

LED 조명을 이용한 자율주행차용 터널 차로측위 시스템

The Tunnel Lane Positioning System of a Autonomous Vehicle in the LED Lighting

정재훈* · 이동현** · 변기식*** · 조형래**** · 조윤호*****

* 주저자 : 부경대학교 제어계측공학과 석사과정
 ** 공저자 : 부경대학교 제어계측공학과 석사과정
 *** 교신저자 : 부경대학교 제어계측공학과 교수
 **** 공저자 : 한국해양대학교 전파공학과 교수
 ***** 공저자 : ㈜현대SDI 대표

Jae hoon Jeong* · Dong heon Lee** · Gi-sig Byun*** · Hyung rae Cho**** · Yoon ho Cho*****

* Dept. of Control & Instrumentation Eng., Univ. of Pukyong National
 ** Dept. of Control & Instrumentation Eng., Univ. of Pukyong National
 *** Dept. of Control & Instrumentation Eng., Univ. of Pukyong National
 **** Dept. of Radio Communication Eng., Univ. of Korea Maritime and Ocean
 ***** Company. of Hyundai SDI

† Corresponding author : Gi-sig Byun, gsbyun@pknu.ac.kr

Vol. 16 No.1(2017)
 February, 2017
 pp.186~195

ISSN 1738-0774(Print)
 ISSN 2384-1729(On-line)
<https://doi.org/10.12815/kits.2017.16.1.186>

Received 1 December 2016
 Revised 29 December 2016
 Accepted 4 February 2017

© 2017. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.

요약

최근 자율주행 자동차에 대한 연구가 활발하다. 이러한 자율주행을 실현하기 위해서는 ITS, Connected Car, V2X, ADAS 등의 여러 가지 기술이 있다. 그 중에서도 차선의 변경과 목적지까지 운행하기 위해서는 도로상에서 차량이 어디에 있는가를 인식하는 것이 특히 중요하다. 일반적으로 GPS 및 카메라 영상처리를 통하여 이루어지고 있다. 그러나 GPS의 경우 터널과 같은 음영 지역으로 인한 위치 확인의 신뢰성에 한계가 있으며, 카메라 영상처리를 실행할 경우 도로 차선의 상태 및 도로 주변 환경에 따라 인식 및 측위에 한계가 있다. 본 논문에서는 GPS 음영지역인 터널에서 자율주행 자동차를 위한 LED 조명이 설치되어야 함을 제안한다. 본 논문의 실험에서는 차로별 다른 색온도의 빛을 조사하는 터널 LED 조명 모의 환경을 구성한 후, 색온도를 분석하여 자율주행차의 현재 차로의 위치를 측정할 수 있음을 보였다. 이를 바탕으로 본 연구에서는 터널 LED 조명을 이용한 차로 위치측위 기술을 제안한다.

핵심어 : 자율주행차, 차로측위, 색온도, 색도

ABSTRACT

Recently, autonomous vehicles have been studied actively. There are various technologies such as ITS, Connected Car, V2X and ADAS in order to realize such autonomous driving. Among these technologies, it is particularly important to recognize where the vehicle is on the road in order to change the lane and drive to the destination. Generally, it is done through GPS and camera image processing.

However, there are limitations on the reliability of the positioning due to shaded areas such as tunnels in the case of GPS, and there are limitations in recognition and positioning according to the state of the road lane and the surrounding environment when performing the camera image

processing. In this paper, we propose that LED lights should be installed for autonomous vehicles in tunnels which are shaded area of the GPS. In this paper, we show that it is possible to measure the position of the current lane of the autonomous vehicle by analyzing the color temperature after constructing the tunnel LED lighting simulation environment which illuminates light of different color temperature by lane. Based on the above, this paper proposes a lane positioning technique using tunnel LED lights.

