

원자력발전소 화재방호설비의 경년열화관리 평가

박준현

한국전력공사 전력연구원

Aging Management Evaluation of Fire Protection System in Nuclear Power Plants

Jun-Hyun Park

Korea Electric Power Research Institute

1. 서 론

1970~80년대에 건설된 원자력발전소는 대개 설계수명을 30년~40년으로 설정하였으며 이 설계수명 기간동안 발전소를 운전하는 것으로 운전면허를 받아왔다. 그러나 최근에는 고유가, 화석연료 사용에 따른 지구 온난화 등으로 인해 원자력발전소의 운전면허를 연장하여 계속 운전하는 것이 세계적인 추세이다. 이 같은 세계적인 추세를 받아들여 국내에도 계속운전에 대한 규정이 제정되어 운전면허 만료 이후에는 10년 단위로 계속운전 인허가를 받을 수 있도록 하였다. 현재 국내에서는 70년대에 운전을 시작한 고리원자력발전소 1호기가 향후 10년 동안 안전하게 운영될 수 있는지에 대한 계속운전 안전성 평가가 진행중이다.

계속운전의 안전성을 입증하는데 가장 중요한 요소는 '계속운전 기간동안 경년열화관리 방안이 적합하게 수립되어 있는가'이다. 각종 설비에서 발생하는 다양한 경년열화현상과 영향이 잘 파악되어 있고 계속운전 기간동안 이러한 경년열화를 관리하는 수단이 적절하게 마련되어 있다면 계속운전 기간동안에도 발전소가 안정적으로 운영 가능하다고 판단되기 때문이다. 또한 경년열화관리는 계속운전의 경제성과 밀접한 관련이 있다. 평상시에 경년열화가 잘 관리되어 설비 상태가 양호하다면 계속운전 설비투자 비용이 줄어들게 되어 계속운전 경제성이 향상되게 된다. 따라서 설비의 경년열화관리는 평상시 및 계속운전 기간동안에 설비의 안정적인 운영을 위해 필요할 뿐만 아니라 계속운전의 경제성을 향상시키기 위해서도 반드시 필요하다고 하겠다.

본 논문에서는 장기 가동중인 원자력발전소에서 화재방호설비 경년열화관리가 적절하게 이루어지고 있는지 그리고 계속운전에 대비하여 화재방호설비의 경년열화관리 방안이 적절하게 수립되어 있는지에 대한 평가 방법과 평가 결과를 수록하였다.

2. 경년열화관리 적합성 평가 절차

화재방호설비의 경년열화관리 평가 절차는 그림 1과 같이 나타낼 수 있다. 기준에 따라 평가대상 설비를 선정하고 각종 관련 자료를 검토하여 경년열화 진단 필요성을 판

단한다. 주기적 현장 진단이 이루어지고 있는 설비에 대해서는 별도의 경년열화 진단을 수행하지 않고 경년열화/손상 및 정비/교체이력 자료를 검토하여 경년열화 영향 평가를 수행한다. 설비 특성에 따라 경년열화 진단 방법 및 범위를 결정하고 일반점검을 수행하거나 필요시에는 추가적인 정밀진단을 수행한다. 이러한 경년열화 진단 자료를 반영하여 화재방호설비의 건전성 및 잔존수명을 평가하고 그 결과에 따라 적절한 경년열화관리방안을 수립하고 현장에 적용하게 된다. 또한 발전소에서 이행중인 경년열화관리 방안이 적합한지를 평가하고 개선방안을 도출하여 적용한다.

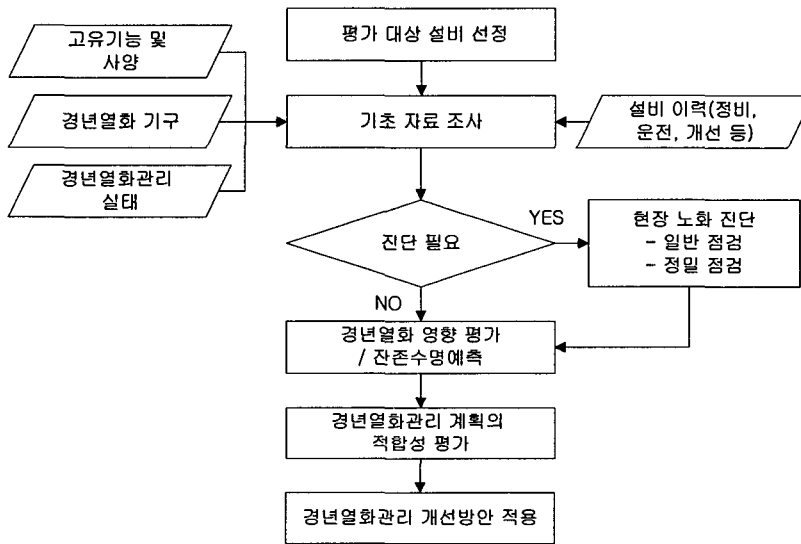


그림 1 경년열화관리 평가 절차

3. 평가 대상 설비 및 경년열화 영향

가. 평가 대상 설비

원자력발전소를 구성하는 계통 및 기기, 구조물 중의 상당 부분은 화재방호와 관련이 있다. 소화수계통처럼 순수하게 화재방호 용도로만 사용되는 설비가 있는 반면에 방화벽처럼 일차적인 목적이 건물의 하중을 지지하는 구조물인 경우도 있다. 방화문, 관통부 밀봉재는 구조물의 일부이며 방화댐퍼는 공기조화설비에 속한 기기이지만 모두 화재방호를 위해 설치된 설비이므로 평가대상에 포함시킨다. 본 경년열화관리 평가에서 대상 설비로 선정한 화재방호설비는 다음과 같다.

- 소화수계통 : 펌프, 배관 및 부속설비, 밸브 및 부속설비, 스프링클러헤드, 소화전
- 가스계소화설비 : 이산화탄소, 하론, 청정소화약제
- 포소화설비
- 공기조화설비 : 방화댐퍼
- 화재감지 및 경보설비
- 구조물 : 방화벽, 방화문, 관통부 밀봉재 등

나. 경년열화 현상 및 영향

위에서 선정된 화재방호설비에서 발생되고 있는 대표적인 경년열화 현상은 다음과 같다.

○ 일반부식에 의한 재료손실

일반부식은 부식 환경하에서 전기적 반응에 의해 재료의 표면이 고르게 부식되는 현상이다. 그림 2는 지하에 매설된 소화수배관 외부의 부식상태를 보여주고 있다.

○ 미생물부식

미생물부식은 유체 속에 포함된 박테리아의 활동에 의해 표면에 부식이 발생하는 것으로 10~49℃의 온도에서 수처리되지 않은 물이 정체되거나 낮은 유속을 갖는 영역에서 주로 발생한다. 그림 3은 지하에 매설된 소화수 배관 내부의 부식상태를 보여주고 있다.

○ 콘크리트 방화벽의 경년열화

콘크리트 재료로 시공된 방화벽에 화학적 침해, 골재-알칼리반응과 같은 열화가 진행되어 균열, 탈락이 발생할 수 있다. 그림 4는 콘크리트 방화벽에서 발생한 균열 상태를 보여주고 있다.

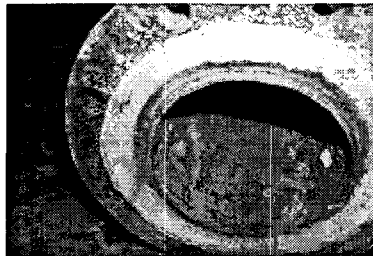
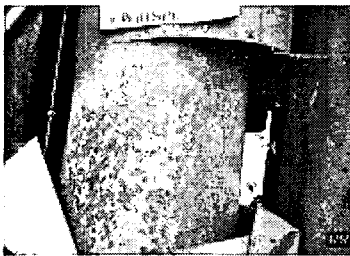


그림 2 소화수배관 외부 부식

그림 3 소화수배관 내부 부식

그림 4 방화벽 균열 상태

○ 방화벽 관통부 밀봉제의 경년열화

밀봉제 재료로 사용되는 실리콘폼은 시간이 경과함에 따라 풍화작용에 의한 균열, 재료손실 등이 발생할 수 있다. 그림 5는 밀봉제의 손상 상태를 보여주고 있다.

○ 마모/일반부식에 의한 방화문 재료손실

방화문에서는 계속적인 반복 사용으로 인한 금속 부위의 마모와 일반부식으로 인한 재료손실이 발생할 수 있다. 그림 6은 방화문 경첩의 손상 상태를 보여주고 있다.

○ 스프링클러 헤드 오작동

외부하중, 열, 진동 등이 작용하여 헤드 자체의 변형 등으로 인한 오작동이 발생할 수 있다. 그림 7은 오작동된 헤드의 분해된 모습을 보여주고 있다.

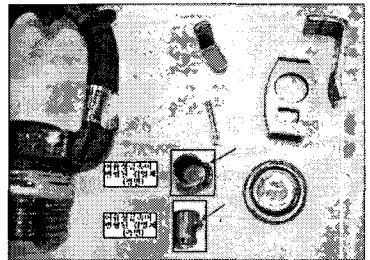
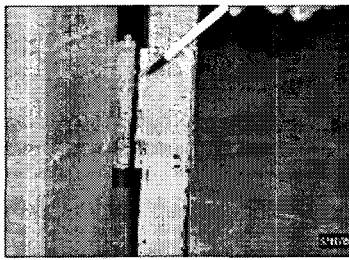
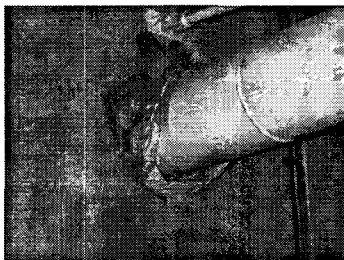


그림 5 관통부 밀봉제 손상

그림 6 방화문 경첩의 손상

그림 7 스프링클러헤드 분해

화재방호설비의 재료, 운전 환경, 경년열화 기구, 경년열화로 인한 설비 영향 등에 대한 검토 내용은 표 1에 나타내었다.

