



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

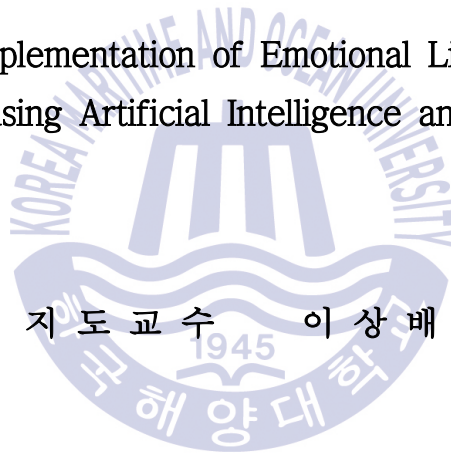
이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

# 인공 지능 및 Modbus를 이용한 감성조명 LED 제어기 구현에 관한 연구

A Study on the Implementation of Emotional Lighting LED Control  
System using Artificial Intelligence and Modbus



2015년 8월

한국해양대학교 대학원

전자통신공학과

정정수

본 논문을 정정수의 공학석사 학위논문으로 인준함.



위원장

임재홍

위원

박동국

위원

이상배



2015년 6월 9일

한국해양대학교 대학원

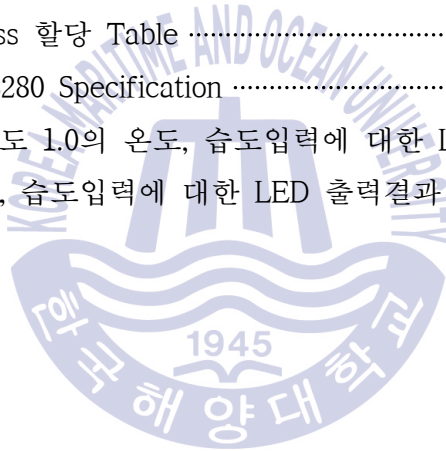
# 목 차

List of Tables .....	iii
List of Figures .....	iv
Abstract .....	vi
1. 서 론 .....	1
2. LED 감성조명의 개요 및 필요성 .....	3
2.1 LED의 특성 .....	3
2.2 빛과 인간의 관계 .....	4
2.3 감성조명의 개요 .....	5
2.4 감성조명의 필요성 .....	5
3. 펄지 제어 시스템 .....	7
3.1 펄지 이론의 개요 .....	7
3.2 보통집합과 펄지집합 및 연산 .....	7
3.3 펄지 추론 .....	11
3.4 펄지 제어기의 구성 .....	13
4. Modbus 프로토콜 .....	17
4.1 Modbus 프로토콜의 개요 .....	17
4.2 Modbus 프로토콜의 계층 구조 .....	17
4.3 Modbus 프로토콜의 통신과 장비 .....	18
4.4 Modbus 프로토콜의 프레임 포맷 .....	19
4.5 Modbus 프로토콜의 Function code .....	20

<b>5. Modbus LED 감성조명 제어기의 구성 및 설계</b> .....	<b>22</b>
5.1 퍼지 알고리즘의 구성 .....	22
5.2 퍼지 멤버십 함수(Fuzzy Membership Function) .....	23
5.3 퍼지 제어 규칙(Fuzzy Control Rules)의 설정 .....	27
5.4 비퍼지화(Defuzzification) 과정 .....	30
5.5 Modbus Address 할당 .....	31
5.6 제어기의 동작 Flow Chart .....	32
<b>6. Modbus LED 감성조명 제어기의 구현</b> .....	<b>33</b>
6.1 하드웨어 구성 .....	33
6.2 각 부의 구조와 기능 .....	34
6.3 제어기의 제작 .....	43
<b>7. 실험 및 결과</b> .....	<b>45</b>
7.1 실험 방법 .....	45
7.2 실험 결과 .....	47
<b>8. 결론</b> .....	<b>52</b>
<b>참고문헌</b> .....	<b>54</b>
<b>부록</b> .....	<b>57</b>

## List of Tables

Table 1	Modbus RTU 프레임 포맷 .....	20
Table 2	Modbus Function code 및 기억장소 .....	20
Table 3	Read Holding Register 프레임 요구 패킷 .....	21
Table 4	Read Holding Register 프레임 응답 패킷 .....	21
Table 5	Write Single Register 프레임 요구 패킷 .....	21
Table 6	Write Single Register 프레임 응답 패킷 .....	21
Table 7	퍼지추론 언어변수의 설정 .....	23
Table 8	Fuzzy Rule Lookup Table .....	28
Table 9	Modbus Adress 할당 Table .....	31
Table 10	CUBLOC CB280 Specification .....	34
Table 11	멤버십 소속도 1.0의 온도, 습도입력에 대한 LED 출력결과 .....	48
Table 12	임의의 온도, 습도입력에 대한 LED 출력결과 .....	49



## List of Figures

Fig. 1 생체주기에 따른 체온 및 호르몬 분비량 .....	4
Fig. 2 보통집합과 퍼지집합의 표현 .....	8
Fig. 3 퍼지 집합 $\tilde{A}_1$ 와 $\tilde{A}_2$ 의 교집합 .....	10
Fig. 4 퍼지 집합 $\tilde{A}_1$ 와 $\tilde{A}_2$ 의 합집합 .....	10
Fig. 5 퍼지 집합 $\tilde{A}_1$ 의 여집합 .....	11
Fig. 6 Mamdani의 추론 .....	12
Fig. 7 퍼지 제어기의 기본구조 .....	13
Fig. 8 퍼지 추론 과정 .....	14
Fig. 9 다변수 구조 퍼지시스템의 블록도 .....	16
Fig. 10 Modbus의 계층구조 .....	18
Fig. 11 Modbus Master와 Slave간의 요청과 응답 리사이클 구조 .....	19
Fig. 12 제어시스템의 블록도 .....	22
Fig. 13 온도입력 퍼지 멤버십 함수 .....	23
Fig. 14 습도입력 퍼지 멤버십 함수 .....	24
Fig. 15 LED 출력 퍼지 멤버십 함수 .....	25
Fig. 16 온도입력에 따른 RGB LED 출력 범위 .....	25
Fig. 17 습도입력에 따른 RGB LED 출력 범위 .....	26
Fig. 18 예상출력 색상 .....	26
Fig. 19 제어기의 다변수 구조 퍼지시스템의 블록도 .....	27
Fig. 20 제어기의 System Flow Chart .....	32
Fig. 21 System Block Diagram .....	33
Fig. 22 CUBOLC CB280 회로도 .....	35
Fig. 23 RGB LED 제어부 회로도 .....	36
Fig. 24 Gate 저항 100 $\Omega$ 설치 오실로스코프 파형 .....	37
Fig. 25 Gate 저항 4.7k $\Omega$ 설치 오실로스코프 파형 .....	38

Fig. 26	Gate 저항 4.7k $\Omega$ & Source-Drain 커패시터 1 $\mu$ F 설치 오실로스코프 파형 ..	38
Fig. 27	전원부 회로도 .....	39
Fig. 28	온도센서 회로도 .....	40
Fig. 29	습도센서 회로도 .....	41
Fig. 30	조도센서 회로도 .....	41
Fig. 31	RS-485 파형의 예 .....	42
Fig. 32	통신부 회로도 .....	43
Fig. 33	완성된 Modbus LED 감성조명 제어기 프로토타입 .....	43
Fig. 34	Modbus LED 감성조명 테스트 보드 .....	45
Fig. 35	Modbus LED 감성조명 시스템 실행모습 .....	46
Fig. 36	Labview를 이용한 LED 감성조명 컨트롤 프로그램 및 내부 블록 ..	46
Fig. 37	Modscan32를 이용한 모듈 실험 .....	47
Fig. 38	온도 17 $^{\circ}$ C 고정 시 습도변화에 따른 RGB 출력 값 .....	50
Fig. 39	온도 27 $^{\circ}$ C 고정 시 습도변화에 따른 RGB 출력 값 .....	50
Fig. 40	습도 17% 고정 시 온도변화에 따른 RGB 출력 값 .....	51
Fig. 41	습도 67% 고정 시 온도변화에 따른 RGB 출력 값 .....	51



# A Study on the Implementation of Emotional Lighting LED Control System using Artificial Intelligence and Modbus

Jeong, Jeong Soo

Department of Electronics & Communications Engineering  
Graduate School of Korea Maritime and Ocean University

## Abstract

Countries around the world are engaged in various long-term and short-term policies for low-carbon, green growth and stable energy supply in the country. Among them, high-efficiency, environmentally friendly LED light source which is an important part of the nation's energy policy implementation. The LED lamps are conventional incandescent, fluorescent, halogen, as well as to replace the cell phone, automobile, Back Light Unit or the like because the larger market potential can be applied to various fields.

In Korea, the government set as an indicator of “low carbon, green growth” policy has been a major effort to overcome the current environment, energy crisis, six of the 22 industry sectors to develop the LED industry in the 21st century, a new growth engine The policy was announced in 2012 and is the world's third-LED the producer to the goal.

According to the report, the human race is the sun, stars, has to conform to the natural light and the evolution of such month to relax and work more efficient lighting environment similar to the natural light that it is possible for hundreds of thousands of years. In addition, these reports are based on various lighting conditions, the human body and mind is the point sensitively reacts and as close to natural light and is noted that the human being can feel comfortable. Thus, the ultimate goal of future-oriented lighting can be said to provide the brightness and color temperature that are optimized for each of the living environment in accordance with human biological rhythms that conforms to the natural light to change for 24 hours.

Modbus is a serial communications protocol, it has since become a practically standard communication protocol, and it is now a commonly available means of connecting industrial electronic devices. Therefore, it can be connected with all devices using Modbus protocol to the measurement and remote control on the ships, buildings, trains, airplanes and etc..

In this paper, we add the Modbus communication protocol to the existing lighting controller sensitivity to enable verification and remote control by external environmental factors, and also introduces a fuzzy inference system was configured by external environmental factors to control LED lighting.

**KEY WORDS : Fuzzy theory, LED, Modbus**

## 제 1 장 서 론

세계 각국은 자국의 안정적인 에너지 공급과 저탄소 녹색성장을 위해 장·단기적인 정책을 다양하게 펼치고 있다. 그 중 고효율, 친환경 광원인 LED는 국가의 에너지 정책 추진의 중요한 부분을 차지하고 있다. LED 조명은 기존 백열등·형광등·할로젠을 대체 할뿐만 아니라 휴대전화, 자동차, BLU(Back Light Unit) 등 다양한 분야에 적용할 수 있기 때문에 시장잠재력이 크다[1].

EU는 WEEE(Waste Electrical and Electronic Equipment)의 산하의 RoHS(Restriction of Hazardous Substances)부서를 설치하고 환경에 영향을 주는 6개 물질인 납, 수은, 카드뮴, 6가 크롬, PBB(폴리브로미네이티드 비페닐), PBDE(폴리브로미네이티드 디페닐 에테르)의 사용을 규제하고 있다. 또한 호주와 뉴질랜드, 미국 캘리포니아 주에서는 지구온난화 정책으로 형광등과 백열등을 위험성 폐기물로 지정하여 사용을 금지시키고 있다[2]~[4].

우리나라의 경우 정부 차원에서 “저탄소 녹색성장”을 대표적인 정책의 지표로 설정하여 현재의 환경·에너지 위기를 극복하고자 노력하고 있으며, 6대 분야 22개 산업 중 LED 산업을 21세기 신성장동력 산업으로 육성하는 정책을 발표하였으며, 2012년 세계 3대 LED 생산국을 목표로 하고 있다[5]~[6].

LED 광원에 대한 현재의 기술 개발현황을 바탕으로 LED 조명이 공간을 밝히는 단순한 조명의 기능을 벗어나 다양한 공간연출 및 정보를 전달하는 매개체로써 미디어와 결합된 새로운 개념의 조명분야에 응용 될 것으로 기대된다[7].

인간의 생체리듬과 빛의 연관성을 다루는 감성조명에 관한 보고서에 의하면, 인류는 수십만 년 동안 태양, 별, 달 등의 자연 빛에 순응하며 진화해 왔으며

자연의 빛과 유사한 조명환경에서 보다 능률적인 작업과 편안한 휴식이 가능하다고 한다. 또한 이들 보고서는 다양한 조명환경에 따라 인간의 신체 및 정신이 민감하게 반응함을 지적하며 자연의 빛에 가까울수록 인간은 편안함을 느낄 수 있음에 주목하고 있다. 따라서 미래지향적인 조명의 궁극적인 목적은 24시간동안 변화하는 자연 빛에 순응된 인간의 생체리듬에 맞추어 각각의 생활환경에 최적화 된 밝기와 색온도를 제공하는 것이라고 할 수 있다[8]~[10].

Modbus는 각종 자동화 장비 감시 및 제어에 전 세계적으로 널리 사용되고 있는 자발적 산업표준 통신 프로토콜이다. 그러므로 Modbus 통신 프로토콜을 이용하는 장비는 선박, 빌딩, 기차, 비행기 등 Modbus 통신 프로토콜을 지원하는 모든 시스템과 연결이 가능하여 환경변수의 측정 및 원격제어가 가능하게 된다.

본 논문에서는 기존의 외부환경요인(온도, 습도, 조도 등)에 의해 변화되는 감성조명 제어기에 Modbus 통신 프로토콜을 추가하여 외부환경요인 확인 및 원격제어를 가능하게 하고 또한 퍼지 추론 시스템을 도입하여 LED 조명 제어가 가능한 제어기를 구성하였다.

본 연구의 전체적인 구성은 제1장에서 연구에 대한 전체적인 서론 내용을 정리하였고, 제2장에서는 LED 조명 시스템에 대한 전반적인 내용을 서술하였다, 제3장에서는 조명시스템을 실제로 제어하는데 사용된 퍼지 제어 시스템을 서술하였으며, 제4장에서는 Modbus 프로토콜에 대해 서술하였으며, 제5장에서는 LED 감성조명 제어기의 구성 및 시스템의 설계에 대해 논의하였다. 제6장에서는 제어기의 하드웨어 구성 및 각부 구조와 기능을 설명하고 제어기를 제작하였다. 제7장에서는 실제 제어기의 실험환경을 만들고 실험을 통해 결과를 도출하였다. 끝으로 제8장에서는 결론으로 향후 연구 방향을 제시하였다.

## 제 2 장 LED 감성조명의 개요 및 필요성

### 2.1 LED의 특징

최근 범세계적으로 에너지 문제와 친환경 산업 정책 이슈가 부각되면서 미래의 새로운 광원으로 가장 주목받고 있는 LED(Light Emitting Diode) 조명이 더욱 각광을 받고 있다. 1962년 Holonyak이 처음 개발하여 전자회로 부품으로 사용되던 LED는 반도체 기술의 발전으로 미국 GE가 처음 적색 LED를 상용화하였고, 1993년 일본의 수지 나카무라 박사의 니치아 화학공업은 청색 LED를 개발하였고 1997년에는 청색 LED에 노란색 형광체를 사용해 하얀 빛을 내는 백색 LED를 개발하였다. LED는 빛의 기본요소인 적·녹·청·백색까지 개발이 되면서 다양한 빛을 만들게 되었다. 특히 백색 LED 개발로 인해 LED 조명이 전자제품 디스플레이용에서 일반 조명을 대신할 수 있는 램프로 개발할 수 있게 되었다[11]. LED는 갈륨비소 등의 화합물에 전류를 흘려 빛을 발산하는 반도체소자이다. LED는 아래 위에 전극을 붙인 전도물질에 전류가 통과하면 전자와 정공이라고 불리는 플러스 전하입자가 이 전극 중앙에서 결합해 빛의 광자를 발산하는 구조로 돼 있다. 이 물질의 특성에 따라 빛의 색깔이 달라지는 고효율 친환경 광원이다. LED의 전력소비량은 전구의  $\frac{1}{20} \sim \frac{1}{50}$  정도로 낮아서 에너지 절감을 도모할 수 있으며 수명도 타 광원에 비해 현저히 길어 폭넓게 사용되어지고 있다. 특히 Full color 구현이 가능해지고 추후 제품의 가격도 낮아질 것으로 예상되어 활용성이 급속히 높아질 전망이다[12].

고체소자조명은 10만 시간 이상의 장수명과 200lm/W에 근접하는 고효율 달성이 가능하고 점소등 횟수에 따라 수명이 감소하지 않고 고속 스위칭이 가능하여 디지털 조명 단계를 넘어 Ubiquitous 조명까지 그 연구 개발 영역이 펼쳐

져 있어 사람들의 관심이 높아지고 있다. LED의 수명이 잦은 스위칭에 영향을 받지 않으므로, 펄스폭 변조(PWM) 디밍 방식을 일반적으로 LED 모듈의 빛의 세기를 제어하는데 사용하고 있다. LED 모듈의 빛의 세기는 PWM 디밍 신호의 시간비율에 선형적으로 비례한다. 적색, 녹색, 청색으로 구성된 LED 조명은 넓은 범위의 색상을 나타낼 수 있으며, 원하는 색을 얻기 위해서는 각각의 R, G, B LED의 빛의 세기를 빛의 색 혼합 원리에 따라 조정할 수 있다[13].

## 2.2 빛과 인간의 관계

인간의 신체는 생물학적 시계를 가지고 있으며, 이러한 시계는 하루의 주기 또는 계절의 주기로 인체에 큰 리듬을 형성한다. 다음의 Fig. 1은 일반적인 하루의 주기에 따른 체온의 변화 및 인체의 호르몬 분비량을 나타낸 그래프이다 [14].

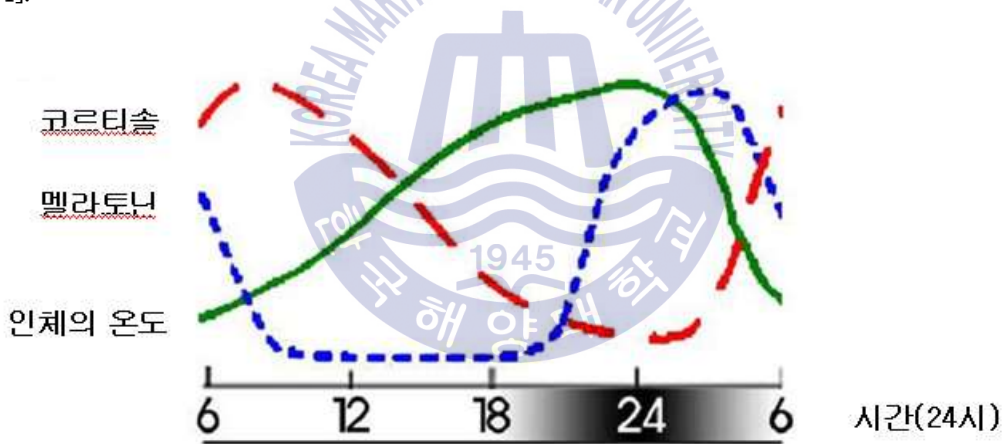


Fig. 1 생체주기에 따른 체온 및 호르몬 분비량

이 중 스트레스 호르몬이라 불리는 코르티솔 호르몬은 신체에 에너지를 공급하고 면역 시스템을 강화하기 위해 혈당을 높여주는 역할을 한다. 그러나 코르티솔이 오랜 시간동안 너무 많이 분비되면 체내의 시스템이 무너지게 된다. 그래프에서 보듯이 코르티솔은 아침에 상승하여 하루의 일과를 준비하도록 체내에 분비된다. 시간이 갈수록 점차 감소하며 저녁에는 최저치로 떨어지게 된다.

그러나 아침이 되어도 빛을 차단할 경우 코르티솔은 최저치의 상태를 유지하게 된다. 그러므로 생체리듬을 유지하거나 깨어진 생체리듬을 회복하기 위해 빛을 이용한 호르몬 조절이 필수적이다. 또한 수면 호르몬이라 불리는 멜라토닌 호르몬은 신체의 전반적인 기능이 평형을 이루도록 생체리듬을 조정하는 역할을 한다. 그리고 멜라토닌은 수면을 촉진하는 호르몬으로서 22시가 되면 분비량이 급격히 상승하여 수면을 촉진시키고, 인체가 숙면을 취할 수 있도록 유도하는 호르몬이다. 그러나 22시가 넘어서도 밝은 환경이 지속되면 멜라토닌 호르몬의 분비가 억제되어 불면증을 초래하거나 낮과 밤이 뒤바뀌는 등 신체리듬이 무너지는 현상이 발생할 수 있다. 따라서 호르몬의 분비로 인한 인체의 생체리듬을 조절하기 위해 빛의 중요성이 크다고 할 수 있다.

## 2.3 감성조명의 개요

감성조명은 조명기기에서 나오는 색의 온도와 밝기를 사람의 심리상태와 생체리듬에 알맞게 적용시키면서 공간을 변화시킬 수 있는 조명기술을 말한다. 빛은 인류가 시작된 이래 오늘날까지 인간의 생활에 커다란 영향을 미치는 에너지이다. 이로 인해 인간은 빛과 함께 할 때 더 많은 안락함을 느낄 수 있으며 안정된 마음으로 행복을 추구하려는 본능을 가지게 된다. 더구나 태양빛의 스펙트럼 특성과 하루의 빛의 리듬, 계절적인 빛의 변화에 모든 동식물들은 다양한 생리적 반응을 일으키도록 되어 있는 만큼 색온도의 심적인 효과를 조명 계획에 의도적으로 사용하는 것은 공간을 한층 더 쾌적하게 만드는 수단이 될 수 있다. 이런 이유로 현대인들은 가장 많은 시간을 보내는 실내공간에서 감성조명이 필요하다. 이미 조명은 빛을 발하는 단순 기능에서 벗어나 생활과 사회 전 분야에 걸쳐 하나의 예술 문화로 자리매김했다. 감성조명은 이러한 시대의 요구에 부응하고 웰빙을 추구하는 현대인들에게 꼭 필요한 기술이다[11].

## 2.4 감성조명의 필요성

조명에서 색온도는 인간의 감성에 큰 영향을 미치는 요소이다. 색온도란 광원의 빛을 수치적으로 표현하는 것인데, 한 물체의 색온도는 같은 색광의 흑체

의 온도(절대온도)로 표시된다. 통상적으로 색온도가 높을수록 푸른빛이 나게 되며, 색온도가 높은 빛은 시원한 느낌을 준다. 반면에 색온도가 낮을수록 붉은 색에 가까운 빛이 나게 되며, 이 빛은 따뜻한 느낌을 준다. 이러한 색온도는 사람이 느끼는 감성에 영향을 미치는 요인이기 때문에 최근 들어 업무의 효율성을 높이거나 쇼핑장소의 구매욕을 상승시키는데 있어서 이러한 색온도를 고려한 조명시설이 적용되고 있다. 예를 들면, 학습영역에 따른 빛의 변화가 학생의 뇌파와 심리상태에 영향을 미쳐 성적향상에 도움을 줄 수 있는 것으로 알려져 있으며 이와 관련된 스탠드형 조명이 판매되고 있다. 7600~8000K의 푸른빛 조명이 수리영역에서 집중력을 최대로 발휘할 수 있도록 해주며, 4200~4600K의 일반 조명은 언어영역에서 최고의 효과가 있으며, 2200~2600K의 붉은색 조명은 미술이나 음악 관련 학습을 할 때 최고의 집중력의 발휘하게 되어 성적 향상에 도움이 된다는 것이다.

하지만 종래의 색온도를 고려한 조명시설의 경우, 색온도가 처음 제작된 설정된 상태로 유지될 뿐, 색온도를 가변시킬 수 없는 단점이 있었다. 어느 한 가지 목적을 달성하기 위한 조명시설의 색온도는 계절에 따라서 또는 일조량이나 온도에 따라서 변화될 때 효율성이 극대화될 수 있다. 예를 들어, 휴식을 취하는 휴게실의 경우, 겨울철과 같이 외부 기온이 매우 낮을 때에는 조명시설의 색온도를 낮춰주어 사용자가 따뜻한 느낌을 받도록 하고, 여름철과 같이 외부 기온이 높고 습한 날에는 청량감을 줄 수 있는 높은 색온도의 광을 조사하여 사용자가 시원한 느낌을 받도록 할 때, 휴게실의 기능성을 상승시킬 수 있다. 종래의 조명시설들은 실장되는 LED와 형광체에 의해 색온도가 결정된 상태로 제작되기 때문에 조명시설을 장착한 다음에 다른 색온도를 갖는 광이 조사되도록 하기 위해서는 해당 색온도를 갖는 LED를 재 장착해야 하므로 LED의 재장착에 드는 시간과 비용의 낭비라는 문제가 있었다. 따라서 온도와 같은 외부 환경 요인에 따라 적정 색온도를 가질 수 있도록 색온도의 가변이 가능한 조명 램프의 필요성이 있다. LED는 전자제어가 가능하기 때문에 색상 변화가 가능하다. 따라서 외부환경에 따라 색상이 변화되는 LED 제어기의 필요성이 요구된다[15].



## 제 3 장 퍼지 제어 시스템

### 3.1 퍼지 이론의 개요

퍼지 이론은 1965년, 미국 버클리대학의 Lofti Zedeh 교수가 ‘퍼지집합 (FUZZY SET)’이란 논문을 발표하면서부터 시작되었으며 퍼지 이론은 퍼지 논리를 기초로 하는 이론이며 고전적인 집합론인 부울 논리를 확장한 개념이다 [16].

부울 논리를 기본으로 하는 집합이론에서는 특정한 객체가 주어진 집합  $A$ 의 원소로서 속하거나 속하지 않거나 둘 중의 하나이다. 그러나 퍼지 논리를 기반으로 하는 퍼지 집합이론에서는 이 객체가 구성 원소로서 특정 집합  $A$ 에 어느 정도로 속하는가 하는 것을 0과 1사이의 수치로써 나타내며 이를 소속의 정도라고 한다. 이것으로 인해 퍼지 논리가 인간의 불확실한 개념을 다룰 수 있도록 해주며, 물리적인 수치와 양에 대한 인간의 불확실한 논리적 개념을 정연한 수학적 표현 형태로 나타낼 수 있다는 특징이 있다[17].

### 3.2 보통집합과 퍼지집합 및 연산

고전적 집합론에서 집합이란 확정된 원소들의 모임을 나타내며, 이와 같이 경계가 명확한 보통집합(crisp set)  $A$ 와 전체집합  $X$ 의 원소를 집합  $\{0, 1\}$ 로 대응시키는 특성함수는 식 (1)로 표현된다.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases} \quad (1)$$

여기서 특성함수  $\mu_A$ 는 대집합 내의 원소  $x$ 에 대한  $A$ 의 “소속”을 표현하며, 보통집합에서는 전체집합 내의 원소에 대한 주어진 집합에서의 소속과 비소속 사이의 변화는 이산적으로 잘 정의되어 있다.

퍼지집합  $A$ 를  $\tilde{A}$ 로 표현하고, 만일 대집합의 한 원소  $x$ 가 퍼지집합  $\tilde{A}$ 에 소속되면 이에 대한 사상(mapping)은 다음과 같이 주어진다.

$$\text{소속정도} \rightarrow \mu_{\tilde{A}}(x) \in [0,1] \quad (2)$$

$$\tilde{A} = (x, \mu_{\tilde{A}}(x) | x \in X) \quad (3)$$

다음 Fig 2는 보통집합과 퍼지집합의 관계를 나타낸 것으로 두 집합사이의 소속정도를 알 수 있다.

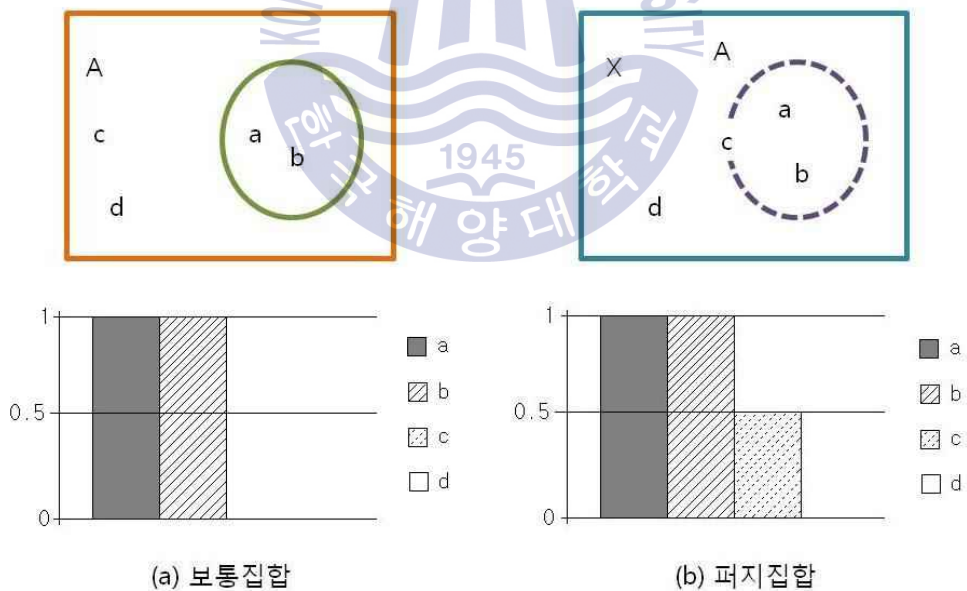


Fig. 2 보통집합과 퍼지집합의 표현

여기서 전체집합이  $X$ 일 때 퍼지집합  $\tilde{A}$ 를 이산적이고 유한한 형태로 표현하면 다음 식(4)와 같다.

$$\tilde{A} = \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_2)}{x_2} + \dots = \sum_i \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_i)}{x_i} \quad (4)$$

그리고 연속적이고 무한한 형태로 표현하면 식(5)와 같다.

$$\tilde{A} = \int \frac{\mu_{\tilde{A}}(x)}{x} \quad (5)$$

퍼지집합의 연산에는 합집합, 교집합, 여집합 3개의 기본적인 연산이 있으며 [18], 만약 전체 집합  $X$  내에 퍼지 집합  $\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \tilde{A}_3$ 가 존재한다고 하면, 퍼지집합의 합집합, 교집합, 여집합은 다음과 같다.

$$\text{합집합} : \mu_{\tilde{A}_1 \cup \tilde{A}_2}(x) = \mu_{\tilde{A}_1}(x) \vee \mu_{\tilde{A}_2}(x) \quad (6)$$

$$\text{교집합} : \mu_{\tilde{A}_1 \cap \tilde{A}_2}(x) = \mu_{\tilde{A}_1}(x) \wedge \mu_{\tilde{A}_2}(x) \quad (7)$$

$$\text{여집합} : \mu_{\tilde{A}_3}(x) = 1 - \mu_{\tilde{A}_3}(x) \quad (8)$$

퍼지이론에서 교집합에 사용되는 t-norms에는 다음과 같은 연산자가 있다.

$$\cdot \text{논리곱(logical product)} : a \wedge b = \min(a, b) \quad (9)$$

$$\cdot \text{대수곱(algebraic product)} : a \cdot b \quad (10)$$

$$\cdot \text{한계곱(bounded product)} : a \otimes b = \max(a+b-1, 0) \quad (11)$$

$$\cdot \text{격렬곱(drastic product)} : a \wedge b = \begin{cases} a, & b = 1 \text{ 일 때} \\ b, & a = 1 \text{ 일 때} \\ 0, & \text{기타} \end{cases} \quad (12)$$

퍼지이론에서 합집합에 사용되는 t-conorms에는 다음과 같은 연산자가 있다.

- 논리합(logical sum) :  $a \vee b = \max(a, b)$  (13)

- 대수합(algebraic sum) :  $a + b = a + b - ab$  (14)

- 한계합(bounded sum) :  $a \oplus b = \min(a + b, 1)$  (15)

- 격렬합(drastic sum) :  $a \vee b = \begin{cases} a, & b = 0 \text{ 일 때} \\ b, & a = 0 \text{ 일 때} \\ 0, & \text{기타} \end{cases}$  (16)

다음의 Fig. 3에서 Fig. 5는 퍼지 집합의 연산인 퍼지 합집합, 퍼지 교집합, 퍼지 여집합을 벤 다이어그램으로 나타낸 것이다.

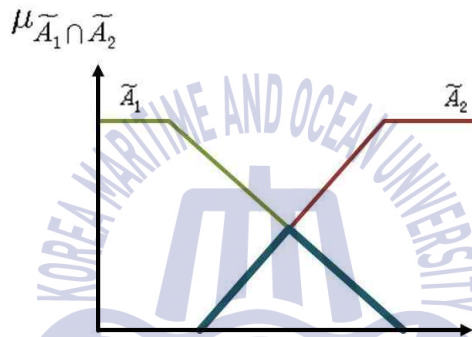


Fig. 3 퍼지 집합  $\tilde{A}_1$ 와  $\tilde{A}_2$ 의 교집합

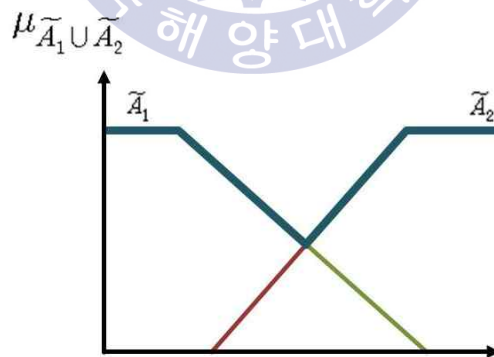


Fig. 4 퍼지 집합  $\tilde{A}_1$ 와  $\tilde{A}_2$ 의 합집합

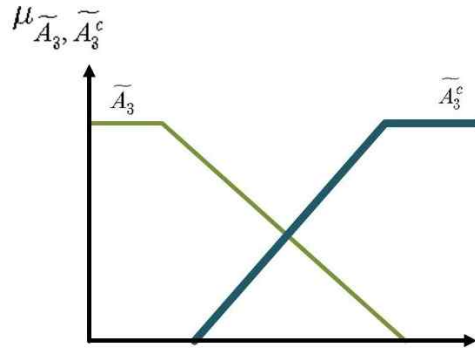


Fig. 5 퍼지 집합  $\tilde{A}_1$ 의 여집합

### 3.3 퍼지추론

“P이면 Q이다” 와 같은 조건명제를 이용하여 이루어지는 추론에는, 연역추론(modus ponens)와 대우추론(modus tollens)이 있다[19]. 이와 같은 비퍼지 명제에 대한 연역추론 및 대우추론을 퍼지명제로 확장시킨 것이 일반화된 연역추론(generalized modus ponens : GMP) 및 일반화된 대우추론(generalized modus tollens : GMP)이다[20].

여기서는 본 논문에서 사용한 일반화된 연역 추론법에 근거한 퍼지 추론 혹은 근사 추론에 대하여만 설명하기로 한다. 일반화된 연역추론은 다음과 같이

$$\text{(전제1)} \tilde{P} \rightarrow \tilde{Q} : \text{"if } x \text{ is } \tilde{A} \text{ then } y \text{ is } \tilde{B} \text{"}$$

$$\text{(전제2)} \tilde{P}^* : \text{"} x \text{ is } \tilde{A}^* \text{"}$$

---


$$\text{결론 } \tilde{Q}^* : \text{"} y \text{ is } \tilde{B}^* \text{"}$$

에 있어서  $\tilde{Q}^*$ 를 구하는 방법이다. 여기에도  $\tilde{P} \rightarrow \tilde{Q}$  및  $\tilde{P}^*$ 를 이용한 퍼지관계의 합성연산으로부터 직접 구하는 직접법(direct method)과, 퍼지명제의 언어적 진리값을 이용하여,  $\tilde{P}$ 의  $\tilde{P}^*$ 에 대한 상대적 진리 값  $L(\tilde{P})$ 을 구하고,  $L(\tilde{P} \rightarrow \tilde{Q})$  및  $L(\tilde{P})$ 를 이용하여  $\tilde{Q}$ 의 진리값  $L(\tilde{Q})$ 을 구한후,  $L(\tilde{Q})$ 를 이용하여

$\tilde{Q}$ 로부터  $\tilde{Q}^*$ 를 구하는 간접법(indirect method)이 있다. 이하에서는 본 논문에서 사용하는 'Mamdani's minimum fuzzy implication rule'인 직접법에 대하여 설명한다.

직접법은 퍼지집합  $\tilde{P} \rightarrow \tilde{Q}$  및  $\tilde{P}^*$ 의  $\tilde{Q}^*$ 는 합성연산에 의해 이루어지며, 결론  $\tilde{Q}^*$ 는

$$\tilde{Q}^* = \tilde{P}^* \circ (\tilde{P} \rightarrow \tilde{Q}) \quad (17)$$

로 구해진다. 여기서, 조건명제  $\tilde{P} \rightarrow \tilde{Q}$ 에 대한 구체적인 예로 Mamdani가 제안한

$$\tilde{P} \rightarrow \tilde{Q} = \tilde{R}_{\tilde{P} \times \tilde{Q}} \quad (18)$$

를 사용하면,  $\tilde{Q}^*$ 의 소속 함수는

$$\begin{aligned} \mu_{\tilde{R}_{\tilde{P} \times \tilde{Q}}}(y) &= \max_x (\mu_{\tilde{P}^*}(x) \wedge \mu_{\tilde{P}}(x) \wedge \mu_{\tilde{Q}}(y)) \\ &= \max_x \{ \mu_{\tilde{P}^*}(x) \wedge \mu_{\tilde{P}}(x) \} \wedge \mu_{\tilde{Q}}(y) \\ &= \omega \wedge \mu_{\tilde{Q}}(y) \end{aligned} \quad (19)$$

단,  $\omega = \max_x \mu_{\tilde{P}^*}(x) \wedge \mu_{\tilde{P}}(x)$ 로 된다. 여기서,  $\omega$ 는  $\tilde{P}^*$ 의  $\tilde{P}$ 에 대한 적합도를 나타내므로, 결론  $\tilde{Q}^*$ 는  $\tilde{Q}$ 의  $\omega$ 보다 큰 부분을 잘라낸 형태와 같다는 것을 알 수 있으며, Fig. 6은 이를 나타내고 있다.

