

대한물리치료과학회지

Journal of Korean Physical Therapy Science
2026. 06. Vol. 33, No.2 pp. 137-147

뇌졸중 환자를 위한 지면 보행 보조 장치 사용성 평가

최은평¹ · 박용화² · 우봉식² · 조기훈¹

¹국립한국교통대학교 물리치료학과 · ²아이엠재활병원

Usability test for an Over-Ground Walking Assistance Device for Stroke patients

Eun Pyeong Choi¹, M.Sc., P.T. · Yong Hwa Park², M.Sc., P.T. · Bong Sik Woo², M.D. · Ki Hun Cho¹, Ph.D., P.T.

¹Dept. of Physical Therapy, Korea National University of Transportation · ²IM Rehabilitation Hospital

Abstract

Background: With growing evidence supporting the effectiveness of robotic gait-assistive systems in promoting gait function recovery, domestic efforts have been initiated to develop and commercialize an overground walking-assistive device. This study conducted a usability test of an over-ground walking assistance device in stroke patients to identify areas for improvement toward commercialization.

Design: Cross-sectional study.

Methods: Twenty-five with stroke participated in this study. Each participant walked freely along a 100-meter pathway using both the Andago system and an over-ground walking assistance device. The Andago system was selected as a comparator because it is a commercially available device with established effectiveness in previous studies, providing a relevant benchmark for identifying areas of improvement in the newly developed device. After walking, a satisfaction survey and in-depth interviews were conducted. The questionnaire consisted of 20 items across three domains: safety (6 items), operability and functionality (7 items), and convenience (7 items), rated on a 5-point Likert scale. In-depth interviews were audio-recorded, transcribed, and analyzed by categorizing key words and themes. The interviews explored participants' experiences with the over-ground walking assistive de-

vice and their suggestions for improvement to support commercialization.

Results: In the satisfaction survey, the over-ground walking assistance device showed significantly lower scores than the Andago[®] across all three domains (safety: 4.61 vs. 4.37; operability and functionality: 4.62 vs. 4.39; convenience: 4.49 vs. 4.35; $p < 0.05$). The in-depth interviews revealed key opinions related to sensor sensitivity, the resulting sense of stability, and perceptions regarding the openness of the gait environment.

Conclusion: For the commercialization of over-ground walking assistance device, technological improvements tailored to user needs are required. In particular, enhancing the sensor algorithms based on gait mechanisms aligned with the intended training purposes could increase the device's practicality and effectiveness in gait rehabilitation.

Key words: over-ground walking, robotic assistive device, stroke, usability test

교신저자

조기훈

27909 충북 증평군 증평읍 대학로 61 한국교통대학교 증평캠퍼스
T: 043-820-5206, E: mamiya34@gmail.com

I. 서론

보행은 독립적인 사회참여를 보장하는 기본 능력이며, 일상생활을 영위하기 위한 필요 요소 중 하나이다(Selanon과 Chuangchai, 2023; Kim 등, 2014). 하지만 뇌졸중은 발병 후 보행장애를 초래하여 일상생활 유지에 어려움을 유발한다(Balaban과 Tok, 2014). 뇌졸중 보행장애의 주요 원인은 뇌 손상에 의한 신경학적 증상으로 마비와 운동 조절 능력을 감소시키며(Kochman 등, 2025), 특히, 비대칭 보행패턴(asymmetric gait pattern), 느린 보행속도 등의 전형적인 보행장애 특징이 균형능력(balance)과 보행능력(gait ability)을 저하시켜 낙상(falls)의 위험을 높인다(Winstein 등, 2016; Patterson 등, 2010; Yavuzer 등, 2006). 또한, 보행능력의 저하는 낙상에 대한 두려움(fear of falling, FOF)을 유발시키고(Scheffer 등, 2008), 이를 회피하기 위한 신체활동(physical activity)의 감소가 신체 기능의 저하로 이어져 낙상 발생을 증가시키는 악영향을 초래한다(Cunningham 등, 2020).

따라서 보행기능회복은 재활분야에서 중요한 목표 중 하나로 간주되며, 효과적인 재활을 위해 재활 초기 움직임 및 장기간 강도 높은 신체 운동 제공에 대한 필요성이 제기되고 있다(Mikolajczyk 등, 2018). 이를 위한 다양한 노력이 시도되어 왔고, 그중 전기기계 보조 보행 훈련 장치를 이용한 보행훈련 방법의 임상적 활용이 증가하고 있다(Calabro 등, 2021).

