

교통약자를 위한 전동 이동 보조기기 안전 경로 서비스의 개발과 평가*

우제승¹ · 홍순기¹ · 유상경¹ · 김희경^{2*}

Development and Evaluation of Safe Route Service of Electric Personal Assistive Mobility Devices for the Mobility Impaired People*

Je-Seung WOO¹ · Sun-Gi HONG¹ ·
Sang-Kyoung YOO¹ · Hoe Kyoung KIM^{2*}

요 약

본 연구는 최근 이동권 개선을 위해 교통약자들을 중심으로 이용되고 있는 전동 이동 보조기기의 안전 경로를 제공하는 서비스를 개발하고 평가하였다. 부산광역시에 거주하는 교통약자들과 관련 기관 종사자(부산광역시 내 장애인 자립 생활센터, 장애인 협회 정회원, 전동 이동 보조기기 수리기사, 활동 보조사)들과의 설문문을 통해 전동 이동 보조기기의 이동에 영향을 미치는 13종의 요인을 도출하였다. 각각의 요인들에 안전성 점수를 부여하고 현장에서 수집된 데이터로 객체 인식 AI 모델을 학습시켜 해당 요인들을 판별한 후, 최적경로 탐색 알고리즘을 통해 전동 이동 보조기기 경로 안내 서비스를 개발하였다. 동일한 출도착 경로를 대상으로 T-map에서 제공하는 일반 경로와 본 연구의 추천 경로를 비교한 결과, 일반 경로에서는 전동 이동 보조기기의 주행에 방해가 되거나 승차감을 불편하게 하는 장애물이 많았고 가파른 경사로 인해 이동이 불편했지만, 본 연구의 추천 경로에서는 상대적으로 장애물이 적었고 경사도 완만하여 전동 이동 보조기기의 주행에 무리가 없었다. 향후 연구에서는 전동 이동 보조기기 이용자의 실시간 위치를 기반으로 경로 안내 서비스를 구현하고 다수의 이용자를 대상으로 현장 실증테스트를 진행하여 사회적 수용성 평가 및 검증을 수행할 필요가 있다.

주요어 : 교통약자, 전동 이동 보조기기, 인공지능, 안전 지수, 경로 안내 서비스

2023년 09월 07일 접수 Received on September 07, 2023 / 2023년 09월 14일 수정 Revised on September 02, 2023 / 2023년 09월 19일 심사완료 Accepted on September 19, 2023

* 본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 RS-2021-KA162016, 국토교통부)

1 ㈜경성테크놀러지, 팀장 / Manager, Kyeongseong Technology, Co., Ltd.

1 ㈜경성테크놀러지, 대표이사 / CEO, Kyeongseong Technology, Co., Ltd.

1 ㈜경성테크놀러지, 연구원 / Research Staff, Kyeongseong Technology, Co., Ltd.

2 동아대학교 도시공학과, 교수 / Professor, Department of Urban Planning and Engineering, Dong-A University

* Corresponding Author E-mail: hoekim@dau.ac.kr

ABSTRACT

This study developed and evaluated a safe route guidance service for electric personal assistive mobility device used mainly by the mobility impaired people to improve their mobility. Thirteen underlying factors affecting the mobility of electric personal assistive mobility device have been derived through a survey with the mobility impaired people and employees in related organizations in Busan Metropolitan City. After assigning safety scores to individual factors and identifying the relevant factors along routes of interest with an object detection AI model, the safe route for electric personal assistive mobility device was provided through an optimal path-finding algorithm. As a result of comparing the general route of T-map and the recommended route of this study for the identical routes, the latter had relatively fewer obstacles and the gentler slope than the former, implicating that the recommended route is safer than the general one. As future works, it is necessary to enhance the function of a route guidance service based on the real-time location of users and to conduct spot investigations to evaluate and verify its social acceptability.

KEYWORDS : *The Mobility Impaired People, Electric Personal Assistive Mobility Devices, Artificial Intelligent, Safety Index, Route Guidance Service*

서 론

1. 연구의 배경 및 목적

우리나라의 모든 교통약자는 「교통약자의 이동편의 증진법」 제3조에 따라 교통약자가 아닌 사람들이 이용하는 모든 교통수단 및 교통시설을 차별 없이 안전하고 편리하게 이용할 수 있는 권리를 가진다. 하지만, 교통약자의 이동성과 사회적 배제에는 유의미한 관계가 규명되고 있어, 교통약자의 이동성을 개선함으로써 그들의 사회적인 분리와 단절을 극복할 수 있을 것이다 (Lee and Kim, 2019) (Kim *et al.*, 2008) (Park and Kwang, 2015).

현실에서는 교통약자의 유형에 따라 사회적으로 도시 구조적으로 교통약자 이동권에 대한 다양한 문제들이 존재하는 것이 사실이며, 특히 전동휠체어와 같은 전동 이동 보조기기의 이동에 영향을 미치는 장애물들이 도시 전체적으로 분포되어 시설 내부보다는 장소 간 이동에 대해 불편함이 해소되지 못하는 상황이다 (Park *et al.*, 2015) (Park and Byeon, 2012).

다수의 지자체는 교통약자의 이동권을 개선하기 위하여 교통약자들을 위한 지도 서비스를 제공하고 있지만, 기존에 상용화되고 있는 지도 서비스와 비교해 상대적으로 이용자 수가 적고 상세한 정보를 반영하기 위한 고가의 구축 비용으로 인해 서울특별시를 중심으로 한 인구밀도가 높은 수도권에 한정되어 제한된 서비스만 제공되고 있다. 이마저도 지속적인 정보의 갱신과 관리가 효과적으로 이뤄지지 않는 실정이다. 또한 이러한 과정을 거쳐 제공되는 지도 서비스는 교통약자들의 이동에 방해요인으로 작용하는 각종 시설 등의 유무나 그 정도를 반영하지 못해 근본적인 효과를 기대하기 어려운 상황이다.

이와 더불어 교통약자 전용 지도를 구축하는 방식은 조사원이 직접 해당 지역을 방문하여 현장의 장애물을 관찰하고 수기로 입력한 데이터가 지도정보로 변환되기 때문에 단기간에 대용량의 데이터를 생성할 수 없어 지도정보의 구축에 한계가 있는 것도 사실이다.

본 연구는 교통약자의 전동 이동 보조기기를 위한 안전 경로 탐색을 지속가능하게 지원하는 체계를 개발하고 평가하고 있다. 교통약자들이

도시지역에서 주로 이용하는 전동 이동 보조기기의 이동에 영향을 미치는 13종의 요인을 자연적 지형과 도로구조가 열악한 부산광역시에 거주하는 교통약자들 그리고 관련 기관 종사자들과의 설문을 통해서 판별하였다. 본 연구에서 정의하는 교통약자는 전동 이동 보조기기 이용자이며, 비록 전기를 동력으로 사용하는 이동 보조기기이지만 사고의 위험이 있는 도로가 아닌 인도를 통해 이동하는 통행을 대상으로 한다.

부산광역시 내 장애인 자립 생활센터 회원 29명을 대상으로 각각의 요인들에 대한 안전성 점수를 부여하고 현장에서 수집된 이미지로 학습된 객체 인식 AI 모델을 활용하여 13종의 요인 중 9종을 자동 인식시킨 후 전동 이동 보조기기 경로를 탐색하기 위한 데이터로 활용하였다. 최적경로 탐색 알고리즘을 통해 전동 이동 보조기기 경로 안내 서비스를 개발한 후, 동일한 경로를 대상으로 최단 거리 중심의 최적경로와 본 연구에서 개발한 안전 중심의 경로를 비교하여 이동 경로의 실질적인 장애요인을 반영한 전동 이동 보조기기 경로 안내 서비스의 효과를 평가하였다.

본 연구는 안전성을 반영한 전동 이동 보조기기의 경로를 탐색하는 새로운 과정을 이용자 중심으로 개발하고 기존의 보행 경로 탐색 서비스와의 비교평가 결과를 통해 교통약자의 이동권을 개선하는 것을 목표로 한다.

2. 연구의 방법

본 연구의 방법은 그림 1과 같이 전동 이동 보조기기 안전 경로 안내 서비스의 개발과 평가로 구성되어 있다. 개별적인 연구의 방법은 다음과 같다.

부산광역시에 거주하는 교통약자들과 관련 기관의 종사자(부산광역시 내 장애인 자립 생활센터, 장애인 협회 정회원, 전동 이동 보조기기 수리기사, 활동 보조사)들을 대상으로 설문조사를 실시하여 전동 이동 보조기기의 이동에 영향을 미치는 13종의 요인을 도출하고 평균 중심화 기법을 통해 이들 요인을 정량적으로 표준화시키는 과정을 거쳤다. 실제 현장에서 수집되는 이미지로 학습된 객체 인식 AI 모델을 통해 전동 이동 보조기기가 이동하는 과정에서 만나게 되는 다양한 요인들을 자동으로 인식시켜 개별 경로를 구성하는 모든 링크를 13종의 요인으로 구성된 안전성 점수로 변환하였다. 마지막으로 최적경로 탐색 알고리즘을 통해 안전성 점수를 반영한 안전기준 최적경로 탐색 과정을 구현함으로써 전동 이동 보조기기 경로 안내 서비스의 개발을 완성하였다.

또한, 본 연구는 동일한 경로를 대상으로 교통 네트워크 업체(Transportation Network Company, TNC)에서 제공하는 상용화된 경로 안내 시스템의 추천 경로(Distance-based route)와 본

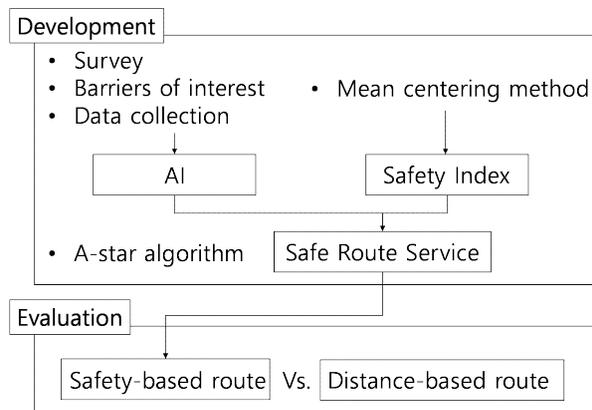


FIGURE 1. Research flow

연구에서 개발한 경로 안내 서비스의 추천 경로 (Safety-based route)를 안전 지표를 기준으로 비교하여 전동 이동 보조기기 경로 안내 서비스의 효과를 평가하였다.

선행연구 고찰

본 연구에서는 교통약자의 이동 보조기기에 대한 전반적인 내용, 전동 이동 보조기기의 가장 큰 문제점 중의 하나인 충전소의 물리적인 위치 선정, 전동 이동 보조기기 서비스를 안전의 관점에서 개선하기 위한 정책적 그리고 기술적 방안, 마지막으로 전동 이동 보조기기의 경로 탐색과 관련한 선행연구들을 고찰하였다.

Moon *et al.*(2016)은 교통약자의 보행 이동 편의를 개선하기 위해 교통약자 유형별 최적 경로 탐색 기법을 제안하였으며, Sumida *et al.*(2012), Benjamin *et al.*(2019), Kim *et al.*(2016)은 휠체어와 같은 수동 이동 보조기기의 최적 경로 탐색 서비스를 소개하였다.

또한 전동 이동 보조기기의 충전과 관련하여 Kim *et al.*(2020)은 전동 이동 보조기기 이용에 영향을 미치는 다양한 변수와 관련한 빅데이터를 딥러닝 기법으로 분석하여 전동 이동 보조기기의 충전소를 추가로 설치할 수 있는 지역을 제안하였고, Kim *et al.*(2016), Kim *et al.*

(2015)은 다중이용시설에 전동 이동 보조기기의 충전시설이 부족하여 교통약자의 이동이 제한적이라는 문제점을 제시하고 공공기관 및 대중시설에 충전 설비의 설치를 의무화하는 등 대책 및 대안을 제시하였다.

이와 더불어 표 1은 전동 이동 보조기기와 관련한 정책적 그리고 기술적 개선사항을 살펴본 연구를 제시하고 있다. Lee *et al.*(2017)은 한국, 미국, 일본의 전동 이동 보조기기 지원제도의 비교를 통해 전동 이동 보조기기의 종류를 세분화하고 다양한 서비스를 제공하기 위한 제도적 개선의 필요성을 강조하였고, Kang *et al.*(2019)은 교통약자들을 위한 공간정보 서비스는 경제성이 낮아 표준화된 최신 공간정보의 구축, 무장애 서비스를 위한 호환성 확보, 활용 서비스의 연계 서비스 등 국가 차원에서 공간정보의 공공성을 확보할 것을 강조하였다.

기술적인 개선사항에서 Choi *et al.*(2018)은 국내외 전동 이동 보조기기의 사고 발생 빈도가 지속적으로 증가하는 추이를 확인하고 이용자가 인지하지 못하는 장애물 또는 지형변화를 자동으로 감지하고 전동 이동 보조기기의 모터를 스스로 제어하는 기술을 제안하였다. Jeong *et al.*(2023)은 다양한 센서 시스템을 적용하여 실내 및 실외 환경 조건을 인식할 수 있는 자율주행 기능의 전동 이동 보조기기를 개발하였다.

TABLE 1. Research efforts to improve the service of electric personal assistive mobility devices

Categories	Authors	Contents
Policy-oriented	Lee <i>et al.</i> (2017)	Emphasis on institutional improvement by subdividing the device types and providing diverse services
	Kang <i>et al.</i> (2019)	Emphasis on the public management of spatial data at the national level
	Choi <i>et al.</i> (2018)	Development of autonomous control of motors responding to obstacles or terrain changes
	Jeong <i>et al.</i> (2023)	Development of autonomous driving function with multiple sensors
	Krzysztof <i>et al.</i> (2015)	Development of a navigation system to avoid obstacles with low-cost sensors
Technology-oriented	Bo <i>et al.</i> (2012)	Development of the control method by detecting eye blink signals
	Aleksandar and Branko(2013)	Development of the control method by detecting the head movements
	Yuki <i>et al.</i> (2019)	Development of an object detection model through the modified YOLOv2
	Shim and Son(2020)	Suggestion of a deep neural network(DNN) to recognize road surface conditions at high speed

Krzysztof *et al.*(2015)은 저비용의 센서를 이용해 전동 이동 보조기기의 이동 중 만나게 되는 장애물을 회피하고 안전하게 이동할 수 있는 내비게이션 시스템을 개발하였다. Bo *et al.*(2012), Aleksandar and Branko(2013)는 전동 이동 보조기기 이용자의 눈 깜박임 신호와 머리 움직임을 감지하여 뇌 정보 기반 전동 이동 보조기기의 제어 방법을 제안하고 평가하였다. Yuki *et al.*(2019)은 전동 이동 보조기기의 이용 시 사고가 빈번하게 발생하는 것을 확인하고 객체 감지 모델인 수정된 YOLOv2를 통해 인도, 횡단보도, 신호등 등의 객체 인식 모델을 개발하여 전동 이동 보조기기의 편의성을 개선하고자 하였다. Shim and Son(2020)은 전동 이동 보조기기와 관련한 사고는 주로 노면 상태의 불균형으로 인해 발생하고 있으므로 고속으로 노면 상태를 인지할 수 있는 심층 신경망을 제안하였다.

마지막으로 Kim *et al.*(2019)은 전동 이동 보조기기 이용자들을 위한 이동 경로 안내 서비스가 부재한 것을 지적하고 3D 점군 지도 데이터를 사용한 평균 경사각을 추출하여 최적 경로 안내 시스템을 설계하였다. Christian *et al.*(2011)은 전동 이동 보조기기 이용자들에게 Easy Wheel이라는 서비스를 통해 대중교통, 상점 등과 같은 다양한 관심 지점들에 대한 접근성 정보와 경로 정보를 제공하고 있다. Barczyszyn *et al.*(2018)은 일반적인 보행자 경로 서비스와 전동 이동 보조기기 이용자를 위한 경로 서비스는 차이가 있다는 것을 확인하고, 전동 이동 보조기기 경로 서비스의 요구사항을 반영한 모델을 브라질 도시에서 실험하였다.

본 연구는 교통약자의 전동 이동 보조기기와 관련한 기존 연구와 달리 조사원을 통해 현장에서 수집된 이미지 데이터를 AI 모델을 통해 전동 이동 보조기기의 이동에 영향을 미치는 요인으로 판별하고, 실제 사용자들의 설문문을 통해 요인들의 안전성 점수를 도출하여 안전한 경로를 웹(Web application)을 통해 제공하는 가장 현실적인 경로 서비스라고 점에서 차별화된다고 할 수 있다.

전동 이동 보조기기 경로 안내 서비스의 개발

1. 객체 수집 및 객체 인식 AI 모델 구축

본 연구는 도시지역에서 전동 이동 보조기기의 주행 안전성에 영향을 미치는 요인들을 판별하기 위하여 부산광역시 내 장애인 자립 생활센터, 장애인 협회 정회원, 전동 이동 보조기기 수리기사, 활동 보조사 약 30여 명을 대상으로 현장 동행 조사 및 인터뷰를 수행하여 13종의 요인을 도출하였으며, 장애물(Barrier), 노면 재질(Road material), 그리고 경사도(Slope) 범주로 재분류하였다.

객체 인식 AI 모델에서 인식이 가능한 대상 장애물(Barrier) 범주 9종의 요인은 횡단보도(Crosswalk), 측구(Side gutter), 맨홀(Manhole), 보도블록 파손(Broken sidewalk block), 점자블록(Braille block), 부분 경사로(Partial ramp), 임시안전방호벽(Temporary safety barrier), 계단(Stairway), 경사형 연석(Sloped curb)이며, 노면 재질(Road material) 범주의 비 인식 요인은 포장도로(Paved road), 보도블록(Sidewalk block), 상습결빙구간(Habitual freezing section), 그리고 마지막 범주인 경사도(Slope, $0^{\circ} \sim 5^{\circ}$, $5^{\circ} \sim 10^{\circ}$, $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$)로 각각 정의하였다.

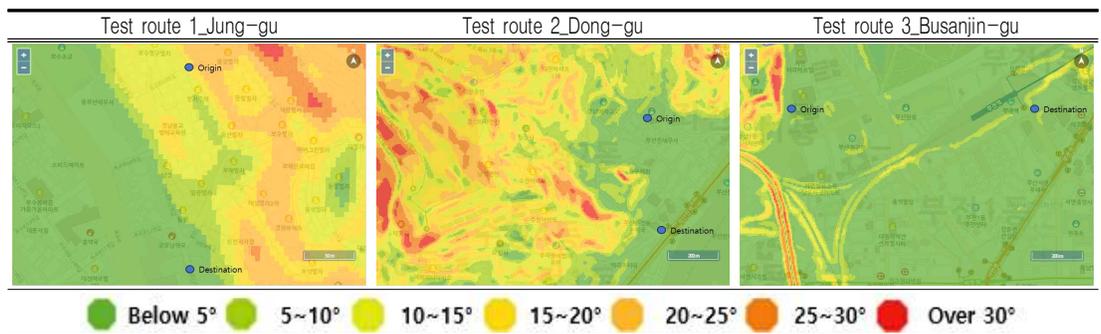
본 연구에서 사용하고 있는 객체 인식 AI 모델은 FAIR(Facebook Artificial Intelligence Research)에서 Instance Segmentation 모델 중 가장 대표적인 Mask R-CNN 모델과 기존의 Detectron 모델을 합쳐서 만든 Detectron2 모델이며, 이 모델은 기존의 Mask R-CNN 모델보다 높은 성능과 빠른 작업속도를 나타내고 있다. 본 연구는 Detectron2 모델을 이용하여 전동 이동 보조기기 주행 영향요인 9종을 학습시켰으며, mAP@0.5 기준 73.705의 성능을 도출하였다. 표 2는 영향요인 9종과 대표 이미지 그리고 AI 모델 학습에 사용된 클래스(요인)별 이미지 수를 나타내고 있다.

본 연구는 AI 모델의 테스트를 위해 관련된 요인과 경사가 형성되어 있는 지역으로 부산광

TABLE 2. Typical images and number of images corresponding to nine factors for learning AI model

Factor	Image	No. of images	Factor	Image	No. of images
Crosswalk		13,560	Partial ramp		5,001
Side gutter		16,510	Temporary safety barrier		8,494
Manhole		5,538	Stairway		12,636
Broken sidewalk block		4,434	Sloped curb		19,945
Braille block		16,333			

TABLE 3. Slope analysis of routes for AI model testing



역시 중구, 동구, 부산진구의 일부 지역을 선택하여 조사하였다. 다양한 경사도 범위에 대한 실험과 테스트 참여자의 안전을 고려하여 0° ~ 25° 범위의 경사 구간을 선정하였으며 표 3은 국토환경성평가지도로서 테스트 경로들에 대한 GIS 경사도 분석 결과이다.

2. 주행 안전성 점수 산정

본 연구는 주행 안전성 등급을 판단하기 위해 부산광역시 내 장애인 자립 생활센터 회원 29명을 대상으로 13종 요인에 대한 안전성을 5점 기준으로 조사하였다. 열세 번째 요인인 경사도는 육안으로 확인할 수 없어 개별 경사 범위 대신 경사에 따른 불평 여부만을 5점 만점으로 조사한 결과, 4.83으로 조사되었다. 이 값을 부산광역시 경사도에 따른 면적비를 적용하여 0° ~ 5° , 5° ~10° , 10° ~15° 에 해당하는 안전성 점수를 각각 3.06, 1.02, 0.92로 정의하였다.

산출된 요인들의 안전성 점수 간 다중공선성을 제거하기 위해 평균 중심화 기법(Mean centering method)을 사용하여 요인들의 안전성 점수를 재산정하였다. 식 1, 식 2, 식 3은 세 개 범주(Barrier, Road material, Slope)에서 개별 경사 범위까지 고려한 15개 요인의 안

전성 점수를 산출하는 평균 중심화 기법을 나타내고 있다.

표 4는 설문을 통해 조사된 안전성 점수와 평균 중심화 기법을 통해 도출된 개별요인의 최종 안전성 점수를 나타내고 있다. 범주별 개별 안전성 점수에서 범주별 안전성 점수 평균값을 제외한 결과, 장애물(Barrier) 범주에서 횡단보도(Crosswalk)가 가장 안전하고 보도블록 파손(Broken sidewalk block)과 계단(Stairway)이 가장 불안정한 요인으로 판별되었고, 노면 재질(Road material) 범주의 포장도로(Paved road)와 보도블록(Sidewalk block)이 상습결빙구간(Habitual freezing section)보다 훨씬 안전하고 경사도(Slope)는 경사가 완만할수록 더 안전한 요소로 분류되었다.

$$a_{n(entered)} = a_n - \sum_{n=1}^N a_n / N \tag{1}$$

$a_{n(entered)}$ = 평균 중심처리 된 장애물 (barrier) 객체의 개별점수
 a_n = 장애물(barrier) 객체의 개별점수
 N = 장애물(barrier) 객체의 항목 수

TABLE 4. Safety scores associated with factors affecting mobility of electric personal assistive mobility devices

Category	Factor	Surveyed score	Centered score
Barrier	Crosswalk	4.90	1.61
	Side gutter	3.93	0.64
	Manhole	4.21	0.92
	Broken sidewalk block	1.10	-2.19
	Braille block	3.72	0.43
	Partial ramp	3.97	0.68
	Temporary safety barrier	3.79	0.5
	Stairway	1.10	-2.19
	Sloped curb	2.86	-0.43
Road material	Paved road	4.90	1.38
	Sidewalk block	4.62	1.1
	Habitual freezing section	1.03	-2.49
Slope	0° ~5°	3.06	1.36
	5° ~10°	1.02	-0.65
	10° ~15°	0.92	-0.75

$$b_{n(\text{centered})} = b_n - \sum_{n=1}^N b_n / N \quad (2)$$

$b_{n(\text{centered})}$ = 평균 중심처리 된 노면 재질
(road material) 객체의
개별점수

b_n = 노면 재질(road material) 객체의
개별점수

N = 노면 재질(road material) 객체의 항목
수

$$c_{n(\text{centered})} = c_n - \sum_{n=1}^N c_n / N \quad (3)$$

$c_{n(\text{centered})}$ = 평균 중심처리 된 경사로(slope)
객체의 개별점수

c_n = 경사로(slope) 객체의 개별점수

N = 경사로(slope) 객체의 항목 수

3. 주행 안전 경로 탐색 알고리즘

본 연구는 경로 탐색을 위해 대규모 경로 탐색에서 빠른 처리 속도의 구현이 가능한 수정된 A-star 알고리즘을 사용하였으며 경로를 구성하는 개별 링크의 거리와 안전성 점수를 동시에 고려하여 경로의 비용이 최소가 되는 경로를 선택하였다. 이때 경사로가 15°를 초과하는 링크는 연산에서 제외했으며, 식 4와 식 5는 경로 탐색을 위한 A-star 알고리즘과 링크의 비용을 산정하기 위한 과정을 수식으로 나타내고 있다.

$$f(n) = g(n) + h(n) \quad (4)$$

$g(n)$: 주행 안정성과 거리를 반영한 출발
노드로부터 노드 n(현재 위치)까지의
경로 비용

$h(n)$: 주행 안정성과 거리를 반영한 노드
n(현재 위치)으로부터 목표
노드까지의 경로 비용

$$\text{route_cost} = \text{distance} - \Sigma(w^{(i)} \cdot x^{(i)}) \quad (5)$$

distance : 노드 n으로부터 출발 노드 또는
목표 노드까지의 거리(m)

$w^{(i)}$: 요인 반영 점수

$x^{(i)}$: 개별 링크 내 요인의 개수

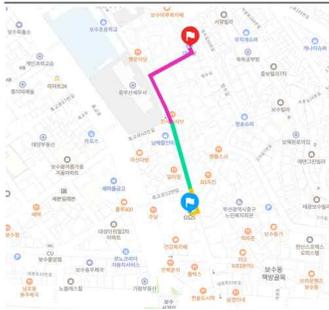
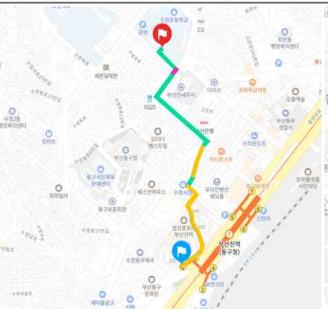
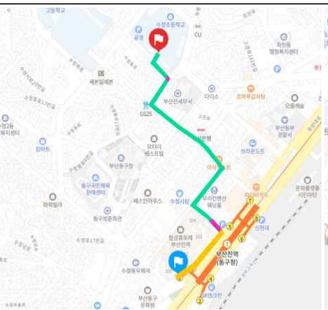
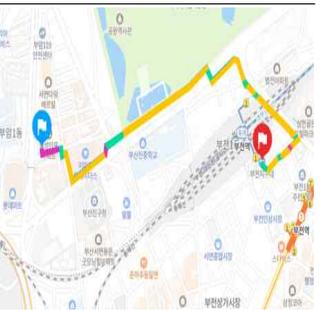
전동 이동 보조기기 경로 안내 서비스의 평가

경사도 분석을 통해 선정한 부산광역시 중구, 동구, 부산진구 지역의 테스트 경로를 대상으로 T-map 보행자 경로 안내 API(Application Programming Interface)에서 제공하는 일반 경로(최단 거리 기준)와 경로별 최종 요인 점수를 반영한 수정 A-star 알고리즘을 통해 도출된 추천 경로를 표 5에서 비교하고 있으며, 일반 경로와 본 연구의 추천 경로 간에 차이가 있음을 확인할 수 있다.

안전성 점수를 기준으로 안전 구간은 초록색, 주의 구간은 노란색, 위험 구간은 빨간색으로 등급을 구분하였다. T-map 보행자 경로 안내 API에서 제공하는 일반 경로와 본 연구의 추천 경로를 안전성 등급으로 비교한 결과, 테스트 경로 1의 경우 일반 경로에서 위험 구간이 본 연구의 추천 경로보다 한 개 더 포함되어 있으며, 테스트 경로 2의 경우 본 연구의 추천 경로가 일반 경로에 비교해 주의 구간을 우회하면서 좀 더 안전한 것을 확인할 수 있으며, 테스트 경로 3의 경우 두 경로의 안전, 주의, 위험 구간 개수 비교에서 유의미한 차이를 확인하기 어려웠다.

이러한 결과를 실제 경로에서 확인하기 위해 전동휠체어를 이용하여 현장 테스트를 진행한 결과, 테스트 경로 1의 일반 경로에는 15° 이상의 급경사가 포함된 구간으로 전동 이동 보조기기의 주행이 불가능한 경로였다. 경로 3의 일반 경로에는 아파트 신축 공사 구간이 포함되어 있어 설치된 임시안전 방호벽 구간을 전동 이동 보조기기가 주행하기에 어려움이 있었다. 결과적으로 일반 경로에서는 전동 이동 보조기기의 주행에 방해되거나 승차감이 불편한 장애물이

TABLE 5. Comparison of general routes and recommend routes

Route	Test route 1			Test route 2			Test route 3		
	No. of segments			No. of segments			No. of segments		
	Safe	Cautious	Dangerous	Safe	Cautious	Dangerous	Safe	Cautious	Dangerous
	1	1	2	4	8	1	7	20	2
General									
	No. of segments			No. of segments			No. of segments		
	Safe	Cautious	Dangerous	Safe	Cautious	Dangerous	Safe	Cautious	Dangerous
	1	1	1	8	2	1	8	19	3
Recommended									
	No. of segments			No. of segments			No. of segments		
	Safe	Cautious	Dangerous	Safe	Cautious	Dangerous	Safe	Cautious	Dangerous

많았고 가파른 경사도로 인해 전동 이동 보조기기의 이동에 무리가 있었다. 반면에 본 연구의 추천 경로에서는 일반 경로와 비교해 방해되거나 승차감이 불편한 장애물이 비교적 적었으며 경사도가 완만하여 전동 이동 보조기기 주행에 무리가 없었다.

결론

최근 이동권을 개선하기 위해 교통약자들을 중심으로 전동 이동 보조기기가 많이 사용되고 있지만, 그들의 이동에 영향을 미치는 장애물들이 도시 전체적으로 분포되어 안전한 이동에 방해가 되고 있다. 이러한 문제점을 해소하기 위해 교통약자들을 위한 지도 서비스가 제공되고 있지만 이용자 수가 적고 고가의 구축비로 인해

근본적인 효과를 기대하기 어려운 상황이다.

따라서, 본 연구에서는 부산광역시에 거주하는 교통약자들과 관련 기관 종사자들과의 설문을 통해 전동 이동 보조기기의 이동에 영향을 미치는 13종의 요인을 도출하였다. 또한, 부산광역시 내 장애인 자립 생활센터 회원 29명을 대상으로 각각의 요인들에 대한 안전성 점수를 부여하고 현장에서 수집된 데이터로 객체 인식 AI 모델을 학습시켜 해당 요인들을 판별한 후, 최적경로 탐색 알고리즘을 통해 전동 이동 보조기기 경로 안내 서비스를 개발하였다. 그리고, 부산광역시 중구, 동구, 부산진구의 테스트 경로에서 T-map의 최단 거리 중심의 일반 경로와 본 연구의 추천 경로를 비교하여 전동 이동 보조기기 경로 안내 서비스의 효과를 평가하였다.

연구의 결과, 일반 경로와 본 연구의 추천 경

로 간에 주행 안전에 있어서 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 세 개의 테스트 경로에서 실제 전동휠체어를 통해 확인한 결과, 일반 경로에서는 전동 이동 보조기기의 주행에 방해되거나 승차감이 불편한 장애물이 다수 목격되었고 가파른 경사도로 인해 이동에 불편함이 있었다. 반면에 본 연구의 추천 경로에서는 일반 경로와 비교해 주행을 방해하거나 승차감을 불편하게 하는 장애물이 적었고 경사도가 비교적 완만하여 전동 이동 보조기기의 주행에 무리가 없었다. 따라서, 본 연구의 결과를 기반으로 교통약자의 전동 이동 보조기기의 안전한 경로 서비스는 실제 도시의 기하구조를 반영하여 구축할 수 있으며, 지속가능한 데이터의 수집 및 갱신과정을 거쳐 교통약자들의 이동권을 개선함으로써 그들의 사회적 배제를 최소화할 수 있을 것으로 기대한다.

향후 연구로는 도시 단위의 기하구조에 대한 자료를 수집하고 센터로 전송하는 체계의 보안과 전동 이동 보조기기 이용자의 실시간 위치를 기반으로 추천 경로를 안내하는 서비스의 구현이 필요하다. 마지막으로 다수의 전동 이동 보조기기 이용자들을 대상으로 리빙 랩(Living lab) 방식의 현장 실증테스트를 진행하여 사회적 수용성 평가 및 검증을 수행할 필요가 있다.

KAGIS

REFERENCES

- Aleksandar P. and D. Branko. 2013. Wheelchair control by head motion. *Serbian Journal of Electrical Engineering* 10(1):135–151.
- Barczynszyn, G.L., L.M.D.O. Camenar, D.D.F. Do Nascimento, N.P. Kozievitch, R.D. Da Silva, L.D.A. Almeida, J. De Santi and R. Minetto. 2018. A collaborative system for suitable wheelchair route planning. *ACM Transactions on Accessible Computing* 11(3):1–26.
- Benjamin, T., K. Reuben and S. Johannes. 2019. Analyzing accessibility barriers using cost-benefit analysis to design reliable navigation services for wheelchair users. *17th IFIP Conference on Human-Computer Interaction* 11, 746:1–22.
- Bo. N., M.J. Li, T. Liu, H.M. Shen, L. Hu and X. Fu. 2012. Human brain control of electric wheelchair with eye-blink electrooculogram signal. *Intelligent Robotics & Applications* 7,506:579–588.
- Choi, G.C., Y.B. Jo, D.S. Lee and J.S. Kim. 2018. Smart sensor based electric wheelchair function improvement for social care. *Joint Conference of Digital Contents Society and Korean Institute of Information Technology*: 427–430 (최근창, 조영빈, 이동수, 김진솔. 2018. 사회적 약자 케어를 위한 스마트 센서 기반 전동휠체어 기능 개선 연구. *한국디지털 콘텐츠학회 · 한국정보기술학회 공동학술대회*: 427–430).
- Christian, M, S. Julian, A.A. Miriam, B. Emanuel, F. Jelena, N. Tobias and S. Tobias. 2011. EasyWheel – a mobile social navigation and support system for wheelchair users. *2011 International Conference on Information Technology: New Generation*: 859–866.
- Jeong, U.J., K.G. Jeon, J.H. Kim, J.G. Lee, M.K. Kim and H.J. Cha. 2023. Development of a personal mobility scooter with autonomous driving and safety features. *Korean Society for Control, System, and Robotics* 29(5): 404–411 (정의정, 전광우, 김주현, 이종일, 김민규, 차효정. 2023. 자율주행과 안전 기능을 지니는 퍼스널 모빌리티 스쿠터 개발. *제어시스템로봇학회지*. 29(5):404–411).
- Kang, H.K., Y.H. Im, G.B. Lim and T.H. Ha. 2019. Building and utilizing barrier-free spatial information for the enhancement

- of convenience in the lives of people with disabilities, the elderly, and those with mobility issues. Korea Research Institute for Human Settlements (강해경, 임용호, 임거배, 하태훈. 2019. 장애인·노인·이동약자의 생활권의 향상을 위한 무장애 공간정보 구축·활용 지원방안. 국토연구원. 725:1-6).
- Kim, G.W., B.M. Gu, J.H. Si and H.H. Jeon. 2020. Location analysis of charging stations for the disabled person using big data. Journal of Korean Society of Transportation 17(5):7-16 (김건욱, 구보미, 시정희, 전현희. 2020. 빅데이터를 활용한 장애인 전동보장구 충전소 입지분석 : 대구광역시 북구를 사례로. 대한교통학회지 17(5):7-16).
- Kim, J.H., M.K. Yeom, W.T. Woo. 2019. Optimized route navigation system design for disabled people who use electronic assistive devices. Conference of Korean Society for Human-Computer Interaction: 381-386 (김지훈, 염민기, 우운택. 2019. 전동보장구 사용 장애인을 위한 최적화된 경로 안내 시스템 설계. 한국HCI학회 학술대회: 381-386).
- Kim, J.I., S.G. Kang and J.H. Kwon. 2008. The Spatial Characteristics of Transit-Poors in Urban Areas. Journal of the Korean Geographic Information Society. 11(2):1-12. (김재익, 강승규, 권진휘, 2008, 대중교통서비스 취약계층의 공간적 분포 특성, 한국지리정보학회지, 11(2):1-12).
- Kim, K.S., S.E. Kim and B.S. Song. 2016. A study of efficiency plan of electricity charging point for powered wheelchair and scooter. Conference of Rehabilitation Engineering & Assistive Technology Society of Korea (김경식, 김승언, 송병섭. 2016. 전동보장구 충전소 운영 효율화 방안 연구. 2016 한국재활복지공학학회 정기학술대회).
- Kim, S.E., K.S. Kim, J.B. Kang and B.S. Song. 2015. Study on the operation method of electric wheelchair and electric scooter charging stations. Journal of Rehabilitation Research 21(2):191-216 (김승언, 김경식, 강정배, 송병섭. 2015. 전동휠체어 및 전동스쿠터 충전소 운영 방안 연구. 재활복지 21(2):191-216).
- Krzysztof, S., G. Adam, I. Witold and A. Tomasz. 2015. Synthesis and evaluation of the smart electric powered wheelchair route stabilization concept—a simulation study. Archives of Control Sciences 25(2): 263-273.
- Lee, J.S., M.Y. Jung, S.E. Kang and W.H. Jang. 2017. A study on assistive device support systems for manual and electric wheelchairs: focusing on Korea, the United States, and Japan. Journal of Korean Society of Assistive and Rehabilitation Technology 9(1):9-15 (이지선, 정민예, 강서은, 장완호. 2017. 수동 및 전동휠체어 보조기기 지원제도에 관한 고찰 : 한국·미국·일본을 중심으로. 대한보조공학기술학회지. 9(1):9-15).
- Lee, Y.S. and H.S. Kim. 2019. An exploratory study of the effect of mobility on social exclusion among people with disabilities. Health and Social Welfare Review 39(1): 136-165 (이유신, 김한성. 2019. 장애인의 이동이 사회적 배제에 미치는 영향에 관한 탐색적 연구. 보건사회연구 39(1):136-165).
- Moon, M.G., Y.M. Lee., K.Y. Yu and J.Y. Kim. 2016. Optimized path finding algorithm for walking convenience of the people with reduced mobility. Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy,

- Photogrammetry and Cartography 34(3): 273-282 (문미경, 이영민, 유기윤, 김지영. 2016. 교통약자의 이동편의를 위한 최적경로 탐색 기법. 한국측량학회지 34(3):273-282).
- Park, G.H. and J.H. Byeon. 2012. Effects of the Physical Environment around Elementary Schools on Children's Walking Safety - A case Study of the Elementary Schools in Changwon -. Journal of the Korean Geographic Information Society. 15(2):150-160 (박경훈, 변지혜, 2012, 초등학교 물리적 환경이 보행안전에 미치는 영향 - 창원시 초등학교를 대상으로 -, 한국지리정보학회지, 15(2):150-160).
- Park, J.H. and W.N. Kwang. 2015. A Study on the Low-Floor Bus Route Selection Considering a Residential Distribution and Traffic Characteristics of the Transportation Vulnerable - A Case of Busan -. Journal of the Korean Geographic Information Society. 18(2):161-173 (박지호, 남광우, 2015, 교통약자의 거주 분포와 통행특성을 고려한 저상버스 노선 선정 -부산시를 사례로 -, 한국지리정보학회지 18(2): 161-173).
- Park, K.W., H.E. Kim and H.S. Kim. 2015. The improvement of facilities and pedestrian environments according to daily life pattern of the electric wheelchair users. Korean Journal of Housing Studies 19(2):149-161 (박경옥, 김희운, 김하섭. 2015. 전동보장구 장애인의 일상생활패턴에 따른 이용시설 및 보행환경의 개선. 한국주거학회지 19(2): 149-161).
- Pascal, N. 2015. Measuring the reliability of wheelchair user route planning based on volunteered geographic information. Transactions in GIS 19(2):188-201.
- Shim, S.B. and Y.G. Son. 2020. Encoder type semantic segmentation algorithm using multi-scale learning type for road surface damage recognition. Journal of Korea Institute of Intelligent Transportation Systems Society 19(2):89-103 (심승보, 손영은. 2020. 도로 노면 파손 인식을 위한 Multi-scale 학습 방식의 암호화 형식 의미론적 분할 알고리즘. 한국ITS학회논문지 19(2):89-103).
- Sumida, Y., M. Hayashi, K. Goshi and K. Matsunaga. 2012. Development of a route finding system for manual wheelchair users based on actual measurement data. 2012 9th International Conference on Ubiquitous Intelligence and Computing and 9th International Conference on Autonomic and Trusted Computing: 17-23.
- Yuki, S., L. Huimin, T. Joo-Kooi and H.S. Kim. 2019. Recognition of surrounding environment from electric wheel chair videos based on modified YOLOv2. In Future Generation Computer Systems 92:157-161. 