

# 편마비 환자를 위한 틸트 테이블 구동장치 개발

김수홍<sup>1,2</sup>, 조종만<sup>1,2</sup>, 남태우<sup>1,2</sup>, 임재홍<sup>1,2</sup>, 박상일<sup>3</sup>

<sup>1</sup>인제대학교 의생명공학대학 의용공학과,  
<sup>2</sup>인제대학교 BK21 바이오장기 조직재생 고급인력양성 사업팀,  
<sup>3</sup>광원메디텍

(Received August 18, 2006. October 19, 2006)

## Development of An Intelligent Tilt Table for Paralytic Patients

S. H. Kim<sup>1,2</sup>, J. M. Cho<sup>1,2</sup>, J. H. Lim<sup>1,2</sup>, T. W. Nam<sup>1,2</sup>, S. I. Park<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Biomedical Engineering,  
College of Biomedical science and engineering, Inje University  
<sup>2</sup>BK21 Bio-Organ Tissue Regeneration Project Team, Inje University,  
Gimhae 621-749, Korea (Rep)  
<sup>3</sup>Kwang Won Meditec Co.

### Abstract

Due to damaged vertebrae nerves, serious disease and aging, patients who have to lie down for long period of time need to exercise to maintain up-right standing position and recover their paralytic leg. This study describes a development of an intellectual tilt table which can provide a patient with rehabilitating condition. This can be possible by measuring and displaying the knee bent angle and pressure for each foot during exercise in real time. It is expected that the patient's exercising effect can increase by monitoring these two values during exercise.

**Key words :** tilt table, paralytic leg, real-time monitoring system

### 1. 서 론

의학 발달과 더불어 질병이나 외상에서 생명을 구하는 기회가 많아지고 평균수명이 연장되면서 상대적으로 장애인인 증가하는 추세이다. 이들 중 척수신경의 장애로 인한 마비환자와 만성적인 질병으로 인한 장기간의 운동력을 상실한 환자 그리고, 노령으로 인한 병상생활의 환자 등의 재활운동은 움직임을 최대한 유지시키기 위한 재활 운동으로서 환자의 기립상태 유지가 필수적이다. 하지만 대부분의 이런 장애를 가진 환자들은 환측과 건측의 체중부하 불균형으로 인해 자세 동요가 나타나며 이로 인해 기능적 활동에 문제를 가져와 혼자서 기립상태를 유지하기가 힘들다. 현재 병원에서는 Tilt-Table을 이용하여 환자들의 기립을 조절하고 있으나 감시자가 수동 혹은 전동으로 단순히 그 기울어지는 각도만을 조절하고 있다.

편마비 환자의 체중 분산에 대한 연구(Mizrahi 1989)에서 기립시 전체 체중의 약 75%가 건측(정상 다리)으로 유지된다고 보고한 바 있다. 이러한 체중 분산의 비대칭성은 기립자세에서 환측(마비된 다리) 하지로의 체중 부하를 더 적게 지지하는 경향이 있어 자세의 비대칭적 특성이 나타나고(Dickstein 등 1984), 환측 하지의 체중부하 감소는 손상된 운동기능과 연관되어 환자의 기능적 능력을 저하시키게 된다(sackley 등 1992). 편마비 환자의 적절한 기능적 재활을 위해선 무릎관절 추적 훈련이 보행에 미치는 영향에 대한 연구(Shin 등 2003)에서 보행속도가 추적훈련 전후에 유의한 차이가 있었다고 보고한 것을 볼때에 보행훈련 이전에 기립시 양 하지의 비대칭적 체중 부하에 대한 평가가 필요하며 환측 하지의 균등한 체중 부하를 유도해야 한다(Holt 등 2000). 기립자세의 대칭성을 증가시키기 위한 무릎 관절 운동 치료방법은 편마비 환자의 보행과 기능적 활동에 매우 중요한 요소가 될 것이기 때문에 환자의 장애 상태에 따른 Tilt-Table의 기립각도 조절과 체중부하의 대칭성을 증가시키기 위한 재활운동을 실시하여야 한다. 그러기 위해서 Tilt-Table의 발판에 load cell을 장착하여 환자의 환측·건측의 하중 의지율을 측정하고 linear encoder를 통한 무릎 구부림 정도

본 연구는 중소기업청 중소기업기술혁신개발사업 지원에 의해 수행되었다.  
Corresponding Author : 조종만  
(621-749) 경남 김해시 어방동 607번지 인제대학교 의용공학과  
Tel : (055) 320-3293 / Fax : (055) 327-3292  
E-mail : minerva@ieee.org

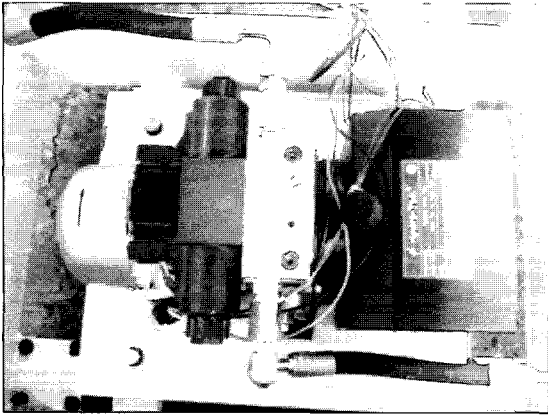


그림 1. AC모터 구동 유압실린더  
Fig. 1. Oil-hydraulic cylinder driven by AC motor

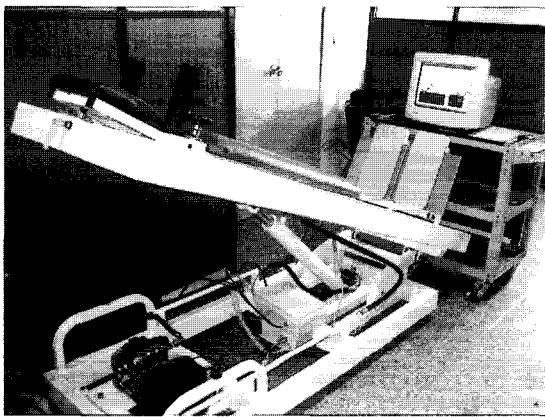


그림 2. 실시간 모니터링 시스템을 장착한 Tilt-Table  
Fig. 2. Developed system consisting of a Tilt-Table and patient monitor.

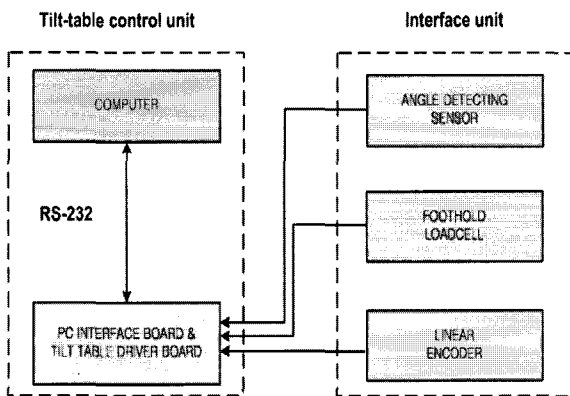


그림 3 Tilt-Table컨트롤러 블록 다이어그램  
Fig. 3. Block diagram for intellectual Tilt-Table controller

측정은 대칭성 증가에 대단히 중요한 일이다.

또한 대부분 병원에서 이용되는 치료는 환자의 능동적 참여 보다는 계획된 프로그램에 의해 수동적으로 실시되어 지고 있다. 만일 환자의 재활운동 정보를 계속적인 모니터링 시스템으로 환자에

게 보여준다면 환자 스스로의 재활운동이 이루어질 수 있고, 그로 인해 각각의 환자들에게 맞는 효율적인 재활운동을 환자 스스로가 인지하고 의지적으로 할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 기울기 센서와 linear encoder, load cell을 이용하여 환자다리의 부하와 슬라이딩 거리를 이용한 무릎 구부림 정도를 측정 분석할 수 있는 Tilt-Table 제어장치의 개발을 보여줄 것이다. 재활운동 데이터를 실시간 모니터링을 하여 환자가 수행한 재활운동의 결과를 시각적으로 확인할 수 있도록 하고 이러한 실시간 모니터링 장치의 적용이 재활운동에 어떠한 영향을 주는지 알아보고자 한다.

## II. 연구방법

### A. Tilt-Table의 구동

그림 1은 경사조절에 쓰이는 AC모터로 구동되는 유압실린더이다. 이로서 Tilt-Table에 일정한 속도와 정확한 각도를 구현할 수 있다. 그림 2는 본 연구에서 개발한 Tilt-Table의 전체적인 모습이다. 그림 3에서는 실시간 모니터링 Tilt-Table의 하드웨어적 흐름을 보여 준다.

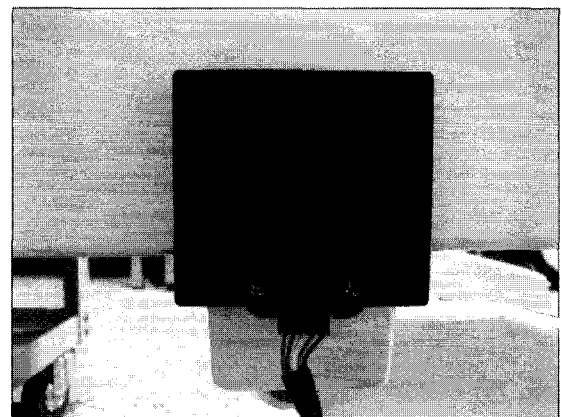


그림 4. 기울기 센서  
Fig. 4. Inclinometer

### B. Tilt-Table 각도 획득

스스로의 출력을 제어하여 기립각도를 조절하기 위해선 동작중의 Tilt-Table의 경사정보를 획득하는 것이 필요하다. Tilt-Table의 경사 각도를 측정하기 위해서 그림 4의 3600codes/rev의 분해능으로 측정할 수 있는 기울기 센서(T5, US Digital Inc.)를 부착하였다. 이 기울기 센서는 Tilt-Table의 움직임에 따라 펄스를 발생하게 되는데 여기서 발생하는 펄스를 24bit 멀티 카운터인 LS7166(LSI Computer Systems Inc.)로 데이터를 카운트하고 기울어진 각도의 값을 계산하여 RS-232를 이용, 각도 정보를 PC와 통신 할 수 있게 하였다.

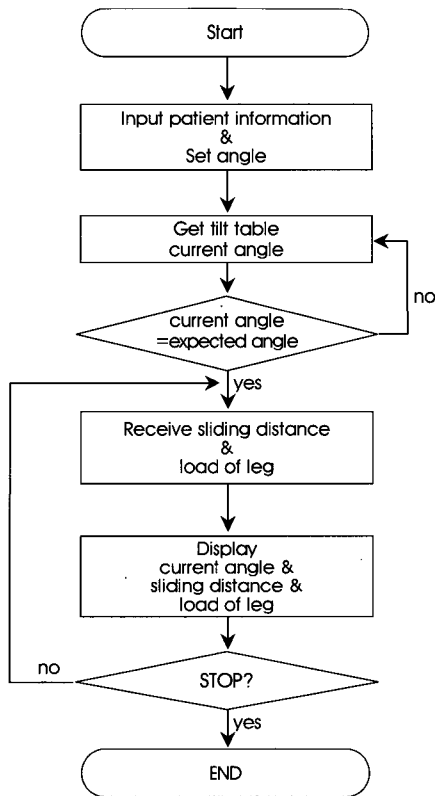


그림 5. Tilt-Table 구동 소프트웨어의 흐름도

Fig. 5. Flowchart for the entire controlling process for the proposed Tilt-Table.

**C. Tilt-Table 컨트롤**

그림 5의 플로차트는 Tilt-Table 관리를 위한 소프트웨어적인 알고리즘이다. RS-232로 마이크로 컨트롤러와 통신하면서 Tilt-Table의 각도를 조절하거나 재할현황 정보를 획득하여 처리 및 모니터링 할 수 있는 소프트웨어를 개발하였다. 매초마다 기울어진 각도에 따른 AC모터 구동을 결정할 수 있도록 전원을 공급하는 릴레이와 이를 제어하기 위한 입출력 신호의 회로로 구성하여 인쇄회로기판으로 Tilt-Table의 드라이버 보드를 제작하였다. Load cell에서의 전압 값과 각도와 슬라이딩 거리의 데이터를 처리하는 마이크로 컨트롤러(AT89C51)가 내장된 Tilt-Table 드라이버 인터페이스 보드를 제작하였다.

