



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 거리기반
조명제어시스템에 관한 연구

A Study on the Distance based Lighting Control System using
Fuzzy Theory



2018년 2월

한국해양대학교 대학원

전자통신공학과

남영철

본 논문을 남영철의 공학석사 학위논문으로 인준함.



위원장
위원
위원

임재홍
박동국
이상배



2017년 12월

한국해양대학교 대학원

목 차

List of Tables	iii
List of Figures	iv
Abstract	vi

1. 서 론

1.1 연구 배경	1
1.2 연구 목적 및 내용	2
1.3 논문의 구성	3

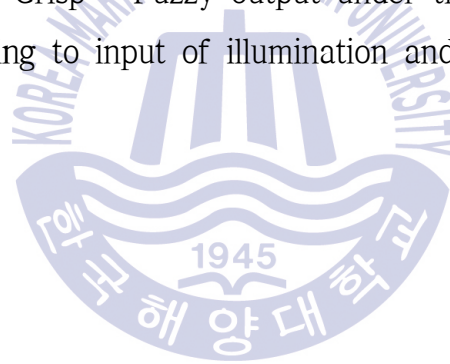
2. 이론적 고찰

2.1 LED 조명의 개요 및 필요성	4
2.1.1 LED 조명의 특징	4
2.1.2 LED 조명의 색채적 특성	7
2.1.3 상황을 고려한 LED 색상 평가의 필요성	10
2.2 펄지 제어 시스템	11
2.2.1 펄지 이론의 개요	11
2.2.2 보통집합과 펄지 집합 및 연산	11
2.2.3 펄지 추론	15
2.2.4 펄지 제어기의 구성	17
2.3 ATmega128 마이크로 컨트롤러	20
2.3.1 AVR의 개요	20
2.3.2 ATmega128의 특징	21
2.3.3 ATmega128의 내부 구조	22

3. 인공지능형 LED 조명 제어기의 구성 및 설계	
3.1 퍼지 알고리즘 구성	26
3.2 퍼지 멤버십 함수(Fuzzy Membership Function)	27
3.3 퍼지 제어 규칙(Fuzzy Control Rules)의 설정	31
3.4 비퍼지화(Defuzzification) 과정	34
3.5 MATLAB 시뮬레이션	35
4. 인공지능형 LED 조명 제어기의 구현	
4.1 하드웨어 구성	37
4.2 LED 조명 제어보드	38
4.2.1 전원부	38
4.2.2 AVR 제어부	39
4.2.3 CLCD 출력부	40
4.2.4 LED 제어부	43
4.2.5 센서 입력부	44
4.3 LED 조명 제어보드 제작	46
5. 실험 및 결과	
5.1 실험 방법	47
5.2 실험 결과	50
6. 결론	54
참고문헌	55
부록	57

List of Tables

Table 1	Comparison of LED light source and existing light source	5
Table 2	Recommended illuminance according to place and activity	10
Table 3	Status register Description for each bit	25
Table 4	Setting the Language Variables of Fuzzy Inference	27
Table 5	LED Fuzzy and Crisp Output Color Values	30
Table 6	Fuzzy rules table	32
Table 7	CLCD control command	41
Table 8	Distance equality measurement result	48
Table 9	RGB Crisp output according to illuminance and distance input	50
Table 10	Comparison of Crisp - Fuzzy output under the same conditions ..	51
Table 11	Output according to input of illumination and distance value	52



List of Figures

Fig. 1 Brief history of lighting	4
Fig. 2 CIE Chromaticity Diagram	6
Fig. 3 Color image evaluation on color image scale	9
Fig. 4 Crisp set & fuzzy set	12
Fig. 5 $\tilde{A}_1 \cap \tilde{A}_2$ of Fuzzy set	14
Fig. 6 $\tilde{A}_1 \cup \tilde{A}_2$ of Fuzzy set	14
Fig. 7 \tilde{A}_3^c of Fuzzy set	14
Fig. 8 Inference of Mamdani	16
Fig. 9 Structure of fuzzy controller	17
Fig. 10 Fuzzy inference process	18
Fig. 11 Block diagram of variable structure of the fuzzy system	20
Fig. 12 Block diagram of ATmega128	22
Fig. 13 Program area memory map of ATmega128	23
Fig. 14 Data area memory map of ATmega128	24
Fig. 15 Address assignment map of register file of ATmega128	24
Fig. 16 Configuration of each bit of status register	25
Fig. 17 Block diagram of fuzzy system	26
Fig. 18 Function of illuminance membership	27
Fig. 19 Function of distance membership	28
Fig. 20 Function of RGB output membership	29
Fig. 21 Multivariate fuzzy algorithm block diagram	31
Fig. 22 Block diagram of MATLAB fuzzy	35
Fig. 23 Illuminance membership of MATLAB fuzzy	35
Fig. 24 Distance membership of MATLAB fuzzy	36
Fig. 25 Output membership of MATLAB fuzzy	36

Fig. 26	Block diagram of LED lighting system	37
Fig. 27	Circuit of KIA7805	38
Fig. 28	Circuit of ATmega128	39
Fig. 29	Timing diagram of CTC mode	40
Fig. 30	Timing diagram of reading mode	41
Fig. 31	Timing diagram of writing mode	42
Fig. 32	Circuit of CLCD	42
Fig. 33	Circuit of RGB LED drive	43
Fig. 34	Circuit of illuminance sensor	44
Fig. 35	SRF04 Timing diagram	45
Fig. 36	SRF04 of oriented angle	45
Fig. 37	Circuit of ultra sonic sensor	46
Fig. 38	Completed ATmega128 LED lighting controller	46
Fig. 39	Configuration of ATmega128 LED lighting controller	47
Fig. 40	Ultrasonic distance sensor output test	49
Fig. 41	Light sensor output test	49
Fig. 42	Fuzzy RGB output result according to illumination	53
Fig. 43	Fuzzy RGB output result according to distance	53

A Study on the Distance based Lighting Control System using Fuzzy Theory

Nam, Young Cheol

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



Abstract

Recently Kyoto for worldwide emissions regulations in earnest and representative international GEF(Green Energy Family) activity emissions prohibited in order to preserve the global environment due to the energy consumed by the energy crisis caused by global warming and high oil prices Protocol(Kyoto protocol), RoHS(Restriction of Hazardous Substance directive), and WEEE(Waste Electrical and Electronic Equipment), which require the recovery of waste in order to minimize waste by integrating lighting and communication.

In the case of LED(Liquid Emitting Diode) lighting devices which have been commercialized at present, LED operating sequences are being sold in a fixed state. In such a state, only external environment factors (illumination, distance to the subject, etc.) are taken into consideration and only the function as an illumination environment application is applied to only a place. Changes in external environmental factors in Korea, which have four distinct seasonal characteristics, make it difficult to create an optimal lighting environment.

Therefore, it was concluded that there is a need to input the external environment value in real time so that the optimal illumination value can be reflected in real time so that it can adapt more organically and actively to the change of external environment factors.

In this paper, environmental data which is changed in real time by external environment factors (illumination, distance to the object, etc.) are checked by using microprocessor and external environment factors are confirmed. In addition, RGB LED module illumination control is applied by combining fuzzy inference system. A possible controller was constructed. For this, a fuzzy control algorithm is designed and a fuzzy control system is constructed. The distance to the subject and the illuminance value from the external environment element are inputted through the sensor, and these values are converted into the optimum illumination value through the fuzzy control algorithm to express through RGB LED module dimming control.

The external environmental factors such as temperature and humidity, which are external factors of the existing environment, are generally used most commonly. In this paper, CLCD(Character Liquid Crystal Display), which can check distance and illuminance in real time using an illuminance sensor and an ultrasonic distance sensor, we implemented a module lighting controller. In the case of Illuminance, it is difficult to measure accurately with a Illuminometer because it is a sensitive external environmental factor. Therefore, it is difficult to make a clear comparison of results using general lighting control system and fuzzy control system. Therefore, in this paper, we compared and analyzed the results through Matlab simulation.

The microprocessor used in this paper is Atmel's ATmega128A. After the RGB LED controller programming is completed, the SMPS(Switching Mode Power Supply)and power converter are configured to operate independently. CLCD is added to control the color change by the distance between the object and the illuminance, and to check these input values in real time.

KEY WORDS: Fuzzy theory, LED lighting, ATmega128, Artificial intelligence

폐지이론을 이용한 거리기반 조명제어시스템에 관한 연구

남 영 철

한국해양대학교 대학원

전자통신공학과

초 록

최근 들어 지구 온난화 및 고유가로 인한 에너지 위기로 전 세계적으로 이산화탄소 배출규제가 본격화되고 에너지 소비에 따른 지구환경을 보존하기 위한 대표적인 국제적인 GEF(Green Energy Family) 활동은 이산화탄소 배출 금지를 위한 교토의정서(Kyoto protocol), RoHS(Restriction of Hazardous Substances directive)에서는 무 수은 조명 사용억제, WEEE(Waste Electrical and Electronic Equipment)에서는 조명 통신융합으로 폐기물 최소화를 목적으로 폐기물 회수를 요구하는 등 다각적 노력을 경주하고 있다.

현재 기존에 상용화 되어 있는 LED(Light Emitting Diode) 조명기기의 경우, LED 동작 시퀀스가 고정되어 있는 상태로 판매되고 있다. 이와 같은 상태로는 외부 환경 요인이 고려되지 않고 오직 장소에만 적용되는 조명 환경 용도로서의 기능만을 수행한다. 4계절의 특성을 가진 우리나라에서 외부 환경 요인의 변화는 실질적으로 최적의 조명 환경 조성이 어렵게 되므로 외부 환경 요인의 변화에 좀 더 유기적이고 능동적으로 적응할 수 있도록 그 외부 환경 값을 실시간으로 입력받아 실시간으로 최적 조명 값이 반영될 수 있도록 해야 될 필요성

이 있다는 결론을 얻게 되었다.

본 논문에서는 기존의 외부 환경 요인(조도, 피사체와의 거리 등)에 의하여 실시간으로 변동되는 환경 데이터를 마이크로프로세서를 활용하여 외부 환경 요인을 확인하고 또한 퍼지 추론 시스템을 접목하여 RGB LED 모듈 조명 제어가 가능한 제어기를 구성하였다. 이를 위하여 퍼지 제어 알고리즘을 설계하고, 퍼지 제어 시스템을 구성하였다. 외부 환경 요소인 피사체와의 거리, 조도 값을 센서로 통해 입력 받고 이 값들을 퍼지 제어 알고리즘을 통하여 최적 조명 값으로 변환하여 RGB LED 모듈 디밍 제어를 통하여 표현하고자 한다.

현재 기존의 외부 환경요인인 온도, 습도 등의 외부 환경 요인은 일반적으로 가장 많이 사용되기 때문에 본 논문에서는 조도 센서와 초음파 거리센서를 이용하고 실시간으로 거리와 조도를 확인할 수 있는 CLCD(Character Liquid Crystal Display)를 추가하여 RGB LED 모듈 조명 제어기를 구현하였다. 조도의 경우 민감한 외부 환경 요인이기 때문에 일반적인 조도계로는 정확한 측정이 어렵다. 그러므로 일반적인 조명 제어 시스템과 퍼지 제어시스템을 이용한 결과 값의 명확한 비교가 어렵게 되므로 본 논문에서는 Matlab 시뮬레이션을 통하여 결과 값을 비교 분석하였다.

본 논문에 사용된 마이크로프로세서는 Atmel사의 ATmega128A이며, RGB LED 제어기 프로그래밍 완료 후에는 독자적으로 동작할 수 있도록 SMPS(Switching Mode Power Supply) 및 전원 변환 부를 구성하였다. 조도 및 피사체와의 거리 값으로 색상 변화를 제어하고, 이들 입력 값을 실시간으로 확인할 수 있도록 CLCD를 추가하였다.

KEY WORDS: 퍼지 이론, LED 조명, ATmega128, 인공지능

제 1 장 서 론

1.1 연구 배경

최근 들어 지구 온난화 및 고유가로 인한 에너지 위기로 전 세계적으로 이산화탄소 배출규제가 본격화되고 에너지 소비에 따른 지구환경을 보존하기 위한 대표적인 국제적인 GEF(Green Energy Family) 활동은 이산화탄소 배출 금지를 위한 교토의정서(Kyoto protocol), RoHS(Restriction of Hazardous Substances directive)에서는 무수은 조명 사용억제, WEEE(Waste Electrical and Electronic Equipment)에서는 조명 통신융합으로 폐기물 최소화를 목적으로 폐기물 회수를 요구하는 등 다각적 노력을 경지하고 있다[1].

이러한 국제 협약에 발맞추기 위해 각 나라마다 저탄소 정책 및 녹색성장에 따른 탄소량 배출규제도 점진적으로 강화되고 있는 실정이므로 이에 대한 해결책으로 그린 IT(Green IT) 기술이 등장하게 되었으며, 이 기술에서 전기에너지 절감의 대표적 소자로 친환경적인 LED(Light Emitting Diode)가 주목받고 있다. LED는 Pb, Hg 등 유해 물질을 포함하지 않으며, CO₂, NO₂, SO₂ 등 온실효과 배출 가스를 줄일 수 있으며, GEF 활동에 부합하는 친환경 반도체 광원으로 각광받고 있다. 이러한 LED는 기존 광원보다 고효율, 저전력, 장수명으로 인해 일반 조명등을 모두 대체될 것으로 전망되며, 또한 기본적으로 반도체 소자이기 때문에 고속 스위칭이 가능하며, 다른 IT 기술과의 융합이 쉽다는 장점을 가진다. LED를 이용한 IT 융합기술들 중 빛을 이용한 통신기술인 가시광통신(VLC, Visible Light Communication) 기술이 현재 전 세계적으로 주목받고 있으며, 많이 연구되고 있다[2] ~ [6].

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 [7].

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 기대하게 되었고, 이를 토대로 새로운 제품 개발의 기회로 이어져 시장 수요를 창출할 수 있는 잠재력으로 인정받고 있다. 즉 조명의 색채적 속성을 디자인 요소로 활용하고자 하는 요구가 증가하고 있는 것이다[8].

1.2 연구 목적 및 내용

현재 기존에 상용화 되어 있는 LED 조명기기의 경우, LED 동작 시퀀스가 고정되어 있는 상태로 판매되고 있다. 이와 같은 상태로는 외부 환경 요인(조도, 온도, 습도, 피사체와의 거리 등)이 고려되지 않고 오직 장소에만 적용되는 조명 환경 용도로서의 기능만을 수행한다. 뚜렷한 4계절의 특성을 가진 우리나라에서 외부 환경 요인의 변화는 실질적으로 최적의 조명 환경 조성이 어렵게 된다. 그러므로 외부 환경 요인의 변화에 좀 더 유기적이고 능동적으로 적응할 수 있도록 외부 환경 값을 실시간으로 입력받아 실시간으로 최적 조명 값이 반영될 수 있도록 해야 될 필요성이 있다는 결론을 얻게 되었다.

이러한 최적 조명 제어를 위해서는 조도센서를 비롯한 다양한 종류의 센서로부터 다양한 정보를 취득하는 것이 중요하다. 그 중에서도 인간의 행동 양식을 이해하고, 인간의 행동을 바탕으로 조명을 제어하는 조명 제어 시스템을 위해서는 인간의 행동을 파악할 수 있는 센서가 필수적이다. 현재 대부분의 감지센서는 단순한 ON/OFF 기능으로 센서의 측정 범위 안에 인간의 존재 유무만을 전달한다. 하지만, 이러한 센서를 통해서도 인간의 행동 패턴을 이해하고, 이러한 데이터를 바탕으로 조명을 제어하는 데는 한계가 있다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 기존의 센서를 개선하여 실시간 거리 측정이 가능한 센서를 추가하고, 실시간으로 변동되는 환경 데이터를 마이크로프로세서를 활용하여 외부 환경 요인을 확인하고 또한 퍼지 추론 시스템을 접목하여 RGB LED 모듈 조명 제어가 가능한 제어기를 구성하였다. 이를 위하여 퍼지 제어 알고리즘을 설계하고, 퍼지 제어 시스템을 구성하였다. 외부 환경 요소인 피사

체와의 거리, 조도 값을 센서로 통해 입력 받고 이 값들을 퍼지 제어 알고리즘을 통하여 최적 조명 값으로 변환하여 RGB LED 모듈 디밍 제어를 통하여 표현하고자 한다.

현재 기존의 외부 환경 요인인 온도, 습도 등의 외부 환경 요인은 일반적으로 가장 많이 사용되기 때문에 본 논문에서는 조도 센서와 초음파 거리센서를 이용하고 실시간으로 거리와 조도를 확인할 수 있는 CLCD(Character Liquid Crystal Display)를 추가하여 RGB LED 모듈 조명 제어를 구현하였다. 조도의 경우 민감한 외부 환경 요인이기 때문에 일반적인 조도계로는 정확한 측정이 어렵다. 그러므로 일반적인 조명 제어 시스템과 퍼지 제어시스템을 이용한 결과 값의 명확한 비교가 어렵게 되므로 본 논문에서는 MATLAB 시뮬레이션을 통하여 결과 값을 비교 분석하였다.

본 논문에 사용된 마이크로프로세서는 Atmel사의 ATmega128A이며, RGB LED 제어기 프로그래밍 완료 후에는 독자적으로 동작할 수 있도록 SMPS(Switching Mode Power Supply) 및 전원 변환 부를 구성하였다. 조도 및 피사체와의 거리 값으로 색상 변화를 제어하고, 이들 입력 값을 실시간으로 확인할 수 있도록 CLCD를 추가하였다.

1.3 논문의 구성

본 연구의 전체적인 구성은 크게 6개 부분으로 나눈다. 1장에서는 연구에 대한 전체적인 서론 내용을 정리하였고, 2장에서는 이론적 고찰로서 LED 조명의 개요와 필요성 및 LED의 상황에 따른 색채적 특성을 설명하였으며, 퍼지이론과 퍼지 집합 및 추론, 그리고 LED 제어기 구성에 사용한 ATmega128 마이크로 컨트롤러에 대해 서술 하였다. 3장에서는 LED 조명 제어기의 구성 및 설계에 대해 논의 하였다. 4장에서는 제어기의 하드웨어 구성 및 각부 구조와 기능을 설명하고 제어기를 제작하였다. 5장에서는 구현된 LED 조명 제어기의 실험과 시뮬레이션을 통해 실험 결과를 도출하였다. 마지막으로 6장에서는 결론으로서 향후 연구 방향을 제시하였다.

제 2 장 이론적 고찰

2.1 LED 조명의 개요 및 필요성

2.1.1 LED 조명의 특징

인류의 탄생과 함께 조명기술은 태양 빛을 근간으로 햇불에서부터 백열전구와 형광등으로 대표되는 방전등까지 발전되어 왔다. 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[9].

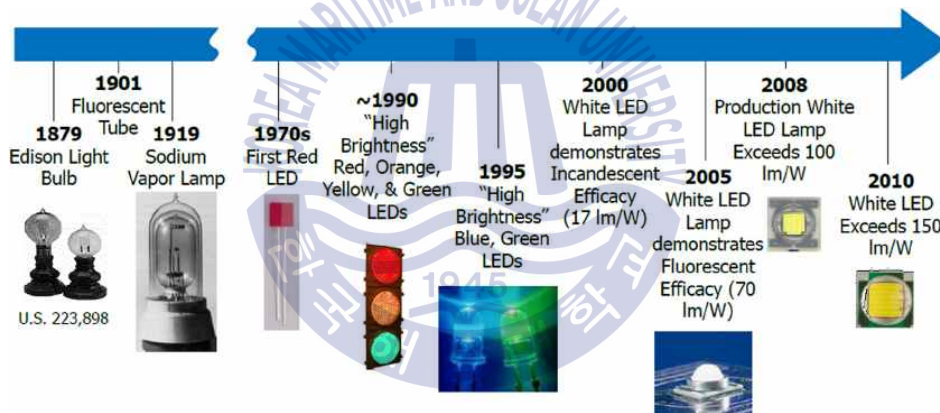


Fig. 1 Brief history of lighting

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.

1962년 Holonyak이 처음 개발하여 전자회로 부품으로 사용되던 LED는 반도체 기술의 발전으로 미국 GE가 처음 적색 LED를 상용화 하였다. 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 된다. 특히 백색

LED 개발로 인해 LED 조명이 전자제품 디스플레이용에서 일반 조명을 대신할 수 있는 램프로 개발할 수 있게 되었다[10].

Table 1은 기존 광원과 LED광원의 전형적인 조명특성을 비교한 것이다.

Table 1 Comparison of LED light source and existing 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.

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

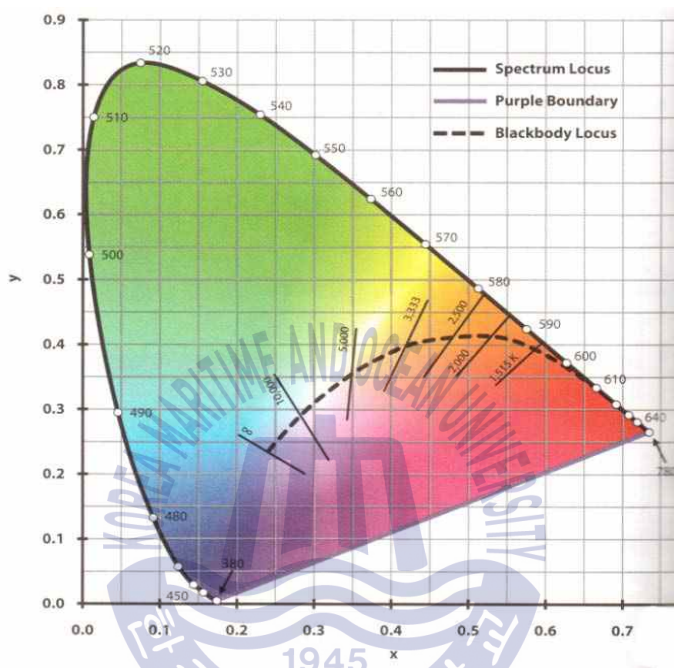


Fig. 2 CIE Chromaticity Diagram

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.

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[11], 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.

용이한 광 출력 제어와 빠른 응답 LED의 광출력 제어는 전원전압(전류)을 제어하는 방법과 전원전압을 일정하게 유지하면서 펄스폭을 변조(PWM)하는 방식이 사용된다[12].

2.1.2 LED 조명의 색채적 특성

색채의 심리적 반응에 대한 연구는 인간의 심리적인 영역을 다루고 있으므로 ‘과학적인’ 접근이 쉽지는 않다. 인간의 신체는 매우 비슷하지만 개개인의 정신은 완전히 다르다. 색 또는 그 외의 것에 대한 의식적 반응들 역시 사람마다 같다고는 할 수가 없다. 그러나 개개인의 반응이 다르더라도 색에 대한 집단 간의 평균적 반응에 대한 결과는 ‘과학적인’ 결과로서 받아들일만하다. 색이 인간 심리에 미치는 영향에 대한 고찰은 인류역사와 그 기간을 같이한다고 볼 수 있으나, 색이 인간의 정서적 반응에 미치는 영향에 대한 ‘과학적인’ 연구결과는 19세기에서부터 발견된다. 1875년 Ponza는 색 유리창과 빨간색 또는 파란색으로 색칠된 벽과 가구들로 방을 꾸민 후, 색 환경이 심리적 반응에 미치는 영향을 연구하였다.

그는 “빨간색으로 칠해진 방에서, 말수가 적고 일시적인 정신착란 상태로 고통을 받고 있는 사람이 3시간이 지난 후에 쾌활하고 명랑하게 되었다. 한편, 구속복을 입혀 놓아야 하는 한 폭력배가 파란색 유리창으로 된 방에 갇혔는데, 한 시간도 채 되기 전에 조용해 졌다” 고 보고하였다[13].

색과 인간심리에 관한 또 다른 중요한 연구는 Goldstein에 의하여 행하여졌다. 그는 색으로 하는 치료요법과 심리치료요법의 유용성을 확립하였다. 그는 어느 특정한 색의 자극은 모든 생명체의 특정한 반응 패턴을 수반한다고 제시하였다. 이것은 색에 대한 인간의 반응이 뿌리 깊은 것이며, 생명과정에 뒤엉켜져 있다는 것을 의미한다[14].

이와 같이 색이 심리에 미치는 영향은 광범위한 주제이기 때문에 자세히 다루기는 어렵지만, 일반적인 색이 주는 심리적인 효과는 다음과 같이 정리할 수 있다.

빨강색 - 흥분, 열정, 강렬함, 힘 등의 의미를 내포하고 있으며, 불과 피의 색으로 알려져 있다. 또한 빨강은 공격적인 색으로 느껴지며, 넓은 면적에 사용된 높은 채도의 빨강은 아주 자극적이지만 작은 면적에 사용되면 강조 색으로 적합하다. 빨강을 분홍과 같은 옅은 색으로 사용하면 강렬한 이미지가 없어지고 여성스럽고 온화하며 우아한 이미지를 나타내고, 어둡게 사용하면 따뜻한 갈색이 된다.

노랑색 - 따뜻하고 명랑한 색으로, 넓은 면적에 유용하다. 그러나 지나치면 지루하고 진부한 이미지를 주므로 다양한 톤으로 변형하여 사용하는 것이 바람직하다. 노랑을 옅게 사용하면 크림색이나 베이지색이 되어 배경으로 활용하기에 적합하고, 어둡게 사용하면 갈색 계열이 되어 순색의 특성을 살려주는 보조 색으로 적합하다.

파랑색 - 따뜻한 기미를 지니지 않은 한색으로 단순함, 순수함, 진실, 엄숙함 등의 분위기를 자아낸다. 그리고 파랑은 사고, 명상 등을 도와주는 색으로 지적인 활동을 하는 장소에 적합하지만, 때에 따라서는 관료적이고 권위적인 이미지를 나타내기도 한다. 파랑의 환경은 체온을 낮추며, 맥박을 느리게 하고 혈압을 낮추는 등 신체적인 영향에서 빨간색과 정반대의 효과를 나타낸다. 파랑을 밝게 사용하면 생생함을 나타내지만, 어둡게 사용하면 가라앉은 느낌을 주어 무겁고 엄숙하며 억압적인 이미지를 나타낸다.

주황색 - 상업적인 환경의 색으로 자주 사용된다. 주황은 옅게 사용하면 살구색

이 되어 부드러운 환경 색으로 사용되고, 주황이 어둡게 사용되면 갈색이 된다. 주황은 우리의 피부색이나 마른 풀, 나무색 등과도 잘 어울리며 편안한 이미지를 지니고 있다.

녹색 - 노랑과 파랑의 이차색으로, 노랑의 유쾌한 특성과 파랑의 차분한 특성을 동시에 함축하고 있으므로, 일반적으로 차분하면서도 명량한 색으로 알려져 있다. 따라서 경쾌한 노랑과 함께 사용하면 안정감을 제공하는 요소로 작용한다. 채도를 낮추고 어둡게 사용하면 위엄과 신뢰감을 증가시켜준다.

흰색 - 위생을 대표하는 색이며 채도가 없기 때문에 순수하고 깨끗함, 단순함 등을 상징하기도 하지만, 채워지지 않고 비어있는 느낌이나 지루함을 주기도 한다. 흰색은 약간의 유채색을 혼합해서 차가운 흰색이나 따뜻한 흰색 등과 같이 다양한 색으로 변형이 가능하며, 실제로 이러한 색들은 배경색으로도 매우 선호되고 있다.

갈색 - 나무의 순박함, 가정이나 농장의 안락함, 벽돌이나 돌과 같은 천연재료의 편안함과 따뜻한 이미지를 지닌다. 갈색은 위엄 있고 차분한 실내 공간 계획에 자주 사용되지만, 생생한 다른 톤과 함께 사용하지 않으면 칩체되고 단조로운 계획이 될 수도 있다[15]. 아래의 Fig. 3는 인간이 느끼는 칼라의 배색 감정 표이다.

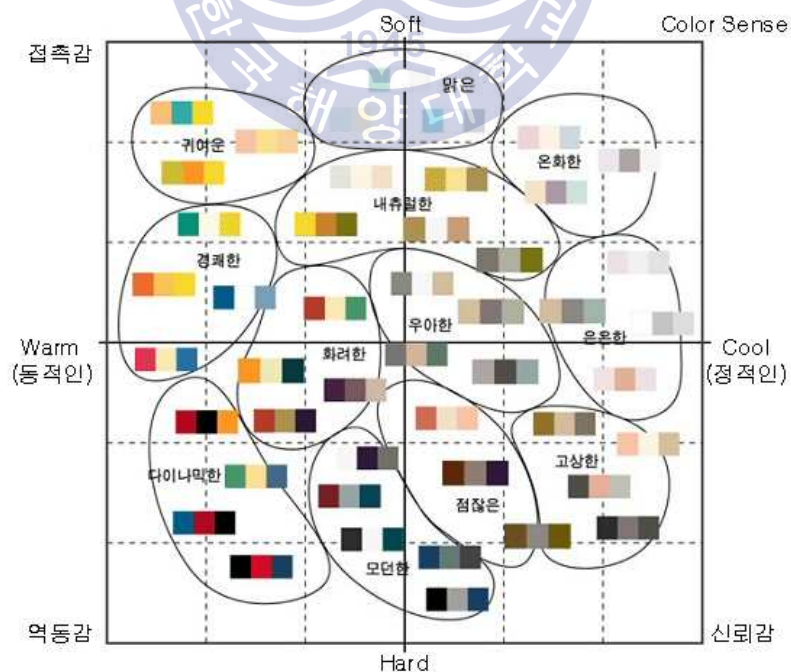


Fig. 3 Color image evaluation on color image scale

2.1.3 상황을 고려한 LED 색상 평가의 필요성

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.

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

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 색상

인지, 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[16].

2.2 퍼지 제어 시스템

2.2.1 퍼지 이론의 개요

퍼지 이론은 1965년, 미국 버클리대학의 Lofti Zedeh 교수가 ‘퍼지집합(Fuzzy Set)’이란 논문을 발표하면서부터 시작되었으며 퍼지 이론은 퍼지 논리를 기초로 하는 이론이며 고전적인 집합론인 부울 논리를 확장한 개념이다[17]. 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[18].

2.2.2 보통 집합과 퍼지 집합 및 연산

고전적 집합론에서 집합이란 확정된 원소들의 모임을 나타내며, 이와 같이 경계가 명확한 보통집합(crisp 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 소속되

면 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. 4는 보통집합과 퍼지집합의 관계를 나타낸 것으로 두 집합사이의 소속 정도를 알 수 있다.

