



노후발전기 고정자 및 회전자 최적정비를 통한 신뢰도 확보



최 홍 석
한국남동발전(주) 발전처 차장

1. 개요

한국남동발전(주)은 국내에서 운영 중인 500MW급 발전소 중 최초 설치된 삼천포화력 1, 2호기 및 석탄화력 중 최초인 영동화력 등 다수의 노후설비를 보유하고 있다.

2008년의 삼천포화력 4호기의 발전기 고장 이후 회사가 보유한 노후 발전기에 대한 집중 점검을 시행하였고, 점검결과에 따라 발전기에 대한 종합운영계획 수립 및 정비를 시행하였다.

삼천포화력 발전기는 수냉식 발전기로 고정자 및

한국남동발전 보유 설비현황

사업소명	호기	연료종류	준공년도	단위용량(MW)
삼천포	#1,2	유연탄	1983~1984	560
	#3,4	유연탄	1993~1994	560
	#5,6	유연탄	1997~1998	500
영 흥	#1,2	유연탄	2004	800
	#3,4	유연탄	2008	870
영 동	#1	유/무연탄	1972	125
	#2	유/무연탄	1979	200
여 수	#1	중유	1975	200
	#2	유연탄	1977(2011)	340
분당복합		LNG	1992~1997	900

회전자 전반에 걸친 수명 소진 및 피로누적이 발견되었고, 영동화력 발전기의 경우는 공냉식 발전기로서 고정자 권선에 문제점은 없었으나, 회전자 부분에서 정비사항이 발견되었다. 삼천포화력 1, 2호기는 전력연구원 수명평가 결과 고정자 권선의 수명이 50% 미만으로 평가되었고, 2호기 회전자는 장기운영에 따른 절연물 교체가 권고되었다. 영동화력 발전기는 수소냉각식 발전기로서 고정자 및 회전자 부위에 이상부위가 발견되지 않았으나, 장기간(30년) 사용 및 WSS(Weekly Start & Stop) 운영으로 인한 경년열화 및 동분 발생으로 인한 대형사고 가능성이 내재되어 있어 제작사(Hitachi社)의 교체권고에 따라 정비계획이 수립되었다.

2. 노후발전기 정비사업

남동발전, 전력연구원, 제작사와의 TF 구성 및 기술 회의를 통하여 구체적 설비 정비범위 및 정비방법을 결정하였으며, 그 결과는 아래와 같다.

삼천포화력

- 1호기 고정자 재권선 및 회전자 부분정비
- 2호기 고정자 재권선 및 회전자 절연물 교체

영동화력

- 2호기 회전자 절연물 교체

삼천포화력 발전기 수명평가 결과

고정자권선 수명평가 기법			
<p>NY-Map법</p> <p>■ 발전기 운전이력에 의한 수명예측</p> $V_r(\%) = 100(1 - 8.75 \times 10^{-3} Y)(1 - 6.4 \times 10^{-5} N)$	대상호기	점검방법	점검결과
<p>D-Map법</p> <p>■ 전기시험 특성값으로 수명평가</p> $V_r(\%) = 100 - 1.8(\Delta - 0.8) - 27.4 \log(Q_m/1500)$	삼천포 #1	D-Map	<ul style="list-style-type: none"> • 평균잔여수명 42.7% • 수명여유 2.7% → 교체 권고
	삼천포 #2	D-Map	<ul style="list-style-type: none"> • 평균잔여수명 48.1% • 권선 누수발생 → 수명 소진 • 신속한 권선교체 권고

3. 삼천포화력 발전기 정비사업 시행

노후발전기 고정자 재권선은 노후 발전기인 삼천포화력 1,2호기 이외에 기존에 사고가 발생되었던 삼천포화력 4호기 발전기 재권선을 우선 시행하였으며, 호기별 세부 작업내용은 다음과 같다.

