

단일 카메라 영상으로부터 골프 스윙의 자동 분석

(Automatic analysis of golf swing from
single-camera video sequences)

김 병 기*

(Pyeong-kee Kim)

요 약 본 논문에서는 단일 카메라로부터 입력된 2차원 측면 골프 스윙 비디오 영상으로부터 사람의 개입 없이 스윙을 자동으로 분석하는 방법을 제안하였다. 2차원 환경에서 스윙 자동 분석에 필요한 특징들을 정의 및 추출하고, 에지 검출과 직선 추출을 비롯한 다양한 영상처리 기법을 이용하여 자동 스윙 분석 방법을 제시 하였다. 기존 스윙분석 시스템이나 관련 연구들과 비교하여 제안한 방법은 다음과 같은 두 가지 특징을 갖는다. 첫째, 기존의 스윙 자동분석이 상대적으로 복잡하고 고가인 3차원 환경에서만 가능하였지만 제안한 방법은 2차원 환경에서도 가능하다. 둘째, 기존의 2차원 스윙분석 시스템들은 골프 전문가에 의한 분석이 필요하지만 제안한 방법은 사람의 개입 없이 자동적으로 이루어지므로 사용이 편리하다. 제안한 스윙특징 추출 및 분석 방법을 20장의 스윙영상에 대하여 실험한 결과, 제안한 방법이 스윙 특징 추출 및 분석에 유용함을 확인하였다.

핵심주제어 : 골프 스윙 자동 분석, 특징 추출, 키 프레임, 영상 처리

Abstract In this paper, I propose an automatic analysis method of golf swing from single-camera video sequences. I define necessary swing features for automatic swing analysis in 2-dimensional environment and present efficient swing analysis methods using various image processing techniques including line and edge detection. The proposed method has two characteristics compared with previous swing analysis systems and related studies. First, the proposed method enables an automatic swing analysis in 2-dimension while previous systems require 3-dimensional environment which is relatively complex and expensive to run. Second, swing analysis is done automatically without human intervention while other 2-dimensional systems necessarily need analysis by a golf expert. I tested the method on 20 swing video sequences and found the proposed method works effective for automatic analysis of golf swing.

Key Words : Automatic Analysis of Golf Swing, Feature Extraction, Key Frame, Image Processing

1. 서 론

최근 골프 산업의 활성화와 IT 기술의 발달

로 국내외에서 골프를 즐기는 인구가 크게 늘고 있는 추세이다. 이는 경제적 수준의 향상과 더불어 국제 골프 경기에서 우수한 기량을 보이는 우리나라 프로 골퍼들의 활동 증가와 국내 필드

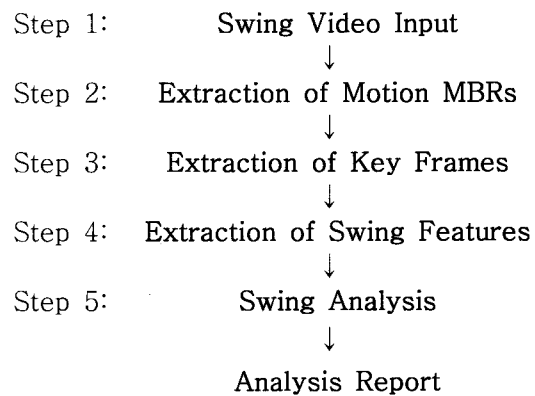
* 신라대학교 IT학과 교수

및 스크린 골프 시장의 급속한 확대에 크게 기인한다고 볼 수 있다. 골프는 경기의 특성상 부상 방지와 적절한 기량 향상을 위하여 올바른 스윙 자세가 다른 어떤 스포츠에서 보다 중요하다. 그러나 적지 않은 골퍼들이 부상에 많이 노출되어 있고 스윙을 익히는 데에도 비용과 시간이 많이 소요되는 것이 현실이다. 뿐만 아니라, 골프 스윙은 3초 이내의 짧은 순간에 이루어지므로 육안으로는 정확하게 분석하기 어렵고 전문가에 따라 스윙 분석 방법과 내용이 서로 달라서 객관적인 결과를 얻기도 쉽지 않다. 따라서, 컴퓨터를 이용한 자동 분석 시스템을 국내에서 크게 늘어나고 있는 스크린 골프장에 설치하여 활용한다면 보다 저렴하고 쉽게 객관적인 스윙분석이 가능하고 아울러 올바른 스윙 자세로 부상도 예방할 수 있을 것이다.

컴퓨터를 이용한 골프 스윙 분석은 영상 획득 환경에 따라 크게 3차원 분석과 2차원 분석으로 나눌 수 있다[1]. 3차원 분석은 골퍼의 몸 주요 부분에 3차원 마커(Marker)를 부착하고 스윙중의 3차원 위치 정보를 획득하여 스윙을 분석하는 기법이다[2]. 3차원 스윙분석은 주요 부분의 위치 획득이 2차원 경우보다 상대적으로 정확하므로 프로골퍼와 같은 직업적 골퍼(Golfer)의 스윙분석에 주로 사용된다. 그러나 3차원 분석은 골퍼의 몸에 부착하는 마커(Marker)가 스윙 시 부자연스러움을 유발할 수 있을 뿐만 아니라 마커의 부착이나 촬영 및 분석환경 구축에 적지 않은 숙련과 비용이 들어서 일반인들이 쉽게 이용하는 데는 어려움이 많다는 단점이 있다.