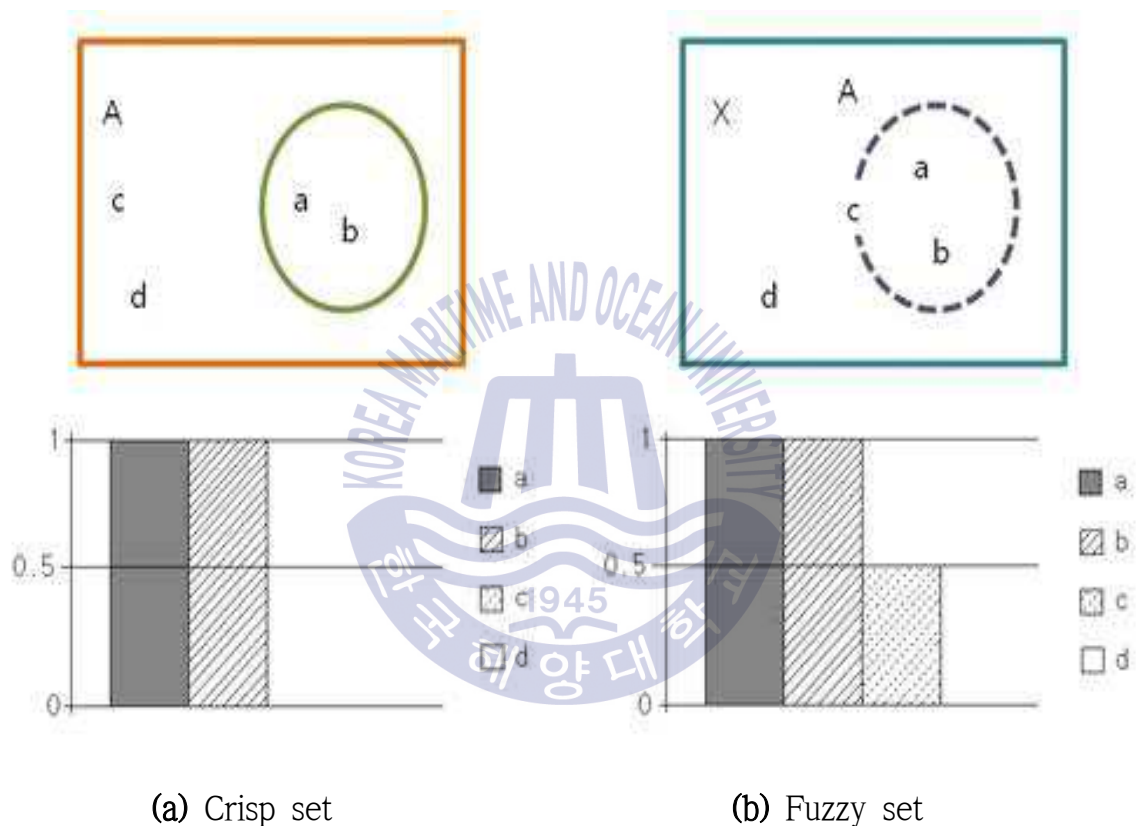


Fig. 4 Crisp set & fuzzy set

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 [19], 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. 5에서 Fig. 7은 퍼지집합의 연산인 퍼지 합집합, 퍼지 교집합, 퍼지 여집합을 나타낸 것이다.

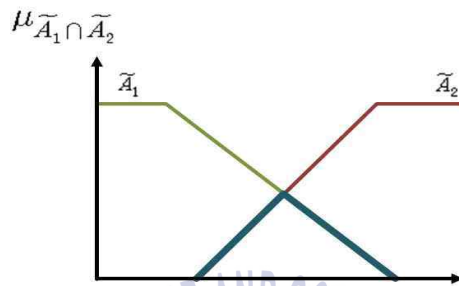


Fig. 5 $\tilde{A}_1 \cap \tilde{A}_2$ of Fuzzy set

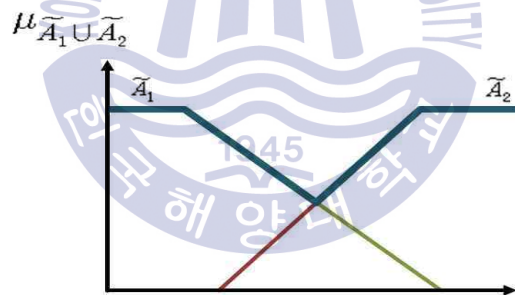


Fig. 6 $\tilde{A}_1 \cup \tilde{A}_2$ of Fuzzy set

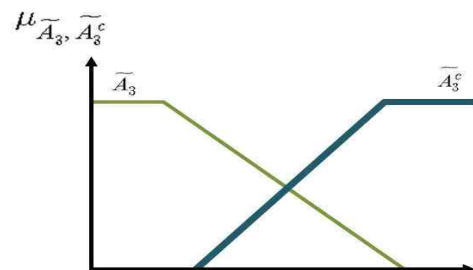


Fig. 7 \tilde{A}_3^c of Fuzzy set

2.2.3 퍼지 추론

“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 [20].

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. 8은 이를 나타내고 있다.

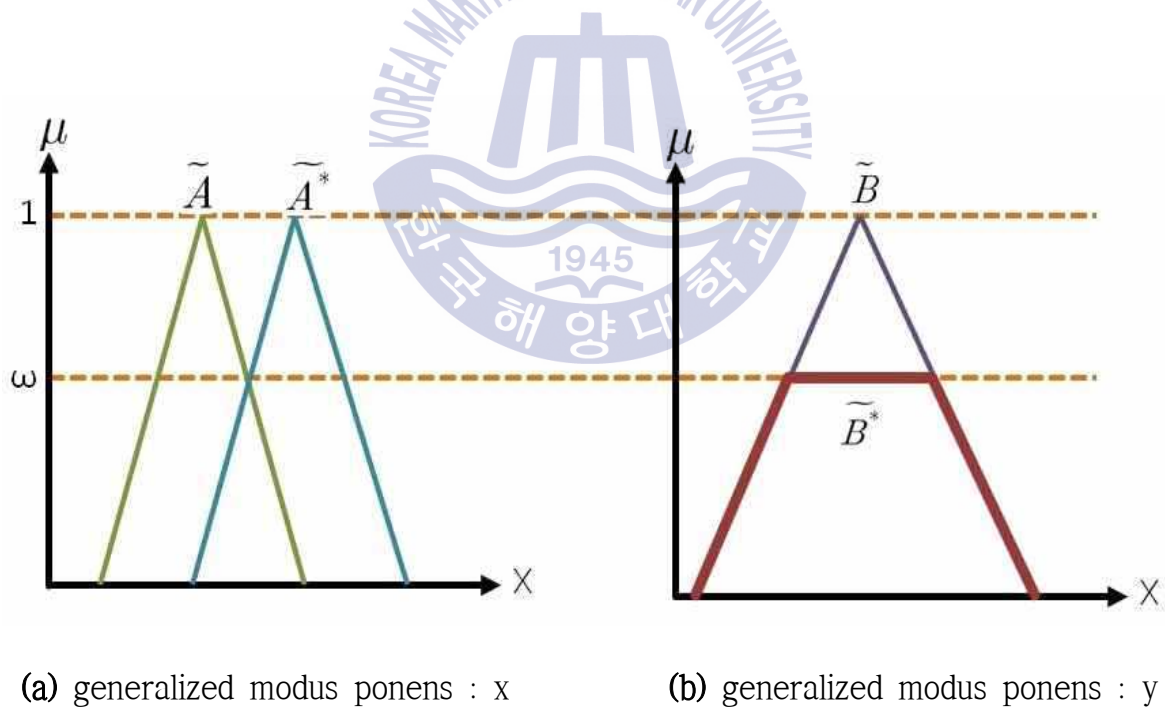


Fig. 8 Inference of Mamdani

2.2.4 퍼지 제어기의 구성

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

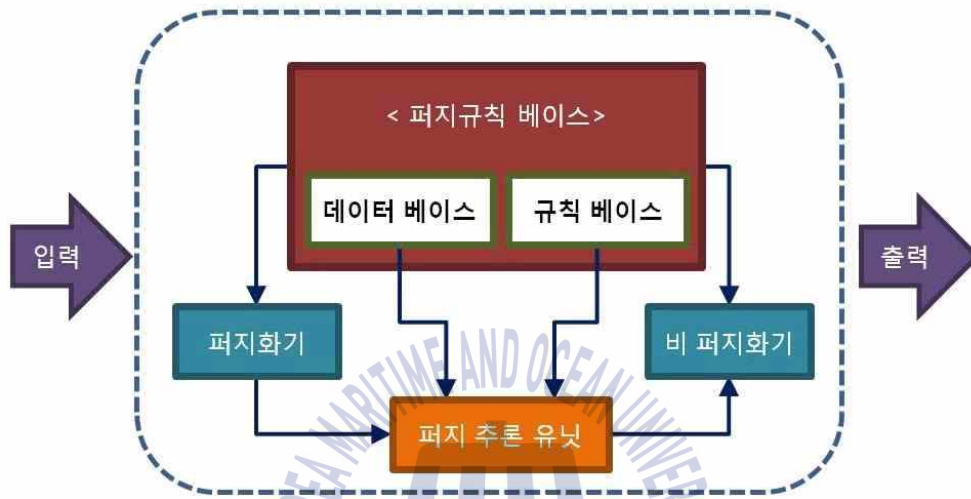


Fig. 9 Structure of fuzzy controller

위의 Fig. 9는 기본적인 퍼지 제어기의 구조를 나타내고 있으며, 퍼지 추론을 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. 10과 같다.

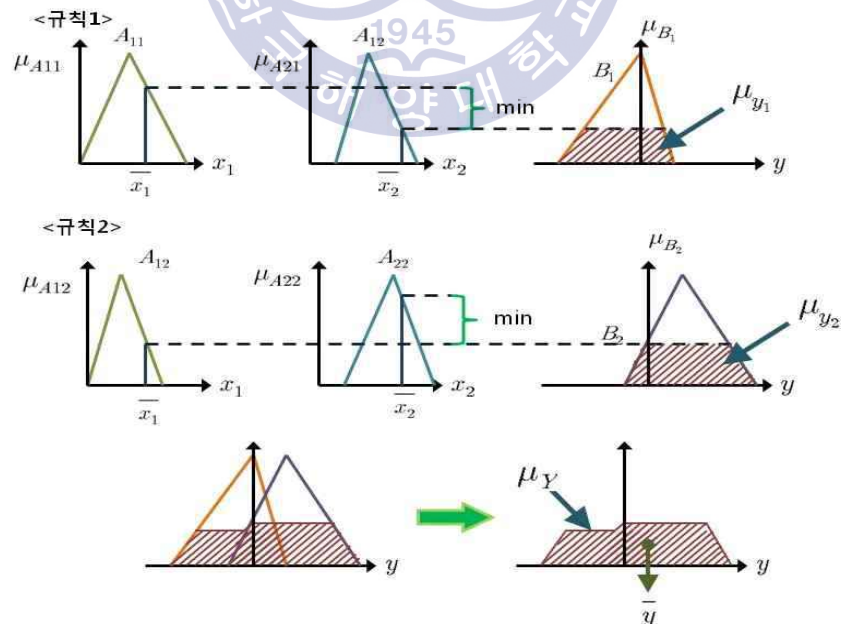


Fig. 10 Fuzzy inference process

지금까지 앞장에서 설명한 이론을 바탕으로 퍼지 제어를 설계할 때 결정해야 할 주요사항을 정리하면 다음과 같다.

① 퍼지 제어기의 입·출력변수들과 그들의 퍼지 값 결정

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

② 지식 기반(knowledge base)의 설계

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

③ 수치적인 입력변수 값의 퍼지화 방법 결정

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

④ 퍼지추론 방법의 결정

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

⑤ 출력 퍼지 값의 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[26].

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

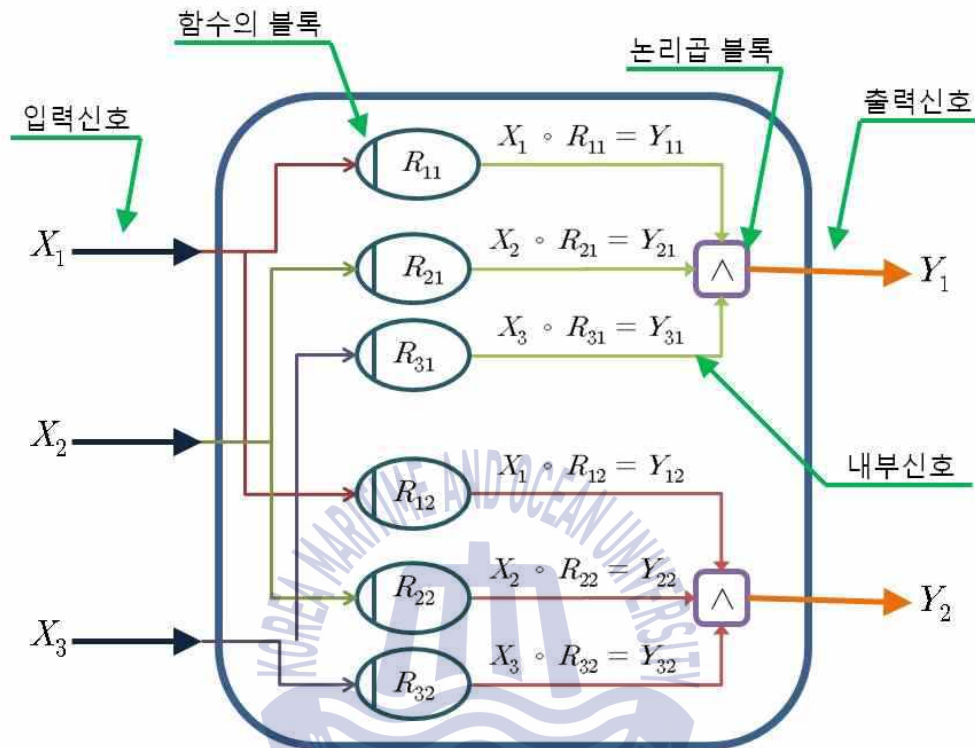


Fig. 11 Block diagram of variable structure of the fuzzy system

2.3 ATmega128 마이크로 컨트롤러

2.3.1 AVR의 개요

AVR은 Alf(Bogen) Vergard(Wollen) Risc의 약자로서 ATMEL사에서 제작된 RISC 구조의 MCU이다. 가격적인 측면에서는 약간 고가라는 단점이 있으나 1 cycle에 1 instruction이 수행되는 고속의 MCU라는 점, ISP(In System Programming)이라는 기능을 통해 매우 저렴하게 개발환경을 구축할수 있다는 점, RISC 타입이고, Harvard Architecture의 특징으로 C언어에서 우수한 성능을 발휘한다는 점, 막강한 각종 컴파일러가 무료로 제공된다는 점, 이밖에 ADC, PWM, SPI 등등의 고기능을 손쉽게

구현할 수 있다는 장점이 있다.

또한 AVR의 강점으로 꼽을 수 있는 것은 제작사가 컴파일러 WAVRASM 과 상당히 강력한 디버거인 AVR Studio를 제공한다는 것이다.

간단하게 ATmega128의 특징을 정리하면 아래와 같다.

- 네트워크 연결성이 용이하다. (USB, 인터넷, SDRAM 연결)
- 실시간 성능 향상 기능이 있어 주변기기 사이의 빠른 신호처리 응용에 적합.
- 크기가 작고 저렴하며 응용분야에 적합하다.
- 진동과 충격, 혹독한 온도 환경에서 동작 보장.

2.3.2 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.

비휘발성 프로그램과 데이터 메모리를 가지며 128Kbyte의 ISP(In System Programming)로 재프로그램 가능한 플래시 메모리를 내장하고 있다.

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.

2.3.3 ATmega128의 내부 구조

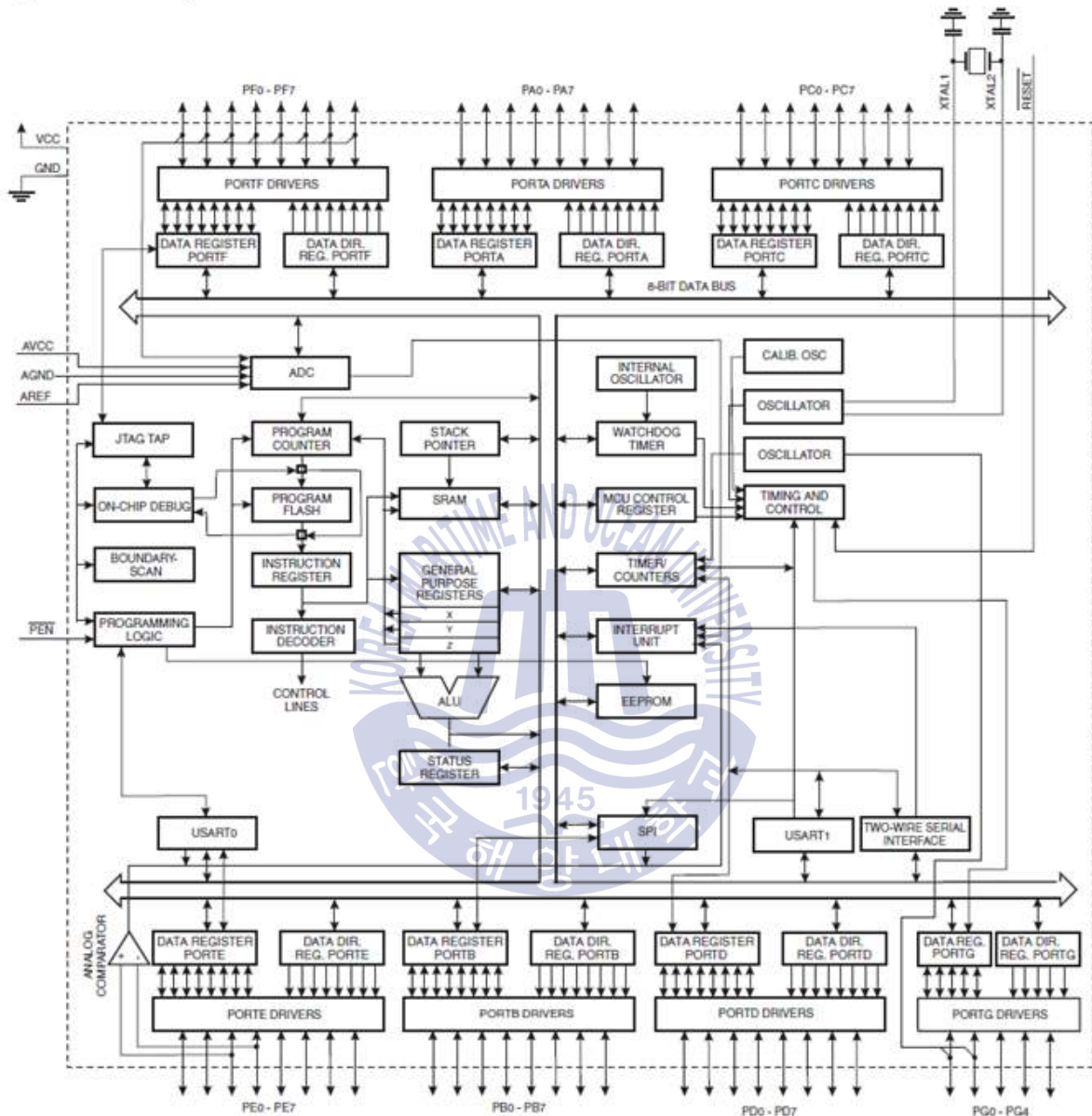


Fig. 12 Block diagram of ATmega128

명령어 레지스터(IR)은 프로그램 카운터가 지칭한 곳에서 명령어 레지스터로 명령어 인출을 하는 역할을 하며, 명령어에는 명령코드, 오퍼랜드, 연산 결과 저장 위치 필드를 가진다.

명령어 디코더는 명령어 레지스터의 명령코드를 디코딩하여 제어 신호 생성,

ALU는 명령코드에 해당되는 연산동작을 수행하게 하며, 제어 신호는 연산 대상이 되는 오퍼랜드가 ALU에 전달되게 하는 역할을 한다. 제어 신호는 연산 결과를 저장할 수 있게 설계되어 있다.

스택 포인터는 스택에 임시 데이터, 로컬 변수, 호출된 함수의 복귀 주소 등을 저장하고, 스택 포인터(Stack Pointer)는 스택의 TOP을 저장하는 특수 레지스터이다. 스택에 데이터가 저장되면, 스택 공간은 커지게 되며, 스택 포인터의 주소는 높은 값에서 낮은 값으로 감소하게 된다. PUSH 명령어의 경우 데이터가 스택에 저장되고, 이때 스택 포인터는 1씩 감소한다. POP 명령어는 데이터를 스택의 TOP에서 꺼내며, 이때 스택 포인터는 1씩 증가한다.

메모리는 프로그램 영역 메모리와 데이터 영역 메모리로 나눌 수 있는데, 프로그램 영역 메모리는 PC로 접근 가능하며, 데이터 영역 메모리는 Data Address로 접근이 가능하다. 아래 Fig. 13와 Fig. 14는 각 메모리별 맵을 확인할 수 있다.

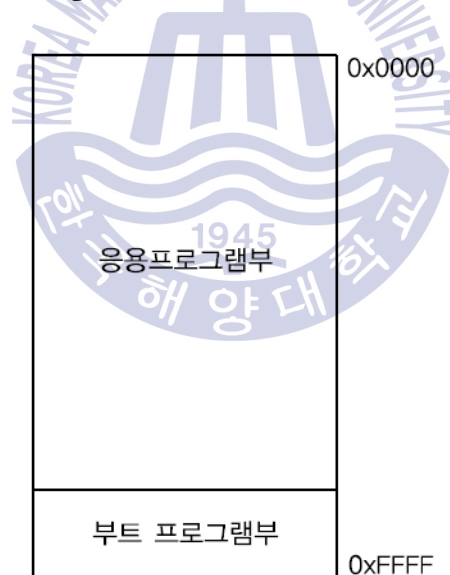


Fig. 13 Program area memory map of ATmega128



Fig. 14 Data area memory map of ATmega128

범용 레지스터는 데이터 레지스터와 주소 레지스터 2가지로 나눌 수 있는데, 데이터 레지스터의 경우 R0 ~ R25까지 할당 되어 있으며, 데이터를 저장하는 역할을 수행한다. 주소 레지스터는 R26 ~ R31까지 할당 되어 있으며, 레지스터 간접 주소 방식을 위한 레지스터이고 메모리 주소 0x1A ~ 0x1F에 해당한다.

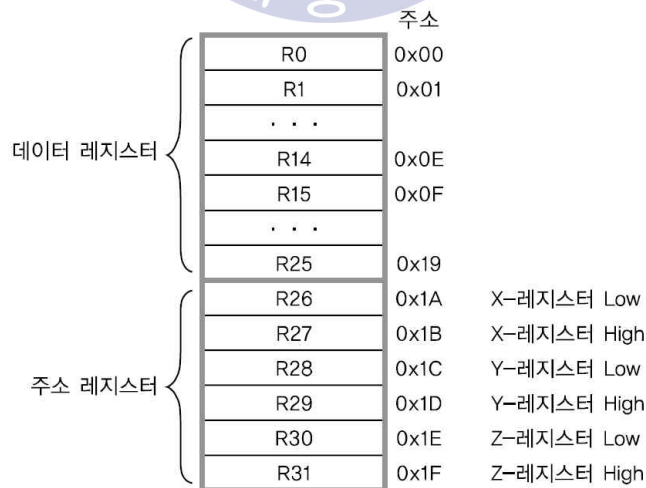


Fig. 15 Address assignment map of register file of ATmega128

상태 레지스터는 가장 최근에 실행된 산술연산의 결과 정보를 저장하고, 이 결과에 따라 다음에 실행되는 프로그램의 흐름을 제어 명령어에 영향을 준다. 예를 들면, 인터럽트가 발생했을 때 상태 레지스터를 하드웨어가 자동으로 저장, 복귀 되지 않고 소프트웨어적으로 저장, 복귀 동작을 수행하여야 한다. 아래 Fig. 16과 Table 3는 각 비트 별 초깃값과 그에 대한 설명이다.

	비트	7	6	5	4	3	2	1	0
SREG		I	T	H	S	V	N	Z	C
읽기/쓰기		R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
초깃값		0	0	0	0	0	0	0	0

Fig. 16 Configuration of each bit of status register

Table 3 Status register Description for each bit

비트명	읽기 / 쓰기	초깃값	설 명
I	R/W	0	전역 인터럽트 활성화 비트 - 이 비트가 1이고, 개별적인 인터럽트 활성화 비트가 1이 되어야 인터럽트가 작동한다. - 인터럽트 서비스 루틴이 실행되면 자동으로 0이 되고, IRET 명령으로 인터럽트 서비스 루틴이 종료되면 자동으로 1이 된다. - SEI 명령으로 1, CLI 명령으로 0을 만들 수 있다.
T	R/W	0	비트 복사 / 저장 비트 - BST 명령으로 레지스터의 한 비트를 T 비트에 복사한다. - BLD 명령으로 T 비트를 레지스터의 한 비트에 복사한다.
H	R/W	0	반 캐리(Harf carry) 비트 - 연산 결과 비트 3에서 비트 4로 캐리가 발생하면 1이 된다. - BCD(Binary-Coded Decimal) 연산에 유용하다.
S	R/W	0	부호 비트 - $N \oplus V$, 음수 플래그와 2의 보수 오버플로 플래그의 배타적 OR
V	R/W	0	2의 보수 오버플로 플래그 - 연산 결과 $b7 \oplus b6$, 비트 7과 비트 6의 배타적 OR
N	R/W	0	음수 플래그 - 연산 결과 MSB가 1이면 음수 플래그가 1이 된다.
Z	R/W	0	제로 플래그 - 연산 결과 모든 비트가 0이면 제로 플래그가 1이 된다.
C	R/W	0	캐리 플래그 - 연산 결과 MSB에서 캐리가 발생하면 1이 된다.

제 3 장 인공지능형 LED 조명 제어기의 구성 및 설계

본 장에서는 LED 조명 시스템의 소프트웨어 측면에서 구성 및 설계를 서술하였다. 퍼지 알고리즘 구성 및 제어 규칙의 설정, 비퍼지화 과정, MATLAB 시뮬레이션으로 구성되어 있다.

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[27]. 본 논문에서는 마이크로 프로세서로 입력되는 값은 조도, 거리 2가지 변수이다. 그리고 이 변수는 퍼지연산으로 LED 조명 색의 값을 도출한다. Fig. 17은 본 논문에서 이용된 제어시스템의 대략적인 블록도이다.

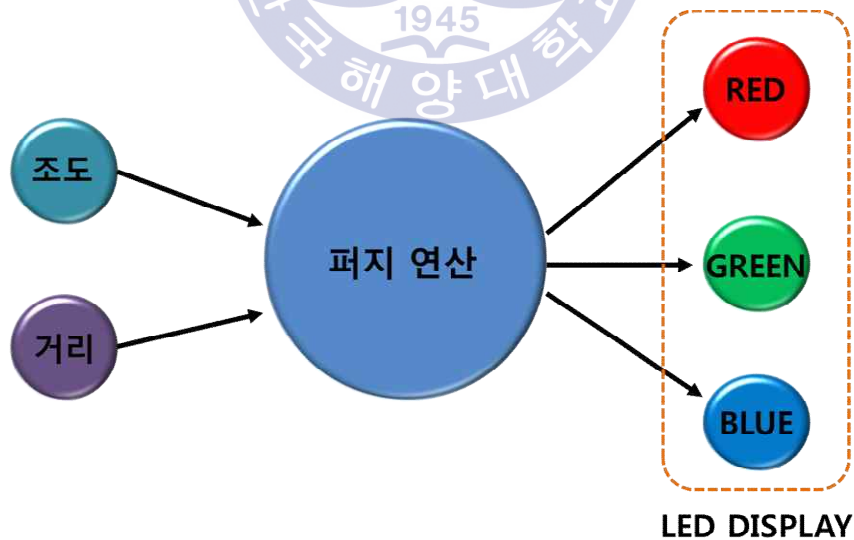


Fig. 17 Block diagram of fuzzy system

본 논문의 퍼지추론에서 사용된 입출력 언어변수의 설정은 다음의 Table 4와 같다.

Table 4 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 Cds 센서의 측정 범위가 0 ~ 50 룩스 이므로 중간 값인 25 룩스로 설정하고 각 클래스 당 50 룩스의 범위를 가지도록 하였다. 다음 Fig. 18는 설정된 조도 멤버십 함수이다.

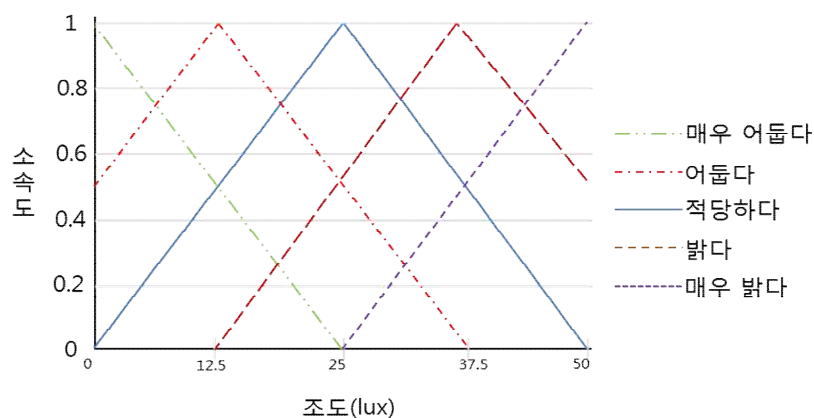


Fig. 18 Function of illuminance membership

‘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 적당하다는 퍼지 멤버십 함수는 0.5, 어둡다는 퍼지 멤버십 함수는 1이며, 매우 어둡다는 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. 19는 설정된 거리 멤버십 함수이다.

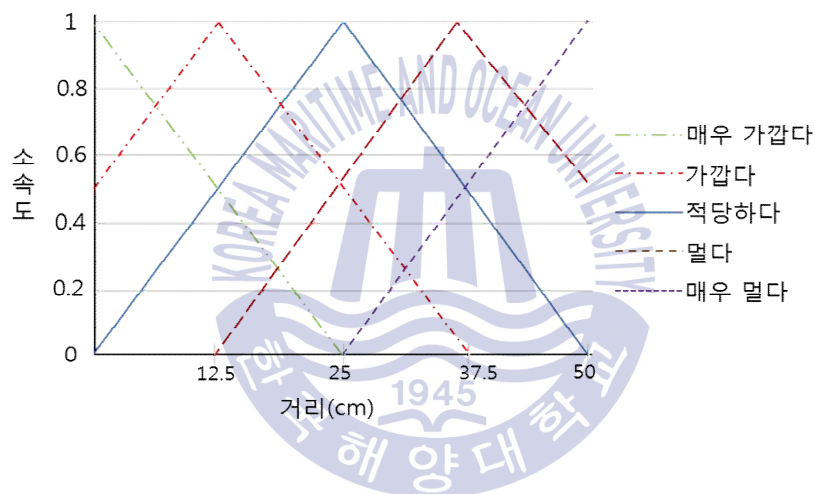


Fig. 19 Function of distance membership

‘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. 20와 같다.

