

# 비파괴 검사기술을 이용한 원자력 발전설비 예방진단

박 상 기\* · 권 오 철\*\*

(\*한국전력공사 원자력 발전처장, \*\*등 기전부장)

## 1. 서 론

에너지 부존자원이 부족한 우리나라는 급속적인 산업발전에 따라 에너지 수요가 급증하였고 또한 1970년대 석유공급파동으로 값싼 전기에너지의 안정된 공급이 절실하게 되었으며 이를 해결하기 위하여 원자력발전소의 건설 및 운전이 고리 1호기를 필두로 하여 시작되었다.

우리나라는 총9기의 원전이 운전되고 있으며 2기의 원전이 건설중에 있고 앞으로도 안정적 전기에너지의 공급을 위해 원전의 추가건설 및 운전은 계속될 전망이다.

현재 총 전기에너지 공급 중에서 원자력발전이 차지하는 비중은 약50%가까이를 점하고 있으며, 따라서 전기에너지 공급에 있어 원전이 차지하는 비중은 매우 높다 하겠다.

그러나 원자력발전소는 핵연료를 사용하므로 원전의 건설과 운전의 성공여부는 원전의 안전성 확보 및 가동율 향상에 달려있다고 해도 과언이 아니다.

더구나 최근에는 원전의 안전성에 대한 끊임없는 논의가 계속되고 있으며 원전의 안전에 대한 일반국민의 관심이 점점 높아지고 있다.

원전의 안전성을 확보하기 위해 원전은 설계단계에서부터 부품의 제작, 건설, 운전에 이르기까지 여러단계의 안전예방조치가 강구되고 있으며, 이는 범

적으로 요건을 정하여 이를 충족시키도록 하고 있을 뿐만 아니라 각종 규격, 사양서, 절차에 따른 제작, 건설, 운전과 사용전 검사, 사용중 검사, 규제기관의 감시·감독 등을 통해 원전의 예방진단이 실시되고 있다.

특히 비파괴 검사기술을 이용하여 원자력 부품 및 기기의 제작, 건설검사, 건설한 후의 총체적 검사인 가동전 검사(Pre-Service Inspection/PSI)등을 수행하여 원자력 부품이 설계목적에 맞게 제작 건설되었는지, 앞으로의 사용에 지장을 초래할 결함의 유무 또는 그 심각성 정도를 진단한다.

또한 사용중에 어떠한 이상이 발생하였는지를 점검할 뿐만 아니라 발전소 운전에 따른 새로운 결함의 발생, 진단 또는 부품의 이상유무를 알아내어 조치함으로써 원전의 안전성 여부에 발생, 진단 또는 부품의 이상유무를 알아내어 조치함으로써 원전의 안전성 여부에 대한 일반국민의 불안감을 불식시키고 동시에 발전소 가동율을 높임으로써 원전의 안전성과 경제성을 제고하여 원전의 본래 목적인 전기에너지의 안정적 공급에 기여하고 있다.

## 2. 비파괴 검사기술

### 2.1 비파괴 검사의 정의 및 목적

비파괴 검사란 각종 재료, 부품 또는 구조물의 사용에 지장을 초래하지 않는 에너지를 가하여 거기서 얻어지는 반응을 관찰함으로써 재료, 부품 또는 구조물에 이상 또는 결함유무, 건전성여부를 알아내는 것을 말한다. 검사방법별 사용 에너지는 방사선 투과 검사의 경우 방사선 에너지를, 초음파 검사의 경우 초음파를, 자분탐상 검사의 경우 자기장 등을 이용하고 있다.

각 비파괴 검사법의 원리 및 이용 예는 다음장에 살펴보기로 하고 비파괴 검사의 용도에 대해서 살펴보면 다음과 같다.

- 첫째, 소재 또는 생산제품, 구조물 등이 설계, 제작, 가공 사양에 맞게 생산, 제작, 가공되었는지를 검사할 때
- 둘째, 상가품목 들을 사용전 또는 사용중에 검사하여 앞으로의 사용에 지장을 초래하거나 초래할 가능성이 있는 결함의 유무를 찾아내고 평가할 때
- 셋째, 제품 또는 구조물이 파괴 또는 파손된 경우 그 원인을 분석하거나 앞으로의 예방대책을 세울 때이다.

실제 원자력발전소는 위의 세 경우가 다 해당되며 첫번째는 발전소 부품의 소재, 각종 부품, 기기들이 생산 제작단계에서 규격요건(ASME Code, Section III)에 따라 제작되고 있거나 제작되었는지를 검사하는 것이며, 두번째는 발전소 건설후 사용전에 중요한 압력용기, 배관, 각종 기기에 대해 가동전 검사(PSI)를 수행하여 원전설비에 대한 결함유무, 건전성을 확인하고 결함발견시 조치를 취함과 아울러 가동전 검사기록을 남김으로써 발전소 수명기간동안 계속 검사하게 될 가동중 검사의 기본 데이터로 사용한다.

또한 발전소 운전중 또는 발전소 핵연료 교체기간을 이용한 가동중 검사를 수행하는 것도 두번째 항목에 해당된다.

세번째는 실제 원전에서 발생한 결함의 원인, 파괴 또는 파손의 원인을 분석하고 그 예방대책을 세울 때 비파괴 검사가 적용되고 있다.

비파괴 검사 실시에 따른 결함의 발견, 원인분석 및 예방조치를 강구함으로써 재료 및 부품의 신뢰성 향상과 구조물의 안전성을 확인함으로써 총체적으로 원자력 발전소의 안전성 확보에 일익을 담당하는 것

이라 하겠다.

이외에도 비파괴 검사 사용목적에는 제품의 성능을 확인하는 품질관리 및 품질평가, 제조원가의 절감, 제조기술의 개량, 고장사고의 예방진단 등을 들 수가 있다.

## 2.2 비파괴 검사법

원자력 발전설비에 대한 비파괴 검사방법은 미국 기계학회 규격 Sec. XI “원전설비 가동중 검사 규칙”(ASME Code Section XI, Rules for Inservice Inspection of Nuclear Power plant Components)에 따르면 크게 3가지, 즉, “내부결함 검사법”, “표면결함 검사법”, “육안 검사법”으로 나누며 내부결함 검사법은 방사선투과 검사, 초음파 검사 및 와전류 검사법이, 표면결함 검사법에는 액체침투 검사와 자분 검사법이, 육안 검사(Visual Testing, VT)에는 VT-1, VT-2, VT-3 등으로 세분하고 있다.

특히 새로운 비파괴 검사법이 개발되어 위의 기존 검사법보다 결함검출 능력이 우수할 경우 “대안 검사법”으로써 원전에 적용하여 사용 가능하도록 규정하고 있다.

다음은 이들 비파괴 검사법에 대한 원리 및 적용범위 등을 간단히 살펴보자.

### 2.2.1 초음파 검사(UT)

초음파 검사란 주파수가 0.5~25MHz인 초음파를 발생시켜 검사코자 하는 시험체에 전파시켜 시험체

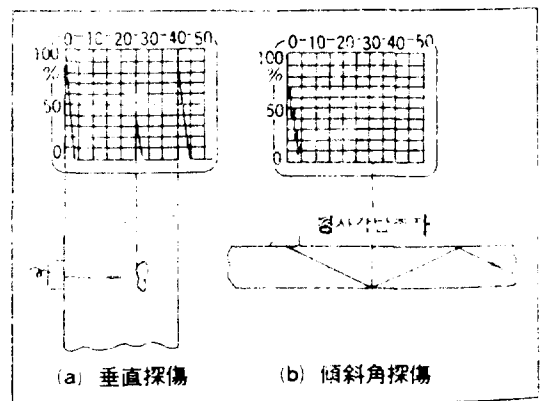


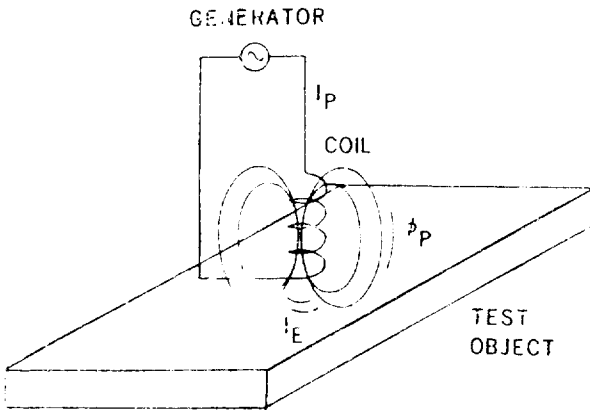
그림 1. 초음파 검사법(UT)

