

Kinect와 Wii Balance Board를 이용한
올바른 스쿼트 자세 가이드라인 제시에 관한 연구

A Study on the Proposal of Proper Squat Posture
Guidelines Using Kinect and Wii Balance Board

지도교수 김 동 근

본 논문을 석사학위 논문으로 제출함

상명대학교 문화기술대학원

스포츠정보기술융합학과

오 승 준

2017년 8월

오 승 준의
석사학위 논문을 인준함

심사위원장 이 의 철 ①

심사위원 이 소 미 ①

심사위원 김 동 근 ①

상명대학교 문화기술대학원

2017년 8월

차 례

표 차례	i
그림 차례	ii
국문 요약	iii
1. 서론	1
1.1. 연구의 필요성	1
1.2. 연구의 목적	4
2. 관련연구	5
2.1. Kinect를 통한 자세 분석 시스템	5
2.1.1. Kinect의 개요	5
2.1.2. 자세분석 개요	9
2.2. Balance Board를 통한 균형 분석 시스템	11
2.2.1. Balance Board의 개요	11
2.2.2. 균형분석 개요	13
2.3. 스쿼트	15
2.3.1. 스쿼트 운동의 개요	15
2.3.2. 스쿼트 자세	16
3. 스쿼트(Squat) 자세 인식 시스템 설계	17
3.1. 구현 기술	17
3.1.1. Kinect를 이용한 자세 인식	17
3.1.2. Wii Balance Board를 이용한 균형 인식	19
3.2. 시스템 구성	20
3.3. 데이터 획득 프로그램 개발	21

3.3.1. Kinect 데이터 획득 프로그램 개발	21
3.3.2. Wii Balance Board 데이터 획득 프로그램 개발	24
3.4. 실험설계 및 방법	25
3.4.1. 실험 대상	25
3.4.2. 실험 방법	26
3.4.3. 데이터 처리	30
4. 실험결과	33
4.1. 동작 준비 자세에서의 결과	33
4.1.1. 올바른 자세에서의 결과	34
4.1.2. 올바르지 않은 자세에서의 결과	36
4.2. 동작 수행 자세에서의 결과	41
4.2.1. 올바른 자세에서의 결과	41
4.2.2. 올바르지 않은 자세에서의 결과	43
5. 결론 및 논의	45
5.1. 결론	45
5.2. 연구의 한계점 및 후속 연구	47
참고문헌	49
ABSTRACT	56

표 차 례

<표 1> Kinect의 주요 특징	6
<표 2> 간략화한 관절의 명칭	23
<표 3> 피실험자의 특성	25
<표 4> 동작 및 자세별 측정 요소	26
<표 5> SVM 진행시 사용된 동작 준비 자세의 데이터 수	33
<표 6> SVM 용어의 의미	34
<표 7> 준비 자세의 정상 자세 Kinect 데이터의 LibSVM 결과	34
<표 8> 준비 자세의 정상 자세 WBB 데이터의 LibSVM 결과	35
<표 9> 준비 자세의 모은 자세 Kinect 데이터의 LibSVM 결과	36
<표 10> 준비 자세의 모은 자세 WBB 데이터의 LibSVM 결과	37
<표 11> 준비 자세의 별린 자세 Kinect 데이터의 LibSVM 결과	38
<표 12> 준비 자세의 별린 자세 WBB 데이터의 LibSVM 결과	39
<표 13> 준비 자세의 비대칭 자세 Kinect 데이터의 LibSVM 결과 ..	39
<표 14> 준비 자세의 비대칭 자세 WBB 데이터의 LibSVM 결과	40
<표 15> SVM 진행시 사용된 동작 수행 자세의 데이터 수	41
<표 16> 수행 자세의 정상 자세 Kinect 데이터의 LibSVM 결과	41
<표 17> 수행 자세의 정상 자세 WBB 데이터의 LibSVM 결과	42
<표 18> 수행 자세의 무릎이 튀어나온 자세 Kinect 데이터의 LibSVM 결과 ..	43
<표 19> 수행 자세의 무릎이 튀어나온 자세 WBB 데이터의 LibSVM 결과 ..	44
<표 20> SVM 결과	45

그 림 차 례

<그림 1> Kinect의 구조	6
<그림 2> 각 관절의 명칭	7
<그림 3> 해부학적 자세에서의 Skeleton 인식	8
<그림 4> RGB카메라에 중첩된 상태에서의 Skeleton 인식	8
<그림 5> 일반적인 Balance Board	12
<그림 6> Wii Balance Board	12
<그림 7> Kinect에서 인식하는 각 관절의 위치와 이름	17
<그림 8> Kinect에서 인식하는 좌표축	18
<그림 9> 간단히 표현한 스쿼트 동작의 측면과 무릎 각도(θ)의 측정	18
<그림 10> Wii Balance Board에서 인식하는 좌표축	19
<그림 11> 설치된 스쿼트 동작 인식 시스템	20
<그림 12> 추출된 자세 데이터의 저장 경로 및 파일 형식 설정 코드	21
<그림 13> foreach 반복문을 사용한 각 Joint의 좌표값 획득 코드	22
<그림 14> 추출된 균형 데이터의 저장 경로 및 파일 형식 설정 코드	24
<그림 15> fileWrite를 사용한 CoP x,y 좌표값 획득 코드	24
<그림 16> 스쿼트 동작 준비 자세의 정상 자세	27
<그림 17> 스쿼트 동작 준비 자세의 모은, 벌린, 비대칭 자세	27
<그림 18> 스쿼트 동작 수행 자세의 정상 자세	28
<그림 19> 스쿼트 동작 수행 자세의 무릎이 튀어나온 자세	29
<그림 20> 칼만 필터를 적용한 전문가의 CoP 좌표의 변화	31
<그림 21> 실제 LibSVM 구동 화면	32

국 문 요 약

Kinect와 Wii Balance Board를 이용한 올바른 스쿼트 자세 가이드라인 제시에 관한 연구

본 연구는 Kinect와 Wii Balance Board를 이용하여 운동 수행자에게 올바른 스쿼트 자세를 제시하고자 진행되었다. 기존에 진행된 연구와는 다르게 본 연구는 사용자의 관점에서 실용성과 사용성에 기반을 두고 진행되었다. 이를 위하여 기존에 가정용 및 게임용으로 제작된 Kinect와 Wii Balance Board를 이용하여 스쿼트 자세 인식 시스템을 개발하여 연구를 진행하게 되었다.

개발한 시스템을 통하여 전문가 1명과 일반인 10명이 실험에 참여하여 스쿼트 동작 준비 자세부터 동작 수행 자세를 측정하였다. 스쿼트 동작 준비 자세에서는 Kinect로 어깨 너비와 발목 너비의 차이 데이터를 획득하고, Wii Balance Board로 신체의 압력중심점(CoP) 데이터를 획득하였다. 스쿼트 동작 수행 자세에서는 Kinect로 무릎 각도 데이터를 획득하고, Wii Balance Board로 신체의 압력중심점(CoP) 데이터를 획득하였다.

각 자세에서 획득한 데이터는 서포트 벡터 머신(SVM)을 통하여 분류되었고, 이를 통하여 Kinect와 Wii Balance Board가 각각의 자세를 분류할 수 있는 확률을 획득할 수 있었다. 이렇게 획득한 확률은 모두 89% 이상의 결과값을 나타내었으며, 기존 동작인식 시스템과 비교하였을 때 큰 차이가 나지 않는 결과를 얻어냈다.

따라서 본 연구를 통해 Kinect와 Wii Balance Board를 이용하여 운동 수행자에게 올바른 스쿼트 자세를 가이드 해 줄 수 있으며 기존 동작 인식 시스템에 비해 보다 더 간편하고 쉽게 스쿼트 동작을 분석할 수 있는 시스템임을 확인 할 수 있었다.

1. 서론

1.1. 연구의 필요성

최근 현대사회는 도시화와 산업화에 따라 근무나 가사를 할 때 앉아서 하는 일이 많아지고 신체활동도 감소하여, 전 세계 인구의 60%가 운동 부족 상태인 것으로 조사되었다(World Health Organization, n.d.). 이로 인해 비만, 고혈압, 당뇨 등 각종 성인병과 심혈관 질환, 각종 암 등의 질병의 발병률이 점차 증가하고 있는 추세이다. 국민건강영양조사(Ministry of Health & Welfare [MHW], 2011)에 따르면, 지난 5년간 성인들의 신체활동은 지속적으로 감소하여 권장 신체활동량을 실천하는 성인은 30% 미만이라고 조사되었다. 따라서 신체활동의 중요성이 점점 대두되고 있으며 실제로 적절한 신체활동은 고혈압, 제2형 당뇨병, 뇌졸중, 암과 같은 만성 질환 발생의 위험을 줄이며, 우울증, 골절예방 및 체중 관리에도 도움이 된다(World Health Organization, n.d.)고 하였다. Haskell W. L. et al. (2007)과 Thune I., Furberg A.S.(2001)의 연구에서도 규칙적인 신체활동은 남성과 여성 모두에서 체지방 감소, 수축기와 이완기 혈압 개선, 혈당 조절과 인슐린 저항성 등을 개선시키는 것을 보여 주었고, 심혈관 질환의 위험성과 조기 사망률, 허혈성 뇌질환, 고혈압, 제2형 당뇨, 비만, 유방암과 대장암 등의 특정 암, 불안과 우울증, 그리고 인지기능 이상 등의 여러 질환을 예방하고 개선 효과를 보인다고 하였다. 또한 스포츠 과학 내에서도 운동효과에 대한 연구는 운동생리학자들에 의해 건강한 행동으로써 그 가치를 충분히 인정받고 있다(원주연, 정봉해, 1997).

지금까지 운동 효과에 대한 운동생리학 분야의 연구들을 종합하여 볼 때, 규칙적인 운동은 폐색성 폐질환의 치료(Atkins, C. J., Kaplan, R. M., Timms, R. M., Reinsch, S., & Lofback, K., 1984), 비만의 예방 및 치유 (American College of Sports Medicine, 1983), 고혈압(Seals, D. R., &

Hagberg, J. M., 1984), 당뇨병(Soman, V. R., Koivisto, V. A., Deibert, D., Felig, P., & DeFronzo, R. A., 1979)등의 치료와 예방책으로서의 가치를 충분히 인정 받아오고 있다.

