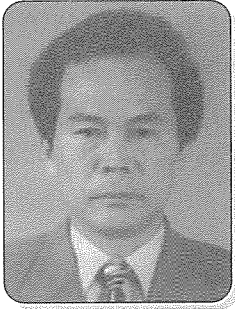


증기터빈 설비의 경년열화와 예방대책(III-1)



한전기공(주)
기술개발원 전문원실
터빈전문원 윤기남 부장
Tel : (031)710-4391

1. 개요

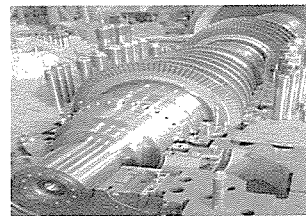
화력발전용 증기터빈은 고온, 고압하에서 장시간 연속운전되는 가혹한 조건에서 사용되고 있으며 또한 근년에는 원자력 및 대용량 화력설비가 기저부하용으로 운용되는 사용기간이 긴 중소용량설비는 변동부하를 담당해야 하며 DSS나 WSS 등의 잦은 기동정지, 주야간 부하변동 등의 가혹한 운용을 강요받는 경우가 많아지고 있다. 한편 종래에 행해져왔던 기기의 정비작업은 분해점검시의 부적합 개소의 발견 혹은 사고시의 복구 등 비교적 보수적인 생각이 지배적이었다. 그러나 장기간 운전에 의한 기기의 취화(脆化), 피로(疲勞), Creep 등의 재료열화나 마모를 피한다는 것은 곤란하며 특히 재료의 노화(劣化)는 고온에서 사용되고 있다면 더욱 더 진행된다. 이 같은 경년열화에 따른 사고를 미연에 방지하고 신뢰성을 높임과 동시에 가혹한 Plant 운영에 견디기 위해서는 주요기기의 정밀점검 최신 기술에 의한 부품의 교체 및 개조 등 경년열화의 대책을 예방보전적인 차원에서 적극적으로 정비작업에 포함시킬 필요가 있다.

2. 경년노화(經年劣化) 손상의 요인.

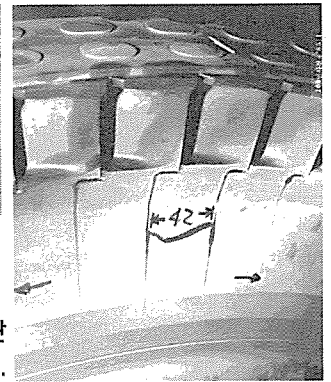
기기의 경년적인 품질저하 요인의 예를 들면 사고로 이어지는 부품의 강도저하와 연료소비량의 증대로 이어지는 성능저하로 구분된다.[그림-1]은 이들의 원

인과 현상을 정리한 것이다. 사고로 이어지는 강도저하의 요인은 고온, 고(高)응력 하에서의 Creep, 열 응력에 의한 사이클 피로, 진동에 의한 고(高)사이클 피로, 고온취화(高溫脆化), 마모, 환경조건에 의한 응력부식(應力腐食) 등이 있다.

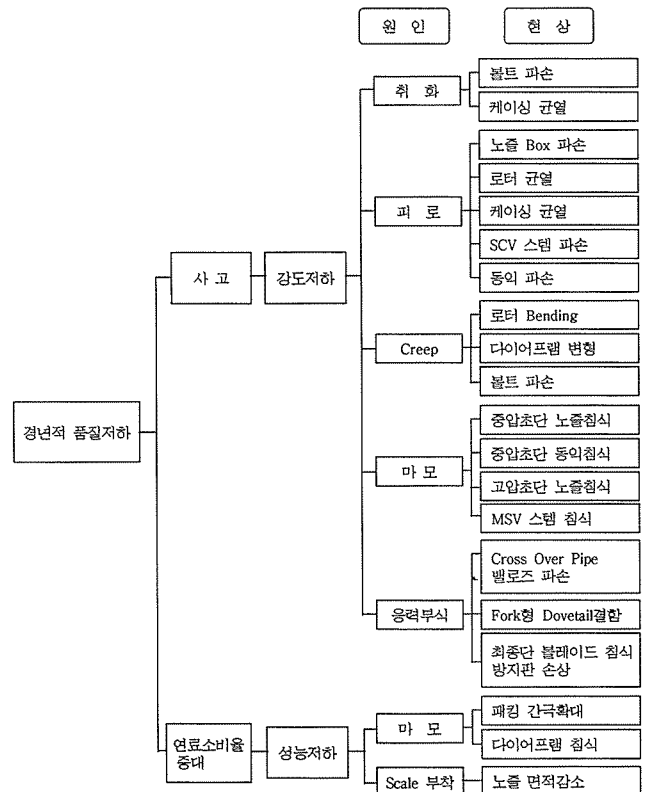
증기터빈 주요부에 대한 경년열화의 영향을 다음 표에 표시한다



[사진-1]
표준화력 500MW 고압터빈



[사진-2] 고압 1단 블레이드 Hook부 균열.



[그림-1] 경년적 품질저하와 그 내용(대표적인 예)

2.1. 고온(高溫) Creep.

