

성능평가 방법을 이용한 능동형 기기의 경년열화 평가

Aging Evaluation of Active Components by using Performance Evaluation

정성규, 진태은
한국전력기술주식회사
경기도 용인시 구성읍 마북리 360-9

김종석, 정일석, 김태룡
한국전력공사 한전전력연구원
대전시 유성구 문지동 103-16

요약

월성 1호기 주기적안전성평가(PSR : periodic safety review)의 능동형 기기에 대한 경년열화평가를 위해 기기별 위험도 분석 및 성능평가 방법을 활용하였다. 능동형기기에 대한 경년열화 평가는 경년열화현상 분석보다는 운전 성능 평가방법이 효과적이다. 운전성능 기준에 미달하는 기기는 고장 유형을 분석하여 현 정비관리의 적정성을 평가하는 것이 필요하다. 성능평가는 과거 10년 운전이력을 토대로 성능기준을 설정하고 최근 2년간의 고장이력을 검토하여 수행하였으며 고장유형을 평가하여 현 정비관리 방법의 적정성을 평가하였다. 본 능동형 기기 성능평가 방법은 계통 및 기기의 정량적 노화감쇠평가를 가능하게 하며 반복되는 고장유형을 도출하면 정비방법이나 정비주기를 개선하는데 효과적으로 활용될 수 있다.

Abstract

Risk analysis and performance evaluation methodology were applied to the aging evaluation of active components in the Periodic Safety Review of Wolsung Unit 1. We conclude that evaluation of performance is more effective to discriminate the aging degradation of active component than the evaluation of aging mechanism. It is essential to analyze the common cause failures of low performance components to evaluate the properness of present maintenance system. Past 10 years failure history is used for establishing the performance criteria. Past 2 years failure history is used for the evaluating the recent performance condition. We analyze the failure mode of the components to improve the maintenance system. Performance evaluation methodology is useful for the quantitative evaluation of aging degradation of active components. Analysis on the repeated failures can be useful for the feedback to maintenance plan and interval.

1. 서론

주기적안전성평가(Periodic Safety Review)의 경년열화평가는 발전소의 안전 여유도를 유지하기 위하여 원자로 시설의 계통·기기·구조물의 경년열화가 효과적으로 관리되고 있는지 여부와 향후 원자력발전소 안전운전을 위하여 적절한 경년열화관리계획이 확립되어 있는지를 확인하는 것이다. 주기적안전성평가에서 요구하는 경년열화평가의 목적을 만족하기 위해서는 기기의 노화 형태별로 적절한 경년열화 평가방법을 정립해야한다.

원자력발전소 기기의 경년열화는 크게 피동형 기기와 능동형 기기로 구분되어 관리되고 있다. 피동형 기기에 대한 경년열화평가는 많은 연구경험과 풍부한 수행실적이 있어 주기적안전성평가의 경년열화 평가가 비교적 용이하나 능동형 기기의 경우는 연구경험이 부족하고 정량적인 평가 방법이 확립되어 있지 않다.

본 논문에서는 능동형 기기에 대한 주기적안전성평가의 경년열화 평가를 위해 정비규정 [1]에서 사용하는 성능기준에 의한 경년열화 평가 방법을 적용하고 이에 대한 적정성을 검토하였다. 위험도 및 고장이력 분석을 토대로 한 성능기준을 설정하고 성능평가 및 감시로부터 효율적인 정비가 수행되는지를 확인함으로써 안전운전을 위한 개선사항을 도출할 수 있는 정량적인 평가 방법론을 정립하였다. 능동형 기기 평가 방법에 대한 타당성을 제시하기 위해 중수형 원전의 냉각재 계통과 정지냉각계통을 대상으로 주기적안전성평가의 경년열화 평가를 시범적으로 수행하였다.

2. 본론

본 논문에서는 중수형 원전의 냉각재 계통과 정지냉각 계통내 안전관련 SSC 또는 안전기능에 영향을 줄 수 있는 비-안전관련 SSC 중 능동형 기기를 대상으로 계통별 기능을 분석하였다. 위험도 분석에서 도출된 중요 SSC에 대해 정량적인 성능기준을 설정하여 성능평가 및 감시를 수행함으로써 안전성을 향상시킬 수 있는 체계적인 방법과 평가사례를 제시하였다. 주기적 안전성평가의 능동형 기기 평가 흐름도는 그림 1과 같다.

