

공기 압축기와 암모니아 냉동기의 진동 분석 사례 Case study of the Vibration Analysis of the Compressor Ammonia Refrigerator

장용석 · 임장익 · 김병수 · 김효중 · 최병근
Y. S. Jang, J. I. Lim, H. J. Kim and B. G. Choi

(접수일 : 2008년 6월 18일, 수정일 : 2008년 8월 12일, 채택확정 : 2008년 8월 18일)

Key Words : Air-compressor(공기 압축기), Ammonia-refrigerator(암모니아 냉동기) Diagnosis(진단), RBPF(회전자 봉 통과 주파수), Rubbing(접촉)

Abstract : The necessity of diagnosis of the rotating machinery which is widely used in the industry is increasing. Because vibration diagnosis can avoid sudden breakdown of machine and reduce the maintenance costs. In chemical factory, Air-compressor and refrigerator which can affect the performance and capacity of output are important machine. Therefore, in this paper, the vibration of reassembled air-compressor and refrigerator after explosion is measured for checking the machine condition. The result of diagnosis and solution is discussed in this paper.

1. 서 론

산업의 발전과 더불어 기계 설비의 비약적인 증가 속에 경쟁력 강화를 위해 보다 우수한 성능의 기계들이 속속 등장하였고, 이에 따른 고속화, 경량화, 정밀성은 나날이 발전하였다. 그러나 생산시스템에서 가장 중요한 회전 기계의 경우 제작상의 난점과 구동중에 발생하는 작은 결함에 의해서도 전체 설비에 영향을 미치게 되어 점차 성능의 향상과 더불어 설비 보전 및 결함 진단을 올바르게 하기 위한 노력이 요구 되었다.

회전 기계의 주 결함요인으로는 정렬 불량, 불평형, 공진 등에 의한 진동 및 소음의 증가로 인해서 작업자에게 열악한 작업환경을 조성하게 되고, 최악의 경우에는 설비가 파손까지 진행될 수 있다. 이러한 결함 발생 시 생산량 저하 혹은 수리 후 정상 가동까지의 시간 및 비용 손실이 발생하게 되어 제품 생산에 큰 타격을 주게 된다. 그러므로 생산현장에서는 되도록이면 조기에 결함을 검출하기 위해서 진동을 측정하고, 이를 통하여 고장요소를 조기에 제거하거나 더 이상 진전되지 못하게 막음으로써 물적 손

실을 최대한 줄이려는 노력을 하고 있다.

본 논문에서는 설비의 상태감시가 적절히 이루어지지 않아 커플링 완파 이력을 가지고 있는 공기 압축기와 노후 된 냉동기에 대해 진동 및 소음측정을 실시하였고, 진동 측정 결과를 토대로 ISO 10816-3 규격과 비교하여 기계의 상태를 확인하고 향후 대책을 수립하기 위한 자료로 활용하고자 한다.

2. 대상 설비 이력

회전기에 대해서 진동 신호를 활용해 상태 감시 정비(Condition Based Maintenance)를 적용한다면 결함의 예방 및 조기 진단이 가능하고 이에 따라 보다 쉽게 문제를 처리 할 수 있으며, 설비 보호의 강화, 사람을 위한 안정성의 향상, 정비 순서의 향상, 문제의 조기 발견, 파괴적인 손상의 회피, 설비 수명의 연장 및 효율적인 운전 등의 이점을 부여할 수 있다.

본 대상 설비인 공기 압축기와 암모니아 냉동기의 경우 생산 현장에서 약 40년 정도 가동 중인 설비로써, 상태 감시 정비 시스템이 구축되어 있지 않은 상황이었으며, 특히 공기 압축기의 경우 노후에 의한 베어링 하우징의 폭발로 인해서 2000년부터 2006년까지 정상화를 위해 보수작업과 부품의 교체 등을 하면서 Running Test를 반복 수행하였다. 하지만 수 차례에 걸친 정상화를 위한 노력에도 불구하고 다시

장용석(책임저자) : 경상대학교 정밀기계공학과
E-mail : cysers@naver.com, Tel : 055-640-3188
임장익, 김병수, 김효중 : 경상대학교 정밀기계공학과 대학원
최병근 : 경상대학교 기계항공공학부

진동값이 커지고 일정한 경향을 보이지 않는 불안정한 상태로 지속적으로 운전되고 있었다.

