

대용량 발전소 인버터 적용시의 문제점 사례연구

류호선, 임익현
전력연구원

A Case Study on Problems of Inverter Application for large Power Plant

Ho-Seon Ryu, Ick-Hun Lim
Korea Electric Power Research Institute

ABSTRACT

본 논문은 이차공기송풍기를 가변 회전수 제어하여 소내 소비 전력을 절감하고, 전동기의 직입기동에 의한 스트레스를 줄이기 위하여 실증 적용된 발전소 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. 주요내용은 국산 인버터 발전소 현장적용 기술을 바탕으로 대형 인버터 현장 실측 내용과 적용시의 문제점들을 다루어 발전소에 확대 적용에 도움을 주고자 한다.

1. 서 론

고전압 발전소용 인버터는 대용량 유도 전동기에 입력되는 전압 및 주파수 가변을 이용하여 전동기의 속도를 제어하여 전동기 경부하시 베인에서 소모되는 에너지 절감효과를 얻을 수 있는 전력변환 장치이다. 국내의 경우 발전소, 수처리 시설 등에서 사용하고 있는 고전압 대용량 유도 전동기의 전압정격은 주로 6,600V이나, 현재 상용화되어 있는 고전압 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 야기되고 있다. 또한 인버터 적용 시 모션의 고조파 영향, PWM 전압에 의한 전동기 열화, 진동, 절연, 에너지 절감 부하 적용시 절감액 평가 등 종합 엔지니어링 기술의 미흡으로 더욱 인버터 적용의 어려움을 겪고 있다. 고전압 전동기의 주요 부하인 팬, 펌프 등의 유체기계에 인버터를 적용하는 가장 큰 이슈는 일반적으로 부하 토크가 회전속도의 제곱에 비례하고, 축동력이 회전속도의 3제곱에 비례하는 2승 저감 토크의 특성을 갖고 있기 때문이다. 유도 전동기를 이용하여 Pump, Fan 등의 유체를 이송하는 장치에서 인버터 적용은 회전수 제어가 종래의 고정 주파수 제어 방식에 비해 30~70%의 전기 에너지 절감이 가능하기 때문에 현재의 유가 상승에 따른 에너지 문제에 큰 도움이 된다. 본 논문에서는 실제 인버터 발전소 현장적용 기술을 바탕으로 대형 국산 인버터 현장 실측 내용과 적용시의 문제점들을 다루어 발전소에 확대 적용에 도움을 주고자 한다.

2. 본 문

1.1 인버터 적용발전소의 팬과 유도기 사양

팬 제작사 : T.Y.M.E

- 형식 : 원심형
- Control : Inlet Vane
- Type of Impeller : Backward Curved
- Shaft Dia : 240mm
- Rotor weight with shaft :1530 Kg
- Critical Speed : 2502 rpm
- Impeller Tip Speed : 9483 m/min
- Casing Thickness : 12 mm

유도전동기 : 현대중공업

- 전력 : 750kW
- 전압 : 6,600V
- 회전수 : 1780rpm
- 주파수 : 60Hz



그림 1 팬과 유도기 사진

1.2 인버터 적용발전소 팬의 진동 시험

1) SAF Blade Modal Test 결과

단위 : Hz

	1차	2차	3차	4차	비 고
Radial 방향	37±1.2	42±0.9	43.5±0.5	45±0.5	정격 회전수: 1796rpm (29.93Hz)
Axial 방향	33±2.7	41.5±0.9	98±0.6	100.5±0.7	

