

도시 스트리트뷰 영상을 이용한 딥러닝 기반 보행환경 평가 요소 분석⁺

(Analysis of Deep Learning-Based Pedestrian Environment Assessment Factors Using Urban Street View Images)

황지연¹⁾, 최철웅²⁾, 남광우^{3)*}, 이창우^{3)*}

(Ji-Yeon Hwang, Cheol-Ung Choi, Kwang-Woo Nam, and Chang-Woo Lee)

요약 최근 일상생활 속 보행의 중요성이 강조되면서 보행권 보장 및 보행환경 조성을 위한 사업이 지역 곳곳에서 추진되고 있다. 선행 연구에서는 전주시 도로 이미지를 사용하여 보행환경 평가를 진행하고, 이미지 비교 쌍 데이터 세트를 구축하였다. 하지만 숫자로 표현된 데이터 세트는 보행환경 평가자들의 판단 기준을 일반화하거나 보행자가 선호하는 보행환경을 시각적으로 파악하기에 어려움이 존재한다. 따라서 본 연구는 웹 애플리케이션을 구축하여 데이터 시각화를 통해 보행환경 평가의 결과를 해석하는 방법을 제안한다. 의미론적 분할 결과를 활용하여 보행환경 평가자에게 영향을 미치는 보행환경 구성 요소를 분석한 결과, 보행자는 주로 'earth'와 'grass'가 많은 환경을 선호하지 않았고, 'signboard'와 'sidewalk'를 가진 환경을 선호하는 것으로 확인하였다. 제안된 연구는 향후 보행환경 평가의 참여자가 임의로 선택한 결과를 파악하고 분석할 수 있을 것으로 기대하며, 데이터에 대한 정제과정을 전처리로 수행함으로써 좀 더 향상된 정확도를 얻을 수 있을 것으로 판단한다.

핵심주제어: 보행환경 평가, 의미론적 분할, 웹 애플리케이션, 시각화, 특징 분석

Abstract Recently, as the importance of walking in daily life has been emphasized, projects to guarantee walking rights and create a pedestrian environment are being promoted throughout the region. In previous studies, a pedestrian environment assessment was conducted using Jeonju-si road images, and an image comparison pair data set was constructed. However, data sets expressed in numbers have difficulty in generalizing the judgment criteria of pedestrian environment assessors or visually identifying the pedestrian environment preferred by pedestrians. Therefore, this study proposes a method to interpret the results of the pedestrian environment assessment through data visualization by building a web application. According to the semantic segmentation result of analyzing the walking environment components that affect pedestrian environment assessors, it was confirmed that pedestrians did not prefer environments with a lot of "earth" and "grass," and preferred environments with "signboards" and "sidewalks." The proposed study is expected to identify and analyze the results randomly selected by participants in the future pedestrian environment evaluation, and believed that more improved accuracy can be obtained by pre-processing the data purification process.

Keywords: Pedestrian Environment Assessment, Semantic Segmentation, Web Application, Visualization, Feature Analysis

* Corresponding Author: leecw@kunsan.ac.kr

+ 이 논문은 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원에 의해 연구되었음(과제번호 RS-2022-00143336).

