

고정압 블로어용 소음기개발

Invention of Silencer for High Static Pressure Blower

오진우† · 이장현* · 이규형** · 이정호***

Jin Woo Oh, Jang Hyun Lee, Kyu Hyeong Lee and Jung Ho Lee

Key Words : Noise(소음), Silencer(소음기) and High Static Pressure Blower(고정압 블로어)**ABSTRACT**

본 논문은 실험적 방법을 통한 소음기의 개발과정 및 개발품의 성능평가에 대한 연구결과이다. 개발의 목적은 현재 적용된 외산 블로어 소음기의 국산화이며 이에 위해 적용 블로어의 허용 Spec.과 목표저감량 및 기 적용 소음기의 성능을 기준으로 개발 목표를 설정하였다. 또한 제작성을 고려한 내부 설계안을 선정, Shop Test를 실시하여 Test 결과에 따라 최적설계안을 확정하였다. 최종 개발품은 56mmAq의 정압손실과 23dB 이상의 소음저감효과를 가지고 있다.

1. 서 론**기 호 설 명**

여기에 기호설명을 아래와 같이 입력하십시오.

K_a : $= 1.05 \times \alpha^{1.4}$, α 는 흡음률

P : 내부 주장[m]

L : 소음기 길이[m]

S : 소음기 Air-way 단면적[m²]

m : $= \frac{A_2}{A_1}$, 팽창비

K : $= \frac{2\pi f}{c}$, f 는 대상주파수

c : 음속[m/s]

n : 내관 구멍의 갯수

S_p : 내관 구멍한개의 단면적[m²]

l_p : $= T + 1.6r$, T 는 내관 두께, r 은 내관 구멍의 반경

V : 배후공기층의 체적[m³]

산업현장에서 블로어는 대표적인 소음설비로 설비 및 실내의 급/배기용으로 널리 사용되고 있으며 특히 고정압 블로어의 경우 높은 압력으로 인해 상대적으로 높은 소음도가 발생하는 특성을 보인다. 이러한 설비 특성으로 인해 블로어의 흡기 및 토출부 주변에서 소음문제를 야기할 수 있으므로 계획단계에서부터 방음에 대한 대책이 필요하다.

본 논문은 고정압 블로어에 적용가능한 소음기의 설계 및 Shop TEST를 통한 개발품 성능평가에 대한 연구결과이다.

2. 이론적 배경**2.1 블로어 소음****(1) 소음발생 원인**

블로어는 강제송풍을 목적으로 하는 설비로 소음발생의 주요 원인으로는 크게 2가지로 구분할 수 있다.

첫째, 공력소음이다. 공력소음은 강제송풍으로 인해 발생하는 기류에 의한 소음으로 공기의 파생음이다. 주요 발생원인으로는 Blade의 형상, RPM 및 주변기압차이 등이 있다.

† 오진우; 정회원, (주)엔에스브이
E-mail : ozinu@daum.net
Tel : 032-816-7992, Fax : 032-816-7993

* (주)엔에스브이

** (주)엔에스브이

*** (주)엔에스브이

둘째, 기계적소음이다. 기계적소음은 설비 구동간에 발생하는 설비자체의 소음으로 주요 발생원인으로는 Bearing의 종류 및 특성, Impeller의 구조 및 질량 Balance 등이 있다. 기계적 소음의 경우 구동 초기에는 문제가 없다가 설비의 노후화나 이상으로 인해 발생할 수도 있다.

기타 소음으로 회로에서 발생하는 전기적소음이 있으나 안전규격(EMI)에 준수하는 설비의 경우 문제가 되지 않는 수준이다.

(2) 발생소음의 특성

정압이 높은 블로어의 경우 발생소음 또한 높게 나타난다. 다단의 경우 여러 복합요소로 인해 소음 예측도 어렵다. 일반적으로 블로어의 소음특성은 Figure 1과 같은 고주파성분이 많고 귀에 거슬리는 특징이 있다.

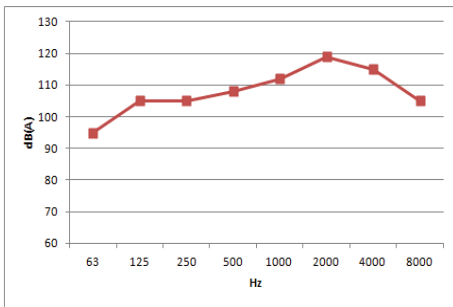


Figure 1. 원심블로어의 소음스펙트럼

2.2 소음기

소음기는 덕트 또는 배관에 삽입, 설치하여 덕트 또는 배관을 통해 전달되는 소음의 영향성을 감소시키기 위한 대표적인 소음저감장치 중 하나로 크게 흡음형, 팽창형, 공명형, 간섭형으로 구분할 수 있다.

(1) 흡음형 소음기

가장 일반적인 소음기의 형태로 Figure 2와 같이 소음기 내부에 흡음재를 설치하여 흡음에 의해 감음하는 형식이다.

소음기의 감음특성은 흡음재의 흡음률과 흡음면적, 길이에 따라 달라지며 소음저감량 예측식은 식(1)과 같다.

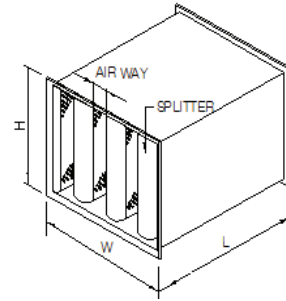


Figure 2. 흡음형 소음기

$$\Delta L = K_a \cdot \frac{P \cdot L}{S} [dB] \quad (1)$$

(2) 팽창형 소음기

팽창형 소음기는 급격한 관경확대로 유속을 낮추어 소음을 감소시키는 형식으로 Figure 3과 같이 단면 불연속부에서의 음에너지 반사 현상으로 소음을 저감시킨다.

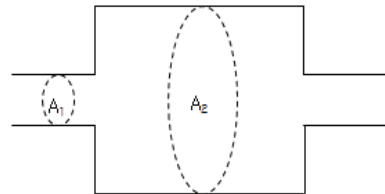


Figure 3. 팽창형 소음기

일반적으로 저, 중주파수 대역의 소음저감에 유리한 경향을 보이며 단면부의 팽창비와 길이에 따라 저감특성이 다르다.

팽창형 소음기의 소음저감량 예측식은 식(2)와 같고 길이에 따른 저감특성은 Figure 4와 같다.

$$TL = 10 \log \left[1 + \frac{1}{4} + \left(m - \frac{1}{m} \right)^2 \sin^2 KZ \right] [dB] \quad (2)$$

(3) 공명형 소음기

Figure 5와 같이 내관의 작은 구멍과 배후 공기층이 공명기를 형성하여 소음을 저감시키는 형식이다.

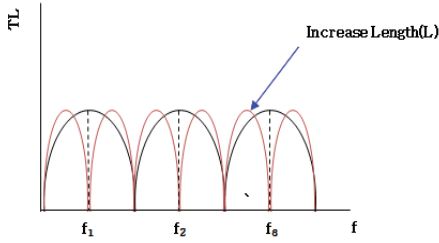


Figure 4. 팽창형 소음기 저감특성

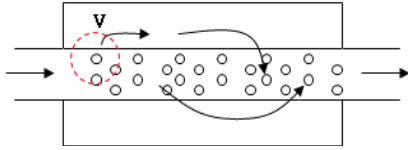


Figure 5. 공명형 소음기

목표한 저감 주파수 대역을 선정하여 설계하며 해당 주파수 대역에서 높은 소음저감효과가 나타난다. 설계인자는 내관 홀의 크기, 배후공기층의 체적, 내관의 두께이며 공명주파수 계산식은 식(3)과 같다.

$$f_r = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{n \cdot S_p / l_p}{V}} \quad (3)$$

(4) 간섭형 소음기

간섭형 소음기는 파장간의 간섭(상쇄)을 이용한 소음기 형식으로 Figure 6과 같이 소음기 내부에 유로를 분할하여 두 유로의 경로차($L_1 - L_2$)를 이용하여 파장간의 간섭을 유도한다.

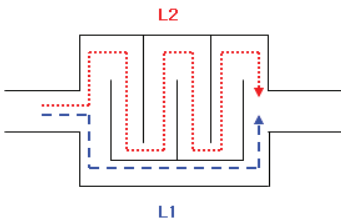


Figure 6. 간섭형 소음기

감음주파수는 식(4)와 같으며 주파수의 홀수배에서 주기적인 감음효과가 나타난다.

$$L_1 - L_2 = \frac{(2n - 1)\lambda}{4L} \quad (4)$$

(5) 복합형 소음기

효과적인 소음저감을 위해 2개 이상의 형식을 사용하여 설계된 소음기로 특정한 특성을 보이는 소음에 대하여 효과적이다.

흡음과 팽창, 공명과 팽창 및 공명과 흡음 등 여러 가지 조합으로 설계되며 다양한 조합을 통해 소음기의 효과를 증대시킬 수 있다.

대표적인 예로 자동차의 머플러, 공동주택 환기장치용 소음기 등이 있다.

3. 개발 소음기

3.1 블로어의 소음특성

(1) Specification

블로어의 제원 및 형상은 Table 1, Figure 7과 같다.

Table 1 블로어의 제원

항목	세부사항	비고
Type	Regenerative Blower	
Flow Rate	25~31	CMM
Max. ΔP	150~160	in WG
Weight	105	Kg

* 제조사 제공자료

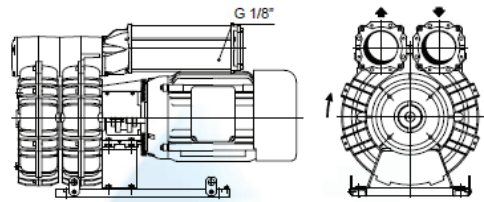


Figure 7. 블로어 형상

(2) 블로어 측정소음도

실제 블로어의 소음측정을 통해 설비의 발생소음 특성을 평가하고 소음기의 목표저감량 산출을 위해 설비 구동시 발생소음을 측정하였다.

블로어 소음 측정은 소음기가 설치될 흡기부의 소음을 구분하기 위해 연결 덕트를 사용하여 측정하였으며 측정시스템은 Figure 8과 같다.

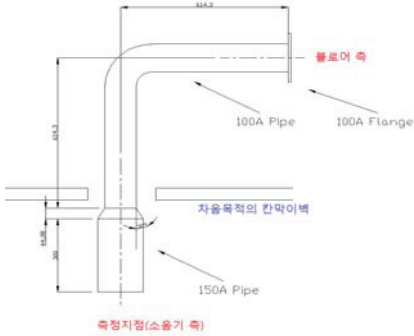


Figure 8. 블로어 소음 측정시스템

측정결과는 Figure 9 및 Table 2와 같다.

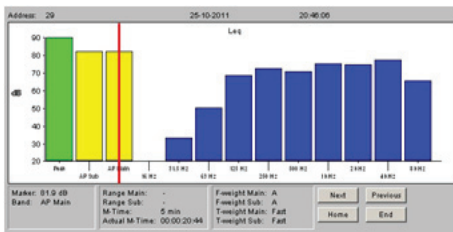


Figure 9. 블로어 발생소음 스펙트럼

Table 2 블로어의 측정소음도

Hz	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
dB(A)	50	68	72	71	75	75	77	65

* O.A: 81.9dB(A)

* SPL@1m

* 측정장비: NA-27(RION, JAPAN)

블로어의 측정소음도는 125Hz~ 8kHz까지 전체적으로 높은 소음도를 보이고 있으며 그 중 4kHz 대역에서 최대값이 측정되었다. 측정결과는 일반적인 블로어의 특성에 가까운 것으로 판단된다.

3.2 목표설정

소음기의 설치위치는 토출부 말단이며 토출부에서 평가지점까지의 거리(3m)와 외산제품의 성능표를 기준으로 Table 3과 같이 적절한 소음저감목표를 설정하였다.

평가지점에서의 Target은 55dB(A)이며 소음기가 없는 상태에서 평가지점의 소음도는 점음원 거리감쇠식에 따라 10dB 감소되어 71.9dB(A)로 예측된다.

Target 만족을 위해 필요한 저감량은 16.9dB이며 안전율을 고려하여 최종목표저감량을 20dB로 설정하였다.

압력손실의 경우 설비효율과 관련이 있으므로 기존 소음기 수준을 Target으로 선정하였다.

Table 3 Target 설정

항목	외산*	개발소음기	비고
ΔL	20	20	dB
ΔP	70	70	mmAq

* 제조사 Catalog 참고

3.3 소음기 설계 및 TEST

(1) 소음기의 개발 방향

개발소음기는 원기둥의 형태로 Figure 10과 같이 흡기부와 토출부의 축이 직각으로 교차하고 있는 구조이며 흡음재를 이용한 흡음효과를 기본으로 소음기 내 삼입관을 활용한 확산 및 간섭의 효과를 이용하여 소음저감을 유도하였다.

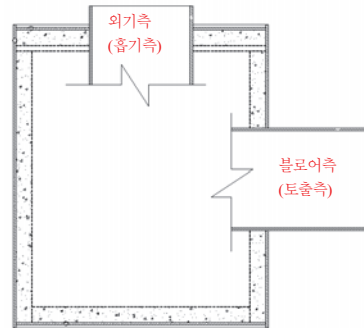


Figure 10. 개발소음기 형상

삼입관의 배치에 따라 몇 개의 Test 안을 선정하여 동일 조건의 시험조건에서의 Test를 통해 최적의 설계안을 도출하였다.

(2) Shop Test 시스템

Shop Test는 개발소음기의 주파수별 감음성능 및 설계안 변경에 따른 경향성 파악을 위해 실시한다.

Shop Test는 당사에서 보유중인 음향실험실(잔향실, 무향실)을 이용하였으며 Shop Test 시스템은 Figure 11과 같다.

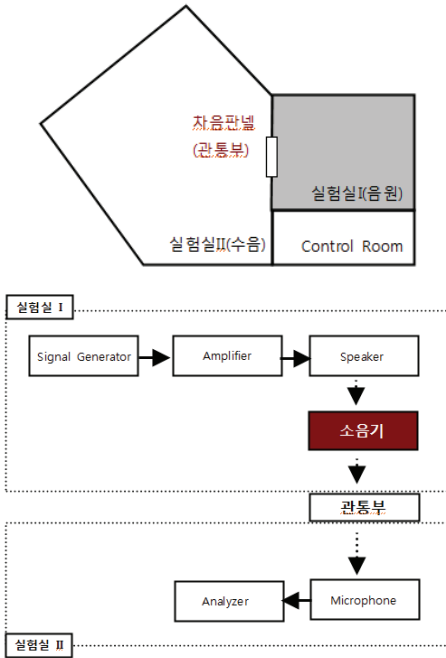


Figure 11. Shop Test 시스템

외부와 차단된 실험실내에 시스템을 설치하여 환경적인 변수를 제한하고 음원측과 수음점측을 구분시켜 Speaker 소음 외의 음원측에서 발생할 수 있는 기타 소음의 영향을 차단시켰다.

(3) 설계안 별 측정결과

설계안은 흡기부와 토출부의 삽입관의 삽입길이 등 상호 배치에 따라 구분하였다. 먼저 삽입관의 길이에 따른 저감특성의 변화를 알아보기 위해 삽입관의 길이를 변화시켜 Test하였고 그 결과는 Figure 12와 같다.

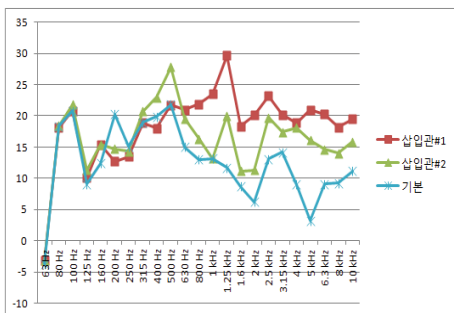


Figure 12. 삽입관 배치에 따른 저감특성

각각의 Test 조건은 다음과 같다.

- 삽입관#1: 삽입관 완전 교차
- 삽입관#2: 삽입관 일부 교차
- 기본: 삽입관 없음

삽입관의 길이에 따라서 주요 저감대역이 이동하는 것으로 나타났으며 삽입관의 길이가 길어질수록 주요 저감대역이 고주파대역으로 이동하는 것으로 측정되었다.

소음기의 형태적 특성상 삽입 방향에 따른 저감 특성의 변화가 예상되므로 흡기측과 토출측에 삽입관 형태로 Test하였다. 그 결과는 Figure 13과 같다.

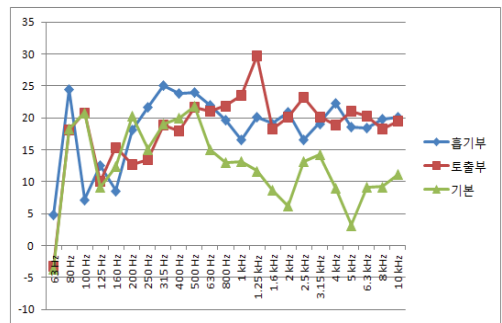


Figure 13. 삽입관 방향에 따른 저감특성

각각의 Test 조건은 다음과 같다.

- 흡기부: 흡기부측 삽입관 설치
- 토출부: 토출부측 삽입관 설치
- 기본: 삽입관 없음

흡기부측 삽입관 설치시에 주요 저감대역은 뚜렷하게 나타나지는 않으나 전체적으로 평탄한 특성으로 나타난다.

전반적으로 삽입관을 설치함으로써 소음저감량은 증가하는 것으로 나타난다.

3.4 최종 설계안

경향성 분석을 통해 최적설계안을 도출하였고 Sample을 제작하여 Shop Test를 실시하였다. Test 시스템은 기존 시스템과 동일하게 하여 Test 조건의 차이가 없도록 하였다. Figure 14는 Shop Test 사진이며 측정결과는 Figure 15와 같다.



Figure 14. 최종품 Shop Test



Figure 15. 압력손실 TEST 시스템

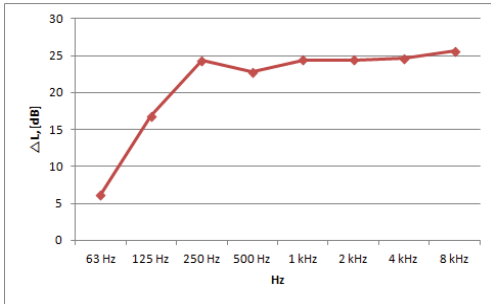


Figure 15. 최종품의 소음저감량

소음기의 저감특성은 63Hz~125Hz를 제외하고 주파수대역에 상관없이 평탄한 특성을 나타내고 있다.

본 소음기의 대상 설비인 블로어의 소음 측정결과와 비교해 볼 때, 특정주파수에 저감효과가 뛰어난 설계안보다 평탄한 특성의 소음기가 전체 소음저감량에서 우수한 것으로 계산되었다.

최종품의 소음저감효과는 23.7dB이며 주파수별 결과는 Table 3과 같다.

Table 3 블로어의 측정소음도

Hz	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
Blower	50	68	72	71	75	75	77	65
Silencer	6.2	16.8	24.3	22.8	24.4	24.4	24.6	25.6
Total	43.8	51.2	47.7	48.2	50.6	50.6	52.4	39.4

* Total O.A: 58.2dB(A)

* SPL@1m

* 측정장비: NA-27(RION, JAPAN)

3.5 압력손실

압력손실 측정을 위해 실제 블로어에 최종품을 연결하여 소음기 설치 전·후의 압력차이를 측정하였다. Figure 16은 압력손실 측정을 위한 시스템으로 말단에 소음기를 탈·부착할 수 있다.

측정결과는 Table 4와 같다.

Table 4 압력손실 측정결과

항목	설치전	설치후	ΔP
mmAq	42.3	92.7	55.4

* 실제 Blower 구동조건

* Target: 70mmAq

* 측정장비: Pitot tube, Testo 445

3. 결 론

타 설비에 비해 높은 소음도가 발생하는 고정압 블로어용 소음기를 개발하였으며 외산제품의 대체품으로 이상이 없음을 검증하였다.

1. 개발 소음기의 소음저감량은 23.7dB로 Target인 20dB이상을 만족하였다.

2. 개발 소음기의 압력손실값은 55.4mmAq로 Target인 70mmAq이하의 압력손실 조건을 만족하였다.

결과적으로 개발소음기는 기존 외산 소음기 이상의 소음저감효과를 가지고 있으며 상대적으로 낮은 압력손실을 가지고 있어 설비 효율면에서도 유리한 장점을 가지고 있다.

참 고 문 헌

(1) Lee, J. W. and Woo, Y. H., 2000, Handbook of Noise and Vibration, Science Technology, pp. 233~244.

(2) Kim, S. M., 2002, Concept Design Theory of Shock Absorbing Mufflers for Air-borne noise, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference