

실험 데이터를 이용한 클럽 페이스 움직임 분석 프로그램 개발

박진¹ · 신기훈²

¹서울여자대학교 자연과학대학 체육학과 · ²서울산업대학교 공과대학 기계공학과

Development of a Program That Computes the Position of the Club Face Based on the Experimental Data

Jin, Park¹ · Ki-Hoon Shin²

¹Human movement science, College of Natural Science, Seoul Women's University, Seoul, Korea

²Department of Mechanical Engineering, College of Engineering, Seoul National University of Technology, Seoul, Korea

Received 29 April 2010; Received in revised from 23 June 2010; Accepted 27 June 2010

ABSTRACT

The moving trajectory of a golf ball is mainly determined by the angles of the clubface and the trajectory of the club shaft. This paper presents a computer program for analyzing the position and angles of the club while the club moves in a circular motion. For this purpose, a mathematical algorithm was developed and implemented on the experimental data(5 m and 10 m carries) using VC++ and OpenGL. A skilled female golfer(174 cm, 65 kg, 0 handicap) was participated in data collection for the short approach shots. An iron club(Titleist 52 degree, 91.5 cm length, 450 g mass), attached with five reflective markers(12 mm), was used to collect experimental data. However, exact 3D coordinates and angles of the clubface are not directly calculated from measured data. A reverse engineering platform(Minolta Vivid910 hardware and Rapidform software) was thus employed to acquire the scanned data of the clubface. The scanned data and measured data were first aligned by applying appropriate coordinate transformations, and then exact coordinates and angles of clubface could be obtained at each position during circular motion. The program(Club Motion Analysis 1.0) exports the open, heel, loft angles of the club.

Keywords : Golf, Computer Program, Clubface Angle, Reverse Engineering

I. 서론

스포츠 중에서 복잡한 구조를 갖고 있는 동작 중에 하나인 골프 스윙에 대한 분석은 골퍼 뿐 만 아니라 지도자들에게 유익한 정보를 제공한다(Vaughan, 1981). 골프스윙의 분석내용은 실로 다양하여 스윙을 하는 인간에 대한 분석(김갑선, 2008, 김

창욱, 2004; 류지선, 박진, 1995) 클럽에 관한 분석(Coleman & Anderson, 2007; Miura, 2001; Vaughan, 1981), 볼 이동에 관한 분석(박진, 2007; Gobush, 1996; Johnson & Lieberman, 1996), 수학적 스윙 모델링(Reyes & Mittendorf, 1999; Turner & Hills, 1999) 등 다양하게 이루어지고 있다.

골프에서 클럽은 골퍼가 만든 에너지를 볼에 전달하는 매개체로서 연구자들에게 주요 분석 대상이 되어왔다. 연구자들이 연구를 할 때 클럽은 주로 우드 1번(Milburn, 1982; Milne & Davis, 1992; MacKenzie & Springings, 2009; Neal & Wilson, 1985; Stewart, 1999)을 사용하나 연구의 목적에 따라 다양한 클럽(박영훈, 염창홍, 서국웅, 2007; Budney & Bellow, 1982; Colman & Anderson, 2007; Penner, 2002)을 이용한다.

Corresponding Author : Jin, Park
Human movement science, Seoul Women's University, 126
Gongreung-dong, Nowon-gu, Seoul, Korea
Tel : +82-2-952-7333 / Fax : +82-2-970-5980
E-mail : jpark@swu.ac.kr

본 논문은 2010학년도 서울여자대학교 교내학술특별연구비의 지원을 받았음.

골프스윙을 분석할 때 관심사 중에 하나는 볼이 클럽과 충돌한 후에 어느 곳으로 이동하느냐는 것이다. 이것을 알기 위해서는 볼의 이동에 영향을 주는 요소를 파악하는 것이 중요하다. Cochran 과 Stobbs(1968)는 클럽페이스가 볼과 만나는 각도와 헤드의 운동방향, 그리고 스위트 스폿으로의 타격이 볼의 이동에 영향을 미치는 것으로 보고하였다. Pelz(2000)는 퍼팅의 경우 조금 더 구체적으로 클럽페이스의 스위트 스폿으로의 타격이 이루어질 경우에 클럽페이스의 각도가 83%, 헤드의 운동방향이 17% 볼의 진행 결과에 영향을 미치는 것으로 보고하였다. 즉, 클럽페이스가 어떤 형태로 볼과 접촉하느냐에 따라서 볼의 진행 방향은 많은 영향을 받는다.

