

## 균형 훈련 플레이트 시스템을 이용한 생체역학적 특성 연구

전성철<sup>1,2</sup> · 임희철<sup>1</sup> · 이창형<sup>2</sup> · 김태호<sup>3</sup> · 정덕영<sup>4</sup> · 전경진<sup>5</sup>

<sup>1</sup>(재)부산테크노파크 고령친화산업지원센터, <sup>2</sup>양산부산대학교병원 재활의학과, <sup>3</sup>(주)TO R&D Labs  
<sup>4</sup>성남고령친화종합체험관 고령친화R&D센터, <sup>5</sup>한국생산기술연구원 스마트복지기술연구그룹

## Characteristics of ROM and EMG to Balance Training in Unstable Plate System: Primary Study

SungChul Jun<sup>1,2</sup>, HeeChul Lim<sup>1</sup>, ChangHyung Lee<sup>2</sup>, TaeHo Kim<sup>3</sup>,  
DukYoung Jung<sup>4</sup> and KeyoungJin Chun<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Senior Products Industrial Center, Busan 47046, Korea

<sup>2</sup>Department of Rehabilitation Medicine, Busan National University Yangsan Hospital, Gyeongsangnam-do 50612, Korea

<sup>3</sup>(주)TO R&D Labs, Busan 48312, Korea

<sup>4</sup>Senior Friendly R&D Center, Seongnam Senior Experience Complex, Gyeonggi-Do 13503, Korea

<sup>5</sup>Smart Welfare Technology Research Group, Korea Institute of Industrial Technology, Cheonan 31056, Korea

(Manuscript received 30 September 2015; revised 14 October 2015; accepted 15 October 2015)

**Abstract:** The purpose of this study was to investigate the unstable plate system for the advanced balance ability. 7 male volunteers (age  $33.7 \pm 1.2$  years, height  $174.7 \pm 3.8$  cm, weight  $86.0 \pm 3.6$  kg, BMI  $28.2 \pm 2.0$  kg/m<sup>2</sup>) performed the partial squat motion on the shape of CAP type(∩) and BOWL type(U) plate system. The range of motion (ROM) and muscle activation were acquired by the motion analysis system and the EMG system. Results of ROMs of the CAP type plate system were shown the widely range of the deviation in the ankle joint on the sagittal plane (sagittal plane - hip joint  $10.7^\circ > 5.4^\circ$ , knee joint  $16.3^\circ > 6.4^\circ$ , ankle joint  $18.8^\circ > 6.3^\circ$ ; transverse plane - hip joint  $3.5^\circ > 1.8^\circ$ , knee joint  $5.3^\circ > 3.4^\circ$ , ankle joint  $11.3^\circ > 5.3^\circ$ ; frontal plane - hip joint  $0.9^\circ > 0.5^\circ$ , knee joint  $0.8^\circ > 0.6^\circ$ , ankle joint  $4.8^\circ > 3.7^\circ$ ). Muscle activation results of the CAP type plate system were indicated higher in major muscles for balance performance than the BOWL type plate system (vastus lateralis  $0.90 > 0.62$ , peroneus longus  $0.49 > 0.21$ , biceps femoris  $0.38 > 0.14$ , gastrocnemius  $0.11 > 0.05$ ). These findings may indicate that the CAP type plate system would expect better effectiveness in perform the balance training. This paper is primary study for developing balance skills enhancement training device.

**Key words:** Unstable Plate System, Balance Ability, Range of Motion, EMG, Motion Analysis

### 1. 서 론

자세 균형은 신체를 평형 상태로 유지시키는 것으로 전정 기관, 시각, 고유수용감각의 감각 기관과 중추 신경계의 연

합작용에 의해 일어난다. 자세 균형을 유지하는 능력은 일상생활의 모든 동작 수행에 있어 중요한 역할을 담당한다 [1-2]. 자세 균형 능력은 인체 분절사이 및 인체와 수행환경 사이의 적절한 상호작용을 유지하는 것으로서, 상호작용이 이루어지지 않으면 신체를 구성하는 각 분절이 신체중심을 이동시키려는 회전력이 발생하게 되고 그로 인해 자세 균형 능력이 감퇴되어 낙상 사고로 이어지게 된다[3-4]. 이러한 자세 균형 능력은 근골격계의 기능 저하, 감각기관의 기능 저하 등 다양한 원인에 의해 감퇴할 수 있다[5-6].

최근에는 자세 균형 능력의 향상과 관련된 다양한 훈련

Corresponding Author : SungChul Jun  
Senior Products Industrial Center, Busan Techno-Park 70-16, Eomgung-ro, Sasang-Gu, Busan 47046, Korea  
TEL: +82-51-320-3567, +82-10-5525-4507  
E-mail: junsc@btp.or.kr

본 연구는 보건복지부 보건의료연구개발사업의 지원에 의하여 이루어진 것임(HI12C1496(A121612)).

방법 및 기구에 대한 연구가 진행되고 있으며 전기전자 기기 또는 체감형 게임 형태로 기기-콘텐츠가 연계된 시스템 개발이 이루어지고 있다. 신원섭 등[7]은 만성 뇌졸중 환자를 대상으로 체간 안정화 운동과 일반적 균형운동의 결과 비교를 통해 체간 안정화 운동에서의 균형 감각이 유의하게 증가함을 증명하였다. 신선혜 등[8]은 3차원 동적 운동기구를 이용한 체간 안정화 및 자세 균형 훈련을 실시하여 균형 능력 향상의 결과를 분석하여 근력 향상이 자세 균형 능력에 영향을 미치는 것을 보고하였다. 또한 유영열 등[9]은 시각적 집중도를 활용한 체감형 게임이 뇌졸중 환자를 대상으로 한 균형 훈련 치료에서 균형 능력 향상에 효과적임을 발표하였다.

박우영 등[10]은 인체의 평형감각조직 중 평형성과 평형 전략이 노화됨에 따라 어떻게 변화하는지에 대하여 연령별로 비교한 결과, 평형점수와 전략에서 신체적으로 최고의 상태를 보이는 20대와 비교해 볼 때 50대부터 감소하기 시작하여 60대 이후부터는 유의하게 낮아진다는 사실을 보고하였다. 이재구 등[11]은 고령자의 근골격계 문제는 하지에서 많이 나타나는데 이런 하지 근력의 약화는 여러 가지 원인과 함께 균형 능력을 감소시키는 원인이 된다고 발표하였다. 이처럼 고령자는 나이가 들어감에 따라 근력 평형성, 유연성, 민첩성 등 체력과 함께 신체 기능이 떨어지게 되는데 이는 자세 균형 능력의 약화로 이어져 일상생활의 제약이 있을 뿐만 아니라 상해사고의 위험에 노출되게 된다[7,12]. 그러나 상지에 비해 하지는 근골격계 질환의 종류가 적고 환자 수가 적어 연구 대부분이 상지와 체간에 국한되어 진행되어 하지 근골격계 질환에 대한 체계적인 연구 등이 부족한 실정이다[13]. 또한 기존의 기기-콘텐츠 연계 시스템은 범용의 일반인을 대상으로 신체 건강 증진을 목적으로 한 게임 시스템으로 과도한 근력 및 운동범위를 유도하여 추가적인 근육 및 신체 손상의 문제점을 발생할 수 있어 신체 특성을 고려한 근력 및 균형 능력 증진 훈련에 적용하기 어려운 실정이다[14].

전성철 등[15]은 균형 능력 증진과 관련된 주요 근골격계 인자를 도출하기 위해 고령자 100명을 대상으로 1:1 직접 면접조사를 실시한 결과, 상체보다 하체의 신체부위에서 더 많은 불편함을 호소하는 것을 확인하였으며 이는 균형 유지에 영향을 미치는 주요 인자로 하지 관절임을 알 수 있었다. 이에 본 연구진은 고령자의 균형 능력 증진을 통한 건강 예방 및 관리를 위한 수단으로 콘텐츠와 연동하여 균형 능력 훈련을 할 수 있는 운동기구를 개발하고자 하였다. 본 논문에서는 고령자의 균형 능력 증진을 위한 운동기기 개발의 기초연구로서 실험상의 안전을 고려하여 건강한 성인 남성을 대상으로 균형 능력 훈련에 사용되는 서로 다른 구조와 회전범위를 가지는 균형 훈련 플레이트 시스템을 개발하였다.

다. 균형 훈련 플레이트 시스템의 불안정한 구조가 균형 능력 훈련 동안 하지 관절 운동범위 및 근활성도 변화를 증진시키는지 조사하여 균형 능력 훈련용 운동기구를 구현하는데 필요한 구조 설계의 기초 자료로 활용하고자 하였다.

## II. 연구 방법

### 1. 균형 훈련 플레이트 시스템

본 연구에서는 위-아래 플레이트 중심에 회전범위를 결정하는 반구가 삽입되어 있는 균형 훈련 플레이트 시스템 2종류를 개발하였다.

CAP 형 구조( $\cap$ ) 플레이트 시스템(그림 1의 (a))은 하부 플레이트 중심에 회전을 유도하는 반지름 50 mm의 볼(Ball)이 Ball-and-Socket 관절 형태로 삽입되어 있으며, 상부 플레이트의 균형을 유지하기 위해 상-하부 플레이트 간 4개의 탄력밴드로 연결되어 있다. CAP 형 플레이트 시스템과 달리 BOWL 형 구조(U) 플레이트 시스템(그림 1의 (b))은 상부 플레이트의 중심에  $\pm 10^\circ$  범위의 자유도를 부여하여 x(Anterior-Posterior), y(Medial-Lateral), z(Superior-Inferior) 축에 대하여 자유롭게 회전이 가능하도록 제작하였으며 하부 플레이트는 상부 플레이트의 중심축과 일치하도록 설계하여 훈련 시에 플레이트의 수직 이동을 제한하도록 하였다.

CAP 형 플레이트는 CAP 구조( $\cap$ ) 위에 플레이트를 얹어 놓아 불안정한 지면을 형성하고 상-하 플레이트를 탄력밴드로 연결하여 균형을 유지하게 된다. 반면에 BOWL 형 플레이트는 BOWL 구조(U)의 원의 호 크기와 같은 구면을 이루는 하부 플레이트에 놓이게 되어 안정한 지면을 형성하게 된다.

### 2. 피검자 정보 및 실험방법

본 연구에 참여한 대상자는 근골격계의 병변이 없는 건강한 성인 남성 7명( $33.7 \pm 1.2$  years,  $174.7 \pm 3.8$  cm,  $86.0 \pm 3.6$  kg,  $28.2 \pm 2.0$  kg/m<sup>3</sup>)으로 모든 대상자에게 시험방법 및 위험상황에 대한 설명을 하고 동의를 구한 후에 실험을 진행하였다.

모든 피검자는 각 플레이트 위에서 부분굽힘동작(partial squat motion)을 실시하고 플레이트를 평행하게 유지하게 하였다. 균형유지 동작은 본 연구진이 기 수행한 고령자의

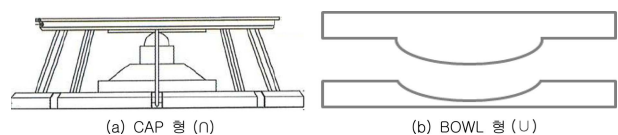
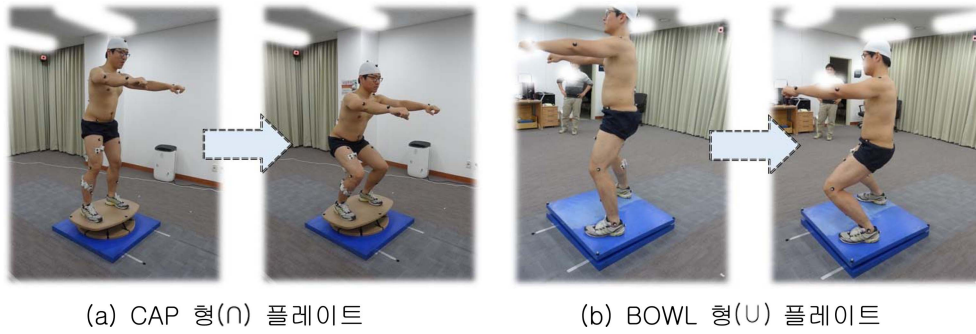


그림 1. 균형 훈련 플레이트 시스템의 형태.  
Fig. 1. Shape of balance plate system.



