

'02 추계학술발표회 논문집
한국원자력학회

주요 기기유형에 대한 정비업무 선정기준 개발

Development of preventive maintenance template for major component types

정현중*, 홍승열, 최광희
한국전력공사 전력연구원
대전광역시 유성구 문지동 103-16

한상욱
한국수력원자력(주) 영광원자력본부
전라남도 영광군 홍농읍 계마리 514

요 약

해당기기유형의 다양한 기기에 적용할 수 있도록 예방정비 업무와 주기를 권고하는 형태의 주요 기기유형별 정비업무 선정기준을 개발하였다.

고장으로 진전되는 시간적인 특성을 분석하였다. 이러한 분석결과를 토대로 비용측면에서 효과적이면서 열화영향 요소를 예방하기에 적합한 정비방법과 주기설정 과정을 거쳐 정비업무 선정기준을 완성하였다.

Abstract

We developed preventive maintenance(PM) templates that contain recommended PM tasks and frequencies applicable to wide range of components. We analyzed which parts of the equipment typically degrade or fail, which mechanisms are usually responsible for the degradation, which factors in the physical or operational environment have the most effect in initiating the degradation or making it more severe, and how long the deterioration can be expected to progress before it becomes unacceptable. Subsequently, determined the kind of PM techniques or activities that have the best chance of discovering the degraded condition.

프, 수직 원심펌프)단위로 정비업무 선정기준 개발하였다.

정비업무 선정기준 개발과정에서 정비업무 결정시 고려해야할 하부 기기의 범위를 정하였다. 이것은 외부 운할 시스템과 같은 부속설비, 펌프-구동기 커플링과 같은 연계(Interface) 설비, 및 계측제어 기기를 개발하고자 하는 정비업무 선정기준에 포함할 것인가 말 것인가를 명확히 하기 위한 것이다.

2. 데이터 패키지 작성

고장으로 진단될 가능성이 있는 열화메커니즘과 영향요소를 발견할 수 있는 방법과 고장을 예방하기 위한 정비전략을 수립하는데 활용하기 위하여 기기 유형별로 예비 PM목록을 작성하였다. 예비 PM목록은 “[표 1], 수평 원심펌프의 예비 PM목록 작성과정“과 같이 영광 1발전소 정비프로그램, 제작사 권고사항, 의무사항, KRCM 및 해외사례(EPRI 연구자료, ComEd, PECO) 조사를 통하여 기기 유형별로 적용 가능한 예방정비 방법을 목록화하는 방법으로 작성하였다.

[표. 1] 수평형 원심펌프의 예비 PM목록 작성과정

영광 1,2호기 현행 PM			
상태감시	<ul style="list-style-type: none"> 진동 점검 		
주기정비	<ul style="list-style-type: none"> 주유 점검 일상점검 <ul style="list-style-type: none"> 각 부품청소상태, 마모, 손상, 도장박리 및 부식여부 이음, 누유발생 여부 점검 BEARING공급 및 배유온도 점검 	<ul style="list-style-type: none"> 일반점검 <ul style="list-style-type: none"> 축정렬 및 진동점검 BRG 간극점검 및 비파괴검사(PT,UT) OIL BAFFLE & DEFLECTOR 점검 SHAFT SEAL WATER SUC. FILTER 점검 및 청소 기초볼트류 체결상태 점검 펌프 THRUST GAP점검 완전분해점검 	
고장발견	<ul style="list-style-type: none"> 기능시험 		
해외 사례			
	EPRI PM Basis	ComEd	PECO Energy
상태감시	<ul style="list-style-type: none"> 진동 분석 윤활유 분석 기기 성능 감시 	<ul style="list-style-type: none"> 진동 감시 윤활유 분석(Ferrogaphy 포함) 펌프/계통 Curve Verification 기기 성능 감시 	<ul style="list-style-type: none"> Full 스펙트럼 진동감시 진동 감시 윤활유 분석(Ferrogaphy 포함) 기기 성능 감시
주기정비	<ul style="list-style-type: none"> 오일필터 교환, 청소 및 검사 커플링 검사 노즐 비파괴 검사 외부 육안 검사 부분 분해 점검 완전분해 점검 	<ul style="list-style-type: none"> 펌프셀 베어링 교체 완전분해 점검 육안검사(펌프셀, 윤활유, 이음) 활 활동(그리스 주입, 오일교환, 필터교환) 	<ul style="list-style-type: none"> 세부 청소 및 검사 완전분해 점검 육안검사/펌프 씌일 검사 윤활유 점검, 보충/교체
고장발견	<ul style="list-style-type: none"> 기능시험 		
예비 PM 목록 도출 결과			
상태감시업무	주기정비업무		고장발견업무
<ul style="list-style-type: none"> 진동 분석 윤활유 분석 Ferrogaphy 적외선 열영상 분석 베어링 마모량 감시 베어링 온도 감시 성능 감시 	<ul style="list-style-type: none"> 외부 육안검사 내부 육안검사 노즐 비파괴 검사 커플링 주유/검사 펌프 완전분해 점검 펌프 부분분해 점검 윤활유 교체 	<ul style="list-style-type: none"> 필터 교체 패킹/씌일 교체 베어링 교체 	<ul style="list-style-type: none"> 성능 시험 기능 시험