2차원 분석은 캠코더와 같은 2차원 영상장치를 통하여 획득한 비디오 영상으로부터 스윙동작을 분석하는 기법이다. 고속 비디오 카메라를 이용하는 2차원 영상의 촬영은 골퍼의 측면(Side)과 후면(Rear)에서 주로 촬영되고 분석은 티칭프로와 같은 골프 전문가에 의해 이루어진다. 3차원 스윙분석 기법에 비하여 환경구축 비용이 저렴하고 간단하다는 장점이 있는 반면 분석을 위하여 여전히 숙련된 전문가가 필요하고 전문가의 주관적 판단에 따라 분석 결과가 좌우된다는 단점이 있다. 기존의 2차원 분석 시스템은 자동적인 분석데이터의 추출보다는 클럽 궤

적 추적과 같은 단순한 스윙정보의 추출이나 수동적인 스윙분석에 사용할 수 있는 편집 시스템의 개발이 주류였다[3,4]. 본 논문에서는 복잡한 운영 환경이나 전문가에 의한 분석이 필요 없이, 단일 2차원 비디오 영상으로부터 스윙 특징(Swing Feature)을 자동으로 추출 및 분석하는 방법을 제안한다. 제안한 스윙자동 분석 시스템을 만들 경우, 저렴한 비용으로 객관적이고 안정적인 스윙 분석 시스템을 만들 수 있다.



<그림 1> 스윙 자동 분석 절차

본 논문에서 제안한 골프 스윙의 자동분석 절차는 <그림 1>에 나타난 것과 같다. 1단계에서 입력된 2차원 측면 스윙 비디오 영상을 대상으로, 키프레임 추출과 스윙 특징 추출을 쉽게 하기 위하여 2단계에서는 인접 프레임간의 움직임 정보를 이용하여 전체 스윙 프레임들로부터 모션 영역을 추출한다. 3단계에서는 전단계에서 추출한 모션정보를 이용하여 스윙 분석 시 중요한 장면이 되는 어드레스(Address)부터 임팩트(Impact)까지의 키프레임들을 추출한다, 4단계에서는 각 키프레임과 전체 스윙 상에서 분석의 대상이 되는 스윙 특징들을 추출한다. 마지막으로 다섯번째 단계에서는 4단계에서 추출된 스윙 특징들을 대상으로 영상처리 기법들을 이용하여 스윙을 자동 분석한다. 스윙 분석 후, 보다 정확한 진단(Diagnosis)을 위해서는 프로골퍼들로부터 같은 환경에서 구한 스윙분석 데이터베이스가 필요하므로 본 논문에서는 스윙 분석까지 구현한다.

2. 관련 연구

스윙 특징의 추출을 위해서 먼저 운동학적으로 어떤 스윙 특징들이 중요한지와 해당 특징의 추출이 가능한지를 먼저 알아보아야 한다. 본 장에서는 골프스윙에서의 중요한 특징과 이들의 분석과 관련한 연구들을 살펴본다.

논문 [5]에서는 스윙의 3개 주요 국면인 어드레스(Address), 백스윙 톱(Backswing Top), 임팩트(Impact)에서의 인체 분절 정보(각)를 골프 선수, 일반 골퍼, 초보자의 3개 그룹을 대상으로 하여 추출하였다. 주요 추출 정보(특징)로는 어깨 회전각도, 힙 각도, X-Factor, 손목 각도, 헤드 스웨이(Sway), 어깨 굽힘 각도, 어깨 기울임 각도, 힙굽힘 각도, 힙 기울임 각도 등이다. X-Factor는 어드레스와 백스윙 톱 간 백스윙 시에 이루어지는 어깨회전각과 골반회전각의 차이로서, 충분한 상체 회전으로 이 값을 크게 할수록 좋다. 손목각도(코킹 각)는 왼팔의 전완(Forearm)과 샤프트가 이루는 각으로서, 스윙톱과 다운스윙9시에서 이 값이 작을수록 지연히팅(Late hitting)이 가능하게 되어 비거리를 향상시킨다. 헤드-스웨이(Head Sway)는 백스윙과 다운스윙 시 머리의 움직임에 나타내는데, 과도한 움직임은 임팩트 정확성을 떨어뜨리고 너무 적은 움직임은 비거리에 부정적 영향을 미치므로 적절한 범위 내에서의 이동이 필요하다. 따라서, 본 논문에서는 공의 비거리에 큰 영향을 주는 다운스윙시(9시)의 팔과 샤프트가 이루는 손목각도(다운 9시 코킹각)와 스윙의 안정성과 체중 이동에 영향을 주는 헤드-스웨이를 주요한 스윙 분석 대상으로 한다.

논문 [6]에서는 드라이버 스윙 시 어드레스와 임팩트 프레임에서의 이동거리 요인과 각도 요인에 대하여 분석하였다. 이동거리 요인으로는 백스윙 및 다운스윙간의 신체 무게 중심과 머리, 왼쪽어깨, 왼쪽 힙, 왼쪽 손목 등과 같은 신체 분절들의 이동거리를 사용하였다. 각도 요인으로는 어깨와 힙의 분절회전각도와 무릎관절, 팔꿈치관절, 코킹각 등의 각도 변화를 사용하였다. 논문 [7-9]에서는 5개의 주요 스윙국면에서 백스윙 대 다운스윙 시간 비율, 상체 전경각, 상

체 측경각, 무릎각, 양쪽 어깨 및 힙 관절의 높이차, 머리 움직임, 어깨와 힙의 회전각도, 클럽 회전각도, 클럽헤드 궤적, 힙의 이동 궤적과 같은 운동학적 변인들을 대상으로 하여 클럽에 따른 스윙 동작 형태를 분석 하였다.

