



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](#)

工學碩士學位論文

LED 가로등의 색도를 이용한 자율주행
차량용 차로 위치측위에 관한 연구

指導教授 邊基植

이 論文을 工學碩士 學位論文으로 提出함

2017年 2月

釜慶大學校大學院

制御計測工學科

鄭在勳

鄭在勳의 工學碩士 學位論文을 認准함.

2017年 02月



主 審 工學博士 金 南 虎



委 員 工學博士 黃 龍 淵



委 員 工學博士 邊 基 植



목 차

목차	i
그림차례	ii
표 차례	iv
Abstract	v
제 1 장 서론	1
제 2 장 LED 조명기의 색도 좌표	3
제 3 장 차로 위치에 따른 색도 측정을 위한 시스템 설계	
3.1 LED 터널 조명등 구성	7
3.2 LED 터널 조명등 색도 측정을 위한 RGB센서	9
3.3 LED 터널 조명등 색도 측정을 위한 외란제거	13
제 4 장 차로 위치측위를 위한 Fuzzy 제어기 설계 및 실험	
4.1 기준 색도 데이터 수집	26
4.2 퍼지제어기 설계	31
4.3 차로 위치측위 실험	34
제 5 장 결론	38
참고문헌	40
감사의 글	42

그림 차례

그림 2.1	xy색도도	5
그림 3.1	3000K,4500K,6000K 색온도를 가진 조명기를 이용한 실험환경 구성	7
그림 3.2	RGB 센서	9
그림 3.3	빛을 조사 할 경우의 RGB센서 R자극치 출력	10
그림 3.4	LED switching driver	10
그림 3.5	차로 위치측위를 위한 LED에 대한 RGB센서 R출력단 출력파형	11
그림 3.6	차로 위치측위를 위한 LED에 대한 RGB센서 G출력단 출력파형	12
그림 3.7	차로 위치측위를 위한 LED에 대한 RGB센서 B출력단 출력파형	12
그림 3.8	외란 빛에 대한 RGB센서 R출력단 출력파형	13
그림 3.9	외란 빛에 대한 RGB센서 G출력단 출력파형	14
그림 3.10	외란 빛에 대한 RGB센서 B출력단 출력파형	14
그림 3.11	플로팅 성분 제거 후 외란이 주어진 RGB센서 R단 출력파형	15
그림 3.12	플로팅 성분 제거 후 외란이 주어진 RGB센서 G단 출력파형	16
그림 3.13	플로팅 성분 제거 후 외란이 주어진 RGB센서 B단 출력파형	16
그림 3.14	RGB센서 신호처리를 위한 Prefilter 회로도	17
그림 3.15	RGB센서 신호처리를 위한 Prefilter 회로 구현	18
그림 3.16	MATLAB FDA Tool을 이용한 1.75K[Hz] 디지털 필터 설계	19
그림 3.17	MATLAB FDA Tool 필터 타입	20
그림 3.18	MATLAB FDA Tool 필터 정보	20
그림 3.19	MATLAB FDA Tool 밴드패스 필터 파라미터	21
그림 3.20	1.75KHz 밴드패스 필터 MATLAB&Simulink 설계	21
그림 3.21	dSPACE Simulink 설계	22
그림 3.22	필터 성능 실험을 위해 LED 조명기 구성	23

그림 3.23 Micro-AutoBox(ds1401)를 이용한 주파수 필터 실험	23
그림 3.24 Prefilter회로 R신호에 대한 1.75K[Hz]밴드패스 필터 출력파형	24
그림 3.25 Prefilter회로 G신호에 대한 1.75K[Hz]밴드패스 필터 출력파형	24
그림 3.26 Prefilter회로 B신호에 대한 1.75K[Hz]밴드패스 필터 출력파형	25
그림 4.1 색도 측정을 위한 실험 장비 구성	27
그림 4.2 x색도측정을 위한 MATLAB & Simulink 설계	28
그림 4.3 차로 위치측정을 위한 x색도 측정 위치 환경	29
그림 4.4 0~60cm를 10cm 단위로 x색도 측정 결과	29
그림 4.5 MATLAB의 Fuzzy 제어기	31
그림 4.6 x색도값에 대한 소속함수	32
그림 4.7 위치 출력변수에 대한 소속함수	32
그림 4.8 퍼지규칙	33
그림 4.9 차선 위치측위 퍼지제어기의 동작	33
그림 4.10 RGB센서를 이용한 차로 위치 실험	34
그림 4.11 차선 위치측위를 위한 MATLAB & Simulink 설계	35

표 차례

표 4.1	0~60cm를 10cm 단위로 x색도 측정 결과	30
표 4.2	차선 위치측위 실험 결과	36
표 4.3	차선 판정 실험 결과	37



A Study on the Positioning of Car Positions for Autonomous Driving Vehicles Using the Chromaticity of LED Street Lights

Jae-Hoon Jeong

Department of Control & Instrumentation Engineering

*Graduate School of
Pukyong National University*

Abstract

Recently, many studies on autonomous vehicles are under way. Location recognition and positioning system for cars are one of the very essential parts in unmanned vehicles. These systems are on the basis of GNSS(Global Navigation Satellite System), using GPS (Global Positioning System)and it calculates location of the receiver using triangulation according to the moment when the satellite signal reaches to the receiver on the surface of the earth by using satellite network moving around the space orbit to measure the position. About seven-meter margin of measurement error occurs, resulting from various error factors. In addition, a margin of error of DGNSS(Differential GNSS) is merely about two meters, compared to GNSS by revising errors on a satellite clock, the ionosphere, the and the track, using Master Station on the ground, but accurate

measurement is difficult to make in urban multi-path environment as GNSS is. As part of the improvement, researches are in progress to enhance accuracy of the position, fusing INS, Vision, Radar, Terrestrial Magnetism Sensor, Wi-Fi, etc. INS-GPS is one of the most typical sensor fusion positioning system, having problems with sharp occurrence of measurement errors in accordance with time. Plus, its performance is degraded in GPS interfering spots due to its high dependence on GPS. In short, sensor fusion positioning technique continues to be studied with many unsettled matters.[1-13]

To supplement problems with the current positioning system of vehicles, this paper suggests a positioning technique on the road by analyzing chromaticity coordinate, judging from color temperature of LED street lights and tunnels which are one of infrastructures on the roadway. The positioning technique developed in this paper is expected to be applicable when it is difficult to recognize lanes on account of their poor conditions and in GPS interfering spots by examining LED lights with different color temperatures on the respective roads for positioning locations on the road. Many research bodies are studying on the positioning system and it is considered to improve the performance as the technique covered on this paper applies to the conditions.

This paper consists of five chapters. Chapter 2 describes a chromaticity-related theory of LED lights to help understand the context of the research. Chapter 3 outlines the system structure for measuring chromaticity of LED lights. Chapter 4 gives a description of designing fuzzy controller and the experiment result. Chapter 5 suggests future research direction and the conclusion on positioning on the road using chromaticity of LED lights, based on the experiment result.

제 1 장 서 론

현재 자율주행 자동차에 관한 연구가 활발하게 진행 중에 있으며, 자율주행 차량에 있어 차량 위치인식 및 측위 시스템은 아주 중요한 부분이다. 현재 차량 위치측위 시스템은 위성 항법시스템을 이용한 GNSS(Global Navigation Satellite System)는 우주 궤도를 따라 움직이는 위성 네트워크를 이용하여 위성 신호가 지표면의 수신기에 도달하는 시각에 따라 삼각측량 방식으로 수신기의 위치를 계산해 측정하는 방식이다. 그러나 여러 가지 오차 요인으로 인해 약 7미터 정도의 측정 오차가 발생한다. 또한 DGNSS(Differential GNSS)는 지상의 Master Station을 이용하여 위성시계오차, 이온/전리층 오차, 궤도오차 등을 보정하여 GNSS에 비해 오차는 약 2미터 정도이지만 도심 다중경로 환경에서의 GNSS와 마찬가지로 정확한 측정이 어렵다. 이러한 문제를 개선하고자 INS, Vision, Radar, 지자기 센서, Wi-Fi 등을 융합하여 위치의 정확성을 올리는 연구를 진행 중이다. 대표적인 센서융합 위치측위시스템으로 INS-GPS 항법 시스템의 경우 INS는 시간에 따른 측정 오차가 급격히 발산한다는 문제가 있다. 또한 GPS에 의존도가 높기 때문에 GPS 음영지역에서는 성능이 감소한다. 즉 현재 센서융합 위치 추정 기술은 계속 연구되어 지고 있지만 여전히 많은 문제를 가지고 있다[1-13].

본 논문에서는 현재 자동차의 위치측위 시스템의 문제점을 보완하고자 자동차 도로상의 인프라 시설인 LED 가로등 및 터널등의 색온도에 의한 색도 좌표를 분석하여 도로상의 차로 위치측위 기술을 제안한다. 본 논문의 차로 위치측위 기술은 자동차 차로마다 색온도가 다른 LED 조명을 조사하여 차로상의 위치측위를 함으로써 GPS신호를 받기 힘든 음영지역 및 도로상의 차선 상태가 불량하여 차선인식이 어려운 환경에 적용이 가

능 할 것으로 예상되며, 현재 많은 연구기관에서 위치측위 관련 연구를 진행 중이다. 본 논문의 기술을 접목한다면 위치측위 성능이 개선 될 것으로 사료된다.

본 논문은 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 연구의 내용을 이해하기 위한 LED 조명기의 색도관련 이론을 기술하고, 3장에서는 LED 조명기의 색도를 측정하기 위한 시스템의 구성에 대해 기술한다. 4장에서는 퍼지 제어기 설계에 대한 내용 및 실험결과를 기술한다. 5장은 실험결과를 바탕으로 LED조명기의 색도를 이용한 차로측위에 대한 결론과 향후 연구 방향을 제시한다.



제 2 장 LED 조명의 색도좌표

원 자극 R, G, B의 파장은 $\lambda_R = 700.0nm$, $\lambda_G = 546.1nm$, $\lambda_B = 435.8nm$ 이다. 사람은 이러한 파장의 변화에 따라 색상이 변하는 것을 느낄 수 있다. 사람 눈에 있는 망막에는 추상체와 간상체라는 빛에 반응하는 시세포가 존재한다. 추상체는 밝은 상태에서 작용하며, R, G, B의 빛에 반응하는 각각의 적 추상체, 녹 추상체, 청 추상체 3 종류의 시세포가 존재한다. 이러한 시세포의 존재로 빛에 대한 밝은 및 색체의 감각을 느낄 수 있다. 물체의 3 자극치 XYZ 표색계는 CIE에서 인간의 눈과 대등한 값의 감도를 정의 한 3표색계이다. 본 연구에서는 사람의 눈에 존재하는 추상체와 같은 기능을 갖는 RGB센서로 읽어드린 R, G, B 값을 이용하여 식(2.1)을 통해 3 자극치 XYZ를 얻을 수 있다.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.7689 & 1.7517 & 1.1302 \\ 1.0000 & 4.5907 & 0.0601 \\ 0.0000 & 0.0565 & 5.5943 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

또한 3 자극치 X, Y, Z는 R, G, B로부터, 식(2.1)으로 구할 수도 있지만, 보통은 색자극의 분광 분포를 $\varphi(\lambda)$ 로 두고 등색 함수 $\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$ 를 이용하여 식(2.2)와 같이 구할 수 있다[15].

$$\begin{aligned} X &= k \int_{vis} \varphi(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) d\lambda \\ Y &= k \int_{vis} \varphi(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) d\lambda \end{aligned} \quad (2.2)$$

$$Z = k \int_{vis} \varphi(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) d\lambda$$

여기서 k 는 정수이고 적분(\int)은 가시 영역에서 구하는 것으로 한다. 또한, 물체색의 색 자극 $\varphi(\lambda)$ 는 반사 물체에서 $\varphi(\lambda) = R(\lambda) \cdot P(\lambda)$ 이고, 투과 물체에서는 $\varphi(\lambda) = T(\lambda) \cdot P(\lambda)$ 라고 쓸 수 있다. 여기서 $R(\lambda)$ 는 반사 물체의 분광 반사율, $T(\lambda)$ 는 투과 물체의 분광 투과율이다. 따라서, 반사 물체의 3 자극치 X, Y, Z 는 식(2.3)과 같이 구할 수 있다[15].

$$\begin{aligned} X &= k \int_{vis} R(\lambda) \cdot P(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) d\lambda \\ Y &= k \int_{vis} R(\lambda) \cdot P(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) d\lambda \\ Z &= k \int_{vis} R(\lambda) \cdot P(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) d\lambda \end{aligned} \quad (2.3)$$

정수 k 는 식(2.4)와 같으며,

$$k = \frac{100}{\int_{vis} P(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) d\lambda} \quad (2.4)$$

정수 k 는, 3 자극치 Y 가 완전 확산 반사면 ($R(\lambda) = 1$)에서 $Y = 100$ 이 되도록 한다. 하지만 이러한 3 자극치 XYZ 의 벡터 성분을 기하학적으로 표현하기 위해선 3차원의 색공간(Color Space)가 필요하지만 이를 표현하기에는 불편함이 있다. 그러므로 XYZ 색공간에서 단위 평면 $X+Y+Z=1$ 과 색 벡터(X, Y, Z)의 교점 x, y 를 식(2.5), (2.6)을 이용하여 2차원의 평면으로 표현할 수 있다[15].

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \quad (2.5)$$

$$y = \frac{Y}{X+Y+Z} \quad (2.6)$$

이렇게 2차원 평면인 색도도(chromaticity diagram)의 색도 좌표(chromaticity coordinates) x, y 를 구하면 사용하기 편리하다. 또한 단색광의 색도 좌표를 파장의 순서로 연결하면 그림 2.1과 같이 스펙트럼 궤적(Spectrum locus)을 그릴 수 있다.