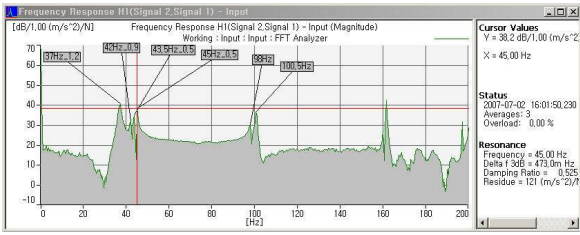


그림 2. SAF Blade Radial 방향 고유진동수

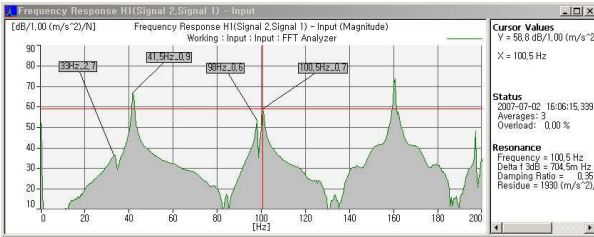


그림 3. SAF Blade Axial 방향 고유진동수

발전소 SAF Blade Radial 방향의 고유진동수는 37-45Hz 사이에 존재하고 있으며, Blade Axial 방향 고유진동수는 33.5Hz, 41.5Hz에 존재하는 것으로 측정되었다. 만일 가변속 운전시 30Hz 이상 운전되면 1차 가진력은 30Hz 이하에서 발생된다. 따라서 공진에 의한 Blade 파괴력이 가장 높은 1차 가진 주파수 범위는 벗어나 있다. 그러나 모든 기기의 진동은 1차 회전주파수에 의한 진동이 발생되면 그 Harmonic 성분인 2배, 3배의 진동이 발생되므로 기기의 안전을 위해서는 2차 Harmonic 주파수 진동까지는 고려가 되어야 가변속운전시 기기의 안전성을 보장할 수 있다. 즉 가변속을 위한 기기는 정격회전수에 해당하는 주파수의 2배 이상에 고유진동수가 존재해야 연속적인 운전이 가능하다.

2) SAF 각부 진동 측정 결과

(가변속 운전시 각부 진동)

단위 : μm_pp

	위치	방향	최고 진동 (1X진동)[rpm]	최고 진동 (2X진동)[rpm]
shaft 진동	Inboard	Vertical	37.6(14.1)[1786]	37.6(9.9)[1786] 35.8(17)[1260]
	Outboard	Vertical	167(10.4)[1260]	167(132)[1260]
Bearing 진동	Inboard	Vertical	14.1(3.39)[1260]	14.1(8.4)[1260]
		Horizontal	39.7(5)[1080]	39.7(25.6)[1080]
	Outboard	Vertical	10.3(3)[1260]	10.3(7.04)[1260]
		Horizontal	20.4(1.6)[1080]	20.4(16.7)[1080]

위의 데이터는 가변속운전시 Discharge Pressure를 운전조건과 비슷한 상태에서 시험하였다. 가변속 운전중 최고 진동이 발생하는 지점인 1080rpm과 1260rpm의 진동을 보면 Direct값이 최고일 때 그 주파수 성분은 2X의 진동에 의해 상승되고 있다. 이는 가진하는 운전주파수의 2X가 Fan Blade의 고유진동수를 가진 할 때 축의 진동 및 베어링 진동이 급격히 상승되고 있음을 알 수 있다.

* 1080rpm / 60 × 2 = 36Hz (이 주파수는 Blade Impact Test에서 측정된 Radial 방향 고유진동수 1차 성분 37Hz와 일치한다)

* 1260rpm / 60 × 2 = 42Hz (이 주파수는 Blade Impact Test에서 측정된 Radial 방향 고유진동수 2차 성분 42Hz와 일치한다. 따라서 가변속운전중 2X 진동주파수가 Fan Blade 고유진동수를 통과하면서 급격한 진동상승을 유발시키며, 이는 Blade에는 결정적인 손상을 유발시킬 수 있는 요소이다.

