

김 화 식 한국남동발전(주) 영흥본부 터빈부장 | e-mail : bignews@koenergy.kr  
양 세 승 한국남동발전(주) 영흥본부 터빈1파트장 | e-mail : gagner@koenergy.kr

이 글에서는 터빈 Casing Bolt 분해조립 시 신기술 가열분해 공법을 적용하여, 정비기간 단축 및 Bolt 파손을 방지한 사례에 대해 소개하고자 한다.

### 발전소의 Mechanism 및 기본구조

화력발전소는 일반적으로 크게 보일러, 터빈, 발전기로 구성되며, 보일러에서 석탄연료를 연소시켜 얻는 화학적 에너지를 터빈에서 기계적 회전에너지로 전환한 후, 발전기에서 전기에너지로 전환하는 에너지 Mechanism을 갖는다.

이 글에서 주로 다루어질 터빈이란 증기의 유체의 흐름을 이용하여 터빈 Blade의 충동력 또는 반동력으로 회전력을 얻는 기계장치이다. 터빈 Casing은 터빈 Blade 회전체의 외부를 덮고 있는 기밀실로서, 증기가 일을 하기 위한 공간을 제공하며, 내부에 다이어프램 및 패킹이 조립되어 있다. 터빈 Casing은 구조상 고압터빈(High Pressure), 중압터빈(Intermediate

Pressure), 저압터빈(Low Pressure)으로 구분되며, 분해 및 조립이 용이하도록 수평중심면에 Casing은 상하 이분할되어 있으며, 이를 체결하기 위해 Casing Bolt로 결합한다.

### Casing Bolt 및 Bolt Heater의 구조

터빈 정비 시에는 Casing을 분해하여 내부에 Rotor, Blade, Diaphragm, Packing을 점검 및 정비하는데, 이를 위해 Casing Bolt의 분해조립을 선행해야 하며 볼트의 분해조립은 Bolt heater를 이용하여 볼트를 가열시켜 열팽창된 후, 냉각 시 수축력을 이용해 단단히 체결되도록 고안되었다.

Bolt heater는 직접 가열시키는 Bolt 가열부와 전원공급장치, Cable 등으로 구성된다. Casing Bolt는 일반 Bolt와 달리 길이가 최대 1,290mm에 달하며, 재질은 12cr강, Inconel 718을 주로 사용하며, Bolt 내부의 중공(Hollow)으로 되어 있어서 Bolt 가열부를 중공에 직접 삽입시켜 가열시키는 구조이다.

