

복합관절 운동용 재활의료기기

정성훈*(전북대 기계항공시스템공학부), 유범상(전북대 기계항공시스템공학부), 김남균(전북대 생체정보공학부), 박상민(전주공업대 자동차공학과), 송문상(전북대 대학원 정밀기계공학과)

Development of Rehabilitation Medicine Device for Compound Joint Motion

S. H. Jeong(Department of Precision Mechanical Engineering, CBNU)

B. S. Ryuh(Division of Mechanical & Aerospace System Engineering, CBNU)

N. G. Kim(Division of Bionics and Bioinformatics, CBNU)

S. M. Park(Division of Automobiles, JTC)

M. S. Song(Department of Precision Mechanical Engineering, CBNU)

ABSTRACT

The RMD(Rehabilitation Medicine Device) with CJM(Compound Joint Motion) is the lower limb unit muscular strengthening promotion rehabilitation medicine device for patients of joint orthopedic operation or the deficient elder of ability to walk, the handicapped. Since the products for the rehabilitation medicine device have limited to the simplicity linear motion, those do not give efficient the lower unit muscular strengthening effects. This device which was under the development gives to exercise of hip joint and knee joint with user's selection at once, get out of the simplicity linear motion. Also it will be contributed to a field of rehabilitation medicine and a mobility aid technology of the deficient elders of ability to walk, the handicapped.

Key Words : Rehabilitation Medicine (재활의료), Compound Joint Motion (복합관절운동), Silver Industry (실버산업), Continuous Passive Motion (수동적 굴신 운동), Knee Joint(무릎관절), Hip Joint(고관절)

1. 서론

실버산업의 도약은 근래에 있어 비약적인 수요증가로 인한 사회적 문제로 인식되어 산업화, 고령사회의 이목을 받는 데서부터 출발하게 되었고 선진국이라 불리는 유럽과 미국 등 여러 나라에서는 고령 사회에 필수산업이 되어버렸다.

가까운 일본은 2006 년 가장 빠른 초고령사회(super-aged society)로 접어들고 있다. 초고령사회는 UN의 정의에 따르면 전체 인구 중 65 세 이상 고령자의 비율이 20%이상인 사회를 말한다. 남자 77.6 세, 여자 84.6 세 (2000 년 기준)로 세계최고 평균수명연장과 저출산율은 일본의 초고령사회로의 급속한 진전을 보이고 있다. 이에 따라 일본은 국가적 차원의 정책을 추진하여 초고령사회의 문제점을 해결하기 위해 노력하고 있다⁽¹⁾.

우리 나라는 고령 사회로의 전환이 세계에서 유

례없는 경우를 보여주고 있다. 일본은 26 년의 시간이 걸린 반면 우리나라는 19 년이라는 급격한 고령사회 전환을 보여줄 것으로 예상하고 있다. 고령화로 인해 기업의 생산성 하락과 잠재성장률의 저하가 우려되고 2016 년을 고비로 생산가능인구(15-64 세)가 감소세로 전환할 뿐만 아니라 생산가능인구 자체도 고령화된⁽²⁾. 이러한 현상에 대한 해결점을 찾기 위해 실버산업의 점진적인 발전이 모색되어야 할 시점이다.

유럽이나, 미국 등지에서는 이미 오래전부터 실버산업과 연계하여 장애인을 위한 기술적 개발에 착수하였다. 현재 이러한 국가들은 실버산업에 있어서 고급 기술을 보유한 국가로 분류되고 많은 기술 자료들을 보유하고 있어 실제적인 실버기술의 리더 역할을 담당하고 있다. 우리나라에서는 최근에 들어 실버산업에 대한 필요성을 인식하고 국가

연구소, 대학 등에서 활발한 연구 활동을 펼치고 있지만 여전히 세계적인 수준에 미치지 못하고 있다. 실제 사용하는 장비도 대부분 수입에 의존하여 많은 외화 손실을 초래하고 기술적인 노하우를 축적하는 데도 어려움을 겪고 있다. 또한 국내에서 상용화된 재활기기도 선진국에서 이미 과거에 수행한 기술자료를 토대로 이루어지고 있어 국내 유일의 기술력을 보유하는 데에 한계를 보이고 있다. 이런 한계를 극복하고 점진적인 발전을 위해 지체 부자유한 노인 및 장애인을 위한 산업기술로 발전되어야 한다.

노인을 위한 실버기술은 인체동작기능 회복기술, 일상생활 지원기술, 주륜형 환경설계기술, 운동기능 회복 보조기술, 신체기능/행동모니터링 기술, 노화장기 보조/대체기술, 및 지능형 Home Care 기술 등이 있다. 이러한 기술들 중 노인운동기능회복기술은 노인의 활동능력이 퇴화 혹은 저하 되었다더라도 아직 노인에게 남아 있는 잔존 근골격 기능을 이용하여 활동능력을 보조하여 복원하거나 잔존 근골격 기능을 증폭하여 활동능력을 복원시키는 목적을 가지고 있다⁽³⁾.

본 논문에서 개발한 기기는 복합관절 운동을 할 수 있는 기기이다. 무릎관절과 고관절을 동시에 운동시켜 약화된 단위근력에 스트레스를 증가시켜 근력의 강화를 가져오게 하는 것이다. 또한 국가 기술력 확보와 외화 유출을 줄이기 위한 방법으로 이 기기를 고안하여 노인 단위근력강화에 활용하고자 한다.

2. 수동적 굴신운동 (Continuous Passive Motion)

수동적 굴신운동이란(CPM) 하지관절 수술 후 관절 운동은 통증을 수반하기 때문에 이를 줄여주고 회복을 빠르게 하기 위해 외부기기에 의해 관절운동하는 것을 말한다. 환자의 수술 후 관절은 제한된 운동 범위를 가지거나 통증을 수반하여 움직이기 힘들기 때문에 이를 극복하고 새로운 관절에 적응하기 위하여 연조직의 경직화 감소, 운동 범위의 조기 회복, 관절표면과 연 조직의 치유 촉진, 운동을 방해하는 상처조직 유착의 진전 방해 등의 효과를 기대할 수 있다. 관절 운동기기는 부위에 따라 손가락, 발목, 무릎, 손목, 고관절 등으로 나누어 적용할 수가 있다⁽⁴⁾.

2.1 상용화된 관절 운동기

현재 국내외에서 시판되는 관절운동기는 여러 가지가 있다. 주어진 Fig. 1은 프랑스 Kinetec 사의 관절운동기(CPM, Continuous Passive Motion)이다. Kinetec 관절운동기기는 사용자가 직접 전원 On/Off,



Fig.1 Continuous Passive Motion (Kinetec Co.)

Table 1. Specification CPM

Spec.	Range
Knee	-5 ~ 135°
Hip	0 ~ 115°
Ankle	-30 ~ 60°
Patient Size	71 ~ 104 cm
Speed	54 ~ 380°/min

속도, 힙, 타이머, 스티뮬(Stim), 시작/정지 기능을 설정할 수 있는 핸드 컨트롤러(Hand Controller)와 다리를 올릴 수 있는 기구부와 기구부를 움직이는 베드부로 구성되어 있다. 이처럼 상용화된 관절운동기기는 단순한 직선운동을 통해 굴신운동을 하여 관절운동을 한다. 하지관절에 반복적인 운동을 전달해주지만 복합적인 운동은 제공하지 못하며 고가인 단점이 있다. 이에 복합적인 관절운동을 제공해 줄 수 있는 복합관절운동기기를 개발하였다.

2.2 복합관절 운동기

상용화된 기존의 관절운동기(CPM)를 개선하여 제작 과정에 대한 모습을 Fig. 2에 나타냈으며 이에 대한 Specification을 Table 2에 제시하였다. 제작된 관절운동기(CPM)는 직선 왕복운동을 통한 무릎관절과 고관절 운동을 동시에 수행하거나 사용자의 의사에 따라 무릎관절과 고관절 운동을 선택적으로 사용할 수 있게 제작하였다. 베드부는 두개의 모터를 사용해 직선 왕복운동과 좌우 회전운동을 할 수 있게 하였다. 상부 기구부는 장하지지지대, 단하지지지대, 발판지지대와 직선 왕복운동과 좌우 회전운동을 할 수 있는 프레임으로 이루어져 있으며, 장하지지지대와 단하지지지대는 길이조정이 가능하게 제작되어 소아 및 성인의 구분 없이 사용자의 하지 길이에 맞춰 운동 가능하도록 제작하였다. 또한 발을 지지하고 고정할 수 있도록 발판 지지대를 설계하여 기구부 운동 시 발을 견인하고 사용자에게 무리 없이 운동할 수 있도록 제작하였다.

