

상태기반정비에 의한 증기터빈 저널베어링의 정비주기 최적화

이혁순[†]·정혁진^{*}·송우석^{*}

Maintenance Frequency Optimization of the Steam Turbine Journal Bearings by Condition-based Maintenance

Hyuk Soon Lee[†], Hyuk Jin Chung^{*} and Woo Sok Song^{*}

(Received 7 MAR. 2011, Accepted 4 MAY 2011)

ABSTRACT

Turbine journal bearings are designed to support the weight of the rotors on a hydrodynamic oil film and to provide dynamic stability to the rotor system. The life time of journal bearings is infinite theoretically because the journal bearings are separated from the shaft journal by oil film. But poor design, assembly, operation and maintenance can cause problems to the journal bearings. The FMEA(Failure Mode and Effects Analysis) results of the journal bearings show that frequent maintenance of the journal bearings can cause failures and reduction of the bearing life. Therefore, the maintenance periods and history of the journal bearings with the bearing FMEA results are reviewed in order to establish the optimized maintenance period of the journal bearing for the nuclear power plants. Consequently it is necessary to maintain a best condition of lubrication system, reject time-based maintenance and perform the condition-based maintenance of journal bearings in order to maintain optimum condition of the journal bearing.

Key Words : Journal bearing(저널 베어링), Maintenance Frequency(정비 주기), Turbine(터빈), FMEA(Failure Mode and Effects Analysis, 고장모드 및 영향분석)

기호설명

W : Wear out
F : Fuel cycle
R : Random
p-p : Peak to Peak

1. 서 론

1.1 정비 패러다임의 변화

설비에 대한 정비는 크게 세 가지로 분류할 수 있다. 고장정비, 시간기준정비, 상태기준정비로 분류되

며 Fig. 1과 같이 1950년 중반까지는 설비의 고장이 발생할 경우 정비하는 고장정비가 주류였으며, 이후 설비를 사전에 점검하여 고장을 예방하는 예방정비 기법이 도입되어 지금까지도 대부분의 장치산업에서 사용되고 있다. 그러나 최근에는 비용이 효과적이고 이용률 향상과 설비신뢰도를 제고할 수 있는 여러 가지 전략적인 정비 기법들이 사용되고 있다.¹⁾

미국 원자력발전운영협회(INPO)에서 분석한 설비의 고장모드를 보면, Fig. 2와 같이 대부분의 고장이 불시고장(Random Failure) 유형으로 약 90% 정도는 주기정비가 오히려 역효과를 줄 가능성이 크고 분해 정비 후에는 정비오류 또는 교체부품의 결함 등에 따른 조기고장의 확률이 증가하는 것으로 나타났다. 대부분의 고장이 불시고장 유형의 고장이라 할지라도 순간적으로 발생하지 않고 상태가 악화되어 Fig. 3의

[†] 책임저자, 회원, 한국수력원자력 원자력발전기술원

E-mail : LHS1241@khnp.co.kr

TEL : (042)870-5671 FAX : (042)870-5688

* 한국수력원자력주식회사 원자력발전기술원

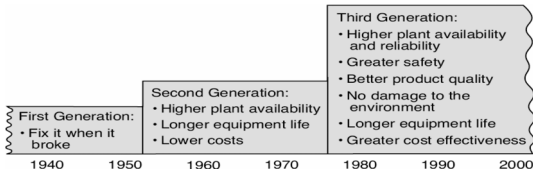


Fig. 1 Change of the Maintenance Paradigm

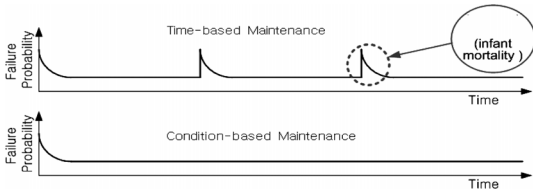


Fig. 2 Failure Pattern

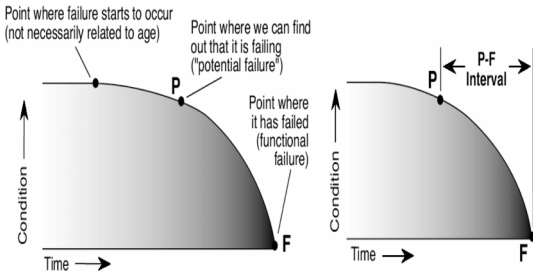


Fig. 3 Random Failure Mechanism

P점에 이르게 된다. P점은 기기상태가 열화되어 육안 또는 계측기에 의해 감지가 가능한 지점이다. 따라서 기기의 상태가 P점을 지나 고장(F점)에 이르게 되므로 상태감시를 강화하면 불시 고장 유형에 대한 적절한 대처가 가능하다.^{2,3)}