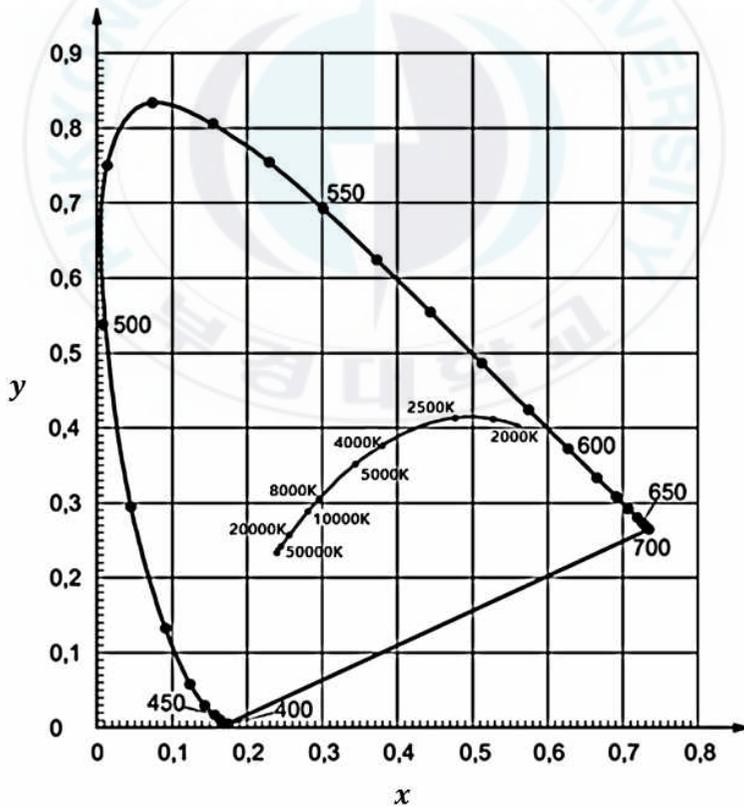


그림 2.1 xy색도도

흑체(Blackbody)는 빛을 발광하는 물체를 의미한다. 이러한 흑체의 흑체복사(Blackbody Radiation)의 색도점을 이은 선을 흑체궤적(Blackbody Locus)라고 하는데 본 논문의 LED를 흑체라고 하였을 때 이러한 흑체의 색온도에 의한 흑체궤적을 그림 2.1의 스펙트럼 궤적 안에 나타낼 수 있다.



제 3 장 차로 위치에 따른 색도 측정을 위한 시스템 설계

3.1 LED 터널 조명등 구성

본 연구에서는 그림 3.1과 같이 X축(60cm), Y축(80cm)의 보드에 3000K, 4500K, 6000K의 색온도를 가지는 LED 빛을 수직으로 조사할 수 있도록 하였다. LED 조명기의 간격은 약 20cm이며, 높이는 약 73cm의 차로 위치측위를 위한 모의환경을 구성하였다.

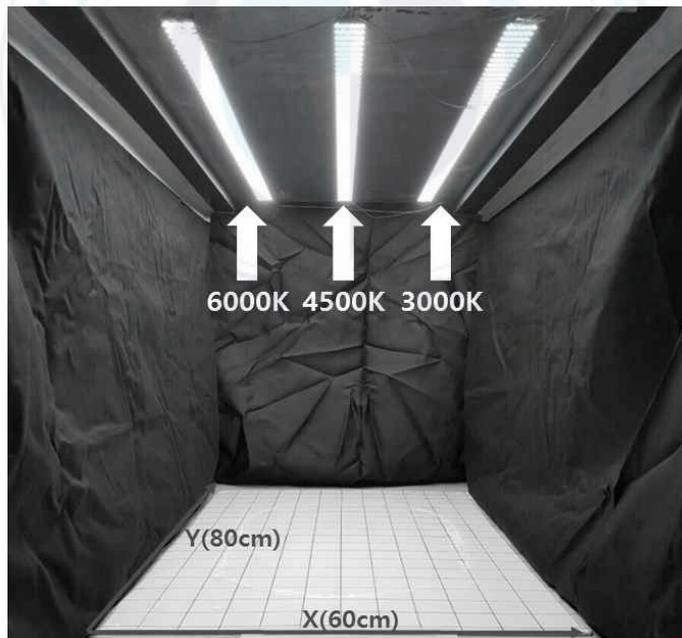


그림 3.1 3000K,4500K,6000K 색온도를 가진 조명기를 이용한 실험환경

각 조명기가 조사되고 있지만 3000K와 4500K의 사이의 경우 색온도 3000K의 색온도와 4500K의 색온도가 혼합되어 각각의 칸마다 다른 색도를 측정 할 수 있다. 또한 4500K와 6000K의 사이도 색이 혼합되어 조사되고 있다. 이러한 실험환경은 가로(x) 60cm, 세로(y) 80cm, 칸5cm*5cm이며, 본 실험 환경에서 차로의 위치를 측위 하고자 한다.



3.2 LED 터널 조명등 색도 측정을 위한 RGB센서

본 연구에서는 그림 3.1의 조명기의 색에 대하여 그림 3.2의 RGB 센서로부터 얻은 R, G, B 자극치를 식(2.1)에 대입하여 3 자극치 XYZ의 벡터성분을 구하며, 이 벡터성분을 식(2.5), (2.6)에 대입하여 색도좌표의 색도 x 와 y 를 구한다.

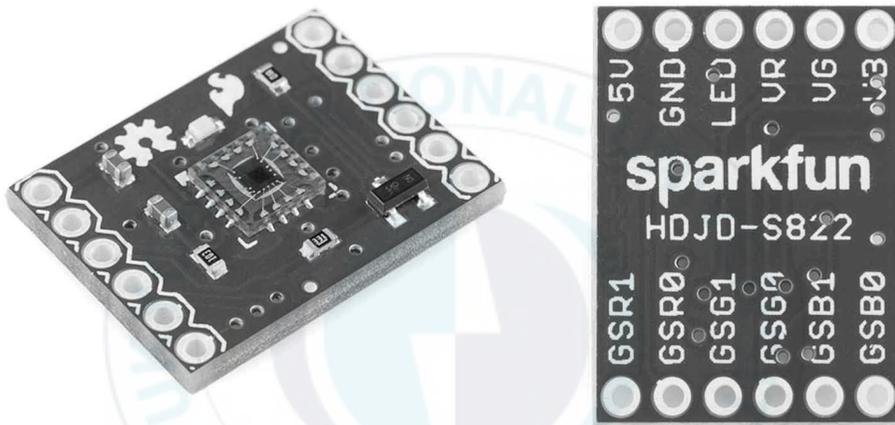


그림 3.2 RGB 센서

본 실험에서 사용된 RGB센서의 경우 R, G, B에 대한 자극치를 그림 3.2의 우측의 VR, VG, VB단으로 아날로그 감도값으로 출력된다. 그러므로 자동차 도로환경에서 RGB센서는 LED 가로등 및 터널등의 빛 이외의 주변 자동차 도로상에 입사되는 빛에 대해서도 반응을 한다. 즉, 그림 3.3의 파형과 같이 차로 위치측위를 위한 LED 조명기 빛과 일반 빛을 구분하지 못하고 모든 빛에 대한 R, G, B에 대한 자극치를 출력한다. 이러한 문제를 해결하고자 본 연구에서는 시간영역에서 차로 위치측위를 위한 LED 빛과 일반 빛에 대한 RGB센서의 RGB 자극치들을 구분할 수 있도록 하였다.

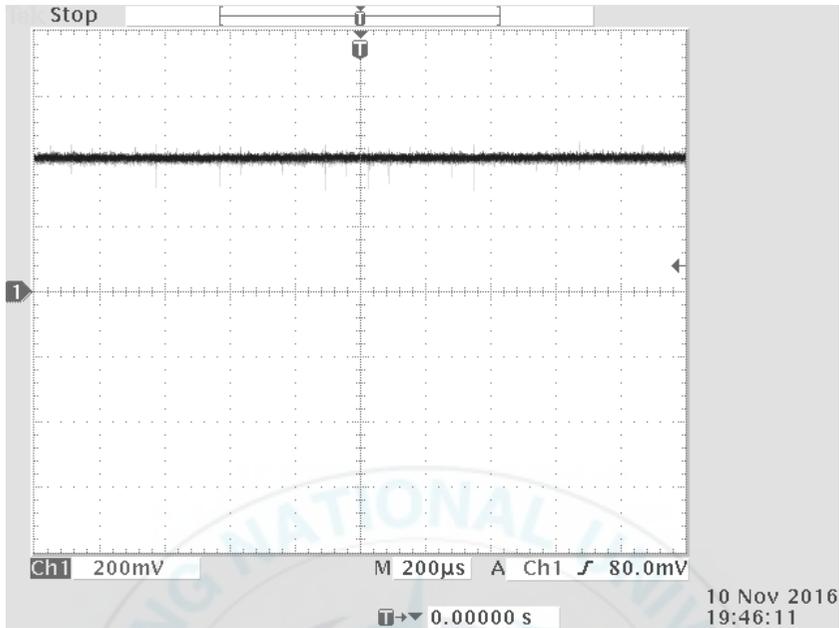


그림 3.3 빛을 조사 할 경우의 RGB센서 R자극치 출력

일반 빛은 시간에 따른 변동이 아주 느린 반면 차로 위치측위를 위한 LED 조명기의 빛은 시간에 대한 변동을 빠르게 하여 일반 빛과 차로 위치측위를 위한 LED 빛을 구분하기로 하였다.

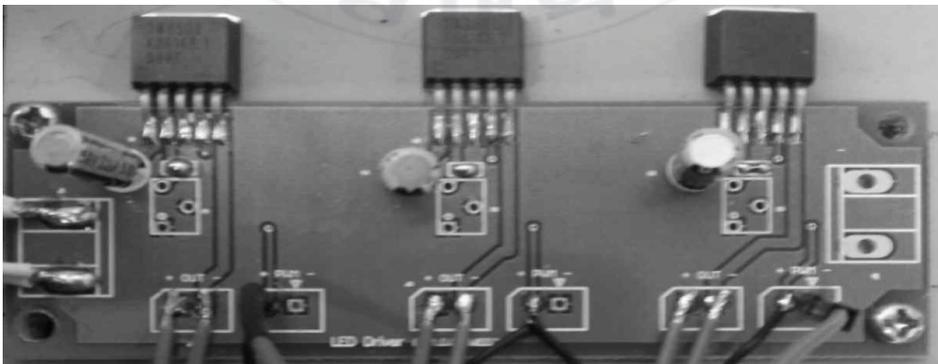


그림 3.4 LED switching driver

본 연구에서는 이러한 빛의 시간에 대한 변동을 주기 위해 Arduino2560을 이용하여 1.75K[Hz], Duty50%의 PWM을 그림 3.4의 LED 스위칭 구동회로에 인가하여 차로에 조사함으로써 RGB센서의 R, G, B 자극치가 그림 3.5, 3.6, 3.7와 같이 파형의 형태를 가지도록 하여 일반 빛과 구분이 가능하도록 하였다.

