

# 소프트 골프 스윙 동작을 위한 인체 시뮬레이션의 운동역학 분석

곽기영<sup>1</sup>, 유미<sup>2</sup>, 소하주<sup>1</sup>, 김성현<sup>3</sup>, 김남균<sup>4</sup>, 김동욱<sup>2,5</sup>

<sup>1</sup>전북대학교 대학원 헬스케어공학과

<sup>2</sup>전북대학교 공과대학 바이오메디컬공학부

<sup>3</sup>전북대학교 헬스케어기술개발사업단

<sup>4</sup>(주)식스티 플러스

<sup>5</sup>전북대학교 고령친화복지기기연구센터

## Kinetic Analysis of Human Simulation for the Soft Golf Swing

K. Y. Kwak<sup>1</sup>, M. Yu<sup>2</sup>, H. J. So<sup>1</sup>, S. H. Kim<sup>3</sup>, N. G. Kim<sup>4</sup>, D. W. Kim<sup>2,5</sup>

<sup>1</sup>Department of Healthcare Engineering, Chonbuk National University

<sup>2</sup>Division of Biomedical Engineering, Chonbuk National University

<sup>3</sup>Center for Healthcare Technology Development

<sup>4</sup>Sixty Plus co.

<sup>5</sup>Research Center of Healthcare & Welfare Instrument for the Aged, Chonbuk National University

(Received December 2, 2009. Accepted March 24, 2010)

### Abstract

The purpose of this study was to analyze the golf swing motion for a soft golf clubs and regular golf club. Soft golf is a newly developed recreational sports for all ages, including the elderly and the beginners of golf. To quantify the effect of using soft golf club, which much lighter club than regular clubs, a motion analysis has been performed using a 3D optoelectric motion tracking system that utilizes active infrared LEDs and near-infrared sensors. The subject performed swing motion using a regular golf club and a soft golf club in turn. The obtained motion capture data was used to build a 3D computer simulation model to obtain left wrist, elbow shoulder and lumbar joint force and torque using inverse and forward dynamics calculations. The joint force and torque during soft golf swing were lower than regular golf swing. The analysis gave better understanding of the effectiveness of the soft golf club.

**Key words :** soft golf, kinetic analysis, golf swing, human simulation, joint torque, joint force

### 1. 서론

**골**프는 기술 수준, 성별, 나이에 관계없이 여러 사람들과 동시에 라운딩 할 수 있는 특징이 있는 스포츠로 최근 골프인구의 증가에 따라 대중적 스포츠로 자리 잡고 있다. 대한골프협회에 따르면 국내 골프 인구는 2002년 약 185만 명에서 2007년 275만 명으로 증가하였다[1].

기존의 골프 용품은 비거리, 볼을 제어측면에서 성능향상을 위하여 클럽 헤드의 중량이 많이 나가게 설계·제작되는 실정으로, 신체의 분절과 관절이 연속적이며 순차적으로 움직이게 되고, 각 부위의 비틀림과 회전, 꺾임이 수반되는 골프스윙 동작 중 각 부위의 움직임이 더욱 가중되는 결과를 초래하여 손목, 팔꿈치, 어깨 관절과 허리 등에 무리를 줄 수 있다[2-3]. 손목, 어깨, 허리 근육과 인대의 파열, 염좌, 뱀 그리고 손목의 유구골 골절, 팔꿈치의 내·외측 상과염 등이 골프 중 입는 주요 부상이며, 이와 관련한 골프 관련 부상도 증가할 것으로 예측할 수 있다[4-5]. NSC(National Safety Council)[6]에 따르면 36,400명의 사람들이 스윙 동작 중 입는 부상을 치료받기 위해 응급실에 방문했고, Batt[7]은 한해에

Corresponding Author : 김동욱

(561-756) 전북 전주시 덕진구 덕진동 1가 664-14

전북대학교 공과대학 바이오메디컬공학부

Tel : +82-63-270-4060 / Fax : +82-63-270-2247

E-mail : biomed@chonbuk.ac.kr

이 논문은 2009년도 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (지방연구중심대학육성사업/ 헬스케어기술 개발사업단)

아마추어 골퍼 중 57%가 스윙 동작 중 부상을 입는다고 발표했다. Wilks 등[8]은 골프 부상의 원인을 분류하였는데, 부상자 중 10%는 관절의 접질림과 과도한 부하에 의한 부상이라고 보고하였다.

이러한 단점을 보완하기 위해 2000년 김남균 교수 연구팀이 소프트골프를 개발하였다[9]. 골프 클럽의 무게로 인해 다루기 어려운 점과 부상의 위험을 보완하기 위해서 소프트 골프 클럽헤드는 기존 골프 클럽 헤드보다 가벼운 아연합금 재료를 이용하였으며, 헤드의 페이스는 테니스 라켓 형식으로 그물망구조나 격자모양으로 만들어 무게를 줄였다. 또한 기존의 단단한 클럽 샤프트나, 골프공으로 인해 머리카락이나 눈에 부상을 입을 수 있는 점을 보완하기 위해 소프트골프공은 고분자 재료로 만들었으며, 표준골프공의 1/4 무게가 되고 공의 크기는 통상의 골프공의 직경과 형상을 동일하게 하였다[10]. 가벼워진 소프트 골프 용구를 이용한 동작분석의 실험을 통하여 각 관절에서의 속도를 비교하여 스윙동작 동안 운동학적 변인을 분석한 연구가 선행되었다[11]. 그러나 실제로 기존 골프 클럽과 소프트 골프 클럽을 이용한 스윙 동작 동안 각 관절에서 생성되는 부하량을 비교하는 연구가 필요하다.

기존의 골프 클럽을 이용한 스윙 동작에 대한 분석은 많이 진행되어 왔으며, Ahn 등[12]은 스윙동작을 구분지어 스윙 시 슬관절, 견관절, 고관절 그리고 손목 관절 각도변화와 헤드의 속도변화, 신체 중심의 위치, 속도, 시간 변화를 통해 효율적인 골프 드라이버 스윙동작을 분석하였다. 또한 Moon 등[13]은 스윙동작을 구분지어 해부학적 기준면에 따라 이상적인 골프 스윙을 위한 하지 관절의 각도의 변화를 분석하여 객관적이고 정량적인 자료를 제공하였다. Jorgensen[14]은 간단한 2차원 링크모델로 골프 스윙을 분석했으며, Nesbit[15-16]은 3차원 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 골프 스윙 동작을 연구하였다. 그러나 선행 연구들은 스윙 동작에 따른 각 관절의 각도와 신체 중심의 변이 등을 분석한 것이 대부분이었고, 관절에 부하되는 충격량 등에 대한 연구는 미비하다.

따라서 본 연구에서는 기존 골프 클럽의 단점을 보완하여 초보자, 어린이, 노약자가 쉽게 사용할 수 있도록 개발된 소프트 골프 클럽을 이용한 스윙 동작에 대한 동작 분석 데이터를 수집한 후, 인체 시뮬레이션을 통해 각 관절에서 스윙 동작을 위해 생성되는 힘(N)과 토크(Nm)를 기존의 골프 클럽을 이용한 스윙 동작에서 생성되는 힘과 토크를 비교하여 분석하였다.

