



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](#)

공학박사 학위논문

유무선 제어가 가능한 Modbus 기반의 LED 감성조명 시스템의 설계 및 구현

Design and Implementation of Modbus Based LED Emotional
Lighting System with Wired and Wireless Control

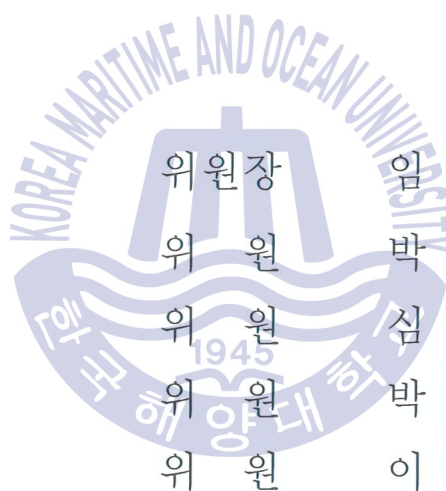


2018 년 8 월

한국해양대학교 대학원

전자통신공학과
정 정 수

본 논문을 정정수의 공학박사 학위논문으로 인준함



위원장

위원

위원

위원

위원

임재홍

박동국

심준환

박주원

이상배



2018년 6월 19일

한국해양대학교 대학원

목 차

List of Tables	iii
List of Figures	iv
Abstract	viii
1. 서 론	1
1.1 연구의 배경 및 방법	1
1.2 논문의 구성	3
2. 이론적 고찰	4
2.1 LED의 특성	4
2.2 빛이 인간의 심리에 미치는 영향	5
2.3 색채와 연상 심리	6
2.4 감성조명의 개요 및 필요성	8
2.5 제4차 산업혁명과 사물인터넷	9
2.6 LED 조명제어 시스템	13
2.7 퍼지 제어 시스템	15
2.8 Modbus 프로토콜	25
3. Modbus LED 감성조명 제어 시스템의 구성 및 설계	33
3.1 퍼지 알고리즘의 구성	33
3.2 퍼지 멤버십 함수(Fuzzy Membership Function)	34
3.3 퍼지 제어 규칙(Fuzzy Control Rules)의 설정	39
3.4 비퍼지화(Defuzzification) 과정	41

3.5 Modbus LED 감성조명 제어 시스템의 구조	42
3.6 Modbus Address 할당	43
3.7 제어기의 동작 Flow Chart	45
4. Modbus LED 감성조명 제어 시스템의 구현	47
4.1 시스템의 하드웨어 구성 및 설계	47
4.2 시스템의 제작	64
5. 실험 및 결과	69
5.1 실험 방법	69
5.2 Modbus 기반의 LED 제어시스템의 제어기 개별 실험	69
5.3 퍼지 추론의 Matlab 시뮬레이션	72
5.4 Modbus 감성조명 제어시스템의 통신 연동 실험	75
5.5 LED 감성조명 제어시스템의 실험 결과	77
6. 결론	88
참고문헌	90

List of Tables

Table 1	색채를 보았을 때 나타나는 심리작용	7
Table 2	Modbus RTU 프레임 포맷	28
Table 3	MBAP Header 프레임 포맷	30
Table 4	Modbus Function Code 및 기억장소	31
Table 5	Read Holding Register 프레임 요구 패킷	31
Table 6	Read Holding Register 프레임 응답 패킷	32
Table 7	Write Multiple Register 프레임 요구 패킷	32
Table 8	Write Multiple Register 프레임 응답 패킷	32
Table 9	퍼지추론 언어변수의 설정	34
Table 10	Modbus RTU LED 제어기 Address 할당 Table	44
Table 11	Modbus TCP LED 제어기 Address 할당 Table	44
Table 12	CUBLOC CB280 사양	48
Table 13	ATmega1284P의 Clock Speed별 시리얼 통신 에러율 Table	62
Table 14	임의의 온도, 습도, 조도입력에 대한 LED 출력결과	78
Table 15	TCP 제어기의 PWM Duty비율 변화에 따른 전류의 변화량	82

List of Figures

Fig. 1 생체주기에 따른 체온 및 호르몬 분비량	5
Fig. 2 산업혁명 과정	10
Fig. 3 사물 인터넷의 단순 개념도	11
Fig. 4 사물 인터넷의 기술적 개요	12
Fig. 5 사물인터넷 기반 스마트 조명제어 시스템의 개념도	14
Fig. 6 보통집합과 퍼지집합의 표현	16
Fig. 7 퍼지 집합 $\bar{A}_1$ 와 $\bar{A}_2$ 의 교집합	18
Fig. 8 퍼지 집합 $\bar{A}_1$ 와 $\bar{A}_2$ 의 합집합	18
Fig. 9 퍼지 집합 $\bar{A}_1$ 의 여집합	19
Fig. 10 Mamdani의 추론	20
Fig. 11 퍼지 제어기의 기본구조	21
Fig. 12 퍼지 추론 과정	22
Fig. 13 다변수 구조 퍼지시스템의 블록도	24
Fig. 14 Modbus의 커뮤니케이션 구조	26
Fig. 15 Modbus Master와 Slave간의 요청과 응답 리사이클 구조	27
Fig. 16 Modbus RTU와 Modbus TCP의 프레임구조	30
Fig. 17 제어시스템의 블록도	33
Fig. 18 온도입력 퍼지 멤버십 함수	34
Fig. 19 습도입력 퍼지 멤버십 함수	35
Fig. 20 조도입력 퍼지 멤버십 함수	36
Fig. 21 LED 출력 퍼지 멤버십 함수	36
Fig. 22 온도입력에 따른 RGB LED 출력 범위	37
Fig. 23 습도입력에 따른 RGB LED 출력 범위	38
Fig. 24 LED 예상출력 색상	39
Fig. 25 Modbus LED 감성조명 제어 시스템의 구성	43

Fig. 26	Modbus RTU 제어기의 시스템 플로 차트	45
Fig. 27	Modbus TCP 제어기의 시스템 플로 차트	46
Fig. 28	Modbus RTU LED 제어기 시스템 블록 다이어그램	47
Fig. 29	CUBOLC CB280 회로도	49
Fig. 30	RGB LED 제어부 회로도	50
Fig. 31	Gate 저항 100[Ω] 설치 오실로스코프 파형	51
Fig. 32	Gate 저항 4.7[kΩ] 설치 오실로스코프 파형	52
Fig. 33	Gate 저항 4.7[kΩ] & Source-Drain 커패시터 1[uF] 설치 오실로스코프 파형	52
Fig. 34	RTU 제어기 전원부 회로도	53
Fig. 35	RTU 제어기 온도센서 회로도	54
Fig. 36	RTU 제어기 습도센서 회로도	55
Fig. 37	RTU 제어기 조도센서 회로도	55
Fig. 38	RS-485 파형의 예	56
Fig. 39	RTU 제어기 통신부 회로도	57
Fig. 40	Modbus TCP LED 제어기 시스템 블록 다이어그램	57
Fig. 41	ESP8266 블록 다이어그램	58
Fig. 42	ESP8266 MCU 회로도	59
Fig. 43	TCP 제어기 전원부 회로도	60
Fig. 44	TCP 제어기 온·습도 센서 회로도	60
Fig. 45	TCP 제어기 조도센서 회로도	61
Fig. 46	Modbus 게이트웨이 시스템 블록 다이어그램	61
Fig. 47	ATmega1284P 회로도	63
Fig. 48	완성된 Modbus RTU LED 감성조명 제어기 프로토타입	64
Fig. 49	완성된 Modbus TCP LED 감성조명 제어기 프로토타입	65
Fig. 50	220[VAC] RGB LED 보드 PCB 레이아웃	66
Fig. 51	220[VAC] RGB LED 보드 구성	66

Fig. 52	완성된 게이트웨이 프로토타입	67
Fig. 53	Touch Panel	68
Fig. 54	Touch Panel 내부	68
Fig. 55	Modbus RTU LED 감성조명 제어기 실행모습	70
Fig. 56	Modbus TCP 제어기와 220VAC RGB LED 보드	71
Fig. 57	Modbus TCP LED 감성조명 제어기 실행모습	71
Fig. 58	퍼지추론을 위한 구성	72
Fig. 59	퍼지추론의 입력변수 설정	73
Fig. 60	퍼지추론의 출력변수 설정	73
Fig. 61	퍼지규칙의 위한 구성	74
Fig. 62	온도와 습도에 대한 RGB LED 출력 3차원 그래프	74
Fig. 63	조도와 온도에 대한 RGB LED 출력 3차원 그래프	75
Fig. 64	조도와 습도에 대한 RGB LED 출력 3차원 그래프	75
Fig. 65	Modbus 감성조명 제어시스템의 연동 실행모습	76
Fig. 66	스마트폰에서 Modbus 감성조명 제어시스템의 실행모습	77
Fig. 67	온도 10[°C], 조도 0[lx] 고정 시 습도변화에 따른 RGB 출력 값	79
Fig. 68	온도 20[°C], 조도 0[lx] 고정 시 습도변화에 따른 RGB 출력 값	79
Fig. 69	온도 30[°C], 조도 0[lx] 고정 시 습도변화에 따른 RGB 출력 값	79
Fig. 70	습도 15[%], 조도 0[lx] 고정 시 온도변화에 따른 RGB 출력 값	80
Fig. 71	습도 45[%], 조도 0[lx] 고정 시 온도변화에 따른 RGB 출력 값	80
Fig. 72	습도 75[%], 조도 0[lx] 고정 시 온도변화에 따른 RGB 출력 값	80
Fig. 73	온도 15[°C], 습도 27[%] 고정 시 조도변화에 따른 RGB 출력 값 ..	81
Fig. 74	온도 22[°C], 습도 50[%] 고정 시 조도변화에 따른 RGB 출력 값 ..	81
Fig. 75	온도 29[°C], 습도 67[%] 고정 시 조도변화에 따른 RGB 출력 값 ..	81
Fig. 76	TCP 제어기의 PWM Duty비율 변화에 따른 전류의 변화 그래프 ..	83
Fig. 77	TCP 제어기의 PWM Duty비율 변화에 따른 전류측정 실험모습	83

Fig. 78 온도 10[°C], 조도 0[lx] 고정 시 습도변화에 따른 퍼지제어와 일반제어 색 출력 비교	84
Fig. 79 온도 20[°C], 조도 0[lx] 고정 시 습도변화에 따른 퍼지제어와 일반제어 색 출력 비교	85
Fig. 80 온도 30[°C], 조도 0[lx] 고정 시 습도변화에 따른 퍼지제어와 일반제어 색 출력 비교	85
Fig. 81 습도 15[%], 조도 0[lx] 고정 시 온도변화에 따른 퍼지제어와 일반제어 색 출력 비교	86
Fig. 82 습도 45[%], 조도 0[lx] 고정 시 온도변화에 따른 퍼지제어와 일반제어 색 출력 비교	86
Fig. 83 습도 75[%], 조도 0[lx] 고정 시 온도변화에 따른 퍼지제어와 일반제어 색 출력 비교	87



Design and Implementation of Modbus Based LED Emotional Lighting System with Wired and Wireless Control

Jeong, Jeong Soo

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

Abstract

The Fourth Industrial Revolution refers to the revolutionary era of convergence of Information and Communication Technology(ICT). It is the fourth important industrial era since the early industrial revolution of the 18th century. At the heart of this revolution is a new innovation in six areas: artificial intelligence, robotics, the Internet of things, unmanned vehicles (unmanned aerial vehicles, unmanned vehicles), 3D printing and nano-technology. By the Fourth Industrial Revolution, people will be free from labor because of the convenience of artificial intelligence.

Among them, Internet of Things is a technology that has various sensors and communication functions to measure environmental changes in various objects and connects to the Internet.

And it is an artificial intelligence technology that enables users connected to the Internet to send and receive various kinds of information, analyze it, and provide the learned information to the user or remotely control it. This technology will enable people to pursue a better quality of life. Objects connected to the Internet of Things must have the only IP to distinguish themselves on the Internet, and can have sensors built in for data acquisition from external environments.

Modbus is a voluntary industry standard communication protocol that is widely used worldwide for monitoring and controlling various automation equipment. Therefore, it is possible to connect with all equipment using Modbus such as ships, buildings, trains, airplanes, etc., so that environmental variables can be measured and remotely controlled. The existing Modbus has been used based on serial communication, and Modbus TCP is faster than serial communication because it uses TCP/IP based on Ethernet communication, which is the most commonly used Internet protocol today. And the use of Ethernet communication means that it can be connected to the Internet of Things, the core of the fourth industrial revolution. As a result, Modbus TCP is one of the key technologies in the fourth industrial revolution.

Countries around the world are diversifying their short- and long-term policies to ensure stable energy supply and low-carbon green growth. Of these, LEDs, which are high-efficiency, environment-friendly light sources, are an important part of national energy policy promotion. LED lighting is not only a substitute for incandescent lamps, fluorescent lamps, halogen lamps, but also can be applied to various fields such as mobile phones, automobiles, and backlight units (BLUs). In the case of Korea, the Government is making efforts to overcome the current environment and energy crisis by setting “Low Carbon Green Growth” as a representative

indicator of the policy. In the 22 industries among the 6 sectors, the LED industry will be cultivated as a new growth engine industry in the 21st century. Policy, and aims to become the world's third largest LED producer in 2012.

High-power, high-brightness LED (Light Emitting Diode) is an innovative light source for lighting, and it is commercialized as an alternative light source for existing incandescent lamps and fluorescent lamps.

In this thesis, system algorithms were designed and implemented to control LED lighting using fuzzy theory and Modbus communication protocols. The input variables for an emotional lighting control system are temperature, humidity and luminance. The lighting output of an emotional lighting varies with temperature, humidity and luminance, and is derived by reflecting the color psychology to give a psychological change. As a system configuration, a controller circuit capable of LED control in wired and wireless environment was designed and implemented. This controller monitors the temperature, humidity, and illuminance status, and remotely changes the RGB value to change the LED lighting color of the controller. It also introduces a fuzzy inference system to configure a controller that can control LED lighting. And, I designed and implemented a gateway to connect the Modbus RTU which is RS-485 based wired environment, and Modbus TCP which is an Ethernet based wireless environment, and manage the data by centralized management. It connects to integrated management systems, such as the ship's integrated management system and the building management system by using Modbus TCP communication. Temperature, humidity, and illumination states can be monitored and LED output values can be checked, and the user can also remotely change the RGB value, and the LED can be turned on and off in any color desired.

KEY WORDS : Fuzzy theory, LED, Modbus, Ethernet, TCP, IoT, The Fourth Industrial Revolution

제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경 및 방법

제4차 산업혁명(Industry 4.0)은 정보통신기술의 융합으로 이루어낸 혁명 시대를 말한다. 18세기 초기 산업혁명 이후 네 번째로 중요한 산업 시대이다. 이 혁명의 핵심은 인공지능, 로봇공학, 사물 인터넷(Internet of Things, IoT), 무인 운송 수단(무인 항공기, 무인 자동차), 3D 프린팅, 나노 기술과 같은 6대 분야에서 새로운 기술 혁신이다. 4차 산업혁명으로 인해 사람들은 인공지능에서 오는 편리함으로 인해 노동에서 자유로울 수 있을 것이다[1].

그 중, 사물 인터넷은 각종 사물 등(가전제품, 모바일 장비 등 다양한 임베디드 시스템)에 환경 변화 등을 측정할 수 있는 각종 센서와 통신 기능을 내장하여 인터넷에 연결하는 기술을 의미한다. 그리고 인터넷으로 연결된 사물들이 각종 정보를 주고받아 스스로 분석하고 학습한 정보를 사용자에게 제공하거나 사용자가 이를 원격 조정할 수 있는 인공지능 기술이다. 이 기술로 인해 사람들은 더 나은 삶의 질을 추구할 수 있을 것이다. 사물 인터넷에 연결되는 사물들은 자신을 구별할 수 있는 유일한 아이피를 가지고 인터넷으로 연결되어야 하며, 외부 환경으로부터의 데이터 취득을 위해 센서를 내장할 수 있다[2].

Modbus는 각종 자동화 장비 감시 및 제어에 전 세계적으로 널리 사용되고 있는 자발적 산업표준 통신 프로토콜이다. 그러므로 선박, 빌딩, 기차, 비행기 등 Modbus를 이용하는 모든 장비들과 연결이 가능하여 환경변수의 측정 및 원격제어가 가능하다. 기존의 Modbus는 시리얼 통신을 기반으로 사용되어 왔으며, Modbus TCP는 오늘날 인터넷 프로토콜로 가장 많이 쓰이는 Ethernet 기반의 TCP/IP통신을 이용하므로 시리얼 통신에 비해 빠르다. 그리고 Ethernet 통

신을 사용한다는 것은 4차 산업혁명의 핵심인 사물인터넷 환경에 연결이 가능하다는 것이다. 이로 인해 Modbus TCP는 4차 산업혁명에 중요한 기술 중에 하나라고 할 수 있다.

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[3]. 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[4]~[5].

고출력 고휘도 LED는 조명용 광원으로 혁신적 결과물을 만들어내고 있으며, 기존 백열등과 형광등의 대체 광원으로 상용화가 활발하다[6].

본 논문에서는 퍼지이론 및 Modbus 통신 프로토콜을 이용하여 LED 조명을 제어하기 위한 시스템 알고리즘을 설계 및 구현하였다. 감성조명 제어 시스템의 입력변수는 온도, 습도, 조도이다. 그리고 감성조명 출력은 온도, 습도 및 조도에 따라 달라지며, 심리적 변화를 주기 위해 색채심리를 반영하여 도출된다. 시스템 구성으로는 유선 및 무선 환경에서 LED제어가 가능한 제어기 회로를 설계 및 구현 하였으며, 본 제어기를 통해 온도, 습도, 조도 상태를 모니터링 하고, 원격으로 RGB 값을 변경 하여 제어기의 LED 조명색상이 변화 되도록 구성하였다. 또한 퍼지 추론 시스템을 도입하여 최적의 색상이 출력 가능한 제어기를 구성하였다. 그리고 유선 환경인 RS-485 기반의 Modbus RTU와 Ethernet 기반의 무선 환경인 Modbus TCP를 연결하고 데이터를 통합 관리하여 중앙관제를 할 수 있도록 게이트웨이를 설계 및 구현하였으며, 이 게이트웨이를 통해 선박의 통합관리 시스템 및 빌딩 관리 시스템등과 같은 통합관리 시스템에 Modbus TCP 통신으로 연결 되어 온도, 습도, 조도 상태를 모니터링 및 LED 출력 값 확인이

가능하고 또한 사용자가 원격으로 RGB 값을 변경할 수 있기 때문에 LED의 On/Off 및 원하는 색으로 변경이 가능하게 된다. 제작한 LED 조명을 제어시스템의 구현 확인을 위해 가상의 통합관리 시스템을 만들어 온도, 습도, 조도 상태를 모니터링 하고, 원격으로 RGB 값을 변경 하여 제어기의 LED 조명색상이 변화 되는 것을 확인 하였다.

1.2 논문의 구성

본 논문은 총 6장으로 구성되어 있다. 먼저 1장에서는 본 논문에서 제안한 유무선 제어가 가능한 Modbus 기반의 LED 감성조명 시스템의 연구하게 된 배경 및 연구의 목적과 논문의 전체 구성을 제시하였다. 2장에서는 LED 특징 및 빛이 인간에 심리에 미치는 영향과 색채 연상 심리 및 감성조명 필요성, 4차 산업혁명, LED 조명제어 시스템에 대한 이론적 개념을 설명하였다. 그리고 감성조명 제어 시스템의 출력 데이터를 처리하기 위하여 퍼지이론을 소개하였으며 자동화 장비 감시 및 제어에 전 세계적으로 널리 사용되고 있는 자발적 산업표준 통신 프로토콜인 Modbus에 대해서 기술하였다. 3장에서는 Modbus LED 감성조명 제어시스템의 구성 및 설계에 대해서 기술하였다. 그리고 4장에서는 Modbus LED 감성조명 제어시스템의 구현에 대해서 기술하였으며 5장에서는 실험 및 출력 결과에 대하여 기술하였다. 마지막으로 6장에서는 결론을 제시하였다.

제 2 장 이론적 고찰

2.1 LED의 특징

최근 범세계적으로 에너지 문제와 친환경 산업 정책 이슈가 부각되면서 미래의 새로운 광원으로 가장 주목받고 있는 LED 조명이 더욱 각광을 받고 있다. 1962년 Holonyak이 처음 개발하여 전자회로 부품으로 사용되던 LED는 반도체 기술의 발전으로 미국 GE가 처음 적색 LED를 상용화 하였고, 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. 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 1/20 ~ 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[7].

고체소자조명은 10만 시간 이상의 장수명과 200[lm/W]에 근접하는 고효율 달성이 가능하고 점·소등 횟수에 따라 수명이 감소하지 않고 고속 스위칭이 가능하여 디지털 조명 단계를 넘어 유비쿼터스 조명까지 그 연구 개발 영역이 펼

쳐져 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[8].

2.2 빛이 인간의 심리에 미치는 영향

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 [9].

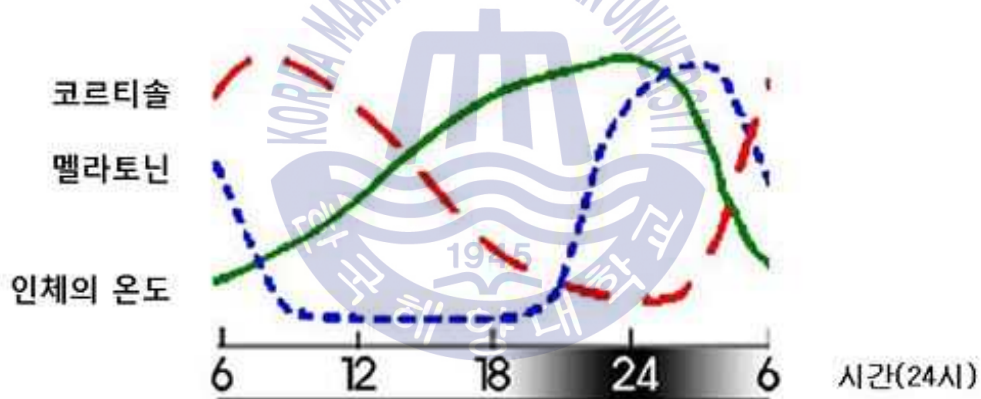


Fig. 1 생체주기에 따른 체온 및 호르몬 분비량

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 색채와 연상 심리

색채심리와 색채치료 관련 연구 고찰 논문에 의하면 색채는 빛이 물체에 비추어 반사, 투과, 흡수될 때 눈의 망막과 여기에 따르는 신경의 자극으로 감각되는 현상을 말한다. 우리가 느끼는 색의 인식은 눈에 의존해 나타나는 생리적인 현상이지만 감각을 통한 충격은 심리적으로 작용하기 때문에 색에 대한 반응은 자극적이고 감각적이며 직접적이라고 하였으며 '색'은 자극을 가할 수도 있고 사람을 평온하게 할 수도 있으며 또 흥분시키거나 진정 시킬 수도 더운 느낌이나 추운느낌, 혹은 슬픔이나 즐거움을 전달하기도 하고, 정열을 불러일으키거나 정신력을 높여주기도 한다. 또한 가까움-멈, 조용함-요란함, 남성적-여성적, 밝음-어두움, 강-약, 냉-소, 좋음-나쁨 같은 서로 대립되는 심리효과를 주므로 '색'을 이해하면 우리의 인식체계에 새로운 차원이 열린다[10]. 라고 저술하였다.

그리고 아동의 정서와 색채심리의 관계에 관한 연구 논문에 의하면 색채에는 감정이 있으며 개개의 색 또는 색채들의 조화가 주는 심리적인 효과는 공통된 경향이 있으나 개별적이고 주관적이 측면이 많으므로 공식화되기는 어렵다. 색에는 그것을 보는 사람으로 하여금 흥분을 일으키게 하는 적극적 색채와 차분하고 가라앉게 하는 소극적 색채가 있다. 전자는 자주, 빨강, 주황, 노랑, 황록에 걸친 난색이며, 후자는 청록, 파랑, 초록에 걸친 한색이다. 또한 색에는 경중

감이 있어서 담황색과 보라, 황록색과 남보라를 같이 놓으면 각각 앞의 것들이 가볍게 느껴진다. 보통 명도가 높은 색은 명도가 낮은 색보다 가볍고, 또 같은 명도에서는 채도가 높은 색이 채도가 낮은 색보다 가볍게 느껴진다. 채도는 높을수록 화려하게 느껴지고 낮을수록 검소한 느낌을 준다[11]. 라고 저술하였다.

이렇듯 개개의 색 또는 색채들의 심리적인 효과를 볼 수 있으며 빨강, 주황, 노랑, 초록, 파랑, 보라 6가지 색을 보았을 때 나타나는 심리적인 작용을 색채 심리와 색채치료 관련 연구 고찰 논문을 참고 살펴보았으며 아래의 Table1 과 같다[10].

Table 1 색채를 보았을 때 나타나는 심리작용

색채	심리작용
빨강	'힘', '생명력'의 상징, 혈액순환을 활성화, 뇌 척수액을 자극, 교감신경계를 활성화시키며 남성적인 힘과 관련된 강력한 '정력제', 몸을 따뜻하게 해줌.
주황	'빨강'과 '노랑'을 혼합한 색으로, 빨강의 강렬함은 따뜻함으로 노랑의 불안함은 편안함으로 바뀌어 '주황'에 묻어남. 기분을 고조시키는 색.
노랑	'가벼움', '호기심', '행복', '지혜'의 긍정적인 이미지. '주의', '불안', '신경질', '불안증'의 부정적인 이미지. 주위를 환기시키고 치료에 효과적.
초록	모든 색 중에서 가장 휴식을 주는 색. 중성의 색으로 '희망', '에너지', '다산', '성장'을 상징. 생명력을 회복시키고 마음에 평안을 주는 색.
파랑	시원한 색으로 자주성과 정신적 노력을 북돋아 줌. 푸른 하늘과 바다를 연상시키는 색으로 '편안함'을 주며 냉각, 진정의 효과.
보라	파장은 자외선과 인접하고 있어서 '화학작용'이 강함. 활동력이 저하되었을 때 마음이 끌리기 쉬운 색, 소생의 색

2.4 감성조명의 개요 및 필요성

2.4.1 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 색 온도의 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[12].

2.4.2 감성조명의 필요성

조명에서 색온도는 인간의 감성에 큰 영향을 미치는 요소이다. 색 온도란 광원의 빛을 수치적으로 표현하는 것인데, 한 물체의 색 온도는 같은 색광의 흑체의 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 심리적 작용은 위의 Table 1과 일치함을 보인다. 그리고 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. 7600~8000[K]의 푸른빛 조명이 수리영역에서 집중력을 최대로 발휘할 수 있도록 해주며, 4200~4600[K]의 일반 조명은 언어영역에서 최고의 효과가 있으며, 2200~2600[K]의 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 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 붉은빛의 광을 비추게 하면 사용자가 따뜻한 느낌을 받도록 할 수 있고, 여름철과 같이 외부 기온이 높고 습한 날에는 청량감을 줄 수 있는 높은 색온도인 푸른빛의 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 재장착해야 하므로 LED의 재장착에 드는 시간과 비용의 낭비라는 문제가 있었다. 따라서 온도와 같은 외부 환경 요인에 따라 적정 색온도를 가질 수 있도록 색온도의 가변이 가능한 조명램프의 필요성이 있다. LED는 전자제어가 가능하기 때문에 색상 변화가 가능하다. 따라서 외부환경에 따라 색상이 변화되는 LED 제어기의 필요성이 요구된다[13].

2.5 제4차 산업혁명과 사물인터넷

2.5.1 제4차 산업혁명의 개요

제4차 산업혁명은 클라우드 슈어브(Klaus Schwab)가 의장으로 있는 세계 경제 포럼에서 2016년에 주장한 용어이다.

산업혁명은 농경 사회에서 산업화로 발전하고 아날로그 전자장비에서 디지털 전

자장비로 진화하여 현재에 4차 산업혁명으로 이르렀으며 핵심기술로는 빅데이터, 인공지능, 로봇공학, 사물 인터넷, 스마트팩토리, 3D 프린팅 등이 있다. 아래의 Fig. 2는 산업혁명의 과정을 나타낸 것이다[14].

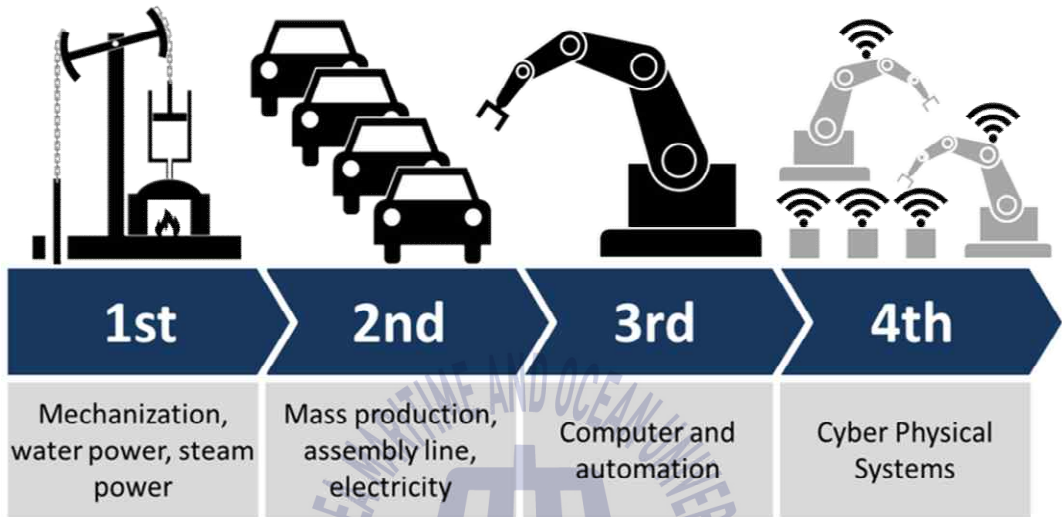


Fig. 2 산업혁명 과정

이것은 사이버 물리 시스템, 사물의 인터넷 그리고 시스템의 인터넷의 결합을 나타낸다. 간단히 말해, 그것은 기계들이 웹 연결로 강화되고 전체 생산 사슬을 시각화하고 스스로 결정을 내릴 수 있는 시스템에 연결되는 스마트 공장의 아이디어이다. 이 네 번째 혁명에서 우리는 물리적, 디지털, 생물학적 세계를 결합한 일련의 새로운 기술에 직면해 있다. 이러한 새로운 기술은 모든 분야, 경제, 산업에 영향을 미칠 것이며, 심지어 인간이 된다는 것이 무엇을 의미하는지에 대한 우리의 아이디어에도 도전할 것이다. 이러한 기술은 계속해서 수십억 명의 사람들을 웹에 연결시켜 기업과 조직의 효율성을 대폭 개선하고 더 나은 자산 관리를 통해 자연환경을 재생시키며 이전의 산업혁명으로 야기된 피해를 막을 수 있다. 하지만 심각한 잠재적 위험도 있다. 많은 전문가들은 제4차 산업혁명이 빈곤 계층보다 부유층에게 훨씬 더 큰 혜택을 줄 것이라고 제안하고 있는데, 특히 낮은 기술력과 저임금의 직업이 자동화에 더 좋아지기 때문이다[15].

2.5.2 사물 인터넷(Internet of Things, IoT)의 개요

조선비즈 위비경영연구소의 저서에 의하면 사물 인터넷이라는 용어는 1999년 케빈 에시턴(Kevin Ashton) MIT 오토아이디센터(Auto-ID Center) 소장이 “앞으로는 전자태그와 기타 센서를 일상생활에 사용하는 사물에 탑재한 사물 인터넷이 구축될 것” 이라고 전망하면서 처음 등장했으며, “사물 인터넷은 주변 사물들을 네트워크에 연결하는 기술을 의미한다” [16]. 라고 저술하였다.

한국정보통신기술협회에서는 사물인터넷은 기술적 및 사회적인 광범위한 비전으로 인식되고 있으며, 기술 표준화의 관점에서는 현존하거나 미래에 나타날 ICT 기술들을 기반으로 다양한 사물들을 연결하여 진보된 서비스를 제공하기 위한 글로벌 인프라로 정의되며, 사물인터넷은 식별, 데이터 획득, 처리 및 통신 기능을 기반으로 사물들이 제공하거나 사물들로부터 획득된 정보를 다양한 응용 서비스에 활용하며, 이런 활용에 있어 보안과 사생활 보호에 대한 요구 사항은 반드시 만족되어야 한다[17]. 라고 제시하였다. 아래의 Fig. 3은 사물인터넷의 단순 개념도를 나타낸 것이다[18].



Fig. 3 사물 인터넷의 단순 개념도

그리고 사물인터넷에서 사물은 물리적인 사물과 가상의 사물로 구분될 수 있으며, 사물은 식별 가능해야 하고 통신망에 연결될 수 있어야 한다. 또한, 사물은 연관된 정보를 가질 수 있으며 이 정보는 정적이거나 동적일 수 있다. 물리적인 사물은 물리적인 세계에 존재하는 센싱 또는 작용의 대상이며 통신 기술을 통해 연결될 수 있다. 예를 들어 주변의 환경, 산업용 로봇, 상품 및 전자 기기 등이 이에 해당한다[17]. 라고 제시하였다. 또한 사물 인터넷에 연결되는 사물들은 외부 환경으로부터 데이터 취득을 위해 센서를 내장할 수 있으며 자신을 구별할 수 있는 유일한 아이피를 가지고 인터넷으로 연결되어야 한다.

또한 한국정보통신기술협회에서는 사물 인터넷에서 물리적 사물은 하나 이상의 연관된 가상의 사물과 연관 관계를 통해 정보 세상에서 표현될 수 있으며, 물리적인 사물과 연관 관계를 갖지 않는 가상의 사물도 존재할 수 있다[17]. 라고 하였으며, 사물인터넷의 디바이스는 통신 기능을 갖는 기기로 센싱 및 구동, 정보 획득, 정보 저장 및 처리 기능을 가질 수 있다. 이 디바이스는 다양한 정보를 수집하여 추가적인 처리를 위해 통신망으로 전달하는 기능을 수행하며, 통신망으로부터 전달 받은 명령을 실행할 수 있다[17]. 라고 기술 하였다. 아래의 Fig. 4는 사물 인터넷의 기술적 개요를 나타낸 것이다[17].

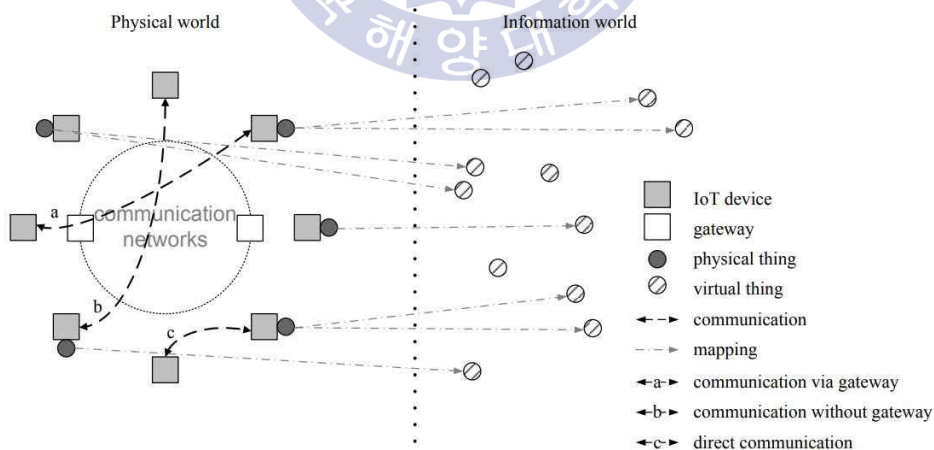


Fig. 4 사물 인터넷의 기술적 개요

그리고 디바이스는 게이트웨이를 사용하여 네트워크를 통해 연결하는 방식과 게이트웨이를 사용하지 않고 직접 네트워크를 통해 연결하는 방식, 마지막으로 네트워크를 통하지 않고 디바이스와 직접 연결하는 3가지 방식으로 통신을 할 수 있으며 위 3가지 방식을 혼합한 방식도 가능하다[17].라고 정의 하였다.

2.6 LED 조명제어 시스템

한국산업기술평가관리원에서는 LED 조명제어 시스템을 IT 기술과 LED 조명과의 결합을 통해 획기적 에너지 절감이 및 인간중심, 친환경, 그리고 사용자 요구 환경에 부합되는 콘텐츠가 내장된 다기능 솔루션을 사용자 요구사항에 맞추어 실시간으로 제공하는 산업간, 기술융합형의 시스템화된 차세대 조명[19]. 이라고 서술했다.

2.6.1 조명제어의 역사

1890년대부터 조명의 밝기 조절을 위한 조광기가 사용되기 시작했지만 1960년대에 SCR을 이용한 저전압의 아날로그 디머가 개발되면서 조명의 밝기를 조절하는 본격적인 조명 제어의 시대가 시작 되었으며, 1970년대가 들어서면서 디머 표준화에 대한 노력이 시작 되었고 이 시기에 탄생한 조광 방식이 0~10[VDC] 방식으로 다수의 업체가 이 방식을 지지하면서 현재까지도 아날로그 조광 방식의 산업 표준으로 인식되고 있다.

지금까지 조명 제어의 역사는 아날로그 조광에서 시작하여 디지털 다중화에 이르기까지 조명 제어만을 위한 통신 방식 개발이 주류였다면 현재 조명 제어 분야에서는 상대적으로 고도로 발달된 유무선 통신 기술의 도입이 시도되고 있다[20].

2.6.2 LED 조명제어 시스템의 기술적 개요

LED 조명제어 시스템 안에 포함된 조명 안에는 환경 변화 등을 측정할 수 있는 각종 센서와 유·무선 통신 기능을 내장하여 시간 및 환경 변화에 따라 조명제어를 할 수 있고, 조명제어 시스템의 게이트웨이와 연결되고 연결된 게이트웨이는

인터넷에 연결하여 사물인터넷 기반의 스마트한 조명제어 시스템 구축이 가능해진다. 이로 인해 조명기구를 제어하여 불필요한 에너지소비를 최소화하여 에너지 절감이 가능하며 사용자 요구 환경에 부합되는 콘텐츠가 내장된 다기능 솔루션을 사용자 요구사항에 맞추어 실시간으로 제공하는 산업간, 기술융합형의 시스템화된 차세대 조명이 가능하다[19].

아래의 Fig. 5는 사물인터넷 기반 스마트 조명제어 시스템의 개념도를 나타낸 것이다.



Fig. 5 사물인터넷 기반 스마트 조명제어 시스템의 개념도

2.7 퍼지 제어 시스템

2.7.1 퍼지 이론의 개요

퍼지 이론은 1965년, 미국 버클리대학의 Lofti Zedeh 교수가 ‘퍼지집합 (FUZZY SET)’이란 논문을 발표하면서부터 시작 되었으며 퍼지 이론은 퍼지 논리를 기초로 하는 이론이며 고전적인 집합론인 부울 논리를 확장한 개념이다 [21].

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[22].

2.7.2 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 μ_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 6은 보통집합과 퍼지집합의 관계를 나타낸 것으로 두 집합사이의 소속정도를 알 수 있다.

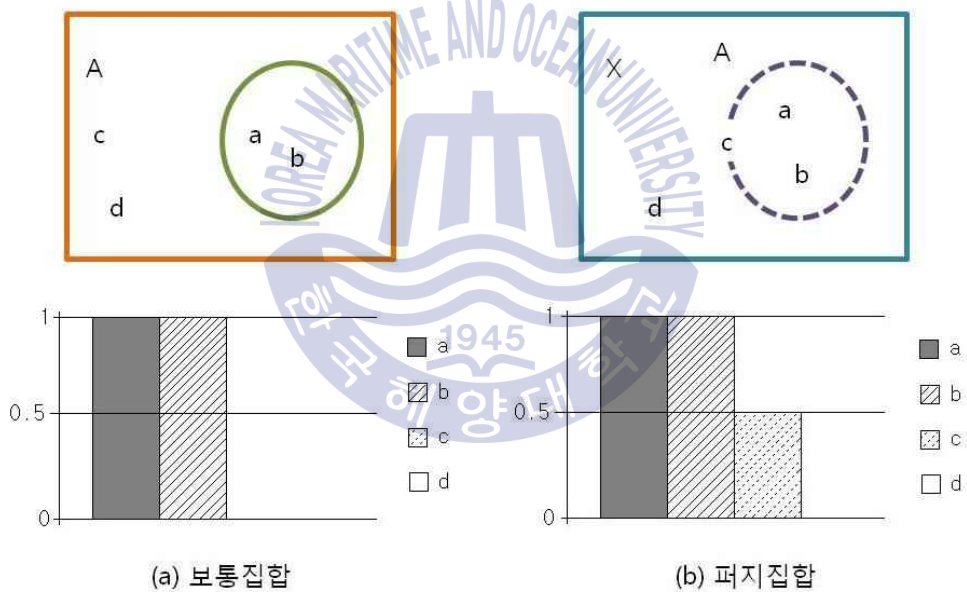


Fig. 6 보통집합과 퍼지집합의 표현

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 [23], 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.

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

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

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

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.

$$\cdot \text{ 논리합(Logical Sum)} : a \vee b = \max(a, b) \quad (13)$$

$$\cdot \text{ 대수합(Algebraic Sum)} : a + b = a + b - ab \quad (14)$$

$$\cdot \text{ 한계합(Bounded Sum)} : a \oplus b = \min(a+b, 1) \quad (15)$$

• 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. 7에서 Fig. 9는 퍼지 집합의 연산인 퍼지 교집합, 퍼지 합집합, 퍼지 여집합을 벤 다이어그램으로 나타낸 것이다.

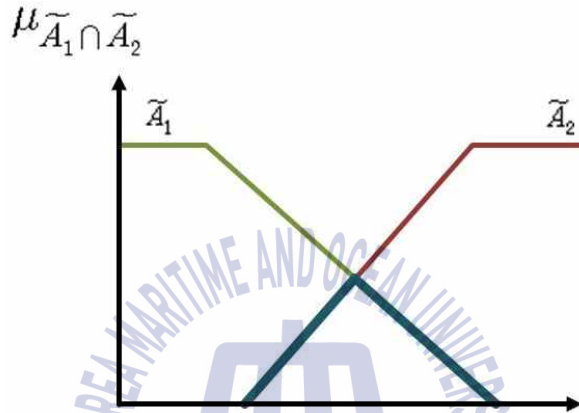


Fig. 7 퍼지 집합 $\tilde{A}_1$ 와 $\tilde{A}_2$ 의 교집합

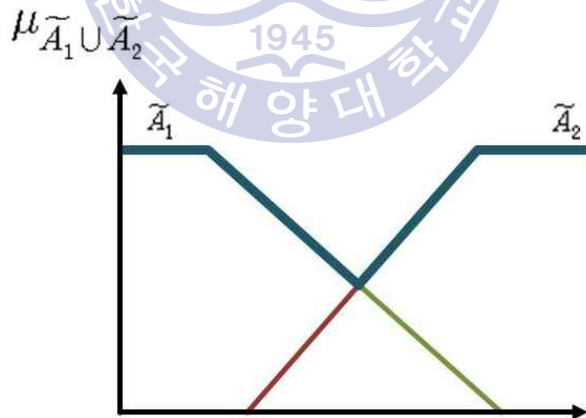


Fig. 8 퍼지 집합 $\tilde{A}_1$ 와 $\tilde{A}_2$ 의 합집합

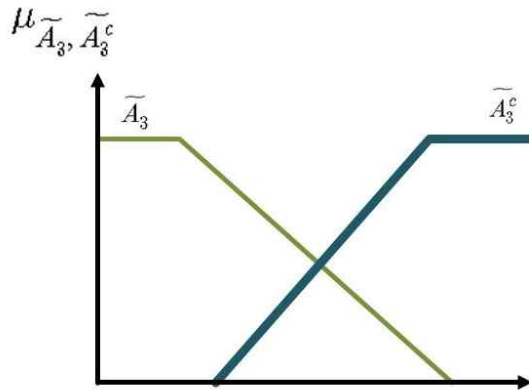


Fig. 9 퍼지 집합 $\tilde{A}_1$ 의 여집합

2.7.3 퍼지추론

“P이면 Q이다”와 같은 조건명제를 이용하여 이루어지는 추론에는, 연역추론(Modus ponens)과 대우추론(Modus Tollens)이 있다[24]. 이와 같은 비퍼지 명제에 대한 연역추론 및 대우추론을 퍼지명제로 확장시킨 것이 일반화된 연역추론(Generalized Modus Ponens : GMP) 및 일반화된 대우추론(Generalized Modus Tollens : GMT)이다[25].

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

$$\begin{aligned} \mu_{\tilde{Q}^*}(y) &= \max_x (\mu_{\tilde{A}^*}(x) \wedge \mu_{\tilde{A}}(x) \wedge \mu_{\tilde{B}}(y)) \\ &= \max_x \{ \mu_{\tilde{A}^*}(x) \wedge \mu_{\tilde{A}}(x) \} \wedge \mu_{\tilde{B}}(y) \\ &= \omega \wedge \mu_{\tilde{B}}(y) \end{aligned} \quad (19)$$

단, $\omega = \max_x \mu_{\tilde{A}^*}(x) \wedge \mu_{\tilde{A}}(x)$ 로 된다. 여기서, ω 는 $\tilde{P}^*$ 의 $\tilde{P}$ 에 대한 적합도를 나타내므로, 결론 $\tilde{Q}^*$ 는 $\tilde{Q}$ 의 ω 보다 큰 부분을 잘라낸 형태와 같다는 것을 알 수 있으며, Fig. 10은 이를 나타내고 있다.

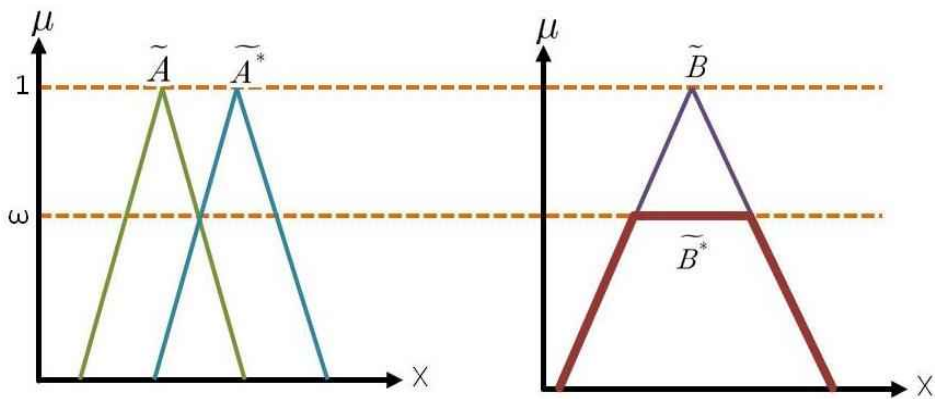


Fig. 10 Mamdani의 추론

2.7.4 퍼지 제어기의 구성

퍼지이론은 적절한 언어 값을 정의함으로써 불확실한 느낌을 그대로 나타낼 수 있다[26].

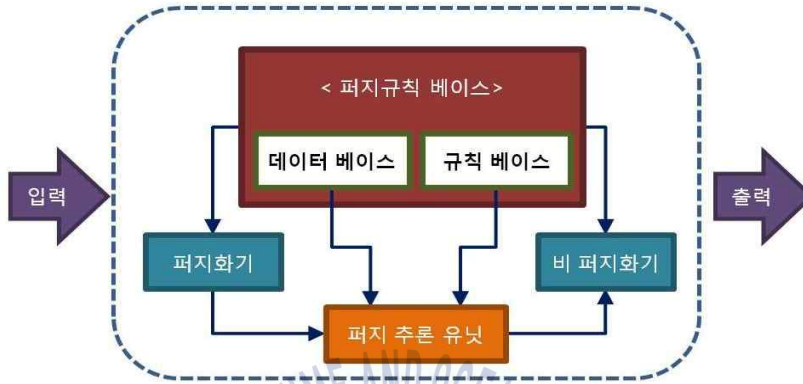


Fig. 11 퍼지 제어기의 기본구조

위의 Fig. 11은 기본적인 퍼지 제어기의 구조를 나타내고 있으며, 퍼지추론을 하는 데는 If-Then 형식의 추론 규칙이 필요하며, 이를 “퍼지 If-Then 규칙”이라고 한다.

다음과 같은 2개의 규칙으로 된 2입력 1출력의 경우를 고려해보자.

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

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

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 α_1 , 두 번째 규칙의 연결강도를 α_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. 12와 같다.

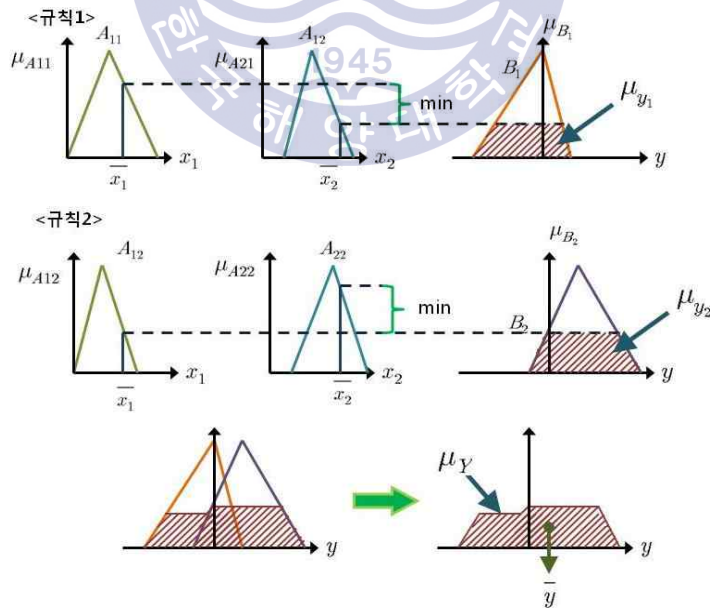


Fig. 12 퍼지 추론 과정

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[27].

- 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[28].

- 수치적인 입력변수값의 퍼지화방법 결정

입력변수의 값은 수치적인 값이므로 추론과정에 직접 이용될 수 없으므로 입력변수의 값을 퍼지화기(Fuzzifier)를 통하여 퍼지값으로 변환하여 사용하여야 한다[29].

- 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[30].

- 출력 퍼지값의 비퍼지화 방법의 결정

프로세서의 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[31].

아래의 Fig. 13은 앞에서 설명한 다변수 퍼지 시스템의 내부 구조 및 연산 과정을 나타낸 것이다.

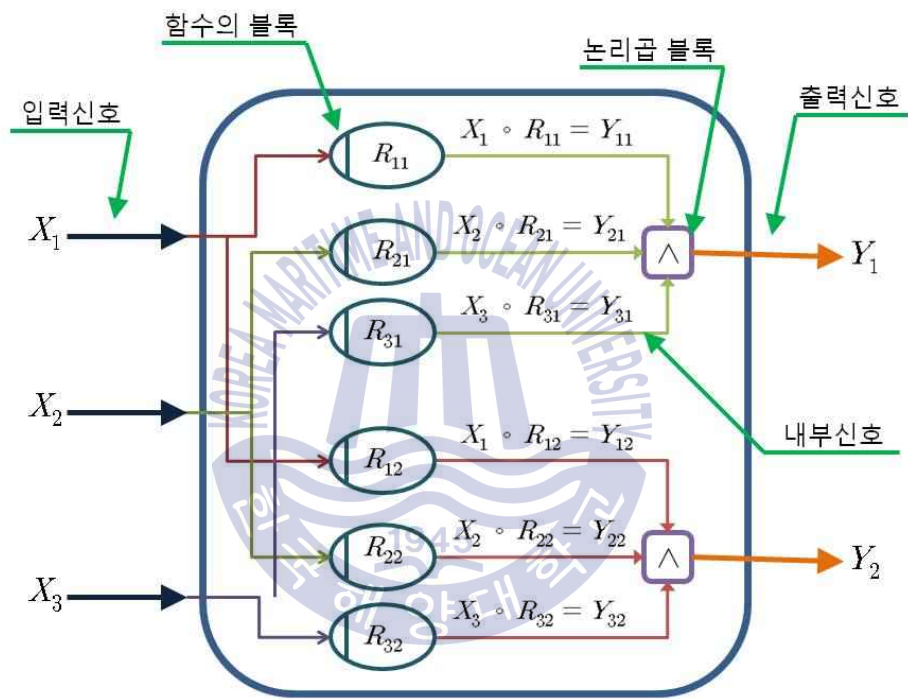


Fig. 13 다변수 구조 퍼지시스템의 블록도

2.8 Modbus 프로토콜

2.8.1 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 인터페이스하기 위한 프로토콜로 가장 널리 사용되고 있으며, 사용하기 쉽고, 자동제어에 사용되는 디지털 값, 아날로그 값의 데이터 형식에 제어/감시의 특징을 잘 표현 할 수 있고, 구현하기 쉽기 때문이다[32].

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.
- Bit단위 또는 워드(16Bits) 단위로 정보조작이 용이하다[33].

2.8.2 Modbus 프로토콜의 커뮤니케이션 구조

Modbus는 OSI 7계층 중 응용층에 속한 프로토콜이다. 이 프로토콜은 클라이언트/서버와 각기 다른 종류의 버스 또는 네트워크의 연결에 제공된다[34].

Fig. 14는 Modbus의 커뮤니케이션 구조를 나타낸 것이다[35].

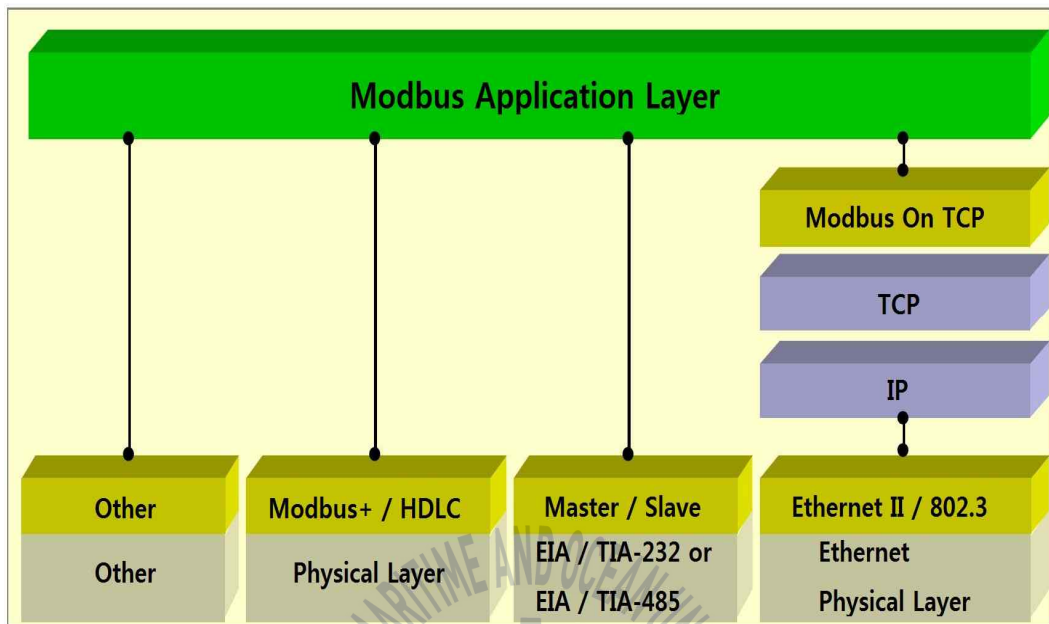


Fig. 14 Modbus의 커뮤니케이션 구조

2.8.3 Modbus 프로토콜의 통신과 장비

Modbus는 Master/Slave 기반 프로토콜이다. 시리얼 통신에서는 Master로 설정된 장비만이 Slave로 정보를 요청할 수 있는 반면, Ethernet 통신에서는 네트워크상의 어떤 노드도 정보를 요청할 수 있다. 요청정보는 읽기와 쓰기 모두 가능하다. 하지만, 대부분의 경우 Master는 하나만 존재한다.

네트워크상에 연결된 모든 노드들이 요청을 받을 수는 있지만, 요청 정보에 들어있는 목적 주소 장비만이 이에 응답한다. 물론 목적지 주소가 브로드캐스트 주소일 때는 예외이다. 목적지 주소를 0으로 설정하면, 수신한 모든 노드에서 요청을 처리하지만, 응답은 보내지 않는다. 또한, Modbus 요청 정보에는 통신 오류를 검출하기 위한 코드를 포함한다[33].

Fig. 15는 Modbus Master와 Slave간의 요청과 응답 리사이클 구조에 관해 나타낸 것이다[36].

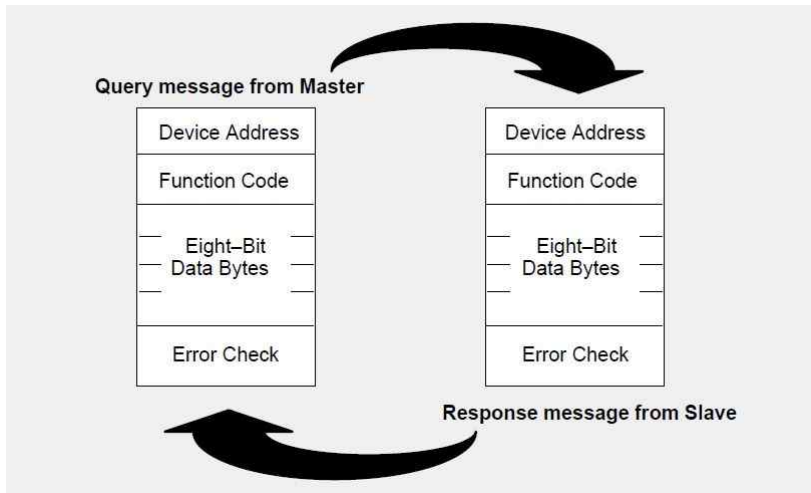


Fig. 15 Modbus Master와 Slave간의 요청과 응답 리사이클 구조

2.8.4 Modbus 프로토콜의 프레임 포맷

Modbus 통신 네트워크의 종류와 요청 정보의 형식에 따라 여러 가지 프레임 포맷이 존재한다. 이것은 RS-232 또는 RS-485를 사용하는 시리얼과 Ethernet을 사용하는 TCP로 나누어지진다. Modbus 시리얼은 ASCII와 RTU의 두 가지 전송 프레임 포맷을 가지고 있으며 네트워크에서는 같은 프레임 포맷을 사용해야 한다. ASCII 모드는 문제가 발생했을 때 보기가 편하며 High Level Language로 프로그램된 Master PC에 적당하며 RTU 모드는 기계어로 프로그램 된 Master PC에 적당하다.

두 프레임 포맷을 비교하면 RTU 모드에서는 데이터가 하나의 8 Bit 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[37].

Modbus RTU 프레임 포맷에 대한 정보는 Table2와 같다.

Table 2 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

2.8.5 Modbus TCP

TCP/IP는(Transmission Control Protocol/Internet Protocol)의 약어로서 TCP는 전송 제어 프로토콜이고 IP는 인터넷 프로토콜이다. 이 프로토콜들은 함께 사용되며 인터넷을 위한 전송 프로토콜이다. 이러한 프로토콜을 사용하여 Modbus 정보가 전송될 때, 데이터는 추가 정보가 첨부되어 IP에 주어지는 TCP로 전달되고 IP는 데이터를 패킷에 저장하고 전송한다[38].

TCP/IP 통신 프로토콜은 1970년대 초 DoD(Department of Defence), ARPANET(Advanced Research Project Agency's NETwork)을 위해 개발되었다. ARPANET은 원래 실험적으로 Packet-Switched Wide Area Network로 디자인되었다. 실험은 매우 성공적이었고, 여러 세월동안 확장되고 다듬어진 프로토콜 스택들을 탄생시켰다. 이들 프로토콜들은 LAN상에서 유용하게 적용되었다. 1980년 초, TCP/IP는 버클리의 유닉스 버전 4.2에 일부분으로 포함되어졌다. 그 결과 프로토콜은 광범위한 네트워크에 사용되었다. CAD, 제조 엔지니어링분야서 주로 쓰였던 유닉스 4.2는 TCP/IP를 네트워크의 표준 프로토콜로 채택하였다.

1983년, TCP/IP는 네트워킹과 인터 네트워킹을 위한 군사용 프로토콜 표준이

되었다. TCP/IP는 ARPANET과 MILNET 양쪽에서 사용하는 프로토콜이다. TCP/IP 프로토콜 역시 ISO의 OSI(Open System Interconnection) 참조 모델에 준하여 개방형 통신 프로토콜 구조로 만들어졌다.

TCP/IP의 네트워크 계층의 IP는 현재까지 6개의 버전을 가지고 있다. 현재 대부분의 인터넷은 버전 4를 사용하고 있다. 이 버전은 인터넷 주소를 서로 다른 클래스로 분할하는 주소 공간의 길이가 단지 32Bit만을 사용한다는 것이 큰 문제점으로 지적되고 있다. 인터넷의 급속한 발전으로 32Bit는 인터넷을 사용하는 모든 사용자를 처리하기에는 충분하지 못하기 때문이다. 또, 주소 공간을 서로 다른 클래스로 구분하는 것은 이용할 수 있는 주소를 제한하게 된다.

IETF는 버전 6이라는 새로운 버전의 설계를 통해 네트워크계층 프로토콜만 변경하여 IPv4는 IPv6로 ICMPv4는 ICMPv6가 되었고, ARP는 ICMPv6로 통합하였다. 그 중IPv6는 버전 4에서 32Bit였던 주소를 128Bit로 확장하여 많은 사용자를 수용할 수 있게 되었으며 패킷 형식도 단순해져 버전 4의 많은 단점들을 보완하였다[39].

1) Modbus TCP의 구성

Modbus TCP는 TCP/IP 프로토콜을 기반으로 전용 헤더를 사용하여 Modbus ADU(Application Data Unit)를 식별한다. 이를 MBAP Header(Modbus Application Protocol Header)라고 한다. 이 헤더는 Modbus RTU 응용 프로그램 데이터에 비해 몇 가지 차이점이 있다.

첫 번째로 Modbus 시리얼 라인에서 일반적으로 사용되는 Modbus Slave Address필드는 MBAP 헤더 내의 단일 Byte Unit ID로 대체된다. Unit ID는 하나의 IP 주소를 사용하여 여러 독립형 Modbus 엔드 유닛을 지원하는 브리지, 라우터 및 게이트웨이와 같은 장치를 통해 통신하는 데 사용된다.

두 번째로 Modbus가 TCP를 통해 전송될 때, 메시지가 전송을 위해 다수 패킷으로 분할되더라도 수신자가 메시지의 경계를 인식할 수 있도록 MBAP Header에 추가적인 길이 정보가 전송된다[40].

아래의 Fig. 16은 Modbus RTU와 Modbus TCP의 프레임 구조에 관해 나타낸 것이다.

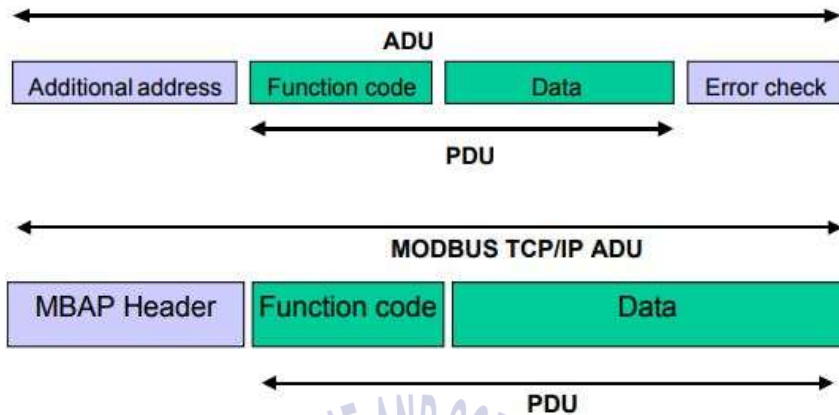


Fig. 16 Modbus RTU와 Modbus TCP의 프레임구조

MBAP Header는 7Byte의 길이를 가지고 있으며 이에 대한 구성은 아래의 Table 3과 같다.

Table 3 MBAP Header 프레임 포맷

이름	길이(bits)	기능
Transaction ID	16	클라이언트가 각 요청을 고유하게 식별
Protocol ID	16	Client가 설정 한 2 Byte, 0 = Modbus Protocol
Length	16	뒤에 따라오는 메시지의 Byte 수를 나타냄
Unit ID	8	시리얼 회선이나 다른 버스에 연결된 Slave 식별

2.8.6 Modbus 프로토콜의 Function Code

Modbus Function Code는 레지스터나 코일에 값을 쓰거나 읽는 명령들이다. Modbus에서는 4 가지 기억장소를 가지고 명령을 수행하게 된다. 정리하면 Table 4와 같은 영역으로 구분되어 진다[41].

Table 4 Modbus Function Code 및 기억장소

기억장소명	Function code	대상 Bit수	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 16번의 코드를 이용하여 제어기를 구현하였다. Function Code 3번은 Reading Function으로 Modbus 네트워크상에 다른 디바이스로 부터 데이터를 받는 Function이며 다시 말해 16Bit Input Function이다. 그리고 Function Code 16번은 Writing Function으로 Modbus 네트워크상에 다른 디바이스로 데이터를 줄 수 있는 Function이며 다시 말해 16bit Output Function이다. 3번과 16번 Function Code를 이용하여 각 제어기의 데이터를 송·수신하기 위하여 본 제어시스템에 적용하였다.

1) Read Holding Registers

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

Table 5 Read Holding Register 프레임 요구 패킷

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

Table 6 Read Holding Register 프레임 응답 패킷

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

※ N = 레지스터 개수

2) Write Multiple Registers

Remote Device에 Holding Register의 값을 쓰고자 할 때 사용한다. 총 2Byte로 구성되어 있으며, 시작주소는 0이며 정수형 값을 지원한다[32].

Table 7 Write Multiple Register 프레임 요구 패킷

패킷	대상 Byte수	데이터
Function code	1 Byte	0x10
시작 주소	2 Byte	0x0000 부터 0xFFFF
Register 값	2 Byte	0x0000 부터 0x007B

Table 8 Write Multiple Register 프레임 응답 패킷

패킷	대상 Byte수	데이터
Function code	1 Byte	0x10
시작 주소	2 Byte	0x0000 부터 0xFFFF
Register 값	2 Byte	1 to 123 (0x7B)

제 3 장 Modbus LED 감성조명 제어 시스템의 구성 및 설계

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

3.1 퍼지 알고리즘의 구성

본 연구에서 마이크로프로세서로 입력되는 값은 온도, 습도, 조도 3가지 변수이다. 여기서 온도, 습도 그리고 조도 값은 퍼지연산으로 RGB LED 조명 색의 값을 도출하게 된다. Fig. 17은 본 논문에서 이용된 제어시스템의 대략적인 블록도이다.



Fig. 17 제어시스템의 블록도

그리고 본 논문의 퍼지추론에서 사용된 입·출력 언어변수의 설정은 다음의 Table 9와 같다.

Table 9 퍼지추론 언어변수의 설정

온도입력의 언어변수	습도입력의 언어변수	조도입력의 언어변수	REG LED출력의 언어변수
매우 추움(VLT)	매우 건조(VLH)	매우 어두움(VD)	최저(VLO)
추움(LT)	건조(LH)	어두움(D)	적음(LO)
따뜻함(MT)	보통(MH)	보통(M)	보통(MO)
더움(HT)	습함(HH)	밝음(B)	많음(HO)
매우 더움(VHT)	매우 습함(VHH)	매우 밝음(VB)	최대(VHO)

3.2 퍼지 멤버쉽 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 멤버쉽 함수를 할당하였다. 퍼지 멤버쉽 함수의 범위는 Fig. 18과 같다.

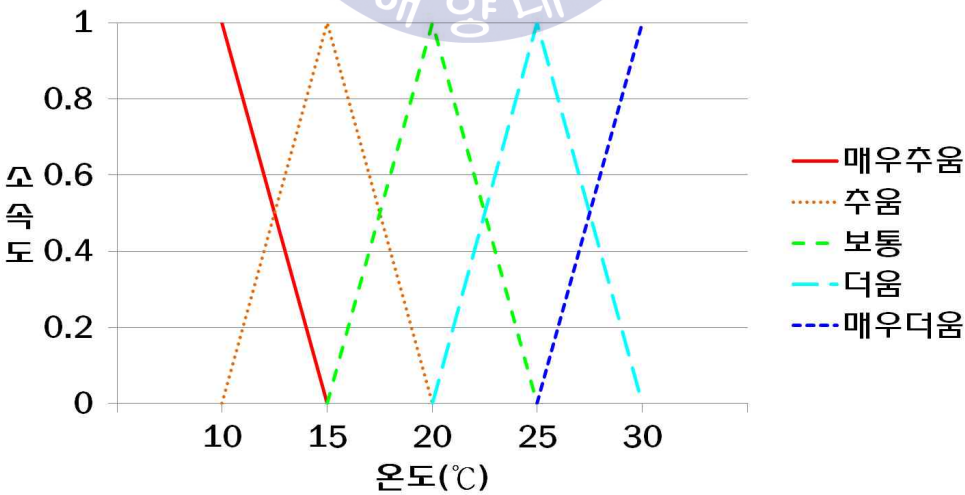


Fig. 18 온도입력 퍼지 멤버쉽 함수

‘매우 추움’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[℃]인 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 매우 건조(VLH), 건조(LH), 보통(MH), 습함(HH), 매우 습함(VHH)의 5부분으로 나누어 퍼지 멤버십 함수를 할당하였다. 퍼지 멤버십 함수의 범위는 Fig. 19와 같다.

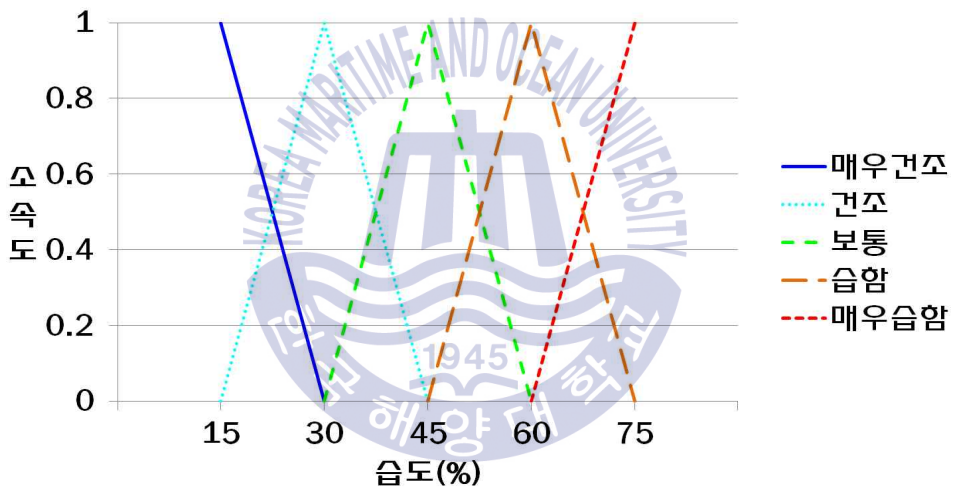


Fig. 19 습도입력 퍼지 멤버십 함수

‘매우 건조’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 조도입력에 관한 언어변수 설정에 따라 습도 값의 범위를 매우 어두움(VD), 어두움(D), 보통(M), 밝음(B), 매우 밝음(VB)의 5부분으로 나누어 퍼지 멤버십 함수를 할당하였다. 퍼지 멤버십 함수의 범위는 Fig. 20과 같다.

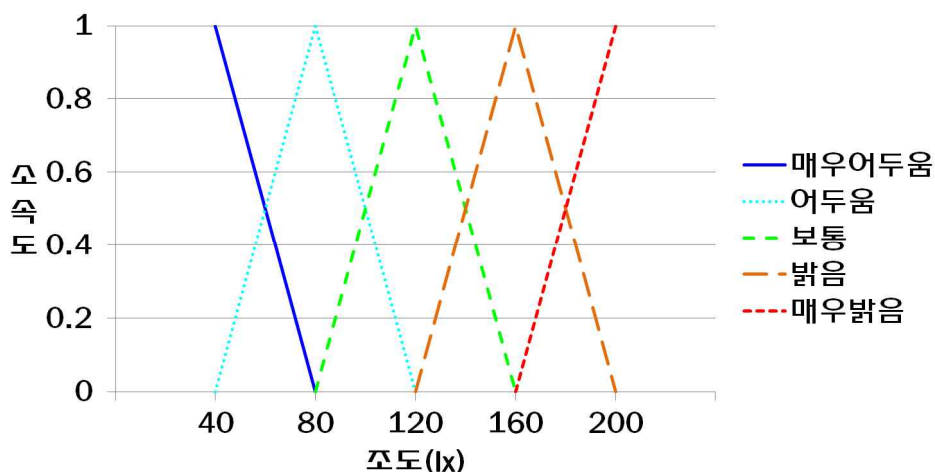


Fig. 20 조도입력 퍼지 멤버십 함수

‘매우 어두움’의 경우 조도가 0[lx] 이하면 소속도가 1이며 80[lx]까지는 소속도를 가지고 있다. ‘보통’의 경우 120[lx]에서 완벽한 1의 소속도를 가지며 0[lx]에서 200[lx] 사이에서 선형적으로 변화되는 소속도를 가지게 된다.

그리고 LED 출력에 관한 언어변수 설정에 따라 RGB LED 각 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. 21과 같다.

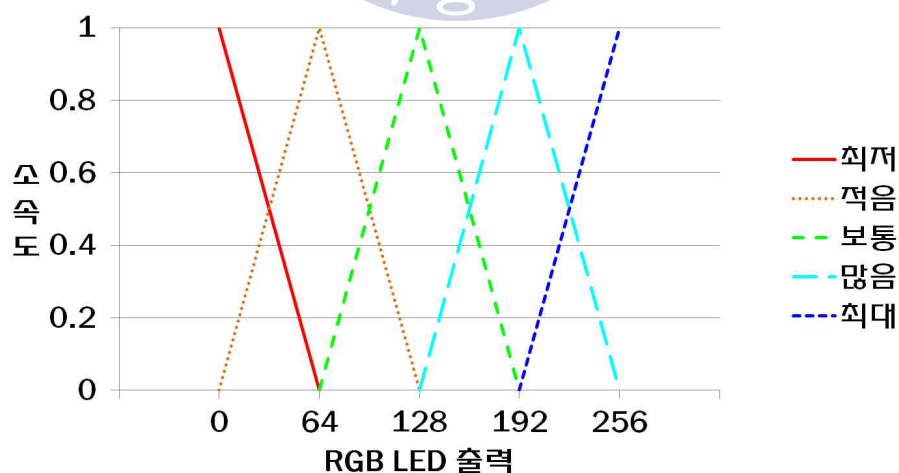


Fig. 21 LED 출력 퍼지 멤버십 함수

위의 LED 출력 퍼지 멤버십 함수를 바탕으로 온도입력과 습도 입력 그리고 조도에 따른 RGB LED 출력범위를 색채심리와 접목하여 온도, 습도, 조도 변화에 따른 출력을 유도하였다. 예를 들어 온도가 10[℃]이하일 때에는 Table 1의 언급한 바와 같이 빨간색의 출력을 100[%]로 주어 교감신경을 활성화 시켜 몸을 따뜻하게 해줌으로서 심리적인 보완을 할 수 있게 하였으며 온도가 10[℃] 이상으로 올라갈 때에는 빨간색의 출력 비율이 감소하며 초록색의 출력비율이 증가하게 되며 20[℃]일 때 100[%] 출력을 갖게 된다. 온도가 20[℃]전후에 인간은 쾌적함을 느끼므로 초록색의 출력을 100[%]로 주어 생명력을 회복시키고 마음에 평안을 줄 수 있게 하였다. 그리고 온도가 20[℃]이상으로 올라갈 때에는 초록색의 출력 비율이 감소하며 파란색의 출력비율이 증가하게 되며 30[℃]일 때 100[%] 출력을 갖게 된다. 30[℃]의 더운 날씨에 파란색의 출력을 100[%]로 주어 푸른 하늘이 연상되며 냉각 진정효과를 줄 수 있게 하였다. Fig. 22는 온도입력에 따른 RGB LED 출력 범위이다.

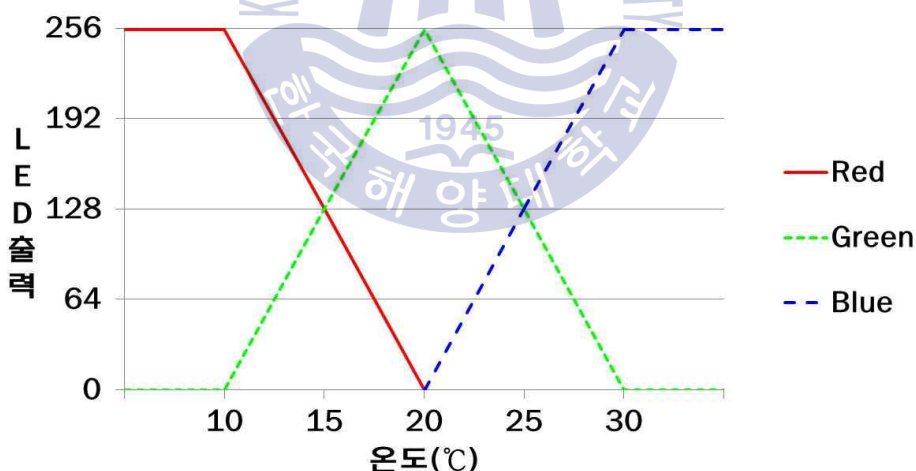


Fig. 22 온도입력에 따른 RGB LED 출력 범위

습도의 경우는 Table 1의 언급한 바와 같이 15[%]이하의 건조한 상태의 환경에 푸른 바다를 연상시키고 편안함과 진정효과를 가질 수 있게 파란색의 출력

을 100[%]로 주어 심리적으로 보완할 수 있게 하였으며 습도가 15[%]이상으로 올라갈 때에는 파란색의 출력 비율이 감소하며 초록색의 출력비율이 증가하게 되며 습도가 45[%]일 때 100[%] 출력을 갖게 된다. 습도가 45[%]전후에 인간은 쾌적함을 느끼므로 온도의 출력과 마찬가지로 초록색의 출력을 100[%]로 주어 생명력을 회복시키고 마음에 평안을 줄 수 있게 하였다. 그리고 습도가 45[%]이상으로 올라갈 때에는 초록색의 출력 비율이 감소하며 빨간색의 출력비율이 증가하게 되며 75[%]일 때 100[%] 출력을 갖게 된다. 75[%]의 습한 날씨에 빨간색의 출력을 100[%]로 주어 교감신경을 활성화 시켜 에너지를 줄 수 있게 하였다. Fig. 23은 습도입력에 따른 RGB LED 출력 범위이다.

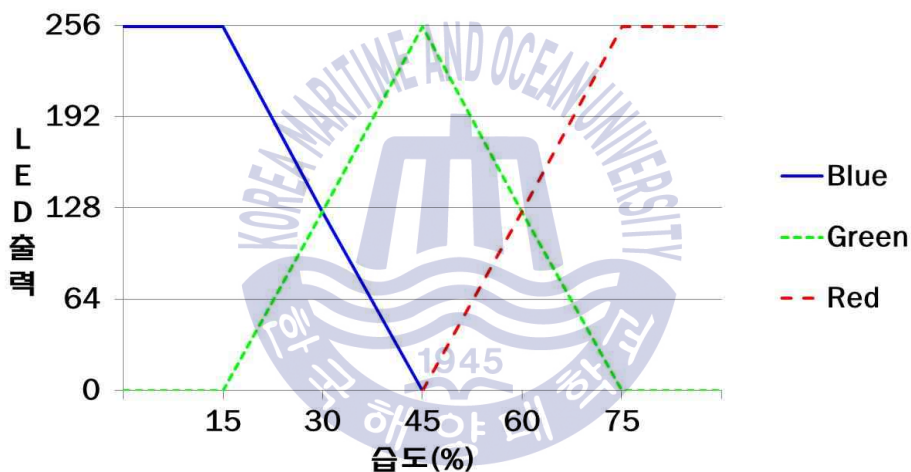


Fig. 23 습도입력에 따른 RGB LED 출력 범위

조도의 경우는 밝기에 따라 RGB LED의 출력의 범위를 차이 나게 설정하였다. 조도의 입력변수가 매우 어두움(VD)일 때 LED 출력을 100[%], 어두움(D)일 때 LED 출력을 75[%], 보통(M)일 때 LED 출력을 50[%], 밝음(B)일 때 LED 출력을 25[%], 매우 밝음(VB)일 때 LED 출력을 0[%]로 설정하였다.

Red, Green, Blue의 LED에 환경적인 변화를 심리적으로 보완할 수 있는 함수 퍼지 멤버쉽을 출력 시 3가지 색이 섞이게 된다. 그리고 멤버쉽의 경계구간에서의 애매모호 한 색이 나올 수 있다. 그리고 위의 RGB LED출력 범위를 바

탕으로 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.

Red 출력 Red : 최대 Green : 적게 Blue : 적게	Yellow 출력 Red : 보통 Green : 보통 Blue : 적게	Green 출력 Red : 적게 Green : 최대 Blue : 적게	Cyan 출력 Red : 적게 Green : 보통 Blue : 보통	Blue 출력 Red : 적게 Green : 적게 Blue : 보통	Magenta 출력 Red : 보통 Green : 적게 Blue : 보통	
Hot Pink 출력 Red : 보통 Green : 적음 Blue : 적음	Orange 출력 Red : 많음 Green : 적음 Blue : 적게	Lawn Green 출력 Red : 적음 Green : 많음 Blue : 적게	Spring Green 출력 Red : 적게 Green : 많음 Blue : 적음	Sky Blue 출력 Red : 적음 Green : 적음 Blue : 많음	Blue Violet 출력 Red : 적음 Green : 적음 Blue : 보통	Forest Green 출력 Red : 적음 Green : 보통 Blue : 적음

Fig. 24 LED 예상출력 색상

3.3 퍼지 제어 규칙(Fuzzy Control Rules)의 설정

위의 퍼지 멤버십 함수들을 통하여 125가지의 제어 규칙을 설정 하고 If-Then 규칙으로 변환하여 퍼지 규칙을 아래의 125가지 항목으로 나누어 정의 하였다.

