

덕트형 소음기 설계 프로그램 개발

김인수*

Development of Design Program for Duct Silencer

Kim in soo*

Abstract

This paper describes the design program of duct silencer. Duct silencer is used ventilating system. Variables in the program for predicting transmission loss are width of splitter, airway width, perforate plate, absorption material and frequency. Generally used expression for predicting transmission loss has something that don't think about frequency characteristic. Therefore we propose the new expression that considered frequency characteristic. In the 1/1 octave band center frequency, the expected weighting number(K) is fitted with absorption ratio and airway width. The fitted 2nd degree polynomial expression is based on the test data performed in YOUIL Industrial Corporation. This program's accuracy is about 90 percent.

1. 서론

덕트형 소음기는 공조용으로 매우 중요한 역할을 담당하고 있다. 하지만 아직까지는 경험적인 방법으로 제작이되고 있으므로, 변화하는 설계파라미터에 매우 둔감한 경향을 보이고 있다. 또한 스플리터 두께와 유로폭에 대한 해석이 미비해 주파수 특성을 고려한 설계가 미비한 상태이다. 그러므로 웬으로부터 발생한 소음의 특성을 시스템적인 예측 즉, 음원으로부터 수음점까지의 음 전파경로에 따른 감음예측을 통해 파악한 필요 감음 음압레벨이 있을 경우 가장 저감을 필요로 하는 주파수에 맞추어 소음기를 설계할 수 없다. 또한 이것은 일반적인 엔지니어를 위한 간략식으로는 소음기에 필요한 파라미터를 찾을 수 없으므로

* (주)유일산업 기술연구소

적정한 소음기를 설계할수 없는 상황이다. 따라서 본 연구에서는 이러한 상황을 극복하고자 각 주파수별 필요 감음 음압레벨이 선정되면 그 필요분을 만족시킬수 있는 소음기의 파라미터들을 선정할수 있는 프로그램을 개발하여 경험적 설계를 탈피하고자 한다. 그러므로 본 연구에서는 스플리터의 두께, 유로의 폭을 주된 파라미터로 선정하여 소음기를 설계하는 것으로 방향을 선정하였다.

2. 덕트형 소음기 특성

2.1 소음기의 삽입손실 특성

일반적으로 현장 기술자들에 의해 단위길이당 감음량을 계산하는데 사용되어지는 간략한 식은 다음의 식(1), (2)으로 나타낼수있다.

$$R = 1.05 \frac{P}{A} \cdot \alpha^{1.4} \quad (1)$$

여기서, R : 삽입손실(dB/m)
 P : 단면둘레길이(m)
 A : 유로단면적(m²)
 α : 흡음계수

$$R = \frac{1.800}{W} \cdot \alpha^{1.4} \quad (2)$$

여기서, R : 삽입손실(dB/m)
 W : 유로의 폭(m)
 α : 흡음계수

식(1)은 단면둘레길리와 유로의 단면적의 비율과 흡음율로 단위길이당 감음량을 나타내고 식(2)는 유로의 폭과 흡음율로서 단위길이당 감음량을 나타낸다. 위 두식으로 식(1)은 P/A 값을 $2.2/0.2=11$ 으로하고 식(2)의 유로폭은 0.2로하여 단위길이당 감음량을 나타내면 Table 1 과 같다. Fig.1 은 식(1), 식(2)에 의한 감음량과 실험적 경향을 비교 도시하였다.

Table 1 일반식의 감음량 비교

주파수	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K
흡음율	0.1	0.31	0.6	0.74	0.8	0.83	0.85	0.85
식1	0.4	2.0	5.1	6.8	7.6	8.0	8.3	8.3
식2	0.3	1.7	4.4	5.9	6.5	6.9	7.1	7.1

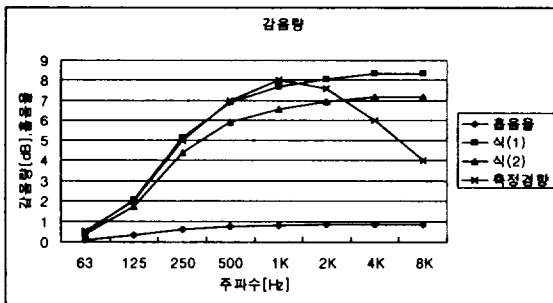


Fig.1 Comparison of experimental attenuation with expected attenuation

식(1)과 식(2)으로 감음량을 예측하여보면 주파수가 증가할수록 감음량이 증가함을 알 수 있다. 이

는 식에서 알 수 있듯이 감음량이 단지 흡음율에 선형적 관계를 보이고 있으므로 나타나는 결과이다. 그러나 실험에 의해 나타나는 경향은 주파수 약 1kHz 를 중심으로 종모양의 감음량을 보이고 있다. 이는 감음량이 주파수별 특성을 가지고 있음을 단적으로 보여주고 있는 것이다. 따라서 주파수별 특성을 반영하지 못하는 식(1)과 식(2)는 정확한 감음량을 예측하기가 곤란하므로 주파수특성을 고려할 수 있는 식의 정립이 필요하다. 그러므로 본 연구에서는 실험을 바탕으로 식(3)을 도입하였다.

덕트형 소음기의 삽입손실 특성은 식(3)의 함수로 나타낼수 있다.

$$R = F(c, f, K, l) \quad (3)$$

여기서, R : 삽입손실(dB)
 c : 음속(m/s)
 k : 가중값(1/m²)
 l : 소음기 길이(m)

식(4)의 식(3)의 가중값 K 를 나타내며 K 는 주파수와 스플리터의 흡음율 및 유로 폭을 포함한 함수이다.

$$K = F(f, \alpha, d) \quad (4)$$

여기서, f : 주파수(Hz)
 α : 흡음계수
 d : 유로의 폭(m)

위의 식(3), 식(4)로부터 소음기의 삽입손실특성은 주파수, 흡음율, 소음기 길이, 스플리터 간격(유로 폭)으로 나타남을 알 수 있다. 소음기에서 스플리터의 갯수와 스플리터의 두께를 결정함으로써 그 소음기의 주파수특성과 스플리터의 흡음율을 추정할 수 있다. 또한 외경이 결정된 소음기의 형상에서 스플리터의 갯수와 두께의 결정은 소음기의 개구율을 결정하는 요인이다. 규정된 압력손실을 고려

하여 개구율을 높이기 위하여서는 스플리터의 갯수와 두께를 주파수 특성에 맞추어 결정하는 것이 중요하며 이를 최적화기 위하여 주파수별 감음량을 선정하고, 이를 만족하는 가중값을 충족시키는 형상을 찾는 과정으로 프로그램을 개발하였다.

2.2 유로 폭에 따른 삽입손실 특성

일반적인 공조용 덕트소음기는 소음기의 개구율이 동일할때 스플리터의 갯수가 증가하고 스플리터의 두께가 감소하면 저주파 삽입손실 특성은 나빠지나 고주파 삽입손실 특성은 상승한다. 반대로 스플리터의 갯수가 감소하고 스플리터의 두께가 증가하면 저주파 삽입손실은 증가하나 고주파 삽입손실은 감소한다. 이는 단일 스플리터가 두꺼울수록 저주파 흡음을 잘하며 유로폭이 좁을수록 고주파 흡수를 잘한다는 것을 알수있다. 즉, 유로의 폭이 파장과 밀접한 관계가 있음을 알수있다. 따라서, 주파수별로 감음에 민감한 파라미터가 무엇인지를 판단하여 필요 감음량을 만족시킬 때 가장 적절한 소음기를 설계할 수 있다.

2.3 흡음율에의한 삽입손실 특성

현재 사용되고 있는 흡음재(일반적으로, Glass Wool 48k)는 저주파에서 흡음 성능이 고주파에 비하여 떨어지며, 이를 보완하기 위한 방법으로 사용 흡음재의 두께를 증가시켜 흡음하고 있다. 따라서, 스플리터의 두께가 증가하고 이로인해 개구율을 저하시키는 요인이 되고있다. 또한 개구율 저하는 소음기를 통과하는 유속을 증가시키며 이로인하여 소음기 자체소음을 증가시키는 악영향을 야기시키고 있다. 따라서 스플리터의 두께를 증가시키지 않고 흡음율을 증가시키는 것이 가장 효율적인 방법이나 아직까지는 새로운 재료의 선정이라는 벽에 직면하고 있다.

2.4 스플리터 두께와 유로폭에 따른 감음 비교

다음은 2.2 와 2.3 의 내용을 검증하기 위한 설계예를 개발한 소프트웨어로 검증하고자 한다. 검증에 필요한 소음기의 사양은 스플리터두께 200mm(A) 와 150mm(B)의 두가지 사양으로하며 A 모델은 유로폭을 200mm 부터 150mm 까지 약 50mm 를 변화하여 계산하고, B 모델은 150mm 부터 100mm 까지 약 50mm 를 변화하며 계산하였다.

Table. 2 Insertion Loss of Type A

유로폭	주파수별 감음량 [dB]					
	125	250	500	1k	2k	4k
0.20	9.9	22.2	33.3	40.1	28.2	18.1
0.18	12	25.3	36.3	43.1	31.6	21.1
0.17	13.3	27.2	38.3	45	33.7	23.2
0.16	14.8	29.4	40.4	47.1	36	25.5
0.15	16.4	31.6	42.7	49.4	38.4	28
중분	6.5	9.4	9.4	9.3	10.2	9.9

Table. 3 Insertion Loss of Type B

유로폭	주파수별 감음량 [dB]					
	125	250	500	1k	2k	4k
0.15	10	22.3	36.8	43.7	45	29.7
0.14	12.1	25.2	39.7	46.5	48.1	33
0.13	14	27.9	42.4	49.1	50.8	36
0.12	16.1	30.6	45.2	51.8	53.7	39.3
0.11	18.3	33.6	48.2	54.7	56.7	42.9
0.1	20.7	36.7	51.3	57.7	59.8	46.7
중분	10.7	14.4	14.5	14	14.8	17

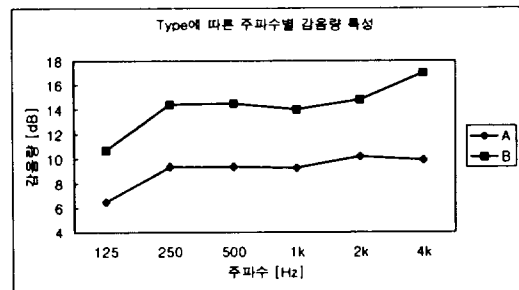


Fig 2 Comparison of Insertion Loss

Table2 과 Table3 의 감음량의 증분을 보면 Type A 보다 Type B 가 주파수대역별로 감음량이 큼을 알 수있으며 이로부터 감음량은 흡음율보다 유로의 폭에의한 영향이 더 큼을 알 수 있다. Fig2 에서보면 Type A 와 Type B 를 비교하면 고주파로 갈수록 감음량이 증가하는 것을 볼 수있으며, 음파의 파장보다 유로의 폭이 작을때 흡음이 잘 이루어지며 음파의 파장보다 유로의 폭이 크면 감음량이 감소함을 알 수 있다. 이는 2.2 와 2.3 에서 언급한바와 같이 유로가 증가하면 고주파수 감음량이 감소함을 나타낸다.

Type A 의 유로는 17mm, Type B 의 유로는 13mm 를 비교하면 유로에대한 스플리터의 비는 0.85, 0.87 로 그값은 0.02 이다. 여기서, 500Hz 이하에서는 두 가지 타입의 감음량 차이가 미비하나 500Hz 부터 B Type 의 감음량이 A Type 의 감음량이 약 4dB 증가한다. 그리고 2kHz 이상부터는 13dB 이상 B Type 의 감음량이 증가하므로 유로의 폭이 감소함에 따라 고주파의 삽입손실이 증가함으로 고주파수는 유로폭에 민감하고 저주파수는 스플리터의 두께 즉, 재료의 흡음율에 민감하다는 것을 알 수 있다. 따라서, 고주파수역에서의 효율을 높이기 위해서는 소음기 형상의 변형이 불가피함을 알 수 있다. 그러나 소음기 형상을 변경할경우 유로굴곡에 따른 저항증가로 유로를 저항이 발생하지 않는 형상을 유지하여야 하므로 소음기 제작상 경제적 문제에 직면할 수 있음을 간파해서는 안된다.

2.5 자체발생소음

소음기로부터 유체의 흡입과 배출시 자체소음이 발생한다. 특히 소음기가 쉘의 하류에 설치되는 경우 자체소음 발생에대해 보다 주의를 기울여야 한다. 스플리터가 유로저항을 감소하기 위한 형상이 아닌 평평한 형태일때 스플리터에서 발생하는 소음파워레벨은 다음식 (5)으로 나타낼수있다.

$$PWL = 55\log V + 10\log N + 10\log H - 45 \quad (5)$$

여기서, PWL : 발생소음파워레벨(dB)
 V : 유속
 N : 유로의 갯수
 H : 스플리터의 높이(mm)

3. 프로그램 흐름도 및 예

프로그램은 식(3)에 기반을 두고 있으며, 본사에서 제작 측정한 데이터를 기초로 주파수, 흡음율, 유로의 폭을 보정하여 식(4)의 가중값을 찾았으며, 설계과정은 Fig.3 와 같다.

