

체간 안정성을 위한 전동침대의 제어시스템 설계

Control System Design of Electric Operated Adjustable Bed for Body Posture Stability

배주환,*#문인혁

J. H. Bae, I. H. Moon(ihmoon@deu.ac.kr)
동의대학교 메카트로닉스공학과

Key words : Electric adjustable bed, Body posture stability, Control system design

1. 서론

전동침대는 요양 상태나 외상의 환자를 케어하는데 있어서 상반신을 적절한 각도로 세우거나, 무릎관절을 굴절시킨 상태로 유지하는 등의 자세전환기능을 가진 보조기의 하나이다[1]. 전동침대는 등판승강, 다리판 승강, 트랜스 릴렌버그와 역트랜스릴렌버그 자세의 제어가 가능하다[2]. 이러한 자세에 있어서, 특히 등판이나 대퇴판의 각도는 사용자의 신체에 가해지는 압력과 골격계 자세에 많은 영향을 미친다[3]. 그러나 등판과 대퇴판의 사이각이 90도보다 작아지게 되면 사용자의 복부에 압박이 발생하고 심할 경우 사용자가 사망에 이를 수도 있다.

본 연구에서는 최소의 센서를 사용하여 등판과 대퇴판의 사이각을 항상 90도 이상 유지할 수 있는 기구 및 제어 메커니즘을 제안한다. 등판과 대퇴판의 각도 변화는 동일 직선상에서 직선변위로서 변환하여 알 수 있도록 한다. 이를 위해 등판과 대퇴판에 각각 링크를 연결하고, 그 끝지점이 등판과 대퇴판의 구동시 선형적으로 연동될 수 있는 직선 슬라이더를 설계한다. 따라서 등판과 대퇴판의 각각도는 두 슬라이더의 위치로부터 추정할 수 있고 추정된 각도에 의해 그 사이각을 계산할 수 있다. 그러나 이러한 구조에서 사이각을 계산하기 위해서는 두 슬라이더의 위치를 검출할 수 있는 센서가 두 개 필요하다. 하나의 센서로 사이각을 추정하기 위해서는 다른 방법이 필요하다. 가장 간단한 방법으로는 슬라이더의 간격을 검출하여 사이각을 추정하는 것이다. 그러나 등판과 대퇴판의 각도와 두 슬라이더의 위치는 비선형관계에 있으므로, 만약 어떤 위치에서 슬라이더의 간격과 등판과 대퇴판의 사이각의 관계를 결정하더라도 슬라이더의 위치가 바뀌게 되면 그 간격과 사이각의 관계는 바뀌게 된다. 결국 두 슬라이더의 하나의 간격에 대한 유일한 각도는 정할 수 없다.

본 논문에서는 두 슬라이더의 간격을 하나의 센서로 검출하고, 등판과 대퇴판의 사이각을 항상 90도 이상으로 유지할 수 있는 제어시스템을 제안한다. 이를 위해서 등판과 대퇴판의 사이각이 90도가 되는 슬라이더 간격을 검출하면 이 간격을 경계로 사이각이 90도 보다 작은지, 혹은 큰지를 알 수 있다. 따라서 본 논문에서는 어떤 슬라이더의 간격에 대하여 등판과 대퇴판의 사이각이 90도에 근사한 추정값을 가지는 침대의 설계를 제안한다. 그리고 슬라이더의 간격에 따른 등판과 대퇴판의 사이각을 90도 이상으로 유지할 수 있는 제어시스템을 설계한다. 그리고 실험의 결과로부터 등판이 상승할 때나 대퇴판이 상승할 때에 등판과 대퇴판 사이각이 항상 90도 이상 유지되는 것을 보인다.

2. 침대 메커니즘의 설계

본 연구에서는 매트리스 지지판을 등판(backrest), 둔부판(hip-rest), 대퇴판(thigh-rest) 그리고 다리판(leg-rest)으로 구성된 4 분절형의 침대를 대상으로 설계한다. Fig. 1은 전동침대의 매트리스 지지판의 구동 메커니즘을 보인다. 설계하는 등판과 대퇴판은 구동링크의 회전에 의해 조절되고, 그 가동범위는 등판의 각도 α 가 0~85도, 대퇴판의 각도

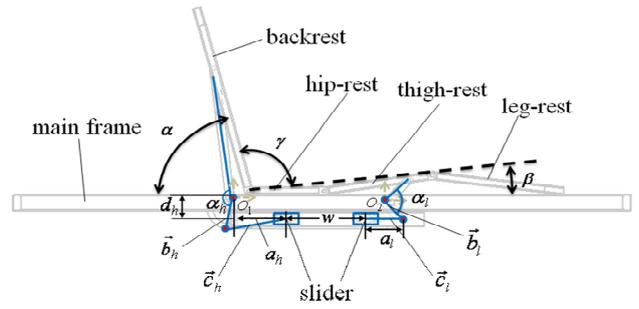


Fig. 1 Bed mechanism

β 는 0~10도이다. 각 구동링크에는 슬라이더가 연결되어 있고, 구동링크의 회전각에 따라 슬라이더의 위치가 결정된다.

본 연구에서 설계하는 침대는 등판의 최대각도가 85도이고, 대퇴판의 최대각도는 10도이다. 그러므로 등판이 80도 이하이거나, 대퇴판이 5도 이하일 경우 등판과 대퇴판의 사이각은 항상 90도보다 크다. 따라서 등판과 대퇴판의 각도가 이 범위가 아닌 구간에서는 등판과 대퇴판의 사이각이 어떤 한 슬라이더의 간격에 대하여 90도에 근사한 추정값을 가지도록 하는 설계가 필요하다. 이를 위해 침대의 구동 메커니즘에 대한 기구학 해석을 하였다.

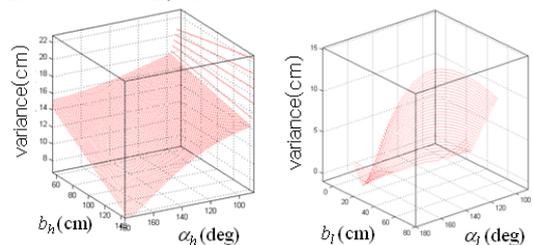
먼저 각 구동링크에 의한 각각의 구동기 회전축 O_1, O_2 와 슬라이더간의 수평거리 a_h 와 a_l 는 벡터 합으로 표현할 수 있다(Fig. 1 참조).

$$\vec{a}_h = \vec{b}_h + \vec{c}_h + \vec{d}_h \quad (1)$$

$$\vec{a}_l = \vec{b}_l + \vec{c}_l + \vec{d}_l \quad (2)$$

여기서 \vec{d}_h, \vec{d}_l 는 구동기 회전축과 슬라이더간의 수직거리에 대한 벡터로서 상수이다. 그리고 \vec{b}_h, \vec{b}_l 는 슬라이더를 움직이는 구동링크의 벡터로서, 등판과 대퇴판을 들어올리는 링크와 각각 α_h 와 α_l 의 각도를 이룬다. 두 슬라이더와 구동링크는 링크 c_h, c_l 과 연결된다. 여기서 설계변수는 등판과 대퇴판의 각도와, 슬라이더의 위치에 관계에 영향을 주는 구동링크의 각도 α_h, α_l 과, 길이 b_h, b_l 로 정하였다.

설계변수의 값은 다음과 같은 과정으로 구한다. 먼저 각 설계변수 임의의 초기값을 설정해 두고 등판을 80도부터 85도로, 동시에 대퇴판의 각도는 10도에서부터 5도까지 변화시킨다. 단, 등판과 대퇴판의 사이각은 90도를 유



(a) displacement variance by α_h and b_h (b) displacement variance by α_l and b_l

Fig. 2 Results of kinematic analysis

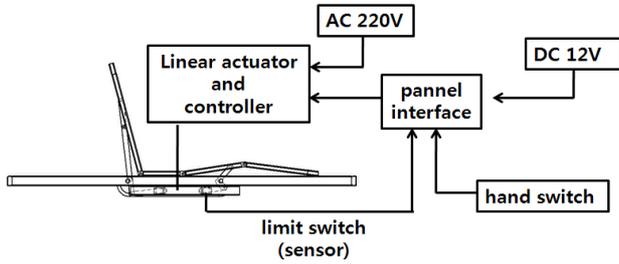


Fig. 3 Control system

지한다. 이러한 각도변화에 따라 슬라이더의 위치는 바뀌게 되고, 두 슬라이더 사이의 간격은 구할 수 있다. 또한 간격의 최대값과 최소값 및 그 두 값의 차이값을 구할 수 있다. 여기서 간격의 차이값은 사이각과 간격간의 변환 오차와 같다. 따라서 최대값과 최소값의 차가 최소가 되는 설계가 바람직하다. 대퇴판 구동부의 설계변수 α_l , b_l 는 초기에 150 도와 100mm 로 정한 뒤, α_h , b_h 의 값이 각각 90 도에서 180 도, 125mm 에서 150mm 로 변화면서 슬라이더 간격의 최대값과 최소값의 차를 구하였다(Fig. 2 (a) 참조). 이러한 설계변수에 따른 간격의 차이값은 7mm 가 최소이었고, 이때 α_h 와 b_h 는 180 도와 125mm 였다. 이 α_h 와 b_h 로부터 다시 α_l , b_l 의 값을 변화시키면서 간격의 차를 구하였다(Fig. 2 (b) 참조). 이러한 과정을 통해 사이각이 90 도가 될 때 간격의 차가 최소가 되는 설계변수는 $\alpha_h=180$, $b_h=125$, $\alpha_l=114$, $b_l=20$ 이었고, 이때의 슬라이더의 간격의 최소 차이값은 0.3mm 이었다. 이것은 슬라이더가 어떤 위치에 있든지 관계없이 사이각이 90 도가 되는 간격은 일정하다는 것을 의미한다.

