

화력발전용 보일러의 맥동 측정 장치

조현섭^{1*}

¹청운대학교 공과대학 전자공학과

Apparatus for Measuring Fan Stall of Boiler for Power Station

Hyun-Seob Cho^{1*}

¹Department of Electronics Engineering Chungwoon University

요 약 본 논문에서는 석탄화력 발전소의 보일러에서 통풍계통의 맥동을 실시간으로 측정할 수 있는 장치에 관한 것이다. 500MW급 대용량 보일러 통풍계통의 맥동 감시장치는 팬 이상 발생시 팬을 보호하기 위하여 정지시키는 기능을 한다. 그러나 맥동 감시 장치의 빈번한 고장으로 신뢰성이 저하되고 운전에 영향을 미치므로 이것을 DCS(Distributed Control System) 로직으로 구성하여 신뢰성을 향상시켰다.

Abstract In this paper, in the ventilation system of coal-fired power boilers can measure in real time the fan stall mechanism is all about. 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, Power Station, Fan Stall Warning Unit, Distributed Control System

1. 서 론

화력발전의 주요 설비 중 화석 연료를 조금 더 효과적으로 산화시켜 발전 효율을 높이기 위해 산화 과정 중에 공기를 공급하는 공급기로서 축류형 송풍기를 이용하고 있다. 신규 석탄화력에서 운용되고 있는 보일러의 축류형 팬은 정상 운전중 공기 예열기의 막힘이나 통풍계통의 댐퍼 닫힘등에 의하여 통풍 단면적이 감소 할 경우 팬이 비정상적으로 운전되면서 블러드가 파손될 위험에 이르게 된다[1]. 축류형 팬에는 이러한 비정상 운전을 방지하기 위하여 맥동 감시 장치가 설치되어 이상 발생시 팬을 보호하기 위하여 정지시키지만 계측기의 빈번한 고장으로 인하여 정상 운전중 팬의 불시정지를 초래하므로, 발전소 현장에서는 오동작을 방지하기 위하여 맥동 보호기능을 제거하여 운전하고 있는 실정이다. 맥동 감시장치는 '93년 4월 국내 발전소에 처음 운전된 이후 현재까지 보일러 본체에 72대, 탈황설비에 28대등 총 100대가 설치, 운용

되고 있다[2,3]. 맥동 감시장치는 고장시 제작사에서만 정비할 수 있도록 제작되어 국내 정비기술로는 유지정비가 곤란하여 빈번한 고장에 따른 제작사(외국) 반출 수리로 비용이 증가하고 소요기간의 장기화로 고장발생 기간동안 팬을 보호할 수 없다[3]. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위하여 현장에 압력감출기를 신설하고 DCS 로직으로 회로를 구성하여 맥동 감시장치 고장에 의한 발전정지 또는 출력감소의 예방이 필요하다.

일반적으로 유선형 날개에 있어서 유체의 유동방향과 날개의 각(영각, 迎角)이 증가하면 날개 주위에 회전유동이 일어나므로 양력이 증가하게 되나, 영각이 더욱 증가하면 날개 윗면에 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 맥동이라는 특수한 현상이 발생되는데, 이 현상은 송풍기가 과부하로 운전될 경우 발생하는 공기 역학적 현상이다[4,5]. 맥동은

본 논문은 청운대학교 2013년도 학술연구조성비 지원에 의해 수행되었음.

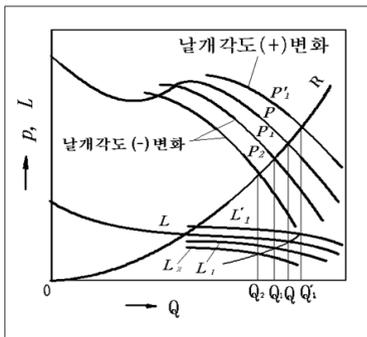
*Corresponding Author : Hyun-Seob Cho(Chungwoon University)

Tel : +82-32-770-8224 e-mail: chohs@chungwoon.ac.kr

Received January 20, 2014 Revised February 17, 2014

Accepted March 6, 2014

항공기에서 사용하는 용어로서 항공기 운항시 비행속도에 맞는 적절한 날개각도를 유지해야 양력을 얻어 앞으로 추진하는데 속도에 따른 날개각도가 과도하게 많거나 적으면 날개 이면 또는 배면에 공기흐름이 박리되어 비행기가 갑자기 속도를 잃게 되며 이러한 현상을 맥동이라 한다. 특히 맥동은 송풍기 날개가 설계값 보다 더 많은 일을 하려고 할 경우 날개 주위에는 공기의 흠어짐이 발생하는데, 이러한 현상이 발생하게 되면 송풍기는 불안정하게 되고 정상운전 곡선에서는 더 이상 운전을 할 수 없게 된다[6,7]. Fig.1과 같이 플로우의 흠어짐은 날개 상부면을 따라 급속히 확산되며 송풍기 날개가 맥동 상태에 있을 때 송풍기의 플로우와 헤드는 급속히 감소된다.

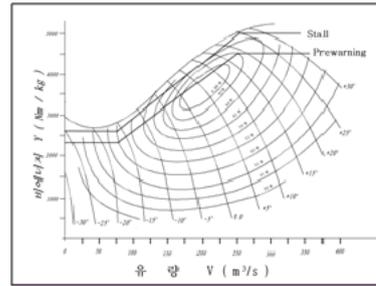


[Fig. 1] Fan Stall characteristics curve

3. 시스템 개발

Fig. 2와 같이 맥동 발생시 현상으로는 첫째, 송풍기 내부가 공기흐름의 맥동에 의하여 부하가 크게 변동하므로 맥동 발생시 모터 전류변동은 필수적으로 나타나며 그 변동폭에 따라 팬 Blade에 어떤 영향을 미치는가 결정된다. 둘째, 팬 하우징 진동이 발생하나 베어링 진동 감시 설비에는 큰 변화가 나타나지 않는다. 셋째, 팬 맥동 발생시 모터 전류와 함께 풍량 및 풍압이 매우 불안정하다. 넷째, 맥동이 발생한 팬의 부하가 감소하여 정상적인 팬의 역할을 수행하지 못하므로 공기량 또는 노내압력을 유지하기 위하여 상대 팬의 피치 블레이드 개도가 증가하고, 풍량 증가에 따라 전기집진기가 부분정지되는 현상이 발생한다. 다섯째, 맥동 발생에 의해 풍량 및 유속이 감소하여 공기에열기에서 열교환이 충분히 이루어지므로 공기에열기 출구 가스온도가 강하하는 반면 상대편 팬의 풍량 및 유속은 증가하여 공기에열기에서 열교환 시간이 짧으므로 공기에열기 출구 가스온도는 증가한다. 여섯째, 맥동 발생측 팬 풍량이 적은 상태에서 흔들리므로 노내

압이 변동한다.



[Fig. 2] Axial-flow-type blower of Stall phenomenon

블롭흐름 및 특정한 에너지를 산출하기 위해 기존의 유닛을 제거하고 현장의 압력과 온도를 측정하여 DCS로 전송하고 DCS 로직에 의하여 감시, 제어되도록 개발되었으며, 현장 압력측정용 전송기를 신설하여 팬의 운전상태를 감시할 수 있도록 하였고, 기존의 블랙박스형 유닛을 분석하여 분산제어설비의 프로그램으로 개발하였으며 맥동감시장치의 기능을 도식적으로 표현하였으며 현장시험을 통하여 맥동 발생시 경보발령 및 유량 자동조절기능을 확인하였다.

맥동 산출을 위한 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

$$v = V/m \text{ 이므로 } Pv = RT \text{ 또는 } \rho = \frac{P}{RT} \text{ 로}$$

표시된다. 따라서 $\rho = \frac{1}{v}$ 이다.

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

$$\rho_1 = \frac{P1 \times 100}{R(t1 + 273.15)} \tag{2}$$

$$\rho_2 = \frac{(P1 - P1 - 2) \times 100}{R(t1 + 273.15)} \tag{3}$$

유량 q 는 식 4와 같고 풍량(Volume Flow) V 는 식 5와 같다.

$$q = \alpha \beta \times A2 \times \sqrt{200 \times P1 - 2 \times \gamma 2} \tag{4}$$

$$v = \frac{q}{r1} \tag{5}$$

또한 비 에너지(Specific Energy)는 식 6과 같고 유량 계수 α β 는 식 7과 같다. 이때 각각의 요소는 다음과 같다[8-9].

$$Y = P1-3 \times 10.2 \times \left(\frac{9.81}{\rho 1} \right) \tag{6}$$

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

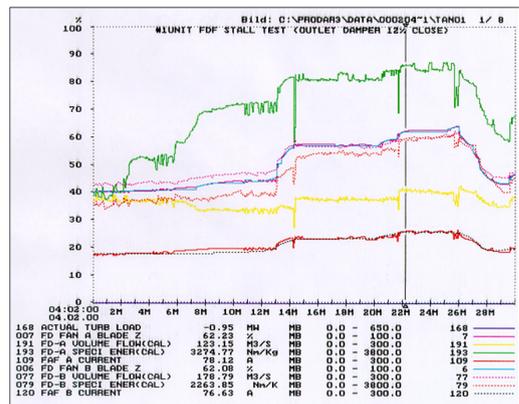
$$\alpha \beta = 0.99 \times \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{A2}{A1} \right)^2}} \tag{7}$$

프로그램은 실제 운전값을 수집하여 비교분석하였고 입력값의 과도한 변동에 의한 오동작을 최소화 하였다. 주요 개발프로그램은 산출공식 입력변환과 볼륨 플로우 및 특정 에너지 로직 그리고 팬 보호로직 및 팬 맥동 발생시 유량 자동조절기능을 개발하였으며 또한 압력검출기 고장대비 로직을 개발하였다. 맥동 경고시스템은 검출부, 연산부, 출력부로 크게 세 부분으로 구분된다. DCS 내부신호는 디지털 신호로 처리되며 일부 산술연산기능이 없어 최종단 출력신호 범위를 기준으로 주변수 신호의 변화량에 따른 비율로 산출하여 로직을 구성하였다.

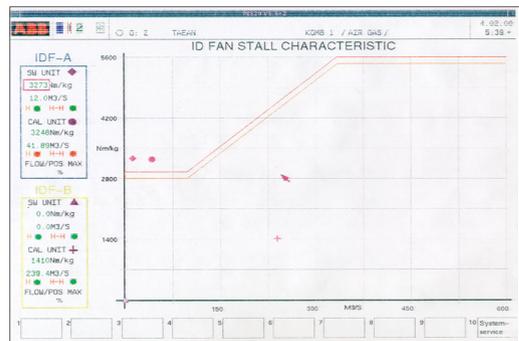
4. Stall Warning Unit 시험결과

표준 석탄화력에 설치하여 운영중인 축류형 팬 맥동 경고 유닛의 문제점을 개선, 보완하기 위하여 축류형 팬 맥동 경고 시스템의 개발을 완료하고 시작품 성능을 확인하기 위하여 다음과 같은 시험을 실시하였다. 시험항목은 정지시 기준 유닛과 개발품 비교시험과 FD 팬 출구댐퍼를 닫아 맥동 발생시험 그리고 ID 팬 입구댐퍼를 닫아 맥동 발생시험 및 기동시 기준 유닛과 개발품을 비교 시

험하였다. Fig. 3은 보일러 정지중 인위적으로 맥동을 발생시키기 위하여 시험한 결과이며 FD 팬 피치블레이드 개도 40%에서 자동운전 중 팬출구 댐퍼를 단계적으로 닫았을 때 운전상태를 보여준다. 팬 피치블레이드는 에어 플로어(Set : 60%)를 제어하기 위하여 댐퍼를 닫을 때마다 상승하였으며 댐퍼개도 15%~20% 사이에서 모터전류 상승과 함께 블레이드개도 및 특정에너지, 볼륨흐름이 상승하고 이후 순간적으로 불안정한 모습을 나타내었다. 즉, 댐퍼개도 15% ~ 20% 사이에서 1차적으로 맥동 이 발생하였으며 이후 댐퍼개도 10%가 되기까지 발생정도는 약했지만 맥동이 2회는 추가 발생하였고 계속적으로 불안정한 운전상태 보였다. Fig. 4는 FD 맥동발생시 특정 곡선을 보여준다.



[Fig. 3] FD Fan Stall testing data



[Fig. 4] FD Fan Stall test characteristic curve

팬 맥동이 발생하면 팬 하우징에 진동이 발생하고 맥동이 심하면 서징으로 천이되어 팬 기초가 흔들릴 정도의 매우 불안한 상황을 초래하게 된다. 따라서 팬 맥동 시험시에는 팬 하우징에 진동모니터를 설치하여 맥동 발생 정도와 진동과의 상관관계를 정립해야 한다. 현재의 맥동 보호는 맥동이 완만하게 발생하였을 경우에 유효하

며, 팬 입출구의 완전 차단등 최악의 경우를 대비하여 진동 신호를 보호에 직접 삽입하여 맥동의 급격한 발생시 팬을 정지하는등 추가적인 기능이 있어야 하겠다.

5. 결 론

맥동 경보 발생과 함께 송풍기의 날개는 25[%]까지 닫혔고, 운전 상황은 송풍기 날개의 위치와 전동기 전류는 FD 송풍기와 ID 송풍기 모두 직선에 가깝게 증가하는 현상으로 큰 편차가 발생하지 않았다. 풍량과 진동은 맥동 발생시 가장 크게 나타났고, FD 송풍기 A는 흡입된 공기가 출구에 집중되므로 풍압이 증가하였으며, ID 송풍기 A는 큰 편차가 발생되면서 풍량과 비례하지 않는 현상을 나타냈다. 운전점은 평소상태에서는 기존 시스템과 개발한 로직제어 회로 시스템과 큰 차이가 없었지만, 맥동 발생시 개발한 로직제어 회로 시스템의 운전점이 2차 운전한계점에 가깝게 운전되었다. 이러한 결과로 볼 때 개발한 제어로직 회로 시스템이 기존 시스템보다 통풍계통을 안정적으로 운전하는 것을 확인하였다.

Conferecing System: A Software Overviews", Proc. of 2nd IEEE Conference on Computer Workstations, pp.52-58, March, 1988.

조 현 섭(Hyun-Seob Cho)

[중심회원]



- 1992년 2월 : 원광대학교 대학원 전기공학과(공학석사)
- 1996년 2월 : 원광대학교 대학원 전기공학과(공학박사)
- 1996년 1월 ~ 1997년 1월 : Department of Electrical and Computer Engineering, University of California Irvine(UCI) 연구원
- 1998년 1월 ~ 현재 : 한국전력기술인협회 고급감리원 (전력감리)
- 1998년 10월 ~ 현재 : 중소기업청 기술경쟁력 평가위원
- 1997년 3월 ~ 현재 : 청운대학교 교수

<관심분야>
전기공학, 공장자동화, 응용전자

References

[1] H.Hartwig and J. S. Koupsidis, J. Vac. Sci. Technol., 11, 1154 (1974)

[2] Choi duk-Chul "Axial-flow-type blower operation attribute", Technology newsletter, Vol 35, 1999

[3] Taeam firepower "Fan Stall Occurrence reports", 1997

[4] Boryeong firepower "Fan Stall Occurrence reports", 1993

[5] D. M. Hoffman et.al ed., Handbook of Vacuum Science and Technology, ACADEMIC PRESS,1998

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

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

[8] 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.

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

[10] S. R. Ahuja, et al., "The Rapport Multimedia