

# 고령자 보행변수 실측을 통한 보행시설물 설계기준 정립 1: 고령자 보행특성을 고려한 계단 첩면 높이 연구

노창균 · 박범진\*

한국건설기술연구원 도로연구소

## A Study on the Design Criteria of Pedestrian Facility (Stairs) by Motion Analysis of Walking Parameters in the Elderly

ROH, Chang-Gyun · PARK, Bum Jin\*

Highway and Transportation Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Gyeonggi 10223, Korea

\*Corresponding author: [park\\_bumjin@kict.re.kr](mailto:park_bumjin@kict.re.kr)

### Abstract

In Korea, the number of elderly has been increasing rapidly. So it is also expected that the economic activity and the trip frequency of the elderly will increase. On the other hand, elderly related accidents such as falls during walking are steadily increasing and the satisfaction about pedestrian environment of elderly is very low. In this paper, we found one of the reasons for these dissatisfaction in pedestrian facility, which is not considering the walking ability (about 75% of non-elderly person) of the elderly. So, we analyze the kinematic walking characteristics of the elderly with the motion analysis system, when the elderly use stairs.

As a result of analysis of various walking variables, the current standard for stairway height in Korean law (18cm) requires excessive force to elderly so it was difficult for elderly to keep the balance of the body in ascending and descending walk of stairs. In this paper, we propose the stair design criteria through the cluster analysis of walking parameters reflecting the gait characteristics of the elderly. This change is not a big for non-elderly person, but it can promote more socioeconomic activities for the elderly.

**keywords:** elderly, motion analysis, pedestrian facility (stairs), walking factor, walking variable, walking characteristic

### 초록

한국은 고령자가 폭발적으로 증가하고 있다. 또한 고령자의 경제활동과 고령자의 통행빈도 또한 증가 할 것으로 예상된다. 반면에 고령자의 보행 중 낙상 등의 사고는 꾸준히 증가하고 있으며, 고령자의 보행시설 만족도는 최하위이다. 본 논문에서는 이러한 결과의 이유들 중에 하나를 고령자들의 보행능력(일반인 대비 약 75%)을 고려하지 않은 보행 교통 시설물에서 찾았다. 이에 고령자들이 가장 불편함을 호소하는 계단 이용시 나타나는 고령자의 운동역학적인 보행 특성을 동작분석시스템으로 알아보았다. 여러 보행변수들을 분석한 결과, 현재의 계단 높이로

J. Korean Soc. Transp.  
Vol.35, No.5, pp.396-408, October 2017  
<https://doi.org/10.7470/jkst.2017.35.5.396>

pISSN : 1229-1366  
eISSN : 2234-4217

Received: 21 August 2017

Revised: 20 September 2017

Accepted: 25 October 2017

Copyright ©  
Korean Society of Transportation

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

규정되어 있는 18cm의 계단 높이는 고령자가 오름과 내림 보행 시 과도한 힘이 소요되며, 신체 중심이 흔들려 몸의 균형을 잡기에도 어려운 것으로 분석되었다. 이에 본 논문에서는 고령자 집단의 보행특성을 보여주는 보행변수들 간의 군집분석을 통하여 계단 쉼면의 높이를 15cm 이하로 설정할 것 등의 계단 설계 기준을 제시하였다. 이는 일반인에게는 큰 변화는 아니지만 고령자에게는 통행빈도와 활동범위를 넓혀 보다 많은 사회경제 활동을 촉진 시킬 수 있을 것이다.

**주요어:** 고령자, 동작분석, 보행시설(계단), 보행요소, 보행변수, 보행특성

## 서론

대한민국은 세계에서 가장 빠른 속도로 고령화가 진행 중이다. 통계자료에 따르면 대한민국은 2025년에 전체 인구의 20%(1,000만 명)가 65세 이상인 초고령사회(Super Aged Society)로 진입이 예상된다. 이와 함께 고령자 경제활동인구의 가파른 상승과 고령자의 통행빈도 증가가 예상된다.

Choo(2013)는 고령자의 통행빈도가 예전에 비하여 증가하고 있음을 수도권 가구통행실태조사분석을 통해 밝혔고, 한국건설기술연구원(KICT, 2016)에 따르면 고령자의 경제활동인구 비율도 2025년에는 2010년 대비하여 2배 이상(전체 경제활동인구 중 약 12%)이 상승할 것으로 전망하였다.

따라서 고령자 수의 폭발적인 증가와 더불어 고령자의 경제활동 증가를 고려한다면, 향후 고령자의 통행빈도가 더욱 큰 폭으로 증가될 것이 예상된다. 좀 더 현실적으로 표현하면, 미래의 대한민국은 예전의 고령자보다 통행빈도 수가 증가된 1,000만 명의 고령자가 보행과 관련된 교통시설물들(이하, 보행시설물)을 이용하고, 이들 중 약 120만 명의 고령자는 경제활동을 지속적으로 진행하므로 보행시설물들을 현재의 일반인 수준으로 이용하게 될 것이다. 따라서, 모든 통행은 보행을 동반함(Won, 2006)을 감안한다면, 앞으로의 계단, 보도와 같은 보행시설물들은 교통약자인 고령자를 중심으로 설계되어야 보행자의 편의와 보행 중 낙상 등의 안전사고 예방에 적절할 것은 자명한 사실이다. 하지만, 현재의 보행과 관련된 교통시설물은 고령자가 사용하기에 많은 부분에서 안전하지 않으며, 이용이 불편한 것으로 조사되었다(KICT, 2016).

우리나라 고령자의 보행 교통사고 비율은 OECD 국가 중에 최고수준이며 고령자의 교통사망사고의 약 50%는 보행 중 발생하는 것으로 조사되었다. 또한 한국소비자원 소비자안전국의 ‘계단 사고 관련 위해정보 분석 결과’(2011)에 따르면 조사기간(2009-2011년) 내 위해정보 수집 건수 상위 1위가 계단이며, 미국의 경우 2009년 NEISS (National Electronic Injury Surveillance System, 전미 위해 감시 시스템)에 접수된 위해정보 중 위해품목 상위 1위가 계단으로 조사되었다. 상기 보고서의 분석 결과에 따르면 계단의 위해원인으로 47.2%가 추락 및 낙상으로 제시하고 있다. 계단 보행시에는 수평 이동(translation)과 함께 신체의 들림(lifting)이 크게 나타남에 따라 균형 유지의 어려움이 발생(McFadyen and Winter, 1988)하며, 이에 따라 낙상사고의 위험이 증가한다.