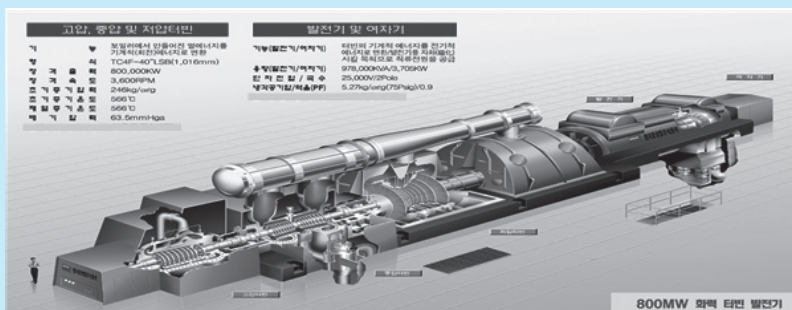


그림 1 800MW 화력 터빈 발전기 설치도

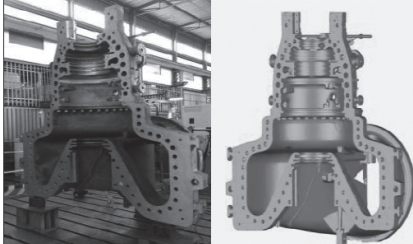
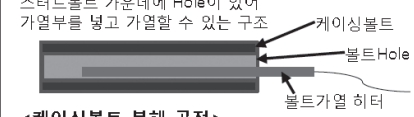
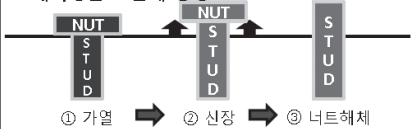
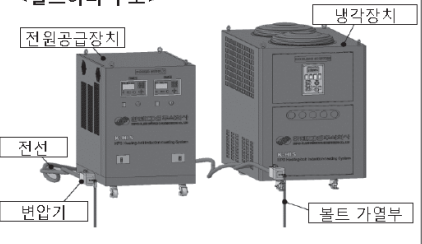
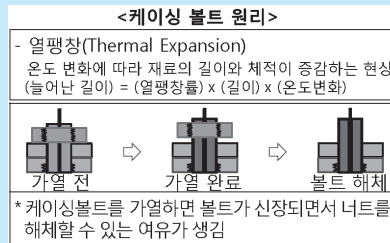
계획예방정비정지(Overhaul) ▶ 기계를 분해하여 정밀 점검하는 정비. 연 2개 Unit 시행하며, 모든 설비의 분해점검 및 정비작업 수행.		
터빈 케이싱 (Turbine Casing)	케이싱 볼트 (Casing Bolt)	볼트히터 (Bolt Heater)
<p>&lt;터빈케이싱 분해품&gt;</p> 	<p>&lt;케이싱볼트 구조&gt; 스터드볼트 가운데에 Hole이 있어 가열부를 넣고 가열할 수 있는 구조</p>  <p>&lt;케이싱볼트 분해 공정&gt;</p>  <p>① 가열 → ② 신장 → ③ 너트해체</p>	<p>&lt;볼트히터 구조&gt;</p> 
<p>▶ 터빈케이싱은 고온고압의 증기가 로터의 회전에너지로 변환되도록 밀폐 공간 역할을 함.</p>	<p>▶ 터빈 케이싱 상하간 체결 용도 ▶ 볼트 가열되면 열팽창된 후, 냉각시 수축력을 이용해 단단히 체결되도록 고안됨</p>	<p>▶ 케이싱볼트를 가열하기 위한 장치 ▶ 볼트 가열부와 전원공급장치, 케이블 등으로 구성됨</p>

그림 2 관련용어 설명

<Bolt 가열분해 원리>

- ① Bolt Hole內 Heater 삽입 →
- ② Bolt가열 → ③ Bolt 신장 →
- ④ Nut 간극발생 → ⑤ Nut 해체



<터빈 Casing Bolt 규격>

Bolt구분	직경(mm)	길이(mm)	수량(EA)
고·중압 터빈	50~175	307~1290	234
저압터빈	37.5~75	240~434	110

그림 3 케이싱 볼트 구조 및 원리

Casing Bolt 파손 원인 및 사례

터빈 Casing Bolt는 언급한 바와 같이 터빈 Casing을 밀폐시켜 증기 에너지를 회전 에너지로 변환시키는 주요 부품이며, 발전소 가동 중에 Casing Bolt의 파손이 발생될 경우 장기간 정지하여 정비공수(Manday)를 유발하고, 수십억의 전기생산 손실을 야기시킬 수 있다.

또한 Inconel 718재질의 Casing Bolt 가격은 수천만 원대이므로 Bolt의 파손을 예방하는 것은 매우 중요하다고 말할 수 있다.

기존에 국내 발전소에서는 전기저항식 Casing Bolt Heater를 주로 사용하였고, 전기저항식 Bolt Heater

는 Arc가 발생할 수 있으며, Bolt 및 Casing의 국부 과다가열을 가하여 Crack을 유발하였다. 즉, 전기저항 가열식 Bolt Heater는 Bolt 가열 시, Bolt·Nut뿐만 아니라 Casing 본체까지 가열하여, Hard Scale(산화물) 생성 및 나사산 열손상을 발생시켜 고장으로 연결되는 파손 Mechanism을 가지고 있다.

