한국압력기기공학회 논문집
제7권 제4호 2011년 12월 pp. 31－37

리스크 정보를 활용한 배관 가동중검사 적용

진영복† · 진석홍* · 문용식*

Application of Risk-Informed Inservice Inspection for Piping in Nuclear Power Plants

Young Bok Jin†, Seuk Hong Jin* and Yong Sig Moon*

(Received 7 NOV 2011, Accepted 14 NOV 2011)

ABSTRACT

Pressurized Water Reactor Owners Group(PWROG) proposed and applied a risk-informed inservice inspection (RI-ISI) program to alternate existing ASME Section XI periodic inspections. The RI-ISI programs enhance overall safety by focusing inspections of piping at high safety significant(HSS) and locations where failure mechanisms are likely to be present, and by improving the effectiveness on inspection of components because the examination methods are based on the postulated failure mode and the configuration of the piping structural element. The RI-ISI programs can reduce NDE, man-rem exposure, costs of engineering analysis, outage duration and chance of complicating plant operations etc. RI-ISI methods of piping inservice inspection were applied on 3 units(KSNP : Korea Standard Nuclear Power Plant) and are scheduled to apply on the other units. In this paper, we compared and showed the results of the 2 units and we concluded that the RI-ISI application could enhance and maintain plant safety and give unquantifiable benefits.

Key Words : Risk-Informed Inservice Inspection(RI-ISI:리스크 정보를 활용한 배관 가동중검사), Probabilistic Safety Assessment(PSA:확률론적 안전성평가), Structural Element Failure Probability Assessment(배관파손 확률평가)

기호설명

HSS : High Safety Significant
CDF : Core Damage Frequency
LERF : Large Early Release Frequency
RRW : Risk Reduction Worth
SRRA : Structural Reliability Risk Assessment

† 책임저자, 회원, 한국수력원자력(주) 한수원중앙연구원
E-mail : jinjin@khnp.co.kr
TEL : (042)870-5623 FAX : (042)870-5639
* 한국수력원자력(주) 한수원중앙연구원

1. 서 론

국내 원자력발전소에서는 주요 배관에 대한 건전성을 주기적으로 확인하기 위하여 ASME Code Section XI 기술기준에 따라 가동중검사를 수행하고 있다. 기술기준에서는 배관의 안전등급에 따라 일정량의 표본검사를 요구하고 있으며, 우선적으로 이종금속용접부위, 터미널 엔드, 고 응력 및 피로의 발생이 예상되는 부위를 선정하여 가동중검사를 수행하고 있다.

그러나 원자력발전소 안전성 관련 배관에서 발생된 결함은 기술기준에 의하여 선정된 부위 보다는 예상치 못한 부위에서 더 많이 발생되었다. 따라서 기존 ASME Section XI에 의한 검사부위 선정 방안을 대체

하고자 리스크 평가 결과를 이용하는 방법이 제안되었다. 리스크 정보를 활용한 배관 가동중검사는 배관파손 시 리스크 및 배관파손 가능성이 높은 배관에 검사를 집중하여 배관파손에 의한 발전소 리스크를 감소시키면서 배관 가동중검사 부위를 최적화하는 것으로 배관 파손확률과 파손에 따른 발전소 리스크를 함께 고려하여 검사대상 배관을 선정한다.

PWROG 및 EPRI에서 리스크 정보를 이용한 배관 가동중검사 부위 선정 방법론(RI-ISI)을 개발하였으며, 현재 많은 미국 원전 사업자들은 ASME Section XI 기술기준 대신, RI-ISI 방법론을 이용하여 배관 비파괴검사 부위를 선정하고 손상 메커니즘에 따라 검사방법을 결정함으로써 가동중검사의 효율성, 원전의 안전성 및 경제성을 동시에 제고하고 있다. 이에 따라 2008년도 국내에서 원자력발전소에 적용을 위한 PWROG RI-ISI 방법론을 개발하여 교육과학기술부의 승인을 받아 원전 3 개호기에 대해 적용중이며, 향후 전체 경수로 원전에 적용할 예정이다.