1.2 터빈베어링의 정비현황

국내 원전의 터빈베어링은 대부분 미끄럼 형태의 저널베어링으로 Fig. 4 및 5와 같이 일반적으로 한 호기에 10대의 베어링이 설치되어 있으며 베어링은 터빈로터의 분해 없이 점검이 가능하도록 상·하 두 부분으로 나누어지며 볼트로 고정된다. 베어링 면은 주석을 주성분으로 하는 배빗메탈로 라이닝 되어 있고 약 25psi의 윤활유가 연속적으로 공급된다.⁴⁾

저널베어링의 정비는 베어링의 상태에 관계없이 매 계획예방정비마다 모든 베어링을 완전 분해하여 베어링 접촉면의 육안검사, 비파괴검사 및 치수검사를 수행하고 있다.

그러나 불필요하게 잦은 정비는 오히려 정비 불량

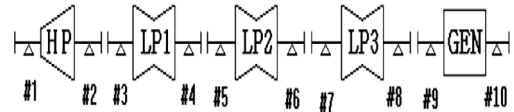


Fig. 4 Turbine-Generator

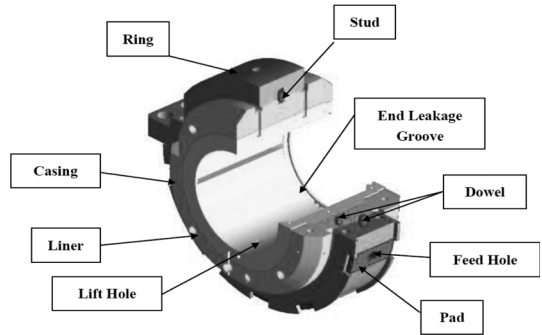


Fig. 5 Journal Bearing for Turbines

에 따른 고장발생 및 기기수명 단축 등 기기의 건전성에 나쁜 영향을 줄 수 있으며, 계획예방정비 공기 지연의요소로 작용하고 있어 터빈설비의 신뢰성을 확보하기 위해 저널베어링의 고장모드영향분석(FMEA) 결과 및 국내의 터빈 베어링의 정비주기와 설정배경 등을 검토하여 터빈베어링의 정비주기를 최적화하였다. 최적화 방향은 시간기준정비를 줄이고 상태기준정비를 강화하는 방향으로 검토하였다.

2. 저널베어링의 손상 및 대책

저널베어링은 베어링을 지지하는 케이싱과 베어링 및 실질적으로 터빈의 축을 지지하는 배빗(Babbitt) 메탈로 이루어져 있다. 정상운전 중에는 회전체(Shaft)와 배빗메탈로 이루어진 베어링 면 사이에 약 10~300 μ m 정도의 유막이 형성되어 메탈 접촉에 의한 마모는 발생하지 않아 이론적으로 유체윤활영역에서 운전되는 저널베어링은 무한한 운전수명을 가지는 것으로 알려져 있다.⁵⁾

저널베어링에서 발생하는 주요한 손상원인에는 과도한 진동, 높은 온도, 이상마모, 베어링면의 파손 등이 있으며 이러한 원인에는 설계 불량, 제작 불량, 조립 불량 및 운전 불량이 있다.

설계 불량, 제작 불량 및 조립 불량으로 인해 베어링에서 발생하는 문제점은 대부분 시운전 또는 운전 초기에 나타나므로 정상적으로 운전할 경우 이러한

이유로 인한 문제가 발생할 가능성은 거의 없으나 운전 불량(기동정지 운전절차 미 준수, 윤활유 열화(높은 산가, 입도, 수분 등)로 인한 고장은 장기간 운전된 이후에도 발생할 수 있으므로 관련 운전변수를 지속적으로 감시하여야 하며 무엇보다 윤활유를 청결하게 유지해야 고장을 예방할 수 있다.