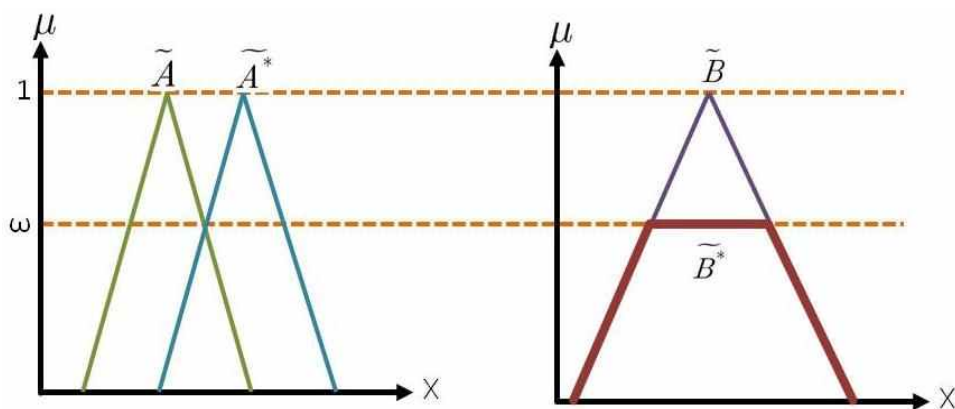


Fig. 6 Mamdani의 추론

### 3.4 퍼지 제어기의 구성

퍼지이론은 적절한 언어 값을 정의함으로써 불확실한 느낌을 그대로 나타낼 수 있다[21].

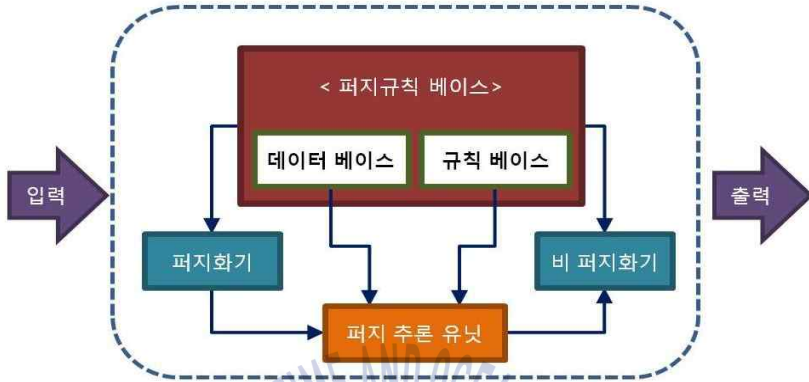


Fig. 7 퍼지 제어기의 기본구조

위의 Fig. 7은 기본적인 퍼지 제어기의 구조를 나타내고 있으며, 퍼지추론을 하는데는 IF-THEN 형식의 추론 규칙이 필요하며, 이를 “퍼지 IF-THEN규칙” 이라고 한다.

다음과 같은 2개의 규칙으로 된 2입력 1출력의 경우를 고려해보자.

$$R^1 : IF x \text{ is } A_1 \text{ AND } y \text{ is } B_1, \text{ THEN } z \text{ is } C_1 \quad (20)$$

$$R^2 : IF x \text{ is } A_2 \text{ AND } y \text{ is } B_2, \text{ THEN } z \text{ is } C_2 \quad (21)$$

여기에서  $A_1, B_1, A_2, B_2, C_1, C_2$ 는 퍼지 집합이다. 또한  $A_1, A_2 \subset X, B_1, B_2 \subset Y, C_1, C_2 \subset Z$ 이다.

식(20)와 식(21)과 같은 퍼지 규칙(fuzzy rule)에 있어서 첫 번째 규칙의 연결 강도를  $\alpha_1$ , 두 번째 규칙의 연결강도를  $\alpha_2$ 로 정의하면 다음의 식(22)과 같이 표현된다.

$$\alpha_1 = \mu_{A_1}(x_0) \wedge \mu_{B_1}(y_0), \quad \alpha_2 = \mu_{A_2}(x_0) \wedge \mu_{B_2}(y_0) \quad (22)$$

Mamdani 추론법에서  $i$ -번째 퍼지 규칙은 다음의 식(23)과 같이 정의된다.

$$\mu_{C_i}(W) = \alpha_i \wedge \mu_{C_i}(W) \quad (23)$$

최종적인 결론으로서의  $\mu_C(W)$ 는 다음의 식(24)와 같다.

$$\mu_C(W) = \mu_{C_1} \vee \mu_{C_2} = [\alpha_1 \wedge \mu_{C_1}(W)] \vee [\alpha_2 \wedge \mu_{C_2}(W)] \quad (24)$$

여기서  $\mu_C(W)$ 를 실제 제어 값으로 사용하기 위해서는 실수의 값으로 비퍼지화(defuzzification)하여야 한다. 본 논문에서는 식(25) 같은 무게중심법(center of gravity method)을 사용하였다.

$$\mu = \frac{\sum_{j=1}^n \mu_C(z_j) z_j}{\sum_{j=1}^n \mu_C(z_j)} \quad (25)$$

이러한 퍼지추론 과정을 도식적으로 나타내면 Fig. 8과 같다.

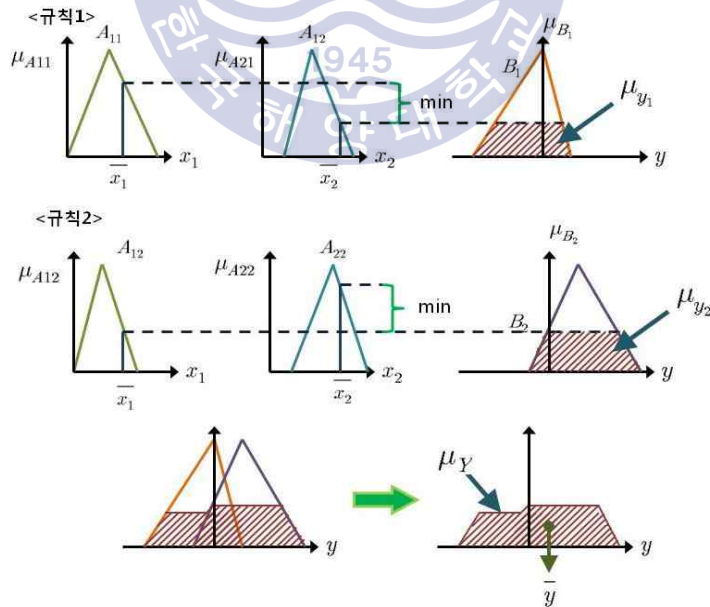


Fig. 8 퍼지 추론 과정



지금까지의 앞장에서 설명한 이론을 바탕으로 퍼지 제어기를 설계할 때 결정해야 할 주요사항을 정리하면 다음과 같다.

- 퍼지제어기의 입·출력변수들과 그들의 퍼지값 결정

제어대상이 주어지면 입·출력변수를 먼저 결정한 후, 입·출력 변수들의 언어값과 그 언어값에 대한 소속 함수를 결정한다[22].

- 지식기반(knowledge base)의 설계

제어에 필요한 지식은 규칙기반으로 표현할 수 있으며, 여기에서는 if-then 형식의 규칙으로 if절은 전반부 또는 전건부 등으로 불리고 then절은 후반부 또는 후건부 등으로 불리는 퍼지함의(fuzzy implication)로 제어규칙을 기술하는 경우를 생각한다[23].

- 수치적인 입력변수값의 퍼지화방법 결정

입력변수의 값은 수치적인 값이므로 추론과정에 직접 이용될 수 없으므로 입력변수의 값을 퍼지화기(fuzzifier)를 통하여 퍼지값으로 변환하여 사용하여야 한다[24].

- 퍼지추론 방법의 결정

추론법에는 무한치 논리를 기반으로 하는 추론법과 퍼지논리를 기반으로 하는 추론법이 있다.

무한치 논리를 기반으로 하는 추론법은 합성에 의한 방법, Tsukamoto의 방법, Takagi와 Sugeno의 방법으로 분류할 수 있다. 합성에 의한 추론법에는 Zadeh의 방법, Mamdani의 방법, Larsen의 방법 등이 있다[25].

- 출력 퍼지값의 비퍼지화 방법의 결정

프로세스의 입력인 제어량은 수치적인 값이어야 하므로 퍼지값인 추론결과를 수치적인 실수 값으로 변환하는 과정이 필요하며, 이 기능을 수행하는 것을 비

퍼지화기라고 부르며, 무게 중심법, 합중심법(center of sums method), 최대 면적 중심법(first of maxima method), 최대치 평균 방법(middle of maxima method or mean of maxima method), 등이 있다[26].

아래의 Fig. 9는 앞에서 설명한 다변수 퍼지 시스템의 내부 구조 및 연산 과정을 나타낸 것이다.

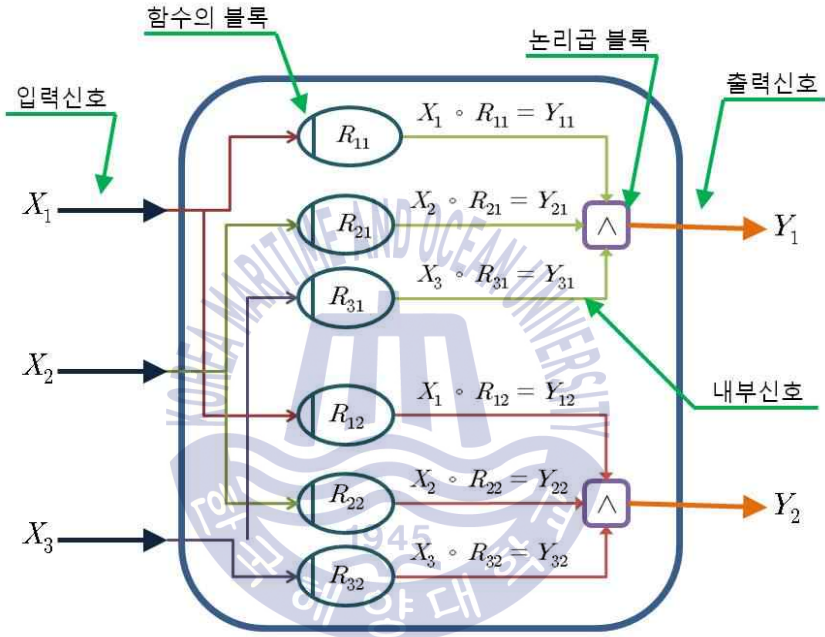


Fig. 9 다변수 구조 퍼지시스템의 블록도

## 제 4 장 Modbus 프로토콜

### 4.1 Modbus 프로토콜의 개요

Modbus 프로토콜은 1979년 미국의 모디콘사에서 개발되어 오늘날까지 전 세계의 빌딩자동제어 및 공장자동화 현장에서 가장 많이 사용되고 있는 통신방식 중 하나이다. 폭 넓은 사용자층을 확보하고 있어 프로토콜을 이기종간의 시스템에 인터페이스 하기 위한 프로토콜로 가장 널리 사용되고 있으며, 사용하기 쉽고, 자동제어에 사용되는 digital value, analog value의 데이터 형식에 제어/감시의 특징을 잘 표현 할 수 있고, 구현하기 쉽기 때문이다[27].

Modbus는 약 240개의 장비들을 서로 연결할 수 있다. 예를 들면, 온도와 습도를 측정하는 여러 장비들이 모니터링 서버로 현재 상태를 보고하도록 할 수 있다. 일반적으로 서버에서 센싱 장비들에게 질의를 보내고 장비들은 이에 대해 응답하는 형태로 동작한다.

간단하게 Modbus 프로토콜의 특징을 정리하면 아래와 같다.

- 산업용 통신 프로토콜로 개발되었다.
- 프로토콜이 오픈소스이므로 무료이다.
- 설치와 유지보수가 용이하다.
- 비트단위 또는 워드(16bits) 단위로 정보조작이 용이하다[28].

### 4.2 Modbus 프로토콜의 계층 구조

Modbus는 OSI 7계층 중 응용층에 속한 프로토콜이다. 이 프로토콜은 클라이언트/서버와 각기 다른 종류의 버스 또는 네트워크의 연결에 제공된다[29].



아래의 Fig. 11은 Modbus Master와 Slave간의 요청과 응답 리사이클 구조에 관해 나타낸 것이다.

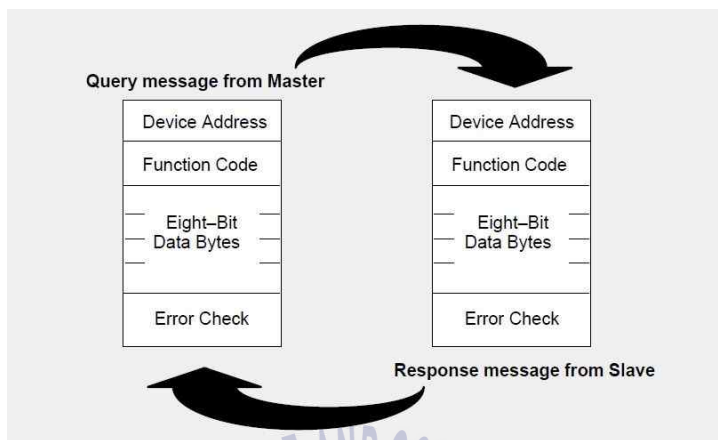


Fig. 11 Modbus Master와 Slave간의 요청과 응답 리사이클 구조[31]

#### 4.4 Modbus 프로토콜의 프레임 포맷

Modbus 통신 네트워크의 종류와 요청 정보의 형식에 따라 여러 가지 프레임 포맷이 존재한다. 이것은 RS-232또는 RS-485를 사용하는 Serial과 Ethernet을 사용하는 TCP로 나누어지진다. Modbus Serial은 ASCII와 RTU(Remote Terminal Unit)의 두 가지 전송 프레임 포맷을 가지고 있으며 Network에서는 같은 프레임 포맷을 사용해야 한다. ASCII 모드는 문제가 발생했을 때 보기가 편하며 High Level Language로 프로그램 된 Master PC에 적당하며 RTU 모드는 기계어로 프로그램 된 Master PC에 적당하다.

두 프레임 포맷을 비교하면 RTU 모드에서는 데이터가 하나의 8bit binary 문자로 전송되지만 ASCII 모드에서는 한 문자가 4bit씩 나누어져서 두 개의 문자로 전송되기 때문에 2배가 많아진다. 그러나 ASCII 데이터는 디코딩과 사용에 있어서 매우 편리하다. 또한 RTU 프레임 포맷은 데이터를 연속적으로 계속 전송해야 하지만 ASCII 모드는 상대적으로 늦은 Master를 위해서 1초의 Time Interval을 허용한다.

Error Check는 전송된 메시지 프레임의 정확도를 나타내는 것으로써 ASCII 모드는 LRC(Longitudinal Redundancy Check)이며 RTU 모드는 CRC (Cyclical Redundancy Check)로 에러를 체크한다[32].

본 연구에 사용된 프레임 포맷은 Modbus RTU 이며 이에 대한 정보는 Table1 과 같다.

**Table 1** Modbus RTU 프레임 포맷

이름	길이(bits)	기능
Start	28	최소 3.5character의 프레임으로 시작
Address	8	Station Address
Function	8	Function Code를 나타낸다.
Data	n*8	Data + 길이는 개별 메시지 type에 따라 달라진다
CRC	16	Error 체크
End	28	최소 3.5character의 전의 프레임과 다음 프레임 사이

#### 4.5 Modbus 프로토콜의 Function code

Modbus Function code는 레지스터나 코일(Coil)에 값을 쓰거나 읽는 명령들이다. Modbus에서는 4 가지 기억장소를 가지고 Command를 수행하게 된다. 정리하면 Table 2와 같은 영역으로 구분되어 진다[33].

**Table 2** Modbus Function code 및 기억장소

기억장소명	Function code	대상 비트수	평선이름	읽기/쓰기 가능여부
Coil	1	1bit	Read Coils	읽기/쓰기
	5		Write Single Coil	
	15		Write Multiple Coils	
Input Status	2		Read Discrete Inputs	읽기전용
Holding Resister	3	16bit	Read Holding Registers	읽기/쓰기
	6		Write Single Register	
	16		Write Multiple Register	
Input Resister	4		Read Input Registers	읽기전용

본 연구에는 Holding Resister인 3번과 6번의 코드를 이용하여 제어기를 구현 하였다.

#### 4.5.1 Read Holding Registers

Remote Device에 Holding register의 값을 읽어오고자 할 때 사용한다. 총 2 바이트로 구성되어 있으며, 시작주소는 0이며 정수형 값을 지원한다.

Table 3 Read Holding Register 프레임 요구 패킷

패킷	대상 바이트수	데이터
Function code	1 Byte	0x03
시작 주소	2 Byte	0x0000 부터 0xFFFF
입력 수량	2 Byte	1부터 125 (0x7D)

Table 4 Read Holding Register 프레임 응답 패킷

패킷	대상 바이트수	데이터
Function code	1 Byte	0x03
Byte count	1 Byte	2 x N*
Register 값	N* x 2 Byte	

※ N = 레지스터 개수

#### 4.5.2 Write Single Registers

Remote Device에 Holding register의 값을 쓰고자 할 때 사용한다. 총 2바이트로 구성되어 있으며, 시작주소는 0이며 정수형 값을 지원한다[27].

Table 5 Write Single Register 프레임 요구 패킷

패킷	대상 바이트수	데이터
Function code	1 Byte	0x06
시작 주소	2 Byte	0x0000 부터 0xFFFF
Register 값	2 Byte	0x0000 부터 0xFFFF

Table 6 Write Single Register 프레임 응답 패킷

패킷	대상 바이트수	데이터
Function code	1 Byte	0x06
시작 주소	2 Byte	0x0000 부터 0xFFFF
Register 값	2 Byte	0x0000 부터 0xFFFF

## 제 5 장 Modbus LED 감성조명 제어기의 구성 및 설계

본 장에서는 LED 조명 시스템의 소프트웨어 측면에서 구성 및 설계를 제시하였다. 퍼지 알고리즘 구성 및 제어 규칙의 설정, 비퍼지화 과정, Modbus Adress 할당 및 제어기의 동작 Flow Chart로 구성되어 있다.

### 5.1 퍼지 알고리즘의 구성

본 연구에서 마이크로프로세서로 입력되는 값은 온도, 습도, 조도 3가지 변수이다. 여기서 온도와 습도는 퍼지연산으로 LED 조명 색의 값을 도출하며 조도는 퍼지연산으로 도출된 LED 조명 색의 값을 비교연산으로 주변 밝기에 따라 출력을 할지 안할지 결정하게 된다. Fig. 12는 본 논문에서 이용된 제어시스템의 대략적인 블록도이다.

