

골프채 타격음의 음질 평가기법에 관한 연구

The Study of Sound Quality Metrics for the Golf Club's Impact Sound

김 관 주* · 박 진 규* · 박 희 준*

Kwanju Kim, Jinkyu Park and Heejun Park

(2006년 2월 15일 접수 ; 2006년 4월 26일 심사완료)

Key Words : Golf Club 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 metrics has been mostly developed for harmonic sounds. Sound quality evaluation techniques for the impact sound have been contrived in this study. Jury test, one of the typical subjective evaluation scheme, is carried out for evaluating the sound quality of 13 different golf drivers, which classification results are assumed to be correct 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 sound quality of transient sounds, which scheme shows better correlation with the results from jury test.

1. 서 론

최근 들어 국내에서도 여가활동으로 골프 운동을 하는 인구가 증가하는 추세이다. 골프채를 구입할 때 고려하는 요소는 가격, 디자인, 안정성, 내구성, 비거리 등 여러 종류의 인자가 있지만, 최근에 중요시 되는 요소는 골프공을 칠 때 나는 타격음의 "친밀감"이다. 소비자에게 친밀감을 주는 타격음의 음질 평가는 골프채의 타격 시 손에 미치는 진동의 영향과 함께, 골프채 설계의 진동, 소음 측면에서 중요한 고려 항목이다.⁽¹⁾ 이러한 골프채 타격음의 음질 평가는 단순히 물리적으로 측정된 음압의 크기에 따라 결정되는 것이 아니라, 감성공학 측면에서 인간이 느끼는 심리적, 감성적 요소가 복합적으로 연계되어 나타나게 된다. 이 연구에서는 주

관적이고 감성적인 골프채 타격음을 청취실험과 음질 관련 metrics의 분석을 통해 타격음의 음질 평가방법을 도출하고자 한다. 기존의 정상상태의 음에 대한 주관적 평가기법에 관한 연구는 국, 내외적으로 활발히 진행되고 있다. Russel은 통계학에서 Kurtosis 개념을 도입하여 엔진의 음질평가를 수행하였다.⁽²⁾

타격음의 경우는 연속음과는 달리 주관적 평가가 그리 수월하지는 않다. 김정태 등은 자동차 차문의 여닫이 음에 관하여 hilbert transform과 inverse fast Fourier transform을 이용하여 타격음의 음질 평가를 수행하였다.⁽³⁾ 신성한 등은 자동차 부밍소음에 관하여 과도음에 관한 음질 평가를 시도하였다.⁽⁴⁾ 이 논문에서는 충격음의 음질평가를 위해서 instantaneous loudness를 평가하는 ISO 532 (acoustic-method for calculating loudness level)와 MATLAB의 wavelet 프로그램을 이용하였다.^(5,6,7)

† 책임저자; 정회원, 홍익대학교 기계시스템디자인공학과
E-mail : kwanju@hongik.ac.kr
Tel : (02) 320-1643, Fax : (02) 320-1113
* 홍익대학교 대학원 기계공학과

2. 연구 내용

이 연구에서는 Fig.1에서 나타난 바와 같이 여러 골프채 타격음을 측정하고, 필요한 편집과정을 거친 후에 각 타격음의 음질 평가를 주관적 평가와 정량적인 객관적 평가 방법으로 수행하였다. 주관적 평가 방법으로는 청취실험(jury test)을 진행하여 골프채 타격음의 선호도를 도출하였다. 객관적 평가방법으로는 소음도 분석, loudness, sharpness, roughness, fluctuation strength, tonality와 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 알아 보는 것을 연구 내용으로 하였다.

3. 연구방법 및 결과 분석

3.1 타격음의 측정 및 신호, 잡음 분리.

