

초임계압 유동층보일러 2대, 1,000MW 증기터빈 조합 신개념 발전플랜트 소개

김 현 철 한국남부발전 건설처 기계기술부 | e-mail : wtmana2@kospo.co.kr, wtmana2@naver.com

에너지 생태계의 급변하는 환경속에 고효율, 대용량, 연료 유연성을 확보하기 위한 새로운 도전이 펼쳐지고 있다. 이 글에서는 세계 최대, 최초 초임계 순환유동층 보일러 2대와 1,000MW 증기터빈을 조합한 신개념 설계의 2개 호기(2,000MW) 건설, 한국남부발전(주) 삼척그린파워를 중심으로 내용을 기술하고자 한다.

최근 엄격해지는 환경규제와 상승하는 연료 비용 등 크나큰 도전으로 발전설비는 더 효율적이며 대용량 시스템으로 업그레이드가 요구되고 있다. 미래의 환경변화, 운전조건 강화 및 경제상황에 대응하여, 한국남부발전(주)는 세계 최대용량 발전소를 건설하기 위해 1,000MW × 2기를 삼척에 2012년 6월 착공했다. 각 호기는 500MW 초임계압 순환유동층 보일러(CFBC) 2기와 1대의 1,000MW 증기터빈을 조합하였으며 1,000MW CFBC는 세계 최대용량이며, 2:1조합 운전 또한 세계 최초로 도입되었다. 삼척 보일러 및 증기터빈은 1:1단독운전과 2:1조합운전 시 모두 변압 운전방식을 채택하여 교축손실을 줄여 효율이 최대가 되도록 설계하였으며 이러한 조합 변압운전방식을 특허로도 출원한 상태이다. 이처럼, 삼척에 초임계압 유동층보일러를 도입하게 된 배경은 중국, 인도 등 신흥 경제국의 고열량탄 사용량 증가에 따른 가격 상승을 고려하여 저열량탄을 도입하여 국가 에너지 안보에 기여하며, 바이오매스 등 다양한 연료를 연소할 수 있는 운전 유연성을 확보하기 위함이다.



그림 1 삼척그린파워 조감도

삼척그린파워 설계개념

삼척은 한반도 동쪽에 위치하고 있으며 서울로부터 차량으로 약 4시간 거리에 위치하고 있다. 현재 건설되고 있는 부지는 약 2,600,000㎡(약 786,500평)으로 1000,000㎡는 바다를 매립하여 조성하였으며, 삼척 1, 2호기와 함께 향후 3, 4호기 건설을 감안하여 부지를 조성하였다.

삼척그린파워는 독창적인 아이디어를 바탕으로 그룹토의를 거쳐 여러 가지 신개념 설계를 개발하였다.

