

# 장기간 사용된 발전설비용 고온 스테드 암나사부 관리방법

정남용\* · 김문영\*\*

## Managing method for stud female threads used long period under high temperature on the power plants

Nam Yong Chung, Moon Young Kim,

**Key Words** : Managing Method(관리방법), High Temperature(고온), Stud Female Thread(스테드 암나사), Degradation(열화), Relaxation Strength(이완강도), Material Toughness(재질인성), Wobble Test(기울기 측정)

### ABSTRACT

The stud female threads for stud bolts tend to degrade faster by high temperature over 450 C. Therefore, inspection for replacement cycle of stud bolts is used to carry out many kinds of method such as ultrasonic test(UT), magnetic test(MT), wobble test, visual test and hardness test. The visual inspection among those has been only applied for stud female threads generally and wobble test is often used to apply stud bolts. In this paper, wobble test is applied for evaluation of stud female threads on the contrary stud bolts especially. It is also applied three types of inspection method included wobble test on the two sites which is used for each other different operation cycle and three kinds of acquisition data are compared with evaluation methods. From the results, we have studied the characteristic exchanging of integrity evaluation data distribution according to using time and proposed managing method for female thread of stud on the power plants.

### 1. 서론

한정된 국토 면적에 지속적으로 증가되는 전력량을 충당하기 위하여 발전설비를 신규로 건설한다는 것은 국가경제에 커다란 영향을 미치므로 90년 중반이후 노후 발전소를 폐쇄하지 않고 장기적으로 사용하는 기법이 수명연장이라는 이름으로 활발하게 연구되어지고 있다.<sup>(1-3)</sup> 수명 연장시 부품에 대한 각종 검사를 수행하여 건전성을 평가하게 되며, 그 결과에 따라 정비나 교체작업을 수행하게된다.

특히, 가스터빈, 화력 및 원자력발전에서 사용되

는 터빈부품, 각종 밸브, 또는 원자력 1차 계통 등의 주요 부품체결용 스테드 암나사는 고온·고압의 과도상태에서 운전되어 재질특성이 쉽게 변화되므로 최근 장시간 운전된 발전설비의 수명연장이 대두되면서 이 분야의 중요성이 점차로 증가되었다. 마찬가지로 국내의 경우도 발전설비의 노후화로 고온에서 사용되는 스테드 암나사의 건전성 평가의 중요성이 부각되었다.

스테드 볼트는 부품체결에서 토크나 신장량 또는 너트의 회전각도에 의하여 체결되며 이에따라 역방향의 체결력을 받게된다. 토크 체결의 경우, 스테드 암나사는 일반적으로 항복강도의 85% 이하<sup>(4)</sup>의 볼트 체결력을 지탱하고 있다. 이러한 스테드 암나사는 고응력, 열저항 상태의 온도변화로 본체 재질인 스테드 암나사부가 이완강도(relaxation strength)와 재

\* 회원, 숭실대학교 기계공학과

\*\* 회원, 한전기공, 숭실대 대학원

질인성이 떨어져 제한된 수명을 가지게 된다.<sup>(5)</sup> 따라서, 장시간 사용된 스테드 암나사는 재질이 열화되어 체결력이 저하되며 지속적 사용시는 증기누설<sup>(6)</sup>과 같은 문제를 야기시켜 설비의 안전운전에 막대한 지장을 초래하거나, 불시정지사고를 유발시킬 수도 있다. 일반적으로 기준시간 이상 운전된 발전설비의 스테드 볼트는 일부 외국 제작사 기준을 적용·평가하여 교체 또는 정비하고 있으나, 스테드 암나사는 현재까지 거의 육안검사에 의존하여 평가되어져 왔으며, 건전성 평가에 중요하게 고려되지 않았다.<sup>(7,8)</sup>

따라서, 본 논문에서는 재질열화로 인하여 스테드 암나사가 볼트와 함께 빠지는 계획예방정비 수행중에 발생한 스테드 암나사부의 문제점을 검토하기 위하여 장기간 사용된 두 노후발전소를 선정하여 육안점검, 경도 측정, 기울기 측정 등과 같은 평가데이터를 취득하였고, 이들 데이터를 통하여 암나사의 다양한 재질 특성변화를 검토하였다. 또한 이를 근거로 하여 스테드 암나사의 건전성 확보를 위한 관리방안을 제시하고자 한다.

## 2. 종래의 스테드 암나사부의 손상 평가방법의 검토

일반적으로 분해 조립되는 발전설비용 고온부 스테드 볼트는 손상에 관계없이 재질열화로 인하여 22년 이상 11회 분해 조립되었을 경우 교체하는 것으로 제작사에서 규정하고 있으나,<sup>(9)</sup> 스테드 암나사에 대해서는 전반적으로 규정되어져 있지 않다. 그러나 교체시기 이전에도 스테드 암나사는 분해조립 과정에서 손상되어질 수 있다. 이와 같은 손상은 재질열화 등 이외의 스테드 암나사산 손상으로 두 나사산 사이의 체결면적을 감소시켜 국부응력을 증대시킨다. 따라서 일반적으로 일부 제작사에서는 10% 이상 스테드 암나사산 손상시는 나사산을 확관(size-up)하여 신규 나사산을 가공하여 사용하도록 규정하고 있다.<sup>(7-9)</sup>

Fig. 1(a)는 체결부 나사산의 손상에 의한 스테드 암나사의 기울기 변화량과 암나사산 높이의 감소량을 점진하여 평가하는 방법을 나타내고 있다. 여기서 기울기 측정에 의한 방법은 볼트 직경에 따라 허용값을 설정 관리하고 있으며, (b)는 암나사산의 직경이 10 mm 이상 감소되었을 때 체결면적이 감소하므로 정비 후 사용하도록 규정하고 있다.<sup>(7)</sup>

Fig. 2는 나사산 마모형상의 변화를 키폰드

(compound)를 이용하여 석고를 뜨고 측정하는 방법을 나타내고 있다. 이를위해 우선 암나사산의 형상을 뜨고 그 나사산 방향의 수직으로 절단하여 그 단면을 3차원 측정기로 측정한 나사산의 형상을 가공직후의 나사산과 비교하여 판정하는 방법으로,<sup>(7)</sup> (a)는 최초의 가공후 조립전의 신규 암나사산의 모양을 나타내고 있으며, (b)는 지속적으로 사용 가능한 상태이며, (c)는 확관과 같은 정비가 요구되는 경우의 암나사산의 모양을 나타내고 있다.

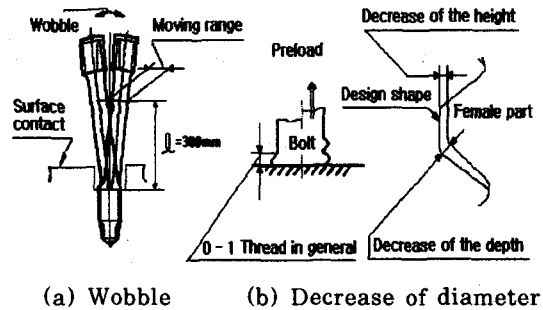
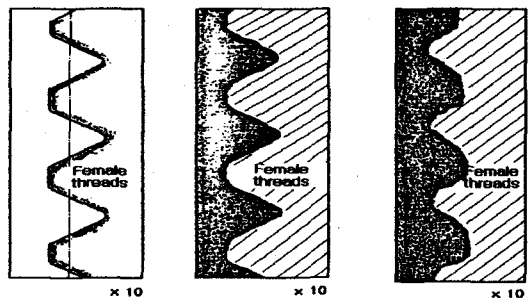


Fig. 1 Inspection methods for female threads



(a) Original (b) useable shape (c) Require design shape continually maintenance

Fig. 2 Thread shapes for reuse or not according to damage condition of female threads

장기간 사용된 스테드 암나사는 복합적인 경로로 손상을 받으면서 사용된다. 이런 손상평가를 위하여 육안검사의 방법외에 경도, 기울기 및 나사산 손상정도의 측정 등과 같은 방법을 적용하여 평가할 수 있다. 그러나, 여기서는 Fig. 1(a),

(b)와 Fig. 2를 종합적으로 고려하여 손상을 평가할 수 있는 기율기 측정방법으로 데이터를 취득 하였으며, 이 데이터를 경도 측정값과 비교 검토 하였다.

### 3. 고온 스테드 암나사의 평가기술 적용

#### 3.1 사용재료의 재질 특성

본 연구에서는 장시간 운전된 고온 스테드 볼트와 암나사부를 모델로 교체 정비업무를 수행하기 위하여 볼트의 육안검사, 경도 측정값과 스테드 암나사부의 기율기 측정 등의 자료를 근거로 검토하였다. 측정에 사용된 재질은 고온(450 C° 이상) 환경조건에서 열화되기 쉬운 두 종류의 주증기 밸브용 스테드 볼트의 재료인 Cr-Mo-W-V, 12Cr-Mo-W-V 재질과 암나사부인 밸브 케이싱 재질 Cr-Mo-V를 선정하여 실험하였다.<sup>(9)</sup>

Table 1 Mechanical properties of bolt and casing materials

Mechanical properties	Bolt (G-Mb-w/12G-Mb-W-V)	Casing (G-Mb-V)
Yield strength $\sigma_y$ , [MPa]	≥619 / ≥627	≥421
Tensile strength $\sigma_u$ , [MPa]	≥964 / ≥961	≥562
Elongation [%]	≥13 / ≥13	≥15

Table 1은 고온부에 사용된 볼트의 재질특성을 나타내고 있으며, Cr-Mo-W-V 볼트강은 약 18년 동안 14,034 시간의 운전, 4,758 회의 기동정지와 14회 계획예방정비의 이력을 가지고 있으며 12Cr-Mo-W-V 볼트강재는 약 30년 동안에 177,944 시간의 운전, 346 회의 기동정지와 20회 계획예방정비의 이력을 가지고 있다.

#### 3.2 육안검사에 의한 교체기준

육안검사에 의한 스테드 암나사산의 10%미만 손상시에도 그 위치에 따라 교체기준의 평가방법이 다르게 적용되어야 한다. 특히 스테드 암나사의 상부 손상시에는 일반적으로 국부응력<sup>(14)</sup>을 받는 부분으로 인한 추가응력이 가중되므로 기율기 측정에 대한 스테드 암나사의 관리기준을 적용할 수 없다.

국내의 화력설비와 같이 1주기(화력의 경우 약 25년)동안 분해를 하지 않고 운전하는 스테드 암나사부는 전반적으로 준 고착상태로 고착문제가 빈번하게 발생된다. 경험에 비추어 볼 때 현재는 다양한 고착볼트의 제거방법을 적용하여 거의 스테드 암나사산에 손상을 주지 않고 고착볼트를 제거하고 있으나, 고온상태에서 스테드 암나사산은 심하게 재질이 열화된다. 한 예로서 30년 정도 운전된 스테드 암나사부가 육안 검사상 문제가 없더라도 재질열화로 인하여 조립시 볼트의 체결면압을 견디지 못하고 암나사산과 함께 빠지는 사례가 발생하였다.

Table 2는 1999년에 수명연장을 위하여 장시간 운전된 발전설비의 고착볼트 제거 및 고온 스테드 암나사에 신 정비기법을 적용한 예를 보여주고 있으며, 이때 암나사부는 점검결과에 따라 신규로 정비하여야 한다.<sup>(7)</sup>

Table 2 Applied example of size-up method to remove stud bolt after long time operation

