

## 원자력발전소 시공공인검사



전진수

(KIMM 원자력공인검사사업단)

- '82 전북대학교 금속공학과(학사)
- '93 울산대학교 금속공학과(석사)
- '81 - '91 한국전력공사
- '91 - '93 한국원자력안전기술원 선임기술원
- '93 - 현재 한국기계연구원 선임기술원



박반묵

(KIMM 원자력공인검사사업단)

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



이주석

(KIMM 원자력공인검사사업단)

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

원자력발전소 기기의 구조 건전성 확보를 위해 기기가 적절한 기술기준에 따라 제작, 설치 및 운전되고 있는지 여부를 정부가 인정한 제3자에 의해 시행되는 검사를 원자력공인검사라 하며 세부적으로 기기의 제작 및 시공단계에서 수행되는 공인검사를 제작/시공공인검사, 시운전 및 운전단계에서 수행되는 공인검사를 가동전/중공인검사로 분류하여 검사를 수행하고 있다.

• 현재 우리 연구원에서는 월성원자력2, 3, 4호기를 비롯하여 울진원자력3, 4호기, 영광원자력5, 6호기에 대한 시공공인검사를 수행하고 있으며 울진원자력5,6호기와 KEDO에서 시행하는 북한 원전에 대한 시공공인검사를 준비하고 있는 실정이다.

여기에서는 현재 검사가 진행중인 월성원자력 2,3,4호기 시공공인검사를 중심으로 원자력발전소 시공에 적용하고 있는 공인검사에 대해 소개하고자 한다.

### 1. 원자력발전 개요

#### 1.1 우리나라의 원자력발전 현황

우리나라는 원자력의 평화적 이용으로 국민생활 향상과 복지증진을 목적으로 1958년 2월에 원자력법을 공포하고 이를 기반으로 지속적인 기술지원을 수행하여 왔고, 한편으로는 에너지의 안정적 공급을 위해 원자력발전 도입을 추진, 1978년 4월 고리1호기가 처음 상업운전을 시작했다. 1997년 8월말 기준으로 우리나라 발전중인 원자력발전소는 총 12기로서 1,032만 kW의 시설

# 技術現況分析

용량과 34,539백만kW의 발전량으로 전체 발전량의 32.1%를 차지하고 있으며 세계 10위의 원자력발전소 보유국이 되었다. 현재 월성원자력3,4호기를 비롯하여 총 6기가 건설중에 있으며 2010년에는 총28기의 원자력발전소가 가동될 것으로 예상된다.

우리나라의 원자력발전소 현황은 표 1.과 같다.

## 1.2 가압경수로(PWR)와 가압중수로(PHWR)의 설계상 차이점

월성원자력2,3,4호기는 가압중수로형으로서 가

표 1. 우리나라의 원자력발전소 현황

( )안은 상업운전 예정일

호기	위 치	용 량 (만Kw)	원자로형	상업운전일
고리 #1	부산시 기장군	58.7	가압경수로 (PWR)	'78. 4. 29
고리 #2		65.0		'83. 7. 25
고리 #3		95.0		'85. 9. 30
고리 #4		95.0		'86. 4. 29
월성 #1	경북 경주시	67.9	가압중수로 (PHWR)	'83. 4. 22
월성 #2		70.0		'97. 6
월성 #3		70.0		('98. 6)
월성 #4		70.0		('99. 6)
영광 #1	전남 영광군	95.0	가압경수로 (PWR)	'86. 8. 25
영광 #2		95.0		'87. 6. 10
영광 #3		100.0		'95. 3. 31
영광 #4		100.0		'96. 1. 01
영광 #5		100.0		(2001. 12)
영광 #6		100.0		(2002. 12)
울진 #1	경북 울진군	95.0	가압경수로 (PWR)	'88. 9. 10
울진 #2		95.0		'89. 9. 30
울진 #3		100.0		('98. 6)
울진 #4		100.0		('99. 6)
울진 #5		100.0		(2003. 6)
울진 #6		100.0		(2004. 6)