4. 제어시스템 설계

침대의 제어시스템은 구동을 위한 4 개의 선형모터와 구동제어기, 손으로 조작하는 핸드스위치, 패널상태로 침대에 부착가능한 인터페이스 제어기로 구성되어 있다(Fig. 3 참조). 그리고 등판과 대퇴판의 사이각을 제어하기 위해 슬라이더 간격 검출용으로 한 개의 리미트 스위치를 사용하였다. 슬라이더의 간격이 등판과 대퇴판의 사이각이 90 도에 해당하는 간격값은 272.5mm 이다. 이 간격에 해당하는 길이의 링크를 한쪽 슬라이더에 설치하고, 그 끝단에 리미트 스위치의 접촉여부로 간격을 검출할 수 있도록 하였다. 제어시스템은 등판이나 대퇴판의 구동을 제어할 때 리미트 스위치의 접촉여부로 슬라이더의 간격이 272.5mm 이상 되도록 대퇴부의 구동을 제어함으로써 등판과 대퇴판의 각도를 90 도 이상으로 유지하였다.

5. 실험 및 결과

먼저 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션에서는 다리판을 10 도에 위치시킨 상태에서 등판이 상승할 때 각도 제어 결과를 확인하였다(Fig. 4 참조). 위로부터 각각 α , β , γ 각도와 슬라이더의 간격을 나타낸다. 등받이의 각도 α

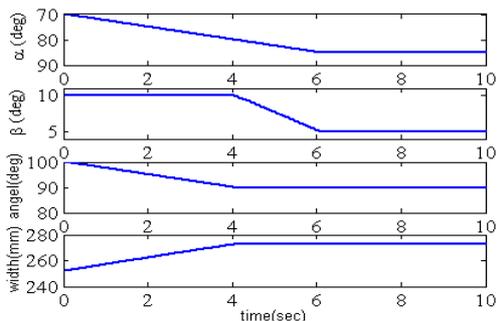


Fig. 4 Simulation results

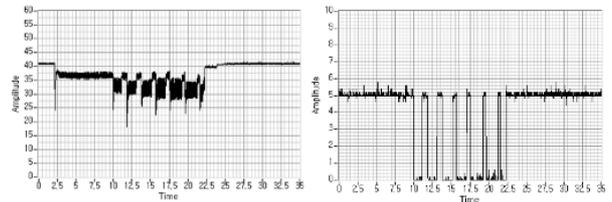


Fig. 5 Control result by tilting backrest



Fig. 6 Controlled bed posture

는 70 도부터 85 도까지 상승하고, 4 초 후 등판과 대퇴판의 각도가 90 도가 된다. 이 순간 슬라이더의 간격은 272.5mm 가 되고, 제어기는 대퇴판을 하강시켜 등판과 대퇴판의 사이각을 90 도로 유지시킨다.

제작된 침대에서 센서의 동작에 따른 모터구동 결과를 확인하였다. Fig. 5 는 대퇴판이 10 도 되는 위치에서 등판을 상승시켰을 때 대퇴판의 구동기와 센서의 동작을 측정한 것이다. 결과로부터 등판의 상승에 의해 리미트 스위치가 접촉하게 되면 등판과 대퇴판의 사이각을 90 도로 인식하여 대퇴판을 하강시키도록 제어하는 것을 확인할 수 있다. 그리고 리미트 스위치 출력 값이 없으면 대퇴판의 하강제어를 멈추는 것을 확인할 수 있다. Fig. 6 은 침대의 연속동작을 보인다.

6. 결론

본 연구에서는 두 슬라이더의 간격을 하나의 접촉식 리미트 스위치로 검출하고, 등판과 대퇴판의 사이각을 항상 90 도 이상으로 유지할 수 있는 기구설계 및 제어시스템을 제안하였다. 기구학 해석을 통해 등판과 대퇴판의 사이각과 슬라이더의 간격간의 관계를 구하였다. 실험을 통해 슬라이더 간격으로부터 등판과 대퇴판의 사이각이 90 도가 되는 것을 검출하고, 대퇴판의 동작을 제어하여 사이각이 90 도 이상으로 유지되는 것을 확인하였다. 향후에는 본 연구에서 개발된 침대의 다양한 각도제어에 따른 체간 안정성에 대해 연구할 예정이다.

참고문헌

1. International Organization for Standardization (ISO), *ISO 9999 Assistive products for persons with disability – Classification and terminology*, 2007.
2. International Electrotechnical Commission, *IEC 60601-2-38 Medical electrical equipment - Part 2: Particular requirements for the safety of electrically operated hospital beds*, 1999.
3. J. Bae and I. Moon, "Design of Seat Mechanism for Multi-posture-controllable Wheelchair," in *Proc. International Conference on control, Automation and Systems*, Seoul, pp. 1994-1997, 2008.