



한국어 번역판

Moore Fan
Maintenance and Operating Manual

JS Resources, Inc.

By
Robby Kang
Irvine, California

JS Resources, Inc.

1.0 주문안내

- 1.1 Fan Specification
- 1.2 Dimensional Drawing
- 1.3 Fan Curve(s)
- 1.4 Noise Data

2.0 조립

2.1 조립전 점검사항

- 2.1.1 Fan ID
- 2.1.2 조립계획

2.2 Hub 조립

- 2.2.1 Manual Hub (QD Bushing)
- 2.2.2 Manual Straight Bore Hub
- 2.2.3 Series 19 Hub
- 2.2.4 Automatic Hub

2.3 Air Seal 조립

2.4 공기압축관 (Pneumatic Tube) 조립

2.5 Blade 조립 및 조절

- 2.5.1 Blade 조립
- 2.5.2 직경조절
- 2.5.3 각도조절
- 2.5.4 각도조절 (Series 19 Blades)

2.6 시운전 절차

3.0 관리

3.1 정기 점검

- 3.1.1 목적
- 3.1.2 정기점검의 기간
- 3.1.3 날개 (Blade)의 처짐(늘어짐)과 각도 점검
- 3.1.4 Clevis 의 마모 점검
- 3.1.5 변속모터 (Variable Speed Motor) 구동시 유의사항
- 3.1.6 금(Crack)이 가거나, 흠집 또는 부식등의 점검
- 3.1.7 Rotary Union 의 점검

3.2연간 정기점검

- 3.2.1 날개 청소
- 3.2.2 System Pressure 점검
- 3.2.3 정밀점검

3.3진동 (Vibration)및 비균형 (Unbalance)

- 3.3.1 일반사항
- 3.3.2 날개 비균형
- 3.3.3 Belt Drive 의 경우
- 3.3.4 구동축 (Drive Shaft) 과 날개의 비균형
- 3.3.5 비정상적인 감속기
- 3.3.6 불규칙진동효과 (Throat Flutter)

4.0조작

4.1공기역학적인 과용

- 4.1.1 목적
- 4.1.2 정상 조작 환경
- 4.1.3 비정상환경

4.2 날개의 과부하 (Overload)

4.3 부적절한 부하의 원인들

- 4.3.1 예상조건의 변경
- 4.3.2 초과 구동마력
- 4.3.3 과대한 Tip Clearance
- 4.3.4 비적절한 공기흡입구
- 4.3.5 초과 편향 (Deflection)

4.4 날개 부하 점검

4.5. 운영조건의 손상

- 4.5.1 일반
- 4.5.2 바람
- 4.5.3 장애물
- 4.5.4 불규칙한 Tip Clearance

5. 품질 보증 (Warranty)

6. 도면및 부속품 Drawing and Parts List

- 6.1 Automatic Fans with Standard Hubs
- 6.2 Automatic Fans with Extended Hubs
- 6.3 Manual Fans (Series 19 제외함)

6.4 Series 19 Fans

2.0 설치

2.1 조립전 점검사항

2.1.1 Fan 확인

모든 Fan 은 개별적으로 혹은 group 별로 Job Number 가 지정되는 것이 상례이다. 이런 정보들은 본 메뉴얼의 표지 뒷면에 있는 Section 1.1 에서 찾아 볼 수 가 있다. 만약에 틀린 종류의 Fan 들이 섞여서 선적된 경우에는 Fan 개별적으로, 혹은 group 별로 Job Number 가 설정이 되고 각 Job Number 에 따른 구매정보가 따로 추가 된다.

Job Number 는 Blade, Hub, Air seal 에 표시가 되어 있다. 동일한 Job Number 사이에서는 모든 부품의 상호교체가 가능하다. (Series 가 같고 직경이 동일한 날개들 역시 상호교체가 허용된다)

여러가지 Job Number 하에서라도 동일한 Fan 부품들이 같이 포장될 수 있지만, 매 부품에 Job Number 를 표시하여 식별이 용이하게 하였다.

Moore Company 에서 제작되는 모든 Fan 에는 Serial Number 가 부여된다. 이 Serial Number 는 금속꼬리표에 찍혀서 Fan Hub 에 부착된다. Automatic Fan 의 경우에는 이 꼬리표가 Hub Plate 의 밑동에 있고, Manual Fan 의 경우에는 두개의 Hub Tube 사이에 위치한 Hub 의 측면에서 찾을 수 있다. Fan Specification 용지에는 해당 Job Number 에 관련된 모든 Serial Number 가 나열되어 있어서 추후에 Fan 에 관련된 자료로 사용할 수 있게 하였다.

Moore Company 는 제작되는 모든 Fan 들의 Serial Number 와 Job Number 를 40 년 이상 보관하여 부품교체및 관리에 필요한 정보를 제공하고 있다.

2.1.2. 조립 계획

본 조립설명서에 나열된 도면들은 **Air Flow 가 상승기류이고(air flow is upward)** Drive Shaft 가 Fan 의 아래에 위치한 것을 가정으로 하였는데 이는 가장 일반적인 형태이다. 이 반대나 다른 형태의 환경일 경우는 조립자가 이를 참조하여 도면을 수정하여야 한다.

여건에 따라 조립 순서는 바뀔 수도 있다. 예를 들자면, Hub 를 Drive Shaft 에 조립하게 전에 Air Seal 을 먼저 Hub 에 조립할 수도 있는 것이다. (실제로 Inverted 형 타워에서는 Air Seal 을 먼저 조립해야 한다.) 조립계획을 미리 짚으로써 가장

효율적인 순서로 설치가 진행 될 수 있는 것이다. 추가로 필요한 정보는 Moore Company 나 진성에 연락을 하십시오.

2.2.1 QD Bushing 을 사용하는 Manual Hub 의 조립

1. 3 개의 Bushing Stud 를 Fan Hub 에 끼워 넣는다. 단, 손으로 조일것.
2. Bushing 을 Shaft 에 끼워 넣고 Key 가 잘 맞는지 확인한다.
3. Hub 의 내경과 Bushing 의 외경을 마른 형겅으로 잘 닦는다. **절대 윤활유를 바르면 안된다. 윤활유로 닦으면 Hub 이 종종 깨지는 경우가 생긴다. 아울러, 윤활제가 발라져 있는 Nut 들은 닦지 않도록 유의한다.**
4. Clevis 나 Hub Tube 를 잡아서 Hub 를 들어 올린다. 절대로 Air Seal 을 잡아 들어올리지 말것.
5. Fan Hub 의 Bushing Stud 를 Bushing Flange 에 끼워 넣는 식으로 Bushing 과 Hub 을 연결한다. Stud Nut 를 Stud 끝에 끼워 넣고 조인다. Bushing 이 Shaft 에 꼭 맞게 연결되도록 다각도로 균등한 압력을 가하면서 Nut 를 조인다.
6. Nut 를 조이는 Torque 는 왼쪽의 도표를 참조하여 이 허용치를 넘지 않도록 한다. 지나친 Torque 로 인하여 Hub 나 Bushing 이 깨질 수 있다.

2.2.2 Manual Straight Bore Hub 조립

1. Drive Shaft 를 잘 닦은후, Clevis 나 Hub Tube 를 잡아서 Hub 를 들어 올린다. 절대로 Air Seal 을 잡고 들어올리지 말것.
2. Hub 를 Drive Shaft 에 끼워서 끝까지 밀어 넣었음을 확인한다.
3. Hub 에 미리 끼워져 있는 12mm 짜리 소켓 나사를 조여서 Hub 를 Shaft 에 고정시킨다. 12mm 소켓 나사는 3 개인데 하나는 Shaft Key 위에 위치하여 있고, 다른 2 개는 Key 로부터 90 도 각도에 각각 위치하여 있다.
4. 만일 Drive Shaft 가 위에서 아래로 향하는 위치에 있다면, “Positive Retainer Plate”나 “Ring”을 사용하든지 아니면 Shaft 에 구멍 자국을 내어서 Hub Screw 가 맞물리도록 함으로써 Screw 가 느슨해져도 Hub 이 Shaft 로부터 빠져서 Fan 이 떨어지는것을 방지하도록 한다.

2.2.3. Series 19 Hub 의 조립

모든 Series 19 Fan 의 Hub 에는 “SF QD Bushing”을 장착시킬 수 있는 “Tapered-Bore”가 있는데 이는 다른 Series 와 2 가지가 다른 이유 때문이다. Hub 의 사이즈가 너무 작고, Air Seal 이 없어서 Blade Tube 가 필요없는 것이 그 이유이다. Blade 를 고정하는 Clevis 가 바로 Hub 상에서 처리된다.

1. Bushing Stud (3 개) 를 Hub 에 끼워 넣되, 반드시 손으로 돌려서 조인다.
2. Bushing 을 Shaft 에 끼워 넣고 Key 가 잘 맞는지 확인한다.
3. Hub 의 내경과 Bushing 의 외경을 마른 형겅으로 잘 닦는다. **절대 윤활유를 바르면 안된다. 윤활유로 닦으면 Hub 이 종종 깨지는 경우가 생긴다. 아울러, 윤활제가 발라져 있는 Nut 들은 닦지 않도록 유의한다.**

4. Fan Hub 의 Bushing Stud 를 Bushing Flange 에 끼워 넣는 식으로 Bushing 과 Hub 을 연결한다. Stud Nut 를 Stud 끝에 끼워 넣고 조인다. Bushing 이 Shaft 에 꼭 맞게 연결되도록 다각도로 균등한 압력을 가하면서 Nut 를 조인다.
5. Nut 를 조이는 Torque 는 오른쪽의 도표를 참조하여 이 허용치를 넘지 않도록 한다. 지나친 Torque 로 인하여 Hub 나 Bushing 이 깨질 수 있다.

2.2.4. Automatic Hub 조립

1. Bushing 을 Shaft 에 끼워 넣고 Key 가 잘 맞는지 확인한다. Shaft 의 끝이 Bushing 의 윗부분을 초과하지 않고 맞추도록 유의한다.
2. Hub 의 내경과 Bushing 의 외경을 마른 형겅으로 잘 닦는다. **절대 윤활유를 바르면 안된다. 윤활유로 닦으면 Hub 이 종종 깨지는 경우가 생긴다. 아울러, 윤활제가 발라져 있는 Nut 들은 닦지 않도록 유의한다.**
3. Air Seal 은 출하전에 포장이 허락하는한 공장에서 조립되는 것이 원칙이다. Air Seal 이 이미 조립되어 있다면 Clevis 나 Hub Tube 를 잡아서 Hub 를 들어 올린다. 절대로 Air Seal 을 잡아 들어올리지 말것.
4. Hub 를 Bushing 위에 올려 놓는다. Bushing Stud (3 개) 가 Bushing Flange 를 통과하게 된다.
5. Stud Nut 를 Stud 끝에 끼워 넣고 조인다. Bushing 이 Shaft 에 꼭 맞게 연결되도록 다각도로 균등한 압력을 가하면서 Nut 를 조인다.
6. Nut 를 조이는 Torque 는 오른쪽의 도표를 참조하여 이 허용치를 넘지 않도록 한다. 지나친 Torque 로 인하여 Hub 나 Bushing 이 깨질 수 있다.

JS Resources, Inc.

2.3 Air Seal 조립 (해당되는 경우)

(좌측그림) Manual Hub 위에 조립된 Air Seal

(우측그림) Automatic Hub 위에 조립된 Air Seal (옵션인 Positioner 제외)

모델 5400 Fan 은 Series 19 을 제외하고 모두 Air Seal 이 제공되는데 가능한한 공장에서 장착하여 출고된다. 그러나 Fan 의 수량이 일정치 이상 많을 때는 Air Seal 들을 따로 포장하는 경우가 있는데 이런 경우는 현장에서 장착을 해야 한다.

현장 조립시는 Air Seal 을 우선적으로 조립하고 난 후 Hub 를 Shaft 에 조립하여도 상관이 없다. 다스 주의해야 할 사항은 Air Seal 을 잡고 Hub 를 들어 올리지 않도록 하는 것이다.

Drive Shaft 가 Fan 의 위에 위치하게 되는 디자인을 위해서 Air Seal 에는 가운데 구멍이 나 있는데, 여기로 Shaft 가 통과할 수 있게 된다. 이런 경우는 Hub 조립전에 먼저 Air Seal 을 조립하는 것이 순서이다.

1. 먼저 Hub Tube 에 부착되어 있는 플라스틱 봉지를 찾는다. 여기에 Air Seal 조립에 필요한 나사들이 들어 있다.
2. 볼트와 Stud 에 부착되어 있는 보호막 (플라스틱)을 벗겨내고, Aluminum Washer 와 Resilient Washer 를 각 Bolt 와 Nut 당 하나씩 순서대로 배당한다. (아래 그림 참조)
3. Air Seal 을 올려 놓고 그 위에 다시 Resilient Washer, Aluminum Washer, Aluminum Nut 를 순서대로 끼워 놓은 후 조인다. (아래 그림 참조) 여기서 Bolt 나 Nut 에 윤활유나 그리스를 바르지 않도록 유의한다.
4. Resilient Washer 는 조임에 따라 직경이 늘어난다. 원래는 Resilient Washer 가 Aluminum Washer 보다 직경이 작는데, 이 직경이 같아 질때까지 조이면 된다. 만일 Resilient Washer 의 직경이 Aluminum Washer 보다 더 크다면 이는 너무 조인 것이다.

참고: 어떤 Air Seal 의 경우는 조립시 필요한 구멍의 수가 실제로는 더 많은 경우가 있다. 이것은 다른 모델에도 호환성이 있게 하기 위하여 일부러 뚫어 놓은 것임으로 무시해도 된다. 예로, 구멍을 8 개 뚫어 놓은 Air Seal 은 Blade 4 개 짜리와 8 개 짜리에 공용으로 사용될 수 있게 제작된 것이다.

2.4 Pneumatic Tubing 조립

2.4.1 Positioner 가 없는 Automatic Hub 의 조립

1. 제공된 호스(스테인레스가 덮혀져 있음)를 Rotary Union 에 연결한다. 호스를 돌려 조이는 동안 Rotary Union 을 잘 붙들어서 손상이 가지 않도록 유의한다.
2. 다른 한쪽의 호스를 공장의 파이프와 연결하되 약간의 여유를 주도록 한다. (여유치가 전혀 없이 바로 파이프와 연결되면 Bearing 이나 Seal 등에서 비정상적인 하중이 생겼을때 이런 충격이 방출되지 않는다)
3. 만일 Fan 의 Spec 상 “Fail Locked in Last Position”이 요구된다면, 호스를 System Control Pressure 에 직접 연결하지 않고 “Remote Valve 파이프”에 연결하게 된다. (다음 순서 참조). 이 호스가 끝은 ¼” 짜리 NPT 로 처리 되어 있다.

2.4.2 Positioner 가 포함된 Automatic Hub 의 조립

1. 제공된 특수 호스를 오른쪽 그림과 같이 Instrument Port (A 와 B)에 연결한다.
2. 2 개의 호스중 A 에는 ㄱ자형 관을 사용하여 연결함으로써 호스 2 개가 평행이 되게끔 한다.
3. 각부위 연결 및 조립시 Positioner 를 잘 잡아서 Rotary Union 에 손상이 가지 않게 유의한다.
4. 반드시 제공된 호스를 사용하되 공장의 파이프와 연결시에는 여유치를 주어 너무 팽팽하게 연결되지 않도록 주의한다. (여유치가 전혀 없이 바로 파이프와 연결되면 Bearing 이나 Seal 등에서 비정상적인 하중이 생겼을때 이런 충격이 방출되지 않는다)

4. 바로 공장의 System 파이프와 연결될 상황이 아니면 호스의 끝을 막아 놓는다. 이 호스의 끝은 ¼” 짜리 NPT 로 처리 되어 있다.

2.4.3 Positioner 와 “Fail Locked in Last Position”이 요구되는 경우

Fan 의 Spec 상 “Fail Locked in Last Position”이 요구되는 경우, System Pressure 가 급작스럽게 떨어지면 Actuator 챔버에서 스스로 적정 압력을 유지하게 된다. 이렇게 유지되는 압력으로 인해 System 자체의 압력이 순식간에 떨어지는 상황에서 날개의 각도가 변경되는것이 스스로 방지된다.

1. 호스 A 를 Instrument Port 에 그리고 B 를 Supply Port 에 연결한다. (아래 그림 및 조립설명 2.4.2 참조)
2. 3 번째 호스 (C)를 A (Instrument Port)와 B(Supply Port)사이에 있는 Remote Valve Port 에 연결한다.
3. 4 번째 호스 (D)를 Positioner 의 측면(Rotary Union 의 상단부)에 연결한다.
4. 호스 C 와 D 는 옵션으로서 사용자의 공기 파이프에 연결된다.
5. 반드시 제공된 호스를 사용하되 공장의 파이프와 연결시에는 여유치를 주어 너무 팽팽하게 연결되지 않도록 주의한다. (여유치가 전혀 없이 바로 파이프와 연결되면 Bearing 이나 Seal 등에서 비정상적인 하중이 생겼을때 이런 충격이 방출되지 않는다)

본 시스템에 압력이 충전되면, 정상압이 Remote Valve 를 개방하여 호스의 양쪽 방향으로 흐름을 유도한다. 시스템의 압력이 떨어질 경우는 Remote Valve 가 자동으로 닫힘으로써 Actuator 내부의 압력을 유지하게 된다. 옵션으로 부속탱크를 Actuator 측면에 설치하면 압력을 더 오랜 기간 동안 유지할 수 있는데, 어디션가 조금씩 압력이 썰 경우 도움이 된다.

2.5 날개조립 및 조절

2.5.1 날개조립

주의: 날개조립하지 전에....

Hub 이 수평인지 점검한다. 만일 Drive Shaft 가 수직이 아니라면 Hub 이 구부러지게 되고 따라서 날개의 각도조절을 하기가 어려워진다. 궤도가 다른 날개의 회전 또한 심한 진동을 야기한다. Fan Drive (Motor) 가 작동하는 상태라면 날개를 달기 전에 한번 구동시켜 본다. 여기서 정렬이 안맞거나 (Misalignment), Balance 가 안 맞는 문제가 나타나면 보다 용이하게 대처할 수 있다.

Moore 사의 Class 5400 날개들은 출고전에 동일한 회전우력(Moment)를 기준으로 밸런스가 맞춰져 있다. 따라서, Series 와 직경만 같으면 아무 Hub 에나 조립하여도 상관이 없다. 즉, 100% 호환성이 있는 것이다.

Moore 사는 동시에 날개 직경을 조절하는 방법을 제공한다 (Series 19 제외). Fan 의 성능에 영향을 미치는 핵심 사항중 하나로 Tip Clearance 를 들 수 있는데 (Tip Clearance: 날개의 끝부분과 Ring 과의 간격), 이것을 가능하면 최소화하는것이 중요하다. 우선 날개를 하나만 조립해 보고 필요하다면 이것의 직경을 조절한다. 나머지 날개들을 다 조립하기 이전에 다음 장에 기술되는 순서대로 조절한다. 날개의 조립은 다음 순서로 실행한다.

1. 먼저 Clevis 의 Bolt 와 Nut 를 빼어 낸 후 Clevis 표면및 날개의 “Resilient Mount”부위를 잘 닦아서 그리스나 불순물이 끼어 있지 않도록 한다.
2. 날개의 Resilient Mount 구멍과 Clevis 의 구멍을 맞추어 끼운후 볼트를 넣고 너트를 느슨한 상태로 돌려 놓는다. 공장에서 출고 이전에 이들 볼트와 너트는 특수 왁스처리를 하는데 절대 이것을 닦아내지 않도록 한다.
3. 날개 끝의 Tip 이 최저위치 (Stop Droop Position)에서 수평위치 (Horizontal Position)의 중간위치까지 오도록 날개를 들어올린후 너트를 조인다. (토크랜치: 50 ft-lb 혹은 7 m-Kg)
4. 날개를 들어 올린상태 혹은, 내린 상태에서 회전을 시켜본다. 어떤 위치에서건 날개가 Ring 이나 다른 통로에 걸리지 않는 것을 확인한다.
5. 날개를 수평위치까지 들어 올렸을 때 Tip 과 Ring 과의 간격은 Fan Wheel 과 Ring 사이의 상대적인 운동을 야기시키기 위해 필요한 간격을 초과해서는 안된다.
6. 필요하다면 다음장에 기술하는대로 (2.5.2) 이 간격을 조절한다.
7. 첫 날개와 동일하게 나머지 날개를 조립한다.
8. 날개가 정상적으로 조립된 상태에서는 최저위치(Stop Droop Position)로 늘렸을때 스프링 작용에 의해 이를 들어 올리려는 약한 탄력을 느낄 수 있다.