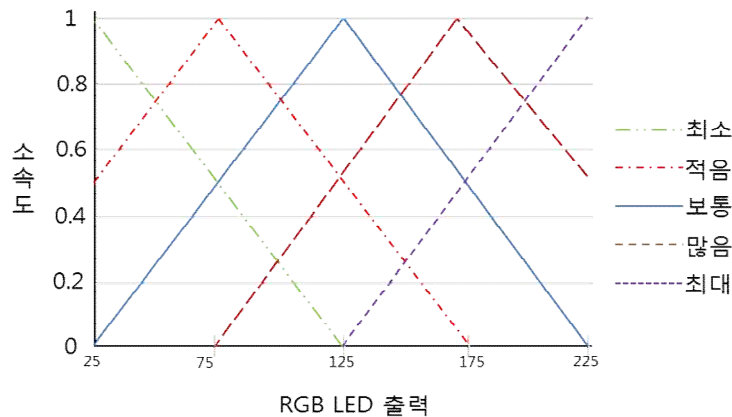


Fig. 20 Function of RGB output membership

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 5와 같다.

Table 5 LED Fuzzy and Crisp Output Color Values

	색 상	색상 별 언어변수 출력	색상 별 PWM 출력 값		
			Red	Green	Blue
1	Red	Red: 최대(VH) Green : 최소(VA) Blue : 최소(VA)	255	0	0
2	Yellow	Red: 최대(VH) Green : 최대(VH) Blue : 최소(VA)	255	255	0
3	Green	Red: 최소(VA) Green : 최대(VH) Blue : 최소(VA)	0	255	0
4	Cyan	Red: 최소(VA) Green : 최대(VH) Blue : 최대(VH)	0	255	255
5	Blue	Red: 최소(VA) Green : 최소(VA) Blue : 최대(VH)	0	0	255
6	Purple	Red: 보통(S) Green : 최소(VA) Blue : 보통(S)	128	0	128
7	Light Pink	Red: 최대(VH) Green : 많음(H) Blue : 많음(H)	255	182	193
8	Orange	Red: 최대(VH) Green : 많음(H) Blue : 최소(VA)	255	165	0
9	Green Yellow	Red: 많음(H) Green : 최대(VH) Blue : 최소(VA)	173	255	47
10	Light Cyan	Red: 최대(VH) Green : 최대(VH) Blue : 최대(VH)	224	255	255
11	Dodger Blue	Red: 최소(VA) Green : 보통(S) Blue : 최대(VH)	30	144	255
12	Magenta	Red: 최대(VH) Green : 최소(VA) Blue : 최대(VH)	255	0	255
13	Violet	Red: 최대(VH) Green : 보통(S) Blue : 최대(VH)	238	130	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 퍼지논리 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[28].

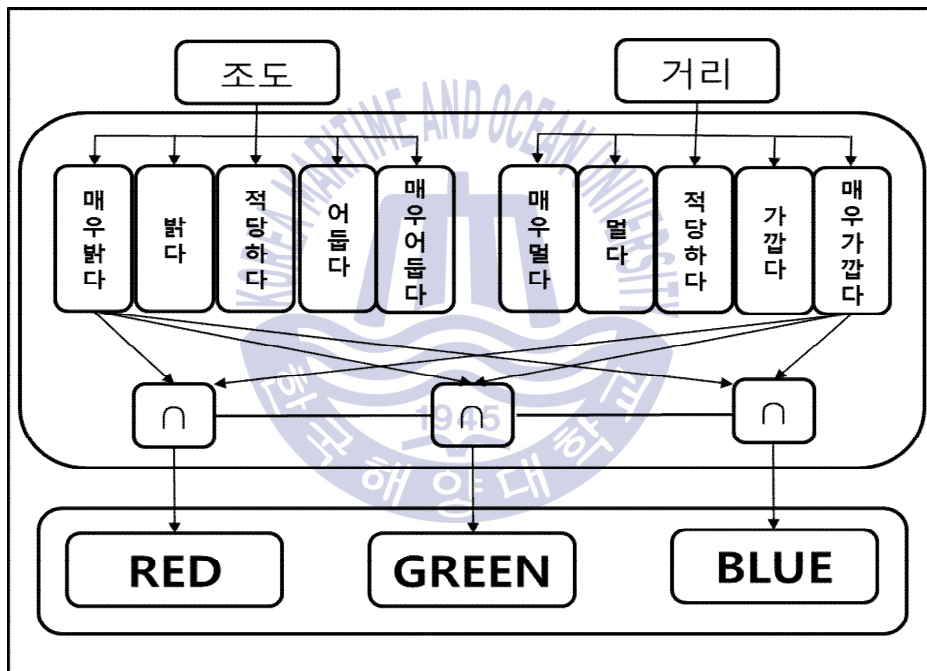


Fig. 21 Multivariate fuzzy algorithm block diagram

위의 Fig 21. 퍼지 알고리즘 블록도를 기반으로 작성된 규칙 Table은 아래의 Table 6으로 나타내었다. 입력변수들은 편의를 위해 다음과 같이 조도는 LX, 거리는 DS로 나타내었다. 또한 출력 값인 RGB 출력의 각 값을 나타내었다.

Table 6 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:128,G:0,B:128) RED : 보통 GREEN : 최소 BLUE : 보통	Magenta (R:255,G:0,B:255) RED : 최대 GREEN : 최소 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	Blue (R:0,G:0,B:255) RED : 최소 GREEN : 최소 BLUE : 최대
가깝다 (20cm 이하)	Light Pink (R:255,G:182,B:193) RED : 최대 GREEN : 많음 BLUE : 많음	Violet (R:238,G:130,B:238) RED : 최대 GREEN : 보통 BLUE : 최대	Light Cyan (R:224,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:255,G:255,B:0) RED : 최대 GREEN : 최대 BLUE : 최소	Green Yellow (R:173, G:255, B:47) RED : 많음 GREEN : 최대 BLUE : 최소	Green (R:0,G:255,B:0) RED : 최소 GREEN : 최대 BLUE : 최소	Light Cyan (R:224,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:255,G:165,B:0) RED : 최대 GREEN : 많음 BLUE : 최소	Yellow (R:255,G:255,B:0) RED : 최대 GREEN : 최대 BLUE : 최소	Green Yellow (R:173,G:255,B:47) RED : 많음 GREEN : 최대 BLUE : 최소	Violet (R:238,G:130,B:238) 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:165,B:0) RED : 최대 GREEN : 많음 BLUE : 최소	Yellow (R:255,G:255,B:0) RED : 최대 GREEN : 최대 BLUE : 최소	Light Pink (R:255,G:182,B:193) RED : 최대 GREEN : 많음 BLUE : 많음	Purple (R:128,G:0,B:128) RED : 보통 GREEN : 최소 BLUE : 보통

위의 Table 7의 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.

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 Crisp 값이어야 한다. 색상의 값은 조도가 매우 어둠에서 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[29].

3.5 MATLAB 시뮬레이션

비퍼지화 및 결과는 무게중심법(Center of gravity method)을 이용하여 MATLAB 시뮬레이션을 진행하였다. 아래의 Fig. 22은 MATLAB 퍼지 연산의 블록도 이다.

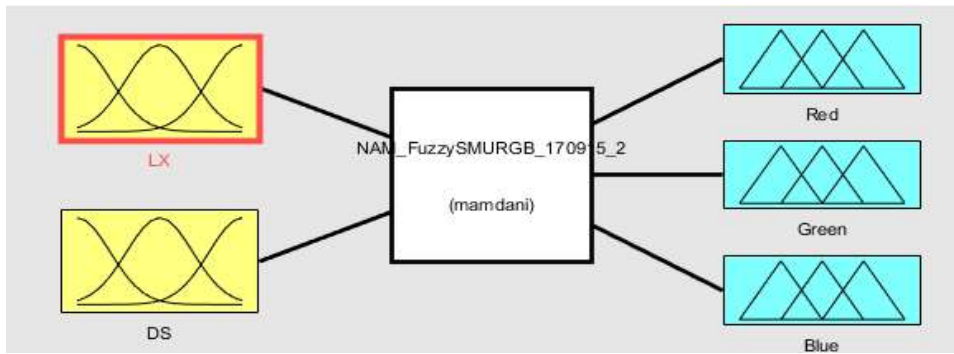


Fig. 22 Block diagram of MATLAB fuzzy

아래 Fig. 23 ~ Fig. 25은 2장에서 정의하였던 조도, 거리, 출력 3가지 멤버십 함수를 MATLAB 시뮬레이션에 적용한 것이다.

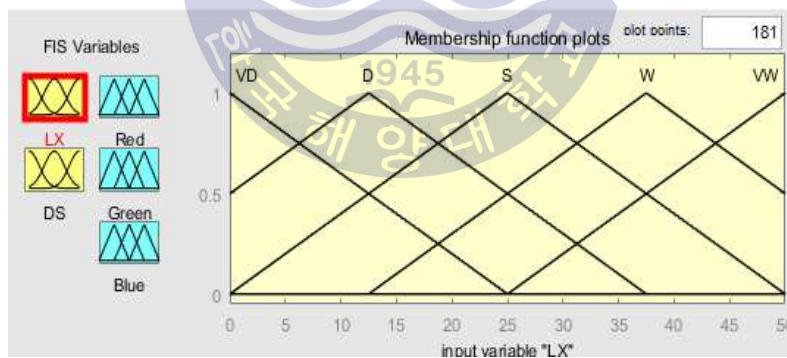


Fig. 23 Illuminance membership of MATLAB fuzzy

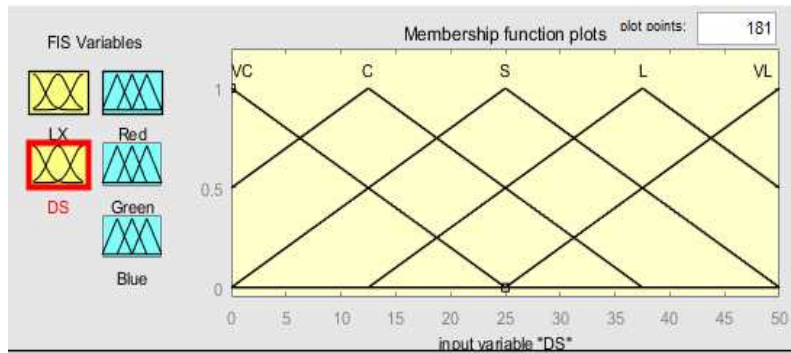


Fig. 24 Distance membership of MATLAB fuzzy

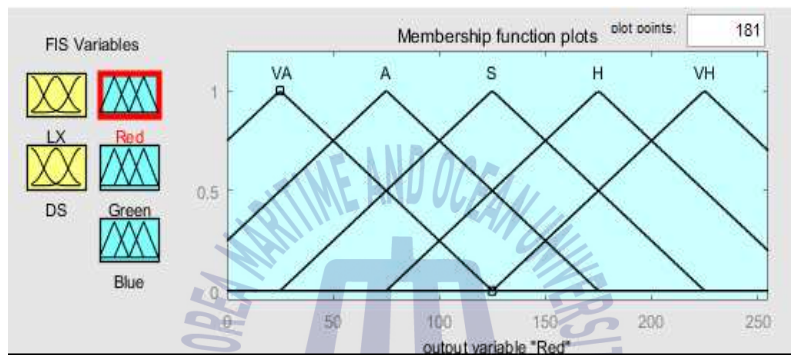


Fig. 25 Output membership of MATLAB fuzzy

입력 변수 2개(조도, 거리)와 출력 변수(RGB) 1개를 3장에서 설정한 규칙들에 의해 퍼지 연산을 진행하여 실험을 진행하였다.

제 4 장 인공지능형 LED 조명 제어기의 구현

4.1 하드웨어 구성

하드웨어의 구성은 입력변수인 조도와 거리의 입력을 수신하는 입력부와 이를 처리하여 퍼지 연산을 수행하는 AVR 제어부, 퍼지연산 결과 값의 출력을 표현하기 위한 LED 제어부 와 CLCD 출력부, 220VAC 전원을 LED 조명 시스템에 맞게 12VDC로 변환하여 LED 모듈 및 제어기에 전원을 인가시켜주는 SMPS, 12VDC 전원을 LED 제어보드에서 사용하게 해주는 5VDC 변환하여 주는 전원부로 구성되어 있다.

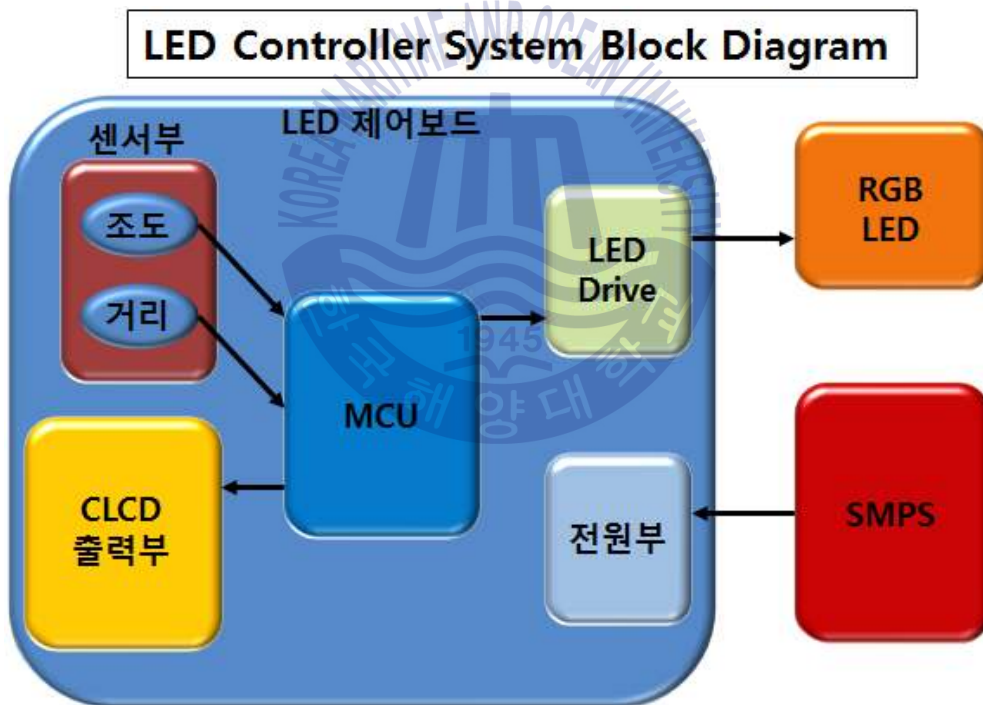


Fig. 26 Block diagram of LED lighting system

4.2 LED 조명 제어보드

4.2.1 전원부

LED 조명 제어보드에 전원을 인가하기 위하여 정격 입력전력이 30W인 SMPS를 사용하였다. 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 12VDC 이므로 220VAC를 12VDC로 변환 시켜주는 AC/DC 컨버터를 사용하였다. 30W용량의 SMPS는 비교적 작은 용량이므로 다수의 RGB LED를 동시에 제어하기에 부족함이 있다고 판단하여, RGB LED Module 4구 모델을 기준으로 2개의 RGB LED만을 사용하였다. SMPS의 용량이 200W 이상일 경우 최대 200여개의 RGB LED를 제어할 수 있다. 초음파 거리 센서, 조도 센서, ATmega128 MCU, CLCD의 경우 Typical 전압이 5VDC 이므로 전압강하 소자인 Bipolar linear IC KIA7805를 이용하여 전압을 낮춰서 공급하였다. RGB DRIVE부의 경우 12VDC를 사용하므로 SMPS에서 입력되는 전압을 BYPASS 시켜줌으로써 조명 제어보드의 전원 구성부를 간단하게 설계하였다. 회로는 Fig. 27와 같이 구성하였다.