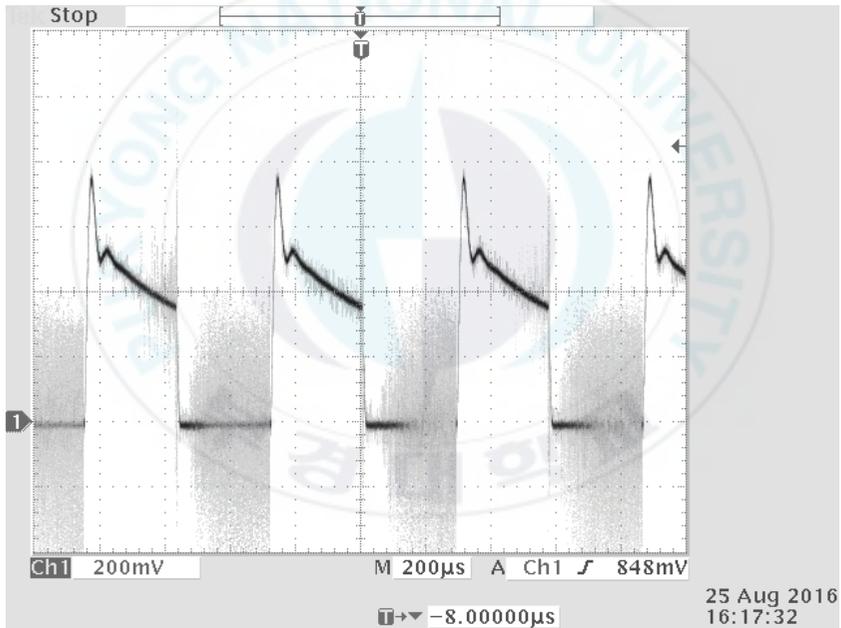


그림 3.5 RGB센서 R출력단 출력파형

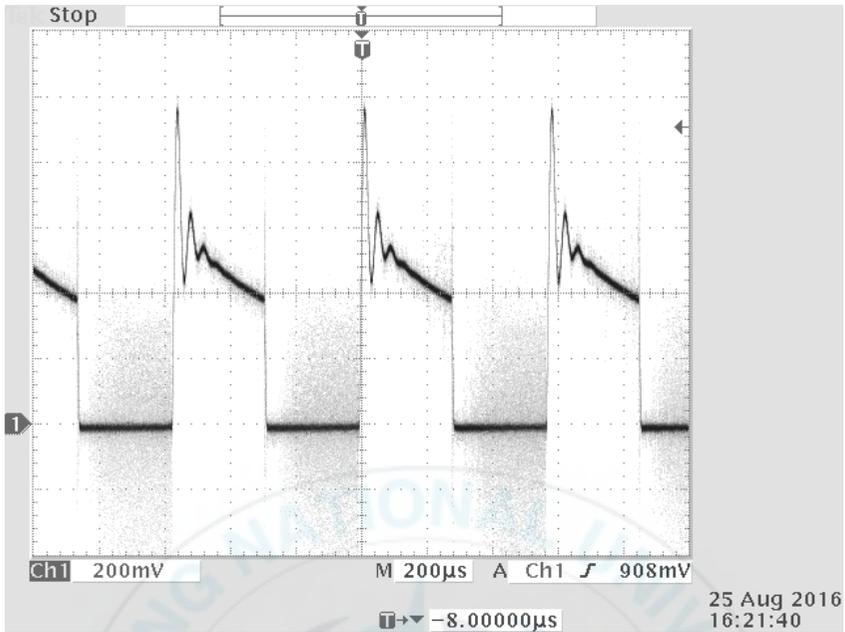


그림 3.6 RGB센서 G출력단 출력파형

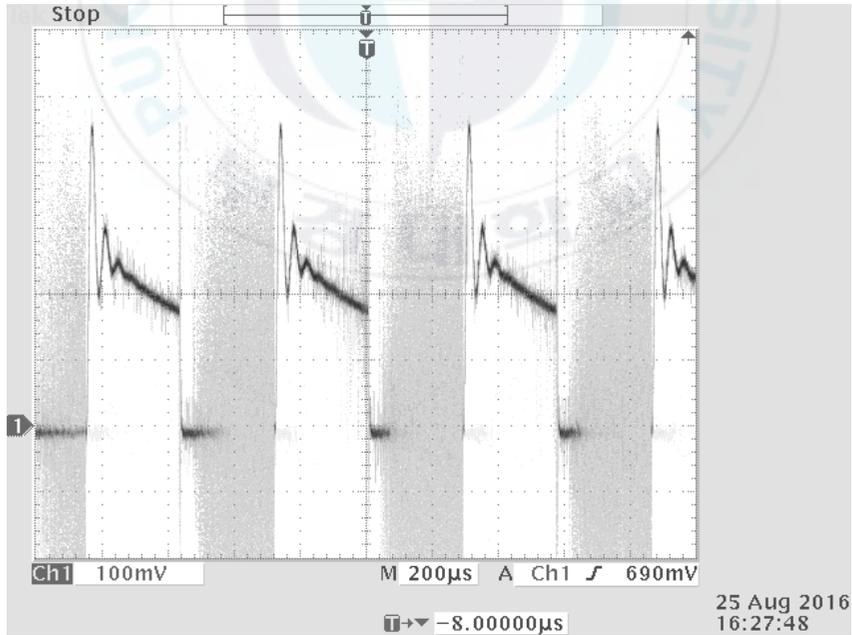


그림 3.7 RGB센서 B출력단 출력파형

3.3 LED 터널 조명등 색도 측정을 위한 외란제거

그림 3.5, 3.6, 3.7은 차로 위치측위를 위한 조명기만 조사하였을 경우의 RGB센서의 R, G, B 자극치 출력 파형을 나타낸다. 반면 그림 3.8, 3.9, 3.10과 같이 일반 빛과 차로 위치측위를 위한 LED 조명을 같이 조사하였을 경우 파형의 일그러짐과 플로팅 성분을 가지는 것을 확인 할 수 있다.

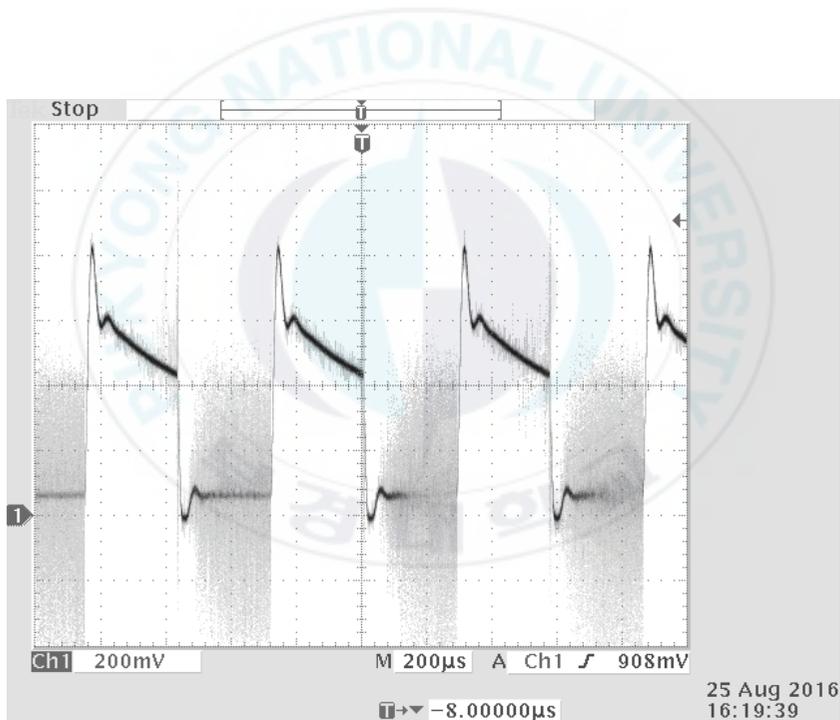


그림 3.8 외란 빛에 대한 RGB센서 R단 출력파형

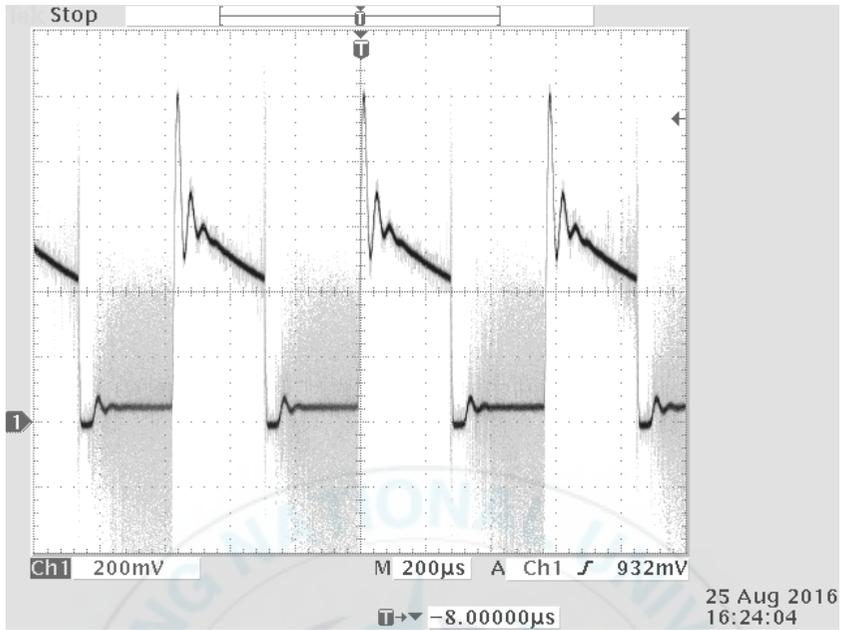


그림 3.9 외란 빛에 대한 RGB센서 G단 출력파형

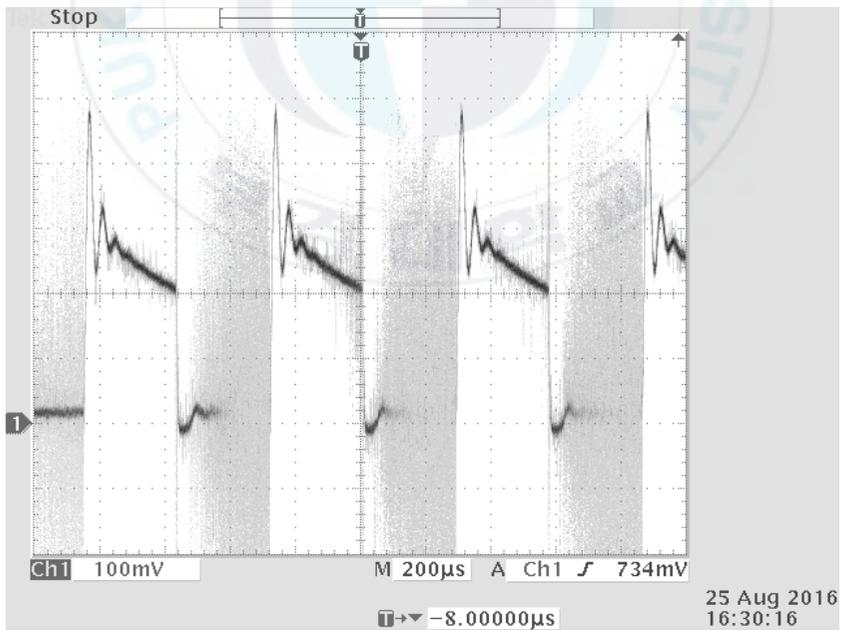


그림 3.10 외란 빛에 대한 RGB센서 B단 출력파형

일반 빛으로 인한 플로팅 성분의 경우 커패시터를 이용하여 제거 할 수 있으나, 커패시터의 용량 및 반응 속도 등의 이유로 커패시터 선정시 많은 실험이 필요하다. 본 논문에서는 세라믹 콘덴서(용량:0.0005uF)를 사용하여 플로팅 성분을 그림 3.11, 3.12, 3.13와 같이 제거하였다. 하지만 일반 빛으로 인한 플로팅 성분은 제거 되었지만, 파형의 아랫부분의 일그러짐을 확인 할 수 있다. 이러한 R, G, B 자극치 출력은 공통적으로 파형의 아랫부분이 일그러진다는 특성을 보이고 있으며, 그 외의 다른 부분에서는 일그러짐을 보이고 있지 않는 것으로 확인 되었다.