2.5.2 날개직경 조절

Ring 의 상황에 따라 때로는 날개의 직경을 조절해야 할 경우가 있다.

1. Clamp Nut 를 풀어서 Clevis 가 Hub Tube 에서 자유롭게 회전 될 수 있게 한다.
2. Clevis 의 1 회 회전은 날개의 직경을 0.087” (2.2mm)줄이거나 늘려준다.
3. Clevis 조절후 반드시 공장에서 출고한 각도로 원위치한다. (다음장에 기술하는대로 날개의 하중까지 조절해야 하는 경우 제외)
4. Clevis 를 회전시키기 전에 나사산에 표시를 해 두면 정확한 회전수를 세는데 도움이 된다. 반쪽 회전역시 가능한데 날개가 조립되지 않은 상태에서 세심한 주의를 기울여 행해야 한다.
5. Clamp Nut 를 조이고 (50 ft-lb 혹은 7m-Kg), 나머지 Clevis 도 같은 절차대로 반복한다.
6. 최대 조절가능치는 +/- .75” (19mm) 인데, 최소한 1.0” (25mm)정도의 Clevis 나사산을 남겨두어야 한다.

2.5.3 날개각 조절 (Series 19 제외)

공장에서 출고시 Hub 의 Clevis 는 디자인된 성능에 맞추어 날개각을 Setting 한다. 이 날개각을 조절해야 하는 경우는 매우 드물긴 하지만, 현장 상황의 변화에 따라 필요할

경우가 있다. 환경이 변하여 날개각을 변경해야 함에도 이를 무시할 경우 Motor 에 무리를 주어 과부하가 걸리게 된다. 확인절차로, Fan 가동중에 Motor 의 전류량(Amp)를 측정한다. (다음장 2.6 에 기술하는 시동절차 참조) 측정된 Amp 가 설계치보다 높거나 적을때는 날개각을 조절해야 한다.

주의: Fan 은 Fan Spec 에 의한 마력 (Horsepower)을 소비하도록 설계되어 있는데 이것과 Motor 의 최대마력이 항상 같은 것은 아니다. 날개각을 Motor 의 최대마력을 소비하게 설계할 경우 날개에 과부하를 일으켜 실속(Stall)하게 만들 수 있다. 이런 상황에서 Fan 은 실제로 기준이하의 공기흐름을 유도하고 날개의 수명 또한 단축된다. 날개 하중에 관하여는 다음의 장 (Section 4.0 - Operation)에 서술하였다.

참고: Hub 가 수평이 아닐 경우 날개각의 측정값 부정확할 수 있다. 이를 점검하는 방법으로 날개를 회전시켜 다른 방향에서 날개각을 측정한다. 측정위치에 따라서 날개각이 차이가 있다면, 그 수치가 비슷한 2 위치를 찾되 서로 상반된 위치인 180 도 방향의 2 지점을 선택한다. 바로 이 2 지점에서의 측정값이 정확하다고 보면 된다.

1. 각도계(Protractor)를 오른쪽 그림 같이 Clevis 의 위나 밑면의 평평한 부위의 맞추어 댄다. (앞의 Section 1.1 장 Fan Specification 에서 기술한 날개각의 측정 위치가 바로 이곳이다.)
2. 설정된 Clevis 각도를 따로 기록하여 보관하는 것이 바람직 하며, 모든 날개가 동일한 각도로 Setting 이 되었는지 확인한다. 일반적인 수정은 +/- 3 도 이내에서 이루어 지며 최대 수정가능치는 18 도이다.
3. Series 19 을 제외한 모든 날개각의 조절은 Clevis 의 Nut 를 풀고 → Clevis 를 돌려서 원하는 수정치에 이르면 → Nut 를 다시 조이는 순서로 행하여 진다. 앞장 2.5.2 에서 서술한대로 모든 Clamp Nut 의 토크는 50 ft-lb (7 m-kg) 이다.

2.5.4 Series 19 의 날개각 조절

1. 앞의 2.5.3 장을 참고하여 모든 주의사항에 유의한다.
2. 날개를 떼어낸다.
3. Hub Bolt 를 고정하는 Locking Clip 를 펴서 빼어 낸후 Bolt 를 풀어서 Clevis 가 자유롭게 회전할 수 있도록 한다.
4. 각도계(Protractor)를 Clevis 의 윗면에 정렬시킨후 원하는 방향으로 Clevis 를 회전시킨다.
5. Hub Bolt 를 다시 조인다. Torque 는 90~100 ft-lb (12.5 ~13.8 m-kg) 에 맞춘다.
6. 조인 후 다시 각도를 확인한다.
7. Locking Clip 의 한쪽을 볼트의 평평한 면쪽으로 구부려서 볼트가 회전되는 것을 방지한다.
8. Fan 을 구동하고 전류량(AMP)를 다시 측정한다.
9. 필요하면 다시 조절을 반복하여 원하는 전류량이 나오게끔 한다.

2.6. 시동 (Start-Up) 절차

1. Fan 을 가동하기 전에 모든 볼트 너트가 제대로 조여 졌는지 다시 확인한다. 모든 Torque 가 허용치를 넘지 않도록 유의한다.
2. 각 날개를 하나씩 수평위치까지 들어 올리고 주변과의 간격이 적절한지를 살핀다.
3. Fan 을 가동하고 회전상태를 관찰한다. 모든 날개가 동일한 위치로 올려진 상태에서 구동되어야 하는데 이는, 적절한 날개각이 동일하게 Setting 되었음을 의미한다.
4. 만약 여기서 진동이나 비균형 (Unbalance)의 문제가 감지되면 다음장에 기술하는 운영관리법에 따라 교정한다.
5. Fan 을 몇분 동안 가동한 후, 시동을 끈다. 모든 날개가 정지위치에 와 있는지 확인한다. 정지상태에서 모든 날개는 “Droop Position”의 동일한 위치에서 있어야 한다.
6. Fan Ring 의 내부와 날개끝 Tip 를 살펴서 긁힌 자국이 없는지 확인한다.
7. Motor 의 전류량 (Amp)를 측정하고 Motor 의 자료에 나와 있는 설계상 출력(HP)이 측정된 전류량에서 얼마로 설정되어 있는지를 찾아 본다. Fan Specification 에 나와 있는 출력(HP)은 Fan 이 설계상 필요한 성능을 배출하기 위해 구동축을 기준으로 정산된 수치이다. Motor 의 출력은 Fan 출력(HP) 보다 3~5% 정도 높을 수 있는데 이는 상대적으로 감속기나 Belt Drive 에서 손실되는 출력을 가만하기 때문이다.
8. 지정된 출력(HP)보다 더 많은 출력이 요구되어 날개각을 조절해야만 하는 상황에는 Fan Curve 를 참조하거나 대리점에 문의하여보는게 좋다.

3.0관리

3.1정기점검

3.1.1 목적

Fan 고장의 주된 원인은 장기적으로 반복되고 축적되는 유해한 응력때문이다. 이러한 응력(Stress)은 무리한 기계의 운용, 예를 들자면 감속기의 고장, Shaft 의 Unbalance 같은 원인과 혹은, 날개에 가해지는 과부하나 비정상적인 공기환경같은 역학적 이유에서 기인한다. 다행스럽게도 이러한 증상들은 표면에 나타나기 때문에 점검을 제대로 하면 그 과정에서 모두 발견될 수 있다. 본 사용관리서의 목적은 잠재적으로 기계적 문제를 야기할 수 있는 증상들을 나열함으로써 이들을 교정할 수 있게 하는 것이다. 역학적원인들에 관해서는 다음장인 Section 4.0 사용 (Operation)에서 다루었다.

3.1.2 점검주기

점검의 주기는 해당 사용자의 관리 규정에 따라 좌우될 수 있는데, 어느정도 경험이 축적되면서 적절한 점검주기를 추출해 낼 수 있게 된다. Fan 을 가동시킨 그 첫주에는 최소 한번의 점검을 실시해야 한다. 이 단계에서는 다음에 나열하는 사항뿐만 아니라

모든 Nut 들을 다시 점검하여 느슨한것이 없는지 확인한다. (그러나 여기서 볼트나 너트를 무조건 더 조이라는 뜻은 아니다.) 이 초기 점검이후에는 주구동부 점검시 Fan 도 같이 점검하면 된다.

3.1.3 Blade Droop (날개가 축 늘어진 상태를 말함) 및 날개각 점검

구동을 멈춘상태에서 날개끝 (Tip)을 관찰한다. Clamp Nut 가 풀어지거나 느슨하면 날개각이 늘어지게 된다. (각도가 낮아진다) 이것은 Fan 을 꺼서 속도가 줄어들고 있을때 날개끝 (Tip)을 관찰하면 쉽게 알아낼 수 있다. 즉, 날개가 완전히 멈추기 전에 날개끝의 회전 궤도를 보면서 Tip 이 모두 같은 “Droop” 위치에 와 있는지를 관찰하는 것인데, 몇개가 나머지와는 차이가 있는 Droop 위치에 있거나, 모든 날개가 이 전 점검시의 지점과 다른 위치까지 내려와 있다면, 세밀한 점검이 요구된다.

비정상적인 Droop 위치로 내려가는 2 가지 원인과 해결책으로는:

1. 손상된 “Resilient Mount” (2.5.1 의 그림 참조): Resilient Mount 교체
2. Clevis 와 맞물리는 “Box Section” (2.5.1 의 그림 참조)의 마모: 이런 경우는 box section 이 Clevis 에 부딪히고 있다는 뜻인데, 이는 또한 날개가 회전시 적절한 위치로 올라오지도 못하고 있음을 나타낸다. 이런 문제가 날개 한개에 국한된다면 그 해당 날개의 각도가 다른 날개들 보다 더 많은 경사를 주었기 때문인데, 원인수정을 즉시 하여야 한다.

3.1.4 Clevis 의 마모 점검

Clevis 는 정기 점검시 마다 Box Section 과의 접촉부분에 마모가 있는지를 확인해야 한다. Box Section 과 Clevis 표면이 맞물림으로 인해 Fan 이 중지할때 지나치게 날개가 떨구어 지는것을 방지하게 되어 있으므로 Clevis 의 표면을 살피어 보면 접촉 흔적이 있기 마련이다. 그러나, 회전중에 이 두 부위 (Clevis 표면과 Box Selection)가 반복적으로 마찰을 일으켜 마모된 흔적이 있어서는 안된다. 만일 여기서 마모의 흔적이 발견된다면

다음장 4.4 에 기술한대로 날개의 하중을 살펴 보아야 한다. 그런 후, 날개의 하중에 문제가 없는 것이 확인되면 Box Section 의 끝 부분을 사포로 살짝 갈아서 정지상태의 날개 끝이 다른 장애물과 닿지 않을 정도로 날개 Droop 위치를 끌어 내린다. 한편, Fan 의 가동 기간이 상당하고 마지막의 점검에도 이 증상이 없었다면, 최근의 비정상적인 강풍같은 환경 여건이 날개를 짧은 기간동안 Clevis 하고 마찰시키게 만든 경우일 수도 있다.

3.1.5 Variable Speed Motor 사용시

Moore Fan 은 Variable Speed Motor 에 더욱 적합하다. 날개의 조립 부위에 있는 Resilient Mounting 의 특성으로 인하여 공진 주파수가 소멸된다. 구태어 피해야 할 속도는 없지만, 최저 RPM 이하로 속도가 떨어질 경우는 날개를 들어 올릴만한 원심력이 부족하여 회전중 계속해서 Clevis 와 마찰이 있게 된다. 이것 또한 이 전에 설명한 Clevis 마모의 다른 원인이 된다.

최저 RPM 은 Full RPM 의 10%이상이나 모터 혹은 감속기 제조사에서 지정한 최저 RPM 중 높은 수치를 유지하도록 한다. Motor 를 이 최저 RPM 미만으로 돌려야만 하는 상황이라면 차라리 정지시키는 것이 바람직하다.

3.1.6 균열, 파인 흠집, 부식

표면이 균열되는 경우는 Fan Ring 과의 마찰에서 기인하거나 오랜 기간에 걸쳐 진동이나 비균형상태의 환경이 지속된 결과일 수 있는데 이는 다음 장에 상세히 서술하기로 한다. 표면의 균열은 또한 4.3 장 (날개 과부하의 원인)에서 설명하듯이 과부하 때문에 생기기도 한다.

Air Seal 에 균열이 생겼다면 이는 Air Seal 의 조립 또는 설치가 잘못되었기 때문일 수 있다. (Section 2.3 참조) Resilient Washer 가 제대로 끼워져 있는지 그리고 Nut 가 정상적으로 조여져 있는지 점검해야 한다.

재질의 강도 (부품이 금속이든 플라스틱이든간에)는 장기간에 걸쳐 수면에 노출시킴으로서 점점 약화된다.

날개에 파인 흠집은 주변에서 날개로 떨어져 부딪히는 물체가 원인일 수 있고 혹은 날개가 다른 장애물을 치면서 생기는 수도 있다. 작은 흠집의 경우는 그 중심에 작은 구멍을 뚫은 후 여기에 나사같은 것을 끼워 살짝 잡아당기는 식으로 수리할 수 있다. 마지막 방법으로 날개만 구입하여 교체할 수도 있는데 이럴때 마다 Hub 역시 정밀 점검이 요구된다. (3.1.7 장 참조)

Moore Fan 의 재질인 5052 Aluminum 은 내해수합금(Marine Alloy)로서, 민물이나 해수에 내구성이 강하다. 그러나 산성, 알칼리성, 동염 (Copper Salt)성의 수질은 반드시 피해야 한다. 이는 모든 알루미늄 합금에 유해한 성분이며 이 외의 수질 성분에 의문이 있다면 가까운 대리점이나 Moore 본사에 문의하기 바란다.

3.1.7 Hub 의 점검

날개가 손상되었다면 Hub 을 세밀히 점검하여 미세한 정도라도 손상여부를 잘 살펴야 한다. Hub Tube 부위가 구부러지든지 비틀어지려는 기미가 보이는지 점검한다. Automatic Hub 의 경우에는 Hub Tube 에 “Resilient 부품” (원상태로 회복시켜주게끔 탄력을 제공하는 부속들) 이 장착되어 있는데, 공기입력을 차단한 상태에서 Clevis 의 끝 부분을 잡고 뒤틀어본다. 어렵지 않게 Tube 를 뒤틀 수 있다면 “Resilient 부품”에 손상이 있는 것이다. 정상적인 상태에서는 뒤틀기가 매우 힘들어야 한다.

Manual Fan 의 경우 Hub Tube 는 현장에서 교체할 수 없고 Hub 자체를 모두 교체해야 하지만 Automatic Fan 의 경우는 현장에서 Hub Tube 만 교체가 가능하다.

Fan 이 손상될 때마다 Bushing 에 쉽게 균열이 가므로 이를 잘 점검해야 한다. 특히 Hub 와 Bushing 을 연결하는 Stainless Steel Stud 를 잘 살펴 볼 필요가 있다. 가능하면 날개 교체시 모든 Stud 를 동시에 교체하여 주도록 한다.

Automatic Fan 에서는 Actuator Diaphragm 을 잘 살펴서 금이나 균열이 생기려는 조짐이 보이면 교체하는 것이 좋다. 고온에서의 작동은 수명을 단축시키므로 기회가 있을 때마다 항시 살펴보아야 한다. 그리고 Diaphragm 이 팽창하지 않은 상태에서 압력 유출이 막히면 급격한 온도 변화에 적절히 대응하지 못하고 Diaphragm 이 파열하고 만다.

3.1.8 Rotary Union 의 점검

공기호스가 적절한 공간을 두고 연결이 되어 (느슨하게 늘어진 상태를 말함), Rotary Union 몸체가 약간 기울어져도 여유가 있음을 확인한다. 그렇지 않을 경우, 내부의 베어링에 손상이 갈 수 있다.

Rotary Union 의 Bearing 은 밀봉된 상태이며 윤활제가 요구되지 않는다. 그러므로 오일방울이 관을 통해 제대로 공급되지 않으면 밀봉 부분에서 누출이 진행되기 시작한다. 이를 방지하려면 SAE30 오일 몇방울을 떨어뜨리면 된다.

3.2. 연간점검

3.2.1 날개청소

매끄러운 날개표면은 보다 효율적인 Fan 성능에 큰 영향을 끼친다. 날개표면에 때나 스케일같은 딱지가 붙어 있으면 이를 잘 청소하여 준다. 연성 세제와 수세미등을 사용하여 청소하되 강한 알칼리성 세제는 절대 사용하면 안된다. 알칼리성 세제는 알루미늄에 아주 유해하다.

3.2.2 시스템압력 (System Pressure)의 점검

Radiator Section(냉각장치의 한 부속)는 특정 환경에서 흠먼지가 축적됨에 따라 그 성능에 영향을 받는다. (특히 목화씨같은 것은 심각한 문제를 일으킨다.) 냉각탑의 데크나 Eliminator 부위에 스케일과 이물질이 쌓이는 것은 흔한 일인데, 이것때문에 System Pressure 가 급격히 올라가기도 한다. 다음장 “4.4 날개하중점검”을 보고 필요하다면 날개각을 조절해 주어야 한다.

3.2.3 세밀점검

연간정기 점검은 매우 세밀하게 시행되어야 한다. 모든 볼트, 너트들이 풀어지지 않았는지 확인해야 하고 다른 모든 연결부위에 대한 정밀점검이 요구된다.

“Resilient Mount”는 다음과 같이 점검한다.

- Fan 을 멈춘 상태에서 각 날개를 잡고 흔들어서 Mount 부위가 느슨하지 않은지 점검한다.

- 만약 의심이 가면 날개를 떼어 낸 후 Mount 부위를 세심히 살펴 본다.
- 패인 자국이 보여면 마모가 진행되고 있는 것인데 Resilient Mount 부위를 자세히 살펴보면 움푹 패인 곳에서부터 밀려나고 있는것을 알 수 있게 된다.

위와 같은 현상이 보이지 않으면 날개를 다시 장착하고 정상 운영하여도 된다.

날개 Tip 을 잘 살펴서 금이 가 있지 않은지 점검하고 또한 Fan Ring 에 굽힌 자국이 있는지 여부도 확인한다. 이러한 현상이 보인다면 이는 날개가 Fan Ring 을 치고 있는지 달고 있다는 증거이다.

3.3진동과 비균형 (Vibration and Unblance)

3.3.1 일반적사항

어떠한 회전 장비도 완전한 균형을 갖출 수 없다. 여러 부품 각각의 사소한 비균형이 모여서 비로소 문제를 일으킬 수 도 있지만 이는 매우 드문 현상으로 왜냐하면, 조립시 이러한 비균형이(무거운 쪽이) 우연이 한 쪽으로만 몰리기가 어렵기 때문이다. 따라서 이러 형태의 비균형이 추출된다면 부품들을 다른 방향으로 돌려서 재 조립해 보는것도 한 방법이다.

만일 조립시나 운영중에 발란스 문제가 생긴다면 그 원인은 다음장을 토대로 찾을 수 있다.

3.3.2 날개의 비균형

대부분의 진동의 주 원인은 날개들이 같은 각도로 세팅되지 않은데 있다. 날개각이 같은 환경에서 진동이 생길 확율은 대폭 줄어든다. 모든 날개는 +/-0.02 ft-lbs 이내에서 균형이 잡힌 상태에서 출고된다.

날개의 균형이 맞지 않은 상태에서 진동의 주파수는 Fan 의 RPM 과 같은 주파수가 되는데 비교적 낮은 주파수에 속한다. 대형 Fan 에서는 이 주파수가 무척 낮아서 날개의 회전에 따라 천천히 셀 수 있을 정도이다. 500 RPM 이하의 진동은 진동이랄기 보다는 구조물 자체에서 발생하는 파장처럼 느껴진다. 400 RPM 이하의 진동은 직접 셀 수도 있을 정도로 느낄 수 있지만 그 이상의 진동 (400 RPM 보다 높은 수) 은 주파수측정기를 써야 한다.

Fan 의 발런스를 의심하기 이전에 Fan 과 연결 되는 부위의 모든 Bearing 을 점검해야 한다. Bearing 이 손상되었거나 제 위치에 있지 않으면 구동축이 편심케도로 회전하게 되어 날개의 무게 중심이 흔들러지고, 결국 Fan RPM 의 주파수와 균형이 맞지 않게 되는 것이다.

