

소음, 진동을 고려한 송풍기 설계 기술

김민호*

1. 서 론

우리나라의 기계공업은 자동차를 생산할 정도로 발전되었다. 약 25,000개의 부품이 결합되는 자동차는 기계공업의 총화이며, 종합적으로 전 산업영역이 고르게 발전되지 못하면 만들 수 없는 것이기도 하다.

하지만 이처럼 발전된 기계공업을 갖고 있음에도 불구하고 기계류 수출입 현황을 보면 실로 한심한 상태에 있음을 부인할 수 없다.

다음은 1994년도의 우리나라 기계류 수출입 현황을 나타낸 도표로서 자세히 분석해 보면 우리나라의 만성적인 무역수지 적자의 원인이 기계류에 있었음을 알 수 있다. 전체 무역수지 적자는 69억불인데 비해 교역 규모가 수출 5%, 수입 17% 정도인 대일 무역 중 기계류 수출입에서 발생된 무역 수지적자가 전체 무역수지 적자의 2배인 125억에 해당한다는 것을 알 수 있다.

이는 기술 후진국의 전형적인 무역형태로서 수출할 제품을 만들기 위해 수입되는 기계류에서 발생하는 적자가 수출을 통해 벌어들이는 수입보다 언제나 크다는 것이며, 후진국은 결국 기술선진국을 위해 존재할 뿐 선진국과 후진국의 자리바꿈은 있을 수 없다는 것을

의미이기도 한다.

일반적으로 기업에서 제조설비에 투자하는 것은 지렛대승수 효과 (leverage effect)를 크게 하는 것으로서 매출이 늘어날수록 이익은 기하학적으로 증가하며, 매출이 감소할수록 손실은 기하학적으로 늘어나는 일종의 투기와 같은 것이라고 할 수 있다.

따라서 우리나라가 만성적인 무역수지 적자국가에서 탈피하기 위해서는 두 가지 방법이 있을 수 있다.

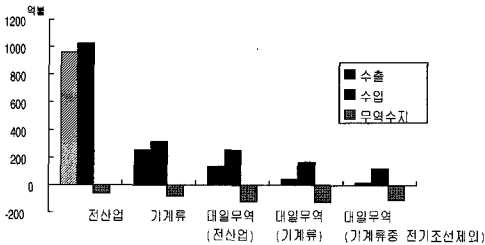
그 첫째는 수입기계를 사용해도 매출을 극대화함으로써 이익을 증가시키는 경우이고 두 번째는 우리나라에서 사용하고 있는 모든 기계류의 사용 수명을 대폭 연장함으로써 기계류 수입을 원천적으로 감소시키는 방법이다.

2. 국내 기업의 현상 분석

국내 기업의 상황을 이해하기 위해 몇 가지 사례를 들어보기로 한다.

A사는 유압 브레이크를 생산하고 있는 기업이다. 국내 경쟁기업은 많이 있으나 수출 시장에서 이 회사의 주요 경쟁업체는 일본의 XX기업이다. 가격 면에서 일본제품의 70% 정도로 초기 수출시장에서 많은 호평을 받았다. 하지만 어느 정도의 기간이 지나고 국산의 수명이 일산에 비해 30% 밖에 안 된다는 것이 판명난 후 시장 상황은 완전히 역전되었으며, A사 뿐 아니라 이와 동일한 제품을 생산하고 있는 모든 국내기업의 수출에 타격을 받았다.

본 제품의 치명적인 약점은 볼트에 있었다. 이 볼트는 길이 1.5m의 Through Bolt로서 가격은 5만원에 불과하나 볼트 Head가 쉽게 부러지면서 실린더 내부의 엄청난 압력이 외부로 발산되면서 제품 전체가 손상되는 현상이 발생되었다. 즉 5만원이 2,000만원의 수명을 좌우하고 있었을 뿐 아니라 우리나라 기업 전체의 이익을 손상시켰던 것이다.