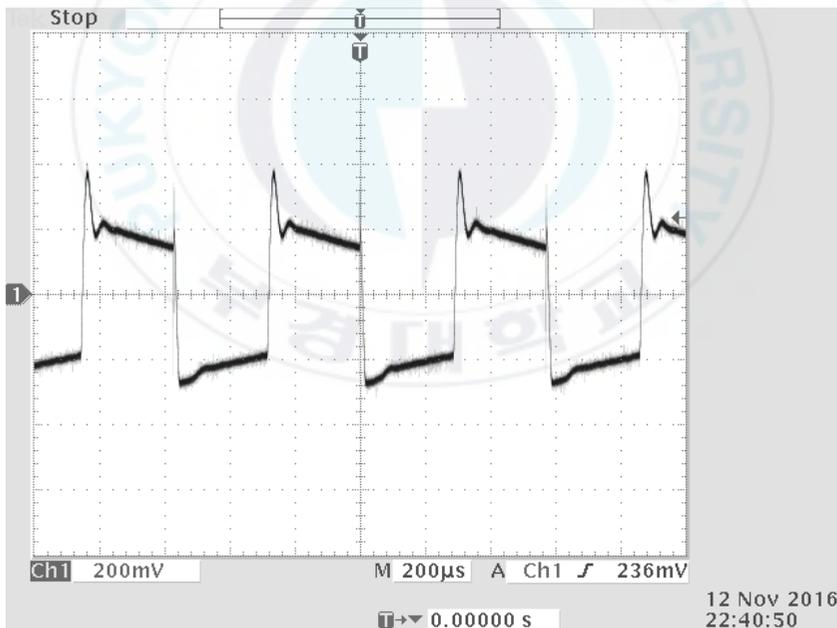


그림 3.11 플로팅 성분 제거 후 외란이 주어진 RGB센서 R단 출력파형

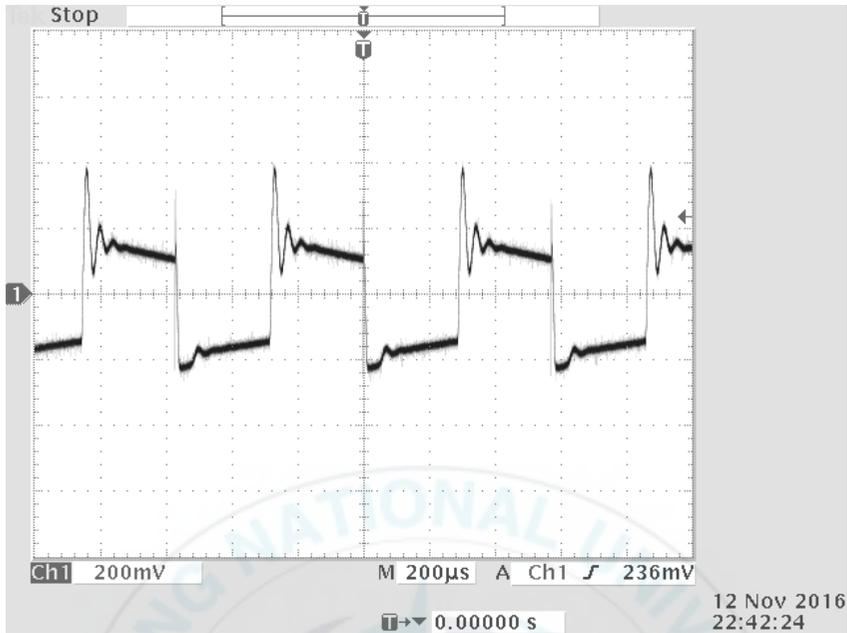


그림 3.12 플로팅 성분 제거 후 외란이 주어진 RGB센서 G단 출력파형

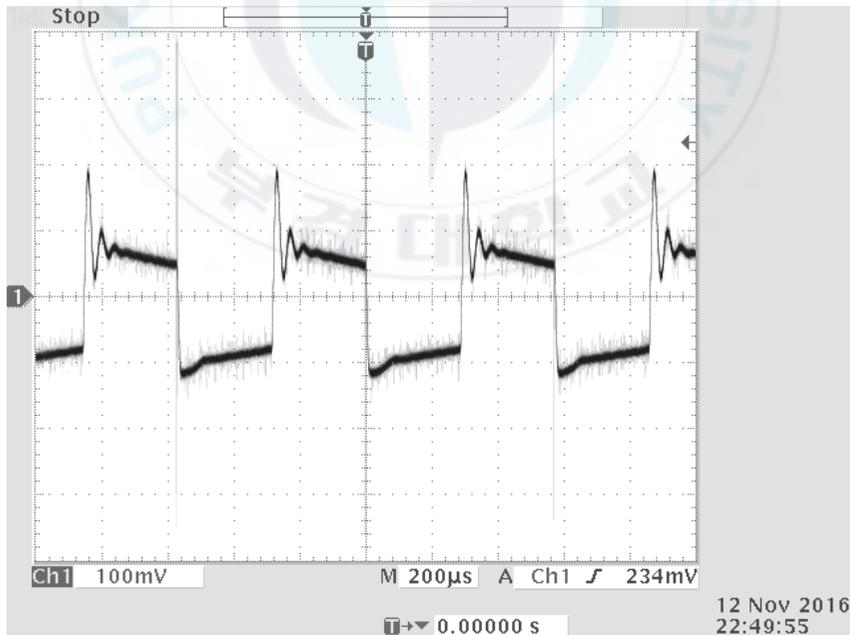


그림 3.13 플로팅 성분 제거 후 외란이 주어진 RGB센서 B단 출력파형

따라서, 일반 빛으로 인한 파형의 일그러짐 및 플로팅 성분은 외란이라고 볼 수 있다. 이러한 외란을 제거한 상태에서 차로 위치측위를 위한 LED 조명기의 색도만을 측정하기 위해 본 연구에서는 그림 3.14의 Prefilter 회로를 설계하여 그림 3.15과 같이 구현하여 플로팅 성분과 파형의 아랫부분의 일그러짐을 억제하였다.

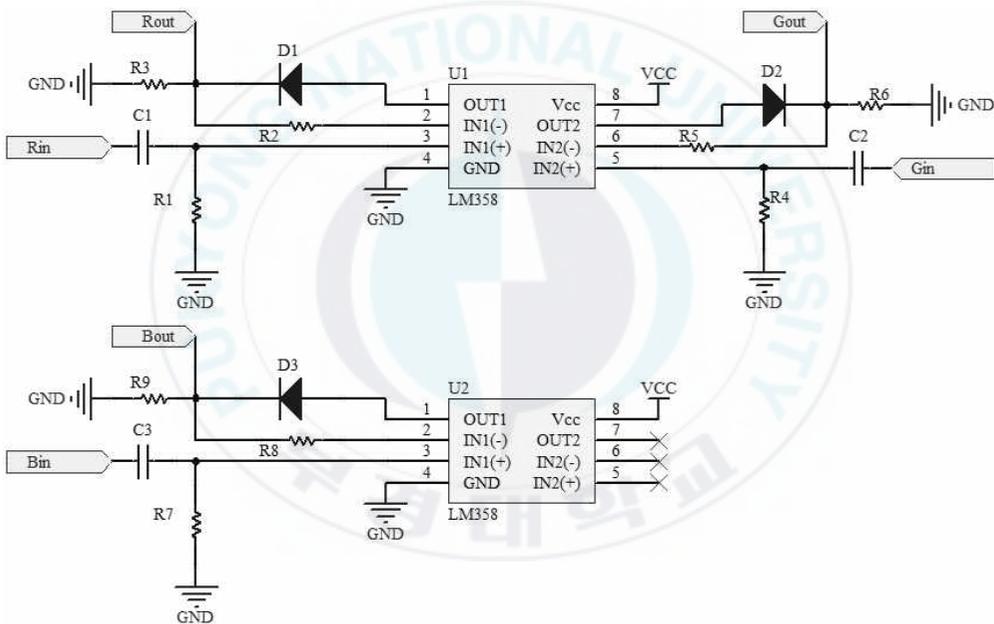


그림 3.14 RGB센서 신호처리를 위한 Prefilter 회로도

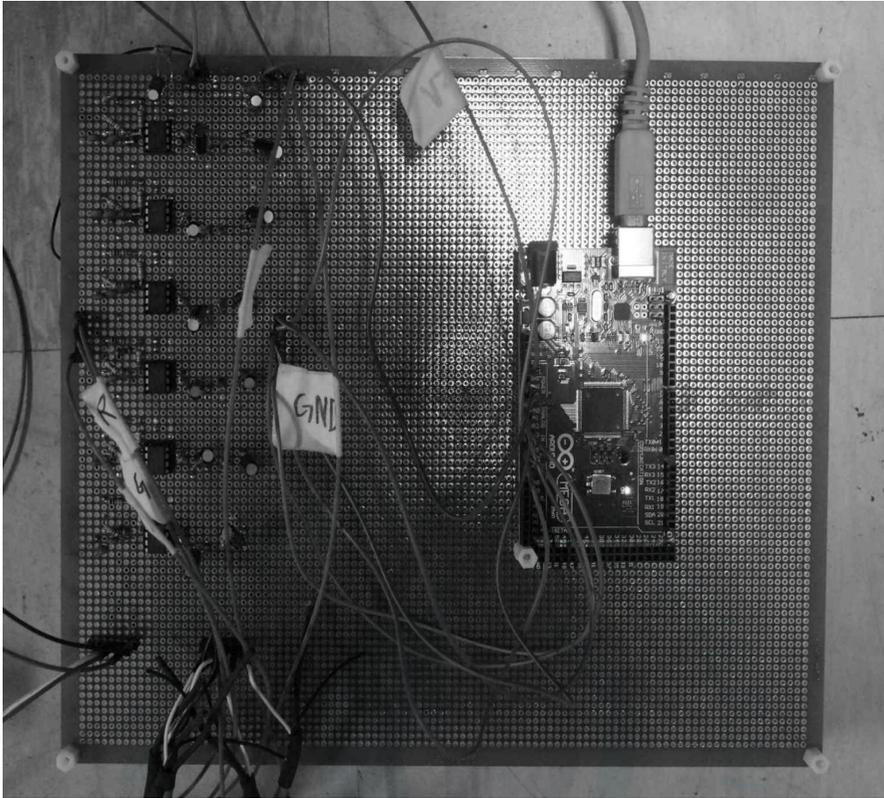


그림 3.15 RGB센서 신호처리를 위한 Prefilter 회로 구현

또한 자동차 도로에는 자동차의 헤드라이트 및 각종 안내 표지판과 같은 다른 형태의 펄스구동 LED 조명장치에 대한 R, G, B 자극치를 제거할 필요가 있다. 본 연구에서는 이러한 외란을 제거하기 위해 디지털 필터를 적용하였으며, 지연요소가 적은 IIR 필터를 이용하여 다른 수과수를 가지고 있는 빛에 대한 RGB센서의 R, G, B 자극치를 제거하고자 한다.

이산 선형 시불변 IIR 시스템은 일반적으로 식(3.1)과 같은 차분방정식으로 표현할 수 있다.

$$y(n) = - \sum_{k=1}^N a_k y(n-k) + \sum_{k=0}^M b_k x(n-k) \quad (3.1)$$

식(3.1)의 IIR 필터는 FIR필터와 다르게 이전 출력을 다시 입력으로 사용한다. 시간 영역에서 표현된 차분 방정식을 복소평면에서 표현하기 위하여 z -변환을 하면 식(3.2)를 구할 수 있다[6].

$$H(z) = \frac{\sum_{k=0}^M b_k z^{-k}}{1 + \sum_{k=1}^N a_k z^{-k}} \quad (3.2)$$

이때 $H(z)$ 는 시스템의 전달 함수이며, IIR 필터를 구현하기 위한 대표적인 형태는 direct, Cascade, Lattice 구조 등이 있다.

본 논문에서는 IIR 필터 Direct Form2를 MATLAB FDA Tool을 이용하여 그림 3.16, 3.17, 3.18, 3.19,와 같이 디지털 밴드 패스 필터를 설계하였다.

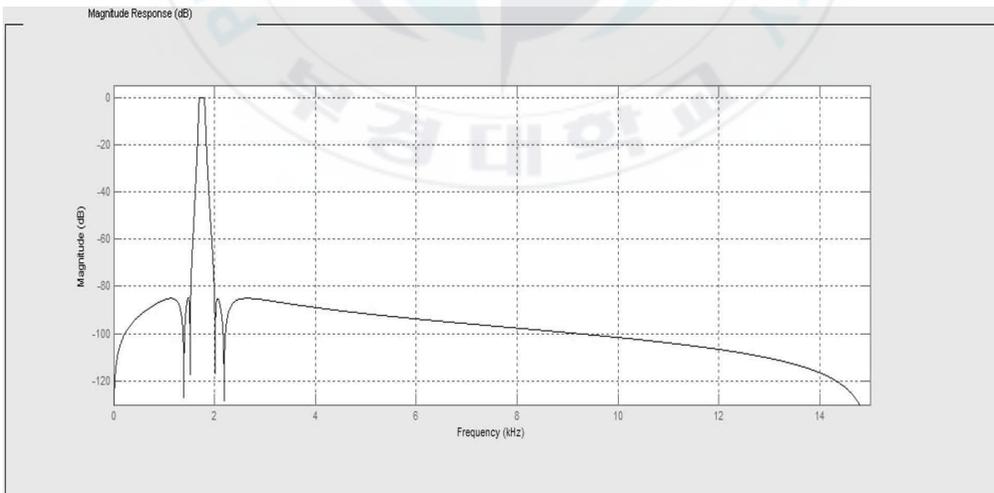


그림 3.16 MATLAB FDA Tool을 이용한 1.75K[Hz] 디지털 필터 설계

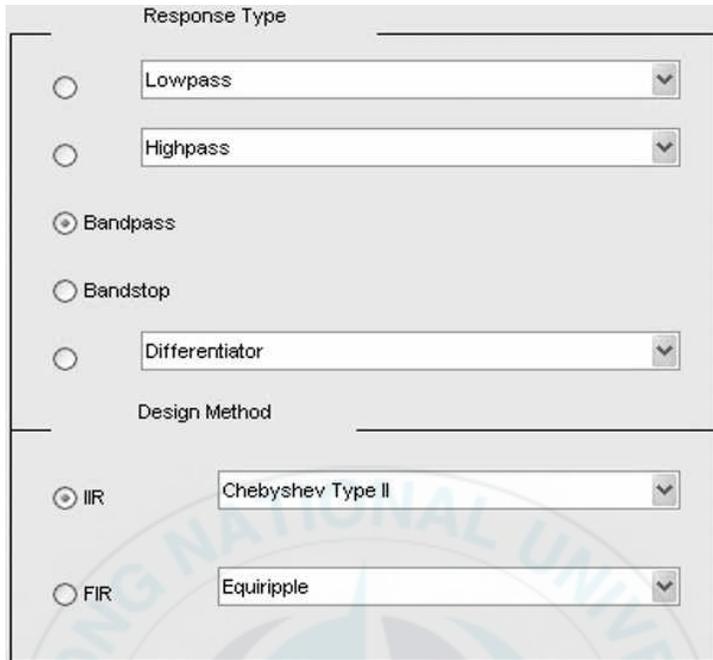


그림 3.17 MATLAB FDA Tool 필터 타입



그림 3.18 MATLAB FDA Tool 필터 정보

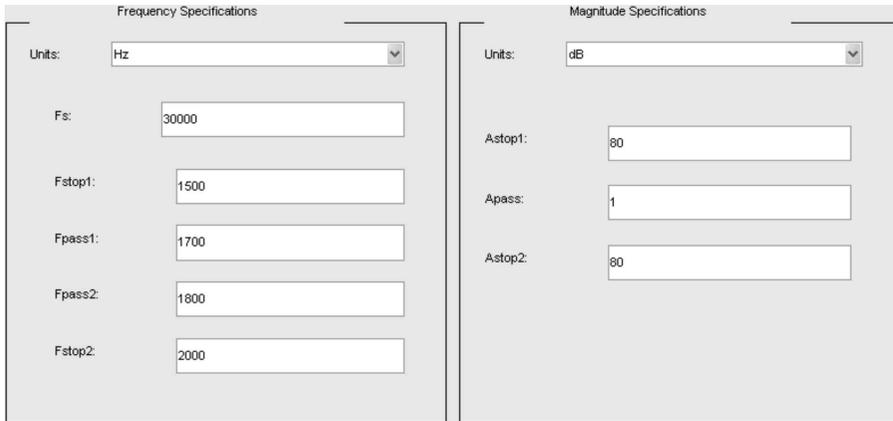


그림 3.19 MATLAB FDA Tool 밴드패스 필터 파라미터

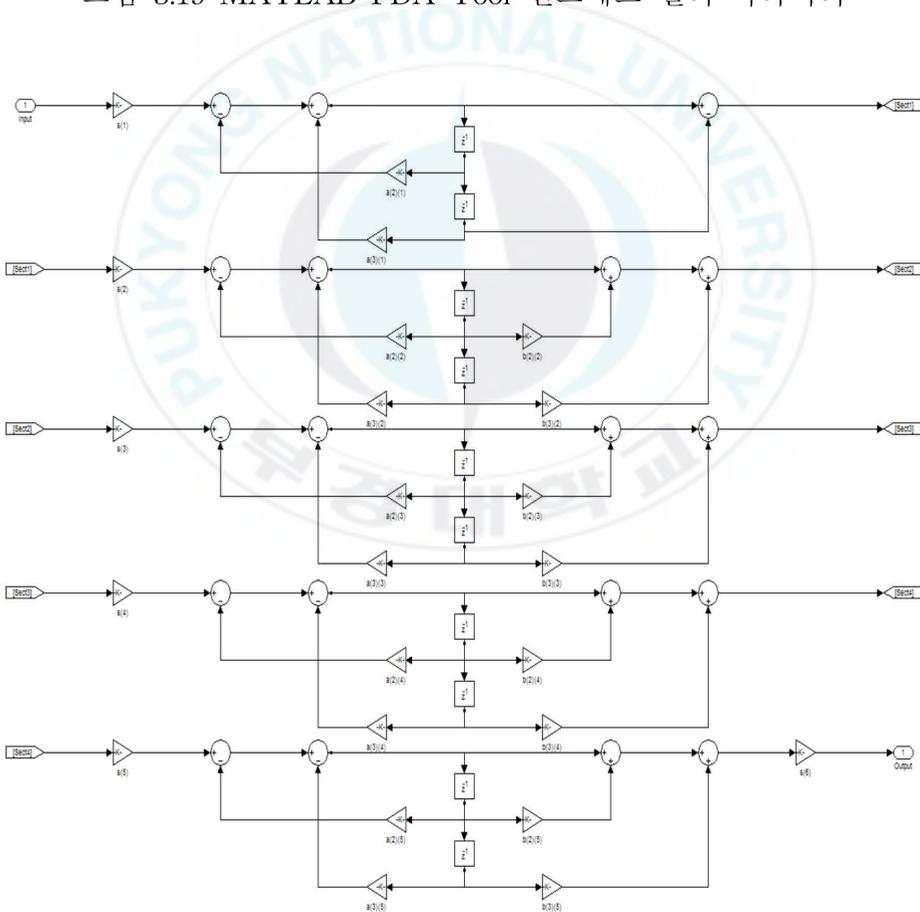


그림 3.20 1.75KHz 밴드패스 필터 MATLAB&Simulink 설계

본 연구에서는 MATLAB&Simulink에서 구현한 IIR 밴드 패스 필터를 구현하기 위해 그림 3.21과 같이 dSPACE Simulink에서 FDA Tool을 이용하여 설계하였으며, RGB센서의 출력인 R, G, B 자극치 각각에 대한 필터링을 위해 3개의 ADC 입력단과 DAC 출력단으로 구성하였다. 또한, 본 연구에서 실제 밴드패스 필터의 성능을 확인하기 위해 그림 3.22, 3.23와 같이 4.75K[Hz]의 빛을 같이 조사하여 실험을 진행 하였으며, 그림 3.24, 3.25, 3.26과 같이 1.75K[Hz]의 성분을 통과시키는 밴드패스 필터 성능을 확인 하였다. 본 실험은 dSPACE사의 Micro-AutoBox(ds1401)를 이용하여 진행하였다.

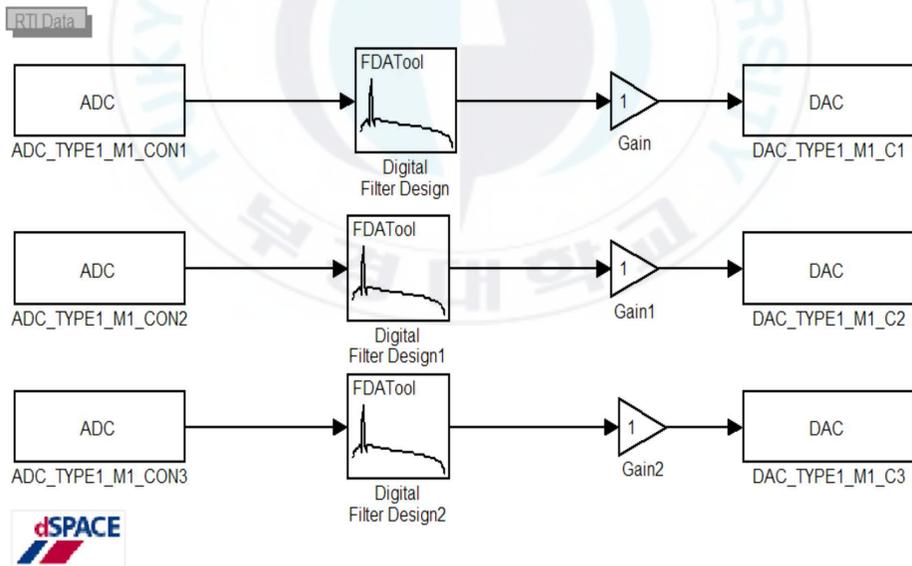


그림 3.21 dSPACE Simulink 설계

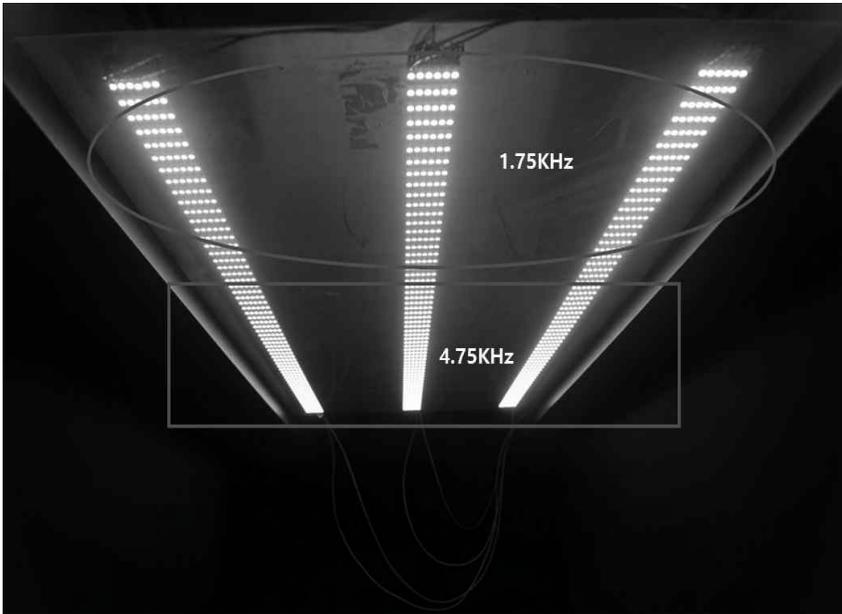


그림 3.22 필터 성능 실험을 위해 LED 조명기 구성

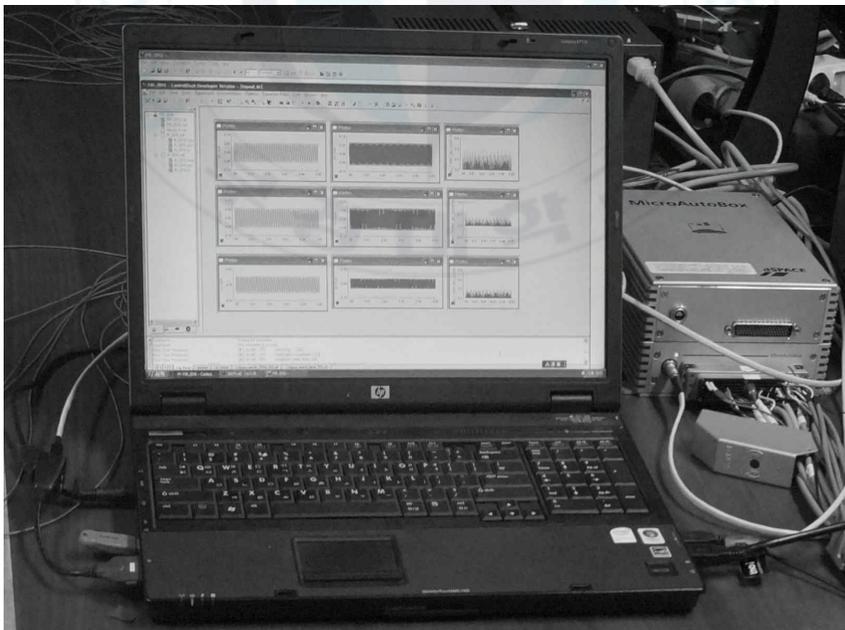


그림 3.23 Micro-AutoBox(ds1401)를 이용한 주파수 필터 실험

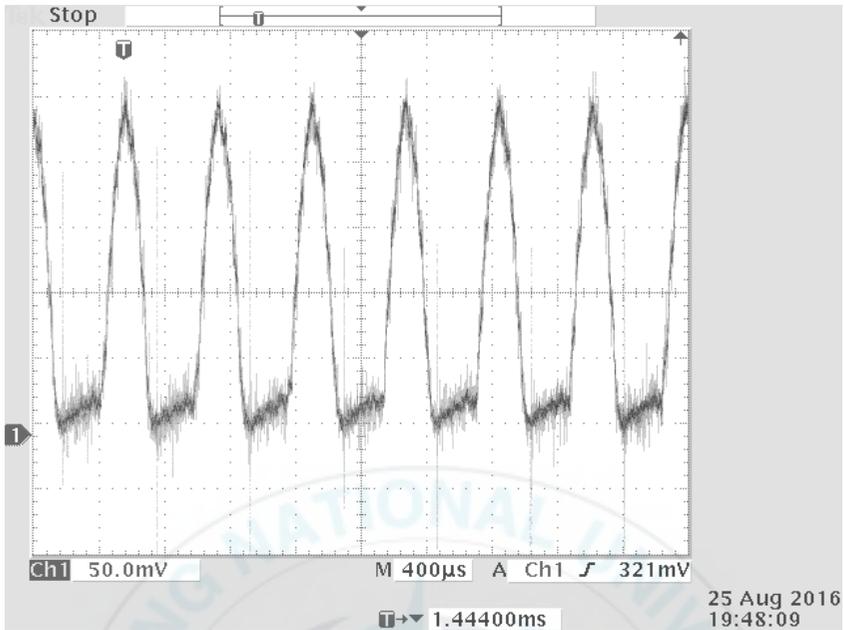


그림 3.24 Prefilter회로 R신호에 대한 1.75K[Hz]밴드패스 필터 출력파형

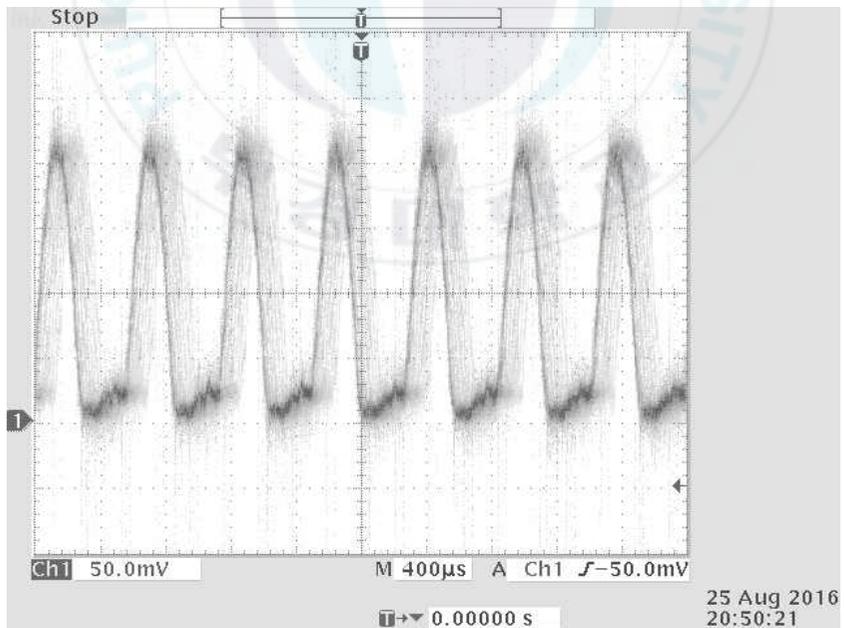


그림 3.25 Prefilter회로 G신호에 대한 1.75K[Hz]밴드패스 필터 출력파형

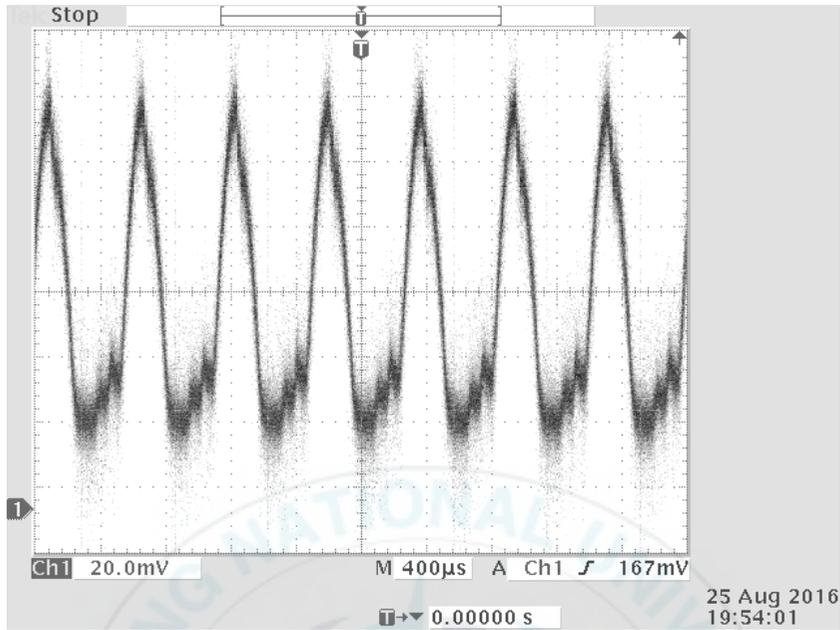


그림 3.26 Prefilter 회로 B 신호에 대한 1.75K[Hz] 밴드패스 필터 출력 파형

제 4 장 차로 위치추위를 위한 Fuzzy

제어기 설계 및 실험

4.1 기준 색도 데이터 수집

본 연구에서 RGB센서에 입력되는 R, G, B 자극치는 Prefilter 회로를 통해 외란으로 인한 플로팅 성분 제거와 파형의 일그러짐을 최소화 하여 Micro-AutoBox(ds1401)에 입력되어 밴드패스 필터를 통과하게 된다. 즉 1.75 K[Hz]성분을 출력한다. 이러한 신호를 아날로그 신호로 변환하여 Arduino2560(MCU)에 입력되어 RGB신호에 따른 x색도값을 출력 하도록 그림 4.1과 같이 시스템을 구성하였다. 차로 위치추위를 위한 LED 빛의 색도 측정은 MATLAB&Simulink와 Arduino2560(MCU)를 연동하여 실시간으로 색도를 측정할 수 있으며, 본 실험에서는 색도 x의 값이 y의 값보다 변화량이 그림 2.1과 같이 크기 때문에 본 차로 위치추위를 위한 색도를 x로 선택하여, MATLAB&Simulink의 색도 측정 알고리즘은 그림 4.2와 같다. 색도 측정은 그림 3.1의 모의 실험환경에서 그림 4.3과 같이 폭 60cm의 차로를 10cm간격으로 Low, Middle, High 3군데의 x색도 값을 측정 하였다. 그 이유는 측정을 진행하는데 있어 본 실험에서 만든 LED 조명기의 LED바가 정밀하게 부착되지 않아 위치에 따른 색도 측정값이 조금씩 차이가 발생하였기 때문이다. 그래서 Low, Middle, High로 나누어 색도 값을 측정하였으며, 결과는 표 4.1과 같으며, Min-Max 평균값을 그림 4.4와 같이 표현하면 색도의 변화가 0~60cm까지 선형적으로 변화는 것을 확인 할 수 있다. 이러한 선형적인 색도값의 변화의 이유는 예로 1차선과 2차선의 사이의 색온도가 3000K와 4500K의 빛의 혼합으로 인한 것이다. 즉 그림 2.1의 색도도를 근거로 낮은 색온

도의 빛이 짙어 질수록 x색도 값은 증가하는 것을 확인 할 수 있었다. 표 4.1의 색도값을 바탕으로 위치를 결정하는데 있어 애매모호한 부분이 있어 퍼지제어기를 사용하여 색도에 따른 위치를 결정하였으며, 먼저 퍼지제어기를 설계하기 전에 가장 중요한 기준이 되는 색도 데이터 수집이 필요로 한다. 본 퍼지제어기 설계에서는 표 4.1의 데이터를 바탕으로 퍼지제어기를 설계를 진행 하였다.

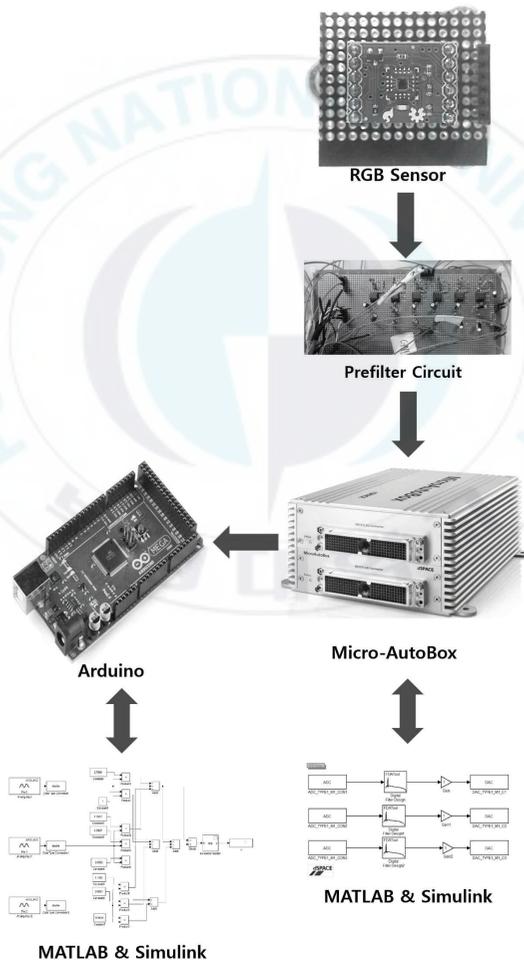


그림 4.1 색도 측정을 위한 실험 장비 구성

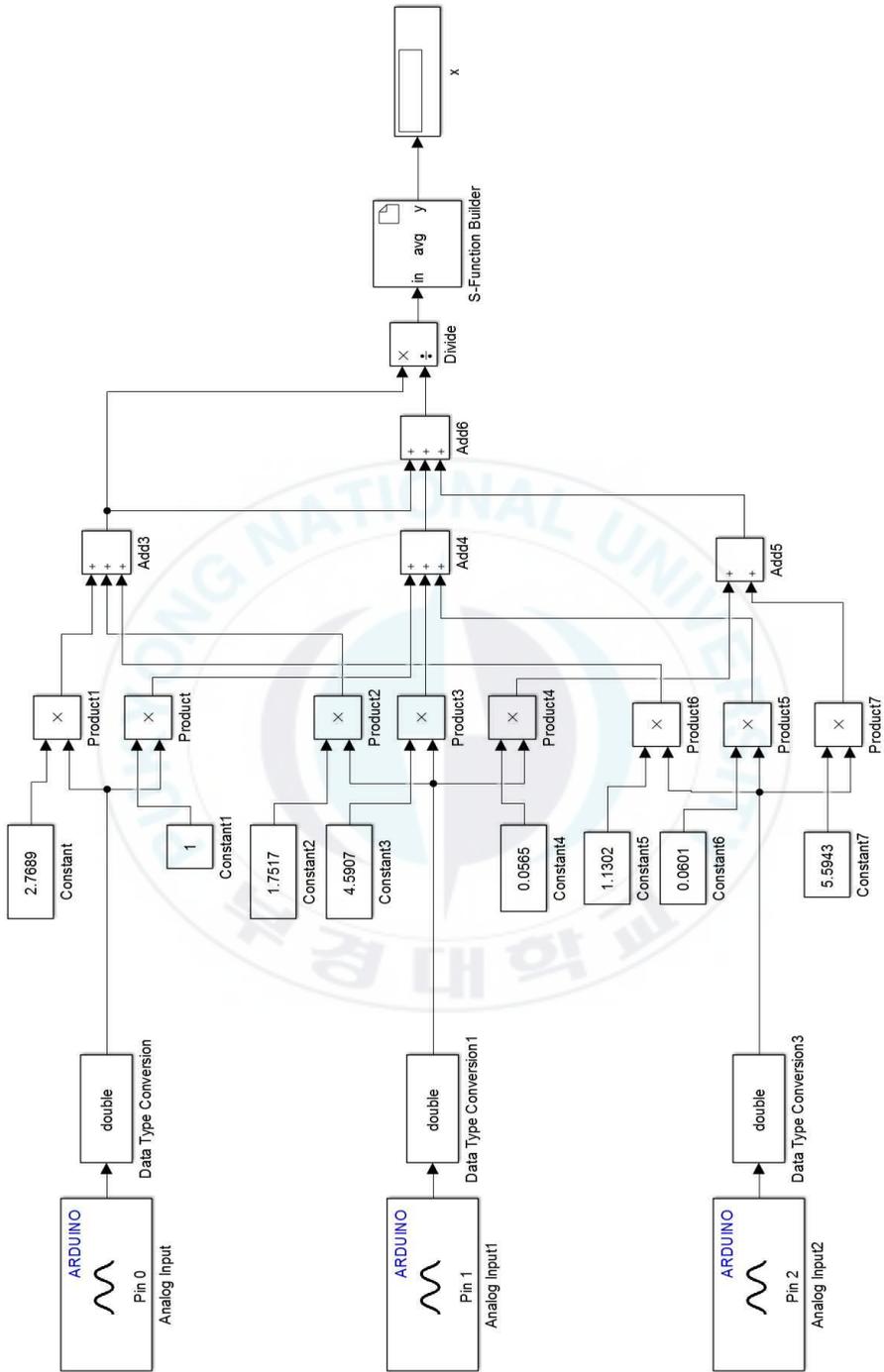


그림 4.2 x색도측정을 위한 MATLAB & Simulink 설계

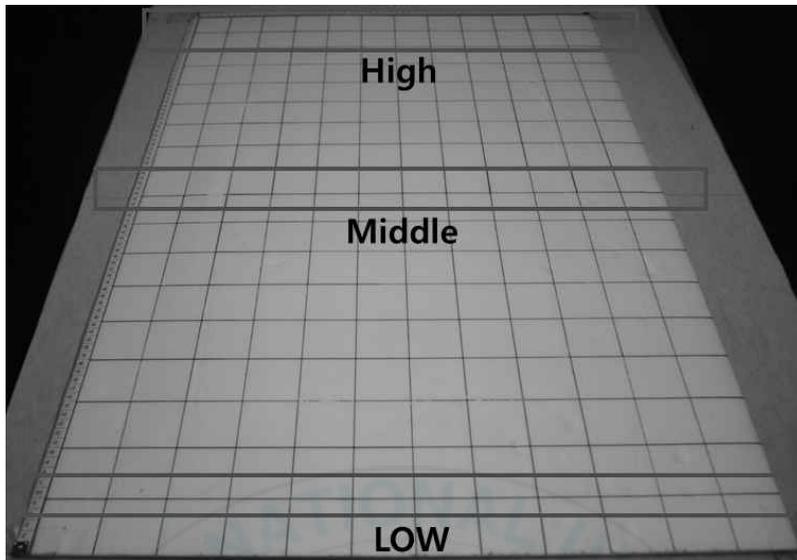


그림 4.3 차로 위치측정을 위한 x색도 측정 위치 환경

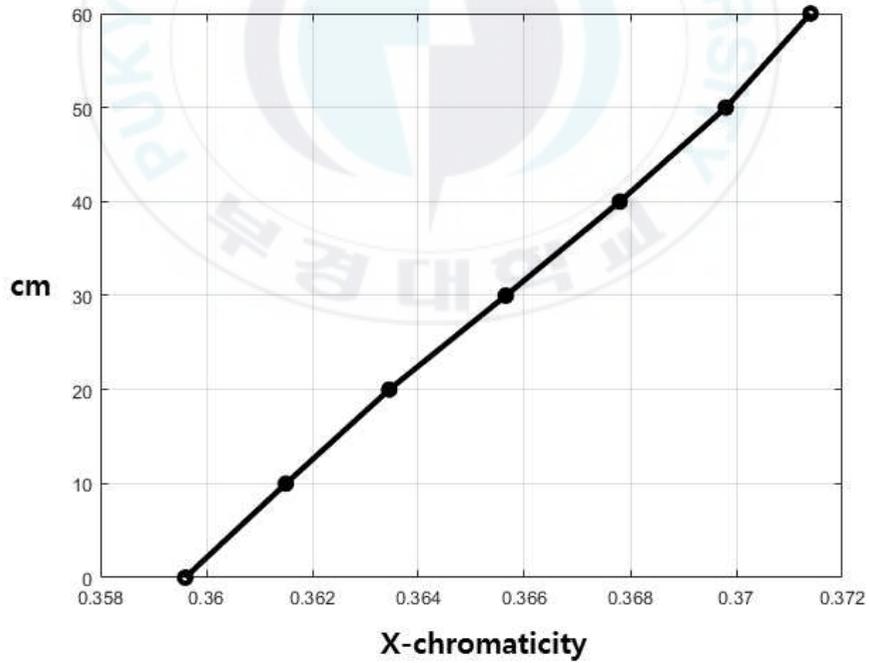


그림 4.4 0~60cm를 10cm 단위로 x색도 측정 결과

표 4.1 0~60cm를 10cm 단위로 x색도 측정 결과

X축 위치(cm)		x	Min-Max 평균
0	Low	0.3591	0.3596
	Middle	0.3602	
	High	0.359	
10	Low	0.3614	0.3615
	Middle	0.3618	
	High	0.3612	
20	Low	0.3631	0.36345
	Middle	0.3638	
	High	0.3632	
30	Low	0.3652	0.36565
	Middle	0.3661	
	High	0.3656	
40	Low	0.3674	0.3678
	Middle	0.3682	
	High	0.3681	
50	Low	0.3695	0.3698
	Middle	0.3701	
	High	0.3697	
60	Low	0.3712	0.3714
	Middle	0.3717	
	High	0.3711	

4.2 퍼지제어기 설계

먼저 퍼지제어기의 사용될 입력변수 및 출력변수를 설정한다. 본 논문에서 퍼지제어기의 경우 단일 입력에 단일 출력을 가지는 SISO(Single Input Single Output) 시스템이다. 입력으로는 x색도값을 입력변수로 정의하고 출력은 거리(cm)로 하였으며, 실험을 통해 얻은 표 4.1의 데이터를 기반으로 퍼지제어기를 설계하였다. 퍼지제어를 이용하여 위치를 측위를 하였으며, 퍼지제어기 설계는 그림 4.6과 같이 입력변수인 색도 값의 맴버쉽함수가 완성된 그림이다. 본 퍼지제어에서는 삼각형 소속도함수를 이용하였다. 그림 4.7은 출력변수인 차선 위치(cm)의 맴버쉽함수가 완성된 그림이다. 이렇게 입·출력 맴버쉽 함수를 설계 후 그림 4.8과 같이 퍼지룰을 설정하였으며, 그림 4.9와 같이 퍼지제어기의 성능을 대략적으로 확인 하였다.