기존의 관련 연구들에서 사용된 스윙 분석 요인들은 3차원 공간에서 수십 개의 마커(Marker)를 골퍼의 몸에 부착하고 2대 이상의 고속 카메라를 사용하여 추출되었기 때문에, 설치비용이나 사용 기술의 복잡도 면에서 일반인들이 직접 자신의 스윙을 분석 및 교정 하는 데는 사용하기 어렵다. 최근에는 2차원 비디오 시퀀스로부터 3차원 정보를 추출하려는 시도도 있다 [10-12]. 논문 [10]에서는 반복적 피팅 알고리즘과 DBN을 이용하여 2차원 비디오 영상으로부터 머리, 팔 상하부, 몸통, 다리 상하부, 발로 구성된 3차원 인체 모델을 추출하는 시도를 하였다. 팔 하부 추출에 피부 칼라 정보를 사용하므로 긴팔 상의를 입은 골퍼에게는 적용하기 곤란하다. 논문 [13]에서는 프로 골퍼와 아마추어간의 스윙 데이터들을 비교함으로써 어떤 요소가 스윙에 중요한지를 나타내었다.

본 논문에서는 컴퓨터와 디지털 카메라를 이용하여 일반인들도 쉽게 자신의 스윙을 분석 및 교정하는 시스템을 만드는데 있어서 필요한 스윙특징을 정의하고 이들을 자동 추출하여 분석하는 방법을 제안하는데 그 의의가 있다. 논문 [6]과 [14-19]에서와 같이 대부분의 연구에서 어드레스, 백스윙, 스윙톱, 다운스윙, 임팩트, 팔로우쓰루(Follow-Through), 피니쉬(Finish)의 7개 국면을 사용한다. 본 논문에서는 2차원 측면 스윙영상으로부터 주요 특징 추출이 가능한 국면을 스윙 특징들이 추출 및 분석되는 단계에 따라 ①어드레스, ②백스윙9시, ③스윙 톱, ④다운스윙9시, ⑤임팩트와 같은 5개의 키 프레임과 ⑥다운스윙과 백스윙 전체 구간에서의 스윙특징들로 구성한다.

3. 스윙 특징들의 추출 및 분석

이 장에서는 스윙에서의 주요 단계들을 나타

내는 키프레임들과 백스윙/다운스윙 구간을 먼저 추출하고, 각각의 키프레임들과 스윙 구간들에서 자동분석에 필요한 스윙특징들을 정의하고 추출한다. 본 연구에서 사용한 키프레임 및 스윙 특징 추출은 입력 비디오로부터 인접 프레임인간의 모션 차와 모션 화소들을 둘러싸는 최접사각형인 모션 MBR (Motion Minimum Boundary Rectangle) 정보와 허프변환(Hough Transform)을 이용한 직선 찾기를 주로 이용한다.

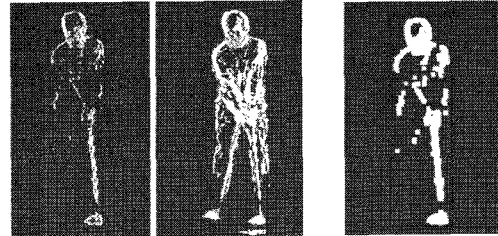
3.1 모션MBR의 추출

스윙 자동분석 특징들은 스윙 중의 모든 프레임에 나타나기 보다는 앞에서 언급한 주요 단계(키프레임)에서 찾을 수 있으므로 먼저 앞에서 언급한 주요 단계들을 추출하면 처리 시간을 줄이면서도 효율적인 스윙 특징의 추출이 가능하다. 본 연구에서는 키프레임의 추출을 위하여 인접 프레임간의 움직임 정보를 이용한다. 임의의 i 번째 프레임에 대한 모션 차 $FD(i)$ 와 모션 MBR 정보는 3개의 연속 프레임 $F(i-1)$, $F(i)$, $F(i+1)$ 로부터 다음과 같이 추출한다.

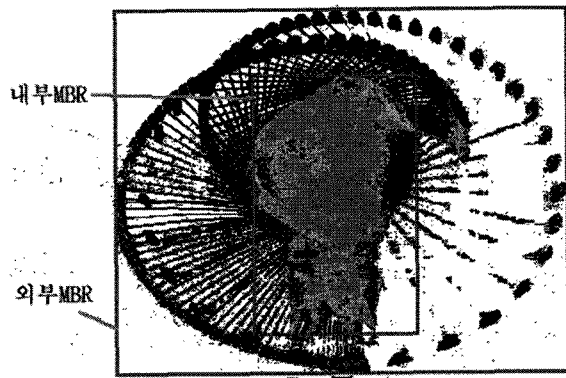
- (1) 두개의 연속 프레임 $F(i-1)$ 과 $F(i)$ 간의 화소값 차로부터 프레임 간 차영상인 $FD(i-1)$ 를 구한다.
- (2) 위와 같은 방법으로 연속 프레임 $F(i)$ 와 $F(i+1)$ 로부터 $FD(i+1)$ 을 구한다.
- (3) $FD(i-1)$ 과 $FD(i+1)$ 의 AND 연산으로 $FD(i)$ 를 구한다.
- (4) $FD(i)$ 영상에 대하여 모션MBR을 구한다.

