Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 30, No. 2 pp.357-363, April 2011 DOI:10.5143/JESK.2011.30.2.357

Evaluation of Seat Pan Inclination During Sit-to-stand for Development of Elderly Lifting-chair

Jaesoo Hong, Jonghyun Kim, Keyoungjin Chun

Gerontechnology Center, Korea Institute of Industrial Technology, Chunan

ABSTRACT

Objective: The aim of this study is to set the design direction of the lift chair's tilting seat for development. **Background:** Great attention has been shown to the development of senior friendly product, because of increasing elderly population rapidly in Korea. Therefore, we need to study on sit-to-stand(STS) motion of elderly systematically for developing lift chair that is one of senior friendly products. **Method:** In this study, we analyzed joint moment(knee, hip) and muscle activity (Erector spinae, Rectus femoris, Vastus lateralis) on STS motion of elderly(female, 60~70: 7) and young people(female, 20~30: 7) using 3 dimension motion capture camera, force plate, wireless EMG. **Results:** The results of muscle activity showed a similar trend but the results of joint moment were a lot of differences between the young and the elderly. **Conclusion:** The results of knee joint moment suggest the angle(10~30deg)-adjustable seat that can be better than to find the optimal seat's angle. **Application:** The method and results of this study are expected to develop senior friendly product and verification as well as be available to various application.

Keywords: Sit-to-stand(STS), Senior(Old people) Friendly Product, Tilting Seat, EMG, Motion Analysis

1. Introduction

세계적으로 고령화가 진행 중인 가운데 한국은 세계적으로도 유례가 없는 급격한 고령화가 진행 중이다. 한국의 인구통계는 2008년 기준 전체 인구의 10.3%가 65세 이상인 고령자로 나타났다(Statics Korea, 2008). 이런 급격한 고령화로 인해 고령자의 일상생활을 지원하는 다양한 고령친화기기 개발의 중요성이 대두되고 있는 시점이다.

고령자의 대표적인 특성 중에 하나인 신체적 기능저하는 실내에서의 안전사고로 이어지고 있다. 대표적인 실내안전사고가 낙상사고이고, 이러한 실내낙상사고가 가장 많이 발생하는 장소는 기립이나 이승·이동이 잦은 화장실(29.9%), 침실(17%), 계단(15%)에서 자주 발생하고 있다(SAFIA Korea, 2007). 따라서, 낙상사고를 예방하고 고령자의 기립·이승을 지원할 수 있는 기립보조의자는 현재 다수의 제품이 판매 중에 있다. 하지만 기존 제품들의 좌면 틸팅 방식은 가스실린더 형식으로 이루어져 있어 고령자를 들어올리기에는 힘이 약하다. 따라서 본 연구에서는 가스실린더 대신 전동 액츄에이터를 사용한 고령자용 기립지원의자 개발을 위한 좌면 각도 별 영향력 분석을 실시하였다. 이러한 전동식 좌면 틸팅 기능을 갖춘 기립보조의자의 개발을 위해서는 고령자들의 심리적 특성(Kim and Jung, 2008)을 고려한 실험적 사용성평가를 통해 고령사용자 중심의 제품을 개발할 필요가 있다(Jung et al., 2007).

관련 선행연구를 살펴보면 STS 관련 연구들은 많으나 좌면 각도 별 STS 동작에 대한 연구는 거의 없었고, 컴퓨터 시뮬레이션을 활용하여 좌면 각도와 마찰력에 따른 Muscle activity와 Joint force에 대한 결과 분석을 실시한 사례가 있었다(John et al., 2009). 이와 같은 선행연구는 Inverse Dynamics를 이용한 시뮬레이션이기 때문에 실제 동작 상의 측정된 힘에 의한 결과 분석 값보다는 신뢰성이 떨어지고,

Corresponding Author: Keyoungjin Chun. Gerontechnology Center, Korea Institute of Industrial Technology, Chunan.
E-mail: chun@kitech.re.kr
Copyright@2011 by Ergonomics Society of Korea(pISSN:1229-1684 eISSN:2093-8462). All right reserved.

시뮬레이션에서는 일반적인 표준 모델에 대한 결과이므로, 고령자의 동작 상 특성을 반영하지 못하는 단점이 있다. 따라서 고령자를 위한 제품 개발 시에는 고령자를 대상으로 한 실험이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 EMG 측정장비와 3차원 모션캡쳐 시스템, 지면반력기를 활용하여 좌면 각도에 따른 STS 동작에 대한 실험을 실시하였다. 실험 결과값들을 토대로 고령자용 기립보조의자의 개발 시 효과적인 기립보조를 위한 좌면의 틸팅 기능에 대한 적합한 설계방향을 설정하는 것을 본 연구의 목적으로 한다.

