

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2019.19.1.279>

JIIBC 2019-1-37

## 요추 관절가동범위와 신체압력중심을 이용한 신체균형능력 분석 및 훈련 콘텐츠

### Analysis and Training Contents of Body Balance Ability using Range of Motion of Lumbar Spine and Center of Body Pressure

구세진\*, 김동연\*, 신성욱\*\*, 정성택\*\*\*

Sejin Goo\*, Dong-Yeon Kim\*, Sung-Wook Shin\*\*, Sung-Taek Chung\*\*\*

**요약** 본 논문에서는 신체의 움직임 정보와 족압 분포의 변화를 측정하여 신체 균형 능력을 분석하고자 하였다. 그래서 관성측정장치와 FSR 센서를 사용하여 관절가동범위와 신체압력중심을 측정하고 분석할 수 있는 프로그램을 개발하였고, 이에 대한 결과를 바탕으로 균형 능력 개선에 도움을 줄 수 있는 콘텐츠를 제작하였다. 이 프로그램에서 측정된 관절가동범위와 신체압력중심의 정량적인 값을 실시간으로 시각화하여 사용자가 결과를 쉽게 알 수 있도록 하였다. 또한 콘텐츠는 측정된 균형정보를 바탕으로 난이도가 조절되며 균형능력을 개선하고자 하는 방향에 맞춰 수행할 수 있도록 제작되었다. 이것은 사용자의 동작에 따라 움직이는 물체를 보면서 진행되는 시각 피드백 방법을 이용하여 집중력과 참여의지를 높여 더욱 효과적인 균형 훈련 결과를 기대할 수 있다.

**Abstract** In this paper, we attempted to analyze the balance ability of the body by measuring changes in body motion and plantar pressure distribution. So we developed a program that can measure and analyze range of motion and center of body pressure using inertial measurement unit(IMU) and FSR(Force Sensing Resistor) sensor, we also produced a contents that can help improve the balance ability. The quantitative values of range of motion and center of body pressure measured by this program are visualized in real time so that the user can easily recognize the results. In addition, the contents were designed to be adjusted according to the direction of improving the balance ability by adjusting the difficulty level based on the measured balance information. This can be achieved by increasing the concentration and participation will by using visual feedback method that proceeds while watching moving objects according to the user's motion.

**Key Words** : Balance Ability, Plantar Pressure, Range of Motion, Center of Body Pressure, Visual Feedback

## 1. 서론

현대인들의 신체활동이 감소된 생활 습관은 여러 가지 척추질환을 발병시키고 있으며, 이로 인한 통증은 사

회 활동을 어렵게 하거나 의료비의 증가로 심각한 사회 경제적 손실을 초래하고 있다<sup>[1]</sup>. 척추질환은 외형적인 신체변화, 요통, 심폐기능 장애와 같은 합병증을 유발 할 뿐만 아니라 주변 장기들의 기능 장애를 일으켜 수명 단축

\*준회원, 한국산업기술대학교, 컴퓨터공학과

\*\*정회원, 한국산업기술대학교, 컴퓨터공학과

\*\*\*정회원, 한국산업기술대학교, 컴퓨터공학과

접수일자 2018년 9월 5일, 수정완료 2019년 1월 3일

게재확정일자 2019년 2월 8일

Received: 5 September, 2018 / Revised: 3 January, 2019 /

Accepted: 8 February, 2019

\*\*\*Corresponding Author: unitaek@kpu.ac.kr

Professor, Dept. of Computer Engineering, Korea Polytechnic University, Korea

에도 영향을 끼칠 수 있다<sup>[2]</sup>. 또한 요추의 불안정으로 발생하는 만성요통은 허리부분의 움직임과 신체의 안정성이 감소하거나 근력과 지구력, 유연성에 문제가 발생되어 운동반응 저하로 인한 균형 능력의 문제와 만성 통증 질환을 수반할 수 있다<sup>[3]</sup>. 이들 중에 균형 능력은 신체 자세와 균형을 조절하는 일상생활활동을 위한 과제들의 가장 기본이 되는 필수 요소이기 때문에 이에 대한 정확한 진단 평가와 재활 훈련 방법 연구가 요구되고 있다<sup>[4]</sup>. 일반적으로 균형능력은 정적균형능력과 동적균형능력으로 구분하고 있으며, 정적균형능력은 고정된 지면에서 신체의 균형을 유지하는 능력이고 동적균형능력은 보행동작을 수행하는 동안에 균형을 유지하는 능력을 의미한다<sup>[5]</sup>.

