

<논 문>

에어컨 용 횡단류 팬의 특정 주파수 소음 성분의 저감 대책에 관한 연구
- 날개의 랜덤 배열과 경사진 스테빌라이저에 대한 연구 -

A Study on the Reduction of Discrete Frequency Tones of a Cross-Flow Fan of Air-Conditioners

- Studies on the Random Distribution of Fan Blades and the Skewed Stabilizers -

구 형 모*

Hyoung Mo, Koo

(1998년 5월 21일 접수 : 1998년 9월 11일 심사완료)

Key Words : Cross-Flow Fan (횡단류 팬), Performance Characteristics (성능 특성), Noise Characteristics (소음 특성), Random Distribution (랜덤 배열), Skewed Stabilizer (경사진 스테빌라이저), Blade Passing Frequency (익통과 주파수)

ABSTRACT

The cross-flow fan which constitutes a fan-duct system with a stabilizer and a scroll casing is widely used in many air-ventilating and air-conditioning devices. Its operating points of high efficiency and loading conditions frequently induce a annoying sharp tonal component of discrete frequency on the noise spectrum, which is open called as a BPF (Blade-Passing-Frequency) noise and degrades the sound quality of the devices. This BPF tone has been one of the defects of the cross-flow fan. This study proposes two methods in order to reduce this tonal noise component, which are the random distributions of the fan blades and the skewed shapes of the stabilizer. The proposed methods are verified by a simple analytical model and are applied in manufacturing the cross-flow fan and the stabilizer samples. Some experiments are carried out to verify the reduction capability of BPF tones of above two schemes and the experimental results are analyzed. The comparison between two methods is also carried out.

기 호 설 명

Q : 유량
 ΔP_t : 팬 전압력 상승
D : 팬 직경
N : 팬 회전수
L : 팬 블럭당 길이

T : 팬 토크
 ϕ : 유량계수
$$\phi = \frac{Q}{\pi N D^2 L}$$
 ψ : 압력계수 (total pressure coefficient)
$$\psi = \frac{\Delta P_t}{\frac{1}{2} \rho N^2 D^2}$$

* 삼성전자 주식회사 냉공조사업부 에어컨 개발팀

η : 효율 (efficiency)

$$\eta = \frac{Q \cdot \Delta P_t}{TN}$$

$\Delta\theta$: 날개 사이 각 (pitch angle)

abs(): Absolute value of ()

1. 서 론

관류(貫流, cross-flow) 팬 또는 접선(tangential) 팬이라고도 불리는 횡단류 팬은 회전축의 주위에 다수의 날개가 부착되어 구성되는 구조로서 축 대칭성을 갖는 축류 또는 원심식 유체 기계와는 근본적으로 다른 작동 원리로서 유동을 형성한다. 효율은 비교적 낮으나 1953 Eck에 의해서 내부 유동을 구성하는 편심 와의 구조가 발견되면서부터 활발하게 연구가 진행되어 현재에는 전자 기기등에 널리 사용되고 있다. 횡단류(cross-flow) 팬은 공기가 팬의 내부를 횡단하는 형태의 2차원적인 유동을 구성하는 특징을 가지고 있기 때문에, 팬의 폭을 조절함으로써 유량을 조절할 수 있고 작은 직경으로 제작할 수가 있어서 가정용 공조기기의 실내기 유니트에 널리 사용되고 있다. 횡단류 팬을 이용한 에어컨 팬덕트 시스템의 구성은 Fig. 1과 같이 횡단류 팬과 공기의 토출을 형성하는 스크롤(scroll) 및 횡단류 팬 주위의 와유동(vortex flow)을 안정화시켜주는 역할의 스테빌라이저(stabilizer) 등으로 구성되며 이들의 기하학적인 형상과 상대적인 위치등에 의해서 성능과 소음 특성 등이 결정된다.

일반적으로 횡단류 팬 시스템의 소음은 모든 유체 기계의 소음과 마찬가지로 유동의 난류 성분에 기인하는 광대역 소음과 특정한 주파수 특성을 갖는 소

음 성분으로 구분할 수가 있다. 유동의 난류 성분이 유발하는 광대역 소음은 횡단류 팬의 성능 특성과 연관되어 비소음 수준(specific noise level)을 결정하는 주된 인자가 되며 주로 팬 날개의 유동 특성과 스크롤 및 스테빌라이저의 형상에 의해서 결정된다. 후자의 특정 주파수 소음은 회전수와 날개수의 곱을 기본 주파수(익통과 주파수, Blade Passing Frequency)로 하고 그 정수배의 주파수 성분에서 피크 값을 나타내는 규칙적인 형태를 보이며 횡단류 팬의 날개가 스테빌라이저를 통과할 때 최접점에서 공기 흐름의 가속과 감속에 의한 압력의 규칙적인 변동이 원인이 되는 것으로 청감상으로 가장 거슬리는 소음 성분이다. 최근의 공조기기 개발 방향은 제품의 크기를 최소화(compact 화)하고 에너지 소비 효율을 최적화하는 추세이며 이에 따라서 주어진 횡단류 팬 시스템은 높은 효율과 부하 상태에서 선정되어야 한다. 이를 위해서 일반적으로 팬과 스테빌라이저 사이의 간격을 감소시켜서 스테빌라이저 부근의 팬 원주상에 생성되는 와의 강도를 증가 시키는 방법을 사용

