

## 운동 추적 모델 기반 움직임 측정을 위한 요소 도출

길 영 익<sup>1</sup> · 정 다니엘<sup>2</sup> · 고 일 주<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>송실대학교 대학원 미디어학과 석박통합과정

<sup>2</sup>송실대학교 대학원 정보통신소재 융합학과 박사

<sup>3\*</sup>송실대학교 글로벌미디어학부 교수

# Derivation of Elements for Movement Measurement Based on Exercise Tracking Model

Young-Ik Gil<sup>1</sup> · Daniel Chung<sup>2</sup> · Il-Ju Ko<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>MD/PhD Programs, Department of Digital Media, Soongsil University, Seoul, Korea

<sup>2</sup>PhD Department of ICMC Convergence Technology, Soongsil University, Seoul, Korea

<sup>3\*</sup>Professor, Global School of Media, Soongsil University, Seoul, Korea

### [요 약]

본 논문은 운동 추적 모델을 이용한 신체 움직임 측정 방법을 개발하기 위해 움직임 측정 요소를 도출한다. 운동 추적 모델은 모션 캡처 시스템을 통해 스켈레톤 형태로 신체를 인식하고, 운동 내용을 추적·기록·분석하는 프레임워크이다. 이를 이용한 움직임 측정은 운동 수행 중 측정이 가능하며, 이로 인해 주기적인 신체 파악과 맞춤형 운동 구성이 가능하다. 측정을 위한 요소는 스포츠 움직임 및 상해 분석을 통해 7가지로 도출하였으며, 이는 기존 움직임 측정 방법에서 측정하기 어려운 요소가 포함된다. 그리고 실험을 위해 해당 움직임을 요구하는 5가지 운동 동작을 운동 추적 모델의 STF로 정의하였으며, 그 결과 모션 캡처 시스템에서 움직임 측정의 가능성을 확인하였다. 제안된 움직임 측정 방법은 생활 체육 및 스포츠 현장에서 개인별 신체 상태를 주기적으로 파악하고, 맞춤형 운동 프로그램을 제공할 수 있는 방법이 될 것으로 기대한다.

### [Abstract]

This study aims to derive measurement elements of movement to develop a measurement method of body movement using the exercise tracking model. The exercise tracking model is a framework that recognizes the body in the form of a skeleton through a motion capture system and tracks, records, analyzes the exercise content. The movement measurement method can measure the body during exercise, and it is possible to configure a customized exercise by identifying periodic body conditions. Seven motion measurement elements were derived by analyzing sports movements and injuries, including elements that were difficult to measure with conventional motion measurement methods. For the experiment, the STF definition of the motion tracking model for 5 types of motion was performed. As a result, the possibility of measuring joint mobility and stability was confirmed. The proposed measurement method is identify individual body states in sports field and provide a customized exercise program.

**색인어** : 운동 추적 모델, 움직임 요소, 움직임 측정, 스포츠 상해 분석, STF 모델

**Keyword** : Exercise Tracking Model, Movement Elements, Movement Measurement, Sports Injury Analysis, STF Model

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2021.22.10.1673>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**Received** 23 August 2021; **Revised** 27 September 2021

**Accepted** 27 September 2021

**\*Corresponding Author; Il-Ju Ko**

**Tel:** +82-2-820-0719

**E-mail:** andy@ssu.ac.kr

## I. 서론

움직임 측정은 개인의 움직임과 관련된 신체 능력을 파악하고, 이에 적합한 운동 프로그램을 구성하기 위해 실시하는 활동이다[1]. 이에 운동과 관련된 여러 분야에서는 운동을 제공하기 전에 측정을 반드시 수행하고 있다. 기능성 움직임 평가는 재활 및 의료 분야에서 활발하게 사용하고 있는 대표적인 움직임 측정 방법이다[2, 3]. 이는 관절의 가동성과 안정성을 측정하여 복합 관절들의 움직임 패턴을 평가하며, 신체의 비대칭 및 움직임 제한 등과 같은 문제를 파악한다[4]. 그 결과를 통해 교정을 위한 운동 전략까지 제시하면서 개인의 움직임 능력에 맞는 운동 프로그램을 구성할 수 있도록 한다[5]. 그러나 기능성 움직임 평가는 다음과 같이 3가지 한계를 가진다. 첫째는 일상생활의 움직임과 부상을 분석하여 만들어진 측정 방법이기 때문에 모든 움직임 요소를 측정하기에 어려움이 있다. 둘째, 7가지 측정 자세 중 일부 측정 자세에 대해서는 정량적 측정이 가능하나, 전문가의 육안으로 진행되는 정성적인 측정도 포함되어 있어 전문가의 지식이나 경험과 같은 역량에 의해 편향된 결과가 나타날 수 있다. 셋째, 최소한 달 이상의 기간을 두고 정기적인 측정을 진행하기 때문에 운동 수행자의 부상이나 컨디션의 변화 등에 따른 유연한 운동 프로그램의 수정과 운동 효과에 대한 주기적인 모니터링에 어려움이 있다.

최근 영상처리 기반 신체 인식 기술은 자세뿐만 아니라 복잡한 움직임까지 인식할 수 있는 수준으로 발전하였다[6, 7]. 특히 운동 추적 모델은 복잡한 운동 동작과 운동 프로그램을 인식할 수 있어 움직임 수행 중 관절의 가동성과 안정성 능력을 정량적으로 측정할 수 있는 가능성을 가진다. 이에 운동 추적 모델은 기존의 움직임 측정 방법에서의 정성적 측정 문제와 그로 인해 함께 나타날 수 있는 전문가의 편향된 측정 결과 문제를 해결할 수 있다. 그러나 기존 움직임 측정에서 살펴보는 움직임 요소 이외에 추가적인 움직임을 확인하기 위해서는 측정 요소 선정과 관련된 연구가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 운동 추적 모델 기반의 움직임 측정 방법을 만들고자 측정에 필요한 요소를 도출하는 것에 목적이 있다. 요소 도출은 기능성 움직임 평가 개발 방법을 착안하여 다양한 움직임이 나타나는 여러 스포츠 종목의 상해 움직임을 분석하고 상해를 유발할 수 있는 중복된 움직임을 이용하여 측정이 필요한 요소를 도출한다. 도출된 요소는 추후 운동 추적 모델을 이용한 움직임 측정 방법 개발에 적용할 것이며, 이는 다양한 움직임에 대해 정량적인 측정과 신체 문제를 파악할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구를 살펴보고, 3장에서는 움직임 측정 요소 도출 방법과 스포츠 움직임 및 상해를 분석한다. 4장에서는 분석 결과를 기반으로 움직임 측정 요소를 도출하고 운동 추적 모델을 이용한 측정 방법을 제시한다. 5장에서는 도출된 움직임 요소를 적용한 움직임 측정 실험을 통해 측정 방법의 가능성을 서술하며 마지막으로 6장에서는 결론 및 향후 연구를 다룬다.