Bearing 등 모든 외부 사항들을 점검하고 난 후 여전히 날개 자체의 비균형이 의심스러운 상태라면 다음 장 3.3.7 에 따라 현장에서 균형을 맞추는 작업을 거쳐야 한다.

구동축(Drive Shaft)이나 이를 지탱하는 Bearing 에 가해지는 하중은 무시하여도 되지만, 불균형으로 야기되는 회전 원심력에 따르는 1000 파운드 (약 450 Kg)정도의 하중은 상당한 반작용을 일으켜서 구동장비가 고정되어 있는 건축 구조물에까지 피해가 간다. 이와 대조적으로 25 HP 의 정도의 Fan 을 돌려주는 Drive Shaft 가 조그마한 Bearing(2000 이나 3000 Pounds Radial Load)에 의해 지탱되는 것인데 출력(HP)이 커지면 Bearing 의 치수도 상대적으로 커져야 한다. 이런 예에서 말해 주듯이 감속기나 Shaft 의 Bearing 에 발생하는 손상은 Fan 의 불균형에 의한 것이 아닌 것이다.

3.3.3 Belt Drive

Belt Drive 방식에서 발생하는 진동의 흔한 원인은 구동장비에 의한 것이 아니라 Shaft 가 너무 유연하다든가 부품들이 정확하게 맞지 않아서 생기는 경우가 대부분이다. 즉, Sheave 의 정렬이 맞지 않든가 (Misalignment), Belt 의 장력(Tension)이 조절되지 않을 때 진동이 발생하는 것이다. 이에 관해서는 해당 부품의 제조사에 문의하여도 자세한 정보를 얻을 수 있을 것이다. Belt Drive 방식에서 진동의 원인을 쉽게 가려 내는 방법은 날개를 떼어내고 구동시켜 보는 것이다.

3.3.4 Drive Shaft 나 Motor 의 불균형

일반적인 Fan 의 구동 형태는 1200 이나 1800 RPM 의 Motor 의 출력을 양쪽에 Coupling 이 있는 Shaft 를 통해 감속기에 전달한 후 이를 Fan 의 구동축으로 연결하는 것인데 이런 형태의 구성에는 다음과 같은 몇가지 진동의 원인이 발생한다.

1. 너무 길고 유연한 Shaft 는 부드러운 탄력을 발생시키고 이것은 심각한 불균형을 야기시킨다.
2. Carbon Steel Shaft 의 경우 한쪽에 생기는 불규칙한 부식이 Shaft 자체의 균형을 깰 수 있다.
3. Flexible Coupling 자체의 정렬이 잘 안되었을때 (Misalignment), 이것 때문에 Shaft 의 중심축이 맞지 않게된다.
4. Motor 나 감속기 Input Shaft 쪽의 Bearing 이 닳거나 느슨해지면 이와 연결된 Shaft 가 미끌어지고 회전축이 틀어짐으로써 중심축과 어긋나게 회전될 수 있다.
5. Motor 와 감속기의 연결을 너무 부드럽고 연하게 할 경우 정렬에 문제가 생기기도 한다.

구동축(Drive Shaft)의 불균형은 Fan 의 불균형과 쉽게 구별이 되는데 그 이유는 진동의 주파수가 Fan 의 RPM 보다 훨씬 높기 때문이다. 주파수 측정기를 사용하거나 또는 Motor 와 감속기를 지탱하고 있는 보조물 축에 서서 직접 느끼는 방법등으로 식별이 가능하다. 진동이 존재한다면 측정기에는 높은 주파수가 기록이 될 것이고 직접 느끼는 정도는 발바닥 밑에 맥박이 뛰는 식으로 감지 될 것이다.

이런 형태의 진동은 Fan 에 유해함은 물론 Motor 와 감속기의 Bearing 에도 손상을 주게 된다. 불균형을 야기하는 원인을 수정하거나 해당 부품을 즉각 교체하여야 한다.

3.3.5 거칠은(불량) 감속기

감속기나 Bearing 에서 소음이 많이 나고 있음에도 불구하고 이를 무시하고 사용하게 되면 날개 표면에 틈이 벌어지는 현상이 나타난다. 이런 문제는 다음 2 가지 형태가 있다.

1. 감속기나 Motor 의 Bearing 에서의 소음은(갈갈거리는 소리) 고주파를 발생시키고 이것은 Fan 의 날개로 전달되어 그 표면이 고주파에 반응을 일으키게 된다. 날개의 표면에 틈이 벌어지기 시작하고 어느 부분에서는 표피가 떨어져 나가기도 한다.
2. 또 다른 감속기 불량 원인으로 톱니바퀴의 톱니가 물려 있는 상태에서 Output Shaft 가 가속 혹은 감속 할 경우이다. 톱니가 6 개이고 Motor Speed 는 1800 RPM, 30 CPS (cycle per second)이라면 이 기어는 Fan 의 진동수가 180 CPS (30 x 6) 일때 Misalignment 가 발생한다. 톱니가 물려있는 것을 고려한다면 주파수는 360 CPS 가 되는 것이다. 이런 종류의 고주파 진동역시 마모된 Bearing 때문에 발생하는 진동 못지 않게 유해하다.

3.3.6 Throat Flutter (협류파장)

날개 Tip 에서 효율적인 공기 흐름을 유발시키는 Fan 의 경우 날개끝과 Ring 사이에 기압이 낮은 공간이 창출되어 여기서 흡입력이 생긴다. 이러한 흡입력은 각 날개의 끝 과 끝을 연결하는 협류를 만들어내는데, 예를 들면 날개가 4 개인 경우는 사각형 모양의 협류를 그리고 날개가 6 개의 경우는 육각형 모양의 협류를 구성하게 되는 것이다. Fan 이 계속 회전하기 때문에 실제로는 이 협류의 모양이 회전하는 다각형같이 된다. 흔히 이러한 Throat Flutter (협류파장)의 효과는 Fan 의 불균형과 혼동되기도 한다.

3.3.7 현장에서의 Balance 맞추기

오래된 날개은 균형이 틀어 질 수가 있는데 이는 오랜 세월에 의해 구조상 변형이 생기기 때문이다. 새로운 날개를 교체 할 때는 남은 날개들과 균형이 맞는지를 확인해야 한다.

1. 줄을 사용하여 작은 추를 Clamp Stud 에 차례대로 매달아 보아 가장 적절한 위치를 찾아 낸다.
2. Balance 가 적절히 맞게끔 추의 무게를 가감한다.
3. 추를 고정시킨다. 위치는 Clamp Stud, Clevis, Hub Tube 중에서 편리한 곳으로 정한다.
4. 한개나 혹은 그 이상의 Nut 를 사용할 수도 있는데 알루미늄이나 스테인레스 금속을 사용하되 절대로 날개 표면에 부착하여서는 안된다.

4.0조작

4.1 공기역학적인 과용

4.1.1 목적

앞에 서술한 여러가지 기계적 과용들이 운영 장비에 해로운 영향을 끼친다는 것은 흔히 주지하고 있는 사실이지만, 특히 Fan 에 있어서, 공기학적인 과용은 이 보다 더 심각한 문제를 일으킬 수 있다는 사실을 간과하는 경우가 많다. 이 장에서는 유해한 공기역학적 과부하가 왜 발생하며 이를 어떻게 예방하는지에 관하여 다루게 된다.

여기 서술하는 정보는 Moore 사 제품의 사용자를 위하여 마련된 것이나, 실제로는 다른 제조사의 제품에도 모두 해당된다 하겠다.

외벽과 함께 제작되는 작은 Fan 의 경우와는 달리 규격이 큰 Fan 들은 각양각색의 외벽과 함께 설치된다. 이런 경우 Fan 구동부의 종류와 상태에 따라 Fan 의 성격이 달라지겠지만 이에 못지 않게 공기진입로 및 출구, 그리고 내부 상태가 합쳐져서 헤아릴 수 없이 많은 여건이 발생하는 것이다. Fan 을 설계함에 있어서 제작사는 가장 적절하면서도 해당 산업의 표준치인 조작 상태를 기준으로 삼게 된다. 때로는 지나친 무게, 과비용이나 비효율적인 측면을 피하기 위해 비정상적인 응력하에서도 어느정도 견딜 수 있도록 설계를 상향조절하기도 한다.

4.1.2 정상 조작 환경

Fan 제조사들은 다음과 같은 주변 요건을 정상 환경으로 간주한다.

- Fan 의 설정은 필요한 만큼의 성능을 발휘할 수 있는 기대치를 기준으로 하며, 주어진 RPM 상에서 요구되는 기압을 유지하기에 적절한 날개의 영역이 제공되고 있다. 날개는 한계를 넘지 않는 부하 이내에서 필요한 공기흐름이 창출되고 있다.
- 원형의 Fan Ring 은 견고하고 날개 Tip 을 커버할만한 충분한 깊이가 있어야 하며 Tip Clearance 는 날개 마다 균일하게 조절되어 있다.
- 주위의 공기는 비교적 축둘레를 균등하게 흐르며 가끔 예상치 못한 터블런스(난류)가 생길 수 있음도 가만한다. Fan 의 공기 흡입구에 충분한 공간이 확보되어 있다.
- 공기 흡입구 및 배출구에 장애물이 없다.
- Fan 의 RPM 은 설계 수치 이내에서 구동된다.
- 날개에 진입하는 공기의 속도와 그 방향은 비교적 지속적이며 강풍 등 비상시 적용할 수 있는 보호 장치가 되어 있다.

위에 나열한 상태를 기준으로 했을 시 날개가 과부하를 받아도 이것이 정상상태의 +/- 50% 를 넘지 않게 된다. 위와 같은 가정하에서 Fan 을 설계하는 것은 지극히 일반적이며 적절한 구동부와 설치 조건이 맞았을 때 최고의 성능을 발휘하게 된다.