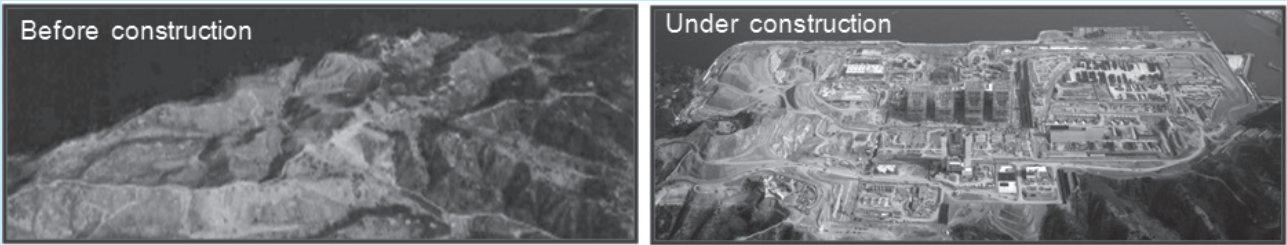


그림 2 삼척그린파워 부지

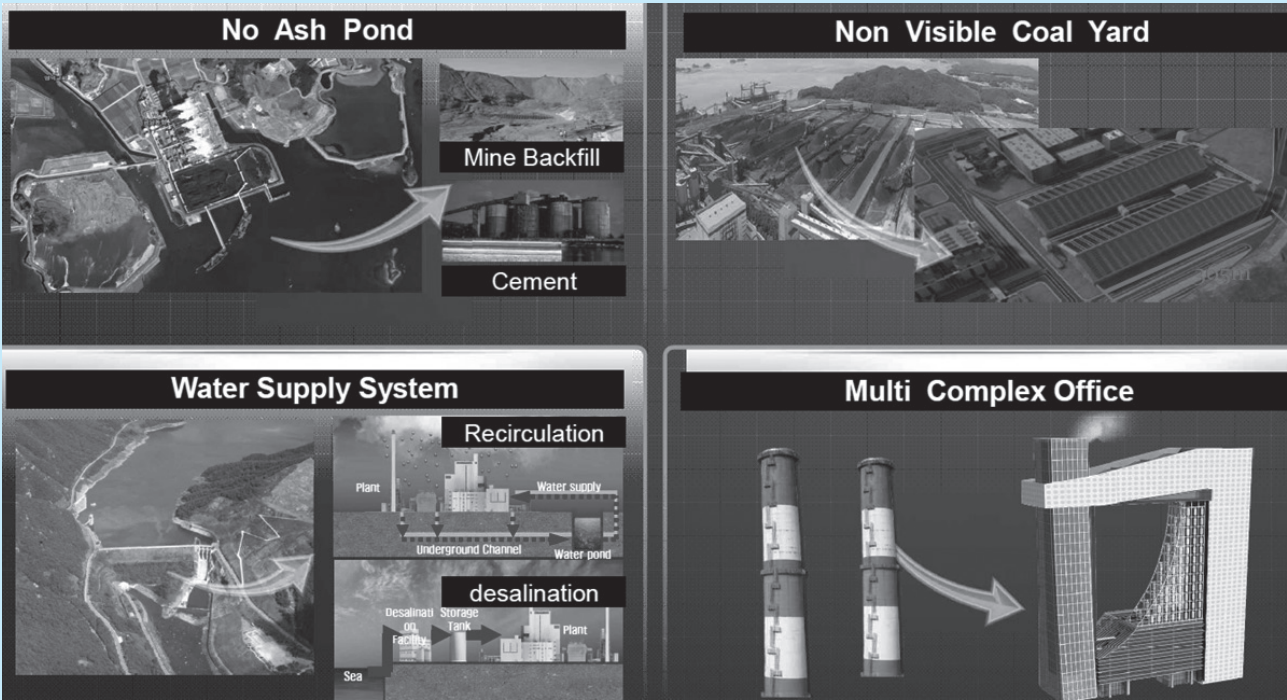


그림 3 삼척그린파워 독창적 설계개념

발전소 주변의 석회석 광산을 이용하고 석탄회를 재처리하는 개념을 사용하기에 기존에 운영하는 회처리장을 없앤 무회사장 설계, 석탄을 저장하는 기존의 저장장을 석탄이 비산하지 않도록 Coal Shed 형식으로 설계하여 석탄이 보이지 않는 발전소, 삼척 인근 가곡천 등 하천수 고갈과 물부족 문제를 원천적으로 해결하기 위한 발전소 순수제조설비를 해수를 이용한 해수담수화 설비를 도입하고 또한, 빗물 재활용 설비를 구성하여 순수를 생산하도록 설계한 점, 어느 발

전소나 있는 공장을 상징하는 높은 굴뚝을 전망대, 사무실, 식당 등을 배치한 다기능 사무공간으로 활용한 사례이다. 특히, 굴뚝으로 지나가는 폐열을 활용하여 사무실 난방과 온수를 사용토록 친환경 설비도 도입하였다.

삼척그린파워 주기기 구성

삼척그린파워에 적용된 보일러는 최신 초임계압,

표 1 보일러 설계조건

Item		Data	Remark
Steam Flow	SH	1572 012 kg/h	at BMCR
	RH	1295 964 kg/h	at BMCR
Steam Pressure	SH	255.5 bar g	at BMCR
	RH	53.1 bar g	at BMCR
Steam Temperature	SH	603 °C	at BMCR
	RH	603 °C	at BMCR
Emission	SOx	<50 ppm	O2 6% dry volume
	NOx	<50 ppm	O2 6% dry volume
Fuel		Sub-bituminous coal + Biomass	Biomass Max. 5%

