

자동 조도 조절 블라인드 시스템 설계 및 제작에 대한 연구

장충민^a, 김성걸^{a*}

A Study on the Design and Manufacturing of the Blind System with Auto-controlled Illuminance

Chong Min Jang^a, Seong Keol Kim^{a*}^a Department of Mechanical System Design Engineering, Seoul National University of Science & Technology, 232 Gongneung-ro, Nowon-gu, Seoul, 139-743, Republic of Korea

ARTICLE INFO

Article history:

Received	29	March	2013
Revised	24	April	2013
Accepted	14	May	2013

Keywords:

Auto blind
Interior illuminance controller
Polaroid film

ABSTRACT

A blind system for window glass has been designed and manufactured as a CapStone Design project at Seoul National University of Science and Technology. This system automatically controls the interior illuminance to maintain a uniform temperature. The aim of this project was to support an air conditioning system and heating equipment to maintain a good indoor environment. Proportional integral differential (PID) control using cadmium sulfide (CdS) sensors was applied to control it. Polaroid film was attached to the new blind system to reflect sunlight. It was found that the system had the potential to reduce energy consumption and may be used with a building energy management system (BEMS).

1. 서론

사회가 현대화 되면서 ECO, 즉 친환경 에너지의 필요성이 크게 증대되고 있다. 본 논문에서는 화학적 에너지를 사용하지 않으면서 효율을 높일 수 있는 시스템과 친환경적이며 비용을 절감 할 수 있는 시스템 개발의 필요성을 가지고 서울과학기술대학교 4학년 캡스톤디자인에서 설계 및 제작하고자 한다. 일반 블라인드를 이용한 실내 조도 조절은 수동조작일 뿐만 아니라 창을 통해 들어오는 빛의 균일한 조도조절이 되지 않는다. 스마트글라스라는 최신기술의 블라인드가 있지만 지속적인 전력소모와 완전한 빛의 차단이 안 되는 점, 가격이 상당한 고가라는 점, 조도 변화에 상당한 시간이 필요한점, 반영구적이지 못한수명, 그리고 빠른 조도 변화가 가능한 제품은 더욱 짧은 수명을 가지는 단점이 있다^[1].

본 논문에서는 편광필름을 이용하여 전자식보다 훨씬 긴 수명과 일반 기계식 보다 뛰어난 빛 차단효율 및 균일하고 연속적인 조도 조절이 가능한 블라인드^[2]의 설계를 목적으로 하였다.

기대효과로는 실내의 조도를 조도센서를 이용하여 자동적으로 조도를 조절하고, 실내온도 또한 온도센서를 이용하여 적정 온도를 유지함으로써 불필요한 에너지 낭비를 방지할 수 있다. 또한 편광필름의 특유의 기능을 이용하여 불필요한 빛을 반사시켜 특히 여름철 실내 냉방효율을 향상시킬 수 있다. 그리고 최신 블라인드 기술인 스마트글라스에 비해 훨씬 긴 수명으로 반영구적으로 사용할 수 있다.

2. 설계 및 제작

2.1 설계 개요

설계 초기 단계에서 다음과 같은 기능들이 필히 적용되도록 설계

* Corresponding author. Tel.: +82-2-970-6855

Fax: +82-2-974-8270

E-mail address: rhett@snut.ac.kr (Seong Keol Kim).

하였다. 첫째, 황화카드뮴 조도센서(CdS sensor)를 이용하여 실내 조도를 측정하며, 편광 필름 두 장의 각도를 변경하면서 조도를 조절한다. 만약 최대로 개방을 하여도 설정한 조도 보다 낮을 때에는 형광등을 켜서 실내 조도를 높게 한다. 둘째, 실내 온도를 일정하게 유지하기 위해, 본 시스템에 릴레이를 부착하여 냉, 난방기의 전원을 자동으로 제어 하도록 한다. 이를 통해 쾌적한 실내 환경을 유지하기 위한 에너지소모 중 불필요한 에너지 손실을 최소화 한다. 셋째, 창문은 기본적으로 열리도록 설계를 하고 온도와 조도 값을 LCD나 7 세그먼트(seven segment)를 이용하여 표시되어 사용자가 쉽게 현재 실내의 조도 및 온도 상태를 파악할 수 있도록 한다. 넷째, 제어는 PID제어로 정밀한 제어가 가능하도록 한다. Fig. 2는 본 논문 작품의 동작 구성도이다.