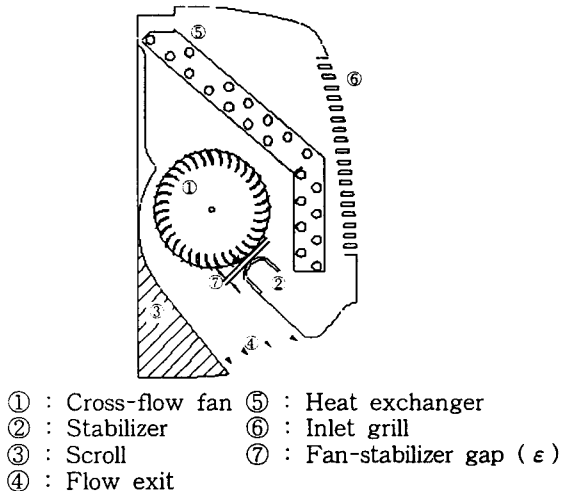


Fig. 1 Schematic view of air-conditioner indoor unit

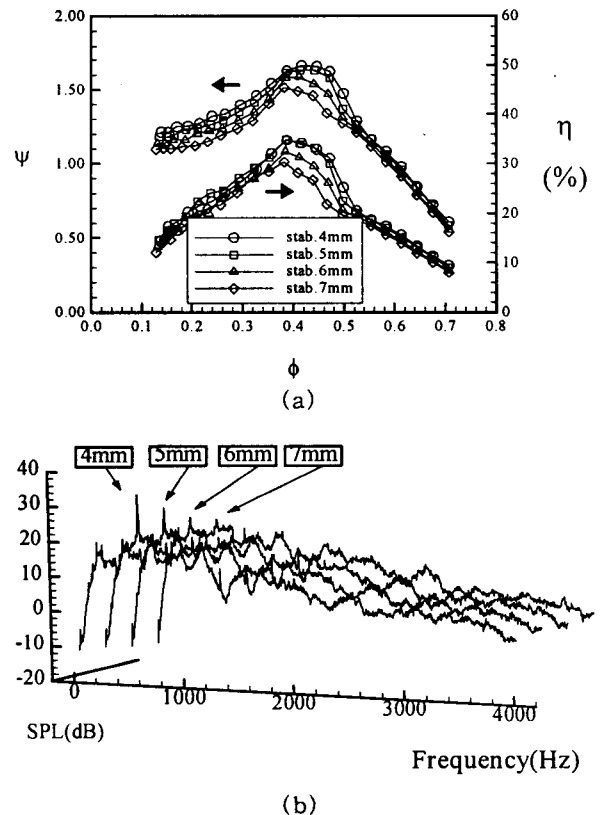


Fig. 2 (a) Performance and (b) noise characteristics of the cross-flow fan with various stabilizer gaps

한다. 그러나 이 경우 앞서 설명한 BPF 소음이 급격하게 증가하는 현상이 나타나게 되어 이의 저감이 횡단류 팬 개발에 있어서 중요한 과제의 하나로 간주되고 있다(Fig. 2).

횡단류 팬 시스템의 소음 및 저소음화에 대한 연구는 주로 가정용 공조기 산업이 가장 발달되어 있는 일본에서의 연구가 주류를 이루고 있다. 현재까지 연구로서는 횡단류 팬의 기본적인 유동장을 파악하여 설계 기준을 제시하는 교과서적인 연구 결과⁽¹⁾와 일반적인 팬 날개를 팬 원주상에 비균일적으로 배치하는 방법으로 축류 팬 등에 적용이 가능한 저소음화 방법⁽²⁾을 확장하여 횡단류 팬의 날개를 비균일적으로 배치하여 익통과 주파수를 변조하거나, 팬 날개를 랜덤적으로 배열하는 기법을 이용하여 특정 주파수 소음 성분의 에너지 분산을 통해 청감 소음을 향상시키는 방법의 개발에 대한 연구^(3~6) 등이 수행되어 왔다. 그리고 횡단류 팬 시스템의 전체적인 소음 성분을 저감하기 위하여 시스템을 구성하는 팬과 스테빌라이저 및 스크롤의 형상에 따른 난류 소음과 특정 주파수 소음 특성에 대한 연구^(7~9) 등이 수행되어 왔다. 이와 더불어 최근 들어서 공조 산업의 발달과 더불어 한국에서도 에어컨의 소음과 관련하여 횡단류 팬 시스템의 설계 인자에 대한 연구⁽¹⁰⁾ 등을 비롯하여 활발한 연구가 진행되고 있으며 가장 최근에는 스테빌라이저의 형상을 변형하여 특정 주파수 소음 성분을 저감하는 방법에 대한 연구⁽¹¹⁾와 횡단류 팬 날개의 랜덤 배열의 최적화⁽¹²⁾ 및 경사진 스테빌라이저에 대한 연구⁽¹³⁾ 등이 수행되고 있다.

본 연구에서는 횡단류 팬의 소음을 구성하는 성분 중에서 청감상으로 높은 불편감을 주는 익통과 주파수 소음을 저감하는 방법으로서 다음의 두 방법에 관해 연구한다. 첫째로, 팬 날개를 랜덤으로 배열하여 익통과 주파수 성분의 음향에너지를 부근 영역의 불연속적인 주파수 성분으로 분산하는 방법과 둘째로 경사진 스테빌라이저를 이용하여 역시 익통과 주파수 성분을 연속적으로 부근 주파수 대역으로 분산시키는 방법에 대해서 연구하고 이 두 가지 방법이 성능 특성에 미치는 영향과 함께 저감 효과를 평가하고 그 결과를 비교한다.

2. 본 론

2.1 횡단류 팬 날개의 랜덤 배열

횡단류 팬과 스테빌라이저 사이의 간격을 감소시켜 높은 성능과 효율을 얻는 상태에서 필연적으로

높아지는 BPF 소음을 줄이기 위한 여러 가지 방법들이 고안되어 왔다. 그 중에서도 특히 횡단류 팬의 원주상에 팬 날개를 배열할 때 일정한 각도(등 피치)가 아닌 부등 피치 혹은 랜덤적인 배열로 설치하면 위의 규칙적인 BPF 소음의 발생 자체는 억제할 수 없으나 스펙트럼상에서 익통과 주파수 및 정수배 주파수의 피크 값이 갖는 음향 에너지를 주변 주파수에 분산시켜서 특정 주파수의 음압 레벨을 감소시키는 방법이 고안되어 왔다^(5,6).

랜덤 피치 배열을 갖는 횡단류 팬을 개발하기 위해서는 주어진 개수의 날개를 팬 원주상에 배열하는 알고리즘이 요구된다. 물론 순수한 의미에서의 랜덤 피치의 구성은 단순하게 날개 수만큼의 랜덤 수를 구하여 이 숫자들의 가중평균(weighted average)를 이용하여 360°를 날개 수로 분할하는 방법을 사용할 수 있으나 팬의 성능과 제조공정상의 편의성 등을 고려하여 평균 피치 각(360°/날개 수)를 중심으로 몇 개의 각도를 설정하고 이 각도들을 랜덤으로 배열하는 방법을 사용한다. 이 방법을 이용하여 날개와 날개의 사이 각 즉 피치 각을 구성한 예가 Fig. 3(a)에 표현되어 있다. 이 배열은 평균 피치 각 10.29°(=360°/35, 날개 수)를 중심으로 8개의 각을 선정하여 날개를 랜덤으로 원주상에 배열한 것으로 실제로 한 업체에서 사용하고 있는 배열이다. 그러나 이 배열은 다음과 같은 불합리한 특성이 나타나는 것을 알 수 있다.

- ① 피치 각의 값들이 평균 피치 각을 중심으로 한 쪽으로 편향되어(biased) 구성되어 있다.
- ② Fig. 3의 (I)과 같이 동일한 피치 각이 중복되어 사용되는 곳이 다수 있다.
- ③ Fig. 3의 (II)와 같이 피치 각이 급격하게 변화하는 점이 있다.
- ④ Fig. 3의 (III)과 같이 ③의 현상이 중복되어 발생하는 곳이 있다.

상기의 특성들은 횡단류 팬 설계 변수의 하나인 솔리디티(solidity) 값의 변화를 유발하여 성능의 저하를 야기할 가능성이 있고 소음 특성 면에서 익통과 소음이나 난류 소음 성분이 증가할 위험이 있다. 실제로도 이 배열을 사용하는 횡단류 팬의 성능 특성은 다른 팬에 비해서 열세인 성능 특성을 갖고있는 것으로 밝혀졌다. 따라서 본 연구에서는 위에서 설명한 랜덤 배열의 단점을 제거하기 위하여 ①~④을 각 피치 각 사이의 간단한 조건식으로 구성하여 성능 조건을 고려하는 랜덤 배열을 구성하는 알고리즘

을 개발하였다. 즉 컴퓨터의 FORTRAN 언어에서 제공되는 랜덤 숫자 발생기를 이용하여 다음과 같은 순서의 알고리즘을 개발하고 이를 사용하여 성능을 고려한 랜덤 피치각의 배열을 구성하였다.

- ① Seed 숫자 입력 : computerized random number generator
- ② 랜덤 숫자 배열 구성 (날개 수)
- ③ 각 숫자에 대해서 특정한 피치 각 부여, $\Delta\theta_i$ 위에서 얻어진 랜덤 피치 각에 대해서 다음과 같은 조건식을 적용하였다.
- ④ $\sum \Delta\theta_i = 360^\circ$
- ⑤ $\Delta\theta_{i-1} \neq \Delta\theta_i$
- ⑥ $abs(\Delta\theta_{i-1} - \Delta\theta_i) \leq \Delta\theta_{max}$
($\Delta\theta_{max} = 3.0^\circ$)
- ⑦ $abs(\Delta\theta_{i-1} - \Delta\theta_i) < \delta\theta_{max}$, and
 $abs(\Delta\theta_i - \Delta\theta_{i+1}) < \delta\theta_{max}$ ($= 2.5^\circ$)

위의 조건 중에서 ④는 피치 각의 합이 360° 를 구성하는 단순한 구조적인 조건이고 ⑤~⑦은 앞서 설명한 바와 같이 기존 구성된 랜덤 숫자 배열이 지니

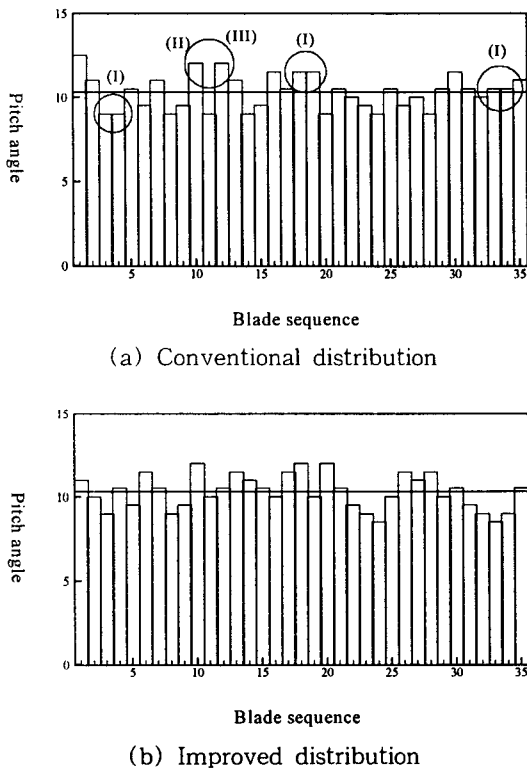


Fig. 3 Random distributions of pitch angles

고 있는 단점을 회피하기 위한 수학적 표현이다. Seed 숫자의 입력 후 얻어진 랜덤 피치각의 배열이 ④~⑦의 조건 중의 하나라도 충족하지 못한다면 새로운 seed 숫자를 이용하여 ①~③의 과정을 되풀이한다. 16 bit의 processor를 갖춘 PC를 이용하여 위의 알고리즘을 사용하면 얻을 수 있는 랜덤 피치 각 배열은 전체 $2^{16}-1=65535$ 개의 set중 10개를 넘지 않는다. 이들 중에서 정적 균형(static balance)를 고려하여 한 set를 선정한 것이 Fig.3의 (b)에 표현되어 있다. 그림에서 알 수 있듯이 (a)에서 나타난 단점들이 모두 제거되었고, (a)와 (b)의 배열을 적용하여 횡단류 팬 샘플을 제작하고 성능과 소음 특성에 관한 실험을 수행하였다.

2.2 경사진 스테빌라이저 (skewed stabilizer)

횡단류 팬의 BPF 소음을 줄이기 위한 비교적 간단한 방법의 하나가 횡단류팬 시스템을 구성하는 스테빌라이저를 팬의 회전축에 경사지게 제작하는 것이다⁽¹¹⁾. 물론 이 방법의 전제 조건으로서는 팬의 성능을 저하시키거나 제작상의 어려움을 동반하지 않고 저렴한 가격으로 구성할 수 있어야 한다는 기본적인 요건이 충족되어야 한다. 본 연구에서 제안하고자 하는 경사진 스테빌라이저는 원형의 단면을 가지며 일단 성능에 영향을 미치지 않기 위해서 팬 원주 상에서 날개 끝 단(trailing edge)와 스테빌라이저 사이의 거리가 항상 일정하게 ($\epsilon/D \approx 0.047$) 유지되도록 구성하였다. 경사(skew)의 정도 또는

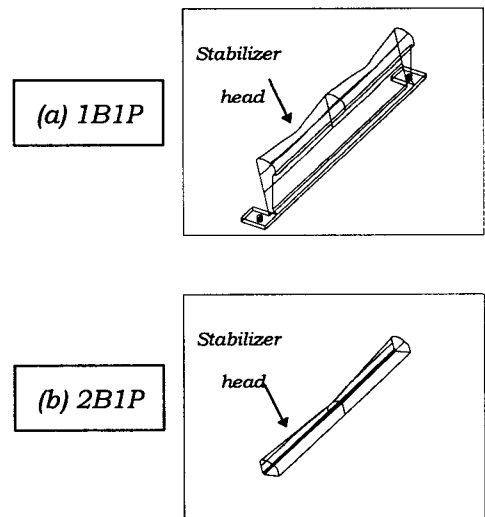


Fig. 4 Several shapes of skewed stabilizers

크기는 횡단류 팬 날개의 평균 피치로 설정하였다. 즉 본 연구에서 사용하는 횡단류 팬의 날개수가 35개이므로 $360^\circ/35 \approx 10.29^\circ$ 의 각도를 갖는 경사를 설정하였다. 또한 일반적인 횡단류 팬은 구조적으로 축 방향으로 길게 구성되어 있기 때문에 스테빌라이저의 축 방향 경사 변화율이 다시 하나의 변수로 선정된다. 본 연구에서 사용하는 횡단류 팬은 75 mm의 길이를 갖는 4개의 블럭을 초음파 용착하여 제작된 구조로 되어 있기 때문에 경사 변화율을 각 블럭 당의 경사 정도로 표현하였다. 즉 2 블럭 당 1 피치인 경우 한 블럭 내에서 스테빌라이저의 경사각이 $0.5 \times 10.29^\circ \approx 5.15^\circ$ 를 갖는다. 이러한 형식을 이용하여 Fig. 4와 같은 2 가지 종류의 경사 스테빌라이저를 구성하였다.

2.3 음향 해석 및 결과

횡단류 팬의 날개가 스테빌라이저를 통과할 때 스테빌라이저 주변의 각 점, 특히 팬과의 최접점에서 팬 날개와 스테빌라이저 사이의 급격한 상대 속도 변화로 인하여 발생하는 압력의 맥동을 식 (1)과 같은 간단한 단극자 음원(monopole)로 가정하여 단순화된 음향 모델을 설정할 수가 있다⁽³⁾.

$$p(t) = Const. \left[\cos\left(\frac{2\pi}{\theta_i} T_i\right) + \frac{1}{4} \cos\left(\frac{4\pi}{\theta_i} T_i\right) \right] \quad (1)$$

여기에서 $p(t)$ 는 시간에 따른 압력 변동, θ_i 는 (i) 와 $(i+1)$ 번째 날개 사이의 피치 각 또는 사이각, 그리고 T_i 는 식 (2)로 표현되어 팬의 회전에서 다른 시간을 나타낸다.

$$T_i = 2\pi Nt - (2\pi m + \sum_{k=1}^m \theta_k) \quad (2)$$

(N : 회전수, m : Some integers 1,2,3, ···)

물론 현재까지의 이론적 또는 실험적인 연구의 결과 스테빌라이저에서 발생하는 음파는 쌍극자 음원(dipole)의 특성을 가진다고 알려져 있으나 단순하게 주파수 특성만을 파악하기 위해서는 단극자 음원의 가정만으로 충분하다고 사료된다. 또한 이러한 음원에서 발생하는 음파가 구상파(spherical wave)의 형태로 외부로 전파된다고 가정하여 팬의 폭(span)에 대하여 식 (1)로 주어진 각 점음원의 영향을 적분 형태로 구하여 앞 절에서 구성한 날개의 배열과 경사진 스테빌라이저의 형상들에 의해서 발생하는 압력의 맥동에 대한 주파수 특성을 고찰하였다. 압력의 맥동을 결정하는 과정에서 경사진 스테

빌라이저의 경우에는 팬과 스테빌라이저 간의 최접점 위치가 팬 날개의 폭(span) 방향으로 스테빌라이저의 형상에 따라서 일정하지 않기 때문에 각각의 형상에 따라서 이를 보정하는 위상차를 식 (2)의 시간함수에 포함하였다. 또한 식 (1)에 의해서 시간에 따른 수치적 압력 값의 주파수 특성을 파악하기 위하여 수치적인 푸리에 변환(Fourier transform)을 수행하였으며 이를 위해서 상용 프로그램인 Mathematica를 사용하였다.

Fig. 5는 날개수가 35이고 회전수가 1000 rpm인 횡단류 팬이 두가지 형상의 경사진 스테빌라이저를 통과할 때 발생한다고 간주되는 압력 맥동의 시간변화를 표현한 것이다. 경사진 스테빌라이저의 경사도가 클수록 압력 맥동의 크기가 급격하게 감소하는 것을 볼 수가 있으며 이는 횡단류 팬 날개의 폭 방향으로 압력의 맥동이 발생하는 위상 차이가 커지기 때문으로 이를 이용하여 BPF 소음 성분의 저감이 가능하다고 생각된다.

Fig. 6은 날개의 랜덤 배열 기법과 경사진 스테빌라이저를 사용한 경우의 주파수 특성을 나타낸다. 우선 일반적이 경우 (a)와 랜덤 배열 기법을 사용 경우 (b,c)를 비교해 보면 횡단류 팬의 날개를 랜덤하게 배열함으로써 단속적인 주파수 변조(discrete frequency modulation) 현상이 발생하여 익통과 주파수(583 Hz) 성분의 파워가 주변의 주파수들로 분산되어 BPF 성분의 크기가 감소하는 것을 알 수가 있다. 또한 전절에서 랜덤 배열의 분포를 고려하여 선정한 배열의 주파수 특성인 경우에 파워의 분산이 좀더 넓고 고르게 형성됨을 알 수가 있다. Fig. 6(a)의 특성과 두 가지 경사진 스테빌라이저를 적용한 결과인 (d)와 (e)의 경우를 비교해 보면 경사진 스테빌라이저의 설계 목적인 BPF 소음 성분의

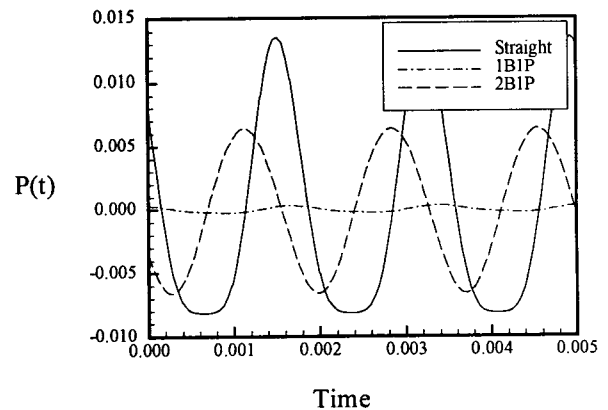
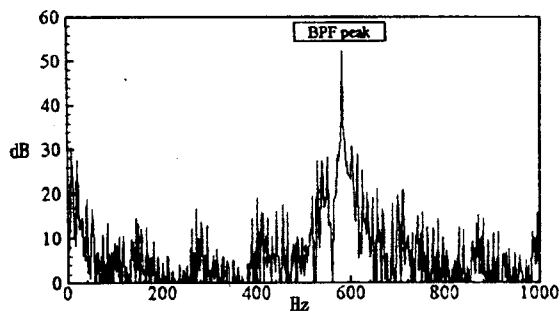
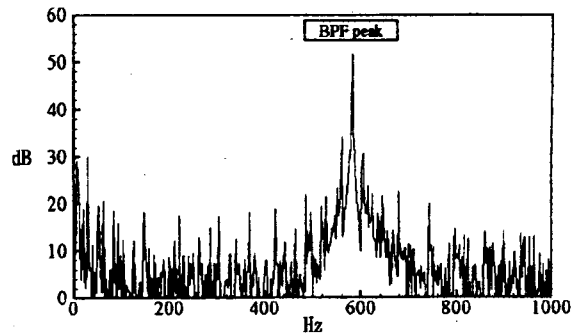


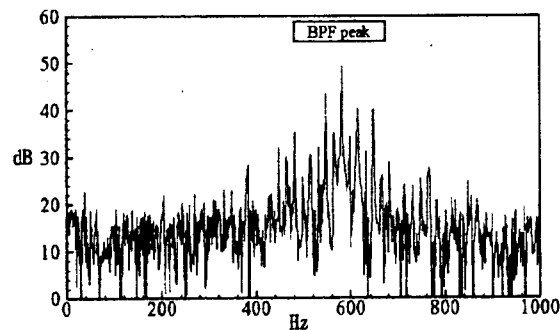
Fig. 5 Simulated pressure fluctuations for each stabilizer



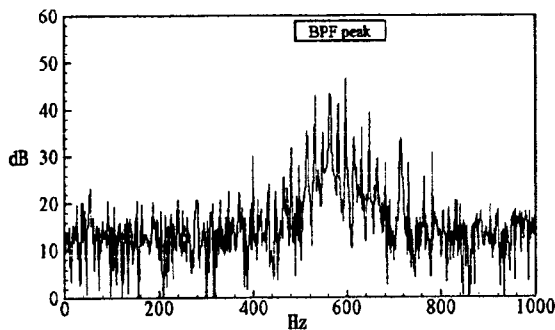
(a) Even distribution and straight stabilizer



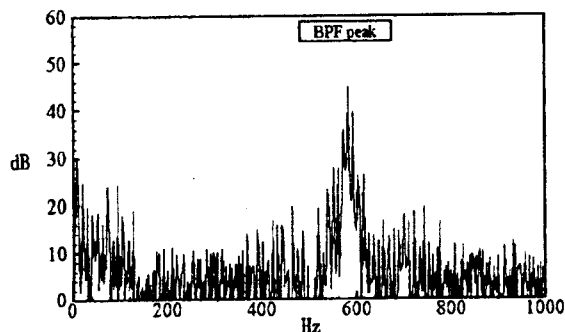
(e) Skewed stabilizer (2B1P) (even distribution)



(b) Conventional random distribution (straight stabilizer)



(c) Improved random distribution (straight stabilizer)



(d) Skewed stabilizer (1B1P) (even distribution)

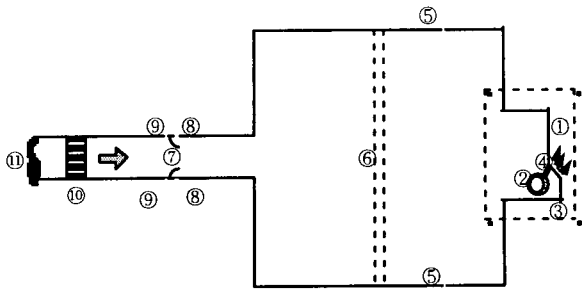
Fig. 6 Frequency spectrums of numerical models

저감이 이루어지고 있고 설계 변수인 경사의 정도에 따라서 그 효과가 차이가 나는 것을 볼 수가 있다. 이는 Fig. 5의 압력 맥동 형상에서도 관측되었던 결과이며 최소한 한 블럭 당 1 피치 각 이상의 경사도를 가져야만 효과가 크다는 것을 예상할 수가 있다. 날개의 랜덤 배열 기법을 적용한 경우(Fig. 6의 b, c)와 경사진 스테빌라이저를 채용한 경우(Fig. 6의 d와 e)를 비교해 보면 주파수 변조 현상에 의해서 후자의 경우 BPF 소음 성분이 주변의 주파수 영역으로 연속적인 주파수 변조(continuous frequency modulation)이 발생하는 것으로 해석되며 전자의 경우에 비해서 주파수 특성이 양호하다고 판단된다.

2.4 실험 장치 및 기법

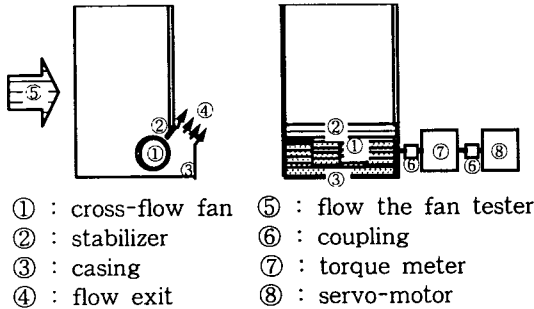
앞절에서는 날개의 랜덤 배열 기법을 적용한 횡단류 팬과 경사진 스테빌라이저를 적용한 횡단류 팬의 소음 주파수 특성을 간단한 해석을 통해서 분석하였으며 그 결과 BPF 소음 성분의 저감과 이에 따른 주파수 특성 변화에 대해서 고찰하였다. 그러나 단지 전절의 결과만을 가지고 저소음화 된 횡단류 팬을 개발하거나 실제로 적용하는 것은 무리가 있으며 본 연구에서 제안하는 기법들이 횡단류 팬의 성능 특성과 실제적인 소음 특성에 미치는 영향을 확인 할 필요가 있다. 본 연구에서는 횡단류 팬의 성능과 소음 특성을 실험적으로 확인하기 위하여 다음과 같은 팬 성능 실험 장치와 무향실을 이용하여 성능의 변화를 측정하고 소음 특성을 확인 하였다.

본 연구에서 사용한 실험 장치는 일반적인 팬 성능 실험 장치 (fan tester)와 횡단류 팬 시스템을 모사할 수 있는 실험 장치로 구성되어 있다. 팬 성능 실험 장치는 ASHREA 표준을 근거로 하여 제



- ① : experimental rig
- ② : cross-flow fan
- ③ : casing
- ④ : stabilizer
- ⑤ : static pressure hole
- ⑥ : screen
- ⑦ : nozzle (∅80)
- ⑧ : downstream pressure hole of the nozzle
- ⑨ : upstream pressure hole of the nozzle
- ⑩ : honeycomb section
- ⑪ : flow from auxiliary(booster) fan and damper

Fig. 7 Fan performance test system



- ① : cross-flow fan
- ② : stabilizer
- ③ : casing
- ④ : flow exit
- ⑤ : flow the fan tester
- ⑥ : coupling
- ⑦ : torque meter
- ⑧ : servo-motor

Fig. 8 Cross-flow fan system apparatus

작하였으며, 유량을 측정할 수 있도록 ∅80 mm인 노즐부가 상류부에 설치되어 있고 후방의 settling chamber내에서 팬의 정압을 측정한다. 팬성능 실험 장치 내부에서 발생하는 정압의 손실을 보상하기 위하여 흡입구에는 보조 송풍기(3 HP, 250 mmAq)가 설치되었으며 실험 장치의 후방에는 횡단류 팬 시스템 실험 장치가 설치될 수 있도록 후방 토출형으로 선정하였다.(Fig. 7)

에어컨에서 사용되는 횡단류 팬은 주로 다수 개의 블럭을 초음파 용착하여 제작하여 사용하기 때문에 팬 전체를 사용하는 실험 장치의 구성은 비효율적이다. 따라서 본 연구에서는 4개의 블럭으로 횡단류 팬 샘플을 제작하여(블럭당 75 mm) 사용하였으며 팬의 단면은 직경 95 mm인 원주상에 원형 캠버와 13 mm의 코드 길이를 갖는 날개를 35개 배열한

형상으로 구성되어 있다. 횡단류 팬 시스템은 Fig. 8과 같이 에어컨 실내기를 간략화 한 구조로서 횡단류 팬의 구동과 팬의 토크 측정을 위해서 횡단류 팬의 축에 토크 미터(ONOSOKI, 5 kgf-cm)와 서보 모터 (VLBSE-02020, 東榮전기, 0.4 kW, 2000 rpm)를 커플링을 이용하여 연결하였다.

소음의 측정은 cut-off 주파수가 125 Hz이고 압소음 값이 15 dB인 무향실(5 m×5 m×3 m)에 횡단류 팬 시스템을 설치하여 실제 에어컨에서 관찰되는 크기의 시스템 저항(또는 압력손실)을 상류에 설치하여 측정하였다. 주파수 특성을 파악하기 위하여 LMS 장비를 이용하였고 모든 소음은 B&K 1/2" 소음계로 측정하였다. 이때 횡단류 팬 시스템의 상류 덕트에서 발생하는 공명(resonance) 등의 영향은 일단 무시하고 횡단류 팬의 BPF 성분만을 고려하여 측정하였다. 음압의 측정은 Fig. 8의 횡단류 팬 시스템의 전면에서 50 cm 떨어진 지점에서 시행되었다.

2.5 실험 결과 및 분석

본 연구에서 제안한 랜덤 배열 선정에 관한 방법은 기본적으로는 날개의 균일 피치 배열에 의해서 발생하는 익통과 주파수 소음 성분을 제거하는 것이 아니라 음향에너지를 비교적 넓은 주파수 대역으로 분산시켜서 청감 상으로 불쾌감을 주는 성분을 저감하는 것이다. 따라서 횡단류 팬의 공기역학적인 특성에는 되도록 변화를 주지 않는 상태에서 소음을 저감해야 한다. Fig. 9의 성능실험 결과로부터 일단 횡단류 팬의 날개가 팬 원주 상에서 비균일적으로 배열이 되면 팬의 성능이 저하되는 것을 볼 수가 있으며 이는 이미 알고리즘을 구성할 때 예상되었던 결과이다. 그러나 이점을 고려하여 선정한 개선된 랜덤 배열에 의한 횡단류 팬은 공기역학적인 특성이 균일 배열의 경우와 비교해서 거의 변화가 없음을 알 수가 있다. 이는 본 연구에서 제안된 날개의 배열이 급격한 피치각의 변화를 억제하는 제한 조건을 만족시키기 때문이라고 추정되며, 급격한 피치 각의 변화는 성능의 저하를 야기한다는 것을 역으로 보여주고 있다.

