

펌프 진동 분석사례

김민호*

Case History of Pump Vibration Analysis

Min Ho Kim

1. 서론

펌프는 단위 기계로서는 그 숫자가 가장 많다고 할 만큼 인간의 생활과 밀접한 관계를 갖고 있으며, 그에 따라 유지비용이 다른 어떤 종류의 기계 보다 많다고 할 수 있다.

이렇게 많은 숫자의 펌프를 구동하기 위해 소요되는 동력은 전체 전기사용량의 30%에 이른다는 보고가 있으며, 이 때문에 석유화학 공장에서 회전기계에 의해 발생하는 설비보전비용 중 펌프가 차지하는 비중은 70.5%에 이르고 있다.

이는 일반적으로 현장에서 설비의 중요도를 판단할 때 역할의 중요도와 기계 가격을 기준으로 결정하지만 사용자의 입장에서 비용을 줄이고자 한다면, 당연히 가장 숫자가 많고 비용발생이 심한 펌프에 초점을 맞추어야 할 것이다.

사용자에게 가장 중요한 것은 운전비를 절감에 있기 때문이다.

기계 구매시 가장 중요한 것은 무엇일까?

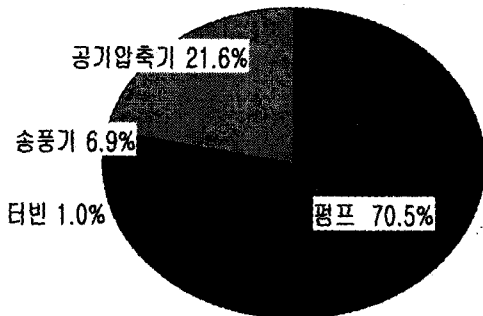
가장 우선적으로 생각되는 것은 품질과 초기 구입비라고 할 수 있다. 이것도 매우 중요한 부분이지만 비용의 절감 측면에서 본다면 성능과 초기 구입비보다는 소음, 진동이 오히려 중요한 요소라고 생각할 수 있다.

충분한 자격을 갖추지 못한 영세 소규모 기업에서 제작된 펌프의 경우 초기 구입비는 저렴할지 모르지만 실제로는 가장 비싼 펌프가 될지도 모른다는 것을 의미하는 것이기도 하다.

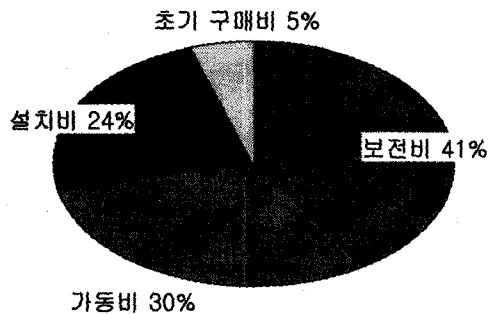
2. 펌프의 유지비

다음은 펌프를 20년 간 사용하였을 때 투자된 비용에 대한 분석표이다.

- ▶ 설비 사양 : 15마력 NC pump
- ▶ 사용 조건 : 3,600rpm, 6,000시간/년 사용시



*1973~1982 (from Charles Jackson)
 [표1 석유화학 공장의 회전기계 유지비]



* Chemical Engineering, (1998년 1월 호, p82~p85)
 [표2 펌프 운영비 내역(20년 사용시)]

* Nada S&V Co.

상기 도표를 항목별로 분석해 보면 다음과 같은 판단에 이를 수 있다.

▶ 구매비(5%)

- 구매비는 초기 기계 구입비용을 말하는 것으로 실제 전체 소요비용에 비해 매우 적은 부분임을 알 수 있으며, 기계를 구매할 때 중요한 point 는 아니라는 것을 알 수 있다.

▶ 설치비(24%)

- 설치비는 piping 및 Foundation 등 기계 설치를 위해 소요되는 비용으로 전체 기계고장의 70% 이상이 설치 불량에 의해 발생된다는 것을 염두에 둔다면 설치비를 절감할 수 있는 요소는 많지 않다는 것을 알 수 있다.