클럽페이스의 면은 공간상에서 좌표축에 대하여 세 각을 갖는다. 골프현장에서 이들 각은 클럽이 열림 혹은 닫힘(open or closed), 클럽의 앞이 들림 혹은 끝이 들림(toe up or heel up), 그리고 클럽을 누움 혹은 세움(flat or upright)이라고 표현된다. 이러한 각들은 주로 어드레스에서 자세를 가르칠 때 많이 활용되며, 임팩트 후 볼의 방향에 대한 원인을 분석할 때에도 근거 자료로 제시된다. 그러나 클럽이 빠르게 움직이는 상황에서 클럽의 페이스를 분석하기란 여간 어려운 문제가 아니다.

이렇게 복잡한 메커니즘을 지닌 클럽페이스의 운동을 이해하기 위해서는 클럽헤드의 움직임을 정확하게 재구성 할 수 있어야 한다. 그리고 헤드의 움직임에 영향을 크게 주는 이동궤적을 정확하게 파악하는 것이 중요하다. 그러나 현재 골프 분석을 위해서 사용되는 상용 프로그램들은 클럽의 전체적인 움직임을 나타내 줄 수는 있지만 페이스면의 이동을 알기 위해서는 또 다른 프로그래밍을 첨가해야 하는 문제점을 안고 있다. 따라서 본 연구는 클럽 움직임의 실험 데이터를 이용하여 클럽페이스 면의 움직임을 찾아내는 프로그램을 개발하는 것이 목적이다.

II. 연구 방법

1. 실험 데이터의 수집

클럽 움직임에 관한 데이터를 얻기 위하여 다음과 같은 실험을 실시하였다. 체육과학연구원의 운동역학 실험실 동작분석장치(적외선카메라 12대, 300 Hz)로 쇼트 어프로치 스윙(5, 10 m carry) 실험을 실시하였다. 피험자는 여성 숙련자 1명(키 174 cm, 질량 65 kg, 핸드캡 0)이며, 실험에 사용한 클럽은 아이언(타이틀리스트 52°, 길이 91.5 cm, 질량 450 g)이다. 클럽의 움직임 데이터를 구하기 위하여 반사마커 5개(12 mm)를 부착하였다(Figure 1, 2).

피험자는 충분한 연습을 한 후에 각각 5 미터와 10 미터의



Figure 1. Five reflective markers on the clubface and shaft



Figure 2. Three reflective markers for the clubface angles

어프로치 스윙을 각 3회씩 하였다. 목표지점에는 원형물체를 두어 목표임을 알게 하였으며, 각 스윙 중 목표지점에 가장 가까이 떨어진 시기(trial)를 분석하여 실험 데이터를 얻었다. 이때 볼에서 원형물체까지 연결되는 선(타깃 라인)이 실험실의 좌표계 x축과 일치하지는 않았다. 실험실의 좌표계는 볼이 이동하는 방향이 x축이며, 전후 방향이 y축, 그리고 xy 평면의 수직 방향이 z축이다. 분석을 위한 시점은 어드레스(e1), 백스윙의 끝(e2), 임팩트(e3), 퍼니시(e4)이다. 구간 정의는 e1에서 e2는 백스윙(P1), e2에서 e3는 다운스윙(P2), e3에서 e4는 폴로 스투(P3)이다. 동작분석 소프트웨어에서 나온 5미터와 10미터 스윙 시 나타난 클럽의 5개 지점 3차원 실험 데이터를 Microsoft Office Excel 2007(엑셀)에 저장하였다.

2. 클럽 움직임 분석 프로그램(Club Motion Analysis 1.0: CMA 1.0)의 개념

클럽의 움직임을 관찰하기 위해서는 마커를 임팩트 평면에 부착하여 분석을 하여야 하나 실험의 여건 상 어려운 경우에는 아래와 같은 후속 작업이 필요하다. 동작분석장치에서 얻어진 골프클럽 헤드에 부착된 3개 마커<Figure 3>의 중심점 좌표($\vec{r}_0, \vec{r}_1, \vec{r}_2$)로부터 골프 클럽헤드의 임팩트 선 상에 있는 점들(p_0, p_1, p_2)의 정확한 움직임을 계산하여 open, heel, loft, shaft 각을 계산하는 과정은 다음과 같다. 여기서 모든 3차원 공간상의 좌표는 절대 원점(0,0,0)과 연결된 위치벡터로 간주 하였다(\vec{r}_i, p_i 등). 역공학기법으로 역공학(reverse engineering)을 활용하여 얻어지는 클럽헤드의 스캔데이터(scan data)를 동작분석 장치에서 얻어지는 측정데이터(measured data)로 중첩시키는 좌표변환을 통하여, 아래와 같이 클럽헤드 임팩트 선 상에 있는 점들의 움직임과 골프클럽 헤드면의 방정식을 계산하여 필요한 각들을 계산하였다.

