡터는 다음의 [수학식 12]와 같이 표현된다.

수학식 12

$$K_{sun}^{system} = M_t(\theta_m, \varphi_m)M_{Euler}(\alpha, \beta, \gamma)K_{sun}^{earth}(\theta_s, \varphi_s)$$

[0081]

$$K_{sun}^{earth}(\theta_s, \varphi_s) = [M_t(\theta_m, \varphi_m)M_{Euler}(\alpha, \beta, \gamma)]^{-1} K_{sun}^{system}$$

[0082]

[0083] 여기서 K_{sun}^{system} 은 장치 좌표계에서 바라본 태양광의 단위 벡터이고, K_{sun}^{earth} 는 지구좌표계에서 바라본 태양광의 방향 단위벡터이다. 그리고 M_t , M_{euler} 는 각각 [수학식 7] 및 [수학식 8]과 [수학식 9]에서 나타낸 값을 나타낸다. M_t 는 도 1과 도 2의 장치에서 각각 다른 표현으로 나타내고 있으나, 모두 모터의 방위각/고도각(θ_m, φ_m)에 대한 함수이다.

[0084] 태양광 추적의 문제는 수학적으로 K_{sun}^{system} 값이 $(0, 0, 1)^T$ 이 되도록 모터의 방위각과 고도각을 제어하는 것이다. 이때 K_{sun}^{system} 값은 사분할 광센서에 의하여 측정되게 되는데, 도 1 및 2에서 나타난 바와 같이 장치좌표계에 고정된 사분할 광센서로 입력하는 빛의 방향(K_{sun}^{system})에 따라 측광부(20)에 맺히는 태양광의 중심 좌표의 이동이 어떻게 되는지 알아보면 다음과 같다.

[0085] 도 6은 사분할 광센서를 통해 태양의 위치를 산출하는 원리를 나타낸 개념도로서, 렌즈에 의하여 사분할 광센서에 맺힌 태양광의 상(image: 반지름=a)를 나타낸 것이다.

[0086] 상은 K_{sun}^{system} 벡터 값이 $(0, 0, 1)^T$ 가 아니기 때문에 사분할 광센서의 (x, z) 평면의 중앙에 맺히지 못하고 중심이 $(\Delta x, \Delta z)$ 만큼 이동해있다. 이 경우 사분할 광센서의 각 센서로 입력되는 광량에서 얻어지는 전류 값을 D_1, D_2, D_3, D_4 라 한다면 태양광의 중심 좌표 $(\Delta x, \Delta z)$ 와 D_1, D_2, D_3, D_4 값과는 $D_1 + D_2 = \pi a_2^2 / 2 + \Delta Z \sqrt{a^2 - \Delta Z^2} + 2\phi_{yz} a^2, \phi_{yz} = a \tan(\Delta Z / \sqrt{a^2 - \Delta Z^2})$ 의 관계가 있다.

[0087] 여기서 각 센서의 감도(sensitivity)는 측정 가능하므로 이미 알고 있고, 모두 같다고 가정하였다. 마찬가지로 $D_3+D_4, D_2+D_3, D_1+D_4$ 의 값도 계산 가능하기 때문에 결국 사분할 광센서의 출력 값으로부터 태양광이 맺힌 상의 중심 위치 $(\Delta x, \Delta z)$ 를 알 수 있다.

[0088] 사분할 센서에 맺힌 상의 위치 $(\Delta x, \Delta z)$ 와 K_{sun}^{system} 과의 관계는 사용하는 렌즈의 초점으로 표현 가능하다. 즉 $\sqrt{\Delta x^2 + \Delta z^2}$ 값은 렌즈의 초점거리(f_L)와 태양광의 방향 벡터가 장치좌표계의 y축과 만드는 각도(θ_y)에 의하여 $f_L \cdot \theta_y = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta z^2}$ 로 정의된다. 그리고 $\theta_y = a \cos(\hat{y} \cdot K_{sun}^{system})$ 에 의하여 정해지는 것으로 K_{sun}^{system} 단위벡터가 y축과 만드는 각을 알 수 있다.

[0089] 도 6에서 $\phi_{x,s} = a \tan(\Delta z / \Delta x)$ 이며, 이 값으로부터 렌즈의 원리를 고려하면 K_{sun}^{system} 벡터가 장치좌표계의 x축과 만드는 각 ϕ_x 을 유추할 수 있고, $\cos(\phi_x) = \hat{x} \cdot K_{sun}^{system}$ 로부터 K_{sun}^{system} 벡터의 x 성분을 알 수 있다.

[0090] K_{sun}^{system} 벡터가 x, y축과 이루는 각도를 알면 크기가 1인 단위벡터이기 때문에 결국 z축과 만드는 각도도 알 수 있고, 결국 사분할 광센서의 출력 값을 통하여 장치좌표계에서 바라본 태양광 방향의 단위벡터는 [수학식 13]과 같이 쓸 수 있다.

수학식 13

[0091]
$$K_{sun}^{system}{}_x = \cos(\phi_x) = \hat{x} \cdot K_{sun}^{system}$$

[0092]
$$K_{sun}^{system}{}_y = \cos(\theta_y) = \hat{y} \cdot K_{sun}^{system}$$

[0093]
$$K_{sun}^{system}{}_z = \sqrt{1 - K_{sun}^{system}{}_y^2 - K_{sun}^{system}{}_x^2}$$

[0094] [수학식 12]에서 지구좌표계에 대한 장치좌표계의 오일러 각은 이미 [수학식 11]과같은 방법으로 얻을 수 있고, 모터의 회전각은 컴퓨터에 해당하는 상기 제어부(130)를 통하여 제어하는 값이기 때문에 알 수 있는 값이다. 또한, K_{sun}^{system} 값은 사분할 광센서를 통하여 [수학식 13]과 같이 알 수 있다. 따라서 [수학식 12]에서 지구좌표계에 대한 태양광의 위치 벡터를 역시 알 수 있으며, 태양광의 추적은 K_{sun}^{system} 값이 $(0, 0, 1)^T$ 가 되도록 모터의 두 각(θ_m, j_m)을 제어하는 것이다. 즉 다음의 [수학식 14]를 만족하는 두 각(θ_m, j_m)을 찾는 것이다.

수학식 14

$$Y_{mes}^{\rho} = (0, 0, 1)^T = M_t(\theta_m, \varphi_m) M_{Euler}(\alpha, \beta, \gamma) K_{sun}^{earth}(\theta_s, \varphi_s)$$

[0095]

[0096] [수학식 14]의 해는 오일러 각을 구하는 것과 같은 방법으로 가우스 뉴턴 비선형함수의 해를 구하는 것으로 귀결된다.

수학식 15

$$\Delta^2 = [Y_{mes}^{\rho} - M_t(\theta_m, \varphi_m) M_{Euler}(\alpha, \beta, \gamma) K_{sun}^{earth}(\theta_s, \varphi_s)]^T [Y_{mes}^{\rho} - M_t(\theta_m, \varphi_m) M_{Euler}(\alpha, \beta, \gamma) K_{sun}^{earth}(\theta_s, \varphi_s)]$$

[0097]

$$= [Y_{mes}^{\rho} - F(X, P)]^T [Y_{mes}^{\rho} - F(X, P)]$$

[0098]

[0099] 즉 [수학식 15]의 비용함수(costfunction: Δ^2)를 최소화시키는 미지수 $X = (\theta_m, \varphi_m)$ 를 구하는 것으로, 이는 되

먹임 방법으로 구해지며 이때 미지수 $X_{i+1}^j = (\theta_m^{i+1}, \varphi_m^{i+1})$ 는 되먹임 방법으로 구해지게 되고, 초기치 $X_1^j = (\theta_m^1, \varphi_m^1)$ 는 태양이 움직이기 전 단계의 값이 사용된다.

[0100]

[0101] 전체 과정을 요약한다면, 먼저 태양 추적 장치는 지구 표면에 설치되고, 설치된 추적장치는 지구 좌표계(경도(x), 위도(y), 고도(z))와 임의의 각도(오일러 각)로 틀어져 있기 때문에 오일러 각을 구하는 것이 우선순위가

[0102]

오일러 각은 이론적으로 폐회로 방식으로 수 십분 정도의 짧은 장치 구축 후 한번만 실행되며 [수학식 11]을 이용하여 구할 수 있다.

[0103]

오일러 각이 정해지면, 사분할 센서에서 장치좌표계로 입사되는 태양광의 방향벡터가 정해지고, 모터의 각도가 정의되므로 태양광의 현재 위치를 수학식 12를 직접 이용하여 지구좌표계에서의 태양광의 방향을 구할 수 있다. 태양의 지구좌표계에서의 방향과 오일러 각, 그리고 현 시점에서 모터의 각도(θ^i, φ^i)를 알면 태양의 수학식 15를 최적화시키는 새로운 모터의 각도($\theta^{i+1}, \varphi^{i+1}$)을 되먹임 방법으로 구할 수 있다. 이러한 되먹임 방법은 기존의 폐회로 방식의 회기 되먹임 방법의 수학적 과정이라 할 수 있는데, 본 발명은 실제 모터를 움직이지 않고 이러한 제어값 산출이 수학적으로 이루어지기 때문에 속도, 정확도 측면에서 많은 장점이 있다.