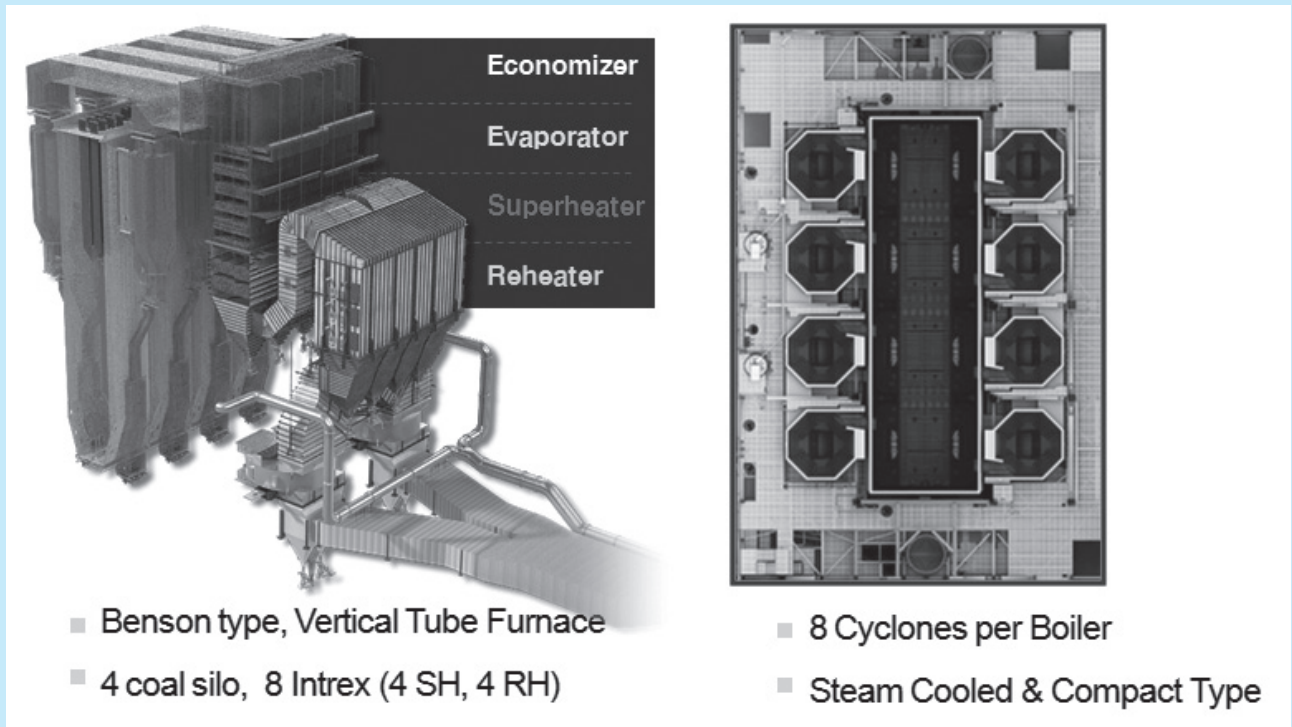


그림 4 삼척그린파워 초임계압 순환유동층 보일러

벤슨 관류형 기술을 접목한 Advanced CFB 로서, Foster Wheeler에서 공급하며 전통적인 자연 순환 보일러와 비교하여 증기온도, 압력을 높여 5~10% 효율성을 높였다. 이로써, SOX, NOX, 수은, 미세먼지 뿐만 아니라 온실가스를 비교적 적게 배출할 수 있으며, 기존의 석탄 연료뿐만 아니라 hard-to-burn 연

료, 바이오매스 등을 연소할 수 있다. 한 개 보일러는 4개의 Coal Silo, 석탄과 가스를 분리하는 8개의 Cyclones을 가지며 대칭적으로 구성되어 보일러의 Bed material을 균형적으로 재순환한다.

이러한 순환유동층 보일러의 연소연료 유연성은 보일러 설비의 설계수명 동안 petroleum coke, lignite,

표 2 증기터빈 설계조건

Item	Technical Data
Turbine Type	TC-4F (HP 1xDF+8, IP 9x2F, LP 6x4F)
LSB	48 inch, Titanium
Rated Output	1,022MW(NR) / 1,100MW(VWO)
Rotating Speed, rpm	3,600
Main steam condition	246 bar g / 600 deg C
Reheat steam condition	55 bar g / 600 deg C
Condenser Pressure	38.1mmHgA
Efficiency	48.7 %

