

# 왕복동식 공기압축기의 소음저감에 관한 공학적 대책 연구 - 진동평가 및 전달경로 분석을 중심으로 -

이광길 · 김광종 · 박재석 · 김봉기\* · 손두익\*\* 김세완\*\*

한국산업안전공단 산업안전보건연구원 · \*한국기계연구원 · \*\*한국산업안전공단

## 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 압축기 본체 및 공기저장탱크의 진동 및 구조체에 의한 전달 경로를 분석하여 이에 대한 소음 및 진동저감대책을 제시하고자 한다.

## 2. 연구대상

왕복동식 공기압축기를 조사해 본 결과, 대부분 표준형의 실린더 헤드를 설계해 놓은 상태에서, 공기압축기의 용량이 증가하면 실린더 헤드 수를 늘려 제조하고 있다. 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.

표 1. 연구대상 공기압축기의 주요 사양

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

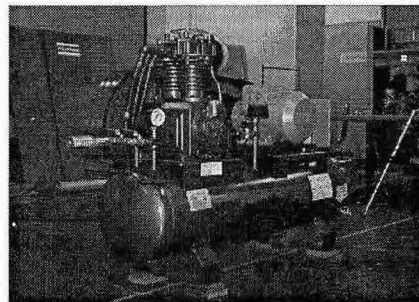


그림 1. 공기압축기의 외형

## 3. 진동특성분석 실험

공기압축기의 주요 소음원에 대한 진동특성을 파악하고 고체음의 전달경로를 분석하기 위하여 그림 2와같이 14개의 측정점에서 진동 가속도를 측정하였다. 측정점은 각각

실린더헤드에 5개소, 실린더블록에 3개소, 크랭크케이스에 6개소를 선정하였으며, 진동 방향을 파악하기 위하여 [그림 2.18]의 측정위치와 같이 x방향에 5개소, y방향에 3개소, z방향에 6개소를 각각 안배하였다. 한편 공기저장탱크의 진동특성을 파악하기 위해 그림 3과 같이 20개의 측정점을 선정한 후 실험하였다.

측정 위치

Location	x	y	z
Cyl Head	12, 13	14	1, 2
Cyl Block		4	3, 5
Crank Case	6, 7, 8	11	9, 10

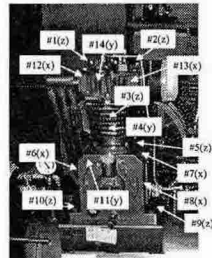


그림 2. 공기압축기의 진동 측정 위치

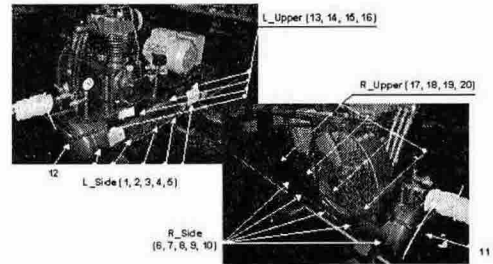


그림 3. 공기저장탱크의 진동 측정점

### 3.1 흡·배기밸브에 의한 진동

공기압축기 주요 소음원인 밸브의 진동상태를 확인하고자, 밸브에 가장 근접된 실린더헤드의 측정점 #1, #2에 가속도센서를 부착하여 밸브의 거동을 분석하였다.

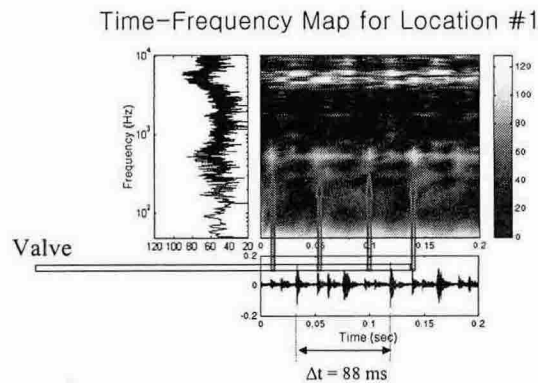


그림 4. 측정점 #1의 시간-주파수 특성

그림 4는 측정된 가속도계(측정점 #1)의 신호를 STFT(Short Time Fourier Transform) 방법을 이용하여 계산한 가속도의 시간-주파수특성으로, 시간에 따른 주파수 변화를 자세히 보여주고 있다. 큰 피크간의 간격은 88ms이며 11.3Hz의 주기적 특성을 갖고 있다.

