

송풍기 맥동 감시 장치 개발

조현섭^{1*}

Development of Fan Stall Warning Equipm4ent

Hyun-Seob Cho^{1*}

요 약 본 논문에서는 500MW급 대용량 보일러 통풍계통의 Fan Stall 감시장치는 Fan 이상 발생시 Fan을 보호하기 위하여 정지시키는 기능을 한다. 그러나 Fan Stall 감시장치의 빈번한 고장으로 신뢰성이 저하되고 운전에 영향을 미치므로 이것을 DCS(Distributed Control System) Logic으로 구성하여 신뢰성을 향상시켰다.

Abstract In this paper, The fan stall guard system of boiler airing system of the class of 500MW capacity to protect fan. But because confidence is loosed and operation is influenced by frequent fault of fan stall guard system, confidence is improved by substituting DCS Logic for it.

Key Words : Adaptive Control, Fan Stall Warning Unit, Distributed Control System

1. 서 론

신규 석탄화력에서 운용되고 있는 보일러의 축류형 Fan은 정상운전중 공기 예열기의 막힘이나 통풍계통의 댐퍼 닫힘등에 의하여 통풍 단면적이 감소 할 경우 Fan이 비정상상으로 운전되면서 Blade가 파손될 위험에 이르게 된다[1]. 축류형 Fan에는 이러한 비정상 운전을 방지하기 위하여 Stall 감시 장치가 설치되어 이상 발생시 Fan을 보호하기 위하여 정지시키지만 계측기의 빈번한 고장으로 인하여 정상 운전중 Fan의 불시정지를 초래하므로, 발전소 현장에서는 오동작을 방지하기 위하여 Fan Stall 보호기능을 제거하여 운전하고 있는 실정이다. Fan Stall 감시장치는 '93년 4월 국내 발전소에 처음 운전된 이후 현재까지 보일러 본체에 72대, 탈황설비에 28대등 총 100대가 설치, 운용되고 있다[2]. Fan Stall 감시장치는 고장시 제작사에서만 정비할 수 있도록 제작되어 국내 정비기술로는 유지정비가 곤란하여 빈번한 고장에 따른 제작사(외국) 반출 수리로 비용이 증가하고 소요기간의 장기화로 고장발생 기간동안 Fan을 보호할 수 없다[3]. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위하여 현장에 압력검출기를 신설하고 DCS Logic으로 회로를 구성하여 Stall 감시장치 고장에 의한 발전정지 또는 출력감소의 예방이

필요하다.

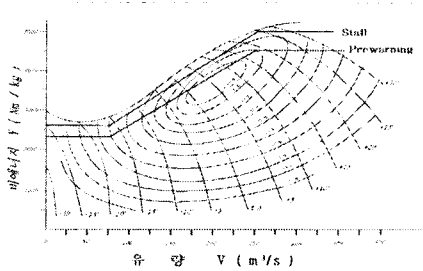
2. 본 론

일반적으로 유선형 날개에 있어서 유체의 유동방향과 날개의 각(영각, 迎角)이 증가하면 날개 주위에 회전유동이 일어나므로 양력이 증가하게 되나, 영각이 더욱 증가하면 날개 뒷면에 난동기류(亂動氣流)가 형성되어 날개 표면에서 공기유동이 박리되고, 영각이 더욱 증가하면 박리 위치는 점점 날개 표면 전체로 확산된다. 원심형 송풍기와는 달리 축류형 송풍기 운전시에는 Stall이라는 특수한 현상이 발생되는데, 이 현상은 송풍기가 과부하로 운전될 경우 발생하는 공기 역학적 현상이다. Stall은 항공기에서 사용하는 용어로서 항공기 운항시 비행속도에 맞는 적절한 날개각도(영각)를 유지해야 양력을 얻어 앞으로 추진하는데 속도에 따른 날개각도가 과도하게 많거나 적으면 날개 이면 또는 배면에 공기흐름이 박리되어 비행기가 갑자기 속도를 잃게 되며 이러한 현상을 Stall이라 한다. 특히 Stall은 송풍기 날개가 설계값 보다 더 많은 일을 하려고 할 경우 날개 주위에는 공기의 흠어짐이 발생하는데, 이러한 현상이 발생하게 되면 송풍기는

¹청운대학교 디지털방송공학과

*교신저자: 조현섭(chohs@chungwoon.ac.kr)

불안정하게 되고 정상운전 곡선에서는 더 이상 운전을 할 수 없게 된다. 그림 1과 같이 Flow의 흠어짐은 날개 상부면을 따라 급속히 확산되며 송풍기 날개가 Stall 상태에 있을 때 송풍기의 Flow와 Head는 급속히 감소된다.