3. 베어링의 고장모드 및 영향분석

3.1 성능저하 메커니즘 및 고장원인

미국전력연구원(EPRI)는 저널베어링의 각 부품이 일으키는 고장모드를 조사하고, 이것이 베어링 상태에 어떤 영향을 주는가를 예측하는 FMEA를 수행하였다. 결과에 의하면, 베어링의 성능저하 메커니즘에는 마모, 점식, 배빗상실 및 박리가 있다. 마모를 일으키는 원인에는 베어링 패드와 접촉하는 터빈 저널 및 트러스트 칼라의 면이 거칠 경우, 기초 설치에 기인한 정렬불량, 부적합한 간극, 정비실수 및 윤활제의 열화 등이 있으며, 점식을 일으키는 원인은 축 전류이며, 배빗상실 및 박리의 원인은 윤활유의 상실, 축의 국부적인 가열, 윤활유의 휠 및 휨, 부적합한 재질의 사용, 진동 및 정비 불량 등인 것으로 나타나 있다.

3.2 성능저하 감시방법 및 발생빈도

베어링의 성능저하 발생여부는 진동분석, 베어링메탈온도 추이감시, 윤활유 분석, 축 전류 측정 및 상태점검(비파괴검사 포함)을 통해 알 수 있다. 대부분의 성능저하는 비 주기적이고 임의적으로 발생하며, 축 전류에 의한 성능저하의 경우 시간코드가 W0.5~2년(고장이 발생하는 시간이 0.5년에서 2년 이내임)으로 가장 짧으며, 다음으로 부적합한 간극에 기인한 열화가 W1.5년이다. 기타의 경우 짧게는 1.5년에서 길게는 8년에 걸쳐 발생한다.⁶⁾

3.3 FMEA 결과

Table 1의 성능저하 원인 중 대부분은 조립불량, 취급불량, 설치불량, 정비 불량 등 주로 저널베어링의 정비과정에서 발생하는 것을 알 수 있다. 따라서 베어링 상태를 건전하게 유지하기 위해서는 불필요한 시간기준 정비를 지양하고 베어링의 설계수명을 감안하여 특이사항이 없는 경우에는 진동 및 베어링 메탈온도 추이분석 등 감시를 강화하여 상태기준정비를 강화하는 것이 효과적이다. 상태기준정비는 부품수명과 기기의 운전상태에 기반하여 정비를 수행하는 정비기업이다.

Table 1 FMEA of the Turbine Bearing

| Failure Locations | Degradation Mechanism | Degradation Influence | Discovery Or Prevention Opportunity | Time Code |
|-------------------|-----------------------|---|---|-----------|
| Journals Bearings | Wear | Rough journal or runner | Vibration, bearing metal temperature, inspection | R |
| | | Misalignment due to foundation settling | Vibration, bearing metal temperature, inspection | W1.5_8 |
| | | Maintenance induced errors - improper pinch | Vibration, bearing metal temperature, inspection | W1.5 |
| | | Maintenance induced errors such as improper fit, handling, or installation, improper bearing pad assembly | Vibration, bearing metal temperature, inspection | R |
| | | Degraded lubricant, contamination, temperature | Oil analysis, inspection | W2_5 |
| | | Misalignment during initial assembly or wear of other components | Vibration, bearing metal temperature, inspection | W4_8 |
| | Wear, pitting | Circulating electric currents | Inspection, shaft currents, bearing metal temperature, RF monitor | W0.5_2 |
| | Loss of Babbitt | Loss of oil, localized heating of shaft | Vibration, bearing metal temperature | R |
| | | Oil whip/swirl | Vibration, bearing metal temperature | R |
| | Loss of Babbitt bond | Improper material, vibration, incorrect bearing repair process | NDE Inspection | R |

4. 베어링의 정비주기 비교

4.1 EPRI의 권고주기

EPRI는 미국 발전사업자들의 요구에 의해 1998년에 39개의 기기에 대한 예방정비기준을 개발하여 기기별 정비항목과 각 정비항목에 대한 주기 및 정비가 수행되어야만 하는 근거를 제공하였다.

