

공기 압축기와 암모니아 냉동기의 진동 측정 및 분석

장용석*·정재환*·정한얼*·최병근 †

Vibration Measurement and Analysis of Air compressor and Ammonia Refrigerator

Yong Seok Jang, Jae Hwan Jeong, Han Eol Jeong, Byeong Keun Choi

Key Words: Air-compressor(공기 압축기), Refrigerator(냉동기), diagnosis(진단)

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 is 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

현대산업의 발전과 더불어 기계의 사용은 더욱 증가 하였고 보다 뛰어난 기계의 등장 속에서 경쟁력 강화를 위해 모든 기계들이 고속화, 경량화됨에 따라 회전기계의 경우 제작상의 난점에 의해 문제 또한 수반되었다. 회전 기계의 경우 불평형, 정렬 불량 및 균열의 발생 등으로 진동이 발생함과 동시에 소음이 발생하고 이에 따라서 열악한 작업환경이 조성되어 주변의 설비와 작업자의 인체에 나쁜 영향을 미친다.

그리고 회전 기계 들이 진동문제가 발생하여 가동이 중단 될 경우 수리 후 정상 가동 까지 심각한 시간 및 비용 손실이 발생하게 된다. 그러므로 진동 측정을 통하여 고장요소를 가능한 한

조기에 제거함으로써 물적 손실을 줄여야한다.

따라서 본 논문에서는 회전기계의 문제점을 미리 파악하지 못하고 구동중 문제가 발생하여 수리 후 다시 사용하고 있는 화학공장의 공기 압축기(A-GB101 Air-Compressor)와 암모니아 냉동기(A-GC501 Refrigerator)의 진동을 측정하고 ISO 10816-3 규격과 비교하여 기계의 상태를 분석하였다.

2. 회전체 결함 특성

일반적으로 회전체 결함은 크게 전기적인 결함과 기계적인 결함으로 나눌 수 있다. 기계적 결함에 기인하는 전동기 결함은 전동기 진동과 직접적으로 관계될 수 있다. 전동기에서 기계적 결함의 주요인은 회전자로서 회전자 내의 어떤 유형의 기계적 결함의 존재는 회전자의 진동을 증가 시키는 원인이 된다. 전동기 몸체의 진동은 전체적으로 과도한 회전자 진동에 종속되지 않고, 고정자 응답이나 기초에 의존한다.

† 국립 경상대학교 기계항공공학부

E-mail : bgchoi@gnu.ac.kr

TEL : (055)640-3059 FAX : (055)640-3188

* 국립 경상대학교 대학원 정밀기계공학과

또한, 회전자 마찰(Rubbing)은 Rotor와 케이싱 사이의 미소틈새부에서 발생되며, 그 원인으로는 회전상승과 함께 베어링유막 두께가 증가하여 Rotor를 부상, Rotor의 상하온도분포가 불균일하게 되면 열변형에 의해 Thermal bent가 생기고 편심의 발생, 차실상하좌우에 온도차가 있으면 열변형으로 정렬 불량 발생한다. Rubbing이 발생하면 Looseness와 반대로 접촉 동안 Rotor계의 강성계수가 증가하고 평균강성계수가 커져 고유진동수가 변하고 분수조화공진이 발생한다. 그리고 회전부와 정지부의 접촉 시에 접촉진동이 발생하며, 강제진동이 멈추면 거의 소멸한다. 진동주파수는 강제진동수 ($1 \times \text{rpm}$)가 가장 많고, $1/2X$, $1/4X$ 가 약간 발생한다.

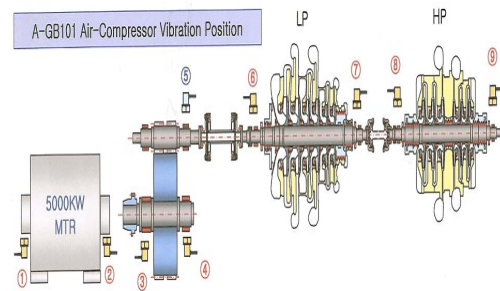
3. 진동측정 및 분석 방법

Table 1 A-GB101 Air-Compressor

Compressor	
CAPACITY	23.800NM ³ /h Dry
rpm	9,300rpm(Stage : LP6, HP6)
Motor	
전동기 회전수	1800rpm.
극수	4극
Speed Increaser Gear	
RPM	大 : 1,800 小: 9,300
SPEED RATIO	5.23

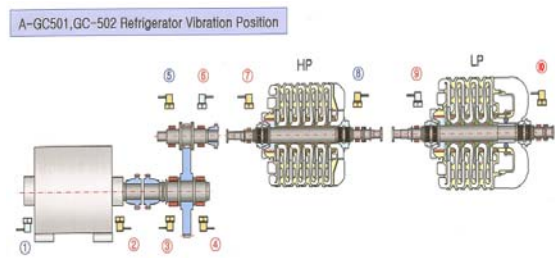
Table 2 A-GC501 Refrigerator

Refrigerator	
단 수	L.P: 4단 H.P: 5단r
rpm	APPROX 11,700 rpm
Motor	
전동기 회전수	1,785 rpm
Speed Increaser Gear	
OUTPUT SPEED	11,700 rpm
HORSE POWER	2,500 kW



- ① Motor NDE ② Motor DE
- ③ GearBox-Input-NDE
- ④ GearBox-Input-DE
- ⑤ GearBox-Output-DE ⑥ LP-DE
- ⑦ LP-ND ⑧ HP-DE ⑨ HP-NDE

Fig. 1 Vibration Measurement Points of Air-Compressor



- ① Motor NDE ② Motor DE
- ③ GearBox-Input-NDE
- ④ GearBox-Input-DE
- ⑤ GearBox-Output-NDE
- ⑥ GearBox-Output-DE
- ⑦ HP-DE ⑧ HP-NDE

Fig. 2 Vibration Measurement Points of Refrigerator

측정에 사용된 공기 압축기와 암모니아 냉동기 사양은 Table 1 및 Table 2와 같다.

공기 압축기 및 암모니아 냉동기의 진동측정 위치는 Fig. 1과 Fig. 2에서 같이 압축기 및 냉동기의 각각에 대하여 전동기, 기어상자, HP와 LP의 각 베어링에 대한 구동단(DE) 및 반구동단(NDE)의 수직방향(V), 수평방향(H)과 축방향(A)에 대해서 진동을 측정하였다. 공기 압축기의 경우 9 point에서 9 point \times 3 direction = 27 개이고, 암모니아 냉동기의 경우 총 측정 위치는 10 point이며, 총 측정데이터는 10 point \times 3 direction = 30 개의 데이터가 Recorder에 저장되었다.

Table 3 Equipment for the Measurement and Analysis of Signal

장비명	측정 방법	
	총진동 값 설정	스펙트럼 설정
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

측정 및 분석 장비는 Table 3와 같이 Pulse 3560(B&K SV)를 사용하였고, 진동센서는 가속도계를 사용하였다. 스펙트럼 분석 시에는 10Hz ~ 3.2kHz로 주파수 영역을 설정하여 사용하였다.

4. 진동 평가 기준

측정대상인 공기 압축기와 냉동기는 현장 환경에 의하여 측진동 측정이 불가능하였으므로 비회전부분 베어링의 측정에 의한 기계진동의 평가(ISO 10816-3) 기준을 적용하였다. 그 적용 범위는 국제 규격에서 제공되는 ISO 10816-3을 적용, 15kW 이상의 출력과 120rpm 과 15,000rpm 사이의 운전속도를 가지는 기계 장치에 적용된다. 그리고 설계, 형태 또는 베어링과 지지구조의 차이점과 기계 형태 및 정격 출력 또는 축 높이에 따

Table 4 Classification of Vibration Serevity Region for Rotating Machine(ISO10816-3)

지지 분류	영역 경계	r.m.s 변위 (μm)	r.m.s 속도 (mm/s)
강지지 (rigid support)	A/B	18	2.3
	B/C	36	4.5
	C/D	57	7.1
유연지지 (flexible support)	A/B	28	3.5
	B/C	57	7.1
	C/D	90	11.0

른 여러 기준에 의한 분류를 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.

5. 데이터 분석

5.1 공기 압축기

Fig. 3은 계측 대상인 공기 압축기의 전동기 구동단(DE)에서 측정된 주파수 스펙트럼을 나타낸다. 각각의 그림에서 M_1X, M_2X 등은 전동기 운전주파수의 조화성분을, C_1X, C_2X등은 압축기 운전주파수의 조화성분을 나타낸다.

Fig. 3.에서와 같이 공기 압축기의 전동기 구동단에서 수직방향의 경우 Compressor의 조화가진 주파수인 1X, 2X, 3X의 성분이 발생하였고, 1X 성분이 가장 높게 나타났다. 전동기의구동단의 수평방향에서도 Compressor의 조화가진 주파수인 1X와 2X의 성분이 발생하였으며, 전동기의 조화가진 주파수인 1X와 4X의 조화성분이 발생하였고, 공기 압축기의 다른 측정 위치에 비해 진동 값이 높게 나타났다.

