

# 연구용 원자로 해체 품질보증 적용방안에 대한 연구 Study on the application of Quality Assurance for Research Reactor Decommissioning

정관성\*, 서범경, 김성균, 이동규, 박희성, 이규일, 백삼태  
한국원자력연구소, ksjeong1@kaeri.re.kr

## Abstract

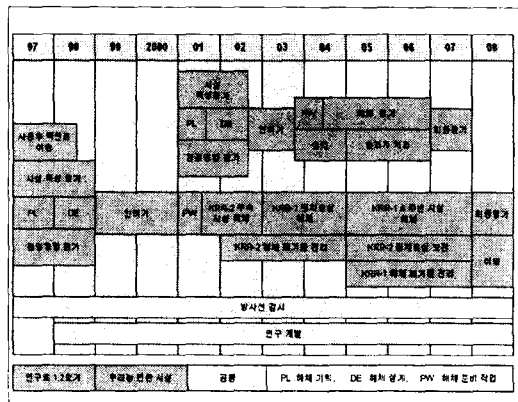
The quality assurance activities are important to obtain the safety and reliability in decommissioning of research reactor. It is essential to establish and implement effective quality assurance program. Foreign state-of-the-art standards and practices of quality assurance are investigated and analyzed to select quality assurance requirements. In this paper, guidelines are offered a suggestion to establish optimal the technology standard and lay out the managerial control scheme of quality assurance for decommissioning on research reactor.

## 1. 서론

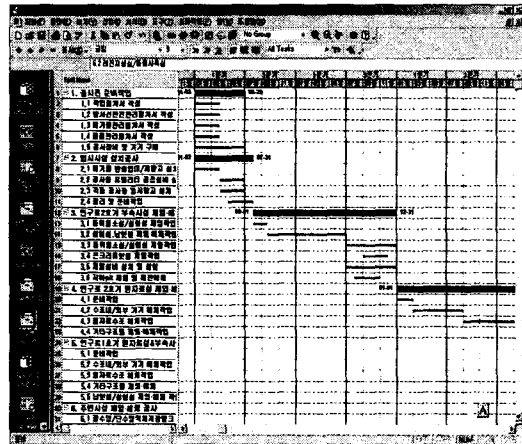
국내 최초의 연구용 원자로인 연구로 1호기는 1962년 3월부터 가동을 시작하여 1972년에 가동하기 시작한 연구로 2호기와 더불어 국내 원자력 산업의 기술자립에 큰 기여를 해 왔다.

그러나 최근 새로운 다목적 연구용 원자로인 "하나로"가 가동되기 시작하면서 연구로 1,2호기는 오랜 운전으로 인한 시설의 노후화로 그 효용 가치가 상실되어 가동을 중지하고 해체하기로 결정하였다.

한국원자력연구소에서는 법적 책임과 부지 매각에 대한 책임을 준수하기 위하여 정부로부터 예산을 지원받아 아래 그림과 같은 일정으로 1997년부터 연구용 원자로 해체사업을 착수하게 되었다.[1]



해체 일정 계획



연구용 원자로 해체 공정

따라서 본 논문에서는 국내 최초의 원자로 해체 작업에 적용할 최적의 품질보증계획을 수립하기 위한 방안을 연구하였다.

## 2. 본론

### 제1절 해체 품질보증의 특성

해체 품질보증 활동은 운전 품질보증과 명확하게 구분하기는 어렵고, 모든 활동들이 관리되는 여건 하에서 지속적으로 이행되는 지를 확인하기 위하여 해체품질보증계획을 적절히 수립하여야 한다.[2]

#### 1) 방사능 관리

연구로의 해체 작업 중에 오염된 기기, 구조물, 계통으로부터 방출되는 방사능을 지속적으로 관리하여야 하며, 작업자의 방사능 피폭을 줄이기 위하여 오염지역 내에서의 작업을 최소화하고 단시간 내에 수행하여야 한다.

#### 2) 폐기물 관리

해체 중에 발생하는 폐기물의 적절한 식별, 분류, 저장 및 관리를 위한 계획이 수립되어야 한다.

#### 3) 서류 및 기록관리

작업 수행 중에 작성되는 서류와 기록들을 철저히 관리하기 위한 방안이 수립되어야 한다.

## 제2절 연구로 해체 품질보증 사례 분석

원자력 선진국에서는 원자력 산업의 품질보증요건을 적용하는데 있어서 품질보증계획의 적용대상이 되는 구조물, 계통, 기기 및 부품을 구분하고 이러한 대상의 품질에 영향을 주는 업무는 기능과 성능상의 중요도에 따라 관리를 하고 있다.

