

축류압축기의 성능 향상과 설계에 관한 연구

조현섭*, 오명관**

청운대학교 디지털방송공학과, 혜전대학 디지털서비스과
e-mail: chohs@chungwoon.ac.kr

A Study of Fan Stall Warning System Motion Characteristics

Hyun-Seob Cho*, Myoung Kwan Oh**

*Dept of Digital Broadcast Engineering Chungwoon University

**Dept of Digital Service Hyejeon College

요 약

본 연구는 고속으로 회전하는 축류압축기(송풍기)의 설계 및 운전에 기초가 되는 축류회전 익렬에서의 유동계산과 유동측정, 그리고 고속회전에 따른 진동해석과 안전진단을 위한 이상 진단 시스템개발에 관해 연구한 것이다. 따라서 회전날개의 진동해석, 선회실속시의 회전날개의 진동해석, 전 체계의 동력학적 해석, 그리고 회전축의 비틀림진동 및 선회진동의 제어로 나누어 수행하였다. 또한 각각의 연구에 대하여 수치해석과 실험을 병행하여 이론해석과 설정한 모델의 타당성을 검증하였다.

1. 서 론

산업용 송풍기는 비록 그 원리 및 구조가 유사하다고 하더라도 공조용의 송풍기와는 몇 가지 특징적인 차이가 있으며 이를 잘 파악하여 경쟁력 있는 제품을 생산해내어야 할 것이다. 산업용 송풍기는 일반적으로 공조용에 비하여 크기가 크며 압력이 높고 요구사항이 매우 다양하다. 그리고 작동온도, 회전수, 재질 등에 대해서도 다양한 조건이 요구된다. 국내에서 많이 쓰이는 송풍기의 종류로는 원심형, 사류형, 축류형 등이 있다[1]. 축류압축기(송풍기)는 다단으로 되어 있으므로 익렬 설계에는 상류쪽의 유동상태를 알아야한다. 압축기의 성능향상 또는 유동상태를 알아야한다. 압축기의 성능향상 또는 유동해석을 위해서도 익렬후 방의 유동구조를 알아야 한다[2]. 본 연구에 있어서는 회전차 후방의 회전 유동장을 측정하기 위해 먼저 샘플링 주파수가 50° KHZ 이상이 되는 A/D 변환기를 개발하고, 유동측정에는 45°경사열선풍속계를 사용하였다. 실험은 절현비, 회전속도 및 영각을 파라미터로 하여 후치정역식 회전차의 후방유동장을 측정하였다. 실험의 결과 회전익 누설와류, 운동량 손실분포, 와도분포 및

말발굽와류(Horse shoe vertex)등이 하류쪽의 유동 거리에 따라 변화하는 관계가 규명 되었다. 특히 누설와류의 중심점의 궤적으로부터 누설와류의 발생중심위치가 날개의 최대부하의 위치와 대략 일치함을 알게 되었다. 또 누설와류의 강도 또는 누설와류에 의한 운동에너지의 손실은 하류쪽으로 어느 거리 이상 지나가면 오히려 하류에 존재하는 회전유동장의 영향때문에 증대함을 알 수 있었다[3].

특히 표준 석탄화력에 설치하여 운영중인 축류형 Fan Stall Warning Unit의 문제점을 개선, 보완하기 위하여 현장기술개발과제인 “축류압축기의 성능 향상과 설계에 관한 연구의 성능을 확인하기 위하여 다음과 같이 시험을 실시하였다.

2. 유동해석에 관한 실험적 연구

첫째, IDF A Inlet Damper와 FDF A Outlet Damper를 각각 수동조작으로 Fan Stall을 발생시켜 Blade 자동조절 상태 및 경보취명 확인 및 기존 Stall Warning Unit와 변화추이 비교하였다. 둘째, 보일러를 정상운전 상태에서 시험할 경우, Fan Pitch Blade에 미칠 영향을 고려하여 보일러 소화후 FD Fan, ID Fan을 각각

2대씩 운전하고 PA Fan은 정지상태에서 시험하였다. 셋째, 정상운전시의 조건과 유사하게 맞추기 위하여 FD Fan 및 ID Fan Pitch Blade 개도는 40%이상 Open 상태에서 자동 운전하여 시험하였다. 넷째, FD Fan, ID Fan 개도는 Stall 발생시 자동 Rundown 되도록 하기 위하여 자동 상태로 놓고 Air Flow Control Mode를 수동으로 조작하였다.

시험은 각각 FD Fan A, ID Fan A를 대상으로 하였다. FD Fan은 Outlet Damper를 Manual로 10%까지 Step Close 하여 Stall 발생시켰으며, ID Fan은 Inlet Damper를 Manual로 12%까지 Step Close 하여 Stall 발생시켰다.

3. 진동해석의 시험결과 분석

① FD Fan Stall 시험결과 분석

<그림1>은 보일러 정지중 인위적으로 Stall을 발생시키기 위하여 시험한 결과이며 FD Fan Pitch Blade 개도 40%에서 자동운전 중 Fan 출구 댐퍼를 단계적으로 닫았을 때 운전 상태를 보여주고 있다.

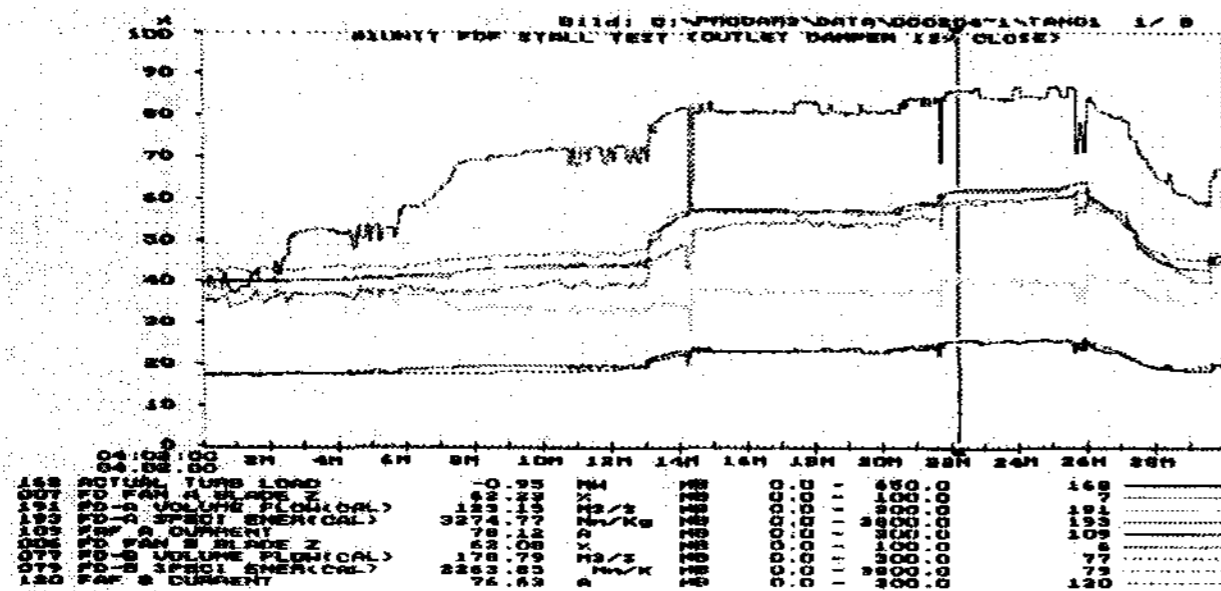


그림 1. FD Fan Stall 발생시 운전상황

Fan Pitch Blade는 Air Flow(Set : 60%)를 제어하기 위하여 댐퍼를 닫을 때마다 상승하였으며 댐퍼개도 15%~20% 사이에서 Motor Current 상승과 함께 Blade 개도 및 Specific Energy, Volume Flow가 상승하고 이후 순간적으로 불안정한 모습을 나타내었다. 즉, 댐퍼개도 15% ~ 20% 사이에서 1차적으로 Stall 이 발생하였으며 이후 댐퍼개도 10%가 되기까지 발생정도는 약했지만 Stall이 2회 추가 발생하였고 계속적으로 불안정한 운전상태 보였다.

<그림3>에서 보는 바와 같이 FD Fan 출구 댐퍼를 단계적으로 닫았을 때 댐퍼개도 20%부터 Motor Current와 Specific Energy, Volume Flow가 상승하였는데 이는 FD Fan 출구 댐퍼 20%에서 Stall이 발생하여 이후 10%로 닫을 때까지 운전 변수가 높게 유지되

어 상태가 불안정하게 운전되었음을 증명하였다.

② FD Fan 진동분석

FD Fan의 경우 Stall 시험시 댐퍼개도 20%에서부터 소음이 증가하며 Fan Bearing Casing Vibration을 측정하였다. 정확한 시험을 위하여 Fan Housing에 Vibration Probe를 설치하고 시험해야 하나 Fan Bearing Casing Vibration으로 만족해야 했다.

③ Position Rundown 시험

<그림 6>은 Stall이 발생하였을 때 Fan이 안정영역에서 운전될 수 있도록 Blade가 자동으로 Rundown 되는지 시험한 결과이다.

시험 당시 Blade Position Rundown 발생후 Stall 경계선 내에 진입후 Stall이 곧바로 해소되어 다시 Stall이 발생한 사례가 반복되었다. 이는 예상하지 못한 결과로 곧 현장에서 검토한 후 다음과 같이 보완하였다. 정상 운전중에는 Motor Current와 Blade Position이 비례적으로 이동하나 Stall이 발생하면 Motor Current와 Blade Position이 불규칙하게 변화되는 것에 착안하여 Stall 발생시 Blade Position 대비 Motor Current가 5% 이상 편차가 발생하면 Rundown 되도록 수정하였다. 수정결과 그림에서 보는 바와 같이 25%까지 Rundown 된 것을 볼 수 있다.