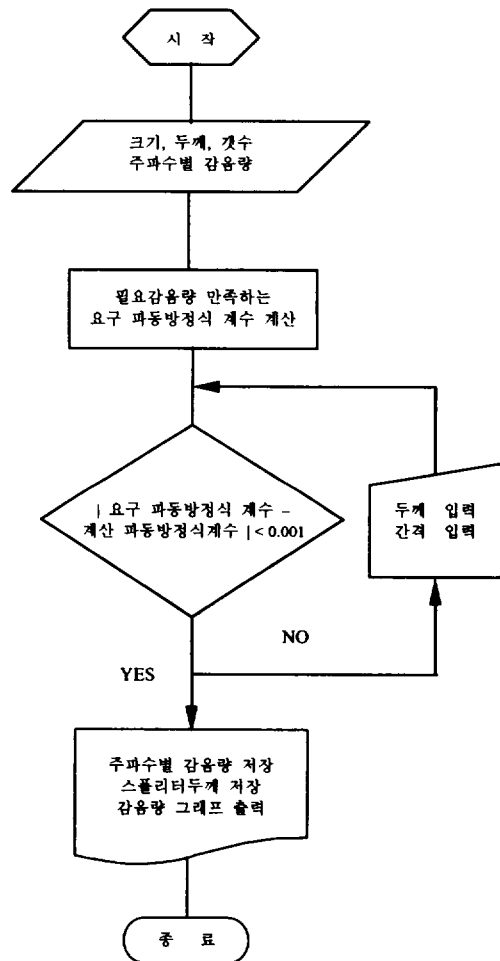


Fig.3 Flowchart of Silencer

설계에는 2.4 에서 계산한 예로하며 Fig.3, Fig.4 로 한다. 계산사양은 현재 지하철 소음기로 제작되어 사용되고 있는 소음기의를 대상으로 평가하면 그 크기는 X×Y×Z, 2000×2000×2400mm 이며, 스플리터의 두께는 두께는 200mm 이고, 사용 흡음재는 GW48k 이고 타공판의 재질은 갈바늄이고 직경 5mm 에 피치가 7mm 이고 두께는 0.8mm 를 사용하였다.

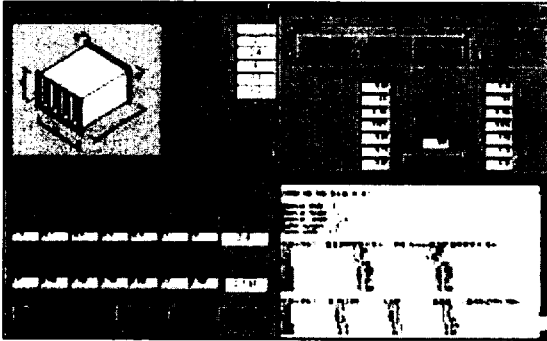


Fig.3 Main frame of Sliencer program

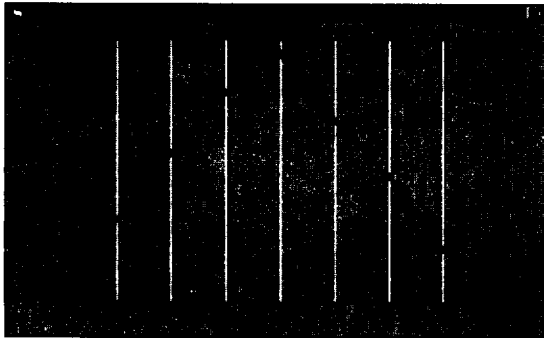


Fig.4 Graph of the Predicted Insertion Loss

측정결과와 계산결과를 비교하면 Table.4 과 같다. 여기서 오차범위가 1dB 이하임으로 계산결과가 측정결과와 잘 일치함을 볼수있다.

Table.4 Comparison of Mesured Loss with expected Loss

	주파수별 감음량 [dB]					
	125	250	500	1k	2k	4k
측정	11.6	26.2	39.9	47.5	32.9	21.1
계산	11.8	26.5	39.8	47.9	33.7	21.5

4. 결론

본 소음기 설계프로그램은 다음과 같은 장점을 가진다.

- 가. 필요 삽입손실이 설정되면 그에 따른 적정 스플리터 갯수와 유로의 폭, 스플리터의 두께를 결정할 수 있으므로 경험적 제작에 비해 그 정도를 향상시킬 수 있다.
- 나. 프로그램에 의해 소음기 제작의 공정을 쫓아 설계파라미터를 조정할 수 있으므로 제작상 단가절약을 할수있다.
- 다. 스플리터에 사용되는 흡음재의 수직입사 흡음율을 측정할 경우 대체 흡음재로써 소음기의 적용성을 평가를 할 수 있다.

5. 참고문헌

- (1) (주)유일산업 기술연구소, 1999, “소음기 삽입손실 데이터북”.
- (2) (주)유일산업 기술연구소, 1999, “재료의 흡음율 측정 데이터북”.
- (3) Lawrence E. Kinsler, Austin R. Frey, Alan B.Coppens, James V. Sanders, 1982, “Fundamentals of acoustics”, John Wiley & Sons.
- (4) M. L. Munjal, 1987, “Acoustics of ducts and mufflers”, John Wiley & Sons.
- (5) 김정석, 1992, “공조설비의 소음설계”, 도서출판 한미.
- (6) R.H.Warring, 1983, “Handbook of noise and vibraton control”, TRADE & TECHNICAL PRESS LTD.