

왕복동식 압축기 흡입머플러 설계

이정호* · 안광협** · 이인섭***

Design of The Suction Muffler of a Reciprocating Compressor

Jeong-Ho Lee*, Kwang Hyup An** and In Seop Lee***

Key Words : Suction muffler(흡입 머플러), pipe-resonator(파이프 공명기), Transmission Loss(전달 손실), Insertion Loss(삽입 손실)

Abstract

The suction muffler of a reciprocating compressor is used for reducing noise produced by pressure pulsations. According to the shape, the suction muffler is classified into one-chamber type, two-chamber type, Helmholtz resonator type, pipe-resonator type, and so on. These mufflers are used according to the characteristics of the frequency of compressor noise. In this study, four pole parameters have been used for calculating Transmission Loss of the muffler, and Insertion Loss has been acquired for the optimum design of the muffler by the experiment.

기호설명

p	음압[Pa]
v	질량속도[kg/s]
ρ	냉매의 밀도[kg/m ³]
c	냉매의 음속[m/s]
TL	Transmission Loss
IL	Insertion Loss

1. 서론

왕복동식 압축기의 흡/토출부에서 발생하는 압력맥동은 소음 및 진동의 주요 원인으로 알려져 있다. 또한 유동소음의 발생 원인으로 작용하고 있어 머플러의 소음 저감 특성뿐만 아니라 그 내부 유로에 관한 연구도 수행되어오고 있다⁽¹⁾⁻⁽⁴⁾.

왕복동식 압축기에 사용되는 흡입머플러는 압축기의 소음 특성에 따라 단일 챔버형 머플러를 사용할 수도 있고, 두 개의 챔버를 연결하여 만든 머플러를 사용할 수도 있다. 또한 흡입 머플러에 헬름홀쯔 공명기(Helmholtz resonator)를 설치할 수

있는데⁽⁴⁾⁻⁽⁶⁾, 이 경우 국부적인 주파수대역에서 소음을 크게 줄일 수 있지만 소음 저감을 할 수 있는 대역의 폭이 너무 좁은 관계로 냉매의 온도 변화에 따라서는 원하는 주파수 대역의 소음을 줄이지 못하는 경우도 발생하게 된다. 그러나 파이프 공명기(pipe-resonator)를 사용하는 경우 넓은 범위에 걸쳐 소음 저감 특성이 향상된다고 알려져 있다⁽⁷⁾.

본 연구에서는 four pole parameter 를 이용하여 머플러의 성능 파라미터인 TL(Transmission Loss)을 계산하였으며, 또다른 머플러 성능 파라미터인 IL(Insertion Loss) 실험을 수행하였고 단일 챔버형의 흡입머플러 및 두 개의 챔버를 연결하여 만든 흡입머플러와 파이프 공명기(pipe-resonator)를 사용한 흡입머플러의 소음 저감 특성을 검토하였다.

2. 흡입머플러 모델링

2.1 Transmission Loss

머플러의 성능 파라미터인 TL(Transmission Loss)은 transfer matrix 를 통해 계산할 수가 있다⁽⁶⁾. Transfer matrix 의 상태변수는 음압 및 질량속도 두 가지이다. 이때 머플러 내부의 파동은 평면파를

* bluesl@LGE.com LG 전자 디지털어플라이언스(연)

** lightan@LGE.com LG 전자 디지털어플라이언스(연)

*** islee@LGE.com LG 전자 디지털어플라이언스(연)

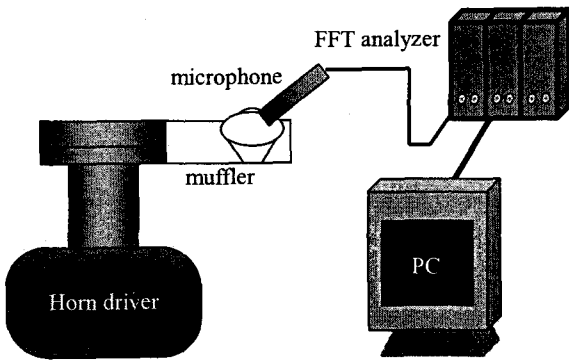


Fig. 1 Experimental Setup

가정하여 계산하게 되며, 실제로 왕복동식 압축기의 흡입머플러는 관심있는 영역의 주파수에서 평면파를 가정할 수 있을 만큼 충분히 작은 크기를 갖고 있다. 따라서 머플러 내부에 3 차원 파동이 존재하고 있지만 overall transfer matrix 를 정의하여 사용할 수가 있다.

Overall transfer matrix 관계식을 살펴보면,

$$\begin{bmatrix} p_{in} \\ v_{in} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_{out} \\ v_{out} \end{bmatrix} \quad (1)$$

와 같다. 여기서 p 와 v 는 음압 및 질량속도이며, 하첨자 in, out 은 머플러의 입구부와 출구부를 나타낸다.

four-pole parameter 는 다음과 같이 구하여 진다.

$$A_{11} = \left. \frac{p_{in}}{p_{out}} \right|_{v_{out}=0} \quad (2)$$

$$A_{12} = \left. \frac{p_{in}}{v_{out}} \right|_{p_{out}=0} \quad (3)$$

$$A_{21} = \left. \frac{v_{in}}{p_{out}} \right|_{v_{out}=0} \quad (4)$$

$$A_{22} = \left. \frac{v_{in}}{v_{out}} \right|_{p_{out}=0} \quad (5)$$

four-pole parameter 를 구하기 위해서는 머플러 출구부의 경계조건으로 무반향 조건인 $p=0, v=0$ 조건을 준다. 즉,

- i) $p_{in}=1, v_{out}=0$ 을 통해 식(2), (4)를 구할 수 있고,
- ii) $p_{in}=1, p_{out}=0$ 을 통해 식(3), (5)를 구할 수 있다.

위와 같은 방법으로 구해진 four pole parameter 를 이용하여 TL 을 구해 보면 다음과 같다.

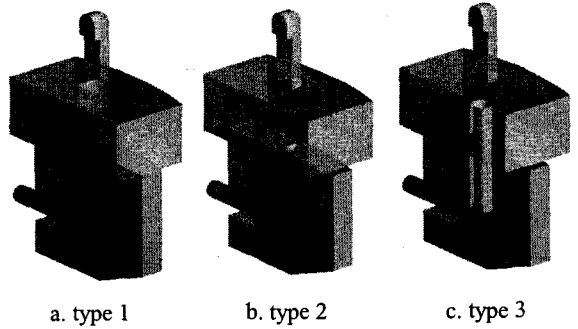


Fig. 2 Modeling of The Suction Muffler

$$TL = 20 \log \left(\frac{1}{2} \left(A_{11} + \frac{A_{12}}{\rho c} + A_{21} \rho c + A_{22} \right) \right) \quad (6)$$

2.2 Insertion Loss

TL(Transmission Loss)은 외부환경 변수에 관계없이 구할 수 있는 머플러의 성능 파라미터이므로 머플러 연구에서 많이 이용되고 있다⁽⁶⁾. 그러나 머플러를 실제 적용하는 경우 머플러 자체의 진동 및 머플러 내부에서 발생하는 유동 소음 등 여러 외부 환경 요소가 많아 TL(Transmission Loss)에서 나타나는 좋은 소음 감쇄 특성이 무시되는 경향이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 IL(Insertion Loss) 실험을 수행하였다. 그러나 압축기 흡입구에서 발생하는 소음원은 측정하기가 어려워 압축기 셀에서 방사되는 음압 측정을 통해 간접적으로 예측하는 정도이므로 정밀한 실험을 할 수는 없으나 소음원 특성 예측에 TL 과 병행함으로써 보다 더 유효한 흡입머플러를 설계할 수 있다고 본다.

Fig.1 은 IL 실험 장치의 개략도이다. 먼저 스피커에서 나오는 음원의 음압을 측정 후 그 값을 기준값으로 정하였다. 다음으로 흡입머플러를 스피커에 연결하여 머플러의 출구부로부터 나오는 음압을 측정하였다. 실험의 일관성을 위해 마이크로폰은 음원의 수직방향으로 1cm 떨어뜨린 후 45도의 경사를 주고 음압을 측정하였다. 이와 같이 측정된 각각의 데이터는 FFT analyzer 를 통해 주파수별 음압을 PC 로 전송받아 그 차이를 구하였다.

2.3 흡입머플러

Fig.2 는 본 연구에서 사용한 흡입머플러로서 단일 챔버형머플러와 두 개의 챔버를 연결하여 만든 머플러, 파이프 공명기(pipe-resonator)를 사용한 머

플러의 내부를 모델링 한 것이다.

3. 결과 및 토의

머플러의 형태에 따른 소음 감쇄 특성을 살펴 보면 Fig.3 과 같이 type1(one chamber type)의 경우 1k Hz 이하에서 좋은 특성을 나타낸다. 그러나 그 레벨이 너무 낮으며 1.2k Hz 에서 공진이 일어나게 되어 저주파 소음이 문제가 되는 경우에 제한적으로 사용하게 된다.

Type2(two chamber type)는 type1 의 내부에 막을 설치하고 그 가운데에 구멍을 뚫어 흡입된 냉매가 소통되도록 만든 형태로서 머플러 내부에서 형성되는 파장이 줄어들어 고주파대역에서 좋은 감쇄 특성을 나타내게 된다. 그러나 type1 과 반대로 저주파대역에서 공진이 일어나 나쁜 특성을 갖게 된다.

Type3 은 pipe-resonator 를 사용한 경우로서 type2 의 단점을 보완할 수 있다. Type1 의 내부를 두 개의 챔버로 나눔으로써 음압을 걸러내지 못하고 그대로 투과되는 저주파 파형의 발생을 pipe 를 설치함으로써 막아주게 된다. 결국 pipe-resonator 를 사용함으로써 전체적인 TL 을 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

Fig.4 는 pipe-resonator 의 형태에 따라 TL 을 계산한 결과로서 세 가지의 경우로 나누었다.

- i) case1 : pipe 를 위/아래 모두 설치
- ii) case2 : pipe 를 아래에만 설치
- iii) case3 : case2 의 pipe 길이 절반만 설치

세 가지 경우 모두 2k Hz 이하에서 Fig.3 에서 보인 pipe-resonator 의 경향과 비슷함을 알 수 있다. 그러나 2.3~2.5k Hz 사이의 특성을 살펴보면, 윗 부분에 pipe 가 있을 경우 공진이 일어나게 된다. 즉, pipe 가 존재함으로써 오히려 투과되지 못했던 고주파의 파형이 더욱 잘 통과하게 해 주는 역할을 하게 된 것이다.

Fig.5 는 type1 과 type3 형태의 머플러의 IL(Insertion Loss)을 실험을 통해 구한 결과로서 공기 중에서 실험한 후 매질을 압축기에서 사용하는 냉매의 물성치로 전환하여 구하였다.

IL 실험의 경우 스피커에서 발생하는 유동 소음이 존재하게 되며, 머플러 출구에서 무반향 조건이 아니기 때문에 계산에 의해 TL 을 구한 결과와 차이를 보이게 된다. 그러나 공진이 일어나는 주파수를 비교해 보면 거의 일치하고 소음 감쇄 특성이 비슷하다.

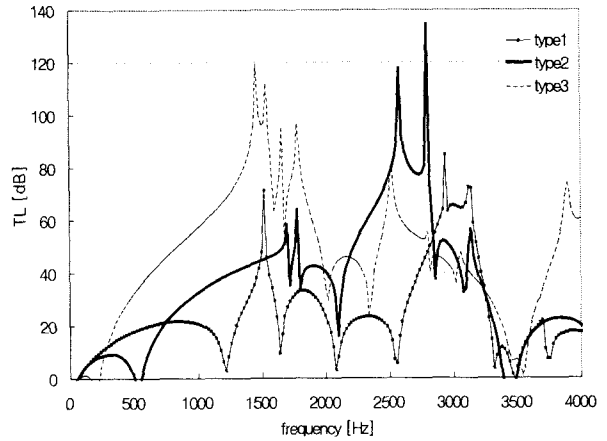


Fig. 3 Transmission Loss of mufflers

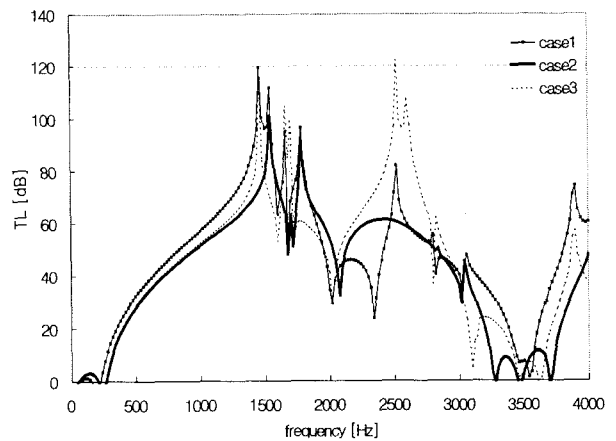


Fig. 4 Transmission Loss of pipe-resonator

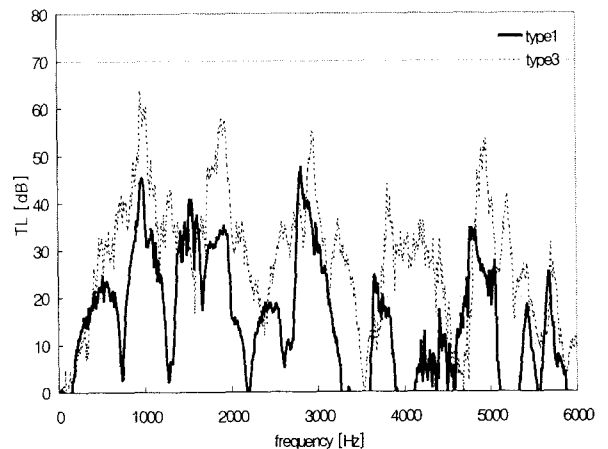


Fig. 5 Insertion Loss of mufflers

4. 결 론

왕복동식 압축기에서 사용되는 흡입머플러는 그 형태에 따라 다양한 특성을 나타나게 된다. 본 연구를 통해 pipe-resonator type 의 흡입머플러는 one-chamber type 및 two-chamber type 의 흡입머플러에서 각각 보이는 저주파 및 고주파의 단점을 고르게 보완하는 특성을 TL(Transmission Loss)과 IL(Insertion Loss)을 통해 알 수 있었으며, 향후 왕복동식 압축기 흡입머플러 설계에 토대를 마련하게 되었다.

참고문헌

- (1) 명환주, 안광협, 이인섭, "PIV 를 이용한 왕복동식 압축기 머플러 유동 연구", 2000, 한국유체공학학술대회, pp383-386
- (2) Singh, R., and Soedel, W., "A Review of Compressor Lines Pulsation Analysis and Muffler Design Research" Part I - "Pulsation Effects and Muffler Criteria", 1974, International Compressor Engineering Conference at Purdue, pp112-123
- (3) Singh, R., and Katra, T., "On The Dynamic Analysis and Evaluation of Compressor Mufflers", 1976, International Compressor Engineering Conferenc at Purdue, pp372-381
- (4) Koai, K. L., Yang, T. and Chen, J., "The Muffling Effect of Helmholtz Resonator Attachments to A Gas Flow Path", 1996, International Compressor Engineering Conference at Purdue, pp793-798
- (5) Kinsler, L. E., Frey, A. R., Coppens, A. B, and Sanders, J. V., "Fundamentals of Acoustics", 1982, John Wiley & Sons, Inc.
- (6) Munjal, M. L., "Acoustics of Ducts and Mufflers", 1987, John Wiley & Sons, Inc.
- (7) Beranek, L. L., "Noise and Vibration Control", 1971, McGraw-Hill, Inc.