마이크로폰의 위치 선정은 골프채의 스윙궤도에 걸리지 않고, 타격음의 녹음시 지표면 영향을 최소화하는 높이 0.3m 이상 떨어진 거리에서, 다음 Fig.2에 표시한 것처럼 타격음의 지향 특성을 고려하여 타격 방향에 수직 방향을 정하였다. 골프채는

모두 드라이버로써 각기 다른 13가지 제품의 충격음을 IEC 651에서 지정하는 충격음 측정 표준에 따라 wave 파일로 저장을 했다. 측정주파수 범위는 31.5 Hz ~ 12.5 kHz 대역이다.

자동 타격기나 프로골퍼가 타격하여 측정하였으며 측정 횟수는 각 골프채마다 3회 이상씩 측정하여 평균값을 계산하였다. 이 측정에서의 분석 대상은 골

SYSNOISE - COMPUTATIONAL VIBRO-ACOUSTICS

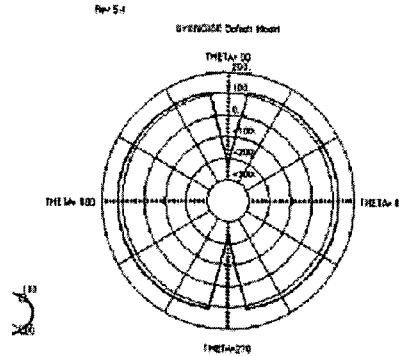


Fig. 2 Directivity of the golf club head (1000 Hz case)

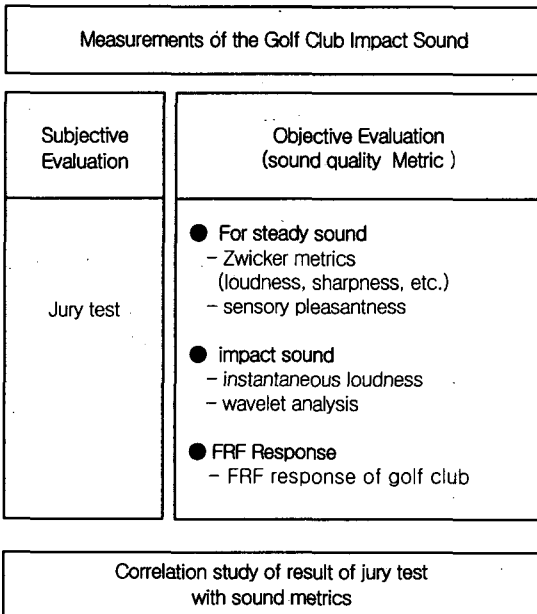


Fig.1 Flowchart of the developing sound quality metric for the impact sound

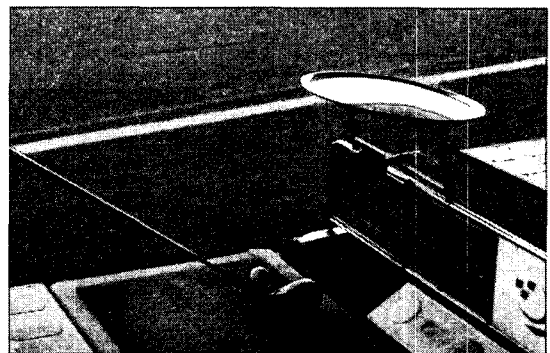


Fig. 3 The typical picture of sound measurement

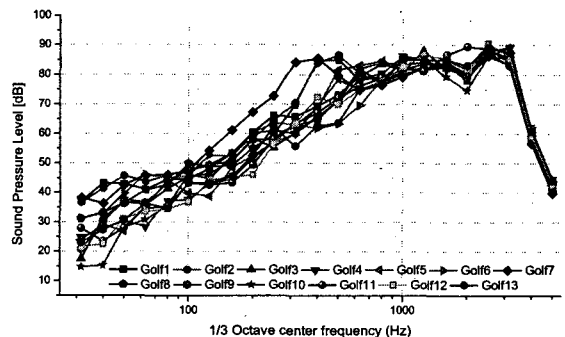


Fig. 4 SPL of the golf clubs impact sound

프채는 제외하고 골프 클럽 헤드부분에 한정하여 분석을 실시하였다. 골프채타격음의 주파수별 특징을 알아보기 위해 1/3 옥타브로 주파수 분석을 수행하였으며, 주파수 분석결과는 Fig. 4에 나타내었다.

주파수 분석결과로는 소리의 좋고 나쁨을 판단하는데 특별한 판단 기준을 제공하지 못하며, 단순히 음압의 주파수별 크기만을 나타낼 수 있다. 또한 골프채 타격음은 충격음이기 때문이며, 정상상태음의 분석에 주로 사용하는 FFT 분석은 골프채 타격음 음질평가 분석에 적절한 정보를 주지 못한다.

측정한 데이터는 전체 데이터에서 타격음이 발생한 위치가 모두 다르고 또한 잡음이 많이 섞여있기 때문에 편집 과정을 거쳤다. 측정된 데이터를 일정한 주기(1초)로 편집하였다. 이 신호는 많은 잡음이 포함되어 있는 신호이다. 따라서 1초간의 주기로 편집된 신호를 MATLAB의 wavelet을 이용하여 신호와 잡음을 분리하였다.

Wavelet으로 신호를 분해하면 approximation과 detail 신호로 분리가 되는데, 이러한 분해된 신호들

중 잡음이 제거된 신호가 나타나게 되며, 이러한 신호를 사용하여 분석에 적용하였다. 이러한 방법을 통하여 13개의 골프클럽 헤드의 잡음이 제거된 측정음에 대하여 분석하였다.^(5, 8)

3.2 주관적 평가 실험

(1) 청취실험

골프경력 2년 이상의 사용자 15인을 대상으로 한 설문조사에서 골프채 타격음을 표현하는 약 40개의 형용사 평가 어휘를 확보하였으며, 이들 중에 골프채 타격음을 설명하기에 충분한 형용사의 짝으로 구성된 10개의 감성평가 어휘를 선별하였다. 각 어휘의 짝에 순서척도 -3에서 3까지의 양극 척도를 이용하여 설문지를 작성하였으며 아래의 방법으로 청취실험을 시행하였다.

- 청취자는 골프 경력 1년 이상의 일반인 30인으로 선정하였다.

- 재생에 사용된 골프채 타격음은 귀로 들었을 때 그 음질의 차이가 너무 작기 때문에 모든 소리를 들려줄 경우 판단에 혼란을 주기 때문에 비교적 소리의 느낌이 뚜렷하다고 판단되는 타격음 3개를 선정하였다.