대표적인 균형 능력 평가 방법에서의 정적 균형 능력은 양발을 움직이지 않고 팔을 올린 상태에서 팔을 앞으로 최대한 뻗는 동안 균형유지를 측정하는 FRT(Functional Reach Test)가 있으며, 동적 균형 능력은 균형을 잃지 않고 한발 서기 상태에서 45도로 이루어진 여덟 방향의 교차점 중앙에서 균형을 잃지 않은 채로 각 방향으로 가능한 멀리 도달하는 지를 측정하는 SEBT(Star Excursion Balance Test)가 있다<sup>[6-7]</sup>. 이와 같은 방법들은 정상인들의 균형능력을 측정하는 데 매우 편리하지만 척추 질환 환자의 균형 능력을 측정하는 데 있어서 주어진 동작들을 수행하는 것이 어렵고 정량적인 값을 얻을 수 없다. 그래서 어려운 동작 수행 없이 정량적인 값을 획득하는 방법으로는 척추형태를 측정하는 3D 스캐너를 사용하거나 압력 센서가 배열된 압력판으로 족압을 측정한 후 신체 균형능력을 평가하고 있다<sup>[8]</sup>. 하지만 3D 스캐너나 압력판은 비교적 개인이 구입하여 사용하기에는 고가의 장비일 뿐만 아니라 균형능력 평가만을 위하여 장비를 보유한 의료시설에 방문해야 하는 번거로움이 있다. 그러므로 균형능력 평가를 장소에 구애 받지 않고 저가의 장비를 통해 많은 척추 질환자들이 사용하고 동시에 재활 훈련을 병행할 수 있는 방법이 요구된다.

일반적으로 균형 능력 향상 및 재활을 위한 운동법으로는 골반경사운동, 유연성 증진운동, 지구력 증진운동, 코어근육(core muscle) 강화 훈련, 교각운동, 슬링운동 등이 있다<sup>[9-12]</sup>. 특히 코어근육 강화 운동은 근력강화 및 유연성 증대, 균형 잡힌 바른 자세 등 만성 질병 예방 및 신체의 통증 및 불편함을 감소시키는데 유용하다고 알려져 있다. 이 운동은 코어 근육을 반복적으로 신장 시키고 강화함으로써 몸통의 운동성과 안정성을 극대화 할 수

있다고 한다<sup>[13]</sup>. 여기서 코어 근육은 인체 중심의 안정성 획득에 중요한 역할을 하는 척추, 배, 골반 주위 근육들을 의미한다<sup>[14]</sup>. 그래서 본 연구에서의 재활 훈련 콘텐츠를 코어 근육 강화 운동과 관련된 내용으로 설계하여 더욱 효과적인 균형 능력 향상을 돕고자 하였다.

위에서 언급된 대부분의 재활 운동법들은 신체가 불편한 환자들이 수행하기에는 어려운 동작들이 많고 단순한 반복 운동과정으로 재활에 대한 참여도가 떨어질 뿐만 아니라 재활하는 동안 얼마나 신체 균형 능력이 향상되었는지 정량적으로 확인하는 것이 어렵다. 그래서 신체의 균형 능력 향상을 위한 재활 훈련 연구 방법들 중에 불안정판을 이용하거나 압력판을 사용하여 시각적 피드백 방식의 균형 훈련이 효과가 높다고 하였다<sup>[15]</sup>. 불안정판을 이용한 균형 훈련은 체간의 안정성과 자세조절에 관여하는 근육의 활성도가 증가하여 자세조절 능력, 동적균형, 근력 등이 향상되었다고 보고되었다<sup>[16]</sup>. 압력판을 사용한 시각적 피드백 훈련은 실시간으로 화면에 제시되는 위치에 사용자의 신체 압력 중심(center of pressure)을 이동시키는 자세 균형 훈련을 수행함으로써 자세균형 조절운동에 대한 실시간 평가가 가능하다. 시각적 피드백 훈련은 뇌졸중 환자들의 대부분 겪고 있는 후유증인 자세균형 문제를 개선시키는 효과적인 훈련방법으로 알려져 있다<sup>[17]</sup>.

이와 같은 연구 결과들을 바탕으로 본 연구에서는 장소에 구애 받지 않고 저렴한 가격의 장비를 활용하여 많은 척추 질환자들이 쉽게 사용할 수 있는 방법을 제안하고자 한다. 최근 저렴하고 소형화된 센서들 중에 신체의 움직임 정보를 쉽게 측정하고 분석할 수 있는 관성측정장치(IMU: Inertial Measurement Unit)와 압력판에 사용되는 센서보다 훨씬 저렴한 FSR(Force-sensing resistor) 센서를 사용하여 신체 균형능력을 정량적으로 측정하여 평가하고자 하였다. 관성측정장치를 이용한 균형 능력 측정은 편마비 또는 척추질환 환자의 동적 균형 운동에 대한 관절가동범위(ROM: Range of Motion)를 정량적으로 측정하여 코어 운동하는 동안 신체 유연성과 관절 움직임에 대한 저항 정도를 평가하고 실시간으로 환자의 운동 상태를 모니터링 하고자 하였다. 또한 FSR 센서는 신체 자세를 유지하기 위한 특정 신체부위의 움직임, 근육의 동작 등을 분석하거나 양발이 지면을 누르는 신체 압력중심(COP : Center of Pressure)의 실시간 위치 이동을 분석하여 정량적으로 균형 능력을 측정하는

