고령자 보행특성을 고려한 경사보행로 시설한계 연구(고령자 보행변수 실측을 통한 보행시설물 설계기준 정립 2)

노창균 · 박범진*

한국건설기술연구원 미래융합연구본부 수석연구원

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

ROH, Chang-Gyun · PARK, Bum Jin*

Senior Researcher, Department of Future Technology and Convergence Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Gyeonggi, 10223, Korea

*Corresponding author: park_bumjin@kict.re.kr

Abstract

The aging population has increased the variety of activities of the elderly. According to a previous study, older people feel the physical burden of walking. In particular, the slope is under pressure due to continuous walking from start to end point. Madrid's International Action Plan on Aging published in 2002 by World Assembly on Aging (under UN) highlights the need to create an aged-friendly physical environment. It is expected that the elderly will be able to lead active lives. In this regard, it is necessary to set up facilities standards for aged-friendly ramps. This study used the operation Motion Analysis System to measure the characteristics of elderly walkers and their physical characteristics when walking 3°, 5°, 7° and 9° slopes. The target was for senior citizens who are similar to the average size of the nation's elderly. As a result, the largest changes in variables were measured at 5° to 7°. Therefore, for the elderly to safely and comfortably walk, the slope should be less than 7°. It is necessary to construct a pedestrian facility where an elderly person can walk in a similar form to a flat-land walk. It is expected that this will help the elderly to support their independence and prepare for an aged society.

Keywords: elderly, motion analysis, pedestrian facility (slope), walking characteristic, walking factor, walking variable

초록

전 세계적인 고령화로 인하여 고령자의 사회·경제·문화 활동이 증가하고 있다. 기존 연구에 따르면 고령자는 보행 중 신체적 부담을 느끼고 있으며, 특히 연속적인 보행으로 통행해야 하는 경사로 이용에 부담을 느끼고 있다. UN 산하의 World Assembly on Ageing에서 2002년에 발표한 ‘고령화에 관한 마드리드 국제행동계획’에서는 고령자의 능동적 생활을 장려하기 위한 대책으로, 고령 친화적 물리적 환경 조성이 필요함을 강조하고 있다. 이와 같은 측면에서 고령

J. Korean Soc. Transp.
Vol.36, No.5, pp.383-391, October 2018
<https://doi.org/10.7470/jkst.2018.36.5.383>
pISSN : 1229-1366
eISSN : 2234-4217

ARTICLE HISTORY

Received: 31 August 2018

Revised: 1 October 2018

Accepted: 31 October 2018

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.

친화적 경사로 보행을 위한 시설 기준 마련이 필요하다. 이를 위해 본 연구에서는 동작분석시스템을 이용하여 경사 각도 기준 3°, 5°, 7° 및 9° 등 4개 유형의 보행로를 대상으로 국내 평균 고령자 신체치수와 유사한 고령자의 보행 및 신체특성을 측정하였다. 그 결과 5°에서 7° 경사로 변화 시 가장 큰 동작 및 신체변수의 변화가 측정되었다. 이를 종합하여 볼 때, 고령자가 안전하고 편안한 보행을 위해서는 7° 미만의 경사로 보행로가 구성되어야 함을 의미한다. 이와 같은 고령자가 평지 보행과 유사한 형태로 보행이 가능한 보행 시설 구성을 통해 고령자의 자립 지원 및 적극적 고령 사회 대비가 가능할 것으로 기대한다.

주요어: 고령자, 동작분석, 보행시설(경사), 보행특성, 보행요소, 보행변수

서론

UN산하의 United Nations Population Found (UNFPA)은 2012년에 발간한 ‘Ageing in the Twenty-First Century: A Celebration and A Challenge’에 따르면 국가의 경제 수준과 관계없이 영양, 위생, 의료, 보건, 교육 및 경제생활의 개선에 따라 평균연령이 증가되었다. 2012년에는 고령 인구가 30% 이상인 국가는 일본이 유일하였으나, Figure 1과 같이 현 추세에 따르면 2050년에는 전세계 64개국 이 고령 인구가 30% 이상에 도달할 것으로 전망하고 있다. 이와 같은 전 세계적인 고령화로 인해 UN 등에서는 고령화 사회를 대비하여 고령자의 생활 환경 및 편의 증진을 위한 노력을 당부하고 있다. 대표적인 예로, World Assembly on Ageing는 2002년 스페인 마드리드에서 제2회 대회를 개최하여 ‘고령화에 관한 마드리드 국제행동계획(The Madrid International Plan of Action on Ageing)’을 채택하였다. 마드리드 국제행동계획에서는 고령자의 능동적 생활을 장려하기 위한 대책으로 고령 친화적 물리적 환경 조성을 강조하고 있다. 이는 고령화 정도에 따라 맞춤형 주택 및 이동수단 제공을 통해 고령자의 자립 유지, 사람들과의 교류 전진 및 사회 전체 구성원으로 활동을 지원하기 위해 활동에 적합한 시설 공급이 중요함을 의미한다.

Figure 1. Number of people aged 60 or over: World, developed and developing countries, 1950-2050

source: UNFPA(2012)

본 연구는 이와 같은 세계적 추세에 발맞추어 우리의 고령자 생활환경의 개선 및 고령자 삶의 질(QoL) 향상을 위해 고령자의 통행 패턴 및 행태에 대한 검토, 고령자 통행 중 가장 불편함을 호소하는 시설 중 하나인 경사로에 대한 개선방향에 대한 연구 결과를 제시하였다. 연구 내용 및 결과를 제시하기에 앞서 본 연구는 고령화 사회 대비 계단 시설의 설계기준을 제시한 Roh(2017) 연구의 후속 연구로, 동일한 피험자 및 장비를 이용하여 측정 및 분석하였음을 밝힌다.

관련 연구 검토

1. 고령자 특성을 고려한 시설기준 연구

도로·교통분야에서 고령자의 특성을 고려한 시설 연구는 극히 제한되어 있다. 국내 지자체에서 교통약자의 이동 편의 증진을 위해 계단 높이를 낮추고 경사로를 신설하고 있으나, 이때 적용하고 있는 기준의 근거가 부족한 현실이다. 일반적인 시설 기준이 제시된 ‘주택건설기준 등에 관한 규정(국토교통부 주택건설공급과, 2017.2.3. 개정)’의 계단의 단 높이와 교통약자를 위해 재정된 ‘장애인·노인·임산부 등의 편의증진 보장에 관한 법률 시행규칙(보건복지부 장애인권익지원과, 2016.6.30 개정)’의 시행규칙에 제시된 계단 단 높이의 시설한계가 18cm로 동일하다. Roh(2017) 연구에서는 고령자가 이와 같은 시설을 이용할 때 체감하는 신체적 부담 및 사고 위험성(균형 상실 등)을 객관적으로 분석하여 계단시설의 설계기준을 제시하였다.

Roh(2017) 연구는 2015 국민건강통계에서 제시한 60대 이상 고령자의 평균 신장 및 체중과 유사한 고령자 39명을 대상으로 계단 높이를 10cm, 15cm 및 18cm로 변화하였을 때 발생하는 신체 및 보행특성을 측정 및 분석하였다. 계단 높이에 따른 Balance, Angle, Moments 관련 변수 14개를 분석한 결과 계단의 오름 및 내림 보행 모두 15cm 높이에서 변화가 발생함을 분석하였다. 이를 통해 고령자를 위한 계단은 시설한계를 15cm 넘지 않도록 하여야 한다는 결론을 제시하였다.

경사로와 관련된 연구로는 일부 물리치료학 및 운동역학 분야에서 연구된 바 있으나, 정상인의 하지관절(Han et al., 2005), 압력중심 이동경로 및 족저압 비교(Han et al., 2008) 및 고령자 하지 근활성도(Han et al., 2009) 연구 등으로 한정되어 있다. 기존 연구 검토 결과, 경사로 오름보행에서 유의미한 족저압 변화가 발생하였음을 결과로 제시하였다.

상기 기존 연구 검토 결과와 같이, 도로·교통분야에서는 시설기준 마련을 위해 보행자의 신체 및 운동, 보행특성을 분석한 연구는 Roh(2017) 연구 등으로 극히 제한적이고, 그 외 물리치료학 및 운동역학 분야에서는 근전도 및 족저압 등 해당 분야에 관심의 대상이 되는 분야의 연구에 한정되어 시설 기준의 근거로 활용하기에는 불가능한 연구가 대부분이다. 따라서 향후 고령사회를 대비하여 보다 심도 깊은 연구가 필요 할 것으로 예상된다.

2. 고령자 통행 패턴 변화

Table 1, 2와 같이 Korea Transport Data Base에서 제공하고 있는 자료에 따르면, 2016년 기준 60세 이상 남성의 45.6% 및 여성의 경우 67.2%가 보행을 통행수단으로 조사되었다. 최근 10년간 총 통행은 1.48 → 1.77통행/일/인(남성)으로 증가하였으며, 이 중 출근 및 여가 통행이 약 2배가량 증가하였다. 여성의 경우 출근통행이 3통행 이상 증가하였고, 여가통행은 0.09에서 0.24로 2배 이상 증가하여 총 목적 통행수 또한 약 2통행이 증가하였다.

Table 1. Elderly's purpose of trip

(unit: trip/day/elderly)

	Year	Commute	For school	For business	For shopping	For leisure	Etc.	To home	Total
Male	2006	0.28	0.00	0.09	0.05	0.12	0.26	0.67	1.48
	2016	0.45	0.00	0.05	0.04	0.23	0.16	0.83	1.77
Female	2006	0.05	0.00	0.01	0.07	0.09	0.22	0.38	0.83
	2016	0.16	0.00	0.01	0.15	0.24	0.24	0.74	1.55

Table 2. Mode share of Elderly's trip

	Year	Walking	Passenger car	Bus	Rail (subway)	Taxi	Bicycle	Total
Male	2006	17.7%	28.7%	24.4%	19.1%	1.5%	3.4%	100%
	2016	45.6%	24.6%	12.3%	6.4%	0.9%	4.3%	100%
Female	2006	32.1%	14.4%	36.0%	14.5%	1.8%	0.5%	100%
	2016	67.2%	9.3%	15.7%	4.7%	1.3%	0.7%	100%

이와 같은 통계적 고령자의 통행을 분석한 결과, 고령화에 따라 고령자의 경제·사회·문화 활동이 급격히 증가하는 추세가 나타나고 있으며 이때 고령자는 도보의 형태로 이동함을 의미한다. 급속한 고령화에 따라 이와 같은 경향은 더욱 가속화 될 것이며, 통행이 증가한 만큼 고령자의 안전한 보행을 지원하기 위한 시설 및 환경에 대한 중요성은 더욱 강조되어야 한다.

3. 보행시설물별 불편도

KICT(2018)의 연구결과에 따르면 보행시설물에 대한 조사 결과 고령자는 계단, 육교, 경사로, 지하도 등 상하이동시설에 대한 불편 및 불만족을 호소하고 있으며, 이와 같은 시설이 본인의 보행특성 및 신체특성과 맞지 않아 낙상사고 및 이에 준하는 위험상황을 경험한 빈도가 높다고 나타났다. 특히 계단과 경사로에 대한 불편도가 가장 높게 나타났다.

계단 및 육교에 이어 3번째로 이용에 불편함이 큰 것으로 결과가 도출된 경사로의 경우, 경사로의 경사각도가 고령자가 이용하기에 너무 급하여 낙상의 위험이 큰 것으로 조사되었다. 고령자를 대상으로 한 면접조사 결과, 계단의 경우 이용 중 계단에 앉거나 난간을 잡고 쉬는 행위가 가능한 반면 경사로는 경사면 이용 중 쉬는 것이 매우 어렵다는 답변을 얻을 수 있었다. 또한 무릎 등 하지에 불편함이 있는 고령자일수록 계단보다 경사로 이용이 더욱 불편하다고 의견을 제시하였다. 지팡이 등 보행보조기구를 사용할 경우 계단은 지지가 용이한 반면, 경사로는 미끄러짐 발생 등으로 낙상 또는 위험상황을 경험한 경우가 존재하는 것으로 조사되었다.

이와 같은 측면에서 종합적인 불편도는 계단이 높은 반면, 안전사고의 위험성은 경사로에서 더욱 클 것으로 예상된다. 이에 본 연구는 경사 각도별 고령자의 보행 및 신체특성을 측정하고, 그 결과를 분석하여 고령자가 보다 안전하게 이용할 수 있는 경사로 시설 한계를 도출하였다.