또한 교통약자 이동편의 실태조사 결과(MOLIT, 2016)에 따르면 고령자의 보행환경의 기준 적합률은 평균(66.4%)에 비하여 떨어지며 만족도도 낮은 것으로 발표되었다. 만족도가 상대적으로 낮게 도출된 원인으로는, Roh(2016)의 연구결과와 같이 현 보행 교통시설물에 고령자의 보행능력(일반인의 75% 수준)을 반영하지 못하였기 때문으로 판단된다. 또한, Moon(2016)의 연구결과에 따르면 고령자의 교통시설물이용 만족도는 일반인에 비하여 낮으며, 특히 단차가 있는 계단의 사용이 가장 불편한 것으로 조사하였다. 실제로 계단의 쉼면 높이는 교통약자 이동 편의시설 설치 관리 매뉴얼 등에서 18cm 이하로 규정하고 있으나, 이는 주택건설기준 등에 관한 규정에서 제시된 값과 동일한 것으로 1991년 이래로 단 한 차례도 변경된 바가 없다. Eun(2004)의 연구에 따르면, 고령자들은 근력의 약화와 신체 협응 능력의 저하로 인해 보행에 많은 어려움을 겪고 있으며, 고령자 보행 중 대표적인 장애 요소가 계단 임을 분석을 통해 제시하였다. 따라서 초고령사회 진입에 대한 대비가 필요한 대한민국도 고령자의 안전하고 편리한 보행시설 이용을 위해서는 고령자의 신체 및 보행 능력을 반영한 보행시설물들의 설계기준이 필요한 시점이다.

이에 본 논문은 고령자의 실제 보행 능력을 운동역학에서 사용하는 동작분석시스템을 활용하여 알아보았다. 이를 통하여 계단과 관련된 고령자의 보행특성을 나타내는 보행변수 값을 실측·분석하여 현재의 계단관련 설계기준을 고령자의 실제 보행특성을 반영하여 재정립하고자 한다. 본 연구는 Figure 1과 같은 순서로 진행하였다.

도출된 보행변수들 중에 고령자의 계단 보행능력을 알아보기에 적절한 보행변수를 운동역학 전문가의 자문과 문헌을 활용하여 선정하고 통계분석을 통하여 계단 첩면 높이 관련 설계기준에 반영될 수 있는 요소를 알아보았다.

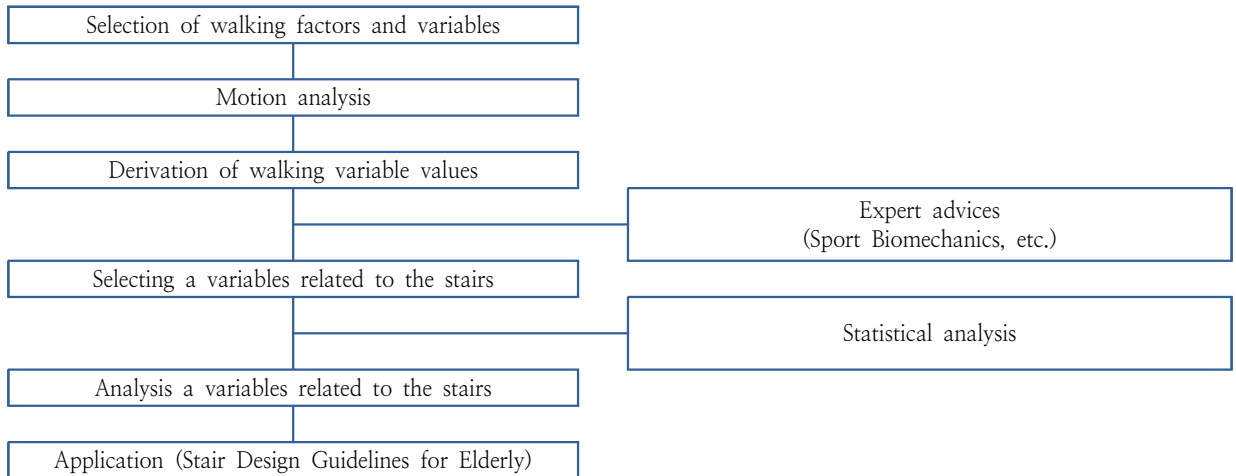


Figure 1. Research flow

## 문헌 고찰 및 계단 관련 변수 정의

### 1. 고령자의 계단 시설 이용시 불편사항 연구

KICT(2016)에서 제시한 건강한 고령자<sup>1)</sup>를 대상으로 계단, 지하도, 육교, 경사로, 횡단보도, 지하철역, 버스정류장, 일반보도 및 에스컬레이터 등 일상생활 중 접하게 되는 시설물에 대한 종합 불편도 분석 결과, 계단에 대한 불편도가 가장 높은 것으로 나타났다. 여기서 계단 시설 이용시 고령자의 불편사항을 세부적으로 조사한 결과는 Table 1과 같다. 계단의 경우 동일한 높이를 올라갈 때, 계단의 높이 높음과 계단수 많음 등 불편 순위가 높은 2개 항목을 동시에 충족시키는 것은 불가능하다. 이는 계단의 높이를 낮추면 계단의 수가 증가하기 때문이다. 이와 같은 측면에서 고령자의 이동편의를 증진시키기 위해서는 고령자의 보행특성을 반영한 계단의 적정 높이를 도출하고, 계단보행 중 설 수 있는 계단 참의 배치가 필요할 것이다.

상기 연구와 같이 고령자의 계단 보행시 불편사항을 개선하기 위해서는 고령자의 계단보행시 보행특성을 진단하고, 보행특성에 기반한 설계지침이 필요할 것으로 판단된다.

Table 1. Discomfort reasons when using stairs

Rank	Discomfort reasons	Discomfort score	
		Row	Converted
1	Step height	566	1.00
2	Step count	561	0.99
3	Handrail (None/Cpld)	511	0.90
4	Narrow staircase width	425	0.75
5	Narrow passage width	382	0.67

source: KICT (2016)

1) 질병 및 사고 없이, 자연적 노화로 인한 신체 및 인지 기능 저하만 발생한 고령자

## 2. 계단 설계 기준 검토

국내 계단 시설물은 ‘주택건설기준 등에 관한 규정(국토교통부 주택건설공급과, 2017.2.3 개정)’에 따르고 있다. 상기 규정의 제16조(계단)에 제시된 계단의 종류별 기준은 Table 2와 같으며, 단(철퍀면) 높이를 포함한 설계 기준의 세부 수치는 1991년 1월 제정된 이후 변경된 바 없이 유지되고 있다.

