

# 동해화력 순환 유동층 보일러 이차공기송풍기용 H-브릿지 멀티레벨 인버터 현장적용(2)

류호선, 김봉석  
전력연구원

## The Second Part of H-Bridge Multi-level Inverter for Fluidized Bed Combustion Boiler Secondary Air Fan

Ho-Seon Ryu, Bongsuck Kim  
Korea Electric Power Research Institute

### ABSTRACT

최근 전압 및 주파수 가변을 이용하여 전동기의 속도를 제어하여 전동기 경부하시 베인에서 소모되는 에너지 절감효과를 얻을 수 있는 인버터 시스템이 널리 사용되고 있다. 이에 전력 연구원은 6.6kV, 1MVA급 인버터 개발 및 동해화력 발전처에 설치, 보일러 점화 전/후 시험, 계통 병입 후 부하 시험 등을 국내 최초로 성공적으로 완료하여 현재 이차 공기 송풍기 구동용 인버터는 상업 운전 중이다. 본 논문에서는 기존 동해화력 발전 설비와 신규 인버터 시스템의 인터페이스 부분에 해당하는 보일러 DCS 로직과 계통 병입 후 시운전 결과에 대하여 상세히 기술하였다.

### 1. 서론

고압 인버터는 고압 대용량 유도 전동기에 입력되는 전압 및 주파수 가변을 이용하여 전동기의 속도를 제어하여 전동기 경부하시 베인에서 소모되는 에너지 절감효과를 얻을 수 있는 전력 변환 장치이다. 국내의 경우 발전소, 수처리 시설 등에서 사용하고 있는 고압 대용량 유도 전동기의 전압정격은 주로 6,600V이나, 현재 상용화되어 있는 고압 인버터 출력 전압정격은 3,300V를 넘지 못해 인버터 입, 출력에 Down/Up 변압기를 활용해 6,600V 전동기를 구동하는 시스템을 사용하고 있어 고비용, 넓은 설치 공간, 시스템 효율 감소, 변압기 누설 인덕턴스와 대지 정전 용량간의 공진 발생 등 많은 문제점이 야기되어 고압 전동기 구동용으로 인버터 보급에 있어 많은 장애가 되고 있다. 또한 인버터 적용 시 모션의 고조파 영향, PWM 전압에 의한 전동기 열화, 진동, 절연, 에너지 절감 부하 적용 시 절감액 평가 등 종합 엔지니어링 기술의 미흡으로 더욱 인버터 적용의 어려움을 겪고 있다. 고압 전동기의 주요 부하인 팬, 펌프 등의 유체 기계에 인버터를 적용하는 가장 큰 이유는 일반적으로 부하 토크가 회전속도의 제곱에 비례하고, 축 동력이 회전속도의 3제곱에 비례하는 2승 저감 토크의 특성을 갖고 있기 때문이다. 유도 전동기를 이용하여 Pump, Fan 등의 유체를 이송하는 장치에서 인버터에 의한 회전수 제어가 종래의 고정 주파수 제어 방식에 비해 30~70%의 전기 에너지 절감이 가능하기 때문이다. 고압 대용량 인버터의 적용이 저압 중, 소형 인버터에 비해 에너지 절감 차원에서 상대적인 효과가 우수함에도 불구하고 초기 투자비 과다, 외국 제품 사용으로 인한 A/S 및 유지 보수비용 과다 등의 이유로 설비 적용을 기피하고 있는 현실이다. 국내 개발 제품의 적용 시 이런 문제가 크게 해소될 것으로 판단된다.

### 2. 본문

#### 1.1 인버터 적용 전 보일러 제어 로직

##### 1.1.1 인버터 적용 전 총 공기량 제어

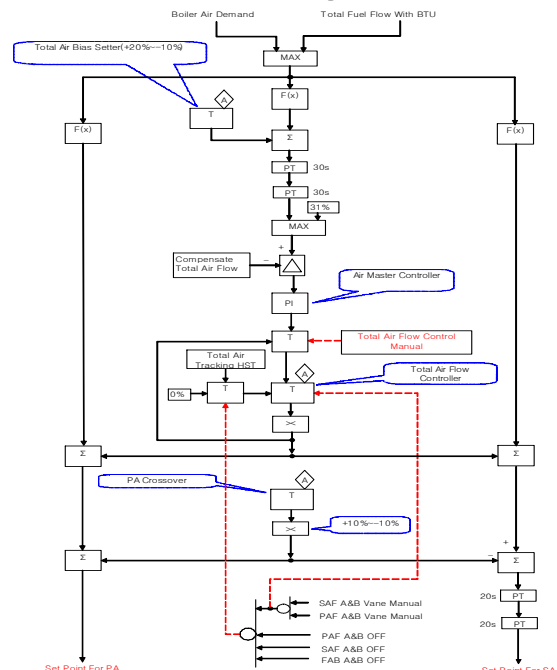


그림 1 인버터 적용 전 총 공기량 제어  
Fig 1. Total Flow Control without VFD

그림 1은 인버터 적용 전 동해화력 총 공기량(일차공기, 이차공기) 제어 블록도이다. 운전원에 의하여 보일러 출력 명령 (Boiler Air Demand)이 주어지고 열량 보정 값(Total Fuel Flow with BTU)과 비교가 되어 불완전 연소를 방지하기 위하여 큰 값을 선택하게 된다. 보일러 운전 중 갑자기  $\omega_{2}$  또는  $\omega_{2}$  등이 과잉 부족할 때 Total Air Bias Setter에서 바이어스를 주어 대처할 수 있다. 두개의 지연 요소를 두어 보일러 출력이 급격히 변하는 것을 방지하며, 연소에 필요한 최소 공기량(31%)과 비교하여 큰 값을 선택, 현장 실측값과의 차를 PI 제어하여 일차 공기량 제어(Set Point for PA)와 이차 공기량 제어(Set Point for SA)를 위한 지령치가 결정이 된다. 동해화력의 일차 공기량과 이차 공기량의 비는 6 대 4 정도로 일차 공기량의 비중이 좀더 크며, 운전원에 의하여 PA Crossover에서 일차 공기량과 이차 공기량의 비는 조정이 가

능하다.

### 1.1.2 인버터 적용 전 이차 공기량 제어

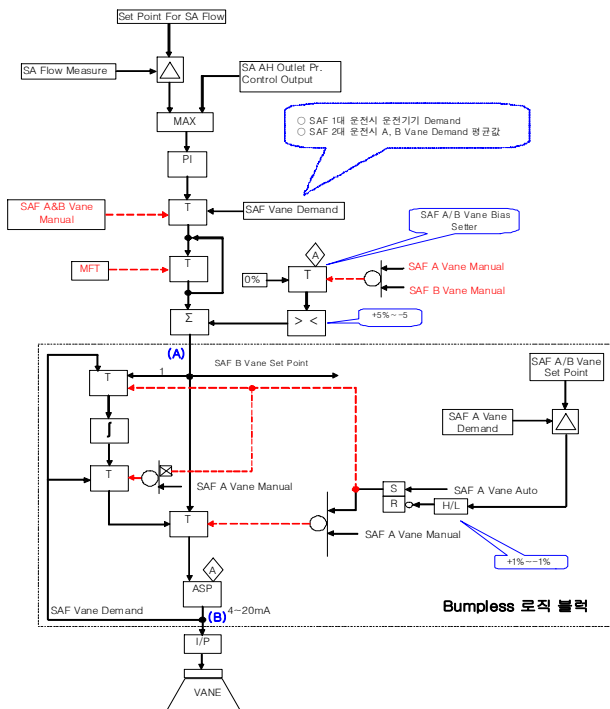


그림 2 인버터 적용 전 이차 공기량 제어  
Fig 2. Secondary Air Flow Control without VFD

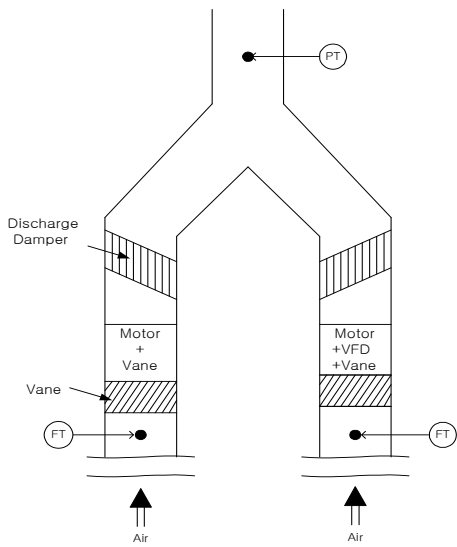


그림 3 인버터 설치 간략도  
Fig 3. The Diagram of Installed Inverter

그림 2는 기존 동해화력 이차 공기량 제어 블록도이다. 그림 3은 인버터 설치 간략도이며 이차 공기 풍량과 풍압의 실측 위치를 보여준다. 총 공기량 제어에 의한 이차 공기 지령치와 이차 공기 풍량 실측치와의 차는 압력제어에 의한 이차 공기 지령치와 이차 공기 풍압 실측치의 차와 비교하여 큰 값으로 선택되어 PI 제어를 하게 된다. SA Crossover에서 운전원에 의하여 A호기와 B호기의 풍량의 비를 결정할 수 있다. 기존 이차 공기 제어 블록도의 마지막 부분은 Bumpless 로직 블록이다. Bumpless 로직 블록에 의해 이차 공기 지령치의 급격한

변화에도 난조를 방지하여 안정적인 보일러 제어가 가능하다.

### 1.2 인버터 적용 후 기존 이차 공기량 제어

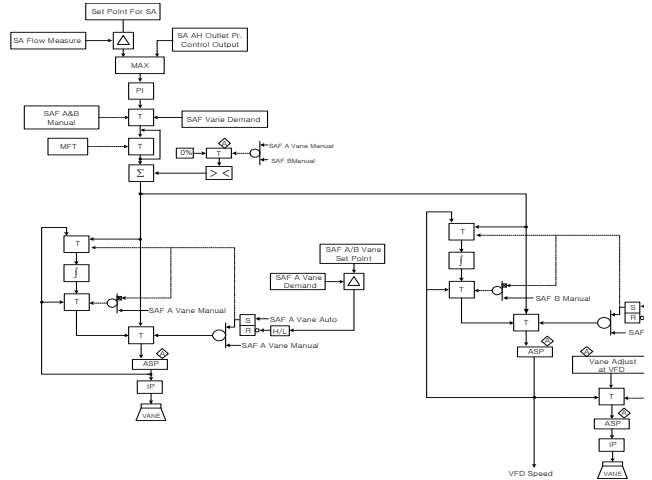


그림 4 인버터 적용 후 기존 이차 공기 제어 블록도  
Fig 4. The Block of Preexisting Secondary Air Control with VFD

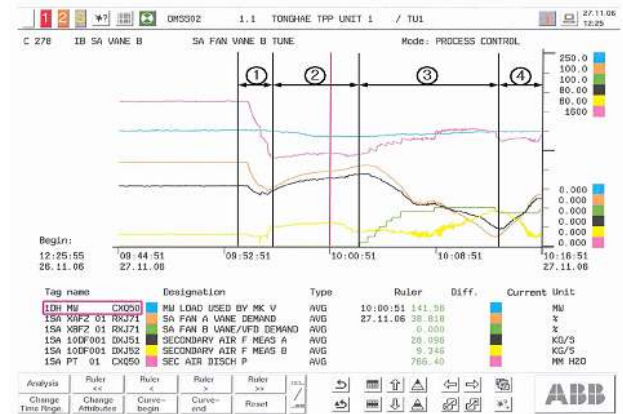


그림 5 SAF-A 베인 자동운전 & SAF-B 인버터 수동운전  
Fig 5. SAF-A Vane Auto & SAF-B VFD Manual

그림 4는 인버터 적용 후 기존 이차 공기 제어를 위한 동해화력 DCS 보일러 제어 블록도이다. 동해화력 발전처 DCS 보일러 로직 모듈은 외산(ABB사)으로 인버터 운전에 적합하게 보일러 제어 알고리즘 수정에 어려움이 있었다. 하나의 PI 로직 모듈로 물리적인 특성이 다른 베인과 인버터를 동시에 PI 제어한 결과 그림 5와 같이 불안정한 특성을 가졌다. 그림 5의 각 구간별 해석은 다음과 같다.