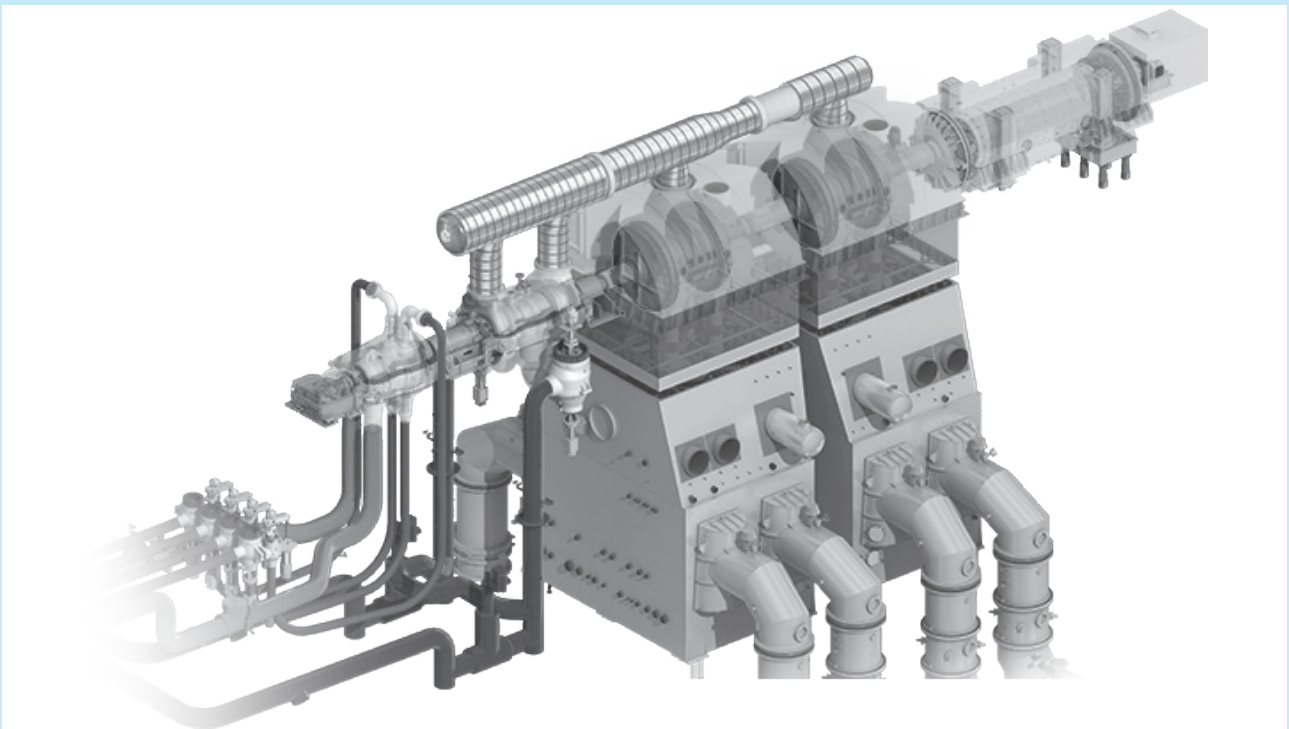


그림 5 삼척그린파워 증기터빈 및 발전기

waste coal 등 다양한 연료를 연소할 수 있어 급변하는 연료시장의 변동에 적용하는 장점이 있을 것이며, 국가 에너지 안보측면에서도 기여하게 될 것이다.

삼척그린파워 증기터빈은 직렬배열, 재열, 복수형으로 고압터빈, 중압터빈, 저압터빈 2개로 구성된, 4 케이싱의 4류 형식으로 도시바에서 공급하며, 48인치 최종단 동익(재질 : 티타늄)을 채택하여 최대 출력 1,100MW, 최대 효율 48.7%로 높은 효율을 달성한 기

중이다.

국내에 운전되고 있는 터빈은 500MW, 800MW급으로 삼척에 적용된 1,000MW가 되기 위해서는 최종단 동익이 45인치보다 더 커져야 하고 이를 수용하기 위해 저압터빈 케이싱이 커지게 된다.

