

버프의 최적 위치를 통한 산업용 송풍기의 소음저감

김창호[#], 손인수^{*}, 안태수^{**}

The Noise Reduction of Industrial Blower by Optimal Positioning of Buff

Chang-Ho Kim[#], In-Soo Son^{*} and Tae-Soo Ahn^{**}

(Received 11 March 2009; received in revised form 29 March 2009; accepted 31 March 2009)

ABSTRACT

In a running blower, there are various exciting forces which can generate noise. The noise of an running industrial fan or blower depends on the structure of a fan, the machining accuracy of each element, and assembled conditions. Many studies have been carried out to reduce the noise of it. In this study, 3-hole buffs are used in pipe of blower to study the influence the number and position of buffs on the noise reduction at inlet and outlet in pipe. Commercial engineering software ANSYS and SYSNOISE were employed to analyze the characteristics and reduction ratio of pressure. It is concluded that optimal position and number of buffs in pipe of blower to show the least reduction ratio of pressure.

Key Words : Industrial Blower(산업용 송풍기), Buff(버프), Noise Level(소음레벨), Noise Reduction(소음저감)

1. 서 론

산업용 송풍기는 중대형 조선소 및 일반 산업현장 그리고, 지하철 역사, 지하도 등 일상생활 및 제조업 등의 산업현장 등에서 쾌적한 생활환경과 작업환경을 조성하기 위하여 널리 사용되어지고 있다. 하지만 이러한 유용함에 비하여 송풍기에서 발생하는 소음은 여러 가지 문제를 발생시키고 있다. 따라서 송풍기의 소음저감문제는 송풍기 개발 및 설계에 중요

한 부분을 차지하고 있으며 송풍기 소음의 해결을 위하여 송풍기에 부착되는 소음기의 개선이 요구된다. 이상적인 소음기는 토출구로부터 배출되는 음향출력이 없는 상태임을 의미하는데, 이는 물리적으로 특수한 상황으로서 출구가 막힌 상태를 의미한다. 즉 소음감소 측면에서는 완벽한 해결 방안이라고 생각할 수 있으나 소음발생원인 동력원의 입장에서 보면 무한대의 부하상태를 의미하게 되므로, 이상적 소음의 저감은 지극히 비현실적인 경우가 된다. 따라서 소음기의 실질적인 목적은 소음의 최대감소와 함께 동력원이 허용하는 최소 부하상태를 갖게 하는 것이다. 다시 말하면 동력원이 허용하는 부하 내에서 최대의 소음감소 효과를 얻고자 하는 것이다.^[1]

현재 생산되어 판매되고 있는 산업용 송풍기는 기종에 따라 조금씩 차이가 있지만 보통 소음레벨이

[#] 교신저자 : 동의대학교 기계공학과

E-mail : chkim21@deu.ac.kr

^{*} 동의대학교 기계공학과

^{**} 동의대학교 대학원 기계공학과

약 90~94 dB(A) 이상의 제품들이다. 심지어 약 100 dB(A) 이상의 제품도 흔히 볼 수 있다. 최근에는 친환경 제품 즉, 소음과 진동이 작은 제품을 선호하고 있으며, 그에 대한 연구도 활발히 진행되어지고 있는 실정이다.^[2-6] 나아가 중대형 조선소뿐만 아니라 일반 산업현장으로 판로를 개척하기 위하여 소음레벨 80 dB(A) 이하의 저소음, 저진동의 산업용 송풍기의 개발은 필수적이라 할 수 있다.

따라서 이 연구에서는 소음기 내부에 1~3개의 버프(buff) 배열 및 위치 변화를 통하여 최적의 소음저감효과를 찾아내고자 하였다. 특히 실험을 수행하기 전에 상용 해석 프로그램인 ANSYS와 SYSNOISE를 이용한 이론적 해석을 통하여 실험에 대한 경우의 수를 줄여 합리적으로 최적의 소음기를 설계하도록 하였다.

