



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

퍼지이론을 이용한 교류입력
LED조명 제어시스템 설계 및 구현

The Design & Implementation of AC input LED Lighting Control
System using Fuzzy Theory



지도교수 임재홍

2020년 8월

한국해양대학교 대학원

전자통신공학과

이재경

본 논문을 이재경의 공학석사 학위논문으로 인준함.

위원장 박동국 (인)

위원 심준환 (인)

위원 임재홍 (인)

2020년 7월

한국해양대학교 대학원

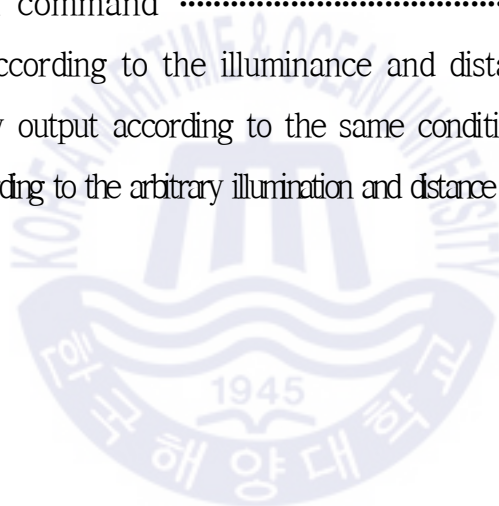
목 차

List of Tables	iii
List of Figures	iv
Abstract	vi
1. 서 론	1
1.1 연구 배경	1
1.2 연구 목적 및 내용	1
1.3 논문의 구성	2
2. LED조명 제어시스템의 배경	3
2.1 LED 조명의 특징	3
2.2 ATmega128의 특징	7
2.3 퍼지 이론	10
2.4 퍼지 제어기의 구성	16
3. LED조명 제어시스템의 설계	20
3.1 퍼지 알고리즘 구성	20
3.2 퍼지 멤버십 함수(Fuzzy Membership Function)	21
3.3 퍼지 제어 규칙(Fuzzy Control Rules)의 설정	25
3.4 비퍼지화(Defuzzification) 과정	29
3.5 LED조명 제어시스템의 구성내용	30
3.6 동작시나리오의 구성내용	35

4. LED조명 제어시스템의 구현	37
4.1 제어시스템의 구성	37
4.1.1 전원부	37
4.1.2 AVR 제어부	38
4.1.3 CLCD 출력부	40
4.1.4 LED 제어부	43
4.1.5 센서 입력부	44
4.2 LED조명 제어시스템의 하드웨어 구성	47
5. 실험 및 결과	49
5.1 제어시스템의 제작 및 실험	49
5.2 컴퓨터 시뮬레이션	51
6. 결론	55
참고문헌	57
부록	59

List of Tables

Table 1	Comparison of characteristics of existing light source and LED light source	4
Table 2	Recommended illuminance according to place and activity at home	7
Table 3	Setting the Language Variables of Fuzzy Inference	21
Table 4	LED Fuzzy and Crisp Output Color Values	24
Table 5	Fuzzy rules table	26
Table 6	CLCD control command	40
Table 7	Crisp output according to the illuminance and distance	51
Table 8	Crisp and Fuzzy output according to the same conditions	52
Table 9	Fuzzy output according to the arbitrary illumination and distance	53



List of Figures

Fig. 1 Brief history of lighting	3
Fig. 2 CIE Chromaticity Diagram	5
Fig. 3 Color image evaluation on color image scale	8
Fig. 4 Instruction fetch and execution per clock	9
Fig. 5 Execution of instruction executed at one clock	9
Fig. 6 Crisp set & fuzzy set	11
Fig. 7 $\tilde{A}_1 \cap \tilde{A}_2$ of Fuzzy set	13
Fig. 8 $\tilde{A}_1 \cup \tilde{A}_2$ of Fuzzy set	13
Fig. 9 \tilde{A}_3^c of Fuzzy set	13
Fig. 10 Inference of Mamdani	15
Fig. 11 Structure of fuzzy controller	16
Fig. 12 Fuzzy inference process	17
Fig. 13 Block diagram of variable structure of the fuzzy system	19
Fig. 14 Block diagram of ATmega128	20
Fig. 15 Function of illuminance membership	21
Fig. 16 Function of distance membership	22
Fig. 17 Function of RGB output membership	23
Fig. 18 Construction of LED Controller	30

Fig. 19 Organization of Control System	31
Fig. 20 Block Diagram of Control System	32
Fig. 21 Scinario Solution of Control System	33
Fig. 22 Connection Method of LED Module	34
Fig. 23 Circuit of KIA7805	38
Fig. 24 Circuit of ATmega128	38
Fig. 25 Timing diagram of CTC mode	39
Fig. 26 Timing diagram of reading mode	41
Fig. 27 Timing diagram of writing mode	41
Fig. 28 Circuit of CLCD	42
Fig. 29 Circuit of RGB LED drive	43
Fig. 30 Circuit of illuminance sensor	44
Fig. 31 SRF04 Timing diagram	45
Fig. 32 SRF04 of oriented angle	45
Fig. 33 Circuit of ultra sonic sensor	46
Fig. 34 Hardware of 4CH LED Controller	47
Fig. 35 Hardware of 2CH LED Controller	48
Fig. 36 Manufacturing Picture of 4CH/2CH LED Lighting Control System ..	50

The Design & Implementation of AC input LED Lighting Control System using Fuzzy Theory

Lee, Jae Kyuung

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

Abstract

In this paper, several scenarios needed for LED lighting were constructed, and the AC power input LED lighting controller was designed and implemented to operate the scenario to confirm its behavior.

The hardware of the control system consists of the power unit, AVR control unit, CLCD output unit, LED control unit, scenario selection switch unit and operation speed display unit, and it is manufactured in 4-channel and 2-channel. The CPU used ATmega128 and FET FQD19N10 to control the current signal. In order to operate the CPU, DC 12V was converted to DC 5V using regulator 7805, and a heat shield was used to remove heat generated by FET. In addition, the SMPS capacity consists of a total of 200W for 4-channel controllers, and a total of 100W for 2-channel controllers. The load capacity of the LED module for each channel is 50W.

In addition, LED lighting controllers and SMPS are combined to form a single control board to combine the functions of LED lighting control and SMPS to produce an LED lighting controller that can be operated with AC 220V.

LED lighting control systems of the manufactured 4-channel and 2-channel were configured to check their behavior in various scenarios. Several operational scenarios identified are attached to the appendix. Verification of an action scenario can be expressed as On/Off for each scenario selection switch, the operating speed of the action scenario is adjusted by a separate speed control switch, and the speed display is expressed from the slowest zero to the fastest 9. The characteristics of the LED controller in this study are 4-channel, so four RGB LED colors can be controlled at the same time. By exchanging the terminals of the RGB LED module, it can produce more emotional lighting, select 10 color control production scenarios including mode and speed, compatibility with all existing RGB LED modules and bars, and use many RGB LEDs through large current capacity design at each channel terminal.

In addition, the computer simulation was conducted by designing the control system to show the most appropriate color according to the input value of distance and illumination. As a result, given the output color and the result value according to the fuzzy rules, unlike the conventional Crisp logic, the fuzzy logic does not require the storage of many data inputs due to the nature of artificial intelligence, but is simple and has the efficiency to represent many output values at a small input value. These properties have shown that LED lighting controls through the fuzzy computation system are more organic and efficient than more common LED lighting controls.

KEY WORDS:

Sightingseeing, Fuzzy Control, Hybrid Board, LED Lighting, Sign Board

제 1 장 서 론

1.1 연구 배경

LED의 장점을 최대한 이용하여 미국, 일본, 유럽 및 한국 등에서는 LED 조명을 권장하거나 기존 백열등 및 형광등 조명을 대체하는 법안을 마련 중이거나 시행 중이다. 우리나라의 경우 지식경제부를 중심으로 2020년까지 공공기관 100%, 국가 전체 조명의 60%를 LED 조명으로 전환하고자 하는 2060프로젝트를 추진하고 있다[1].

LED가 주 광원으로 활용되면서부터 광원의 기능은 단순히 어둠을 밝히는 차원을 넘어서 심미적 만족감을 주거나 감성을 유도하는 목적으로 확장되고 있다. 조명의 밝기나 색상, 순도를 역동적으로 변화하여 다양한 감성적 효과가 도출될 것이라는 기대를 하게 되었고, 이를 토대로 새로운 제품 개발의 기회로 이어져 시장 수요를 창출할 수 있는 잠재력으로 인정받고 있다. 즉 조명의 색채적 속성을 디자인 요소로 활용하고자 하는 영역이 증가하고 있다[2].

1.2 연구 목적 및 내용

기존의 LED조명제어기는 입력전원이 DC 12V로 되어있어 입력AC220V를 사용할 시 SMPS(Switched Mode Power Supply)를 연결하여 DC 12V를 LED 조명 제어기에 연결하여야 한다. 이러한 불편을 없애기 위하여 LED조명제어기와 SMPS를 결합하여 하나의 제어보드로 구성하여 LED 조명제어와 SMPS의 기능을 함께 할 수 있도록 하이브리드 LED조명 제어시스템을 연구하였다. 이렇게 구성하면 LED 조명제어기와 SMPS를 별도로 구매할 필요 없이 하이브리드 조명 제어기 하나로 두 기능을 할 수 있는 조합된 LED조명제어기로서 입력이 AC 220V로 작동 가능하게 하는 것이다. 기존의 유사 LED조명제어기의 입력은 DC 12V이나 본 연구의 하이브리드 조명제어시스템은 입력이 AC 220V 인 것이 특징이다.

본 연구의 LED조명 제어시스템의 구성특징으로는 4-채널 이므로 4개의 RGB LED 색상이 동시에 제어가 가능하며, 각각 RGB LED모듈(Module)의 단자를 교환함으로써 더욱 더 많은 변화의 감성조명 연출도 가능하며, 모드와 속도를 포함한 10가지의 색상제어 연출 시나리오 선택이 가능하며, 기존의 모든 RGB LED 모듈 및 Bar를 사용할 수 있는 호환성이 있으며, 각 채널 단자의 큰 전류용량 설계로 많은 RGB LED 연결사용이 가능하다는 장점이 있다.

1.3 논문의 구성

본 연구의 구성은 다음과 같다. 1장에서는 서론 내용을 정리하였고, 2장에서는 LED 조명에 대한 배경을 서술하였으며, 3장에서는 LED조명 제어시스템의 설계에 대해 서술하였으며, 4장에서는 LED조명 제어시스템의 구현에 대해 서술하였다. 5장에서는 LED조명 제어시스템의 실험 및 결과에 대해 서술하였고. 6장에서는 그에 따른 결론을 제시하였다.

제 2 장 LED조명 제어시스템의 배경

2.1 LED 조명의 특징

20세기에 반도체기술의 진전으로 마법의 돌에서 빛이 발산하는 기술이 발명되었으며, 최근 조명용으로도 충분히 밝은 반도체 발광다이오드(LED)가 개발되면서 이를 응용한 새로운 조명기술(Solid State Lighting)이 등장하여 미래 조명기술로 부각되고 있다[3].

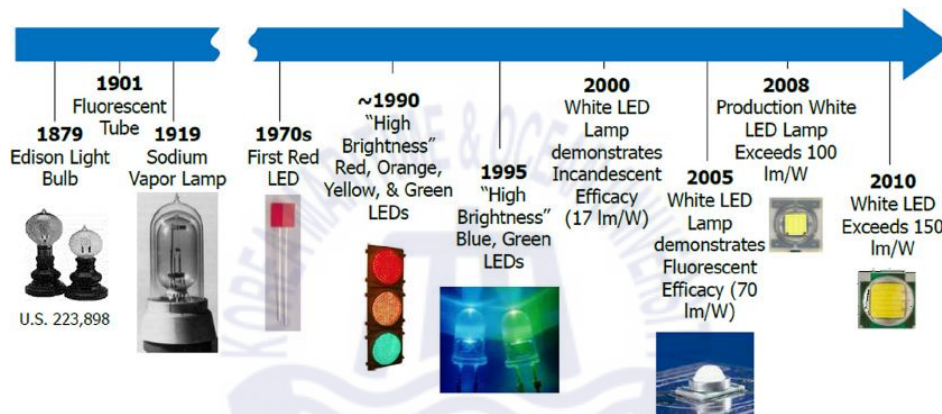


Fig. 1 Brief history of lighting

현재 LED광원의 독특한 발광특성을 응용하여 기존 조명기기 분야에 빠른 속도로 침투하고 있으며, 2020년에는 일반 형광등 조명기기에도 폭넓게 사용되리라 예측하고 있다. 위의 Fig. 1은 조명용 광원의 진화과정을 나타낸 것이다[4].

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 기본 요소인 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[5].

Table 1은 기존 광원과 LED광원의 전형적인 조명특성을 비교한 것이다.

Table 1 Comparison of characteristics of existing light source and LED light source

Type		Rated Power (W)	Total Flux (lm)	Lamp eff. (lm/W)	Ballast eff. (%)	Color temp. (K)	CRI (Ra)	Life time (h)	Power range (W)
Incandescent	Standard	60	810	14	100	2,850	100	1,000	10-100
	Tungsten Halogen	100	1,600	16	100	2,900	100	1,500	60-500
Fluorescent	Standard	37	3,100	84	78.6	4,200	61	12,000	4-40
	CFL	36	2,900	81	77.8	5,000	84	7,500	4-96
High Intensity Discharge	Mercury	400	22,000	55	94.5	3,900	40	12,000	40-2000
	Metal Halide	400	32,000	80	95.0	4,300	70	9,000	100-1000
	High P. Sodium	360	36,000	100	92.0	2,150	60	12,000	220-660
LED		1	40	40	80.0	-	-	40,000	< 3

LED광원의 주요 조명특성을 요약하면 다음과 같다. 구조적으로 기존의 광원과는 달리 단단한 고체형태의 작은 점광원으로써 유리전극, 필라멘트 및 수은(Hg)을 사용하지 않아 매우 견고하고, 수명이 길며, 환경 친화적이다. 이에 따라 LED를 사용하는 조명기술을 기존 조명기술과 달리 고체형태로 된 단단한 구조의 광원을 사용하는 반도체조명기술이라 부른다. 광학적으로 선명한 단색광을 발광하여 연색성이 나쁜 반면, 특정색(또는 특정파장)을 필요로 하는 조명기구 적용 시 빛 손실이 매우 작고 시인성이 향상되며, 지향성 광원으로써 등기구 손실을 크게 줄일 수 있다. 또한 현존하는 어느 광원보다도 조광제어 능력이 우수하여 다양한 색 연출이 용이하다[6].

전기적으로 직류 구동광원으로(다이오드 특성상 교류도 가능) 특정전압 이상에서 점등을 시작하고 점등 후에는 작은 전압변화에도 민감하게 전류와 광도가 변화한다. 또한 주위온도에 따라 정격전압이 변화하므로 정 전압으로 구동 시 환경 적응 특성이 매우 열악하게 되어 원칙적으로 정 전류원으로 구동하여야 한다. 이에 따라 LED조명기기를 안전하게 점등시키기 위해서는 LED램프 특성에 맞는 전용 전원공급 장치(Ballast)가 요구된다. 환경적으로 온도상승 시 허용 전류와 광 출력이 감소

하고 많은 열이 발생하는 등 주위온도 및 동작온도 변화에 대해 매우 민감하게 동 특성이 변화한다[8]. 만약 허용치 이상의 전류가 흐를 경우, 수명이 대폭 감소하고 성능이 크게 저하되므로 전용 전원공급 장치 외에 적절한 열처리 기술이 필요하다.

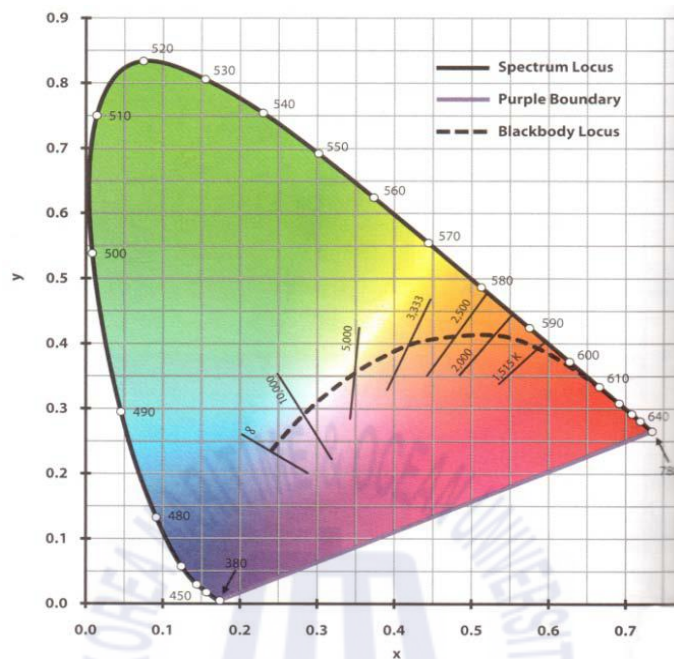


Fig. 2 CIE Chromaticity Diagram

전기적 동특성 LED는 빛을 내는 다이오드(Diode)로 다이오드 특성상 전기적 극성이 일치하고 일정 전압 이상에서 급격히 전류가 증가하며, 밝기는 전류 크기에 정비례하는 독특한 특성을 지니고 있다. 단일 LED의 정격 구동전압은 발광색(반도체 종류)에 따라 변화하며, 주위온도에도 미세하게 변화한다. 일반적으로 2~4V의 매우 낮은 전압에서 동작한다[7].

열적 동특성 LED광원은 기존 광원(백열등, 형광등)과 달리, 흐르는 전류가 일정하더라도 접합 부분 온도가 낮을수록 광 출력과 광 효율이 향상하는 특성을 지니고 있다. 이는 온도가 높을수록 광 출력과 광 효율이 저하된다는 의미로 필요 시 조명 성능을 향상시키기 위해서는 접합부에서 발생된 열을 적절히 방출하여야 한다.

LED는 필라멘트와 전구가 없는 단단한 고체상태 발광소자로 적절한 전원공급과 방열기를 사용할 경우 10만 시간 이상 사용해도 소손 없이 점등상태를 유지할 수 있다. 이에 따라 일부에서는 LED를 반영구적인 광원이라 하기도 한다. 그러나 모든

광원은 시간이 지날수록 광 출력이 점점 감소하는데, 초기 광도의 80%까지는 사람이 잘 느끼지 못하며, 이 기준으로 평가할 때 LED의 수명은 현재 약 40,000 ~ 50,000시간으로 평가된다. 따라서 백열전구의 1,500시간, 형광등의 10,000시간에 비해 LED는 수명이 매우 긴 장 수명 광원이라 할 수 있다.

좁은 파장대의 단색광 발광과 높은 시인성 LED는 반도체 종류에 따라 결정되는 좁은 파장대의 단색광을 발광하므로 특정한 색을 요구하는 조명기구에 적용할 경우 탁월한 조명성과 유효 발광효율을 기대할 수 있다. 그 예로 15lm/W 백열전구를 사용하는 신호등은 적색 투과율은 10% 정도, 발광효율이 1.5lm/W로 90% 감소하는 반면, LED는 선명한 적색 그 자체를 30lm/W 이상 발광하기 때문에 전구식에 비해 90% 이상 에너지절약이 가능하게 된다. 이밖에 장 수명에 따른 유지보수비용 절감, 시인성 향상에 따른 교통사고저감 등도 기대된다. 주요 응용분야로는 특정 색을 요구하는 감성 조명, 교통신호등, 항공장애등, 비상구, 등명기(Buoy) 등이 있다.

조명 상황의 활동들은 서로 상이한 특성을 가지고 있다. 학습, 업무와 같은 많은 인지 부하량과 높은 집중이 요구되는 상황에서의 조명환경과 휴식, 취침과 같이 요구되는 집중 및 인지부하가 현저히 낮을 때 사용자에게 적합한 조명 환경은 분명히 달라야 할 것이다. LED 기술 발달 이전에는 조명의 색채적 속성들을 제어하기 어려워 다양한 조명 환경을 구현하기 힘들었지만, LED로 인해 다양한 조명 환경 구현이 가능해 졌다. 이를 이용하여 이미 많은 업체들이 상황을 고려한 조명 제품 및 시스템을 출시하고 있다.

그러나 조명 환경의 효과에 대한 실증적 연구들은 주로 조명의 색채적 속성 중 조도에 한정 되어 있다. 예를 들면, 활동의 특성에 적합한 조도(illuminance) 기준은 이미 국가적으로 결정되어 권장되고 있다[8].

우리나라의 활동 별 조도 기준인 산업 표준 조도 기준 KS A 3011 (1998) Table 2 을 살펴보면 재봉, 공부와 같은 인지 부하 및 집중도가 높게 요구되는 활동일수록 높은 조도를 권장하고, 침실과 같은 인지 부하 및 집중도가 낮게 요구되는 활동이 이루어지는 장소에서는 낮은 조도를 권장하고 있는 것을 알 수 있다.

Table 2 Recommended illuminance according to place and activity at home

장소, 활동	권장 조도(lx)
재봉	600-1,000-1,500
공부, 독서, 재봉	300-400-600
세탁, 조리, 화장, 식사, 오락	150-200-300
거실, 서재, 응접실, 아동실, 식당, 욕실	60-100-150
현관, 복도, 화장실	30-40-60
침실, 차고	15-20-30

이러한 조도와 활동 특성에 대한 연구 및 규정된 조도 기준과는 다르게 조명 색상에 대한 활동 특성 별 연구는 미흡하고 그에 따른 기준은 규정되어 있지 않다. 따라서 조명 색상에 대해서도 사용자의 조명 상황에 적합한 것이 어떠한 조명 색상인지, 어떠한 반응을 유도하는지 연구해야 할 것이며, 어떠한 조명 색상이 사용자에게 적합한 것인지 파악하려면, 상황에 따른 조명 색상에 대한 사용자의 반응을 평가하는 체계적인 방법에 대한 연구가 선행되어야 한다[9].

2.2 ATmega128의 특징

진보된 RISC 구조를 가지며, 133개의 강력한 명령어를 1Clock Cycle에 실행을 한다. 32개의 범용 레지스터와 주변 장치 제어 레지스터가 있으며, 16Mhz에서 16MIPS 까지 성능이 나올 수 있다. 2Clock Cycle이 소요되는 곱셈기가 칩에 내장되어 있다 [29]. 비휘발성 프로그램과 데이터 메모리를 가지며 128Kbyte의 ISP(In System Programming)로 재프로그램 가능한 플래시 메모리를 내장하고 있다[29].

4Kbyte EEPROM은 100,000회 읽기 / 쓰기가 가능하고, 4Kbyte의 SRAM이 내장되어 있다. 64Kbyte까지 외부에 추가하여 사용할 수 있는 메모리 공간이 있으며, SPI 인터페이스를 이용한 ISP(In System Programming)을 사용한다.

주변장치로는 2개의 8비트 타이머/카운터가 있으며, 별도의 프리스케일러와 비교

모드로 동작이 가능하고, 별도의 프리스케일러, 비교 모드, 캡처 모드가 가능한 2개의 16비트 타이머/카운터를 탑재하고 있다.

이와 더불어, 실시간 타이머 카운터, 6개의 PWM 채널, 출력 비교 모듈레이터, 아날로그 비교기, 10비트 A/D 변환기능 등을 가지고 있다[30].

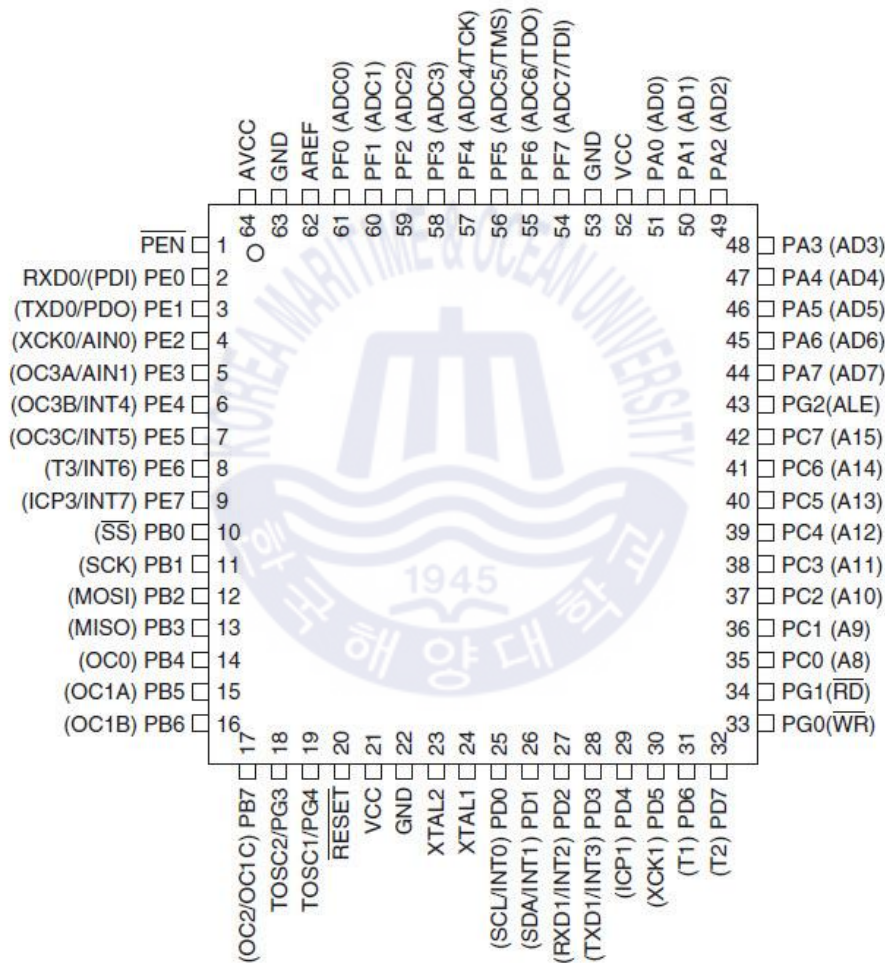


Fig. 3 External structure and PIN configuration of ATmega128

프로그램 카운터(PC)가 가리키는 명령어가 명령어 레지스터(IR)로 인출하고, 프로그램 카운터의 값은 명령어 레지스터 크기만큼 증가한다.

명령어를 실행하면 첫 번째로 명령어를 분석하고 두 번째로 ALU에 오퍼랜드를 인가한다. 끝으로 ALU연산 실행 및 결과를 기록한다. 아래 Fig. 4와 Fig. 5는 클럭 단위로 명령어 인출과 실행의 플로우를 확인할 수 있다.

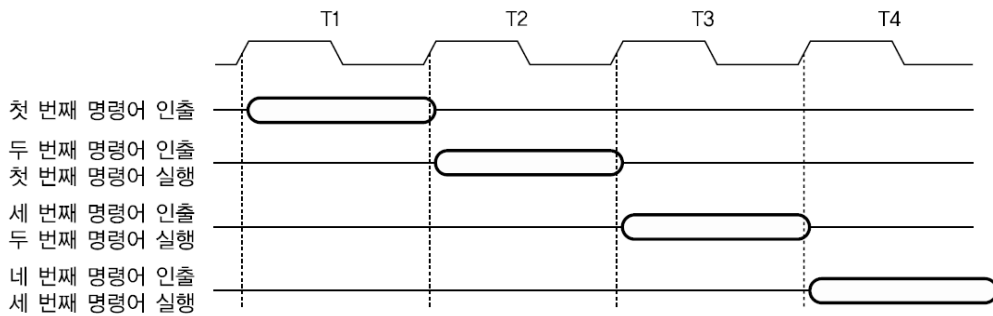


Fig. 4 Instruction fetch and execution per clock

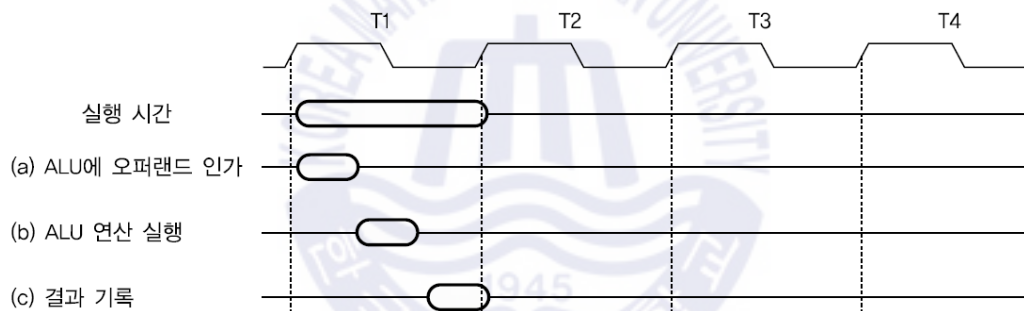


Fig. 5 Execution of instruction executed at one clock

2.3 퍼지 이론

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. 부울 논리를 기본으로 하는 집합이론에서는 특정한 객체가 주어진 집합의 원소로서 속하거나 속하지 않거나 둘 중의 하나이다. 그러나 퍼지 논리를 기반으로 하는 퍼지 집합이론에서는 이 객체가 구성 원소로서 특정 집합 A에 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[10].

고전적 집합론에서 집합이란 확정된 원소들의 모임을 나타내며, 이와 같이 경계가 명확한 보통집합(크리스프 set) A와 전체집합의 X의 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 특성함수는 μ_A 는 대집합 내의 원소 x 에 대한 A의 “소속”을 표현하며, 보통집합에서는 전체집합 내의 원소에 대한 주어진 집합에서의 소속과 비 소속 사이의 변화는 이산적으로 잘 정의되어 있다.

퍼지집합 A를 \tilde{A} 로 표현하고, 만일 대집합의 한 원소 x 가 퍼지집합 \tilde{A} 에 소속되면 이에 대한 사상(mapping)은 다음과 같이 식 (2),(3)으로 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. 6는 보통집합과 퍼지집합의 관계를 나타낸 것으로 두 집합사이의 소속 정도를 알 수 있다.

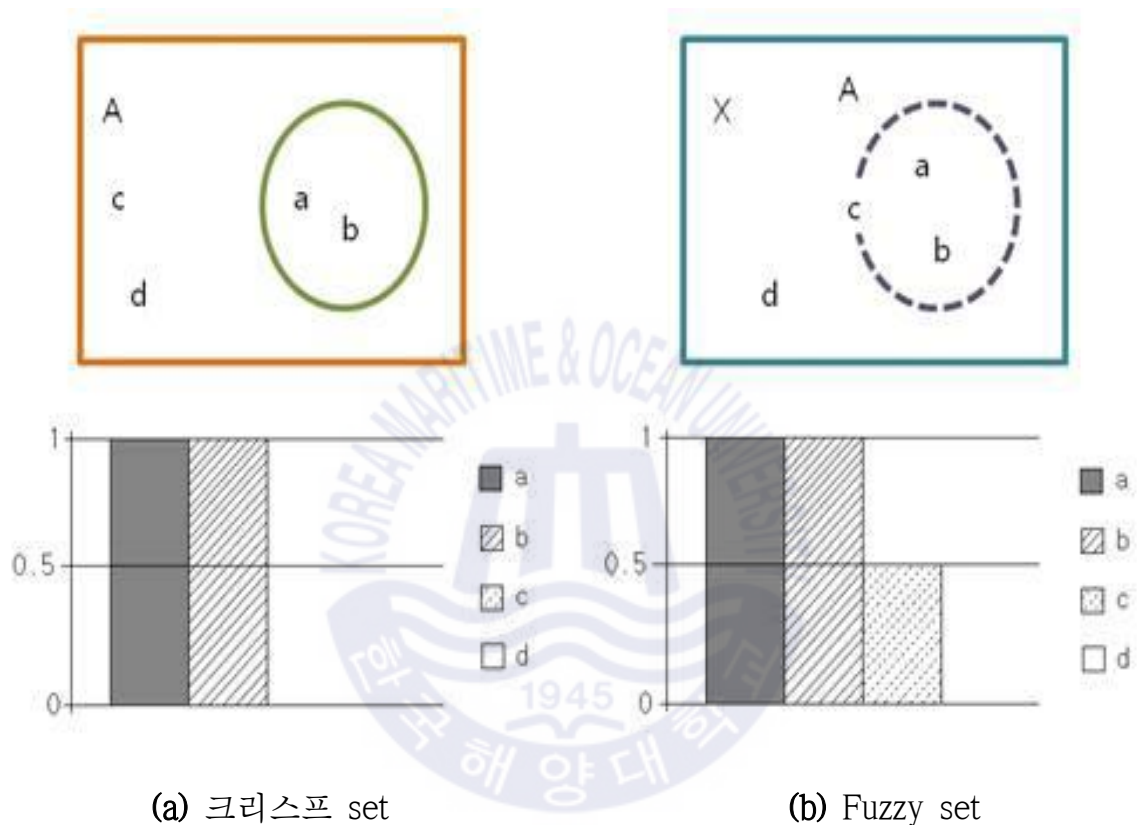


Fig. 6 크리스프 set & fuzzy set

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.

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

퍼지 집합의 연산에는 합집합, 교집합, 여집합 3개의 기본적인 연산이 있으며, 만약 전체 집합 X 내에 퍼지 집합 $\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \tilde{A}_3$ 가 존재한다고 하면, 퍼지집합의 합집합, 교집합, 여집합은 다음과 같이, 식 (6),(7),(8)로 나타낼 수 있다.

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

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

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

퍼지이론에서 교집합에 사용되는 t-norms에는 다음과 같은 연산자가 있으며, 이를 각각 식 (9), (10), (11), (12)로 나타내었다.

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

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

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

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

퍼지이론에서 합집합에 사용되는 t-conorms에는 다음과 같은 연산자가 있으며, 이를 각각 식 (13),(14),(15),(16)으로 나타내었다.

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

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

• 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. 7에서 Fig. 9는 퍼지집합의 연산인 퍼지 합집합, 퍼지 교집합, 퍼지 여집합을 나타낸 것이다.

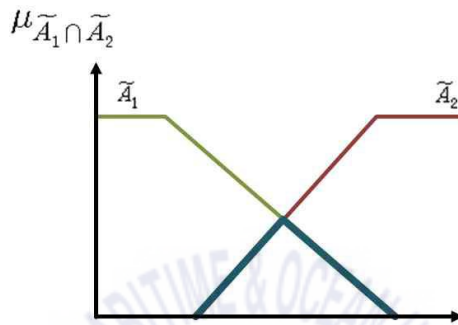


Fig. 7 $\tilde{A}_1 \cap \tilde{A}_2$ of Fuzzy set

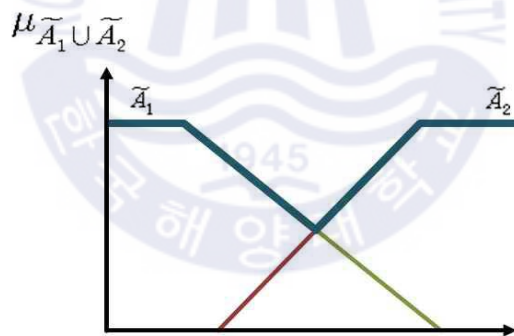


Fig. 8 $\tilde{A}_1 \cup \tilde{A}_2$ of Fuzzy set

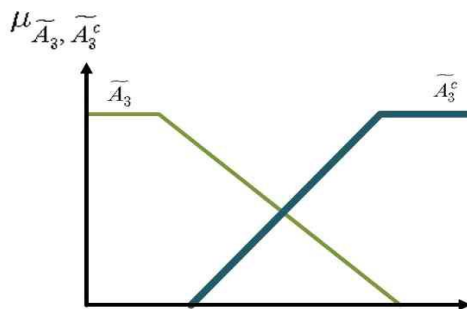


Fig. 9 \tilde{A}_3^c of Fuzzy set

“P이면 Q이다”와 같은 조건명제를 이용하여 이루어지는 추론에는, 연역추론(modus ponens)와 대우추론(modus tollens)이 있다. 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

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

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

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

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

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 진리값 $L(\tilde{P})$ 을 구하고, $L(\tilde{P} \rightarrow \tilde{Q})$ 및 $L(\tilde{P})$ 를 이용하여 \tilde{Q} 의 진리값 $L(\tilde{Q})$ 을 구한 후, $L(\tilde{Q})$ 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 다음과 같이 식 (17)로 나타낸다.

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

여기서, 조건명제 $\tilde{P} \rightarrow \tilde{Q}$ 에 대한 구체적인 예로 Mamdani가 제안한 식 (18)의

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

를 사용하면, \tilde{Q}^* 의 소속 함수는 식 (19)인

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

로 나타낸다. 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 적

합도를 나타내므로, 결론 \tilde{Q}^* 는 \tilde{Q} 의 ω 보다 큰 부분을 잘라낸 형태와 같다는 것을 알 수 있으며, Fig. 10은 이를 나타내고 있다.

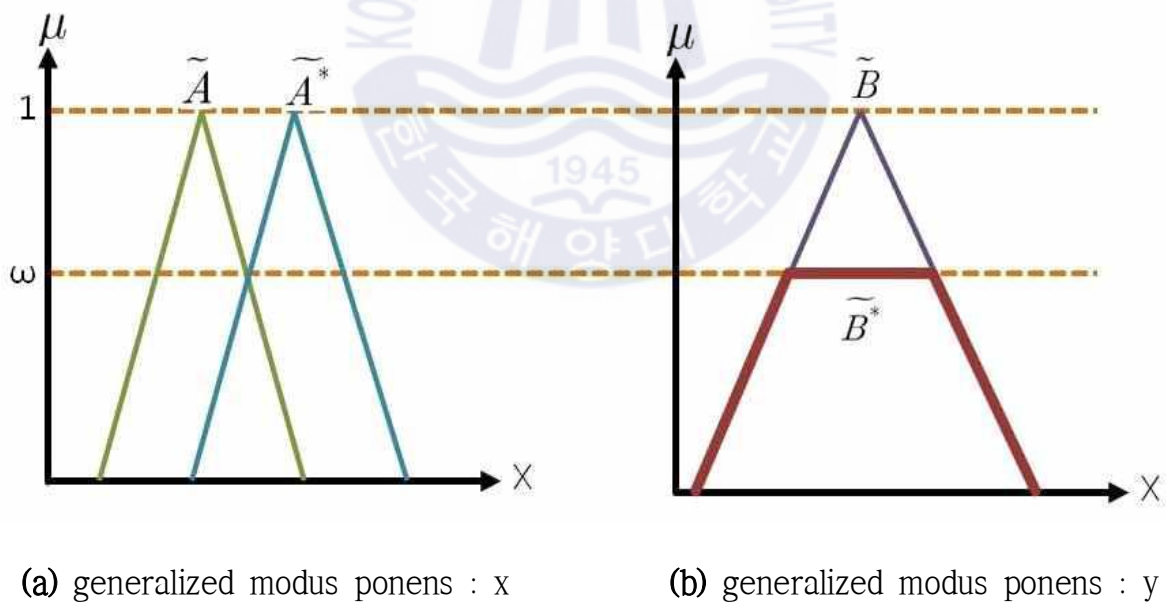


Fig. 10 Inference of Mamdani

2.4 퍼지 제어기의 구성

퍼지이론은 적절한 언어의 값을 정의함으로써 불확실한 느낌을 그대로 나타낼 수 있다[11].

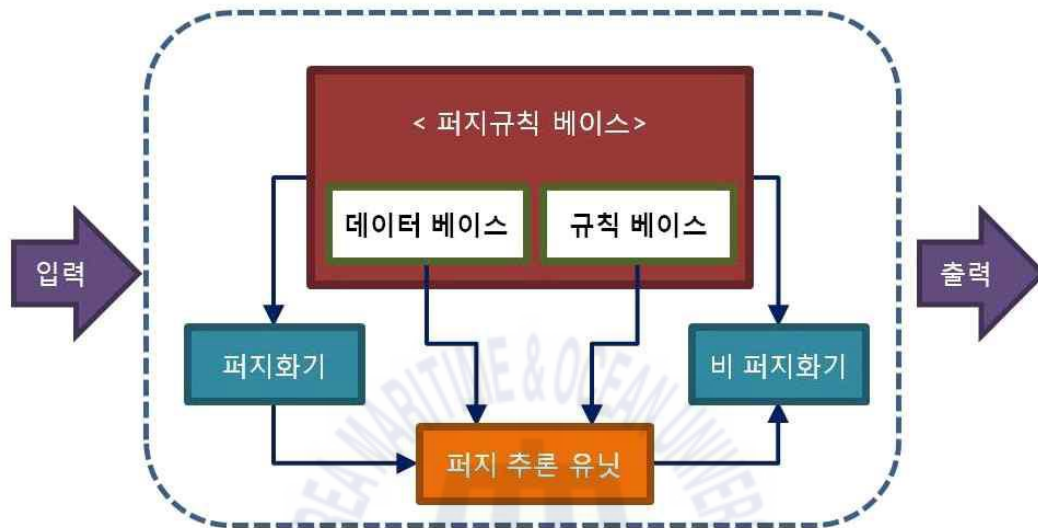


Fig. 11 Structure of fuzzy controller

위의 Fig. 11은 기본적인 퍼지 제어기의 구조를 나타내고 있으며, 퍼지추론을 하기 위해서는 IF-THEN 형식의 추론 규칙이 필요하며, 이를 “퍼지 IF-THEN규칙” 이라고 한다.

식 (20),(21)과 같은 2개의 규칙으로 된 2입력 1출력의 경우를 고려해보자.

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

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

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)과 식 (21) 같은 퍼지 규칙(fuzzy rule)에 있어서 첫 번째 규칙의 연결강도를 α_1 , 두 번째 규칙의 연결강도를 α_2 로 정의하면 다음의 식 (22)과 같이 표현된다.

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

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 무게 중심법(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.

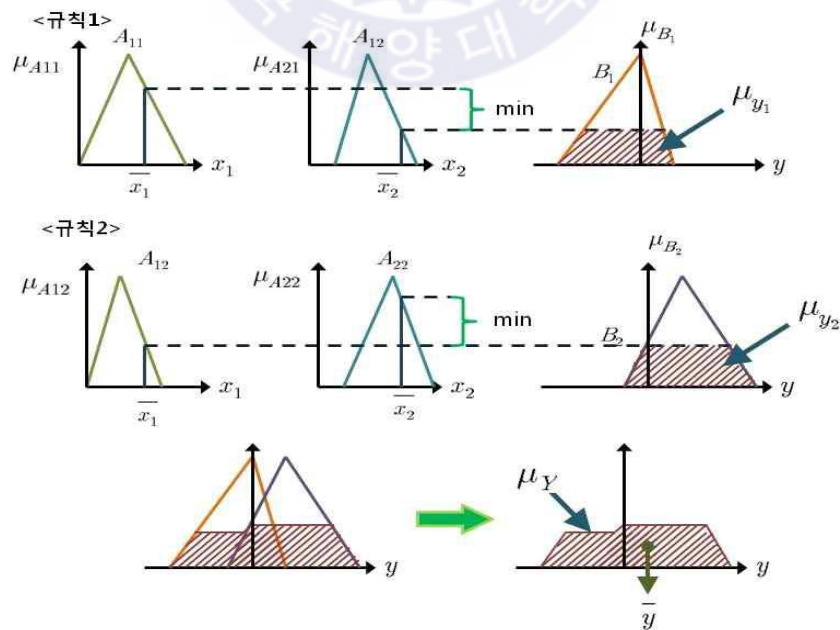


Fig. 12 Fuzzy inference process

지금까지의 앞장에서 설명한 이론을 바탕으로 퍼지 제어를 설계할 때 결정해야 할 주요사항을 정리하면 다음과 같다[10].

① 퍼지제어의 입·출력변수들과 그들의 퍼지값 결정

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

② 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.

③ 수치적인 입력변수값의 퍼지화방법 결정

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

④ 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.

⑤ 출력 퍼지값의 비퍼지화 방법의 결정

프로세스의 입력인 제어량은 수치적인 값이어야 하므로 퍼지값인 추론결과를 수치적인 실수값으로 변환하는 과정이 필요하며, 이 기능을 수행하는 것을 비퍼지화기라고 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.

아래의 Fig. 13는 앞에서 설명한 다변수 퍼지 시스템의 내부 구조 및 연산 과정을 나타낸 것이다[11].

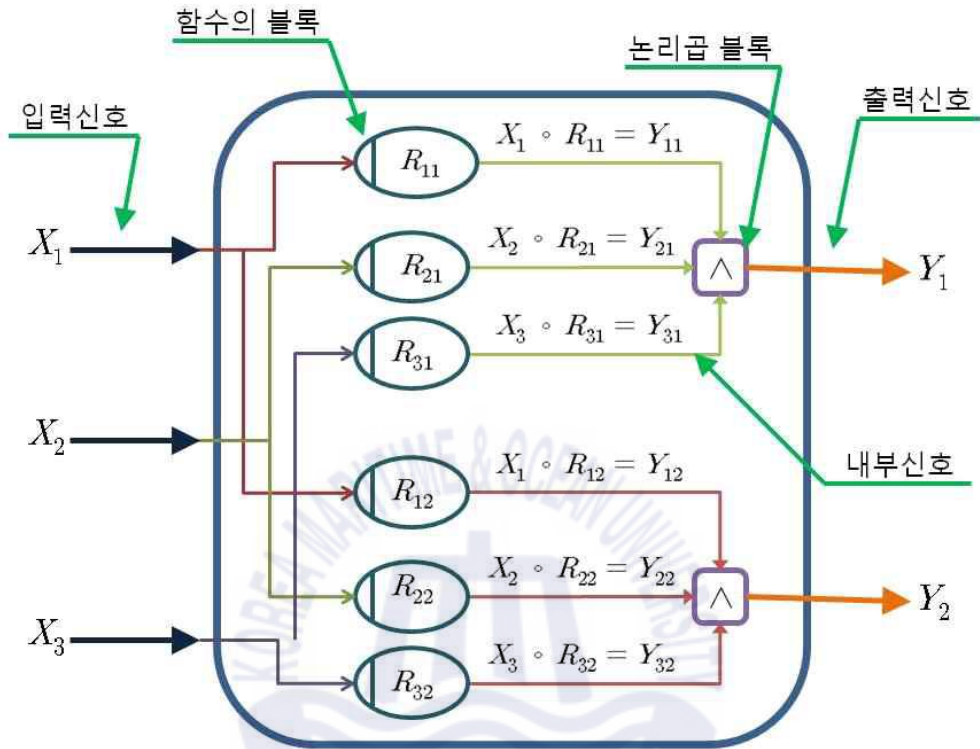


Fig. 13 Block diagram of variable structure of the fuzzy system

제 3 장 LED조명 제어시스템의 설계

본 장에서는 퍼지이론을 이용한 LED조명 제어시스템의 설계를 서술하였다.

3.1 퍼지 알고리즘 구성

퍼지 알고리즘은 수량화되어 있는 입력들을 언어적인 변수로 변환해 주는 부분이다. 제어 시스템에서 측정된 데이터는 실제적인 값이고, 퍼지 제어기에서는 퍼지 집합론을 기반으로 하므로 수량화된 값들을 퍼지화 할 필요가 있다. 퍼지화의 방법으로는 수치적인 값 x 를 퍼지 싱글턴으로 변환하는 방법과 퍼지수로 변환하는 두 가지 방법이 있는데, 여기서는 퍼지 싱글턴으로 변환하여 사용하였다[11]. 본 논문에서는 마이크로 프로세서로 입력되는 값은 조도, 거리 2가지 변수이다. 그리고 이 변수는 퍼지연산으로 LED 조명 색의 값을 도출한다. Fig. 14는 본 논문에서 이용된 제어시스템의 대략적인 블록도이다.

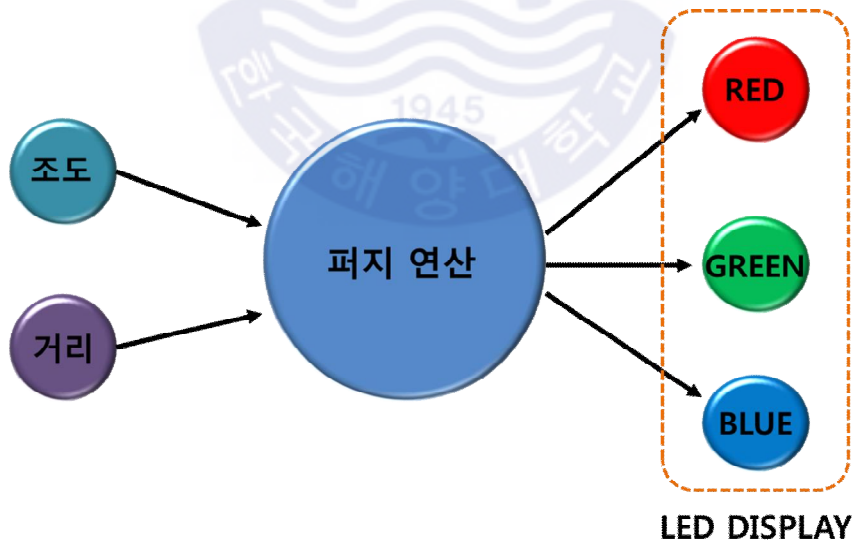


Fig. 14 Block diagram of fuzzy system

본 논문의 퍼지추론에서 사용된 입출력 언어변수의 설정은 다음의 Table 3과 같다.

Table 3 Setting the Language Variables of Fuzzy Inference

조도입력 언어변수	거리입력 언어변수	LED출력 언어변수
매우 밝다(VW)	매우 멀다(VL)	최소(VA)
밝다(W)	멀다(L)	적음(A)
적당하다(S)	적당하다(S)	보통(S)
어둡다(D)	가깝다(C)	많음(H)
매우 어둡다(VD)	매우 가깝다(VC)	최대(VH)

3.2 퍼지 멤버십 함수(Fuzzy Membership Function)

각 입출력 변수들의 등급을 5개의 클래스로 나누고 그에 따라 변수별로 멤버십 함수를 할당하였다.

조도는 매우 어둡다, 어둡다, 적당하다, 밝다, 매우 밝다의 5개의 클래스로 나누었다. 적당함의 기준은 25 룩스로 설정하고 각 클래스 당 50 룩스의 범위를 가지도록 하였다. 다음 Fig. 15는 설정된 조도 멤버십 함수이다.

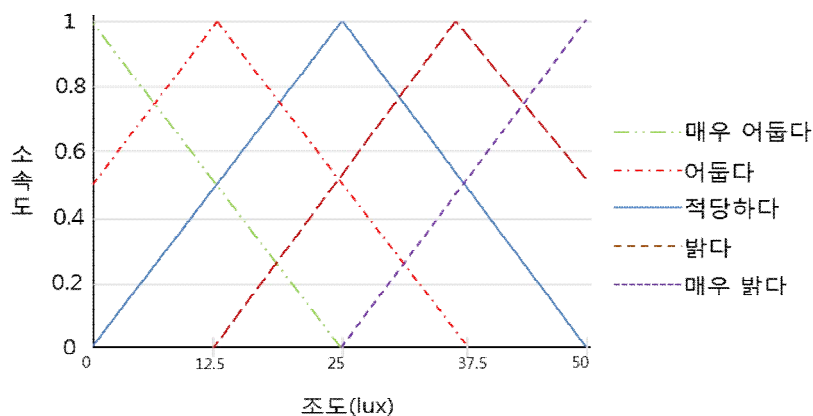


Fig. 15 Function of illuminance membership

‘매우 어둡다’의 경우 조도가 0 lux 이하면 소속도가 1이며 25 lux 까지 소속도를 가지고 있다. 그리고 ‘적당하다’의 경우 25 lux에서 완벽한 1의 소속도를 가지며, 0 lux 에서 50 lux 사이에서 삼각형 모양의 소속도를 가지게 된다. 퍼지 멤버십 함수값을 읽는 방법은 다음과 같다. 예를 들어 조도가 12.5 lux인 경우 적당하दा의 퍼지 멤버십 함수는 0.5, 어둡다의 퍼지 멤버십 함수는 1이며, 매우 어둡다의 퍼지 멤버십 함수는 0.5이고, 나머지 항목의 퍼지 멤버십 함수는 0이다.

다음으로는 거리에 관한 언어변수 설정에 따라 거리 값의 범위를 매우 멀다, 멀다, 적당하다, 가깝다, 매우 가깝다 의 5부분으로 나누어 퍼지 멤버십 함수를 할당하였다. 다음 Fig. 16은 설정된 거리 멤버십 함수이다.

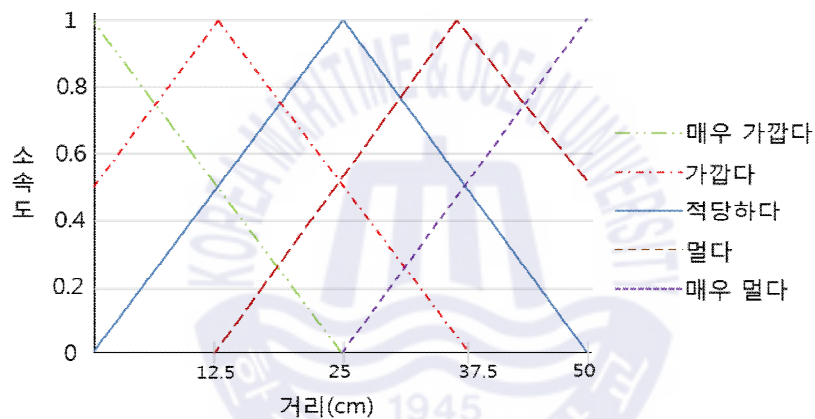


Fig. 16 Function of distance membership

‘매우 가깝다’의 경우 거리가 0 cm 이하면 소속도가 1이며 25cm 까지 소속도를 가지고 있다. 그리고 ‘적당하다’의 경우 25cm에서 완벽한 1의 소속도를 가지며, 0 cm 에서 50cm 사이에서 삼각형 모양의 소속도를 가지게 된다. ‘가깝다’의 경우 12.5cm에서 완벽한 1의 소속도를 가지며, 0cm에서 37.5cm 사이에서 선형적인 소속도를 가지게 된다.

여기까지가 입력에 대한 멤버십 함수 할당이고, LED 출력에 관한 언어변수 설정에 따라 LED 출력 값의 범위를 최소, 적음, 보통, 많음, 최대의 5 부분으로 나누어 퍼지 멤버십 함수를 할당 하였다. 퍼지 멤버십 함수의 범위는 Fig. 17과 같다.

