

중기터빈 설비의 경년열화와 예방대책(III-III)

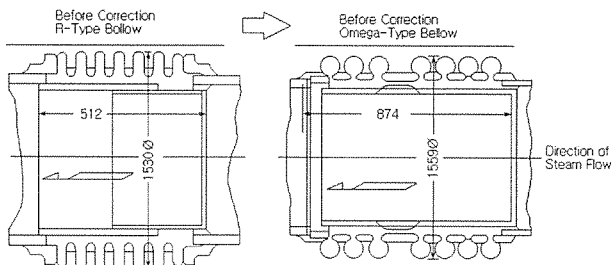


한전기공(주)
기술개발원 전문원실
터빈전문원 윤기남 부장
Tel : (031)710-4391

3.5. Crossover Pipe.

3.5.1. Bellows의 균열.

Crossover Pipe의 도중에 설치되어 있는 열팽창 흡수용 Bellows는 통상 수매의 Austenitic Stainless Steel을 용접하여 원동형상으로 한 후 성형된다. 균열이 발생된 부분의 조사결과 파손된 주변에 염소성분을 다량 함유한 부착물이 발견되었다. 또한 용접 부에 작은 Pit가 잔존하면 이것을 기점으로 하여 균열이 진전하는 경우도 있다. Pit 내의 부식물이 체류하여 미소한 응력부식 균열을 발생시키고 운전중의 반복응력에 의해서 응력부식을 진행시켜 균열에 이른 것으로 생각할 수 있다. 대책으로 Bellows 구조를 개선하여 작용응력의 저감을 피함과 동시에 용접 Point를 줄이고 Pit 등의 잔존을 없애도록 제조방법의 개선을 행하고 있다.(그림-44)에 Bellows의 비교를 표시한다. 그러나 예방보전의 견지에서 10~15년에 한번은 내부 보호 관을 제거하고 Bellows의 용접부 및 내면의 점검(P.T Check)을 실시할 것을 권유한다.



3.6. 베어링.

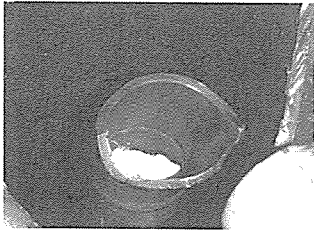
3.6.1. 베어링의 燒損.

베어링의 손상 원인은 여러 가지로 생각되지만 주된 것은 아래와 같다.

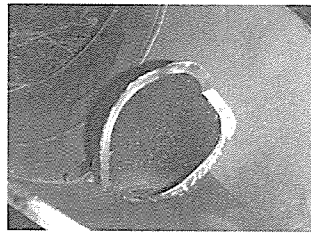
- (1) 로터의 이상진동.
- (2) 축정렬 변화에 따른 하중증가.
- (3) 윤활유에 이물질 혼입.
- (4) 윤활유의 공급차단.
- (5) 급유 온도가 높음.

로터 이상진동의 원인은 여러 가지가 있으며 관련 자료가 많이 있으므로 여기서는 생략한다. 과도한 베어링 진동이 계속되면 베어링 배빗 메탈은 피로 파괴되어 균열이 생기고 배빗 메탈의 박리, 손상에 이른다. 또한 배빗 메탈과 Base 메탈과의 밀착성이 불량할 경우에는 이러한 것이 촉진되므로 정기적인 검사가 필요하다. 터빈 Frame의 경년적인 변화에 의해서 축정렬(각 베어링의 상대적인 위치관계)이 변화했을 때 만약 어떤 베어링이 상대적으로 트러스트가 크다면 하중이 증가하여 심할 때에는 배빗 메탈의 손상 원인이 된다. 반대로 하중이 적어진 베어링에서는 오일 Whip 등의 불안정 진동이 발생하여 배빗 메탈 균열, 박리의 원인이 된다. 따라서 베어링 축정렬은 개개 기종의 경년적인 변화 진동과 관련하여 조사하고 적절한 값을 유지하도록 관리해야 한다. 설치시 또는 점검시에 오일 계통은 철저하게 오일 Flushing을 시행하여야 하는데 경우에 따라서는 이물질을 제거할 수 없는 상태에서 운전이 들어가 베어링의 손상을 일으키는 경우도 있다. 배빗 메탈의 박리 등이 발생한 후에는 특히 세심하게 오일 Flushing을 실시하여 이물질을 완전히 제거할 필요가 있다. 윤활유의 공급이 차단된 사례는 국내에서는 보령3호기의 급유 라인 절단 사고와 고리3호기 #11 베어링 Lube 오일 공급구멍의 위치변경으로 발생한 바가 있고, 외국에서는 운전 오조작 등 철저하지 못한 설비관리에 의해서 상당한 빈도로 발생되고 있다. 하나의 사례로 오일 냉각기를 예비품으로 전환시에 Changeover Handle의 Stopper가

절단될 정도의 무리한 힘으로 조작하고 Handle을 필요이상으로 돌렸기 때문에 베어링 급유가 완전히 차단되어 버린 사례도 있다.

