

보행시설 설계시 활용을 위한 고령자 보행특성 군집화 연구

노창균 · 박범진* · 문병섭

한국건설기술연구원 도로연구소

Clustering Analysis of Walking Characteristics of Elderly People for Use in Pedestrian Facilities Design

ROH, Chang-Gyun · PARK, Bum jin* · MOON, Byungsup

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

*Corresponding author: park_bumjin@kict.re.kr

Abstract

Korea is expected to enter ‘Super Aged Society’ in 2026. However, as walking is the very basic human right of mobility, securing safe and convenient moving of elderly people comprising the majority of transportation vulnerable is thought to be the most basic welfare, which can be easily neglected. From this perspectives, this study provides the walking characteristics of elderly people to be used in design of pedestrian facilities. The analysis of the measurements using Motion Analysis Systems shows that all walking factors of elderly people is 75% level of the younger group. Elderly group shows slower movement, reduced shoulder movement and increased ankle movement compared to the others. Also, foots are risen less and ground repulsive force is increased. Cluster analysis shows that the group of the elderly shows high variability inside the group, and 2 or 3 clusters can be formed with factors of Walking, Balance and Muscles. These walking characteristics can be used in designing pedestrian road, slope and step height of roadway facilities.

Keywords: cluster analysis, elderly, walking characteristic, walking factor, walking variable

초록

한국은 2026년에 초고령화 사회(super aged society)로 진입될 것으로 예상된다. 그럼에도 불구하고 보행은 인간의 기본적인 이동권리라는 측면에서 교통약자의 대부분을 차지하는 고령자의 안전하고 편리한 이동권리 확보는 가장 기초적인 복지로서 중요하지만 간과되기 쉽다. 이러한 측면에서 본 논문에서는 교통시설물을 설계시 활용을 위한 고령자의 보행특성을 분석하여 제시하였다. 운동역학적인 보행변수들을 일반인과 비교한 결과, 모든 변수들이 일반인에 비하여 약 75% 수준으로 분석되었다. 고령자는 일반인에 비하여 보행속도가 느리고, 어깨의 움직임이 적은 대신 발목의 움직임이 많으며, 발을 낮게 들며, 지면반발력이 크게 작용되는 등의 보행변수별 보행특성이 조사되었다. 또한 고령자 집단은 집단 안에서도 보행변수별로 서로 차이가 크며, 이를 walking · Balance · Muscles Factor 별로 2개 혹은 3개로 집단화가 가능함을 군집분석을 통하여 알아보았다. 이와 같은 고령자 보행특성은 보도, 경사 및 단차 등의 교통시설물 설계에 활용될 수 있을 것이다.

주요어: 군집분석, 고령자, 보행특성, 보행요소, 보행변수

J. Korean Soc. Transp.
Vol.34, No.5, pp.409-420, October 2016
<http://dx.doi.org/10.7470/jkst.2016.34.5.409>

pISSN : 1229-1366
eISSN : 2234-4217

Received: 20 June 2016

Revised: 28 July 2016

Accepted: 5 October 2016

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.

서론

운동역학에서는 보행을 인간의 신경계와 근골격계 등이 통합적으로 사용되는 과정으로, 많은 골격근과 관절이 상호협력을 통해 몸을 일정한 방향과 속도로 움직이게 하는 고도로 협응된 교대운동(J. Perry(2010))으로 정의하고 있다. 교통공학에서는 보행을 통행의 최소단위 이동형태로 정의하며, 통행목적에 따라 수많은 형태로 구분하고 있다. 또한 모든 목적 통행에는 반드시 보행행위가 발생하며, 이때 보행자의 안전성·효율성·편리성이 보장되어야 한다(Won(2006)). 또한 보행은 인간의 가장 일반적인 이동 혹은 통행형태이며, 무의식 혹은 의식적으로 이루어지고 있다고 규정하였다(Lee(2007)). 보행자 특성은 보도, 횡단보도 등의 보행시설의 설계·구축·운영에 막대한 영향(Won(2006))을 끼치기 때문에 많은 분석이 필요하다. 특히 교통약자 이동 편의증진법 제정 이후 이동편의 제공을 위하여 교통약자를 대상으로 보행자 특성 분석이 다수 이루어지고 있다. 여기서 교통약자란, 장애인, 고령자, 임산부, 영유아를 동반한 사람, 어린이 등 일상생활에서 이동에 불편을 느끼는 사람으로 정의된다.

교통약자 중 고령자의 증가는 향후 초고령화 사회(super aged society)의 진입이라는 사회적 관심사와 맞물려 경제·사회적으로 많은 변화가 예견되고 있다. 이와 관련하여 운동역학 분야에서는 일반인과 비교하였을 때 보행능력이 상대적으로 비교열위에 있는 고령자에 대한 관심이 증대되고 있으며, 고령자 중 신체부자유자 및 치매환자 등 일부 비정상적 보행능력을 갖는 고령자에 집중된 기존 연구방향과는 달리 최근에는 절대 다수에 해당하는 정상적인 고령보행자의 보행특성에 관한 연구가 필요함을 주장(Hong(2002))하고 있다. 보행은 태어나면서부터 오랜 기간에 걸쳐 일어나는 신경근육계, 생체역학적 그리고 운동 기능학적 변화로 이루어진 매우 복잡한 운동 패턴(Beck(1981))이나, 교통공학에서 다루고 교통시설물의 설계시에는 이와 같은 복잡한 운동 역학적인 요소가 충분히 반영되었다고 확신하기 어렵다. 이는 교통약자 이동편의 실태조사 결과(MOLIT(2016))에서 보행환경의 기준 적합률¹⁾과 보행환경 사용만족도가 타 수단 및 시설에 비하여 낮은 것과 KICT(2016)의 설문조사 및 Roh(2016)의 연구결과가 단초를 제공한다. 기존 연구에 따르면 설계기준에 적합하게 설치된 보행시설물을 이용시에도 교통약자는 계단 및 경사 이용시 큰 불편이 있음을 호소하였다. 계단, 육교 및 지하도의 경우 계단높이가 높고 계단수가 많으며 계단폭이 좁다고 응답하였다. 경사는 경사각이 급하고 보행시 경사길이가 길어 이용에 어려움이 있다고 응답하였다. 이는 보행시설물의 설계기준이 고령자의 보행특성에 부적합할 수 있음을 의미한다.