3. 측정 및 분석 방법

측정 대상인 공기 압축기와 암모니아 냉동기의 사양은 Table 1 및 Table 2와 같으며, 진동측정 위치는 Fig. 1과 Fig. 2에서 같이 압축기 및 냉동기의 각각에 대하여 전동기, 기어상자, HP와 LP의 각각의 베어링에 대한 구동단(DE) 및 반구동단(NDE)의 수직방향(V), 수평방향(H)과 축방향(A)에 대해서 진동을 측정하였다.¹⁾ 공기 압축기의 경우 9 point에서 9 point × 3 direction = 27 개이고, 암모니아 냉동기의 경우 총 측정 위치는 10 point이며, 총 측정데이터는 10 point × 3 direction = 30 개의 데이터를 Recording 하였다.

Table 1 A-gb101 air-compressor

Compressor	
Capacity	23.800NM ³ /h Dry
Rpm	9,300rpm(Stage : LP6, HP6)
Motor	
Rpm	1800rpm.
Pole	4
Speed Increaser Gear	
Rpm	High : 1,800 Low : 9,300
Speed Ratio	5.23

Table 2 A-gc501 refrigerator

Refrigerator	
Rpm	APPROX 11,700 rpm
Motor	
Rpm	1,785 rpm
Speed Increaser Gear	
Output Speed	11,700 rpm
Horse Power	2,500 kW

측정 및 분석 장비는 Table 3과 같이 Pulse 3560C (B&K SV)을 사용하였고, 진동센서는 가속도계를 사용하였다. 스펙트럼 분석 시에는 10Hz~3.2kHz로 주파수 영역을 설정하여 사용하였다.²⁾ 소음 측정 장비 HAND-HELD ANALYZER 2250 사용하여 측정 지점에서 1m 떨어진 지점에서 수직으로 하여 각 point

마다 측정 하였으며, 공기 압축기의 경우 1~8 point, 암모니아 냉동기의 경우 1~10 point를 3분간 Recording하여 평균화 하였다.²⁾

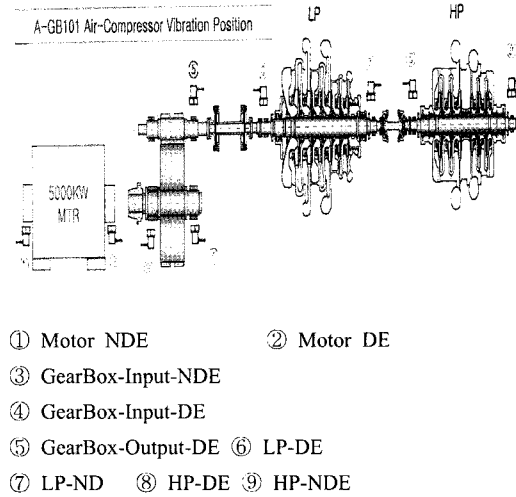


Fig. 1 Vibration measurement points of air-compressor

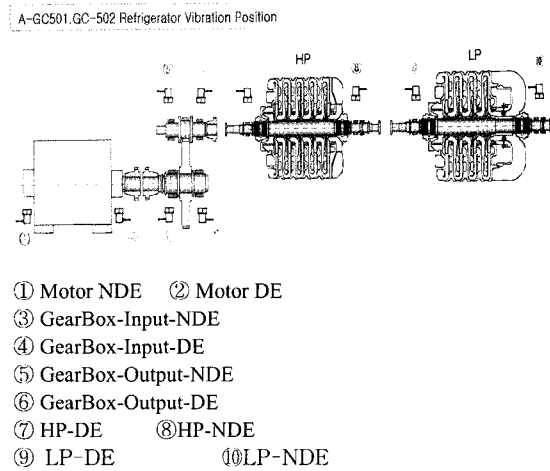


Fig. 2 Vibration measurement points of refrigerator

4. 진동 및 소음 평가 기준

측정대상인 공기 압축기와 냉동기는 현장 환경에 의하여 측진동 측정이 불가능하였으므로 비 회전부분 베어링의 측정에 의한 기계진동의 평가(ISO 10816-3) 기준을 적용하였다. 그 적용 범위는 국제 규격에서 제공되는 ISO 10816-3을 적용, 15kw 이상의 출력과120rpm과 15,000rpm 사이의 운전속도를 가지는 기계 장치에 적용된다. 그리고 설계, 구조 또는 베어링과 지지구조의 차이점과 기계 형태 및 정격 출력 또는 축 높이에 따른 여러 기준에 의한 분류

를 통해서 확인하면, 측정대상은 멀티 베인을 가지는 펌프와 동일한 구조를 가지며 구동부가 전동기와 분리되어 있고, 전동기의 출력이 5MW인 ISO 10816-3의 그룹 3에 포함 될 수 있다. 공기 압축기와 암모니아 냉동기는 유연지지 타입이므로 Table 4 에서와 같이 각 영역의 경계 값 기준으로 적용하였다.^{1,2)}

소음의 경우 ISO소음 환경기준 권장치를 적용하였으며 Table 5와 같다.

Table 3 Equipment for the measurement and analysis of signal

Equipment	Measurement	
	Vibration value	Spectrum
B&K PULSE 3560	<ul style="list-style-type: none"> Unit : mm/s Signal detection: rms Measurement range: 10Hz~10kHz 	<ul style="list-style-type: none"> Unit : mm/s Signal detection: p(0-peak) No. of lines : 6400 Window type: Hanning Measurement Range :10Hz~3.2kHz No. of averaging : 4 Average types: Frequency domain
B&K 2250	0~20kHz	1/3 Octave A-weighting

Table 4 Classification of vibration severity region for rotating machine

	Section	r.m.s (μm)	r.m.s (mm/s)
Rigid support	A/B	18	2.3
	B/C	36	4.5
	C/D	57	7.1
Flexible support	A/B	28	3.5
	B/C	57	7.1
	C/D	90	11.0

Table 5 ISO environment noise value [dB(A)]

Section	Time		
	Day	Evening	Night
Residential area	45	40	35
Banlieue area	50	45	40
Town area	55	50	45
Commerce and Industry area	60	55	50
Commercial area	65	60	55
Industry area	70	65	60

5. 데이터 분석

5.1 공기 압축기

Fig. 3은 측정 대상인 공기 압축기의 전동기 구동단(DE)에서 측정된 주파수 스펙트럼을 나타낸다. 각각의 그림에서 M_1X, M_2X 등은 전동기 운전주파수 및 그 조화성분을, C_1X 및 C_2X 등은 압축기 운전주파수 및 그 조화성분을 나타낸다. Fig. 3에서와 같이 공기 압축기의 전동기 구동단에서 수평방향의 경우 압축기의 조화가진 주파수인 1X, 2X의 성분이 발생하였고, 1X 성분이 가장 높게 나타났다. 전동기의 구동단 수직방향에서도 압축기의 조화가진 주파수인 1X와 2X의 성분이 발생하였으며, 전동기의 조화 가진 주파수인 1X와 4X의 조화성분이 발생하였다.

그리고 공기 압축기의 다른 측정 위치에 비해 진동값이 높게 나타났다. 또한, 측정 대상인 공기 압축기와 암모니아 냉동기 두 설비 모두 전동기의 구동

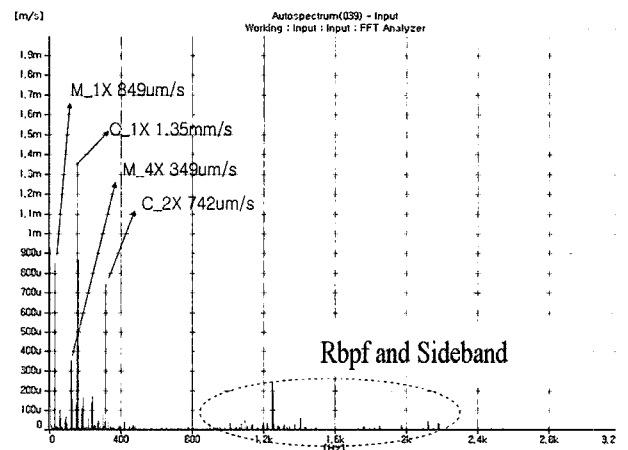


Fig. 3 The spectrum of air compressor motor_de(H)

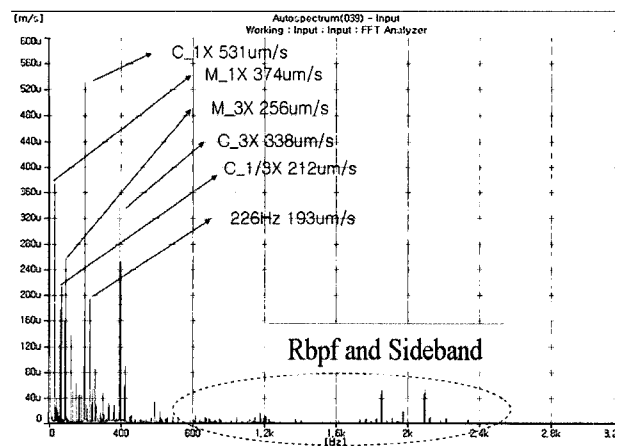


Fig. 4 The spectrum of ammonia refrigerator motor_DE(H)

단 부분에서 1,000~1,500Hz의 주파수 대역에서 회전자 봉 통과 주파수(Rotor Bar Passing Frequency)로 의심되는 1,250Hz 주위에 전동기 운전주파수(30Hz)의 측대역파(Sideband)가 발생되고 있다. 기어상자 및 LP 구동단(DE)의 경우 역시 압축기의 조화가진 주파수인 1X, 2X 및 3X 성분이 발생하였다. 특히 1X 성분의 진동값이 매우 높게 나타났으며, 전동기의 조화가진 주파수 역시 발생 하였지만 진동값은 낮게 나타났다.

5.2 암모니아 냉동기

Fig. 4와 Fig. 5는 암모니아 냉동기의 전동기, 기어상자 Output 구동단에서 측정된 주파수 스펙트럼을 나타낸다. Fig. 4에서 확인 할 수 있듯이, 암모니아 냉동기의 전동기 구동단 수평방향의 경우 압축기의 1X(196Hz) 성분이 높게 나타났으며, 1/3X(65.5Hz)와 2/3X(131Hz)는 Mechanical seal과 접촉(Rubbing)에 의하여 발생하는 것으로 사료되므로, 추후 Overall 기간에 점검이 필요하다. 또한 RBPF 및 측대역파가 발생하는 것으로 추정되지만 전동기의 봉 수를 알지 못하므로 추후 확인이 필요한 것으로 사료된다.³⁾

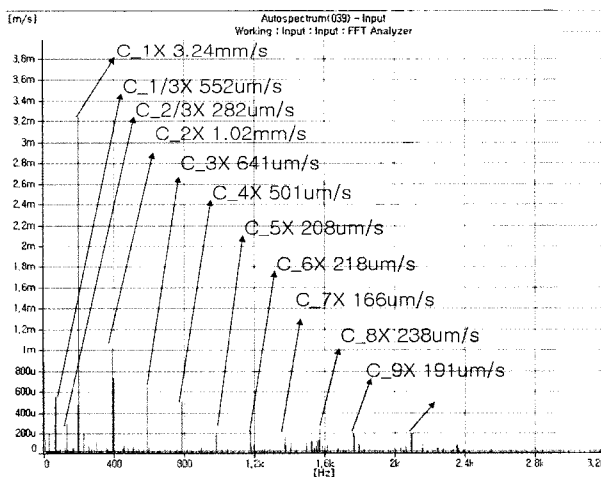


Fig. 5 The spectrum of ammonia refrigerator gearbox_out_DE(H)

Fig. 5와 같이 냉동기의 기어상자 Output 구동단(H) 역시 Mechanical seal과 접촉에 의한 압축기의 1/3X, 2/3X의 분수조화 공진현상이 발생하는 것으로 사료되며, 조화주파수(1X, 2X, 3X 등)가 발생함을 볼 수 있었다.⁴⁾

5.3 위상 측정 결과

공기 압축기 위상의 경우 다름 Fig. 6과 같으며 가장 진동값이 높은 LP_DE측과 HP_DE측의 값을 비교해 보면 201과 150으로 정렬불량성분이 질량불평형성분 보다 많은 것을 알 수 있다. 따라서 정렬불량 또는 베어링 틈새 과다 및 불평형의 영향 등으로 인해 LP_DE의 측방향진동이 과대하게 발생하는 것으로 사료된다.⁵⁾

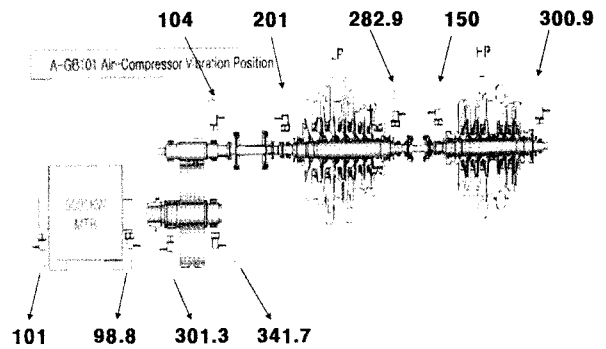


Fig. 6 Measurement of phase value (deg)

5.4 소음 측정 및 평가

원심 압축기 및 전동기에서는 회전에 의해 발생하는 주기적인 회전체 소음, 베어링 소음, 유체 마찰 소음, 전기적 소음 등이 발생한다. 대상 측정 설비의 경우 Table 6와 같이 전체 평균 소음레벨은 92.39dBA로 매우 높은 상태로 측정이 되었다. 이는 공장소음기준에 의한 주간, 조석 및 야간 모두에서 기준을 넘어서고 있는 것으로, 과다한 소음레벨로 현장에서 장기간 근무하여서는 안 될 것으로 사료된다.

5.5 진동 평가

Fig. 7에서와 같이 공기 압축기 및 암모니아 냉동

Table 6 Measurement of noise value (dB)

Measurement	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	Average
Air Compressor	90.7	93.4	95.5	93.7	93.9	93	93.5	92.5			93.28
Ammonia Refrigerator	92.1	92.7	93.3	90.9	90.4	89.5	90.1	91.9	93.1	90.9	91.49
Average											93.28

기에서 측정된 진동값은 ISO-10816-3과 비교 하면 대부분 A영역 이내에 존재하고 있으며, 일부분에서 B영역의 진동값을 나타내고 있다. 전동기에서 측정된 진동값은 모두 아주 낮은 레벨을 보이고 있으며, 기어상자와 LP, HP 모두 양호한 진동값이 나타나고 있다. Fig. 6에서 최대의 진동을 보이는 위치는 공기 압축기의 LP측 구동단(DE)의 축 방향(A)으로 그 값은 6.42mm/s 이고 조화성분이 발생한다. 그러나 ISO10816-3의 B/C 영역의 경계 기준이 7.1mm/s이므로 최대값 역시 B영역 이내에 존재하는 것으로 확인할 수 있었다. 그러므로 공기압축기 및 암모니아 냉동기의 진동은 양호한 상태로 판단이 된다. 기어상자의 경우 가장 기본적인 진동은 두 기어의 연속적인 맞물림에 의해 발생하는 맞물림 진동이다. 그러나 기어의 수를 알 수 없으므로 기어 상자의 결함을 정확히 파악할 수 없었다.⁶⁾

및 비교를 통해 정렬불량성분이 질량 불형평성분보다 많은 것을 알 수 있었다. 그리고 전동기에서 회전자 봉 통과 주파수로 의심되는 전원 주파수와 측대역파가 발생되고 있어 보다 정확한 진동진단을 위하여 축진동 분석 및 전류분석이 필요하고, Overall 기간에 정밀점검이 필요한 것으로 사료된다.

더욱이 대상 설비의 저널베어링 결함을 파악하기 위해 축 궤적을 파악할 수 있는 시스템을 구축해야만 할 것으로 사료된다. 분수조화성분이 발생하는 대부분의 이유는 저널베어링 내의 유체에 의한 것으로 이를 파악하기 위해 축궤적을 확인해야 한다.

후 기

본 연구는 산업자원부와 한국산업기술재단의 지역 혁신 인력양성사업, NURI(첨단기계산업기술혁신인력양성사업단) 및 2단계 BK21의 지원으로 진행 되었다.

참고문헌

1. ISO Standard, 1996, "Mechanical Vibration Evaluation of Machine Vibration by Measurement on Non-Rotating Parts", ISO/IS 10816.
2. R. B. Randall, 1987, B Tech, BA, "Frequency analysis", Brüel & Kjær.
3. B. S. Yang, 2002, "Vibration of Rotating Machine," Intervision Publishing.
4. B. S. Yang, 2006, "Vibration Condition Monitoring & Diagnostics", Intervision Publishing company.
5. C. M. Harris, and C. E. Crede, 1995. "Shock and Vibration Hand Book", McGraw-Hill, New York.
6. B. K. Choi et al. 2007, "Structural Vibration Analysis Caused by Piping Resonance" KSME(A), Vol. 31, No. 2, pp. 190~196.

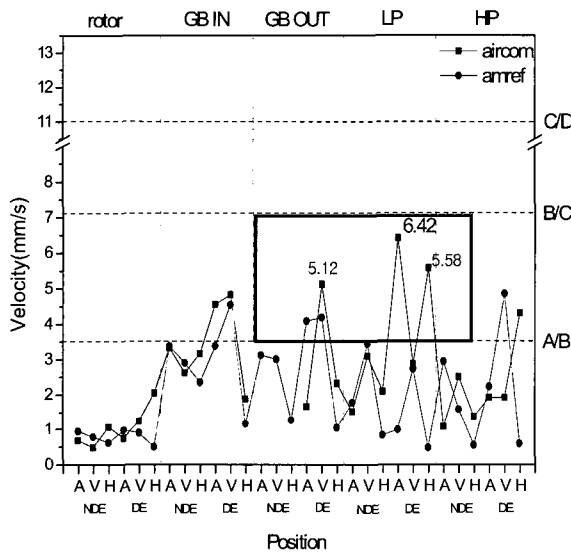


Fig. 7 Comparison ISO 10816 with vibration data

6. 결 론

본 논문에서는 노후에 의한 베어링 하우징의 파손 경험을 가지고 있는 공기 압축기와 암모니아 냉동기의 현 상태를 파악하기 위하여 진동을 분석하여 보았다. 측정된 데이터를 이용하여 ISO 10816-3을 기준으로 두 설비의 상태를 살펴보면 모두 B영역 내에서 진동값이 나타나고 있으므로 진동값에 따른 설비의 상태는 모두 양호한 것으로 확인할 수 있었다. 그러나 공기압축기와 암모니아 냉동기에서 조화성분(1X, 2X, 3X)과 분수조화성분(1/2X, 1/3X 등)이 발생 하였다. 또한 LP_DE측과 HP_DE측의 위상 측정