**D. 재할 환자의 무릎 구부림 정도 측정**

무릎각도를 재기 위해 직접 무릎에 기울기 센서를 쓰는 방법은 환자 몸에 부착해야 된다는 문제점 때문에 그림 6의 0.05mm의 분해능을 가지고 상용 적으로 쓰이는 linear encoder(EM1, US Digital)를 슬라이딩 테이블에 설치하였다. linear encoder는 linear strip과 LED렌즈(Agilent(HP))로 구성 되어 있다. 환자 몸의 슬라이딩 되어진 거리를 통한 무릎 구부림 정도를 linear encoder로 측정하여, 그 거리수치로써 무릎 관절이 구부러진 정도를 나타내었다. 이는 환자 몸의 슬라이딩 되어지는 거리에 따라 무

릎은 자연스럽게 더 구부러지는데 착안한 것이다. 슬라이딩 된 거리를 RS-232 통신으로 받고 데이터를 PC에 전송, 저장하고 실시간으로 그래프 화한다.



그림 6. 0.05mm의 분해능을 가지는 리니어 엔코더  
Fig. 6. The linear encoder consists of linear strip marked 0.05 mm scale and LED lenses

**E. 재할 환자 다리의 하중 의지율 측정**

그림 7은 0.5g의 분해능을 가지고 상용 적으로 쓰이는 슬림형 load cell(CAS)로서 무릎 최대 구부림 시의 환자다리 하중의 정도

를 측정한다. load cell로부터 전압 값을 받아와 ADC(analog-to-digital converter(MCP 3202, Microchip technology Inc))를 통해 다리 하중의 데이터를 디지털화 하여 컨트롤러에 전송, 계산하여 RS-232 통신으로 PC에 전송한다. 건축, 환측 다리하중 데이터는 기울어진 각도에 따라 계산되어 지고 저장 및 모니터링 된다.

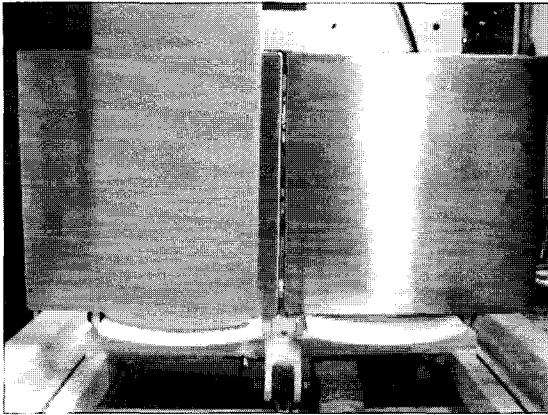


그림 7. 슬림형 로드셀  
Fig. 7. Slim flatform load cell

**F. 관찰 시스템의 모니터링**

그림 8은 실시간 모니터링 시스템을 보여준다. 관찰 시스템의 총괄 적용 프로그램은 Microsoft C++ 6.0을 기반으로 두고 있고 Windows XP 기반의 펜티엄 4, 1GB RAM의 컴퓨터를 사용하였다. 데이터는 시리얼 통신으로 받아들이고 각 값들은 모니터링과 함께 기록 된다. 현재의 Tilt-Table 각도를 표시해 주며 환자 몸의 슬라이딩 거리를 통한 무릎 구부림 정도와 환자 다리의 하중 의지 데이터를 표시해 준다. 측정된 데이터는 실시간으로 모니터링

되어 환자가 자신의 재활과정을 PC를 통해 실시간으로 볼 수 있도록 하였다.

**G. Tilt-Table 구동 실험**

환자를 대상으로 70°까지의 기립각도 측정실험은 위험함으로 각각 53kg, 70kg, 78kg의 체중을 가지는 정상인을 대상으로 각 3회씩 70°까지의 기립각도 측정실험을 하여 평균을 구하였다.

재활데이터 획득 및 모니터링 실험은 박인선 재활 의학과에서 치료를 받고 있는 표 1의 5명의 재활 환자들에게 적용하였다. 본 연구에 참가하는 환자의 선정 조건은 다음과 같다.

가. 시력에 이상이 없는 환자(컴퓨터 스크린의 재활운동 현황을 인지 가능)

표 1. 실험을 진행한 환자들 사항  
Table 1. Profile of the subjects (rehabilitation patients)

Subject no.	Sex	Age(years)	Affect side
1	M	46	left hemiplegic(close supervision)
2	M	54	left hemiplegic(close supervision)
3	M	38	left hemiplegic(close supervision)
4	F	60	left hemiplegic(close supervision)
5	F	57	left hemiplegic(close supervision)

나. 뇌졸중이나 기타요인으로 인한 발병기간이 최소 6개월 이상인 환자

표 1에서 환자들의 환측은 모두 좌측이었고 20°~40°를 tilting 하는 Tilt-Table에서 슬라이딩 거리와 환측, 건측 다리에 실린 하중 의지율을 환자의 상태(close supervision)를 감안하여 물리

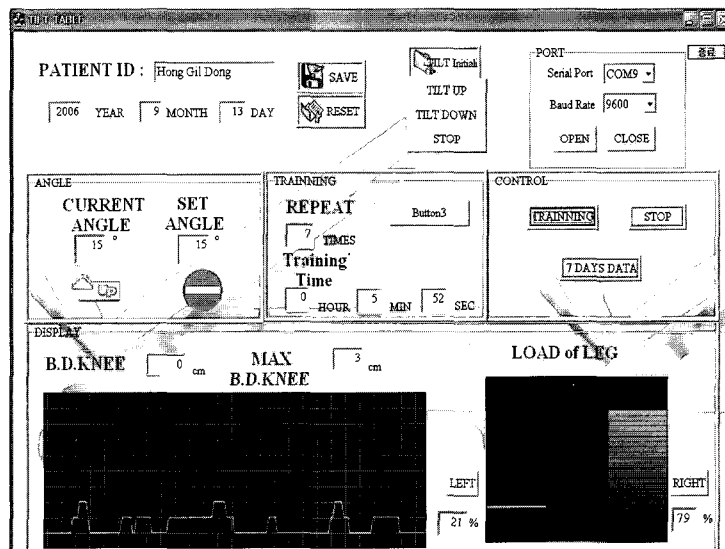


그림 8. 실시간 모니터링 시스템  
Fig. 8. Implemented monitoring software

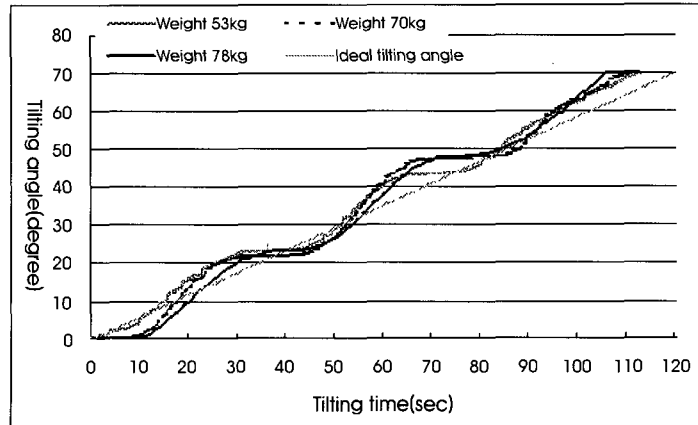


그림 9. Tilt-Table의 구동시간에 따른 각도변화  
Fig. 9. The gradient of Tilt-Table to the operating time

치료사 동행·보조 하에 측정 하였다. 실험에 앞서 환자들에게 모니터링 되는 슬라이딩 거리와 하중 의지울 값의 그래프에 대해 설명해 주었다. 실험순서는 우선 tilting 각도의 변화를 5°간격으로 20°~40°까지 하고 매 각도마다의 실험 데이터를 측정하였다. 1주의 훈련기간을 가지고 매일 모니터링 없이 재활운동을 5분 지속시켜 데이터를 기록하고 이후 1시간차를 두고 모니터링을 제공하면서 5분 동안의 재활운동을 실시 데이터 기록을 하였다.

### III. 결 과

본 연구에서 개발한 모니터링 시스템 Tilt-Table의 성능을 평가하기 위해 실험을 수행하였다. 첫 번째로 환자 몸무게에 따른 Tilt-Table의 구동을 보였다. 둘째로 linear encoder를 이용한 무릎관절 구부림 정도를 측정하였고, 세 번째로 load cell을 통한 하중 측정 하중 의지울을 측정하였다. 환자를 대상으로 하는 실험에서는 Tilt-Table의 경사가 40°이상 되는 곳에서는 환자들의 부상 의식으로 재활운동이 더뎠고 또한 환자들의 무릎 구부림 정도의 변화가 더 이상 없었기 때문에 40°이상에서의 슬라이딩 이동거리 데

이터는 제외시켰다.

#### A. 환자 몸무게에 따른 Tilt-Table의 구동

AC모터 구동 유압실린더를 이용한 Tilt-Table의 구동성을 시험하기 위해 120초 동안 70°까지의 구동각도를 측정하여 그림 9와 같은 결과를 얻었다. 가장 가벼운 53kg의 피 실험자와 가장 무거운 78kg의 피 실험자간의 구동각도의 차이가 평균 2.3°를 보였다. 하지만, 피 실험자의 체중에 상관없이 이상적인 기립각도와는 근접한 각도에서 동작 하였다.

#### B. Linear encoder를 통한 슬라이딩되는 거리를 측정

슬라이딩 테이블에 장착한 linear encoder를 통하여 환자들의 무릎 구부림 시의 슬라이딩되는 거리를 측정해 그림 10과 같은 결과를 얻었다. 표 2는 Tilt-Table의 경사가 20°~40°일 때 모니터링 제공시와 제공하지 않았을 시의 슬라이딩 거리의 평균±표준편차를 나타낸다. 표 2에서 나타내듯이 모니터링 시스템이 슬라이딩 거리를 늘려주는 것을 볼 수 있었다.

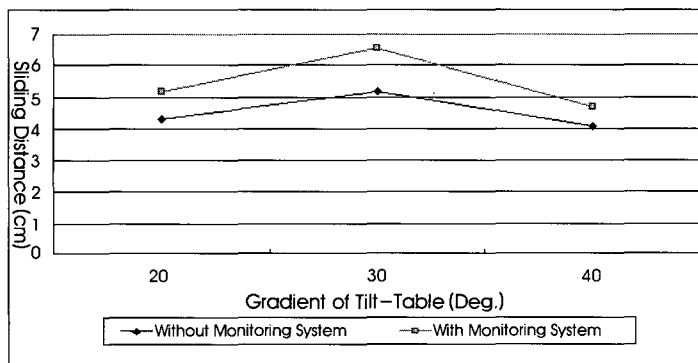


그림 10: Tilt-Table 각도에 따른 슬라이딩 거리  
Fig. 10. The sliding distance depends of the gradient of the Tilt-Table.

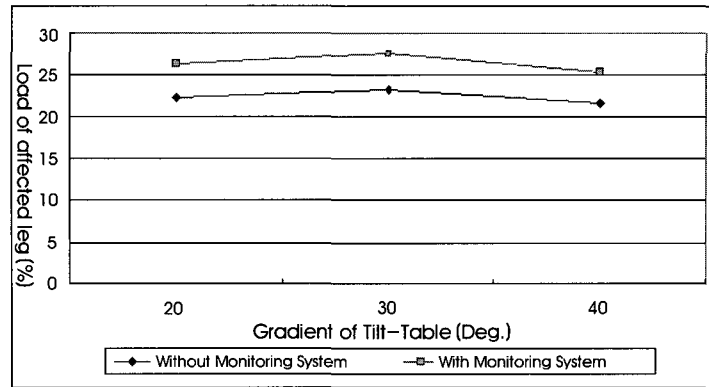


그림 11. Tilt-Table 각도에 따른 환측 의지율

Fig. 11. The load will rate of affected leg depends of the gradient of the Tilt-Table.

표 2. Tilt-Table 경사각에 따른 환자 재활 운동 시 슬라이딩 거리

Table 2. The sliding distance depends of the gradient of the Tilt Table

	Sliding Distance(cm)		
	20°	30°	40°
Without Monitoring System	4.3 ± 0.63	5.2 ± 0.43	4.1 ± 0.58
With Monitoring System	5.2 ± 0.65	6.6 ± 0.69	4.7 ± 0.24
평균 차이(With-Without)	+0.9	+1.4	+0.6

표 3. Tilt-Table 경사각에 따른 환자 재활 운동 시 환측 의지율

Table 3. The load will rate of affected leg depends of the gradient of the Tilt Table

	Load of affected leg(%)		
	20°	30°	40°
Without Monitoring System	22.3 ± 2.34	23.1 ± 3.53	21.6 ± 2.12
With Monitoring System	26.2 ± 2.12	27.5 ± 2.45	25.3 ± 2.62
평균차이(With-Without)	+3.9	+4.4	+3.7

**C. Load cell을 통한 건축과 환측 하중 의지율 측정**

발판에 장착한 load cell을 통하여 Tilt-Table의 20°~40°각도에서의 환측 다리에 걸리는 하중 의지율(%)을 측정해 그림 11과 같은 결과를 얻었다. 표 3은 Tilt-Table의 경사가 20°~40°일 때 모니터링 제공시와 제공하지 않았을 시의 환측 하중 의지율의 평균±표준편차를 나타낸다. 건축에 대한 환측의 하중 의지율은 모니터링 시에 약간 높게 나타남을 볼 수 있다.

**IV. 고 찰**

본 연구에서는 tilting각도를 조절할 수 있는 Tilt-Table 컨트롤 장치 개발과 환자 스스로 훈련 상황을 볼 수 있는 모니터링 장치 개발의 두 가지 부분으로 나누어 생각해 볼 수 있다. 먼저 AC모터 유압실린더 방식에 의한 Tilt-Table 제어에 있어서 사용자의 체중과

기립각도, 기립시간에 따라 큰 오차 없이 설정된 각도에 도달 하는 것을 확인할 수 있었다. 환자 개개인의 체중과 유압실린더의 기계적인 특성으로 완벽하게 선형적인 동작특성을 가지게 할 수는 없었지만 기존의 재활치료에 사용되는 Tilt-Table이 단순히 대략의 각도까지 기립을 시킨 후 그 상태를 유지하던 것과 비교해 볼 때 향상된 기립작동을 볼 수 있었다.

다음으로 실험을 통하여 모니터링 시스템을 통한 환자 재활 운동에서 환자 스스로의 재활훈련이 환측 다리의 무릎 구부림 정도와 환측 하중 의지율 향상에 긍정적인 결과를 보여줌을 알 수 있었다. Tilt-Table의 각도가 40°일 때 환측에 대한 하중 의지율이 낮아지는데 이는 환자가 각도상승에 따른 자세동요 불안감에 하중의 지를 건축에 옮기려는 의지 때문으로 보인다.

본 연구에서 제안된 Tilt-Table을 통한 모니터링 재활훈련에 있어서 실시간으로 무릎 구부림 정도와 환측 다리 하중 의지율 데이터를 모니터링 하여 환자 스스로 자신의 운동 상태를 인식하고 자신에게 맞는 재활훈련을 실시할 수 있음을 볼 수 있었다. 이 후 물리치료사가 수집된 데이터를 바탕으로 재활환자의 재활 등급에 따른 적절한 tilting 각도를 적용할 수 있으며 이로써 최적의 재활 환경에서 효율적인 재활 치료를 기대할 수 있을 것으로 보인다. 그러나 무릎 구부림 정도를 슬라이딩 거리를 통한 간접적인 유추를 한 것은 데이터의 신뢰성을 떨어뜨린다. 이에 부정확한 데이터를 보완하기 위한 방법으로 직접적으로 무릎의 각도를 측정할 수 있는 방법을 적용하여 정확한 데이터를 얻을 수 있는 방법을 고안해야 할 것이다. 또한 본 연구에서의 실험 환자들은 물리치료를 받고 있는 환자들 중에서 연구의 기준조건에 맞는 일부 환자들을 대상으로 실험하였기에 결과의 일반화는 제한이 있을 수 있다. 또한 충분한 실험기간을 가지지 못한데 대한 실험결과의 큰 양상을 구하지 못하였다. 향후 연구에서는 편마비 환자들의 환측과 건축의 균형 능력 증진을 위한 프로그램의 최적화를 해야 할 것이며 향후 충분한 실험기간을 통하여 보다 객관적인 실험이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

## V. 결 론

본 연구는 편마비 환자의 효율적, 기능적 재활을 위해서 보행훈련 이전에 기립 시 양 하지의 비대칭적 체중 부하에 대하여 무릎관절의 훈련과 환측 하지의 균등한 체중부하를 유도하여 보행능력을 향상시키는 Tilt-Table 구동장치를 개발하였다. 본 연구에서 개발한 Tilt-Table을 통해 재활치료를 수행 시 기립각도를 정량적으로 조절할 수 있으며, 이는 기존의 Tilt-Table이 대략의 수동 조작으로 기립각도를 조절하던 것과 달리 정확한 각도 조절과 모니터링을 통한 능동적인 재활 치료를 수행함에 있어 매우 유용하다.

본 연구에서 실시간 모니터링을 통한 체중부하 유도 운동 효과를 알아보기 위하여 편마비 환자를 대상으로 모니터링 재활 훈련을 실시하였다.

실험결과, 1. 무릎 구부림 정도를 측정하는 실험에서 모니터링 시스템을 사용하여 재활훈련을 실시했을 때 미사용 시에 비해 최대 +1.4cm 정도의 향상된 슬라이딩 거리 데이터를 보여주었다.

2. 환측에 대한 하중 의지율은 모니터링 시스템을 사용하여 재활 훈련을 실시했을 때 미사용 시에 비해 최대 +4.4% 향상된 데이터를 보여주었다.

이상의 결과에서, 본 연구에서 개발한 Tilt-Table 구동장치를 통한 모니터링 시스템이 편마비 환자의 균등한 체중부하 운동에 효과를 주는 것으로 보인다. 그러나 실제 재활환자를 대상으로 실험을 진행함에 있어 몇 가지 문제점이 나타났다. 첫째, Tilt-Table을 통해 재활치료를 하는 대부분의 환자들은 혼자서는 거동이 힘든 환자들이라는 것이다. 그로 인해 실험의 진행시에 많은 주의가 필요하였고 환자의 상태에 따라 데이터 획득에 실패 하는 경우가 빈번하였다. 둘째, 환자들의 부상 의식으로 물리치료사의 동행과 보조로 올바른 데이터를 얻지 못했다는 것이다. 이상의 이유들로 인하여 이후 개발에 있어 안정성 문제를 고려할 필요가 있을 것으로 보인다.

결과적으로 본 논문에서 제안한 Tilt-table을 통한 재활치료에 있어서 치료사를 완전히 배제한 재활치료용 Tilt-table의 개발은

어려웠지만 재활치료중의 데이터를 획득하여 실시간으로 보여 줌으로 재활운동에 효과를 준다는 것을 볼 수 있었다. 모니터링 시스템을 이용한 Tilt-Table의 개발이 보행 훈련 이전에 기립이 어려운 편마비 환자 재활치료에 잘 활용 한다면 편마비 환자의 균형능력 향진에 많은 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

## 참고문헌

- [1] H.O. Jung, *Rehabilitation Medicine*, Korea;Dae Hak Seo Rim Inc, 1997, pp. 268-269.
- [2] C.T. Chen, *Analog and Digital Control System Design*, Sanders College Publishing, 1993.
- [3] S.W. Parry, R.A. Kenny, "Tilt table testing in the diagnosis of unexplained syncope," *Q J. Med.*, vol. 92, pp. 623-629, 1999.
- [4] Sackley CM, Baguley BI, Gent S, et al., "The use of balance performance monitor in the treatment of weight bearing and weight transference problems after stroke," *Physiotherapy*, vol. 78, pp. 907-913, 1992.
- [5] Dickstein R, Nissan M, Pillar T, et al., "Foot ground pressure pattern of standing hemiplegic patients," *Phys. Ther.*, vol. 64, pp.19-23, 1984.
- [6] Holt RR, Simpson D, Jenner Jr, et al., "Ground reaction force after a sideways push as a measure of balance in recovery from stroke," *Clin Rehabil.*, vol. 14, no. 1, pp.88-95, 2000.
- [7] H.Y. Lee R.N, "Biomechanical analysis on the shift of gravity line in hemiplegic patients," *The journal of korean society of physical therapy*, vol. 11, no. 1, pp. 63-70, 1999.
- [8] J.G. Yoon, M.H. Kim, D.W. Yook "The effect of self-controlled learning on balance in hemiplegics," *PTK*, vol. 12, no. 1, 2005.
- [9] Mizrahi J, Solzi P, Ring H, et al., "Postural stability in stroke patients: Vectorial expression of asymmetry sway activity and relative sequence of reactive forces," *Med. Bio. Eng. Comput.*, vol. 27, pp.181-190, 1989.
- [10] H.K. Shin, H.J. Yeom, S.H. Cho, S.H. Jang, "Effects of knee tracking training on gait in stroke patients," *KAUTPT*, vol. 10, no. 3, 2003.