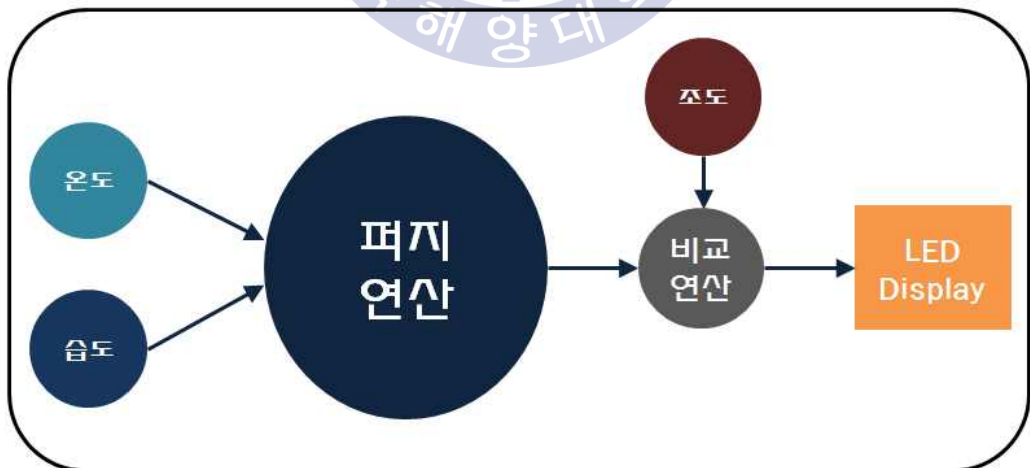


Fig. 12 제어시스템의 블록도



그리고 본 논문의 퍼지추론에서 사용된 입·출력 언어변수의 설정은 다음의 Table7과 같다.

Table 7 퍼지추론 언어변수의 설정

온도입력의 언어변수	습도입력의 언어변수	LED출력의 언어변수
매우 추움	매우 건조	최저
추움	건조	적음
따뜻함	보통	보통
더움	습함	많음
매우 더움	매우 습함	최대

## 5.2 퍼지 멤버십 함수(Fuzzy Membership Function)

앞에서 제시한 대로 언어변수의 설정을 통해 온도 값의 범위를 매우 추움(VLT), 추움(LT), 따뜻함(MT), 더움(HT), 매우 더움(VHT)의 5부분으로 나누어 퍼지 멤버십 함수를 할당하였다. 퍼지 멤버십 함수의 범위는 Fig. 13과 같다.

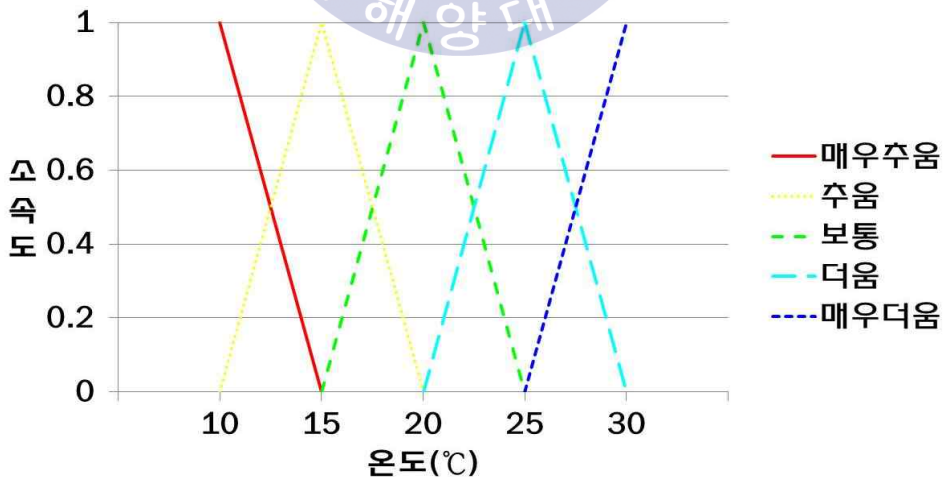


Fig. 13 온도입력 퍼지 멤버십 함수

‘매우추움’의 경우 10도 이하면 소속도가 1이며 15도까지는 소속도를 가지고 있다. 그리고 ‘따뜻함’의 경우 20도에서 완벽한 1의 소속도를 가지며, 15도에서 25도 사이에서 삼각형 모양의 소속도를 가지게 된다. 퍼지 멤버십 함수 값을 읽는 방법은 다음과 같다. 예를 들어 온도가 17.5°C인 경우 추움의 퍼지 멤버십 함수는 0.5, 따뜻함의 퍼지 멤버십 함수는 0.5이며 나머지 항목의 퍼지 멤버십 함수는 0이다.

다음으로 습도입력에 관한 언어변수 설정에 따라 습도 값의 범위를 매우건조(VLH), 건조(LH), 보통(MH), 습함(VHH)의 5부분으로 나누어 퍼지 멤버십 함수를 할당하였다. 퍼지 멤버십 함수의 범위는 Fig. 14와 같다.

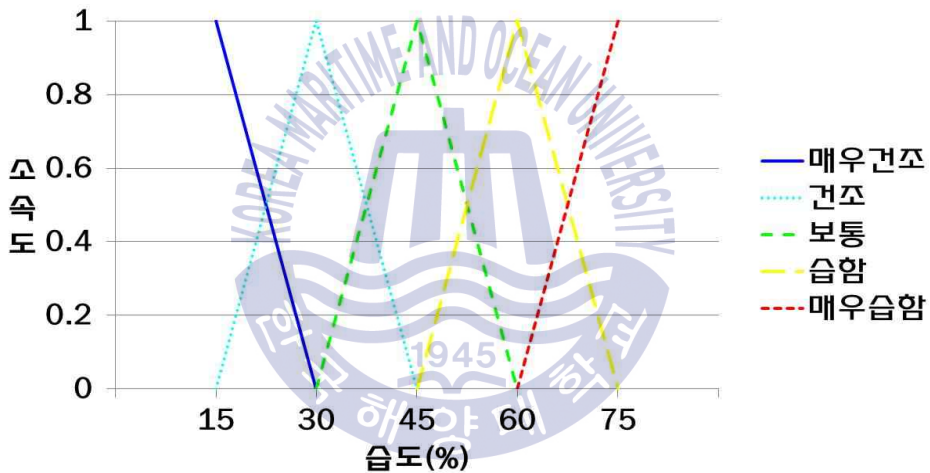


Fig. 14 습도입력 퍼지 멤버십 함수

‘매우건조’의 경우 15% 이하면 소속도가 1이며 30%까지는 소속도를 가지고 있다. ‘건조’의 경우 30%에서 완벽한 1의 소속도를 가지며 15%에서 45% 사이에서 선형적으로 변화되는 소속도를 가지게 된다.

다음으로 LED 출력에 관한 언어변수 설정에 따라 LED 출력 값의 범위를 최저(VLO), 적음(LO), 보통(MO), 많음(HO), 최대(VHO)의 5부분으로 나누어 퍼지 멤버십 함수를 할당하였다. 퍼지 멤버십 함수의 범위는 Fig. 15와 같다.

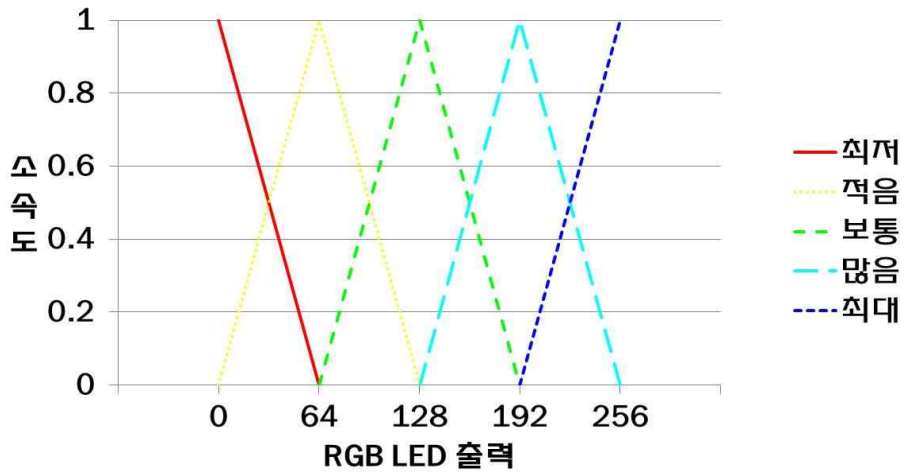


Fig. 15 LED 출력 퍼지 멤버십 함수

위의 LED 출력 퍼지 멤버십 함수를 바탕으로 온도입력과 습도 입력에 따른 RGB LED 출력범위를 추가하여 온도, 습도 변화에 따른 일관적인 출력을 낼 수 있도록 유도하였다. Fig. 16, 17은 온도, 습도입력에 따른 RGB LED 출력 범위이다.

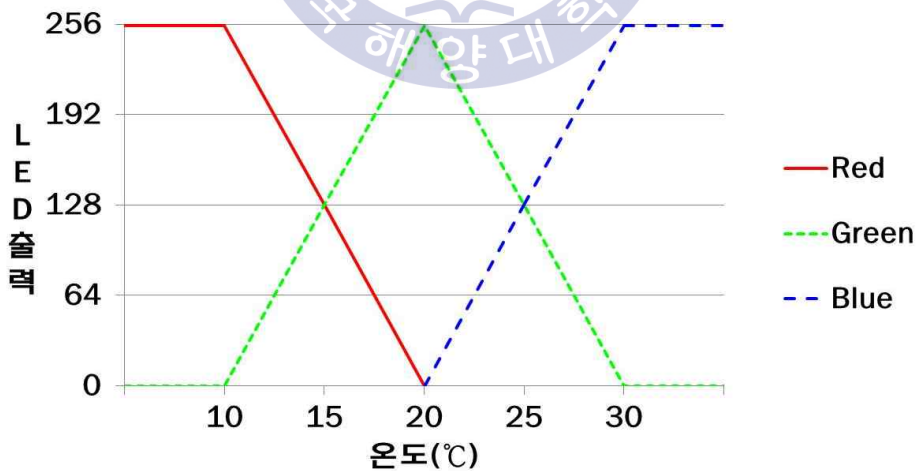


Fig. 16 온도입력에 따른 RGB LED 출력 범위

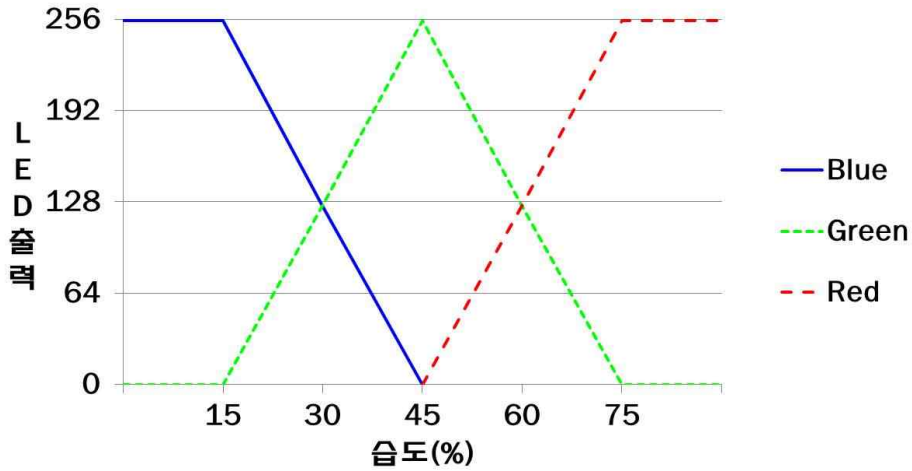


Fig. 17 습도입력에 따른 RGB LED 출력 범위

Red, Green, Blue의 LED에 위의 함수 퍼지 멤버쉽을 출력 시 3가지 색이 섞이게 된다. 그리고 멤버쉽의 경계구간에서의 애매모호 한 색이 나올 수 있다. 그리고 위의 RGB LED출력 범위를 바탕으로 13가지 항목으로 나누어 대략적인 출력 색상을 예상할 수 있으며 색상은 Red, Yellow, Green, Cyan, Blue, Magenta, Hot Pink, Orange, Lawn Green, Spring Green, Sky Blue, Blue Violet, Forest Green의 각각의 범위는 다음과 같다.

<b>Red</b> 출력 Red : 최대 Green : 최겨 Blue : 최겨	<b>Yellow</b> 출력 Red : 보통 Green : 보통 Blue : 최겨	<b>Green</b> 출력 Red : 최겨 Green : 최대 Blue : 최겨	<b>Cyan</b> 출력 Red : 최겨 Green : 보통 Blue : 보통	<b>Blue</b> 출력 Red : 최대 Green : 최겨 Blue : 최겨	<b>Magenta</b> 출력 Red : 보통 Green : 최겨 Blue : 보통	
<b>Hot Pink</b> 출력 Red : 보통 Green : 짝음 Blue : 짝음	<b>Orange</b> 출력 Red : 짝음 Green : 짝음 Blue : 최겨	<b>Lawn Green</b> 출력 Red : 짝음 Green : 많음 Blue : 최겨	<b>Spring Green</b> 출력 Red : 최겨 Green : 많음 Blue : 짝음	<b>Sky Blue</b> 출력 Red : 짝음 Green : 짝음 Blue : 많음	<b>Blue Violet</b> 출력 Red : 짝음 Green : 짝음 Blue : 보통	<b>Forest Green</b> 출력 Red : 짝음 Green : 보통 Blue : 짝음

Fig. 18 LED 예상출력 색상

### 5.3 퍼지 제어 규칙(Fuzzy Control Rules)의 설정

본 연구에서 퍼지입력 규칙은 온도 5가지, 습도 5가지이고 출력 규칙은 5가지이며 이 규칙들을 통하여 25가지의 제어 규칙을 설정 할 수가 있다.

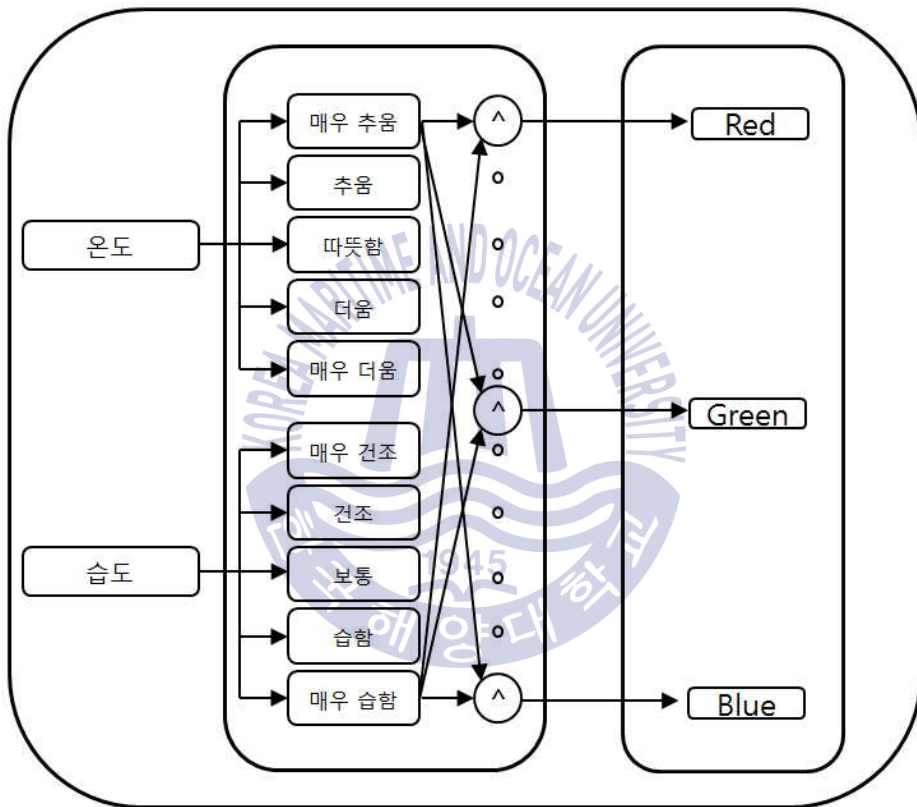


Fig. 19 제어기의 다변수 구조 퍼지시스템의 블록도

위의 퍼지알고리즘을 바탕으로 아래의 Table 8과 같이 Fuzzy Rule Lookup Table을 구성하였다.

Table 8 Fuzzy Rule Lookup Table

온도 습도	매우 추움 (10℃) Red	추움 (15℃)	따뜻함 (20℃) Green	더움 (25℃)	매우 더움 (30℃) Blue
매우 건조 (15%) Blue	Magenta	Blue Violet	Cyan	Sky Blue	Blue
건조 (30%)	Hot Pink	Forest Green	Spring Green	Cyan	Sky Blue
보통 (45%) Green	Yellow	Lawn Green	Green	Spring Green	Cyan
습함 (60%)	Orange	Yellow	Lawn Green	Forest Green	Blue Violet
매우 습함 (75%) Red	Red	Orange	Yellow	Hot Pink	Magenta

앞에서 설명한 Table 8의 Fuzzy Rule Lookup Table을 If-Then 규칙으로 변환하여 Fuzzy Rule을 아래의 25가지 항목으로 나누어 정의하였다.

- R1 : If 온도 = 매우추움 and 습도 = 매우건조 then Color = Magenta
- R2 : If 온도 = 매우추움 and 습도 = 건조 then Color = Hot Pink
- R3 : If 온도 = 매우추움 and 습도 = 보통 then Color = Yellow
- R4 : If 온도 = 매우추움 and 습도 = 습함 then Color = Orange
- R5 : If 온도 = 매우추움 and 습도 = 매우습함 then Color = Red
- R6 : If 온도 = 추움 and 습도 = 매우건조 then Color = Blue Violet
- R7 : If 온도 = 추움 and 습도 = 건조 then Color = Forest Green
- R8 : If 온도 = 추움 and 습도 = 보통 then Color = Lawn Green
- R9 : If 온도 = 추움 and 습도 = 습함 then Color = Orange

- R10 : If 온도 = 추움 and 습도 = 매우습함 then Color = Orange
- R11 : If 온도 = 따뜻함 and 습도 = 매우건조 then Color = Cyan
- R12 : If 온도 = 따뜻함 and 습도 = 건조 then Color = Spring Green
- R13 : If 온도 = 따뜻함 and 습도 = 보통 then Color = Green
- R14 : If 온도 = 따뜻함 and 습도 = 습함 then Color = Lawn Green
- R15 : If 온도 = 따뜻함 and 습도 = 매우습함 then Color = Yellow
- R16 : If 온도 = 더움 and 습도 = 매우건조 then Color = Sky Blue
- R17 : If 온도 = 더움 and 습도 = 건조 then Color = Sky Blue
- R18 : If 온도 = 더움 and 습도 = 보통 then Color = Spring Green
- R19 : If 온도 = 더움 and 습도 = 습함 then Color = Forest Green
- R20 : If 온도 = 더움 and 습도 = 매우습함 then Color = Hot Pink
- R21 : If 온도 = 매우더움 and 습도 = 매우건조 then Color = Blue
- R22 : If 온도 = 매우더움 and 습도 = 건조 then Color = Sky Blue
- R23 : If 온도 = 매우더움 and 습도 = 보통 then Color = Cyan
- R24 : If 온도 = 매우더움 and 습도 = 습함 then Color = Blue Violet
- R25 : If 온도 = 매우더움 and 습도 = 매우습함 then Color = Magenta

예를 들어 온도가 매우 덥고 습도가 매우 습한 경우 LED 색상은 Magenta(분홍)색이 켜지게 되나, 매우 덥고 매우 습하다는 명제(조건)에 얼마나 일치, 즉 소속도의 값이 얼마나 확률의 값 1에 수렴하는가에 따라 기존의 분홍색에서 미세하게 색상이 변화하게 된다. 그러므로 퍼지제어를 원활하게 하기 위해서는 위의 Lookup Table에 나온 13가지 색상의 기준점을 제대로 잡아서 퍼지 멤버쉽 함수를 설정해야 한다. 전문가 지능시스템이란 퍼지제어를 하고자 하는 프로젝트에 대해 많은 경험과 지식을 보유한 전문가의 의견을 반영하는 것으로서, 개발자는 이런 전문가의 의견을 얼마만큼이나 잘 이해하고 퍼지 룰에 반영하여 설정하느냐에 따라 프로젝트에 사용된 퍼지제어 알고리즘의 완성도가 결정되게 된다[15].