2.2 편광필름(polaroid film)

편광필름은 입사광의 수직 또는 수평 편파를 구분하여 통과시키거나 차단시킬 수 있는 성질의 필름으로 자연광의 빛의 세기는 모든 방향으로 균등하나 편광필름은 이러한 빛 중에서 편광 축과 동일한 방향으로 진동하는 빛만 투과시키고 그 외의 빛은 흡수 또는 반사하여 특정 방향의 편광을 만드는 역할을 한다. 이를 이용하여 두 개의 편광 필름이 빛을 투과시키는 방향이 수직하게 되면 이론적으로 모든 빛을 차단한다. 또한 편광필름은 차단한 빛을 상당량 반사를 시키며 나머지는 흡수를 하는데, 일반 유리보다 반사율이 상당히 높기 때문에 여름철 실내로 유입되는 태양 에너지의 양을 효과적으로 줄일 수 있다. 실제로 많은 고층 빌딩에서 편광필름을 이용하여 많은 빛 에너지를 반사시켜 냉방비용의 절감효과를 보고 있다.

두 편광필름이 이루고 있는 각도와 빛의 차단율과의 관계는 코사인 함수식 관계이므로 A를 외부에서 들어오는 빛의 양이라 하면, 식 (1)처럼 표현할 수 있다.

$$\frac{A \times \cos\theta}{A} \times 100 = x \tag{1}$$

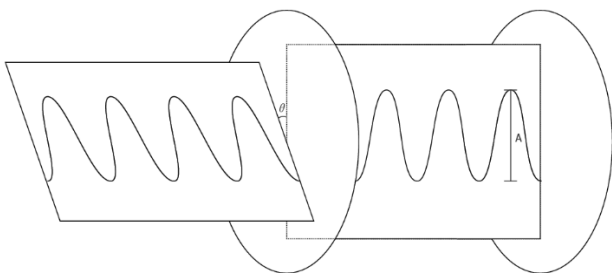


Fig. 1 An overview of the calculation formula of the amount of light passing through the polarizing film of two different

2.3 CdS센서

광도전 효과형 광센서는 반도체에 빛이 닿으면 전자와 정공이 증가하고 조사된 빛 에너지에 비례하여 전류가 증가하는 원리를 이용한 것이다. CdS (cadmium sulfide)는 극성이 없고 교류회로에 사용가능하며 제작은 세라믹 기판에 CdS분말을 소결하여 제작한다. CdS는 광도전체를 전극으로 둘러싸서 저항체를 구성하고 CdS의 황화카드뮴이 광도전체의 역할을 하게 되며 빛에너지가 되면 내부적으로 광도전 효과가 발생하고 두 전극사이에 내부저항이 작아지게 된다. 또한 저렴하고 소형이며 무극성으로 회로구성이 간단하다.

CdS 셀(cell)의 조도 지수는 감마(G)로 나타내며, 조도가 가장 클 때(Lmax), 가장 작을 때(Lmin)의 CdS 내부 저항값을 각각 Rmax (W), Rmin (W)라고 하면 조도지수는 식 (2)와 같다.

$$r = \frac{\log \frac{R_{max}}{R_{min}}}{\log \frac{L_{max}}{L_{min}}} \tag{2}$$

2.4 설 계(design)

작동 개요는 Fig. 2와 같은 기능을 기본적으로 가지도록 한다. 설계는 창틀(Fig. 6)과 그 창틀 안에서 편광필름을 회전시켜줄 또 다른 창틀(Fig. 5)로 구성되어있다. 또한 두 창틀의 원활한 운동 및 이탈 방지를 위하여 내측 창틀과 외측 창틀에 각각 가이드 레일과 홈 가공을 하였다. 그리고 클러치(Fig. 7)를 이용해 구동부와 창틀을 분리 시켜 창틀의 개폐가 가능하도록 설계하였다. 제품을 완성하였을 때의 조립도는 Fig. 3과 같다. 구동을 위한 기어는 제작 비용을 절감하기 위해 내측 창틀에 기어톱니를 가공하지 않고 타이밍 벨트를 끊어 창틀에 돌려 고정을 시켜 제작하였다. 또한 내부의 편광필름이 부착된 창틀을 구동시키기 위한 모터는 D37R124-33-24를 사용하였으며 모터의 제원^[3]은 Table 1과 같다. 모터의 구동축과 작용지점인 창틀과의 구조가 90°의 각도를 가지고 있어 베벨기어를 통하여 동력을 전달하였다.

