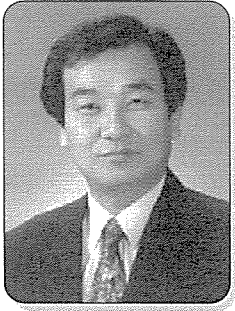


고온고압설비 수명평가 기술 및 실제사례



한국전력공사 전력연구원
발전기계그룹 수명평가팀
팀장 하정수/공학박사
Tel : (042)865-5220

I. 서론

※ 최근 미국에서도 보일러 및 관련 사고 계속 발생

우리나라에서도 최근 추진되고 있는 전력산업의 민영화 문제가 외국에서도 논란 가운데 진행되어 관련 규제가 완화되면서 발전설비 및 관련 산업설비에서 안전사고가 계속 발생하고 있다. 2000년도에 미국의 Kenneth Coleman 보일러 폭발사고, Hunter Point 발전소 보일러 폭발사고, Georgia 발전소 미분기 폭발사고로 7명 부상에 1명 사망, 그리고 1999년도의 Tampa발전회사의 Gannon 발전기 수소폭발사고로 3명 중상 포함 42명이 부상당하는 등 노후발전설비가 증가하면서 대형사고가 전년에 비해 24% 증가하고 있다고 한다. 2000년 미국의 보일러 사고를 집계하면 다음 표와 같다. 따라서 국내에서도 최근의 민영화 등 전력개편으로 발전회사간 경쟁이 가속되어 기술 인력의 감축과 정비비용 감축이 예상되므로 이에 대비한 관련 기술을 지속적으로 개발하여야 한다.

(2000년 미국 보일러 사고 : National Board of Boiler & Pressure Vessel Inspection 제공)

사고 원인	사고 건수	부상자	사망자
운전실수 / 정비불량 등	460	20	8

※ 미국 신규발전소 건설의 기피로 노후 발전소의 지속적인 증가

미국의 전력시장에서도 경제성 우선의 정책이 발전회사에서도 적용되어 신규 발전소 건설을 기피하고 있으며 계획되었던 건설도 취소되고 있다고 한다. 이와같은 추세는 장기간 사용한 노후 발전소의 증가 현상으로 나타나고 있다. 2000년 현재 미국의 발전설비용량은 639,429MW인데 이중에서 1980년 이후에 건설된 발전소는 28% 뿐이고 1971~1980년 사이에 건설된 발전소가 35%이며 33년 이상 운전한 노후 발전소가 37%에 이르고 있는 것으로 보고되고 있다.

한편 국내에서도 노후화된 발전소가 점차로 증가하고 있어 우리나라 기력발전설비 중 상당수가 이미 가동 후 설계기준(크리프 설계기준 10만시간, 저주기 피로 설계기준 : 2500회)을 초과하는 장기 사용 발전소이다. 장기 사용 발전소가 계속적으로 증가하는 가운데 경년열화에 따른 파손사고는 때때로 발전소에 경제적, 인적 손실을 유발시키기 때문에 중요한 현안 문제로 대두되고 있다. 다른 중요한 경향은 계획예방점검 주기의 장주기화이다. 이는 5년 마다 이루어지던 A급 O/H을 8~10년 정도로 연장하여 점검하는 추세로서 운전 중 상시 감시 시스템과 점검 기술의 고도화가 선결되어야 할 것이다.

이와같이 노후발전소의 지속적인 증가와 점검주기의 연장 등 가혹한 환경 하에서의 발전설비의 운전은 정확한 수명진단의 기술은 물론 각 운용회사가 체계적으로 수명을 관리하는 기술에 계속적으로 관심을 가질 것을 요구하고 있다.

II. 본론

1. 주요 요소기술의 개요

고온고압에서 장기간 사용하는 발전설비의 수명을 진단하고 평가하기 위하여는 크게 세가지 기술을 사

용하고 있다. 설비에서 직접 시험편을 채취하여 평가하는 파괴적 평가, 비파괴적으로 균열검출과 균열 이전 상태의 열화평가하는 비파괴적 방법, 그리고 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 평가하는 해석적 방법으로 구분하여 실시한다. 그러나 장단점을 가지고 있는 평가법을 한가지 방법 만을 사용하여 평가하기는 매우 위험하므로 다양한 방법으로 평가하여 상호 보완하여야 할 것이다.

또한 수명평가는 단계적으로 실시하는데 시기적인 필요와 예산상의 이유등으로 I, II, III 단계로 구분하여 실시하는데 I 단계 (간이진단)은 수명관리 초기 단계에서 주로 실시하고 간단히 운전이력과 정비이력등을 주로 검토하여 평가를 실시한다. II 단계(중간진단)은 간이진단 내용과 함께 일부 주요 설비에 대하여 비파괴 진단등을 실시하고 해석적 방법등을 동원하여 실시한다. III 단계(정밀진단)에서는 각종의 기술들을 최대한 동원하여 핵심설비의 수명을 평가하고 있다. 다음에는 각 요소기술별로 주요한 내용만을 소개하도록 하겠다.

가. 금속열화 평가를 위한 A 파라미터 법

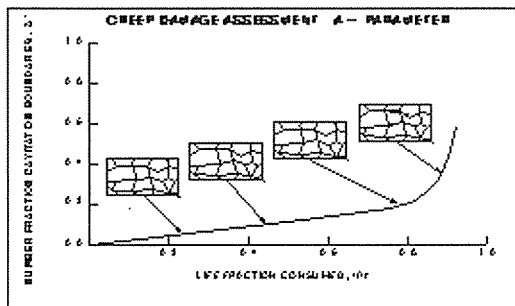


Fig. 1 크리프 수명소비율과 A-Parameter 법

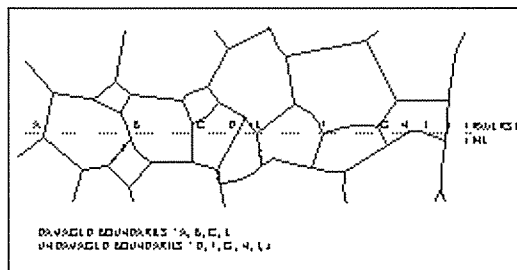


Fig. 2 조직 내에서 A-Parameter 산출도

나. 크리프손상 분류법(creep damage classification method)

- 크리프 연성이 매우 낮은 열영향부 전체에서 발생한 크리프 기공의 형상과 정도를 다음 표와 같이 정성적으로 분류하여 잔여수명 예측

NEUBAUER CREEP CLASSIFICATION METHOD

Class A	Undamaged : 손상이 없음.	- 크리프 기공이 발견되지 않음.
Class B	Isolated Cavitation : 입계에 기공이 불균일하게 발견됨.	- 결정입계를 따라 기공이 불균일하게 관찰되어 최대 주응력 방향은 구별할 수 없음.
Class C	Oriented Cavitation : 같은 입계에 많은 크리프 기공이 발견됨.	- 같은 결정입계에서 최대 주응력 방향에 수직으로 기공이 다량 존재하거나 연결되어 나타남.
Class D	Microcracking : 미소균열이 발견됨.	- 연결된 많은 크리프 기공이 최대 주응력 방향에 수직으로 발견됨. - 약간의 입계는 미소균열을 형성하는 기공의 합체로 인해 입계가 분리됨.
Class E	Macrocracking : 큰 균열이 발견됨.	- 기공과 미소균열이 발견된 것 외에도 미소균열이 많은 결정입계에서 큰 균열을 형성할 만큼 상호 연결되어 있음.

- 레플리카 채취 : Fig.3에서처럼 Acetate Film를 이용하여 운전 중인 설비에서 레플리카를 채취하여 금속조직을 상호 비교하므로써 크리프 수명을 평가하는 기술



Fig. 3 레플리카 채취장면

다. 경도법(hardness method)

- 시험이 간편하여 현장 적용이 용이
- 비교적 단시간 내에 많은 부위의 측정이 가능
- 손상의 정기적 검출
- 시험조건이 달라짐에 따른 측정값의 오차 발생
- 경도환산에 따른 측정 오차 발생

라. 인장강도 및 크리프 파단시험(creep rupture test)

- 비파괴적인 방법으로 정확한 수명예측이 어려운 경우에 적용
- 정확한 수명예측이 가능한 반면, 시험시간이 길고 많은 비용이 소모
- 두께가 얇은 튜브의 경우 시편을 제작하기 어렵다
- 사용중인 후육부의 경우에는 시편을 채취하기 어렵다.

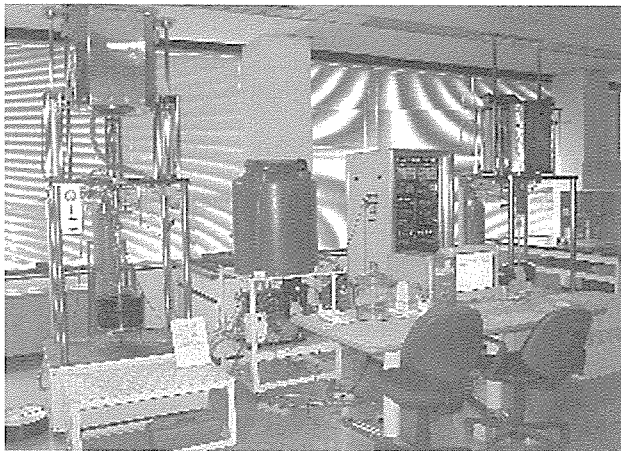


Fig. 4 미소크리프시험기

마. 응력해석법

다양한 설비의 설비 형상과 재료의 특성, 운전 조건, 설계조건 등을 전산해석하여 컴퓨터 상에서 실제 운전 조건과 같이 시뮬레이션하므로써 수명을 평가하는 방법이다. 주로 운전 중인 설비를 간이 방법에 의하여 수명을 평가하는 경우에 주로 사용된다.

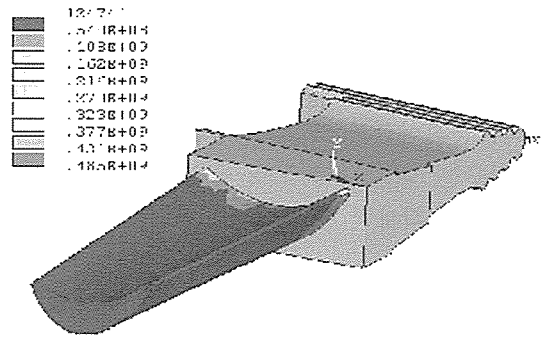


Fig. 5 블레이드의 응력해석 결과

2. 발전설비 정밀진단 방법 예시 (OO 화력발전소 3호기 예)

수명평가 시에 정밀진단을 실시하는 터빈에서의 주요 설비들은 다음과 같고, 설비별 검사방법은 주로 다음과 같다. 설비의 운전이력과 사고이력 및 정비이력을 고려하여 취약부위는 더욱 정밀한 수명평가를 실시하여야 한다.

No.	주기기명	검 사 기 기	검 사 방 법						비 고
			PT	MT	UT	VI	HT	REP	
1	HIP TBN	Rotor	○	○	○	○	○		
		Casing		○		○	○	○	
		Diaphragm		○		○			
		Valve 및 증기체스트		○	○	○			
		Loop Pipe		○		○	○	○	
		고온볼트			○	○	○	○	
2	LP TBN	Rotor		○	○	○			
		Casing		○		○	○	○	
		Diaphragm		○		○			
3	Main Steam Pipe	Y-Piece 용접부		○	○	○	○	○	UTT
		T-Piece 용접부		○	○	○	○	○	
		Bend 부		○		○	○	○	
		Butt Welds		○	○	○	○	○	
		Terminal Welds				○	○	○	
		Support&Hanger 용접부		○		○			
4	Start-up & Blow Down Pipe	T-Piece 용접부		○	○	○	○	○	UTT
		Bend 부			○		○		
		Butt Welds		○	○	○			
		Support&Hanger 용접부		○		○			

3. 진단 결과 예시

가. 개요

발전설비 중 터빈은 5000회 기동 또는 20만시간의 설계수명을 가지나, 10만시간이상 경과되면 성능과 신뢰성이 저하되고 수명소비율이 촉진되므로 본 수명 진단을 통하여 보일러 및 터빈설비의 건전성과 잔존 수명을 평가하여 신뢰성을 확보하고 향후 수명 연장 과 성능개선공사의 기초자료로 활용하고자함. 00화력 5호기의 운전시간은 217,556시간(00. 3. 31 기준), 기동 정지 횟수는 346회나 되므로 수명진단을 통하여 설비의 신뢰도를 확보할 수 있음.

나. 수명평가 기간

2000. 4~2000. 8(4개월간) (현장진단 기간 : 2000. 5. 2~5. 26 (25일간))

다. 검사설비

○ 고온배관

- Main Steam Pipe
- Hot Reheater Pipe

○ 터빈

- HIP Rotor
- HIP Casing
- 고온밸브 (MSV, CV, CRSV)
- 고온 볼트

라. 00화력 5호기 설비개요 및 운전이력

- 운전시간 및 기동정지 횟수(2002년 3월 31일 기준)

총 운전시간	기동정지 횟수			
	냉간기동	온간기동	열간기동	합 계
217,556시간	86	158	102	346

마. 수명평가 결과

설비	항 목	수명 소비율(%)	잔여수명 (hr)	향 후 대 책	비 고
HIP 터빈로터	HIP	65	110,000	- 2001년 계획예방정비시 중심공검사 수행 - 10년 운전후 재질열화 및 비파괴검사 수행	
터빈 케이싱	HIP Casing	70	93,000	- 5년 운전후 비파괴 및 재질열화 검사수행 필요함.	
Nozzle Block		70	93,000	- 2001년 계획예방정비시 재질열화검사 수행 - 10년운전후 비파괴 및 재질열화검사 수행	
Diaphragm Casing	HP 총동단	60	140,000	- 10년 운전후 재질열화 및 비파괴검사 재수행	
	HP	70	93,000	- 2001년 결함 용접정비후 비파괴검사 수행 - 5년운전후 비파괴 검사	
	IP	70	93,000	- 5년운전후 비파괴 검사	
Main Steam Stop Valve	Left	70	93,000	- 5년운전후 비파괴 및 재질열화검사 수행	
	Right	70	93,000		
Main Steam Line	T-Piece	75	72,000	- 5년 운전후 Lug 용접부 비파괴검사 수행 - 5년 운전후 비파괴 및 재질열화 검사 수행	- '96에 비해 크리프 기공이 모재부위에도 발생됨. - 10년이상 수명연장시에는 교체 검토가 필요함
	Y-Piece	75	72,000		
	곡관부	75	72,000		
Hot Reheater Steam Line	T-Piece	70	93,000	- 5년 운전후 Lug 용접부 비파괴검사 수행 - 5년 운전후 비파괴 및 재질열화 검사 수행	- '96년에 비해 경도치가 크게 저하됨.
	Y-Piece	70	93,000		
	곡관부	70	93,000		

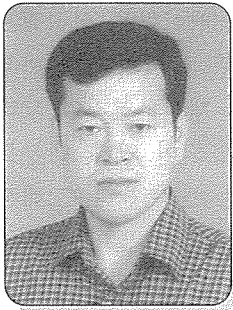
III. 결 론

경영여건상 장기 사용한 기계설비를 점차 수명연장하여 투자비를 줄이는 추세에 있으며 또한 계획예방 정비주기를 장기화하고 있으므로 더욱 정확한 안전진단 및 상태평가 기술이 절실히 요구되고 있다. 국내외에서 계속적으로 개발되고 있는 수명관리, 평가, 정밀진단 신기술은 최적의 운전, 점검, 정비절차, 주기를 통하여 발전소의 건설, 운전, 정비비용을 절감하는데 기여할 것으로 기대된다. 또한 터빈 로타, 펌프 등 핵심설비의 조기 교체 등을 방지하므로 투자비를 줄일 수 있다. 운전 이력의 추적과 재료물성의 개선된 데이터 베이스를 통하여 on-line monitoring의 이용 확대를 추진하므로 상태 평가를 계속적으로 추적

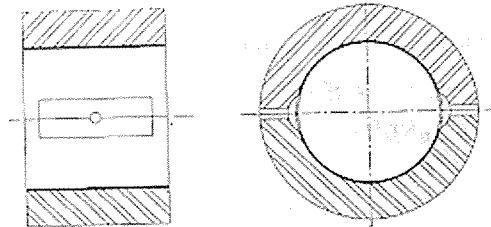
관리할 필요가 있다.

상기에서와 같은 지속적인 노력은 물론 수명관리 사업에 있어서 현장을 운영하는 부서등과 관련 유관기관등이 더욱 긴밀한 협조체제를 구축하여 최선을 다하므로써 장기사용 기계설비의 신뢰성, 안전성, 효율성, 유용성 등을 극대화 하는데 최선의 노력을 다해야 할 것이다. 한전 전력연구원 수명평가 연구팀(www.kepri.re.kr/life)은 수명평가와 관리에 대한 연구를 20여년간 계속 수행하고 있으며 현재는 국가지정 연구실로서 국내 산업 전반에 대하여 기술을 파급시키고자 노력하고 있다.

터빈 베어링의 특성과 개론



한전기공(주)
전문원실 터빈팀
터빈전문원 윤정태
Tel : (031)710-4378



plain cylindrical 또는 two-groove베어링은 매우 흔한 형태이고 가장 널리 사용되는 형식의 베어링이다. 이는 수하부에 어떤 형태의 그루브에 의해서 유막의 중단이 없으므로 부하수용능력이 꽤 높다. 그러나 이 형태의 베어링의 최대 단점은 경부하에서 오일휩 현상이 쉽게 발생된다. 현재 있는 베어링 중 가장 안정성이 취약한 베어링이다.

예를 들면 고속운전 및 대용량의 베어링의 경우 타원형 베어링보다 유막의 온도가 훨씬 더 높기 때문에 정상적인 설계에서는 속도가 증가할수록 저널의 직경은 감소시킨다.

수평분활면에 위치한 오일 그루브의 과도한 끝단, 삼각형의 드레인 챔퍼(triangular drain chamfer)는 냉각오일(cool oil)를 축상에 회전하지 않고 드레인되는

TYPES OF BEARINGS-JOURNAL

Cylindrical Bearings

Plain cylindrical베어링은 원통형 베어링의 기준형이다. 이 베어링은 베어링의 horizontal split면에 윤활유를 유도할 목적으로 axial groove 또는 depression이 있음에도 불구하고 수하부에 grooving이 없는 형태로서 단순한 형태이다. 이 베어링을 two-groove베어링이라고도 한다.