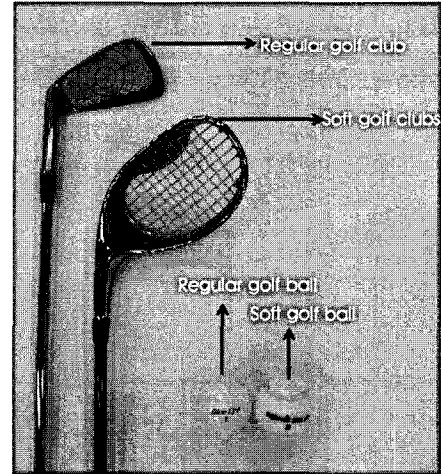


그림 1. 실험에 이용된 일반 아이언과 소프트 골프 클럽 아이언  
Fig. 1. Regular golf iron club vs. Soft golf iron club

## II. 실험 방법

### A. 소프트 골프 용구

본 실험에서 사용된 골프 용구는 그림 1과 표 1과 같이 소프트 골프와 기존 골프 클럽으로 분류할 수 있다. 기존 골프 클럽은 일반적으로 연습용 클럽으로 많이 사용되는 아이언 7번 클럽으로, 헤드의 무게는 300g으로 샤프트를 포함한 클럽의 전체 무게는 402g이었다. 소프트 골프용 클럽은 헤드를 아연합금(Zn Alloy)으로 제작한 아연 아이언 클럽으로 소프트 골프용 클럽 헤드는 타격면을 제외한 외형을 가벼운 재질의 금속, 샤프트는 Graphite를 사용하여 제작하였고, 타격면은 테니스 라켓과 같이 격자 구조를 취하고 있다. 이와 같은 클럽 헤드는 헤드의 무게를 줄이는 결과를 나타내어 아연합금으로 제작한 클럽 헤드의 무게는 196.4g으로 기존 골프 클럽 헤드 무게의 65%이며, 아연 아이언 클럽의 전체 무게는 285.4g이다. 실험에 사용된 볼은 소프트 골프를 위한 볼로써, 천연 고무(1등급, 고무 100%)와 wool과 nylon이 55대 45로 혼합된 FELT를 재료로 하여 제작되었으며, 볼의 크기와 형상은 기존의 골프 볼과 동일하지만 무게는 기존 골프공보다 가벼운 28g이고, 직경은 45.2mm이다.

표 1. 기존 골프용구와 소프트 골프용구 비교

Table 1. The comparison between the regular and soft golf apparatus

	기존 골프	소프트 골프
클럽헤드 무게(g)	300~450	196.4
클럽길이(inch)	36~38	36
공의 무게(g)	45.4	28
공의 직경(cm)	4.27	4.5

**B. 피험자**

남자 아마추어 4명으로 평균 연령은 53.5±3.1세, 평균 신장은 169.25±1.73cm, 평균 몸무게 75.02±3.45kg이다. 피험자는 모두 오른손잡이이며, 이들은 신경학적 및 근·골격계에 질병이 없는 사람을 대상으로 하였다. 피험자는 실험에 대하여 충분히 숙지하고 실험에 참여하였다.

**C. 실험장치 및 절차**

기존의 골프 클럽과 소프트 골프 클럽을 이용한 스윙동작을 분석하기 위해 그림 2에서처럼 0.01mm의 resolution과 0.1mm의 높은 정밀도를 가진 3차원 적외선 동작 분석기(Optotrak Certus, Northern Digital Inc., Canada)와 데이터 수집과 분석 시스템(Motion Monitor, Innovative Sport, Inc., USA)를 이용하여 샘플링 주파수 100Hz로 적외선 발광 마커(Infrared light Emitting Diode maker)의 3차원 공간좌표를 수집 하였다. 2대의 힘판(Bertec Inc., USA)을 이용하여 샘플링 주파수 1000Hz로 지면 반발력을 측정하였으며 동시에 비디오 카메라를 이용하여 초당 100프레임으로 스윙 동작을 녹화하였다.

3차원 동작 데이터 수집을 위하여 28개의 IRED 마커를 그림3에서처럼 개발된 마커 세트에 따라 관절의 주요 위치에 부착하여 스윙 동작을 측정하였다. IRED 마커를 통해 입력된 3차원 공간좌표 데이터는 다물체 동역학해석 소프트웨어인 ADAMS (MSC Software, Inc., USA)에 입력되어, 가상 휴먼 모델링 및 시뮬레이션 소프트웨어인 LifeMOD(BRG Inc., USA)을 통해 인체 시뮬레이션 하였다.

실험은 일반 골프클럽, 아연합금(Zn alloy) 헤드 소프트 골프 클럽 총 2가지 클럽으로 스윙을 하였으며, 한 클럽 당 5번의 스윙을 하였고 골프 클럽은 무작위로 주어졌다. 5번의 스윙 후 10분 정도

의 휴식 시간을 가졌다.

**D. 스윙 동작 모델링 및 분석**

기존의 골프 클럽과 소프트 골프 클럽을 이용한 스윙 동작 데이터를 이용하여 다물체 동역학해석 프로그램인 MSC.ADAMS (MSC Software Co., USA)와 인체 모델링 프로그램인 BRG. LifeMOD (Biomechanics Research Group Inc., USA)를 통해 가상 골격 모델과 실제 클럽과 같은 물성치를 가지는 가상 클럽을 생성하였다. 골격 모델은 피험자의 인체계측 데이터와 적외선 발광 마커의 동작 데이터를 입력으로 하고 가상 인체 모델링 프로그램인 LifeMOD를 사용하여 머리(head), 목(neck), 가슴몸통(upper torso), 복부몸통(central torso), 골반(lower torso), 견갑골(scapular) 2개, 상완(upper arm) 2개, 하완(lower arm) 2개, 손(hand) 2개, 넓적다리(upper leg) 2개, 종아리(lower leg) 2개, 발(foot) 2개의 총 19개의 분절로 이루어진 삼차원 가상 골격모델을 생성하였다. 골격모델의 체절과 체절을 연결하기 위하여 관절(joint)을 생성하였다. 척추부에 윗목(upper neck), 아랫목(lower neck), 흉추(thoracic), 요추(lumbar) 각 1개씩 4개, 상지의 어깨(shoulder), 팔꿈치(elbow), 손목(wrist) 양쪽에 3개씩 6개와 하지의 엉덩관절(hip), 무릎(knee), 발목(ankle) 양쪽에 3개씩 6개로 총 18개의 관절을 생성하였다. 생성된 관절은 경첩관절(revolute joint)로써 관절마다 x,y,z방향으로 각각 세 개씩 구성되고 x,y,z방향의 회전 자유도(rotational degree of freedom)를 갖는다. 관절 생성 시 강도와 제동력을 설정해 주어야 하는데 본 연구에서는 관절의 강도는 11298.5N/m를, 제동력은 1129.85N • sec/m를 인가하였다.

