

## 디지털 이미지 기반 토색 평가기술 개발

백성하 KICT 지반연구본부 수석연구원

### 들어가며

흙의 색(이하 토색)은 구성 광물, 유기물 함량, 함수비, 이온 농도 등에 따라 달라지므로, 흙을 분류하고 특성을 예측하기 위한 기초 지표로 널리 활용되어 왔다. 농업 분야에서는 토색에 따라 적합한 영농 형태와 작물 종류가 달라지는 것에 주목하여, 토색을 대표적인 흙의 분류 지표로 활용한다. 또한 인접한 지역에서 유사한 색을 가지는 흙은 서로 유사한 특성을 가질 가능성이 높으므로, 토목 분야에서는 지반 조사 시 채취된 시료의 색을 시추주상도에 기록한다.

일반적으로 토색은 육안으로 관찰해 결정한다. 그림 1의 먼셀토색첩은 육안으로 관찰된 토색을 객관적으로 구별하기 위해 개발된 것으로, 색을 색상(hue)·명도(value)·채도(chroma)의 조합으로 나타낸다. ASTM(2008)은 먼셀토색첩에서 흙 시료의 색과 가장 유사한 표준색편을 찾아 토색을 결정하도록 하고 있으며, 이는 현재까지 가장 널리 활용되는 토색 결정 방법이다. 그러나 먼셀토색첩을 활용한 토색 결정 방법은 (1) 관찰자의 주관이 개입될 가능성이 높고, (2) 흙 시료 및 표준색편의 색은 광조건과 같은 환경 조건에 따라 달라지며, (3) 표준색편이 불연속적인 조각으로 나누어져 있어 수치적 혹은 통계적인 분석이 어렵다는 한계가 있다.

이러한 한계를 극복하기 위한 방법으로 디지털 이미지 기반의 토색 평가기술이 주목받고 있다. 디지털 이미지 프로세싱은 디지털 이미지를 분석해 원하는 정보를 얻는 일련의 과정으로 컴퓨터를 통해 진행되므로 관찰자의 개입 없이 빠르고 객관적인 토색 결정이 가능하다. 또한 토색이 연속적인 값으로 표시되므로 수치적 혹은 통계적인 분석이 가능하다는 장점이 있다.

### 디지털 이미지 기반 토색 평가기술 개발 현황

많은 연구자가 디지털 이미지 프로세싱을 기반으로 토색을 획득하고, 토색과 흙 속성 정보의 상관관계를 분석하는 연구를 수행하고 있다. Persson(2005), Zanetti et al.(2015), Santos 등(2016), Park(2017), Kim(2020)은 실내 스튜디오에서 촬영된 디지털 이미지로부터 얻은 흙의 RGB 색 강도와 함수비(혹은 함수율)의 상관관계를 분석했고, Zhu et al.(2010)은 흑백 이미지로부터 얻은 흙의 Gray 색 강도와 함수비의 상관관계를 분석했다. 각 연구자는 흙의 함수비(혹은 함수율)가 높아질수록 RGB 색 강도와 Gray 색 강도가 낮아지는 경향이 있음을 밝히고, 토색으로부터 함수비(혹은 함수율)를 예측할 수 있는 경험식을 제시했다. 또한 Gomez-Robledo 등(2013)과 Moonrungssee 등(2015)은 스마트폰 카메라로 촬영된 디지털 이미지로부터 흙의 RGB 색 강도를 획득하고 이를 통해 각각 흙의 분류 및 토양에 존재하는 인(Phosphorus, P)의 함량을 예측하기 위한 연구를 수행했다.

상기 연구들은 RGB 혹은 Gray 색 강도를 기반으로 토색을 빠르게 판별하고 이를 통해 흙의 속성을 예측하는 성과를 보였지만, 광조건이 일정한 실내 스튜디오에서 촬영된 이미지를 바탕으로 수행되었다는 한계가 있었다. 색 발현 원리에 따라 입사광이 달라지면 토색도 달라지기 때문에, 상기 연구들과 다른 광조건에서 촬영된 이미지 혹은 광조건의 통제가 불가능한 실제 현장에서는 연구결과를 적용하기 어려웠다. 즉, 기존 연구는 디지털 이미지 기반 토색 평가의 가능성을 확인했다는 의미는 있지만 현장 적용성이 떨어지는 실험실 수준에 머물러 있다.