고온 Creep은 고압 터빈, 중압 터빈의 로터, 케이싱, 블레이드, 다이어프램, 볼트 및 Major 밸브(MSV, SCV, SV)등 고온하에서 운전되고 있는 부품에 발생한다. Creep은 온도가 높아져서 응력이 높아지는 만큼 커지는 경향이 있으며 이러한 조건하에서 장시간 사용되면 균열 혹은 파단에 이른다. 증기터빈에 사용되는 재료중 400°C 이하의 온도조건 하에 있는 것은 Creep에 의한 손상은 비교적 적다. 터빈 로터는 로터 중심공, 디스크 Root, 블레이드, Groove에 비교적 높은 응력이 작용하므로 Creep 손상의 가능성이 있다. 또한 로터 재료의 불 균일성에 의해서 Creep 특성이 비대칭으로 제조된 경우 Creep 변화의 진행이 비대칭이 되어 경년적으로 로터에 굽힘이 발생하는 경우도 있다. 블레이드는 디스크에 삽입되는 Groove부에 Creep 변형의 가능성이 있다. 케이싱, 노즐 Box, Major 밸브에는 내압(內壓)에 의한 응력이 작용하는데 이 때문에 Creep 현상이 발생하여 어느 것이나 변형으로 나타난다. 다이어프램에는 전후의 차압에 의해서 응력이 발생하는데 이 경우에도 변형으로 나타남으로 다이어프램과 디스크간의 간극이 경년적으로 변화한다. 고온부에서 사용되는 볼트류는 Creep에 의한 응력완화 때문에 볼트의 체결력이 운전시간에 따라 서서히 감소하여 일정한 시간이 경과된 볼트는 재 체결이 필요해 진다. 통상은 분해점검 시마다 재 체결에 의해서 볼트재료의 열화가 진행된다.

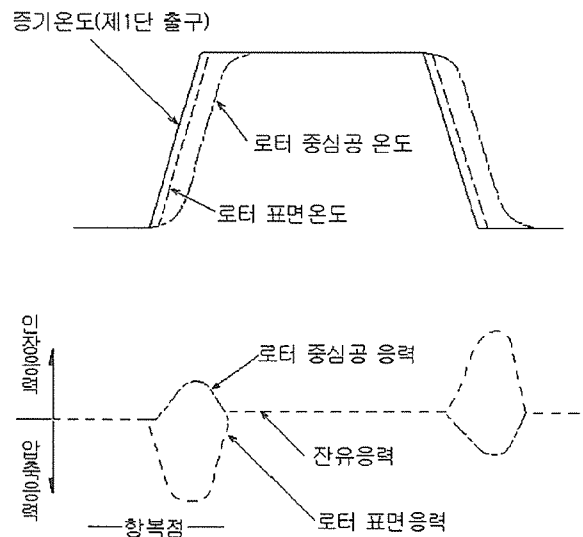
2.2. 저(低) 사이클 피로.

터빈 로터, 케이싱, Major 밸브 등의 두꺼운 부품의 메탈 내부에 온도구배가 발생하면 복잡한 응력이 발생한다. 이와 같은 온도 구배는 메탈 내부의 열전도차에 의해서 발생한다. 증기터빈의 기동 정지 부하변화에 의해서 온도의 상승, 하강을 반복함으로써 열 응력을 받는 부분에 인장/압축의 사이클을 반복하게 된다. [그림-2]에 온도변화와 열 응력의 관계를 표시한다. 이 응력의 반복이 터빈재료의 피로를 촉진하게 된다. 터빈 로터는 고압 터빈 제 1단 후의 온도변화가 크고 디스크 Root부는 로터 형상변화가 커서 응력집중이 발생하여 가장 피로를 받기 쉬운 부분이다. 터빈 로터는 축 대칭이며 비교적 형상도 단순하기 때문에 온도변화량 변화율이 분명하다면 저(低) 사이클

피로수명의 계산은 가능하다. 따라서 운전관리항목의 일환으로 터빈로터의 수명을 저(低) 사이클 피로로 관리하는 것이 일반적으로 채용되어 왔다. 케이싱, Major 밸브도 기동 정지가 빈번하여 형상이 복잡한 부품에 저(低) 사이클 피로의 가능성이 있지만 로터에 비교해서 수명예측이 일반적으로 곤란한 상태에 있다.

온도변화와 열 응력.

고온증기에 의해서 로터표면이 가열되면 로터표면에는 압축응력이 발생하고 중심공에는 인장응력이 발생한다. 특히 응력이 항복점을 넘어서면 나중에 잔류응력이 발생한다.



[그림-2] 온도변화와 열 응력

2.3. 고(高) 사이클 피로(疲勞).

고(高) 사이클 피로는 블레이드, 슈라우드 밴드, Tie Wire, SCV 스템, 회전축에 발생되고 있다. 블레이드는 노즐 블레이드를 통과하는 증기의 흐름에 의한 여진력(勵振力)을 받는다. 이때의 여진 진동수(勵振振動數) = 노즐 블레이드 개수 × 회전수나 최종단 블레이드와 같은 긴 블레이드에서는 회전수의 정수 배와 블레이드의 고유진동수가 일치하지 않도록 운전주파수에 제한을 두고 있다.

이 제한주파수를 초과하는 운전(Off 사이클 운전)

시에는 블레이드, 슈라우드 밴드, Tie Wire에 균열이 발생하는 경우가 있다.

SCV의 스템은 증기의 흐름에 의해서 가진(加振)된다. 특히 밸브가 약간 Open 된 상태에서는 밸브 전후의 차압도 커져서 증기의 흐름이 난류가 되어 진동이 발생하기 쉬워진다. 터빈로터, 조속기 구동축은 베어링 축정렬(각각의 베어링의 상대적인 위치 관계)이 거친 경우에는 축의 일회전마다 굽힘 응력을 발생시켜 고(高) 사이클 피로의 원인이 된다.

2.4. 취화(脆化, Embrittlement).

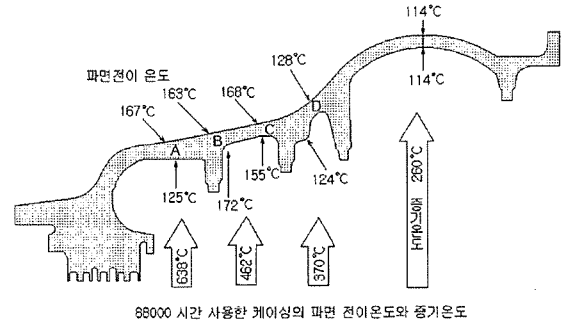
고압과 중압 케이싱, Major 밸브의 케이싱은 장기간 고온에 노출되면 결정입자 계에 인(P), 안티몬(Sb), 주석, 비소(As)등의 불순물 원소가 석출되고 인성(靱性, Toughness)이 저하되어 소위 취화 현상을 나타낸다.

취화된 재료는 깨짐에 대한 감수성이 높아져서 용접육성을 시행할 경우라도 용접 중에 균열이 발생되기 쉬우며 이것을 방지하려면 인성의 회복을 위한 열처리를 행함으로써 결정입자 계에서 불순물을 입자내로 확산시켜서 새로운 재질과 동일한 정도까지 인성을 회복시키는 방법이 취해지고 있다.

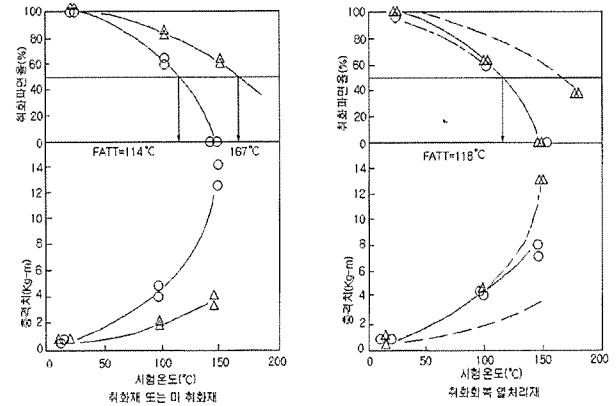
[그림-3][그림-4]에 취성 재의 회복 열처리 전후의 충격시험결과와 시험편의 현미경 사진이다. 또한 12Cr계의 고온 볼트에서도 동일한 취화 현상이 발견되고 있으며 주요원인은 Cr 탄화물의 석출이다.

이 경우에도 인성회복 열처리에 의해서 충격 값의 회복이 가능하다. 약 9만 시간 운전된 로터 재료의 흡수 Energy 및 파면천이온도(破面遷移溫度 = 취성과 파면과 인성온도의 비가 동등하게 되는 온도)를 시험으로 구한 결과는 천이(遷移)온도가 약 20°C 높아져 있었다. 이와 같은 로터재료의 메탈 온도는 천이온도의 변화를 고려하여 충분히 Warming한 후에 승속하고 원심력에 의한 높은 응력이 작용했을 경우라도 파괴에 대한 저항력을 키우는 배려가 필요해진다. 장시간 운전된 증기터빈의 Cold Start시에는 터닝중의 Warming 또는 저속에서의 Warming 운전의 중요성이 강조된다.

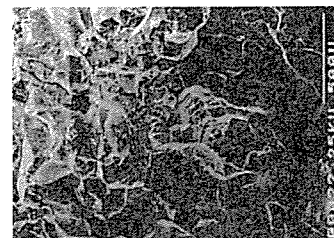
그림은 취화재 회복 열처리 전후의 충격 시험편 전자현미경 사진을 나타낸 것이다.



○ Part E 부 시험 = 미 취화재(260°Cx 88000 시간사용) ○ Part E부 = 회복처리재
 △ Part B 부 시험 = 취화재(538°Cx 88000 시간사용) △ Part B부 = 회복처리재



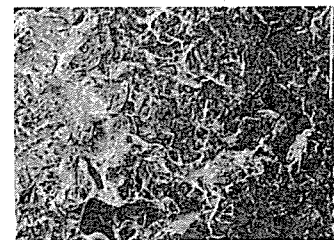
[그림-3] 취성 재의 회복 열처리 전후의 충격시험 결과.



미 취화재 (입자내 균열)



취화 회복 열 처리재 (입자내 균열)



취화재 (입자경계균열)

[그림-4] 취화재 회복 열처리 전후의 충격시험 편 전자현미경 사진

2.5. 침식(Erosion)

침식의 종류는 2가지로 구분하며 하나는 복수 터빈의 저압 최종단 근방에 발생하는 습증기에 의한 침식이며, 또 하나는 터빈 입구부근에 발생하는 보일러에서 비산되어 유입되는 산화 Scale(Solid Particle)에 의한 것이다.