삼차원 동작분석에서 획득된 적외선 발광 마커 위치의 이동경로를 따라 골격을 움직이는 역동역학적 해석(inverse dynamics

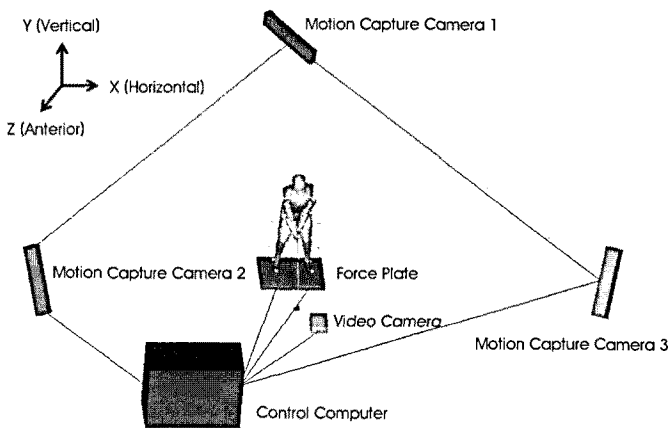


그림 2. 스윙동작을 분석하기 위한 동작 분석시스템  
Fig. 2. System for Swing motion Analysis

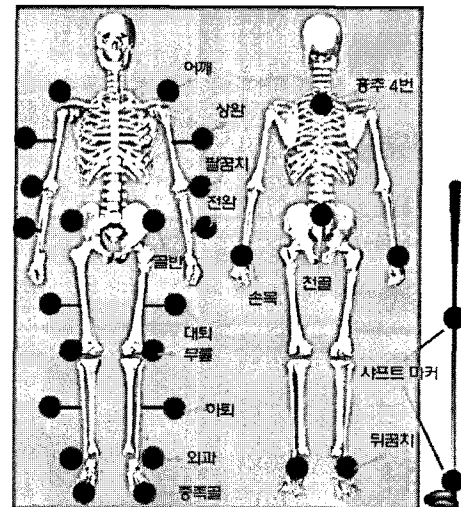


그림 3. 3차원 골프 스윙 동작분석을 위한 마커 부착 위치  
Fig. 3. Marker location for 3D golf swing motion analysis

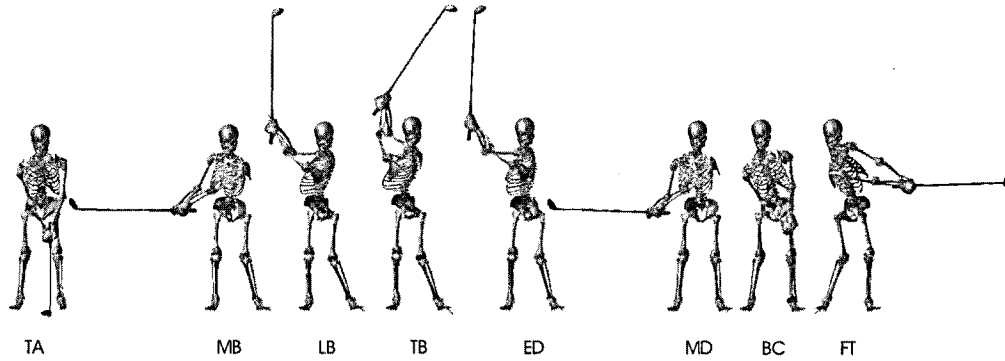


그림 4. 3D 동작 분석을 위한 골프 스윙 동작 이벤트  
 Fig. 4. Golf swing event for 3D motion analysis

simulation)을 통하여 관절의 운동 각도를 계산하여 저장하고, 가상마커의 영향을 배제하고 저장된 관절 운동 각도를 입력으로 하여 정동역학적 해석(forward dynamics simulation)을 수행하여 힘(N)과 토크(Nm)를 획득하였다[17-18]. 획득한 인체 시뮬레이션 데이터로부터 스윙 동작 분석을 위해 그림 4와 표 2에서처럼 전체 스윙 동작을 8개의 동작으로 구분[19]하여 기존의 골프 클럽과 소프트 골프 클럽(아연합금헤드)을 이용한 스윙 동작 동안 왼쪽 손목관절(wrist joint), 왼쪽 팔꿈치관절(elbow joint), 왼쪽 어깨관절(shoulder joint)과 허리관절(lumbar)에 부하되는 힘(N)과 토크(Nm)를 분석하였다.

통계분석은 window용 SPSS 12.0 version을 이용하여, 각 골프 스윙 단계별로 기존골프와 소프트골프 클럽을 이용한 스윙 동작에 대해 paired-t test를 실시하여 결과 값의 유의성을 판단하였다. 통계적 유의성 검정을 위한 p값은 0.05 미만으로 하였다.

### III. 결과 및 고찰

골프 스윙 동작 동안에 주로 부상이 발생하는 구간은 다운스윙(TB~FT)이며 백스윙(TA~TB)보다 2배 이상의 부상이 발생한다. 이때 아마추어 경우 골프 관련 부상이 주로 발생하는 부위는 상지관절과 등-허리부위로서 스윙 기술에 결점이 있거나, 기술 수준이 낮은 것이 부상의 주요 원인이다[4-5]. 이러한 연구에 따르면 아마추어 골퍼보다 낮은 스윙 기술을 지니며 신체적 조건이 약한 초보자나, 어린이, 노약자들이 다루기 어려운 기존의 무거운 골프 클럽을 이용하여 스윙을 했을 때에는 부상의 위험이 더욱 높아진다는 것을 예측할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 기존의 골프 클럽과 기존 골프 클럽의 단점을 보완하여 개발된 아연합금 소재의 헤드를 채용한 소프트 골프 클럽의 스윙 동작 동안 왼쪽 상지 관절(어깨, 팔꿈치, 손목)과 허리에서 생성되는 힘(N)과 토크(Nm)를 분석하였으며 아래와 같은 결과를 얻었다.

표 2. 골프 스윙 동작 이벤트 정의  
 Table 2. The definition of golf swing event

Swing Event	Definition
TA (Takeaway)	클럽이 어드레스 자세에서 후방으로 이동하는 시점
MB (Mid-backswing)	클럽 샤프트가 수평면과 평행하는 시점
LB (Late backswing)	클럽 샤프트가 수평면과 직각을 이루는 시점
TB (Top of backswing)	샤프트가 다운스윙하는 순간
ED (Early downswing)	클럽 샤프트가 수평면과 직각을 이루는 시점
MD (Mid-downswing)	클럽 샤프트가 수평면과 평행하는 시점
BC (Ball contact)	클럽이 볼과 접촉하는 순간
FT (Follow-through)	접촉 후 클럽 샤프트가 수평면과 평행하는 시점

**A. 왼쪽 손목 관절의 힘과 토크**

그림 5는 기존 골프와 소프트 골프 클럽을 이용한 스윙 동작 중 왼쪽 손목 관절에서 생성된 힘(N)과 토크(Nm)를 나타낸 것이다. 소프트 골프 클럽을 이용한 스윙 동작에서 기존 골프 클럽을 이용한 스윙 동작 보다 25%가 감소된 힘이 생성되었으며, 다운스윙 동작 동안에 관절의 해부학적인 움직임에 나타내는 토크 또한 기존 골프 클럽을 이용한 스윙 동작 동안의 토크보다 54% 감소되었다. 왼쪽 손목은 스윙 동작 동안 굴곡·신전작용(flexion/extension), 코킹과 언코킹(cocking/uncocking), 내측·외측 회전(medial/lateral rotation)이 일어나게 되며 이 움직임에 의해 공을 치기 전 클럽헤드의 속도는 160km/h에 도달하게 된다[5]. 즉, 손목의 부상은 공의 속도와 비거리를 증가시키기 위해 손목을 과도하게 움직이게 되는 것이 주원인이다.