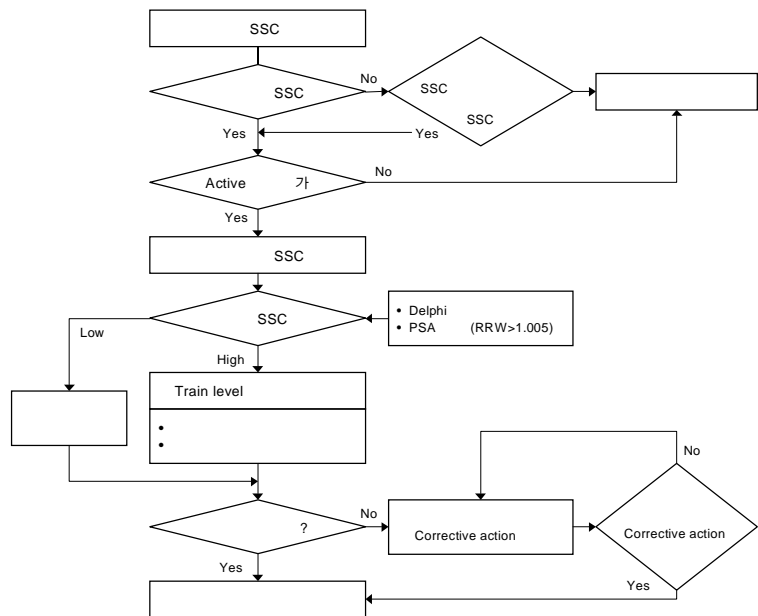


그림 1 능동형 기기 평가 흐름도

2.1 위험도 분석

위험도 분석의 목적은 SSC별 감시수준을 결정하기 위한 것으로 평가 대상 기기를 고 위험도(Risk significant) 또는 저 위험도(Non-risk significant)로 분류하게 된다. 고 위험도 기기는 계열 성능기준 설정 대상이 되며 저 위험도 기기는 발전소 수준 성능기준 설정 대상이 된다. 본고에서는 위험도에 미치는 영향이 큰 기기를 선정하기 위해 평가대상 계통별 기능을 정리하여 각 계통별 기능 중에서 안전관련 여부를 판단하였다. 이때 사용된 기준은 다음과 같이 Q1 ~ Q6 으로 구분하였다.

- Q1. 원자로냉각재 압력경계 유지를 위한 안전관련 SSC
- Q2. 원자로의 안전정지 유지를 위한 안전관련 SSC
- Q3. 10CFR100 기준에 상응하는 소외피폭을 유발하는 사고를 방지하고 완화하는데 필요한 안전관련 SSC
- Q4. 사고 또는 과도상태를 완화시키거나 비상 절차서에서 사용되는 비안전관련 SSC
- Q5. 고장발생시 안전관련 SSC의 기능을 저해할 수 있는 비안전관련 SSC
- Q6. 고장발생시 원자로의 정지 또는 안전계통의 작동이 유발되는 비안전관련 SSC

상기 6개 항목 중 하나라도 해당되는 경우 성능기준 설정 대상이 되며 계통별로 선정된 기능 중 고 위험도 기기를 판단하기 위해 다음 두 가지 사항을 만족하는 지 여부를 판단하였다. 아래 2개 항목 중 어느 하나라도 만족하면 계열수준 성능기준(이용불능도 및 신뢰도 성능기준) 설정 대상이 되며 그렇지 않은 경우 발전소 수준의 성능기준 설정대상이 된다.

- Q7. PSA 결과로부터 안전성 영향이 큰 SSC (RRW>1.005)
- Q8. 대기중인 SSC

상기 절차에 따라 성능기준 설정 대상여부 및 위험도 정도를 평가한 결과는 표 1과 같다. 표 1과 같이 냉각재 및 정지냉각계통은 모두 안전관련 기능을 담당하며 위험도 감소 값이 1.005 이상이거나 대기상태 기기이므로 계열수준의 성능기준을 설정해야 한다[2]. 이러한 기능을 담당하는 기기는 냉각재펌프, 정지냉각펌프, 정지냉각 열교환기 온도조절 밸브, 정지냉각펌프 격리밸브 등이며 이들 기기는 계열수준 성능기준을 설정해야 하는 중요한 기기이므로 안전성 향상 및 성능유지를 위해 성능평가 및 정비관리가 중점적으로 이루어져야 하는 것들이다.

표 1 냉각재 및 정지냉각 계통의 위험도 분석결과

계통	기능 번호	기능	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	대상 여부	Q7	Q8	T/P ^[주]	주요 능동 기기
주냉각재 계통	PH- 1	원자로 핵연료 채널에서의 핵분열로 생성되는 열을 증기발생기로 전달	○						○	○		T	냉각재펌프 (4대)
	PH- 2	원자로 핵연료의 적절한 냉각 기능	○						○	○		T	
	PH- 3	주냉각재의 과압 보호	○						○	○		T	
	PH- 4	중수누설 최소화	○						○	○		T	
정지냉각 계통	PH- 5	약 6시간 내에 냉각재계통을 177°C(350°F)에서 54°C(130°F)로 냉각		○					○	○	○	T	정지냉각펌프 (2대) 격리밸브 (7개) 온도조절밸브 (2개)
	PH- 6	냉각재계통의 배수, 수위제어, 충수 수단 제공		○					○	○	○	T	
	PH- 7	정지냉각 운전중 냉각재 정화 기능		○					○	○	○	T	
	PH- 8	원자로 냉각재 계통 온도를 54°C로 계속 유지		○					○	○	○	T	
	PH- 9	냉각재계통 배수시 노심냉각 기능		○					○	○	○	T	
	PH-10	적남전물내 주증기관 손상시 운전 가능		○					○	○	○	T	
	PH-11	설계기준 지진 사고시 일차 압력경계 유지	○						○	○	○	T	
	PH-12	비정상조건에서 냉각재를 260°C에서부터 냉각	○	○					○	○	○	T	

[주] T : Train level, P : Plant level

2.2 고장이력 분석

선정된 기기들의 성능기준을 설정하기 위해 기기별 고장모드와 기기 고유의 고장확률 값을 분석하여야 한다. 고장 확률 값 분석을 위해서는 기기 고장모드 분석, 기기고장 데이터 수립이 필요하다.

2.2.1 기기 고장모드

고장모드는 기기 종류에 따라 다르다. 펌프의 고장모드는 요구 시 기동실패(/demand)와 운전 중 고장(/hour) 그리고 시험 및 정비에 의한 이용불능으로 구분하며, 밸브 류의 고장모드는 요구 시 열림/닫힘 실패(/demand)와 잘못 닫힘/열림(/hour)으로 구분한다. 펌프와 밸브는 요구 시 작동실패와 기능유지 실패의 두 가지 고장모드를 고려하여야 하나 밸브는 시험 및 정비에 의한 이용불능 고장모드는 고려하지 않는다.

2.2.2 기기 고장데이터 수립

성능기준을 설정하기 위해서는 기기별 고장모드에 해당하는 고장확률 데이터를 파악하여야 한다. 이러한 고장확률 데이터는 일반데이터(Generic Data)와 발전소 고유데이터(Plant Specific Data)로 구분된다. 발전소 고유의 고장확률 데이터가 존재 하지 않는 경우는 표 2에 제시한 바와 같은 미국 EPRI의 URD(Utility Requirement Document)의 일반데이터를 이용할 수 있으나, 신뢰도를 향상시키기 위해서는 발전소 고유의 고장확률 데이터를 사용하는 것이 바람직하다.

발전소 고유의 고장확률 값을 적용하여 성능기준을 설정하기 위해서는 표 2의 일반데

이터와 해당 기기별 고장이력을 기초로 베이지안(Bayesian) 방법을 이용하여야 한다. 수학적으로 베이지안은 식 (1)과 같이 표현된다.

$$P(X|E,E_0) = K^{-1}L(E|X,E_0)P(X|E_0) \quad (1)$$

여기서, $P(X|E,E_0)$ 는 새로운 증거 E와 선행지식 E_0 에 비추어 볼 때 알려지지 않은 수치 X가 실제 값일 확률이고 $L(E|X,E_0)$ 는 실제 값이 X라고 가정한 상태에서 새로운 증거 E의 가능성을 나타내는 함수이며 $P(X|E_0)$ 는 현 지식에 기초하여 X가 참값일 확률이고 E_0 는 E를 얻기 전의 선행지식을 나타낸다. K는 정규화 인자로 식 (2)와 같이 정의된다.

$$\int_{\text{all } x} L(E|X,E_0)P(X|E_0)dx \quad (2)$$

가능성 함수 $L(E|X,E_0)$ 은 일반적으로 요구 시 작동실패의 경우에는 이항분포를, 기능유지 실패의 경우에는 포와슨(Poisson) 분포를 가정한다. 이항분포와 포와슨 분포의 식은 각각 다음과 같다.