습증기에 의한 블레이드의 침식에 대해서는 침식을 받기 쉬운 블레이드 입구 배면측에 Cobalt Alloy, 스텔라이트를 은납 용접부 또는 용접으로 부착하여 대책을 세우고 있다. 또한 저압 케이싱 수평 플랜지면의 침식도 경험한 바 있다.

산화 Scale에 의한 Solid Particle 침식은 MSV의 스템, 노즐 블레이드, 블레이드 등에 발생이 발견되고 있다.

MSV 스템에 관해서는 구조를 개량함으로써 대책이 세워지고 있는 중이다. 노즐 블레이드에 관해서는 재료의 개선, 표면경화, 고(高) 경질재료의 Coating 등 여러 가지 대책이 검토되고 있으나 장단점이 있어서 전면적으로 채용되지 못하고 있다.

점검시 마다 용접정비가 행해지고 있는 것이 현실이다. 블레이드의 마모, 특히 블레이드 선단부 Tenon의 침식에 관해서는 구조의 개선에 의해서 대책이 이루어지고 있다.

2.6. 응력부식(應力腐食, Stress Corrosion Cracking)

응력부식 균열은 부식성 분위기에서 발생하는 비교적 낮은 응력환경에서 장시간 노출됐을 경우에도 발생되는 경우가 있다.

Crossover Pipe Bellows, 블레이드의 Locking Pin, 블레이드의 침식 방지판에서 응력부식 균열을 경험하고 있다.

Crossover Pipe Bellows는 일반적으로 18-8 Stainless Steel이 채용되고 있으나 염소이온의 영향에 의해서 응력부식 균열이 발생된 예가 있다.

Bellows의 구조를 개선하여 작용응력의 저감에 의한 대책을 세우고 있다. 저압 최종단과 같은 길이가 긴 블레이드는 블레이드를 디스크에 삽입하고 Fork Type Groove와 Locking Pin에 의해서 고정된다.

Locking Pin에는 운전중에 블레이드의 원심력에 의한 높은 응력이 작용하기 때문에 재질적으로 항장력(抗張力, High Tensile Strength)이 높은 재료가 사용

되고 있으며 응력부식 균열 또는 Delayed 균열에 대한 내력(耐力)은 낮은 경향이 있다. 부식 인자로는 염소를 포함한 수증기의 부착을 들 수 있다.

블레이드의 침식 방지판에 발생하는 응력부식 균열은 용접형식에 발생하기 쉽고 이것은 용접시의 잔류응력의 영향을 받고 있는 것으로 보여진다.

Shot Peening으로 표층부에 압축잔류응력을 주어 저항력을 증가시키는 것도 유효하다.

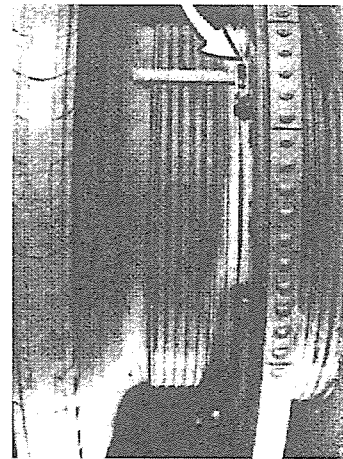
3. 손상사례와 그 대책.

3.1. 터빈로터.

3.1.1. 로터 디스크 Root부의 균열대책.

터빈의 기동 정지시에 발생하는 열 응력으로 인하여 고압 로터 또는 고압과 중압 로터의 디스크 Root부에 균열이 발생하는 경우를 국내외에서 경험하고 있다. 디스크 Root부는 형상의 변화가 크기 때문에 응력집중이 발생하고 큰 소성변형이 반복되어 피로가 축적되어 균열에 이르며 이 균열이 전형적인 저(低)사이클 피로파괴이다.

이 균열은 디스크 Root부를 따라서 원주방향으로 진전되는데 깊이는 얇고 내부로는 그다지 깊숙하게 진전되지 않는 것으로 알려져 있으나 미국에서는 깊은 균열이 발생한 예((그림-5)에 표시)도 보고되고 있다.

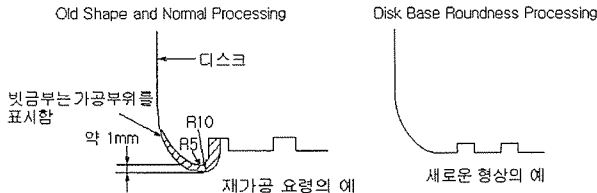


[그림-5] 로터균열 사례

균열이 발생했을 경우에는 First Stage의 디스크를 함께 제거해야 한다. 따라서 종래 보다 디스크 Root부의 곡률 반경부의 점검을 주장하고 있다. 균열이 발

생된 경우는 물론 균열 발생전에 디스크 Root부를 가공하는 것이 좋다.

디스크 Root부의 곡률반경이 작고 응력집중이 큰 구형상(舊形狀)의 고압, 중압 로터 재가공시에는 동시에 디스크 Root부의 최소곡률 반경을 크게 함으로 응력집중을 경감하는 것이 바람직하다.(그림-6)에 로터 디스크 Root부의 형상비교를 표시한다.

