



가전제품의 음질 설계

이 제 원*

(삼성전자 생활가전)

1. 머리말

기술의 발달과 생활 수준의 향상으로 제품의 소음은 더 이상 부가적인 품질의 문제가 아니라, 중요한 하나의 기본 성능으로 인식되고 있다. 과거에는 제품의 기본 성능이라는 것이 해당 제품의 1차적인 기능, 예를 들어 냉장고의 1차적 기능인 냉각능력 또는 세탁기의 1차적 기능인 세탁력, 등으로 생각되었으며, 여기에 소비전력과 같은 에너지 성능 정도가 기본 성능으로 인식되었었다. 따라서 당시에 있어서의 소음은, 소리를 1차 기능으로 하는 오디오 제품 등을 제외하고는 제품의 품질에 대한 부가적인 성능으로써 인식되었었다. 그러나 현대에 있어서, 소음이 중요한 기본 성능의 하나라는 부분에는 재론의 여지가 없을 것이다.

하지만, 최근에 와서는 소음에 있어서도 경쟁 제품간에 큰 차이를 찾기가 어렵게 되었다. 물론 일부 어느 정도 수준의 상대적인 차이를 가지는 제품이 있기는 하지만, 비슷한 가격대의 동급 제품들 간에는 소음 레벨에 있어서도 거의 대동 소이한 차이를 가지는 것이 보편적이다. 실제로 각 경쟁 제품에 대한 비교 평가를 수행해 보면, 대부분의 경우에 일반적인 소비자가 귀로 듣고 차이를 분간하기에는 쉽지 않은 수준의 차이만을 가지는 경우를 어렵지 않게 경험할 수 있다. 더구나, 대부분의 소비자가 임의의 조용한 공간에서 각 제품의 소리를 직접적으로 듣고 비교 평가하는 것이 거의 불가능하다는 점을 고려한다면, 그 차이가 가지는 현실적인 의미는 더욱 줄어들게 된다. 그럼에도 불구하고, 많은 소비

자들이 어떤 제품은 시끄럽고 어떤 제품은 정말 조용하다는 식의 이야기를 하곤 한다. 그 이유가 무엇일까? 여기에 대해서는 여러 가지 원인을 생각할 수 있을 것이다. 하지만, 제품을 개발하는 연구자의 입장에서는 이런 저런 이유들을 다 제쳐두고 어떻게 하면 좀 더 고객의 요구를 만족시킬 수 있을까를 고민하는 것만이 유일한 길일 것이다. 당 연구팀에서는 그 원인을 음질에서 찾고자 하였으며, 여기에서는 이러한 가전제품의 음질 연구에 대한 내용을 소개하고자 한다.

가전 제품은 이미 우리 생활 속에서 뗄래야 뗄 수 없는 존재가 되어있다. 실제로 주변을 둘러보면 수많은 가전 기기 속에서 우리가 지내고 있다는 것을 쉽게 알 수 있다. 그런 만큼 이 제품들이 발생시키는 소음은 우리 생활과 더욱 밀접한 관계를 가지고 있다. 특히 최근에는 주택의 방음 성능이 매우 향상되면서, 외부 소음보다는 가정 내에서 발생하는 가전 제품 소음에 대한 문제가 대두되고 있다. 특히 지속적인 개선 활동을 통해, 십여 년 전에 비해 대부분의 가전 제품 소음 수준이 많이 낮아졌음에도 소비자가 불만은 사라지지 않고 있는 상황이다. 그만큼 소비자의 요구 수준이 더욱 높아지고 있기 때문일 것이다.

가전 제품의 소음에 대한 일각의 의견은 무조건 들리지 않게만 하면 되는 것이지 굳이 음질에 대해서까지 이야기 할 필요가 있겠냐는 것이다. 물론 궁극적으로는 이런 의견이 옳을 것이다. 실제로 한 두 가지 제품을 제외한 대부분의 가전 제품에 있어서, 소음이라는 것은 대부분 원하지 않는 소리인 경우가 일반적이므로 일단

