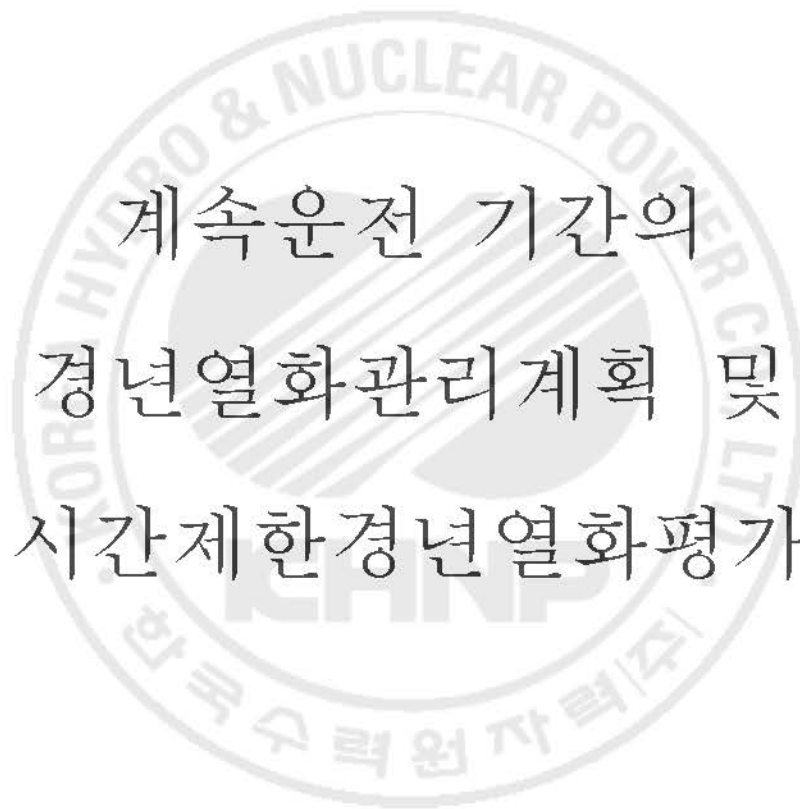


제 16 장

계속운전 기간의 경년열화관리계획 및 시간제한경년열화평가



월성 1호기 최종안전성분석보고서

목 차

페이지

16. 계속운전 기간의 경년열화관리계획 및 시간제한경년열화평가 16.1-1

16.1 경년열화관리계획 16.1-1

16.1.1	안전등급 기기 가동중검사	16.1-1
16.1.2	안전등급 지지대 가동중검사	16.1-1
16.1.3	일회검사	16.1-2
16.1.4	원자로집합체	16.1-2
16.1.5	연료채널	16.1-3 245
16.1.6	연료교환기	16.1-3
16.1.7	수화학	16.1-3
16.1.8	공급자관	16.1-4
16.1.9	손상연료 위치감시계통	16.1-4
16.1.10	유동가속부식	16.1-5
16.1.11	재료의 선택적 침출	16.1-5
16.1.12	환형기체계통	16.1-6
16.1.13	니켈합금 용접부	16.1-6 245
16.1.14	볼트결합 건전성	16.1-6
16.1.15	증기발생기 세관 건전성	16.1-7
16.1.16	크레인	16.1-7
16.1.17	매설배관 및 탱크 검사	16.1-8

월성 1호기 최종안전성분석보고서

목 차

	페이지
16.1.18 연료유 화학	16.1-8
16.1.19 중수관리	16.1-9
16.1.20 개방형 냉각수 순환계통	16.1-9
16.1.21 밀폐형 냉각수 순환계통	16.1-10
16.1.22 압축공기 계통	16.1-10
16.1.23 화재방호 설비	16.1-10
16.1.24 소방수계통	16.1-11
16.1.25 원자로건물 비금속라이너	16.1-11
16.1.26 원자로건물	16.1-12
16.1.27 원자로건물 누설률 시험	16.1-12
16.1.28 조적벽	16.1-13
16.1.29 구조물	16.1-13
16.1.30 원전 수리구조물	16.1-13
16.1.31 원자력 방호도장	16.1-14
16.1.32 환경검증 요건을 적용받지 않는 전기케이블 및 비금속 연결부	16.1-14
16.1.33 환경검증 요건을 적용받지 않는 계측회로에 사용된 전기 케이블 및 연결부	16.1-15
16.1.34 금속밀폐형모선	16.1-15
16.1.35 환경검증 요건을 적용받지 않는 전기케이블 금속 연결부	16.1-15
16.1.36 안전등급 1 소구경 배관 일회검사	16.1-16
16.1.37 외부표면감시	16.1-16
16.1.38 기타배관 및 덕트기기 내부표면 검사	16.1-17

월성 1호기 최종안전성분석보고서

목 차

	페이지
16.1.39 윤활유 분석	16.1-17
16.1.40 내환경검증 TLAA(3) 대상 전기 케이블 및 기기	16.1-17
16.1.41 피로감시	16.1-18
16.2 시간제한경년열화평가	16.2-1
16.2.1 시간제한 경년열화평가의 확인	16.2-1
16.2.2 원자로집합체 및 연료채널 수명평가	16.2-1
16.2.3 금속피로 평가	16.2-1
16.2.4 기기의 내환경검증	16.2-2
16.2.5 콘크리트 격납건물 텐돈 프리스트레스 평가	16.2-2
16.2.6 관통부 피로 평가	16.2-3
16.2.7 기기 및 배관 표면하 지시사항	16.2-3
16.3 기기의 동적 및 내진검증사항	16.3-1
16.4 참고문헌	16.4-1

월성 1호기 최종안전성분석보고서

16. 계속운전 기간의 경년열화관리계획 및 시간제한경년열화평가

16.1 경년열화관리계획

16.1.1 안전등급 기기 가동중검사

안전등급 기기 가동중검사 프로그램은 CAN/CSA 코드에 따른 가동중검사, 보수 및 교체 요건을 포함한다. 이 프로그램은 냉각재 압력경계부와 원자로 건물 경계부에 대한 가동중검사로 이루어진다. 냉각재 압력경계부에 대한 가동중검사는 CSA-N285.4-05에 따른 원자로시설의 용기, 배관, 펌프, 밸브, 부착물 등의 검사, 검사결과의 평가, 보수, 교체 및 변경 요건을 포함한다. 원자로건물 경계부에 대한 가동중검사는 CSA-N285.5-M90에 따른 관련 계통 배관 등의 누설방지, 구조적 건전성 및 운전성의 검사, 검사결과의 평가, 보수, 교체 및 변경 요건을 포함한다. 본 프로그램은 교육과학기술부 고시 제2009-37호(원자로.016)를 적용하며, 규제기관의 행정조치, 규제기관의 승인을 받은 보고서, 절차서 또는 이행조치 등을 포함한다. 기기의 건전성을 확인하는 가동중검사 프로그램의 이행을 통하여 계속운전기간 동안 안전등급 기기의 손상에 따른 건전성을 관리할 수 있다.