본 논문에 기술된 방법론은 PWROG 방법론을 근간으로 국내 원자력발전소에 적용하고 있는 RI-ISI 방법론이다. 이 방법론은 ASME Section XI 검사부위 선정 요건의 대체방안으로 리스크 중요도를 활용하여 검사부위를 선정한다. 국내 원전에 적용된 RI-ISI 방법론은 적용범위의 결정, 배관 세그먼트 정의, 사고결말 분석, 배관파손확률 평가, 리스크 평가, 전문가패널 검토, 검사부위 및 방법 선정의 절차로 수행되었으며, 개발된 RI-ISI 프로그램의 이행 및 관리는 주기적으로 갱신(Update) 되어야 한다.

본 방법론의 국내 원자력발전소 적용 대상은 한국표준형, 웨스팅하우스형 및 프라마톰형 원자력발전소의 Class 1, 2 가동중검사 배관이다. 또한 본 방법론은 배관 용접부착물, 배관 지지대 및 배관 감육관리 프로그램과 같은 강화검사 프로그램에는 적용되지 않는다.

본 논문에서는 RI-ISI 프로그램을 적용하고 있는 원자력발전소 중 2개호기를 대상으로 적용 내용 및 결과를 기술하였다.

2. RI-ISI 방법론 소개

RI-ISI 프로그램 이행을 위한 전반적인 흐름은 아래 Fig. 1과 같다.

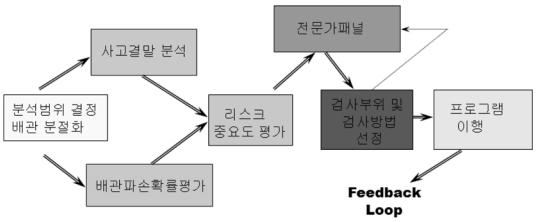

Fig. 1 Risk-Informed ISI Process

2.1 분석범위 결정

분석범위에 포함되는 계통은 PSA에 모델링되어 있거나, 가동중검사계획서의 리스크 순위가 높게 평가된 유체계통을 대상으로 한다. 분석범위는 상기의 전 배관을 대상으로 하는 전체적용과 안전관련 계통의 Class 1 또는 Class 2 배관만을 대상으로 하는 부분적용으로 구분할 수 있다. 선정 시 발전소의 안전성 향상 및 불시정지 감소 등의 효과를 고려하여 결정한다.

2.2 배관 분절화

분석을 위하여 배관을 세그먼트로 분절화 한다. 이는 리스크 순위 결정을 위하여 사고결말, 운전조건 및 배관의 물성치가 유사한 배관을 묶어 하나의 배관 세그먼트로 정의한다. 분절화 하는데 고려하는 사항은 세그먼트 내의 어떤 위치에서의 파손도 같은 사고결말을 가져야 하며, 파손물성치도 비슷하여야 한다. 일반적으로 펌프 및 밸브와 같은 주요 불연속 부위를 구분한다.

2.3 사고결말 분석

각 분절화 된 세그먼트에서의 배관파손에 따른 사고결말을 PSA 평가결과 혹은 엔지니어링 평가, 발전소 설계 및 운전성 검토 등을 통하여 평가한다. 사고결말 분석은 세그먼트가 포함된 계통 및 계열의 기능상실과 같은 직접피해와 배관의 파손으로 초래되는 침수, 파이프 휩 및 제트 임핀지먼트와 같은 현상에 의한 간접피해로 나누어 분석을 수행한다.

2.4 배관파손확률 평가

배관 분절화 및 사고결말분석이 끝나면, 이를 토대로 하여 배관파손확률 평가를 수행한다. 이를 위하여, 배관 세그먼트가 정의된 배관 및 계장 도면, 현장배관 설치도면, 각 배관의 응력보고서, 장기 가동중검사계획서 등의 자료를 종합하여 배관파손확률 평가 전산

코드인 SRRA의 입력 자료를 작성한 후 배관파손확률을 평가한다. SRRA 코드 입력변수의 일부분은 분석자의 엔지니어링 판단에 의존하기 때문에 계통 또는 계열별 계산 결과가 나오면 일관성이 유지되었는지 확인하기 위하여 계산 결과에 대한 종합적인 검토를 수행하고 필요시 재계산을 한다.

2.5 리스크 평가

배관 세그먼트의 리스크 평가는 배관이 파손될 때 발생되는 리스크를 평가하는 과정이다. 배관의 리스크와 상대적인 중요도는 노심손상빈도(CDF)/ 대량조기방출빈도(LERF)와 배관파손확률을 함께 고려하여 결정한다.

2.6 전문가 패널

전문가패널은 운전, 정비, PSA 및 가동중검사 등 각 분야 전문가로 구성하며, 리스크평가에서 간과될 수 있는 결정론적인 고려사항, 운전 및 정비, 검사 경험 등을 종합적으로 검토하여 가동중검사 대상인 고리스크 배관 세그먼트를 최종 결정한다.

2.7 검사부위 선정

각 고 리스크 배관 세그먼트에서의 검사부위 선정은 각 용접부, 모재 및 예상되는 파손 메커니즘에 대한 심도 있는 검토 후에 이루어진다. 활성 손상 메커니즘을 가지고 있는 배관 세그먼트의 용접부에 대하여는 전수검사를 실시하고, 그 이외의 배관 세그먼트에 대하여는 검사부위 선정 매트릭스와 통계적인 모델인 Perdue를 이용하여 검사량을 확인한다. 검사량이 확인된 후 검사대상 용접부위 선정은 배관 설치, 운전 경험, 응력 및 배관파손 확률 정보와 재질 및 비파괴검사 특성들을 고려하여 결정한다. 검사방법은 손상 메커니즘에 따라 결정한다. 이와 같이 검사부위 및 검사방법은 재료, 가동중검사 및 비파괴검사 전문가들로 구성된 전문가패널에서 결정한다.

2.8 RI-ISI 프로그램 이행

Fig. 1과 같이 수행된 리스크 정보를 바탕으로 수립된 RI-ISI 프로그램에 따라 원자력발전소 가동중검사를 수행하며, PSA 모델, 발전소에서 발생하는 설계 및 절차서 변경 등을 주기적으로 검토하여 RI-ISI 프로그램에 반영한다.

3. 발전소 적용

3.1 분석 범위(Scope)

국내 원자력발전소는 Class 1 및 2 배관만을 대상으로 하는 부분적용을 선택하여 수행하고 있다. 국내 원전 A, B호기의 RI-ISI 분석 범위는 Table 2의 AF (보조급수) 계통을 포함하여 30개 계통이다.

3.2 배관 분절화(Segment Definition)

A, B호기는 설비 용량이 1,000 MW로 동일하나 계통 설계에 약간의 차이가 있다.

Table 1은 A, B호기의 설비 차이를 나타내고 있다.

배관 분절화 작업은 분석 시 PSA에서 고려하고 있는 같은 사고결말을 갖는 배관부위(예를 들면, 한 계열의 잔열제거 상실, 재장전탱크 기능 상실 등), 유동이 분기되거나 합쳐지는 곳, 파손배관을 격리할 수 있는 지점(예를 들면, 역지밸브, 공기구동 또는 전동구동밸브 등 단 수동밸브는 제외)을 포함하는 배관, 배관 크기가 변하는 곳을 고려하여 선정하였다.

Fig. 2는 A호기와 B호기의 배관 분절화 결과도면을 나타내고 있다.

Table 2는 A호기와 B호기의 배관 분절화 결과 수량을 나타내고 있다.

Table 1 Plant System Difference

계통	A plant	B plant
원자로건물 살수계통	독립적인 열교환기 존재	정지냉각계통 열교환기를 공유
주증기계통	터빈구동 보조급수펌프	디젤구동 보조급수펌프
화학 및 체적 제어계통	충전펌프 4대	충전펌프 3대
기기냉각수계통	RCFC에 기기 냉각수 공급	RCFC에 Chilled Water 공급
기타 계통	Vent/drain line	Vent/drain line 없음
	Reducer	Reducer 없음

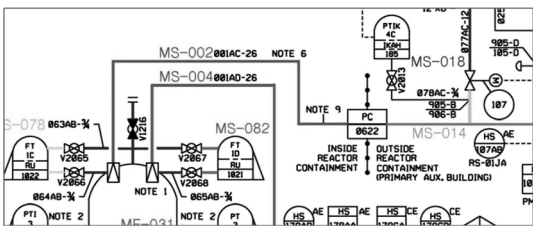

Fig. 2 Segment Results(Main Steam System)

3.3 사고결말 분석

사고결말은 분절된 배관이 파손될 경우 계통에 미치는 직접 피해 및 간접 피해 분석하는 것으로 직접 피해(Direct Consequence)는 냉각재 상실사고, 원자로 정지와 같은 초기사건을 유발시키는 사고, 단일계통 혹은 계열의 기능을 상실시키는 사고, 다중계통 혹은 계열의 기능을 상실시키는 사고, 위의 형태를 복합적으로 발생시키는 사고를 분석하고, 간접 피해(Indirect Consequence)는 배관 파손으로 간접적으로 주변 기기의 고장을 일으키는 사고로 침수, 제트 임핀지먼트, 분사 및 파이프 휩 등의 현상이 있으며, 현장 확인을 통해 고에너지관이 지나는 격실, 배관, 계통, 기기 상호간의 물리적 이격 거리, 배관 파손 격리장치,Whip Restraint, Barrier Jet Shield 보호장치와 같은 피해 메커니즘을 파악하였다. 현장답사를 통해 간접피해를 정성적으로 평가하였으며, PSA 모델을 활용하여 이를 정량화하였다.

사고결말에 대한 분석 사례는 Table 3과 같다.

Table 2 Number of Segments Defined

System	A plant	B plant
AF(보조급수)	22	22
BD(증기발생기 취출수)	36	36
CI-AS(보조증기)	3	3
CI-CA(복수기 진공)	4	4
CI-CC(기기냉각수)	7	47
CI-CM(격납건물 감시)	48	44
CI-DE(방사성 배수)	2	2
CI-FC(사용후연료저장조 냉각/정화)	5	4
CI-IFP(화재 방호)	6	4
CI-GW(기체방사성 폐기물)	4	4
CI-HG(가연성가스 제어)	54	58
CI-NT(질소)	4	4
CI-PR(방사선 감시)	8	8
CI-PS(2차시료 채취)	27	14
CI-SA(소내용 공기)	3	3
CI-VQ(격납건물 퍼지)	25	25
CI-WI(발전소 냉수)	8	7
CI-WM(보충수 탈염)	3	3
CS(격납용기 살수)	120	127
CV(화학및체적 제어)	536	483
HS(고압안전 주입)	293	255
IA(계기용 공기)	4	4
LS(저압안전 주입)	94	96
MF(주급수)	86	86
MS(주증기)	68	56
PX(1차시료 채취)	55	50
RC(원자로 냉각)	182	177
SC(정지냉각)	83	74
SD(안전감압 및 방출)	33	33
ST(안전주입 탱크)	32	32
계	1,854	1,765

3.4 배관파손확률 평가

배관파손확률 평가의 목적은 배관파손 시 조건부 리스크와 함께 배관 파손 시 리스크를 산출하는데 있다. 평가는 배관 파손 시 사고결말을 초래하는 배관 세그

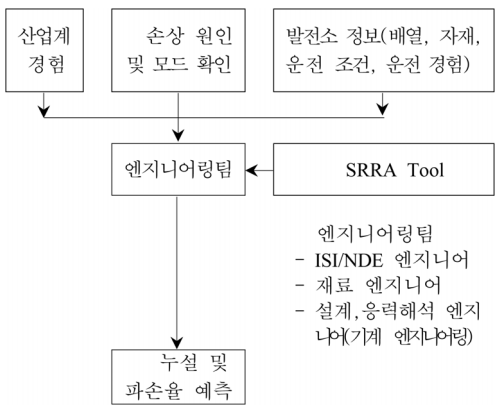

Fig. 3 Failure Probability Estimation Process

Table 3 Consequences Sample(MS System)

Consequence ID	Treatment	Consequence Description	PSA Run ID
MS 001	SYS	Loss of Steam Supply to Aux. FW Pump Turbine B and Loss of Turbine Bypass Dump from SG1 and SG2 and Loss of Atmospheric Dump from SG1 and Loss of MSSVs off of SG1, Loss of Inboard Containment Isolation(LERF)	PSA-MS001
MS 006	IE	Large Secondary Pipe Break Inside Containment and Loss of Steam Supply to Aux. FW Pump Turbine A and Loss of Turbine Bypass Dump from SG1 and SG2 and Loss of Atmospheric Dump from SG2 and Loss of MSSVs off of SG2, and Loss of Inboard Containment Isolation(LERF)	PSA-MS002

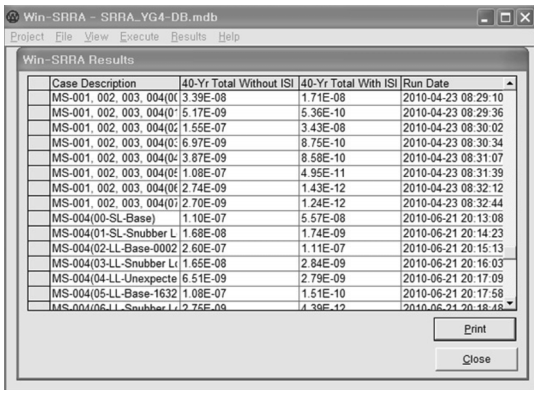

Fig. 4 SRRA Results(Main Steam System)

먼트별 배관 파손확률평가, 정상운전조건에서의 소량누설/대량누설 및 파단확률 계산, 지진/Water Hammer/Snubber Locking 등 설계 제한 응력조건을 평가 후 발생확률을 고려하여 수행하였다. SRRA 프로그램은 미국 웨스팅하우스에서 배관 파손확률을 계산하기 위하여 개발한 전산코드로 배관의 재질, 크랙 검사 주기 등 18개 항목의 변수를 입력하였다.

배관 파손확률평가 절차는 아래 Fig. 3과 같은 절차에 따라 수행되었으며 평가 결과는 Fig. 4의 예와 같다.

3.5 리스크 평가

리스크평가는 배관 세그먼트의 중요도(RRW) 평가를 위하여 배관 파손에 따른 발전소 리스크를 분석하는 것으로 Segment CDF, LERF, RRW 계산 및 Total piping CDF and LERF, Segment Risk Ranking(HSS/LSS)를 결정하는 것이다. 리스크는 배관파손확률(SRRA Code 이용)에 배관 파손 시 노심손상빈도(PSA 모델 이용)를 곱하여 산출하였다. 리스크 중요도 척도에서 HSS(High Safety Significance)는 RRW>1.005을 기준으로 하였다.

Table 4는 전문가패널 검토가 완료된 최종 리스크 중요도 평가 결과이다.

3.6 전문가 패널

검사대상 배관 세그먼트를 결정하기 위하여 전문가패널 회의를 수행하였다. 전문가패널 구성원은 검사수행 대상에 포함시킬 배관 세그먼트 즉, 고 리스크 배관을 결정하기 위하여 각 분야별 전문지식과 경험을 활용하여 확률론적안전성 평가 결과, 배관파손확률값 및 리스크 랭킹과 관련된 입력자료 등 리스크중요도 평가 결과를 종합하여 검토하고 최종 결정하였다. 또한 배관 세그먼트별로 검사물량을 결정한 후에 비파괴검사 전문가패널을 구성하여 검사대상 용접부 및 검사 방법을 결정하였다.

Table 4 Summary of High Safety Significant Segments as determined by Expert Panel

System	Number of HSS segment	
	A plant	B plant
AF	2	2
BD	0	0
CI-AS	0	0
CI-CA	0	0
CI-CC	0	0
CI-CM	0	0
CI-DE	0	0
CI-FC	0	0
CI-IFP	0	0
CI-GW	0	0
CI-HG	0	0
CI-NT	0	0
CI-PR	0	0
CI-PS	0	0
CI-SA	0	0
CI-VQ	0	0
CI-WI	0	0
CI-WM	0	0
CS	16	22
CV	4	8
HS	61	53
IA	0	0
LS	36	32
MF	0	8
MS	34	34
PX	1	1
RC	54	56
SC	3	2
SD	3	5
ST	0	0
Total	214	223

3.7 검사부위 선정

검사부위는 고 리스크 배관 세그먼트 내 용접부 중

에서 선정하고, 검사 방법은 예상되는 손상메커니즘에 따라 선정하였다. 검사부위 및 방법 선정을 위해 검사부위 선정 전문가패널을 구성하여 운영하였다.

3.7.1 검사부위 선정 매트릭스

검사부위 선정은 배관파손확률과 파손조건부 발전소 리스크를 함께 고려 후 검사대상 배관을 선정하여 전문가패널에서 HSS/LSS 세그먼트를 결정하였다.

HFI/LFI(High Failure/Low Failure Importance) 결정은 세그먼트의 파손확률이 아래의 기준을 초과하면 고 손상중요도(HFI)로 분류하였다.

$$P_{Large\ Leak} > 10^{-4} \text{ (40년 운전기간)} \quad (1)$$

분석범위 내의 모든 배관 세그먼트를 분석결과와 잠재적인 배관 파손확률에 근거하여 아래 Fig. 5의 매트릭스에 할당하였다.

- ○ Matrix 1(A)는 100% 검사 부위
- ○ Matrix 1(B) & 2 : Perdue 모델을 이용하여 최소 검사량 확인
- ○ Matrix 3 : 강화가동중검사 활용
- ○ Matrix 4 : 압력시험 및 육안검사를 수행한다.

3.7.2 검사량 확인

Fig. 5 Matrix 1(B) & 2의 배관 세그먼트 내 용접부 검사에서 만족할 만한 신뢰도를 얻기 위한 필요한 검사량을 확인하는 데에 Perdue 모델이 사용되었다. 이

고 손상중요도	사업자 자체 프로그램 3 (102/85 세그먼트)	(A) 활성 손상 메커니즘 부위 (62/97 세그먼트)
		(B) 검사부위 선정 과정 필요 1 (16/8 세그먼트)
저 손상중요도	계통압력 및 누설 육안검사만 시행 4 (1,538/1,457 세그먼트)	검사부위 선정 과정 필요 2 (136/118 세그먼트)
	저 리스크	고 리스크

Fig. 5 Unit A/Unit B Structural Element Selection Matrix

Table 5 Examination Categories R-A

Item No.	Parts Examined	Examination Method
R1.10	고 리스크 배관 부위	
R1.11	열피로 (Thermal Fatigue)	체적검사
R1.12	고주기 기계적인 피로 (High Cycle Mechanical Fatigue)	육안검사(VT-2)
R1.13	침식 공동현상 (Erosion Cavitation)	체적검사
R1.14	틈새 부식 균열 (Crevice Corrosion Cracking)	체적검사
R1.15	PWSCC(Primary Water Stress Corrosion Cracking)	체적검사
R1.16	IGSCC 또는 TGSCC (Intergranular or Transgranular Stress Corrosion	육안검사(VT-3), 내부 표면/육안검사
R1.17	MIC(Microbiologically Influenced Corrosion) or Pitting	육안검사(VT-3), 내부 표면/육안검사
R1.18	FAC (Flow Accelerated Corrosion)	자체강화검사
R1.19	ECSCC(External Chloride Stress Corrosion Cracking)	표면검사
R1.20	손상 메커니즘 없음 (No Failure Mechanism)	체적검사

Table 6 Unit A/Unit B Structural Element Selection Results and Comparison ASME Sec. XI requirements

	Code Class	ASME Code Cate-gory	ASME XI Exam. Methods (A/B)		RI-ISI (A/B)
			Vol.& Surface (UT& PT/MT)	Surface Only (PT/MT)	Number of Exam. Locations
계	Cl.1	B-J	355/473	122/48	47 NDE+47 VT/ 51 NDE+47 VT
	Cl.2	C-F-1	262/141	67/78	77 NDE+35 VT/ 85 NDE+19 VT
		C-F-2	251/202	25/18	0 NDE+6 VT/ 12 NDE+4 VT
	Total		868/816	214/144	124 NDE+88 VT/ 148 NDE+70 VT

주의 사항 :

1) RI-ISI 수행 대상의 경우계통압력시험과 VT-2 육안검사는 Code Class 1, 2, 3 계통에 대하여 ASME Section XI에 따라 변함없이 수행

2) VT-2는 관련 배관 세그먼트 구역에 대하여 수행

모델은 NRC 요구에 의해 Westinghouse에서 개발한 신뢰도 모델로써 비활성 손상메커니즘을 갖는 배관의 세그먼트에 적용하고, 샘플 사이즈를 결정 후 목표 누설율의 신뢰도가 95% 이상 시 만족한 것으로 판정하였다.

3.7.3 검사부위 선정

검사부위 선정 시 고 리스크 세그먼트 용접부는 100% 포함하였고, 배관 열성층화 관련 배관 용접부위도 검사부위로 선정하였으며 배관 감육검사(FAC) 관리대상 배관은 제외하였다. 또한 비파괴검사 방법 선정은 Table 5의 ASME Section XI, Non-mandatory Appendix R, Table R-2500-1(Examination Categories)의 손상 메커니즘에 따라 검사방법을 선정했다. 아래 Table 5는 손상 메커니즘별 비파괴검사방법을 나타내고 있다.

Table 6은 RI-ISI 검사부위 선정 후 전문가패널 검토를 거쳐 선정된 최종 검사부위이다.

4. RI-ISI 적용 효과

RI-ISI 적용에 따라 검사 수량 및 비용 감소, 검사자 방사선 피폭 저감, 계획예방정비 기간 단축 영향 및 폐기물 발생 저감의 효과를 나타냈으며, 적용 방법론, 발전소 노형, 발전용량, 기기 등급, 검사 수량 및 검사 주기에 따라 가변적이다.

4.1 검사 수량 감소

국내 원자력발전소 중 RI-ISI 프로그램을 적용, 검사를 수행한 발전소는 2개 호기로써 1개호기는 가동중검사 부위가 1,082개소에서 624개소(42.3%)로 감소하였으며, 또 다른 호기는 960개소에서 665개소(30.7%)로 감소되었으며, 이는 강화가동중검사를 포함한 수량이다.

4.2 방사선 피폭 저감

원전 계획예방정비 시 RI-ISI 프로그램 적용 전 방사선 피폭량은 29.25 mSv이었으나, RI-ISI 프로그램 적용 후 방사선 피폭량은 23.11 mSv로 감소하였다. 방사선 피폭량 저감은 검사 차수별 수량, 배관 사이즈 및 설치 위치에 따라 가변적이다.

5. 결 론

본 논문에서는 리스크 정보를 활용한 국내 원자력발전소 배관 가동중검사의 적용 및 효과를 기술하였다.

리스크 정보를 활용한 배관 가동중검사는 ASME Sec. XI 기술기준에 비교하여 비파괴검사 수량 감소, 방사선피폭 저감, 검사시간 단축 및 검사비용 저감의 효과를 확인하였으며, 향후 강화가동중검사 부위에 대해서도 RI-ISI 적용을 심도 있게 검토가 필요가 있다.

리스크정보를 활용한 배관 가동중검사의 적용은 발전소의 노형, 발전용량과 운전기간에 따라 1) 최신 PSA 결과 활용, 2) 운전연수에 따른 배관 손상 메커니즘의 변화 반영, 3) 검사부위에 대한 최적 선정이 중요한 요소임을 확인하였다.

참고문헌

1. 한국수력원자력(주), 설비기술처, 리스크정보를 활용한 배관 가동중검사 방법론(특정기술주제보고서 : TR-KHNP-0019-Rev.0), 2008.12.
2. 한국수력원자력(주), A호기 리스크정보활용 배관 가동중검사 프로그램(대체적용신청서), 2009. 4.
3. 한국수력원자력(주), B호기 리스크정보활용 배관 가동중검사 프로그램(대체적용신청서), 2010.12.
4. WCAP-14572, Revision 1-NP-A, Supplement 1, “Westinghouse Owners Group Application of Risk-Informed Methods in Piping Inservice Inspection Topical Report”, February 1999.
5. ASME Non-mandatory Appendix R “Risk-Informed Inspection Requirements for Piping, Section XI, Division 1”, 2004.