

공기압축기의 진동분석 및 진단

Vibration analysis and diagnosis of air-compressor

이정환*·김병수*·구동식*·김효중*·최병근†

B. G. Choi, J. H. Lee, B. S. Kim, D. S. Gu and H. J. Kim

Key Words : Air-Compressor(공기압축기), Diagnosis(진단), Resonance Region(공진영역), Impact Test(가진시험), Frequency Spectrum(주파수 스펙트럼)

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 the factory, Air-Compressor which can affect the performance and capacity of output is important machine. Therefore, in this paper, The measuring and analyzing is carried out for air-compressor in order to the factor of resonance and resonance avoidance for air-compressor. The result of diagnosis and solution is discussed in this paper.

1. 서 론

현대산업의 발전과 더불어 기계의 사용은 더욱 증가하였고 보다 뛰어난 기계의 등장 속에서 경쟁력 강화를 위해 모든 기계들이 고속화, 경량화 됨에 따라 회전 기계의 경우 제작상의 난점에 의한 문제점 또한 수반되었다. 회전 기계의 경우 불 평형, 정렬 불량 및 균열의 발생, 베어링의 결함 등으로 인해 진동이 발생함과 동시에 소음이 발생하고 이에 따라서 열악한 작업환경이 조성되어 주변의 설비와 작업자의 인체에 나쁜 영향을 미친다.⁽¹⁾

이러한 회전 기계들 중 공기압축기는 전기모터나 내연기관(원동기) 또는 터빈 등의 동력장치로부터 동력을 전달받아 공기에 압축 일을 가함으로써 공기를 압축시켜 압력을 높여주는 기계로 오늘날 산업전반에 걸쳐 널리 사용되고 있는 실정이다.

그리고 공기압축기와 같이 회전 기계들에 진동문제가 발생하여 가동이 중단 될 경우, 수리 후 정상 가동 까지 심각한 시간 및 비용 손실이 발생하게 된다. 그러므로 적절한 시기에 설비 진단의 수행을 통하여 고장요소를 가능한 한 초기에 제거함은 물론 수정, 보완 또는 교체를 통하여 물적

손실을 줄여야 할 것이다.

따라서 본 논문에서는 동일한 방법으로 설치된 다섯 대의 공기압축기 중 한 대에서만 진동값이 높게 나타나게 되어 그 원인을 파악하고자 정상적으로 작동하는 공기압축기 한 대와 진동값이 높게 나타나는 공기압축기를 대상으로 이 두 대의 공기압축기의 진동 정밀분석 및 진단을 수행하였다. 그리고 정상 운행 중인 압축기와 비정상 진동이 발생하는 압축기의 진동 주파수 스펙트럼을 비교 분석하여 압축기의 상태를 파악하고, 그에 대한 대책을 제시하였다.

2. 측정 및 분석

2.1 측정 및 분석방법

측정 및 분석을 위해 사용된 장비는 Table 1 에서와 같이 B&K 사의 Pulse 3560C 와 가속도 센서를 사용하였으며, 소프트웨어는 Pulse Labshop version 10.1 을 사용하였다. 진동신호는 Pulse의 레코딩 기능을 이용하여 1분 여 동안에 걸쳐 0~25kHz 대역의 Raw 신호 상태로 저장되었다.⁽²⁾ 저장된 데이터는 연구실에서 재생하여, 주파수 범위 10~10kHz, 6400Line, Averaging 7회로 하여 분석을 실시하였다. 모터의 경우 스펙트럼 상에서 10kHz 까지 분석하였고, 800Hz 이상의 대역에서 특징적으로 나타나는 주파수가 발견되지 않아 주파수 대역을 800Hz 로 수정 후 더욱 정밀한 분석을 실시하였다.

