

소형터보팬 설계인자와 음질의 상관관계

The Correlation between Ddesign Pparameter of Ssmall Tturbo Ffan and Ssound Qquality

정용규† · 김휘중* · 이정수** · 이승배***

Young-Gyu Jung†, Hooi-Joong Kim*, Jung-Soo Lee**, Seung-Bae Lee***

Key Words : Loudness(라우드니스), Roughness(러프니스), Sharpness(샤프니스)

ABSTRACT

The State-of-the-art of low noise fan design requires the consideration of optimal sound quality. The influential design parameters of the noise level by the centrifugal fan were selected that based on a preliminary test. The centrifugal fans were designed according from the experiment plan method by specify the selected design parameters. The experiments with the machined mock-up's of centrifugal impellers revealed the major design parameters having impacts upon the indices of sound quality (e.g. loudness, sharpness, roughness and fluctuation strength) at the same performance condition. With a response surface method, the major design parameters selected were analyzed to estimate their contributions upon the sound quality of the centrifugal fan and the optimal values were drawn for the consideration of the sound quality by using each level and its regression equation. In addition, the validity of the regression equations were numerically verified by means of the coefficient of determination. Furthermore, the mechanism of how the centrifugal fans influence the determinants of sound quality was suggested.

자가 감성소음의 판단 요소들에 미치는 영향과 기여도를 분석하여 청감음이 최적인 원심팬 설계인자의 최적화 방안을 제시하였다.

1. 서론

기존의 소음 제어는 가전제품의 다양한 소음원에 대한 연구를 통하여 제품의 소음 레벨을 저감시키는 목적으로 수행되고 있지만 제품의 소음에 대한 소비자의 불쾌감(annoyance)은 오히려 증가되고 있다. 최근에 소비자에 대한 제품의 선호도 측면에서 소음을 다루고 있으며, 음질을 최적화하여 소음을 제어하는 방향으로 연구가 수행되고 있다. 가전제품에서 발생하는 소음 요소들이 소비자에게 주관적인 영향을 미치는 대표적인 가전제품이 냉장고이다. 기존의 냉장고 냉기 순환용 유체기계로써 축류팬이 사용되고 있으며 축류팬의 유동 소음을 저감시키기 위한 방법으로써 냉장고 유로 및 유로 저항에 적합하도록 날개(blade) 형상을 최적화하는 방법이 사용되었다. 그러나, 냉장고의 사용 환경과 온도 변화에 따라서 요구되는 유량 증가 및 유로저항 증가에 의한 회전수 증가와 이로 인한 소음 증가를 근본적으로 해결하는데 한계가 있다. 본 논문에서는 이러한 냉기 순환을 목적으로 하는 축류팬을 대체하기 위한 수단으로 원심팬을 제안하였으며, 원심팬 설계인

2. 심리 음향학과 음질요소

음질의 평가 방법은 크게 수학적인 표현식에 근거한 객관적인 평가 방법과 임상 실험과 같이 청취자들의 주관적 평가 결과에 근거한 주관적 평가 방법으로 구분할 수 있다. 이 중에서 주관적인 평가 방법이 정확한 음질을 나타내지만, 이 방법은 시간과 비용이 많이 소요되고 피시험자의 교육 등이 요구되는 단점이 있다. 이러한 문제로 인하여 주관적 음질 평가 결과를 예측할 수 있는 객관적인 평가 방법을 사용함으로써 주관적 평가 방법의 단점을 보완할 수 있다.

심리 음향학은 음질을 측정하기 위해 주관적 평가 방법인 임상 실험 이외에 청각계 및 대뇌의 모델링을 통한 음질이나 소리의 특성을 인식하는 방법을 다루며, 주관적 평가를 객관화시키는 요소를 정립하고 있다. 음질에 대한 주관적 평가를 음향신호의 물리적인 특성과 연관시키는 작업을 다루는 심리 음향학에 있어서 음질을 결정하는 주요 요소는 라우드니스(Loudness), 샤프니스(Sharpness), 러프니스(Roughness), 변동강도(Fluctuation Strength) 등으로 정의하고 있다. 여기서 라우드니스는 음의 크기에 대한 주관적 지각량을 나타내고, 샤프니스는 음의 날카로움에 대한 주관적 지각량, 변동강도는 음의 변화를 느끼는 속성에 대한 주관적 지각량을 의미한다. 이러한 음질 요소들의 계산 모델이 구현되면 음질에 대한 전체적인 평가와 연관되어 하나의 음질 평가치를 제시할 수 있으며, 음질 요소 해석 결과로부터 음질 개선을

† 정용규, 인하대학교
E-mail : yjjung2@chol.com
Tel: (032) 880-8745, Fax: (032) 888-1716

* 인하대학교

** 인하대학교

*** 인하대학교

위한 물리적 정보를 얻을 수 있다. 이와 같이 음질 요소 계산 모델을 근거로 음질을 평가하는 방법을 객관적 음질 평가 방법이라고 정의한다.

3. 반응면 기법과 원심현의 설계

반응면 기법은 실제 반응 함수를 근사적인 다항 함수로 모델링하기 위해 물리적 또는 수치적인 실험으로부터 얻어진 결과들을 이용하는 일련의 수리 통계적 기법이라고 할 수 있다[1]. 본래 물리적 실험을 통해 관찰된 값들로부터 단지 경험적인 관계식을 만들기 위해 이용되었지만, 한정된 수의 실험만으로 임의 공간내의 반응을 모델링함으로써 실험의 시행 횟수를 줄일 수 있다는 특징을 방대한 해석을 필요로 하는 최적 설계에 적용되면서 효율적인 방법으로 널리 이용되고 있다.

반응면 기법에 있어서 임의 공간에서 주어지는 독립 변수들(Independent variables)로 인해 얻어지는 물리적 또는 수치적 실험의 결과를 반응(Response)라고 한다. 이러한 반응의 변화가 반응면(Response surface)을 형성하게 된다. 따라서 반응면을 이용한 최적 설계란 설계 공간 내에서 반응을 최대화 또는 최소화하는 독립 변수의 집합을 구하는 것이 된다. 반응 y 가 주요 독립 변수 $\xi_1, \xi_2, \xi_3, \dots, \xi_k$ 와 다른 요소들에 의해서 결정되는 경우 그 관계는 다음과 같다.

$$y = f(\xi_1, \xi_2, \xi_3, \dots, \xi_k) + \epsilon \quad (1)$$

여기서 f 는 실제 반응 함수를 의미하며, ϵ 는 주요 독립 변수 이외의 요인이 반응에 기여하는 양으로써, 반응 함수가 예측하지 못하는 통계적 오차로 간주한다. 이 ϵ 의 평균값이 0이고 분산 σ^2 의 정규 분포를 취한다고 하면 반응의 기대값은 다음과 같다.

$$E(Y) = \eta = E[f(\xi_1, \xi_2, \xi_3, \dots, \xi_k)] + E(\epsilon) \quad (2)$$

$$\eta = f(\xi_1, \xi_2, \xi_3, \dots, \xi_k)$$

물리적 단위를 지닌 자연 변수(Natural Variable) $\xi_1, \xi_2, \xi_3, \dots, \xi_k$ 를 무차원 변환 변수(Coded Variable) $x_1, x_2, x_3, \dots, x_k$ 로 바꾸어 표현하면 다음의 식과 같다.

$$\eta = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_k) \quad (3)$$

실제 반응 함수 f 는 알 수 없거나 매우 복잡한 형태를 취하고 있으므로 이를 가정하는 과정이 필요하며, 적절한 가정은 반응면 기법의 성공 여부와 직접적으로 연관이 되어 있다. 일반적으로 실제 반응 함수 f 의 형태를 일차 다항식으로 가정할 경우 다음과 같이 표현된다.

$$\eta = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k \quad (4)$$

식(12)를 이차 다항식으로 가정할 경우 다음과 같이 표현된다.

$$\eta = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_j + \sum_{j=1}^k \beta_{jj} x_j^2 + \sum_{j < j'} \sum_{j'} \beta_{jj'} x_j x_{j'} \quad (5)$$

여기서 k 는 설계 변수의 수를 의미하며, 회귀상수(β_0, β_1 등)의 개수는 $n_t = (k+1)(k+2)/2$ 이다. 실험 데이터로부터 적절한 β 값을 도출 하여야 하는데 이는 최소 자승법(Least Squares Method)을 사용하여 구할 수 있다. 최소 자승법은 반응 함수의 회귀 상수를 도출 하는데 널리 이용되는 방법으로, 반응 함수를 g 로 가정할 경우 $p = k+1$ 개의 회귀 상수인 $\beta_0, \beta_1 \dots \beta_k$ 의 개수 값을 결정하기 위해서는 $n (> k)$ 회의 수치 실험이 필요하며, n 회의 수치 실험을 통해 다음의 방정식을 구할 수 있다.

$$y = X\beta + \epsilon \quad (6)$$

여기서

$$y = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix}, X = \begin{pmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1k} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nk} \end{pmatrix}, \beta = \begin{pmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_k \end{pmatrix}, \text{ and } \epsilon = \begin{pmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \vdots \\ \epsilon_n \end{pmatrix} \quad (7)$$

y 는 실험을 통해 얻어진 반응(Response)의 $(n \times 1)$ 벡터이고, X 는 독립 변수(Independent Variable)의 $(n \times p)$ 벡터이며, β 는 회귀 상수의 $(p \times 1)$ 벡터 이고, ϵ 는 오차의 $(n \times 1)$ 벡터를 의미한다. 수치 오차(ϵ_i)의 제곱을 최소화하기 위해 오차의 제곱 함수를 구하면 다음과 같이 표현 된다.

$$L = \sum_{i=1}^n \epsilon_i^2 + \epsilon' \epsilon = (y - X\beta)'(y - X\beta) \quad (8)$$

$$L = y'y - \beta'X'y - y'X\beta + \beta'X'X\beta \quad (9)$$

$$= yy' - 2\beta'X'y + \beta'X'X\beta$$

함수 L 이 최소 제곱 함수가 되기 위해서는 식(18)을 만족해야 한다.

$$\frac{\partial L}{\partial \beta} \Big|_b = -2X'y' + 2X'Xb \quad (10)$$

이 식들은 최소 제곱 방정식(Last Square Normal Equation)이라고 불리며, p 개의 방정식들로 구성된다. 이 방정식을 만족하는 미정계수 b_1, b_2, \dots, b_k 를 구함으로써 반응 함수가 결정되며, 결국 미정계수 벡터는 식(11)과 같다. 따라서 구해진 반응 함수의 모델은 다음의 식(12)과 같아진다.

$$b = (X'X)^{-1}X'y \quad (11)$$

$$\hat{y} = Xb \quad (12)$$

구성된 다항식 반응면의 각 항에 속한 미결정계수들을 합리적으로 결정하고, 이 미결정계수들의 타당성을 검증하는 과정이 ANOVA(Analysis of Variance)와 회귀 분석(Regression Analysis)이다. 미결정계수의 불확실성은 T-statistics를 이용해 평가 할 수 있다.

$$t = \frac{b_j}{\sqrt{\hat{\sigma}^2 (X'X)^{-1}_{jj}}} \quad (13)$$

여기서 $\hat{\sigma}^2$ 은 실험을 통해서 구해진 반응 값에 대한 분산 값을 나타내며, T-statistics 값의 역수는 계수의 값에서 표준편차(Standard Deviation)가 차지하는 비율을 나타낸다. 따라서 이 값이 작을수록 낮은 정확도를 갖는 계수가 된다. T-statistics가 허용 할 수 있는 최소값은 사용자의 판단에 달려 있으며, 이 값들은 반응면 모델을 구성하기 위해 사용되는 실험 반응값의 개수와 밀접한 관계가 있다. 구성된 반응 모델에서 정확도가 떨어지는 항을 제거함으로써 반응모델의 신뢰도를 높이고 예측성을 향상 시킬 수 있다. 임의의 항이 전체적인 반응모델의 신뢰도에 미치는 영향을 판단하는 방법으로써 R_{adj}^2 을 이용할 수 있다.

$$R_{adj}^2 = 1 - \frac{SS_E / (n - p)}{S_{yy} / (n - 1)} \quad (14)$$

식(14)에서 SS_E 는 오차 제곱의 총합이며, S_{yy} 는 반응함수 제곱 값의 총합이다. R_{adj}^2 의 값이 클수록 정확한 반응 모델이 구성되었음을 의미한다. 즉 R_{adj}^2 값이 90% 라는 것은 반응모델이 목적 값의 90%를 설명할 수 있다는 것이다. 본 연구의 실험을 계획하고 수행하는데 있어서 실험의 오차를 최소화하기 위해서 랜덤(Random), 반복, 블록화(Block), 교차, 직교화 등의 원칙을 바탕으로 인자를 배열하고 데이터를 수집, 분석하고자 하였다. 위의 실험 원칙에 따라서 실험의 횟수 및 비용을 줄이기 위하여 예비 실험(Preliminary Test)을 수행 하였으며, 냉장고 냉기 순환 팬의 성능과 소음에 가장 크게 영향을 미치는 주요 설계인자 4개를 선정 하였다. 선정된 주요 설계 인자는 날개 입구각(β_1), 출구각(β_2), 내외경비, 솔리디티

(Solidity)를 선정하였으며, 실험 계획법의 인자배열을 이용하여 4인자 3수준의 L_9 인자 배열을 선정하여 Table.1과 같이 원심팬을 설계하였다.

원심팬에 사용된 날개의 익형은 NACA4-Digit 계열로 설계하였으며, 원심팬의 내외경비는 입구 직경의 크기에 따른 성능 평가를 위하여 외경을 고정한 상태에서 0.59, 0.64, 0.69로 설계하였다. 원심팬 날개의 설치 각도 및 형상에 따른 성능 평가를 위하여 입구각은 25°, 32°, 39° 출구각은 32°, 40°, 48°로 설계 하였다. 또한 솔리디티에 의한 성능 평가를 위해서 0.8, 0.92, 1.04로 설계 하였다.

5. 실험장치 및 실험결과

5.1 실험장치

냉장고 고내의 유량측정을 위한 장치로 풍동(Wind tunnel)이 사용된다. Fig. 1과 같이 풍동은 AMCA규격 210-85에 따라서 제작되었으며, 측정 가능한 유량 대역은 $0.2 \sim 12 \text{m}^3/\text{min}$ 이다. 그리고 원심팬 설계 인자에 따른 음질을 평가하기 위하여 Fig. 1과 같이 냉장고 고내 유로 저항을 모사한 풍동을 제작하였으며, 냉장고 고내 유로 정압과 유량이 동등한 조건에서 음질 평가 실험을 하였다.

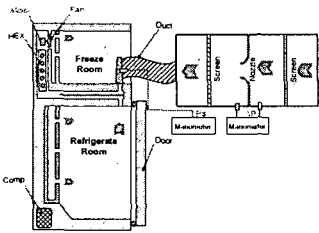


Fig. 1 Flow Rate Measurement of Refrigerator Using Wind Tunnel

공기는 벨 마우스(Bell Mouth) 입구를 통해 들어와 회전하는 임펠러(Impeller)에서 가속된 후 풍동 내부로 들어가게 된다. 주 모터는 실험에 사용되는 원심팬을 구동하며, 보조 모터로 구동 되는 배기 팬의 회전수를 제어함으로써 유량을 조절할 수 있도록 구성되었다. 실험장치의 유동 방향은 불어내는 형식을 취하고 있다. 원심팬의 소음 및 음질을 측정하기 위한 무향실은 인하대학교 기계공학과 무향실[2]에서 수행되었다. 소음 측정 장비로서 1/2" 마이크로폰을 사용하였으며, 소음 신호 분석 및 처리는 SRS 780(Network Signal Analyzer)를 사용하였다.

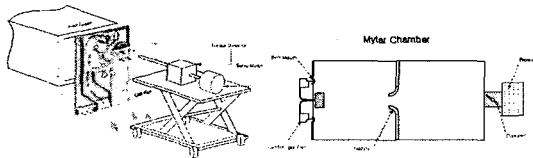


Fig. 2 Driving Unit & Wind Tunnel

5.2 주요 설계인자 분석

실험계획법에 의해서 제작된 인자 원심팬을 냉장고에 장착하여 팬 만을 구동시킨 상태에서 Fig. 1과 같은 측정 시스템을 이용하여 냉장고 고내의 유량과 송풍 소음을 측정 하였으며, 이를 통하여 원심팬의 운전점 즉 시스템 정압과 유량을 측정 하였다. 이렇게 측정된 운전점 조건에서 Fig. 2과 같이 제작된 풍동을 이용하여 각 인자 원심팬의 단독 소음을 측정하였다. 원심팬의 소음측정은 유동의 토출 방향에서 45도 경사진 위치에서 1/2" 마이크로폰을 이용하여 측정하였으며, 각 인자 원심팬의 음질특성을 정확히 구분하기 위하여 팬으로부터 10cm 떨어진 위치에서 측정 하였다. 이렇게 측정된 원심팬의 단독 소음 데이터를 이용하여 4가지의 음질 평가 요소(라우드니스, 샤프니스, 러프니스 변동강도)에 대하여 각 인자의 주효과 분석을 수행하였다. 설계 인자의 주효과를 분석한 결과 음질 평가 요소 중 첫 번째 라우드니스에 있어서

Figure 3와 같이 원심팬 날개의 출구각과 입구각에 의한 영향이 가장 크게 작용하고 있으며 원심팬의 출구각이 32도이고 입구각이 작아질수록 라우드니스가 낮아지는 것으로 나타나고 있다. 두 번째 샤프니스에 있어서 솔리디티와 내외경비가 크게 영향을 미치며, Figure 3과 같이 내외경비가 0.64이고 솔리디티가 작아질수록 샤프니스가 낮아진다. 세 번째 러프니스에 있어서 내외경비와 출구각이 크게 영향을 미치며, Fig. 3과 같이 내외경비가 0.64이고 출구각이 커질수록 러프니스가 낮아진다. 마지막으로 변동강도에 있어서 솔리디티와 출구각, 입구각이 크게 영향을 미치고 있다는 것을 확인 할 수 있으며, Figure 3과 같이 솔리디티가 1.04이고 출구각이 40도이며 입구각은 작아질수록 변동강도가 낮아지는 것을 확인 할 수 있었다. 이들 음질 요소에 대한 주요 설계 인자를 재 분석해보면, 라우드니스와 러프니스에 영향을 미치는 주요 설계인자는 입구각과 출구각이며, 설계인자 수준에 의한 두 음질이 개선되는 방향 또한 거의 동일하다. 반면 샤프니스와 변동강도에 영향을 미치는 주요 설계인자는 출구각과 내외경비, 솔리디티이며 설계인자 수준에 의한 두 음질이 개선되는 방향이 서로 반대인 것을 확인 할 수 있다. 주 효과 분석을 통하여 원심팬 설계인자들이 음질 평가요소에 미치는 영향과 개선 방향에 대해서 알 수 있었으며, 이와 더불어 반응면 기법(Response Surface Regression)을 이용하여 회귀 방정식을 도출할 수 있다. 반응면 기법은 물리적 또는 수치 해석적 실험을 통해 얻은 결과를 실험에 영향을 주는 독립 변수들로 모델링하고 이를 분석하는 일련의 수리 통계적 과정이다. 원래 물리적인 실험을 통해 관찰된 값들로부터 단지 경험적인 관계식을 만들기 위해 이용되었지만, 한정된 수의 실험만으로도 임의 공간내의 반응을 모델링함으로써 실험의 시행 횟수를 줄일 수 있다는 특징이 있다. 반응면 기법은 4가지의 음질 평가요소에 대해서 실시하였으며, 분석은 2차 선형 방정식을 이용하여 설계인자가 유효하다고 판단되는 일정 수준의 P-value 값을 넘게 되면 제외 하였다. 반응면 기법에 의해서 도출되는 주요한 결과로

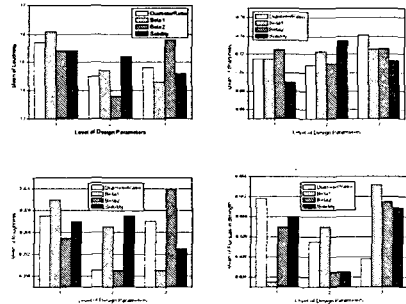


Fig. 3 Main Effect Plot of Sound Quality

서 회귀 방정식이 있다. 회귀 방정식은 인자 실험을 통해서 개선하고자 하는 목적값을 예측 할 수 있는 함수이다. 이러한 회귀 방정식은 결정 계수(R-Sq값)에 의해서 정확성을 판단할 수 있다. 결정계수는 측정된 값의 변동에 대해서 회귀 방정식으로 예측이 가능한 영역을 백분율로 나타낸 지표로서 회귀 방정식의 정확도를 평가 할 수 있는 척도가 된다. 또한 데이터 또는 Sample의 개수가 적을 때 결정계수가 상향평준화 되는 특성을 보이기 때문에 수정 결정계수[R-Sq(adj)]값을 이용하여 좀 더 정확하게 회귀 방정식을 평가할 수 있다. 반응면 기법 분석 결과 Figure 19에서와 같이 음질요소 각각에 대한 수정 결정계수 값이 99.6% 대역으로써 유효하다고 분석되었다.

5.3 반응 최적화

최적 음질의 냉장고 냉기 순환용 원심팬 설계 인자를 도출하기

위하여 위의 회귀 방정식을 이용하여 반응 최적화(Response Optimization)를 수행하였다. Table 1은 반응 표면 기법을 이용하여 도출된 회귀 방정식을 기초로 구성된 표이다. 가로축은 각 설계 인자의 수준을 나타내며, 세로줄은 각 음질 평가 요소의 지수를 나타낸다. 이러한 그림을 이용하여 원심팬 설계 인자들의 주효과를 분석할 수 있으며, 설계 인자 수준의 변화에 따라서 음질 평가요소들의 지수를 예측할 수 있다. Fig. 4의 설계인자에 따른 라우드니스에 대한 선도는 내·외경비와 출구각은 2차 곡선 형태를 보이며 입구각과 솔리디티는 선형성을 보이고 있다. 이는 주 효과 분석 결과와 유사한 형태를 보이며, 라우드니스에 대한 원심팬의 최적 설계인자를 도출할 수 있으며, 이 때의 라우드니스 지수는 12.1이다. 이와 동일한 방법으로 샤프니스, 러프니스, 변동 강도에 대한 최적 설계인자를 예측할 수 있다. 그러나 이러한 음질 평가 항목들은 평가하는 주파수 대역 및 특성에 대한 평가가 동일하지 않기 때문에 음질 평가 항목 각각의 최적 설계 인자는 동일할 수 없다. 결론적으로 설계인자 최적화는 각 항목들의 합이 최소화되는 지점을 도출하여 최적 원심팬의 설계인자 수준을 도출하였다. 최적 원심팬의 설계인자는 내외경비 0.64, 입구각 32°, 출구각 40°, 솔리디티 1.04이다.

Table 1. Response Surface Regression of Sharpness

Estimated Regression Coefficients for Sharpness				
Terms	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.731000	0.001871	390.736	0.002
Diameter Ratio	0.013000	0.000866	15.011	0.042
Beta1	0.004167	0.000866	4.811	0.130
Beta2	0.000667	0.000866	0.770	0.582
Solidity	0.011167	0.000866	12.894	0.049
Diameter Ratio ²	0.021000	0.001500	14.000	0.045
Beta2 ²	0.017000	0.001500	11.333	0.056
Solidity ²	-0.033500	0.001500	-35.667	0.018
S=0.002121 R-Sq = 100% R-Sq(adj) = 99.6%				
Estimated Regression Coefficients for Sharpness using data in uncodded units				
Terms	Coef			
Constant	0.6110			
Diameter Ratio	-0.0710			
Beta1	0.0042			
Beta2	-0.0673			
Solidity	0.2252			
Diameter Ratio ²	0.0210			
Beta2 ²	0.0170			
Solidity ²	-0.0535			