또한, 측정 대상인 공기 압축기와 암모니아 냉동기 두 설비 모두 전동기의 구동단 부분에서 1,000 ~ 1,500Hz의 주파수 대역에서 회전자 붕통과 주파수(RBPF)로 의심되는 1,250Hz주위에 전

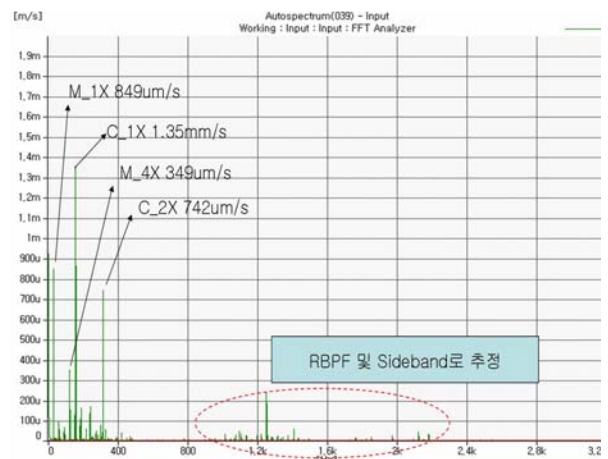


Fig. 3 The Spectrum of Air Compressor Motor_DE(H)

원주파수(60HZ)와 전동기 운전주파수(30Hz)의 측대역파를 가진 여러 가지 주파수에서 진동이 발생되고 있다. 기어상자 및 LP 구동단(DE)의 경우 역시 Fig. 3과 같이 Compressor의 조화가진 주파수인 1X, 2X 및 3X 성분이 발생하였다. 특히 진동값 1X 성분이 매우 높게 나타났으며, 전동기의 조화가진 주파수 역시 발생 하였지만 진동 값은 낮게 나타났다.

5.2 암모니아 냉동기

Fig. 4와 Fig. 5는 냉동기의 전동기, 기어상자 Output 구동단에서 측정된 주파수 스펙트럼을 나타낸다. Fig. 4에서 확인 하듯이, 냉동기에서 전동기 구동단 수평방향의 경우 Compressor의 1X (196Hz) 성분이 높게 나타났으며 전동기 구동단 수평방향의 경우는 Compressor의 1/3X(65.5Hz)와 2/3X(131Hz)의 분수조화공진현상이 발생하고 있으며, 진동값 또한 높게 나타났다. 1/3X와 2/3X는 Mechanical seal과 접촉(Rubbing)에 의하여 발생하는 것으로 사료되며 추후 Overall 기간에 점검이 필요하다. 또한 RBPF 및 측대역파가 발생하는 것으로 추정되지만 전동기의 봉 수를 알지 못하므로 추후 확인이 필요하다고 사료된다.

Fig. 5는 냉동기의 기어상자 Output 구동단(H)에서 측정된 주파수 스펙트럼으로, 이 부분도 마찬가지로 Mechanical seal과 Rubbing에 의한 Compressor의 1/3X, 2/3X의 분수조화 공진현상이 발생하였으며, 조화가진 주파수(1X, 2X, 3X 등)가 발생함을 볼 수 있었다.

5.3 진동 평가

Fig. 6에서와 같이 공기 압축기 및 암모니아 냉동기에서 측정된 진동 값은 ISO-10816-3과 비교 되었을 때 대부분 A영역 이내에 존재하고 있으며, 일부분에서 B영역의 진동 값을 나타내고 있다. 전동기에서 측정된 진동 값은 모두 아주 낮은 레벨을 보이고 있으며, 기어상자와 HP 모두 양호한진동값이 나타나고 있다. Fig. 6에서 최대의 진동을 보이는 위치는 공기 압축기의 LP측 구동단(DE)의 측 방향(A)으로 그 값은 6.42mm/s 이고 조화성분이 발생한다. 그러나 ISO 10816 -3에 따라 B/C 영역의 경계 기준이 7.1mm/s이므로 최대값 역시 B영역 이내에 존재하는 것으로 확인할