삼천포화력 발전기별 세부작업 범위

구 분		1호기	2호기	4호기
발전기 고정자		○	○	○
회전자	재절연	×	○	×
	Retaining Ring 등 부속자재	○	○	
기타 보조기기		△	△	○
작업기간		2012. 2~4	2012. 4~6	2011. 3~5

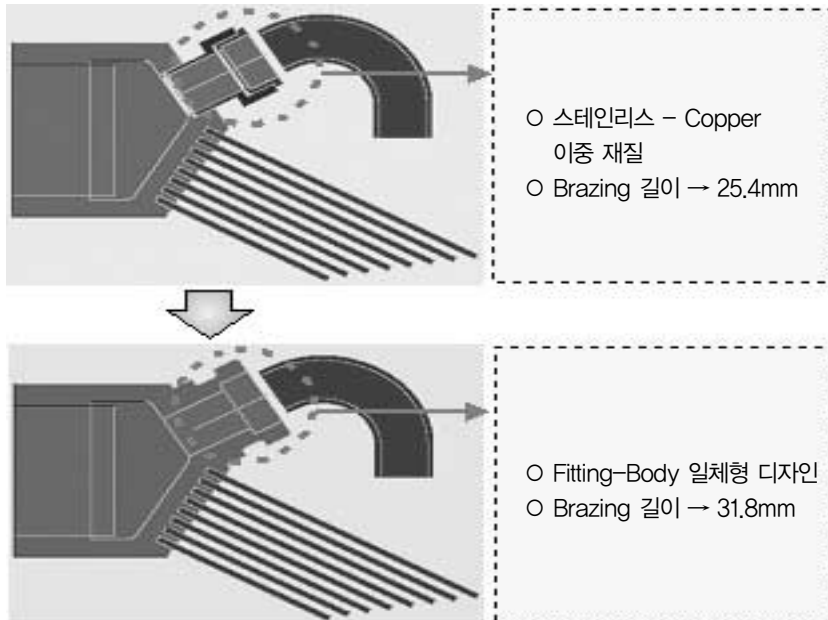
수냉각 발전기의 신뢰도 향상을 위하여, 재권선 공정 중에 다음과 같은 설비개선사항을 적용하여 재권선을 시행하였다.

■ Water Clip 설계변경

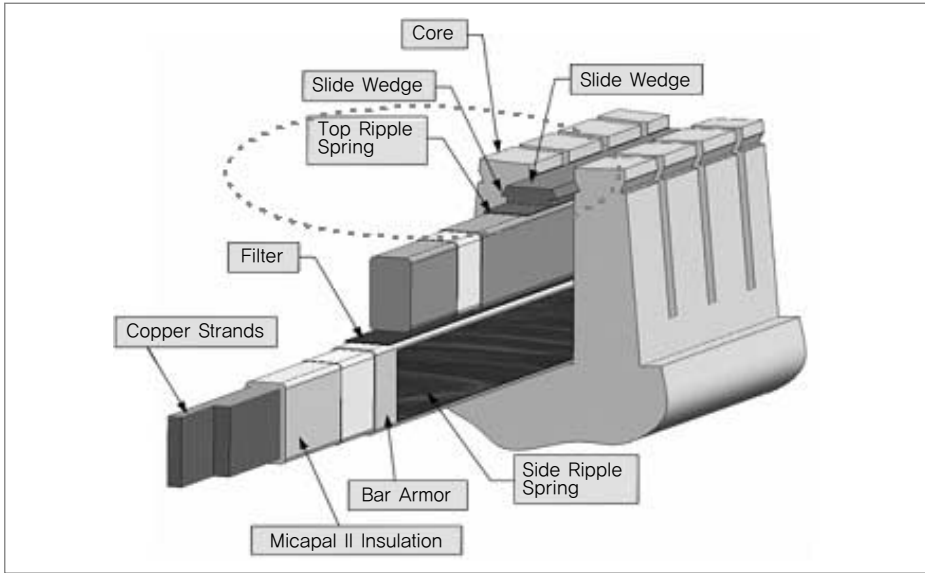
- 스테인리스와 Copper 이중재질로 Brazing 용접을 수행하던 Fitting 및 Body 부위를 일체형으로 재작하여 Brazing 용접부위 최소화
- Brazing 용접 길이 연장 : 25.4mm → 31.8mm

■ Wedge System 개선

- 기존의 Wedge 시스템은 발전기 운전중의 Bar Force에 의해 절연물의 전기적 및 기계적인 진동, 기타 흡습, 운전중 열에 의한 Wedge의 Shrinkage, Core Punching Misalignment로 인한 Stator Bar의 불안정한 안착 등 여러 가지 이유로 Wedge의 Loose 현상 발생



Water Clip 설계변경



Top Ripple Spring 설비개선

- 위와 같은 사유로 인하여 발생하는 Loose를 방지하고, Tightness를 유지하기 위하여 Wedge 아래에 Top Ripple Spring 적용

저야 하며, 회사의 수익 극대화를 위하여 공기를 단축하고 정비품질을 확보하는 것이 무엇보다 중요한 도전과제가 되었다.