④ ID Fan Stall 시험결과 분석

<그림7>는 보일러 정지중 인위적으로 Stall을 발생시키기 위하여 ID Fan 입구 댐퍼를 단계적으로 닫았을 때 운전 상태를 보여주고 있다.

Fan Pitch Blade는 Air Flow(Set : 60%)를 제어하기 위하여 댐퍼를 닫을 때마다 상승하였으며 댐퍼개도 15% ~ 20% 사이에서 Motor Current 상승과 함께 Blade개도 및 Specific Energy, Volume Flow가 상승하고 이후 순간적으로 불안정한 모습을 나타내었다. 즉, 댐퍼개도 15% ~ 20% 사이에서 1차적으로 Stall 이 발생하였으며 이후 댐퍼개도 10%가 되기까지 발생정도는 약했지만 Stall이 2회 추가 발생하였고 계속적으로 불안정한 운전상태 보였다.

<그림9>에서 보는 바와 같이 ID Fan 출구 댐퍼를 단계적으로 닫았을 때 댐퍼개도 20%에서 Motor Current는 완만하게 증가하였으나 Specific Energy가 급상승한 것을 볼 수 있으며 Specific Energy는 Volume Flow와 정비례하지 않는 모습이였다. 일반적으로 Specific Energy와 Volume Flow는 반비례하여 나타나지만 Stall 발생시에는 맥동현상으로 Specific Energy와 Volume Flow가 흔들려 반비례하지 않는 것으로 보인다. 이후 Specific Energy가 포화를 이룰 때

Volume Flow는 댐퍼개도 15%에서 급상승하는 것을 볼 수 있다.

⑤ ID Fan 진동분석

ID Fan의 경우에도 FD Fan과 마찬가지로 Stall 시험 시 댐퍼개도 20%에서부터 소음 증가는 없었으나 Fan Bearing Casing Vibration은 소폭 증가하였다.

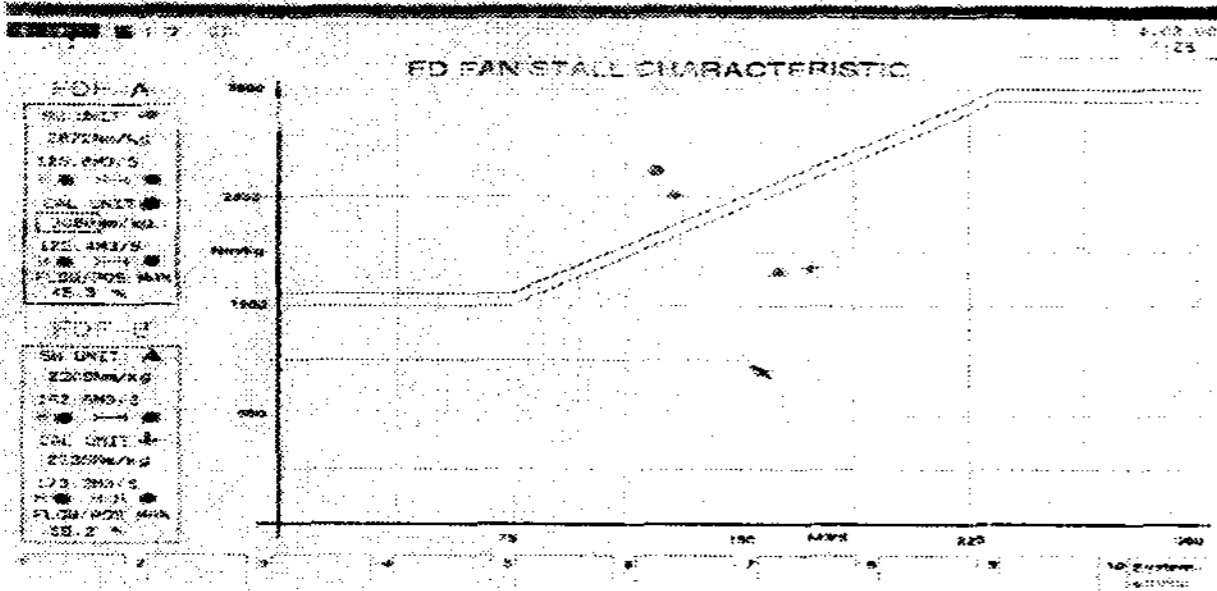


그림 2. FD Fan Stall 시험시 곡선

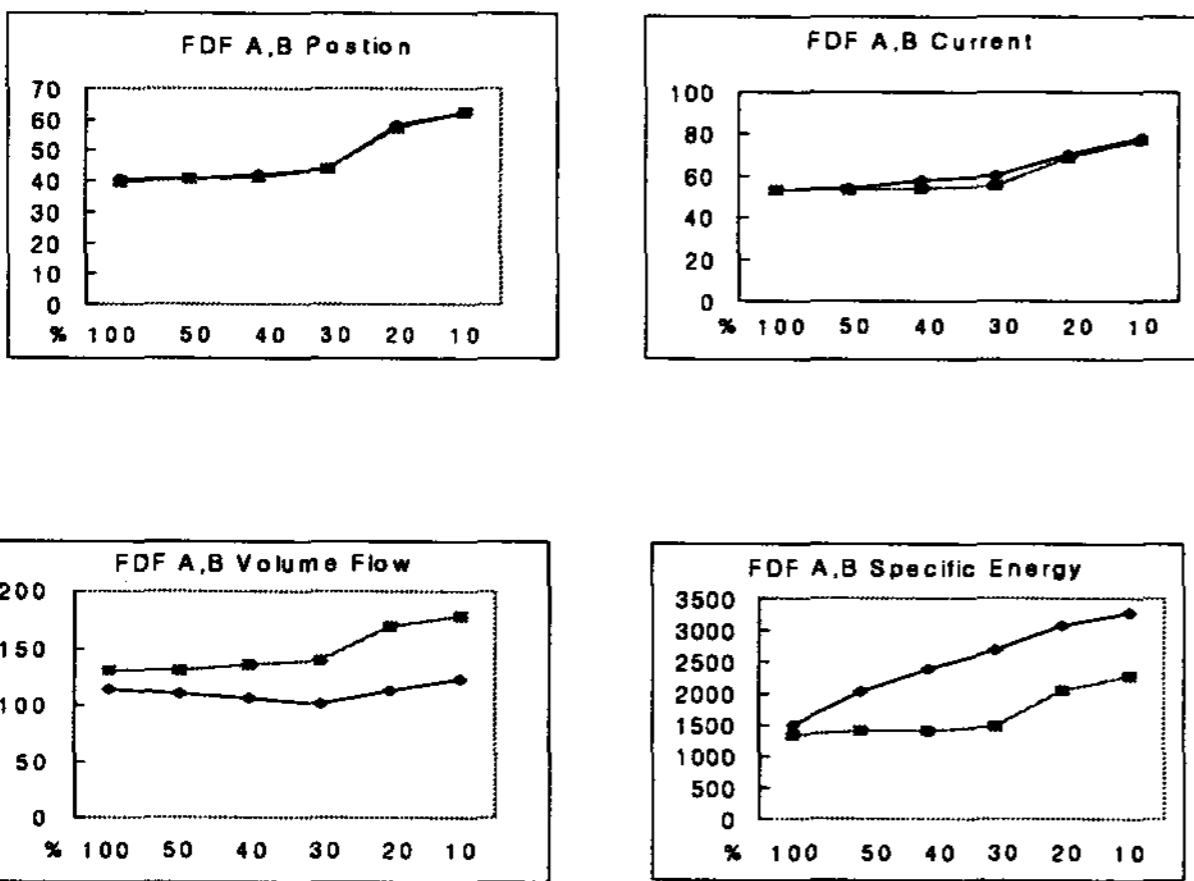


그림 3. FD Fan Stall 시험시 운전자료

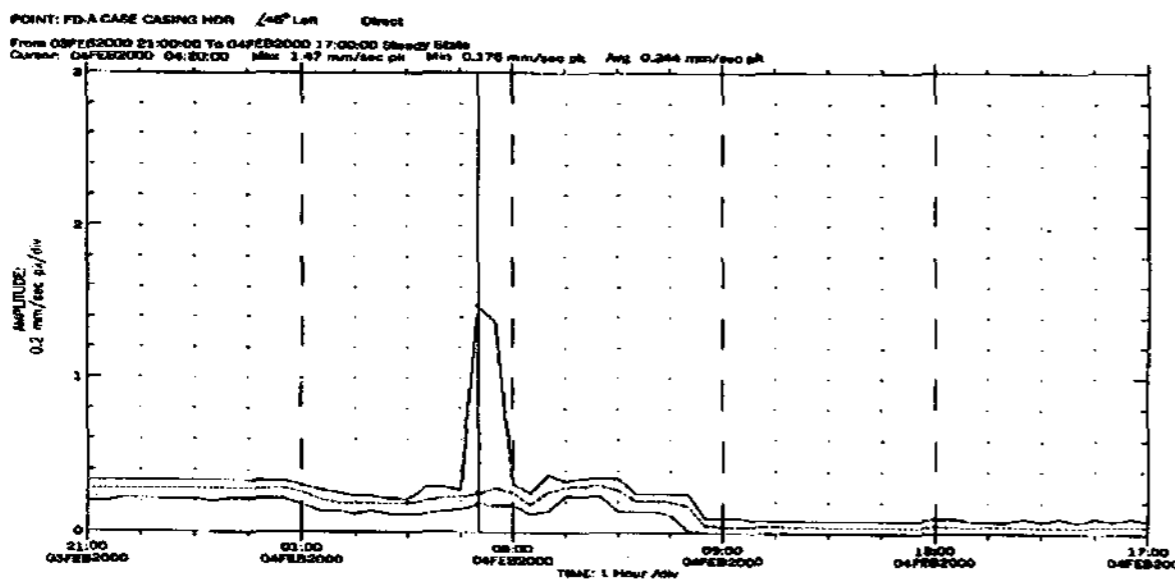


그림 4. FD Fan Brg Casing Vib, Hor.

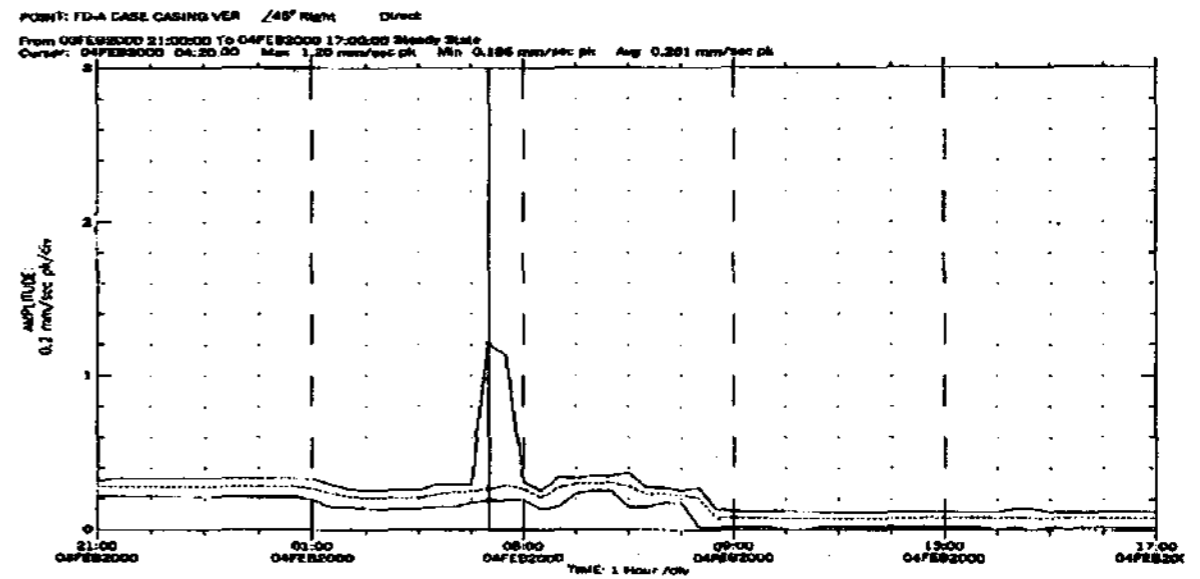


그림 5. FD Fan Brg Casing Vib, Ver.