[그림 1] Stall의 특성곡선

2.1 Stall 원인

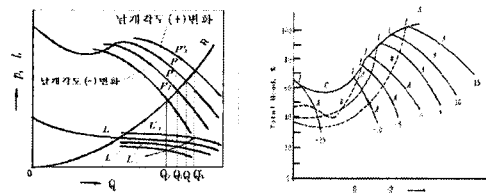
축류형 송풍기의 Stall 원인은 송풍기의 입구 또는 출구가 덤퍼나 Ash의 누적등으로 막혀 송풍기 동익의 개도 대비 유량의 흐름이 지나치게 적고 비 에너지가 커지는 경우에 발생하며 가장 큰 원인은 다음과 같다.

- ① 통풍덕트 내부 단면적 감소
- ② 공기에열기 소자에 Ash 누적등으로 Element 막힘
- ③ 배기가스 통로에 습한 Ash 누적으로 막힘
- ④ 전기집진기 내부 통로막힘
- ⑤ 제어카드 불량으로 Fan Pitch Blade가 과도하게 열림 등이 있다.

2.2 Stall 발생시 현상

그림 2와 같이 Fan Stall 발생시 현상으로는 첫째, 송풍기 내부가 공기흐름의 맥동에 의하여 부하가 크게 변동하므로 Stall 발생시 모터 전류변동은 필수적으로 나타나며 그 변동폭에 따라 Fan Blade에 어떤 영향을 미치는가 결정된다. 둘째, Fan Housing 진동이 발생하나 베어링 진동 감시설비에는 큰 변화가 나타나지 않는다. 셋째, Fan Stall 발생시 모터 전류와 함께 풍량 및 풍압이 매우 불안정하다. 넷째, Stall이 발생한 Fan의 부하가 감소하여 정상적인 Fan의 역할을 수행하지 못하므로 공기량 또는 노내압력을 유지하기 위하여 상대 Fan의 Pitch Blade 개도가 증가하고, 풍량 증가에 따라 전기집진기가 부분정지 되는 현상이 발생한다. 다섯째, Stall 발생에 의해 풍량 및 유속이 감소하여 공기예열기에서 열교환이 충분히 이루어지므로 공기예열기 출구 가스온도가 강하하는 반면 상대편 Fan의 풍량 및 유속은 증가하여 공기예열기에서 열교환 시간이 짧으므로 공기예열기 출구 가스온도는 증가

한다. 여섯째, Stall 발생측 Fan 풍량이 적은 상태에서 흔들리므로 노내압이 변동한다.



(a) 축류형 송풍기 특성도 (b) Stall 곡선

[그림 2] 축류형 송풍기의 Stall현상

3. 시스템 개발

3.1 시스템 개발 내용

Volume Flow 및 Specific Energy를 산출하기 위해 기존의 Unit를 제거하고 현장의 압력과 온도를 측정하여 DCS로 전송하고 DCS Logic에 의하여 감시, 제어되도록 개발되었으며, 현장 압력측정용 전송기를 신설하여 Fan의 운전상태를 감시할 수 있도록 하였고, 기존의 블랙박스형 Unit를 분석하여 분산제어설비의 프로그램으로 개발하였으며, 그림 3는 stall 감시장치의 기능을 도식적으로 표현하였으며 현장시험을 통하여 Stall 발생시 경보 발령 및 유량 자동조절기능을 확인하였다.

3.2 stall 산출

기체 상태 방정식은 식 1과 같다.

$$PV = mRT \tag{1}$$

여기서 m 은 기체의 질량, R 은 가스상수, P (Pascal)는 압력, T 는 절대온도를 나타낸다. 또한 이때 V 는 체적을 나타내며, 단위 질량의 기체에 대하여 비체적 $v = V/m$ 이므로 $Pv = RT$ 또는 $\rho = \frac{P}{RT}$ 로 표시된다. 따라서 $\rho = \frac{1}{v}$ 이다.