- R1 : If 온도 = 매우 추움 and 습도 = 매우 건조 and 조도 = 매우 어두움 then Red 출력 = 최대 and Green 출력 = 없음 and Blue 출력 = 최대
- R2 : If 온도 = 매우 추움 and 습도 = 매우 건조 and 조도 = 어두움 then Red 출력 = 많음 and Green 출력 = 없음 and Blue 출력 = 많음
- R3 : If 온도 = 매우 추움 and 습도 = 매우 건조 and 조도 = 보통 then Red 출력 = 보통 and Green 출력 = 없음 and Blue 출력 = 보통
- R4 : If 온도 = 매우 추움 and 습도 = 매우 건조 and 조도 = 밝음 then Red 출력 = 적음 and Green 출력 = 없음 and Blue 출력 = 적음
- R5 : If 온도 = 매우 추움 and 습도 = 매우 건조 and 조도 = 매우 밝음 then Red 출력 = 최저 and Green 출력 = 없음 and Blue 출력 = 최저

- R51 : If 온도 = 매우 추움 and 습도 = 보통 and 조도 = 매우 어두움 then Red 출력 = 최대 and Green 출력 = 최대 and Blue 출력 = 없음
- R52 : If 온도 = 매우 추움 and 습도 = 보통 and 조도 = 어두움 then Red 출력 = 많음 and Green 출력 = 많음 and Blue 출력 = 없음
- R53 : If 온도 = 매우 추움 and 습도 = 보통 and 조도 = 보통 then Red 출력 = 보통 and Green 출력 = 보통 and Blue 출력 = 없음
- R54 : If 온도 = 매우 추움 and 습도 = 보통 and 조도 = 밝음 then Red 출력 = 적음 and Green 출력 = 적음 and Blue 출력 = 없음
- R55 : If 온도 = 매우 추움 and 습도 = 보통 and 조도 = 매우 밝음 then Red 출력 = 최저 and Green 출력 = 최저 and Blue 출력 = 없음

- R121 : If 온도 = 매우 더움 and 습도 = 매우 습함 and 조도 = 매우 어두움 then Red 출력 = 최대 and Green 출력 = 최대 and Blue 출력 = 최대
- R122 : If 온도 = 매우 더움 and 습도 = 매우 습함 and 조도 = 어두움 then Red 출력 = 많음 and Green 출력 = 없음 and Blue 출력 = 많음
- R123 : If 온도 = 매우 더움 and 습도 = 매우 습함 and 조도 = 보통 then Red 출력 = 보통 and Green 출력 = 보통 and Blue 출력 = 보통
- R124 : If 온도 = 매우 더움 and 습도 = 매우 습함 and 조도 = 밝음 then Red 출력 = 적음 and Green 출력 = 없음 and Blue 출력 = 적음
- R125 : If 온도 = 매우 더움 and 습도 = 매우 습함 and 조도 = 매우 밝음 then Red 출력 = 매우 적음 and Green 출력 = 없음 and Blue 출력 = 매우 적음

예를 들어 온도가 매우 덥고 습도가 매우 습한 조도가 매우 어두울 경우 LED 색상은 Magenta색이 커지게 되나, 매우 덥고 매우 습하다는 명제(조건)에 얼마나 일치할지, 즉 소속도의 값이 얼마나 확률의 값 1에 수렴하는가에 따라 기존의 분홍색에서 미세하게 색상이 변화하게 된다. 전문가 지능시스템이란 퍼지제어를 하고자 하는 프로젝트에 대해 많은 경험과 지식을 보유한 전문가의 의견을 반영하는 것으로서, 개발자는 이런 전문가의 의견을 얼마만큼이나 잘 이해하고 퍼지 규칙에 반영하여 설정하느냐에 따라 프로젝트에 사용된 퍼지제어 알고리즘의 완성도가 결정되게 된다[13].

3.4 비퍼지화(Defuzzification) 과정

앞장에서 계산한 퍼지화된 수치는 직접 출력(LED Display의 동작값)으로 사용할 수 없다. 그러므로 실제로 사용가능한 수치로 변환하기 위해 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 , 조도 조건을 C_i , Color를 D_i 라 하고, 조건 A, B, C에 대한 센서의 측정값을 a, b, c라고 할 때,

$$e = \frac{\sum_{i=1}^{125} \min(\mu_{A_i}[a], \mu_{B_i}[b], \mu_{C_i}[c]) * D_i}{\sum_{i=1}^{125} \min(\mu_{A_i}[a], \mu_{B_i}[b], \mu_{C_i}[c])} \quad (26)$$

무게중심법을 이용하여 비퍼지화 된 결과 e는 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 가

지 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[13].

3.5 Modbus LED 감성조명 제어 시스템의 구조

Modbus LED 감성조명 제어 시스템은 Modbus TCP통신망과 무선 네트워크 환경을 조성하기 위한 Modbus TCP Ethernet 네트워크와 Wireless AP, Modbus TCP LED 제어기. 그리고 이 Ethernet 네트워크는 외부 인터넷망과 연결 시 네트워크 구성영역 이외의 지역에서도 인터넷망과 연결되어 있다면 원격으로 제어가 가능하게 된다.

또한 무선장비가 설치가 불가능 한 곳에 유선 통신을 할 수 있는 시리얼 통신 기반의 RS-485 통신인 Modbus RTU 통신망이 구성되어 있다. RS-485 통신은 장거리 통신에 적합하고 노이즈에 강력한 특징을 가지고 있다. RS-485의 자세한 특징은 4.1.2절의 5)통신부 파트에 기술하였다.

그리고 Ethernet 기반의 Modbus TCP 네트워크와는 다른 시리얼 통신 프로토콜인 Modbus RTU 네트워크와 통신을 할 수 있게 해주는 게이트웨이가 있고 온도, 습도, 조도 값을 입력 받고 LED 출력을 할 수 있는 RTU 와 TCP LED 제어기가 있으며 각 LED 제어기에서 받은 온도, 습도, 조도 입력 값은 Modbus 통신망을 통해 PC기반의 퍼지 연산기로 입력이 되며 연산을 하며 연산을 마친 후 다시 Modbus 통신망을 통해 LED 출력 값을 각 LED 제어기에 전달하게 되어 LED출력을 하게 된다.

마지막으로 모든 LED 제어기를 제어 및 모니터링 할 수 있는 Touch Panel로

구성되어 있다. 아래의 Fig. 25는 Modbus LED 감성조명 제어 시스템의 구성을 나타낸 것이다.

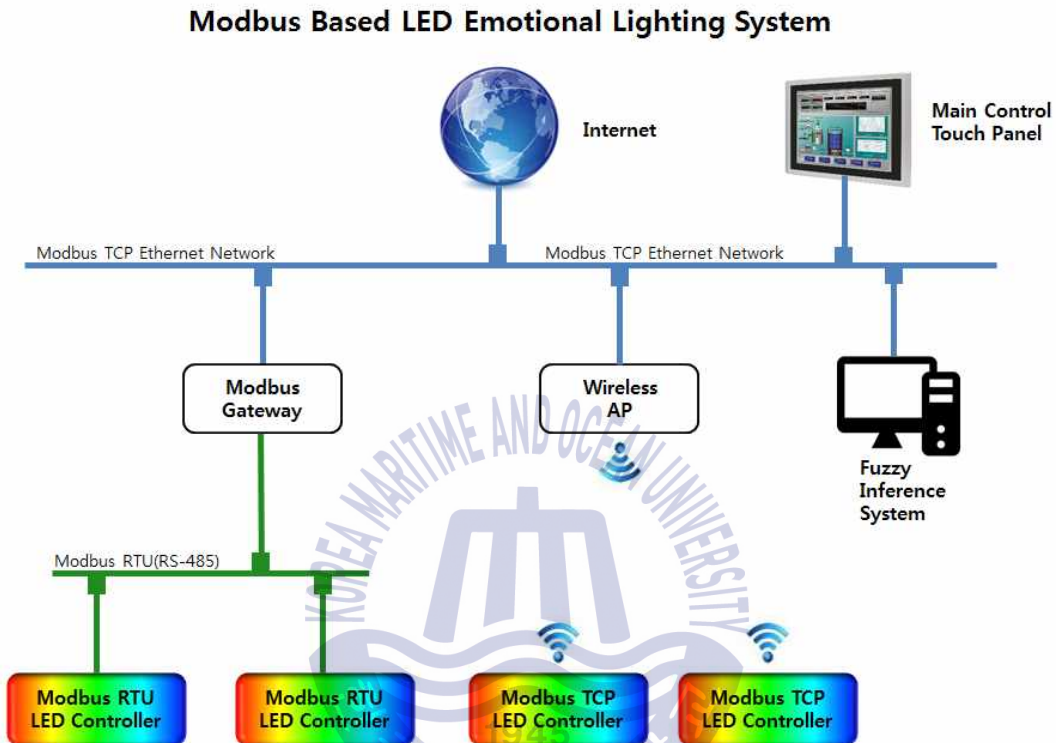


Fig. 25 Modbus LED 감성조명 제어 시스템의 구성

3.6 Modbus Address 할당

2.8.6절에서 제시한 것과 같이 Holding Resister인 3번과 16번의 코드를 이용하여 제어기에 프로그래밍을 하였다. Holding Resister의 Address 의 시작은 40001번지부터 49999까지의 체계이며 1주소 당 2Byte(16Bit)의 크기를 가진다. 사용 Address의 할당은 MCU의 성능에 따라 적당한 할당이 필요하며 본 연구에는 Modbus RTU 제어기 영역을 40001번지부터 40038번지까지 사용하였고 Modbus TCP 제어기 영역을 401001번지부터 40138번지까지 사용하였다. Modbus RTU 제어기 Address 사용 내용은 Table 10과 같으며 Modbus TCP 제

여기 Address 사용 내용은 아래 Table 11과 같다. 40001번지부터 40138번지 중 사용하지 않은 Address는 Spare 영역이 되며 향후 용도에 따라 추가 및 삭제가 가능하다.

Table 10 Modbus RTU LED 제어기 Address 할당 Table

주소	용도	범위	입력/출력
40001	1번 LED Red 출력 Set	0 ~ 255	입력
40002	1번 LED Green 출력 Set	0 ~ 255	
40003	1번 LED Blue 출력 Set	0 ~ 255	
40004	2번 LED Red 출력 Set	0 ~ 255	
40005	2번 LED Green 출력 Set	0 ~ 255	
40006	2번 LED Blue 출력 Set	0 ~ 255	
40007	제어기 Remote 모드 Set	0 ~ 4	
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 Fuzzy/Manual 상태	0:Fuzzy, 1:Manual	
40034	현재 온도 상태(℃)	0 ~ 130	
40035	현재 습도 상태(%)	0 ~ 100	
40036	현재 조도 상태(lx)	0 ~ 360	

Table 11 Modbus TCP LED 제어기 Address 할당 Table

주소	용도	범위	입력/출력
40101	LED Red 출력 Set	0 ~ 255	입력
40102	LED Green 출력 Set	0 ~ 255	
40103	LED Blue 출력 Set	0 ~ 255	
40107	제어기 Remote 모드 Set	0 ~ 4	
40121	감성조명 Red 값 출력 상태	0 ~ 255	출력
40122	감성조명 Green 값 출력 상태	0 ~ 255	
40123	감성조명 Blue 값 출력 상태	0 ~ 255	
40131	제어기 Fuzzy/Manual 상태	0:Fuzzy, 1:Manual	
40134	현재 온도 상태(℃)	0 ~ 130	
40135	현재 습도 상태(%)	0 ~ 100	
40136	현재 조도 상태(lx)	0 ~ 360	

3.7 제어기의 동작 Flow Chart

3.7.1 Modbus RTU 제어기의 동작 Flow Chart

Modbus RTU 및 TCP 제어기설계의 감성조명 모드, Manual 모드 및 전반적인 동작의 System설계를 Flow Chart로 나타내었으며 Flow Chart는 Fig. 26~27과 같다.

LED 감성조명 시스템은 감성조명 모드뿐만 아니라 원격으로 제어기의 On/Off 및 모드 변경이 가능하며 Manual 모드로 동작 시 Modbus 통신을 통해 RGB LED 각각의 채널 출력을 임의로 조절이 가능하게 설계되어 있다.

Touch Panel로 모든 LED 제어를 원격 제어할 수 있다. 또한 Modbus TCP를 지원하는 장비와 연결하여 Remote제어를 할 수 있으며 외부 인터넷망과 연결 시에는 Ethernet 네트워크 영역 이외의 장소에서도 제어가 가능하다.

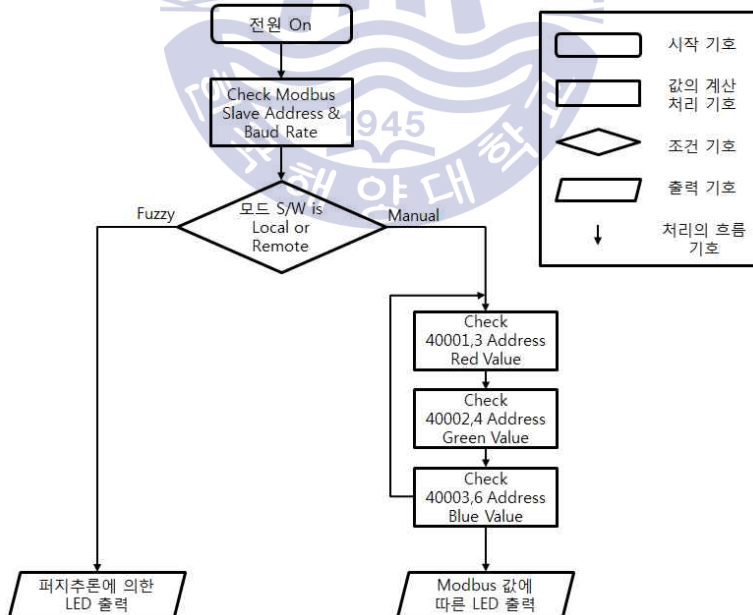


Fig. 26 Modbus RTU 제어기의 시스템 플로 차트

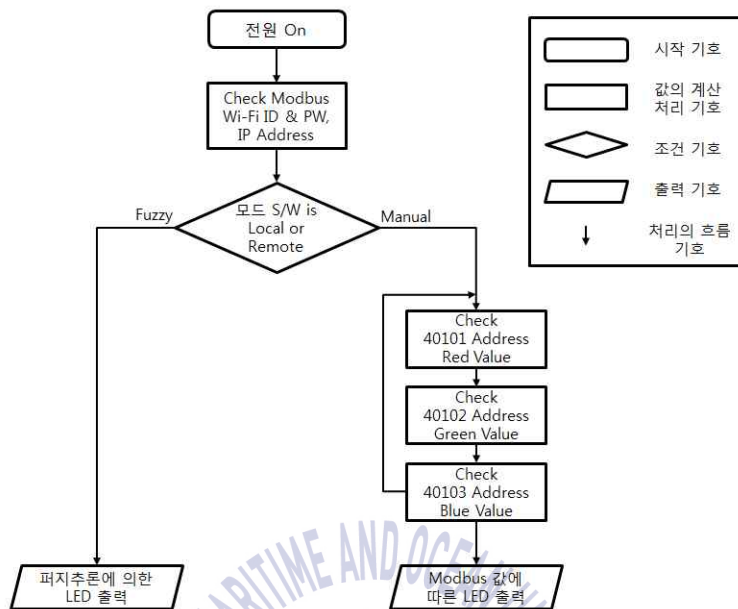


Fig. 27 Modbus TCP 제어기의 시스템 플로 차트

제 4 장 Modbus LED 감성조명 제어 시스템의 구현

4.1 시스템의 하드웨어 구성 및 설계

4.1.1 Modbus RTU 제어기의 하드웨어 구성

Modbus RTU 제어보드의 하드웨어 구성은 입력변수인 온도, 습도, 조도의 입력을 받는 센서부와 이를 처리 및 연산을 수행하는 MCU부, 연산 결과 값의 출력을 표현하기 위한 LED 제어부, Modbus RTU Devices들과 통신을 할 수 있게 하는 통신부, 각종 통신 및 모드 설정을 할 수 있는 설정부, 220[VAC] 전원을 12[VDC]의 LED 모듈 및 제어기에 전원을 공급할 수 있게 변환을 해주는 SMPS, 12[VDC]의 전원을 제어기에 사용가능한 5[VDC]로 변환 해주는 전원부로 구성이 되어있다.

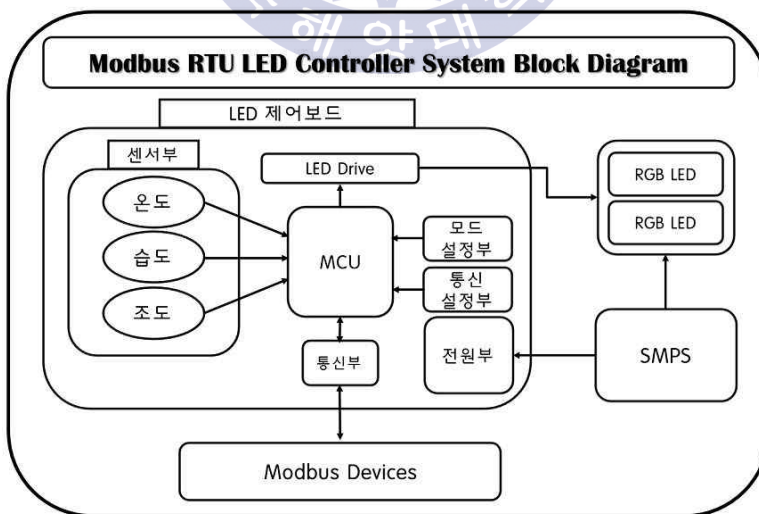


Fig. 28 Modbus RTU LED 제어기 시스템 블록 다이어그램

4.1.2 Modbus RTU 제어기의 설계

1) MCU 및 모드&통신 설정부

Modbus RTU 제어보드의 MCU는 컴파일 테크놀로지 주식회사의 8Bit 프로세서인 CUBLOC CB280모델을 사용하였다. 이 프로세서는 베이직 언어 및 레더로직을 지원하여 시퀀스제어가 가능한 특징을 가지고 있으며 기본적인 내부 프로세서는 ATmel사의 ATmega128을 이용한 제품이다. 본 연구에서는 베이직 언어를 이용해 프로그래밍 하였으며 프로세서의 사양은 Table 12와 같다.

Table 12 CUBLOC CB280 사양

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-indepedent 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" 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 연산 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 시리얼 Port를 이용해 Modbus 통신이 가능하도록 설정 및 15Point Input을 Dip S/W에 연결하여 모드&통신 설정을 가능하도록 하였다.

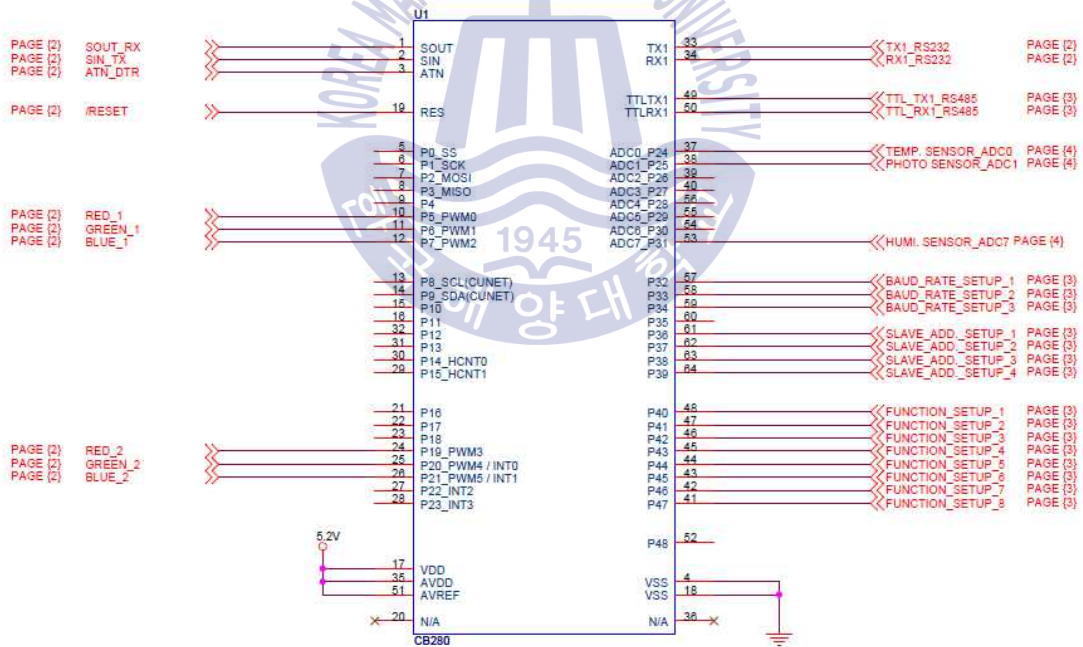


Fig. 29 CUBLOC CB280 회로도

2) LED 제어부

MCU의 출력 값을 실제적인 색상으로 내주는 LED 모듈은 RGB LED 3구 모듈을 사용하였다. MCU에서 나오는 값은 실제로 모듈을 구동시키지는 못한다. 모듈의 구동전압은 12[VDC]로 전원부인 SMPS부에서 공급을 한다. MCU에서 나오는 값은 5[VDC]로 이 값을 증폭을 위해서 파워MOSFET의 Gate단으로 연결되어 실질적으로 모듈을 On-Off시키는 기능을 한다. 즉, FET는 스위치의 기능을 하는 것으로 게이트단의 신호에 따라 모듈에 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 22.7[A]지만 12[VDC] 입력시 직류로 흘릴 수 있는 최대 전류는 대략3[A] 이므로 모듈이 개당 0.06[A]의 소비전류를 가지는 LED 모듈을 시나리오 출력이 아닌 고정색으로 사용 시 이론상 채널당 모듈을 50개까지 연결할 수 있다. 회로는 Fig. 30과 같이 구성하였다.

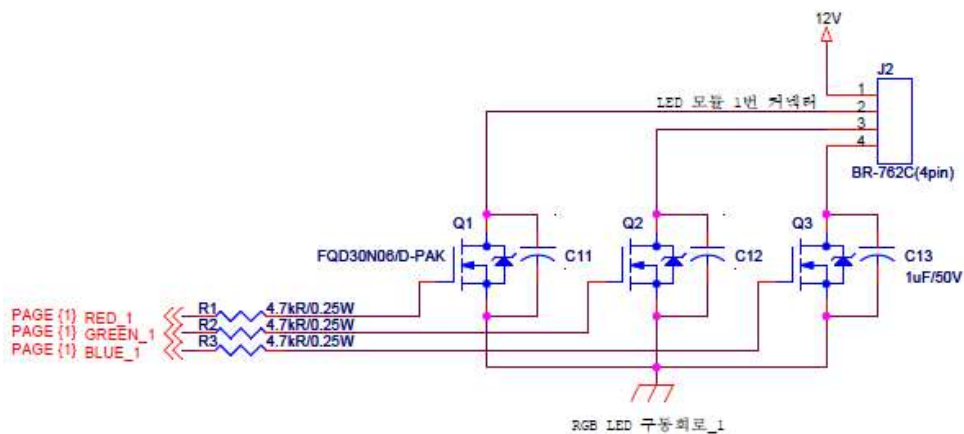


Fig. 30 RGB LED 제어부 회로도

본 연구에서 LED 제어부 회로는 인공 지능을 이용한 식물 공장 LED 조명 제어 시스템 구현에 관한 연구 학위논문의 회로를 참고하여 테스트를 진행하던 중 2[A] 이상의 부하를 연결하여 동작시 MOSFET이 수분 안에 소손이 되는 것을 확인하여 오실로스코프로 파형을 측정결과 아래와 같이 서지 노이즈가 발생한 것을 Fig. 31를 통해 확인할 수 있다[43].

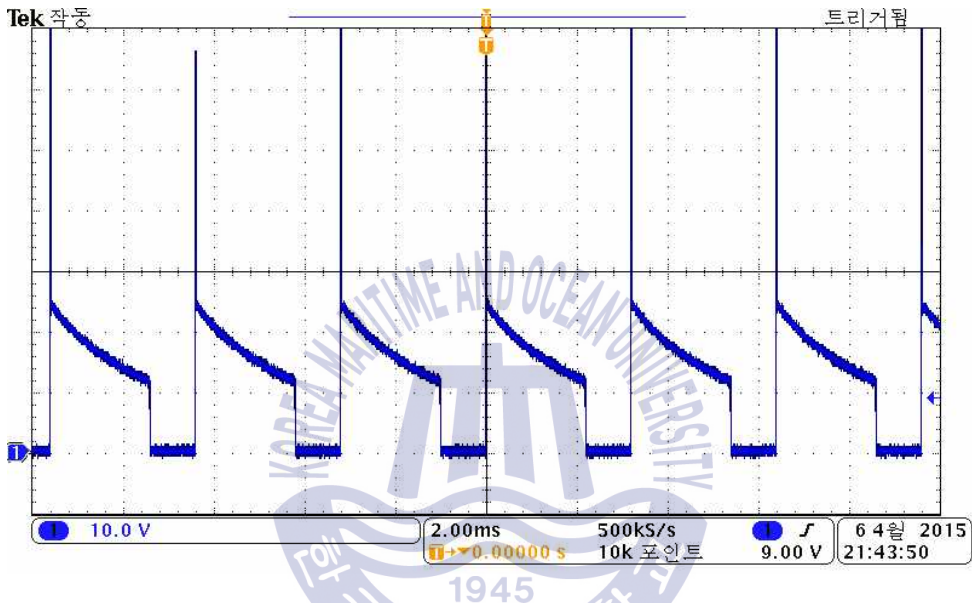


Fig. 31 Gate 저항 100[Ω] 설치 오실로스코프 파형

위의 서지 노이즈는 MOSFET 내압인 60[VDC]를 초과하는 값으로 MOSFET이 소손이된 것으로 판단 Gate 저항을 기존 100[Ω]저항을 위의 회로와 같이 4.7[kΩ]으로 변경하여 Gate MCU 쪽의 PWM 드라이브 전류제한의 폭을 높였다. 그 결과 Fig. 32와 같이 20[VDC] 정도의 서지 노이즈를 가지는 파형을 측정 할 수 있었다. 20[VDC]의 서지 노이즈는 4.7[kΩ]을 증가시켜 줄일 수 있지만 MOSFET 스위칭 속도에 영향을 줄 수 있으므로 증가시키지 않고 Source와 Drain사이에 1[uF]커패시터를 설치하여 서지 노이즈를 줄일 수 있었다. 1[uF]의 커패시터 용량은 실험수치인 2[A]에 맞추어 진 용량으로 부하가 증가할 시 커패시터의 용량은 증가되어야 할 것이며 1[uF] 추가후의 파형 결과는 Fig.33에서 확인할 수 있다.

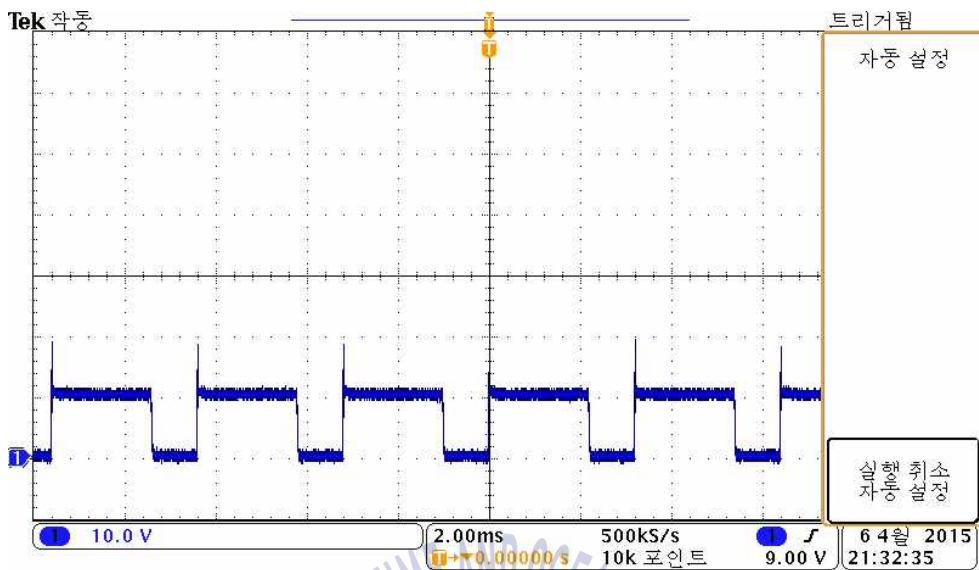


Fig. 32 Gate 저항 4.7[k Ω] 설치 오실로스코프 파형

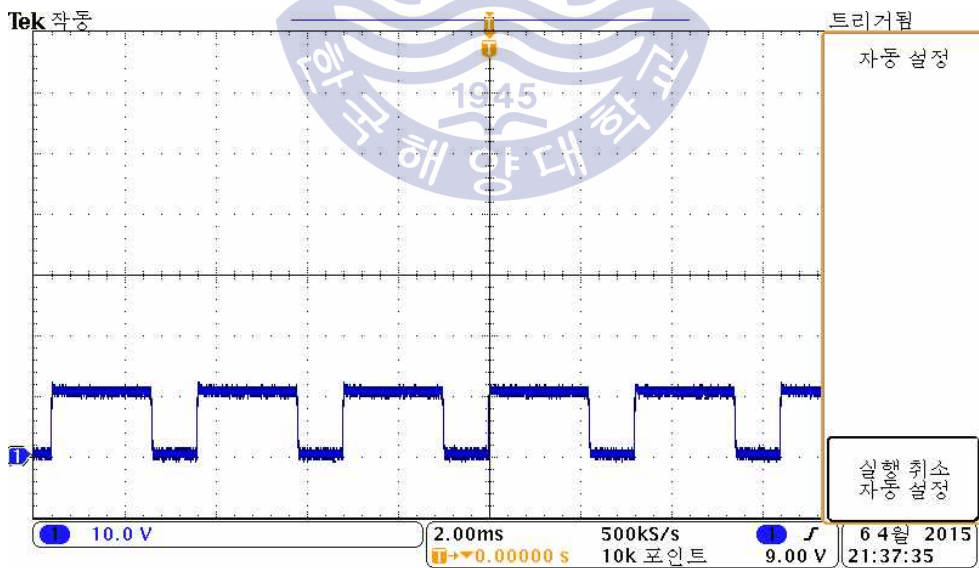


Fig. 33 Gate 저항 4.7[k Ω] & Source-Drain 커패시터 1[uF] 설치 오실로스코프 파형

3) 전원부

전원부는 SMPS에서 들어오는 12[VDC]의 전압을 MCU, 각종센서, 통신 드라이버에 사용이 가능한 5[VDC] 전압으로 낮추어주는 역할을 하는 곳이다. MCU의 구동전압은 5[VDC]이고 5.5[VDC]까지 사용이 가능하다. 하지만 컴파일 테크놀로지 주식회사에서 5.1[VDC] 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. 34와 같이 구성하였다.

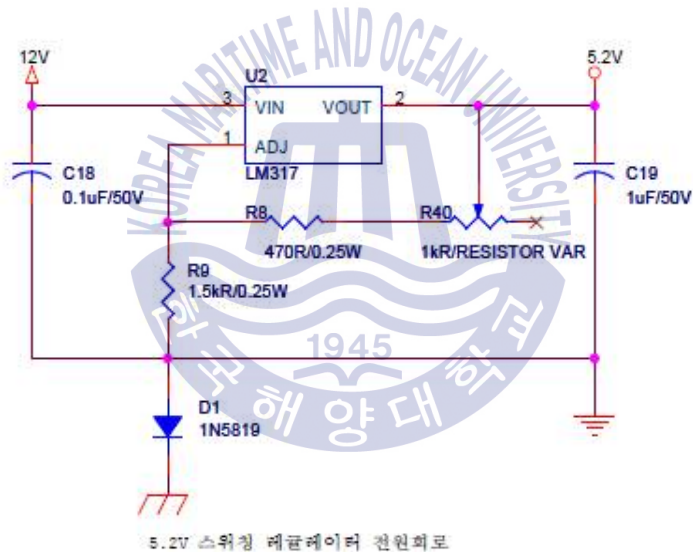


Fig. 34 RTU 제어기 전원부 회로도

4) 센서부

센서부는 온도, 습도, 조도의 값을 0~5[VDC]전압으로 변환한다. 그리고 MCU는 그 전압을 10Bit ADC 분해능 값인 0~1024 값을 변환 후 다시 이 값을 각 센서의 관계식에 따라 실제 값으로 연산하여 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 $-55[^\circ\text{C}]$ 부터 $130[^\circ\text{C}]$ 까지 측정이 가능하며 구동전압은 $2.4[\text{VDC}]$ 부터 $5.5[\text{VDC}]$ 까지 사용이 가능하다. TI사에서 제공한 온도에 따른 전압출력 관계식은 아래(27)와 같다.

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

위 공식을 바탕으로 계산을 하면 온도가 $25[^\circ\text{C}]$ 일 때 소자의 출력 값은 $1.574[\text{VDC}]$ 가 된다. 온도센서 회로는 Fig. 35과 같이 구성하였다.

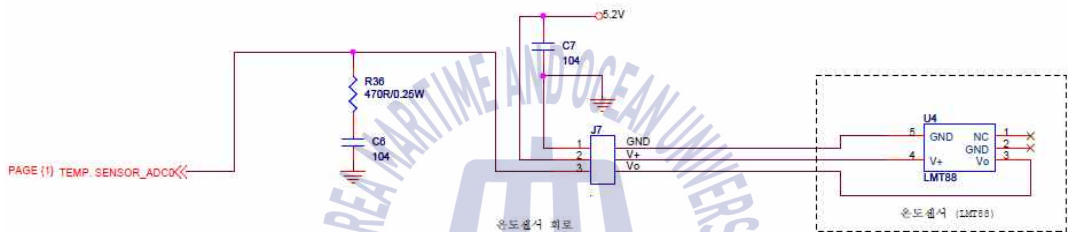


Fig. 35 RTU 제어기 온도센서 회로도

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 구동전압은 $4[\text{VDC}]$ 부터 $5.8[\text{VDC}]$ 까지 사용이 가능하다. Honeywell사에서 제공한 습도에 따른 전압출력 관계식은 아래(28)와 같고 온도차에 따른 오차 보상한 실제 값은 (29)와 같다.

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

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

위 공식을 바탕으로 계산을 하면 $5.2[\text{VDC}]$ 의 입력전원에 $2.444[\text{VDC}]$ 출력일 때 센서의 측정 습도는 $50[\%]$ 가 된다. 만약 온도가 $20[^\circ\text{C}]$ 상황이라면 오차 보상한 실제 습도 값은 $49.44[\%]$ 가 된다. 습도 센서 회로는 Fig. 36과 같이 구성

하였다.

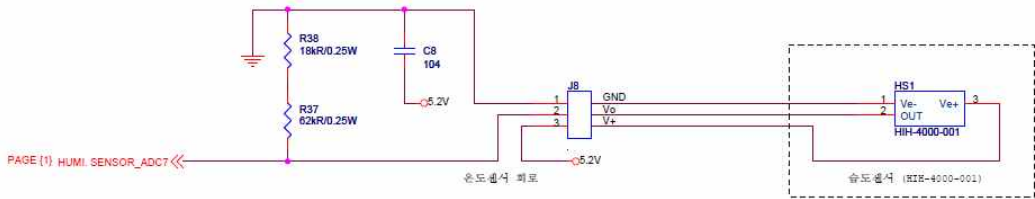


Fig. 36 RTU 제어기 습도센서 회로도

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 $6.83[\text{lx}]$ 가 되며 구동전압은 $2.7[\text{VDC}]$ 부터 $5.5[\text{VDC}]$ 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 $0[\text{VDC}]$ 이고 조도가 $10[\mu\text{W}/\text{cm}^2]$ 일 때 소자의 출력 값은 $0.69[\text{VDC}]$ 가 된다. 조도센서 회로는 Fig. 37과 같이 구성하였다.

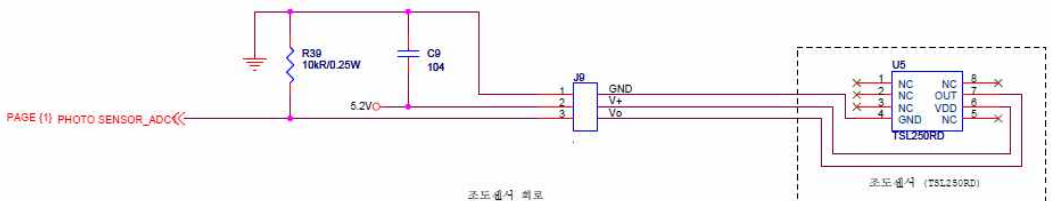


Fig. 37 RTU 제어기 조도센서 회로도

5) 통신부

Modbus RTU 제어보드와 다른 Modbus 장비들과의 통신은 2.8.4절의 Modbus 프로토콜의 프레임 포맷에서 말한바와 같이 시리얼 통신을 사용하였다. 그리고 MCU 사양에 RS232 시리얼통신을 지원하므로 사용 가능 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 +12[V] 으로부터 -7[V]까지의 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 10[m]까지는 35[Mbps], 1200[m] 에서는 100[kbps] 이다 [42].

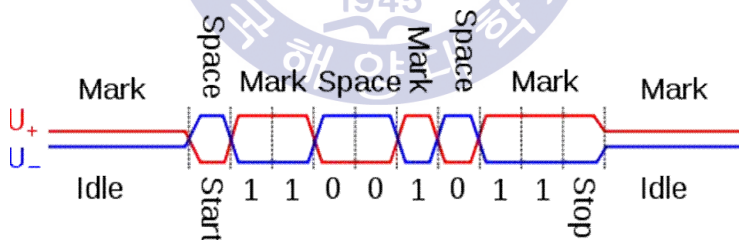


Fig. 38 RS-485 파형의 예

RS-485 드라이버는 Maxim Intergrated사의 MAX485칩을 사용 하였으며 최대 데이터 통신속도 2.5[Mbps] 까지 통신이 가능하며 최대 32개의 다른 장비들과 연결이 가능한 칩이다. Fig. 39 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 구성하였다.

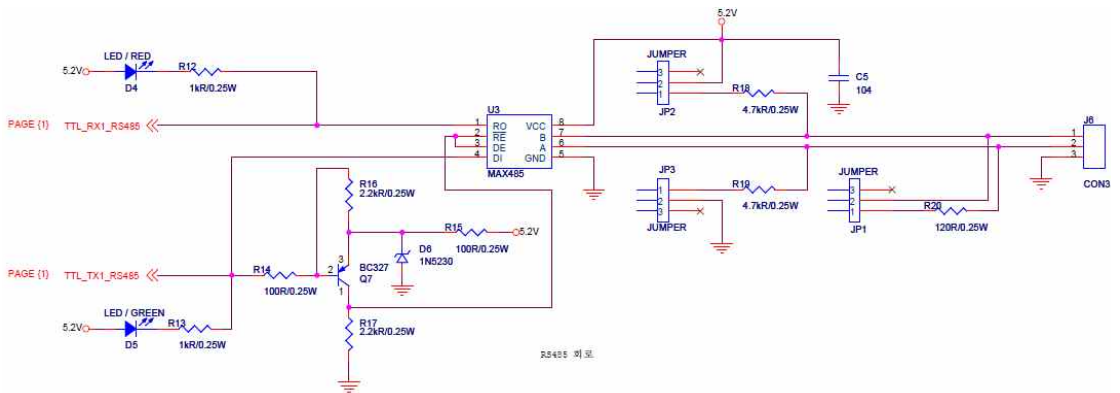


Fig. 39 RTU 제어기 통신부 회로도

4.1.3 Modbus TCP 제어기의 하드웨어 구성

Modbus TCP 제어기의 하드웨어 구성은 입력변수인 온도, 습도, 조도의 입력을 받는 센서부와 이를 처리하여 연산을 수행하는 MCU부, 연산 결과 값의 출력을 표현하기 위한 LED 제어부, Modbus TCP Devices들과 통신을 할 수 있게 하는 통신부, 각종 통신 및 모드 설정을 할 수 있는 설정부, 220[VAC] 전원을 제어기에 사용가능한 5[VDC]로 변환 해주는 전원부로 구성이 되어있다.

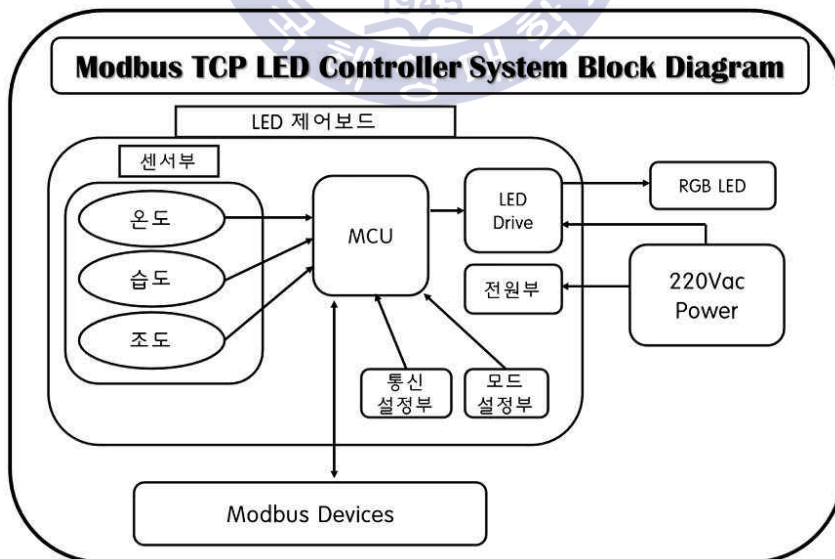


Fig. 40 Modbus TCP LED 제어기 시스템 블록 다이어그램

4.1.4 Modbus TCP 제어기의 각 부 구조와 기능

1) MCU 및 모드&통신 설정부

Modbus TCP 제어기에 사용된 MCU 모듈은 ESP-12F로 Ai-thinker Team에서 개발한 모듈이다. 이 모듈은 Espressif Systems사의 프로세서인 ESP8266를 사용하였다. 이 프로세서는 Wi-Fi 표준인 IEEE802.11 b/g/n을 지원하며, TCP/IP 프로토콜을 지원한다. 그리고 Wi-Fi 안테나를 내장하여 별도의 외장안테나가 필요 없는 장점이 있다. 이 프로세서는 32Bit 연산을 및 160[Mhz] 클럭스피드를 지원하기 때문에 빠른 연산이 가능하며, 통신모듈 기능 및 안테나를 내장하고 있기 때문에 따로 통신모듈을 구성 할 필요가 없는 장점을 가지고 있다. 아래의 Fig. 41은 ESP8266 프로세서의 블록 다이어그램이다.

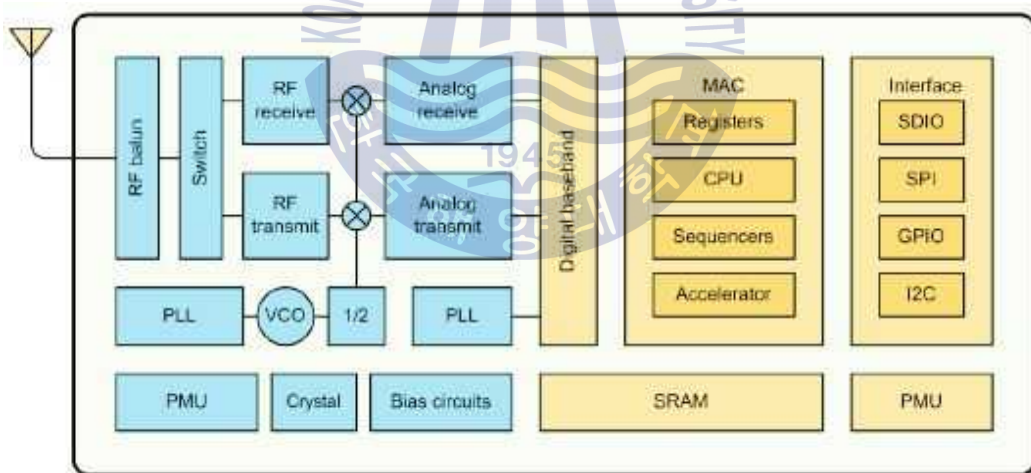


Fig. 41 ESP8266 블록 다이어그램

ADC(Analog-Digital Converter)는 10Bit 지원하지만 최대 전압이 1[VDC]이므로 제한적이다. 본 논문에서는 ADC to I2C통신을 지원하는 TI사의 ADS 1115 16Bit-4Ch 칩을 적용하였으며 I2C로 들어온 온도, 습도, 조도 값을 연산 프로세

싱 및 결과 값을 PWM 출력으로 만들어내어 RGB LED 모듈의 각 색상들 즉 Red, Green, Blue의 비율을 조절한다. 본 MCU는 3채널 PWM을 사용하였으며 RGB당 1개씩 연결하여 RGB LED 1채널을 연결할 수 있게 되고 또 이 MCU는 10Bit PWM 출력이 가능하나 프로그래밍의 편리함을 도모하고자 RGB 색채계와 같은 값인 0~255 8Bit PWM 출력으로 설정하여 사용하였다.

Fig. 42 ESP8266 MCU 회로도

2) 전원부

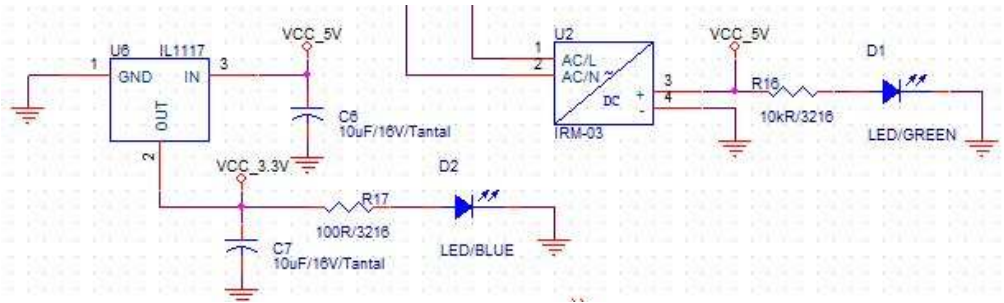


Fig. 43 TCP 제어기 전원부 회로도

3) 센서부

온·습도 센서는 SENSIRION사의 SHT31-DIS소자를 이용하였다. 이 소자는 온도측정이 -40°C 부터 125°C 까지 가능하고, 습도 측정이 0% 부터 100% 까지 가능하며, 구동전압은 2.4[VDC] 부터 5.5[VDC] 까지 사용이 가능하다. 온·습도 센서는 I2C통신을 이용하여 마이크로프로세서와 연결이 된다. 아래의 Fig. 44는 TCP 제어기 온·습도 센서 회로도를 나타낸 것이다.

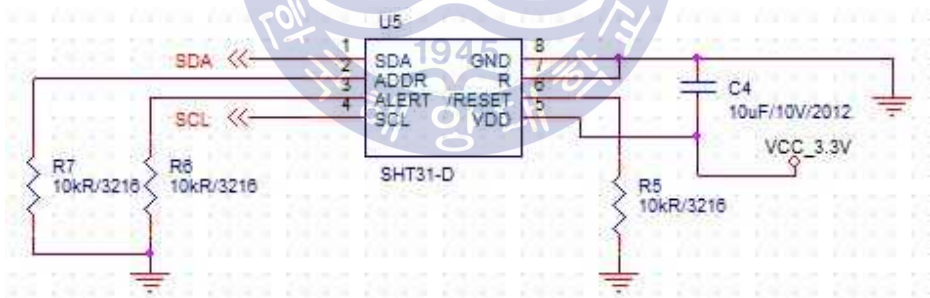


Fig. 44 TCP 제어기 온·습도 센서 회로도

조도센서는 TAOS사의 TSL2561을 이용하였으며 이 소자는 0.1[lx] 부터 $40,000\text{[lx]}$ 까지 측정이 가능하며 구동전압은 2.7[VDC] 부터 3.5[VDC] 까지 사용이 가능하다. 조도센서 역시 마찬가지로 I2C통신을 이용하여 마이크로프로세서와 연결이 된다. Fig. 45은 TCP 제어기 조도센서 회로도를 나타낸 것이다.

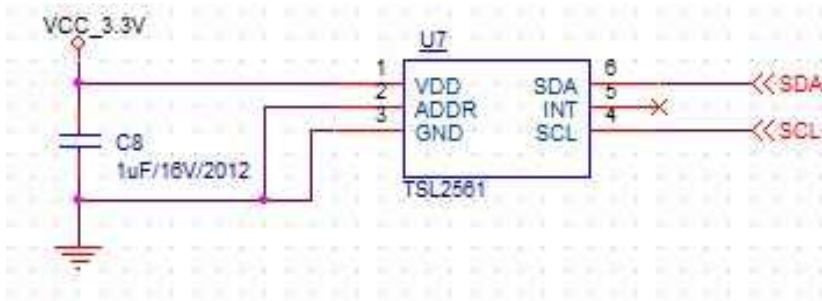


Fig. 45 TCP 제어기 조도센서 회로도

4.1.5 Modbus 게이트웨이의 하드웨어 구성

Modbus 게이트웨이의 하드웨어구성은 프로토콜 변환 연산을 수행하는 MCU 부, Modbus RTU Devices들과 통신을 할 수 있게 하는 RS-485통신부, Modbus TCP Device들과 통신을 할 수 있게 하는 Ethernet통신부 각종 통신 설정을 할 수 있는 통신 설정부, 220[VAC] 전원을 제어기에 사용 가능한 5[VDC]로 변환 해주는 전원부로 구성이 되어있다.

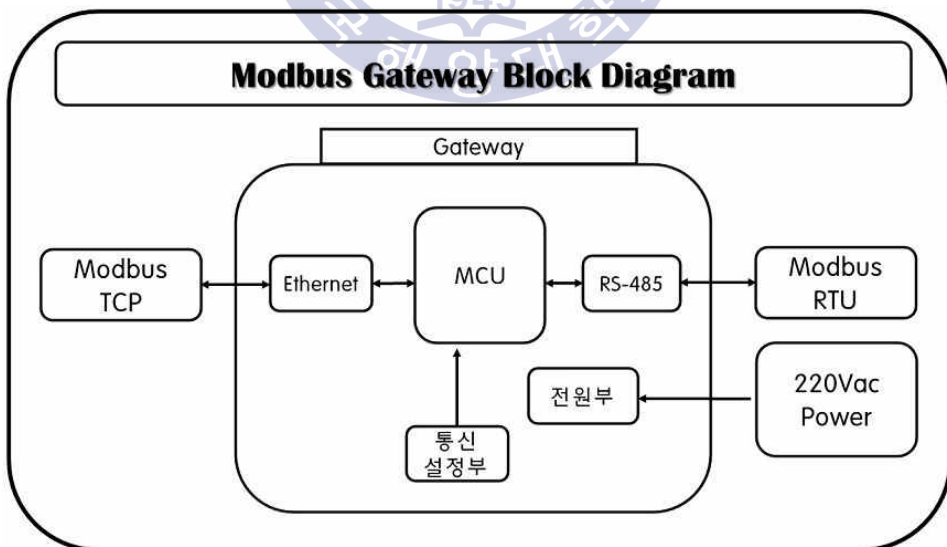


Fig. 46 Modbus 게이트웨이 시스템 블록 다이어그램

4.1.6 Modbus Modbus 게이트웨이의 각 부의 구조와 기능

1) MCU 및 모드&통신 설정부

Modbus 게이트웨이의 MCU는 아트멜(ATmel)사의 8Bit 프로세서인 ATmega 1284P모델을 사용하였다. 이 프로세서는 Clock Speed는 20[MHz] 까지 지원이 가능하며 본 연구에서는 18.4320[MHz]로 Clock Speed를 설정하여서 사용할 것이다. 그 이유는 시리얼 통신 시 0[%]의 Error율을 보이기 때문이다. 아래의 Table 13은 ATmega1284P의 Clock Speed별 시리얼 통신 에러율을 나타낸 것이다.

Table 13 ATmega1284P의 Clock Speed별 시리얼 통신 에러율 Table

Baud Rate (bps)	fosc=16.0000MHz				fosc=18.4320MHz				fosc = 20.0000 MHz			
	U2Xn=0		U2Xn=1		U2Xn=0		U2Xn=1		U2Xn=0		U2Xn=1	
	UBRR	Error	UBRR	Error	UBRR	Error	UBRR	Error	UBRR	Error	UBRR	Error
2400	416	-0.10%	832	0.00%	479	0.00%	959	0.00%	520	0.00%	1041	0.00%
4800	207	0.20%	416	-0.10%	239	0.00%	479	0.00%	259	0.20%	520	0.00%
9600	103	0.20%	207	0.20%	119	0.00%	239	0.00%	129	0.20%	259	0.20%
14.4k	68	0.60%	138	-0.10%	79	0.00%	159	0.00%	86	-0.20%	173	-0.20%
19.2k	51	0.20%	103	0.20%	59	0.00%	119	0.00%	64	0.20%	129	0.20%
28.8k	34	-0.80%	68	0.60%	39	0.00%	79	0.00%	42	0.90%	86	-0.20%
38.4k	25	0.20%	51	0.20%	29	0.00%	59	0.00%	32	-1.40%	64	0.20%
57.6k	16	2.10%	34	-0.80%	19	0.00%	39	0.00%	21	-1.40%	42	0.90%
76.8k	12	0.20%	25	0.20%	14	0.00%	29	0.00%	15	1.70%	32	-1.40%
115.2k	8	-3.50%	16	2.10%	9	0.00%	19	0.00%	10	-1.40%	21	-1.40%
230.4k	3	8.50%	8	-3.50%	4	0.00%	9	0.00%	4	8.50%	10	-1.40%
250k	3	0.00%	7	0.00%	4	-7.80%	8	2.40%	4	0.00%	9	0.00%
0.5M	1	0.00%	3	0.00%	-	-	4	-7.80%	-	-	4	0.00%
1M	0	0.00%	1	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Max.	1Mbps		2Mbps		1.152Mbps		2.304Mbps		1.25Mbps		2.5 Mbps	

그리고 MCU자체에서 Modbus 통신이 가능하도록 설정 및 Input을 Dip S/W에

연결하여 모드&통신 설정을 가능하도록 하였다.

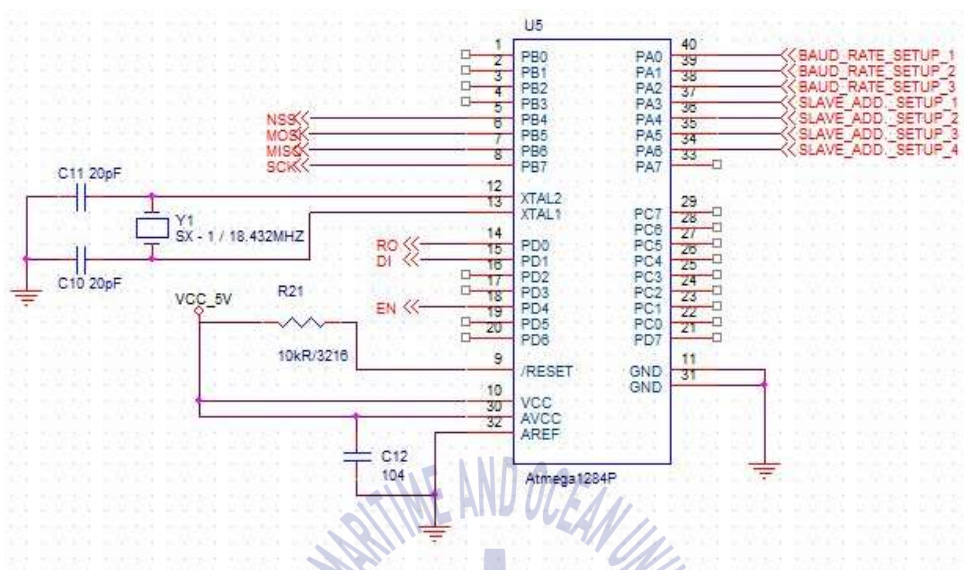


Fig. 47 ATmega1284P 회로도

2) 통신부 및 전원부

게이트웨이의 통신부는 Ethernet 기반의 Modbus TCP 통신을 할 수 있는 Ethernet 통신 회로와 시리얼 통신 프로토콜인 Modbus RTU 통신 할 수 있게 해주는 RS-485로 회로를 구성되어 있다.

Ethernet 통신에 적용된 드라이버는 WIZnet사의 W5500칩을 사용하였다. 이 칩은 하드웨어 TCP/IP가 내장된 Ethernet 컨트롤러 칩으로 SPI통신을 사용하여 임베디드 시스템에 인터넷 연결을 쉽게 해주는 역할을 한다. W5500은 하나의 칩에 TCP/IP와 10/100 Ethernet MAC & PHY를 내장하고 있어, 사용자들에게 안정된 인터넷 연결을 구현할 수 있도록 최적화 되어 있으며 구동전압은 3.3[VDC]이다. 시리얼 통신에 적용된 드라이버는 RTU 제어기에 사용된 드라이버와 동일한 MAX485칩을 사용하였으며 회로 또한 RTU 제어기와 동일하게 구성하였다.