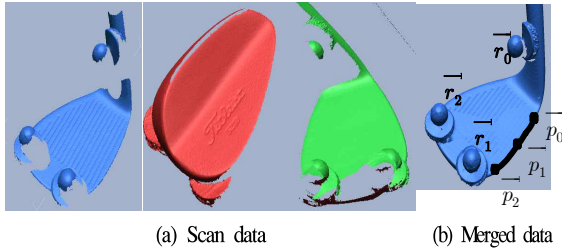


Figure 3. Acquisition process of scan data by reverse engineering

step 1) 3차원 레이저 스캐너를 이용한 역공학기법을 활용하여, 골프클럽 헤드의 스캔 모델을 얻는다. <Figure 3> (a)와 같이 여러 각도에서 스캔 이미지를 획득한 후 최종적으로 <Figure 3> (b)의 합성 이미지를 획득하였다. 이 과정에서 하드웨어로는 Minolta Vivid910을 소프트웨어로는 상용 역공학 패키지인 Rapidform을 사용하였다.

step 2) 스캔 모델로부터 <Figure 4> (a)에 표시된 골프클럽 헤드에 부착된 3개의 마커(marker)의 중심점 좌표 ($\vec{r}_0, \vec{r}_1, \vec{r}_2$) 및 클럽의 유효 임팩트 선 상에 있는 점들의 좌표($p_i, i = 0,1,2$)를 얻는다. 여기서 점들의 상대적인 좌표값 (예 $\vec{r}_0 - \vec{p}_i$)의 차이를 계산하는 것이 중요하다.

step 3) <Figure 4> (a)에서와 같이 클럽의 유효 임팩트 선 상에 있는 점들의 좌표(p_i)를 세 마커의 중심점들에 의해 정의되는 새로운 uvw 좌표축 상의 좌표(r_{uvw})로 아래와 같이 변환한다. 여기서 \cdot 과 \times 는 각각 벡터 내적(dot product)와 외적(cross product)을 의미하며, $\hat{u}, \hat{v}, \hat{w}$ 는 uvw 좌표계에서 u, v, w 축 방향의 단위벡터를 의미한다.

$$\vec{u} = \frac{\vec{r}_0 - \vec{r}_1}{|\vec{r}_0 - \vec{r}_1|}, \vec{w} = \frac{(\vec{r}_0 - \vec{r}_1) \times (\vec{r}_2 - \vec{r}_1)}{|(\vec{r}_0 - \vec{r}_1) \times (\vec{r}_2 - \vec{r}_1)|}, \vec{v} = \hat{w} \times \hat{u}$$

$$\vec{r}_{uvw} = \begin{bmatrix} (r_{uvw})_u \\ (r_{uvw})_v \\ (r_{uvw})_w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (\vec{p}_i - \vec{r}_0) \cdot \hat{u} \\ (\vec{p}_i - \vec{r}_0) \cdot \hat{v} \\ (\vec{p}_i - \vec{r}_0) \cdot \hat{w} \end{bmatrix}$$

step 4) <Figure 4> (b)에서와 같이 동작분석장치로 부터 얻어진 3개의 마커의 중심점 좌표($\vec{r}'_0, \vec{r}'_1, \vec{r}'_2$)로부터 step 3에서 계산된 상대 좌표 값(r_{uvw})을 이용하여 최종적으로 클럽의 유효 임팩트 선 상에 있는 점들의 좌표(p'_i)를 아래와 같이 계산 할 수 있다.