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

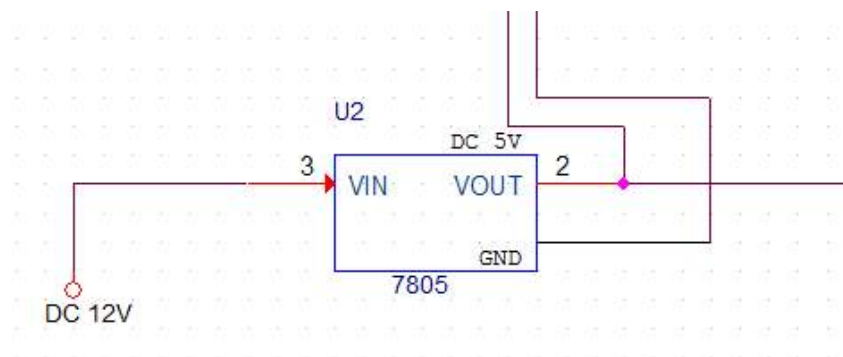


Fig. 27 Circuit of KIA7805

4.2.2 AVR 제어부

본 시스템의 MCU는 Atmel사의 8비트 RISC 마이크로 컨트롤러인 ATmega128 모델을 사용하였으며, 회로는 다음의 Fig. 28와 같다.

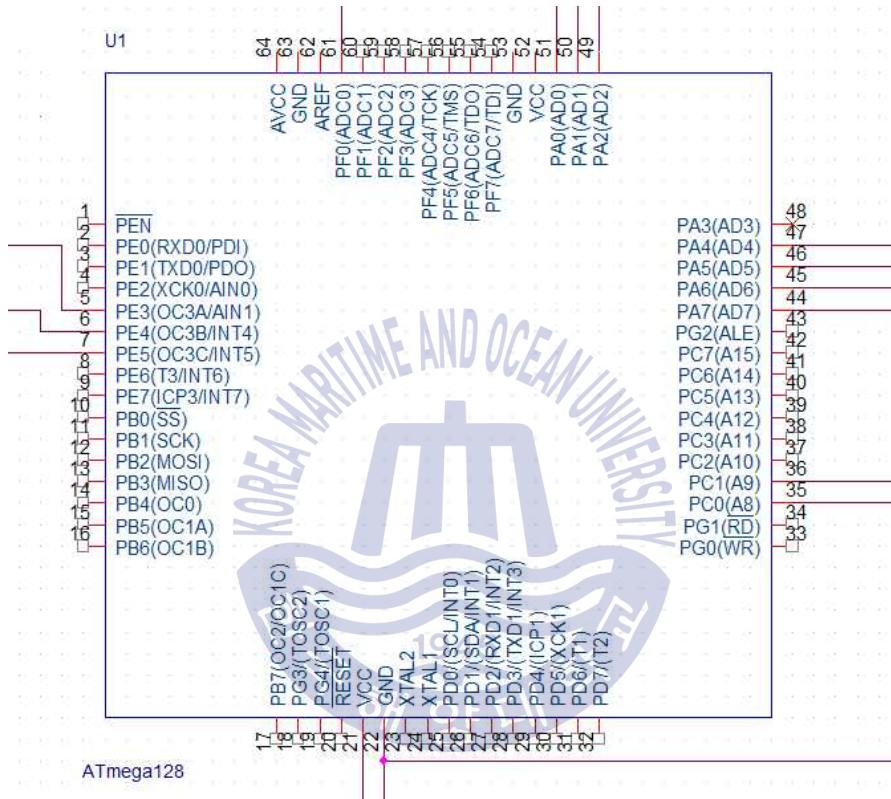


Fig. 28 Circuit of ATmega128

AVR제어부에서는 조도센서와 거리센서의 ADC 값을 받아서 실제로 각 RGB LED Module의 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/카운터1을 쓰고 FAST PWM, CTC모드 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 (46)으로 정의된다.

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

CTC 모드의 타이밍도는 다음의 Fig. 29와 같다.

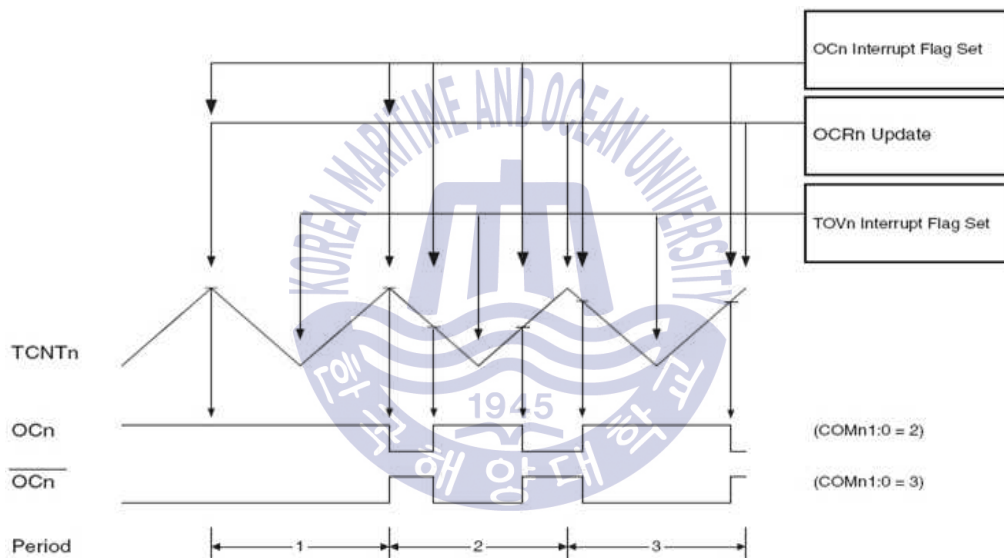


Fig. 29 Timing diagram of CTC mode

4.2.3 CLCD 출력부

LCD는 16x4 Line의 일반적인 CLCD(Character Liquid Crystal Display)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 7, Fig. 30, Fig. 31과 같다.

Table 7 CLCD control command

기능	제어 신호		명령어 코드값								실행 시간
	RS	R \bar{W}	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

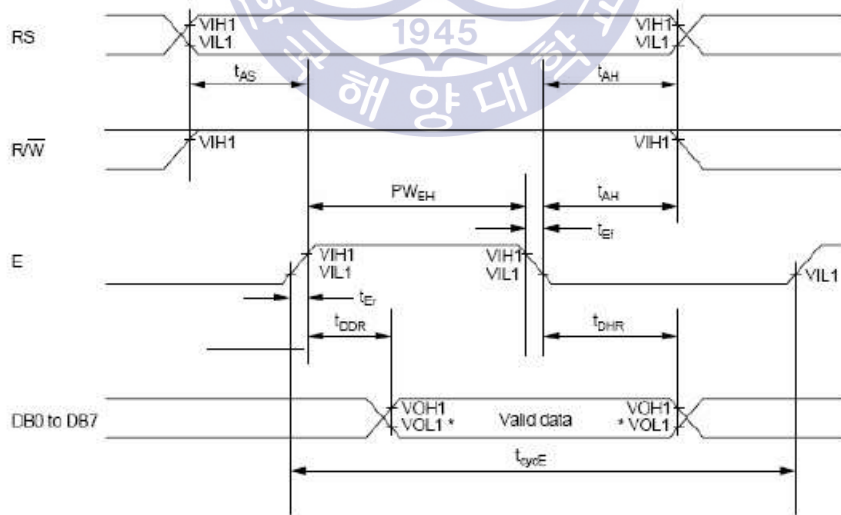


Fig. 30 Timing diagram of reading mode

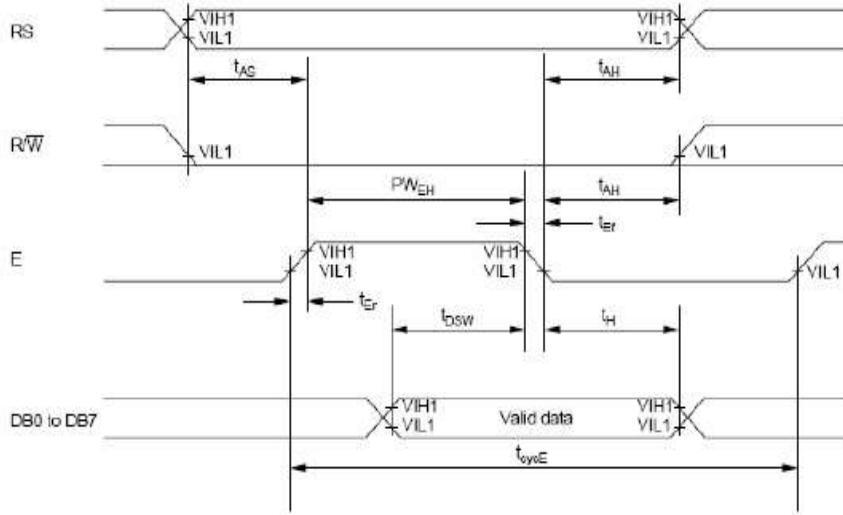


Fig. 31 Timing diagram of writing mode

CLCD의 LD4, LD5, LD6, LD7 4비트를 사용하여 문자 출력을 구현하였으며, 야간 시 인성 향상을 위하여 10K 가변저항을 CONTRAST부에 추가하여 글자 밝기를 가변 가능 하게 구현하였다. 회로는 Fig. 32과 같이 구성하였다.

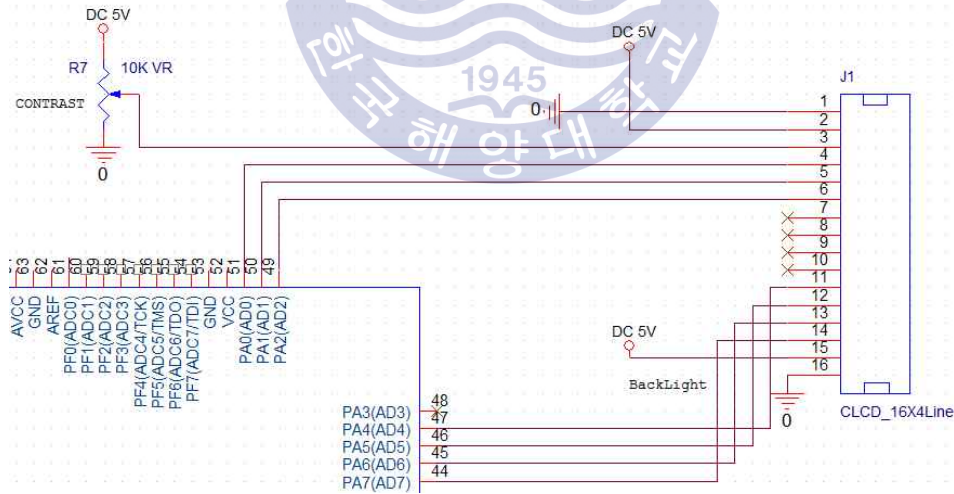


Fig. 32 Circuit of CLCD

4.2.4 LED 제어부

연산 결과값을 RGB 색상으로 내주는 LED RGB module은 RGB LED 4구 모듈을 사용하였다. MCU에서 출력되는 값은 TTL 전압 레벨인 5VDC이므로 LED RGB module을 구동시킬 수 없다. LED RGB module의 구동전압은 12VDC로 전원부인 SMPS부에서 직접 인가를 한다. MCU에서 나오는 값인 High, Low 5VDC 출력은 MOSFET의 게이트로 연결되어 LED RGB module을 ON-OFF 스위칭 하는 역할을 한다. 게이트단의 신호에 따라 module에 전원을 인가하여 색상을 표현하게 된다.

LED RGB module에는 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 module을 약 800여개까지 연결이 가능하다. 회로는 Fig. 33과 같이 구성하였다.

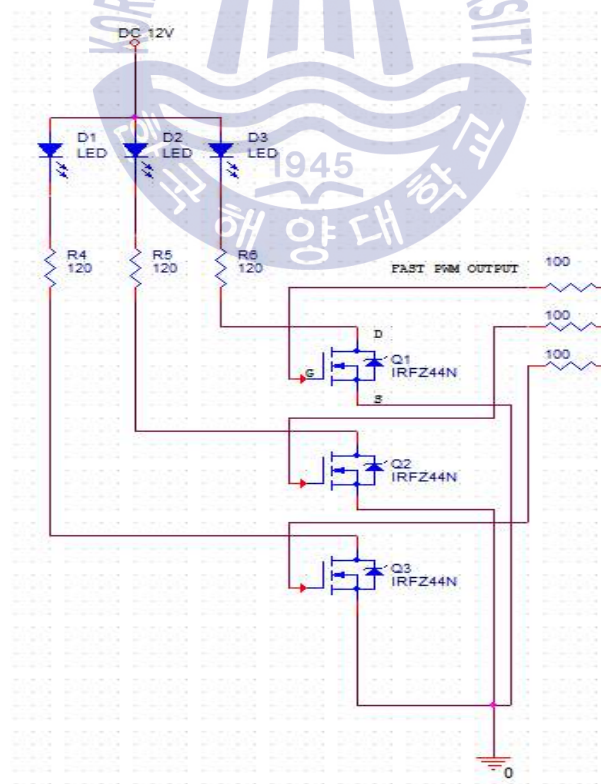


Fig. 33 Circuit of RGB LED drive

4.2.5 센서 입력부

센서의 입력은 조도 센서, 거리 센서의 값을 MCU에서 ADC 값으로 수신한 후, 각 입력 값을 퍼지 연산을 통하여 산출된 값을 CLCD 및 RGB LED module로 데이터를 송신한다. 조도 센서는 광센서의 가장 기본적인 센서중 하나로서, 빛의 밝기에 대하여 전기적인 성질로 변환시켜주는 역할을 하는 센서이다.

조도 센서는 황화카드뮴을 사용하는 구성 및 사용이 쉬운 보편적인 CdS 센서를 선정하였다. 이 소자는 보통 밝기에 비례하여 저항이 선형적으로 증가하는 것이 아니라 Log 그래프에 가까운 형태를 띠기 때문에 정확한 Lux 값을 구하기보다는 밝다, 어둡다의 정도만 판별하기에 적합한 센서이다. 본 논문에서는 세밀하고 선형적인 Lux 값의 입력보다 퍼지 추론에 적합한 CdS 센서를 선택하였다. 회로는 다음 Fig. 34와 같다.

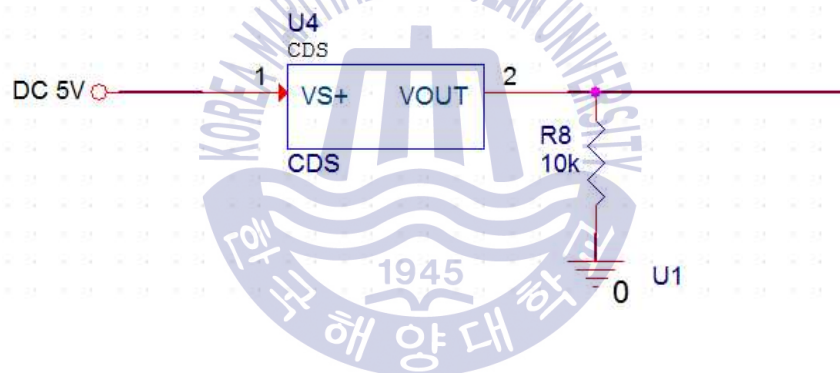


Fig. 34 Circuit of illuminance sensor

거리 센서는 Parallax사의 SRF-04 초음파 거리 측정 센서를 사용하였다. 이 센서는 다른 초음파 거리 측정 센서에 비하여 구성이 쉽고 가격이 저렴한 장점이 있다. 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. 35과 같다.

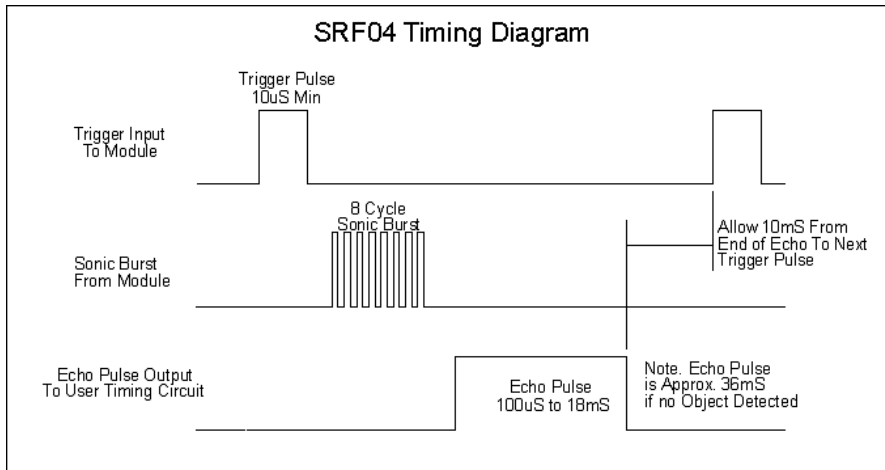


Fig. 35 SRF04 Timing diagram

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. 36로 나타낼 수 있으며, 회로는 Fig. 37처럼 구성하였다.

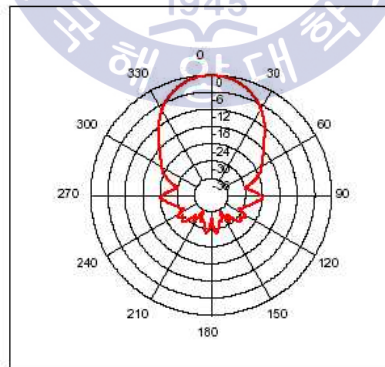


Fig. 36 SRF04 of oriented angle

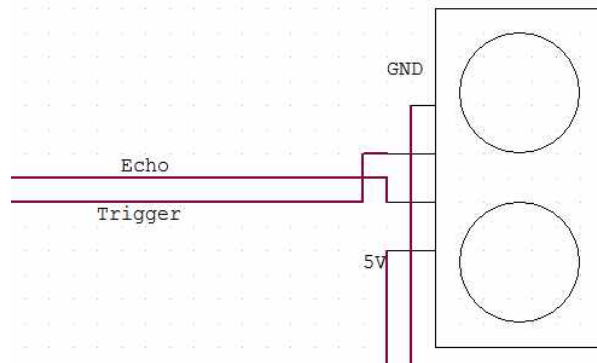


Fig. 37 Circuit of ultra sonic sensor

4.3 LED 조명 제어보드 제작

위의 내용을 바탕으로 해서 제어기를 만능기판에 제작하였다. 완성된 LED 조명 제어기의 전체 모습은 Fig. 38과 같다.

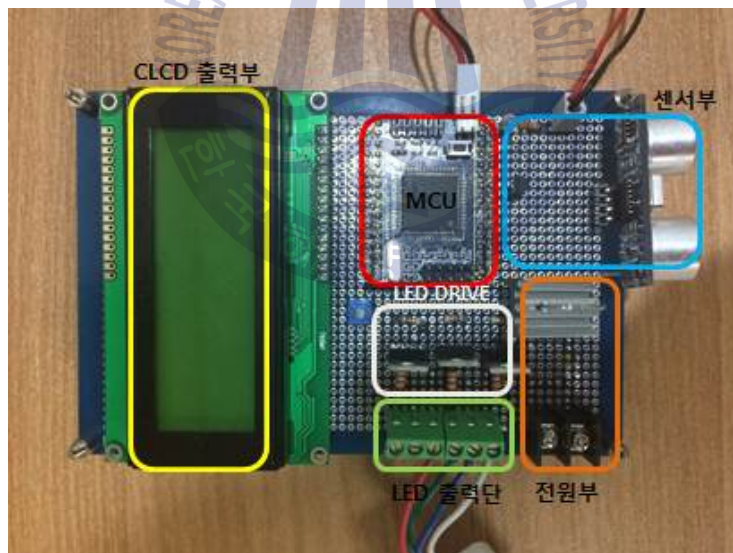


Fig. 38 Completed ATmega128 LED lighting controller

LED 출력단은 1개의 채널로 구현했으며 전원부의 경우, 외부 SMPS에서 12VDC를 입력받는 형태로 구현하였다. CLCD에 CONTRAST 가변저항을 달아서 밝기를 조절할 수 있게 하였다. 외부 SMPS의 용량에 따라서 제어할 수 있는 LED의 양을 조절하기 위하여 보드와 별도로 분리되어 있는 SMPS를 사용하였다.

제 5 장 실험 및 결과

5.1 실험 방법

피사체에 따른 LED 조명의 출력 상태를 확인하기 위하여, 1개의 채널에 12VDC 4구 LED 모듈 2개를 연결하고 220VDC를 12VDC로 변환시키기 위한 SMPS와 LED CONTROL BOARD를 연결하여 구성하였다. 실험은 한국해양대학교 공대 내의 퍼지 뉴로 제어 연구실에서 진행하였다. CONTROL BOARD의 구성은 Fig. 39와 같다.

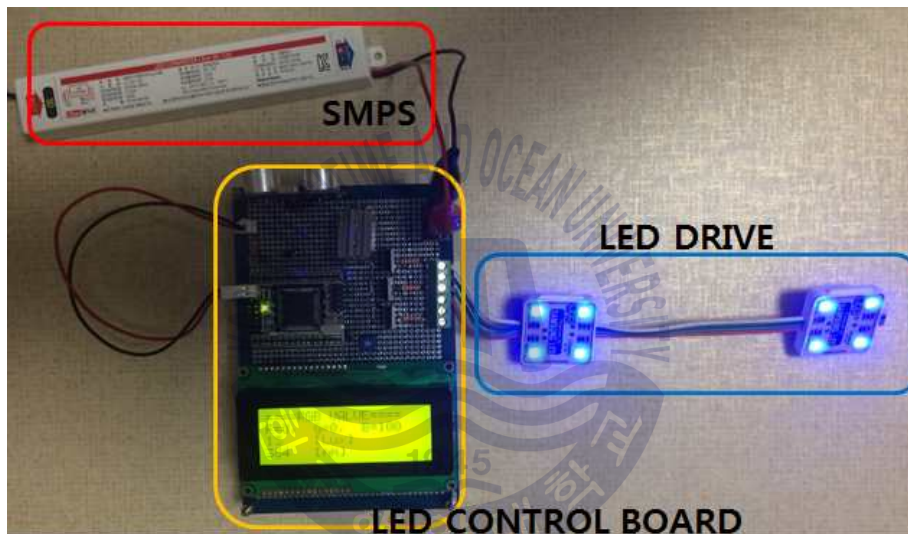


Fig. 39 Configuration of ATmega128 LED lighting controller

SMPS의 용량은 30W이며 초음파 거리센서의 ADC 입력 값과 연산식에 따른 CLCD 출력 거리 값과 실제 거리가 일치 하는지 확인하였다. 또한, 조도센서의 ADC 입력 값과 연산 식에 따른 CLCD 출력 조도 값과 실제 조도가 일치 하는지 확인 한 후, 거리와 조도 값에 따른 LED의 색상 변화를 관찰하여 MATLAB 시뮬레이션 결과와 비교하였다.

조도센서는 실제 출력되는 LUX 값 보다 약 10분의 1가량 감도를 낮게 조정하여, 거리와 조도에 따라 출력되는 RGB LED의 색상 변화를 확인하며 실험을 진행하였다. 초음파 거리센서의 경우, 세로 170mm 가로 250mm의 피사체를 대상으로 실제 거리와 CLCD 출력 값을 비교하여 동일성을 확인하였다. 다음의 거리별 동일성 결

과 및 테스트 모습을 다음의 Table 8, Fig. 40, Fig. 41에 나타내었다.

Table 8 Distance equality measurement result

	피사체와의 실제 거리 (mm)	CLCD 출력 거리 (mm)	오 차 (mm)	오차율 (%)
No. 1	20	21	+1	0.2
No. 2	40	42	+2	0.4
No. 3	60	61	+1	0.2
No. 4	80	81	+1	0.2
No. 5	100	102	+2	0.4
No. 6	120	123	+3	0.6
No. 7	140	141	+1	0.2
No. 8	160	162	+2	0.4
No. 9	180	181	+1	0.2
No. 10	200	200	0	0
No. 11	220	221	+1	0.2
No. 12	240	242	+2	0.4
No. 13	260	263	+3	0.6
No. 14	280	280	0	0
No. 15	300	301	+1	0.2
No. 16	320	321	+1	0.2
No. 17	340	343	+3	0.6
No. 18	360	363	+3	0.6
No. 19	380	382	+2	0.4
No. 20	400	401	+1	0.2
No. 21	420	422	+2	0.4
No. 22	440	441	+1	0.2
No. 23	460	463	+3	0.6
No. 24	480	484	+4	0.8
No. 25	500	502	+2	0.4

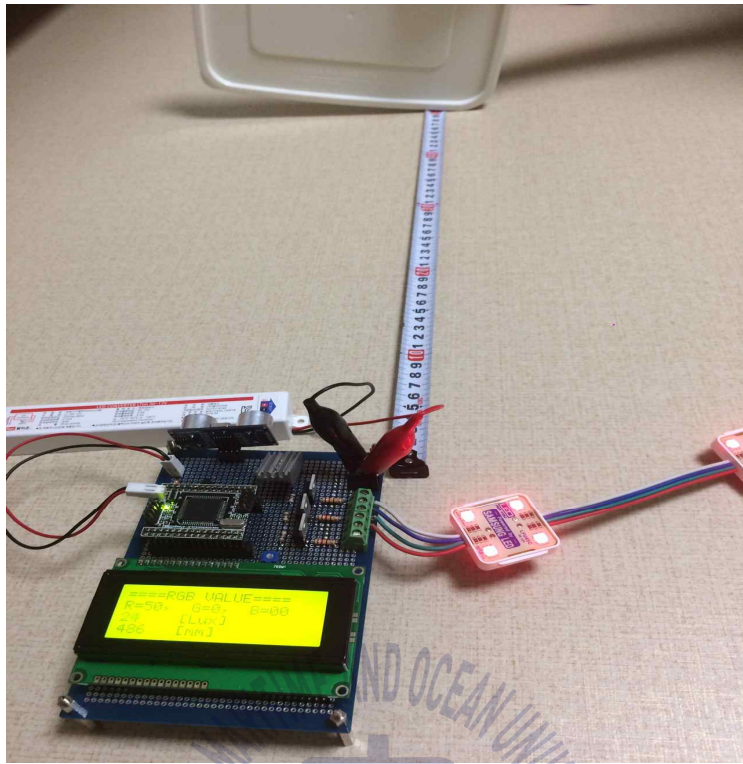


Fig. 40 Ultrasonic distance sensor output test

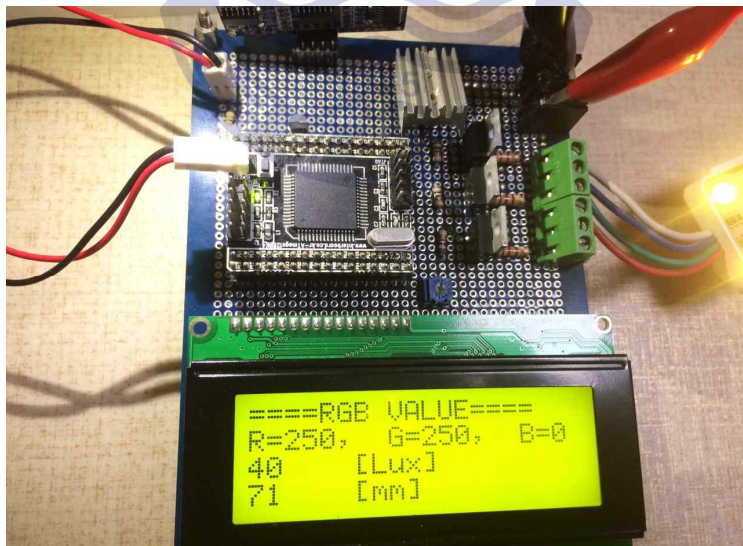


Fig. 41 Light sensor output test

5.2 실험 결과

피사체의 이동과 손전등을 이용하여 거리와 조도의 입력 값에 변화를 주었고 그에 따른 RGB LED 출력을 확인하였다. 거리의 경우 실제 거리와 CLCD에 출력되는 거리의 평균 오차가 0.34%로 매우 작으나, 조도의 경우 정밀한 제어가 매우 어려운 외부 요인 입력 값이다.

실제로 위의 실험은 제한적인 상황에서 LED의 색상 변화만을 확인 할 수 있기 때문에 퍼지 연산 결과를 명확하게 확인할 수 는 없다. 그러므로 각 입력 변수인 조도센서와 거리센서 입력 값을 통제 시키고 그 결과 값을 도출하였다. 그리고 도출 된 결과 값과 퍼지 연산을 통한 MATLAB 시뮬레이션 결과 값을 비교하였다. 다음의 Table 9은 구현한 조명 제어기의 입력 값에 조정을 주었을 경우 CLCD에 출력되는 RGB PWM 출력 값과 그에 따른 LED 색상이다.

Table 9 RGB Crisp output according to illuminance and distance input

	조도(lux)	거리(mm)	PWM 출력			LED 출력 색상
			Red	Green	Blue	
No. 1	10	100	128	0	128	Purple
No. 2	10	200	255	182	193	Light Pink
No. 3	10	300	255	255	0	Yellow
No. 4	10	400	255	165	0	Orange
No. 5	10	500	255	0	0	Red
No. 6	20	100	255	0	255	Magenta
No. 7	20	200	238	130	238	Violet
No. 8	20	300	173	255	47	Green Yellow
No. 9	20	400	255	255	0	Yellow
No. 10	20	500	255	165	0	Orange
No. 11	30	100	0	255	255	Cyan
No. 12	30	200	224	255	255	Light Cyan
No. 13	30	300	0	255	0	Green
No. 14	30	400	173	255	47	Green Yellow
No. 15	30	500	255	255	0	Yellow
No. 16	40	100	30	144	255	Dodger Blue
No. 17	40	200	0	255	255	Cyan
No. 18	40	300	224	255	255	Light Cyan
No. 19	40	400	238	130	238	Violet
No. 20	40	500	255	182	193	Light Pink

Table 10은 동일 조건에서의 제어기 CLCD PWM 출력 값과 Fuzzy 시뮬레이션 출력 값을 비교한 것이다. 아래의 Table 10를 통하여 제어기 출력 값과 Fuzzy 시뮬레이션 출력이 동일 조건하 에서는 동일함을 확인할 수 있었다.

