

터빈 베어링 보관 방법 개선과 효과 측정

이 성 호

한국전력연구원, 기술지원센터 기계설비진단팀

Improvement of the Power Plant Turbine Bearing Keeping Method and Result Measurement

Sung Ho Lee

Power Plant Facilities Diagnosis Team

요 약 본 보고는 79년 이후부터 90. 9월까지 한국전력공사의 전 사업소의 터빈 베어링 보관품에 대한 비파괴시험 결과와 보관 방법 개선후의 효과 측정 결과를 기술한 내용이다. 비파괴시험을 실시한 결과 총 156조 중 115조(73.7%)라는 많은 수의 베어링에서 결함이 발생되어 예비품으로서의 역할을 못하고 있는 실정이었다. 이에 따라 지역적인 특성을 고려하여 영동, 인천, 호남화력발전처를 대상으로 선정하여 터빈 베어링의 적정 보관 방법 개선 시험을 완료(91. 12)하였으며, 보관 방법 개선후 4년간(92. 1~95. 12)의 효과를 측정하고 그 결과를 기술하였다.

1. 서론

가. 발전 설비의 대응량화, 경년 열화 설비의 증가에 따라 비파괴시험을 통한 수명 예측 및 관리의 중요성이 날로 부각되고 있으며 그 중 터빈 베어링은 rotor를 지지하는 중요한 부품으로서 필요시 적기에 교체 가능토록 예비품을 보관하여 운용하고 있음.

나. 사용품에 대해서는 계획 예방 정비 기간중 이

상유무를 확인하는 비파괴시험을 행하고 있으며, 예비품에 대해서는 비 정기적으로 비파괴 시험을 시행하고 있음.

다. 79년부터 90. 9월까지 전 사업처에 대한 초음파 탐상 결과 총 156조 중 115조(73.7%)라는 많은 수의 베어링에서 결함이 발생되었고 그 중 20조(13%)는 사용 불가능하게 되므로서 비상 예비품으로서의 역할을 못하고 있는 실정이었음.
라. 수차례의 탐상 결과에 따라 이러한 문제점들을

인식하고 지역적인 특성을 고려, 영동, 인천, 호남화력을 시험 발전처로 선정하여 1990. 10~1991. 11까지 14개월간 연구 시험을 하였으며, 시험 항목중 온도 및 습도는 매주 1회, babbitt 박리 상태는 3개월에 1회(총 5회시험) 시험을 실시, babbitt의 변화 상태를 확인하여 박리 현상의 원인을 파악하고, 최적 보관 방법을 수립하여 시행토록 한 후 92. 1~95. 12에 걸쳐 이에 대한 효과를 측정하였음.

2. 보관 방법 개선 시험

가. 발전처별 시험용 babbitt metal bearing 보관 방법

Table 1. Testing babbitt metal bearing keeping method by power plant

발전처	기호	보관 방법	보관 위치	보관 수량
영동 인천 호남	가	Grease 도포	창고	1조
	나	Grease 도포 + 기름 종이 도포 + 소창직 포장	창고	1조
	다	Grease 도포 + 기름 종이 도포 + 소창직 포장 + 단열재 내장된 box내 보관	터빈실	1조

* 이후 보관 방법은 기호 가, 나, 다로 표기함.

나. 시험 결과 및 분석

1) 보관 방법과 박리와의 관계

Table 2. Relation of keeping method and separation

단위: 박리 면적 mm², 박리 증가율 %

보관 방법 구분	발전처명	최초 박리 면적	최종 박리 면적	박리 증가율
가	영동	1,875	23,050	1,129.3
	인천	0	7,288	7,288
	호남	150	1,975	1,216.7
나	영동	1,707	12,940	658.1
	인천	0	1,600	1,600
	호남	900	1,875	108.3
다	영동	3,100	18,015	481.1
	인천	0	0	0
	호남	0	0	0

Table 3. Separation and area relation of increment

발전처 \ 보관 방법	가	나	다	비고
영동	1,229.3	658.1	481.1	박리 증가율(%)
인천	7,288	1,600	0	결합 면적 증가(mm ²)
호남	1,216.7	108.3	0	박리 증가율(%)

시험 기간중 보관방법과 박리와의 관계를 비교해 보면 상기 표에서와 같이 보관 방법 “다”로 한 것이 박리 증가율이 가장 적은 것을 알수 있고 보관 방법 “가” 보다는 “나”의 방법이 박리 증가율이 적은 것을 알 수 있음.

2) 온도와 박리와의 관계

Table 4. Relation of temperature and separation

발전처	보관 방법	1주일 온도 최대차이 (ΔT)	최고 온도 평균(°C)	최저 온도 평균(°C)	박리 증가율 (%)
영동	가	17.3	17.8	8.88	1,129.3
	나	17.3	17.8	8.88	658.1
	다	15	25.67	15.96	481.1
인천	가	10	17.4	15.18	0→7,288mm ²
	나	10	17.4	15.18	0→7,288mm ²
	다	9	25.04	22.56	0
호남	가	11	18.1	13.15	1,216.7
	나	11	18.1	13.15	108.3
	다	9	31.5	29.38	0

시험 기간중 온도와 박리와의 관계를 비교해 보면 상기 표에서와 같이 보관 방법 “다”로 한것의 1주일 온도 최대 차이가 보관 방법 “가”, “나”보다 작은 것을 알 수 있고, 박리 증가율도 제일 적은 것을 알 수 있다. 또한 1주일 온도 최대 차이가 9°C 이하이고 베어링 주변 평균 온도가 27±5°C 정도에서는 박리 증가율이 적은 것이 판명되었음.

3) 습도와 박리와의 관계

Table 5. Relation of humidity and separation

발전처	보관 방법	최고 습도 (%)	최저 습도 (%)	평균 습도 (%)	박리 증가율 (%)
영 동	가	89	15	58.5	1,129.3
	나	89	15	58.5	658.1
	다	89	30	62.3	481.1
인 천	가	92	51	76.5	0→7,288mm ²
	나	92	51	76.5	0→1,600mm ²
	다	86	38	69.7	0
호 남	가	91	53	73.4	1,216.7
	나	91	53	73.4	108.3
	다	68	47	56.9	0

상기 도표에서와 같이 습도와 박리 증가율과의 관계는 상관 관계가 적은 것으로 판명되었음.

3. 적정 보관 방법 설정

babbitt에서 박리란 제작 불량, 재질 불량 또는 온도 변화에 의한 열팽창 차이로 base metal과 babbitt metal간에 틈이 벌어지는 현상을 말하며 상기 시험결과를 종합해 볼 때 보관 방법 “다”의 경우 박리 증가율이 제일 적었고 1주일 온도 최대 차이가 9℃이하 및 온도 27±5℃ 정도에서는 박리 진전이 적은 것으로 보아 박리의 직접적인 발생 요인으로는 온도 변화에 기인한다는 것을 알 수 있다. 이를 위해서는 보관 장소에 항온 시설을 설치하는 것이 바람직하나 비용 등을 감안하여 터빈실 등 온도 변화가 적은 곳에 보관 방법 “다”로 보관하여 보관, box내 온도를 27±5℃, 1주일 온도 최대 차이가 9℃를 넘지 않도록 하였음.

4. 개선 효과

Table 6. Effect of improvement

구 분	보관 방법 수립전 (79.6~90.6)	보관 방법 수립후 (92.1~95.12)
시험 수량(조)	156	15
양호 수량(조)	41	11
결함 수량(조)	115	4
결함율(%)	73.7	26

비파괴시험을 이용한 터빈 베어링의 박리 상태 판정은 일반화되어 있으며 사용품에 대해서는 계획 예방 정비 기간중 박리 여부를 확인하는 비파괴시험을 실시하고 있다. 또한 비상 예비품에 대해서도 비 정기적으로 비파괴시험을 실시한 결과, 총 156조 (73.7%)라는 많은 수의 베어링에서 결함이 발생되어 비상 예비품으로서의 역할을 못하고 있는 실정므로 이에 대한 박리 원인 및 해결 방안을 제시하므로 다음과 같은 개선 효과가 있음.

가. 안정적인 발전 설비 운영

교체 대상의 베어링을 계획 예방 정비 기간중 적기에 교체하여 운전중의 손상을 미연에 방지하므로써 설비의 신뢰성을 유지할 수 있음.

나. 터빈 베어링 교체 비용 절감

보관 방법 개선 시험후의 결함율이 77.8%→26%로 낮아짐으로 인해 효과 산출 기간 4년 동안 우리 회사의 총 unit수 204호기에 대해 약 26억원의 예산 절감 효과가 있었으며 향후 연 6억5천만원의 베어링 교체 비용 절감 효과가 예상됨.

※ 산출 근거

- '96. 1. 1현재 unit 수

Table 7. Number of power plant

열 원	발전처 수
기 력 수	52대(도서 5대 포함)
력 력	37대
원 자 력	11대
내 연	45대
복 합	59대
	총 204대

- 터빈 베어링은 운전중의 열화 및 진동 등에 의한 손상을 고려하여 제작사측의 권고에 의하면 5년에 1회씩 rebabbitting을 하도록 권고하고 있으며 rebabbitting 비용은 직경100mm당 100만원 정도가 됨.(견적 금액 기준)
- 연간 비용 절감 금액 =

$$\frac{\text{발전처수} \times \text{Rebabbitting 비용}}{5} \times \text{결함감소율}(\%)$$

을 이용하여 각 열원별로 연간 rebabbitting절감비용을 계산해 보면

기 력 = $\frac{52 \times 45,030,000}{5} \times 0.55 = 257,571,600(\text{원})$
 (보령1호기 기준)

수 력 = $\frac{37 \times 27,260,000}{5} \times 0.55 = 110,948,200(\text{원})$
 (화천 1호기 기준)

원자력 = $\frac{11 \times 59,450,000}{5} \times 0.55 = 71,934,500(\text{원})$
 (월성 1호기 기준)

내 연 = $\frac{45 \times 22,050,000}{5} \times 0.55 = 109,147,500(\text{원})$
 (북제주 내연 기준)

복 합 = $\frac{59 \times 15,730,000}{5} \times 0.55 = 102,087,700(\text{원})$
 (영월 복합 기준)

651,689,500 ≒ 650,000,000(원)이 됨

5. 결 론

- 가. 발전 설비의 안정적인 운영을 위해서는 고온, 고압에서 회전되는 터빈 rotor 베어링의 열화 및 박리가 없어야 하며 만일 발생시는 조기 발견하여 사전 조치함이 매우 중요함.
- 나. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 터빈 베어링 보관 방법 개선 시험을 실시한 결과 박리와 온도와는 직접적인 관련이 있음을 파악하고 터빈 베어링 보관 방법은 grease+기름 종이 도포+소창직 포장+단열재 내장된 box내에서 온도가 27±5℃, 1주일 온도 최대 차이가 9℃를 넘지 않도록 추천하여 시행하였음.
- 다. 보관 방법 시행전과 시행 4년후의 babbitt박리 변화 상태를 비교한 결과 결합율이 77.8%→26%라는 대단한 결합율 감소 효과를 얻을 수 있었으며, 이를 금액으로 환산하면 4년간 총26억원이 되며, 향후 연간 6억5천만원의 효과가 예상됨.

첨부 : Table A-1. Present condition of turbine bearing spare parts and examination result table (1990. 10)

: Table A-2. Examination result table of separation condition during the improvement testing (90. 10~91.11)

: Table A-3. Examination result table of separation condition after im-

provement testing (92.1~95. 12)

<첨부 1> 터빈 베어링 보관품 보유 현황 및 조사 결과표(90. 10. 현재)

1. 보유 현황(1990. 10 현재)

가. 발전처별 보유 현황

Table A-1-1. Present condition by power plant

발전처	호기	보관 수량	현 보관 방법	비고
영동화력	1	3조	Grease 도포+기름종이	
"	2	4	"	
인천화력	1,2	12	Grease 도포+형겔포장	
"	3,4	9	"	
호남화력	1,2	10	Grease 도포	
보령화력	1,2	6	Grease 도포+비닐+형겔포장	
서천화력	1,2	6	Grease 도포+형겔포장	
부산화력	1,2	4	Grease 도포+기름종이	
삼천포	1,2	12	Grease 도포+기름종이	
영월화력	1	6	Grease 도포	
"	2	8	"	
"	복합	3	"	
영남화력	1	6	Grease 도포	
"	2	6	"	
울산화력	1-3	7	Grease 도포 + 기름종이	
"	4-6	7	Grease 도포 + 기름종이	
군산화력	1	6	Grease 도포	
평택화력	1-4	14	Grease 도포 + 기름종이	
서울화력	4	6	Grease 도포 + 기름종이	
"	5	9	Grease 도포 + 기름종이	
여수화력	1	5	Grease 도포 + 형겔포장	

* 원자력 및 수력발전처는 제외함.