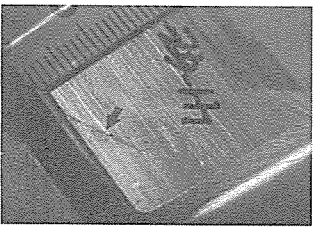


【사진-32】 보령3호기 Oil Line Elbow 절단.

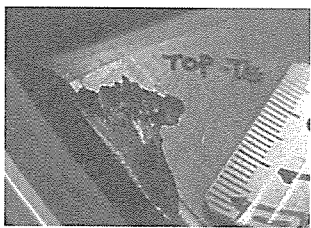


【사진-33】 보령3호기 Oil Line 절단.

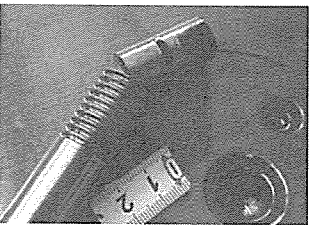
다른 예로는 보조 오일 Pump, 비상용 직류전동기 구동 베어링 오일 Pump중 어느 쪽인가가 수동기동 Mode 혹은 전원이 불량하여 자동기동을 하지 않았을 때 등 국내에서는 믿을 수 없는 사례도 있다. 통상 운전중의 급유 온도는 베어링의 냉각효과, 유막 두께의 확보, 이상진동의 발생방지를 고려하여 40~50°C로 유지되고 있다. 터닝 운전중 혹은 터빈 정지시의 회전 수 강하시에 오일온도 저하가 적절히 이루어지지 않으면 유막이 형성되지 않고 금속간의 접촉에 의해서 배빗 메탈 손상 또는 로터 저널에 손상을 입히게 한다. 저널 손상은 윤활유의 Escape Groove가 되어 유막의 형성을 불량하게 할뿐만 아니라 베어링 배빗 메탈 마모의 원인이 되므로 조기에 수정가공을 실시해야 한다. 위에 기술한 사항이외에도 베어링 메탈 손상에 여러 가지 원인을 생각할 수 있으므로 대책을 세울 때에는 정확한 원인을 파악하는 것이 중요하다.



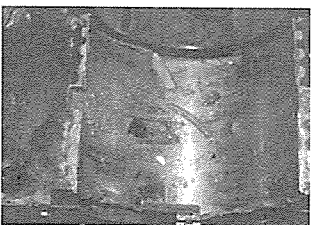
【사진-34】 베어링 배빗 메탈부 균열.



【사진-35】 베어링 배빗 메탈부 탈락.



【사진-36】 패드 베어링 Locking Pin 절단

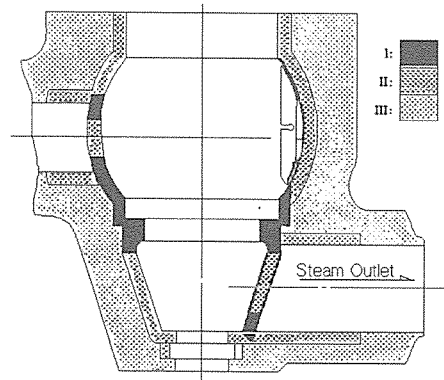


【사진-37】 베어링 배빗 메탈 손상.

3.7. Major 밸브 류(類).

3.7.1. 밸브 케이싱의 균열(龜裂).

밸브 케이싱의 균열발생 요인은 고압과 중압 케이싱과 동일한 요인으로 생각할 수 있다. 케이싱의 경우와 마찬가지로 외면의 정기적인 정밀점검을 권유하며 자세한 점검내용 및 점검개소에 관해서는(그림-40)을 참조하기 바람. MSV 케이싱 운전시의 응력분포를(그림-45)에 표시한다. 본 그림은 응력이 높은 순으로 I, II, III의 기호로 표시되어 있다. 따라서 기호 I, II의 부분에 대한 점검이 특히 중요하다. (그림-46)은 SCV Stand 체결 플랜지 "R"부의 균열발생 사례를 표시한다. 이 경우 원인은 플랜지 Base 응력 집중부인 Corner부의 저(低) 사이클 열 피로에 의한 것으로 추정된다. 균열 발생시 대책은 고압과 중압 케이싱의 경우와 마찬가지로 균열부를 그라인더 등으로 제거하거나 용접정비 등의 방법이 있다.