(정속 운전시 각부의 진동)

단위 : μm_pp

	위치	방향	최고 진동 (1X진동)[rpm]	최고 진동 (2X진동)[rpm]
shaft 진동	Inboard	Vertical	48.1(13.1)[1797]	48.1(9.4)[1797]
	Outboard	Vertical	124(10.2)[1260]	124(87.8)[1260]
Bearing 진동	Inboard	Vertical	-	10.2(5.2)[1260]
		Horizontal	36(5.2)[1072]	36(25.6)[1072]
	Outboard	Vertical	-	-
		Horizontal	19.6(1.0)[1072]	19.6(14.9)[1080]

위의 데이터는 정속 운전시 Vane을 사용하여 Discharge Pressure를 운전조건과 비슷한 상태에서 시험하였으며, 위의 최고 진동 자료는 정지중 Shaft가 감속되는 상태에서 측정된 자료이다. 정속운전 기동시는 순간적인 Speed up으로 고유진동수 부분을 빨리 통과하므로 문제가 없으나 정지시는 서서히 감속되므로 Fan Blade 고유진동수를 통과 할 시에 약간의 진동상승이 유발된다. SAF의 축 Critical Speed는 2502rpm에 설계가 되어 있으나 Fan Blade의 고유진동수가 존재하는 구역을 통과 할 시는 진동이 상승되어 수명감소를 초래한다.

3) SAF 1-B 축 비틀림 진동분석 결과

단위 : deg/s(각속도), mdeg(각)

	비틀림 각속도	비틀림 각	비고
가변속운전중	13	121	최고값
정속운전중	12.8	119	
Motor Start 시	15.5	621	기동시

1.2 대형 발전소에 인버터 적용을 위한 가감속 시험

베인과 인버터의 가감속 시간은 유압으로 운전되는 베인의 감속시간이 더 빠르게 나타났다. 시험결과 만일 보일러의 응동 특성상 회생회로가 없는 H-브릿지 인버터의 적용을 위해서 반드시 베인 속도를 느리게 하여 사전 시험하는 것이 문제점을 최소화 길이다. 다음은 간단한 가감속 시간 계산식이다.

$$\text{가속시간 } t_1 = \frac{\omega T_2 \cdot \Delta V}{35 \times (T M_{max} - T m_{ax})} \quad [s]$$

$$\text{감속시간 } t_2 = \frac{\omega T_2 \cdot \Delta V}{35 \times (T M_{min} - T m_{in})} \quad [s]$$

여기서 $\omega T_2 = \text{모터 } \omega_2 + \text{부하 } \omega_2$ (모터축 환산치) [kg·m]

$\Delta V : \text{가감속 전후의 모터 회전수의 차 } N_b - N_a$ [rpm]

$T M : \text{모터 정격 토크, } T M = \frac{974 \times P}{N}$ [kg·m]

$T m_{max} : \text{최대부하 토크 (모터축 환산치)}$ [kg·m]

$T m_{min} : \text{최소부하 토크 (모터축 환산치)}$ [kg·m]

$\alpha : \text{평균가속 토크율}$

$\beta : \text{평균감속 토크율 (회생 토크율)}$

P : 모터 정격출력 [kW]

N : 모터 정격회전수 [rpm]

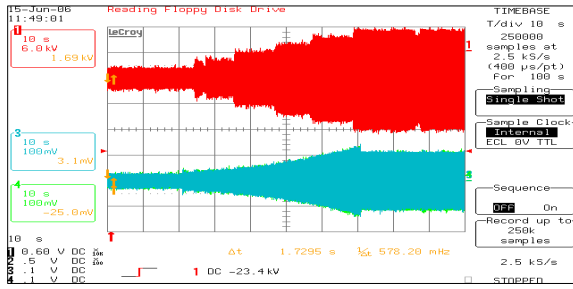


그림 4. 60[sec] 가속(from 20[Hz] to 60[Hz], 팬부하 연결)

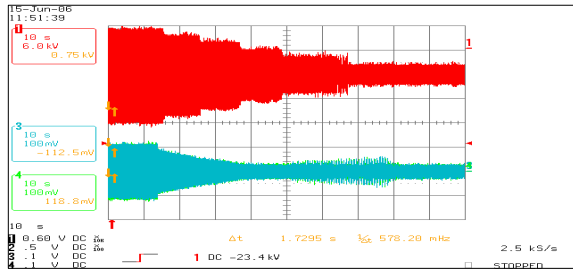


그림 5. 60[sec] 감속(from 60[Hz] to 20[Hz], 팬부하 연결)

