

크랭크샤프트의 형상 변경을 통한 소형 왕복동 공기압축기의 진동 및 소음 특성 비교

Comparison of Vibration and Noise Characteristics for Reciprocating Air Compressor through the Change of Crankshaft Parameters

박상길[†]·이해진*·아미누딘 빈 아부*·이정윤**·오재응***

Sang-Gil Park, Hae-Jin Lee, Aminudin bin Abu, Jung-Youn Lee and Jae-Eung Oh

Key Words : Crankshaft(크랭크샤프트), Reciprocating air compressor(왕복동 공기압축기), Counter weight(평형추), Sound intensity(음향 인텐시티), Sound quality(음질평가), Objective analysis(객관적 분석)

ABSTRACT

Recently, modern reciprocating air compressors tend to be smaller and lighter. But, as the development of performance, they have many problems for noise and vibration. For this reason, many researches are processing for the reduction of noise and vibration by arranging cylinders with V/W type. Especially, noise and vibration problems of reciprocating air compressor cause a rotating unbalance of crankshaft, so it needs a change of crankshaft parameters appropriately. Hence in this study, we changed crankshaft parameters to solve the rotating unbalance and compared results in order to verify the noise and vibration reduction between new and original air compressor. According to modify a crankshaft parameter, the improvements of noise and vibration were showed results of spectrum measured at selected points of the air compressor crankshaft housing and sound intensity contours measured at a belt left side, table that figure out characteristics of noise. Furthermore, we analyzed objective sound quality metrics with recording data of systems. The results showed that, the new design has improved the level of the first harmonic of vibration displacement, noise and objective sound quality metrics.

1. 서 론

산업용으로 많이 사용되고 있는 소형 왕복동 공기 압축기는 최근 소형화, 경량화로 되어 가는 추세에 있다. 그러나 성능 위주의 설계 개발로 인하여 소음·진동 면에서 큰 문제점을 안고 있다. 현재 국내에서 생산되고 있는 산업용 공기압축기의 경우, 대부분이 진동과 소음이 심하고 내구수명이 짧아 많은 어려움을 겪고 있으며 특히, 산업현장의 환경개선을 위해서도 저진동·저소음의 시스템 구현이 중요하다고 할 수 있다.

이를 위해 왕복동 공기압축기의 설계에 있어서 실린더 배열을 V 형 또는 W 형으로 채택함으로써 소음·진동을 저감하려는 연구가 많이 진행되고 있다.⁽¹⁾⁽²⁾ 특히, 크랭크 기구를 기본 구조로 하는 공기압축기의 소음·진동은 크랭크샤프트의 편심 질량에 의한 휘돌림(whirling) 현상으로 적절한 형상 변경이 필요하다. 이를 위해 제시되는 가장

효율적인 방법 중 하나로 평형추(counter weight)를 적절하게 설계하는 것이다.

본 연구에서는 왕복동 소형 공기압축기의 크랭크샤프트 형상을 변경하여 수정 전 후의 진동 성능을 측정·비교하고, 음향 인텐시티를 이용하여 관심주파수 대역의 소음 변화량을 가시적으로 나타내고자 한다. 또한 소리에 대한 여러 가지 느낌을 객관적으로 표현하는 객관적 음질분석 방법을 통하여 Zwicker 가 제안한 라우드니스(loudness) 샤프니스(sharpness), 러프니스(roughness), 변동강도(fluctuation strength) 등의 객관적 음질인자(metrics)를 수치화 하여 크랭크샤프트 형상 변경 전 후의 음질특성 파악하고자 한다.⁽³⁾⁽⁴⁾

2. 실험 대상

2.1 왕복동 공기압축기의 기본 제원

(1) 공기압축기의 기본 제원

실험 대상인 왕복동 공기압축기의 기본 제원은 Table 1 에 나타낸 바와 같이 7.5 마력의 파워와 680 rpm 의 회전속도로 작동하는 저압용 공기압축기이다. Fig. 1 에서는 공기압축기의 사진과 주요 명칭을 나타내었다.

[†] 한양대학교 대학원 자동차공학과
E-mail : sanglepark@hanmail.net
Tel : (02) 2294-8294, Fax : (02) 2299-3153

* 한양대학교 대학원 자동차공학과

** 경기대학교 기계시스템디자인공학부

*** 한양대학교 기계공학부

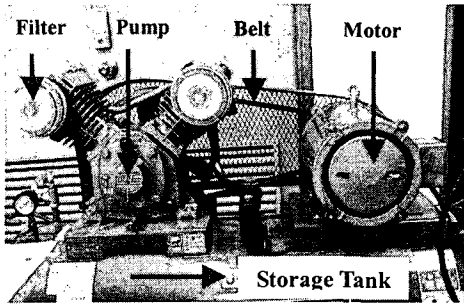


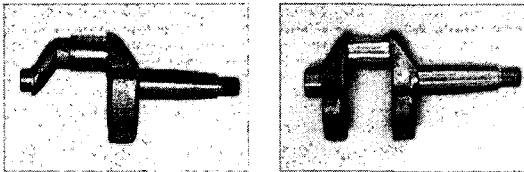
Fig. 1 Reciprocating air compressor

Table 1 Specifications of the compressor

Model	Power		Operating speed (rpm)
	H.P.	kW	
WHU 7.5HP	7.5	5.5	680

(2) 크랭크 샤프트의 기본 제원

Fig. 2 의 (a)는 기존의 크랭크샤프트이고, (b)는 형상을 변경한 새로운 크랭크샤프트를 나타낸 것이다. 형상 변경 인자와 변경된 수치는 Table 2 에 정리하였다. 평형추의 개수를 증가시킴에 따라 지지부의 역할을 하는 베어링 샤프트의 지름 및 길이는 기존보다 길게 설계하였고, 평형추의 장착과 직접 연관되는 길이, 각도 등의 인자들은 작게 설계하였다.



(a) original (b) new design
Fig. 2 The shapes of crankshafts

Table 2 Specifications of both crankshafts

Design parameters	Original	New design
Counter weight length(mm)	82	64
Crank throw(mm)	40	37.5
Counter weight angle(°)	144	132
Overlap thickness(mm)	47.1	37.8
Crankpin diameter(mm)	48	38
Bearing diameter length(mm)	19	23
Bearing shaft diameter(mm)	30	40
Number of counter weight	1	2

3. 진동 특성 실험 및 고찰

Fig. 3 은 공기압축기의 크랭크샤프트에 대한 가속도계 성능 시험의 실험적인 구조와 위치를 나타낸 것이다. 본 실험에서는 세 개의 가속도계를 펌프의 정면과 측면, 뒷면에 부착하여 공기압축기의 운전 중 진동량을 측정하였다. 이것은 각 위치에 따른 진동 변위의 첫 번째 주기 중 최고점을 측정하기 위한 것이다.

이와 같이 공기압축기에 형상 변경 전 후의 크랭크샤프트를 장착하고 진동 성능 시험을 수행하였다. 가속도계로부터 받은 진동 신호는 증폭기를 지나서 주파수분석기(FFT analyzer)를 통해 시간영역 데이터에서 주파수영역 데이터로 처리되어 저장된다.

Fig. 4 는 가속도계의 부착 위치에 따라 공기압축기의 진동 측정 방향을 보여주는 것으로 (a)는 상하 방향, (b)는 좌우 방향, (c)는 앞뒤 방향을 나타낸다. Fig. 5 는 Fig. 4 에서 나타낸 방향대로 시험한 결과를 주파수영역에서 비교한 것이고, 각 최대값의 크기는 Table 3 에 정리하였다.

이상의 분석 결과 기존 크랭크샤프트와 비교하여 신형 모델을 사용한 공기압축기의 진동량이 약 50% 정도 줄어들었음을 확인할 수 있었다.

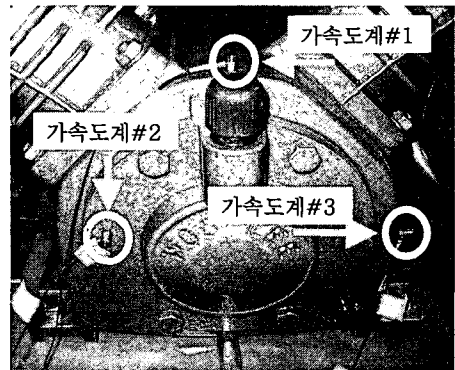
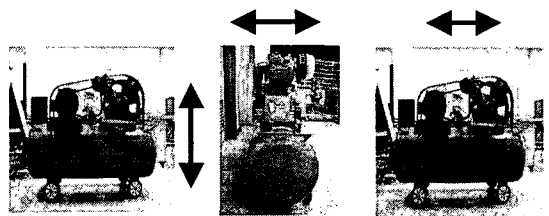


Fig. 3 Experimental for vibration performance test



(a) up and down (b) left and right (c) front and back
Fig. 4 Directions of vibration measurement

4. 소음 특성 실험 및 고찰

음향 인텐시티는 임의의 위치에서 단위 면적을 통과하는 음향에너지의 시간당 변화율로서 음압과 입자속도의 곱으로 나타나는 벡터량으로 정의된다.

따라서 본 실험에서는 공기압축기의 운전 중 소음 특성을 알아 보기 위해 근접장에서의 음향 인텐시티를 측정하여 소음원을 가시화하였고, 크랭크샤프트 형상 변경 전 후의 소음 분포를 비교하였다. 또한 실제 청감을 묘사하기 위해 객관적 음질분석을 실행한 후 각 음질 인자의 특성을 수치화하여 비교하였다.

4.1 공기압축기의 운전 중 음향 인텐시티 측정

인텐시티 프로브(probe)를 사용하여 시스템의 음향 인텐시티를 측정하였다. 예비실험 결과 공기압축기의 소음이 1kHz 에서 피크를 나타내어 관심주파수로 선택하였고, 관심주파수 영역에 따라 측정 간격은 10cm 로 총 45 개 지점에 한 지점당 평균 50 회를 측정하였다. 측정 위치는 작업자에게 소음의 영향을 많이 미치는 방향을 고려하여 측면으로 결정하였다.

공기압축기의 1kHz 대역 음향 인텐시티의 등고선도(contour map)에 대하여 Fig. 6.에 나타내었다. (a)의 등고선도에서 보는 것처럼 기존 공기압축기의 경우 펌프 주변의 인텐시티가 가장 크게 나타났고, (b)의 변경한 크랭크샤프트를 장착한 경우에도 펌프 부분의 소음이 상대적으로 크게 나타났으나 기존보다 줄어들었음을 알 수 있다. 그리고 각 측정점에서 음향 인텐시티를 총 레벨(overall level)로 측정한 결과값을 Table 4에 정리한 것을 보아도 기존과 비교하여 약 6dB 가까이 감소한 것을 알 수 있다.

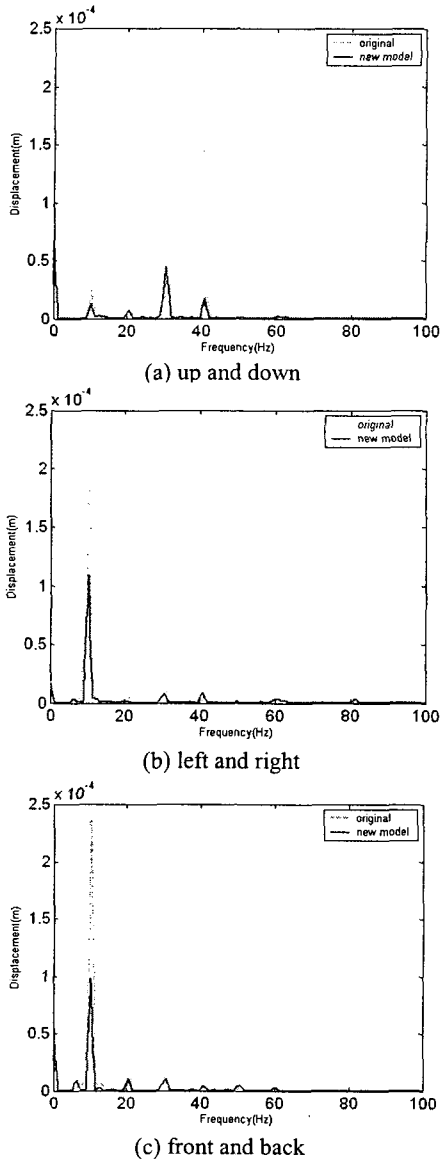


Fig. 5 Comparison of original and new design vibration displacement of the air compressor

Table 3 Comparison of rotation component magnitude

Vibration cases	Original (μm)	New design (μm)	Reduction (%)
Up and down	25.11	13.16	48
Left and right	235.42	109.33	54
Front and back	181.96	98.38	46

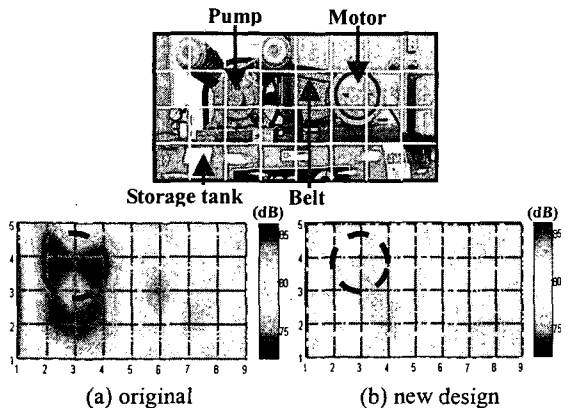


Fig. 6 Sound intensity contour of the air compressor at 1000Hz

Table 4 Comparison of SIL at 1000Hz

	Original (dB)	New design (dB)	Reduction (dB)
SIL	86.8	81.1	5.7

4.2 객관적 음질분석

보통 단순함과 편리성 때문에 A 보정(A-weighting)된 음압 측정이 소음의 크기를 평가하는 방법으로 널리 사용되어 왔지만 dB(A)는 인간의 주파수 대역별 인식 정도와 소리에 대해 느끼는 비선형성을 고려하고 있지 않기 때문에 dB(A)의 크기만큼 사람이 인식하 못하는 정도의 차이가 발생할 수 있다.

따라서 본 실험의 데이터는 실제 작업자 위치와 비슷한 위치인 너비, 높이 1m 가량 떨어진 지점에서 공기압축기의 운전 중 소음을 녹음하고, 크랭크샤프트 변경에 따른 공기압축기의 소음에 대하여 dB(A)뿐만 아니라 객관적 음질분석을 실시하였다.

Table 5는 크랭크샤프트 형상 변경 전 후의 소음에 대하여 객관적 음질 분석을 실시한 결과를 보여준다. 그 결과 변동강도 인자를 제외한 모든 인자들의 값이 감소하였으며, 특히 라우드니스는 9sone 이상 감소한 결과를 보여주어 기존 소음보다 20% 가까이 작게 느껴질 것으로 예상된다.

Table 5 Comparison of objective sound quality metrics

Objective sound quality metrics	Original	New design
SPL(dB)	84.9	79.7
SPL(dBA)	78.8	76.8
Loudness(sone)	49.8	40.6
Sharpness(acum)	3.91	3.57
Roughness(asper)	4.14	3.57
Fluctuation(vacil)	0.0425	0.0464

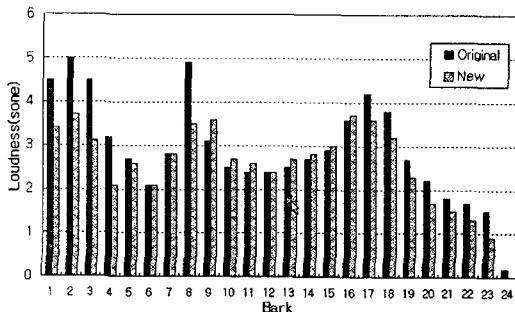


Fig. 7 Loudness comparison of original and new design

또한 객관적 음질인자 중 소음의 크기를 나타내는 라우드니스 인자를 이용하여 Zwicker 가 제시한 바크(Bark)별 음질 특성에 대한 분석을 실행한 결과 Fig. 7 에 나타난 것과 같이 저주파 대역(4 바크 이하)과 8 바크의 소음 저감이 명확함을 확인할 수 있었다.

5. 결론

본 연구에서는 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 크랭크샤프트의 형상 변경 전 후 공기압축기의 운전 중 진동량이 약 50% 정도 줄어들었음을 확인하였다.
- (2) 공기압축기의 운전 중 음압 측정과 음향 인텐시티 측정을 통하여 1kHz 대역에서 높은 소음이 존재함을 알 수 있었고, 기존 대비 음향 인텐시티 레벨이 약 6dB 가까이 감소하였음을 확인하였다.
- (3) 소음의 객관적 음질분석 결과 기존보다 음압레벨, 라우드니스, 샤프니스, 러프니스는 감소하였고, 변동강도는 증가함을 알 수 있었다.

참고문헌

- (1) 김영철 등, 2003, "소형 왕복동 공기압축기 및 동부품의 품질향상 및 공정개선 기술지원", 한국기계연구원
- (2) 김형진 등, 2004, "V/W 형 왕복동 공기압축기의 평형에 관한 연구", 한국소음진동공학회 논문집, 제 14 권 제 1 호, pp. 24~31.
- (3) 오재웅 등, 1994, "음향인텐시티법에 의한 자동차 엔진룸과 차실의 소음원 규명", '94년도 춘계학술대회논문집, 대한기계학회, pp.533~536
- (4) Zwicker, E., and Fastl, H., 1999, "Psychoacoustics : Facts and Models", Springer-Verlag, Berlin Heidelberg