그림 5의 토크를 나타낸 그래프에서 시상면은 손목의 코킹과 언코킹을 나타내며 코킹 토크는 (+)로, 언코킹 토크는 (-)로 나타난다. 횡단면은 내·외측 회전을 나타내며 내측 회전토크는 (+)로, 외측 회전 토크는 (-)로 나타난다. 전두면은 굴곡과 신전을 나타내며 굴곡 토크는 (+)로, 신전 토크는 (-)로 나타난다.

시상면에서는 TB에서 ED까지 소프트 골프 클럽 스윙보다 기존 골프 클럽 스윙에서 185%의 증가된 손목 코킹 토크가 생성되었고, ED이후부터 BC까지 기존 골프 스윙의 언코킹 토크가 소프트 골프 스윙의 언코킹 토크보다 급격히 증가하였다. BC 이후 기존

골프 클럽 스윙에서 코킹 방향으로 크게 증가된 토크가 생성되었다. 시상면에서 기존 골프 스윙의 코킹 토크가 소프트 골프 스윙보다 크게 생성이 되었는데, 이는 기존 골프 클럽의 중량이 크기 때문에 코킹각을 만드는데 소프트 골프 클럽보다 더 큰 토크가 필요하며, 더 큰 토크가 클럽에 전달되어 큰 클럽 움직임, 가속도와 관성 발생 될 수 있기 때문에 손목의 요골편위(엄지쪽으로 손목을 옆으로 구부림)가 더 가중 될 수 있다. 이로 인해 가동 범위를 넘어서는 요골편위가 일어날 수 있으며 양손의 엄지손가락이 요골(radius) 쪽으로 꺾이는 현상이 발생할 수 있다. 또한 기존 골프 클럽의 중량으로 인해 백스윙에서 타깃방향으로 다운스윙 시 골프 클럽에 대한 제어력을 갖기 위해 손목에서 소프트골프 스윙 시보다 더 큰 언코킹 토크를 생성하였다. 이때 언코킹이 커지게 되면 공 대신 땅을 치게 되어 유구골(hamate) 골절 부상을 유발할 수 있다[4-5].

횡단면에서 ED까지 내측회전 토크는 기존 골프와 소프트 골프 클럽을 이용한 스윙의 토크가 유사함을 보이지만, MD 이후부터 BC까지 소프트 골프 스윙보다 기존 골프 스윙에서 외측회전 토크가 41% 증가하였다. BC 이후부터 내측회전 방향으로 기존 골프 클럽 스윙에서 167% 증가된 토크가 생성되었다. 횡단면에서 기존 골프 스윙이 소프트 골프 스윙보다 큰 외측회전 토크를 생성하였다. 이는 타깃방향으로 클럽을 전환시키는데 필요한 토크가 더 크며, 방향 전환되어 이동하는 클럽의 무거운 무게로 인해 관성이 커져 그 영향으로 손목의 외측회전이 더욱 가중된 결과이다. 이로 인

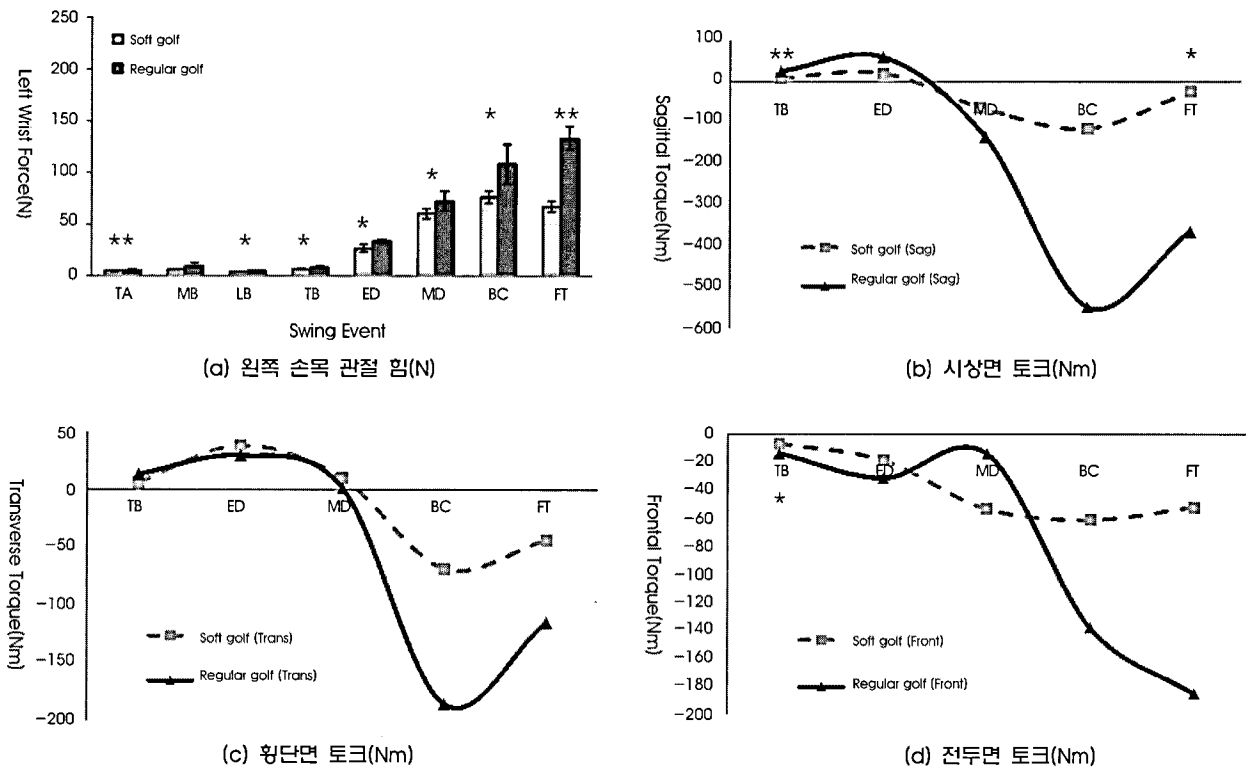


그림 5. 기존 골프 클럽과 소프트 골프 클럽을 이용한 스윙에서 생성된 왼쪽 손목의 힘과 토크 (\*\* p < 0.01, \* p < 0.05)  
 Fig. 5. Generated left wrist force and torque by golf swing using regular golf club and soft golf club (\*\* p < 0.01, \* p < 0.05)

해 손목이 과도하게 비틀어질 수 있으며 그 움직임을 조절하는 전완부에서 손으로 이어지는 근육, 건 또는 인대의 부상이 유발될 수 있다. BC 이후 코킹과 내측회전 방향의 토크가 생성되는데, 이는 공을 친후 클럽을 감속시키기 위한 동작을 하기 때문인 것으로 이 토크는 타깃 방향으로 급격히 가속된 움직임에 반대되는 토크이다. 이 토크는 기존 골프 스윙에서 크게 생성된 것을 볼 수 있고, 이것은 클럽을 제어하는 움직임을 하는 동안 관절에 더 큰 부담과 통증이 유발하는 원인이 될 수 있다.

