

# 동해화력 순환 유동층 보일러 이차공기송풍기용 H-브릿지 멀티레벨 인버터 현장적용(1)

류호선, 김봉석  
전력연구원

## The First 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

본 논문은 동해화력발전처의 이차공기송풍기를 가변 회전수 제어하여 소내 소비 전력을 절감하고 전동기의 직입기동에 의한 스트레스를 줄이기 위하여 실증 적용된 동해화력발전처 이차 공기 송풍기 구동용 H-브릿지 멀티레벨 인버터에 관한 것이다. H-브릿지 멀티레벨 인버터는 독립적으로 절연된 직류 부를 갖는 저압의 단상 인버터(셀 인버터)를 다수 직렬 접속하여 고압 3상 전압을 출력하는 Cascaded H-브릿지 전압형 인버터이다. 본 논문에서는 동해화력발전처에 실증 적용된 6.6kV, 1MVA급 인버터의 계통 병입 후 부하 변동 시험을 통하여 신뢰성을 입증하였다.

### 1. 서 론

최근 화력발전소에 있어서 발전소 단위용량의 증대에 따라 발전소 보조 기기도 대용량화 하고 이에 따른 소내 소비 전력량도 증가하고 있다. 전력산업의 경쟁 체제 하에서 발전소 내 전력 소비를 절감을 통한 원가 절감은 발전사 경영의 주요 현안 사항이므로, 대용량의 화력발전소라 하더라도 기저부하보다는 부하조정의 역할이 강해져 정격속도로 운전하던 팬, 펌프 등을 필요 부하에 따라 회전수 제어하여 전력절감을 꾀하여야 할 필요가 있다. 발전소 내 에너지 소비의 대부분은 고전압 전동기 부하이다. 카메라의 조리개가 구경을 변화시켜 카메라에 들어오는 빛의 양을 조절하듯이, 기존 베인 방식은 송풍기 입구 측 베인의 각을 조절해서 풍량을 조절한다. 이때 3상 유도전동기는 정속도로 유지하여 최대 풍량을 발생시키고 있으며, 필요한 공기량은 베인에서 조절하는데, 베인의 조립 때문에 많은 저항 손실이 발생한다. 인버터란 3상 교류를 직류로 변화시키는 컨버터부와 그 직류를 가변전압, 가변 주파수의 교류로 만들어 출력시키는 인버터 부로 구성되어, 3상 유도전동기 속도를 제어하는 장치이다. 보일러 연소에 필요한 만큼의 풍량은 인버터로 전동기 속도 제어를 통해 발생시킬 수 있으므로, 베인 방식에 의한 저항 손실이 없다. 에너지 절약 측면에서 인버터를 사용한 송풍기 가변 회전수 제어가 정속도 입구 베인 제어 방식에 비해 보일러 부하에 따라 30-70% 전기 에너지가 절감될 것으로 전망된다.

1980년대 이후 전력용 반도체 소자 기술 분야의 비약

적인 발전에 힘입어 전력전자 기술은 고도로 성장하여, 대용량 전력 변환 장치인 H-브릿지 멀티레벨 인버터 시스템을 가변속 전동기 구동 시스템에 적용 가능하게 하였다. H-브릿지 멀티레벨 인버터의 가장 큰 장점은 저압 반도체 소자를 사용한 셀 인버터를 이용하여 전압의 레벨을 증가시켜 정현파에 가까운 고압 출력을 손쉽게 얻을 수 있다는 것이다. 이를 위해 각각의 셀 인버터에 독립된 절연 전원을 공급하기 위하여 다권선 변압기를 사용하고, 기존의 6 Pulse 정류방식에 비하여 낮은 입력 단 THD(Total Harmonic Distortion)를 얻을 수 있다.

### 2. 본 문

#### 1.1 동해화력발전소

##### 1.1.1 동해화력 순환 유동층 연소 보일러

유동층이란 연소로 내부에 유동매체(석탄, 석회석, 모래, 회재 등)를 충전한 후, 하부 노즐로부터 공기를 주입함으로써 고체입자를 유체와 같이 움직이게 하여 혼합·연소시키는 공정을 의미한다. 하부 노즐의 공기 주입에 따라 고체 층에 기포가 발생하고(물의 기포 발생과 동일) 기포들에 의한 고체 입자의 혼합 및 유동이 야기되어 물과 같은 유체 움직임을 보인다. 유속이 점차 증가함에 따라 입자가 비산되어 연소로 밖으로 날아가 없어지게 되는데, 비산 유출되는 입자를 사이클론을 통해 포집하여 반응기로 다시 주입하는 경우가 순환 유동층의 기본 개념이다. 유동층 연소 보일러는 고온(600°C 이상)으로 가열된 유동화 상태의 고체 층에 석탄을 주입하여 서로 유동, 혼합시킴으로써 석탄의 연소를 도모한다. 유동층 보일러의 특징으로는 다음과 같다.<sup>[1]</sup>

1) 다양한 연료의 사용 가능 : 유연탄, 무연탄, 폐플라스틱, 폐슬러지, 폐타이어, 바이오매스 등의 비교적 다양하고 광범위한 입도(0~6mm)를 가지는 연료의 사용 가능.