#### ① 운전

○ 발전기 출력 150MW, SAF-A Vane(자동 모드) 운전 중에 추가로 SAF-B 인버터(수동 모드)를 기동함.  
○ SAF-B VFD 풍량 측정치에 Offset이 있어서 기동 시 풍량이 마치 존재하는 것처럼 인식된 부분임.

#### ② 운전

○ 초기 과도현상으로 SAF-A Vane(자동 모드)운전 중이므로 SAF-B VFD(수동 모드)의 지령치가 Zero이므로 SAF-A Vane의 지령치가 PI 제어에 의해서 본래의 값으로 되돌아가고 있음(풍량 목표치 대비 궤환치가 부족하여 재차 A의 지령치가 상승하는 것으로 판단됨).

#### ③ 운전

○ SAF-B VFD(수동 모드)의 지령치를 천천히 올렸고, 그때

노내압도 상승하였는데 SAF-B 풍량 측정치는 오히려 감소하고 있으며, 또한 Auto로 운전 중인 SAF-A Vane 지령치도 감소하고 있다.

○ 풍량을 측정하는 과정에서 낮은 압력차에 의한 풍량 측정 방법에서 풍량 측정치의 과도상태가 제어신호에 반영된 것으로 사료됨.

**[4 운전]**

○ SAF-B VFD(수동 모드)의 지령치를 미세 조정하여 감소시킴으로서 자동 모드 운전 중인 SAF-A Vane의 지령치와 풍량이 정상적으로 상승됨을 알 수 있음.

**1.3 인버터 적용 후 보일러 제어 로직**

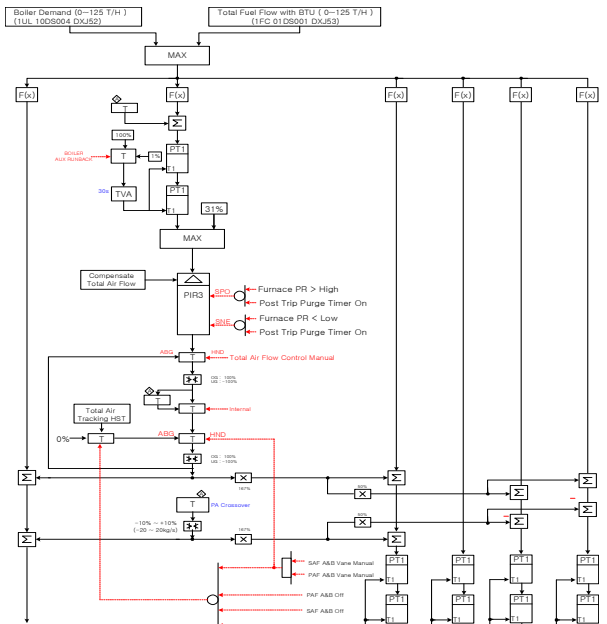


그림 6 제안하는 총 공기량 제어 블록도  
Fig 6. The Block of Proposed Total Air Control

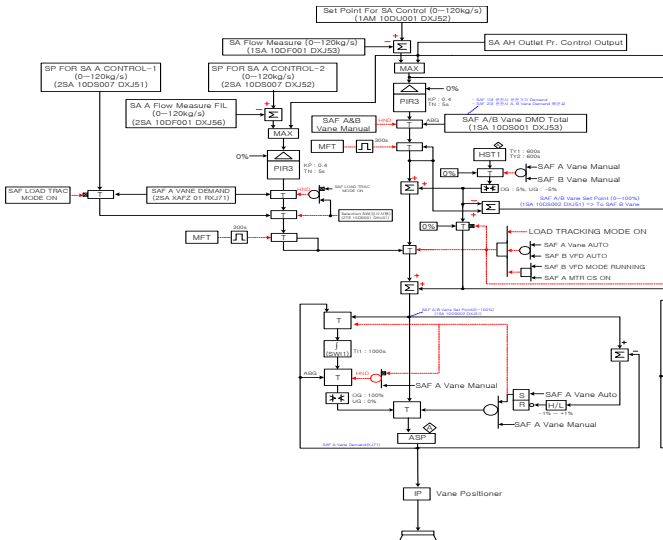


그림 7 제안하는 이차 공기 제어 블록도  
Fig 7. The Block of Proposed Secondary Air Control

그림 6과 그림 7은 본 논문에서 제안하는 총 공기량 제어와 이차 공기량 제어 블록도이다. 기존의 제어 블록도에 부하 추종 모드와 독립 PI 모드를 추가하여 발전기 출력

140-150MW 범위에서 시험을 하였다.