[0104]

본 발명의 권리는 위에서 설명된 실시예에 한정되지 않고 청구범위에 기재된 바에 의해 정의되며, 본 발명의 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 청구범위에 기재된 권리범위 내에서 다양한 변형과 개작을 할 수 있다는 것은 자명하다.

부호의 설명

[0105]

- 10: 집광판
- 20: 측광부
- 21: 렌즈
- 22: 사분할 광센서
- 30: 제1구동부
- 40: 제2구동부

110: 오일러각산출부

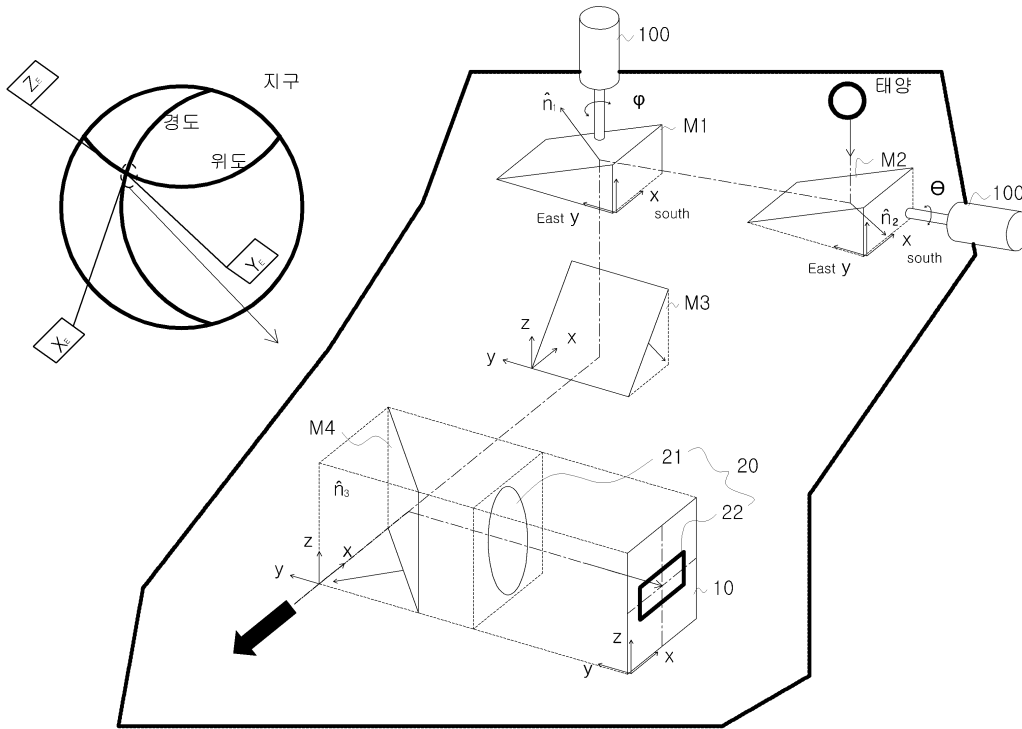
120: 태양위치산출부

130: 제어부

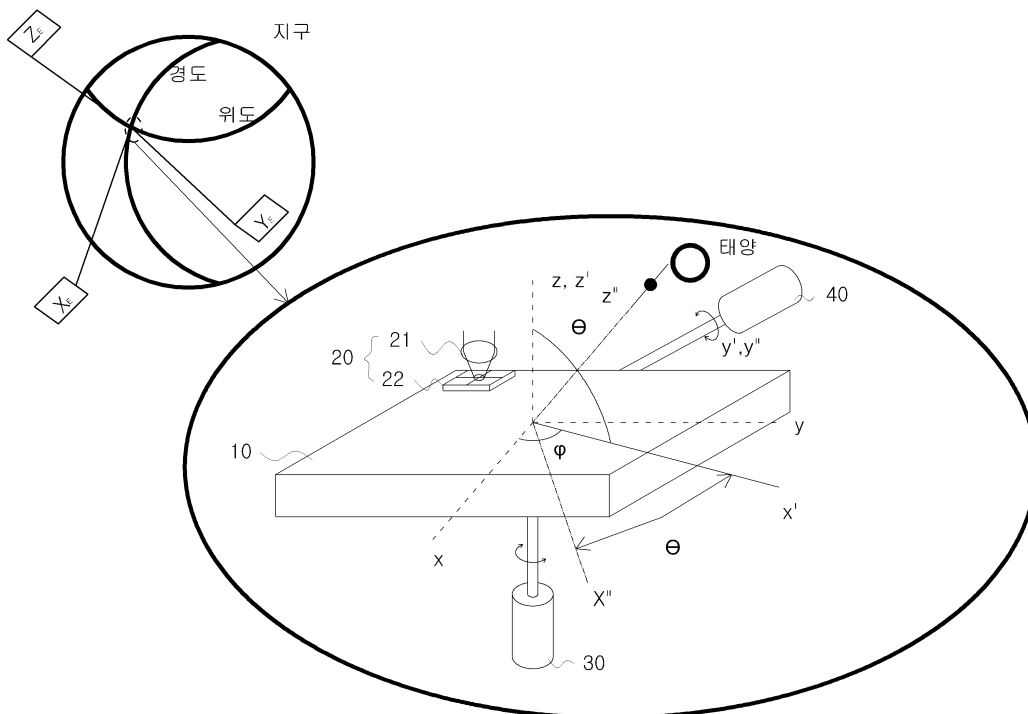
140: 제어값산출부

도면

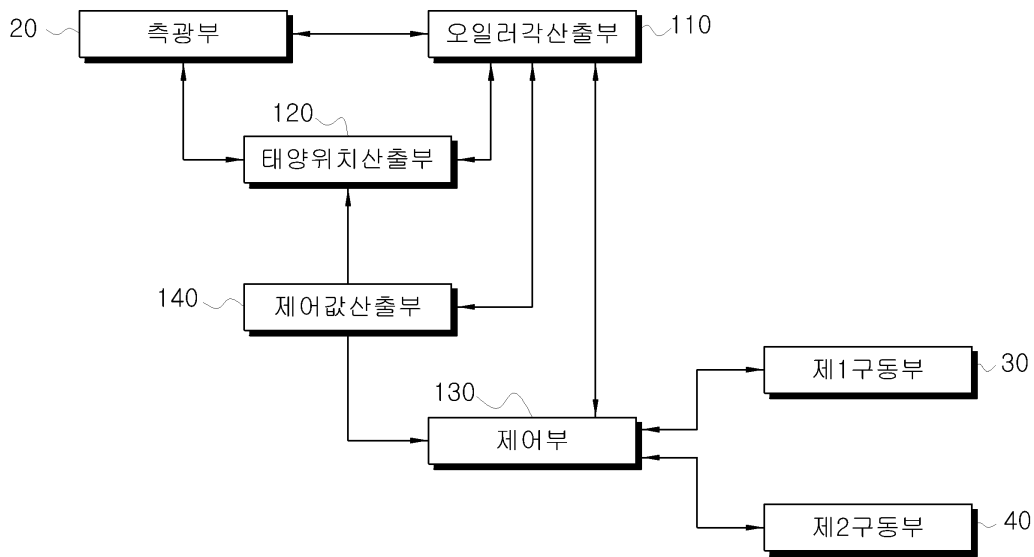
도면1



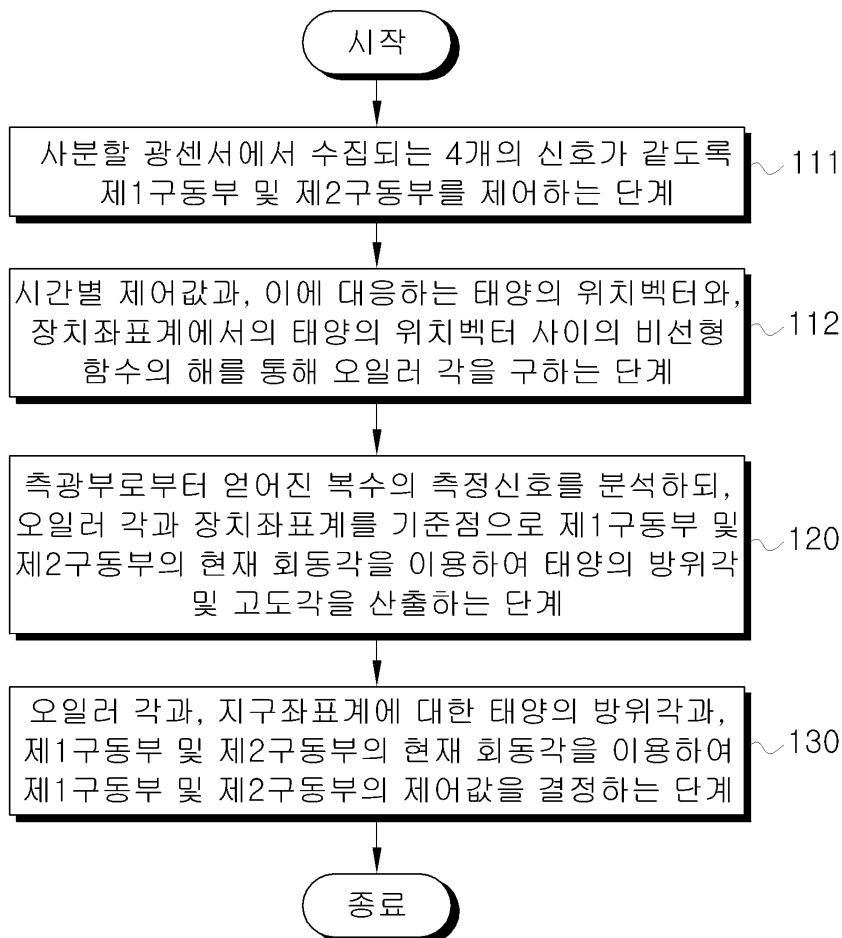