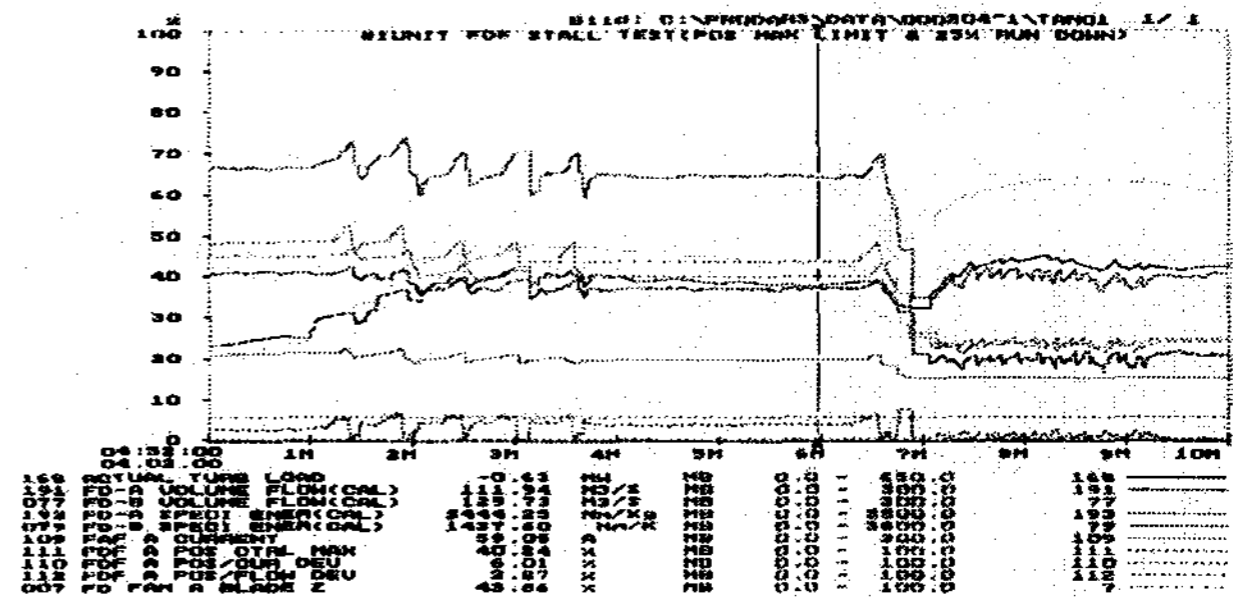


그림 6. Position Rundown 시험

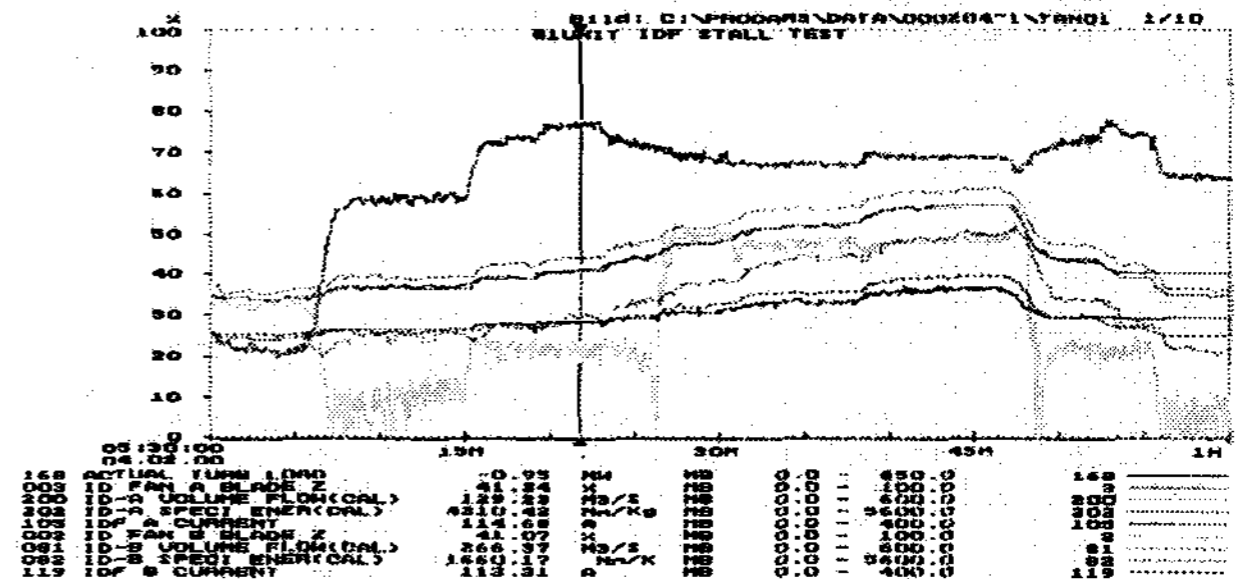


그림 7. ID Fan Stall 발생시 운전상황

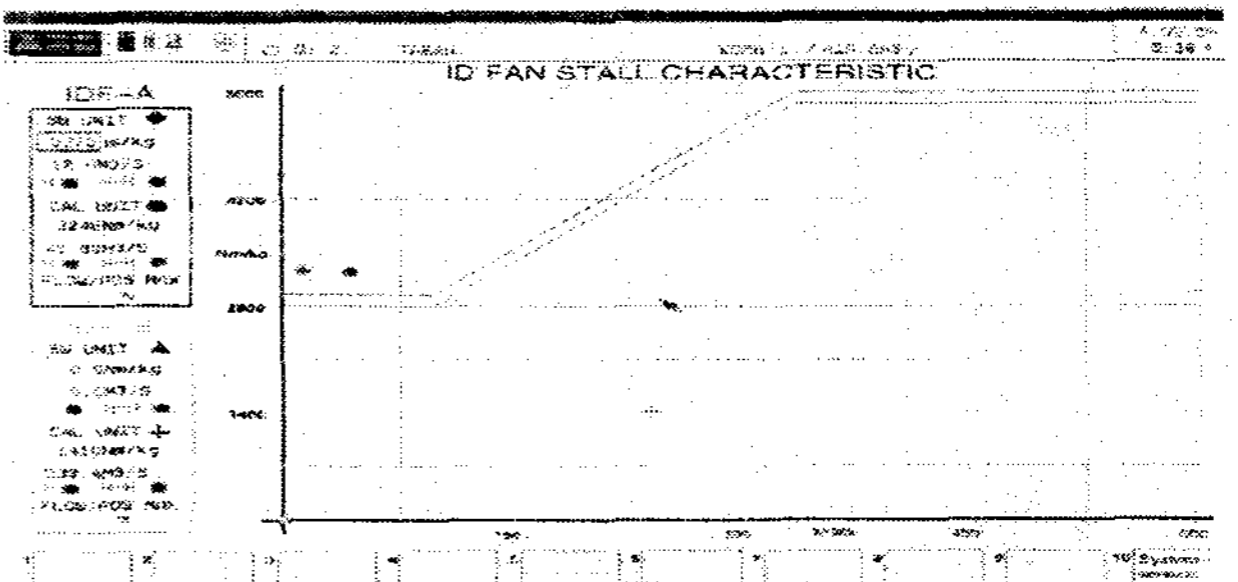


그림 8. Stall 발생시 Curve

참고문헌

- [1] Howard Kaufman, Izhak Bar-Kana and Kenneth Sobel, "Direct Adaptive Control Algorithms, Springer-Verlag, 1994.