내에 불연속부(결함 등)가 있을 때 초음파 에너지가 반사되거나 투과되는 정도가 다르게 되는데 이 원리를 이용하여 반사 또는 투과되는 에너지의 양 및 그 시간을 추정하여 시험체 내부의 특성을 알아내는 방법이다. 이 검사법은 각종 용접결함, 균열, 판상결함 등을 검출 평가할 때 사용된다. (그림1)

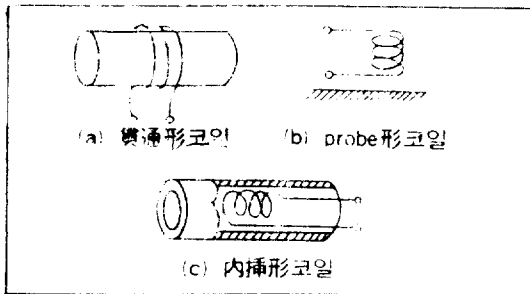
2.2.2 방사선 투과 검사(RT)

방사선 투과검사는 입력 에너지로 방사선 즉, X-선 또는 감마선원을 균일한 세기로 시험체에 투과시키고 이를 필름에 감광시켜 시험체에 존재하는 결함에 따라 진하고 옅은 모양의 투과사진을 얻거나 필름에 감광시키지 않고 직접 형광판에 투시하여 관찰함으로써 시험체내의 결함유무를 알아내는 방법으로써 균열, 슬래그 계재물, 용접결함 등을 찾아낼 때 사용된다.

2.2.3 와전류 검사법(ECT)



(a) Generation of Eddy Current in a Test Object



(b) 検査코일의 분류

그림 2. 와전류 검사법(ECT)

도체에 와전류를 발생시켜 시험체의 여러 특성(결함유무, 전도도, 투자율, 재질특성 등)에 따라 달라지는 와전류를 측정 분석함으로써 시험체의 이상유무를 검출 평가하는 방법이며 검사 대상물은 판, 봉, 관 등에서의 검사시 적용한다. (그림2)

2.2.4 자분 검사법(MT)

강철, 니켈, 코발트 등 강자성체에 자장을 걸어주었을 때 시험체 표면 또는 표면 가까이에서 이들 자력선의 흐름을 방해하는 결함이 있을 경우 시험체 표면 밖으로 자장 누설이 생기며 이때 시험체 표면에 철분과 같은 자성체 분말을 적용할 때 자분이 누설 자장에 흡착되는 현상을 이용하며 결함의 위치, 크기 등을 알아내는 검사법이며, 주로 강자성체로 된 피시험체의 표면 또는 표면하 결함 즉, 균열 터짐 등을 검출할 때 사용된다. (그림3)

2.2.5 액체침투 검사법(PT)

시험체 표면에 열려있는 미세한 결함을 찾기위해 모세관현상에 의해 결함속으로 잘 침투하는 침투액을 적용하고 일정시간 경과후 결함속으로 침투하지 않은 잔여 침투액을 제거한 다음 현상액을 적용하면 결함에 침투했던 침투액이 선명하게 나타나는데 이를 관찰하여 결함을 검출하는 방법으로써 피로균열, 터짐 등 표면결함을 찾을 때 많이 쓰인다.

2.2.6 육안 검사법(VT)

원자력 발전설비에 적용하고 있는 육안검사는 앞서 언급한 바와 같이 VT-1, VT-2, VT-3로 나누고 있으며 VT-1은 부품의 표면에 균열, 마모, 침식 또

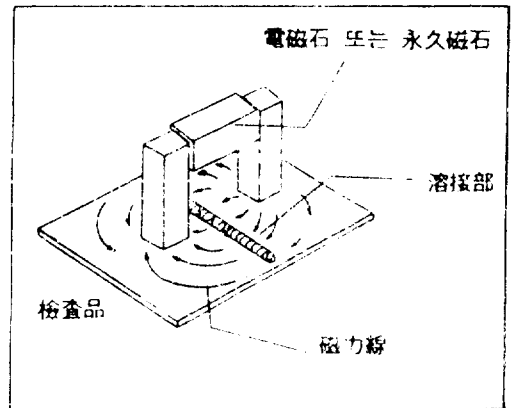


그림 3. 자분 검사법(MT)

는 물리적 손상여부를 직접 눈으로 관찰하거나 또는 쌍안경, T.V모니터, 보아스코프, 파이버 스코프, 현미경 등을 이용하여 간접적인 방법으로 관찰하는 것을 말한다. VT-2는 원전설비 즉, 압력용기, 배관, 기기 등의 누설여부를 검사하는 것이며, VT-3는 부품 구조물의 기계적, 구조적인 상태 즉, 물리적 변위, 파괴 파손, 부식, 침식, 마모, 균열, 각종 연결부위의 건전성 상실여부, 헐거워진 부분 등을 직접, 간접적인 방법으로 관찰하거나 펌프, 밸브, 스나버 등의 작동상태 등을 검사하는 것을 말한다.

### 2.2.7 음향 방출 시험(AE)

재료에 결함이 생성, 진전할 때 이물질(볼트, 너트 또는 파손된 부품)이 부품에 부딪칠 때 또는 누설이 일어날 때에는 초음파가 발생되며 이를 측정하여 결함의 생성, 진전여부, 이물질여부, 기기부품의 이상유무, 누설여부 등을 조기감시하는 검사법이다.

### 2.2.8 기타 시험법

위에 언급한 비파괴 검사법외에도 여러가지 다른 검사법들이 사용되고 있으며 구체적으로 중성자를 이용한 중성자 투과검사법, 스트레인 게이지법, 조성 분석시험법, 전기저항 시험법 등이 있으며, 각종 성능시험법(넓은 의미에서의 비파괴 검사법) 등이 있다.

## 3. 원자력 발전설비 검사 법규 및 규격

원자력설비제작, 건설, 운전과 관련하여 “원자력법”에는 각종 인허가 규정과 사용전 및 사용중 검사 규정을 담고 있으며 또한 원전의 건설 및 운전허가 전에 제출되는 예비안전성 분석보고서(PSAR) 및 최종안전성 분석보고서(FSAR)에 원전설비 검사계획을 일정 요건에 따라 제시하고 있다. 특히 미국 연방법인 10 CFR 50에는 원전 가동전·중 검사와 관련된 제반규정을 명문화하고 있으며 이의 주요내용은 다음과 같다.

### 3.1 10 CFR 50

10 CFR 50.2(V)는 원자로 내각재 압력계의 정의를 내리고 원전설비는 Class 1,2,3로 안전등급을

분류하여 등급에 따라 검사의 정도, 주기, 범위 등을 ASME Code Sec. XI을 따르도록 하고 있다.

또한 10 CFR 50.55a는 발전소의 건설시기, 상업 운전시기에 따라 ASME Code의 적용을 위한 발행년도를 결정하는 내용이 수록되어 있으며, 10 CFR 50.55a(g).(4)는 원전의 수명기간동안 수행하는 가동중 검사(ISI)의 계획을 어느 발행년도의 Code를 적용할 것인가를 결정하는 선택 기준을 제시하고 있다.

10 CFR 50 부록 B는 원전 관련 제반 품질보증활동에 대한 18개 기준을 설정하여 제시하고 있다.

### 3.2 ASME Code

미국 기계학회 규격 Section XI은 제목 자체가 “원전설비 가동중 검사 규칙”으로 모든 세부적 내용이 여기에 수록되어 있으며 국내원전의 가동전·중 검사도 이 규격에 따라 수행되고 있다.

이 규격에는 원전설비 가동중 검사와 관련하여 발전소 소유주의 책임, 검사대상 항목, 검사방법, 시험방법, 검사 또는 시험주기, 검사범위, 결함의 합부 판정기준, 교체 및 보수절차, 시스템 압력시험, 기록 및 보고서 요건, 결함의 파괴해석 분석, 검사자 자격요건, 장기 검사 프로그램, 성능시험 등에 대한 요구사항이 구체적으로 명시되어 있으며 10 CFR 50에 의해 법적인 효력을 갖도록 되어 있다.

구체적 비파괴 검사기술은 ASME Section XI에서 ASME Section V “비파괴 검사”의 일부 요건을 사용토록 지정하고 있다.

원전 부품 기기의 생산, 제작, 건설과 관련한 검사는 ASME Section III에 규정하고 있으며, 국내 원전 건설시 이를 적용하고 있다.

### 3.3 미국 NRC Regulatory Guide

미국 핵규제 위원회(Nuclear Regulatory Commission)에는 원전의 가동중 검사와 관련하여 위의 Code이외에 추가적으로 규정을 수시로 제정하여 따르도록 하고 있는 바 비파괴검사 관련 주요사항은 다음과 같다.

— Reg. Guide 1.14 : “원자로 내각재 펌프의 플라이 휠 전전성”

- Reg. Guide 1.51 : "ASME Class 2,3 원자력발전소 부품의 가동중 검사"
- Reg. Guide 1.66 : "관 제품의 비파괴 검사"
- Reg. Guide 1.83 : "원전 증기발생기 튜브의 가동중 검사"
- Reg. Guide 1.150 : "원자로 초음파 검사"

이와 같은 원전의 건설, 운전시 원전설비의 안전성 확보를 위한 예방대책으로써 검사규정을 엄격히 설정하고 이를 지키도록 하고 있다.

## 4. 원전설비 검사대상 항목 및 검사방법

### 4.1 원자로(Reactor Pressure Vessel)

원자로는 핵연료가 핵반응을 일으켜 에너지를 발생시키는 것으로 냉각재가 열을 흡수하는 원전의 핵심 압력용기이다.

따라서 이 부분에서의 사고 및 압력경계에서의 핵물질 누출은 치명적이다. 원자로에 대한 비파괴 검사는 방사선 준위가 높은 관계로 원격조정장비인 원자로 자동초음파 검사장비로 원자로 각 용접부, 노즐 내부 내경 원주 부위에 대한 초음파 검사와 원자

로 내부표면에 대한 육안검사를 수행한다. (그림4)  
또한 원자로 뚜껑(Closure Head)의 체결부위 나사에 대한 초음파검사와 자분탐상 검사가 행해지며, RCCA(Rod Control Cluster Assembly) 및 원자로 코어플럭스 맵핑을 위한 심블(Thimble) 튜브에 대하여 와전류 검사로 건전성 여부를 수행하고 있다.

### 4.2 증기발생기 및 응축기 튜브관

증기발생기 튜브 내측에는 방사능으로 오염된 1차 냉각수가, 외측에는 수증기를 만들기 위한 2차냉각수가 있으므로 이 부분의 압력 경계 부위에 큰 결함이 발생할 경우 1차냉각수가 2차쪽으로 누출될 수 있는 부위이며 또한 응축기의 튜브는 2차냉각수와 해수의 압력 경계 부위이다.

### 4.3 각종 압력용기, 배관 및 기기

증기발생기, 가압기, 열교환기, 각종 탱크들의 압력용기 및 배관의 용접부 및 인접소재 및 노즐내경 부위는 그 부품의 안전등급, 벽두께 및 재질에 따라 내부 결함검사, 표면 결함검사, 육안검사 등을 동시



그림 4. 원자로 압력용기의 자동 초음파 검사

에 실시하거나 2가지 검사법 또는 이중 한가지 검사법을 적용하여 비파괴 검사를 수행한다.

#### 4.4 지지구조물

압력용기, 배관, 기기구조물 등을 지지하기 위한 지지구조물 즉 행거, 스프링 행거, 스너버, 스포트, 리스트레이트, 부착물 등에 대해서는 그 중요도에 따라 체적검사, 표면검사, 육안검사를 수행함.

#### 4.5 펌프, 밸브 및 기타부품

펌프, 밸브, 각종볼트, 너트등 기타부품에 대해서도 위와 마찬가지로 검사를 수행함.

#### 4.6 수압시험 및 누설검사

원자로, 기타 압력용기, 배관, 펌프, 밸브등에 대해서 정기적으로 수압시험을 실시하고 이들 부품에 대한 누설여부를 검사함.

#### 4.7 각종 성능시험

성능시험은 넓은 의미에서 비파괴 검사법으로 분류 가능하며 ASME Sec. XI에서는 구체적으로 펌프, 밸브, 스너버등에 대해서 성능시험을 실시하고 이의 기능발휘 여부, 설계요건에 맞는 성능, 올바른 작동 여부등을 정기 점검토록 하고 있다.

### 5. 원전설비 가동전·중 검사수행

원전 건설후 사용전에 실시하는 가동전 검사와 원전가동중 핵연료 교체기간을 이용한 가동중 검사는 다음의 4단계의 업무로 구분할 수 있다.

첫째는 제반 규격요건을 만족하는 검사계획서 수립 및 검사수행을 위한 제반준비,

두번째는 현장 검사수행,

세번째는 검사결과의 평가분석 및 이에대한 조치,

네번째는 마지막으로 최종보고서 작성 및 차기 검사에서의 검사결과 반영이다.

좀더 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

### 5.1 검사계획 수립 및 검사수행 준비

앞서 살펴본 제반법규, 규격, 사양서에 따른 검사대상 항목 및 검사방법의 선정, 검사주기 결정, 검사 절차서 작성, 검사이력 자료 각종 사용장비들에 대한 검교정 시험편 제작, 각종 필요한 도면작성, 부품설계 도면 검토, 자동검사 주사계획 작성, 검사자에 대한 교육훈련, 검사기술 확보, 방사선 피폭감소를 위한 모의 훈련등이 이 단계에 속함.

### 5.2 현장검사 수행

수립된 검사 계획서에 따라 실제 현장에서 검사를 수행하며 새로운 결함의 생성, 결함의 성장 진전여부, 결함의 심각성 정도등을 검사하고 기록한다. 새로운 결함 발견시 처음 계획했던 검사범위를 확장하여 보다 많은 부품에 대해서 광범위한 검사를 추가로 수행한다.

### 5.3 검사결과 평가분석 및 조치

검사결과 결함이 검출되면 년 검사데이터와 비교 분석하고 이의 심각성 정도, 결함의 합부 판정을 규격에 따라 하게 되고 불합격 결함에 대해서는 부품의 수리 또는 대체를 하여 안전을 도모하게 됨.

합격인 결함에 대해서는 통상 수리가 용이한 경우(표면결함 또는 육안검사결함)는 대부분 수정 조치하며, ASME Sec. XI 합부판정 기준표를 초과하는 결함에 대해서 수정조치가 어려울 경우 Code에 따라 결함이 내재한 상태로 사용이 가능한지, 어느 정도까지 사용가능한지를 파괴 역학 해석(Fracture Mechanics Analysis)을 수행하여 결함의 최종 합부 판정을 내린다.

이경우 불합격 일때는 당연히 부품을 수정조치, 또는 대체하 합격일 경우에도 매3년마다 3번에 걸쳐 결함의 성장여부를 재검사하여 점검한다.

특히 증기발생기 튜브의 경우 관두께 40% 이상인 결함은 관전체를 막아버리거나 슬리빙(Sleeving)함으로써 누설을 미연에 방지하고, 결함에 대한 합부 판정은 부품의 안전등급, 벽두께, 재질, 결함종류, 특성등에 따라 좌우되나 내부결함의 경우 압력용기

표 1. 안전등급별, 부품/시스템별 검사개소

\*900MW 기준 PSI 경우

Class	Comp./Sys.	Method	UT	PT	MT	VT	ET
CLASS 1	Reactor Pressure Vessel		125	10	120	60	
	Steam Generator		15	5		30	16,875
	Pressurizer		25	5		10	
	Reactor Coolant Pump		20	5	5	20	
	Valve Bolting					40	
	Reactor Coolant		60	125		270	
	Chemical Volume Control			20		30	
	Residual Heat Removal		5	5		10	
	Safety Injection		40	75		155	
	소 계		290	250	125	625	
CLASS 2	Steam Generator		10		5	5	
	Heat Exchanger/Tank		25	10		15	
	Component Cooling			110		210	
	Main Steam		55		120	60	
	Feed Water		25		25	70	
	Pump			15		20	
	Safety Injection		55	65		95	
	Residual Heat Removal			100		120	
	소 계		170	300	150	595	
CLASS 3	Auxiliary Feed Water					50	
	Spent Fuel					45	
	Service Water					80	
	Chilled Water					70	
	Component Cooling					260	
	소 계					505	
총 계			460	550	275	1,725	16,875

註: 1) 상기 검사개소는 900Mw(PWR), PSI 기준하의 숫자임.

- 2) 10 CFR 50 및 ASME Section XI의 안전등급 검사항목 중 누설검사, 각종 Pump, Valve, Snubber의 성능검사 항목은 계산하지 않음.
- 3) 법규 및 규격요건외에 추가로 실시되는 응축기, Thimble, RCCA에 대한 ECT 등 기타 다른 비파괴검사 항목의 개소는 제외한 숫자임.
- 4) 검사개소는 숫자를 5개 단위로 사사오입하여 계산하였음.

는 허용한도가 벽두께의 약 5%, 배관의 경우 약 10% 정도이며, 표면결함(PT, MT 등)의 경우 약 5 mm 내외이다.

#### 5.4 최종보고서작성 및 차후검사계획에 반영

감사수행 결과를 최종보고서로 작성하며 차후 정기 가동중검사 계획에 금번검사 결과를 반영시킨다.

아울러 현장에서 생긴 각종 문제점에 따라 연구 및 해결방안을 강구하여 차기 검사에 대비한다.

### 6. 기수행 원전설비 가동중·중 검사현황

국내 원전의 가동중 검사개소는 수압시험 및 누설 검사와 각종 펌프, 밸브, 스너버등에 대한 성능 검사를 제외할 경우 900MW의 원전을 기준할 때 표1과 같다.

이들검사 부품에 대해서는 장기 가동중 검사계획(10년)에 따라 가동중검사 기록을 기본 데이터로 하여 매년 약 1/8에 해당하는 양을 가동중 검사하고 있다.

### 7. 결 론

원자력발전소의 건설 및 운전은 설계, 제작, 건설 및 운전등에 이르기까지 안전에 대한 고려가 치밀하

게 이루어지고 있으며 그중에서도 원자력 부품의 제작, 설치시는 물론이고 원전의 건설후 사용전 및 사용중에도 수시 또는 정기적으로 거의 모든 중요한 부품들에 대한 비파괴 검사는 필수적이며 제반 법규 및 규격도 원자력발전 설비에 대한 요건을 엄격하게 규정하고 있다.

국내에 운전중인 모든 원전에 대해서도 제반 법규 및 규격요건에 따른 제작/설치 검사와 가동중 및 가동중 검사를 첨단기술을 이용하여 엄격히 실시하여 발견될 주요결함은 수리조치하고 있으며 미세한 결함까지도 기록관리하며 가동중 검사에서 이들의 성장뿐 아니라 새로운 결함의 생성들을 찾아냄으로써 원전의 안전성 확보와 가동율 향상이라는 소기의 목적을 위해 원전의 예방진단에 만전을 기하고 있다.

### 참 고 문 헌

- [1] ASME, "Boiler and Pressure Vessel Code" Section, "rules for inservice inspection of Nuclear Power Plant Component"
- [2] ASME, "Boiler and Pressure Vessel Code" Section, "Nondestructive Examination"
- [3] 원전 호기별, 년도별 가동중·중 검사 최종 보고서, KEPSCO & KAERI, 1979-1989.
- [4] 10 CFR 50 및 USA NRC Regulatory Guide 1.14, 1.51, 1.66, 1.83, 1.150.