(a) CAP 형(∩) 플레이트

(b) BOWL 형(U) 플레이트

그림 2. 균형 훈련의 수행 동작.

Fig. 2. Performance of the squat motion.

균형 훈련 동작에 대한 설문 조사를 통해 부분굽힘동작으로 선정하여 피검자가 최대한 굽힐 수 있는 자세를 행하도록 하였다[16]. 실험 동작은 기립상태에서 시작하여 무릎관절을 최대한 굽힐 수 있는 부분굽힘동작을 실시한 상태로 균형을 유지 한 후 다시 기립상태로 복귀하는 과정으로 진행되었다. 모든 피검자는 자발적으로 매일 기구별 10분 이상씩 실험 동작을 수행하여 균형 훈련을 실시하였다(그림 2). 장기적인 훈련에 따른 균형 훈련의 변화를 분석하기 위해 4주간 주 1회 모든 피검자의 주요 하지 관절의 동작분석 및 하지 근육의 근전도 데이터를 수집하였다.

3. 균형유지기간의 하지 관절 운동범위 및 근활성도 변화 측정

하지 주요 관절의 운동범위는 광전자방식의 지시자 추적 동작분석기기(optoelectronic marker-based motion analysis system)가 구축된 공간에서 6대의 동작분석용 카메라(Cortex System, Motion Analysis Inc., USA)로 측정하였다. 균형감각에 대한 평가 및 균형능력 증진 훈련에 적용되는 부분굽힘동작을 측정하기 위해 모든 피검자는 동작분석용 반사 마커(marker)를 Helen-Hayes full body 방식으로 하지 주요 관절(고관절-hip, 무릎-knee, 발목-ankle joint)에 부착하여 관절의 운동범위 변화를 측정하였다.

피검자의 균형 유지 시 근활성도를 분석하기 위해 무선방식의 표면근전도기기(Telemyo 2400T, Noraxon USA Inc., USA)를 이용하였다. 표면 근전도 센서를 하지의 주요 근육 위치(외측광근-vastus lateralis, 장비골근-peroneus longus, 대퇴이두근-biceps femoris, 비복근-gastrocnemius)에 부착하고 sampling rate는 100 Hz로 설정하여 RMS(root mean square)를 분석하였다.

수집된 지시자의 위치 정보와 근전도 센서의 결과는 동작 수행 시 균형을 유지하기 시작한 시점부터 종료한 시점까지의 균형유지구간에서 결과를 추출하여 시상면(Sagittal plane, SP), 전두면(Frontal plane, FP), 수평면(Transverse plane, TP)에서 하지 주요관절(hip joint, knee joint, ankle

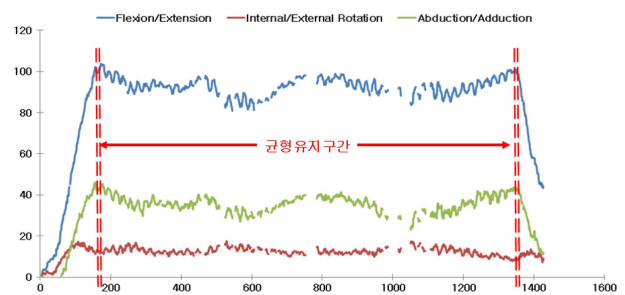


그림 3. 균형유지기간의 정의.

Fig. 3. Definition of balance maintenance period.

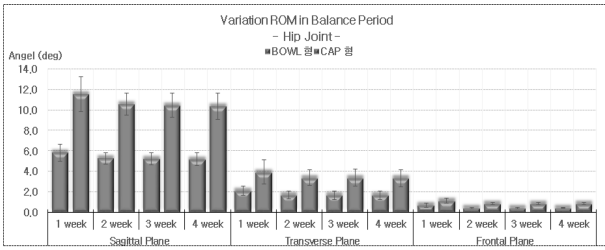
joint)의 3차원 운동범위(range of motion, ROM) 변화와 주요 근육의 근활성도 변화 경향을 알아보았다(그림 3).

III. 연구 결과 및 고찰

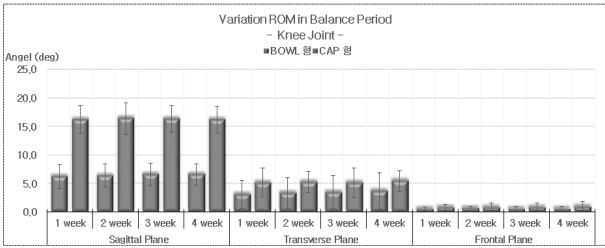
1. 하지 주요 관절의 운동범위 변화

서로 다른 구조의 균형 훈련 플레이트 시스템을 이용한 균형 능력 훈련에서 균형유지기간의 하지 관절 운동범위 변화는 그림 4와 같이 나타났다.

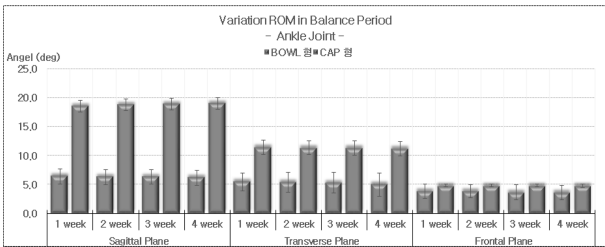
CAP 형 구조(∩) 플레이트를 이용한 4주 동안의 균형 훈련 시 모든 평면에서 BOWL 형 구조(U) 플레이트에 비해 주요 관절의 운동범위 변화가 크게 발생하였다(시상면 - 고관절 10.7° > 5.4°, 무릎 16.3° > 6.4°, 발목 18.8° > 6.3°; 수평면 - 고관절 3.5° > 1.8°, 무릎 5.3° > 3.4°, 발목 11.3° > 5.3°; 전두면 - 고관절 0.9° > 0.5°, 무릎 0.8° > 0.6°, 발목 4.8° > 3.7°). 시상면에서 주요 관절의 운동범위 변화 폭이 가장 높았으며 특히 발목관절의 운동범위 변화 폭이 CAP 형 플레이트에서 BOWL 형 플레이트에 비해 약 3배 크게 나타났다. 발목관절의 운동범위 변화는 CAP 형 플레이트의 불안정한 구조와 탄력밴드의 균형 유지 효과에 맞추어 발목관절의 운동범위를 크게 하여 신체의 균형을 유지하는 것으로 판단된다. 이러한 불안정한 지면에서의 운동은 안정적인 지



(a) 고관절(Hip Joint)



(b) 무릎 관절(Knee Joint)



(c) 발목 관절(Ankle Joint)

238

그림 4. 하지 주요 관절(고관절, 무릎, 발목)의 운동범위.  
Fig. 4. Variation range of motion in lower limb joints(hip, knee, ankle) in balance period.

면에서 운동보다 외적인 동요를 증가시켜 균형 유지 능력에 효과를 주며 스스로 자세를 조절할 수 있는 자세 전략의 향상에 도움을 주며 가동성과 안정성 향상, 균형 능력 향상 등 운동 효과의 극대화를 위해서는 불안정한 지면에서의 운동이 필요하다[18-19]. 전두면에서 고관절과 무릎관절은 운동범위 변화 폭이 크지 않은 것은 형태에 상관없이 플레이트 위에서 균형을 유지하는 동안 신체의 무게 중심의 이동변화가 크지 않은 것을 의미하는 것으로 생각된다.

## 2. 하지 주요 근육의 근활성도 변화

서로 다른 구조의 균형 훈련 플레이트 시스템을 이용한 균형 능력 훈련에서 균형유지기간의 하지 근육 근활성도 변화는 그림 5와 같이 나타내었으며 근활성도 차이는 피검자의 각 관절의 움직임과 근육 동원 패턴이 다르기 때문이다[20].

CAP 형 구조(∩) 플레이트를 이용한 4주 동안의 균형 훈련 시 주요 근육의 근활성도는 BOWL 형 구조(U) 플레이트에 비해 크게 활성화되는 경향을 보이고 있으며 이는 하지 관절의 운동범위 변화 경향과 유사하였다. 4주 동안 근활성도 평균은 외측광근(CAP 형 구조: 0.90, BOWL 형 구

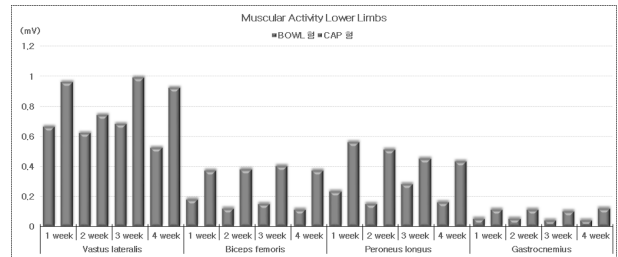


그림 5. 하지 주요 근육의 근활성도.

Fig. 5. Muscular activity to balance training in lower limbs (vastus lateralis, biceps femoris, peroneus longus, gastrocnemius).

조: 0.62), 장비골근(CAP 형 구조: 0.49, BOWL 형 구조: 0.21), 대퇴이두근(CAP 형 구조: 0.38, BOWL 형 구조: 0.14), 비복근(CAP 형 구조: 0.11, BOWL 형 구조: 0.05) 순으로 근활성 변화를 보였다. 특히 대퇴이두근과 비복근의 근활성도가 CAP 형 플레이트에서 BOWL 형 플레이트에 비해 각각 271.4%, 244.4% 크게 발생하였다. 대퇴이두근은 무릎관절의 굴곡과 신전에 기여하는 근육이며, 비복근은 발목관절의 족저굴곡을 일으키는 근육으로 하지 관절의 운동범위 변화 결과와 연계하여 상대적으로 큰 관절의 운동범위 변화와 이에 대응하는 근육 부위의 근활성도를 증진시켜 하지 근력 및 균형 특성을 보다 효율적으로 향상 시킬 수 있을 것으로 생각된다[21-22].

## IV. 결 론

본 연구는 균형 능력 증진 훈련기기를 개발하기 위한 기초연구로서, 실험연구의 위험상황에 대한 대처능력을 고려하여 건강한 성인 남성을 피검자로 선정하였으며 구조와 회전범위가 서로 다른 플레이트 시스템을 개발하여 플레이트 위에서 균형을 유지하는 동안 하지 관절 운동범위와 근활성도 변화 경향을 알아보았다.

CAP 형 구조(∩) 플레이트에서 균형유지기간 주요 관절 운동범위 변화와 근활성도 변화가 크게 발생하였다. 균형유지기간 전두면(좌-우 방향)에서 고관절과 무릎관절은 운동범위 변화 폭이 크지 않은 것을 보아 플레이트 위에서 신체의 무게 중심의 이동변화가 크지 않은 것을 알 수 있었다. 반면에 시상면(전-후 방향)에서 주요 관절 운동범위 변화 폭이 가장 높았으며 특히 발목관절의 운동범위 변화 폭이 크게 나타났으며 발목관절의 족저굴곡을 일으키는 근육인 비복근의 근활성도는 크게 나타났다. 이를 토대로 균형 능력 증진 훈련기기는 골반부 중심을 기점으로 하여 인위적으로 시상면에서 발목관절의 운동범위를 지속적으로 변화시키고 이에 대응하는 근육의 활성도를 높여 효과적인 균형 훈련을 가능

하게 할 것으로 판단된다.

본 논문은 개인의 운동 능력 및 근육 차이, 다양한 연령층, 특정 동작에 대한 관절 제한 등을 고려하지 않은 한계점을 지니고 있다. 향후 연구에서는 플레이트 시스템의 안전성을 확보하여 고령자를 대상으로 관절 운동범위와 그에 대응하는 근육의 활성도를 파악하여 고령자의 균형 능력 저하에 대한 균형 훈련의 효과 검증에 대한 생체역학적인 연구를 진행하고자 한다.

## Reference

- [1] Haart M, Geurts AC, Huidekoper SC, Fasotti L, Limbeek J, "Recovery of standing balance in postacute stroke patients : a rehabilitation cohort study," *Arch Phys Med Rehabil*, 2004.
- [2] Hrysomallis C, "Balance ability and athletic performance," *Sports Medicine*, vol. 41, no. 3, pp. 221-232, 2011.
- [3] Isles RC, LowChoy NL, Steer M, Nitz JC, "Normal values of balance tests in women aged 20-80," *Journal of the American Geriatrics Society*, vol. 52, pp. 1367-1372, 2002.
- [4] Kim SJ, Park SH, "The analysis of developmental process in static postural control," *Korean Journal of Sport Psychology*, vol. 12, no. 1, pp. 15-33, 2001.
- [5] Legter K, "Fear of falling," *Physical Therapy*, vol. 82, pp. 264-272, 2002.
- [6] Lee S, Choi Y, Lee H, Lee W, You T, Ko M, You H. "Development of a physical therapy system for enhancement of balance ability," *Proceeding ESK*, pp. 97-101, 2013.
- [7] Shin WS, Kim CY, Lee DY, Lee SM, "The effects of trunk stability exercise on dynamic balance in the persons with chronic stroke," *Journal of academia-industrial technology*, vol. 10, no. 9, pp. 2509-2515, 2009.
- [8] Shin SH, Yu M, Jeong GY, Yu CH, Kim K, Jeong HC, Kwon TK, "Effect on the balance ability after four week training using the system for 3-D dynamic exercise equipment," *Proceeding RESKO*, 2012.
- [9] Yu YY, Lee BH, Kim SH, Jeong JW, Bae YH, "The effect of stroke patients balance and visual perception for interactive games of using visual concentration," *Journal of Rehabilitation Research*, vol. 15, no. 1, pp. 1-17, 2011.
- [10] Park WY, Oh YS, "The effects of the equilibrium and balance strategy with aging," *The Korea Journal of Sports Science*, vol. 22, no. 4, pp. 1101-1112, 2013.
- [11] Lee JK, Ko SG, Park JH, "Effects of body composition, fitness and gait variables, and gait speeds by sling exercise in the elderly peoples during 10 weeks," *The Korea Journal of Sports Science*, vol. 16, no. 4, pp. 771-779, 2007.
- [12] Tinetti ME, Speechley M, Ginter SF, "Risk factors for falls among older adults in the community," *Berkeley, CA: Peaceable Kingdom Press*, 1988.
- [13] Kim ES, Yoon HY, "A study on the evaluation of imbalanced lower limbs postures based on subjective discomfort ratings," *Proceeding ESK*, 2009.
- [14] KIM CY, Jung HH, Lee BK, Jung DY, Chun KJ, Lim DH, "Characteristics of Balance and Muscle Activation responded to Dynamic Motions in Anterior-Posterior and Medial-Lateral Directions," *Journal of Biomedical Engineering Research*, vol. 34, pp. 212-217, 2013.
- [15] Jun SC, Seo JH, Lim HC, Lim DH, Chun KJ, Lee CH, Jung DY, "A Study for Deriving the Main Musculoskeletal Factor on Activities of Daily Living in the Elderly," *Journal of Rehabilitation Research*, vol. 18, no. 1, pp. 397-409, 2014.
- [16] Seo JH, Jun SC, Lim HC, Lee CH, Kim TH, Jung DY, "Biomechanical analysis of plate system for the advanced Balance Performance," *Proceeding KSPE*, 2014.
- [17] Shumway-Cook A, Woollacott M, "Motor control theory and practical applications," *Isted. Baltimore. Williams and Wilkins*, 1995.
- [18] Verhagen E, Van der Beek A, Twisk J, Bouter L, Bahr R, van Mechelen W, "The effect of a proprioceptive balance board training program for the prevention of ankle sprains: A prospective controlled trial," *American Journal of Sports Medicine*, vol. 32, no. 6, pp. 1385-1393, 2004.
- [19] McGill S, "Low back disorders : Evidence-based prevention and rehabilitation," *2<sup>nd</sup> edition. champaign: humankinetics*, pp. 110-112, 2007.
- [20] Saladin KS, "Anatomy & physiology : the unity of form and function," *New York, NY: McGraw-Hill*, pp. 364-365, 2011.
- [21] Chung KW, "Gross Anatomy(Board Review)," *Hagerstown, MD: Lippincott Williams & Wilkins*. pp. 123, 2005.