또한 발전기의 고정자 및 회전자의 재권선 작업은 신규 설치와는 달리 계획예방정비공사 기간을 활용하여 이루어

이를 위하여 고정자 재권선 주요공정을 분석하고, 공정 단축 가능성을 6 시그마 기법으로 확인하여 재권선 공정을 새롭게 수립하였다.

재권선 공정 현황

구분	공정명
분해	TBN COOLING
	"C" Coupling 분리 및 OIL LINE BLINDING
	발전기 분해
	Rotor 인출
	Rotor & 분해부품 점검 및 Cleaning
재권선	JOB Preparation
	Disassembly of Coil, Connection Ring, etc
	Assembly of End Winding Support
	Disassembly of Terminal Box
	Assembly of Stator Coil
	Assembly of Terminal Box Groeun Bar
	신뢰성시험, 주파수응답시험, 진동모드시험
조립	발전기 조립
	Oil Flushing
	Air Leak Test
	Gas 치환 및 발전기 기동

공정단축 현황

구 분	단 축 내 용	단축시간
분 해	병해시 TBN 1st Metal Temp 최저 유지 → 냉각시간 단축	0.5일
	TBN/GEN 분리시점 조정 → Oil Line Blinding으로 조기분리	2일
	개별 Stator Bar 해체 → End Winding 일체형 해체	3일
	Outer Axial Support 사전제작	2일
재권선	시험시간 세밀조정	2일
	EL-CID Test 시점 조정	1일
	추가인력 투입	9일
조 립	LO Flushing 시점조정	0.5일
	Air Leak Test 및 가스치환 시간단축	1일
합 계		21일

현재 70일이었던 공기를 단축가능요소를 검토하여 도전목표 49일로 수정하였고, 이를 통해 21일의 공정 단축을 이룩하였다.

이후 기존 자재의 고착현상 및 작업의 난이점이 다수 발견되었으나, 슬기롭게 극복하고 작업에 대한 표준 절차를 마련하였다.

2012년도에 수행할 회전자 작업에 대해서는 영동 화력의 회전자 정비사례를 참고하여 작업을 시행할 예정 이며, 회전자 정비에 관한 영동화력 사례를 기술하고자 한다.

4. 영동화력 발전기 정비사업 시행

영동화력 2호기 발전기는 30여 년 간 운영된 발전기 로서 장기운영에 따른 설비노후화 및 잦은 WSS 기동으로

구 분	내 용	구 분	내 용
용량	260MVA	역률	지상(0.85),진상(0.95)
주파수	60Hz	냉각	수소냉각

회전자에 문제점이 발생할 가능성이 높아 제작사의 정비 권고로 회전자 절연물 교체를 시행하였다.

영동화력 2호기 발전기 회전자의 주요 정비내용은 다음과 같다.

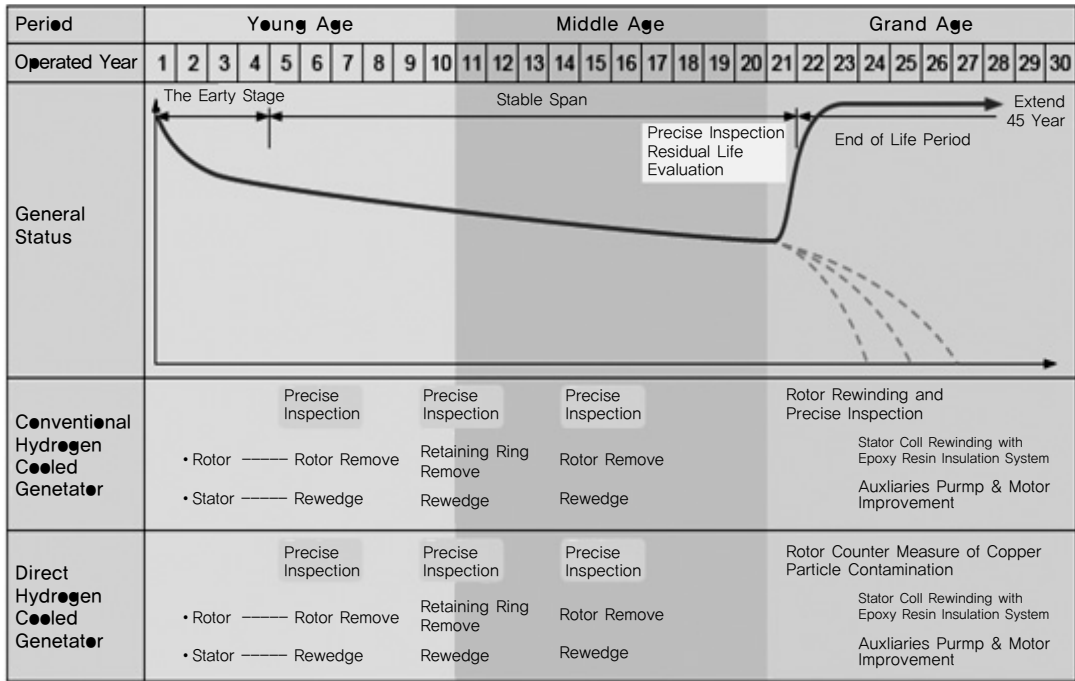
- 절연재 등급 향상 및 동분발생 최소화
- Retaining Ring 재질개선
- 전식발생 정비
- Collector Ring 교체 및 Brush Gear Type 변경
- 개량형 Wedge 교체

