

가상 자전거 시스템을 이용한 노인의 자세균형 증진에 관한 연구

권대규^{1,4}, 윤영일³, 박용준⁴, 김남균¹

¹전북대학교 바이오메디컬공학부, ²전북대학교 헬스케어공학과, ³전북대학교 의용생체공학과, ⁴전북대학교 실버공학연구센터
(Received May 22, 2007. Accepted August 18, 2007)

Study on the Improvement of Postural Balance of the Elderly using Virtual Bicycle System

Tea-Kyu Kwon^{1,4}, Young-Il Yoon², Yong-Jun Piao³, Nam-Gyun Kim¹

¹Div. of Biomedical Engineering, College of Engineering, ²Dept. of Healthcare Engineering,
³Dept. of Biomedical Engineering, Graduate School,
⁴Bioengineering Research Center for the Aged, Chonbuk National University

Abstract

In this paper, a new rehabilitation training system was developed to improve equilibrium sense of the elderly by combining virtual reality technology with a fixed exercise bicycle. In order to evaluate the effectiveness of the training system, the elderly participated as test subject in the investigation of the influence of different the parameters on postural balance control. We measured three different running modes of virtual bicycle system with two successive sets. The parameters measured were running time, velocity, the weight movement, the degree of the deviation from the road, and the variables about the center of pressure. The repeated training, our results showed that the running capability of the elderly improve compared. In addition, it was found out that the ability of postural control and the equilibrium sense was improved with the presentation of the visual feedback information of the distribution of weight. From the results of this experiment, we showed that our newly developed system might be useful in the diagnosis of equilibrium sense or in the improvement of the sense of sight and, somatic, and vestibular sense of the elderly in the field of rehabilitation training.

Key words : postural balance, virtual reality, virtual reality bicycle, rehabilitation training

1. 서론

균형(balance)은 일상생활의 모든 동작 수행에 중요한 영향을 주며 신체를 평형 상태로 유지시키는 능력이다. 공간상에서 자세의 안정성과 정향(orientation)을 유지하기 위하여 신체의 위치를 제어하는 것을 말한다[1]. 자세와 균형은 단지 불안정성으로부터 다시 회복하는 능력뿐만 아니라, 어떤 방식으로든지 불안정성을 피하도록 예측하고 움직이는 능력까지도 포함된다(Shumway-Cook와 Woollacott) [2][3].

최근 평균수명의 연장으로 인한 사회 노년층의 증가로 늘어난 고령인구의 낙상사고 발생 빈도가 증가함으로써 뇌졸중 및 외상성 뇌손상 등의 중추신경계의 손상과 근골격계의 질환에 따른 자세균형 제어력의 손실이 환자의 재활치료에 많은 어려움을 초래함에 따라 자세균형 재활에 관한 관심이 높아지고 있다[4][5]. 자세균형 재활에 대한 연구로써 Drowatzky[6]등은 정상인에서, Shumway-Cock[7]등과 Lehmann[8]등은 뇌 기능장애 환자에서, Ruskin[9]등은 전정기능 장애 환자에서 힌판을 이용한 자세균형 제어의 측정방법에 대한 신뢰도를 입증하였다. 그러나 기존의 측정 장치는 자세균형 재활에 필요한 시각, 전정기관, 그리고 체성감각 등을 통합적으로 자극하지 못할 뿐 아니라 피훈련자가 단조로움을 느끼게 되는 단점이 있다. 또한, 단순하게 의자에 앉았다 일어났다 하거나 제자리 걷기를 하는 정도였으며, 이러한 경우 치료사의 주관적인 관찰에 의해 평형감각 능력이 평가 되었으며, 이로 인해 정량적인

이 논문 또는 저서는 2007년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (지방연구중심대학육성사업/헬스케어기술개발사업단)
Corresponding Author : 권대규
(561-756) 전북 전주시 덕진구 덕진동 1가 664-14,
전북대학교 공과대학 바이오메디컬공학부
Tel : 063-270-4066 / Fax : 063-270-2247
E-mail : kwon10@chonbuk.ac.kr

데이터를 얻을 수 없었다. 조금 더 진보한 방법은 힘판에서 무게중심(Center Of Pressure; COP)의 움직임을 통한 재활 훈련이 전부였다. 힘판을 이용한 재활 훈련은 자세의 안정과 보행능력 향상에는 효과가 있음이 입증되었지만 자세 균형에 필요한 시각이나 체성 감각 등을 효과적으로 자극하지 못하며, 피험자는 단조롭게 느낄 수 있다는 단점이 있다. Piao[10] 등은 불안정판을 이용한 고령자를 위한 평형감각 훈련 정량적 분석을 고찰하였고, Song과 Kim[11] 등은 가상현실기술과 자전거를 이용하여 자세균형 능력에 이상이 있는 환자의 시각, 전정기관, 체성감각을 정량적으로 자극하고 훈련시킬 수 있는 자전거 시뮬레이터를 개발하여 단조로움을 피하고 훈련에 대한 흥미로움을 높여 훈련의 효율성을 높이고자 하였으며, 자세 제어에 대한 정량적인 분석이 가능한 시스템을 개발하였다.

본 연구에서는 자세균형 증진용 가상 자전거 시스템을 이용하여 노인을 대상으로 자세균형 증진 훈련을 실시하여 자세균형 제어력의 평가와 재활 훈련의 효과를 정량적으로 평가하고자 하였다. 이에 통합 평형감각의 자극과 분석시스템을 이용하여 자세균형 훈련용 가상 자전거가 노인의 자세균형에 미치는 영향을 분석하고 재활훈련 장치로서 유용성을 검토하였다.