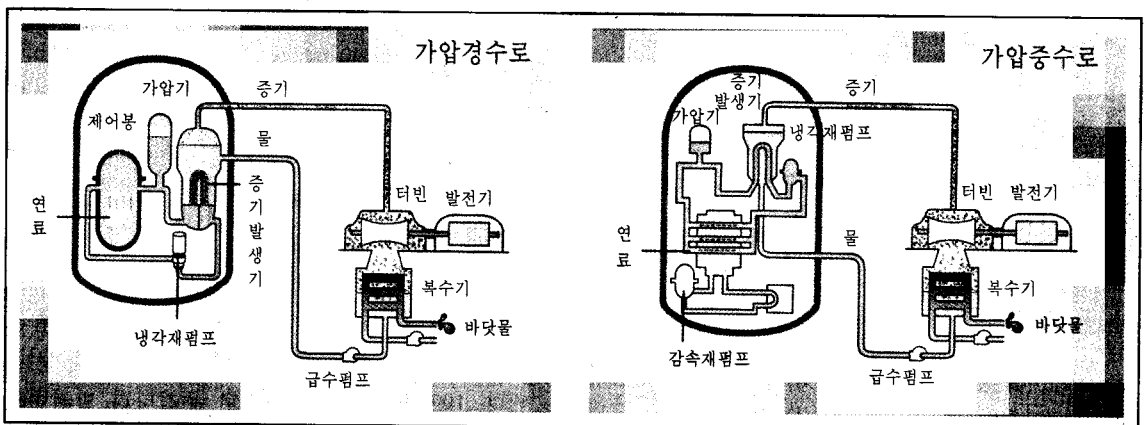


그림 1. 가압중수로와 가압경수로 계통 구성

압경수로와는 설계에서부터 큰차이점이 있다. 가압경수로와 가압중수로의 가장 큰 차이점은 구조상 경수로가 격납용기 안에 두꺼운 대형 압력용기(Pressure Vessel)를 사용하는데 반하여 중수로는 Perimeter Wall 안에 약 380개의 압력관(Pressure Tube)을 압력경계로 사용하는 점이다.

또한 가압경수로가 2-5% 우라늄-235가 들어 있는 농축우라늄을 연료로 사용하고 냉각재와 감속재로 물(경수)을 사용하는 것에 비해 가압중수로는 천연 우라늄을 연료로 사용하고 냉각재와 감속재를 중수로 사용하는 점이 설계상 차이점이다. 그 외에 가압경수로에서는 약 1년에 한번씩 핵연료를 교체하는 반면 가압중수로에서는 가동중 핵연료 교체(On-Power Fueling) 방법을 사용하여 가동률을 향상시키는 방법을 채택하고 있다.

가압경수로와 가압중수로의 특성을 비교하면 표 2.와 같다.

## 2. 월성원자력2,3,4호기 시공공인검사

### 2.1 사업개요

월성원자력2, 3, 4호기는 가압중수로(CANDU-PHWR)형으로서 700MW용량의 3기가 한전 주도형으로 경북 경주시 양남면 나아리에 건설되고 있으며 기기 국산화율은 65% 정도이다. 건설기간(굴착→상업운전)은 1991년 10월에서 1999년 6월로 총 7년9개월로서 총공사비는 3조 1,900억원(내자 1조 9094억원/외자 7억 1,528억불)이 소요되며 각 분야별 계약자는 표 3.과 같다.

### 2.2 검사 조직

월성원자력2,3,4호기 시공 품질에 대한 검사는 시공자 검사자, 발주자(한전) 검사자 및 법정검

표 2. 가압경수로와 가압중수로의 특성 비교

구분	가압중수로(PHWR)	가압경수로(PWR)
발전소	월성원자력 1, 2, 3, 4	고리, 영광, 울진
용량	679MW ~ 700MW	587MW ~ 1000MW
원자로 형식	가압중수로	가압경수로
운전압력(kg/cm <sup>2</sup> )	117	174
운전온도(°C)	268	343
원자로 설치형태	Horizontal	Vertical
연료	천연우라늄(U235 0.7%)	농축우라늄(U235 2~3%)
연료교체	운전중 교체	정지 후 1/3씩 교체
감속재	중수(D <sub>2</sub> O)	경수(H <sub>2</sub> O)
냉각재	중수(D <sub>2</sub> O)	경수(H <sub>2</sub> O)

표 3. 월성원자력 2, 3, 4호기 시공관련 계약자

구분	관련 계약자
PLANT 종합설계	캐나다 원자력공사/한국전력기술(주)
원자로 설비공급	캐나다 원자력공사/한국전력기술(주), 한중(주)
터빈, 발전기공급	한중(주)/GE(미)
핵연료 공급	2호기 : 지르카텍 3, 4호기 : GE CANADA
시공	2호기 : 현대건설(주) 3, 4호기 : (주)대우

사인 한국원자력안전기술원 검사자에 의해 수행되고 있으며 우리 연구원의 시공공인검사는 발주자의 검사가 수행된 후 합격한 항목에 대해서 정부가 승인한 기술기준과의 적합성 확인을 위한 공인검사를 실시하고 있다[불합격된 사항에 대해서는 그 처리 절차가 적절하게 이행되는지 여부를 확인].

또한 과기부에서 파견되어 현장에 상주하는 직원들이 시공자, 발주자 및 법정 검사의 적정여부를 관리하고 필요시 수시로 검사에 임하고 있으며 그 체계도는 그림 3.과 같다.

### 2.3 적용 기술기준

#### 2.3.1 품질보증 기준

- 1) 월성2,3,4호기 적용 품질보증 기준
  - 국내 원자력법
  - 1989.12.31 유효한 캐나다 품질보증 기준
  - CSA/CAN3-N285.0(중수로에 관한 일반요건)
  - CSA/CAN3-N286 시리즈(설계, 구매 등에 관한 품질보증 요건)
  - CSA/CAN3-Z299 시리즈(제작에 관한 품

질보증 요건)

- 기타 미국 품질보증 기준(ANSI/ASME-NQA1)

2) 각국의 품질보증 기준간에 모순이 있는 경우 국내 원자력법, 캐나다 기준, 미국 기준의 순서로 적용

3) CODE 요건의 변경 적용

- 국내 제작 및 설치의 경우 원자력공인검사자 또는 정부가 승인한 검사기관이 CSA/CAN3-N285.0 11.1항에 규정된 검사를 수행함으로써 인정함

#### 2.3.2 품질등급 분류 및 적용 방안

1) 분류방안

- 중수로의 사업특성을 고려하여 캐나다 표준 CSA/CAN3-Z299 기준에 따라 1,2,3,4 등급 즉, QPC1(Z299.1), QPC2(Z299.2), QPC3(Z299.3), QPC4(Z299.4)로 분류함

2) 품질등급별 품질보증 요건

- 캐나다 표준 CSA/CAN3-Z299 시리즈 적용

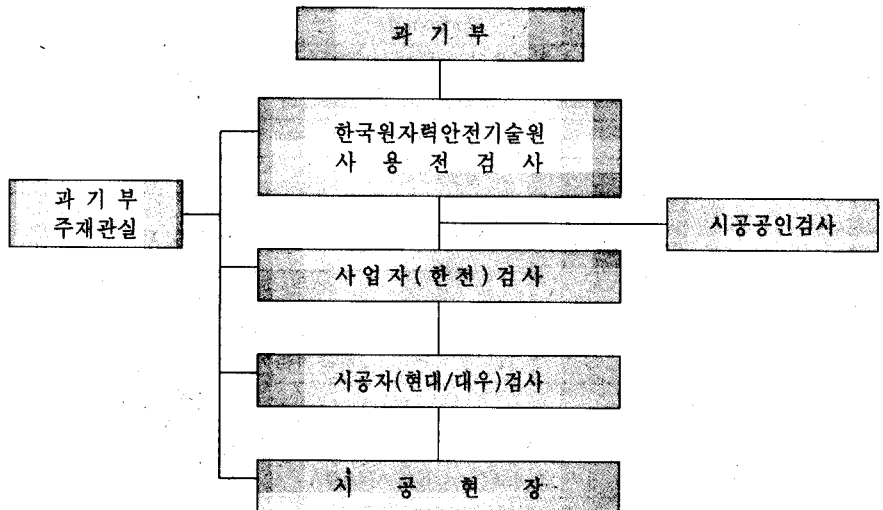


그림3. 월성원자력2, 3, 4호기 검사체계

### 3) 품질등급 적용 방안 가) 설계 및 구매단계

- 적용 품질보증 요건
  - CSA/CAN3-N286.0 - 품질보증계획 요건
  - CSA/CAN3-N286.1 - 구매 품질보증 요건
  - CSA/CAN3-N286.2 - 설계 품질보증 요건
  - CSA/CAN3-N286.3 - 시공 품질보증 요건
- 품질등급 분류

AECL CSA/CAN-Z299.0에 따라 월성2,3,4호기 구조물, 계통, 기기에 대한 품질등급 분류 즉, QPC(Quality Program Category) 목록을 작성하여 적용

#### 나) 제작단계

- 원자로 설비 및 보조기기

AECL이 분류한 품질등급에 따라 공급자가 적용할 CSA/CAN3-Z299 기준을 구매서류에 명시하고 공급자가 이를 준수(국내에서는 원자력법 우선 준수)

- 터빈/발전기

공급 계약자는 계약서에 따른 품질보증계획을 적용하며 캐나다 기준에 의한 품질등급 분류 및 적용은 하지 않음

#### 다) 시공단계

- 시공계약자 : 계약서에 따른 품질요건 준수
- 원자력법령, 과기부 고시 제90-3호(원자로 및 관계시설 품질보증 기준)
- KINS-G-002 및 003(한국원자력안전기술원 발행 품질보증지침)
- 시공 기술시방서에 명시된 캐나다, 미국 및 기타 품질보증기준
- 품질등급 적용

시공 기술시방서에 명시된 품질등급에 따라 품질보증계획을 적용

#### 2.3.3 적용 기술규격(Code and Standard)

월성2,3,4호기에 사용되는 code와 standard는

NSSS 주계약서 App.I 및 A/E 계약서 부록 A9에 기술

#### 2.4 수행내역

##### 2.4.1 검사 목적

월성원자력2,3,4호기 원자력 안전성 등급품목의 주요 기자재 설치와 관련하여 정부가 승인한 공인검사기관의 시공공인검사를 통해 제 규정, 기술 및 품질요건의 이행상태를 확인함으로써 원자력발전소의 객관적인 신뢰성과 안전성을 확보 하는데 목적이 있다.

##### 2.4.2 검사근거 및 범위

- 근거 : 원자력법 제11조 건설허가 요건에 따른 월성원자력2,3,4호기 예비안전성분석보고서 제17장(품질보증) 요건
- 범위 : CSA/CAN3-N285.0 적용품목에 대한 설치단계의 공인검사

##### 2.4.3 적용 기술 기준

- CSA/CAN3-N285.0(1989.12.31 현재 유효)
- ANSI/ASME N626.0 & 626.2(1989.12.31 현재 유효)
- 월성원자력2,3,4호기 예비안전성분석보고서
- 월성원자력2,3,4호기 기술규격서

##### 2.4.4 주요 검사대상

- 원자로 자관 조립 및 설치
- 증기발생기, 가압기, degasser condenser 등 압력용기 설치
- 주증기 열수송계통 등의 배관계통 제작 및 설치
- 계장용 튜브 설치
- perimeter wall 관통관 설치
- 내압기기 계통이나 기기 지지물 설치

##### 2.4.5 주요 검사내용

- 시공 계약자 및 하청 계약자 품질보증계획서 이행 확인
- 시공계약자가 수행해야 할 시공범위 확인
- 시공계약자의 절차서 및 자격부여 기록 검토
- 시험검사계획서(ITP) 수립 및 검토
- 시험검사계획서(ITP)에 검사점 설정 및 입회검사
- 자재 관련서류 확인 및 검토
- 비파괴시험 절차서 및 시험자 자격부여 기록 검토
- 현장 제작/설치 관련 비파괴검사 및 시험 입회
- 비파괴시험 보고서 및 RT 필름 검토
- 최종 압력시험 입회
- data report 검토 및 서명
- code, standard, 기술시방서 및 절차서 준수 여부 확인
- 도면 검토 및 시공시 도면 적정여부 확인
- 측정 및 시험장비 적격여부 확인
- WPS 및 용접사 자격부여 기록 검토
- 주요 용접 및 PWHT 입회검사
- 주요 부적합사항 검토 및 조치 확인
- 설계규격, 설계도면, 시공규격, 시공보고서, 설계보고서의 확보 또는 인증여부 확인
- 설계보고서가 요구되지 않는 구성품 및 지지물에 대해 설계 계산서가 작성되었는지 확인

2.4.6 시공공인검사 세부내용

상기 2.4.2항에 기술된 것 처럼 공인검사를 수행하기에는 검사범주가 광범위하여 적용이 곤란할 뿐만 아니라 관리도 용이하지 못할 것으로 사료되어 효율적이고 실현성있는 검사가 될 수 있도록 검사범위를 “안전성 관련 품목중 CSA/CAN3-N285.0의 Class 1,2,3 system 및 Class special components로 한정함.

또한 CSA code 내용이 불분명하거나 언급이 없는 사항에 대해서는 ASME code를 참조하여

적용.

시공공인검사 세부내용은 다음과 같다.

- 1) procedure qualification
  - qualification은 50% 이상 입회
  - document review는 100% 수행
- 2) welder/operator qualification
  - qualification은 30% 이상 입회
  - document review는 100% 수행
- 3) 검사자 qualification
  - qualification은 30% 이상 입회
  - document review는 100% 수행
- 4) 측정 및 장비 적격여부
  - document review는 100% 수행
- 5) weld Joint 검사
  - class 1
    - fit-up & final welding inspection, NDT(RT 제외) : 50% 이상 입회
    - RT film 검토 : 100%
  - Class 2
    - fit-up & final welding inspection, NDT(RT 제외) : 20% 이상 입회
    - RT film 검토 : 50% 이상
  - Class 3
    - fit-up & final welding inspection, NDT(RT 제외) : 10% 이상 입회
    - RT film 검토 : 10% 이상
- 6) 기자재 지입 관련 검사 : document review
  - class 1 : 가능한 100% 검사
  - class 2 이하 : 가능한 50% 이상 검사
- 7) 기기설치검사 : class 1 위주로 검사
- 8) 시공 계약자 및 하도급자 QA 체계 점검 : 한전 감사때 동시 실시
- 9) 최종 건전성 시험(수압시험 등 각종 시험) : 100% 입회검사 실시
- 10) 열처리시험 : 100% 입회검사 및 서류검토
- 11) NCR 검토 : 100% 검토 실시(처리지침 확정 및 종결시)

- 12) 절차서, ITP, QAP 및 QAM 검토
- 13) 기타 : 상기에 언급한 항목 이외에도 필요 시 추가하여 검사

3. 주요 지적사항 및 내용

월성원자력2,3,4호기 시공공인검사와 관련하여 '93년 9월부터 '97년 12월까지 총 104개의 DNR(Deviation and Nonconformance Report)와 108건의 MEMO가 발행되었다.

DNR은 code, 기술기준, 절차서 등에 대한 중대 부적합사항이 발생시 발행하며, MEMO는 경미한 부적합사항이 발생한 경우, 중대 부적합사항 일지라도 시행되지 않은 경우, 또는 각종 기술기준 및 절차서의 기술적 검토 등의 경우에 발행한다.

시공공인검사와 관련하여 발행된 DNR을 연도별, 호기별, 부문별, 원인별로 아래와 같이 분석하였다.

연도별로는 '95년에서 '97년 사이에 발행된 DNR이 95건으로 전체 발행된 DNR의 91%를 점유하고 있으며 호기별로는 2호기 관련한 것이 52건으로 50%를 차지하였는데 이는 시공 초기단계에서 많은 문제점들이 노출되었으며 그 후는 초기 문제점 해결로 감소하는 추이를 나타내는 것으로 사료된다.

부문별로는 배관제작 및 설치에 관련된 검사가 많았던 관계로 배관 관련 사항이 가장 많았고 그 다음이 품질과 기계 순서였으며 원인별로는 절차 미준수와 부적합시공 순서로 많았는데 이는 짧은 공사기간으로 인한 시공 추진과 시공자들의 작업의식 결여로 이와 같은 문제점이 발생했다고 사료된다.

1) 연도별 DNR 발행 내용

	93년	94년	95년	96년	97년
DNR 발행건수	3	6	29	35	31
점유율(%)	2.9	5.8	27.9	33.6	29.8

2) 호기별 DNR 발행 내용

	2호기	3호기	4호기	3,4호기
DNR 발행건수	52	30	10	12
점유율(%)	50.0	28.8	9.6	11.5

3) 부문별 DNR 발행 내용

	기계	배관	품질	NDE	WQT	PQT
DNR 발행건수	11	53	24	9	5	2
점유율(%)	10.6	50.9	23.1	8.6	4.8	2.0

4) 원인별 DNR 발행 내용

	시공 부적합	과공정	절차서 미준수	자재 문제	기술기준 부적합	기타
DNR 발행건수	33	11	37	15	5	3
점유율(%)	31.7	10.6	35.6	14.4	4.8	2.9

4. 공인검사제도 운영상의 문제점 및 개선방향

4.1. 시공관련 일원화된 기술기준의 필요

월성 원자력 2,3,4호기 시공공인검사는 CSA/CAN3-285.0에 따라 수행하고 있으나 이는 중수로 시공에 대한 일반요건으로서 기술기준의 세부체계의 수립이 미흡하며, 기술기준이 없거나 미진된 부분에 대해 참고로 ASME code를 적용하고 있으나 기 적용하고 있는 기술기준과 상충되는 부분이 많아 시공에 어려움이 발생하는 경우가 있다. 따라서 시공에 임하기전 기술기준의 적용 적정여부를 충분히 확인하고 문제점이 예상되는 부분에 대해서는 기술적으로 검토하여 시공중 오류가 없도록 조정이 필요하다.

4.2 역량있는 검사자 확보 대책 필요

시공의 품질은 1차적으로 시공자에 의해 결정되므로 그 역할과 책임이 중요하나 시공자들의

직업의식과 책임의식 결여로 인하여 안전성 확보에 문제점이 대두될 수 있다. 이에 따라 검사자의 역할과 역량이 커짐에도 불구하고 시공자나 발주자의 검사자들은 절대적으로 과도한 검사업무에 경험이 부족한 검사자들이 많아 전문성이 결여되어 있어 중요 부분에 대한 검사를 수행하는 우리 공인검사자에게 막중한 책임과 역할이 주어지고 있는 실정이다. 따라서 원자력발전소의 중요성과 안전성에 대해 시공자에게 주기적인 교육실시로 부실시공에 따른 안전성 저하 요인을 배제하며, 시공자와 사업자의 검사자에 대한 전문교육 실시로 균질의 검사역량을 갖게 함과 동시에 검사조직이 적정 인원의 검사자를 갖고 운영하도록 함으로써 일관성 있고 전문적인 검사가 수행될 수 있도록 하는 것이 바람직하다

### 4.3 공인검사의 제도적 지원 강화 필요

우리 연구원이 수행하고 있는 원자력발전소에 대한 공인검사는 사업자와 직접계약으로 수행되고 있기 때문에 공인검사 본연의 목적인 객관성과 공정성 확보에 저해요인으로 작용할 우려가 있으며 사업자측의 검사인원에 대한 일부 부정적인 시각으로 현장 여건의 변화에 따른 검사원의 적정 유지가 어려우므로 원자력발전소 안전성과 신뢰성 확보에 차질이 발생할 수 있으므로 보다 강력한 제도적 뒷받침이 필요한 실정이다. 또한 사업자의 정책에 따른 검사자의 조정이 아닌 현장 검사량에 따라 검사자의 등급이나 인원을 조정할 수 있도록 하여 보다 효율적인 공인검사가 수행될 수 있도록 해야 할 것이다.

### 4.4 동일사항에 대한 검사의 중복관리

시공시 주요사항에 대해서는 정부가 승인한 공인검사기관의 검사자가 상주하며 검사에 임하고 있으나 동일사항에 대해 법정검사로서 한국원자력안전기술원이 다시 검사에 임함으로써 비

특 기관과 기능은 다르지만 동일 부처의 2개 전문 검사기관이 동일검사에 투입되는 검사가 수행되게 함은 사업자나 시공자에게 논리적으로도 부적절할 뿐만 아니라 공사지연에 따른 시간적, 경제적 부담을 가중시켜 결과적으로 타 에너지사업에 비해 원자력사업에 대한 경쟁력만 약화시키는 요인의 하나로 작용할 것으로 예상되므로 공인검사와 중복되는 사용전검사 부분에 대해서는 공인검사 보고서로 대체하여 검사의 중복을 피하는 방안의 검토가 요구된다

### 4.5 원자력공인검사 전문기관의 육성

원자력공인검사는 원자력발전소 기기의 구조건전성 확보를 위해 기기가 적절한 기술기준에 따라 제작, 설치 및 운전되고 있는지 여부를 제작자, 사업자의 검사를 거친 후 제3단계의 검사 즉, 기술적인 부분을 최종적으로 입회하여 확인하는 중요한 검사로서 내압기기의 안전성과 원자력발전소의 신뢰성 확보에 중대한 역할을 담당하고 있다. 따라서 우리나라도 공인검사 본연의 목적을 조직적이고 체계적으로 수행 및 관리할 수 있도록 한국기계연구원을 독일의 기술감리협회(TÜV)나 일본의 발전설비검사협회(JAPEIC)와 같은 세계적으로 인정받는 전문검사기관으로 집중적인 지원을 하여 육성, 발전시켜 나가야 한다.

### 참 고 문 헌

- [1] 한국기계연구원 원자력공인검사사업단, 월성원자력2,3,4호기 시공공인검사 업무 편람, 1993.12
- [2] 한국기계연구원 원자력공인검사사업단, 월성원자력2,3,4호기 시공공인검사 세부 내용, 1993.12
- [3] 한국전력공사, 품질보증, 월성원자력2,3,4호기 예비안전성분석보고서, 1992



- [4] CSA, CSA/CAN3-N285.0, 1989
- [5] 한국원자력안전기술원, 월성중수로 계통실무, 1993.7, 고려문화사
- [6] 한국전력공사 월성원자력본부 건설소, 품질보증, WOLSONG 2,3,4기 CONSTRUCTION HANDBOOK, 1993.5, 서일출판인쇄사
- [7] 한국전력공사 고리원자력본부, 경수로와 중수로의 안전계통 비교, 국내원전비교, 1988.
- [8] 한국기계연구원 원자력공인검사사업단, 월성원자력2,3,4호기 시공공인검사 월간 보고서 12월, 1998.1
- [9] 한국원자력문화재단, 함께하는 원자력에너지, 1997.10,