

주간 차선의 가시성 확보에 따른 차선의 시인성 분석 연구

김연태

한국건설기술연구원 도로교통연구본부 전임연구원

A study on predicting the visibility of the lane according to the visibility of the daytime lane

Yeon-Tae Kim

Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

요약 본 연구에서는 RGB 이미지를 활용하여 주간 차선의 가시성을 기반으로 이미지 상에서 차선의 상대휘도를 의미하는 Y값을 분석하는 연구에 대해 가능성을 확인해보았다. RGB-YUV 변환을 통해 RGB 이미지 데이터 상에서 Y값을 추출하였으며 외부 환경의 영향을 최소화하기 위해 컬러패치를 이용하여 색상을 교정하였다. 실험과정은 동일한 도로구간에 대해 3일간 오전 10시, 오후 2시, 오후 7시에 걸쳐 사진을 촬영했다. 데이터 분석결과 외부 환경의 영향을 최소화했지만 Y값은 외부 환경에 따라 현저하게 변화하는 결과를 나타내었다. 따라서 실제 물리적인 휘도값을 절대적으로 반영한다고 할 수는 없었다. 또한 동일한 구간에 대해 동일한 조건으로 촬영을 했음에도 불구하고 Y값은 촬영 날짜, 시간 별로 값이 변하는 것을 알 수 있었다. 하지만 색상 교정을 통해 오차 범위를 일정 수준 줄어든도록 조치하였다. 최종적으로 본 연구와 동일한 환경조건 하에서 도로 차선의 가시성과 시인성은 양의 관계를 가진다고 할 수 있었지만 향후 연구 데이터의 수를 늘려 객관적이고 정량적인 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

Abstract This study used RGB images to check the possibility of analyzing the relative luminance Y of a lane in an image based on the visibility in the daytime. The Y value was extracted from RGB image data through RGB-YUV conversion, and the color was corrected using a color patch to minimize the influence of the external environment. As a result of data analysis, the influence of the external environment was minimized, but the Y value significantly changed according to the external environment. Therefore, it does not absolutely reflect the actual luminance value. In addition, the Y value changed according to the image's date and time, even though the same section was photographed under the same conditions. However, through color correction, the margin of error could be reduced to a certain level. Finally, visibility and visibility of road lanes had a positive relationship under the same environmental conditions in this study, but additional objective and quantitative research with more data is necessary.

Keywords : Lane, RGB, YUV, Luminance, Image Analysis

본 논문은 인천광역시 연구비 지원(과제번호 : 20230474-001)으로 수행되었음.

*Corresponding Author : Yeon-Tae Kim(KICT)

email: kyt@kict.re.kr

Received September 13, 2023

Revised October 6, 2023

Accepted December 8, 2023

Published December 31, 2023

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

2019년 국토교통부 자동차관리정보시스템에 따르면 국내 자동차 누적 등록대수는 2,344만 4,165대로 우리나라 국민 2.2명 당 1명은 자동차를 갖고 있는 것으로 나타났다. 특히 자동차 등록 대수는 매년 3~4% 이상 증가하고 있다.

이에 반해 국내 교통안전 수준은 인구 10만 명 당 교통사고 사망자수를 기준으로 OECD 30개 국가 중 28위인 최하위 수준으로 나타났으며 교통사고로 인한 사회적 비용 손실 금액은 연간 총 23조 5,900억원(2012년 기준)으로 나타났다. 또한 전체 교통사고 사망자 중 야간 사망자 수가 주간에 비해 약 1.2배 높은 것으로 집계되었다. 이러한 교통사고의 주된 원인으로 시설물과 주행차선의 시인성 미확보 문제를 꼽을 수 있는데 결국 주야간을 통틀어 사고를 방지하는 데에 가장 중요한 것은 차선의 가시성 확보가 매우 중요하다는 것을 알 수 있다[1].

차선은 주행차량의 경로를 유도하는 기본적인 선형유도 노면표시로, 운전자들은 차선을 기준으로 도로의 주행방향을 예측 및 결정 한다. 차선은 크게 선의 형태에 따라 실선과 점선, 색채에 따라 백색과 황색으로 구분한다. 실선은 제한의 의미를 가지고 있고 점선은 유도 및 융통성 있는 제한을 의미한다. 또한 백색은 동일한 방향을 나타내는 분리 및 경계의 표시를 나타내고 황색은 반대 방향을 나타내는 분리 및 제한의 표시를 나타낸다.

이처럼 차선은 사고를 방지하는 중요한 노면 표시이다. 현재는 차선에 대한 충분한 시인성을 확보하기 위해 차선 도료에 유리조각을 섞어 재귀반사를 통한 차선의 시인성을 향상 시키고 있다. 하지만 도료의 유리조각은 차량의 주행마찰에 의해 점차 박리가 발생하여 시공 이후 점차 차선 시인성이 저하된다.

국토교통부는 차선 시인성 저하로 인한 교통사고 발생을 감소시키기 위해 차선의 재귀반사휘도를 조사하여 최소 반사 성능 기준보다 낮을 경우 차선 재도색을 실시하고 있다. 재귀반사휘도는 조명에 의해 반사되는 밝기의 정도로 차선 시인성 평가의 지표로 사용되고 차선휘도 조사장비를 통해 반사성능을 조사한다. 또한 지방자치단체별로 이동식 차선휘도 조사장비를 통해 교통사고 위험 구간을 대상으로 연간 1회 이상 전수조사를 진행하며 도로 노면표시 및 차선의 재귀반사성능을 조사하고 있다. Fig. 1은 재귀반사성능 검측을 위한 차선휘도 조사장비의 사진이다. 도로 차선의 시인성 저하 구간은 Fig. 2와

같이 조사구간 선정, 조사 장비를 통한 전수조사, 재귀반사성능 분석, 유지보수 의사결정, 예산배정, 보수 집행으로 진행되며 실제 구간의 보수는 최소 6개월로 오랜 시간이 소요된다. 하지만 차선 시인성 저하로 인한 교통사고는 앞서 언급했다시피 관련사고 발생률이 높아 빠른 유지보수가 요구된다.

따라서 본 연구에서는 주간 차선의 가시성을 기반으로 이미지 상에서 차선의 휘도를 의미하는 Y값을 분석하는 연구를 계획하였다. 이를 통해 향후 차선 휘도 조사 및 유지보수 방법에 대한 기술발전에 도움을 줄 수 있을 것이다.



Fig. 1. Vehicle-mounted lane painting luminance and quality inspection device.

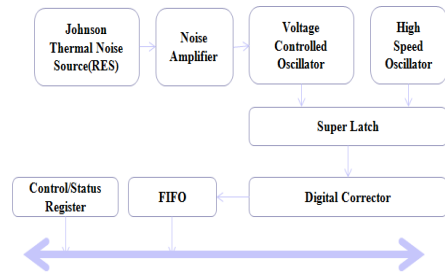


Fig. 2. Lane maintenance selection process.

2. 관련 이론 및 문헌고찰

2.1 시인성 측정방법

재귀반사는 광원에 의해 입사광의 조사각과 같은 방향으로 반사광이 돌아오는 반사특성을 가지는 광학구조이다. 노면표시는 유리알 살포를 통해 구면렌즈의 효과를 통해 재귀반사 효과를 이용한다. 실제 도로상에는 굴절률 1.5~1.9의 비드가 혼합되어 도로 페인트에 혼합되어 사용되거나 페인트 위에 흩뿌리는 형태로 사용된다. 이에 따라 젖은 상태의 노면에서 재귀반사 성능이 저하되어 이를 개선하기 위해 더 높은 굴절율의 비드를 사용하기도 한다[2].

차선의 재귀반사성을 측정하는 방법은 크게 분광을 이용한 측정방법과 측광을 이용한 측정방법으로 나뉜다. 분광 측정방법이란 분광측광기로 가시광선영역의 파장별 재귀반사계수를 적분하여 얻는 방법이며, 측광 측정방법이란 수광부를 이용하여 재귀반사계수를 직접 측정하는 방법이다. 노면표시의 재귀반사 휘도계수 측정은 조사면적, 조도의 정확한 측정, 입사각 및 조사각의 정확한 각도의 기준으로 측정되어야 한다. 현재는 국제적으로 승용차가 30m의 거리에서 관측하는 조건인 입사각 88.76°, 관측각 1.05°를 기준으로 한다.

본 연구에서는 위와 같이 측정 조건이 까다로운 재귀반사 성능 평가 방법의 보조 수단으로 카메라를 이용한 시인성 예측 방법에 대해 계획하였다. 이를 위해서 카메라를 통해 촬영된 도로 전방사진과 컬러패치 이미지로부터 RGB-YUV 변환을 진행한 뒤 다시 보정하여 차선 영역에 대해 가시성을 기반으로 차선의 시인성이 좋지 않은 구간을 찾아낼 수 있는지에 대한 가능성 여부를 연구하였다.

2.2 YUV 변환 기법

RGB를 이용한 색의 표현 방법은 자세하고 풍부한 색의 표현이 가능하지만 데이터의 용량이 매우 커지는 단점이 있다. 따라서 RGB 데이터의 손실을 최소화하며 압축하기 위해 빛의 밝기를 나타내는 휘도(Y)와 색상한호 2개(U, V)로 표현하는 경우가 있다.

본 연구에서는 위 방법을 이용하여 카메라를 통해 얻은 RGB 이미지 데이터를 YUV 데이터로 변환한 뒤, Y 값을 이용해 차선의 시인성을 예측해보고자 한다. Fig. 3은 RGB 이미지 데이터를 YUV 데이터로 변환하는 방법에 관한 것이다.

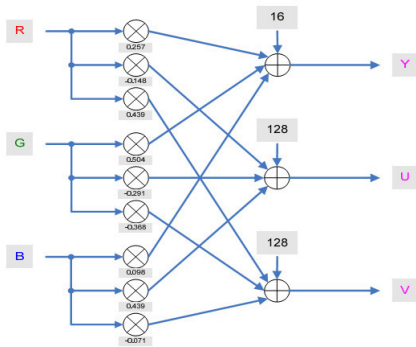


Fig. 3. General math RGB to YUV

2.3 컬러패치를 이용한 색상 보정

일반적으로 카메라를 이용해 촬영한 RGB 이미지 데이터는 조도나 그림자 등 외부 환경에 따라 데이터의 값이 현저하게 달라질 수 있다. 따라서 RGB-YUV 변환을 통해 얻게 된 Y값은 그 자체로 매우 부정확하다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해 RGB-YUV 변환 전 촬영된 RGB 이미지 데이터에 대한 교정작업이 진행되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 위 교정작업을 진행하기 위해 도로 차선의 옆에 컬러패치를 함께 촬영하여서 교정작업을 진행하였다.



Fig. 4. Example of Color Correction using Color Patch

Fig. 4는 컬러패치를 이용하여 색상을 보정하는 예시에 관한 것이다. 본 연구에서는 도로에서 촬영된 도로 차선 이미지를 기반으로 밤이나 낮, 조도나 그림자 등 외부 환경의 영향을 받지 않고 차선의 고유한 RGB 정보를 추출하기 위해 컬러패치 기준으로 이상적인 sRGB 분석공간을 구현하였고 이를 이용해 도로 차선의 색상을 원색상으로 교정하였다.

컬러패치는 색 공간의 기본색이 될 수 있는 24가지의 색 조합으로 구성되며, 이를 통해 촬영된 이미지의 물체, 혹은 픽셀의 색을 교정할 수 있게 된다. 이 말은 반대로 교정 전 이미지는 조도나 그림자 등으로부터 왜곡이 존재했다고 볼 수 있다.

색상 교정은 CCM(Color Correction Matrix)를 이용하여 변환식을 구성하였다. 이는 색상교정계수라고 하며 아래 Eq. (1)과 같다.

$$\begin{pmatrix} R_c \\ G_c \\ B_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (1)$$

2.4 반사성 측정방법 연구

미국표준기술연구소(NIST)에서는 현재 재귀반사측정 시스템(Center for High Accuracy Retro Efection

Measurements, 이하 CHARM)을 구축하고 있으며 Direct Luminance Method에 의한 측정방법으로 재귀 반사성능을 측정하고 있다.

국내에서는 경찰청에서 우천 시 발생하는 수막으로 인한 재귀반사 성능 평가가 불가능한 점을 개선하기 위해 수용성형 도료를 통한 노면 표시의 반사 성능을 확산반사율을 통해 측정하고 있다.

본 연구에서는 카메라를 통해 촬영된 이미지를 기반으로 영상처리 기술을 적용하여 보정된 이미지에서 Y값을 추출하여 노면표시를 뜻하는 도로 차선의 시인성 성능을 평가하였다.

2.5 가시성 확보에 따른 시인성 연구

시인성이란 대상물의 존재 또는 모양이 원거리에서도 식별하기 쉬운 성질을 말한다. 또한 가시성이란 배경으로부터 분리된 가시대상의 존재나 색의 차이에 대해 볼 수 있는 정도를 뜻하는 것으로 사물을 식별할 수 있는 정도를 가시성이라고 말한다.

앞서 젖은 상태의 노면이나 야간에서 차선의 재귀반사 성능이 떨어지는 것을 언급했다. 이는 차선의 재귀반사 성능이 떨어져서 운전자가 차선을 식별하기 어려워진 것을 의미하므로 차선의 재귀반사 성능이 좋다는 것은 야간 차선의 시인성이 좋다고 말할 수 있다. 또한 운전자가 주간 차선을 쉽게 식별한다는 것은 차선의 가시성이 좋다고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 공용 중인 도로의 차선이 차량의 통과와 노후화로 인해 휘도 성능이 낮아진다는 전제 하에 노후화된 차선의 가시성을 기준으로 RGB-YUV 변환을 통해 휘도값을 뜻하는 Y값을 예측하였다.

3. 본론

3.1 연구개요

Fig. 5는 본 연구의 연구절차이다. 카메라를 통해 촬영된 이미지 내에서 외부 환경의 영향을 최소화하기 위해 컬러패치를 이용하여 색상을 교정하였다. 이때 컬러패치는 Object Detection 기술을 사용하여 패치를 검출하였다. 이후 차선 영역의 RGB 픽셀 값 데이터를 활용하여 차선의 휘도값을 뜻하는 Y값 정보로 변환하였다. 마지막으로 추출된 Y값의 노이즈 제거를 위해 k-means 알고리즘을 적용하고 최종적으로 도출된 Y값들을 비교하였다[3].

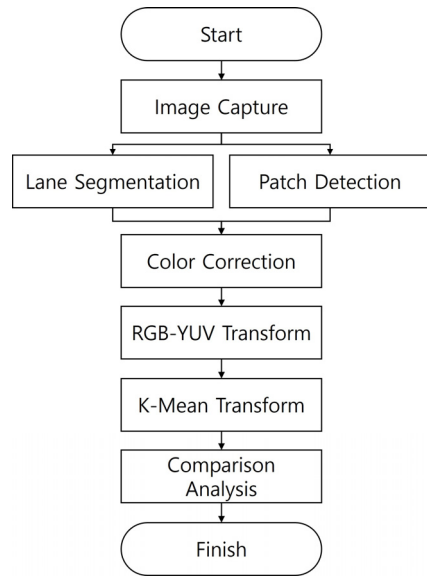


Fig. 5. Research Procedure

3.2 전처리 작업

도로 이미지는 도로 포장의 광학적 특성이 동일한 환경에서 구축될 수 있도록 45° 수준으로 촬영하여 이미지 데이터를 수집하였다. 수집된 이미지 데이터는 촬영 시기 및 외부 환경에 따라 전체적인 색상 값의 영향을 받기 쉽기 때문에 이미지의 색상 값을 일반화하기 위해 Gaussian Blur를 적용하였다.

또한 촬영된 전방 이미지를 분석하기 위해서 전처리 작업을 진행하였다. 영상처리 작업의 연산 부하를 줄이기 위해 Fig. 6과 같이 ROI를 설정하고, 수집 환경의 일반화를 위해 Normalization을 진행하였다. 이후 보정된 이미지에서 Fig. 7과 같이 차선 영역을 직접 지정하여 지정된 차선 영역에 대한 픽셀 값의 RGB 값을 추출하였다.



Fig. 6. ROI Conversion
(a) Original image
(b) ROI Image



Fig. 7. Lane Segmentation

3.3 컬러패치 선정

차선의 색상을 교정하기 위해 Datacolor사에서 제공하는 SpyderCheckr 24 패치를 사용하였다. 본 패치는 24개의 기준 색상을 제공한다. 따라서 이를 이용해 색상 대조 계수와 매트릭스를 산출하였다. Fig. 8은 SpyderCheckr 24 패치이다. 색상 대조 계수와 그 매트릭스는 일반적으로 x, y, z 색공간안에서 사용되는 수식 모델이며 이를 수행하기 위해 sRGB에서 x, y, z로 변환한 뒤 색상 대조 계수를 구하였다. 이후 sRGB에서 다시 x, y, z-D65로 변환하였다. 이에 대한 변환 과정은 아래 Fig. 9와 같다.



Fig. 8. datacolor-Spydercheckr24

변환 과정은 다음과 같다. 컬러 패치가 24개의 기준 색으로 이루어지는 점을 이용하여, 24개의 x, y, z 값을 행렬 형식인 24*3 행렬로 표현하였다. 이를 이용하여 정

$$\begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_1 & C_2 & C_3 \\ C_4 & C_5 & C_6 \\ C_7 & C_8 & C_9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} X_{21} & Y_{21} & Z_{21} \\ X_{22} & Y_{22} & Z_{22} \\ X_{23} & Y_{23} & Z_{23} \\ \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_1 & C_2 & C_3 \\ C_4 & C_5 & C_6 \\ C_7 & C_8 & C_9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{11} & Y_{11} & Z_{11} \\ X_{12} & Y_{12} & Z_{12} \\ X_{13} & Y_{13} & Z_{13} \\ \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix}$$

Fig. 9. x, y, z Restoration Formula

교한 3*3 변환 계수를 얻었다. 이후 x, y, z 복원 수식을 이용하여 입력 이미지의 색상을 복원하고 다시 RGB로 변환하여 최종적으로 sRGB 형태의 디지털 이미지 파일을 구현하였다.

컬러패치를 이용한 색상 교정 알고리즘은 Auto White Balance의 기능도 동시에 수행하여, 흰색 값이 주변 환경의 조도설정에 따라 왜곡된 것을 보정하는 기능을 가지게 된다.

White Balance는 색온도라고 불리며, 색온도에 차이에 따라서 색상의 값이 왜곡되어 다르게 표출될 수 있으며, 본 연구에서는 3.3절의 Color Correction Matrix를 이용한 컬러보정은 색온도를 약 6,000K(색온도 단위) 수준으로 변환해주도록 설계가 되었다. Fig. 10은 색 온도에 따른 이미지 왜곡 결과이다.



Fig. 10. Results According to Color Temperature

3.4 RGB-YUV 변환

휘도를 측정하기 위해서는 니트(cd/m²) 단위를 사용하는데 칸델라(cd)를 측정하기 위해 YUV 형식의 색 데이터가 필요하다[4,5]. 그러나 카메라 이미지의 색 형식은 RGB 형식이기 때문에 차선 영역의 휘도를 측정하기 위해 추출된 RGB 값을 YUV 값으로 변환해 주어야 한다. 이에 대한 수식은 아래 Eq. (2)과 같다[6].

YUV 표현 형식에서 Y는 휘도, U는 휘도와 청색의 차, V는 휘도와 적색의 차를 나타내는 값으로, 변환 데이터에서 Y의 값을 예측된 휘도로 사용하였다. 이는 차선 영역의 픽셀이 가지는 밝기평균으로 예측하였다[7,8].

$$\begin{pmatrix} Y \\ U \\ V \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.3 & 0.59 & 0.11 \\ -0.148 & -0.291 & 0.439 \\ 0.614 & -0.517 & -0.096 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (2)$$

R stands for red, G stands for green, and B stands for blue, representing adding weight to RGB.

3.5 k-means 변환

색상 교정 이후에도 검출된 차선영역 상에서 차선의 벗겨짐, 균열, 골재 표면, 그림자 등의 영향이 있을 수 있다. 따라서 위 영향을 줄이기 위해 교정되어 추출된 Y값에 k-means 알고리즘을 적용하였다. k-means 알고리즘은 k 클러스터링 알고리즘이라고 하는데 주어진 데이터를 k개의 클러스터(cluster)로 묶는 알고리즘으로, 각 클러스터와 거리 차이의 분산을 최소화하는 방식으로 동작한다[9,10].

k-means 알고리즘을 사용하는 이유는 다음과 같다. Segmentation하여 검출된 차선 영역에 대해서는 상대적으로 밝은 영역과 상대적으로 어두운 영역이 존재한다. 상대적으로 밝은 영역은 YUV 값이 높은 차선 영역의 클러스터라고 판단할 수 있고 상대적으로 어두운 영역은 차선의 벗겨짐, 균열, 골재 표면, 그림자 등 다양한 상태를 대변하는 K개의 클러스터라고 판단할 수 있다. 따라서 하위의 클러스터 중 상대적으로 낮은 값을 가지는 클러스터 영역은 삭제하고 나머지 영역에 대해서 밝은 영역과 합산하여 YUV Space 값의 평균값을 구하면 결과적으로 차선이 벗겨진 표면, 균열, 도로 표면, 그림자 등 다양한 노이즈 상태를 제거하는 효과를 가질 수 있다.

3.6 휘도값과 YUV 대조

휘도계를 이용하여 측량된 값과, 상대휘도 개념의 Y 값을 대조한다. 여기서 대조값을 이용하여 기준 데이터의 현장에서 측정한 Y가 갖는 값이 물리적인 밝기값의 의미를 갖도록 할 수 있다.

또한 3.3 절의 컬러패치를 이용한 RGB 컬러 보정을 이용하여 기준 데이터와 비교데이터의 빛 환경을 일치화한다. 이후, 보정된 비교데이터 내에서 k-means 변환을 거쳐, 차선 영역의 Y 값을 추출하고, 그 값을 기준 데이터에서의 Y 값과 비교하여 이가 갖는 물리적인 휘도세기에 대해서 추론을 진행한다.

4. 연구 과정

4.1 연구 과정

휘도계를 사용하여 전방의 휘도영상을 찍고 이를 휘도 원본데이터로 사용하였다. Fig. 11-12는 이에 대한 휘도 이미지 데이터이다. 휘도이미지는 이미지 내에서

0.00~7.15에 해당하는 상대적인 휘도를 가지게 된다. 또한 RGB-YUV변환을 통해 분석된 Y값은 이미지 내에서 0~255에 해당하는 상대적인 밝기 값을 가지게 된다. 이때 추출된 단일의 Y값에 칼라맵을 곱하게 되면 휘도이미지와 같은 칸텔라 맵과 똑같은 형식의 데이터가 된다. 따라서 이와 같은 방식으로 기준 휘도이미지를 Y값의 형식으로 변환하여 추출된 Y값과 비교하였다. 따라서 휘도계를 통한 휘도값을 기준으로 RGB-YUV 변환을 통해 추출한 Y값에 대하여 비교를 해보았다.

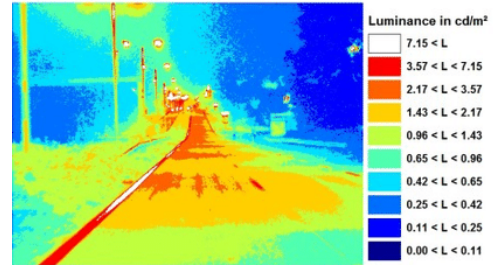


Fig. 11. Luminance Conversion

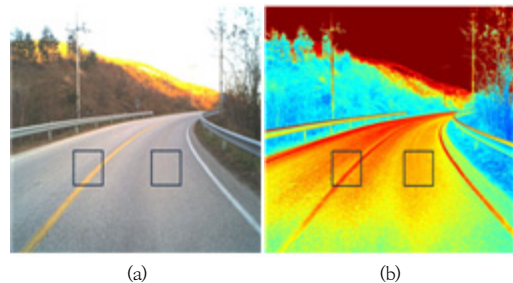


Fig. 12. Luminance Conversion
(a) Original Image
(b) Luminance Image

4.2 이미지 촬영

촬영을 위해 초봄을 기준으로 3일간, 오전 10시, 오후 2시, 오후 7시에 각각 동일한 구간에 대상을 기준으로 1m 거리에서 45° 수준으로 사진을 촬영하였다. 이때 비교를 위해 컬러 패치를 기준이 되는 차선의 옆에 배치하여 함께 촬영하였다. Fig. 13-15는 시간별로 촬영한 도로 차선 이미지이다. 이미지를 촬영한 뒤 RGB-YUV 변환을 통해 추출된 Y값은 오전 10시의 경우 221, 오후 2시의 경우 227, 오후 7시의 경우 199의 값이 예측되었다.

4.3 컬러패치 검출

색상교정을 위해 이미지 상에서 패치영역을 직접 지정하거나 인공지능을 이용해 패치를 검출해야 한다. 본 연구에서는 향후, 패치검출부터 이미지 분석까지 모든 과정을 자동화하는 것에 대한 가능성 유무를 확인해보기 위해 인공지능 알고리즘이 패치를 검출하는 것에 대한 가능성을 검증해보았다. 따라서 연구를 위해 촬영한 9개의 이미지 데이터에 대해 패치 영역을 Boundary Box로 가공하였고 인공지능 모델에 과적합한 뒤 패치를 검출해보았다. 검출 결과는 Fig. 16-18과 같다.

인공지능의 데이터 수가 현저하게 부족했기 때문에 대부분 오검출하는 결과를 나타냈다. 따라서 검출 영역을 별도로 조정하여서 분석되는 패치 영역을 수정하였다. 모든 이미지 데이터에서 패치 이외의 영역을 패치로 검출하는 노이즈를 나타내었다. 이러한 노이즈 객체들은 제거하였고 Fig. 15와 같이 패치 영역을 검출하지 못한 경우에는 임의로 영역을 생성하여서 24개의 색상 코드를 검출할 수 있도록 가공하였다.

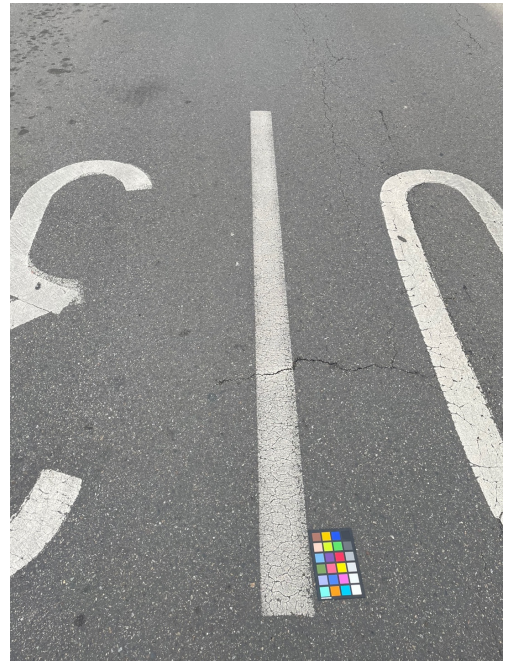


Fig. 14. Original Image Taken at 2 pm

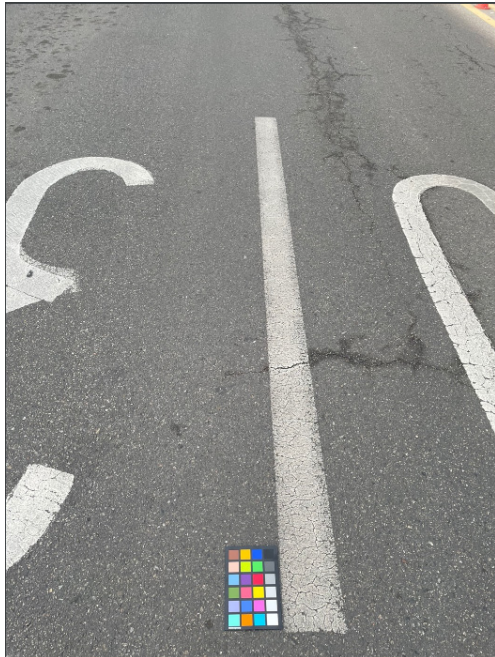


Fig. 13. Original Image Taken at 10 am

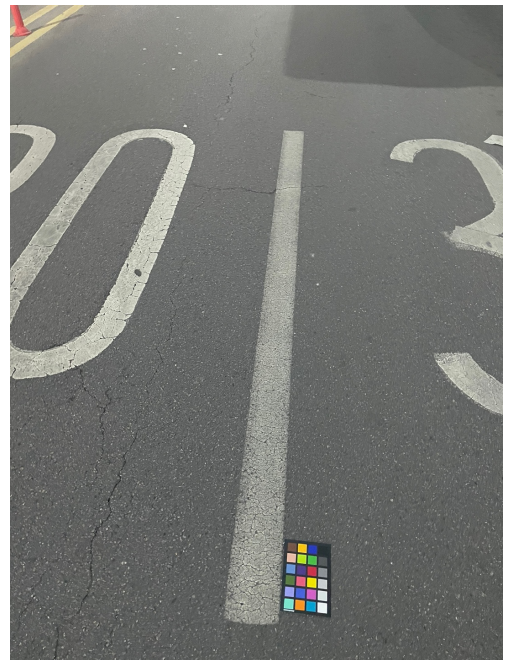


Fig. 15. Original Image Taken at 7 pm



Fig. 16. Patch Detection Image Taken at 10 am



Fig. 18. Patch Detection Image Taken at 10 pm

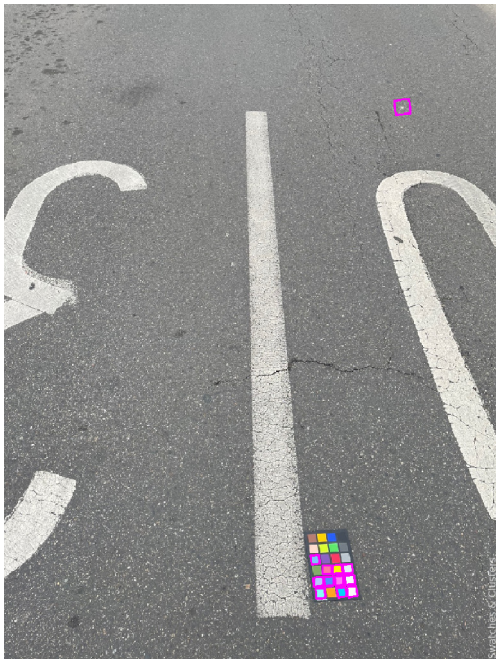


Fig. 17. Patch Detection Image Taken at 2 pm

패치 검출작업이 끝난 뒤 이미지를 Fig. 19와 같이 정사형으로 변환하여서 패치영역과 차선영역의 비율을 일정하게 조정하였다.



Fig. 19. Square Transform

그 이유는 다음과 같다. 이미지를 촬영할 때 대상을 기준으로 1m 거리에서 45° 수준으로 촬영하였다. 하지만 촬영구도가 미세하게 달라졌을 수 있으므로 이에 대한 오차를 보정하기 위해 패치와 차선의 비율을 일정하게 조절하였다.

이를 통해서 각 시간별로 촬영한 이미지 데이터의 신뢰성을 높였다.

4.4 색상 교정

검출된 컬러패치를 기반으로 색상을 교정했을 때의 교정 결과는 Fig. 20-22과 같다. 교정을 진행한 뒤 RGB-YUV 변환을 통해 추출된 Y값은 오전 10시의 경우 217, 오후 2시의 경우 220, 오후 7시의 경우 218의 값이 예측되었다. 상대적으로 높았던 Y값은 낮아지고 오후 7시에 촬영했던 이미지의 Y값은 높아지는 결과를 나타내었다. 이것은 색상 교정을 통해 외부 환경의 영향을 최소화시킨 것을 의미한다. 이후 도출된 Y값에 대하여 k-means 알고리즘을 이용한 클러스터링을 진행하였다.

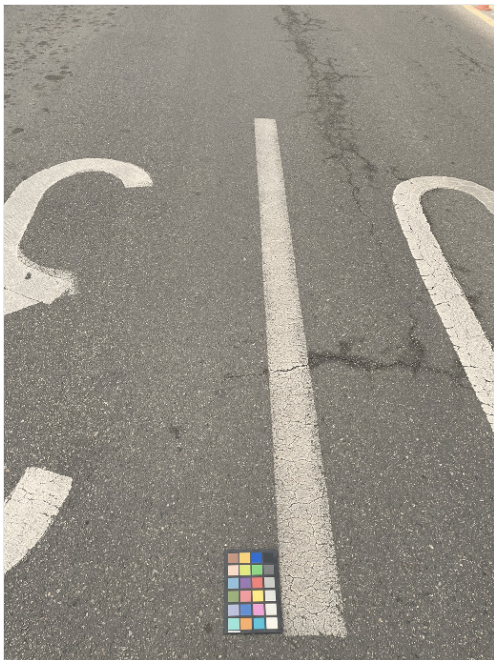


Fig. 20. Calibration Result Image Taken at 10 am

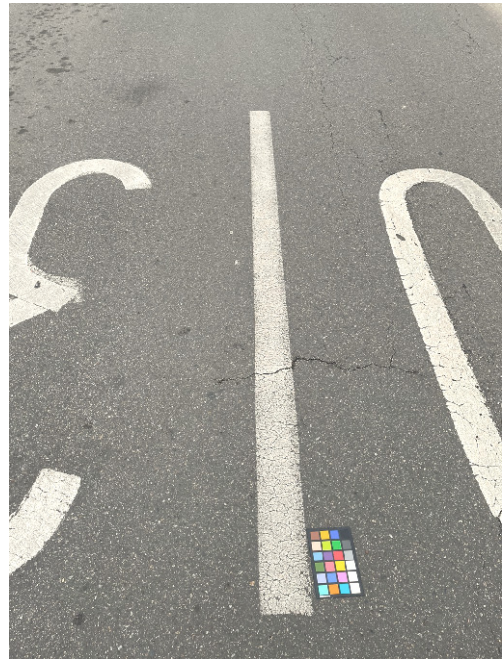


Fig. 21. Calibration Result Image Taken at 2 pm

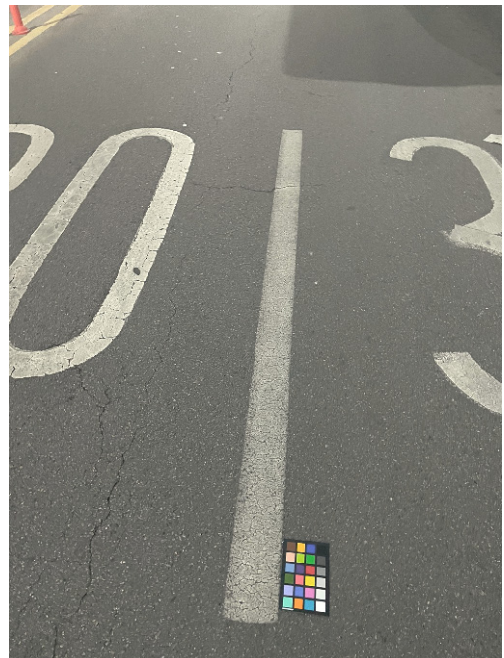


Fig. 22. Calibration Result Image Taken at 7 pm

클러스터링은 다음과 같은 방법으로 적용하였다. 도출된 Y값은 차선 영역의 각 픽셀에 대한 평균 Y값을 의미하지만 클러스터링을 통해 각 점에 대하여 상위의 클러

스터를 뜻하는 상대적으로 밝은 K개의 Y값 클러스터와 하위의 클러스터를 뜻하는 어두운 K개의 Y값 클러스터를 구할 수 있다. 이 때 상대적으로 낮은 값을 가지는 클러스터 영역은 삭제하고 합산하여서 YUV Space 값의 평균값을 구해서 최종적으로 차선의 Y값을 도출하였다.

5. 연구 결과

5.1 연구 결과

본 연구를 통해 최종적으로 도출된 Y값은 Table 1과 같다. 휘도계를 이용해 도출한 도로 차선의 회도값은 5.75CD를 나타내었으며 이를 Y값으로 환산하였을 때 205의 값을 나타내었다.

또한 각 시간별로 촬영한 이미지에 대하여 컬러패치를 이용하여 교정하였을 때, 이미지의 RGB-YUV 변환 결과의 경우 오전 10시와 오후 2시에 촬영한 이미지의 Y값은 낮아졌다. 하지만 오후 7시에 촬영한 이미지의 Y값은 반대로 높아지는 결과를 나타내었다.

마지막으로 k-means 알고리즘을 적용한 경우 Y값이 소폭 상승하였다. 이는 그림자, 균열 등을 의미하는 어두운 클러스터 영역을 제거했기 때문이다.

Table 1. RGB-YUV Result

Division		10 am	2 pm	7 pm
Day 1	Original	221	227	199
	Calibration	217	220	218
	Clustering	220	222	219
Day 2	Original	229	240	203
	Calibration	224	228	217
	Clustering	224	226	221
Day 3	Original	225	232	208
	Calibration	221	224	219
	Clustering	223	225	222

6. 결론

6.1 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 주간 차선의 가시성을 기반으로 이미지 상에서 차선의 휘도를 의미하는 Y값을 분석하는 연구를 진행하였다. 본 연구에서는 3일간 오전 10시, 오후 2시, 오후 7시에 동일한 구간에 대해 사진을 촬영하여 이에

대한 촬영 이미지에 대해 RGB-YUV 변환을 통해 이미지 상에서 상대휘도를 의미하는 Y값을 추출하여 분석해 보았다. 연구에 대한 최종 결론은 다음과 같다.

- 1) 휘도란 일정한 넓이를 가진 광원 또는 빛의 반사체 표면의 밝기를 나타내는 양을 의미한다. 즉 어떤 표면에서 빛이 방사되는 절대적인 물리적 양을 의미한다. 하지만 본 연구에서 촬영 날짜와 시간마다 동일한 차선의 Y값은 계속해서 변화하였다. 이를 통해서 다음을 알 수 있다. YUV 표현 형식에서 Y는 예측된 휘도를 뜻하지만 본 연구에서 Y값은 환경에 따라 계속해서 변하는 결과를 나타내었다. 따라서 RGB-YUV 변환을 통해 추출된 Y값은 이미지 상에서 상대적인 휘도값을 예측한 것이지 실제 물리적인 휘도값을 절대적으로 반영한다고 할 수는 없었다.
- 2) 컬러패치를 이용해 RGB 이미지 상에서 도로 차선의 색상을 교정할 수 있는 가능성을 확인하였다. 시간별로 촬영된 도로 차선의 Y값은 현저한 차이가 있었다. 그러나 교정을 진행하였을 때에는 그 차이가 줄어드는 결과를 나타내었다. 따라서 컬러 교정 작업을 진행한다면 분석된 Y값의 오차 범위를 일정 수준 줄어든게 할 수 있을 것으로 판단되었다. 또한 RGB 이미지에서 인공지능을 이용해 컬러패치를 검출할 수 있었다. 정확도는 매우 낮았지만 향후 학습데이터를 늘리고 최적화 작업을 진행한다면 더욱 정확하게 컬러패치를 검출할 수 있을 것으로 예상된다.
- 3) 도로 차선의 가시성에 따라 시인성의 차이는 존재하였다. 오전 10시, 오후 2시, 오후 7시 별로 촬영을 해서 주간 차선의 가시성 차이를 확인할 수 있었다. 오후 2시, 오전 10, 오후 7시 순으로 가시적이라고 판단이 되었는데 실제 Y값 또한 비슷한 추세 성향을 나타내었다. 이를 통해서 가시성과 시인성은 본 연구의 환경과 동일한 조건 하에서는 양의 관계를 가진다고 할 수 있다.
- 4) k-means 알고리즘을 적용하였을 때 Y값이 소폭 상승하는 결과를 나타내었다. 차선영역 내에서 어두운 Y값의 클러스터는 균열, 그림자, 벗겨짐 등 노이즈로 간주하고 제거하는 방법을 적용하였다. 이후 Y값이 소폭 상승하였다. 이때 Y값이 높은 경우 알고리즘 적용의 차이가 현저하게 발생할 것으로 예상했지만 실험결과 유의미한 결과가 나타나