**Table 2.** Design criteria of stairs

Sort	Effective width (cm)	Height (cm)	Width (cm)
Common stairs	$\geq 120$	$\leq 18$	$\geq 26$
Exterior stair	$\geq 90$	$\leq 20$	$\geq 24$

source: MOLIT (2017)

고령자 등 교통약자의 이동편의 증진을 위해 제정된 약칭 ‘장애인등편의법 시행규칙’인 ‘장애인·노인·임산부 등의 편의증진 보장에 관한 법률 시행규칙(보건복지부 장애인권익지원과, 2016.6.30 개정)’에는 시행규칙의 별표로 편의시설의 구조·재질 등에 관한 세부기준을 마련하고 있다. 세부기준 중 장애인 등의 통행이 가능한 계단의 단(철퍀면) 높이세부 기준으로 제시된 수치는 “디딤판의 너비는 0.28미터 이상, 철퍀면의 높이는 0.18미터 이하로 하되, 동일한 계단(참을 설치하는 경우 참까지의 계단을 말한다)에서 디딤판의 너비와 철퍀면의 높이는 균일하게 하여야 한다.”로 제시되어 있다.

상기 두 설계기준에 따르면, 계단 관련 일반 시설물 설계 기준과 교통약자를 위해 마련된 시설물 설계 기준의 철퍀면 높이는 모두 18cm 이하로 동일하게 제시되어 있는 실정이다. 이에 따라 공간적·비용적 제약 사항에 의해 옥내·외 계단은 대부분 18cm에 맞추어 관련 규정에는 적합하게 공급되고 있다. 아무리 규정에 적합하게 공급된 계단 시설물이라 할지라도 Table 1에서 제시한 바와 같이 고령자의 이용에는 불편함이 많다. 이는 기존 시설물의 설계기준이 보행특성에 대한 고려는 이뤄지지 않고, 신체 사이즈를 기반으로 작성되었기 때문이라 판단된다. McFadyen and Winter(1988)가 제시한 보행시 발생하는 신체의 들림(lifting)은 계단(철퍀면)의 높이에 따라 크고 적은 정도가 발생하며, 이에 따라 신체 능력 대비 과대한 철퍀면의 높이를 갖는 계단을 보행할 경우 낙상의 위험은 커지게 된다. 이에 본 연구에서는 적절한 계단 철퍀면 높이를 도출하기 위한 보행변수, 측정 방법을 다음과 같이 검토하여 분석을 시행하였다.

## 3. Gait분석에 활용되는 계단 관련 보행변수 관련

Perry(2010)는 그의 저서에서 보행관련 변수를 규정하고, 각 변수의 특징을 제시하였다. 이를 바탕으로 Roh(2016)는 평지보행 및 교통시설과 관련하여 활용할 수 있는 보행변수를 제시하였으며, 본 연구에서는 이를 기본적으로 검토하고 운동역학 전문가의 자문을 통해 계단보행에 적합한 변수를 최종 선별하였다. 그 결과는 Table 3과 같다.

경사로 보행시 안정적인 보행을 수행하기 위해서는 적절한 신체 균형이 유지되어야 한다. 특히 균형이 무너질 경우 낙상사고의 위험이 크므로 이와 관련된 변수의 측정이 필수적이다. 이에 본 연구에서는 무게중심점(Center of Mass, COM) 및 압력중심점(Center of Pressure, COP)를 측정하여 분석하였다. Jung (2005)에 따르면 COM은 인체 질량의 중심으로, 인체의 각 부위에 분포된 질량의 평균위치이다. 따라서 COM을 중력의 중심(Center of Gravity)라고도 한다. 또한 지면반력기를 통해 추출되는 힘은 지면과의 접촉면에 적용하는 모든 힘의 합력으로 나타나며, 이 힘의 작용점을 COP로 정의한다. 이와 같은 인체의 무게 및 압력 중심점의 움직임 거리를 기준으로 보행시 균형을 유지하고 있는지 판단할 수 있다.

**Table 3. Pedestrian response variables for walking variables**

Variable	Definition		
Balance (m)	Center of Mass (COM)	Full body	The point where all th mass of a body is concentrated
		Pelvic	the point about which a body would balance without a tendency to rotate
Angle (°)	Center of Pressure (COP)	Pelvic	The point where the resultant of all ground reaction force act
	Pelvic Frontal Tilt	Pelvic	Angle of the pelvic moves during walking
		Trunk	Angle of the trunk moves during walking
	Knee Flexion	Right	Knee angle of the right foot
		Left	Knee angle of the left foot
	Plantal Flexion	Right	Plantal angle of the Right foot at Flexion
		Left	Plantal angle of the Left foot at Flexion
Moments (Nm)	Shoulder Flexion	Right	Shoulder angle of the Right arm at Flexion
		Left	Shoulder angle of the left arm at Flexion
	Pelvic Frontal Tilt		The maximum strength of the pelvic tilt
	Knee Flexion	Right	The maximum strength of the right leg when the knee bends
	Left	The maximum strength of the left leg when the knee bends	
Ankle Plantal Flexion	Right		The maximum strength of the right foot when the ankle bends
	Left		The maximum strength of the left foot when the ankle bends
Shoulder Flexion	Right		The maximum strength of the right arm when the shoulder bends
	Left		The maximum strength of the left arm when the shoulder bends

계단 보행시 신체 주요 부위의 관절 각도 또한 주요한 변수로 선정하였다. 신체 전반적인 각도(Angle of Pelvic Frontal Tilt, Angle of Shoulder Flexion)를 통해 비정상적인 신체각도 유지 여부를 관찰하였다. 계단 높이의 적절성 판단을 위해 하지 중 무릎(knee)과 족저근(Plantal)의 각도를 측정하여 분석하였다. 힘의 크기(Moments) 변화에 대한 측정 또한 신체 관절 측정 부위(Knee, Ankle, Shoulder)를 대상으로 시행하였다.

본 연구에서는 균형요인 변수값, 신체 주요 부위의 관절 각도 및 힘의 크기를 기준으로 고령자가 신체적 무리없이 보행 가능한 계단 높이를 실험을 통해 측정하고자 하였다. 낮은 높이의 계단을 오르 내릴때의 신체적 특성값 대비 특정 변수값이 증가 할 때의 계단 높이를 도출하고자 하였다. 이를 위해 다음과 같이 계단 높이를 가변적으로 변경할 수 있는 가변 계단 보행로를 제작하여 연구에 활용하였다.

## 고령자 계단 보행특성 측정 방법론

### 1. 가변 계단 보행로

계단의 쉘면(계단면)의 높이를 가변적으로 조절할 수 있는 형태의 가변 계단 보행로를 별도 제작하여 본 연구에 활용하였다. 가변 계단 보행로는 크게 계단부, 쉘면 높이 조작부, 핸드레일부, 계단참부로 구성하되 다음과 같은 요소별 설계원칙을 수립하여 Figure 2와 같이 제작하였다.

계단보행의 측정은 총 5개 단의 계단을 연속적으로 오르고 내릴 때의 보행특성을 측정하였다. 실제 측정시에는 측정 및 분석의 한계로 인하여 계단 한 단의 높이(쉘면 높이)를 시설기준인 18cm와 10cm, 15cm 등 총 3개 높이만을 대상으로 시행하였다.