2. 소음기 설계를 위한 이론해석

소음기 내부에 설치하는 버프의 배열 및 위치에 따른 소음저감 효과를 실험적으로 규명하기 전에 이론적 해석을 수행하여 그 결과를 바탕으로 실험에 대한 경우의 수를 줄이고자 하였다. 이 연구에서는 실제 소음기 크기의 1/3 척도로 모델링하여 이론해석 및 실험을 수행하였으며, Fig. 1에 보인바와 같다. 여기서 ①, ② 그리고, ③번은 버프의 위치를 나타내며, 오른쪽이 입구(inlet), 그리고 왼쪽이 출구(outlet)이다. 실제 소음기의 투과손실은 길이의 영향이 크

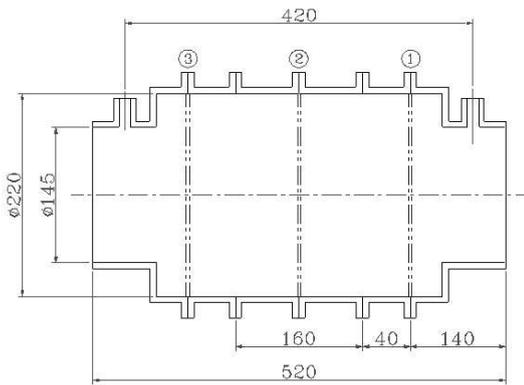


Fig. 1 Position of buffs in silencer

지만 이 연구에서는 버프의 위치에 따른 소음저감

연구를 중점적으로 고려하기 위해 축소모델을 사용하였다. 또, Fig. 2는 버프의 실제 크기로, θ 는 설치한 버프 중심에서의 엇갈림 각도를 나타낸다.

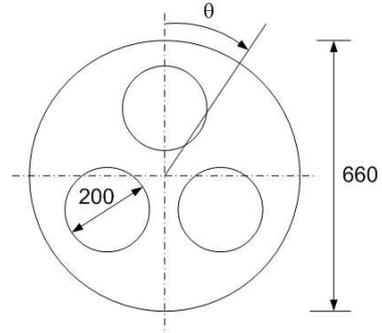


Fig. 2 Dimension of buff

2.1 ANSYS를 통한 해석

이론해석의 첫 번째로 ANSYS에서 CFX해석을 통하여 각 버프의 위치에 따른 압력 감소량을 해석하였다. 압력은 음압레벨(Sound Pressure Level)과 다음과 같은 관계식을 갖고 있으므로 소음기의 소음저감 효과를 간접적으로 판단할 수 있다.^[7]

$$SPL = 20 \log_{10} \frac{P}{2 \times 10^{-5}} \text{ (dB)} \quad (1)$$

Fig. 3은 ANSYS를 통한 해석 결과(Case 3)를 나타낸 것이다. 결과에서 알 수 있는 것처럼 입구에서

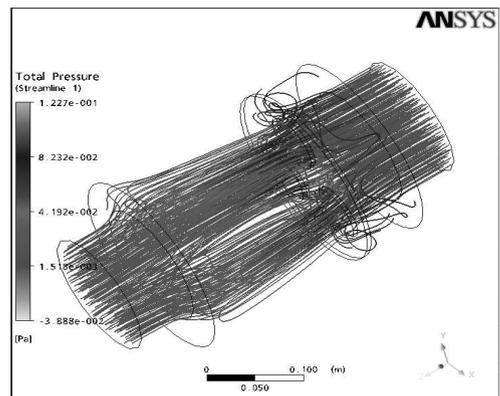


Fig. 3 Analytical result for Case 3

Table 1 Analytical average pressure and reduction ratio by ANSYS

No. of buff	Position of buff	Average pressure(Pa)		Reduction ratio(%)
		Inlet	Outlet	
1	①	8.4×10^{-2}	2.1×10^{-3}	43.9
	②	8.4×10^{-2}	1.2×10^{-3}	50.8
	③	8.3×10^{-2}	0.7×10^{-3}	56.9
2	①-②	8.8×10^{-2}	1.1×10^{-3}	52.4
	①-③	8.9×10^{-2}	0.5×10^{-3}	62.7
	②-③	8.8×10^{-2}	0.6×10^{-3}	59.4
	①-②(30°)	9.1×10^{-2}	0.9×10^{-3}	54.6
	①-②(60°)	9.2×10^{-2}	1.0×10^{-3}	53.8
	①-③(30°)	9.1×10^{-2}	2.1×10^{-3}	61.9
	①-③(60°)	9.1×10^{-2}	0.5×10^{-3}	62.3
	②-③(30°)	9.1×10^{-2}	0.6×10^{-3}	59.8
	②-③(60°)	9.2×10^{-2}	0.6×10^{-3}	60.1
	①-②-③	9.1×10^{-2}	0.6×10^{-3}	60.6
3	①-②(30°) -③(60°)	9.4×10^{-2}	0.6×10^{-3}	60.5
	①-②(60°)-③	9.4×10^{-2}	0.4×10^{-3}	64.9
	①-②(60°) -③(30°)	9.5×10^{-2}	0.4×10^{-3}	64.5