전두면에서 ED까지 기존 골프 스윙보다 소프트 골프 스윙의 신전 토크가 45% 감소되어 생성되었고, MD 이후부터 BC까지는 기존 골프 스윙의 신전 토크가 소프트 골프 스윙보다 26% 증가되어 생성되었다. BC 이후에도 계속 신전 방향으로 191%가 증가한 토크가 생성되었다. 전두면에서 기존 골프 스윙에서 소프트 골프 스윙보다 큰 신전 토크가 생성되었으며, BC 이후까지 신전 방향으로 토크가 계속 커지는 것을 볼 수 있다. 이것은 공을 타격하기 위해서 클럽을 움직이는데 더 큰 토크를 필요하다는 것이며, 클럽에 더 큰 역학에너지가 전달되어 클럽의 운동이 증가될 수 있다는 것을 암시하는데 이는 BC 이후 소프트 골프 스윙과는 다르게 계속된 신전 방향으로의 토크 증가를 통해서 알 수 있다. 소프트 골프 스윙에서는 굴곡 방향으로 토크가 생성이 된 것으로 보아 충분히 클럽을 감속시키며 손목의 움직임을 제동한 것을 알 수 있다.

왼쪽 손목에서 생성된 힘과 토크는 기존 골프 클럽을 이용한 스

윙보다 소프트 골프 클럽을 이용한 스윙에서 힘은 25%, 토크는 54% 감소되어 생성되었다. 특히 해부학적 기준면으로 본 토크를 통해 손목이 스윙 움직임을 하는데 소프트 골프 스윙에서 적은 토크가 생성되었으며, 이것은 기존 골프 클럽을 이용한 스윙 동작 동안 발생할 수 있는 손목의 과도한 움직임과 그 움직임으로 인해 발생하는 부상을 방지하는데 소프트 골프 클럽이 효과가 있다는 것을 알 수 있다.

**B. 왼쪽 팔꿈치 관절의 힘과 토크**

그림 6은 스윙 시 사용한 기존 골프 클럽과 소프트 골프 클럽에 따른 팔꿈치 관절에서 생성된 힘(N)과 토크(Nm)를 나타낸 것이다. 소프트 골프 클럽을 이용한 스윙 동작에서 기존 골프 클럽을 이용한 스윙 동작 보다 13% 감소된 힘이 생성되었으며, 다운스윙 동작 동안 관절의 해부학적인 움직임을 나타내는 토크도 기존 골프 클럽을 이용한 스윙 동작 동안의 토크보다 53% 감소된 토크가 생성되었다.

왼쪽 팔꿈치는 스윙 동작 동안 굴신, 회내·회외(pronation/supination) 작용이 일어나게 된다. 시상면은 팔꿈치의 굴곡과 신전을 나타내며 굴곡 토크는 (+)로, 신전 토크는 (-)로 나타난다. 횡단면은 회내·회외를 나타내며 회내 토크는 (+)로, 회외 토크는 (-)로 나타난다. 전두면에서 팔꿈치 관절의 움직임을 나타낼 수 없기 때문에, 본 연구에서는 전두면에서 왼쪽 팔꿈치 관절에서의 힘

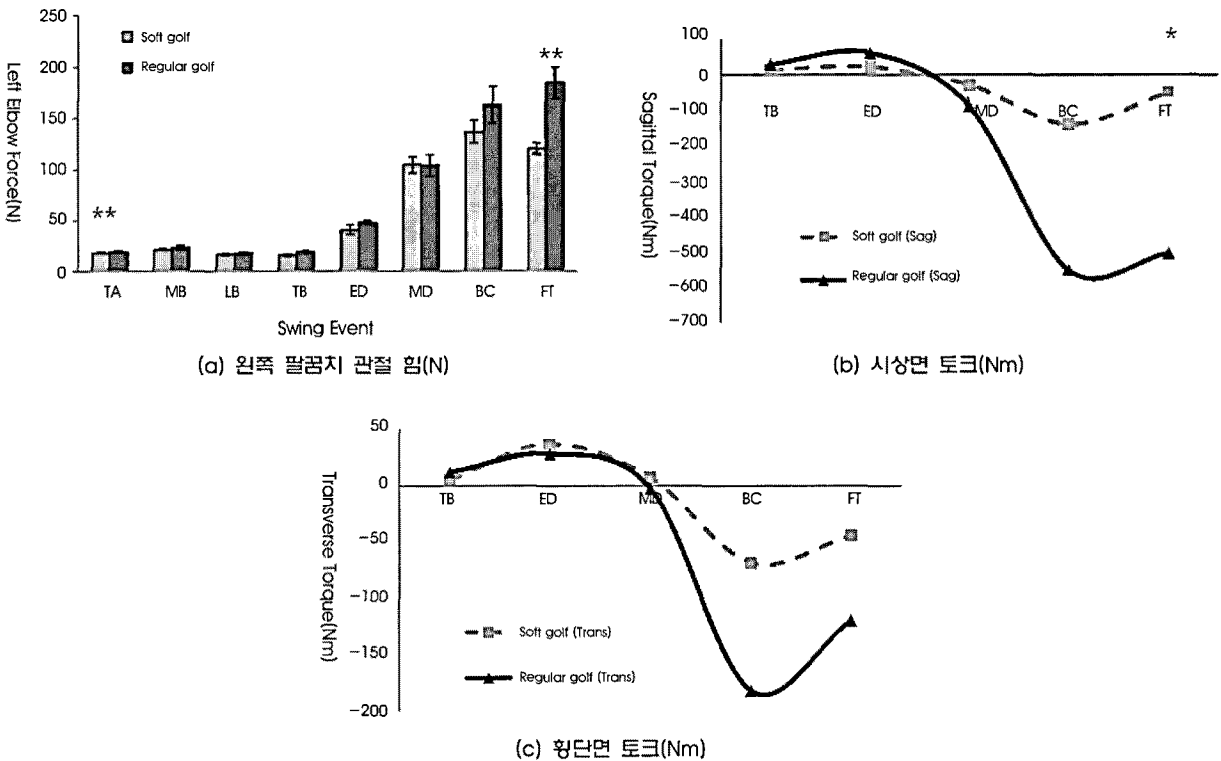


그림 6. 기존 골프 클럽과 소프트 골프 클럽을 이용한 스윙에서 생성된 왼쪽 팔꿈치의 힘과 토크 (\*\* p < 0.01, \* p < 0.05)  
 Fig. 6. Generated left elbow force and torque by golf swing using regular golf club and soft golf club (\*\* p < 0.01, \* p < 0.05)

과 토크를 분석하지 않았다.

시상면에서 기존 골프스윙이 ED까지 소프트 골프 스윙보다 151% 증가된 굴곡 토크를 보이며 ED 이후부터 기존 골프 스윙의 신전 토크가 소프트 골프 스윙보다 현저히 증가되는 것을 볼 수 있다. BC 이후 FT까지 굴곡 방향의 토크가 생성되었고, 소프트 골프 스윙의 토크보다 크게 증가되었다. 시상면에서 소프트 골프 스윙보다 기존 골프 스윙에서 큰 굴곡 토크가 생성이 되었는데, 기존 골프 스윙에서 무거운 클럽을 제어하면서 스윙동작에 충실한 팔꿈치의 굴곡을 유지하고, 신전 시 클럽을 타겟 방향으로 전환하기 위해 더 큰 토크가 요구 된다는 것을 알 수 있었다.

