

# 랫(Rat)의 운동을 위한 트레이드밀의 개발에 관한 연구

## A Study on the development of treadmill for the exercise of rat

김주명, 최은영\*

광양보건대학 의료공학과, 광양보건대학 작업치료과\*

Ju-Myung Kim, Eun-Young Choi\*

Dept. of Medical Engineering, Gwangyang Health College

Dept. of Occupational Therapy, Gwangyang Health College\*

### Abstract

This paper place the focus the development of treadmill for rat in order to verify the effectiveness of exercise therapy. Up to now, in many medical laboratories treadmill have had to be remodeled for experiments with animal. Thus, it is necessary to develop the treadmills for animals only including rats.

The treadmill has a DC motor which can make 600 revolutions per minute(600 RPM) and tension of the belt of the treadmill can be adjusted to prevent shift of the belt to any side. Velocity can be selected from 10m to 30m per minute increasing by 1m. The motor is controled by pulse width modulation(PWM) control mode using a 8bit microprocessor.

In the future, the roller and motor need to be combined for improvement of stability and decrease of noise.

**Key Words** treadmill, rat, PWM, microprocessor

### 1. 서 론

의학의 발달과 경제발전으로 평균수명이 연장되면서 노인 인구의 증가와 함께 악성종양 및 심장 질환과 더불어 질병으로 인한 사망원인 중 가장 많은 부분을 차지하는 질환인 뇌졸중을 비롯한 골다공증 등 노인성 질환이 증가되어 재활치료를 필요로 하는 환자의 수가 현저히 증가되었다[1,2,3].

말초신경은 외상, 질병, 독성 화학약품 및 영양 부족 등의 여러 가지 요인으로 손상될 수 있으며 외상 및 사고로 발생하는 신경의 손상은 중추보다는 말초에서 더욱 빈번히 일어나고 있다. 말초신경의 병변 및 손상으로 근육에 대한 신경지배(neural

innervation)가 차단되면 근육에서 탈신경 위축(denervation atrophy)이 나타나며, 근 무게와 근섬유 직경의 감소, 근섬유 형태의 변화가 발생한다[4]. 또한 질환과 사고의 후유증으로 인한 근육 또는 신체 일부의 마비, 장기간의 침상생활과 관련된 정상적인 근육의 부재는 골다공증과 근위축을 일으키며, 장기간의 비활동도 호흡계와 순환계의 효율성을 감소시킨다[5]. 이 경우의 재활치료는 기능적 전기자극과 재활훈련을 병행하여 실시하는 경우가 많으며, 마비환자가 아닌 경우에는 약물과 운동치료를 병행하여 실시하고 있다. 운동선수나 건강한 성인, 관상동맥질환자의 운동과 지구력 훈련 결과에 대한 연구자료나 정보는 비교적 풍부한 편

이다. 그러나 만성질환자나 장애자의 건강을 증진시키고 지구력을 훈련시키는 연구자료들은 그리 많지 않은 편이다. 특히 만성질환자의 경우 약물과 운동치료의 효율성을 입증할 비교 실험을 할 수 없으므로 동물실험을 통해 검증하고 있는 실정으로 그 결과 또한 미비한 실정이다[6,7,8,9,10,11,12,13,14]. 또한 병원이나 의학관련 연구실에서 실시하는 동물실험의 경우 약물과 기타 방사선에 의한 치료의 효과에 대한 실험이 대부분으로 운동을 통한 치료효과에 대한 실험이 필요한 실정이다. 하지만 자신의 건강을 위해 운동을 하는 동물은 우리 인간뿐이므로 실험용 동물을 운동시켜 운동효과를 실험하려면 피실험동물이 자발적이며 무리하지 않는 범위 내의 적당한 운동방법을 찾아 실시하여야 한다.

따라서 현재 재활치료센터의 트레이드밀이나 스포츠센터의 런닝머신(running machine)을 개조하여 실험에 이용하고 있는 실정이다. 그러나 재활치료용의 트레이드밀은 고가이며 래트(rat)를 비롯한 동물이 운동하기에는 적합하지 않은 구조를 하고 있다. 또한 모터를 구동하는 전원으로 교류전원을 사용하고 있어 모터 구동시 유해한 전자파가 발생되어 실험에 영향을 미칠 수도 있다. 따라서 직류 모터를 이용하여 전자파에 대한 영향을 최소화하고 실험용 동물이 운동하기에 적합한 구조를 하고 있으며 속도제어가 가능한 동물 전용의 트레이드밀의 개발이 필요하게 되었다.

## II. 기계적 구조

본 논문에서 제작한 트레이드밀의 모터는 처음에 DC12V 10W의 모터를 사용하였다. 그러나 벨트를 회전시켰을 때 벨트와 롤러의 하중으로 인해 충분한 회전 토크가 발생하지 않아 원하는 속도를 얻을 수 없었으므로, 3,000RPM, DC12V 15W인 모터를 사용하였다. 또한 최저 분당 10m, 최고 분당 30m의 속도로 벨트를 회전시키고자 하므로 5:1의 감속기어를 사용하여 RPM을 600으로 낮추어 회전수는 줄이고 회전 토크는 높였다. 벨트가 장착되어 회전하는 롤러는 구동축과 피구동축 두 개로 구성하였으며, 두 개의 롤러 사이의 공간은 벨트와 3mm의 간격을 두고 플라스틱 판을 설치하여 실험동물이 올라섰을 때 쳐지지 않고 지지할 수 있도록 하였다. 그러나 실험동물이 벨트 위에 서게 되면 동물의 무게로 인해 벨트가 쳐져 회전시 플라스틱 판과 벨트가 마찰로 인해 벨트 회전속도가

감소되고 마찰열로 인해 벨트의 마모를 우려하여 플라스틱 판에 볼 캐스터를 일정한 간격으로 설치하여 플라스틱 판과 벨트의 마찰을 줄이도록 설계하였다. 트레이드밀을 이용한 운동실험에 사용할 동물은 마우스에서 토끼까지를 대상으로 하였으나 마우스는 너무 작고 토끼는 관리가 어려워 운동효과를 검증하는 데 어려운 점이 있어 래트(rat)로 결정하여 개발하였으며, 래트는 무게가 250g 정도로 가벼워 두께 2mm 벨트의 장력에 미치는 영향이 적기 때문에 볼 캐스터는 설치하지 않았다.

체인은 기계적인 여유마진을 가지게 되어 회전시 약간의 소음이 발생되나 비용이 저렴하기 때문에 구동축이 되는 롤러와 모터는 기어와 체인을 사용하여 연결하였으며, 기어비를 27:16으로 하여 롤러의 최대 RPM을 355로 만들어 최대 분당 30m의 속도를 낼 수 있도록 하였다.

모터와 롤러의 기어비를 27:10으로 하였을 때, 기동시의 과부하로 인해 부드러운 회전을 할 수 없으며 소음이 다소 발생하였다. 따라서 그림 1과 같이 기어비를 27:16으로 변경하고 기어를 정밀하게 가공하고 모터와 롤러의 기어가 일직선이 되도록 설치하여 소음을 감소시켰다. 기어와 체인에서 발생하는 소음은 타이밍 벨트를 사용하면 어느 정도 줄일 수 있다. 하지만 가격이 기어와 체인으로 하는 경우보다 약 6배정도 더 들게 되어 저가의 트레이드밀의 개발이라는 목적에 적합하지 않았다. 벨트는 피실험동물이 달리게 될 때 미끄러지지 않도록 표면이 울퉁불퉁하게 엠보싱 처리된 벨트를 선택하였다. 벨트는 좌우 길이가 1mm라도 차이가 나거나 좌우 장력이 약간이라도 틀릴 경우, 오랜 시간 벨트가 회전하면 벨트가 한쪽으로 몰리게 되어 벨트가 파손될 수 있다. 이러한 점은 롤러의 표면을 정밀하게 가공하거나 구동축 롤러의 양쪽 끝을 기어로 가공하고 벨트의 안쪽에 기어가 있는 기어벨트를 선택하면 해결할 수 있다.

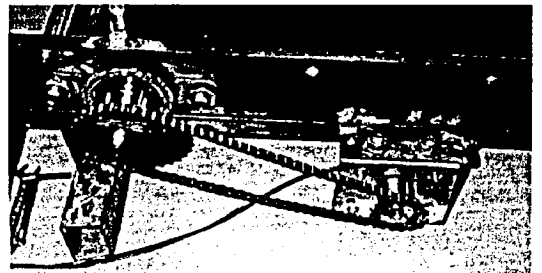
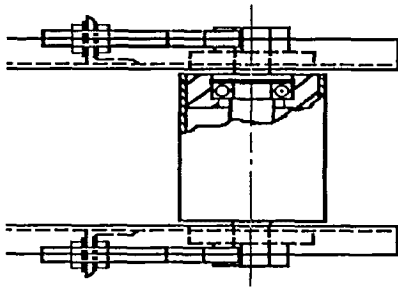
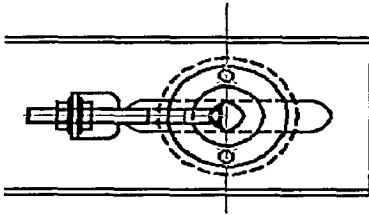