II. 시스템 구성

A. 하드웨어 구성

그림 1은 자세 제어 능력 증진 훈련을 위한 가상 자전거 훈련시스템이다. 훈련용 가상 자전거 시뮬레이터는 가상 자전거 주행에 있어서 주행 상태를 측정하고 다시 가상 자전거 시스템에 피드백하는 하드웨어 시스템(hardware system)과 가상 자전거의 주행 측정 센서로부터 들어온 입력신호를 처리하고 가상환경을 제시하고 주행을 분석하는 가상엔진(reality engine)인 소프트웨어 피드

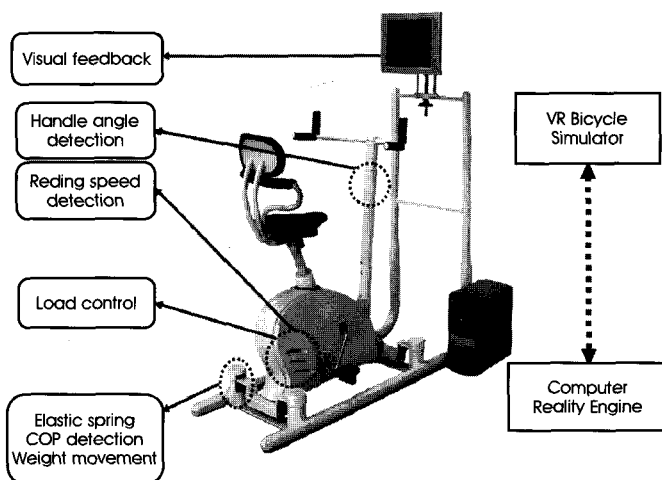


그림 1. 자세 제어 재활을 위한 훈련 시스템
Fig. 1. The training system for rehabilitation of postural control

백 시스템(software feedback system)으로 구성되어 있다.

하드웨어 시스템은 자전거 본체에 가상 자전거 주행 시에 주행 상태를 실시간으로 저장하고 분석, 피드백 하기 위한 하드웨어를 구성하였다. 계측 센서부는 가상 자전거 주행 시에 주행방향과 주행속도, 피험자의 무게이동을 측정하기 위한 측정부로 나누어진다. 주행방향의 결정을 위해 전위차계(potentiometer)를 이용하여 핸들 각을 측정하였다. 주행속도는 자전거의 페달의 회전운동을 통해 결정된다. 이를 위해 자석과 홀센서(hole sensor)를 사용하였다. 휠이 한바퀴 회전하면 홀센서에서 펄스가 발생되고 이를 AD-Converter (PCI9111-DG, Nu DAQ Co.)를 이용하여 PC에 전송하였다.

$$v = \frac{1}{t} \times k \quad (1)$$

식 (1)은 속도를 산출하는 식이다. v 는 주행속도, t 는 홀센서로부터 들어오는 한 바퀴 회전 시 입력되는 두 신호간의 입력간격 시간, k 는 속도상수를 나타낸다. 여기서 검출되어지는 속도는 실시간으로 가상환경에서 주행속도에 반영된다. 가상 자전거 주행 시 주행도로의 상태에 따라 자전거 바퀴 아래 부분에 장착된 DC모터의 정역회전을 이용한 마그네틱 브레이크가 휠과 가까워져 부하를 증가시켜 실제 자전거 주행 현실감을 높일 수 있게 된다.

그림 2와 같이 가상 자전거를 주행 할 때에 피험자의 무게이동(Weight shift) 변화과 압력중심(Center Of Pressure ; COP)의 변화를 측정하고 분석하기 위하여 로드셀을 장착하였다.

$$F_z = F_{00} + F_{x0} + F_{0y} + F_{xy} \text{ 일 때,}$$

$$weight\ shift = \left(1 - \frac{F_{00} + F_{0y}}{F_z}\right) \times 100\% \quad (2)$$

기존의 고정형 싸이클 운동기구는 자전거가 바닥에 고정되어 있

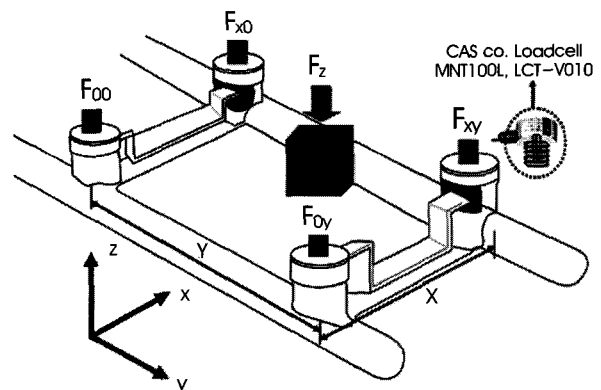


그림 2. 무게이동측정
Fig. 2. Measurement of weight shift

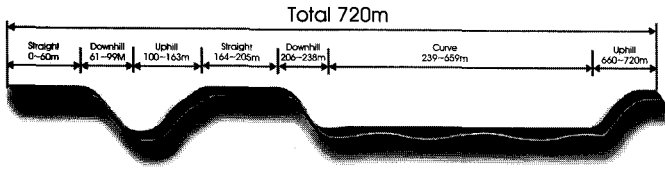


그림 3. 전체 주행코스
Fig. 3. Total Driving course

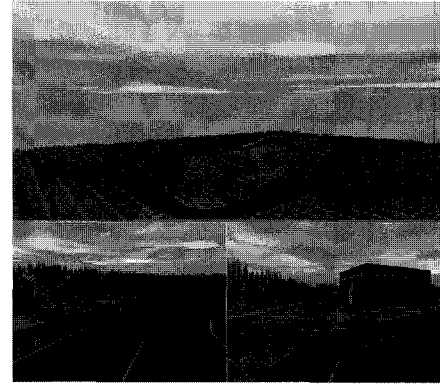


그림 4. 전체도로 및 잔디와 카페의 설치
Fig. 4. Experimental setup of driving course, field and cafe

어서 현실감 있는 자전거 주행이 불가능하다. 자세 균형 증진용 가상 자전거에 바닥과 자전거 사이에 자전거 주행 시 피험자의 싸이클 운동에 따라 좌우 흔들림을 제공하기 위하여 11.22 Kg/cm의 탄성계수를 가지는 스프링과 스프링 위에 무게와 무게중심의 방향을 측정할 수 있는 시스템을 설치하였다. 무게측정 센서는 CAS사의 로드셀 MNT-100L과 LCT-V010 모델을 이용하였다. 로드셀을 이용하여 무게이동을 구하는 원리는 다음과 같다. 식 (2)는 가상 자전거의 무게이동과 무게중심의 위치를 측정하는 관계식이다. 식(2)에 의해서 무게이동은 50%일 때 평형상태를 나타낸다.