$$\text{이항분포 : } P(r) = \frac{n!}{r!(n-r)!} p^r (1-p)^{n-r} \quad (3)$$

$$\text{포와슨 분포 : } P(r) = \frac{(\lambda T)^r}{r!} e^{-\lambda T} \quad (4)$$

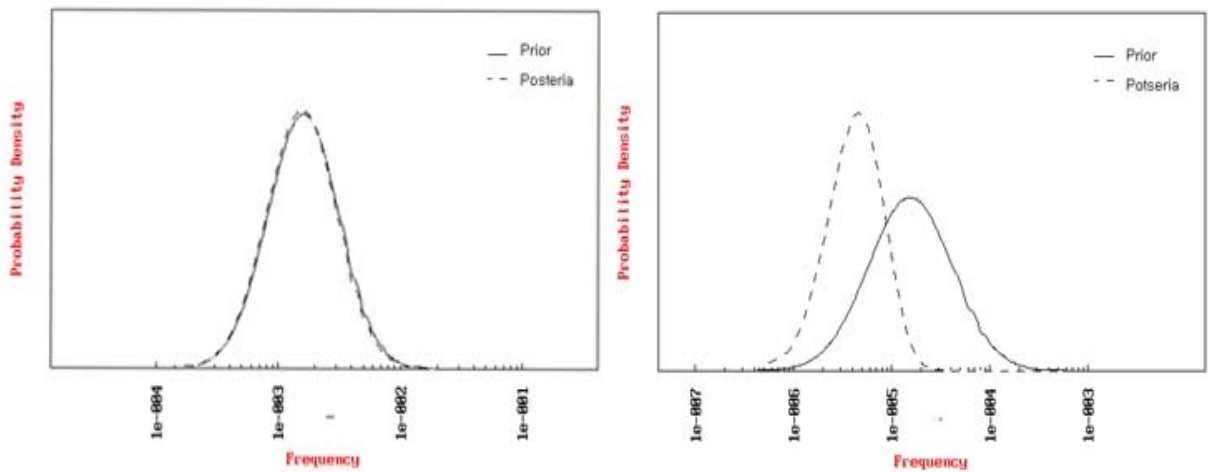
여기서, n은 총 작동요구수, r은 실패회수, p는 실패확률, λ 는 고장율, T는 작동시간을 의미한다[3].

표 2 기기별 고장모드 및 고장확률에 대한 일반데이터

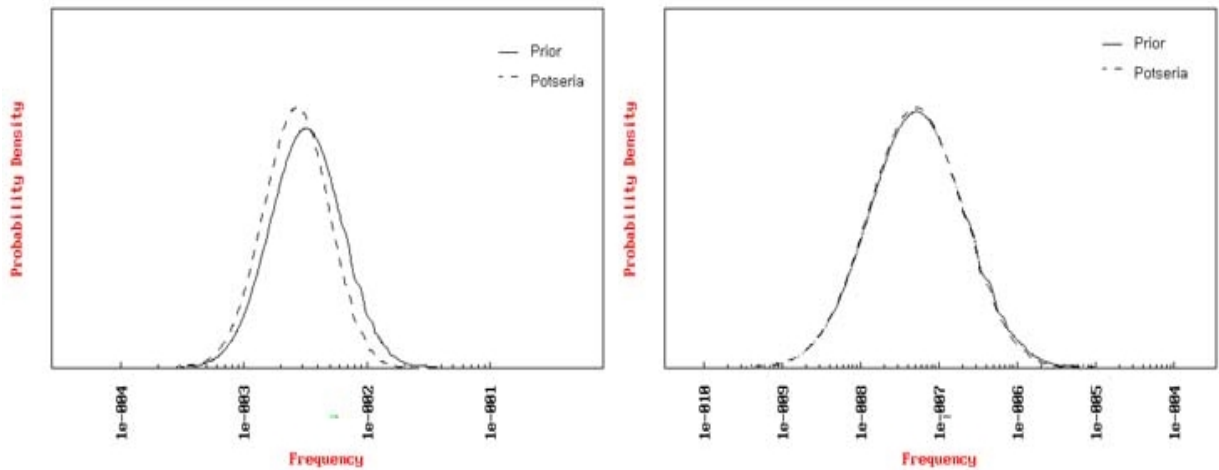
대상기기	고장모드	고장확률 데이터(EPRI URD)		Range Factor	Multiplier
		Mean	Median		
펌프(전동)	요구시 기동실패	2.0E-3/d	1.6E-3/d	3	1.25
	운전중 고장	2.5E-5/h	1.6E-5/h	5	1.61
밸브(전동)	요구시 작동실패	4.0E-3/d	3.2E-3/d	3	1.25
	잘못 닫힘/열림	1.4E-7/h	5.2E-8/h	10	2.69
밸브(공압)	요구시 작동실패	2.0E-3/d	1.6E-3/d	3	1.25
	잘못 닫힘/열림	1.5E-7/h	5.6E-8/h	10	2.67

본 연구에서 평가 대상기기로 선정된 냉각재펌프와 정지냉각펌프 그리고 격리밸브와 온도조절밸브의 실제 고장확률 값을 산출하기 위해 최근 10년간의 고장 및 정비사례를 검토하여 기동실패 여부와 운전 중 고장으로 인한 발전 정지여부를 판단하였다. 분석결과, 냉각재펌프는 10년간 40회를 기동하여 272,000시간 운전하였으며 기동실패나 운전 중 고장은 발생되지 않았다. 정지냉각펌프는 10년간 80회를 기동하여 30,800시간 운전하였으며,

기동실패 사례는 없었으나 운전 중 고장으로 인하여 1회 정지된 바 있다. 정지냉각재 계통 내 격리밸브는 10년간 140회를 기동하여 215,600시간 운전하였으며, 기동실패나 운전 중 고장으로 발전소가 정지된 사례는 없었다. 온도조절밸브는 10년간 20회를 기동하여 30,800시간 운전하였으며, 기동실패나 운전 중 고장으로 발전소가 정지된 사례는 없었다. 본 연구의 평가대상 기기별 실제 고장횟수와 표 2의 EPRI URD 데이터를 식 (1)과 (2)의 베이저안을 이용하여 고유의 고장확률을 구한 결과는 그림 2와 3 및 표 3에 제시하였다.



(a) 기동실패 확률 변화량 (b) 운전중 고장확률 변화량
 그림 2 냉각재펌프의 고장확률 데이터 변화량



(a) 기동실패 확률 변화량 (b) 운전중 고장확률 변화량

그림 3 전동밸브의 고장확률 데이터 변화량

표 3 기기별 고장모드 및 발전소 고장확률 데이터

대상기기	고장모드	일반데이터	고장이력		고유의 고장확률 데이터	고장확률 값 변화량
			고장수	요구/시간		
냉각재펌프	요구시 기동실패	2.0E-3/d	0	40	1.92E-3/d	▽ 4%
	운전중 고장	2.5E-5/h	0	272,000	5.07E-6/h	▽80%
정지냉각펌프	요구시 작동실패	2.0E-3/d	0	80	1.84E-3/d	▽ 8%
	잘못 닫힘/열림	2.5E-5/h	1	30,800	2.51E-5/h	△0.4%
격리밸브(전동)	요구시 작동실패	4.0E-3/d	0	140	3.15E-3/d	▽21%
	잘못 닫힘/열림	1.4E-7/h	0	215,600	1.22E-7/h	▽13%
온도조절밸브(공압)	요구시 작동실패	2.0E-3/d	0	20	1.96E-3/d	▽ 2%
	잘못 닫힘/열림	1.5E-7/h	0	30,800	1.46E-7/h	▽2.7%

그림 2와 3에서 실선은 일반적인 고장확률이고 점선은 발전소 고장이력을 반영한 고유의 고장확률 값을 의미한다. 각 기기별 일반데이터에 대한 발전소 고유의 평균 고장확률의 변화량은 표 3에 제시하였다. 그림 2의 (a)와 그림 3의 (a), (b)의 경우는 실제 고장이력의 영향이 크지 않은 경우이며 그림 2의 (b)는 실제 고장이력을 반영하는 경우 고장확률 값이 크게 감소한 경우이다. 상기 결과에서 제시한 바와 같이 일반데이터에 실제 기기의 고장이력을 반영하는 경우, 고장이 없는 경우는 평균 고장확률 값이 감소하며, 고장 사례가 있는 경우에는 평균값이 증가하는 것을 알 수 있다. 이러한 결과로부터 고장이 발생하지 않은 경우의 데이터를 적용하는 경우에는 허용횟수가 감소할 것이므로 성능기준은 보수적으로 평가될 것이다.

2.3 성능기준 설정

위험도에 미치는 영향 정도에 따라 기기를 분류하여 영향이 큰 기기에 대해서는 계열 수준 성능기준을 설정하고, 위험도에 미치는 영향이 적은 기기는 발전소 전체 수준의 성능기준을 설정한다. 계열 수준 성능기준으로 사용되는 값은 신뢰도(reliability)와 이용도(availability)이다.

- 계열 수준 성능기준 : 위험도에 미치는 영향이 큰 SSC에 대해서는 계열수준 성능기준을 설정하여야 하며 이 경우는 이용불능도 성능기준과 신뢰도 기준 성능기준을 모두 도출한다. 이는 발전소 운전 2주기 정도 동안의 고장이력을 검토하여 설정하거나, 운전 이력이 짧은 발전소에 대해서는 편의상 PSA에서 사용된 가정이나 유사 발전소의 운전이력을 참고로 하여 성능기준을 설정할 수도 있다.
- 발전소 전체를 대상으로 한 성능기준 : 위험도에 미치는 영향이 작은 SSC에 대해서는 발전소 전체를 대상으로 한 성능기준을 설정한다.

성능기준 설정 시 필요한 경우에만 기기의 기능 실패 허용 수 또는 이용불능도로 성능기준을 설정한다. 이 때 성능기준이 발전소의 안전에 큰 영향을 미치지 않도록 발전소의 안전에 미치는 영향을 고려하여 기준을 설정한다.

2.3.1 계열수준 성능기준

계열수준 성능기준 평가대상 기기들 중 발전소 정상운전 동안에 대기상태에 있는 기기(예, 정지냉각펌프)에 대해서는 신뢰도 성능기준과 이용불능도 성능기준을 모두 설정하며, 발전소 정상운전 동안에 가동되고 있는 기기(예, 냉각재펌프)에 대해서는 정상운전 동안에 시험 또는 정비를 수행할 수 없으므로 이용불능도 성능기준은 불필요하여 신뢰도 성능기준만 설정한다. 밸브의 경우에는 펌프 등 다른 기기의 시험 및 정비에 종속되거나 일반적으로 밸브 단독의 시험 또는 정비의 중요도가 경미하므로 이용불능도 성능기준을 설정하지 않는다. 본고에서 계열수준 성능기준 평가대상으로 선정된 기기는 고장 시 계통기능에 미치는 영향이 큰 것으로 이러한 기기들의 성능기준은 신뢰도 기준과 이용불능도 기준으로 구분하여 아래와 같은 방법에 따라 평가하였다.

2.3.1.1 신뢰도 성능기준 설정

허용가능 실패 수 계산은 요구기준 및 시간기준 실패율을 동시에 고려할 수 있는 식 (4)와 같은 Poisson 확률밀도함수식을 적용하였다. 식 (4)에서 $P(r)$ 이 5% 이상, 누적확률밀도함수값이 95% 이상인 r 값을 허용가능 실패수로 정의한다.

본고에서 선정한 냉각재펌프 등 주요기기에 대해서 2년간 발생한 총 고장회수를 계산하여 식 (4)의 포와슨 분포를 이용하여 향후 허용할 수 있는 기동실패와 운전중 고장에 대한 허용기준을 도출한 결과는 표 4 및 그림 4~7과 같다.

표 4 신뢰도 성능기준 평가결과

계통	기기명	기기수	고장확률		운전이력(2년)		총 고장수	허용수 (n)	P(n) %	누적 P(n)%
			기동시	운전중	기동요구	운전시간				
냉각재계통	냉각재펌프	4	1.92E-3	5.07E-6	8	54,400	0.29	1	21.8	96.5
정지냉각계통	정지냉각펌프	2	1.84E-3	2.51E-5	16	6,160	0.18	1	15.3	98.5
	전동밸브	14	3.15E-3	1.22E-7	28	43,120	0.09	1	8.51	99.6
	공압밸브	2	1.96E-3	1.46E-7	4	6,160	0.01	0	99.1	99.1

그림 4, 5 및 6에 제시한 바와 같이 냉각재펌프, 정지냉각펌프 및 전동밸브류는 1회 고장 날 확률이 각각 5% 이상이고 누적 확률 값이 95% 이상이므로 이들 기기의 고장횟수는 2년간 1회를 초과하지 않아야 한다. 그림 7에 나타낸 공압 밸브의 경우는 2년간 고장을 허용하지 않는 것으로 도출되었다.

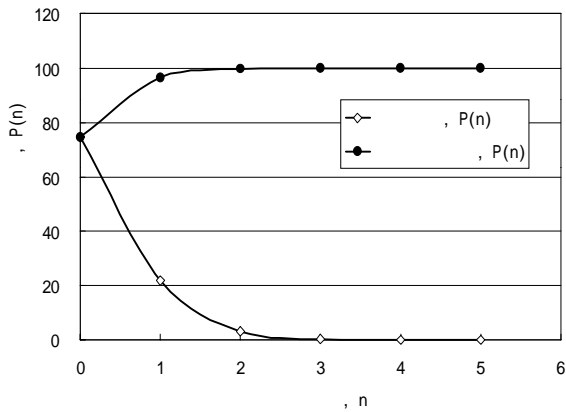


그림 4 냉각재펌프의 성능기준

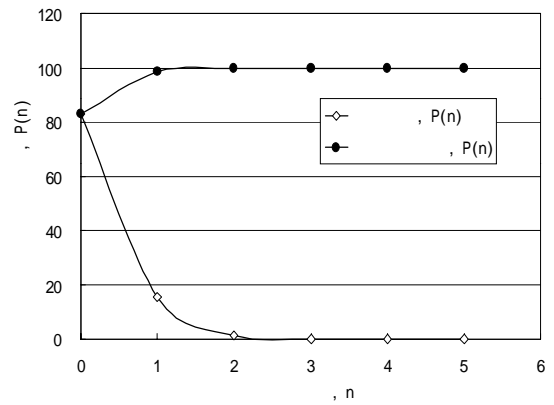


그림 5 정지냉각펌프의 성능기준

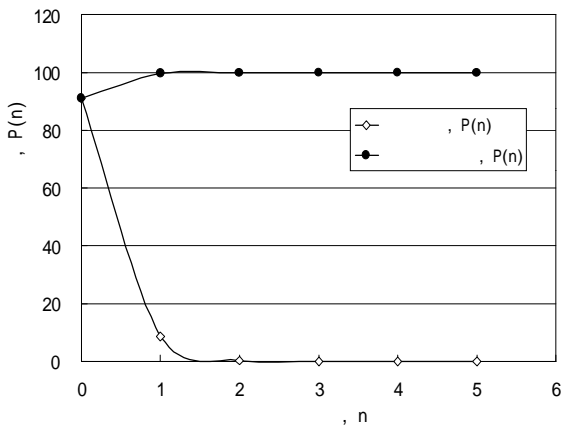


그림 6 격리밸브의 성능기준

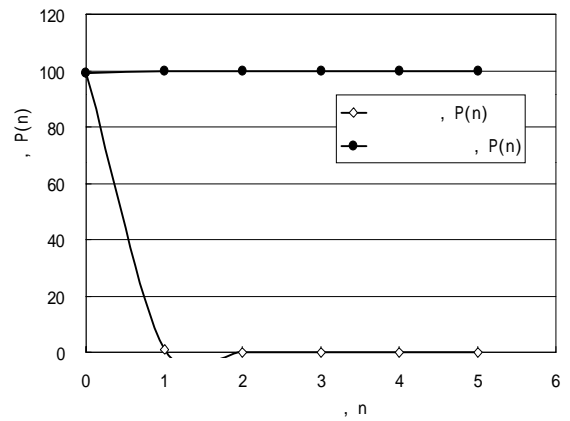


그림 7 온도조절밸브의 성능기준

2.3.1.2 이용불능도 성능기준 설정

이용 불능도 성능기준 설정 대상은 대기상태 기기로서, 이용 불능도는 과거에 발생했던 사건이 미래에 발생할 사건과 연관이 많을 것이라는 가정 하에, 최근 2년 동안의 고장이력으로 정비 이용 불능도를 평가하여 이용불능도 성능기준을 설정한다. 위험도에 미치는 영향이 큰 것으로 선정되는 각 계통기능에 대한 이용불능도 성능기준을 PSA에서 가정한 이용불능시간과 최근 2년 동안에 발견되는 단위 최대 이용불능 시간을 비교하여 결정한다. 이때, 최근 2년 동안의 이용 불능도는 기기의 이용불능시간 (Out of Service Time ; OOS Time)을 계산한 것이다. 본고에서 평가한 대기상태 기기는 정지냉각펌프가 유일하며 이 경우는 시험 및 정비로 인한 이용불능시간을 도출하여 설정하였다. 최근 2년 동안 정지냉각펌프 1대에서의 이용 불능도가 2.0E-3으로 도출되는 경우 이용불능시간은 아래와 같다.

$$2E-3/\text{대} \cdot \text{년} \times 2\text{년} \times 1\text{대} \times 8,760\text{h} = 35 \text{ 시간}$$

상기의 결과에 의하면 2년간 시험 및 정비에 의한 이용불능 시간이 계열 당 35시간을 초과하지 않아야 함을 의미한다.

2.3.2 발전소 수준의 성능기준 설정

발전소 전체를 대상으로 한 성능기준은 위험도에 미치는 영향이 작은 SSC를 대상으로 한다. 즉 계열수준의 성능기준이 설정되는 기기를 제외한 모든 대상기에 적용된다. NUMARC 93-01[2]에서는 발전소 수준의 성능기준을 7,000시간 동안의 발전소 정지(자동 및 수동) 회수, 출력감발 사건 수 또는 안전계통의 부주의한 작동 회수로 정할 것을 권고하고 있다[3]. 이 외에도 규제기관이나 산업계가 인정하는 다른 지수로도 성능기준을 설정할 수 있다. INPO에서 제시한 발전소 수준의 성능기준은 다음과 같다.

- 2년간 발전소 자동/수동 불시정지 : 2회 이하
- 2년간 안전계통 불시작동 : 2회 이하
- 2년간 20% 이상의 출력 불시감발 : 4회 이하

2.4 성능평가 및 감시

주기적안전성평가의 능동형 기기 경년열화평가에서는 과거 10년 운전이력을 토대로 설정한 성능기준을 기준으로 최근 2년간의 고장이력을 검토하여 성능기준을 초과하였는지를 판단하였다. 일반적으로 고장이력의 종류는 사소한 초기이상, 예방정비로 인한 정지, 성능저하를 야기할 수 있는 고장 그리고 발전소 정지를 야기할 수 있는 기능실패로 구분한다. 성능기준을 초과하였는지를 판단하기 위해서는 상기 고장종류 중 기능실패(기능고장) 여부만 판단하므로 고장 이력을 통해 고장 형태를 분석하는 일이 중요하다. 고장이력 중 기능실패 여부를 판단한 대표적인 기준은 다음과 같다.

- 정상 운전 시에 작동되는 기능 중에서 원자로 정지나 안전계통 작동에 관련이 있는 기능의 고장은 기능 고장으로 고려
- 사고나 불시 정지 시에 사고 완화 기능을 제공하는 정상 운전 시 작동계통에 대해서는 기능 용량(functional capacity)의 감소나 한 트레인의 상실은 기능 상실로 고려
- 시험 중의 고장에 대해서는 기술지침서에서 요구하는 운전조건이나 기준을 만족시키는 고장은 기능 실패로 간주하지 않음
- 성능저하로 인해 정비 조치가 필요한 경우, 고장 전에 기기를 Out of Service 시키는 것은 기능 실패로 간주하지 않고 이용불능으로 고려

상기 기능고장 기준에 따라 냉각재 계통과 정지냉각 계통 내 펌프 및 밸브에 대한 최근 2년간의 고장이력 조사결과 냉각재펌프에서는 어떠한 고장도 발생되지 않았으며, 정지냉각펌프에서는 운전 중 진동이 증가하여 이음이 1회 발생한 적이 있으나 이는 사소한 고장으로 기능고장과는 관련이 없는 사항으로 판별하였다. 밸브의 경우도 Gland Packing 조임 불량으로 외부 누설이 발견되어 성능이 저하될 것으로 판단된 바 있으나 이 경우도 조치가 곧바로 취해졌으며 기능고장과는 관계가 없는 것으로 판명되었다. 냉각재펌프와 정지냉각펌프 및 밸브에 대한 평가결과 성능기준을 만족하고 있는 것으로 나타났다.

2.5 현 정비관리 현황 검토 및 권고사항 도출

능동형 기기에 대한 주기적안전성평가 수행 시 성능기준 및 성능평가 결과를 토대로 안전운전을 위한 권고사항을 도출하며 이를 위해 현재 발전소에서 수행하고 있는 기기별 정비현황을 검토하였다. 본고에서 평가한 냉각재 계통과 정지냉각 계통내 기기들은 주기적으로 정비 및 시험절차에 따라 정비와 시험을 수행하여 이러한 기기에서 발생할 수 있는 고장이나 손상을 미연에 방지하고 있다.

본고에서 평가한 펌프 류의 고장이력 조사결과, 펌프에서 발생한 대부분의 고장 종류와 원인은 펌프 자체의 손상보다는 유회유 압력 증가나 벨트 파손 등과 같은 사소한 사건들이며 이러한 고장은 주기적인 펌프 분해 점검을 통하여 사전에 방지하거나 적절하게 관리되고 있으므로 현 정비체제로서 상기 펌프에 대한 관리가 가능할 것으로 판단된다.

밸브의 고장이력을 조사한 결과 밸브에서 발생한 공통적인 고장으로는 외부누설, 작동불량 및 개폐불능 등이었으며 이러한 고장 중 상대적으로 빈도수가 많은 외부누설은 발생 전이나 후에 밸브의 분해점검이나 볼트 조임 등을 통해 건전성을 유지하고 있다. 또한 작동불량은 고장 발생시 관련 부품의 교체 등으로부터 건전성을 확보하고 있으며, 기능실패와 관련 없는 고장이므로 현 정비체제로 경년열화 관리가 가능할 것으로 판단한다.

본 평가대상기기에서는 발생하지 않았지만 기능 고장에 해당되는 개폐불능이 발생하는 경우는 현재의 정비주기를 허용 이용불능도 범위 내에서 적절히 조정할 필요가 있다. 이러한 정량적인 위험도 분석 및 성능평가를 토대로 능동형 기기 전체에 대해 현행 정비관리의 타당성을 확인할 수 있으며, 필요시 안전성 향상 등을 위한 구체적인 개선방안을 도출할 수 있을 것으로 예상된다.

3. 결 론

능동형 기기에 대한 경년열화평가 방법론을 설정하여 주기적안전성평가에 활용하였다. 발전소의 안전성 관련 능동형 기기를 도출하고 위험도 평가를 통해 고 위험도 기기와 저 위험도 기기를 분류하였다. 위험도가 높은 기기에 대해서는 개별적인 성능기준을 설정하여 발전소 고장이력을 분석한 성능평가를 수행하였다. 과거 10년 운전이력을 토대로 설정

한 성능기준을 기준으로 최근 2년간의 고장이력을 검토하여 성능기준을 초과하였는지를 판단하고 고장 이력을 통해 고장 유형을 분석하였다. 냉각재 계통과 정지냉각 계통 내 펌프 및 밸브에 대한 최근 2년간의 고장이력을 시범적으로 조사하여 성능기준을 평가한 결과 성능기준을 만족하고 있음이 확인되었다. 고장이력에서 확인된 고장은 현재의 주기적 시험 및 감시를 통해 도출된 것이며 주기적 부품교체를 통해 성능유지가 가능하므로 현 정비관리 방법이 적절한 것으로 평가되었다.

본 능동형 기기 성능평가 방법을 원자력발전소의 정비관리에 체계적으로 도입하면 주요 계통 및 기기의 정량적 운전 성능 관리가 가능하며 반복되는 고장유형을 도출하여 정비 방법이나 정비주기를 개선하는데 효과적으로 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

1. 10CFR 50.65, Requirement for Monitoring the Effectiveness of Maintenance at Nuclear Power Plants, U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1991.
2. NUMARC 93-01, Industry Guide for Monitoring the Effectiveness of Maintenance at Nuclear Power Plants. Rev. 1, Nuclear Management and Resource Council, 1993. 5.
3. KAERI/TR-1788, 정비규정 적용 방법 조사 및 적용연구, 한국원자력연구소, 황미정 외, 2001.