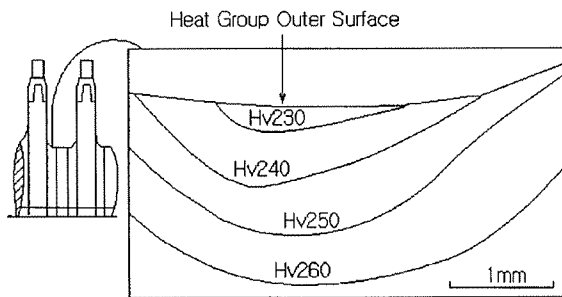


[그림-6] 구(舊) 형상 로터 디스크 Root부 "R" 재가공

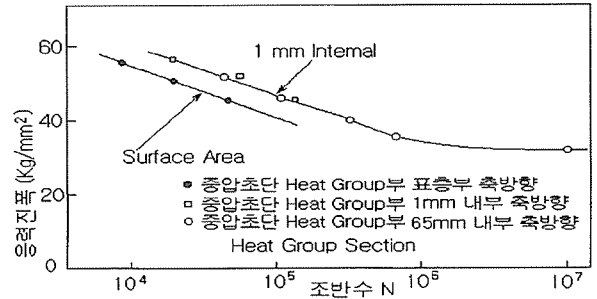
디스크 Root부의 가공 효과는

- (1) 피로 손상층을 제거할 수 있고 디스크 Root부의 수명손상을 거의 0으로 회복할 수 있다.
- (2) 응력집중을 75%로 저감할 수 있고 수명을 2.5배로 연장 가능하게 한다.

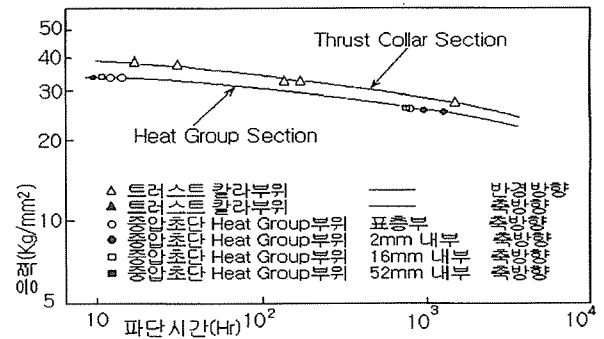
[그림-7~9]에 88000시간 사용한 로터 디스크 Root부의 경년열화 현상을 표시한다. 최근에는 기동 정지시마다 응력을 중앙 제어실에 설치되어 있는 제어용 계산기로 연산시켜 수명 소비율을 감시하면서 운전과 동시에 누적수명을 감시하여 수명이 100% 소비되기 전에 표층부를 가공개선을 계획하는 기종이 많아지고 있다. 또한 제작 당시부터 디스크 형상을 응력집중이 작은 형상으로 개선하도록 하고 있다.



[그림-7] 로터재료의 경년 열화상황. 디스크 Root부 축방향 단면의 경도 분포



[그림-8] 중압 초단 디스크 Root부 피로강도



[그림-9] 중압 초단 디스크 Root부 Creep 강도

3.1.2. 중심공의 균열.

로터재료는 단조(鍛造)에 의해서 제조되며 단조에 의해 중심부에 불순물이 모이기 쉽고 또한 결함이 존재하는 경우가 있는데 이것을 제거하기 위해서 단조 후에 중심부에 구멍을 내어서 중심공을 설치하고 있다. 중심공에는 터빈 기동 시에 열 응력에 의한 인장 응력이 원심응력으로 가산되게 된다.

이 합성응력은 로터재료 내력의 90%를 초과하지 않게 운전되도록 권장되고 있다. 그러나 만약 이 제한 값을 초과한 운전이 반복되어지면 최악의 경우 로터 중심공에 균열이 발생하는 수도 있다.

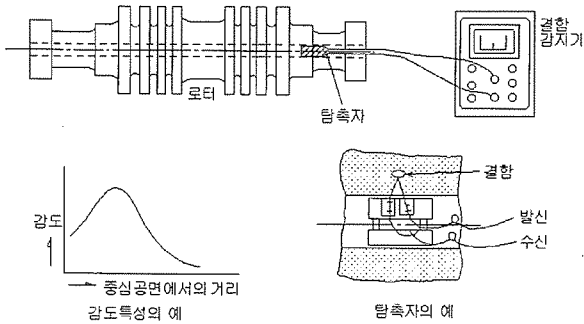
또한 오래된 기종은 제조 당시의 검사 기술로는 검출이 곤란했던 미소 결함을 기점으로 하여 균열이 진전되고 있는 것도 예상된다.

따라서 8만 시간 이상의 운전 이력이 있는 터빈은 앞으로 안전운전을 위하여 중심공을 검사하는 것이 바람직하다. 결함이 발견되면 결함부를 확대하여 제거한다. 이 경우에 결함 부의 확대에 의해 작용응력도 증대하므로 강도 평가를 실시해 둘 필요가 있다. 중심공에 대한 검사는 아래의 사항을 실시한다.

[그림-10]에 초음파 탐상 검사의 개략을 표시한다.