† 최병근 : 국립 경상대학교 기계항공공학부
E-mail : bgchoi@gnu.ac.kr
Tel : (055) 640-3186, Fax : (055) 640-3188

* 국립 경상대학교 대학원 정밀기계공학과

Table 1 The equipment of measurement and analysis

장비명	PULSE 3560
제조사	B&K
측정 방법	
총 진동 값 설정	<ul style="list-style-type: none"> • Unit : mm/s • Signal detection : rms • Measurement range : 10Hz~ 10kHz
스펙트럼 설정	<ul style="list-style-type: none"> • Unit : mm/s • Signal detection : p(0-peak) • No. of lines : 6400 • Window type : Hanning • No. of averaging : 7 • Average types : Frequency domain

2.2 진동측정 위치

진동측정 위치는 Fig. 1에서와 같이 각 측정 위치에서 3 방향[수직(V), 수평(H), 축(A)] 으로 모터의 반 부하 측(NDE)을 시작으로 하여 부하 측(DE), 기어박스, 압축 3단, 1단, 2단 다시 모터 측 순으로 각 요소의 베어링에서 측정되었다.

그리고 현재 설치되어 있는 모니터링 시스템의 센서와 동일한 위치(Fig. 1에서 ⑧, ⑨번 위치)에서 동일한 방향으로 동시에 측정하였다.

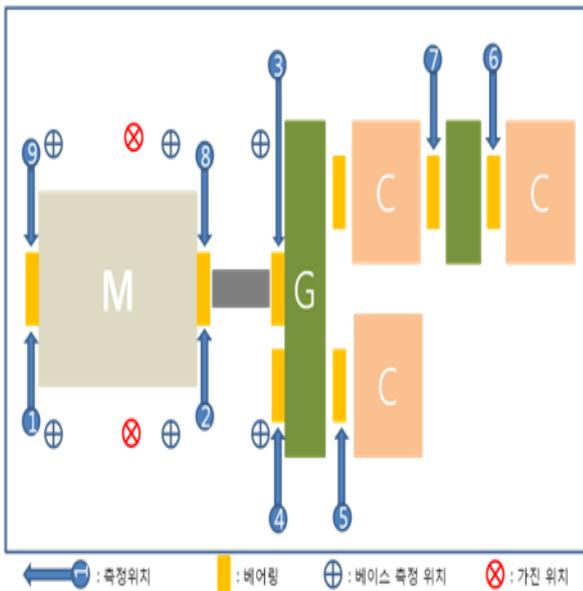


Fig. 1 measurement point and impact point of air-compressor

모터와 압축기를 지지하고 있는 베이스의 경우에는 모터의 반 부하 측 하단, 부하 측 하단, 압축기 하단 3개 지점(Fig. 1에서 ⊕위치)으로 지정하여 모터의 양 측면으로 측정하였다.

또한, 측정이 진행되던 중 베이스의 공진주파수를 확인하기 위하여, 정상 압축기의 경우에는 운전 중에 타격을 하였으며, 비정상 압축기는 정지 상태에서 베이스에 타격을 가하여 공진주파수를 확인하였다.

3. 진동 측정 결과

3.1 정상 압축기

(1) 스펙트럼 분석

Fig. 2~3은 정상 압축기의 모터 반 부하(NDE) 및 부하(DE)에서 측정된 축 방향 주파수스펙트럼을 나타낸다. Fig. 2~3 에서와 같이 정상 압축기의 경우 운전 주파수(1X) 및 그 배수성분(2X, 3X)들이 탁월하게 발생하고 있음을 알 수 있으나, 그 진폭레벨은 600 $\mu\text{m/s}$ 이하의 아주 미세한 값을 보이고 있다.

