

골프채 타격음에 대한 청취실험과 음질 평가지수 관련 연구

The Correlation Study of the Jury Test and Sound Quality Metrics Evaluation for Impact Sound of the Golf Club

박희준* · 김관주** · 박진규* 김상현***

Heejun Park, Kwanju Kim, Jingue Park, Sanghun Kim

Key Words : Golfclub Impact Sound(골프채 타격음), Sound Quality(음질), Subjective Method(주관적 방법), Objective Method(객관적 방법), Jury Test(청취 실험), Wavelet Analysis(웨이블렛 분석),

ABSTRACT

The impact sound of the golf club is one of the major factors to purchase it. Sound quality evaluation techniques are mostly developed for harmonic sounds. Sound quality metrics for the impact sound is proposed in this study. Jury test, one of the typical subjective evaluation scheme, is carried out for evaluating the sound quality of 11 different golf drivers. Above subjective classification results are assumed to be the right answers. Conventional objective evaluation methods such as Zwicker loudness sensory pleasantness are calculated. Wavelet analysis and instantaneous loudness are applied in order to evaluate the transient sounds, which shows better correlation with the results from those by jury test.

1. 서론

최근 들어 국내에서도 여가활동으로 골프 운동을 하는 인구가 증가하는 추세이다. 소비자가 골프채를 구입할 때 고려하는 요소는 가격, 외형 디자인, 안정성, 내구성, 성능 등 여러 종류의 인자가 있지만, 최근에 중요시 되는 요소 중의 하나가 골프채로 골프공을 칠 때 듣는 타격음의 "친밀감"이라 할 수 있다. 소비자에게 친밀감을 주는 타격음의 음질 평가는 골프채의 타격 시 손에 미치는 진동의 영향과 함께, 골프채 설계의 진동, 소음 측면에서 중요한 고려 항목이다. 이와 같은 골프채 타격음의 음질 평가는 단순히 물리적으로 측정된 음압의 크기에 따라 결정되는 것이 아니라, 감성공학 측면에서 인간이 느끼는 다양한 심리적, 감성적 요소가 복합적으로 연계되어 나타나게 된다. 본 연구에서는 주관적이고 감성적인 골프채 타격 음을 청취실험과 음질 관련 metrics 의 분석을 통해 골프채 타격음의 음질 평가방법을 도출하고자 한다.

2. 본론

2.1 연구 진행순서

본 연구에서는 Fig. 1 에서 나타낸 바와 같이 여러 회사 제품의 골프채 타격음을 측정하고, 필요한 편집 과정을 거친 후에 각 타격음의 음질 평가를 주관적 평가와 객관적 평가로 수행하였다. 주관적 평가 방법으로는 청취실험(Jury test)을 진행하여 골프채 타격음의 선호도를 도출하였다, 객관적 평가방법으로는 FFT 분석, Loudness, Sharpness, Roughness, Fluctuation Strength 와 같은 Sound quality metric 분석, 그리고 신호의 주파수 성분을 시간의 함수로써 나타낼 수 있는 Wavelet 분석을 하여, 주관적 평가에서 도출된 각 골프채 타격음의 선호도와 비교함으로써 과도음이며 충격음인 골프채 타격 음을 객관적으로 평가하는 방법을 알아보는 것을 목표로 하였다.

2.2 타격음의 측정

타격음의 측정 시에는 골프채의 스윙궤도에 걸리지 않고, 타격음을 가능한 정확히 녹음할 수 있도록 지면 위 약 0.5m 에 마이크로폰을 설치한 후 골프채와 공

* 홍익대학교 기계공학과 대학원
E-mail : phj185@daum.net
Tel: (02) 336-1495, Fax: (02) 320-1113

** 홍익대학교 기계시스템디자인공학과

*** 산업기술시험원

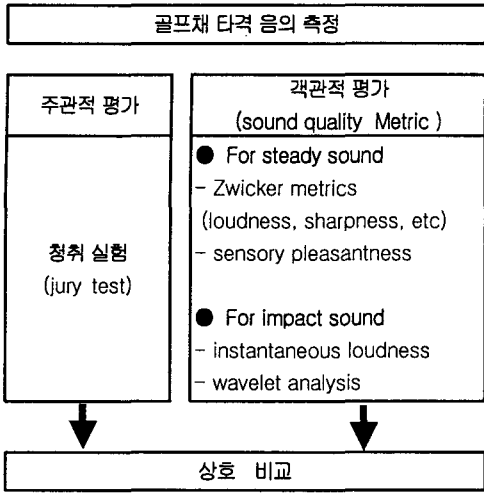


Fig. 1 Flowchart of the developing sound quality metric for the impact sound

의 타격 음이 충분히 측정이 되도록 시험자가 스윙을 시작하기 시작부터 5초간 측정을 한 후 wave 파일로 저장을 했다. 측정 시 사용한 골프채는 모두 드라이버로써 11가지 다른 제품의 충격음을 측정 하였다. 실험 장비는 B&K사 pulse 프로그램type 7533와 동일 회사의 3100B microphone을 이용하였다.

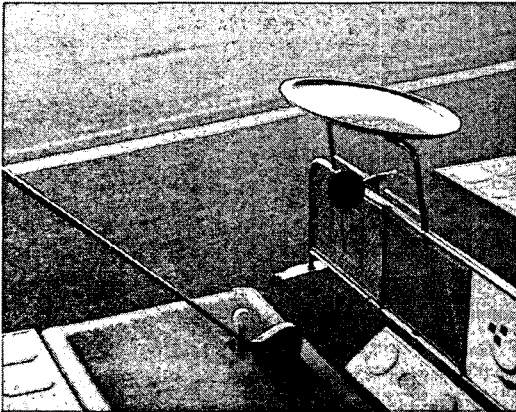


Fig. 2 Example of sound measurement

(1) 타격음의 편집

측정한 데이터는 전체 데이터에서 타격 음이 발생한 위치가 모두 다르고 또한 잡음이 많이 섞여있기 때문에 편집 과정을 거쳐야 한다. 측정해온 모든 웨이브파일들(Fig. 3) 일정한 주기(1초)로 편집(Fig. 4)한다.

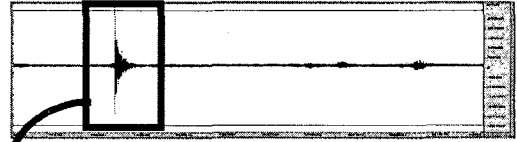


Fig. 3 The measured signal

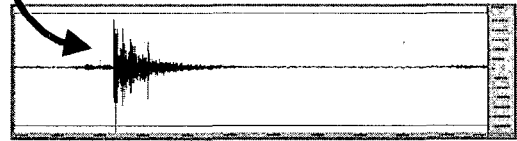


Fig. 4 The signal which is edited in 1 seconds

하지만 이 신호는 많은 잡음이 포함되어 있는 신호이다. 따라서 1초간의 주기로 편집된 신호를 MATLAB의 wavemenu를 이용하여 신호를 분해한다. wavelet을 이용한 신호의 분해는 참고문헌[1]을 참고 하였다.

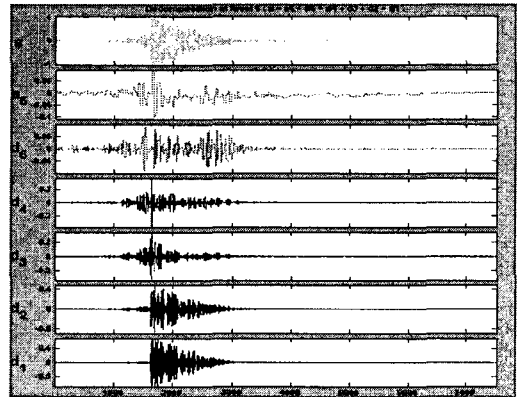


Fig. 5 The signal decomposition using a wavelet tool box

wavelet으로 신호를 분해하면 approximation (a) 과 detail (d)로 분리가 되는데, 분해된 신호들 중 d1이 원래 신호에서 잡음이 제거 된 신호가 된다. 이런 식으로 현장에서 측정해온 11개의 신호들을 1초간의 주기로 편집을 하고 잡음을 제거 하였다.

2.3 주관적 평가

(1) 청취실험

골프채 타격음의 느낌을 나타내도록 선별된 12개의 감성평가 어휘의 짝으로 순서척도 -3에서 3까지의 양극척도를 이용하여 설문지를 작성하였으며 아래의 방법으로 청취실험을 시행하였다.

- 설문지 응답자는 총 30인의 대학생으로 이루어졌다.

- 재생에 사용된 골프채 타격 음은 귀로 들었을 때 그 차이가 너무 작기 때문에 모든 소리를 들려줄 경우 판단에 혼란을 주기 때문에 비교적 소리의 느낌이 차이가 많이 나는 타격 음 3개를 선정하였다.
 - 실험 방법으로 응답자는 1인을 개별적으로 실험하였다.
 - 평가어휘의 이해를 돕고자 평가어휘를 충분히 숙지하도록 하였으며 피시험자가 원하는 만큼 충분히 재생하여 음질을 평가하도록 하였다.
- 청취실험에 관한 내용은 참고문헌[2]을 참고하였다.