* E-mail : jeawon.lee@samsung.com / (031) 218-5217

아무 소리도 들리지 않으면 문제가 없는 것이다. 하지만 실제로 제품을 개발하는 연구원의 입장에서는 이 의견에 무조건 동의하기가 쉽지 않다. 그 이유는 소음이 중요하기는 하지만, 결코 절대적인 가치가 될 수는 없기 때문이다. 하나의 제품을 개발하기 위해서는 기본적인 제품의 성능이나 신뢰성, 소비전력은 물론, 시각적인 디자인이나 사용 편의성 등과 같이 수많은 부분들을 종합적으로 고려하여야 한다. 그리고 무엇보다 비용이라는 측면을 간과할 수도 없다. 따라서 당연히 소음을 낮추기 위한 지속적인 노력을 하여야겠지만, 동시에 가장 듣기 나쁜 소리부터 효율적으로 제어하고자 하는 노력을 하게 되는 것이다.

또한 가전제품이라는 것이 대량 생산이라는 과정을 통해 시장에 나오는 것이다 보니, 하나의 모델을 개발하기 위해서는 수많은 사람들이 그 과정에 관계하게 된다. 이 많은 사람들이 하나의 좋은 제품을 만들기 위해 공통의 목표를 가지고 최선의 노력을 다 하고 있지만, 때로는 이해 관계가 상충한다거나 하는 문제가 발생하게 된다. 다시 말해서 어떤 안 좋은 소리가 있을 때, 누가 들어도 나쁜 소리라는 것은 알 수 있겠지만, 그래서 이 소리를 어디까지 어떤 식으로 낮출 것인가에 대해서는 다른 의견이 있을 수 있는 것이다. 이때 필요한 것이 정량적이고 객관적인 분석 결과이다. 이 데이터를 통해서 효율적인 의사 결정이 가능하게 되며, 명확한 목표를 설정하고 방법론을 도출할 수 있게 되는 것이다. 따라서 대부분의 음질 관련 연구에서 가장 먼저 다루는 것이 평가인덱스를 개발하는 것이다.

음질 평가 인덱스라는 것은 한마디로 소비자의 청감과 소리의 여러 물리적 특성치 간의 상관 식이라고 할 수 있다. 소비자의 청감 평가는 일반적으로 jury test를 통해 이루어지며, 이때 paired comparison method나 semantic differential method와 같은 여러 가지 방법론들이 사용되게 된다. 이렇게 평가된 결과는 소리의 물리적인 특성들, 예를 들어 기본적인 SPL(sound pressure level)이나 L_w (sound power), 또는 loudness나 sharpness와 같은 Zwicker's parameter 들과의 상관 분석을 통해 하나의 수학적 관계식으로 표현된다. 이를 위해 regression이나 neural network과 같이 input과 output 간의 상관 관계를 분석할 수 있는 여러 가지 통계적 기법들이 사용될 수 있다. 그런데 문제는 이때 사용되는 음향 인자들이 다

른 분야의 비전문가 분들에게는 쉽게 와 닿지 않는다는 것이다. 예를 들어 어떤 제품의 sharpness가 높다고 할 때, 직접 개발 파트에 종사하는 분들이 그래서 어떤 부분을 어떻게 하라는 것인지 알기가 쉽지 않다. 따라서 음질 평가 결과가 효과적으로 개선 설계에 까지 연결되도록 하기 위해서는, 소비자의 주관적인 평가 결과와의 상관 분석을 수행하기 위한 물리 인자를 선정할 때, 가능한 기구적 설계 인자 별 특성을 고려하여야 하며 실제 설계 개발을 담당하는 일반 연구원들도 쉽게 활용하고 이해할 수 있도록 고민을 하여야 할 것이다. 이 글에서는 이러한 특성을 고려하여 그동안 진행되었던 가전 제품 음질 연구에 대하여 몇 가지 사례를 이용하여 설명하고자 한다.

2. 냉장고 음질 개선 설계 사례

냉장고는 1년 365일 24시간 작동되는 몇 안 되는 제품 중의 하나이다. 기본적으로 심야에도 작동되다 보니, 타 제품에 비해 소음 수준이 낮은데도 불구하고 소비자 불만이 발생되는 제품이기도 하다. 실제로 2004년에 미국 Consumer Report(이하 CR)에서 필자가 속한 회사의 냉장고가 소음 부분에서 좋지 않은 평가를 받았던 적이 있었다. 물론 이 문제가 무슨 소비자 불만이 발생했던 것은 아니지만, 비록 직접적인 소비자 불만은 없었다고 하더라도 CR 평가가 기본적으로 사람이 듣고 평가하는 주관평가라는 점을 고려하면, 시장 경쟁력이라는 측면에서는 좋지 않은 결과였던 것은 분명하다. 이에 CR 소음 평가 결과를 바탕으로 선정된 제품을 직접 미국 시장에서 구입하여 비교 실험을 수행하였다. 이때 기존의