2) 고효율, 친환경적인 신발전 기술 : 비교적 낮은 온도(900°C 이하)에서 연소함으로써, NOx의 발생이 거의 없고, 석회석을 탈황제로 사용하여 직접 연소로내로 투입하여 95% 이상의 탈황효율을 가지며 발생 회재 전량을 시멘트 원료로 재활용이 가능하다.

3) 발전설비의 Compact화 가능 : 별도의 탈질 및 탈황 장치가 필요 없고, 굵은 입도의 연료 사용이 가능하여 미분기가 필요 없다. 열전달이 유동입자에 의해 일어나기 때문에 열전달 효율이 높아 장치의 Compact화 가능하다.

표 1 미분탄 발전 보일러 vs 유동층 발전 보일러  
Table 1 Per unit values of the system parameters

특성	미분탄 발전 보일러	유동층 발전 보일러
사용연료	석탄 (0.01mm 이하 입자)	다양한 연료 (6mm 이하 입자)
발전효율	36~ 38%	36~ 43%
설비 구성	분쇄기, 미분기, 보일러, 탈황장치, 탈질장치, 스팀터빈	분쇄기, 보일러, 스팀터빈
NOx 발생량	400~ 600 ppm	50~ 200 ppm

동해화력발전처 유동층 보일러 점화 절차는 다음과 같다.

- 1) Oil 연소 이전에 노내압은 0에 가까운 상태이다.
- 2) 석탄연소 이전에 Oil 연소를 통하여 보일러 노내 온도를 760℃ 까지 올리며 계통 병입한다.
- 3) 계통 병입 약 5시간 후에 Oil과 석탄을 같이 연소한다.
- 4) 유동층 확립 후 Oil은 Off하고 석탄만 전소한다.

\* 위의 단계 [ 2), 3), 4) ]를 거치는 동안 노내압은 상승하여 정압이 된다.

### 1.1.2 석탄 화력 발전소 주요 송풍기

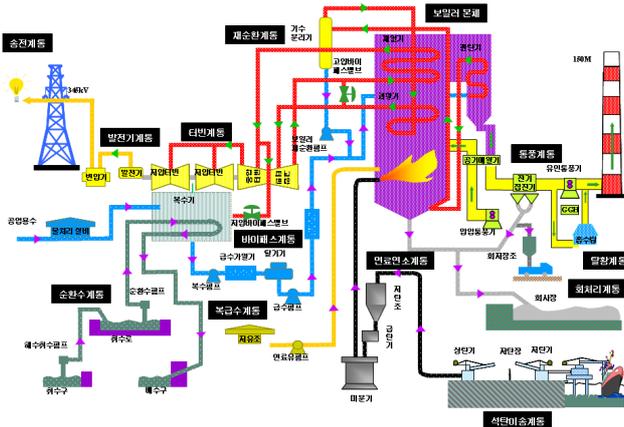


그림 1 표준석탄화력 계통도  
Fig 1. The Diagram of Standard Power Plant

그림 1은 표준 석탄화력 계통도이다. 화력발전소에 사용되는 주요 송풍기는 다음과 같다.

- 1) 일차 공기 송풍기(PAF : Primary Air Fan) : 석탄이 보일러에서 연소가 잘 될 수 있도록 미분기로 미세한 가루로 만든 후, 분쇄된 미분탄을 연소실로 불어넣기 위해, 공기를 미분기에 공급하는 송풍기.
- 2) 이차 공기 송풍기(SAF : Secondary Air Fan) : 일명 압입 통풍기(FDF : Forced Draft Fan)라고도 함. 분쇄된 미분탄이 연소하는데 필요한 연소용 공기를 보일러에 공급하는 송풍기.
- 3) 유입 송풍기(IDF : Induced Draft Fan) : 보일러에서 연소된 연소가스를 연돌로 뽑아내는 송풍기.
- 4) 가스 재순환 송풍기(GRF : Gas Recirculation Fan) : 보일러에서 나오는 연소가스가 가진 열로 보일러 수냉벽에 공급하는 물을 가열하는 절탄기 출구에서 400℃ 정도의 연소가스를 노(Furnace) 하부로 공급하여 증기온도를 조절하는 송풍기.

### 1.2 6.6kV, 1MVA H-브릿지 멀티레벨 인버터



다권선 변압기 셀 인버터 주 제어기  
그림 2 6.6kV, 1MVA H-브릿지 멀티레벨 인버터  
Fig 2. 6.6kV, 1MVA H-Bridge Multilevel Inverter

그림 2는 동해화력 발전처에 실증적용된 6.6kV, 1MVA H-브릿지 멀티레벨 인버터이다. 각각의 셀 인버터에 독립된 절연 전원을 공급하고 전력품질을 위하여 다권선 변압기가 사용되며, 변압기 1차 측은 3상 6,600V 이고 2차 측은 635V이다. 셀 인버터(56kVA, 635V)를 상당 6대씩 연결함으로써 총 18대의 셀 인버터로 구성되어 있다. 개발된 3상 440V, 180kVA H-브릿지 멀티레벨 H-bridge 인버터는 그림 1과 같이 입력 다권선 변압기와 한 상당 3대의 셀 인버터가 직렬 연결되어 총 9대의 셀 인버터로 구성되어 있다. 각 셀 인버터는 전압형 인버터로써 직렬 연결되어 있으며, 다권선 변압기에 의하여 위상차를 주어 출력 전압은 멀티레벨을 가지며 유사정현파이다. 인버터 출력전압의 레벨수를 증가시키기 위하여 분리된 직류전원을 갖는 셀 인버터 출력을 시스템 1상당 3대 씩 직렬 연결하여 상 전압 기준 13레벨, 선간전압 기준 25레벨의 유사정현파 파형을 생성한다. 표 2는 개발된 480V, 180kVA H-브릿지 멀티레벨 인버터의 사양이다.

표 1 H-브릿지 멀티레벨 인버터 사양  
Table 1 Specification of H-Bridge Multilevel Inverter

인버터 형태	H-Bridge 멀티레벨 인버터
정격 용량	1MVA
입력전압	3상 6,600V ± 10%
입력변압기	1.2MVA, 다권선 변압기
입력주파수	50/60Hz
입력 측 고조파	TDD<5% ,
입력 측 역률	0.95
출력전압	3상 0 ~ 6,600V, 선간전압
출력주파수	0Hz ~ 120Hz
출력전압 Level	상 전압 : 13레벨 선간 전압 : 25레벨
셀 인버터 수량	총 18대 (1상 당 6셀 인버터 직렬연결)
효율	97% (정격부하 기준)
적용 규격	IEC

### 1.3 다이나모메타 부하시험

그림 3은 6.6kV, 1MVA H-브릿지 멀티레벨 인버터의 견전성을 확인하기 위한 다이나모메타 부하 시험 구성도이다. 그림 4는 부하 변동(10%~ 100%) 시험 결과이다.

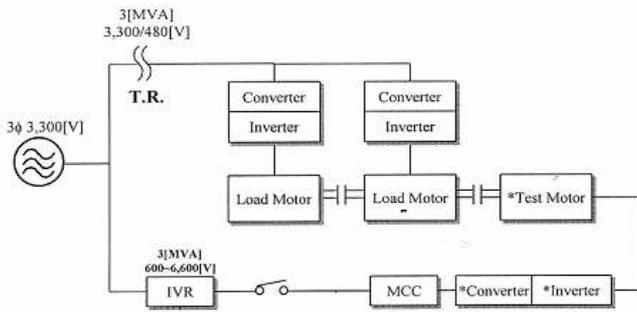


그림 3 다이노메타 부하시험 구성도  
Fig 3. Diagram of Dynamometer for Load Test

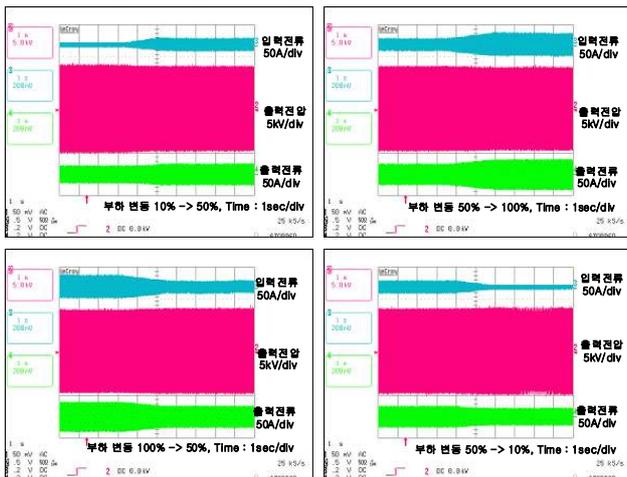


그림 4 다이노메타 부하변동 시험  
Fig 4. Load Change Test with Dynamometer

### 1.4 동해화력 보일러 점화 전 시험

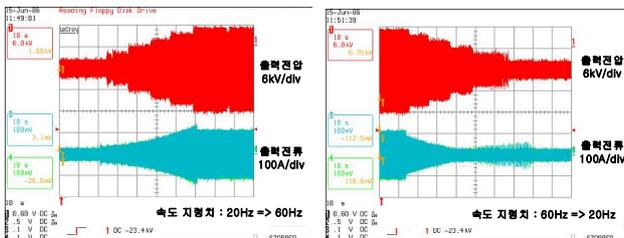


그림 5 보일러 점화 전 가속/감속 시험  
Fig 5. Acceleration / Deceleration Load Test before Boiler Ignition