245

16.1.2 안전등급 지지대 가동중검사

안전등급 지지대 가동중검사 프로그램은 안전등급 지지대(방진기 포함)에 대한 가동중검사를 통해 지지대가 건전성을 유지하도록 하는 것이다. 본 프로그램은 안전등급 지지대에 대해 육안검사 또는 표면검사를 활용하여 부식, 변형, 파손 등 지지대의 기능에 영향을 미치는 인자를 관리한다. 본 프로그램은 교육과학기술부 고시 제2009-37호(원자로.016)를 적용하며 규제기관의 행정조치 사항이나 규제기관의 승인을 받은 보고서, 절차서 또는 이행조치 등이 있을 경우 이

월성 1호기 최종안전성분석보고서

조치를 우선으로 한다. 본 프로그램은 적법한 유효년도의 가동중검사 기술기준을 따른다. 방진기에 대해서는 방진기 사용수명감시 프로그램을 이행한다. 본 프로그램에 따라 안전등급 지지대의 건전성을 확인하기 위한 가동중검사와 방진기에 대한 사용수명감시 프로그램의 수립, 이행으로부터 계속운전기간 동안 안전등급 지지대 및 방진기의 건전성을 관리할 수 있다.

245

16.1.3 일회검사

기존 경년열화관리 프로그램의 유효성을 입증하기 위하여 일회검사 프로그램은 경년열화현상이 없음을 확증하거나, 혹은 경년열화현상이 매우 천천히 진행되어 계속운전기간 동안에도 고유기능이 유지될 것이라는 것을 입증하는 것이다. 본 프로그램은 수화학 프로그램의 유효성 입증에 위한 정채된 부위 검사, 재료의 선택적 침출 확인을 위한 검사에 적용한다. 또한 본 프로그램을 통하여 적절한 방법으로 특정 경년열화관련 손상을 탐지하기 위하여 검사기술 및 표본의 수량을 선정하며 검사결과에 대한 평가결과 및 적절한 시정조치를 수행한다. 본 프로그램에 따른 일회검사의 이행은 기존 경년열화관리 프로그램의 유효성을 입증할 수 있으며 계속운전기간 동안 관련 기기의 건전성을 확보할 수 있다.

245

16.1.4 원자로집합체

원자로집합체 부속기기는 수화학 프로그램을 통한 감속재계통 및 차폐냉각계통의 수화학을 관리하여 응력부식균열 및 일반부식 등의 영향을 관리하고, 운전 과도상태 발생횟수 관리를 통하여 피로 손상 가능성을 감시하여 계속운전 기간동안 기기의 건전성을 확보한다. 본 프로그램에 따른 감속재계통 및 차폐냉각계통의 수화학과 운전 과도상태 발생횟수 관리는 계속운전기간 동안 원자로 집합체 부속기기의 건전성을 보장할 수 있다.

245

월성 1호기 최종안전성분석보고서

16.1.5 연료채널

연료채널 프로그램은 연료채널 압력관의 조사기인변형, 지연수소균열, 수소화물블리스터 및 조사기인 재료물성변화에 따른 경년열화현상을 관리하기 위한 프로그램이다. 이 프로그램은 CSA-N285.4에 따른 가동중검사 프로그램과 발전소 절차서에 따른 압력관 길이 신장량 측정 프로그램을 포함한다. 본 프로그램을 통해 압력관의 길이, 내경 및 두께, 압력관과 칼란드리아관의 간격 그리고 압력관의 처짐을 측정하여 설계시 고려된 한계값 이내에 있음을 확인한다. 또한 가동중검사 프로그램을 통한 압력관 결함검사 및 수소상당농도 검사 등을 통해 지연수소균열 등의 영향을 관리한다. 본 프로그램에 따른 연료채널의 열화현상 관리는 계속운전기간 동안 그 건전성을 확보할 수 있다.

245

16.1.6 연료교환기

연료교환기 프로그램은 경년열화 영향으로부터 연료교환기의 건전성과 운전성을 보장하기 위한 정비 및 검사 프로그램이다. 정기적으로 시험 및 검사를 수행하여 연료교환기 구성품의 부식, 누설 또는 기기의 성능저하 등 경년열화 영향을 탐지한다. 이로부터 건전성에 영향을 줄 것으로 예상되는 경우 적절한 시정조치를 수행한다. 본 프로그램에 따른 정비 및 검사는 계속운전기간 동안 연료교환기의 건전성을 확보할 수 있다.

245

16.1.7 수화학

수화학 프로그램은 부식과 응력부식균열에 의한 1차 및 2차계통 기기의 손상을 완화하기 위한 것으로 재료손상 혹은 균열발생 및 성장을 유발하는 오염물질을 주기적으로 감시 및 제어한다. CANDU 6 가압중수형 원전에 대한 수화학 지침서 및 EPRI 수질관리 지침서의 기준에 따라 염소, 불소, 용존산소 등의

월성 1호기 최종안전성분석보고서

화학종을 규정된 제한치 이내로 관리하고 있으며 분석항목, 허용기준치, 시료채취 및 분석주기, 불만족시 조치사항 등이 기준에 맞게 관리되고 있다. 본 프로그램에 따른 수화학 관리는 계속운전기간 동안 부식과 응력부식균열로부터 1차 및 2차계통 기기들의 건전성을 확보할 수 있다.

245

16.1.8 공급자관

공급자관 프로그램은 유동가속부식 또는 응력부식균열로 인한 공급자관의 감육 및 균열을 효과적으로 관리하기 위함이며 CSA-N285.4, 13장에 제시된 지침을 따른다. 본 프로그램은 1)취약 부위를 선정하기 위한 분석, 2)이들 부위에서의 감육 정도를 확인하기 위한 검사, 3)정확한 예측 또는 필요시 기기의 정비 또는 교체를 결정하기 위한 추가검사 등을 포함한다. 또한 설계, 환경 및 운전경험을 고려하여 공급자관 균열발생 가능성을 평가하고 필요시 이를 관리할 수 있는 검사 프로그램이다. 본 프로그램에 따른 공급자관의 감육 및 균열 관리는 계속운전기간 동안 유동가속부식 또는 응력부식균열로부터 공급자관의 건전성을 확보할 수 있다.