$$\vec{u}' = \frac{\vec{r}'_0 - \vec{r}'_1}{|\vec{r}'_0 - \vec{r}'_1|}, \vec{w}' = \frac{(\vec{r}'_0 - \vec{r}'_1) \times (\vec{r}'_2 - \vec{r}'_1)}{|(\vec{r}'_0 - \vec{r}'_1) \times (\vec{r}'_2 - \vec{r}'_1)|},$$

$$\vec{v}' = \hat{w}' \times \hat{u}'$$

$$\vec{p}'_i = \vec{r}'_0 + (r_{uvw})_u \hat{u}' + (r_{uvw})_v \hat{v}' + (r_{uvw})_w \hat{w}'$$

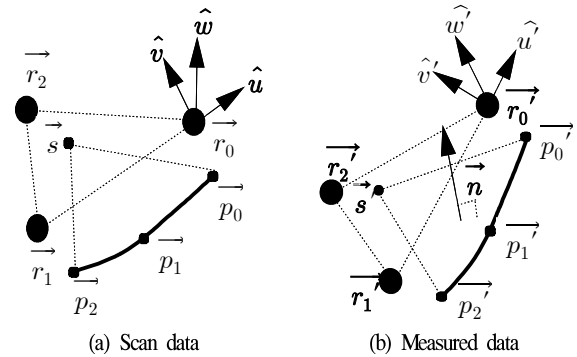


Figure 4. Coordinate transformation between scan data and measured data

step 5) <Figure 4>에서와 같이 골프클럽 스캔데이터 상에서 헤드 평면에 놓이는 한 점(s)의 좌표값을 임의로 얻어낸 후 위와 동일한 방법(step3-4)을 적용하여 측정데이터 상에서 헤드 평면에 놓이는 점의 좌표값(s')을 정확하게 계산할 수 있다. 평면상에 놓이는 3점의 좌표(s', p'_0, p'_2)가 주어지면, 클럽헤드 평면의 방정식(g)을 아래와 계산할 수 있고 평면에 수직인 단위벡터(\vec{n})도 계산할 수 있다. 본 논문에서는 4점의 좌표(s', p'_0, p'_1, p'_2)를 입력하여 최소자승법(Least-square method)을 이용한 최적의 평면 방정식을 계산하였다(박진, 신기훈, 2009).

평면의 방정식 : $g(x, y, z) = ax + by + cz + d = 0$

평면에 수직인 법선벡터 : $\vec{n} = \frac{1}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix}$

step 6) 위의 과정에서 얻어지는 \vec{p}_i, \vec{n} 값들을 이용하여, open, heel, loft, shaft 각을 아래와 같이 계산할 수 있다. 각 angle의 정의는 <Figure 5>와 같다. 여기서 $\hat{i}, \hat{j}, \hat{k}$ 는 xyz 절대좌표계에서 x, y, z축 방향의 단위벡터를 의미한다.

· Open angle은 Fig. 4b에서 계산된 $\vec{p}_i (i = 0,1,2)$ 점들 중 두 점(\vec{p}_0, \vec{p}_2)을 연결하는 벡터($\Delta \vec{p} = \vec{p}_2 - \vec{p}_0$)가 y축과 이루는 각도 : $open = \sin^{-1}\left(\frac{\Delta \vec{p} \cdot \hat{i}}{|\Delta \vec{p}|}\right)$

· Heel angle은 벡터 ($\Delta \vec{p}$)가 지면(xy평면)과 이루는 각도: $heel = \sin^{-1}\left(\frac{\Delta \vec{p} \cdot \hat{k}}{|\Delta \vec{p}|}\right)$

· Loft angle은 골프클럽헤드 평면이 z축과 이루는 각도 : $loft = \sin^{-1}(\vec{n} \cdot \hat{k})$

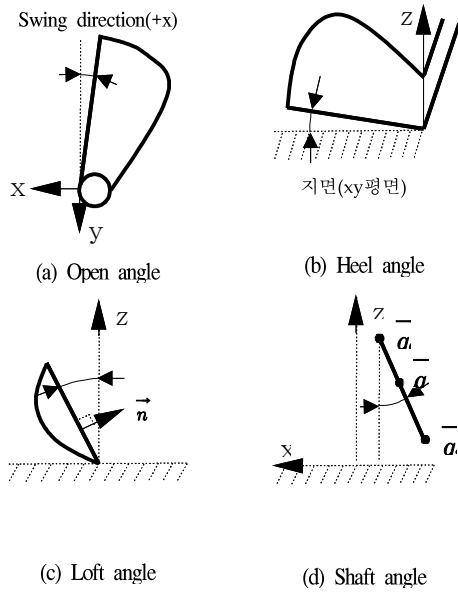


Figure 5. Definition of open, heel, loft angles

· Shaft angle은 골프 샤프트를 xz 평면으로 투사 시킨 직선이 z축과 이루는 각도:

$$shaft = \sin^{-1}\left(\frac{-(\vec{q}_2 - \vec{q}_0)_z}{|\Delta \vec{q}_{xz}|}\right)$$

여기서 $\vec{q}_0, \vec{q}_1, \vec{q}_2$: shaft에 붙어 있는 3개의 마커의 좌표

$$\Delta \vec{q}_{xz} = \begin{bmatrix} (\vec{q}_2 - \vec{q}_0)_x \\ 0 \\ (\vec{q}_2 - \vec{q}_0)_z \end{bmatrix} : \vec{q}_2 - \vec{q}_0$$

벡터를 xz평면으로 투영시킨 벡터이다.

3. CMA 1.0 프로그램 실행

분석 프로그램을 실행시키기 위해서는 먼저 엑셀의 데이터를 메모장으로 이동시켜야 한다. 엑셀에 저장되어 있는 5개 마커 지점의 공간 데이터를 메모장에 입력시킬 때, 첫 번째 줄에는 전체 데이터 크기를 기록한 후 두 번째 줄부터 입력한다. 그 다음 CMA 1.0 프로그램을 선택하여 메모장에 저장된 실험 데이터를 불러온다. CMA 1.0 프로그램은 두 개의 창으로 구성되어 있다. 메인(main) 창은 클럽의 움직임을 그래픽으로 보여주며, 콘솔(console) 창은 자료처리 방법 즉, 1) 헤드만 분석할 것인지 혹은 2) 샤프트만 분석할 것인지 아니면 3) 클럽과 샤프트를 동시에 분석할 것인지를 구분할 수 있다. 콘솔 창에서 세 방법 중 하나를 입력하고 Enter key를 치면 메인 창에 선택한 방법에 따라 마커의 움직임과 마커로부터 얻어진 페이스 면과 샤프트의 움직임 전체가 그래픽으로 그려진다. 이때 한 프레임씩 움직임을 관찰하려면 "N" 키를 이용하여 진행 방향으로의 움직임을 볼 수 있으며, 반대 방향은 "B" 키를 이용한다. 클럽 움직임의 그래픽과 동시에 클럽페이스 세 방향으로의 각도와 샤프트의 각도가 시간에 따라 자동으로 생성된다.

III. 결과

클럽 움직임 분석 프로그램을 이용하여 숙련된 여자프로골퍼의 5, 10 미터 캐리 어프로치샷 실험 데이터를 각 거리에 대하여 30회 이상 반복하여 프로그램을 돌려 분석한 결과 동일한 값을 얻었다. 이 과정을 통해 나온 그래픽은 <Figure 6, 7>과 같으며, 결과 값은 <Figure 8>과 같다. 노란색의 구형은 실험데이터의 마커이며, 붉은색 삼각형은 역공학(reverse engineering) 기법을 통하여 얻어진 실제 클럽 페이스지점이다<Figure 6>. 10 미터 캐리 어프로치샷 전체에서 클럽의 움직임을 나타낸 것이 <Figure 7>이고, <Figure 8>은 메모장에 자동으로 생성되는 클럽 페이스와 샤프트의 각 방향별 각도 값이다.

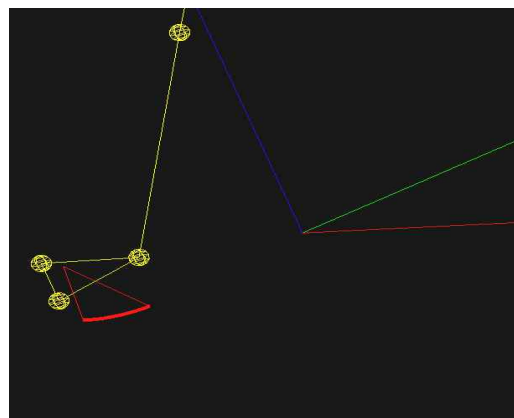


Figure 6. Markers(yellow balls) and real clubface(red lines)

