

그림 12 전기적 출력특성(단독부하)

5. 결론

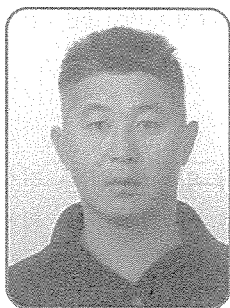
천연가스는 매장량이 비교적 풍부하고 환경공해가 적은 연료로서 천연가스를 사용하기 위한 기기개발 및 보급은 중요한 문제이다. 그러나 비교적 고가의 연료이기 때문에 에너지를 효율적으로 사용함으로써 타 연료와의 경쟁력을 높일 수 있다.

초소형 CES(Community Energy System)라 불리우

는 MGT 발전시스템은 향후 널리 사용될 수 있는 분산형 발전시스템으로 선진국을 중심으로 많은 연구개발이 이루어지고 있다. 본 연구에서는 27kW급 MGT의 기동특성, 발전출력별 성능특성을 측정하여 분석하였다.

- (1) MGT시스템의 기동은 무부하상태에서 4000rpm으로 일정시간 유지하다가 계통연계모드로 전환되면서 96,00rpm으로 상승하며 정격출력상태에 도달하는 특성을 나타내었다. 이때 발전량은 최대에 도달후 약간 감소하여 평형상태에 도달하였다.
- (2) 그 결과 발전효율은 저부하에서 20%이하로 낮은 반면에 20kW이상 높은 부하에서는 26%정도를 나타냈으며, 연료소비량과 배가스온도는 발전부하가 증가함에 따라 선형적으로 증가하는 특성을 나타냈다.
- (3) 단독부하상태와 계통연계상태에서 발전부하별 전기적 특성을 측정된 결과 계통연계상태보다는 단독운전상태가 응답속도가 빠르고 정정적인 특성을 나타내었다.

기력발전소 터빈 정비사례(Ⅱ-Ⅱ)



한전기공(주)
기술연구소 전문원실
일반전문원 김 병 철
Tel : (031)710-4428

4. 로터.

고중압 로터 및 저압 로터는 중심공검사 및 발란싱을 시행하였으며 더미링 요철부를 기계가공 Spill Strip을 전량 교체함.

4.1. 중압 8단,10단 노즐 플레이트의 침식(SPE).



사진7 - 중압8단 SPE



사진8 - 중압10단 이물질에의한 충돌

4.1.1 점검결과.

중압터빈 8단 Partition Plate에 이물질과의 충돌에 의한 것으로 판단되는 침식현상과 충돌에 의한 손상 부위가 발생됨.

4.1.2 발생원인.

현재까지 진행된 침식의 형상과 Plate에 부착되어 있는 이물질들로 보아 Solid Particle Erosion으로 판단되며 이는 건설직후 시운전시나 정상 운전중 Cross Around Pipe 내부에 잔존하고 있던 이물질들이 증기의 유입경로를 따라 터빈내부로 유입되어 플레이트에 부딪치면서 손상을 발생시킨 것으로 볼 수 있다. 유입된 큰 입자의 이물질은 플레이트에 부딪쳐 Pitting 손상을 발생시키고 반사되었으며 입자가 작은 이물질들은 플레이트에 부착되어 증기의 흐름을 방해하며 효율저하를 일으킬 가능성이 있다.

4.1.3 대책 및 정비내용.

Solid Particle Erosion은 터빈의 설계 및 구조상 피할 수 없는 현상이며 계통내부에 잔존하던 이물질들이 모두 제거되었다면 이후 SPE 현상은 감소될 것으로 판단되며 향후 지속적인 추적관리가 요망됨. 또한 Partition Plate 표면에 부착되어 있는 이물질들은 사포를 사용하여 전량 제거하고 충돌에 의한 손상부위의 주변은 줄로 손질하여 조립함.

4.2 저압1단(LP16S)과 2단(LP17S) 블레이드 커버의 Rubbing 발생.

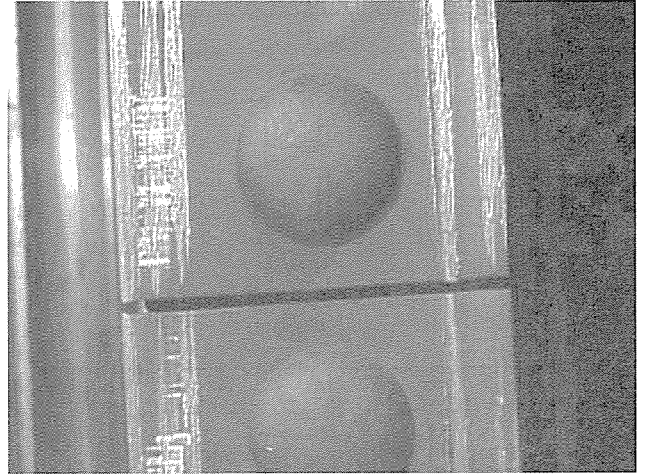


사진7 - 저압1단 슈라우드부 러빙

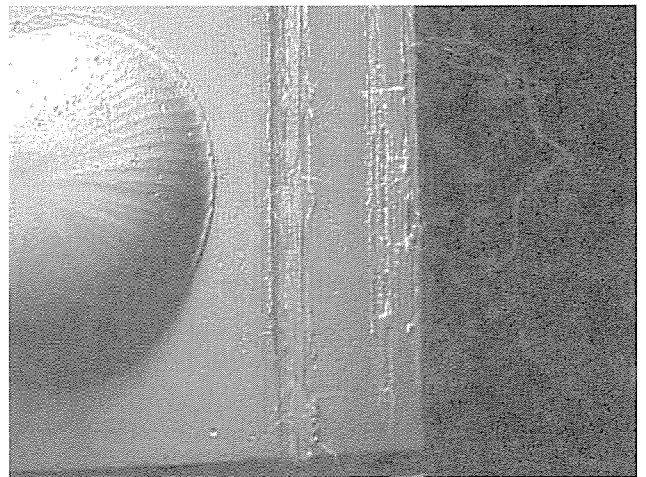


사진8 - 저압1단 슈라우드부 러빙

4.2.1 점검결과.

저압로터 1단 및 2단의 블레이드 커버에 패킹 Strip과의 접촉에 의한 심한 Scratch 현상과 이물질과의 충돌에 의한 침식이 진행되고 있으며 Rubbing은 8단과 9단 블레이드 커버에서만 발생하였으며 다른 단에서는 발생흔적이 없음.

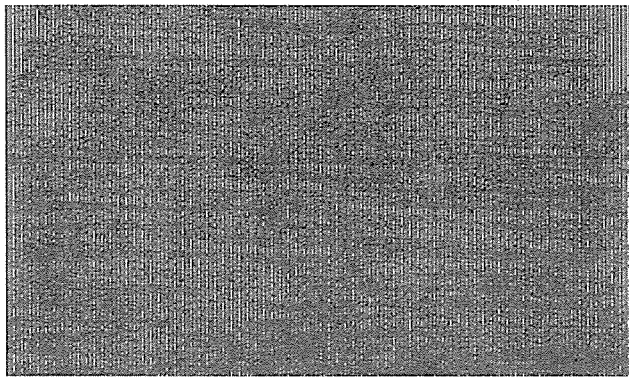
4.2.2 발생원인.

Rubbing Mark중 녹이 발생되어 있는 부분은 건설직후 시운전시 또는 정상 운전중 각종 Test를 위한 급격한 기기 조작, Starting & Loading 등에 의해 발생되고 Marking이 선명한 부분은 이번 점검을 위한 정지과정에서 증기량이 적어지면서 케이싱의 상부방향으로 흘러 케이싱 상부가 온기상태가 되면서 하부가 휘어져 올라오는 묘배 현상(중압부가 위로 휨)에 의해 발생한 것으로 판단됨(화력기종에서도 동일한 현상이 발생되고 있음).

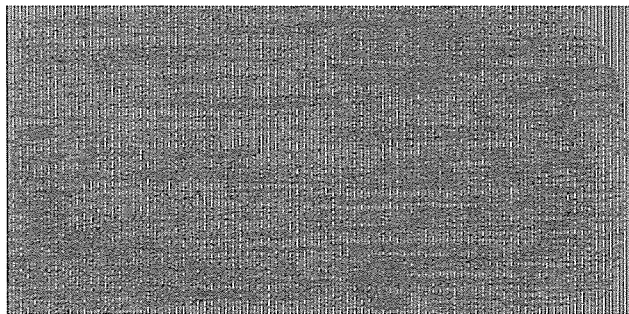
4.2.3 대책 및 정비방안.

특별한 문제가 없을 것으로 판단되나 지속적인 추적관리가 필요하며 이 현상은 일정기간의 운전후 Rubbing이 되지 않는 적정간극이 확보되면 자연 소멸되는 것을 경험하였음.

4.3 저널부의 점검.

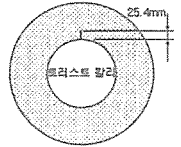


Thrust Collar 발전기축 탁본.



Thrust Collar 터빈축 탁본

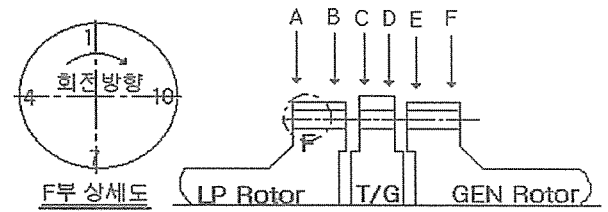
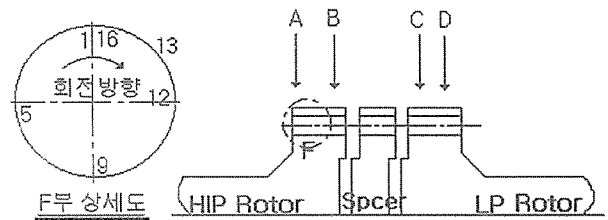
[관련자료] 트러스트 칼라의 Scratch 허용 크기 규정.(HD1-GE-97020JA 근거). 그림과 같이 트러스트 칼라의 반경방향 25.4mm 이내에 Scratch의 폭 0.4mm, 깊이 0.4mm 이상일 경우와 25.4 mm 내에 Scratch 크기를 더한 값이 폭 0.40mm, 깊이 0.40mm 이상일 경우에는 칼라를 재가공해야 함.



4.4 커플링 볼트 측정.

4.4.1 Coupling Bolt & Hole Measuring.

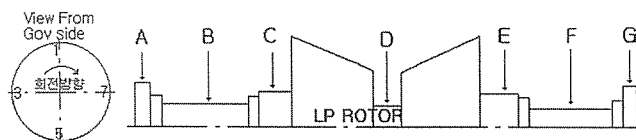
측정결과 적정간극을 초과하는 볼트는 부분 교체를 시행함.



4.5 로터 런-아웃 측정.

① 고중압 로터 및 저압로터.

Posi' / Check	A	B	C	D	E	F	G
	HP End	NO1 Journal	GL 1-7	GL2-4	GL 3-1	NO2 Journal	Coupling
1	0	0	0	0		0	0
2	-3	0	0	0		0	-1
3	-7	0	0	-1		0	-2
4	-9	0	0	-1		0	-3
5	-8	0	0	-1		0	-2
6	-5	0	-1	0		0	-1
7	-1	0	-1	0		0	0
8	1	0	0	0		0	0



Posi' / Check	A	B	C	D	E	F	G
	Gen Coup'	NO4 Journal	GL 4-2	Center	GL 3-1	NO3 Journal	TBN Coup'
1	0	0		0	0	0	0
2	-1	-1		0	0	-1	-1
3	-2	-2		-2	-1	-1.5	-2
4	0	-2		-1.5	-2	-2	-2
5	-1	-1.5		-2	-1	-1	-2
6	-0.5	-1		-1	0	-1	-2
7	-1	-1		-1	0	-1	-1
8	0	-1		-1.5	0	-0.5	-1

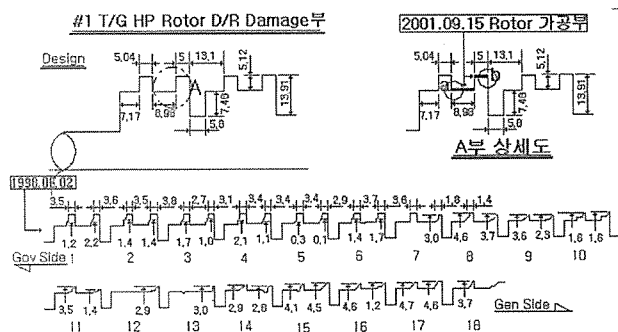
4.6 고압 더미링부 기계가공.

HIP Rotor Dummy Ring 요철부 가공량은 다음과 같다.

- 요철부(b) : 1.88mm 가공.
- 요철부(a) : 1.67mm 가공.

상기의 수정방법은 반경방향의 간극을 설계치 이 내로 유지하기 위해 로터 요철부를 기계가공 후 로터의 외경에 맞추어 패킹을 재가공 하였으며 로터 a,b 부의 외경 치수가 설계치보다 변화가 발생됨.

요철부의 마모형상은 98년 6월 대수리 보고서를 참조함.



5. 케이싱 점검.

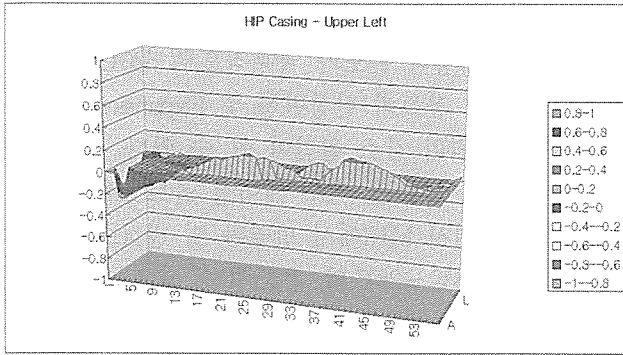
증기의 누설과 관련된 고,중압 외부 케이싱의 레이저 측정치는 별도의 보고서로 작성하며 측정결과 상부 좌측 0.30mm, 하부 좌측 0.9mm, 상부 우측 0.20mm, 하부우측 0.80mm의 변화량을 보이고 있으며 최대 변화부위는 중앙부로 집중된다.

케이싱의 경년변화의 주요인자로는 취화(脆化,

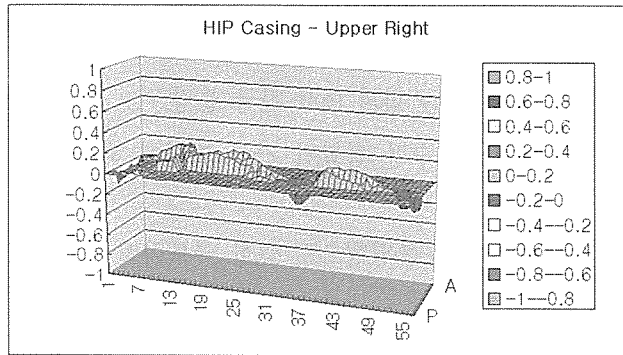
Embrittlement)의 형태로 나타나며 다음과 같은 요인에 따른다.

고압과 중압 케이싱 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.

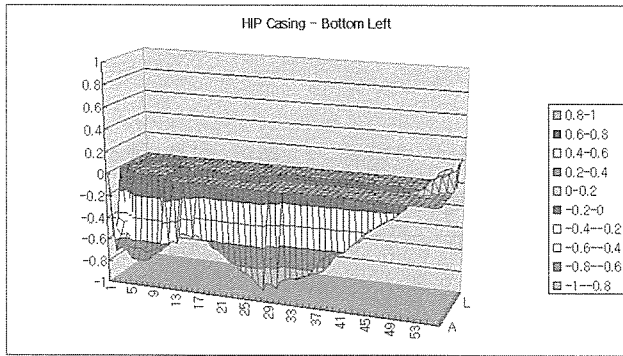
취화된 재료는 깨짐에 대한 감수성이 높아져서 용접육성을 시행할 경우라도 용접 중에 균열이 발생되기 쉬우며 이것을 방지하려면 인성의 회복을 위한 열처리를 행함으로써 결정입자 계에서 불순물을 입자 내로 확산시켜서 새로운 재질과 동일한 정도까지 인성을 회복시키는 방법이 취해지고 있다. 또한 12Cr 계의 고온 볼트에서도 동일한 취화 현상이 발견되고 있으며 주요원인은 Cr 탄화물의 석출이다. 이 경우에도 인성회복 열처리에 의해서 충격 값의 회복이 가능하다. 약 9만 시간 운전된 로터 재료의 흡수 Energy 및 파면천이온도(破面遷移溫度 = 취성파면과 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 필요해 진다. 장시간 운전된 증기터빈의 Cold Start시에는 터닝중의 Warming 또는 저속에서의 Warming 운전의 중요성이 강조된다.