- [2] B. C. Kuo, Automatic Control Systems, Prentice-Hall, 1991.
- [3] C. Canudas De Wit, N. Fixot, "Robot Control. Via Robust State Estimated Feedback," IEEE Trans, Automatic Control. Vol.36, No.12, pp.1497-1501, DEC, 1991.

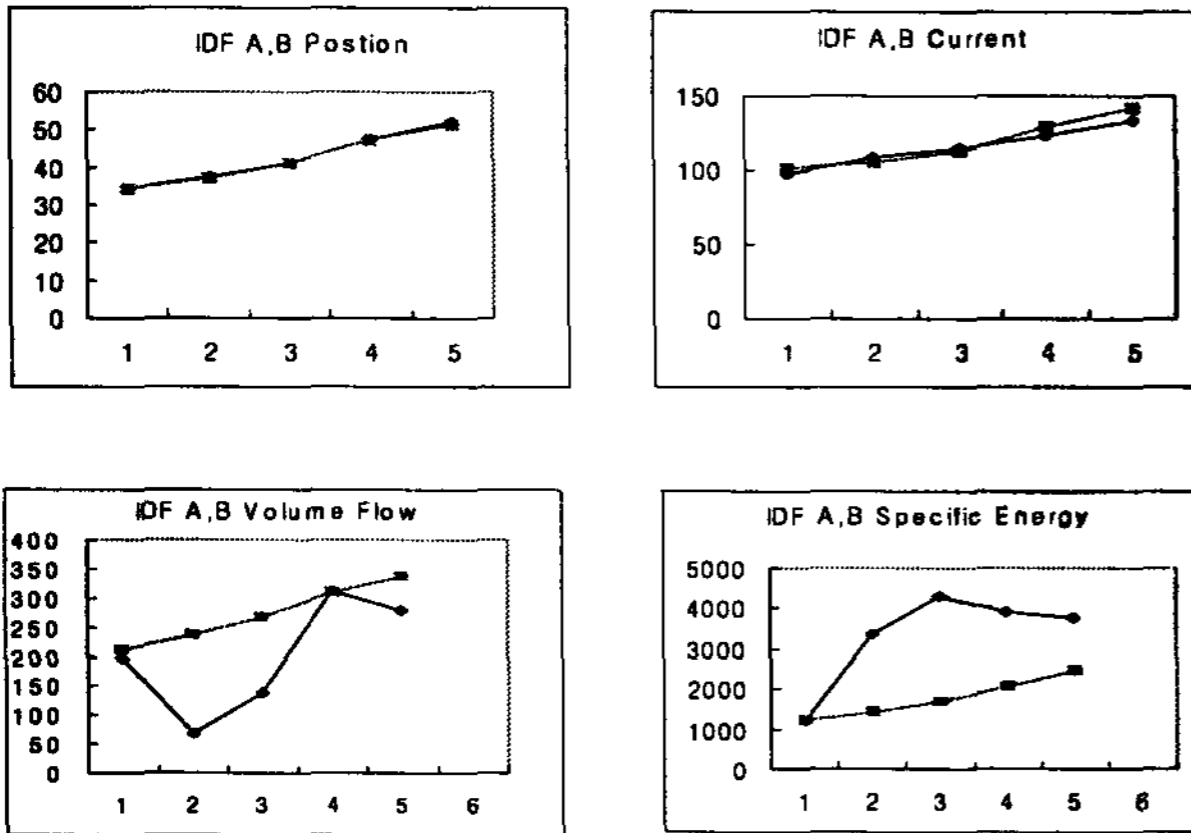


그림 9. ID Fan Stall 시험시 운전자료
(◆ : A Type, ■ : B Type)