EPRI가 개발한 고압 및 저압터빈 예방정비기준에서는 저널베어링 정비직무를 별도 직무로 구별하지 않고 터빈 완전분해 정비범위에 베어링의 정비직무를 포함시켰다. 따라서 베어링의 정비주기는 Table 2와 같이 터빈과 동일한 8년(고압터빈), 6년(저압터빈)이며 이 주기는 터빈 고장 메커니즘에 따라 선정되었다.⁷⁾

터빈분해점검 직무 중 베어링에 관한 직무내용은 육안검사, 비파괴검사 및 치수검사로 이루어져 있는 국내 원전의 정비내용과 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

Table 2 Bearing Maintenance Frequency of EPRI PMT

| Turbine | Type of Bearing | Maintenance Period | Remark |
|------------|-----------------|--------------------|--------|
| HP Turbine | Journal Bearing | 8 years | |
| | Thrust Bearing | 8 years | |
| LP Turbine | Journal Bearing | 6 years | |

Table 3 Bearing Maintenance Frequency of Exelon

| Manufacturer | Turbine | Type of Bearing | Maintenance Period |
|--------------|------------|-----------------|--------------------|
| GE | HP Turbine | Journal Bearing | 10years |
| | | Thrust Bearing | 6years |
| | LP Turbine | Journal Bearing | 6years |
| Westinghouse | HP Turbine | Journal Bearing | 10years |
| | | Journal Bearing | 8years |
| | LP Turbine | Thrust Bearing | 8years |

4.2 미국 원전사업자(Exelon)의 적용사례

Exelon(사)는 EPRI의 예방정비기준을 기반으로 자신의 예방정비기준을 개발하여 운영하고 있다. 베어링의 정비주기는 터빈 제작자(Westinghouse, GE)에 따라 그리고 설비 현황에 따라 다소 차이가 있으나 대체적으로 6년 이상이며, 주로 운전 및 정비이력, 산업체 경험 및 제작자 권고내용을 참고하여 Table 3과 같이 결정하였다.

베어링의 직무내용은 과도한 진동이나 불충분한 윤활 또는 오염된 윤활제로 인한 베어링 및 저널의 마모나 굽힘 등의 흔적을 찾기 위한 육안점검, 치수검사 및 배빛의 건전성을 평가하기 위한 비파괴검사로 이루어져 있어 국내 원전의 정비 내용과 큰 차이가 없다.⁸⁾

4.3 해외 터빈제작자의 권고주기

기기 운전시간, 운전모드 및 기동정지 횟수 등은 기기 마모 및 재질의 피로에 큰 영향을 미치므로 이러한 인자에 따라 기기의 점검주기를 결정하도록 제안하고 있으며 일반적인 권고내용은 Table 4 및 Fig. 6과 같다.⁹⁾

Table 4 Inspection Plan of Bearings

| Inspection | Time | Maintenance Contents | Remark |
|-----------------------|--------|--|--------|
| B (Medium Inspection) | 25,000 | - Check pipe unions of jacking oil supply line - Measure jacking oil pressures - Check the thermocouples Measure bearing clearance and readjust | |
| C (Major Inspection) | 50,000 | - Check bonding of bearing metal by ultrasonic and dye penetration tests | |

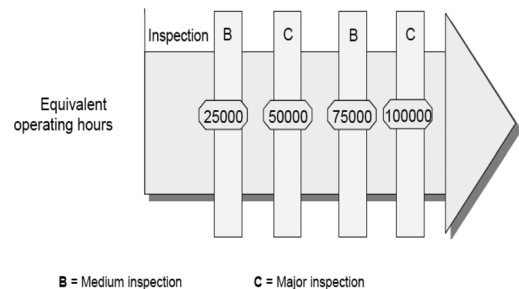


Fig. 6 Recommended inspection plan for steam turbine

4.4 국내 터빈제작자의 권고주기

터빈-발전기 정비주기는 기기 신뢰도, 이용률, 효율 및 운전 및 정비 비용 등을 고려하여 결정하여야 하므로, 모든 발전소에 맞는 정비 주기를 선정하기 어려우나 일반적인 정비 권고 사항은 Table 5와 같다. 그러나 실제적으로 적용하는 것은 각 발전소의 요건에 따라 정해져야 한다고 규정하고 있다.¹⁰⁾

4.5 해외 원자력 보험사의 권고 주기

미국 내 원자력 보험사인 NEIL(Nuclear Electric Insurance Limited(사))는 터빈-발전기의 베어링 정비 주기로 Table 6과 같이 6~8년을 제시하고 있다. “Shall”은 보험보장의 최소기준과 관련되며 준수하지 않았을 경우에는 보험료 증액과 보험금 지급이 중지될 수 있으며, “Should”는 권고사항으로 준수하

Table 5 Common recommended maintenance periods

| Parameter | Maintenance Period | Remark |
|-----------------------|--------------------|--------|
| Turbine Maintenance | 6Years | |
| Generator Maintenance | 6Years | |
| Bearing Maintenance | 2Years | |

Table 6 Maintenance periods suggested by NEIL

| Parameter | Maintenance Period | Remark |
|-----------|--------------------|--------|
| Should | 6Years | |
| Shall | 8Years | |

Table 7 Inspection Plan of Domestic Plant

| Plant | Period (Fuel cycle) | Background of Maintenance Period | Inspection Method | Remark |
|-----------------------------|---------------------|---|--------------------------|----------------|
| K1/W1 Y1/Y2/Y3/ U1/U2 | 1 | Maintenance period of in-service plants | Visual Inspection NDE | |
| K2 | 1 | Maintenance period of in-service plants | Visual Inspection NDE | |
| | 3 | O&M Manual | Visual Inspection NDE | |
| W2/U3 | 1 | Maintenance period of in-service plants | Visual Inspection NDE | Manual: 2years |

지 않았을 경우에는 보험료가 증액될 수 있음을 의미한다. 따라서 미국의 원전사업의 경우, 보험사의 평가에 따라 원전 보험료가 크게 차이가 발생하므로 대부분의 경우 보험사 권고주기를 준수하고 있다.

4.6 국내원전의 베어링 정비주기

Table 7과 같이 국내 원전의 거의 모든 발전소에서 매주기 모든 베어링을 분해하여 육안점검, 비파괴검사 및 치수검사를 수행하고 있으며, 주기설정근거는 대부분 먼저 건설되어 운영중인 발전소의 정비주기를 참고하여 결정되었다.

5. 터빈 베어링의 정비이력 검토

운영 중인 원자력발전소를 대상으로 최근 3주기 동안 증기터빈 저널베어링의 정비결과를 조사하였다. Table 8과 같이 K2에서는 베어링 결함이 발견되지 않았고, 다른 발전소(K1, K3 및 K4)에서는 각각 1회 베어링의 결함이 발견되었다. 결함의 내용은 배빗 박리 1건, 간극 초과 1건 및 선형결함 3건이었으며, 선형결함의 원인은 제작 불량과 윤활유 내의 이물질 또는 정비 과정에서 발생하는 이물질에 의해 손상된 선형결함으로 평가되었다. 마모에 의한 간극 초과로 분석된 경우에도 배빗의 손상정도로 판단해 볼 때 제작 불량(간극이 초과되어 제작됨)인 것으로 판단되었다.

Table 8 Maintenance History of Turbine Bearing

| Unit | Year | Description | Cause |
|------|------|--|--------------------------------|
| K1 | 2005 | #1 brg : Babbitt desquamation | Improper manufacture |
| | 2006 | Indefective | |
| | 2007 | Indefective | |
| K2 | 2006 | Indefective | |
| | 2007 | Indefective | |
| | 2008 | Indefective | |
| K3 | 2005 | Indefective | |
| | 2006 | Indefective | |
| | 2008 | #1 brg : Clearance over #8 brg : Linear indication | Wear-out contamination |
| K4 | 2004 | #3 brg : Linear indication #4 brg : Linear indication | contamination contamination |
| | 2006 | Indefective | |
| | 2007 | Indefective | |

베어링 손상주기는 일정한 패턴 없이 불규칙하게 발생하였다.

6. 정비 주기 분석 및 개선

터빈·발전기에 사용되는 베어링은 저널과 베어링 면이 유막에 의해 완전히 분리되어 운전되기 때문에 이론적으로 무한한 운전수명이 있으나 설계, 제작, 조립 및 운전 불량 등의 원인으로 베어링에 문제가 발생할 수 있으므로 상태감시 및 적절한 주기점검이 필요하다.

또한, Table 1 터빈 베어링의 FMEA 결과에서도 알 수 있듯이 베어링의 성능저하 원인 중 대부분이 조립불량, 취급불량, 설치불량, 정비 불량 등 주로 정비과정에서 발생하므로 지나치게 잦은 정비는 정비 불량에 따른 고장발생, 기기수명 단축 등 오히려 기기의 건전성에 영향을 줄 수 있으며 계획예방정비 공기 지연요소로 작용될 수 있어 베어링 상태를 건전하게 유지하기 위해서는 유회유 상태를 최적으로 유지하고, 진동 및 베어링메탈온도 추이분석 등 상태감시를 강화하고 불필요하게 잦은 시간기준 정비를 최적화해야 한다.

미국 내 많은 원전에서 예방정비의 기초로 적용하는 EPRI의 예방정비기준에서 제시한 베어링의 정비 주기는 6~8년이고, Exelon(사)의 발전소는 6~10년의 정비주기를 적용하고 있다. 터빈 제작자는 보다 보수적인 정비주기를 제시하였는데, 두산중공업(GE 설계)은 2년(비파괴검사는 터빈 정비주기와 일치권고), 알스톰은 일반점검 3년, 비파괴검사 6년을 제시하고 있으나 이들 주기는 모두 터빈 정비주기와 일치하고 있다.

반면, 국내 원전의 경우 매주기마다 베어링 분해정비를 수행하고 있어 미국 내의 원전과 비교해 볼 때 지나치게 잦은 정비를 수행하고 있으며 터빈 제작자의 권고보다도 오히려 잦은 정비를 수행하고 있다.

원자력발전소는 2006년 EPRI 예방정비기준을 기반으로 고압 및 저압터빈에 대한 예방정비기준을 개발하였으며, 본 예방정비기준은 EPRI 및 Exelon(사)의 사례 및 국내 원전의 정비경험과 고압터빈 및 저압터빈의 정비 주기에 따라 전문가회의를 통해 고압터빈 베어링의 경우는 매3F(4.5년), 저압터빈의 경우 매 4F(6년)마다 베어링을 정비하도록 기준을 설정하였다.

따라서 향후 터빈 베어링의 정비계획을 수립할 경우에는 베어링의 운전, 베어링 별 고장 유형 및 고장 주기에 대한 정비이력, 진동 및 온도 추이분석, 유회유의 상태 등을 종합적으로 고려하여 베어링 정비범위 및 수량을 결정하며, 특이사항이 없을 경우 예방정비기준을 적용하였다.

7. 정비주기 적용 및 결과

발전소는 터빈 베어링 정비주기 개선 권고에 따라 고압터빈 베어링 및 저압터빈 베어링의 점검주기를 각각 3F, 4F로 변경하였고 우선 정비대상 베어링을 결정하기 위해 정상운전 중 베어링의 진동상태, 유회유분석결과 등을 검토하였다.

정비 후 정상운전중인 베어링의 진동을 분석한 결과 진동 변화 없이 안정적으로 운전되었으며, Table 9 및 Fig. 7와 같이 최대 진동 값이 78 μ m p-p(경보설정치 : 220 μ m)로 매우 양호하게 운전된 것으로 평가되었으며 유회유 상태도 양호하게 평가되었다.

이러한 평가 결과에 따라 총 7대의 베어링 중 3대만 완전분해정비를 수행하였다. 베어링을 분해하여 육안검사 및 비파괴 검사(PT, UT)를 수행하였고 결

Table 9 Vibration Data of Bearings Unit(μ m p-p)

| Parameter | #1 | #2 | #3 | #4 | #5 | #6 | #7 | #8 |
|-------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Direct(Xabs.Avg.) | 48 | 77 | 78 | 36 | 35 | 51 | 26 | 55 |

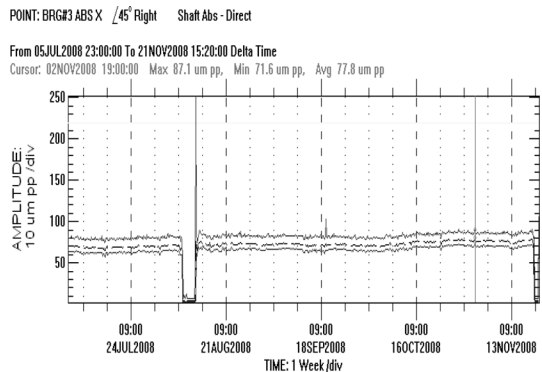


Fig. 7 Vibration Trend

Table 10 Vibration Data of Bearings Unit μ m p-p

| Parameter | #1 | #2 | #3 | #4 | #5 | #6 | #7 | #8 |
|-------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Direct(Xabs.Avg.) | 29 | 24 | 22 | 22 | 24 | 17 | 8 | 16 |

함은 발견되지 않았다.

터빈 베어링 정비 후 터빈 정상운전 중 베어링 진동을 분석결과, Table 10와 같이 운전 추이 등이 일정하며 안정적으로 운전되는 것을 확인하였다.

8. 결론

저널 베어링의 고장모드 및 영향분석, 연구소 및 국내의 저널 베어링의 정비사례 분석 그리고 국내 원전의 정비이력을 분석하여 터빈 저널 베어링 정비주기를 최적화하였고 정비주기 최적화 결과를 실제로 발전소에 적용하여 정비 전, 후의 데이터를 비교하여 정비 신뢰도를 확인하였다.

이로 인해 정비표준화 및 최적화의 확대 적용이 가능해졌고 정비형태를 시간 기준 정비에서 상태기준 정비로 전환하여 자원의 효율적 활용이 가능하였다.

실제로 베어링 정비주기 최적화를 적용한 후 효과를 분석한 결과 터빈 베어링 정비인력 및 정비시간 단축, 터빈-발전기 베어링 외주수리 또는 신품교체에 따른 비용절감, 계획예방정비 공정 영향 최소화 등과 같은 직접적인 효과와 더불어 베어링 손상 및 고진동 예방, 불필요한 정비로 인한 인적실수 및 정비실수를 줄여 베어링 손상 방지, 고진동 예방으로 터빈 안전운전 가능, 터빈건물 크레인 효율적 사용 및 운영 등과 같은 간접효과가 있는 것으로 나타났다.

결과적으로 베어링 정비주기 최적화를 통해 저비용 고효율 정비를 수행하여 원자력발전소 터빈설비의 신뢰도 및 이용률을 향상시킬 수 있는 기반을 구축하였다.

참고문헌

1. INPO, 2007, "Equipment Reliability Process Description", AP-913(Rev.2), pp. 1-3.
2. EPRI, M. Bridges, 2002, "Reliability and Preventive Maintenance: Balancing Risk and Reliability", TR 1002936, pp. 1-10.
3. Lee, B. H., Lee H. S., 2008, "Development the Preventive Maintenance Template of the Nuclear Steam Turbine based on EPRI PMBD", Proceedings of the KSME 2008 Spring Annual Meeting, Vol. 6, No. 26, pp. 722-727.
4. GE Power Systems, 1996, "Main Journal Bearings", pp. 3.
5. Yang, S. W., 2001, "Bearing Engineering", pp. 50-61.
6. Lee, H. S., 2007, "PM Template for HP & LP Turbine", pp. 10-27.
7. EPRI, 2004, "PMBD Client/Server 1.5 Version", EPRI Efficiency Lab LLC.
8. Exelon, 2005, "PM Template for HP & LP Turbine", pp. 1-4.
9. Fr. Schott, 2002, "Recommendations for steam turbine inspections", pp. 1-5.
10. R.T Bievenue, 2005, "Steam Turbine-Generator Maintainability-A Means to Improve Unit Availability", pp. 1-11.