- i) Bore Scope에 의한 육안검사

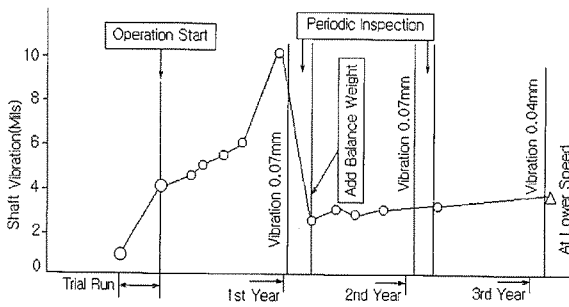
- ii) 중심공 자분 탐상 검사(MT)
- iii) 중심공 초음파 탐상 검사(UT)



[그림-10] 로터 중심공 초음파 탐상 검사

3.1.3. 로터의 굽힘(Bending)

운전중 터빈 로터에 굽힘이 발생하여 터빈 기동/정지에 위험속도를 통과할 때에 진동 값이 경년적으로 증가하는 예가 있으며 [그림-11]에 경년적인 진동 변화의 예를 표시한다. 이 현상은 주로 566°C로 운전되고 있는 복류형(複流形) 중압 로터에 나타나고 있다.



[그림-11] Critical Vibration의 경년 변화의 예

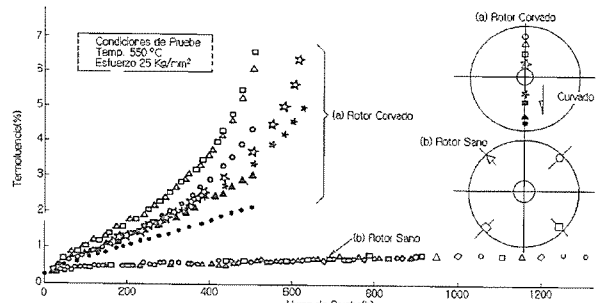
HIP 일체형인 로터에서도 경험한 경우가 있으며 원인은 로터 Material의 고르지 않은 Creep Distortion에 의해서 휘게되는 것이다.

[그림-12]에 경년적인 굽힘과 Creep 특성과의 관계를 표시한다. 굽힘 량이 적은 동안에는 로터 중심부에서 굽힘 방향의 반대쪽에 굽힘량에 상응한 Counter Weight를 설치하여 진동 값을 저감할 수 있다. 굽힘 량이 0.25 mm(진동진폭)를 초과하게 되면 로터의 수정가공을 실시할 필요가 있다.

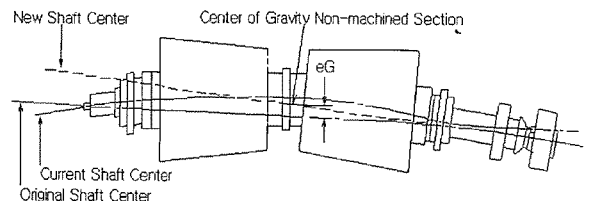
이 방법은 로터에 지지되어 있는 2개의 베어링 중 어느 한쪽 베어링 중심(통상은 저압 로터측 베어링)과 굽힘이 발생한 로터의 중심을 잇는 직선을 새로운 Original Center에 대해서는 편심된 샤프트 Center를

중심으로 하여 가공(편심 가공)하게 된다.

[그림-13]에 편심 가공의 예를 표시한다. 고르지 않은 Creep Distortion의 비축대칭은 제조방법의 개선에 의해서 단조중심과 기계가공중심을 일치시키는 동심단조 로터 및 열처리시 가열, 냉각의 균일성을 유지함으로써 방지할 수 있다.



[그림-12] 경년적인 굽힘과 Creep 특성과의 관계

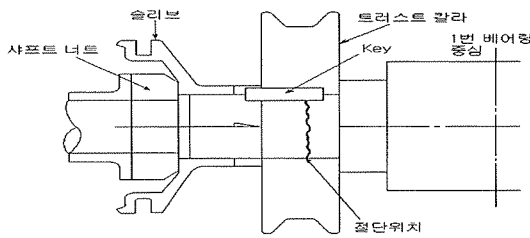


[그림-13] 로터의 편심 가공의 예

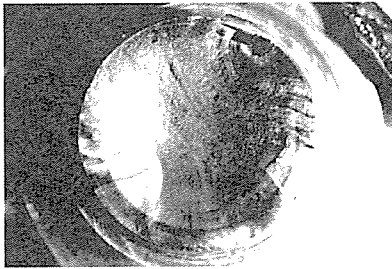
3.1.4. 트러스트 베어링 부의 손상(切損)

156MW 이하의 오래된 기종에는 트러스트 베어링용 칼라가 로터에 Shrink Fit Type으로 조립되어 있다. 트러스트 베어링은 구면 좌를 보유하고 있어 베어링 축정렬의 변화나 케이싱 열팽창 량에 의한 베어링 Housing의 점동(擗動)시 칼라와 베어링 메탈이 항상 평행이 되어서 국부적인 접촉이 발생하지 않도록 구면 좌에서 자동 조심이 이루어지도록 고려되어있다. 구면 좌의 움직임이 불량하면 국부적인 접촉이 발생하여 일회전마다 로터에 굽힘 응력을 발생시키고 동시에 트러스트 칼라와 로터와의 Shrink Fit면에 미소한 미끄러짐이 발생하게 되며 이 결과 로터 표면에 Fretting Corrosion을 발생시키며 이 Corrosion을 기점으로 하여 로터의 굽힘 응력에 의해서 균열이 진행되어 마침내 로터의 절단을 일으킨 예가 있다.[그림-14]에 절단된 상황을 표시한다. 절단된 로터는 해당 부위를

