

대한기계학회 주최

제11회 전국학생설계경진대회(2021년)

설계 최종 보고서

참가부	고등부 (0)				
참가분야	공모주제 (0) / 자유주제 ()				
참가팀명	HOPE: Hyper Outstanding Paradigm of Energy				
설계제목	솔라트래커를 이용한 스마트 채광 렌즈				
지도교수/교사	(소속)하나고등학교 (성명) 유상미				
대표자 (신청인)	성명	소속	연락처 (휴대폰)	E-mail	주소
	이준구	하나고등학교			

참가팀원 인적사항

NO	성명	소속 / 학년	E-MAIL
1	이준구	하나고등학교/ 2학년	
2	김선아	하나고등학교/ 2학년	
3	정진용	하나고등학교/ 2학년	
4	김지민	하나고등학교/ 1학년	
5	박시환	하나고등학교/ 1학년	
6	장이환	하나고등학교/ 1학년	

설계 요약문

참가분야	공모주제 (0) / 자유주제 ()
참가팀명	HOPE: Hyper Outstanding Paradigm of Energy
설계제목	솔라트래커를 이용한 스마트 채광 렌즈
대표자명	이준구
요약문	“ 일조권 보장 ”, 좁은 면적에 비해 계속해서 지어지는 고층 건물에 사람들은 주거공간에서 충분한 햇빛을 가질 권리를 보장 받지 못하고 있다. 본 팀은 아파트 남향의 여부와 주거선호도의 상관관계, 자연채광이 삶의 질 확산에 직결한다는 설문을 바탕으로 일조권이 보장되지 않는 환경에서 사용자의 요구에 따른 공간 내에 자연채광의 확산을 유도할 수 있는 기기의 설계를 고안하였다. 본 팀의 설계는 하드웨어적 설계와 소프트웨어적 설계로 나누어, 솔라트래커의 조도센서 인식을 중심원리로 하여 인식한 광량에 따른 밝기함수의 변화, 원하는 채광확산을 위한 렌즈의 각도 설정함수를 설정하여 사용자의 요구에 따른 확산효과를 얻을 수 있도록 하여 솔라트래커에 따른 스마트 채광렌즈의 알고리즘을 구성하였다. 각 모터에 걸리는 토크값과 창문에 부착할 수 있도록 하고, 탈부착이 가능하며 창문에서의 시야를 방해하지 않도록 안정성과 심미적인 특성 또한 고려하여 디자인을 설계하였으며, 이 구조를 Fusion 360을 이용해 외관적인 모습과 작동모습을 모델링하였다. 친환경적 주거공간의 확산이 절실해지는 요즘, 기존의 공간에서도 효율적인 자연채광의 확산을 통해 수많은 전력소모량의 감소효과를 유도할 수 있으며 기존의 만연한 일조권 불평등을 사용하기 편리하며, 간단한 기기장치를 기존의 창문의 설치함에 따라 많은 긍정적 기대효과를 생각할 수 있다.
설계프로젝트의 입상 이력	※ 교외 출품실적이 있는 경우 작성 - 출품작명 : - 대회명 : - 수상내역 :

※ 설계 요약문은 공개될 예정이며, 제출 시 이에 동의하는 것으로 간주함.

※ 제공된 개인정보는 심사과정에만 사용되며, 제출 시 이에 동의하는 것으로 간주함.

1. 설계의 필요성 및 목적

좁은 면적 당 많은 주거공간의 급증으로 채광권의 보장이 주거공간의 선정에 중요한 조건으로 자리잡고 있다. 더불어 효율적이며 환경친화적인 주거공간의 설계 또한 현대인에게 중요한 주제가 되었다. 최근 한국전력공사가 발표한 가구 평균 전력 사용량을 확인했을 때 , 전년에 비해 매년 전력사용량이 점점 증가하고 있으며 코로나 19 또한 자택 거주 시간 증가에 영향에 미쳐 개인주거공간에 점점 초점이 맞추어지고 있다.

평균적으로 형성된 아파트 방향에서의 남향과 타 방향과의 확연한 아파트 시세 차, 주거공간에서의 삶의 질 향상에 영향을 미치는 조건에 일조량의 충분한 공급이 크게 작용한다는 설문을 바탕으로 본 설계는 채광권이 보장되지 않는 주거공간에서 창문과 연결 가능한 자연채광의 확대를 유도할 수 있는 기기장치를 제작하여 채광권의 확대를 유도하고, 사용자의 용도와 요구에 따라 자율적으로 자연채광의 정도를 조정할 수 있도록 한다. 자연채광의 확대로 기존 전력을 대체할 수 있어 난방 혹은 실내등으로 인해 낭비되는 에너지의 절약 또한 기대할 수 있다. 나아가 채광이 보장되는 환경에서도 시간에 의해 변하는 자연채광이 사용자에게 의해 조절가능하도록 하여 보편화된 주거공간에서 창문과 연동된 자연채광의 확대와 조절로 현재 주거공간에서 채광의 한계를 극복할 수 있는 기계장치를 개발하고자 했다.