게이트웨이의 전원부는 MCU에 필요한 5[VDC] 전원과 Ethernet 통신에 필요

한 3.3[VDC] 전원을 사용하고, TCP제어기와 전원구성이 같으므로 TCP제어기와 동일한 회로와 부품을 사용하여 적용하였다.

4.2 시스템의 제작

4.2.1 Modbus RTU 제어기의 제작

위의 내용을 바탕으로 하여 Modbus RTU 제어기를 만능기판에 프로토타입으로 제작하였다. 완성된 제어기의 전체 모습은 Fig. 48과 같다.

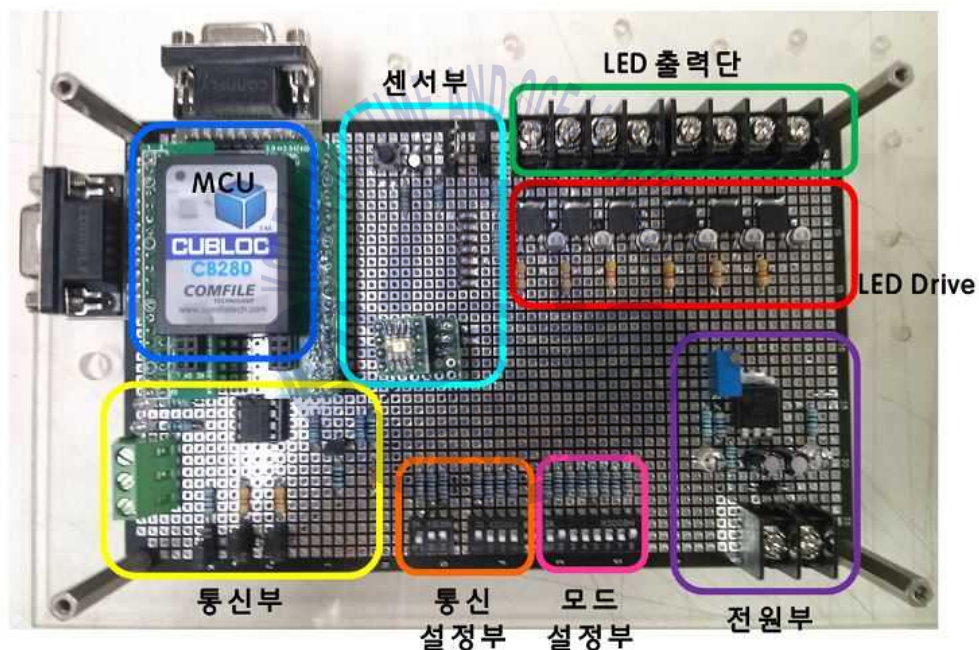


Fig. 48 완성된 Modbus RTU LED 감성조명 제어기 프로토타입

LED, Modbus 통신포트 등 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.

4.2.2 Modbus TCP 제어기의 제작

위의 내용을 바탕으로 하여 Modbus TCP 제어기를 만능기판에 프로토타입으로 제작하였다. 완성된 제어기의 전체 모습 및 220[VAC] LED 보드는 Fig. 49와 같다.

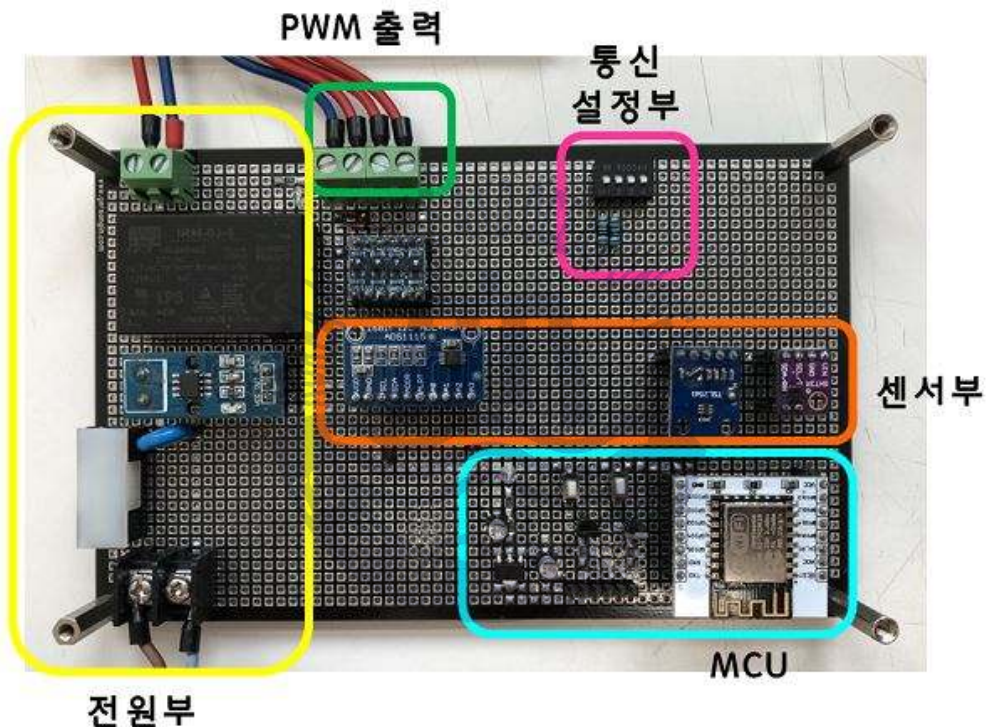


Fig. 49 완성된 Modbus TCP LED 감성조명 제어기 프로토타입

4.2.3 220VAC RGB LED Board 구조와 기능 및 제작

Modbus TCP 제어기에는 LED 드라이버는 포함되어 있지 않으며 RGB PWM 신호를 출력하는 단자를 설계하였다. 그리고 220[VAC] RGB LED Board를 제작하였다. RGB LED Chip은 ENTEC L&E사의 ETL-F2F1300-C LED 칩을 11개씩 8 라인을 사용하였다. LED 드라이버는 페어차일드사의 FL77944를 이용하였다.

FL77944 LED 드라이버는 0.98의 높은 역률을 가지고 있으며, 입력전압은 305[VAC]까지 지원이 가능하고 20[W] 정도의 출력을 낼 수 있으므로 따로 LED 전원용 SMPS를 구성 할 필요가 없어 제작비용 절감 및 회로 간소화를 할 수가 있다. 그리고 Analog 및 PWM 디밍을 지원함으로써 마이크로프로세서의 신호에 따라 RGB LED각각에 다른 전원을 공급하여 색상을 나타내게 된다.

220[VAC] RGB LED Board는 프로토타입으로 제작하지 않고 직접 아트웍을 하여 PCB 기판으로 제작하였으며 아래의 Fig. 50은 PCB 기판의 레이아웃이며 Fig. 51은 220[VAC] RGB LED 보드에 소자를 실장한 후의 보드 구성이다.

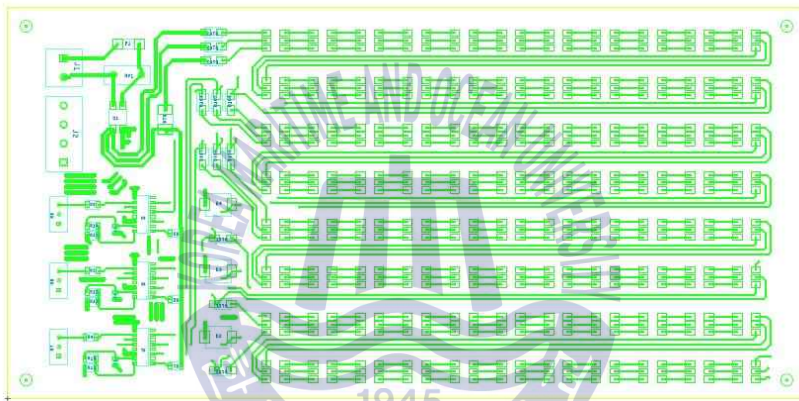


Fig. 50 220[VAC] RGB LED 보드 PCB 레이아웃

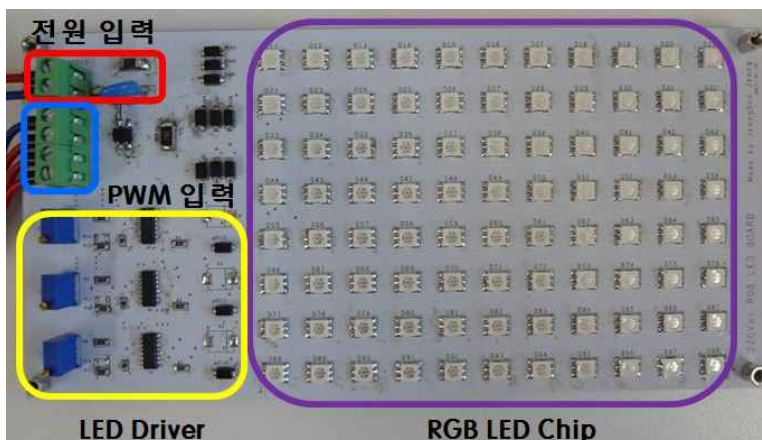


Fig. 51 220[VAC] RGB LED 보드 구성

4.2.4 게이트웨이의 제작

위의 내용을 바탕으로 하여 게이트웨이를 만능기판에 프로토타입으로 제작하였다. 완성된 제어기의 전체 모습은 Fig. 52와 같다.

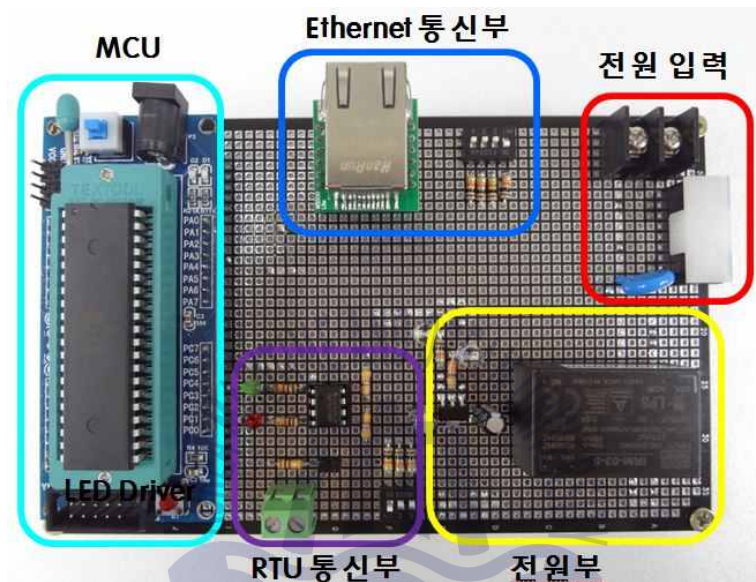


Fig. 52 완성된 게이트웨이 프로토타입

4.2.5 Touch Panel의 제작

감성조명 제어 시스템의 LED 제어기를 제어하기 위해 할 수 있는 산업용 Touch Panel을 이용하여 제작 하였다. Touch Panel은 Modbus TCP 프로토콜을 지원하며 사용자가 원하는 기능을 프로그래밍 하여 Touch Panel에 다운로드를 할 수 있다.

본 연구에 사용된 Touch Panel은 SIEMENS사의 SIMATIC HMI Basic Panel KTP400 BASIC을 이용하였으며 테스트용 프로그램을 프로그래밍 하였다. 테스트용 프로그램을 제작하기 위해서는 SIEMENS사에서 제공하는 TIA PORTAL 이라는 Software를 사용하여 프로그래밍 할 수 있으며 버전은 V13을 이용하였다. 그리고 Touch Panel의 동작전원은 24[VDC]이다. 설치는 플라스틱 Box에 Touch

Panel을 취부 하고 Box내부에 220[VAC]를 24[VDC]로 변환하기 위한 SMPS를 설치하였고, 유선 Ethernet으로 동작하는 Touch Panel에 Ethernet to Wi-Fi Adapter를 설치하여 무선으로 연결이 가능하게 구성하였다.

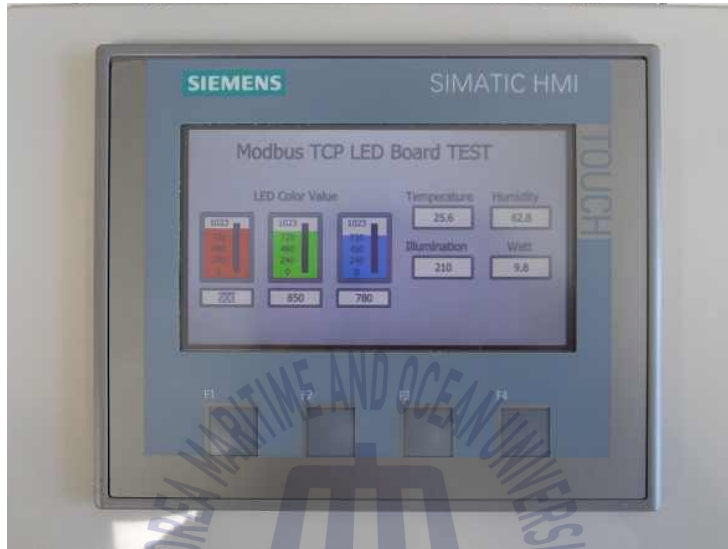
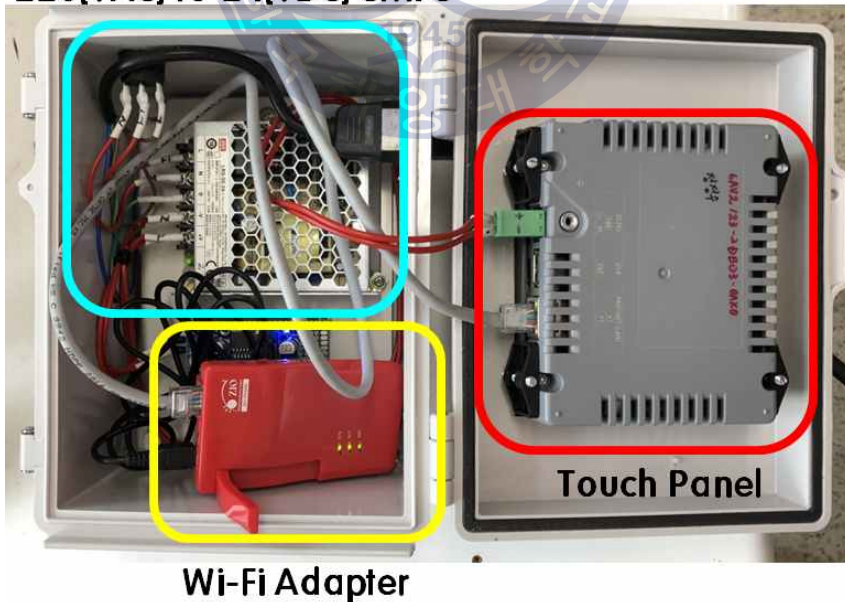


Fig. 53 Touch Panel

220[VAC] to 24[VDC] SMPS



Wi-Fi Adapter

Fig. 54 Touch Panel 내부

제 5 장 실험 및 고찰

5.1 실험 방법

LED 제어기는 Modbus RTU, Modbus TCP 각각 개별 테스트를 진행하였다. 각각 개별 테스트를 모두 마친 후 최종적으로 모든 제어기 및 게이트웨이를 연동하여 실험을 진행하였으며 실험은 한국해양대학교 공대 내의 퍼지 뉴로 제어 연구실에서 진행하였다.

5.2 Modbus 기반의 LED 제어시스템의 제어기 개별 실험

5.2.1 Modbus RTU 제어기의 통신 실험

LED 조명상태를 확인하기 위해 아크릴판 위에 한 채널당 12[VDC] 3구 LED 모듈 12개씩 총 24개를 설치하고 220[VAC]를 12[VDC]로 변환하기 위한 SMPS와 제어기를 설치하였다.

SMPS는 100[W]급으로 설치하였으며 온·습도계와 센서의 값을 비교하여 실제 온·습도계와 센서의 값이 일치하는지 확인하였다. Modbus 테스트는 6.11절에 언급한 HMI는 SIEMENS사의 SIMATIC HMI Basic Panel KTP400 BASIC을 이용하여 온도, 습도, 조도, 모듈상태 등을 모니터링 할 수 있게 하였다. Touch Panel은 Modbus TCP 프로토콜을 지원하므로 시리얼 통신 기반의 Modbus RTU 프로토콜과는 연동이 불가능 하므로 앞서 제작한 게이트웨이를 통해 프로토콜을 변환하여 구성하였다. 그리고 게이트웨이에는 Wi-Fi 기능이 없으므로 Wireless AP를 연결하여 Ethernet 신호를 Wi-Fi 신호로 바꾸어 무선으로 Touch Panel과 연결하였다. Fig. 55는 RTU 제어기 실행모습을 나타낸 것이다.

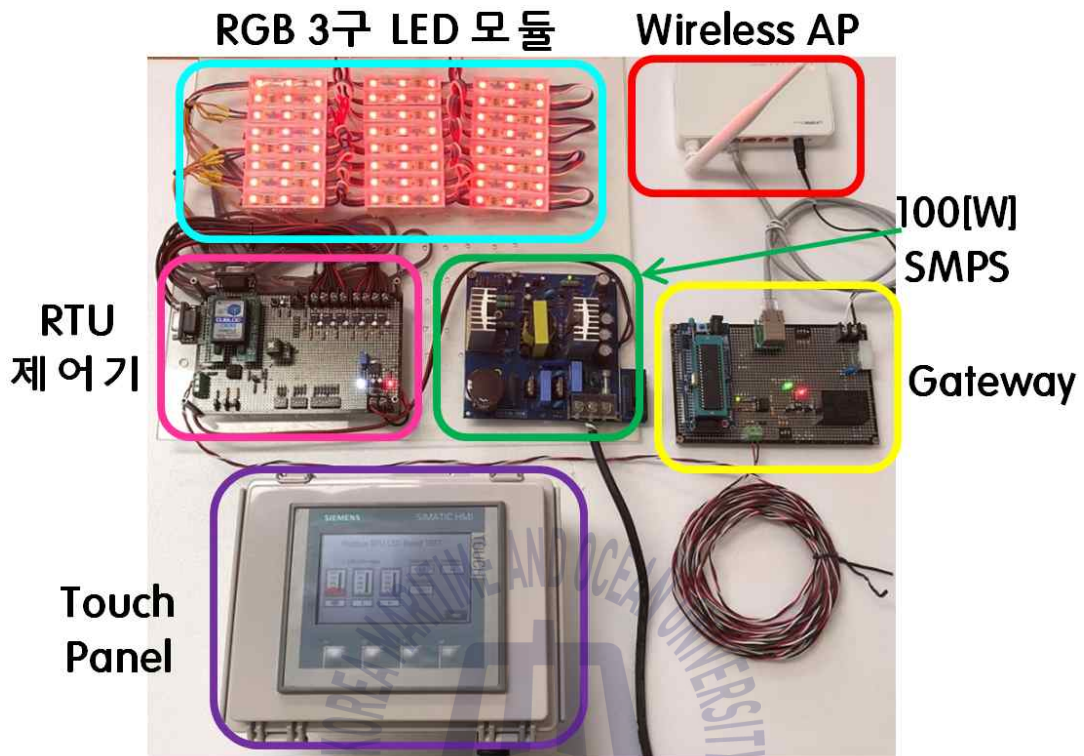


Fig. 55 Modbus RTU LED 감성조명 제어기 실행모습

5.2.2 Modbus TCP 제어기의 통신 실험

제어기의 실험을 위한 Wi-Fi 구성을 위한 무선 AP는 시중에서 사용되는 무선공유기를 사용하여 프로그래밍을 한 Touch Panel과 연결을 하였다. 그리고 Modbus TCP LED 제어기의 마이크로프로세서에 Modbus TCP 프로토콜로 제어 및 모니터링이 가능하게 프로그래밍 하였으며 무선 AP와의 연결을 위한 프로그래밍도 함께 하였다. 우선 간단한 데이터를 송·수신하여 Modbus TCP 연결 상태를 확인하였다. Modbus RTU 보드와 마찬가지로 온·습도계와 센서의 값을 비교하여 실제 온·습도계와 센서의 값이 일치하는지 확인하였다. 그리고 온·습도, 조도 및 전류량이 Modbus TCP의 40110부터 40113주소에 정확히 들어오는지 HMI를 통해 모니터링 하여 확인하였으며 HMI를 이용하여 Modbus TCP의 40101부터 40103 주소에 Red, Green, Blue값의 변화를 주어 RGB LED에

정확하게 출력이 되는지를 확인하였다. 아래의 Fig. 56은 TCP 제어기와 220[VAC] RGB LED 보드를 연결한 것이다.

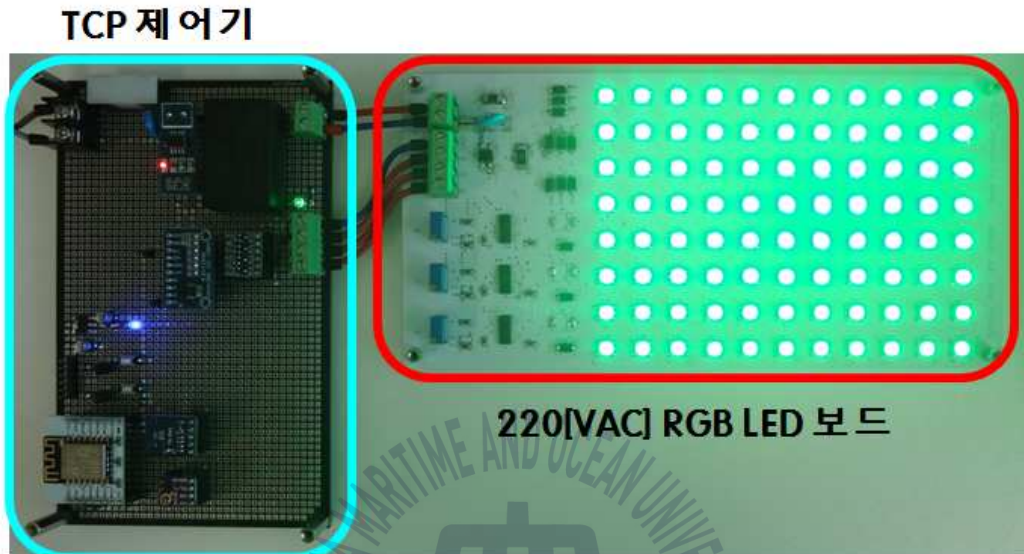


Fig. 56 Modbus TCP 제어기와 220VAC RGB LED 보드

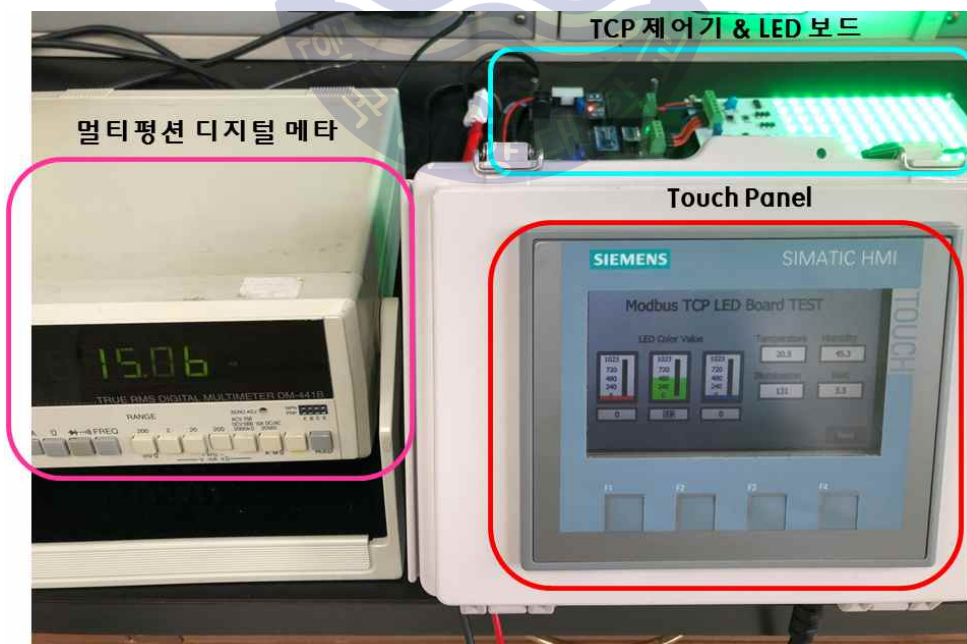


Fig. 57 Modbus TCP LED 감성조명 제어기 실행모습

5.3 퍼지 추론의 Matlab 시뮬레이션

Modbus 기반의 LED 제어시스템의 종합 실험 전 3장 퍼지 추론 설계를 시뮬레이션 하기 위해 Matlab을 이용하여 사전 시뮬레이션 구현했다. 적용한 퍼지 추론 시스템은 Mamdani의 Max-Min 연산을 사용하는 추론 방법을 적용하였으며, 비퍼지화 방법으로 무게중심법을 적용 하였다. 아래 Fig. 58은 퍼지추론을 위해 Matlab의 Fuzzy Logic Designer으로 구성해 놓은 것이다. 그리고 Fig. 59는 온도, 습도, 조도의 3개 입력과 Fig. 60의 RGB LED 각각의 출력 3개를 갖는 다변수 시스템으로 구성 하였다.

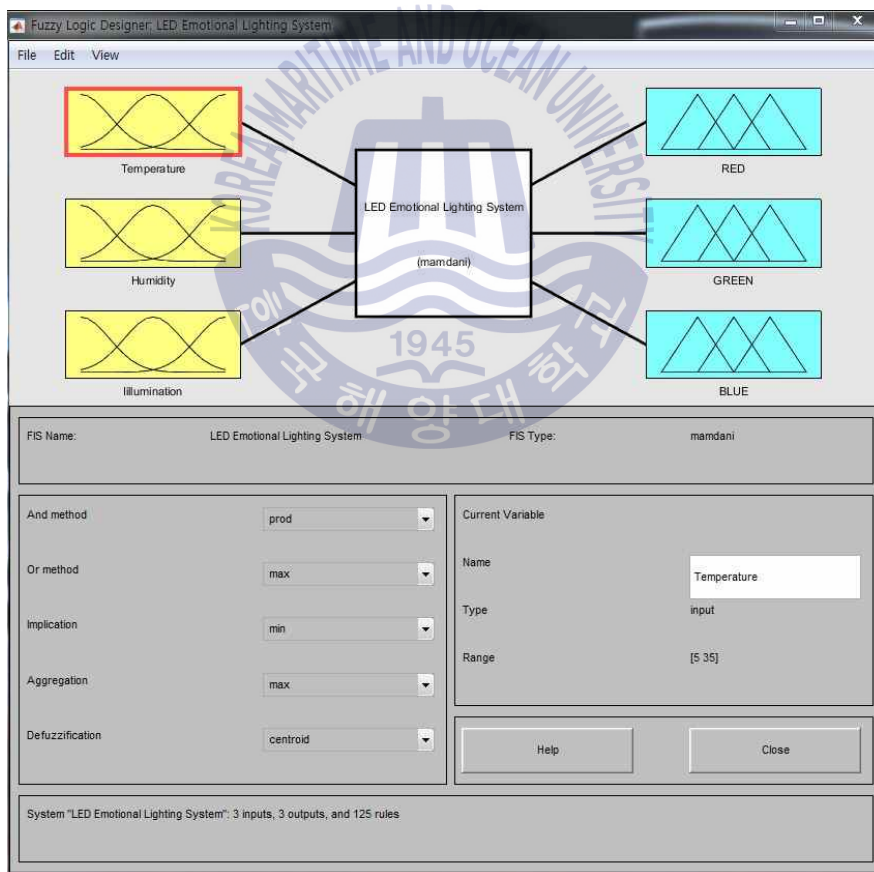
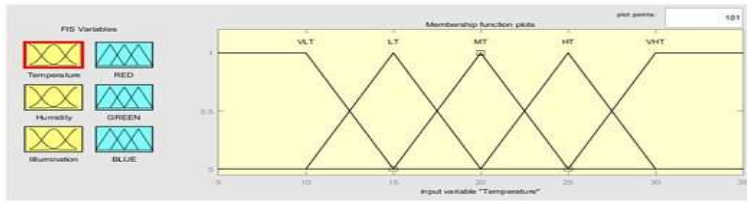
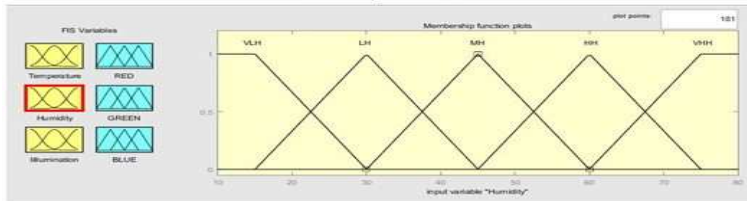


Fig. 58 퍼지추론을 위한 구성



1. Temperature

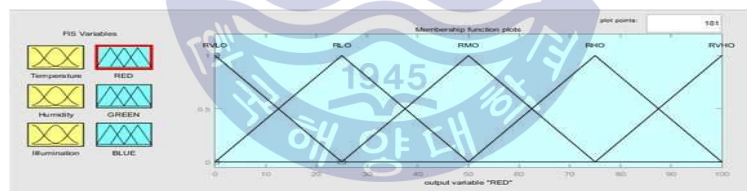


2. Humidity

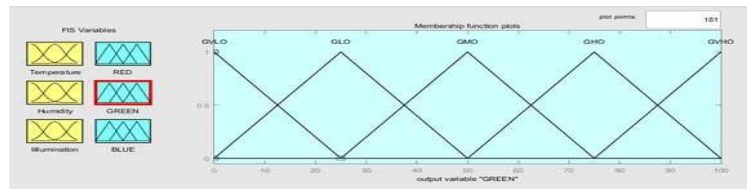


3. Illuminance

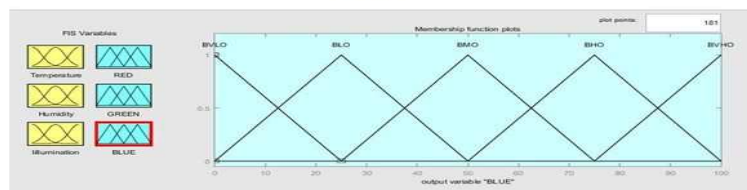
Fig. 59 퍼지추론의 입력변수 설정



1. Red



2. Green



3. Blue

Fig. 60 퍼지추론의 출력변수 설정

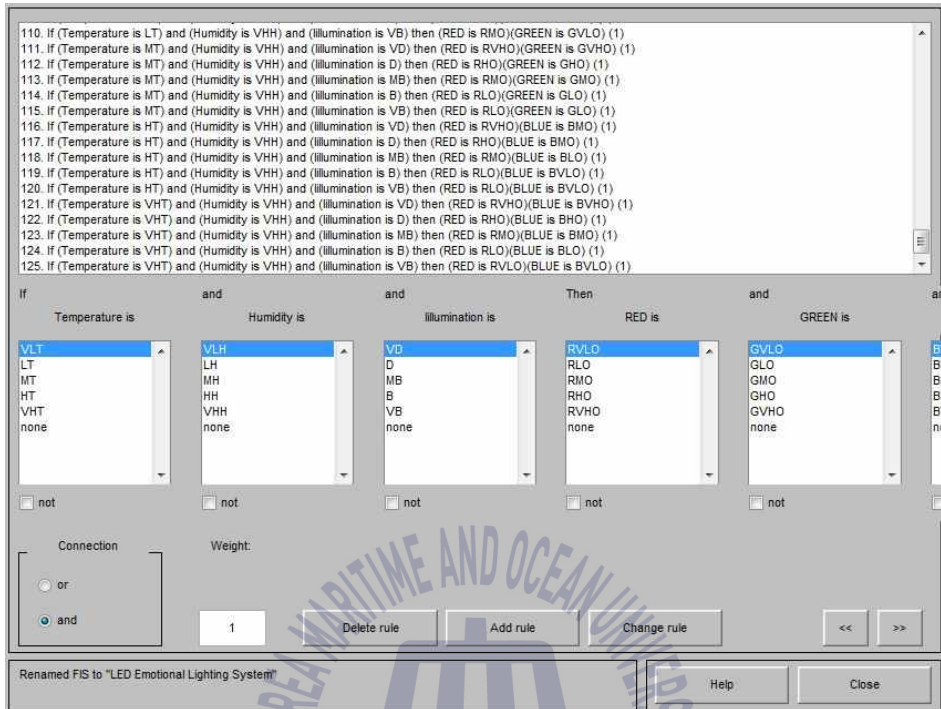


Fig. 61 퍼지규칙의 위한 구성

Matlab에 퍼지추론의 입력변수 및 출력변수 그리고 퍼지규칙의 구성을 입력한 시뮬레이션 결과를 3차원 그래프로 나타내었으며, Fig. 62는 온도와 습도에 대한 RGB LED 출력이고, Fig. 63은 조도와 온도에 대한 RGB LED 출력이다. 그리고 Fig. 64는 조도와 습도에 대한 RGB LED 출력이다.

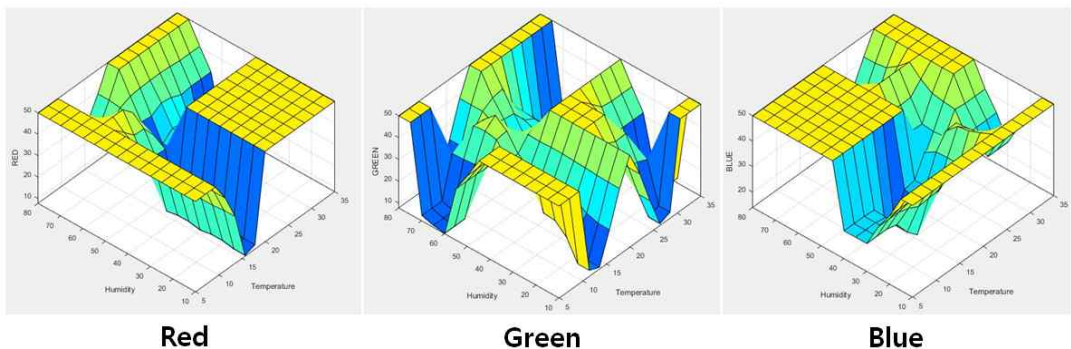


Fig. 62 온도와 습도에 대한 RGB LED 출력 3차원 그래프

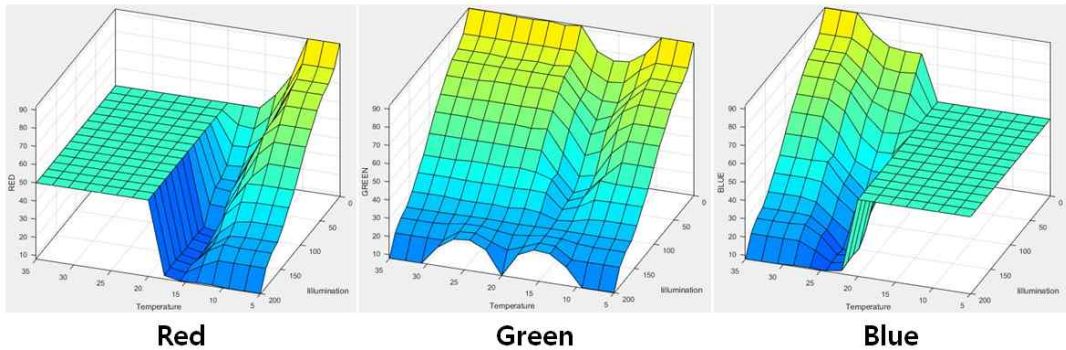


Fig. 63 조도와 온도에 대한 RGB LED 출력 3차원 그래프

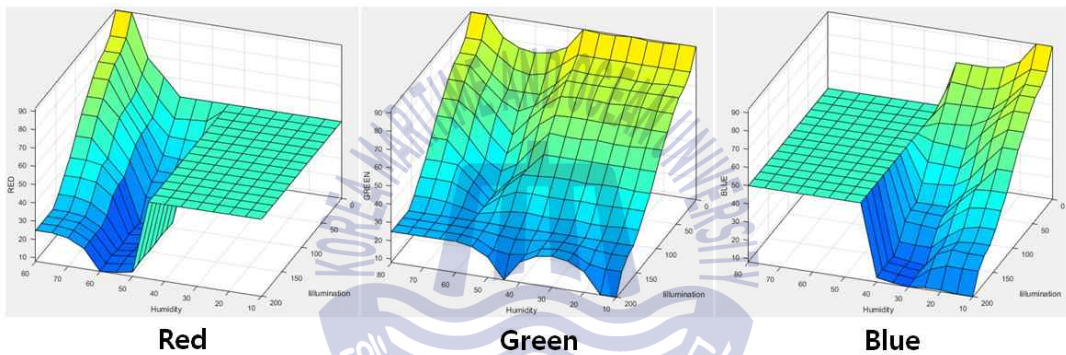


Fig. 64 조도와 습도에 대한 RGB LED 출력 3차원 그래프

5.4 Modbus 감성조명 제어시스템의 통신 연동 실험

각각 개별 테스트를 완료한 Modbus RTU 제어기와 Modbus TCP 제어기, 그리고 게이트웨이와 Wireless AP를 연결하여 Ethernet 신호를 Wi-Fi 신호로 변환하였다. 그리고 Touch Panel에 각각의 Modbus RTU 제어기와 Modbus TCP 제어기에서 온·습도계와 센서의 값이 정확하게 들어오는지 확인 하였으며, 원격으로 Modbus RTU 제어기와 Modbus TCP 제어기의 RGB LED 값을 각각 입력하여 Modbus RTU 제어기와 Modbus TCP의 LED Color가 변경이 되는지를 확인 해보았다. Fig. 65는 Modbus 감성조명의 제어시스템의 연동 실행모습 것이다.



Fig. 65 Modbus 감성조명 제어시스템의 연동 실행모습

그리고 모바일 기기와 Modbus 제어 시스템의 연동을 위해 Android 스마트폰에 ScadaTouch Basic 이라는 어플리케이션으로 화면 편집 및 어드레스 매칭을 하여 Touch Panel 대신 연동 테스트를 진행하였다. 우선 무선 라우터를 인터넷망과 연결하여 외부망에 접속이 가능하도록 하였으며, 포트포워딩 설정을 하여 외부에서 접속이 가능하도록 하였다. 그리고 위의 Touch Panel 연동테스트와 마찬가지로 RGB LED 값을 각각 입력하여 Modbus RTU 제어기와 Modbus TCP

의 LED Color가 변경이 되는지를 확인 해보았다. 이로서 무선 라우터가 인터넷 망과 연결 되어있으면 포트포워딩을 통해 외부 망에서도 스마트폰 태블릿 등의 디바이스에서도 제어가 가능함을 확인 할 수 있었다. 아래의 Fig. 66은 Android 스마트폰에서 감성조명 제어 시스템을 실행한 모습이다.

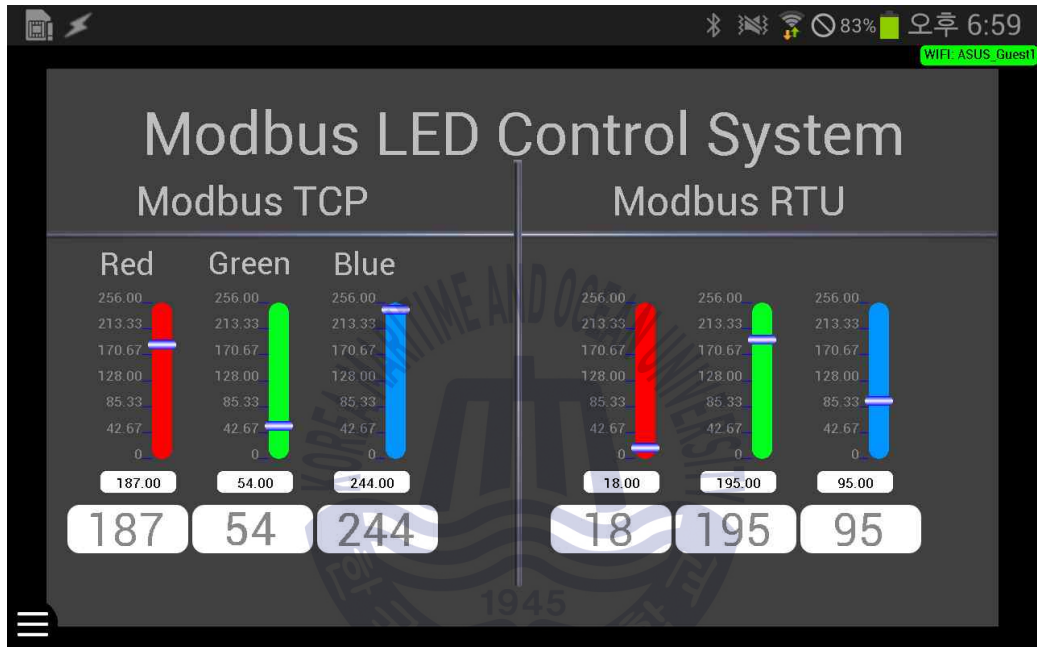


Fig. 66 스마트폰에서 Modbus 감성조명 제어시스템의 실행모습

5.5 LED 감성조명 제어시스템의 실험 결과

모든 통신 시스템 테스트가 끝나고 퍼지 추론 시뮬레이션이 끝난 감성조명 시스템의 퍼지추론 성능을 확인하기 위해 3장에서 제안된 알고리즘을 적용한 감성조명 제어시스템의 성능 평가 실험을 수행하였다. Modbus RTU 제어기와 Modbus TCP 제어기로부터 입력된 온도, 습도, 조도 값들은 Modbus 통신을 통하여 상위 시스템으로 전송되고, 전송된 결과 값을 누적하여 각 실험 결과 값을 도식화하고 이들 데이터를 근거로 실시간 감성조명 제어 시스템과 퍼지 알고리즘을 적용한 감성조명 제어 시스템의 성능을 비교 분석 하였다.

5.5.1 감성조명 제어시스템의 성능평가

Table 14는 여러 임의의 온도, 습도 및 조도입력 값을 입력하여 출력 결과를 나타낸 것이다. 상위 시스템인 PC기반의 퍼지 연산기를 이용하기 때문에 Modbus RTU 및 TCP 제어기 모두 동일한 출력 값을 낼 수 있었으며 아래의 Table 14를 통해 퍼지 규칙 사이 값의 입력에 대한 출력을 확인할 수 있었다.

Table 14 임의의 온도, 습도, 조도입력에 대한 LED 출력결과

센서값			색상
온도[℃]	습도[%]	조도[lx]	
30	50	75	R:17, G:83.6, B:100
15	38	32	R:64, G:162, B:31
22	67	130	R:35.3, G:51.4, B:9.8
8	15	52	R:118.4, G:0, B:118.4
21	71	18	R:111, G:132, B:13
36	90	49	R:120.8, G:0, B:120.8
14	21	94	R:51, G:51, B:68.2
25	45	65	R:0, G:162, B:54
12	36	180	R:6.5, G:7.2, B:2.4
32	47	128	R:4, G:54, B:57.6
15	30	66	R:53.6, G:107.2, B:53.6
5	10	25	R:128, G:0, B:128
31	17	119	R:0, G:4.6, B:125.6
18	37	15	R:26, G:197, B:34
39	19	142	R:0, G:6.2, B:86.6
10	32	48	R:121.6, G:69.4, B:53.2
23	41	84	R:0, G:145.7, B:40.6
17	33	55	R:35.3, G:151.3, B:46.2
16	16	16	R:51, G:81, B:124
9	61	70	R:160, G:48.8, B:0
21	14	21	R:0, G:115, B:141
13	72	87	R:144.8, G:36.7, B:0
33	11	108	R:0, G:0, B:147.2
20	45	138	R:0, G:99.2, B:0
7	77	7	R:256, G:0, B:0

Fig. 67~69는 조도를 0[lx]로 고정시켜놓은 상태에서 온도를 각각 10[°C], 20[°C], 30[°C]로 고정시키고 습도 값을 증가시켰을 때 나온 출력 값 그래프이다. 아래의 그래프를 통해 Fig. 22, 23의 출력 범위와 일치함을 알 수 있다.

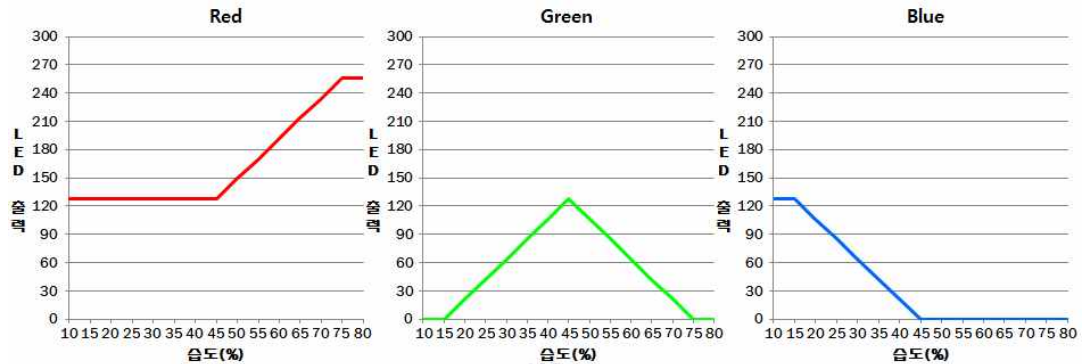


Fig. 67 온도 10[°C], 조도 0[lx] 고정 시 습도변화에 따른 RGB 출력 값

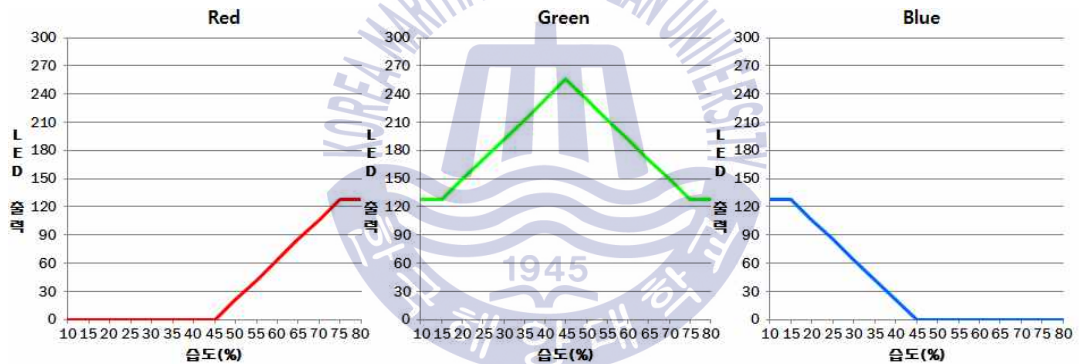


Fig. 68 온도 20[°C], 조도 0[lx] 고정 시 습도변화에 따른 RGB 출력 값

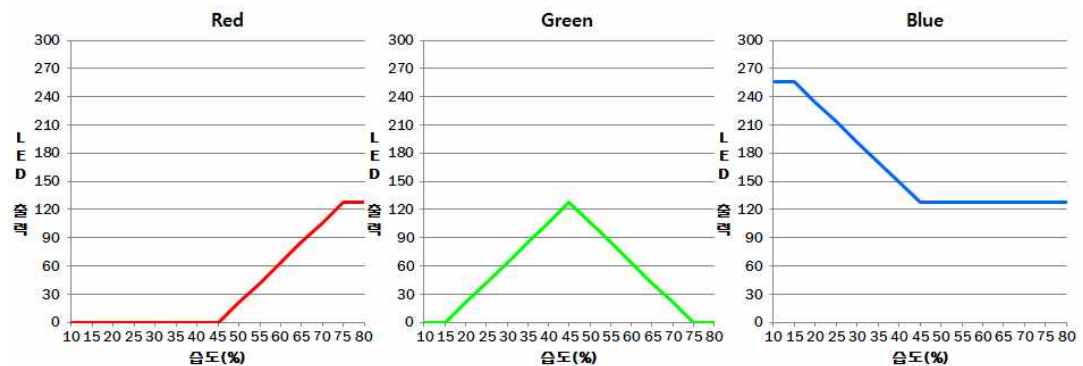


Fig. 69 온도 30[°C], 조도 0[lx] 고정 시 습도변화에 따른 RGB 출력 값

Fig. 70~72는 조도를 0[lx]로 고정시켜놓은 상태에서 습도를 각각 15[%], 45[%], 75[%]로 고정시키고 온도 값을 증가시켰을 때 나온 출력 값 그래프이다. 아래의 그래프를 통해 Fig. 22, 23의 출력 범위와 일치함을 알 수 있다.

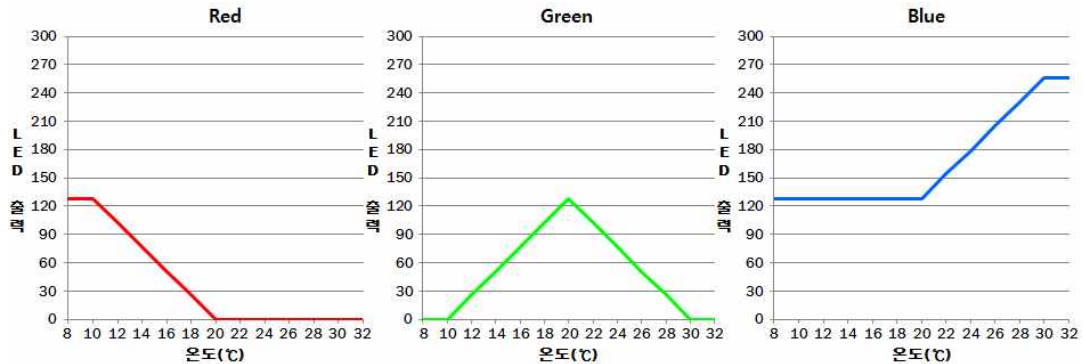


Fig. 70 습도 15[%], 조도 0[lx] 고정 시 온도변화에 따른 RGB 출력 값

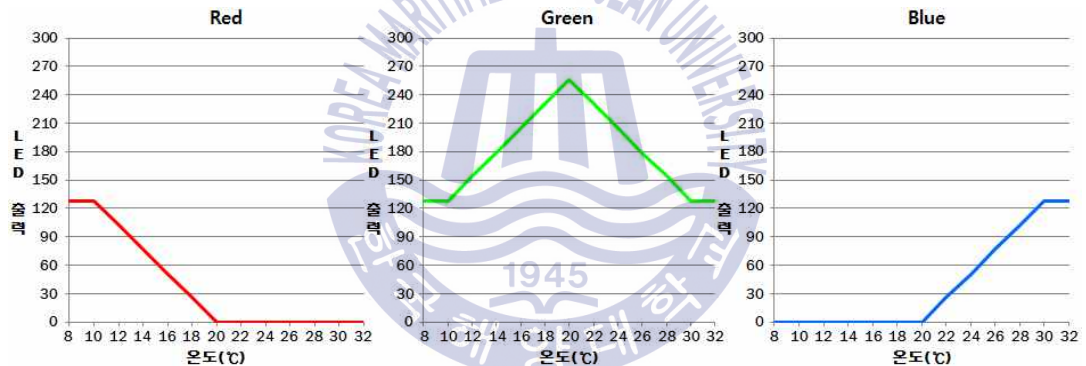


Fig. 71 습도 45[%], 조도 0[lx] 고정 시 온도변화에 따른 RGB 출력 값

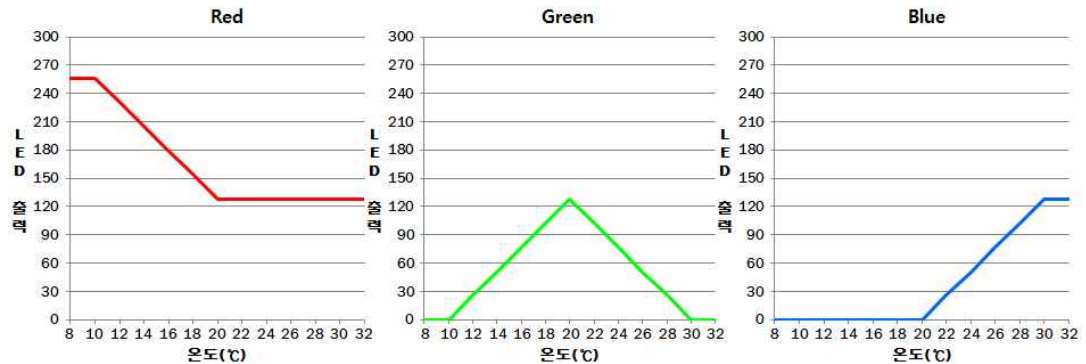


Fig. 72 습도 75[%], 조도 0[lx] 고정 시 온도변화에 따른 RGB 출력 값

Fig. 73~75는 온도와 습도를 일정 값으로 고정시켜 놓은 상태에서 조도 값을 증가시켰을 때 나온 출력 값 그래프이다. 아래의 그래프를 통해 조도 값이 증가함에 RGB LED 출력 값이 감소함을 알 수 있다.

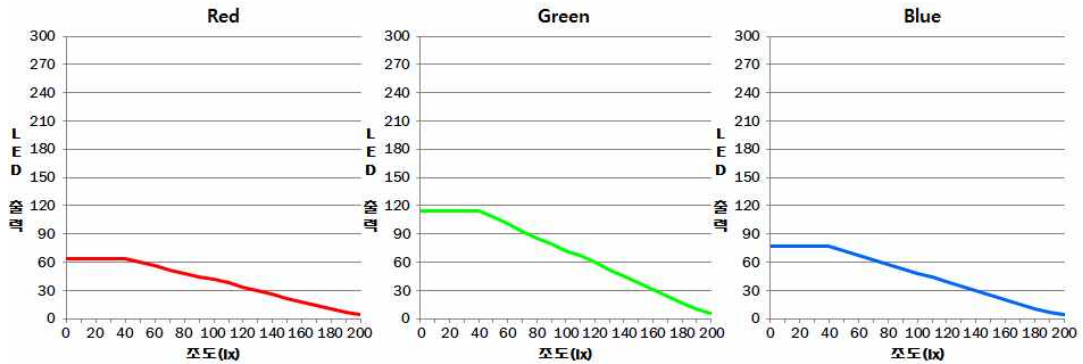


Fig. 73 온도 15[℃], 습도 27[%] 고정 시 조도변화에 따른 RGB 출력 값

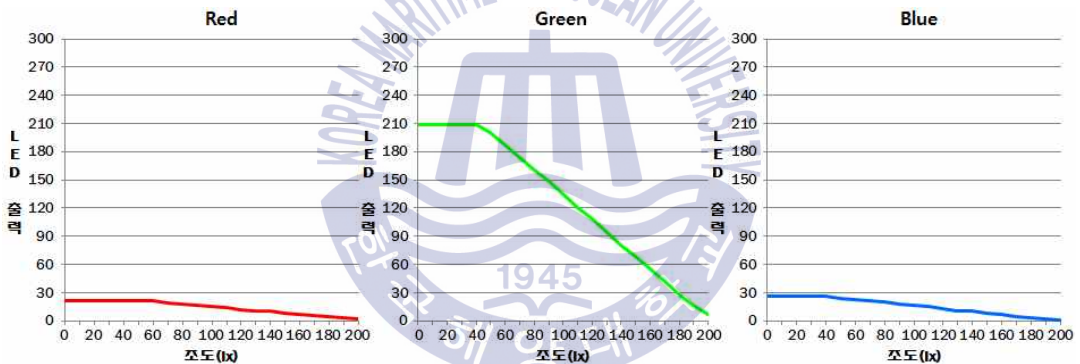


Fig. 74 온도 22[℃], 습도 50[%] 고정 시 조도변화에 따른 RGB 출력 값

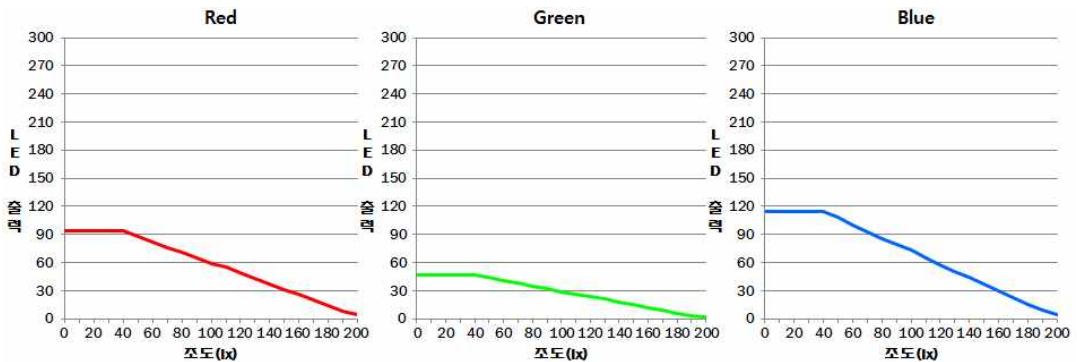


Fig. 75 온도 29[℃], 습도 67[%] 고정 시 조도변화에 따른 RGB 출력 값

5.5.2 Modbus TCP 제어기의 밝기에 따른 전류 측정 실험

감성조명 제어시스템은 퍼지 추론으로 조도에 따라 RGB LED 출력 양을 조절하게 된다. 하여, 조도에 따른 알맞은 RGB LED 값을 출력 하므로 불필요한 에너지 소비를 최소화하여 에너지 절감이 가능 하도록 설계되었다. 그러나 이 출력 양의 변화가 실제 에너지 절감으로 이어지는지 확인을 위해 TCP 제어기에 멀티평선 디지털 메타를 연결하고 Remote Mode로 Red, Green, Blue 그리고 3가지의 값을 같이 출력한 White 값을 변경하여 실제 PWM Duty비율을 0[%]에서 100[%]까지 10[%]씩 값을 증가시켜 전류의 변화량을 측정하였다.