1.3 인버터 제어를 위한 보일러 제어 수정 및 시험

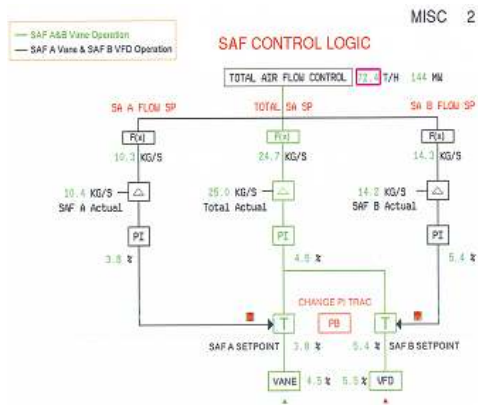


그림 6 제안하는 이차 공기 제어 블록도

위 그림은 발전소 보일러 총 공기량 제어 와 이차 공기량 제어 블록도이다. 기존의 제어 블록도에 부하 추종 모드와 독립 PI 모드를 추가하여 발전기 출력 140~150MW 범위에서 시험을 하였다.

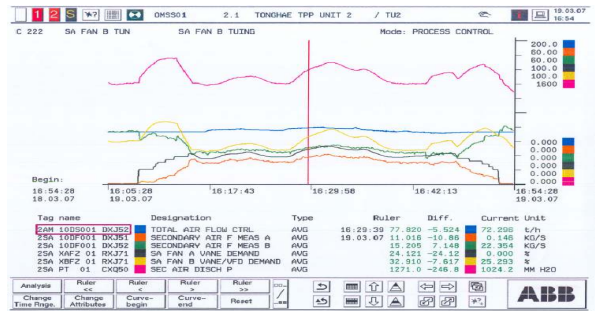


그림 8 SAF-A 베인 & SAF-B 인버터 자동운전(독립 PI Mode)

그림 7은 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

국내 발전소에 적용된 고전압 H-브릿지 타입의 인버터의 신뢰성 있는 운전을 위하여 크게 3가지 시험을 실시 하였다. 첫 번째 진동문제에 대하여는 다행히 대상발전소 노내 압력이 높아서 진동주파수를 벗어난 수치를 최저치로 하여 제어되고 있다. 두 번째 베인과 인버터의 가속응동특성에서 물론 베인보다 H-브릿지 인버터의 감속시간이 회생회로가 없어 더 늦으나, 보일러 노내의 응동특성 결과 셋팅값에 무리없이 응동하고 있다. 마지막 인버터 제어를 위한 보일러 로직의 수정은 물리적인 특성이 같은 시스템은 하나의 PI로 제어가 되나, 물리적 특성이 다른 베인과 인버터 운전시는 각각 개별 PI를 사용하여 제어하는 것이 우수한 특성을 보였다. 적용된 인버터는 현재 1년간 무고장으로 운전되고 있고, 향후 지속적으로 확대 적용할 예정이다.

이 논문은 동서발전(주)의 연구비 지원에 의하여 연구 되었음

참고 문헌

- [1] 한국화학공학회, "에너지공학", pp. 155-157, 1996, August
- [2] 김봉석, 류호선, "200MW 석탄화력 순환 유동층 보일러 이차공기송풍기용 H-브릿지 멀티레벨 인버터 현장적용", 전력전자학회 논문지, pp. 424-431, 2007.10
- [3] 김수열, 류홍우, "단위 인버터 병렬 운전에 의한 발전소 해수펌프 적용", 전력전자학회 논문지, pp. 285-289, 1997, 7
- [4] 박영민 외 4인, "3,300V, 1MVA H-브릿지 멀티레벨 인버터 개발", 전력전자학회 논문지, pp. 478-487, 2003.10



그림 7 SAF-A 베인 & SAF-B 인버터 자동운전(Load Track Mode)