2. Method

본 연구에서는 젊은 여자 7명과 고령의 여자 7명, 총 14명을 대상으로 실험을 진행하였다. STS 실험 시 피실험자의 자세(Kathleen et al., 2009) 및 절차(Yasin et al., 2008) 변수 값들은 STS 동작에 대한 선행연구 자료의 연구방법을 참고하였다. 기립지원을 위한 틸팅 각도 별(−5~35deg) 사용동작에 대한 3차원 모션캡쳐는 Plug in gait full body marker set을 활용하셔 실시하였고 Knee joint moment와 Hip joint moment(Kathleen et al., 2009)의 분석을 통해 결과값을 정리하였다. 틸팅 각도 별 EMG에 대한 측정 및 분석은 기립과 관련된 근육인 Erector spinae(Bazrgari et al., 2007), Rectus femoris, Vastus lateralis(Thompson et al., 2003) 3가지 근육을 좌우 총 6개의 채널을 활용하여 측정하였고, MVC에 의한 정량화 과정을 거쳐 근 활성도(Muscle activity)를 분석하였다.

2.1 Subjects

본 연구에서는 한국인의 표준체형(SIZEKOREA, 2010)에 근접하는 젊은 여자 7명과 고령의 여자 7명, 총 14명을 대상으로 실험을 진행하였다(Table 1).

젊은 여자는 한국기술교육대학교(KUT)의 대학생들을 대상으로 모집하였고, 고령의 여자는 연구실 근처(충남 천안 입장면)의 거주하시는 고령자들을 대상으로 모집하였다. 또한 STS 동작(허리, 하지)과 관련된 과거병력이나 수술경험이 없는 사람을 대상으로 모집하였다. 실험 참가의 적극성을 부여하기 위해 실험 후에는 소정의 실험료을 지급하였다.

Table 1. Participants information

Subjects	Mean age (±SD)	Mean height (±SD)	Mean mass (±SD)
Young, n=7	21.9 (±1.4)	159.5 (±3.4)cm	50.2 (±2.8)kg
Older, n=7	64.4 (±3.2)	153.9 (±4.4)cm	60.5 (±5.9)kg

2.2 Apparatus for usability test

좌면의 틸팅 각도 별 STS 동작에 대한 실험평가를 위해 실험에 필요한 실험장치를 직접 제작하였다. 본 연구에서 실험장치의 목표는 좌면의 정확한 틸팅 각도를 구현함에 있다. 따라서 좌면의 각도를 −5도 부터 35도까지 5도씩 총 9단계의 각도를 구현할 수 있게 설계/제작하였다(Figure 1).

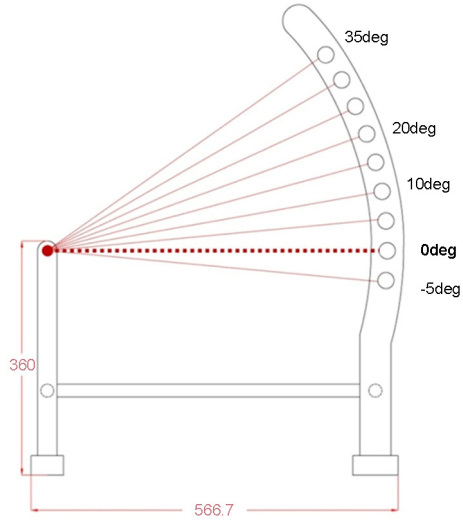


Figure 1. Mock-up design for usability test

의자의 기본적인 설계치수의 설정에 있어서는 한국성인의 인체치수 데이터를 활용하여 실험 목적에 맞게 설계/제작하였다. 의자의 높이(오금높이 최소값: 고령자 여성의 5% tile)는 성인의 인체 최소치수를 기준으로 설계하여 실험 시에 피실험자의 오금높이에 위치할 수 있도록 설계하였고, 좌면의 너비(엉덩이 너비 최대값: 여성의 95% tile)는 모든 피실험자가 넓게 앉을 수 있도록 인체치수 최대값보다 더 크게 설계하였다. 의자의 깊이는 인체치수와 상관없이 각도 조절의 공간을 포함하여 충분히 넓게 설계하였다.

본 실험에서는 두 가지를 측정/평가하였다. 먼저 ①좌면의 틸팅 각도 별 STS 동작에서의 3차원 모션캡쳐와 지면반력(Ground reaction force)을 측정하였다. 그리고 동시에 ② 3가지 근육에 대한 근전도를 측정하였다.

첫 번째로 3차원 모션캡쳐는 VICON INC. UK.의 MX-T20 카메라 10기를 활용하여 캡쳐하였다. 두 번째로 지면

반력은 AMTI INC. OR6_7-2000 Force plate 2기를 통해 기립 시 발판의 3차원 지면반력을 측정하였다. 세 번째로 EMG 측정은 Delsys INC.의 Trigno Wireless EMG System의 6개 채널을 사용하여 Erector spinae(Bazrgari et al., 2007), Rectus femoris, Vastus lateralis 이렇게 3가지 근육을 측정하였으며, EMG Works Analysis 이용하여 분석하였다.

위의 지면반력기와 EMG 측정장비는 측정값을 아날로그 신호형태로 출력하여 VICON INC.의 모션캡쳐 소프트웨어인 Nexus를 통하여 동기화하여 실험을 진행하였다.

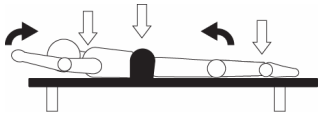
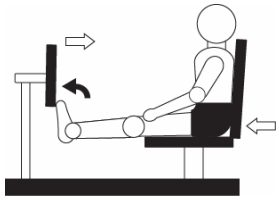
2.3 Procedure of test

실험 진행자는 피실험자의 몸무게, 키 등의 신체사이즈를 측정한 후에 실험의 목적 및 실험의 절차에 대한 충분히 설명하였다. 피실험자가 실험 절차를 미리 연습하여 완전히 숙지한 후에 실험을 시작하였다.

실험의 절차는 먼저 MVC(Maximum Voluntary Contraction) 측정을 시작으로 진행되었다. MVC 측정은 측정동작(Peter Konrad, 2005) 3가지(Table 2)를 통해 측정되었고, 동작 별로 3초씩 5번 반복측정 하였다. MVC를 측정한 후 피실험자는 1시간 이상의 충분한 휴식을 취한 이후에 본 실험에 참여하였다.

실험에 들어가기 앞서 3차원 모션캡쳐를 위해 피실험자의 몸에 VICON 장비의 일반적인 마커셋인 Plug in gait full body marker set을 활용하여 총 35개의 maker를 부착하였고(Figure 2), 3가지 근육(Erector spinae, Rectus femoris, Vastus lateralis)의 EMG 측정을 위해 좌우 양쪽에 Wireless EMG Electrode 6개 채널을 부착하였다(Figure 2).

Table 2. The posture of MVC (Maximum Voluntary Contraction) measurement

Posture	Muscle
	Erector spinae
	Rectus femoris, Vastus lateralis
	Vastus lateralis

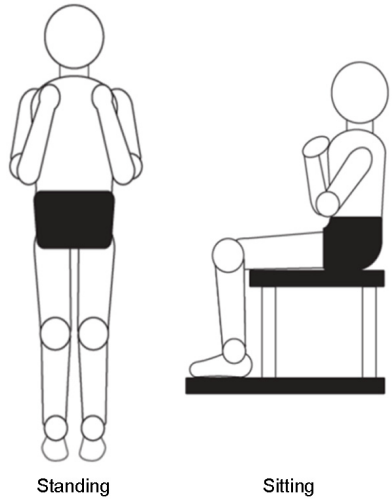


Figure 2. The position of reflection maker, EMG electrode

실험은 총 9단계의 각도(-5~35deg)에서 STS 모션을 3번씩 반복하여 총 27번 동작을 캡처/측정하는 것으로 실험이 진행되었다.

STS 동작 중에서 자세의 차이로 오는 실험 결과값의 오류를 피하기 위하여 의자의 높이는 의자 발판에 받침대를 대어 피실험자의 오금높이에 맞추었고, 발의 위치 또한 기준이 되는 지점에 발이 위치할 수 있도록 하였다. 좌면에서의 엉덩이위치 또한 항상 동일한 위치에 위치할 수 있도록 각도가 바뀔 때 마다 몇 번의 반복된 연습을 통해 위치를 익힌 후 다음각도에 대한 실험을 진행하였다.

또한 팔 동작으로 인한 차이를 제거하기 위하여 양팔은 어깨와 가슴 사이에 올려서 고정시키고, 모든 피실험자가 동일한 자세를 취할 수 있게 하였다(Figure 3). 그리고 피실험자 간의 동작의 속도 차이를 줄이기 위하여 실험진행보조자가 피실험자 앞에서 앉는 동작과 일어서는 동작의 동작타이밍을 알려주어 피실험자 간의 STS 동작속도의 차이를 최소화하였다(Yasin et al., 2008).

2.4 Data acquisition/analysis

동작분석 장비를 통한 3차원 모션캡쳐와 지면반력기의 데이터를 VICON NEXUS를 통해 동기화하여 수집하고, 후 처

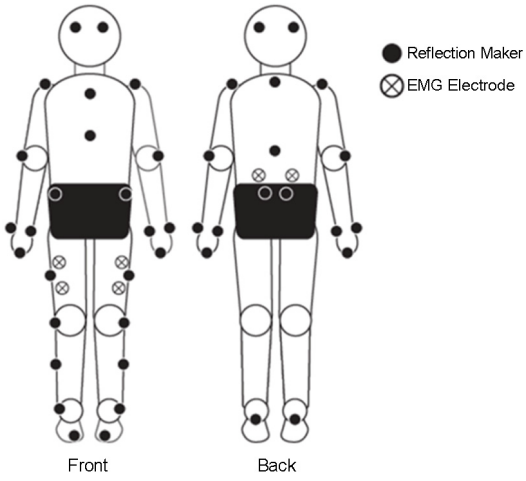


Figure 3. The posture of motion capture(Kathleen et al., 2009)

리하였다. 이렇게 후 처리된 데이터는 19개의 Segments와 19개의 Joints로 이루어진 가상 모델을 통해 동작에 대한 관절특성분석이 가능하다. 그리고 모든 조인트는 관절마다 x, y, z 방향으로 세 개씩 구성되어 있다(Figure 5). 이처럼 실험(모션캡쳐)을 통해 생성된 모델에서 X축 방향(기립방향)으로의 좌우 Knee Joint(left, right)와 Hip Joint(left, right) moment의 Peak 값을 분석하였다.

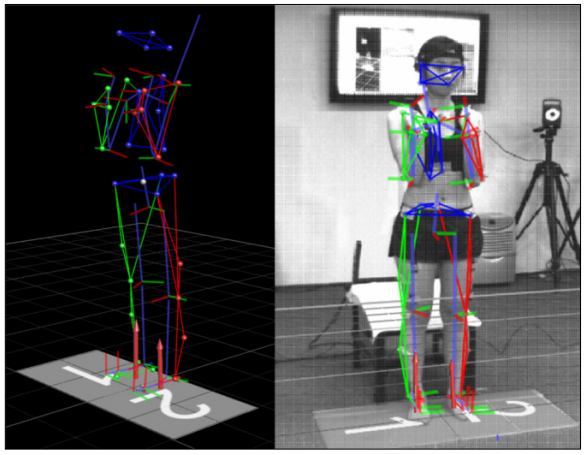


Figure 4. Plug in gait full body model and bones of Vicon Inc.

VICON NEXUS에서 동기화되어 측정된 EMG 데이터는 EMG 분석 소프트웨어(Delsys Inc. EMG Works Analysis 3.7)에서 분석하였다.

EMG 데이터의 분석 과정은 Filtering, Rectification, RMS (Root Mean Square)에 의한 Smoothing, MVC에 의한 Normalization 이렇게 4단계로 이루어진다.

첫 번째로 필터링은 Bandpass 타입(10~350Hz)의 FIR 필터를 사용하여 필터링 하였다. 두 번째로 전파 정류(full wave rectification)과정을 수행하였다. 세 번째로 Smoothing은 50ms로 Sampling 하여 RMS(Root Mean Square)를 취하였다. 네 번째로 Normalization은 %MVC 값을 취하였으며 MVC는 0.3초 동안 평균 값의 최대값을 취하였다.

3. Results

3.1 Results of joint moment

좌면의 틸팅 각도변화에 따른 관절 모멘트(Knee, Hip) 결과값을 보면 고령의 여자와 젊은 여자들의 실험결과가 다르게 나타난 것을 알 수 있다. 엉덩이 관절 모멘트는 두 그룹 모두 전체적으로 낮아지는 경향을 보이고 있으며, 고령자 그룹은 10도에서 610Nmm/kg(±205)로 가장 높게 나타났으며 35도에서 494Nmm/kg(±209)로 가장 낮게 나타났다. 그리고 젊은 여성그룹은 5도에서 870Nmm/kg(±232)로 가장 높게 나타났으며, 고령자그룹과 마찬가지로 35도에서 734Nmm/kg(±178)로 가장 낮게 나타났다. 그러나 무릎 관절 모멘트에서는 고령자그룹의 모멘트 결과값은 각도가 높아짐에 따라 오히려 증가하는 경향을 보였다. −5도에서 595Nmm/kg(±169)로 가장 낮았고 0도~5도까지는 613Nmm/kg(±151)로 약간 높아졌다가 10도에서 다시 604Nmm/kg(±158)낮아지고 다시 점점 높아져 25도에서 656Nmm/kg(±149)로 가장 높았다가 35도까지 완만하게 유지하는 경향으로 나타났다. 반면에 젊은 여자의 경우에는 −5도 689Nmm/kg(±138)에서 시작하여 5도에서 15도에서 730Nmm/kg(±136)로 가장 높게 나타났으나 35도에서 662Nmm/kg(±139)가장 낮게 나타나 15도 이후에는 각도가 높아질수록 낮아지는 경향을 나타냈다(Figure 5~6).

3.2 Results of EMG(%MVC)

좌면의 틸팅 각도변화에 따른 EMG 데이터를 %MVC로 Normalization 하여 나타낸 근육활성도 결과값을 보면 고령 여자그룹과 젊은 여자그룹 모두 %MVC 값이 낮아지는 것을 알 수 있다. 하지만 젊은 여자그룹은 결과값이 크고, 모든 근육에서 낮아지는 경향이 뚜렷하게 나타난 반면에 고령 여자그룹은 아주 낮은 기울기로 낮아지는 것을 알 수 있다.

고령 여자그룹의 근육 별 결과를 보면 첫 번째로 Erector spinae는 −5도 25.1%(±9.5)에서 시작하여 30도에서 20.6%(±7.0)로 가장 낮게 나타났으며, 완만한 기울기로

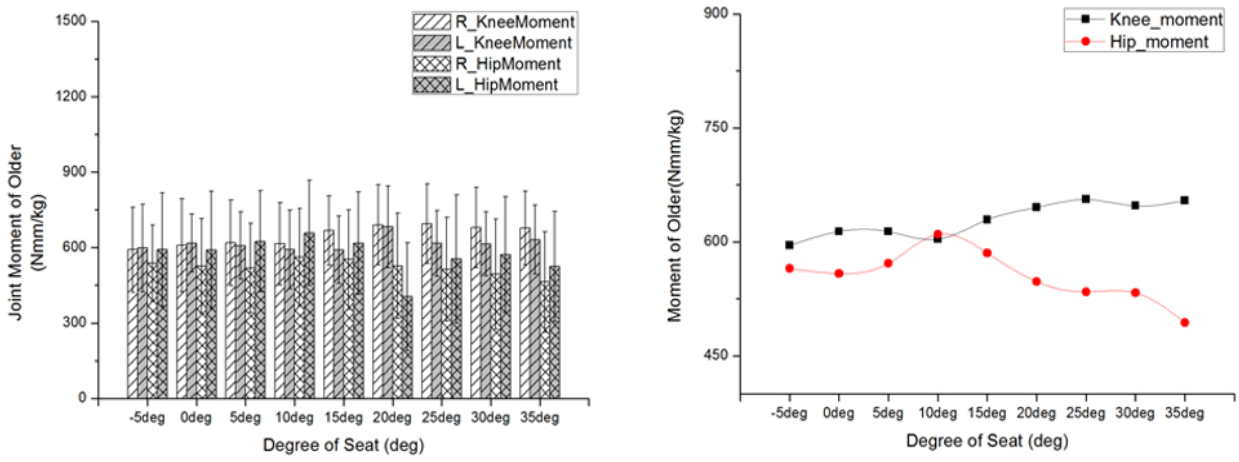


Figure 5. Knee and hip joint moment of older

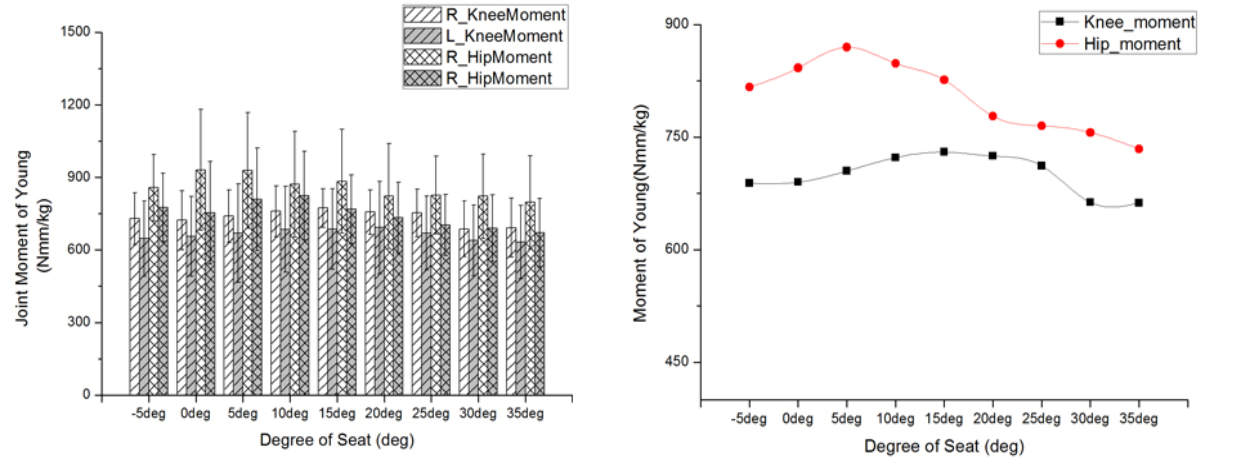


Figure 6. Knee and hip joint moment of young

낮아지는 경향을 보이고 있다. 두 번째로 Rectus femoris는 20도에서 19%(±10.1)로 가장 높게 나타났으며, 35도에서 가장 낮은 16.5%(±5.8)로 나타났다. 세 번째로 Vastus lateralis는 상대적으로 가장 높은 값을 보였으며 −5도에서 40.1%(±16.1)로 가장 높게 나타났으며, 상승과 하강을 반복하면서 30도에서 36.4%(±12.8)로 가장 낮게 나타났다(Figure 7).

젊은 여자그룹의 근육 별 결과를 첫 번째로 Erector spinae는 −5도 30.4%(±8.9)에서 시작하여 30도에서 23.3%(±7.0)로 가장 낮게 나타났으며, 5~35도 사이에서 아주 완만한 기울기로 낮아지는 경향을 보이고 있다. 두 번째로 Rectus femoris는 0도에서 32.2%(±5.6)로 가장 높게 나타났으며, 35도에서 가장 낮은 20.8%(±6.8)로 나타났다. 세 번째로 Vastus lateralis는 고령자와 마찬가지로 상대적으로 가장 높은 값을 보였으며 −5도에서 53.7%(±11.7)로 가장 높게 나타났으며, 35도에서 42.6%(±11.5)로 가장 낮게 나타났다(Figure 8).

4. Discussion

본 연구에서는 3차원 모션캡쳐 카메라와 지면반력기, 무선 근전도 장비를 활용하여 고령여자 7명과 젊은 여자 7명을 대상으로 STS 동작에서 좌면의 틸팅 각도 별 관절 모멘트(Knee, Hip)와 근육활성도 변화를 분석하였다.

실험결과값은 좌면의 각도가 높아질수록 대부분이 결과값들이 낮아지는 경향을 보였지만, 고령의 여자그룹과 젊은 여자그룹 간에는 많은 차이점이 나타났다. 먼저 고령 여자그룹의 경우에는 젊은 여자보다 모멘트나 근육활성도 값이 적게

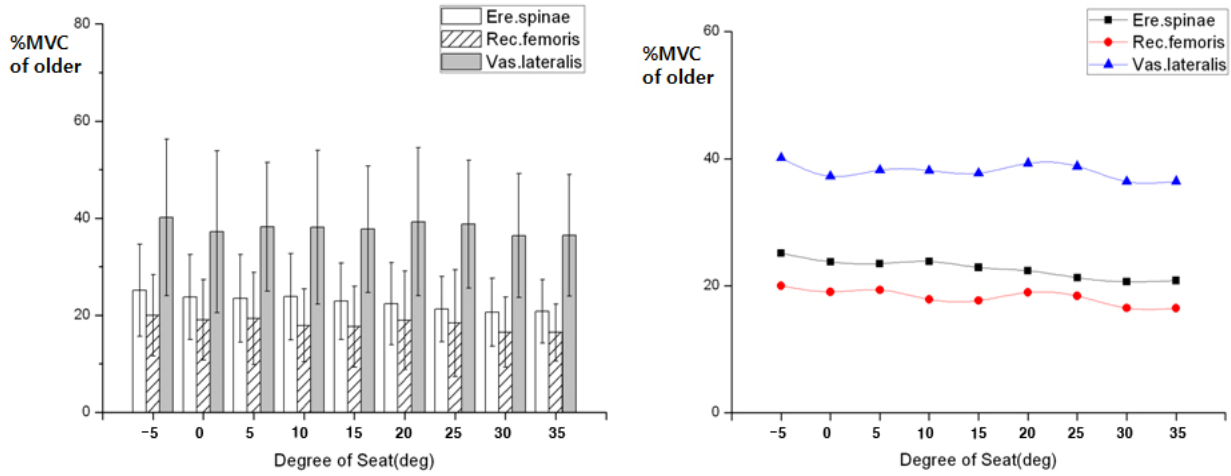


Figure 7. Muscle activity of older(%MVC)

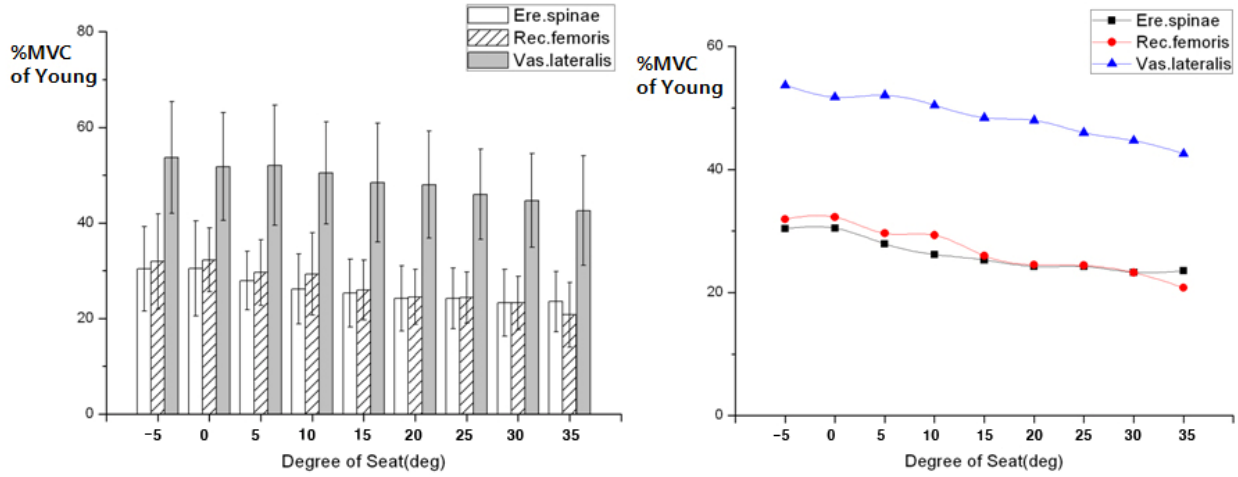


Figure 8. Muscle activity of young (%MVC)

나타났고, 결과값의 변화의 정도도 적었다. 또한 무릎 관절 모멘트의 결과값에서는 젊은 여자그룹과는 다르게 고령 여자그룹의 관절 모멘트 결과값은 무릎 관절 모멘트와 엉덩이 관절 모멘트가 각기 반대의 곡선을 그리고 있었다. 물론 이러한 차이점의 원인은 앞으로 연구해야 할 숙제이기도 하다. 하지만 고령자를 대상으로 한 기립보조의자의 개발에 있어 좌면 틸팅 기능의 최적 각도를 도출하기는 어려운 실험결과이다. 따라서 고령자용 기립보조의자는 최적 각도(하나의 각도)에서만 틸팅되게 개발하는 것보다는 다양한 각도에서 조절 가능하게 개발되어야 할 것으로 사료된다.

고령자의 관절 모멘트 결과값에 나타난 결과를 반영한 기립보조의자의 개발에서는 기립 시 좌면의 틸팅 각도의 변화가 최적 각도에서만 구현되는 것이 아니라 사용자가 편한 높이에서 기립이 이루어질 수 있도록 틸팅 각도를 조절할 수 있게 설계해야 한다.

고령자의 근육활성도 결과값에서는 10도에서부터 30도까지 대체적으로 완만한 곡선을 그리고 있고, 15도와 30도에 낮은 결과값을 나타내고 있다. 또한 고령자의 관절 모멘트 결과 그래프에서도 10도에서부터 두 그래프(Knee, Hip)의 곡선이 나누어지기 시작한다. 따라서 이러한 EMG와 관절 모멘트 결과를 반영하여 틸팅 각도의 조절범위가 10~30도 사이에서 조절될 수 있도록 설계하는 것이 적합함을 알 수 있었다.

향후에는 현재의 모션캡쳐 결과를 활용하여 고령 여자그룹과 젊은 여자그룹 간의 관절 모멘트 결과 차이의 원인을 분석하기 위해서, STS 동작에서 체절들의 각도변화와 동작, 자세, 동작속도에 대하여 고령 여자와 젊은 여자그룹 간의 차이점을 분석할 계획이다.

또한 본 연구에서는 고령의 여자와 젊은 여자만을 대상으로 실험을 진행하였기 때문에 본 연구의 실험결과가 모든 고령자와 일반인을 대변한다고 할 수 없다. 따라서 향후에는 고령의 남자와 젊은 남자에 대한 실험도 진행할 계획이다.

5. Conclusion

본 연구는 좌면의 틸팅 기능을 갖춘 고령자용 기립보조의자 개발에서 최적 틸팅 각도를 찾는 것을 목적으로 하여 실험을 진행하였다. 그러나 하나의 좌면 틸팅 각도만 구현되는 기립보조의자보다는 다양한 각도의 조절이 되는 기립보조의자가 고령자들이 사용하기에 적합하다는 결론을 얻을 수 있었다. 그리고 STS 동작에서의 관절 모멘트와 EMG 결과값은 좌면의 틸팅 각도가 10~30도 사이에서 조절할 수 있게 설계하는 것이 적합함을 나타내주고 있다. 따라서 앞으로 고령자용 기립보조의자의 개발에 있어, 본 연구의 결과를 반영하여 기립보조의자를 설계/제작할 것이다.

또한 젊은 여자그룹과 고령 여자그룹 간의 비교를 통해 같은 동작과 조건에서도 고령자와 젊은 사람들 간의 근력과 관절 모멘트, 동작패턴의 결과값은 많은 차이가 있음을 알 수 있었다. 따라서 향후 고령친화제품을 개발하는데 있어, 고령자에게 가장 적합한 제품의 설계가 이루어질 수 있도록 고령자와 일반인들 간의 차이를 평가하고 이러한 차이점을 줄이고, 문제점 해결을 위해서 고령 사용자에 대한 사용성평가 및 실험이 매우 중요할 것으로 사료된다.

Acknowledgements

본 연구는 보건복지가족부의 보건의료기술진흥사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

References

Bazrgari, B. and Shirazi-Adl, A., Arjmand, N., Analysis of squat and stoop dynamic liftings: muscle forces and internal spinal loads, *Eur Spine J* vol. 16(5), 687-99, 2007.

John Rasmussen and Soren Torholm, Mark de Zee, Computational analysis of the influence of seat pan inclination and friction on muscle activity and spinal joint forces, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 39, 52-57, 2009.

Jung, K. T., et al., "Usability Evaluation for Senior Friendly Products", *Ergonomics Society of Korea*, 2007.

Kathleen A. Bieryla and Dennis E. Anderson, Michael. Mdigan, Estimation of relative effort during sit-to-stand increase when accounting for variations in maximum voluntary torque with joint angle and angular velocity, *Journal of electromyography and Kinesiology*, 19, 139-144, 2009.

Kim, J. H. and Jung, K. T., *User Analysis and Quality Function Deployment for the Design of a Four-Wheeled Walker*, KUT, 2008.

Mark S. Thompson, Michalel Voigt and Mark de Zee, "Evaluation of lower extremity musculo-skeletal Model using sit-to-stand movement", *International Society of Biomechanics 19th Congress: the human body in motion*, 2003.

Peter Konrad, *A Practical Introduction to Kinesiological Electromyography*, 32p, Noraxon INC. USA, 2005.

SAFIA Korea, *Survey of Falling accident*, 2007.

Statics Korea, *Elderly population statistics*, 2008.

Yasin, B. Seven and N. Ekin Akalan, Can A. Yucesoy, Effects of back loading on the biomechanics of sit-to-stand motion in healthy children, *Human Movement Science*, 27, 65-79, 2008.

Winter, D. A, *Biomechanics and motor control of Human Movement Science*, New York: John Wiley and Sons, 1990.

Author listings

Jaesoo Hong: jshong94@kitech.re.kr

Highest degree: MS, Department of Mechatronics Engineering, KUT
Position title: Researcher, Gerontechnology Center, KITECH
Areas of interest: Development of senior friendly product, Usability test

Jonghyun Kim: ddalki@kitech.re.kr

Highest degree: MS, Department of Industrial Design Engineering, KUT
Position title: Researcher, Gerontechnology Center, KITECH
Areas of interest: User Analysis, Usability test

Keyoungjin Chun: chun@kitech.re.kr

Highest degree: Ph. D, Department of Biomechanics, Michigan State Univ.
Position title: Senior Researcher, Gerontechnology Center, KITECH
Areas of interest: Development of senior friendly product

Date Received : 2010-12-13

Date Revised : 2011-02-11

Date Accepted : 2011-02-14