(2) 청취실험 결과

위 그림에서 x축은 각 항목이고 y축은 피시험자들이 항목마다 표시한 점수들의 평균값이다. 그림을 보면 좋고 나쁨의 구분이 모호한 항목인 1번 항목(가벼운-무거운), 12번 항목(무딘-날카로운)의 경우에는 그렇지 않으나, 비교적 좋고 나쁨의 구분이 가능한 항목들에서는 골프채 2번이 가장 높은 수치를 있고 골프채 10번이 가장 낮은 수치를 나타내고 있다.

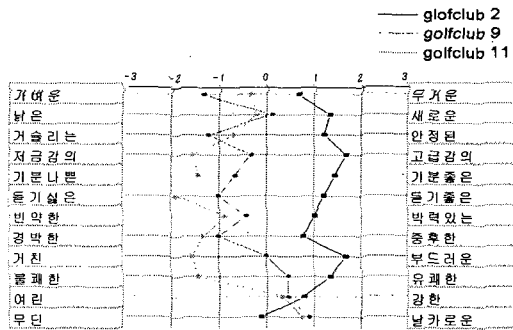


Fig. 6 The result of jury test

이 결과를 종합적인 점수로 나타내서 소리의 순위를 알기 위해 각항목마다 가중치를 부여하여 평균값에 곱한 다음 그 값들의 총 합을 구하였다. 그 결과 골프채 2번은 10.05, 골프채 9번은 -2.62, 골프채 11번은 -7.62 가 계산되었다.

2.4 객관적 평가

(1) 주파수 분석

주관적 분석방법으로 순위가 정해진 타격음의 주파수별 특징을 알아보기 위해 1/3 옥타브로 주파수 분석을 행하였다. 주파수 분석결과는 Fig. 7 과 같다.

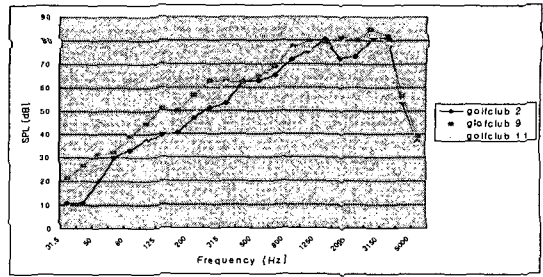


Fig. 7 FFT analysis result of the golfclub impact sound

주파수 분석결과로는 소리의 좋고 나쁨을 판단하는데 특별한 차이가 나타나지 않음을 알 수 있다. 이는 골프채 타격음이 충격음이기 때문이며, 정상상태음의 분석에 주로 사용하는 FFT 분석은 골프채 타격음의 분석에 적합하지 않음을 알 수 있다.

(2) Zwicker metric을 이용한 분석

측정한 타격음의 음질을 정량적으로 표현하기 위해서 Zwicker metric을 계산하였다. metrics에 관한 내용은 참고문헌[3]을 참고하였다. 측정한 wave 파일을 b&k pulse의 sound quality 모듈을 사용하여 loudness, sharpness, roughness, tonality를 추출 하였다. 결과, loudness는 나쁜 타격음이 제일 크고, sharpness는 좋은 타격음이 제일 크고, roughness는 좋은 타격음이 제일 작으며, tonality는 좋은 타격음이 가장 크게 나타났다. 하지만 각각의 metrics로 각 타격음의 특성을 알 수는 있으나 소리의 좋고 나쁨의 우열을 판단하기는 어렵다. 그래서 소리의 유쾌한 측면의 우열을 결정할 수 있는 Sensory pleasantness를 계산하였다.

Table 1 Zwicker metrics of each Golfclub sound

골프채	2	9	11	단위
Loudness	1.19	1.72	1.83	sone
Sharpness	1.63	1.59	1.56	acum
Roughness	1.71	2.09	2.09	asper
Tonality	10.5	1.72	-0.545	tu

(3) Sensory pleasantness

Sensory pleasantness는 loudness (N), roughness (R), sharpness (S), tonality (T)가 변수로써 소리의 청량감을 나타내는 지수이다.

$$P = e^{-0.7 \frac{R}{N_0}} e^{-1.16 \frac{S}{S_0}} (1.24 - e^{-0.7 \frac{T}{T_0}}) e^{-0.23 \frac{N}{N_0}} \quad (1)$$

계산결과 골프채 2번은 0.1166 , 골프채 9번은 -0.1827, 골프채 11번은 -1.18이 계산 되었다. 여기서 계산된 Sensory pleasantness 의 순위는 청취실험에 의한 순위와 같은 결과이다.

