

EPRI의 예방정비기초자료에 근거한 원전 증기터빈의 예방정비기준 개발

이병학[†] · 이혁순[†]

Development the Preventive Maintenance Template of the Nuclear Steam Turbine based on EPRI PMBD

Byoung Hak Lee[†] and Hyuk Soon Lee[†]

ABSTRACT

The existing maintenance program is focused on time-based maintenance to inspect and repair components according to maintenance period, rather than condition-based maintenance or predictive maintenance. The preventive maintenance template of the steam turbine has been developed for optimizing maintenance procedure and improving reliability and availability of the steam turbine of nuclear power plants based on EPRI PM template methodology and EPRI technical reports about preventive maintenance.

Key Words : PM Template(예방정비기준), EPRI PMBD(EPRI의 예방정비기초자료), Turbine(터빈), Condition-Based-Maintenance(상태기반정비), Time-Based-Maintenance(시간기준정비), Predictive Maintenance(예측정비)

기호설명

F : Fuel cycle
Y : Year , M : Month
W : Week , S : Shift

1. 서론

예방정비기준(PM Template)이란, 발전소의 특정 설비유형별로 각각의 정비전략을 문서화한 것으로 설비유형별로 최적화된 예방정비 항목과 주기를 명시하고 있을 뿐 아니라 설비의 성능저하 메커니즘을 설명해주는 지침서이다.

현재 국내 원자력발전소의 예방정비 프로그램의

경우, Table 1과 같이 예방정비 항목 및 주기에 대한 구체적인 기준이 없이 운영되는 경우가 있으며, 동일한 설비 임에도 불구하고 예방정비 프로그램이 발전소별로 상이하게 운영되는 문제점이 있다.

기존의 예방정비 프로그램은 대체적으로 상태기준(Condition Based)정비나 예측(Predictive) 정비보다는 일정한 주기에 따라 정비를 수행하는 시간기준(Time Based)정비 위주로 구성되어 있다.

이에 따라 설비유형별로 취약부분을 도출하고 고장 메커니즘 분석을 통해 실제적인 예방정비기술을 개발할 필요성이 부각되었다. 따라서 본 논문에서는 전사적으로 표준화된 예방정비기준을 통해 발전소의 예방정비수준을 전반적으로 향상시킬 수 있는 기술기반을 구축하고자 원전 증기터빈의 예방정비 기준을 개발하였다.

2. 예방정지기준의 개발 방향

설비 정비에 대한 패러다임은 정비기술의 발달에

[†] 책임저자, 회원, 한국수력원자력주식회사 원자력 발전기술원

E-mail : crane@khnp.co.kr

TEL : (042)870-5670 FAX : (042)870-5688

[†] Corresponding Auther, LHS1241@khnp.co.kr

Table 1 Maintenance Tasks and Period of Steam Turbine of Power Plants

Description	Name of Power Plant									EPRI
	Plant A	Plant B	Plant C	Plant D	Plant E	Plant F	Plant G	Plant H	Plant I	
Turbine Overhaul	5F	5F	3F	4F	1F	3F	3F	4F	3F	10Y
Oil Pump Overhaul	2F	1F	1F	1F	1F	1F	3F	1F	1F	10Y
Vibration Analysis	1M	1M	1M	1M	1M	1M	1M	1M	1M	1M
Bearing Inspection	1F	1F	1F	1F	1F	1F	1F	1F	1F	6Y

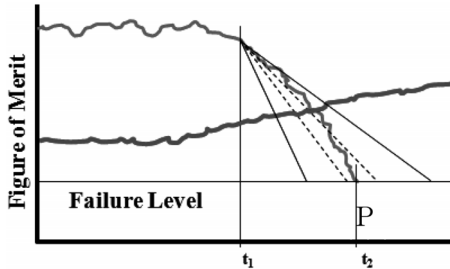


Fig. 1 Random Failure Mechanism

따라 지속적으로 변화되었다. 설비의 정비는 크게 고장정비, 주기정비 및 상태기반정비 세 가지로 분류할 수 있다. 과거에는 설비에 대한 별도의 점검 없이 설비의 고장이 발생하면 정비를 수행하는 고장정비가 주류를 이루었고 이후에는 설비에 고장이 발생하기 전에 사전에 설비점검 및 부품을 교체함으로써 고장을 예방하는 예방정비 기법이 도입되어 지금까지도 대부분의 설비의 정비에 적용되고 있다. 그러나 최근에는 보다 비용-효과적이고 설비신뢰도를 제고할 수 있는 여러 가지 정비 기법들이 개발되어 사용되고 있다.¹⁾