4.1.3 비정상환경

비정상 환경은 유해한 응력을 반복적으로 야기시킴으로써 Fan 수명을 단축시키게 된다. 앞장에서 다룬 공기역학적인 혹사로 인하여 날개나 Hub 가 구부러지는 현상이 발생하기도 한다. 날개가 탄력있게 조립되었을 경우는 구조물이 응력을 받는 것을

최소화시켜서 결과적으로 부적절한 응력이 Hub 이나 구동부로 전달되는 것이 차단된다. Moore 제품은 다른 제품에 비해 이러한 응력에 보다 탁월하게 견디어 낼 수 있도록 설계가 되어있긴 하지만 그 응력이 반복적으로 가해진다면 Resilient Mount 가 이를 다 흡수하지 못하게 된다. 그렇게 되면 Mount 와 금속부분이 약해지고, 결합부위가 마모되기 시작하여 최종적으로 Fan 을 정지시켜야 할 상황이 올 수 있는 것이다.

다음 열거하는 오용 사례중 어떤 것들은 다른 것에 비해 아주 중요도가 낮은 것도 있지만 정도의 차이를 두고 이들이 모두 한꺼번에 나타날 수도 있다.

특히, 지속적으로 가해지는 응력에 의한 축사때문에 Mount 부분이 망가지게 되고 심하면 Clevis 가 부러져서 Box Section (2.5.1 도면 참조) 에 결합이 생기게 되는데 이것은 Box Section 의 끝 부분이 Clevis 와 계속 부딪히기 때문이다. 날개가 완전고정되는 타사 제품의 경우 이러한 응력이 반복되면 날개가 깨어진다는가 (일부분이나 응력이 가장 많이 쌓이는 Hub 과의 연결부위), Hub 자체가 손상되기 쉽상이다. Moore 사 제품은, 특징인 “Resilient Mount” 를 사용함으로써 이러한 유해 진동이 여기서 상당 부분 흡수 되어 상대적인 “완전 고정 날개 제품”에 비해 탁월한 내구성을 가지고 있다. 이러한 잇점에도 불구하고 유해한 환경이 개선되지 않고 지속되면 결과적으로 어떠한 Fan 도 견디어 낼 수 없게 된다.

잘 설계된 Fan 은 위에 열거한 정상 운영 환경에서 수년간 문제없이 사용할 수 있게 되어있다. 그러나 극한적인 유해응력이 지속되는 환경하에서는 Fan 의 수명이 단축됨은 물론, 수년 앞서 고장이 발생하게 된다. 다행스러운 것은 이러한 유해 환경이 Fan 문제점들을 숙지하고 있는 관찰자에게는 쉽게 노출이 된다는 점인데, 관측된 문제점들은 적절한 조치로 수정이 가능하다는 것이다.

4.2 날개 과부하 (Overload)

회피해야 할 모든 공기역학적인 과용중에서도 가장 치명적인 것은 날개에 가해지는 과부하이다. 날개의 과부하는 공간부족때문에 발생하는데 즉, 날개수가 적정치 보다 모자라면 각 날개에 과부하가 생기는 것이다.

Moore 사의 제품선정 프로그램은 주어진 RPM 상에서 각 날개가 창출하는 기압을 기준으로 계산하게 되어 있다. 이 기압이 날개의 100% 하중이 되는데, 날개의 기압이 110%를 초과하면 Fan 의 성능이 저하되기 시작하고 구조물에 악영향을 끼치게 된다.

Fan 을 선정함에 있어서 총 기압을 날개 개당 기압으로 나눈 수치가 필요 날개수가 된다. 그러므로 기압 산출이 실제보다 적게 예측되었다든지, 운영 환경이 수시로 바뀌어 기압이 높아졌다면 날개에 과부하가 발생하게 되는 것이다.

날개의 과부하는 매우 중요한 문제인데, 쉬운 예를 들어 보기로 하자. 일반적으로 항공기는 정해진 속도에서 실어 나를 수 있는 화물량이 한정되어 있다. 그런데 이 항공기의 속도가 줄어 들거나 화물량이 기준치를 초과하게 되면 날개 부분에 실속기류가 발생한다. 항공기에 있어서는 날개가 발생시키는 양력의 약 2/3는 기류가 날개 위의 볼록한 유선 부분을 통과하면서 생긴다. 즉, 날개 위를 통과하면서 가속되고 아래쪽으로 굴절되는 기류의 반응으로 양력이 발생하는 것이다. 이런 날개의 위 표면에 음기압(Negative Pressure) 지대가 생기면서 위로 들어 올려지게 된다.

날개위를 통과하는 기류가 순조롭게 진행되는 한 난류(Turbulence)는 존재하지 않는다. 그러나 하중이 늘거나, 속력이 줄 때는 날개각을 증가시켜 기류가 날개위 표면으로부터 빠져 나가게 해야 한다. 이것을 실속(Stalling) 혹은, 거품기류(Burbling Flow)라고 하는데, 공기가 날개에 달라붙어 흐르는 대신 날개의 전면각에서 흩어지면서 난류(Turbulence)를 발생시키면서 날개 윗면을 쓸모없게 만들고, 따라서 날개를 들어 올려주는 역할을 하는 가속기류를 무효화시키는 것이다.

이런 현상이 생길 때 날개는 대부분의 양력을 상실한다. 그렇지만 기류는 순식간에 재 형성되고, 같은 현상이 주기로 지속되어 항공기 자체에 심각한 진동이 생기게 된다. 항공기 내에서 실속(Stall)을 경험한 사람은 이러한 극렬현상에 익숙할 것이다.

한편 Fan의 날개는, 항공기 날개가 공기를 밑으로 밀어 내는데 반해 공기를 위로 유출시키는 점, 그리고 볼록한 면이 아래면인 점 (항공기 날개는 윗면이 볼록함) 이외에는 다를 게 없다. 날개의 과부하 결과 역시 유사한데, 허용치 이상의 부하가 걸렸을때 심한 진동이 날개를 뒤 덩게 되며 기류는 일초에도 여러번씩 난류가 재 형성되어 날개를 때리게 된다.

다른 측면에서 이 문제를 보자면, 날개위 볼록한 표면위를 흐르는 기류를 원활하게 유지하기 위해 공기를 이동시키려면 날개 각을 추가로 많이 주었다고 여겨보자. 즉, 주어진 날개각에 필요한 속도로 공기를 이동시키면서 동시에 시스템의 정적인 저항(Static Resistance)을 극복하려면, 총압력 (해당 날개각에 부합하는 기류형성을 위해 유지되어야 하는)이 같은 RPM 상 주어진 날개수에서 창출되는 총압력보다 커야 한다. 이런 상황이 개선되려면 원활한 기류를 얻을 수 있을 때까지 날개각을 줄이든지, 시스템을 통해 필요한 만큼의 공기를 이동시킬 수 있는 만큼의 압력과 Fan의 총압력이 같아지도록 날개 수를 늘림으로써 잠재적인 총압력을 높이면 된다.

실속기류상이나 날개과부하 상태에서 지속적인 작동을 하게 되면 Fan의 수명이 현저하게 줄어든다. 이런 상태에서 작동을 하게 되면 성능 또한 터무니 없이 낮은 수치가 나온다. 다음장에 나오는 Section 4.4의 “날개하중 점검”에 삽입된 도표를

참조하라. 기류가 줄어들든가 같은 정도로 지속되어도 날개각을 높여주면 마력(HP)이 증가하고 있음을 유의하라.

결론적으로 말하자면, 한 예로 40HP 로 작동하는 Fan 이 있다치면 여기서 날개각만 높여줌으로써 이 Fan 이 50HP 를 소모하게 되는데 공기이동 수치에는 변함이 없거나 오히려 줄어들 수도 있는 것이다. 결국, 여기서 추가 10 HP 는 완전히 낭비일 뿐 아니라 실제로는 그 이상 해롭게 작용하고 있는 것이다. 항상 날개 수를 여유있게 산정하여, 모터가 최대 마력으로 돌 때의 날개부하가 100% 보다 약간 미만이 되도록 사전에 설계하는 것이 바람직하다. 그 이유는 다음 장에 나열하는대로 여러가지 안전을 고려해서이다.

4.3 부적절한 부하의 원인들

4.3.1 예상조건의 변경

Air Cooler 나 Cooling Tower 를 설계하는 당사자가 시스템의 정적저항 (Static Resistance) 을 정확히 산출하였다 해도 실제 상황은 여러가지 요소에 따라서 변동이 된다. 변동이 발생되면, Test 를 통해 발견될 수 있는데, Static Pressure 가 예상치보다 높게 나오는 것을 알 수 있다. 이렇게 되면 날개 수 혹은 모터의 마력이 모자라게 되는 상황이 될 수 있다. 반면에, Static Pressure 를 과대하게 예상하고 날개의 영역이 추가로 설정된 경우라면 Fan 은 제성능을 다 발휘하지 못하고 저조한 역할을 하게 된다.

부족한 날개 영역: 날개각의 설정은, 주어진 RPM 에서 필요한 만큼의 공기량을 움직이는데 요구되는 예상 압력을 유지하는데 적절하게 행하여진다. 그런데 Static Pressure 가 예상보다 높아지면 Fan 은 과부하 상태에서 작동이 되고 있을 수 있다. 만일 RPM 을 올릴 수 없는 상황이라면 유일한 해결 방안은 날개각을 줄여 처음 예상했던 압력하에서 감소된 양의 공기를 배출하게 하는 것이다. 총압력 (Total Pressure)을 예상한대로 유지하면서 동시에 Air volume 을 감소시키면 마력 (HP)만 감소될 수 있는데, 그렇다면 Fan 을 과부하로 돌리지 않는 한 처음 설계시 적용한 마력 (HP)을 소모하기란 불가능하다는 말이 된다. 이것이 바로 처음 Fan 선정작업 시 날개 부하에 관하여 고려하여야 하는 여러가지 안전성에 관한 요건중 하나이다.

과대한 날개 영역: 종종 신중한 선정을 하다보면 과도한 날개수가 설정되기도 한다. 만일 Static Pressure 가 과대하게 예측되었다면 이론상 날개수가 필요 이상으로 많은 것이다. 통상 이 이론상의 날개 수는 분수로 계산되는데 당연히 실제의 날개 수는 그 다음의 정수를 사용하여 저절로 어느정도의 안정성이 내포된다. 만약, 여기다가 또 다른 안정성을 고려하거나 혹은, 추후에 있을 변화에 대비하여 여분으로 날개가 한 두개 추가되었다면 애초에 설계한대로의 성능에 맞추기가 불가능해질 것이다. 처음 설계대로의 성능을 발휘하면서 원래의 마력(HP) 이상 소모하지 않으려면 날개각을 낮추어야 한다. 그렇지만 이 각을 한없이 낮추면

안되고, 마력(HP)를 줄이지 않은 상태에서 기류가 줄어드는 각도 그 이전까지가 한계인 것이다. 벨트를 사용하는 장비에서 가장 실용적인 방안은 Fan 의 RPM 을 줄이는 것이다.

4.2. 2 초과 구동마력

때로는 Fan 이 소화할 수 없을 정도의 필요 이상의 출력(HP)을 가진 모터를 사용하는 경우가 있는데 이는 주로 요구되는 만큼의 출력을 가진 모터가 없기 때문인 경우가 많다. 예를 들면, Fan 에 31HP 가 요구되는 경우 30 HP 는 모자라기 때문에 하는 수 없이 다음 사이즈인 40 HP 로 선정하게 된다. 그런데 Fan 은 31 HP 만을 소모하도록 설계되어 있지만 설치후 운영자는 자연스럽게 모터를 Full Power 인 40 HP 로 돌리게 된다. 이렇게 되면 날개에 과부하가 걸리게 되는 것이다. 이런 상황에서는 Fan 이 40 HP 를 소모하도록 처음부터 설계를 다시 했어야 한다. 왜냐하면 추가 기류가 필요하지 않음에도 결국은 Fan 이 40 HP 를 소모하도록 날개각을 세울것 이기때문이다. 그러므로, 이런 경우에는 Fan 이 모터의 출력(HP)을 다 소모하면서도 날개에 과부하가 걸리지 않도록 설계하는 것이 필요하다.

4.3. 3 과대한 Tip Clearance

Fan Ring 이 날개 Tip 과 매우 가깝게 붙어 있지 않은 한, 날개 표면위의 고압 공기는 날개 끝 부위로 이동하며 Tip 으로부터 어느정도의 거리이내에 있는 날개 아래 부분의 음기압(Negative Pressure)을 상쇄시킨다. 12 ft 길이의 Fan 의 경우, 날개의 맨 마지막 12~18 인치 부위에서는 아무런 기압이동이 일어나지 않는 무익한 부분이다. 여기를 제외한 나머지 부분은 더 많은 일을 하여 이 Tip 부위의 무익한 부분이 할 일까지 대신하여야만 한다.

Tip Clearance 를 지나치게 많이 주면 Tip 과 Fan Ring 사이에 빈 공간이 생기게 된다. Fan 으로 분출된 공기가 방출될때 보다 더 빠른 속도로 이 틈새를 타고 도로 내려오게 되는 것이다. 이런 상황에서는 날개가 제대로 역할을 하고 성능을 발휘하고 있음에도 불구하고, 실제로는 역할을 하는 날개 부위가 줄어드는 결과가 생기는 것이다.

날개 끝 무작용 부위인 12" 및 Tip 과 Ring 사이의 역류를 가만하면, 여기서 예로 든 12 ft Fan 은 실제로는 12 ft - Fan 의 작용에 그치는 것이다. 따라서 설치 기준에 따르는 성능을 만족시키자면, Fan 이 설계상 요구되는 충분한 양의 공기는 물론 위에 설명한 역류의 양까지 추가로 밀어내어주어야 하는 것이다. 이런 상황때문에 시스템의 기압이 제대로 올라오지도 못하는데 날개에 과부하가 걸릴 수 있는 것이다.

4.3.4 비적합한 공기흡입구

공기는 모든 방향으로 부터 Fan 으로 진입하게 되는데 입구쪽으로 이동하면서 속도가 늘었다가 Fan 의 흡입구 쪽에서는 급속히 가속된다. 측면으로 진입하는 공기는, 입구가 납작한 판모양으로 처리된 Fan Ring 으로 들어오기 위해서 90 도 각도로 꺾여야 한다.

만일 Ring 의 흡입구 끝쪽에 간격이 많이 주어져서 공기가 모든 방향에서 도입이 되도록 되어있다면 공기중 일부는 180 도로 꺾여 들어와야 한다. 접근해오는 공기의 관성때문에 기류가 급선회하여 원하는 기류에 평행하게 나아가는 것이 방지된다. 그 결과, 가운데쪽으로 급강하하여 Fan 의 바깥쪽의 기류가 감소하거나 Ring 근처에서는 음기류(Reverse Flow)가 생기는 현상이 발생한다.

비적절한 공기 흡입구의 영향은, 날개의 유효직경이 줄어들어 필요한 성능이 나오지 않으면서도 날개에 초과하중에 발생한다는 점에서 앞서 기술한 “과대한 Tip Clearance”의 영향과 비슷하다. 성능이 극히 저조해지게 되는 것이다.

4.3.5 초과편향 (Excessive Deflection)

Fan 이 창출해 낼 수 있는 압력은 공기에 대한 날개 속도의 제곱에 비례한다. 만일 공기가 날개축 방향으로 움직이다 날개 통과 후 방향을 바꾸지 않고 소멸된다면, 기류에 대한 날개의 상대 속도는 어느 지점에서나 날개의 실제 속도가 될것이다. 그렇지만 이것은 실제 상황이 될 수 없다. 날개가 공기와 접촉하는 작용으로 일을 하기 위해서는 날개가 Fan 의 회전 방향으로 공기에 대해 비껴서 돌아야 한다. 공기는 Fan 에서 같이 회전할 때 Fan 의 회전과 같은 방향으로 어떤 속도로 움직이게 되며 이에 따라서 날개와 공기사이의 상대속도를 어느정도 줄여주게 된다. Moore Fan 은 Hub 에서의 최대 Deflection 50 도, 그리고 날개 끝 부분에서는 작은 각도로 줄어들게끔 설계되어 있다. 이 Deflection 은 각 날개의 총 길이에 의해 발생하는 압력을 결정하는 요소가 된다. Fan 선정시 Deflection 각이 Hub 에서 50 도를 초과하는 상황이라면 기류에 상대적인 날개의 속도는 기대치보다 줄어들 것이고 따라서 날개는 설정치의 압력을 창출하지 못하게 된다. 아래의 시험은 실제 도달하지 못하더라도 Fan 의 최대 압력 창출 능력을 보여준다 .

4.3.6 결론

본장의 여러 상황에서 지적한 바과 같이 수많은 복잡한 요소가 Fan 의 날개에 부적절한 부하가 걸리게끔 작용하고 결국 성능을 저하시키거나 Fan 의 수명을 단축시키는 역할을 한다. 날개각이 지정된 마력 (Fan Shaft 상에서)을 소모하도록 조절이 되었을때 결과는 설계 성능에 근접한 수치를 얻게 된다. 이런 상황이 아니면서 그 원인을 찾을 수 없거나 수정이 안될 때는 Moore 사의 도움을 구하기 바란다.

4.4 날개 부하 점검

날개 부하를 점검하는 한가지 방법으로 Field Test 를 해 보는 것이다. 실행이 어려운 방법이지만 이런 시험을 통하여 Tip Clearance 가 과대한지 비적절한 공기흡입 환경이 존재하는지 충분한 증명을 해 줄것이다. 이런 증거들이 보인다면 비록 시험결과가 허용치 이내에 있더라도 앞서 기술한 4.3.3 장에 의해 Fan 에 과부하가 걸릴 수 있는 것이다.

이보다 편리하고 간단하게 날개 과부하나 최대 허용 날개각을 점검하는 방법이 있는데 장비로는 렌치, 토크 렌치, 각도계, 전류계 그리고 압력계 가 필요하다.

모든 Fan 은 구매자가 요구하는 성능에 맞춰 날개각이 사전에 조율이 된 상태로 출고된다. (앞장 1.1 Fan Specification 참조) 이 각도는 Clevis 의 위나 아래면이 수평면과 이루는 각도와 동일하다. Hub 에 고정된 Clevis 각도를 여기에 맞추어 조율한 후 출고한다.

시험 시행전에 이 날개각을 절반 각도로 재 조절한다. 그리고 압력계를 적절한 위치에 연결한다 - 위치 설정은 높은 기압이 몰려 있는 공간내 한쪽 구석에서 고정 장소를 찾는게 좋은데, 용도가 Induced 인지 Forced 인지에 따라 Fan 의 전이나 후에 위치하여야 한다. 여기서 얻는 수치는 완전히 상대적인 것으로 정확한 압력 측정이 요구되지는 않는다. 그러나 이 수치들은 해당 측정점에서 일관된 압력의 변화를 나타낸다.

Fan 을 작동시킨 후 제공된 도표에 날개각, Static Pressure 그리고 Motor 의 전류량 (Ampere)을 측정하여 기입한다. 날개각을 1 도 혹은 2 도씩 증가 시킨후 다시 Static Pressure 와 Motor 의 Amp 를 측정하여 기입한다. 이 절차를 계속하여 Motor 가 최대 부하에 도달하고 Fan 이 과부하 없이 이를 소화하는 시점이나 혹은, 그래프의 곡선이 수평 형태가 되기 시작하는 시점까지 측정을 반복 시행한다. 여기서 알 수 있는 것중 하나는 압력은 날개각의 증가에 따라 계속 상승하다가 최대날개 부하점에 이르러서는 수평이 된다는 점이다.

점차적으로 날개각을 증가시키는 것은 설치 여건에 따라 여러가지 다른 영향을 불러 일으킨다. “Static Pressure” 곡선은 잠깐동안 수평을 유지하거나 급격하게 하강하게 된다. Fan 이 원심력 송풍기 (Centrifugal Blower)로 이용되는 경우에는 아주 드물게 이 곡선이 수평을 그리다가 상승할 수도 있다.

일반적인 경우의 곡선은 도표의 점선으로 표시하였다. 첫번째 수평을 그리는 지점 이후 혹은, 점선에서의 Fan 작동은 날개의 과부하를 의미한다. 참고할 것은 모터의 부하는 Fan 의 과부하 지점을 지난 후에도 계속 증가한다는 것이다. 날개의 최대 허용각은 곡선이 수평을 그리는 지점의 Static Pressure 를 기준으로 이보다 5% 적은 지점이 된다. 이 지점이 바로 안전부하 위치로서, 모터에 과부하가 걸리지만 않는 한, 도표에서 그 위치가 어디에 있든지 상관없이 날개각을 이 각도로 조절하여 두면 최적이다. (아래 주의 참조)

여기서 정한 지점은 또한 Fan 이 최고의 성능을 발휘하는 지점이기도 하다. Static pressure 를 예측하는데 있어서의 오차 발생 혹은 부정확한 측정 및 다른 변수들이 존재하기 때문에 최종 날개각은 설계치보다 높거나 낮을 수 있는 것이다.