보다 출구에서 현저한 압력감소가 일어남을 알 수 있다. 여기서 Total pressure은 유체의 흐름 각각의 압력이 표현된 것이고, Table 1의 Average pressure는 입구와 출구 면에 대한 Total pressure의 평균값을 나타낸 것이다. Table 1에서 괄호안의 각도는 Fig. 2에 설명한 버프의 엇갈림 각도이다. 설명의 편의를 위하여 Table 1에 나타낸 버프의 위치는 Fig. 1의 버퍼 위치인 ①, ①, 그리고 ③을 이용하여 설명하였다.

Table 1은 송풍기의 입구에 동일한 압력값을 준 경우에 inlet과 outlet의 평균 압력과 압력감소율을 나타낸 것으로 전반적으로 50%이상의 압력저하 현상이 발생함을 알 수 있다. 1개의 버프를 사용한 경우는 버프가 출구 쪽에 가까이 위치할수록 좋은 결과

를 나타내며, 2개의 버프를 사용한 경우는 1-3번 위치에 버프가 설치될 때 가장 큰 압력감소율을 나타낸다. 버프 3개를 사용하여 엇갈림 각도를 주었을 때 버프 2개를 사용한 것보다 더 좋은 결과를 나타내지만, 경제성 등을 판단해 볼 때 2개의 버프를 이용하는 것이 효과적이라 할 수 있다.

2.2 SYSNOISE를 이용한 해석

동일한 조건으로 소음해석 상용 프로그램인 SYSNOISE를 이용하여 그 결과를 Table 2에 나타내었다. 해석을 위해서 파트란(Patran)에서 메쉬를 나누고 SYSNOISE에서 각 경우에 동일한 입력을 입구에 주었을 때 출구의 소음감소율을 해석하였다. Table 2에서 A-B는 소음저감량(noise reduction)을 나타낸 것이다. 2.1절의 해석 결과를 바탕으로 압력감소 효과가 큰 10가지 경우에 대하여 SYSNOISE 해석을 수행하여 그 평균 소음치와 소음감소율을 나타내었다.

2.1절의 결과와 동일하게 3개의 버프를 사용했을 경우 가장 큰 소음저하가 일어났으며 버프가 1개인 경우는 버프의 위치가 출구 쪽에서 가까운 경우가

Table 2 Analytical average SPL value and reduction ratio at each position

No. of buff	Position of buff	Average SPL(dB)		A-B (dB)	Reduction ratio(%)
		Inlet(A)	Outlet(B)		
1	①	138.5	132.9	5.6	4.0
	②	140.5	132.9	7.7	5.4
	③	140.6	132.7	7.9	5.6
2	①-②	141.8	134.0	7.6	5.5
	①-③	142.2	133.1	9.1	6.4
	①-③(30°)	138.7	129.0	9.7	7.0
	①-③(60°)	140.1	129.9	10.2	7.2
3	①-②-③	141.1	129.1	12.0	8.5
	①-②(60°) -③	142.3	129.6	12.7	8.9
	①-②(60°) -③(30°)	142.2	129.7	12.5	8.8

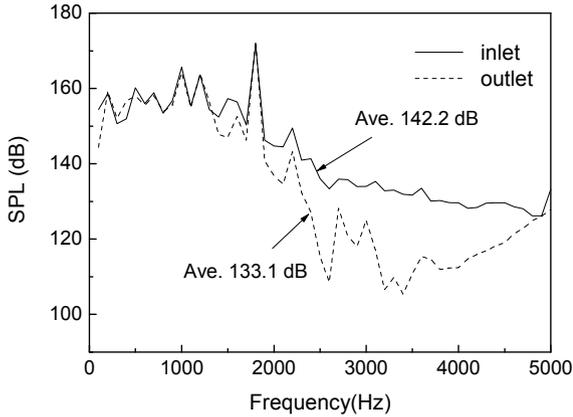


Fig. 4 Sound pressure level for Case 5(2 buffs)