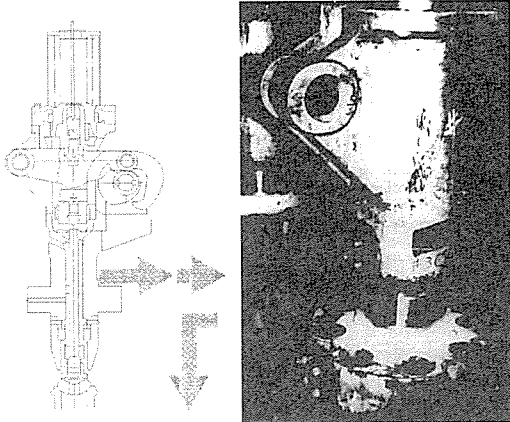
【그림-45】 MSV의 응력분포.

3.7.2. 밸브 스템과 밸브 Body의 침식.

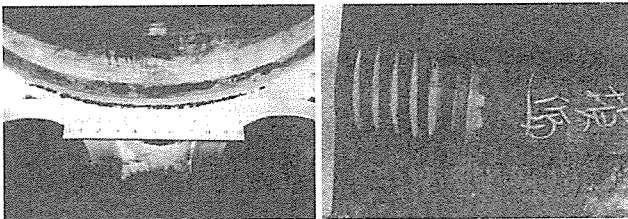
증기터빈 기동시 열응력 및 열변형을 방지하기 위해서 기동시부터 Initial Load까지 SCV를 Full Open하고 First Stage 노즐 Box의 전주에서 증기를 유입시키는 전주분사기동방법이 일반적으로 채용되고 있으며 증기유량제어는 MSV Bypass 밸브로 한다. 이와 같은 Bypass 밸브가 달려 있는 MSV는 밸브 스템이 Solid Particle 침식을 받는 사례가 빈번히 발생되고 있다. (그림-47)에 침식 사례를 표시한다.

밸브 스템 표면에 스텔라이트를 육성하거나 Bypass 밸브 하부를 아래쪽으로 길게 늘려서 밸브 스템이 보호되도록 함과 동시에 이 부분에 스텔라이트를 용접 육성하는 개량설계도 이루어지고 있다. 스텔라이트 육성으로는 이 Solid Particle 침식에 대해서 완

전하지 않으며 개량설계에서도 밸브 스템의 보호로써 길게 늘린 Bypass 밸브하부 부분이 침식을 받아서 비산되어 버린 사례도 일어나고 있다. 이 때문에 더욱 개량된 Bypass 밸브가 밸브 스템의 주위에 배치되어 Steam Flow가 밸브 스템에 충돌하지 않도록 되어 있다. 3개의 Bypass 밸브를 보유한 Multi 밸브 Steam Stop 밸브도 개발되어 실용화되고 있다.[그림-48]에 밸브 구조의 변천을 표시한다.



[그림-46] SCV Stand의 플랜지 Base부 균열상황

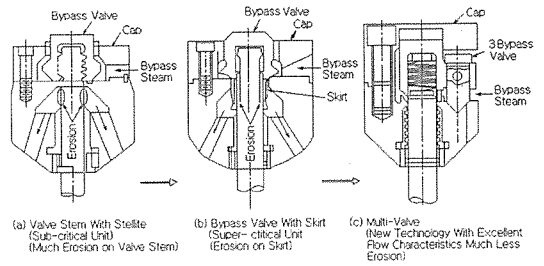


[그림-46] SCV Stand의 플랜지 Base부 균열상황-1. 밸브 스템-밸브 Body의 침식

3.7.3. 밸브 스템의 절단.

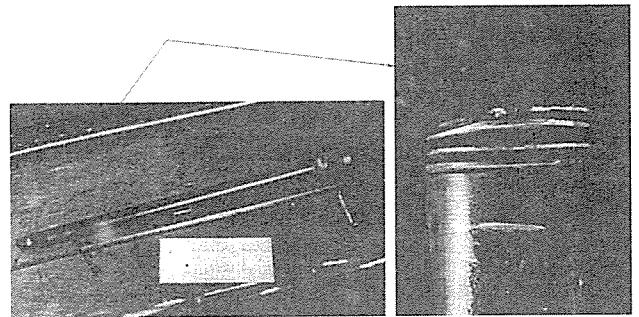
밸브 스템의 절단은 SCV에서 발생되고 있으며 대부분이 밸브 스템 계통의 진동에 기인한 High 사이클 피로파괴이다. SCV는 밸브가 약간 열린 상태에서 밸브 전후의 차압이 커져서 Flow가 일정하지 않기 때문에 진동이 발생하기 쉽다. 밸브 전후 차압을 적게 하기 위해 Balance Chamber를 설치한 Balance 형식 SCV에서는 Balance Chamber가 일종의 공명 Box가 되어 공명진동을 일으켜 스템 진동과 공진한 사례도 있으므로 대책으로는 Bypass 밸브의 Lift를 바꿈으로 공명을 피하고 있다. 그 외 형식의 SCV에 대해서는 진동에 대한 신뢰성 향상을 위해 밸브 스템의 강도향상, 밸브 스템 Guide 추가 설치 등의 대책을 실시하고 있다. 그러나 밸브 스템 절단을 방지하기 위해서 가