랜덤 날개 배열을 갖는 횡단류 팬의 소음 특성은 Fig. 6의 간단한 수치적 모델 해석의 결과에서도 알 수 있듯이 특정 주파수 음향 에너지의 분산을 통하여 음압 수준을 저감한다. 본 연구에서 제작한 횡단류 팬 시스템을 이용한 소음 주파수 특성이 Fig. 10에 나타나 있다. Fig. 10의 소음 스펙트럼은 익통과 주파수를 위주로 한 저주파 대역의 일정한 범위를 확대한 것으로서 주파수 분해성은 2 Hz이고 각

각의 횡단류 팬 샘플에 대한 소음 주파수 특성을 나타낸다. Fig. 10의 결과에서 균일한 피치 각을 갖는 횡단류 팬 시스템의 경우는 Fig. 2의 소음 특성 그림과 마찬가지로 익통과 주파수에서의 음압 값이 최대가 되는 것을 볼 수가 있으며 일단 날개가 비균일하게 배열되면 특정 주파수의 음향 파워가 주변의 주파수 대역으로 분산되는 것을 알 수가 있다. 또한 본 연구에서 선정한 두 가지 랜덤 배열의 차이점을 분석해 보면 랜덤 배열의 선정할 때 2.1절에서 제안한 제한 조건을 적용한 개선된 배열의 경우가 좀더 넓은 대역으로 에너지를 분산시켜서 피크 값의 저감 효과가 우수함을 보여준다.

경사진 스테빌라이저는 날개 스펠 상의 각 점마다 발생하는 압력 맥동의 위상에 연속적으로 변화를 주어 위상과 크기에 대한 변조를 발생시켜서 음향 에너지를 비교적 넓은 연속적인 주파수 대역으로 분산시켜서 청감 상으로 불쾌감을 주는 익통과 주파수 소음 성분을 저감하는 것이다. 그러나 날개의 랜덤 배열 기법 경우와 마찬가지로 횡단류 팬의 공기역학적인 특성에는 되도록 변화를 주지 않는 상태에서 변조 현상이 이루어 져야 한다. Fig. 11의 성능 실

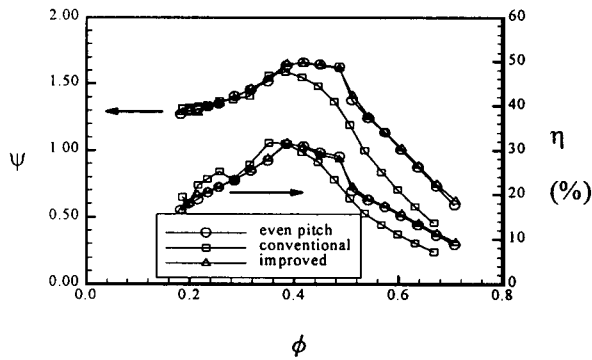


Fig. 9 Performance characteristics for sample fans

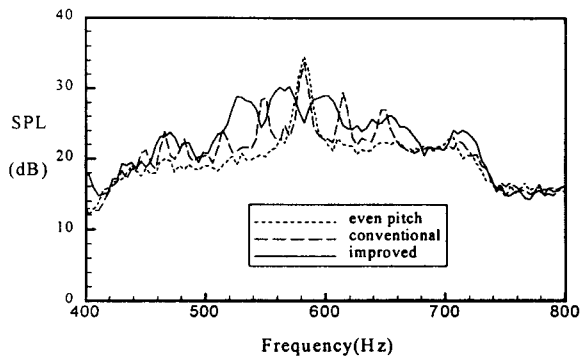


Fig. 10 Noise characteristics for sample fans

험 결과로부터 일단 횡단류 팬의 날개에 대해서 스테빌라이저가 경사져 있으면 일반적으로는 최고 효율점 부근에서 성능이 저하되는 것을 볼 수 있다. 이는 횡단류 팬과 스테빌라이저와의 간격뿐만 아니라 상대적인 위치 역시 설계 변수의 하나이며 경사진 스테빌라이저에서는 이 상대 위치에 변화가 발생하여 성능이 저하되는 것으로 추정된다.

경사진 스테빌라이저를 설치한 횡단류 팬의 소음 특성은 Fig. 5와 Fig. 6의 간단한 수치적 모델 해석 결과에서도 알 수 있듯이 특정 주파수 음향 에너지를 변조에 의해서 일정 주파수 대역으로 분산시켜서 음압 수준을 저감한다. 본 연구에서 개발한 경사진 스테빌라이저 시스템을 이용한 소음 주파수 특성이 Fig. 12에 나타나 있다. Fig. 12의 결과에서 직선형의 스테빌라이저가 설치된 횡단류팬 시스템의 경우는 Fig. 2의 소음 특성과 마찬가지로 익통과 주파수에서의 음압 값이 피크 값을 나타내는 것을 볼 수가 있으며 일단 스테빌라이저가 경사지게 되면 특정 주파수의 음향 파워가 주변의 주파수 대역으로 분산되는 것을 알 수가 있다. 또한 본 연구에서 개발한 경사진 스테빌라이저에 의해서 발생하는 소음 스펙트

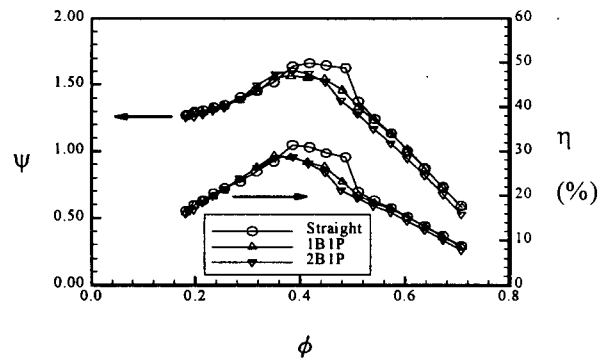


Fig. 11 Performance characteristics for skewed stabilizers

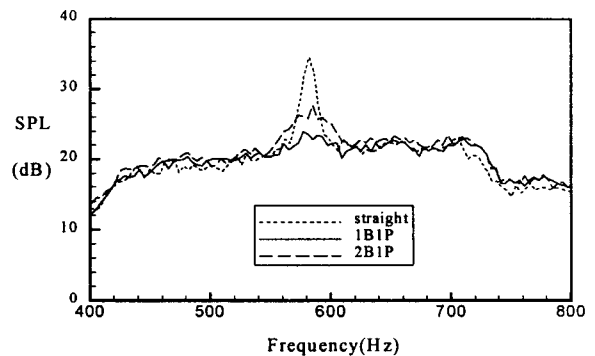


Fig. 12 Noise characteristics for skewed stabilizers

럼의 차이점을 분석해 보면 1B1P 경우가 피크 값의 저감 효과가 우수함을 보여 준다.

7. 결 론

이상의 결과로부터 횡단류 팬의 BPF 소음 성분을 저감하기 위하여 날개의 랜덤 배열을 갖는 횡단류 팬과 경사진 스테빌라이저를 채용한 경우에 대해서 다음과 같은 결론들을 도출할 수가 있다.

(1) 횡단류 팬의 날개는 균일하게 배치될 때 주어진 형상에서 공기역학적인 특성이 최적이며 BPF 소음 성분을 저감하기 위하여 날개를 랜덤 배치하거나 경사진 스테빌라이저를 채용하면 일반적으로 성능의 저하를 유발할 가능성이 있다.

(2) 횡단류 팬의 원주 상에 날개를 랜덤적으로 배치하여 익통과 주파수 소음 성분의 음향 에너지를 주파수 대역에 분산시켜서 효과적으로 피크 값을 저감할 수 있다.

(3) (2)항의 랜덤 배열을 선정할 때 성능특성을 고려하여 본 연구에서 제안한 조건을 적용하면 팬의 공기역학적인 성능을 크게 저하시키지 않고 저소음화가 가능하다.

(4) 횡단류팬 시스템의 스테빌라이저를 경사지게 설치하여 익통과 주파수 소음 성분의 음향 에너지를 주파수 대역에 분산시켜서 효과적으로 BPF 소음을 저감할 수 있다.

(5) 경사진 스테빌라이저의 경사도는 최소한 1블럭 당 1피치 이상이 되어야 소음을 저감 시킴과 동시에 급격한 성능의 저하를 방지할 수 있다.

(6) 횡단류 팬과 스테빌라이저 사이에서 발생하는 음압의 맥동을 간단한 단극자 소음원으로 가정하여 횡단류 팬의 특성 주파수 소음성분의 분석에 대한 해석이 유용함을 알 수가 있다.

위의 결론과 함께 본 연구의 결과를 분석한 결과 횡단류 팬의 BPF 소음의 저감에는 경사진 스테빌라이저의 채용이 날개의 랜덤 배열보다는 효과적이거나 성능의 저하를 유발하는 단점이 있다는 사실을 유의하여 성능의 저하를 발생시키지 않는 경사진 스테빌라이저의 형상에 대한 연구가 추진되고 있다⁽¹²⁾.

참 고 문 헌

- (1) 生井武文, 井上雅弘, 1988, *ターボ送風機と壓縮機*, グロナ社.
- (2) R.C. Mellin and G. Sovran, 1970, "Cont-

rolling the Tonal Characteristics of the Aerodynamic Noise Generated by Fan Rotors," ASME, Journal of Basic Engineering, pp. 143~154.

- (3) 小林 洋一郎, 永守 朗, 彬山 弘, 新正 隆景, 金野 悟, 1993, "ルームエアゴン室内機用横流ファンの高性能化に関する研究," 第27回 空気調和・冷凍聯合講演會(東京) 講演論文集, pp. 69~72.
- (4) 本郷一郎, 若彬晴廣, 長倉進, 掘野博文, 川村清隆, 1995, "省エネエアコンの開発," 第29回 空気調和・冷凍聯合講演會(東京) 講演論文集, pp. 85~88.
- (5) 林 卓郎, 小林 洋一郎, 永守 朗, 掘野博文, 1996, 周波數變調による横流ファンの低騒音設計," 日本機械學會論文集(C編), 62卷, 601號, pp. 68~73.
- (6) 林 卓郎, 1997, "空調器機騒音の音質改善," 日本音響學會誌 53卷 6號, pp. 472~476.
- (7) 深野 徹, 山下 泰, 原 義則, 木下歡治郎, 野見山茂治, 1992, "横流ファンの低騒音化に関する研究(第1報: 舌部及び動翼幾何形状影響)," タ-ボ機械第20卷第8號, pp. 22~28.
- (8) 深野 徹, 山下 泰, 原 義則, 木下歡治郎, 野見山茂治, 1993a, "横流ファンの低騒音化に関する研究(第2報: 舌部幾何形状影響)," タ-ボ機械第21卷第6號, pp. 28~35.
- (9) 深野 徹, 山下 泰, 原 義則, 木下歡治郎, 1993b, "横流ファンの低騒音化に関する研究(第3報: スクロール形状影響)," タ-ボ機械第21卷第8號, pp. 16~22.
- (10) 서상호, 이내영, 이진하, 진심원 및 임금식, 1995, "룸에어컨 소음 저감을 위한 stabilizer에 관한 연구," 한국소음진동공학회 1995년도 추계학술대회논문집, pp. 136~141.
- (11) Da-Seung Lee, Ming-Shan Jeng and Fanghei Tsau, 1997, "Noise reduction of a cross flow fan," Proceedings INTER-NOISE 97, pp. 403~406.
- (12) 구형모, 최원석, 최중부, 이진교, 1998, 랜덤 날개 배열을 갖는 횡단류 팬의 개발에 관한 연구: 랜덤 날개 배열의 선정에 관한 연구, 한국소음진동공학회 1998년도 춘계학술대회논문집, pp. 465~470.
- (13) 구형모, 최원석, 최중부, 이진교, 1998, 경사진 스테빌라이저에 의한 횡단류 팬의 저소음화에 관한 연구, 한국소음진동공학회 1998년도 추계학술대회 발표 예정.