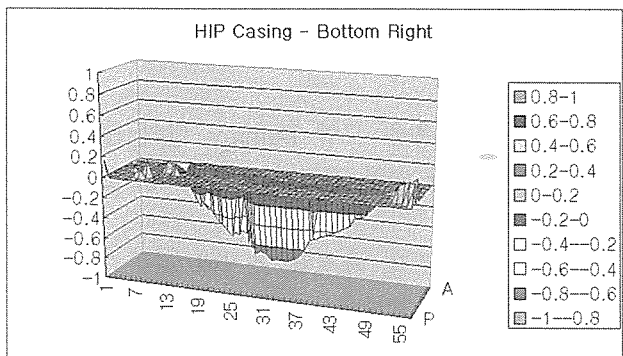
고압케이싱 상부 좌측 레벨측정



고압케이싱 상부 우측 레벨측정



고압케이싱 하부 좌측 레벨측정



고압케이싱 하부 우측 레벨측정

IV. 종합의견.

1. 로터.

가. 측정렬 수행 과정.

1986년부터 2001년 최종 조립까지의 수행과정을 정리 결과 경년적인 변화량 및 기기 최적의 측정렬 상태를 유지하기 위해 정밀한 관리가 필요하며 2001년 측정렬 수정은 2번과 4번 베어링으로 조정하였으며, 2001년10월 09일 조립시(Top's off) 측정치와 10월 17일(Top's on) 측정치 분석 결과 #A 커플링 (Face 0.05 V, Rim 0.13 \uparrow) 및 #B 커플링의 (Face 0.02 \wedge , Rim 0.25 \uparrow) 변화가 발생은 저압 외부 케이싱 조립시 커플링 원주면에서 발생한 변화량(발전기측 0.18 \downarrow , 터빈측 0.03 \downarrow) 및 고, 중압 외부 케이싱 조립시(0.20 \downarrow)에 발생한 변화량은 로터 포지션 변화가 없는 것으로 보아 하중에 의한 페테스탈의 부등침하로 추정되므로 지속적인 페테스탈 레벨 및 벤치마크의 레벨 관리가 필요하다. 또한 로터 중심선도 유지를 위한 저널 레벨관리 및 로터 포지션 관리는 측정렬 수정작업의 기초자료가 되므로 중점관리가 필요하다.

나. Dummy 링 요철부 기계가공.

요철부 마모 및 침식상태가 불균일하여 기계가공을 실시하고(a : 1.67mm , b : 1.88mm) 예비품 패킹을 링 가공치수에 적용하여 가공한 후 Spill Strip 전량 교체함.

다. 저널부 점검.

저널 및 트러스트 칼라는 양호한 상태이나 지속적인 관리가 필요함.

마. 커플링 및 볼트 점검.

OO기력 1호기는 전량 리머 볼트로 고압측 커플링은 비교적 양호하게 관리되어 있으나(최대 : 0.02~0.05) 국부적인 손상으로 인한 간극과다 현상이 발생되었고, 저압측 커플링은 홀의 손상상태가 불균일함.(최대 : 0~0.30) 이는 커플링 체결력 약화나 Slip 현상의 발생원인이 되므로 볼트 체결 후 풀림 방지용 와셔나 Set Screw의 사용을 검토할 필요가 있다. 급번 정비시 #A, #B 커플링의 볼트 각 6개씩을 Moment Weight하여 교체 조립하였으나 차기 정비시

커플링 홀의 호닝 방법을 검토할 필요가 있다. 최종 조립시 커플링 체결에 따른 런-아웃 값의 변화에 주의할 요한다.

바. 축 방향 위치 수정.

축 방향의 K' Position은 로터의 기준점이 되므로 기록관리에 만전을 기해야하며 검토결과 정비시마다 측정치의 변화가 발생하므로 충분한 검토가 필요하다. 또한 축방향 간극 수정시 X, Y 대한 간극 측정치 및 조정에 주의를 요한다.

2. 다이어프램 및 케이싱.

가. 다이어프램 Key 간극 조정.

1번 과 (고압 2S~7S) 2번, 3번 블레이드 링 (IP8S~12S)의 Step 측정결과에 따라 Support Key를 수정하여 수평 접합면의 간극 수정을(설계치 : 0.04~0.08)시행하였으며 Side Slip 측정에 따른 Center Key (고압2S, IP8S,9S,10S)간극이 다소 과다하므로 차후 정비시 수정 할 것을 권고한다.

나. Crush Pin 간극 수정.

Crush Pin의 간극수정(고압2S, IP8S,9S 13S,14S)은 적정간극 0.25mm~0.30mm 로 수정함.

다. 1번 블레이드 링 및 중압 13S,14S 축방향 간극 수정.

축 방향 간극 측정결과 중압 13S,14S의 간극 협소로 인한 러빙 발생과 1번 블레이드 링 입, 출구 방향의 간극 불균형이 측정되어 간극을 수정함.

중압 13S,14S는 터빈측으로 2mm 이동목표로 육성 및 기계가공 작업을 시행하였으며 1번 블레이드 링은 발전기측으로 2mm 이동 기계가공 작업을 시행하여 축방향의 간극을 설계치 이내로 조정함.

라. 노즐박스 방열판.

○○기력 1호기의 증기누설에 관한 정비이력은 91년부터 지속적으로 발생된 문제로서 91년 3회의 수정 작업, 93년 방열판 설치와 냉각증기 배관신설 및 SIC 구입, 95년 상부 케이싱 주증기 분할면 육성 가공, 98년 열 차단판 설치 등의 조정작업을 실시하였으나 근본적인 해결이 되지 않은 것으로 판단되며 증기누설의 요인은 온도 함수에 의한 변수로 판단된다. 이는

고압측과 중압측의 사각지대에서(고압 Dummy 링 부) 외부 케이싱의 온도가 국부적으로 520°C까지 상승하여 케이싱 볼트의 탄성변형 및 Expansion의 과다로 인한 체결력의 감소 원인이 될 수 있다. (Dummy 링 부의 볼트 교체 및 외부 케이싱 볼트 교체 : 4회) 또한 93년 정비시 MHI에서 방열판 및 냉각증기의 구조변경으로 18°C~28°C의 온도강하 효과를 가져온 정비이력이 있으며 증기누설의 원인은 다음과 같은 것들이 있다.

1. 고압 단에서의 역류.
2. 주증기의 과잉공급.
3. 고압 Dummy 링의 Butt 간극 불량.
4. 고, 중압단 수평 접합면 간극 발생에 의한 증기 누설.
5. 증기의 흐름 불평형으로 인한 국부적인 과열.
6. 주증기 입구부 Seal Ring의 누설.

그러므로 외부 케이싱은 온도상승에 대한 지속적인 관리가 요구되며 차후 정비시 국부적인 온도상승에 대한 정밀점검이 필요할 것이다.

3. 케이싱.

증기의 누설과 관련된 고, 중압 외부 케이싱 레이저 측정치는 별도 보고서에 첨부하였으며 측정결과 상부 좌측 0.30 mm, 하부 좌측 0.9mm, 상부 우측 0.20mm, 하부 우측 0.80mm 정도의 침하현상을 보이고 있으며 최대 변화는 중앙부로 집중된다. 그러므로 외부 케이싱의 볼트 조립시 수평 접합면의 변형에 주의를 요한다.

4. 종합 결론.

2001년 수정내용은 고압 Dummy 링의 Butt 간극 조정, 고, 중압단 수평 접합면 간극 조정, 고중압 및 저압 터빈

축방향 간극 조정, 측정렬 조정에 따른 반경방향 간극조정등으로 고압케이싱으로 증기누설현상을 해소한 사례임.