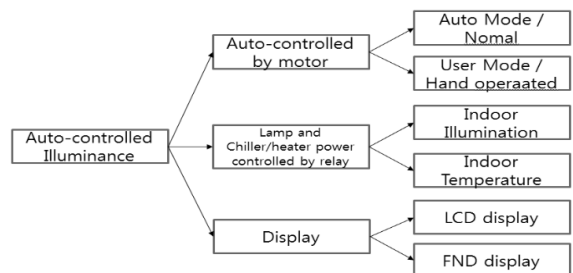


Fig. 2 Schematic diagram of operating the system

Table 1 D37R124-33-24 motor performance data

Working voltage (V)	No Load		Rotation	Life (h)	Weight (g)
	Speed (RPM)	Current (A)			
24	41	0.06 (A)	Dual	1000	190

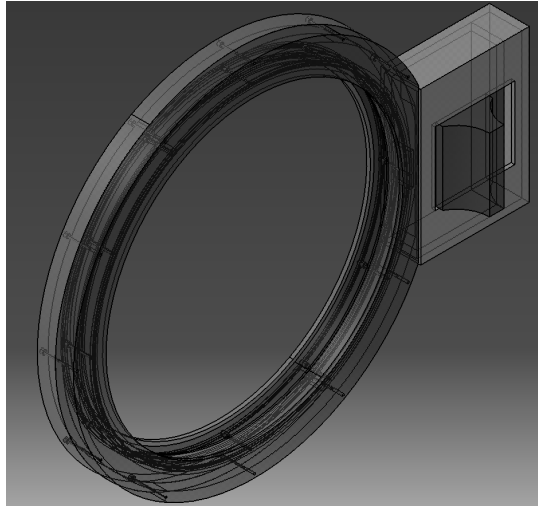


Fig. 3 Assembled 3D modeling

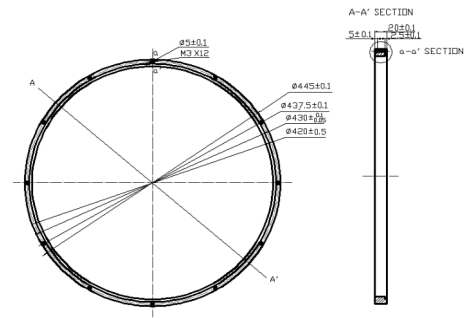


Fig. 5 Inner window frame

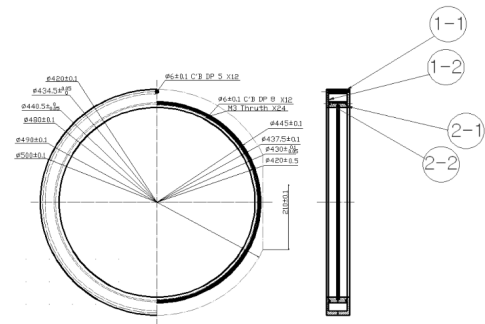


Fig. 6 Assembled window frame

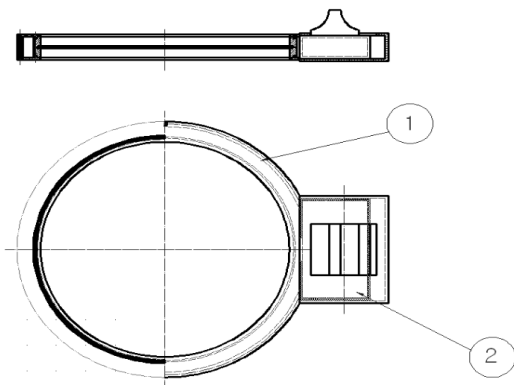


Fig. 4 Assembled 2D modeling

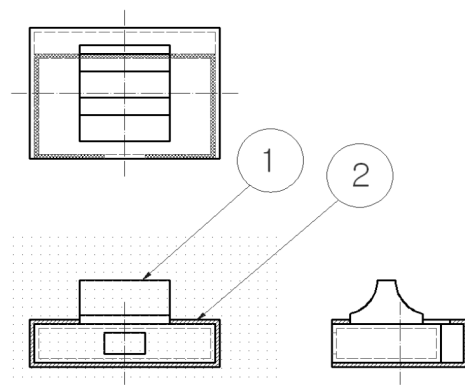


Fig. 7 Assembled clutch

또한 외측 창틀에는 편광필름을 부착한 한 장의 유리가 설치되어 있고 나머지 한 장의 편광필름은 내측창틀의 유리에 부착하여 고정하였다. 조도센서의 경우 창을 통해 들어오는 빛을 직접 받기 위해 반사판으로 만든 고깔을 씌워 움직이지 않는 외부의 창에 고정시켰다. 이 모든 부품들은 아크릴로 제작을 하였다.

두 개 창틀의 외형은 워터젯(water jet) 가공을 이용하여 원형으로 제작했고, 내부의 공간은 머시닝 센터를 사용하여 파내었으며, 내부의 창이 들어갈 구멍은 레이저 커팅 가공(Fig. 7)을 통해 잘라내었다. 클러치는 범용 밀링을 이용하여 가공을 하였으며 레이저 커팅을 이용하여 기어와 손잡이가 나오는 부분을 가공하였다. 이 모든 가공은 학교 리빙팩토리에 직접 가공하였다.

2.5 제어(control)

본 논문에서 사용된 제어기는 ATmega128이며, 가장 핵심이 되는 조도에 따른 모터와 형광등 제어 그리고 온도에 따른 냉, 난방기 제어 프로그램은 Fig. 9와 같이 프로그래밍을 하였다. Fig. 9를 살펴보면 온도센서의 값이 30℃ 이상일 때 냉방기의 전원을 켜는 신호를 내보내며, 15℃ 이하가 되면 난방기의 전원을 켜는 신호를 보낸다. 또한 15~30℃ 사이에서는 적정온도로 간주하여 냉, 난방기의 전원을 모두 끈다.

모터제어의 경우 조도센서의 값^[4]을 10배 증폭하여 받은 값을 한국표준협회의 규정^[5]에 입각하여 실험장소인 연구실의 적정 조도에 근사한 900럭스의 값을 목표치로 설정 하였고 프로그램의 안

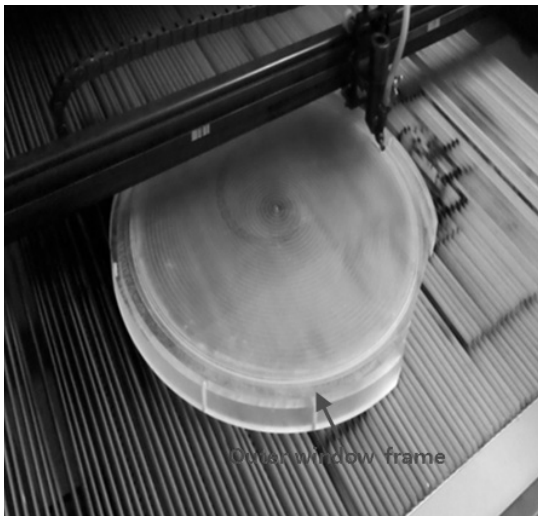


Fig. 8 Laser cutting for outer window frame

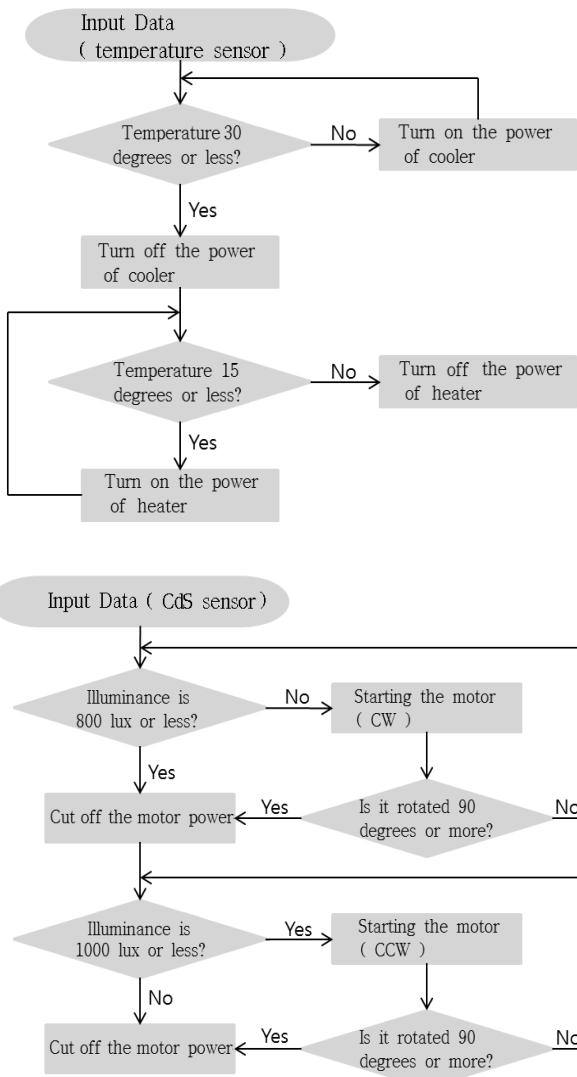


Fig. 9 Flow chart of controlling motor, fluorescent light, air conditioning system, and heating machine

정화를 위하여 800~1,000럭스를 목표범위로 설정하였다. 또한 조도센서 값이 800럭스 이하이거나 1,000럭스 이상일 때 각각 시계방향 및 반시계방향으로 모터 회전 신호를 내보내게 된다. 만약 조도센서 값이 학교 일반 연구실의 야간 기준 조도 값인 670럭스 이하일 경우 형광등의 전원을 켜고, 반대로 조도센서 값이 670럭스 이상일 경우 형광등의 전원은 꺼지도록 제어를 하였다.

외부에서 유입되는 빛의 양이 편광필름을 최대한 개방을 하여도 설정한 실내 조도보다 낮을 경우 무한으로 돌아가는 문제가 발생하여 일정시간 회전을 하여도 목표 조도 측정값 이상의 큰 측정이 되지 않으면 일정시간 뒤 정지하도록 제어를 하였다. 또한 자동 및 수동 모드를 두어 원하는 상태를 수동으로 조작하여 창을 회전시킬 수 있도록 하였다.