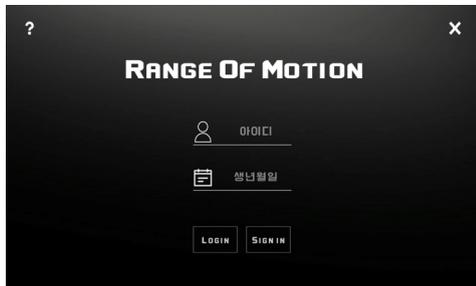
데 사용하였다. 추가적으로 정량화된 환자의 균형능력 정보를 바탕으로 환자 맞춤형 기능성 게임을 구현함으로써 흥미를 유발시키고 재활의 참여도와 집중력을 높여 효과적인 재활 훈련을 돕고자 하였다.

## II. 연구방법

### 1. 요추 관절가동범위 측정



(a)



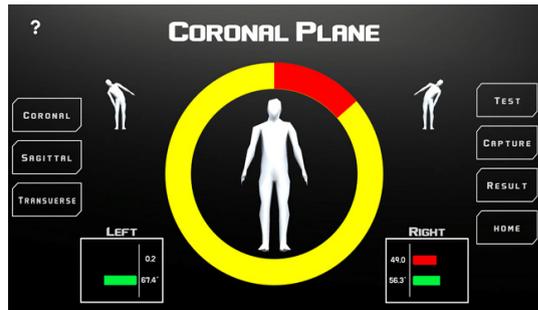
(b)

그림 1. (a)관절가동범위 측정기기 (b) 요추가동범위 시작화면  
 Fig. 1. (a)Range of motion device attached to the body (b) Home screen for ROM measurement

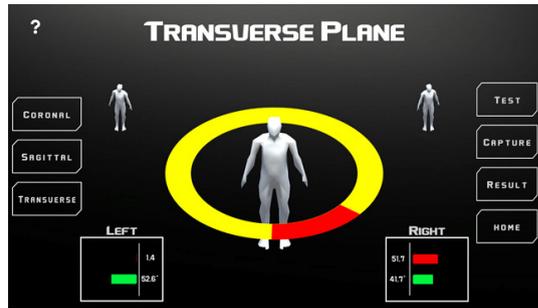
요추 관절가동범위 측정은 그림 1(a)과 같이 상용화 제품의 무선 IMU를 부착하여 신체에 맞게 조절이 가능한 벨트를 제작하였다. 사용된 IMU는 LP-Research사의 LPMS-B2이고, 신체의 회전각을 구하는 데 필요한 오일러 각은 x, y, z축 각 방향에서 측정하였다. 균형능력 측정과 훈련 콘텐츠에서 사용자의 움직임에 방해요소가 없도록 데이터 획득 및 전송 시 무선을 적용하였다. 측정된 데이터들은 본 연구에서 구현된 요추 관절가동범위 측정 프로그램에 적용하여 관상면(Coronal), 시상면(Sagittal), 횡단면(Transverse) 방향에서의 요추 관절가동범위의

정량적인 값으로 사용하였다. 또한 개발된 프로그램은 모든 결과들을 시각화하여 사용자가 현재 자신의 상태를 실시간으로 확인할 수 있도록 설계되어 위에서 언급된 코어 근육 강화운동 전·후를 쉽게 비교할 수 있도록 하였다.

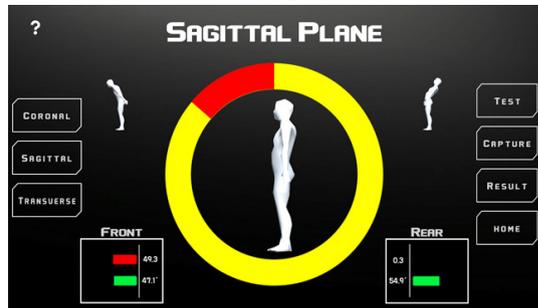
구현된 측정 프로그램의 시작화면은 그림 1(b)에서 보여주는 것처럼 ‘아이디’, ‘생년월일’, ‘LOG IN’, ‘SIGN IN’, ‘?’, ‘X’ 등으로 구성된다. 사용자는 정보(아이디, 생년월일)를 입력한 후 반복적인 측정이나 평가, 훈련 결과를 개인 관리가 가능하다. 또한, ‘SIGN IN’은 신규 등록, ‘?’은 요추 가동 범위 측정에 관한 여러 가지 사용 방법, ‘X’은 프로그램 종료를 나타낸다.



(a) 관상면



(b) 시상면



(c) 횡단면

그림 2. 요추 관절가동범위 측정 화면  
 Fig. 2. Example of ROM measurement of lumbar spine

관상면, 시상면, 횡단면 방향에 따라 신체를 기울이는 동작을 수행하면 실시간으로 신체의 기울기 변화량을 빨간색 영역으로 그림 2와 같이 보여준다. 신체를 기울이는 동작을 반복적으로 수행하는 동안 신체의 기울기 변화를 색상으로 보여줌으로써 사용자가 쉽게 시각적으로 인지할 수 있다. 이것은 사용자가 최대 요추 관절 가동범위에 도달하기 위한 적극적인 노력과 도전성을 가질 수 있도록 도움을 줄 수 있을 것이다. 더불어 화면 아래의 막대 그래프는 사용자에게 대한 평균 관절가동범위와 현재 측정되고 있는 관절가동범위의 정량적인 값을 나타내어 이전 결과와 비교할 수 있도록 하였다.

### 요추 관절 가동범위 측정 프로그램 실행 순서

**(a) 준비**

**(b) 측정 시작**

**(c) 측정**

**(d) 결과**

**(e) 데이터 저장**

Time	EulerX	EulerY	EulerZ	MaxLeft	MaxRight	AngleX	AngleY	AngleZ
0.02	70.71098	0.54657	163.8332	0.54657	0	-45.1651	-1.93911	-6.79805
0.04	70.03403	0.518973	163.892	0.54657	0	-29.6951	2.260895	4.139458
0.06	69.83332	0.478458	164.0305	0.54657	0	-19.5626	12.2184	8.496959
0.08	70.23354	-0.00181	164.1828	0.54657	0.001806	51.41747	1.560895	39.27947
0.1	68.7378	-1.89702	163.657	0.54657	1.897021	-30.8326	-43.2566	21.88446
0.12	68.51015	-2.24007	163.3649	0.54657	2.240068	-22.9401	-40.2991	21.56946
0.14	68.39745	-2.71235	163.0565	0.54657	2.712349	-12.8601	-46.8441	32.61197
0.16	68.86906	-3.64214	162.084	0.54657	3.642136	31.13496	-69.7516	24.99947
0.18	69.21303	-4.11549	161.5134	0.54657	4.115493	29.01746	-72.2191	23.94946
0.2	69.90141	-4.31673	161.1493	0.54657	4.316733	9.609957	-0.20661	-5.08305
0.22	70.48285	-4.21808	160.8205	0.54657	4.316733	13.47746	-8.50161	-6.39555

**(f) 이전 기록 조회**

**(g) 레포트**

그림 3. 요추 관절가동범위 측정 프로그램 실행 순서  
Fig. 3. The sequences for ROM measurement of lumbar spine

전체적인 요추 관절가동범위 측정 프로그램 실행 순서는 그림 3과 같으며, 사용자는 Coronal, Sagittal, Transverse 중 측정하고자 하는 방향을 선택한 후 그림 3(a)에서 제시되는 '차렷 자세를 2초 동안 유지 해주세요.' 라는 문구에 따라 자세정렬을 취한다. 이때 사용자에게 따라 신체의 기울어져 있는 정도가 근원적으로 다르기 때문에 이에 대한 오일러 각을 2초 동안 측정하고, 평균값을 계산하여 요추가동범위 측정에서 필요한 기준 값으로 사용되어진다. 측정할 준비가 완료되면 그림 3(b)에서 'START'를 선택하여 그림 3(c)에서 신체의 방향에 따라 요추 관절가동범위에 대한 측정을 할 수 있다. 사용자가 최대한 유연성을 가지고 동작 수행을 하였다고 판단되면 'CAPTURE'를 선택하여 측정을 종료한다. 이에 대한 결과는 위에서 언급된 것처럼 관절가동범위에 대한 영역은 빨간색으로 보여주고, 하단의 막대그래프에서는 측정된 평균값과 현재 측정값을 비교할 수 있다.

측정 결과에 대한 정보들은 그림 3 (d), (e), (f), (g)와 같이 결과 화면, 데이터 저장, 이전 기록 조회, 레포트 등으로 나타났다. 그림 3(d)은 측정된 관상면, 시상면, 횡단면의 요추 가동범위의 변화를 시각화하여 한눈에 비교할 수 있도록 함으로써 재활 훈련 시 유연성이 부족한 방향을 집중적으로 훈련해야 할 필요성을 쉽게 인지할 수 있다. 또한 각각 측정 과정에서 획득한 모든 오일러 각과 각 방향의 최대 요추 관절가동범위 값을 MS Excel 파일로 저장하여 추가적인 데이터를 분석할 수 있고(그림 3(e)), 지금까지의 관절 가동 범위 값의 변화를 조회하여 비교하거나(그림 3(f)), 결과를 출력(그림 3(g)) 등을 할 수 있다.

## 2. 신체 압력 중심 (COP: Center of Pressure) 측정



그림 4. 족압 측정을 위한 FSR 센서 배열  
 Fig. 4. FSR sensor array for plantar pressure measurement

그림 4는 FSR 센서를 사용하여 족압을 측정하기 위한 발판으로 Tekscan사의 A201-25(0~11kg)를 사용하였고, 정량적인 족압 분포 측정을 위하여 중족골, 입방골, 종골 위치에 좌우 7개씩 14개의 센서를 부착하였다. 이들 14개의 센서로 부터 데이터를 동시에 측정하기 위해서 14 채널의 12bit ADC를 사용할 수 있는 Cortex M3로 제작하였다. 여기서 획득한 데이터들을 사용하여 COP를 계산하기 위하여 본 연구에서는 COP 측정 프로그램을 그림 5와 같이 구현하였다. 가능한 모든 데이터를 시각화하여 자신의 COP 위치를 확인하여 신체 균형이 어느 방향으로 기울어져 있는 지를 쉽게 알 수 있다.

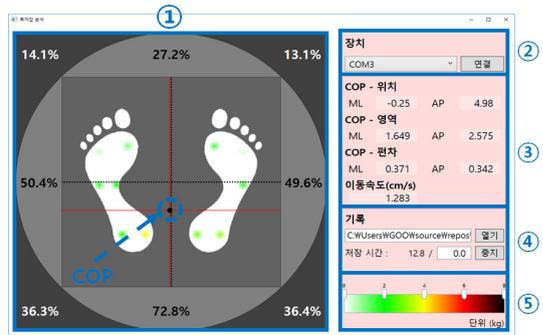


그림 5. 신체 압력 중심(COP) 측정 프로그램  
 Fig. 5. Center of pressure measurement program

COP 측정 프로그램 화면은 그림 5의 ①에서 사용자가 압력판 위에 서 있을 때 상하좌우 또는 사면면 방향에서의 족압 분포 비율과 배열된 각 센서에 가해지는 힘의 크기에 따라 컬러 매핑으로 보여주었다. 동시에 빨간색 선이 만나는 지점인 COP 좌표가 측정이 되고, 만약 신체의 움직임이 있을 경우 COP의 위치 변화를 실시간으로 확인할 수 있다. 이를 통해 사용자는 족압 분포와 COP 위치를 바탕으로 신체 중심이 어느 방향으로 치우쳐 있는 지를 확인할 수 있다. 그림 5의 ②에서는 족압 측정 장치와 COP 측정 프로그램 연결 포트를 선택할 수 있으며, ③에서는 측정된 COP의 좌표, 영역, 표준 편차, 이동 속도 등을 나타낸다<sup>[18]</sup>.

COP 좌표는 족압 센서의 x, y의 좌표상 위치를 이용하여 식 (1)과 같이 계산된다. 여기서  $Sensor_x$ 와  $Sensor_y$ 는 족압 센서들의 좌표상 위치를 나타내고,  $Sensor_p$ 는 족압 센서로 부터 측정된 압력값(kg)을 의미한다. 또한 N은 본 논문에서 사용된 전체 센서 개수로써 14이고, 각각  $k(k=1, 2, 3, \dots, 12, 13, 14)$ 번째 센서의 좌표상 위치와 압

력값을 나타낸다.

$$COP_x = \frac{\sum_{k=1}^N (Sensor_{x(k)} \times Sensor_{p(k)})}{\sum_{k=1}^N Sensor_{p(k)}} \quad (1)$$

$$COP_y = \frac{\sum_{k=1}^N (Sensor_{y(k)} \times Sensor_{p(k)})}{\sum_{k=1}^N Sensor_{p(k)}}$$

COP 영역은 측정 간에 COP가 이동한 영역의 너비와 높이를 의미하고, ML(좌우)과 AP(전후) 두 요소로 구분하여 식 (2)와 같이 계산되어진다.

$$R_{ML} = Max(COP_x) - Min(COP_x) \quad (2)$$

$$R_{AP} = Max(COP_y) - Min(COP_y)$$

또한, COP 이동속도는 측정 시간동안 COP의 이동거리를 이용하여 식 (3)과 같이 계산할 수 있다.

여기서 D는 현재 COP 위치와 이전 COP 위치 간의 이동 거리를 나타낸다.

$$D = \sqrt{(COP_{x(n)} - COP_{x(n-1)})^2 + (COP_{y(n)} - COP_{y(n-1)})^2} \quad (3)$$

$$Velocity = \frac{1}{T_{sec}} \sum_{n=2}^N D$$

### 3. 코어 근육 강화 운동 훈련 콘텐츠

훈련 콘텐츠는 관절가동범위 또는 신체압력중심을 측정 후 인체 중심의 안정성 획득에 중요한 역할을 하는 척추, 배, 골반 주위 근육들을 강화하기 위한 코어 근육 강화 운동과 관련된 내용으로 설계하였다. 콘텐츠를 시작하면 그림 6(a)와 같이 사용자의 요추 관절가동범위와 신체압력중심의 측정 결과 데이터를 콘텐츠의 환경설정에 사용하게 된다. 정량적으로 측정된 사용자의 균형 능력의 정보를 바탕으로 사용자에게 필요한 운동 방향과 난이도가 설정된다. 예를 들어 COP의 결과가 그림 6(a)와 같이 COP 위치(ML: -0.25, AP: 4.98), COP 영역(ML: 1.65, AP: 2.58)이고, 이때의 전체 족압 분포는 뒤 쪽에서 73%로 뒤 쪽으로 치우쳐져 나타났다. 그러므로 COP의 중앙으로 유도하기 위하여 앞쪽으로 움직이는 콘텐츠 운동이 필요하다는 것을 알 수 있다. 사용자 각각의 상태에 맞춰 콘텐츠의 환경을 구성함으로써 본인에게 필요한 운동을

집중적으로 할 수 있으며 난이도의 조절로 인해 콘텐츠에 흥미와 집중도를 높이도록 하였다.