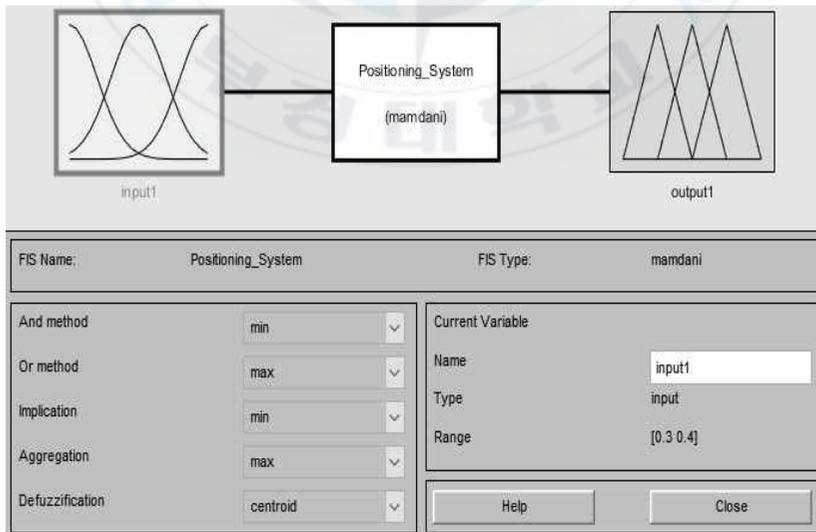


그림 4.5 MATLAB의 Fuzzy 제어기

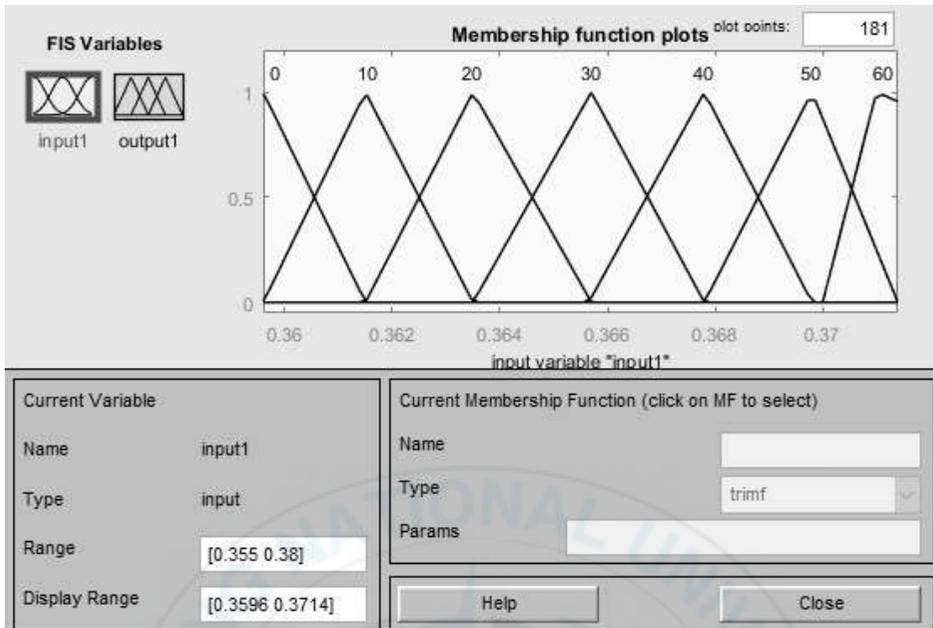


그림 4.6 x색도값에 대한 소속함수

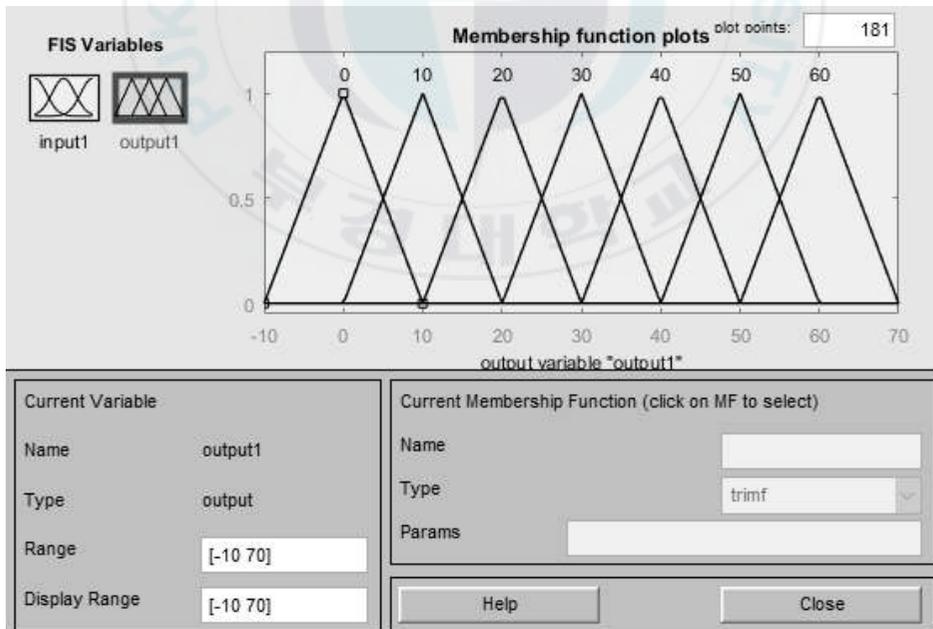


그림 4.7 위치 출력변수에 대한 소속함수

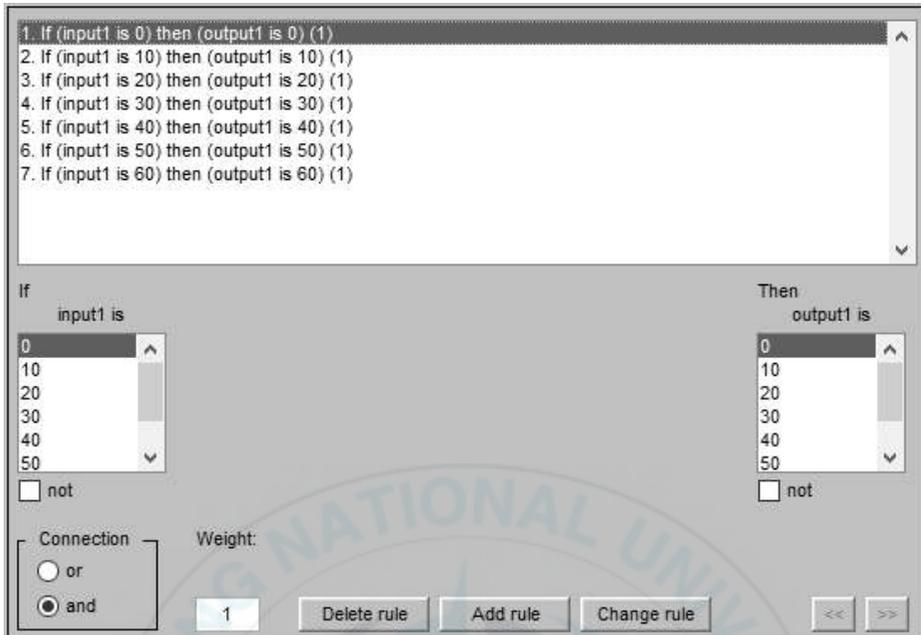


그림 4.8 퍼지규칙

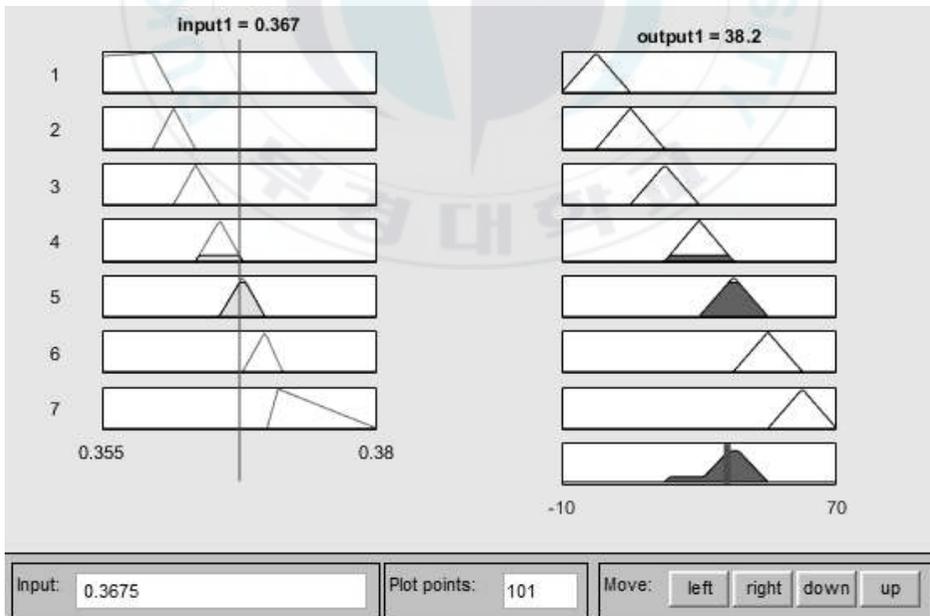


그림 4.9 차선 위치측위 퍼지제어기의 동작

4.3 차로 위치측위 실험

본 연구에서는 차로 위치측위를 위한 퍼지제어기를 설계하였다. 이러한 퍼지제어기를 그림 4.2에 추가하여 그림 4.11과 같이 MATLAB&Simulink와 Arduino2560(MCU) 연동하였으며, 실시간으로 x색도에 따른 위치를 측정하기 위하여 그림 3.1과 같은 실험환경에서 그림 4.10과 같이 RGB센서를 X는 5~60cm, Y는 0~80cm까지 5cm 단위로 이동시키며 측정하였다. 결과는 표 4.2와 같으며, 측정 오차는 약 5cm이내를 보이고 있다. 또한 차선을 인식하는데 있어, 본 실험 환경의 폭 60cm기준으로 20cm간격으로 1차선(0~20cm), 2차선(21~40cm), 3차선(41~60cm)로 차선을 선정하였으며, 정수를 가지고 차선을 판별하였으며, 표 4.3과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

