

# 소음원의 영향이 고려된 가상 세탁음 제작을 통한 드럼 세탁기의 음질 인덱스 구축

## Sound Quality Evaluation for Laundry Noise by a Virtual Laundry Noise Considering the Effect of Various Noise Sources in a Drum Washing Machine

정재은\*·양인형\*·누를파와지\*·정운창\*·이정윤\*\*·오재응†

Jae-Eun Jeong, In-Hyung Yang, Noor Fawazi, Un-Chang Jeong,  
Jung-Youn Lee and Jae-Eung Oh

(2012년 4월 6일 접수 ; 2012년 5월 29일 심사완료)

**Key Words** : Sound Quality(음질), Drum Washing Machine(드럼 세탁기), Virtual Laundry Noise(가상 세탁음), Coefficients of Correlation(상관계수), Linear Regression(선형회귀)

### ABSTRACT

The objective of this study is to determine the effect for the sound quality according to the noise source and to build the sound quality index of the laundry noise. In order to compare laundry noise among the influence of noise sources, we made virtual laundry noises by synthesizing an actual laundry noise and each noise source such as a dropping noise, water noise, motor noise and circulation pump noise. We conducted a listening test by customers using virtual laundry noises. As a result of listening test, we found that the dropping noise has a decisive effect on the sound quality of the laundry noise. We conducted the multi regression analysis of sound quality for the laundry noise using the statistical data processing. It is verified to the reliability of the multi regression index by comparison with listening results and index results of other actual laundry noises. This study is expected to provide a guide line for improvement of the laundry noise.

### 1. 서론

최근 생활수준이 향상됨에 따라 가전제품이 주거 환경의 음향환경에 크게 영향을 미치는 주요 요인이 되고 있다. 특히 가전제품 중에서 세탁기는 높은

소음을 발생시키는 제품 중 하나로 최근 저소음·저진동에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔다<sup>(1,2)</sup>. 이를 통해 세탁기의 소음이 기준 이하의 낮은 소음레벨을 만족시킴에도 불구하고 사용자들은 소음에 대해 불만을 제기하고 있다. 그에 따라 세탁기 소음에 대하여 단순히 소음 크기만이 아닌 사람의 감성을 고려한 음질 평가 및 분석이 필요하게 되었다.

다른 가전제품의 경우 음질에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔지만<sup>(3,4)</sup>, 세탁기의 경우 시간에 따라 작동 메커니즘이 변화하면서 그에 따른 소음 특성 또한 계속 변화하는 특징을 가지고 있어 음질에 대한 접근이 어려워 관련 연구가 부족한 실정이다.

† 교신저자; 정희원, 한양대학교 기계공학부  
E-mail : jeoh@hanyang.ac.kr  
Tel : (02)2294-8294, Fax : (02)2299-3153

\* 정희원, 한양대학교 대학원 기계공학과

\*\* 정희원, 경기대학교 기계시스템공학과

# 이 논문의 일부는 2012년 춘계 소음진동 학술대회에서 발표되었음.

세탁기는 평균 50분에서 1시간 30분 정도로 긴 작동 시간을 가지며 급수, 세탁, 배수, 탈수의 행정 변화를 가진다. 그 중 세탁 행정은 전 행정 중 가장 낮은 소음 레벨을 가지고 있지만 20~25분 정도로 가장 긴 작동 시간을 가지고 있어 사용자들에게 소음 노출 정도가 가장 크며, 소음에 대한 소비자 불만이 높은 행정 중 하나로 음질 측면에서의 접근이 필요하다.

세탁 행정의 경우 낙차음, 물소리, 모터소음, 순환펌프 소음 등 다양한 소음원들에 의해 소음이 발생한다. 세탁 행정의 음질 연구를 위해 이러한 소음원들의 영향이 반영된 음질 인덱스 구축과 더불어 어느 소음원이 가장 음질에 영향을 많이 미치는지 확인할 필요가 있다. 이를 위해선 각 소음원의 영향이 다양한 경우의 세탁음이 필요하다. 그러나 실제 실험을 통해서 원하는 수준의 소음원만의 영향이 부각된 세탁음을 측정하기엔 다음과 같은 시간적, 방법적 어려움이 존재한다. 먼저, 세탁기의 작동 과정이 길기 때문에 여러 경우의 세탁 소음을 매번 측정하기에는 시간이 오래 걸린다. 측정 방법에 있어서도 낙차음과 모터 소음의 경우 부하량에 따라 소음 레벨은 달라지지만 원하는 수준만큼의 차이를 가지는 세탁음의 작동 조건을 결정하기가 어렵다. 또한, 물소리의 경우 세탁기가 스스로 제어를 통해 물의 양을 결정하기에 임의로 물의 양을 조절하기가 어려우며, 순환펌프 소음의 경우 일정한 소음이 발생하기 때문에 한 대의 세탁기로는 다양한 수준의 소음 측정이 어렵고 여러 대의 세탁기를 대상으로 측정한다 하더라도 원하는 수준의 차이를 가지는 소음을 측정하기는 어렵다.