이 주파수는 공기압축기 크랭크축의 회전(680rpm)주파수와 정확히 일치한다. 따라서 실험대상인 공기압축기가 두개의 실린더를 갖고 있으므로 크랭크축의 1회전에 의해 흡기 및 배기밸브가 각각 2회씩 열리고 닫힘으로 그림 4의 한 주기 내에 있는 6개의 충

격진동 신호는 각각 배기 및 흡기밸브의 진동에 의한 신호로 추정할 수 있다. 본 압축기는 압축압력 7 kgf/cm<sup>2</sup> 에서 실험하였으며 배기밸브 측에는 압축공기의 갑작스런 배기에 의해 압력변동이 큼으로 흡기밸브 측의 진동신호보다 배기밸브 측의 진동신호가 큼을 알 수 있다.

이 경우 배기밸브는 흡기밸브에 비하여 응답속도가 매우 빠르고 진동이 심하게 나타나므로 그림 3의 주기 내에 있는 첫 번째와 4번째 피크는 배기밸브의 진동 특성을, 2, 3번째와 5, 6번째는 흡기밸브의 진동특성을 나타내는 것으로 판단되며, 이로부터 500Hz 부근의 진동은 흡기밸브에 의한 진동으로 판단된다.

### 3.2. 공기저장탱크의 진동

공기저장탱크의 진동은 그림 5와 같이 흡·배기밸브의 진동특성과 같은 500Hz 대역 및 4~5kHz 주파수대역의 진동임으로 밸브의 진동이 공기저장탱크로 그대로 전달되고 있음을 알 수 있다. 따라서 흡·배기 밸브의 진동을 줄이는 것이 가장 근본적인 대책이 될 수 있으며 아울러 압축기 본체로부터 공기저장탱크에 전달되는 진동을 차단하여야 진동에 의한 공기저장탱크의 소음방사를 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

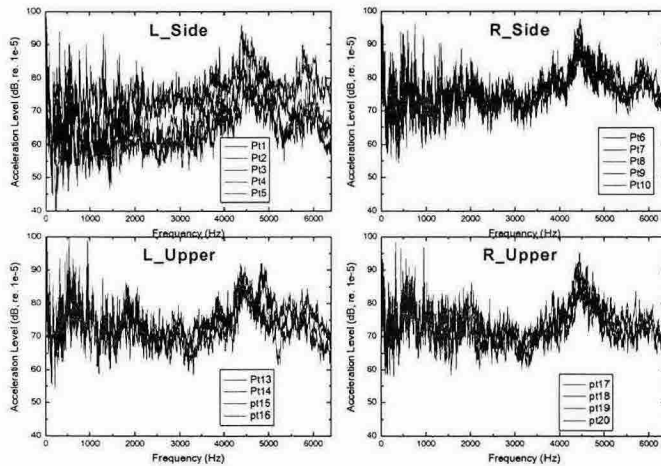


그림 5. 공기저장탱크의 진동 특성

### 4. 전달경로 분석

상기 진동 측정실험 결과 및 본 저자의 소음측정실험<sup>[1]</sup>에서 확인된 결과를 바탕으로 공기압축기의 주요 진동 및 소음원을 그림 6과 같이 나타낼 수 있으며, 공기기인소음(Air-borne Noise) 및 구조기인 소음(Structure-borne Noise)으로 구분할 수 있다.

왕복동식 공기압축기는 진동기에 의해 팬 및 벨트가 구동되며 벨트가 크랭크축을 회전시키면 크랭크 기구에 의해 피스톤이 왕복운동을 한다. 각 부분의 회전, 왕복 운동,

마찰, 흡·배기 밸브의 진동, 압축 유체의 흐름 등에 의하여 소음과 진동이 발생한다.