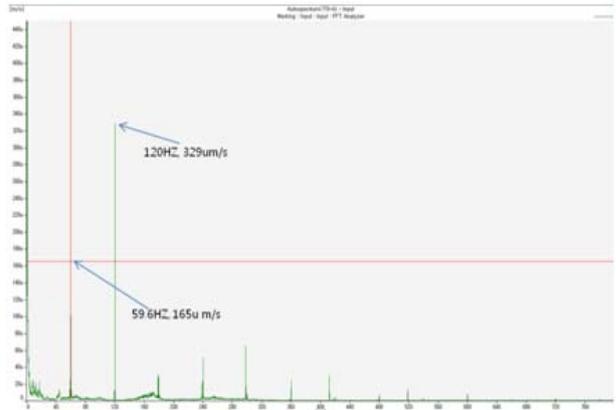


Fig. 2 Axial direction frequency spectrum at NDE of normal air-compressor

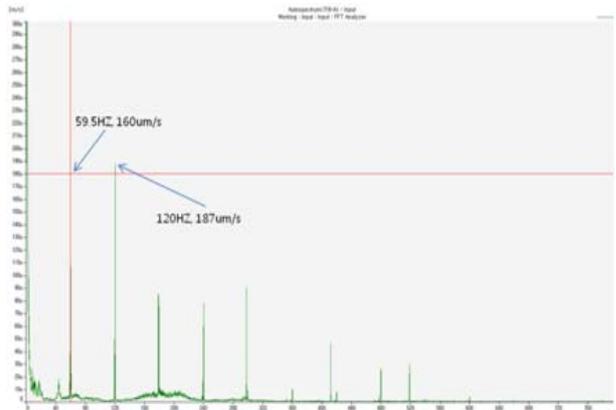


Fig. 3 Axial direction frequency spectrum at DE of normal air-compressor

특히 반 부하 측의 축 방향의 경우에는 1X 의 레벨보다 2X 의 레벨이 월등히 높게 나타나고 있고, 부하 측의 경우 반 부하 측과 동일하게 1X 및 2X 성분이 나타나고 있으나, 그 진동레벨은 반 부하 측 보다 작은 값을 보이고 있다.

(2) 가진 시험

가진 시험은 기본적으로 압축기가 정지되어 있는 상태에서 힘 센서를 이용하여 입력(가진 힘)과 센서에서 입력되는 진동 신호를 비교하는 것이 올바른 방법이나, 현장에서 힘 센서 및 압축기의 운전에 대한 요건이 충족되지 못하여, 고무망치를 이용하여 가진 전과 가진 직후의 주파수 스펙트럼을 비교하여 고유진동수를 파악하는 방법을 사용하였다.

베이스에서 측정된 주파수 스펙트럼의 경우 Fig. 4~5 에서와 같이 그 운전주파수가 탁월하게 나타나고 있음을 알 수 있고, 그 레벨이 모터의 진동 레벨보다 높게 나타나고 있었다.

Fig. 6은 가진 직후의 증양(모터 부하 측의 하부)에서 측정된 주파수 스펙트럼이다. Fig. 8에서와 같이 59.5Hz에서 나타나는 높은 피크의 진동은 공진에 의한 것이 아니라 모터의 운전에 의한 것으로, 이는 Fig. 4~5와 비교를 하면 쉽게 확인 할 수 있다.



Fig. 4 The frequency spectrum in base of normal air-compressor (NDE)



Fig. 5 The frequency spectrum in base of normal air-compressor (DE)

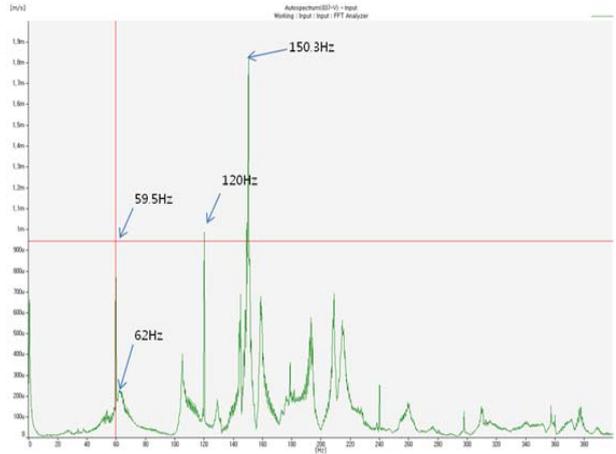


Fig. 6 The base impact frequency spectrum of normal air-compressor (DE)

정상 압축기의 베이스 공진주파수는 Fig. 6 과 같이 62Hz, 150.3Hz 이며, 특히 59.5Hz에서 발생하는 모터 운전에 의한 1X 성분이 베이스 고유진동수인 62Hz의 공진영역(공진주파수로부터 상하 20% 이내)에 속하는 것을 알 수 있다.

이로 보아 정상 압축기의 경우 모터에서 발생하는 진동이 바닥으로 전달되고 그 주파수가 바닥의 공진주파수 영역 내에 존재하고 있기 때문에 전체적인 베이스의 진동레벨이 모터 진동에 비해 높게 나타나는 것으로 사료된다.

3.2 비정상 압축기

(1) 스펙트럼 분석

Fig. 7~9는 비정상 압축기의 반 부하 측의 수직, 수평 주파수스펙트럼과 부하 측 하부 베이스 진동주파수스펙트럼이다. Fig. 7~9에서와 같이 비정상 압축기 역시 모터의 1X 성분이 높은 레벨을 보이고 있고 그 조화 성분 역시 발생하고 있는 것을 확인 할 수 있으나, 하지만 그 레벨은 정상 압축기 보다 월등히 높은 값을 보이고 있다.

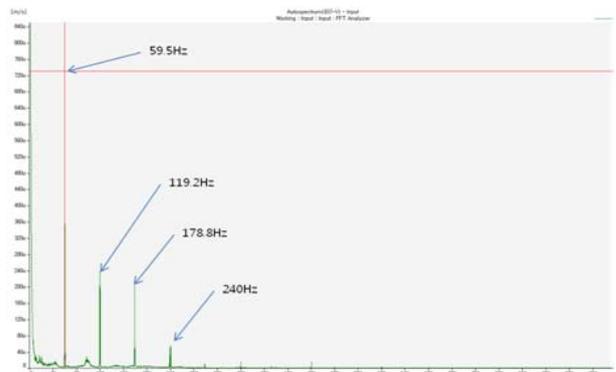


Fig. 7 Vertical direction frequency spectrum at NDE of abnormal air-compressor



Fig. 8 Horizontal direction frequency spectrum at NDE of abnormal air-compressor

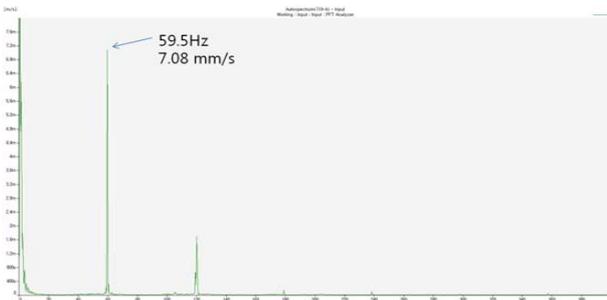


Fig. 9 Frequency spectrum of base air-compressor (DE)

특히 Fig. 9에서와 같이 비정상 압축기 베이스의 모터 부하 측 하부의 경우 모터 운전주파수인 1X 성분이 매우 높은 값을 보이고 있었고, 이는 베이스의 공진주파수와 모터의 운전주파수가 일치하여 구조공진이 발생된 것으로 가진 시험 결과에서 확인 할 수 있었다.

(2) 가진 시험

비정상 압축기가 작동되지 않을 때 베이스의 고유진동수가 의심이 되어 가진 시험을 실시하였다. Fig. 10~11은 정지 상태에서의 베이스를 가진 하기 전과 후에 측정된 베이스의 진동스펙트럼을 나타낸다. Fig. 11에서 알 수 있듯이 가진 시험 결과 모터의 운전주파수와 일치하는 59.5Hz에서 고유진동수가 나타남을 알 수 있다.