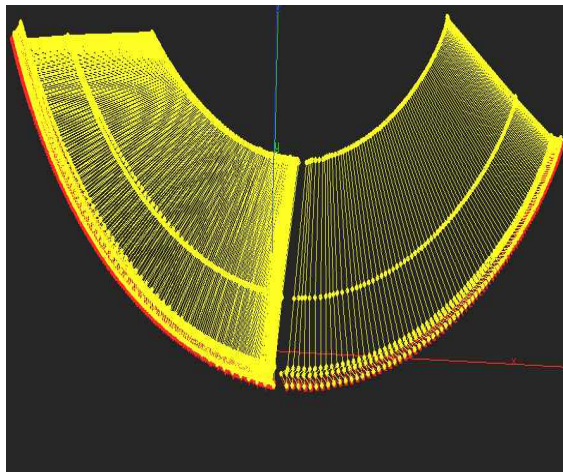


Figure 7. Serial pictures of the clubface and shaft during the 10 m carry(unit: mm)

5m_result - 메모장				
파일(E)	편집(E)	서식(O)	보기(V)	도움말(H)
I	Open(yz)	Heel(xy)	Loft(z축)	Shaft(xz)
0	-13.54572	15.28791	43.90583	-11.36115
1	-13.45638	15.29597	43.91038	-11.38789
2	-13.55593	15.51093	44.15582	-11.38797
3	-13.56224	15.44765	43.94128	-11.39034
4	-13.19954	15.38576	43.89808	-11.43918
5	-13.26554	15.39848	43.88250	-11.43918
6	-13.36047	15.51942	44.07136	-11.46338
7	-13.36488	15.50319	43.71664	-11.47555
8	-13.46305	15.14976	44.08833	-11.52445
9	-13.34260	15.45426	43.76040	-11.52445
10	-13.44426	15.40851	43.97362	-11.55352
11	-13.44476	15.31310	43.92965	-11.58034
12	-13.10761	15.51744	43.72791	-11.60934
13	-12.97533	15.41690	43.78565	-11.63616
14	-12.96187	15.35894	43.52295	-11.66337
15	-12.94352	15.31772	43.91699	-11.71160
16	-12.93874	15.29874	44.13641	-11.76021
17	-13.27438	15.49090	43.94899	-11.78451
18	-12.92573	15.24637	43.27566	-11.86758
19	-12.93392	15.22451	43.52824	-11.90659
20	-13.02846	15.33095	43.67100	-11.96732
21	-12.68896	15.17019	43.04217	-12.03758
22	-12.42751	15.29068	42.53117	-12.06704
23	-12.46982	15.32053	42.80002	-12.15459
24	-12.78659	15.41896	43.09859	-12.17885

Figure 8. Result angles of the clubface and shaft during the 5m carry(unit: deg)

Table 1. Event angles during 5 m carry (unit: deg)

Event	Open	Heel	Loft	Shaft
e1	-13.5	15.3	43.9	-11.4
e2	-22.7	34.3	6.7	-61.1
e3	-7.3	13.8	43.2	-11.1
e4	8.7	23.4	66.0	46.0

Table 2. Event angles during 10 m carry (unit: deg)

Event	Open	Heel	Loft	Shaft
e1	-12.8	15.1	42.1	-10.0
e2	-16.9	53.0	-8.8	-87.4
e3	-5.2	12.3	34.4	-10.1
e4	12.7	33.4	57.1	64.0

자동으로 생성된 결과 값에서 각 이벤트 별로 5미터 캐리 어 프로치샷을 분석한 결과는 <Table 1>과 같으며, 10미터 캐리 어프로치샷을 분석한 결과는 <Table 2>와 같다.

IV. 논 의

본 연구의 목적은 실험 데이터를 이용한 클럽 페이스 움직임 분석 프로그램을 개발하는 것이다. 이를 위해 골퍼의 클럽 움직임을 판단할 수 있는 짧은 거리(5, 10 미터 캐리)의 어프로치 스트로크 실험을 실시하였다. 짧은(30 미터 이내) 거리에서 목표를 향하는 스윙의 특징은 기술이 간결하며, 퍼팅과 유사한 동작으로 평가 하고 있다(Pelz, 1999).