최근 터빈 제작사들은 경쟁적으로 설비용량을 키우기 위해 최종단 동익을 크게 만들고 있는 추세이다. 삼척에 적용된 48인치 티타늄 최종단 동익은 일본 중

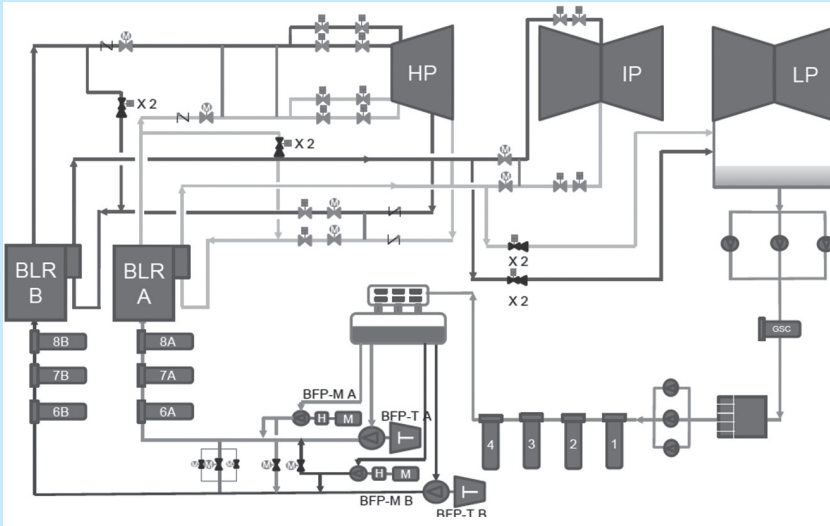


그림 6 급수 및 증기운전 개념도

부전력 해키난 발전소에 2012년부터 약 3년반 동안 문제없이 실제 운전되고 있으므로, 삼척에서도 별 탈 없이 잘 운전될 것이다. 1,000MW 증기터빈은 축의 길이가 초장축으로 약 50m이며 10개의 베어링으로 지지되고, 600℃의 증기온도에 견디기 위해 도시바에서 개발한 개량형 12Cr강을 적용하였으며, 효율을 높이기 위해 3D 설계를 도입한 Advanced Fluid Dynamic 날개 및 노즐과 최종단 배기손실을 줄이기 위해 Exhaust hood 형상설계에 적용되고 있다. 이외에도, 베어링 형식개선, 누설손실을 줄이기 위한 Abradable seal 채택 등 과거 플랜트에서 문제를 피드백하여 지속적으로 업그레이드하여 개선적용하고 있다.

삼척그린파워 운전개념

호기별 운전개념은 수정 변압운전에 근거하고 있으며, 부하에 따라 정압운전과 변압운전 구간을 적용하며, 정압구간에서는 터빈밸브의 교축으로 부하를 조절하고 변압구간에서는 보일러 출력(즉, 증기유량, 증기압력)을 변화하여 부하를 조절한다.

○ 변압운전구간 : 50%~90% 출력, 증기압력과 증기유량(보일러 출력)이 직접 부하제어, 제어밸브 위치고정으로, 증기유량으로 압력이 조정됨.

○ 정압운전구간 : 50% 이하 및 90% 이상 출력, 주증기압력 고정,

출력은 제어밸브 교축으로 조정됨.

정상운전 중에는 보일러 2대가 동일부하로 병렬운전하며 터빈/Unit Master가 보일러 Master에 증기온도 및 압력값을 보내며 보일러측에 제한이 없을 때 두 보일러

가 설정값을 공유하며, 재열증기의 균형을 맞추기 위해 재열기 조절밸브가 각 보일러에 설치되어 있으며 동일 유량으로 조절한다. 1:1 운전은 주증기와 재열증기가 주증기 제어밸브와 재열증기 제어밸브의 교축으로 조절되며, 이 기능이 채택되어 1:1 ↔ 2:1 조합운전이 순조롭게 서로 전환운전된다.

맺음말

남부발전이 건설중인 삼척그린파워는 초임계 순환 유동층 관류보일러 2대와 1,000MW 증기터빈을 조합한 세계 유일의 발전소로 무회사장, Coal Shed, 해수담수화설비, 연돌 사무실 등 다양한 독창적인 설계 개념을 실현한 프로젝트이다. 또한, 세계적 석탄사용 추세를 예측하여 향후 저열량탄, 바이오매스 등 연료 유연성을 겸비한 순환유동층 보일러를 도입하여 2:1 및 1:1 수정 변압운전개념을 적용한 운전측면에서도 신개념을 적용한 발전소이다. 500, 800MW급 국내 발전소대비 1,000MW 대용량 발전소의 상업운전으로 국내 전력사용량에도 기여하게 될 유용한 발전소로 거듭날 것이다.