장 중요한 것은 점검시에 밸브 스템 부상의 간극을 측정 감시하여 간극이 허용 값을 초과하거나 밸브 스템에 굽힘이 발견된 경우에는 밸브 스템과 부상을 교체하는 등 조치를 취해야 한다.

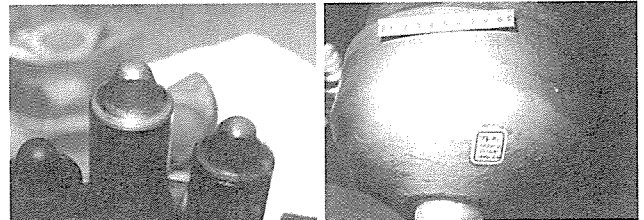


[그림-48]

Bypass 밸브가 설치되어 있는 MSV의 구조의 변천



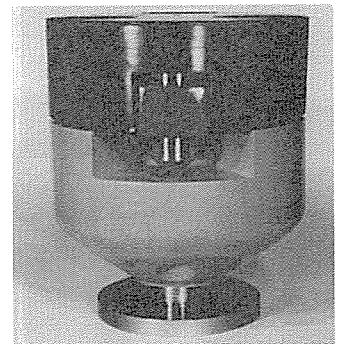
[그림-49]SVC 밸브 스템의 절단사례.



[사진-38]

[사진-39]

Bypass 밸브 디스크부 침식. Main Stop 밸브 디스크부 균열



[사진-40]

다변식 Bypass Valve.

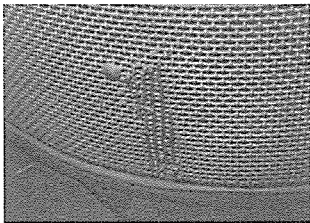
3.7.4. 밸브 케이싱 Bonnet(Upper Cover)의 변형 (變形).

Bonnet는 Stud 볼트에 의해 밸브 케이싱에 조립되어 있으므로 운전중 항상 내압을 받고 있기 때문에

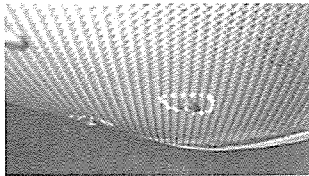
장시간 운전에 의해 외측으로 팽창하는 형식의 Creep 변형이 발생한다. 이 결과 볼트에 굽힘 응력을 발생시켜 볼트의 파괴 혹은 케이싱 암나사에 국부적으로 높은 응력을 발생시켜 손상을 일으키기도 한다. 변형이 생긴 경우에는 플랜지의 접촉면 및 Nut의 Counter Bore Face를 수정 가공하며 변형의 관리는 플랜지 외주부에 설치되어 있는 Escape Groove 간극측정으로 이루어진다.

3.7.5. Strainer Wire Gauze의 파손.

MSV와 RSV에는 보일러에서 비산되는 고형물의 유입을 방지하기 위해 Strainer가 설치되어 있다. 종래의 Strainer는 두꺼운 원통에 Wire Gauze를 입힌 구조로 Wire Gauze는 Rivet으로 원통에 고정되며 이 Wire Gauze가 고형물의 비산 유입 혹은 Wire Gauze 자체의 느슨함에 의한 진동으로 파손이 되는 경우가 있다. 대책으로 4mm 두께의 Wire Gauze에 직경 4mm의 구멍을 Pitch 6.5mm로 다공판식(外孔板式) Strainer로 변경할 것을 권유한다. 다공판 식이라도 Strainer 전후의 압력 차는 마찬가지로이며 열 성능에 관한 영향은 없다.



[사진-41] Main Stop 밸브 Strainer Mesh 손상.



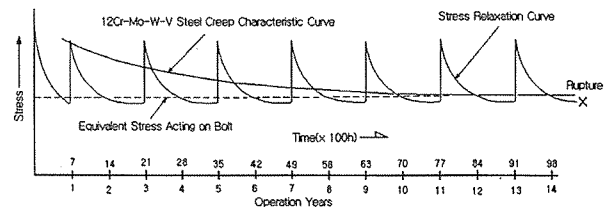
[사진-42] Main Stop 밸브 Strainer Rivet 탈락.