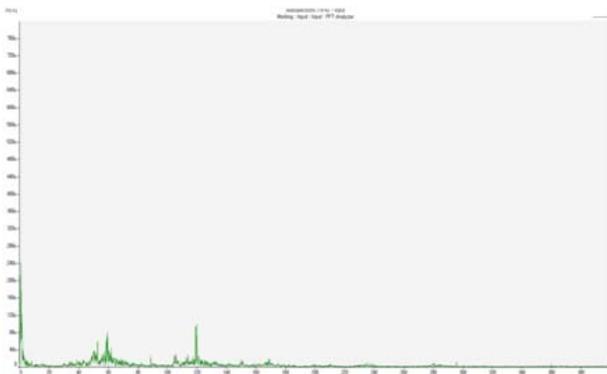


Fig. 10 The frequency spectrum in base of abnormal air-compressor (before impact)

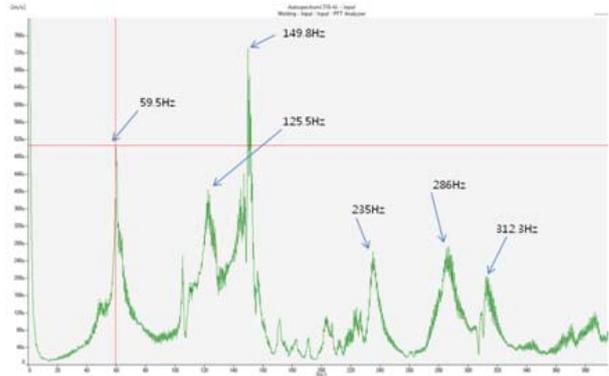


Fig. 11 The frequency spectrum in base of abnormal air-compressor (after impact)

정상 작동중인 압축기의 경우 작동 중에 가진 시험을 시행하였기 때문에 1X 성분의 진동레벨이 나타나는 것이므로 고유진동수라 할 수 없으나, 비정상 압축기의 경우 정지되어 있는 상태였기에 1X 성분인 59.5Hz에서 나타나는 것은 공진주파수라는 것을 확인 할 수 있다.

3.3 측정 분석 결과

정상 압축기 및 비정상 압축기의 베이스에서 실시된 가진 시험에서 정상 압축기의 경우엔 모터의 운전주파수와 근접한(공진영역에 속하는) 고유진동수를 찾을 수 있었다. 하지만 비정상 압축기의 경우 베이스의 공진주파수가 모터의 운전주파수와 일치하는 것을 확인하였다.

그러므로 정상 압축기의 경우 베이스의 고유진동수가 모터의 운전주파수에 근접하는 영역에 위치하고 있고, 비정상 압축기의 경우 베이스의 고유진동수가 모터의 운전주파수와 일치해 있기 때문에 전체 진동레벨은 정상 압축기가 비정상 압축기에 비해 작은 것이며, 비정상 압축기는 모터의 운전주파수와 베이스의 고유진동수가 완전히 일치하여 베이스 공진이 발생됨으로 인해 모터 베어링에서 측정된 진동 데이터에서 모터의 운전주파수가 더욱 높게 나타나는 것으로 사료된다.

따라서 모터 및 압축기의 정밀 진단을 실시하기에 앞서, 우선적으로 베이스 공진 문제 해결이 수행되어야 하는 것으로 사료되어 베이스의 강성변화(빔 설치 및 질량 추가 작업)를 실시하였다. 하지만 압축기의 기동 후 시간이 지남에 따라 다시 진동이 서서히 증가하는 현상을 발견하였고, 그 원인이 정렬불량에 의한 것으로 의심이 되어 위상차를 위주로 2차 측정을 하였다.

4. 2차 측정 결과

모터와 압축기의 측정 위치, 스펙트럼 설정 및 데이터 저장 시간은 1차 측정 시와 동일하게 하였다. 그러나 모터와

압축기 간의 정렬불량의 영향을 확인하기 위하여 모터의 NDE(non drive end) 측과 압축기 간의 위상차(phase difference)를 확인하였다.