## II. 관련 연구

### 2-1 운동 추적 모델

운동 추적 모델[8]은 모션 캡처 시스템을 통해 스켈레톤 형태로 추출된 자세를 이용하여 운동 동작과 같이 체계화된 움직임을 추적하고 분석하는 프레임워크이다. 이 모델은 움직임을 추적할 수 있기 때문에 비대면 형식의 운동 지도와 체감형 게임 등에서 활용할 수 있으며, 신체 움직임 인식을 위해 정의된 뼈와 관절은 [그림 1]과 같다.

운동 추적 모델은 움직임을 알아내기 위해 자세 추출, 자세 비교, 움직임 인식, 움직임 추적과 같이 4가지 단계를 거친다. 움직임을 추적하기 위해 사전에 움직임을 세분화하여 단계별 자세로 정의하고, 이 정보를 기반으로 움직임 추적을 진행한다. 자세 추출 단계는 모션 캡처 장비를 이용하여 유저의 실시간 자세를 스켈레톤 형태로 표현하는 단계이다. 추출된 실시간 자세는 사전에 정의된 기준 자세와 관절의 위치, 거리 등을 비교함으로써 어떤 움직임을 수행하고 있는지 알아내기 위한 움직임 인식 단계로 넘어간다. 움직임 인식 이후에는 올바른 자세와 순서로 진행하고 있는지 알 수 있는 움직임 추적의 단계가 진행된다. 자세 인식과 비교 단계에서 몸의 무게중심과 가까운 골반 중심부를 원점으로 정의하여 해당 지점을 기준으로 관절들의 거리와 위치 정보를 가지고 기준 자세와 비교하며, 이와 더불어 정확한 몸의 위치를 표현할 수 있는 몸통의 앞부분이 향하는 방향까지 자세 비교에 사용하므로 운동과 같이 전체 신체 움직임의 방향성이 중요한 분야에서는 기존 자세 및 움직임 추적 방법보다 운동 추적 모델을 이용한 방법이 움직임 추적에 유리하다.

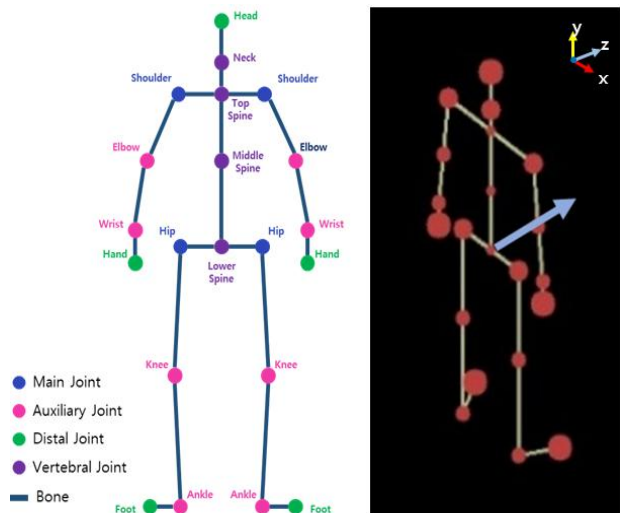


그림 1. 운동 추적 모델 스켈레톤  
Fig. 1. Skeleton of Exercise Tracking Model

## 2-2 움직임 인식과 추적을 위한 STF 모델

운동 추적 모델은 움직임 인식 및 추적을 위해 사전에 움직임을 구성하는 여러 자세들을 정의한다. 정의된 자세들은 움직임을 추적하기 위해 사용되며, 이때 움직임을 정의하는 방법으로 운동 추적 모델에서는 STF(Start-Transition-Finish) 모델을 이용한다. STF 모델은 Carl Paoli의 Free+ style에서 일반인들에게 운동을 지도하기 위해 제안된 방법으로 몸의 형태를 정의하여 신체를 표현하면서 움직임을 분석할 수 있는 모델이다[9]. STF 모델에서는 움직임에 대해 시작-전환-종료 자세로 나누어 정의하며, 이에 대한 예시로 Lunge 동작의 움직임 분석 정의의 결과는 [그림 2]와 같다.

Lunge 동작의 STF 정의를 살펴보면 운동 동작에 따라 움직임의 단계 중 전환 자세가 없거나 2개 이상이 될 수 있으며, 단계별로 정의된 기준 자세를 통하여 어떤 움직임을 수행하는지에 대한 운동 동작 인식과 단계별 올바른 움직임을 수행하는지에 대한 추적을 진행한다[10].

이처럼 운동 추적 모델은 운동 동작과 같은 움직임을 인식하고 추적하기에 유리하며, 특히 STF 모델을 통해 단계별로 정의된 자세는 움직임에 대한 인식뿐만 아니라 각 단계에서 추출되는 스켈레톤의 각도, 길이 등과 같은 정보를 통해 움직임을 설명하고 해석할 수 있는 가능성을 가진다. 이에 따라 운동 추적 모델을 이용하여 신체 움직임 측정 방법을 개발하고자 본 논문에서는 움직임 측정을 위한 요소를 도출하고, 운동 추적 모델을 이용하여 도출된 요소를 측정할 수 있는지에 대한 가능성을 확인한다.

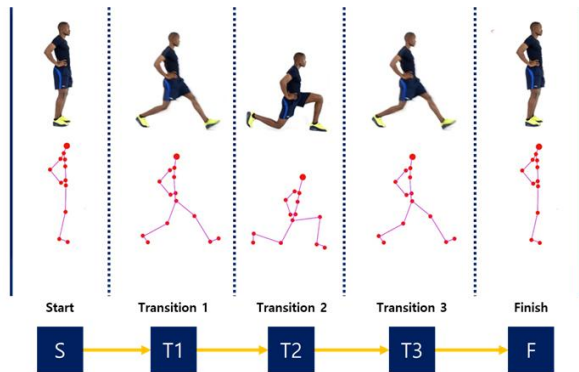


그림 2. 운동 추적 모델의 STF 정의  
Fig. 2. STF Definition of Exercise Tracking Model

## 2-3 움직임 측정 방법

움직임 측정은 의료, 재활, 스포츠 분야에서 환자 및 선수들의 움직임 능력을 평가하고, 부상 및 움직임 수행 능력을 확인하여 그에 적합한 운동 프로그램을 제공하기 위해 실시한다. 일반적으로 발생하는 부상에 대한 움직임 측정을 위해 가장 보편적으로 사용하는 방법은 기능성 움직임 평가(FMS; Functional Movement Screen)가 있다[11].

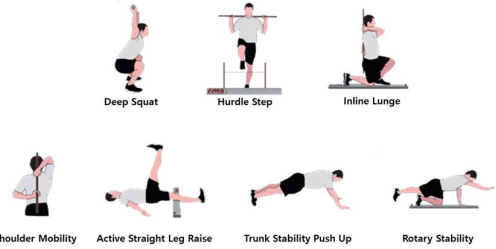


그림 3. 기능성 움직임 평가 자세  
Fig. 3. Functional Movement Screen Posture

FMS는 [그림 3]에서와 같이 일상생활에서 가장 많이 발생하는 대표적인 7가지 자세를 이용하여 움직임이 발생하는 관절들의 가동성과 안정성을 측정하며, 이는 관절의 제한사항, 불균형, 비대칭, 보상작용 등을 평가한다[12].