회전자 정비범위는 재사용 시 큰 문제가 없는 Rotor Shaft 와 Coil 등을 제외한 대부분의 구성품을 교체 하 였다.

■ 회전자 재절연 및 동분제거

동분의 발생은 회전자 회전 시 Slot 내부 권선들의 상대 운동(마찰)으로 동분이 발생하므로 장기운전 발전기는 동분점검을 반드시 하여야 한다.

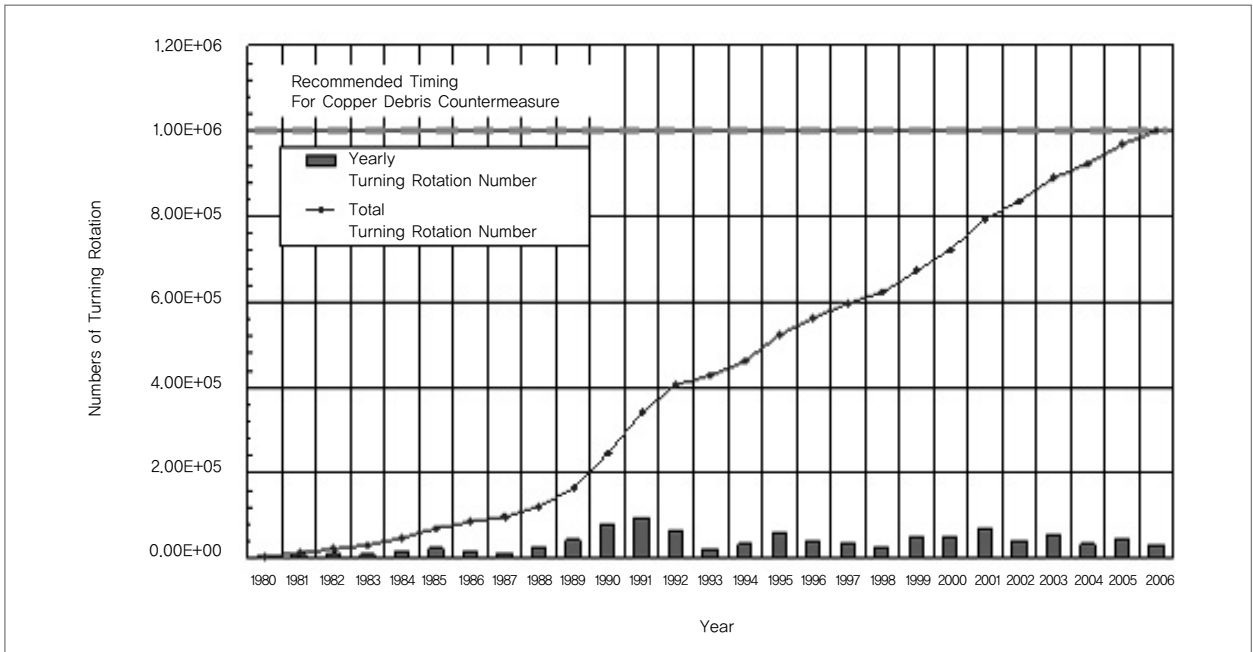
일본 Hitachi의 Simulation 결과, 운전수가 1×10^6 에서의 동분점검을 추천하고 있다.



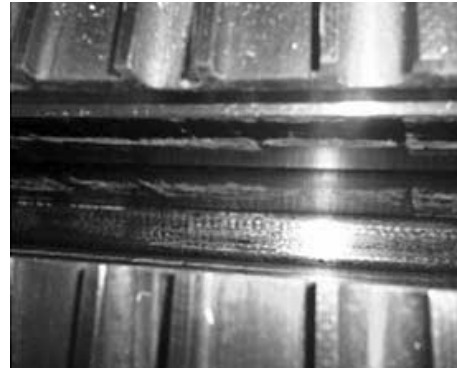
발전기 사용기간에 따른 점검 및 정비주기(Hitachi 제시 자료)

따라서 절연등급을 B종에서 F종으로 상향하였고, 누적 동분을 완전히 제거한 후 최신의 층간절연재(Fiber

Glass)를 적용하여 동분발생을 예방할 수 있도록 설비를 보강하였다.



회전수에 따른 동분누적 예상치



회전자 동분누적 사진

■ Retaining Ring 교체


Retaining Ring은 회전자 단부에 설치되어 운전 중의 원심력으로부터 회전자 코일의 이탈을 방지하는 설비로서 영동화력 2호기는 18Mn5C 재질로서 장기간 사용시 SCC(Stress Corrosion Crack) 발생 위험성이 높은 것으로 알려져 있다.

이러한 문제점 해결을 위하여 금번 정비시 SCC 발생 가능성이 낮은 18Mn18Cr 재질의 Retaining Ring으로 교체를 시행하였다.

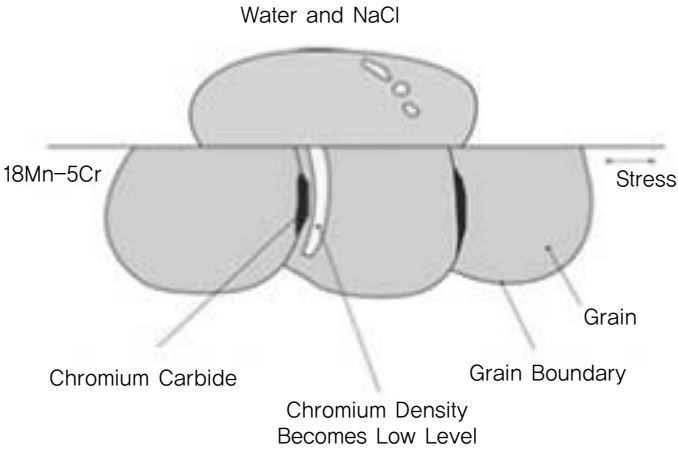
■ 전식발생부위 정비

발전기 Rotor Shaft Slot 육안검사 중 Slot Dovetail 부위에 145 Point의 전식부위가 발생하였다. 이중 115개소는 열적영향을 받은 것으로 판명되었고, 30개소는 열적영향이 없었던 것으로 판명되었다.

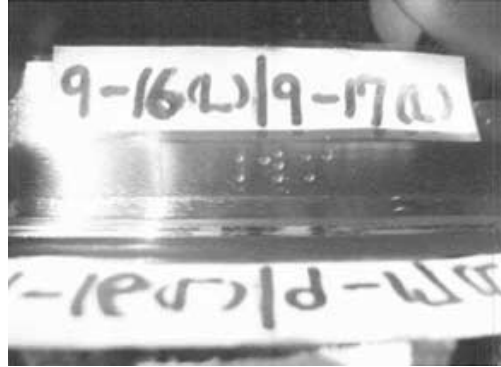
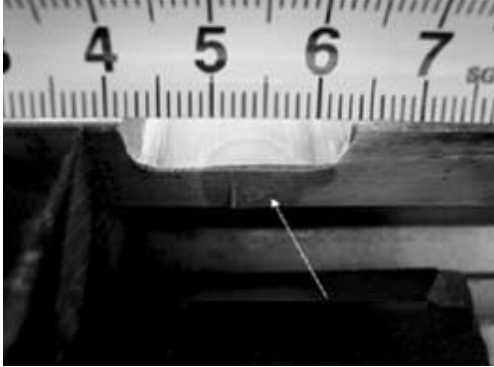
전식현상은 Motoring현상, 불평형부하운전 등의 비정상 운전 시 발생하며, Shaft의 경도에 영향을 미치고, Crack을 유발하여 최악의 경우 Shaft 파열 등의 심각한 손상을 회전자에 가져올 수 있다.



