

# 하지 마비환자의 자전거 운동을 위한 3륜 리컴벤트 형태의 기능적 전기자극 자전거 제작 Development of recumbent FES tricycle for cycling motion of paraplegic patient

\*이동업<sup>1,2</sup>, 전상우<sup>3</sup>, 유계성<sup>1,2</sup>, 황선홍<sup>1,2</sup>, #김영호<sup>1,2</sup>

\*D. Y. Lee<sup>1,2</sup>, S.W.Jeon<sup>3</sup>, J.S.Ryu<sup>1,2</sup>, S.H.Hwang<sup>1,2</sup>, #Y. H. Kim(younghokim@yonsei.ac.kr)<sup>1,2</sup>  
<sup>1</sup>연세대학교 대학원 의공학과, <sup>2</sup>연세 의료공학연구원, <sup>3</sup>연세대학교 보건과학대학 의공학과

Key words : Functional Electrical Stimulation, Recumbent Tricycle, Paraplegic patient, Cycling Motion

## 1. 서론

근래에 들어 생활 수준이 향상됨으로써 삶의 질에 대한 관심이 증대되고 있다. 그 중 자전거 운동이 가져다 주는 생리학적, 심리적인 효과에 대한 관심이 일반인을 넘어서 장애인들에게까지 미치고 있다.

운동 생리학적으로 비추어 볼 때, 자전거 운동은 하지 근육 전반에 대하여 순차적인 운동이 가지는 특징인 높은 심폐효과를 낼 수 있기 때문에 근육의 미세 조절이나 최대 근력이 정상인에 미치지 못하는 장애인들에게 효과적인 유산소 운동이다. 운동량이 부족해 유산소성 운동의 효과를 필요로 하는 장애인들에게 유산소성 운동의 대표 항목인 자전거 운동이 가지는 효과는 장애인들의 재활에 있어 긍정적인 영향을 끼친다.

또한 장애인들의 욕구가 요양에서 사회참여에 대한 욕구로 이동하고 있음에 따라 이동성과 활동보조에 대한 수요가 증가하는 양상을 보였다.(보건복지부, 2009). 따라서 이동에 제한을 받는 장애인들에게 있어 이동성에 도움을 주는 야외 자전거 운동은 장애인들의 사회참여와 심리적 안정에 도움을 줄 수 있다.

하지 운동에 대해 장애가 있는 사람들을 위해 등받이에 누워서 탈 수 있는 리컴벤트 형식의 세발 자전거에 기능적 전기 자극으로 자전거 운동에 필요한 동작을 구현하여 효과적인 재활 운동과 독립적인 이동성이 제공되는 기기를 제작하였다.

## 2. 방법

### 2.1 3륜 리컴벤트 자전거



Fig. 1 Recumbent Tricycle

자전거 외형을 결정함에 있어 장애인들의 자전거 운동에 있어 가장 중요한 요인인 안전성을 고려하였을 때 무게중심이 낮고 어느 평면에서나 차체의 균형을 유지 할 수 있는 3륜 리컴벤트를 선택하였다.

### 2.2. 페달각도검출 시스템

자전거 운동 같은 순차적인 운동은 페달 각도에 따라 활성화 되는 근육군이 정해지게 된다. 따라서 특정 근육군을 자극시켜 자전거 운동을 실시하기 위해 페달 각도를 측정 할 필요가 있다.

자전거 운동같이 저속의 단순한 운동에는 복잡한 회로와 별도의 제어 프로그램이 필요한 로터리 인코더보다 장애인들이 개개인의 특성에 맞게 수정이 용이한 광 차단 방식을 선택하였다.

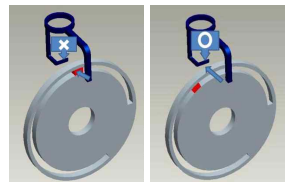


Fig. 2 Light-block pedal disc for detecting pedal angle.

각도 검출용 디스크는 자전거 운동에 지장을 주지 않게 페달과 고정되어 있고, 그 안쪽과 바깥쪽에 각각 수광부/발광부를 설치하여 디스크

내부의 장애물의 여부에 따라 발광부에서의 빛의 수신 여부가 결정된다. 페달에 고정된 디스크가 회전하면서 디스크의 특정 각도에 부착된 장애물이 발광부로부터의 빛을 차단하여 발광부의 전압을 변화시키고, 이 변화는 논리 회로를 통하여 각 전기 자극 시스템의 제어에 사용된다. 별도의 프로그램이나 복잡한 회로 제어가 필요 없이 장애물을 특정 각도에 설치해 준다면 원하는 각도에 전기 자극 제어가 가능하다. 이러한 장점을 이용해 장애인들은 개인의 특성과 중점 훈련 근육에 맞게 자극 시점과 기간을 설정해 줄 수 있다.

### 2.3. 전기 자극 부위와 자극 시점

어느 근육이 어느 페달 각도에 따른 근 활성화 시점을 측정하기 위해 자전거 운동 중 2곳(좌측 Biceps Femoris, Rectus Femoris)을 근전도 장비(Motion Lab System, 미국)를 이용하여 근전도를 측정하였다. 근전도 신호를 선형화 한 다음 최대치의 10% 지점을 역치로 잡고 최초 근 활성화 시점/근 활성화 종료 시점을 측정하였다.

또한 3차원 동작분석장비(Vicon 612, 영국)를 연동하여 각도 정보와 근전도 신호를 동시에 측정하였다.

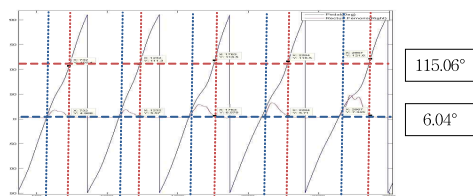


Fig. 3. Muscle activation(linear enveloped EMG) - Pedal angle graph. Right Rectus Femoris activated on pedal angle : 10°~110°. (dashed line blue : start activation, dashed line red : end of activation)

### 3. 결론

정상인 3명을 대상으로 한 하지의 2곳의 페달 각도에 따른 근 활성화 시점은 다음 표와 같다.

Table 1. Muscle activation timing depends on pedal angle

Attached spot	Left Rectus Femoris	Left Biceps Femoris
Activation Start Angle(deg)	6.04 ± 0.93	33.184 ± 5.31
End of Activation Angle(deg)	115.06 ± 5.59	200.06 ± 2.00

페달을 끌어올리는 구간(0°~45°)에는 무릎관절 굴곡 근육군의 움직임이 지배적이고 페달을 앞으로 미는 구간(90°~135°)에서는 무릎관절 신전 근육군의 움직임이 지배적임을 감안하여 다음과 같은 자극 구간을 설정하였다.

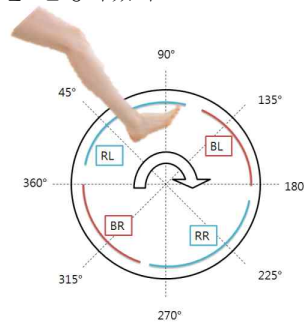


Fig. 4. Stimulation pattern : RL, Rectus Femoris left(10°~110°);RR, Rectus Femoris right(190°~290°); BL, Biceps Femoris left(115°~180°);BR, Biceps Femoris right(295°~360°)

마비 환자의 운동을 위한 기능적 전기 자극 시스템을 이용하여 자전거 운동에 적용시킨 시스템을 개발하였다. 광 차단 방식의 각도 검출 시스템을 이용하여 페달각도에 따른 자극 시점을 제시하였다.

차후 장애인에게 적용된 시스템을 평가하기 위해 질적인 평가 기준을 마련하고 환자군을 대상으로 더 많은 실험을 실행하여야 할 것이다.

### 후기

본 연구는 지식경제부와 한국산업기술진흥원의 지역산업기술개발사업으로 수행된 연구결과입니다. 또한 본 연구는 교육과학기술부와 한국 산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과입니다.

### 참고문헌

1. Therese E. Johnston, Ann E. Barr, Samuel C.K. Lee, "Biomechanics of recumbent cycling in adolescents with cerebral palsy with and without the use of a fixed shank guide," *Gait & Posture*, **27**, 539-546, 2008.
2. K.J Hunt, C.Ferrario, S.Grant et al., "Comparison of stimulation patterns for FES-cycling using measures of oxygen cost and stimulation cost," *Medical Engineering & Physics*, **28**, 710-718, 2006.