- 실험 방법으로 청취자는 1인을 개별적으로 실험하였으며 3개의 타격음을 차례로 재생하여 각 형

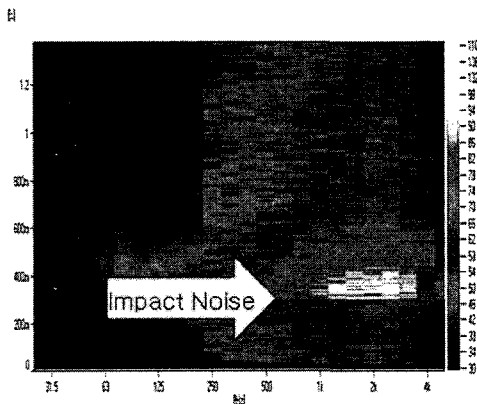


Fig. 5 Impact sound of a generic golf club

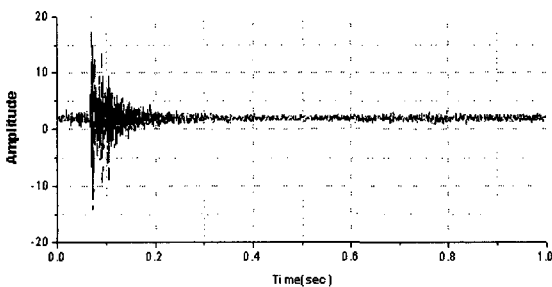


Fig. 6 An edited impact signal

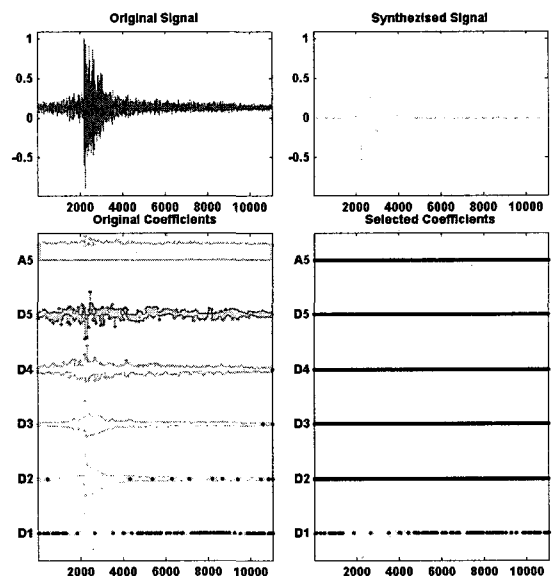


Fig. 7 The signal decomposition using a wavelet tool box

용사 항목의 차이를 -3에서 3까지의 값으로 표시하도록 하였다.

- 평가 어휘의 이해를 돕고자 평가어휘를 충분히 숙지하도록 하였으며 청취자가 원하는 만큼 충분히 재생하여 음질을 평가 하도록 하였다.

(2) 청취실험 결과

Fig. 8에서는 청취실험에서 선정한 3개의 골프채에 대해서 청취자들이 표시한 점수들의 평균값을 표 1에서는 이 평균값들의 표준 편차를 나타내었다. Fig. 8의 결과를 살펴보면 대략적으로 골프채 8이 가장 높은 수치를, 골프채 11이 가장 낮은 수치를 나타내고 있다. Table 1에서 표준편차 값은 “거친-부드러운”의 경우는 0.8, “가벼운-무거운”의 경우는 1.76이 계산되었다. 큰 표준편차 값을 갖는 경우는 형용사 언어 선정의 틀림 정도가 크다고 생각하였다. 즉 표준편차가 작은 항목일수록 타격음의 음질을 평가하는데 기여도가 큰 형용사로 판단하여, 표준편차의 역수를 각 항목의 가중치로 가정하여서 다음과 같은 대표적인 하나의 수치로 나타내었다.

$$\text{대표값} = \sum_{\text{항목가중치}}^{10} \frac{1}{\text{표준편차}} \quad (\text{각 항목의 평균값}) \quad (1)$$

계산 결과 청취실험 대푯값은 골프채 8번은 10.05, 골프채 9번은 -2.62, 골프채 11번은 -7.62 가 계산되었다.

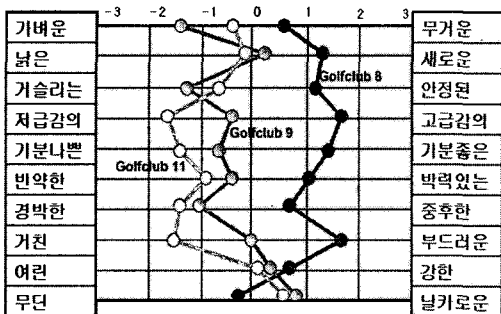


Fig. 8 Selective results of the jury test

Table 1 Standard deviation of the jury test

Items	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Standard deviation	1.76	1.29	1.47	1.17	1.05	1.38	1.32	0.70	1.62	1.71

3.3 객관적 평가 실험

주관적 평가에서 도출된 결과를 객관적 평가와 비교함으로써 객관적 평가의 타당성을 살펴보고자 한다. 타격음의 객관적 평가는 총 13개의 골프채에 대하여 실시하였고, 그 중에서 주관적 평가에서 선별된 골프채에 대하여 비교 분석하였다.

(1) FRF 분석

골프채의 헤드부분의 진동과 충격음간의 관계를 살펴보기 위하여 헤드부분의 driving point mobility를 측정하였다. 각 골프채 헤드의 FRF 측정 결과를 Fig. 9, Fig. 10에 나타내었다.