<그림 2>의 (a)에 $FD(i)$ 와 모션MBR을 구하는 예를 보였다. 같은 방법으로 전체 스윙 프레임들에 대하여 모션을 구하고 이 값들을 누적한 후 각 화소마다 나타난 모션 빈도에 따라 MBR을 구하면 <그림 2>의 (b)에 나타난 것과 같은 2개의 모션MBR을 구할 수 있다. 모션 빈도가 상대적으로 높은 안쪽의 작은 사각형을 내부 MBR이라 하고 바깥쪽의 큰 사각형을 외부 MBR이라고 한다. 내부MBR은 스윙중의 사람의 신체부분이 움직인 범위가 되고 외부MBR은 클

럽 샤프트를 포함한 움직임 영역이 된다. 2개의 모션MBR을 사용하면 특징 추출의 범위를 제한하므로 추출시간과 정확성을 높이는데 도움을 준다.



(a) $FD(i-1)$, $FD(i+1)$, $FD(i)$ 와 모션MBR



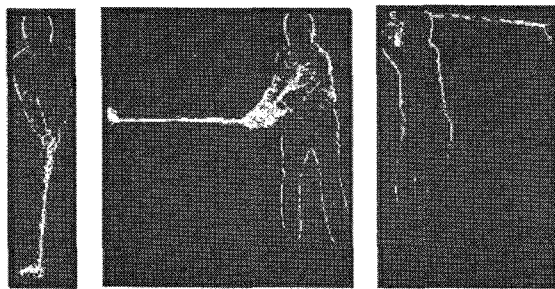
(b) 누적 모션과 내부/외부 MBR
<그림 2> 모션MBR 추출의 예

3.2 스윙 키프레임 추출

스윙 자동분석에 있어서 기본적인 특징으로는 키프레임을 들 수 있고, 이는 키프레임에서 스윙의 다양한 면들을 측정할 수 있기 때문이다. 키프레임의 추출을 위하여 본 논문에서는 각 프레임의 모션MBR의 비율을 사용한다. 각 프레임의 모션정보에 대하여 MBR을 구하고 이 MBR의 가로/세로 비율(M-Ratio)을 이용한다.

어드레스 키프레임은 모션이 일어나기 시작하는 프레임 중에서 M-Ratio가 가장 작은 프레임을 선택함으로써 찾을 수 있다. M-Ratio는 백스윙9시가 될 때 까지 증가하므로 이 값이 다시 작아지기 시작하는 지점에서 백스윙9시 키프레임을 찾을 수 있다. 본 논문에서 사용하는 스윙

시의 시간 표시는 샤프트가 가리키는 방향을 기준으로 한다. 예를 들어, 백스윙9시는 백스윙 시에 샤프트가 골퍼의 오른쪽을 지면과 평행하게 수평으로 가리킬 때를 나타낸다. 스윙톱 키프레임은 백스윙9시 이후에 M-Ratio값이 감소하다가 증가한 후 다시 감소하는 시점의 프레임에 해당한다. 같은 방법으로 다운스윙9시 키프레임과 임팩트 키프레임을 찾을 수 있다. 즉, M-Ratio 값의 증가와 감소 추세 정보만을 이용하여도 쉽게 키프레임들을 추출할 수 있다.



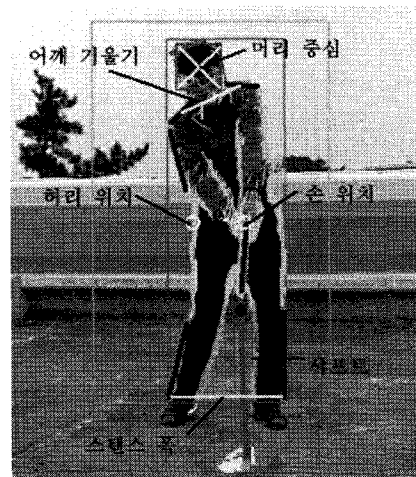
<그림 3> M-Ratio 값을 이용한 키프레임 추출

<그림 3>에 M-Ratio값을 이용한 키프레임 추출을 나타내었다. 그림에서 순서대로 어드레스, 백스윙9시, 스윙톱 키프레임을 예로 나타내었는데, 어드레스에서 M-Ratio 값이 크고 백스윙9시나 다운스윙9시에서는 작아짐을 알 수 있다. 인접 프레임간 모션 MBR을 구할 때 다리 부근에는 큰 모션차가 발생하지 않으므로 MBR 바닥을 영상의 하단으로 한다. 백스윙과 다운스윙 상의 많은 프레임들 중에서 관심 있는 키프레임으로는 백스윙9시와 다운스윙9시가 있다. 백스윙9시 프레임으로부터 테이크-어웨이(Take-Away)의 방향과 몸 움직임의 정상 여부를 알 수 있다. 다운스윙9시 프레임에서는 코킹의 확인으로 비거리에 영향이 큰 지연히팅(Late Hitting) 정도를 알 수 있다.

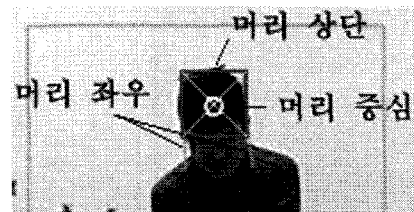
3.3 어드레스-임팩트 키프레임에서의 특징 추출

어드레스와 임팩트 키프레임은 대부분의 스윙 분석 보조 프로그램에서 중첩 표시 기능을 제공

할 정도로 스윙분석 시 자주 상호 비교되는 키프레임이다. 추출해야하는 특징과 추출방법 또한 비교적 유사한 방법으로 구현할 수 있다. 중요한 특징 및 분석 정보로는 어드레스와 임팩트 자세에서 기본이 되는 머리와 손의 위치, 우측 허리의 위치, 양 발 사이의 거리를 나타내는 스탠스 폭(Stance Width), 그리고 상체의 기울임 정도를 알 수 있는 양 어깨의 기울임 정도가 있다. 전체 키프레임에서 머리와 오른쪽 허리의 움직임 정보는 체중이동, 몸의 스웨이(Sway), 올바른 임팩트 자세 등의 판별에 있어서 매우 중요하다. <그림 4> (a)에 스윙 특징들을 나타내었다.



(a) 스윙 특징



(b) 머리중심 찾기

<그림 4> 어드레스-임팩트에서의 특징들

본 논문에서는 내부MBR영역에서 에지(Edge)인 점들을 찾은 후 허프변환을 이용한 직선을 찾아서 머리 가장자리를 찾고, 그 중심을 머리 위치 특징으로 사용한다. <그림 4> (b)에 머리 중심을 찾는 방법을 그림으로 나타내었다. 먼저, 내부MBR의 상단 1/3영역에서 일정길이 이상의

가로 직선중 가장 상단에 위치하는 것을 찾아서 머리 상단을 찾는다. 머리 상단 좌우로 일정 거리 이내에 세로 방향의 긴 직선을 찾아서 각각의 중심점을 머리의 좌우 경계로 하여 이들을 둘러싸는 정사각형의 중심을 머리 중심값으로 한다. 상체 기울기는 적절한 어드레스와 임팩트 자세의 판정에 중요한 요소 중 하나로서, 양 어깨의 기울어진 정도로 판별한다. 어깨선의 추출을 위하여 머리 중심 아래에서 가로방향으로 $\pm 35^\circ$ 이내의 기울기를 갖는 일정 길이 이상의 최장 직선을 찾고, 두 직선의 중심이 이루는 가상 직선의 기울기를 상체기울기 값으로 한다.

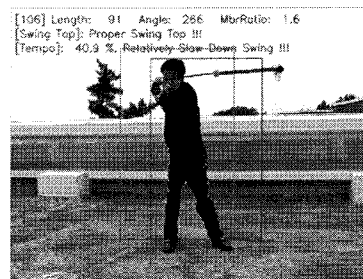
오른손잡이 골퍼의 정상적인 임팩트에서 손 위치는 어드레스 프레임에서의 왼쪽다리의 바깥 경계부근 이어야 한다. 손의 위치가 이보다 몸 안쪽일 경우에는 손목을 필요이상으로 사용하는 경우로 볼 수 있다. 어드레스 키프레임과 같이 손이 신체의 내부영역에 포함될 경우 손 자체를 찾기가 쉽지 않다. 따라서 본 논문에서는 모션 정보와 직선 찾기만으로 비교적 쉽게 찾을 수 있는 클럽 샤프트를 찾은 후 샤프트 상단 끝 부분과 허리 높이가 만나는 점을 손의 위치로 사용한다. 너무 좁거나 넓은 스탠스 폭은 안정적인 스윙과 볼의 구질에 큰 영향을 주는 요소이다. 스탠스 폭의 측정을 위하여 두 다리의 위치를 찾은 후 바깥쪽 간격을 스탠스 폭으로 사용한다. 내부MBR 영역 하단에서 에지인 점들을 구하고, 이 점들로부터 일정길이 이상이면서 직선의 기울기가 세로로 $\pm 25^\circ$ 이내의 최장 직선들을 구하여 다리의 좌우 위치를 찾는다. 스탠스 폭의 적절성은 어깨 넓이에 대한 상대적인 길이로 측정할 수 있다.

3.4 스윙톱 프레임에서의 특징 추출

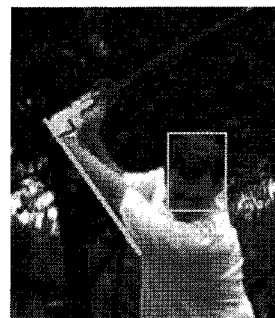
스윙톱 키프레임에서는 백스윙톱의 적절성을 알 수 있는 클럽의 스윙톱 위치, 머리위치에 상대적인 손의 위치를 추출 특징으로 한다. 스윙톱의 추출은 허프변환을 이용하여 클럽의 직선을 찾고 클럽이 수평(지면)과 이루는 각도를 계산함으로써 가능하다. 일반적으로 폴스윙의 경우 스윙톱에서의 클럽은 220° 와 270° 도 사이를

가리켜야 하며, 클럽이 270° (3시 방향)을 넘어서면 오버 스윙으로 간주한다. <그림 5> (a)에 스윙톱 각도 추출의 예를 보였다.