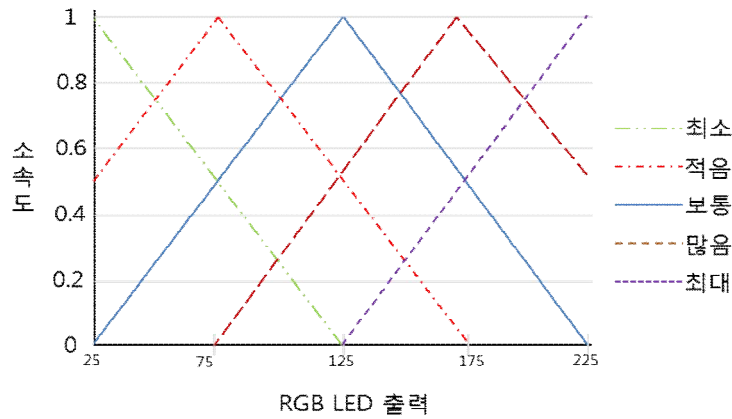


Fig. 17 Function of RGB output membership

위의 RGB LED 출력 퍼지 멤버십 함수를 바탕으로 조도입력과 거리입력에 따른 RGB LED 출력범위를 추가하여 조도, 거리 변화에 따른 일관적인 출력을 낼 수 있도록 하였다. Red, Green, Blue의 LED에 위의 함수 퍼지 멤버십을 출력 시 3가지 색이 혼합 되어 PWM(Pulse Width Modulation) 출력 되어 진다. 위의 RGB 출력을 바탕으로 13가지의 색상이 출력되며, 색상은 RED, YELLOW, GREEN, CYAN, BLUE, PURPLE, LIGHT PINK, ORANGE, GREEN YELLOW, LIGHT CYAN, DODGER BLUE, MAGENTA, VIOLET 색상으로 이루어져 있다. 각 색상의 출력 범위는 Table 4와 같다.

Table 4 LED Fuzzy and Crisp Output Color Values

	색 상	Fuzzy 출력 값	크리스프 출력 값
1	Red	Red: 최대(VH) Green : 최소(VA) Blue : 최소(VA)	R=255, G=0, B=0
2	Yellow	Red: 최대(VH) Green : 최대(VH) Blue : 최소(VA)	R=255, G=255, B=0
3	Green	Red: 최소(VA) Green : 최대(VH) Blue : 최소(VA)	R=0, G=255, B=0
4	Cyan	Red: 최소(VA) Green : 최대(VH) Blue : 최대(VH)	R=0, G=255, B=255
5	Blue	Red: 최소(VA) Green : 최소(VA) Blue : 최대(VH)	R=0, G=0, B=255
6	Purple	Red: 보통(S) Green : 최소(VA) Blue : 보통(S)	R=128, G=0, B=128
7	Light Pink	Red: 최대(VH) Green : 많음(H) Blue : 많음(H)	R=255, G=182, B=193
8	Orange	Red: 최대(VH) Green : 많음(H) Blue : 최소(VA)	R=255, G=165, B=0
9	Green Yellow	Red: 많음(H) Green : 최대(VH) Blue : 최소(VA)	R=173, G=255, B=47
10	Light Cyan	Red: 최대(VH) Green : 최대(VH) Blue : 최대(VH)	R=224, G=255, B=255
11	Dodger Blue	Red: 최소(VA) Green : 보통(S) Blue : 최대(VH)	R=30, G=144, B=255
12	Magenta	Red: 최대(VH) Green : 최소(VA) Blue : 최대(VH)	R=255, G=0, B=255
13	Violet	Red: 최대(VH) Green : 보통(S) Blue : 최대(VH)	R=238, G=130, B=238

3.3 퍼지 제어 규칙(Fuzzy Control Rules) 설정

퍼지 알고리즘에서 중요한 것은 규칙을 설정하는 것인데, 이러한 규칙은 입력변수에 의해 결과를 도출하는데 가장 중요한 사항이다. 규칙은 전문가의 자문을 받아서 작성되거나 일반적으로 사실로 인정되는 사항에 의해 작성된다. 다시 말해서 퍼지 논리 제어 시스템은 전문가의 판단행위를 흉내 내는 것으로 이해할 수 있으므로, 퍼지 논리 제어 시스템은 전문가 시스템의 실제적인 시스템 제어의 응용이며, 퍼지 논리 제어 시스템을 구현하기 위해서는 먼저 전문가의 경험적 지식을 기술하여야 한다[11].

충분한 학습으로 시스템 제어에 필요한 지식을 보유하고 있는 전문가는 수학적이고 정량적이라기보다는 정성적이고 언어적인 방법으로 자기의 제어규칙을 기술할 수 있다. 특히 IF~Then 형식은 경험적 지식을 표현하는데 편리하여 가장 많이 사용하므로 본 논문에서도 이 형식을 사용하였다.

조명 시스템의 입력변수가 2개이고, 각 입력별 클래스는 5개이며, 출력 변수는 1개에 클래스가 5개로 나누어져있다. 그렇기 때문에 규칙의 수 또한 매우 많이 만들 수 있다. 퍼지 로직은 규칙이 많으면 많을수록 세밀하고 정확한 연산을 할 수 있게 되므로, 모든 규칙을 다 넣게 되면 가장 이상적인 시스템이 되나, 처리 시간이 오래 걸리고 계산이 복잡해지기 때문에 본 논문에서는 규칙의 수를 제한하여 나타내었다 [11].

입력변수들은 편의를 위해 다음과 같이 조도는 LX, 거리는 DS로 나타내었다. 또한 출력값인 RGB 출력의 각 값을 나타내었다. 이로 인해 작성된 규칙 Table은 다음 Table 5로 나타내었다.

Table 5 Fuzzy rules table

조도 거리	매우 어둡다 (10Lux 이하)	어둡다 (20Lux 이하)	적당하다 (30Lux 이하)	밝다 (40Lux 이하)	매우 밝다 (50Lux 이하)
매우 가깝다 (10cm 이하)	Purple (R:125,G:0,B:125) RED : 보통 GREEN : 최소 BLUE : 보통	Magenta (R:255,G:0,B:240) RED : 최대 GREEN : 최소 BLUE : 최대	Cyan (R:0,G:255,B:255) RED : 최소 GREEN : 최대 BLUE : 최대	Dodger Blue (R:20,G:135,B:255) RED : 최소 GREEN : 보통 BLUE : 최대	Blue (R:0,G:0,B:255) RED : 최소 GREEN : 최소 BLUE : 최대
가깝다 (20cm 이하)	Light Pink (R:250,G:172,B:183) RED : 최대 GREEN : 많음 BLUE : 많음	Violet (R:220,G:130,B:220) RED : 최대 GREEN : 보통 BLUE : 최대	Light Cyan (R:200,G:255,B:255) RED : 최대 GREEN : 최대 BLUE : 최대	Cyan (R:0,G:255,B:255) RED : 최소 GREEN : 최대 BLUE : 최대	Dodger Blue (R:30,G:144,B:255) RED : 최소 GREEN : 보통 BLUE : 최대
적당하다 (30cm 이하)	Yellow (R:250,G:250,B:0) RED : 최대 GREEN : 최대 BLUE : 최소	Green Yellow (R:180, G:255, B:40) RED : 많음 GREEN : 최대 BLUE : 최소	Green (R:0,G:255,B:0) RED : 최소 GREEN : 최대 BLUE : 최소	Light Cyan (R:200,G:255,B:255) RED : 최대 GREEN : 최대 BLUE : 최대	Cyan (R:0,G:255,B:255) RED : 최소 GREEN : 최대 BLUE : 최대
멀다 (40cm 이하)	Orange (R:250,G:160,B:0) RED : 최대 GREEN : 많음 BLUE : 최소	Yellow (R:255,G:255,B:0) RED : 최대 GREEN : 최대 BLUE : 최소	Green Yellow (R:163,G:250,B:40) RED : 많음 GREEN : 최대 BLUE : 최소	Violet (R:220,G:130,B:220) RED : 최대 GREEN : 보통 BLUE : 최대	Magenta (R:255,G:0,B:255) RED : 최대 GREEN : 최소 BLUE : 최대
매우 멀다 (50cm 이하)	Red (R:255,G:0,B:0) RED : 최대 GREEN : 최소 BLUE : 최소	Orange (R:255,G:150,B:0) RED : 최대 GREEN : 많음 BLUE : 최소	Yellow (R:255,G:255,B:0) RED : 최대 GREEN : 최대 BLUE : 최소	Light Pink (R:250,G:172,B:183) RED : 최대 GREEN : 많음 BLUE : 많음	Purple (R:128,G:0,B:128) RED : 보통 GREEN : 최소 BLUE : 보통

위의 Table 5의 Fuzzy rules table을 If-Then 규칙으로 변환하여 Fuzzy rule을 25개의 항목으로 구성하였다.

- Rule 1 : If 조도 = 매우 어둡다 and 거리 = 매우 가깝다 then Color = Purple
- Rule 2 : If 조도 = 매우 어둡다 and 거리 = 가깝다 then Color = Light Pink
- Rule 3 : If 조도 = 매우 어둡다 and 거리 = 적당하다 then Color = Yellow
- Rule 4 : If 조도 = 매우 어둡다 and 거리 = 멀다 then Color = Orange
- Rule 5 : If 조도 = 매우 어둡다 and 거리 = 매우 멀다 then Color = Red
- Rule 6 : If 조도 = 어둡다 and 거리 = 매우 가깝다 then Color = Magenta
- Rule 7 : If 조도 = 어둡다 and 거리 = 가깝다 then Color = Violet
- Rule 8 : If 조도 = 어둡다 and 거리 = 적당하다 then Color = Green Yellow
- Rule 9 : If 조도 = 어둡다 and 거리 = 멀다 then Color = Yellow
- Rule 10 : If 조도 = 어둡다 and 거리 = 매우 멀다 then Color = Orange
- Rule 11 : If 조도 = 적당하다 and 거리 = 매우 가깝다 then Color = Cyan
- Rule 12 : If 조도 = 적당하다 and 거리 = 가깝다 then Color = Light Cyan
- Rule 13 : If 조도 = 적당하다 and 거리 = 적당하다 then Color = Green
- Rule 14 : If 조도 = 적당하다 and 거리 = 멀다 then Color = Green Yellow
- Rule 15 : If 조도 = 적당하다 and 거리 = 매우 멀다 then Color = Yellow
- Rule 16 : If 조도 = 밝다 and 거리 = 매우 가깝다 then Color = Dodger Blue
- Rule 17 : If 조도 = 밝다 and 거리 = 가깝다 then Color = Cyan
- Rule 18 : If 조도 = 밝다 and 거리 = 적당하다 then Color = Light Cyan
- Rule 19 : If 조도 = 밝다 and 거리 = 멀다 then Color = Violet
- Rule 20 : If 조도 = 밝다 and 거리 = 매우 멀다 then Color = Light Pink

- Rule 21 : If 조도 = 매우 밝다 and 거리 = 매우 가깝다 then Color = Blue
- Rule 22 : If 조도 = 매우 밝다 and 거리 = 가깝다 then Color = Dodger Blue
- Rule 23 : If 조도 = 매우 밝다 and 거리 = 적당하다 then Color = Cyan
- Rule 24 : If 조도 = 매우 밝다 and 거리 = 멀다 then Color = Magenta
- Rule 25 : If 조도 = 매우 밝다 and 거리 = 매우 멀다 then Color = Purple

위 규칙을 토대로 만드는 관계 함수는 각각 다음과 같이 식 (26), (27)로 나타낼 수 있다.

$$R_1 = \bigvee_{i=1}^{25} \{LX_{(i)} \wedge OUT_{(i)}\} \quad (26)$$

$$R_2 = \bigvee_{i=1}^{25} \{DS_{(i)} \wedge OUT_{(i)}\} \quad (27)$$



3.4 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 (28)과 같이 무게중심법(Center of gravity method)으로 구한다[11].

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

$$c = \frac{\sum_{i=1}^{20} \min(\mu_{A_i}[a], \mu_{B_i}[b]) * C_i}{\sum_{i=1}^{20} \min(\mu_{A_i}[a], \mu_{B_i}[b])} \quad (28)$$

무게 중심법을 이용하여 비퍼지화 된 결과 c는 LED 색상을 동작시킬 수 있는 실제 출력 값이다. 출력 값인 색상은 RED, Yellow, Green, Cyan, Blue, Purple, Light Pink, Orange, Green Yellow, Light Cyan, Dodger Blue, Magenta, Violet의 13가지 항목으로 나누었으며 각각의 값은 LED 출력의 실제 동작 값이므로 퍼지 값이 아닌 크리스프 값이어야 한다. 색상의 값은 조도가 매우 어두움에서 매우 밝음으로 갈수록 색의 파장이 긴 곳에서 짧은 곳인 Blue, Green, Red 순으로 정렬 하였으며 거리는 매우 멀다 에서 매우 가깝다 로 갈수록 색의 파장을 짧은 곳에서 긴 곳인 Red, Green, Blue 순으로 할당하였다. 예를 들어 Red: 보통, Green: 적음, Blue: 적음이 나오게 되면 RGB 색상이 섞인 Hot Pink 색상이 나오게 될 것이다. 앞에서 언급한 조도와 거리의 애매한 입력 값에 따라 색상 또한 퍼지 값이 출력 되어 인접한 두 색의 조합으로 표현될 것이다[11].

3.5 LED조명 제어시스템의 구성내용

LED조명 제어시스템은 AC220V를 DC12V로 변환하는 AC/DC Power Supply부와 LED모듈의 시나리오와 색상을 제어하는 드라이브 및 제어부와 디스플레이를 위한 LED디스플레이부로 구성되는, 즉 LED제어기와 SMPS를 결합하여 설계된 하이브리드 제어보드 로써 하드웨어 및 소프트웨어의 전반적인 구성내용을 그림으로 나타내면 Fig. 18 과 같다.

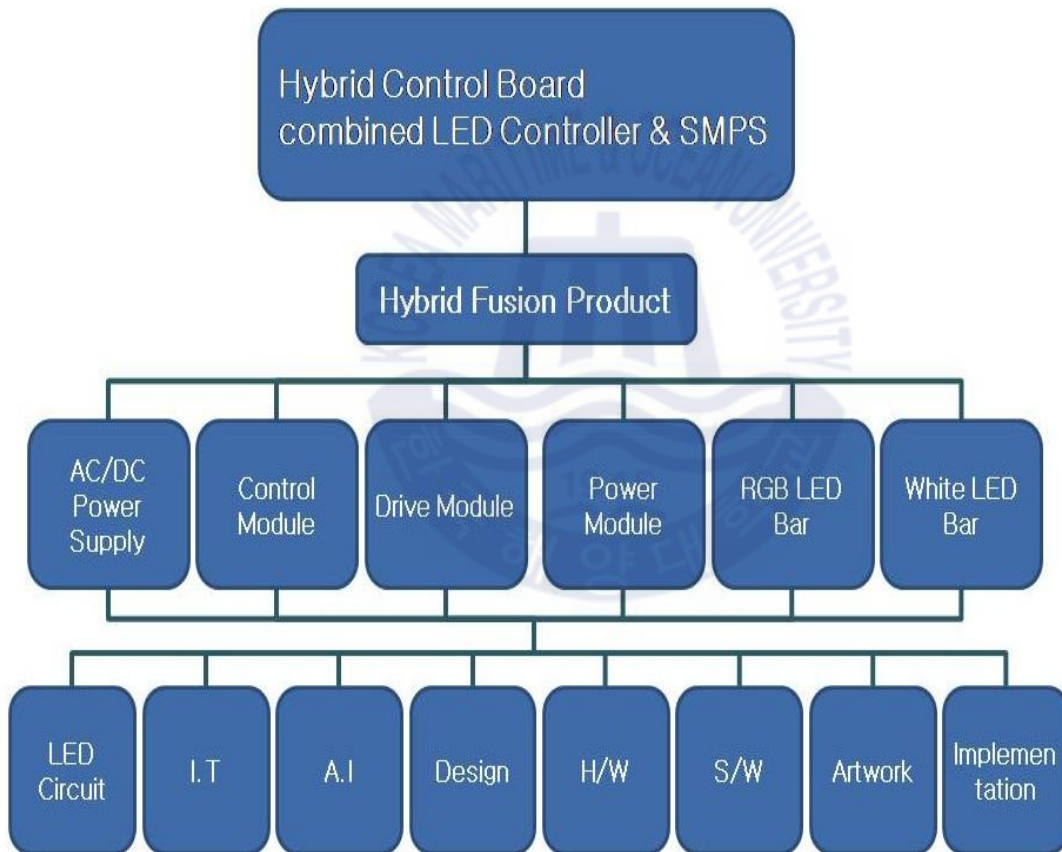


Fig. 18 Contents of LED Controller

LED조명 제어시스템의 내부구성을 크게 4부분으로 나누어 표현하면 Fig.19 와 같다. 여기서 AC/DC Power Supply부는 AC220V를 DC12V로 바꾸어 다음단의 제어부, 전원부, 드라이브부로 공급되며 여러 시나리오를 제어하는 ATmega128이 있는 제어부와 CPU를 동작하기 위해서 DC12V를 DC5V로 변화시키는 전원조절부와 또 모든 LED모듈을 동작시키기 위한 드라이브부로 구성된다.

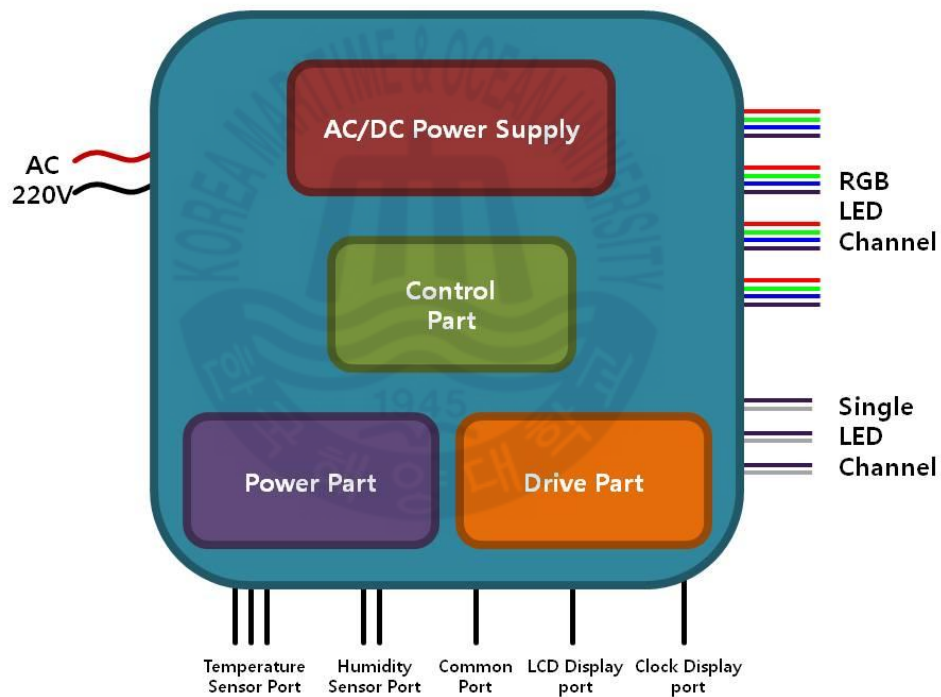


Fig. 19 Organization of Control System

기존의 LED조명 제어기는 입력전원이 DC 12V로 되어있어 입력 AC220V를 사용할 시 SMPS를 연결하여 DC 12V를 LED조명 제어기에 연결하여야 한다. 이러한 불편을 없애기 위하여 LED조명 제어기와 SMPS를 결합하여 하나의 제어 시스템으로 구성하여 LED조명제어와 SMPS의 기능을 함께 할 수 있도록 하이브리드 LED조명 제어시스템을 구성하였다. 이렇게 구성하면 LED조명 제어기와 SMPS를 별도로 구매할 필요 없이 LED조명 제어시스템 하나로 두 기능을 할 수 있는 조합된 LED조명 제어시스템으로써 입력 AC 220V로 작동 가능하게 하는 것이다.