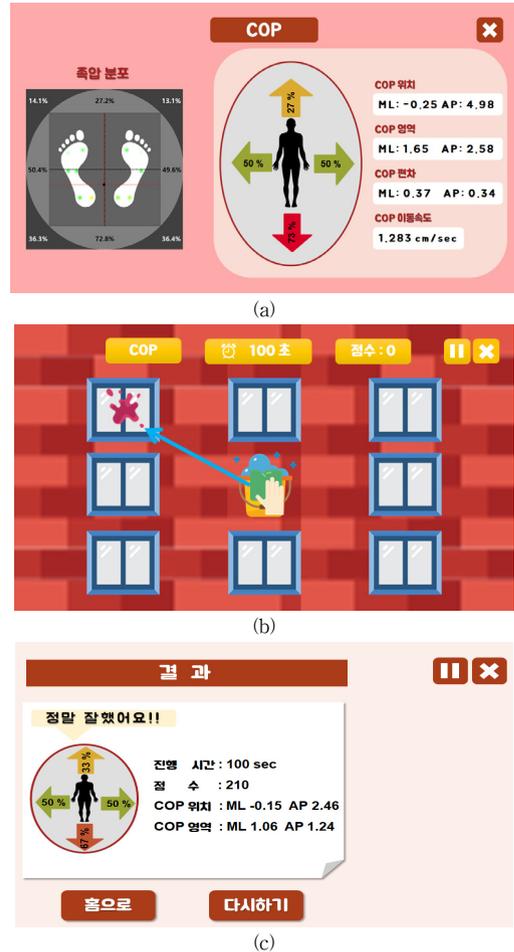


그림 6. (a) COP 데이터수신 (b) 진행화면 (c) 결과화면  
Fig. 6. (a) COP data receive (b) Progress screen (c) Result screen

콘텐츠 내용은 그림 6(b)의 화면 중앙에 위치한 양동에서 손걸레를 빨고 열록진 창문으로 위치를 이동하여 청소하는 과제로서 게임 모드 선택에 따라 요추 관절가동범위(ROM)이나 신체압력중심(COP)을 이동시켜 콘텐츠를 수행한다. 다시 정리하면 손 걸레의 위치 변화는 신체를 관상면, 시상면, 횡단면 방향으로 기울이는 정도에 따라 변하는 ROM이나 사용자의 족부에 가하는 압력 분포의 변화에 따른 COP 좌표 이동으로 수행된다.

콘텐츠의 난이도는 기본적으로 쉬움, 보통, 어려움 세 단계로 구성되어 있으며, 사용자의 상태에 맞춰 설정이

되고 직접 난이도를 선택하고 싶을 경우 설정 버튼을 통해 수정이 가능하다. 난이도는 한 번에 나타나는 얼룩의 수와 발생 빈도, 창문과 손의 크기를 설정된다. '쉬움'에서는 한 번에 하나의 얼룩이 발생하고 이것을 청소한 후에 다음 얼룩이 나타나게 하여 콘텐츠를 처음 진행하는 사용자들도 쉽게 즐길 수 있도록 하였다. 난이도가 올라갈수록 창문과 손의 크기가 작아져서 더욱 세밀한 균형 조절이 필요하고 얼룩의 생성 빈도가 빨라지므로 빠르고 정확한 움직임을 요구하여 훈련 난이도를 조절하였다. 주어진 시간 내에 정확한 위치에 이동하여 창문을 청소하면 점수는 증가하며 주어진 시간이 모두 끝나면 콘텐츠 종료된다.

콘텐츠를 수행하는 동안 얼룩진 창문으로 이동하고 화면 중앙에 위치한 양동으로 복귀하는 과정의 반복으로 요추의 유연성과 기립시의 신체압력중심 이동능력 개선에 도움을 주어 균형능력을 향상과 실시간으로 화면을 보면서 자신의 동작 결과를 시각적으로 확인이 되므로 시각적 피로감에 따른 재할 효과도 기대할 수 있다.

콘텐츠 진행이 종료되면 그림 6(c)와 같은 결과화면이 제공되며 훈련한 모드, 진행시간, 점수, 콘텐츠 수행 후 COP 위치, COP 영역 값이 기록된다. 콘텐츠 수행 후의 COP 위치는 COP 위치(ML: -0.15, AP: 2.46), COP 영역(ML: 1.06, AP: 1.24), 뒤 쪽의 족압 분포는 67%로 감소하여 운동 효과가 있음을 알 수 있다.

### III. 결론

본 논문은 균형능력 평가에 사용되는 기존의 장비들의 문제점으로 지적하고 있는 고가의 장비 및 측정 장소에 대한 기회비용을 최소화하고자 하였다. 이를 위하여 소형화되고 저렴한 관성측정장치와 압력센서를 사용하여 척추 질환자들이 간편하면서 정량적으로 평가할 수 있는 소프트웨어를 개발하였다.

관성측정장치를 사용하여 동적 균형 운동에 대한 관절가동범위를 정량적으로 측정하고 신체 유연성 및 관절의 움직임에 대하여 실시간으로 모니터링 할 수 있었다. 특히, 균형운동에 중요한 요추의 변화를 시각화 하여 재활 훈련 시 필요한 운동에 대하여 쉽게 인식할 수 있게 하였다.

압력센서를 이용하여 신체압력중심을 측정할 수 있는

프로그램을 개발하여 사용자의 COP 위치와 신체 균형의 틀어짐을 쉽게 알 수 있도록 하였다. 이 프로그램 수행 결과는 균형 능력 평가로 활용할 수 있으며, 이를 바탕으로 사용자의 신체 균형 개선을 위한 맞춤형 훈련이 가능하도록 콘텐츠를 개발하였다.

개발된 콘텐츠는 인체 중심의 안정성에 중요한 역할을 하는 코어 근육 강화 운동이 가능하도록 설계하였으며, 균형 훈련에서 효과가 높다고 알려진 시각적 피로감을 이용하여 기능성 게임 형태로 훈련할 수 있도록 하였다. 사용자의 동작에 맞춰 움직이는 물체를 보고 요추의 유연성과 신체중심 이동 훈련 게임을 진행하는 과정에서 재미를 느끼고 집중력과 참여의지를 높여 지속적인 훈련을 통한 효율적인 균형능력 개선이 가능하도록 하고자 하였다. 전체적으로 콘텐츠 수행은 측정 프로그램에서 얻어진 결과를 기준으로 설정되는 난이도와 신체 균형을 개선하고자 하는 훈련 방향 설정을 한 후 진행할 수 있으며, 훈련 전후에 대하여 정량적으로 균형능력 개선정도를 확인이 가능하기 때문에 사용자들은 훈련에 대한 성취감과 만족감을 가질 수 있을 것이다.

더불어 ROM측정에 사용된 관성측정장치는 불균형 판에 부착하여 불균형판 위에서 중심 잡기, 외발서기, 보행등을 통한 다양한 균형능력 훈련에 활용될 수 있을 것이다. 이는 훈련방법의 다양성을 높이고 개인 별로 적절한 방법의 훈련을 제공하여 효과적인 재활 결과를 기대할 수 있을 것이다.

향후 연구에서는 제작된 균형능력 측정 프로그램과 훈련 콘텐츠를 편마비, 척추 질환 환자를 대상으로 기존의 지표들과의 상관관계를 비교하여 균형능력 측정과 향상에 도움이 되는지에 대한 검증 연구가 이루어질 것이다. 덧붙여서 관성측정장치와 FSR 발판을 이용한 다양한 훈련 콘텐츠를 제공함으로써 사용자의 콘텐츠 선택의 폭을 늘리고, 여러 가지 형태의 훈련환경을 제공하여 사용자의 신체 균형 정도에 따라 쉽게 훈련을 할 수 있는 방법 연구를 진행할 것이다.

### References

- [1] M.C. Jensen, M.N, Brant-Zawadzki, N. Obuchowski, M.T. Modic, D. Malkasian, J.S. Ross, "Magnetic resonance imaging of the lumbar spine

