

보일러 압입통풍기용 인버터 적용기술

임익현*, 김봉석*, 류호선*, 이주현*, 황영하**
전력연구원*, 한국서부발전**

The Application of Variable Frequency Drive for Forced Draft Fan

Ick-Hun Lim*, Bong-Suck Kim*, Ho-Seon Ryu*, Joo-Hyun Lee*, Young-Ha Whang**
KEPRI*, EWP**

Abstract - 본 논문에서는 평택화력 제2호기 FDF (Forced Draft Fan : 압입송풍기, 이하 FDF) 출구의 공기량제어를 Vane Control 시스템으로 구성되어 있는 것을 구동 유도전동기에 가변속 제어시스템(이하 VFD: Variable Frequency Drive)으로 교체하여 발생한 실험결과를 보여준다. VFD는 Vane을 全開하고 전동기 속도를 변경시켜 연소에 필요한 노내 공기량을 제어하는 방식이다. VFD 운전은 정속도 Vane 개도 운전에 비해 Throttle Loss를 최소화해서 에너지 절감효과는 크지만 간단한 Vane 제어기에 비해 복잡한 전력전자제어시스템이 어우러진 기기로 신뢰도는 떨어지는 것이 사실이다. 따라서 고도의 신뢰성이 요구되는 전력생산 보일러에서 후비보호책으로 VFD 고장 시에 Vane제어 모드로 전환은 필연적으로 필요한 설비이다. VFD에서 Vane으로 전환 시에 일어나는 과도상태를 최소화하기 위해서는 보일러 연소제어 알고리즘의 최적화가 필요하다. 본 논문에서는 구현된 제어알고리즘을 정리한 것이다.

1. 서 론

부존자원이 부족한 우리나라에서 에너지 절약을 위한 노력은 필수적이다. 특히 대단위 산업용 보일러나 화력 발전소와 같이 대량의 에너지가 변환되는 곳에서는 이에 대한 시도가 더욱 중요하다고 할 수 있다. 보일러의 운전에 있어서 FDF는 운전 성능 및 안정도에 큰 영향을 미치는 동시에 에너지 소비량이 많기 때문에 발전소 내 소비율의 큰 부분을 차지하고 있다. 이들 팬의 유량제어에는 Vane 개도 방식을 많이 사용하고 있으나 스로틀 손실(Throttle Loss)이 발생하여 경 부하에서 효율이 급격히 떨어진다. 이러한 손실을 회수하여 효율상승을 꾀하기 위하여 유도전동기 속도 제어가 채용되는 추세에 있다. 국내의 경우에도 소형 산업용 보일러의 경우에는 적용되기 시작하고 있으며 대용량에의 적용이 시급한 시점에서 평택화력 제2호기에 채용하기 위한 시도는 매우 시기 적절했다고 볼 수 있다. VFD의 적용은 에너지 절감을 위한 것이기 때문에 무엇보다도 먼저 경제성에 대한 검토가 우선되어야 한다. 즉 장치가 비교적 고가이기 때문에 설치 이전에 운전패턴에 따른 투자 회수 기간 등의 사항을 고려하여야 한다. 또한 기존 발전소에 설치되는 경우에는 기존의 Vane 제어시스템과의 결합이 중요한 문제로 대두되며 기존 Vane 제어보다 성능 및 신뢰성이 개선되어야 한다.

이러한 측면에서 본 연구는 평택화력 제2호기 FDF 출구의 공기량제어를 Vane 제어 시스템으로 구성되어 있는 것을 구동 유도전동기에 VFD 제어 시스템과의 병렬 운전이 가능하게 하였다. 기존의 FDF Vane 모드에서의 개폐 및 반응속도를 인버터의 가속/감속 시간을 전동기 및 팬의 관성모멘트를 고려하여 VFD 모드 제어 시의 풍량 조절의 대응이 가능하도록 하였다. 전력연구원은

VFD 적용 시 보일러 자동연소제어시스템(ABC : Automatic Boiler Control)의 공기량 제어 알고리즘 로직과 VFD 자동제어 알고리즘의 연계 타당성을 검토하고, 검토된 제어 로직을 실증 적용 후 시운전 결과를 정리한다.

2. 본 론

2.1 보일러 연소제어 로직 변경

기존의 평택화력 제2호기 FDF 출구의 공기량 제어를 Vane Control 시스템으로 구성되어 있다. 에너지 절감을 목적으로 구동 유도전동기에 VFD 제어 시스템으로 교체하는데 있어서 보일러 연소제어 로직 변경에서 기술적으로 주안점을 두고 검토한 사항은 다음과 같다.

- (1) 정상적인 VFD 2대 운전 중에 FDF Inlet Vane의 개도 위치는 어디에 있어야 하며, VFD의 고장이 나 운전원 선택에 의해서 Vane Mode로 전환 시에 최소의 Air Flow Hunting으로 Bumpless하게 Mode 전환이 일어나게 하도록 제어신호들의 Tracking을 정확히 구현 하는 문제.
- (2) VFD Mode 운전 시에 Seal Air Pressure를 유지하는 제어 로직을 어떻게 구현할 것인가 하는 문제.
- (3) VFD Mode 또는 Vane Mode에서 운전 중에 어떤 이유로 Boiler Air Flow Control을 자동 Mode에서 수동 Mode로 또는 수동 Mode에서 자동 Mode로 절체(절환)하였을 때 제어성이 건전할 수 있는가 하는 문제.
- (4) VFD Mode 운전 중에 VFD가 고장이 나서 Vane Mode로 절체 후 VFD가 정상운전이 가능할 때 다시 VFD Mode 로 절체가 가능한가 하는 문제.

그림 1은 Vane 상위 제어기에 로직에 VFD 로직을 추가한 것이다. 그림 1에서 Vane 상위제어기의 역할은 PID(비례,적분, 미분) 제어기의 역할과 선택기의 역할을 동시에 수행한다. 실측 공기의 양과 공기량 설정치의 차를 구하고 이를 비례, 적분한다. 여기서는 Vane 모드 또는 VFD 모드에 상관없이 PID 제어를 수행한다. 선택기 T에서는 함수발생기 출력이나 Vane DMD 평균값 중에 하나를 선택한다. FDF 2대 모두 VFD 운전일 때는 F(x) 출력이 선택된다. VFD운전에서 Vane으로 절환 할 때를 대비하여 Vane 제어기는 함수발생기 F(x) (Function Generator)를 통해 VFD Demand에 맞는 Vane Demand를 항상 Tracking 해야 한다.

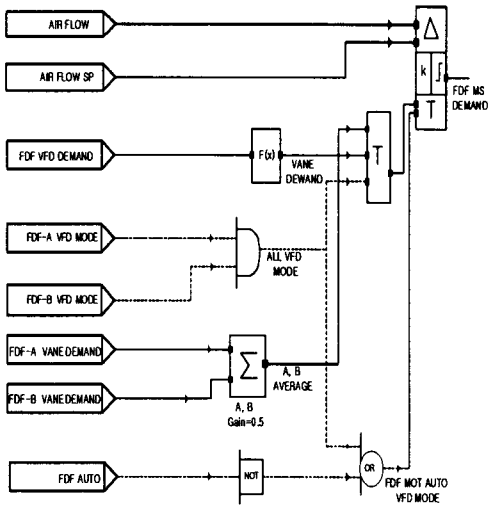


그림 1. 기존 Vane 로직에 추가된 VFD 로직

또한 Runback이 발생할 경우 Vane 상위제어기는 PID 동작을 빠르게 해주어서 대처해야한다.

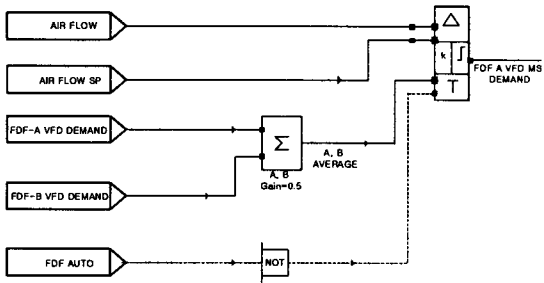


그림 2. VFD 상위 제어기

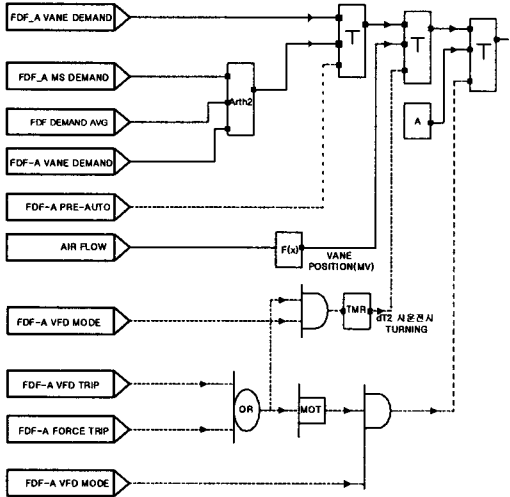


그림 3. Bumpless 회로

그림 2는 VFD 모드 상위 제어기이다. Vane과 VFD 상위 제어기를 별도로 두는 이유는 각 운전 모드별로 운전특성이 다르며, 2개의 FDF에 각각 모드가 상이한 방

식, 즉 1대는 VFD, 나머지는 Vane 모드 운전이 될 수도 있기 때문이다. VFD의 가속, 감속시간을 고려할 때 PID의 상수 값은 기존 Vane 상위제어기보다 10%정도 빠르게 설정을 한다. Vane 상위제어기와 마찬가지로 VFD 상위제어기의 역할은 PID 제어기의 역할과 선택기의 역할을 동시에 수행한다. 또한 Runback이 발생할 경우 Vane 상위제어기는 PID 동작을 빠르게 해주어서 대처해야한다. 그림 3은 Bumpless 회로이다. 정상적인 VFD 2대 운전 중에 FDF Inlet Vane의 개도 위치(Vane Position Demand) MV(Manipulate Value)를 Air Flow와 Vane의 개도위치 관계인 함수발생기 F(x) (Function Generator)를 통해 검출한다. 타이머 TMR에 의해 설정된 20초(과도상태 시간) 동안에는 Vane의 개도 위치 MV를 Tracking 한다. PID 제어를 잠시 중단하고 프로그램 제어가 행해진다. 최소의 Air Flow Hunting으로 Bumpless하게 모드 전환이 되게 한다.

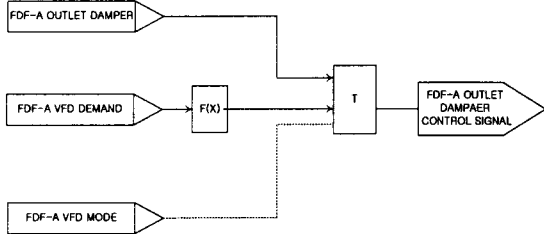


그림 4. Seal 공기압 제어 로직

그림 4는 Seal 공기압을 제어하기 위한 로직이다. 노내 압력이 正壓인 증류전소 보일러에서는 노내 감시 계측기 등에 노내 압력 이상의 냉각공기가 필요한데 이 공기는 FDF 출구에서 취하거나 별도의 송풍기를 사용한다. 평택화력은 FDF 출구에서 출구 댐퍼 개도를 조절해서 이 공기를 확보한다. 따라서 가변속 모드에서도 출구 댐퍼의 개도를 조정해서 Seal 공기압을 유지한다. 그림 4와 같이 VFD 모드에서도 Seal 공기압을 제어하기 위한 회로를 추가하였다. Vane Position DMD 신호를 프로그램[F(X)]에서 출구댐퍼 개도를 유지한다.

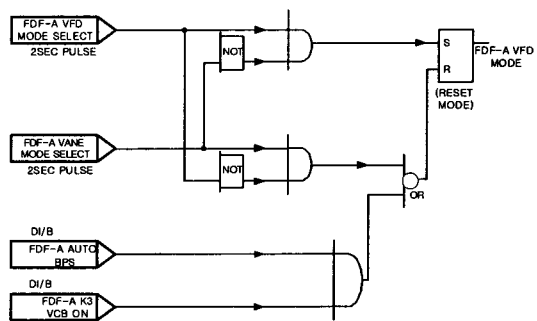


그림 5. VFD / Vane 모드 선택 로직

그림 5는 VFD / Vane 모드 선택 로직이다. 이 로직의 역할은 운전원이 VFD 모드와 Vane 모드 중 하나를 선택할 수 있으며, VFD 고장시 Vane으로 Bypass가 가능하게 해주는 로직이다. 운전원은 조작버튼을 이용하여 VFD 모드 또는 Vane 모드를 선택할 수 있다. 운전원

이 VFD 운전을 선택해서 S-R 플립프롭의 출력 Q가 1 일 때, 즉 VFD 운전을 하는 중에 운전원이 Vane 모드를 선택하거나 어떤 이유로 Bypass 모드가 되면 S-R 플립프롭을 리셋시켜, 즉 출력 Q가 0이 되어 Vane 모드로 동작을 하게 된다. 즉, 위의 로직에서 S-R 플립프롭의 출력 Q가 1이면 VFD 모드 운전을 하고 출력 Q가 0이면 Vane 모드 운전을 한다.

2.2 VFD 고장에 대비한 By-pass 운전

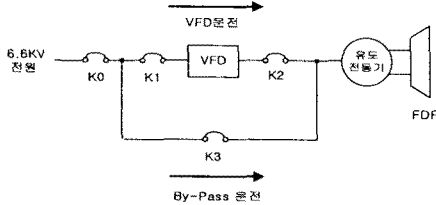


그림 6. By-Pass(Vane 모드) 절환 시스템 구성도

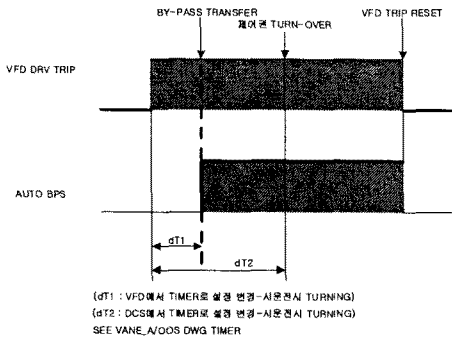


그림 7. By-Pass 모드 절환 시간 선도

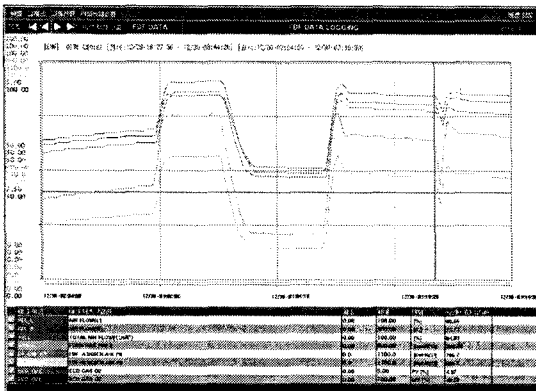


그림 8. By-Pass 시험결과

VFD에서 By-Pass Mode란 VFD가 고장발생시 전동기의 잔류전압 소멸 후에 전동기를 전 전압 직입기동해서 Vane Mode로 운전하는 것을 말한다. 그림6에서 차단기 K1, K2를 개방하고 일정시간 후 K3를 투입하는 것이다.