▶ 가동비 (30%)

- 가동비는 운전자의 인건비, 동력비 등 20년 간 설비를 가동하는데 따른 비용이다.
- 이 비용의 거의 대부분은 동력비로 볼 수 있으며, 동력비는 기계의 효율과 진동손실에 따라 결정된다고 할 수 있다. 동력비는 성능과 기계에서 발생하는 진동에 따라 10%에서 최고 50%까지 절감할 수 있다.

▶ 보전비 (41%)

- 보전비는 공무원의 인건비, 수선비, 감가상각비 및 Down-time 손실 등 설비보전에 따른 비용손실로 전체 운영비 중 가장 큰 부분이라고 할 수 있다.
- 즉 성공적인 설비 운영은 설비보전비를 절감하는데 있다는 것을 알 수 있고, 설비보전비의 거의 대부분은 기계의 고장빈도와 이에 따른 수명 단축에 의해 결정된다.
- 고장은 진동의 세제곱에 비례한다는 말과 같이 결국 보전비는 진동의 정도에 의해 결정될 수 있고, 펌프의 유지비에서 진동이 차지하는 비중은 실로 크다고 할 수 있다.

3. 펌프의 진동

펌프는 회전체 역학적인 측면에서만 본다면 비교적 쉬운 기계라고 할 수 있다. 보일러 급수펌프 같이 다단으로 회전속도가 높고, 상대적으로 회전축이 가늘어 위

험속도에 쉽게 노출되는 경우를 제외하고는 복잡한 진동형태가 나타나지 않는다. 펌프에서 발생 가능한 진동의 종류와 현장에서 발생되고 있는 진동에 의한 고장의 주요원인은 다음과 같다.

3.1 불평형(Unbalance)

회전하는 모든 물체는 원심력에 의한 부하를 받으며, 원심력은 불평형력에 기인한다. 불평형은 모든 회전체 진동의 근본으로 Mechanical Looseness나 베어링과 같은 부품의 손상을 가속화하고 결국 기계의 수명을 단축시키는 가장 주요한 원인으로 알려져 있다.

이 때문에 Balancing은 기계를 제조하는 모든 기업에서 가장 중요하게 다루어져야 할 부분이나 일반적으로 Balancing machine을 이용하여 손쉽게 해결할 수 있다고 생각하는 것 같다.

물론 Balancing machine은 불평형을 손쉽게 제거할 수 있도록 설계된 장비로써 정상적인 상태라면 큰 문제가 없다. 하지만 대부분 현장에서 사용되고 있는 Balancing machine은 설치상태, 베어링의 마모상태와 같이 장비상의 결함이 내재하고 있으며, key홈 등과 같은 기본적인 불평형력의 존재나 회전축을 제외하고 임펠러 단품만을 Balancing하는 데 따른 구조적인 문제에 의해 정밀 Balancing이 위협을 받고 있다.

3.2 축정렬불량 (Misalignment)

현장에서 불평형 이외에 가장 많은 문제를 야기시키는 것은 축정렬불량에 관한 문제라고 할 수 있다. 축정렬불량은 다이얼 게이지 두 개를 사용하여 수행하는 Reverse Dial Method라고 하는 정밀 Alignment 방법이 외국에서 소개되고 있으나 국내에는 잘 알려지지 않고 있으며, 현장에서 Steel 자를 이용하여 간극을 본 다든지, 간극 게이지 또는 다이얼 게이지 한 개를 이용하여 분석하는 방법들이 주로 사용되고 있으나 모두 정확한 방법이 아니다.

이와 같은 부정확한 방법을 사용하는 데서 오는 Misalignment 때문에 베어링에 편부하가 가해지며, 이로 인해 베어링의 수명이 단축되고, 고장 빈도가 높아져 Down-time 손실이 발생하고 제품의 신뢰도가 떨어지는 주요 원인이 되고 있다.

3.3 공진(Resonance)

특수한 고속 다단펌프를 제외하고 위험속도를 지나는 펌프는 많지 않다. 현장에서의 공진은 대부분 구조

공진에 의해 발생된다. 구조공진은 시스템의 고유진동수 즉 Base의 강도와 밀접한 관계를 가지고 있으며, 특히 수직펌프에서 자주 발생된다. 구조진동이 발생하게 되면, 펌프 전체가 심하게 진동하게 되고 이로 인해 베어링의 손상과 펌프와 연결된 카플링의 파손으로 연결되어 누수 등의 원인이 된다.

3.4 캐비테이션(Cavitation)

캐비테이션은 진동에 의한 문제라기 보다는 사용범위와 설계 조건의 문제로서 여기서는 깊이 논할 문제는 아니라고 생각된다. 캐비테이션의 발생은 일반 진동과 달리 펌프에 심각한 후유증을 남기게 되지만 정확한 설계에 의한 사용이 이루어질 경우 흔하게 발생되는 현상은 아니다.

3.5 기타 진동문제

펌프에서 발생하는 진동문제의 90% 이상은 상기에 서 언급한 불평형, 축정렬불량 그리고 공진에 의한 문제이며, 기타 Oil Whirl, 공명, 베어링 카플링의 손상 등에 관한 문제는 상기 3가지 진동에 의한 2차적인 손상으로 볼 수 있다. 상기 주요진동 원인이 제거될 경우 2차고장의 발생 빈도는 현격하게 감소될 것이다.

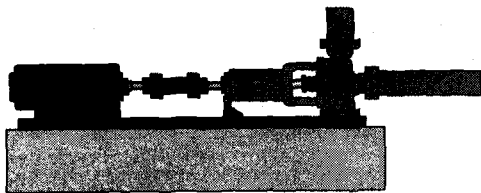
4. 진동분석 사례

4.1 현황 및 문제점

아래의 펌프는 잠수함 추적선에 장착되는 냉각수 순환 펌프로서 진동의 중요성이 무엇 보다 강조되는 설비라고 할 수 있으며, 미 해군성의 진동 spec.을 만족시켜야 하는 부담을 안고 있었다.

이미 여러 대의 설비를 기 납품하였고 나머지 펌프는 납품 대기 중에 있으나 모든 설비가 진동과다로 인하여 불량 판정을 받은 상태에 있었다. 이를 수정하기 위해서는 펌프를 배로부터 꺼내야 했으나 이와 같이 할 경우 비용 손실이 너무 과다하기 때문에 현장에서 해결할 수 있는 방법을 강구하지 않으면 안되었다.

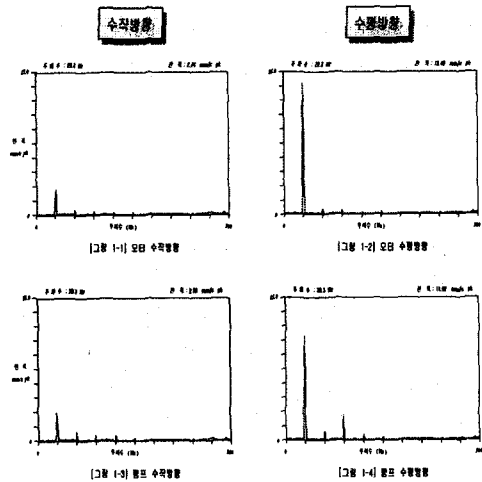
펌프의 spec은 여기서 밝힐 수 없는 것으로 그 외관의 형상은 아래와 같다.



4.2 진동 측정

진동센서는 속도계를 사용하였으며, 측정위치는
 모타 부하측의 수직, 수평방향, 각 1point
 모타 반부하측 수직, 수평방향, 각 1point
 펌프 부하측의 수직, 수평방향, 각 1point
 펌프 반부하측 수직, 수평방향, 각 1point로써 총 8point를 측정하였으나 패턴이 비슷한 관계로 모타와 펌프의 수직, 수평방향 각 1point 씩 4point에서 측정한 data를 비교해 보기로 한다.

4.3 초기 진동



위 진동은 초기상태의 진동으로 여기에서는 저주파 영역의 진동분석 결과만을 다루기로 한다. 진동의 특징은 1X 성분이 탁월하고 수직방향의 진동에 비해 수평방향의 진동이 월등히 크다는 것을 알 수 있다.

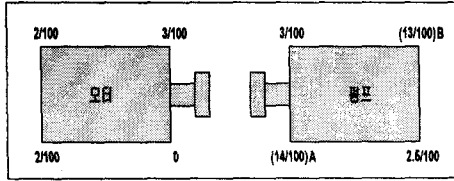
이 같은 진동 패턴은 전적으로 불평형 진동으로 단정하기 어렵고 주로 불평형과 축정렬불량에 의한 진동 성분이 섞여 있을 때 발생하는 현상이라고 할 수 있다.

불평형에 의한 진동은 대부분 원심력에 의한 진동으로 반경방향에 걸쳐 진동의 크기가 비슷하다.이 때문에 반경방향의 진동 크기가 비슷한 상태에서 Balancing하면 거의 완벽하게 진동이 감소하지만 그렇지 못할 경우 Balancing 작업 후에도 원하는 만큼 진동이 감소하지 않는 경우가 대부분 이다.

진동을 감소시키기 위한 작업이 진행되었으며, 우선 Balancing과 Alignment 작업이 거론되었지만 Balancing작업은 항상 최종공정으로 보아야 하기 때문에 우선 Alignment를 실시할 것이 제기 되었고,

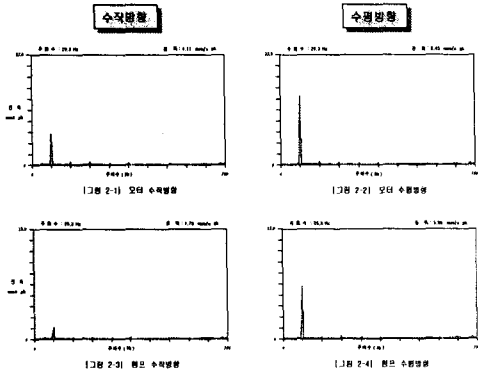
Alignment에 앞서 Softfoot을 제거하도록 했다.

Softfoot을 분석한 결과 A와 B부분이 취약하다고 판단되었으며, 10/100 짜리 Shim-plate를 보강함으로써 해결했다.

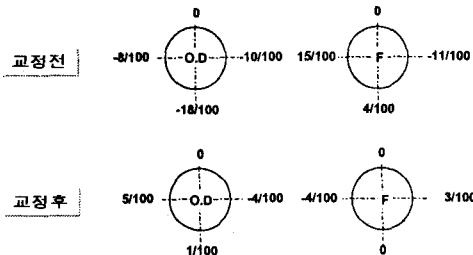


※A,B 두 곳에 10/100 Shim plate로 보강

4.4 Softfoot 보강 후 진동상태



Softfoot 보강 후 진동상태는 수직, 수평방향의 진동 차이가 많이 줄었다는 것을 알 수 있었으며, 이로서 Softfoot이 발생하면 수직, 수평방향의 진동 값이 영향을 받는다는 것을 알 수 있다.

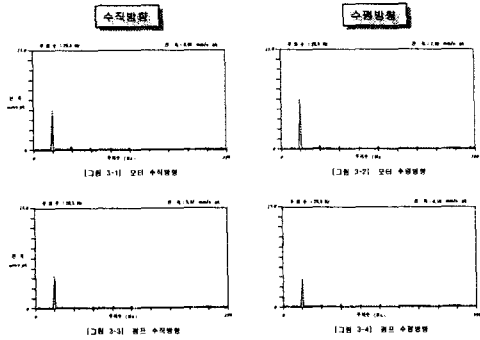


OD-Face 방식에 의해 정밀 Alignment를 실시하였으나 펌프 하우징의 가공 불량에 의해 발생하는 공차

를 줄이지는 못했다. 전체적으로 Misalignment는 5/100 내에서 만족할 만큼 교정되었다.

OD-Face 방식은 두개의 다이얼게이지를 이용하여, 카플링의 외륜과 접촉면을 동시에 측정하여 분석하는 기법이며, 두 개의 다이얼게이지를 서로 대칭으로 부착하여 측정하는 Reverse Dial gage 방식과 함께 이론상으로 완벽하다.

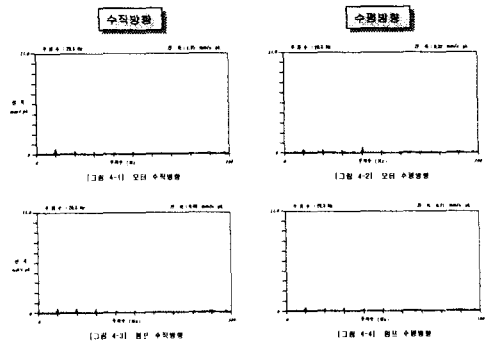
4.5 Alignment 실시 후 진동상태



Alignment 실시 후의 진동은 위에서 보는 바와 같이 수직, 수평방향의 진동차이가 거의 없어진 상태라고 할 수 있다. 이는 반경방향 진동이 비슷하다는 것으로 이제 불평형에 의한 진동만 남아 있다는 것을 알 수 있다.

불평형 교정은 현장 Balancing으로 진행되었으며, 베어링의 손상을 막기 위해 베어링 부분에 물을 뿌려가면서 실시하였다. Balancing 결과 임펠러 외경 근처에서 약 50g 정도를 grinder로 제거 하였다.

4.6 Balancing 작업 후 진동상태



위 그래프는 Balancing 작업 후 진동상태를 나타내고 있다. 진동은 최초 13.49mm/s로부터 0.32mm/s로 감소하여 97.6%의 진동이 감소했음을 알 수 있다.

실제로 상기 작업들은 본격적으로 완벽하게 진동을 줄이기 위해서 행한 작업이라기 보다는 기 납품되어 배에 탑재하고 있는 펌프의 진동을 어떤 작업절차를 거쳐서 현장에서 제거할 수 있는가를 교육하기 위해서 실시한 것이다. 하지만 정확한 작업 수순을 거쳐 실시한 진동저감 작업은 만족할 만한 수준으로 인정되었고, 이 후의 작업은 유체의 유동에 의한 고주파 진동을 제거하는데 주력하게 되었다.

5. 결 론

펌프에서의 진동은 사용자나 제조 기업 모두에게 있어서 대단히 유해한 것이라고 할 수 있다.

펌프의 진동이 최소화되었을 경우 사용자에게는 고장 없고 수명이 긴 펌프를 사용하게 됨으로써 운영상의 비용을 절감할 수 있고, 제조기업에게는 불필요하게 발생하는 A/S비용의 절감과 대외 신뢰도를 제고함으로써

매출을 증대할 수 있을 것이다. 결국 대부분의 펌프 제조기업에서 적절한 설계에 의해 적절한 성능을 갖는 펌프를 제조한다고 가정했을 때 펌프의 진정한 부가가치는 진동에 있다고 할 수 있다.

펌프에서 발생하는 진동은 90% 이상이 불평형과 축 정렬불량 그리고 공진에 의해 발생하는 것으로 보고되고 있으며, 상기 3가지 진동의 형태를 여하히 감소시킬 수 있는 숙련된 기술을 습득할 수 있는가 하는 것이 기업의 성패와 직결된다고 할 수 있다.

펌프를 포함한 모든 기계에서도 진동에 의한 고장 패턴은 이와 유사하며, 기본적인데, 오히려 쉽다고 생각하는 부분에서 불량이 발생하고 있음을 알 수 있다.

진동을 감소시키기 위해서는 그 순서가 중요한데 우선 Softfoot을 제거함으로써 시간이 지나면서 조임이 헐거워져 발생하는 Misalignment를 근본적으로 없애야 하고 그 후 Alignment를 실시하고 마지막으로 Balancing 작업을 통해 진동을 제거해야 한다.

만약 작업순서가 바뀔 경우는 그 순서가 맞을 때까지 진동이 제거되기 어려우며, 설혹 제거되었다 하더라도 진동은 다시 높아질 수 있다.