그림 1 먼셀토색척(Munsell soil color chart)



그림 2 다양한 광조건(조도 및 색온도)에서 촬영된 주문진표준사 시료

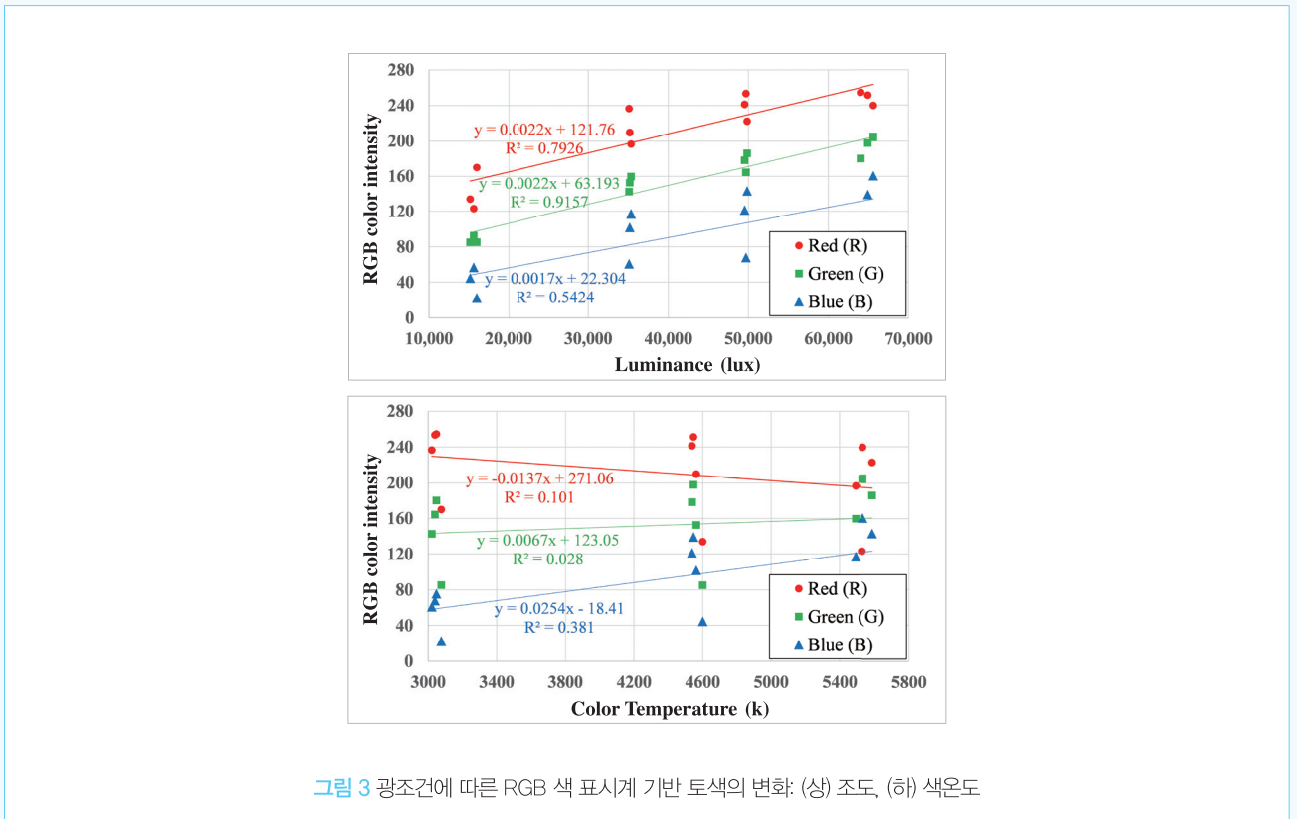


그림 3 광조건에 따른 RGB 색 표시계 기반 토색의 변화: (상) 조도, (하) 색온도

### 현장에서 적용 가능한 디지털 이미지 기반 토색 평가기술 개발

상기 문제점을 극복하기 위해서, 한국건설기술연구원에서는 현장의 불규칙한 광조건을 고려할 수 있는 디지털 이미지 프로세싱 기반 토색 분석 기술 개발을 진행하고 있다. 자연광의 특성을 모사할 수 있는 디지털 이미지 촬영 스튜디오를 구축

하고, 다양한 흙 시료를 대상으로 광조건을 바꿔가며 디지털 이미지를 촬영했다. 촬영된 시료 이미지를 바탕으로 디지털 이미지 프로세싱을 수행해 토색을 다양한 색 표시계에 대해 추출하고, 현장의 불규칙한 광조건을 고려할 수 있는 색 표시계를 확인했다. 최종적으로는 이를 바탕으로 현장에서 적용 가능한 디지털 이미지 기반 토색 분석기술을 개발하고자 한다.

광조건의 변화에 따른 토색의 변화

일반적으로 빛은 육안으로 볼 수 있는 약 380 nm에서 780 nm 사이의 파장이 혼합된 전자기파인 가시광선을 의미한다. 빛이 특정한 물체에 입사(입사광)하면 일부 파장의 빛은 흡수하고 나머지 파장의 빛은 반사(반사광)하는데, 색이란 반사광의 파장에 따라 결정된다. 색 발현 원리에 따라 입사광이 달라지면 반사광도 달라지므로, 동일한 상태에 있는 흙의 토색도 변한다.