이와 같은 계단 쉘면 높이를 설정한 근거는 다음과 같다. 현 시설기준에 해당하는 계단을 보행시의 보행특성을 측정하고자 하였으며(18cm), 가장 낮은 10cm는 운동역학 및 보행분석 분야의 기존 문헌의 계단 보행시 가장 낮은 계단 쉘면의 높이로 설정하는 값으로 Eun (2004)의 연구방법을 차용하였다. 운동역학 및 보행분석 분야에서는 계단 1 단의 높이가 10cm인 계단 보행시에는 평지보행과 보행특성에 있어 큰 차이가 발생하지 않으므로 이를 기준으로 타 높이의 계단과 비교를 시행하고 있다.



Figure 2. Variable stair walkway

〈가변 계단 설계 원칙〉

- 계단참부: 계단을 모두 올라간 후 다시 내려오기 위해 몸을 회전하고, 대기할 수 있는 공간
- 핸드레일이 설치: 피실험자의 낙상 예방 기능 / 탈부착이 가능(이동 핸드레일 설치 가능)
- 2단 및 3단에 힘측정판 매립 및 고정
- 계단 단수 / 높이 변화 범위:
  - 5단 / 최소 10cm~최대 50cm(5단의 계단 높이가 동시에 동일 높이로 조절)
  - 가용 하중: 250kg의 하중에도 변형이 발생하지 않아야 함(허용하중 500kg 이상)
  - 크기: 계단면: 폭-350mm, 너비-1,200mm, 계단참부: 최소 1,000mm×1,000mm 확보

15cm의 높이는 고령자 편의를 위해 일부 계단 높이를 완화한 경우 적용하고 있는 높이(Press release(Issue Jeju: Asian Economy, 2016)이다. 그러나 15cm를 계단 첩면의 높이로 선정한 근거가 없으므로 공학적인 분석 결과를 통해 검증할 필요가 있다고 판단하였다.

2. 동작분석시스템

시설물에 대한 조사는 만족도 또는 선호도 조사가 간편하고 빠른 결론을 이끌어내기 용이하다. 교통분야에서도 전문가 또는 사용자를 대상으로 한 설문조사(AHP 등)를 기반으로 한 조사(대중교통 시책평가 및 교통약자 이동편의 실태조사 등)가 주를 이루고 있다.

그러나 이와 같은 조사는 고령자를 대상으로 정확한 결론을 끌어내는 것이 어려울 뿐만 아니라, 객관적인 수치에 의한 적정 시설 기준을 도출하기에는 무리가 있다. 이에 본 연구에서는 운동역학 및 재활공학 분야에서 신체의 움직임을 분석함에 있어 최근 첨단 기법으로 활용하고 있는 동작분석시스템(Press release(The Kyunghyang Shinmun, 2016)을 적용하여 계단 보행시 보행특성을 측정하여 분석하고자 하였다.

고령자의 첩면높이에 따른 Table 3에 제시된 보행변수 측정을 위해 Motion Analysis사의 Motion capture system을 사용하였으며, 사용된 장비와 하드웨어 및 소프트웨어는 Table 4와 같다.



Figure 3. Motion analysis system and S/W

**Table 4.** Measurement equipment and analysis program

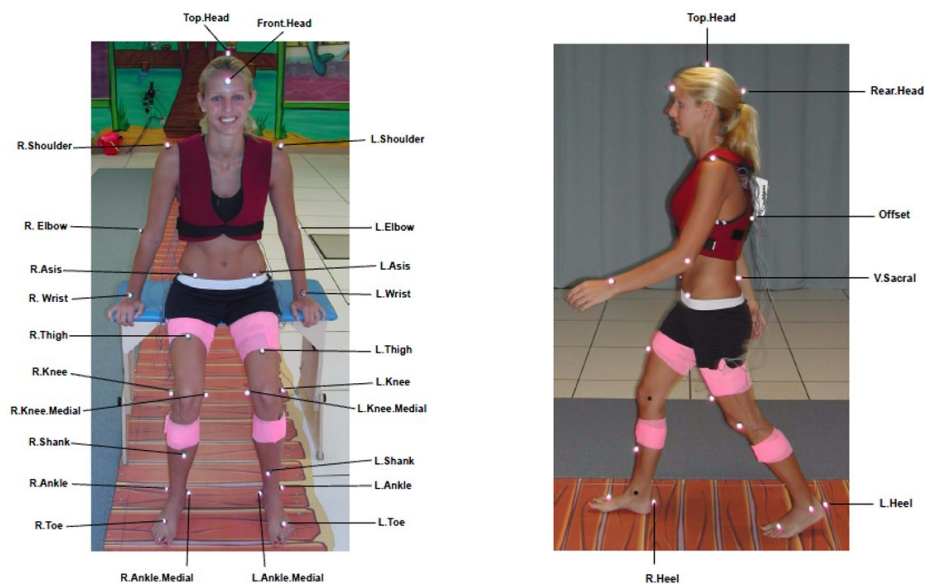
Instrument		Model	Manufacturing country
Hardware	CCD camera	Raptor-E	USA
		Eagle-4	
	VCR	Gopro	Korea
	Force plate	9260AA6	USA
Software	Cortex	ver. 6.0	USA
	Othotrack	ver. 5.0	USA
	SPSS	ver. 21.0	USA

본 연구에서는 보행동작 동작 분석을 위한 영상 장비로 4대의 Raptor-E 및 8대의 Eagle-4 적외선 카메라를 사용하였다. 카메라의 촬영속도는 120frames/sec으로 하였으며, 셔터속도는 1/1000sec로 하였다. 지면반발력은 KISTLER사의 힘측정판(Force plate, Type 9260AA6) 2대(600m×500mm×50mm)를 계단의 3단 및 4단의 중앙부에 설치하여 측정하였으며, 취득률은 1200Hz로 설정 하였다. 영상장비와 지면반력기의 동조는 전기적 동조(electrical sync.)를 이용하여 두 장비의 시작 시점을 동일화 하였다. 영상에서 추출된 좌표 데이터는 2차 Butterworth 저역통과 필터를 이용하여 평활화를 하였으며 사용된 차단주파수는 6Hz이었다.

### 3. 동작분석 측정

피험자들은 상지 관절이 보이는 민소매와 타이즈를 착용하였으며, 발목관절의 움직임을 정확히 측정하기 위하여 신발은 미착용 하였다. 또한, 영상 분석 시 관절부위의 좌표획득과 분절 축 형성을 위해 Figure 4와 같이 Helen-Hayes marker set 방법에 따라 신체 부위에 총 29개의 마커를 부착하였으며, 직립자세를 취하게 한 후 신체분절 지수 산출을 위한 정적 촬영 후 무릎과 발목 내측에 부착된 마커들을 제거하고 총 25개의 마커가 부착된 상태에서 본 실험을 진행하였다.

평시 보행의 특성 측정을 위해 피측정자는 마커 부착 후 3-5회 왕복 연습보행을 시행하였으며, 이후 본측정을 시작하였다. 피측정자는 동일 높이의 계단 보행로를 3회 걷도록 하였으며, 총 3개 첩면 높이에 대해 보행특성을 측정하였다. 1개의 첩면 높이당 3회의 반복 측정값의 평균값을 피측정자의 해당 첩면 높이의 측정 값으로 활용하였다.



**Figure 4.** Helen Hayes marker (source: motion analysis user guidebook)

## 고령자 보행특성 변수 측정 및 분석

### 1. 피측정자의 선정 및 고령자 표준 비교

고령자 보행시설물 중 계단 시설물에 대한 적정 설계기준 수립을 위해 피측정 고령자를 선별하여 보행특성을 측정하였다. 계단 보행 측정시 균형감각이 크게 저하된 고령자는 낙상의 위험이 매우 크므로 다양한 계단 높이에 대한 측정이 불가능하므로 측정에서 제외하였다. 이와 같은 피측정자 선별 원칙을 기준으로 모집된 총 170명의 피측정 대상자 중 측정 및 최종 분석에 활용한 고령자 데이터는 39명으로 한정하였다.

Table 5는 실험에 참여한 고령자 실험군의 신장, 체중의 평균값을 정리한 표이다. 고령자 평균값으로 제시된 값은 보건복지부에서 2016년 12월에 발간한 2015 국민건강통계에서 제시한 60세 이상 고령자의 평균 신장 및 체중값이다. 본 연구에 참여한 고령자 피측정자와 국민건강통계의 고령자 평균은 최대오차 5.4% 이내이며, 특히 신장은 0.3%의 오차율로, 고령자 기준치와 유사하다고 판단된다.

Table 5. Standard contrast error

Sort		Average (Measurement)	Average (Standard)	Error rate
Male	Height	166.0 cm	166.5cm	- 0.3%
	Weight	63.9 kg	67.1kg	- 5.0%
Female	Height	154.0 cm	154.4cm	- 0.3%
	Weight	55.4 kg	58.4 kg	- 5.4%

### 2. 고령자 계단보행 특성 측정

계단(첼면)의 높이 18cm(현 시설 기준)는 계단 오름보행 및 내림보행시 불편함이 있는 높이인 반면, 10cm 높이는 고령자가 편안히 오름보행 및 내림보행을 수행할 수 있는 높이이다. 계단을 10cm 기준으로 설치할 경우 한 단을 오르내리기는 편한 반면, 계단의 개수가 기존 계단 대비 1.8배 증가(계단(첼면) 높이 18cm)하여 계단 개수의 증가에 따른 불편도가 증가하므로 계단 시설 전체 이용시 불편도는 감소하지 않는다. 따라서 고령자가 10cm 기준의 계단을 오르 내릴때와 유사한 보행특성을 유지할 수 있는 최대 계단(첼면) 높이를 도출하고, 이를 계단 시설에 적용하여 고령자의 시설 이용 불편사항을 최소화 할 수 있다.

계단(첼면) 높이에 따른 보행특성 변수별 평균값은 Table 6과 같으며, 큰 변화가 발생한 변수를 대상으로 고령자의 일반적인 계단보행 경향을 분석한 결과는 다음과 같다. 10cm에서 15cm로 계단 높이 상승시 신체의 들림(lifting)으로 인해 COP의 경우, 오름보행은 급격히 감소 및 내림보행은 급격히 증가하는 추세를 보였다. 이는 오름보행시 하지만을 이용하여 보행하는 특성이 나타나고, 내림보행시에는 급격히 신체 중심이 흔들려 균형잡힌 보행이 어려움을 의미한다. 또한 moments값은 15cm 이상에서 측정치가 둔화되는 현상이 발생하였다.

Table 6와 같이 계단(첼면) 높이의 증가에 따라 발목 moment의 크기보다 무릎 moment의 크기 변화가 상대적으로 큰 것으로 나타났다. 이는 고령자는 계단의 높이가 증가하게 될 경우, 신체를 하단에서 상단으로 밀어 올릴 때 발목 보다는 무릎 관절을 주로 이용함을 뜻한다. 이는 노화로 인한 대표 질환 중 하나인 무릎 통증 발생시 현 시설기준인 18cm 높이의 계단 이용시 고령자는 계단 보행이 더욱 힘들어 지게 된다. 이는 계단보행시 발목을 충분히 이용하여 상단의 계단바닥면과 발끝의 충돌 또는 걸림이 발생하지 않는 반면, 고령자의 보행 특성에 따라 발목을 충분히 사용하지 못해 계단 보행시 낙상의 위험이 커짐을 의미한다.

보행은 개인 성향 차이가 크게 작용하며 특히 고령자는 노화의 정도, 생활·활동 습관이 발현되어 개인별 특성 차이가 더욱 크게 발현될 수 있다. 따라서 총 39명의 피측정 대상자 중 Table 6에 제시한 측정 결과의 적정성을 검토하기 위하여 개별 2인의 보행자의 특성을 보다 상세히 비교·검토하였다. 제시된 결과치는 보행능력 기준 상위 10% 이내(39명 측정자 중 상위 4명 중 1인) 및 평균치에 유사한 고령자의 계단보행 특성 결과이다. Figure 5-10은 보행



**Table 6.** Characteristics of elderly walking by stairway

Sort	Walk up			Walk down					
	10cm	15cm	18cm	10cm	15cm	18cm			
Balance (m)	Center of Mass (COM)	Fullbody	0.18	0.17	0.17	0.18	0.17	0.17	
		Pelvic	0.18	0.17	0.17	0.18	0.17	0.17	
	Center of Pressure (COP)	pelvic	0.17	0.12	0.13	0.14	0.19	0.23	
Angle (°)	Pelvic Frontal Tilt	Pelvic	8.25	9.31	10.45	6.24	6.25	7.52	
		Trunk	12.62	13.37	12.55	15.52	17.19	16.90	
	Knee Flexion	Right	89.59	94.66	99.37	92.17	99.90	105.11	
		Left	91.70	97.71	103.73	95.95	103.10	107.85	
	Plantal Flexion	Right	27.07	30.23	33.43	38.16	40.30	41.83	
		Left	27.89	28.79	32.17	37.07	37.48	37.85	
	Shoulder Flexion	Right	16.13	15.94	16.55	21.61	24.38	26.04	
		Left	16.61	16.58	17.20	21.89	23.40	24.28	
	Moments (nm)	Pelvic Frontal Tilt		30.05	29.83	29.79	25.29	30.43	36.55
			Knee Flexion	Right	69.58	83.22	86.32	47.48	59.38
Left		60.51		72.68	77.04	42.74	53.95	60.15	
Ankle Plantal Flexion		Right	55.34	60.76	60.81	63.90	73.84	75.58	
		Left	61.72	64.79	64.84	69.39	72.06	83.94	
Shoulder Flexion		Right	3.22	3.58	4.27	3.23	3.76	4.10	
		Left	3.95	3.88	4.71	2.57	3.07	3.10	

능력이 좋은 고령자(피험자 A)의 보행특성이며, Figure 11-16은 측정 대상자의 평균치에 유사한 보행특성을 보유한 고령자(피험자 B)의 특성이다.

Figure 5-16은 고령자의 계단 보행 특성 대표변수(오른발(주 사용발)의 무릎 각도, 무릎 힘, COP 등 3개 변수)를 대상으로, 해당 변수의 측정치를 보행 1Cycle을 기준(1Cycle=100% Time)으로 도출하였다. 여기서 그래프 범례의 숫자는 계단(첼면)의 높이를 의미하며, ru는 오르보행의 오른발, rd는 내림보행의 오른발을 의미한다.

각 그림은 보행 1Cycle내의 변화를 도식화한 결과로, 그래프의 경향을 통해 일반적이지 않은 보행행태가 나타난 계단(첼면) 높이를 도출할 수 있다. 또한 그래프의 최고점을 통해 보행특성의 변화가 발생한 계단(첼면) 높이를 도출할 수 있다. 각 그림별 그래프의 경향은 계단(첼면) 높이에 관계없이 유사한 것으로 판단되며, 이에 따라 본 측정에 참여한 고령자의 계단 보행은 정상적으로 이루어진 것으로 분석되었다.

무릎의 각도 변화(Figure 5, 8, 11, 14)를 분석한 결과, 계단(첼면) 높이 10cm 보행시 무릎의 각도가 가장 좁은 각도를 사용하며, 18cm일때 무릎을 가장 많이 사용한다. 또한 무릎 각도만을 기준으로 분석한 결과, 계단(첼면) 높이 15, 18cm에서 유사한 peak값을 갖는 것으로 도출되었다. 이는 15cm 이상 계단(첼면) 높이의 계단 보행시 사용 가능한 무릎 각도가 제한적임을 의미한다.

Figure 6, 9, 12, 15는 무릎 힘(moments)의 변화를 분석한 결과이다. 피험자 A는 계단(첼면) 높이 18cm의 계단을 오르보행시 급격히 증가(진행방향의 반대방향)한 것으로 나타났다(Figure 6). 이는 개인의 보행특성에 따른 결과이나, 고령자는 18cm 높이의 계단은 보행시 과도한 힘이 필요함을 의미한다. 상기 내용은 Table 6에 제시한 변수별 평균값을 고려할 때, 보행능력이 상대적으로 낮은 집단에서 더욱 이러한 현상이 심화될 것으로 판단된다.

COP의 변화는 Figure 7, 10, 13, 16을 통해 분석하였다. COP의 변화는 계단(첼면) 15, 18cm에서 유사한 그래프가 나타났다. 특히 피험자 A는 10cm의 계단에서 COP의 변화가 가장 크다. 이는 10cm의 계단은 몸의 움직임을 통해 균형을 유지하며 보행하나, 15 및 18cm의 계단은 조심스러운 움직임이 발생하여 COP의 크기가 작아진 것으로 해석되었다.

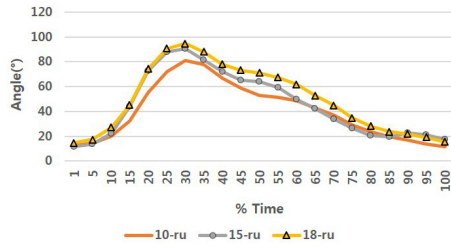


Figure 5. Trend analysis of right knee angle when walk up (Subject A)

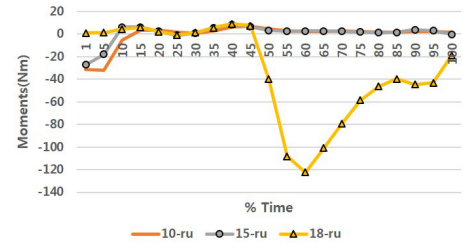


Figure 6. Trend analysis of right knee moments when walk up (Subject A)

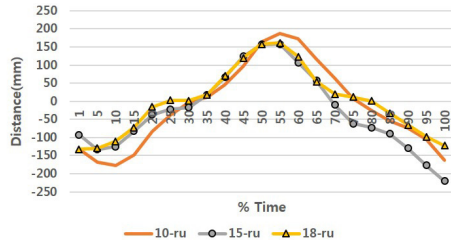


Figure 7. Trend analysis of COP when walk up (Subject A)

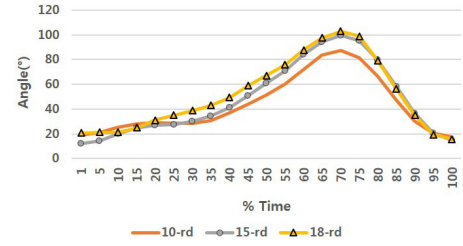


Figure 8. Trend analysis of right knee angle when walk down (Subject A)

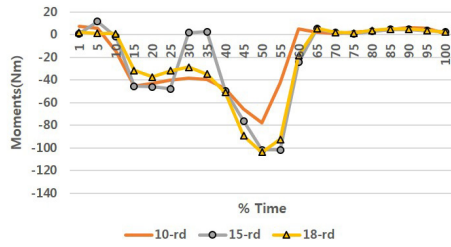


Figure 9. Trend analysis of right knee moments when walk down (Subject A)

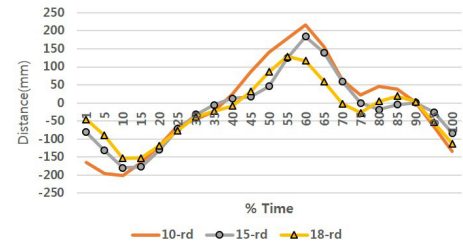


Figure 10. Trend analysis of COP when walk down (Subject A)

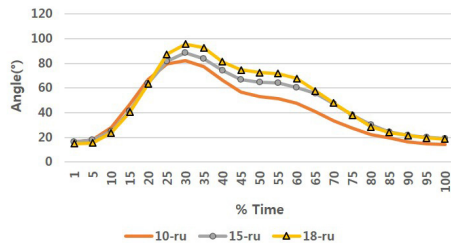


Figure 11. Trend analysis of right knee angle when walk up (Subject B)