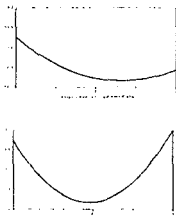


Fig. 4 Optimization of Design Parameters for Loudness Using RSM

위와 같은 실험을 통하여 소형 터보팬의 음질에 영향을 미치는 주요 설계 인자를 도출할 수 있었다. 또한 반응표면 기법을 이용하여 원심팬 설계 인자의 변화에 따른 음질 평가 항목들의 지수를 예측할 수 있는 회귀 방정식을 도출하였다. 도출된 회귀 방정식을 이용하여 반응 최적화를 수행하였으며 음질에 최적인 원심팬의 설계 인자를 도출하였다. 도출된 최적 원심팬은 실험을 통하여 획득한 데이터와 회귀 방정식의 예측 결과를 비교한 결과 거의 동일하다는 것을 확인하였다. 또한 Fig. 5와 같이 최적 원심팬의 소음 스펙트럼에 있어서 피크 소음 및 광대역 소음이 크게 개선된 것을 확인할 수

있으며, 이는 음질 평가 요소에 있어서 라우드니스와 샤프니스가 크게 개선되었다는 것을 증명한다. 이러한 음질 평가 항목의 개선은 원심팬의 설치각 최적화에 의해서 날개 표면에서 발생하는 유동 박리저감으로 인한 광대역 소음과 날개 끝단에서 주기적으로 발생하는 날개 통과 주파수(BPF)에 의한 소음이 저감됨으로 인한 결과로 분석할 수 있다. 이는 원심팬의 입구각과 출구각은 성능에 큰 영향을 미치는 변수이다. 각 날개 성능에 지배적인 요소인 양력은 최적 설계점에서 박리 및 날개 끝단 소음의 최저점으로 나타날 수 있으므로 라우드니스의 이산소음 특성과 러프니스 광대역소음에 가장 영향을 미친다. 샤프니스의 경우는 솔리디티에 영향을 크게 받는 요소로 솔리디티가 커질 경우 유로의 감소로 인해 유속 증가로 인한 고주파 성능의 특성이 나타난다.

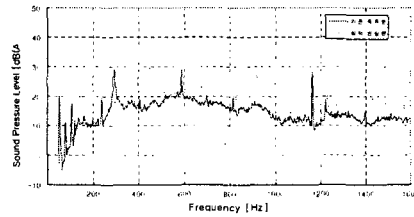


Fig. 5 Sound pressure level of optimum centrifugal fan

6. 결론

본 연구에서는 예비 실험을 통하여 원심팬의 주요 설계인자를 선정 하였으며, 실험 계획법과 반응 표면 기법을 이용하여 설계인자를 배열하였다. 모든 원심팬의 음질 및 소음은 동일 운전조건에서 비교해야 하기 때문에 원심팬의 성능에 대한 원심팬의 설계인자는 매우 중요하다. 냉장고와 같이 유로저항이 높은 유로의 경우 압력계수에 영향을 미치는 주요 설계 인자는 출구각이며, 출구각과 압력계수는 반비례 특성을 가지고 있다. 그리고 입구각과 내외경비 또한 효율과 반비례하는 특성을 가지고 있다.

원심팬 설계 인자와 음질 평가요소와의 상관관계를 요약하면 다음과 같다. (1) 설계점에서의 출구각과 입구각은 라우드니스가 가장 크게 영향을 미치며, 입구각과 라우드니스는 비례하는 특성을 가진다. (2) 샤프니스의 경우 설계점에서의 솔리디티와 내외경비가 크게 영향을 미치며, 솔리디티와 샤프니스는 비례한다. (3) 러프니스는 내외경비와 출구각에 의해 영향을 많이 받으며, 출구각과 러프니스는 반비례한다. (4) 끝으로 변동강도는 설계점에서의 입구각과 비례하는 특성을 가진다. 이중 라우드니스와 러프니스에 영향을 미치는 주요 설계인자는 입구각과 출구각이며 설계인자 수준에 의해 두 음질이 개선되는 방향이 거의 동일하다. 반면 샤프니스와 변동강도에 영향을 미치는 주요 설계인자는 출구각과 내외경비, 솔리디티이며, 설계인자 수준에 의한 두 음질이 개선되는 방향이 서로 반대인 것을 확인할 수 있다.

참고 문헌

- [1] Shyy, W., Papila, N., Vaidyanathan, R, and Tucker, K., 2001, "Progress in Aerospace Science," Vol. 38, pp.1512~1518.
- [2] Kim, H-J. and Lee, S., 1997 "Design of Low Noise Anechoic Wind Tunnel," Proceedings of the KSME 1997 Fall Annual Meeting, pp. 691~696.