다음에 보여주는 도표는 전형적인 성능곡선으로서 Motor 에 비해 작은 사이즈의 Fan 의 경우의 예이다. 빈 도표는 사용자를 위해 제공하였다.

주의: 마력 (Horsepoer)는 공기 밀도에 따라 변한다. 만일 무더운 날에 모터의 최대부하를(Full Load)를 소비하도록 날개각을 세팅하였다면, 추운 날에는 모터에 과부하가 걸릴 수 있다. 이런 이유로 날개각을 조절할 때는 기온이 정상치일 때 실행하든지 또는 최저 기온을 가만하여 그 수정치를 적용하여야 한다.

Page 15 도표

Motor 에 비해 적은 사이즈의 Fan 에서 전형적인 Test 곡선

위의 도표에서 보면 Static Pressure 가 11 도에서 극대점에 이르르고 여기서부터 날개의 과부하가 시작됨을 알 수 있다. 이 후에 각도를 계속 증가시킬 경우 점선으로 가상의 바와 같이 어떤 상황이 될지는 예측할 수 없다. 이 실험에 의해 결정된 날개각도 (9.5 도) 및 Fan 이 모터 최대부하 전류(Amp) 의 67% 밖에 소모하지 않는다는 사실에 유의하라. 그 결과 Fan 은 9.5 도의 날개각으로 세팅이 되어야 하는 것이다. 추가 모터 마력을 소모할 수 있는 유일한 방법은 날개를 추가하든지 RPM 을 높이는 것이다. 이론상으로는 모터는 곡선이 수평을 그리기 바로 직전에 최대부하에 이른다.

4.5 운영조건의 손상

4.5.1 개요

날개에 부하를 가하다가 없어지는것이 반복되는 요소는 Fan 의 성능에 아주 유해한 것으로 효율 및 구조물의 내구력에 영향을 미친다. 물론, 공기 흐름에서의 일반적인 장애는 예측하고 있어야 하지만 어떤 요소들은 적절한 조치를 취함으로써 미리 예방하는 것이 필요한데 그 내용을 이 장에서 다루기로 한다. 흡입구 및 배출구 상태의 중요성에 대한 추가 정보는 Moore 사의 General Catalog 를 참조하기 바란다.

가장 이상적인 것은 기류가 Fan 의 축 방향으로 접근하면서 Fan 의 모든 부위에 동일한 속도로 흐르는 것이다. Fan 에 대해 경사각의 방향으로 접근하는 공기는, Fan 의 한쪽 면에서는 날개의 공기에 대한 상대 속도를 증가시키고 또 다른쪽 면에서는 이 상대속도를 감소시키는 경향을 보인다. 이 뜻은 날개가 회전의 절반중에는 높은 상대속도 때문에 보다 많은 공기량을 빨아들이고, 나머지 절반의 회전중에는 적은 공기량이 흡입된다는 말이다. 그 결과 Fan 의 회전당 날개가 공기를 흡입하고 배출하는 것을 반복하게 되는 것이다. 이런 상태는, 속도가 빠르고 공기의 접근 각이 날개축에 대해 상당히 벗어나 있을 경우 상당히 심각할 수가 있다.

4.5.2 바람

수평위치상에서 Fan 이 위쪽에 설치되어 있는 “Induced Draft Air Cooler” 나 “Induced Draft Cooling Tower” 의 경우는 위쪽으로 공기를 밀어내야 하고 짧은 Fan

Ring 이나 Fan Stack 에 의해 둘러싸여 있게 되는데, 여기서 강풍은 관심사가 아닐 수 없다. Fan 의 Ring 이 높을수록 바람에 의한 영향을 덜 받게 된다. 그렇지만 사실은 Ring 의 위를 통과하는 바람은 Ring 의 밑 부분까지도 공기 흐름의 방향에 영향을 끼친다. Fan Ring 의 상단 부위 근방에 설치된 Fan 의 경우, 강풍의 환경하에서 Fan Discharge (배출기류)의 축 방향은 45 도까지 증가될 수 있다.

Fan 의 설치가 수평적이고 공기를 위로 밀어내며, 아주 짧은 Fan Ring 에 둘러싸이는 “Forced Draft Air Cooler” 에서는 상태가 더욱 심각할 수 있다. 이런 상황에서 Fan 의 Inlet 쪽에 있는 공기는 꽤 높은 수평속도를 가지게 된다. Fan 은 이 공기를 위로 밀어내야만 하는데, 강풍하에서는 Fan 지점을 통과하는 기류의 각도가 45 도 이상으로 증가할 수가 있다.

Page 16 상단 그림

위의 도표는 다음의 상황을 가정한 것이다.

- Tip Speed(V_s) : 10,000 fpm (114 mph)
- 공기수평속도(V_w) : 20 mph

참고로 Fan Blade 의 공기에 대한 상대속도 (V_r) 는 1.43 의 배율로 변화하고, Blade Load (날개부하)는 이 속도의 제곱 혹은 2.05 의 배율로 변화한다.

iS Resources, Inc.

Hub 와 Drive 상에서의 공기하중의 효과

Moore Fan 의 날개들은 Hub 에 Pivot 으로 고정되어 있다. Fan 이 회전함에 따라 원심력이 발생하여 날개가 들어 올려진다 (마치 헬리콥터에서 처럼). 아래 그림에서, 공기하중 (F_a)은 날개 전체에 동일하게 작용하지만, 표시된 것 처럼 어느 한 지점에 총하중을 가하였을 때 그 효력이 똑 같이 작용하는 위치가 있다. 공기하중 (F_a) 과 수평원심력 (F_c)의 결과는 날개력 (F_b)이 된다. 즉, 그림에서 점선으로 표시한대로 이 날개력이 Pivot 지점으로 전달되기 때문에 날개는 자동으로 제 위치로 올라오게 된다. 이 효력은 마치 공기하중(F_a)이 날개의 끝 부분이 아닌 Pivot 위치에 가해진 것 처럼 작용한다. 공기에 의해 Shaft 에 가해지는 최대 휨모멘트(Bending Moment)는 공기하중 (F_a) 과 Fan 중심선에서 Pivot 지점까지의 거리(R_p)를 곱한 수치와 같다. (Max. Bending Moment = $F_a \times R_p$)

반면에 날개가 Fan 에 고정되어 있는 타사의 제품의 경우, 공기에 의해 만들어지는 Shaft 의 휨모멘트 (Bending Moment) 는 공기하중(F_a)과 Fan 의 중심선에서 공기하중의 중심점 (R_f)까지의 거리를 곱한 수치이다, 즉 Max. Bending Moment = $F_a \times R_f$. 이는 같은 환경에서 Moore 사 제품에 비해 2~4 배의 모멘트임을 보여준다.

또하나 타사 제품에서 주목할 것은, Hub 과 날개의 접목위치에 생기는 공기에 의한 휨모멘트인데, 바로 이 지점이 Fan 구조상 가장 취약한 부분이라는 점이다. 이 지점에서의 휨모멘트는 $F_a \times D$ 인데반해 Moore 사제품의 경우는 날개가 Pivot 으로 고정되기 때문에 이것이 “0” 이다.

그렇다면 이와 같은 일상적인 풍속에서, 날개가 바람을 맞닥뜨리며 회전할 때 측면 날개하중은 그 반대 방향에서 날개가 바람에 밀리며 회전할때 그 측면의 날개하중에 2 배가 되게 된다. 시속 40 마일의 바람에서 날개하중은 4 이상의 배수로 변화하게 되고 시속 60 마일의 바람의 경우는 10 이상의 배수로 변화하게 된다. 따라서 이런 환경에서의 Fan 운영시 날개가 반복적으로 과하중을 받게 됨을 알 수 있다.

4.5.3 장애물

기류에 지장을 주는 어떤 형태의 장애물이 Fan 의 전 후에 존재할 수 있음을 예측해야 한다. 실제로는 이런 장애 요소들을 모두 없앤다는 것이 불가능하기 때문이다. 모든 장애요소들은 크건 작던 간에 Static Pressure 를 증가시키기 때문에 애초에 설계시 Fan 성능상 참작하여야 하지만, 구조재나 토대같은 것들은 심각한 고려 대상이 아니다.

Fan 이 공기를 흡입할 수 있는 공간은 Fan 의 실면적 (Fan 면적 - Hub 면적)의 2 배가 되어야 한다. 즉, Fan 의 흡입구로 진입하는 공기의 속도는 Fan 을 지나쳐 가는 공기속도의 절반이 넘지 않아야 한다. 이 공간은 전체적으로 균등하게 퍼져 있어야 한다. 따라서, Fan 공간의 3/1 혹은 1/2 이 막힌 상태에서 Fan 을 작동시키는 것은 대단히 어리석은 행동이다. 이런 상태에서는 반쪽 회전에서 실속이 발생하고 공간이 막히지 않은 다른 반쪽 회전에서는 과부하가 발생한다. 또한 심한 진동이 발생한다. 공기가 Fan 의 축대쪽이 아닌 방향으로 진입하게 만드는 어떤 요소도 제거해야 한다.

4.5.4 동일하지 않은 Tip Clearance

Fan Ring 의 원형이 완전치 않든지 Fan 의 중심에 어긋나 있으면 Tip Clearance 는 회전에 따라 달라지게 된다. Tip Clearance 가 한 지점에서는 아주 작고 다른 지점에서는 클 경우, Tip Clearance 가 작은 지점에서는 날개의 Tip 끝까지 작용을 하며 적절한 기류가 흐리게 되지만 이 Tip Clearance 가 커지는 지점에서는 공기가 날개의 고기압이 형성되는 지점에서 날개 Tip 과 Ring 사이의 공간을 통하여 날개 반대쪽의 음기압을 상쇄하며 흐른다. 그래서 Tip Clearance 가 큰 지점에서는 날개 Tip 부위에 아예 부하가 걸리지 않는 것이다. 이런 상황에서 날개는 회전당 한번 혹은 여러번 Tip 부위에 부하가 걸렸다 풀렸다 반복됨으로써 달감지 않은 진동이 생기게 된다. 따라서 Tip Clearance 를 최소화하고 Ring 의 모든부위에서 동일한 Tip Clearance 를 유지하도록 모든 노력을 경주해야 한다.