<Table 1, 2>에 의하면 클럽은 어드레스(e1) 위치에서 y축에 대하여 열린(-값) 상태로 놓인다. 그리고 xy평면에 대한 클럽의 위치는 앞(toe) 부분이 들리는 것(+값)으로 나타났다. z축에 대한 로프트의 경우 클럽이 갖고 있는 고유의 각도는 52° 이나 어드레스 위치에서 약 42° 로 나타나 실제 상황에서는 로프트가 많이 감소하는 것으로 나타났다. xz평면에 투영된 샤프트의 각도 역시 z축에 대하여 약 -10° 가량 기울어지는 것으로 나타났다. Mann(1989)은 어드레스 자세에서 클럽을 볼과 수직(square) 상태로 놓는 것이라고 보고 하였으나, 본 실험에 의하면 클럽은 열려져 있는 상태에서 어드레스가 이루어지는 것으로 나타났다. 또한 로프트가 많이 감소하는 것으로 나타났는데, 이런 각도의 감소는 볼의 위치에 의한 것으로 스윙에서 강조하는 손이 먼저 이동하고 클럽이 나중에 따라오는 효과를 보기 위한 것으로 판단된다. 백스윙의 끝에서(e2) 클럽은 더 열리고(-값), 앞이 들리게(+값) 된다. P1에서는 클럽이 볼 이동의 반대방향으로 움직이는 구간이므로 클럽은 더 열리게 되고, 헤드 토의 상승운동으로 앞의 들림 각이 늘어난다. 그러나 로프트는 매우 줄어들며 샤프트도 수평(-90°) 위치까지 이동한다. 임팩트(e3)에서 클럽은 어드레스와 매우 유사한 값을 보여준다. 클럽의 앞의 들림과, 로프트, 그리고 샤프트의 각이 원래의 어드레스 위치로 돌아온다. 단, 클럽의 열림 각이 약 6-7° 가량 줄어드는 것으로 나타나, 클럽이 볼과 접촉 할 때에는 닫히면서 충돌이 일어난다. 피니시(e4)에서 클럽은 닫히게(+값) 되며, 앞의 들림 각이 늘어나고 로프트는 더 커지게 된다.

실험에서 얻어진 데이터를 기본으로 하여 프로그램을 검증한 그래픽<Figure 6>에 의하면 클럽의 위치와 마커의 위치를 찾아내고 있음을 알 수 있다. 그래픽 <Figure 7>은 헤드의 움직임을 나타내는 실험 데이터의 궤적(노란색)을 본 연구에서 만들어진 프로그램의 클럽평면(빨간색)이 계속 스윙의 궤도를 잘 따라가고 있음을 보여주고 있다. 실험 데이터에 의한 클럽헤드의

결과 값 역시 그래프(Figure 8)과 같이 산출하여 주었다.

CMA 1.0 프로그램은 클럽 헤드의 움직임 과정에서 각 축에 대한 면의 변화를 바로 알려주므로 매우 간편하게 헤드의 움직임 각을 알 수 있다.

V. 결 론

골프에서 볼의 이동은 클럽면의 각도와 샤프트의 이동궤도에 의해 결정된다. 본 연구의 목적은 실험 데이터를 이용한 클럽 움직임 분석 프로그램을 개발하는 것이다. 이를 위해 숙련된 여자프로 골퍼 1명(키 174 cm, 질량 65 kg, 헤드캡 0)을 대상으로 쇼트 어프로치 스윙(5, 10 m carry) 실험을 아이언클럽(타이틀리스트 52°, 길이 91.5 cm, 질량 450 g)으로 실시하였다. 이때 클럽에 5개의 반사마커를 부착하여 각 마커 지점의 공간 좌표 값을 획득하였다. 그리고 역공학을 활용하여 클럽의 스캔 데이터를 동작분석의 측정데이터에 중첩시키는 좌표변환을 통하여 방정식을 구하고, 필요한 각들을 구할 수 있는 클럽 움직임 분석 프로그램(Club Motion Analysis 1.0)을 개발하였다. 이 과정에서 하드웨어로는 Minolta Vivid910을 소프트웨어로는 상용 역공학 패키지인 Rapidform을 사용하였다. CMA 1.0 프로그램에서 실험데이터를 이용하여 클럽의 움직임을 재구성 한 결과 클럽이 공간에서 움직이는 실험데이터의 이동궤적을 계산된 클럽평면이 잘 따라가고 있음을 확인하였다.

CMA 1.0 프로그램은 클럽의 실질적인 움직임 전 과정을 실험 데이터를 이용하여 분석 할 수 있다. 클럽면의 움직임 데이터를 3차원 공간에서 각 축에 대하여 쉽게 구할 수 있으며, 각 시점별로 비교도 가능하다. 그러나 CMA 1.0 프로그램을 사용하기 위해서는 실험 시 좌표축 설정을 본 연구와 동일하게 하여야 한다. 또한 반사마커의 스캔데이터와 실험 데이터를 일치시키는 과정이 필요하다. 향후의 연구에서는 실험의 설정이 동일하지 않더라도 일반적으로 사용될 수 있는 광범위한 프로그램의 개발과 실험데이터를 이용하여 보다 더 현장에서 사용될 수 있는 객관적인 자료를 만들어 내는 것이 주제라고 판단된다.

참고문헌

김갑선(2008). 우수 골퍼의 아이언 클럽 스윙 동작에 대한 운동학적 분석. *한국운동학회지*, 18(2), 85-94.
 김창욱(2004). 골프스윙 국면에 따른 운동학적 분석, *한국스포츠리서치*, 15(6), 108-116.
 류지선, 박진(1995). 프로 여성 골퍼들의 드라이빙 스트로크 동

작에 관한 운동학적 연구. 한국체육대학교. *체육과학 연구소논문집*, 14(1), 221-229.

- 박영훈, 염창홍, 서국웅(2007). 퍼티헤드 회전중심점 위치 관점에서 본 남자프로골퍼의 10.94m 퍼팅 동작의 진자운동 여부. *한국운동학회지*, 17(2), 217-226.
 박진(2007). 퍼팅 스트로크에서 퍼티의 선 운동량 크기에 따른 볼의 이동 속도 변화에 관한 연구. *한국운동역학회지*, 17(4), 83-88.
 박진, 신기훈(2009). 실험 데이터를 이용한 회전운동 순간 중심점 분석 프로그램 개발(I). *한국운동역학회지*, 19(4), 779-791.
 Budney, D. R. & Bellow, D. G.(1982). On the swing mechanics of a mached set of golf clubs. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 53, 185-192.
 Cochran, A., & Stobbs, J.(1968). *The Search for the Perfect Swing*. Philadelphia, PA: J.B. Lippincott Co.
 Coleman, S., & Anderson, D.(2007). An examination of the planar nature of golf club motion in the swings of experienced players, *Journal of Sports Sciences*, 25(7), 739-748.
 Gobush, W.(1996). Friction coefficient of golf balls, *The Engineering of Sport*, Haake(ed.), 193-194.
 Johnson, S. H. & Lieberman, B.B.(1996). Normal impact models for golf balls, *The Engineering of Sport*, Haake(ed.), 251-256.
 MacKenzie, S. J. & Sprigings, E. J.(2009). A three-dimensional forward dynamics model of the golf swing. *Sports Engineering*, 11, 165-175.
 Mann, R.(1989). Grand Cypress Academ of Golf. *Grand Cypress Resort*, 35-55.
 Milburn, P. D.(1982). Summation of segmental velocities in the golf swing, *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 14(1), 60-64.
 Milne, R. D., & Davis, J. P.(1992). The role of the shaft in the golf swing, *Journal Biomechanics*, 25(9), 975-983.
 Miura, K.(2001). Parametric acceleration-the effect of inward pull of the golf club at impact stage, *Sports Engineering*, 4, 75-86.
 Neal, R. J., & Wilson, B. D.(1985). 3D kinematics and kinetics of the golf swing, *International Journal of Sport Biomechanics*, 1, 221-232.
 Pelz, D.(1999). *Dave Pelz's Short Game Bible*, New York: Doubleday.
 Pelz, D.(2000). *Dave Pelz's Putting Bible*, New York: Doubleday.
 Penner, A. R.(2002). The physics of putting. *Canadian Journal of*

Physics, 80, 1-14.

- Reyes, M. G. & Mittendorf, A.(1999) A mathematical swing model for a long-driving champion, *Science and Golf III, Proceedings of the World Science Congress of Golf, Human Kinetics*, 13-19.
- Stewart, R.(1999). Clubhead speed and driving distance: 1938 vs. 1998. *Science and Golf III, Proceedings of the World Science Congress of Golf, Human Kinetics*, 543-547.
- Turner, A. B., & Hills, N. J.(1999). A three-link mathematical model of the golf swing, *Science and Golf III, Proceedings of the World Science Congress of Golf, Human Kinetics*, 3-12.
- Vaughan, C. L.(1981). A three-dimensional analysis of the forces and torques applied by a golfer during the downswing. *Biomechanics VII-B. University Park Press*, 325-331.