횡단면에서 ED까지 기존 골프 스윙의 회내 토크는 소프트 골프 스윙과 비슷한 크기의 회내 토크를 생성하였으며, MD 이후 회외 토크가 소프트 골프 스윙의 회외 토크보다 현저히 증가되어 생성된 것을 볼 수 있다. BC 이후 회내 토크가 생성되었으며, 소프트 골프 스윙의 회내 토크보다 170% 증가되었다. 횡단면에서 회외 토크가 기존 골프 스윙에서 더 크게 생성되었다. 클럽 헤드를 더욱 가속시키기 위해서 임팩트 시 전완을 TA의 상태로 오도록 빠르게 회외시키게 되는데, 전완을 회외시키는 토크가 기존 골프 스윙에서 더 필요한 것을 알 수 있고, 기존 골프 스윙에서 팔 부위의 근육들이 더 사용되었을 것이다.

주로 골퍼가 팔꿈치에 입는 부상은 내측 상과염과 외측 상과염 (medial/lateral epicondylitis)으로 오른손잡이의 골퍼의 경우 오

른쪽 팔꿈치에는 내측 상과염이 왼쪽 팔꿈치에는 외측 상과염 부상을 입게 되는데 외측상과염의 경우 내측 상과염보다 약 4배정도 크게 유발된다[20-21]. 내·외측 상과염은 팔의 회내·외외 손목의 굴신동작을 할 때 무리하여 전완근육을 사용 한 것이 원인으로, 상과에 부착된 회외근·신근건의 과용으로 인한 건염, 골막부의 자극에 의해 근막염이나 신근건의 부분단열, 활액낭염이 발생할 수 있다. 골프에서 내·외측 상과염은 스윙 움직임 동안 과도한 근육의 수축과 근육이 상과의 근위부에 끼어들어가는 것과 공 대신 땅을 치게 되었을 경우에 입는 부상[5]으로 그림 6에서 기존 골프 스윙에서 소프트 골프 스윙보다 53% 증가된 토크를 생성하며 굴곡과 신전, 회내·외 움직임을 수행하고 있는 결과를 통해 기존 골프 클럽으로 스윙 할 경우 내·외측 상과염 부상 위험이 더욱 높다는 것을 알 수 있고, 소프트 골프 클럽으로 스윙 할 경우 위와 같은 부상의 위험이 적다는 것을 알 수 있다.

**C. 왼쪽 어깨 관절의 힘과 토크**

그림 7은 스윙 시 사용한 기존 골프 클럽과 소프트 골프 클럽에 따른 어깨 관절에서 생성된 힘(N)과 토크(Nm)를 나타낸 것이다. 왼쪽 어깨도 왼쪽 손목 및 팔꿈치 관절과 마찬가지로 기존 골프 클럽보다 소프트 골프 클럽 스윙 동작에서 9% 감소된 힘이 생성되었으며, 다운스윙 동작 동안 관절의 해부학적인 움직임을 나타내는 토크도 기존 골프 클럽 스윙 동작보다 21% 감소되었다.

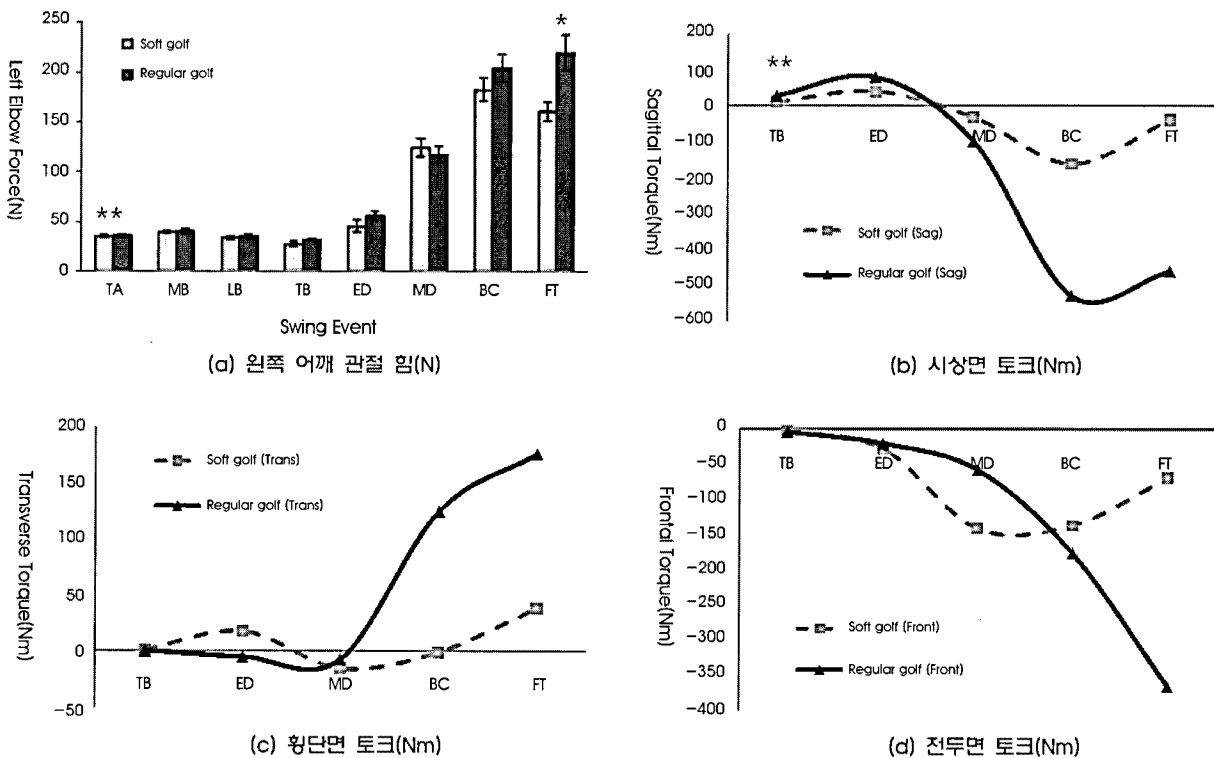


그림 7. 기존 골프 클럽과 소프트 골프 클럽을 이용한 스윙에서 생성된 왼쪽 어깨의 힘과 토크 (\*\* p < 0.01, \* p < 0.05)  
 Fig. 7. Generated left shoulder force and torque by golf swing using regular golf club and soft golf club (\*\* p < 0.01, \* p < 0.05)

왼쪽 어깨는 스윙 동작 동안 굴곡 상태에서 내·외전, 내측·외측회전이 일어나게 된다. 시상면은 어깨의 굴곡과 신전을 나타내며 굴곡 토크는 (+)로, 신전 토크는 (-)로 나타난다. 횡단면은 내측·외측회전을 나타내며 내측 회전 토크는 (+)로 외측 회전 토크는 (-)로 나타난다. 전두면은 내·외전을 나타내며 내전 토크는 (+)로, 외전 토크는 (-)로 나타난다.

시상면의 굴·신 토크, 횡단면의 내·외측 회전 토크 모두에서 MD구간 이후부터 기존 골프 스윙의 토크가 소프트 골프 토크보다 현저히 증가되어 생성된 것을 볼 수 있고, 특히 골프 스윙 동작 중 어깨의 주요 움직임인 내·외전 토크를 보여주는 전두면에서 기존 골프 스윙의 토크가 소프트 골프 토크보다 96% 증가된 토크가 생성되었다. 이는 기존 골프 클럽의 무거운 중량에 의해 어깨부위의 회전 근육에 무리를 줄 수 있으며, 초과된 어깨 관절 가동 범위를 유발할 수 있다. 어깨 부상 패턴은 주로 골퍼의 나이와 스윙의 파워에 영향을 받는데[22-23] 특히 고령 골퍼는 어깨 유연성과 관절의 퇴화로 인해, 무리한 스윙 시 관절낭염과 회전근육의 염증 및 외상을 입을 수 있다[4]. 그림 7의 결과를 통해 어깨의 빠른 다운스윙 움직임이 기존 골프 스윙에서 소프트 골프 스윙보다 9% 증가된 힘과 21% 증가된 토크로 굴곡과 신전, 내·외전 작용이 수행되고 있는 것을 알 수 있다. 즉, 기존 골프 클럽으로 스윙 할 경우 소프트 골프 스윙보다 더 큰 힘으로 스윙을 수행하게 되기 때문에 고령의 골퍼와 초보골퍼에게는 어깨 관절에 무리를 주게 되어 부상의 위험이 더욱 높아질 것을 알 수 있다.

**D. 허리 관절의 힘과 토크**

그림 8은 스윙 시 사용한 기존 골프 클럽과 소프트 골프 클럽에 따른 허리 관절에서 생성된 힘(N)과 토크(Nm)를 나타낸 것이다. 허리도 왼쪽 손목, 팔꿈치, 어깨 관절과 마찬가지로 소프트 골프 클럽을 이용한 스윙 동작에서 기존 골프 클럽을 이용한 스윙 동작보다 5% 감소된 힘이 생성되었으며, 다운스윙 동작 동안 관절의 해부학적인 움직임을 나타내는 토크도 기존 골프 클럽을 이용한 스윙 동작 동안의 토크보다 10% 감소되었다.

허리는 스윙 동작 동안 약간 숙여진 상태로 회전, 측방굴곡이 일어나게 된다. 시상면은 허리의 굴곡과 신전을 나타내며 굴곡 토크는 (-)로, 신전 토크는 (+)로 나타난다. 횡단면은 허리의 회전을 나타내며 오른쪽 회전은 (+)로, 왼쪽 회전은 (-)로 나타난다. 전두면은 허리의 측방굴곡을 나타내며 왼쪽으로 측방굴곡은 (+)로, 오른쪽으로 측방굴곡은 (-)로 나타난다.

시상면과 전두면에서 BC까지 기존 골프 스윙 토크와 소프트 골프 스윙 토크가 비슷한 것을 알 수 있다. 하지만 BC이후부터 소프트 골프 스윙의 토크가 기존 골프 스윙 토크보다 (+)쪽으로 83% 증가된 토크를 보이는데 이는 기존 골프를 이용한 스윙에서 허리의 움직임이 아직 굴곡 및 측방 굴곡 상태로 피니쉬 단계에 접어들었으며 소프트 골프 스윙보다 허리 움직임이 제한된 즉, 근육이 충분히 이완되지 못했던 것을 알 수 있다.

횡단면에서 TB에서 ED까지 기존 골프 스윙에서 소프트 골프

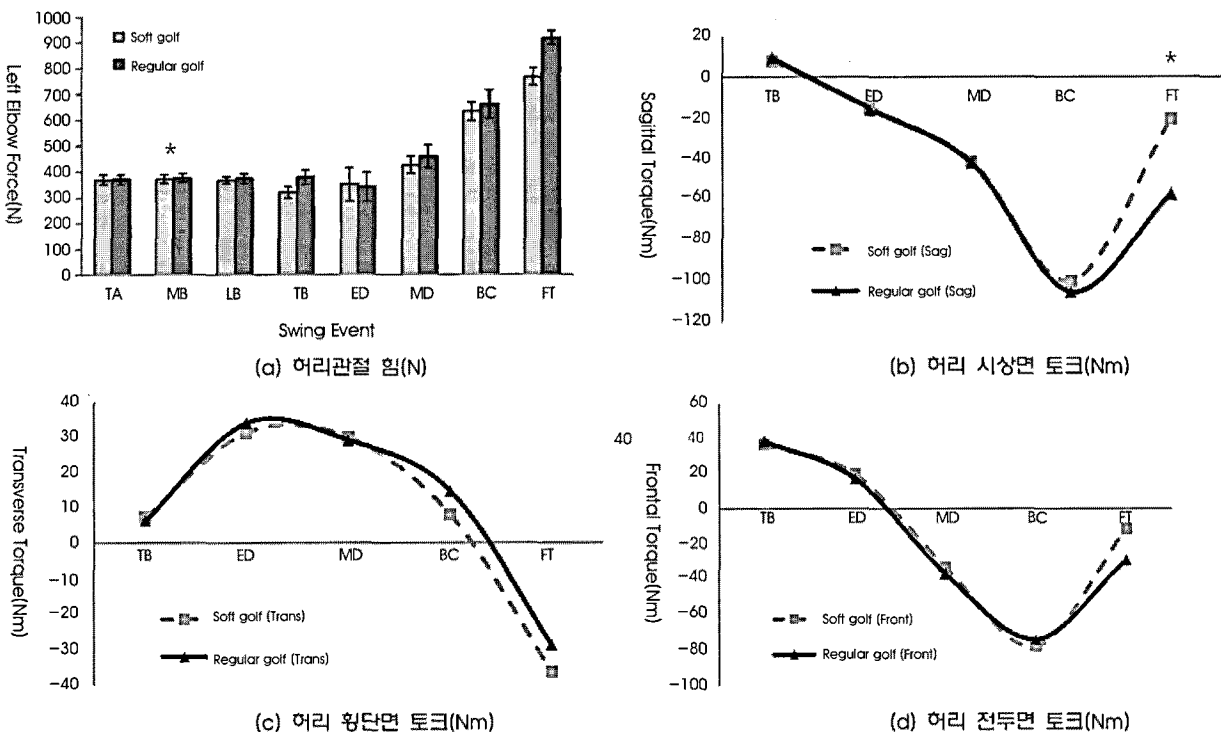


그림 8. 기존 골프 클럽과 소프트 골프 클럽을 이용한 스윙에서 생성된 허리의 힘과 토크 (\* p < 0.05)  
 Fig. 8. Generated lumbar force and torque by golf swing using regular golf club and soft golf club (\* p < 0.05)



스윙보다 8% 증가된 코일링(오른쪽 회전) 토크가 생성되었다. BC으로 갈수록 코일링 토크가 감소하며 언코일링(왼쪽 회전) 방향의 토크가 생성되었으며, 이 크기 또한 기존 골프 스윙에서 17% 증가된 것을 볼 수 있다. FT에서 언코일링 토크가 생성되었으며, 기존 골프 스윙에서 언코일링 토크가 소프트 골프 스윙의 언코일링 토크보다 작다는 것으로 볼 때 허리의 언코일링이 충분히 일어나지 않았다는 것을 알 수 있다.

골프 스윙에서 다운스윙 시 클럽헤드 속도를 높이고 클럽헤드와 공에 전달되는 역학에너지를 증가시켜 비거리를 늘리기 위한 허리의 움직임이 매우 중요하다. 클럽헤드속도를 증가시키고 비거리를 늘리기 위해서 티칭프로들은 척추를 축으로 골반의 제한된 오른쪽 회전과 어깨의 큰 오른쪽 큰 회전을 강조한다. Myers[24] 등의 연구에서 골반과 어깨의 회전 각도의 차이를 계속하여 그 크기와 각 속도에 따라 공속도의 차이를 연구하였는데, 스윙 시 허리와 어깨의 회전 각도의 차이가 클수록 공에 전달되는 에너지가 증가되어 비거리가 증가한다고 하였다. 그러나 그 차이를 증가시키는 스윙 방법은 허리에 큰 비틀림, 압축력 등의 부하를 주어 허리 부상을 유발하는 주요 부상원인이 되고 있다. 골프 스윙 동작동안 허리 부위에 측방굴곡, 전후방 수축, 회전력, 디스크에 인가되는 압축력이 부하되는데 이는 척추의 근육과 디스크, 인대 등에 큰 상해를 입히는 원인이 된다[25].