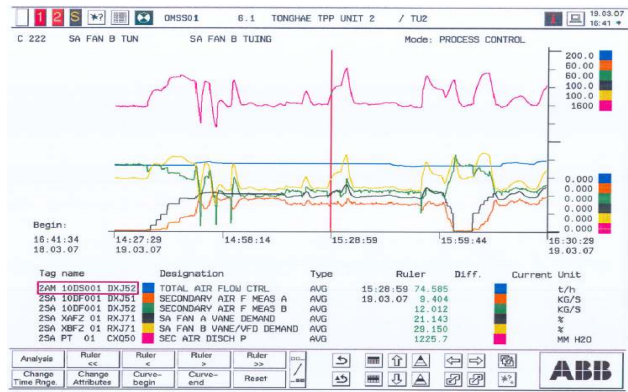


그림 8 SAF-A 베인 & SAF-B 인버터 자동운전(Load Track Mode)  
Fig 8. SAF-A Vane & SAF-B VFD Auto at Load Track Mode

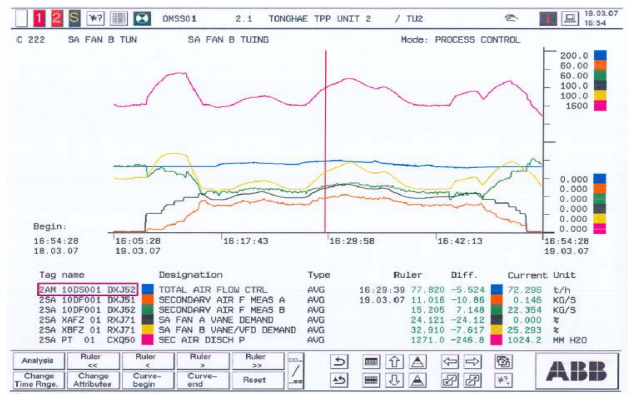


그림 9 SAF-A 베인 & SAF-B 인버터 자동운전(독립 PI Mode)  
Fig 9. SAF-A Vane & SAF-B VFD Auto at Independent PI Mode

그림 8은 부하 추종 모드(Load Track Mode)에서의 실험 결과이다. 발전기 출력 140MW 이상에서 인버터와 베인 병렬 운전 시, 베인의 출력이 발전기 출력에 추종하는 부하추종 모드에서는 보일러 노내 압력의 변동에 따라 민감하게 반응함을 알 수 있다. 그림 8은 독립 PI 모드의 실험 결과이다. 위의 시험을 통하여 베인과 인버터의 PI 제어를 별도로 둔 독립 PI 모드에서는 안정적인 제어 특성을 가짐을 확인할 수 있다.

**3. 결론**

동해화력발전처는 발전기 출력에 따라 보일러 내의 유동 매체와 석탄의 비가 변화하고 보일러 노내 압력은 실시간 변화하는 국내 최대의 순환 유동층 보일러를 사용한다. 기존의 이차 공기 제어 방식에서와 같이 하나의 PI 로직 모듈로 물리적인 특성이 다른 베인과 인버터를 동시에 제어할 경우 배출압 차이에 의하여 불안정한 특성을 가졌다. 본 논문에서는 부하 추종 모드와 독립 PI 모드를 제안하여 시험한 결과 베인과 인버터의 PI 제어를 별도로 하는 독립 PI 모드의 특성이 우수함을 확인하였다. 현재 동해화력발전처 2호기 SAF용 인버터는 독립 PI 운전으로 상업 운전 중이다.

**참고 문헌**

[1] Peter W. Hammond, "A New Approach to Enhance Power Quality for Medium Voltage AC Drives", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 33, No. 1, pp. 620-627, 2004, December.