Month	Site	Unit	Bolt diameter	Counter (ea)	Size-up (ea)
5 - 6 (40 days)	Samcheonpo	2	6", 3 1/2", 2 3/4", 2 1/2"	149	5
10 - 12 (60 days)	Pyungteag	4	3 1/2", 3", 2"	110	36
10 - 12 (60 days)	Samcheonpo	1	6", 3 1/2", 3 1/4", 2 3/4", 2 1/2", 1 1/4"	171	-
4 - 5 (40 days)	Seoul	5	3 1/2", 3", 2 1/2", 2", 1 3/8"	210	74

### 3.3 경도측정 방법 및 결과

#### 3.3.1 경도측정 방법

Table 3은 두 재질에 대한 경도 측정값에 따른 스테드 볼트의 교체기준을 나타내고 있다. 이와 같이 재질열화 판정을 위해 실험적으로 만들어진 경도 판정표와 현장에서 취득한 데이터를 비교하여 재질의 열화상태를 판정하고 재 사용유무를 결정한다.<sup>(10)</sup> ASTM에는 일부 재질만의 경도 허용값이 규정되어 있어 고온부에서 사용되고 있는 모든 스테드 재질<sup>(11)</sup>의 열화정도를 경도로서만 비교 판정할 수 없으며, 타 재질에 대한 열화상태의 판정은 각각의 재질에 맞는 교체기준의 적용이 요구되어진다.

Table 3 Replacement criteria of two stud bolts according to material hardness

Inspection	Exchange criteria (Cr-Mo-W-V)		Remarks
	Hardness	Evaluation	
Hardness value	> 360	Replacement	damaged over 25% in group (all bolt exchange)
	290-360	OK	
	280-289	Replacement within 2 years	
	<280	Replacement	

Inspection	Exchange criteria (12Cr-Mo-W-V)		Remarks
	Hardness	Evaluation	
Hardness value	> 361	Replacement	extraction
	322-360	Temporary use	
	290-321	OK	Normal
	<289	Replacement	Degradation

### 3.3.2 경도측정 결과

Fig. 3은 18년 운전된 좌·우측 주증기 차단 밸브(main steam stop valve : MSV)에 대한 스테드 볼트의 경도측정 결과를 나타내고 있다. 좌측(left side : LHD) 볼트 경도값은 브리넬 경도(HB) 280이하가 11개로서 전체 18개 볼트의 61%를 차지하고 있으며, 우측(right side : RHD)은 6개로서 33%로 전체 볼트중의 20% 이상이 허용치보다 낮은 상태이다. 특히 좌·우측 데이터는 전반적으로 볼트 전체의 경도치가 하한값에 분포되어져 있다.

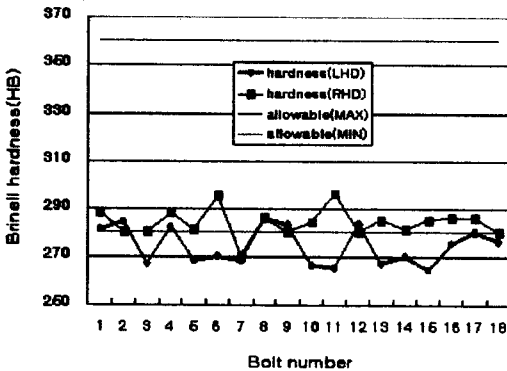


Fig. 3 Brinell hardness measured for stud bolt of main stop valve used for 18 years on power plant

Fig. 4는 30년 운전된 다른 발전소의 좌·우측 재열증기 차단밸브(intersector control valve : ICV)에 대한 스테드 볼트의 경도 측정결과를 나타내고 있다. 이에 대한 허용 경도값은 290 ~ 321로서 좌측 밸브 볼트의 경도값은 위 범위를 벗어나는 것이 4개(25%)가 있으며, 그 중 나머지 3개(18.8%)는 하한계값에 거의 도달되어 전체 볼트 중 16개의 스테드 볼트(43.8%)가 거의 열화된 상태를 나타내고 있다.

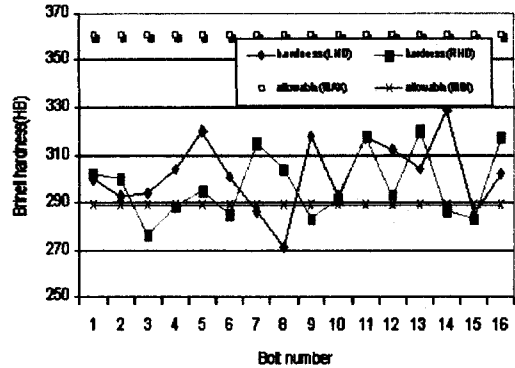


Fig. 4 Brinell hardness measured for stud bolt of intersector control valve used for 30 years on power plant

우측의 6개(37.5%)의 밸브 볼트가 한계 범위를 벗어났으며 2개(12.5%)의 볼트가 하한계값에 도달한 상태로서 16개의 볼트 중에서 과반수(50%)의 볼트가 허용 경도값을 거의 벗어난 상태이다. 특히 좌·우측 데이터는 과반수의 볼트에 대한 경도값이 상·하한치까지 분포되어 있으므로 전반적으로 재질이 열화되어져 있다.

### 3.4 기울기 측정 방법 및 결과

#### 3.4.1 기울기 측정 방법

볼트 나사부 사이의 체결면적의 감소를 평가하기 위하여 기울기 측정방법을 사용하고 있다. 체결면적의 감소는 볼트의 체결력을 저하시키며, 궁극적으로 국부응력에 따른 증기누설이나 체결중 스테드 암나사의 빠짐과 같은 중대한 사고를 발생시킬 수 있다. 이와 같은 볼트 체결면적이나 길이변화는 주로 나사부의 눌림현상으로 고온에서 장시간 운전되었을 경우 소성변형으로 인하여 나사산 사이의 체결면적이 감소하게 된다.<sup>(13,14)</sup> 따라서 체결면적 감소에 대한 기울기를 측정하기 위해서는 기존의 스테드 볼트를 제거한 후 기준

스터드 볼트(standard stud bolt)를 암나사부에 가  
 별게 손으로 체결하고, Fig. 5와 같이 수평면에 대한  
 높이(DH) 152 mm 위치에 다이얼 게이지를 설치한  
 다. 체결된 스테드 볼트의 상부를 가볍게 앞 뒤로 흔들  
 어 볼트의 기울어진 정도를 다이얼 게이지로 측정한다.  
 각각의 경우 볼트의 기울기 측정결과를 Table 4<sup>(8)</sup>와  
 비교하여 기울기가 허용값 이상이 되었을때 스테드 암  
 나사를 정비하여야 한다.

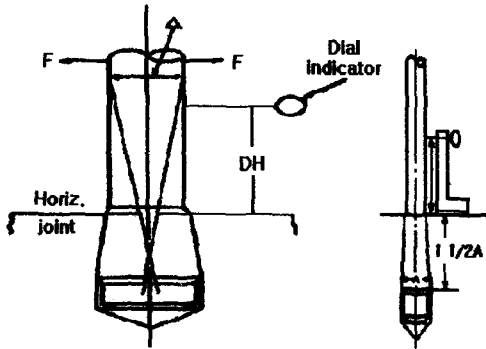


Fig. 5 Schematic diagram for wobble  
 test on female thread parts

Table 4 Allowable value for wobble test

Install height of dial gauge (DH=152 mm)	
Size (Diameter)	Allowable value, $\Delta$ (mm)
M42~M56	1.90
M64~M100	1.65

### 3.4.2 기울기 측정 결과

Fig. 6은 18년 운전된 주증기 차단 밸브  
 (MSV) 스테드 암나사의 확관 정비전후의 기울기  
 측정 데이터의 분포를 나타내고 있다. 정비전의  
 측정결과는 제작사에서 권장하는 허용값에 거의  
 미치지 못하는 것을 알 수 있다.

이 결과에서와 같이 좌·우측 주증기 차단 밸브  
 전체 18개에 대한 스테드 암나사부의 기울기는  
 0.65~0.92 mm 범위로서 그 허용값인 1.65  
 mm에 훨씬 못 미치는 상태로서 그 평균값은  
 0.734 mm를 나타낸다. 그러나, 확관정비한 후의  
 기울기 측정값의 평균은 0.33 mm이다. 따라서,  
 18년 운전후의 체결면압을 알 수 있는 기울기 값

은 0.404 mm( $0.734-0.33=0.404$ )가 증가하였  
 다.<sup>(15)</sup>

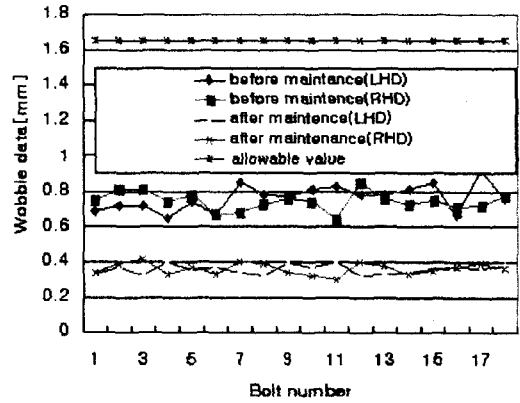


Fig. 6 Wobble values measured for stud  
 holes of main stop valve before  
 and after maintenance

Fig. 7은 30년 운전된 재열증기 차단밸브  
 (ICV)의 스테드 암나사부의 기울기 측정결과를  
 나타내고 있다. 이 측정결과는 제작사에서 권장하  
 는 허용값을 거의 다 벗어났다. 위 결과로서 정비  
 전의 좌·우측 재열증기 차단밸브에 대한 전체 16  
 개 스테드 암나사의 기울기는 1.5 ~ 2.5 mm  
 범위에 있으며, 극히 일부만 그 허용값인 1.65  
 mm에 못 미치나 전반적으로 허용값의 범위를 벗  
 어난 상태로서 그 평균값은 1.83 mm이다. 확관  
 정비 후의 기울기 측정값의 평균은 0.36 mm이  
 다. 따라서, 30년 운전 후의 체결면압에 대한 스  
 테드 암나사부의 기울기 값은 1.47 mm  
 ( $1.83-0.36=1.47$ ) 정도 증가하였다.

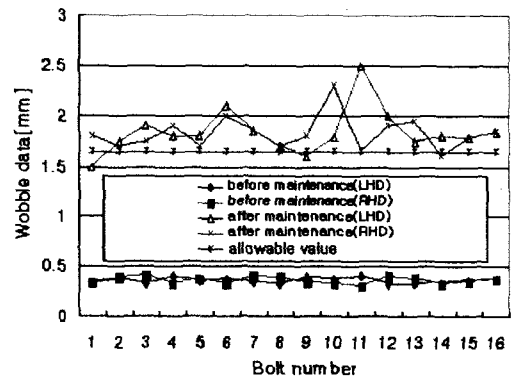


Fig. 7 Wobble values measured for  
 stud holes of main stop valve  
 before and after maintenance

### 3.5 두 발전소의 스테드 암나사의 손상 평가

발전설비용 고온 스테드 암나사의 전전성 평가의 판정을 위한 방법으로는 외부검사를 위한 육안검사, 열화상태를 판정하는데 주로 사용하는 경도측정, 침식, 마모 및 부식에 의한 암나사의 손상<sup>(7)</sup>의 평가방법으로 나사산 높이에 대한 감소량의 측정이 있다. 또한, 운전중 고온상태에서 두 나사산 사이의 체결력에 의한 나사부 눌림현상(embedment)과 소성변형으로 나타나는 체결면적 감소를 측정하는 기울기 측정(wobble test) 데이터의 분석방법이 있다.<sup>(8,9)</sup>

이러한 여러 평가기준에서 육안검사로 나타나는 소규모 나사산 손상(10%이하)에 적용되고 있는 기울기 측정방법에는 손상부가 스테드 암나사의 응력집중부(1번째 나사산)<sup>(14)</sup>에 발생되었을 때는 손상에 의한 응력이 가중되므로 기울기 측정방법의 사용이 불합리하다. 경도값은 18년 사용한 재질에 비교하면 30년 사용한 재질의 경도 분포 폭이 훨씬 더 넓게 나타난다. 또, 두 설비의 스테드 볼트는 경도값으로는 열화된 상태이며, 암나사부의 기울기 값이 짧은 운전년수에 비해 시간이 경과할수록 급속적으로 경도값이 변하고 있다는 것을 알 수 있다. 이와같은 스테드 암나사를 확관하여 신규로 나사산을 가공한 후 기울기를 측정한 값은 거의 일정한 값의 분포를 유지하고 있는 것을 알 수 있다.

### 4. 손상평가 데이터의 검토 및 고찰

위의 결과를 종합적으로 분석하여 볼 때 장시간 운전된 발전설비용 스테드 암나사는 육안검만으로 이상이 없더라도 한번도 분해되지 않은 스테드 볼트는 위에 설명한 것과 같은 복합적인 경로로 인하여 준 고착상태에 있다.<sup>(15)</sup> 스테드 암나사가 과도하게 손상(10% 이상)된 때는 제작사에서 1/4 인치씩 확관하여 정비작업을 수행하지만 10% 이하의 손상 발생중에서 손상위치가 상부에 있을때 응력집중부의 응력증가로 인하여 기울기의 측정방법을 적용하여 평가할 수 없으며, 확관에 의한 정비작업이 고려되어야 한다. Table 2에서 보여주는 것과 같이 장기간 운전된 스테드 암나사부의 재질이 과도하게 열화되어 볼트를 신제품으로 교체하더라도 암나사부의 체결력이 저하되어 암나사산과 함께 빠지는 사례가 발생되므로 스테드 볼트 교체주기에 맞추어 암나사도 정비 관리되어야 한다.

18년 운전된 발전설비용 고온 스테드 볼트는 Fig.

3과 4와 같이 경도값에 의한 평가는 거의 한계값에 도달하였으나, 스테드 암나사의 기울기에 의한 값은 44%(측정 평균값/허용값 = 0.734/ 1.65)로서 재질열화가 나사산의 마모량보다 빨리 나타난다는 것을 알 수 있으며, 30년 동안 사용된 스테드 볼트의 경도분포가 18년 운전된 경도분포보다 훨씬 넓게 나타나므로 체결력이 불균일하게 나타나고 일부 국부응력을 받는 스테드 암나사부는 운전시간이 경과함에 따라 응력이완 및 재질인성이 급속적으로 나타나 재질이 취약해진다.

Fig. 6과 7도 마찬가지로 사용 연수에 따라 기울기 측정 폭이 훨씬 커진다는 것을 알 수 있으며, 18년 운전된 스테드 암나사부의 기울기 값은 0.404 mm로서 매년 평균 0.0224 mm씩 증가하였으나 30년 운전된 스테드 암나사부의 기울기 값은 1.48 mm(1.83-0.36)로서 매년 평균 0.0493 mm씩 증가하여 운전시간이 길면 길수록 기울기 값이 급속적으로 변화한다. 따라서 위와 같은 평가결과에 따라 신규로 암나사를 확관 정비한 두 노후 발전소의 기울기 값이 거의 비슷한 0.34 mm(18년 운전), 0.36 mm(30년 운전)로서 암나사의 정비방법을 확보하였다.

결과적으로 장기간 사용된 스테드 암나사는 여러 측정 데이터를 통하여 나사부의 재질이 급속하게 손상될 수 있다는 것을 알 수 있으며, 재질 특성의 변화에 따른 불균일 체결로 인한 국부응력이 작용하여 설비사고를 초래할 수 있으므로 사용시간에 따라 스테드 암나사에 대한 별도의 관리가 요구되어진다.

### 5. 결론

장기간 운전된 두 발전설비의 고온 스테드 볼트와 암나사부의 육안검사, 경도열화 판정을 위한 경도 측정, 마모와 소성변형에 의한 나사산 감소량 측정과 접촉 면압측정을 위한 기울기 측정에 대한 손상 평가 데이터를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 발전기의 1주기 운전 후 육안검사로 스테드 암나사부에 이상이 없더라도 재질열화로 체결면적이 저하되어 양측 나사산이 체결력을 지탱하지 못하므로 스테드 암나사부는 볼트 교체주기에 맞추어 정비하는 것이 효과적이다.
- (2) 재질의 이완강도 및 재질인성의 변화로 인하여

여 그룹내의 스테드 볼트는 동일하게 체결되지 않으므로 전체볼트의 25%이상이 기준값을 벗어났을 경우 스테드 암나사의 건전성 유지를 위하여 전 볼트를 교체하는 것이 바람직하다.

(3) 운전시간이 길면 길수록 접촉면압을 나타내는 기울기 측정값이 급속하게 변화하며 장기간 사용된 스테드 암나사부가 쉽게 손상되므로 일정 주기 동안 사용된 스테드 암나사는 종합점검 후 재사용 여부를 결정하여야 한다.

(4) 두 설비 데이터의 비교분석에 따라 확관 및 신규 나사산 가공 후의 스테드 암나사의 체결면압을 위한 기울기 측정값이 일정하게 나타나므로 장기간 운전된 암나사의 건전성 확보로 확관 및 신규나사산 가공 방법을 적용하는 것이 효과적이다.

#### 참 고 문 헌

- (1) "Current Topic in the Design and Analysis of Pressure Vessels and Piping", ASTM, 1997, pp. 167-253.
- (2) "Analysis of Bolted Joints," ASTM, 1998, pp. 1-131.
- (3) "Analysis of Bolted Joints," ASTM, 1999, pp. 1-167.
- (4) "Bolted Joint Maintenance & Applications Guide" TR-104213, EPRI, 1996, pp.10-13.
- (5) K. H. Mayer, K. H. Keienurg, "Operating Experience and Life Span of Heat a Koenig, The Determination of the Resi-Resistant Bolted Joints in Steam Turbines of Fossil-fired Power Stations", Int. Conf. Engineering Aspects of Creep, Sheffielded, 1980.
- (6) 정남용, 김문영, 김중우, "발전용 가스터빈 고온부의 탄·소성 J 적분의 파괴인성 평가", 대한기계학회논문집 A권 제23권 10호, 1999, pp. 1837-1844.
- (7) "高温スタッドボルトのメネツ点檢について",

Hitachi. LTD. Engineer Sheet, 1993, ES NO.TAA-93-001.

- (8) "Thread Wobble Measurement 600930", 1993, PGBU Process Specification Rev 4, Westinghouse.
- (9) 김문영, 김상민, "볼트정비Ⅱ", 1999, 한전기공주식회사, pp. 165-199.
- (10) 류승우, 김효진, 박종진, 강용호, "장기 사용된 스테드 볼트의 진단법 및 재질특성 평가", 대한기계학회, 98년도 추계학술대회논문집 A, pp.190-195.
- (11) "Steel Bolt Material", 1993, ASTM, pp. 185-793.
- (12) H. A. Rothbart, "Mechanical Design & Systems Handbook", pp. 17-23.
- (13) J. H Bickford, "An Introduction to the Design and Behavior of Bolted Joint", Third Edition, Reverse and Expanded, 1999, pp. 66-69.
- (14) Toshimichi Fukuoka, Tomohire Takaki, "Mechanical Behavior of Bolted Joint in Various Clamping Configuration", VP-VOL.354, Current Topics in the Design and Analysis of Pressure Vessels and Piping ASME 1997, pp. 195-202.
- (15) 정남용, 김문영, "발전설비용 고온 스테드 볼트의 교체기준의 설정", 한국자동차공학회, 제 2 권, 2000, pp.685-690.