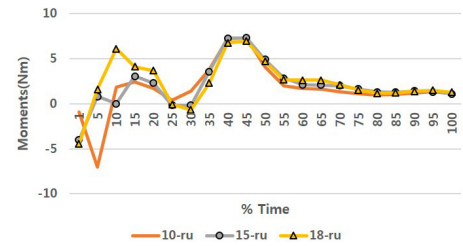


Figure 12. Trend analysis of right knee moments when walk up (Subject B)

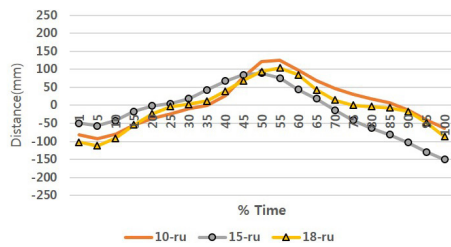


Figure 13. Trend analysis of COP when walk up (Subject B)

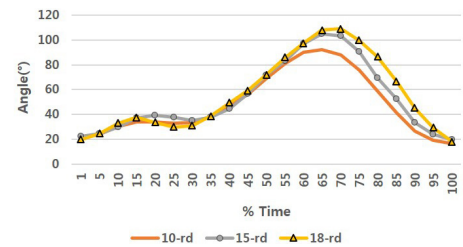


Figure 14. Trend analysis of right knee angle when walk down (Subject B)

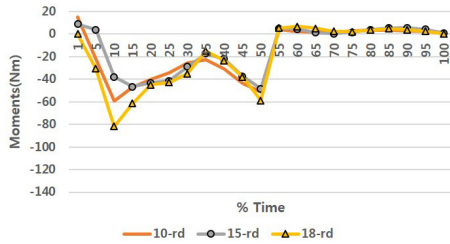


Figure 15. Trend analysis of right knee moments when walk down (Subject B)

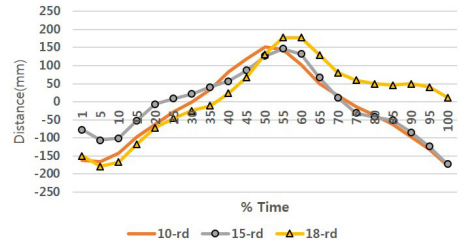


Figure 16. Trend analysis of COP when walk down (Subject B)

피험자별 특성에서도 계단(첼면) 15cm 높이에서 보행특성이 다르게 나타나는 것을 확인할 수 있었으며, 이는 Figure 17과 18과 같이 전 피험자의 보행특성 측정값을 이용하여 군집분석을 시행한 결과에서도 동일하게 나타났다.

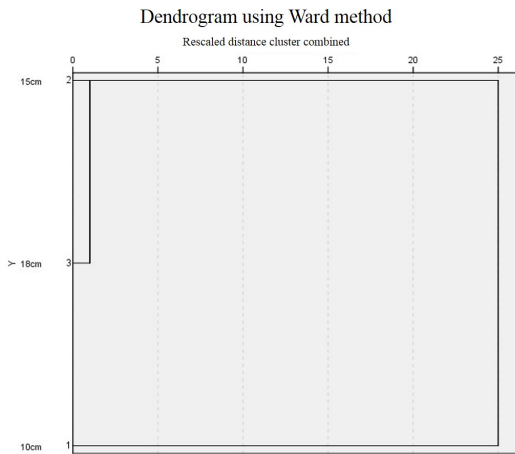


Figure 17. Cluster analysis result when walk up

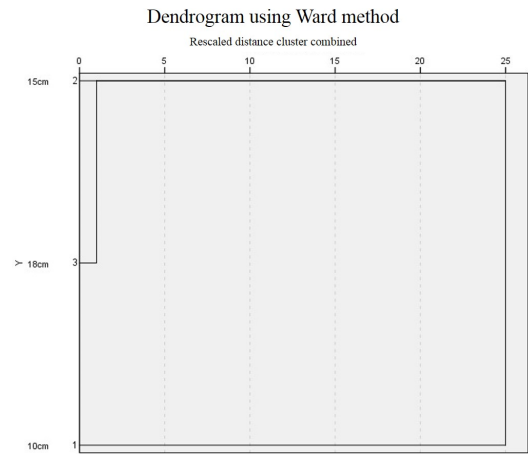


Figure 18. Cluster analysis result when walk down

Figure 17과 18은 보행특성 변수를 기준으로 계단(첼면)의 높이를 기준으로 군집분석을 시행한 결과로, 분석방법은 다음과 같다. 계층적 군집분석 시행 결과 계단 높이별 보행특성은 2개의 군집으로 구분됨을 확인하였다. 계층적 군집 분석 결과(2개 군집)를 기준으로 비계층적 군집분석을 시행하였으며, 오름보행 및 내림보행 모두 계단(첼면)의 높이가 10cm인 경우가 별도의 군집으로 분리되었으며, 15cm와 18cm인 경우가 1개의 군집으로 도출되었다. 즉, 계단(첼면) 높이별 보행특성은 높이 15cm 및 18cm인 경우 오름보행 및 내림보행 모두 유사한 보행특성이 나타남을 의미한다.

상기 분석 내용을 종합적으로 판단한 결과, 고령자의 보행시설 중 계단(단차) 시설은 15cm를 넘지 않도록 시설한 계로 설정하여야 한다는 결과를 도출하였다.

## 결론 및 향후 연구

고령자의 신체 손상 원인 중 가장 높은 비중을 차지하는 원인은 추락 및 미끄러짐 사고이다. 이는 일반인 남성의 손상 원인 중 추락/미끄러짐 비율이 21.1%인 반면, 고령자는 41.1%로 2배에 가까운 수치이며, 여성의 경우 63.0%에 이를 만큼 매우 큰 사고 원인으로 알려져 있다(MOHW, 2016).

이와 같은 미끄러짐 사고가 일반인 대비 고령자에게 크게 발생하는 이유를 보행 및 신체능력 저하에서 찾을 수 있다. 일반인을 기준으로 시설물의 설계 및 운영지침이 마련되어 있기 때문에, 고령자는 보행 및 신체능력 저하에 따라 본인의 신체 특성에 맞지 않는 시설 이용시 불편함과 함께 위험도가 증가한다. 이의 논거로 Table 7에 MOHW

(2016)에 제시된 19-29세 및 60-69세, 70+세의 신장 및 체중 분포를 제시하였다. Table 7과 같이 고령자는 신장의 경우 최대 8%(11.4cm) 및 체중은 14%(9.1kg)가 일반인 신체 사이즈와의 차이가 존재한다. 또한 Roh (2016)의 연구 결과에서 제시한 바와 같이 고령자의 평지 보행속도는 일반인 대비 72% 수준, 무릎 근력은 84%, 보폭 및 보장은 각각 81% 및 92%로 이를 뒷받침 하고 있다.

**Table 7. Standard body size by age**

Sort			Average (Standard)	Gap
Age 19-29	Male	Height	174.4 cm	
		Weight	73.0 kg	
	Female	Height	161.6 cm	-
		Weight	56.1 kg	
Age 60-69	Male	Height	166.5 cm	7.9
		Weight	67.1 kg	5.9
	Female	Height	154.4 cm	7.2
		Weight	58.4 kg	+ 2.3
Age 70+	Male	Height	164.2 cm	-10.2
		Weight	63.9 kg	9.1
	Female	Height	150.2 cm	-11.4
		Weight	55.4 kg	0.7

이와 같은 고령자 보행시 불편함 및 사고 위험도 경감을 위해 본 연구에서 본 연구에서는 고령자 보행특성을 분석 하였으며, 그 결과를 바탕으로 고령자 계단 보행시 적절한 계단 높이(첼면)를 제시하였다. 결과로 도출된 15cm는 기존 보행시설물의 시설 기준인 18cm보다 3cm 낮은 높이로, 고령자 이용시 균형, 하지 관절의 각도 및 근력에 큰 무리가 가지 않는 범위 내에서 이용 가능하다.

이와 같은 결과와 일반적인 계단 관련 시설 지침을 기반으로 다음과 같이 고령자 보행변수 실측 기반의 계단 보행로 설계 기준이 마련되어야 한다. 본 연구에서는 계단 보행로 설계 기준(안)을 예시로 제시하였다.

계단은 교통약자를 위해 재정된 기존 기준을 준용하되, 고령자의 보행 및 동작특성을 고려하여 고령자의 보행편의 개선 및 안전사고 예방을 위한 목적으로 계단의 높이 등 일부 시설 기준(한계)을 조정하여 제시하였다. 그 결과는 아래와 같다.

- ① 계단에는 반드시 첼면을 설치해야 한다.
- ② 고령자의 보행특성을 고려하여 디딤판의 넓이는 28cm 이상, 첼면의 높이는 15cm 이하로 하여야 한다.
- ③ 디딤판 넓이 및 첼면의 높이는 계단의 시작부부터 종점부까지 반드시 균일하게 유지되어야 한다.
- ④ 첼면에서 내민 계단코는 원형처리를 통해 걸려 넘어지지 않도록 해야 한다.
- ⑤ 계단의 첼면 하단은 수직면으로부터 2cm 안쪽으로 경사지도록 하여야 하며, 디딤판 및 계단참은 미끄러짐이 발생하지 않도록 표면처리 또는 별도의 미끄럼방지시설을 시공하여야 한다.
- ⑥ 계단의 시점 및 종점부의 계단코에는 색상, 재질 및 명암차 등을 통해 고령자에게 시설 시·종점에 대한 인지를 줄 수 줄 수 있어야 한다.

본 연구에서는 고령자의 계단보행 중 계단(첼면) 높이에 따른 보행특성만을 측정하고, 이를 통해 계단 설계기준에 적용할 수 있는 방안을 제시하였다. 본 연구의 한계로는 계단 바닥판의 너비 및 폭, 손잡이의 높이 및 재질, 디딤판 및 계단코 등 계단시설을 구성하는 타 요소에 대한 연구는 제외되어 있다. 그러나 고령자가 가장 불편을 호소하는 시설요소에 대한 기준 재정립이 이루어 졌음에 본 연구의 의의가 있다고 판단되며, 본 연구에서 제외된 시설요인의 설계기준에 대한 추가 후속 연구가 필요하다. 뿐만 아니라 계단 이외 경사로 시설의 설계기준에 대한 제시가 필요하다.

이와 같은 내용은 향후 추가 연구를 통해 제시할 예정이다.

또한 보행분석시스템을 이용하여 계단 이외 경사로 등 타 보행시설에 대한 분석 및 설계기준 정립으로 확대를 통해 고령자의 건강하고 안전한 보행자립여건 확보가 가능할 것이다.

이는 일반인에게는 큰 변화는 아니나, 고령자에게는 활동 범위를 넓힐 수 있고 보다 많은 사회·경제 활동을 촉진시킬 수 있다고 판단된다. 이와 같은 변화를 통해 앞으로 맞이 할 고령사회, 초고령사회를 보다 적극적으로 대응할 수 있는 기초가 될 것으로 기대한다.

## ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by a grant (Research Project ID-79209) from Transportation & Logistics Research Program funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport Affairs of Korean government.

## REFERENCES

- Choo S. H., Lee H. S., Shin H. S. (2013), Analyzing Changes in Travel Behavior of the Elderly Using Travel Diary Survey Data in Seoul Metropolitan Area, *The Korea Spatial Planning Review*, 76, KRIHS, 31-45.
- Eun S. D., Lee K. G., Seo J. D. (2004) The Study on the Gait Pattern in Stair-ascent Activity of Elderly Persons, *Journal of Sport and Leisure Studies*, 22, Korean Society of Sport and Leisure Studies, 511-522.
- Jung C. S. (2005), *General Theory of Kinematics*, Dehan Media.
- KICT (2016), *Technical Document for Development of Pedestrian Assistance Systems for Transport Vulnerables*, Korea Institute of Civil Engineering Technology.
- MOHW (2016), *2015 Health Behavior and Chronic Disease Statistics*.
- MOLIT (2017), *Regulations on Housing Construction Standards, etc.*
- Moon B. S., Roh C. G., Park B. J. (2016), Discomfort Analysis of Pedestrian Facilities for Elderly Pedestrians, *Transportation Technology and Policy*, 13(5), Korean Society of Transportation, 41-47.
- Motion Analysis User Guidebook (2016), Motion Analysis Korea.
- Perry J., Burnfield J. M. (2010), *Gait Analysis: Normal and Pathological Function*, 2e, Slack Incorporated.
- Press release (2016), Completed Maintenance of Green Stairs in Jongno-gu, *Asian Economy* (URL: <http://view.asiae.co.kr/news/view.htm?idxno=2016122016433262677>).
- Press release (2016), Korea University Guro Hospital '3D Motion Analysis System' Introduced the Cutting Edge Gait Analysis, *The Kyunghyang Shinmun*.
- Press release (2016), Stairs Maintenance for Sanbansan for Elderly People, *Issue Jeju* (URL: <https://www.issuejeju.com/news/article.html?no=160076>).
- Press release (2016), Survey of Moving Convenience for Transport Vulnerables, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Traffic Safety and Welfare Division.
- Roh C. G., Park B. J., Moon B. S., Kim J. S. (2016), Pedestrian Facility Improvements Method for Elderly, *The 74th Conference of KST, Korean Society of Transportation*, 628-633.
- Won J. M., Choi J. S. (2006), *Traffic Engineering*, Parkyoungsa.