Manuscript received September 26, 2023 / revised October

27, 2023 / accepted November 19, 2023

1) 군산대학교 컴퓨터정보공학과, 제1저자

2) 군산대학교 컴퓨터정보공학과, 제2저자

3) 군산대학교 컴퓨터정보공학과, 교신저자

1. 서론

최근 보행의 생활화에 대한 이목이 쏠리면서 시민 건강증진 및 보행환경 개선을 위한 다양한 사업들이 진행되고 있다. 국민안전처에서는 ‘안전한 보행환경개선사업이란 보행자가 안전하고 편리하게 걸을 수 있는 보행환경을 조성하여 보행자 교통사고 예방과 국민의 생활 안전을 도모하기 위한 사업이다.’라고 정의하였다. Lee and Ahn(2008)에서 보행 활동은 생활 습관이며 보행 친화적인 도시를 조성하기 위해서는 근린 내 보행환경 개선이 우선임을 언급하였다. Dubey et al.(2016)은 웹사이트 방문자가 두 장의 거리 이미지를 보고 6가지 감정(Safe, Lively, Boring, Wealth, Depressing, Beautiful) 중 제시된 감정과 더 어울리는 이미지를 선택하는 클라우드소싱 기반 평가를 진행하였다. 그 결과를 담은 Place Pulse 2.0 데이터 세트를 구축하였고, 이 데이터 세트는 도시 외관을 개선하는 데 도움을 줄 수 있다고 주장하였다. Lieu et al.(2021)은 가로 이미지에 대해 5점 리커트 척도(1:매우 불만족 ~ 5:매우 만족)로 표현하는 설문조사를 진행하였고, 도로 너비가 넓을수록 보행 만족도가 증가함을, 보행자 수가 많을수록 도시 활력이 증가함을 도출하였다. Seresinhe et al.(2017)은 VGG16 모델을 사용해 아름다운 도시를 구성하는 요소를 분석하였고, 자연 뿐 아니라 다리, 건물과 같은 인공적인 요소도 보행환경에 긍정적인 영향을 미치는 것을 발견하였다.

Lee et al.(2022)에서 여러 회귀 모델을 사용하여 보행환경 평가를 수행하였으나 76% 이상의 모델 정확도를 도출하지 못하였다. 이는 모델 학습에 바탕이 되는 데이터의 순도 문제라고 생각하여 본 논문에서는 보행환경 평가의 결과를 분석하기 위한 웹 애플리케이션 설계 및 구현을 통해 데이터를 시각적으로 표현하고, 보행자의 일반적인 선호도에 따른 보행환경 구성 요소를 파악하고자 한다. 본 연구를 통해 다양한 기호를 가진 보행자가 참여한 보행환경 평가의 결과를 토대로 개선이 필요한 보행환경을 객관적으로 찾을 수 있고, 이에 따른 사업의 효율적인 투자가 가능하다고 판단한다.

2. 선행 연구

2.1 데이터 수집

카카오 거리뷰를 활용하여 총 1,121km인 전라북도 전주시 도로의 길이를 30m 간격으로 나누어 49,156개 지점에서 영상을 수집하였다. 360도 파노라마로 촬영된 영상은 앞쪽, 뒤쪽, 왼쪽, 오른쪽인 네 부분으로 나누었고, 총 196,624장의 이미지로 변환하였다. 도로의 폭을 기준으로 하여 변환된 이미지가 갖는 특징이 편향되지 않도록 층화추출(stratified sampling) 과정을 거쳤다. 49,156개 지점 중 10,590개 지점을 추출하였고, 앞쪽, 뒤쪽, 왼쪽, 오른쪽으로 4분할하여 총 42,360장 이미지를 보행환경 평가에 사용하였다 (Kim et al., 2022).

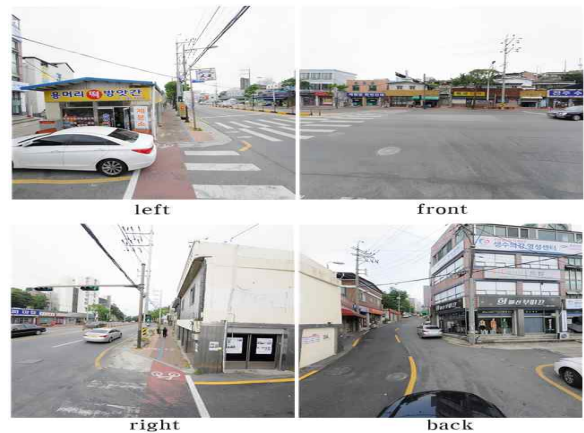


Fig. 1 The Road Image of Jeonju-si

2.2 보행환경 평가

보행환경 평가는 클라우드소싱으로 진행되며, 평가 참여자가 무작위로 제시된 이미지 비교 쌍 데이터에서 더 걷기 좋다고 생각되는 환경의 이미지를 고르는 방식이다. 층화추출 과정을 거친 42,360장 이미지 중 21,168장 이미지를 선별하고, Yoo et al.(2022)의 쌍체 비교 셋 생성 알고리즘을 사용하여 총 193,600개의 이미지 비교 쌍 데이터 세트를 구축하였다. 이미지 비교 쌍 데이터는 $D = \{i_x, i_y, sRIGHT\}$ 의 수식으로 표현

