



장기 가동 원전 경년열화 통합 관리 시스템 구축 운영

정 일 석

한국수력원자력(주) 중앙연구원 기계재료연구소장

배경 및 기술 기준



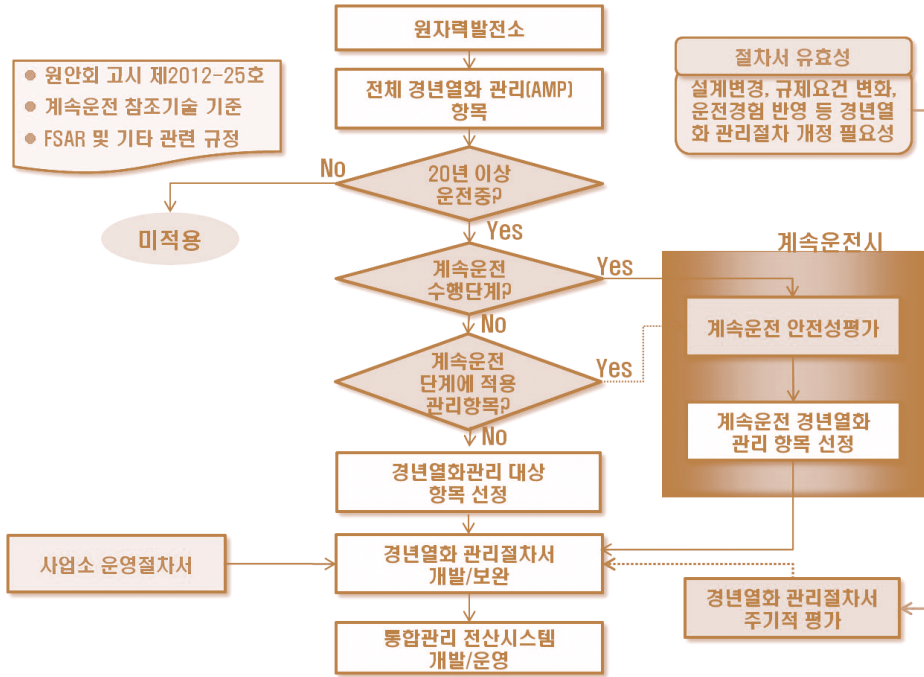
부산대 기계공학과 졸업
충남대 대학원 기계공학 석사, 박사

IAEA 원전수명관리 실무그룹 한국 대표
한국압력기기공학회 용접 및 제작
분과 분과장
지식경제부 기술표준원
원전설계기준전문위원회 위원
한수원 중앙연구원
기계재료연구소 소장(2012~)

한국수력원자력(주)는 장기 가동 원전 주요 기기의 경년열화 관리를 체계적으로 수행하기 위해 경년열화 통합 관리 시스템을 구축하고 본격적인 운영에 착수하였다.

국내 원전 경년열화 관리는 원자력안전위원회(원안위) 고시 2011-25(원자로시설의 계속운전 평가를 위한 기술기준 적용에 관한 지침)에 따라 계속운전 원전을 대상으로 적용토록 되어 있으나 후쿠시마 사고를 계기로 2011년도에 수행한 국내 원전 안전 점검에서 20년 이상 장기 가동 원전의 경년열화 관리 중요성이 대두되어 50여 개선 항목 중 하나로 선정되었다.

교육과학기술부는 사업주인 한국수력원자력(주)에게 ‘20년 이상 가동 원전의 경년열화 관리 계획을 수립, 이행하고 정기 검사에서 입증’하도록 권고하였다. 따라서 한국수력원자력(주)는 경년열화 관리계획 수립 이행을 위해 20년 이상 가동 원전 9기(고리 1,2,3,4호기, 월성 1호기, 영광 1,2호기, 울진 1,2호기)에 대해 경년열화 통합 관리 지침 및 진단 시스템을 구축하였다. 본 경년열화 통합 관리 시스템은 원자력안전위원회 고시 2011-25뿐만 아니라 미국 NRC가 발행한 계속운전 기술 기준 NUREG-1801 GALL Report Rev.2, IAEA Safety Report Series No.15 등을 참조하여 2011년부터 개발을 시작, 2012년 말에 완성하고 현재 해당 원전에서 운영 중에 있다.



〈그림 1〉 경년열화 관리 프로그램 개발 흐름도

〈표 1〉 원안위 고시기준 경년열화 관리 항목(가압경수로)

경년열화 관리 항목(원안위 고시 제2012-25호)	
01. 안전등급 1,2,3 기기 가동중검사	21. 연료유 화학
02. 안전등급 지지대 가동중검사	22. 개방형 냉각수 순환계통
03. 일회검사	23. 밀폐형 냉각수 순환계통
04. 원자로용기 감시	24. 압축공기계통
05. 이물질 감시	25. 화재방호설비
06. 중성자 소음 감시	26. 소방수계통
07. 수화학	27. 격납건물 라이너 플레이트, 강제 격납용기
08. 봉산부식	28. 격납건물
09. 주조 오스테나이트 스테인리스강의 열취화	29. 격납건물 누설률 시험
10. 주조 오스테나이트 스테인리스강의 열에 의한 경년열화 및 중성자 조사취화	30. 조적벽
11. 유동가속 부식	31. 구조물
12. 재료의 선택적 침출	32. 원전 수리 구조물
13. 원자로 헤드 덮개 스택드	33. 원자로 방호도장
14. 니켈합금 노즐 및 관통부	34. EQ요건을 적용받지 않는 전기 케이블 및 비금속 연결부
15. 원자로용기 내부 구조물	35. EQ요건을 적용받지 않는 계속회로에 사용된 전기 케이블
16. 볼트결합 건전성	36. EQ요건을 적용받지 않는 접근 곤란한 중전압 케이블
17. 증기발생기 세관 건전성	37. 금속 밀폐형 모선
18. 천정의 대용량 및 소용량(핵연료 재장전 관련) 취급계통	38. 휴즈 홀더
19. 매설 배관 및 탱크 검사	39. EQ요건을 적용받지 않는 전기케이블 금속연결부
20. 지상의 탄소강 탱크	

경년열화 관리 항목

경년열화 통합 관리 시스템 구축은 〈그림 1〉과 같

은 프로세스로 수행되었다. 우선 원안위 고시 및 해외 기준 등을 참고하여 원전별 고유 관리 대상 항목을 도출하고 통합 지침 및 절차서를 개발하였다.

〈표 2〉 장기 가동 원전 경년열화 관리 항목 도출(예)

경년열화 관리프로그램	AMP 적용여부					비고(목록선정 사유)
	K1	K2	K34	Y12	U12	
01. 안전등급 1,2,3 기기 가동중검사	○	○	○	○	○	
02. 안전등급 지지대 가동중검사	○	○	○	○	○	
03. 일회검사	○	×	×	×	×	계속운전 직전 및 이후 적용항목
04. 원자로용기 감시	○	○	○	○	○	
05. 이물질 감시	○	×	×	×	×	GALL Report Rev.2 삭제항목 (due to lack of relevance : NRC 자료 참)
06. 중성자 소음 감시	○	×	×	×	×	GALL Report Rev.2 삭제항목 (due to lack of relevance : NRC 자료 참)
07. 수화학	○	○	○	○	○	
08. 봉산부식	○	○	○	○	○	
28. 격납건물	○	×	○	○	○	고리2호기의 경우 라이너플레이트 미해당
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
47. 내환경검증 TLAА 대상 전기케이블 및 기기	○	×	×	×	×	계속운전 직전 및 이후 적용항목
48. 피로감시	○	○	○	○	○	
합계	33개	34개	36개	36개	36개	

〈표 3〉 장기 가동 원전 경년열화 관리 항목 도출 결과

대상 원전	고리 1호기	월성 1호기	고리 2호기	고리 3,4 영광 1,2 울진 1,2
관리 항목	33개	39개	34개	36개

원안위 고시 2012-25에서는 계속운전 원전에서 관리되어야 하는 경년열화 관리 항목을 〈표 1〉과 같이 39개 항목으로 제시하고 있다.

고시에서 제시하고 있는 관리 항목은 NUREG-1801 GALL Report Rev.1을 참고하여 제정되었으나 2010년도에 Rev.2가 발행되면서 일부 관리 항목이 변경되었기 때문에 재검토가 필요하였다. 또한 고리 1호기 및 월성 1호기와 같이 계속운전 해당 원전과 나머지 20년 이상 가동 원전의 관리 항목이 다를 수 있기 때문에, 원안위 고시와 NUREG-1801 GALL Report Rev.2의 관리 항목을 비교 분석하여 국내 해당 원전별 최적 관리 항목을 도출하였으며 그 결과를 요약하면 〈표 2〉와 같다.

계속운전 중인 고리 1호기와 계속운전 인허가 중인 월성 1호기의 경우 인허가 당시 고시를 기반으로 관리 항목을 설정하였다. 나머지 원전의 경우에는 계속운전 시점에 수행되는 항목, 예를 들면 일회 검사 등은 제외하고 항목을 설정하였으며 계속운전 도래 시

점에 항목을 확장하여 관리할 수 있도록 개발하였다.

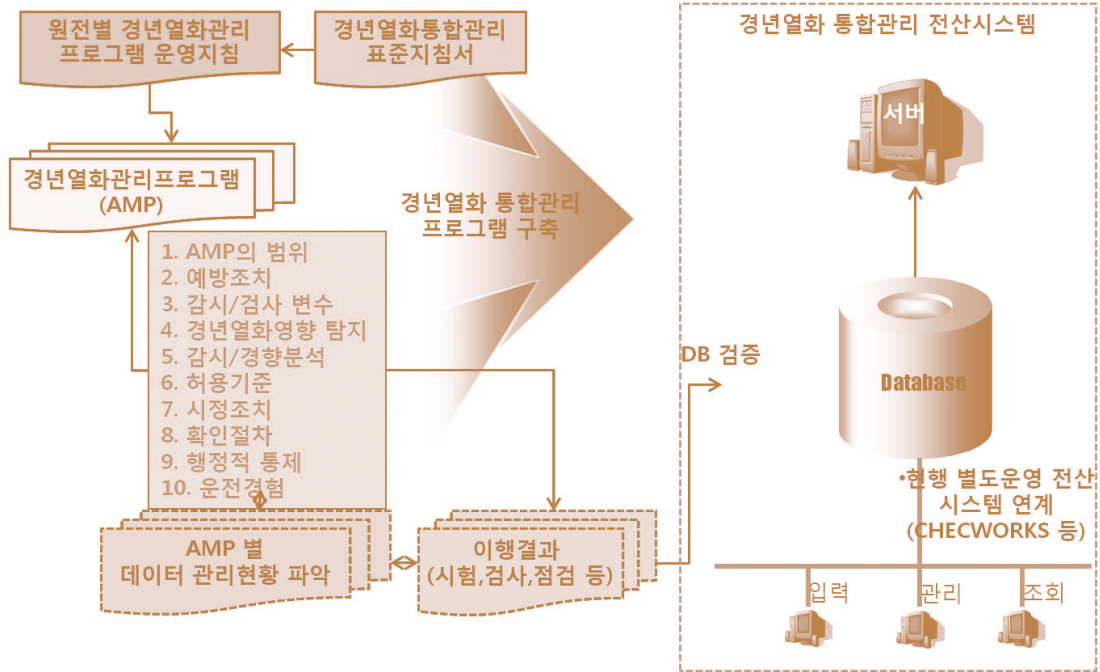
이와 같은 과정을 통해 도출된 장기 가동원전별 경년 열화 관리 대상 항목을 요약하면 〈표 3〉과 같다.

시스템 구성 및 내용

경년열화 통합 관리 시스템은 〈그림 2〉와 같이 3개 항목, 즉 경년열화 통합 관리 표준 지침서, 발전소별 경년열화 관리 프로그램 운영 지침 및 개별 경년열화 관리 프로그램 절차서, 경년열화 통합 관리 전산 시스템으로 구성된다.

▲ 경년열화 통합 관리 표준 지침서 : 20년 이상 가동 원전의 안전 관련 계통, 기기 및 구조물들이 시간 경과에 따라 그 재질 및 성능이 저하되는 정도를 감시, 평가하기 위하여, 개별 경년열화 관리 프로그램을 종합적으로 관리하며 전 원전에 공통으로 적용할 수 있는 표준 기술 행정 문서

▲ 발전소별 경년열화 관리 프로그램 운영 지침 및



〈그림 2〉 경년열화 통합 관리 시스템 구축 체계

개별 경년열화 관리 프로그램 절차서 : 원전별 경년열화 관리 프로그램 (AMP, aging management program)을 이행, 관리할 수 있는 운영절차서

▲ 경년열화 통합 관리 전산 시스템 : 이행 계획 및 실적 자료를 통합 관리하는 전산 프로그램 및 데이터베이스

경년열화 통합 관리 표준 지침서에는 경년열화 프로그램 관리 절차, 관리 항목 및 내용, 가동 원전별 미 적용 항목 및 사유 등을 기술하였으며, 발전소별 경년열화 관리 프로그램 운영 지침서는 사업소에서 체계적으로 경년열화 관리를 수행하는 데 필요한 내용으로 목적, 적용 범위, 운영 방법 등 공통 사항을 제시하였다.

그리고 경년열화 관리 10가지 속성(범위, 예방 조치, 감시/검사 변수, 항목별 세부 절차 및 방법, 허용 기준, 운전 경험 등)을 반영한 관리 대상 항목별 경년열화 관리 프로그램은 현행 발전소 운영절차서를 기반으로 하여 분야별로 연계되어 관리할 수 있도록 개발하였다.

일부 현행 발전소 운영절차서로 관리되지 않는 경우에는 신규로 절차서를 개발하였다. 따라서 기존 발전소 운영절차서를 근간으로 경년열화 관리를 체계적으로 수행하고 관리할 수 있도록 시스템을 구축하

였기 때문에 중복 관리는 최대한 배제하였다.

경년열화 통합 관리 전산시스템은 경년열화 관리 프로그램 10가지 속성을 반영한 이행 계획 및 실적을 언제든지 확인할 수 있는 시스템으로 〈그림 3〉과 〈그림 4〉에서 보는 바와 같이 경년열화 관리 정보, 수행 이력 및 운전 정보 등 각종 데이터가 구축되어 있으며, 이러한 데이터를 기반으로 통합 관리가 가능하도록 되어 있다.

경년열화 관리 정보에는 프로그램 목적 및 대상 범위를 포함하는 기본 정보와 기기명, 기능 위치, 경년열화 기구 등을 포함한 상세 정보가 제시되어 있으며, 수행 이력에는 이력 등록, 검색, 가동중 검사(ISI, In-Service Inspection) 수행 이력, 부적합 결함 보고서(CNF, Customer Notification Form) 발행 이력으로 구성되어 있다.

또한 운전 정보에는 국내외 주요 운전 경험, 규제 기관의 지적, 권고 사항 및 경년열화 관리 수행 결과를 제시한 평가 요약 보고서로 구성되어 현재의 계통, 구조물 및 기기들에 대한 경년열화 결과를 전산 시스템을 통하여 언제든지 확인할 수 있도록 하였다.

경년열화 통합 관리 시스템은 한국수력원자력(주)의 내부 업무 시스템에 웹 기반으로 구축되었으며, 현재 발전소 개별 경년열화 관리 담당자에 의해 계

아름다운 세상을 여는 친인간 에너지,
 살기좋은 사회를 여는 친환경 에너지

운영문의
 중앙연구원 기계재료팀
 원서열 0821-5539

시스템문의
 010-3151-8494

관련사이트

===== 선택하세요 =====

공지사항

- [필독]신규 개발 서버로 이전 하였습니다.
- 공지사항입니다.

Q&A

- 프로그램 보안 요청 (한전기술, 노회영)
- RE → RE : 처리되었습니다.
- 프로그램 보안 부탁드립니다.
- 프로그램 보안요청드립니다.(한전기술 김종섭)
- RE → RE : 처리되었습니다.
- AMP DB 관련 문의 드립니다. - 한전기술 김현우 -

〈그림 3〉 AMP 전산 시스템 - 초기 화면

The screenshot displays the AMP system's '수행이력' (Execution History) section. It shows a table of inspection records and a detailed report for the '고리원자력3호기 원자로용기 증상자 조사취화 제5차 대체감시자 설치 및 평가 최종보고서' (Final Report of the 5th In-Vessel Neutron Doimetry Installation and Evaluations for Kori Unit 3 Reactor Pressure Vessel). The report includes details such as the date (2012. 1), the inspector (김경익), and the reviewer (안화영).

검사완료일	검사결과	검사내용	검사결과 대응
2012-01-02	만족	원자로용기 증상자 조사취화 대체감시자 설치 및 평가...	해당사항 없음.
2009-10-02	만족	원자로 입력용기재료 감시시험 : 가압열송력 기준문...	해당사항 없음.

〈그림 4〉 AMP 전산 시스템 - 수행 이력

통, 구조물, 기기별로 경년열화 프로그램 수행 결과를 입력하여 DB로 관리하고 있다. 2013년부터 규제 기관은 정기 검사이시 경년열화 통합 관리 시스템에 대한 운영 적절성을 확인하고 있다.

기대 효과

장기 가동 원전의 경년열화 관리 강화를 위해 구축된 경년열화 통합 관리 시스템은 체계적이고 통합적

으로 해당 원전의 발전소 운영 업무와 연계하여 일상 업무로 수행토록 함으로써 원전 계통, 구조물 및 기기들의 고유 기능을 효과적으로 유지하고 관리가 가능하다.

따라서 실질적인 원전 안전성을 증진하고 발전 설비의 장기 가동 신뢰성을 제고할 수 있다.

또한 주기적 안전성 평가 및 계속운전 측면에서도 원전 경년열화에 대한 종합적인 상태를 확인할 수 있어 사회적 수용성 증대에도 이바지할 것으로 기대된다.