

정압을 이용한 직교류팬 주변의 소음 예측

Estimation of Noise Level near Cross Flow Fan by Measurements of Static Pressure.

김재원*, 조용**, 정윤영***
J. W. Kim, Y. Cho, Y. Y. Jung

Key words: Crossflow Fan(직교류팬), 스크롤 케이싱(Scroll Casing)

ABSTRACT

A significant trial has been performed for estimation of noise level of a cross flow fan for air conditioning system. In general, measurements of noise level of machinery require rigorous equipment involving an anechoic chamber with precision gauges. The apparatus is expensive to utilize and is not easy to construct. In this work, we adopt static pressure sensing from an ordinary pressure transducer for prediction of noise level of a rotating fan. The present procedure is finding sound pressure from the static pressure by manipulating Light-Curle equation depicts noisy energy in terms of pressure on surfaces of noise generators. Sound power level near core unit of the fan is evaluated with the present methodology in a normal laboratory room without any sound absorbers. The method is easy and shows good prediction results compared with precise measurements by using microphones.

기호설명

- D : Crossflow Fan 임펠러 바깥지름 [mm]
- D_o : Crossflow Fan 임펠러 바깥지름 [mm]
- L : 축방향 길이 [mm]
- N : 회전속도
- P' : 강체표면의 압력 요동에 의한 음압
- Co : 음속.
- \vec{r} : 소음원에서 관측자로의 위치 벡터
- Ps : 강체 표면에서의 압력값.
- l : Z 방향의 길이.

그리스 문자

- α : Stabilizer 간격 [mm]
- β : 입구측 접선 방향의 각도

1. 서론

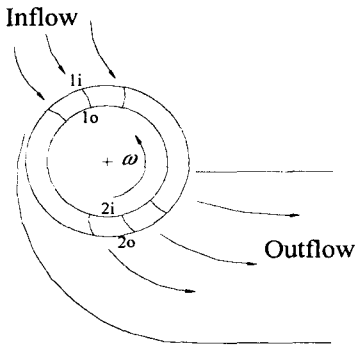
본 연구는 가정용 공조기 및 산업전반에 걸쳐 많이 사용되고 있는 직교류형 팬(Crossflow Fan)의 소음측정에 관하여 연구하였다. 일반적으로 이러한 직교류 팬의 소음측정은 무향실에서 이루어지나, 무향실에서의 측정은 그렇게 쉽지 않은 것이 사실이다. 이러한 어려움을 극복하기 위하여 본 연구에서는 직교류형 팬의 유체역학적 압력변화를 특정하여 이를 소음의 값으로 예측하고자 시행되어진 연구 내용 중 일부를 논하고자 한다. 직교류 팬의 소음은 고체의 진동소음, 공기역학적 소음등이 있으나, 실제적인 소음의 측정에서 자명하게 확인되는 소음의 발생원을 찾는 것은 쉽지 않다. 본 연구는 직교류형 팬 소음원의 일부분을 예측하였다. 대상 영역은 직교류형 팬의 외곽으로 둘러싸여지는 스크롤에서의 유체역학적 압력변화를 특정하여 그 부분에서의 소음을 예측하여 보았다.

* 선문대학교 기계공학과
** 고려대학교 대학원 기계공학과
*** 선문대학교 대학원 기계공학과

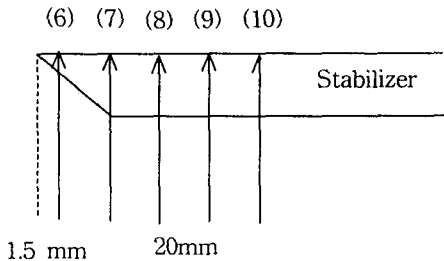
2. 실험장치 및 방법

2.1 실험모델

본 연구에서는 34개의 전향 원호 익형(Forward Curved Circular Camber)을 갖는 직교류형 임펠러에 대해 단순한 와벽(Simplified Vortex Wall)을 갖는 팬 시스템에 대한 실험을 수행하였다. 실험의 방법은 Fan 성능실험장치에서 이루어졌다. [Fig. 1] 실험에 사용된 직교류 팬의 임펠러에 대한 기하학적 형상을 나타낸 것으로 주요인자를 살펴보면 $D : 95.4\text{mm}$, $D_o : 77.4\text{mm}$, $L : 84.7\text{mm}$ 이며, Stabilizer는 $\alpha : 8\text{mm}$, Convex(등근형)형태로 설계하였고 Scroll의 재질은 5mm 아크릴을 사용하여 제작하였다.⁽¹⁾ 임펠러의 1단 입구측 접선 방향의 각도($\beta_{1i,b} = \beta_{2i,b}$)는 82.1° 이다.