이와 같은 운동의 긍정적인 효과를 보기 위하여 스포츠 활동에 참가하는 인구는 점차 증가하고 있다. 문화체육관광부(2010)와 정영수, 김승철(2009)의 연구에서는 많은 인구들이 운동에 대한 필요성과 중요도에 대하여 높은 인식수준을 갖고 있다고 하였으며, 일상생활에 있어 운동이 ‘중요하다’가 63.4%, ‘매우 중요하다’가 14.7%로 전체의견의 78.1%로 과반수이상을 차지하고 있다. 또한, 건강 유지 및 체력 단련을 목적으로 하는 운동에 대한 중요성의 인식은 2000년 87.2%, 2003년 93.5%, 2006년 84.3%, 2008년 87.0%의 높은 수치를 기록하고 있다. 그리고 통계청의 실태조사에 따르면 성인 스포츠 활동 참여율이 2000년 49.2%에 비해 2014년에는 54.8%로 증가하였다. 또한, 스포츠 활동에 참여하는 사람들이 가장 많이 참여하는 종목으로는 걷기 27%와 등산 15.5% 그리고 헬스 8.3%로 나타나 웨이트 트레이닝에 대한 국민들의 참여도는 높은 편이라고 할 수 있다(통계청, 2014, 2015).

이런 현상은 웨이트 트레이닝 특성상 다른 운동에 비해 비교적 쉽게 접근할 수 있고 전신 운동으로서 많은 에너지 소비가 가능하며, 타 운동에 비해 비교적 부상 가능성이 낮고, 손쉽게 가정이나 야외에서 별다른 도구 없이도 수행할 수 있다는 장점이 있기 때문이다. 송미순(1998)의 연구에서는 체중부하 운동은 골다공증의 예방과 치료에 유용하다고 하였고, 기계적인 체중부하 자극은 뼈의 발달 및 형성에 중요한 외부인자로 작용하여 골다공증을 예방할 수 있다(Andon, M. B. et al. 1991)는 연구도 진행되었었다. 또한, 모든 연령층에 있어 적합하게 할 수 있는 운동이며 신체 건강을 향상 및 유지시킬 수 있어 많은 사람들이 웨이트 트레이닝을 하고

있다(임완기 등, 2006; 조광호, 김갑구, 2004; 여남희 박일봉, 2003).

다양한 웨이트 트레이닝 종목 중 가장 효과 있는 대표적인 운동은 스쿼트 운동이다. 스쿼트는 일반인들의 웨이트 트레이닝 목적 달성에도 많이 사용되고, 운동선수들의 기초체력 향상 및 근력, 근지구력 향상에도 많이 사용되고 있다(김용현, 2010). 그리고 인간의 신체에서 하지는 신체 활동을 하거나 신체를 바로 서게 하는데 있어 매우 중요한 역할을 하는데(이성도, 2010), 특히 스쿼트 운동은 발목관절, 무릎관절 및 고관절의 움직임을 동시에 발생시키는 동작(R. Donatelli, 1987)으로 하지 근육 발달에 긍정적인 효과를 나타낸다. 또한 관절 주변의 협력수축, 압박력, 다분절 관절과 근육군의 동원, 동반하는 원심성과 구심성 근육 작용, 고유수용감각의 입력, 그리고 운동기술 획득을 위한 학습을 통하여 기능적 훈련 효과를 얻을 수 있는 운동이다.(이종대, 2012). 하지만 스쿼트 동작 시 올바르지 못한 자세는 운동의 효과를 떨어뜨리며 과도한 하중은 부상을 야기하기도 한다. 이런 경우 스쿼트 운동으로 발달 될 수 있는 근육들이 오히려 손상을 입게 되며, 그런 근육들은 인체 내에서 대개 중요한 역할을 갖고 있기 때문에 이러한 부상은 치명적일 수밖에 없다. 이러한 이유로 스쿼트 운동을 할 때 자세는 매우 중요하다고 할 수 있다.

기존 연구에서는 스쿼트 운동의 자세에 관련된 연구보다 근육활동에 대한 분석(김용현, 2010), 체간근육과 하지근육에 미치는 영향(최남영, 2015), 최대 근력 및 순발력에 미치는 영향(최수연, 2014) 등 운동 효과에 관련된 연구가 비교적 많았으며, 운동 자세와 관련된 연구는 자세와 중량에 따른 하지 근 활성 비교 분석(박한솔, 2016), 스쿼트 동작 시 발목 토(toe) 아웃(out) 각도에 따른 척추기립근과 대퇴근의 근 활동 분석(나영철, 2013) 등 스쿼트 자세가 일반적으로 완성 되어 있다고 가정하고 하는 연구가 대부분이었다. 그리고 진행된 연구의 대부분은 고가의 장비를 사용

한 연구가 대부분이었으며, 이러한 장비들은 활용하는데 있어서도 요구되는 조건이 다양하고 복잡하다. 따라서 이런 장비는 일반인들에게는 거의 사용이 불가능하며 일부의 운동선수들에게만 사용의 기회가 주어져 있는 실정이다.

즉, 진행된 다수의 연구들에서는 운동 수행자에게 초점을 맞추지 않고 운동의 결과 자체에만 초점을 맞춘 채 연구가 진행되었을 뿐만 아니라 대상자들 역시 특정 집단에 국한되어 있는 연구가 일반적이었다고 할 수 있다. 따라서 사용자의 관점에서 실용성과 사용성에 기반을 둔 연구가 필요하며, 본 연구에서 실용성이란 누구나 쓸 수 있음을 의미하고, 사용성 이란 사용자가 사용하기 편리함을 의미한다.

1.2. 연구의 목적

Kinect와 Wii Balance Board는 가정용 및 게임용으로 나온 만큼 실용적이고 사용성이 뛰어나다. 본 연구는 운동 수행자에게 올바른 스쿼트 운동 자세의 가이드라인을 제시하기 위하여 Kinect와 Wii Balance Board를 활용하여 스쿼트 운동의 동작을 분석하고자 한다.

따라서 본 연구를 통하여 Kinect와 Wii Balance Board를 이용한 스쿼트 자세 인식 시스템 개발하여 전문가와 다수의 일반인의 스쿼트 동작 준비 자세부터 수행 자세까지 측정한 후 비교 분석하여 운동 수행자에게 올바른 스쿼트 운동자세의 가이드라인을 제시하는데 연구의 목적이 있다.

2. 관련연구

2.1. Kinect를 통한 자세 분석 시스템

기존의 자세 분석과 관련된 연구는 흔히 운동역학 및 해부학과 관련된 학문에서 마커 부착형 동작인식 시스템으로 진행하는 연구가 많이 이루어졌다. 그러나 마커 부착형 동작인식 시스템의 특성상 공간적 제약이 크고, 여러 대의 카메라를 이용해야 하며, 마커가 신체의 일부분에 가려지면 인식을 못하는 등 여러 가지 단점들이 있다. 또한 이런 시스템의 조작은 상당히 까다로워 전문가를 통하여 분석을 의뢰하는 등 일반인이 쉽게 사용할 기회는 적은 편이다.

반면에, Kinect는 디바이스 자체에서 인체의 관절을 인식하기 때문에 마커 비 부착형 자세 인식 용도로 간단하게 사용 할 수 있다. 또한, 약간의 코드 작성의 과정을 거쳐 마커 부착형 동작 인식 시스템보다 환경적, 경제적 조건에서 비교적 쉽게 자세 분석 시스템으로 응용할 수 있는 장점이 있다. 따라서 본 연구에서는 운동 수행자가 보다 더 쉽고 편리하게 스쿼트 동작을 분석하는 것에 중점을 두고 마커 비 부착형 자세 인식 시스템으로 사용할 수 있는 Kinect로 연구를 진행하였다.

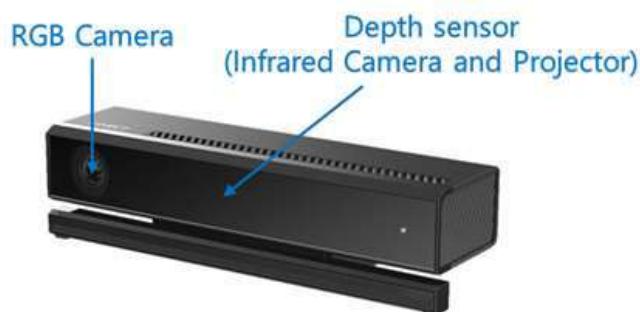
2.1.1. Kinect의 개요

키넥트(Kinect)는 키보드, 마우스, 조이스틱 같은 입력장치 없이 사람의 움직임을 실시간으로 감지하고 사용자의 신체를 이용하여 게임과 엔터테인먼트를 경험할 수 있는 Xbox360과 연결해서 사용하는 주변기기이다. (김현준, 2012). Kinect는 센서를 통해 사용자의 동작을 인식하고, 마이크로 음성을 인식한다. Kinect의 주요 특징은 <표 1>과 같다.

<표 1> Kinect의 주요 특징

Feature	Characteristic
Body tracking	Tracking 25 points skeleton for a total of six people
Hand sensing	Ability to thumb tracking, end of hand tracking, open and closed hand gestures
Depth sensing	Ability to see smaller objects and all objects clearly, and improves the stability of body tracking. 3D visualization and improved range of high quality operation (0.5m near, 4.5m far)
Infrared (IR) capabilities	Lighting Independent Infrared (30 fps)
A multi-array microphone	4 microphones to capture sound, record audio, find the location of the sound source and the direction

(Microsoft Developer Network, n.d.)



<그림 1> Kinect의 구조

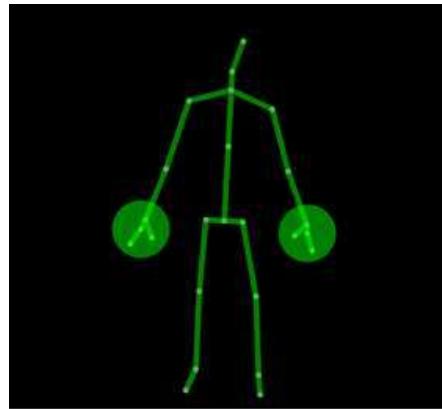
Kinect는 적외선을 투광하고 반사되어 돌아오는 시간을 측정하여 깊이 정보를 얻는 Time of Flight(ToF) 방식을 사용한다. 또한, 4개의 마이크로 사운드를 캡쳐 할 수 있으며, 오디오의 방향 또는 음원의 위치도 파악이 가능하다(Microsoft Developer Network, n.d.).