전기저항 가열 방식은 도체에 전류가 흐르면 전기저항에 의해 발열하는 현상을 이용하였으며, 다음과 같은 공식으로 발열량을 이해할 수 있을 것이다.

$$(발열량) = (전류) \times (저항)^2$$

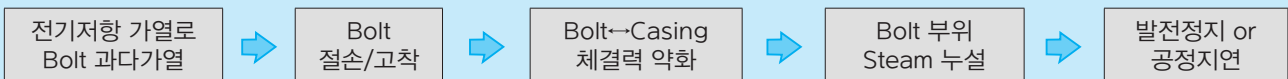


그림 4 케이싱 볼트 파손 메커니즘

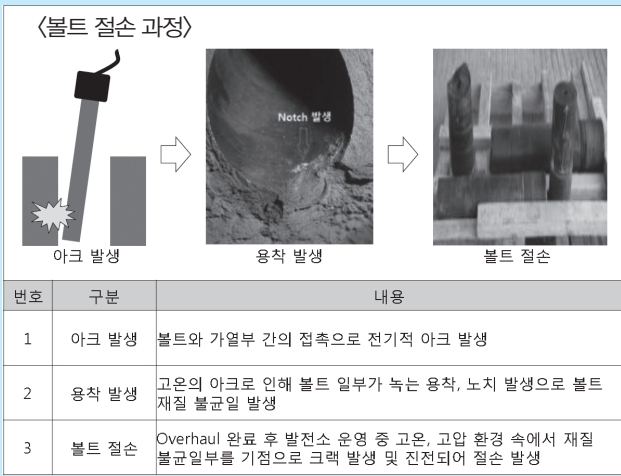


그림 5 전기저항식 볼트 히터로 가열 시 볼트 절손 과정

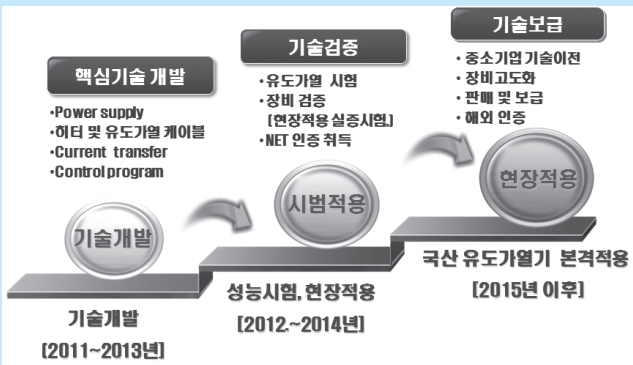


그림 6 볼트 히터 협업개발 로드맵

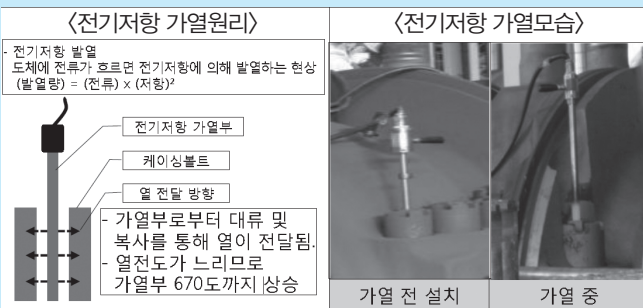


그림 7 전기저항식 볼트 히터 원리

### Casing Bolt 가열방식 개선

한국남동발전 영흥본부에서는 터빈 Casing Bolt의 파손예방 및 Bolt 분해정비 공기 단축을 위해 문제점

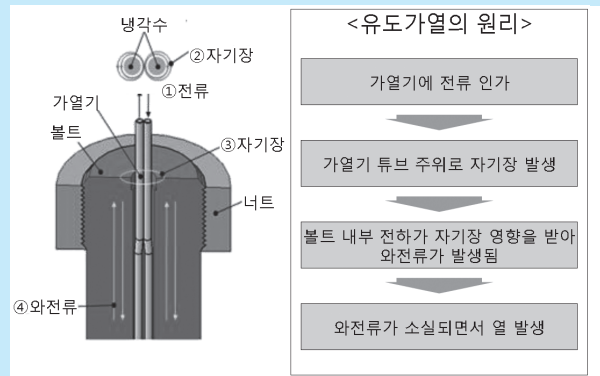


그림 8 유도가열식 볼트 히터 원리

개선 품질분임조(Heater 제작 전문 중소기업+한국남동발전)를 구성하여 최적 가열방법에 대해 개선을 시도하였다.

