

원자력공인검사기술



'78 서울대학교 기계공학과(학사)
'88 한국과학기술원 재료공학(석사)
'80 - '90 한국기계연구원
기술감리부
'90 - '93 한국원자력안전기술원
선임연구원
'93 - 현재 한국기계연구원
책임연구원

박 반 옥(KIMM 원자력공인검사사업단)

'83 경북대학교 사범대학(학사)
'87 한국과학기술원 물리학과
(석사)
'90 한국과학기술원 물리학과
(박사)
'91 - 현재 한국기계연구원 선임연구원



이 중 오(KIMM 원자력공인검사사업단)



'70 서울대학교 물리학과(학사)
'70 - '85 한국전력
'85 - '93 한독금속(주) 대표
'93 - 현재 한국기계연구원 책임기술원

서 승 은(KIMM 원자력공인검사사업단)

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



이 주 석(KIMM 원자력공인검사사업단)

원자력 발전소 기기의 사고는 사업자의 경제적 손실 뿐만아니라 국민의 생명을 위협할 정도의 중대한 사고가 될 가능성이 크다. 따라서 적절한 기술기준에 따라 제작, 설치되고 가동중에도 건전성이 입증되어야 한다. 바로 이 원전 기기의 구조건전성확보를 위하여 정부가 공인하는 제3자의 검사를 원자력공인검사라 부른다. 먼저 1장에서는 원자력공인검사를 보다 쉽게 이해할 수 있도록 공인검사의 유래와 선진국의 제도 등을 간단히 소개하고, 2장에서는 원자력공인검사에서 수행하는 내용과 적용되는 기술을 중점적으로 기술한다. 3장에서는 현재 시행준비단계에 있는 국내 기술기준의 영향을 분석하고 국내실정에 바람직한 검사제도를 제시하고자 한다.

1. 원자력공인검사의 발생 및 정착

1.1. 공인검사제도의 발생

원래 공인검사는 내압기기의 예기치 않은 파손을 방지하기 위하여 시작되었다. 내압기기의 갑작스런 파손은 그 기기를 포함한 시스템이나 플랜트 전체를 가동되지 못하게하거나 대형사고로 이어져 인명 및 재산의 피해를 가져오기도 한다. 특히 사고로 인한 인명피해는 플랜트가 동중단과는 달리 사업자의 손해에 국한되지 않고 일반 국민에게도 큰 영향을 주므로 국가행정력에 의한 규제가 필요하게 된다.

실제로 내압기기 구조건전성 검사제도(이 제

도를 미국에서는 주정부가 권위를 부여한다는 의미로 “공인검사”라 부른다.)가 1800년대말 서구 각국에서 빈발한 보일러 폭발사고로 많은 인명피해를 경험하고나서 시작되었다. 미국, 독일 등 서구 여러나라는 검사제도 초기에 내압기기의 설계/제작 기술기준과 이것을 적용할 엄격한 제3자 검사기관의 필요성을 인식하고 그 방법론은 서로 약간씩 차이가 있었지만 이 두가지(기술기준, 검사기관)를 성사시켰다. 바로 이 엄격한 제3자 검사기관의 대표적인 것이 미국의 Hartford와 독일의 TÜV이다. 초기에는 이러한 검사기관의 검사를 전제조건으로 보험사들의 보험금 지급이 이루어지게 하는 등 대형인명사고에 대한 보험기능 문제와 결부되어 발전되었으나, 이후 이러한 제3자 검사기관의 검사활동을 양국 모두 국가의 규제기능인 법정검사로 인정하여 주므로써 규제기능과 제3자 검사기능을 함께 가지게 되었다.^{[1][3][4][5]}

그런데 이러한 검사제도의 초기에는 설계미숙과 사용하는 재료 그 자체의 결함도 많았으나, 기술기준의 정착과 재료기술의 발달에 따라 1960년대 이후에는 기기구조를 형성하기 위한 용접부와 그 열영향부에 국한하여 여러가지 문제가 발생하게 되었다. 이에 따라 선진 각국은 '60년대에서 '70년대에 이르는 동안에 자국 기술기준의 내용과 구조건전성 검사제도를 용접검사를 축점으로 변화시키기 시작하였고, 일본과 같은 후발 선진국은 아예 처음부터 “용접검사”란 용어로 출발하기도 하였다.

1.2. 품질보증기법의 도입

품질보증은 자체검사(제3자검사와 대비한 말로 생산자나 발주자가 자신의 생산물의 품질을 확보하기 위한 검사행위)를 효과적이고 능동적으로 수행하기 위한 계획적이고 조직적인 활동,

즉 시스템적 활동이라고 볼 수 있다. 본격적이고 체계적인 품질보증 활동은 미국의 군수물자 조달을 위한 군규격 MIL-Q-9858A가 그 효시가 된 것으로 볼 수 있으며, 여러가지 기반기술들을 효과적으로 연계 운영하여 품질발전에 크게 이바지하였다. 따라서 '60년대 후반 부터 미국을 중심으로 이 품질보증 기법이 내압기기 구조건전성 검사제도에도 도입되어 기술기준과 안전규제 법률에 채택되기 시작하였다. 특히 원자력 분야에서는 각국의 규제법률에는 물론이고 IAEA의 국제규격에도 중요한 요건으로 채택되어 있는 실정이다.