제어 방법은 비례미적분제어⁶⁾(proportional integral differential control)를 사용하였으며 비례미적분제어는 실제 목표 값에 가깝게 제어 량을 가져갈 수 있지만, 외란에 의한 채터링(chattering)이 발생하여 목표 값까지는 일정한 시간이 필요하다. 이는 외란에 대해 편차를 보고, 전회 편차와의 차가 큰 경우에는 조작 량을 많이 하여 기민하게 반응하도록 한다. 이 전회와의 편차에 대한 변화차를 보는 것이 “미분”에 상당한다. 이 미분동작을 추가한 비례미적

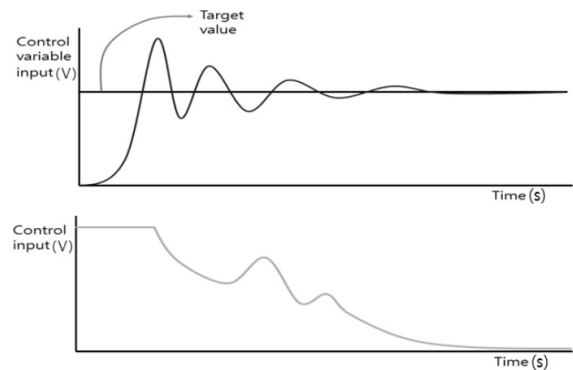


Fig. 10 Proportional integral differential control

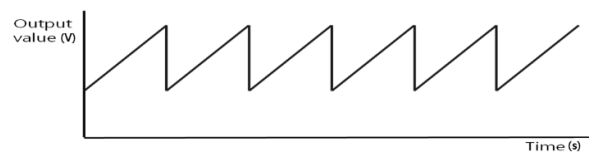


Fig. 11 Fast PWM control



Fig. 12 Steady PWM control

분제어의 경우, 제어특성이 Fig. 10와 같이 나타난다. 이것으로 알 수 있듯이 처음에는 증속 구동(over drive)하듯 제어하여, 신속히 목표 값이 되도록 제어한다.