- in people without back pain”, *New England Journal of Medicine*, Vol. 331, No. 2, pp. 69-73, July 1994.  
DOI: <https://doi.org/10.1056/NEJM199407143310201>
- [2] R. Cailliet, “Exercise for scoliosis, Therapeutic exercise”, Baltimore Williams and Wilkins, 1983.
- [3] K. M. Alexander, T. L. Kinney LaPier, “Differences in static balance and weight distribution between normal subjects and subjects with chronic unilateral low back pain”, *Journal of orthopaedic & sports physical therapy*, Vol. 28, No. 6, pp. 378-383, Dec 1998.  
DOI: <https://doi.org/10.2519/jospt.1998.28.6.378>
- [4] M. E. Tinetti, D. I. Baker, G. McAvay, E. B. Claus, P. Garrett, M. Gottschalk, R. I. Horwitz, “A multifactorial intervention to reduce the risk of falling among elderly people living in the community”, *New England Journal of Medicine*, Vol. 331, No. 13, pp. 821- 827, Sept 1994.  
DOI: <https://doi.org/10.1056/NEJM199409293311301>
- [5] S. B. O’Sullivan, T. J. Schmitz, G. Fulk, “Physical rehabilitation”, FA Davis, 2013.
- [6] P. W. Duncan, D. K. Weiner, J. Chandler, S. Studenski, “Functional reach: a new clinical measure of balance”, *Journal of gerontology*, Vol. 45, No. 6, pp. 192-197, Nov 1990.  
DOI: <https://doi.org/10.1093/geronj/45.6.M192>
- [7] Gribble, P. A., Hertel, J., Plisky, P., “Using the Star Excursion Balance Test to assess dynamic postural-control deficits and outcomes in lower extremity injury: a literature and systematic review”, *Journal of athletic training*, Vol. 47, No. 3, pp. 339-357, May/June 2012.  
DOI: <https://doi.org/10.4085/1062-6050-47.3.08>
- [8] Jeong-Lae Kim, “Analysis of Posture Balance System of using Multi-parameter after Exercising”, *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication*, Vol. 11, No. 5, pp. 145-150, Oct 2011.
- [9] Seung-Kyum Park, Jeong-Pil Lee, Sung-Yong Chun, Sang-Hoon Kim, Hee-Jung Jung, Bong-Kewn Lee, Jae-Kewn Oh, “Physical Science : Effects of Gymnastic Ball Exercise on Activity of Low Back Muscle in the Chronic Low Back Pain Patients”, *Koera Sports Research*, Vol. 18, No. 2, pp. 757-766, Apr 2007.
- [10] S. F. Nadler, G. A. Malanga, L. A. Bartoli, J. H. Feinberg, M. Prybicien, M. DePrince, “Hip muscle imbalance and low back pain in athletes: influence of core strengthening”, *Medicine & Science in Sports & Exercise*, Vol. 34, No. 1, pp. 9-16, Jan 2002.
- [11] C. L. Hubley-Kozey, M. J. Vezina, “Muscle activation during exercises to improve trunk stability in men with low back pain”, *Archives of physical medicine and rehabilitation*, Vol. 83, No. 8, pp. 1100-1108, Aug 2002.  
DOI: <https://doi.org/10.1053/apmr.2002.33063>
- [12] Hye-Lim Ahn, Mi-Suk Shin, “The Effect of Sling Exercise Therapy on Pain Decrease and Muscle Strengthening for Low Back Pain Patients”, *Journal of Korean Medicine Rehabilitation*, Vol. 17, No. 4, pp. 167-174, 2007
- [13] P. W. Brill, G. S. Couzen, “The core program. 1st ed”, Bantam Book, 2002.
- [14] C. Kisner, L. A. Colby, “Therapeutic exercise : Foundations and techniques 4”, F. A. Davis, 2002.
- [15] Chang-Joo Lim, Sung-Taek Chung, Dae-Woon Lim, Yun-Guen Jeong, “Development of Motion based Serious Game: “Falling” case study”, *Journal of The Korean Society for Computer Game*, Vol. 25, No. 1, pp. 117-125, Mar 2012.
- [16] D. Fitzgerald, N. Trakarnratanakul, B. Smyth, B. Caulfield, “Effects of a wobble board-based therapeutic exergaming system for balance training on dynamic postural stability and intrinsic motivation levels” *Journal of orthopaedic & sports physical therapy*, Vol. 40, No. 1 , pp. 11-19, Jan 2010.  
DOI: <https://doi.org/10.2519/jospt.2010.3121>
- [17] R. A. Geiger, J. B. Allen, J. O’Keefe, R. R. Hicks, “Balance and Mobility Following Stroke: Effects

of Physical Therapy Interventions With and Without Biofeedback/Forceplate Training”, Physical Therapy, Vol. 81, No. 4, pp. 995-1005, Apr 2001.

- [18] L. Rocchi, L. Chiari, A. Cappello, “Feature selection of stabilometric parameters based on principal component analysis”, Medical and Biological Engineering and Computing, Vol. 42, No. 1, pp. 71-79, Jan 2004.

DOI: <https://doi.org/10.1053/apmr.2002.33063>

### 저자 소개

#### 구 세 진(준회원)



- Sejin Goo is currently a bachelor of science course at the department of Computer Engineering from Korea Polytechnic University. His research interests include embedded system, serious game, rehabilitation & healthcare, etc.

#### 김 동 연(준회원)



- Dong-Yeon Kim studied Computer Engineering, and received his B.S.(2017) from Korea Polytechnic University. He is currently a master of science course in Computer Engineering at Korea Polytechnic University. His research interests include embedded system, serious game, rehabilitation & healthcare, etc.

#### 신 성 욱(정회원)



- Sung-Wook Shin studied Computer Engineering, and received his Ph.D. (2016) from Korea Polytechnic University. He is currently a professor at the department of Computer Engineering at Korea Polytechnic University. His research interests include embedded system, serious game, rehabilitation & healthcare, etc.

#### 정 성 택(정회원)



- Sung-Teak Chung studied Electrical Engineering, and received his Ph.D. (2000) from KAIST. He is currently a professor at the department of Computer Engineering at Korea Polytechnic University. His research interests include biomedical image & signal processing, and serious game, etc.

※ 이 논문은 2018년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (NRF-2018R1D1A1B03036406).