기술보고

비 파 괴 검 사 학 회 지
Journal of the Korean Society for Nondestructive Testing
Vol. 15, No. 2 (1995)

原子力發電所 機器 稼動中檢査에 대한 新規 要件과 그 展望

李鍾布, 崔夏林
한국원자력연구소, 비파괴평가사업부

New Requirements for Inservice Inspection of Nuclear Power Plant Components and Its Prospect

J. P. Lee, and H. L. Choi
Nondestructive Evaluation Div., Korea Atomic Energy Research Institute

요 약 원자력발전소의 주요 기기들에 대한 가동중검사는 관련법규에 따라 철저히 수행되고 있다. 그러나 최근 선진국에서는 이에 만족하지 않고 원전 기기의 안전성을 더욱 확고히 하기 위해 기존의 가동중검사 요건을 계속 강화하고 있으며, 원전 관련 당사자들은 강화된 요건들을 충족시키기 위한 노력을 끊임없이 계속하고 있다. 이 글에서는 원전 기기 가동중검사 신규 요건들인 초음파탐상검사 시스템의 기량검증(Performance Demonstration) 요건, 비파괴검사자 및 초음파검사자 자격 인정 요건(ANSI/ASNT CP-189, Appendix VII of ASME Sec. XI), 증기발생기 전열관 와전류검사, 신호평가자 자격인정(Qualified Data Analyst : QDA), 미국규제기관(NRC)에서 발행하고 있는 NRC Bulletin, NRC information 등의 가동중검사 관련 사항들을 살펴보고 선진 외국에서는 이들 요건 및 정보에 대해 어떻게 대처하고 있는가를 알아 본다. 또한 국내에서도 이들 신규 요건에 대한 대처 현황과 대처 방안을 모색한다.

1. 서론

최근 국내에서 발생된 교량 붕괴나 도시 가스관 폭발과 같은 대형 사고는 국민들에게 대형 구조물에 대한 비파괴검사의 중요성을 일깨워주는 좋은 계기가 되었다. 특히 원자력발전소와 같이 대형사고가 발생할 경우, 미국 드리마일 아일랜드 사고나 소련의 체르노빌 사고에서 보아 왔듯이 사고로 인해 입게 되는 피해는 사고 발생 인접 지역뿐만 아니라 사고 지점에서 수백 또는 수천 km 떨어진 곳까지 미치게 되며, 그 영향 또한 엄청남을 우리는 잘 알고 있다. 따라서 원자력발전소는 부지 선정, 설계, 제작, 설치 및 건설, 운전 보수 유지에 이르는 모든 단계에 있어 만일의 사고에 대비한 안전 조치가 강구되며, 교량 붕괴나 가스관 폭발과 같은 사고가 원자력발전소에서는 발생치 않도록 원전 주요기기에 대해서는 가동중검사 요건을 엄격히 규정하고 이들 요건에 따라 정기적으로 진단을 실시하여 발견되는 중요한 결함을 수리하거나, 결함이 있는 기기를 교체하는 등의 조치를 강구토록 하고 있다. 뿐만 아니

(접수 : 1995 6. 3)

라, 각국에서는 원자력발전소 운전, 보수 유지, 검사, 사고, 사건, 사례들에 대한 각종 정보와 경험을 수집하여 이들 정보를 서로 교환하고 있다. 아울러 선진 각국에서는 새로운 기술의 발전에 발맞춰 원전의 안전성을 더욱더 확고히 하고 신뢰성을 높이기 위해 가동중검사 요건을 계속 강화해 가고 있으며, 이들 요건들을 충족시키기 위한 준비가 충실하게 진행되어 원전의 안전성 향상에 크게 기여하고 있다.[1]

1988년 NRC에서는 원자로 냉각 계통에 연결된 배관에서의 열응력에 기인한 균열 또는 결함 지시를 검출할 수 있는 향상된 초음파검사 필요성을 강조하였으며, 이후 가압기 "Surge Line" 및 급수 계통 배관에서의 열성층화 현상에 대한 건전성 확인 수립 대책을 세우도록 하였다.[2],[3],[4] 또한 1990년에 증기발생기 "Upper Shell to Transition Cone" 용접부에 균열 발생 사례를 알리고 각 발전소에 대한 유사한 문제에 대처하도록 하였다.[5] 1988년에는 그때까지 초음파탐상검사가 자격 인정을 ASNT SNT-TC-1A에 근거하던 것을 ASME Sec. XI, Appendix VII을 신규 요건으로 제정하고 이를 충족시키도록 하였다.[6,10] 즉, 원전 기기 가동중검사 초음파탐상 검사자는 기본 Level을 Trainee, Level I, Level II, Level III, Instructor 등 5가지로 나누고 교육, 훈련, 경력, 시험 요건 등을 보다 강화하기에 이른다. 1991년도에는 기존의 ASNT SNT-TC-1A의 자격 인정 및 자격증 발급 지침을 개정하여 ANSI/ASNT CP-189라는 국가 규정으로 제정하였다.[7] CP-189 에서는 ASME Sec. XI의 Appendix VII에서 규정한 내용을 많이 반영하였을 뿐만 아니라 Level III의 실기시험 규정을 도입하였다.

원전 가동중검사와 관련된 획기적인 요건 강화는 1989년 겨울 보충판에 처음 등장한 ASME Sec. XI, Appendix VIII의 초음파탐상검사 시스템에 대한 기량 검증 요건이다.[8] 이는 기존의 초음파탐상검사의 신뢰도를 확보하기 위한 일대 변혁으로, 하나의 초음파탐상검사 자격증을 가지면 어떤 기기든지 검사할 수 있던 것에서 탈피하여 검사 대상 기기 및 부위를 배관 5가지, 용기 4가지, 볼트/스터드 등 총 10가지의 서로 다른 자격 인정을 요구하고 이것도 각기 결함 검출과 결함 크기 평가로 나눔으로써 원전 기기 초음파검사를 위해서는 총 20개의 자격 인정이 필요하게 되었다. 더구나 각 자격 인정에 있어서 실물 크기 규모의 시험편(Full-Scale Mock-up)에 실제 결함을 모의하여 만들도록 하고 절차서는 필수 변수 허용 범위를 설정하여 탐촉자를 비롯한 장비도 검교정을 실시토록 하여 검사자, 장비, 절차서가 포함된 초음파탐상검사 시스템을 기량 검증토록 요구하고 있다. 이는 실로 엄청난 요건으로써 이를 충족시키기 위해서는 결함이 내재된 Full-Scale Mock-up에 "Known-Flaw"를 만드는 결함 제작 기술, 이들 결함을 정확하게 검출/평가할 수 있는 절차 및 기술의 확립, 검사자 능력의 확보가 필수적이다. 또한 증기발생기 세관 와전류 탐상검사와 관련하여 최근 미국의 발전사업자들은 미국 EPRI를 주축으로 하여 ECT Raw data를 data base로 구성, 각 발전소에서 실제 S/G Tube에서 발생되는 결합신호를 정확하게 평가할 수 있는지를 검증하여 ECT신호 평가자를 자격 인정시키는 QDA (Qualified Datas Analyst)를 실시함으로써 세관 ECT검사의 신뢰도를 증진시키고 있다.[11],[12]

본고에서는 초음파탐상검사 시스템에 대한 기량 검증 요건, 비파괴검사자 자격 인정 및 초음파검사자 자격 인정 요건, 와전류탐상검사 데이타 평가자 자격 인정 요건, 미국규제기관(NRC)에서 발행하고 있는 NRC Bulletin, NRC information 등의 가동중검사 관련 사항들을 살펴보고 선진 외국에서는 이들 요건 및 정보에 대해 어떻게 대처하고 있는가를 알아 본다. 또한 국내에서도 이들 신규 요건에 대한 대처 현황과 대처 방안을 모색한다.

2. 본론

2.1. 초음파탐상검사 시스템 기량 검증 요건

2.1.1. 기량 검증 요건

상기 요건은 1989년 ASME Sec. XI의 겨울 부록판으로 처음 발행된 이후로 해마다 조금씩 보완되고 있다.[9]. ASME Sec. XI의 1989년 겨울 보충판 이전까지는 원전 가동중검사를 위한 원전 기기의 초음파탐상검사는 검사 대상 기기의 종류, 특성, 결함의 검출, 크기 평가에 관계없이 한 자격증만 요구되었다. 그러나 Appendix VIII에서는 자격 인정을

검사 대상 부위에 따라, 배관 5가지, 압력 용기 4가지, 볼트/스터드 등 총 10가지로 분류하였으며, 이 자격도 결함 검출과 결함 크기 평가로 각기 나누어 총 20가지 자격 인정이 필요하다(Table 1 참조). 여기에서는 1992년판을 기준으로 1992년 및 1993년 Addenda까지 보완 추가된 내용을 기준으로 기술한다. Appendix VIII에서 요구하는 사항을 개괄적으로 요약하면 다음과 같다.

- 결함 검출, 결함 크기 평가에 있어 초음파탐상 검사 절차서, 장비, 요원에 대해 기량 검증을 요구함
- 검사 절차서에 필수 변수(Essential Variable)를 명시토록 함(장비, 탐촉자에 관한 사항, 결함 검출/평가 기술, 결함 검출 및 크기 평가를 위한 보정 방법, 지시 구별 방법 및 기준 등)
- 펄서, 리시버, 탐촉자에 대해 필수 변수 허용 범위를 설정함.
- 필수 변수 허용 범위를 초과한 경우(한가지 이상의 값 또는 일정 범위의 값) 자격 인정 시험의 다른 값을 공칭값에 놓고 각 필수 변수에 대해 최소 및 최대값에 대해 자격 인정 시험을 되풀이해야 함..
- 절차서에 필수 변수 범위를 규정치 않고 값 선택 기준을 설정한 경우 그 기준을 검증해야 한다.

Table 1. 기기 자격 인정 보충서

기 기 형 태	적용보충서
배관용접부	
1) 가단 오스테나이트	2
2) 페라이트	3
3) 주조 오스테나이트	「주(1)」
4) 이종 금속	10
5) 오버레이(Overlay)	11
용 기	
6) 피복/모재 경계 부위	4
7) 노즐 내부 반경 부위	5
8) 원자로 용기 용접부	6
9) 피복/모재 경계 이외의 노즐-용기 용접부	7
10) 볼트 및 스터드	8

주 : (1) 준비중에 있음.

Table 1의 10가지 기량 검증 종류중에서 하나(검출 및 크기 평가)를 살펴보면 본 요건의 내용을 알 수 있으므로 배관의 가단 오스테나이트(Wrought Austenitic) 용접부에 대한 결함 검출 및 크기 평가의 기량 검증에 대해서 알아보자.2.1.2. 가단 오스테나이트 배관 용접부 자격 인정 요건

2.1.2 가단 오스테나이트 배관 용접부 자격 인정 요건

2.1.2.1. 시험편 요건

자격 인정 시험용 시험편은 검사 절차서 범위에 기술된 특정 제한 사항을 수용하기 위해 시험편 세트를 설계하지 않는 이상 (예, 배관 크기 및 접근 제한 사항)여기에 수록된 요건을 충족시키여 한다. 검출 및 크기 평가 자격 인정을 하기 위해 동일한 시험편을 사용할 수도 있다. 시험편은 다음 요건을 따라야 하며 한 개의 시험편이 다음 요건중 1가지 이상을 충족시킬 수도 있다.

2.1.2.2. 일 반

시험편 세트는 다음 요건을 따라야 한다.

(a) 시험편은 판독 과정에 방해가 될 수 있는 유사 반사를 최소화할 수 있도록 충분한 체적을 갖고 있어야 한다.

(b) 시험편 세트는 서로 다른 공칭 배관 직경 및 두께를 갖는 적어도 4개의 시험편으로 구성해야 한다. 이들 시험편에는 검사 절차서가 적용될 최소 배관 직경과 두께가 포함되어야 한다. 절차서가 직경 24인치 이상인 배관에 적용될 경우 시험편 세트는 절차서가 다루는 최대 두께와 함께 직경이 24인치 이상인 시험편이 최소한 1개가 포함되어야 하나 최대 직경을 포함시킬 필요는 없다.

(c) 시험편에는 다음 보기의 제작 상태가 포함되어야 한다.

① 연삭하지 않은 용접 보강 덧붙임(크라운)
② 전체 크라운 폭이 공칭 배관 벽두께의 1.5-2배가 되는 넓은 크라운 :
③ 정상적으로 결함과 구별해야 하는 기하학적 상태(예, 카운터보아 또는 과다 내경 보강 덧붙임과 같은 용접부 루트 상태) :
④ 직경 감소 혹은 세이프엔드 또는 끼워 맞춤과 같이 한쪽만 접근 가능한 전형적 주사 표면 제한 상태 :

(d) 시험편 세트의 모든 결함은 균열이라야 한다.
① 기계적 피로 균열과 열피로 균열 또는 입계응력부식균열(IGSCC)을 사용해야 한다. 균열의 최소 75%는 IGSCC 또는 열피로 균열이라야 한다.
② 균열의 적어도 50%는 상기 2.1.2.2.(c)에 기술된 부위에 있어야 한다.

2.1.2.3. 시험편 세트는 다음 요건을 충족시키는 검출 시험편을 포함해야 한다.

(a) 시험편은 채점 단위로 나누어야 한다. 각 채점 단위는 적어도 용접부 길이 3인치가 포함되어야 한다. 채점 단위를 무결함으로 설계할 경우는 채점 단위 한쪽에 적어도 결함이 없는 재료가 1인치는 존재해야 한다. 한개의 채점 단위에 사용되는 용접부 길이 부위는 다른 채점 단위로 사용하여서는 안된다. 채점 단위는 배관 계통 둘레에 균일하게 배치할 필요는 없다.

(b) 검출 시험 세트는 표 VIII-S2-1에서 선정해야 한다. 무결함 채점 단위의 개수는 결함있는 채점 단위 개수의 적어도 2배가 되어야 한다.

(c) 결함있는 채점 단위는 결함 깊이, 방향 및 형태에 대해 다음 기준을 충족시켜야 한다.
① 결함의 최소 1/3(다음 높은 자연수로 반올림)은 공칭 배관 벽두께의 5%에서 30% 사이의 깊이를 가져야 한다. 적어도 결함의 1/3(다음 높은 자연수로 반올림)은 공칭 배관 벽두께의 30%보다 깊어야 한다.
② 적어도 1개 및 결함의 최대 10% (다음 높은 자연수로 반올림)는 축방향으로 배치해야 한다. 나머지 결함은 원주 방향으로 배치해야 한다.
③ 가능할 경우 사용중 발생 결함을 포함시켜야 한다.

2.1.2.4. 크기 평가 시험편

시험편 세트는 다음 요건을 충족키기는 크기 평가용 시험편이 포함되어야 한다.

(1) 최소 결함 개수는 10개라야 한다.

(2) 샘플 세트 내의 결함은 다음과 같이 배분해야 한다.

결함 깊이(벽 두께 %)	최소 결함 개수
5- 30%	20
31- 60%	20
61-100%	20

나머지 결함은 상기 범주중 어느 것이라도 관계없다

2.1.2.5. 기량 검증 시행

시험편 내부 표면 및 I.D.는 수험자가 알 수 없도록 해야 한다. 결과를 채점하고 수험자에게 알려주기 전에 모든 시험을 끝내야 한다. 기량 검증후 특정 시험편 결과를 알리거나 가리지 않은 시험편을 수험자가 보는 것은 금지하여야 한다,

2.1.2.5. 검출 시험

유결함 및 무결함 채점 단위는 임의로 섞어야 한다.

2.2.2.6. 길이 및 깊이 크기 평가 시험

(a) 길이 평가 시험의 경우 평가할 결함이 내재된 각 시험편의 부위를 수험자에게 알려 주어야 한다. 후보자는 각 부위에 있는 결함 길이를 결정해야 한다.

(b) 깊이 평가 시험의 경우, 결함의 80%는 후보자에게 알려준 시험편 표면상의 특정 위치에서 크기를 평가해야 한다. 나머지 결함의 경우, 평가할 결함이 내재된 각 시험편 부위를 후보자에게 알려주어야 한다. 후보자는 각 부위에 있는 결함의 최대 깊이를 결정해야 한다.

2.1.2.7. 합격 기준

2.1.2.7.1. 검출 합격 기준

검사 절차서, 장비 및 요원은 기량 검증 결과가 다음 기준을 만족할 때, 크기 평가 자격 인정이 된다.

(a) 초음파로 평가한 결함 길이가 실제 길이의 1인치 이내이고

(b) 초음파로 평가한 결함 깊이의 RMS오차가 실제 깊이와 비교하여 0.125 inch 보다 작음, RMS 오차는 다음식으로 계산:

$$RMS=\left[\frac{\sum_{l=1}^{n}(m_l-t_l)^2}{n}\right]^{1/2}$$

여기서, m_l= 측정 결함 깊이
t_l = 실제 결함 깊이
n = 측정 결함 개수

표 Ⅷ-S2-1 기량 검증 검출 시험 합격 기준

검출 시험 합격 기준		잘못 판단 시험 합격 기준	
유결함 채점단위 개수	최소 검출기준	무결함 채점단위 개수	최대 잘못 판단 개수
5	5	10	0
6	6	12	1
7	6	14	1
8	7	16	2
9	7	18	2
10	8	20	3
11	9	22	3
12	9	24	3
13	10	26	4
14	10	28	5
15	11	30	5
16	12	32	6
17	12	34	6
18	13	36	7
19	13	38	7
20	14	40	8

* 잘못판단 : False Call

2.1.3. 미국의 현황 및 우리의 대처 방안

미국에서는 1989년 ASME XI, Winter Addenda에서 처음으로 기량 검증 요건이 등장한 이후 미국내 발전사업자와 전력연구소(EPRI)가 주축으로 이 요건을 충족시키기 위한 PDI(Perfomance Demonstration Initiative) 프로그램을 공동으로 수립하여 준비를 진행시켜 왔으며, 1996년도에 실제 적용을 목표로 현재 기량검증을 실시하고 있다. 비록 기량 검증 요건이 엄청난 비용과 기술을 필요로 하는 신규 요건임에는 틀림없지만 사실 100여개의 발전사업자들이 공동으로 이에 대처하는 것은 그렇게 어렵지는 않을 듯 하다. 왜냐하면, 미국에서는 이미 1980년대 초에 BWR원전 배관에서의 입계응력부식균열(IGSCC) 검출 및 크기 평가에 대한 문제점들을 해결한 바 있으므로 어느 정도의 기술과 경험이 축적되어 있었고 OECD 회원국에서 1970년대 중반부터 PISC(Program for the Inspection of Steel Components) 프로젝트가 이미 15년간 계속된 후 본 기량 검증 요건이 비로서 ASME XI에 등장했기 때문이다.

미국에서 예정대로 1996년부터 기량 검증 요건이 적용되면 국내에서도 원전 가동중검사의 신뢰도와 안전성을 높이기 위해서 본 요건의 적용이 불가피하게 될 것이다. 단지 규제 기관에서 적용 시기를 언제로 잡느냐 하는 것이다. 규제 기관에서 본 요건의 적용을 특별히 유예하지 않는 이상 맨 먼저 본 요건을 적용해야 할 국내 원전 호기는 영광 5, 6호기가 해당될 것으로 보이며, 또한 1주기 가동중검사 프로그램이 끝나고 제2주기 가동중검사 프로그램이 새로이 시작되는 기존 운전 호기들이 될 것이다. 현재 국내에서는 본 요건을 충족시키기 위한 총체적 계획이 아직 수립되지도 않았을 뿐만 아니라 그 주체가 어디가 되어야 하는지도 정해지지 않고 있다. 본 요건을 충족시키기 위해 국내에서 시험편을 확보하여 기량 검증을 실시할 경우 최소한 3~5년이 소요됨을 감안할 때 본 요건에 대한 준비가 소홀한 점도 없지 않다. 본 요건을 충족시키기 위한 준비가 미비하여 몇 년후 막상 본 요건을 적용해야 할 때는 미국에 가서 기량 검증을 받을 수 밖에 없게 되고 그렇게 해서도 기량 검증을 받지 못할 경우, 기량검증을 필한 외국 회사에 원전 가동중검사를 전부 맡겨야 하는 최악의 경우도 예상된다. 따라서 본 요건에 대해 정부 관련 부처, 한전, 규제 기관, 가동중검사 관련 기관 등이 함께 참여하여 본 요건의 적용 시기, 충족 방안, 소요 예산 확보, 기관별 업무 분담 등의 종합적 대책을 수립하여야 할 것이다.

기량 검증을 위해 상정할 수 있는 방안은 몇 가지가 있을 수 있다. 첫째는 미국처럼 시편을 설계 제작(국내 제작, 수입 등)하여 기량 검증을 실시하는 경우이며, 두번째는 미국의 기량 검증용 시험편을 이용하여 기량 검증을 받는 방법이다. 이 두가지도 세부적으로는 기기 형태(기량 검증 종류), 시험편 확보 방법 등의 측면에서 다양한 방안이 있을 수 있고, 각각에 대해서도 장단점, 소요 비용 및 준비 기간 등에서 많은 차이가 날 것이다. 우선 이 시점에서 필요한 것은 각 안들에 대한 시험편의 개수, 비용, 필요한 시험편 제작 기술, 시설, 절차서 자격인정 등에 대한 분석이며, 이것이 선행되어야 앞서 언급한 종합적 대책이 구체적으로 수립될 수 있을 것이다. 여기서 우리가 고려할 수 있는 하나는 기량 검증 요건을 한번에 모두 충족시키는 것은 어려울 것이므로 연차별 기기 형태별 요건 적용 계획을 수

Table 2. SNT-TC-1A와 ANSI/ASNT CP-189의 비교

내 용	SNT-TC-1A	ANSI/ASNT CP-189
○적 용	- 비파괴검사자 자격 인정 및 자격증 발급 지침(Guidelines)	- 비파괴검사자 자격 인정 및 자격증 발급에 대한 최소 요건(requirements)을 규정함
○기본자격등급	- Level I, II, III 3등급	- Trainee, Level I, II, III instructor등 5등급
○학 점	- 시험에 불합격시 30일 이후에 재시험 또는 추가 훈련후 재시험	- 훈련 시간을 이수하고 학점을 따기 위해서는 최종 시험에 합격해야함.
○최소훈련시간	- 고졸 이하 및 전문대졸 이상으로 구분하며 훈련시간 명시	- 학력 구분없이 필요한 훈련 시간 명시
○경 력	- 월별 개념으로 함 예) UT Level II : 9개월	- 시간 개념으로 바뀜 예) UT Level II : 600시간
○NDT 강 사	- 규정없음	- 다음중 1가지를 충족시켜야 함. 1) 가르치고자 하는 검사법에 현재 ASNT NDT Level III자격 소지자 2) 과학, 공학, 대학의 학사와 동등한 자격증서를 가지고 NDT검사법에 적절한 지식을 가진 자 3) 2년제 과학, 공학, NDT졸업자로 가르치고자 하는 NDT법에 NDT Level II 또는 이에 상당한 5년 이상 경력 소지한 자 4) 가르치고자 하는 NDT 검사법에 NDT Level II 또는 이와 동등하게 10년 이상의 경력을 소지한 자 5) 가르치고자 하는 NDT 검사법에 NDT Level II 또는 이와 동등하게 10년 이상의 경력을 소지한 자 - NDT 강사는 Level III에 의해 지정되어야 한다.

립하는 것이다. 예를 들면, 배관 용접부 페라이트와 ○ 볼트/스터드는 1998년, 배관 오스테나이트 및 이종금속은 1999년 등과 같이 난이도, 업무량, 비용에 따라 순차적으로 해결하는 방안이다. 물론 이는 관련 당사자, 규제 기관 등이 이를 승인하는 전제 조건이 필수적이다. 현재 원자력연구소에서는 금년 상반기까지 Appendix VII을 충족시키기 위한 작업을 마무리하고 95년 상반기까지 기량 검증 요건을 충족시키기 위한 방안 수립을 목표로 준비 작업을 진행중이다.

2.2. 비파괴검사자 자격 인정 요건

2.2.1. 개요

비파괴검사자 자격 인정은 미국비파괴검사학회 ASNT/SNT-TC-1A[13]에 근거하여 왔으나 초음파 탐상검사자 대해서는 1988년에 처음 발행된 ASME XI의 Appendix VII 요건도 추가로 만족시켜야 한다. 그러나 SNT-TC-1A는 1991년 ANSI/ASNT CP-189로 대체되었고 ASME Sec. XI 1992년도 Addenda에서는 ANSI/ASNT CP-189를 자격 인정시 적용토록 하고 있다. 구체적인 내용은 참고문헌[6],[10]을 참조하기 바란다. 먼저 SNT-TC-1A와 ANSI/ASNT CP-189 중요 차이점을 살펴 보면 Table 2와 같다. 또한 Appendix VII에서는 초음파 탐상 검사자 자격인정의 경우ANSI/ASNT-CP 189 보다 더 엄격한 자격인정을 추가로 요구하고 있다. ANSI/ASNT CP-189와 Appendix VII의 차이나는 주요 내용은 Table 3과 같다.

2.3. 기타 사항(QDA, 열성층화 배관 피로균열 검사 등)

최근까지 증기발생기 와전류검사는 ASME Sec. XI 및 Reg. Guide 1.81 등에 의거 수행되어 왔으나 증기발생기 세관검사 결과 결함 평가에 대한 신뢰

Table 3. ANSI/ASNT CP-189와 Appendix VII의 비교

	ANSI/ASNT CP-189	Appendix VII
○훈련시간	Level I : 40시간 Level II : 40시간	- Level I 40/40 (교실/실습) - Level II 40/40 (교실/실습)
○추가훈련	없음	- 매년 10시간
○경력요건	Level I : 200시간 Level II : 600시간 NDT 총 경력 - Level I : 400시간 - Level II : 1200시간	- Level I : 250시간 - Level II : 800시간 - Level III : 선택 I : 4200/2100, 선택 II : 6300/4200, 선택 III : 8400/4200(총경력/원자력경력) (선택은 학력에 따라 구분함)
○시 험	전문분야 시험 : 규격, 표준에 관한 사항	- 전문시험은 40~60%를 ASME Sec. XI에 대해 출제토록 함.
○실기시험	구체적이지 못함	- 세부사항을 기술함 - False Call 10% 부가 - Known conditions 80% 검출 - 재시험은 12개월에 2번으로 제한 - 재시험시 30% 다른 문제 출제 - 실기 재시험 : 50% 다른 결함
○Level III	추가 훈련 규정 없음	- Level III에 대해 추가 훈련
○Instructor	- ASNT NDT 유자격자 - 학사 & NDT 지식 - 전문대졸 & Level II 5년 경력 - Level II 10년 경력	- 자격을 규정함. - 교사/훈련 강사 자격증 소지자 또는 40시간의 훈련 기법/교수법 이수자

도에 많은 문제점이 각국에서 제기되어 왔다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 미국 EPRI의 주관 아래 각 발전소의 운전 경험과 인출된 증기발생기 전열관의 결함에 대한 조직 분석 및 와전류검사 결과를 토대로 기존보다 신뢰성이 높은 와전류검사 및 평가 방법을 개발하고 객관적으로 평가자의 결함 평가 능력을 인정하기 위하여 PDD(Performance Demonstration Database)의 구성 및 자격 시험에 관한 Software를 작성하고 이에 따른 시험을 실시하여 QDA(Qualified Data Analyst) 자격을 인정하고 있다. 미국에서는 1994년부터 본 작업이 완료되어 미국내 발전사업자는 ECT 데이타 평가자는 QDA 자격을 갖추어야만 증기발생기 세관 신호를 평가할 수 있도록 하고 있다. 한국원자력연구소에서는 3개년 계획으로 미국의 ZETEC에 매년 QDA 자격자를 양성하기로 하고 일차 1994년 3명의 QDA 자격자를 양성하였다. 이를 바탕으로하여 1995년 4월에는 미국의 ZETEC에 2명의 유자격자를 미국내 발전소의 증기발생기 세관 와전류검사 데이타 평가자로 참여한 바 있다.

원자로 냉각재 연결 배관, 급수 계통 배관, 가압기 Surge Line 계통의 배관 등에서 열성층화에 기인한 피로균열 검출 가능성을 NRC에서는 경고한 바 있으며[2,3] 이들 배관에 대한 초음파검사는 기존의 일반적인 초음파탐상기술이 아닌 "Enhanced UT" 기법을 적용토록 요구하고 있다. 따라서 이에 대한 대처 방안으로 미국 EPRI에서 현재 실시하고 있는 IGSCC 결함 검출 및 결함 크기 평가자 자격 인정 과정이 적절하다는 판단아래 94년부터 유자격자를 양성할 계획을 수립하여 원자력연구소에서는 검사자 자격 인정을 받도록 하고 있다. 이는 기량 검증 요건을 충족시킬 수 있는 준비가 끝나면 자연 해결될 수 있으며, EPRI를 통한 유자격자 양성은 잠정적인 대안이 될 수 밖에 없다.

3. 결론

원전 기기 가동중검사 신규 요건들인 초음파탐상검사 시스템에 대한 기량 검증, 비파괴검사자 자격 인정 및 자격증 발급, 초음파탐상검사자 자격 인정

등의 요건, 증기발생기 세관 와전류검사 데이타 평가자 자격인정(QDA) 등에 대해서 요건 내용 및 현황을 살펴보았다. 국내 원전의 가동중검사시 동 요건들을 충족시키기 위한 준비가 이미 일부 진행되고 있으나, 기량 검증의 경우 요건 충족을 위한 주관 기관, 준비 방법, 예산 확보 등의 종합적인 대책이 아직 수립되어 있지 않을 뿐만 아니라 이의 준비 또한 소홀한 관계로 향후 3~5년후의 가동중검사를 외국기술에 다시 의존해야하는 상황도 예상된다. 따라서 조속히 기량 검증 요건 충족을 위한 관련 기관의 종합적 대책 마련이 시급히 이뤄져야 할 것으로 생각된다.

참고 문헌

1) B. D. Law, Future Content and Implementation of Section XI-A Regulatory Review, J. of Pressure Vessel Technology, Feb. 1985, Vol. 107/1
2) NRC Bulletin No. 88-08, Supplement 1, 2 & 3 Thermal Stresses in Piping Connected to Reactor Coolant Systems.
3) NRC Bulletin No. 88-11, Pressurizer Surge Line Thermal Stratification.
4) NRC Information Notice No. 91-38 Thermal Stratification in Feedwater System Piping.
5) NRC Information Notice No. 90-04 Cracking of the Upper Shell to Transition Cone Girth Welds in Steam Generators.
6) Appendix VII of ASME B & PV Code Sec. XI, "Qualification of Nondestructive Testing Personnel for Ultrasonic Examination.
7) ANSI/ASNT CP-189 ASNT Standard for Qualification and Certification of Nondestructive Testing Personnel. (1991)
8) Appendix VIII of ASME B & PV Code Sec. XI, "Performance Demonstration for Ultrasonic Examination Systems".
9) 이종포, 原電 稼動中檢査 超音波探傷檢査 시스템에 대한 技量 檢證, 비파괴검사학회지 Vol. 13, No. 2, 1993.
10) 이종포, 原電 稼動中檢査 超音波探傷檢査 要件에 대한 資格 認定 要件, 비파괴검사학회지 Vol. 13, No. 1, 1993.
11) EPRI Steam Generator Inspection Guidelines, Appendix G "Qualification of Nondestructive Examination Personnel for Analysis of Eddy Current Data".
12) EPRI Steam Generator Inspection Guidelines, Appendix H "Performance Demonstration for Eddy Current Examination"