

2025년 추계학술발표대회 : 대학생부문

파노픽 세그멘테이션과 SHAP 분석을 활용한 거리뷰 특성 기반 보행자 관점 도시 환경 질 영향 요인 분석 - 복잡성 · 개방감 · 녹지를 중심으로 -

Panoptic Segmentation and SHAP-Based Analysis of Street View Features Affecting Pedestrian Perceptions of Urban Environmental Quality - Focusing on Complexity · Openness · Greenery -

○강 선 희* 지 소 윤* 최 수 안* 황 성 주**
Kang, Seonhee Ji, Soyeon Choi, Soan Hwang, Sungjoo

Abstract

Pedestrian-friendly urban environments are crucial for enhancing quality of life. Conventional environments evaluations are resource-intensive and often emphasize only quantitative metrics. This study investigates key qualitative features of pedestrian perceptions, focusing on openness, complexity, and greenery, by analyzing 1,050 street view images with corresponding surveys. Panoptic segmentation was applied to extract segment features, aiming to identify influential factors for predicting pedestrian-oriented street quality. Correlation analysis showed all survey factors were significantly related to satisfaction, while SHAP revealed nonlinear effects of image features on streetscape quality. The results highlight the potential of image-based machine learning for systematic assessment of urban street environments.

키워드 : 거리뷰 이미지, 보행자 인식, 보행환경, 복잡성, 개방감, 녹지, 파노픽 세그멘테이션, 샵 분석

Keywords : Street view Images, Pedestrian perception, Walkability, Complexity, Openness, Greenery, Panoptic segmentation, SHAP analysis

1. 서론

보행 친화적 도시는 삶의 질을 높일 뿐만 아니라 교통 체증 완화, 탄소배출 감소 등에도 영향을 미친다(최재연 외, 2024). 따라서 보행환경에 대한 개선 방향을 제시하는 것은 보행 활성화를 위한 도시설계에 있어 필수적이다. 그러나 기존의 보행환경 평가 방식은 대부분 현장 조사로, 시간과 비용이 요구되며 특히 실시간 데이터 기반의 평가가 부족하다는 단점이 존재한다(Lee et al., 2025). 최근에는 이러한 문제를 해결하고자 Google Street View(GSV)와 같은 이미지를 활용하여 딥러닝 기술을 통한 자동 평가 기법이 제안되고 있다(박지영 외, 2022).

보행자의 시각적 만족도를 다루는 연구에서 중요하게 여겨지는 요소는 높은 개방감, 적절한 복잡성, 넓은 녹지면적이다. 그러나 관련 연구의 상당수는 물리적 수치에 기반한 요소의 ‘양’에 초점을 두고 있다(Lee et al., 2022).

이는 보행자가 느끼는 질적 경험을 충분히 반영하지 못하는 한계를 갖는다. 이에 따라 본 연구에서는 복잡성, 개방감, 녹지 3가지 요소에 초점을 맞추어 보행자 관점의 거리뷰 질적 특성 예측에 영향을 미치는 요소를 알아보려 한다.

2. 연구방법

2.1 이미지 선정

Google Street View(Google, 2024), AI_hub Walkway(AI Hub, 2022), Cityscape(Cordts et al., 2016), Kakao 로드뷰(Kakao, 2024), cropped MMS(Lee et al., 2025)에서 복잡성, 개방감, 녹지질의 수준이 골고루 분포되어 있는 1,050장의 사진을 선정했다. 이때, 해당 이미지에는 Lee et al.(2025)에서 50명의 불특정 다수가 평가한 만족도/불만족도 데이터가 포함되어 있다. 이는 후에 확보한 질적 특성에 대한 평가 데이터 간의 관계 규명에 사용하였다.

2.2 설문조사 시행

이미지 1,050장에 대해 질적 특성 평가 데이터 확보를 위하여 10명을 대상으로 설문조사를 진행하였다. 복잡성 및 단조로움, 개방감 및 보행로 확보 여부와 질, 녹지양 및 녹지질에 대해 ‘그렇다(1)’, 또는 ‘아니다(0)’로 응답하도록 하였다. 단조로움은 복잡성의 연관 개념으로, 보행로 관련 항목은 개방감과의 연관 항목으로 설정되었다.

* 이화여대 건축도시시스템공학과 학사과정

** 이화여대 건축도시시스템공학과 교수

(Corresponding author : Department of Architectural & Urban Systems Engineering, Ewha Womans University, hwangs@ewha.ac.kr)

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (RS-2023-00210164).