3.8. 고온 볼트.

3.8.1. 볼트의 열화(劣化).

고압 케이싱 수평 플랜지부나 Major 밸브 Bonnet부의 체결 볼트는 고온, 고(高)응력에 항상 노출되어 있어 경년열화를 받기 쉬운 부품의 하나이다. 조립시에 어떤 일정한 응력으로 체결된 볼트는 운전중 Creep 신장에 의해 체결력이 시간의 경과와 함께 감소하는데 이 현상을 응력완화(Stress Relaxation)라 한다. 즉 체결에 의해 생긴 볼트의 총 신장은 일정함에도 불구하고 탄성변형이 소성변형으로 변화되어 체결력이 저하되고(저하후의 체결응력을 잔류응력이라고 함) 이

잔류응력이 기기의 내부압력보다 높지 않으면 증기누설을 일으킨다. 볼트의 경년열화에 대해서는 Creep과 취화(脆化, Embrittlement)의 두 가지 점에서 검토할 필요가 있다. 볼트응력 이력은 체결 Creep 신장(응력완화) 체결 Creep 신장(응력완화)의 반복으로 그 수명동안 마치 톱니모양과 같은 반복응력을 받는다. 따라서 그 반복응력을 일정하게 옮겨놓은 상당응력이 재료의 Creep 파단 강도와 일치하는 점에서 볼트 파단이 일어난다.(그림-50)에 이 상태를 표시한다. 또한 Creep 신장에 의해서 소성변형이 축적되면 재료는 경화되면서 더욱이 고온 고(高)응력하에 놓이면 재료는 시금학적(冶金學的)인 재료의 경년열화를 일으켜 충격 값이 대단히 저하된다. 이 원인은 탄화물의 석출(析出)에 의해서 일시적인 경화현상과 소성변형의 축적에 의한 경화현상으로 볼트 재 체결후 일정시간이 지나면 응력은 초기 체결응력보다 높아져 응력완화저항도 커지게 된다. 그러나 재 체결을 일정회수를 반복하면 어느 시점에서 재 체결후의 응력 증가도 없어지고 응력완화저항도 적어진다. 이것은 장시간 사용하면 탄화물이 응집 조대화(凝集粗大化)되는 결과로 이와 같은 배경에서 점검시 정도검사를 실시하여 볼트부 열화 상황을 대략적으로 확인하고 있다. 특히 터빈 증기 유입부인 고온 부에 사용되고 있는 12Cr-Mo-W-V강은 그 외 부분에 사용되고 있는 Cr-Mo-V강에 비교하여 충격 값의 변화가 적다. 따라서 점검시 볼트의 관리방법을 다르게 해야하고 볼트의 절단 방지를 위해 점검을 위한 조립 작업시마다 볼트 신장 측정기로 규정의 토크 량을 주는 것이 중요하며 필요 이상으로 너무 많이 체결하는 것은 볼트의 수명을 단축시켜 절단 원인이 될 수 있다.

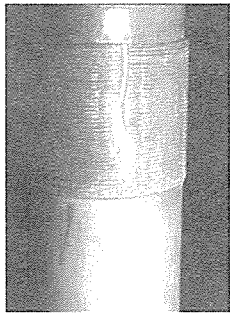


[그림-50] 고온 볼트의 응력이력.

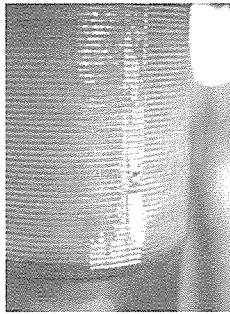
3.8.2. 수나사 및 암나사의 변형손상(變形破損).

고온 볼트는 양쪽너트형(Double Nut Type) 볼트가 많이 사용되고 있으며 구조상 양쪽너트형 볼트를 채용

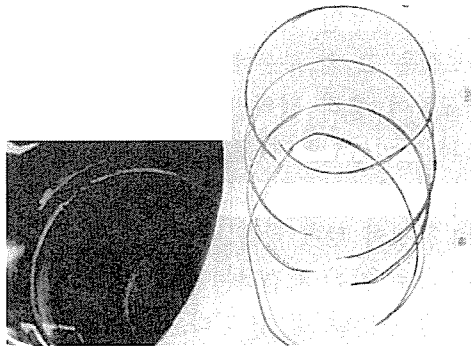
할 수 없는 곳에는 Stud 볼트가 사용되고 있다. 최근 고온, 고 응력 하에 사용되는 Stud 볼트의 암 나사 측이 파손되는 사례가 발생하고 있다. 원인은 경년적인 재료의 열화와 더불어 나사 산의 Creep 변형, 케이싱 플랜지면 변형에 따른 국부적인 편 접촉, 그에 따른 과대응력 발생으로 판단된다. 특히 Major 밸브 Bonnet의 체결 볼트 또는 케이싱 플랜지 볼트의 내측이나 체결력 확보를 위해 저온증기를 볼트 구멍에 유입시키고 있는 Clean 볼트부 암나사에 손상이 많이 발견된다. 파손이 발견되거나 또는 파손이 예상되는 경우에는 Size를 1/4" 정도 크게 하여 암나사를 가공하거나 구조적으로 허용된 개소를 양쪽너트형 볼트로 개조하고 있다.