아래의 Table 15는 TCP 제어기의 PWM Duty비율 변화에 따른 전류의 변화량을 나타낸 것이다.

Table 15 TCP 제어기의 PWM Duty비율 변화에 따른 전류의 변화량

Color Duty	Red	Green	Blue	White
100%	18.0 mA	19.6 mA	25 mA	50.0 mA
90%	17.2 mA	18.9 mA	23.8 mA	47.3 mA
80%	16.4 mA	17.9 mA	22.6 mA	44.5 mA
70%	15.5 mA	16.9 mA	21.3 mA	41.7 mA
60%	15.0 mA	15.9 mA	19.9 mA	38.7 mA
50%	14.0 mA	14.9 mA	18.4 mA	35.7 mA
40%	13.0 mA	13.8 mA	16.8 mA	32.2 mA
30%	11.9 mA	12.6 mA	15.0 mA	28.1 mA
20%	10.8 mA	11.2 mA	13.2 mA	23.3 mA
10%	9.4 mA	9.6 mA	10.8 mA	17.5 mA
0%	7.8 mA	7.8 mA	7.8 mA	7.8 mA

위의 Table 15는 전류 변화량을 그래프로 나타낸 그래프는 Fig. 76과 같다.

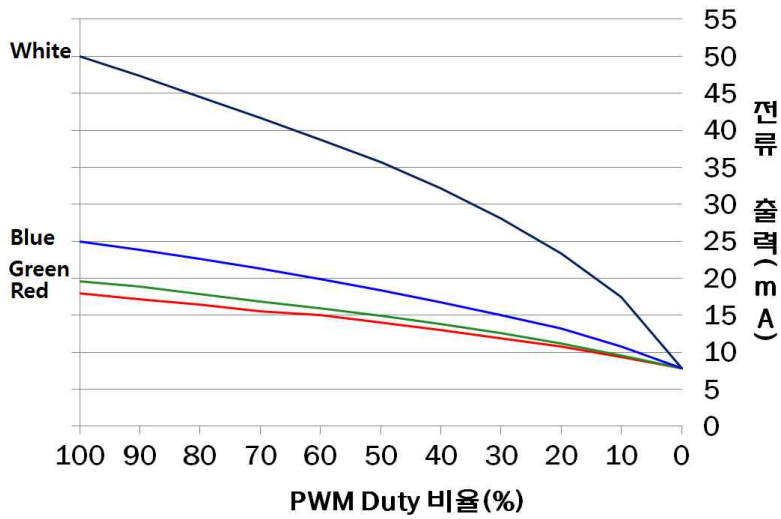


Fig. 76 TCP 제어기의 PWM Duty비율 변화에 따른 전류의 변화 그래프

Table 15와 Fig. 76의 결과 값과 같이 PWM의 Duty 비율이 내려갈 때마다 전류의 값이 감소함을 확인할 수 있었으며 이 결과 값으로 인해 LED 출력 제어는 에너지 절감을 할 수 있음을 확인할 수 있었다. 그리고 Duty비율이 0[%]일 때의 7.8[mA] 전류량은 MCU 및 센서의 소모 전류 즉 대기전력이다.



Fig. 77 TCP 제어기의 PWM Duty비율 변화에 따른 전류측정 실험모습

5.5.3 감성조명 제어시스템의 비교분석 및 고찰

5.5.1절의 Fig. 67~69의 출력 값은 각 색상 별 PWM 출력 값을 나타낸 그래프이다. 실제로 위 실험은 입력 값에 따른 RGB LED 각각의 출력 변화만을 보여줄 수 있기 때문에 RGB LED 3색의 조합에 대한 퍼지 연산 결과를 완벽하게 도출할 수 없다. 그리고 퍼지제어와 일반제어의 감성조명 시스템의 차이를 확인하기 위해 일반제어의 감성조명 연산을 구성하여 비교하였다. 일반제어의 감성조명은 퍼지제어 감성조명과 달리 특정 구간에 국한되어 LED 출력범위는 단 순이 6 단계로 프로그래밍 시 정해진 일정한 색이 출력 된다. 이에 반해 퍼지 제어 감성조명은 온도와 습도의 입력 값의 강도의 소속도에 따른 퍼지추론으로 출력 색상 값이 나오게 되며 인접한 두 색의 조합으로 표현될 수 있어 일반제 어의 감성조명의 정해진 일정한 색보다 여러 가지 색으로 표현되어 출력 되어 일반제어보다 좀 더 나은 인간의 감성에 적합한 출력 값을 가질 수 있다. 아래 의 Fig. 78~80은 5.5.1절의 Fig. 67~69의 변화에 대한 RGB LED 3색의 조합 및 일반제어의 감성조명 출력과 비교한 그래프를 나타낸 것이다.

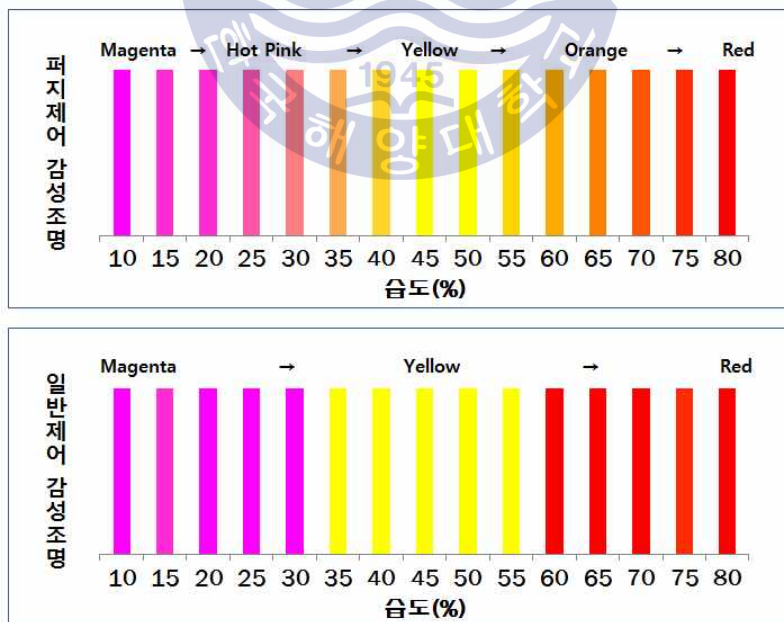


Fig. 78 온도 10[℃], 조도 0[lx] 고정 시 습도변화에 따른 퍼지제어와 일반제어 색 출력 비교

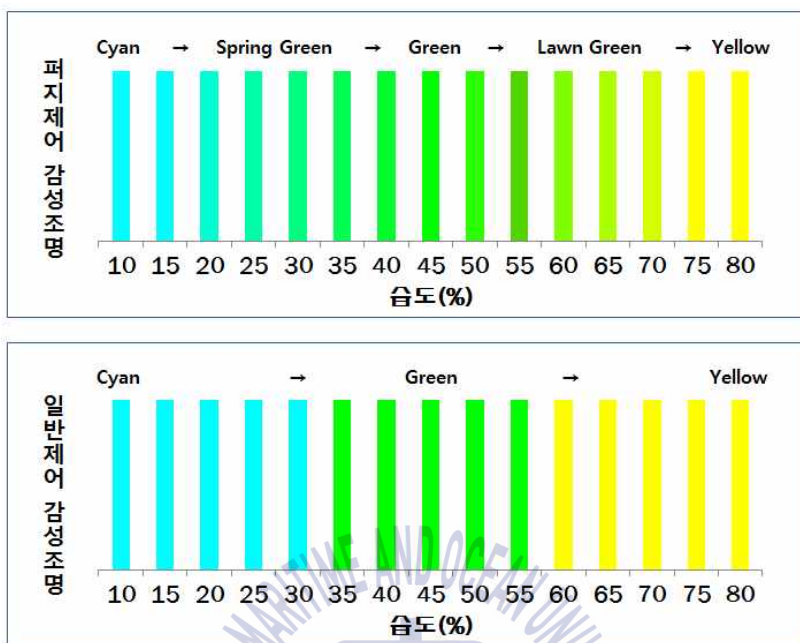


Fig. 79 온도 20[°C], 조도 0[lx] 고정 시 습도변화에 따른 퍼지제어와 일반제어 색 출력 비교

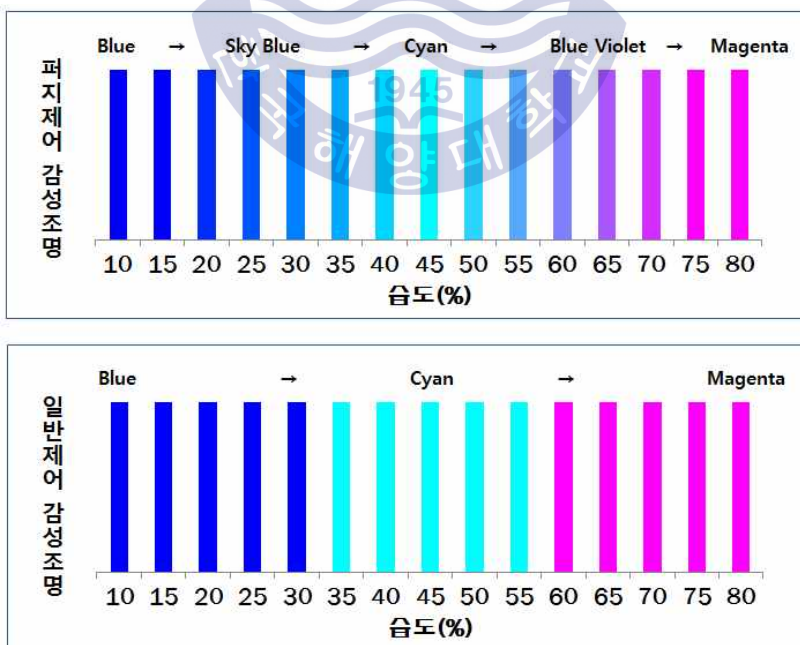


Fig. 80 온도 30[°C], 조도 0[lx] 고정 시 습도변화에 따른 퍼지제어와 일반제어 색 출력 비교

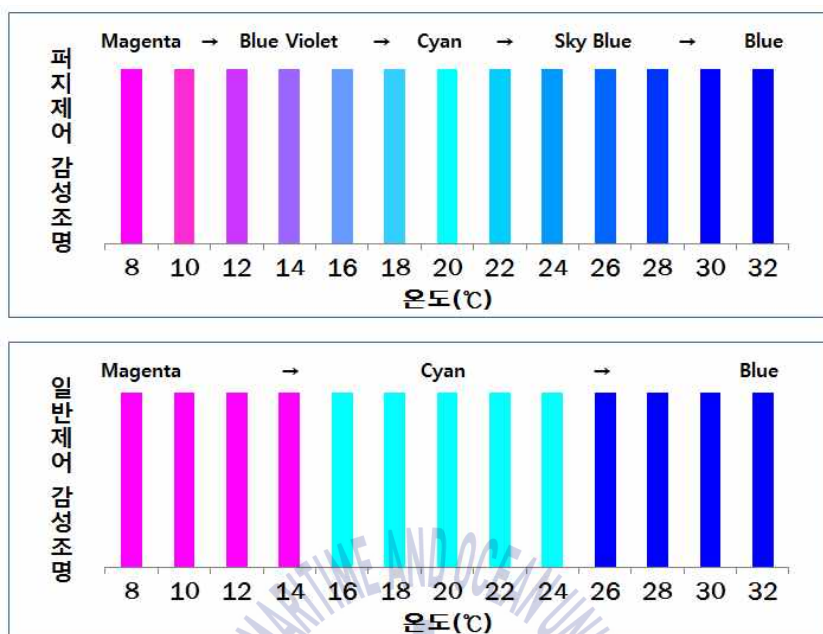


Fig. 81 습도 15[%], 조도 0[lx] 고정 시 온도변화에 따른 퍼지제어와 일반제어 색 출력 비교

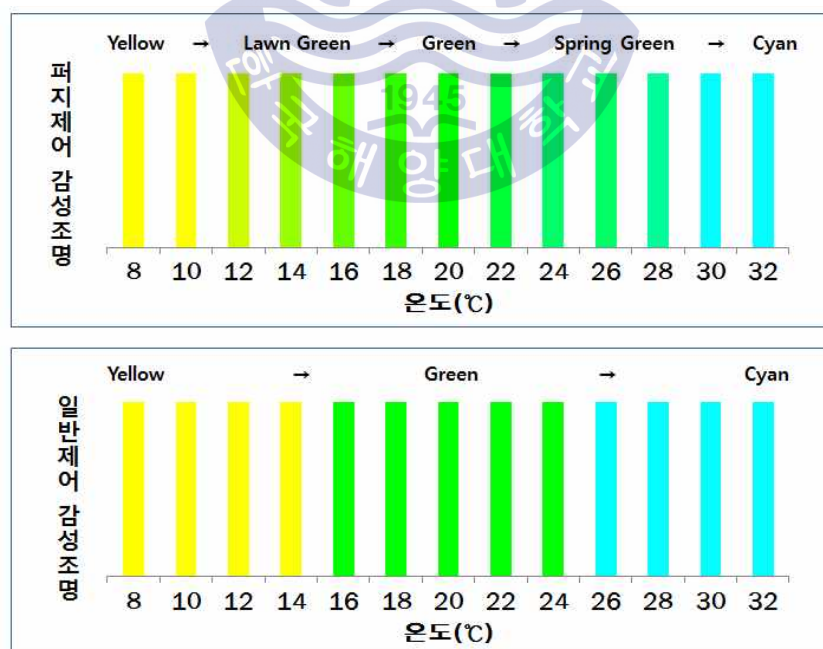


Fig. 82 습도 45[%], 조도 0[lx] 고정 시 온도변화에 따른 퍼지제어와 일반제어 색 출력 비교

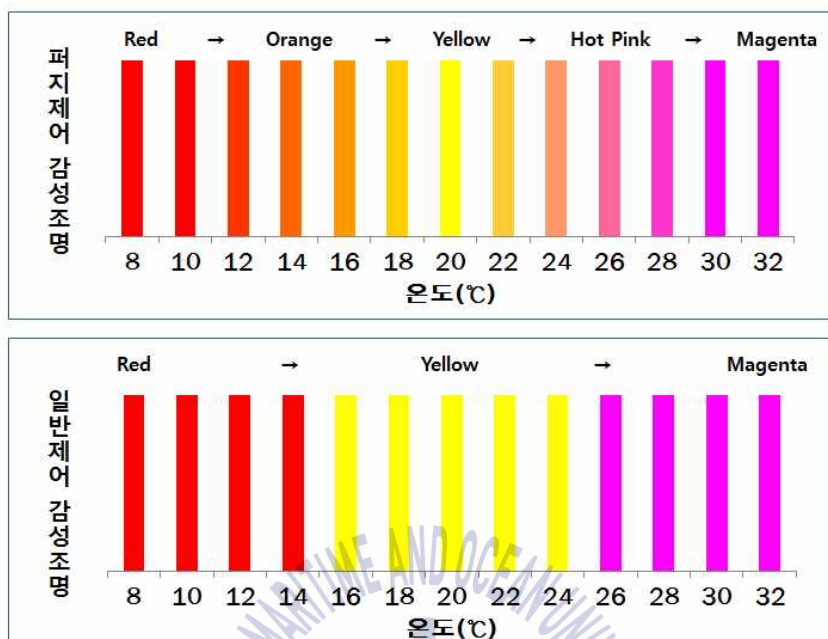


Fig. 83 습도 75[%], 조도 0[lx] 고정 시 온도변화에 따른 퍼지제어와 일반제어 색 출력 비교

Fig. 81~83 역시 5.5.1절의 Fig. 70~72의 변화에 대한 RGB LED 3색의 조합 및 일반제어의 감성조명 출력과 비교한 그래프를 나타낸 것이다.

상기 결과 값을 기준으로 일반제어의 감성조명 시스템 보다 퍼지 알고리즘을 적용한 시스템이 실험환경에서 더 유연하게 반응하여 일반 감성조명 제어 시스템에서 출력되는 색온도 보다 더 많은 조합의 출력을 나타내어 퍼지 알고리즘을 적용한 시스템의 출력 성능이 더 개선되었음을 확인 할 수 있었다.

제 6 장 결론

본 논문에서는 퍼지 알고리즘을 이용하여 외부환경 가운데 온도, 습도, 조도의 상태에 따라 색상이 자연스럽게 변화하며 심리적으로 영향을 줄 수 있는 Full-Color LED 감성조명 시스템을 구현하였다. 그리고 각종 색들의 심리적인 효과를 볼 수 있도록 색채심리를 감성조명과 접목하여 보다 나은 출력의 감성조명 시스템을 제작할 수 있었다. 또한 자발적 산업표준 프로토콜인 Modbus 통신 프로토콜을 추가하여 온도, 습도 및 조도의 모니터링 및 컨트롤을 가능하게 하는 제어 시스템을 설계 및 제작하였다.

실험을 통해 멤버쉽 함수와 함수 사이의 온도, 습도 입력 값에 대한 최적의 색을 LED를 통해 확인할 수 있었으며 Modbus를 통해 LED 출력 값을 수치로 원격 모니터링을 할 수 있으므로 출력 값이 리니어함을 확인할 수 있었다. 그리고 시리얼 통신인 Modbus RTU 프로토콜과 Ethernet 기반의 Modbus TCP간 상호 통신이 가능한 Modbus 게이트웨이를 제작하여 시리얼과 Ethernet통신이 동시에 가능하도록 구성하였다. 그리고 퍼지 알고리즘을 적용하여 일반 감성조명 제어 시스템의 정해진 색보다 유연하게 반응하여 더 많은 색으로 표현되어 출력될 수 있어 일반 감성조명 제어 시스템보다 성능이 더 개선되었음을 확인할 수 있었다.

본 제어시스템은 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. 특히 빌딩과 같은 환경에서 적용이 유리할 것으로 사료되며 감시 및 제어를 통해 조명의 밝기 조절 및 불필요한 조명을 컨트롤 하여 에너지 절약이 가능 할 것으로 사

료된다.

본 연구는 시리얼 통신으로 Modbus RTU를 사용하는 시스템과, 속도도 빠르고 무선으로 연결하기 쉬운 Ethernet 기반의 Modbus TCP를 적용하여 Wi-Fi 환경에서 LED 조명을 제어할 수 있는 시스템을 구현하였다. 그리고 Modbus TCP 기능이 지원되는 Touch Panel Box를 제작하여 외부 환경요소인 온도, 습도, 조도 값들은 센서를 통해 제어기로 받아들이고 Touch Panel로 전달됨을 확인하였으며 더불어 RGB LED의 색상 변화도 Touch Panel을 이용하여 사용자의 명령에 따라 변경 가능함을 확인하였다.

또한, 게이트웨이를 통해 시리얼 통신인 Modbus RTU 프로토콜을 Modbus TCP프로토콜로 변환하여 사용가능함으로 LED 조명제어 시스템에 연결된 모든 제어기를 제어할 수 있다. 그리고 조명제어 시스템의 게이트웨이를 인터넷에 연결하면 사물인터넷 기반의 스마트한 감성조명 시스템 구축이 가능해 지므로 지방, 외국 등 인터넷이 접속 할 수 있는 환경이라면 어디든 감시 및 제어가 가능한 감성조명 시스템이다.

LED 감성조명 시스템은 색채심리를 감성조명과 접목하여 보다 나은 출력의 감성조명을 제작할 수 있었다. 그리고 환경 변화 등을 측정할 수 있는 각종 센서와 유·무선 통신 기능을 내장하여 시간 및 환경 변화에 따라 조명제어를 할 수 있고, 조명제어 시스템은 인터넷에 연결되어 사물인터넷 기반의 스마트한 조명제어 시스템 구축이 가능해 진다. 이로 인해 언제 어디에서나 조명기구를 환경과 인간의 심리상태에 따라 제어 할 수 있으며 때에 따라 불필요한 에너지 소비를 최소화하여 에너지 절감이 가능할 것이다. 따라서 본 논문에서 설계 및 구현한 감성조명 시스템이 발 빠르게 변화하는 사용자의 요구를 충족할 수 있는 제4차 산업혁명에 적합한 차세대 조명시스템이 될 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] Klaus Schwab, 2016. *The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond*. [Online] Available at : <https://www.weforum.org> [Accessed 17 January 2018].
- [2] Jan Holler & Vlasios Tsiatsis & Catherine Mulligan & Stamatis Karnouskos & David Boyle, 2014. *From Machine-to-Machine to the Internet of Things: Introduction to a New Age of Intelligence*, Academic Press: Cambridge. pp. 3-5.
- [3] 김주성, 김강석, 2013. 주요 국가의 LED 조명 정책 동향, 전자통신동향분석 제28권 제6호 통권 144호, pp.192-205.
- [4] 중소기업청, 2007. *EU RoHS 지침 사후대응 매뉴얼*, 대전:중소기업청.
- [5] 정연홍, 2009. R,G,B LEDs의 Natural Color 조명색채 구현 방안에 대한 기초 연구, 한국조명·전기설비학회 2009 추계학술대회 논문집, pp.3-6.
- [6] 박서준, 변성환, 김선재, 박경수, 길경석, 2016. 선박용 LED 등기구의 적용에 따른 경제성 분석, 한국마린엔지니어링학회지 제40권 제4호, pp.342-347.
- [7] 김병수, 2009. LED램프를 적용한 사무소 건물의 실내조명환경 및 에너지 성능분석, 대한건축학회 논문집 제25권 제7호 (통권 249호), pp.329~336.
- [8] 민경익, 2007. LED 조명개발 현황 및 옥외 LED 조명 설계, 대한전기학회, 전기의 세계 제56권 제7호, pp.20~25.
- [9] 장준호, 2008. 공간 및 사용자에게 적합한 LED 조명기구의 색온도 및 색채 연출에 관한 연구, 세종대학교 건축공학과 석사학위 논문.
- [10] 임누리, 2009. 색채심리와 색채치료 관련 연구 고찰, 서경대학교 미용예술대학원 석사학위 논문
- [11] 정혜선, 2003. 아동의 정서와 색채심리의 관계에 관한 연구, 충남대학교 교

육대학원 석사학위 논문

- [12] 노시청, 2005. *감성조명의 이해*, 한국디자인학회 2005 가을 학술발표대회 논문집, pp.86~87.
- [13] 이재홍, 2011. *인공지능을 이용한 감성조명 LED 제어기 설계에 관한 연구*, 한국해양대학교 전자통신공학과 석사학위 논문.
- [14] Allaboutlean.com, 2015. *A Critical Look at Industry 4.0*, [Online] Available at : <https://www.allaboutlean.com> [Accessed 8 January 2018].
- [15] Bernard Marr, 2016. *Why Everyone Must Get Ready For The 4th Industrial Revolution*, Forbes.
- [16] 조선비즈 위비경영연구소, 2016. *(2016 세상을 꿰뚫는) 위클리비즈 경제키워드 71*.
- [17] 한국정보통신기술협회, 2013. *사물인터넷 정의 및 참조 모델*. 정보통신단체 표준 TTA.KO-06.0346, pp.2~3
- [18] Creaxid, 2016. *El Internet de las Cosas ya está aquí*. [Online] Available at : <http://www.creaxid.com.mx> [Accessed 8 January 2018].
- [19] 한국산업기술평가관리원, 2011. *LED 시스템 조명 기술의 전망*. KEIT PD ISSUE VOL 11-4, pp.63-64.
- [20] 한국에너지공단, 2015. *조명제어 시스템 개요*. pp.1~3
- [21] 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.
- [22] Jacek M. Zurada, 1992. *Introduction to Artificial Neural System*, West Publishing Company.
- [23] Chin-Teng Lin and C.S George Lee, 1996. *Neural fuzzy systems*, Prentice Hall.
- [24] 이상배, 1999. *퍼지-뉴로 제어 시스템*, 교학사, pp. 7-108.
- [25] 이광형, 오길록, 1991. *퍼지이론 및 응용 I / II*, 홍릉과학출판사.
- [26] L. A. Zadeh, 1965. *Fuzzy Sets, Information and Control* 8, pp.338-353.

- [27] 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.
- [28] L. A. Zadeh, 1978. *Fuzzy sets as a basic for a theory of possibility*, Fuzzy sets and Systems v1, pp.3-28.
- [29] 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.
- [30] J. S. R. Jang and C.-T. Sun, 1995. *Neuro-Fuzzy Modeling and Control*, Proc. IEEE.
- [31] M. Sugeno and M. Nishida, 1985. *Fuzzy control of model car*, Fuzzy Sets syst. Vol.16, pp.103-113.
- [32] 설일수, 2013. *조명제어용 내셔널 프로토콜을 위한 모드버스 프로토콜 변환기 설계*, 조선대학교 정보통신공학과 석사학위 논문.
- [33] IT tips, 2013. *Modbus (Modbus) 프로토콜의 이해*, [Online] Available at : <http://ymkimit.blogspot.kr> [Accessed 8 April 2015].
- [34] Modbus-IDA, 2006. *MODBUS APPLICATION PROTOCOL SPECIFICATION V1.1b*, pp.2, [Online] Available at : <http://www.Modbus-IDA.org> [Accessed 8 April 2015].
- [35] Modbus.org, 2012. *MODBUS APPLICATION PROTOCOL SPECIFICATION V1.1b3*, [Online] Available at : <http://modbus.org> [Accessed 4 June 2018].
- [36] Modbus.org, 1996. *Modicon Modbus Protocol Preference Guide*, [Online] Available at : <http://modbus.org> [Accessed 8 April 2015].
- [37] 원소민, 김중희, 2011. *Modbus를 이용한 공장자동화장비의 원격제어에 관한 연구*, 한국엔터테인먼트산업학회논문지 제5권 제4호, pp.195-196.
- [38] Simply Modbus, 2017. *Modbus TCP/IP Data Communication Test Software*, [Online] Available at : <http://www.simplymodbus.ca> [Accessed 8 January 2018].
- [39] 임채성, 2004. *TCP/IP를 이용한 빌딩 네트워크 시스템 통합 및 성능평가*,

고려대학교 대학원 석사 학위논문, pp.43-45

[40] Modbus.org, 1996. *Modicon Modbus Protocol Preference Guide*, [Online] Available at : <http://modbus.org> [Accessed 8 January 2018].

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

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

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