측정 결과를 살펴보면 대부분의 골프 헤드의 1차 모드는 4000 Hz ~ 4400 Hz 사이에서 나타나고 있다. 이러한 범위에서 벗어난 골프채는 골프채 3과 골프채 10은 약 3600 Hz 정도에서 1차 모드가 나타나며, 골프채 6의 경우에는 5700 Hz대역에서 1차 모드가 나타난다. 이 현상은 헤드의 재질과 형상에 따른 강성과 관련 있다고 생각된다. 골프채 11의 경우에는 감쇠의 영향에 의한 뚜렷한 모드를 확인하

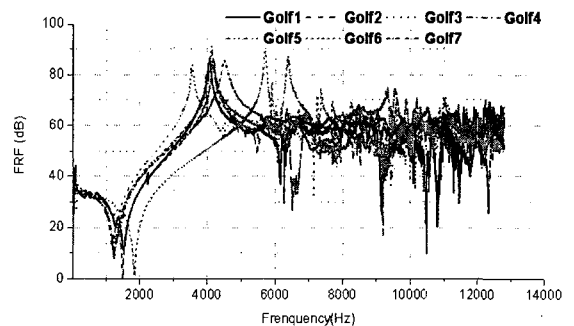


Fig. 9 FRF graphs of the golfclub heads(1)

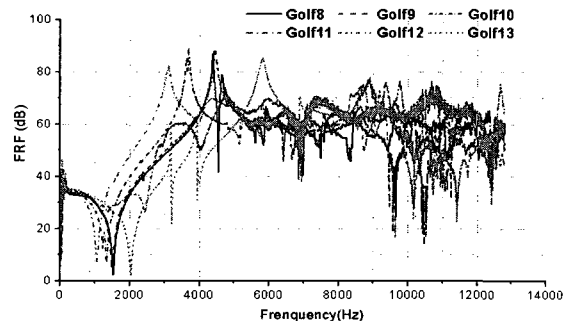


Fig. 10 FRF graphs of the golfclub heads(2)

기가 힘든 결과를 나타내고 있으며, 골프채 12의 경우에는 3100 Hz 대역에서 1차 모드가 나타난다. 골프채 13의 경우에는 5800 Hz에서 1차 모드가 나타난다. 이러한 결과를 통해서 음향 측정 주파수와 비교를 하고자 시도하였지만 측정된 음향 주파수와의 상관관계를 찾기는 용이하지 않았다.

(2) Zwicker metric을 이용한 음질 분석

측정한 타격음의 음질을 정량적으로 표현하기 위해서 Zwicker metric⁽⁷⁾을 계산하였다. 측정된 타격음 자료를 적용하여 loudness, sharpness, roughness, tonality, fluctuating strength를 계산하였으며, Fig. 11와 Fig. 12에서는 loudness와 roughness 계산 결과를 나타내고 있다. loudness계산 결과를 살펴보면, 골프채 4번을 제외하고는 대부분 15~17 sone의 값을 나타내고 있다. Roughness 계산 결과에서는 골프채 5의 값이 가장 크게 나타났으며, 대부분 2~6 asper 사이의 값을 나타낸다.

(3) 순간 타격음에 대한 음질 metric 분석

위에서 계산한 Zwicker metrics는 측정 결과의 일정 구간에 대한 평균값을 나타낸다. 과도음이며

충격음인 타격음의 특징을 보다 정확하게 나타내기 위해서는 metrics을 시간 따른 함수로 살펴보아야 한다. Fig. 13은 시간에 따른 loudness 측정 결과에서 타격 순간에 나타나는 loudness 값들을 비교해 보았다. Zwicker metric 분석⁽⁷⁾에서의 loudness 측정결과보다 3배 이상 높은 값이 나타나며 그 값의 순위도 상이한 결과를 나타낸다. 특히 골프채 4번의 경우에는 평균적인 loudness값일 때에는 다른 골프채보다 약 3배 정도 작은 값을 나타내지만 순간적으로 나타나는 loudness값은 골프채 간에 큰 차이를 나타내지 않는다. Fig. 12에서의 평균 roughness 측정결과에서는 골프채 5번이 가장 크게 나타나며, 골프채 6번이 가장 낮게 나타나지만, Fig. 14에서는 골프채 11번이 가장 크게 나타나고, 골프채 6번이 가장 낮게 나타난다. 그 값의 범위 차이는 크지 않지만 다른 결과를 나타낸다.

Fig. 15와 16에는 높은 음질의 타격 음(골프채 8번)과 낮은 음질의 타격 음(골프채 11번)의 loudness를 시간의 함수로써 나타내었다. 음의 loudness가 순간적으로 증가하는 부분을 attack이라고 하고 음이 줄어드는 부분을 decay라 하는데 두 타격음의 attack을

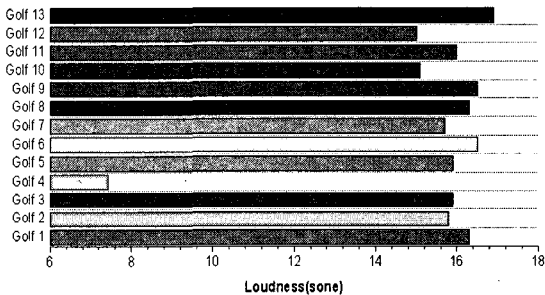


Fig. 11 Loudness result of the golf clubs

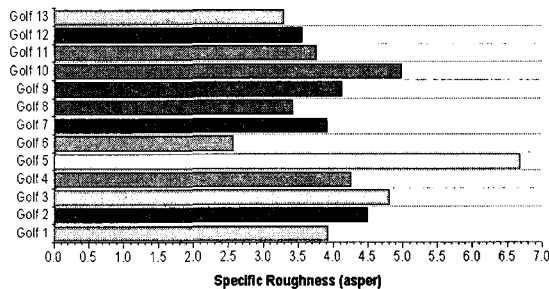


Fig. 12 Roughness result of the golf clubs

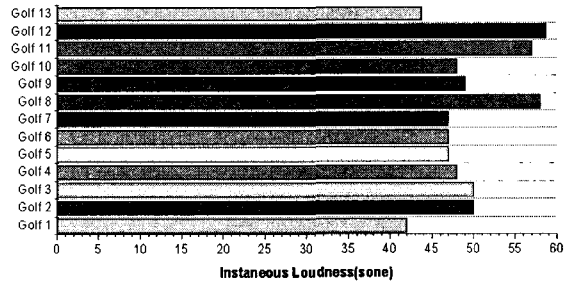


Fig. 13 Instantaneous loudness result of the golf clubs

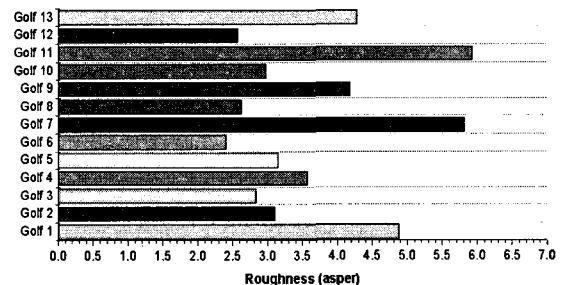


Fig. 14 Instantaneous roughness result of golf clubs

비교하면 높은 소리는 loudness의 최고점까지 증가할 때 낮은 음질의 타격 음보다 진폭의 변화가 없이 깨끗하게 증가하는 것을 알 수 있다.⁽⁶⁾

(4) Sensory pleasantness

3.3 (2)절에서 수행한 Zwicker metric으로서는 골프채 타격음에 대한 소리의 좋고 나쁨의 순서를 판단하기는 어려움을 알 수 있었다. 이 번 절에서는 소리의 청량감의 우열을 판단 할 수 있는 함수인 Sensory pleasantness를 시간의 함수로 계산하였다. 소리의 청량감을 나타내는 sensory pleasantness는 loudness (N), sharpness (S), roughness (R), tonality (T)의 조합으로 계산되며 그 식을 아래에 표시하였으며, sensory pleasantness는 1에 가까울수록 청량감이 큰 것을 나타낸다. 아래 첨자 0는 각 metric의 기준 값을 나타낸다.⁽⁷⁾

$$P = \exp(-0.7 \frac{R}{R_0}) \cdot \exp(-1.08 \frac{S}{S_0}) \cdot (1.24 - \exp(-0.7 \frac{T}{T_0})) \cdot \exp(-0.23 \frac{N}{N_0}) \quad (2)$$

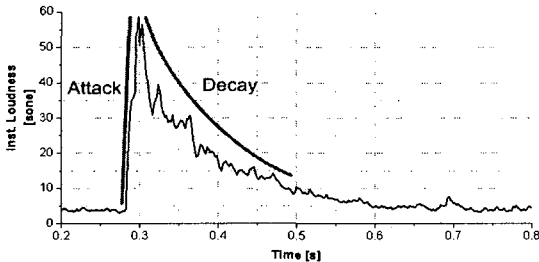


Fig. 15 Instantaneous loudness graph of a good sound with respect to time

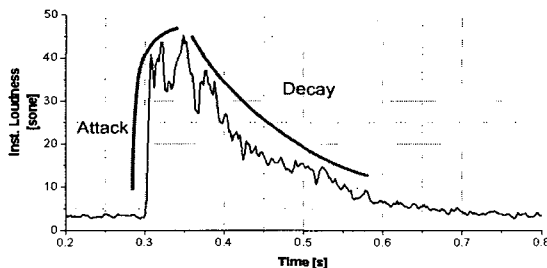


Fig. 16 Instantaneous loudness graph of a bad sound with respect to time

Fig. 17은 골프채의 타격음에 따른 metric을 사용하여 계산된 sensory pleasantness값을 나타내고 있다. 계산결과 골프채 8번은 0.175, 골프채 9번은 0.054, 골프채 11번은 0.018이 계산되었다. 여기서 계산된 sensory pleasantness의 순위는 골프채 8번, 골프채 9번, 골프채 11번의 순서이며, 이는 청취실험 3.2 (2)에 나타난 대표값의 순위와 동일한 결과를 나타낸다. 모든 골프채의 sensory pleasantness값과 각 metric과의 상관관계를 살펴보았으며, Fig. 18에 나타내었다. loudness와 sharpness와는 비례 관계를, roughness와 fluctuating strength는 반발의 경향을 나타낸다.

(5) Wavelet을 이용한 타격음의 decay 부분의 음질분석

골프채 타격음의 음질의 영향 중 decay 부분에 관련하여 알아보면, 타격음의 과도음 특성에 의해서 decay 부분의 주파수 분석은 기존의 FFT 분석만으로는 불충분하므로 시간의 함수로써 주파수 분석이

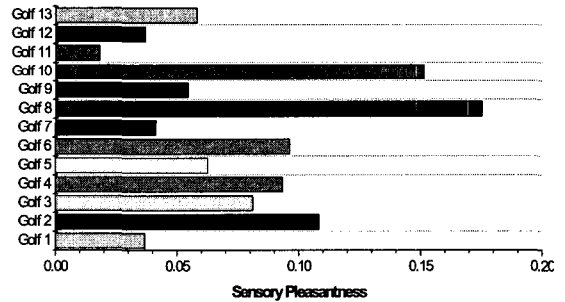


Fig. 17 Sensory pleasantness result of the golf clubs

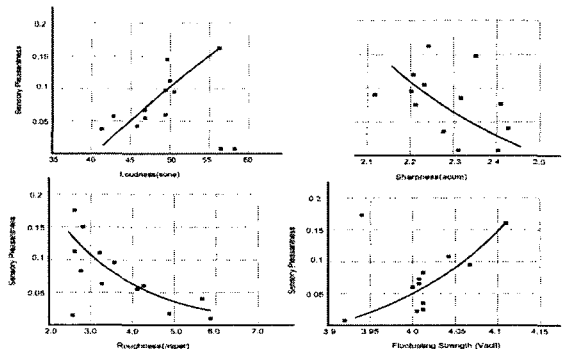


Fig. 18 Relation between metric parameters and sensory pleasantness

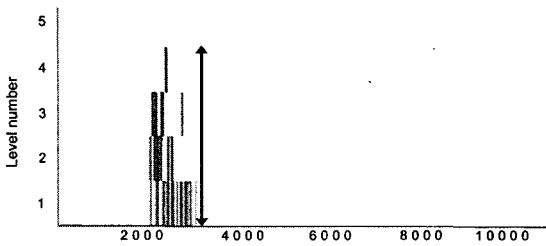


Fig. 19 Wavelet analysis result of low quality sound

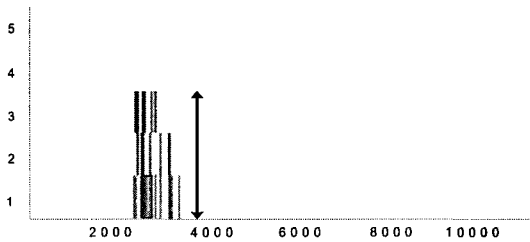


Fig. 20 Wavelet analysis result of high quality sound

용이한 wavelet 분석을 적용하여 알아보았다. Fig. 19, Fig. 20에서 x축은 시간과 관련된 변수를, y축은 주파수와 관련된 변수를 나타낸다.

y축의 값이 커질수록 저주파수 영역을 나타낸다. 결과를 비교해보면, 낮은 음질의 타격음의 주파수 영역이 높은 음질의 타격음보다 저주파수까지 분포되어 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

이 연구에서는 골프채 타격음의 음질평가를 정량적으로 구할 수 있는 방법을 살펴보았다. 기존의 시간평균 metric을 이용한 음질평가 기법은 충격음에 대한 음질을 충분히 파악하지 못 함을 알 수 있었다. 타격음의 정량적 음질 평가를 계산하기 위하여 시도한 첫 번째 방법은 순간 loudness, roughness 측정이다. 높은 음질의 골프채 타격음은 시간-instantaneous loudness 곡선의 attack부분에서 monotonic하게 증가하는 특성을 가졌다. Decay 부분에서는 명확한 결과를 알기 어려웠다. 두 번째 방

법은 instantaneous sensory pleasantness를 계산하였으며, 이 방법에 의한 음질 평가 순위도 청취결과 순위와 일치하였다. 마지막으로 decay 부분의 영향을 살펴보기 위해서 충격음의 시간 영역의 decay. 부분을 wavelet 분석을 수행하였다. 그 결과 높은 음질의 골프채 타격음은 저주파수 영역의 크기가 적음을 알 수 있었다. 이 연구에서 시도한 타격음의 음질 평가 기법은 향후 기분 높은 음질의 소리가 나는 골프채 헤드 설계에 적용될 것으로 생각한다.

후 기

이 연구는 중소기업청 산학연 공동기술개발 컨소시엄사업과 2004년도 홍익대학교 교내연구비에 의해 지원되었습니다. 관계자들에게 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) Lyon, R., 2000, "Designing for Product Sound Quality," Marcel Decker, New York.
- (2) Russell, M., 1992, "Subjective Assessment of Diesel Vehicle Noise," IMechE paper 925187, pp. 37~42.
- (3) Kim, J., et. al., 1998, "Study on the Sound Quality Assessment of the Passenger Vehicle's Door Sound," Korean Society of Automotive Engineers, pp. 67~79.
- (4) Shin S., Ih, J., 2004, "Sound Quality Assessment of the Transient Acoustic Signal," Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 1009~1012.
- (5) Misiti, M., et. al., 2004, "Wavelet Toolbox for use with MATLAB," The Mathworks, MA.
- (6) LMS, 2003, "Theory and Background Book," Chap. 6.
- (7) Zwicker, E., and Fastl, H., 1999, "Psycho Acoustics," Springer, New York.