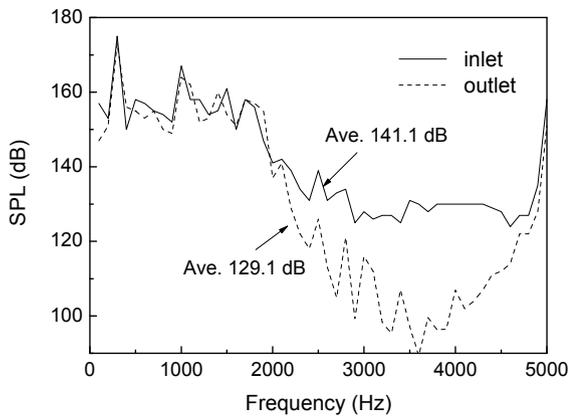


Fig. 5 Sound pressure level for Case 8(3 buffs)

장 좋은 결과를 얻었다. 또 2개의 버프를 사용하는 경우 두 번째 버프의 엇갈림 각도 조정 없이 1번, 3번 위치에 설치한 경우 가장 좋은 결과를 얻었다. 이것은 앞서 2.1절에 해석한 결과와 잘 일치함을 알 수 있다. 이 사실은 압력감소를 및 소음감소율의 정량적 값은 차이가 있으나 경향을 판단하는 경우 두 해석 결과가 상당히 신뢰할 수 있다는 것을 판단할 수 있다. 이러한 결과를 바탕으로 실험을 수행함에 있어 두 해석 결과를 이용하여 실험에 대한 경우의 수를 줄여 실험을 수행할 수 있다고 판단된다.

Figs. 4, 5는 Table 2에 나타낸 결과 중에서 버프 수가 2개, 3개 일 때, 비교적 소음감소율이 좋은 2가

지 경우에 대한 주파수별 SPL을 도시한 것이다. 평균 소음치는 조금씩 차이가 있으나 전반적으로 2000Hz 이상에서 소음저감 효과는 매우 우수함을 알 수 있다.

3. 실험 및 결과 고찰

3.1 실험장치 및 방법

이론해석에서 시행한 결과 값을 확인하기 위하여 Fig. 6과 같이 실제 실험장치를 구성하였다. 실험을 위해 1/3축소 모델을 제작하였고 완전무향실 내에서 loud-speaker를 이용하여 전압이 일정하게 걸리도록 제어하여 가진 하였다. 입력단의 제어와 측정은 CADA-X 소프트웨어와 SCADASIII 프론트엔드 그리고, 마이크로 폰(B&K, type 2671)을 이용하여 10 Hz ~ 5 kHz 주파수 영역대에 걸쳐 buff의 위치 및 엇갈림 각도에 변화를 주면서 inlet 과 outlet 의 위치에서

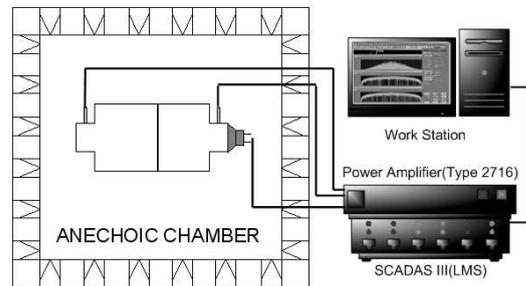


Fig. 6 Experimental set-up

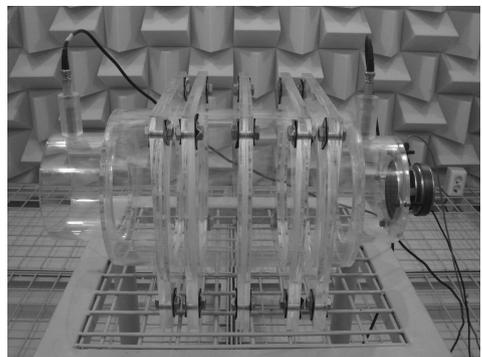


Fig. 7 Silencer model

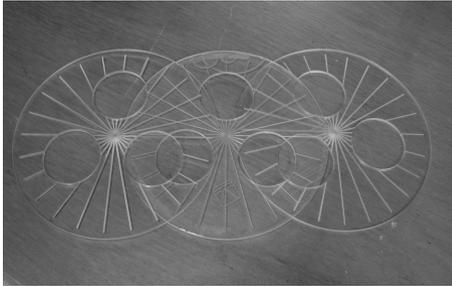


Fig. 8 Buffs

의 음압을 측정하여 비교하였다.

Fig. 7은 실제 소음기를 축소한 실험용 모델로서 두께8 mm의 투명 아크릴로 제작하였으며 그 치수는 Fig. 1과 같다. 소음기 내부에 설치하는 실험용 버프는 Fig. 8과 같이 내측 구멍이 3개이며 재료는 두께 4 mm인 투명 아크릴이다.

3.2 실험결과 및 고찰

3.1절의 실험장치와 방법으로 실험을 수행하여 실험한 결과를 Table 3에 나타내었다. 도시한 결과의 dB값은 전 주파수 영역에 대한 평균 소음치이다. 1

Table 3 Experimental results for silencer

No. of buff	Position of buff	Average SPL(dB)		A-B Reduction (dB)	Ratio(%)
		Inlet(A)	Outlet(B)		
0	without buff	97.6	92.5	5.1	5.2
1	①	98.3	90.1	8.2	8.3
	②	98.2	89.3	8.9	9.1
	③	98.0	88.9	9.1	9.3
2	①-③	98.4	87.4	11.0	11.2
	①-③(30°)	98.5	88.6	9.9	10.1
	①-③(60°)	98.5	88.2	10.3	10.5
3	①-②-③	98.2	84.2	14.0	14.3
	①-②(60°)-③	98.3	85.3	13.0	13.2
	①-②(60°)-③(30°)	98.5	85.6	13.1	13.1

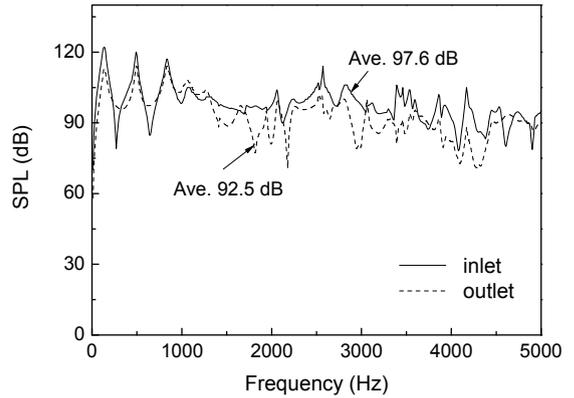


Fig. 9 Experimental results for Case 1 (without buff)

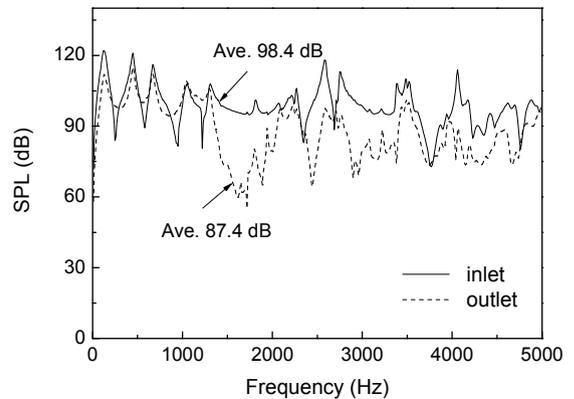


Fig. 10 Experimental results for Case 5 (2 buffs)

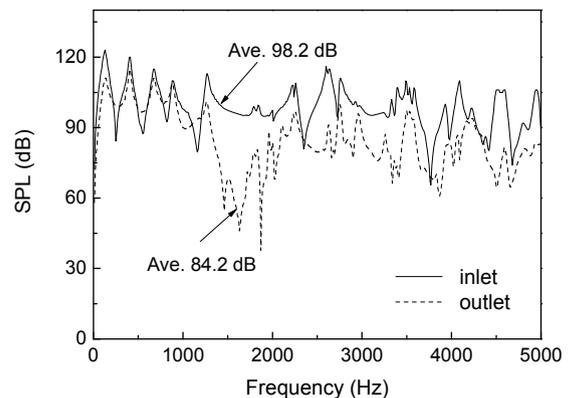


Fig. 11 Experimental results for Case 8 (3 buffs)

개의 버프를 설치한 경우 2장의 해석 결과와 동일하게 출구 쪽에 위치할수록 소음저감 효과가 더 우수함을 알 수 있다. 또 2개의 버프를 설치한 경우 이론해석에서의 결과와 마찬가지로 버프가 1-3번 위치에 설한 경우에 가장 우수한 소음저감 효과를 볼 수 있었다. 하지만 3개의 버프를 사용한 경우 이론해석에서는 이론해석에서 엇갈림이 있는 경우 좀 더 우수한 성능을 보였으나, 실험에서는 엇갈림 없이 배열한 경우 가장 좋은 결과를 보여 약간의 차이가 있었다. 하지만 앞서 설명한 바와 마찬가지로 소음기의 제작 및 경제성 등을 판단해 볼 때 2개의 버프를 이용하여 소음기를 제작하는 것이 가장 효과적이라 할 수 있다고 생각된다.

Fig. 9는 버프가 없는 경우(Case 1)의 실험결과를 도시한 것이다. 전 주파수 영역에서 전반적으로 출구 쪽이 입구 쪽보다 음압레벨이 낮게 나타난다. 평균 음압을 살펴보면 입구 쪽은 약 97.6 dB이고, 출구 쪽은 92.5 dB로 약 5.2%의 소음저감 효과를 보았다. Fig. 10은 버프를 2개(위치 ①-③), Fig. 11은 3개(위치 ①-②-③)를 설치하였을 때의 실험결과이다. 각각 11.2%, 14.3%의 좋은 소음저감 효과를 나타내었으며, 특히 1300 Hz이상에서 두 경우 모두 좋은 소음저감 효과를 보였다.

이 실험 결과를 바탕으로 향후 내측 구멍수가 다른 다양한 형상의 버프를 제작하여 실험함으로써 버프의 형상이 소음감소에 미치는 영향에 대한 연구를 할 수 있을 것으로 보인다.

4. 결론

본 연구에서는 중대형 조선소 등에서 사용하는 산업용 송풍기의 소음 저감을 위하여 소음기 내부에 설치하는 버프의 위치 및 배열 등이 소음저감에 미치는 영향에 대하여 이론해석 및 실험을 통하여 연구하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 산업용 송풍기의 소음 저감을 위하여 소음기 내부에 설치하는 버프의 위치 및 배열 등을 이론해석을 통하여 얻은 결과를 이용하여 실험의 경우의 수를 줄 일 수 있었다.

2. 여러 가지 버프의 배열 중에 2개의 버프를 이 용함이 가장 효과적이며 이를 통하여 약 11.2 dB의 소음 레벨을 저감시킬 수 있었다.

향후 이 연구의 결과를 바탕으로 실제 송풍기에 설계된 소음기를 제작 설치하여 현장에서 직접 소음을 측정하도록 할 것이다.

참고문헌

- Fuller, C. R., Elliott, S. J. and Nelson, P. A., Active Control of Vibration, Academic Press, 1996.
- Chung, Y. D. and Lee, S. K., "Working Environment Noise Reduction of Industrial Blower due to Enclosures," J. KSEA, Vol. 6, No. 1, pp. 137-145, 2000.
- Song, S. H., Kim, H. R. and Chung, J. T., "A Study on Vibration Reduction of an Industrial Fan," Trans. of KSNVE, Vol. 10, No. 3, pp. 457-464, 2000.
- Jeon, J. H. and Kim, Y. H., "Low Frequency Noise Reduction Inside Duct by Using Membrane," Trans. of KSNVE, Vol. 14, No. 11, pp. 1083-1090, 2004.
- Kim, Y. W. and Kim, B. S., "An Experimental Study on the Performance Improvement of Industrial Blower Silencer," Trans. of KSNVE, Vol. 15, No. 9, pp. 1060-1069, 2005.
- Kim, B. K., Kim, S. R., Kim, H. S. and Shin, M. C., "Performance Test and Evaluation of Ship Exhaust Muffler," Trans. of KSNVE, Vol. 18, No. 12, pp. 1237-1242, 2008.
- Munjal, M. L., Acoustics of Ducts and Mufflers, John Wiley & Sons, 1987.