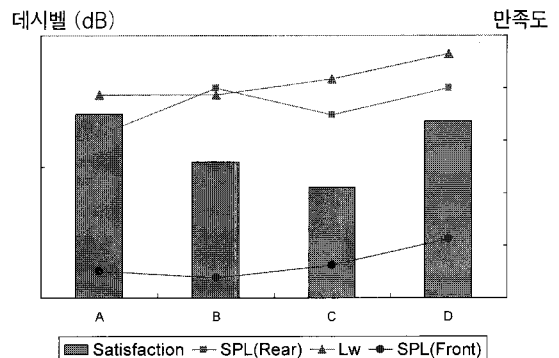


그림 1 모델별 소음레벨 및 소비자 만족도 평가 결과

레벨 평가 외에도 실제 소비자를 대상으로 주관 평가를 함께 진행하였다.

평가 결과, 그림 1에 보인 것과 같이, CR평가에서 excellent를 받았던 A모델과 D모델은 비록 SPL과 L_w 모두가 상대적으로 높았음에도 불구하고, 소비자 평가에서도 가장 좋은 점수를 받았다. 그리고 모델 B와 C는 상대적으로 낮은 점수를 받아, CR의 평가 결과와 동일한 결과를 얻을 수 있었다. 이에 따라, 이리 결과를 야기하게 된 원인을 분석하기 위하여 각 모델 별 소음에 대한 정량적인 분석을 수행하였으며, 그 결과 냉장고의 loudness가 어느 정도 낮아진 후에는 sharpness가 소비자 청감에 가장 큰 영향을 미치는 인자로 기여하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 어의차이법에 의한 평가에서도 날카로움의 느낌이 평가 결과와 가장 밀접한 것으로 나타났다.

이에 따라 개선 설계를 진행하였다. 우선 주파수 특성 분석을 통해 가장 문제가 되는 대역을 찾아내고, 다시 이 대역 소음에 대한 각 요소 기여도 분석을 수행하였으며, 최종적으로 선별된 요소에 대한 설계 수정을 통해 해당 대역 소음을 낮출 수 있었다. 표 1에는 개선 전, 후 모델에 대한 loudness와 sharpness를 나타내었다. 여기

표 1 냉장고 개선 설계 전·후의 음질인자(Zwicker's parameters)

	Model	Loudness	Sharpness
B	Original	3.6	0.795
	Modified	3.7	0.617
C	Original	4.3	0.837
	Modified	4.1	0.673

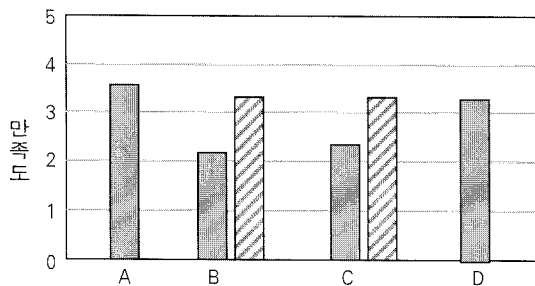


그림 2 냉장고 개선 설계에 따른 소비자 만족도 평가 결과의 변화 (사각기둥: 개선전 모델 평가 결과, 빗금기둥: 개선 후 검증 평가 결과)

에서 알 수 있듯이, 설계 개선을 통한 loudness 저감은 거의 없었으며, 단지 sharpness 만이 개선되었음을 확인할 수 있다. 실제로, 대부분의 개선 효과가 고주파 대역에 집중되어 있었으므로 전체 overall SPL에는 거의 영향이 없었다.

그림 2에는 개선 제품에 대한 소비자 청음 평가 결과를 나타내었다. 최종적으로 개선 효과를 확인하기 위하여, 초기와 동일한 소비자 평가를 진행하였으며, 그 결과 개선된 모델의 소비자 만족도가 크게 향상되었음을 확인할 수 있었다. 이 제품은 2005년에 미국 시장에 출시되었으며, 2005년 가을 이후로 지금까지 동종 후속 모델 모두가 지속적으로 excellent 평가를 받고 있다.