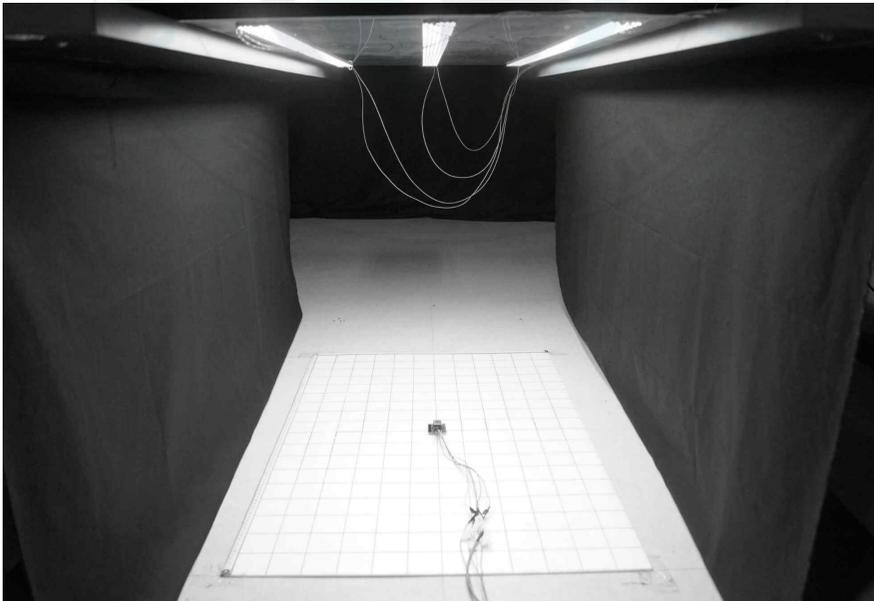


그림 4.10 RGB센서를 이용한 차로 위치 실험

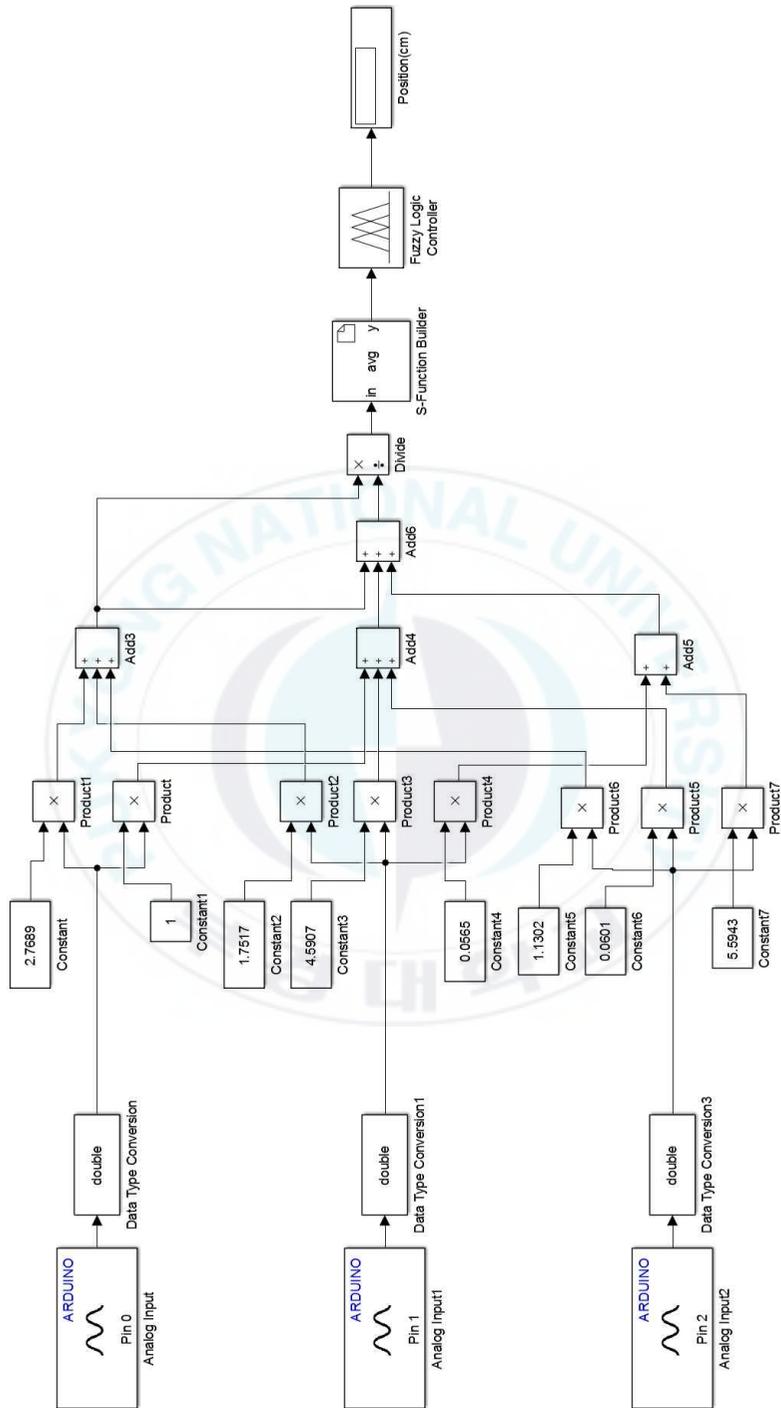


그림 4.11 차선 위치추위를 위한 MATLAB & Simulink 설계

표 4.2 차선 위치측위 실험 결과

		X(cm)											
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Y (cm)	0	3.93	9.26	14.6	17.6	23.9	27.3	33.3	37.7	43.3	48.1	53.4	58.4
	5	4.37	8.61	14.2	17.6	22.7	26.1	32.9	36.4	42.4	47.1	52.5	57.8
	10	3.03	8.02	13.3	18.1	25.7	30.3	35.2	41.3	44.6	50.0	52.4	58.4
	15	1.4	5.64	11.9	18.7	25.1	30.0	34.9	38.2	43.8	48.1	54.0	57.7
	20	3.49	6.99	14.6	21.8	28.0	31.5	34.1	37.7	41.9	47.9	55.8	57.8
	25	3.02	8.02	13.8	18.1	25.4	30.3	34.1	39.3	43.8	49.3	55.8	58.4
	30	3.49	8.61	14.6	18.3	24.5	30.3	36.8	41.9	46.2	51.4	54.8	59.1
	35	5.64	12.4	16.6	21.2	28.0	32.5	36.4	42.4	49.3	54.1	57.8	60.0
	40	7.48	11.9	17.1	21.8	25.1	32.5	36.8	42.4	47.6	51.4	56.3	60.0
	45	5.64	11.3	15.8	22.2	25.7	30.8	35.2	40.7	45.0	50.0	56.3	60.0
	50	6.07	11.3	15.4	20.6	25.4	31.0	35.6	40.6	45.4	50.1	55.8	60.0
	55	6.08	10.7	15.0	20.7	28.0	31.5	35.2	39.3	45.4	50.0	54.8	60.0
	60	5.21	10.0	15.4	21.2	25.7	30.3	35.2	39.3	44.2	49.3	55.3	60.0
	65	4.37	10.0	14.6	20.6	24.6	28.3	34.5	38.2	44.6	47.6	54.1	58.4
	70	3.49	8.61	14.6	19.3	25.0	27.8	33.7	38.7	44.2	48.1	54.1	58.4
	75	3.94	8.02	15.0	18.7	25.7	30.0	32.5	37.2	43.8	47.1	53.4	57.8
	80	3.49	8.02	13.3	18.1	25.1	29.4	35.6	41.9	45.0	49.3	53.4	57.8

표 4.3 차선 판정 실험 결과

		X(cm)											
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Y (cm)	0	3.93	9.26	14.6	17.6	23.9	27.3	33.3	37.7	43.3	48.1	53.4	58.4
	5	4.37	8.61	14.2	17.6	22.7	26.1	32.9	36.4	42.4	47.1	52.5	57.8
	10	3.03	8.02	13.3	18.1	25.7	30.3	35.2	41.3	44.6	50.0	52.4	58.4
	15	1.4	5.64	11.9	18.7	25.1	30.0	34.9	38.2	43.8	48.1	54.0	57.7
	20	3.49	6.99	14.6	21.8	28.0	31.5	34.1	37.7	41.9	47.9	55.8	57.8
	25	3.02	8.02	13.8	18.1	25.4	30.3	34.1	39.3	43.8	49.3	55.8	58.4
	30	3.49	8.61	14.6	18.3	24.5	30.3	36.8	41.9	46.2	51.4	54.8	59.1
	35	5.64	12.4	16.6	21.2	28.0	32.5	36.4	42.2	49.3	54.1	57.8	60.0
	40	7.48	11.9	17.1	21.8	25.1	32.5	36.8	42.2	47.6	51.4	56.3	60.0
	45	5.64	11.3	15.8	22.2	25.7	30.8	35.2	40.7	45.0	50.0	56.3	60.0
	50	6.07	11.3	15.4	20.6	25.4	31.0	35.6	40.6	45.4	50.1	55.8	60.0
	55	6.08	10.7	15.0	20.7	28.0	31.5	35.2	39.3	45.4	50.0	54.8	60.0
	60	5.21	10.0	15.4	21.2	25.7	30.3	35.2	39.3	44.2	49.3	55.3	60.0
	65	4.37	10.0	14.6	20.6	24.6	28.3	34.5	38.2	44.6	47.6	54.1	58.4
	70	3.49	8.61	14.6	19.3	25.0	27.8	33.7	38.7	44.2	48.1	54.1	58.4
	75	3.94	8.02	15.0	18.7	25.7	30.0	32.5	37.2	43.8	47.1	53.4	57.8
80	3.49	8.02	13.3	18.1	25.1	29.4	35.6	41.9	45.0	49.3	53.4	57.8	

○:1차선, □:2차선, ◇:3차선, △:차선 판별 Error

제 5 장 결 론

본 논문에서는 LED 조명기의 R, G, B 자극치를 분석하여 자율 주행차량의 차로 위치측위 시스템을 구현하여 실험을 하였다. 먼저 LED 조명기의 색온도를 각각 3000K, 4500K, 6000K의 3가지를 LED 조명기를 사용하였다. 이로 인해 각 조명기의 색온도가 혼합 및 중첩됨에 따라 xy색도는 변하게 된다. 이러한 색도의 변화를 이용하였으며, 본 논문에서는 색도값 중 변화가 제일 큰 x값을 이용하여 위치를 측위 하였다. 하지만 이러한 위치측위에 있어 외란의 요소가 존재한다. 본 논문에서는 차로 위치측위를 위한 LED 조명기의 빛 이외의 빛은 외란이라고 볼 수 있다. 이러한 외란을 최소화하기 위해 LED 조명기를 스위칭 동작을 시킴으로 시간에 따른 변화가 느린 다른 빛과 분리 할 수 있도록 하였다. 또한 외란으로 인한 플로팅 성분 및 파형의 일그러짐을 Prefilter 회로 설계를 통해 외란에 의한 RGB센서의 R, G, B 자극치 파형의 변화를 최소화 하였으며, 실제 자동차 도로에는 자동차의 헤드라이트 및 각종 안내 표지판과 같은 다른 형태의 펄스구동 LED 조명장치에 대한 R, G, B 자극치를 제거하기 위해 디지털 밴드패스 필터를 이용하여, 주파수 성분이 있는 외란 빛에 대한 강인성을 가지게 설계하였다. 이러한 과정을 통해 차로 위치측위 시스템의 변동을 최소화하여 실험을 진행 하였으며, 이러한 시스템의 알고리즘은 MATLAB & Simulink와 Arduino를 사용하여 실시간으로 차로 위치측위를 하도록 설계하였다.

본 연구의 실험은 자율주행 차량의 차로 위치측위의 정밀도를 높이고자 연구되었으며, 향후 자율주행 자동차를 위한 도로에서는 본 논문에서 제안하는 가로등이 설치되어야 함을 제안한다. 또한 꾸준한 연구를 통해 본 논문에서 제안한 LED 가로등의 색도를 이용한 차로측위 기술을 기존의

GPS 및 Vision, IMU와 융합하여 위치 및 차로 인식 기술을 연구한다면, 음영지역에 대한 차로 위치측위의 정밀도를 높일 수 있을 것으로 예상되며, 차로 위치측위뿐만 아니라 터널과 같은 음영지역에서 본 논문에서 제안하는 LED 가로등을 배열하여 2차원 평면 측위도 가능 할 것으로 판단된다.



참고 문헌

- [1] 이재관 “자율주행자동차 개발동향 및 시사점” 2015년 전기계 HOT기술 동향
- [2] 공승현, 전상윤, 고현우, “센서융합 측위 기술의 현황과 연구 동향” 한국통신학회지(정보와 통신), Vol. 32 No. 8, 2015.07
- [3] 김병욱, 송덕원, 이지환, 정성윤 “차량-인프라간 가시광 통신 기반 측위 기술” 한국통신학회논문지, Vol. 40 No. 3, 2015.03
- [4] 공인엽, 김호진, “LED 조명 기반 가시광 무선 통신을 이용한 실내 위치 인식 실험 및 분석” 한국정보통신학회논문지, Vol. 15 No. 5, 2011.05
- [5] 박호중, 심동규, 유지상 “디지털 신호 처리” 생능출판사, 2009.08
- [6] 이병룡 “퍼지신경망 제어 Matlab/Simulink를 중심으로” 울산대학교출판부, 2012.09
- [7] 홍대선 “공학도를 위한 퍼지시스템 입문” 문운당, 2010.08
- [8] 강문식, 신경욱 “전자회로 핵심 개념부터 응용까지” 한빛아카데미, 2013.07
- [9] 전현식, 김나리, 박현주 “실내 환경에서 효과적인 위치 측위 시스템에 관한 연구” 한국통신학회논문지, Vol. 34 No. 2, 2009.02
- [10] 송정훈, 서대화 “차량용 센서융합 정밀 측위 기술” 한국통신학회지(정보와 통신), Vol. 30 No. 11, 2013.10
- [11] 정재승, 민정동 “자동차용 정밀 측위 기술 동향” 한국통신학회지(정보와 통신), Vol. 32 No. 8, 2015.07
- [12] 정병목, 석진우, 조지승, 이재원 “GPS정보를 이용한 지능형 차량의 자율 경로추적 제어” 한국정밀공학회지, Vol. 25 No. 10, 2008.10
- [13] 이재관 “SMART 도로-차량 연계 사고예방 기술” Journal of the Kor

ean Society of Automotive Engineers, Vol. 35 No. 11, 2013.11

[14] 김현조, “퍼지제어기를 이용한 원거리 입체카메라용 수평리그의 축간
거리 결정에 관한 연구” 석사논문 부경대학교 공과대학원, 제어계측공
학과 2015

[15] Noboru O “Introduction to Color Reproduction Technology”Corona
Publishing Co., Ltd.



감사의 글

학부 4학년부터 대학원 까지 연구실 생활을 하면서 부족한 저를 항상 이끌어 주시고 충고와 격려를 아끼지 않으신 변기식 교수님께 감사드립니다. 대학원 생활을 하면서 교수님의 많은 지원으로 폭 넓은 경험과 실력을 쌓을 수가 있었습니다. 진심으로 감사합니다. 교수님!

바쁘신 와중에서 시간을 내어 주시어 좋은 논문이 완성 되도록 지도 해주신 김남호 교수님, 황용연 교수님께 감사드리며, 대학교 생활 동안 많은 관심과 가르침을 주신 이형기 교수님, 최연욱 교수님, 김만고 교수님, 안영주 교수님, 이경창 교수님께 깊이 감사드립니다. 저의 많은 궁금증에 대해 해결 해주셨을 뿐만 아니라 연구실 생활에서 힘들 때 마다 버팀목이 되어 주신 김민 박사님, 밤늦게 까지 연구를 같이하며 고생한 원현이, 과제를 수행할 때마다 많은 도움과 어려울 때마다 조력자이시자 인생의 멘토로써 많은 도움을 주신, 원영수 박사님 정말 감사드립니다. 저희 연구실을 많이 도와주시는 우와테크 사장님 그리고 저를 도와주신 많은 분들을 일일이 다 적지는 못하지만 항상 감사드립니다. 그리고 나의 친구 형남이, 진원이, 우영이, 용준이 등 친구들 이름을 다 나열하지 못하지만 항상 힘이 되어준 친구들에게 감사하며, 우리 제어계측공학과 융합방 식구들. 특히 후배들을 항상 챙겨주시는 병삼이형, 경민이형에게 감사하고, 분위기 메이커 이자 동기인 명훈이, 지금은 없지만 같이 고생을 나눴던 원현이, Ace가 되길 바라는 동헌형, 재준형 야단을 쳐도 잘 따라 주는 지현이 모두들 덕에 실험실 생활이 한층 더 즐거웠지만 더욱더 많은 추억을 같이 만들어가지 못한다는 현실이 안타깝구나. 그리고 우리 융합방의 꽃 미호렛 열심히 하자!

마지막으로 대학원 졸업까지 저를 믿고 기다려 주신 아버지와 어머니, 그리고 모든 가족들에게 감사드립니다. 항상 열심히 하는 자세로 맡은바 최선을 다하는 사람이 되겠습니다.

2017년 2월
정재훈 올림