4.1 진동 측정 결과

모터의 NDE 측에서 발생되던 높은 진동은 1차 측정 결과 베이스 공진에 의한 것이었으며, 베이스에 강성을 보강하기 위하여 보강 빔 설치 이후 모터에서 발생되던 높은 진동은 상당히 낮아진 것을 확인할 수 있었다. 하지만 Fig. 16과 같이 2차 측정 시 측정된 축 방향 스펙트럼에서 1X 성분이 가장 탁월하며, 2X 성분의 크기보다 3X 성분이 월등히 높게 나타남을 확인할 수 있다. 이는 정렬불량의 진동 특성인 커플링에서 편각이 있을 경우에 나타날 수 있는 현상이다.⁽³⁾ 또한 보강 빔 설치 이후 기동 시엔 낮은 진동 값이 시간이 경과하면서 서서히 증가하여 다소 높은 값을 보이는 경향을 보였다. 그러므로 시간에 의해 서서히 증가하는 진동의 원인이 불평형에 의한 것 보다는 기동 후 열적변형에 의해 발생하는 정렬불량에 의한 것으로 의심이 되어, 그 원인을 파악하기 위하여 모터 측과 압축기 측 베어링의 위상차(phase difference)를 측정하였다.

4.2 위상 측정 결과

위상은 모터의 NDE 측을 기준(reference)으로 하여, 2개의 가속도 센서를 모터 측 DE(drive end)와 압축기 DE 측 베어링에 설치하여 측정하였다.

위상차는 그 각에 따라 불평형 또는 정렬불량을 확인할 수 있다. 측정된 위상이 0~90 degree 사이에 나타나는 경우는 정렬불량에 의한 진동량 보다 불평형에 의한 진동량이 많다는 것임을 나타내고, 90~180 degree 사이에 경우에는 불평형량 보다 정렬불량으로 인한 진동량이 많다는 것을 나타낸다.⁽³⁾

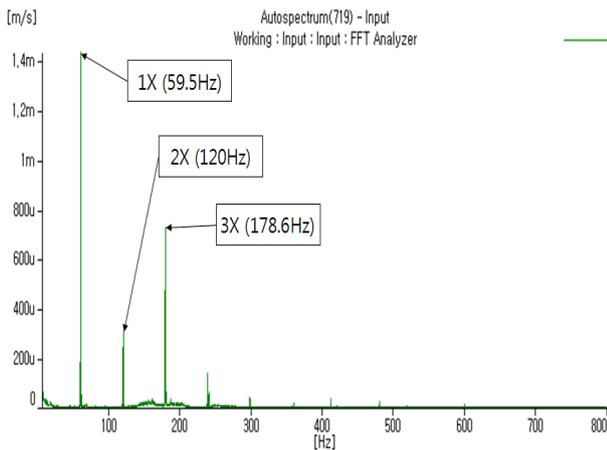


Fig. 12 Frequency spectrum of motor(NDE) axial direction

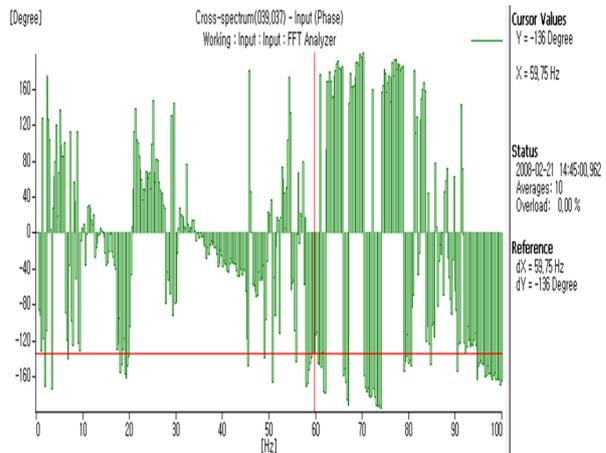


Fig. 13 The phase difference between motor(NDE) and Air-compressor phase

Fig. 13은 모터 NDE와 압축기 사이의 위상을 나타낸 것이다. Fig. 13에서와 같이 모터의 구동 주파수와 동일한 60Hz 에서의 모터의 NDE와 압축기 DE 사이의 위상차는 -136 degree 로 나타나고 있어 이는 정렬불량에 의한 진동성분이 발생되고 있음을 알 수 있다.