따라서 이번 연구에서는 드럼 세탁기를 대상으로 하여 각각의 소음원들을 따로 측정하고 각 소음원들의 소음 레벨을 여러 수준으로 증폭시킨 후 합성하여 각 소음원의 영향을 고려한 가상 세탁음을 제작하였다. 이렇게 제작된 세탁 가상음에 대해 객관적·주관적 음질 평가를 실시하여 음질에 대한 각 소음원의 영향을 확인하고, 통계처리를 통하여 90% 이상의 신뢰도를 갖는 드럼 세탁기 세탁 행정 소음의 음질 인덱스 구축한 후, 구축된 음질 인덱스에 임의의 드럼 세탁기 세탁음을 적용하여 구축된 음질 인덱스의 실제 세탁음 평가에 적용가능성을 알아보았다.

## 2. 소음원의 영향을 고려한 세탁 행정 음원 제작

### 2.1 세탁 행정 소음원 선정

세탁 행정 시에는 모터가 50 RPM으로 회전하다가 정지하는 반복적인 과정이 20~25분간 지속된다. 이때 모터 회전에 의해 세탁조가 돌아가면서 세탁조 안에 들어있던 세탁물과 물이 세탁조를 타고 올라갔다가 아래로 떨어지는 과정이 반복된다. 이와 동시에 세탁조 안의 물을 세탁조 밖으로 빼낸 후 다시 안쪽으로 투입하는 순환펌프의 작동이 일어난다. 이러한 작동에 의해 발생하는 소음을 Table 1과 같이 낙차음, 물소리, 모터소음, 순환펌프 소음으로 정의하였다.

이 연구에서는 이러한 작동들에 의해 전체의 세탁 행정 소음이 발생한다고 가정하여 모터에 의해 세탁조가 일정하게 돌아가는 구간을 대상으로 연구를 진행하였으며, 낙차음, 물소리, 모터소음, 순환펌프 소음을 주 소음원으로 선정하였다.

### 2.2 세탁 행정 음원 제작을 위한 소음원 측정

#### (1) 소음원 측정 실험 방법

실제 실험을 통해 각 소음원 영향이 다른 세탁음을 측정하기엔 시간적, 방법적 어려움이 존재하므로 각 소음원의 합성을 통한 가상 세탁음 제작을 위해 각 소음원 측정 시험을 수행하였다. 국내에서 판매 중인 드럼 세탁기를 대상으로 무향실 조건에서 진행하였으며 microphone은 사용자의 귀 위치를 고려하여 세탁기 정면에서 거리 1 m, 높이 1.5 m 위치에서 각 소음원을 측정하였다.

각 소음원별 실험 방법은 Table 2와 같다. 낙차음을

Table 1 Sources of the laundry noise

Noise source	Explanation
Drop noise	Sound occur by falling laundry in drum of washing machine
Water noise	Sound caused by the movement of water in drum of washing machine
Motor noise	Noise of the motor to rotate the drum
Circulation pump noise	Noise of the circulation pump that circulate water

측정하기 위해 빈 세탁조 안에 젖은 타월만을, 물소리를 측정하기 위해선 빈 세탁조에 물만 채운 후 시험 모드 중 ‘세탁 rpm 모드’로 작동시켰다. 모터 소음의 경우 부하에 따라 모터 소음이 변화하기 때문에 빈 세탁조 안에 불평형 질량을 변화시켜가면서 ‘세탁 rpm 모드’로 작동시킨 후 측정하였다. 순환펌프 소음의 경우는 빈 세탁조 안에 물을 채운 후 다른 소음원과는 달리 세탁조가 돌아가지 않는 상태에서 시험 모드 중 ‘순환펌프 모드’로 작동 한 후 측정하였다. 측정 장비는 밀리비비엠의 PAK장비를 사용하였으며 뒷면 세탁조 부분에 광센서를 부착하여 tachometer를 이용하여 소음신호와 RPM 신호를 동기화하였다. 실험 장치도를 Fig. 1에 나타냈다.

(2) 소음원 측정 실험 결과

실험결과는 Fig. 2와 같다. 선정된 소음원 중 모터 소음은 오버일 SPL값이 17.1~19 dBa 정도로 다른 소음원인 낙차음 33.4~36.6 dBa나 물소리 35.6~

48 dBa, 순환펌프 소음 31.3~32.9 dBa에 비해 그 크기가 작기 때문에 모터 소음에 의한 음질에 대한 영향은 작다고 가정하여 이번 연구에서는 낙차음, 물소리, 순환펌프 영향에 대해서만 고려하여 가상음을 제작하였다.

2.3 소음원 합성을 통한 세탁 행정 음원 제작

(1) 각 소음원 별 증폭을 통한 가상음 제작

실험을 통해 얻은 각 소음원들에 대해 음원 파일 편집에 사용되는 Sony社의 Sound Forge 8.0 프로그램을 사용하여 실제 세탁시 발생 소음 레벨을 기준

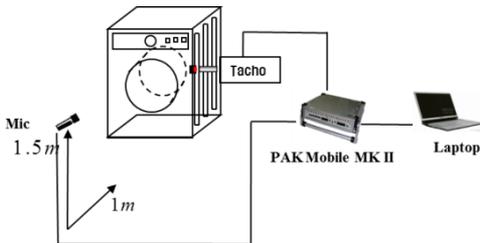
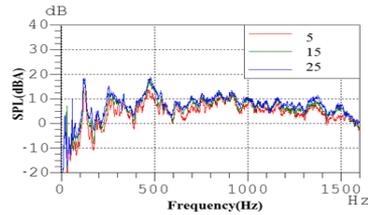