나. 보관 상태별 분류

Table A-1-2. Classification by keeping condition

구분	방 법	발전처수 (unit수)	베어링 수량 (조)	비고
A	Grease 도포	9	54	
B	Grease 도포+형겔포장	5	42	
C	Grease 도포+기름종이 포장	8	36	
D	Rubber+기름종이	1	11	
E	Grease 도포+비닐+형겔포장	1	6	

* 동일형 발전처는 1 unit로 봄

2. 터빈 베어링 보관품에 대한 문제점

다. 시험 결과

가. 대상기간 : 1979. 6 ~ 1990. 6

나. 문제점

Table A-1-3. Point at issue

총 시험 수량(조)	156	비 고
결 합 수 량(조)	115	결합율 73.7%
사용 불가 결합 수량(조)	20	결합율 13%

Table A-1-4. Examination result

보관방법 구분	시험수량 (조)	양 호 (조)	불 량 (조)	불량율 (%)
A	54	9	45	83.3
B	58	21	37	63.8
C	17	9	8	47.1
D	8	1	7	87.5
E	19	1	18	94.7

<첨부 2> 개선 시험중 박리 상태 조사 결과표 (90.10 ~ 91.11)

Table A-2. Examination result table of separation condition during the improvement testing(90.10~91.11)

발전처명	보관 상태	베어링 번호 및 보관 장소	박리 면적 증가 상태					최초 대비결합 증가면적
			최초	중간	중간	중간	최종	
영동화력 발전 처	가	#1-2 상부(창고)	700	5,680	6,530	8,390	12,350	11,650
		하부(창고)	1,175	2,950	6,650	9,250	10,700	9,525
	나	#2-3 상부(창고)	1,032	1,400	2,132	5,050	5,775	4,743
		하부(창고)	675	700	700	7,090	7,165	6,490
	다	#1-3 상부(터빈실)	400	5,990	6,630	6,670	7,170	6,770
		하부(터빈실)	2,700	7,050	8,950	10,845	10,845	8,145
인천화력 발전 처	가	#3/4-5 상부(창고)	0	400	450	2,638	4,088	4,088
		하부(창고)	0	269	269	2,900	3,200	3,200
	나	#1/2-5 상부(창고)	0	50	50	750	900	900
		하부(창고)	0	0	0	700	700	700
	다	#3/4-5상부(터빈실)	0	0	0	0	0	0
		하부(터빈실)	0	0	0	0	0	0
호남화력 발전 처	가	#7 상부(창고)	475	575	625	900		425
		하부(창고)	575	890	925	1,075		500
	나	#10 상부(창고)	675	775	900	1,075		400
		하부(창고)	225	585	775	800		575
	다	#1 상부(터빈실)	0	0	0	0		0
		하부(터빈실)	0	0	0	0		0

※ 호남화력 터빈 베어링은 계획 예방 정비 관계로 최종 시험은 실시하지 못했음.

※ 보관 상태 구분

가 : Grease 도포

나 : Grease 도포 + 기름 종이 포장 + 소창직 포장

다 : Grease 도포 + 기름 종이 포장 + 소창직 포장 + 단열재 내장된 box내 보관 다. 시험 결과

<첨부 3> 개선 시행후 박리 상태 조사 결과표 ('92. 1~'95. 12)

Table A-3. Examination result table of separation condition after improvement testing (92. 1~95. 12)

발전처명	bearing No.	bearing type	구 분	총면적(mm ²)	결함 면적(mm ² &%)	판 정
울산화력 제4호기	1	Journal	Upper	59,498	2,100(3.5)	합 격
			Lower	60,004	0	
	2	"	Upper	160,228	9,260(5.7)	
			Lower	160,978	1,080(0.6)	
	3	"	Upper	164,914	1,290(0.8)	
			Lower	165,224	0	
	4	"	Upper	201,404	5,478(2.7)	
			Lower	202,209	4,050(2.0)	
	4	"	Upper	201,404	500(0.2)	
			Lower	202,209	0	
	5	"	Upper	201,404	5,640(2.8)	
			Lower	202,209	29,115(14)	
울산화력 제5호기	1	Tilting Pad	1-1	31,500	0	합 격
			1-2	"	0	"
			1-3	"	0	"
			1-4	"	0	"
		"	1-1	"	2,420(7.6)	"
			1-2	"	920(2.9)	"
			1-3	"	1,956(6.2)	"
			1-4	"	7,771(24)	불합격
	2	"	2-1	43,000	5,178(12)	"
			2-2	"	7,614(17.7)	"
			2-3	"	표면상태불량	"
			2-4	"	"	"
		"	2-1	"	3,870(9.0)	합격
			2-2	"	2,400(5.6)	"
			2-3	"	1,505(3.5)	"
			2-4	"	0	"
	3	Journal	Upper	189,948	0	"
			Lower	189,222	0	"
	4	"	Upper	189,948	0	"
			Lower	189,222	560(0.2)	"
	6	"	Upper	210,217	0	"
			Lower	217,340	0	"
	6	"	Upper	210,217	8,620(4.1)	"
			Lower	217,340	46,685(21)	불합격
6	"	Upper	210,217	0	합 격	
		Lower	217,340	22,000(10)	불합격	