그런데 이러한 품질보증 활동이 본격화됨에 따라 실질적으로 품질보증시스템의 운용이 구조건전성 확보에 매우 큰 영향을 주게되어 이에 대한 감독기능이 요구되었고, 미국의 경우 원자력공인검사기관에 이 기능이 원래 수행하여왔던 구조건전성 검사기능에 부가되었다.^[11]

1.3. 각국의 원자력공인검사(원전기기 용접부 건전성 검사)제도

1) 미국

미국의 원자력공인검사는 일반 내압기기 공인검사에 비해 보다 복잡해진다. 그 이유는 원자력분야에서는 각 주정부가 관장하는 산업안전에 관한 법외에 원자력발전의 특수성 때문에 연방정부의 원자력법이 부가되기 때문이다. 이 연방법에서도 내압기기의 구조건전성에 대한 검사를 요구하고 있고 이를 연방핵규제위원회(NRC)가 수행하기 때문이다.^[12]

각 주정부는 원자력 내압기기도 사용용도만을 뿐이지 안전성확보를 위한 기술배경은 동일하다는 입장에서 기술기준만 중요도를 더한 ASME Section III를 적용하고 기본적으로 일반 내압기기와 동일한 규제방법론을 유지하고 있

다. 그러나 NRC 입장에서는 원자력의 특수성을 감안하여 Section III의 기술적요건만 받아들이고 규제검사는 반드시 NRC에 의하여 연방법에 따른 검사제도를 시행하고 있어 실제적으로 이중구조의 검사제도가 유지되고 있다. 즉 제3자검사 위에 다시 제4자검사가 시행되고 있는 것이다.

이러한 이중구조의 원자력내압기기 규제검사 제도를 정리하기 위하여 ASME, 주정부, NRC의 협력이 여러가지로 시도되고 있으며 그 하나로 1981년에 체결된 원자력기자재 공급자 품질보증 인정 및 검사에 관한 협약이 있다. 이 협약으로 기기공급자에 대한 공인검사는 NRC에 의해 받아들여지고 있다.^[2]

또 연방법은 입회검사가 많은 공인검사의 잇점을 살리기 위해 공인검사기관으로 하여금 검사도중 발견한 결함이나 부적합사항을 NRC에 통보하도록 의무화하고 있다.^[12] 뿐만아니라 공인검사의 신뢰성을 높이기 위하여 NRC는 원자력공인검사자에게 “용접 및 비파괴검사 기술”을 중심으로 한 기기관련 검사와 시험에 대한 심도 있는 재교육과정을 채택하게 하였다.^[7]

2) 독일

독일도 미국과 마찬가지로 19세기 후반에 일어난 여러차례의 보일러 폭발사고로 많은 인명과 재산의 손실을 경험하면서 1865년에 최초로 제3자검사기관인 DÜV가 설립되었다. 1900년에 정부가 이 DÜV를 규제검사기능으로 인정하고 1938년에 히틀러에 의하여 14개의 TÜV로 개편된 것이 현재의 TÜV가 되었다.^{[3][13]}

그런데 독일의 TÜV는 미국과는 여러가지 점에서 차이가 있다. 첫째, 내압기기 뿐만 아니라 모든 종류의 건축물, 시설물, 장치로 인한 인명피해 방지를 위한 규제검사를 전부 담당하므로서 종합적인 안전규제 전문기관이라 할 수 있

다. 즉, 소관하는 정부나 해당법률이나 관장부서는 다양하게 달라도 안전규제에 대한 전문적 활동은 거의 대부분 TÜV에 위탁되어 있는 것이다. 둘째, 미국의 ASME, NB 및 NRC 기능을 모두 가지고 있어 매우 단순한 검사체제이다. 셋째, 검사자가 수행한 검사활동은 민법기관임에도 불구하고 국가공무원의 활동으로 인정한다는 것이다. 이에 따라 TÜV의 검사자를 “공무원으로 인정되는 전문가(Amtliche anerkannte sachverständiger)” 라고 부른다.

원자력 내압기기도 원자력법 제20조에서 구조건전성검사 뿐만 아니라 설계검사, 설치검사 및 가동중검사 등을 모두 TÜV에 위탁할 수 있게 하고있어 미국의 NRC, ASME, NB, Hartford의 기능 중 대부분이 TÜV에 집결되어 있는 간단한 구조의 제도를 갖고 있다.

3) 프랑스

프랑스는 원자력발전을 국가적사업으로 추진하여 원자력 내압기기에 대한 검사제도를 국가가 직접 관장하고 있다. 공업성 내에 원자력시설안전국(SCSIN)과 지방산업국(DRIR)을 두어 원전 내압기기 검사를 수행하고 있다. 즉 미국과 비교하면 공인검사가 없이 NRC가 직접 기기검사 까지 수행하는 가장 간단한 제도이다.^[14]

4) 스웨덴과 일본

스웨덴은 원자력안전을 산업부 내에 전문기관(SKI)이 담당하게 하고 내압기기의 검사제도는 이미 1975년에 내압기기 안전규제를 위해 비영리 정부출연기관으로 설립한 전문검사기관(SA)에 원자력부서를 설치하여 위탁 운영하고 있다.^[15]

일본의 경우도 원자력 내압기기에 대하여 용접검사란 이름으로 유일한 전문기관인 JAPEIC에 위탁하여 시행하고 있다.

5) 우리나라

우리나라는 대형압력플랜트를 건설한 역사가 짧아 미국이나 독일처럼 자연발생한 내압기기에 대한 구조건전성 검사기관이 없다. 따라서 미국이나 독일과 같은 보험기능과 규제기능을 동시에 만족하는 제도를 갖지 못하고 오직 규제기능을 위하여 정부의 각 소관부서가 모두 별도로 운영하고 있다.

석유화학설비는 노동부가 산업안전공단에, 일반화력은 통상산업부가 전기안전공사에, 원자력은 과기처가 원자력안전기술원에 위탁하여 운영하고 있다. 따라서 소관부서에 따라 적용 기술기준도 다르고, 검사자의 자격관리나 검사의 심도 또는 검사에 대한 철학이 모두 달라 국가적으로 일관성 확보를 위한 대대적인 조정이 필요한 실정이다. 즉, 미국이나 독일이 서로 다른 소관부서나 소관법률에도 불구하고 내압기기의 검사에 대한 기술적요건이나 검사자의 능력 등을 균질하게 하고자하는 노력을 기울였던 것처럼

우리나라도 그러한 노력이 필요한 시점이다.

또 원전기기의 경우에는 원자력안전기술원에 위탁한 법정규제검사와는 별도로 미국의 공인검사와 같은 내압기기 구조건전성 검사를 사업자의 예비안전성분석보고서에 의거하여 한국기계연구원을 지정 실시하고 있다.

1.4. 원전안전규제에서 공인검사의 위치와 기능

원자력안전을 확보하기 위해서는 여러분야의 안전성이 확보되어야 한다. 크게 보면 시스템 설계, 방사선방호, 운전 및 기기의 네 분야로 나뉘어진다. 기기분야도 다시 성능과 구조로 나뉘어지고 이 중 원자력공인검사는 바로 구조분야에 속한다. 그림1은 원전안전규제에서 원자력공인검사가 속한 기기구조 분야가 어떤 위치인지를 도식적으로 보여주고 있다.

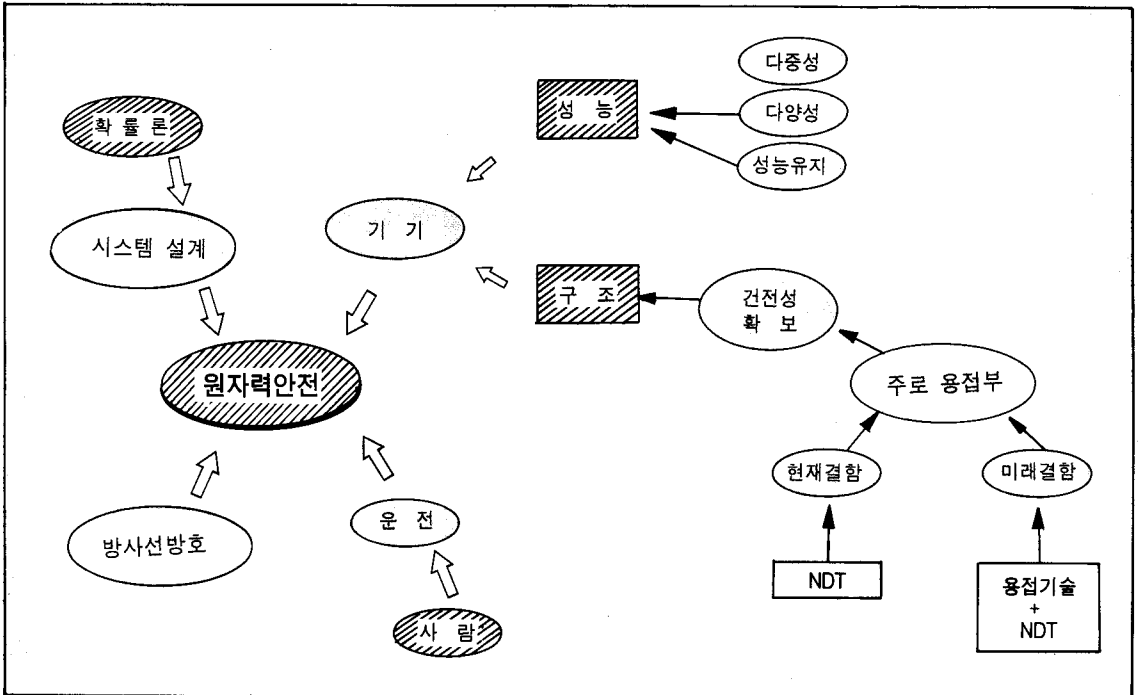


그림1. 원전 안전규제의 단계

2. 원자력공인검사의 기술내용

2.1. 원전기기 시공/제작 공인검사

원전에 사용되는 내압기기는 대부분 금속재이므로 주로 용접부와 그 열영향부가 바로 구조건전성 확보의 대상이 된다. 물론 원자로 격납용기의 경우에는 PS 콘크리트 구조물로 이루어져 금속재 내압기기와는 사뭇 다르다. 따라서 공인검사 기술내용과 관련해서는 내압기기의 대부분을 차지하는 금속재 원전 내압기기의 공인검사를 대상으로 기술하겠다. 당연히 용접부의 구조건전성을 확보하기 위해서 필요한 기반기술은 용접공학과 용접부 결함탐상을 위한 비파괴시험 기술이 될 것이다.

1) 적용기술기준

원전 내압기기의 시공/제작에는 다음과 같은 기술기준이 적용되며 대체적으로 그 순서가 적용우선순위가 된다.

- 가) 검사대상 기기의 제작, 시공 및 검사와 관련한 과학기술처 고시
- 나) 정부로부터 승인받은 안전성분석보고서 또는 설계서에 기술된 대상기기의 제작, 시공 및 검사와 관련한 요구사항
- 다) 대상기기에 적용되는 연도의 ASME 기술 기준
- 라) 가항,나항 및 다항에 규정된 요구사항을 만족시키기 위하여 발주자 또는 시공자가 마련한 각종 설계서 및 절차서

2) 공인검사 대상

- 가) 내압기기 및 계통의 설치
 - (1) 원자로, 증기발생기, 가압기 등의 압력용기와 내부구조물

- (2) 원자로 냉각재 계통 등의 배관계통
- (3) 기타 PSAR 또는 FSAR에 명시된 공인검사 대상기기

나) 구조물 설치

- (1) 격납건물 관통관
- (2) 내압기기 계통이나 기기의 지지물
- 다) 격납건물 설치
 - (1) 격납건물 콘크리트 시공 및 지지물 설치
 - (2) 라이너 플레이트 및 포스트텐서닝 (Posttensioning) 시스템 설치

3) 공인검사의 내용

공인검사의 내용은 시공/제작 공인검사를 수행하는 순서에 맞추어 제작전, 제작중 및 제작후로 구분하여 기술한다.