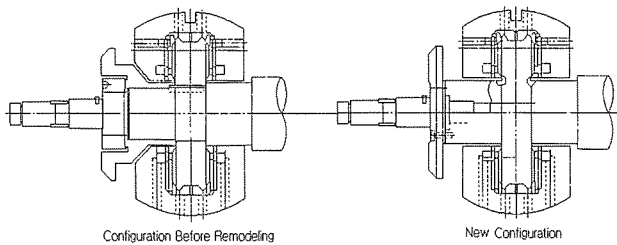
포함한 로터 전부를 절단하고 이 부위에 새로 제작된 트러스트 칼라와 샤프트가 일체로 만들어진 Stub 샤프트를 볼트로 고정하여 복구하였다. 8만 시간 이상 운전된 Shrink Fit Type 트러스트 칼라를 갖는 기종은 위의 점검이 필요하다. 이 경우 Shrink Fit 부위의 로터 표면 층을 가공하여 새로운 층을 형성한 후 신폼 트러스트 칼라와 교체하는 것이 바람직하다. 또한 점검시 구면 좌의 추종성 베어링 Housing의 摺動에 관해서도 유념하여 점검할 필요가 있다. 터빈의 고(高) 효율화 개조 등 로터를 신폼으로 교체할 경우(그림-15)에 표시한 것과 같은 트러스트 칼라를 로터와 일체로 깎아낸 형식으로 개조하는 것이 가장 안전하다.



[그림-14] Shrink Fit 트러스트 Collar부 절단



[그림-14-1] Shrink Fit 트러스트 Collar부 절단



[그림-15] Shrink Fit 트러스트 Collar의 로터 일체형으로 개조

3.2. 블레이드(動翼 : Moving Blade)

3.2.1. 블레이드 루트부위의 변형(變形)과 균열(龜裂)

블레이드에서 가장 응력이 높은 부분은 통상 블레

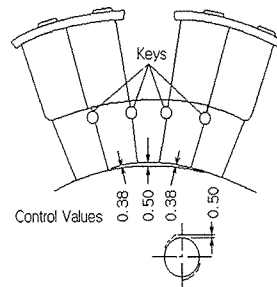
이드가 디스크에 심어지는 부분인(그 형상으로) Dovetail이라고 불린다. 특히 고압 초단 블레이드, 중압 초단 블레이드는 다른 단락의 블레이드에 비하여 온도 및 응력상 대단히 혹독한 조건하에 있다. 고압 초단 블레이드는 부분 부하 시에 단락 전후의 압력 차가 커지므로 굽힘 응력, 온도변화가 커지는 부분이며 중압 초단 블레이드는 통과증기 체적유량의 증가로 블레이드 길이가 길어져 원심력에 의한 작용응력이 높아지는 부분으로 가혹한 조건에 처해있다. 또한 경년적인 재료강도의 저하와 복합되어 경년적인 검사관리가 중요하며 외면적인 검사로 블레이드 들림 검사가 있다.

[그림-16][그림-17]에 블레이드 들림 관리 값을 표시하며 블레이드 중 최종 Notch 블레이드 Fixture 또는 이것들과 인접한 블레이드는 다른 블레이드보다 응력이 높으므로 경년적인 열화를 받기 쉽다.

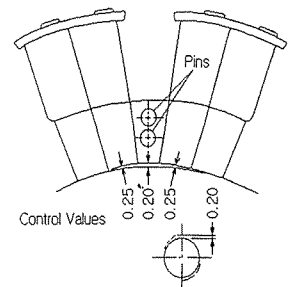
들림은 Dovetail Hook부의 Creep 변형에 의한 것이며 블레이드 들림이 확인될 경우 신폼과 교체할 필요가 있다.

블레이드가 삽입되는 부위의 내면 검사는 블레이드를 빼내고 자분 탐상을 실시하는 것이 가장 확실하지만 블레이드를 분해하려면 슈라우드 밴드를 분해할 필요가 있고 또한 재조립 시에는 Tenon Caulking 값을 확보하기 위해 블레이드 Tip 가공이 필요해지는 등 부수적인 작업에 많은 시간과 비용을 필요로 한다.

이 때문에 블레이드가 삽입되어 있는 상태로 Hook 부위를 검사하는 방법으로 특수한 탐촉자(探觸子)에 의한 초음파 탐상법이 개발되어 활용 화되고 있다.

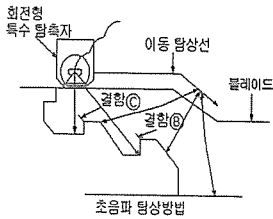


[그림-16] Key의 변형, Lift량 관리 값

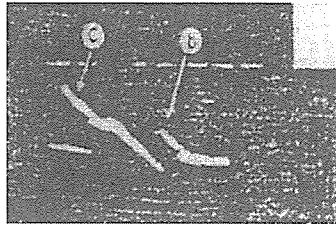


[그림-17] Pin의 변형, Lift량 관리 값

[그림-18][그림-19]에 탐상 법을[그림-20]에 균열을 표시한다. 결함이 발견된 경우 신폼 블레이드와 교체해야 한다.