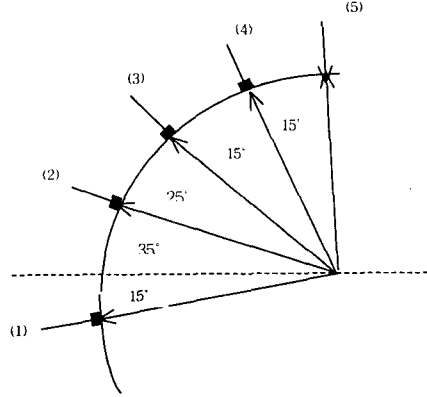


[Fig. 1] Schematic diagram of a crossflow fan with a simplified vortex wall.



[Fig. 2] Pressure Tap Position of Stabilizer

소음의 예측은 Stabilizer와 Scroll에서의 소음을 예측하기 위하여 [Fig. 2]와 [Fig. 3]과 같이 압력측정 Tap을 설치하였고, 각각의 번호는

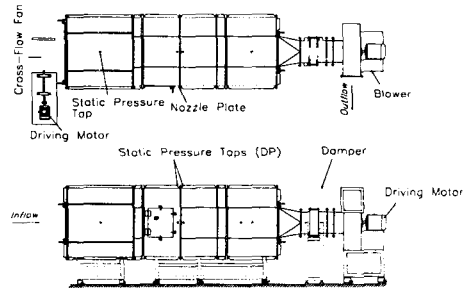


[Fig. 3] Pressure Tap Position of Scroll

Stabilizer와 Scroll에서의 압력측정 위치이다. 측정위치간의 간격은 일정비율로 증가시켰다. 압력플랜지 탭은 KSB6311의 '압력측정방법'에 준하여 제작, 설치하였다.

2.2 실험방법 및 장치구성

송풍기 성능 실험은 압력측정 실험과 동시에 실시하였다. [Fig. 4]는 Fan 성능실험장치이며, ASHRAE 규격에 준하여 설계, 제작되었다.



[Fig. 4] Fan Performance Tester.

실험대상의 Cross-Flow Fan은 [Fig. 4]의 왼쪽편에 장착되어 있으며, DC Motor를 이용하여 구동시켰다. 소음을 예측하기 위한 압력 데이터는 정압이 '0'일 때 측정하였다. 직교류 팬의 회전수 N은 1200rpm이며, 데이터의 획득은 NI사의 Daq 보드를 사용하여 6800/s로 측정하여 20초간 획득하였다.

2.2 실험결과 처리 방법

고체면에서 측정된 정압 데이터를 이용한 소음의 예측을 위하여 사용된 지배방정식은 아래 식 (1)의 Lighthill -Curle 방정식을 사용하였다.

$$P'(\vec{r}, t) = \int_0^l \frac{1}{4\pi C_o} \left(\oint \frac{n \cdot \vec{r}}{r^2} \frac{\partial P_s}{\partial t} \right) (ds) dz$$

----- 식- (1)

P' : 강체표면의 압력 요동에 의한 음압

C_o : 음속.

\vec{r} : 소음원에서 관측자로의 위치 벡터

P_s : 강체 표면에서의 압력값.

l : Z 방향의 길이.

Lighthill -Curle⁽¹⁾ 방정식 식-(1)은 강체표면에 영향을 고려한 식으로서 고정된 물체의 경계면에서 발생하는 쌍극자(dipole) 형태의 소음만을 예측할 수 있는 식으로 임의로 움직이는 표면의 영향은 고려하지 않았다.⁽⁴⁾ 본 연구에서의 대상 영역은 움직이지 않는 영향에서의 소음예측임으로 Ffowcs Williams 와 Hawkings가 소개한 FW-H식⁽²⁾(식 -2)은 사용하지 않았다.

분석된 데이터 갯수는 1초에 6,800개의 정압 데이터이며, $dt = 1.47 \times 10^{-3}$ sec, 10개의 위치에서 측정된 결과를 사용하였다.

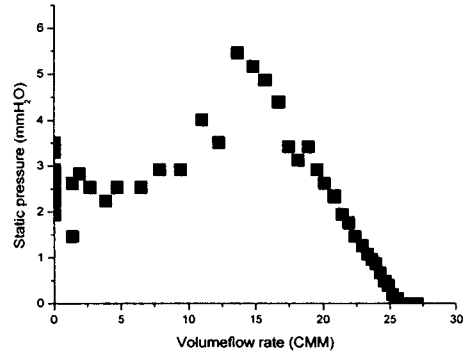
소음의 관측자의 위치는 임펠러 중심에서 수평으로 1m, 수직으로 0.8m 떨어진 지점이다. Span 방향(축 방향)으로의 임펠러 블록간 위상은 고려하지 않았다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 Fan 성능시험 결과

성능시험은 Fan 성능시험장치의 Damper를 이용하여 유량을 조절하였고 획득한 데이터는 정압과 유량에 관한 데이터를 획득하였다. [Fig. 5]는 정압, 유량의 그래프이다.

[Fig.5]의 성능 그래프의 저유량 범위에서 정압의 Profile이 상대적으로 복잡하게 나타나는데 이러한 현상은 Scroll의 재질이 아크릴로 제작되어 압력에 따른 신장 때문으로 분석된다.

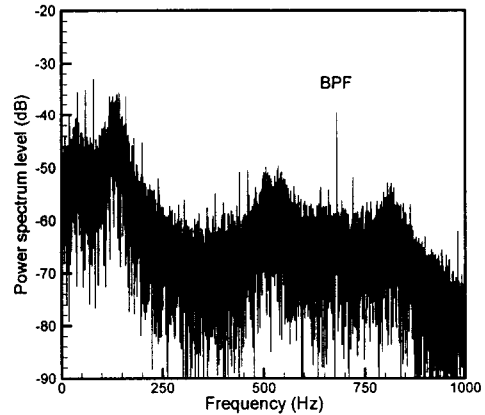


[Fig. 5] Fan Performance Curve.

3.2 실험결과

실험결과를 앞서 밝힌바와 같이 Stabilizer와 Scroll에서의 압력데이터를 소음의 값으로 변환하였다.

3. 2. 1. Scroll Noise

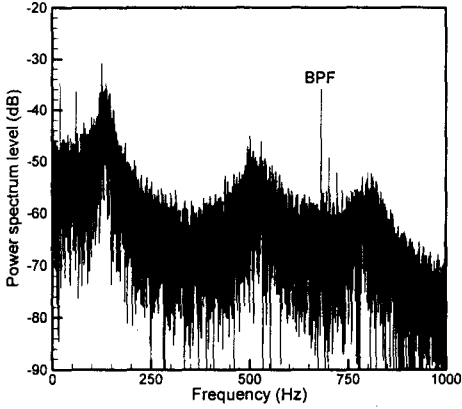


[Fig. 6] Power spectrum level (① point)

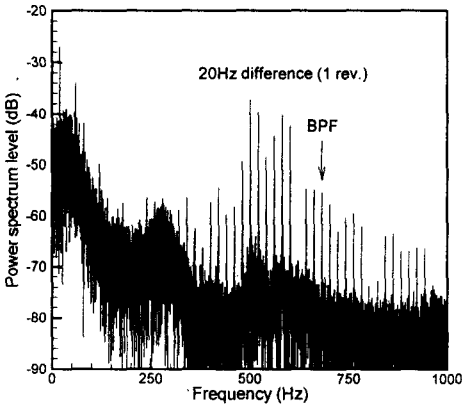
[Fig.6] - [Fig.10]은 Scroll의 ①번 위치에서 ⑤번 위치까지의 압력데이터를 음압레벨(Power Spectrum Level)로 도시한 그래프이다. 예상되는 BPF는 식(2)에 의하여 680Hz로 예상되었고, 실제로 1번 위치에서의 BPF 역시 680Hz로 분석되었다.

