

골프 드라이버 임팩트 위치에 따른 소리 분석

Analysis of Sounds from different Impact Points of Golf Driver

김호성, 정동근

동아대학교 의과대학 의공학교실

Ho Sung Kim(livetiger@hanmail.net), Dong Keun Jung(dkjung@dau.ac.kr)

요약

본 연구는 골프 드라이버의 임팩트 위치에 따른 소리의 특성을 평가하고자 하였다. 일정한 임팩트 소리를 발생시키기 위하여 골프공 자유낙하 장치를 고안하여 사용하였다. 임팩트 소리의 시간에 따른 진폭과 주파수영역에서 파워의 피크값 분포가 드라이버 헤드면의 임팩트 위치에 따라 다르게 나타났으나 재현성이 부족하여 비교할 수 없었다. 드라이버의 임팩트 부위에 따른 소리를 구분하기 위하여 대안적인 방법으로 파워스펙트럼 누적합(cumsum)을 사용하였다. 파워스펙트럼 누적합의 20%, 40%, 60%, 80%에 해당하는 주파수를 비교한 결과 드라이버 면의 중앙(center)에서 발생하는 임팩트 소리의 40% 누적합주파수가 바깥쪽(toe)과 안쪽(heel)에서 발생하는 임팩트 소리에 비하여 유의하게 낮은 것을 관찰하였다. 이러한 결과는 드라이버 헤드면의 중앙이 바깥쪽 또는 안쪽에 비하여 임팩트 소리의 저주파수 성분 파워가 상대적으로 높다는 것을 시사하였다.

■ 중심어 : | 골프 드라이버 | 임팩트 위치 | 임팩트 소리 | 파워스펙트럼 누적합 | % 누적합주파수 |

Abstract

This study was aimed to evaluate the characteristics of impact sound of golf driver according to impact points of its face. In order to get the consistent impact sounds, the apparatus for free golf ball drop was prepared and used. Timed amplitude patterns and maximum spectral peaks of the impact sounds were variant according to the impact points of driver face. As an alternative method of impact sound analysis, cumulative sum of spectral power (cumsum) was used to distinguish between impact sounds according to the impact positions. From the comparison of frequencies representing 20%, 40%, 60%, 80% of cumsum of impact sound, 40% cumsum frequency of the center of driver face was lower than that of the toe and the heel. This finding suggests that the impact sound from the center of driver face has higher spectral power of low frequency component than that of the toe and heel.

■ keyword : | Golf Driver | Impact Point | Impact Sound | Cumsum | % CumsumFrequency |

1. 서론

골프는 생활수준의 향상 및 생활체육의 대중화로 점차 확대되고 있으며 대도시 중심에서 소규모 도시로 골

프연습장이 개설되고 있다. 골프를 즐기는 연령층의 범위도 넓어지고 있으며 건강유지를 위한 운동으로서 뿐만 아니라 엔터테인먼트의 중요한 요소로서 골프가 거대한 서비스산업이 되었다[1]. 또한 스크린골프는 체감

* 이 논문은 동아대학교 교내연구비 지원에 의하여 연구되었음.

접수번호 : #121024-004

접수일자 : 2012년 10월 24일

심사완료일 : 2013년 02월 07일

교신저자 : 정동근, e-mail : dkjung@dau.ac.kr

형 스포츠 게임으로서 사용자가 증가하고 있으며 사용자의 동작 및 골프공의 궤적에 대한 연구가 활발히 진행 중이다[2]. 골프는 코스, 형태, 거리, 날씨 등의 상황을 고려하여 클럽(club)을 적절하게 운용할 때 좋은 결과를 가져온다. 클럽은 대개 다섯 종류로 드라이버(driver), 우드(wood), 아이언(iron), 웨지(wedge), 퍼터(putter)로 구성된다. 골프 드라이버의 경우는 클럽의 길이가 길어 사용하기 까다롭지만 클럽 중 공을 가장 멀리 보낼 수 있으며 특유의 타구감으로 인해 많은 골퍼들이 선호하는 클럽이다. 처음엔 가시나무의 밑동을 재료로 제작되던 골프 드라이버 헤드는 방향과 비거리의 향상을 위해 차츰 발전해왔으며 현재는 티타늄을 소재로 제작되고 있다. 또한, 스위트 스팟(sweet spot)의 영역을 넓히기 위한 노력의 일환으로 트램플린 효과(trampoline effect)를 적용하여 헤드의 페이스가 부위별로 다른 두께를 지닌 속이 빈(hollow) 구조를 취하고 있다.

골프 드라이버 임팩트 평가를 위해 비디오촬영과 고속카메라 촬영 등이 사용되고 있다. 일반인이 드라이버를 이용하여 골프공을 타격하였을 때 일반적인 속도는 100 km/h 이상이다[3]. 이러한 빠른 선속도를 갖는 골프 드라이버 헤드의 임팩트를 정확히 확인하는데 현실적인 어려움이 많다. 따라서 드라이버가 임팩트 시 부위별로 다른 소리를 내는 것에 착안하여 임팩트 소리를 통해 임팩트의 정확성을 알아보고자 하는 연구들이 수행되었다[4-8].

Roberts 등은 드라이버 임팩트 소리의 평가를 위한 연구에서, 골퍼들이 표현하는 드라이버의 임팩트 소리를 경쾌함, 날카로움, 소리의 크기, 딱딱함 및 생동감 등의 5가지로 나누어 타격 후 자신의 느낌을 1~9점까지 나누는 점수 표에 기입하도록 하고 이를 객관적 측정-음압레벨, Zwicker loudness-자료와 비교하여 상관관계를 보고하였으며[4], Hocknell 등은 드라이버의 5개 부위(face, crown, sole, bowl and hosel)에 대해 레이저 도플러 진동계(Laser Doppler Vibrometer)와 유한요소법(Fine Element Method)을 통해 드라이버 타격 시 나타나는 주요 진동수를 파악하고자 하였다[5]. 그러나 Roberts의 연구에서 나타난 소리의 표현은 주관적이고

구분하기 힘들며, Hocknell의 연구에서 사용된 레이저 측정법과 유한요소법은 정밀하고 정확한 측정방법이긴 하나 실제 골프공과의 임팩트 소리는 아니었다. 또한, 임팩트 소리에 포함된 주파수를 분석하여 샷의 차이를 확인해보고자 하는 연구도 시도되었지만[6-8], 동일한 임팩트 소리를 얻기가 쉽지 않을 뿐 아니라 다양한 주파수 성분의 혼재로 타격부위에 따른 차이를 구분해내기가 쉽지 않았다.

따라서 본 연구는 동일한 임팩트 소리의 획득을 위해 일정한 높이에서 골프공을 자유낙하 시키는 장치를 사용하여 드라이버 헤드의 위치에 따른 임팩트 소리의 특성을 조사하고자 하였다.

II. 실험 방법

1. 골프공 자유낙하 실험

골프 드라이버 헤드와 골프공의 임팩트를 재현성 있게 발생시키기 위하여 일정속도로 정확한 위치에 볼프공이 충돌하도록 실험 장치를 고안하였다. 드라이버를 스탠드에 고정시켜 두고 동일한 높이에서 자유 낙하시키는 방법을 사용하였으며 골프공을 드라이버의 페이스로부터 75 cm 높이에 위치시키고 낙하시켰다. 공기 저항을 고려하지 않았을 때 골프공의 선속도는 3.8 m/s 또는 13.7 km/h이며 일반적인 드라이버 스윙과 비교하여 10분의 1의 속도에 해당한다. 정확한 임팩트를 위해 수직추를 사용하여 충돌 지점을 표시하였으며, 골프공이 떨어지는 과정의 오차를 최소화하기 위해 골프공에 실을 연결하고 짐계를 사용하여 낙하 전 골프공의 움직임을 최소화시켰다. 낙하를 위한 장치의 모식도를 [그림 1]에 제시하였으며, 골프공 자유낙하 실험과정은 다음과 같다.

- 1) 드라이버의 그림을 스탠드에 고정시킨다. 수평조준기를 이용해 드라이버 헤드 페이스를 중심점을 기준으로 수평이 되도록 조정한다.
- 2) 녹음기의 마이크 위치는 드라이버 헤드면과 동일한 높이에서 20 cm 떨어진 위치에 설치한다.

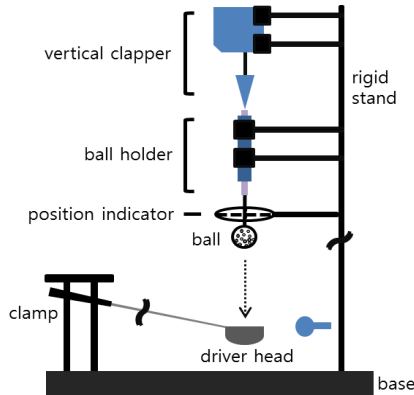


그림 1. 골프공 낙하 장치도

- 3) 수직추를 설치하고 줄의 위치 확인을 위한 관 (position indicator)의 중앙을 통과하도록 한 후, 추의 끝이 원하는 위치를 가리키도록 드라이버의 위치를 조정한다.
- 4) 수직추를 제거하고 골프공 집게를 설치하여 실이 매달린 골프공을 매단다.
- 5) 골프공과 연결된 실이 수직추의 줄과 동일한 위치가 되도록 위치를 확인한다. 공 끝에서 드라이버 페이스까지의 높이는 75 cm로 한다.

표 1. 실험에 사용된 드라이버의 종류와 스펙

Driver	Shaft model			
	Flex	Length(inch)	weight(g)	Torque(°)
XXIO power impact	MP300			
	S	45	52	4.0
PING G15	TFC 149D			
	R	45	55	5.8
Taylormade R7	RE-AX60			
	R	45	58	4.6

실험에 사용된 드라이버의 종류와 스펙은 [표 1]에 나타내었다. 낙하에 사용된 골프공은 Titleist Pro V1이며, 드릴을 사용해 골프공의 중심방향으로 깊이 3 mm, 직경 1.2 mm의 구멍을 뚫어 직경 1 mm의 실을 예폭시 접착제로 고정하여 사용하였다. 임팩트 위치는 드라이버 페이스의 중심점과 이를 기준으로 toe와 heel 방향으로 중간 위치를 선정하여 (중심점으로부터 24 mm) 임팩트 위치로 지정하였다[그림 2].

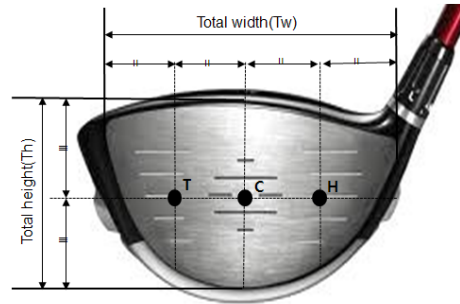


그림 2. 드라이버 헤드면의 임팩트 위치. T(Toe), C(Center) 그리고 H(Heel).

드라이버의 임팩트 소리는 샤프트의 길이에 영향을 받는 것으로 알려져 있으므로[9-12], 본 연구에서는 동일한 길이의 샤프트를 사용하였으며, 드라이버의 그림 부분을 스탠드에 단단히 고정하였다.

2. 임팩트 소리 신호 획득 및 신호 분석

임팩트 소리의 녹음은 SAFA (DAC-SPECIAL ONE, Korea)로 하였고, 저장된 MP3 파일은 Adobe Soundbooth CS5[®](Adobe, USA)를 사용하여 임팩트 소리의 최대 진폭점으로부터 이전 0.3초에서 이후 0.7초까지 1초 구간을 편집하여 wave 파일로 변환하였다 (16bit, 44,100Hz). 소리의 포화(saturation) 방지를 위해 수차례의 사전 실험을 통해 헤드와 마이크의 거리를 설정하였으며, 높이는 드라이버의 페이스와 같도록 하였다. 드라이버 헤드의 지정된 위치들에서 각각 20회 골프공 자유낙하 충돌실험을 실시하였다.

수집된 소리신호를 Adobe Soundbooth CS5[®]로 웨이브 파형 및 스펙트로그램을 작성하였다. MATLAB[®] (MathWorks, USA)을 사용하여 임팩트 소리의 wav 파일로부터 파워스펙트럼, 파워스펙트럼 누적합(cumsum) 곡선을 구하였다. 마이크에서 측정된 임팩트 소리신호를 $s(t)$ 라 할 때 파워스펙트럼을 구하는 수식은

$$P(f) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)e^{-j2\pi ft} dt \quad (1)$$

과 같다. 파워스펙트럼의 누적합(CS_T)을 구하는 수식은

$$CS_T = \sum_{n=0}^{N-1} P(n \cdot \Delta f) \quad (2)$$

과 같다.

여기서 $P(n \cdot \Delta f)$ 는 각 주파수에서의 파워이며, N 은 파워스펙트럼을 구할 때 사용한 샘플의 수로 $N=512$ 이며, Δf 는 주파수 간격으로 43.75 Hz이다. 누적합의 특정 퍼센트에 해당하는 주파수를 구하기 위하여 CS_T 의 특정 퍼센트(20, 40, 60, 80)에 해당하는 n 을 구하고 n 과 Δf 를 곱하여 % cumsum 주파수를 구하였다.

임팩트 소리의 특성을 대변하는 대푯값으로 20%, 40%, 60%, 80% cumsum 주파수 값을 사용하였으며 평균 및 표준오차를 사용하여 통계적 유의성을 비교하였다. 임팩트 위치에 따른 cumsum 주파수의 평균 비교는 SPSS[®](IBM, USA)를 이용하여 independent t-test를 하여 p값이 0.05 보다 작은 경우에 통계적 유의성이 있는 것으로 판단하였다.

III. 결과 및 고찰

드라이버 헤드로부터 75 cm 높이에서의 골프공 자유낙하 시킨 것과 스크린에서 저자들이 드라이버 스윙을 하여 기록한 임팩트 소리를 시간에 따른 진폭변화를 [그림 3]에 제시하였다. 임팩트 소리를 Soundbooth[®]를 이용하여 임팩트 소리를 포함하는 0.4초 구간을 편집하여 제시하였다. 골프공 자유낙하가 스크린 샷에 비하여 진폭이 작게 나타났으며 모든 자료에서 시간에 따라 진폭이 감소하는 특성을 보였다. 스크린 샷으로 획득한 임팩트 소리에는 고무재질의 골프공 고정대(Tee)의 흔들림과 볼이 스크린에 부딪힐 때 발생하는 소리 등이 포함되어 있다. 소리 파형은 임팩트 직후에 최대 피크를 보이고 사건에 따라 빠르게 감소하는 특성을 보였다. 드라이버 헤드면의 toe, center, heel 등에서 관찰된 파형은 시간에 따른 진폭 특성이 동일하지는 않았으나 반복 측정 시에 각 위치에서 재현성을 보이지는 않았다.

임팩트 소리의 특성 차이를 밝히기 위하여 1초 구간을 대상으로 주파수 스펙트럼을 분석하였다. [그림 4]는 임팩트 소리의 특정 예에서 파워스펙트럼분포를 제시한 결과이며 임팩트 위치에 따라 포함된 주파수 피크의 위치가 달라지는 양상을 보였다. Center의 경우 최대

피크 주파수는 3.92 kHz이며 낮은 파워를 갖는 여러 피크로 구성되었다. Toe의 경우는 최대 피크 주파수인 3.92 kHz이외에 5~6 kHz 대역에서 다수의 피크를 보였다. 그러나 동일한 과정의 반복 실험에서 피크의 위치 및 크기가 다르게 관찰되어 스펙트럼의 주파수 피크 값들의 위치 비교를 통해 임팩트 위치에 따른 스펙트럼 차이를 비교할 수 없었다. 따라서 임팩트 위치에 따른 소리의 차이를 정량적으로 표현하기 위하여 소리 파워 스펙트럼의 전체적인 특성을 대변하는 값을 이용할 필요가 있다.

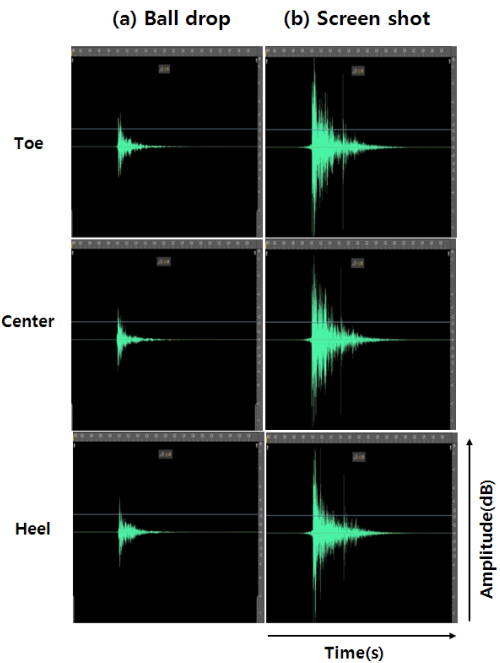


그림 3. 임팩트 소리의 시간에 따른 진폭 변화. (a) 골프공 자유낙하, (b) 스크린 샷. 위에서 아래로 드라이버 헤드면의 toe, center, heel에 대한 임팩트 소리. X축은 시간으로 0.4초 구간이며 Y축은 dB 단위의 진폭이다.

본 연구에서는 이러한 목적으로 파워스펙트럼 누적합(cumsum)을 사용하였다. 파워스펙트럼 누적합(cumsum)은 파워스펙트럼에서 주파수를 증가시키에 따라 파워의 누적합을 구하는 연산자이며 Matlab에서 cumsum() 형태로 지원하는 함수이다. [그림 5]는 [그림

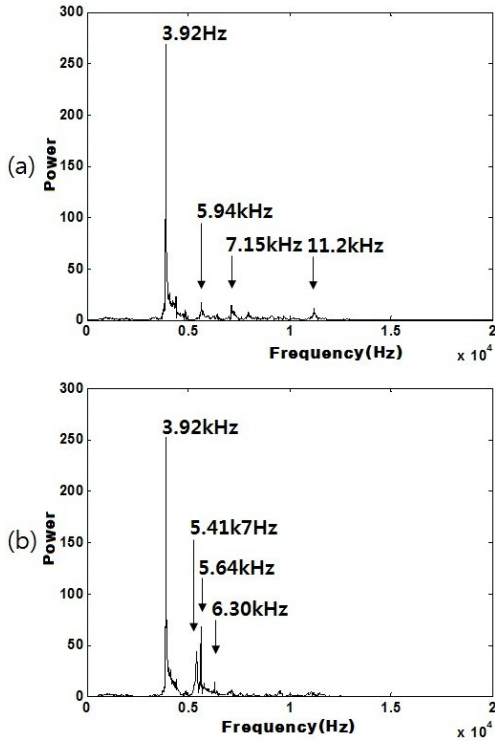


그림 4. 임팩트 소리 주파수 스펙트럼. (a) Center, (b) Toe

4] (a)의 파워스펙트럼을 주파수 증가에 따라 누적합을 표시하며 증가하는 형태로만 구성된다. 전체 누적합의 40%에 해당하는 주파수를 구하기 위하여 CS_T의 40% 크기에 해당하는 Y축 상의 값을 설정하고 이에 해당하는 X축의 주파수 값을 읽는다. 이러한 과정을 통하여 전체 cumsum의 20%, 60%, 80%에 해당하는 주파수를 구할 수 있다.

Cumsum 주파수 값은 임팩트 소리를 구성하는 전체 주파수 성분 중 저주파 성분의 기여도가 높으면 왼쪽으로 이동하여 주파수 값이 낮아지고, 상대적으로 높은 주파수 성분의 기여도가 높으면 오른쪽으로 이동하여 주파수 값이 높아진다.

Taylormade사의 드라이버를 사용하여 골프공 자유낙하 임팩트 소리를 대상으로 20%, 40%, 60%, 80% cumsum 주파수를 분석한 결과를 [그림 6]에 제시하였다. 20% cumsum 주파수는 center를 비교대상으로 했을 때 toe에서만 유의한 차이를 보였으며 40% cumsum

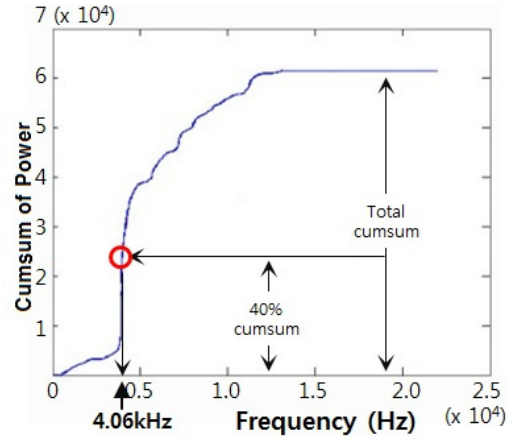


그림 5. Center 임팩트 소리의 스펙트럼 누적합 곡선과 40% cumsum에 해당하는 주파수를 구하는 과정. 40% sumsum 주파수가 4.06 kHz이다.

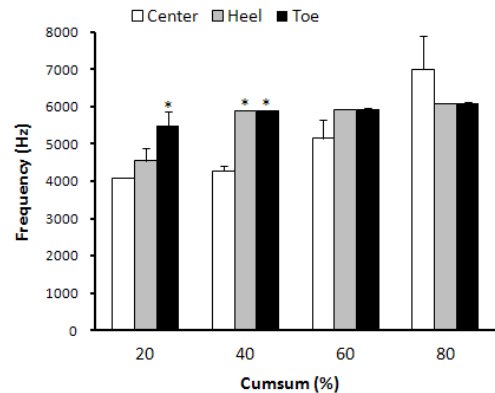


그림 6. Cumsum 비율에 따른 드라이버 헤드면 위치별 주파수 비교 (mean ± SE, n=5, * p<0.05)

주파수는 center와 비교하여 heel과 toe에서 모두 유의한 차이를 보였다. 그러나 60%와 80% cumsum 주파수에서는 유의한 차이가 없었다. 이러한 결과를 토대로 드라이버 헤드면의 위치에 따른 임팩트 소리를 비교하기 위하여 40% cumsum 주파수를 사용하여 3종류의 드라이버에서 임팩트 소리를 비교하였다. 드라이버 헤드면 center, heel, toe 위치에서 20회씩 반복 측정된 40% cumsum 주파수 값의 평균과 표준오차를 [표 2]에 제시하였다.

세 종류의 드라이버 모두에서 헤드면의 center에 비하여 바깥쪽인 toe와 heel에서 40% cumsum 주파수 값

이 유의하게 증가하였다. 이는 center에 비하여 toe 및 heel에서 임팩트 소리에 포함된 성분 중 높은 주파수 성분의 비율이 높기 때문이다. 중심에서 멀어질수록 높은 주파수 성분의 분포가 높게 나타나는 것은 이전의 타 연구에서도 동일한 경향으로 보고된 바 있다[3]. 주요 주파수 성분이 나타나는 음역대는 실험에 사용된 드라이버 종류별로 다양하지만 헤드의 중심에 임팩트 되었을 때의 40% 누적합 주파수가 가장 낮게 나타나는 공통점을 보였다.

본 연구에서 골프 드라이버의 임팩트 소리를 실제적으로 스윙시키지 않고 골프공을 자유낙하시켜 분석한 것은 주변잡음의 영향을 배제시키고 임팩트 지점의 재현성을 높이기 위한 방안이었다. 골프 드라이버의 골프공 임팩트 소리는 헤드면의 크기 및 임팩트 위치, 헤드면과 충돌 방향, 헤드면의 재질과 기계적 구조, 골프공의 종류 및 속도를 포함한 다양한 요소에 의하여 결정된다. 따라서 동일한 드라이버와 골프공을 사용하더라도 임팩트 조건이 고정되어야 드라이버 헤드면의 위치에 따른 임팩트 소리를 비교할 수 있으므로 본 연구에서는 골프공 자유낙하를 사용하였다. 실제적인 드라이버 스윙에서 임팩트 소리 분석에 본 연구결과를 적용하기 위해서는 추가적인 연구가 필요하다.

표 2. 드라이버 헤드면 위치에 따른 임팩트 소리의 40% cumsum 주파수 값.

Driver	Impact point	40% cumsum frequency (Hz, Mean ± SE)
XXIO	Center	4060 ± 56.9
	Toe	5735 ± 101.3*
	Heel	5312 ± 261.7*
PING	Center	4187 ± 4.6
	Toe	5308 ± 419.2*
	Heel	5975 ± 9.2*
Taylormade	Center	4278 ± 133.8
	Toe	5898 ± 6.7*
	Heel	5899 ± 9.4*

* represents a significant mean difference compared with the value of the center (p<0.05).

IV. 결론

드라이버 헤드면 위치에 따른 골프공 임팩트 소리를

비교하기 위하여 골프공을 자유낙하 시키고 임팩트 소리를 분석하였다. 소리 분석을 위하여 파워스펙트럼의 누적합을 구하고 40% 누적합에 해당하는 주파수를 비교하는 방법으로 드라이버 헤드면 위치에 따른 소리의 유의한 차이를 확인하였다. 골프공의 임팩트 지점이 드라이버 헤드면의 center가 toe 및 heel에 비하여 파워스펙트럼 상의 40% 누적합 주파수 값이 유의하게 낮게 나타났으며 이는 드라이버 헤드면의 center가 임팩트 시에 낮은 주파수의 파워가 상대적으로 많이 포함되어 있음을 시사한다.

참고 문헌

- [1] 김홍설, 신좌중, "골프연습장 고객접점서비스가 서비스 질 및 고객만족에 미치는 영향", 한국콘텐츠학회논문지, 제10권, 제9호, pp.448-454, 2010.
- [2] D. M. Bourg, *Physics for Game Developers*, O'Reilly, 2001.
- [3] 김신웅, *골프 원리를 알면 10타가 준다*, 대경북스, 2007.
- [4] J. R. Roberts, R. Jones, N. J. Mansfield, and S. J. Rothberg, "Evaluation of impact sound on the 'feel' of a golf shot," *J. Sound Vibrat.*, Vol.287, No.4-5, pp.651-666, 2005.
- [5] A. Hocknell, S. Mitchell, R. Jones, and S. Rothberg, "Hollow golf club head modal characteristics: Determination and impact applications," *Exp. Mech.*, Vol.38, No.2, pp.140-146, 1998.
- [6] J. B. Shin, C. W. Jung, C. S. Kim, and J. S. Kim, "Characteristics and Effect of Hitting Noise Occurring at Golf Exercise Facility", in *Proc. Architectural Institute of Korea*, pp.701-704, 2006(10).
- [7] K. J. Kim, J. K. Park, and H. J. Park, "The Study of Sound Quality Metrics for the Golf Club's Impact Sound," *Transactions of Korean*

Society for Noise and Vibration Engineering, Vol.16, No.5, pp.537-543, 2006.

[8] B. W. Kim, S. W. Park, J. H. Jo, C. S. Roh, and U. P. Chong, "The good or bad shot distinction algorithm of golf driver impact sounds," in Proc. The Korea Institute of Signal Processing and Systems, Vol.9, No.2, pp.502-505, 2008(10).

[9] C. Kim, "Optimum Design of a Graphite Golf Driver Shaft Adapted to Golfer's Swing Behaviors," in Proc. The Korean Society of Mechanical Engineers, pp.18-23, 2004(10).

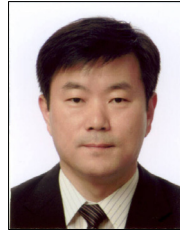
[10] 이종원, *골프역학·역학골프*, 청문각, 2009.

[11] K. Y. Kwak, M. Yu, H. J. So, S. H. Kim, N. G. Kim, and D. W. Kim, "Kinetic Analysis of Human Simulation for the Soft Golf Swing," J. Biomed. Eng. Res., Vol.31, No.2, pp.141-150, 2010.

[12] H. Y. Oh, M. Yu, S.H. Kim, J. H. Jang, N. G. Kim, and D. W. Kim, "Soft-golf TM Shaft Kick Point and Stiffness due to the Difference in Performance Analysis," J. Biomed. Eng. Res., Vol.31, No.3, pp.227-233, 2010.

정 동 근(Dong Keun Jung)

정회원



- 1989년 2월 : 부산대학교 의학과 (의학사)
- 1993년 8월 : 부산대학교 대학원 의학과 (의학박사)
- 1997년 5월 ~ 현재 : 동아대학교 의과대학 의공학교실 교수

<관심분야> : 생체신호계측, 유헬스케어

저 자 소 개

김 호 성(Ho Sung Kim)

정회원



- 1995년 2월 : 동아대학교 화학과 (이학사)
- 2004년 2월 : 동아대학교 체육학과(체육석사)
- 2010년 9월 ~ 현재 : 동아대학교 대학원 의학과 박사과정

<관심분야> : 운동생리, 생체신호계측