Kinect는 기본적으로 25개의 신체 관절을 인식할 수 있으며 이렇게 인식되는 관절은 각각의 명칭을 갖고 있다. 일반적으로 전체적으로 인식되는 모든 관절을 통칭하여 Skeleton이라고 각 관절은 Joint라고 부르기도 한다. 각 관절의 명칭은 Kinect SDK 자체에서 제공하는 메타데이터에서 확인할 수 있으며 그 명칭은 <그림 2>와 같다.

```
... public enum JointType
{
    ... SpineBase = 0,
    ... SpineMid = 1,
    ... Neck = 2,
    ... Head = 3,
    ... ShoulderLeft = 4,
    ... ElbowLeft = 5,
    ... WristLeft = 6,
    ... HandLeft = 7,
    ... ShoulderRight = 8,
    ... ElbowRight = 9,
    ... WristRight = 10,
    ... HandRight = 11,
    ... HipLeft = 12,
    ... KneeLeft = 13,
    ... AnkleLeft = 14,
    ... FootLeft = 15,
    ... HipRight = 16,
    ... KneeRight = 17,
    ... AnkleRight = 18,
    ... FootRight = 19,
    ... SpineShoulder = 20,
    ... HandTipLeft = 21,
    ... ThumbLeft = 22,
    ... HandTipRight = 23,
    ... ThumbRight = 24
}
```

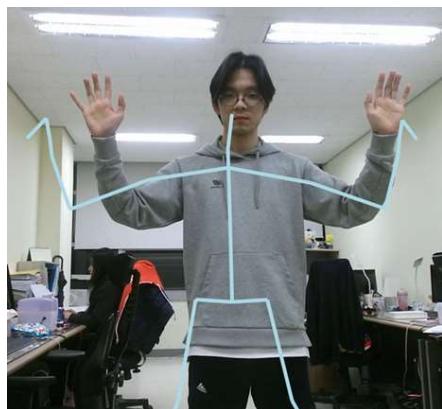
<그림 2> 각 관절의 명칭

실제 Kinect를 활용하여 동작인식을 하는 경우에는 <그림 3>와 같이 인식이 되며, 실제로 해부학적 자세 상태에서 Kinect가 인식하는 Skeleton을 관찰 한 것이다. 해부학적 자세라고 하는 것은 얼굴은 전방을 향하고 곧게 서고, 양 발은 약간 외측으로 벌리고 양 팔은 몸통에 붙인 채로 손바닥은 전방을 향하고 있는 자세이다.



<그림 3> 해부학적 자세에서의 Skeleton 인식

코드를 조금 더 수정하면 <그림 4>와 같이 RGB 카메라에 Skeleton이 중첩된 형태로도 사용이 가능하다.



<그림 4> RGB카메라에 중첩된 상태에서의 Skeleton 인식

2.1.2. 자세분석 개요

사전적 정의에서의 자세는 몸을 움직이거나 가누는 모양이라고 정의 한다. 하지만 체육학에서의 자세는 특정한 동작을 위한 정렬된 신체의 상태 또는 태도라고 할 수 있다.(손명주, 2012; Lehmkuhl, L., & Smith, L., 1983). 이와 비슷하게 Kendall과 Florence Peterson(2001)의 연구에서는 자세는 신체를 유지한 상태라고 정의하였다. 김용주 등(1991)의 연구에서는 신체의 모든 관절들의 위치에 대한 합성어라고 정의하면서 자세에 따라 근육의 일, 또는 각 관절에 걸리는 부하의 크기도 달라지며, 근육의 기능과 절대적인 관계가 있다고도 하였다. 즉, 자세라고 하는 것은 동작과 관련하여 신체의 각 기관이 서로 상호작용하는 것을 말한다(박순애 등, 2008).

해부학적으로 사람의 신체는 위와 아래, 왼쪽과 오른쪽, 앞과 뒤로 움직일 수 있다. 다시 말해, 신체는 3차원의 공간에 알맞게 3개의 면과 3개의 축으로 구분할 수 있으며 모든 신체적 움직임은 이 3개의 면과 축에서 위에서 이루어진다. 또한, 우리가 자세를 취할 때 인체의 근육과 뼈, 관절의 각 부위는 움직이게 된다. 이때 인체에 가해지는 부담이 적정수준에서 유지되려면 각 부위는 원활하게 협응되어야 한다. 하지만 각 부위의 협응이 원활하게 이루어지지 못한다면 부자연스러운 움직임과 함께 동작 자체가 신체의 부담으로 작용된다(배민우, 2016). 이렇게 되면 불필요한 에너지가 소모되고, 이로 인해 많은 피로와 심지어는 신체 각 부위에 부상을 야기할 수도 있다(김창규, 2005).

올바르지 못한 자세가 계속 유지되면 육체적 피로가 늘어나게 되며 단발적이고 국소적인 부상에서 점점 악화되어 만성적, 다발적 부상이 발생될 수도 있다. 구체적으로, 올바르지 못한 자세의 연속은 습관적 긴장감을 만들어 올바른 신체조건 형성을 방해하며, 경추와 요추의 통증, 어

깨 결림과 같은 질환을 야기하기도 한다(문상은, 1998; 장수경, 2000; Bernard E. F., 1978).

따라서 일반적으로 어떠한 자세를 취할 때는 올바른 자세가 매우 중요하다고 할 수 있다. 올바른 자세라고 하는 것은 휴식 또는 활동 중에 신체 역학적으로 제일 좋은 효율성을 발휘할 수 있는 자세를 의미하며 체중을 지지하는 신체 내 여러 관절들이 최소의 에너지 소비를 하며 바른 정렬을 유지하고 있는 자세이다(한상민, 이기광, 하성, 손지훈, 2011). 또한 신체의 조직과 기관들이 서로 협응하여 힘들이지 않고 자연적으로 편하며 상호관계가 유지되는 자유로운 자세라고 할 수 있다(Brennan, Richard, 2012).

신체적으로 올바른 자세라고 함은 똑바로 척추를 세우고 인체가 자연으로 지니고 있는 척추의 만곡부를 유지한 자세이고(김창규, 2005), 생체 역학적으로 올바른 자세는 인체에 최소의 스트레스가 가해지는 유용한 자세라고 할 수 있다(Palmer, M. L., & Epler, M. E., 1990).

즉, 올바른 자세라고 하는 것은 신체를 구성하는 각 요소에 가해지는 무리가 적으며, 신체의 중심이 위와 아래, 왼쪽과 오른쪽, 앞과 뒤 어느 한쪽으로 치우치지 않고 균형이 잡혀 있는 자세라고 정의할 수 있다(배민우, 2016).

자세라고 하는 것은 단순히 어떠한 자세를 취하는 것 이상으로 더 중요한 의미를 갖고 있다. 자세의 분석이라고 하는 것은 인체를 구성하는 근육과 뼈 같은 신체 요소들의 특징을 파악하여 올바른 자세를 유지하거나, 올바르지 못한 자세를 교정하는데 있어 충분히 중요하다. 분석을 통하여 명확해진 자세의 요소들은 일률적으로 총합되어야 하며, 총합된 요소들이 론화 또는 체계화 되는 것까지가 분석이라고 할 수 있다.

본 연구에서 자세분석이라 함은 Kinect로 스쿼트 동작의 준비 자세와

수행 자세의 데이터를 분석하는 것을 말한다. 여기서 데이터라고 하는 것은 스쿼트 동작 준비 자세의 경우 어깨 너비와 발목 너비의 차이값을 의미하고 스쿼트 동작 수행 자세의 경우 무릎각도를 의미하며, 편의상 Kinect 데이터 또는 자세 데이터라고 정의한다.

2.2. Balance Board를 통한 균형 분석 시스템

일상생활을 영위함에 있어 자세의 중요성은 아무리 언급해도 지나치지 않다(백남섭, 김효철, 2000). 자세란 신체를 구성하는 부분들의 상대적 위치를 의미하며, 올바른 자세라고 하는 것은 근육과 골격이 균형을 유지하고 있는 상태라고 할 수 있다(Solberg, 2008). 이와 반대로 잘못된 자세라고 하는 것은 신체의 여러 부분들 사이의 관계가 불완전하다는 뜻이며, 이는 인체의 지지구조에 스트레스가 가해져 비효율인 균형 상태가 조성되어 인체의 지지기반이 본 기능을 발휘하지 못함을 의미한다(Kerry J. D, Ambrogio & George B. Roth., 1997). 본 연구에서는 인체의 올바르고 균형 잡힌 자세를 측정하기 위하여 구축된 시스템을 통해 운동 수행자에게 균형 잡힌 자세를 인식시키고자 한다.

2.2.1. Balance Board의 개요

일반적으로 Balance Board 라고 하는 것은 <그림 5>와 같이 불안정한 판을 일컫는다(이정옥, 2004). Balance Board는 피트니스 센터 또는 가정 등에서 균형감각 증진을 위한 운동 도구로 사용되며, 누구나 손쉽게 사용할 수 있다는 장점이 있다.



<그림 5> 일반적인 Balance Board

본 연구에서는 시스템 사용자들에게 무게중심의 변화를 알려주기 위하여, Nintendo사에서 나온 Wii Balance Board를 사용하였다.



<그림 6> Wii Balance Board

Wii Balance Board는 4개의 모서리에 위치한 로드셀(Load Cell)을 통해 압력중심점(Center of Pressure, CoP)데이터를 연속적으로 수집할 수 있으며 수집된 데이터는 Bluetooth 통신으로 연결 된 디바이스에 전송할 수 있다(박대성, 이동엽, 최성진, 신원섭, 2013).

Wii Balance Board는 원래 Wii Fit이라는 체감형 게임을 위한 도구로 제작되었다. 그러나 균형 조절과 관련된 연구 분야에서 높은 관심을 보이

게 되어 Wii Balance Board와 관련된 연구가 많이 진행되고 있다(이은영, 2016). Ross. A. et al. (2010)의 연구에서 Wii Balance Board의 측정 결과에 대한 타당성은 균형측정 장비인 Force Platform(AMTI Model OR6-5, USA)과 비교하였을 때 장치 내 재검사 신뢰도(Intraclass Correlation Coefficients, ICC)는 0.66 - 0.94, 장치 간 재검사 신뢰도(ICC)는 0.77 - 0.89로 유효성과 신뢰성에서 균형을 평가하기 위한 효과적인 도구임이 제시되었다.