그림 3은 전체 주행도로의 모습을 단면으로 나타낸 것이다. 주행 시 다양한 구간을 갖도록 하여 신체 움직임의 변화를 정량적으로 분석하였다. 주행 구간은 직선주행구간, 오르막 주행구간, 내리막 주행구간, 곡선 주행구간으로 구성 하였다. 경사각은 오르막 구간과 내리막 구간에서 각각 10°와 20° 경사를 갖는 도로를 제작하였다. 표 1은 주행도로의 사양을 나타낸 것이다.

그림 4는 도로 전체를 한눈에 볼 수 있도록 위에서 밑으로 내려다본 그림이다. 도로의 좌, 우 양옆에는 인도를 설치하였으며 인도 옆 잔디밭에는 나무, 숲, 장미밭, 카페 등을 배치하였고, 구름은 애니메이션 기법을 적용하여 스스로 움직이도록 하였다. 도로 중앙에는 중앙선을 표시하여 피험자가 주행 시 참고하여 주행할 수 있도록 하며, 주행 시 중앙선을 따라 주행 하도록 하였다. 또한, 이를 이용하면, 중앙선 이탈도 값을 산출하여 피험자의 주행 시 평형유지 평가 파라미터에도 이용 할 수 있다.

표 1. 주행도로의 사양

Table 1. Specification of driving road

Road Condition	Spec.	Number of Course	Total Length(m)	Tilting angle(°)
Straight		2	103	0
Uphill		2	125	10.25
Downhill		2	72	10.25
Curve		1	420	0

B. 분석 소프트웨어

주행 중 탑승자의 좌우 무게이동을 실시간으로 시각적으로 피드백하는 기능을 제안하였다. 이는 평형감각이 손상된 환자에게 주행 중 시각적 피드백의 훈련효과를 실험하기 위한 것이다.

주행 평가 및 분석은 피험자가 가상공간을 주행 할 때 측정되고 저장되는 주행거리, 주행속도, COP의 변화, 중앙선 이탈도, 무게 이동 값 등을 토대로 분석하였다. 여기서 중앙선 이탈도란 피험자에게 제시한 도로의 중앙선에서 벗어난 거리를 말하며 COP의 변화는 자전거 주행 시 무게중심의 전체 이동면적을 의미하고 좌우 무게이동은 자전거 주행 시 좌우 흔들림에 대한 데이터를 의미한다. 좌우 무게이동은 50%에 가까워질수록 안정적인 주행을 했다는 의미이다. 주행 분석은 식(3)~(6)과 같다. 평균주행속도, 이탈도, 이탈도의 총합, 평균무게이동을 분석하여 가상 자전거 주행 시 주행능력과 자세균형 조절능력을 평가하는 파라미터로 이용할 수 있다.

$$\text{Mean Speed} = \sum_{x=i}^N \frac{v}{N-(i-1)} \tag{3}$$

$$\text{Mean Deviation} = \sum_{x=i}^N \frac{D_x}{N-(i-1)} \tag{4}$$

$$\text{Total Deviation Length} = \sum_{x=i+1}^N \frac{|D_{x-1} - D_x|}{N-(i-1)} \tag{5}$$

$$\text{Mean Weight Shift} = \sum_{x=i}^N \frac{w}{N-(i-1)} \tag{6}$$

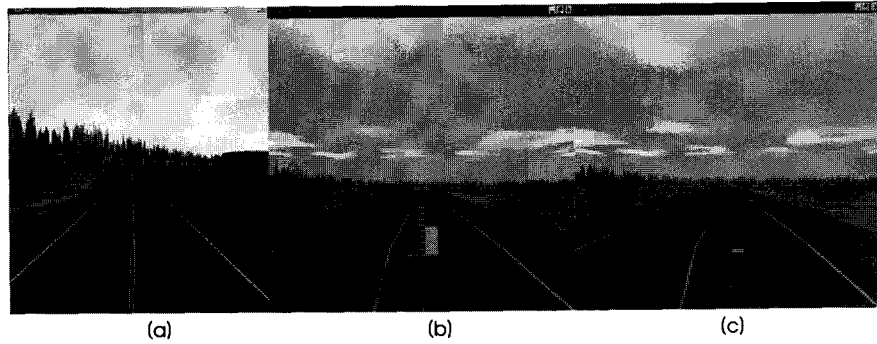


그림 5. 가상 자전거 시뮬레이터의 3가지 주행모드 (a) Non-Visual Feedback (b) Visual Feedback Weight shift (c) Visual Feedback COP
 Fig. 5. Three driving mode of virtual bicycle simulator (a) Non-Visual Feedback (b) Visual Feedback Weight shift (c) Visual Feedback COP

III. 실험

A. 실험대상

개발된 자세균형 증진 훈련용 가상 자전거의 자세균형 증진 훈련의 유용성을 알아보기 위하여 피험자를 대상으로 시각적 피드백 제시에 따른 자세균형 능력의 증진 여부를 알아보았다. 피험자는 70대 노인 5명으로 구성되어진다.

B. 실험방법

실험방법은 페달을 사용하여 좌우 무게이동과 무게중심 변화에 대한 시각적 피드백을 준 경우와 주지 않은 경우에 주행구간에서 자세균형의 제어 정도를 정량적으로 분석 비교하였다. 실험은 720m의 가상도로를 주행하도록 하였다. 실험 진행 전 피험자에게

실험의 개요 및 시스템에 관한 전반적인 사항을 인지하도록 하였고 주행 시 피험자에게 중앙선을 따라서 주행하도록 지시하였다.

그림 5는 가상 자전거 시뮬레이터를 이용한 3가지 주행 모드를 나타내고 있다. Non-Visual Feedback(NVF)주행모드는 주행속도만을 피드백하는 모드이고, Visual Feedback-Weight shift (VFW) 모드는 주행속도와 좌우의 무게이동 상황을 실시간 피드백하여 피험자로 하여금 주행 시 흔들림을 적게 유도하기 위한 모드이고, Visual Feedback-COP(VFC) 모드는 주행속도와 무게중심의 이동상황을 실시간으로 피드백하여 무게중심의 이동을 적게 하려는 주행모드이다. NVF모드, VFC모드, VFW모드에 따른 주행속도, 주행시간, 중앙선이탈도, 좌우 무게이동 도로의 조건에 따라서 비교 분석하였다. 실험에서 학습 효과를 없애기 위하여 훈련 전 1회씩 주행연습을 하였다.

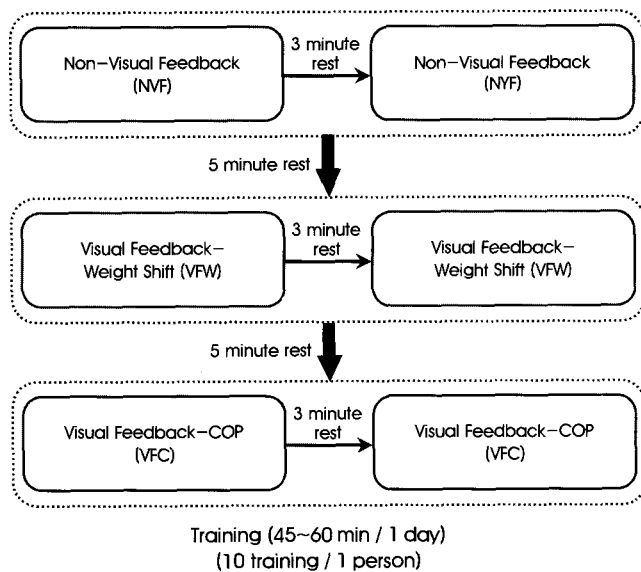


그림 6. 실험과정
 Fig. 6. Experimental procedure

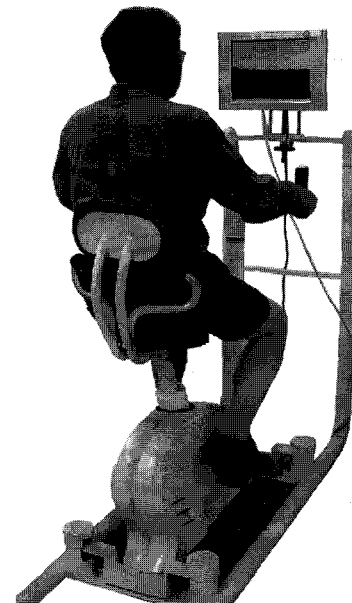


그림 7. 노인 대상 실험
 Fig. 7. Experiment of Elderly group

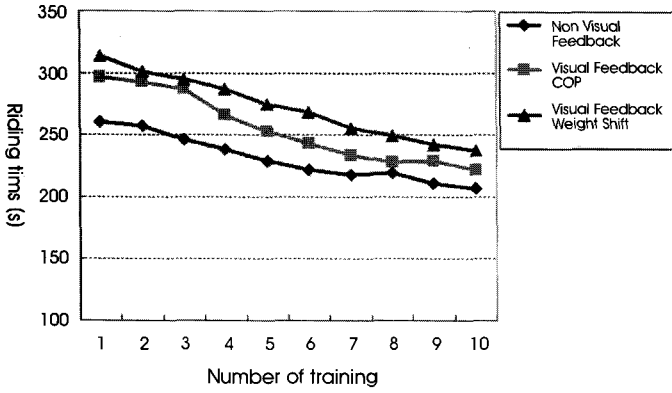


그림 8. 주행시간의 변화
Fig. 8. Change of driving time

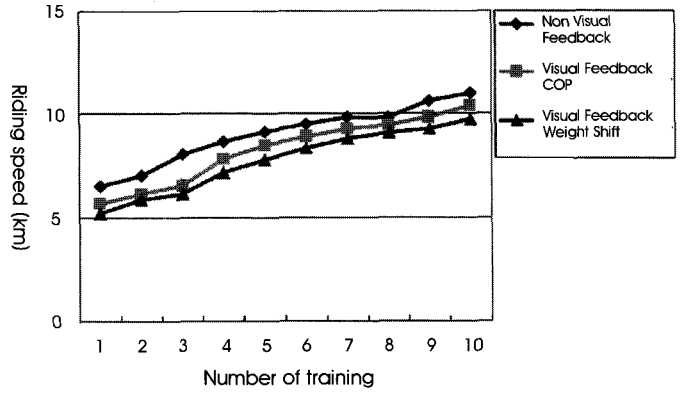


그림 9. 주행속도의 변화
Fig. 9. Change of driving velocity

그림 6과 7은 전체 실험의 진행 과정과 노인을 대상으로 실험하는 사진을 나타낸 것이다. 각 주행모드를 2회씩 주행하며 같은 모드의 휴식 시간은 3분이며 다른 주행 모드와는 5분으로 분리하여 1회 주행 실험 시 소요되는 시간은 약 45~60분으로 실험은 1~2 일 간격으로 총 10회를 실시하였다.