| | | | | | |
|------|------|-----------|------------|------------|------------|
| 수출 | 960 | 254 (26%) | 135 (19%) | 44 (5%) | 8 (0.8%) |
| 수입 | 1023 | 317 (31%) | 254 (25%) | 169 (17%) | 124 (12%) |
| 무역수지 | 63 | 82 (130%) | 119 (189%) | 125 (198%) | 106 (168%) |

* 기계무역시업률계, 1995, 한국기계공업진흥회

그림 1 기계류 수출입통계

* 나다 S&V

실제 이 같은 제품에서 볼트 헤드가 부러지는 문제는 학회에도 여러 번 보고가 되었을 정도로 유명한 문제였었고 역시 일본에서도 이 문제 때문에 여러 해 동안 고생을 했던 것으로 알려져 있다.

우리는 우선 볼트의 강도를 키우고 헤드의 모서리 부분에 Cold rolling을 실시함으로써 이 문제를 해결해 주기는 했지만 외국 바이어들에게 비취진 좋지 않은 제품이라는 인식을 바꾸기는 어려웠고 A사는 결국 오랜 기간 고전을 하다 문을 닫고 말았다.

A사의 문제는 매우 단순해 보일지 모르나 실제로는 우리나라가 안고 있는 고질적인 문제인 설계 제작후 내구시험이라는 당연한 개발과정을 거치지 않았다는 보다 근본적인데 문제의 원인이 있다. 즉 단순 모방설계의 전형적인 모습이라고 할 수 있다.

B사는 에어컨을 생산하는 대기업으로 에어컨 최대 시장이라고 하는 동남아 시장에서 혼신의 힘을 다해 매출 신장을 꾀하고 있었다.

B사의 심각한 문제는 제조설비의 거의 대부분이 일본에서 수입된 것들로서 고장이 발생하면 국내에서 수리가 불가능한 것으로 인식하고 있다는 것이다. 고장이 발생하는 경우 아예 설비 부품을 일본으로 보내 수리해 오고 있었는데 이에 따른 막대한 경비 손실과 불안정한 상태에서 제작되는 제품의 과도한 소음은 국제경쟁력 약화에 치명적으로 작용하고 있었다.

이에 비해 일본 제품은 설비고장이 적고 저렴한 비용의 자체 수리가 가능할 뿐 아니라 제품에서 발생하는 소음도 매우 적은 상태에 있었다.

이와 같은 일은 실제 우리나라 대부분의 기계공장에서 안고 있는 일반적인 모습이라고 할 수 있다. 제품의 품질이 떨어지기 때문에 저가정책을 쓸 수밖에 없는 반면에 설비수리비용을 포함한 생산비는 오히려 높은 기현상을 보이고 있다.

C사는 공기 압축기를 제작하는 중소기업으로서 수년동안 유럽지역에 수출을 모색해 오고 있었다. 많은 바이어들도 다녀갔고 관심을 보이기도 했지만 대부분 반응은 "NO" 였다. 그 이유는 과도한 진동, 소음에 있었으며, 과도한 진동은 잦은 고장의 원인이 될 뿐 아니라 기계 수명에 직접적인 영향을 미치기 때문이다.

이 회사제품의 진동은 매우 심각한 상태에 있었으며, 회전속도가 2배나 높은 외국제품 보다 오히려 높은 진동을 나타내고 있었다. (진동은 회전속도의 제곱에 비례함에도 불구하고)

이 회사는 외부의 도움을 받아 진동의 원인을 철저히

분석하였고 진동의 원인을 제거했다. 그 결과 ISO에서 규정하는 진동치 이하로 낮출 수 있었고 이 회사는 IMF 시대임에도 불구하고 현재 월 7,000대 씩 해외로 수출하고 있으며, 내년에는 월 20,000대 이상 수출할 수 있는 체제를 갖추고 있다.

이상의 사례에서 보는 바와 같이 우리나라 기업的高질적인 몇 가지 문제를 해결할 수만 있다면, 실제 우리나라 기계류 산업은 매우 발전할 수 있으며, 해외에서 충분히 경쟁력이 있음을 확신한다. 근본적인 문제의 원인은 우리가 아무 것도 아니라고 무시하는 작은 부분에 있으며, 이 부분에서 대외 경쟁력이 결정되고 있다는 사실을 간과하고 있다.