가) 제작전 검사내용

제작전의 검사내용은 크게 세가지로 나눌 수 있다. 첫째는 준비한 공정관리 문서가 적용 기술기준의 요건들을 만족하는지의 확인과 확인된 문서에 공인검사점을 설정하는 것이다. 둘째는 시공/제작에 사용하고자 하는 용접절차서를 비롯한 각종 절차서의 인증이 기술요건에 적합한지를 검토하는 것이고 셋째는 사용할 자재가 적합한지를 자재성적서를 검토하여 확인한다. 그 각각을 좀더 상세하게 살펴보면 다음과 같다.

(1) 공정관리문서 검토 및 검사점 선정

① 용접부의 적용등급 확인 (NX-1000)

- 기기와 연결되는 첫 번째 원주방향의 용접부는 배관으로 적용
- 배관 외에는 등급이 다른 기기가 연결된 경우 높은 등급 적용
- 기기에 직접 용접되는 내압부착물은 용기의 일부로 적용
- 기기에 부착된 비구조 부착물(명판 등)

의 용접부위는 부착물의 일부로 적용

- 기기와 같이 단조된 부착물은 기기로 간주

② 적절한 공정관리 문서인지 확인 (NCA-4134)

- 모든 지시서, 도면 등이 문서번호 및 개정번호를 포함(문서 개정번호 Control 가능여부 확인)

- 사업자 대리인의 업무 수행일자와 서명
- 공인검사자의 입회일자 및 서명
- 공인검사 요구사항의 적절한 반영 여부

③ 기술기준 요구사항 확인(기준 전체)

- 용접절차서, 용접사 및 실제 용접의 요구사항 확인

- PWHT 요구사항(NX-4620)
- NDE 요구사항 및 검사시기(NX-5000)
- 수압시험후 NDE 요구사항(NX-5410)
- Stamping & Data Report 서명 사항 (NX-8000)

- Design Spec.의 추가요구 조건

(2) 절차서검정시험 입회 및 기록 검토

① 고시 및 Section IX 요구사항 준수여부 확인

② 충격시험 요구사항 확인(NX-4335)

- 재료가 충격시험이 요구되고 생산용접부 이음부의 두께가 16mm 이상되는 Surface 또는 Penetration 용접

- 모재 Repair의 경우에는 깊이에 관계없이 적용

(3) 사용재료 성적서 검토

① Sec. II 요구사항 만족여부 확인

② NX 및 고시 등의 추가요구사항 확인

- Simulation PWHT 요구사항
- Drop Weight & Impact Test 요구사항
- Charpy V-Notch Tests

③ Design Spec.의 추가요구조건 확인

- Stainless Steel에 대한 IGC Test 요구사항
- 화학성분을 재료규격 보다 엄격하게 상

한값을 규제

- 충격시험 온도 지정

나) 제작중 검사내용

제작중의 검사내용은 크게 여섯가지로 나눌 수 있다. 우선 시공/제작에 사용되는 자재가 제작전 검사에서 확인된 자재인지의 확인과 들쭉는 시공/제작 현장에 투입되기 전에 이루어진 재료성형공정의 확인이다. 또 용접 전 준비사항 확인과 용접공정검사 및 후열처리의 적합성이 있고 마지막으로 최종용접부 비파괴검사의 확인이 있다. 그 각각을 좀더 상세하게 살펴보면 다음과 같다.

(1) 자재검사

① 자재 Marking 확인 (성적서, 절단계획서와 비교)

- CMTR과 제품의 추적이 가능한지 확인
- 자재가 절단되어질 때 LD Marking 이기
- Small Products Marking 요구사항 확인

② 자재 Marking 방법 확인

- 1/4" (6 mm)이하는 Stencile Marking
- 영구 Marking은 끝이 무딘 Stamp나 Die-dot stamping

③ 자재손상여부 확인 및 Size 확인

(2) 사전 성형공정 검사

① 절단공정 확인

- Thermal Cutting시 예열 확인 및 열영향부 제거 확인

② 기계가공면의 NDE

③ Forming

- 도면요구사항 확인(Roundness 값이 보통 Code 요구조건 보다 엄격)
- 도면에 언급이 없을시 NB-4220에 따른 Roundness 값 확인

④ Forming후 열처리 조건 확인

- ⑤ Forming후 비파괴검사 요구사항 Design Spec. 확인

(3) FIT-UP 검사

- ① 도면 요구사항(Roundness, Root-Gap, 개선형상 등) 확인
- ② WPS 요구사항 준수여부 확인 : Root-Gap, Preheating, 용접봉 등
- ③ 용접사 자격여부 확인
- ④ 최대허용 Offset : Table NB-4232-1
- ⑤ Cleanliness (NB-4412) & Damage 여부 확인 (NB-5130.d)
- ⑥ WPS의 적합성 여부 확인

(4) WELDING 검사

- ① 도면 요구사항 확인 : 용접기호 확인
- ② Socket 용접시 Gap 확인
- ③ WPS 요구사항 준수여부 및 적합성 확인
- ④ 표면 및 덧살의 적정성 확인(NB-4420)
- ⑤ 필렛용접의 경우 모양과 크기의 확인
- ⑥ 비구조 부착물 용접의 경우 요건 만족 확인(NB-4435)

(5) PWHT

- ① 열처리로 교정 및 작업자 자격 확인
- ② 열전대 부착방법(NB-4311.1) 적정성 확인
- ③ PWHT Chart 검토(유지시간 및 온도, 가열 및 냉각률)
- ④ 대체 PWHT 적용시 적정성 검토
- ⑤ PWHT 면제조건 확인 : NB-4622.7
- (6) 비파괴검사 (NX-5000)