Deep Squat, Inline Lunge, Hurdle Step은 쪼그려 앉기, 걷기, 달리기, 계단 오르기 등과 같은 일상생활에서 발생하는 움직임을 대표하며 2개 이상의 관절에서 동시에 발생하는 움직임 능력을 측정한다. Shoulder Mobility, Active Straight Leg Raise는 어깨 관절과 고관절의 가동성을 측정할 수 있는 자세로 하나의 관절의 움직임 능력을 자세하게 확인할 수 있다. Trunk Stability Push Up, Rotary Stability는 움직임 중 몸통의 안정성을 확인하는 자세로 팔과 다리가 움직임을 수행하는 동안에 몸통이 얼마나 안정화를 이루고 있는지 측정할 수 있다[13]. FMS에서는 이처럼 FMS는 일상생활에서 발생할 수 있는 자세와 부상을 분석하여 만들어진 측정 방법으로 7가지 측정 자세로 간편하게 움직임을 측정하고 평가할 수 있는 도구로 현장에서 활발하게 사용된다. 그러나 FMS의 측정 요소는 시상면(Sagittal Plane)의 움직임인 굴곡과 신전 움직임이 대부분이며[14], 이에 따라 인체해부학에서 정의된 관절에서 발생할 수 있는 굴곡, 신전 외 다양한 움직임에 대한 측정과 평가에는 한계가 있다. 본 논문은 움직임 측정을 위한 요소를 도출하는 것에 목적이 있다. FMS가 일상생활 자세와 부상 분석을 통해 측정 요소를 도출한 프로세스를 참고하여 다양한 관절의 움직임 측정을 위해 복잡한 움직임이 발생하는 스포츠 상황을 대상으로 움직임과 부상을 분석하여 측정 요소를 도출하고자 한다.

## III. 움직임 측정을 위한 요소 도출 방법

### 3-1 움직임 측정 요소 도출 방법

움직임 측정을 위한 요소는 앞서 살펴본 FMS에서와 같이 가동성과 안정성으로 구성된다. 가동성은 움직임 수행 중 개별 관절에서 발생하는 움직임의 가동 범위를 측정함으로써 알 수 있으며, 안정성은 사전에 정의된 자세에서 요구하는 움직임 왜 다른 움직임이 발생하는 지를 측정하여 알 수 있다. 이

에 운동 추적 모델은 스켈레톤과 STF 모델을 이용하여 움직임 측정을 하기에 적합하다.

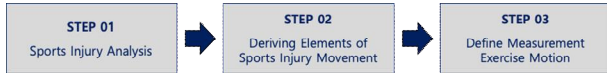


그림 4. 움직임 측정 요소 도출 프로세스  
Fig. 4. Process for Deriving Movement Elements

스켈레톤에서 추출되는 관절의 각도를 측정하여 가동성을 확인할 수 있으며, STF 모델을 이용하여 사전에 운동 자세를 정의하여 실제 사용자가 취한 자세와 관절의 위치를 비교하여 안정성을 측정할 수 있다. 이러한 움직임 측정을 위해서는 측정 요소를 도출하는 것이 중요하다. 관절별 잘못된 움직임을 알아야 측정 시 부상이나 건강에 위험한 움직임을 파악할 수 있다. 관련연구에서 FMS는 일상생활의 움직임과 부상을 대상으로 측정 요소를 도출했기에 다양한 움직임에 대한 측정에는 한계가 있다고 하였다. 이에 다양한 움직임과 부상이 나타나는 스포츠 상황을 대상으로 [그림 4]와 같은 프로세스를 통해 움직임 측정 요소를 도출한다.

스포츠 반복 움직임 분석 단계는 스포츠 상황에서 반복적으로 발생하는 움직임을 살펴봄으로써 해당 움직임과 관련된 관절과 움직임을 선정한다. 스포츠 상해 분석 단계에서는 반복 움직임을 통해 선정된 관절과 움직임에서 발생하는 스포츠 상해를 알아보고 분석을 통해 상해가 발생하는 움직임을 정의한다. 마지막 움직임 측정 요소 도출 단계에서는 각 스포츠 종목별 정의한 상해 움직임에서 공통으로 중복되는 움직임 요소를 도출하여 움직임 측정 요소로 선정한다.

3-2 스포츠 종목별 움직임 분석

스포츠 상황에서는 경기 진행을 위해 반복적으로 수행되는 움직임이 발생한다. 경기 진행을 위해 훈련 및 연습은 반복적 움직임의 능력을 향상시키기 위해 실시되며 과도하게 반복된 움직임은 근육의 불균형과 비대칭을 유발하고, 결론적으로 스포츠 상해를 발생시키는 원인이 된다. 따라서 스포츠 종목별 반복되는 움직임을 분석하면 부상과 관련된 관절의 움직임 요소를 도출할 수 있으며, 이를 측정 요소로 정의함으로써 운동 추적 모델을 활용한 측정은 건강한 스포츠 활동을 위한 개인별 움직임 측정과 운동을 제공할 수 있는 방법이 된다. 본 논문에서는 스포츠 움직임 및 상해 분석을 위해 골프, 테니스, 축구, 사이클 종목을 대상으로 선정하였다.

골프와 테니스 종목은 스포츠 종목 중 주로 상체를 이용하는 종목으로써 경기 도구가 되는 골프채, 라켓을 이용하여 스윙 및 스트로크 움직임이 발생한다. 골프채와 라켓과 같은 도구를 이용한 회전의 움직임이 주로 발생하기 때문에 어깨, 팔꿈치, 목통의 움직임이 주를 이루며, 고관절, 무릎, 발목의 움직임은 부수적인 움직임으로 나타난다[15, 16]. 축구와 사이클은 하체를 이용한 종목으로 킥, 달리기, 페달링의 움직임으

로 인해 고관절, 무릎, 발목과 같이 하체의 움직임이 주로 나타난다[17-19]. 이처럼 선정된 4가지 스포츠 종목은 스포츠 종목에서 각각 상체와 하체 움직임을 대표하는 종목이며, 이에 해당 종목에서 발생하는 스포츠 상해는 대부분의 스포츠 종목에서 나타날 수 있는 상해를 대표한다.

3-3 스포츠 종목별 상해 분석

표 1. 스포츠 상해 분석

Table 1. Sports Injury Analysis

Event	Repetitive Movement	Joint	Injury	Movement
Golf	Swing	Shoulder	Rotator cuff Damage	Internal /External Rotation
			Shoulder Impingement Syndrome	
		Elbow	Elbow Epicondylitis	Extension
		Trunk	Herniated Disc	Rotation, Extension
		Ankle	Sprain	Inversion
Tennis	Stroke Smashing Service Run	Shoulder	Rotator cuff Damage	Internal /External Rotation, Flexion, Extension
			Shoulder Impingement Syndrome	
		Elbow	Elbow Epicondylitis	Extension
		Trunk	Herniated Disc	Rotation
		Knee	Meniscus Damage	Flexion, Extension
Ankle	Sprain	Inversion		
Soccer	Kick Run	Trunk	Muscle Asymmetry	Rotation
		Pelvic	Inflammation Iliopsoas Femoris	Flexion
		Knee	Anterior Cruciate Ligament Injury	Flexion, Extension
			Meniscus Damage	
Ankle	Sprain	Inversion, Eversion		
Cycle	Pedaling	Trunk	Lumbar Kyphosis	Flexion
		Pelvic	Inflammation Iliopsoas Femoris	Flexion, Extension
		Knee	Patellofemoral Syndrome	Flexion
			Quadriceps Tendonitis	
Ankle	Achilles Tendinitis	Planter Flexion, Dorsi Flexion		

스포츠 종목별 반복적 움직임은 과도한 훈련과 반복으로 인해 상해가 발생한다. 반복된 움직임으로 인해 발생하는 스포츠 상해는 [표 1]과 같다.

골프와 테니스의 스윙과 스트로크 동작은 어깨 관절의 강한 내회전과 외회전 움직임을 최대 관절 범위로 요구하기 때문에 어깨 관절을 이루는 조직에 강한 압력으로 인한 부상을 발생시키며, 팔꿈치 관절은 공을 타격하는 임팩트 단계에서 공에 힘을 전달하기 위한 팔꿈치 최대의 신전 움직임이 부상의 원인으로 나타났다[20, 21]. 몸통의 부상은 스윙과 스트로크 동작을 더욱 큰 궤적을 그리기 위한 움직임 수행과 강하고 빠른 동작을 위해 몸통의 과도한 회전 움직임을 요구함과 동시에 한 방향으로 반복된 움직임을 수행하면서 근육의 비대칭과 허리디스크와 같은 부상을 발생시키는 것으로 나타났다[22, 23]. 축구와 사이클 종목에서 고관절과 몸통의 부상은 축구의 킥 동작에서 킥을 수행하는 반대측 다리에 체중을 지지하기 위한 움직임과 사이클의 공기저항을 줄이기 위해 자전거에 밀착하도록 상체를 앞으로 숙이는 자세에서 지속된 굴곡 움직임이 부상의 원인으로 나타났다[24-27]. 또한 달리기와 페달링 동작에서 반복된 무릎 굴곡 움직임이 무릎의 안정성을 떨어뜨려 슬개대퇴증후군 및 반월상연골 손상 등의 원인으로 나타났다[28, 29]. 마지막으로 발목은 방향 전환과 무게 중심의 이동으로 인한 반복된 내반의 과도한 움직임이 발목 염좌의 원인으로 나타났다[30]. 이처럼 4가지 스포츠 종목의 상해 분석 결과는 운동 추적 모델 기반의 움직임 측정을 위한 요소를 도출하기 위한 정보로 사용된다.

#### IV. 스포츠 상해 기반 움직임 측정 요소 도출

##### 4-1 움직임 측정 요소 도출

스포츠 종목별 상해를 분석한 결과를 통해 움직임 측정 요소를 도출하였다. 스포츠 상황에서 상체 움직임을 대표하는 골프와 테니스에서 상체 관련 요소를 도출하고, 축구와 사이클 종목에서 하체 관련 요소를 도출하였다. 그리고 4가지의 스포츠 종목에서 공통적으로 발생하는 부상 움직임을 기반으로 운동 추적 모델 기반 신체 측정을 위한 움직임 요소를 7가지로 도출하였다.

도출된 움직임 측정 요소는 어깨, 팔꿈치, 몸통, 고관절, 무릎, 발목 관절에서 발생하며, 관절별 도출된 움직임 및 정상 움직임 범위는 다음과 같다. 어깨에서는 수평면(y축) 상에서 발생하는 내회전과 외회전 움직임 요소가 도출되었다. 내회전은 해부학적 자세를 기준으로 90°까지 움직임이 나타나며, 외회전은 70°까지 나타난다. 팔꿈치에서는 신전의 움직임이 도출되었으며, 이는 시상면에서 움직임이 발생하고 최대 움직임 범위는 0°이다. 몸통에서는 수평면의 회전 움직임이 도출되었으며, 중립 자세에서 최대 120°까지 움직임이 나타난다. 고관절에서는 시상면의 굴곡 움직임이 측정 요소가 되며,

125°의 움직임 범위를 갖는다. 무릎 관절은 굴곡의 움직임이 측정 요소로 도출되었으며, 135°의 움직임 범위가 나타나며, 마지막으로 발목 관절에서는 내반의 움직임이 측정 요소로 도출되었으며, 관상면에서 40°의 범위로 나타난다.






이처럼 도출된 7가지 요소는 정상 범위 내에서 올바르게 움직임이 발생하는지 확인하며, 스켈레톤 모델을 이용하여 관절에서 나타나는 각도를 정량적으로 측정한다. 도출된 움직임 요소와 함께 기존 기능성 움직임 평가에서 측정할 수 있는 시상면 상의 움직임 요소를 측정한다면 측정이 어려웠던 움직임까지 확인할 수 있다. 정량적으로 측정된 움직임 요소는 정상 가동범위를 벗어난 움직임이 측정되는 경우, 정상 가동범위 내에서 움직임이 발생하지만 반복적으로 낮은 범위로 측정되는 경우에는 해당 관절의 부상 발생 위험이 있는 것으로 평가할 수 있으며, 이를 교정하기 위한 운동 프로그램을 구성하여 제공할 수 있다.

##### 4-2 움직임 측정을 위한 운동 동작

움직임 요소를 측정하기 위한 방법으로는 측정하고자 하는 움직임만을 확인하기 위해 단일 관절의 움직임을 확인하거나, 움직임 측정 요소를 포함하여 여러 관절의 움직임을 부가적으로 확인할 수 있는 복합 관절의 움직임을 이용하는 방법으로 나눌 수 있다. 단일 관절의 움직임을 이용한 방법은 측정만을 진행할 수 있으며, 복합 관절 움직임을 이용한 방법은 여러 운동 동작을 이용하여 운동 프로그램 형식으로 구성한다면 측정과 더불어 운동의 효과까지 기대할 수 있다. 운동 동작은 움직임 측정 요소가 반드시 포함되어야 하며 본 논문에서는 실험을 위해 도출된 7가지 움직임 측정 요소를 포함하는 운동 동작을 [표 2]와 같이 선정하였다.

표 2. 움직임 측정을 위한 운동 동작

Table 2. Exercise Motion for Movement Measure

Exercise	Motion Image
Side Plank and Reach	
Reverse Plank	
Push Up Rotation	
Reverse Crunch	
Side Lunge	

Side Plank and Reach 동작은 지지하지 않는 방향의 팔이 최대 외회전 된 상태에서 시작하며, 이후 팔을 뺀 움직임을 통해 어깨 외회전 움직임에 대한 전체 가동범위를 확인할 수 있다. 이와 동시에 지지측 어깨와 몸통 관절의 위치를 통해 안정성을 확인할 수 있는 동작이다. Reverse Plank는 지지하고 있는 팔에서 어깨의 최대 내회전 움직임을 확인할 수 있으며, 동작 완성 시 몸통 또는 고관절의 위치로 안정성을 확인할 수 있다. Push Up Rotation은 팔꿈치펴기 동작에서 팔꿈치의 굴곡과 신전 움직임을 확인하고 몸을 회전하여 팔을 뺀 자세에서 몸통의 회전과 안정성을 확인할 수 있다. Reverse Crunch는 고관절의 가동범위를 확인할 수 있으며 마지막으로 Side Lunge는 발목의 내반 움직임을 확인함과 동시에 고관절과 무릎의 굴곡, 발목의 배측굴곡 움직임까지 확인할 수 있다. 선정된 운동 동작은 측정 가능성 실험을 위해 모션 캡처 장비인 Microsoft의 Azure Kinect를 이용한다. 운동 추적 모델의 관절 포인트와 동일하게 실시간 사용자가 취하는 운동 동작의 스켈레톤 모델을 추출하고 해당 스켈레톤 모델에서 관절 각도와 위치 정보를 수집하여 움직임을 측정한다.

4-3 운동 추적 모델 기반 움직임 측정 방법

운동 추적 모델 기반 움직임 측정 방법은 운동 추적 모델의 STF(Start-Transition-Finish) 정의를 이용하여 가동성과 안정성을 측정한다. 운동 동작을 STF 형태로 정의하고, 해당 동작에서 측정 요소와 관련된 움직임이 발생 시 관절의 각도를 통해 가동성을 측정하며, 정의된 운동 동작과 실제 운동 동작의 관절 위치를 비교하여 안정성을 측정한다. [그림 5]는 운동 추적 모델을 이용한 움직임 측정 방법의 컨셉을 보여준다.

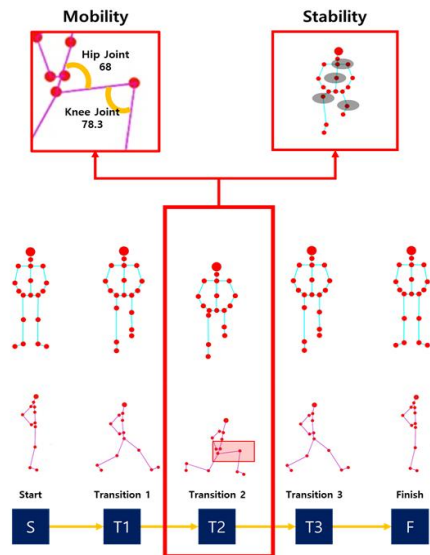


그림 5. 운동 측정 모델 기반 움직임 측정 컨셉  
Fig. 5. Exercise Tracking Model Based Movement Measurement Concept

Lunge는 고관절의 굴곡과 무릎의 굴곡 움직임 확인함과 동시에 몸통의 안정성을 확인할 수 있는 자세이다. Lunge는 STF를 이용하여 S-T1-T2-T3-F 단계로 정의할 수 있으며, 고관절과 무릎의 가동성은 최대 가동범위가 나타나는 T2 단계에서 추적된 관절 각도로 측정할 수 있다. 몸통의 안정성은 전체 운동 동작에서 몸통 관절의 위치로 측정할 수 있는데, Lunge의 특성 상 앞뒤로 이동하는 동작으로 시상면 상에서 움직임이 발생하기 때문에 몸통이 시상면이 아닌 관상면이나 수평면 상으로 이동이 발생한 경우 안정성이 좋지 않은 것으로 판단할 수 있다. 이처럼 본 논문에서는 움직임 측정 요소를 포함한 운동 동작을 STF 형태로 정의하고, 예상 측정 결과를 제시하는 실험을 진행하여 움직임 요소의 정량적 측정과 운동 추적 모델을 이용한 움직임 측정 방법의 적용 가능성을 확인한다. 현재 모션 캡처 장비를 이용하여 신체 측면을 인식하는 부분은 기술적 보강이 필요하나 실험은 신체 인식이 문제없이 잘되는 것을 전제로 진행한다.

V. 운동 추적 모델 기반 움직임 측정

5-1 움직임 측정을 위한 STF 정의

표 3. 움직임 측정을 위한 STF 정의

Table 3. Define STF for Movement Measurement

Exercise	Motion	
Side Plank and Reach	Front View	
	Side View	
Reverse Plank	Front View	
	Side View	
Push Up Rotation	Front View	
	Side View	
Reverse Crunch	Front View	
	Side View	
Side Lunge	Front View	
	Side View	

운동 추적 모델을 이용한 움직임 측정을 위해 앞서 선정한 운동 동작에 대해 STF 정의를 진행하였다. 관절의 가동성과 안정성을 측정하기 위해 정면과 측면 시점을 기준으로 각 운동 동작별 STF 정의를 진행하였으며, 그 결과는 [표 3]과 같다.

정의된 운동 동작은 운동 특성에 따라 가동성과 안정성을 확인하기 위해 2가지 시점의 정의가 모두 필요한 경우가 있을 수 있으며, 반대로 1가지 시점에서 가동성과 안정성 모두를 확인할 수 있다. 이처럼 5가지 운동 동작에 대한 STF 정의를 기준으로 운동 추적 모델을 이용한 움직임 측정에서 스켈레톤 비교를 통해 가동성과 안정성 측정의 가능성을 확인한다.

### 5-2 가동성 측정

가동성 측정은 관절의 각도를 통해 관절가동범위를 측정함으로써 움직임 상태를 파악할 수 있다. 운동 동작별 가동범위를 관찰할 수 있는 STF 시점의 스켈레톤 모델을 가지고 가동성 측정 방법의 가능성을 [그림 6]과 같이 확인하였다.

Side Plank and Reach 동작은 정면 시점의 T1과 T2 단계에서 어깨 외회전 가동범위를 측정할 수 있다. 이 동작은 어깨 외회전의 최대 움직임 범위를 요구하는 동작이기 때문에 측정 단계에서 70°와 유사한 각도가 아닌 모자라거나 넘어서는 움직임이 나타나는 경우에는 비정상 움직임으로 평가할 수 있다.

Reverse Plank는 정면 시점의 모든 단계에서 손목을 중심으로 손이 위치한 각도를 측정하여 어깨 외회전을 확인할 수 있다. 어깨 분절을 기준으로 손끝이 수직을 이루는 경우가 어깨 내회전의 최대 각도인 90°를 나타내며, 그 이상 혹은 부족한 범위로 측정될 시 문제가 있는 것으로 확인할 수 있다.