이와 같은 문제는 우리나라 대부분의 기계공장에서 소음, 진동을 고려한 설계를 하지 못하고 있기 때문이며, 이것이 선진국과 우리나라의 차이이며, 우리 기계공업의 근본적인 문제점이라고 할 수 있다.

설계 도면상에서는 물론 소음, 진동이 어느 정도 심각할 것인가에 대해 전혀 예측할 수 없다. 대부분의 소음진동은 가공과 조립시에 발생할 수 있는 문제이며, 설계실 보다는 현장의 문제일 것으로 생각된다. 하지만 현장에서 작업을 하는 작업자에게는 설계 도면에 나타나지 않은 사항에 대해서는 책임이 없다는 것을 명심해야 한다.

이와 같이 본다면 실제 기계에서 발생하는 소음, 진동 문제에 대한 책임 소재가 불분명하며, 문제의 책임을 서로에게 전가할 수 밖에 없을 것이다. 하지만 소음, 진동의 우선적인 책임은 설계자에 있다고 할 수 있다.

3. 설계도면의 의미와 작성

설계는 단순히 제품에 대한 그림을 그리는 것이 아니다. 설계는 제품을 만들기 위해 필요한 모든 정보가 포함되어야 하고, 완벽한 제품을 만들 수 있는 지침서가 되어야 한다.

완벽한 제품을 만들기 위해서는 당연히 도면을 작성하는 설계자가 가공에 대해 정통해 있어야 함은 물론 제품이 완성되는 모든 공정에 대해 이해하고 있어야 한다. 설계의 근본은 도면을 작성할 때 선을 긋는 순서가 가공 순서와 같아야 하며, 치수선은 가공할 때의 가공 기준면으로부터 나와야 하고, 가공 공차는 기계가 가동하는 조건을 염두에 두고 주어야 한다.

여러 해 전 영국에 출장 갈 기회가 있었으며, 유명한 공장을 방문하여 견학한 적이 있다. 그 곳에서는

가장 초보적인 엔지니어에게 성능시험을 맡게 하고 그 후 현장에서 가공, 조립 업무 거친 후에야 설계를 맡기는 것을 본 적이 있다. 신입직원에게 설계를 맡기는 우리나라와 비교할 때 그들이 도면에 그리는 선 하나 하나의 무게감이 대단하게 느껴졌다.

학교를 졸업하고 자동차회사 설계부에 입사했던 당시 처음으로 온 정성을 들여 작성해 출도했던 도면을 들고 와서 “너나 만들어라!”라고 내 앞에 던지던 어떤 부장님이 떠오르는 순간이었다. 그 때 당시에는 잘 몰랐으나 한참 지난 후에 그저 예쁘게(?)만 그렸던 그 도면을 가지고는 제대로 가공할 수 없었다는 것을 알았을 때 가공을 모르는 설계는 무의미한 것이라는 것을 알게 되었다.

이것은 비단 나쁜 만의 경험은 아닐 것이다. 설계 엔지니어의 대부분이 겪었던 문제들이며, 더구나 아직도 설계도면에 의지해서 가공할 수 없기 때문에 설계자의 의견을 대충 짐작해서 가공하는 설계 따로 가공 따로인 우리나라의 현실을 주목해야 한다.

1) 설계시 검토해야 할 사항

- 회전축의 위험속도 분석
- 회전축의 변형모드 분석
- 이론적인 완벽한 평형
- 방음, 방진 교정이 손쉬운 설계

2) 가공도에 반영해야 할 사항

- 허용 불평형량의 표시
- 주요부 가공공차 규제
- 주요부 표면조도 규제

3) 조립/설치도에 반영해야 할 사항

- Bed에 관한 규제
- Foundation에 관한 규제
- 방진장치에 관한 규제
- Soft-foot에 관한 규제
- Misalignment에 관한 규제

4. 안전도와 취약점 분석 (사례분석)

회전체 설계에서 가장 중요한 일은 과연 우리가 설

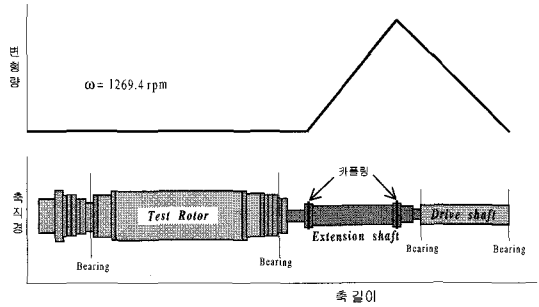


그림 2 항공기용 가스터빈 변형모드분석

계하고 있는 회전체가 실제 운전속도에서 안전한가하는 것과 설계불량에 의한 취약점이 존재하고 있는가를 평가해 보는 일이라고 할 수 있다.

변형 모드 분석은 특히 위험속도 분석과 동시에 할 수 있는 작업으로 설계불량에 의한 기계설비 고장의 근본적인 문제를 설계 단계에서 해결할 수 있다.

지금까지 위험속도와 변형모드를 분석하는 일은 주로 터빈이나 고속 컴프레서와 같은 고가 장비에 국한되어 왔으나 실제 우리가 제작하거나 현장에서 사용하고 있는 전기 모터를 비롯한 송풍기, 펌프 등 모든 종류의 회전기에 적용 가능하며, 이 사례를 통해 설계 단계에서 어떻게 상태를 진단하고 취약점을 보장할 수 있는가를 분석해 보기로 한다.

그림 2의 회전축은 항공기용 가스터빈이며, 보는 바와 같이 주축과 구동축 사이에 축의 길이를 연장하기 위한 Extension shaft가 연결되어 있다.

그림 2의 아래쪽은 가스터빈을 도식화한 그림이며, 위 그림은 이 축의 변형모드를 나타낸다. 변형모드에서 나타내고 있는 변형량은 절대량이 아니라 비율을 나타낸 것으로 위 그림에서는 수직 방향을 강조했음을 밝혀둔다.

이와 같은 변형모드 분석 그래프에서 알 수 있는 내용은 다음과 같다.

1) 위험속도는 1269.4 rpm 이다.

여기서의 위험속도는 전체 시스템을 조립한 상태에서의 위험속도로서 단품들의 위험속도에 비해 상당히 낮은 영역에서 나타나고 있음을 알 수 있다.

Balancing은 단성축 Balancing을 실시해야 하고 특히 위험속도와 자신의 회전속도 영역의 두 곳에서 철저히 실시해야 한다.

2) 변형모드는 Extension shaft를 연결하는 커플링을 좌우에서 급격한 변형을 보이고 있다.

앞에서 보는 바와 같이 주축은 연결된 다른 축에 비해 상대적으로 굵고 강하며, 베어링의 강성도 강하다. 이 때문에 상대적으로 약한 Extension shaft 좌우의 커플링 부근에서의 변형이 심하게 나타나고 있으며, 이와 같은 상태하에서는 설비 자체에서 발생하는 진동의 영향보다는 설계상 취약점 때문에 커플링 또는 커플링 좌우의 베어링이 손상될 것이라는 것을 쉽게 짐작할 수 있으며, 이와 같이 설계불량에 의해 발생하는 취약점은 설계단계에서 반드시 제거해야 한다.

만약 설계변경에 의하지 않고, 이 상태에서 문제를 해결하고자 한다면, Extension shaft 우측 가까운 베어링의 강성을 높이거나, 한 개 더 사용하면 변형이 억제되어 문제를 해결할 수 있다. 또는 오히려 주축 베어링 강성을 낮추어 변형이 쉽도록 한다면 커플링 부위의 변형이 완화될 것이며, 이로서 시스템 전체에 걸리는 부하를 조절할 수 있고 시스템 전체의 수명을 연장할 수 있을 것이다.

5. 설치상황 분석 (사례분석)

송풍기는 일반적인 산업기계와는 달리 소음, 진동에 쉽게 노출되어 있으며, 송풍기의 대부분이 소음진동에 의해 손상되는 경우가 많다.

송풍기와 가장 밀접한 진동 문제는 공진이라고 할 수 있다. 물론 불평형 진동이나 축정렬불량, 또는 벨트, 풀리에 의한 진동이 근본적인 것이라고 할 수 있으나 이같은 진동들은 모든 산업기계에 공히 적용되는 것으로 송풍기와 같이 강성이 약한 철관 구조로 이루어진 경우 공진은 특별히 중요하게 취급되어야 한다.

설계자는 우선 송풍기가 설치되는 사항을 완벽하게 이해하고 있어야 하며, 송풍기에서 발생할 수 있는 진동 주파수를 분석하고 송풍기에 부착되어 있는 모든 지지구조에서 공진이 발생되지 않도록 지시하는 것이 매우 필요하다.

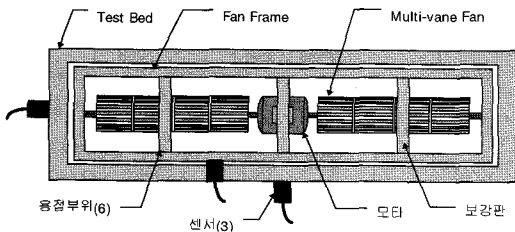


그림 3 에어콘 공기 순환용 송풍기

문제가 발생한 송풍기는 그림 3에서 보는 바와 같이 모터 양쪽에 두개의 임펠러를 갖는 Multi-vane Fan으로서, 철도 차량의 에어컨 공기순환 송풍기로 사용되고 있으며, 그 용도 때문에 하절기 6개월 동안만 사용되는 특수한 조건하에서 사용되고 있었다.

이 제품은 처음 외국제품을 그대로 모방설계하여 생산한 것으로 초기부터 소음에 관한 문제가 심각하게 제기되어 오고 있었으며, 소음의 주요 원인은 베어링 손상에 있다는 것으로 알고 있었으나 왜 베어링이 그와 같이 쉽게 손상되는지의 원인분석이 이루어지지 않고 있었다.

1) 예상 진동원인 분석

- 제품 사용 또는 운용상의 문제

본 송풍기의 사용조건은 철도차량 천장에 부착되는 것으로 일단 설치되면, 사용 부주의에 의해 손상되기 어렵다는 점에서 일단 유리한 면을 갖고 있다. 모든 회전체는 자중에 의한 처짐이 발생하며, 6개월 이상 가동 않고 방치할 경우 영구변형이 발생할 수 있다. 이 송풍기의 경우 동절기 6개월은 가동되지 않는 상태로 방치한다는 점에서 영구변형의 가능성이 높다고 할 수 있다.
- 불평형 진동

진동발생 원인의 가장 흔한 형태가 바로 불평형에 의한 진동이라고 할 수 있다. (전체의 약 40%) 특히 위와 같이 유연한 구조를 갖는 송풍기의 경우 임펠러의 강성이 매우 약하기 때문에 영구 변형이 쉽고 그로 인한 불평형 발생 가능성이 높다.
- 축중심 불량에 의한 진동

진동원인 중 불평형과 함께 가장 높은 비율을 갖는 것이 Misalignment에 의한 진동이라고 할 수 있다. (전체 진동원인 중 30%) 위와 같이 유연한 구조를 갖고 있는 경우 Misalignment에 의한 Harmonics 성분이 뚜렷이 나타나지 않을 수 있으나 모터 축과 임펠러 끝 단 간의 Misalignment 발생이 쉽게 나타날 수 있다고 판단된다.
- 공진

공진은 회전체에 의한 강제진동 주파수가 구조물의 고유진동수(Natural Frequency)와 일치하거나 비슷할 경우 진동이 증폭되는 현상으로서 회전수가 약간만 변해도 진동이 급격히 감소하는 특징을 갖는다. 송풍기와 같이 철관구조로 되어 있는 경우 일반적인

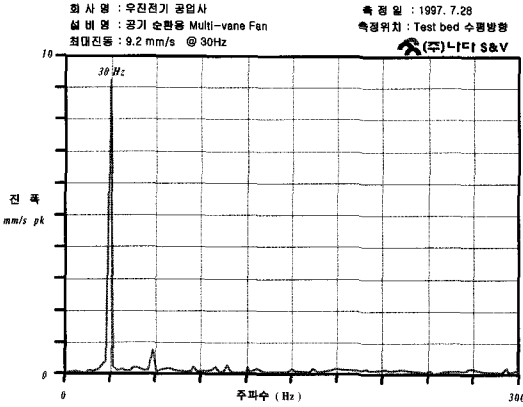


그림 4 초기 진동 특성

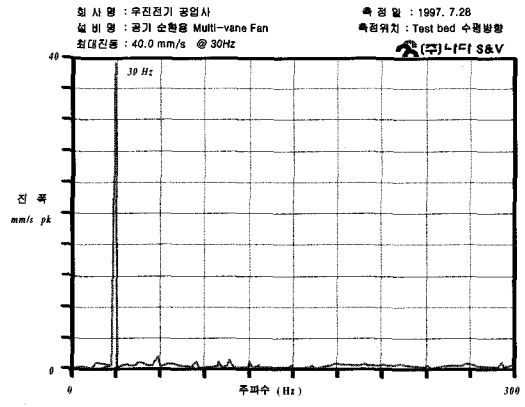


그림 5 임펠러 제거 후 진동특성

모터 회전수 1,800 rpm(=30 Hz)나 3,600 rpm(=60 Hz)와 같은 저주파 영역에서 고유진동수를 갖고 있는 경우가 많기 때문에 공진 발생 가능성이 매우 높다.

2) 초기 진동측정 및 분석

그림 4는 열차에 설치된 상태 그대로 재현하여 설치한 후 진동을 측정했으며, 센서는 저주파 영역의 분석이 쉽도록 속도계를 이용하였다.

- 약간의 2X 성분이 있으나, 회전 속도성분이 진동의 대부분을 차지하고 있다. 따라서 불평형 진동의 가능성이 높다.
- 본 송풍기는 불량으로 입고된 것이 아니고 새로 조립된 제품임에도 불구하고 진동이 매우 높은 상태에 있다. (9.2 mm/s)
- 기계의 종류와 모터의 용량에 따라 그 기준이 다르기는 하지만 가장 보편적이고 일반적인 기계의 경우 고장으로 분류하는 진동은 1차 고장이 4 mm/s 2차 고장이 7.5 mm/s 정도이다.
- 진동의 주요 원인은 불평형, 축정렬 불량, 공진, 축의 휨 등으로 예측할 수 있다.
- 우선 불평형에 의한 원인을 분석하기 위해 불평형의 가장 큰 원인일 것으로 판단되는 임펠러를 제거한 후 진동 상태를 점검하는 것이 필요하다.

3) 임펠러 제거 후의 진동

그림 5는 송풍기에서 임펠러만을 제거한 상태로서 불평형의 주요 원인이 되는 임펠러를 제거한 상태에서

모터만 가동시킨 것으로 임펠러 불평형에 의한 진동의 크기를 분석하기 위해 실시되었다.

임펠러 제거 후 진동이 큰 폭으로 감소한다면 전체 진동은 임펠러의 불평형에 의한 진동이었던 것으로 판단될 수 있다.

- 불평형의 원인이 되고 있는 임펠러를 제거했으므로 진동은 당연히 감소해야 함에도 불구하고, 진동은 오히려 최초 9.2 mm/s로부터 40 mm/s로 무려 4배 이상 증가하는 기현상을 보이고 있다.
- 이와 같이 임펠러에 의한 불평형 진동의 가능성을 배제했음에도 불구하고 진동이 증가하는 것은 구조물의 공진으로 볼 수 있다.
- 공진은 Test-Bed와 송풍기 Frame에 의한 것으로 판단되며, 어느 부분에서 공진이 발생했는가를 분석하기 위해 Test-Bed와 송풍기 Frame의 고유진동수를 분석하는 것이 요구된다.

4) Test-Bed 고유진동수 분석

모든 물체는 자신의 고유한 특성인 고유진동수를 갖고 있으며, 외부에서 충격이 가해지면 자신의 고유진동수와 같은 주파수로 진동한다.

이는 충격 속에는 대략 모든 종류의 주파수가 연속적으로 포함되어 있기 때문에 발생하는 공진현상이라고 할 수 있다.

특히 이와 같이 충격을 가해 고유진동수를 알아내는 방법을 Hammering Test라고 한다.

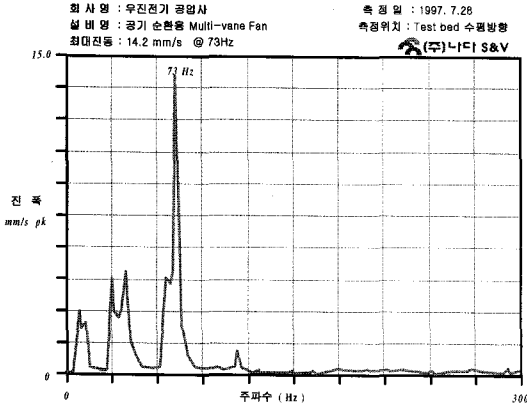


그림 6 고유진동수 분석 (Test-Bed)

- Hammering Test를 실시하여 Test-bed의 고유진동수를 분석하였다. Test 결과 여러 가지 형태의 주파수가 분석되고 있으나, 주요 진동수는 73 Hz로서 Test-bed의 고유진동수 73 Hz라는 것을 알 수 있다.
- Test-bed의 고유진동수 73 Hz는 현재 문제가 되고 있는 진동 30 Hz와 무관한 진동으로 모터의 회전에 의해 발생하는 진동에 의해 공진하지 않을 것이다.
- 이로서 공진의 원인은 송풍기 Frame일 가능성이 높아 졌으며 고유 진동수 분석이 요구되었다.

5) 송풍기 Frame의 고유진동수 분석

Test-bed와 마찬가지로 hammering-test에 의한 고유진동수 분석이 실시되었다.

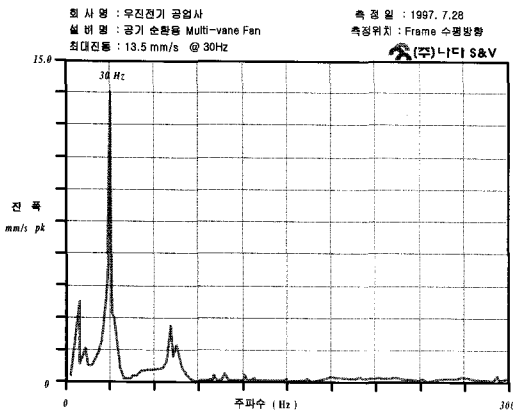


그림 7 고유진동수 분석 (Frame)

- 측정된 결과 송풍기 Frame의 고유진동수는 현재 문제가 되고 있는 1X 진동성분(30 Hz)과 매우 유사한 것을 알 수 있었다.
- 이상으로부터 송풍기에서 발생되고 있는 과도한 진동의 원인은 Frame의 공진에 의한 것이었음을 알 수 있었다.
- 임펠러를 부착한 상태에서 오히려 진동이 적었던 것은 임펠러 부착으로 송풍기의 강성이 높아져 오히려 공진에서 벗어날 수 있었던 것으로 판단된다.
- Frame의 강성을 보완한 후 공진이 회피되는지 여부를 확인 할 필요가 있다.

6) Frame 보강후 진동분석

고유진동수는 물체의 강성과 밀접한 관계를 갖고 있으며, 강한 물체일수록 고유진동수가 높고, 부드럽고 유연한 물체일수록 고유진동수가 낮게 나타난다.

본 송풍기의 경우 Frame의 공진에 의해 문제가 발생한 현상으로 강성을 변경함으로써 모터의 회전주파수 30 Hz를 회피해야 한다. 공진은 고유진동수에 매우 예민하게 반응하며, 주파수가 조금만 변해도 진폭은 매우 급격하게 변화한다.

- Frame에 별도의 보강재를 용접한 후 진동을 분석한 결과 (임펠러를 제거한 상태) 진동은 최초 40 mm/s로부터 6.0 mm/s로 급격히 감소했다.
- 상기의 보강은 Test를 위한 것으로 제품에 적용할 수 없었기 때문에 Frame의 용접을 보다 튼튼히 하여 Test 할 것이 요구되었다. (기존 제품은 Frame의 변형을 염려하여 보강재의 용접을 점용접으로

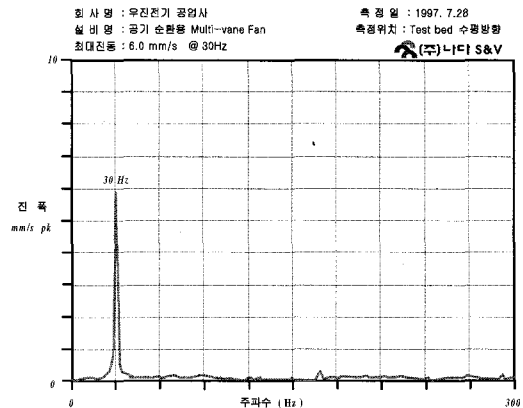


그림 8 보강후 진동특성 분석

실시하고 있었음.)

- 실제 이와 같은 작업 후에 본 제품의 모델이 되었던 외국제품을 분석해 본 결과 그들도 이와 같은 공진 문제를 심각하게 겪었던 흔적을 볼 수 있었으며, 이를 해결하기 위해 모터를 Frame에 연결하는 부위를 많은 복잡한 공정에 의해 오히려 부드러운 구조로 제작했던 것을 알 수 있었다.

7) 분석 결과 및 향후 방향

- 1차적인 고장 원인은 송풍기 Frame의 고유진동수가 회전속도 (30 Hz)와 일치하기 때문에 발생한 공진이 진동의 직접적인 원인인 것을 알 수 있다.
- 이와 같이 공진이 발생하는 구조를 갖는 상황에서 동절기 6개월 동안 방치하여 덩으로서 임펠러 및 축의 영구 변형이 발생할 경우 진동은 더욱 증폭되고 결국 과도한 소음/진동과 함께 베어링 손상의 원인이 되었을 것으로 판단된다.
- Frame을 보강함으로써 공진 발생을 회피한다.
- 동절기 6개월간에도 축의 영구변형을 억제하기 위해 송풍기를 가동할 수 있는 방법을 강구한다. 또는 정기적으로 송풍기를 떼어 내어 축의 변형 등을 교정하고 Balancing 함으로서 1X (30Hz) 진동을 최대한 억제하도록 한다.

6. 결 론

상기의 두 가지 현장 사례를 통해 우리가 알 수 있는 사실은 현장에서 가공하거나 설치하거나 A/S하는 모든 사람들은 다만 도면에 의해 업무를 수행할 뿐이며, 도면에 나타나지 않은 사항에 대해서 까지 책임질 일은 없다.

설계자는 제품을 만드는 처음이자 마지막인 사람이며, 모든 공정에 대한 책임이 있다. 현장에서 일하는 작업자가 완벽한 가공, 조립, 설치 그리고 시운전이 되기 위해서 어떠한 작업과 어떠한 Test를 실시해야 하는지 도면에 표시해야 한다.

그것이 진정한 설계이며, 설계자의 능력이다. 설계는 단순히 제품의 외형을 그리는 작업이 아니라 제품을 제조하는 모든 과정을 control하는 과정임을 명심해야 한다.

참고문헌

- (1) 김민호, 1995, “기계건강진단서 - 철도차량용 에어콘 공기 순환용 multi-vane fan”, (주)나다S&V, 설비진단 보고서, pp. 3~15.
- (2) 김민호, 1993 “기계건강진단”,중소기업진흥공단 현장기술, pp. 128~143.
- (3) 한국기계공업진흥회, 1995, “기계산업무역통계”, pp. 3~40.