

전력산업기술기준

KEPIC 가이드

원전 가동중검사

한 종 순

대한전기협회 전력기준처

1. 제정배경

원자력발전소를 구성하고 있는 각종 기기와 구조물 중 원자력 안전성에 관계되는 것들은 고도의 건전성을 확보하여야 한다. 따라서, 원자력 안전성에 관계되는 기기와 구조물에 대해 건설단계에서는 설계, 제작, 설치, 시험 및 검사 등 모든 과정이 관련요건에 따라 시행되고 있는가를 확인하고 있으며, 원전 가동중에도 이러한 안전성이 유지되는가를 확인하고 있다.

우리 나라의 원전에서는 가동중 원전의 안전성 확인을 위해 체계적인 계획을 수립하여 “원전 가동중검사”를 실시하는데 미국의 기술기준인 ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section XI을 이용하여 검사를 실시하여 왔다.

따라서, 지금까지 적용하여온 선진외국의 기술기준을 참조하여 기술 및 제도적 측면에서 우리의 관련규정과 기준에 상충되지 않고 우리의 실정에 적합하며 사용상에 무

리가 없는 기술기준을 제정하고자 하였다.

2. 제정범위

우리 나라에서 건설, 운전중인 원자력발전소는 가압경수로형(PWR)과 가압중수로형인 CANDU형으로 구분된다. 가압경수로형 원전의 경우 올진 1, 2호기를 제외하고는 미국의 기술을 도입한 것이나, 가동중검사에 적용하고 있는 기술기준은 모두 미국의 ASME Code Sec. XI을 적용하여 왔고, 가압중수로형 원전은 캐나다의 기술을 도입한 원전으로서 캐나다의 CSA N285.4를 적용하여 왔다.

따라서 원전 가동중검사 기술기준의 제정범위는, 국내 원전의 주종이고, 표준원전 및 차세대원전 원자로형인 가압중수로형 원전의 가동중검사 기술기준을 우선적으로 개발하고, 가압중수로형 원전의 가동중검사 기술기준은 향후 개발을 고려하였으며, 가압경수로형 원전의 가동중

검사 기술기준은 ASME Code Section XI의 Division 1(경수로), Division 2(고온가스 냉각로) 및 Division 3(액체금속 냉각로) 기술기준 중 Division 1의 경수로 가동중검사 기술기준 범위를 제정범위로 하였다.

3. 제정방향

원전 가동중검사 기술기준은 ASME Code Section XI의 Division 1을 근간으로 하여 기술적 사항은 그대로 준용하여 번안하고, 일부 품질보증 및 행정측면의 제도적 사항은 가동중검사 수행체제, 국내 관련 법규 등 국내실

정을 반영하였다. 예를 들면, 원전 가동중검사 품질보증 계획은 ASME NQA-1 대신에 기술기준 개발사업을 통해 제정한 품질보증기준인 KEPIC-QAP “원자력품질보증 기술기준”에 따라 수립하도록 규정한 것과, 검사계획은 우리 나라의 경우 검사계획 B만 채택하고 있으므로 검사계획 A는 삭제한 것 등이다.

또한, ASME Code Section XI, Division 1은 경수로형 원전의 가동중검사 기술기준으로 가압경수로형(PWR) 및 비등경수로형(BWR) 모두에 적용되는 것이나, 비등경수로형과 관련된 요건은 국내 원전의 가동중검사와는 무관한 사항이므로 비등경수로형과 관련한 요

〈표 1〉 가동중검사 관련 주요 요건 비교

구분	과기부고시 95-1호	ASME XI Div.1	KEPIC-MI
범위	원자로시설의 용기, 배관, 주요 펌프 및 밸브와 구조물의 가동중 검사 및 가동중 시험(PWR 및 PHWR 원전)	PWR 및 BWR 원전의 가동중검사 및 가동중 시험	PWR 원전의 가동중검사
검사계획(검사주기)	매 10년 단위 실시(ASME XI 검사 계획 B)	<ul style="list-style-type: none"> ○검사계획 A <ul style="list-style-type: none"> 1차 - 상업운전 후 3년 2차 - 1차 검사 후 7년 3차 - 2차 검사 후 13년 4차 - 3차 검사 후 17년 ○검사계획 B <ul style="list-style-type: none"> 1차 - 상업운전 후 10년 2차 - 매 10년 주기 	<ul style="list-style-type: none"> ○검사계획 B만 채택 <ul style="list-style-type: none"> 1차 - 상업운전 후 10년 2차 - 매 10년 주기
가동중검사기준	<ul style="list-style-type: none"> ○검사원, 용접기술자의 자격, 비파괴검사의 방법 및 평가, 기록에 대한 기준 <ul style="list-style-type: none"> -PWR : ASME XI, Div.1 -PHWR(CANDU) : CSA N285.4 ○RC Pump 건전성, Tendon 검사, 세관 검사, ASME XI Code Case 적용 등 <ul style="list-style-type: none"> -Reg. Guide 1.14, 1.35, 1.58, 1.65, 1.83, 1.90, 1.147, 1.150 	<ul style="list-style-type: none"> ○ASME Class 1, 2, 3 MC 및 격납구조와 그 지지물에 대한 가동중검사 요건(IWA, IWB, IWC, IWD, IWE, IWF, IWL) -비파괴검사 -수압시험 -가동중 공인검사 -보수, 교체 등 	<ul style="list-style-type: none"> ○ASME XI Div.1의 요건을 번안. 단, 제도 및 행정관리 요건은 국내 실정을 반영하고, BWR 관련 요건은 제외함.
가동중시험기준	<ul style="list-style-type: none"> ○펌프 <ul style="list-style-type: none"> -ASME XI('86 ed) Div.1, IWP 또는 ASME OM ISTB 적용 ○밸브 <ul style="list-style-type: none"> -ASME XI('86 ed) Div.1, IWV 또는 ASME OM ISTC 적용 	<ul style="list-style-type: none"> ○펌프(IWP) <ul style="list-style-type: none"> ASME/ANSI OM Part 6 준용토록 규정 ○밸브(IWV) <ul style="list-style-type: none"> ASME/ANSI OM Part 10 준용토록 규정 	ASME XI Div.1의 IWP 및 IWV는 가동중검사 기술기준(KEPIC-MI) 범위에서 제외함.
품질보증		10 CFR 50 App.B 및 ASME NQA-1	KEPIC-QAP “원자력 품질보증 기술기준”
공인검사		ASME N626	KEPIC-QAI “공인검사 기술기준”

〈표 2〉 KEPIC-MIA와 ASME Sec.XI Div.1 Subsec. IWA의 대응표

KEPIC-MIA	ASME Sec.XI Div.1
MIA 1000 적용범위 및 책임	IWA 1000 Scope and Responsibility
MIA 2000 비파괴검사 및 가동중 공인검사	IWA 2000 Examination and Inspection
MIA 3000 비파괴검사 평가 기준	IWA 3000 Standards for Examination Evaluation
MIA 4000 보수/교체 활동	IWA 4000 Repair/Replacement Activities
MIA 5000 계통압력시험	IWA 5000 System Pressure Tests
MIA 6000 기록 및 보고서	IWA 6000 Records and Reports
MIA 9000 용어	IWA 9000 Glossary

건을 제외하였다.

그리고 펌프와 밸브의 작동성 및 기능시험과 관련한 가동중시험 요건인 ASME Code Section XI, Division 1의 Subsection IWP 및 IWV는 ASME에서 ASME O&M Code ISTB 및 ISTC로 하여 별도 Code화하였고, 과기부 고시 제1995-1호 “원자로시설의 가동중검사 및 가동중시험에 관한 규정”에서도 가동중검사와 가동중시험은 구분하여 수행하도록 규정하고 있다.

따라서, 원전 가동중검사 기술기준의 제정에 있어서는 원전 가동중시험에 대한 사항은 배제하였다. 이와 같은 제정 방향에 입각한 원전 가동중검사 기술기준과 참조 기술기준인 ASME Code Section XI, Division 1 및 법규상의 규정인 과기부 고시 95-1호의 주요 가동중검사 관련 요건을 비교하면 표 1과 같다.

4. 구성체계

원전 가동중검사 기술기준은 ASME Code Section XI, Division 1의 구성체계를 그대로 따랐으며, 기술기준 항목도 ASME Code Section XI과 상호 대응되도록 번호체계를 그대로 인용하였다.

가동중검사 일반요건(MIA)은 품질보증과 행정관리 측면의 제도적 사항은 부분적으로 우리 나라의 실정을 감안하여 관련요건을 규정하였으나, 구성체계는 표 2에서와 같이 ASME Code Section XI, Division 1 Subsec. IWA와 동일하다.

또한 기기 등급별 가동중검사 기술기준인 MIB~MIZ의 경우에 있어서도 표 3과 같이 ASME의 구성과 번호체계를 그대로 채택하였다.

〈표 3〉 KEPIC-MI와 Sec.XI Div.1의 대응표

KEPIC-MI	ASME Sec.XI Div.1
MIX 1000 적용범위 및 책임	IWX 1000 Scope and Responsibility
MIX 2000 비파괴검사 및 가동중검사	IWX 2000 Examination and Inspection
MIX 3000 합격표준	IWX 3000 Acceptance Standards
MIX 4000 보수/교체 활동	IWX 4000 Repair/Replacement Activities
MIX 5000 계통압력시험	IWX 5000 System Pressure Test

〈표 4〉 KEPIC-MI와 ASME Code의 Edition 및 Addenda와의 대응표

KEPIC-MI, "가동중검사"	ASME Section XI, Div.1	비고
1995년 판	1992 Edition, 1992, 1993 Addenda	
1997년 추록	1994 Addenda	
2000년 판	1995 Edition, 1995, 1996 및 1997 Addenda	

〈표 5〉 원전 가동중검사 기술기준과 참조 기술기준의 대응표

원전 가동중검사 기술기준		참조 기술기준
MIA	일반요건	ASME Sec.XI, Division 1 Subsec. IWA
MIB	1등급 기기	ASME Sec.XI, Division 1 Subsec. IWB
MIC	2등급 기기	ASME Sec.XI, Division 1 Subsec. IWC
MID	3등급 기기	ASME Sec.XI, Division 1 Subsec. IWD
MIE	금속 격납용기 및 금속 라이너	ASME Sec.XI, Division 1 Subsec. IWE
MIF	지지물	ASME Sec.XI, Division 1 Subsec. IWF
MIL	격납구조	ASME Sec.XI, Division 1 Subsec. IWL
MIZ	부 록	ASME Sec.XI, Appendix

가동중검사 기술기준의 개발에 있어 참조한 ASME Code Edition 및 Addenda와 KEPIC-MI의 발행판 및 추록의 대응관계는 표 4와 같다.

5. 참조 기술기준

원전 가동중검사 세부 기술기준 제정에 참조한 기술기준은 표 5와 같다.

6. 제정내용

가. 일반요건(MIA)의 주요내용

○MIA 1000 범위 및 책임

ASME Code Section XI, IWA 1000의 내용을 대부분 그대로 수용하였다.

○MIA 1320 등급분류

ASME Code Section XI, IWA 1320에서는 NRC, Regulatory Guide 1.26의 Quality Group Classification에 따라 ASME III Class 1 기기는 IWB를, Class 2 기기는 IWC를, Class 3 기기는 IWD를 적용하도록 규정하고 있다. 그러나 우리나라의 경우는

Regulatory Guide 1.26과 같은 등급분류 규정은 제정되어있지 않고, 단지 이를 준용하고 있는 상태이다. 따라서 원전 가동중검사 기술기준에서는 KEPIC-MN “원자력기계 기술기준”의 MNB 1등급 기기로 분류되는 계통에 대해서는 MIB, MNC 2등급 기기는 MIC, MND 3등급 기기는 MID를 적용하는 것으로 하였다.

○MIA 1400 발전사업자의 책임

ASME Code Section XI, IWA 1400은 10 CFR 50 및 ASME NQA-1에 따른 발전사업자의 품질보증계획 문서화를 요구하고 있으나 우리나라의 경우 원자력법, 원자력법 시행령 및 시행규칙에서 이를 요구하고 있고, ASME NQA-1에 상응하는 품질보증계획에 대한 기준인 KEPIC-QAP “원자력품질보증 기술기준”을 전력산업 기술기준 개발 사업을 통해 제정한 바, 이와 같은 법규 및 기준에 따른 품질보증계획을 문서화하도록 규정하였다.

○MIA 1500 접근성

가동중검사를 위해서는 설계, 제작 단계부터 접근성 확보를 고려해야 한다. Section XI의 IWA 1500은 접근성 확보요건을 규정하고는 있으나, 설계 및 제작 단계에서

접근성 확보요건 반영여부를 점검하는 절차에 대해서는 별도로 규정하고 있지 않다. 또한 원전 가동중검사 중에 접근성 확보요건 미반영 또는 미흡으로 인해 검사일정, 원전 경제성, 방사선 피폭관리에 많은 비효율성이 제기되고 있는 실정이다. 따라서, 설계 및 제작자가 더욱 신중히 가동중검사 요건을 적용할 수 있고, 발전사업자는 이를 사전에 확인할 수 있도록 하는 내용을 추가하였고, 또한 검사장비의 특성을 감안하여 정확한 검사가 가능한 공간을 검사대상 부위에 확보할 것을 추가로 규정하였다.

○MIA 1500 접근성(MIA 1500 본문 내용)

접근성 확보를 위하여 다음과 같은 사항들을 고려해야 한다. 아래에 열거한 사항들은 공간적 차원의 접근성 확보를 위한 고려사항이다. 이 외에도 침전물, 부식생성물이 침적되는 기기의 표면처리, 방사화를 최소화하기 위한 기기재료의 선정, 방사선조사 효과로부터의 차폐 등을 고려해야 한다. 원전설계자나 기기제작자는 아래에 열거한 접근성 확보요건의 이행여부를 점검, 확인할 수 있는 절차를 문서화하여 시행하고, 발전사업자는 이를 감독, 확인해야 한다.

- ① 비파괴검사와 시험 수행에 적절한 접근 통로와 이격 거리를 확보할 수 있는 기기 설계와 배치
- ② 가동중 공인검사원, 비파괴검사원, 검사장비의 접근 통로와 계단, 비계 등의 전용 구조물
- ③ 구조부착물, 방사선차폐체, 보온재 등의 제거와 일 시보관을 위한 충분한 공간
- ④ 장비, 기기 및 기타 자재들의 제거, 분해, 보관에 필요한 취급 설비(호이스트 등)의 설치와 지지에 필요한 공간
- ⑤ 구조적 결함(Defect)이나 지시가 발견되어 지정된 방법 이외에 다른 방법의 비파괴검사를 필요로 할 경

우 이러한 대체 비파괴검사를 위한 공간

⑥ 보수/교체 활동과 관련된 필요한 운전의 수행

○MIA 2120 가동중 공인검사기관, 가동중 공인검사원 및 가동중 공인검사 감독원의 자격인정

가동중 공인검사에 대한 요건은 ASME Code Sec. XI과 같이 적용하는 것으로 하였으나 공인검사기관, 가동중 공인검사원 및 감독원의 자격인정에 대한 요건은 KEPIC-QAI “공인검사 기술기준”으로 대체하였다.

○MIA 2300 비파괴검사원의 자격인정

ASME XI IWA 2300에서는 비파괴검사원은 ANSI/ASNT CP-189 및 ASME Code Sec. XI 상의 추가요건에 따라 자격인정을 할 것을 규정하고 있다. 또한 초음파탐상검사원에 대해서는 Appendix VII 및 VIII을 추가하여 자격인정요건을 크게 강화하였다.

이는 1970년 말에서 1980년 초 미국의 원전에서 보고된 입계응력부식균열(Intergranular Stress Corrosion Cracking)에 대한 초음파탐상검사의 신뢰도가 매우 낮은 것에 기인한다.

ASME XI의 비파괴검사원 자격인정요건, 특히 Appendix VII 및 VIII 적용여부는 이에 소요될 막대한 비용 등을 감안할 때, 현재 우리 나라의 기술수준을 고려한 보다 면밀한 기술 경제성 검토와 발전소 규제기관의 정책결정이 필요하지만 원전의 안전성 확보와 이에 부응할 수 있는 높은 기술수준의 비파괴검사원 확보를 위해서 궁극적으로는 국내 원전의 가동중검사에 채택하여야 할 것이다.

따라서, 원전 가동중검사 기술기준에서는 비파괴검사원에 대한 자격인정은 ANSI/ASNT CP-189 및 MI 기술기준의 요건에 따라 문서화된 절차를 준수하여 자격인정 및 자격인증되어야 한다.

○ MIA 2400 검사계획

가동중검사 계획에 대한 요건에 있어 ASME XI에서는 검사계획 A와 검사계획 B의 두 가지 요건을 규정하고 있으나, 우리 나라 원전의 경우는 검사계획 B에 의한 가동중검사가 시행되고 있고, 과기부 고시 1995-1호 “원자로시설의 가동중검사 및 가동중시험에 관한 규정”의 제5조(검사계획서의 제출)에서도 매 10년 동안의 가동중검사 계획서를 검사 개시 3개월 전까지 과기부장관에게 제출하도록 규정하고 있다.

따라서 ASME XI의 검사계획 A와 관련한 요건은 우리 나라의 실정에 해당되지 않으므로 삭제하였다.

이러한 내용을 근거로 하여 IWA 2430(c) 및 (h)와 IWA 2431의 검사계획 A를 MI 기술기준에서는 인용하지 않았다.

○ MIA 3000~9000

ASME XI의 IWA 3000~9000의 내용을 수용하였으며, 특이사항으로는 다음과 같다.

(1) Defect와 Flaw의 구분

MI 기술기준에서 Defect와 Flaw를 모두 결함으로 기술하였다. 괄호 안에 Defect가 병기된 경우는 평가 결과 합격기준을 만족하지 못한 결함이다.

(2) 재료의 사용에 관한 요건

(가) KEPIC-MDF, “철강재료 기술기준”이나 KEPIC-MDN, “비철금속재료 기술기준” 범위의 재료규격 대신에 ASME Sec. II의 SA 또는 SB 재료규격 혹은 ASTM A나 B 규격이 편집상의 차이를 제외하고 KEPIC-MDF 또는 KEPIC-MDN과 동일한 경우에는 어느 규격을 사용해도 좋다. ASME Sec. II SA 또는 SB 재료규격 혹은 ASTM A 또는 B 재료규격에 따라 생산한 재료 중에서, KEPIC-MDF 및 KEPIC-MDN의

재료규격에서 규정하지 않은 규격에 따른 재료를 사용하고자 하는 경우, 재료시험성적서 또는 재료확인서로써 해당 재료규격을 만족한다는 것이 확인되면 사용할 수 있다. 단, ASTM A 또는 B 재료규격은 ASME Sec. II SA 또는 SB 재료규격에 동등한 것으로 명시되어 있어야 한다.

(나) KEPIC-MDW, “용접재료 기술기준” 범위의 용접 재료규격 대신에 ASME Sec. II의 SFA 또는 AWS A 규격이 편집상의 차이를 제외하고 동일한 경우에는 어느 규격을 사용해도 좋다.

나. 기기별 가동중검사 기술기준(MIB~MIZ)

기기별 가동중검사 기술기준은 우리 나라의 경우 가압경수로형 원전만이 고려대상으로 ASME Code Section XI, Division 1의 가압경수로형 원전에 대한 요건만을 범위로 하였다. ASME Code Section XI, Division 1은 가압경수로형과 비등경수로형에 대한 요건을 구분하지는 않으나 가압경수로형 또는 비등경수로형에만 적용되는 경우에는 원자로형별 고유의 용어를 명시하여 적용성을 명시하고 있다. 즉 경수로형에 관계없이 공통적으로 적용되는 기준을 제시하되 원자로형별 고유사항에 대해서는 다음의 보기와 같이 필요시 규정하는 방식을 채택하고 있다.

〈보기〉 : Table IWB-2500-1, Examination
Category B-N-1

- Item Number B13.20-B13.40 : BWR
- Item Number B13.50-B13.70 : PWR

따라서, 원전 가동중검사 기술기준은 상기의 보기와 같은 ASME Code Section XI, Division 1의 내용 중에서 비등경수로형(BWR)에 관련한 사항을 제외한 기술적 요건을 수용하였다.