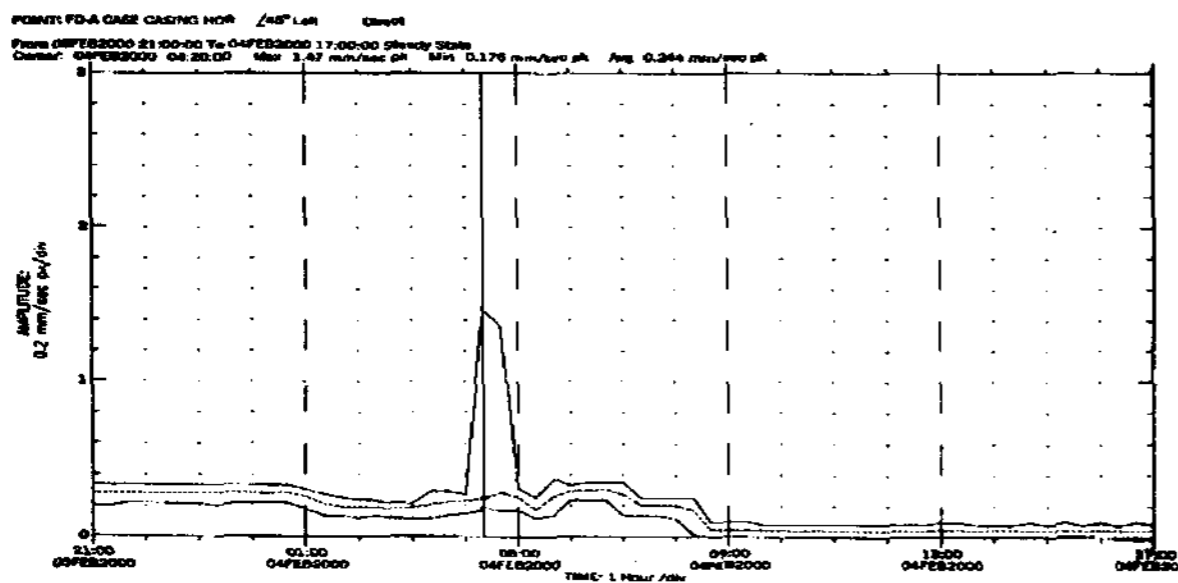


그림 10. ID Fan Brg Vib. Hor.

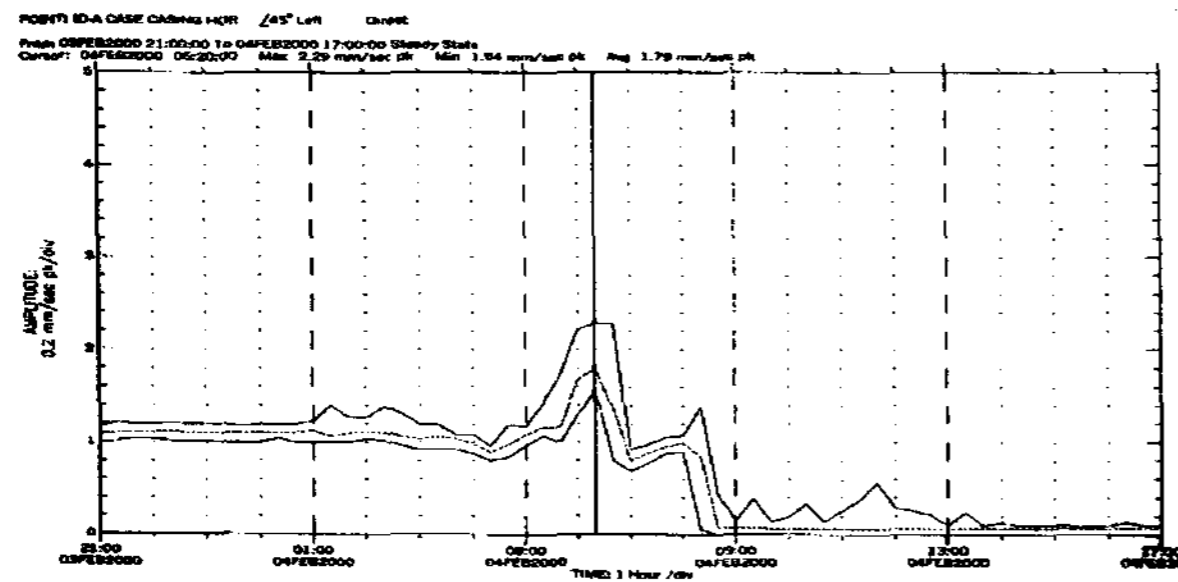


그림 11. ID Fan Brg Vib Ver.

4. 결 론

본 연구는 크게 회전날개의 진동해석, 선회실속시의 회전날개의 진동해석, 전 체계의 동력학적 해석, 그리고 회전축의 비틀림진동 및 선회진동의 제어로 나누어 수행하였다.

또한 각각의 연구에 대하여 수치해석과 실험을 병행하여 이론해석과 설정한 모델의 타당성을 검증하였다.