245

16.1.9 손상연료 위치감시계통

손상연료 위치감시계통(결함연료 위치감시계통) 프로그램은 계통 내 시료채취배관의 마모를 효과적으로 관리함으로써 그 건전성을 유지하기 위한 것이다. 본 프로그램에는 1) 시료채취배관의 마모 관리를 위한 주기적인 검사, 2) 시료채취배관의 마모 예방조치에 관한 사항을 포함한다. 본 프로그램에 따른 운영과정에서 계통의 건전성에 영향을 줄 것으로 예상되는 사항에 대해서는 적절한 시정조치를 수행한다. 본 프로그램에 따른 시료채취배관의 검사 및 예방조치의 이행은 계속운전기간 동안 마모손상으로부터 손상연료 위치감시계통의 건전성을 확보

245

월성 1호기 최종안전성분석보고서

할 수 있다.

245

16.1.10 유동가속부식

유동가속부식 프로그램은 유동가속부식으로 인한 배관 및 기기의 감육을 효과적으로 관리하기 위함이며 NSAC-202L-R3에 제시된 EPRI 지침을 따른다. 본 프로그램은 1) 취약 부위 선정을 위한 분석 수행, 2) 이들 부위에서의 감육 정도를 확인하기 위한 제한된 검사 수행, 그리고 3) 정확한 예측 또는 필요시 기기 보수 또는 교체를 결정하기 위한 추가검사 수행 등을 포함한다. 본 프로그램은 고에너지 유체를 포함하는 탄소강 재질의 직관, 엘보우, 익스팬더 등을 대상으로 하여 초음파검사로 배관 및 기기의 벽두께를 측정한다. 밸브의 경우에는 육안검사를 통하여 유동가속부식을 관리한다. 본 프로그램에 따른 유동가속부식의 관리는 계속운전기간 동안 감육손상으로부터 배관 및 기기의 건전성을 확보할 수 있다.

245

16.1.11 재료의 선택적 침출

재료의 선택적 침출 프로그램은 한 가지 금속요소의 선택적인 침출(leaching)을 야기할 수 있는 자연수, 염수, 처리수 또는 지표수 환경에 노출된 특정재료로 제작된 기기의 건전성을 보장하기 위한 것이다. 선택적 침출에 민감한 기기에 대한 일회의 육안검사 및 경도측정을 수행한다. 이는 선택적 침출에 의한 재료 손실 발생여부와 그 과정에서 계속운전기간 동안 기기의 고유기능 수행 능력에 영향을 주는지 여부를 결정하기 위함이다. 대상기기로는 재료가 주철 또는 황동, 청동, 알루미늄-청동합금이고, 자연수, 처리수 또는 지표수 환경에 노출될 수 있는 밸브몸체 및 펌프 케이싱을 포함한다. 본 프로그램에 따라 주철 또는 황동, 청동, 알루미늄-청동합금으로 제작되고, 자연수, 처리수 또는 지표수 환경에 노출될 수 있는 기기들에 대해 일회의 육안검사 및 경도측정은 계속운전기간 동안 경

245

월성 1호기 최종안전성분석보고서

년열화 영향이 충분히 관리될 수 있음을 입증할 수 있다.

245

16.1.12 환형기체계통

환형기체계통은 압력관 및 칼란드리아관의 누설감지, 냉각제로부터 감속재로의 열전달 제한하는 방벽을 제공, 그리고 연료채널 기기의 부식 방지 및 압력관 외벽의 산화막 보호 등의 기능을 수행한다. 환형기체계통은 수분이 제거된 상온, 저압의 이산화탄소가 채워져 있어 응력부식균열, 피로손상 및 마모에 의한 영향은 미미하다. 다만, 환형기체계통 주요기기의 부식 영향을 관리하기 위해 이슬점 온도 및 기체 농도 등 관련 절차서에 따라 계통을 관리한다. 본 프로그램에 따른 이슬점 온도 및 기체 농도 등의 관리는 계속운전기간 동안 환형기체계통을 구성하는 기기의 건전성을 확보할 수 있다.

245

16.1.13 니켈합금 용접부

일차냉각수응력부식균열(PWSCC)로부터 니켈합금 용접부의 건전성을 보장하기 위해 1) 니켈합금 용접부 위치의 결정, 2) 부식을 예방하기 위한 냉각재 계통에 대한 수화학 관리 등의 조치사항을 포함한다. 니켈합금 용접부는 공급자관 오리피스 부위로 우선순위를 결정하는 민감도 평가는 불필요하다. 냉각재계통의 수화학 관리를 통해 계속운전기간 동안 니켈합금 용접부의 일차냉각수응력부식균열(PWSCC)에 기인한 손상을 관리할 수 있다.

245

16.1.14 볼트결합 건전성

볼트결합 건전성 프로그램은 볼트결합의 경년열화 관리를 통해 볼트결합의 고유기능이 유지되도록 하는 것이다. 볼트결합의 경년열화 관리는 NUREG -1339, EPRI NP-5769, EPRI TR-104213 등을 참고하여 작성한 ‘볼트결

월성 1호기 최종안전성분석보고서

합 경년열화 관리지침'에 따라 수행한다. 볼트결합에 대해 누설, 부식, 손상, 균열 등을 확인하며 이를 위해 육안검사 또는 표면검사 또는 체적검사를 활용한다. 또한 볼트결합 경년열화 관리지침은 인수검사 및 보관, 볼트결합 체결절차, 볼트결합 검사절차, 운전경험 반영 등을 포함한다. 볼트 결합부의 육안검사, 표면검사 또는 체적검사를 수행하는 본 프로그램의 운영을 통해 계속운전기간 동안 볼트결합의 건전성을 관리할 수 있다.