2. 설계 핵심 내용

(1) 설계 문제의 정의

현재 좁은 면적 대비 뾰뚱하게 세워진 집들에 의해 모든 주거공간에 사용자가 만족할만한 충분한 자연채광이 공급되지 않아 일조권의 불평등 현상이 발생하고 있다. 더욱이 주거공간의 인식에 대해 이코하우징의 선호가 증가하는 요즘, 이를 선호하는 경향에 비해 실제 주거공간에 보급되는 비율은 적은 현대사회에 친환경적기구의 보급의 정착화가 필요하다. 이에 태양광의 조도에 따라 렌즈의 각도를 조절하는 것으로 향상된 자연채광이 가능하다고 판단하였으나 시판 자체에 자연채광 확대의 원리를 기반으로 한 기기장치가 많이 존재하지 않고, 존재하는 시판 제품 조차도 대부분 채광 목적이 아닌 태양전지를 통한 태양광 발전을 주목적으로 두고 있다는 한계가 존재하며, 설치에 있어서 상당히 큰 시공을 해야하는 경우가 대부분이다. 따라서 상대적으로 쉽게 설치할 수 있고, 자연채광효과를 향상시킬 수 있는 기계장치를 통해 채광권 확보와 동시에 난방이나 실내등(형광등)에 쓰이는 에너지를 절약할 수 있는 기계장치를 설계하기로 하였다.

(2) 설계의 독창성 및 접근 방법

1) 설계 방법 및 배경

본 팀이 설계한 복합기계장치는 크게 소프트웨어와 하드웨어로 나누어 설계를 진행했다. 소프트웨어의 경우 , 팀 내에서 본 기계장치에 필요한 빛의 산란과정에 따른 각도를 변수로 한 밝기 함수를 만들어 코드로 제작하였고 이가 아두이노를 통해 표현되는 태양의 밝기조도의 변화에 따른 솔라트래커의 아두이노 코드 또한 본 기계장치에 맞게 적용하였다 . 또 하드웨어의 설계에서는 예상되는 기계장치의 용도와 크기에 따른 전반적인 기계장치의 디자인을 'blender'을 이용하여 3D 모델링을 하였고 렌즈의 크기와 곡률을 설정하여 디자인 하였다.

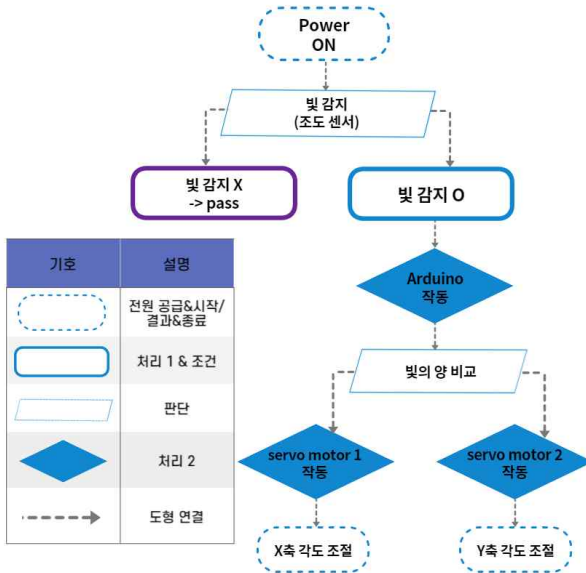
1) 아두이노

아두이노는 다양한 스위치나 센서로부터 입력 값을 받아들이며 LED나 모터와 같은 전자 장치들로 출력을 제어함으로써 환경과 상호작용이 가능한 물건을 만들어 낼 수 있다. 본 기계장치에서는 솔라트래커를 통해 받아들여지는 태양조도값에 대한 정보를 기반으로 밝기함수를 거쳐 해석된 수치를 모터에 대입하여 기계장치가 움직일 수 있는 수단으로써 이용한다.

2) 솔라트래커

햇빛을 추적하여 빛 움직임이나 광량에 따라서 이에 반응해가며 가로축과 세로축을 움직이는 장치를 말한다. 4개 혹은 5개 이상의 조도센서를 각각의 포인트로 설정하여 해당 포인트가 상대적으로 어둡거나 0값이 감지되면, 서보모터가 그 반대 방향으로 각도를 증가시키게 되면서 빛의 방향을 인식하고 따라다니듯 움직이는 기계원리를 이용한다. 본 기계장치에서는 자연채광의 양에 따라 적합한 자연채광량의 변화의 값을 도출해내기 위해 태양광량을 측정하고 이에 따라 경로를 추적하는 솔라트래커를 이용하여 기계 장치에서 광량을 구하는 센서로써 사용하였다.

[솔라트래커를 이용한 스마트 채광렌즈의 작동 알고리즘]



3) 모터

일반적인 모터에 비해 장시간 사용시에도 소음이 증가하거나 성능저하가 발생하지 않으며 정밀한 속도 제어가 가능하여 에너지적인 측면에서도 경제성을 지닌 BLDC 모터를 사용하였다. 내구성이 반영구적인 점과 양방향 운전이 가능하다는 점에서 본 기계의 설계에 부합하였다.

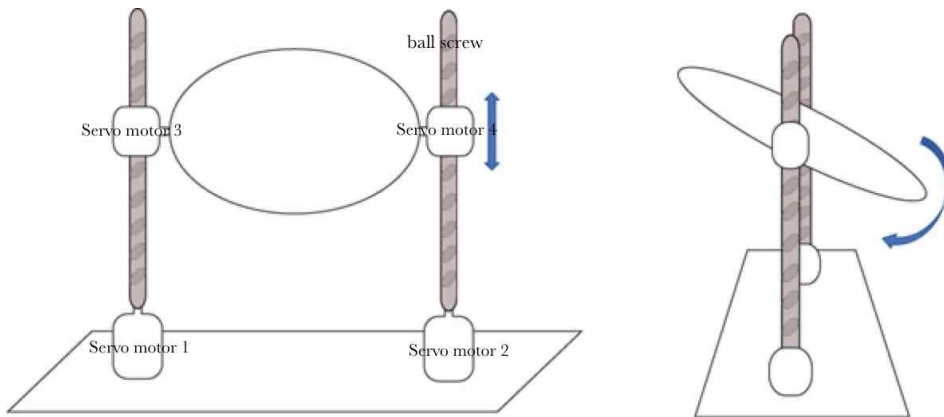
4) 배터리

배터리 크기에 비해 용량이 크고, 메모리 현상이 없어 배터리의 용량이 줄어들지 않아 오랫동안 사용가능한 장점 덕분에 휴대기기에 많이 사용되는 리튬이온배터리를 선정하였다. 12V 의 3셀로 이루어진 케이블형의 보호회로 배터리팩, 그리고 리튬이온배터리 충전팩을 병렬로 연결하여 24V의 전압이 연결될 수 있게 하였다. 또, 배터리의 (-)극 쪽에는 24V/35A용 배터리 관리 시스템(BMS)를 연결하여 배터리 잔존용량의 측정과 셀 충전 용량의 밸런싱이 이루어질 수 있도록 하여 안전한 배터리 구동 시스템이 가능하도록 한다.