- ① NDE 절차(NB-5112) & 검사원 자격인정(NB-5500) 확인
- ② 공인검사자에 의해 검정된 절차서 사용 확인
- ③ 비파괴검사 시기 확인(NB-5120)
- ④ 안전등급별 비파괴 검사 요구조건 확인
- ⑤ 수압시험 후 수정한 모재부위 여부 (NB-5400) 확인
- ⑥ 표면검사 범위의 확인(NB-5140)
- ⑦ Design Spec. 추가 요구조건 확인(NDE 시기 등)

⑧ RT 경우 투과도계 선정 확인

⑨ 합격기준 확인(NB-5300)

다) 제작후 검사내용

제작후의 검사내용은 크게 세가지로 나눌 수 있다. 우선 최종내압시험으로 건전성의 최종확인을 하는 것과 들쭉로 사용에 지장이 없도록 치수가 적합한지와 마지막으로 가동중에 문제가 있을 시에 시공/제작의 어떠한 데이터라도 추적할 수 있도록 품질관련 서류가 확보되었는지를 확인한다. 그 각각을 좀더 상세하게 살펴보면 다음과 같다.

(1) 최종내압시험(NX-6000)

① 수압시험(NX-6111)

- Test 범위 확인

- 온도계 검교정, 압력 Gage 검교정 및 위치 적정성 확인

- 기기 각부위의 RT_{NDT} 확인 후 수압시험 온도 ($RT_{NDT} + 60 \text{ }^\circ\text{F}$) 검토(NB-6212)

- 시험매체의 분석보고서 검토(Design Spec. 확인)

- 물 만수여부 확인 및 Air Venting 실시 (NB-6211)

- 검사 가능토록 검사부위 청결 및 Accessibility 확인(NB-6121)

- 시험압력 요건 만족여부 검토(NB-6221)

- 밸브는 ND-3500의 요구사항에 따라 수행

- Holding Time 확인 : 최소 10분 (NB-6220)

- 검사압력(설계압력과 시험압력의 $\frac{3}{4}$ 중 작은 값)에서 누설여부 확인(NB-6224)

② Pneumatic Test (NB-6320)

- 기압시험 실시의 타당한 이유 확인

- 시험압력은 설계압력의 1.2배, 다른조건은 수압시험과 동일

(2) 최종치수검사

① As-Built 도면 확인

② Repetition of Surface Test(NB-4121.3)

③ 내압시험후 기계가공 확인(NB-6115)

- ④ 내압시험후 내압부에 용접수행 여부 확인(NB-4436)
- (3) QVD (Quality Verification Documentation) 검토
 - ① 이상의 요구사항 만족여부 확인
 - ② Design Spec. & Design Report 최종 승인여부 확인
 - ③ Name Plate 확인 (NCA-8211)
 - ④ Data Report 검토 및 서명
 - ⑤ Design Spec.에서 요구하는 QVD 서류 (NCA-4134.17-1)

2.2. 원전기기 가동중 공인검사

원전기기가 2.1절의 시공/제작 공인검사를 거쳐 발전소에 설치되어도 운전중에 운전조건에 따라 기기 용접부에서 비파괴시험장비의 한계보다 작은 결함이 성장하여 발견 가능한 크기로 변하여 기기의 파손을 초래할 수 있다. 가동중 검사는 바로 이러한 것을 찾아내기 위하여 정기적으로 시행하는 검사이며, 가동전 검사는 상업 운전 전에 시행하는 최초의 가동중 검사를 뜻하고 공인검사는 이 검사가 기술기준에 따라 정확히 시행되었다는 것을 확인하는 검사이다. 이미 완성된 용접부와 열영향부위에서 발생하는 결함을 찾는 것이 주목적이므로 여기에 투입되는 기술은 주로 비파괴시험기술이다. 따라서 당연히 가동중 공인검사자는 비파괴시험기술에 깊은 지식을 가지고 있어야 한다.

1) 적용 기술기준

원전의 가동전/중검사에 적용되는 기술기준은 크게 주기기술기준과 주기기술기준에서 인용한 보조 기술기준으로 나눌 수 있으며, 국내원전의 주기 기술기준은 과학기술처 고시 제 95-1호("원자로 시설의 가동중검사 및 가동중시험에 관한 규정")

에 의해 경수로형 원전의 경우는 ASME Sec. XI을 적용하고 중수로의 경우(월성원전)는 CSA/CAN3-N285.4를 적용하며, 미국 NRC(원자력규제위원회)의 규제지침중 일부를 준용한다. 보조 기술기준은 비파괴검사의 경우 ASME Section V, SNT-TC-1A 및 48-GP Series가 적용되며, 보수 또는 교체가 있을 경우 건설 기술기준인 ASME Section III, II, IX가 적용된다. 기타 기술기준에 언급되어 있는 경우 ASTM이나 ANSI가 적용되기도 한다. 한편 ASME는 3년마다 개정판이 나오는데 개정판 적용 년도는 규제기관에서 승인한 년도의 것으로 하게된다.

2) 가동전/중검사의 내용

가) 개요

원자력발전소는 수명을 40년으로 보며 수명동안 안전한 가동을 위하여 건설이 완료된 발전소는 상업운전에 들어가기전 가동전 검사를 실시하며, 가동중 정기보수기간에 주기적으로 가동중 검사를 실시한다. 가동전 검사는 가동전 기기의 안전성뿐만 아니라 가동중 검사의 기초 정보가 된다. 국내 원전의 검사프로그램은 ASME Sec. XI에서 채택하고 있는 것 중 10년 주기의 검사프로그램을 채택하고 있으며, 10년을 주기로 모든 검사대상을 100% 검사하도록 하고 있다. 가동전 검사가 완료되면 가동중 검사를 위하여 검사 프로그램에 따라 10년주기의 장기가동중검사 계획서가 작성되고, 이 계획서에 따라 가동중검사를 수행하게 된다. 각 주기는 여러 차수(period, outage: 핵연료 교체시기)로 나누고 차수의 검사는 장기가동중검사 계획서를 근거로 각 차수의 검사계획서를 준비하여 실시하며, 발전소의 형편에 따라 기술기준에서 허용하는 범위에서 검사대상의 검사를 연기하거나 앞당겨 실시할 수 있다.

나) 검사대상

검사대상기기는 원자로를 포함한 압력용기, 격납용기(주:원자력발전소의 동형 건물), 배관, 펌프, 밸브, 노심지지구조물, 저장탱크 및 이들의 지지물 등이 포함된다. 한편 원자력발전소의 기기는 안전성의 중요도에 따라 Class 1, 2, 3 및 비안전성 등급으로 나누며, 가동전/ 중검사에서 등급분류에 따라 검사기기의 비율, 검사방법, 검사범위 및 합격기준 등을 달리하고 있다. 실제 가동전/중검사에서 검사되는 기기는 전부 또는 일부를 선정하여 검사하는데, 검사대상의 선정은 다음에 따라 결정된다.

- (1) 각 안전등급별로 면제대상 크기에 해당하는 기기의 제외
- (2) 각 기기나 계통에서 전부 또는 일정비율의 용접부의 용접부
- (3) 검사중 결함이 발견되면 (2)에서 검사되지 않은 용접부의 일부추가(추가검사)
- (4) 결함의 크기가 해석적방법에 의해 수명동안 사용 가능한 것으로 판정되는 경우 3년동안 계속검사(추적검사)

다) 검사방법

가동전/중검사에 이용되는 비파괴시험으로 다음과 같은 것이 있다.

- (1) 초음파탐상시험(UT)
- (2) 자분탐상시험(MT)
- (3) 액체침투탐상시험(PT)

- (4) 육안검사(VT)
- (5) 와전류탐상시험(ECT)
- (6) 누설시험(LT)

3) 공인검사의 수행내용

가) 공인검사의 대상

주로 비파괴검사가 대부분이며, 압력시험, 보수교체 및 격납용기의 가동중 검사 등이 포함된다. 현재 시행되고 있는 검사중 공인검사의 대상 항목은 다음과 같다.

- Class 1, 2, 3 기기 및 배관의 수동검사 (UT, MT, PT, VT)
- 원자로 압력용기의 초음파 시험(Mech. UT)
- 압력용기 자동초음파 시험(AUT)
- 증기발생기 전열관의 와전류탐상 시험(ECT)
- 격납용기 국부 및 종합 누설률 시험(LLRT, ILRT)(VT)
- 격납용기 포스트 텐션닝 시스템
- 압력시험
- 보수 및 교체

표 1은 위와 같은 가동전/중 검사가 행하여질 때 공인검사의 개요를 도식적으로 나타낸 것이다.

표 1. 가동전/중 검사에 대한 공인 검사의 개요

	준비	입회 검사	보고서 검토	보수 교체 검사	소유주 검사 보고서 보수 교체 보고서	서명
대상	계획서 절차서 검사자 자격 검사장비	대상기기 검사자 검사장비 절차서준수 NCR 검토 CNF 검토	검사기록지 평가결과 보고서	계획서 자재 용접 후열처리 비파괴 압력시험		
공인검사	서류검토 공인검사 계획서 작성(검사점 설정) 입회 검사 지적 및 권고, 조치확인					

나) 검사 준비의 점검 및 서류 검토

발전소가 건설되었거나 가동이 중지되기 전 적절한 시간에 발전사업자(소유주, 한전)가 가동 중검사 계획서와 함께 공인검사 요청을 하면 검사계획서를 검토하게 된다. 계획서의 검토에서 가장 중요한 것은

- 검사대상은 모두 포함되어 있는가?
- 검사기법은 검사대상의 검사영역을 모두 포함하고 있는가?
- 안전등급에 따라 규정된 비율 만큼의 검사량이 포함되어 있는가?
- 추가검사 또는 추적검사 대상이 포함되어 있는가?

등이다.

검사계획서의 검토후 공인검사원은 필수입회점(정지점 : hold point) 및 임의 입회점(witness point)을 설정하여 소유주에게 통보하며 가동전/중 검사시 적절한 시간에 공인검사 입회요청을 받아 검사에 입회할 수 있도록 준비한다.

검사계획서에 따라 검사대상을 검사하기 위해서는 각 비파괴검사 및 시험에 대한 검사절차서, 비파괴 검사자, 검사장비가 필요하며 이를 검사의 3대요소라 할 수 있다. 기술기준은 검사에 대한 최소요건만을 규정하고 있으므로 실제 검사에서는 기술기준의 최소요건을 포함한 적절한 검사 절차서가 준비되어야 하며, 검사대상이나 검사방법, 시험편의 재질, 형상 등에 따라 적절한 검사가 이루어질 수 있어야 한다. 비파괴검사자는 교육, 훈련 및 경력요건을 만족하는 충분한 기량을 갖추고 있어야 하며, 검사장비는 검교정 요건을 만족하는 검사에 적절한 장비여야 한다. 공인검사원은 이들 검사의 3대 요소가 기술기준에 따라 적절하게 준비되고 자격이 인정되었는지 확인하여야 한다.

다) 입회검사

공인검사의 검사점(필수 및 임의 입회점)에는 발전소 소유주로부터 공인검사 입회를 요청받아 가동전/중검사 현장에 입회하여 자격이 인정된 검사자가 적절한 장비를 사용하여 준비된 절차서에 따라 검사대상물을 검사하는지 확인한다. 필수 입회점의 경우 공인검사원과 사전협의가 없는 한 공인검사의 입회없이 검사를 진행할 수 없다. 검사중 공인 검사원이 의심할 만한 충분한 사유가 있다면 절차서 개정, 검사장비의 교체 또는 검사원의 재자격인정을 요구한다.

라) 보고서 검토

현장에서 비파괴검사가 완료되면 우선 비파괴 검사자는 검사기록지를 작성하고 검사결과를 기록한다. 공인검사원은 검사기록지의 작성에 포함되어야 할 요건이 만족되도록 검사기록지가 작성되는지?, 검사결과를 정확히 기록하는지를 확인한다. 검사 결과 지시가 발견되었다면 비파괴검사자는 지시를 평가하여 결함유무를 확인하고, 결함일 경우 보수, 교체 또는 계속사용 여부를 판단하며 공인검사원은 이 평가 및 조치가 요건에 적합한지 확인한다.

마) 보수 및 교체 공인검사

보수 또는 교체가 결정되면 사업자는 보수 또는 교체 계획서 및 절차서를 준비하여야하며 공인검사원은 계획서 및 절차서를 검토하여 보수 또는 교체가 기술기준요건을 만족하도록 이루어질 수 있는지 확인한다. 보수 및 교체시에는 2.1 절의 시공/제작 공인검사 기술이 이용된다. 물론 적용되는 기술기준도 ASME Sec. XI 외에 시공/제작에 사용되는 Sec. II, III, IX 등이 활용된다.

바) 가동전/중검사 종료후 공인검사

가동전/중검사가 완료되면 발전사업자(보통 비파괴검사가 작성하여 제출함)는 요약 보고서

를 작성하며, 공인검사원은 요약보고서가 요건에서 요구하는 충분한 정보를 포함하는지 확인하고, 모든 요건이 충족되면 요약보고서에 첨부된 소유주 검사보고서 및 보수·교체보고서의 공인검사원 서명란에 서명한다. 최종적으로 가동전/중 공인검사 중 발생한 중요사항을 포함한 공인검사 내용을 요약한 보고서를 규제기관에 제출함으로써 모든 검사가 종결된다.

3. 앞으로의 전망

3.1. 국내 기술기준의 개발과 그 영향

1) 국내기술기준의 개발

현재 국내에서는 2장에 기술된 미국의 기술기준인 ASME 기술기준을 모태로 하여 기술적요건은 거의 그대로 번역하고 제도적요건은 우리나라 실정을 반영한 국내 기술기준(전력산업기술기준 KEPIC)을 제정하고 있다. 이 제정작업은 대한전기협회를 중심으로 한전, 한기, 과기처, 원자력안전기술원, 기계연구원 등이 참여하여 진행되고 있으며 현재 적용의 원칙은 전년도에 과기처 고시로 공고되어 있는 상태이다. 몇가지 운영방법론만 완성되면 울진5,6호기 건설에서부터 적용될 수 있을 것으로 기대되고 있다.

2) 전력산업 기술기준 적용의 영향

전력산업기술기준의 기술적요건은 미국의 기술기준과 거의 동일하기 때문에 현재까지와 별다른 변화가 없을 것이나 제도적요건은 상당한 변화를 보이게 된다.

첫째, 법적근거가 없이 안전성분석보고서에 따라 시행되던 원자력공인검사가 간접적이지만 법적근거를 갖게 된다.

둘째, 재료의 생산, 기자재 제작을 비롯해서 시공에 까지 참여하는 모든 업체가 기술기준에

따른 품질보증시스템 인증서를 소지하여야 한다. 따라서 공인검사도 이 품질보증시스템 감시에 상당한 노력을 투입하게 될 것이다.

셋째, 우리나라 자본으로 우리나라에 건설되는 원전을 미국의 주정부검사를 받는 모순이 완전히 제거될 것이다.

3.2. 바람직한 우리나라 원자력공인검사제도에 대한 제언

1) 우리나라의 원자력공인검사제도 운영상의 문제점

1장에서 기술한 바와 같이 원전기기 공인검사 제도는 그 나라의 사회환경, 공업화역사, 보험제도, 정부의 규제정책의지 등에 따라 달라질 수밖에 없으므로 어떤 제도가 바른 제도라고 판단할 수는 없다.

그런데 우리나라에서는 우리나라의 공업화역사에 따라 내압기기의 구조건전성검사를 위한 제3자 검사기관이 자연발생하지 않고 곧바로 국가의 규제기능을 위하여 법정검사가 실시되었다. 이때 정부의 각 소관부서별로 각기 다른 전문기관을 설립하여 법정검사를 위탁 운영하여 왔다. 따라서 동일한 기술적배경을 가진 내압기기들에 대한 검사가 각 전문기관에 따라 서로 다른 기술적요건과 검사철학을 적용하고, 검사자의 자격도 동질성이 전혀 유지되지 못하고 있다. 이에 따라 검사를 수행하는 방법론도 기관이나 검사자에 따라 판이하게 달라지고 있다. 어떤 경우는 요소기술에 바탕하여 구조건전성 확인 차원의 검사가 이루어지기도 하지만 또 어떤 경우는 거의 규제행정적 차원을 벗어나지 못하고 있는 경우도 있다.

또 한국기계연구원에서 실시한 지난 3년간의 원자력공인검사를 수행한 결과^{[16][17][18]}에 비추어 보면 기존의 원자력공인검사 수행방법론 측면에서도 문제점이 없지 않다. 우리나라에서는 시

공이나 제작현장 또는 용접부의 가동중 건전성 확인을 하는 현장에서 2장에서 기술한 용접금속학 및 비파괴검사기술에 바탕한 검사들이 충분히 이루어지지 못하고 있는 것을 알 수 있다. 선진 각국의 검사제도는 품질보증시스템의 도입 전에 이미 100년 가까이 요소기술에 근거한 검사제도를 운영하여 왔기 때문에 품질보증시스템의 도입이 이러한 요소기술을 보다 효과적으로 연계운영할 수 있게 하였다. 그런데 우리나라는 기술도입 단계에서 용접 및 비파괴시험기술의 바탕이 충분하지 못함에도 불구하고 미국의 품질보증시스템만 먼저 자리잡았다. 따라서 기술에 근거한 실제적 검사 보다는 시스템을 위한 서류적인 업무가 많이 강조되었고 이에 대한 감독 및 규제활동이 활발하게 진행되어 온 까닭에 구조적 건전성확보에 가장 큰 영향을 주는 공정중의 실질적검사가 크게 간과되고 있다. 그러므로 우리나라의 용접검사는 향후 상당한 기간 동안 현재 정착된 품질보증제도에 걸맞는 "기술에 바탕한 실질적인 검사"가 이루어지도록 진행되어야 할 것으로 판단된다.

2) 바람직한 내압기기 용접부 건전성 검사제도 정립방향에 대한 제언

용접검사는 주로 용접부와 용접열영향부위의 미세조직을 결정하는 용접금속학과 최종 용접부위의 불연속성 결함존재여부를 확인하는 비파괴검사기술을 바탕으로 이루어진다. 따라서 기술적 요건의 심각도에 차이는 있을지언정 이러한 기술은 그 내압기기가 원자력설비이나 일반 압력플랜트이나에 관계없이 거의 동일하다. 따라서 검사제도, 검사기관, 검사자의 자질, 검사방법론 등에 대하여 아래와 같이 제언하고자 한다.

가) 정부의 소관부서가 다양하고 검사기관이 다양하기 때문에 발생하는 검사의 이질성을 해결하기 위하여 아래와 같은 방법을 제시한다.

첫째, 검사철학과 검사내용 및 검사자의 자질

의 동질성을 확보하기 위하여 검사자 교육훈련 및 자격관리를 통합운영 하거나

둘째, 내압기기 구조건전성 확보기술은 설비가 서로 다르더라도 동일한 기술 바탕이므로 법정검사를 위탁받은 각 전문기관에서 이 부분만 떼어내어 한개의 기관으로 운영 하는 것이다.

나) 내압기기 구조건전성 검사의 실질적 기대효과를 높이기 위하여 다음과 같은 방법론을 제시한다.

첫째, 규제검사자, 공인검사자 뿐만 아니라 시공, 제작, 보수 현장의 감독자, 품질검사자들에게도 동일한 교육훈련을 받은자를 검사자로 자격부여 하며

둘째, 품질보증체제적 검사방법론을 지양하고 실질적 검사가 수행될 수 있도록 검사철학 및 방법론을 위 교육과정에 포함한다.

다) 소관 부처와 관계없이 법정규제검사가 모두 전문기관에 위탁되어 있는 상태에서 내압기기에 대한 공인검사가 수행되므로 중복검사의 우려를 피하기 위하여 다음과 같은 방법론을 제시한다.

첫째, 장기적으로는 내압기기 구조건전성 검사제도를 공인검사에 일원화 하거나

둘째, 단기적으로는 법정검사 위탁 전문기관과 내압기기 구조건전성 검사만 다루는 공인검사기관과의 검사기능의 경계를 설정하는 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 제조물 검사의 종합적 기술전개, 小野寺眞 著, 1995년 한국기계연구원 번역
- [2] 원자력기자재 공급자 품질보증프로그램에 대한 인증제도 및 검사에 관한 USNRC, ASME 및 NB 3자간 업무협정서, February 4, 1981

- [3] TÜV 100년사, TÜV Hannover, 1975
- [4] 석유화학설비의 안전성 확보대책, 대한기계학회, 보일러 및 압력용기위원회 워크샵, 1994
- [5] A Review of Nuclear Inspection in the U.S. and Recommendations for the Korean Nuclear Industry, N.H.Kim/KOPEC and D.S.Douin/S&L, October 1992
- [6] ASME Accreditation-What it is and How it works, Codes and Standards Showcase, Mechanical Engineering, Vol.111, No.8, August 1989
- [7] Education Update, National Board Bulletin, Vol.47, No.2, October 1991, National Board of Boiler and Pressure Vessel Inspectors, Columbus, OH
- [8] National Board of Boiler and Pressure Vessel Inspectors By-Laws, NB-42, Rev.8, 1989, National Board of Boiler and Pressure Vessel Inspectors, Columbus, OH
- [9] National Board Information Booklet, NB-21, Rev.4, 1988, National Board of Boiler and Pressure Vessel Inspectors, Columbus, OH
- [10] Qualification and Duties for Authorized Inspection Agencies, Nuclear Inspectors and Nuclear Inspector Supervisors, ANSI/ASME N626.0-1985, American Society of Mechanical Engineers, New York, NY
- [11] Subsection NCA-General Requirements for Div.1 and Div.2, Section III, Rules for Construction of Nuclear Power Plant Components, 1992 Edition, ASME Boiler and Pressure Vessel Code, American Society of Mechanical Engineers, New York, NY
- [12] Title 10 Code of Federal Regulations, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C., 1991
- [13] 서독의 원자력안전제도, 1986. 4., 업무참고자료 안심-5, 안전심사관실, 과학기술처
- [14] 프랑스의 원자력안전제도, 1986. 8., 업무참고자료 안심-7, 안전심사관실, 과학기술처
- [15] 스웨덴의 원자력안전제도, 1985. 11, 업무참고자료 안심-1, 안전심사관실, 과학기술처
- [16] 원자력공인검사 업무보고 1993, 1994. 3., 원자력공인검사사업단, 한국기계연구원
- [17] 원자력공인검사 업무보고 1994, 1995. 3., 원자력공인검사사업단, 한국기계연구원
- [18] 원자력공인검사 업무보고 1995, 1996. 3., 원자력공인검사사업단, 한국기계연구원
- [19] Section XI, Rules for Inservice Inspection of Nuclear Power Plant Components, 1989 Edition, ASME Boiler and Pressure Vessel Code, American Society of Mechanical Engineers, New York, NY
- [20] Section III Div.1 & 2, Rules for Construction of Nuclear Power Plant Components, 1989 Edition, ASME Boiler and Pressure Vessel Code, American Society of Mechanical Engineers, New York, NY