245

16.1.15 증기발생기 세관 건전성

증기발생기 세관 건전성 프로그램은 NEI 97-06을 기반으로 작성된 '증기발생기 관리프로그램 통합지침서'에 따라 증기발생기 세관의 건전성이 계속운전기간 동안 유지됨을 보장하고, 덴팅, 마모, 1차측 응력부식균열(PWSCC), 외경응력부식균열(ODSCC), 입계부식(IGA), 피팅 등의 경년열화기구를 관리하는데 중점을 둔다. 이를 위하여 경년열화기구의 확인 및 경년열화의 탐지를 위한 검사, 건전성평가, 성능기준을 초과하는 경우에 대한 관막음 등의 정비, 누설 건전성 유지를 위한 누설감시, 세관 손상예방 및 저감을 위한 관리방안 등을 포함한다. 본 프로그램에 따른 증기발생기 세관의 관리는 계속운전기간 동안 세관에서 나타날 수 있는 다양한 경년열화기구로부터 건전성을 확보할 수 있다.

245

16.1.16 크레인

크레인 프로그램은 발전소에서 사용하는 크레인 중 안전관련 크레인은 존재하지 않으나 주요 전반적인 크레인을 관리한다. 본 프로그램은 육안검사를 통해 레일의 마모, 거더 및 트롤리의 표면 부식 등을 감시하고 기중기의 기능성 확인을 위해 각 주요부품의 작동상태를 점검한다. 본 프로그램의 운영을 통한 크레인의 관리는 계속운전기간 동안 각종 열화현상으로부터 그 건전성을 확보할 수

245

월성 1호기 최종안전성분석보고서

있다.

245

16.1.17 매설배관 및 탱크 검사

매설배관 및 탱크검사 프로그램은 매설배관 및 탱크의 고유기능에 미치는 부식의 영향을 관리하기 위한 코팅, 포장 및 전기방식과 같은 예방조치와 코팅손상, 재료손실 등에 대한 감시활동을 수행한다. 기기냉각해수계통 배관은 PCCP(Prestressed Concrete Cylinder Pipe)관으로서 표면의 콘크리트가 보호코팅 역할을 하고 있으며 원전 안전성 관련 콘크리트 구조물의 열화현상 점검 절차서에 따라 점검을 실시한다. 비상급수공급계통 매설배관, 비상디젤발전기(EPS) 연료유 저장탱크, 소화수계통 매설배관은 탄소강 재질로 부식방지를 위해 콜타르 에나멜 및 콜타르 에폭시로 보호코팅이 되어 있고 전기방식설비(소화수계통 제외)가 설치되어 있다. 이들 매설배관은 매설배관 및 탱크검사 프로그램을 통해 전기방식설비 검사와 지하수 및 토양성분분석을 주기적으로 수행하고 육안검사(공사 등으로 접근 가능시)를 수행한다. 본 프로그램의 운영을 통해 계속운전기간 동안 부식손상으로부터 매설배관 및 탱크의 건전성을 관리할 수 있다.

245

16.1.18 연료유 화학

비상디젤발전기 연료유 저장탱크의 건전성을 보장하여 연료유가 사용되는 기기의 운전 신뢰성을 확보하기 위해 연료유 품질 유지를 위한 분석 및 연료유 저장탱크의 열화영향 탐지를 수행한다. 비상디젤발전기 연료유 저장탱크는 비상디젤발전기 연료유 성능점검 절차서에 따라 3개월마다 수분 및 침전물, 동점도를 분석하며 신 연료유를 저장탱크에 충전하기 전에 연료유의 비중, 인화점, 유황분 등을 분석하고 있다. 비상디젤발전기 연료유 저장탱크에서 발생할 수 있는 경년열화영향을 탐지하기 위해 토양환경보전법에 따라 주기적으로 누출검사를 수

월성 1호기 최종안전성분석보고서

행하고 있다. 본 프로그램의 운영을 통해 계속운전기간 동안 부식손상으로부터 비
상디젤발전기 연료유 저장탱크의 건전성을 관리할 수 있다.

245

16.1.19 중수관리

중수관리 프로그램은 냉각재 중수수집계통(BSI 33810), 중수공급계통
(BSI 38110), 중수증기회수계통(BSI 38310), 중수세정계통(BSI 38410), 중수승급계
통(BSI 38420) 등 관련 계통의 건전성을 유지함으로 중수의 누설 및 소모량을 최
소화하기 위한 것이다. 중수관리는 중수재고의 보전을 위해서 중수누설 누설여부
및 기기의 경년열화에 따른 부식 등 재료손상에 의한 고유기능의 상실 여부를 감
시하는 프로그램이다. 본 프로그램에 따른 운영과정에서 관련 계통의 건전성에 영
향을 줄 것으로 예상되는 사항에 대해서는 적절한 시정조치를 수행한다. 본 프로
그램의 운영을 통해 계속운전기간 동안 부식손상으로부터 중수관리 계통의 건전
성을 관리할 수 있다.

245

16.1.20 개방형 냉각수 순환계통

개방형 냉각수 순환계통으로서 기기냉각해수계통이 해당된다. 기기냉
각해수계통의 기기에서 생물학적 오염, 부식, 침식, 보호코팅 손상 그리고 침니
(silting)로 인해 유발된 경년열화 영향을 관리할 수 있도록 감시·관리한다. 기기
냉각해수계통의 기기에 대하여 생물학적 오염에 대한 상태감시 및 예방을 위해
약품주입, 열교환기 성능시험 외에 각종 검사, 정비 등을 수행한다. 본 프로그램의
운영을 통해 계속운전기간 동안 경년열화 영향으로부터 기기냉각해수계통의 건전
성을 관리할 수 있다.

245

16.1.21 밀폐형 냉각수 순환계통

월성 1호기 최종안전성분석보고서

밀폐형 냉각수 순환계통으로서는 기기냉각수계통과 원자로건물냉방수계통 등이 해당된다. 기기냉각수계통과 보조건물냉방수계통 등의 경년열화 영향을 적절히 관리하기 위해 방식재료 사용, 금속모재 표면에 대한 라이닝 또는 코팅 처리, 중수로형 원전 수질관리 지침과 EPRI의 Closed Cooling Water Chemistry Guideline에 제시된 규정 제한치 내에서 계통 부식 방지제 농도 유지, 성능시험, 검사를 통한 부식 영향 감시 등을 수행한다. 열교환기 외부는 모재를 보호하기 위하여 페인팅 되었고 내부는 부식을 최소화하기 위한 수질관리를 수행한다. 또한 계통 열제거 능력을 평가하기 위한 기기 성능시험과 계통운전 가능성을 입증하기 위한 성능 및 기능시험을 주기적으로 수행한다. 본 프로그램의 운영을 통해 계속 운전기간 동안 경년열화 영향으로부터 기기냉각수계통, 원자로건물냉방수계통 등 밀폐형 냉각수 순환계통의 건전성을 관리할 수 있다.

245

16.1.22 압축공기계통

계기용 압축공기계통에 대한 경년열화 영향은 ISA-S7.3-1975(R1981) 및 ASME OM-S/G-2000 Part 17 등에 제시된 공기 품질을 유지하기 위하여 오일, 수분, 녹, 입자 및 기타 오염물질에 대한 육안 검사를 수행한다. 또한 계기용 공기상실을 포함한 제반 설계기준사고(DBE) 발생시에는 관련 절차서에 따라 적절한 대응조치가 이루어져 계통의 건전성을 확보하고 있다. 본 프로그램에 따른 육안검사를 통해 계속운전기간 동안 경년열화영향으로부터 계기용 압축공기계통의 건전성을 관리할 수 있다.

245

245

16.1.23 화재방호 설비

화재방호설비 프로그램은 원전의 설계기준화재를 고려하여 화재방호 기능을 수행하는 내화방벽(벽, 천장과 바닥, 내화방벽의 관통부 밀봉재 포함), 방

월성 1호기 최종안전성분석보고서

화문, 가스계 화재진압설비의 고유기능에 대한 경년열화영향을 관리대상으로 한다. 본 프로그램에 따라 내화방벽의 건전성을 보장하기 위한 주기적인 육안검사, 방화문의 작동성이 유지됨을 보장하기 위한 주기적인 육안검사와 기능점검을 수행한다. 또한, 가스계 화재진압설비는 건전성을 보장하기 위하여 주기적인 육안점검과 기능점검을 수행한다. 본 프로그램에 따른 주기적인 육안검사와 기능점검을 통해 계속운전기간 동안 경년열화로부터 화재방호 설비의 건전성을 관리할 수 있다.

245

16.1.24 소방수계통

소방수계통 프로그램은 스프링클러, 노즐, 밸브, 옥내외 소화전 입상관, 지상 배관 및 기기류의 검사, 기능시험 등으로 구성된다. 소방수계통에 대해 운전가능성을 보장하고 운전요구 압력을 유지하고 계통 압력이 상실시 이를 즉시 감지하여 시정조치가 취해지도록 감시를 수행한다. 기기의 고유 기능 확인과 부식으로 인한 경년열화를 예방하기 위해 주기적인 유량 시험 및 계통 작동시험을 수행한다. 정비를 위해 분해 할 때 소방수 계통 배관의 내부를 육안으로 검사한다. 본 프로그램에 따른 관리는 계속운전기간 동안 경년열화영향으로부터 소방수계통의 건전성을 확보할 수 있다.

245

16.1.25 원자로건물 비금속라이너

원자로건물 비금속라이너는 원자로건물의 기밀성을 확보하고 부식방지, 콘크리트 표면의 오염방지 및 조명기구의 반사 효율 증대, 그리고 기본적인 미관효과를 위한 시각적인 목적 등을 위하여 사용된다. 또한 비금속라이너는 설계 기준 사고시 원자로건물 집수/배수계통의 재순환수를 이용하는 안전계통의 가동성 유지에 영향을 줄 수 있는 이물질 발생을 최소화하도록 고온, 고압, 방사능에

월성 1호기 최종안전성분석보고서

도 건전성을 유지하여야 한다. 이를 위하여 Reg. Guide 1.54(Rev. 1)의 요건을 반영한 원자로건물 내부 에폭시라이너 열화현상 점검 절차서 등에 따라 주기적인 검사, 시험, 시정조치를 수행한다. 본 프로그램에 따른 관리는 계속운전기간 동안 경년열화영향으로부터 원자로건물 비금속라이너의 건전성을 확보할 수 있다.

245

16.1.26 원자로건물

원자로건물 관리프로그램은 원자로건물의 콘크리트 구조물과 포스트텐션닝계통 및 관통부, 장비/비상 출입구 등의 압력경계 부속기기에 대한 주기적인 육안검사, 시험절차, 재료에 대한 경년열화영향과 그 탐지에 관한 사항을 제공한다. 원자로건물은 5년 주기의 포스트텐션닝계통 가동중검사와 주기적인 누설률 시험 및 관통부의 가동중검사를 통하여 원자로건물의 콘크리트 구조물과 포스트텐션닝계통 및 압력경계 부속기기의 주기적인 검사, 시험, 시정조치를 수행한다. 본 프로그램에 따른 관리는 계속운전기간 동안 경년열화영향으로부터 원자로건물의 건전성을 확보할 수 있다.

245

16.1.27 원자로건물 누설률 시험

원자로건물을 관통하는 계통, 기기 및 원자로건물에서의 누설은 운영기술지침서에 규정된 허용 누설률을 초과하지 않아야 하며, 원자로건물을 관통하는 계통, 기기 및 원자로건물 관통부와 격리 밸브를 주기적으로 감시하고 규정된 시험주기에 따라 원자로건물 누설률 시험을 수행한다. 원자로건물 누설률 시험 프로그램은 밀봉체, 개스킷을 포함하여 원자로건물 압력유지 경계를 이루는 기기들과 원자로건물에 대한 경년열화를 탐지한다. 본 프로그램에 따른 원자로건물 누설률 시험이 계속운전기간 동안 원자로건물 압력유지 경계부의 건전성을 입증할 수 있다.

245

월성 1호기 최종안전성분석보고서

16.1.28 조적벽

조적벽 관리프로그램은 IEB 80-11과 USI A-46 프로그램에서 의도된 기능을 수행하는 것으로 확인된 발전소 내의 조적벽들에 대하여 기 수립된 평가기준이 유효하게 유지되도록 경년열화영향을 관리한다. 이를 위하여 원전 안전성 관련 콘크리트 구조물 열화현상 점검 절차서 등에 따라 조적벽과 보강재의 균열 및 재료손실에 대한 주기적인 육안검사, 시정조치를 수행한다. 본 프로그램에 따른 주기적인 육안검사, 시정조치를 통해 계속운전기간 동안 조적벽의 경년열화영

245

16.1.29 구조물

구조물 관리프로그램은 원자로 보조건물(서비스건물) 등 안전관련 구조물의 고유기능 상실이전에 발생 가능한 경년열화현상을 탐지하고 시정되는 것을 보증하기 위하여 대상 구조물에 대한 상태감시 및 주기적인 검사, 시정조치 활동을 수행한다. 구조물 상태감시 및 검사는 원전 안전성관련 콘크리트 구조물 열화현상 점검 절차서 등에 따라 주기적인 검사, 시정조치를 수행한다. 본 프로그램에 따른 주기적인 검사, 시정조치의 이행을 통해 계속운전기간 동안 경년열화영향

245

16.1.30 원전 수리구조물

원전 수리구조물에 영향을 줄 수 있는 경년열화 현상 및 성능저하의 결과를 예방하고 완화할 수 있도록 수리구조물에 대한 관리 활동을 수행한다. 해당 수리 구조물은 순환수취수펌프건물, 기기냉각해수계통 매설배관이며 원전 안전성관련 콘크리트 구조물 열화현상 점검 절차서 등에 따라 주기적인 검사, 시정조

월성 1호기 최종안전성분석보고서

치를 수행한다. 본 프로그램에 따른 주기적인 검사, 시정조치의 이행을 통해 계속운전기간 동안 경년열화영향으로부터 원전 수리구조물의 건전성을 관리할 수 있다.

245

16.1.31 원자력 방호도장

원자력 방호도장은 일반적으로 부식방지, 콘크리트 표면의 오염방지 및 조명기구의 반사 효율 증대, 그리고 기본적인 미관효과를 위한 시각적인 목적 등을 위하여 사용되는 도장체계와 사용후연료저장조 및 원자로건물 내 다우징탱크에 적용되는 Fiber-glass reinforced epoxy liner와 같이 방수를 목적으로 적용한 침적조건의 도장체계로 분류된다. 또한 원자력 방호도장은 설계기준사고시 원자로건물 집수/배수계통의 재순환수를 이용하는 안전계통의 가동성 유지에 영향을 줄 수 있는 이물질 발생을 최소화하도록 고온, 고압, 방사능에도 건전성을 유지하여야 한다. 이를 위하여 Reg. Guide 1.54(Rev. 1)의 요건을 반영한 원자로건물 내부 에폭시라이너 열화현상 점검 절차서 등에 따라 주기적인 검사, 시험, 시정조치를 수행한다. 본 프로그램에 따른 주기적인 검사, 시정조치의 이행을 통해 계속운전기간 동안 경년열화영향으로부터 원자력 방호도장의 건전성을 관리할 수 있다.

245

16.1.32 환경검증 요건을 적용받지 않는 전기케이블 및 비금속 연결부

환경검증 요건을 적용받지 않으나 열, 방사선 또는 습기 환경에 노출되어 있는 전기케이블 및 비금속 연결부의 고유 기능을 유지하기 위하여 경년열화 관리계획에 적용되는 전기케이블 및 비금속 연결부의 목록을 작성하고 접근 가능한 전기케이블 및 비금속 연결부에 대해 대표적인 표본을 취하여 전기케이블 및 비금속 연결부 외면의 비정상 징후 즉, 취성, 변색, 균열, 표면오염 여부를 육

월성 1호기 최종안전성분석보고서

안으로 검사한다. 본 프로그램에 따른 육안점검을 통해 계속운전기간 동안 경년열화에 기인한 환경검증 요건을 적용받지 않는 전기케이블 및 비금속 연결부의 건전성을 관리할 수 있다.

245

16.1.33 환경검증 요건을 적용받지 않는 계측회로에 사용된 전기 케이블 및 연결부

환경검증 요건을 적용받지 않으나 열, 방사선 또는 습기 환경에 노출된 민감하고, 고전압이며 낮은 수준의 신호를 갖는 계측회로에 사용되는 전기케이블의 고유기능이 유지되어야 한다. 또한 경년열화관리 계획에 적용되는 케이블 및 연결부 목록을 도출하여 교정결과 또는 주기시험 결과를 평가하거나 직접 시험을 수행한다. 본 프로그램에 따른 교정 또는 주기시험 결과의 평가, 직접시험 관리로부터 계속운전기간 동안 경년열화에 기인한 환경검증 요건을 적용받지 않는 계측회로의 전기케이블 및 비금속 연결부의 건전성을 관리할 수 있다.

245

16.1.34 금속밀폐형모선

금속밀폐형모선(MEB : Metal Enclosed Bus)은 전기적으로 절연된 지지물 상에 설치된 전기모선으로서 MEB 내부에 있는 모선들의 볼트 체결부위가 적절한 토크나 적절한 접촉저항이 유지되는지 여부와 MEB 내부의 경년열화 징후를 파악하기 위한 육안으로 검사한다. 이것은 경년열화가 천천히 진행된다는 경험에 근거하여 적어도 10년에 한번 수행하는 것이 MEB의 고장을 막을 수 있는 적절한 주기이다. 본 프로그램에 따른 검사 관리를 통해 계속운전기간 동안 경년열화에 기인한 금속밀폐형모선의 건전성을 관리할 수 있다.

245

16.1.35 환경검증 요건을 적용받지 않는 전기케이블 금속 연결부

월성 1호기 최종안전성분석보고서

케이블 금속 연결부는 케이블 도체를 다른 케이블이나 전기적 장치에 연결하기 위해 사용되는 것으로서 금속 연결부의 건전성을 유지하기 위해 연결부 금속부분에서의 느슨해짐 여부를 확인한다. 전기케이블 금속연결부의 열적 사이클링, 저항성 발열, 전기적 과도현상, 진동, 화학적 오염, 부식, 산화로 인한 볼트 체결의 느슨함을 확인하기 위해 온도 기록법 또는 접촉저항시험 등의 방법을 적용한다. 본 프로그램에 따른 점검, 시험을 통해 계속운전기간 동안 환경검증 요건을 적용받지 않는 전기케이블 금속 연결부의 경년열화를 관리할 수 있다.

245

16.1.36 안전등급 1 소구경 배관 일회검사

안전등급 1 소구경 배관 일회검사의 목적은 공칭 4인치 이하 직경의 안전등급 1 소구경 배관에 대해 경년열화의 영향이 없음을 확인하는 것이다. 월성 1호기는 안전등급 1 소구경 배관에 대해 표면 및 체적검사를 기 수행하여 피로 및 응력부식균열 등에 의한 경년열화영향이 없음을 확인하였다. 본 프로그램에 따른 표면 및 체적검사로부터 계속운전기간 동안 안전등급 1 소구경 배관의 건전성을 관리할 수 있다.

