

사무용 의자의 조인트 구조에 따른 등판 반발력 분석[§]

형준호* · 김사엽** · 노종련* · 박성빈* · 정경렬*

* 한국생산기술연구원

Evaluating the Reaction Force of Office Chair Backrest for Different Joint Structures

Joon Ho Hyeong*, Sa Yup Kim**, Jong Ryun Roh, Seong Bin Park
and Kyung Ryul Chung**

* Korea Institute of Industrial Technology

(Received February 6, 2015 ; Revised April 16, 2015 ; Accepted April 27, 2015)

Key Words: Office Chair(사무용 의자), Mechanical Friction(기구 마찰력), Hip Pivot Tilt(힙피벗 틸트), Reaction Force of Backrest(등판 반발력), Pin-in-slot Joint(핀인슬롯조인트)

초록: 등판이 기울어지는 사무용 의자에서 등판 회전축 위치를 인체의 엉덩관절에 일치시키면 인체와 등판이 일체화되어 기울어짐으로써 사용성을 향상시킬 수 있다. 그러나 등판 힌지가 외부로 돌출되지 않도록 하기 위해 적용되는 핀인슬롯 조인트에서 기구적인 마찰이 발생해 등을 기울이고 세우는 동안 사용자에게 영향을 줄 것으로 예상된다. 본 연구에서는 마찰 정도가 다른 조인트 부품으로서 슬라이더, 롤러 그리고 베어링 세 가지 유형을 적용하고, 등판 기울임 시 대비 복귀 시의 반발력 비율을 측정하였다. 실험 결과 베어링, 롤러, 슬라이더를 적용한 경우 등판 반발력 비율은[±SD]은 각각 59.7[±10.3]%, 47.2[±13.6]%, 30.3[±18.1]%로 나타나 베어링을 적용할 경우 마찰이 가장 작았다. 그러나 각 부품들은 생산단가 측면에서 차이를 보이기 때문에 부품 선정 시 마찰감소 성능뿐만 아니라 사용자의 주관적인 만족도를 함께 고려할 수 있음을 제시하였다.

Abstract: The location of the pivot between the backrest and seat pan of a reclining chair should be identical to the hip joint center to prevent unpleasant user experiences during tilting motion. However, mechanical friction occurs in the pin-in-slot joints that are installed under the seat pan as an alternative to the hinge joint. This reduces the reaction force between the backrest and the occupant's back when reclining and returning to an upright position, which causes the occupant's discomfort. In this study, bearings, rollers, and sliders were suggested as alternatives for the pin component, and the percentage of the reaction force on the backrest was measured while reclining the backrest and subsequently returning it to an upright position. The results show when bearings, rollers, and sliders were used for the pin-in-slot joint, the percentages of the reaction force were 59.7 ± 10.3 , 47.2 ± 13.6 , and 30.3 ± 18.1 , respectively, indicating that the friction of the bearing was the lowest among the three pin components. Because the three alternatives have different manufacturing costs, synthetic judgment requires the consideration of not only mechanical friction but also user experience.

1. 서론

지속적인 착석자세로부터 오는 요추의 불편을

감소시키기 위해 빈번한 자세의 변화가 권고되고 있다.^(1,2) 착석 시 자세변화를 일으키는 것을 이른바 동적착좌(dynamic sitting)라고 한다. 자세의 변화는 의자와 접촉되는 피부의 혈류 흐름을 좋게 하고 요추추간판(lumbar disc)의 수액에 영양공급을 촉진하는 등 다양한 장점이 있어⁽³⁾ 동적착좌

§ 이 논문은 대한기계학회 2014년도 추계학술대회(2014.

11. 11.-14., 김대중컨벤션센터) 발표논문임.

† Corresponding Author, sayub@kitech.re.kr

© 2015 The Korean Society of Mechanical Engineers

를 지원하는 의자들이 많이 개발되고 있다.⁽⁴⁻⁷⁾ 대표적인 동적의자(dynamic chair)로서 등판과 좌판이 동시에 기울어지도록 하는 싱크로틸트(synchronized tilt)가 적용된 의자를 들 수 있다.

착석 시 등을 기울이면 요추추간판(lumbar disc)에 가해지는 하중을 등판으로 분산시키고 척추기립근(erector spinae)에 휴식을 제공하여^(8,9) 장시간 착석으로 인한 근골격계 불편을 감소시킬 수 있다. 이에 대부분의 사무용 의자에 싱크로틸트가 적용되고 있다.

한편 싱크로틸트 의자에서 등판(backrest)의 기구적인 회전 중심이 인체의 회전축인 엉덩관절(hip joint)에 일치하지 않으면 등을 기울일 때 요추 부위의 지지가 이루어지지 않고, 등과 등판 사이에서 미끄럼이 발생하여 기울임 동작을 불편하게 한다.⁽¹⁰⁾ 사람들은 기능조절이 쉬운 의자를 더욱 편안하게 느끼며 그 기능을 더욱 자주 사용하기 때문에⁽¹¹⁾ 기울임 동작 역시 자연스럽게 편안할 때 착석자가 빈번하게 등을 기울일 수 있을 것이다. 이에 등판의 기구적인 회전중심을 인체의 엉덩관절에 일치시키는 이른바 힙피벗(hip pivot) 기능을 틸트메커니즘(tilt mechanism)에 적용하는 방안이 제안되고 있다.⁽¹⁰⁾ 현재 대부분의 상용 의자는 구조적 제약에 의해 등판의 회전축을 엉덩관절 위치가 아닌 좌판 하부에 설계한다. 힙피벗 기능을 구현하기 위한 원초적인 방법으로서 Fig. 1과 같이 인체의 엉덩관절 좌우측에 등판과 좌판을 구속하는 핀조인트(pin joint)를 설치하면 힙지가 좌판 상부로 돌출되어 외관이 복잡해 보이고 심미성이 떨어진다.

이에 본 연구에서는 좌판하부에 엉덩관절을 중심으로 하는 원호 형 가이드슬롯(guide slot)을 설계하고 등판에 장착된 핀(pin)이 가이드슬롯(guide slot)을 따라 이동하게 하는 핀인슬롯(pin-in-slot) 조인트를 적용함으로써 힙지의 돌출 없이 힙피벗 기능을 구현하였다. 이는 피벗이 엉덩관절 높이까지 돌출되지 않아도 힙피벗 기능을 수행할 수 있기 때문에 메커니즘이 작아지고 얇아질 수 있어 외형적인 측면에서 상업화에 유리하다. 그러나 Fig. 1의 아래와 같이 핀이 가이드슬롯을 따라 상당한 거리를 이동하는 과정에서 마찰이 크게 발생한다는 문제가 있다. 결국 증가된 마찰력이 기구적인 에너지 손실을 발생시켜 등판을 기울였다가 다시 세울 때 스프링에 의한 등판 반발력을

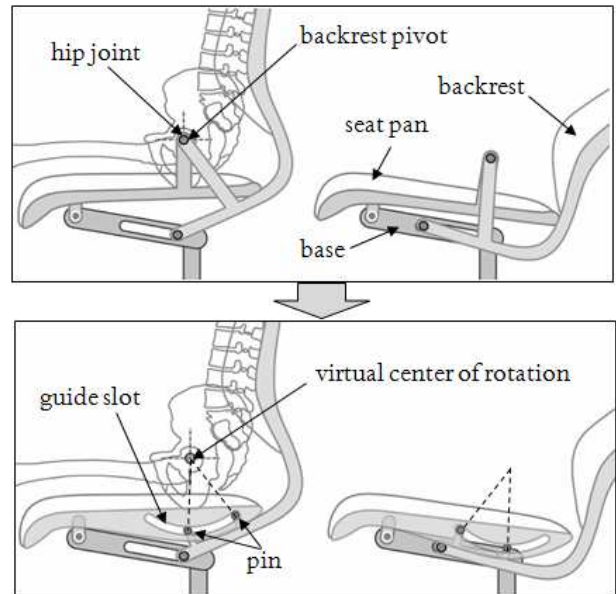


Fig. 1 Concept of hip pivot joint

약화시키고 착석자에게 불편을 야기할 수 있다.

본 연구에서는 가이드슬롯을 따라 이동하는 핀(pin)의 마찰력을 줄이기 위한 대안으로서 베어링(bearing), 롤러(roller), 슬라이더(slides) 등 3가지 부품의 적용 가능성을 평가하고자 하였다. 각 부품들은 마찰력 저감이라는 기능적인 차이뿐만 아니라 생산비용 측면에서도 차이가 예상된다. 따라서 대안 부품의 마찰력 저감 기능을 정량적으로 대변하는 등판 반발력과 사용자가 느끼는 주관적인 만족도를 동시에 측정하여 대안 부품들의 적용 가능성을 종합적인 관점에서 평가하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1 실험용 의자

등판의 회전중심이 착석자의 고관절에 위치하도록 핀인슬롯 조인트 2쌍을 적용한 실험용 의자를 제작하였다. 베이스(base)와 등판부(backrest part)의 연결을 위해 2쌍의 핀인슬롯 조인트를 적용하였고, 베이스와 좌판부(seat part) 사이에는 핀조인트(pin joint)가 적용되었다.[Fig. 2] 두 가이드슬롯의 곡률과 방향에 의해 등판부가 좌판부에 대해 엉덩관절(hip joint)을 기준으로 회전하되, 등판부는 25°, 좌판부는 6° 기울어지는 움직임을 갖는다. 등판을 기울이면 메커니즘 내부에 설계된 스프링이 압축되며, 압축된 스프링의 반발력에 의해 기울어진 등판을 복귀하려는 이른바 등판 반발력(backrest reaction force)이 발생한다. 이 같

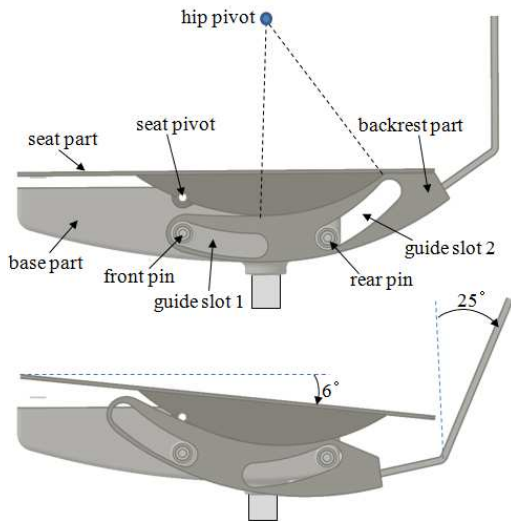


Fig. 2 Drawing of hip pivot tilt mechanism

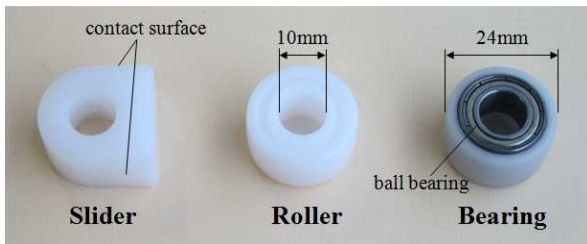


Fig. 3 Alternatives of pin cover type

은 힘은 사용자의 등을 밀어주어 사용자가 쉽게 등을 일으킬 수 있도록 도와준다.

메커니즘 동작을 부드럽게 하기 위해 핀인슬롯 조인트에 마찰력을 줄이기 위한 부품을 적용하였다. 지름 10mm의 핀이 폭 24mm인 가이드슬롯의 중심을 따라 쉽게 이동하도록 핀을 감싸는 부품에 슬라이더(slider), 롤러(roller), 베어링(bearing) 세 가지 대안을 적용하였다.[Fig. 3] 소재는 모두 아세탈을 적용하였고, 베어링의 경우 아세탈 휠에 볼베어링을 삽입하는 방법으로 제작하였다. 베어링이 적용되면 핀이 삽입되는 베어링의 외륜이 구르기 때문에 마찰저항이 작을 것으로 예상되고, 롤러를 적용할 경우, 롤러의 내륜이 핀과 마찰을 일으키며 구르기 때문에 저항이 비교적 클 것으로 예상된다. 또한 슬라이더를 적용할 경우 슬라이더 자체는 구르지 않고 가이드슬롯에 접촉되는 부위에서 면 마찰을 일으키며 이동하기 때문에 마찰력이 상당히 클 것으로 예상된다. 따라서 실험 변수는 힙피벗 기능이 적용된 시작품 의자에 슬라이더, 롤러, 베어링을 적용한 경우로서 각각 case A, case B, case C 라고 정의하였다.

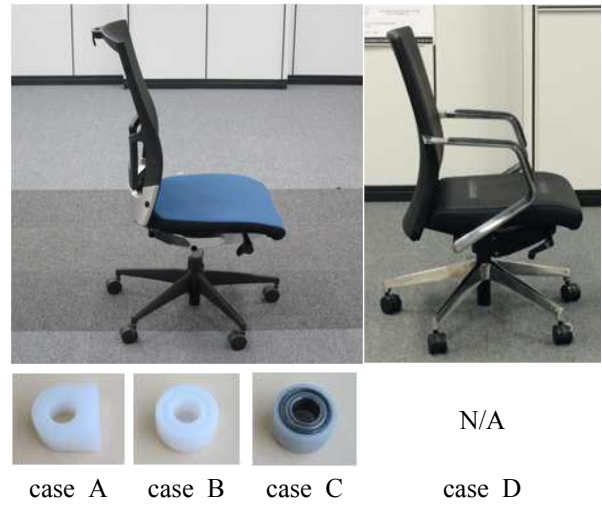


Fig. 4 Test case with experimental chair

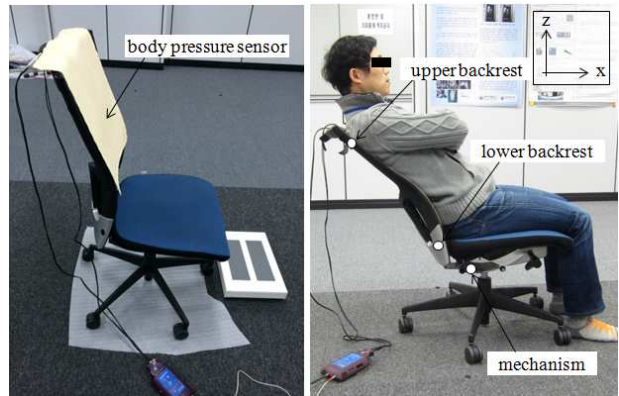


Fig. 5 Experimental environment and reflective marker placement

또한 일반 싱크로틸트 의자인 국내 P사 제품을 선정하여 case D라 정의하고 비교를 위해 함께 실험하였다. 비교를 위한 일반의자는 힙피벗 기능 없이 4절 링크시스템으로 이루어진 틸트메커니즘 으로서 메커니즘 내부의 기계적 마찰이 비교적 작을 것으로 예상되는 의자이다. 실험에 사용된 의자와 적용된 핀 부품 조합은 Fig. 4에서 볼 수 있다.

2.2 등판 반발력 측정 실험

실험용 의자의 등판에 등판반발력을 측정하기 위한 체압측정장비(Pliance, Novel Co., Germany)를 장착하고, 반사마커를 부착시켜 동작분석용 카메라(Osprey, Motion Analysis Co. Ltd., USA)를 이용하여 삼차원 동작을 측정하였다.[Fig. 5] 반사마커는 등판의 상부(upper backrest)와 하부(lower backrest) 그리고 메커니즘 하단(mechanism) 등 총

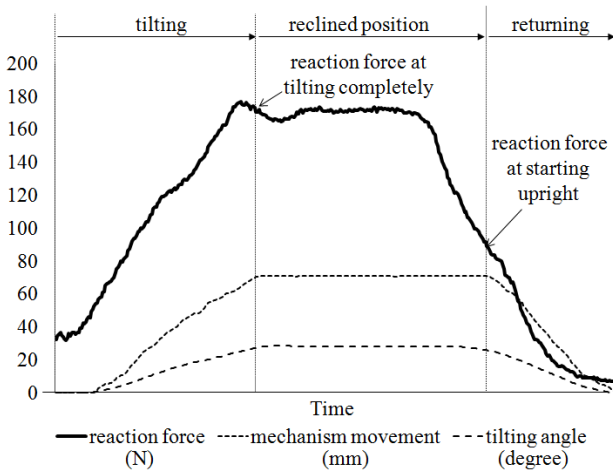


Fig. 6 Example of reaction force and mechanism movements during tilting followed by tilting upright

3곳에 부착하여 등판의 기울임과 메커니즘의 거동을 확인할 수 있게 하였다.

요추질환이 없는 성인 남성 6명을 대상으로 등판기울임 실험을 수행하였다. 피험자의 평균 나이는 32.3±4.5세 이고, 평균 신장은 172.2±1.7cm 이며 평균 체중은 74±8.4kg이다. 실험 전 피험자에게 실험의자에 앉아 의자의 높이를 조절하도록 하고 실험방법을 전달하였다. 실험은 바르게 앉은 상태에서 등판을 기울였다가 다시 세우는 동작을 3회 반복하도록 하고 등판 반발력과 마커의 동작을 동시에 측정하였다. 이때, 피험자는 팔을 모으고 시선은 전방을 주시하도록 하였다. 각각의 의자에 대해 기울임 실험을 마친 후 등판 반발력에 대한 주관적 만족도를 조사하였다. 등을 기울인 후 다시 세우는 과정에서 등판 반발력의 도움으로 힘을 들이지 않고 편안히 일어섰는지에 대해 9점 척도로 평가받았다. 각 실험 의자 별 등판 반발력과 주관만족도의 상호비교를 위해 SPSS 18.0을 이용한 t-test를 수행하였다.

3. 실험 결과

3.1 데이터 분석

등판을 기울이고 다시 복귀하는 동안 등판반발력(reaction force), 메커니즘에 부착된 반사마커의 x 방향 움직임 변위(mechanism movement) 그리고 등판 기울임 각(tilting angle)을 동시에 그래프로 나타내었다.[Fig. 6] 등을 기울이는 동안 등판반발력은 최대 상승하고 일정시간이 지난 후 다시

Table 1 Reaction force at tilting completely and at starting upright(N)

	case A (slider)		case B (roller)		case C (bearing)		case D	
	tilting	return	tilting	return	tilting	return	tilting	return
Sub1	136.5	43.1	125.3	56.4	123.6	51.0	129.2	71.9
Sub2	167.4	46.7	165.5	62.0	145.4	84.5	141.6	88.7
Sub3	112.8	35.0	90.7	50.1	123.8	76.7	122.1	89.8
Sub4	103.0	20.8	120.0	46.3	127.1	67.3	80.5	56.2
Sub5	121.5	10.1	142.9	51.1	172.2	91.3	128.9	93.7
Sub6	141.6	97.6	137.4	105.8	137.5	111.5	83.9	40.6
mean	130.5	42.2	130.3	62.0	138.3	80.4	114.4	73.5
[SD]	[23.1]	[30.4]	[25.1]	[22.2]	[18.7]	[20.7]	[25.7]	[21.4]

등을 일으켜 세우기 시작하는 시점에서는 상당히 감소하는 형태를 보여준다. 이러한 차이는 메커니즘 내부에서 작용하는 마찰력에 의해 나타나는 것으로 여겨지며, 착석자는 상체를 일으켜 세울 때 부족한 반발력을 극복해야 하기 때문에 불편함을 느낄 수 있다. 그래프 상에서 메커니즘 마커를 기준으로 등을 최대 기울인(tilting completely) 시점과 최대 기울인 상태에서 복귀(starting upright)를 시작하는 시점을 결정할 수 있었다. 그리고 이 시점에 대응하는 순간의 등판 반발력을 추출하였다.[Table 1] 매 의자마다 3회 측정하였기 때문에 평균값을 기록하였다. 등판 반발력 자체는 피험자의 체중에 따라 큰 차이를 보이기 때문에 본 연구에서는 등을 최대 기울였을 때의 등판반발력 대비 복귀하기 시작 할 때의 등판반발력을 백분율로 나타낸 %BRF(backrest reaction force)를 정의하고 등판반발력이 높고 낮음을 판단하는 기준으로 삼았다.

3.2 실험 결과

슬라이더가 적용된 case A의 경우 %BRF는 평균 30.3[±18.1]%에 불과하였지만 롤러와 베어링이 적용된 경우에는 각각 47.2[±13.6]%, 59.7[±10.3]%로 증가하였다. 비교 의자에 해당하는 case D의 경우는 66.9[±6.8]%로 가장 높은 값을 보였다.[Fig. 7] 이 같은 경향은 실험 전 예상했던 바와 일치한다. 의미 있는 점은 t-test 결과, 롤러를 적용한 case B, 베어링을 적용한 case C의 %BRF는 서로 유의한 차이를 보이지 않았다는 것으로

서($p>.05$) 롤러와 베어링의 적용성에 있어서 다른 관점에서 검토할 수 있는 여지가 있음을 알 수 있다.

주관적 평가에서는 슬라이더를 적용한 case A에서 보통이하의 만족도인 $4.7[\pm 1.4]$ 점을 평가받았고 case B, case C의 경우 각각 $6.2[\pm 1.9]$, $6.8[\pm 1.7]$ 점으로 상대적으로 높게 평가받았다. Case D는 $7.2[\pm 1.7]$ 점으로 가장 높게 나타나 전반적으로 등판반발력 비율과 같은 경향을 보였다 [Fig. 8]. 하지만 case A를 제외한 case B, case C, case D에 대한 주관만족도는 t-test 결과 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다($p>.05$).

3.3 고찰

실험을 통해 힙피벗 틸트메커니즘의 핀인슬롯 조인트에 베어링을 적용할 경우 %BRF는 일반

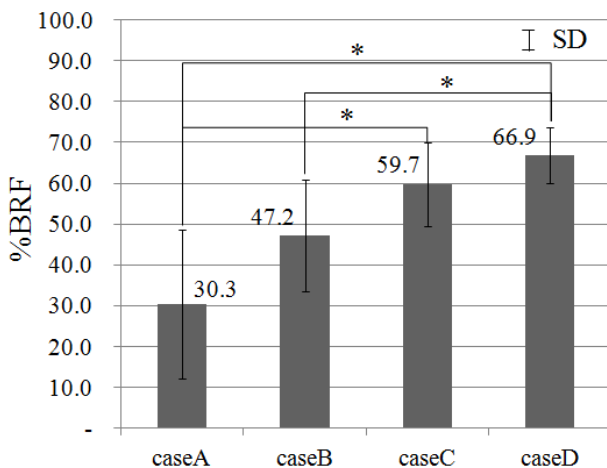


Fig. 7 Comparison of %BRF among test cases (* $P<.05$)

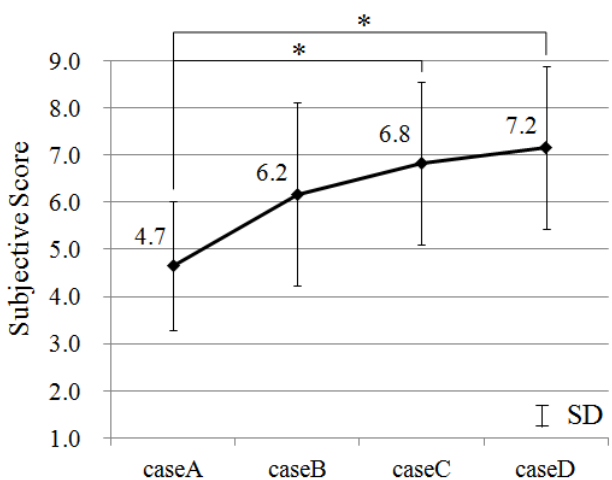


Fig. 8 Comparison of subjective evaluation(* $P<.05$)

의자에 근접한 수준으로 대안 부품들 중 가장 높다는 것을 알 수 있었다. 한편 롤러를 적용할 경우 %BRF는 베어링을 적용할 경우보다는 작았고 슬라이더를 적용한 경우 보다는 크다는 것을 알 수 있었다. 중요한 부분은 슬라이더를 적용했을 때 주관적 만족도는 대체적으로 조금 만족스럽지 못하다고 평가한 반면 롤러를 적용했을 때는 대체적으로 만족스럽다고 평가하여 롤러의 적용가능성을 높이는 결과를 보였다.

틸트메커니즘의 상용화 관점에서 보면 베어링을 적용한 경우 롤러와 슬라이더를 적용한 경우에 비해 부품단가가 3배 이상 상승한다. 이는 베어링이 등판기울임을 부드럽게 하고 %BRF 또한 적절하게 증가시키는 요소임에도 불구하고 고비용이라는 단점 때문에 항상 최적의 부품이 아닐 수 있음을 의미한다. 오히려 비교적 저렴한 롤러는 기울임 동작 시 사용성을 크게 저해하지 않으면서 가격적인 장점을 확보할 수 있기 때문에 부품선정에 있어 의미 있는 대안이 될 수 있음을 시사한다.

한편 실험의 한계점으로 피험자 간의 %BRF와 주관적 만족도점수의 편차가 크게 나타났다. 이 같은 원인으로 피험자의 체중과 같은 신체조건 차이에 의한 영향, 실험 과정에서 등을 기울이고 복귀하는 속도를 정교하게 통제할 수 없어 발생한 가속도 변인에 의한 영향 그리고 등판 반발력 측정에 체압측정 장비를 활용한 점에서 접촉부위의 상태가 반발력의 차이에 영향을 미쳤을 가능성 등을 거론할 수 있다. 또한 주관적 만족도 점수에 있어서 피험자는 기존에 자신이 사용하던 의자의 느낌을 기준으로 판단하려는 경향이 있어 같은 의자에 대해서도 피험자 간 평가점수가 확연히 달랐다. 그러나 각 실험의자에 대한 상대적인 비교는 모든 피험자 간에 유사한 경향을 보였다.

4. 결론

착석업무 시 자세를 변화시키는 동적착좌(dynamic sitting)가 중요해지고 있는 가운데 본 논문에서는 등을 기울이고 다시 복귀하는 동작을 자연스럽게 수행할 수 있도록 도와주는 사무용의자 개발을 위해 등판반발력이라는 관점에서 연구를 수행하였다. 슬라이더(slider), 롤러(roller), 베어링(bearing) 등 3가지 메커니즘 요소가 기울임 시 대비 복귀 시 등판반발력 비율에 미치는 영향을

실험한 결과 베어링, 롤러 그리고 슬라이더 순으로 반발력 비율이 높게 나타나 등을 일으킬 때 사용자를 밀어주는 정도의 차이가 확인되었다. 작성자의 주관적 만족도 역시 등판 반발력 비율과 유사한 경향을 보였지만 절대적인 만족도 측면에서 베어링을 적용할 경우뿐만 아니라 롤러를 적용할 경우에도 대체적으로 만족한다는 평가를 보였다. 따라서 힙피벗(hip pivot) 기능을 갖는 틸트메카니즘 설계 시 성능을 우선 고려할 때는 베어링(bearing)을 적용하는 것이 적합하지만 부품의 단가 측면과 주관적 만족도를 동시에 고려할 때는 롤러(roller)도 대안이 될 수 있음을 제시할 수 있을 것이다.

한편 본 연구에서 도출한 등판반발력에 대한 정량적 수치는 메카니즘의 구조가 달라질 경우 변하기 마련이기 때문에 중요한 의미를 갖지는 않는다. 다만 인체와 의자 사이의 물리적 상호작용을 평가하는 방법으로서 본 연구에서 제시한 등판반발력 비율은 작성자가 등을 기울이고 복귀하는 동적인 편안함을 나타내는 지표로 활용할 수 있을 것이다.

후 기

본 연구는 2014년도 산업통상자원부의 재원으로 한국산업기술평가관리원(KEIT)의 지원을 받아 수행하였습니다.

참고문헌 (References)

- (1) Fujimaki, G. and Mitsuya, R., 2002, "Study of the Seated Posture for VDT Work," *Displays*, Vol. 23, pp. 17~24.
- (2) Grandjean, E. and Hunting, W., 1997, "Ergonomics of Posture-review of Various Problems of Standing and Sitting Posture," *Applied Ergonomics*, Vol. 8, No. 3, pp. 135~140.
- (3) O'Sullivan, K., O'Sullivan, P., O'Keefe, M., O'Sullivan, L. and Dankaerts, W., 2013, "The Effect of Dynamic Sitting on Trunk Muscle Activation: a Systematic Review," *Applied Ergonomics*, Vol. 44, No. 4, pp. 628~635.
- (4) Hyeong, J. H., Roh, J. R., Park, S. B., Kim, S. Y. and Chung, K. R., 2014, "A Trend Analysis of Dynamic Chair and Applied Technology," *JESK*, Vol. 33, No. 4, pp.267~287.
- (5) Hyeong, J. H., Roh, J. R., Park, S. B., Kim, S. Y. and Chung, K. R., 2014, "Development of Tilting Chair for Maintaining Working Position at Reclined Posture," *JESK*, Vol. 32, No. 2, pp.155~165.
- (6) Jin, Y., Lee, S. D. and Song, J. B., 2010, "Design of backrest and Seat Pan of Chairs on the Basis of Haptics Aided Design Method," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A*, Vol. 34, No. 5, pp. 527~533.
- (7) Roh, J. R., Song, B. H., Chung, K. R., Hong, J. P., Kim, S. Y. and Hyeng, J. H., 2013, "A Study on the Slope Control Usability of Forward Sloping Chair," *Archives of Design Research*, Vol. 26, No. 1, pp. 267~285.
- (8) Andersson, G. B., Murphy, R. W., Ortengren, R. and Nachemson, A.L., 1979, "The Influence of Backrest Inclination and Lumbar Support on Lumbar Lordosis," *Spine*, Vol. 4, No. 1, pp. 52~58.
- (9) Lengsfeld., M., Franka, A., Deursenb, D. L. and Grissa, P., 2000, "Lumbar Spine Curvature During Office Chair Sitting," *Medical Engineering & Physics*, Vol. 22, No. 9, pp. 665~669.
- (10) Chung, K. R., Hyeong, J. H., Choi, C. H., Kim, S. Y. and Hong, G. S., 2010, "The Effects of Different Backrest Pivot Positions on the Human Body During Reclining of the Office Chair," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A*, Vol. 34, No. 2, pp.167~174.
- (11) Groenesteijn, L., Vink, P., de Looze, M. and Krause, F., 2009, "Effects of Differences in office Chair Controls, Seat and Backrest Angle Design in Relation to Tasks," *Applied Ergonomics*, Vol. 40, No. 3, pp. 362~370.