되며, $x, y \in \{1, \dots, n\}$, $s \in \{0, 1\}$ 을 가진다. i_x 와 i_y 는 각각의 이미지를 뜻하며, n 은 이미지의 개수를 나타낸다. s 가 0일 경우 보행환경 평가에서 i_x 가 선택됨을, s 가 1일 경우 i_y 가 선택됨을 의미한다.

TrueSkill 알고리즘을 사용하여 이미지 i 에 대한 점수 $N(\mu_i, \sigma_i^2)$ 를 계산한다. 점수는 0에서 100 사이로 정규화하고, 평가가 진행될 때마다 갱신되어 최종 순위를 결정짓는 데 사용된다 (Lee et al., 2022).

Table 1은 이미지 이름, 이미지가 보행환경 평가에서 사용된 횟수, 평가자에 의해 선택된 횟수, TrueSkill 알고리즘을 통해 계산된 점수를 평균과 표준편차로 표현한 이미지 정보에 대한 데이터 세트이고, Table 2는 이미지 비교 쌍 데이터와 이미지 점수를 결합한 데이터 세트로 즉, 한 이미지가 다른 이미지와 만나서 보행환경 평가가 발생하기 전과 후의 점수 변화 및 평가의 결과를 포함한다.

Table 1 The Dataset about image information

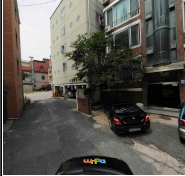

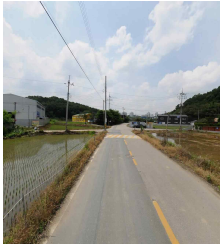
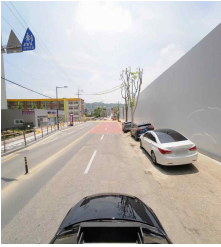
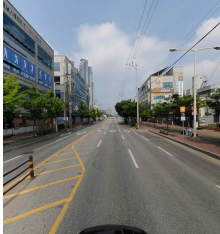
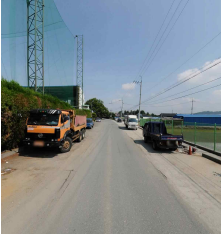
file name		...	
	1018812121_back_1200.jpg		1018943869_front_1200.jpg
match	16	...	16
selected	4	...	13
tskill_mean	17.533487	...	31.260101
tskill_std	2.5794233	...	2.7718810

Table 2 The Dataset about image comparison pairs and score

	left	right
file name		
	1109911035_front_1200.jpg	1110263999_back_1200.jpg
mean_before	20.313466	26.668543
std_before	5.1192357	5.0682448
result	right	
mean_after	19.024758	27.931713
std_after	4.7289864	4.6898752
file name		
	1109884994_back_1200.jpg	1109895782_front_1200.jpg
mean_before	33.493316	17.284411
std_before	2.8778525	2.7261399
result	left	
mean_after	33.537426	17.244826
std_after	2.85918331	2.71052198

3. 의미론적 분할

보행환경 요소를 파악하기 위해 의미론적 분할을 수행한다. 픽셀의 영역 분류가 세분화될수록 환경을 구성하는 요소를 구분하기 쉬우므로 150개 클래스를 제공하는 ADE20K 데이터 세트를 학습한 UPerNet(Swin-B) 모델을 사용한다. Fig. 2는 평균 점수가 83점인 이미지의 의미론적 분할 결과를 시각화한 그림이다. Table 3은 Fig. 2의 의미론적 분할 결과, 즉 150개 클래스에서 추출된 클래스의 픽셀 개수를 비율(%)로 변환하여 나타낸 데이터 세트이며, ADE20K에서 제공하는 150개 클래스의 순서에 따라 해당 클래스의 번호를 표기하였다.

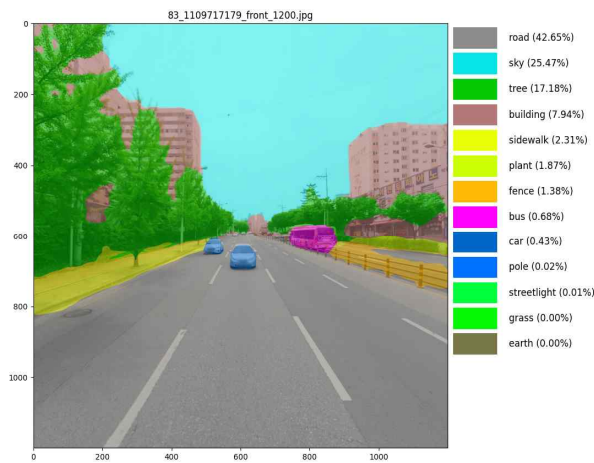


Fig. 2 The Result of semantic segmentation

Table 3 The Result expressed as percentage of semantic segmentation in Fig 3

num	class	rate	num	class	rate
2	building	0.079479	18	plant	0.018697
3	sky	0.254792	21	car	0.004383
5	tree	0.171825	33	fence	0.013823
7	road	0.426569	81	bus	0.00684
10	grass	0.000004	88	streetlight	0.000135
12	sidewalk	0.023175	94	pole	0.000277
14	earth	0.000001			

4. 웹 애플리케이션

4.1 설계

웹 애플리케이션은 Python의 Flask와 Pandas를 사용하여 구현한다. 웹 애플리케이션 사용자는 보행환경 평가에서 이미지가 걷기 좋다고 선택된 횟수, 선택된 횟수에 해당하는 이미지 정보, 이미지 비교 쌍과 점수 데이터, 의미론적 분할 결과 데이터를 리스트 형태로 전달받는다. 이미지가 선택된 횟수 리스트는 한 이미지가 보행환경 평가에서 다른 이미지와 비교되어 걷기 좋은 환경이라고 평가된 총 횟수를 의미한다. 이는 이미지 정보 리스트에 접근하도록 하는 역할을 한다. 선택된 횟수에 따른 이미지 정보는 이미지가 선택된 횟수를 기준으로 분류한 리스트이며, 선택된 횟수가 적을 때 또는 많을 때에 따라 보행자가 어떤 보행환경을 선호하는지 시각적으로 확인하는 데 효과적이다. 이미지 비교 쌍과 점수 데이터는 한 장의 이미지, 그와 비교된 이미지, 보행환경 평가의 결과, 평가가 발생하기 전과 후의 점수 변화에 대한 정보를 제공한다. 의미론적 분할 결과 리스트는 이미지 비교 쌍 데이터에 대해 150개 클래스로 분류하여 각 클래스에 해당하는 픽셀의 개수를 비율로 담은 리스트이며, 웹 애플리케이션에서는 웹 사용자가 선택한 이미지 비교 쌍 데이터의 의미론적 분할 결과를 그래프로 보여준다. Fig. 3은 웹 애플리케이션이 제공하는 기능을 사용자 관점에서 표현한 다이어그램이며, Table 4는 웹 애플리케이션이 제공하는 기능을 세부적으로 설명한 표이다.

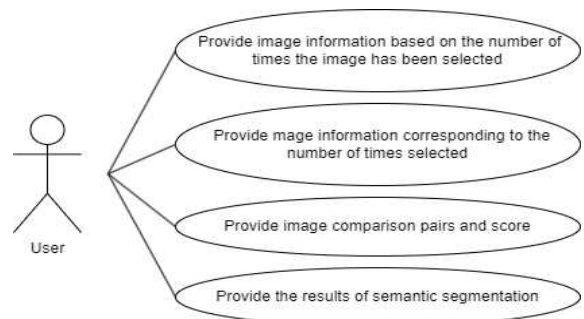


Fig. 3 Usecase Diagram about web

Table 4 The Functions about web

Function	Details
Web Page that show image information	<ul style="list-style-type: none"> - Import the number of times selected in the pedestrian environment assessment - Calculate the total number of images corresponding to the number of times selected - Import image information and score corresponding to the number of times selected
Web Page that show image comparison pairs and score	<ul style="list-style-type: none"> - Import image comparison pairs and the result of pedestrian environment assessment - Import image score before and after comparisons occur
Web Page that show semantic segmentation	<ul style="list-style-type: none"> - Import graph of semantic segmentation results about image comparison pairs

4.2 구현

웹 애플리케이션은 이미지가 평가에서 선택된 횟수에 따른 이미지 정보를 사용자에게 시각적으로 제공한다. 만약 웹 애플리케이션 사용자가 보행환경 평가에서 13번 선택된 이미지에 대한 정보를 얻고 싶다면 선택된 횟수를 제공하는 웹 페이지에서 해당 횟수를 선택한다. 그러면 웹은 13번 선택된 이미지 정보 리스트를 불러와 Fig. 4와 같이 이미지 이름, 점수, 총 선택된 횟수를 출력한다. 사용자는 Fig. 4의 이미지 정보 리스트에서 특정 이미지를 고르면 Fig. 5와 같이 해

당 이미지와 비교된 이미지들의 정보 즉, 이미지 비교 쌍 데이터, 평가가 발생하기 전과 후의 점수 변화 및 평가 결과를 확인할 수 있다. 해당 이미지에 대한 의미론적 분할 결과는 Fig. 5에서 보이는 “Segmentation” 링크를 선택하면 Fig. 6처럼 x축이 클래스 종류, y축이 클래스 픽셀의 비율로 변환한 그래프가 표현되어 이미지 비교 쌍이 가지는 클래스들을 보여준다.

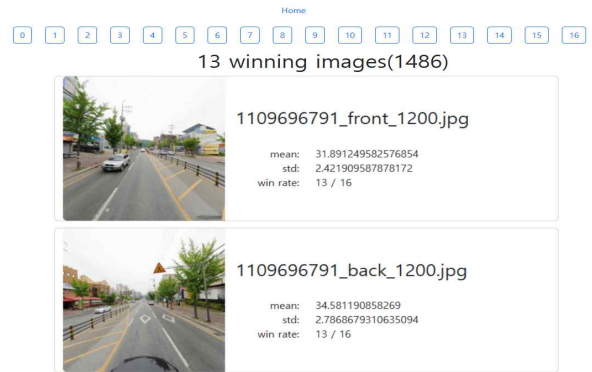


Fig. 4 Web Page that show image information



Fig. 5 Web Page that show image comparison pairs and score

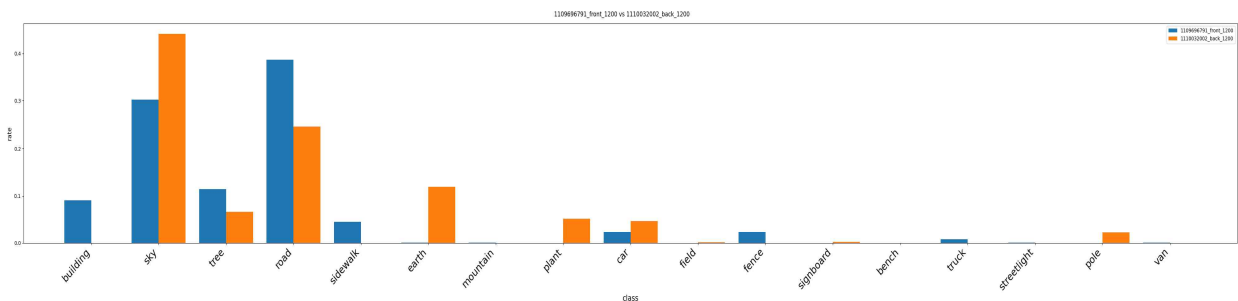


Fig. 6 Web Page that show semantic segmentation of comparison pairs

5. 결 과

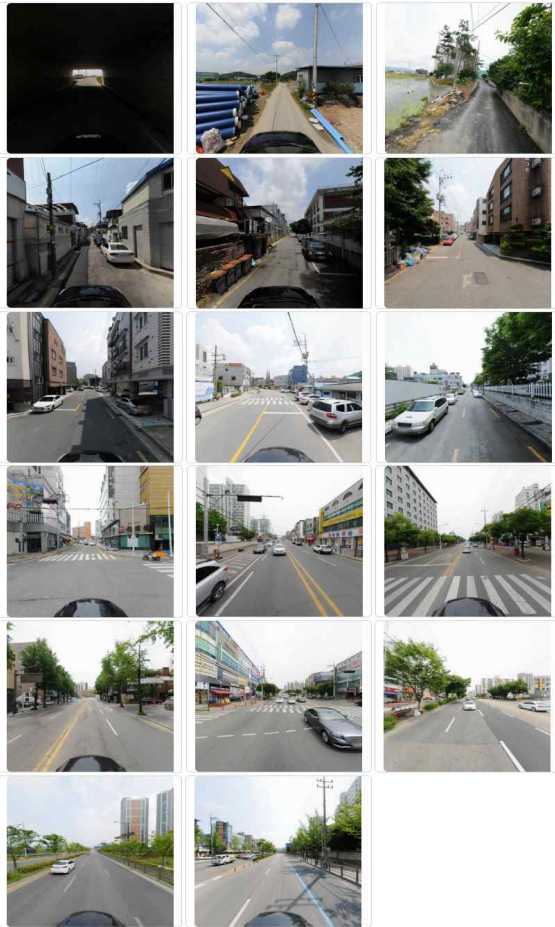


Fig. 7 Images selected from 0 to 16 times

Fig. 7에서 왼쪽 상단에는 보행환경 평가자에 의해 0번 선택된 이미지를 시작으로 오른쪽 하단에 위치할수록 선택된 횟수가 증가하는 이미지를 추출한 그림이다. 0번에서 7번 승리한 이미지는 대부분 터널, 비포장도로, 골목길과 같이 안전하지 않고 지저분한 보행환경이었다. 8번 이상 승리한 이미지부터는 점차 도로가 넓어지면서 차도와 인도의 구분이 생기고, 횡단보도와 방호울타리가 존재하여 보행자의 안전이 보장되는 환경이었다.

보행자에게 영향을 미치는 보행환경 요소를 파악하고자 3절의 의미론적 분할 결과를 활용하여 보행환경 평가에서 평가자에 의해 0번에서 2번 선택된 이미지와 14번에서 16번 선택된 이미

지를 두 그룹으로 묶어 각각 2,000장씩 무작위로 추출한다. 총 4,000장 이미지의 의미론적 분할 결과를 클래스별로 나누어 평균을 내고, 가장 높은 평균을 가지는 상위 10개 클래스를 추출한다. Fig. 8은 0번에서 2번 선택된 이미지가 가지는 클래스에 대한 평균을 나타낸 그래프이고, Fig. 9는 14번에서 16번 선택된 이미지가 가지는 클래스에 대한 평균을 나타낸 그래프이다. 보행환경 평가에 사용된 이미지는 전부 카카오 거리뷰에서 수집한 도로 이미지이기에 선택된 횟수와는 관계없이 ‘road’, ‘sky’, ‘building’, ‘tree’, ‘car’ 클래스의 픽셀 평균이 높은 양상을 보였다. 그러나 두 그래프 간의 차이를 살펴보면 0번에서 2번 선택된 이미지에는 ‘earth’와 ‘grass’가, 14번에서 16번 선택된 이미지는 ‘sidewalk’와 ‘signboard’가 추출되었다.

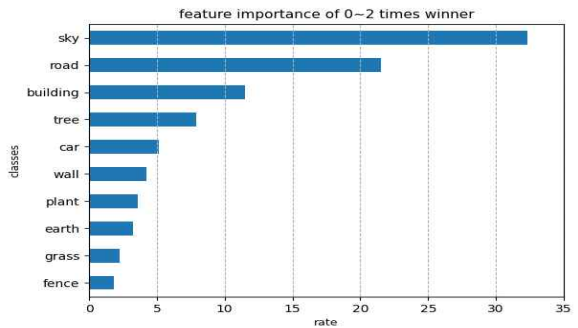


Fig. 8 Average Graph of the features image selected from 0 to 2 times

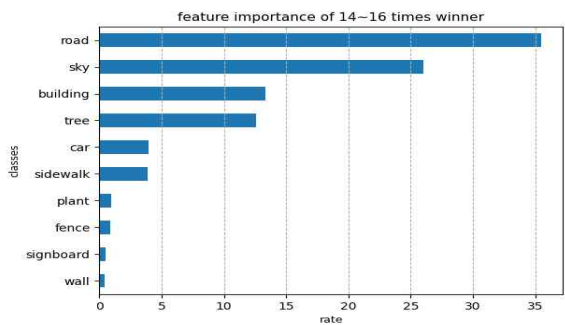


Fig. 9 Average Graph of the features image selected from 14 to 16 times

6. 결 론

본 논문은 웹 애플리케이션을 통해 숫자로 표현된 보행환경 평가 결과를 시각화하여 보행자가 선호하는 보행환경의 중요 요소를 분석하는 방법을 제안한다.

보행환경 평가에서 선택된 횡수가 적을수록 차량을 피할 수 없는 좁은 길, 쓰레기나 공사 부품으로 인해 더러운 길과 같이 보행성이 보장되지 않는 공간이었고, 선택된 횡수가 많을수록 보행자 도로가 존재하는 곳, 방호울타리로 인해 차량으로부터 안전한 곳, 넓고 쾌적한 보행환경이 제공되는 곳임을 직접적으로 확인할 수 있었다. 또한 의미론적 분할 결과를 활용하여 보행환경 구성 요소를 분석하니 평가자가 걷기에 적합하지 않다고 판단한 보행환경에는 ‘earth’와 ‘grass’가 주로 분포하였고, 걷기 좋다고 판단한 보행환경에는 ‘sidewalk’와 ‘signboard’가 분포하였다. 이는 보행환경 평가 참여자의 판단 기준에 영향을 미치는 요소라고 할 수 있으며, 보행자의 선호도를 기반으로 하는 보행환경 구성 요소라고 말할 수 있다. 연구 결과, 다양한 보행환경 평가자의 주관적인 평가 기준을 일반화할 수 있었고, 보행환경 구성 요소를 시각적으로 파악하는 것에 수월함을 보여주었다.

향후 연구에서는 의미론적 분할 결과를 토대로 보행환경 평가 참여자에게 심리적인 영향을 주는 요소를 전체적으로 분석하고, 위치 정보를 포함한 보행환경 구성 요소 분석도 필요하다고 판단한다. 또한 전반적인 보행환경 평가 결과에서 벗어난 결과를 필터링하는 연구의 기초연구로 활용할 수 있다.

References

- AURUM, *Safe Walking Environment Improvement Project*, <https://www.aurum.re.kr/Policy/PolicyOffice.aspx?pcode=A01> (Accessed on Nov, 21th, 2023)
- Dubey, A., Naik, N., Parikh, D., Raskar, R., & Hidalgo, C. A. (2016). Deep learning the city: Quantifying urban perception at a global scale. In *Computer Vision - ECCV 2016: 14th European Conference, Amsterdam, The Netherlands, October 11 - 14, 2016, Proceedings, Part I 14* (pp. 196-212). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-46448-0_12.
- Hyunglak Kim. (2016). Improvement of Crowdsourcing based Software Development Process, *Korea Computer Congress 2016*, 2016(6), 654-656.
- Jiyoung Park, Youngok Kang, and Jiyeon Kim. (2022). Development of Walkability Evaluation Index Using StreetView Image and Semantic Segmentation, *Journal of the Korean Cartographic Association*, 22(1), 53-68. <https://doi.org/10.16879/jkca.2022.22.1.053>.
- KiChun Lee, KwangWoo Nam, and ChangWoo Lee. (2022). A Study on the Walkability Scores in Jeonju City Using Multiple Regression Models, *Journal of the Korea Industrial Information Systems Research*, 27(4), 1-10. <https://doi.org/10.9723/jksiis.2022.27.4.001>.
- Kihyun Yoo, Donggi Lee, Chang Woo Lee, and Kwang Woo Nam. (2022). Generating Pairwise Comparison Set for Crowded Sourcing based Deep Learning, *Journal of the Korea Industrial Information Systems Research*, 27(5), 1-11. <http://dx.doi.org/10.9723/jksiis.2022.27.5.001>.
- Kim, Ji Yeon and Kang, Young Ok. (2022). Development of a Deep Learning Model to Predict the Qualitative Evaluation of a Walking Environment based on Street View Images, *Journal of Korean Society for Geospatial Information Science*, 30(2), 45-56. <http://dx.doi.org/10.7319/kogsis.2022.30.2.045>.
- Lee Dong Hyun and Lee Chun Jae. (2012). A Study on the Applicability of Crowdsourcing for Cadastral Reform, *Journal of the Korean*

Society of Cadastre, 28(2), 55-70.

Lee, Kyung-Hwan and Ahn, Kun-Hyuck. (2008). An Empirical Analysis of Neighborhood Environment Affecting Resident's Walking - A Case study of 12 Areas in Seoul-, Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design, 24(6), 293-302.

Lee, Seung Young. (2020). Strategies for the Vitalization of Crowd Sourcing According to the Classification of Its Types, Journal of the Korean Society of Design Culture, 26(3), <http://dx.doi.org/10.18208/ksdc.2020.26.3.307>.

Lieu, Seungjae et al., (2021). Analysis of Street Environmental Factors Affecting Subjective Perceptions of StreetScape Image in Seoul, Korea: Application of Deep Learning Semantic Segmentation and YOLOv3 Obeject Detection, Journal of Korea Planning Association, 56(2), 79-93. <https://doi.org/10.17208/jkpa.2021.04.56.2.79>.

Seresinhe, Chanuki Illushka, Tobias Preis, and Helen Susannah Moat. (2017). Using deep learning to quantify the beauty of outdoor places, Royal Society open science, 4(7). <https://doi.org/10.1098/rsos.170170>.

Suwon-cityhall. (2023), *Suwon City holds campaign for 'BOOJIRUN'*, https://www.suwon.go.kr/web/board/BD_board.view.do?bb sCd=1043&seq=20230904094532891 (Accessed on Sep, 07th, 2023)

Wanjucoop. (2023) *Recruitment of participants in the 2023 Jeonbuk Innovation City's Picking Practice Project*, <http://www.wanjucoop.com/bbs/notice/15781> (Accessed on Sep, 13th, 2023)



황 지 연 (Ji-Yeon Hwang)

- 군산대학교 컴퓨터정보공학과 학사
- (현재) 군산대학교 컴퓨터정보공학과 석사
- 관심분야: 인공지능, 컴퓨터 비전



최 철 응 (Cheol-Ung Choi)

- (현재) 군산대학교 컴퓨터정보공학과 학사
- 관심분야: 머신러닝, 딥러닝



남 광 우 (Kwang-Woo Nam)

- 충북대학교 컴퓨터과학과 학사
- 충북대학교 전자계산학과 석사
- 충북대학교 전자계산학과 박사
- 한국전자통신연구원 선임연구원
- (현재) 군산대학교 공과대학 컴퓨터정보공학과 교수
- 관심분야: 데이터베이스, 인공지능, 공간정보 시스템



이 창 우 (Chang-Woo Lee)

- 경일대학교 컴퓨터공학과 학사
- 경북대학교 컴퓨터공학과 석사
- 경북대학교 컴퓨터공학과 박사
- (현재) 군산대학교 공과대학 컴퓨터정보공학과 교수
- 관심분야: 인공지능, 딥러닝, 컴퓨터비전