【사진-43】 고온볼트 나사산 손상.



【사진-44】 고온볼트 나사산 손상.

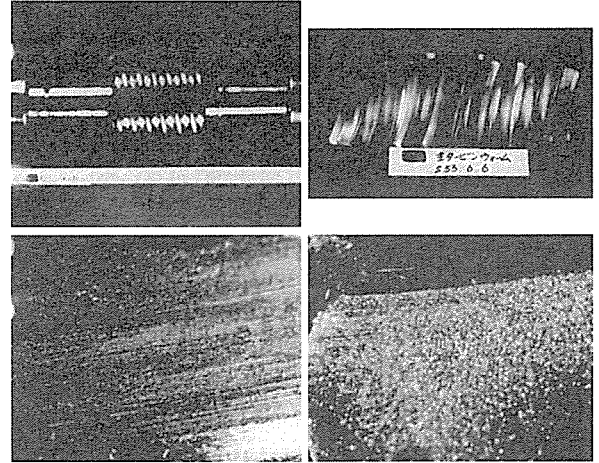


【그림-51】 HP 케이싱 암나사의 파손사례

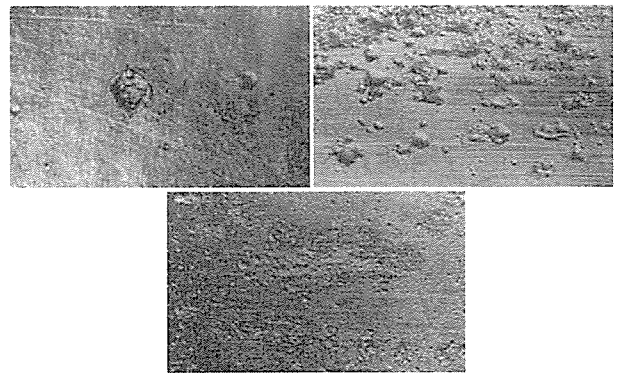
3.9. 제어장치.

3.9.1. 축 전류에 의한 전식.

복수형 터빈은 블레이드가 습증기 내에서 회전함으로 Electrically Charge가 발생하며 축 접지장치에 의해 효과적으로 Grounding을 하지 않으면 베어링 또는 조속기 구동용 치차를 통해서 축 전류가 흘러 베어링과 치차에 전식(電蝕)이 발생하는 경우가 있다. 또한 최근에는 Silver Brush를 대신하여 Copper 블레이드를 축 접지 장치로 채용하여 내구성을 향상시키고 있다.



【그림-52】조속기 웜과 웜 기어에 발생한 전식의 예.



【사진-45】 베어링 표면 및 배빗의 전식

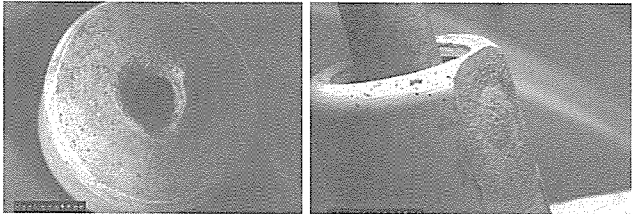
3.9.2. 조속기 구동축의 절단.

조속기 구동 축(Stub Shaft)은 터빈 로터의 Front Side에 볼트로 체결되어 조속기를 구동시키며 비상 조속기와 Main Oil Pump가 설치되어 있다. 만약 이 샤프트가 절단되면

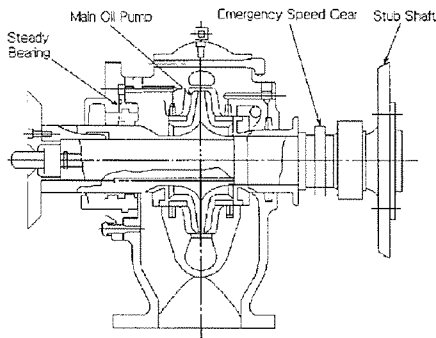
- (1) 조속기가 작동불능 상태가 된다.
- (2) Main Oil Pump의 출구압력(제어유압)이 저하된다. 단, 제어유압의 저하에 의해서 자동적으로 AOP가 기동되기 때문에 제어유압, 베어링 유압은 확보된다. 이 때문에 각 Major 밸브는 닫히지 않는다.
- (3) 조속기는 회전수 저하에 따라서 특성상 SCV를 Full Open 방향으로 동작시킨다.