2.2.2. 균형분석 개요

Paillard T. et al. (2006)의 연구에서 인체의 균형은 신체를 일정한 자세를 지속으로 유지할 수 있는 능력으로 정의하였다. 이는 다양하게 생리적, 인지적, 기계적, 감각운동 요인에 영향을 받고, 안정성을 유지하도록 인체의 신경생리학적 과정을 말한다. 그리고 Roth와 George B.(1999)의 연구에서는 일상생활을 성공적으로 영위하고 생활하는데 균형은 필수적인 요소라고 정의하면서, 일상생활의 동작수행과 신체의 평형상태를 유지시키는 능력이라고도 하였다. 균형은 정적인 균형과 동적인 균형으로 나눌 수 있는데, 정적인 균형은 정지해 있는 개인이 기저면 내에서 몸의 중심을 유지하는 것으로, 안정적으로 중력에 대해 항중력의 자세를 취하는 것을 말한다. 반대로 동적인 균형은 움직임으로 인해 신체의 중심이 이동하는 것에 대한 자동적 자세반응이라고 할 수 있다(Soderberg, G. L., & Dostal, W. F., 1978).

Steinweg, K. K.(1997)은 균형운동 통해 균형조절을 향상시켰다. 균형조절의 향상은 낙상사고 등을 방지할 수 있으며, 이를 위해 일반적으로 체중부하운동, 유산소운동, 저항운동, 유연성운동 등을 시행한다. 또한 송

미순, 하양숙(1995)의 연구에서는 균형능력의 향상에서는 하지 균력 향상이 중요하다고도 하였는데, 대부분의 균형운동프로그램의 공통적인 원리는 일반적으로 기저면의 변화, 중심의 위치 변화(좌우, 전후, 위아래, 사선), 박자, 속도, 방향의 변화, 각도의 변화, 방향 감각처리과정의 변화에 대처하는 프로그램이라고 할 수 있다(Schenkman, M., 1989; 권보영, 2008).

이처럼 균형에 대한 일반적인 정의는 신체 자체에서 다양한 물리적, 생리적, 생체적인 환경의 변화에 신체가 능동적으로 대처하는 능력이라고 할 수 있으며, 균형분석이라고 하는 것은 신체가 어떠한 환경의 변화에 대처하는 능력 자체를 파악하는 것이다. 분석을 통하여 명확해진 균형의 요소들은 일률적으로 총합되어야 하며, 총합된 요소들이 이론화 또는 체계화되는 것 까지가 분석이라고 할 수 있다. 균형 분석에서의 환경의 변화는 Schenkman(1989)과 권보영(2008)의 연구에서처럼 기저면의 변화, 중심의 위치 변화(좌우, 전후, 위아래, 사선), 박자, 속도, 방향의 변화, 각도의 변화, 방향 감각처리과정의 변화 등 다양한 요소들이 포함된다.

본 연구에서 균형분석이라 함은 Wii Balance Board로 스쿼트 동작의 준비 자세와 수행 자세의 데이터를 분석하는 것을 말한다. 여기서 데이터라고 하는 것은 스쿼트 동작 준비 자세와 수행 자세에서 인체의 압력중심 점(CoP)의 좌표를 의미하며, 편의상 Wii Balance Board 데이터 또는 균형 데이터라고 정의한다.

2.3. 스쿼트

이성도(2010)의 연구에서는 하지 근육은 인체를 구성하는 가장 기초적이고 기본적인 움직임을 맡고 있고, 인체를 구성하는 골격근 중에 사용빈도가 가장 높다고 하였다. 또한 하지 근육은 인체의 체중을 지탱해주고 활동을 할 때 충격을 흡수해 주는 역할까지 맡고 있다. 이러한 하지 근육은 크게 둔부와 허벅지, 종아리 근육으로 나눌 수 있는데, 둔부근육은 고관절에서 대퇴골의 신전과 외회전 작용을 하고, 고관절의 외전을 보조해 주며, 보행 시 고관절의 안정성에 관여하여, 정상적인 보행이 가능하도록 도와준다(이성도, 2010). 스쿼트 운동은 하지 근육의 전반적인 강화를 도와주지만 현대인들의 생활에서는 만성적인 운동 부족으로 인해 중요한 하지 근육의 발달이 필요한 실정이다.

2.3.1. 스쿼트 운동의 개요

스쿼트는 어깨 너비로 다리를 좌우로 벌리고 서서 발바닥을 지면과 밀착한 채 등을 곧게 평고 고관절과 슬관절, 발목관절을 이용하여 앉았다 일어나는 대표적인 하지 저항운동이다(박한솔, 2016). 스쿼트는 대퇴사두근, 대둔근, 대퇴 이두근, 척추기립근의 근력을 강화시키는 운동으로 대중들에게 많이 알려져 있는 대표적이고 기본적인 하지 운동 중 하나이다(박상호, 2011). 김윤혁(2010)의 연구에서도 스쿼트는 일상생활이나 체육 활동에 매우 중요하게 사용되는 다리, 엉덩이, 등 근육을 훈련하고, 하지의 근력, 근지구력, 근육량을 향상시키기 위한 중요한 동작이라고 하였다. 또한 스쿼트는 대표적인 닫힌 운동사슬 운동(Closed Kinetic Chain)으로 발목관절과 무릎관절, 고관절의 움직임을 동시에 발생시켜 몸통과 하지의 강화와 안정성 증진에 효과적인 운동이다. (박한솔, 2016)

2.3.2. 스쿼트 자세

올바른 스쿼트 자세는 다리를 어깨 너비로 벌린 후 허리는 올바르게 세우고 앉으면서 무릎이 발 앞으로 튀어나오지 않는 자세이다. 일어설 때는 양 무릎이 서로 몰리지 않게 일어나면서 역시 무릎이 발 앞으로 튀어 나오지 않아야 한다.

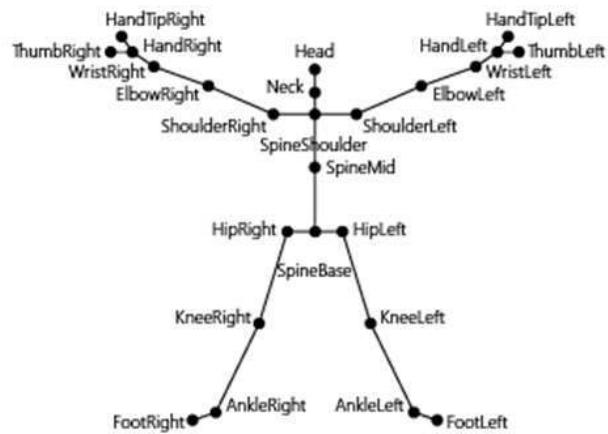
일반적으로 올바르지 않은 자세는 무릎이 발끝으로 나오거나, 일어설 때 양 무릎이 몰리고, 허리가 굽어지는 자세를 일컫는다. 스쿼트를 많이 해보지 않은 운동 수행자들은 맨손으로 하는 경우가 대부분이며 숙달되는 경우 모래주머니 또는 바벨을 들어 견갑골의 상극 부분에 엎고 하는 경우도 있다. 본 연구에서는 Kinect의 기술적인 한계로 인하여 양 손을 머리 위치까지 올린 후 손바닥은 정면을 향한 자세로 스쿼트 동작을 실시하였다.

3. 스쿼트(Squat) 자세 인식 시스템 설계

3.1. 구현 기술

3.1.1. Kinect를 이용한 자세 인식

본 연구에서는 Kinect로 피실험자의 어깨 너비와 발목 너비의 차이값과 무릎 각도 측정을 위하여 Kinect에서 인식하는 각 관절들의 x, y, z 좌표값을 획득하고자 한다.



<그림 7> Kinect에서 인식하는 각 관절의 위치와 이름

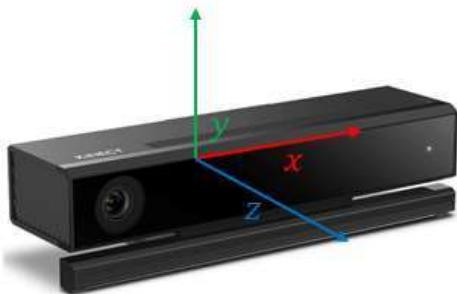
본 실험에서의 어깨 너비와 발목 너비의 차이라고 하면 오른쪽 어깨 - 왼쪽어깨의 길이와 오른쪽 발목 - 왼쪽 발목의 길이의 차이를 의미하며, Kinect에서 인식하는 관절의 이름으로 표현하면 *ShoulderRight* - *ShoulderLeft*와 *AnkleRight* - *AnkleLeft*의 차이라고 할 수 있다.

무릎 각도라고 함은 엉덩이 - 무릎 - 발목까지의 각도를 의미하며, Kinect에서 인식하는 관절의 이름으로 표현하면 *HipRight* - *KneeRight* - *AnkleRight* 또는 *HipLeft* - *KneeLeft* - *AnkleLeft*라고 할 수 있다.

Kinect에서 각 관절의 좌표값을 얻기 위해 Microsoft사의 SDK

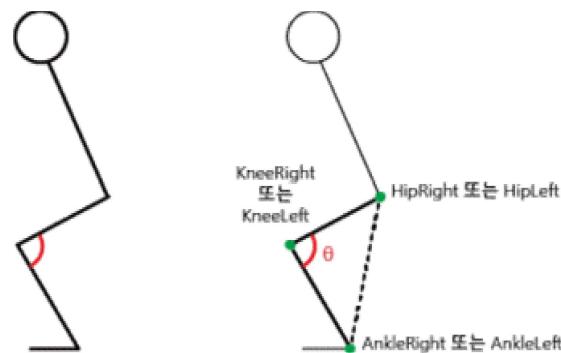
Browser (Kinect for Windows) v2.0의 Body Basics-WPF 샘플 코드를 참조하여 각 관절값의 좌표를 획득하는 코드를 작성하였다.

Kinect에서 인식하는 좌표축은 <그림 8>와 같으며, 운동 수행자의 좌, 우 동작을 x축, 상, 하 동작을 y축, 전, 후 동작을 z축으로 인식한다.



<그림 8> Kinect에서 인식하는 좌표축

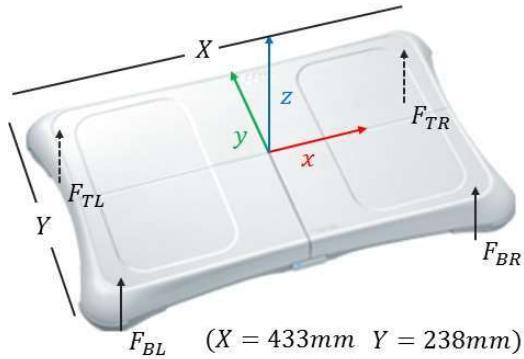
이렇게 Kinect에서 획득한 각 관절의 좌표값으로 어깨 너비와 발목 너비의 차이를 계산하기 위하여 3차원 공간에서 점과 점 사이의 길이를 계산하는 공식을 사용하였으며, 무릎 각도를 측정하기 위해서 제2코사인 법칙을 활용하여 무릎 각도를 계산하였다. <그림 9>는 스쿼트 동작을 수행하는 사람의 옆모습을 간단하게 표현하여 하여 무릎 각도(θ)를 측정하는 방법을 보기 쉽게 정리하였다.



<그림 9> 간단히 표현한 스쿼트 동작의 측면과 무릎 각도(θ)의 측정

3.1.2. Wii Balance Board를 이용한 균형 인식

CoP의 위치는 Wii Balance Board에서 4개의 압력 센서(F_{TL} , F_{TR} , F_{BL} , F_{BR})로부터 얻은 데이터로부터 구할 수 있다.



<그림 10> Wii Balance Board에서 인식하는 좌표축

Wii Balance Board의 데이터를 얻기 위해 Peek(2009)의 오픈 소스인 WiimoteLib 라이브러리를 사용하였고, 각 센서로부터 데이터를 획득하기 위하여 식(1)에 맞춰 코드를 수정하였다.

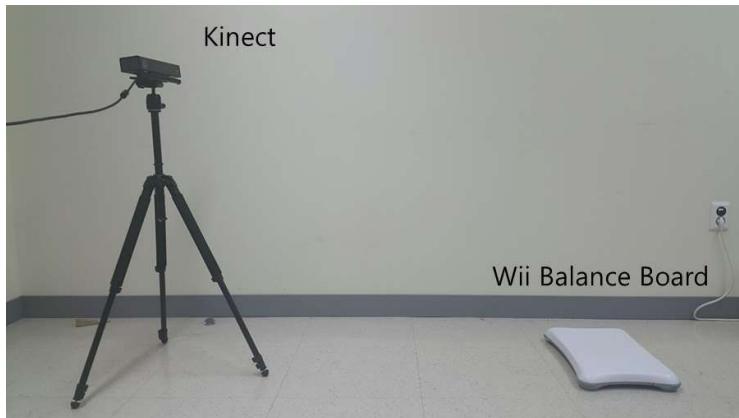
$$\begin{aligned} CoP_{WBBx} &= \frac{X}{2} \frac{(F_{TR} + F_{BR}) - (F_{TL} + F_{BL})}{F_{TR} + F_{BR} + F_{TL} + F_{BL}} & (1) \\ CoP_{WBBy} &= \frac{Y}{2} \frac{(F_{TR} + F_{TL}) - (F_{BR} + F_{BL})}{F_{TR} + F_{BR} + F_{TL} + F_{BL}} \end{aligned}$$

식에서 X와 Y는 Wii Balance Board의 가로 길이와 세로 길이로 각각 433mm와 238mm이다(Leach, Mancini, Peterka, Hayes, & Horak, 2014; Almandeel, A., Myszka, D. H., Gonzalez, A., & Fraisse, P. 2015). 식(1)을 통해 구한 좌표평면상의 압력 중심의 x, y좌표는 프레임 별로 기록하도록 하였다.

피실험자가 Wii Balance Board에서 벗어나게 되면 CoP의 좌표가 Wii Balance Board 측정 범위를 벗어나게 된다. 따라서 x, y좌표의 범위는 $\pm 216.5\text{mm}$, $\pm 119\text{mm}$ 으로 설정하였다(이은영, 2016).

3.2. 시스템 구성

Kinect와 Wii Balance Board를 이용한 올바른 스쿼트 자세 가이드라인 제시에 관한 연구의 시스템 구성은 PC, Kinect, Wii Balance Board로 구성되어 있다. 전체적인 시스템은 운동 수행자의 전방에 Kinect가 설치되고 Kinect가 전신을 전부 다 인식할 수 있는 거리에 맞춰 Wii Balance Board가 설치된다. 시스템이 전부 설치되면 운동 수행자는 Wii Balance Board 위에서 스쿼트 동작을 실시하게 된다.



<그림 11> 설치된 스쿼트 동작 인식 시스템

본 시스템에서는 Kinect의 깊이 카메라(Depth Camera)가 운동 수행자의 자세를 파악하고 Wii Balance Board로 운동 수행자의 균형을 파악한다. 이렇게 Kinect와 Wii Balance Board에서 얻은 자세 데이터와 균형 데이터는 PC에서 처리하게 된다.

3.3. 데이터 획득 프로그램 개발

본 시스템에서 Kinect와 Wii Balance Board의 데이터 수집을 위해 사용한 프로그램은 Microsoft사의 Visual Studio 2015(Microsoft Corporation, WA, USA)이며 모든 코드는 C#을 이용하여 작성되었다.

3.3.1. Kinect 데이터 획득 프로그램 개발

본 연구에서는 Kinect에서 인식하는 각 관절의 데이터를 획득하기 위해 <그림 12>, <그림 13>과 같이 코드를 작성하였다.

코드에서는 먼저 Skeleton이 tracking되었을 때 추출된 자세 데이터를 저장하는 경로와 파일 형식을 설정하였다.

```
int penIndex = 0;
foreach (Body body in this.bodies)
{
    Pen drawPen = this.bodyColors[penIndex];

    if (body.IsTracked)
    {
        this.DrawClippedEdges(body, dc);

        string filePath = "C:\\Users\\SEUNGJUN\\Documents\\Kinect\\"
            + System.DateTime.Now.Year +
            System.DateTime.Now.Month + System.DateTime.Now.Day + "_" +
            System.DateTime.Now.Hour + System.DateTime.Now.Minute + ".csv";
        StreamWriter cooStream = File.AppendText(filePath);
```

<그림 12> 추출된 자세 데이터의 저장 경로 및 파일 형식 설정 코드

경로 설정 후에 foreach 반복문을 사용하여 각 Joint의 좌표값을 획득하였으며, JointType 열거형(Enumeration, enum)의 마지막인 ThumbRight를 마지막으로 정의하여 데이터를 누적하였다.

```

 IReadOnlyDictionary<JointType, Joint> joints = body.Joints;

// convert the joint points to depth (display) space
Dictionary<JointType, Point> jointPoints = new Dictionary<JointType, Point>();

foreach (JointType j in joints.Keys)
{
    if (j.ToString().Equals("ThumbRight"))
        cooStream.WriteLine(joints[j].Position.X + "," + joints[j].Position.Y + "," + joints[j].Position.Z);
    else
        cooStream.WriteLine(joints[j].Position.X + "," + joints[j].Position.Y + "," + joints[j].Position.Z + ",");
}
cooStream.WriteLine();
cooStream.Close();

```

<그림 13> foreach 반복문을 사용한 각 Joint의 좌표값 획득 코드

Kinect에서 인식하는 25개의 관절의 명칭은 2.1.1. Kinect의 개요의 <그림 2>와 같이 메타데이터에서 확인할 수 있으며 본 논문에서는 편의상 관절의 명칭을 <표 2>와 같이 간략화 하였다

<표 2> 간략화한 관절의 명칭

j	메타데이터 내 명칭	간략화한 명칭
0	SpineBase	SB
1	SpineMid	SM
2	Neck	N
3	Head	H
4	ShoulderLeft	SL
5	ElbowLeft	EL
6	WristLeft	WL
7	HandLeft	HaL
8	ShoulderRight	SR
9	ElbowRight	ER
10	WristRight	WR
11	HandRight	HaR
12	HipLeft	HiL
13	KneeLeft	KnL
14	AnkleLeft	AL
15	FootLeft	FL
16	HipRight	HiR
17	KneeRight	KnR
18	AnkleRight	AR
19	FootRight	FR
20	SpineShoulder	SS
21	HandTipLeft	HTL
22	ThumbLeft	TL
23	HandTipRight	HTR
24	ThumbRight	TR

3.3.2. Wii Balance Board 데이터 획득 프로그램 개발

본 연구에서는 Wii Balance Board의 데이터를 획득하기 위해 오픈 소스 WiimoteLib(Peek, 2009) 라이브러리를 사용하였고, CoP의 x, y좌표를 획득하기 위하여 <그림 14>, <그림 15>와 같이 코드를 수정하였다.

코드에서는 먼저 Wii Balance Board에서 수집된 균형 데이터가 저장되는 경로와 파일 형식을 설정하였다.

```
file = new System.IO.StreamWriter("C:\Users\SEUNGJUN\Documents\Wii Balance Board\" +  
    System.DateTime.Now.Year + System.DateTime.Now.Month + System.DateTime.Now.Day + "_" +  
    System.DateTime.Now.Hour + System.DateTime.Now.Minute + ".csv");  
InitializeComponent();
```

<그림 14> 추출된 균형 데이터의 저장 경로 및 파일 형식 설정 코드

경로 설정 후에 Wii Balance Board에서 획득할 수 있는 CoP의 x, y좌표에 대한 변수를 식(1)에 따라 설정한 후 텍스트 파일로 출력한다. 출력된 결과는 경로 설정 시 CSV 파일로 저장된다.

```
lblBBTL.Text = ws.BalanceBoardState.SensorValuesKg.TopLeft.ToString();  
lblBBTR.Text = ws.BalanceBoardState.SensorValuesKg.TopRight.ToString();  
lblBBBL.Text = ws.BalanceBoardState.SensorValuesKg.BottomLeft.ToString();  
lblBBBR.Text = ws.BalanceBoardState.SensorValuesKg.BottomRight.ToString();  
float x = ((ws.BalanceBoardState.SensorValuesKg.TopRight + ws.BalanceBoardState.SensorValuesKg.BottomRight) -  
    (ws.BalanceBoardState.SensorValuesKg.TopLeft + ws.BalanceBoardState.SensorValuesKg.BottomLeft)) /  
    (ws.BalanceBoardState.SensorValuesKg.TopLeft + ws.BalanceBoardState.SensorValuesKg.TopRight +  
    ws.BalanceBoardState.SensorValuesKg.BottomLeft + ws.BalanceBoardState.SensorValuesKg.BottomRight)  
    * (433 / 2);  
float y = ((ws.BalanceBoardState.SensorValuesKg.TopRight + ws.BalanceBoardState.SensorValuesKg.TopLeft) -  
    (ws.BalanceBoardState.SensorValuesKg.BottomRight + ws.BalanceBoardState.SensorValuesKg.BottomLeft)) /  
    (ws.BalanceBoardState.SensorValuesKg.TopLeft + ws.BalanceBoardState.SensorValuesKg.TopRight +  
    ws.BalanceBoardState.SensorValuesKg.BottomLeft + ws.BalanceBoardState.SensorValuesKg.BottomRight)  
    * (238 / 2);  
file.WriteLine(x + "," + y);  
lblBBTotal.Text = ws.BalanceBoardState.WeightKg.ToString();
```

<그림 15> fileWrite를 사용한 CoP x,y 좌표값 획득 코드

3.4. 실험설계 및 방법

3.4.1. 실험 대상

실험 대상은 총 11명으로 전문가 1명과 일반인 10명으로 구성되어 있다. 실험에 참가한 전문가는 약 4년간 매일 주 5회 이상 웨이트 트레이닝을 하였으며, 현재 서울 강남구 소재 헬스장에서 퍼스널트레이너를 하는 인원으로 선정하였다. 일반인 참가자들은 평소에 운동을 즐겨하지 않는 20 ~ 30대 남, 여 성인 각각 5명으로 선정하였다. 피실험자들은 본 연구에 대한 설명과 실험 진행에 관한 방법을 충분히 듣고 참여에 동의하였으며, 선정 기준은 아래와 같다.

첫째, 신체적, 정신적 질환이 없고, 본 연구의 의의를 충분히 이해한 자.

둘째, 스쿼트 동작을 무리없이 수행하고 자세와 균형에 영향을 미치는 급성 또는 만성 질환이 없는 자.

모든 피실험자는 위와 같은 조건을 모두 만족한 인원으로 선정하여 실험에 참가하였다.

본 실험에 참여한 대상자의 특성은 <표 3>와 같다.

<표 3> 피실험자의 특성

	일반인	전문가
성별 (남 / 여)	5 / 5	1 / 0
만 나이 (세)	27.5 ± 4.5	28

3.4.2. 실험 방법

Kinect와 Wii Balance Board를 이용한 올바른 스쿼트 자세 가이드라인 제시에 관한 연구를 위하여 사용된 디바이스는 Kinect for Windows v2 (Microsoft Corporation, WA, USA)와 Wii Balance Board(Nintendo Co., Ltd., Kyoto, Japan, 이하 WBB)이다.

본 연구에서는 스쿼트 동작 준비 자세부터 수행 자세까지 분석하며, 동작 준비 자세와 수행 자세 시 측정 요소들을 수식으로 나타내면 <표 4>와 같다.

<표 4> 동작 및 자세별 측정 요소

			Kinect	WBB
동작	올바른 자세	정상 자세		
준비	올바르지 않은 자세	모은 자세	$\ \overrightarrow{SLSR} - \overrightarrow{ALAR}\ $	$CoP(x,y)$
자세		벌린 자세		
		비대칭 자세		
동작	올바른 자세	정상 자세	$\theta(\overrightarrow{HiRKnR}, \overrightarrow{KnRAR})$	
수행	올바르지 않은 자세	무릎이 튀어나온 자세	또는	$CoP(x,y)$
자세			$\theta(\overrightarrow{HiLKnL}, \overrightarrow{KnLAL})$	

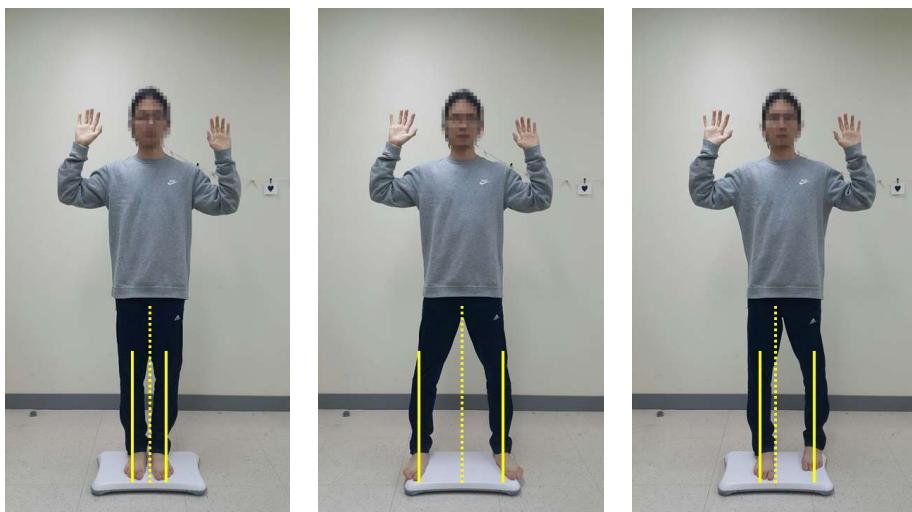
스쿼트 동작 준비 자세는 피실험자가 설치된 시스템의 WBB 위에서 스쿼트 동작을 수행 할 준비 자세를 취하는 것이다.

올바른 자세에서의 정상 자세는 양 다리를 어깨 너비로 벌리고 팔은 얼굴 위치까지 들고 손바닥은 정면을 향한 상태에서 스쿼트 동작을 할 준비를 하는 것이다.



<그림 16> 스쿼트 동작 준비 자세의 정상 자세

이와 반대로 올바르지 않은 자세에서의 모은 자세는 양 다리를 과도하게 모은 상태에서 스쿼트 동작을 할 준비를 하는 것이다. 벌린 자세는 양 다리를 과도하게 벌린 상태에서 스쿼트 동작을 할 준비를 하는 것이다. 비대칭 자세는 양 다리를 WBB의 중심에서 벗어난 상태로 스쿼트 동작을 수행 할 준비를 하는 것을 의미한다.



<그림 17> 스쿼트 동작 준비 자세의 모은, 벌린, 비대칭 자세

스쿼트 동작 준비 자세에서의 $\|\overrightarrow{SLSR} - \overrightarrow{ALAR}\|$ 의 의미는 어깨 너비와 발목 너비의 차이를 의미하며, Kinect에서 수집한 좌표 데이터로 어깨 너비와 발목 너비의 차이를 측정 할 수 있다.

스쿼트 동작 수행 자세는 피실험자가 설치된 시스템의 WBB 위에서 스쿼트 동작을 수행하는 것이다.

올바른 자세에서의 정상 자세는 스쿼트 동작 수행 시 무릎이 발 앞으로 튀어나오지 않은 상태로 스쿼트 동작을 수행하는 것이다.



<그림 18> 스쿼트 동작 수행 자세의 정상 자세

이와 반대로 올바르지 않은 자세에서의 무릎이 튀어나온 자세는 스쿼트 동작 수행 시 무릎이 발 앞으로 과도하게 튀어나온 상태로 스쿼트 동작을 수행하는 것이다.



<그림 19> 스쿼트 동작 수행 자세의 무릎이 튀어나온 자세

스쿼트 동작 수행 자세에서의 $\theta(\overrightarrow{HiRKnR}, \overrightarrow{KnRAR})$ 또는 $\theta(\overrightarrow{HiLKnL}, \overrightarrow{KnLAL})$ 의 의미는 무릎 각도를 의미하며, Kinect에서 수집한 좌표 데이터로 무릎 각도를 측정 할 수 있다. 마지막으로 스쿼트 동작 준비 자세와 수행 자세에서 $CoP(x, y)$ 의 의미는 신체의 압력중심점 좌표의 수집을 의미한다.

본 연구에서는 스쿼트 동작 준비 자세에서부터 수행 자세까지의 분석을 위해 설치 된 시스템으로 각 피실험자들은 <그림 16>, <그림 17>과 같은 스쿼트 동작 준비 자세 4종류와 <그림 18>, <그림 19>과 같은 스쿼트 동작 수행 자세 2종류를 실시하였다. 각 동작은 5회씩 1세트 반복되었다.

실험진행은 피실험자가 WBB 위에 올라간 후 안정된 자세를 취하고 난 후 측정하였으며, 각 스쿼트 동작이 끝난 후 피실험자가 안정된 자세를 취하였을 때 실험을 종료하였다. 실험 간 모든 동작과 조건은 실험자가 통제하였으며 피실험자와 구두로 의사소통을 진행하며 실시하였다. 마지막으로 실험 전 후 및 실험 간 자세 변형 시 충분한 휴식을 쉴 수 있도록

록 권장하였으며, 실험 중 생길 수 있는 요구사항을 조건 내에서 전부 다 수용하여 편안한 분위기 속에서 실험하도록 노력하였다.

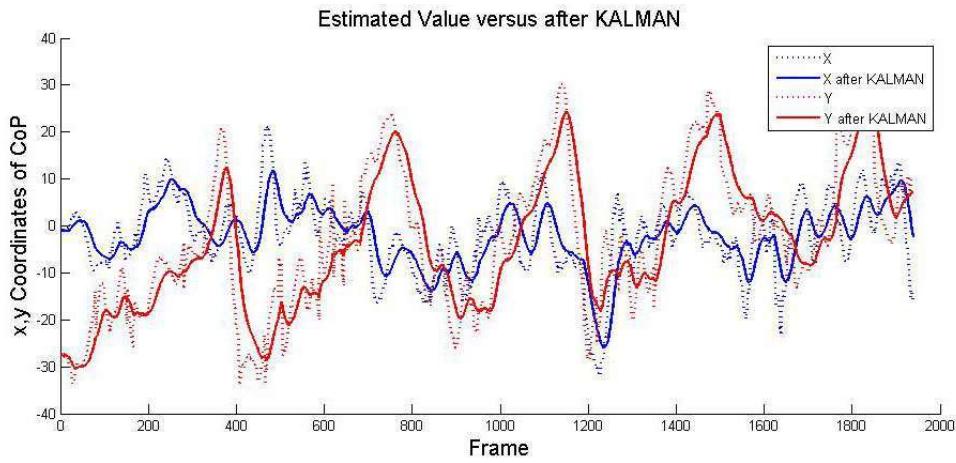
3.4.3. 데이터 처리

본 시스템을 통하여 수집된 Raw데이터에서 자세와 균형 분석에 필요 한 데이터 획득은 Microsoft Excel 2016을 사용하였다.

Kinect에서 획득한 데이터는 Kinect에서 인식하는 각 관절인 SpineBase, SpineMid, Neck, Head, ShoulderLeft, ElbowLeft, WristLeft, HandLeft, ShoulderRight, ElbowRight, WristRight, HandRight, HipLeft, KneeLeft, AnkleLeft, FootLeft, HipRight, KneeRight, AnkleRight, FootRight, SpineShoulder, HandTipLeft, ThumbLeft, HandTipRight, ThumbRight의 x, y, z 좌표로 구성되어있다. Kinect에서 추출된 데이터의 일부분은 점과 점사이의 거리 공식 연산과 제2코사인법칙 연산에 사용되 기 위하여 Excel 2016에서 간단한 계산식을 사용하여 매 프레임마다의 어 깨 너비와 발목 너비의 차이와 무릎각도를 획득하였다.

WBB에서 획득한 데이터는 초당 30프레임의 속도로 수집되었고, CoP 의 x,y좌표로 구성되어있으며, 데이터는 CSV파일로 추출하였다. WBB에서 추출된 데이터는 이미 코드 내에서 연산이 이루어졌기 때문에 데이터 재 가공 없이 곧바로 사용하였다.

그러나 스쿼트 수행 동작 시 측정한 CoP의 데이터는 많은 노이즈로 인해 일반적인 분석이 어려워 칼만 필터(Kalman Filter)를 이용하여 데이터의 노이즈를 제거한 후 사용하였다. 칼만 필터의 적용은 아래에 있는 <그림 20>과 같이 확인할 수 있다.



$$Q=1e-5, R=0.005$$

<그림 20> 칼만 필터를 적용한 전문가의 CoP 좌표의 변화

<그림 20>는 전문가의 스쿼트 수행 자세 중 올바르지 않은 자세에서 무릎이 튀어나온 자세의 CoP 좌표 변화이며, 파란색은 CoP의 x 좌표, 빨간색은 CoP의 y 좌표, 점선은 칼만 필터 적용 전, 실선은 적용 후이다.

Kinect와 WBB에서 획득한 데이터는 전문가와 일반인의 스쿼트 자세 분류를 위하여 서포트 벡터 머신(Support Vector Machine, SVM)을 사용하였다. SVM의 구동은 SVM 오픈 소스 라이브러리인 LibSVM 3.22 (National Taiwan University, Taipei, Taiwan)를 사용하였다.

```
C:\Users\SEUNGJUN\Desktop\libsvm-3.22\windows>svm-train.exe CoP_D0_knee_SVMtrain
WARNING: using -h 0 may be faster
*.*.
WARNING: using -h 0 may be faster
*
optimization finished, #iter = 12457
nu = 0.145669
obj = -1341.304994, rho = -0.829875
nSV = 4484, nBSV = 1305
Total nSV = 4484

C:\Users\SEUNGJUN\Desktop\libsvm-3.22\windows>svm-predict.exe CoP_D0_knee_SVMtest
CoP_D0_knee_SVMtrain.model CoP_D0_knee_SVM.out
Accuracy = 94.5288% (2678/2833) (classification)
```

<그림 21> 실제 LibSVM 구동 화면

LibSVM 구동 시 전체 데이터의 80%는 Training Data로 사용하고 나머지 20%의 데이터는 Test Data로 사용하여 나온 결과를 확인하였다.

4. 실험결과

Kinect와 WBB를 이용한 올바른 스쿼트 자세 가이드라인 제시를 위한 연구를 위하여 전문가 1명과 일반인 10명, 총 11명을 대상으로 스쿼트 동작 준비 자세와 동작 수행 자세를 시행하여 어깨 너비와 발목 너비의 차이, 무릎각도, CoP x,y 좌표를 습득한 후 분석하였다.

4.1. 동작 준비 자세에서의 결과

스쿼트 동작 준비 자세에서 Kinect와 WBB를 이용하여 수집한 데이터는 전문가 1명과 일반인 10명의 데이터를 분류하기 위하여 SVM을 진행하였다. SVM을 진행한 데이터의 수는 <표 5> 와 같다.

<표 5> SVM 진행시 사용된 동작 준비 자세의 데이터 수

		(단위: 개)			
		Kinect Data		WBB Data	
		Training	Test	Training	Test
동작 준비 자세	올바른 자세	정상 자세	2420	603	8527
	올바르지 않은 자세	모은 자세	2405	600	8010
		별린 자세	2400	600	7708
		비대칭 자세	2425	606	7758
					1940

LibSVM 구동 후 나오는 결과의 의미는 <표 6>와 같다.

<표 6> SVM 용어의 의미

용 어	의 미
nu	The corresponding parameter.
obj	The optimal objective value of the dual SVM problem.
rho	The bias term in the decision function $\text{sgn}(w^T x - \rho)$.
nSV	Number of support vectors.
nBSV	Bounded support vectors (i.e., $\alpha_i = C$).

(Chih-Chung C. & Chih-Jen L., 2015)

4.1.1. 올바른 자세에서의 결과

올바른 자세에서 정상 자세의 어깨 너비와 발목 너비의 차이 데이터의 SVM을 통한 분류의 결과는 <표 7>와 같다.

<표 7> 준비 자세의 정상 자세 Kinect 데이터의 LibSVM 결과

#iter	3763
nu	0.159300
obj	-308.044365
rho	0.920427
nSV	1680
nBSV	254
Total nSV	1680
Accuracy	92.869% (560/603) (classification)

전문가와 일반인의 데이터 총 3023개 중 2420개를 Training하고 603 개를 Test시킨 결과 92.869%의 확률로 분류가 됨을 확인할 수 있다.

이는 본 연구에서 진행한 스쿼트 자세 인식 시스템은 스쿼트 동작 준비 자세에서 Kinect로 정상 자세를 92.869%의 확률로 분류할 수 있음을 의미한다.

올바른 자세에서 정상 자세의 CoP x,y 좌표의 SVM을 통한 분류의 결과는 <표 8>와 같다.

<표 8> 준비 자세의 정상 자세 WBB 데이터의 LibSVM 결과

#iter	3038
nu	0.010782
obj	-57.181892
rho	-0.870509
nSV	933
nBSV	37
Total nSV	933
Accuracy	99.8593% (2129/2132) (classification)

전문가와 일반인의 데이터 총 10659개 중 8527개를 Training하고 2132개를 Test시킨 결과 99.859%의 확률로 분류가 됨을 확인할 수 있다.

이는 본 연구에서 진행한 스쿼트 자세 인식 시스템은 스쿼트 동작 준비 자세에서 WBB로 정상 자세를 99.859%의 확률로 분류할 수 있음을 의미한다.

4.1.2. 올바르지 않은 자세에서의 결과

올바르지 않은 자세에서 모은 자세의 어깨 너비와 발목 너비의 차이 데이터의 SVM을 통한 분류의 결과는 <표 9>와 같다.

<표 9> 준비 자세의 모은 자세 Kinect 데이터의 LibSVM 결과

#iter	3614
nu	0.162320
obj	-315.445693
rho	-0.925844
nSV	1667
nBSV	283
Total nSV	1667
Accuracy	98.3333% (590/600) (classification)

전문가와 일반인의 데이터 총 3005개 중 2405개를 Training하고 600 개를 Test시킨 결과 98.333%의 확률로 분류가 됨을 확인할 수 있다.

이는 본 연구에서 진행한 스쿼트 자세 인식 시스템은 스쿼트 동작 준비 자세에서 Kinect로 양 다리가 모아진 올바르지 않은 자세를 92.869%의 확률로 분류할 수 있음을 의미한다.

올바르지 않은 자세에서 모은 자세의 CoP x,y 좌표의 SVM을 통한 분류의 결과는 <표 10>와 같다.

<표 10> 준비 자세의 모은 자세 WBB 데이터의 LibSVM 결과

#iter	3296
nu	0.024030
obj	-138.638709
rho	-0.900237
nSV	1264
nBSV	138
Total nSV	1264
Accuracy	99.9503% (2012/2013) (classification)

전문가와 일반인의 데이터 총 10023개 중 8010개를 Training하고 2013개를 Test시킨 결과 99.950%의 확률로 분류가 됨을 확인할 수 있다.

이는 본 연구에서 진행한 스쿼트 자세 인식 시스템은 스쿼트 동작 준비 자세에서 WBB로 양 다리가 모아진 올바르지 않은 자세를 99.859%의 확률로 분류할 수 있음을 의미한다.

올바르지 않은 자세에서 벌린 자세의 어깨 너비와 발목 너비의 차이 데이터의 SVM을 통한 분류의 결과는 <표 11>와 같다.

<표 11> 준비 자세의 벌린 자세 Kinect 데이터의 LibSVM 결과

#iter	3461
nu	0.155039
obj	-305.634755
rho	0.931510
nSV	1680
nBSV	251
Total nSV	1680
Accuracy	92.6667% (556/600) (classification)

전문가와 일반인의 데이터 총 3000개 중 2400개를 Training하고 600 개를 Test시킨 결과 92.666%의 확률로 분류가 됨을 확인할 수 있다.

이는 본 연구에서 진행한 스쿼트 자세 인식 시스템은 스쿼트 동작 준비 자세에서 Kinect로 양 다리가 벌려진 올바르지 않은 자세를 92.869%의 확률로 분류할 수 있음을 의미한다.

올바르지 않은 자세에서 벌린 자세의 CoP x,y 좌표의 SVM을 통한 분류의 결과는 <표 12>와 같다.