Fan 입구측 비중량 ρ_1 은 식 2와 같고 Fan 흡입측 비중량 ρ_2 는 식3과 같다.

$$\rho_1 = \frac{P_1 \times 100}{R(t_1 + 273.15)} \tag{2}$$

$$p_2 = \frac{(P_1 - P_1 - 2) \times 100}{R(t_1 + 273.15)} \quad (3)$$

유량 q는 식 4와 같고 풍량(Volume Flow) V는 식 5와 같다.

$$q = \alpha\beta \times A_2 \times \sqrt{200 \times P_1 - 2 \times r_2} \quad (4)$$

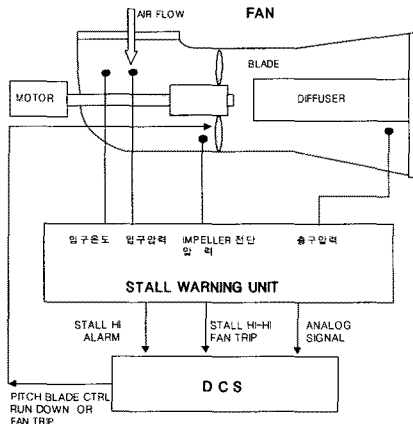
$$V = \frac{q}{r_1} \quad (5)$$

또한 비 에너지(Specific Energy)는 식 6과 같고 유량 계수 $\alpha\beta$ 는 식 7과 같다. 이때 각각의 요소는 다음과 같다.

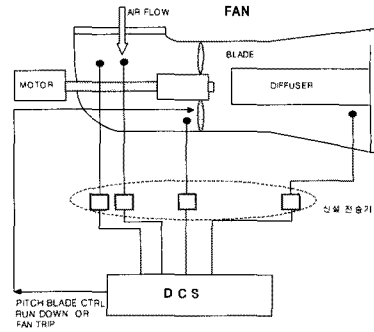
$$Y = P_1 - 3 \times 10.2 \times \left(\frac{9.81}{\rho_1} \right) \quad (6)$$

- 가. P : 대기압 (pascal)
- 나. P1 : Fan 입구측 압력 (pascal)
- 다. P2 : Fan 흡입측 압력 (pascal)
- 라. P3 : Fan 토출측 압력 (pascal)
- 마. t1 : Fan 입구측 온도 (°C)
- 바. ΔP_{1-2} : 입구측과 흡입측 차압 (pascal)
- 사. ΔP_{1-3} : 입구측과 토출측 차압 (pascal)
- 아. Fan 면적
 - A1 : Fan 입구측 단면적(m²)
 - A2 : Fan 흡입측 단면적(m²)
 - A3 : Fan 토출측 단면적(m²)
- 자. R : 가스정수

$$\alpha\beta = 0.99 \times \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2}} \quad (7)$$



(a) 개발전 System 구성도

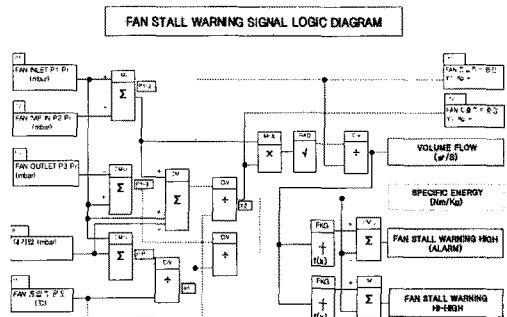


(b) 개발후 System 구성도

[그림 3] 시스템 구성도

3.3 개발 프로그램

프로그램은 실제 운전값을 수집하여 비교분석하였고 입력값의 과도한 변동에 의한 오동작을 최소화 하였다. 주요 개발프로그램은 산출공식 입력변환과 Volume Flow 및 Specific Energy Logic 그리고 Fan Protection Logic 및 Fan Stall 발생시 유량 자동조절기능을 개발하였으며 또한 압력검출기 고장대비 Logic을 개발하였다. 본 논문에서 사용된 Stall Warning System은 검출부, 연산부, 출력부로 크게 세 부분으로 구분된다. DCS 내부신호는 Digital신호로 처리되며 일부 산출연산기능이 없어 최종 단 출력신호 Range를 기준으로 주변수 신호의 변화량에 따른 비율로 산출하여 Logic을 구성하였으며 Fan Stall Warning Signal Logic Diagram은 그림 4과 같다.