그림 2는 자연광을 모사한 광조건 하에서 촬영된 주문진표준사를 나타낸다. 일정하게 조성된 흙 시료를 동일한 카메라 설정값을 적용해 촬영했음에도 조명의 색온도 및 조도에 따라 이미지 상으로 표출되는 토색은 완전히 달랐다. 색온도는 광원의 색을 절대온도(K)를 이용해 표시한 것으로 붉은색 계열의 광원일수록 색온도가 낮고 푸른색 계열의 광원일수록 색

온도가 높다. 광원의 조도는 특정한 면이 받는 빛의 세기를 나타내는 값으로 조도가 높아질수록 광원이 밝아진다. 토색도 색온도 및 조도에 따른 광원의 변화와 동일한 경향을 보였다. 조명에 따라 토색이 변화하는 현상은 앞서 언급했던 현장 적용이 불가능한 기존 연구의 한계를 확실하게 보여준다. 불규칙한 광조건을 고려할 수 있는 디지털 이미지 기반 토색 분석 방법이 개발된다면, 연구결과의 범용성 및 현장 적용성을 한층 더 강화할 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구에서는 그림 2의 흙 이미지를 RGB와 CIELAB 색 표시계를 기반으로 분석해 그 가능성을 확인했다.

RGB 색 표시계 기반 토색 분석

일반적인 디지털 이미지는 각 픽셀에 부여된 0에서 255까지의 RGB(Red, Green, Blue) 값으로 구성되어 있다. 본 연구

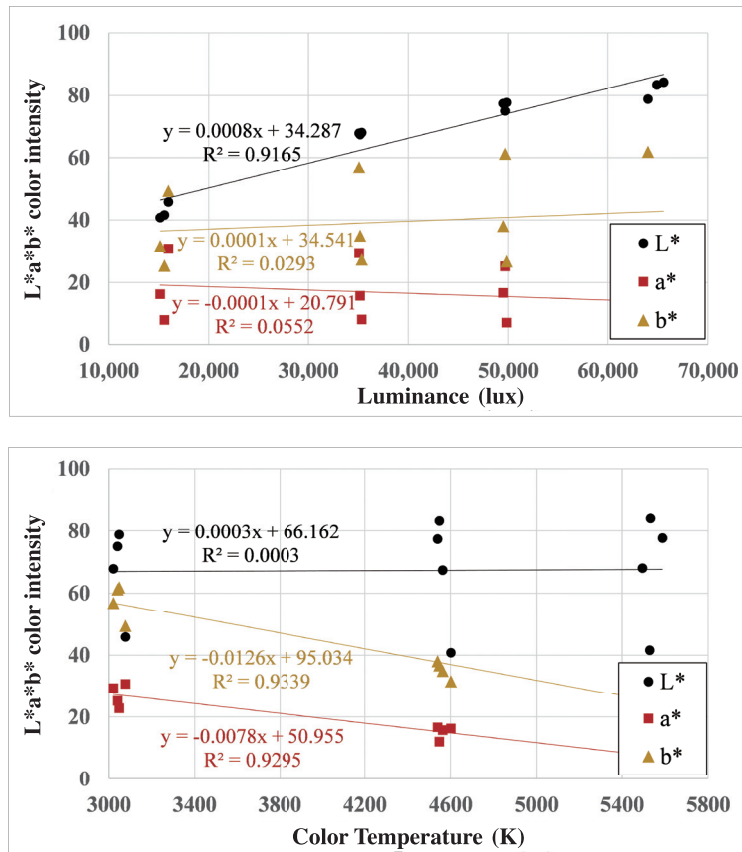


그림 4 광조건에 따른 CIELAB 색 표시계 기반 토색의 변화: (상) 조도, (하) 색온도

에서는 디지털 이미지 프로세싱을 통해 그림 2에 나타난 주문진표준사 토색의 평균값을 도출하고, 광조건(조도 및 색온도)에 따른 토색의 변화를 분석했다.

그림 3은 RGB 색 표시계에 대해 도출된 토색의 평균값을 각각 조명의 조도 및 색온도에 대해 나타낸 것이다. RGB 중 밝기와 가장 상관성이 높다고 알려진 G의 경우 조도와의 상관계수가 높았으나, R과 B와 조도의 상관계수는 상대적으로 낮았다. 이는 조도에 비해 영향은 상대적으로 적으나 조명의 색온도 또한 토색에 영향을 미치기 때문으로, 색온도가 낮은 광원(붉은색 계열)에서 빨강색 강도가 높고 색온도가 높은 광원(푸른색 계열)에서 파랑색 강도가 높은 현상을 보인다. 이처럼 RGB 색 표시계로 표시되는 토색은 조명의 조도 및 색온도 모두에게 일정 부분 영향을 받으므로, 그림 3의 회귀식을 통해 불규칙한 광조건의 영향을 배제(혹은 보정)하기는 어려울 것으로 판단된다.

### CIELAB 색 표시계 기반 토색 분석

본 연구에서는 RGB 색 표시계를 기반으로 획득된 그림 2의 디지털 이미지를 CIELAB 색 표시계로 변환한 뒤 토색을 분석했다. CIELAB 색 표시계에서는 색을  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ 의 조합으로 표현하는데,  $L^*$ 는 0(어두움)에서 100(밝음)까지로 표시되는 색의 밝기를 나타낸다. 또한  $a^*$ 와  $b^*$ 는 색상값으로,  $a^*$ 는 빨강(양수)과 초록(음수) 중 어느 쪽에 가까운지를  $b^*$ 는 노랑(양수)과 파랑(음수) 중 어느 쪽에 가까운지를 나타낸다.

그림 4는 CIELAB 색 표시계에 대해 도출된 토색의 평균값을 각각 조명의 조도 및 색온도에 대해 나타낸 것이다.  $L^*$ 는 조명의 조도와 높은 상관성을 보였고,  $a^*$ 와  $b^*$ 는 조명의 색온도와 높은 상관성을 보였다. 반면 조명의 조도는  $a^*$ 와  $b^*$ 에, 색온도는  $L^*$ 에 거의 영향을 주지 않았다. CIELAB 색 표시계에서  $L^*$ 는 색의 밝기를 나타내는 지표이므로 광원의 조도가 높아질수록 토색의 밝기인  $L^*$ 가 증가했다. 또한  $a^*$ 와  $b^*$ 는 색상을 나타내는 지표이므로 광원의 색온도가 증가해 붉은색 계열에서 푸른색 계열로 변화할수록 토색이 파랑에 가까워지며  $a^*$ 와  $b^*$ 는 점차 감소했다. 이처럼 토색 중  $L^*$ 는 조도에만,  $a^*$ 와  $b^*$ 는 색온도에만 영향을 받으며 상관성도 높으므로 그림 4의 회귀식을 통해 조도 및 색온도가 토색에 미치는 영향을 배제(혹은 보정)할 수 있을 것으로 판단된다.

### 맺음말

한국건설기술연구원에서는 현장의 불규칙한 광조건을 고려할 수 있는 디지털 이미지 기반 토색 분석기술을 개발하고 있다. 촬영된 이미지 분석 결과(주문진표준사의 디지털 이미지 분석 결과와 여기서 소개하지 못한 다양한 흙 시료의 분석 결과)가 보여주듯이, CIELAB 색 표시계를 기반으로 불규칙한 광조건이 토색에 미치는 영향을 배제(혹은 보정)할 수 있을 것으로 보인다. 목표 기술의 개발이 완료된다면 현장에서 촬영된 흙의 디지털 이미지를 바탕으로 토색을 손쉽게 빠르게 획득할 수 있을 것이다. 토색을 통계적 분석이 가능한 수치로 획득함으로써 토색과 관련이 있는 흙의 속성(구성 광물, 유기물 함량, 함수비, 이온 농도 등)을 평가하는 데에도 활용될 수 있을 것이다. □

### 참고자료

- ASTM (2008). Standard Practice for Specifying Color by the Munsell System. ASTM International D 1535-08, PA, USA.
- Gomez-Robledo, L., Lopez-Ruiz, N., Melgosa, M. and Palma, A.J. (2013). Using the mobile phone as munsell soil-colour sensor: an experiment under controlled illumination conditions. *Comput. Electron. Agric.* 99 (7), pp. 200-208.
- Kim, D.K (2020). Prediction on Physical Properties of Soil Based on Deep Learning using Digital Image Processing, Doctoral Thesis, Seoul National University.
- Moonrungsee, N., Pencharee, S., and Jankmune, J. (2015). Colorimetric analyzer based on mobile phone camera for determination of available phosphorus in soil. *Talanta*, 136, pp. 204-209.
- Park, J.S. (2017). Soil Classification and Characterization using Unmanned Aerial Vehicle and Digital Image Processing, Doctoral Thesis, Seoul National University.
- Persson, M. (2005). Estimating surface soil moisture from soil color using image analysis. *Vadose Zone Journal*, 4(4), pp. 1119-1122.
- Santos, J. F., Silva, H. R., Pinto, F. A. and Assis, I. R. d. (2016). Use of digital images to estimate soil moisture. *Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental*, 20(12), pp. 1051-1056.
- Zanetti, S. S., Cecilio, R. A., Alves, E. G., Silva, V. H. and Sousa, E. F. (2015). Estimation of the moisture content of tropical soils using colour images and artificial neural networks. *Catena*, 135, pp. 100-106.