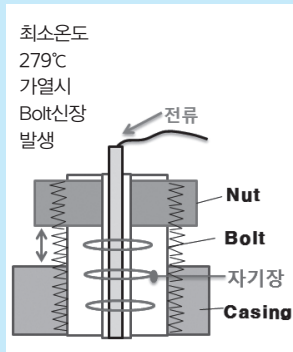
이에 기존방식인 전기저항식 Bolt Heater에서 유도가열식 Bolt의 개선 적용이 주된 목적이었는 바, 해외에는 적용사례가 있으나, 본 T/F를 통해서 국산화 현장 실증화 적용을 추진하게 되었다.

기존의 '전기저항방식'은 저항체로 열전도 발열시켜 주변을 광범위하게 가열하며, Arc생성으로 Crack 발생이 우려되고, 불필요한 과다 고온가열로 Bolt 수명단축이 우려될 뿐만 아니라 작업자의 화상위험이 있었다. 이에 대한 개선안으로 새롭게 적용하는 '유도가열방식'은 자기장으로 와전류 발열시키는 방식으로, 분해에 필요한 신장량과 적정 온도까지 볼트만 빠르게 집중 가열하며, 자동제어 기능으로 필요한 신장량까지만 도달시켜 볼트 파손을 방지할 수 있는 구조로 제작하였다.

세부내용은 아래와 같이, Casing Bolt Heater 비교 Data를 참고하기 바란다.

### 유도가열식 Bolt Heater 개선적용 결과

한국남동발전 영흥본부 터빈부에서는 유도가열식 Bolt Heater를 통해 Casing Bolt 손상방지, 터빈설비 계획예방정비 공기 단축, 볼트 정비공량(manday)를



※온도상승을 비교결과 전기저항식 < 유도가열식

그림 9 유도가열식 볼트히터 개략도

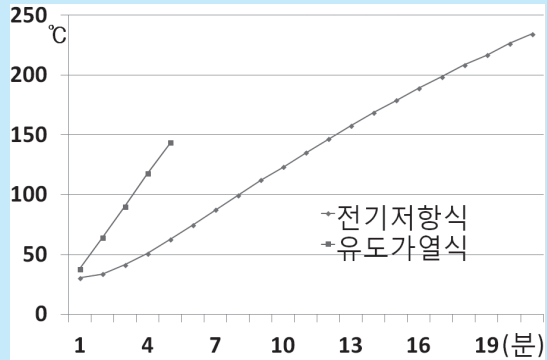


그림 10 볼트가열기 발열시간 비교

AS - was [전기저항방식(Electric Resistance)]	AS - is [유도가열방식(Induction Heating)]
<p>○원리 :전기 저항체로 열전도 발열</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>☞ [볼트 + 주변부] “광범위 가열”</li> <li>☞ 전기저항체 가열시, Arc 발생에 의한 Notch 및 Crack 생성우려</li> <li>☞ 고온(670°C)가열로 Bolt 수명 30% 단축</li> </ul>	<p>○원리 :Coil자기장으로 와전류 발열</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>☞ 볼트만 빠르게 “집중가열”</li> <li>☞ 유도가열식 와전류로, Bolt 분해필요 온도(279°C)까지만 가열하여, Bolt의 설계수명까지 사용(Arc 발생없음)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>○가열량 수동조작(경험치 의존) ☞ 온도 체크 기능 없음</li> <li>○신장량 도달여부 육안 확인</li> <li>○초고온이므로, 방열장갑 착용하여도 화상우려</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○가열시간 자동조작(출력 Display) ☞ 볼트크기, 재질별 Setting가능</li> <li>○신장량 도달시, 자동 정지 기능</li> <li>○방열장갑 착용시, 화상위험 없음</li> </ul>

그림 11 볼트가열기 전지저항방식과 유도가열방식 비교

절감할 수 있었는데, 무엇보다도 현장에서 터빈 정비 인력의 안전성, 근무 만족도, 작업효율이 상승된 점에 큰 의미를 부여하고 싶다.

필자는 본 주제로 대외 품질대회에 참가하여 국제 품질대회(ICQCC) 금상, 전국품질경진대회 대통령상

을 수상했으며, 정비협력사(DIK)는 중소기업 실증제 품을 취득하여 판로확보 및 매출성장에 밑거름이 되었다. 이는 한국남동발전이 정부 3.0과제 상생경영에 부합하여, 중소기업 동반성장의 쾌거까지 이루어낸 뜻 깊은 성과라고 자부한다.