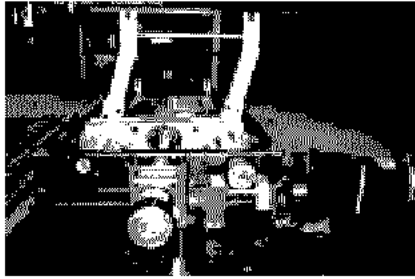


Fig. 2 Schematic of Compound Joint Motion

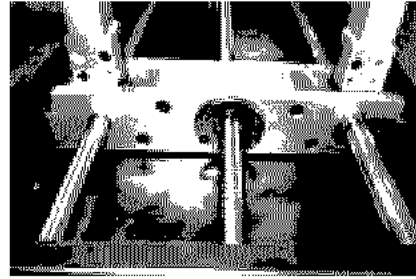


Fig. 3 Axis of Linear and Rotation Motion

Table 2. Specification of CPM for Compound Joint

Spec.	Range
Linear Motion	0 ~ 135°
Revolution Motion	-45 ~ 45°
Patient Size	110 ~ 200 cm
Speed	35 ~ 380°/min

2.2.1 직선 운동부 및 좌우 회전운동부

복합관절운동기기의 무릎관절과 고관절 운동을 담당하는 직선 운동부 및 좌우 회전운동 운동축을 Fig. 3 에서 보여준다. Ball Screw 를 이용하여 가이드 플레이트에 미끄럼 없는 왕복 운동을 하지 고정부에 제공하여, 상부 기구부가 등속성 굴신 운동이 이루어지도록 하며, 이때 무릎 관절은 0~135°의 운동범위를 가지고 운동을 하게 된다. 회전운동은 웬 기어 구조를 사용하여 상부 다리 고정부를 움직이도록 하였다. 웬 기어 구조는 모터의 회전을 큰 감속비로 감소시켜 원하는 만큼의 회전을 낼 수 있게 하고, 역회전하지 않는 특징을 가지고 있어 돌발 상황에서 자동 정지되어 사용자의 큰 부상을 방지할 수 있다. 베드에 설치된 Spline 축은 모터로 구동되며, 상부 하지 기구부는 평행사변형으로 연결된 4 절 링크를 통해서 회전운동을 제공받으며, 이 회전운동에 의해서 고관절은 -45~45°의 범위 내에서 관절 운동을 하게 된다. Spline 축에 부착되어있는 4 절 링크 구조는 원활한 회전운동을 위하여 다리 고정부와 연결되는 부분을 2 자유도를 가지는 구조로 제작하였다.

2.2.2 하지 고정부

복합관절 운동 시 단하지 및 장하지를 지지해주는 하지 고정부이며, 사용자의 하지 길이에 맞게 길이 조절을 할 수 있는 길이 조절 장치로 이루어져 유아 및 성인 구분 없이 공통으로 사용할 수 있다. 또한 좌, 우 하지 모두 운동할 수 있는 구조로 되어 있으며, 회전 운동부인 4 절 링크와 연결되는 지지대와 프레임과 연결되는 부분은 고관절 운동에 적합한 2 자유도를 가지는 구조로 제작되었다.



Fig. 4 Analysis of Linear and Rotation Motion Part

2.2.3 모션 제어부

복합관절운동기기의 운동을 제어하는 부분이다. 직선운동과 회전운동을 선택하거나 동시에 이루어질 수 있도록 하였다. 사용자의 장애 정도와 필요에 따른 운동을 직접 선택할 수 있게 하고 손으로 조작이 용이하도록 회로와 컨트롤 패널을 구성하였다. 이 패널을 통해 각도, 힘, 타이머 등을 단계적으로 선택하여 효과적인 운동을 할 수 있도록 하고 사용자가 비상시에 비상정지 기능을 사용하여 쉽게 정지시킬 수 있도록 구성하였다. 또한 포텐서미터를 통해 직선운동과 회전운동 시 설정된 각도를 검출해 운동 상태를 확인하게 하고 운동을 반복적으로 할 수 있게 하였다.

3. 기구부 해석 및 제작

복합관절 운동기는 ball-screw와 spline을 회전축으로 직선 왕복운동과 좌우 회전운동을 수행할 수 있게 제작하였다. 링크부는 직선 왕복운동이 용이하게 제작하고 기존 상용화된 CPM과 비교했을 때 단순하게 변경하여 제작하였다. 이에 따른 운동을 해석하고 관절의 위치를 알아보기 위해 최대 길이에서 발목관절과 무릎관절에 대한 해석을 실시하였다. 주어진 Fig. 4에서 발목 관절의 위치를 점 P, 무릎 관절의 점 Q, 고관절의 회전 중심이 점 O, 발목 관절의 회전중심을 점 O' 으로 설정하였다. 여기서 spline의 회전에 의한 링크 l_1 의 회전각이 θ_1 이고, ball-screw에 의한 링크 l_3 와 링크 l_4 의 링크상대 운동각이 θ_2 이다. 상부 하지 지지부는 이 두개의 입력에 의해 공간상에서 입체운동을 하게 된다⁽⁶⁾.

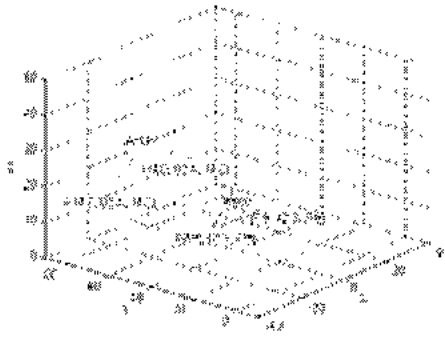


Fig. 5 Diagram of Ankle and Knee joint motion in Condition ($\theta_2 = 0^\circ$)

점 Q(무릎부분 운동)

$$x \text{ 방향} : QH \sin \theta_{kl}$$

$$y \text{ 방향} : l_4 \cos(\alpha + \gamma)$$

$$z \text{ 방향} : QH \cos \theta_{kl}$$

점 P(발목부분 운동)

$$x \text{ 방향} : l_2 \sin \theta_{kr}$$

$$y \text{ 방향} : D \cos(\alpha + \gamma)$$

$$z \text{ 방향} : l_1 \cos \theta_{kr}$$

여기서, t_1 : 직선운동시간, t_2 : 회전운동시간

$$e_1, e_2 : \text{운동강도 } (0 < e_1, e_2 \leq 1)$$

$$\theta_{kl} = e_1 \theta_1 t_1$$

$$\theta_{kr} = e_2 \theta_2 t_2$$

$$\alpha = \sin^{-1}(l_1 / D)$$

$$D = \sqrt{l_3^2 + l_4^2 - 2l_3l_4 \cos(\pi - \theta_2)}$$

$$\gamma = \cos^{-1}[(l_4^2 + D^2 - l_3^2)/(2l_4D)]$$

$$QH = l_4 \sin(\alpha + \gamma)$$

윗 식을 적용한 결과 나온 무릎관절의 운동 궤적 결과는 다음과 같다.

초기 상태 회전운동 변위 : -7.9~7.9cm

최종상태 변위 : -31.4~31.4cm

이 결과에 따라 최종상태의 고관절 운동이 더 큰 변위를 가지므로 더 큰 운동효과를 가져오는 것으로 볼 수 있다. 이러한 운동을 초기상태 ($\theta_2 = 0^\circ$)와 최대운동각도 ($\theta_2 = 135^\circ$) 상태에서 Fig. 5 과 Fig. 6 에 나타내었다. Fig. 7 은 초기엔 직선 운동만을 수행하고 중반부터 회전운동을 병행한 운동 궤적을 보여준다. 회전 방향의 무릎 관절의 운동변위가 -31.4 에서 31.4 까지 넓은 범위에서 변하므로 고관절의 운동에 많은 도움을 줄 수 있다.

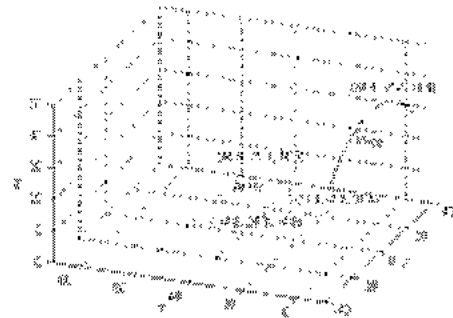


Fig. 6 Diagram of Ankle and Knee Joint Motion in Condition ($\theta_2 = 135^\circ$)

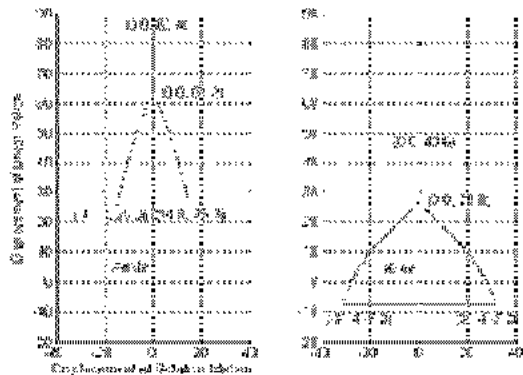


Fig. 7 Diagram of Ankle and Knee Joint Motion for linear/rotation motion

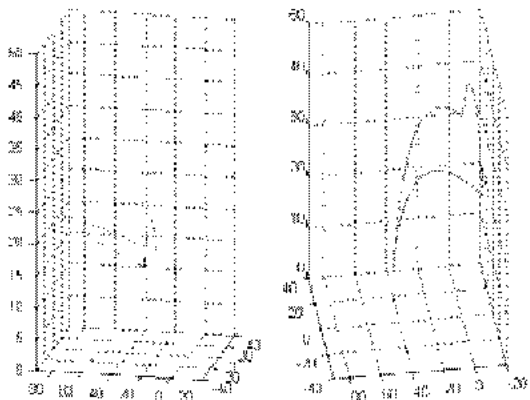


Fig. 8 Diagram of Ankle and Knee Joint Motion for linear/rotation motion

Fig. 5 와 Fig. 6 은 해석 결과를 통해 최소각도에서 최대각도까지 무릎관절과 발목관절의 변위를 나타낸 것이다. Fig. 8 은 복합운동을 통해 나타나는 궤적을 3 차원으로 나타낸 변위의 모습이다. 이와 같은 결과를 통해 복합운동이 매우 효과적임을 입증하였고 실제 제작하여 운동모습을 나타낸 것이 Fig. 9 와 Fig. 10 이다.



Fig. 9 Schematic of Rotation Motion



Fig. 10 Schematic of Linear Motion

4. 결론

본 연구에서는 단위근력 약화로 인한 보행 능력 저하 노인을 위한 무릎관절과 고관절을 동시에 운동시킬 수 있는 복합관절운동기기를 제작하였다. 기존의 CPM 은 단순 직선 왕복운동만을 수행하기 때문에 단위근력강화 효과를 제대로 수행하지 못하였다. 여기에서 개발한 기기는 이런 문제점을 극복하고 무릎관절과 고관절을 동시에 직선 왕복운동과 좌우 회전운동을 시키고 사용자의 운동 선택에 따라 직선 왕복운동을 시키거나 좌우 회전운동만을 수행하여 단위근력향상을 효과적으로 수행할 수 있음을 보였고, 실제 제작을 통해 기구부를 단순화시켜 기기의 움직임을 원활히, 효과적으로 수행할 수 있음을 보였다. 따라서 이 결과를 토대로 차후 수행될 자립보행시스템의 기초자료로도 충분히 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

1. 고정민, 정연승, “고령화 사회의 도래에 따른 기회와 위협”, 삼성경제연구소 보고서, 2002.
2. 홍정화, “노인 운동 증진·회복 기술”, 한국정밀공학회지 제 21 권, 제 1 호, pp.17-25, 2004.
3. 류계청, 문무성, “노인용 자립형 이동지원 기술”, 한국정밀공학회지, 제 21 권, 제 1 호, 2004.
4. 한국 OptiFlex co. Powerpoint 자료.
5. 프랑스 Kinetec co. CPM 사용설명서.
6. 송문상, “복합관절 운동용 재활의료장치 개발”, 한국정밀공학회지 생체공학부문, pp.83-86, 2004.