코킹(Cocking) 각도는 샤프트와 왼팔(forearm)이 이루는 각도로 나타내며 스윙톱과 임팩트 전후에서 최대의 클럽 헤드스피드 생성에 기여하므로 중요한 특징이다. 논문 [17]에서는 스윙톱에서 코킹각이 90° 가 되도록 하고 스윙 샤프트가 오버스윙이 되지 않는 것이 좋다고 인용한 바 있다. 스윙톱에서뿐만 아니라 다운스윙 구간에서의 적절한 코킹 여부는 지연히팅을 가능하게 하여 비거리와 깊은 관계가 있다. 논문 [15]에서는 프로골퍼의 경우 다운스윙동작의 40% 구간까지 10° 이하의 적은 손목각도 변화량을 보이고 하였다. 다운스윙시의 코킹여부 확인은 다운스윙9시에서의 손목의 각도(샤프트와 왼팔이 이루는 각도)를 통하여 알 수 있다.



(a) 스윙톱의 적절성 확인



(b) 코킹 정도

<그림 5> 스윙톱에서의 특징 추출

스윙톱에서는 오른손의 위치 또한 중요하다. 오른손의 위치가 머리에서 적당한 거리를 유지하여야 하고 손이 머리보다 위쪽에 위치하며 머리에 의하여 가려지지 않아야 한다. 오른손의 위치 추출은 어드레스에서의 방법과 같이 샤프

트의 끝을 손 위치로 간주한다. 클럽이 오버 스윙된(270° 이상) 경우 대부분 손의 위치는 머리에 가려지게 되어 클럽의 끝이 머리 중심보다 오른쪽에 위치하게 된다. 제대로 된 코킹은 <그림 5>의 (b)에 나타낸 바와 같이 손의 위치를 나타내는 샤프트의 끝이 머리 중심보다 위쪽-왼쪽에 위치하고 왼팔과 샤프트 직선이 이루는 각이 90°에 가까워야 한다.

3.5 스윙 전체에서의 특징 추출

각각의 키프레임뿐만 아니라 여러 프레임에 걸친 정보를 활용하여 특징들을 추출할 수 있다. 각 키프레임에서 신체 각 부분의 움직임 정보를 추적하여 스윙 중 헤드 스웨이나 체중이동 정도를 알 수 있고, 백스윙과 다운스윙간의 시간을 측정하여 스윙템포의 적절성도 알 수 있다. 스윙에서 큰 비거리 확보를 위하여 중요한 요소들 중에 체중이동은 매우 중요한 요소이다. 체중이동을 확인하는 방법으로는 스윙 중에 양쪽 발의 체중을 직접 측정하는 방법이 있지만, 그와 같은 별도의 장비 없이 이차원 비디오의 분석으로도 측정할 수 있다. 올바른 체중이동은 백스윙과 다운스윙간의 몸의 수평이동 정도와 손의 위치를 비교함으로써 가능하다. 어드레스 프레임부터 백스윙 12시 프레임까지의 백스윙 시에는 몸이 타겟 반대방향으로 수평이동이 이루어져야 하고 스윙톱에서 임팩트까지의 다운스윙 시에는 타겟 방향으로 수평이동이 이루어져야 한다. 이러한 움직임은 백스윙 시와 다운스윙시의 손(샤프트 끝)의 위치 변화를 측정함으로써 가능하다. 정상적인 스윙궤도에서는 백스윙 MBR의 위치가 다운스윙 MBR보다 다운스윙 MBR 폭의 20% 정도만큼 왼편에 위치하여야 한다. <그림 6>에 백스윙과 다운스윙 MBR을 보여준다.

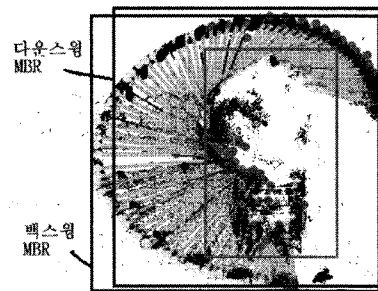
논문 [18]에서 프로골퍼의 경우 어드레스와 임팩트 프레임에서 머리의 Y축 방향(전후) 수평 위치의 변이는 매우 적게 일어나고, 팔로우쓰루가 일어나면서 자연스럽게 볼의 진행방향으로 회전이 이루어져야 한다고 했다. 따라서 백스윙 및 다운스윙 시 머리의 움직임(위치 변화)으로 체중이동과 회전의 정상 여부를 확인할 수 있

다. 논문[8] 등에서 프로 골퍼들은 어드레스와 임팩트 키프레임에서 신체중심의 변위 차이가 거의 없다고 하였다.

스윙템포는 스윙전체 구간에서 상대적 스윙속도의 적절성으로서 스윙의 안정성에 영향을 미친다. 스윙템포는 백스윙(BS), 다운스윙(DS), 팔로우쓰루(FT)에 걸리는 상대적 소요 시간으로 나타낸다. 논문 [9]에서는 골프 숙련자가 비숙련자보다 백스윙에 소요되는 시간은 더 빠르지만 다운스윙과 팔로우쓰루에 소요되는 시간은 스윙 아크가 크고 스윙을 길게 가져가므로 더 길다고 하였다. 본 논문에서 스윙템포는 다운스윙/백스윙(DS/BS) 시간으로 나타내고, 이는 다운스윙과 백스윙에 소요되는 시간의 상대적 길이로서 프로 골퍼의 경우 대략 33%~35% 내외로 알려져 있으며 다음과 같이 계산한다[7,14]. <그림 5> (a)의 상단에 스윙템포 출력의 예를 나타내었다.

DS/BS 템포=

$$\frac{\text{(다운스윙 구간에 추출된 프레임수 / 백스윙 구간에 추출된 프레임수)} \times 100(\%)}$$



<그림 6> 백스윙과 다운스윙 MBR의 비교

4. 실험 및 결과

본 논문에서 제안한 특징들의 자동 추출을 위하여 CASIO사의 EX-F1 디지털 카메라를 사용하여 스윙 모션을 획득하였다. 프레임 크기는 가로 538x 세로 384 화소로 구성되고 깨끗한 영상을 얻기 위하여 셔트 스피드 1/1000~ 1/2000초, 300 fps속도로 촬영하였다. 실험에 사용된 비디

오 영상은 일반적으로 약 800개 이내의 프레임으로 구성되지만, 특징 추출 시간을 일정하게 하기 위하여 전체 프레임 수에 관계없이 촬영된 영상 중 일정한 간격으로 200개의 프레임을 특징 추출 대상으로 사용하였다. 1.4GHz 코어2 듀오 CPU와 2GB 램 환경의 PC에서 구현한 결과, 영상 입력 후 최종 출력까지 평균 20초 이내의 실행시간이 소요 되었다. <표 1>에 본 연구에서 추출한 스윙 특징과 각 특징들을 이용한 분석 항목들을 기술하였다. 각 스윙 분석치가 적절한지 여부는 향후 후 기준이 되는 데이터베이스 자료와의 비교에 의해서 가능할 것이다.

<표 1> 스윙 특징 및 분석표

스윙구면	추출한 스윙 특징	분석 항목
어드레스	양 어깨선	어깨 기울기
	양 발, 어깨 위치	스탠스 폭
백스윙 9시	오른팔 위치, 샤프트 위치	바디-스웨이
스윙톱	샤프트, 손 위치 왼팔 위치	오버 스윙 코킹 여부
다운스윙 9시	오른팔 위치, 샤프트 위치	코킹 유지 체중 이동
임팩트	머리 위치, 손 위치	상체 기울기
	손,우측 허리 위치	손 위치
백/다운 스윙	머리 위치	헤드-스웨이
	우측 허리 위치	바디-스웨이 체중 이동
스윙전체	백스윙/다운스윙 소요시간	스윙 템포
	키프레임간 스윙시간	스윙 스피드
	백스윙/다운스윙 스윙아크 MBR	스윙 아크 크기

<표 1>에 나타나지 않은 주요한 스윙 특징들은 클럽-손-어깨-허리의 스윙 순서, 엑스팩터(X-Factor), 어깨 및 힙의 회전각과 회전속도, 어드레스 시 무릎-허리-어깨의 정렬(Aiming)상태 등을 들 수 있는데, 이들 특징들의 추출은 3차원 입력 정보가 반드시 필요할 것으로 본다. 그 밖에, 샤프트 움직임이 지면과 이루는 각인 스윙면(Plane) 각도, 어드레스 시 두 발의 앞 뒤

정렬상태, 몸과 볼과의 거리 등과 같은 특징들은 향후 본 연구에 이어 추가할 후면(Rear) 스윙 영상 분석에서 추출할 수 있을 것이다.

제안한 방법의 성능을 확인하기 위하여 20장의 아마추어 스윙영상을 대상으로 특징 추출 및 분석을 실험한 결과, 17장의 영상에 대하여 스윙톱에서의 오른손 추출을 제외한 특징 추출 및 분석이 성공하였다. 직선 무늬가 많은 상의를 입은 골퍼 영상 2장과 건물과 같은 복잡한 배경이 있는 영상 1장에 대하여는 어깨 기울기 검출을 포함한 일부 특징 추출이 실패 하였다. 이는 본 논문에서 제안한 방법이 특징 추출에 직선 검출을 많이 사용한 것에 기인하므로 일관된 배경에서의 실내 촬영과 단색의 옷 착용으로 해결할 수 있는 문제이다. 스윙톱에서의 오른손 추출은 실험에 참가한 골퍼들이 모두 아마추어로서 오버스윙으로 인하여 오른손이 머리에 의하여 가려지기 때문이었다.

어드레스 키프레임에서 상체 기울기는 양 어깨선 중심이 이루는 각을 사용하므로 추출된 어깨 직선의 끝점 위치에 따라 기울기 값이 다소 크게 변하는 단점을 보였다. 향후 기울기 값을 보다 엄밀하게 구하는 방법에 대한 연구가 필요할 것이다. 다운스윙 9시 키프레임에서 구하는 코킹각 값은 3차원 시스템과 오차가 존재하는 부분이다. 정확한 코킹각 측정은 팔 아랫부분과 샤프트가 이루는 각도가 되어야 하나, 2차원 영상에서는 팔 아랫부분이 손에 의하여 가려져서 정확한 추출이 어려워 본 논문에서는 추출이 상대적으로 쉬운 팔 윗부분과의 각도를 추출하였다. 임팩트 프레임에서 간혹 빠른 스윙 스피드로 인하여 샤프트 궤적 일부가 소실되는 경우가 발생하였는데, 이는 보다 빠른 셔트 스피드 설정으로 어느 정도까지는 해결 될 것으로 간주된다. 백스윙과 다운스윙에서의 이동거리가 픽셀(Pixel)단위로 측정 되나, 스윙영상 촬영시 카메라와 골퍼와의 거리와 렌즈 배율에 따라 픽셀이 의미하는 실제 거리가 달라진다는 2차원 환경이 갖는 한계점이 있다. 이는 영상에서 추출한 골퍼의 키에 대비한 상대적인 이동크기로 나타내는 것도 하나의 대안이 될 것이다.

5. 결 론

본 논문에서는 이차원 카메라를 이용한 효율적인 골프 스윙 자동 분석 시스템의 개발 시 필요한 스윙 특징들을 정의하고 이들로부터 스윙 분석 정보를 추출하는 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 다음과 같은 점에서 의의를 갖는다.

첫째, 기존의 2차원 스윙분석 관련 시스템들은 전문가의 도움이 반드시 필요한 반면, 제안한 특징 자동추출 방법을 사용할 경우 전문가의 도움 없이도 스윙 분석이 가능하다.

둘째, 가격이 비싸고 설치 환경이 복잡하거나 어려운 3차원 스윙분석 시스템과 달리, 설치와 운용이 간편하고 가격이 저렴하다는 장점이 있다.

셋째, 티칭프로의 감각에 의존한 분석이 아니기 때문에 수치화 되고 정량화된 스윙 분석 데이터를 추출할 수 있다.

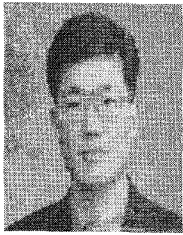
넷째, 제안한 방법을 많은 프로 및 아마추어 골퍼들의 스윙에 적용할 경우 객관적인 스윙 진단 및 비교가 가능하다.

제안한 시스템을 다수의 아마추어 스윙 영상에 적용한 결과 스윙특징의 추출이 효과적으로 이루어짐을 확인 하였다. 향후, 측면 영상뿐만 아니라 후면 영상에 대한 특징 추출을 추가한 후, 많은 프로 골퍼들을 대상으로 제안한 스윙 특징들을 추출 및 통계화 하여 스윙 자동 분석 및 진단 시스템을 개발할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] 김병기(2006), "영상처리를 이용한 골프 스윙 자동 분석 특징의 추출," 한국컴퓨터정보학회논문지, 11(5), pp.53-58.
- [2] Kajiro Watanabe and Masaki Hokari(2006), "Kinematical Analysis and Measurement of Sports Form," IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics, 36(3), pp.549-557.
- [3] 박용범(2002), "골프 동작 분석을 위한 동영상 편집 시스템 설계 및 구현," 정보처리학회논문지B, 9-B(4), pp.453-458.
- [4] 이홍로, 황치정(2005), "화소 및 이동 장보를 이용한 골프 스윙궤도 추적 알고리즘," 정보처리학회논문지B, 12-B(5), pp.561-566.
- [5] 김창욱(2004), "골프스윙궤도에 따른 운동학적 분석," 한국스포츠리서치, 15(6), pp. 103-116.
- [6] 김선정 외 2인(2002), "골프 드라이버 스윙시 어드레스와 임팩트 동작의 운동학적 비교 연구," 한국사회체육학회지, 17, pp.145-158.
- [7] 신인식, 이은정(2002), "골프 클럽에 따른 우수 선수의 스윙동작 형태 분석," 체육과학연구, 제 13권, 제 3호, pp.1-17, 2002
- [8] 신성휴, 고석곤(2003), "골프 스윙동작의 운동학적 분석," 한국운동역학회지, 13(2), pp.101-114.
- [9] 이종훈(2000), "골프 선수의 스윙동작에 대한 운동 역학적 분석," 한국학교체육회지, 10, pp.87-96.
- [10] Ibrahim Karliga and Jenq-Neng Hwang (2006), "Analyzing Human Body 3-D Motion of Golf Swing From Single-Camera Video Sequences," Proceedings of ICASSP, pp. V-493- V496, .
- [11] Raquel Urtasun et. e(2005), "Monocular 3-D Tracking of the Golf Swing," CVPR 2, pp.932-938.
- [12] Nicolas Gehrig et. el(2003), "Visual Golf Club Tracking for Enhanced Swing Analysis," BMVC
- [13] W.S. Chong et. el(2004), "A Quantitative Evaluation of Golf Swing," Proceedings of IEEE IES, pp.2052-2057.
- [14] 안철진 외 2인(2005), "프로골프선수의 드라이버 스윙 동작에 따른 지면반력 특성 분석," 체육과학연구, 16(1), pp.130-139.
- [15] 유승원, "골프스윙 교육을 위한 몸통회전의 운동학적 해석," 한국스포츠리서치, 제 18(4), pp. 53-60.
- [16] 박영훈 외 2인(2005), "골프 드라이브스윙 시합의 수평면상 움직임에 관한 운동학적 분석," 한국운동역학회지, 15(4), pp. 97-104.

- [17] 이경일, 박장진(2006), “아마추어 여자선수들의 골프 드라이버 스윙 동작에 대한 운동학적 분석,” 한국사회체육학회지, 28, pp. 349-362..
- [18] 이경일, 박장진(2004), “골프 스윙동작의 운동학적 분석,” 한국스포츠리서치, 15(3), pp.1117-1128.
- [19] 성낙준(2005), “골프 클럽에 따른 타격자세의 변화,” 한국운동역학회지, 15(4), pp. 181-189.



김 병 기 (Pyeoung-Kee Kim)

- 1988년 경북대학교 전자공학과 (공학사)
- 1990년 경북대학교 전자계산기공학과(공학석사)
- 1995년 경북대학교 컴퓨터공학과(공학박사)
- 1995년~현재 : 신라대학교 IT학과 교수
- 관심분야 : 패턴인식, 영상처리, 멀티미디어