우리나라는 10년 후, 전 국민의 20%이상을 65세 이상의 고령자가 차지 할 것으로 전망되고 있다. 또한 현재 전체 교통약자의 50.2%가 고령자이며, 향후 폭발적인 고령자의 증가와 맞물려서 교통약자 중에 고령자가 차지하는 비율은 더욱 증가 할 것으로 예상된다(MOLIT(2016)). 따라서, 운동 역학적 요소를 반영하여 고령 보행자의 이동(통행)편리를 보장할 수 있는 교통시설물의 설치와 운영은 매우 시급한 일로 판단된다. 다시 말해 고령자의 운동역학적 보행변수를 통한 정확한 보행 특성을 연구하는 것은 초고령화 사회에 직면한 우리사회의 의무인 것이다.

이에 본 연구에서는 보행특성 분석에 사용하는 기존 보행변수 중 고령자 보행과 직접적인 관련이 있는 변수를 선택하여 고령자 보행변수로 정의하고, 측정 방법론을 고찰하였다. 본 연구에서는 보행분석시스템(Motion Analysis System)을 이용하여 고령자의 보행특성을 측정 및 제시하였으며, 군집분석을 통하여 보행변수를 기준으로 고령자 특성 집단을 구분하였다. 도출된 고령자 보행특성은 안전하고 편리한 보도, 경사 및 단차 등 교통시설물 설계에 반영할 수 있을 것으로 기대한다.

선행연구 고찰 및 고령자 보행변수 정의

1. 보행 관련

기존 교통공학 측면의 고령자 보행연구는 운동 역학 측면의 보행 보다는 사고 발생 원인을 분석하여 교통시설물 개선에 활용한 사례가 대부분이다. Lee(2011)는 고령자 교통사고 분석을 통해 사고를 발생시킨 원인을 밝히고, 피

1) 보행시설물의 설치 매뉴얼에 제시된 설치 규격 및 기준을 의미하며, 보행환경에 대한 2015년 조사시 기준적합율은 65.8%(평균 66.7%)이고, 만족도는 61%(평균 61%)로 조사되었음.

해자를 고령 보행자와 운전자로 구분하여 각각의 교통안전대책을 제시하였다. 즉, 고령자의 운동학적 보행특성 보다는 교통사고 결과로 유추한 고령자의 보행특성을 분석하고 있다. Jung(1998)은 횡단시설 이용시 고령자 거동을 보행속도측면에서 분석하였다. Roh(2015)는 고령자 보행자립도(능력) 분석을 위해 보행속도를 기준으로 하며, 보행속도에 영향을 미치는 보행변수들(협응성, 균형성 등)을 사용하여 보행자립도 모형을 도출하였다.

KHCM(2013)은 보행로의 용량분석, 보행밀도를 효과적으로 하여 보행류의 서비스수준을 판정하는데 중점을 두고 있다. 보행로 계획 수립시 고령자의 통행행태를 분석하여 교통수요 추정에 활용한 사례는 많다. Lee(2015)은 대중교통 통행유입 모형을 중심으로 고령자가 많이 유입되는 시간대별 공간별 수요를 분석하였다.

이와 같이 교통공학 분야에서는 보행행위 자체에 관한 연구 사례는 많지 않으며, 특히 고령자의 보행 연구는 교통 시설물들과 관련하여 고령자의 보행특성이 발현된 원인을 밝히기 보다는 보행특성을 통해 나온 결과인 교통사고와 만족도 분석 등이 대다수를 이루고 있다. 반면에 운동역학 분야에서는 교통시설물을 사용하는 고령자의 운동역학을 분석하기 보다는 고혈압 등의 특정 고령자 집단의 보행특성을 분석하는 연구를 주로 수행한다.

2. Gait분석에 활용되는 보행변수 관련

J. Perry(2010)는 그의 저서에서 Gait(걷는 자세 분석, 이하 Gait 분석)에서 보행과 관련된 여러 변수들을 설명하였다. 또한 Lee(2007)은 고령자의 보행특성 규정에 활용되는 보행변수를 시·공간적으로 구분하여 정의하였다. 이러한 보행분석 사례를 바탕으로 고령자의 보행에 영향을 미치는 보행변수 34개를 정리한 결과는 Table 1과 같으며, 독자의 이해를 돕고자 변수명은 영문과 함께 한글을 병기하였다.

Table 1. Variables related to walking

		variable
Physical (신체특성 항목)	age(연령)	height(신장)
	gender(성별)	weight(몸무게)
	body mass index(체질량지수)	body composition(체성분)
National Physical Fitness 100 (국민체력100 항목)	muscular function (upper body)(상지근력)	cardiorespiratory endurance(심폐지구력)
	flexibility(유연성)	balance(균형력)
	coordination(협응성)	
Cybex (등속운동 검사 항목)	lower body-extensor : peak torque (하지 신근(뺨근)의 최대 근력)	lower body-extensor: total work done (하지 신근(뺨근)의 총 운동량)
	lower body-extensor: average power per repetition (하지 신근(뺨근)의 평균 힘 크기)	lower body-flexor: average power per repetition (하지 굴근(굽힘근)의 평균 힘 크기)
	lower body-flexor: total work done (하지 굴근(굽힘근)의 총 운동량)	lower body-flexor: peak torque (하지 굴근(굽힘근)의 최대 근력)
Gate Analysis & Kinematic (보행 및 운동학적 변수)	Walking Speed(보행속도)	Walk Ratio(보행비율)
	Cadence(보행률)	Step Length(걸음 길이)
	Stride Length(활보장)	Step Width(보폭)
	Foot Clearance(바닥-발 사이 높이)	Center of Mass(무게중심 움직임)
	Pelvic Frontal Move(골반의 움직임 범위)	Tilt(Pelvic)(골반 기울기)
	Ground Reaction Force(지면지지만발력)	Joint torque at ankle(발목 관절 토크(근력))
	Peak torque at knee-flexior 무릎 굴근(굽힘근)의 최대 근력	Peak torque at knee-extensor 무릎 신근(뺨근)의 최대 근력
Angle of Shoulder(어깨 움직임 각도)	Angle of Ankle(발목 움직임 각도)	
SPPB(간편신체평가)	SPPB(Short Physical Performance battery) score (간단신체평가 점수)	

3. 고령자 보행변수의 선정

보행변수 검토를 통해 중복된 의미를 갖는 변수들은 주요 변수를 제외하고 배제하였다. 또한 정확한 계량 및 단위가 정해져 있어 측정치를 정량적으로 도출할 수 있는 변수만 우선 선별하였다. 선별된 변수를 대상으로 운동역학 전문가들의 자문의견을 수렴하여 고령자 보행특성 파악에 가장 유효한 보행변수를 17개 최종적으로 선정하였다. 이를 걷기요소(이하, Walking Factor), 균형요소(이하, Balance Factor), 근육요소(이하, Muscles Factor), 기타요소(이하, Etc.)로 구분하였으며, 구분된 고령자 보행특성 변수는 Table 2에 제시하였다.

Table 2. Elderly walking variables of each factor

Factor	Variable	Definition
Walking	Walking Speed (cm/sec)	the person's rate of travel by 1 second required 1 centimeter
	Walk Ratio(cm/(steps/min))	step length per cadence
	Cadence(steps/min)	number of steps in a given times(1 minutes)
	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
	Foot Clearance(°)	foot's height during the swing phase
Balance	Center of Mass (m)	unique point at the center of a distribution of mass in body
	Pelvic Frontal Move (m)	distance of the pelvic moves during walking
	Tilt(Pelvic)(°)	angle of the pelvic moves during walking
	Ground Reaction Force (N)	the force exerted by the ground on a body in contact
Muscles	Joint torque at ankle(Nm)	Joint torque at ankle
	Peak torque at knee-flexion(Nm)	the maximum strength of the leg when the knee bends
	Peak torque at knee-extension (Nm)	the maximum strength of the leg when the knee stretched out
Etc.	Angle of Shoulder(°)	Angle of Shoulder
	Angle of Ankle(°)	Angle of Ankle
	SPPB(score)	Score of Short Physical Performance Battery Test

고령자 보행특성변수 측정 방법론 정립

1. 기존 고령자 보행특성 측정 방법론 검토

고령자의 보행특성을 종합적으로 쉽게 파악하기 위한 알려진 측정 방법은 여러 가지가 있으나, 가장 정확한 도구는 동작분석시스템(본 논문에서 보행변수 측정에서 사용한 방법으로 다음절에 상세히 설명할 예정이다)이다. 하지만 설치 비용 과다 및 측정의 전문성 요구 등으로 인해 활용 측면에서 제약이 큰 것으로 알려져 있다. 비교적 간단하게 고령자의 보행특성을 파악하기 위한 측정방법은 기능적 뻗기 검사(Function Reach Tests, 이하 FRT), 일어나 걸어가기 검사(Time up & Go Test, 이하 TUG), 간편 신체 평가(Short Physical Performance Battery, 이하 SPPB) 등이 있다.

FRT는 고가의 장비를 사용하지 않고 일상에서 쉽게 적용할 수 있어 고령자의 전후 동적 균형능력을 평가하는데 많이 이용된다. 측정 방법은 서 있는 자세에서 고정된 기저면까지 팔을 최대한 어느 정도까지 앞으로 뻗을 수 있는지를 측정하는 것이다.

TUG는 기능적 운동성과 이동능력을 측정할 수 있는 측정방법이다. 의자에 앉은 자세에서 출발 신호와 함께 일어나 의자 전방에 표시된 3m 지점의 반환점을 되돌아와 의자에 다시 앉는 시점까지의 소요시간을 측정한다.

SPPB는 미국의 NIA(National institute of Aging, 국립노화연구소)가 노인의 역학연구 수행을 위해 개발한 검사 방법이다. 직립균형검사, 보행속도, 의자에서 5회 반복 일어나기 등 총 3가지 항목으로 구성되어 있으며, 각 항목마다 0점에서 4점까지 점수를 부여하여 총 12점 만점으로 평가한다. Park(2011)은 통계적으로 SPPB와 TUG, FRT 점수는 서로 통계적으로 유의한 상관성이 있으며, 고령자들의 신체기능과 균형과 보행능력에 높은 관련이 있음을 설

명하였다. Ferrucci(2000)는 노인들의 신체수행능력을 간단하게 평가하는 SPPB를 사용하여 71세 이상의 노인 3,381명을 대상으로 6년간 하지의 기능을 평가한 결과, SPPB는 향후 기능상실, 시설 입원, 사망에 대한 중요한 예측 변수로 사용될 수 있다고 주장하였다.

FRT, TUG 및 SPPB는 간편하고 특정 장소에 구애받지 않게 테스트할 수 있는 장점이 있으나, 보행특성을 정밀하고 종합적으로 판단하기에는 측정 결과가 단순하다. 또한 보행변수의 측정은 행위에 소요되는 시간 측정 또는 점수화 방법으로 간접적으로 보행능력을 평가하므로 결과의 정확성이 떨어진다. 또한 정밀한 기계를 사용한 검사가 아니므로 측정자에 따라 평가결과의 편차가 매우 큰 것으로 알려져 있다. 따라서 상기 방법은 개략적인 특성을 분석하는 대규모 조사에 어울리며 고령자의 보행특성을 심층적으로 분석할 시에는 적절한 방법은 아니다.

2. 동작분석시스템 구성

본 연구에서는 Table 2와 같이 선정한 고령자 보행변수 값을 산출하기 위하여 동작분석시스템을 사용하였다.

동작분석시스템의 구성은 동작을 분석하는 적외선 카메라, 신체 움직임 인식을 위해 몸에 부착하는 마커(이하, marker), 동작에 소요된 힘의 크기(moment)를 측정하는 바닥힘판(이하, force plate)으로 구성된다. 본 연구에서는 적외선 카메라 8기와 force plate 2기(보행 바닥면에 매립), 6m의 보행로와, 피실험자 1인당 24개의 maker를 부착하여 보행특성을 측정하였다. Figure 1은 동작분석시스템의 구성요소, maker를 부착하는 모습 및 분석전용 S/W에서 동작을 분석하는 예시이다.

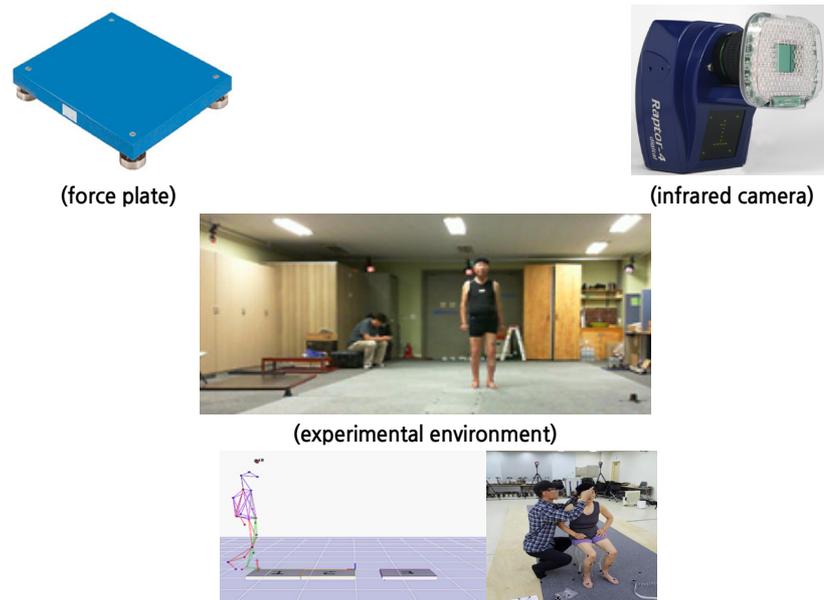


Figure 1. Motion analysis system and S/W

고령자 보행특성 변수 측정 및 분석

1. 고령자 보행변수 측정

Table 3은 실험에 참여한 고령자와 일반인 대조군의 인원과 고령자 실험군의 연령, 신장, 체중의 평균값을 정리한 표이다. Table 3의 Etc.에 제시된 신장과 체중은 대한인간공학회에서 발표한 한국 고령자 평균 신장과 체중으로, 표준에 가까운 자립보행이 가능한 고령자(보행보조기구 없이 보행 가능한 자)를 모집(노인복지관 대상 모집 공고를

통해 피실험자 모집)하였다. 그 결과 실험 참가자의 신장과 체중은 대한민국 고령자 평균 신장과 체중의 오차범위 5% 이내에 위치해 있다.

고령자 보행특성 변수 측정은 연습보행을 통해 측정 환경 및 장비에 대한 거부감을 없앤 후 평지보행 측정(5-7차례)을 시행함으로써 자연스러운 보행상황에서의 보행특성정보를 측정할 수 있었다.

Table 3. Outline of test participants

Classification	Man	Woman	Etc.
Normal persons	20	-	-
Elders	37	45	-
Ave. ages	74.6	75.5	-
Ave. height	165.1cm	153.6cm	M 163.5cm W 150.5cm
Ave. weight	62.4kg	55.2kg	M 63.7kg W 56.9kg

1인당 평균 측정시간은 40-50분으로, 이 시간에는 신체에 maker를 붙이고 교육하는 시간, 실제 측정 후 연습시간, 실제측정시간과 데이터 오류시 재 측정시간 등이 포함되어 있다. 또한 동작분석시스템은 피실험자와 몸무게와 키 등 신체치수를 기준으로 보정한 보행특성 변수 측정값을 제공한다.

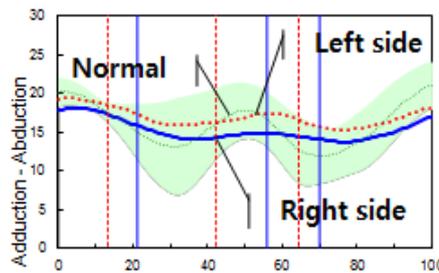


Figure 2. The Graph of angle of shoulder (elders versus normal persons)

2. 보행변수의 일반인 비교

동작분석시스템을 이용하여 고령자와 일반인 대조군의 보행변수 측정 결과는 Table 4와 같다. 종합적으로 설명하면 고령자의 보행능력은 대조군(일반인) 대비 약 75% 수준으로 분석되었다. 이는 운동역학적 측면에서의 고령자 보행능력은 일반인에 비하여 모두 비교열위에 있음을 의미한다. 장애인의 경우, 어떤 장애의 종류에 따라 특정 변수의 값이 큰 폭으로 차이가 발생하지만 고령자는 모든 면에서 조금씩 비교열위가 발생하는 것이다. 변수별 주요특성은 다음과 같다. 어깨의 움직임 각도(angle of shoulder)는 일반인 대비 50%(오른쪽 45%, 왼쪽 57%) 수준으로 움직임 폭이 매우 좁다.

이러한 현상은 보행 한 주기 안에서 각도 변화로 설명하면 다음과 같다. Figure 2는 고령자의 한 주기의 걸음 안에서 왼어깨와 오른어깨의 움직임을 표현한 것이다.

음영이 그려진 밴드형태의 움직임은 동작분석 시스템에서 제공하고 있는 보행시의 정상적인 어깨 움직임 범위이며, 가는 실선은 일반인의 평균적인 어깨움직임을 도식화한 결과이다. 평균적인 어깨움직임(가는 실선)과 같이 상

2) 동작분석시스템(Motion Analysis)에서는 해당 시스템 구축시 표준 동작범위를 제공하고 있음. 표준 동작범위는 전세계 인구를 대상으로 수집된 값을 바탕으로, 보정을 통해 구축된 값임. 운동(역)학 및 재활의학 등 기존 동작분석시스템을 활용하는 분야에서는 피실험자에 의해 발생하는 bias 등 오차를 줄이기 위해 측정값 분석시 제공된 평균 값을 판단의 기준으로 활용함

Table 4. The comparison results of walking variables (elders versus normal persons)

Classification			Elders	Average Normal person	% of Normal	S.D.	Var.
SPPB			8.97	12.00	75%	1.41	2.00
General	Angle of Shoulder(°)	Right	4.06	8.97	45%	2.40	5.75
		Left	4.81	8.39	57%	2.41	5.79
	Angle of Ankle(°)	Right	10.71	8.52	126%	4.61	21.28
		Left	9.51	6.07	157%	3.15	9.92
Walking	Walking Speed (cm/sec)		98.70	137.30	72%	16.47	271.14
	Walk Ratio(cm/(steps/min))		0.47	0.65	72%	0.09	0.01
	Cadence(steps/min)		112.20	109.50	102%	10.45	109.30
	Step Length(cm)		52.50	57.10	92%	9.96	99.25
	Stride Length(cm)		105.70	129.80	81%	13.13	172.48
	Step Width(cm)		11.00	12.00	92%	2.93	8.60
	Foot Clearance(°)	Right	17.09	-	-	7.59	5.12
		Left	14.75	-	-	57.61	26.21
	Balance	Center of Mass (m)		0.19	0.16	119%	0.04
Pelvic Frontal Move (m)		0.31	0.28	111%	0.05	0.00	
Ground Reaction Force (N)		349.05	421.03	83%	61.35	3764.26	
Tilt(Pelvic)(°)		3.66	8.24	44%	2.46	6.08	
Muscles	Joint torque at ankle(Nm)	Right	150.33	145.6	103%	27.66	764.95
		Left	149.22	145.1	103%	23.34	544.84
	Peak torque at knee-flexion(Nm)		137.22	166.30	84%	37.52	1,407.54
	Peak torque at knee-extension(Nm)		51.47	61.30	84%	13.16	173.20

하 움직임이 발생하며, 이때 밴드형태의 음영(정상적인 움직임 판단 범위) 내에 피실험자 어깨 움직임이 포함되면 정상적인 어깨 움직임을 유지하고 보행함을 의미한다. Figure 2와 같이 고령자의 보행은 일반인의 보행에 비하여 걸음 주기 내에서 어깨 움직임이 현저하게 적은 것이 관찰되었다.

반면에 발목 움직임 각도(angle of ankle)는 일반인과 비교하여 큰 것으로 도출되었다. 이는 걸음걸이가 느리고, 발을 바닥면으로 길게 끌고 다니는 것으로 일반인에 비하여 발목의 움직임이 큰 것이다. 균형을 평가할 수 있는 기울기(Tilt)값은 일반인 대비 44%로 매우 좁은 것으로 나타났다. 이와 같은 특성은 고령자의 경우 보행시 하지를 제외한 신체 부위 움직임이 매우 위축된 행태로 보행행위가 이루어짐을 의미한다. 반면 보행률로 설명되는 Cadence는 102%로 일반인보다 고령자가 높게 나타났다. 이는 고령자의 경우 일반적으로 보폭이 감소함에 따라 잔걸음이 많아지게 되며, 이와 같은 잔걸음에 의해 보행률이 증가됨을 의미한다. Center of Mass는 보행시 몸의 중심점의 움직임 정도를 의미하며, 본 연구에서는 X축과 Y축의 움직임만을 분석하였다. 몸의 기울기인 Tilt와는 반대로 중심점의 이동은 일반인보다 고령자가 매우 크게 이동되는 것을 의미한다. 이와 같이 보행변수를 이용한 운동역학적 고령자 보행특성 분석을 시행할 경우 낙상사고의 근본적인 원인에 대한 분석이 가능하다.

전술한 동작분석시스템으로 취득한 보행변수로 일반인과 비교하여 고령자의 보행특성을 알아보았다. 분석결과 고령자 보행특성은 일반인보다 낮은 수준의 능력을 보일 뿐만 아니라, 고령자 내에서도 분산 및 표준편차가 높게 나타나며, 특정 보행변수는 평균이상의 좋은 능력을 갖지만, 다른 보행변수는 평균이하의 능력을 갖는 고령자가 다수 존재함을 확인하였다. 이는 같은 고령자들 간에도 집단이 구분되며 집단별로도 특성이 있음을 의미한다.

상기 내용은 보행시설물 및 보행보조 서비스 제공시 고령자 보행변수의 평균값을 적용할 경우 다수의 고령자는 제공 시설 및 서비스에 대한 만족도가 저하될 수밖에 없음을 의미한다. 따라서 본 연구에서는 고령자 보행지원 시설 및 서비스 제공을 위한 적정 고령자 보행능력을 규정하기 위한 방법으로 집단화 방법을 적용하였다. 이러한 고령자의 요소별 집단화 결과는 세분화된 노인 복지를 위해 활용될 수 있을 것이다.

3. 고령자의 집단화 방법과 고령자 집단 결과

1) 군집분석과 집단화 방법

일반적으로 보행특성은 개인별 성향, 신체 및 심리 상태 등의 복합적인 영향으로 매우 다양하게 나타날 수 있다. 일반인의 경우 통계적 유의성을 확보하여 평균치를 산출하여 집단의 대푯값으로 활용한다. 그에 반면 고령자는 연령과는 관계없이 발생하는 노화로 인하여 보행특성의 variation이 매우 큰 특성(Roh(2012))을 갖는다. 이러한 특성을 제거하기 위하여 취득데이터를 분석하기 전 데이터의 outlier와 변수 간 다중공선성 여부를 확인하였다. 이는 scatter plot matrix를 이용하여 수행(Figure 3)하였다. scatter plot matrix의 X축 및 Y축은 Table 1의 변수명이며, 모든 변수의 데이터를 1:1로 비교한 결과가 plot된다. Figure 3의 ①은 scatter plot matrix의 일부분을 확대하여 결과가 plot되는 형태를 나타낸 것이며, ②는 성별(gender)과 같이 이분형 변수에 대한 plot 결과 예시이다. ③은 다중공선성이 큰 두 변수의 plot결과로, 모든 변수에 대해 검토한 결과 outlier의 문제는 없는 것으로 판단되나 stride length와 step length, Cadence와 Walk Ratio는 양의 강한 상관관계가 있는 것으로 도출되었다. 따라서 향후 고령자 보행특성 분석 모형 등에 stride length와 step length, Cadence와 Walk Ratio를 활용 할 경우 변수를 선택적으로 활용하여야 할 것이다.

outlier 및 다중공선성 검토를 끝낸 데이터를 이용하여 고령자의 보행특성을 기준으로 집단화를 위해 본 연구에서는 군집분석(cluster analysis)을 이용하였다. 군집분석은 개인 또는 여러 개체를 유사한 속성을 지닌 대상끼리 그룹핑(grouping)하는 탐색적 다변량 분석기법이다. 군집분석은 거리값(distance measure)을 이용하여 가까운 거리에 있는 변수를 묶어 분류한다. 거리의 종류는 다양하나, 가장 많이 사용하는 것은 유클리디안(euclidean)거리를 사용한다. 본 연구에서도 유클리디안 거리를 기준으로 한 군집분석을 시행하였다. 군집분석의 절차를 Step별로 제시하면 다음과 같다.

- Step 1. 데이터로부터 군집분석에 사용할 주요 변수 추출
- Step 2. 계층적 군집분석을 통한 대략적인 군집의 수 결정
- Step 3. 계층적 군집분석에 대한 타당성 검증
- Step 4. 비계층적 군집분석을 통한 군집 분류

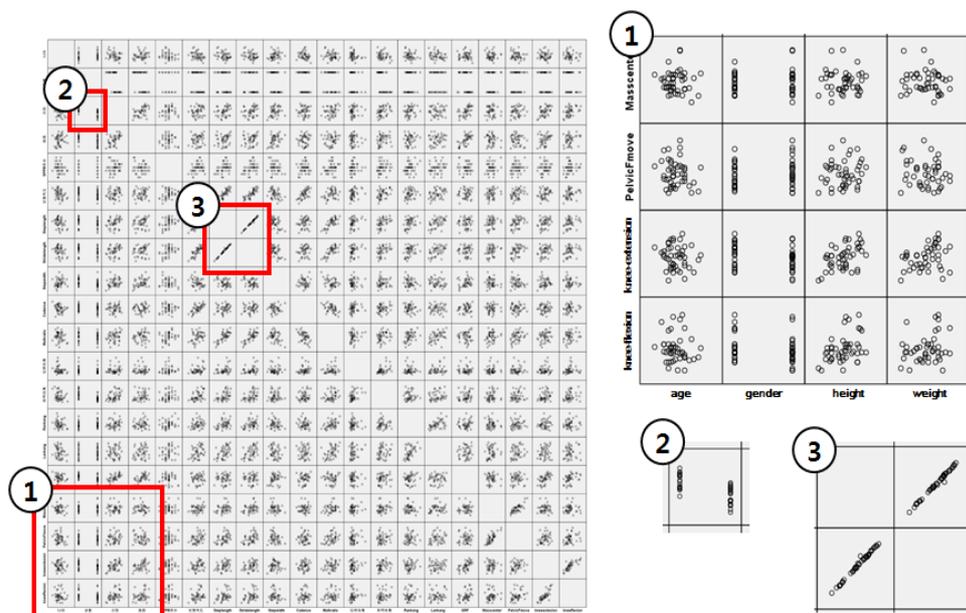


Figure 3. Scatter plot matrix

본 논문에서 Step 1의 과정은 변수를 구분하여 4개의 factor와 하위 요소로 선택된 17개의 변수를 대상으로 군집 분석을 시행하였다. Step 2의 계층적 군집분석의 경우 Ward의 방법을 통해 군집의 개수를 1차적으로 검토하여 대략적인 군집을 생성하였다. Step 3의 과정은 Step 2에서 대략적으로 나누어진 군집을 군집간의 평균, 표준 분산 등을 분석하여 확인하는 작업으로 군집의 분류의 타당성을 보았다. 마지막 Step 4의 과정의 비계층적 군집분석은 K-mean cluster analysis를 활용하였다.

Figure 4는 군집분석 시행결과 예시로, Center of Mass를 대상으로 cluster analysis를 시행한 결과이다. Y축은 'Ward 연결을 사용한 덴드로그램(척도 조정된 거리 군집 조합)'으로 변수값(피실험자별 Center of Mass 측정값) 간 거리를 의미하며, X축은 변수 번호(피실험자 번호)이다.

cluster analysis의 결과는 Figure 4와 같이 유클리디안거리는 유사한 특성을 갖는 데이터간(또는 군집) 거리는 짧고, 이질적 특성을 갖는 데이터간(또는 군집)의 거리는 크게 증가(jump)한다. 유클리디안거리가 크게 jump하는 경우가 발생할 경우, 분석가의 판단에 의해 Figure 4의 붉은 가로선과 같이 구분하고, 해당 선 이하의 군집으로 구분한다. Figure 4는 총 3개의 군집으로 구분된 결과 예시이다.

이와 같은 측면에서, 보행특성을 기준으로 군집분석 결과에 의해 동일 군집으로 구분된 고령자들은 유사한 보행 특성을 갖는다고 할 수 있다.

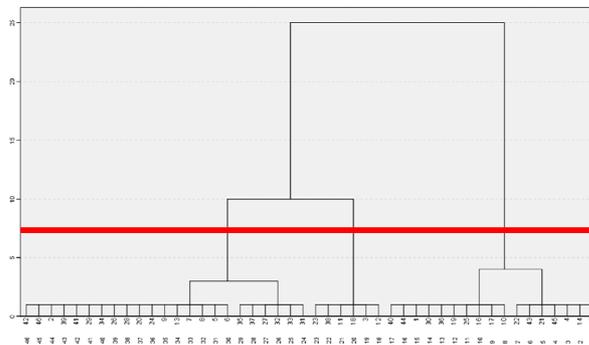


Figure 4. The example of dendrogram (cluster analysis)

2) Factor별 집단화 결과

동작분석기를 활용하여 취득한 데이터들의 집단화는 Factor별로 수행하였다. Table 5-8은 고령자의 Factor별로 보행변수를 집단화하여 집단화된 인원의 명수와 변수별로 평균, 표준편차, 최대·최소값을 정리한 것이다(보행변수의 단위는 Table 4 참조).

Table 5 및 Table 7에서와 같이 Walking Factor와 Muscles Factor는 2개의 그룹으로 군집이 형성된다. 고령자 집단은 Walking Factor별로 보행태가 보다 일반인에 가까운 A그룹(총 82명중 28명)과 보행능력이 A그룹보다 상대적으로 낮은 B그룹으로 집단이 나누어진다. Walking Factor의 보행변수들의 값도 A그룹이 B그룹과 비교하여 비교우위에 있다. 특히 보행변수 중 Walking Speed의 경우, A그룹의 평균은 107(cm/sec)로 현재 서울시의 보행횡단기준 시간인 100(cm/sec)을 상회하지만, B그룹의 경우는 80(cm/sec)로 서울시의 기준에 미치지 못한다. 이는 B그룹의 고령자는 서울시의 평균적인 횡단보도를 일반 보행시 주어진 신호시간동안 횡단하지 못하며, 횡단을 완료하기 위해서는 빠른 걸음 또는 뒤편걸음의 형태로 이동해야 함을 의미한다. 또한 이 과정에서 낙상의 위험이 보다 증대될 수 있다.

Table 6 및 Table 8과 같이 Balance Factor와 Etc.는 3개의 그룹으로 군집이 형성된다. Balance Factor 중에 지면 지지반발력(Ground Reaction force)은 A그룹에 비하여 C그룹이 약 2배 정도 크다. 즉 정상인에 가까운 사람일수록 앞서 J. Perry(2010)가 설명한 바와 같이 여러 관절이 복합적으로 작용하여 큰 힘을 들이지 않고 반복적인 자세(stance)와 발의 움직임(swing)을 유지한 상태로 자연스러운 걸음을 걷는다. 반면 C그룹의 고령자는 보행시 필요 이

상의 과도한 힘을 소모하는 등 비효율적 보행을 하고 있음을 의미한다. 반면에 몸의 기울기(Tilt)는 C그룹에 비하여 A그룹이 약 2배 정도 크다. 이는 정상인의 몸의 균형(Balance)에 가까운 A그룹은 신체 균형을 유지하기 위하여 자연스럽게 팔을 포함한 신체를 적절하게 흔들며 보행하므로 몸의 기울기가 큰 반면, C그룹의 고령자는 몸을 거의 흔들지 않는 부자연스러운 걸음을 걷는다는 것을 의미한다.

Table 5. Cluster analysis results (walking factor)

Variable		Ave.	S.D.	Max.	Min.
A (n:28)	Walking Speed	107.7	1.3	120.0	70.0
	Walk Ratio	0.5	0.0	0.6	0.4
	Cadence	115.6	8.1	113.0	99.8
	Step Length	55.7	3.8	62.9	48.5
	Stride Length	112.4	7.6	125.9	97.2
	Step Width	10.6	2.2	15.1	6.4
	Foot Clearance	16.3	5.3	30.6	5.5
B (n:54)	Walking Speed	80.0	8.6	90.1	59.0
	Walk Ratio	0.4	0.1	0.5	0.0
	Cadence	107.2	11.1	128.8	93.3
	Step Length	44.5	4.4	50.4	36.8
	Stride Length	90.1	9.1	101.1	74.2
	Step Width	12.1	3.9	19.2	5.2
	Foot Clearance	13.0	3.9	22.9	8.2

Table 6. Cluster analysis results (balance factor)

Variable		Ave.	S.D.	Max.	Min.
A (n:35)	Center of Mass	0.2	0.0	0.3	0.1
	Pelvic Frontal Move	0.3	0.1	0.4	0.2
	Ground Reaction Force	256.2	14.8	280.2	228.7
	Tilt(Pelvic)	4.6	4.2	14.7	1.7
B (n:32)	Center of Mass	0.2	0.0	0.3	0.1
	Pelvic Frontal Move	0.3	0.1	0.4	0.2
	Ground Reaction Force	351.7	20.0	384.2	317.7
	Tilt(Pelvic)	4.2	2.1	7.5	0.3
C (n:15)	Center of Mass	0.2	0.3	0.1	0.0
	Pelvic Frontal Move	0.3	0.0	0.4	0.2
	Ground Reaction Force	417.5	23.3	468.5	387.5
	Tilt(Pelvic)	2.6	1.4	5.0	0.0

Table 7. Cluster analysis results (muscle factor)

Variable		Ave.	S.D.	Max.	Min.
A (n:50)	Joint torque at ankle	16.7	5.7	30.6	5.5
	Peak torque at knee-flexion	175.3	21.1	215.3	145.0
	Peak torque at knee-extension	62.6	14.2	85.4	38.7
B (n:32)	Joint torque at ankle	14.2	4.5	22.9	7.4
	Peak torque at knee-flexion	113.1	23.6	147.0	61.6
	Peak torque at knee-extension	44.6	6.8	56.3	30.5

Table 8. Cluster analysis results (etc.)

	Variable	Ave.	S.D.	Max.	Min.
A (n:48)	Angle of Shoulder	5.8	2.8	10.7	2.3
	Angle of Ankle	10.5	3.4	15.0	5.1
B (n:19)	Angle of Shoulder	3.5	1.5	10.7	1.8
	Angle of Ankle	8.5	2.7	14.0	2.7
C (n:15)	Angle of Shoulder	3.2	1.2	5.0	1.1
	Angle of Ankle	4.2	1.0	5.3	2.5

이와 같이 보행변수 분석을 통하여 고령자의 보행변수는 일반인의 그것과 모든 면에서 차이가 발생함을 확인하였으며, 고령자의 보행능력에 대해 군집화가 가능함을 확인하였다.

결론 및 향후 연구

우리나라는 급격한 고령화가 진행 중이다. 고령화는 한국사회를 변화시키고 있다. 이미 고령화를 경험하고 있는 유럽과 일본의 사례와 같이 우리나라에서도 사회·경제적으로 고령집단에 특화된 현재와는 다른 서비스 상품이 생산될 것으로 예상된다. 또한 정부도 고령집단의 편의와 안전 확보를 위하여 많이 복지 정책들을 쏟아낼 것으로 보인다.

보행은 인간의 기본적인 이동형태이자 권리라는 측면에서 교통약자의 대부분을 차지하는 고령자의 안전하고 편리한 이동권리 확보는 가장 기초적이면서도 중요한 교통복지 요소임에도 불구하고 간과되기 쉽다. 이러한 측면에서 본 논문에서는 교통시설물의 설계 시 고령자의 운동역학적인 보행변수들을 활용하여야 하며, 이를 위해 보행변수를 이용하여 고령자 보행특성을 분석하였다. 그 결과, 고령자의 보행능력은 일반인의 약 75% 수준으로 분석되었다. 고령자는 보행시 일반인보다 어깨의 움직임이 50% 수준으로 적고 발목을 크게 사용하나 발끝과 바닥면의 간격(foot clearance)이 좁게 유지한 채 걷는(발을 끌며 걷는) 특성이 나타났다. 종합적으로 판단한 결과, 고령자는 상체(팔)의 움직임을 이용하여 균형을 잡는 일반적인 보행행태가 아닌 부자연스러운 보행행동을 보이며, 발목을 많이 사용하는 반면 낮은 foot clearance로 인해 바닥면의 요철, 고르지 못한 바닥면에 쉽게 걸려 넘어질 수 있는 등 낙상의 위험에 노출되어 있다. 이와 같은 고령자의 보행특성은 실버존의 보행환경 설계시 바닥의 평탄면 기준, 균형 유지를 위한 시설물 설계가 필요함을 의미한다.

고령자는 유사한 보행특성을 나타내는 집단 내에서도 보행변수별 variation이 크며, 이와 같은 특성에 따라 Walking · Balance · Muscles Factor별로 2개 혹은 3개로 집단화가 가능함을 군집분석을 통하여 알아보았다. 이와 같은 고령자 보행 특성은 모든 고령자를 만족시킬 수 있는 시설물 설계 및 설치가 어려움을 의미한다. 이와 같은 측면에서 본 연구를 통해 도출된 고령자 보행특성 군집을 이용하여 보다 효율적인 보행시설 설계기준 마련이 가능할 것으로 예상된다.

본 연구는 최소 sample 개수 30개를 초과하는 고령자 82명을 대상으로 분석한 결과로, 통계적 유의성 확보 측면에서는 무리가 없다고 판단된다. 또한 운동역학 및 재활역학 분야의 연구에서는 본 연구에서 사용한 동작분석기를 이용한 실험의 어려움으로 인해 10명 내외의 sample을 사용하여 분석함에도 불구하고 측정 방법의 정밀도로 인해 그 결과는 학술적으로 인정되고 있다. 다만, 본 연구의 한계로는 고령자의 특성을 규명하여 시설 기준 수립 등 교통 분야에 적용을 바로 하기에는 충분한 sample을 검토하였다고 보기 어려움이 있으며, 이에 추가적인 분석 및 연구가 필요하다고 판단된다. 이와 함께 향후 연구에서는 일반인에 대해 30명 이상의 충분한 sample를 확보하여 대조군의 통계적 유의성을 추가로 확보하여 비교 분석을 시행할 예정이다.

20년 후의 한국사회는 전체 인구의 약 천만명이 고령자로 채워질 것으로 전망된다. 따라서 천만명을 획일화하여 복지 정책을 만들고, 그들을 위한 동일한 이동 복지서비스를 모든 고령자에게 제공하는 것은 부적절하다고 판단된다. 교통복지 측면의 예로서, 특정 높이의 계단은 어떠한 계층은 너무 높아 올라가지 못하는 장벽이 되는 반면, 다른 계층은 너무 낮아 오히려 다른 측면의 불편함이 초래할 수 있다. 결국 특성이 다른 고령자 집단의 부족한 신체능력을

세밀히 파악하여 시설물의 이용 대상을 보다 명확하게 할 필요성을 여기서 찾을 수 있다. 본 논문에서 제시한 군집화 결과는, 비록 아직은 더 많은 고령자 집단의 연구 및 보도, 단차 및 경사 등 보행시설물과 고령자 신체특성간의 연관성에 대한 추가적 연구가 필요하지만, 이러한 시도를 처음 시도하였다는 점에서 큰 의의가 있을 것이다. 즉 고령자 보행능력을 기준으로 능력에 따라 고령자 집단이 분류될 수 있음을 확인하였다는 것에서 의미 있는 시도라 볼 수 있다. 이러한 세분화된 집단화 결과를 바탕으로 다수의 고령자가 혜택을 받을 수 있는 보행지원 시설과 특정 대상을 위한 서비스의 기준을 제시하여야 하는 것은 고령화 사회를 대비하는 필수요건일 것이다.

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

- Beck R. J., Andriacchi T. P., Kuo K. N. (1981), Changes in the Gait Patterns of Growing Children, *Jone and Joint Surgery*, 63(A), 1452-1459.
- Ferrucci L., Penninx B.W.J.H., Leveille S. G., Leveille S. G., Corti M. C., Pahor M. et al. (2000), Characteristics of Nondisabled Older Persons Who Perform Poorly in Objective Test of Lower Extremity Function, *Journal of American Geriatrics Society*, 48(9), 1102-1110.
- Hong W. S., Kim K. W. (2002), Gate Analysis of the Healthy Elderly Over 65years of Age, *Journal of Korean Society of Physical Therapy*, Korean Society of Physical Therapy, 14(4), 59-65.
- Jung H. Y., Baek E. S., Seo M. K. (1998), The Analysis of Movement of Old People in the Crossing-Facilities, The 34th Conference of KST, Korean Society of Transportation, 301-310.
- Korea Highway Capacity Manual (2013), Korean Society of Transportation.
- Lee H. J., Kim E. M., (2011), Traffic Safety Countermeasures for the Elderly Considering Traffic Accidents Causes, *Transportation Technology and Policy*, 8(5), Korean Society of Transportation, 63-75.
- Lee K. S. (2007), Analysis of Temporal and Spatial Gait Parameters of Male and Female in 20s and 60s, *Journal of Korean Society of Physical Therapy*, Korean Society of Physical Therapy, 21(4), 56-66.
- Lee S. B., Chang D. J., Justin S. (2015), Relationships Between Urban Infrastructure and Travel by the Elderly: Based on the Public Transit Trip Attraction Model for Dong, *J. Korean Soc. Transp.*, 33(3), Korean Society of Transportation, 268-275.
- Park R. J., Son S. H., Cho J. S., Oh H. J., Lee H. H., Lee M. H., Kim S. K. (2011), Correlations Between SPPB, FRT, and TUG in Hospitalized Frail People, *Journal of Korean Society of Physical Therapy*, Korean Society of Physical Therapy, 23(2), 17-21.
- Perry J., Burnfield J. M. (2010), *Gait Analysis: Normal and Pathological Function*, 2e, Slack Incorporated.
- 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. (2015), Development of Elderly Walking Independence Index Model, *J. Korean Soc. Transp.*, 33(4), Korean Society of Transportation, 348-356.
- 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.
- Technical Document for Development of Pedestrian Assistance Systems for Transport Vulnerables (2015), Korea Institute of Civil Engineering Technology.
- Won J. M., Choi J. S. (2006), *Traffic Engineering*, parkyoungsa.