【그림-18】 탐상법



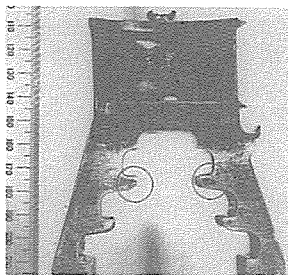
【그림-19】 단면 영상사진

3.2.3. 블레이드 슈라우드 밴드의 균열.

오랜 시간 사용에 의한 경년열화로 블레이드 Profile(증기 통로부) 또는 슈라우드 밴드에 균열이 발생하는 경우가 있다.

또한 급수가열용 추기 단락 부근에 있어서는 저온 증기 또는 Drain의 역류에 의한 급랭에 의해 균열이 발생하는 경우도 있으므로 운전시 Drain 밸브 개폐 조작 및 추기 Check 밸브, Drain Trap의 정비점검에는 충분한 주의가 필요하다.

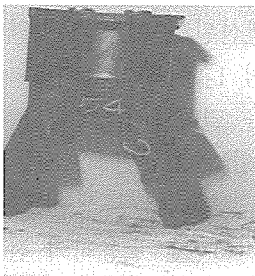
슈라우드 밴드에 균열이 발견됐을 경우에는 블레이드의 Shoulder 낮추기, 슈라우드 밴드 교체가 필요하며 또한 블레이드에 균열이 발견되었을 때에는 블레이드와 슈라우드 밴드 교체가 필요하다.【그림-22】에 슈라우드 밴드 균열 상황을 표시한다.



【그림-20】 블레이드 Groove부위의 균열



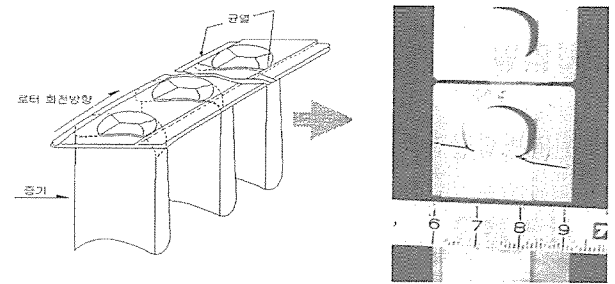
【사진-3】 고압1단 블레이드 Hook부 균열



【사진-4】 고압1단 블레이드 Hook부 균열



【사진-5】 고압1단 블레이드 Hook부 균열

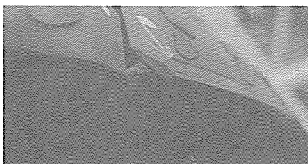


【그림-22】 슈라우드 밴드의 균열의 예

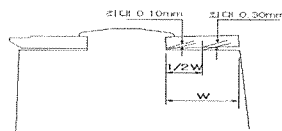
3.2.2. 슈라우드 밴드(Shroud Band)의 들림 (Lifting)

오랜 시간 사용한 고압, 중압의 슈라우드 밴드에는 경년적으로 들림 현상이 발생하며 이것은 Creep 변형의 결과로 대책은 슈라우드 밴드의 교체가 필요하다.

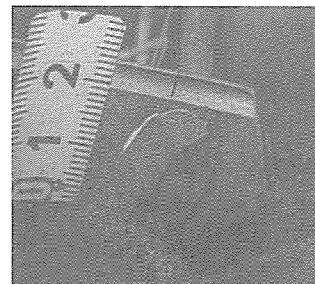
【그림-21】에 들림 량의 관리 값을 표시하였으며 교체 시에는 블레이드 Shoulder를 낮추는 작업이 필요하다. 또한 슈라우드 밴드 선단 부의 폭을 작게 하여 작용응력을 저감시키는 것이 바람직하다..



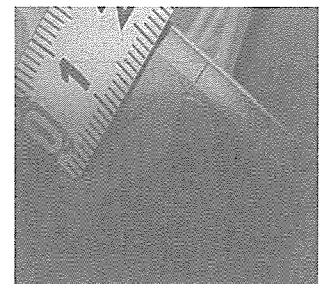
【사진-6】 슈라우드 밴드의 들림



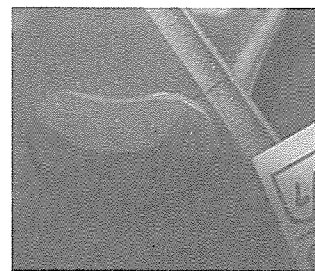
【그림-21】 슈라우드 밴드 들림량 관리 값



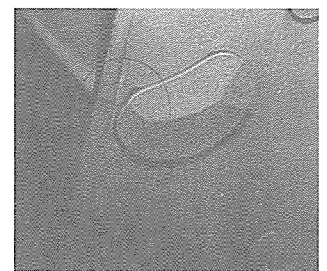
【사진-7】 슈라우드 밴드의 균열



【사진-8】 슈라우드 밴드의 균열



【사진-9】 슈라우드 밴드의 균열



【사진-10】 슈라우드 밴드의 균열