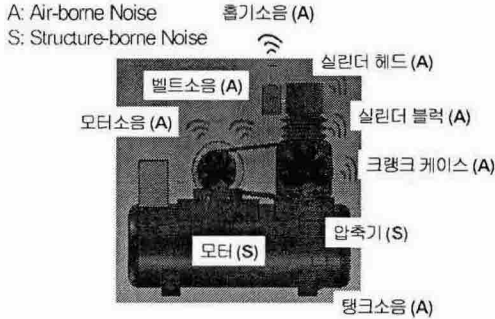


그림 6. 공기압축기 소음의 개요도

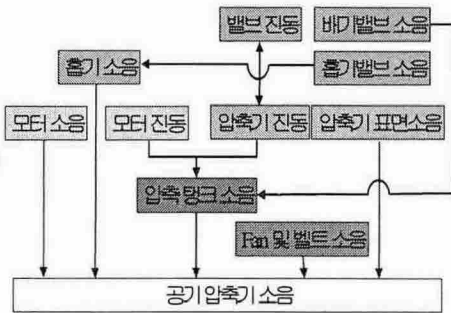


그림 7. 공기압축기 소음의 전달 경로

그림 7은 각 소음의 전달경로를 도시한 것으로 공기압축기 소음은 모터소음, 흡기소음, 공기저장탱크 방사소음, Fan 및 벨트소음, 흡·배기 밸브소음, 압축기표면의 방사소음 등으로 구분할 수 있다. 이 중 공기저장탱크의 방사소음은 전동기 및 압축기의 진동에 의한 구조기인소음과 배기밸브로부터 전달된 압축공기에 의한 유체기인소음으로 판단된다.

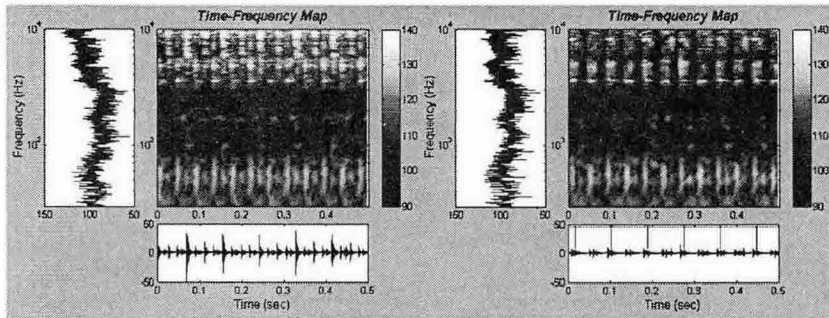
## 5. 진동저감 대책 수립 및 장치 고안

진동평가 및 전달경로 분석을 통하여 확인된 결과를 바탕으로 공기압축기의 소음을 저감하기 위하여 아래와 같이 3종의 대책을 수립하였다.

1. 흡·배기밸브플레이트에 의한 저수파수 및 고주파수대역의 진동 완화 또는 제거를 위하여 흡·배기밸브플레이트를 댐핑이 좋은 특수 재료로 교체하는 방안을 검토하였다.
2. 흡·배기밸브의 진동을 저감하기 위하여 흡기방의 구조 및 밸브의 누름장치 구조 등을 검토하여 장치를 고안하였다.
3. 압축기 본체 및 전동기의 소음과 진동이 공기저장탱크에 전달되어 공기저장 탱크를 진동시켜 소음이 방사되고 있으므로 이에 대한 대책을 수립하였다.

## 6. 결과 및 고찰

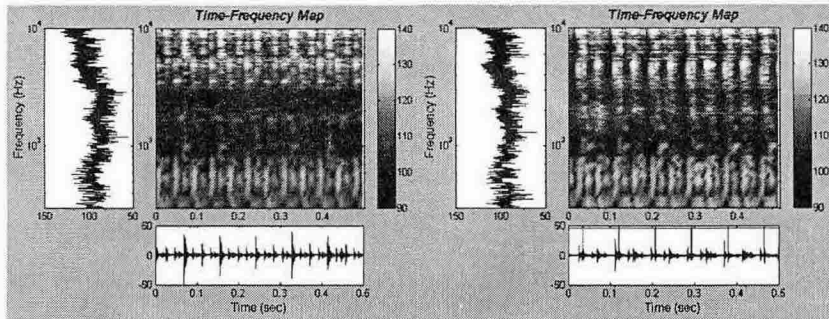
본 진동 및 소음저감 대책을 적용해본 결과 그림 8에서 크랭크축의 회전(680 rpm)에 의한 주기적인 신호( $T=0.088$  sec)가 발생하고 있음을 볼 수 있으며, 한 주기 동안 두 번의 배기밸브와 두 번의 흡기밸브에 의한 충격진동을 볼 수 있다. 그림 8, 9의 측정결과로부터 흡·배기소음 저감장치의 고안에 의하여 실린더헤드로 전달되는 진동이 현격하게 줄었음을 알 수 있다.



(a)

(b)

그림 8. 흡기밸브 소음저감장치 적용전(a) 후(b)의 실린더헤드 진동의 변화



(a)

(b)

그림 9. 배기밸브 소음저감장치 적용전(a), 후(b)의 실린더헤드 진동변화

또한, 일체형 방진베드를 설치하여 실험해 본 결과 그림 10과 같았다. 여기서 case12와 case13의 차이가 방진베드에 의한 소음저감효과이다. 거의 전 주파수에 걸쳐 소음저감효과가 있었으며 특히 크랭크축의 회전주파수에 해당되는 630Hz의 피크치를 현저히 낮추는 것으로 확인되었다.

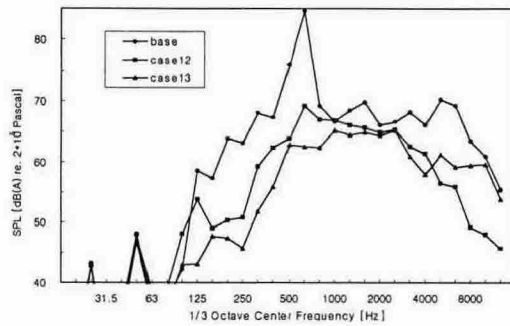


그림 10. 일체형 방진베드의 소음저감누적효과

## 7. 결 론

중소규모 사업장에서 널리 사용되고 있는 왕복동식 공기압축기를 대상으로 진동평가 및 전달경로를 분석하여 그에 대한 대책을 적용한 결과 진동 및 소음을 저감할 수 있었으며 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 공기압축기의 소음 전달경로를 확인하였다.
2. 흡·배기밸브의 충격음을 줄이기 위하여 밸브플레이트를 가볍고, 충격흡수 및 내마모성이 좋은 특수재질로 교체하여 소음저감을 시도하였다.
3. 흡·배기밸브에 대한 소음저감장치를 고안하여 밸브에 의한 소음을 현격히 차단하였다.

## 참고문헌

1. 이광길(2004), “왕복동식 공기압축기의 소음저감에 관한 공학적 대책 연구” 『한국안전학회』, 춘계학술논문집, 269-274.
2. Leo L. Beranek(1971), Noise and Vibration Control, McGraw-Hill.
4. KS B 6361, 1979, “송풍기, 압축기의 소음레벨 측정 방법”.
5. MIL-STD-740-1(SH)-1986, “Airborne sound measurements and acceptance criteria of shipboard equipment.”
6. 이성욱(1999), “왕복동식 압축기의 밸브거동과 압력 맥동에 대한 연구”. 『한국소음진동공학회』, 9(4), 754-760.
7. 박철희(1997), “냉장고용 왕복동식 압축기의 소음특성에 관한 실험적 연구”, 『한국소음진동공학회』, 추계학술대회논문집, 196-201.