(4) Instantaneous Loudness

위에서 계산한 Zwicker metrics는 모두 평균치이고, sensory pleasantness는 정상상태 소음의 분석에 사용되는 함수 이므로 과도음이며 충격음인 타격음의 특징을 보다 자세히 알기 위해서는 이 metrics을 시간의 함수로서 살펴 보아야 한다.

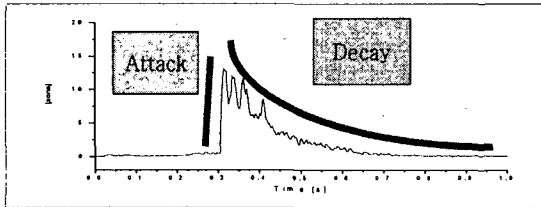


Fig. 8 Loudness VS Time of good sound

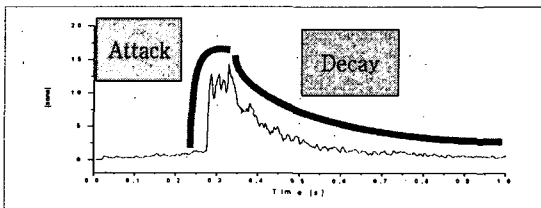


Fig. 9 Loudness VS Time of bad sound

Fig. 8 와 9는 좋은 타격 음(골프채 2번)과 나쁜 타격 음(골프채 11번)의 loudness 를 시간의 함수로써 나타낸 그림이다. 음의 loudness 가 순간적으로 증가하는 부분을 Attack 이라고 하고 음이 줄어드는 부분을 Decay 라 하는데 두 타격음의 Attack을 비교하면 좋은 소리는 loudness의 최고점까지 증가할 때 나쁜 타격 음 보다 진폭의 변조가 없이 깨끗하게 증가하는 것을 알 수 있다. 이론은 참고문헌 [4]을 참고하였다.

(5) Wavelet 을 이용한 분석

골프채 타격음의 느낌은 decay 부분의 주파수 성분에 따라 다르게 느껴지는데, 골프채의 타격 음은 과도음이며 충격음이므로 음의 크기가 시간에 따라 변하고, 그 주파수 또한 시간에 따라 변하게 된다. 따라서 decay 부분의 주파수 분석은 기존의 FFT 분석만으로는 불충분하므로 시간의 함수로써 주파수 분석이 용이한 Wavelet 분석이 적합하다.



Fig. 10 Wavelet Analysis result of a good sound



Fig. 11 Wavelet Analysis result of a bad sound

Fig. 10, 11에서 x 축은 시간을 나타내고, y축은 숫자 커질수록 저주파를 나타낸다. 두 그림을 비교해보면, 나쁜 타격음의 주파수 영역이 좋은 타격음보다 저주파수까지 분포 되어 있음을 알 수 있다.

3. 결론

본 연구에서는 주관적 평가에서 타격음의 선호에 관한 순위를 결정하였고, 그 결과를 토대로 객관적 평가결과와 비교한 결과, 기존의 신호 분석 방법인 주파수 분석 방법으로 음질을 평가 하는데 한계가 있었다. 그리고 sound quality metrics의 추출을 통한 sensory pleasantness로써 소리의 청량감에 대한 대강의 우열을 판단 할 수 있었으나, 충격음인 골프채 타격음의 특성을 보다 확실히 살피기 위해서는 시간의 함수로써 나타낸 loudness의 Attack 부분과 wavelet 분석을 통한 decay 부분의 차이를 검토해야 하며, 사용자는 골프채의 타격음이 attack 시 loudness 가 깨끗하게 증가할수록, decay 부분이 고주파 영역일수록 좋은 소리의 느낌을 가진다는 것을 알았다.

후 기

본 연구는 산학연 공동기술개발 컨소시엄 사업의 일환으로 진행되었습니다. 관련자께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) 강현배 등, 2001, 웨이블릿 이론과 응용, 아카넷, Seoul.
- (2) 김정태 등, 1998, "승용차 문단이 음질의 평가기법에 관한 연구", 자동차공학회논문집, pp. 67~79.
- (3) E. Zwicker, and H. Fastl, 1999, Psycho acoustics, Springer, New York.
- (4) <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu>