

왕복동식 공기압축기의 소음저감을 위한 실험연구

이광길 · 박재석 · 김봉기* · 박양근**

한국산업안전공단 산업안전보건연구원*한국기계연구원**한신기계공업(주)

1. 서 론

공기압축기는 왕복동식과 스크류식으로 대별되며 왕복동식 공기압축기는 중소규모 사업장에서 많이 사용되고 있다. 또한, 왕복동식 공기압축기는 작업장내 또는 작업장 인근에 설치되어 사용되고 있어 근로자들이 이에 의한 소음에 많이 노출되고 있다. 따라서, 본 연구에서는 사업장에서 광범위하게 사용되는 왕복동식 공기압축기를 대상으로 흡기, 압축, 배기 등에 의한 공기의 유동소음, 맥동에 의한 소음, 밸브의 충격소음, 압축기 본체의 진동 및 구조체에 의한 전달 소음, 방사 소음원 등을 규명하여 이에 대한 소음저감대책을 제시하고자 한다.

2. 연구범위 및 대상

본 연구의 범위는 왕복동식 공기압축기 소음저감을 위한 대책수립으로서 주요 소음원을 규명하고, 각각의 기여도를 분석하고, 이를 바탕으로 대책을 수립하고자 한다.

왕복동식 공기압축기를 조사해 본 결과, 대부분 표준형의 실린더 헤드를 설계해 놓은 상태에서, 공기압축기의 용량이 증가하면 실린더 헤드 수를 늘려 제조하고 있었다. 따라서 본 연구에서는 중소규모 사업장에서 많이 사용되고 있는 왕복동식 공기압축기 중 기본형에 해당되는 7.5마력의 공기압축기를 연구대상으로 선정하였다. 왕복동식 공기압축기의 외형 및 사양은 표 1 및 그림 1과 같다.

구 분	사 양
모 델	NH-7
전동기 용량	7.5 Hp
전동기 회전수	1755
크랭크축의 회전수	680rpm
최대 압축압력	10kg/cm ²
크랭크 회전수의 주파수	11.3Hz

표1. 연구대상 공기압축기의 주요 사양

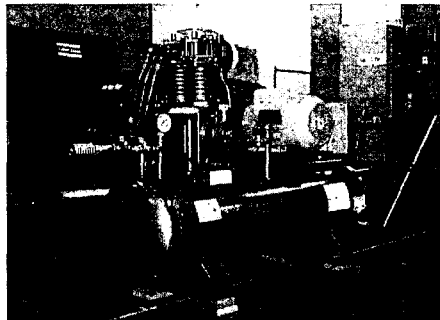


그림 1. 공기압축기의 외형

3. 실험

소음의 측정법으로는 국제적으로 널리 사용되고 있는 ISO 1680/1-1986(E) 및 KS B 6361을 참고로 하여 그림 2와 같이 5개의 측정점(Pt.1~Pt.5)을 선정하였다.^[1,2] 정확한 소음레벨의 평가를 위해서는 무향실(Anechoic Room)에서 측정하는 것이 바람직하나, 본 연구의 목적이 상대적인 소음을 저감하는 것이므로 측정의 편이를 위하여 일반 작업장(실험실)에서 실험 및 상대적인 소음수준을 측정하였다. KS B 6361 및 ISO 1680/1에 의하면 측정장소로 사용된 작업장의 환경보정값으로부터 소음원 자유음장의 음향레벨을 산정할 수 있다. 단, 소음 측정값의 신뢰도를 위하여 측정된 공기압축기의 소음레벨이 전 주파수 대역에서 배경소음(Background Noise)보다 10dB 이상 높아야 한다. 이 조건의 만족여부를 확인하기 위하여 측정해 본 결과 그림 3과 같으며 위의 조건이 만족됨을 확인하였다.

압축압력의 증가와 소음의 관계를 살펴 본 결과, 압축압력이 증가함에 따라 125, 500Hz 및 4000~10,000Hz에서 소음이 5dB 이상 증가함을 확인하였다. 따라서 측정시의 압력에 따라 소음수준이 달라질 수 있으므로, 공기압축기의 소음 측정레벨의 일관성 유지를 위하여, 소음이 가장 크게 발생하는 압축압력 7 kgf/cm² 에서 각각 5회씩 측정하였다.

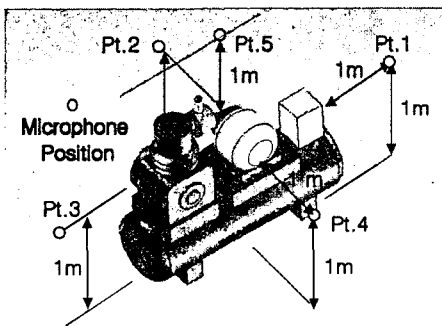


그림 2 소음 측정 위치

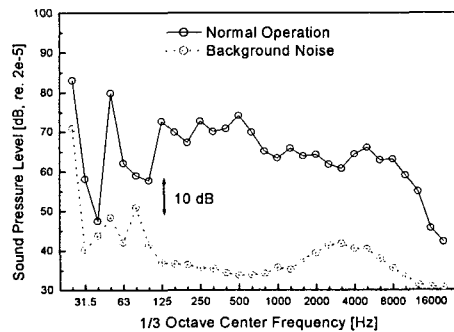


그림 3 공기압축기 소음과 배경소음의 비교

3.1. 소음의 평가

공기압축기의 소음을 평가하기 위하여 부위별 기여도 분석위주로 실험하였다. 실험방법은 Lead Wrapping 방법을 사용하였다. 이 방법은 주요 소음원 전부를 납 차음판(차음재)으로 감싼 후 소음레벨을 측정하고, 각 소음원별로 1개소씩 차음재를 순차적으로 제거해 나가면서 소음레벨을 측정하여, 바로 전 단계에서 측정한 소음레벨과 비교함으로써 그 차를 확인하는 방법이다. 만일 각 소음원이 독립적으로 소음을 방사하고 있을 때 차음재를 제거함에 따라 증가한 소음은 해당 부위에 대한 소음의 기여도라 할 수 있다.

3.2. 기여도 분석

Lead Wrapping 실험으로부터 각 소음원에 대한 기여도를 분석할 수 있다. 특정 소음원에 대하여 Wrapping하기 전의 소음 레벨을 L_{before} 라하고, Wrapping 후의 소음레벨을 L_{after} 라고 하면, 특정소음원에 대한 방사소음 레벨은 식 (1)과 같다.

$$L_A = 10 \log_{10}(10^{L_{before}/10} - 10^{L_{after}/10}) \quad (1)$$

측정결과를 이용하여 각 소음원에 대한 기여도 레벨을 산정해보면 그림 4와 같다. 흡기소음은 100~400Hz의 대역에서 발생하며, 압축탱크에 의한 방사소음은 500~8,000Hz의 넓은 주파수 대역에 걸쳐 있음을 알 수 있다. 밸브소음은 전체 관심 주파수 대역에 걸쳐 있어 가장 중요한 소음원이며, 실린더 헤드 및 실린더 블록의 소음은 125~300Hz 대역과 4,000~8,000Hz 대역에서의 주요 소음원임을 알 수 있다.

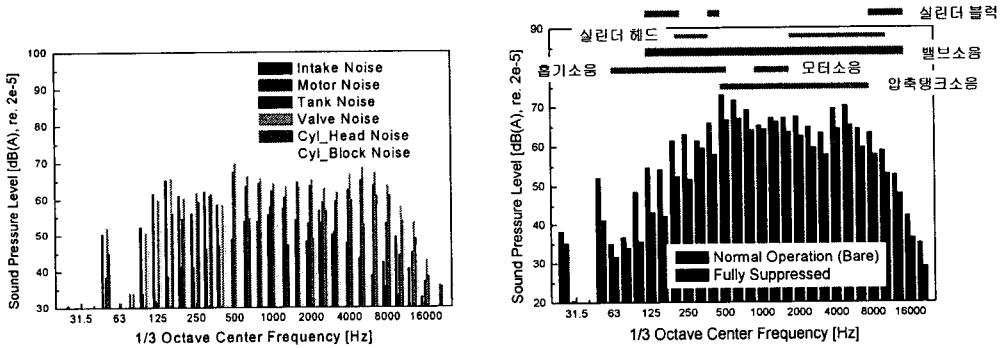


그림 4. 공기압축기의 주요 소음원의 기여도 그림 5. 공기압축기의 주요 소음원의 주파수 대역

3.3. 소음저감 대책 수립 및 장치 고안

소음 기여도분석을 통하여 확인된 결과를 바탕으로 공기압축기의 소음을 저감하기 위하여 아래와 같이 8종의 대책을 수립하였다.

1. 압축공기의 유동경로에 의한 소음 및 맥동에 의한 영향을 최소화하기 위하여 배기측의 소음저감장치를 고안한다.
2. 배기밸브 플레이트에 의한 고주파수대역의 충격음을 완화 또는 제거하기 위하여 배기밸브 플레이트를 댐핑이 좋은 특수 재료로 교체하는 방안을 검토한다.
3. 흡배기밸브플레이트에 의한 저수파수 및 고주파수대역의 충격음의 완화 또는 제거를 위하여 흡배기밸브플레이트를 댐핑이 좋은 특수 재료로 교체하는 방안을 검토한다.
4. 흡기밸브의 소음을 저감하기 위하여 흡기방의 구조 및 밸브의 누름장치 구조 등을 검토하여 장치를 고안한다.
5. 배기밸브의 소음을 저감하기 위하여 배기방의 구조 및 밸브의 누름장치 구조 등

을 검토하여 장치를 고안한다.

6. 흡기구를 통하여 외부로 유출되는 소음을 줄이기 위하여 유출 주파수 대역에 맞는 소음기를 고안한다.
7. 압축기 본체 및 전동기의 소음과 진동이 공기저장탱크 에 전달되어 공기저장 탱크를 진동시켜 소음이 방사되고 있음으로 이에 대한 대책을 수립한다.
- 8 크랭크 케이스의 방사소음 저감 및 기타 소음 저감대책을 검토한다.

위의 대책을 바탕으로 9종의 소음 저감장치를 고안하였다. 그리고 이에 대한 적정성 및 효과를 파악하기 위하여 표 2의 실험순서에 의거하여 실험을 해 본 결과 표 2와 같았다.

Case(Test ID) 1~7은 대책별 개별 소음감소 효과를 파악하기 위함이며, Case(Test ID) 8~13은 각 대책을 순차적으로 추가해 나가면서 누적효과를 파악하기 위함이다.

표 2에서 해당 대책란 상의 Test ID에 ○표로 표시된 것은 해당 소음저감장치가 실험에 포함되었음을 나타낸다.

표 2. 실험순서 및 누적효과

순번	고안된 소음저감장치	Case(Test Identification)Number													
		Base	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Perforated tube	-	○												
2	탱크의 소음저감장치 (노즐 위치변경전)	-		○											
3	탱크의 소음저감장치 (노즐 위치변경후)	-			○					○	○	○	○	○	○
4	배기밸브플레이트 재질변경	-				○				○	○	○	○	○	○
5	흡기밸브플레이트 재질변경	-					○				○	○	○	○	○
6	흡기밸브 소음저감장치	-						○				○	○	○	○
7	배기밸브 소음저감장치	-							○				○	○	○
8	흡기 소음기	-												○	○
9	일체형 방진베드	-													○
SPL [dB(A)]	point2	84.7	82.7	80.2	79.7	84.7	80.9	83.4	81.3	78.7	76.6	76.9	76.2	76.1	74.3
	point3	79.7	79.0	78.0	78.0	79.2	77.7	78.4	78.0	76.8	75.3	74.8	74.3	74.7	72.7

4. 결과 및 고찰

모든 실험은 ISO 1680/1-1986 및 KS B 6361에서 정하는 바에 따라 연구대상 기계의 상하좌우 및 높이 방향의 5개소에서 측정하였다. 그림 6은 본 연구결과로부터 고안

된 주요 대책별 소음감소 효과를 나타내고 있으며 측정점에 따라 다소 차이가 있으나 대책별로 0.9~5dB(A) 정도의 소음 저감효과가 있었다. 그림 7은 각 대책을 순차적으로 추가해 나가며 실험한 누적결과로서 최대 10 dB(A)의 소음저감효과를 확인할 수 있다.

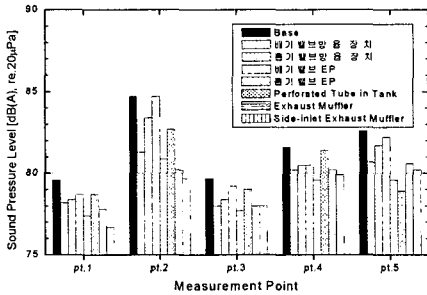


그림 6. 주요대책 소음감소 효과 적용에 따른 누적효과

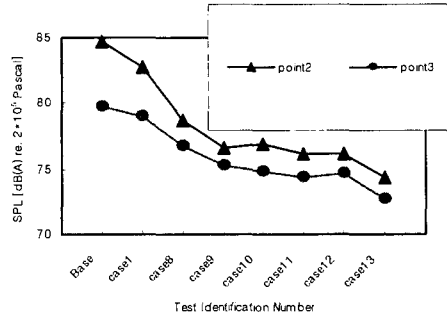
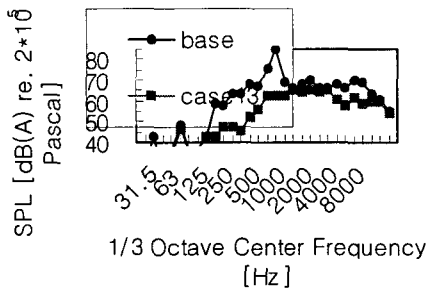
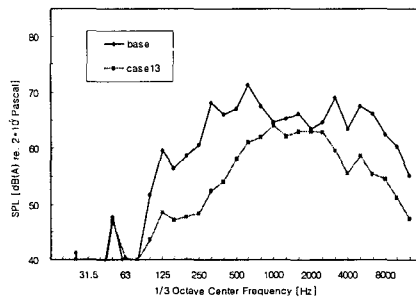


그림 7. 공기압축기 소음저감대책

그림 8에서 •표시 그래프는 개선 전의 공기압축기 소음레벨을 나타내며, ■표시 그래프는 개선 후의 소음레벨을 나타내고 있다. 그림 8(a)에서 전체 소음에 막대한 영향을 미치는 피크점이 없어졌음을 확인할 수 있다.



(a) Pt.2



(b) Pt.3

그림 8. 공기압축기의 소음저감대책 적용 전후의 결과비교

6. 결론

중소규모 사업장에서 널리 사용되고 있는 왕복동식 공기압축기를 대상으로 소음저감에 대한 연구 결과, 최대 10dB(A)의 소음을 저감할 수 있었으며 다음과 같은 결과를

얻을 수 있었다.

1. 공기압축기의 주요 부위별, 주파수 대역별 소음 기여도를 분석하였다.
2. 공기압축기의 소음 전달경로를 확인하였다.
3. 에어필터의 흡기구를 통하여 방사되는 100~400Hz 저주파수대역 소음의 저감을 위하여 흡기소음기를 설계, 제작하였다.
4. 흡·배기밸브의 충격음을 줄이기 위하여 밸브플레이트를 가볍고, 충격흡수 및 내마모성이 좋은 특수재질로 교체하여 소음저감을 시도하였다.
5. 흡·배기밸브에 대한 소음저감장치를 고안하여 밸브에 의한 소음을 현격히 차단하였다.
6. 압축공기에 의한 유동소음 및 밸브 등의 고체기인 소음이 공기저장탱크에 전달되어 발생하는 소음 및 공명현상을 감소시키기 위하여 인입노즐 부위의 소음저감장치를 고안하였다.

참고문헌

1. ISO 1680/1-1986, "Acoustics-test code for the measurement of airborne noise emitted by rotating electrical machinery - Part 1: Engineering method for free-field conditions over a reflecting plane."
2. KS B 6361, 1979, "송풍기, 압축기의 소음레벨 측정 방법".
3. MIL-STD-740-1(SH)-1986, "Airborne sound measurements and acceptance criteria of shipboard equipment."
4. Leo L. Beranek(1971), Noise and Vibration Control, McGraw-Hill.
5. 이정권(1994), "배기소음기의 음향해석 및 설계". 『자동차공학회』 16(4), pp. 37-50
6. M.L. Munjal(1987), Acoustics of Ducts and Mufflers, John Wiley & Sons, Inc.
7. 이성욱(1999), "왕복동식 압축기의 밸브거동과 압력 맥동에 대한 연구". 『한국소음진동공학회』, 9(4), 754-760.
8. 박철희(1997), "냉장고용 왕복동식 압축기의 소음특성에 관한 실험적 연구", 『한국소음진동공학회』, 추계학술대회논문집, 196-201.
9. Masayuki Yokoi(1994), Study of portable electric drill noise. Noise Control Eng. J. 42(4), pp. 129-139.
10. E. P. Rusin(1996), Evaluating the operating parameters of pneumatic percussion machinery, Journal of mining science, 32(6), pp. 511-515
11. Y. Champoux, R. Oddo, C. Guigou, and N. Atalla(1994), On the noise of percussion drill steel rods, Noise, con. 94 pp. 169-174.