2) 설계의 독창성

본 팀은 렌즈의 산광 및 분광 효과로 기대하는 채광확산의 효과로 일조권이 보장되지 않는 현대사회에서의 자연채광의 증가를 목표를 설계로 진행하였다. 이 과정에서 선택한 실현 방법인 솔라트래커의 조도센서 인식에 따른 빛의 밝기 함수 유도과 연결된 아두이노에 따른 렌즈 곡면의 회전을 중심으로 기존 설계와 유사성을 가진 특허조사와 시판 제품을 조사하였다. 기존 제품에서 솔라트래커를 기반으로 태양빛에 따라 움직이게 하는 기구는 존재하나, 실시간으로 태양빛의 밝기를 조도센서를 통해 받아들여 알고리즘을 기반으로 사용자 정의에 따라 작동하는 본기기와는 큰 차이점이 존재한다. 또한 빛이 들어오지 않는 공간에 빛을 유도하는 방법으로 채광확산을 이용하는 시제품은 수직장방향 광덕트를 이용하는데 본 설계팀이 선택한 조도에 따른 렌즈의 각도를 조절하는 방법을 통해서 더 정밀하고 효과적인 채광확산의 효과를 유도할 수 있어 설계에 독창성을 가진다.

3) 설계의 제약조건 및 문제 해결 방법



기존에 본팀에서 진행한 설계에선, 창문 전체 범위에서 채광을 해주어 채광확산을 유도하는 본 설계의 특성상 집광부의 렌즈의 크기가 클 것이라고 예상되며, 이에 따른 렌즈의 질량도 커질 것이다. 이때 프레임 하나로 렌즈를 지탱하기 위해서 모터의 상당한 양의 출력이 필요할 것이라고 생각하여 새로운 집광부 구동 렌즈를 설계하였다. 본 구조의 효율성을 기존 설계와 비교하기 위해 이 장치에서 렌즈와 서보모터, 볼트너트에 의한 모터의 부하토크를 계산하였다. 부하토크의 계산식은 다음과 같다.

$$T_L = (R_t \cdot r_B) / (k \cdot \eta)$$

(* T_L 은 부하토크, R_t 는 회전 방향 힘, r_B 는 볼스크류 반지름, k 는 감속비, η 는 기계효율을 의미)

회전 방향 힘을 구하는 식은 다음과 같다.

$$R_t = R_w \cdot \tan\phi$$

(* ϕ 는 볼스크류의 리드각이고, R_w 는 볼너트에 작용하는 축 방향 힘)

볼스크류를 수직으로 사용하는 경우 work의 무게 $m_w g$ 가 그대로 축 방향 힘 R_w 가 되며, $\tan\phi$ 는 (볼스크류 리드)/(볼스크류의 원주길이) 이므로 $L/2\pi r_B$ (L 은 볼스크류의 리드)이다. 이를 위의 식에 적용시키면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_t = m_w g \cdot L/2\pi r_B$$

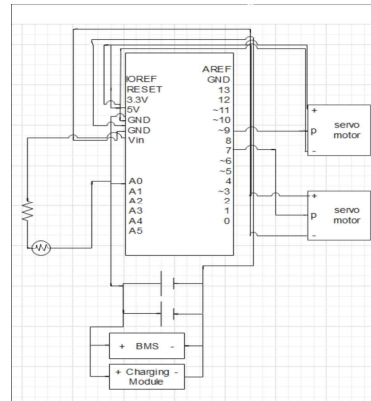
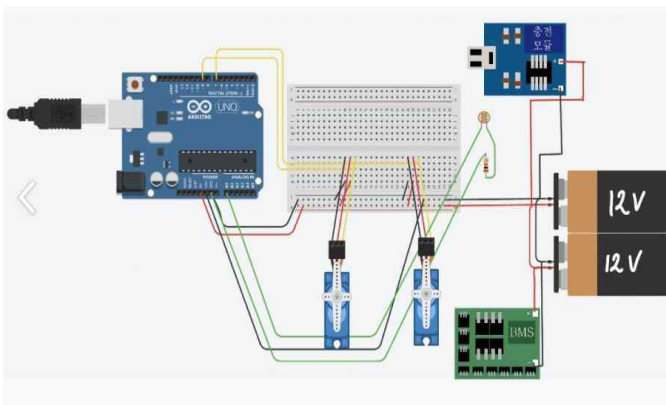
$$T_L = (m_w g L)/(2\pi k \eta)$$

본 설계에서 모터는 태양의 움직임에 따라 볼스크류를 천천히 회전시키는 역할만을 하므로 rpm수가 상당히 낮고, 급격하게 감속하는 상황이 존재하지 않으므로 감속기를 사용하지 않아 감속비(k)의 값은 식의 값에 영향을 주지 않도록 1로 설정했다. 이 식에 설정값 $m_w g = 50, k=1, L=0.0001, \eta=0.85$ 를 각각 대입하면, 약 0.00917Nm의 필요 출력토크가 나오게 된다. 그리고 계산결과 이 구조의 필요 출력(토크) = 0.0000442Nm 가 되어 기존 구조의 필요 출력보다 훨씬 토크값이 감소했음을 확인할 수 있다. 천장면에 설치하는 기존 설계와는 달리 이 버전의 집광부는 지면(발코니)에 설치하고, 렌즈를 지탱하는 축을 두개로 하여 각 프레임이 받는 중량을 최소화하였다. 렌즈의 자유로운 움직임을 위해 servo motor 1,2 를 바닥면에 설치해 볼스크류를 회전시킬 수 있도록 하였고, 그것을 통해 워크(헤드부)를 움직일 수 있게 하였다. 또한 정면에서 보았을 때의 가로축을 기준으로 한 렌즈의 회전을 위해서 servo motor 3,4를 설치하였다. 각 프레임이 받는 중량을 최소화하고 필요출력을 감소시키기 위해 고안한 이 구조는 프레임에 가해지는 중량을 줄였다는 의미는 있지만 렌즈의 앞뒤 움직임이 불가하다는 한계를 가진다. 충분한 자연채광이 보장되지 않는 환경에서 햇빛의 제공을 목적으로 하는 이 설계는 조도센서의 광량 측정값에 따라 자유롭게 집광부를 움직여 최대한 많은 빛을 모을 수 있어야하지만 그러한 목적성이 부합하지 않아, 중량을 줄이기 위해 고안한 본 설계는 중량측면에서의 보완성에 대한 제안에 의의를 두었다.

(3) 설계 내용

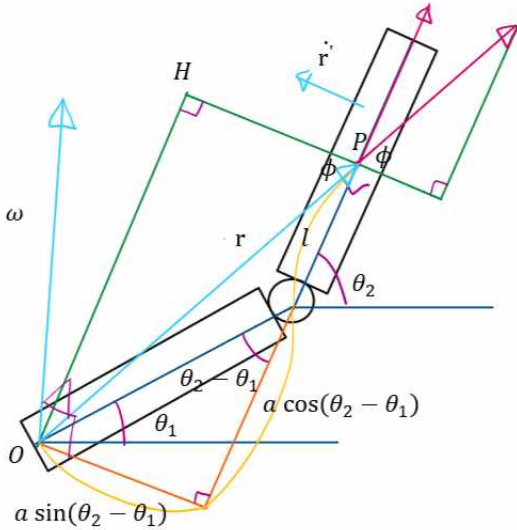
3.1 하드웨어의 설계

1) 기계장치 회로 설계도



((2.1)에서 언급한 아두이노, 배터리, 모터가 종합적으로 설계된 회로구성도이다.)

2. 2축 구동 모터에 가해지는 토크의 계산



(메인 바 길이 a , 서브 바 길이 b , 메인 바 질량 m_1 , 서브 바 질량 m_1 , 메인 바가 지면과 이루는 각도 θ_1 , 서브 바가 지면과 이루는 각도 θ_2 , 주 모터의 토크 τ_1 , 부 모터의 토크 τ_2)

1. τ_2 의 계산

메인바가 움직이지 않는 비관성계를 잡는 경우에, 해당 비관성계 내부의 입자의 가속도와 외부의 가속도 사이에 관계식을 구한다.

$$a = \dot{a} + 2m(\omega \times \dot{r}) + m\omega \times (\omega \times r)$$

이때 관성계를 설정했을 때 다음과 같은 수식에 해당하는 관성력이 작용한다.

$$-2m(\omega \times \dot{r}) - m\omega \times (\omega \times r)$$

이 항의 경우에는 시계방향으로 증가하고 있는 경우를 기준으로 보았을 때 외적값을 구하게 되면 서브 바와 평행하면서 밖으로 나가려는 힘이 형성된다. 밖으로 나가려는 힘의 방향을 양수로 잡고 식을 세운다.

$$F_i = \int 2\dot{\theta}_1(l\dot{\theta}_2)dm = \frac{m_2}{b} \int_0^b 2(\dot{\theta}_1\dot{\theta}_2)ldl = m_2b(\dot{\theta}_1\dot{\theta}_2)$$

위 항의 경우에는 시계방향으로 θ_1 이 증가하는 경우 기준으로 밖으로 나가는 방향으로 작용한다는 점은 동일하지만 정확한 방향이 회전의 중심 O에서 부터 따지고자 하는 점 P를 향하는 위치벡터이기 때문에 서브 바와 직각인 성분과 서브바와 평행인 성분으로 분해할 수 있다. 이를 각각 $F_{parallel}$, F_{per} 이라 설정하고 수직인 성분이 서브바에 미치는 가상의 토크를 τ_i 이라고 설정한다.

$$dF_{parallel} = dm \dot{\theta}_1(OP \times \dot{\theta}_1) \sin \square = dm(\dot{\theta}_1)^2(OP \sin \square) = dm(\dot{\theta}_1)^2 OH = \frac{m_2}{b}(\dot{\theta}_1)^2 \{a \cos(\theta_2 - \theta_1) + l\} dl$$

$$F_{parallel} = \int_0^b \frac{m_2}{b}(\dot{\theta}_1)^2 \{a \cos(\theta_2 - \theta_1) + l\} dl = am_2(\dot{\theta}_1)^2 \cos(\theta_2 - \theta_1) + \frac{1}{2}m_2(\dot{\theta}_1)^2 b$$

$$ldF_{per} = dm(\dot{\theta}_1)^2 l(OP \times \dot{\theta}_1) \cos \square = dm(\dot{\theta}_1)^2 l(OP \cos \square) = dm(\dot{\theta}_1)^2 l PH = \frac{m_2}{b}(\dot{\theta}_1)^2 l \{a \sin(\theta_2 - \theta_1)\} dl$$

$$\tau_i = \int_0^b \frac{m_2}{b}(\dot{\theta}_1)^2 l \{a \sin(\theta_2 - \theta_1)\} dl = \frac{1}{2}m_2(\dot{\theta}_1)^2 ab \sin(\theta_2 - \theta_1)$$

$$\tau_2 - \tau_i - m_2 g \cos \theta_2 = \frac{b^2 m_2 \ddot{\theta}_1}{3} (\ddot{\theta}_2 - \ddot{\theta}_1), \quad \tau_2 = \frac{b^2 m_2 \ddot{\theta}_1}{3} (\ddot{\theta}_2 - \ddot{\theta}_1) + m_2 g \cos \theta_2 + \frac{1}{2} m_2 (\dot{\theta}_1)^2 ab \sin(\theta_2 - \theta_1)$$

2. τ_1 를 구하는 과정

메인바와 서브 바 사이 경첩이 서브바에 작용하는 장력 = T 로 설정하고 구심력에 대한 방정식을 세운다.

$$T - F_{parallel} - F_i + m_2 g \sin \theta_2 = \int r (\dot{\theta}_2 - \dot{\theta}_1)^2 dm = \frac{m_2}{b} \int_0^b r (\dot{\theta}_2 - \dot{\theta}_1)^2 dr = \frac{m_2 b (\dot{\theta}_2 - \dot{\theta}_1)^2}{2}$$

$$T = F_{parallel} + F_i + \frac{m_2 b (\dot{\theta}_2 - \dot{\theta}_1)^2}{2} - m_2 g \sin \theta_2$$

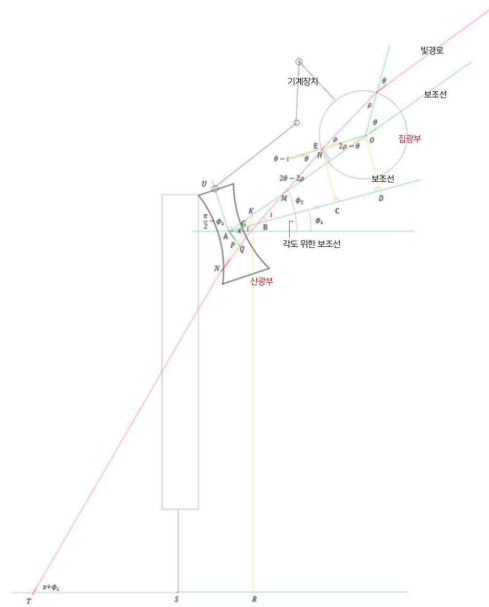
3.2 소프트웨어의 설계

1) 창문과의 상대위치에 따른 밝기함수에 대한 수학적 모델링

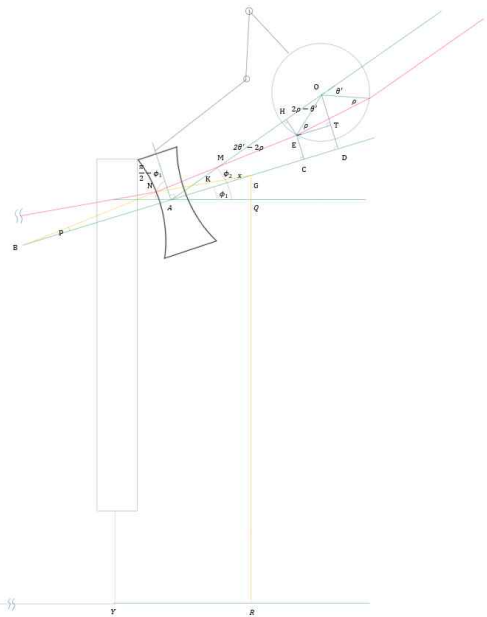
1. Z 가 양수인 경우

그림과 같은 방식으로 기기를 모델링 하면, let 태양광선의 직선 AO 부터의 거리 = Z , 원통렌즈의 반지름 R

$$Z = R \sin \theta, \quad \theta = \arcsin \frac{Z}{R}, \quad n \sin \theta = \rho \quad (\text{단, } n \text{는 원통형 집광부의 굴절률}) \quad (\text{by 스넬의 법칙})$$



▲ [그림1] : z 가 양수인 경우의 모델링



▲ [그림2] : z 가 음수인 경우의 모델링

$i = (\square_2 - \square_1) + (2\theta - 2\rho)$ (by 삼각형의 외대각 성질), let $AB = d_1$, $AO = L$

$$d_1 = AB = AD - (BC + CD) = AO \sin(\square_2 + \square_1) - \left\{ \frac{DH + HB}{\tan i} + OD \sin(\theta - i) \right\}$$

$$= L \cos(\square_2 - \square_1) - \left\{ R \sin(\theta - i) + \left\{ \frac{L \sin(\square_2 - \square_1) + R \sin(\theta - i)}{\tan i} \right\} \right\}$$

let $AG = d_2$

$$\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2} = -\frac{1}{f} \quad (f \text{는 초점 위치의 절댓값, } d_2, f \text{는 길이(양수)이면서 각각 허상, 허초점이기 때문에 음수로 들어감})$$

(by 얇은 렌즈의 공식)

1-1. 상대적으로 근사가 적은 방법

$\frac{AB}{\sin \angle AMB} = \frac{MB}{\sin \angle MAB}$ (by sin 정리), $MB = \frac{d_1 \sin (\square - \square)}{\sin (2\theta - 2\rho)}$, $\frac{GB}{\sin \angle GMB} = \frac{BN}{\sin \angle NGB}$ (BN을 직선이라고 가정, by sin 정리)

$$BN = \frac{(d_1 - d_2) \sin (x - i)}{\sin x}, \quad \frac{AG}{\sin \angle AKG} = \frac{AK}{\sin \angle AGK} \text{ (by sin 정리)}$$

$$AK = \frac{(d_1 - d_2) \sin (\square - \square)}{\sin x}, \quad \frac{MN}{\sin \angle MKN} = \frac{KM}{\sin \angle KNM} \text{ (by sin 정리)}$$

$$KM = \frac{MB + BN}{\sin (x - (\square - \square))}, \quad \frac{AK}{KM} \cdot \frac{MB}{BN} \cdot \frac{BG}{GA} = 1 \text{ (by 메넬라우스 정리)}$$

이는 x에 관한 방정식이므로 이를 풀게 되면 x 값을 구할 수 있다.

1-2. 근사를 굉장히 크게 사용하는 법

$$d_2 \cdot x \approx d_1 \cdot i \text{ (by 호도법)}, \quad x \approx \frac{d_1 \cdot i}{d_2}, \quad x \text{에 대한 값을 구한 상태에서}$$

let 점 U의 지면에서 부터의 위치 = h, AU = l, TS = X

$$TS = TR - RS = \frac{AK}{\tan(x + i)} - TR$$

2-1. 근사가 작은 방법

$$\begin{aligned} \frac{AK}{\tan(x + \square)} - TR &= \frac{h - AU \sin\left(\frac{\pi}{2} - \square\right) + AK \sin \square}{\tan(x + \square)} - AU \cos\left(\frac{\pi}{2} - \square\right) - AK \cos \square \\ &= \frac{h - l \cos(\square) + AK \sin \square}{\tan(x + \square)} - l \sin(\square) - AK \cos \square \text{ (by 삼각함수의 성질)} \end{aligned}$$

2-2. 근사를 크게 하는 방법

$$\begin{aligned} \frac{AK}{\tan(x + \square)} - TR &\approx \frac{h - AU \sin\left(\frac{\pi}{2} - \square\right) + AG \sin \square}{\tan(x + \square)} - AU \cos\left(\frac{\pi}{2} - \square\right) - AG \cos \square \\ &= \frac{h - l \cos(\square) + d_2 \sin \square}{\tan(x + \square)} - l \sin(\square) - d_2 \cos \square \text{ (by 삼각함수의 성질)} \end{aligned}$$

이를 이용하여 X의 값을 구할 수 있다. 따라서 L, Z, h, f 등 렌즈의 위치에 따라 정해지는 값들을 확정해 주면 $X = f(Z)$ 의 형태로 표현할 수 있다. 직관적으로 들어온 태양광선의 중심축으로 부터의 거리에 바닥부터 굴절광선이 떨어진 거리가 일대일 대응한다고 가정한다면 Z와 X는 일대일 대응한다고 가정할 수 있어 f의 역함수 g를 잡을 수 있다.

$$Z = g(X), \quad \frac{dZ}{dX} = g'(X), \quad dZ = g'(X) dX$$

태양광에 수직인 평면을 잡았을 때 이 평면에서 단위면적당 태양광량은 일정하다고 가정하며 이를 I라고 한다.

$$[\text{그림 1}] \text{의 깊이를 } W \text{로 두었을 때, } dZ \text{ 구간에 들어오는 광량증가분} = IW dZ = g'(X) IW dX$$

미소구간인 dX에서 영향을 미치는 광량은 일정하다고 볼 수 있으므로

$$\text{조도 증가분} = \text{단위면적당 광량증가분} = \frac{\text{총 광량}}{\text{단위면적}} = \frac{g'(X)IWdX}{WdX} = Ig'(X)$$

으로 본다. 따라서 벽에서부터 X 떨어져 있을 때 조도값의 장치에 의한 증가분을 도출하는 함수를 구한다.

2. Z가 음수인 경우

[그림2] 는 직선 MN과 직선 AD와의 교점 B가 오목렌즈 기준 집광부의 반대편에 생기는 것을 가정하고 그려진 그림이다. 반대편에 교점 B가 생기는 경계 조건이 두 직선이 평행한 경우, 즉 $\angle OMT = \angle OAD$ 인 경우를 경계 조건으로 놓아야 한다. B가 반대편에 생길 경우 집 내부에 광선이 들어오지 않을 확률이 상대적으로 크기 때문에 조금 더 유의미한 경우를 기준으로 Z가 음수일 경우의 모델링을 진행한다.

(경계조건: $2\theta' - 2\rho = \square - \square$ 이 되기 전까지 모델링한다.)

[그림 2]와 같이 기기를 모델링 하면 Let 태양광선의 직선 AO 부터의 거리(부호 포함) = Z , 원통렌즈의 반지름 R

$$\theta' = -\theta, Z = R\sin\theta = -R\sin\theta', \theta' = -\arcsin\frac{Z}{R}, n\sin\theta' = \rho$$