이에 따라 10명의 점수를 합산하여 각 항목에 대한 점수를 생성하였다. 확보된 인지 기반 질적 특성 평가 데이터는 기존의 만족도 설문 데이터 및 파놉틱 세그멘테이션 결과 데이터 간의 관계 분석에 활용하였다.

2.3 파놉틱 세그멘테이션

종류와 개수를 감지하는 이미지 분류 기법인 파놉틱 세그멘테이션으로 복잡성, 개방감, 녹지와 관련된 요소가 추출되었다. 이미지 분류는 리눅스 가상환경에서 4가지 데이터셋(ADE20K, Cityscapes, COCO, Mapillary Vistas)을 통해 학습된 OneFormer 모델로 수행되었으며, 요소 추출이 원활히 진행된 학습 모델을 선정하여 분석에 사용했다.

특히 상대적으로 분명한 개념인 녹지와 달리 추상적 개념인 복잡성 및 개방감은 문헌조사를 통해 개념을 정의하고 관련된 요소를 설정했다. 시각적 복잡성(Visual Complexity)은 사람이 시각적으로 인지하는 다양성과 자극에 관련된 개념으로, 인지적 측면이 강하게 작용한다(윤성원, 2018). 이는 주로 Shannon 엔트로피 개념을 활용하여 평가되었으며, 복잡성이 적절할 때 보행자의 만족도가 높게 나타난다(정승현 외, 2011). 복잡성 관련 요소는 거리뷰 이미지에서 하늘 및 도로를 제외한 요소이다.

개방감은 보행자가 느끼는 시야의 열림 정도를 나타내며, 공간의 트입, 하늘의 노출, 도로의 폭 등 시각 정보에 의해 직관적으로 인지된다. 개방감은 전통적으로 SVF(Sky View Factor)로 측정된다. 이는 인식되는 전체 영역에 대한 하늘의 영역을 의미하며, 0부터 1까지로 나타낸다(Nouri et al., 2017). 이러한 SVF 방식은 간단하고 정량화가 용이하다는 장점이 있으나, 실제 보행자의 인식에는 도로의 폭, 건축물 배치, 수직 시야 방해물 등도 영향을 미치므로, 본 연구에서는 개방감과 관련된 요소로 하늘 및 도로를 선정했다. 원본 거리뷰 이미지와 요소 별 세그먼트 병합 이미지의 예시는 그림 1과 같다.

이후 병합된 세그먼트에 대한 결과값을 확보하고, 이미지의 특징 데이터를 산출했다. Lee et al.(2022)에서 다루어진 양적 측면을 포착할 수 있는 특징 데이터와 더불어, 색채를 포착할 수 있는 특징 데이터도 선정했다. 색채는 장면 지각, 객체 인식 등 인간의 마음 및 행동 측면에서 중요한 역할을 한다(Maule et al., 2023). 세그먼트 병합 이미지에서 추출한 특징 데이터 목록은 표 1과 같다.

3. 연구 결과 분석

3.1 설문 요소 간의 상관관계 분석

그림 2는 설문 요소 및 만족도, 불만족도 간의 상관관계수와 유의미도를 나타낸 히트맵이다. Bosse et al. (2007)에서는 측정 방법과 맥락에 따라 복잡성, 단조로움의 개념 정립이 상대적임을 시사한다. 따라서 본 연구에서는 단조로움을 복잡성과 독립된 변수로 두고 분석을 진행하였다. 또한 개방감에 있어, 하늘의 면적 비율 뿐만 아니라 보행자의 시야 확보 여부 또한 판단에 중요한 영향을 미친다. 특히 보행로의 폭은 시야 확보와 직결되며, 보행로가 넓을



그림1. 파놉틱 세그멘테이션 이미지 예시

표 1. 세그먼트 병합 이미지에서 추출한 특징 데이터

특징 \ 설명	뜻	적용 의미
Spread ratio	픽셀 퍼짐정도	식생 군집, 건물 밀집도, 열린 공간 분석
mean Hue	평균 색조	식생 건강도, 건물 재질, 하늘 영역 구분
mean Saturation	평균 채도	식생 또는 건축 외피 선명도
mean Value brt	평균 명도	햇빛 노출도, 밝기 기반 건강/노후 구분
Hue entropy	색조 다양성	수종 또는 건축 색상 다양성
Saturation entropy	채도 다양성	채도 기반 식생 또는 재질 다양성
Spatial entropy	공간 다양성	공간적 복잡성, 다양한 공간 패턴 식별
Edge density	윤곽선 밀도	경계 복잡성, 건물 형태 또는 경관 복잡성

수록 보행자는 더 큰 개방감을 느끼는 경향이 있어, 이를 반영하여 보행로 관련 항목을 변수로 포함하였다(Lee et al., 2022). 기존 연구에서 녹지는 주로 양에 초점이 맞춰져 분석되어왔다. 이미지에서 녹지의 양은 GVI(Greenery View Index) 지표를 통해 추출되며, 이는 전체 이미지 픽셀에 대한 녹지의 픽셀 비율을 의미한다(Han et al., 2023). 녹지 면적이 넓을수록 경관의 심미성은 더 높게 나타나며, 녹지 비율이 증가할수록 보행 만족도 또한 높아진다(Lee et al., 2022). 이처럼 보행자 경험과 경관 평가에 있어 녹

지 양의 중요성이 보고된 바, 본 연구에서는 이를 녹지의 질적 특성을 반영하는 주요 변수로 설정하였다.

녹지양-보행로 확보, 녹지질-보행로질의 관계를 제외한 모든 관계에서 유의미한 결과가 도출되었다 ($p < 0.001$). 전체적 이미지 만족도 측면에서 유일하게 복잡성 요소만이 음의 상관관계를 보였고 ($R = -0.58$), 이를 제외한 단조로움, 개방감, 녹지양 및 녹지질, 보행로 확보 여부 및 질 항목은 전체적 이미지 만족감과 양의 상관관계를 나타냈다.

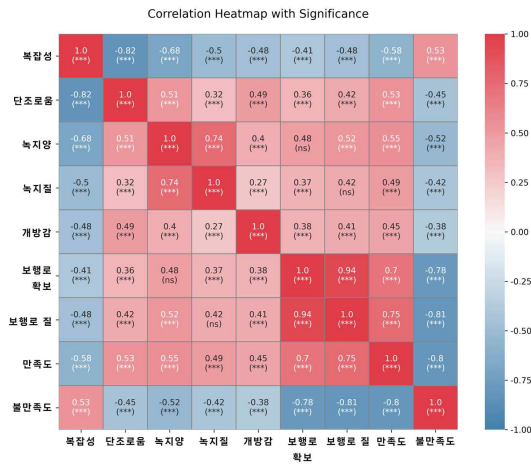


그림 2. 보행환경 요소 간 상관관계 히트맵

3.2 SHAP 분석을 활용한 특징 데이터 중요도 평가

그림 3은 복잡성, 개방감, 녹지에 대한 SHAP summary plot이다. SHAP 알고리즘은 머신러닝 예측에서 변수의 중요도를 평가하여 결과를 해석하는 기술이다(Lee et al., 2022). 분석에는 대표적 부스팅 앙상블 모델인 그라디언트 부스팅을 효율적으로 구현한 XGBoost를 사용했고, 이는 Lee et al(2022)에서 모든 성능평가지표가 가장 우수하게 나타난 모델이기도 하다. 이때 타겟 변수는 각각 설문을 통해 수집된 복잡성 및 개방감 점수, 녹지질 점수로 설정하였다. 녹지 분석에서는 녹지가 없다고 인식된 이미지를 제외한 954개 이미지에 대해서만 분석을 진행했다. SHAP summary plot에서 빨간 점은 높은 값, 파란 점은 낮은 값의 데이터를 의미하며 세로축을 기준으로 오른쪽엔 타겟 변수를 높게, 왼쪽엔 타겟 변수를 낮게 예측하는 데이터가 위치한다. 점의 분포 길이는 예측 경향성의 크기이다.

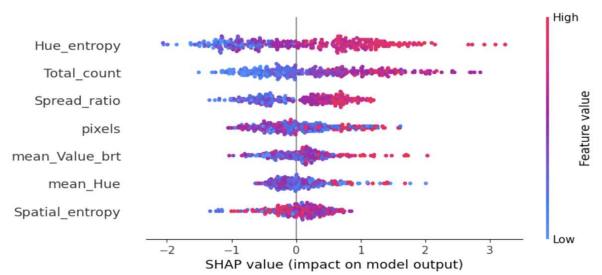
먼저 복잡성 분석 결과 Hue_entropy, Total_count, Spread_ratio가 높은 영향력을 발휘했다. 즉 다양한 색조, 많은 요소 개수, 넓게 퍼진 픽셀은 높은 복잡성 예측에 기여했다. 특히 Hue_entropy와 Total_count는 점이 오른쪽으로 길게 분포하며 이는 복잡성을 높게 예측하는데 큰 영향력을 발휘한다는 뜻이다.

다음으로 개방감은 Openness Pixel Ratio, Spatial_entropy, mean_Value_brt, Saturation_entropy가 높을수록 높게 예측되었다. Openness Pixel Ratio는 거리뷰 이미지에서 전체 이미지 픽셀에 대한 하늘과 도로 픽셀의 비율인데, 높은 값을 가질수록 개방감 예측에 상당히 긍정적 영향을 주는 것으로 나타났다. 반면 Spread_ratio, Hue_entropy, Edge_density,

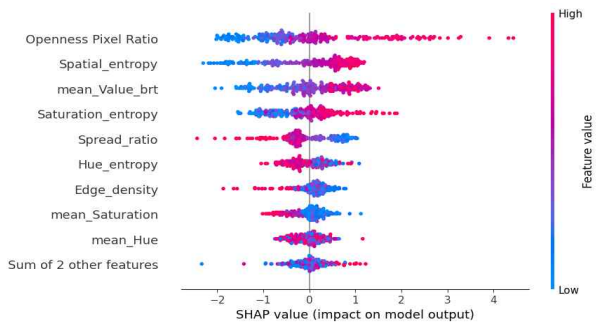
mean_Saturation은 파란색 점이 오른쪽에, 빨간색 점이 왼쪽에 분포하고 이는 낮은 값의 데이터가 높은 개방감 예측을 이끌어내는 결과로 해석된다.

녹지 분석 결과 높은 영향력을 보인 특징 데이터는 Edge_density, mean_Saturation이었는데, 공통적으로 Plot에서 파란 점이 왼쪽으로 길게 분포했다. 이는 낮은 윤곽선 밀도와 비선명한 색상이 녹지질 예측에 강한 부정적 영향을 행사한다는 의미이다. 타 특징 데이터는 상대적으로 점의 분포 길이가 짧고 뚜렷한 경향성을 보이지 않았다.

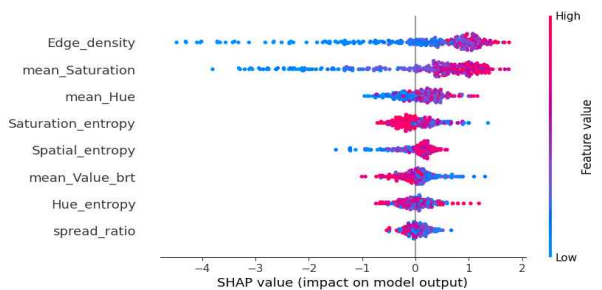
그림 4는 복잡성, 개방감, 녹지의 SHAP 분석 결과 가장 영향이 크다고 분석된 특징 데이터의 SHAP dependence plot이다. x축은 특징 데이터를, y축은 SHAP 값, 즉 타겟 변수를 의미한다. 세 개의 그래프 모두 타겟 변수 예측에 있어 비선형적 거동을 보인다. 이는 특징 데이터와 타겟 변수 사이에 보다 복잡한 관계가 있음을 시사한다.



복잡성 SHAP Plot



개방감 SHAP Plot



녹지 SHAP Plot

그림 3. 요소별 SHAP summary Plot

4. 연구 결과 논의

본 연구에서는 1,050장의 거리뷰 이미지에 대해 인식된 복잡성, 개방감, 녹지와 전체적 이미지의 만족도와의 관계를 알아보았다. 복잡성은 만족감과 음의 상관관계를 나타냈으나 이를 제외한 개방감 및 녹지 관련 항목은 만족감과 양의 상관관

계를 가진 것으로 파악됐다.

이후 인식된 복잡성, 개방감, 녹지 예측에 영향을 미치는 특징 데이터를 파악했다. 복잡성의 경우 Hue_entropy, Total_count, Spread_ratio가 영향력 있는 변수로 분석되었다. 개방감의 경우 Openness Pixel Ratio, Spatial_entropy, mean_Vlaue_brt가 영향력 있는 변수로 분석되었고, 녹지의 경우 Edge_density와 mean_Saturation이 가장 높은 영향력을 발휘했다. 특징 데이터 그래프는 비선형적 형태를 보였다.

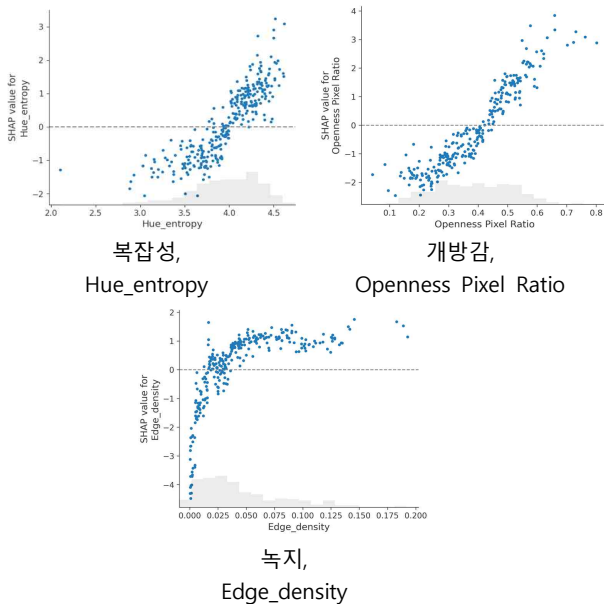


그림 4. 요소별 SHAP 개별 산점도

5. 결론

본 연구는 기존의 단순한 정량적 접근을 넘어, 사람들이 느끼는 거리 이미지의 특성을 설명 가능한 AI 해석 기법(SHAP)을 통해 분석했다는 점에서 의의가 있다. 또한 기존 환경 분석 방법에 보행자 인식 데이터를 결합하여 질적 요소 도입을 시도한 점은 도시 환경 분석에서 보행자 관점을 통합하려는 경향과 맞닿아 있다. 본 연구의 분석 틀은 향후 다양한 맥락에서 반복 적용될 수 있어, 다학제적 분야에 이론적 및 방법론적 기여를 할 수 있다.

본 연구에서는 10명을 대상으로 설문조사를 실시했으나, 향후에는 다양한 특성의 참여자군을 확장하여 객관성을 높일 필요가 있다. 또한 이후에는 거리 요소를 보다 정교하게 감지할 수 있는 세분화 모델의 활용, 보완 방식을 통해 정확도를 개선하는 것이 필요하다. 본 연구는 1,050장의 거리뷰 이미지를 대상으로 진행되었으며, 보다 다양한 특성이 반영된 샘플을 확대하여 거리 인식을 정밀하게 예측하는 모델을 구축할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 박지영, 강영욱, & 김지연. (2022). 거리 영상과 시멘틱

2. 세그먼테이션을 활용한 보행환경 평가 지표 개발. 한국 지도학회지, 22(1), 53-68.
3. 윤성원. (2018). 시각적 복잡성 연구고찰 IV-가로경관에 서의 시각적 복잡성 모형 연구. 기초조형학연구, 19(6), 463-476.
4. 정승현, & 김혜령. (2011). 엔트로피 개념을 적용한 시각적 복잡성의 측정과 선호도 분석: 한강변 아파트 단지를 대상으로: 한강변 아파트 단지를 대상으로. 한국도시설계학회지 도시설계, 12(1), 71-86.
5. 최재연, 노승민, 김소망, & 강영욱. (2024). 거리 영상과 시멘틱 세그먼테이션을 활용한 보행환경 평가. 대한지리학회지, 59(5), 673-687.
6. AI Hub. (2022). Walkway walking video data. <https://aihub.or.kr/aihubdata/data/view.do?currMenu=115&topMenu=100&aihubDataSe=realm&dataSetSn=189>
7. Bosse, T., Sharpanskykh, A., & Treur, J. (2007, May). On the complexity monotonicity thesis for environment, behaviour and cognition. In International Workshop on Declarative Agent Languages and Technologies (pp. 175-192)
8. Cordts, M., Omran, M., Ramos, S., Rehfeld, T., Enzweiler, M., Benenson, R., Franke, U., Roth, S., & Schiele, B. (2016). The cityscapes dataset for semantic urban scene understanding. In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (pp. 3213-3223). <https://doi.org/10.1109/cvpr.2016.350>
9. Google. (2024). Google street view. <https://www.google.com/maps>
10. Han, Y., Zhong, T., Yeh, A. G., Zhong, X., Chen, M., & Lü, G. (2023). Mapping seasonal changes of street greenery using multi-temporal street-view images. Sustainable Cities and Society, 92, 104498.
11. Kakao. (2024). Kakao road view. <https://map.kakao.com/>
12. Lee, J., Kim, D., & Park, J. (2022). A machine learning and computer vision study of the environmental characteristics of streetscapes that affect pedestrian satisfaction. Sustainability, 14(9), 5730.
13. Lee, M., Kim, H., & Hwang, S. (2025). Virtual audit of microscale environmental components and materials using streetscape images with panoptic segmentation and image classification. Automation in Construction, 170, 105885.
14. Maule, J., Skelton, A. E., & Franklin, A. (2023). The development of color perception and cognition. Annual Review of Psychology, 74(1), 87-111.
15. Nouri, A. S., Costa, J. P., & Matzarakis, A. (2017). Examining default urban-aspect-ratios and sky-view-factors to identify priorities for thermal-sensitive public space design in hot-summer Mediterranean climates: The Lisbon case. Building and Environment, 126, 442-456.