또한 펄스 발생방식은 정상펄스폭변조^[7](phase correct PWM) 방식을 채택하였다. PWM은 펄스폭변조(pulse width modulation)의 준말로 펄스의 충격계수(duty ratio)를 조정하는 방법을 말한다. 여기서 충격계수란 한 주기(T)에 대한 높은(high) 신호의 시간의 비를 말하는 것으로 펄스폭변조 제어는 이 충격계수를 조정함으로써 시간 비를 조정하는 것을 말한다. 이 정상펄스폭변조제어의 방식에는 빠른 펄스폭변조제어와 정상펄스폭변조제어 두 종류의 제어방식이 있다. 첫 번째로 빠른 펄스폭변조방식은 고주파의 펄스폭변조파형을 만들고 단상(single slope)으로 움직이며, 다른 펄스폭변조방식과는 다른 형태의 파장을 가진다 (Fig. 11). 동작 주파수는 정상펄스폭변조방식보다 2배의 주파수를 가진다.

두 번째로는 Fig. 12와 같은 정상펄스폭변조방식이 있다. 정상펄스폭변조방식은 통상적으로 많이 쓰는 파형으로 정상(double slope)으로 양방향 기울기이다. 주파수 대역이 넓어서 주파수가 빠른 펄스폭변조방식보다 절반이 된다. 정밀한 제어를 위해 분해능 높은 정상펄스폭변조방식을 채택하였다.

2.6 회로(Circuit)

회로 구성에서 가장 기본적으로 포함될 요소는 빛의 양을 측정할 수 있는 조도센서와 온도를 측정할 수 있는 온도센서 그리고 센서를 통해 들어온 입력 값을 통한 전원조절을 위한 계전기(relay)이다. 본 논문에서는 추가적으로 7세그먼트(seven segment)(Fig. 14)와 액정표시장치(liquid crystal display)를 이용하여 온도 및 조도의 상태를 표시하여 주며, 조도는 LCD패널(Fig. 16)에서 막대그래프의 형태로 표시하도록 하였다. 또한 블루투스(blue tooth) 칩셋(8)(Fig. 13)을 추가하여 핸드폰이나 노트북등 휴대기기를 이용하여 기기를 제어 할 수 있도록 하였다. 마지막으로 스위치를 추가하여 수동운전이 가능하도록 설계를 하였다. 이로써 자동, 원격 그리고 수동모드로 총 3가지의 작동 모드를 구현하도록 하였다.

계전기의 작동 시험은 만약을 대비해 냉난방기를 이용하여 진행하지 않고 Fig. 15처럼 작은 모터들을 연결하여 시험 작동을 한 뒤에 냉난방기(제품 시연에는 선풍기와 열풍기를 사용했다.)를 연결하였다. Fig. 16은 완성된 회로의 사진이다. Fig. 17은 작품 시연 중인 모습이다. 현재 편광필름간의 각도는 약 45°가량이다.

2.7 상품화를 위해 개선할 점

본 작품에 대한 설계 및 제작을 통해 다음과 같은 개선점이 요구되었다. 첫째, 기존의 창틀이 사각창인 것에 반해 본 작품은 원형에 국한된다^[9]. 둘째, 창의 개폐를 위해 구동부와 창틀 사이에 클러치

를 설치하였지만 이로 인해 구동 시 많은 기계적 오류가 발생했다. 이 문제점은 구동부와 창틀을 일체화하여 창틀과 벽 사이에 래치를 두어 문의 개폐를 구현하는 것이 더욱 바람직 할 것으로 보인다. 셋째, 내부 창틀의 고정 및 이탈을 방지하기 위해 외부 창틀에 레일을 만들고 내부 창틀에 홈을 파서 가이드 역할을 하도록 하였으나, 가공 오차로 인한 진원도가 너무 낮아 원활한 작동이 힘들어 수작업으로 많은 수정을 하였다. 이를 보완하기 위해서 외부 창틀에 롤

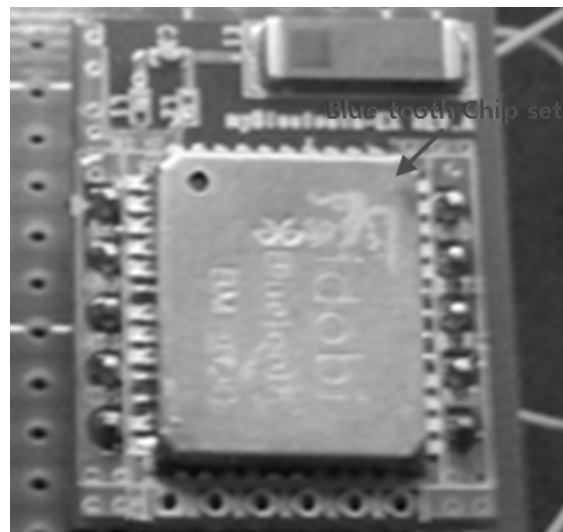


Fig. 13 Blue tooth chip set

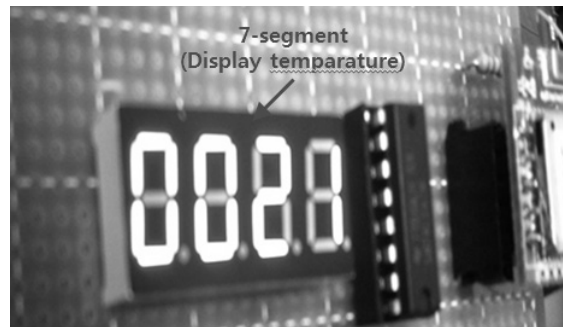


Fig. 14 Displayed temperature by 7-segment

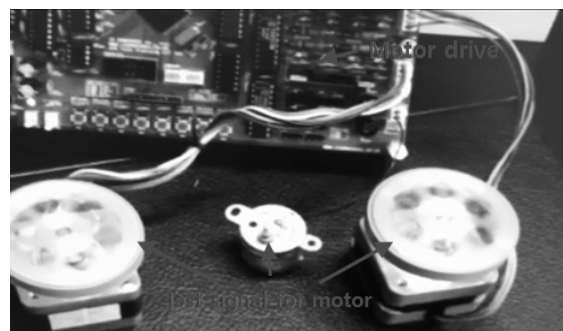


Fig. 15 Motor functioning test

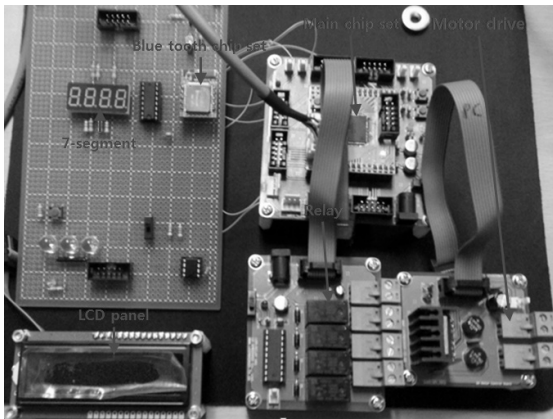


Fig. 16 Complete configuration of the circuit

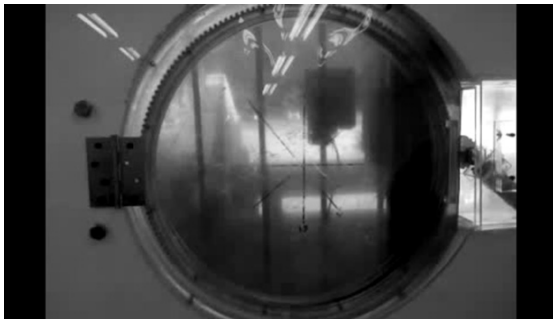


Fig. 17 The finished blind system

리를 장착하여 톨러로 내부 창틀의 이탈을 막으면서 원활한 회전을 하도록 하는 것이 더욱 효과적인 것으로 판단된다. 넷째, 전기식 블라인드(smart glass)에 비해 저렴한 가격을 목표로 하였지만 본 제품은 시제품으로써 양산체제가 갖추어진 전기식 블라인드와 이 시제품의 제작 단가를 비교하는 것은 무리로 보이며 추후 보완점을 개선한 설계의 양산 계획을 이용해 제작 단가를 비교하는 것이 바람직 할 것으로 보인다. 다섯째, 회로 설계 시 주의할 점은 다수의 회로가 뒤엉켜서 발생하는 노이즈로 인해 유기적으로 정확한 동작을 원활히 작동시키는데 많은 시간이 소요되었다. 그러므로 노이즈를 최소화하는 회로설계를 해야 할 것이다.

3. 결론

본 논문에서는 편광필름을 이용하여 자동으로 조도를 조절하는 블라인드를 직접 설계 및 제작하였다.

캡스톤디자인 과목에서 제작한 작품은 편광필름의 특성상 99.9%의 빛 차단률을 보였으나 기계식 블라인드의 경우 80%, 암막 롤 블라인드의 경우 90%의 차단률을 보였다. 이를 통해 기존의 기계식 블라인드에 비하여 높은 빛 차단률을 보임을 알 수 있었다. 전기식 블라인드(smart glass)보다 자연스러운 조도 변화량을 보여주

었다. 이는 전기식 블라인드의 경우 프로그램되어 있는 조도 값만으로 조절이 가능하기 때문에 기계식인 블라인드 보다 분해능이 떨어지지만 본 작품의 경우 기계식과 같이 다양한 조도를 구현할 수 있어 조도센서의 분해능만큼의 세분화된 조도를 가지므로 전기식 블라인드에 비해 분해능이 높다. 또한 전자식 블라인드의 경우 액정을 기반으로 하고 있으므로 유리 전체가 하나의 저항체로 작용을 하며 전자식 블라인드는 조도를 유지하기 위해 지속적으로 전력을 공급해야하기 때문에 전력 소모가 큰 점이 대표적인 단점으로 지적되고 있다. 만약 전기식 블라인드와 본 작품이 같은 기능을 하도록 만든다면 제어기에서 같은 전력량을 소모하겠지만 추가적으로 전기식 블라인드의 경우 24시간 지속적으로 전력을 소모하여야 하지만 본 작품의 블라인드는 하루 24간 동안 창을 90°만큼만 회전시키면 되므로 전력 소모량이 적을 것이다. 하지만, 기존 기계식 블라인드와 전기식 블라인드(smart glass)보다 느린 조도 조절 속도가 문제가 되었지만 이 부분은 실험을 해본 결과 외부의 조도 변화가 급격하게 발생하지 않기 때문에 오히려 느린 조도의 변화속도가 외부장애물에 의해 발생하는 그림자에 둔감한 반응을 보여 불필요한 조도조절현상이 타 방식의 블라인드(smart glass)보다 적었다.

현재 본 작품은 사각형 창에 적용시키는 것은 기술적으로 불가능하므로 외관을 다듬어 인테리어용 기능성 창으로 활용이 가능하다. 또한 모터로 구동되므로 실내에서 사용되는 기타 전자제품에 비해서 큰 소음이 발생하므로 모터박스의 방음처리도 중요할 것이다.

후기

이 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

- [1] Cho, B. H., Kim. Y. H., 1994, The Development of Electricchromic Materials for Energy Saving Smart Windows, Proceedings of the Summer of The Korea Institute of Electrical Engineers, 1308-1310.
- [2] Ku, H. Y., Park, Y. J., Koo, S. Y., Kim, J. H., Yeo, M. S., Kim, K. W., 2007, An Experimental Study on the Control Strategy of an Automated Venetian Blind in Summer, Proceeding of Annual Conference of the Architectural Institute of Korea, 27:1 889-892.
- [3] 153 Korea Corp., n.d. D37R124-33-24 motor performance data, <http://www.153korea.co.kr/pro/pro_17_29.asp>.
- [4] TOKEN.co 2010 CdS Light-dependent photoresistors for sensor applications, TOKEN.co datasheet for PGM CdS Photoresistors., 1-7.

- [5] KS, 1998, *KS Recommended levels of illumination* KS A 3011, Republic of Korea.
- [6] Kim, J. K., Kim, J. T., and Kim, T. H., 2005, A Study on Dynamic Characteristics of Rotating Transmission Using PID Control, *Transactions of The Korea Society of Machine Tool Engineers*, 14:5 41-48.
- [7] Kim, S. H., 2010, *DC, AC, BLDC motor control*, Buk-doo, Republic of Korea.
- [8] Bae, J. I., 2007, Control of Soft Stater for Bluetooth, *Proceeding of Autumn Conference of the Korean Society for Power System Engineering*, 345-346.
- [9] Ryu, Y. E., 2003, Blind Structure using Polarizing Film, KR Patent: 10-2003001-6271.