

펌프진동 · 로터 밸런스가 베어링 수명에 미치는 영향

한국과학기술정보연구원
전문연구위원 이복춘
(bchlee46@reseat.re.kr)

1. 서 언

- 프로세스 펌프를 사용하는 과정에서 펌프를 적합하게 정비하는 방법과 수단이 필요하다. 이러한 결정을 위해 에너지절약과 또 다른 고려사항을 감안하는 경우가 많다.
- 이와 함께 지구온난화에 미치는 영향을 최소화하는 방안도 고려되고 있다. 펌프 외에도 에너지손실을 초래하거나 에너지소비를 계량할 수 있는 공장의 다른 장치에도 최적화 방안을 적용할 수 있다. 이 원고에서는 이러한 문제에 대한 경험을 토대로 일부 결과를 기술한다.

2. 흥미 있는 진동문제

- 펌프를 비롯하여 모든 회전기기는 로터(rotor)의 잔류 불균형, 액체의 난류, 압력맥동, 캐비테이션(cavitation)과 펌프마모 등의 가진력(excitation force)에 적응하기 위해 다소간의 진동을 발생시킨다.
- 진동의 주파수가 펌프본체, 기초 또는 배관의 공명주파수에 근접하면 진동이 확대된다. 흥미 있는 점은 펌프의 진동여부가 아니고 다음과 같은 사항이다.
 - 진동확대와 진동주파수가 펌프에 손상을 충분히 일으킬 수 있다.
 - 진동은 펌프 내에서 손상이 발생하는 징조를 나타낸다.
 - 진동정도와 베어링수명 관계는 어느 정도 정량화될 수 있다.
- HI(Hydraulic Institute)와 API(American Petroleum Institute)과 같은 기관은 펌프의 과도한 진동을 피하기 위해 진동 한계치를 설정해 왔다.

- 전통적으로 0.35ips(-9mm/s)가 장비의 베어링 캡 또는 하우징에서 허용할 수 있는 최고의 진동속도로 인식되어 왔다.
- 기계의 진동과 측정은 복잡하고 설명이 필요하며, 일반적으로 다음 사항이 고려되어야 한다.
 - 장비상태 평가를 위해 변위의 크기, 속도, 가속가속도(acceleration severity)에 의한 진동의 측정 또는 분석여부
 - 통과되는 모든 주파수 또는 여과된(filtered) 주파수의 사용여부
 - 제곱근(RMS: Root-Mean-Square) 또는 피크 대 피크(peak-to-peak) 수치의 측정 또는 명기여부(RMS 수치는 일반적으로 피크 대 피크 수치에 0.7을 곱한다)
- 그러나 이러한 관계는 한 개의 정현파형(sinusoidal waveform)에만 적용한다. 보다 복잡한 파형에서는 다음 사항을 고려하여야 한다.
 - 전문공장에서 측정되는 진동측정치를 현장수치와 비교하는 방법
 - 진동진폭과 진동수가 기계수명에 미치는 영향
 - 펌프종류에 따른 진동의 측정위치
- 간과해서 안 될 사항은 프로세스 펌프에 적합한 진동 모니터링 접근법이다. 여기에 “enveloping process”도 포함되고 데이터수집 장치(data collector)는 펌프와 베어링 문제를 모니터링 하는 중요한 수단이다.

3. 상이한 모니터링 방법

- 데이터 수집을 위해 일부는 충격파감시(SPM: Shock-Pulse Monitoring)를 도입하지만, 타 방법과 같이 무선으로 결과를 전송할 수 있다. 충격이 발생하는 순간에 분자접촉이 일어나고, 충돌되는 각 물체에는 충격파가 나타난다.
- 데이터수집 장치와 분석기가 결합되면 고유의 소프트웨어 패키지가 부수되고, 이러한 패키지는 진동, 온도 감시와 함께 속도 그리고 펌프수명연장 프로그램에 필요한 현장의 균형능력을 측정한다.

4. 로터 평형

- 모든 임펠러는 운전속도에 관계없이 설치이전에 동력학적으로 한개 또는 두개의 평면으로 균형을 유지해야 한다. ISO 밸런스근거가 이러한 용도로 통상 사용된다.
- 회전펌프의 구성요소인 샤프트, 임펠러, 커플링에서 동적 평형을 유지시키면 메커니컬실과 베어링의 수명이 연장된다.
- 회전부분의 부품별로 독립적으로 균형시험을 한 다음에 샤프트에서 임펠러와 커플링을 합쳐서 균형시험을 한다. 다른 방법은 펌프 로터를 한 개의 결합단위로 간주해서 한차례의 균형시험으로 완료한다.
- 정하중, 동하중 중에서 평형상태에 있는 정하중이 더 중요하다. 로터의 구성성분을 대상으로 독립적으로 균형시험을 한다면 정하중에 대해 보다 엄격한 기준을 적용하는 것이 효율적이다.
- 1,800rpm 이하의 속도로 가동되는 임펠러에 대해서는 ISO 1940 G 6.3이 적합하다. 1,800~3,600rpm에서는 ISO G 2.5가 보다 효과적이다.
- 평형을 시험하는 장비의 감도는 대상부품에 허용되는 최대의 잔류 불균형수치의 1/10에 해당하는 불균형까지 측정할 수 있어야 한다.

5. 진동허용한계

- ANSI/HI 9.6.4에는 일반적으로 허용되는 펌프의 현장 진동수치가 펌프 형태별로 제시되어 있다. 전문공장 또는 실험실의 측정치는 현장의 한계치보다 측정 장비의 견고성에 따라 2배 이상으로 나타날 수 있다.
- HI 표준은 양호한 현장조건아래서 가동되고 있는 펌프에만 이러한 수치를 적용할 수 있다고 하며, 다음과 같이 규정한다.
 - 적절한 NPSH가 유지되어야 한다.
 - 운전하기에 적합한 범위에서 펌프가 가동되어야 한다.
 - 펌프와 동력전달장치(driver)의 샤프트가 정렬이 되어야 한다.
 - 펌프의 흡입은 ANSI/HI 9.8을 만족해야 한다.

- 슬러지 또는 수직의 터빈펌프는 맑은 액에 사용되는 수평펌프보다 약 2배의 진동수치가 허용된다.

6. 과도한 진동의 원인

- 펌프의 진동수준이 높으면, 원인을 규명해야 한다. 이때 많은 주파수 스펙트럼에서 가장 우세한 부분을 찾으면서 여과된 진동분석을 한다.
 - 이러한 순서에 따라 분석의 처음단계는 펌프가동속도의 집합을 포착해 평가하는 것이다. 이 과정을 여과속도의 플롯(filtered velocity plot) 또는 진동수 스펙트럼이라고 한다.
 - 실제 분석에서는 다음과 같이 여러 종류의 원인이 지적된다.
 - 로터의 불균형
 - 샤프트(커플링)의 정렬불량
 - 적합한 영역을 크게 벗어난 운전 때문에 발생하는 액체의 난류
 - 불충분한 NPSH에 의한 캐비테이션
 - 임펠러의 케이싱으로부터 발생하는 압력맥동
 - 이 밖에 진동을 일으킬 수 있는 더 복잡한 원인은 다음과 같다.
 - 운전속도가 펌프본체, 펌프기초 및 배관의 기계·유압 공진주파수에 가까운 상태에 있다.
 - 진동·공명현상은 로터의 측방진동, 염력진동, 구조적인 측방진동을 포함한다.
 - 흡입과 토출이 불량하면 진동이 증대된다.
 - 베어링의 마모에 의해 진동이 증대된다.
 - 임펠러 웨어링 링(impeller wearing ring)간격의 확대에 의해 진동이 증대된다.
 - 전기모터에 연결되는 로터 바가 부적합한 상태가 되어 특이한 주파수를 보인다.

7. 결 론

- 펌프를 처음 가동할 때 허용되는 진동에 관한 가이드라인은 100~120년

간에 발간된 문헌으로부터 입수할 수 있다. 진동이 커지면 베어링에 걸리는 압력이 가중되고, 베어링 수명도 단축된다.

- 현대의 자료수집 장치와 조건 분석장치를 수많은 제작용체가 보유하고 있다. 많은 모델이 무선으로 운전되고 있지만, 유·무선 및 수동·자동 운전은 경우에 따라 선택되어야 한다.
- 로터의 불균형은 진동을 증대시키므로, 로터의 평형은 필수적이다. 평형측정기계(balancing machine)는 장치의 로터에 대한 평형을 신속하고 효율적으로 측정할 수 있다.

출처 : Heinz P. Bloch, "Pump vibration, rotor balance and effect on bearing life", *Hydrocarbon Processing*, 2007, pp.45~49



◁ 전문가 제언 ▷

- 지구온난화가 각종 국제회의 석상에서 최대의 화제가 되고 있고, 세계 9위의 온실가스배출 국가로 지목되고 있는 우리정부의 대처는 선진국에 비해 너무 뒤떨어지고 있다.
- 2012년에 실시될 온실가스감축협정에서 우리나라도 실행에 동참할 수밖에 없는 입장이면, 정부, 기업 및 민간이 참여하는 종합적인 대책기구가 발족하고, 각 분야별로 세분화된 대책도 이미 수립되어야 마땅하다고 본다.
- 정부도 탄소세 거래를 위한 제도를 확립하였다고 하나, 기업과 민간이 지구온난화 방지에 기여할 수 있도록 제도적인 장치를 마련하고, 이러한 대책을 종합적으로 관리할 필요가 있다.
- 온실가스를 삭감하기 위한 대책으로는 크게 2가지 방법으로 나눌 수 있다. 첫째 직접적으로 온실가스를 적게 배출하거나, 배출된 가스를 무해화시키는 방법이 있고, 둘째 에너지 사용을 절감해서, 에너지 생산에 따른 온실가스를 간접적으로 삭감하는 방법으로 대별할 수 있다.
- 이 원고에서는 생산 공정에 사용되는 펌프의 운전을 최적화시켜 에너지를 절감하고, 지구온난화에 기여할 수 있다고 한다. 그리고 이러한 최적화 방법을 동력을 사용하는 모든 회전기기에도 확대, 적용할 수 있다고 한다.
- 콘크리트 또는 철골구조에 견고하게 설치되는 현장에 비해 전문공장이나 실험실의 펌프기초는 견고하지 못하기 때문에 펌프진동의 크기가 일반적으로 2배정도 높게 나타난다. 운전하는 과정에서 펌프본체, 펌프기초 및 배관의 공명주파수에 근접하는 진동이 발생하면 에너지낭비도 크지만, 베어링 수명도 단축된다. 대형공장의 정비에 RBM(Risk-Based Maintenance)를 도입하는 경우에도 온실가스배출에 따른 영향을 추가로 감안해야 할 필요가 있다고 본다.