영광 1발전소 RCM분석 대상 23개 계통에 포함된 기기를 대상으로 3주기('96.1~ '00.12)동안의 고장/정비 이력을 분석하였다. 정비업무 선정기준 개발과정에 직접 활용하기 위하여 정비업무 선정기준 개발 단위인 기기유형(Component Type)별로 고장위치, 열화 메커니즘 및 열화 영향요소를 분석하였다. [표. 2]는 수평 원심펌프의 축에서 발생한 고장이력을 분석한 결과를 보여준다.

[표. 2] 고장/정비이력 분석결과 예

1-DC-P139	Filtered Sea Water Feed PUMP	1M-24131	leak	BEARING , OIL SEAL , BALL MECH-SEAL		
1-GB-P139	Central Chillerd Water Pump N-P139	1-97-01422	In-board BRG Oil Leak			
1-GB-P140	Central Chillerd Water Pump N-P140	1-97-00033	BRG Housing Oil Leak			
0-KC-P141	Jockey Pump	1-98-06659	KC-P141(Jockey Pump) Coupling	Shaft		Fretting

3. 고장발생 위치 정의

하드웨어의 열화 및 고장이 어디에서 일어나는지에 초점을 두고 열화과정과 예방정비 전략을 수립하기 위하여 [표. 3]의 첫 번째 칼럼에 고장위치를 정의하여 목록화 하였다. 이 목록은 영광 1발전소 고장데이터 분석결과와 참고자료 검토 및 엔지니어링 판단결과 고장이 일어날 가능성이 있는 부위로 세분화 하였다. [표. 3]은 솔레노이드밸브의 밸브 본체에 대한 고장위치, 열화메커니즘, 및 PM전략 수립과정을 보여준다.

[표. 3] 고장위치, 열화메커니즘, PM전략(솔레노이드밸브_밸브 본체)

			Degradation Progression	Failure Timing		PM
스프링	스프링 장력 변화 Change of spring constant	-작동 횟수 -온도 -압축상태 지속	Continuous in time(or number of cycles)	Many years of trouble free service.>10 years, Sensitive to service conditions	누설시험	• 기능시험 - 누설시험
밸브시트/플런저	시트/플런저에 오염물 축적 Crud build-up on seat or plunger	계통 유체오염	Continuous or Random	Random	누설시험	• 기능시험 - 누설시험
	포트 막힘 clogged ports	계통 유체오염	Continuous or Random	Random	기능시험	• 기능시험 - 운전성 - 동작시간
	시트 손상 damaged seat	-계통의 유체 흐름 조건 -이물질	Continuous or Random	Random	누설시험	• 기능시험 - 누설시험
디스크 ^[3]	마모 ^[3] worn-out	침식 ^[3]	Continuous	Random	열영상 내부검사	-내부검사
	고착 ^[3] Sticking	이물질 ^[3]	Random	Random	밸브작동시험	-기능시험(운전성)
오링/패킹 ^[3]	노화 Aging	-방사선 -온도 -시간	Continuous	In mild conditions expect 5 to 10 years trouble-free period	-검사 -외부 누설	-탄성체 교체
	집속성 마모 Sliding wear	-작동 횟수 -온도 -시간 -방사선	Continuous	In mild conditions for low duty cycle expect 5 to 10 years trouble-free period	검사	-탄성체 교체
다이아프램	균열 Cracking	-노화 -방사선	Continuous	Expect 5 years trouble- free period	-검사 -기능시험	-탄성체 교체 -기능시험(운전성)
	고착 Sticking	-과열 -방사선	Continuous	Expect 5 years trouble- free period	-검사 -기능시험	-탄성체 교체 -기능시험(운전성)

4. 열화메커니즘 및 열화영향 요소

열화 메커니즘은 고장위치로 정의된 하드웨어의 고장을 유발시키는 인자이며, 열화를 야기 또는 촉진하는 원인이 되는 환경, 발전소 운전, 정비 또는 설계적인 측면을 열화영향요소로 분류하였다. [표. 3]의 예처럼 솔레노이드 밸브에서 “스프링 장력 변화(Change of spring constant)”의 열화 메커니즘은 “작동 횟수”, “온도”, “압축상태 지속” 등으로 인해 야기되거나 촉진되므로 이를 열화영향요소로 정의한 것이다. 열화메커니즘은 부속 기기 자체의 고장(예, 센서 고장, 가스켓 고

장)인 경우도 있으며, 오리피스 막힘, 밸브 씨트 손상 등과 같이 하나의 하드웨어와 하나의 메커니즘인 경우도 있다. 이 경우 하드웨어는 통상적으로 고장위치의 한 부품이다.

5. 열화 및 고장 탐지방법 및 예방정비업무

[표. 3]의 마지막 두 번째 칼럼은 열화 또는 고장을 탐지할 수 있는 방법을 표시하며, 마지막 칼럼은 실질적으로 적용할 수 있는 예방정비 방법을 정의하는 것이다. 예방정비방법은 결함을 탐지할 수 있는 방법 중 이행 가능성이 높은 것을 채택하는 형식으로 정의한다. 결함 발견방법은 데이터 팩키지 작성과정에서 작성한 예비 PM목록을 참조로 비용측면에서 합리적이면서 열화영향요소를 예방하기에 적합한 방법을 기록한다. 기술적으로 적절하고 논리적으로 열화 및 고장 탐지가 가능한 방법이라도 모두를 예방정비 업무로 포함시키지 않는다. 왜냐하면 업무의 선택은 비용효과 및 기술적 타당성뿐만 아니라 수행되고 있는 타 업무들을 고려하기 때문이다. 예방정비 업무는 앞 단계에서 기기의 열화/고장 메커니즘 분석을 통하여 수립된 PM 전략을 기본업무로 포함시키고 예비PM 목록을 참조하여 효과적인 정비방법을 추가하는 형식으로 선정한다. 또한 예방정비 주기는 적용조건 세트별로 고장/예방정비 이력, 현행 PM, 제작사 권고사항, 의무사항 등을 고려하여 설정한다.

6. 정비업무 선정기준 개발

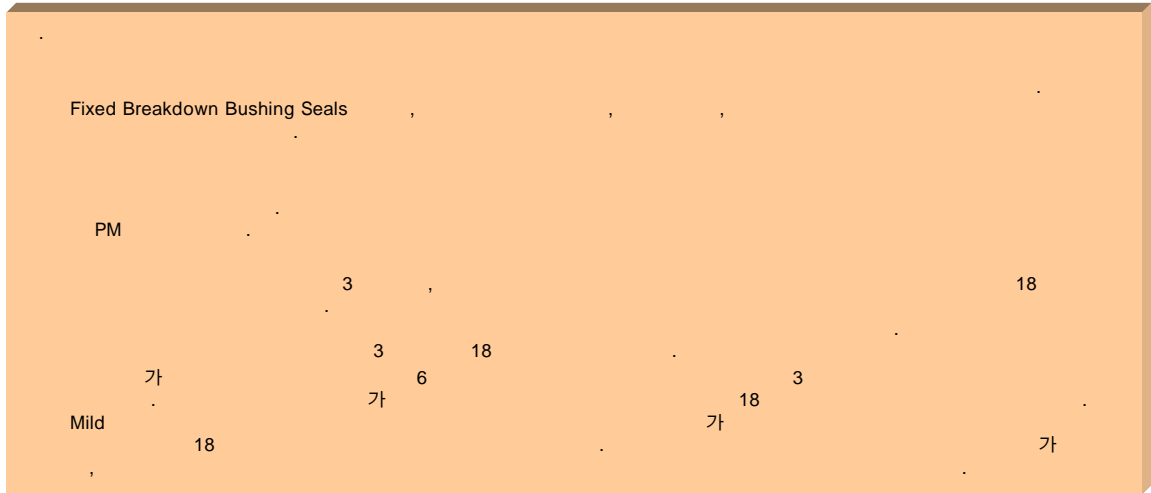
정비업무 선정기준 표는 기기별 예방정비방법을 결정하는데 있어서 출발점 또는 표준으로 활용하기 위한 것이다. 이를 위하여 앞 단계에서 결정된 업무 및 주기를 [표. 4]와 같은 형태로 정형화하였다. 정비업무 선정기준 표를 적용함에 있어서 예외 또는 보완적용이 필요한 경우는 주석으로 표기하였으며, 정비업무 선정기준 표상에 제시된 정비방법에 대해서는 결정된 배경을 상세히 기술하였으며, 기기 유형별로 정비업무 선정기준 표를 적용하는데 필요한 적용기준을 제시하였다. 정비업무 선정기준은 연구진에 의해 초안을 개발한 뒤 현장 실무자로 구성된 정비전문가회의체를 통한 검토회의를 거쳐 확정된다.

[표. 4] 정비업무 선정기준 표 개발형식

적용 조건	1	2	3	4	5	6	7	8	수평원심펌프 (Horizontal Pump)		
중요도	Critical	x	x	x	x						
	Non-Critical					x	x	x			x
사용빈도	High	x		x		x		x			
	Low		x		x		x		x		
운전환경	Severe	x	x			x	x				
	Mild			x	x			x	x		
업무유형	주기(Months)								참고번호	주석	
상태감시업무											
진동 감시 - 관리기준 설정, 결과 추이분석	1	3	1	3	3	NR	3	NR	2.다.(1)	* 문제가 있는 설비의 진동분석 주기는 월간으로 단축됨	
윤활유 분석 - 관리기준 설정, 결과 추이분석	3	18	3	18	6	18	6	NR	2.다.(2)	* 문제가 있는 설비의 윤활유분석 주기는 월간으로 단축됨 * 필요시 Ferrography 수행	
기기성능 감시 - 계동/설비의 계측기 활용 - 펌프압력/유량율/온도, 스트레이너 차압 - 관리기준 설정, 결과 추이분석	3	3	3	3	6	18	6	18	2.다.(3)	* 이업무는 기기의 정상운전 기간동안에만 수행되어야함. 즉, 이 업무만을 위하여 기동해서는 안됨.	
주기정비업무											
외부육안검사(누설, 이완, 이음)	3	3	3	3	12	12	12	12	2.다.(4)	* 기기가 출입금지구역이 아닌곳에 있는 경우에만 수행	
커플링 검사	18	60	18	60	AR	AR	AR	AR	2.다.(5)	* 비중요기기 주기는 상태감시나 육안검사 결과에 의하여 결정됨	
부분분해 점검	AR	AR	AR	AR	AR	AR	AR	AR	2.다.(6)	* 상태감시업무나 육안검사 결과에 의하여 결정됨	
완전분해 점검	60	120	60	120	120	AR	120	AR	2.다.(7)	* 요구되는 상태감시 업무를 수행할 수 없을 경우에만 적용 * 나타난 상태에 따라 향후의 완전분해 점검범위가 결정될 것임	
윤활관련 활동	- 베어링그리스 보충	12	24	12	24	24	48	24	48	2.다.(8)	* 주기는 상태감시업무인 윤활유 분석결과에 따라 변경될 수 있음
	- 커플링그리스 보충	12	24	12	24	24	48	24	48		
	- 윤활유 점검 및 보충	3	6	3	6	12	24	12	24		
	- 윤활유 교환	12	24	12	24	24	48	24	48		
고장발견업무											
기능시험	AR	AR	AR	AR	AR	AR	AR	AR	2.다.(9)	* 요구되는 경우에만 수행	
성능시험	3	3	3	3	NR	NR	NR	NR	2.다.(10)	* 운영기술지침서의 요구조건에 따라 주기가 변경될 수 있음	