[그림 4] Fan Stall Warning의 논리신호블럭도

4. Stall Warning Unit 시험결과

표준 석탄화력에 설치하여 운영중인 축류형 Fan Stall

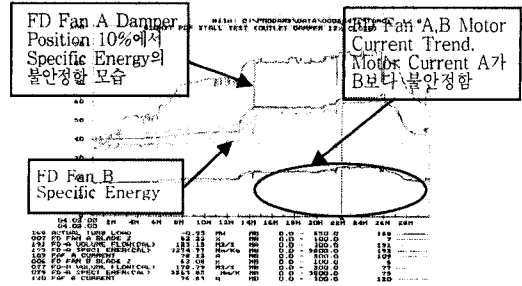
Warning Unit의 문제점을 개선, 보완하기 위하여 축류형 Fan Stall Warning System의 개발을 완료하고 시작품 성능을 확인하기 위하여 다음과 같은 시험을 실시하였다. 본 논문의 시험항목은 정지시 기존 Unit와 개발품 비교시험과 FD Fan 출구댐퍼를 닫아 Stall 발생시험 그리고 ID Fan 입구댐퍼를 닫아 Stall 발생시험 및 기동시 기존 Unit와 개발품을 비교 시험하였다.

4.1 시험조건

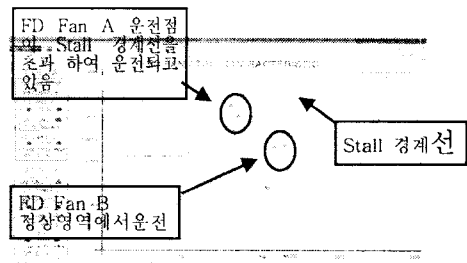
1. IDF(Induced Draft Fan) A Inlet Damper와 FDF(Forced Draft Fan) A Outlet Damper를 각각 수동조작으로 Fan Stall을 발생시켜 Blade 자동조절 상태와 경보취명 확인 및 기존 Stall Warning Unit와 변화추이를 비교하였다.
2. 보일러 정상운전 상태에서 시험할 경우, Fan Pitch Blade에 미칠 영향을 고려하여 보일러 소화후 FD(Forced Draft) Fan, ID(Induced Draft) Fan을 각각 2대씩 운전하고 PA(Primary Air) Fan은 정지상태에서 시험하였다.
3. 정상운전시의 조건과 유사하게 맞추기 위하여 FD Fan 및 ID Fan Pitch Blade 개도는 40%이상 Open 상태에서 자동 운전하여 시험하였다.
4. FD Fan, ID Fan 개도는 Stall 발생시 자동 Rundown 되도록 하기 위하여 자동상태로 놓고 Air Flow Control Mode를 수동으로 조작하였다.

4.2 Fan Stall 시험결과 분석

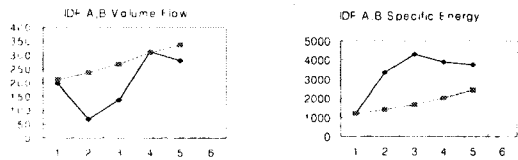
그림 5은 보일러 정지중 인위적으로 Stall을 발생시키기 위하여 시험한 결과이며 FD Fan Pitch Blade 개도 40%에서 자동운전 중 Fan출구 댐퍼를 단계적으로 닫았을 때 운전상태를 보여준다. Fan Pitch Blade는 Air Flow(Set : 60%)를 제어하기 위하여 댐퍼를 닫을 때마다 상승하였으며 댐퍼개도 15%~20% 사이에서 모터전류 상승과 함께 Blade개도 및 Specific Energy, Volume Flow가 상승하고 이후 순간적으로 불안정한 모습을 나타내었다. 즉, 댐퍼개도 15% ~ 20% 사이에서 1차적으로 Stall 이 발생하였으며 이후 댐퍼개도 10%가 되기까지 발생정도는 약했지만 Stall이 2회는 추가 발생하였고 계속적으로 불안정한 운전상태 보였다. 그림 6는 FD Stall발생시 특성곡선을 보여주며, 그림 7은 Fan Stall발생시 변화 추이를 보여준다.



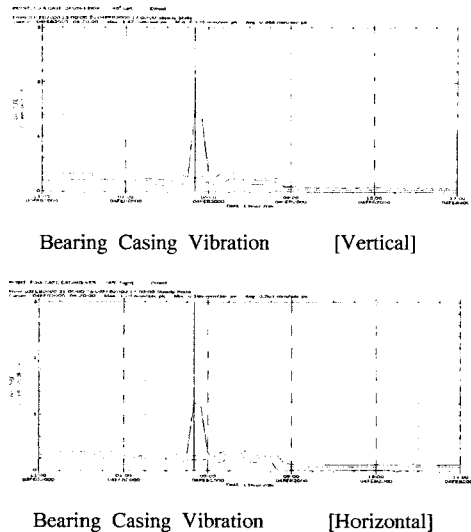
[그림 5] FD Fan Stall 시험 자료



[그림 6] FD Fan Stall 시험시 특성곡선



[그림 7] FD Fan Stall 시험시 변화추이



[그림 8] Brg Casing 진동

그림 8의 Fan Stall 발생시 Fan Bearing Casing Vibration은 증가하였으나 크기가 작았는데 이는 Housing Vibration과 Bearing Vibration이 실제 큰 차이가 나는 것을 알 수 있다.

Fan Stall이 발생하면 Fan Housing에 진동이 발생하고 Stall이 심하면 Surging으로 천이되어 Fan 기초가 흔들릴 정도의 매우 불안한 상황을 초래하게 된다. 따라서 Fan Stall Test시에는 Fan Housing에 Vibration Monitor를 설치하여 Stall 발생 정도와 Vibration과의 상관관계를 정립해야 한다. 현재의 Stall Protection은 Stall이 완만하게 발생하였을 경우에 유효하며, Fan 입출구의 완전 차단 등 최악의 경우를 대비하여 Vibration 신호를 Protection에 직접 삽입하여 Stall의 급격한 발생시 Fan을 정지하는 등 추가적인 기능이 있어야 하겠다.

5. 결 론

Fan Stall은 유체역학적인 요소로써, 발생원인과 발생시 나타나는 문제점을 도출하여 시스템을 안정적으로 운용하는데 초점을 맞추어 개발하였다.

본 시스템을 개발하여 첫째, 발전정지 및 출력감소의 원인을 제거하였고 범용 계측기를 이용하여 유지관리의 용이 등 많은 효과가 있으나 무엇보다도 Fan 보호기능을 정상화하여 설비의 신뢰도를 향상시킨 것이 가장 큰 효과라 할 수 있다.

참고문헌

[1] 최덕철 “축류형 송풍기 운전특성”, 기술회보, 35권, 1999

[2] 태안화력 “Stall 발생보고서”, 1997

[3] 보령화력 “Stall 발생보고서”, 1993

[4] Howard Kaufman, Izhak Bar-Kana and Kenneth Sobel, "Direct Adaptive Control Algorithms, Springer-Verlag, 1994.

[5] B. C. Kuo, *Automatic Control Systems*, Prentice-Hall, 1991

[6] 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.

[7] Robert H. Bishop, *Modern Control Systems Analysis and Design Using MATLAB*, Addison-Wesley Publishing Company

[8] Peter Norten, "C++ Programming", 1993

[9] S. R. Ahuja, et al., "The Rapport Multimedia Conferencing System: A Software Overview", *Proc. of 2nd IEEE Conference on Computer Workstations*, pp.52-58, March, 1988.

[10] W. Reinhard et al., "CSCW Tools: Concepts and Architecture", *IEEE Computer*, Vol. 27, No. 5, pp.28-36, May, 1994.

조 현 섭(Hyun-Seob Cho)

[종신회원]



- 1990.2 원광대학교 공과대학 전기공학과 졸업
- 1992.2 원광대학교 공과대학 전기공학과(석사)
- 1996.2 원광대학교 공과대학 전기공학과(박사)
- 1996.1~1997.6 Department of Electrical and Computer Engineering, University of California Irvine(UCI) 연구원
- 1998.1~현재 한국전력기술인협회 고급감리원(전력감리)
- 1998.10~현재 중소기업청 기술경쟁력 평가위원
- 1997.3~현재 청운대학교 부교수

<관심분야>
전기공학, 공장자동화, 응용전자