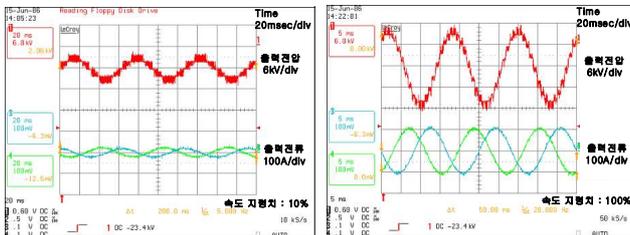


그림 6 보일러 점화 전 부하변동 시험  
Fig 6. Load Change Test before Boiler Ignition

그림 5는 보일러 점화 전 가속/감속 시험 결과이다. 그림 6은 보일러 점화 전 부하 변동 시험 결과이다. 속도 지령치가 100%일 경우 출력 상 전압의 파형은 싸인 파형과 유사함을 확인할 수 있다. 그림 7은 동해화력 발전기 발전기 출력 150-200MW 부하 변동 트렌드이다.

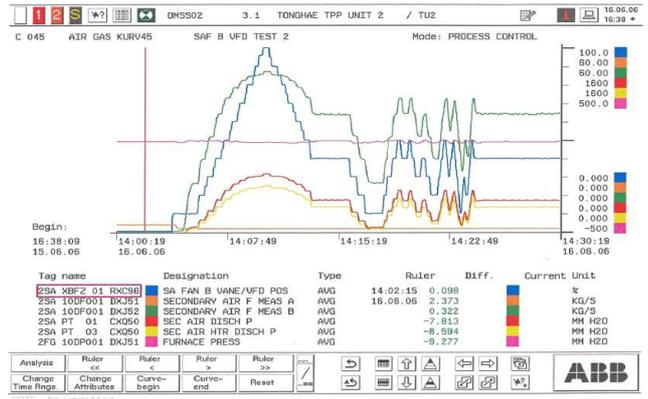


그림 7 보일러 점화 전 부하변동 트렌드  
Fig 7. Load Change Trend before Boiler Ignition

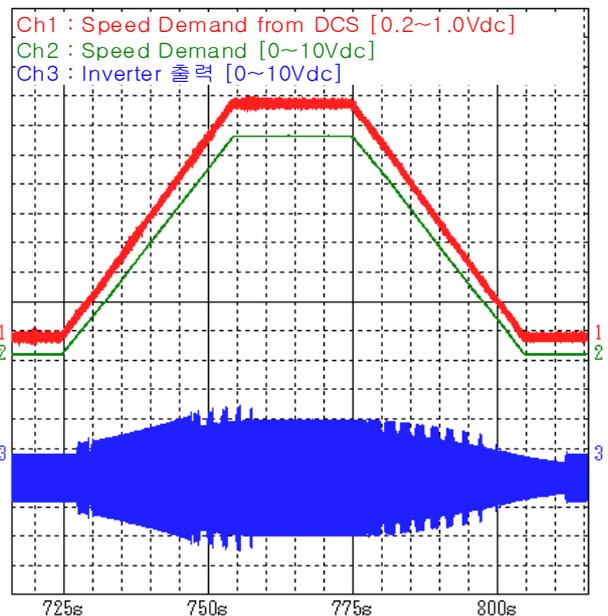


그림 8 보일러 점화 전 부하변동 [지령치 30% → 80%]  
Fig 8. Load Change before Boiler Ignition [Demand 30% => 80%]

그림 8은 보일러 점화 전 인버터 지령치 30% → 80%에서의 인버터 출력 변동에 대한 시험 결과이다.

## 3. 결론

동해화력발전처는 발전기 출력에 따라 보일러 내의 유동매체와 석탄의 비가 변화하고 보일러 노내 압력은 시시각각 변화하는 국내 최대의 순환 유동층 보일러를 사용한다. 본 논문에서는 동해화력 발전처에 설치된 다이노메타 부하 시험 결과 및 보일러 점화 전 시험 결과를 통하여 6.6kV, 1MVA H-브릿지 멀티레벨 인버터의 견건성을 확인하였다.

## 참고 문헌

- [1] 한국화학공학회, "에너지공학", pp. 155-157, 1996, August.
- [2] 박영민 외 4인, "3,300V, 1MVA H-브릿지 멀티레벨 인버터 개발", 전력전자학회 논문지, pp. 478-487, 2003, December.