<표 12> 준비 자세의 벌린 자세 WBB 데이터의 LibSVM 결과

#iter	3720
nu	0.010915
obj	-42.245884
rho	-0.788623
nSV	1035
nBSV	6
Total nSV	1035
Accuracy	100% (1296/1296) (classification)

전문가와 일반인의 데이터 총 9634개 중 7708개를 Training하고 1926개를 Test시킨 결과 100%의 확률로 분류가 됨을 확인할 수 있다.

이는 본 연구에서 진행한 스쿼트 자세 인식 시스템은 스쿼트 동작 준비 자세에서 WBB로 양 다리가 벌려진 올바르지 않은 자세를 100%의 확률로 분류할 수 있음을 의미한다.

올바르지 않은 자세에서 비대칭 자세의 어깨 너비와 발목 너비의 차이 데이터의 SVM을 통한 분류의 결과는 <표 13>와 같다. 본 데이터의 LibSVM 구동 과정 시 많은 optimization로 인하여 #iter, nu, obj, rho, nSV, nBSV, Total nSV 값을 일원화 하지 못하여 <표 13>의 경우에 상기 값들을 생략하였다.

<표 13> 준비 자세의 비대칭 자세 Kinect 데이터의 LibSVM 결과

Accuracy	90.9241(551/606) (classification)
----------	-----------------------------------

전문가와 일반인의 데이터 총 3031개 중 2425개를 Training하고 606 개를 Test시킨 결과 90.924%의 확률로 분류가 됨을 확인할 수 있다.

이는 본 연구에서 진행한 스쿼트 자세 인식 시스템은 스쿼트 동작 준비 자세에서 Kinect로 양 다리가 비대칭한 올바르지 않은 자세를 90.924% 의 확률로 분류할 수 있음을 의미한다.

올바르지 않은 자세에서 비대칭 자세의 CoP x,y 좌표의 SVM을 통한 분류의 결과는 <표 14>와 같다.

<표 14> 준비 자세의 비대칭 자세 WBB 데이터의 LibSVM 결과

#iter	4738
nu	0.015523
obj	-60.556922
rho	-0.818395
nSV	1358
nBSV	21
Total nSV	1358
Accuracy	100% (1940/1940) (classification)

전문가와 일반인의 데이터 총 9698개 중 7758개를 Training하고 1940 개를 Test시킨 결과 100%의 확률로 분류가 됨을 확인할 수 있다.

이는 본 연구에서 진행한 스쿼트 자세 인식 시스템은 스쿼트 동작 준비 자세에서 WBB로 양 다리가 비대칭한 올바르지 않은 자세를 100%의 확률로 분류할 수 있음을 의미한다.

4.2. 동작 수행 자세에서의 결과

스쿼트 동작 수행 자세에서 Kinect와 WBB를 이용하여 수집한 데이터는 전문가 1명과 일반인 10명의 데이터를 분류하기 위하여 SVM을 진행하였다. SVM을 진행한 데이터의 수는 <표 15>와 같다.

<표 15> SVM 진행시 사용된 동작 수행 자세의 데이터 수

	동작 수행 자세	Kinect Data		WBB Data		(단위: 개)
		Training	Test	Training	Test	
동작	올바른 자세	정상 자세	1300	325	13843	3461
수행	올바르지 않은 자세	무릎이 튀어나온 자세	1209	302	11334	2833

4.2.1. 올바른 자세에서의 결과

올바른 자세에서 정상 자세의 무릎 각도 데이터의 SVM을 통한 분류의 결과는 <표 16>와 같다.

<표 16> 수행 자세의 정상 자세 Kinect 데이터의 LibSVM 결과

#iter	1981
nu	0.225911
obj	-172.908713
rho	0.781316
nSV	954
nBSV	85
Total nSV	954
Accuracy	92.6154% (301/325) (classification)

전문가와 일반인의 데이터 총 1625개 중 1300개를 Training하고 325개를 Test시킨 결과 92.615%의 확률로 분류가 됨을 확인할 수 있다.

이는 본 연구에서 진행한 스쿼트 자세 인식 시스템은 스쿼트 동작 수행 자세에서 Kinect로 정상 자세를 92.615%의 확률로 분류할 수 있음을 의미한다.

올바른 자세에서 정상 자세의 CoP x,y 좌표의 SVM을 통한 분류의 결과는 <표 17>와 같다.

<표 17> 수행 자세의 정상 자세 WBB 데이터의 LibSVM 결과

#iter	19375
nu	0.111868
obj	-1145.42057
rho	-0.655098
nSV	4975
nBSV	1006
Total nSV	4975
Accuracy	96.5328% (3341/3461) (classification)

전문가와 일반인의 데이터 총 17304개 중 13843개를 Training하고 3461개를 Test시킨 결과 96.532%의 확률로 분류가 됨을 확인할 수 있다.

이는 본 연구에서 진행한 스쿼트 자세 인식 시스템은 스쿼트 동작 수행 자세에서 WBB로 정상 자세를 96.532%의 확률로 분류할 수 있음을 의미한다.

4.2.2. 올바르지 않은 자세에서의 결과

올바르지 않은 자세에서 무릎이 튀어나온 자세의 각도 데이터의 SVM 을 통한 분류의 결과는 <표 18>와 같다.

<표 18> 수행 자세의 무릎이 튀어나온 자세 Kinect 데이터의 LibSVM 결과

#iter	1677
nu	0.212709
obj	-149.591605
rho	-0.806630
nSV	872
nBSV	96
Total nSV	872
Accuracy	89.0728% (269/302) (classification)

전문가와 일반인의 데이터 총 1511개 중 1209개를 Training하고 302 개를 Test시킨 결과 89.072%의 확률로 분류가 됨을 확인할 수 있다.

이는 본 연구에서 진행한 스쿼트 자세 인식 시스템은 스쿼트 동작 수행 자세에서 Kinect로 무릎이 튀어나온 올바르지 않은 자세를 89.072%의 확률로 분류할 수 있음을 의미한다.

올바르지 않은 자세에서 무릎이 튀어나온 자세의 CoP x,y 좌표의 SVM을 통한 분류의 결과는 <표 19>와 같다.

<표 19> 수행 자세의 무릎이 튀어나온 자세 WBB 데이터의 LibSVM 결과

#iter	12457
nu	0.145669
obj	-1341.304994
rho	-0.829875
nSV	4484
nBSV	1305
Total nSV	4484
Accuracy	94.5288% (2678/2833) (classification)

전문가와 일반인의 데이터 총 14167개 중 11334개를 Training하고 2833개를 Test시킨 결과 94.528%의 확률로 분류가 됨을 확인할 수 있다.

이는 본 연구에서 진행한 스쿼트 자세 인식 시스템은 스쿼트 동작 수행 자세에서 WBB로 무릎이 튀어나온 올바르지 않은 자세를 94.528%의 확률로 분류할 수 있음을 의미한다.

5. 결론 및 논의

5.1. 결론

본 연구에서는 Kinect와 WBB를 이용한 올바른 스쿼트 자세 가이드라인 제시를 위해서 스쿼트 자세 인식 시스템을 개발하고, 개발한 시스템을 통하여 전문가와 일반인의 자세 데이터와 균형 데이터를 수집한 후 SVM으로 분류하여 올바른 스쿼트 자세를 제시해주었다.

본 연구를 위해 구축한 시스템을 이용하여 스쿼트 동작 준비 자세부터 수행 자세를 측정하였으며, 전문가와 일반인의 비교를 위해 전문가 1명과 일반인 20 ~ 30대 남, 여 성인 10명, 총 11명이 참여하였다. 피실험자들은 Kinect를 통하여 매 프레임마다 어깨 너비와 발목 너비의 차이, 무릎각도를 측정하였으며, WBB를 통하여 CoP x,y 좌표를 획득하였다.

획득한 각 데이터들은 SVM 오픈 소스 라이브러리중 하나인 LibSVM을 통하여 분류되었다. 각 동작별 Kinect와 WBB의 데이터 분류 확률은 <표 20>와 같다.

<표 20> SVM 결과

				(단위: 퍼센트, %)
		Kinect	WBB	
동작 준비 자세	올바른 자세	정상 자세	92.869	99.8593
	올바르지 않은 자세	모은 자세	98.3333	99.9503
	올바른 자세	별린 자세	92.6667	100
	올바르지 않은 자세	비대칭 자세	90.9241	100
동작 수행 자세	올바른 자세	정상 자세	92.6154	96.5328
	올바르지 않은 자세	무릎이 튀어나온 자세	89.0728	94.5288

스쿼트 동작 준비 자세에서 올바른 자세의 정상자세의 분류 확률은 Kinect는 92.869%, WBB는 99.8593%로 측정되었다. 올바르지 않은 자세 중 양 다리를 모은 자세는 Kinect는 98.3333%, WBB는 99.9503%로 측정되었다. 양 다리를 벌린 자세는 Kinect는 92.6667%, WBB는 100%로 측정되었다. 양 다리가 비대칭인 자세는 Kinect는 90.9241%, WBB는 100%로 측정되었다.

스쿼트 동작 수행 자세에서 올바른 자세의 정상자세의 분류 확률은 Kinect는 92.6154%, WBB는 96.5328%로 측정되었다. 올바르지 않은 자세에서 무릎이 뛰어나온 자세는 Kinect는 89.0728%, WBB는 94.5288%로 측정되었다.

따라서, 본 결과를 통해 Kinect와 Wii Balance Board를 이용한 올바른 스쿼트 자세 가이드라인 제시에 관한 연구는 SVM을 통하여 약 89%이상의 확률로 자세를 분류해 내었다. 이를 통하여 본 시스템은 기존 동작인식 시스템과 비교하였을 때 정확도는 큰 차이가 나지 않으면서, 사용자에게 있어 보다 더 실용성이 있고 사용성이 뛰어나다고 할 수 있다. 뿐만 아니라 누구나 쉽게 사용할 수 있고 기존 동작 인식 시스템에 비해 보다 더 편리하게 스쿼트 동작을 분석할 수 있는 시스템임을 확인 할 수 있었다. 그리고 이런 결과를 통하여 본 시스템은 운동 수행자에게 있어 올바른 스쿼트에 대한 가이드라인 제시가 가능하다고도 할 수 있다.