원자력 관련 시설의 경우에 품목의 오동작 또는 고장이 안전에 미치는 영향, 품목의 영향성, 성숙도를 고려하여 대상선정을 하도록 하고 있으며, 해체 작업 시에도 그대로 적용토록 하고 있으나, 미국의 경우나 IAEA의 경우 모두 품질보증 활동은 작업자 혹은 대중의 건강과 안전에 영향을 주는 모든 활동에 적용하도록 하고 있다.

### 1) 미국

미국은 원자력 관련 연구개발에서부터 상용화된 기술에 이르기까지 품질보증 기술기준 개발에 선도적인 역할을 수행해 왔다.

1960년부터 1998년까지 연구 및 교육 목적으로 가동한 버지니아 대학의 연구용 원자로(2 MW)의 해체계획서를 조사, 분석한 결과 ANSI 규격을 바탕으로 조직, 품질보증 프로그램, 설계관리, 구매서류관리, 절차서 및 지시서, 서류관리, 구매자재관리, 품목의 식별관리, 특수공정관리, 품질검사, 품질감독, 취급 및 저장, 부적합사항관리, 시정조치, 품질보증기록관리, 품질감사 등의 품질보증 요건을 적용하고 관련기록을 유지하고 있다.[3]

### 2) IAEA

국제원자력기구(IAEA)에서는 해체 사업에 영향을 주거나 작업자 혹은 공공의 건강과 안전에 영향을 주는 모든 활동들은 품질보증 프로그램에 포함되어야 하며, 이러한 활동들은 절차서를 작성하여 수행하도록 하고 있다.

특히, 업무절차서, 지시서의 작성 및 독립적인 검토와 엄격한 이행을 강조하고 있다. 아울러 해체 작업에 관련된 기록들을 적절한 기간동안 보관, 유지, 수집 및 식별체계를 갖추도록 하고 있다.[4]

## 제3절 연구로 해체 품질보증프로그램 방안

### 1) 해체 품질보증계획서 개발

품질보증계획 적용대상은 안전성과 신뢰성이 보장되는 범위에서 최소로 선정하고 적절한 관리를 수행한다면 해체 비용감소는 물론 해체기간 단축 등의 효율성을 증대시킬 것이다.

연구용 원자로 해체 품질보증계획서에 명시된 품질보증요건은 다음과 같다.

#### (1) 조직

해체 수행조직 구조와 책임 및 권한이 정의되고 서류화되어야 하며, 문제점을 식별하고, 시정조치방안을 제시, 권고, 제공하며, 시정조치 이행 여부를 확인할 수 있는 권한을 갖는 조직 등을 기술한다.

#### (2) 품질보증계획

품질보증 프로그램이 적용되는 품목, 활동 및 적용정도를 명시하고 그 프로그램에는 품질에 영향을 미치는 업무를 수행하는 사람들이 적절한 숙련도를 달성, 유지하는가를 확인하기 위하여 적당한 교육, 훈련사항을 규정한다.

#### (3) 설계관리

제반 설계요건이 설계서류에 정확히 반영될 수 있도록 설계업무를 관리하기 위한 설계의 계획, 실시, 확인, 승인 및 인증, 변경, 조직간의 업무 협조 및 의사전달, 기록 및 서류의 관리, 책임사항 등에 대하여 기술한다. 즉, 설계는 요건에 따라 설계입력, 설계연계관리 및 설계확인을 거쳐 수행되어야 한다. 또, 설계 변경 시에는 설계 원조직의 검토, 승인을 득을 하여야 한다.

#### (4) 구매서류관리

품목이나 용역이 구매자의 요건을 만족하는지를 확인하기 위한 충분한 기술 및 품질요건을 포함하며, 자재 및 용역에 대한 구매서류가 관련 설계기준, 품질요건 및 기술 요건을 만족함을 보장하기 위한 구매서류의 작성, 검토 및 승인, 변경, 책임사항 등에 대하여 기술한다.

#### (5) 절차서, 지시서 및 도면

품질에 영향을 미치는 업무는 그 업무의 성격에 부합되게 서류화된 지시서, 절차서 및 도면에 따라 수행되어야 하며, 이러한 서류는 규정된 업무가 적절히 수행되었는지 여부를 결정하기 위하여 정량적 정성적 판단기준을 포함하도록 기술한다.

#### (6) 서류관리

품질요건을 규정하거나 품질에 영향을 미치는 업무를 기술한 서류의 작성, 발행 및 변경은 정확한 서류가 업무에 사용될 수 있도록 관리하도록 기술한다.

#### (7) 구매 품목 및 용역의 관리

품목 및 용역의 구매는 공급자 평가 및 선정, 공급자가 제출한 품질에 대한 객관적인 증거의 평가, 공급자 검사 및 감사, 품목이나 용역의 완료 또는 인도시의 평가 등을 확인하기 위하여 관리하도록 기술한다.

#### (8) 품목의 식별 관리

방사성폐기물 및 자재, 부품, 공정품 및 완제품의 올바른 사용을 위하여 이의 이력을 추적하는데 필요한 식별을 위한 절차서 작성, 식별관리, 식별표시의 방법, 책임사항 등에 대하여 기술한다.

#### (9) 특수 공정 관리

특수 공정은 작업 결과가 공정관리 혹은 작업자의 숙련도에 높게 의존되는 공정을 포함하며, 용접, 비파괴검사 같은 특수공정의 선정, 관리 및 책임사항 등에 대하여 기술한다.

(10) 검사

품질에 영향을 미치는 일련의 활동이 그 활동에서 필요로 하는 요구사항들을 만족하였는지를 확인하기 위한 검사 계획, 검사자 자격, 검사 실시 방법 및 검사기록, 책임사항 등에 대하여 기술한다.

(11) 시험 관리

수행되는 시험이 승인된 절차에 따라서 훈련된 요원에 의해 수행됨을 보장하기 위한 시험 실시, 시험결과의 처리, 시험기록 및 책임사항 등에 대하여 기술한다.

(12) 측정 및 시험 장비의 관리

품질에 영향을 미치는 업무에 사용되는 공구, 계기, 기구 및 기타 측정장비와 시험장비의 정확성과 정밀도를 유지하기 위한 관리절차의 확립, 교정 관리, 부적합 기기에 대한 조치, 책임사항 등에 대하여 기술한다.

(13) 취급, 저장 및 운송

작업지시서 및 검사지시서, 도면, 시방서, 운송지시서, 또는 업무 수행 중 사용하도록 명시된 기타 관련 서류 또는 절차서에 따라 수행되도록 기술한다.

(14) 검사, 시험 및 운전 현황

요구되는 또는 시험이 수행되었는지를 확인하고 검사와 시험이 수행되고자 않은 품목이 부적절하게 설치, 사용되거나 운전되지 않도록 검사와 시험의 결과가 품목이나 추적 가능한 문서상에 식별되도록 기술한다.

(15) 부적합 품목의 관리

품질에 영향을 미치는 부적합한 자재, 부품 및 제품의 사용을 방지하기 위한 부적합품목의 관리에 필요한 절차의 확립, 부적합품목의 식별 및 격리 검토 및 조치, 서류화 및 경향분석, 책임사항 등에 대하여 기술한다.

(16) 시정조치

품질에 악영향을 미치는 모든 품질위배사항을 식별하고 근본적인 재발 방지책을 수립함으로써 적절한 품질수준을 확보하기 위한 품질상 결함요인 시정조치, 작업중지, 경향분석 및 보고, 책임사항 등에 대하여 기술한다.

(17) 품질보증기록

품질에 영향을 미치는 활동이 본 품질보증계획서 및 관련 절차서 등에 따라 수행됨으로서 요구 품질을 만족하였음을 객관적으로 증명할 수 있는 품질보증기록의 운영체계를 확립하기 위한 품질보증기록의 종류, 품질보증기록의 작성 및 수집, 보관, 보존 및 책임사항 등에 대하여 기술한다.

(18) 품질감사

품질보증계획의 효율성과 그 준수여부를 주기적으로 확인, 평가함으로써 안정적 품질수준의 확보에 기여하기 위한 감사계획, 감사준비, 감사실시 및 보고, 감사후속조치, 책임사항 등에 대하여 기술한다.

2) 품질보증절차서 개발

품질보증계획서의 내용을 이행하기 위해서는 다음과 같은 상세 업무 수행절차서가 필요하다.

(1) 품질보증계획서, 절차서 작성관리

원자로 제염, 해체 공사의 사업품질보증계획서 및 사업 품질보증절차서를 작성, 검토, 승인, 배포, 개정 및 관리하는 방법을 기술한다.

(2) 품질교육훈련

품질관련 업무지식을 습득하고 업무수행 능력을 배양함으로써 업무를 정확히 효과적으로 수행하기 위한 교육훈련요건과 필수교육 이수내용, 교육방법, 절차 및 교육훈련 평가방법, 결과의 문서화 방법을 기술한다.

(3) 공급자 품질평가

품목 및 용역의 예상공급자에 대하여 적합한 품목이나 용역을 제공할 수 있는 품질보증 능력 보유여부를 평가하기 위한 방법 및 문서화 방법을 기술한다.

(4) 인수검사

연구용 원자로 제염, 해체 공사와 관련하여 구매되는 품목에 대하여 관련서류, 치수 및 상태 등을 육안으로 확인하는 현장인수검사 방법을 기술한다.

(5) 공정검사

구조물, 시설, 장비 및 기기 등의 제염, 해체 및 철거공사와 관련하여 공급자의 공장이나 공사현장의 작업과정 중 수행되는 공정검사 방법과 절차 및 문서화 방법을 기술한다.

(6) 품질검사자 자격부여

품질확인 업무를 수행하는 품질검사자/시험요원에 대한 자격기준 및 자격부여 절차 및 문서화 방법을 기술한다.

(7) 품질감시, 감독

연구용 원자로 제염, 해체 공사와 관련, 현장 품질감시, 감독을 수행하기 위한 계획 수립요건과 수행방법, 절차 및 결과의 문서화 방법을 기술한다.

(8) 부적합사항관리

규정된 품질보증 요건을 위배한 품목/작업에 대해 발행되는 부적합사항보고서의 작성, 검토 및 승인, 배부, 부적합 품목의 식별, 격리 및 처리방안 수립, 처리결과 확인방법을 기술한다.

(9) 품질경향분석

품질 문제점 또는 유사 품질문제의 재발방지는 물론 잠재적인 품질문제를 시정 및 예방하기 위하여 발생원인 등의 경향을 분석하는 방법과 절차에 대해 기술한다.

#### (10) 품질보증기록

수행 업무/작업의 문서화된 객관적 증거를 제공하기 위해 생산된 품질보증기록의 생산, 인수, 보관, 유지 및 관리에 대한 방법과 절차를 기술한다.

### 3) 품질 확인 활동

#### (1) 품질서류 검토

인허가 서류인 해체계획서 및 품질보증계획서 요건에 따라 해체 작업 수행을 위해 타 과제에서 작성된 방사선 안전관리 절차서, 폐기물 관리절차서, 작업절차서 등에 대한 검토를 수행한다.

품질서류 검토 대상은 다음과 같다.

- 방사선 방호교육 절차서
- 액체 방사성 폐기물 관리 절차서
- 규제해제 방사성 폐기물 관리 절차서
- 방사성 장해 방어 절차서
- 실험실 및 연구실 작업절차서
- 제염 및 해체 작업 절차서
- 저준위 방사성폐기물 저장용기 제작 보고서 등

#### (2) 품질 감시, 감독

해체 작업이 수행되는 동안 해체계획서의 품질보증계획의 검사관리 요건 및 품질보증계획서의 검사관리요건에 따라 품질에 영향을 주는 중요한 작업에 대하여 품질감시감독이 수행되어야 하고, 해체 작업에 대하여 품질감시감독 절차서에 따라 작업절차서 이행상태 및 기록화에 대하여 품질감시, 감독을 수행한다.

### 3. 결 론

효율적인 연구용 원자로 해체 품질보증계획을 수립하기 위한 방안으로 인허가 조건인 품질보증요건을 만족시키면서 해체작업을 원활히 수행하기 위하여 국내 및 외국의 해체 관련 품질보증 기술기준 및 적용대상에 대한 기술현황을 조사, 분석하여 품질보증계획서 작성하였다.

이에 따라 품질검사, 품질감시, 감독 등 관련 품질업무를 수행할 수 있는 품질보증프로그램을 정립하였고, 이를 바탕으로 연구용 원자로를 해체함에 있어서 효율적인 관리를 할 수 있을 것으로 예상된다.

### 4. 감사의 글

이 논문은 대한민국 과학기술부에서 시행하는 기관고유사업의 지원으로 수행하였습니다.

### 참 고 문 헌

- [1] Decontamination and Decommissioning Project for the Nuclear Facilities, KAERI/RR-2304/2002
- [2] Quality Assurance in decommissioning, 50-C-Q14, IAEA, 1996
- [3] American National Standard for Decommissioning of Research Reactors, ANSI/ANS-15.10, 1994
- [4] Decommissioning Techniques for Research Reactor, IAEA Technical Report No.373, 1994