지 않았다. 따라서 향후 클러스터를 세분화하고 데이터의 수를 늘려서 연구해볼 필요성이 있다.

- 주간 차선의 환경은 수집 시간대에 따라 자연광의 세기가 달라지며 그림자나 오염원등의 외부 변수로 인해 이미지 밝기 값이 수집시마다 달라질 수 있다. 따라서 연구 데이터의 수를 현재의 수집 배 이상으로 늘려 더욱 객관적이고 정량적인 연구결과를 도출해야할 필요성이 있다.

도로 차선은 운전자들의 주행방향을 결정하게 만드는 매우 중요한 역할을 한다. 차선이 지속적으로 노후화되면 교통사고를 유발할 수 있고 심각한 교통 정체와 사회적 비용의 손실을 야기할 수 있다. 따라서 차선의 시인성을 확보하는 것은 교통사고 예방에 있어 매우 중요하다.

본 연구에서는 운전자들의 사고 예방과 안전한 교통 환경을 제공하기 위해 주간 차선의 가시성을 기반으로 차선의 시인성을 분석하는 연구에 대해 가능성을 확인해보았다. RGB 이미지 상에서 가시성을 기반으로 한 Y값이 물리적인 휘도값을 절대적으로 반영한다고 할 수는 없었지만 가시성과 시인성이 일정 부분은 양의 관계를 가진다는 것을 확인하였다. 또한 차선의 색상교정과 클러스터링을 통한 교정의 가능성 여부를 확인하였다.

연구의 한계점으로는 아직 충분한 데이터를 확보하여 분석하지 않았기 때문에 연구 결과를 온전하게 신뢰할 수 없고 외부 환경의 영향을 더욱 최소화해야하는 것으로 판단되었다. 하지만 이러한 연구를 기반으로 향후 단일의 카메라만으로 도로 인프라를 분석할 수 있는 연구가 활발해진다면 더욱 쾌적한 인프라 환경을 제공하고 빠른 유지보수를 통해 안전한 시설물 관리 기술을 도입할 수 있을 것으로 기대한다.

References

- M. H. Lee, "Analysis of Traffic Accident Reduction Performance of High-quality and Long-life Pavement Marking Materials", journal of the Korean Society of Civil Engineer, Vol.35, No.4: pp.921-929, 2015. DOI: <https://doi.org/10.12652/Ksce.2015.35.4.0921>
- Y. M. Lee, S. T. Kim, "Night Visibility Evaluation of Phosphorescent Road Line Markings", International Journal of Highway Engineering, Vol.18, No.4 pp.69-75, 2016. DOI: <https://doi.org/10.7855/IJHE.2016.18.4.069>
- Tuan-Anh Nguyen, Won-Seon Song, Joo-Yeon Hwang,

Min-Cheol Hong "An Adaptive Noise Detection and Removal Algorithm Using Local Statistics for Salt-and-Pepper Noise", The Institute of Electronics and Information Engineers conference, The Institute of Electronics and Information Engineers, pp.849-850, 2009. DOI: <https://doi.org/10.5565/rev/elcvia.114>

- B. I. Kim, "Evaluation of Reflectivity of Road Markings Using Portable Retroreflectometer", International Journal of Highway Engineering, Vol.23, No.2, pp.11-19, 2021 DOI: <https://doi.org/10.7855/IJHE.2021.23.2.011>
- D. Beacco, P. Fiorentin, and G. Rossi, "A system for in situ measurements of road reflection properties", IMTC, pp.1508-1512, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1109/IMTC.2003.1208001>
- K. C. Choi, S. H. Lee, "A Methodology Development for Estimating the Retroreflectivity of Pavement Markings and Traffic Guide Signs Using Digital Images", Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Vol.34, No.1 pp.185-194, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.12652/Ksce.2014.34.1.0185>
- M. Anderson, R. Motta, S. Chandrasekar, and M. Stokes. "Proposal for a standard default color space for the internet - srgb", In Color and Imaging Conference, pp.238-245, 1996.
- A. Chakrabarti, Y. Xiong, B. Sun, T. Darrell, D. Scharstein, T. Zickler, and K. Saenko. "Modeling radiometric uncertainty for vision with tone-mapped color images". TPAMI, Vol.36, No.11, pp.2185-2198, 2014. Web : <https://www1.icisi.berkeley.edu/pubs/vision/mo delingradiometric14.pdf>
- A. Cheddad, J. Condell, K. Curran, and P. McKeivitt, "A new colour space for skin tone detection", IEEE, pp.497-500, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICIP.2009.5413947>
- S. Na, L. Xumin, G. Yong, "Research on k-means clustering algorithm: An improved k-means clustering algorithm", IEEE, pp.63-67, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/IITSI.2010.74>

김 연 태(Yeon-Tae Kim)

[정회원]



- 2014년 2월 : 인하대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2023년 2월 : 인하대학교 토목공학과 (공학박사)
- 2015년 4월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 도로교통연구본부 전임연구원

<관심분야>

도로포장관리시스템(PMS), 차선도색, 아스팔트 등