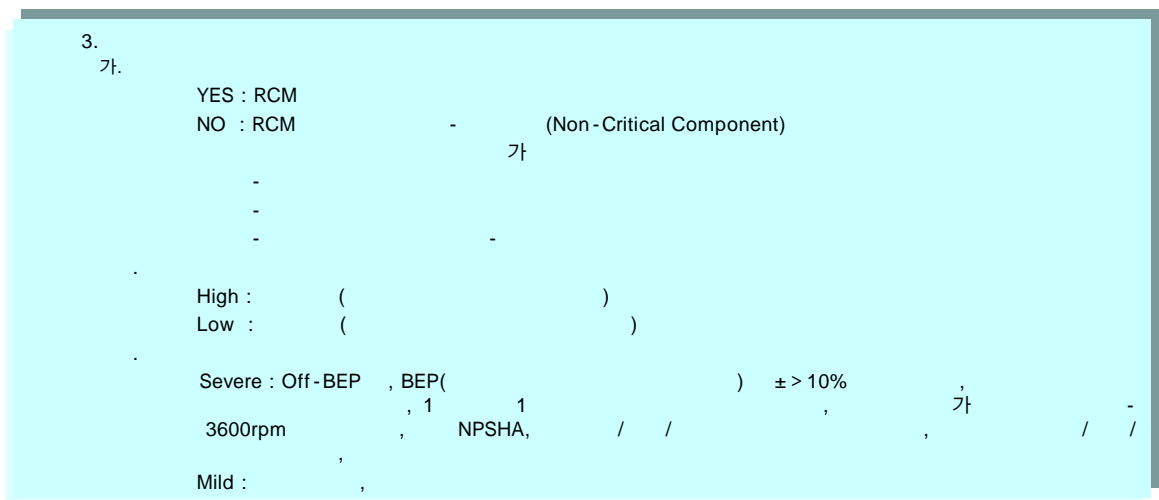
○ 정비업무 선정배경 작성

고장위치, 열화 메커니즘, 열화영향요소, 열화/고장발견 방법 및 PM전략 수립 등의 분석결과를 토대로 각각의 정비방법에 대한 논리적 근거를 3가지 즉, “고장위치 및 원인”, “열화에서 고장으로의 진전”, “고장발견 및 조정”으로 분류하여 기술하였다. 다음은 수평 원심펌프에 채택한 정비방법 중의 하나인 윤활유 분석 업무에 대해 작성한 정비업무 선정 배경(논리적인 근거)이다.



○ 적용조건 정의

적용조건(Maintenance Driver)은 예방정비업무와 주기를 결정하는데 영향을 미치는 요소로써 중요도, 사용빈도, 운전환경 등 3가지를 결정하였다. 중요도는 기능상으로 중요하기 때문에 고장을 예방하기 위하여 많은 정비재원을 투입해야하는 기기그룹과 적은 량의 정비재원 소비를 필요로 하는 기기그룹으로 구분하는 요소로 작용하게 되며 여기에는 안전성, 이용율 등 기능상의 중요도를 고려하게 된다. 사용빈도와 운전환경은 기능상의 중요도보다는 열화 또는 노화에 영향을 미치는 요소로써 사용빈도의 경우는 연속운전 및 대기운전 또는 얼마나 자주 사용되는지 여부를 고려하여 정의하였으며 “High” 및 “Low”로 구분된다. 또한 운전환경은 회전수, 유동상태, 계통유체 종류 등 기기내부 조건과 진동, 온도/습도, 방사능 등 외부조건을 모두 고려, 정의하였으며 “Severe” 및 “Mild”로 구분된다.



Ⅲ. 결 론

신뢰도기반정비(RCM) 분석 기법을 통해 영광 1발전소 주요계통 예방정비 프로그램을 최적화하는 과정에서 RCM 정비 분석의 일관성 및 효율성 제고를 위해 주요 기기유형에 대한 정비업무 선정기준을 개발하였다. 본 기준은 기기 형태별 표준 정비프로그램으로 단위 기기의 정비방법 및 주기결정 가이드 역할을 하며, 정비프로그램 수립 근거(basis)자료로 활용된다. 또한 본 기준의 운영을 통해 실무진의 경험과 지식을 한곳으로 결집케 함으로서 일관성 있고 효과적인 정비프로그램을 수립, 운영할 수 있을 것으로 판단된다. 본 기준은 영광 1발전소의 데이터 분석과 운영경험을 반영하여 개발하였으므로 영광 1발전소 표준 정비프로그램으로 직접 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 아울러 국내 원전의 정비 표준화 및 최적화 측면에서 이를 전 원전에 적용할 수 있는 표준 정비 프로그램으로 보완 발전시켜 나갈 것을 제안하는 바이다

참고문헌

1. Preventive Maintenance Basis, EPRI NDE Center, TR-106857, 1997
2. Preventive maintenance basis development, PVNGS, 30DP-9MP08, 1997.8
3. Reliability Centered Maintenance(RCM) Handbook rev.2, Limerick Generating Station, 94.8
4. Performance centered maintenance(PCM) Templates rev. 5, ComEd, NES-G-08, 2000.1
5. Performance centered maintenance(PCM) methodology, ComEd, ER-AA-210, revision 0
6. Comprehensive low cost reliability centered maintenance, EPRI, TR-105365, 1995.9
7. Equipment Reliability Process Description, INPO, AP-913 revision 1, 2001.11
7. Requirements for monitoring the effectiveness of maintenance at nuclear power plants, USNRC, 10CFR50.65
8. Monitoring the effectiveness of maintenance at nuclear power plants, USNRC, Reg. Guide 1.160 rev.2
9. Industry guidelines for monitoring the effectiveness of maintenance at nuclear power plants, NUMARC 93-01 rev. 2