표 1 화재방호설비의 경년열화 영향 검토

기기명	부속기기 그룹	재료/환경	경년열화 영향/기구	분석내용
펌프	압력계계	탄소강/청수	재료손실/일반부식	○건물 대기환경에 포함된 습분, 밀봉부에서의 누설 등에 기인한 일반부식이 발생할 수 있음
밸브	밸브몸체	탄소강/청수	재료손실/일반부식	○건물 대기환경에 포함된 습분, 밀봉부에서의 누설 등에 기인한 일반부식이 발생할 수 있음
배관	매설배관	탄소강/청수(내부), 도양(외부)	재료손실/일반부식, 미생물부식	○도양, 지하수에 의한 일반부식이 발생할 수 있음. 매설배관의 외부 코팅은 양호하나 물이 정체된 배관에서 미생물 부식 발생가능성 있음
	비매설배관	탄소강/청수(내부), 대기(외부)	재료손실/일반부식, 미생물부식	○건물 대기환경에 포함된 습분에 기인한 일반부식이 발생할 수 있음. 물이 정체된 배관에서 미생물 부식 발생가능성 있음
배관지시대		탄소강/대기	재료손실/일반부식	○건물 대기환경에 포함된 습분 등에 기인한 일반부식이 발생할 수 있음
스프링클러 헤드		황동, 스테인레스강/공기, 청수	변형, 오작동/외부하중	○배관내 이물질 유입, 부식 생성물 등에 의한 스프링클러 노즐 막힘 발생 가능 ○외부하중, 열, 진동 등이 작용하여 헤드 자체의 변형 등으로 인한 오작동 가능성 있음
방화 덮퍼		스테인레스강/공기	해당 없음	○관리해야 하는 경년열화영향/기구 없음
방화벽, 천정, 바닥		콘크리트	균열, 탈락/화학적 침해, 골재-알칼리 반응	○부분적으로 균열이 발생하고 있으나 검사/정비를 통해 적절하게 관리되고 있음
방화벽 관통부 밀봉재		실리콘폼, 모르타르, 탄소강/공기	재료손실, 수축, 균열/풍화작용	○풍화작용에 의한 재료 자체의 열화 발생함 ○케이블 재포설후 밀봉재 원상회복 불량과 같은 인위적인 손상 발생 가능함
방화문		탄소강/공기	재료손실/마모, 일반부식	○방화문의 지속적 사용에 의한 마모, 대기 환경에 의한 도장 탈락 및 일반부식 발생함

4. 경년열화관리 적합성 평가

발전소에서 이 행되고 있는 화재방호설비 정기점검, 시험, 진단 등 경년열화관리 프로그램을 분석하고 그 유효성과 계속운전을 위해 보완되어야 할 사항을 검토하였다.

가. 화재방호설비 점검 현황

화재방호설비의 점검 내용과 주기는 해당 발전소에 적용된 기술기준, 코드, 인허가 조건 등에 따라 발전소별로 부분적으로 다르다. 경년열화관리 평가 대상인 원자력발전소에서 이루어지고 있는 정기점검, 시험 등은 표 2와 같다. 표 2에 기술된 점검 내용은 계속운전과 관계없이 발전소에서 일상적으로 적용중인 사항이다.

표 2 화재방호설비 점검 내용

점검 내용	점검 주기	점검 내용	점검 주기
디젤구동 소방펌프 디젤엔진 점검	12개월	하론/CO ₂ 설비 외관점검	1개월
소화수 펌프 기동회로 시험	6개월	하론/CO ₂ 설비 작동 및 기능 점검	12개월
소화수 펌프 성능시험	12개월	하론/CO ₂ 설비 종합 정밀점검	12개월
밸브 전행정 작동시험	12개월	포소화설비 작동 및 기능 점검	12개월
		포소화설비 종합 정밀점검	12개월
옥내소화전 호스점검/호스수압시험	18개월	자동화재 경보설비 외관점검	1개월
옥내소화전 유량시험	3년	자동화재 경보설비 작동 및 기능점검	12개월
옥외소화전 호스점검, 호스수압시험	12개월	자동화재 경보설비 종합 정밀점검	12개월
옥외소화전 유량시험	12개월		
소화수 분출밸브(Deluge) 시험	6개월	방화문 주간 점검(잠김상태)	1주
소화전 플러싱	6개월	방화문 기능점검	6개월
스프링클러 소화설비 작동 및 기능점검	12개월		
스프링클러 소화설비 종합 정밀점검	12개월	방화담퍼 육안점검	18개월
스프링클러 헤더 공기흐름 시험	12개월	방화벽 관통부 밀봉재 육안점검	매년 20%
살수 및 스프링클러 헤드의 육안점검	18개월		

나. 경년열화관리 적합성 평가

표 2에서 나타낸 점검 내용이 발전소 계속운전 기간동안 화재방호설비의 경년열화를 관리하기에 적합한지를 평가하였다.

○ 일반부식/미생물부식

펌프, 배관 내부에서 발생하는 일반부식, 미생물부식은 펌프/배관의 유량시험, 플러싱, 배관의 두께 측정 등을 통해 관리가 가능하다. NFPA 25에서는 배관의 일반부식 및 미생물부식 관리를 위해 계통 압력과 유량 그리고 배관 감속 관리를 지속적으로 수행할 것을 요구하고 있다. 현재 해당 발전소의 시험 및 점검 절차는 NFPA 25 요건을 만족시키고 있다.

○ 매설배관 관리

지하에 매설된 소화수배관은 경년열화를 확인하고 관리하기가 용이하지 않다. 발전소에서 어떠한 이유로 소화수 배관이 매설된 지역을 굴착하는 기회가 발생하면 배관 외부의 코팅상태와 부식상태를 확인하여야 한다. 가능하다면 배관내부의 미생물부식 진행상태를 확인하는 것이 바람직하다.

○ 스프링클러 헤드

NFPA 25에서 스프링클러 헤드는 설치후 50년이 되기 전에 표본을 추출하여 건전성을 시험하고 그 이후로는 10년 간격으로 표본을 채취하여 시험할 것을 요구하고 있다. 다른 방안으로는 50년 이전에 스프링클러 헤드 전량을 교체하는 것이다. 해당 발전소에는 스프링클러 헤드에 대한 경년열화관리 방안이 수립되어 있지 않으므로 개선이 필요하다.

○ 방화문은 6개월 단위로 기능점검이 이루어지고 있으므로 마모/일반부식은 계속운전 기간동안 적절히 관리될 수 있다. 콘크리트 방화벽의 경년열화는 ‘안전성 콘크리트 구조물 점검’ 절차에 따라 주기적으로 관리되고 있다. 방화벽 관통부 밀봉재의 경우에는 ‘방화벽 관통부 점검’ 절차에 적합하게 관리되고 있다.

5. 결 론

장기 가동중인 원자력발전소에서 화재방호설비 경년열화관리가 적합하게 이루어지고 있는지 그리고 계속운전에 대비한 경년열화관리 방안이 적절하게 수립되어 있는지에 대해 검토하였다. 화재방호설비에는 소화수, 토양 등과 접촉하는 배관의 일반부식 및 미생물부식, 방화벽 관통부 밀봉재에서 발생하는 풍화작용 등에 대한 평가와 관리가 필요한 것으로 나타났으며 주요 결과는 다음과 같다.

- 펌프, 배관 내외부에서 발생하는 일반부식, 미생물부식은 펌프/배관의 유량시험, 플러싱, 배관의 두께 측정, 분해시 상태 점검 등 발전소에서 현재 적용중인 절차서, 시험을 통해 관리가 가능하다.
- 스프링클러 헤드는 계속운전 이전에 표본을 추출하여 건전성을 시험하고 그 이후로는 10년 단위로 시험을 하거나 또는 계속운전 이전에 스프링클러 헤드 전량을 교체하도록 경년열화관리 개선이 필요하다.
- 지하에 매설된 소화수배관에 대해서는 토양을 굴착하는 기회가 발생할 때마다 소화수배관 외부의 부식상태를 확인하도록 경년열화관리 개선이 필요하다.
- 방화벽, 방화문, 방화벽 관통부 밀봉재는 계속운전 기간동안 현행 절차를 통해 경년열화관리가 가능하다.

6. 참고문헌

1. 한수원(주), 고리1호기 주기적안전성평가, 2002.11
2. 한수원(주), 00NJ15, 월성1호기 수명관리 연구(I), 2003.5
3. 한수원(주), 04NE01, 고리1/월성1호기 방화벽 관통부 성능평가, 2006.3
4. 전력연구원, TM.S01.S2006.190, 월성1호기 비상전력공급설비(EPS) 지역 스프링클러 헤드 시험 및 분석, 2006.3
5. USNRC, Fire Protection for Operating Nuclear Power Plants, RG 1.189, April, 2001
6. USNRC, Generic Aging Lessons Learned (GALL) Report, NUREG-1801, 2005