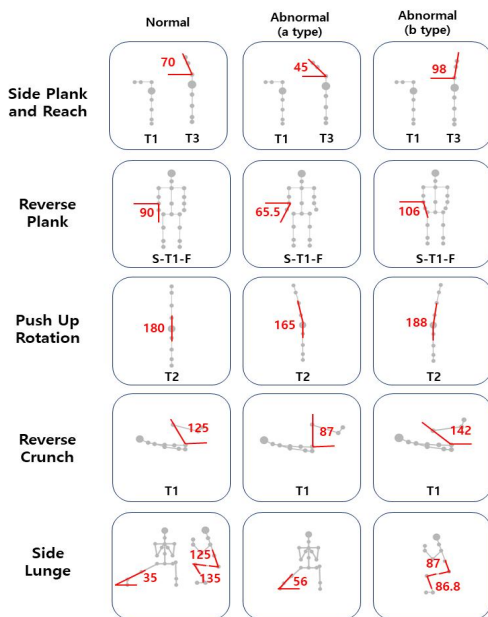


그림 6. 가동성 측정 가능성 확인  
Fig. 6. Check Possibility of Joint Mobility Measurement

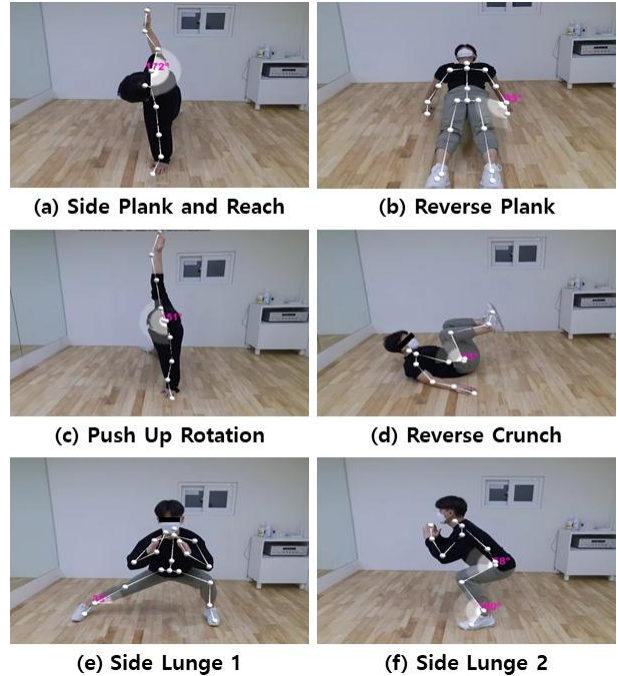


그림 7. 가동성 측정 실험  
Fig. 7. Test of Joint Mobility Measurement

Push Up Rotation은 몸통 회전을 확인하며, 정면 시점의 T2 단계에서 가동성을 측정할 수 있다. 좌우측 어깨를 연결하는 분절의 일직선을 기준으로 나타난 각도를 통해 몸통의 회전 범위를 측정할 수 있다. 몸통 회전의 최대 가동 범위는 120°이지만 STF 정의에서는 180°로 정의하였는데, 이는 운동 동작에서 몸통 회전과 더불어 견갑골의 후인 움직임이 동시에 나타나기 때문이며, 180°보다 작거나 큰 움직임은 몸통 회전 움직임 또는 견갑골 움직임에 대한 문제를 예상할 수 있다.

Reverse Crunch에서는 측면 시점의 T1 단계에서 고관절의 굴곡 움직임을 확인한다. 고관절 굴곡 최대 범위는 125°이며, 이를 기준으로 정상과 비정상 움직임을 확인할 수 있다.

Side Lunge는 정면 시점의 T1 단계에서 발목의 내반 움직임을 확인할 수 있으며, 측면 시점의 T1 단계에서는 무릎 관절의 굴곡 움직임을 확인할 수 있다. 발목의 내반은 35°, 고관절 굴곡의 최대 범위는 125°, 무릎 관절의 최대 굴곡은 135°이며, 이를 통해 움직임을 평가할 수 있다. 이처럼 가동성 측정은 목표 관절의 움직임의 각도를 측정할 수 있는 시점에서 측정을 진행해야 하며, 측정을 위해서는 정상 움직임을 알 수 있는 운동 동작의 STF 정의가 필요하다는 것을 알 수 있다.

### 5-3 안정성 측정

안정성은 수행하는 움직임 이외에 불필요한 움직임에 대한 저항 능력을 의미하기 때문에 사전에 STF 형태로 정의된 자세 및 움직임에서의 관절 위치와 비교하여 다른 위치에 있는 관절을 알아냄으로 관절의 안정성을 측정할 수 있다.

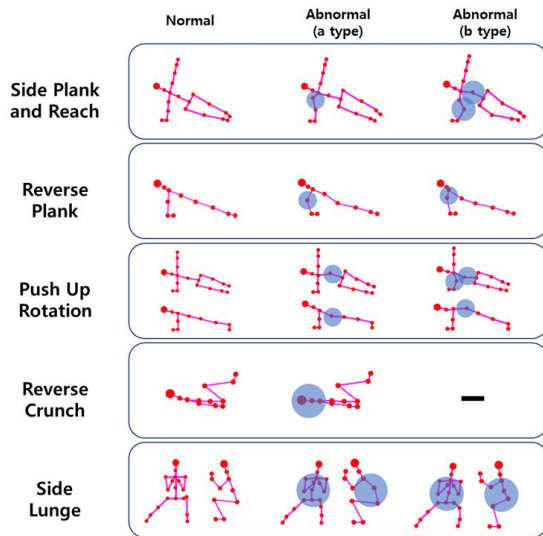


그림 8. 안정성 측정 가능성 확인  
 Fig. 8. Check Possibility of Joint Stability Measurement

안정성을 측정하기 위해서는 운동 동작의 전반적인 관절의 위치를 확인할 수 있는 시점에서 측정하는 것이 중요하며, STF로 정의된 측정 단계에서의 스켈레톤 관절과 실제 사용자의 스켈레톤 모델의 관절 위치를 비교하여 [그림 7]과 같이 움직임 안정성을 측정할 수 있다.

Side Plank and Reach 동작은 운동이 진행되는 동안 지지하고 있는 방향의 어깨와 몸통이 무너지지 않고 올바르게 유지되어 있어야 한다. 이 동작의 안정성은 어깨와 몸통의 위치로 측정할 수 있으며, 측면 시점에서 정의된 자세와의 위치 비교를 통해 확인할 수 있다.

Reverse Plank 동작도 마찬가지로 Plank 자세가 기반이 되는 운동 동작이기 때문에 어깨와 몸통의 위치를 통해 안정성을 측정해야 한다. 이 동작에서의 고관절은 움직임이 일어나기 때문에 측정에서 제외하고, 동작 중 위치가 고정되어 있어야 하는 어깨 관절이 안정성을 측정할 수 있는 요소가 된다. 어깨가 올바른 목 관절보다 위에 위치할 때 견갑골이 안정된 위치에 정렬되어 있지 않은 것으로 예측할 수 있으며, 이에 어깨 안정화를 위한 운동을 제공할 수 있다.

Push Up Rotation은 팔굽혀펴기 자세인 Push Up과 Plank 자세가 기반이 되는 운동 동작이다. 앞서 설명한 2가지 운동 동작과 마찬가지로 어깨와 몸통의 위치가 안정성을 확인할 수 있는 포인트가 된다. 측면 시점에서 어깨와 몸통의 위치를 확인할 수 있으며, 특히 T2 단계에서는 한 방향씩 회전 움직임이 발생하면서 좌우측의 어깨 안정성의 비교까지 가능하다.

Reverse Crunch에서는 지면에 고정된 몸통의 위치로 운동 동작의 안정성을 확인할 수 있다. 시작 단계에서부터 고개를 들어 상부 복부를 수축시킨 상태인 몸통 굴곡 움직임을 유지해야하기 때문에 운동 동작 동안 몸통의 안정성을 요구한다. 이 자세 또한 측면에서 몸통의 위치를 확인하는 것이 유

리하며, 몸통 굴곡 움직임으로 인해 위치가 변화할 수 있는 머리의 위치로 안정성을 확인할 수 있다.

