

보령화력 1, 2호기 터빈 성능개선 방향

박중현 | 한국중부발전 발전운영팀장(parkjohn@komipo.co.kr)

보령화력 1,2호기는 각각 1983년, 1984년에 상업운전을 개시하여 20년 이상 장기 운용한 설비로서, 2003년 4월에 설비 전반에 대한 정밀진단을 시행하였다. 특히 터빈에 대해 육안검사 및 수명평가를 시행한 결과 터빈 회전날개(Blade) 일부에 정비기준이 초과된 고행미립자침식(SPE : Solid Particle Erosion)이 발견되었으며, 고압 1단 노즐박스(Nozzle Box)의 교체시기가 도래된 것으로 판명되었다. 또한 저압터빈의 최종단 핀에 균열이 발생하는 등 열손실에 의한 성능이 저하된 것으로 판정되어 교체가 불가피하였다. 최근 발전소 신규 건설은 부지확보 어려움과 환경민원으로 원활한 추진이 어려워지고 있으며, 기존 발전소의 운전기간이 경제수명을 초과함에 따라 설비 노후화에 의한 성능저하로 발전수익 및 설비 신뢰도가 저하되고 있는 추세이다. 따라서 최신의 기술이 적용된 터빈으로 교체함으로써 출력 25MW, 효율 1.56% 상승이 가능하며, 10년 이상의 수명연장이 가능할 것으로 보인다.

1. 현황

충청남도 보령군 오천면 오포리 소재 부지 115만평 위에 건설된 보령화력 1,2호기는 시설용량 1,000MW(500MW×2기)의 발전설비로 국내에서는 최초로 시도된 유연탄·중유 전소 양용 발전소이다. 보령화력 1,2호기 건설이후 한국 표준형 화력발전소인 3~6호기가 이어서 건설되었고, 2008년 준공을 목표로 7,8호기가 건설중에 있다. 보령화력 1,2호기 발전소 건설 기술감리는 암대 기술용역(주)이 담당하였고, 보일러는 미국 Babcock & Wilcox사, 터빈·발전기는 일본의 Toshiba사 공급으로 한국중공업(현, 두산중공업) 및 대우중공업(주)이 국산화(66.4%)에 참여하였으며, 대림산업이 시공에 참여하였다. 1979년 주요 기자재에 대한 계약을 체결하였고, 1983년 1호기, 1984년 2호기가 상업운전을 시작하였다. 2005년 발전통계에 따르면 1년 동안 1,2호기 전력거래량은 7,003,876MWh, 이용율 84.5%, 열효율 38.6%, 연료사용량(유연탄) 2,828,875톤에 이른다.

표 1-1. 보령화력 1, 2호기 설비현황

구분	시설용량	준공년도	폐지계획	사용연료	보일러	터빈·발전기
1호기	500MW	1983.12	2015	유연탄	B&W(미국)	Toshiba(일본)
2호기	500MW	1984. 9				

2. 터빈설비

2.1 개요

터빈이란 증기, gas와 같은 압축성 유체의 흐름을 이용하여 충동력 또는 반동력으로 회전력을 얻는 기계 장치이며, 증기를 이용하는 경우를 증기터빈, 연소가스를 이용하면 가스터빈이라고 한다. 구조는 그림 2.1에서 보는바와 같이 고압터빈(High Pressure Turbine), 중압터빈(Intermediate Pressure Turbine), 저압터빈(Low Pressure)으로 구성되어 있다.

보일러에서 생산된 고온(540℃), 고압(176kg/cm²)의 증기는 고압터빈을 회전시킨 후 보일러로 회수되어 재가열된 후 중압터빈을 거쳐 크로스오버파이프(Cross Over Pipe)를 통과한 후 저압터빈을 회전시키고 복수기에서 응축되어 다시 보일러로 회수된 후 터빈계통을 재순환 한다.

2.2 주요기술규격

터빈은 정상운전에서의 회전수가 3,600rpm에 이르며, 터빈입구밸브에서의 증기압력은 169kg/cm², 증기온도 538℃이다. 고압터빈은 6단, 중압터빈은 5단, 저압터빈은 6단씩 2Sets 으로 구성되어 있으며, 저압단의 최종 회전날개 길이는 33.5"(Inch) 이다.

3. 성능개선 추진배경

3.1 성능개선 필요성

최근 발전소 건설을 통한 신규 전원개발은 부지확보 어려움과 환경민원으로 원활한 추진이 어려워지고 있으며, 기존 발전소는 운전기간이 증가됨에 따라 주요설비 노후화에 의한 성능저하로 발전수의 저하 및 설비 신뢰도가 저하되고 있는 추세이다. 따라서 장기 운영 발전소의 성능개선과 설비수명 연장을 통하여 효율적 발전설비 운영과 재무구조 개선 효과를 얻고자하

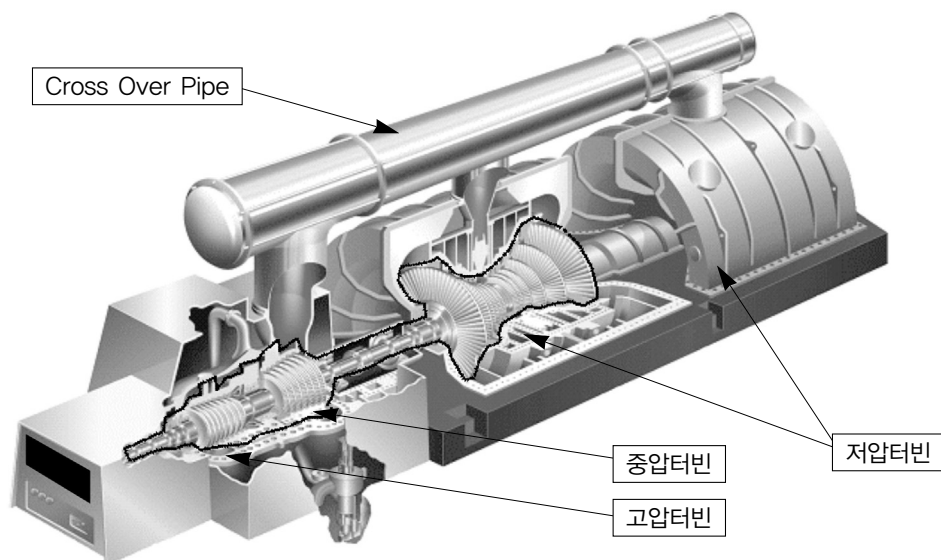


그림 2-1. 터빈 개요도

표 3-1. 보령화력 1,2호기 성능진단 결과

항 목	단위	4/4_설계	86년_인수	97년_OHA	04년_OHB	인수대비	97년 대비
플랜트효율	%	38.62	38.79	38.76	38.10	-0.69	-0.66
보일러효율 (측정치)	%	89.64	88.67	89.56	88.09	-0.58	-1.48
보일러효율 (보정치)	%	89.64	89.41	89.21	89.62	0.21	0.41
터빈효율 (측정치)	%	45.48	45.44	44.87	44.32	-1.12	-0.54
터빈효율 (보정치)	%	45.48	45.81	44.92	44.68	-1.13	-0.24

는 것이 발전회사의 당면과제인 것이다.

3.2 발전설비 성능진단

보령화력 1,2호기에 대한 2003년 정밀성능진단 결과, 표3.1에서 보는바와 같이 2004년 계획예방정비전 플랜트 효율이 38.10%로서 1997년 정비후 시험치 38.76% 대비 0.66%P 낮은 수준으로 나타났으며, 인수치 38.79%, 설계치 38.62% 대비로도 각각 0.69%P, 0.52%P 낮은 수준이다. 효율이 낮은 요인은 보일러 및 터빈의 측정치 효율이 낮았기 때문이며 특히 1997년 시험치 대비로는 보일러효율이, 인수치 대비로는 터빈효율이 더 낮았다.

