

다구찌 방법을 이용한 덕트의 소음 저감에 대한 연구

Study of Noise Reduction in Duct using Taguchi Method

임희곤* · 이정윤† · 박상길** · 오재웅***

Heegon Lim, Jung Youn Lee, Sang-Gil Park, Jae-Eung Oh

Key Words : Taguchi Method(다구찌 기법), Duct Noise (덕트 소음), Equivalent Noise Level (등가소음도), Inverse Fourier Transform(역푸리에변환), Hanning Windows(해닝창함수), Transmission Loss(전달손실)

1. 서론

오래전부터 소음 저감에 관한 많은 연구들이 이루어졌고 많은 기법들이 개발되었다. 대부분의 연구는 주파수 영역에서의 행해졌으며 발전되어 왔다. 이 연구는 시간 영역에서의 등가소음도를 계산하는 방법을 제안하고, 각 인자들이 소음에 미치는 영향을 다구찌기법을 이용하여 보다 더 소음을 감소시킬 수 있는 인자를 찾는 것이 목적이다. 연구 과정은 측정된 음원을 특정 형상 인자들의 관계에 따른 4 단자 정수를 이용한 TL과의 관계에서 토출측의 음압을 계산하고 iFFT를 이용하여 시간영역에서의 등가소음도를 예측하는 것이다.

2. 이론

실험에서 측정된 SPL은 Fig. 1 (a)이며, (b), (c)는 SPL의 복소수로서 각각 실수, 허수를 나타낸다.

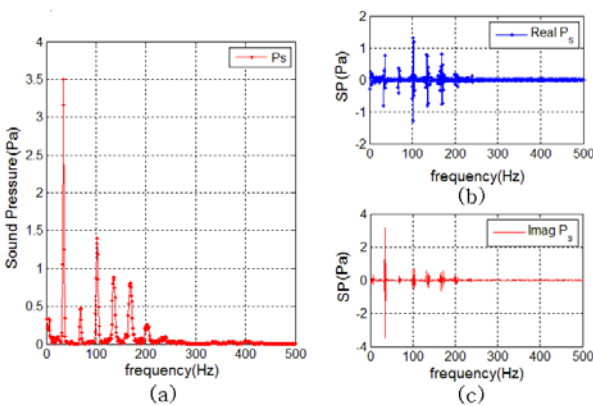


Fig. 1 Sound pressure of source sound

† 교신저자; 경기대학교 기계시스템공학부
E-mail : jylee@kgu.ac.kr
Tel : (031) 249-9811, Fax : (031) 244-6300

* 경기대학교 대학원 기계공학과

** 한양대학교 대학원 기계공학과

*** 한양대학교 기계공학부

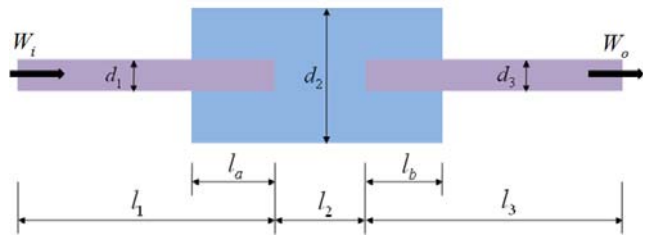


Fig. 2 Feature of the Duct

2.1 Transmission Loss 계산

Fig. 2는 헬름홀츠 공명기와 같은 원리의 소음기 형태로써, 총 8개의 변수($d_1, d_2, d_3, l_1, l_2, l_3, l_a, l_b$)를 지정하여 다구찌 기법의 3수준계 L_{18} 직교배열표를 이용할 수 있도록 하였다.

Transmission Loss 는 입력된 파워와 토출측의 방출되는 파워의 비이며 4단자 정수를 이용하여 계산할 수 있다.

$$TL = 10 \log_{10} \frac{1}{2} \left[T_{11} + \frac{S_o}{\rho c} T_{12} + \frac{\rho c}{S_i} T_{21} + \frac{S_o}{S_i} T_{22} \right] \sqrt{\frac{S_i}{S_o}} \quad (\text{dB}) \quad (1)$$

(단, $T_{11}, T_{12}, T_{21}, T_{22}$: 4단자정수, S_i, S_o : 입구, 토출관 면적, ρ : 매질 밀도, c : 매질의 음속)

2.2 Equivalent Noise Level

TL의 정의에 의해 토출관의 음압을 다음 식과 같이 계산할 수 있다.⁽¹⁾

$$p_t(\omega) = \frac{p_s(\omega)}{\frac{1}{2} \left[T_{11} + \frac{T_{12}}{Y_1} + Y_n T_{21} + \frac{Y_n}{Y_1} T_{22} \right]} \quad (\text{Pa}) \quad (2)$$

(단, p_t : 토출측 압력, p_s : 음원의 압력, Y_1, Y_n : 특성 임피던스)

이와 같이 토출측에서의 압력을 Matlab을 이용하여 iFFT 과정을 거쳐 시간에 대한 음압을 해석하였으며 다구찌기법에 적용하기 위하여 대표값, 즉 등가소음도를 아래와 같이 계산하였다.

$$L_{eq} = 10 \log_{10} \frac{1}{T} \int_0^T \frac{p(t)^2}{p_0^2} dt \quad (3)$$

(단, $p_0 = 20 \times 10^{-6}$ Pa)

3. 결 과

3수준의 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 의 직교배열표를 이용하였으며 각 인자들 $l_{1,2,3}$: 입구관, 토출관, 입구·토출관 사이 거리, $l_{a,b}$: 삽입관 길이, $d_{1,2,3}$: 입구관, 토출관, 공명기 직경으로 하였으며, l_2 를 2수준으로 하고 나머지 인자는 3수준으로 하여 Table 1의 직교배열표를 구성하였다.

<Table 1 Tables of Orthogonal Arrays>

Case No.	$L_{18}(2^1 \times 3^7)$							
	l_2	l_1	l_3	l_a	l_b	d_1	d_2	d_3
1	160	320	240	160	60	15	160	15
2	160	320	300	200	100	20	200	20
3	160	320	360	240	140	25	240	25
4	160	400	240	160	100	20	240	25
5	160	400	300	200	140	25	160	15
6	160	400	360	240	60	15	200	20
7	160	480	240	200	60	25	200	25
8	160	480	300	240	100	15	240	15
9	160	480	360	160	140	20	160	20
10	200	320	240	240	140	20	200	15
11	200	320	300	160	60	25	240	20
12	200	320	360	200	100	15	160	25
13	200	400	240	200	140	15	240	20
14	200	400	300	240	60	20	160	25
15	200	400	360	160	100	25	200	15
16	200	480	240	240	100	25	160	20
17	200	480	300	160	140	15	200	25
18	200	480	360	200	60	20	240	15

Fig. 3은 음원을 iFFT를 수행한 다음, 역으로 Hanning windows를 씌워 시간영역의 음압을 계산한 결과이다. 음원에 대한 SPL은 (3)식을 이용하여 계산하였으며 등가소음도는 110.54(dB)이었다.

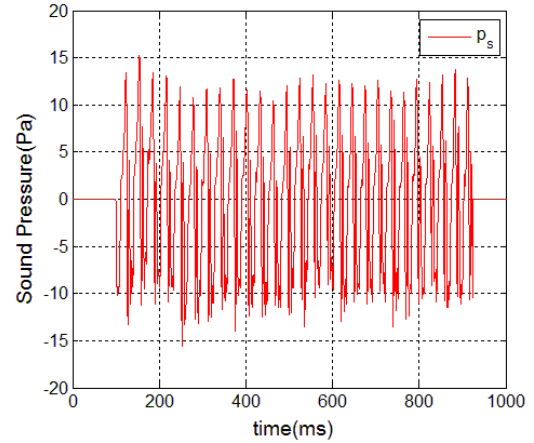
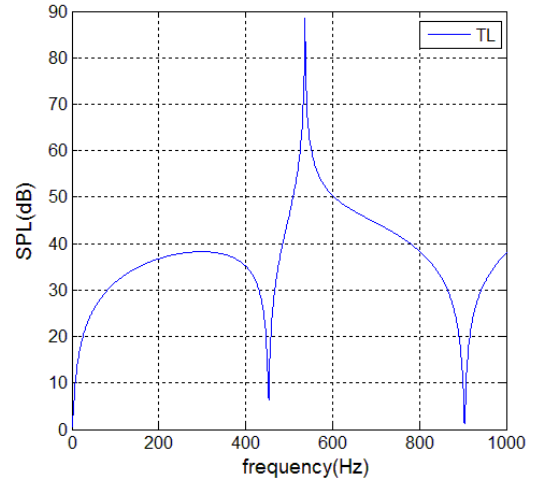
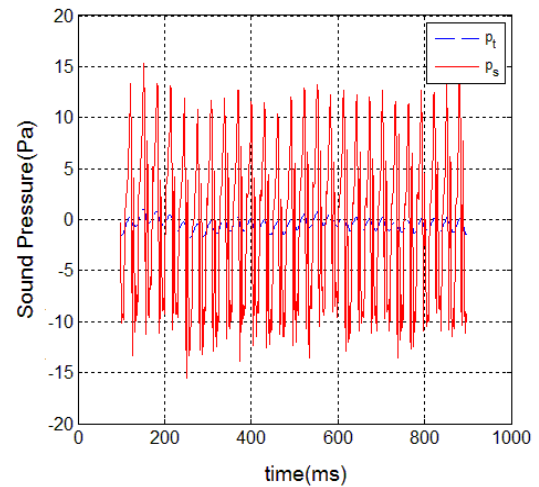


Fig. 3 Time domain of source sound pressure

등가소음도의 계산은 비교적 안정된 구간 [100 900]에서 하였다,



(a) TL of Case 1



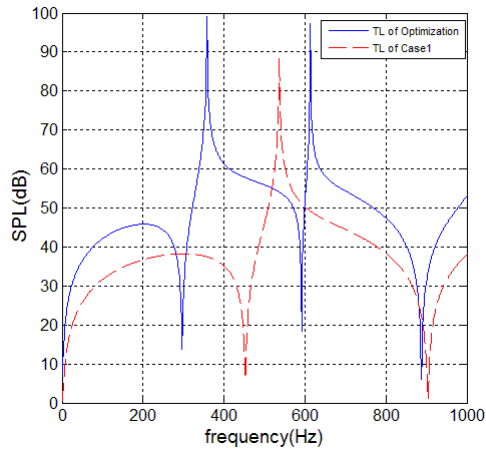
(b) Comparison p_t with p_s

Fig. 4 Result of before modification

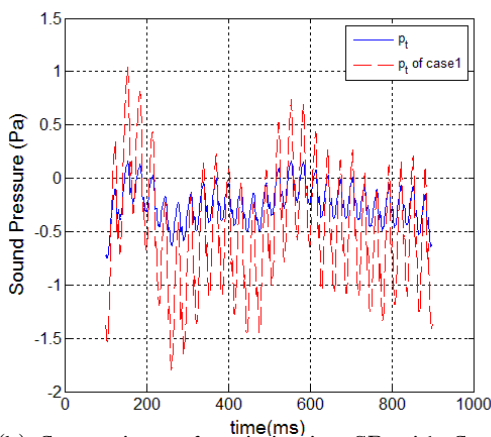
Fig. 4는 Case I의 결과로서 (a)는 TL, (b)는 토출측의 압력 p_t 을 시간영역으로 표시한 것이다. SPL은 90.56(dB)로서 음원과 비교하여 약 19.98(dB) 감소한 것을 확인 할 수 있었다.

Fig.5는 minitab을 이용하여 다구찌기법을 적용한 후의 최적화한 결과로서 각 인자의 최적값은 $l_1 = 400mm$, $l_2 = 200mm$, $l_3 = 300mm$, $l_a = 240mm$, $l_b = 140mm$, $d_1 = 15mm$, $d_2 = 240mm$, $d_3 = 25mm$ 로 예측되었다.

토출측의 p_t 의 값은 약 82.81(dB)로 음원과 차이는 27.73(dB)로 감소한 것을 확인 할 수 있었으며, 또한 Case 1의 음압보다 약 7.75(dB) 감소한 것을 알 수 있다. 따라서 최적화가 적절히 이루어진 것을 알 수 있다.



(a) Comparison of optimization TL with Case I



(b) Comparison of optimization SP with Case I

Fig. 5 Result of optimization for using Taguchi Method

4. 결 론

소음 저감에 대한 지금까지의 연구는 대부분 주파수 영역에서 이루어졌다. 이번 연구를 통하여 주파수 영역뿐만 아니라 시간 영역에서의 분석도 가능하다는 것을 제안 할 수 있으며 다음과 같이 정리 할 수 있다.

- (1) 측정된 음압은 복소수로서 iFFT를 할 수 있으며, 그에 따라 시간영역에서의 음압을 등가소음도로 표시할 수 있었다.
- (2) 시간영역에서의 등가소음도를 다구찌기법에 적용할 수 있었으며 각 인자들을 최적화 할 수 있었다.
- (3) 최적화된 결과, 소음에 대한 저감효과가 큰 것을 확인할 수 있었으며 주파수 영역에서뿐만 아니라 시간영역의 분석 또한 가능함을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- (1) M. L. Munjal, 1987, "Acoustics of Ducts and Mufflers With Application to Exhaust and Ventilation System Design.", John Wiley & Sons, Inc.
- (2) M. L. Munjal and A. G. Doige, 1990, "THEORY OF A TWO SOURCE-LOCATION METHOD FOR DIRECT EXPERIMENTAL EVALUATION OF THE FOUR-POLE PARAMETERS OF AN AEROACOUSTIC ELEMENT", Journal of Sound and Vibration, pp.323~333
- (3) Ih, J.G., 1994, "Acoustic Analysis and Design of Exhaust Mufflers : II. Expressions of Acoustical Performance", Transactions of the KSAE, Vol. 16, No. 5, pp.10~19.
- (4) Oh, J. E., Cha, K. J., Lee, K. T. and Chin, C. U., 1990, "Design of Muffler using Taguchi Method and Experimental Design", Transactions of the KSAE, Vol. 7, No. 5, pp.121~129.
- (5) Kim, H. J., Lee, S. H., Jeon, S. K. and Han, S. M., 2007, "Design of semi-anechoic termination using Taguchi's method", Preceeding of the KSNVE.