위와 같이 Stub 샤프트의 절단은 터빈을 극히 위험한 상태에 이르게 된다. 이 같은 중대사고가 일어나는 것을 검지하기 위해 Main Oil Pump의 출구압력 저하를 검지하여 간접적으로 알아내는 장치를 최근에 추가로 설치하고 있다. 요인의 하나로 Stub 샤프트는 Cantilevers Beam으로 로터의 Front Side에 설치되어 있으며 다른 끝단은 방진(防振) 베어링(Steady

Bearing)에 의해 지지되고 있다. 방진 베어링은 베어링을 Spring으로 Housing에 고정하여 Stub 샤프트의 선회를 어느 정도 흡수하고 동시에 진동을 억제시키도록 설계되어 있다. 방진 베어링의 추종성이 불량하고 Housing에 고착되어 있는 경우 Stub 샤프트는 1회전마다 축에 굽힘 응력이 발생시키고 이 응력의 반복에 의해 축이 파손되는 경우가 있으므로 정기적인 점검과 Spring Force의 조정이 중요하다.(그림-53)에 조속기 구동축의 구조를 표시한다.



【사진-46】 조속기 서보 밸브 침식. 【사진-47】 조속기 파이롯트 밸브 침식



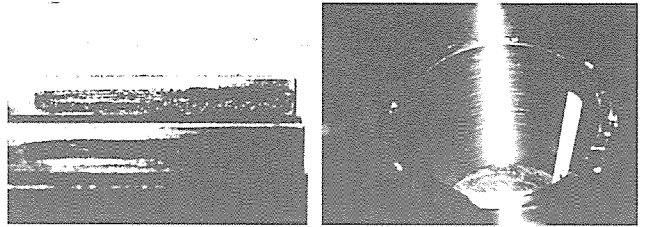
【그림-53】 조속기 구동축의 구조

3.10. 기타.

3.10.1. 터닝 장치의 마모.

터빈 베어링은 터닝 기동시 유막 형성이 어려우므로 소위 금속접촉 상태에서 기동하기 때문에 터닝장치에 과대한 토크를 작용시킨다. 따라서 장기간 사용에 의한 터닝 장치의 기어 축용 부상 및 구동용 체인의 과대한 마모를 시기 적절하게 파악하고 동시에 처리대책수립을 위해 4년마다 분해점검을 권유한다. 운전 개시후 5~6년 경과되면 Clutch Pinion과 Spacer Gear의 물림이 원활치 못하여 터닝 운전중에 이탈하는 경우가 있는데 이것은 Clutch축 부상 혹은 Idle 샤프트 부상의 이상마모가 원인인 경우가 많다.(그림-54)는 부상, 기어의 마모사례를 표시한다. 또한 운전 개시 후 10년 정도 지나면 터닝 모터 구동전달 체인

이 마모이완에 의해 터닝 운전중 이음발생과 함께 체인 자체의 강도가 저하된다. 이러한 소모부품은 이음이 발생할 경우 즉시 신품과 교체할 수 있도록 예비품을 준비할 것을 권유하고 있다. 또한 다빈도 기동/정지용 기종은 터닝 장치의 사용빈도도 많아지므로 분해점검작업을 신중하게 할 필요가 있으며 터닝 기동 토크를 완화하기 위한 Cushion Starter를 추가 설치하는 등 배려가 필요하다.



【그림-54】. 터닝장치의 부상과 기어 마모사례.

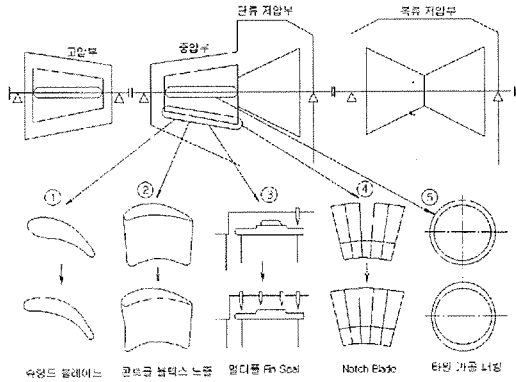
3.10.2. 물 유입에 의한 터빈의 손상.