허리 관절의 토크를 해부학적인 3가지 면으로 나누어 나타낸 그림 8의 결과를 통해 회전, 굴신, 측방굴곡의 토크가 소프트 골프 클럽을 이용한 스윙에서 적다는 결과를 통해 소프트 골프 클럽을 이용한 스윙 시 허리에 작용하는 측방굴곡, 전후방 수축, 회전력, 디스크에 인가되는 압축력이 기존 골프 클럽을 이용한 스윙보다 적게 작용하며, 부상의 위험 또한 낮아질 것을 유추할 수 있었다.

#### IV. 결론

본 논문에서 기존 골프 클럽을 이용한 스윙과 소프트 골프 클럽을 이용한 스윙 시에 각 관절에서 생성되는 힘과 토크를 인체 시뮬레이션을 통해 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 각 이벤트에서 관절에서 생성된 힘과 토크는 골프 스윙 동작의 분석을 용이하게 하며, 기존 골프 클럽과 소프트 골프 클럽을 이용한 스윙 동작의 특성과 관절 부하량을 분석하는데 도움을 줄 수 있다.
2. 골프 스윙 시 백스윙보다 다운스윙에서 더 큰 힘과 토크가 생성되었으며, 기존 골프 클럽보다 소프트 골프 클럽을 이용한 스윙에서 더 적은 힘과 토크가 생성되었다.
3. 소프트골프 클럽을 이용한 스윙 동작 분석으로 기존 골프 경기 중 부상이 발생하기 쉬운 주요 관절인 손목, 팔꿈치, 어깨 관절과 허리 등의 관절 부하량을 감소시켜 부상 감소에의 효과가 있음을 확인하였다.

위와 같은 결과를 토대로 기존의 골프 클럽보다 중량을 줄인 소프트 골프 클럽을 이용하여 스윙을 하면 주요 부상 관절부위에 더

적은 힘과 토크가 생성되며, 이를 통해 골프를 하면서 발생할 수 있는 부상을 줄일 수 있다. 또한 보다 적은 힘으로 같은 동작을 할 수 있기 때문에 초보자, 어린이, 노약자가 즐길 수 있는 스포츠로서의 발전 가능성을 확인할 수 있었다.

#### 참고문헌

- [1] Korea golf association, "2007 Korean Golf Index"
- [2] J. Lockwood, "A Small-Scale Local Survey of Age-Related Male Golfing Ability," *Science and Golf III : Proceedings of the World Scientific Congress of Golf*, st. Andrews, Scotland : Human kinetics, 1998, pp. 112-119..
- [3] D. Morgan, F. Cook, S. Banks, "The Influence of age on Lumbar Mechanics During the Golf Swing," *science and Golf III : Proceedings of the World Scientific Congress of Golf*, st. Andrews, Scotland : Human kinetics, 1998, pp. 112-119.
- [4] J. R. Parziale, and W. J. Mallon, "Golf Injuries and Rehabilitation", *Phys Med Rehabil Clin N Am*, Vol.17, pp. 589-607, 2006.
- [5] G. Theriault, and P. Lachance, "Golf Injuries : An Overview", *Sports Med*, Vol. 26, pp. 43-57, 1998.
- [6] National safety council. annual report. itasca(IL);1996
- [7] M.E. Batt, "A survey of golf injuries in amateur golfers". *Br J Sports Med*, vol. 26, issue 1, pp. 63-65, 1992.
- [8] J, Wilks, and D. Jones, "Golf related injuries seen at hospital emergency departments", *J Sci Med Sport*, vol. 28, issue 2, pp. 43-45, 1996.
- [9] N.G. Kim, C.S. Kim, "Soft Golf Course and Tools", Korean Patent 10-2002-0027977.
- [10] Y.Y. Kim, S.H. Kim, N.G. Kim, "Kinematic and Kinetic Analysis of the Soft Golf Swing using Realistic 3D Modeling Based on 3D Motion Tracking", *Journal of Biomedical Engineering Research*, Vol. 28, pp. 744-749, 2007
- [11] Y.Y. Kim, S.H. Kim, and N.G. Kim, "Kinematic and kinetic analysis of the soft golf swing using realistic 3D modeling based on 3D motion tracking", *J. biomed. Eng. Res*:733-749, 2007.
- [12] H.S. Ahn, "Kinematic Analysis of Golf Driver Swing", *Korea Sport Research*, vol. 17, no. 4, pp.35-46, 2006.
- [13] G.S. Moon. S.W. Park, J.Y. Kim, and Y.H. Kim, "The kinematic analysis of the lower limbs during golf swing with the slopes", *The Korean Journal of Physical Education*, vol. 46, no. 6, pp.529-541, 2007.
- [14] T.P. Jorgensen, "The Physics of Golf", New York, USA, AIP Press, 1994.
- [15] S.M. Nesbit, "A three dimensional kinematic and kinetic study of the golf swing," *Journal of Sports Science and Medicine*, Vol. 4, pp. 499-519, 2005.
- [16] S.M. Nesbit, "Work and power analysis of the golf swing," *Journal of Sports Science and Medicine*, Vol. 4, pp. 520-533, 2005.
- [17] LifeMOD Manual, www.lifemodler.com/LM\_Manual\_2008.
- [18] Y.H. Kim, H.S. Kim, S.J. Hwang, S.S. Myeong, Y.K. Keum, "Contributions of the Lower Extremity Joint on the Support Moment in Normal Walking and In Unexpected Step-down

- Walking”, *Journal of Mechanical science and Technology*, Vol. 19, No. 1, pp. 371-376, 2005.
- [19] K.A. Ball, and R.J. Best, “Different centre of pressure patterns within the golf stroke I: Cluster analysis”, *Journal of Sports Sciences*, Vol.25, pp. 771-779, 2007.
- [20] J. R. McCarroll, and T. J. Gioe, “Professional golfers and the price they pay”, *Phys Sports Med*, vol. 10, pp. 54-70, 1982.
- [21] W. J. Mallon, “How to cure and prevent golfer's elbow”, *Golf Digest*, vol. 48, pp. 119-121, 1998.
- [22] F.W. Jobe, and M. Pink, “Shoulder pain in golf”, *Clin Sports Med*, vol. 15, pp. 55-64, 1996.
- [23] M. Pink, and F.W. Jobe, “ Shoulder injuries in athletes”, *Clin Sports Med*, vol. 11, 39-47, 1991.
- [24] J. Myers, S. Lephart, Y. S. Tsai, T. Sell, J. Smoliga, and J. Jolly, “ The role of upper torso and pelvis rotation in driving performance during the golf swing”, *Journal of sports sciences*, Vol. 26, pp. 181-188, 2008.
- [25] T. M. Hosea, and C. J. Gatt, “ Back pain in golf”. *Clin Sports Med*, Vol. 15, pp. 37-53, 1996.