3.3 터빈 성능진단

터빈 계획예방정비기간 중인 2003년 9월 6일부터 11월 6일까지 증기터빈의 케이싱(Casing), 다이아프램(Diaphragm), 로터(Rotor), 회전날개(Blade) 등 각

구성품의 상태를 정밀 점검한 결과 고, 중압 터빈의 손상 및 이상 상태가 발견되어 교체가 필요한 것으로 진단되었다. 그림 3.1 및 3.2에서 보는바와 같이 터빈 손상 원인으로는 고형물질마모(SPE : Solid Particle Erosion)가 있는데 이는 보일러 튜브에서 박리된 금속 산화물이 증기와 같이 이동하여 회전날개를 침식하게 된다. SPE는 고온의 증기가 유입되는 부근에서 가장 심하며 주로 노즐(Nozzle)과 회전날개 형상(Profile)의 변화(증기유로 면적의 증가), 증기유로의 표면거칠기(Surface Roughness)의 증가로 인한 효율 감소가 발생한다.

4. 성능개선 추진방향

500MW 표준화력(22기)보다 먼저 건설된 보령화력 1,2호기는 표 4.1에서 보는바와 같이 보일러 설계 증

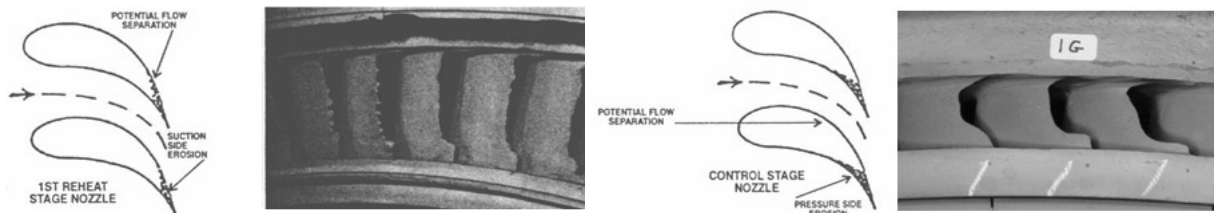
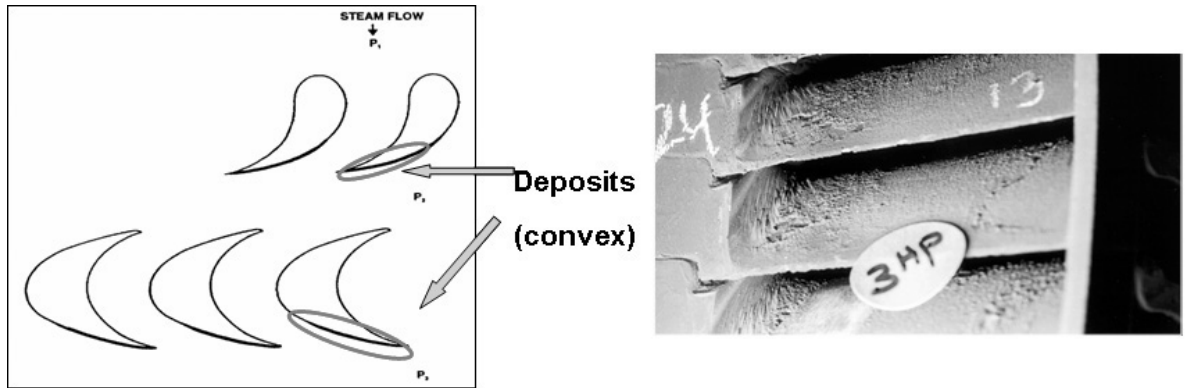


그림 3-1. 고형물질에 의한 블레이드 마모



발생위치

HP Stationary Blade

그림 3-2. 고형물질에 의한 블레이드 침식

표 4-1. 설계 증기량 비교

발전소별	설계 증기량		여유
	보일러	터빈	
보령 1,2호기	1,781 t/h	1,707 t/h	4.3 %
500MW 표준화력	1,720 t/h	1,704 t/h	0.9 %

기량이 1,781T/h로서 터빈에서 받아들일 수 있는 증기량보다 4.3% 여유가 있다.

1.56%의 향상이 기대된다.

따라서 보일러의 용량증가 없이, 보일러의 설계 증기량을 받아들일 수 있는 용량의 터빈으로 교체하고, 교체되는 터빈에는 1990년대 초반 개발되어 최근 발전소에 설치되고 있는 Dense Pack 터빈 기술을 적용할 경우 표 4.2에서 보는바와 같이 출력 5% 및 효율

Dense Pack 터빈은 전체 터빈 Shaft의 길이 증가 없이 고압터빈의 단수를 기존의 6단에서 8단으로 증가시켜 동일한 증기량으로 더 많은 일을 할 수 있게 하였고(그림 4.1), 버켓 및 노즐의 형상손실(Profile Loss)을 최소화하고 많은 증기를 뿜 수 있으면 노즐 가운데로 모이도록 하여 버켓에서 큰 에너지로 변환시

표 4-2. 성능개선 전,후의 출력 효율 비교

구분	정격출력(kW)	터빈효율(%)	보일러효율(%)	발전효율(%)
기존	510,000	44.32	89.14	39.50
개선	535,000	46.06	89.14	41.06
증가	5 %	1.74 %	설계치	1.56 %

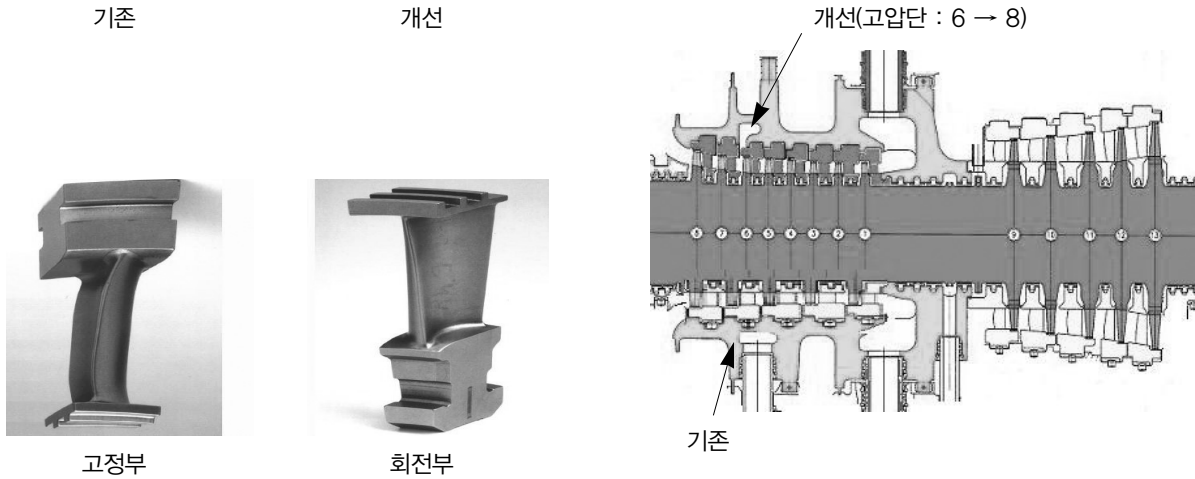


그림 4-1. 성능개선 전, 후의 터빈 비교

킴으로써 단(Stage)의 효율을 상승 시킬 수 있으며, HP-HVOF(High Pressure/High Velocity Oxygen Fuel) 코팅 기술 적용으로 고형물질(SPE)에 견딜 수 있도록 되어있다.

또한 그림 4.2에서 보는바와 같이 회전날개 체결 방식을 기존의 Fork Pin Type에서 Integral Type으로 개선 적용함으로써 블레이드간의 영향 최소화, 조립

및 분리가 쉽고, 진동에 의한 피로(Stress)를 기존 방식에 비해 반 정도로 감소시킬 수 있는 장점이 있다.

5. 결론

보령화력 1,2호기는 1983년, 1984년 준공되어 20년 이상 사용한 발전소로서 터빈 정밀성능진단 결과

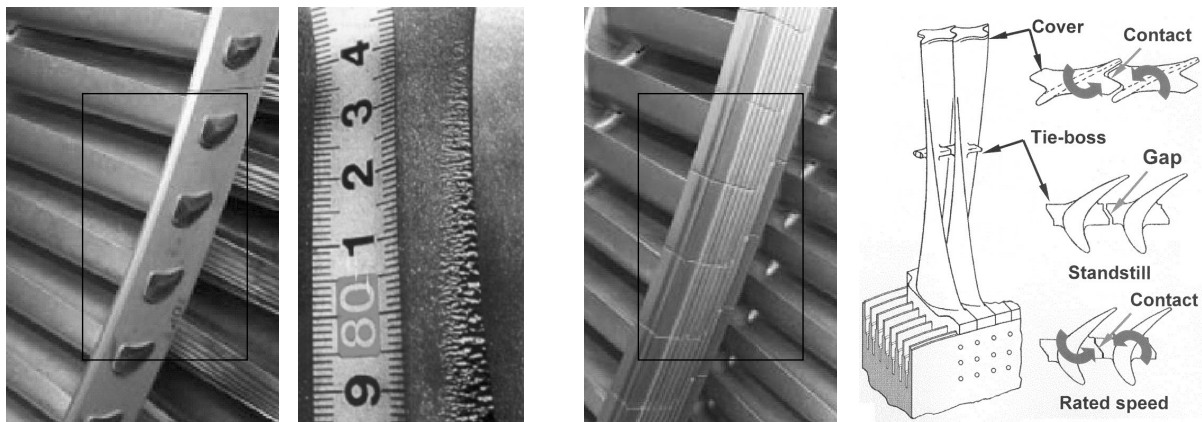


그림 4-2. 성능개선 전, 후의 터빈 블레이드 체결방식 비교

주요부품이 경년열화 되었고, 보일러에서 발생된 고형 물질이 터빈 블레이드에 침식을 일으켜 효율이 설계치 대비 1.12% 저하된 것으로 판명되어 터빈의 고, 중압 터빈과 저압터빈의 최종단의 교체가 필요하였다. 1990년대 초에 개발되어 최근 발전소에 적용되고 있는 최신기술인 Dense Pack 터빈으로의 교체와 더불어 고형물질에 견딜 수 있는 HP-HVOF 코팅기술의 적용과 블레이드 체결방식을Integral Type으로 개선 적용함으로써, 운전치 대비 효율 1.56% 상승이 가능할 것으로 보이며, 보일러에서 생산할 수 있는 설계 증기량이 1,781ton/hr로 현재 터빈에서 받아들일 수 있는 증기량인 1,707ton/hr에 비해 4.3%의 여유가 있어 보일러의 설계 변경 없이 고, 중압 터빈의 교체만으로 출력을 운전치 대비 25mw 상승시킬 수 있어 우리회사 수익에 크게 기여할 것으로 전망된다. 또한 국내 최초로 시도되는 우리회사 터빈 성능개선의 성공적 수행

은 경제수명이 경과된 다른 발전회사의 터빈에도 적용될 것으로 기대되며, 이로 인한 자원재활용 및 신규 발전소 건설 억제는 국가경제에도 기여하는 바가 크다고 하겠다.



- 1986. 4 삼천포화력발전소
- 1990.7 창원주재실
- 2000.2 중부발전 기술품질팀장
- 2002.1 중부발전 기술전문팀장
- 2004.4 중부발전 발전운영팀장

참고문헌

- (1) 한국전력공사, 2005년, 한국전력통계
- (2) 한국중부발전주식회사, 2005년, 중부발전 전력통계
- (3) 도시바(日), 2004년, 보령화력 1,2호기 타당성조사 보고서
- (4) GE(美), 2000년, Development of the Dense Pack Steam Turbine
- (5) GEC Alstom, 1995년, Modernization of Steam Turbines For Improved Performance
- (6) 한국전력기술, 2006년, 보령화력 1,2호기 수명연장 및 성능향상 타당성 조사 보고서
- (7) 전력연구원, 2005년, 보령화력 2호기 계획예방정비 후 정밀 열성능진단 결과 보고서
- (8) 전력연구원, 2006년, 보령화력 1호기 2005년 정밀 열성능진단 결과 보고서
- (9) 전력연구원, 2003년 12월, 보령화력 1호기 터빈 수명진단 보고서
- (10) 전력연구원, 2003년 7월, 보령화력 2호기 터빈 수명진단 보고서