전기기계 보조 보행 훈련 장치는 기계장치에 의해 보행을 보조받아 보행 훈련을 실시할 수 있는 보행보조로봇으로, 트레드밀 위에서 외골격 로봇이 보행주기에 맞춰 환자의 다리를 보조하거나, 구동 발판에 발을 지지하여 말단의 움직임을 통한 보행 패턴을 보조하는 방식이 있다(Mehrholtz 등, 2025; Sirlantzis 등, 2019). 임상현장에서 주로 사용되는 보행보조로봇은 트레드밀 기반 형태의 보행보조로봇(Lokomat, Walkbot, Morning Walk 등)이 주로 사용되고 있다(Ramos-Rojas 등, 2025). 보행보조로봇은 일반적으로 낙상으로부터의 안전성을 제공해 주는 체중지지 시스템(body-weight support, BWS)과 보행 알고리즘에 따라 반복적인 보행 재교육을 제공하는 외골격 시스템으로 구성되어 반복적인 보행훈련 수행과 더불어 치료사들의 신체적 부담을 경감시켜준다(Mehrholtz 등, 2025; Freivogel 등, 2009; Hesse 등, 2003). 또한 선행 연구들에 의해 파킨슨병, 뇌졸중 환자들의 보행기능 개선과 진행성 다발성 경화증 환자들의 보행 지구력과 균형의 개선 등이 보고되며 신경학적 증상에 의한 보행장애 환자들에게 보행보조로봇의 임상적 효과들이 확립되고 있다(Mehrholtz 등, 2025; Alwardat 등, 2018; Cho 등, 2018; Straudi 등, 2016).

하지만 트레드밀 형태 기반의 보행보조로봇은 특정 보행 환경만을 제공하기 때문에 실제 보행 환경을 재현하는데 제한적이며, 이로 인해 일상생활에서 요구되는 가변적이고 즉각적인 보행 환경에 대한 적응능력을 개선 시키기에는 한계가 있다(Urendes 등, 2019). 이러한 단점을 보완하고자 Andago[®]와 같은 지면보행이 가능한 지면보행보조로봇이 개발되어 임상적으로 사용되고 있다(Jang 등, 2025; Fay 등, 2024; Marks 등, 2019).

Andago[®]는 다른 보행보조로봇과는 달리 동력 휠 기반의 이동식 프레임과 체중지지 시스템으로 구성되며(Marks 등, 2019), 하네스와 프레임의 연결부분에 위치한 센서를 통해 사용자의 움직임을 감지하고, 프레임이 이를 추적하여 안전한 지면보행 훈련이 가능하다(Jang 등, 2025). 또한 Andago[®]를 사용한 보행과 체중지지가 가능한 트레드밀 보행의 시·공간적 보행특성을 분석한 연구에서 Andago[®]가 트레드밀 보행보다 지상보행에 더 가깝게 일치하며, 지면보행의 효과를 제공할 수 있다고 보고하였다(van Hedel 등, 2021).

하지만 국내에서는 해외제품의 높은 구매 비용과 장비 접근성의 제한으로 인해 임상에서의 활용이 어려운 실정이다(Lee와 Kim, 2025). 이러한 상황을 해결하고자 국내에서 지면보행보조로봇인 지면보행보조장치를 개발하여 상용화를 위한 연구가 진행 중이며, 최근 첫 번째 시제품에 대한 사용성 평가를 통해 개선점을 반영한 두 번째 시제품이 제작되었다(Hwang 등, 2025). 지면보행보조장치는 Andago[®]와 유사하게 체중지지시스템과 사용자 추적 시스템을 갖추고 있어

안전한 보행 훈련을 가능하게 하고, 또한 Andago®와 달리 메카닉 휠을 사용하여 다방향의 움직임 추적이 가능하다는 특징이 있어 기존 장비보다 일상적인 보행 환경 제공이 가능하다.

따라서 본 연구는 개선된 지면보행보조장치에 대해 만족도 조사와 심층 인터뷰를 통한 두 번째 사용성 평가를 실시하고자 한다. 이전 모델에 비해 만족도 점수의 개선 기대와 향후 제품 상용화를 위해 사용 대상자인 뇌졸중 환자의 관점에서 개선 요구사항 도출을 목표로 하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구는 C시에 위치한 재활병원에 입원 중인 25명의 뇌졸중 환자가 참여하였다. 참여자들은 병원 복도 게시판에 게시된 모집공고를 보고 담당자를 통해 참여의사를 밝히고 실험에 참여하였다. 선정기준은 만 18세 이상의 성인, CT나 MRI를 이용하여 의사의 뇌졸중 진단을 받은 자, 엉덩관절, 무릎관절, 발목관절의 근긴장도 검사(Modified Ashworth Scale: MAS)가 1+ 이하인 자, 엉덩관절, 무릎관절, 발목관절의 도수근력평가(Manual Muscle Test: MMT)가 2등급 이상인 자, 한국판 간이 정신상태 검사(Mini Mental Status Examination-Korean version: MMSE-K)가 24점 이상인 자, 기능적 보행지수(Functional Ambulation Category, FAC)가 3점 이하인 자이다. 제외기준은 뇌졸중 외 뇌종양, 뇌손상 등 다른 신경학적 질환이 있는자, 보행에 영향을 줄 수 있는 시야 결손, 정형외과적 질병 및 수술 경력 등이 있는 자, 피부 병변으로 인해 하네스 착용이 제한되는 자, 연구 진행에 있어 의사소통이 어려운자이다.

연구에 참가한 모든 대상자는 평가 시작 전 연구자로부터 연구의 특성과 목적에 대해 충분히 이해할 수 있도록 설명을 들었으며, 참여의사에 따라 자발적으로 동의서를 작성한 후 연구에 참여하였다. 참가자들의 일반적 특성은 Table 1.과 같다.