Key words : Autonomous Vehicle, Lane Positioning, Color Temperature, Chromaticity

I. 서 론

현재 자율주행 차량에 관한 연구가 많이 진행 중이다. 이러한 자율 주행의 목적은 차량의 사고 및 인명 피해를 최소화 하고 복지교통사회를 실현하고자 한다. 하지만 이러한 자율주행 자동차를 실현하기 위해서는 위치측위 및 차로측위 시스템은 아주 중요하다(Lee, 2015; Yun and Yu, 2008; Chung et al., 2008). 현재 연구 중인 INS(Inertial Navigation System)의 경우 IMU(Inertial Measurement Unit)의 시간에 따른 오차의 누적으로 발산한다는 문제점이 있으며(Kong et al., 2015) GPS 및 DGPS(Differential GPS)의 경우 위성에 대한 의존도가 높기 때문에 GPS 음영지역에서는 위치측위가 어렵다(Kong and Jeong, 2015). 이러한 문제점을 보완하고자 Wi-Fi, 지자기 센서, 레이더, Vision 등을 융합하여 위치를 측위하려 하지만 비용대비 효과가 한계가 있어 구현하는데 어려움이 있다. 예를 들어 Wi-Fi의 경우 삼각측량법을 사용하여 위치를 측위하고 있지만 단말기 설치 요구된다. 또한 지자기의 경우 센서의 편향과 주변 자기장의 왜곡으로 인한 정확성이 떨어질 수 있다(Kong et al., 2015).

현재 차로 위치측위 시스템의 이러한 문제점을 보완하고자 본 연구에서는 터널과 같은 환경에서 차선의 수직선상에 설치되어 있는 조명을 이용하여 자율주행차량의 차로 위치를 측위하고자 한다. 기존의 터널에 설치되어 있는 조명은 운전자의 시인성 확보를 위한 시설이지만, 본 연구에서는 차선마다 조사하는 LED 조명의 색온도를 각각 달리하여 색도의 변화에 따른 차로의 위치를 측위 할 수 있는 기술을 제안한다.

특히, 터널과 같은 GPS 음영지역 또는 차선 상태의 불량으로 인해 영상으로 차선 측위가 어려운 곳에서 LED 조명을 이용한 자율주행차량의 차로 위치측위 시스템을 적용하여 정밀성 및 기존의 문제점을 해결하고자 하며, 본 연구의 LED 조명의 색도를 이용한 차로 위치 측위 기술을 적용하기 위해서는 향후 자율주행 자동차를 위한 도로에는 자율주행차량을 위한 조명으로 교체되어야함을 제안하고자 한다.

II. LED 조명의 색도도

과장에 따라서 색상이 달라지는 것은 기본적 감각이 느껴지는 R, G, B에 따르고 있다. 눈의 망막에 있는 추상체와 간상체는 빛에 반응하는 시세포로, 추상체는 밝은 상태에서 동작하고 색채를 식별하는 특성을 가지고 있으며, R, G, B의 빛에 각각 반응하는 3종류의 시세포가 있다. 빛에 대한 이들 시세포의 반응이 합성하여 밝음과 색채의 감각을 주고 있는 것이다.

물체의 3 자극치 (X,Y,Z) 표색계는 CIE에서 채택된 3표색계이다. 눈의 추상체와 같은 기능을 갖는 RGB센서로부터 LED 조명기의 색온도의 변화에 따른 R, G, B 자극치를 식 (1)의 변환과정을 거쳐 3 자극치 X, Y,

Z를 얻게 된다(Noboru, 2011).

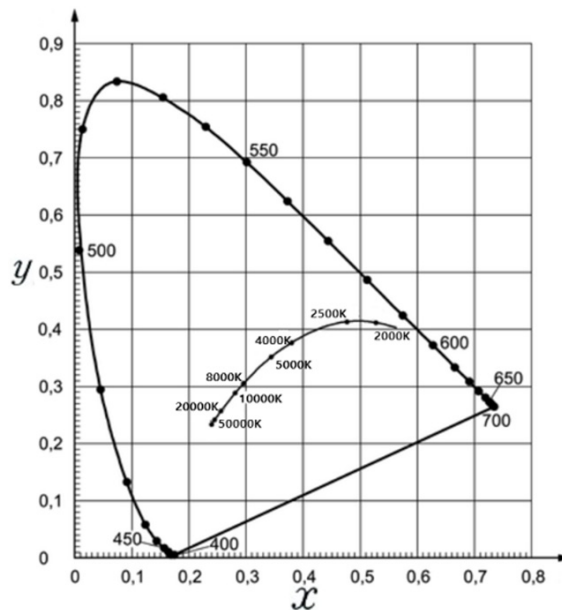
$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.7689 & 1.7517 & 1.1302 \\ 1.0000 & 4.5907 & 0.0601 \\ 0.0000 & 0.0565 & 5.5943 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

그러나 이들 벡터 성분을 기하학적으로 표시하기 위해서는 3차원의 색공간 (color space)이 필요하다. 하지만 본 논문에서 3차원 색공간을 이용하여 구현하기에는 시스템의 복잡성 및 지연요소 등의 단점이 있다. 그러므로 X, Y, Z 표색계 공간에서 단위 평면 $X+Y+Z=1$ 과 색 벡터(X, Y, Z)의 교점 x, y ,를 식(2)와 (3)을 활용하여, 색도도(chromaticity diagram)의 색도 좌표값(chromaticity coordinates)을 구한다. 색도도는 색을 2차원 평면상에 나타낼 수 있으므로 사용하기 편리하다(Noboru, 2011).

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \quad (2)$$

$$y = \frac{Y}{X+Y+Z} \quad (3)$$

특히 단색광의 색도 좌표를 파장 순서로 연결하여 스펙트럼 궤적(spectrum locus)을 <Fig. 1>과 같이 그릴 수 있으며, 흑체(blackbody)의 색온도에 따른 흑체복사의 크기도 나타낼 수 있다. 따라서 LED 조명기의 색온도에 따른 색도점을 색도도에 색좌표 x, y 로 나타낼 수 있다.

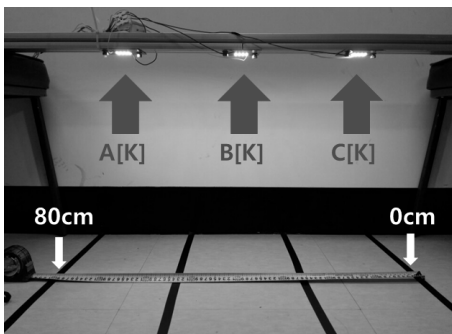


<Fig. 1> chromaticity diagram

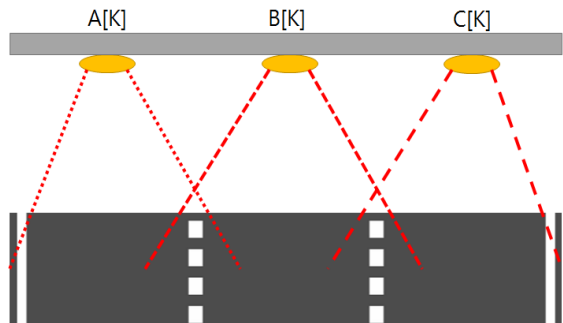
Ⅲ. LED 터널 조명의 색도도를 이용한 차로 위치검출

1. LED 터널 조명 구성

3차선 LED터널조명 모의환경을 <Fig. 2>와 같이 실내에 구성하였다. 폭 80cm의 3차로에 A[K], B[K], C[K](색온도의 크기: $A[K] < B[K] < C[K]$)의 색온도를 가지는 LED를 각 차로마다 수직으로 설치하여 차로의 위치 측위 실험 환경을 구성하였다. 실험환경에서는 <Fig. 3>과 같이 1차선:A[K], 2차선:B[K], 3차선:C[K]의 조명기의 빛은 중첩된다. 예로 1차선과 2차선사이의 색은 A[K]와 B[K]가 중첩되어 다른 색을 가지게 되며 이에 따른 색도의 값도 변하게 된다. 본 논문에서는 이러한 색온도가 혼합됨에 따른 색도의 변화를 이용하여 차로의 위치를 측정한다.



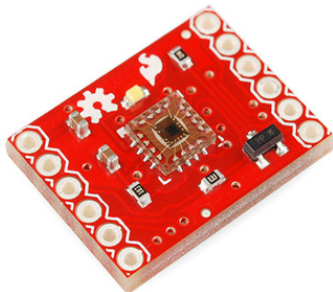
<Fig. 2> experiment environment to measure lane positioning



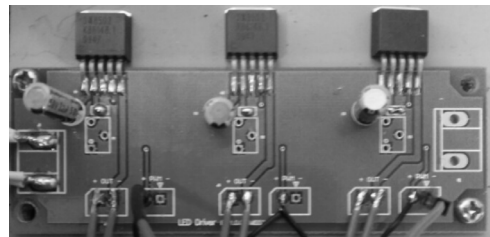
<Fig. 3> Light from each fixture is mixed and illuminated on the road

2. LED 터널 조명 색도도 측정

본 연구에서는 조명기의 색에 대하여 <Fig. 4>의 RGB 센서로부터 얻은 RGB 자극치를 식(1)에 대입하여 XYZ 표색계의 벡터성분을 구하고, 이 값들을 식(2)와 식(3)에 대입하여 색도 좌표의 색도도 x, y 를 얻는다. 실험에 사용된 RGB센서의 경우 R, G, B에 대한 자극치는 <Fig. 4>의 R,G,B 단에서 아날로그 감도값으로 출력된다.

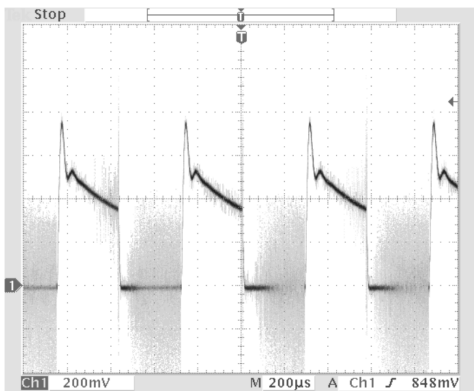


<Fig. 4> RGB sensor

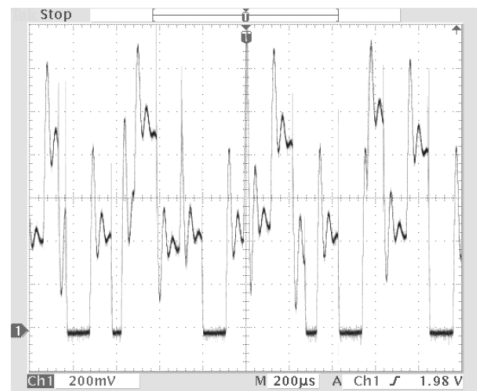


<Fig. 5> LED switching driver

한편 도로환경에서 RGB센서는 LED 도로 조명기의 빛뿐만 아니라 주변 도로환경으로 입사되는 빛 또는 자동차 전조등에 대해서도 반응하게 된다. 즉, RGB센서는 도로조명 LED 빛과 전조등 빛을 구분하지 못하고 모든 빛에 대하여 반응한다. 하지만 자동차 전조등에서 빛이 입사되는 각과 차로 위치를 측정하기 위한 LED 조명 빛의 입사각이 다르므로 RGB센서의 수신각을 조정하면 어느 정도 자동차 전조등에 의한 외란을 피할 수 있다. 하지만 근본적인 외란 요소를 제거하기 위해 본 연구에서는 시간영역에서 도로조명의 LED 빛과 자동차 전조등 빛 등에 대한 RGB센서의 자극치들을 구분하도록 하였다. 즉, LED 조명의 빛은 <Fig. 5>와 같은 LED 스위칭 구동드라이버를 이용하여 특정주파수[Hz]의 펄스구동 LED조명기 제작하여 조사하면 RGB센서의 R, G, B 자극치는 <Fig. 6>과 같은 파형을 가지게 된다.



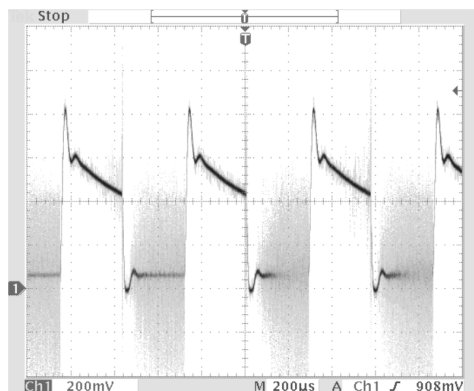
<Fig. 6> Output waveform of "R" stimulus value of RGB sensor



<Fig. 7> The output waveform of the RGB sensor "R" stimulus to disturbance

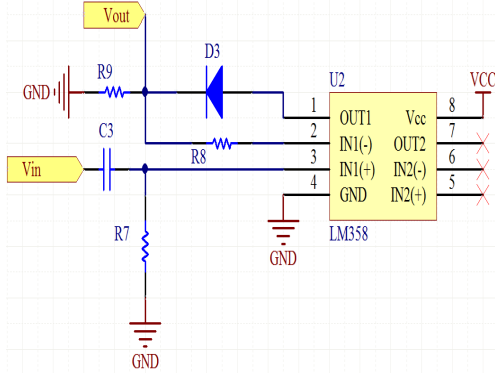
3. LED 터널 조명 색도도 측정 알고리즘

도로 환경에서 측정된 RGB센서의 아날로그 R,G,B 자극치들은 전조등 및 일반 조명의 빛과 펄스구동 방식의 LED조명 빛의 자극치들이 존재한다. <Fig. 7>은 다른 주파수의 펄스구동 방식의 LED 빛과 차로 위치 측위를 위한 특정주파수 펄스구동 LED 조명과 동시에 조사되었을 경우의 측정결과이다.

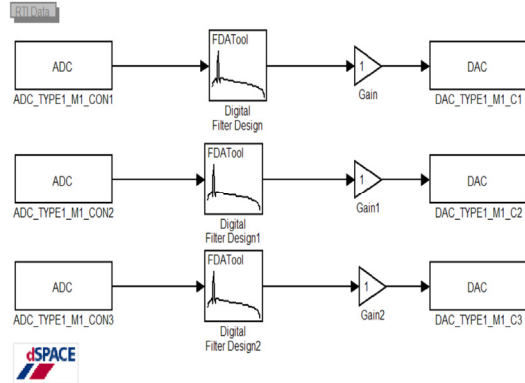


<Fig. 8> RGB sensor output waveform to disturbance

또한 차로 위치측위를 위한 특정주파수 펄스구동 LED 조명과 차량의 전조등과 같은 빛을 조사하게 되면 <Fig. 8>과 같이 플로팅으로 인한 일그러진 펄스파형이 된다. 따라서 LED 조명만의 색도도를 측정하기 위해 먼저 <Fig. 9>와 같은 정형회로를 이용하여 파형의 일그러짐과 플로팅 성분을 제거하였다.

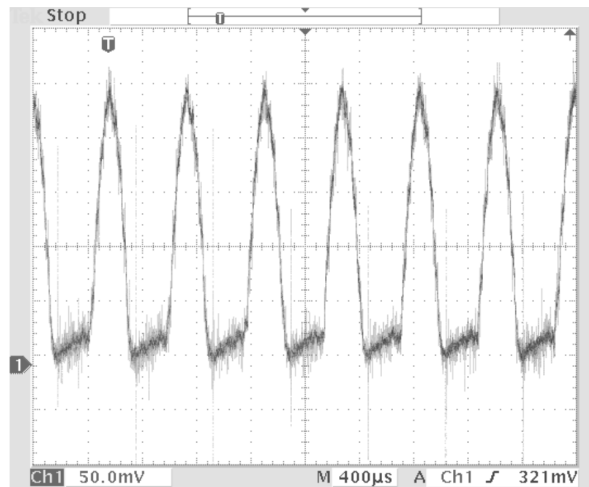


<Fig. 9> shaping circuit diagram



<Fig. 10> BandPass Filter by MATLAB&Simulink(Micro-Autobox)

또한 주변에서 다른 형태의 펄스구동 LED 조명장치의 R,G,B 자극치 값을 제거하기 위하여 IIR Band Pass Filter를 <Fig. 10>과 같이 MATLAB/Simulink에서 구현하여 <Fig. 11>과 같은 특정주파수 성분만을 얻을 수 있다.

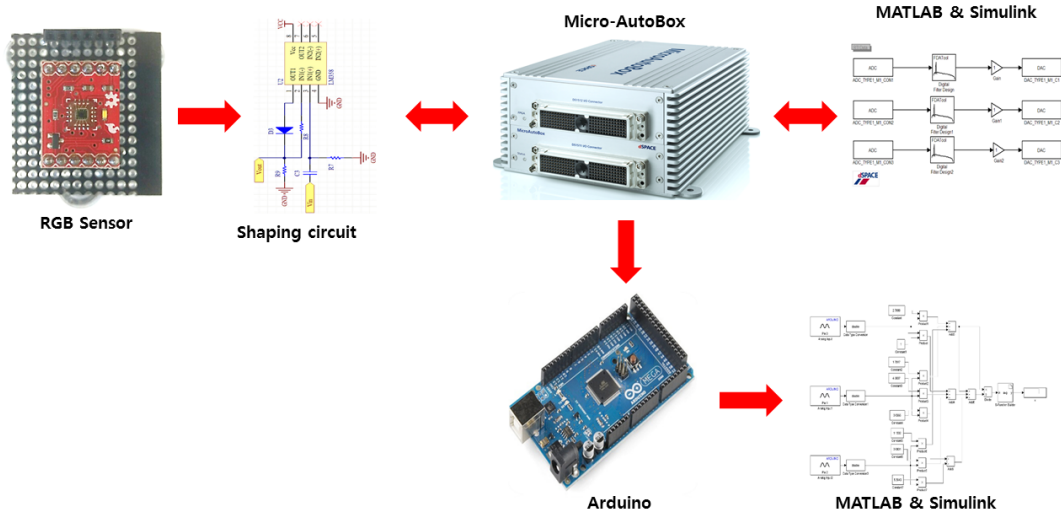


<Fig. 11> Bandpass filter output

IV. 실험 및 결과

<Fig. 2>와 같이 3차선 도로조명 환경을 구축하고, <Fig. 12>와 같이 장비를 구성하여 RGB센서를 활용하

여 주변의 빛에 대한 외란을 제거하면서 도로 폭의 특정위치에 따른 색도 x , y 값들은 측정하였으며, 이 실험에서는 색도 x 의 값이 y 의 값보다 변화량이 <Fig. 1>과 같이 크기 때문에 본 위치측위를 위한 색도 변수값을 x 로 선택하여 <Table 1>과 같이 0~80[cm]까지 10[cm] 간격으로 x 색도값을 측정하였다.



<Fig. 12> Experimental equipment configuration

<Table 1> measured X chromaticity value depending on road location

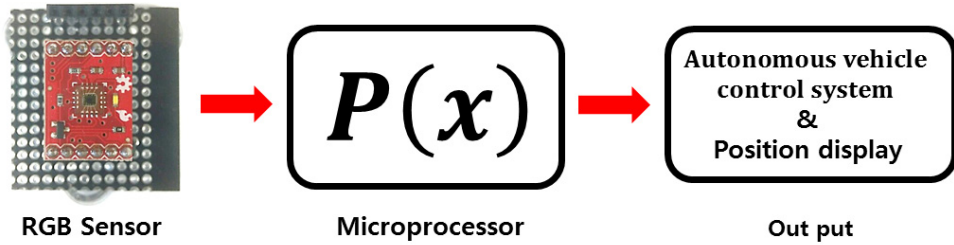
Position(cm)	x-Chromaticity
0	0.3591
10	0.3610
20	0.3635
30	0.3658
40	0.3685
50	0.3709
60	0.3739
70	0.3766
80	0.3793

<Table 1>와 같이 0[cm] 지점에서 10[cm] 간격으로 점점 이동 할수록 낮은 색온도의 빛으로 인해 x 색도가 높아지는 것을 확인 할 수 있었으며, 이러한 변화가 선형적으로 변하는 것을 알 수 있었다. 본 연구에서는 <Table 1>의 데이터를 바탕으로 보간법을 적용하여 색도값 x 를 변수로 하는 차로 폭 위치함수 모델링은 식 (4)와 같이 얻는다.

$$P(x) = -29021x^2 + 25323x - 5350.5 \quad (4)$$

식(4)에 대한 검증을 실험으로 구현하기 위하여, 3차선 LED조명 환경에서 MCU(Micro Controller Unit)을

MATLAB&Simulink와 연동하여 실시간으로 LED의 색도도를 계산하여 추정된 도로 위치와 도로 폭의 각 위치점을 실측한 값들을 <Table 2>에 나타내었다. 본 실험에서 실측된 위치와 추정된 위치의 최대 오차는 1.4 [cm]가 발생되며, 도로의 LED 조명기의 색도값으로 부터 도로의 차로 위치측위의 유효함을 보였다. 또한 본 실험에서는 <Fig. 13>과 같이 차로 위치별 색도값에 대한 좌표 표준값을 계산하여 저장해 놓고, 차량의 위치에 따라 LED 조명에서 받는 색도값을 인식하여 저장된 차로 좌표값을 읽는 시간은 극히 짧으므로, 고속의 차량속도에서 충분히 자율주행차의 위치측위는 가능할 것으로 판단된다.



<Fig. 13> Construction of road width position measurement system for autonomous vehicle

<Table 2> Road location and real-measured location determined by color coordinate function (RP: Real Position, MP: Measuring Position)

RP (cm)	MP (cm)	RP (cm)	MP (cm)	RP (cm)	MP (cm)	RP (cm)	MP (cm)
1	1.097523	21	20.3492	41	40.86664	61	61.32184
2	1.991224	22	21.35965	42	41.37636	62	62.50981
3	2.749046	23	22.70172	43	42.15862	63	63.79857
4	3.416318	24	23.70437	44	43.17209	64	64.97333
5	4.215322	25	24.78681	45	44.45276	65	65.85908
6	5.189328	26	25.28507	46	44.87825	66	66.706
7	6.292743	27	26.15502	47	45.68859	67	67.68984
8	6.865085	28	26.93991	48	47.0718	68	68.14508
9	8.182131	29	28.13385	49	48.33313	69	68.91324
10	9.013558	30	29.48655	50	49.47431	70	70.16418
11	9.930066	31	30.91432	51	50.61026	71	71.16641
12	11.01781	32	31.9298	52	52.07919	72	72.57503
13	12.10193	33	32.82042	53	53.5393	73	73.83784
14	13.39808	34	33.82908	54	54.91636	74	74.61883
15	14.689	35	35.07478	55	55.84231	75	75.29546
16	15.54672	36	36.07532	56	56.94867	76	76.03706
17	16.82894	37	36.6739	57	58.0498	77	76.87639
18	18.19088	38	37.43023	58	58.78098	78	77.34482
19	18.86963	39	38.89706	59	59.8734	79	78.07864
20	19.88496	40	40.19861	60	60.59878	80	79.30645