Water and NaCl



회전자 SCC 발생사례



전식부위 및 그라인딩 작업결과

■ Collector Ring 및 Brush Gear 교체

장기사용에 따라 마모된 Collector Ring 및 Brush Gear를 교체하였으며, 교체과정에서 Collector Ring 교체 시 충분한 진공형성이 이루어지지 않아 발생한 습분으로 인한 고정 볼트의 녹 발생 사실을 확인할 수 있었다. 이를 방지하기 위하여 Vacuum Pump 운전을 충분히 시행하여 공기를 배출시키는 작업을 수행하였다.

■ 회전자 Wedge 개선

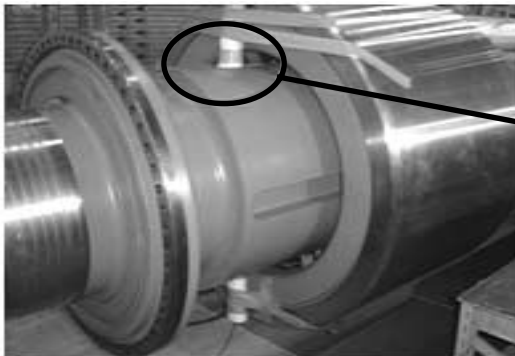
회전자 Wedge는 권선의 이탈을 방지하는 중요설비이며, 정상 운전 상태에서의 응력은 충분히 견딜 수 있으나, 비동기운전, 불평형운전, 과여자운전 등의 비정상 운전시 2배 주파수의 역상전류가 발생하여 특정

모서리 부위에 집중하여 Wedge에 미소한 Crack을 유발시킬 수 있다.

따라서 전류의 분산을 위하여 접촉부위를 원형으로 가공하여 Crack 발생을 방지할 수 있는 개선된 Wedge를 적용하였다.

5. 결론

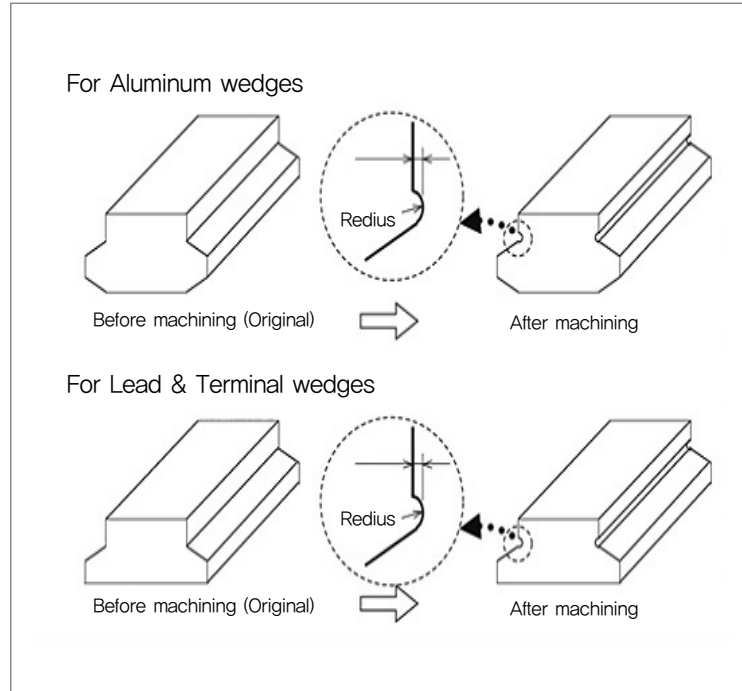
삼천포화력 및 영동화력의 발전기 정비를 통하여 1년 이상 발전기 정지를 유발할 수 있는 중대고장 사례를 원천적으로 예방하였고, 노후 발전기의 설비신뢰도를 극적으로 향상시킬 수 있었다.



회전자 고정볼트 녹발생



Wedge부위 Crack 발생



개선된 원형가공 Wedge

이번 정비사례에서 가장 주목할 부분은 500MW급 발전기 정비를 계획예방정비 기간이라는 짧은 기간 동안 성공적으로 수행하여 향후 발전기 정비가 필요한 노후 설비들의 발전기 정비를 최적의 기간 동안 수행할 수 있는 기반을 마련하였다는 데 있다.

남동발전은 향후에도 노후 설비 관리 분야에서 국내의 발전사들의 노후 발전기 성능개선의 모범적인 선례가 될 수 있도록 최선을 다할 예정이다. KEA