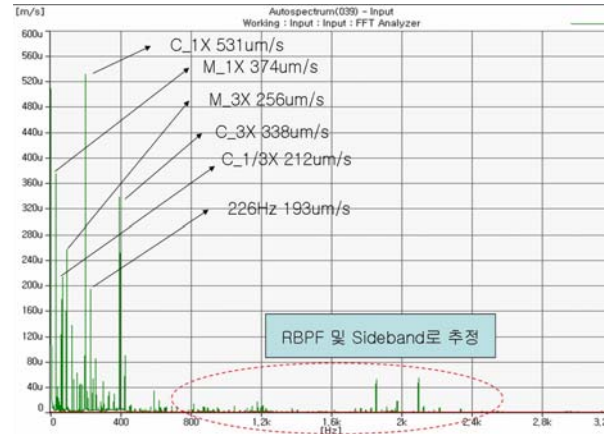


Fig. 4 The Spectrum of Ammonia Refrigerator Motor_DE(H)

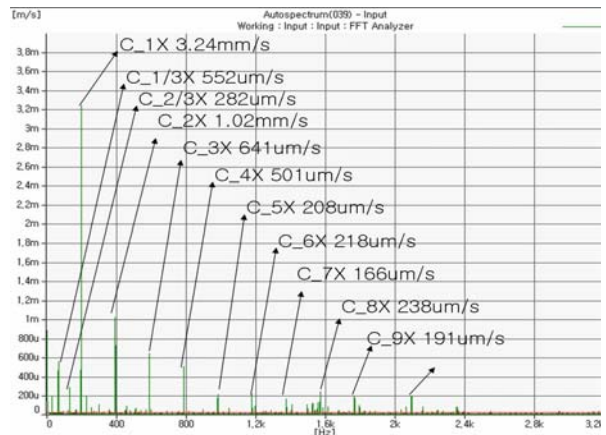


Fig. 5 The Spectrum of Ammonia Refrigerator GearBox_Out_DE(H)

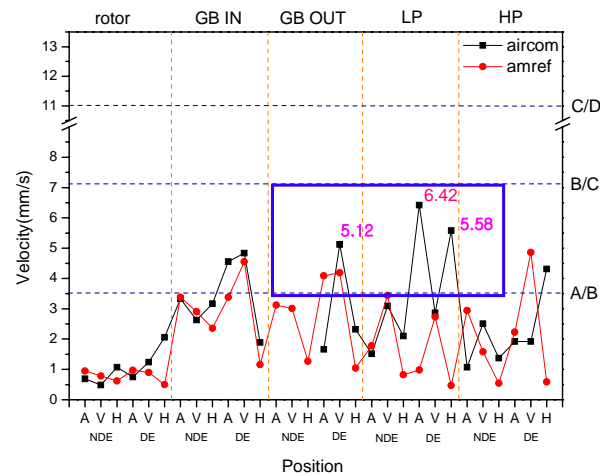


Fig. 6 Comparison ISO 10816 with Vibration Data

수 있었다. 그러므로 공기압축기 및 암모니아 냉동기의 진동은 양호한 상태로 판단이 된다.

기어 상자의 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. 결론

본 논문에서는 노후에 의한 베어링 하우징의 파손 경험을 가지고 있는 공기 압축기와 암모니아 냉동기의 현 상태를 파악하기 위하여 진동을 분석하여 보았다. 측정된 데이터를 이용하여 정밀 분석한 결과를 ISO 10816-3에 적용하면, 두 설비 모두 B영역 이내에서 진동값이 나타나고 있으므로 진동상태는 모두 양호한 것으로 확인 할 수 있었다. 그러나 공기압축기와 암모니아 냉동기에서 조화성분(1X, 2X, 3X)과 분수조화공진현상(1/2X, 1/3X 등)이 발생 하였다. 그리고 전동기에서 회전자 봉 통과 주파수로 의심되는 전원 주파수와 측대역파가 발생되고 있어 보다 정확한 진동진단을 위하여 축진동분석 및 전류분석이 필요하고 Overall 기간에 정밀점검이 필요한 것으로 사료된다.

후기

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 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., B Tech, BA 1987, "Frequency analysis", Brüel & Kjær.
- (3) Yang, B. S., 2002, "Vibration of Rotating Machine," Intervision Publishing company.
- (4) Yang, B. S., 2006, "Vibration Condition Monitoring & Diagnostics", Intervision Publishing company.
- (5) Harris, C. M., and Crede, C. E., "Shock and Vibration Hand Book", McGraw-Hill, New York.
- (6) Gu, D. S., Kim, H. J., Jeong, H. E., Kim, H. E., Choi, B. K., 2007, "Structural Vibration Analysis Caused by Piping Resonance" KSME(A), Vol. 31, No. 2, pp. 190~196.
- (7) Gu, D. S., Kim, H. J., Jeong, H. E., Kim, H. E., Choi, B. K., 2006, "The Analysis of Structural Vibration induced by Pipeline" Proceedings of the KSME Spring Meeting(Gyeong Nam), pp.209~214.