EPRI에서 분석한 설비의 고장유형을 보면, 전체 고장의 90%가 불시고장 유형으로 분석되어 시간이 경과함에 따라 주기적으로 정비를 수행하는 주기정비는 역효과를 줄 가능성이 큰 것으로 분석되었다.²⁾ 분해정비 후에는 정비유류 또는 교체부품의 결함 등에 따른 조기고장의 확률이 오히려 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 대부분의 고장이 불시고장 유형이라 할지라도 Fig. 1과 같이 고장이 순간적으로 발생하지 않는다. 고장이 점 t_1 에서 시작되면 상태가 점차 악화되어 감지 가능한 P점을 지나 마지막으로 고장(t_2)에 이르게 되므로 상태감시를 강화하면 불시 고장에 대한 적절한 대처가 가능하다.³⁾

그러므로 원전증기터빈의 예방정비기준의 개발 방향은 주기적으로 정비를 수행하는 시간기준정비

(Time based Maintenance)를 줄이고 설비의 상태에 따라 정비를 수행하는 상태기준정비(Condition based Maintenance)를 강화하는 것으로 개발하였다.

3. 예방정비기준 개발과정

예방정비기준 개발과정은 대상기기의 선정, 고장 모드 및 영향분석 그리고 정비항목 및 주기설정 등으로 이루어진다. Fig. 2와 같이 계통을 구성하고 있는 여러 기기 즉, 터빈, 발전기, 밸브, 차단기 등 단위기기에서 대상기기를 선정하며, 선정된 대상기기를 기능적중요도결정 (FID : Functional Importance Determination)에 따라 기기 중요도(Criticality), 운전 빈도(Duty Cycle) 및 운전환경 (Service Condition)을 결정한다. 기기중요도는 기기가 발전소의 안전에 주는 영향에 따라 Critical, Minor로 나누고, 운전 빈도는 연속운전이나 간헐적인 운전에 따라 High, Low로 구분하며 운전환경은 기기가 운전되는 조건에 따라 Severe, Mild로 세분한다.

다음으로 대상기기의 고장모드 및 영향분석을 수행해야 하며 수행과정은 Fig. 3과 같다. 고장모드 및 영향분석에서 확인된 각 열화 메커니즘을 예방하거나 열화상태를 확인 및 완화할 수 있는 정비항목이 도출되고 정비항목은 직무 성격에 따라 주기정비 직무(TDT : Time Directed Task), 상태감시 직무(CMT

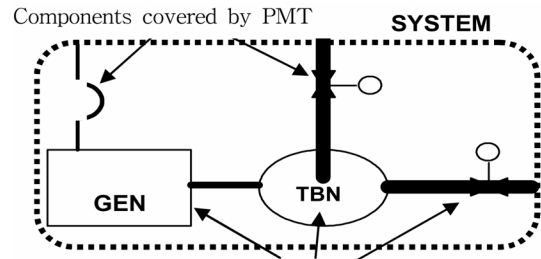


Fig. 2 Schematic of Turbine system

: Condition Monitoring Task) 및 고장발견 직무 (FFT : Failure Finding Task)로 나누어지며 정비항목별 정비주기는 기능중요도분류기준에 따라 세분화한 총 8개의 기기유형별로 정비주기가 결정된다. 이러한 과

정을 통해 Table 2와 같은 8 칼럼의 매트릭스(Matrix) 형태의 예방정비기준을 개발하였다.^{4,6)}

이러한 고장모드 및 영향분석, 정비항목 도출 및 정비주기를 도출하는 모든 일련의 과정은 Fig. 4와 같이 기기 전문가그룹을 통하여 결정되며 기기 정비이력, 제작자 매뉴얼, 사외 전문가 의견 등을 반영되게 된다.

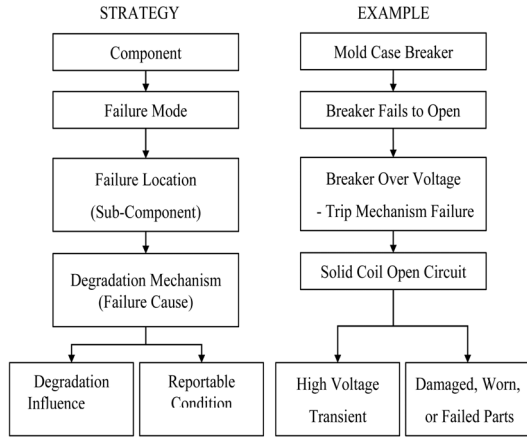


Fig. 3 Process of FMEA

4. 원전 증기터빈의 예방정비기준 개발

4.1 전략

Table 3의 EPRI 원전증기터빈 예방정비기준자료를 기초로 하고 원자력발전소 터빈의 현 정비주기 및 정비경험을 반영하여 원전증기터빈의 예방정비기준(PM Template)을 개발하였다. 또한 지속적으로 예방정비최적화 기술을 확보하기 위해 사내 전문가 그룹이 예방정비기준 개발을 주도하고 발전소의 원전증기터빈 담당자는 기기전문가 참여로 정확한 정

Table 2 PM Template Task and Interval

Criticality	CRITICAL				MINOR				
	Duty Cycle	HIGH	LOW	HIGH	LOW	HIGH	LOW	HIGH	LOW
Service Condition	SEVERE		MILD		SEVERE		MILD		
Task Name	CHS	CLS	CHM	CLM	MHS	MLS	MHM	MLM	
Time Directed Task									
Condition Monitoring Task									
Failure Finding Task									

Table 3 EPRI PM Template of Steam Turbine

Component : Nuclear Steam Turbine								
Template Data	CRITICAL				MINOR			
Criticality	HI	LO	HI	LO	HI	LO	HI	LO
Duty Cycle	HI	LO	HI	LO	HI	LO	HI	LO
Service Condition	SEVERE		MILD		SEVERE		MILD	
Task Name	CHS	CLS	CHM	CLM	MHS	MLS	MHL	MLM
Operator Round	1S	1S	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Oil Analysis	1M	1M	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Vibration Analysis	1M	1M	NA	NA	NA	NA	NA	NA
System Engineer Walkdown	3M	3M	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Performance Monitoring	1M	1M	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Mechanical & Electrical Test	3M	3M	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Overhaul	8Y	10Y	NA	NA	NA	NA	NA	NA

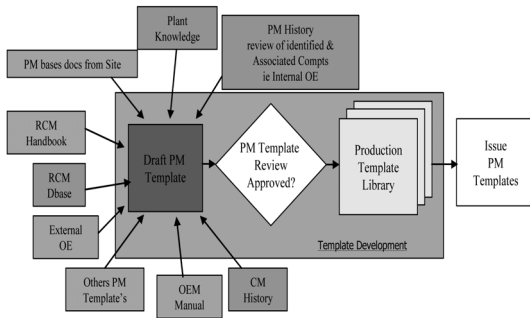


Fig. 4 Reference Material for PM Template

보 수집 및 현장경험을 반영하도록 하였으며 사의 전문가 자문을 통해 예방정비기준의 신뢰도를 제고하도록 하였다.

4.2 과정

4.2.1 EPRI의 예방정비기준 검토

EPRI의 원전증기터빈 예방정비기준은 기능중요도 분류기준에 따라 총 8 칼럼으로 구분하고 있으며 직무항목은 주기정비 직무, 상태감시 직무 및 고장발견 직무 등으로 구분하지 않고 총 7개 직무로 구분하고 있다.

EPRI는 원자력발전소에서 일상적으로 수행되는 운전원 순시를 직무항목으로 하고 구체적으로 직무내용을 정의하였다. 직무내용은 증기, 오일 및 물 등의 누설점검에 관한 사항, 압력, 유량 및 온도 등의 추이기록에 관한 사항, 이음, 냄새, 습도 등 환경에 관한 사항, 진동에 관한 사항, 망실 혹은 이완된 단열재 확인 및 모든 터빈 운전 변수가 정상치 이내

임을 입증하는 것이다.

또한 EPRI는 우리나라 발전소에서는 일반적으로 수행되지 않았던 시스템엔지니어 위크다운 항목을 추가하여 주요 운전변수를 측정하고 추이를 분석하게 함으로서 정확한 상태진단을 강화하였다. 윤활유 분석, 진동분석 및 열 성능 감시 등의 상태감시 직무를 강화하였고, 반면 분해점검직무 주기를 8년 및 10년으로 하여 국내 원자력발전소에서 수행되는 분해점검 주기 3~4년과는 큰 차이를 나타내었다.

4.2.2 현행 예방정비 현황 조사 및 분석

최적의 예방정비기준을 도출하기 위해 사업소의 터빈전문가를 통해 각 발전소의 터빈 예방정비 현황 즉, 원전증기터빈의 직무내용, 직무주기 및 정비이력 등을 파악하고 EPRI의 예방정비기준과 비교하여 편차를 분석 하였다.

먼저, Table 4와 같이 발전소별 원전증기터빈의 예방정비 수행내용과 주기를 조사하였으며 최근 3년간의 정비 이력 및 주요 정비 내용을 조사하였다. 또한 규제 요건 즉, 기술지침서 요건, ASME요건 및 EQ 프로그램과 제작자의 매뉴얼 내용을 파악하여 원전증기터빈의 예방정비 현황에 대해 조사하였다.

다음으로 예방정비 현황을 분석하였다. 정비이력 분석을 통한 고장 유형 및 메커니즘을 파악하고 예방정비내용 및 주기를 파악하여 EPRI 예방정비기준과 차이를 분석하였다.

4.2.3 전문가 패널회의

예방정비기준 개발의 각 단계별로 전문가 패널회의

Table 4 PM Tasks and Period of Steam Turbines in Nuclear Power Plants

Task Name	Plant Name					
	Plant A	Plant B	Plant C	Plant D	Plant E	Plant F
Oil Analysis	1M	1M	1M	1M	1M	1M
Vibration Analysis	1W	1M	1M	1W	1M	1M
Vibration Analysis before Shutdown	1F	1F	1F	1F	1F	1F
Vibration Analysis after Start-up	1F	1F	1F	1F	1F	N/A
Performance Monitoring	1F	N/A	1F	1F	N/A	10Y
Mechanical & Electrical Test	2W	1W	1M	1W		N/A
Overhaul	5F	3F	4F	1F	3F	3F
Main Oil Pump Overhaul	2F	1F	1F	1F	1F	1F
Admission Pipe Flange Inspection	5F	3F	4F	1F	3F	N/A
Front Standard Component Inspection	5F	-	3F	1F	1F	1F

Table 5 Inspection Interval of Rotor Journal Bearings

Component Name				Steam Turbine				
Task Name				Rotor Journal Bearing Inspection				
Current Inspection Interval of Rotor Journal Bearings in Nuclear Power Plants								
Plant	CHS	CLS	CHM	CLM	MHS	MLS	MHM	MLM
Plant A	1F	-	-	-	-	-	-	-
Plant B	1F	-	-	-	-	-	-	-
Plant C	1F	-	-	-	-	-	-	-
Plant D	1F	-	-	-	-	-	-	-
Plant E	1F	-	-	-	-	-	-	-
Plant F	1F	-	-	-	-	-	-	-
Plant G	1F	-	-	-	-	-	-	-
Plant H	1F	-	-	-	-	-	-	-
Plant I	1F	-	-	-	-	-	-	-
Plant J	1F	-	-	-	-	-	-	-
Inspection Interval of Rotor Journal Bearings of EPRI & Exelon								
EPRI	-	-	-	-	-	-	-	-
Exelon	10Y	-	-	-	-	-	-	-
Review Results								
EPRI는 로타 저널 및 베어링 점검이라는 직무를 별도로 구분하지 않고 주요점검이라는 직무에 포함하여 8~10년마다 점검을 수행하도록 하였고, Exelon 발전소는 별도직무로 하여 10년마다 점검을 수행하도록 하였다. 현행 발전소들의 정비주기는 모두 매주기 정비를 수행하고 있으나, 저널 및 베어링에서 특이한 사항이 발견되는 경우가 거의 없으므로 발전소 정비 경험을 반영하여 직무주기를 3주기로 결정한다.								

의를 하여 정확한 정보수집 및 현장경험을 반영하였고 예방정비기준의 신뢰도를 제고하였다. 패널회의를 통해 예방정비 현황 DB를 구축하고, 각 발전소의 원전증기터빈 예방정비 현황에 대한 분석결과를 검토하였다. 또한 예방정비기준 초안에 대해 검토하였으며 Table 5와 같이 각각의 직무항목에 대한 필요성과 주기를 검토하였다.

4.3 개발결과

4.3.1 구성

EPRI 예방정비기준을 토대로 하고 우리나라 원전 증기터빈의 예방정비현황 분석결과를 반영하여 Table 6과 같이 원전증기터빈의 예방정비기준 최종안을 개발하였다. 원전증기터빈 예방정비기준은 예방정비 직무와 직무주기를 요약하여 예방정비 내용을 한 눈에 볼 수 있는 템플릿, 템플릿에 있는 각각의 직무 내용을 설명해 놓은 직무설명서, 터빈 예방정비기준의 범위를 나타내는 기기범위, 기능중요도분류기준에 대한 용어 정의 그리고 각 부품에 대한 고장유

형 및 영향분석 결과로 구성 된다.

4.3.2 템플릿

원자력 발전소의 모든 터빈은 중요도가 Critical에 해당되고, 운전 빈도는 High, 운전 환경은 Severe에 해당되므로 기능중요도 분류결과 CHS로 분류하였다.

터빈 직무는 윤활유분석, 진동 분석 등 6개의 상태 감시직무와 고압터빈 완전분해점검, 로타 저널 및 베어링 점검 등 7개의 주기점검직무 및 한 개의 고장발견직무로 구성된다. 터빈 고장을 예방하고 불필요한 정비를 줄이기 위해 상태감시직무를 강화하였고, 주기점검직무의 주기를 감소시켰다.

4.3.3 직무설명

각 직무에 대한 설명서는 직무 명, 직무목적, 소요인력, 기기이용불능시간, 직무내용, 주요 고장부위 및 원인 등으로 구성되어 있다. 총 13개의 원전증기터빈 직무설명서 중 “원전증기터빈 완전분해점검” 직무에 관한 내용을 소개하면 Table 7과 같다.

Table 6 PM Template of Nuclear Steam Turbine

Rev. No	0		PM Template					
Rev. Date								
FID								
Criticality	Critical				Minor			
Duty Cycle	High	Low	High	Low	High	Low	High	Low
Service Condition	Severe		Mild		Severe		Mild	
Task Name	CHS	CLS	CHM	CLM	MHS	MLS	MHM	MLM
Condition Monitoring Task								
Oil Analysis	1M	-	-	-	-	-	-	-
Vibration Analysis	1M	-	-	-	-	-	-	-
Performance Monitoring	1F	-	-	-	-	-	-	-
Measurement of Shaft Voltage	1W	-	-	-	-	-	-	-
System Engineer Walkdown	3M	-	-	-	-	-	-	-
Operator Round	1S							
Time Directed Task								
Overhaul	6F	-	-	-	-	-	-	-
Bearing Inspection	3F	-	-	-	-	-	-	-
Turning Gear Inspection	6F	-	-	-	-	-	-	-
Front Standard Component Inspection	3F	-	-	-	-	-	-	-
Thrust Bearing Wear Detector Inspection	1F	-	-	-	-	-	-	-
Shaft Brush Inspection	1F	-	-	-	-	-	-	-
Failure Finding Task								
Overspeed test	1F							

Table 7 Contents of Steam Turbine Overhaul

FID Code	TAMH
Component Name	Steam Turbine
Task Name	Overhaul
Task Objective :	
고압터빈 완전분해점검의 목적은 기계의 상태를 점검하고 이를 정상 상태로 복구시키는 것임.	
Man-Hours Needed to Complete The Task :	
Hours The Component Is Unavailable :	
Task Content :	
분해 및 재조립을 포함하는 주요 점검은 다음을 포함함. ○ 회전 및 정지 설비의 육안 점검 및 비파괴 시험. ○ 베어링, 저널, 밀봉재, 다이아프램 및 회전-고정체간 간극을 포함하는 중요 마모 부품의 점검 ○ 터빈 내부 설비의 점검 ○ 증기 침식 및 이물질에 의한 손상을 수리. ○ 패킹 및 밀봉 상태 점검 및 조치 ○ 지침 및 절차에 따라 여러 가지 정비 작업을 수행. ○ 정지 이전에 발견된 비정상 상황 보고서에 대한 조치. ○ 고압터빈 입구배관 플랜지 면 점검	

Table 7 Contents of Steam Turbine Overhaul

Principal Failure Locations And Causes :
본 직무는 넓은 범위의 열화 상태를 다루는데 중요함. 본 직무가 다루는 가장 영향력이 있는 열화 조건은 1) 케이싱, 다이아프램 및 그랜드 접합부의 증기 침식, 2) 블레이드 연결부, 로터 중공, 및 블레이드 루트의 균열임. 이들 열화 조건은 다른 예방정비직무에 의해서는 잘 방지되지 않음.
Progression Of The Degradation In Time :
로터 중공의 균열의 침식을 제외하고 모든 파손 메커니즘은 증기적인(5~10년 혹은 그 이상) 마모 메커니즘임. 로터 중공의 균열은 장기적인 마모 메커니즘임.
Support For The Task Interval And Relation To Other Tasks :
<ul style="list-style-type: none"> ○ 현재 발전소 직무주기는 최대:5F, 최소:1F, 최다:3F로 수행하고 있음. ○ EPRi 분석내용 및 해외기관 직무주기 <ul style="list-style-type: none"> -EPRi의 분석내용 : 대부분의 상기 고장 메커니즘으로 인해 추천된 직무주기를 준수해야 함. -EPRi 및 엑셀론사 직무주기 : 10Y, 10Y ○ 전문가 패널회의 토의 결과, 엑셀론사의 경우, GE 및 Westinghouse에서 공급한 터빈 모두 10Y 직무 주기를 적용하고 있으며, EPRi도 10Y를 적용하고 있으므로 직무주기를 6F로 함. (국내 고압터빈 실정(현재 터빈 상태, 규제기관, 제작사 권고 내용 등)에 따라 정비 주기를 조정할 필요가 있음.)

Table 8 FMEA Results of LP Blades

Failure Location : LP Blades			
Degradation Mechanism	Degradation Influence	Discovery Or Prevention Opportunity	Time Code
Cracking	Material properties, steam quality, FOD, water induction	Visual inspection, performance monitoring, vibration	R
	Unknown design issues	Vibration analysis, performance monitoring, NDE inspection	R
Erosion	MSR's out of service, hood spray mis-operation, high back pressure, heater configuration, blade material properties	Visual inspection	W4_8
	Steam quality, material properties	Visual inspection, measurements, performance monitoring	UW40
Tie wire/tie wire hole cracking	Steam quality, design	Visual inspection, NDE inspection	UW12_16

R: Random, W: Wear out, UW: Universal Wear out

4.3.4 기기 범위

원전증기터빈 예방정비기준의 범위는 터빈(회전 및 고정설비), 터빈 구동 주 오일 펌프, 터닝기어, 저널 베어링 및 추력 베어링, 터빈 안착면 (페데스탈, 키, 볼트), 커플링, 증기 밀봉 및 단열재/외부피복이 포함된다. 증기 밸브, 모든 익스펜션 조인트, 유탄유 및 제어 계통, 발전기, 여자기 및 보조계통 그리고 특수 공구 및 크레인 등 다른 예방정비기준에 포함되어 터빈 예방정비기준에서는 제외시켰다.

4.3.5 정의

기능중요도분류기준에 사용된 용어의 정의는 다

음과 같다. 기기 중요도는 Critical과 Minor로 구분되며 Critical은 기능적으로 중요한 것, 예를 들어 위험도가 크고, 전력생산에 필요하거나 규제요건인 것을 말하고, Minor는 기능적으로 중요하지 않으나 경제적으로 중요한 것을 말한다. 예를 들어 다음 이유 중의 하나 이상에 해당될 경우 즉 빈번한 수정 정비, 예방 정비보다 교체 또는 수리함이 고가인 경우, 다른 중요 기기 혹은 경제적으로 중요한 기기의 고장을 유발할 수 있는 가능성이 큰 경우 Minor에 해당된다. 만약 고장이 기능과 경제적으로 중요하지 않으면 Run-To-Failure에 해당된다. 운전 빈도는 High 및 Low로 구분된다. High는 빈번한 주기(>년

10회 이상), Low는 대기 운전 혹은 기저 부하 운전
에 해당하는 기기를 의미한다. 운전환경은 Severe와
Mild로 구분되며 Severe는 증기의 질이 낮은 경우,
비정상적인 온도 환경, 빙점 혹은 그이하의 공기에
개방되고 염분이 함유된 공기 환경을 의미한다. Mild
는 원전증기터빈에는 적용되지 않는다.

4.3.6 고장모드 및 영향분석

마지막으로 베어링, 케이싱 및 그랜드 접합, 휠/
디스크, 케이싱 압력계측기, 블레이드, 로터, 다이아
프램 등 각 고장부위에 대한 Table 8과 같이 고장모
드 및 영향분석 결과를 기록하였다. 각 고장부위에
대한 분석은 성능저하 메커니즘, 성능저하원인, 고
장발견/예방기회 및 시간코드로 구성된다. 성능저
하 메커니즘은 고장부위에 대한 열화의 종류로 구
성되고, 성능저하원인은 열화를 일으키는 원인요소
이며, 발견/예방기회는 열화가 발생하기 전에 이를
사전에 발견할 수 있는 방법으로 기술되고 있다.

5. 결론

미국의 원자력발전소, 산업계 및 제작사의 자료를
근거로 EPRI에서 개발한 원전증기터빈의 예방정비
기준은 미국의 여러 원자력발전소에서 예방정비기
준 작성의 근거로 사용 하였고, 한수원도 EPRI 예

방정비기준을 근거로 여러 원자력발전소 및 제작사
의 권고사항 등을 반영하여 한수원에 적합한 표준
예방정비기준을 개발하였다. 이로 인해 원전증기터
빈의 정비표준화 및 최적화가 가능해졌고 정비형태
를 시간 기준 정비에서 상태기준정비로 전환하여 자
원의 효율적 활용이 가능해졌다. 결과적으로 표준
원전증기터빈 예방정비기준을 통해 저비용 고효율
정비를 수행하여 원자력발전소 터빈설비의 신뢰도 및
이용률을 향상시킬 수 있는 기반을 구축하였다.

참고문헌

1. Ross Kennedy, 2006, "Examining the Processes of RCM and TPM", pp. 1~2.
2. M. Bridges, 2002, "Reliability and Preventive Maintenance: Balancing Risk and Reliability", EPRI TR 1002936, pp. 1~10.
3. Do Han. Lee, 2010, "Prognostics Technology", pp. 4.
4. John P. Gaertner, 1998, "Preventive Maintenance Basis", EPRI TR106857, v37 pp. 17~31.
5. EPRI Efficiency Lab, 2005, "EPRI PMBD Client/Server 1.5 Version", v73 pp.1~10.
6. M. Bridges, 2002, "Reliability and Risk Significant", EPRI TR 1007079, pp. 1~14.