도면2



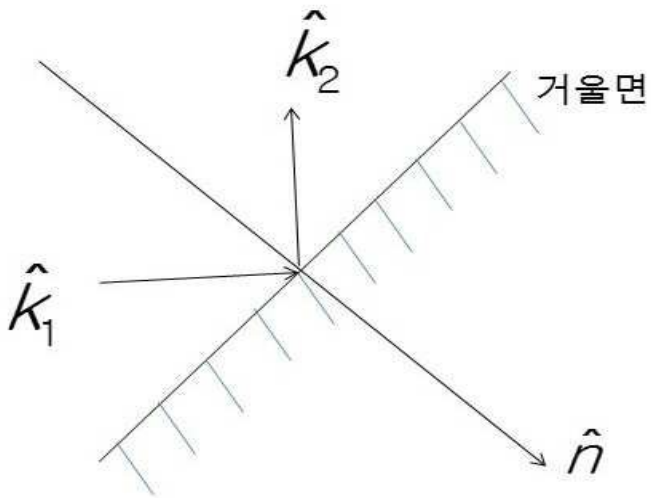
도면3



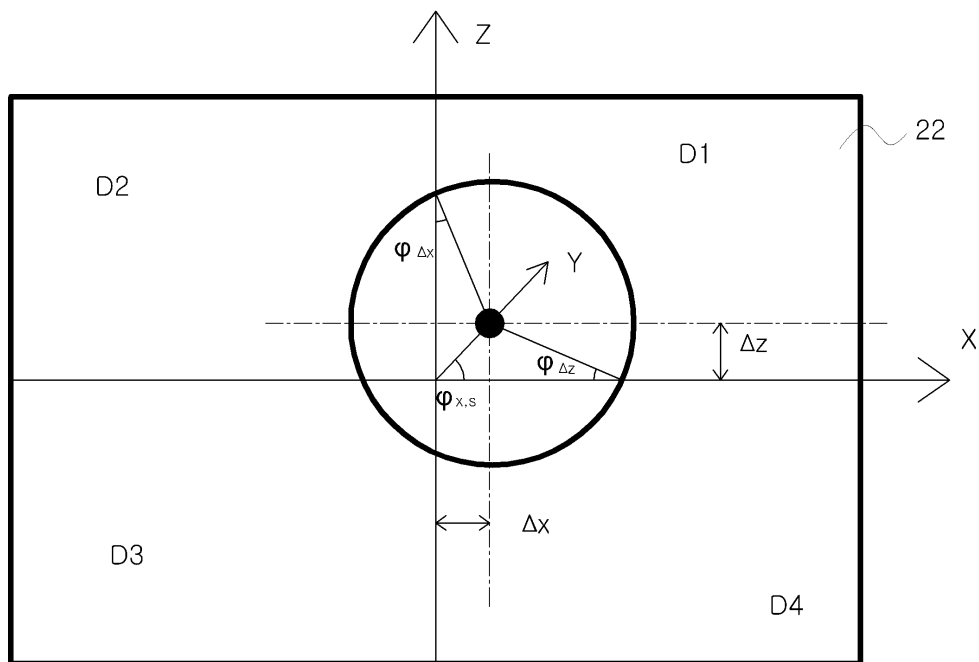
도면4



도면5



도면6



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 1의 13째줄

【변경전】

상기 오일러각도

【변경후】

상기 오일러 각