마지막으로 Side Lunge는 무릎과 몸통의 위치로 안정성을 확인할 수 있는 동작이며, 정면과 측면 시점 모두에서 관절의 위치를 관찰하고 안정성을 측정할 수 있다. 정면 시점에서는 운동 동작이 수행되는 동안 신체 전체가 좌우측으로 움직이기 때문에 몸통이 지면과 수직을 이루고, 무릎의 위치가 정의된 범위를 벗어나는 경우에 부상이 발생할 수 있기 때문에 이와 관련된 안정성을 확인할 수 있다. 그리고 측면 시점에서는 운동 동작 수행 동안의 몸통의 앞뒤 기울기를 통해 안정성을 확인할 수 있다.

이처럼 도출된 움직임을 운동 추적 모델을 이용한 움직임 측정 방법에 적용하여 측정 가능성을 확인하였다. 관절의 가동성 측정은 목표 관절의 가동 범위를 관찰할 수 있는 시점에서 진행해야 하며, 안정성 측정은 운동 동작의 안정성을 담당하는 복수의 관절을 한 번에 관찰할 수 있는 시점에서 진행해야 한다는 것을 확인하였다. 이에 따라 운동 동작마다 다양한 시점에서 운동 추적 모델을 이용한 STF 정의가 필요하며, 다양한 운동 동작을 통해 움직임을 측정한다면 여러 움직임 정보를 통해 보다 정확한 관절의 가동성을 측정할 수 있을 것이며, 인체해부학적 면마다 관절들의 안정성까지 정량적인 측정과 평가가 가능할 것이다.

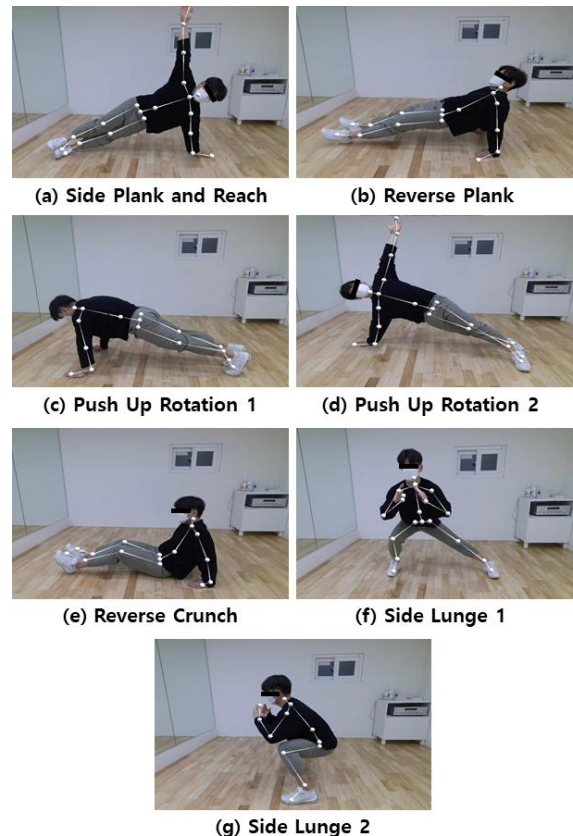


그림 9. 안정성 측정 실험  
 Fig. 9. Test of Joint Stability Measurement



## VI. 결 론

본 논문은 운동 추적 모델 기반 신체 움직임 측정 방법을 개발하기 위해 측정 대상이 되는 움직임 요소를 도출하였다. 움직임 요소 도출을 위해 다양한 움직임이 발생하는 스포츠 상황에서의 반복 움직임과 상해를 분석하였으며, 분석 결과 기존 기능성 움직임 평가에서 측정하기 어려운 7가지 신체 움직임 요소를 도출하였다. 그리고 도출된 요소를 적용하여 운동 추적 모델을 이용한 움직임 측정 방법의 가능성을 제시하였다. 그 결과 2가지 시점으로 정의된 운동 동작을 통해 도출된 움직임 측정 요소들의 가동성과 함께 안정성까지 측정할 수 있는 가능성을 확인하였다.

본 논문에서 도출한 요소는 스포츠 상해 중 과사용과 관련된 상해만을 분석한 점에서 한계가 있으며, 외상성 상해 및 장비와 환경에 의한 상해를 포함하고, 스포츠 종목을 추가로 분석하여 더욱 다양한 측정 요소를 도출할 필요가 있다. 또한 측정 이후 움직임 결과에 대한 피드백을 제공할 수 있는 평가 방법에 대한 연구가 필요하다. 향후 연구에서는 움직임 측정 요소를 보완하여 운동 추적 모델을 이용한 구체적인 움직임 측정 방법을 제시할 것이다. 이는 생활 체육 및 스포츠 현장에 적용되어 개인별 신체 상태를 주기적으로 파악할 수 있는 신체 측정과 모니터링의 도구가 되며, 그에 맞는 맞춤형 운동 프로그램을 제공할 수 있는 방법이 될 것으로 기대한다.

## 참고문헌

- [1] Son, Hee-Jeong, Kang, Sungwoo, Kim, Daeho, "Differences in Physical Performance by Functional Movement Screen Score in Elite Soccer Players," *The Journal of Physical Education*, Vol.59, No.5, pp.389-400, 2020. <https://doi.org/10.23949/kjpe.2020.9.59.5.28>
- [2] Chao, W. C., Shih, J. C., Chen, K. C., Wu, C. L., Wu, N. Y., & Lo, C. S., "The effect of Functional Movement Training After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: a randomized Controlled Trial," *Journal of Sport Rehabilitation*, Vol.27, No.6, pp.541-545, 2018. <https://doi.org/10.1123/jsr.2017-0022>
- [3] Won, Youngin, Jeong, Joo-Yeon, Hong, Sang-Min, "A Study on the Necessity of Suspension Training for Improving Core Stability, Functional Movement and Rehabilitation Training," *The Korean Journal of Sport*, Vol.17, No.1, pp.487-496, 2019.
- [4] Jeong, Joo-Yeon, Hong, Sang-Min, "A Study on the Necessity of Functional Training for Improving Athletes' Performance and Prevention Injuries," *Korean society for Wellness*, Vol.13, No.1, pp.407-417, 2018. <http://dx.doi.org/10.21097/ksw.2018.02.13.1.407>
- [5] Jung, Yu-Kyung, "Effects of 12 Weeks of Aerial Yoga on Body Shape and Functional Movement in Adult Women," *The Korea Journal of Sports Science*, Vol.29, No.2, pp.929-940, 2020. <https://doi.org/10.35159/kjss.2020.04.29.2.929>
- [6] Kyung-Ah Kim, Dong-Seog Bae, "A Non-Contact Motion Recognition System for Physical Exercise and Range of Motion Assessment," *Journal of Industrial Technology Research*, Vol.24, No.4, pp.1-8, 2019. <http://dx.doi.org/10.29279/kostet.2019.24.4.1>
- [7] Taeyong Ha, Hoojin Lee, "Analysis on the Mobile Healthcare Behavior using an Artificial Intelligence Based Pose Estimation," *Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers*, Vol.57, NO.1, pp.63-69, 2020. <https://doi.org/10.5573/ieie.2020.57.1.6>
- [8] Daniel Chung, Mingu Cho, Ilju Ko, "A Movement Tracking Model for Non-Face-to-Face Exercise Contents," *Korea Information Processing Society*, Vol.10, No.6, pp.181-190, 2021. <https://doi.org/10.3745/KTCCS.2021.10.6.181>
- [9] Carl Paoli, Anthony Sherbondy, free+style, maximize sport and life performance with four basic movements, *Victory Belt Publishing*, 2014.
- [10] Daniel Chung, Movement Tracking And Analysis for Contactless Exercise Contents, Ph.D. dissertation, Soongsil University, Seoul, Korea, 2021.
- [11] Dietze-Hermosa, Martin, et al., "Physical fitness in older adults: Is there a relationship with the modified Functional Movement Screen?," *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, Vol.25, pp.28-34, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2020.11.019>
- [12] Gray Cook, Lee Burton, Barbara J. Hoogenboom, and Michael Voight, "Functional movement screening: the use of fundamental movements as an assessment of function-part 1," *International Journal of Sports Physical Therapy*, Vol.9, No.3, pp.396-409, 2014.
- [13] Gray Cook, Movement: functional movement systems: screening, assessment, and corrective strategies, *Daesung Publishing Company*, 2013.
- [14] Molina-Gracia, Pablo, et al., "Role of physical fitness and functional movement in the body posture of children with overweight/obesity," *Gait&Posture*, Vol.80, pp.331-338, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2020.04.001>
- [15] Edwards, Nathan, Clark Dickin, and Henry Wang, "Low back pain and golf: A review of biomechanical risk factors," *Sports Medicine and Health Science*, Vol.2, No.1, pp.10-18, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.smhs.2020.03.002>
- [16] Choi, Jin-Young, Ro, Gap-Tack, Kim, Sung-Hoon, "Development of Injury Prevention Training Program for Junior Tennis Players," *Journal of the World Society of Taekwondo*

