

의자의 틸트 기능이 사용자의 생체 신호 및 안락도에 미치는 영향 분석

경슬기*

한남대학교 기계공학과

Analysis of the Impact of Chair Tilt Function on Users' Biometric Signals and Comfort

Seulki Kyeong*

Department of Mechanical Engineering, Hannam University

(Manuscript received 21 March 2024 ; revised 4 April 2024 ; accepted 5 April 2024)

Abstract: This research investigates the influence of chair tilt functionality on biometric signals and user comfort, addressing the ergonomic challenges posed by modern sedentary lifestyles. Through an experimental study involving eight male participants, the impact of chair tilt on electromyography (EMG), heart rate, metabolic rate, pressure distribution, and distance between the lumbar spine and the lumbar support part of the chair was measured across different seating postures. The study utilized chairs with both synchronous and non-synchronous tilt mechanisms to explore how adjustments in chair design affect user comfort and physiological responses during prolonged sitting. Key findings suggest that chair tilt functionality can significantly reduce muscle activity and energy expenditure, enhancing user comfort and potentially mitigating health risks associated with prolonged sedentary behavior. Notably, the study revealed a preference among participants for chairs that aligned the rotational center of the tilt with the hip joint, highlighting the importance of this ergonomic feature in enhancing user comfort. Additionally, the research proposes a novel methodology for assessing seating comfort through the analysis of both biometric and physical signals, providing valuable insights for the development of ergonomic chair designs focused on user health and comfort.

Key words: Chair tilt, Electromyography, Metabolic Rate, Pressure Distribution, Comfort evaluation

1. 서론

현대인들에게 학교와 직장에서 장시간 앉아 있는 것은 피할 수 없는 일상의 일부가 되었으며, 이러한 생활 습관은 여러 건강상의 문제를 유발할 수 있다. 특히 장시간의 좌식 자세는 근골격계 질환의 위험을 증가시킨다. 따라서, 인체공학적으로 설계된 의자는 사용자의 건강과 안락함을 증진시키는 데 필수적인 요소로 자리 잡고 있다.

틸트 메커니즘은 등판과 좌판의 기울임을 변화시켜 착석시 자세 변화를 지원하여 편안하고 건강한 자세를 유지하게 한다[1]. 착석시 자세변화를 지원하는 동적의자는 피부의 혈류 흐름을 좋게 하고 요추추간판의 수액에 영양공급을 촉진하여 지속적인 착석자세로부터 오는 요추의 불편을 감소시키며, 착석시 등을 기울이면 요추추간판에 가해지는 하중이 등판으로 분산되고 척추기립근에 휴식을 제공하여 장시간 착석으로 인한 근골격계 불편을 감소시킨다[2-6]. 이로 인해 틸트 메커니즘을 활용한 의자들이 제안되고 있으며, 편안함과 근육 활동을 기반으로 최적의 틸트각을 찾는 연구들도 제안되고 있다[7-8].

이에 의자의 틸트 기능이 사용자의 생체 신호 및 안락도에 미치는 영향을 분석하는 다양한 방법들이 제안되고 있으며, 이는 인체공학 연구에서 중요한 주제로 자리잡고 있다. 특히,

*Corresponding Author : Seulki Kyeong
Department of Mechanical Engineering, Hannam University, Daejeon 34430, Korea
Tel: +82-42-629-8435
E-mail: seulki.kyeong@hnu.kr
이 논문은 2022학년도 한남대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

압 분포는 의자 착석 시의 안락도를 평가하는 주요 지표로 제안되었다[9-12]. 이는 의자와 사용자 사이의 압력 분포를 측정하여 의자의 지지력과 착석 안락도를 평가하는 데 중요하며, 균일한 체압 분포는 혈액 순환 개선과 욕창 방지에 중요한 역할을 한다. 또한, 근전도 신호를 활용한 연구도 제안되어[12-15], 이는 사용자의 근육 활동을 측정하여 의자 착석 시 근육의 긴장과 피로를 평가하는 데 사용될 수 있다. 이와 함께, 다양한 착석 자세와 의자 설계가 근육 활동에 미치는 영향을 분석하여, 근육 피로를 줄이고 편안함을 증진시키는 의자 설계 기준을 제시할 수 있다. 대사율을 지표로 사용하는 연구도 있으며[15-16], 이는 사용자의 에너지 소비량을 통해 착석 시의 신체 활동 강도를 반영할 수 있다. 이러한 연구는 사용자의 편안함과 건강을 개선하려는 목표를 가지고 있으며, 의자 설계와 개발에 있어 실질적인 가이드라인을 제공하게 된다.