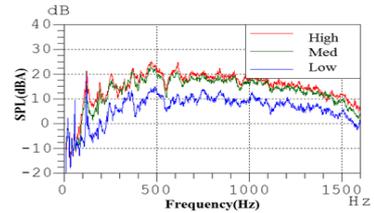
Fig. 1 Experimental set-up

Table 2 Methods of measuring sources

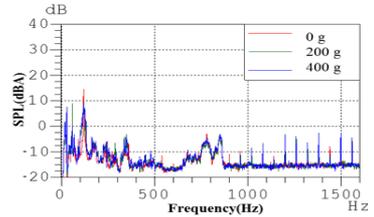
Noise source	Operation mode	Experiment method
Drop noise	Test mode laundry mode	After the wet towel(5/10/15/20/25) inset in drum, washing machine operate in 50 rpm
Water noise	Test mode laundry mode	After the water(3 level) inserts in drum, washing machine operate in 50 rpm
Motor noise	Test mode laundry mode	After the unbalanced mass(0/200/400/600g) attach, washing machine operate in 50 rpm
Circulation pump noise	Test mode, circulation pump operate	Circulation pump operate in the absence of water in drum and circulation pump operate in the presence of water in drum



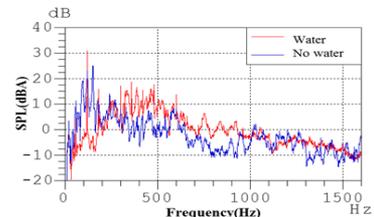
(a) Drop noise



(b) Water noise



(c) Motor noise



(d) Circul. pump noise

Fig. 2 A-weighted sound pressure level of sources

으로 하여 3 dB씩 증폭시켜 소음원별 4수준의 가상 음을 제작하였다. 낙차음의 경우 35 dBA를 기준으로 하여 38, 41, 44 dBA의 음을 제작하였고, 물소리의 경우 31 dBA의 음을 기준으로 34, 37, 40 dBA의 음을, 순환펌프 소음의 경우 33 dBA를 기준으로 36, 39, 42 dBA의 가상음을 제작하였다.

(2) 소음원들의 합성을 통한 가상 세탁음 제작

우선 낙차음, 물소리, 순환펌프 소음의 합성만으로 실제 세탁 소음을 구현할 수 있다고 가정하고 각 소음원만을 합성시켜 가상 세탁음을 제작하였다. 이때, 모터소음의 경우 물소리와 낙차음 측정 실험시 모터에 의해 작동되기에 두 소음원에 모터소음이 동시에 포함되어 있지만 모터 소음의 레벨이 작기에 그 영향을 무시하였다.

이렇게 각 소음원 합성을 통해 만들어진 가상 세탁음에 대하여 직접 청음을 통해 실제 세탁음과 비교해본 결과, 청음을 통해서도 실제 세탁음과 비슷한 가상 세탁음이 제작되었다고 판단되었다.

그러나 실제 세탁음과 가상 세탁음의 주파수 특성을 비교해 본 결과(Fig. 3), 50~750 Hz 범위에서 큰 레벨 차이가 있음을 확인하였다. 또한, 두 소음의

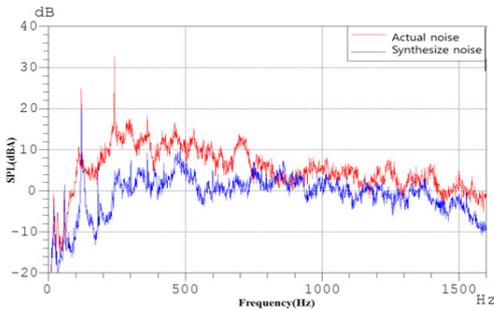


Fig. 3 Comparison of actual laundry noise and virtual noise synthesizing source noises

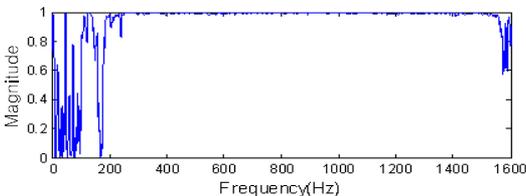


Fig. 4 Coherence of actual laundry noise and virtual noise synthesizing source noises

기여도 평가 결과(Fig. 4) 200 Hz 이하의 주파수 성분에서 낮은 기여도를 가짐을 확인하였다. 즉, 200 Hz 이하의 저주파 영역에선 앞에서 고려한 소음원들로 실제 세탁음을 구현하기에는 한계가 있음을 알 수 있었다. 이는 각 소음원들의 영향을 독립적인 것으로 생각하여 소음원을 각각 측정하였지만 실제로는 세탁물이 세탁조 벽면만이 아닌 고여있는 물에 떨어지면서 나는 소음 등 각 소음원들끼리의 영향에 의해 발생하는 소음에 대해서는 고려하지 못하여 이런 차이가 발생한 것으로 판단되었다.

이러한 각 소음원들의 합성을 통해 제작된 가상 세탁음을 평가에 사용한다면 어느 소음원이 음질에 영향을 많이 미치는지에 대해서는 확인 가능하지만 이러한 가상 세탁음 대상으로 구축된 음질 인덱스 식을 실제 세탁음 평가에 적용하기에는 한계가 있다. 이러한 한계를 보완하기 위해 실제 세탁음에 각각의 소음원을 합성하는 방법을 적용해 보았다.

(3) 각 소음원과 실제 세탁음의 합성을 통한 가상 세탁음 제작

각 소음원들만의 합성을 통한 가상 세탁음 제작 방법은 실제 세탁음과 차이가 존재했기에 Table 3과 같이 2.3절 (1)에서 제작된 증폭된 소음원을 실제 세탁음과 합성하는 방법으로 가상 세탁음을 제작하였다. 이렇게 제작된 가상 세탁음의 주파수 성분 비교

Table 3 Description of virtual laundry noises

Noise source	Explanation
1	Original sound(reference sound)
2	Original sound + drop noise 38 dBA (3 dBA increase)
3	Original sound + drop noise 41 dBA (6 dBA increase)
4	Original sound + drop noise 44 dBA (9 dBA increase)
5	Original sound + water noise 34 dBA (3 dBA increase)
6	Original sound + water noise 37 dBA (6 dBA increase)
7	Original sound + water noise 40 dBA (9 dBA increase)
8	Original sound + circula. pump noise 36 dBA(3 dBA increase)
9	Original sound + circula. pump noise 39 dBA(6 dBA increase)
10	Original sound + circula. pump noise 42 dBA(9 dBA increase)

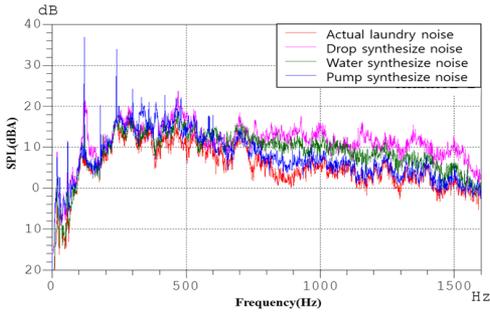


Fig. 5 Comparison of actual laundry noise and virtual noises synthesizing actual noise and source noise

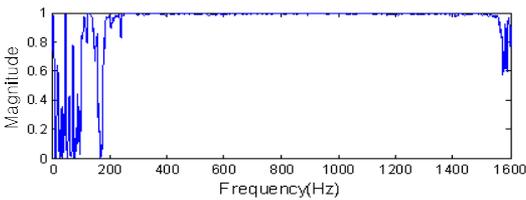


Fig. 6 Coherence of actual laundry noise and virtual noises synthesizing actual noise and source noise

결과는 Fig. 5와 같다. 소음원 합성을 통해 제작된 가상 세탁음(Fig. 3)과 비교 시, 실제 세탁음과의 합성을 통해 저주파수 대역에서도 실제 세탁음과 더 유사한 가상 세탁음이 제작됨을 확인하였다.

또한 실제 세탁음과 제작된 가상 세탁음과의 기여도 분석 결과(Fig. 6) 전 주파수 대역에서 0.8이상의 높은 기여도 값을 가짐을 확인하였다. 따라서 실제 세탁음과의 합성을 통해 제작된 세탁 가상음이 2.3 절 (2)의 각 소음원 합성을 통해 제작된 가상 세탁음 보다는 더 신뢰할 수 있는 가상 세탁음을 알 수 있었다.

### 3. 세탁 행정 음원의 객관적 음질 평가

#### 3.1 소음원 레벨 영향 확인을 위한 객관적 음질 파라미터 선정

객관적 음질 평가를 위해 사용한 파라미터는 Table 4와 같다. 흔히 음질 평가시 많이 쓰이는 Zwicker's 4 parameters(loudness, sharpness, fluctuation strength, roughness)<sup>(5)</sup>이외에도 가전제품 소음 평가시 많이 사용 되는 소리의 크기를 나타내는

Table 4 Description of object evaluation's parameters

Parameter [unit]	Explanation
Loudness [sone]	Measured values of sound energy, as frequency increase the value increase in the audio-frequency $N' = 0.08 \left( \frac{E_{TQ}}{E_o} \right)^{0.23} \left[ \left( 0.5 + 0.5 \frac{E}{E_{TQ}} \right)^{0.23} - 1 \right] \frac{\text{sone}}{\text{Bark}}$
Fluctuation strength [vacil]	The frequency $F_{mod}$ that accept less than 20 Hz region is related to Sound Model, particularity of clear sound in a definite sound $F(z) = \frac{0.032 \cdot \Delta L(z) \cdot \Delta z}{f_{mod}(z) / 4 + 4 / f_{mod}(z)}$
Roughness [Asper]	Confusing the effects of vertical frequency modulation, the frequency modulation characteristic in 20~300 Hz $R(z) = 0.0003 \cdot f_{mod}(z) \cdot \Delta L_E(z) \cdot \Delta z$
Sharpness [acum]	Sharpness of the sound, weighting in the high frequency range $S = C \frac{\int_0^{24\text{bark}} N'(z)g(z)zdz}{\ln\left(\frac{N}{\text{sone} \times 20} + 1\right)} \frac{\text{acum}}{\text{sone}}$
Leq [dBA]	Equivalent sound level. Sound level that changing the sound is converted into an equivalent energy $L_{eq} = 10 \log_{10} \frac{1}{T} \int_0^T \frac{P^2}{P_0^2} dt$
SIL [dBA]	Sound level of frequency range that affect in conversation $SIL(dB) = \frac{L_{500} + L_{1k} + L_{2k}}{3}$
Tonality [tu]	Displays the amount of tonal harmony in the spectrum, particularity of clear sound in a complex sound $t_b = -0.4343 \log(\omega_{sp}) - 0.30103$ $\omega_{sp} = \frac{\sqrt{[r \cos(\hat{\theta}) - \hat{r} \cos(\hat{\theta})]^2 + [r \sin(\hat{\theta}) - \hat{r} \sin(\hat{\theta})]^2}}{r + \hat{r}}$
Kurtosis	Kurtosis is a descriptor of the shape of a probability distribution $k = \frac{E(x-\mu)^4}{\sigma^4}$

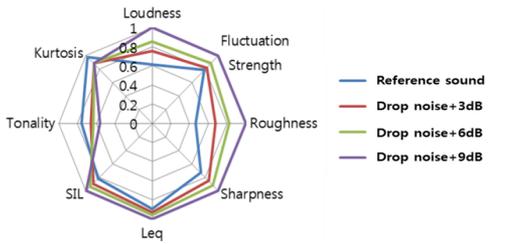
$L_{eq}$ , speech interference level(SIL)와 소리의 순음 정도를 나타내는 tonality, 소리의 변동 정도를 나타내는 Kurtosis에 대하여 상용 음질분석 프로그램인 Head Acoustics의 artemis를 이용하여 음질 분석을 실시하였다.

#### 3.2 세탁 행정 소음원 레벨 영향에 따른 객관적 음질 평가 결과

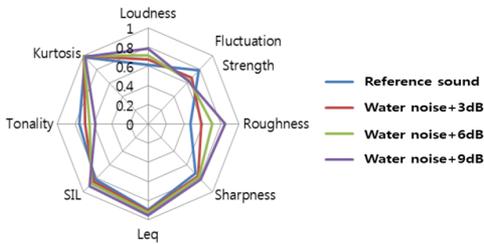
가상음에 대한 객관적 음질 평가 결과는 Table 5와 같다. 각 파라미터 결과 값을 최대값을 기준으로

**Table 5** Objective analysis of virtual laundry noises

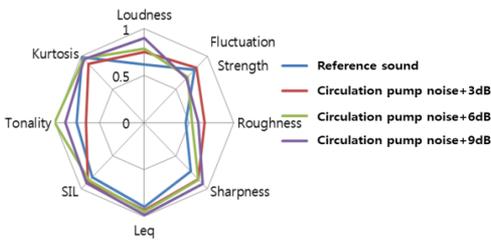
No.	Explanation	Loudness	Fluct. Str.	Roughness	Sharpness	L <sub>eq</sub>	SIL	Tonality	Kurtosis
1	Reference sound	2.29	0.0246	0.34	0.887	38.1	26.9	0.153	2.44
2	Drop noise +3 dB	2.79	0.0256	0.491	1.03	39.7	29.4	0.133	2.2
3	Drop noise +6 dB	3.16	0.0277	0.6	1.11	40.9	30.9	0.128	2.2
4	Drop noise +9 dB	3.71	0.0311	0.728	1.21	42.6	32.9	0.113	2.2
5	Water noise +3 dB	2.49	0.021	0.425	0.934	38.9	28	0.14	2.49
6	Water noise +6 dB	2.64	0.0199	0.515	0.954	39.5	28.8	0.131	2.48
7	Water noise +9 dB	2.9	0.0194	0.617	0.985	40.6	30.1	0.118	2.45
8	Circulation pump noise +3 dB	2.79	0.0256	0.491	1.03	39.7	29.4	0.133	2.2
9	Circulation pump noise +6 dB	2.91	0.0213	0.389	1.04	40.3	28.8	0.203	2.39
10	Circulation pump noise +9 dB	3.35	0.0208	0.438	1.12	41.7	30	0.18	2.38



(a) Laundry sound



(b) Water sound



(c) Circulation pump noise

**Fig. 7** Comparison of object evaluation's parameters according to effect of sources

정규화시켜 Fig. 7과 같이 그래프로 나타내었다. 낙차음의 경우(Fig. 7(a)), roughness값과 loudness값이

소음의 영향을 잘 나타내는 것으로 확인되었다. 물소리의 경우(Fig. 7(b))도 roughness값이 영향을 잘 나타내며 순환펌프 소음의 경우(Fig. 7(c))는 tonality가 소음원의 영향을 잘 나타내는 것으로 확인되었다.

#### 4. 세탁 행정 음원의 주관적 음질 평가

##### 4.1 주관적 음질 평가 방법 선정

평가는 암소음의 영향을 줄이기 위해 청음평가실에서 청력에 이상이 없고 세탁기를 주로 사용하는 30~50대 주부 총 30명 대상으로 한 번에 3명씩 10그룹으로 나누어 실시하였다<sup>(6)</sup>. 스피커를 사용할 시 피실험자의 위치와 거리에 따라 음의 왜곡이 발생할 수 있기에 동일한 조건에서 실험을 진행하기 위해 헤드폰을 사용하여 실험을 진행하였다.

평가 방법은 하나의 형용사에 대해 점수를 매기는 평정척도법을 사용하였다. 척도에는 5, 7, 10점 척도가 주로 사용되는데 5점 척도는 평가에는 용이하지만 분석에 어려움이 있고 10점 척도는 분석에는 용이하지만 평가가 어려워 주로 전문가 대상으로 사용되지 않는 방법이다. 따라서 이번 연구에서는 ‘거슬린다’라는 형용사에 대해 주부 대상의 평가가 용이하도록 7점 척도법으로 평가하도록 한 후, 대부분의 가전 제품 평가 기준에 맞춰 ‘전혀 거슬리지 않다’를 10점, ‘매우 거슬린다’를 1점으로 환산하여 결과를 정리하였다. 평정척도법의 경우 제시되는 처음 음을 기준으로 척도값들을 결정하는 ‘계류효과’와 제시된 음원의 레벨 범위 안에서 척도값들을 결

정하는 ‘문맥효과’의 문제가 있기 때문에 이를 방지하여 평가의 신뢰도를 높이기 위해 실제 발생할 수 있는 레벨 범위 안에서의 음원들에 대해 무질서하게 제시하였고 총 2회 반복 시험하였다<sup>(7)</sup>.

#### 4.2 주관적 음질 평가 결과를 통한 세탁 행정 소음원의 음질 영향 확인

주관적 음질 평가를 수행한 결과는 Table 6과 같다. 대부분 소음원의 레벨이 증가할수록 음질 점수는 나빠지는 것으로 확인되었다. 그러나 순환펌프의 경우, 일정한 경향이 나타내지 않았다. 이는 평가 대상이 혼란된 전문 평가단이 아닌 일반 주부 대상의 평가로 인하여 평가자가 평가에 어려움을 겪거나 평가 시 제시된 앞의 음원이 상대적으로 뒤의 음원의 평가에 영향을 미침으로써 발생한 오차로 판단되었다. Fig. 8의 그래프를 보면 음질평가 점수에는 낙차음에 의한 영향이 가장 큰 것을 확인할 수 있었으며, 물소리는 음질 점수에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었다. 즉, 세탁 행정의 음질을 개선하기 위해서는 낙차음을 줄이는 것이 가장 효과적이라는 것을 알 수 있었다.

Table 6 Result of subjective evaluation

		Drop noise	Water noise	Circulation pump noise
Amplify	0 dBA	7.91		
	+3 dBA	7.5	7.96	7.42
	+6 dBA	7.02	7.91	7.86
	+9 dBA	6.94	7.78	7.47

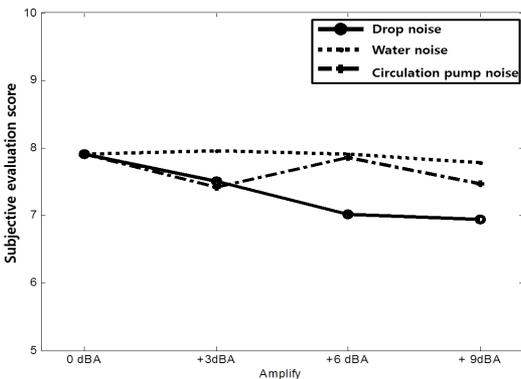


Fig. 8 Result of subjective evaluation according to noise sources

### 5. 세탁 행정 소음의 음질 인덱스 구축

#### 5.1 객관적/주관적 평가 결과 상관도 분석

객관적 평가와 주관적 평가의 상관관계 확인을 위해 통계프로그램인 Minitab을 사용하여 분석을 실시하였다.

Table 7에서 정리한 것과 같이 상관도 분석 결과 Kurtosis, SIL, sharpness의 순으로 높은 상관관계를 가짐을 알 수 있다. 여기서 양의 상관도 값은 그 파라미터의 결과값들이 증가할수록 음질 점수가 높아진다는 의미이며 음의 상관도 값은 파라미터 결과값들이 증가할수록 음질 점수가 낮아진다는 의미이다. 따라서 부호는 상관없이 절댓값이 1에 가까울수록 높은 상관도를 나타내며 0에 가까울수록 낮은 상관도를 나타낸다.

3.2절의 객관적 평가 결과 특정 소음원의 특성을 잘 나타내는 것으로 확인되었던 파라미터들이 주관적 평가 결과 높은 상관도를 갖는 파라미터와는 차이가 있음을 확인하였다. 이는 객관적 평가와 주관적 평가의 경향이 다르기 때문인 것으로 판단되었다. Roughness값의 경우 물소리의 영향이 증가할수록 파라미터값이 증가하지만 실제 주관적 평가 점수는 거의 일정하다. 또한 tonality의 경우 낙차음과 물소리의 영향 증가 시 tonality 값은 감소하지만, 순환펌프의 영향 증가 시에는 오히려 tonality값이 증가한다. 이러한 경향 차이로 인해 roughness와 tonality의 파라미터들은 낮은 상관도를 가졌다. 반면, loudness 경우 각 소음원별 영향이 증가할수록 파라미터값 또한 증가하는 경향이 공통적으로 잘 맞기에 주관적 평가와의 상관도 분석 결과에서도 -0.807의 높은 상관도 값을 가졌다.

Table 7 Correlation of the objective and subjective values

SQM	Correlation index	SQM	Correlation index
Leq	-0.739	Loudness	-0.807
SIL	-0.861	Fluctuation strength	-0.826
Tonality	0.38	Roughness	-0.706
Kurtosis	0.864	Sharpness	-0.857

### 5.2 회귀분석을 이용한 가상 세탁음의 음질 인덱스 구축

객관적, 주관적 평가의 상관도 분석 결과, 높은 상관도 값을 가지는 파라미터를 이용하여 회귀식을 구축하였다. 회귀식의 기본 형태는 식 (1)과 같다.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots, R^2 \quad (1)$$

여기에서  $y$ 값은 구축된 인덱스의 평가 점수이며,  $x_1, x_2, \dots$ 의 값들은 각 파라미터의 변수를,  $\beta_0$  값은 절편,  $\beta_1, \beta_2 \dots$ 의 값들은 각 파라미터의 계수를 나타낸다. 단일회귀식의 경우 파라미터는 하나만 사용되며 다중회귀식의 경우 파라미터가 2개 이상 사용된다.  $R^2$ 값은 회귀식이 적합한지 나타내는 상관계수로 1에 가까울수록 높은 적합도를 나타낸다.

#### (1) 단일 회귀식 구축

Table 7결과로부터 상관도의 절대값이 0.8 이상인 파라미터에 대해 단일 회귀식 구축 결과는 Table 8과 같다.

단일 회귀식 결과를 보면 상관도가 높은 파라미터 순으로 높은 적합도를 가지는 회귀식이 구축됨을 알 수 있었다. 또한 양의 상관관계의 경우 그 파라미터의 계수  $\beta_1$ 이 양수를, 음의 상관관계의 경우  $\beta_1$ 값이 음수를 가짐으로써 보정해 준다는 것을 확인하였다.

Table 8의 단일 회귀식 결과로부터 가장 높은 적합도 값을 가지는 단일 회귀의 음질 인덱스를 식 (2)와 같이 얻었다.

$$\text{거슬린다} = 1.67 + 2.52 \text{ Kurtosis} \quad (R^2 = 74.9\%) \quad (2)$$

하나 파라미터를 사용한 단일 회귀식의 경우 적합도가 낮기 때문에 신뢰도를 향상시키기 위하여 다중 회귀식을 이용한 음질 인덱스를 구축할 필요가 있다.

#### (2) 다중 회귀식 구축

음질 인덱스 식의 신뢰도를 높이기 위해 2개의 파라미터 이용한 다중 회귀식을 이용할 경우 그 결과는 Table 9와 같다. 결과를 보면 소음의 크기를 나타내는 파라미터(loudness, SIL)와 소음의 변동 정도를 나타내는 파라미터(Kurtosis, fluctuation strength)가

조합이 될 때 상대적으로 높은 적합도를 가지는 다중 회귀식이 구축됨을 알 수 있었다.

Table 9의 다중 회귀식 결과로부터 가장 높은 적합도 값을 가지는 Kurtosis와 SIL을 이용한 다중

Table 8 Result of simple linear regression

No.	$\beta_0$	$\beta_1$	$x_1$	$R^2(\%)$
1	1.67	2.52	Kurtosis	74.9
2	13.4	-0.196	SIL	74.1
3	11	-3.37	Sharpness	73.4
4	9.47	-80.0	Fluc. Str.	68.2
5	9.67	-0.722	Loudness	65.2

Table 9 Result of multiple linear regression

No.	$\beta_0$	$\beta_1$	$x_1$	$\beta_2$	$x_2$	$R^2(\%)$
1	7.46	1.56	Kurto.	-0.12	SIL	91.5
2	6.32	1.44	Kurto.	-2.06	Sharp.	86.8
3	4.46	1.67	Kurto.	-33.7	Fluc.	78.3
4	4.7	1.76	Kurto.	-0.429	Loud.	88.2
5	12.2	-0.083	SIL	-2.10	Sharp.	79.0
6	12.6	-0.131	SIL	-48.0	Fluc.	88.0
7	13.3	-0.193	SIL	-0.011	Loud.	74.1
8	11.0	-2.29	Sharp.	-45.9	Fluc.	89.0
9	12.2	-6.87	Sharp	0.837	Loud.	81.2
10	10.3	-55.4	Fluc.	-0.480	Loud.	87.8

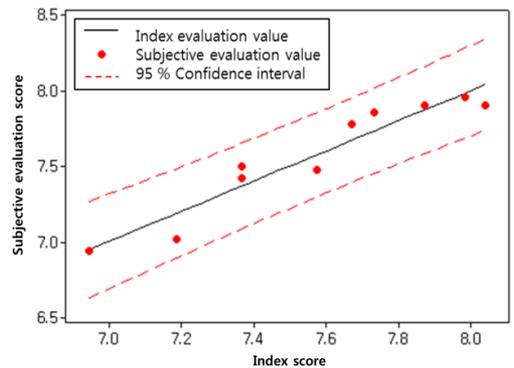


Fig. 9 Comparison of index values and subjective values

**Table 10** Validation of evaluated indexes

Noise source	Subjective evaluation score	Index score(error)	
		Eq. (2) single regression	Eq. (3) multiple regression
3 kg	7.64	8.17(6.9 %)	7.72(1 %)
5 kg	7.59	8.05(6.1 %)	7.55(0.5 %)
7.5 kg	7.91	7.82(1.1 %)	8.04(1.6 %)

회귀의 음질 인덱스를 식 (3)과 같이 얻었다.

$$\text{거슬린다} = 7.46 + 1.56 \text{ Kurtosis} - 0.12 \text{ SIL} \quad (3)$$

$$(R^2 = 91.5 \%)$$

다중회귀식을 사용함으로써 신뢰도 90% 이상의 인덱스 식을 구축할 수 있었다. 실제 주관적 평가 점수와 식 (3)의 인덱스 적용 점수 비교 그래프는 Fig. 9와 같다. 주관적 평가 점수와 인덱스 점수 간의 최대 오차가 2.34%로 두 평가 점수가 거의 일치함을 확인하였다.

### 5.3 실제음 적용을 통한 세탁 행정 소음 음질 인덱스의 타당성 검증

구축된 세탁행정 가상음의 음질 인덱스의 실제 적용 가능성을 검증하기 위해 실제 세탁음을 적용시켜 보았다. 사용된 실제 세탁음은 부하조건이 3, 5, 7.5 kg일 때 세탁 행정 중 세탁조가 50 RPM으로 일정하게 작동하고 있는 구간의 음원을 사용하였다.

실제 청음 평가를 통해 구한 주관적 점수의 결과와 실제 음원에 대한 음질 인덱스 결과 값이 Table 10에서와 같다. 식 (2)에 대하여 실제 주관적 평가 점수와 인덱스 점수간 오차는 6.9% 이하로 그 값은 작지만, 선호도 순서가 주관적 평가(7.5 > 3 > 5 kg)와 인덱스 식(7.5 > 5 > 3 kg)이 서로 다른 것으로 나타났다. 그러나 식 (3)에 적용하였을 경우 오차는 1.6% 이하로 줄어들며 이러한 선호도 경향까지도 잘 맞는 것으로 확인되었다. 이를 통해 구축된 세탁 행정의 가상음 음질 인덱스 식이 실제 세탁음 평가에 적용 가능함을 확인하였다.

## 6. 결 론

이 연구에서 소음원 영향에 따른 세탁 행정의 음질에 대한 영향을 확인하기 위해 소음원 합성을 통

한 세탁 행정 가상음 제작을 통해 음질평가를 수행하여 음질 인덱스를 구축하였다.

이 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

첫째, 소음원을 각각 측정 후 실제 세탁음에 합성시킴으로써 전 주파수 대역에서 0.8 이상의 높은 기여도 값을 가지는 신뢰할 수 있는 소음원의 영향이 고려된 가상 세탁음을 제작하였다.

둘째, 음질 분석 결과 세탁 행정 소음의 음질에 가장 영향을 미치는 소음원은 낙차음으로 나타났으며, 물소리는 음질 점수에 거의 영향이 없는 것으로 확인되었다.

셋째, 객관적 평가와 주관적 평가 수행 후 결과의 통계치리를 통해 적합도 90% 이상의 Kurtosis와 SIL을 이용한 다중 회귀의 세탁 행정 음질 인덱스 구축을 하였고 실제 세탁음 적용을 통해 실제 세탁 행정 소음 평가에 대해 적용가능성을 검증하였다.

## 참 고 문 헌

- (1) Kim, H. S., Park, S. G., Kang, G. H., Lee, J. Y. and Oh, J. E., 2007, The Analysis of Noise Contribution about Drum Washer under Dehydrating Condition Using Multi-dimensional Spectral Analysis, Journal of Sound and Vibration, Vol. 17, No. 11, pp. 1056~1063.
- (2) Oh, J. E., Lee, J. Y., Hong, J. H., Lee, H. S. and Lee, J. H., 1998, A Study on the Evaluation of Noise Contribution and Counterplan about the Mechanical Structure Using Multi-dimensional Spectral Analysis and Vector Synthesis Method, Proceedings of the KSPE 1998 Annual Autumn Conference, pp. 515~519.
- (3) Jung, D. H., Park, S. G., Noor, F., Lee, Y. Y. and Oh, J. E., 2007, The Sound Quality Evaluation and Preference Analysis of Vacuum Cleaner, Proceedings of the KSNVE 2007 Annual Autumn Conference, pp. 1297~1301.
- (4) Lee, J. H., 2010, A Study on the Process of Sound Quality Evaluation of Air-conditioner Indoor Unit, Master's Thesis.
- (5) Zwicker, E. and Fastl, H., 1999, Psycho-

acoustics Facts and Models, Springer 2nd Edition.

(6) Milton, J. S. and Arnold, J. C., 2004, Introduction to Probability and Statistics, Mcgrawhill 4nd Edition.

(7) Namba and Kuwano, 1998, Method of Psychological Measurement for Hearing Research,

Krona.

(8) Jeong, J. E., Yang, I. H., Park, G. D. and Oh, J. E., 2010, Case Study for Sound Quality Index of Vacuum Cleaner' Operating Noise, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 20, No. 12, pp. 1223~1228.