본 제어시스템의 구성 및 설계 목표는 위에서 설명한 내용을 만족하기 위하여 조합설계 되었으며 그림으로 나타내면 Fig. 20 과 같다.

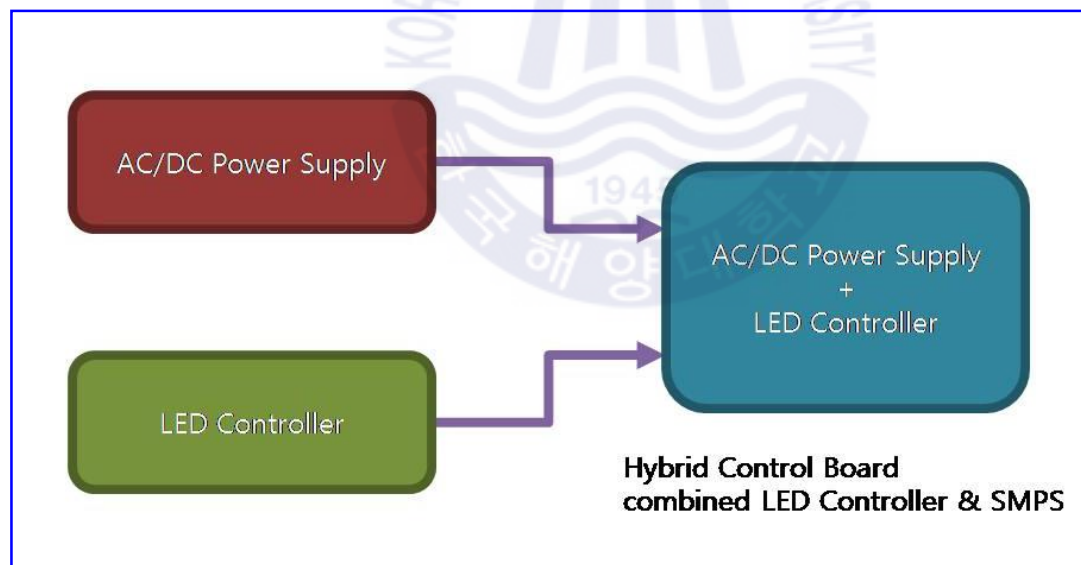


Fig. 20 Hybrid Control Board combined LED Controller & SMPS

입력값인 거리와 조도값을 퍼지 제어 추론에 따라, 각 채널의 색상을 여러 가지로 표현되는 4-채널의 제어시스템의 컴퓨터시뮬레이션 결과는 Table 9 와 같으며 퍼지제어시스템의 입출력관계는 Fig. 21 과 같다.



Fig. 21 Input & Output of Fuzzy Control System

LED 모듈을 제어보드에 연결하는 방법은 Fig.22 와 같다. 상단부분의 AC/DC Power Supply는 AC 220V를 DC 12V로 변환시켜주며, 하단부분의 제어부 (Controller)는 부하의 LED모듈을 부록에 수록된 설계시나리오에 맞게 출력시킨다.

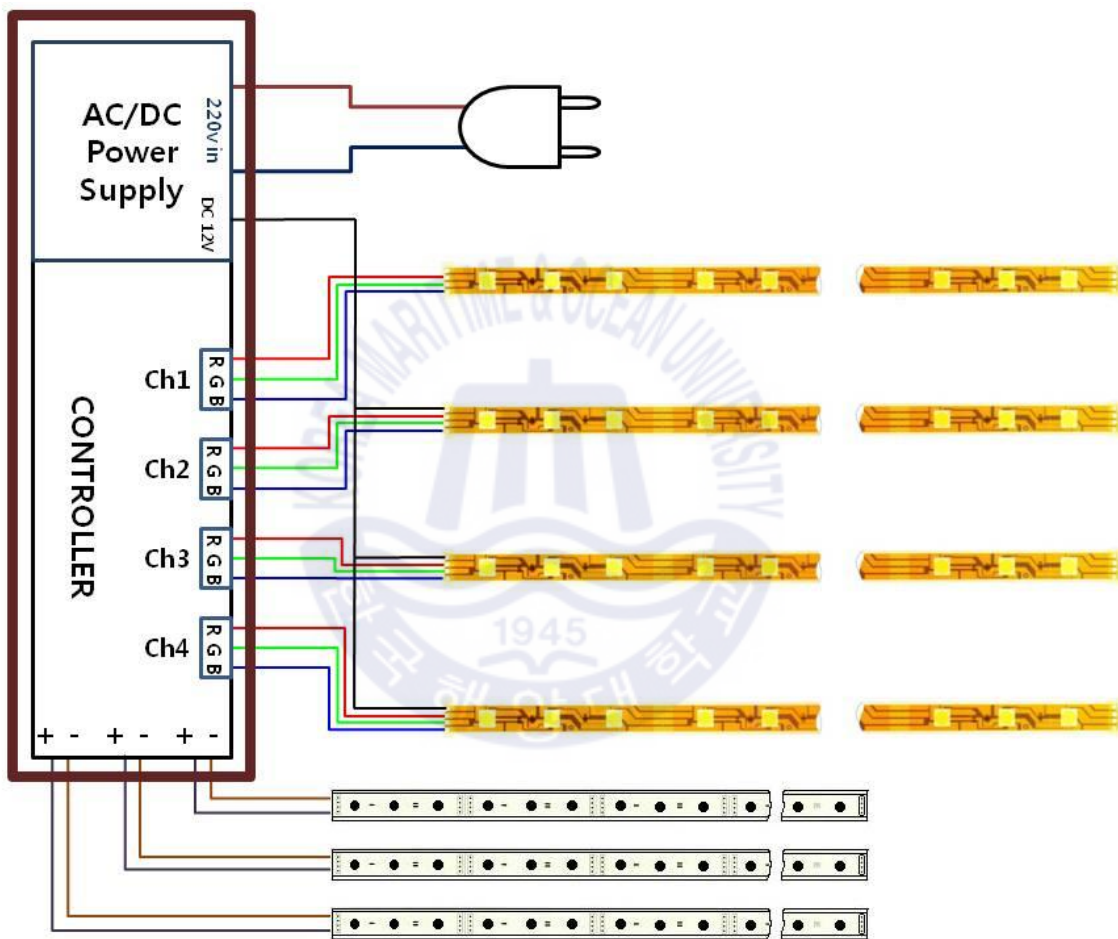


Fig. 22 Connection Method of LED Module

3.6 동작시나리오의 구성내용

본 논문에서 구현한 LED조명 제어시스템의 동작확인을 위하여 아래의 다양한 경우의 시나리오를 구성하였다. 참고로 다양한 시나리오의 동작확인 은 Fig. 36 과 같이 실제로 제작 구성하여 동작을 확인하였다. 제어시스템 동작시나리오를 10개의 스위치로 선택하여 출력이 가능하게 구성하였으며, 각각의 동작시나리오는 다음과 같다.

그리고 본 논문에서 구성한 다른 다양한 시나리오는 부록에 수록 하였다

4-CH Controller including SMPS

- Switch 1. 스위칭 방식의 16색 파노라마
(16 Color Panorama with Switching Method)
- Switch 2. 하나씩 다 켜지면 16색 변함
(16 Color Change with One Step On)
- Switch 3. 디밍으로 색상이 앞뒤로 이동하며 16색 변함
(Dimming Color Moving to Front and Back with 16 Colors)
- Switch 4. 디밍방식의 16색 파노라마
(16 Color Panorama with Dimming Method)
- Switch 5. 같은색으로 켜지고 3번 깜박이며 16색 변함
(All On and Switching with 16 Color Change)
- Switch 6. 한색이 이동하면서 다 켜지고 16색 변함
(Each On Moving with 16 Color Change)
- Switch 7. 색상이 앞뒤로 이동하며 16색 변함
(Color Moving to Front and Back with 16 Colors)
- Switch 8. 모두 같은 색으로 16색 변함
(All Same Color Change with 16 Colors)
- Switch 9. 하나씩 쌓이면서 16가지색으로 변함
(Color Storage with 16 Colors)
- Switch 10. 하나씩 켜지고 깜박이면서 16색 변함
(Each Dimming & Switching with 16 Colors)

그리고 2-채널 제어시스템의 대표적인 시나리오는 5개의 스위치로 선택하여 출력이 가능하게 구성되었으며, 각각의 동작시나리오는 다음과 같다.

또 2-채널 제어시스템의 다른 다양한 시나리오도 부록에 수록 하였다.

2-CH Controller including SMPS

- Switch 1. 모든색표현 램프(All Color Display Lamp)
- Switch 2. 적색 램프(Red Lamp)
- Switch 3. 녹색 램프(Green Lamp)
- Switch 4. 청색 램프(Blue Lamp)
- Switch 5. 주황색 램프(Orange Lamp)



제 4 장 LED조명 제어시스템의 구현

4.1 제어시스템의 구성

4.1.1 전원부

LED 조명 제어보드에 전원을 인가하기 위하여 4채널 제어시스템은 200W, 그리고 2채널 제어시스템에는 100W 입력전력의 SMPS를 구성하였다. SMPS는 Switching mode power supply의 약자이며, 전력용 트랜지스터 등의 IC 소자를 이용하여 직류 전압을 구형파 형태의 전압으로 변환하고 필터를 이용하여 평활화 작업을 거친 후 직류전압을 출력하는 장치이다. 이때 직류 출력 전압은 스위치의 ON, OFF 딜레이를 제어함으로써 이루어진다. 제어보드에서 사용되는 최대 전압은 12V DC 이므로 220V AC를 12V DC로 변환 시켜주는 AC/DC 컨버터를 사용하였다. 구성된 SMPS는 비교적 작은 용량이므로 다수의 RGB LED를 동시에 제어하기에 부족함이 있다고 판단하여, RGB LED Module 3구 모델을 기준으로 200개의 RGB LED만을 사용하였다. 초음파 거리 센서, 조도 센서, ATmega128 MCU, CLCD의 경우 Typical 전압이 5V DC 이므로 전압강하 소자인 Bipolar linear IC KIA7805를 이용하여 전압을 낮춰서 공급하였다. RGB DRIVE부의 경우 12V DC를 사용하므로 SMPS에서 입력되는 전압을 BYPASS 시켜줌으로써 조명 제어보드의 전원 구성부를 간단하게 설계하였다. Fig. 23 은 KIA7805 레귤레이터의 연결도를 나타낸다.

Linear regulator 특성상 열에너지를 통해 전압을 강하시키기 때문에 소자 발열이 있으므로 방열판(Heat sink)을 장착하였다.

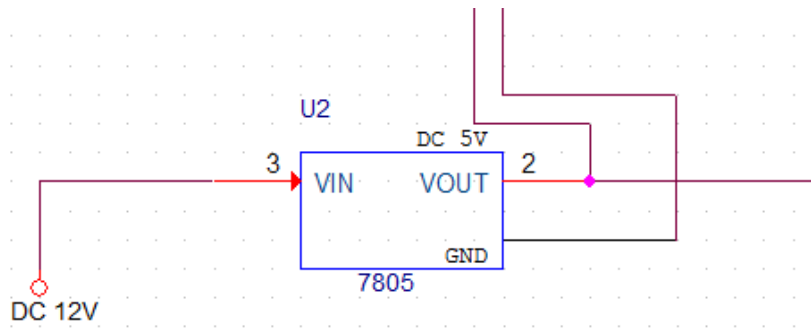


Fig. 23 Circuit of KIA7805

4.1.2 AVR 제어부

본 시스템의 MCU는 Atmel사의 8비트 RISC 마이크로 컨트롤러인 ATmega128 모델을 사용하였으며, 회로는 다음의 Fig. 24와 같다.

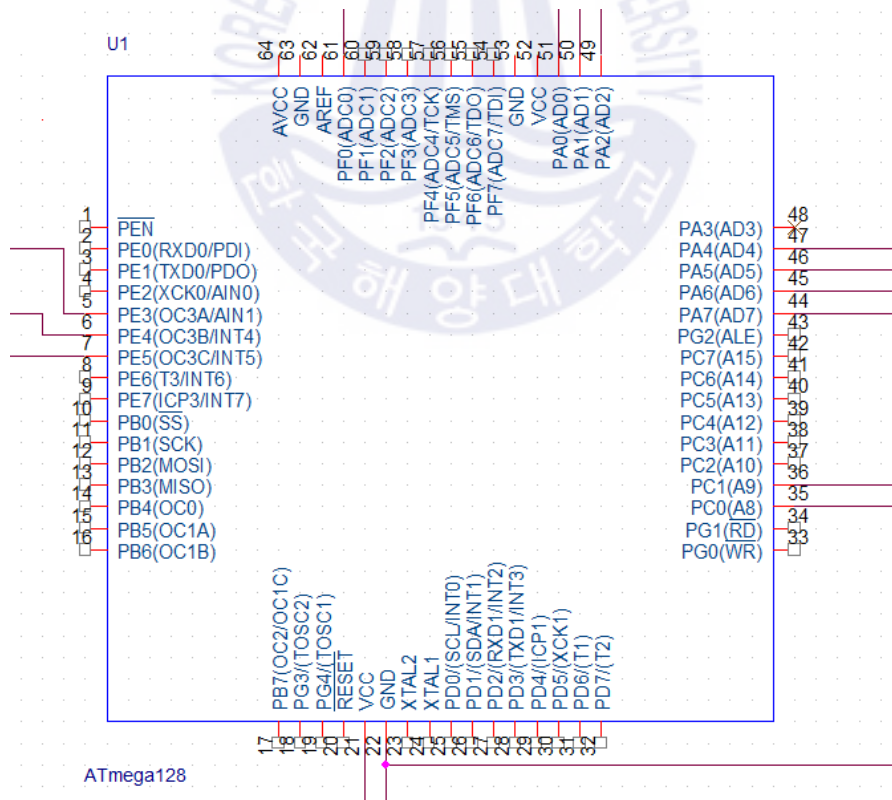


Fig. 24 Circuit of ATmega128

AVR 제어부에서는 조도센서와 거리센서의 ADC 값을 받아서 실제로 각 RGB LED 모듈의 색상을 제어하는 역할을 한다. RGB LED DRIVE의 색상 제어는 기본적으로 타이머/카운터 기능을 통해 이루어진다. 이 기능을 활용하여 PWM(Pulse Width Modulation) 출력을 만들어서 Red, Green, Blue의 휘도 비율을 조절한다. 타이머/카운터에서도 16비트 카운터인 타이머/카운터를 쓰고 FAST PWM, CTC 모드 등 여러 가지 모드가 있는데 그 중에서도 CTC 모드를 사용하였다. CTC 모드(Clear Timer on Compare Match)는 카운팅을 하면서 OCR값(Output Compare Register)과 계속적으로 비교하여 카운팅 값과 OCR 값이 같아지면 매칭 신호를 출력하고 이로 인해 파형 발생기로 펄스 파형을 출력하게 된다. 파형 발생기로 인해 출력되는 파형의 주파수는 다음과 같이 식 (29)로 정의된다.

$$f_{OC_nA} = \frac{f_{clk}}{2 \cdot N \cdot (1 + OCR_{nA})} \quad (29)$$

CTC 모드의 타이밍도는 Fig. 25 와 같다.

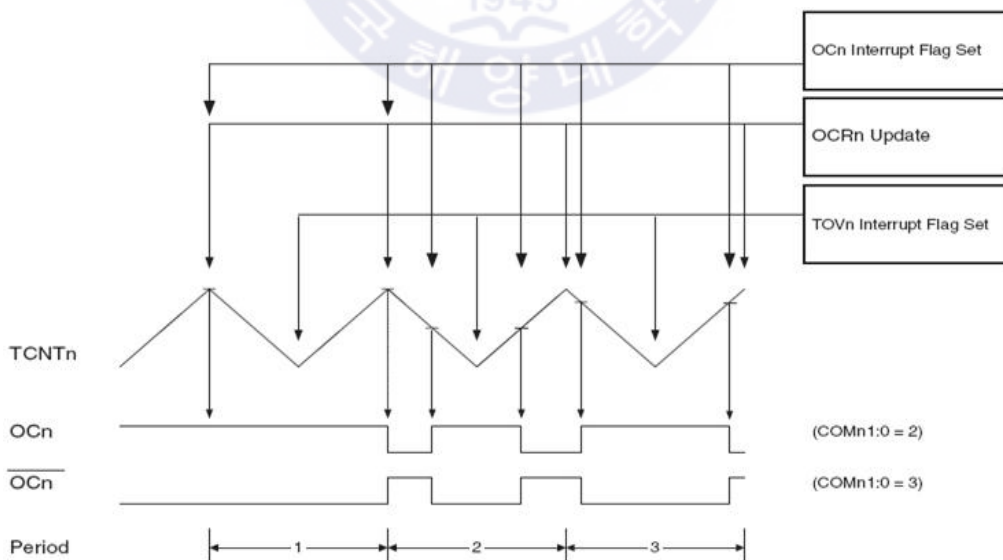


Fig. 25 Timing diagram of CTC mode

4.1.3 CLCD 출력부

LCD는 16x4 Line의 일반적인 CLCD(Character LCD)를 사용하였다. CLCD를 통하여 현재 출력되는 Red, Green, Blue의 PWM 값을 실시간으로 확인이 가능하게 구현했으며, 동시에 실제 거리 및 현재 밝기 또한 확인할 수 있도록 하였다.

CLCD를 제어하기 위한 명령어 및 읽기, 쓰기를 위한 동작 타이밍도는 다음의 Table 6, Fig. 26, Fig. 27과 같다.

Table 6 CLCD control command

기능	제어 신호		명령어 코드값								실행 시간
	RS	\overline{RW}	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0	
표시 클리어	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1.64ms
커서 홈	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1.64ms
엔트리 모드셋	0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	S	40us
표시 ON/OFF	0	0	0	0	0	0	1	D	C	B	40us
커서/표시 이동	0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	0	0	40us
평선 셋	0	0	0	0	1	DL	N	F	0	0	40us
C.G.RAM 어드레스 설정	0	0	0	1	C.G.RAM Address					40us	
D.D.RAM 어드레스 설정	0	0	0	D.D.RAM Address					40us		
BF/어드레스 읽기	0	1	BF	Address Counter					0us		
C.G.RAM, D.D.RAM으로 데이터 쓰기	1	0	Write Data					40us			
C.G.RAM, D.D.RAM으로 데이터 읽기	1	1	Read Data					40us			

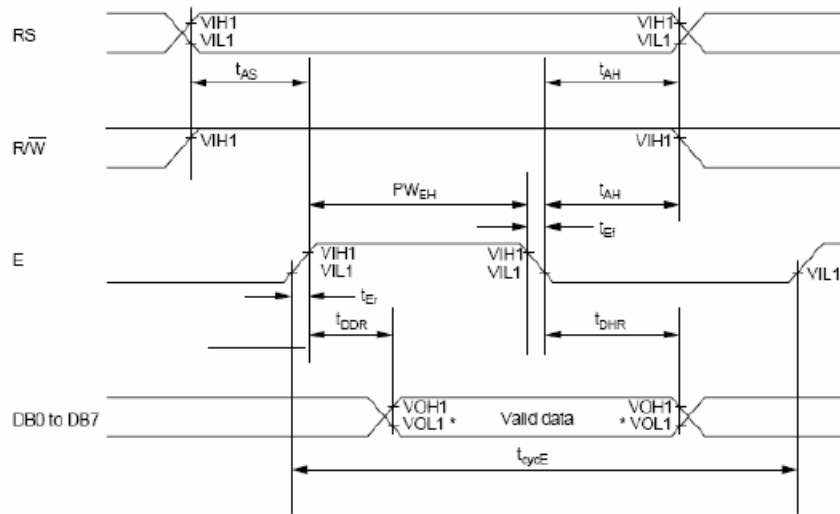


Fig. 26 Timing diagram of reading mode

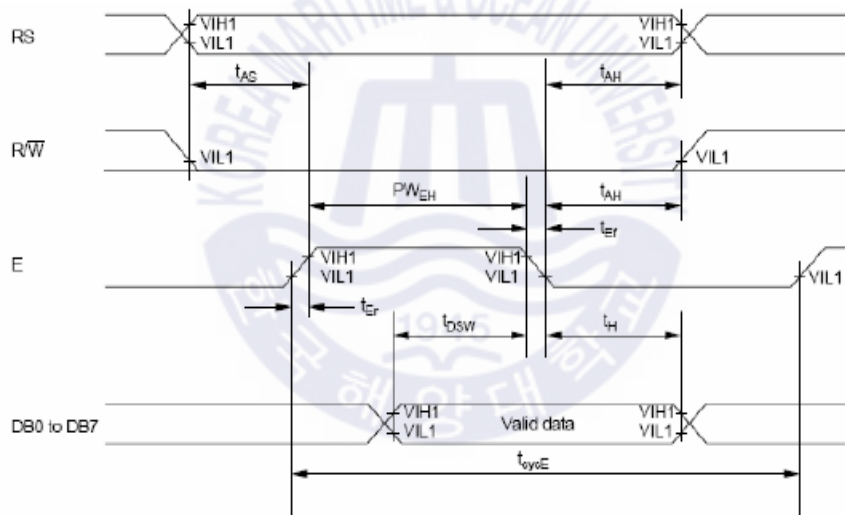


Fig. 27 Timing diagram of writing mode

CLCD의 LD4, LD5, LD6, LD7 4비트를 사용하여 문자 출력을 구현하였으며, 야간 시 인성 향상을 위하여 10K 가변저항을 CONTRAST부에 추가하여 글자 밝기를 가변 가능하게 구현하였다. 회로는 Fig. 28 과 같이 구성하였다.

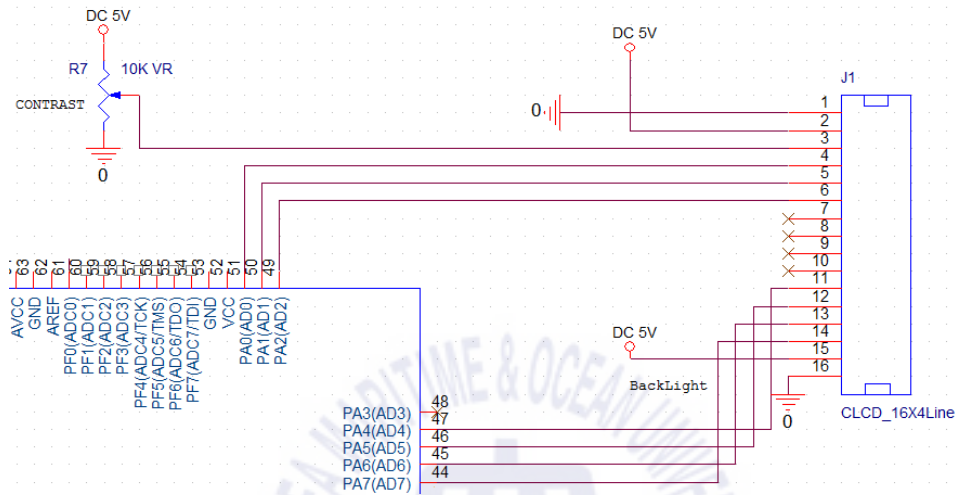


Fig. 28 Circuit of CLCD

4.1.4 LED 제어부

연산 결과값을 RGB 색상으로 내주는 LED RGB 모듈은 RGB LED 3구 모듈을 사용하였다. MCU에서 출력되는 값은 TTL 전압 레벨인 5V DC이므로 LED RGB 모듈을 구동시킬 수 없다. LED RGB 모듈의 구동전압은 12V DC로 전원부인 SMPS부에서 직접 인가를 한다. MCU에서 나오는 값인 High, Low 5V DC 출력은 MOSFET의 게이트로 연결되어 LED RGB 모듈을 ON-OFF 스위칭 하는 역할을 한다. 게이트단의 신호에 따라 모듈에 전원을 인가하여 색상을 표현하게 된다.

LED RGB 모듈에는 R, G, B, COM의 4개의 선이 있으며, Com을 제외한 나머지 3개의 선에 MOSFET이 연결되어 출력 색상을 제어하게 된다. MOSFET의 한 종류인 IRFZ44N 모델을 사용하였다. 이 모델의 데이터시트를 보면 허용최대전류가 49A로 모듈이 개당 0.06A의 전류를 소비하기 때문에 이론상 채널별 모듈을 약 800여개까지 연결이 가능하다. 회로는 Fig. 29 와 같이 구성하였다.

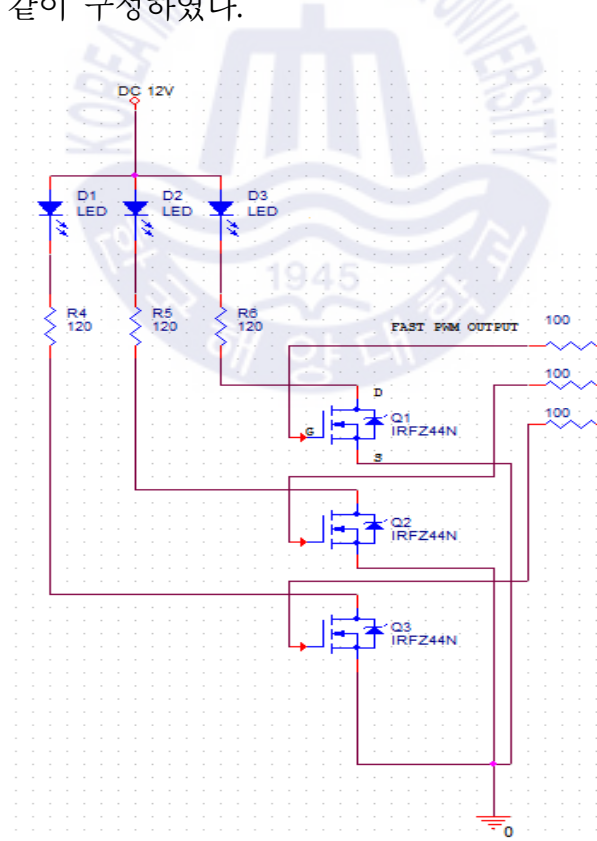


Fig. 29 Circuit of RGB LED drive

4.1.5 센서 입력부

센서의 입력은 조도 센서, 거리 센서의 값을 MCU에서 ADC 값으로 수신한 후, 각 입력 값을 퍼지 연산을 하여 CLCD 및 RGB LED 모듈로 데이터를 송신 한다. 조도 센서는 광센서의 가장 기본적인 센서 중 하나로서, 빛의 밝기에 대하여 전기적인 성질로 변환시켜주는 역할을 하는 센서이다.

조도 센서는 황화카드뮴을 사용한 경우 CdS 센서라고 하며, 보통 밝기에 비례하여 저항이 선형적으로 증가하는 것이 아니라 Log 그래프에 가까운 형태를 띠기 때문에 정확한 Lux 값을 구하기보다는 밝다, 어둡다 의 정도만 판별하기에 적합한 센서이다. 본 논문에서는 퍼지 추론에 적합한 CdS 센서를 선택하였다. 회로는 다음 Fig. 30 과 같다.

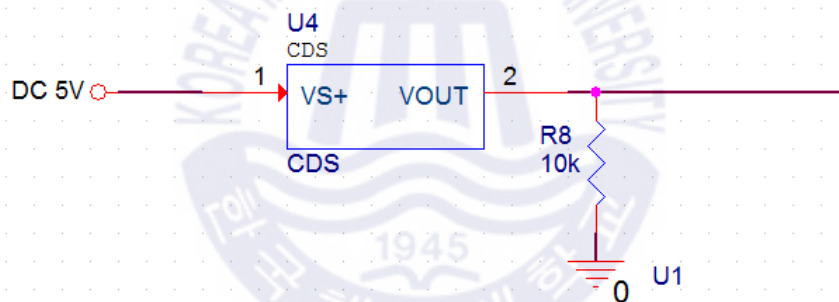


Fig. 30 Circuit of illuminance sensor

거리 센서는 Parallax사의 SRF04 초음파 거리 측정 센서를 사용하였다. 초음파 센서는 공기 중에 340m/s 속도의 음파를 발산하여, 피사체에 부딪혀 반사되는 음파를 수신하여 거리를 측정하는 방식의 센서이다. 트리거에서 10us 이상의 펄스폭을 가지는 파형을 발산하면 공기 중으로 떠났다가 피사체에 부딪혀 돌아온 초음파로 시간을 계산하고 그 결과로 나온 거리 값을 에코 펄스로 나타낸다. 예를 들면, 거리가 멀면 멀수록 에코 펄스의 펄스폭은 커진다. 즉, 거리에 따라 펄스의 폭이 변화한다.

이러한 펄스폭을 MCU의 타이머로 정확하게 측정하여 거리를 측정한다. 트리거 및 에코의 타이밍도는 Fig. 31 과 같다.

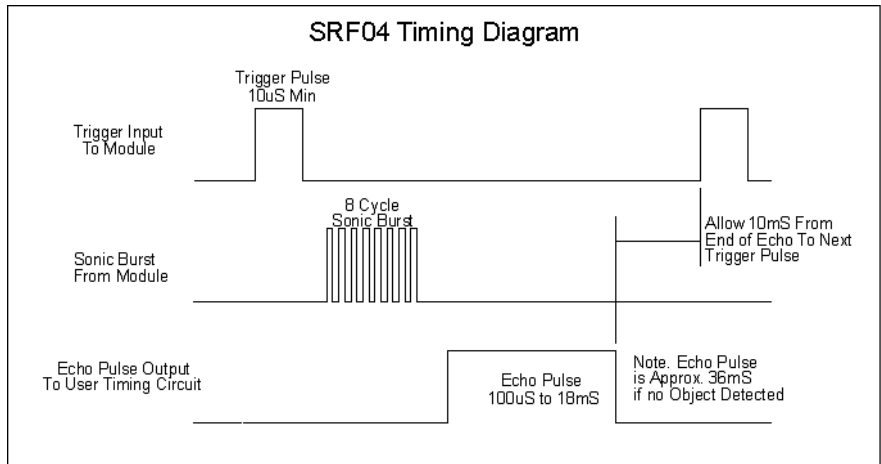


Fig. 31 SRF04 Timing diagram

초음파는 기본적으로 지향각을 가지며, 센서 하나로는 모든 방향의 물체를 감지하기가 어렵다. SRF-04의 감지 범위는 기본적으로 전방 120도이며, 최대 5m 까지 피사체를 감지할 수 있다. SRF-04의 지향각은 Fig. 32 로 나타낼 수 있으며, 회로는 Fig. 33 처럼 구성하였다.

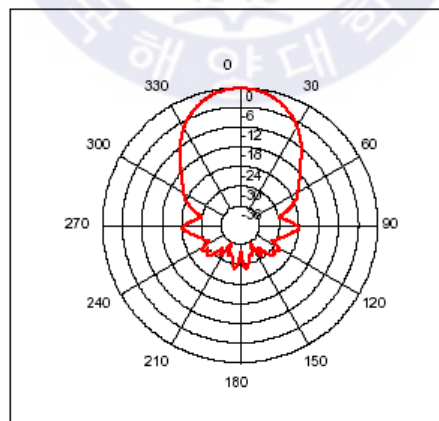


Fig. 32 SRF04 of oriented angle

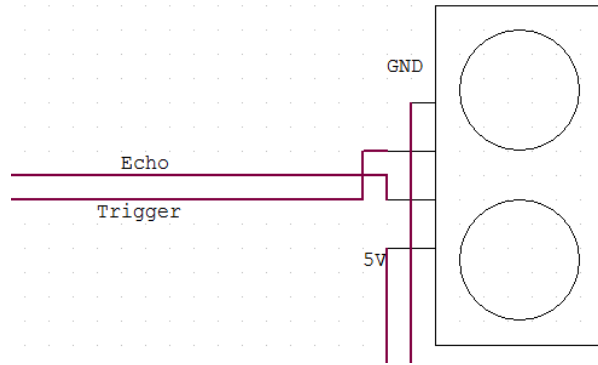


Fig. 33 Circuit of ultra sonic sensor



4.2 LED조명 제어시스템의 하드웨어 구성

교류 220V 입력 4-CH LED조명 제어시스템 의 실제 제작한 보드는 Fig. 34 와 같다. CPU는 ATmega128을 사용하였으며, 전류 신호의 제어를 위하여 FET 를 사용하였다. 그리고 CPU를 동작시키기 위하여 레귤레이터7805를 사용하여 DC 12V를 DC 5V로 변환하였다. 부하를 걸면 FET에 열이 발생하므로 열을 제거하기 위하여 방열판을 사용하였다. 제작한 제어보드의 SMPS 용량은 200W로 구성하였으며, 4-채널 각각의 LED 모듈의 부하용량은 50W까지 연결이 가능하다. 참고로 부하용량을 SMPS용량 200W보다 더 많이 연결하면 오동작이 생기며 결국 SMPS가 파손 된다.

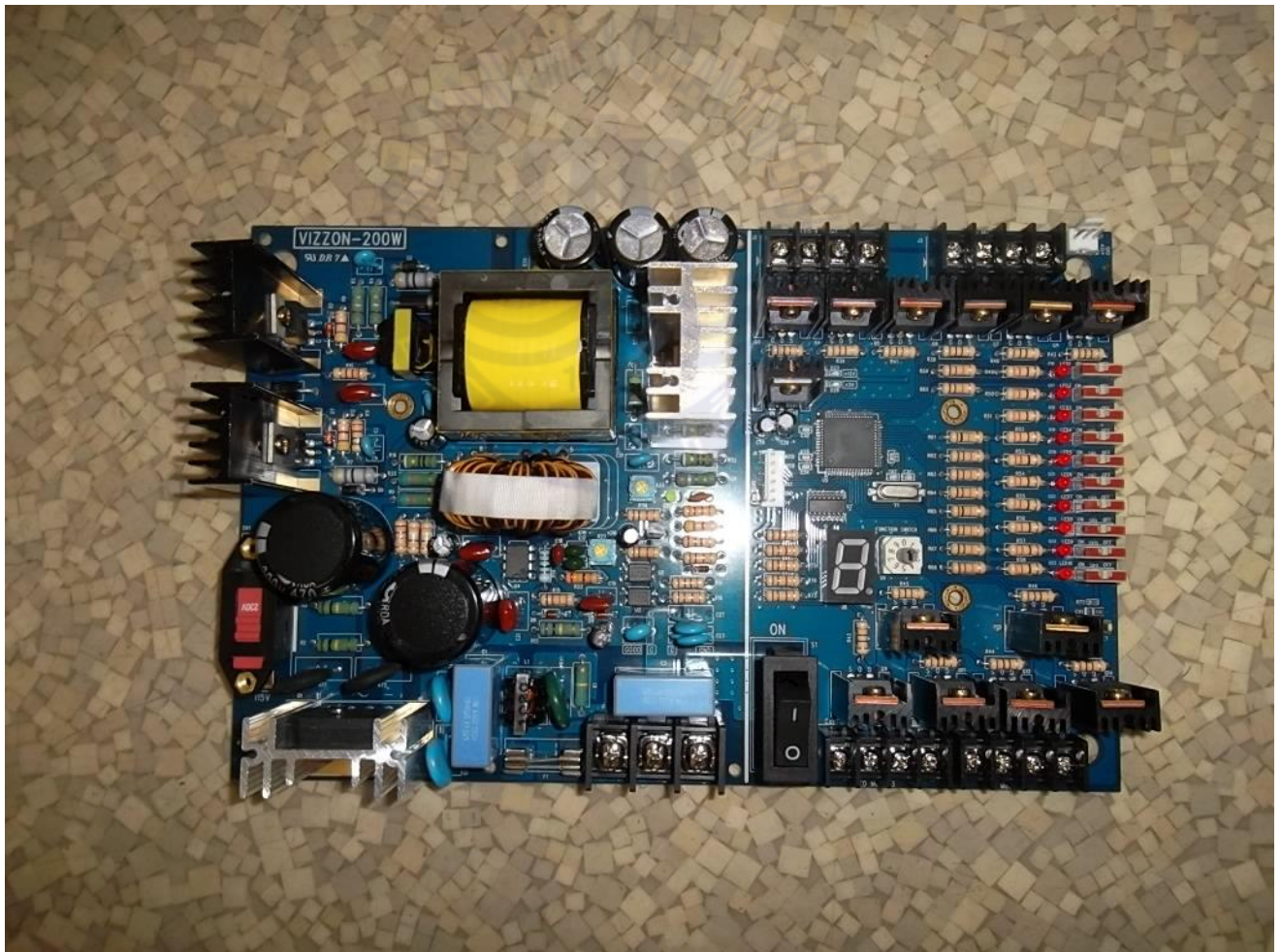


Fig. 34 Hardware of 4CH LED Controller

그리고 2-CH LED조명 제어시스템의 실제 제작보드는 Fig. 35 와 같다. 하드웨어 구성으로는 전반부는 AC220V를 DC12V로 변환하는 SMPS로 구성되며 용량은 100W로 구성하였다. 그리고 제어보드의 CPU로 ATmega128을 사용하였고 CPU를 동작시키기 위하여 레귤레이터7805를 사용하여 DC 12V를 DC 5V로 변환하였다. 전류 신호의 제어를 위하여 FET 를 사용하였으며 부하를 걸면 FET에 열이 발생하므로 열을 제거하기 위하여 방열판을 사용하였다. SMPS 용량이 100W로 구성되었으므로 채널 각각의 LED 모듈의 부하용량은 50W까지 연결이 가능하다.

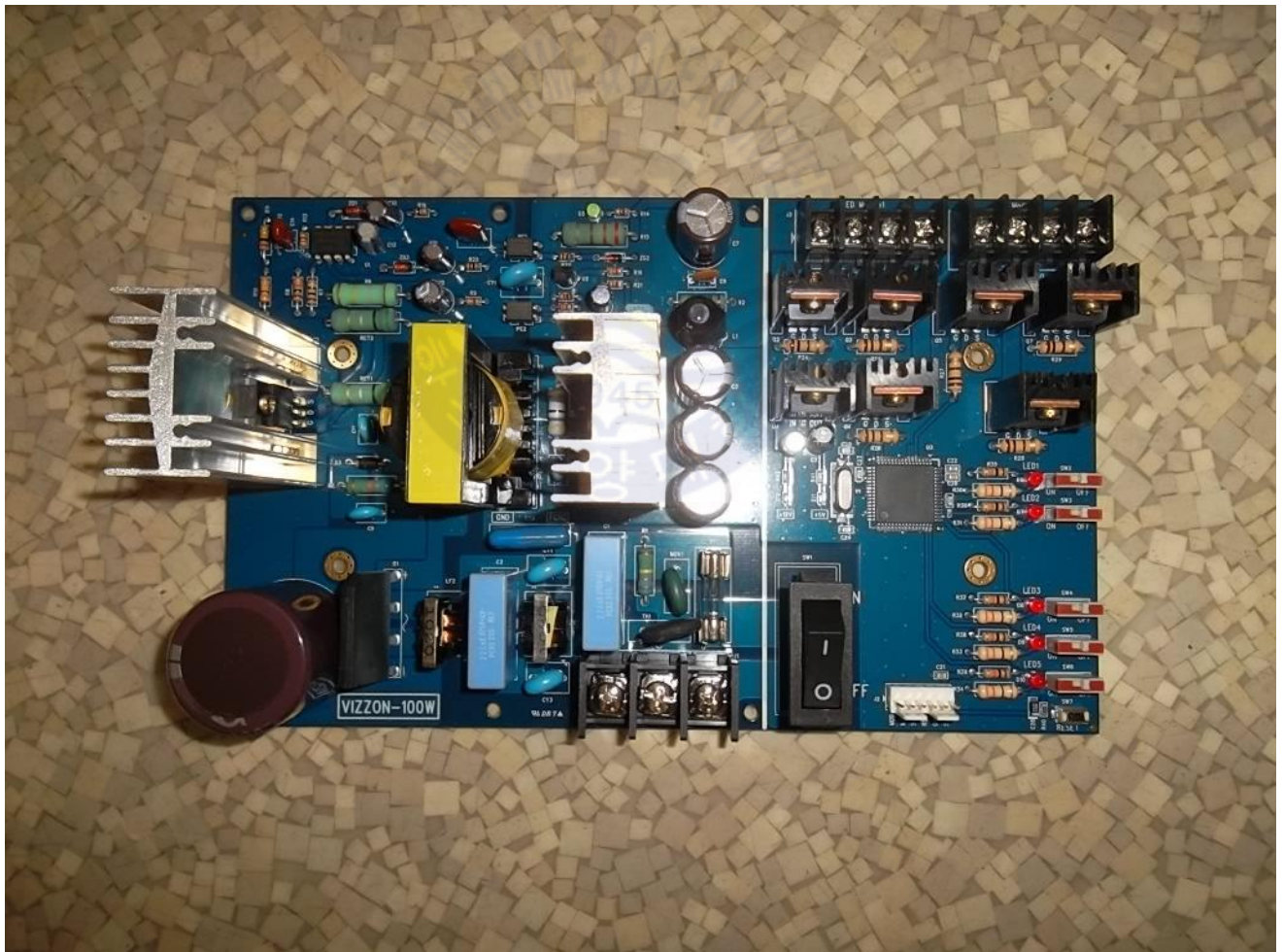
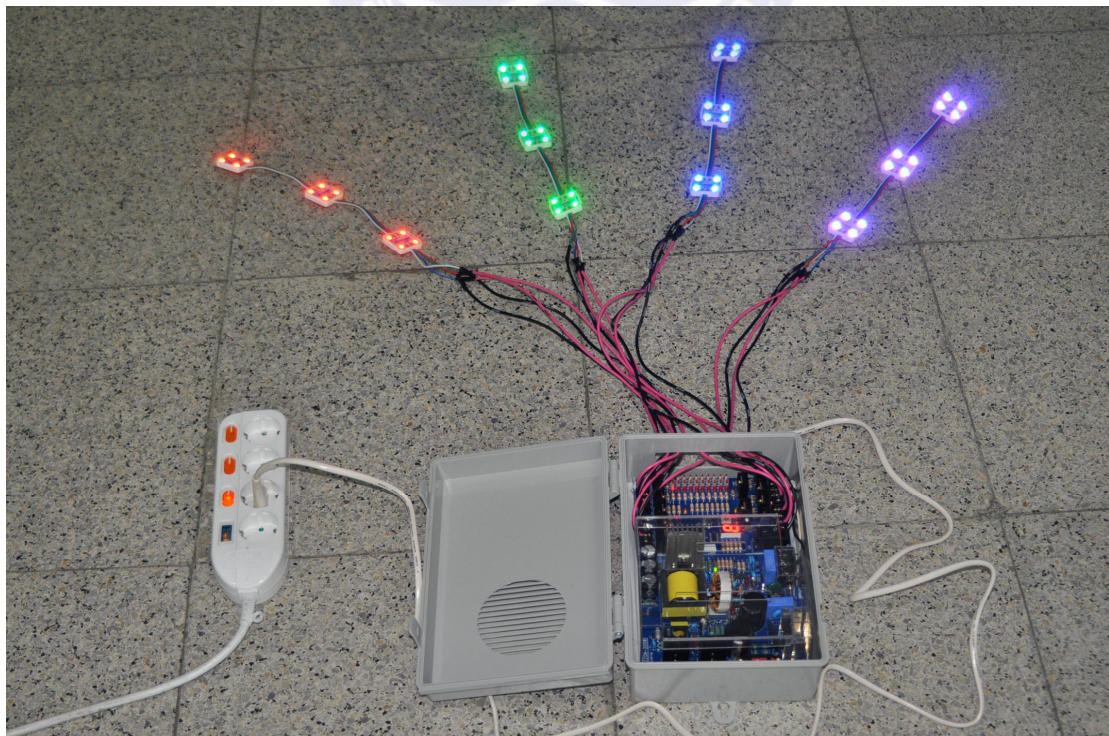


Fig. 35 Hardware of 2CH LED Controller

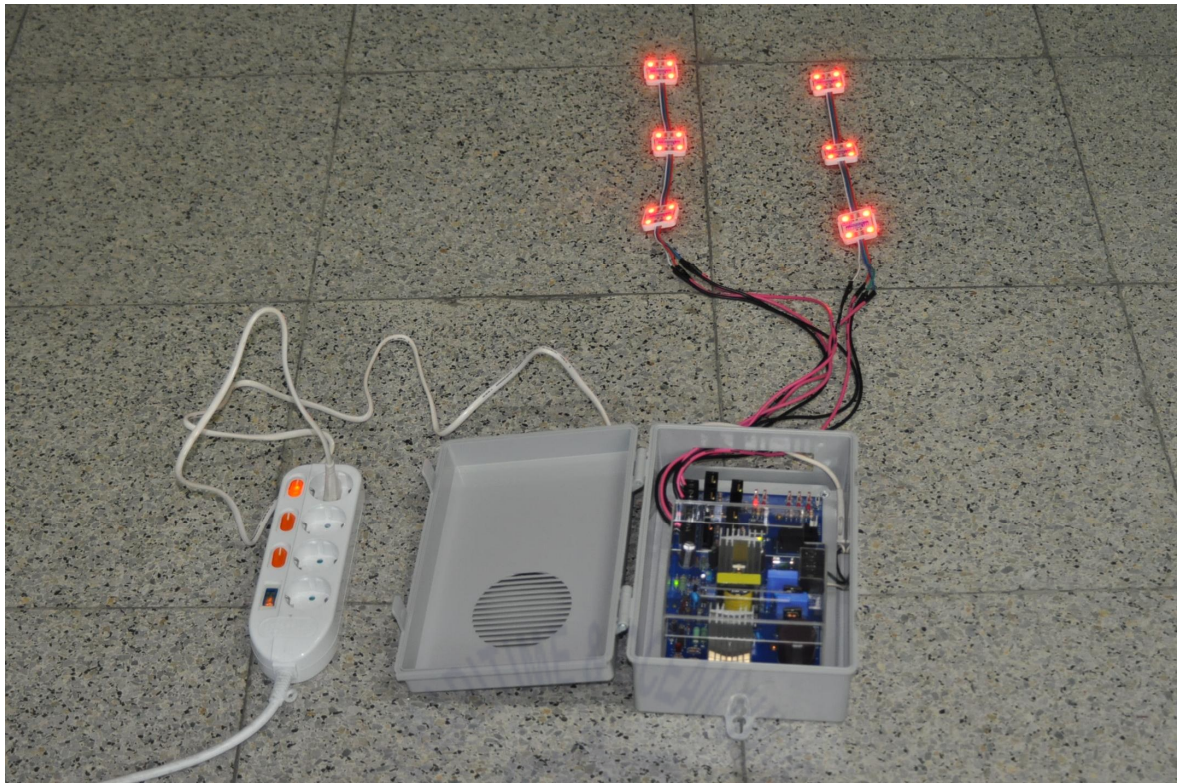
제 5 장 실험 및 결과

5.1 제어시스템의 제작 및 실험

4-채널과 2-채널의 LED조명 제어시스템을 Fig.36 과 같이 제작하여 다양한 시나리오 즉 “스위칭 방식의 16색 파노라마 프로그램”, “디밍으로 색상이 앞뒤로 이동하며 16색 변하는 프로그램”, “같은색으로 켜지고 3번 깜박이며 16색 변하는 프로그램”, “하나씩 켜지면서 16가지색으로 변하는 프로그램”, “하나씩 켜지고 깜박이면서 16색 변하는 프로그램” 등등의 시나리오동작을 사진과 같이 실제로 제작한 제품으로 동작시켜 보면서 확인하였다. 그 확인된 여러동작 시나리오들은 부록에 첨부하였다. 각 시나리오의 동작은 선택스위치의 On/Off로 선택 할수 있고, 동작 시나리오의 동작속도는 가장 느린 0에서 가장 빠른 9까지 별개의 속도조절 스위치로 조정되며 7-segment에 그 속도가 숫자로 표현된다. 교류 220V입력 LED조명 제어시스템(4-CH/2-CH)의 제품동작 사진은 Fig.36 과 같다.



(a)4-CH



(b)2-CH

Fig. 36 Operating Picture of 4CH/2CH LED Lighting Control System

5.2 컴퓨터 시뮬레이션

거리 및 조도의 입력값에 따라 퍼지규칙 Table 5 의 색상을 나타내도록 LED 조명 제어시스템을 설계하여 크리스프(Crisp) 제어와 퍼지(Fuzzy) 제어로 각각 컴퓨터 시뮬레이션을 진행하였다. 다음에 서술되는 입출력에 따른, 출력색상이 나타나는 과정들을 보면, 퍼지제어가 크리스프제어보다 더 유연하고 효과적으로 제어됨을 확인할 수 있었다.

Table 7 은 조명 제어기의 입력 값에, 표의 조도 및 거리값을 주었을 경우 RGB 크리스프제어 출력 값이다.

Table 7 Crisp output according to the illuminance and distance

	조도 (lux)	거리 (mm)	출력값 (OUT)	출력 색상 (OUT)
No. 1	10	100	R=125, G=0, B=125	Purple
No. 2	10	200	R=250, G=172, B=183	Light Pink
No. 3	10	300	R=250, G=250, B=0	Yellow
No. 4	10	400	R=250, G=160, B=0	Orange
No. 5	10	500	R=255, G=0, B=0	Red
No. 6	20	100	R=255, G=0, B=240	Magenta
No. 7	20	200	R=220, G=130, B=220	Violet
No. 8	20	300	R=180, G=255, B=40	Green Yellow
No. 9	20	400	R=255, G=255, B=0	Yellow
No. 10	20	500	R=255, G=150, B=0	Orange
No. 11	30	100	R=0, G=255, B=255	Cyan
No. 12	30	200	R=200, G=255, B=255	Light Cyan
No. 13	30	300	R=0, G=255, B=0	Green
No. 14	30	400	R=163, G=250, B=40	Green Yellow
No. 15	30	500	R=255, G=255, B=0	Yellow
No. 16	40	100	R=20, G=135, B=255	Dodger Blue
No. 17	40	200	R=0, G=255, B=255	Cyan
No. 18	40	300	R=200, G=255, B=255	Light Cyan
No. 19	40	400	R=220, G=130, B=220	Violet
No. 20	40	500	R=250, G=172, B=183	Light Pink

Table 8 은 동일 조건에서의 크리스프 출력 값과 퍼지 출력 값을 비교한 것이다. Table 8을 통하여 크리스프 출력값과 퍼지 출력값이 동일 입력조건 하에서는 출력이 동일함을 확인할 수 있었다.

Table 8 Crisp and Fuzzy output according to the same conditions

	조도 (lux)	거리 (mm)	크리스프 출력 (OUT)	퍼지 출력 (OUT)	출력 색상 (OUT)
No. 1	10	100	R=125, G=0, B=125	R=125, G=0, B=125	Purple
No. 2	10	200	R=250, G=172, B=183	R=250, G=172, B=183	Light Pink
No. 3	10	300	R=250, G=250, B=0	R=250, G=250, B=0	Yellow
No. 4	10	400	R=250, G=160, B=0	R=250, G=160, B=0	Orange
No. 5	10	500	R=255, G=0, B=0	R=255, G=0, B=0	Red
No. 6	20	100	R=255, G=0, B=240	R=255, G=0, B=240	Magenta
No. 7	20	200	R=220, G=130, B=220	R=220, G=130, B=220	Violet
No. 8	20	300	R=180, G=255, B=40	R=180, G=255, B=40	Green Yellow
No. 9	20	400	R=255, G=255, B=0	R=255, G=255, B=0	Yellow
No. 10	20	500	R=255, G=150, B=0	R=255, G=150, B=0	Orange
No. 11	30	100	R=0, G=255, B=255	R=0, G=255, B=255	Cyan
No. 12	30	200	R=220, G=255, B=255	R=220, G=255, B=255	Light Cyan
No. 13	30	300	R=0, G=255, B=0	R=0, G=255, B=0	Green
No. 14	30	400	R=163, G=250, B=40	R=163, G=250, B=40	Green Yellow
No. 15	30	500	R=255, G=255, B=0	R=255, G=255, B=0	Yellow
No. 16	40	100	R=20, G=135, B=255	R=20, G=135, B=255	Dodger Blue
No. 17	40	200	R=0, G=255, B=255	R=0, G=255, B=255	Cyan
No. 18	40	300	R=200, G=255, B=255	R=200, G=255, B=255	Light Cyan
No. 19	40	400	R=220, G=130, B=220	R=220, G=130, B=220	Violet
No. 20	40	500	R=250, G=172, B=183	R=250, G=172, B=183	Light Pink

Table 9는 퍼지규칙 기반의 퍼지제어 시뮬레이션을 통하여 도출한 결과값 이다. Table 9 를 통하여 퍼지규칙에서 정해진값 외의 임의의 입력값 에 대해서도 추론하여 유사한 출력이 나타남을 확인할 수 있었다.

Table 9 Fuzzy output according to the arbitrary illumination and distance

	조도 (lux)	거리 (mm)	퍼지 출력값 (OUT)	출력 색상 (OUT)
No. 1	4	123	R=144, G=56, B=131	Purple
No. 2	7	120	R=143, G=54, B=130	Purple
No. 3	12	148	R=181, G=110, B=161	Magenta
No. 4	22	126	R=188, G=88, B=202	Magenta
No. 5	23	152	R=135, G=110, B=220	Violet
No. 6	31	232	R=160, G=200, B=180	Green Yellow
No. 7	8	276	R=220, G=220, B=60	Yellow
No. 8	23	314	R=148, G=220, B=30	Green Yellow
No. 9	28	381	R=145, G=225, B=23	Green Yellow
No. 10	4	331	R=230, G=210, B=28	Yellow
No. 11	44	379	R=200, G=110, B=200	Violet
No. 12	28	321	R=130, G=220, B=25	Green Yellow
No. 13	31	22	R=20, G=170, B=230	Dodger Blue
No. 14	38	231	R=110, G=220, B=140	Green Yellow
No. 15	24	391	R=115, G=230, B=123	Green Yellow
No. 16	1	352	R=220, G=220, B=25	Yellow
No. 17	35	408	R=210, G=160, B=120	Pink
No. 18	43	218	R=85, G=180, B=220	Cyan
No. 19	32	129	R=85, G=190, B=225	Cyan
No. 20	23	427	R=220, G=220, B=25	Yellow
No. 22	45	333	R=90, G=145, B=230	Dodger Blue
No. 23	15	361	R=205, G=208, B=30	Yellow
No. 24	18	232	R=218, G=145, B=180	Light Pink
No. 25	22	61	R=185, G=55, B=180	Magenta
No. 26	6	24	R=110, G=25, B=125	Purple
No. 27	28	122	R=95, G=150, B=225	Cyan
No. 28	47	38	R=20, G=55, B=220	Blue
No. 29	13	123	R=120, G=46, B=155	Purple
No. 30	43	242	R=93, G=195, B=220	Cyan

그러므로 크리스프제어는 조도 및 거리 입력값이 Table 7 값 외의 애매한값 이면 출력이 Table 7 의 출력색상만 나타나지만 퍼지제어는 Table 9 와 같이 Table 7 의 출력색상외에 유사한색상도 추론하여 나타내는 장점이 있다. 퍼지 로직의 출력은 다양한 입력 변수와 퍼지규칙에 의해서 정해진다. 동일한 입력 값이라고 하더라도 그 영역의 전문가 및 설계자가 퍼지규칙 및 데이터베이스를 어떻게 설계하느냐에 따라 출력 값은 달라질 수 있다. 이것은 퍼지 로직이 인공지능의 특성을 가졌기 때문이다. 그리고 크리스프 로직과 달리, 많은 데이터의 입력값 저장이 필요 없고 간단하게 퍼지규칙으로 구성되는 장점이 있다. 이러한 특성으로 인해 퍼지연산 시스템을 통한 LED 조명제어가 일반적인 LED 조명제어보다 좀 더 유기적이며 효율적인 시스템이 됨을 확인할 수 있었다.



제 6 장 결론

본 논문에서는 LED 조명에 필요한 여러 시나리오를 구성하였으며, 그 시나리오를 동작시키기 위한 LED조명 제어시스템을 설계하고 구현하여 그 동작을 확인 하였다.

제어시스템의 하드웨어는 전원부, AVR 제어부, CLCD 출력부, LED 제어부, 시나리오 선택 스위치부 그리고 동작속도 디스플레이부로 구성되어 있으며, 4-채널과 2-채널로 제작되었다. CPU는 ATmega128을 사용하였으며, 전류 신호의 제어를 위하여 FET를 사용하였다. 그리고 CPU를 동작시키기 위하여 레귤레이터7805를 사용하여 DC 12V를 DC 5V로 변환하였고, FET에 발생하는 열을 제거하기 위하여 방열판을 사용하였다. 또한 SMPS 용량은 4-채널 제어기는 총 200W로 구성하였으며, 2-채널 제어기는 총 100W로 구성하였다. 그러므로 채널 각각의 LED 모듈의 부하용량은 모두 50W이다. 또한 LED조명제어기와 SMPS를 결합하여 하나의 제어보드로 구성하여 LED 조명제어와 SMPS의 기능을 함께 할 수 있도록 조합하여 입력이 AC 220V로 작동이 가능한 LED조명 제어시스템을 구성하였다.

제작된 4-채널과 2-채널의 LED조명 제어시스템에 부하 LED모듈을 연결하여 다양한 시나리오로 동작을 확인하였으며, 확인된 여러 동작 시나리오들은 부록에 첨부하였다.

또 퍼지제어 시스템을 이용하여 거리 및 조도의 입력값에 따라 가장 적당한 색상을 나타내도록 제어시스템을 설계하여 컴퓨터시뮬레이션을 진행하였다. 그 결과 퍼지규칙에 따른 결과값 및 출력 색상을 볼 때, 기존의 크리스프 로직과 달리 퍼지 로직은 인공지능의 특성으로 많은 데이터의 입력값 저장이 필요 없고 간

단한 퍼지규칙으로 많은 출력값을 나타낼 수 있는 효율성까지 지니고 있음을 볼 수 있었다. 이러한 특성으로 인해 퍼지 연산 시스템을 통한 LED 조명제어가 일반적인 LED 조명제어보다 좀 더 유기적이며 효율적인 시스템이 됨을 확인할 수 있었다.

이 논문에서 연구하고 설계한 교류입력 LED조명 제어시스템이 경관조명, 간판조명 그리고 실내외의 다양한 인테리어 조명에 효과적으로 활용될 수 있을 것으로 사료되며, 차세대 스마트 도시 건설에 큰 도움이 될 수 있을 것으로 사료된다. 그리고 앞으로의 연구에서는 본 논문에서 사용한 MCU인 Atmega128보다 좀 더 진보된 Texas Instrument사의 저전력 MSP432 MCU를 사용한다면, 최근에 대두되고 있는 신경망의 머신러닝기술과 퍼지이론의 접목을 통하여 더욱더 극대화된 성능을 이끌어 낼 수 있을 것이다.



참고문헌

- [1] LESA, 2016. Smart lightning, [Online] <http://smartlighting.rpi.edu>.
- [2] 정봉만, 2008. LED 조명기술의 특성과 응용사례, 월간전기 특별기고 II.
- [3] VLCC, 2013. Visible light communication, [Online] www.vlcc.net.
- [4] 위키피디아, 2017. Visible light communication, <http://en.wikipedia.org> [Online] Available at : http://en.wikipedia.org/wiki/Visible_light_communication [Accessed 2 July 2017].
- [5] 이은솔, 2011. 조명 색상의 사용자 감성 및 인지 효과에 대한 연구, KAIST 산업디자인학과 석사 학위 논문.
- [6] 정성윤, 2010. LED 기반 가시광통신 동향, 영남대학교 LED-IT융합산업화연구센터 뉴스레터.
- [7] 노시청, 2005. 감성조명의 이해, 한국디자인학회 2005 가을 학술발표대회 논문집, pp.86-87.
- [8] 광준섭, 김선희, 2016. 색채심리와 LED조명 융합, THE KOREAN INFORMATION DISPLAY SOCIETY 기술특집 pp.34-39.
- [9] 김미영, 2007. 학습자의 사전지식, 인지부하, 몰입, 학습성취도 간의 관계 규명, 이화여자대학교 석사 학위 논문.
- [10] 이광형, 오길록, 1991. 퍼지이론 및 응용 I/II. 홍릉과학출판사.
- [11] 이상배, 퍼지 뉴로 제어 시스템, (주)교학사, pp.7-108, 1999
- [12] L. A. Zadeh, 1978. Fuzzy sets as a basic for a theory of possibility, Fuzzy sets and Systems, 1, pp.3-28.
- [13] James M. Keller, Fuzzy set theory in computer vision: A prospectus, Fuzzy Sets and Systems, Volume 90, Issue 2, pp.177-182, September 1997.
- [14] Gerrig, R. J., & Zimbardo, P. G, 2008. Psychology and life(18th edition). Boston: Pearson.
- [15] L. A. Zadeh, "Fuzzy Sets, Information and Control 8" , pp.338-353, 1965
- [16] Birren, F, 1978. Color & Human Response. 김진한 역 1996 . 색채의 영향.
- [17] K. Goldstein, 1942. Some experimental observations on the influence of color on the function of the organism. Occupational Therapy and Rehabilitation.

- [18] Astrom K.J and T.Hagglung “Automatic tuning of simple regulators with specifications on phase and amplitude margins” Automatica, Vol. 20 pp645-651, 1984
- [19] Jacek M. Zurada, 1992. Introduction to Artificial Neural System. West Publishing Company.
- [20] Chin-Teng Lin & C.S George Lee, 1996. Neural fuzzy systems, Prentice Hall.
- [21] Gwan Hyung Kim, Sang Bae Lee “The study on the Intelligent Control of Robot using Fuzzy Inverse Kinematics Mapping” , Proceedings of Asian Control Conference July 22-25, 1997, Vol. III No. III pp. 255-258
- [22] M. Mizumoto, 1989. Pictorial representation of fuzzy connectives, Part I : cases of t-norms, t-conorms and averaging operators, Fuzzy sets and Systems, 31, pp.217-242.
- [23] Jyh-Shing & Roger Jang, 1993. ANFIS: Adaptive Network Based Fuzzy Inference system, IEEE Transaction on system, Man, And Cybernetics, 23(3), pp. 665-685.
- [24] J. S. R. Jang & C.-T. Sun, 1995. Neuro-Fuzzy Modeling and Control, Proc. IEEE.
- [25] 이현엽, 문경일, 1999. MATLAB을 이용한 퍼지-뉴로. 아진, pp.445-454.
- [26] 오대광, 2011. LED 가시광 통신(VLC) 기술 동향과 발전 전망, KEIT Issue Report.
- [27] IEEE, 2017. IEEE 802.15 WPANTM, [Online] <http://www.ieee802.org/15/pub/TG7>
- [28] ICTOMEGA, 2011. LED communication, [Online] www.ict-omega.eu
- [29] 정영호, 김덕영, 조남형, 2019. ATmega128마이크로컨트롤러.
- [30] 이인석, 홍릉과학출판사. AVR ATmega128마이크로컨트롤러활용.

부록 A

4-CH Controller including
SMPS
(AC 220V Input)

[(시나리오 10가지)(10 Kinds Scenarios)]

(16 Colors Display)

- Switch 1. 스위칭 방식의 16색 파노라마
(16 Color Panorama with Switching Method)
- Switch 2. 하나씩 다 켜지면 16색 변함
(16 Color Change with One Step On)
- Switch 3. 디밍으로 색상이 앞뒤로 이동하며 16색 변함
(Dimming Color Moving to Front and Back with 16 Colors)
- Switch 4. 한색이 이동하면서 다 켜지고 16색 변함
(Each On Moving with 16 Color Change)
- Switch 5. 하나씩 쌓이면서 16가지색으로 변함
(Color Storage with 16 Colors)
- Switch 6. 디밍방식의 16색 파노라마
(16 Color Panorama with Dimming Method)
- +
- 디밍으로 색상이 앞뒤로 이동하며 16색 변함
(Dimming Color Moving to Front and Back with 16 Colors)
- Switch 7. 같은색으로 켜지고 3번 깜박이며 16색 변함
(All On and Switching with 16 Color Change)
- +
- 하나씩 다 켜지면 16색 변함
(16 Color Change with One Step On)
- Switch 8. 색상이 앞뒤로 이동하며 16색 변함
(Color Moving to Front and Back with 16 Colors)
- +
- 스위칭 방식의 16색 파노라마
(16 Color Panorama with Switching Method)
- Switch 9. 모두 같은 색으로 16색 변함
(All Same Color Change with 16 Colors)
- +
- 하나씩 쌓이면서 16가지색으로 변함
(Color Storage with 16 Colors)
- Switch 10. 하나씩 켜지고 깜박이면서 16색 변함

(Each Dimming & Switching with 16 Colors)

+

한색이 이동하면서 다 켜지고 16색 변함

(Each On Moving with 16 Color Change)

*** The Needs ***

1. Advertisement LED Signboard
2. Advertisement LED 채널
3. Building Outdoor Decoration Lighting
4. LED Sight View Lighting



부록 B

4-CH Controller including
SMPS
(AC 220V Input)

[(시나리오 10가지)(10 Kinds Scenarios)]

(16 Colors Display)

- Switch 1. 스위칭 방식의 16색 파노라마
(16 Color Panorama with Switching Method)
- Switch 2. 하나씩 다 켜지면 16색 변함
(16 Color Change with One Step On)
- Switch 3. 디밍으로 색상이 앞뒤로 이동하며 16색 변함
(Dimming Color Moving to Front and Back with 16 Colors)
- Switch 4. 한색이 이동하면서 다 켜지고 16색 변함
(Each On Moving with 16 Color Change)
- +
- 스위칭 방식의 16색 파노라마
(16 Color Panorama with Switching Method)
- Switch 5. 하나씩 쌓이면서 16가지색으로 변함
(Color Storage with 16 Colors)
- +
- 하나씩 다 켜지면 16색 변함
(16 Color Change with One Step On)
- Switch 6. 디밍방식의 16색 파노라마
(16 Color Panorama with Dimming Method)
- +
- 디밍으로 색상이 앞뒤로 이동하며 16색 변함
(Dimming Color Moving to Front and Back with 16 Colors)
- Switch 7. 같은색으로 켜지고 3번 깜박이며 16색 변함
(All On and Switching with 16 Color Change)
- +
- 한색이 이동하면서 다 켜지고 16색 변함
(Each On Moving with 16 Color Change)
- +
- 스위칭 방식의 16색 파노라마
(16 Color Panorama with Switching Method)
- Switch 8. 색상이 앞뒤로 이동하며 16색 변함
(Color Moving to Front and Back with 16 Colors)

- +
- 하나씩 켜지면서 16가지색으로 변함
(Color Storage with 16 Colors)
- +
- 하나씩 다 켜지면 16색 변함
(16 Color Change with One Step On)
- Switch 9. 모두 같은 색으로 16색 변함
(All Same Color Change with 16 Colors)
- +
- 디밍방식의 16색 파노라마
(16 Color Panorama with Dimming Method)
- +
- 디밍으로 색상이 앞뒤로 이동하며 16색 변함
(Dimming Color Moving to Front and Back with 16 Colors)
- Switch 10. 스위칭 방식의 16색 파노라마
(16 Color Panorama with Switching Method)
- +
- 디밍으로 색상이 앞뒤로 이동하며 16색 변함
(Dimming Color Moving to Front and Back with 16 Colors)
- +
- 모두 같은 색으로 16색 변함
(All Same Color Change with 16 Colors)
- +
- 하나씩 켜지고 깜박이면서 16색 변함
(Each Dimming & Switching with 16 Colors)

*** The Needs ***

1. Advertisement LED Signboard
2. Advertisement LED 채널
3. Building Outdoor Decoration Lighting
4. LED Sight View Lighting

부록 C

4-CH Controller including
SMPS
(AC 220V Input)

(고정색램프) (Fixed Color Lamp)]

- Switch 1. 주황색 (Orange)
- Switch 2. 청녹색 (Blue-Green)
- Switch 3. 연두색 (Light-Green)
- Switch 4. 청하늘색 (Blue-Cyan)
- Switch 5. 청보라색 (Blue-Violet)
- Switch 6. 청분홍색 (Blue-Pink)
- Switch 7. 연두노란색(Light Green Yellow)
- Switch 8. 분홍보라색(Pink-Violet)
- Switch 9. 녹하늘색(Green-Cyan)
- Switch 10. 4색(Red, Green, Blue, white)

*** The Needs ***

1. Indoor Room Lighting Lamp
2. Indoor Interior Lighting Decoration
3. Store (Mart, Department Store) Show Window Lighting
4. Restaurant, Cafe, Coffee Shop Lighting
5. Plant Cultivation House, Plant Vinyl House
6. Poultry Farming House (Hen House)

부록 D

2-CH Controller including SMPS
(AC 220V Input)

[(5색램프)(5 Colors Lamp)]

- Switch 1. 모든색표현 램프(All Color Display Lamp)
- Switch 2. 하늘색 램프(Cyan Lamp)
- Switch 3. 보라색 램프(Violet Lamp)
- Switch 4. 연두색 램프(Light Green Lamp)
- Switch 5. 주황색 램프(Orange Lamp)

*** The Needs ***

1. Indoor Room Lighting Lamp
2. Indoor Interior Lighting Decoration
3. Store (Mart, Department Store) Show Window Lighting
4. Restaurant, Cafe, Coffee Shop Lighting
5. Plant Cultivation House, Plant Vinyl House
6. Poultry Farming House (Hen House)

부록 E

2-CH Controller including SMPS
(AC 220V Input)

[(시나리오 5가지)(5 Kinds Scenarios)]

- Switch 1. 디밍으로 하나씩 다 켜지면 16색 변함
(16 Color Dimming Change with One Step On)
- Switch 2. 스위칭으로 하나씩 다 켜지면 16색 변함
(16 Color Switching Change with One Step On)
- Switch 3. 디밍으로 동시에 다 켜지면 16색 변함
(16 Color Dimming Change with at the same time)
- +
- 디밍으로 하나씩 다 켜지면 16색 변함
(16 Color Dimming Change with One Step On)
- Switch 4. 스위칭으로 동시에 다 켜지면 16색 변함
(16 Color Switching Change with at the same time)
- +
- 스위칭으로 하나씩 다 켜지면 16색 변함
(16 Color Switching Change with One Step On)
- Switch 5. 디밍으로 동시에 다 켜지면 16색 변함
(16 Color Dimming Change with at the same time)
- +
- 디밍으로 하나씩 다 켜지면 16색 변함
(16 Color Dimming Change with One Step On)
- +
- 스위칭으로 동시에 다 켜지면 16색 변함
(16 Color Switching Change with at the same time)
- +
- 스위칭으로 하나씩 다 켜지면 16색 변함
(16 Color Switching Change with One Step On)

*** The Needs ***

1. Advertisement LED Signboard
2. Advertisement LED 채널
3. Building Outdoor Decoration Lighting
4. LED Sight View Lighting

부록 F

2-CH Controller including SMPS
(AC 220V Input)

[(시나리오 5가지)(5 Kinds Scenarios)]

- Switch 1. 디밍방식으로 모두 같은 색으로 16색 변함
(All Same Color Change of Dimming method with 16 Colors)
- Switch 2. 스위칭방식으로 모두 같은 색으로 16색 변함
(All Same Color Change of Switching method with 16 Colors)
- Switch 3. 디밍으로 하나씩 다 켜지면 16색 변함
(16 Color Dimming Change with One Step On)
- Switch 4. 스위칭으로 하나씩 다 켜지면 16색 변함
(16 Color Switching Change with One Step On)
- Switch 5. 디밍방식으로 모두 같은 색으로 16색 변함
(All Same Color Change of Dimming method with 16 Colors)
- +
- 디밍으로 하나씩 다 켜지면 16색 변함
(16 Color Dimming Change with One Step On)

*** The Needs ***

1. Advertisement LED Signboard
2. Advertisement LED 채널
3. Building Outdoor Decoration Lighting
4. LED Sight View Lighting