- Culture*, Vol.9, No.4, pp.87-102, 2018. <http://doi.org/10.18789/jwstc.2018.21.87>
- [17] Mojsiewicz, Karol, and Agnieszka Kempnińska-Podhorodecka, "The most common injuries, rehabilitation and recovery among soccer practitioners," *Journal of Education, Health and Sport*, Vol.11, No.5, pp.65-77, 2021. <https://doi.org/10.12775/JEHS.2021.11.05.007>
- [18] Chandran, Avinash, et al., "Epidemiology of Injuries in National Collegiate Athletic Association Women's Soccer: 2014-2015 Through 2018-2019," *Journal of Athletic Training*, Vol.56, No.7, pp.651-658, 2021. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-372-20>
- [19] Galindo-Martínez, Alberto, et al., "Changes in the Trunk and Lower Extremity Kinematics Due to Fatigue Can Predispose to Chronic Injuries in Cycling," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, No.18, No.7, pp.3719-3730, 2021. <https://doi.org/10.3390/ijerph18073719>
- [20] de Jonge, Milko C., Niels P. Vermeulen, and Mario Maas, "Imaging of sports injuries of the elbow," *Imaging of Orthopedic Sports Injuries*, pp.257-283, 2020. [https://doi.org/10.1007/174\\_2020\\_251](https://doi.org/10.1007/174_2020_251)
- [21] Kekeleki, Afentios, et al., "Risk Factors for Upper Limb Injury in Tennis Players: A Systematic Review," *International journal of environmental research and public health*, Vol.17, No.8, pp.2744-2761, 2020. <https://doi.org/10.3390/ijerph17082744>
- [22] Ji, Jin-Goo, Kwak, Yi-Sub, Park, Chan-Ho, "Study of Tennis Injury Rehabilitation," *Korea Coaching Development Center*, Vol.20, No.2, pp.77-83, 2018. <https://doi.org/10.47684/jcd.2018.06.20.2.77>
- [23] Kanwar, Kiran D., et al., "Injury risk-factor differences between two golf swing styles: a biomechanical analysis of the lumbar spine, hip and knee," *Sports Biomechanics*, pp.1-22, 2021. <https://doi.org/10.1080/14763141.2021.1945672>
- [24] Ibrahimović, Mirza, et al., "Injury rate in professional football: A systematic review," *International Journal of Physical Education, Fitness and Sports*, Vol.10, No.2, pp.52-63, 2021. <https://doi.org/10.34256/ijpefs2126>
- [25] Lee, Inje, Jeon, Hyung Gyu, Jeong, Hee Seong, Kang, Tae Kyu, Lee, Sae Yong, "An Epidemiological Study of Ankle Sprains in Youth Soccer," *Journal of Sport and Leisure Studies*, Vol.82, pp.425-432, 2020. <https://doi.org/10.51979/KSSLS.2020.10.82.425>
- [26] Du Toit, Francois, et al., "Epidemiology, clinical characteristics and severity of gradual onset injuries in recreational road cyclists: Across-sectional study in 21,824 cyclists-SAFER XIII," *Physical Therapy in Sport*, Vol.46, pp.113-119, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2020.08.006>
- [27] Borgers, Anton, et al., "Etiology of knee pain in elite cyclists: A 14-month consecutive case series," *Acta Orthopaedica Belgica*, Vol.86, No.2, pp.262-271, 2020.
- [28] O'Kane, John W., et al., "Risk factors for lower extremity overuse injuries in female youth soccer players," *Orthopaedic journal of sports medicine*, Vol.5, No.10, 2017. <https://doi.org/10.1177/2325967117733963>
- [29] Bini, Rodrigo Rico, and Alice Flores Bini, "Potential factors associated with knee pain in cyclists: a systematic review," *Open access journal of sports medicine*, Vol.9, pp.99-106, 2018. <https://doi.org/10.2147/OAJSM.S136653>
- [30] Gulbrandsen, Matthew, et al., "Ten-year epidemiology of ankle injuries in men's and women's collegiate soccer players," *Journal of athletic training*, Vol.54, No.8, pp.881-888, 2019. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-144-18>

### 길영익(Young-Ik Gil)



2015년: 한라대학교 사회체육학과 (체육학사)

2017년~현재 : 숭실대학교 미디어학과 석박통합과정  
 ※ 관심분야 : 스포츠IT(Sports IT), 스크린 스포츠(Screen Sport), 체험형 콘텐츠(Physically Interactive Contents)

### 정다니엘(Daniel Chung)



1999년: 포항공과대학교 컴퓨터공학과(공학사)

2001년: 포항공과대학교 전자컴퓨터공학부(공학석사)

2021년: 숭실대학교 정보통신소재융합학과(공학박사)

※ 관심분야 : 가상현실(Virtual Reality), 스크린 스포츠(Screen Sport), 스포츠IT(Sports IT)

### 고일주(II-Ju Ko)



1992년: 숭실대학교 전산학과 (공학사)

1994년: 숭실대학교 전산학과 (공학석사)

1997년: 숭실대학교 전산학과 (공학박사)

2003년~현재 : 숭실대학교 글로벌미디어학부 교수  
 ※ 관심분야 : 콘텐츠(Contents), 인공감정(Artificial Emotion), 스포츠IT(Sports IT)