Table 10 Comparison of Crisp - Fuzzy output under the same conditions

	조도 (lux)	거리 (mm)	제어기 PWM 출력			시뮬레이션 PWM 출력			제어기 LED 출력 색상
			Red	Green	Blue	Red	Green	Blue	
No. 1	10	100	128	0	128	128	0	128	Purple
No. 2	10	200	255	182	193	255	182	193	Light Pink
No. 3	10	300	255	255	0	255	255	0	Yellow
No. 4	10	400	255	165	0	255	165	0	Orange
No. 5	10	500	255	0	0	255	0	0	Red
No. 6	20	100	255	0	255	255	0	255	Magenta
No. 7	20	200	238	130	238	238	130	238	Violet
No. 8	20	300	173	255	47	173	255	47	Green Yellow
No. 9	20	400	255	255	0	255	255	0	Yellow
No. 10	20	500	255	165	0	255	165	0	Orange
No. 11	30	100	0	255	255	0	255	255	Cyan
No. 12	30	200	224	255	255	224	255	255	Light Cyan
No. 13	30	300	0	255	0	0	255	0	Green
No. 14	30	400	173	255	47	173	255	47	Green Yellow
No. 15	30	500	255	255	0	255	255	0	Yellow
No. 16	40	100	30	144	255	30	144	255	Dodger Blue
No. 17	40	200	0	255	255	0	255	255	Cyan
No. 18	40	300	224	255	255	224	255	255	Light Cyan
No. 19	40	400	238	130	238	238	130	238	Violet
No. 20	40	500	255	182	193	255	182	193	Light Pink

Table 11은 Fuzzy Rule 기반의 여러 임의의 조도 및 거리 입력 값을 MATLAB 시뮬레이션에 입력하여 도출 되어진 결과 값이다. 아래의 Table 11를 통하여 Fuzzy 규칙 임의의 사이 값의 입력에 대한 PWM 출력을 확인할 수 있고, 그에 따른 LED 색상 출력을 예측 가능 하다.

Table 11 Output according to input of illumination and distance value

	조도(lux)	거리(mm)	시뮬레이션 출력값			시뮬레이션 LED 색상 출력
			Red	Green	Blue	
No. 1	5	111	147	58	136	Purple
No. 2	8	113	145	55	135	Purple
No. 3	11	152	176	105	159	Purple
No. 4	21	122	192	75	225	Magenta
No. 5	24	144	137	117	225	Violet
No. 6	32	211	170	225	189	Light Cyan
No. 7	7	281	225	211	66.2	Yellow
No. 8	22	312	147	225	25	Green Yellow
No. 9	29	378	143	225	25	Green Yellow
No. 10	3	321	225	204	25	Yellow
No. 11	41	391	195	124	225	Violet
No. 12	26	311	107	225	25	Green Yellow
No. 13	33	19	25.1	175	225	Dodger Blue
No. 14	37	233	101	225	152	Green Yellow
No. 15	23	384	176	225	25	Green Yellow
No. 16	1	344	225	200	25	Green Yellow
No. 17	36	412	203	169	143	Light Pink
No. 18	44	222	89	182	225	Cyan
No. 19	31	123	85	208	225	Cyan
No. 20	22	431	211	207	25	Yellow
No. 22	47	327	97	149	225	Dodger Blue
No. 23	16	356	202	203	25	Yellow
No. 24	19	211	216	147	188	Light Pink
No. 25	21	51	185	65	225	Magenta
No. 26	4	22	125	25	125	Magenta
No. 27	27	118	97	148	225	Cyan
No. 28	49	32	25	51	225	Blue
No. 29	13	112	161	66	163	Magenta
No. 30	42	234	103	196	225	Light Cyan

아래의 Fig. 42 ~ 43은 거리 및 조도에 따른 각 색상 별 PWM 출력 값을 나타낸 그래프이다. 실제로 위 실험은 단순한 거리의 변화와 조도의 세기에 따른 LED의 색상 변화만을 보여줄 수 있기 때문에 퍼지 연산 결과를 완벽하게 도출할 수 없다. 그러므로 이를 보완하기 위하여 MATLAB 시뮬레이션을 통하여 결과 값을 따로 도출해 내었다.

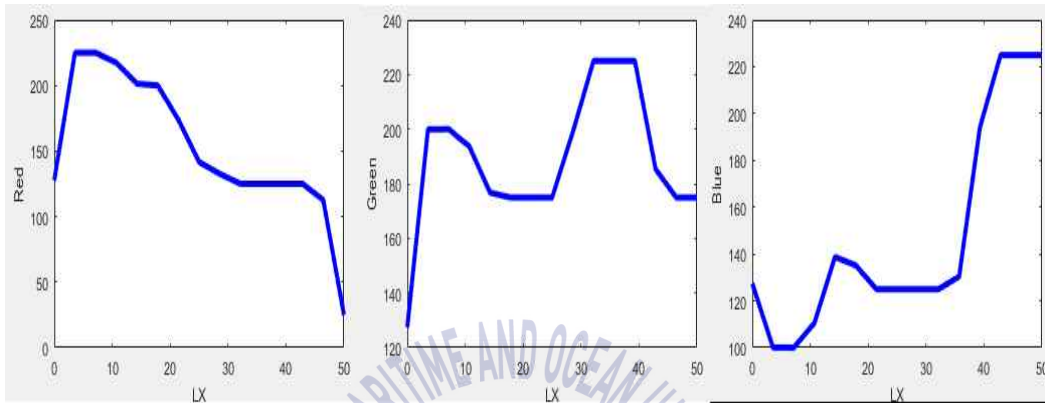


Fig. 42 Fuzzy RGB output result according to illumination

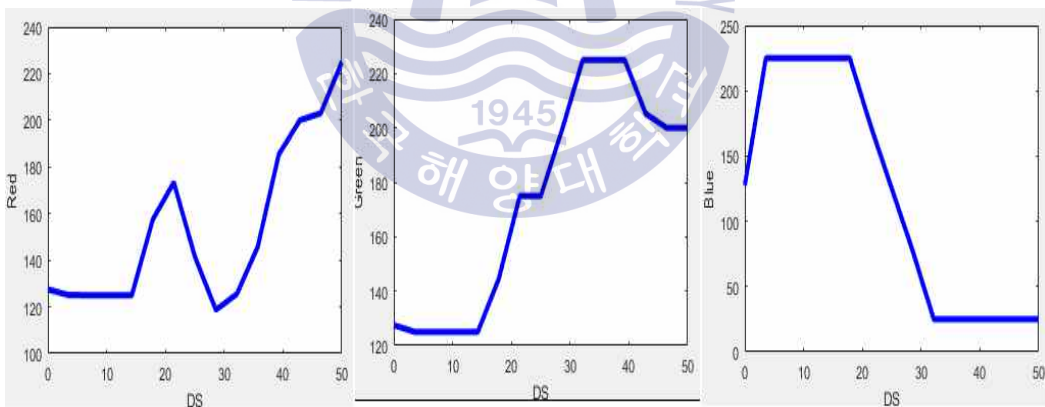


Fig. 43 Fuzzy RGB output result according to distance

퍼지 로직의 출력은 다양한 입력 변수와 퍼지 Rule에 의해서 정해진다. 동일한 입력 값이라고 하더라도 퍼지 Rule 설계자에 따라 출력 값은 달라질 수 있다. 이것은 퍼지 로직이 인공지능의 특성을 가졌기 때문이다. 이러한 특성으로 인해 퍼지 연산 시스템을 통한 LED 조명 컨트롤이 보다 일반적인 LED 조명 컨트롤 보다 좀 더 유기적이며 효율적인 시스템이 되는 것이다.

제 6 장 결론

본 논문에서는 입력 변수인 조도 센서와 초음파 거리센서의 ADC 입력 값을 MCU인 ATmega128에서 연산한다. 연산한 결과 값을 RGB LED 모듈로의 출력 및 각 센서 입력 값과 RGB 출력 펄스 값을 실시간으로 모니터링이 가능하게 하는 디스플레이부로 RGB LED 제어기를 설계 및 제작하였다.

실험과 결과를 통하여 퍼지 이론을 이용할 경우 일반적인 시스템을 이용한 제어기보다 적절한 규칙 베이스를 구성한 퍼지 제어 시스템이 기존의 제어기에 비해 애매한 입력 값이 들어왔을 때 좀 더 능동적이고 직관적인 출력이 가능함을 실험 결과를 통하여 확인 할 수 있었다.

또한 본 논문에서 제작한 RGB LED 모듈 제어 시스템을 도시의 조명 시스템 및 사용자 환경 등에 연계하여 조명의 색상 및 휘도의 정도 등을 자동적으로 제어할 수 있다면 요즘 각광 받는 차세대 스마트 도시에 큰 도움이 될 것은 자명하다.

그리고 4차 산업 혁명의 핵심기술 중 하나인 퍼지 제어 시스템의 구성을 통한 인공지능을 이용하여 조명 LED의 유기적이고 능동적인 조명 서비스를 제공하고 인간의 개입을 최소화 한 완벽한 자동화 시스템의 도입에 일조할 것이다.

이러한 LED 조명 시스템에 퍼지 추론을 통한 제어기를 구성하고 본 논문에서 제작한 LED 조명 제어기에 적용한 결과, 실제로도 적용하여 사용할 수 있다는 결과를 얻었다. 하지만 퍼지 제어 시스템뿐만 아니라 센서 네트워크와 빅 데이터를 융합한 완전한 IoT 스마트 기술을 구현하려면 아직까지 많은 연구와 투자가 필요한 실정이다.

본 논문에서 사용한 MCU인 ATmega128 보다, 진보된 TI(Texas Instruments)사의 저전력 MSP432 MCU를 사용한다면, 최근에 대두되고 있는 머신러닝의 기술과 퍼지 이론의 접목을 통하여 극대화된 성능을 이끌어 낼 수 있을 것이다.

참고문헌

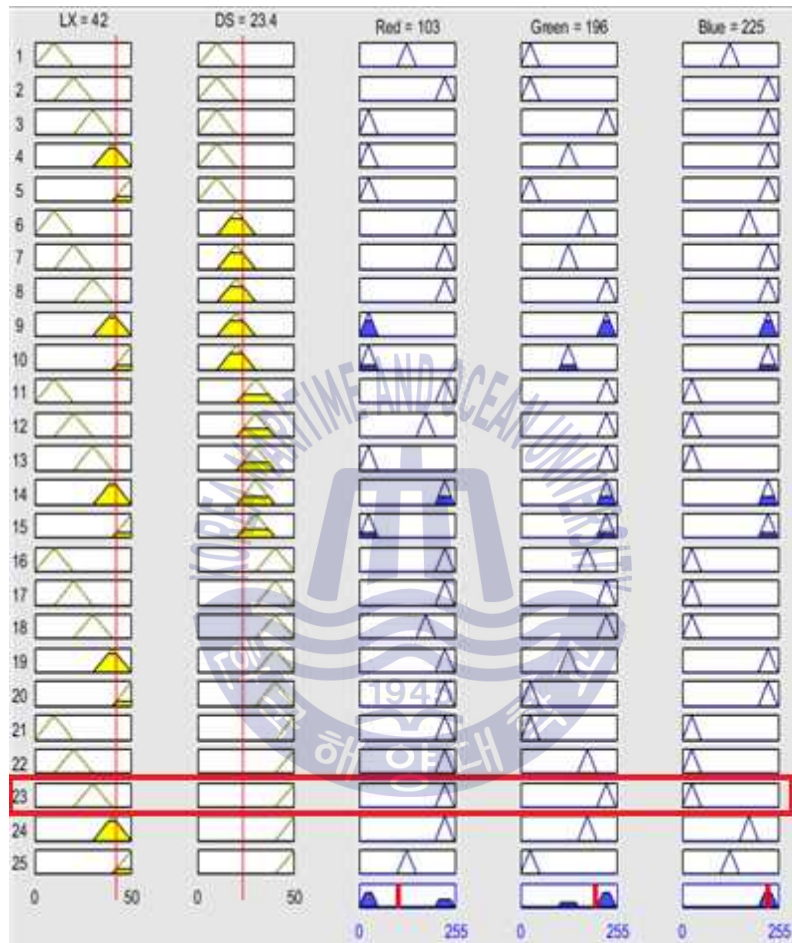
- [1] 오대광, 2011. *LED 가시광 통신(VLC) 기술 동향과 발전 전망*, KEIT Issue Report.
- [2] 위키피디아, 2017. *Visible light communication*, <http://en.wikipedia.org> [Online] Available at : http://en.wikipedia.org/wiki/Visible_light_communication [Accessed 2 July 2017].
- [3] ICTOMEGA, 2011. LED communication, [Online] www.ict-omega.eu
- [4] LESA, 2016. *Smart lightning*, [Online] <http://smartlighting.rpi.edu>.
- [5] VLCC, 2013. *Visible light communication*, [Online] www.vlcc.net.
- [6] IEEE, 2017. *IEEE 802.15 WPANTM*, [Online] <http://www.ieee802.org/15/pub/TG7>
- [7] 정성운, 2010. *LED 기반 가시광통신 동향*, 영남대학교 LED-IT융합산업화연구센터 뉴스레터.
- [8] 이은솔, 2011. *조명 색상의 사용자 감성 및 인지 효과에 대한 연구*, KAIST 산업디자인학과 석사 학위 논문.
- [9] 정봉만, 2008. *LED 조명기술의 특성과 응용사례*, 월간전기 특별기고 II.
- [10] 노시청, 2005. *감성조명의 이해*, 한국디자인학회 2005 가을 학술발표대회 논문집, pp.86~87.
- [11] 정봉만, 2008. *LED 조명기술의 특성과 응용사례*, 월간전기 특별기고 II.
- [12] 정봉만, 2008. *LED 조명기술의 특성과 응용사례*, 월간전기 특별기고 II.
- [13] Birren, F, 1978. *Color & Human Response*. 김진한 역 1996 . *색채의 영향*.
- [14] K. Goldstein, 1942. *Some experimental observations on the influence of color on the function of the organism. Occupational Therapy and Rehabilitation*.
- [15] 광준섭, 김선희, 2016. *색채심리와 LED 조명 융합*, THE KOREAN INFORMATION DISPLAY SOCIETY 기술특집 pp.34~39.
- [16] 이은솔, 2011. *조명 색상의 사용자 감성 및 인지 효과에 대한 연구*, KAIST 산

업디자인학과 석사 학위 논문.

- [17] 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.
- [18] Jacek M. Zurada, 1992. *Introduction to Artificial Neural System*. West Publishing Company.
- [19] Chin-Teng Lin & C.S George Lee, 1996. *Neural fuzzy systems*, Prentice Hall.
- [20] 이상배, 1999. *퍼지-뉴로 제어 시스템*. 교학사. pp.7-108.
- [21] 이광형, 오길록, 1991. *퍼지이론 및 응용 I/II*. 흥릉과학출판사.
- [22] L. A. Zadeh, 1965. *Fuzzy Sets, Information and Control* 8, pp.338-353.
- [23] M. Mizumoto, 1989. *Pictorial representation of fuzzy connectives, Part I : cases of t-norms, t-conorms and averaging operators*, Fuzzy sets and System s, 31, pp.217-242.
- [24] L. A. Zadeh, 1978. *Fuzzy sets as a basic for a theory of possibility*, Fuzzy sets and Systems, 1, pp.3-28.
- [25] Jyh-Shing & Roger Jang, 1993. ANFIS: Adaptive Network Based Fuzzy Inference system, *IEEE Transaction on system, Man, And Cybernetics*, 23(3), pp. 665-685.
- [26] J. S. R. Jang & C.-T. Sun, 1995. *Neuro-Fuzzy Modeling and Control*, Proc. IEEE.
- [27] 이상배, 1999. *퍼지-뉴로 제어 시스템*. 교학사. pp.7-108.
- [28] 이상배, 1999. *퍼지-뉴로 제어 시스템*. 교학사. pp.7-108.
- [29] 류창완, 2013. *인공지능을 이용한 식물 공장 LED 조명 제어시스템에 구현에 관한 연구*. 한국해양대학교 전자통신공학과 석사 학위 논문.

부 록

부 록 1. Matlab 시뮬레이션(조도 42 Lux, 거리 23.4mm)



부 록 2. Matlab 시뮬레이션(조도 5 Lux, 거리 11.1mm)

