

일본 발전설비검사협회의 신기술기준 개발

(Development of New Maintenance Standards by JAPEIC)



박 지 홍

(KIMM 원자력공인검사단)

- '83 연세대학교 금속공학과 (학사)
- '88 Case Western Reserve Univ. 재료공학 (석사)
- '94 Case Western Reserve Univ. 재료공학 (박사)
- '94 - '95 Case Western Reserve Univ. 연구원
- '96 - 현재 한국기계연구원 선임연구원



홍 재 군

(KIMM 원자력공인검사단)

- '95 성균관대학교 금속공학과 (학사)
- '97 성균관대학교 금속공학과 (석사)
- '97 - 현재 한국기계연구원 연구원



이 주 석

(KIMM 원자력공인검사단)

- '77 서울대학교 전기공학과 (학사)
- '87 부경대학교 기계공학 (석사)
- '93 부경대학교 기계공학 (박사)
- '77 - 현재 한국기계연구원 원자력공인검사단 단장

1. 머리말

일본에서 현재 상업용 경수로(LWR : light water reactor) 원자력발전소는 51기가 현재 운전되고 있다. 그 구성은 28기의 BWR(boiling water reactor)와 23기의 PWR(pressurized water reactor)로 되어있다. 또한 건설중인 경수로로는 3기의 BWR 이 있다.^[1] 비록 다른 종류의 3기(light water reactor, gas cooled reactor, advanced thermal reactor & fast breeder reactor)가 있으나 아직까지 경수로가 일본 원자력발전소의 주종을 이루고 있으며, 현재 총 발전량은 44,917 MW이다.^[2] 가장 오래된 경수로가 1970년에 가동된 지 20년이 훨씬 넘어서게 되어, 원자력발전소의 장기가동에 따라 일본에서는 사회적, 기술적으로 보다 발전된 원자력발전소의 운영기술기준의 필요성이 절실하게 되었다. 이러한 배경에서 일본의 통상산업성(MITI : Ministry of International Trade and Industry)의 후원아래 1993년 가을에 일본발전설비검사협회(JAPEIC : Japan Power Engineering and Inspection Corporation)가 주도하여 POMS 위원회(Committee of Nuclear Plant Operation and Maintenance Standards)를 구성하여 원자력발전소의 신기술기준을 개발하기 시작하였다.^[3] 이 글에서는 일본의 원자력발전소 운영규정, 적용기술기준 및 POMS 위원회의 역할, 구성, 활동 및 신기술기준에 대하여 개관해 보고자 한다. 특히 검사(inspection), 결함평가(flaw evaluation) 및

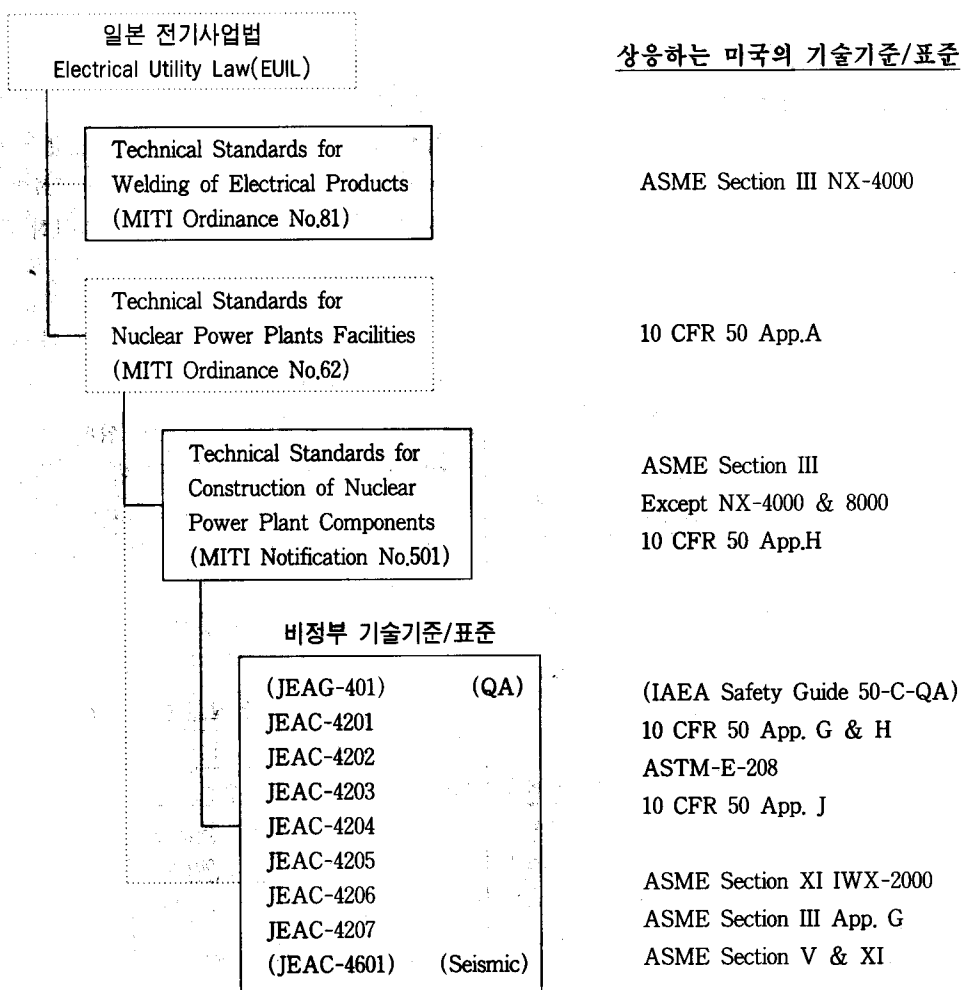
보수(repair)사항에 대하여 POMS 위원회의 신 기술기준과 미국의 기술기준인 ASME Section XI과의 차이점에 대하여 비교해 보고자 한다.

2. 일본의 원자력발전소의 법령

발전사업자가 소유한 모든 일본의 원자력발전소는 전기사업법(Electrical Utility Industry Law)을 따르도록 되어있다. 원자력발전소의 설계(design) 및 건설(construction)은 다음과 같은

법령이나 고시를 따르도록 되어있다 :

- a) MITI 법령(ordinance) No. 62(전반적인 설계기준)
- b) MITI 법령(ordinance) No. 81(용접의 필수사항)
- c) MITI 고시(notification) No. 501 (ASME Section III의 일본판 번역으로 ASME Section III 및 XI의 Class 1, 2 및 MC components와 유사함)
- d) 기타 기술기준/표준(other technical standards) 현재 법 체제 아래서는 이러한 기술기준/표준(technical standard)이 운전중인 발전소에 적용되



* JEAC, JEAG : 일본전기협회 기술기준 및 지침서

그림 1. 일본과 미국의 원자력발전소 기술기준/표준(Codes & Standards) 비교

고 있으며 경수로발전소의 구조건전성 유지에 기본철학을 이루고 있다. MITI Notification No. 501이 ASME Section III에 바탕을 두었으나 ISI(In-Service Inspection ; 가동중검사) 및 이에 관련된 사항의 특별한 요구사항을 명시하지 않고 있다. 실제로 ISI 사항에 대해서는 ASME Section XI을 바탕으로 만든 비정부 기술기준/표준(Non-Government Code & Standard)인 JEAC 4205[JEAC, JEAG(Japan Electric Association Guide & Codes) ; 일본전기협회 기술기준 및 지침서]에 있다. 현재의 JEAC 4205는 주로 검사(inspection)만 취급하고 있어 평가(evaluation) 및 보수(repair)에 대한 사항의 언급이 없어 재검토 되어야 할 사항이 남아있다. 그림 1 및 표 1에서는 일본의 원자력발전소의 법령 및 기술기준/표준과 이에 상응하는 미국의 기술기준/표준을 비교하였다.

3. 신기술기준을 위한 위원회 구성

새로운 기술기준의 필요성으로 일본에서는 통산성(MITI : Ministry of International Trade and Industry)의 후원아래 1993년 가을에 일본발전설비검사협회(JAPEIC : Japan Power Engineering and Inspection Corporation)가 POMS 위원회(Committee of Nuclear Plant Operation and

Maintenance Standards)라는 기술위원회를 구성하여 원자력발전소의 신기술기준을 개발하기 시작하였다.^[3] POMS 위원회의 주위원회(main committee)는 의장을 포함하여 18인으로 구성되어 있다. 그 내용을 살펴보면 학자, 전문가 9인, 발전사업자(utility industry) 6인, 제작자(fabricators) 3인으로 되어 있으며 일년에 3번 정도 회의를 가진다. 통산성(MITI)은 Observer로 참석한다. 주위원회(main committee) 아래 3개의 부위원회(subcommittee)가 한달에 한번 정도의 회의를 하고 그 부위원회(subcommittee)마다 각각의 연구그룹(working group)을 구성하고 있으며 토론결과를 주위원회(main committee)에 보고하도록 되어있다. 일본발전설비검사협회(JAPEIC)의 기술사무소(Technical Standards Office of JAPEIC)는 POMS 위원회의 사무국 역할을 담당하고 있다. POMS 위원회의 조직구성은 그림 2에 나타나 있다.

4. POMS 위원회의 역할

초기 단계로는 주로 POMS 위원회는 가동중검사(ISI) 및 이와 관련된 사항인 평가(evaluation) 및 보수(repair)의 요구사항(requirements)에 집중적인 노력을 하고 있다. 유럽 및 미국의 기술

표 1. 원자력발전소건설의 일본전기협회 기술기준/지침서(JE Codes & Guides)

JEAG 4101	Guide for Quality Assurance of Nuclear Power Plants
JEAC 4201	Methods of Surveillance Tests for Structural Materials of Nuclear Reactors
JEAC 4202	Drop Weight of Ferritic Steels
JEAC 4203	Primary Reactor Containment Vessel Leakage Test
JEAC 4204	Guide for Inspection of Nuclear Fuel
JEAC 4205	In-Service Inspection of Light Water Cooled Nuclear Power Plant Components
JEAC 4206	Verification Test Methods of Fracture Toughness for Nuclear Power Plant Components
JEAG 4207	Ultrasonic Examination for Inservice Inspection of Light Water Cooled Nuclear Power Plant Components
JEAG 4601	Technical Guidelines for a seismic Design of Nuclear Power Plants (Translated into English by Brookhaven National Laboratory and Published by U.S. NRC as NUREG/CR-6241)

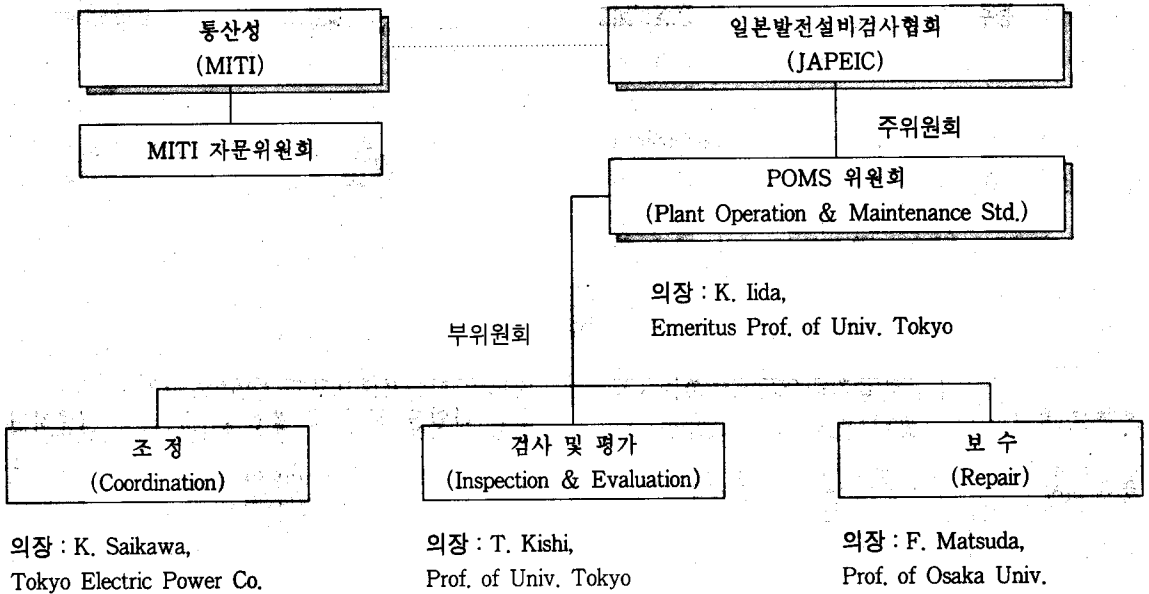


그림 2. POMS 위원회의 조직구성

기준/표준(Code & Standard)을 연구한 결과 ASME Section XI을 주요 참조자료(main reference)로 채택하였고 ASME Section XI의 기술기준 및 타당성을 검토한 후 일본의 상황에 맞는 원자력발전소 유지기준(maintenance standard)을 개발하고 있다. 여기서 중요한 주제

로 삼고 있는 내용을 표 2에서 살펴볼 수 있다.

5. 신기술기준 초안과 ASME Section XI과의 차이점

POMS 위원회에서 만든 새로운 기술기준과

표 2. 중요활동 내용

검사 (inspection)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Necessity and function of pre-service inspection (PSI) 2. Principal philosophy to specify inspection frequency & coverage (particularly for class 1 components) 3. Correlation between Ut detection accuracy & detected flaw sizes 4. Technical basis & Validity for flaw acceptance standards
평가 (evaluation)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Flaw evaluation of ferritic vessels, ferritic piping & austenitic piping, with ASME Sec. XI Appendices A, C, & H for reference 2. To be discussed in the next term; <ul style="list-style-type: none"> - Fracture toughness evaluation, with ASME Sec. XI Appendices E, G, & K for reference - Fatigue assessment of operating plant components, with ASME Sec. XI draft non-mandatory Appendix for reference - Piping erosion/corrosion evaluation, with ASME Sec. XI draft IWH for reference
보수 (repair)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Flaw removal (for general application) 2. Repairs by welding (for general application, and under-water welding) 3. Techniques for preventive maintenance (e.g., improvement of residual stress distribution and surfacing)

보수 (repair)	4. Other specific repair techniques (for specific application to particular components) 5. Temporary repair techniques (by adhesive materials or fillings for leakage)
기타사항	1. Systemization of the maintenance standards consistent with the current legislation 2. Classification of each requirement into the governmental code and the private voluntary tandards

ASME Section XI과의 중요한 차이점, 내용 및 배경을 표(표 3, 4, 5, 6)에서 검사(inspection),^[4] 평가(evaluation),^[5] 허용결함(allowable flaw)^[5] 및 보수(repair)^[6] 항목별로 상세히 열거하였다.

6. POMS 위원회의 향후계획

POMS 위원회가 만든 기술기준 초안(draft)은 현재로서는 잠정적이다. POMS 위원회가 이러한 초안 작업을 끝낸 후 통산성(MITI)에 제출하면

표 3. 검사(inspection)의 ASME Sec. XI과 신기술기준초안과의 중요차이점

항 목	ASME Sec. XI	신기술기준초안	근 거
1. Accessibility	Requires design & arrangement for access for inspection [IWB-1400(b)]	-	Essentially design requirement
2. Inspection Program [IWA-2403]	Specifies Program A & B	Specifies Program B only	Due to traditional practices
3. Specific Inspection Program	-	Requires plant owner to prepare particular inspection programs for failure experienced components (e.g. 100%/year for Alloy 600 SG tubes)	To correspond to failure experiences
4. Successive Inspections [IWB-2420]	Requires re-examination during the next three inspection periods for Class 1 components after the flaw is accepted by evaluation	Requires the first re-examination at an earlier time among 1/10 of the evaluation period or three years	To confirm the evaluation results earlier and give allowances
5. Evaluation of PSI result [IWB-3110, 3120, etc.]	Requires to evaluate the results with flaw tandards	Allows basically no detectable flaws in PSI	Due to traditional policy for PSI
6. System pressure test for Class 3 comp. [IWD-5210]	Requires leakage tests and hydraulic tests	Requires leakage tests only	In accordance with requirements for Classes 1 & 2 components
7. Extent of Examination (1) Reactor vessel welds a) In beltline region or	100 %/ 10 years	7.5 %/ 10 years for the	No problems so far with

항 목	ASME Sec. XI	신기술기준초안	근 거
with structural discontinuity		region > 1019 nvt	50%/ 10years inspection for the region > 1019 nvt
b) Other welds w/o. structural discontinuity	100 %/ 10 years	7.5 %/ 10 years	No problems so far with 5% or 10 %/ 10years
(2) Pressurizer and SG			
a) Welds with structural discontinuity	100 %/ 10 years	25 %/ 10 years	In accordance with the requirements for Class 1 piping
b) Welds w/o. Structural discontinuity	100 %/ 10 years	7.5 %/ 10 years	In accordance with the requirements (1) b) above
(3) Integrally welded attachments of RV, pressurized and SG	100 %/ 10 years	7.5 %/ 10 years	In accordance with the requirements for PV welds (1) b) above
(4) Class 1 pump casing welded and valve body welds	100 %/ 10 years for at least one component	7.5 %/ 10 years for at least one component	In accordance with the requirements for SG & PR welds w/o. structural discontinuity
(5) Welds in RV CRD housing	10 % peripheral CRD housing (VT)	25 % peripheral CRD housing (VT)	In accordance with the current in Japan
(6) Pressure retaining boundary welds of Class 3 components	100 %/ 10 years	7.5 %/ 10 years	In accordance with the requirements for SG & Pressurized welds w/o. structural discontinuity
(7) VT-3 of Classes 2 & 3 components	Every 3 years	100 %/ 10 years	In accordance with the current in Japan

표 4. 평가(evaluation)의 ASME Sec. XI과 신기술기준초안과의 중요차이점

항 목	ASME Sec. XI	신기술기준초안	근 거
1. Application Scope			
(1) Ferritic vessel			
a) Wall thickness	Applicable to wall thick. >4 in	Applicable to any wall thick.	Technically applicable to smaller size nozzles
(2) Austenitic piping			
a) Diameter	Applicable to nom. dia. >4 in	Applicable to nom. dia. >2.5 in	Considerations for service fatigue failure cases (socket welds)
b) Ferritic content	Applicable to ferritic content <20 %	Two parameter method applied to ferritic content > 20 %	To cover all duplex SS piping in Japan

항 목	ASME Sec. XI	신기술기준초안	근 거
(3) Ferritic piping a) Diameter	Applicable to nom. dia. >4 in	Applicable to nom. dia. >4 in	Considerations for service fatigue failure cases (socket welds)
2. Loading Conditions a) No. of occurrence [A-5200(a), C-3200 & H-3210(a)]	Requires to determine them based on design conditions	Requires to determine them based on operation records	Design conditions are too conservative
3. Cause of Crack Growth a) Ferritic piping [H-3220]	Requires to consider SCC, if necessary	Requires no consideration for SCC	No experience of ferritic piping SCC
4. Crack Growth Analysis a) Surface flaw shape change [A-5200(b)]	Requires to evaluate flaw growth in both depth and length	In addition, method to consider shape changes should be applied	To introduce the latest knowledge
b) Coalescence of adjacent flaws [IWA-3300]	Requires no coalescence during crack growth	Requires to consider coalescence during crack growth	To introduce the latest knowledge
5. Proximity Evaluation of Multiple Flaws [IWA-3000] a) Flaw acceptance	Requires proximity evaluation in advance of comparison with the acceptance standards	Requires, in addition, proximity evaluation in crack growth and failure analysis with different criteria	To introduce the latest knowledge

표 5. 허용결함(allowable flaws)의 ASME Sec. XI과 신기술기준초안과의 중요차이점

항 목	ASME Sec. XI	신기술기준초안	근 거
1. Application Scope	Specifies for all class 1 & class 2 components Specifies for planar flaw, laminar flaw and linear flaw	Specifies for class 1 austenitic & ferritic piping & class 1 ferritic vessel Specifies for planar flaw only	To apply acceptance standards to components for which analytical evaluation procedure is specified. For other components, to apply correspondingly acceptance standards in Sec. III Apply Sec. III standards for laminar flaw. linear flaw is regarded as planar flaw.

항 목	ASME Sec. XI	신기술기준초안	근 거
2. Austenitic Piping and Ferritic Piping	Specifies separately	Specifies commonly	To confirm the safety margin for each material respectively
3. Limit of Aspect Ratio	Specifies no limit	Specifies for aspect ratio > 0.06 (For circumferential flaw, $\theta < 30$ degrees, & for axial flaw, $l/Rt1/2 < 2$)	To confirm the safety margin for LBB concept
4. Acceptance Standard for PSI	Specifies for both PSI and ISI	Specifies for ISI	Due to traditional philosophy
5. Clad	Neglect clad	Regards clad as a part of base metal	To deal with same as IWB-3600
6. Subsurface Flaw in the Proximity of Component	Specifies different value for surface flaw and subsurface flaw	Specifies same depth for surface and subsurface flaws	To keep consistency
7. Nozzle Corner	2.5 % of wall thickness	No standards	Only small crack can be permissible due to higher stress at the nozzle corner
8. Minimum Depth of Acceptable Flaw	Specifies no minimum flaw depth	Specifies minimum acceptable depth of 1.5 mm	To refer to detectability by UT examination

표 6. 보수(repair)의 ASME Sec. XI과 신기술기준초안과의 중요차이점

항 목	ASME Sec. XI	신기술기준초안	근 거
1. General (1) Area to be covered	Specifies for repairs by defect removal, repair of heat exchanger tubing, alternative repair welding methods & replacements	Specifies, in addition, those which have been developed and verified on the events of component failures so far	To introduce the latest knowledge and technique
2. Techniques to be covered (1) Flaw removal	Repairs by defect removal [IWA-4300]	In addition to the requirements of IWA-4300, detailed technical specification will be added	
(2) Repairs by welding	Alternative repair welding methods [IWA-4500] - - C.C.N. 516	Repair by temper bead welding Outer sleeving Inner sleeving Underwater welding-wet	Based on IWA-4500 with slight modification Based on qualification test results in Japan Ditto Ditto

표 6. 보수(repair)의 ASME Sec. XI과 신기술기준초안과의 중요차이점

항 목	ASME Sec. XI	신기술기준초안	근 거
	C.C.N. 516	welding SMAW Underwater welding-dry welding	Based on C. C. N-516
(3) Techniques for preventive maintenance (Improvement of residual stress distribution)	- - - - -	Stress improvement by induction heating Water cooled groove welding Outer surface buttering Water cooled welding Laser cladding Sleeve-fusion TIG cladding	Based on qualification test results in Japan Ditto Ditto Ditto Ditto Ditto
(4) Specific repair techniques	Tube or tube sheet hole plugging by fusion welding [IWA-4412] No provision IWA-4421 & 4423 IWA-4421 & 4423 SG tube sleeving by MIG [IWA-4421 & 4423] WA-4421 & 4423 WA-4421 & 4423 SG tube sleeving by explosive welding - - -	SG tube plugging by fusion welding SG tube plugging by mechanical devices SG tube sleeving by TIG SG tube sleeving by laser beam welding No Provision SG tube sleeving by brazing SG tube sleeving by mechanical expansion - Fillet repair welding with temporary plate Temporary repair by adhesive materials Temporary repair by filling materials	Based on IWA-4412 Based on qualification test results in Japan Based on qualification test results in Japan Based on qualification test results in Japan Based on qualification test results in Japan No future needed in Japan Based on qualification test results in Japan Based on qualification test results in Japan No future needed in Japan Based on qualification test results in Japan Based on qualification test results in Japan Based on qualification test results in Japan

통산성(MITI)은 임시특별위원회(ad-hoc committee)를 구성하여 최종적으로 기술기준 초안을 검토하게 된다. 여기서 많은 수정작업이 예상된다. 표 7에는 POMS 위원회의 향후계획이 서술되어 있다.

7. 맺음말

일본에서는 원자력발전소의 장기가동에 따라 종래의 미국의 ASME 기술기준 번역에서 벗어나 새로운 운영기술기준의 필요성이 절실하게 되어 통산성(MITI)의 후원아래 일본발전설비검사협회(JAPEIC)가 POMS 위원회라는 기술위원회를 구성하여 원자력발전소의 신기술기준 초안(draft of new maintenance standard)작업을 착수하였다. 이 글에서는 현재 일본의 원자력발전소 운영법, 기술기준, POMS 위원회의 활동, 및 신기술기준 초안에 대하여 살펴보았다. 일본이 93년부터 이 작업을 시작하여 현재까지 활동중이다. 우리나라도 원자력발전소 운영이 20년이 훨씬 경과하였고 계속해서 신규 원자력발전소를 건설중이나 현재까지 미국의 ASME 기술기준을 그대로 사용하고 있는 실정이다. 앞으로 원전기기 구조건전성 및 대국민 신뢰성 확보라는 차원에서 단순히 미국의 ASME Code의 번역을 벗어

나서 국내실정에 적합한 새로운 기술기준개발이 시급한 실정이다.

참 고 문 헌

- [1] 후지우라 카츠요시, "일본의 안전규제의 동향", 일본 JAPEIC 검사전문가 초청 세미나(KIMM), 12/8. 1999.
- [2] Kunihiro Iida, "Present situation of ISI performance in japan", 14th International Conference on NDE in the Nuclear and Pressure Vessel Industries, September 24-27, 1996, Stockholm, Sweden.
- [3] Kunihiro Iida, "Draft of new maintenance standards for LWR in Japan", ASME Pressure Vessels and Piping Division Conference, July 21-26, 1996, Canada.
- [4] ASME Code Section XI Division 1 Subsection IWX-2000, "Examination and Inspection", 1989.
- [5] ASME Code Section XI Division 1 Subsection IWX-3000, "Standards for Examination Evaluation", 1989.
- [6] ASME Code Section XI Division 1 Subsection IWX-4000, "Repair Procedures", 1989.

표 7. 신기술기준의 현재 및 향후계획

영역	1996년 3월까지 완성	1996년 3월 이후 계획
검 사 (inspection)	- Inservice inspection requirements for Classes 1, 2, 3 and MC components and their supports [IWA, IWB, IWC, IWD, IWE, IWF]	- UT qualification [App. VIII] - ISI requirements for concrete PCV [IWL]
평 가 (evaluation)	- Flaw evaluation for ferritic vessels, austenitic piping & ferritic piping [Apps. A, C and H]	- Fracture toughness evaluation [Apps. E, G and K] - Erosion/corrosion evaluation - Re-evaluation of fatigue damage
보 수 (repair)	- Defect removal - Repairs by welding - Repairs of heat exchanger tubing - Residual stress improvement in part	- Other specific repairs