측정 대상 압축기의 경우, 운전 초기엔 낮은 진동이 시간이 지나면서 서서히 증가하는 경향을 나타내는 것으로 설치 시(cold 상태) 정렬불량이 아닌 열적변형(hot 상태)에 의한 정렬불량으로 사료된다. 압축기가 기동된 이후, 압축기 및 모터의 온도가 낮았을 경우에는 발생되지 않던 진동이 온도가 서서히 증가함에 따라 모터 및 압축기(배관 등)의 열적변형에 의해 베이스가 변형되면서 커플링에 정렬불량이 발생하게 되어 진동이 서서히 증가되는 것으로 사료된다.

5. 결론

1차 측정 결과로 정상 압축기의 경우 1X 및 그 조화성분(2X, 3X 등)이 발생되고 있으나, 그 진폭이 매우 미약한 상태로 ISO 10816-3의 그룹 3의 기준에 따라 아주 양호한 상태라 할 수 있다. 그리고 비정상 압축기의 경우 정상 압축기와 마찬가지로 1X 및 그 조화성분들이 발생되고 있고, 그 레벨이 정상 압축기의 것보다 월등히 높으나 진동 측정 당시에는 ISO 10816-3의 기준은 만족하였다.⁽⁴⁾

그러나 정상 압축기와 비정상 압축기 모두 가진 시험에서 모터의 운전주파수와 근접한 고유진동수를 찾을 수 있었으며, 비정상 압축기의 경우 베이스의 공진주파수가 모터의 운전주파수와 일치하여 정상 압축기 보다 더 높은 운전주파수가 나타나는 것으로 사료된다.

하지만 두 압축기 모두 공진영역에 속해있어 공진영역회피(베이스의 구조공진 문제)를 위하여 베이스의 강성변화(보강)를 하였다. 그 후 모터의 진동값이 크게 낮아졌으나,

모터 기동 후 일정시간 이후까지 진동 값이 서서히 증가하는 문제점을 발견할 수 있었고 모터와 압축기 간의 정렬불량이 발생하는 것으로 의심이 되어 2차 측정으로 위상차를 측정하였다.

위상차를 측정한 결과 -136 degree 로 정렬불량이 발생하는 것을 확인 할 수 있었다. 정렬불량의 원인은 모터의 기동 이후 온도가 증가함에 따라 모터 및 압축기의 열적변형에 의해 커플링에 정렬불량이 발생하게 되어 진동이 서서히 증가되는 것으로 사료된다. 그러므로 그 대책으로 기존의 철판과 같은 연약기저 구조를 콘크리트 구조물과 같은 강한 지지 구조로의 베이스 강성 보강이 요구되며, 모터와 압축기 간의 커플링을 제거한 상태에서 모터의 밸런스 점검이 필요한 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업, NURI(첨단기계산업기술혁신인력양성사업단) 및 2단계 BK21의 지원으로 진행 되었다.

참 고 문 헌

- (1) Jang, Y. S., Jeong, J. H., Jeong, H. E. and Choi, B. G., 2007, "Vibration Measurement and Analysis of Air compressor and Ammonia Refrigerator", Proceedings of the KSME 2007 Spring Annual Meeting.
- (2) R. B. Raddall., B. Tech., B. A., 1987, "Frequency analysis", B&K.
- (3) Yang, B. S., 2006, "Vibration condition monitoring & diagnostics", Intervision publishing company.
- (4) Yang, B. S., 2002, "Vibration of rotating machines", Intervision publishing company, pp 559~603.