## 5.4 비퍼지화(Defuzzification) 과정

앞장에서 계산한 퍼지화 된 수치는 직접 출력(LED Display의 동작값)으로 사용할 수 없다. 그러므로 실제로 사용가능한 수치로 변환하기 위해 Defuzzifier (비퍼지화) 과정을 거쳐야 한다. 비퍼지화를 위해서는 여러 방법이 있으나 주로 다음의 식 (26)과 같이 무게중심법(Center of gravity method)으로 구한다.

규칙  $R_i$ 의 온도 조건을  $A_i$ , 습도 조건을  $B_i$ , Color를  $C_i$ 라 하고, 조건 A, B에 대한 센서의 측정값을 a, b라고 할 때,

$$c = \frac{\sum_{i=1}^{25} \min(\mu_{A_i}[a], \mu_{B_i}[b]) * C_i}{\sum_{i=1}^{25} \min(\mu_{A_i}[a], \mu_{B_i}[b])} \quad (26)$$

무게중심법을 이용하여 비퍼지화 된 결과 c는 LED 색상을 동작시킬 수 있는 실제 출력 값이다. 출력 값인 색상은 Red, Yellow, Green, Cyan, Blue, Magenta, Hot Pink, Orange, Lawn Green, Spring Green, Sky Blue, Blue Violet의 열두 가지 항목으로 나누었으며 각각의 값은 LED 출력의 실제 동작 값이므로 퍼지 값이 아닌 크리스프 값이어야 한다. 색상의 값은 온도가 매우 추움에서 매우 더움으로 갈수록 색의 파장이 짧은 곳에서 긴 곳인 Red, Green, Blue 순으로 정렬 하였으며 습도는 매우 건조에서 매우 습함으로 갈수록 색의 파장을 긴 곳에서 짧은 곳인 Blue, Green, Red 순으로 할당하였다. 예를 들어 Red: 보통, Green: 적음, Blue: 적음이 나오게 되면 RGB 색상이 섞인 Hot Pink 색상이 나오게 될 것이다. 앞에서 언급한 온도와 습도의 애매한 입력 값에 따라 색상 또한 애매한 값이 나오게 되어 인접한 두 색의 조합으로 표현될 것이다[15].



## 5.5 Modbus Address 할당

4.5장에서 제시한 것과 같이 Holding Resister인 3번과 6번의 코드를 이용하여 제어기에 프로그래밍을 하였다. Holding Resister의 Address 의 시작은 40001번 지부터 49999까지 의 체계이며 1주소 당 2Byte(16Bit)의 크기를 가진다. 사용 Address의 할당 은 MCU의 성능에 따라 적당한 할당이 필요하며 본 연구에는 40001번지부터 40038번지까지 사용하였다. Modbus Address 사용 내용은 아래 Table 9와 같다. 40001번지부터 40038번지 중 사용하지 않은 Address는 Spare 영역이 되며 향후 용도에 따라 추가 및 삭제가 가능하다.

Table 9 Modbus Adress 할당 Table

주소	용도	범위	입력/출력
40001	1번 LED Red Manual Set	0 ~ 255	입력
40002	1번 LED Green Manual Set	0 ~ 255	
40003	1번 LED Blue Manual Set	0 ~ 255	
40004	2번 LED Red Manual Set	0 ~ 255	
40005	2번 LED Green Manual Set	0 ~ 255	
40006	2번 LED Blue Manual Set	0 ~ 255	
40007	제어기 Remote 모드 Set	0 ~ 4	
40008	패턴 시나리오 속도 Set	0 ~ 6	
40021	감성조명 Red 값 출력 상태	0 ~ 255	출력
40022	감성조명 Green 값 출력 상태	0 ~ 255	
40023	감성조명 Blue 값 출력 상태	0 ~ 255	
40031	제어기 Local/Remote 상태	0:Local, 1:Remote	
40034	현재 온도 상태(℃)	0 ~ 130	
40035	현재 습도 상태(%)	0 ~ 100	
40036	현재 조도 상태(Lux)	0 ~ 360	

## 5.6 제어기의 동작 Flow Chart

본 제어기설계의 Local 모드, Remote(Modbus 통신) 모드 및 전반적인 동작의 System설계를 Flow Chart로 나타내었으며 Flow Chart는 Fig. 20과 같다.

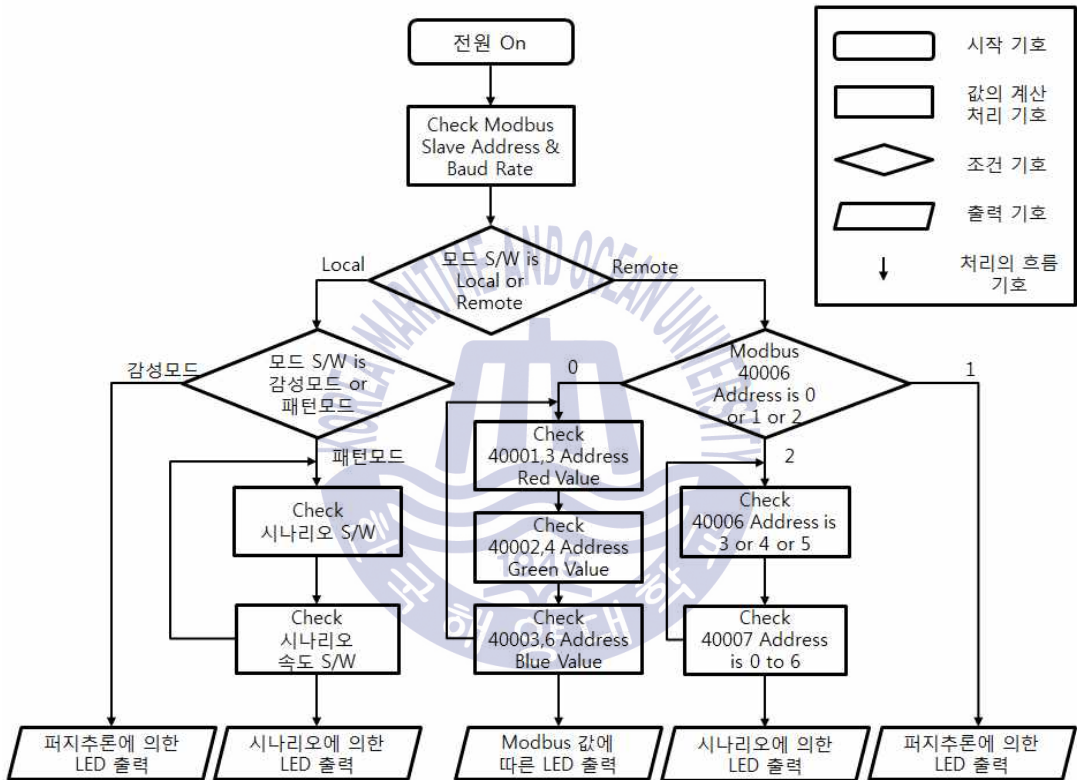


Fig. 20 제어기의 System Flow Chart

위의 Flow Chart와 같이 Local뿐만 아니라 Remote에서 제어기의 On/Off 및 모드 변경이 가능하며 Manual 모드로 동작 시 RGB LED 각각의 채널 출력을 임의로 조정이 가능하게 설계되어 있다.

## 제 6 장 Modbus LED 감성조명 제어기의 구현

### 6.1 하드웨어 구성

제어보드의 하드웨어구성은 입력변수인 온도, 습도, 조도의 입력을 받는 센서부와 이를 처리하여 퍼지연산을 수행하는 MCU부, 퍼지연산 결과 값의 출력을 표현하기위한 LED 제어부, Modbus Devices들과 통신을 할 수 있게 하는 통신부, 각종 통신 및 모드 설정을 할 수 있는 설정부, 220VAC 전원을 12VDC의 LED 모듈 및 제어기에 전원을 공급할 수 있게 변환을 해주는 SMPS, 12VDC의 전원을 제어기에 사용가능한 5VDC로 변환 해주는 전원부로 구성이 되어있다.

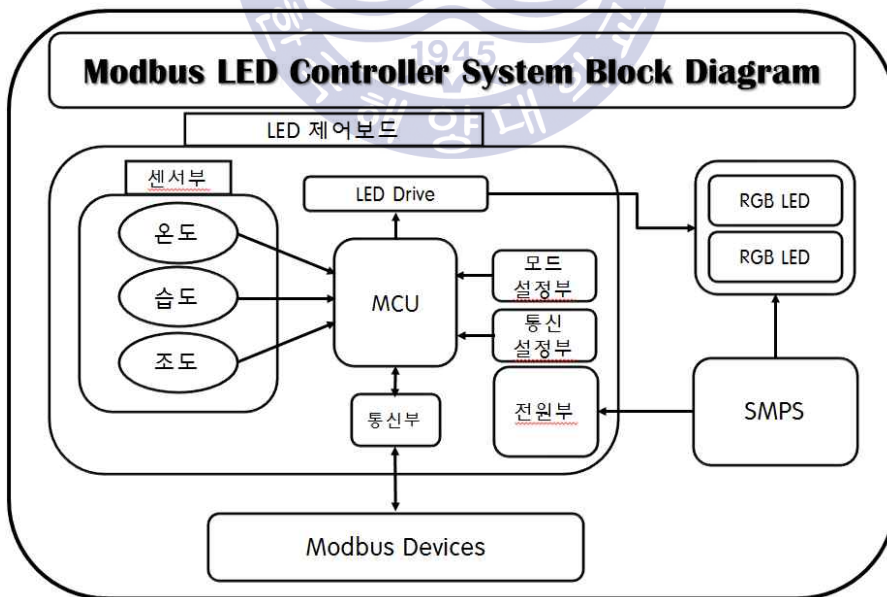


Fig. 21 System Block Diagram

## 6.2 각 부의 구조와 기능

### 6.2.1 MCU 및 모드&통신 설정부

본 연구의 MCU는 컴파일 테크놀로지 주식회사의 8Bit 프로세서인 CUBLOC CB280 모델을 사용하였다. 이 프로세서는 베이직 언어 및 레더로직을 지원하여 시퀀스(Sequence)제어가 가능한 특징을 가지고 있으며 기본적인 내부 프로세서는 아트멜(ATmel)사의 ATmega128을 이용한 제품이다. 본 연구에서는 베이직 언어를 이용해 프로그래밍 하였으며 프로세스의 스펙은 Table 10과 같다.

**Table 10** CUBLOC CB280 Specification

Processor	CUBLOC CB280
Microprocessor	Atmega128 @ 18.432Mhz
Program Memory (Flash)	80KB
Data Memory (RAM)	2KB(BASIC) + 1KB(Ladder Logic)
EEPROM	4KB EEPROM
Program Speed	~36,000 instructions/sec
General Purpose I/O	49 I/O lines (5V TTL) (input/output configurable)
Serial Ports for Communication	- 2 High-speed hardware-independent serial ports (Channel 0: RS232C 12V, Channel 1: RS232C 12V & TTL 5V) - Configurable Baud rates: 2400bps to 230,400 bps
Analog Inputs	8 Channel 10-bit ADCs
Analog Outputs	- 6 Channel 16-bit PWMs (DACs) - Configurable Frequency: 35hz to 1.5Mhz
External Interrupts	4 Channels
High Speed Counters	2 Channel 32-bit Counters (up to 2Mhz)
Power	5V, 40mA (ports unloaded)
RTC (Real Time Clock)	No
Timers	- 1 User Configurable Timer - Configurable Interval Units = 10ms
Data Memory Back-up	None
Operating Temperature	-40 °C to 120 °C
Package	64-pin Module
Size	1.4"L x 1"W x 0.4"H (35 x 25.4 x 11 mm)

MCU는 온도, 습도, 조도 센서에서 들어오는 전압을 ADC를 통해 10Bit 디지털 값으로 변환을 하며 퍼지연산 프로세싱 및 결과 값을 PWM 출력으로 만들어내어 RGB LED 모듈의 각 색상들 즉 Red, Green, Blue의 비율을 조절한다. 본 MCU는 6채널 PWM을 지원하므로 RGB당 2개씩 연결하여 RGB LED 2채널을 연결할 수 있게 되고 또 이 MCU는 16Bit PWM 출력이 가능하나 프로그래밍의 편리함을 도모하고자 RGB 색채계와 같은 값인 0~255 8Bit PWM 출력으로 설정하여 사용하였다. 그리고 MCU자체에서 Modbus RTU 프로토콜을 지원하기 때문에 쉬운 프로그래밍이 가능하였으며 1개의 Serial Port를 이용해 Modbus 통신이 가능하도록 설정 및 15Point Input을 Dip S/W에 연결하여 모드&통신 설정을 가능하도록 하였다.

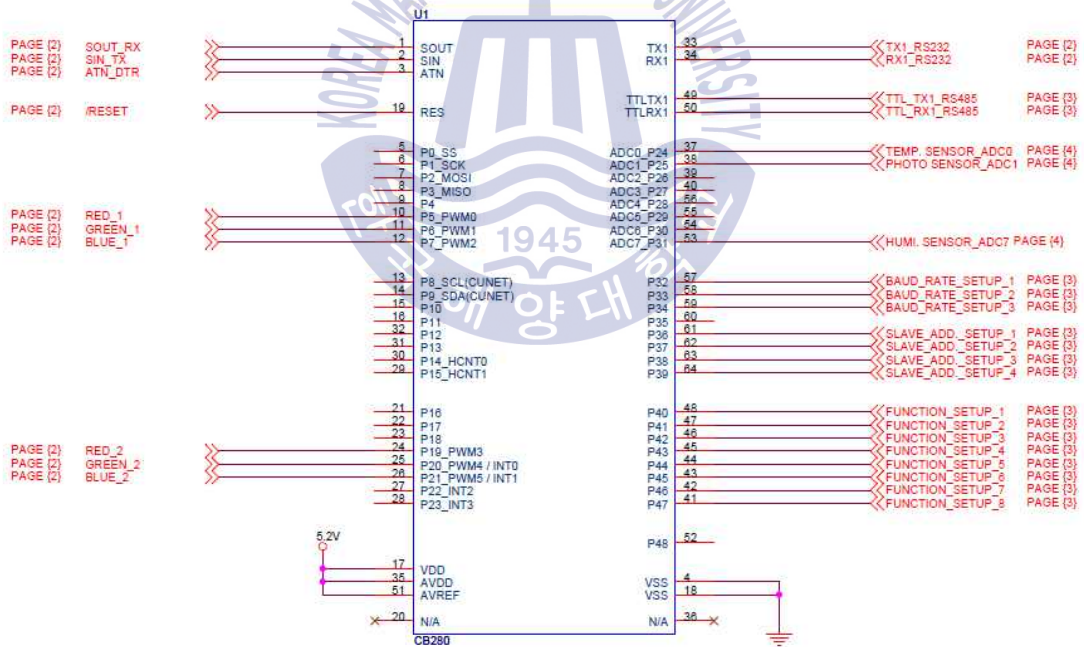


Fig. 22 CUBLOC CB280 회로도

## 6.2.2 LED 제어부

MCU의 출력 값을 실제적인 색상으로 내주는 LED 모듈은 RGB LED 3구 모듈을 사용하였다. MCU에서 나오는 값은 실제로 모듈을 구동시키지는 못한다. 모듈은 의 구동전압은 12VDC로 전원부인 SMPS부에서 공급을 한다. MCU에서 나오는 값은 5VDC로 이 값을 증폭을 위해서 파워MOSFET의 Gate단으로 연결되어 실질적으로 모듈을 on-off시키는 기능을 한다. 즉, FET는 스위치의 기능을 하는 것으로 게이트단의 신호에 따라 모듈은 에 전원을 인가하여 색상을 나타내게 된다.

LED 모듈에는 R, G, B, Com의 총 4개의 선이 있으며, Com을 제외한 나머지 3개의 선에 각각 N-Channel Power MOSFET이 연결되어 색상을 제어하게 된다. 신호 증폭을 위해 MOSFET으로 선택한 이유는 스위칭 속도가 일반TR보다 빨라 보다 정확한 LED시나리오를 표현할 수 있고 큰 전류를 흘릴 수 있기 때문이다. 그리고 Power MOSFET 모델은 FQD30N06으로 선정하였다. 이 모델의 경우, 흘릴 수 있는 최대전류가 22.7A지만 12VDC 입력시 DC로 흘릴 수 있는 최대 전류는 대략3A 이므로 모듈이 개당 0.06A의 소비전류를 가지는 LED 모듈을 시나리오 출력이 아닌 고정색으로 사용 시 이론상 채널당 모듈을 50개 까지 연결할 수 있다. 회로는 Fig. 23과 같이 구성하였다.

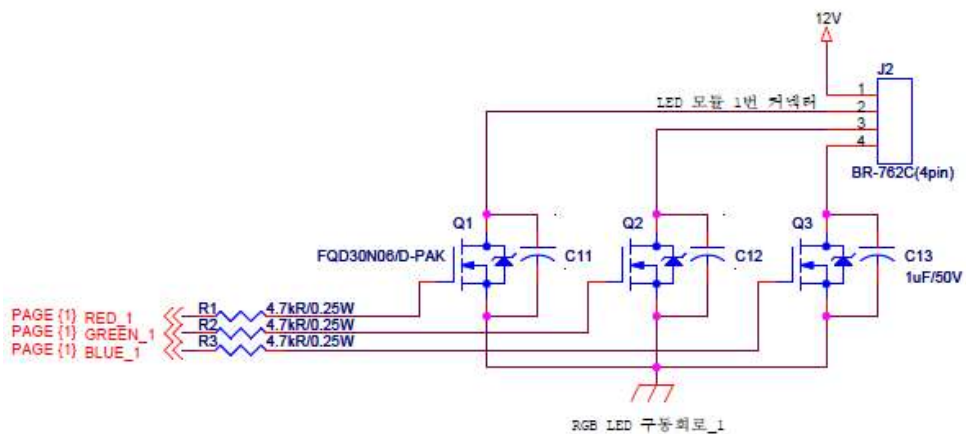


Fig. 23 RGB LED 제어부 회로도

본 연구에서 LED 제어부 회로는 (류창완, 2013, p.39)의 회로를 참고하여 Test를 진행하던 중 2A 이상의 부하를 연결하여 동작시 MOSFET이 수분 안에 소손이 되는 것을 확인하여 오실로스코프로 파형을 측정결과 아래와 같이 서지 노이즈가 발생한 것을 Fig. 24를 통해 확인할 수 있다.

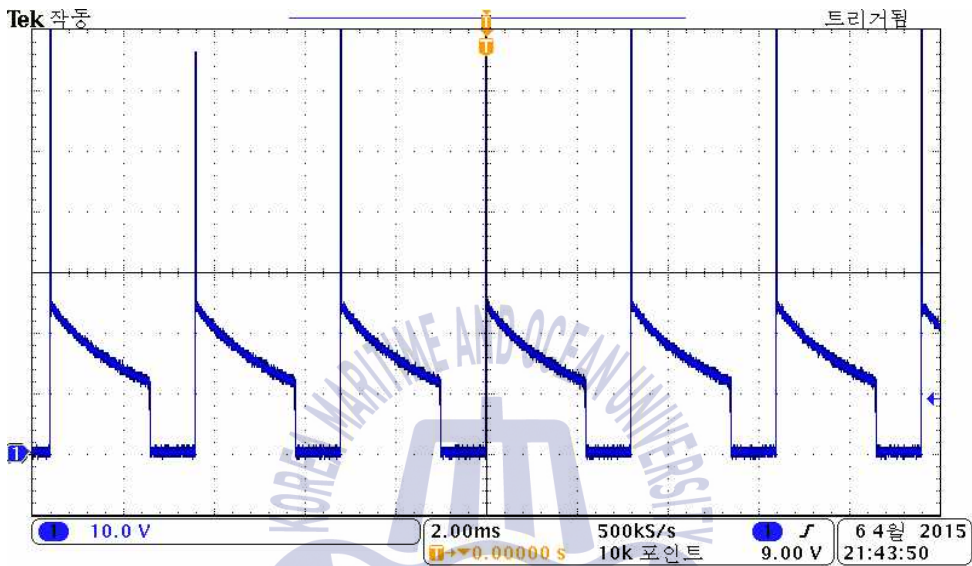


Fig. 24 Gate 저항 100Ω 설치 오실로스코프 파형

위의 서지 노이즈는 MOSFET 내압인 60VDC를 초과하는 값으로 MOSFET이 소손이 된 것으로 판단 Gate 저항을 기존 100Ω저항을 위의 회로와 같이 4.7kΩ으로 변경하여 Gate MCU 쪽의 PWM 드라이브 전류제한의 폭을 높였다. 그 결과 Fig. 25과 같이 20VDC 정도의 서지 노이즈를 가지는 파형을 측정 할 수 있었다. 20VDC의 서지 노이즈는 4.7k옴을 증가시켜 줄일 수 있지만 MOSFET 스위칭 속도에 영향을 줄 수 있으므로 증가시키지 않고 Source와 Drain사이에 1μF커패시터를 설치하여 서지 노이즈를 줄일 수 있었다. 1μF의 커패시터 용량은 실험수치인 2A에 맞추어 진 용량으로 부하가 증가할 시 커패시터의 용량은 증가되어야 할 것이며 1μF 추가후의 파형 결과는 Fig.26에서 확인 할 수 있다.

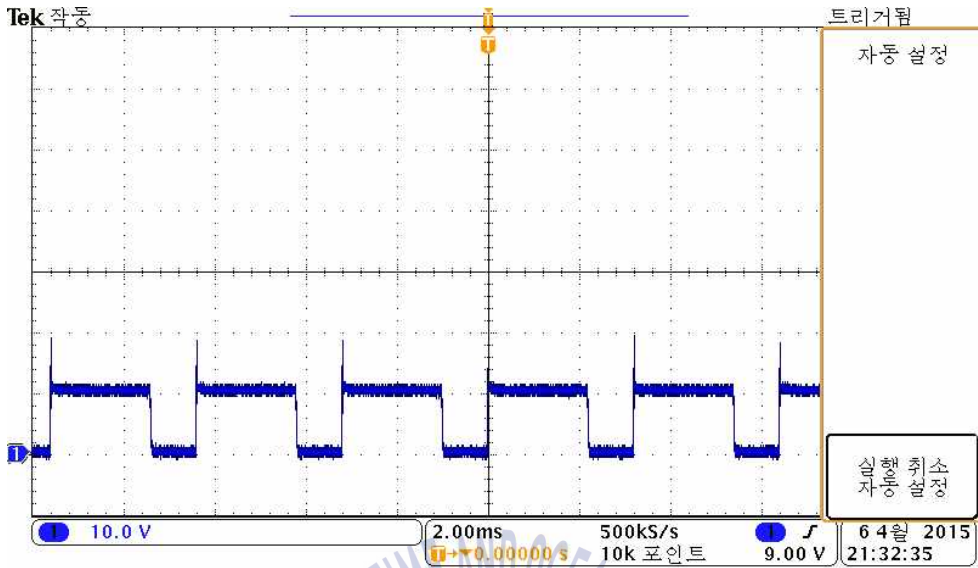


Fig. 25 Gate 저항 4.7kΩ 설치 오실로스코프 파형

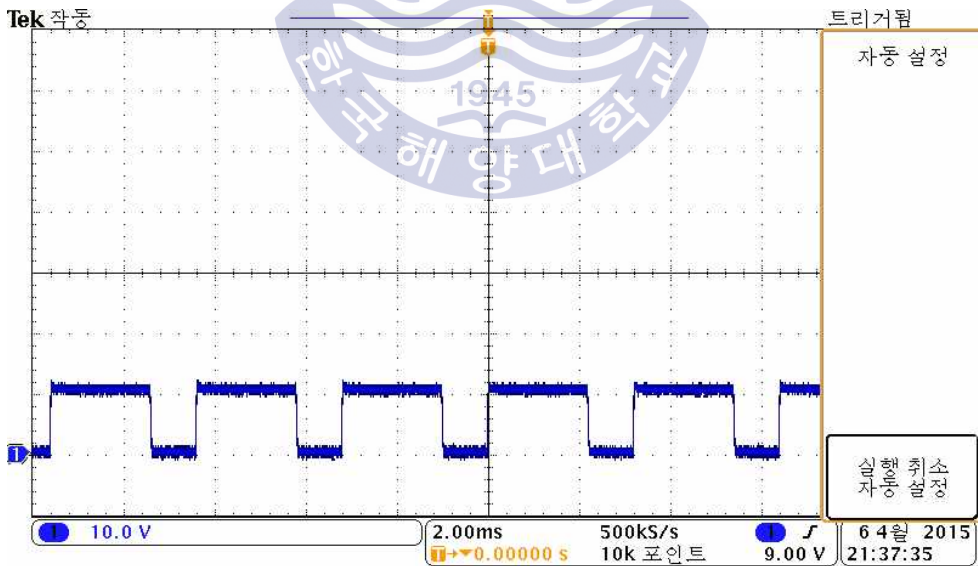


Fig. 26 Gate 저항 4.7kΩ & Source-Drain 커패시터 1uF 설치 오실로스코프 파형



### 6.2.3 전원부

전원부는 SMPS에서 들어오는 12VDC의 전압을 MCU, 각종센서, 통신IC에 사용이 가능한 5VDC 전압으로 낮추어주는 역할을 하는 곳이다. MCU의 구동전압은 5VDC이고 5.5VDC까지 사용이 가능하다. 하지만 컴파일 테크놀로지 주식회사에서 5.1VDC 이상을 추천하므로 저항으로 전압조정이 가능한 LM317 선형레귤레이터로 회로를 구성하였다. 그리고 가변저항을 설치해 출력전압을 조정가능하게 하였으며 또한 음극과 양극이 서로 반대로 연결될 시 레귤레이터의 소손을 방지하기 위해 쇼트키다이오드를 설치해 레귤레이터를 보호하였다. 회로는 Fig. 27과 같이 구성하였다.

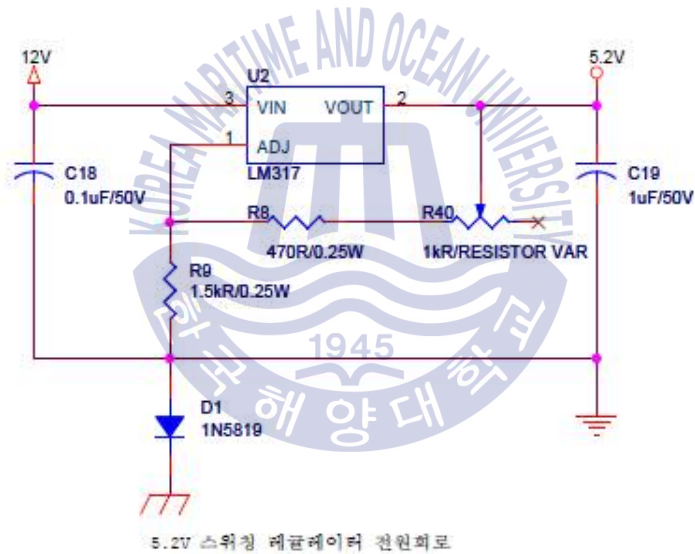


Fig. 27 전원부 회로도

### 6.2.4 센서부

센서부는 온도, 습도, 조도의 값을 0~5VDC전압으로 변환한다. 그리고 MCU는 그 전압을 10Bit ADC 분해능 값인 0~1024 값을 변환 후 다시 이 값을 각 센서의 관계식에 따라 실제 값으로 연산하여 퍼지연산에 활용 및 Modbus통신으로 그 상태 값을 전송한다.

온도센서는 Texas Instruments사(이하 TI사)의 LMT88 소자를 이용하였으며 이 소자는 온도에 따른 전압출력이 비례적으로 변화하여 사용이 쉽고 가격이 저렴한 장점이 있다. 그리고 이 소자는 -55℃부터 130℃까지 측정이 가능하며 구동 전압은 2.4VDC부터 5.5VDC 까지 사용이 가능하다. TI사에서 제공한 온도에 따른 전압출력 관계식은 아래(27)와 같다.

$$V_o = -11.6mV/^\circ C * T + 1.8663V \quad (27)$$

위 공식을 바탕으로 계산을 하면 온도가 25℃일 때 소자의 출력 값은 1.574VDC가 된다. 온도센서 회로는 Fig. 28과 같이 구성하였다.

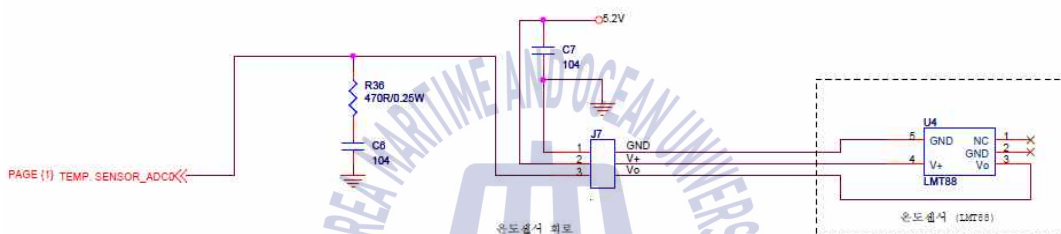


Fig. 28 온도센서 회로도

습도센서는 Honeywell사의 HIH-4000-001 를 이용하였으며 습도 센서 역시 온도센서와 마찬가지로 습도에 따른 전압출력이 비례적으로 변화하여 사용이 쉬운 장점이 있다. 그리고 이 소자는 0%부터 100%까지 측정이 가능하며 구동 전압은 4VDC부터 5.8VDC 까지 사용이 가능하다. Honeywell사에서 제공한 습도에 따른 전압출력 관계식은 아래(28)와 같고 온도차에 따른 오차 보상을 한 실제 값은 (29)와 같다.

$$V_o = (V_{supply}) * (0.0062(sensor RH) + 0.16), \text{ typical at } 25^\circ C \quad (28)$$

$$True RH = (sensor RH) / (1.0546 - 0.00216 * T), T \text{ is } ^\circ C \quad (29)$$

위 공식을 바탕으로 계산을 하면 5.2VDC의 입력전원에 2.444VDC 출력일 때 센서의 측정 습도는 50%가 된다. 만약 온도가 20℃ 상황이라면 오차 보상을 한 실제 습도 값은 49.44% 가 된다. 습도 센서 회로는 Fig. 29와 같이 구성하였다.

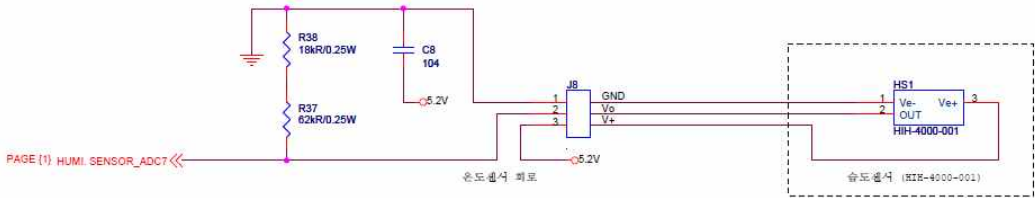


Fig. 29 습도센서 회로도

조도센서는 TAOS사의 TSL250RD를 이용하였으며 조도 센서 역시 온도, 습도 센서와 마찬가지로 조도에 따른 전압출력이 비례적으로 변화하여 사용이 쉬운 장점이 있다. 그리고 이 소자는  $0.1\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 부터  $31\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 까지 측정이 가능하며  $1\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 를 Lux로 변환시 6.83Lux가 되며 구동전압은 2.7VDC부터 5.5VDC 까지 사용이 가능하다. TAOS사에서 제공한 조도에 따른 전압출력 관계식은 아래(30)과 같다.

$$V_o = V_D + (69) * (E_e) \quad (30)$$

$V_D$  is the output voltage for dark condition ( $E_e = 0$ )

$E_e$  is the incident irradiance in  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$

위 공식을 바탕으로 계산을 하면  $V_D$ 가 0VDC이고 조도가  $10\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 일 때 소자의 출력 값은 0.69VDC가 된다. 조도센서 회로는 Fig. 30과 같이 구성하였다.

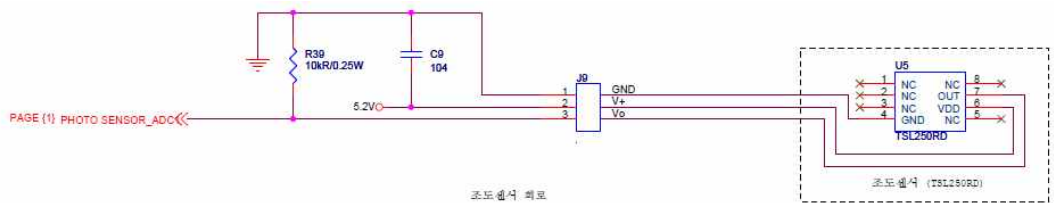


Fig. 30 조도센서 회로도

## 6.2.5 통신부

본 연구의 제어보드와 다른 Modbus 장비들과의 통신은 4.4장의 Modbus 프로토콜의 프레임 포맷에서 말한바와 같이 시리얼 통신을 사용하였다. 그리고 MCU 사양에 RS232 시리얼통신을 지원하므로 사용가능 하나 RS-232의 짧은 통신거리와 노이즈에 취약한 점을 고려해 RS-485로 회로를 구성하였다.

RS-485는 2선식 반이중 다중점 직렬연결에 대한 OSI 모델의 물리 계층 명세이다. RS-485 표준은 차분 신호를 정의하는데, 두 선 사이의 전압차로 데이터를 표현한다. 전압의 한쪽이 「1」 레벨이면, 다른 한쪽은 「0」 레벨을 나타낸다. 올바른 신호로 인식하려면 적어도 전압의 차이가 0.2V 이상 이어야 한다. 수신측은 +12V 으로부터 -7V까지의 전압이면 올바른 것이라고 인식한다. RS-485는 드라이버와 리시버의 전기적 특성만을 정한 것이다. 데이터 프로토콜에 대해서는 가이드라인이 존재하지 않는다. EIA-485를 사용하면 저가의 로컬 네트워크나 멀티 드롭 통신망을 구축할 수 있다. 이 규격은 고속 데이터 통신 속도를 낼 수 있는데 10m까지는 35Mbps, 1200m 에서는 100kbps 이다[34].

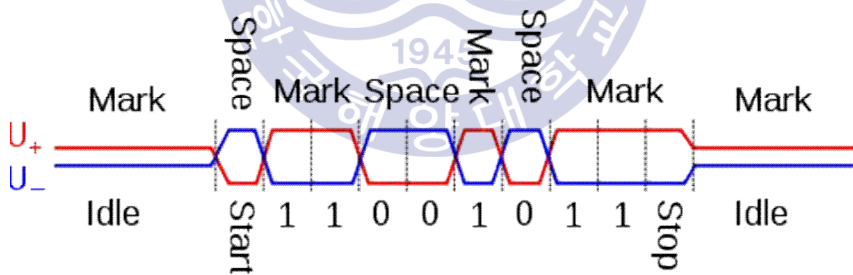


Fig. 31 RS-485 파형의 예

RS485 IC는 Maxim Intergrated사의 MAX485칩을 사용하였으며 최대 데이터 통신속도 2.5Mbps 까지 통신이 가능하며 최대 32개의 다른 장비들과 연결이 가능한 칩이다. 아래의 회로는 Microchip Technology사의 485 Interface/Automatic TX Enable회로를 참고하여 제작하였으며 풀업/다운 및 종단저항에 Jumper를 추가하여 시스템 사양에 따라 풀업/다운 및 종단저항 사용/미사용을 선택할 수 있게 구성하였으며 회로는 Fig. 32와 같다.

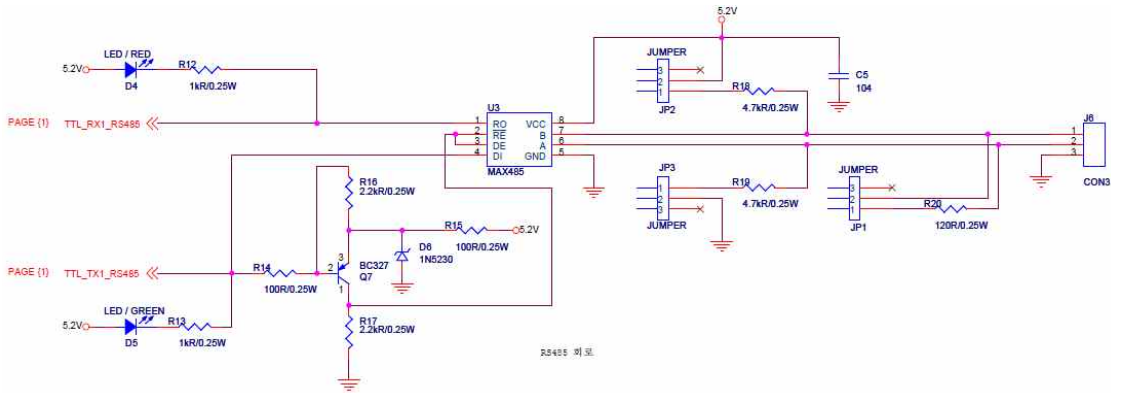


Fig. 32 통신부 회로

### 6.3 제어기의 제작

위의 내용을 바탕으로 하여 제어기를 만능기판에 프로토타입으로 제작하였다. 완성된 제어기의 전체 모습은 Fig. 33과 같다.

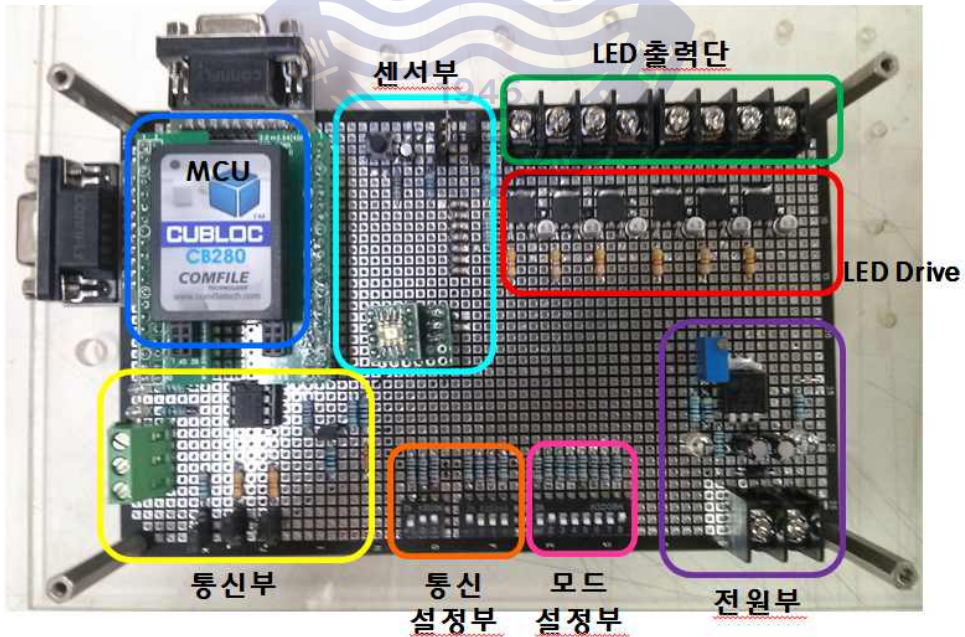


Fig. 33 완성된 Modbus LED 감성조명 제어기 프로토타입

LED, Modbus 통신포트 등등 외부 인터페이스의 확장성을 넓고 간편하게 하기 위하여 여러 개의 확장 커넥터를 연결하였으며 온도, 습도, 조도 센서 역시 고정형이 아닌 Pin 타입으로 온보드의 상태뿐만 외부에서 측정이 가능하도록 하였다. 그리고 통신 속도 및 슬레이브 주소 설정 및 여러 시나리오를 저장하여 동작시키기 위해 DIP Switch를 연결하여 언제든지 변경이 가능하도록 하였다.



## 제 7 장 실험 및 결과

### 7.1 실험 방법

LED조명상태를 확인하기 위해 아크릴판 위에 한 채널당 12VDC 3구 LED 모듈 12개씩 총 24개를 설치하고 220VAC를 12VDC로 변환하기 위한 SMPS와 제어기를 설치하였다. 실험은 한국해양대학교 공대 내의 퍼지 뉴로 제어 연구실에서 진행하였다. 실험보드의 구성은 Fig. 34와 같다.

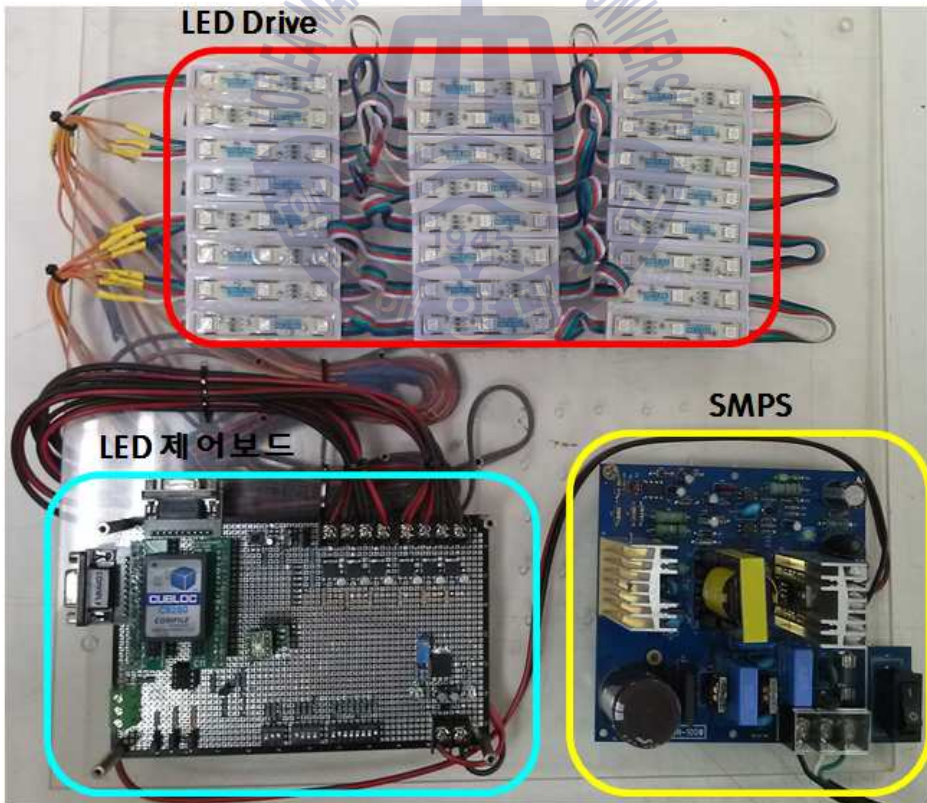


Fig. 34 Modbus LED 감성조명 테스트 보드

SMPS는 100W급으로 설치하였으며 온·습도계와 센서의 값을 비교하여 실제 온·습도계와 센서의 값이 일치하는지 확인하였다. 그리고 드라이기와 분무기를 통해 온도와 습도에 변화를 주어 센서에 들어오는 값들이 실제 퍼지연산으로 LED모듈로 출력이 되는지를 확인하였으며 조도 값은 조도센서에 검정색 테이프를 붙였다 때면서 LED모듈의 켜짐과 꺼짐을 관찰하였다. Modbus Test는 NI사 Labview의 Modbus Library 1.2.1을 활용해 테스트 프로그램을 제작하여 온도, 습도, 조도, 모듈상태 등을 모니터링 할 수 있게 하였으며 이 프로그램으로 모듈을 원격 동작할 수 있도록 하였다. 그리고 PC에 라이트컴사의 USB to RS485/422 컨버터를 연결하여 PC와 모듈간의 통신이 가능하도록 구성하였다.

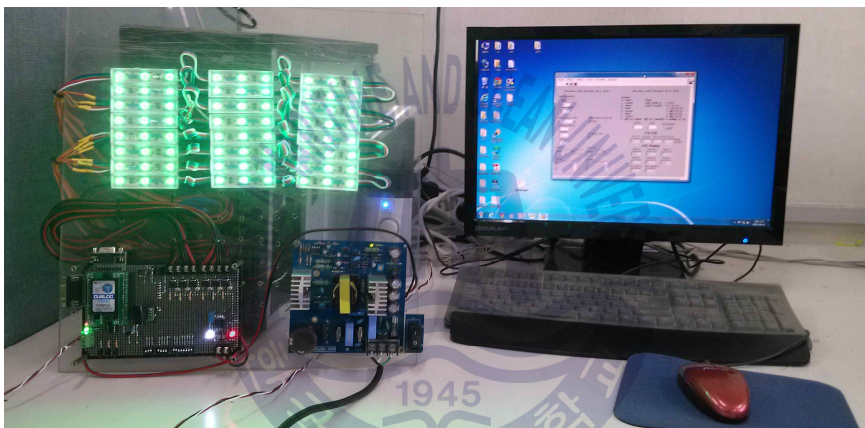


Fig. 35 Modbus LED 감성조명 시스템 실행모습

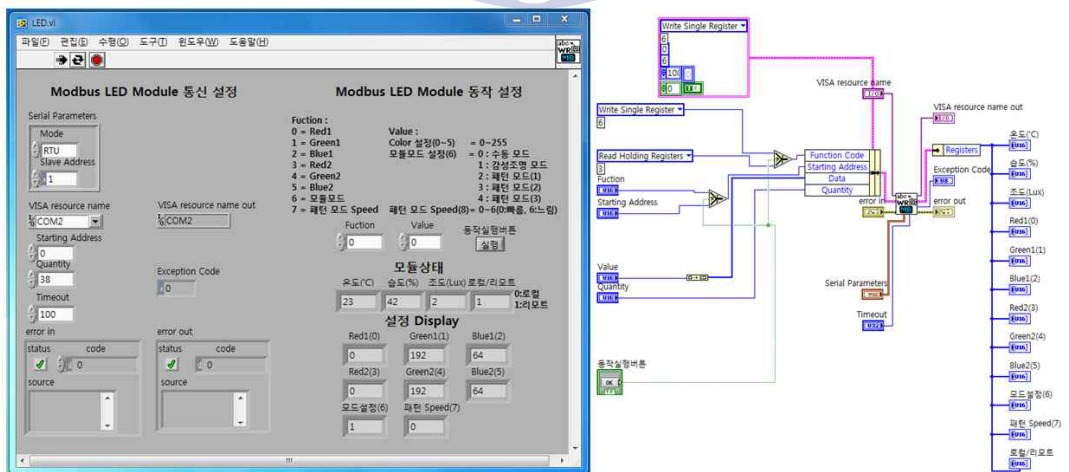


Fig. 36 Labview를 이용한 LED 감성조명 컨트롤 프로그램 및 내부 블록



## 7.2 실험 결과

드라이기와 분무기를 통해 온도와 습도에 변화를 주어 센서에 들어오는 값들이 실제 퍼지연산으로 LED모듈로 출력이 되는지를 확인하였지만 온도 10℃ 이하 30℃ 이상 및 습도 15%이하 75%이상의 환경을 만들기는 쉽지 않음으로 MCU 내부 프로그램의 온도 및 습도 센서입력 값을 Modbus 통신의 주소 40010과 40011번지에 각각 온도 습도 값을 임의로 조정할 수 있도록 프로그램을 수정한 뒤 Modscan32이라는 Modbus Test 프로그램을 이용하여 주소 40010과 40011번지에 각각임의의 온도, 습도 값을 입력해 LED모듈로 출력되는 색을 확인하였다.

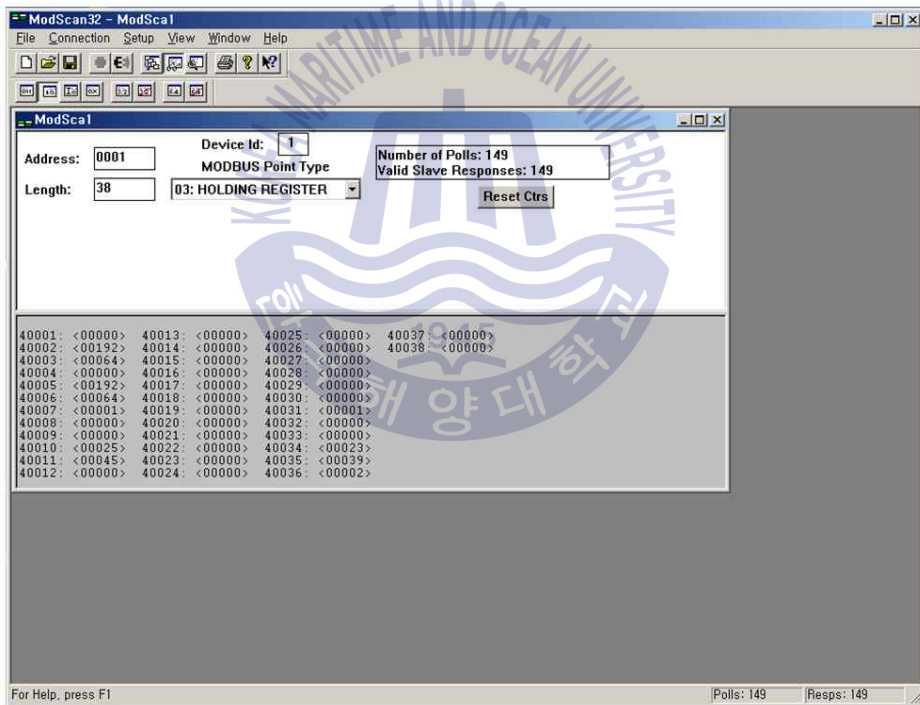


Fig. 37 Modscan32를 이용한 모듈 실험

Table 11은 5.3절의 Fuzzy Rule기반의 온도 및 습도입력 값을 Modbus 주소 40010과 40011번지에 입력하여 출력 결과를 나타낸 것이다. 아래의 Table 11를 통해 Table8과 비슷한 색의 출력을 확인할 수 있었다.

**Table 11** 멤버십 소속도 1.0의 온도, 습도입력에 대한 LED 출력결과

센서값		출력
온도(℃)	습도(%)	
10	15	R:127, G:0, B:127
10	30	R:127, G:63, B:63
10	45	R:127, G:127, B:0
10	60	R:191, G:63, B:0
10	75	R:255, G:0, B:0
15	15	R:63, G:63, B:127
15	30	R:63, G:127, B:63
15	45	R:63, G:191, B:0
15	60	R:127, G:127, B:0
15	75	R:191, G:63, B:0
20	15	R:0, G:127, B:127
20	30	R:0, G:191, B:63
20	45	R:0, G:255, B:0
20	60	R:63, G:191, B:0
20	75	R:127, G:127, B:0
25	15	R:0, G:63, B:191
25	30	R:0, G:127, B:127
25	45	R:0, G:191, B:63
25	60	R:63, G:127, B:63
25	75	R:127, G:63, B:63
30	15	R:0, G:0, B:255
30	30	R:0, G:63, B:191
30	45	R:0, G:127, B:127
30	60	R:63, G:63, B:127
30	75	R:127, G:0, B:127

Table 12는 여러 임의의 온도 및 습도입력 값을 Modbus 주소 40010과 40011 번지에 입력하여 출력 결과를 나타낸 것이다. 아래의 Table 12를 통해 Fuzzy Rule 사이 값의 입력에 대한 출력을 확인할 수 있었다.

**Table 12** 임의의 온도, 습도입력에 대한 LED 출력결과

센서값		색상
온도(℃)	습도(%)	
8	12	R:127, G:0, B:127
12	38	R:102, G:123, B:29
11	47	R:123, G:131, B:0
7	58	R:182, G:72, B:0
13	77	R:216, G:38, B:0
14	14	R:76, G:51, B:127
16	29	R:51, G:136, B:68
17	56	R:85, G:170, B:0
13	61	R:157, G:97, B:0
15	77	R:191, G:63, B:0
21	17	R:0, G:123, B:131
18	36	R:25, G:191, B:38
19	49	R:29, G:225, B:0
22	65	R:85, G:144, B:25
23	85	R:127, G:89, B:38
26	11	R:0, G:51, B:204
27	29	R:0, G:97, B:157
28	49	R:17, G:136, B:102
24	66	R:89, G:114, B:51
23	79	R:127, G:89, B:38
29	18	R:0, G:25, B:229
33	33	R:0, G:76, B:178
31	54	R:38, G:89, B:127
36	64	R:80, G:46, B:127
40	80	R:127, G:0, B:127

Fig.38과 Fig.39는 온도를 각각 17°C, 27°C로 고정하기 위해 Modbus 주소 40010번지에 온도 값을 고정시키고 주소 40011번지에 습도 값을 변화시켜 나온 출력 값 그래프이다. 아래의 그래프를 통해 Fig. 16, 17의 출력 범위와 일치함을 알 수 있다.

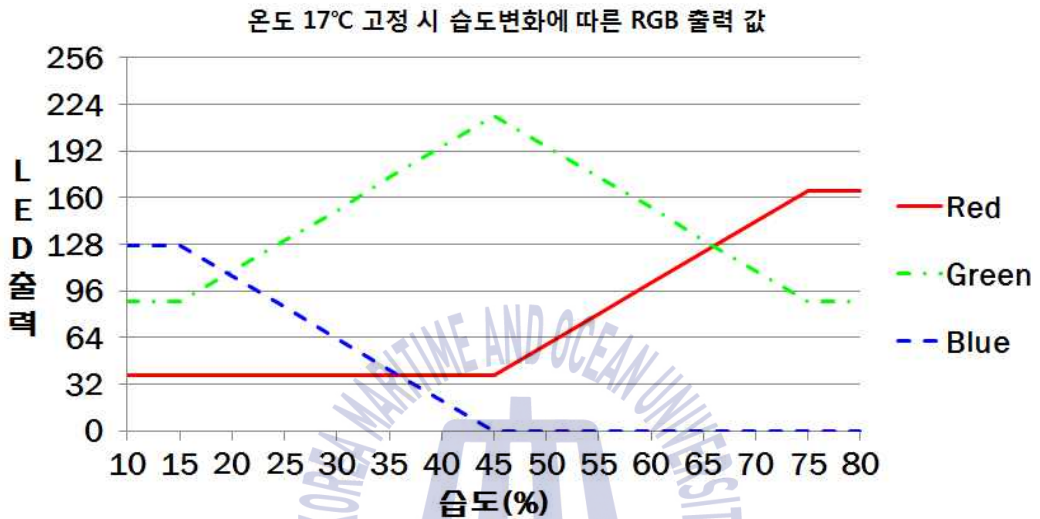


Fig. 38 온도 17°C 고정 시 습도변화에 따른 RGB 출력 값

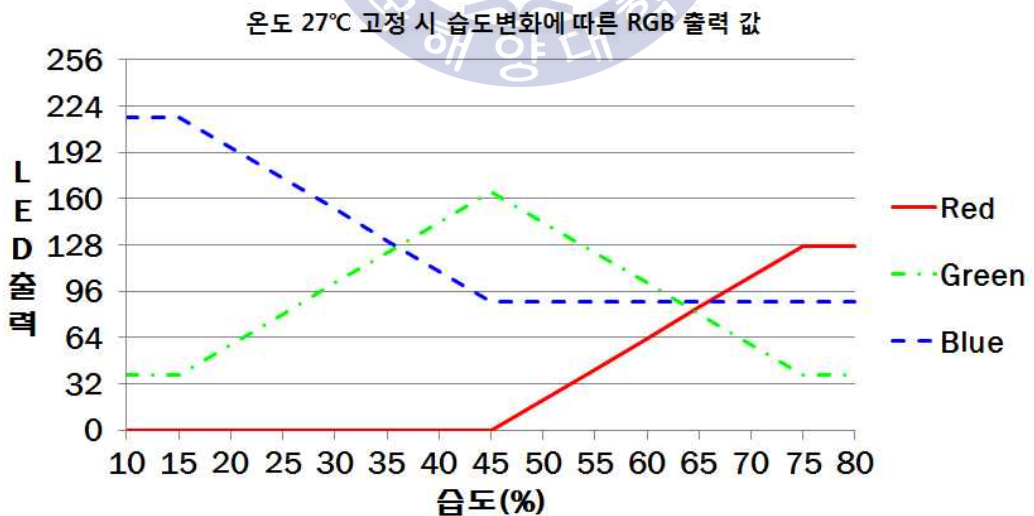


Fig. 39 온도 27°C 고정 시 습도변화에 따른 RGB 출력 값

Fig.40과 Fig.41은 습도를 각각 27%, 67%로 고정하기위해 Modbus 주소 40011번지에 습도 값을 고정시키고 주소 40010번지에 온도 값을 변화시켜 나온 출력 값 그래프이다. Fig.40, Fig.41을 통해 Fig. 16, 17의 출력 범위와 일치함을 알 수 있다.

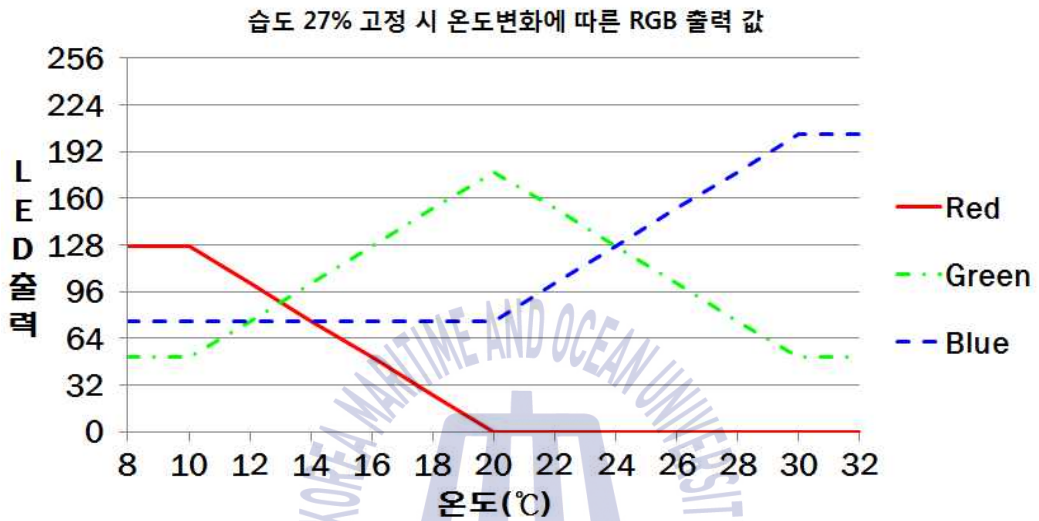


Fig. 40 습도 17% 고정 시 온도변화에 따른 RGB 출력 값

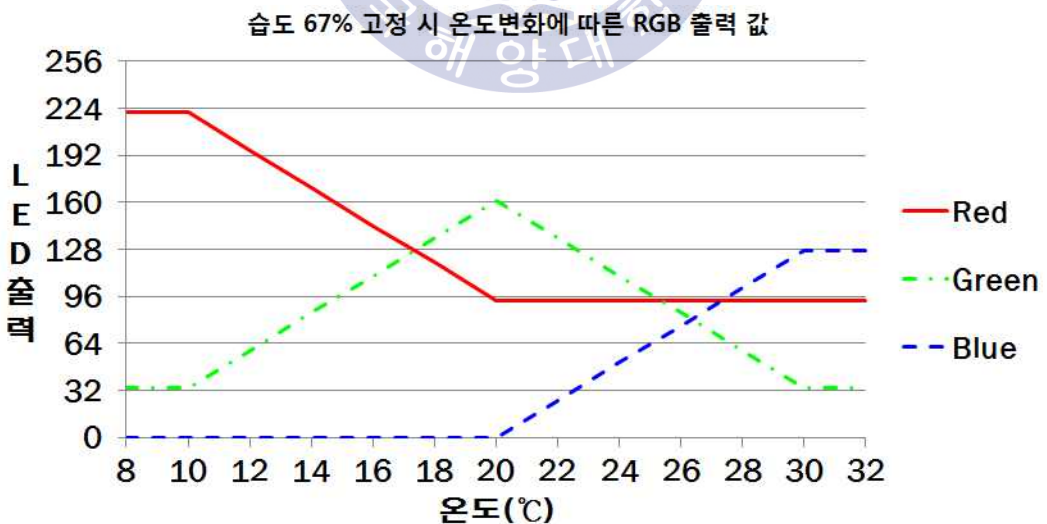


Fig. 41 습도 67% 고정 시 온도변화에 따른 RGB 출력 값

## 제 8 장 결론

본 논문에서는 퍼지 알고리즘을 이용하여 외부환경 가운데 온도, 습도, 조도의 상태에 따라 색상이 자연스럽게 변화하는 감성조명용 Full-color LED 제어기에 자발적 산업표준 프로토콜인 Modbus 통신 프로토콜을 추가하여 온도, 습도 및 조도의 모니터링 및 컨트롤을 가능하게 하는 제어기를 설계 및 제작하였다.

실험을 통해 멤버십 함수와 함수 사이의 온도, 습도 입력 값에 대한 최적 색을 LED를 통해 확인할 수 있었으며 Modbus를 통해 LED 출력 값을 수치로 원격 모니터링을 할 수 있으므로 출력 값이 리니어함을 확인할 수 있었다. 그리고 Modbus의 Write 기능을 통해 온도, 습도 값을 시뮬레이션 할 수 있어 쉽게 결과 값을 도출할 수 있었다.

또한 본 제어기는 각종 자동화 장비 감시 및 제어에 전 세계적으로 널리 사용되고 있는 Modbus 통신 프로토콜을 이용하였기 때문에 이 통신 프로토콜을 지원하는 장비들과 쉽게 연결 및 컨트롤이 가능하여 빌딩, 선박, 기차, 비행기 등의 조명이 필요한 사회 전반으로 활용 범위를 넓힐 수 있을 것이다.

그리고 앞으로 감성조명 제어는 단순히 색상이 바뀌는 것만 아니라 색체를 이용한 심리이론과 결합하여 장소 및 주변 환경 상태에 따른 인간의 심리상태를 보완해줄 수 있는 색으로 조명을 제어한다면 더 나은 감성조명이 될 수 있을 것으로 사료된다.

현재 연구는 시리얼 통신으로 Modbus RTU를 사용하는 시스템이었다면 향후에는 속도도 빠르고 무선으로 연결하기 쉬운 Ethernet 기반의 Modbus TCP를 적용한다면 훨씬 더 먼 거리에서 빠르고 많은 양의 LED제어를 할 수 있을 것

으로 사료되며, 빠르고 많은 양의 LED의 제어를 위해서는 현재 적용된 8Bit MCU를 32Bit ARM Cortex 기반의 MCU로 변경한다면 더 큰 효과를 낼 수 있을 것으로 사료 된다.



## 참고문헌

- [1] 김주성, 김강석, 2013. 주요 국가의 LED 조명 정책 동향, 전자통신동향분석 제28권 제6호 통권 144호, pp.192-205.
- [2] 구성모, 2009. PWM을 이용한 LED 구동회로 설계, 한국조명·전기설비학회 2009 추계학술대회 논문집, pp.193~196.
- [3] 김대식, 2004. LED 광원을 이용한 디스플레이 개발, 한국광학회 2004년도 하계학술발표회 논문집, pp.232~233.
- [4] 지순덕, 2006. LED 기반 백색 조명의 색온도 및 연색지수에 따른 감성 평가, 한국감성과학회지(감성과학) Vol.9, No.4. pp.353-366.
- [5] 중소기업청, 2007. EU RoHS 지침 사후대응 매뉴얼, 대전:중소기업청.
- [6] 정연홍, 2009. R,G,B LEDs의 Natural Color 조명색채 구현 방안에 대한 기초 연구, 한국조명·전기설비학회 2009 추계학술대회 논문집, pp.3-6.
- [7] 민경익, 2007. LED 조명개발 현황 및 옥외 LED 조명 설계, 대한전기학회, (기획)전기의 세계 제56권 제7호, pp.20~25.
- [8] 장준호, 2007. LED(R, G, B) 조명기구의 색상 및 패턴 변화에 대한 선호도 및 이미지에 관한 연구, 대한건축학회지 제23권 제6호(통권224호), pp.255-262.
- [9] 박양재, 2009. 감성조명용 조명기구의 조도 및 색온도 시뮬레이션을 통한 광원 조합의 최적화, 한국콘텐츠학회논문지 제9권 제8호, pp.248~254.
- [10] S. Takahashi, 2007. Effects of color lighting on emotional-expression judgment and personal impression, Fuzzy sets and Systems v31, pp.14-15.
- [11] 노시청, 2005. 감성조명의 이해, 한국디자인학회 2005 가을 학술발표대회 논문집, pp.86~87.
- [12] 김병수, 2009. LED램프를 적용한 사무소 건물의 실내조명환경 및 에너지



성능분석, 대한건축학회 논문집 제25권 제7호 (통권 249호), pp.329~336.

[13] 민경익, 2007. *LED 조명개발 현황 및 옥외 LED 조명 설계*, 대한전기학회, 전기의 세계 제56권 제7호, pp.20~25.

[14] 장준호, 2008. *공간 및 사용자에게 적합한 LED 조명기구의 색온도 및 색채 연출에 관한 연구*, 세종대학교 건축공학과 석사학위 논문.

[15] 이재홍, 2011. *인공지능을 이용한 감성조명 LED 제어기 설계에 관한 연구*, 한국해양대학교 전자통신공학과 석사학위 논문.

[16] Chuen Chien Lee, 1990. *Fuzzy Logic in Control Systems : Fuzzy Logic Controller - Part I·II*, IEEE Transection on System, Man, and Cybernetics, Vol.20, No. 2, pp.404-435.

[17] Jacek M. Zurada, 1992. *Introduction to Artificial Neural System*, West Publishing Company.

[18] Chin-Teng Lin and C.S George Lee, 1996. *Neural fuzzy systems*, Prentice Hall.

[19] 이상배, 1999. *퍼지-뉴로 제어 시스템*, 교학사, pp. 7-108.

[20] 이광형, 오길록, 1991. *퍼지이론 및 응용 I/II*, 홍릉과학출판사.

[21] L. A. Zadeh, 1965. *Fuzzy Sets, Information and Control* 8, pp.338-353.

[22] M. Mizumoto, 1989. *Pictorial representation of fuzzy connectives, Part I : cases of t-norms, t-conorms and averaging operators*, Fuzzy sets and Systems v31, pp.217-242.

[23] L. A. Zadeh, 1978. *Fuzzy sets as a basic for a theory of possibility*, Fuzzy sets and Systems v1, pp.3-28.

[24] Jyh-Shing and Roger Jang, 1993. *ANFIS: Adaptive Network Based Fuzzy Inference system*, IEEE Trans. on system, Man, And Cyb. Vol. 23, No.3, pp.665-685.

[25] J. S. R. Jang and C.-T. Sun, 1995. *Neuro-Fuzzy Modeling and Control*, Proc. IEEE.

[26] M. Sugeno and M. Nishida, 1985. *Fuzzy control of model car*, Fuzzy Sets

sys. Vol.16, pp.103-113.

[27] 설일수, 2013. *조명제어용 내셔널 프로토콜을 위한 모드버스 프로토콜 변환기 설계*, 조선대학교 정보통신공학과 석사학위 논문.

[28] IT tips, 2013. Modbus (Modbus) 프로토콜의 이해, <http://ymkimit.blogspot.kr>  
[Online] Available at : <http://ymkimit.blogspot.kr/search?q=modbus> [Accessed 8 April 2015].

[29] Modbus-IDA, 2006. MODBUS APPLICATION PROTOCOL SPECIFICATION V1.1b, pp.2, <http://www.Modbus-IDA.org> [Online] Available at : [http://www.modbus.org/docs/Modbus\\_Application\\_Protocol\\_V1\\_1b.pdf](http://www.modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b.pdf) [Accessed 8 April 2015].

[30] ProtoConvert, 2011. *Modbus Tutorial*, <http://www.protoconvert.com> [Online] Available at : <http://www.protoconvert.com/TechnicalResources/Tutorials/Modbus.aspx> [Accessed 8 April 2015].

[31] Modbus.org, 1996. *Modicon Modbus Protocol Preference Guide*, <http://modbus.org> [Online] Available at : [http://http://modbus.org/docs/PI\\_MBUS\\_300.pdf](http://http://modbus.org/docs/PI_MBUS_300.pdf) [Accessed 8 April 2015].

[32] 원소민, 김종희, 2011. *Modbus를 이용한 공장자동화장비의 원격제어에 관한 연구*, 한국엔터테인먼트산업학회논문지 제5권 제4호, pp.195-196.

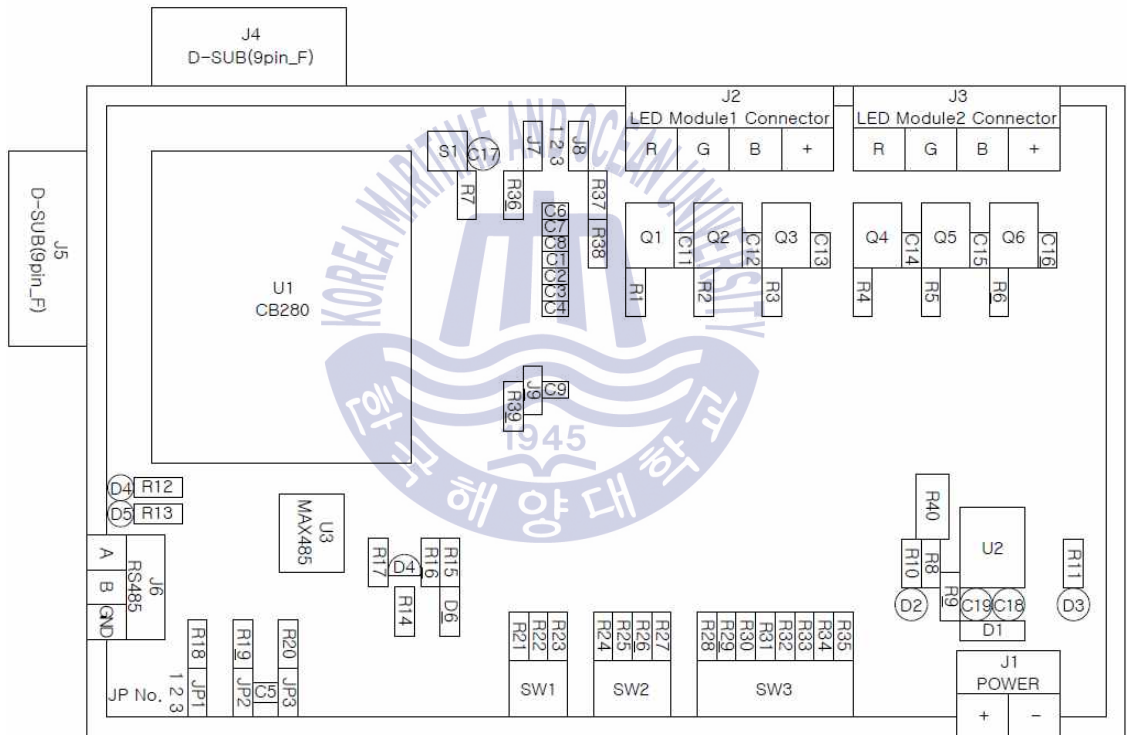
[33] 컴파일 테크놀로지 주식회사, 2015. *CUBLOC BASIC 언어중심 사용설명서 Version : 201502*, pp.203~204.

[34] 위키피디아, 2014. *EIA-485*, <http://ko.wikipedia.org> [Online] Available at : <http://ko.wikipedia.org/wiki/EIA-485> [Accessed 15 April 2015].

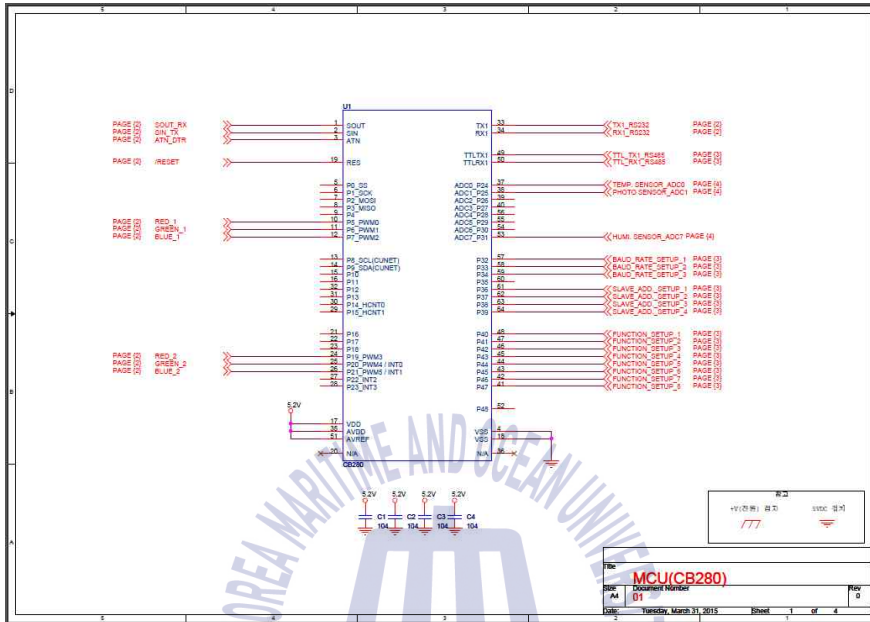
[35] 류창완, 2013. *인공 지능을 이용한 식물 공장 LED 조명 제어 시스템 구현에 관한 연구*, 한국해양대학교 전자통신공학과 석사학위 논문.

# 부 록

## 부 록 1. 제어기 LAYOUT



## 부 록 2. 제어기 MCU 회로도



## 부 록 3. 제어기 RGB LED DRIVER 및 전원부 회로도