V. 결 론

자동차가 도로의 차로 위치를 인지하여 자율주행 운행하는 경우, 대표적인 GPS 음영지역인 터널과 같은 환경에서 차로의 위치를 측위 할 수 있는 시스템을 연구하였다. 본 연구에서는 LED 조명을 A[K], B[K], C[K]로 구성하여 색온도가 다른 LED 빛의 중첩으로 인한 각 위치에 따른 색도의 변화를 이용하여 도로의 차로 위치를 측위하였으며, 이때 주변의 다른 펄스구동 방식의 조명 및 자동차 전조등 빛으로 인한 외란을 최소화하기 위해 IIR Band Pass Filter와 정형회로를 이용하여 차로의 위치를 측위 실험을 진행하여 <Table 2>와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 본 논문에서는 색온도의 중첩에 의한 위치에 따른 색도의 변화를 통해 LED 조명의 색도를 이용한 차로 위치 기술의 가능성을 보였으며, 논문에서 제안한 LED 조명을 이용한 차로측위 기술은 기존의 GPS 및 Vision, IMU와 융합하여 위치 및 차로 인식 기술을 연구한다면 GPS음영지역에 대한 차로 측위의 정밀도를 높일 수 있을 것으로 예상 된다.

향후 본 논문을 바탕으로 실제 실험환경에서의 실험이 필요하며, 실제 환경에서의 많은 외란을 최소화하기 위한 연구가 필요할 것으로 예상된다. 또한 곡선도로 및 좌·우회전 도로의 가로등을 이용한 자율주행차량의 차로 위치측위 연구 및 자율주행을 위한 LED 조명기를 복수개 배열하여 도로의 공간차로를 추정하는 연구를 진행할 예정이다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 부산연구개발특구 2016년 기술이전사업화 과제의 지원으로 수행하였습니다.

본 논문은 한국ITC학회의 2016추계학술대회에 게재되었던 LED 가로등 인프라를 활용한 자율주행차의 위치측위 연구를 수정·보완하여 작성하였습니다.

REFERENCES

- Chung B. M., Seok J. W., Cho C. S. and Lee J. W.(2008), "Autonomous tracking control of intelligent vehicle using GPS information," *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, vol. 25, no. 10, pp.58-66.
- Jeong J. H., Lee D. H., Byun G. S. and Cho H. R.(2011), "A Study of Self-Driving Car Position Recognition based on the LED Lighting Infrastructure," *THE 2016 KOREAN INSTITUTE OF ITS CONFERENCE*, pp.95-97.
- Kong S. H. and Jeong G. S.(2015), "GPS/GNSS based vehicular positioning and navigation techniques," *The Korean Society of Automotive Engineers.*, vol. 37, no. 6, pp.24-28.
- Kong S. H., Jeon S. Y. and Ko H. W.(2015), "Status and trends in the sensor fusion positioning technology," *The Journal of The Korean Institute of Communication Sciences*, vol. 32, no. 8, pp.45-53.

- Lee J. K.(2015), "Automatic driving cars developments trends and implications," *The Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 64 no. 4, pp.24-28.
- Noboru O.(2011), *Introduction to Color Reproduction Technology*, JINSEM MEDIA(Seoul, Korea), pp.9-25.
- Yun D. S. and Yu H. S.(2008), "Development of the optimized autonomous navigation algorithm for the unmanned vehicle using extended Kalman filter," *The Korean Society of Automotive Engineers*, vol. 16, no. 3, pp.7-14.