고온에서 운전되고 있는 터빈에 추기 배관 혹은 저온 Reheating 배관에서 물이 역류(물 유입)할 경우 열적 충격으로 균열이 발생하므로 물 유입이 감지되면 즉시 정밀점검이 필요하다. 물 유입은 케이싱, 다이어프램의 균열 원인이 될 뿐만 아니라 블레이드 손상, 트러스트 베어링 손상 또는 Stoop 현상(하부 케이싱이 냉각되어 케이싱이 외측으로 휘어지는 현상)에 의한 다이어프램 패킹과 로터의 Rubbing을 발생시킨다. 이 때문에 급수가열기에서 Drain의 역류를 방지하기 위해 추기 배관에 차단 밸브를 설치하고 Drain 배관 다중화 등의 대책이 취해지고 있다. 물 유입검지는 추기 배관에 온도계 설치, 상부 & 하부 케이싱에 열전대 설치 등을 통해 케이싱 상하 온도차를 감시하는 방법이 채용되고 있다. 또한 통상 운전시에는 기동/정지시 Drain 밸브, 추기 차단 밸브의 개폐조작에 주의하고 추기 Check 밸브, Drain Trap 작동상태 점검, 정비에 충분한 배려가 필요하다.

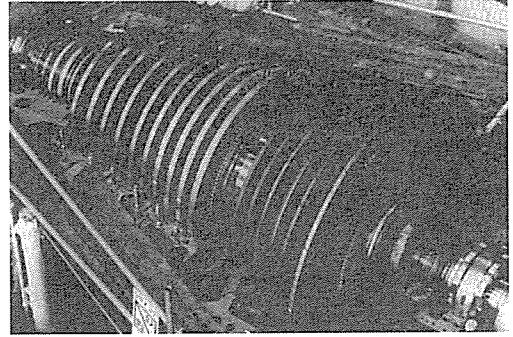
4. 증기터빈의 에너지 절약 및 수명회복대책

현재 발전설비의 입지 난과 관련하여 터빈은 적어도 30년 이상 신뢰성 있는 운전이 필요하다. 이 시점에 불량 발생 개개의 부품을 그 때마다 교체하는 방법은 예방보전의 입장에서 볼 때 바람직한 방법이 아니다. 또한 효율이 좋지 않은 터빈을 그대로 운전

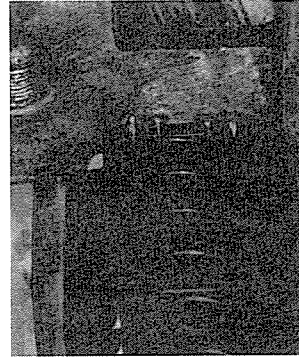
한다는 것도, 엄격한 에너지 정세로 보아 유익하지 않다. [그림-55]는 175MW 터빈의 에너지 절약대책을 실시한 예로 그림 중 ~ 부분의 개조에 의해 Plant 효율은 상대치 216%, Plant 효율 절대치는 0.84% 개선할 수 있었다. 지금까지의 예방보전 차원에서 적극적인 개선으로 인한 에너지 절약에 의해, 개조비용은 3~5년에 회수할 수 있기 때문에 금후의 예방보전차원에서 고려할 가치가 있다.



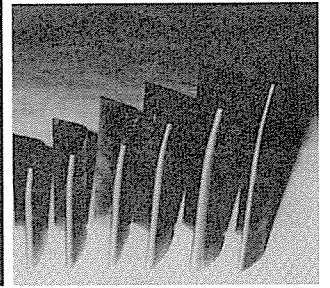
[그림-55]
175 MW 에너지 절약 및 수명회복 대책의 예



[사진-48] 중압부분의 Steam Pass의 개선

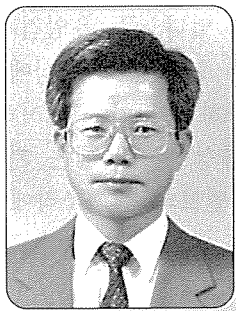


[사진-49]
멀티핀 씰



[사진-50]
콘트롤 블럭스 블레이드

강서 · 노원 열병합발전소 탈질설비 추진현황



서울에너지(주)
기술기획부장/기술사
도유봉
Tel: (02)2647-3201

- 종업원수 : 233명(임원 3, 직원 225명, 임시직 5명)

나. 연혁

- 83. 5. 3 목동지구 신시가지 개발계획 확정(지역 난방방식 채택)
- 83. 12. 2 집단에너지 공급사업의 시행 및 업무 위탁 등에 관한 조례설치(수탁자 : 에너지관리공단)
- 85. 1. 5 목동 열병합발전소 착공 (준공 : 87. 12. 31)
- 93. 12. 21 노원 열병합발전소 착공 (준공 : 96. 12. 31)
- 98. 11. 25 서울시 집단에너지공급사업 수탁사업자로 선정(서울에너지)

1. 회사 소개

가. 일반현황

- 회사명 : 서울에너지주식회사(설립일 : '98.12.7)
- 주 소 : 서울 양천구 목동 900번지