$$BPF = \frac{n * N}{60} \quad \text{---- 식(2)}$$

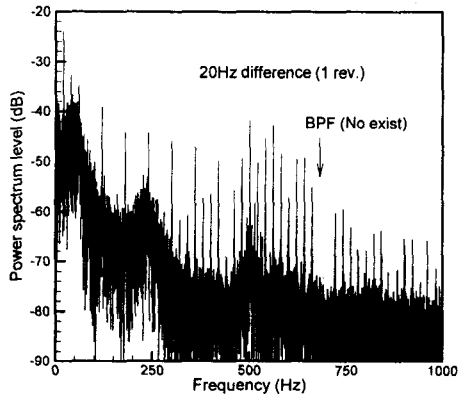
$$= \frac{34 * 1200}{60} = 680 \text{ (Hz)}$$



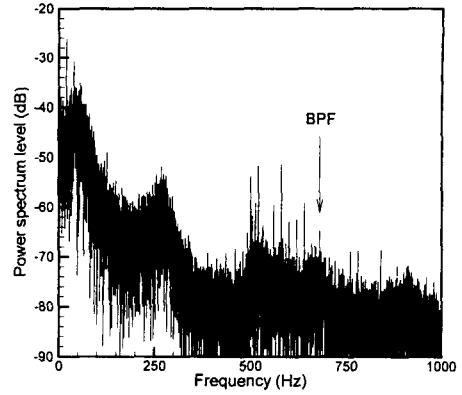
[Fig. 7] Power spectrum level (② point)



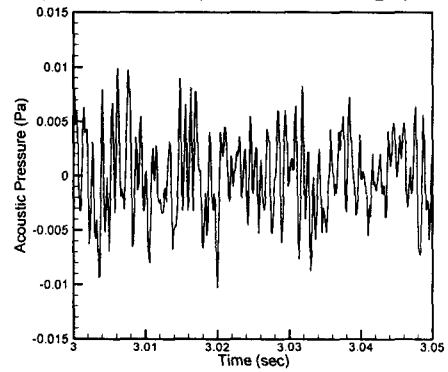
[Fig. 8] Power spectrum level (③ point)



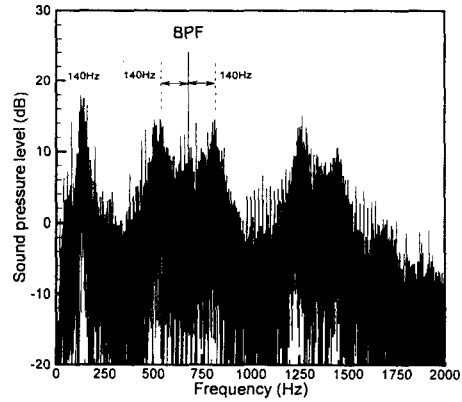
[Fig. 9] Power spectrum level (④ point)



[Fig. 10] Power spectrum level (⑤ point)



[Fig. 11] Sound pressure level spectrum



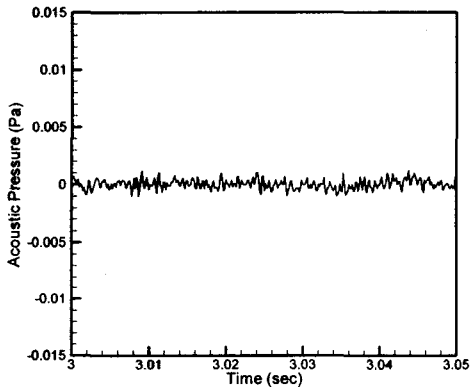
[Fig. 12] Sound pressure level spectrum

[Fig. 12]는 1번 위치에서 5번 위치까지의 압력 값을 표면적에 대하여 적분한 값을 더한 그래프이다. 실험결과 5개의 위치 중에서 ①위치에서 발생한 소음[Fig. 6]이 rear-guider 전체에서 발생한 소음[Fig. 12]와 거의 같은 것으로 나타났

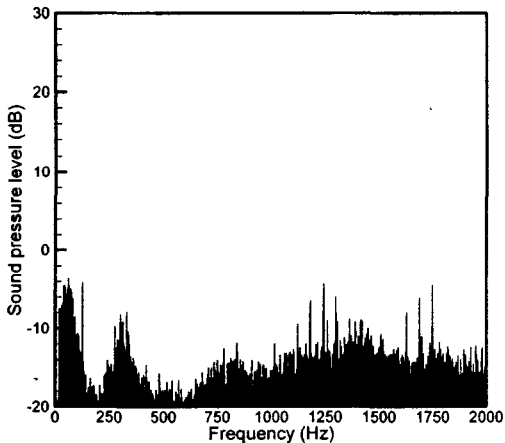
다. 이는 ①위치에서의 정압이 BPF를 나타내고 있고 면적도 가장 넓기 때문이다. ②위치에서도 BPF가 특성이 크게 나타나지만 소음을 예측한 위치가 수평 방향에 존재하여 소음값이 ①보다 작게 예측되었다. Rear-guider 소음은 ①-⑤점까지의 위치에서 발생한 소음이다.

3. 2. 2. Stabilizer Noise

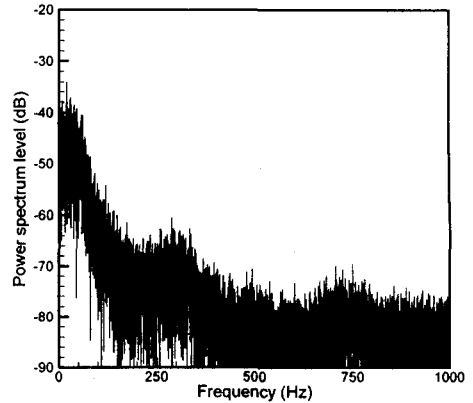
[Fig.14]-[Fig.18]은 Stabilizer의 위치⑥-⑩까지 결과이다. Stabilizer에서는 BPF가 잘 예측되었으나 Scroll에서는 Stabilizer에서 발생하는 소음이 거의 존재하지 않고, BPF특성도 나타나지 않는 것으로 분석되었다. 또한 [Fig.13]에서와 같이 power spectrum도 작은 걸로 보아 위 그림에 나타낸 바와 같이 현재 압력을 측정한 위치에서 박리 유동이 나타나고 있는 것으로 예상된다.



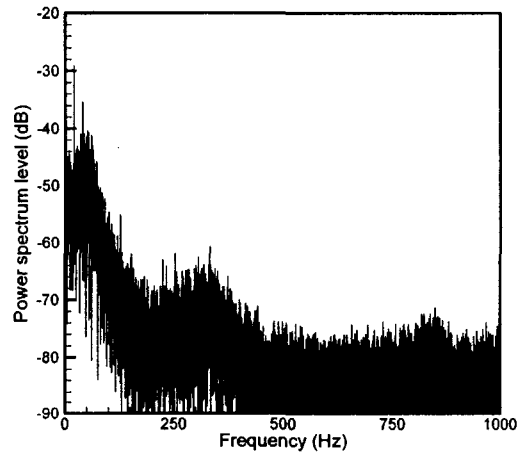
[Fig 13] Sound pressure level spectrum



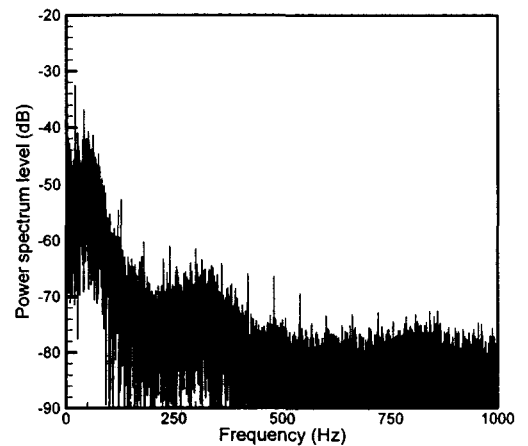
[Fig. 14] Sound pressure level spectrum



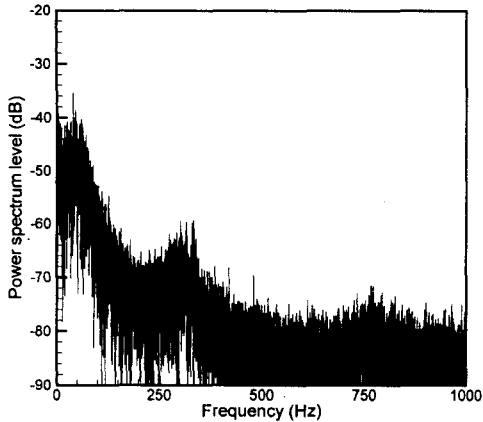
[Fig. 15] Power spectrum level (⑥ point)



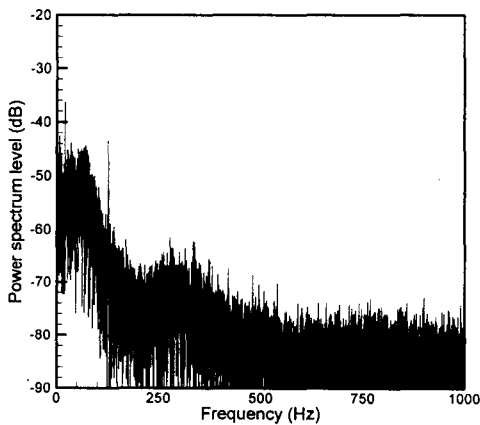
[Fig. 16] Power spectrum level (⑦ point)



[Fig. 17] Power spectrum level (⑧ point)

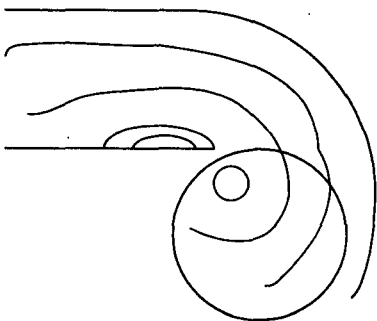


[Fig. 18] Power spectrum level (⑨ point)



[Fig. 19] Power spectrum level (⑩ point)

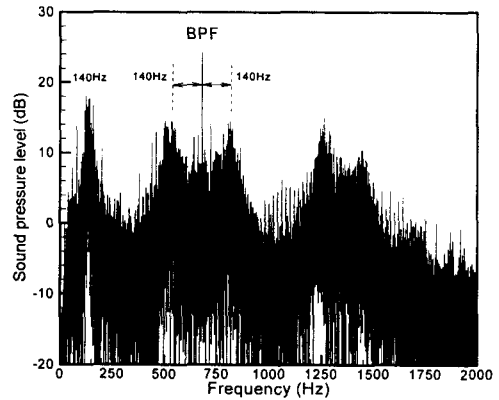
일반적인 직교류형 팬의 Flow Pathline을 살펴 보면 [Fig. 20]과 같은 형태를 나타내고 있으므로, Stabilizer에서는 박리가 일어남을 미루어 짐작할 수 있다.



[Fig. 20] Predicted flow pattern

4. 결론

실험결과 SPL(Sound pressure level)은 24.24 (dB)로 예측되었고, Scroll에서의 압력데이터를 이용한 소음의 값이 가장 큰 것으로 알 수 있었으며, 전체 소음에 지배적으로 작용한다는 것으로 분석되었다. 전체소음값은 [Fig.21]에서와 같이 BPF가 잘 예측되고 있으며, 약 140Hz의 저주파수 소음이 나타나고 있다.



[Fig. 21] Total Sound pressure level spectrum

본 연구를 통하여 압력데이터를 이용하여 직교류형 팬의 소음을 일부 확인할 수 있었으며, 많은 개선의 여지를 확인할 수 있었다. 추후 더 많은 실험이 이루어져야 할 것으로 생각된다.

참고문헌

1. Curl, N., "The Influence of Solid Boundaries Upon Aerodynamics Sound," Proceedings of the Royal Society of London, Series A, Vol 231, 99. 506-514, 1995.
2. Ffows Williams, J. E. and Hawkings, D. S., "Sound Generation by Turbulence and Surfaces in Arbitrary Motion," Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Vol. No A, pp.1969.
3. Lighthill, M. J., "Sound Generation Aerodynamically," Proceedings of the Royal Society of London, Series A, Vol. 267, pp. 147-182, 196.
4. 김 중 진, "비정상, 비균일 입구유동을 갖는 횡류팬에서의 소음특성에 관한 연구". 석사학위논문, 고려대학교, 2000, pp22 - 26.