Table 1. General characteristics of the participants ($N = 25$)

Parameters	
Sex (male/female)	14/11
Age (years)	66.20±16.50
Height (cm)	164.96±10.85
Weight (kg)	64.57±13.45
BMI (kg/m ²)	23.55±2.88
Onset duration (month)	13.32±8.50
etiology (infarction/hemorrhage)	16/9
Affected side (Right/Left)	12/13
walking aid (none/cane/walker)	7/13/5
FAC (1/2/3)	8/6/11
MBI (score)	62.84±14.94
BBS (score)	31.40±12.87
K-MMSE (score)	24.56±3.69

Values are expressed as mean±SD.

BMI: Body Mass Index, MAS: Modified Ashworth Scale, MMT: Manual Muscle Test, FAC: Functional Ambulation Category, MBI: Modified Barthel Index, BBS: Berg Balance Scale, K-MMSE: Korea Mini Mental State Examination

2. 절차

본 연구는 Andago[®]와 지면보행보조장치간의 만족도 조사와 심층 인터뷰로 구성된 사용성 평가로 진행되었으며, 연구의 흐름은 Figure 1.과 같다.

모든 참여자는 두 지면보행보조로봇을 각각 이용하여 100m 길이의 보행로를 자유롭게 보행하였으며, 지면보행보조로봇의 순서는 보행 전 무작위로 선정하여 보행하였다. 보행은 15 × 35m의 사각형 복도에서 로봇의 보조만을 이용한 환자 독립적으로 수행되었으며, 보행동안 최소한의 10% 체중지지 제공과 함께 필요한 경우 로봇의 손잡이를 사용하여 보행할 수 있도록 하였다. 보행 보조로봇은 사용자의 움직임을 실시간으로 추적하여 자유로운 보행을 할 수 있도록 하였고, 보행 중 안전에 대한 도움이 필요한 경우에만 물리적인 보조를 제공하였다.

각 로봇에 대한 보행이 완료된 후 참여자는 사용성 평가를 위한 만족도 조사를 수행하였다. 평가지는 안전성, 기능 및 조작성, 편리성으로 구성되었다. 이후 심층 인터뷰를 1:1 대면으로 진행하여 참여자의 사용경험, 제한점, 개선 필요점에 대해서 조사하였다. 이와 같은 과정은 두 보행 보조 로봇 모두 동일하게 진행되었다.

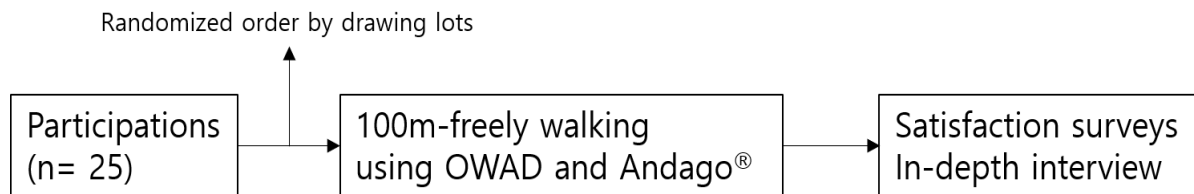


Figure 1. Flowchart of usability test

3. Andago[®]

Andago[®] V2.0(Hocoma AG, Volketswil, Switzerland)은 BWS 시스템, 사용자의 의도에 따라 움직임을 추적하여 이동하는 모바일 플랫폼으로 구성된 지면 기반 보행 훈련 시스템이다. Andago[®]의 외부 크기는 약 1.07m (길이) × 0.85m (폭) × 1.95m (높이)이며 장치 무게는 약 185kg이다. 로봇은 하네스를 이용한 BWS(Body weight support) 시스템을 통해 낙상 방지 및 부분 BWS가 가능하고, 어깨 부분과 플랫폼에 연결된 추적 시스템에 의해 움직임을 파악하여 능동적인 보행추적이 가능하다. 또한 트레드밀과 달리 실내에서 공간 제약 없이 자유로운 보행이 가능하고, 손잡이가 장착되어 있어 사용자의 심리적 안정성 및 보행 안전성을 보장할 수 있다(Figure 2. A).

Andago[®]는 가장 널리 상용화된 지면 보행 보조 로봇으로 뇌졸중에서 회복 중인 보행 장애 환자를 포함한 보행 장애 환자의 재활에 적용되었으며(Jang 등, 2025; Marks 등, 2019), 상황에 따라 사용할 수 있도록 세 가지 보행 모드가 있다. 1) PFM(Patient following mode)는 로봇이 환자의 움직임을 감지하고 따라가는 모드, 2) SLM(Straight-line mode)는 환자의 움직임을 감지하고 앞뒤로만 움직일 수 있는 모드, 3) MAM(Manual mode)는 치료사가 리모컨을 통해 속도와 방향을 제어할 수 있는 모드.

본 연구에서는 지면보행보조장치의 만족도 비교를 위해 Andago[®]를 비교 장치로 사용하였다.

4. 지면보행보조장치

지면보행보조장치(대한민국 창원시 OS Lab)는 신경 장애 환자의 보행 재활을 지원하기 위해 설계된 지면 기반 보행 훈련 시스템으로 선행연구의 사용성 평가에서 도출된 개선 필요사항에 따라 기능을 개선하여 개발되었다(Hwang 등,

2025).

지면보행보조장치는 메카닉 휠을 기반으로 한 모바일 시스템, 사용자의 움직임 의도를 감지하는 센서 시스템, 전동식 BWS 시스템의 세 가지 구성 요소로 구성되어 있으며, 외부 치수는 약 1.30m(길이) × 1.10m(폭) × 1.86m(높이), 장치 무게는 약 180kg이다. 지면보행보조장치는 4개의 메카닉 휠을 기반으로 앞뒤, 측면, 회전 방향 등의 전방위적인 움직임이 가능하다. 움직임 의도 감지는 메인 프레임과 하네스 사이의 연결 부위에 장착된 센서 시스템에 의해 가능하며, 하네스를 착용한 사용자가 움직임을 시작하면 홀 센서가 기존 위치에서 상대적 변위 차이를 감지하여 이를 구동 시스템에 전달하여 실시간으로 사용자의 움직임 추적이 가능하다(Figure 2. B).

또한 전동식 BWS 시스템은 하네스와 연결되어 체중을 정량적으로 조절할 수 있고, 기본 프레임에 사용자 안전을 위한 높이 조절이 가능한 손잡이가 장착되어 있다.

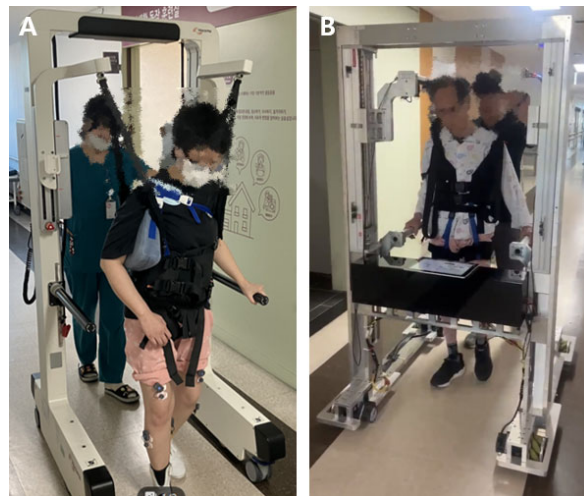


Figure 2. A: Andago®, B: OWAD

Participants completed a 100-m free walking task for satisfaction surveys and in-depth interviews regarding the Andago® and OWAD

5. 사용성 평가

사용성 평가는 만족도 조사와 1:1 심층 인터뷰를 통해 진행되었다.

만족도 조사는 보행 로봇을 이용하여 100m를 보행한 후 진행되었으며 두 보행보조로봇에 동일하게 실시되었다. 만족도 조사를 위한 평가지는 20개의 문항과 3개의 항목(안전성, 기능 및 조작성, 편의성)으로 구성되었다. 안전성은 6개의 문항이 포함되었으며, 보행 보조로봇을 사용하는 동안 사용자에게 발생할 수 있는 위험으로부터의 안전성을 확인하였다. 기능 및 조작성은 7개의 문항이 포함되었으며, 기능 조작에 대해 사용자가 쉽게 사용할 수 있는지에 대한 어려움 정도를 확인하였다. 편의성은 7개의 문항이 포함되었으며, 보행보조로봇을 사용하는 동안의 사용자의 편의성을 확인하였다. 평가지는 고령친화산업지원센터에서 제공되는 평가지를 사용성 평가의 목적에 맞게 수정하여 사용되었으며(고령친화산업지원센터, 2022), 각 문항은 5점 척도로 구성되었다(1점 매우 불만족, 5점 매우 만족). 고령친화산업지원센터의 가이드 라인에 따르면 평균점수의 4.0이상은 적합, 3.5점 이상은 필요에 따라 개선 요구, 2.5 이상은 개선 권고, 1.5점 이상은

개선 필요, 1.5점 이하는 개선이 반드시 필요를 나타낸다.

심층 인터뷰는 두 보행 보조로봇에 대한 보행 후 만족도 조사를 완료한 후 시행하였으며, 지면보행보조장치의 장단점, 향후 제품 상용화를 위한 개선점을 조사하였다. 인터뷰에서 얻은 질적 자료는 conventional content analysis 방법을 사용하여 분석되었다. 인터뷰 내용은 음성으로 녹음 후 문자로 정리하였고, 두 명의 연구자가 독립적으로 내용을 검토하였다. 인터뷰 내용 중 반복되는 단어와 개념을 코드화 하여 핵심을 나타내는 주제를 범주로 분류하였고, 이 과정에서 이견이 발생할 경우 두 명의 연구자간의 합의 회의를 실시하여 의견을 통일하였다.

6. 자료분석

자료분석은 SPSS ver. 29.0(IBM Corp., Armonk, NY, USA) 프로그램을 사용하여 통계분석하였다. 대상자의 일반적 특성은 기술통계와 빈도분석을 통해 제시하였고, 만족도 조사의 결과는 평균과 표준편차로 나타냈다. Andago®와 지면보행보조장치의 만족도 점수는 Shapiro-Wilk 검정을 통해 정규성 검사를 실시하였다. 정규성에 따라 두 점수에 대해 대응표본 *t*-검정(Paired *t*-test)을 통계 분석하였고, 유의수준은 0.05로 설정하였다.

III. 연구결과

1. 만족도 조사 결과

뇌졸중 환자를 대상으로 실시한 Andago®와 지면보행보조장치의 만족도 조사 결과는 Table 2.와 같다.

지면보행보조장치에 대한 평균 만족도 점수는 세 영역(안전성, 조작 및 기능성, 편의성) 모두에서 Andago®에 비해 낮은 점수를 나타내고, 모두 유의한 차이를 나타냈다(안전성: 4.60 vs 4.31, 조작 및 기능성: 4.58 vs 4.31, 편의성: 4.49 vs 4.32, $p < 0.05$).

Andago®와 지면보행보조장치 모두 전체 평균이 4점을 초과하면서(4.55 vs 4.32) 노인 센터 기준에 따라 적합 등급을 충족하는 것으로 나타났다.

Table 2. Satisfaction result for Andago[®] and OWAD in stroke patients ($N = 25$)

Questions by categories		Andago [®]	OWAD	Change(%)	$p(t)$
S	Does the device safely support the body when leaned on?	4.56±0.96	4.24±1.05	0.26±1.01(5.72)	.133(1.554)
	Are there no safety risks during straight-line movement?	4.72±0.46	4.32±0.90	0.39±0.89(8.29)	.030(2.309)*
	Are there no safety risks during direction changes?	4.36±0.91	4.00±1.19	0.35±1.19(7.98)	.131(1.565)
	Is the speed of directional changes appropriate?	4.76±0.52	4.52±0.71	0.26±0.69(5.48)	.083(1.809)
	Is in-place rotation performed safely without risk?	4.48±0.82	4.32±0.95	0.13±1.01(2.91)	.425(0.811)
	Is the device safe to use without the risk of bodily injury?	4.72±0.54	4.48±0.82	0.22±0.52(4.61)	.031(2.295)*
Safety average		4.60±0.73	4.31±0.95	0.29±0.88(6.23)	<.001(3.968)*
OF	Is the operation method easy to understand?	4.64±0.81	4.44±0.96	0.17±0.72(3.75)	.170(1.414)
	Does the device start as intended by the user?	4.76±0.66	4.44±0.82	0.35±0.83(7.31)	.058(1.995)
	Does the device move as intended?	4.64±0.76	4.20±1.08	0.43±1.04(9.37)	.038(2.193)*
	Does the device change direction as intended?	4.44±0.92	4.12±1.09	0.30±1.11(6.85)	.148(1.496)
	Does the device stop reliably as intended?	4.52±0.92	4.40±1.04	0.13±0.92(2.89)	.503(0.681)
	Is it easy to wear or attach the relevant components?	4.36±0.81	4.04±1.14	0.30±0.93(6.98)	.119(1.619)
Operability and functionality average		4.58±0.80	4.31±1.01	0.26±0.88(5.74)	<.001(3.935)*
C	Is the device convenient to use during walking?	4.56±0.82	4.28±0.84	0.22±0.80(4.77)	.110(1.661)
	Is the size of the device appropriate?	4.40±0.96	4.40±0.91	-0.04±0.77(0.99)	1.000(0.000)
	Is there no discomfort caused by noise during walking?	4.72±0.54	4.68±0.75	0.04±0.47(0.92)	.664(0.440)
	Is the operation method intuitive and aligned with user expectations?	4.28±1.06	3.92±1.04	0.39±0.84(9.14)	.036(2.221)*
	Are the legs comfortable when wearing the harness and walking?	4.60±0.71	4.40±1.00	0.13±0.81(2.84)	.260(1.155)
	Are the arms comfortable when wearing the harness and walking?	4.52±0.77	4.40±1.04	0.09±0.90(1.92)	.503(0.681)
Convenience average		4.49±0.85	4.32±0.98	0.17±0.79(3.69)	.006(2.780)*
Total average		4.55±0.80	4.32±0.98	0.24±0.85(5.18)	<.001(6.194)*

Values are expressed as mean±SD.

OWAD: Over-ground walking assistance device, S: Safety, OF: Operability and Functionality, C: Convenience

*significant changes between Andago[®] and over-ground walking assistance device($p < 0.05$)

2. 심층 인터뷰 조사 결과

뇌졸중 환자를 대상으로 실시한 Andago[®]와 지면보행보조장치의 심층 인터뷰 결과의 주요 내용은 Table 3.에 나타났다.

안전성 영역에서는 보행 시작 시 급작스러운 출발의 느낌으로 인한 불안감의 제공에 대해 우려를 나타냈고, 조작 및 기능성 영역에서는 보행 센서의 반응이 보행의 시작과 종료에 대한 의도적인 조절이 제한적이라고 하였다. 편의성에서는 전방의 보행 방향에 설치되어 있는 검은색 컨트롤 박스가 개방성을 낮춰 자연스러운 보행 느낌을 낮춘다고 하였다.

Table 3. Main findings of in-depth interviews ($N = 25$)

Categories	Main interviews
Safety	- It feels like an abrupt initiation at the start of walking.
Operability and Functionality	- The ability to initiate and terminate walking as intended is limited.
Convenience	- Walking feels unnatural due to the front black control unit.

IV. 고찰

선행 연구를 통해 국내에서 개발된 지면보행보조로봇의 제품 상용화를 위한 시제품의 첫 번째 사용성 평가를 실시하여 만족도와 개선 요구사항을 확인하였다(Hwang 등, 2025). 그 결과 비교 대상이었던 Andago®에 비해 낮은 만족도를 나타냈으며, 구조적(손잡이 부재) 및 기술적인(센서의 민감도 조정 등) 부분에 대한 개선 요구사항이 확인되었다.

본 연구는 첫 번째 사용성 평가를 통해 개선된 지면보행보조장치와 상용화된 지면보행보조로봇 제품인 Andago®와 비교하여 지면보행보조장치의 상용화를 위해 실시한 두 번째 사용성 평가이다. 사용성 평가를 위해 사용 대상자인 뇌졸중 환자를 대상으로 하여 Andago®와 지면보행보조장치 번갈아가며 사용한 후 만족도 조사와 심층 인터뷰를 실시하였다. 만족도 조사 결과 전체 평균 점수와 세 가지 영역의 평균 점수 모두에서 유의한 차이를 나타내며 지면보행보조장치가 Andago®에 비해 만족도가 유의하게 낮은 경향을 나타냈고($p < 0.05$), 총 점수에 대한 결과에서도 동일한 결과를 나타냈다(4.55 vs 4.32, $p < 0.05$).

본 연구에서의 만족도 조사 결과 첫 번째 사용성 평가에서 확인된 만족도보다 개선된 점수를 나타내며 긍정적인 결과를 확인하였다(Hwang 등, 2025). 이는 첫 번째 사용성 평가에서 안전성 영역의 개선사항으로 언급되었던 구조적 불완전성을 해소하기 위해 손잡이를 추가하고, 기술적 개선을 위해 센서를 교체하는 방안이 안전성 점수를 개선시킨 것으로 생각된다. 또한 고령친화산업지원센터에서 제시하는 평가 기준에 따르면 영역별 평균점수와 종합 평균 점수가 4점 이상일 경우 적합 등급을 제시하는데(고령친화산업지원센터, 2022), 지면보행보조장치는 이 기준에 부합하며 첫 번째 사용성 평가와는 다른 결과를 나타냈다.

이러한 긍정적인 개선에도 불구하고 평균 점수들의 비교에서 지면보행보조장치의 점수가 Andago®에 비해 유의하게 낮은 결과가 나타났다(안전성: 4.60 vs 4.31, 0.29, 6.23%, 조작 및 기능성: 4.58 vs 4.31, 0.26, 5.74%, 편의성: 4.49 vs 4.32, 0.17, 3.69%, $p < 0.05$).

지면보행보조로봇의 특징은 보행능력 감소 및 낙상의 두려움으로 인한 재활이 어려운 환자에게 하네스를 통해 안전한 보행훈련을 가능하게 하고, 한정된 공간이 아닌 다양한 공간에서의 보행훈련을 실시할 수 있어 보다 적극적인 보행훈련을 가능하게 한다는 점이다(van Hedel 등, 2021; Mikolajczyk 등, 2018). Andago®는 상용화의 과정을 통해 임상 및 구조 안전성에 대한 장점들이 입증된 선행 연구들이 보고되었고(Fay 등, 2024; Fay 등, 2022; van Hedel 등, 2021; Marks 등, 2019), 이러한 근거들은 제품 사용에 대한 사용자에게 더 큰 심리적 안전성을 제공했을 가능성이 높다. 반면 개발과정 중인 지면보행보조장치는 이전보다 보완된 기술로 개선되었지만 첫 번째 사용성 평가에서 발견된 것과는 다른 구조적 불완전성(보행 시야 방해)과 기술적 개선 필요성(교체된 센서의 알고리즘 개선)에 의해 만족도 점수가 유의하게 낮은 결과를 나타냈다고 생각된다.

지면보행보조로봇이 사용자를 다양한 지면에서 안전한 보행을 제공하기 위해서는 사용자의 움직임을 정밀하게 추적할 수 있는 제어 알고리즘이 필요하다(Cowan 등, 2012). 이와 관련하여 이전 사용성 평가에서는 직관적인 사용성, 센서시스템과 구동기

간의 제어 지연에 대한 개선요구사항이 발견되었고(Hwang 등, 2025), 이를 개선 하기 위해 기존 센서를 홀센서로 교체하여 즉각적인 반응이 가능하도록 하였다. 보행메커니즘에 따르면 초기 가속구간과 후기 감속구간이 고려되어야 보다 자연스러운 보행이 가능하다(Perry와 Burnfield, 2024). 하지만 즉각적인 반응에 따라 움직이는 지면보행보조장치는 오히려 가속과 감속구간에 외부동요로 작용하여 보행을 어렵게 하였을 것으로 생각된다. 또한 보행 시야의 개방성이 확보된 Andago[®]와 달리 지면보행 보조장치는 전방에 위치한 컨트롤 박스가 전방의 시야를 일부 가리게 되어 개방감을 감소시켜 심리적인 안전성 저하에 영향을 미칠 수 있다.

따라서 구조적(보행 시야 개방성 확보) 및 기술적(제어 알고리즘 개선)요인들에 의한 심리적 불안전성 증가는 사용자의 안전성을 위축시키고, 이러한 심리적 요인이 만족도 평가의 주관적인 영향을 미쳐 지면보행보조장치의 만족도 조사의 결과와 Andago[®]에 비해 낮은 평균 점수를 나타냈을 것이라고 생각한다.

또 하나의 흥미로운 부분은 본 연구의 정량적(만족도 조사) 및 정성적(심층인터뷰) 결과가 일관된 해석을 보였다는 점이다. 만족도 조사 데이터(Table 2.)에서 문항 중 유의한 차이가 나타난 항목은 센서의 반응에 따른 조작과 관련된 부분이었으며, 이는 현재 지면보행보조장치에 대한 분석에서 센서의 반응에 따른 사용자의 인식 알고리즘의 고도화가 가장 큰 필요성임을 시사한다. 이와 유사하게 인터뷰 결과(Table 3.)에서도 초기 보행 시작 시 출발에 대한 불안한 느낌과 조작에 대한 부분의 어려움에 대한 반복적인 우려를 나타내며, 이 또한 센서 반응에 따른 조작의 불만족을 나타낸다.

이러한 통합적 발견은 보행의 메커니즘을 고려한 사용자를 추적하는 센서 제어의 알고리즘 개선이 안전한 보행 재활의 임상적 적용을 위해 필요한 부분임을 나타낸다.

본 연구에는 몇 가지 제한점이 있다. 먼저, 적은 표본수와 제한된 대상자로 인해 연구의 결과가 특정 집단의 의견으로 편향될 가능성이 있어 일반화 하기 어렵고, 단일 세션을 기반으로 한 사용성 평가로 인해 장기적인 사용에 대한 훈련 효과 등을 반영하지 못하였다. 또한, 사용성 평가의 항목이 사용자의 주관적인 만족도, 심층인터뷰에 대해서만 조사가 이루어져 다양한 비교분석이 어렵다는 점도 제한적이다. Andago[®]의 경우 다양한 선행 연구들을 통해 효과가 입증된 반면 지면보행보조장치는 개발단계의 제품으로 근본적인 차이로 인해 만족도 조사결과에 영향을 미칠 수 있다.

향후 연구에서는 이를 보완하기 위해 보행 분석, 근전도와 같은 정량적 분석을 통해 보행의 즉각적인 효과를 비교하는 등의 다양한 비교 평가 체계와 보행 개선 효과 및 발생 가능한 부작용 등의 잠재적인 변화를 알아보기 위한 임상 중재 연구가 필요하다.

이러한 제한적인 결과에도 불구하고 본 연구는 국산 지면보행보조로봇의 안전성이 상용화 수준에 도달했음을 증명하고, 물리적 안전 뿐만 아니라 심리적 안전의 중요성을 확인하였다는 데 의의가 있다.

V. 결 론

본 연구는 한국에서 개발된 지면보행 보조로봇인 지면보행보조장치의 상용화를 위한 개발을 위해 상용화된 Andago[®]와 비교하여 임상적용을 위한 사용성 평가를 실시하였다. 뇌졸중 환자를 대상으로 만족도 조사와 심층 인터뷰 결과 지면보행보조장치는 선행되었던 첫 번째 사용성 평가의 결과보다 개선된 점수를 나타냈지만, 여전히 Andago[®]에 비해 만족도가 낮은 것으로 나타났다.

이러한 결과는 구조적 및 기술적 요소에 대한 물리적 안전성과 이에 대한 심리적 안전성의 영향에 의해 비롯된 것으로 나타났다. 특히, 실제와 같은 보행훈련을 제공하기 위해 기술적 요소에서 보행 메커니즘을 고려한 사용자 추적 기술의 개선이 필요하며, 보행의 안전성 향상을 위해 물리적 안전 뿐만 아니라 심리적 안전에 대한 중요성을 확인하며, 이를 입증할 다양한 연구들이 필요할 것으로 생각된다.

향후 연구에서는 실제 사용자를 포함한 보행 훈련을 주도하는 물리치료를 포함하여 임상적 의견 조사와 함께 장기적인 사용

과 훈련 효과에 대한 임상적 적용 효과에 대한 분석 등 향후 임상에 적용할 수 있는 포괄적인 평가가 수행하여 제품 상용화를 위한 근거로 사용될 수 있는 결과들을 검증해야한다.

【감사의 글】

본 과제(결과물)는 2025년도 교육부 및 충청북도의 재원으로 충북RISE센터의 지원을 받아 수행된 지역혁신중심 대학지원체계(RISE) 글로벌대학30의 결과입니다. (2025-RISE-11-004)

참고문헌

- 고령친화산업지원센터. 사용성평가 기준. 인터넷홈페이지. 주소:<https://www.khid-i.or.kr/board?menuId=MENU00310&siteId=SITE00003>
- Alwardat M, Etoom M, Al Dajah S, et al. Effectiveness of robot-assisted gait training on motor impairments in people with Parkinson's disease: a systematic review and meta-analysis. *Int J Rehabil Res* 2018;41(4):287-296.
- Balaban B, Tok F. Gait disturbances in patients with stroke. *PM R* 2014;6(7):635-642.
- Calabro R S, Sorrentino G, Cassio A, et al. Robotic-assisted gait rehabilitation following stroke: a systematic review of current guidelines and practical clinical recommendations. *Eur J Phys Rehabil Med* 2021;57(3):460-471.
- Cho J E, Yoo J S, Kim K E, et al. Systematic review of appropriate robotic intervention for gait function in subacute stroke patients. *Biomed Res Int* 2018;(1):4085298.
- Cowan R E, Fregly B J, Boninger M L, et al. Recent trends in assistive technology for mobility. *J Neuroeng Rehabil* 2012;9(1):20.
- Cunningham C, O'Sullivan R, Caserotti P, et al. Consequences of physical inactivity in older adults: A systematic review of reviews and meta-analyses. *Scand J Med Sci Sports* 2020;30(5):816-827.
- Fay A, Synott E, McDaid E, et al. 111 The influence of the ANDAGO® on gait parameters among older adults in the post-acute rehabilitation setting: a pilot study. *Age Ageing* 2022;51(Supplement_3):afac218. 091.
- Fay A, Synott E, McDaid E, et al. A comparison of the immediate effects of the Andago over ground body weight support trainer versus over ground walking on selected gait parameters in a post-acute rehabilitation population. *Physiother Theory and Pract* 2024;40(4):767-777.
- Freivogel S, Schmalohr D, Mehrholz J. Improved walking ability and reduced therapeutic stress with an electro-mechanical gait device. *J Rehabil Med* 2009;41(9):734-739.
- Hesse S, Schmidt H, Werner C, et al. Upper and lower extremity robotic devices for rehabilitation and for studying motor control. *Curr Opin Neurol* 2003;16(6):705-710.
- Hwang D, Choi E, Cho K. Usability test for an over-ground walking assistance robotic device based on the Mecanum wheel. *Appl Sci* 2025;15(10):5294.
- Jang J U, Choi E P, Cho K H. Effect of active over-ground body weight-support walking system on balance and

- gait ability in stroke: A randomized controlled trial. *Physiother Pract Res* 2025;46(2):129-137.
- Kim M, Cho K, Lee W. Community walking training program improves walking function and social participation in chronic stroke patients. *Tohoku J Exp Med* 2014;234(4):281-286.
- Kochman M, Kasprzak M, Kielar A. The impact of proprioception impairment on gait function in stroke survivors: a comprehensive review. *Front Neurol* 2025;16:1577919.
- Lee J H, Kim G. Effectiveness of robot-assisted gait training in stroke rehabilitation: A systematic review and meta-analysis. *J Clin Med* 2025;14(13):4809.
- Marks D, Schweinfurther R, Dewor A, et al. The Andago for overground gait training in patients with gait disorders after stroke-results from a usability study. *Physiother Res Rep* 2019;2(2):1-8.
- Mehrholtz J, Kugler J, Pohl M, et al. Electromechanical-assisted training for walking after stroke. *Cochrane Database of Syst Rev* 2025;(5):CD006185.
- Mikolajczyk T, Ciobanu I, Badea D I, et al. Advanced technology for gait rehabilitation: An overview. *Advances in Mechanical Engineering* 2018;10(7):1687814018783627.
- Patterson K K, Gage W H, Brooks D, et al. Evaluation of gait symmetry after stroke: a comparison of current methods and recommendations for standardization. *Gait Posture* 2010;31(2):241-246.
- Perry J, Burnfield J. *Gait analysis: normal and pathological function*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press; 2024.
- Ramos-Rojas J, Pérez-Martín E, Del-Ama AJ. Overground, body weight supported gait training robots: A scoping review. *IEEE Access*. 2025;13:50794-50812.
- Scheffer A C, Schuurmans M J, Van Dijk N, et al. Fear of falling: measurement strategy, prevalence, risk factors and consequences among older persons. *Age Ageing* 2008;37(1):19-24.
- Selanon P, Chuangchai W. Walking activity increases physical abilities and subjective health in people with seven different types of disabilities. *Front Public Health* 2023;11:1120926.
- Sirlantzis K, Larsen LB, Kanumuru LK, et al. Robotics. In: Cowan D, Najafi L, editors. *Handbook of Electronic Assistive Technology*. 1st ed. Amsterdam: Academic Press; 2019. p.311-345.
- Straudi S, Fanciullacci C, Martinuzzi C, et al. The effects of robot-assisted gait training in progressive multiple sclerosis: a randomized controlled trial. *Mult Scler* 2016;22(3):373-384.
- Urendes E, Asín-Prieto G, Ceres R, et al. HYBRID: Ambulatory robotic gait trainer with movement induction and partial weight support. *Sensors* 2019;19(21):4773.
- van Hedel H J, Rosselli I, Baumgartner-Ricklin S. Clinical utility of the over-ground bodyweight-supporting walking system Andago in children and youths with gait impairments. *J Neuroeng Rehabil* 2021;18(1):29.
- Winstein C J, Stein J, Arena R, et al. Guidelines for adult stroke rehabilitation and recovery: a guideline for healthcare professionals from the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke* 2016;47(6):e98-e169.
- Yavuzer G, Geler-Külcü D, Sonel-Tur B, et al. Neuromuscular electric stimulation effect on lower-extremity motor recovery and gait kinematics of patients with stroke: a randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil* 2006;87(4):536-540.