IV. 결과 및 고찰

A. 주행시간 및 주행속도

그림 8과 9는 노인의 자세균형 훈련 시 주행 모드에 따라 총 720m에 대한 주행시간과 주행속도의 변화를 나타낸 것이다. 각

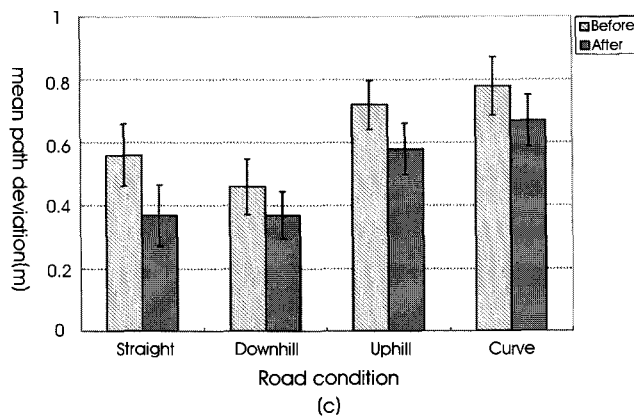
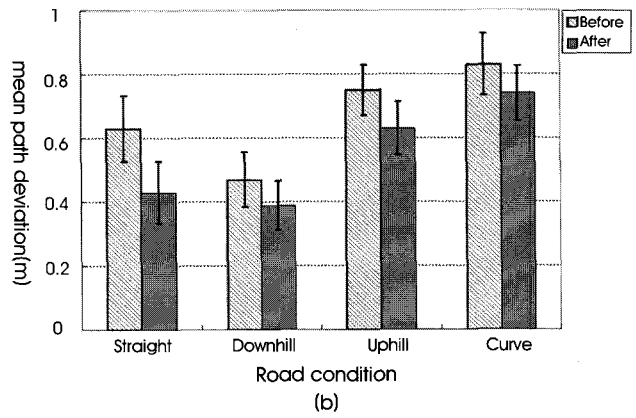
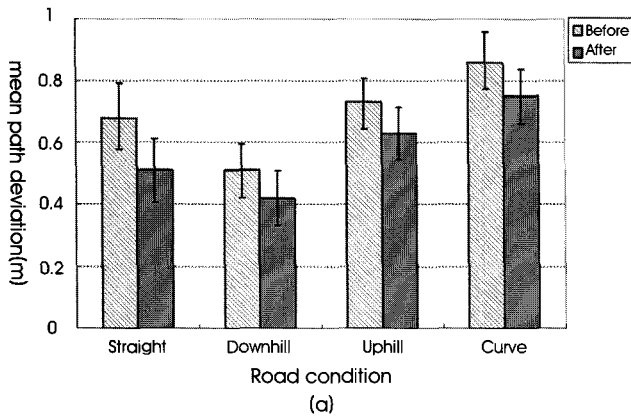


그림 10. 주행 모드에 따른 중앙선 이탈도
(a) Non visual feedback mode (b) Visual feedback - COP mode (c) Visual feedback - Weight shift mode
Fig. 10. Break away from center line according to driving mode
(a) Non visual feedback mode (b) Visual feedback - COP mode (c) Visual feedback - Weight shift mode

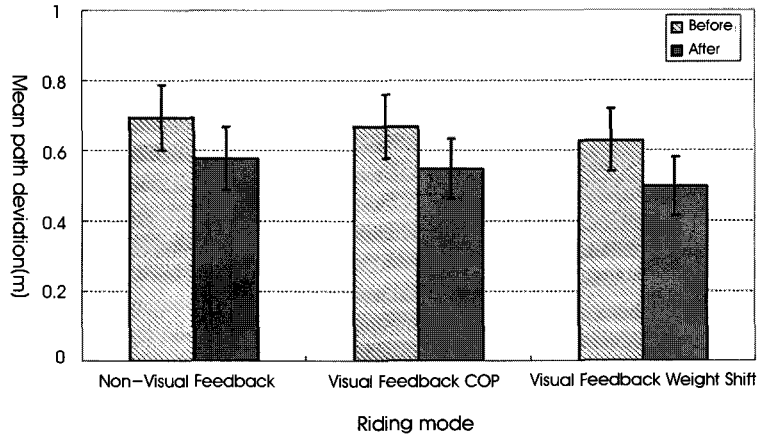


그림 11. 중앙선 이탈도의 변화
 Fig. 11. Change of break away from center line

주행 모드에 있어서 NVF 모드에서 주행 시간이 가장 짧았다. 이는 주행 시의 피드백 정보가 없는 단순한 주행 모드이기 때문이다. 주행 시 피험자의 무게이동 정보가 나타나는 VFC와 VFW 모드 순으로 주행 시간이 길게 나타났다. 피험자의 무게이동 정보를 피드

백 하는 VFC와 VFW 모드에서 주행 시간이 길었고, VFC 모드 보다는 VFW 모드에서 주행 시간이 길었는데, 이것은 자전거가 앞뒤 보다는 좌우의 흔들림이 많기 때문에 좌우의 흔들림을 적게 하기 위한 VFW 모드에서 주행 시간이 길게 나타났다.

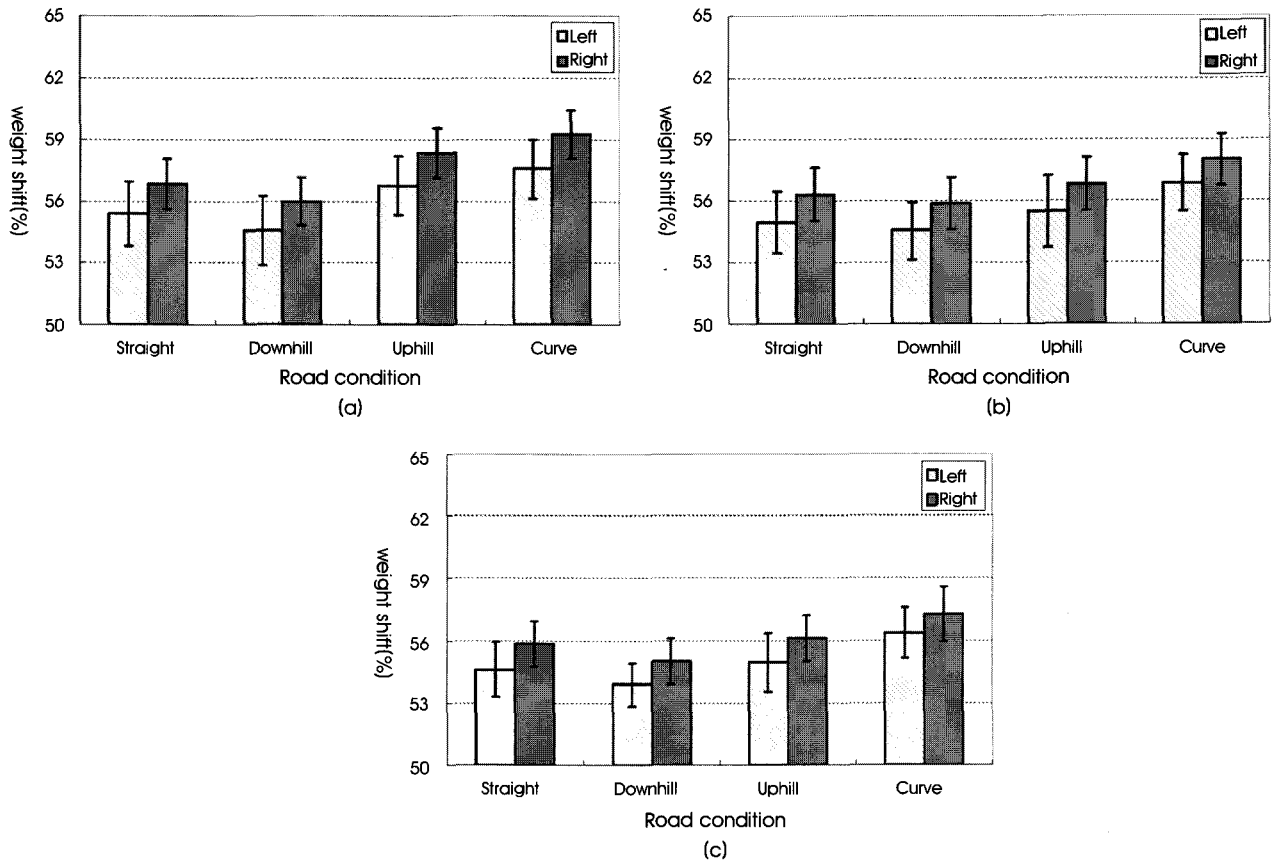


그림 12. 구간별 좌우의 무게이동 (a) Non visual feedback mode (b) Visual feedback - COP mode (c) Visual feedback - weight shift mode
 Fig. 12. Right and left weight shift according to the section (a) Non visual feedback mode (b) Visual feedback - COP mode (c) Visual feedback - weight shift mode

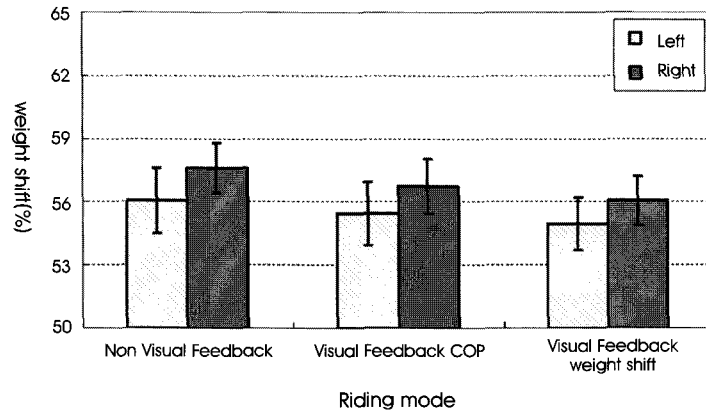


그림 13. 주행 모드별 좌우 무게이동
Fig. 13. Right and left weight shift according to driving mode

B. 중앙선 이탈도

그림 10은 가상도로의 폭 6m 중에 도로의 가운데에 위치한 중앙선에 맞추어 노인의 훈련모드에 따른 주행 시의 이탈도를 직선 구간, 내리막, 오르막, 곡선구간으로 분리하여 나타낸 것이다. 모든 주행 모드에서 내리막 구간에서 이탈도가 가장 낮았다. 부하가 감소하여 운동중에 흔들림이 작아졌기 때문이다.

중앙선 이탈도는 NVF, VFC, VFW 모드 순으로 주행 시 이탈도가 작게 나타났다. 시각적 피드백이 있는 모드에서 주행 시 주행 속도 보다는 주행 상태에 신경을 더 많이 써서 주행했다고 볼 수 있다.

그림 11은 각 주행 모드별 첫 번째 주행 시와 마지막 주행 시의 중앙선 이탈도를 나타낸 것이다. 훈련 후에 NVF 모드는 0.11m, VFC 모드는 0.13m, VFW 모드는 0.15m로 모든 주행 모드에서 중앙선 이탈도가 감소하였지만 VFW 주행 모드에서 중앙선 이탈도가 가장 많이 감소하였다. 이로 인해 주행 시 무게이동 정보가 주행상태에 영향을 미친다고 판단할 수 있다.

C. 무게이동

그림 12는 각 훈련 주행 모드에 따른 구간별 좌우의 무게이동을 나타낸 것이다. 좌우의 무게이동이 50%에 가까울수록 좌우의 흔들림이 감소하여 안정된 주행을 하였다는 것을 의미한다.