피측정자 구성 및 분석 방법론

1. 피측정자 구성 및 측정방법

Table 3은 국내 고령자 평균 및 피측정자의 신체 치수이다. 고령자 평균값으로 제시된 값은 2015 국민건강통계(보건복지부) 60세 이상 고령자의 평균 신장 및 체중값으로, 이를 기준으로 총 170명의 피측정자를 모집하였으며 이 중 관절부의 수술 또는 치료 이력이 없으며 보행에 장애가 없다고 판정된 건강한 고령자 39명을 대상으로 경사보행 측정 및 분석을 시행하였다.

Table 3. Standard contrast error

Sort		Average		Error rate
		Measurement	Standard	
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	58.4kg	-5.4%

선별된 39명의 피측정 고령자는 국민건강통계 기준값과 최대오차 5.4%이내(여성 체중 기준) 이내로 고령자 기준치와 유사한 고령자를 대상으로 측정 및 분석이 이루어졌다고 할 수 있다.

2. 분석을 위한 측정 시스템 구성

본 연구에서는 경사각도에 따른 고령자의 신체 및 보행동작 분석을 위해 Figure 2의 좌측 그림과 같이 Motion Analysis사의 Motion capture system을 사용하였다. 사용한 12대의 적외선 카메라의 설정은 촬영속도 120frames/sec 및 셔터속도는 1/1,000sec로 하였다.

Figure 2. Measurement system for analysis

영상에서 추출된 좌표 데이터는 2차 Butterworth 저역통과 필터를 이용하여 평활화를 하였으며, 사용된 차단주파수는 6Hz이다. 측정을 위해 제작한 가변 경사 보행로의 제원은 다음과 같다.

- 구조: 경사면의 중앙부를 중심으로 2개의 힘측정판을 매립 및 고정
- 경사각도 조절 범위: 최소 3°-최대 15°
- 가용 하중: 250kg의 하중에도 변형이 발생하지 않아야 함(허용하중 500kg 이상)
- 크기
 - 경사면: 폭-1,200mm, 너비-6,500mm 이상
 - 대기공간(안전지대): 최소 1,200×1,200mm 확보

가변 계단 및 경사 보행로는 Figure 2의 중앙그림과 같이 유압장치를 이용하여 자유롭게 계단 첩면 높이 및 경사로의 경사 각도를 자유롭게 변경이 가능하도록 하였다. Figure 2의 우측 그림과 같이 Helen-hayes marker Set을 신체 29개 부위에 부착하여 고령자가 다양한 경사로를 오르내릴 때의 신체 및 보행특성을 측정하였다.

3. 분석 데이터 정의

경사각도에 따른 신체 및 보행특성 측정 및 경사각도에 따른 변화를 비교분석하기 위해 총 18개의 변수를 선정하여 측정 및 분석하였다. 이는 Perry(2010)의 Gait analysis의 변수 중 평지 및 경사로 관련 검토, 전문가 자문을 통해 최종 도출한 결과로 선정된 변수 및 변수별 세부 설명은 Table 4와 같다. 변수 중 Angle 및 Walking factor는 변수명과 같이 신체 특정 부위의 각도 및 보행관련 변수 길이 등을 측정한 결과이다. Balance 관련한 변수인 COM 및 COP는 Gait Analysis 및 운동역학 분야에서 주로 활용되는 변수로, 신체의 움직임 크기를 측정하는 변수에 해당된다. 신체무게중심을 의미하는 COM (Center of Mass)는 무게중심의 위치 변화(3차원 좌표로 측정)를 기준으로 비정상적인 위치변화가 발생하는지 유무 등을 확인할 수 있는 변수이다.

Table 4. Explanation of variance

Variance		Details
COM (m)	Full body	The point where all the mass of a body is concentrated.
	Pelvic	The point about which a body would balance without a tendency to rotate.
Full body velocity (cm/s)		The rate of change of its position with respect to a frame of reference (vector quantity, kinematics,)
COP (m)	Pelvic	The point where the resultant of all ground reaction force act.
Angle (°)	Pelvic.tilt (front)	Angle of the pelvic moves during walking
	R.knee (flexion)	Knee angle of the right foot
	L.knee (flexion)	Knee angle of the left foot
	R.ankle (plantal flexion)	Plantal angle of the Right foot at Flexion
	L.ankle (plantal flexion)	Plantal angle of the Left foot at Flexion
	Trunk.tilt (front)	Angle of the trunk moves during walking
	R.shoulder (flexion)	Shoulder angle of the Right arm at Flexion
	L.shoulder (flexion)	Shoulder angle of the left arm at Flexion
Walking factor	Walking speed (cm/sec)	The person's rate of travel by 1second required 1centimeter
	Step length (cm)	Distance between corresponding successive points of heel contact of the opposite feet
	Stride length (cm)	Sum of left and right step lengths
	Step width (cm)	Distance between right and left heel
	Cadence (steps/min)	Number of steps in a given times (1minutes)
	Walk ratio (cm/(steps/min))	Step length per cadence

압력중심점(Center of Pressure, COP)는 활용하는 분야 및 방법에 따라 보행 시 발바닥이 바닥면을 차고 나갈 때 발생하는 반작용(reaction) point 및 이때의 반작용 크기 등으로 정의된다. 본 연구에서는 반작용(reaction) point의 3차원 좌표 변화량을 기준으로 비정상적인 균형요인 변화를 측정하였다.

가변경사로를 이용하여 3°, 5°, 7° 및 9° 등 총 4개의 경사각도 구현하였으며, 각 경사 각도를 대상으로 Table 4와 같이 총 18개 변수를 측정하였으며, 각 경사각도별 오르보행과 내림보행을 각각 비교·분석하였다.

경사로 보행 특성 분석 결과

1. 주요 변수의 측정 결과

경사보행의 경우 3°, 5°, 7° 및 9° 등 4개의 각도를 기준으로 보행특성 변수를 측정하였다. 기존 연구의 경우 일반인을 대상으로 경사보행 시 균형이 무너지는 각도를 10°로 제시하고 있으나, 고령자를 대상으로 한 측정은 이루어진 바 없으며 고령자의 경우 균형을 유지하는 행위가 일반인보다 어려우므로 이와 같은 각도를 적용하는 것이 불가능할 것으로 예상되어 최대 한계 경사를 9°로 설정하였다. 따라서 평지보행능력 측정 시 균형능력이 우수한 고령자를 대상으로 경사보행을 측정하였으며, 측정은 낮은 각도의 경사를 시작으로 점차 높은 경사로 보행능력을 측정하였다. 이때 낮은 각도의 경사보행 시 균형의 무너지짐 현상이 관찰되거나 피측정자의 거부 의사가 있는 경우 해당 각도에서 측정을 중단하였다. 즉, 본 연구의 결과로 제시된 Table 5에 제시된 값은 고령자 중 해당 각도의 경사를 균형능력을 최대한 유지한 채 보행 가능한 고령자만을 대상으로 측정된 값이다.

Table 5. Measurement results of walking characteristics of elderly people according to slope's angle

		go up the slope				down the slope			
		3°	5°	7°	9°	3°	5°	7°	9°
COM (m)	Full body	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15
	Pelvic	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15
Full Body Velocity (cm/s)		-999.26	-986.37	-951.01	-896.54	1,295.51	1,258.69	1,183.89	1,097.87
COP (m)	pelvic	0.02	0.01	0.02	0.01	0.06	0.07	0.05	0.04
Angle (°)	Pelvic.Tilt(Front)	-5.76	-3.78	-7.78	-9.04	7.78	9.80	7.03	6.86
	R.Knee(Flexion)	69.63	68.67	71.07	72.25	74.59	74.06	78.46	79.02
	L.Knee(Flexion)	30.07	31.21	31.47	30.93	25.18	26.85	27.33	28.17
	R.Ankle(Plantal Flexion)	72.51	72.84	74.14	75.85	76.39	75.80	81.08	82.00
	L.Ankle(Plantal Flexion)	28.54	29.60	28.63	27.54	20.59	21.51	23.28	23.60
	Trunk.Tilt(Front)	-10.01	-8.96	-7.46	-6.94	-12.85	-12.75	-12.23	-11.12
	R.Shoulder(Flexion)	10.86	11.37	13.11	16.12	5.26	2.48	1.53	-1.71
	L.Shoulder(Flexion)	11.92	14.42	16.57	19.19	4.87	3.20	1.31	-1.02
Walking Factor	Walking Speed (cm/sec)	116.25	114.58	109.24	106.02	111.77	108.90	104.67	97.51
	Step Length(cm)	58.46	58.47	57.20	55.06	54.20	53.81	49.39	44.65
	Stride Length(cm)	116.25	117.86	114.33	109.23	108.06	103.71	97.19	87.53
	Step Width(cm)	10.06	10.26	8.73	8.91	11.03	11.02	10.83	11.01
	Cadence(steps/min)	119.23	115.90	114.44	116.66	124.40	126.78	129.71	144.50
	Walk Ratio(cm/(steps/min))	0.49	0.51	0.51	0.48	5.15	0.43	0.39	0.34

2. 경사 각도별 주요 보행변수 분석 결과

경사 보행시 보행특성을 분석한 결과, 경사각 기준 5°에서 7°로 변화시 가장 큰 보행특성의 변화가 관찰되었다. 이를 보다 확인하기 쉽도록 보행변수의 변화율만 별도로 정리한 결과를 Table 6과 같이 제시하였다. Table 6은 오르 보행 및 내림보행 모두 경사각도가 상승될 때의 낮은 각도의 경사로 대비 얼마나 더 큰 힘이 소비되는지, 신체의 움직임은 얼마나 커지거나 작아지는지를 측정하기 위해 낮은 경사의 측정값 대비 높은 경사의 측정값의 변화 정도를 제시한 결과이며 결과 해석 또한 동일한 방식으로 기술하였다. 변화율 분석은 그 아래 숫자까지를 포함하여 분석하였기에 Table 6에는 0이 아닌 계산된 변화율값을 표기하였다.

Table 6. Change rate of walking variables

		go up the slope			down the slope		
		3°→5°	5°→7°	7°→9°	3°→5°	5°→7°	7°→9°
COM (m)	Full body	-0.37%	0.24%	0.94%	-1.43%	0.43%	-0.44%
	Pelvic	-0.39%	0.28%	0.85%	-1.43%	0.35%	-0.51%
Full Body Velocity (cm/s)		-1.31%	-3.72%	-6.08%	-2.93%	-6.32%	-7.84%
COP (m)	pelvic	-52.26%	44.41%	-131.74%	3.61%	-27.03%	-29.08%
Angle (°)	Pelvic.Tilt(Front)	-52.38%	-51.41%	-13.94%	20.61%	-39.40%	-2.48%
	R.Knee(Flexion)	-1.40%	3.38%	1.63%	-0.72%	5.61%	0.71%
	L.Knee(Flexion)	3.65%	0.83%	-1.75%	6.22%	1.76%	2.98%
	R.Ankle(Plantal Flexion)	0.45%	1.75%	2.25%	-0.78%	6.51%	1.12%
	L.Ankle(Plantal Flexion)	3.58%	-3.39%	-3.96%	4.28%	7.60%	1.36%
	Trunk.Tilt(Front)	11.72%	20.11%	7.49%	0.78%	4.25%	9.98%
	R.Shoulder(Flexion)	4.49%	13.27%	18.67%	-112.10%	-62.09%	-189.47%
	L.Shoulder(Flexion)	17.34%	12.98%	13.65%	-52.19%	-144.27%	228.43%
Walking Factor	Walking Speed (cm/sec)	-1.46%	-4.89%	-3.04%	-2.64%	-4.04%	-7.34%
	Step Length(cm)	0.02%	-2.22%	-3.89%	-0.72%	-8.95%	-10.62%
	Stride Length(cm)	1.37%	-3.09%	-4.67%	-4.19%	-6.71%	-11.04%
	Step Width(cm)	1.95%	-17.53%	2.02%	-0.09%	-1.75%	1.63%
	Cadence(steps/min)	-2.87%	-1.28%	1.90%	1.88%	2.26%	10.24%
	Walk Ratio(cm/(steps/min))	3.92%	0.00%	-6.25%	-1,097.67%	-10.26%	-14.71%

3° 경사를 가장 균형유지가 용이하고, 평지보행과 유사한 형태로 보행할 수 있는 각도로 가정하고, 이때 측정된 값을 기준으로 5° 경사 보행 시 보행특성의 변화를 검토한 결과 상대적으로 변화량이 크지 않게 발생하였다.

5°에서 7°로 경사각도를 상승하여 측정한 결과, 보행속도가 약 5%로 급격히 감소하는 결과가 도출되었다. 특히 내림보행 시에도 보행속도가 감소하며, 이는 높이에 따른 부담감으로 인하여 의식적으로 보행속도를 감소한 것으로 분석되었다. 5°경사와는 달리 7°경사 보행 시 균형요인의 변화가 크게 발생하는 것으로 도출되었다. 이는 신체 중심의 흔들림의 변화 방향이 바뀌거나(부호 변화) 흔들림이 크게 증가 또는 감소하는 등 보행 시 평소 움직임과는 다른 움직임으로 인해 낙상 위험성 크게 증가할 수 있다. 39명의 피측정자는 7° 경사까지 모두 수행하였으며, 7° 경사로 보행시 체력적 부담을 느낀 2인을 제외한 37명을 대상으로 9° 경사로 보행 측정을 시행한 결과이다. 7° 경사로까지만 측정한 피측정자를 포함하여 39명의 피측정자는 대부분 실외 경사로의 경우 측정한 경사보다 급경사가 많으며, 이와 같은 경사 이용시에도 아무런 문제가 없다고 응답하였다. 그러나 피측정자의 실제 보행 데이터 분석결과 7° 경사로 보행시에도 균형요인의 측정값 및 신체움직임 범위의 변화가 감지되었다. 이를 종합한 결과, 고령자 경사 보행로의 경사각 시설한계는 주요 변수의 변화가 발생하는 7° 미만으로 도출되었다.

결론 및 향후 연구

본 연구에 참여한 피측정자를 대상으로 경사로 이용에 대한 사전 인터뷰를 조사한 결과 하지가 불안정한 고령자일수록 계단 이용이 용이한 반면 경사로에서 낙상의 위험을 더욱 느끼고 있다는 답변을 들을 수 있었다. 이는 고령자는 계단 및 경사로를 쉽게 연속하여 진입부부터 진출부까지 이동하는 것에 대한 부담이 있으며, 경우에 따라 시설 이용 도중에 제자리에 서서 쉬는 경우가 발생한다. 이러한 경우 계단은 계단참 또는 계단면이 평지와 수평을 이루기 때문에 손잡이를 이용할 경우 균형유지가 상대적으로 쉬운 반면, 경사로는 바닥면의 경사로 인해 균형 유지가 더욱 어렵다. 경사로의 경사각을 줄일수록 경사로의 길이가 길어지며, 이는 총 운동량의 증가로 불편함은 상쇄되지 않는다. 따라서 고령자가 균형력을 유지한 채 이동 가능한 최대 경사각을 산정하여 시설에 적용하는 것이 중요하다. 이러한 측면에서 본 연구에서 도출한 경사각도는 고령자 이용이 잦은 시설물 적용시 고령자의 불편도를 최소화 하며, 안전도를 증진시키는데 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

이를 위해 본 연구에서는 Balance 요인, Angle 요인, Walking Factor 요인 등 경사보행과 관련된 신체 및 보행요인을 구분하고, 이와 관련된 총 18개 변수를 선정하여 분석을 시행하였다. 국내 고령자 표준 신체치수를 보유한 고령자 39명을 선별적으로 측정하였으며, 3°, 5°, 7° 및 9° 등 총 4개의 경사각도별 보행 및 신체특성 변수에 대해 비교 분석 하였다.

본 연구에서는 경사각도에 따른 고령자 보행 및 신체 특성 변화 분석을 위해 Motion Analysis 기법을 사용하였다. 이는 운동역학, 의학 및 바이오테카닉 분야에서 오랫동안 사용하고 정제된 기술로, 본 연구 주제와 같은 상황별 특성 변화에 최적화된 기술이다. 다만, 특정 수치를 기준으로 좋다 나쁘다를 판단하지 못하고 종합적인 변화율 또는 변화 경향 등을 기준으로 그 결과를 판단해야 한다는 점에서 기술적 한계가 있다고 할 수 있다. 특히 보행은 특정 신체 또는 변수만으로 판단하기 어려울 만큼 머리끝부터 발끝까지 전 신체 기관을 이용하여 행해지는 운동형태이므로 특정변수보다는 모든 변수에 대한 종합적인 판단이 필요하다.

본 연구에서도 이와 같은 기술의 특성을 고려하여 경사각도에 따른 각 변수의 변화 경향(크기 및 변수 부호(양/음)의 변화 등)을 기준으로 고령자가 이용하기 상대적으로 용이한 경사각도를 찾고자 하였다. 그 결과 5°에서 7°로 경사각이 변화할 때 가장 큰 변화율 또는 부호의 변화가 발생하였음을 확인하였다. 이에 따라 본 연구의 결론으로 고령자의 안전하고 편안한 보행 지원을 위한 경사 보행로의 경사각 시설한계를 7°로 도출하였다.

본 연구의 배경 및 목적, 기존 연구 고찰 등에서 제시한 바와 같이 국내를 포함하여 전 세계적인 고령화에 적극적인 대비가 필요하다. 특히 고령자는 통행수단 중 보행의 비중이 높아지고 있는 바, 보행시설에 대한 정비가 시급하다고 판단된다. 그러나 교통약자를 위해 마련된 지침에서도 일반인을 대상으로 한 시설 기준과 차이가 없는 등 고령자

에 대한 대비가 사실상 전무한 실정이라 할 수 있다. 적극적인 고령화에 대비하고, 안전사고를 예방하기 위해 고령자의 신체 및 보행특성을 고려한 시설 공급이 필요하다고 판단되며, 이 관점에서 이와 관련된 기준을 마련하기 위한 방법, 변수 및 핵심적 시설 기준을 제시하였다는 점에서 본 연구의 의의가 있다고 판단된다. 이와 같은 방법을 통해 보다 다양한 시설 및 설계 요인에 대한 검토 및 검증이 필요할 것이다.

Funding

This research was supported by a grant (Research Project ID-18TLRP-B120446-04) from Transportation & Logistics Research Program funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport Affairs of Korean government.

알림

본 논문은 Road Safety on Five Continents (RS5C) 2018 (2018.5.18)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

ORCID

ROH, Chang-Gyun <http://orcid.org/0000-0003-1135-7868>

PARK, Bum Jin <http://orcid.org/0000-0001-5436-2654>

References

- Han J. T., Cho J. S., Bae S. S. (2006), The Spatio-temporal Analysis of Gait Characteristics during Ramp Ascent and Descent at Different Inclinations, *Korean J. Sport Biomechanics*, 18(1), 95-106.
- Han J. T., Gong W. T., Lee T. S. (2009), Comparison of Muscle Activity with Lower Extremity during Stairs and Ramp Climbing of Old Adults by EMG, *J. Korean Physical Therapy*, 21(1), 35-40.
- Han J. T., Kim K., Lim S. G. (2008), Comparison of Plantar Foot Pressure and Shift of COP among Level walking, Stairs and Slope Climbing, *Korean J. Sport Biomechanics*, 18(4), 59-65.
- KICT (2018), Development of Walking Assistant and Safety Enhancement Technology for Elderly Pedestrian(Final Report), Korea Institute of Civil Engineering Technology, Korea.
- Korea Transport Database(KTDB): www.ktdb.go.kr
- MOLIT (2007), Installation and Management Manual for Transportation Facilities for the Disabled(교통약자 이동편의 시설 설치 관리 매뉴얼).
- MOLIT (2017), Regulations on Housing Construction Technology, etc.(주택건설기술 등에 관한 규정).
- MOLIT (2017), The Act on the Promotion of Transportation Facilities for the Disabled(교통약자 이동편의 증진법).
- Motion Analysis User Guidebook (2016), Motion Analysis Korea.
- Perry J., Burnfield J. M. (2010), *Gait Analysis: Normal and Pathological Function*, 2e, Slack Incorporated.
- Roh C. G., Park B. J. (2017), A Study on the Design Criteria of Pedestrian Facility(Stairs) by Motion Analysis of Walking Parameters in the Elderly, *J. Korean Soc. Transp.*, 35(5), Korean Society of Transportation, 396-408.
- United Nations (2003), Political Declaration and Madrid International Plan of Action on Ageing, NY, USA.
- United Nations Population Fund (UNFPA) and Help Age International(2012), *Ageing in the Twenty-First Century: A Celebration and A Challenge*, NY, USA.