(n은 원통형 집광부의 굴절률) (by 스넬의 법칙)

$$\angle OME = 2\theta' - 2\rho \text{ (by 삼각형의 외대각 성질)}$$

$$\text{Let } \angle MBA = p, p = \angle MAD - \angle BMA = (\square - \square) - (2\theta' - 2\rho)$$

$$\text{Let } AO = L, AD = AO\cos\angle OAD = AO\sin(\square - \square)$$

$$CD = ET = R\cos\angle OET = R\cos\angle OID = R\cos((2\rho - \theta') + (\square - \square))$$

$$AC = AD - CD, BC = CE\cot p = DT\cot p = (L\sin(\square - \square) - R\sin\angle OET)\cot p \\ = \{L\sin(\square - \square) - R\sin((2\rho - \theta') + (\square - \square))\} \cot p$$

$$AB = BC - AC, OH = R\cos(2\rho - \theta'), HM = EH\csc(2\theta' - 2\rho) = R\sin(2\rho - \theta')\cot(2\theta' - 2\rho)$$

$$AM = L - (OH + HM) - \frac{1}{AB} - \frac{1}{AG} = -\frac{1}{f}$$

$$p = (\square - \square) - (2\theta' - 2\rho), ME = R\sin(2\rho - \theta')\csc(2\theta' - 2\rho)$$

$$EN = AC\sec p, MN = EN - ME$$

Let $\angle AGN = x$, 근사를 이용하여 오목렌즈에서 빛이 꺾이는 지점은 N 밖에 없다고 가정하면

$$\frac{AK}{\sin\angle AGN} = \frac{AG}{\sin\angle AKG} = \frac{AG}{\sin\{\pi - (x + (\square - \square))\}} = \frac{AG}{\sin(x + (\square - \square))} \text{ (by sin 정리) },$$

$$MK = AM - AK$$

$$\frac{BN}{\sin\angle NGB} = \frac{BN}{\sin x} = \frac{BG}{\sin\angle BNG} = \frac{AG + AB}{\sin(\pi - (p + x))} = \frac{AG + AB}{\sin(p + x)} \text{ (by sin 정리)}$$

$$\frac{MN}{BN} \times \frac{BG}{AG} \times \frac{AK}{MK} = 1 \text{ (by 메넬라우스 정리)}$$

해당 방정식으로 x값을 도출한다.

Let U의 지면에서 부터의 거리 h , $X = YP$

$$GR = h - AU\sin\left(\frac{\pi}{2} - \square\right) + GQ = h - l\cos\square + AG\sin\square$$

$$X = RY - RP = GR\cot\angle GYR - AG\cos\square - AU\cos\left(\frac{\pi}{2} - \square\right) = GR\cot(\square - x) - AG\cos\square - l\sin\square$$

본 밝기함수의 수학적 모델링에서의 방정식을 통해 x값을 z값에 대한 함수로 표현할 수 있다. 이것을 z가 양수일 때와 동일하게 모델링하여 z값이 음수인 경우의 일부도 모델링 가능하다. 본 모델링은 특정한 태양 각도의 렌즈 배치를 기준으로 하여 계산과 함수를 만들었지만, 해당 모델링 방식 자체를 타 경우 또한 차용한다면 사용자 혹은 제작자가 밝기함수를 일반화 할 수 있게 되어 기기를 제작하는데 도움이 될 것이다.

3.2 소프트웨어의 설계

1) 모델의 프로그래밍

```
from sympy import *
import numpy as np
import math
Z = -0.7
h = 7.7 #미터
R = 0.7
l = 0.7
n = 1.65
phi1 = math.radians(16)
phi2 = math.radians(35.5)
L = 3.2
f = 1
#각
ag_OAD = phi2-phi1
#선분
AO = L
seta_p = -(np.arcsin(Z/R))
#print(seta_p)
rho = -np.arcsin(Z/(n*R))
p = (phi2-phi1)-(2*seta_p-2*rho)
OME = 2*seta_p - 2*rho #삼각형의 외대각 성질 OME?
AD = L*cos(ag_OAD)
CD = R*cos((2*rho-seta_p)+(phi2-phi1))
AC = AD - CD
BC = (L*sin(phi2-phi1) - R*sin((2*rho-seta_p)+(phi2-phi1)))*cot(p)
AB = BC-AC
OH = R*cos(2*rho-seta_p)
HM = R*sin(2*rho-seta_p)*cot(2*seta_p-2*rho)
ME = R*sin(2*rho-seta_p)*csc(2*seta_p-2*rho)
NE = AC*sec(p)
AM = L-(OH+HM)
AG = (AB*f)/(AB-f)
//근사 이용하여 오목렌즈에서 빛이 꺾이는 지점이 N밖에 없다 가정
#AK/sin(x) = AG/sin(x+(phi2-phi1))
x = symbols('x')
AK = (AG/sin(x+(phi2-phi1)))*sin(x)
MK = AM-AK
MN = NE-ME
BN = ((AG+AB)/sin(p+x))*sin(x)
BG = AB+AG
simplify((MN/BN)*(BG/AG)*(AK/MK))
eqn = Eq(simplify(MN/BN*BG/AG*AK/MK),1)S
print(eqn)

//x로부터 X를 구하는 부분
GR = h-(l*cos(phi1))+AG*sin(phi1)
X = GR*cot(phi1-x) - AG*cos(phi1) - l*sin(phi1)
print(X)
```

위의 코드는 수학적 모델링을 통해 도출해 낸 식을 컴퓨터로 옮겨 계산하기 위한 과정 중 하나로 구글에서 제공하는 클라우드 기반의 무료 Jupyter 노트북 개발 환경인 Colab에서 프로그램을 작성하였으며, 위의 결과로 렌즈와 ~사이의 거리를 구하기 위해 렌즈의 직경, 높이 등을 임의로 설정해 준 결과 아래와 같은 식이 나왔다.

$$\frac{32.5350439595517 \sin(x - 1.49905627950866)}{1.62692655482512 \sin(x) + 0.82582717834902 \cos(x)} = 1$$

그리고 이 x를 이용하여 X를 계산할 수 있게 된다. 이처럼 코딩을 이용하여 모델을 계산하는 것으로 상황에 따라 변화하는 밝기함수를 만들 수 있고, 이를 활용하여 주변 환경에 따라 가장 효율적인 채광 효과를 내도록 조절하는 것이 가능하다.

2) 라즈베리 파이를 활용한 솔라트래커 프로그래밍

본래 아두이노를 활용하여 작동시기로 계획하였던 솔라트래커는 설계과정에서 문제가 있어 라즈베리 파이를 이용하여 프로그래밍을 하는 것으로 변경하였다. 하지만 라즈베리 파이를 사용할 경우 SSH통신을 이용하여 제어를 하고, 기존의 아두이노 코드로는 움직일 수 없는 부분들이 생기기 때문에, github에 공유되어 있는 라즈베리 파이를 활용한 솔라트래커 코드를 이용하기로 하였다.

fabrizio Modifica asse troppo verticale		d66793e on 19 Feb
README.md	changed description	
Vec3d.py	correct typo	
controller.py	Added server address & port in parameter	
linearmotor.py	various fix	
lock.sh	Initial import	
solar-tracker.py	calibration management	
start.txt	calibration management	
sun.py	Initial import	
tracker.ini	Modifica asse troppo verticale	
tracker2.ini	changed parameter	
trackerdriver.py	various fix	
trackerserver.py	various fix	
unlock.sh	created unlock.sh	

해당 프로젝트 내에는 서버 통신에 필요한 통신 확인 파일과 솔라트래킹 코드, 그리고 두 개의 모터를 제어하기 위한 각각의 코드들이 들어가 있다.

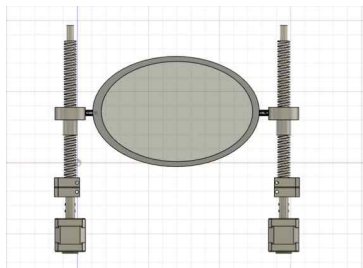
3. 설계 수행 일정

설계 진행 내용	4월	5월	6월	7월	8월	9월
배터리 , 모터 , 소프트웨어 일차 설계 완료						
전체적인 기계장치 설계와 각 부품 연동						
렌즈 설계 마무리와 계산 , 구체적인 타 부품 설계						
기계장치 모델링 진행						
설계 보완 및 최종보고서 작성						

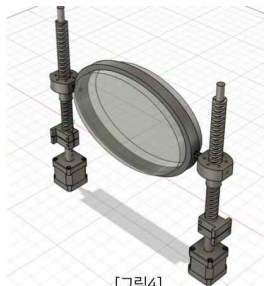
4. 설계 결과물

(1) 최종 결과물 형상 및 작동원리

1) 최종 기계장치 외관 모델링



[그림 3]



[그림4]



[그림5]

Fusion 360을 이용하여 최종 기계장치의 외관을 모델링하였다. [그림3],[그림4] 는 초안의 원형의 렌즈를 사용했을때의 정면도와 측면도이며 , [그림5]는 최종적으로 완성된 모델의 창문 상부에 부착시의 작동과정이다.

(2) 최종설계 결과물의 장단점 및 의의

- 본 기계장치가 갖는 장점은 자연채광의 확대를 효과적으로 유도했다는 점이다. 면적 당 주거 공간 밀집도의 증가로 인해 점점 사람들의 일조권은 보장받지 못하고 있고, 실제로 많은 사람들이 이에 불편함을 호소하기에 사용하기 간단하며, 사용자의 요구에 따라 실시간으로 사용자가 원하는 자신의 주거공간 속으로 들어오는 자연채광의 양을 자율적으로 조절 할 수 있다는 점에서 큰 의의를 가진다.
- 영구적으로 창문외관에 고정시키는 것이 아닌, 간단하게 탈부착 할 수 있는 디자인을 고안하여 최대한 투명한 창문외관이 심미성을 방해하지 않는 방법에 대해 생각한 것을 기계 설계를 진행하는데에 반영하였다.
- 아이디어 자체가 시중에 상용화되어있거나 보편적인 기계장치에서 보완할 점을 수정한 것이 아닌, 많이 사용화되지 않는 영역의 기계장치라고 생각이 들어서 만약 본 팀의 기계설계와 같이 기계가 제작된다면 상대적으로 경제적인 가격에 효율적인 채광효과를 형성한다는 점에서 일조권 보장의 아이디어에 대한 독창성을 지니고 충분히 경제적인 제품의 상용화 가능성에 대해 긍정적인 검토가 가능하다고 기대한다.
- 제약조건에서 언급한 각 프레임에 가해지는 중량을 줄이는 방법을 현 설계를 유지한 상태에서 고안할 필요가 있다.

5. 활용방안 및 기대효과

- 본 팀이 설계한 기계장치는 어떤 창문에도 접합가능하고, 공간 안으로 충분한 자연채광이 확보되지 않는 주거공간 뿐만이 아닌 모든 공간에서 간편하게 사용할 수 있다는 점에서 기계장치를 설치하기 위한 접근성이 매우 좋다고 생각하기에 큰 기대효과를 불러올 수 있다. 사회분위기 적으로 친환경적인 전력의 사용, 나아가 전 사회의 에코하우징이 강조되고 있는 현대에서 정책적으로나 많은 사람들의 환경에 대한 높은 관심 덕분에 큰 전력의 소모 없이 자연채광을 통해 난방과 실내공간을 밝게 할 수 있는 일거양득의 효과가 존재하는 본 기계 장치가 실용화 될 충분한 이유가 될 수 있으며 경제적이고 전반적인 친환경적 분위기를 생성할 수 있다는 기대효과를 지닐 수 있다.

<참고문헌>

- "태양광 발전 패널 각도 제어에 따른 발전량 변화." 한국전자통신학회 논문지 14.4 (2019): 685-692.
- 오상원, 이행우, 김용성, 서장후. "주거공간 내 광선반 곡률 형태에 따른 채광성능평가 연구." 설비공학논문집 27.6 (2015): 328-336.