VFD 운전 시에는 K0, K1, K2를 투입이고, K3는 개방이다. By-Pass운전 시에는 K0, K3 투입 그리고 K1, K2 개방이 된다. 그림 7은 Auto By-Pass Timing Diagram이다. VFD에 trip이 발생하면 전동기에 무리를 주지 않고 전원 절환 시 풍량 변동을 최소화하기 위해 dT1의 시간 후에 Vane으로 Bypass 하게 된다. 우선 전동기에 무

리를 주지 않기 위해서는 전동기에 잔류전압이 소멸된 후에 전압이 인가되어야 한다. 일반적으로 가변속 운전일 경우 60Hz 이하에서 운전되며 이 경우 잔류전압과 전원의 위상이 일치하지 않기 때문에 전동기 기동시보다 몇 배의 과도한 전류가 흐를 수 있으므로 이를 방지하기 위하여 잔류전압이 소거되는 시간 dT1을 시운전을 통해 확인한 결과 8초가 소요됐다. dT1의 구간동안 전동기에 전원이 공급되지 않기 때문에 전동기는 전동기와 팬의 관성과 마찰에 의해 Free Run 하게 되며, 이때 전동기 속도는 지수함수로 감소하게 된다. dT1의 시간이 지난 후 전원이 인가되면 전 전압 기동 때와 같은 가속도로 속도가 급상승하게 된다. dT1의 시간은 VFD에서 타이머로 설정 변경이 가능하며 Auto BPS 신호는 인버터에서 보내지는 신호이다. 인버터 고장에 대비한 VFD의 자동 By-pass 절환 조건은 제어기가 Manual 또는 Auto 운전 상황에서 동일하게 적용된다. 단 제어기를 Manual로 두게 되면 자동적으로 Air Flow량을 추종하지 않기 때문에 특성곡선은 나빠질 수 있다. VFD로 FDF를 운전하고 있는 중에 VFD가 Trip이 발생하였을 경우에는 자동으로 Vane(By-pass)으로 절환하게 되며 FDF 2A는 8초, 2B는 7초로 설정하였다. VFD Trip이 발생하면 100%(또는 설정값)로 운전되던 Vane은 Air Flow에 해당하는 Vane Position으로 이동 하게 된다. Trip이 발생한 후 약 20초 후에는 Vane 제어가 제어권을 넘겨받아 제어하게 된다. 이 시간을 두는 이유는 By-pass 절환 시 Process 값은 과도상태로 변하게 되는데 이 과도한 상태를 반영하여 제어를 하게 되면 오히려 값이 Hunting하는 등 제어 상태가 나빠지므로 과도 상태가 안정되는 시간인 20초 후에 Vane Mode로 자동 운전하게 된다. 그림 8은 Auto By-Pass 시험결과이다. 발전기 출력 부하대 95% (330MW)에서 Auto By-Pass 시험 전 노내압력은 425.5 mmH2O였고 총 공기량은 71.44%였다. Auto By-pass 시험 중 노내압력의 과도상태 변화량은 303.1-512.7mmH2O였고 총 공기량의 과도상태 변화량은 63.2-79.4%였다. Auto By-Pass 시험 후 노내압력은 456.6mmH2O 그리고 총 공기량은 76.1%에서 안정되었다. Auto By-Pass 시험 결과 By-Pass Mode(정속 Vane Control Mode)로 절체 시 보일러에서의 제어 변수가 경보치 또는 Runback치 이내에서 안정되었다.

3. 결 론

에너지 절감을 목적으로 펌프화력 제2호기 FDF(Forced Draft Fan : 압입송풍기) 출구 공기 유량제어를 Vane 제어 시스템으로 구성되어 있던 것을 유도전동기 가변속 제어시스템으로 교체하였다. VFD로 시스템 교체 시 기존 Vane 제어 방식의 보일러 연소 제어 로직을 VFD 제어와 Vane 제어 그리고 VFD 고장 시 By-pass 모드로 운전되도록 제어 로직 변경이 불가피하다. 본 논문에서는 VFD 적용 시 고려해야 할 사항들을 정리하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] R.M. Green, J.T. Boys, "Inverter AC-Drive Efficiency", IEEE Proc., Vol. 129, Pt. B, No. 2, Mar. 1982.
- [2] Philip J. Potter, "Power Plant Theory and Design", Chap. 7 John Wiley & Sons, 1976.