그림 1. 트레이드밀의 기어장치  
Fig.1 gear device of treadmill



(a) 평면(A plane surface)



(b) 측면(A side)

그림 2. 장력 조절장치의 설계

Fig. 2 design of tension control device

그러나 가공비와 재료비가 너무 많이 드는 단점이 있어 그림 2와 같이 피구동축의 롤러를 앞뒤로 움직이며 벨트 좌우의 장력을 각각 조절할 수 있도록 설계하였다.

폭 300mm, 길이 1282mm의 벨트를 두 개의 롤러에 끼워 실험동물이 올라서서 운동할 수 있는 면적은 300mm×600mm이 되도록 하였으며, 네 개의 기둥을 세워 아크릴 판을 이용하여 칸막이를 설치하였으며 래트 두 마리가 동시에 운동할 수 있는 구조로 제작하였다.

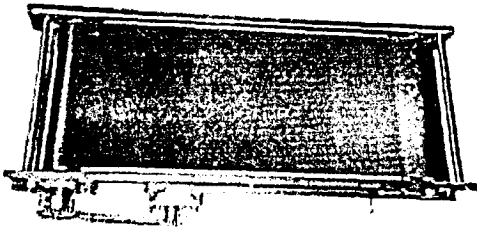


그림 3. 트레이드밀의 기계 장치

Fig. 3 machine device of treadmill

평지에서 달리는 것보다 경사로를 달릴 때의 운동효과가 더 크므로 경사도의 조절이 가능하도록 하였고, 기본적으로 15°의 경사를 갖는 구조로 제작하였다. 그림 3은 본 논문에서 설계하여 제작한 트레이드밀의 기계적 장치이다.

### III. 제어 알고리즘

본 논문에서 개발한 트레이드밀은 그림 4와 같이 입력장치, 출력장치, 제어장치, 모터구동장치, 전원장치, 제어장치로 구성된다.

입력장치와 출력장치는 하나의 판넬에 배치하여 입력 값의 확인이 간편하도록 구성하였다. 입력은 운동시간과 속도, 시작신호를 입력하는 푸쉬버튼 스위치(push button switch) 3개로 구성하여 시간은 10분에서 90분까지 10분 간격으로 설정할 수 있도록 하였고, 속도는 분당 10m에서부터 30m까지 1m 간격으로 설정할 수 있도록 하였다. 출력은 7-세그먼트 6개중 4개를 사용하여 운동시간의 분과 초를 표시하고, 나머지 두 개를 사용하여 운동속도를 표시하였으며, 시간과 속도를 설정한 후 시작 버튼을 누르면 시간은 0에서부터 1초씩 증가하여 설정된 시간이 되면 경고음을 울린 후 멈추며 초기상태로 리셋이 되도록 프로그램하였다.

그림 5는 트레이드밀 제어장치의 내부 사진이다. 제어장치는 원칩 마이크로프로세서 MCS-51 계열 CPU를 중심으로 구성되어 있으며, 모터의 PWM 제어신호는 8비트 마이크로프로세서인 8031의 포트 3에서 출력한다. 그러나 프로세서의 출력신호는 다링톤 트랜지스터인 TIP122의 입력신호로 사용하여 모터를 ON/OFF시키는 스위칭 신호로는 미약하므로 풀업(pull-up) 저항을 이용하여 TIP122 입력신호의 전류 레벨을 증가시켰다. 모터를 구동하는 데 3A의 전류가 필요하므로 모터와 전원에 연결된 직렬저항과 트랜지스터가 열을 발생하여 방열판과 팬(fan)을 설치하였다.

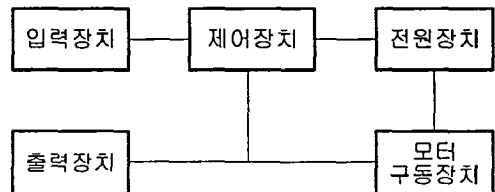


그림 4. 트레이드밀의 구성도

Fig. 4 Block diagram of treadmill

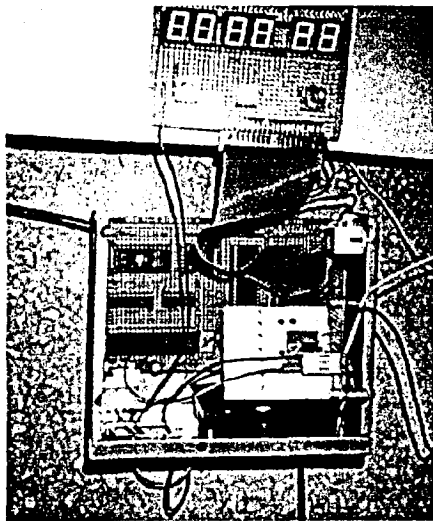


그림 5. 제어장치 및 입출력장치  
Fig. 5 Control device and I/O device

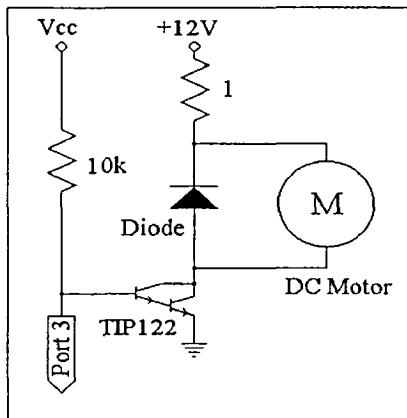


그림 6. 모터 드라이브 회로  
Fig. 6 Motor drive circuit

그림 6의 모터 드라이브 회로는 트랜지스터를 이용하여 정역회전이 가능한 회로를 구현할 수 있으나 운동기구의 특성상 정회전만을 목적으로 하고 있으므로 트랜지스터의 베이스, 컬렉터 및 이미터에 흐르는 전류를 고려하여 구동회로를 간략화시켜 설계하였다. 동작 원리는 다윈톤 트랜지스터인 TIP122가 ON일 때에는 전원에서 모터로 전류가 공급되며, OFF일 때는 ON일 때 흐르고 있던 전류와 같은 방향으로 전류를 흘리려고 하는 힘이 모터와 병렬로 연결된 다이오드인 프리휠 다이오

드(free wheeling diode)를 통하여 회생전류라 부르는 전류가 흐르게 된다. 회생전류는 ON시에 모터 코일의 인덕턴스에 축적된 에너지가 모터에 공급되는 전류를 가리킨다.

정격전압을 펄스형태로 모터에 인가하되, 그 펄스의 폭을 조절함으로써 평균전압을 조절하는 방법인 PWM(Pulse Width Modulation) 제어방식은 다시 말해 펄스상태의 전압을 간헐적으로 공급하는 제어방식이다. 이 방식은 코일에 축적된 에너지를 이용하기 때문에 효율이 높아 모터 제어회로의 저소비 전력화에 유효하다. 일반적인 PWM은 발전기에서 생성된 삼각파와 제어전압을 전압비교기로 비교하여 그 출력신호에서 구동 트랜지스터를 ON/OFF하는 것이다[15]. 이 방식은 전동휠체어의 모터 제어에 이용되는데, 스위칭 소음은 PWM 제어방식을 사용하는 한 불가피하여 효율이 낮은 직류 전압, 전류의 연속제어를 사용하지 않고, 오히려 스위칭 주파수를 가칭 주파수 이상으로 높여서 사용자로 하여금 소음을 감지하지 못하도록 하는 방법을 사용하기도 한다. 그러나 ON/OFF 시간이 충분하지 못하면 모터의 PWM 제어가 불가능하며 [16], 릴레이를 사용하여 스위칭하면 소음이 발생하므로 본 논문에서는 전력소자를 이용한 PWM 방식으로 모터를 제어하였다. 운동 속도는 근접스위치를 마이크로프로세서의 외부 인터럽트 단자에 연결하여 벨트가 1회전하는 데 걸리는 시간을 백분의 1초 단위까지 측정하여 PWM 제어신호인 ON/OFF 주기를 설정하였다.

본 시스템에 필요한 전원장치는 컨트롤러와 모터에 각각 다른 전압이 필요하다. 따라서 DC 5V의 전압에 최대 1.5A의 전류를 필요로 하는 컨트롤러 구동용 전원과 모터 구동에 필요한 전원인 DC 12V의 전압에 3A의 전류를 출력하도록 하였다.

#### IV. 실험 및 결과 고찰

본 논문에서 개발한 트레이드밀을 분당 12m 이하의 속도로 구동할 경우 모터와 체인에서 발생하는 소음이 그 이상의 속도에서보다 더 발생하였다. 모터에 인가되는 평균전압으로 모터의 회전속도 또는 회전수를 변하게 하여 모터의 속도를 제어하기 때문에 ON/OFF시간이 별 차이가 없는 저속에서는 모터가 덜컹거리듯한 진동이 발생하기 때문이며, 모터의 회전수는 적지만 출력이 높은 DC모터로 교체하거나 구동 드라이브 회로의 개선

이 필요할 것으로 사료된다.

트레이드밀을 이용한 운동실험에 사용할 동물은 마우스에서 토끼까지를 대상으로 하였으나 마우스는 너무 작고 토끼는 관리가 어려워 운동효과를 검증하는 데 어려운 점이 있어 래트(rat)로 결정하여 개발하였다. 또한 구동축과 피구동축 롤러 사이의 공간은 실험동물의 무게에 의해 벨트가 처져 모터에 과부하가 걸릴 것을 우려하여 벨트와 5mm의 간격으로 볼 캐스터가 일정한 간격으로 설치된 플라스틱 판을 설치하도록 설계하였다. 그러나 래트는 무게가 250g 정도로 가벼워 두께 2mm 벨트의 장력에 미치는 영향이 적기 때문에 처음 설계와는 달리 볼 캐스터는 설치하지 않았으나, 실험결과 1kg 이상의 무게를 가진 토끼도 운동 효과 실험에 지장이 없는 것으로 나타났다.

그림 7은 울타리가 설치되지 않은 상태에서 트레이드밀에 대한 래트의 적응훈련 모습이다. 1주일 정도의 적응기간이 경과한 후, 두 마리가 동시에 운동할 수 있도록 울타리를 설치한 상태에서 실험을 하였으며 한 마리의 공간이 150×600mm가 되도록 울타리를 설치하였다.

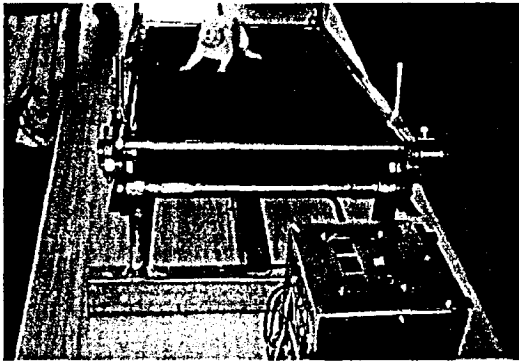


그림 7. 래트의 운동효과 실험

Fig. 7 effectiveness of exercise test of Rat

실험결과 래트의 운동시간이 분당 20m 미만의 속도에서 20분 이상, 그 이상의 속도에서 10분 이상 경과했을 때, 실험동물인 래트는 뛰지 않고 멈추고 벨트는 계속 회전하므로 발바닥과 벨트와의 마찰로 인해 발바닥의 피부가 벗겨져 상처가 아물 때까지 기다려야 되었다. 에스컬레이터를 탈 때 마지막에는 걸어서 내려야 하듯이 트레이드밀 위에서 멈추게 되면 울타리의 뒷면에 부딪쳐 부상을 당하게 되며, 심한 경우엔 울타리와 벨트 사이로

꼬리가 끼게 되어 중상을 당하게 되는 경우도 발생하였다.

그 원인은 래트가 벨트위에서 몸의 방향을 바꿀 수 있는 충분한 공간이 있기 때문에 뛰는 도중 자세를 바꾸게 되고 벨트의 움직임 방향과 수평이 되었을 때 움직이게 되면 래트의 팔각 구조상 넘어지게 되어 일어서지 못하고 부상을 당하는 것으로 사료된다. 따라서 몸의 방향을 바꿀 수 없도록 몸통 둘레와 비슷한 구조의 울타리와 운동하지 않고 멈추었을 때 계속 운동하도록 자극을 주는 장치의 추가가 필요하여 높이 250mm, 길이 350mm, 폭 240mm로 한 마리가 차지하는 폭은 80mm가 되도록 하여 세 마리가 동시에 운동할 수 있는 울타리를 그림 8과 같이 제작하였다.

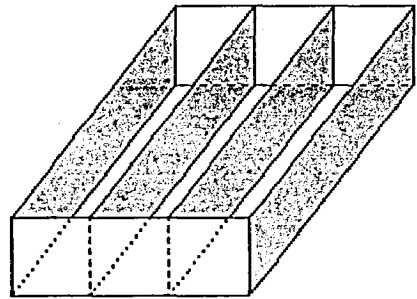


그림 8. 래트 전용의 울타리

Fig. 8 Fence for Rat

## V. 결론

본 논문의 트레이드밀은 인간의 재활운동 치료를 목적으로 사용되는 트레이드밀을 동물전용의 소형 및 저가의 트레이드밀을 목표로 개발한 것이다.

국내의 의료 연구소나 재활치료센터, 대학의 체육학과 등에서 운동과 질병과의 관계를 밝히기 위한 실험에 사용하기 위해 몇 년 전 동물전용의 트레이드밀을 외국에서 수입하기도 하였으나 고가이었기 때문에 스포츠센터에서 사용중인 런닝머신을 개조하여 사용하는 경우가 있었으며, 야예 실험을 포기하는 경우도 발생하였다. 따라서 본 논문에서 개발한 트레이드밀은 동물전용의 신뢰성이 있는 염가의 트레이드밀로 실용 가능한 것으로 평가되며 수입대체 효과가 있을 것으로 기대된다.

## 참 고 문 헌

1. 김택훈, 구애련, 김종만, “편마비 환자의 단하지 보조기 작용유무에 따른 하지 체중지지율과 보행특성의 변화에 관한 연구”, 한국전문물리치료학회지, Vol. 3, No. 2, pp.55-76, 1996
2. 김용욱, 원종혁, 정보인, “기능적 전기자극이 뇌졸중 환자의 보행에 미치는 영향”, 한국전문물리치료학회지, Vol. 7, No. 3, pp.72-80, 2000
3. 장문헌, “뇌졸중 환자에서 슬관절 굴근의 등속성 운동이 슬관절 근력 및 보행에 미치는 영향”, 대한물리치료사학회지, Vol. 7, No. 2, pp.315-329, 2000
4. 윤범철, 유병규, 이명화, “흰쥐의 탈신경근 위축에 미치는 운동의 효과”, 한국전문물리치료학회지, Vol. 7, No. 3, pp.34-48, 2000
5. 강순희 외 15인, 운동치료총론, 영문출판사, 1997
6. 이은용, “Treadmill을 사용한 운동 후 혈액성분의 변화”, 대한스포츠의학회지, Vol. 2, No. 2, pp.5-12, 1984
7. 강세윤, “운동과 재활”, 대한스포츠의학회지, Vol. 2, No. 2, pp.29-33, 1984
8. 어경홍, 신기문, “치료적 운동마사지”, 대한스포츠의학회지, Vol. 3, No. 1, pp.31-41, 1985
9. 석동수, “스포츠와 장수”, 대한스포츠의학회지, Vol. 3, No. 2, pp.24-31, 1985
10. 김철준, 허봉렬, “트레드밀 운동부하중 정상인 및 고혈압환자의 혈압 및 심박수 변화”, 대한스포츠의학회지, Vol. 5, No. 1, pp.21-32, 1987
11. 김성수, 정일규, “트레이닝에 따른 유산소성 운동능력과 혈액성분의 변화”, 대한스포츠의학회지, Vol. 5, No. 1, pp.33-41, 1987
12. 이은용, 이건재, “정상인과 만성요통 환자와의 척추주위근의 정량적 근전도치의 비교분석”, 대한스포츠의학회지, Vol. 5, No. 2, pp.198-208, 1987
13. 한재금, 박상갑, 최인순, 윤미숙, “에어로빅 댄스의 운동효과에 관한 연구”, 대한스포츠의학회지, Vol. 5, No. 2, pp.209-219, 1987
14. 손배민, “신장성운동이 근통증과 혈액성분 및 면역기능에 미치는 영향”, 조선대학교, 박사학위논문, 2001
15. “월간 전자기술”, pp.33-88, (주)첨단, 2000. 9
16. 정동명, 고수복, 김주명, “진동화 수동 휠체어 INMEL-VII의 주행 안정성 개선에 관한 연구”, Vol. 16, No. 4, 의공학회지, 1995
17. 김주명, “만성질환과 동통치료를 위한 코로나 방전시스템에 관한 연구”, 원광대학교, 석사학위논문, 1995
18. 진달복, “8051 마이크로컨트롤러”, 양서각, 1998
19. 정혜선, “원칩 마이컴 활용핸드북”, 성안당, 1993
20. 조순복, 김광희, “8086/88 마이크로프로세서와 그 주변소자들”, 집문당, 1991
21. 천희영, “로봇공학” 청문각, 1994