주행 시 무게의 시각적 피드백이 없는 NVF 모드에서 무게이동이 가장 많았으며 VFW 모드에서 무게 이동이 가장 적었다. 모든 주행 모드에서 직선보다는 내리막길에서 무게이동이 적었다. 이는 내리막길에서는 회전하는 휠과 마그네틱 브레이크와의 거리가 멀어짐으로써 하지의 사이클 운동이 직선 구간보다 작기 때문에 내리막 구간에서 무게이동이 가장 낮게 나타났다. 또한, 모든 주행모드에서 왼쪽 보다는 오른쪽이 무게이동이 더 큰 것을 알 수 있다. 이는 피험자들이 모두 오른발을 주로 사용하며, 주행 시 주행하는 속도에 관여하고 있어서 오른쪽 하지를 많이 사용하여 무게이동이 오른쪽으로 치우쳐 있는 것을 알 수 있었다.

그림 13은 주행 모드별 좌우의 평균 무게이동을 나타낸 것이다.

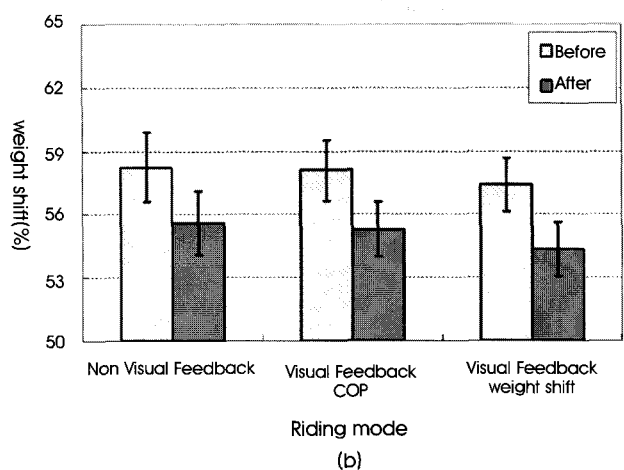
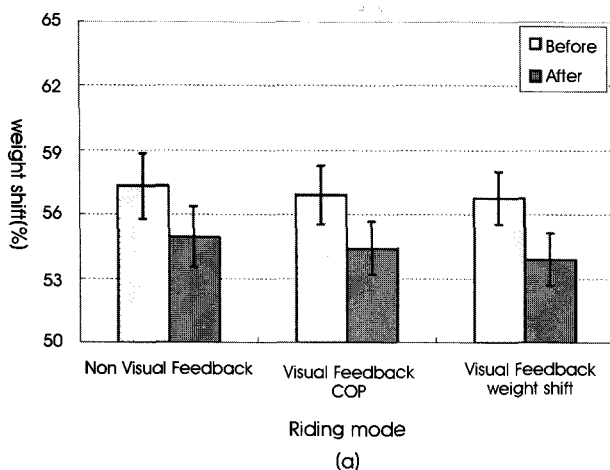


그림 14. 노인 훈련 전후의 좌우의 무게이동 변화 (a) Left (b) Right
Fig. 14. Change of right and left weight shift before and after training for the elderly group (a) Left (b) Right

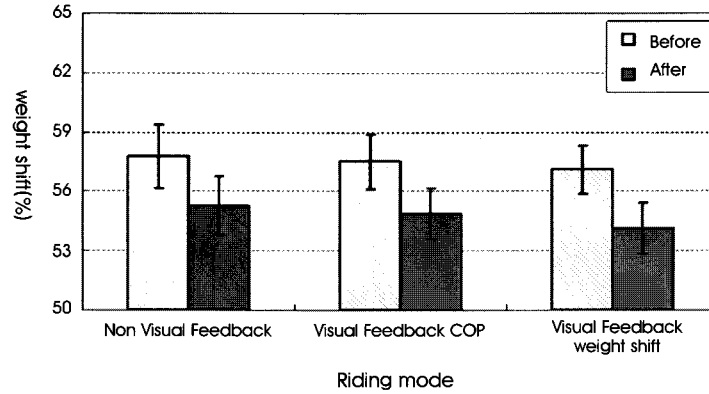


그림 15. 훈련 전후의 무게이동 변화
 Fig. 15. Weight shift before and after training

NVF 모드는 1.53%, VFC 모드는 1.3%, VFW 모드에서는 1.1%로 모든 주행 모드에서 왼쪽보다 오른쪽을 더 많이 이용하여 주행한다는 결과를 얻을 수 있다. 각 주행에서 왼쪽과 오른쪽의 무게이동의 차이가 줄어든 것은 왼쪽과 오른쪽을 적절히 사용하여 가상 자전거 주행 시 자세균형을 유지했다는 것으로 볼 수 있으며, 피험자의 무게이동을 알 수 있는 시각적 피드백 주행모드에서 훈련의 효과가 나타난 것으로 볼 수 있다. 또한, VFW 주행 모드에서 왼쪽과 오른쪽 모두 무게이동이 가장 많이 감소하였다. 주행 시 무게이동을 시각적 피드백 함으로써 왼쪽과 오른쪽의 흔들림을 조절하며 주행하여 자세균형 훈련을 하였다는 것으로 판단할 수 있다.

그림 14는 노인의 각 주행 모드별 훈련 전후의 왼쪽과 오른쪽에 대한 무게이동의 훈련 효과를 나타낸 것이다. 왼쪽과 오른쪽 모두 VFW 모드에서 각각 2.84%, 3.07% 무게이동이 감소하였고 전체적으로 오른쪽과 왼쪽에 대해서 각각 2.56%, 2.82% 주행 시에 무게이동이 감소하였다.

그림 15는 주행 모드별 훈련 전후의 무게이동의 변화를 나타낸 것이다. 첫 번째 주행보다 마지막 훈련인 10번째 주행 시에 NVF 모드는 2.4%, VFC 모드는 2.6%, VFW 모드는 2.95%로 무게이동이 감소하였다. 모든 주행 모드에서 평균적으로 2.69% 무게이동이 감소하였고 VFW 모드에서 주행 시에 무게이동이 가장 많이 감소하여 안정감 있는 주행을 하였다.

자세균형 훈련용 가상 자전거 주행 시 NVF 모드에서는 주행시간 감소하고 주행속도는 증가하여 자세균형 증진과 운동에 흥미를 유도하여 주행능력의 향상을 볼 수 있었고, 시각적 피드백이 있는 VFC, VFW 주행 모드에서는 중앙선 이탈도가 감소하였고, 또한 왼쪽과 오른쪽의 무게가 오른쪽으로 기울어진 상태에서 주행했다는 결과로 오른쪽 하지를 주로 사용하는 피험자라는 결과와 훈련 전후의 무게이동의 감소되는 결과를 얻어 가상 자전거 시스템이 자전거 주행 훈련 시에 자세균형을 조절하고 훈련에 유용성이 있음을 알 수 있다.

V. 결론

본 연구는 가상현실 기술을 이용한 PC기반의 자세균형 훈련용 가상 자전거 시뮬레이터와 자세균형 훈련 및 측정 소프트웨어를 개발하여 노인에게 적용하기 위한 자세균형 증진 훈련용 장치로서 유용성을 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. NVF 모드에서 주행 시간의 단축 및 주행 속도의 증가를 확인하여 자세균형 훈련용 가상 자전거 주행 시 흥미를 유발하여 주행능력의 향상을 알 수 있었다.

2. 자세균형 훈련용 가상 자전거 시스템으로 싸이클 운동 시 좌우의 하지 불균형을 측정 할 수 있었으며 이는 하지의 재활을 필요로 하는 환자나 고령자에게 적용시킬 수 있음을 알 수 있었다.

3. 자전거 주행에 있어서 중요한 좌우 균형의 정보를 시각적으로 피드백 해주는 VFW 주행 모드에서 중앙선이탈도 감소, 무게이동의 감소, 왼쪽과 오른쪽의 무게이동의 차이가 가장 작아 안정감 있는 주행을 하였으며, 시각적 피드백의 유용성과 자세균형 능력을 조절, 훈련시킴을 알 수 있었다.

따라서 본 시스템은 평형감각의 장애가 있는 자세균형 이상 고령자에서 자세균형 상태를 정량적으로 측정, 분석을 가능하게 하고, 반복 훈련으로 자세균형 능력의 조절과 그 기능을 향상시킬 수 있음을 확인하였다. 결론적으로, 본 시스템은 통합평형감각 분석 및 훈련용 재활장치로 유용함을 알 수 있었다.

REFERENCES

[1] S. J. Kim, "Motor learning and control", *Daehan Media*, pp 161-174, 2000.
 [2] A. Shumway-Cook, H. Woollacott, "Changes in posture control across the life span," *a system approach Phys. Ther.* vol. 70, pp. 799-807, 1990.
 [3] D. H. Jeong, H. C. Kwon, "A study on control of posture and balance," *The Journal of Korean Society Physical Therapy*, vol. 11. no. 3. pp. 23-36, 1999.
 [4] Anderson, T. P., *Rehabilitation of Patient with Complete Stroke*,

- Krusen's handbook of physical medicine and rehabilitation, 4th ed., Philadelphia;WB saunders, 1990, pp. 656-678.
- [5] J. Y Kim, C. G Song, and N. G. Kim, "Performance evaluation and development of virtual reality bike simulator", *Trans. KIEE*, vol. 51D, no. 3, pp. 112-121, 2002.
- [6] J. N. Drowatzky and Ziccato F. C., "Interrelationships between selected measures of static and dynamic balance," *Research Q.*, vol. 38, pp. 509-510, 1967.
- [7] A. Shumway-Cook and F. B. Horak, "Assessing influence of sense interaction on balance suggestion from field," *Physical Therapy*, vol. 66, pp. 1548-1550, 1986.
- [8] J. F. Lehmann, S. Boswell, R. Price, A. Burleigh, B. J. Lateur, K. M. Jaffe and D. Hertling, "Quantitative evaluation of sway as an indicator of functional balance in post traumatic brain injury," *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, vol. 70, pp. 955-966, 1990.
- [9] A. P. Ruskin, *Current Therapy Inphysiatry*, Philadelphia; WB saunders, 1984, pp. 26-27.
- [10] Y. J. Piao, M. Yu, T. K. Kwon, J. H. Hwang and N. G. Kim, "Quantitative analysis of the training of equilibrium sense for the elderly using an unstable platform," *J. Biomed. Eng. Res.*, vol. 28, no. 3, pp. 410-411, 2007.
- [11] C. G. Song, J. Y. Kim and N. G. Kim, "A new postural balance control system for rehabilitation training based on virtual cycling," *IEEE*, vol. 8, no. 2, pp. 200-207, 2004.
- [12] N. G. Kim, C. K. You and J. J. Im, "A new rehabilitation training system for postural balance control using virtual reality technology," *IEEE Transaction on Rehabilitation Engineering*, vol. 7, no. 4, pp. 482-485, 1999.
- [13] P. H. Timo, H. Meeli, and A. Heikki, "Postural control measured by visual feedback posturography," *ORL*, vol. 64, pp. 186-190, 2002.
- [14] D. A. Winter, F. Prince, J. S. Frank, C. Powell and K. F. Zabjek, "Unified theory regarding A/P and M/L Balance in Quiet Stance," *J. Neurophysiology*, vol. 75, pp. 2334-2343, 1996.
- [15] S. H. Jeong, Y. J. Piao, W. S. Chong, Y. Y. Kim, S. M. Lee, T. K. Kwon, C. U. Hong, and N. G. Kim, "The development of a new training system for improving equilibrium sense using a virtual bicycle simulator," in *Proc. Engineering In Medicine and Biology Society 2005 Conference*, Shanghai, China, September 1-4, 2005.
- [16] S. H. Jeong, Y. J. Piao, W. S. Chong, Y. Y. Kim, S. M. Lee, T. K. Kwon, C. U. Hong, and N. G. Kim, "Training system for improving equilibrium sense of the elderly with virtual bicycle system," in *Proc. Biomedical Engineering Society 2005 Conference*, Baltimore, U.S.A., September 28 - October 1, 2005.