3. 냉장고 음질 평가 프로세스 구축

2장에서는 사례를 통해 가전제품 개발에 음질 관련 연구가 어떤 식으로 활용되고 있는지에 대해 이야기 하

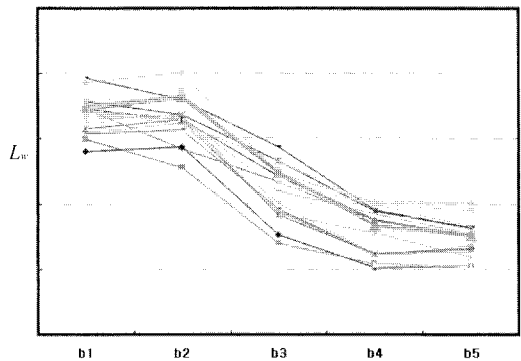


그림 3 냉장고 5개 설계 영역(frequency band)별 전체 냉장고의 소음 레벨 분포

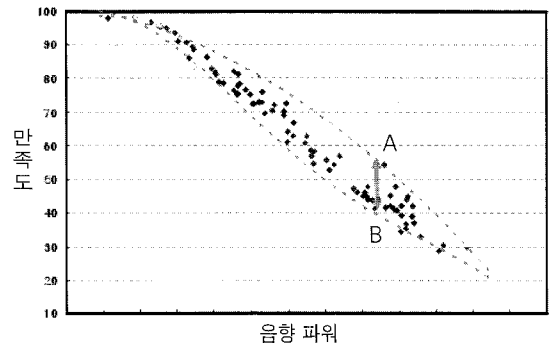


그림 4 냉장고 음향 파워(sound power)에 따른 소비자 만족도

였다. 하지만, 이러한 방법은 어떤 문제가 발생했을 때 이를 소비자 관점에서 정의하고 효과적으로 해결하는 데에는 큰 도움이 될 수 있지만, 일반적인 개발 과정에서 음질을 고려한 설계에 활용하기에는 한계가 있다. 왜냐하면, 현실적으로 수 많은 제품 개발에 모두 음질 관련 연구원이 참여할 수는 없기 때문이다. 따라서 일반적인 개발 과정에서도 음질을 평가하고 이를 기반으로 설계를 진행할 수 있는 방법이 필요하다. 이를 위해 가장 중요한 것이 바로 일반적인 개발자의 언어로 표현될 수 있는 음질 평가 index의 개발이다.

냉장고의 경우에는 크게 5가지 정도의 sound source가 일반적인 냉장고 소음을 지배하고 있다. 이 연구에서는 각 요소별 주파수 특성에 따라 냉장고 음향 파워 스펙트럼을 구분하여, 각각을 하나의 설계 인자로 잡아 response surface method를 이용하여 실험을 설계하였으며, 제작된 음원을 이용하여 소비자 평가를 수행하였다.

또한 당사 제품은 물론 경쟁사 제품에 대한 비교 평가를 통해 모두 11종류의 냉장고를 선별하였으며, 각 냉장고에 대해 주어진 주파수 대역 별로 밴드 파워를 측정하여 그 결과를 그림 3에 보였다. 평가를 위한 artificial sound는 해당 레벨을 모두 포괄할 수 있도록 설계되었다. 소비자 감성 평가는 청력에 이상이 없는 전업주부로 냉장고를 충분히 사용한 경험이 있는 20대~50대의 주부 120명으로 구성하였다. 냉장고 파워 스펙트럼 변화에 따른 소비자 만족도 결과는 그림 4와 같다.

여기에서 보는 바와 같이, 전체적으로 소비자 만족도와 파워 레벨 사이에는 강한 선형의 관계를 나타낼 수 있으며 파워 레벨이 일정 수준보다 높거나 낮은 구간에서는 레벨변화에 따른 만족도 차이가 거의 없는 S자 형태의 관계를 보임을 알 수 있다. 또한 동일한 파워 레벨이라고 하더라도 만족도에 있어서는 15점 이상의 유의미한 차이를 보이는 것으로 나타났다. 그리고, 이 차이는 음향 파워의 spectral balance, 즉 음질에 의해 나타나게 되는 것으로 분석되었다.