본 연구에서는 다양한 틸트 기능을 갖춘 의자들을 대상으로 틸트 기능이 사용자의 생체 신호와 사용자의 안락함에 미치는 영향을 분석하는 실험을 진행하였다. 실험 참가자들은 이러한 의자들에 앉아 다양한 자세를 취하며, 그 과정에서 생체 신호의 변화를 측정하였다. 본 연구는 특히, 의자가 틸트될 때 근육의 활성화도, 소비되는 에너지 양의 변화, 요추와 의자 요추 지지부분 간의 거리 변화, 그리고 체압이 어떻게 분포되는지에 초점을 맞췄다. 이러한 생체 신호들의 변화를 분석함으로써, 틸트 메커니즘이 사용자의 신체에 미치는 긍정적 혹은 부정적인 영향을 구체적으로 파악하였고, 이를 통해 의자 착석 시 안락도를 평가하기 위한 생체 신호 및 물리 신호 분석 방법을 제안하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 실험 설계

총 8명의 남성 실험자에 대해 실험을 하였다. 실험자는 174.1 ± 4.8 cm의 키, 84.6 ± 3.0 cm의 키, 73.4 ± 13.0 kg의 몸무게의 신체정보를 가지고 있었고, 만나는 23.1 ± 3.9세이다. 모든 실험 절차는 KAIST 생명윤리심의위원회(IRB)의 승인 번호 KH2022-016에 따라 수행되었다. 실험에 측정된 정보로는 근전도, 심박수, 대사율, 체압 분포, 요추와 의자 요추지지 부분 간의 거리 변화이다.

실험은 그림 1과 같이 기립상태, 올곧은 자세로 착석, 의자에 기댄 상태로 평가를 진행하였으며, 기립 상태로 3분, 각 의자별로 착석 상태로 5분, 의자에 기댄 틸팅 상태로 10분간 진행하였다. 의자에서 휴식하는 상태이기 때문에 각 의자 실험 후에 설문하는 시간 외에는 휴식 시간을 갖지 않았다. 틸팅시의 좌판과 등판 사이의 각도는 세 의자 모두 $117^\circ \pm 4^\circ$ 안에서 유지되었다.



그림 1. 실험 세팅 및 실험 자세 예시(기립-착석-틸팅)
Fig. 1. Experiment setting and evaluation posture (standing-sitting-tilting)

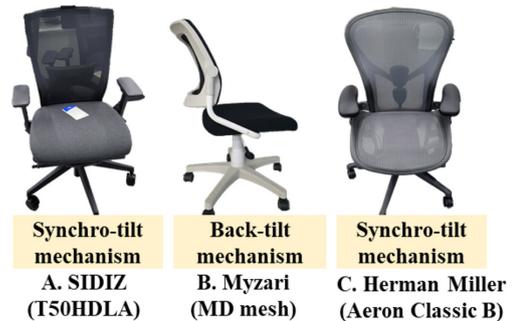


그림 2. 안락도 실험 평가 대상 의자
Fig. 2. Tilting comfort experiment evaluation chairs

평가 의자로는 그림 2와 같이 싱크로틸트의 의자 2개(T50HDLA, 시디즈, Aeron Classic B, 허먼밀러)와 비싱크로틸트(백틸트) 형태인 의자 1개(MD 메쉬의자, 마이자리)를 사용하였다. 싱크로틸트의 의자는 등받이와 좌석이 동시에 틸팅 가능한 의자로 좌판과 등판의 각도가 상이하게 틸팅되는 기능을 가지고 있다[17-18]. 이러한 싱크로 틸팅 기능으로 회전 중심이 인체의 회전축인 엉덩이 관절에 일치하게 되면 등을 기울일 때 요추 부위의 지지가 이루어지고, 등과 등판 사이에서 미끄럼이 발생하지 않아 자연스러운 기울임 동작이 가능해진다[6]. 비싱크로틸트 메커니즘은 싱크로 틸트의 의자와는 다르게 등받이 혹은 좌석이 동시에 틸팅이 되지 않는 메커니즘으로, 실험에서 사용한 백틸트 의자는 등받이만 별도로 기울어지는 기능을 가