245

16.1.37 외부표면감시

대상기기 외부표면의 부식 손상 및 누설을 감시하기 위해 보수 또는 예방정비 기간동안 외부표면에 접근 가능할 때 주기적으로 육안검사를 수행한다. 외부표면의 경년열화는 페인팅 및 코팅 상태의 품질저하 징후 없이는 발생하지 않으므로 페인팅 및 코팅 상태의 건전성을 주기적으로 확인한다. 본 프로그램에 따른 페인팅 및 코팅 상태의 주기적인 확인을 통해 계속운전기간 동안 배관 및 덕트 외부표면의 건전성을 관리할 수 있다.

245

월성 1호기 최종안전성분석보고서

16.1.38 기타배관 및 덕트기기 내부표면 검사

월성 1호기의 기타배관 및 덕트기기 내부표면 검사는 타 경년열화 관리프로그램에 의해 관리되지 않는 배관 및 덕트 기기에 대하여 내부 표면을 검사하는 것이다. 배관 및 덕트 내부가 공기와 접촉하고 있는 곳은 공기 흡기 위치의 주변 환경을 확인한 후 접근하여 육안확인이 가능한 배관입구의 내부를 확인하여 경년열화영향을 탐지한다. 본 프로그램에 따른 육안점검으로부터 계속운전기간 동안 배관 및 덕트 내부표면의 건전성을 확보할 수 있다.

245

16.1.39 윤활유 분석

윤활유 분석 프로그램은 기기에 사용되는 윤활유의 품질이 정상수준으로 유지됨을 보장하기 위함이다. 본 프로그램은 터빈 및 예비/비상디젤발전기의 윤활유에 포함된 불순물을 허용한도 이내로 관리한다. 이를 위해 윤활유에 포함된 불순물 분석을 주기적으로 수행하여 윤활유의 불량으로 인하여 발생할 수 있는 재료손실, 균열 및 열전달 손실을 방지한다. 본 프로그램에 따른 윤활유 분석으로부터 계속운전기간 동안 터빈 및 예비/비상디젤발전기의 건전성을 확보할 수 있다.

245

16.1.40 내환경검증 TLAA(3) 대상 전기 케이블 및 기기

EQ TLAA(3) 대상 전기 케이블은 모두 신규로 교체하여 검증수명이 계속운전 후 10년을 초과하므로 AMP 대상에 포함되지 않는다. EQ TLAA(3) 대상 기기 중 신규로 교체한 기기는 검증수명이 10년을 초과하므로 AMP 대상에 포함되지 않으나, 검증수명이 계속운전 후 10년을 초과하지 못하는 기기는 검증수명만료 이전에 검증된 기기로 교체하거나, 대표 기기를 인출하여 가속열화 및 DBE 시험을 수행하여 검증수명을 재평가하여야 한다. 설계기준사고 중 기기의 감시 및

월성 1호기 최종안전성분석보고서

검사변수는 해당 기기의 IEEE 코드 시험요건에 따른다. 본 프로그램에 따른 교체, |
검증수명 재평가로부터 계속운전기간 동안 내환경검증 TLAA(3) 대상 전기 케이 | 245
블 및 기기의 건전성을 관리할 수 있다.

16.1.41 피로감시

피로감시 프로그램은 원자력 1 등급 기기 및 배관 중 피로 영향이 상 |
대적으로 클 것으로 예상되어 경년열화 관리가 필요한 부위에 대해 운전이력을 |
반영하여 피로영향을 감시하는 프로그램이다. 본 프로그램의 적용을 통해 과도상 |
태 발생횟수 및 누적피로사용계수의 변화를 주기적으로 추적하며, 금속피로 경년 |
열화 영향을 정량적으로 확인 및 관리한다. 본 프로그램에 따른 피로영향 감시는 | 245
계속운전기간 동안 피로 영향이 상대적으로 클 것으로 예상되는 원자력 1 등급 |
기기 및 배관에서의 피로에 기인한 건전성을 관리할 수 있다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

16.2 시간제한경년열화평가

16.2.1 시간제한경년열화평가의 확인

교육과학기술부 고시 제2009-37호(원자로.035)와 NUREG-1800의 요건에 따라 시간제한 경년열화 평가 대상을 확인하였다. 평가항목은 원자로집합체 및 연료채널 수명평가, 금속 피로 평가, 기기 내환경검증, 콘크리트 격납건물(원자로 건물) 텐돈 프리스트레스 평가, 관통부 피로 평가 등이다. 발전소별 시간제한경년 열화 평가 항목은 기기 및 배관 표면하 지시사항 평가 등이다.

16.2.2 원자로집합체 및 연료채널 수명평가

교육과학기술부 고시 제2009-37호(원자로.035)에 따라 계속운전 기간 동안에 대해 연료채널 압력관 및 원자로집합체 칼란드리아관에 대한 조사기인변형을 평가하였다. 압력관의 길이신장, 직경증가 및 두께감소량을 평가하였으며, 계속운전기간 동안 설계 허용치에 대한 충분한 여유도를 유지하는 것을 확인하였다. 압력관의 처짐에 의한 압력관/칼란드리아관의 접촉 가능성을 평가하였으며, 계속운전기간 동안 접촉 가능성은 충분히 낮은 것을 확인하였다. 압력관과 칼란드리아관이 함께 처짐으로써 칼란드리아관이 원자로 내부 수평관과 접촉할 가능성에 대하여 평가하였으며, 계속운전기간 동안 접촉 발생에 대한 충분한 여유도가 있음을 확인하였다. 따라서 계속운전기간 동안 압력관 및 칼란드리아관의 조사기인변형 영향에 대한 건전성 유지가 가능하다.

16.2.3 금속피로 평가

교육과학기술부 고시 제2009-37호(원자로.035)와 NUREG-1800의 요건에 따라 주요 안전관련 기기 및 배관에 대한 피로영향을 평가하였다. 원자력 등급

월성 1호기 최종안전성분석보고서

1 기기 및 배관은 계속운전기간 동안의 누적피로사용계수가 ASME Section III에 제시된 허용기준 미만으로 평가되어 금속피로 측면에서 건전성 및 안전 여유 확보가 가능하다.

16.2.4 기기의 내환경검증

교육과학기술부 고시 제2009-37호(원자로.035)와 10CFR50.49의 요건에 따라 기기의 내환경에 대한 검증수명을 평가하였다. 평가 대상은 안전성 관련 전 기기 중에서 검증수명이 30년 이상인 기기로서 전동밸브 액추에이터, 전동기, 전기/계측용 케이블, 전기/계측용 터미널 블록, 전송기, 온도 측정용 엘리먼트, 솔레노이드밸브 및 커넥터 등이다.

16.2.5 콘크리트 격납건물 텐돈 프리스트레스 평가

교육과학기술부 고시 제2009-37호(원자로.035)와 CSA N287.7 등의 요건에 따라 콘크리트 격납건물(원자로건물) 텐돈의 프리스트레스를 평가하였다. 콘크리트 격납건물 텐돈의 프리스트레스는 시간이 경과함에 따라 콘크리트의 크리프, 건조수축 및 텐돈 강선의 응력이완 등에 의하여 감소하므로 계속운전기간 동안 텐돈 프리스트레스가 설계프리스트레스 이상으로 유지되는 가를 평가하였다. 월성 1호기 부착식 텐돈의 프리스트레스 손실량 평가는 별도의 시험체를 제작하여 시간경과에 따른 유효하중을 측정하는 방법으로 이루어지므로 가동중검사를 통해 시험체로부터 직접 측정한 데이터의 회귀분석식을 활용하였다. 이 회귀분석식으로부터 예상된 계속운전기간 동안의 프리스트레스는 CEB-FIP 코드의 제안식과 수정 ASCE 제안식으로부터 계산된 이론적인 프리스트레스보다 큰 것으로 평가되었다. 따라서 상기 결과로부터 계속운전기간 동안에 원자로건물에 설치된 텐돈의 프리스트레스도 이론식으로 구한 프리스트레스보다 클 것으로 판단되었다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

또한 원자로건물의 각 부위별 텐돈의 계속운전기간 동안의 이론적인 프리스트레스는 설계프리스트레스보다 큰 것으로 평가되었으므로 콘크리트 격납건물의 텐돈 프리스트레스는 계속운전기간 동안 설계 프리스트레스 이상의 값을 유지하여 건전성을 확보하는 것으로 검토되었다.

16.2.6 관통부 피로 평가

교육과학기술부 고시 제2009-37호(원자로.035)와 NUREG-1800 등에 따라 관통부에 대한 피로영향을 평가하였다. 관통부 피로평가 범위는 대구경, 고온, 고압배관 관통부인 주증기공급계통 배관 관통부이며 주증기공급계통 배관 관통부에 대한 피로 평가 결과 계속운전기간 종료시점까지 예측한 과도상태 발생횟수는 설계시 고려한 과도상태 발생횟수에 비해 매우 적은 것으로 나타나 허용기준을 만족하는 것으로 평가되었다.

16.2.7 기기 및 배관 표면하 지시사항

교육과학기술부 고시 제2009-37호(원자로.035)와 NUREG-1800 요건에 따라 기기 및 배관 표면하 지시에 대해 건전성을 평가하였다. 평가 대상은 안전관련 기기 및 배관 등이다. 자동점검사 결과 탈기응축기의 노즐 부위에 발견된 2개의 지시사항 외에는 주목할 만한 지시는 나타나지 않았다. 발견된 지시사항에 대해서는 건전성평가를 수행하였으며 경년열화 관리프로그램을 통해 안전관련 기기 및 배관 등에 대해 관리함으로써 기기 및 배관 표면하 지시에 대해 건전성을 유지할 수 있다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

16.3 기기의 동적 및 내진검증사항

기기 내진검증 관련 미해결안전성문제인 USI A-46 대상원전인 월성 1호기의 안전에 중요한 기기들이 설계기준지진(DBE) 발생 중 또는 후에도 고유의 기능을 정상적으로 수행하여 원자로의 안전이 보장될 수 있도록 가동원전 내진적합성평가 일반수행절차(Seismic Qualification Utility Group Generic Implementation Procedure-3A)에 따라 내진적합성을 평가하였다. 본 평가는 DBE 발생 중 및 발생 후 72시간 동안 월성 1호기의 안전정지에 필요한 전기기기 및 기계기기의 내진적합성을 입증하기 위한 것이다. 본 평가에서 대상으로 한 안전정지기기의 범위는 모터제어반, 개폐기, 변압기, 배전반, 펌프, 밸브, HVAC 기기, 배터리, 엔진발전기 및 모터발전기, 계측기와 부대기기(제어판넬, 캐비넷, 기기가 설치된 지지대 포함), 탱크 및 열교환기, 전선 및 전선관로 등이다. 또한, DBE로 인하여 계전기에 접지떨림(chatter)이 발생하여 원전의 안전정지계통에 부정적인 영향을 미치는지 검토하기 위하여 필수계전기도 포함되어 있다. 평가과정은 1) 내진평가팀 구성, 2) 안전정지기기 목록 작성, 3) 선별입증 및 현장조사 4) 예외기기도출 및 해결 등 4단계로 구성되어 있다. 선별입증 및 현장조사는 내진요구력과 내진성능 비교, 지진경험자료 데이터베이스 기기특성과 평가대상 기기특성 비교, 정작부 건전성 평가, 지진상호작용 등 4개 항목에 대한 평가로 구성된다. 도출된 예외기기에 대해서는 내진재해석을 통한 내진요구력 저감, 내진성능 확인을 위한 개별기기 상세해석, 개별기기 정작부 보강설계 등의 후속조치를 취하였다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

16.4 참고문헌

- 16.4-1 USNRC, NUREG-1801 Rev.1: Generic Aging Lessons Learned (GALL) Report, 2005.
- 16.4-2 CSA-N285.4-05: Periodic Inspection of CANDU Nuclear Power Plant Components, 2005.
- 16.4-3 CSA-N285.5-M90: Periodic Inspection of CANDU Nuclear Power Plant Components, 1990.
- 16.4-4 EPRI, NSAC-202L-R3: Recommendations for an Effective Flow-Accelerated Corrosion Program, 1011838, Final Report, Rev.3, 2006.
- 16.4-5 EPRI NP-5769: "Degradation and Failure of Bolting in Nuclear Power Plants," dated April 1988.
- 16.4-6 EPRI TR-104213: "Bolted Joint Maintenance & Applications Guide," dated December 1995.
- 16.4-7 DM-XX-03081/01200-DN-001: AECL Chemistry Control Design Manual, Revision 4, 2001.
- 16.4-8 EPRI 1007820: "Closed Cooling Water Chemistry Guideline"(Revision 1, dated April 2004)