4. 에어컨 음질 설계

에어컨 음질 평가 과정에서는 가장 먼저 에어컨 음질에 대한 소비자 감성을 표현하기에 적절한 음향 인자를 찾는 연구가 선행되었다. 그 결과 에어컨 소음에 대한

평가는 냉장고와 달리 주요 밴드 파워 레벨을 이용하기에는 적절치 않은 것으로 나타났다. 이것보다는 공조 소음의 특성에서 나타나는 $1/f$ 특성을 활용하는 것이 효과적인 것으로 분석되었다. 또한 일반 가정용 에어컨의 경우에는 중앙공조와 달리 전체 주파수 대역을 하나의 $1/f$ 인자로 정의할 경우 설명력이 크게 떨어지게 되며, 냉매소음이나 모터 소음 특성에 의해 2개의 영역으로 나누어 분석하는 것이 적절한 것으로 나타났다. 이에

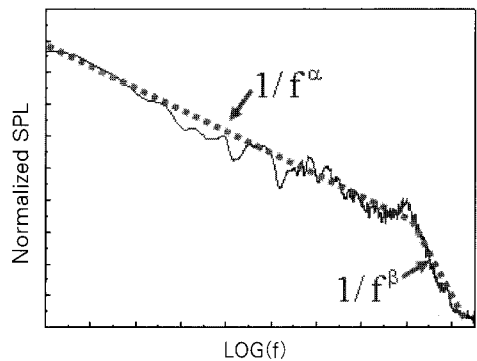
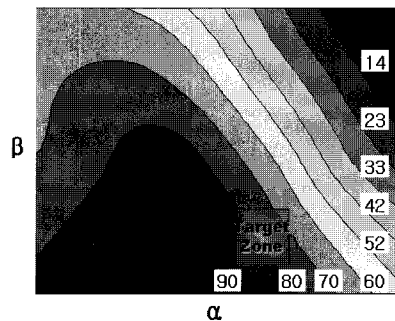
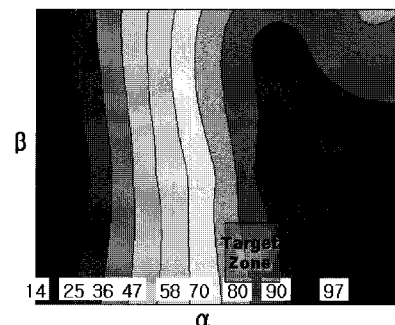


그림 5 가정용 에어컨 소음에 대한 $1/f$ 분석 (Log scale)



(a) 편안함(짜증도의 역)



(b) 청량감

그림 6 영역별 $1/f$ 기울기에 따른 소비자 청음 평가 결과

이 연구에서는 에어컨의 특성을 2개의 $1/f$ 특성으로 나누어, 낮은 주파수 영역의 $1/f$ 의 지수는 α 로, 높은 주파수 영역의 $1/f$ 의 지수는 β 로 정의하였다. 이것은 그림 5에서 보듯이 $1/f^\alpha$, $1/f^\beta$ 로 나타낼 수 있다.

앞의 α , β 의 기울기를 변조한 소리를 이용하여 소비자 평가를 진행한 결과, 불쾌감(annoyance)은 전체 에너지 스펙트럼에서 저주파가 차지하는 비중이 높을수록 감소하고 청량감(freshness)의 주 지배요소는 α 이며 절대값이 작을수록 커진다. 이는 저주파 소음이 감소함에 따라 상대적으로 고주파 소리가 더 잘 들리게 되는 것을 의미한다. 또한 불쾌감과 청량감 모두 80 이상 만족하는 target zone을 찾을 수 있었다. 이 target zone의 α , β 는 에어컨의 $1/f$ slope에서 80 이상의 만족도를 나타낼 수 있는 값이 된다. 여기에서 중요한 것은, 에어컨 소음의 경우 $1/f$ slope에 의한 만족도가 소비자의 감성 소음에 중요한 요소이지만 전체적인 소음 레벨이 낮아지지 않는 한 $1/f$ slope만으로 만족도를 정의할 수 없으며 음압 레벨을 고려하여야만 전체 에어컨 만족도를 평가할 수 있다. 이 음압 레벨의 크기가 소비자가 만족할 만한 수준을 가질 때 $1/f$ slope에 대한 효과를 통해 만족

도 향상을 구현할 수 있다.