진 의자이다. 백틸트 메커니즘은 간편한 방식으로 틸트를 만들 수 있다는 장점이 있지만 틸팅시 회전중심이 사용자의 고관절에 있지 않고 의자의 회전축상에 있다. 그림 2에서 보는 것과 같이 의자A와 의자C는 싱크로틸트 메커니즘을 가진 의자이며, 메커니즘의 작동 방식이나 틸팅 정도에 차이가 있다. 의자C는 구조적인 방법으로 최대한 회전 중심이 엉덩이 관절에 일치하게 만든 의자이다. 의자B는 싱크로틸트 메커니즘은 없지만, 백틸트 기능을 가진 의자이다. 이 세 의자를 대상으로 실험을 진행하였다.

2. 실험 장치 및 데이터 분석 방법

평가를 위한 실험장치로 근전도 측정은 유연한 동작을 위해 필름형태의 유연한 근전도 전극을 제작하여 REFA (TMSi systems, Netherlands)를 통하여 64개 채널의 근전도 신호를 측정하였다. 2 kHz로 측정하였으며, 근전도 신호는 20~500 Hz의 대역 통과 필터와 58~62 Hz의 대역 차단 필터를 사용하여 처리하였다. 근전도 신호는 근전도 신호의 절대값의 평균인 Mean Absolute Value (MAV)를 연속적인 50 ms 길이의 윈도우를 사용하여 계산하였으며, 기립, 착석, 틸팅 조건에서의 MAV값의 평균과 표준 편차를 분석하였다. 표면근전도의 측정 부위는 그림 3과 같이 승모근 상부, 승모근 하부, 최장근, 장늑근, 광배근이다. 각 근전도 신호는 기립 상태의 근활성도를 기준으로 하여 착석 혹은 틸팅 상태의 값으로 비교 분석하였다.

대사율은 호흡가스와 심박수를 측정하는 장치인 K5 (COSMED, Italia)를 사용하여 측정하였다. 대사율 분석은 개인의 신체 활동이나 운동의 강도를 평가하는 방법 중 하나로, 호흡 중에 발생하는 산소(O₂)와 이산화탄소(CO₂)의 양을 정확하게 측정하여 이를 통해 신체의 에너지 소비량을 추정하는 방법이다. Metabolic Equivalent of Task (METs) 기준을 사용하여 대사율을 분석하였으며, 실험자 간 데이터 비

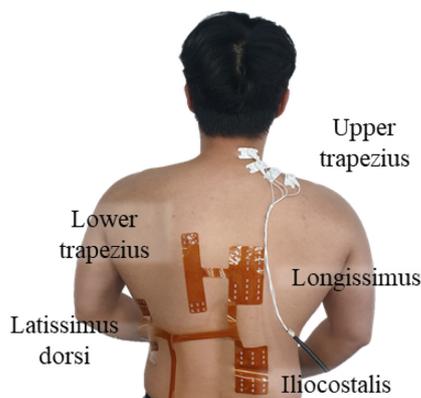


그림 3. 표면 근전도 측정을 위한 전극의 근육 부착 위치
Fig. 3. Muscle attachment location of electrodes for surface electromyography measurement

교를 위해 실험자별로 기립 상태 대비 착석 혹은 틸팅 상태의 값으로 분석하였다.

체압 분포는 대면적 FSR 센서인 MS9705 전극과 Baikol II (KITRONYX, Korea)를 사용하여 체압 센서로 측정하였다. 체압 측정 센서의 채널 수는 총 4608개(96×48)이며, 좌판에 486×48개, 등판에 486×48개의 센서가 분포되었다. 체압 분포는 Ahmadianet et al. [19] 이 압력 분포의 균일성을 계산하기 위해 제안한 Seat Pressure Distribution (SPD%)을 활용하여 분석하였다. SPD%는 식 (1)과 같이 정의되며, 여기서 p_i 는 i 번째 채널의 압력, p_m 은 평균 압력, n 은 총 채널 수를 의미한다. 체압 분석시에 모든 채널을 분석하지 않고, 활성화된 채널만 분석하여, 의자별로, 상황별로 채널수 n 은 상이하였다.

$$SPD\% = \frac{\sum_{i=1}^n (p_i - p_m)^2}{4np_m^2} \times 100 \quad (1)$$

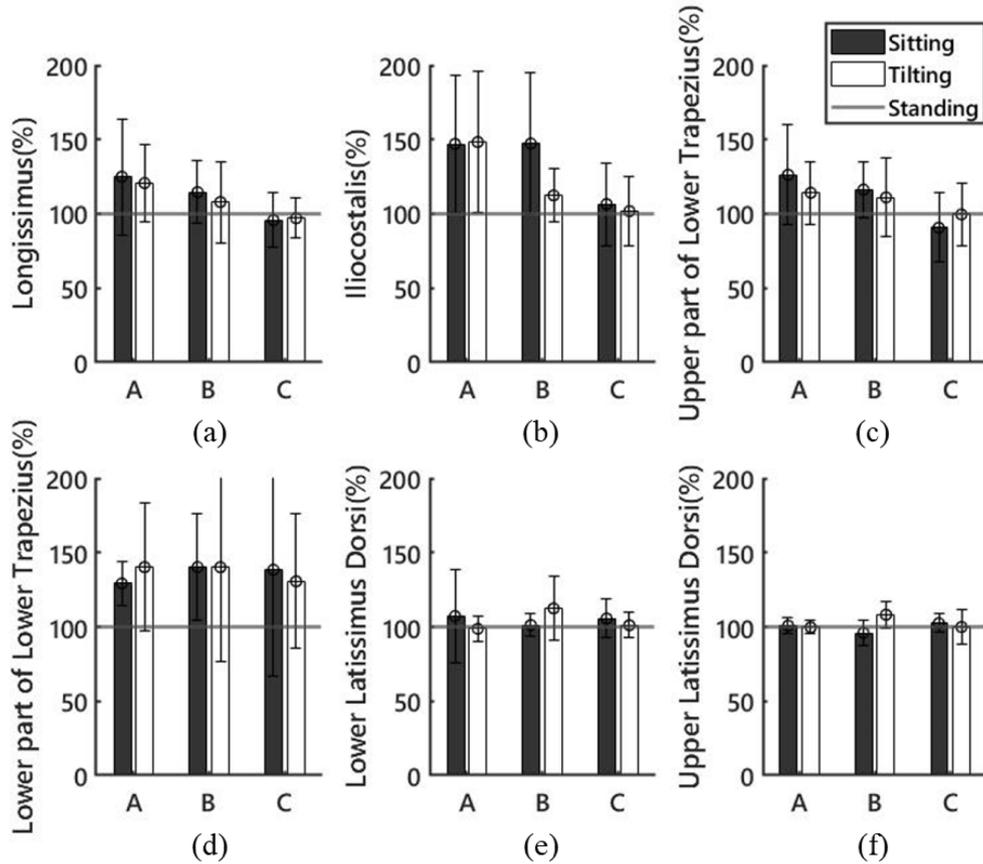
영상기록 및 시각정보 측정은 적외선 카메라 센서 V120:Trio (OptiTrack, U.S.A.)를 사용하여 의자에 기댄 자세 및 미끄러짐 정도를 측정하였다. 영상 촬영을 통해 설문결과를 세부적으로 대조 분석하였고, 뒤척임 등을 분석하였으며, 요추와 의자 요추지지부분 간의 거리를 측정하였다.

III. 연구 결과

본 연구는 의자 틸팅시 근전도, 심박수, 대사율을 포함한 생체신호와, 체압 분포, 착석 움직임 등의 물리 신호의 변화를 분석하였다.

그림 4는 근육 별 근 활성화도 비교결과로, 실험자가 기립하여 있을 때의 각 근육의 근활성도를 기준으로 상대적인 근활성도를 비교하였다. 여러가지 근육 중에서 척추 기립근에 해당하는 최장근과 장늑근은 똑바로 앉아 있을 때보다, 실험자가 의자에 기대어 의자가 틸팅되어 있을 때 근활성도가 감소하였다. 대체적으로 C의자의 근활성도가 제일 낮게 활성화되는 것으로 분석되었다. 이는 C의자에서 척추 기립근의 근육 긴장도가 상대적으로 낮다는 것을 의미한다. 하부승모근의 상부 근활성도는 A, B의자의 경우에는 틸팅시 감소하였으나, C의자의 경우에는 착석시에 기립시보다 10% 감소하였으며, 틸팅시 착석시보다 증가하는 현상을 보였다. 하부승모근의 하부 근활성도는 의자에 따라서도, 의자에 틸팅에 따라서도 큰 차이가 없었지만, 기립시의 근활성도보다는 평균 36% 활성화된 특징을 보였다. 상하부 광배근은 의자에 따라서도, 의자의 틸팅에 따라서도 기립시의 근활성도와 큰 차이를 보이지 않았다.

실험 분석 결과 심박수는 의자 별, 자세별로 큰 차이를 보



78

그림 4. 각 의자별 틸팅에 따른 근활성도 평균 비교 (a)최장근 (b)장늑근 (c)하부승모근 하부 (d)하부승모근 상부 (e)광배근 하부 (f)광배근 상부. 오차막대는 ±1 표준편차를 나타냄

Fig. 4. Average muscle activity (EMG) according to tilting of each chair (a) Longissimus (b)Iliocostalis (c) Upper part of Lower Trapezius (d) Lower part of Lower Trapezius (e) Lower Latissimus Dorsi (f) Upper Latissimus Dorsi. Error bars indicate ± 1 SD

이지 않아 비교에서 제외하였다.

그림 5는 대사율 평균을 비교한 것이다. 전체적으로 대사율은 기립시보다는 의자에 착석했을 때 감소하였으며, 의자가 틸팅 되었을 때 세 의자 모두 대사율이 감소하는 경향을 보였다. 의자 틸팅 시에 평균 13.3% 대사율이 감소하였으며,

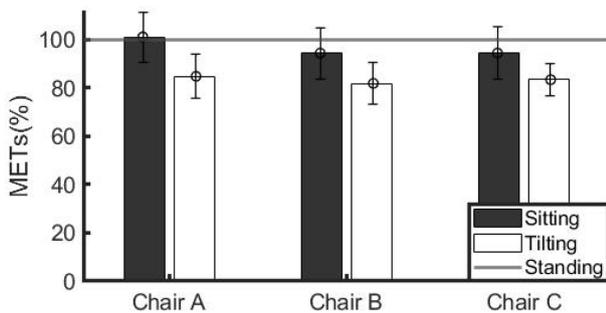


그림 5. 각 의자별 틸팅에 따른 대사율 평균 비교, 대사율은 METs를 기준으로 하여, 기립 상태 대비 착석 혹은 틸팅 상태의 값(%)으로 재해석. 오차막대는 ±1 표준편차를 나타냄

Fig. 5. Average metabolic rate (METs) according to tilt of each chair, Metabolic rate is based on METs and reinterpreted as the value in a sitting or tilted state compared to a standing state (%). Error bars indicate ± 1 SD

틸팅시의 평균 대사율은 기립시보다 16.7% 감소하였다. 의자별로는 착석시에는 의자A를 제외한 의자B, C의 대사율이 낮았으며, 틸팅시 큰 차이가 없었다. 대사율이 낮았다는 의미는 실험자가 더 편안한 상태였음을 의미한다.

각 의자별 틸팅에 따른 좌판의 체압 분포와 체압 평균의 비교는 그림 6에 나타났다. 그림 6(a)의 체압 분포는 SPD% 분석 결과, 의자가 틸팅됨에 따라 의자A는 0.14%, 의자B는 0.15% 감소하였으며, 의자 C는 0.12% 증가하였다. 그림 6(b)는 좌판의 평균 압력 분포이다. 의자가 틸팅 됨에 따라 등판에 압력이 분산되어 세 의자 모두 평균 압력이 감소하였으나, 의자C의 체압 분포만 반대양상을 보인 것으로 분석된다. 틸팅에 의해 감소한 평균 압력은 0.0438 N/cm²이다. SPD%의 값은 전체 체압 분포의 균일성을 특징으로 하기 때문에, 이 값이 작을수록 더 분포가 균일하다고 할 수 있다. 체압 분포는 좌석의 크기, 각도, 형태, 쿠션의 부드러움, 좌석 커버의 재질과 같은 좌석의 물리적 특성에 의해 영향을 받는 것뿐만 아니라, 사용자의 체형, 몸의 곡선, 근육 구조와 같은 개인의 신체적 특성에도 영향을 받게 되는데, 이 영향도 있었다고 판단된다[20].

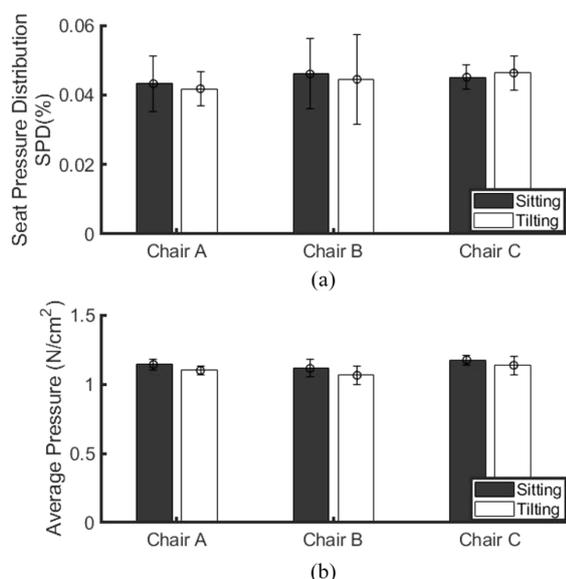


그림 6. 각 의자별 틸팅에 따른 체압 비교 (a) 좌판의 체압 분포 SPD% 평균 비교 (b) 좌판의 평균 압력 비교. 오차막대는 ± 1 표준편차를 나타냄

Fig. 6. Seat pressure distribution (SPD%) average with tilt of each chair. Error bars indicate ± 1 SD

총 8명을 대상으로 의자 틸팅 실험을 한 뒤 선호하는 의자에 대한 설문 조사를 진행한 결과, 5명의 실험자가 C의자를 선호하였고, 2명의 실험자가 B의자를, 1명의 실험자가 A의자를 선호하였다. 생체 신호 상으로는 실험자의 선호도 보다는 의자의 형태에 따라 생체 신호의 변화가 있었다면, 카메라로 측정된 요추와 의자 요추지지 부분 간의 거리는 실험자의 선호도와 관련이 있는 것으로 분석되었다. 그림 7은 실험자별로 요추와 의자 요추 지지부분 간의 거리를 측정된 결과로, 착석상태와 틸팅 상태 사이의 거리변화가 가장 적은 의자와 실험자가 선호하는 의자가 87.5% 일치하는 것으로 나타났다.

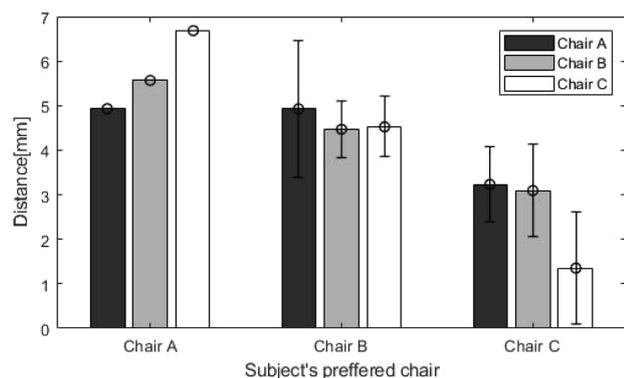


그림 7. 선호하는 의자별 각 의자의 틸팅에 따른 요추-의자 사이 거리 감소량. 오차막대는 ± 1 표준편차를 나타냄

Fig. 7. Reduction in distance between lumbar spine and chair with tilt of each chair for each preferred chair. Error bars indicate ± 1 SD

착석상태와 틸팅 상태 사이의 거리변화가 가장 적은 의자와 실험자가 선호하는 의자가 일치하지 않은 경우는 B의자를 선호하는 5번실험자로, 이 실험자의 경우 틸팅시 세 의자의 거리 변화 편차가 ± 0.11 mm로 거의 일치했기 때문에 실험자가 느낄 때 큰 차이가 없다고 느꼈을 것을 판단된다. 따라서 이 실험자를 제외하면, 착석상태와 틸팅 상태 사이의 거리변화가 가장 적은 의자와 실험자가 선호하는 의자는 상관관계가 있다고 판단하였다.

IV. 고찰 및 결론

본 연구는 의자의 틸트 기능이 사용자의 근육 활성화, 대사율, 체압 분포 및 안락도에 미치는 영향을 종합적으로 분석함으로써, 의자 착석 시 안락도를 평가하기 위한 생체 신호 및 물리 신호 분석 방법을 제안하였다. 생체 신호 분석 실험 결과 틸트 기능을 갖춘 의자가 사용자의 신체적 부담을 줄이고, 장시간 앉아 있음으로 인해 발생할 수 있는 건강상의 문제를 완화할 수 있음을 보여주었다. 실험을 통해 얻은 근전도, 대사율, 체압 분포 데이터는 틸트 메커니즘이 사용자의 체압 분포를 최적화하고, 근육의 긴장을 감소시키며, 전반적인 에너지 소비를 줄이는 효과가 있음을 입증하였다. 이러한 효과는 특히 장시간 앉아 있는 작업 환경에서 사용자의 편안함과 건강을 개선하는 데 기여할 수 있다.

실험의 한계로는 의자별로 목받침 부분이 상이하여 목받침을 모두 제외한 상태로 실험을 진행하였는데, 대부분의 실험자들이 목받침이 있어야 더 안락할 것 같다는 피드백을 주었다. 목받침이 있으면 좋겠다고 응답한 실험자의 승모근의 근전도를 분석한 결과 틸팅시와 착석시의 근활성도 차이에 유의미한 결과가 없긴 하였지만, 안락함을 주기 위해서는 목받침이 필요하다고 판단된다. 따라서 추후 의자의 안락함 평가로서 실험을 진행하면, 동일한 목받침을 제작하여 의자별로 설치하여 실험을 진행하는 것이 필요하다.

본 연구에서 수행된 설문 조사 결과는 사용자의 선호도와 의자의 틸트 기능이 직접적으로 관련이 있음을 보여준다. 총 8명을 대상으로 한 실험 후 진행된 설문 조사에서, 5명의 참가자가 틸팅시 회전 중심이 엉덩이 관절에 일치하게 만든 싱크로 틸팅 메커니즘을 가진 C의자를 선호하였으며, 이는 틸트 메커니즘이 사용자의 안락도를 향상시킨다는 강력한 증거로 볼 수 있다. 또한, 생체 신호의 분석 결과와 의자의 구조적 특성 사이에 상관관계가 있음을 발견하였으며, 특히 요추와 의자 요추 지지부분 간의 거리 변화는 사용자의 선호도와 직접적인 관련이 있는 것으로 나타났다. 착석 상태와 틸팅 상태 사이의 거리 변화가 가장 적은 의자를 선호하는 경향이 높았으며, 이는 의자의 틸트 기능이 사용자에게 제공하는 지지와 편안함의 수준을 반영한다.

이러한 결과를 통해, 의자 착석 시 안락도를 평가하기 위한 생체 신호 및 물리 신호 분석 방법이 효과적임을 확인할 수 있었다. 본 연구는 의자 설계에 있어 사용자의 건강과 편안함을 고려한 새로운 접근 방법을 제시하며, 이는 향후 의자 설계 및 제조 과정에서 사용자 중심의 인체공학적 고려 사항을 통합하는 데 도움이 될 것이다. 연구의 제한점을 극복하고 더 포괄적인 이해를 얻기 위해 다양한 성별, 연령, 체형을 가진 참가자를 포함한 추가 연구가 필요하다.

References

- [1] Roh JR, Hyeong JH, Kim SY, Chung KR. A Study on Function and Trend of Tilt Mechanism for Office Chair. Conference of Korean Society of Design Research. 2013;258-261.
- [2] Hyeong JH, Roh JR, Park SB, Kim S, Chung KR. Development of Tilting Chair for Maintaining Working Position at Reclined Posture. J Ergon Soc Korea. 2014;33(2):155-165.
- [3] O'Sullivan K, O'Sullivan P, O'Keefe M, O'Sullivan L, Dankaerts W. The effect of dynamic sitting on trunk muscle activation: A systematic review. Applied Ergonomics. 2013; 44(4):628-635.
- [4] Andersson GBJ, Murphy RW, Örtengren R, Nachemson AL. The influence of backrest inclination and lumbar support on lumbar lordosis. Spine. 1979;4(1):52-58.
- [5] Lengsfeld M, Frank A, VanDeursen DL, Griss P. Lumbar spine curvature during office chair sitting. Medical engineering & physics. 2000;22(9):665-669.
- [6] Chung KR, Hyeong JH, Choi CH, Kim SY, Hong GS. The Effects of Different Backrest Pivot Positions on the Human Body During Reclining of the Office Chair. Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A; 2010; 34(2):167-174.
- [7] Nam HS, Han M, Choi HY, Song K, Kang S, Ahn SM, Lee SU. Effect of reclining angle on lumbar lordosis at driving posture: a radiological evaluation. Journal of back and musculoskeletal rehabilitation; 2018;31(5):923-930.
- [8] Schmidt S, Amereller M, Franz M, Kaiser R, Schwirtz A. A literature review on optimum and preferred joint angles in automotive sitting posture. Applied ergonomics; 2014; 45(2):247-260.
- [9] Bao J, Zhou Q, Wang X, Yin C. Comfort evaluation of slow-recovery ejection seat cushions based on sitting pressure distribution. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology; 2021;9:759442.
- [10] Gyi DE, Porter JM. Interface pressure and the prediction of car seat discomfort. Applied ergonomics; 1999; 30(2):99-107.
- [11] Li W, Mo R, Yu S, Chu J, Hu Y, Wang L. The effects of the seat cushion contour and the sitting posture on surface pressure distribution and comfort during seated work. International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health; 2020;33(5):675-689.
- [12] Cardoso MR, Cardenas AK, Albert WJ. A biomechanical analysis of active vs static office chair designs. Applied Ergonomics; 2021;96:103481.
- [13] Cattarello P, Vinelli S, D'Emanuele S, Gazzoni M, Merletti R. Comparison of chairs based on HDsEMG of back muscles, biomechanical and comfort indices, for violin and viola players: a short-term study. Journal of Electromyography and Kinesiology; 2018; 42:92-103.
- [14] Udo H, Fujimura M, Yoshinaga F. The effect of a tilting seat on back, lower back and legs during sitting work. Industrial health; 1999;37(4):369-381.
- [15] Hiemstra-van MS, Kamp I, Van VSAT, Vink P, Bosch T. The influence of active seating on car passengers' perceived comfort and activity levels. Applied Ergonomics; 2015;47:211-219.
- [16] Synnott A, Dankaerts W, Seghers J, Purtill H, O'Sullivan K. The effect of a dynamic chair on seated energy expenditure. Ergonomics; 2017;60(10):1384-1392.
- [17] Woo EHC, White P, Lai CWK. Ergonomics standards and guidelines for computer workstation design and the impact on users' health—a review. Ergonomics; 2016;59(3):464-475.
- [18] Jochem C, Schmid D, Weber A, Leitzmann MF. Introduction to Sedentary Behaviour Epidemiology. In Sedentary Behaviour Epidemiology. Cham: Springer International Publishing. 2023;3-44.
- [19] Ahmadian M, Seigler TM, Clapper D, Sprouse A. Alternative test methods for long term dynamic effects of vehicle seats. SAE Transactions. 2002;684-692.
- [20] Jun YD. Effect of Hardness Characteristics of Vehicle Seat Cushion on Comfort of Human Body. Korea Institute of Science and Technology Information; 2021.