레벨 만족도는 선호도 평가를 통해 수행되었다. 기준이 되는 $1/f$ slope을 정하고 이를 기준으로 레벨을 변조하여 음압 레벨에 대한 소비자의 선호도 평가를 수행했다. 그림 7과 같이 소비자 선호도 평가 결과 Δ 의 구간 내에서는 소비자의 만족도가 급격히 증가 또는 감소되다가 이 구간을 벗어나면 만족도의 차이가 크게 없는 것을 알 수 있다.

5. 청소기 음질 설계

청소기의 경우에는 냉장고나 에어컨과는 또 다른 특성을 가진다. 그것은 바로 많은 소비자들이 청소기 소음을 통해 청소기가 강하게 먼지를 빨아들이고 있다는 것을 느끼고 있다는 것이다. 따라서, 무작정 소음을 저감하는 것은 청소기에 있어서 오히려 독이 될 수도 있다. 하지만, 일반적으로 청소기 소음은 매우 시끄럽고 듣기 싫은 소리로서, 저역에는 그 소음 때문에 청소를 할 수 없다는 소비자 불만도 계속 발생하고 있다. 청소기 소음은 이렇듯 양면적인 특성을 가지고 있는 것이다. 따라서, 이 연구에서는 청소기의 각 요소별 소음 특성을 분석함은 물론 소음이 발생하는 위치, 즉 일반적인 사용조건에서 브러쉬 공력 소음은 소비자 전면 아래쪽, 본체 모터 소음은 후면과 같은 식으로 소음 발생 위치까지를 모두 고려하여 sound sample을 제작하였다. 물론 각각의 레벨을 sound design을 위한 파라미터로 활용하였으며, 근사식을 구하기 위해 RSM을 활용하였다.

그림 8에 보는 바와 같이 편안한 느낌과 강한 흡입력에 대한 느낌은 일종의 trade-off를 가지고 있는 것을 확인할 수 있었으며, 이 두 느낌을 가장 적절하게 느낄 수 있는 소리를 target sound로 선정하였다. 그림 9(a)는 이

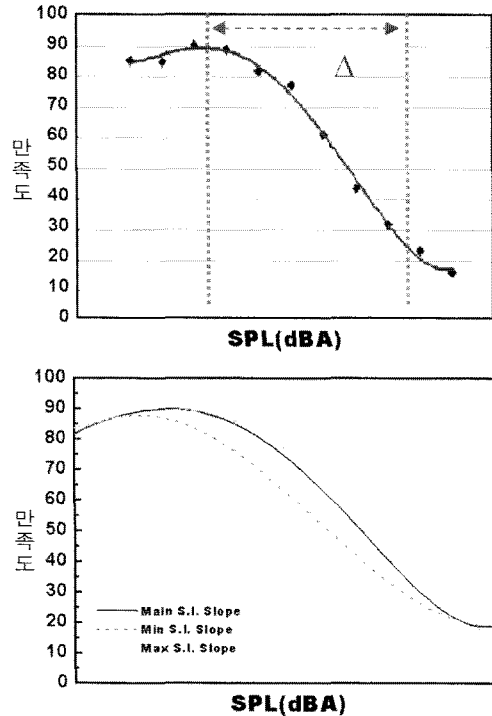


그림 7 에어컨 소음 레벨(SPL)에 따른 소비자 만족도

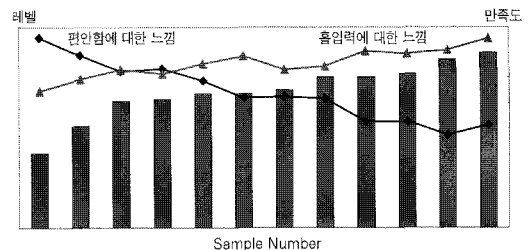
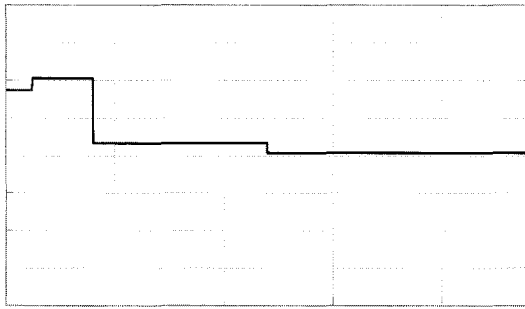
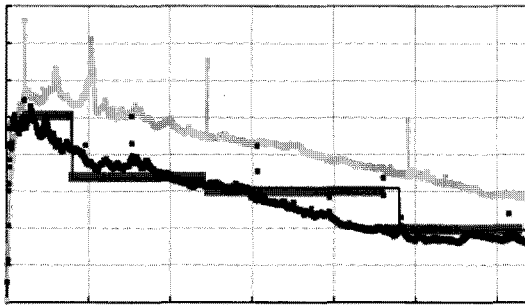


그림 8 청소기 음원 특성에 따른 편안함과 흡입력에 대한 느낌 변화



(a) 청소기 소음 목표



(b) 청소기 소음 측정 결과(회색:기준모델, 검은색:개발모델)


그림 9 편안하면서 강한 흡입력이 느껴지는 청소기 소리 및 이에 따른 제품 개발 결과

렇게 도출된 청소기의 target sound를 요소 별 소음 특성을 고려한 스펙트럼으로 표현한 것이다. 다음으로는 실제로 이 target sound를 구현하기 위한 제품 개발이 진행되었으며, 그림 9(b)에 보는 바와 같이, 개발된 제품의 소음이 초기에 설계 목표로 잡은 target sound를 잘 따르고 있음을 알 수 있다.

6. 맺음말

산업계에 있어서의 음질에 관한 연구는 현대의 치열한 시장 경쟁에서 생존하기 위한 중요한 분야로써, 가능한 적은 비용으로 소비자 만족도를 최대한 이끌어내기 위해 필수적인 기술로 자리를 잡아가고 있다. 실제로 비용이라는 것은 어차피 제품의 가격에 포함될 수밖에 없으며, 이것은 소비자 입장에서 중요한 문제이다. 실제로 많은 소비자들이 더 조용하고 좋은 제품을

원하지만, 단지 그것만을 위해서 가격을 더 지불하기를 원하지는 않을 것이기 때문이다.

또한, 모든 사람이 음질에 관한 전문가가 될 수는 없는 상황이므로 음질 연구 결과가 실제로 활용되기 위해서는 인덱스 개발 단계에서부터 실제 개발 과정에 대한 이해가 고려되어야 할 것이다. 물론 음질이라는 것이 실제 사람이 소리를 듣고 어떻게 느끼는가에 대한 것으로써, 제품관련 음질이라면 소비자의 입장에서 그 문제를 파악하는 것이 최우선이겠으나, 단지 소비자만을 고려한다면 그 결과가 실제 제품 개발로 이어지기 위해서는 또 많은 과정을 거쳐야 하므로 대부분의 경우에는 결국 하나의 좋은 연구 논문으로써의 가치만 가지게 되는 경우가 발생할 수 있다. 따라서 개발과정을 고려하여 어떤 식으로 평가를 설계할 것인가가 반드시 고려되어야 하며, 이를 바탕으로 소비자의 감성을 평가함으로써 좀 더 쉽게 정말 좋은 제품을 개발하여 소비자의 손에 쥐어 드릴 수 있을 것이다. 

참고문헌

- (1) Zwicker, E. and Fastle, H., 1999, Psychoacoustics: Fact and Models, 2nd edition, Springer.
- (2) Lyon, R. H., 2000, Designing for Product Sound Quality, Marcel Dekker Inc.
- (3) Miyake, S., 2004, Fluctuation Engineering, Sigma Press.
- (4) Lee, J. W., Joo, J. M. and Oh, S. K., 2003, "Sound Quality Evaluation for the Refrigerator and the Air Conditioning System", Proceedings of Inter-noise2003, Jeju, Korea.
- (5) Lee, J. W., Joo, J. M. and Lee, J. K., 2005, "Design Modification to Improve the Quality of Sound for the Refrigerator", Proceedings of Inter-noise2005, Rio de Janeiro, Brazil.
- (6) Lee, J. K., Lee, J. W. and Joo, J. M. 2005, "Propose Tonal Noise Standard for Air-conditioner based on Customer's Sensory Evaluation", Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference.