

KAERI/RR-3769/2014

원자력기술 기록 사업

Project of Atomic Energy Technology Record

KAERI

한 국 원 자 력 연 구 원

제 출 문

한국원자력연구원장 귀하

본 보고서를 “원자력기술 기록 사업” 과제와 관련하여 2014년 사업수행 최종보고서로 제출합니다.

2014. 12.

과제책임자 : 송기찬

참 여 자 : 공영배, 권장순, 권준현, 권형문, 김기남, 김명섭,
김병호, 김영인, 김인영, 김종록, 김탁현, 김태환,
김호찬, 노인영, 류은현, 류지명, 문동섭, 박근일,
박순동, 박승국, 박종학, 박찬국, 박희성, 손재민,
송이영, 송태길, 신기백, 심희상, 안상모, 오정훈,
유안나, 유재복, 은희철, 이규정, 이근영, 이유킨,
이지호, 이태훈, 이희원, 임돈순, 장수동, 정의현,
진영관, 천영춘, 최강혁, 최민재, 최정운, 함대기,
함형욱, 홍석민, 황덕구

요 약 문

원자력기술 기록 사업이란 연구원에서 연구개발한 제반 원자력기술을 각 분야별로 그 배경에서 성과까지 전체적으로 요약하고 기록하는 사업이다. 연구개발 각 과정에서 발생한 각종 기록물들을 수집·정리·보존하여 지식자원으로 활용할 수 있도록 연구기록물 종합관리시스템(DADAMS)을 구축하는 것까지 의미한다. 또한 과거, 현재 및 미래에 발생하는 원자력기술과 관련된 기록물을 포함하는 것이다.

연구개발 과정에서 각 단계별로 실험자료, 데이터베이스, 설계자료, 보고서, 지침서, 운영자료 등과 같은 많은 정보와 형식적 지식들이 생성된다. 또한 사업에 참여했던 인력들이 가지고 있는 경험에 기반을 둔 암묵적 지식들도 효율적인 연구개발을 위해서는 매우 중요하다. 특히 이러한 암묵적 지식들은 이들을 체계적으로 관리할 수 있는 시스템이 구축되어 있지 않으면 참여 인력의 은퇴와 함께 사라질 수밖에 없다. 따라서 형식적 지식과 암묵적 지식들을 체계적으로 보존하고 유지할 필요가 있으며, 이는 연구원 전체적으로 이루어져야 할 대과제인 것이다.

이와 같은 기술기록 사업의 중요성과 그 시급성을 새롭게 인식하여 2011년부터 기관장의 절대적인 강력한 추진 의지와 함께 시범사업을 착수하게 되었으며, 본 사업 세 번째 해인 2014년도에는 원자력 핵심 분야 기술기록, 연구기록물 종합관리시스템(DADAMS) 운영, 연구기록물 수집, 정리 및 DB화, 원자력 라키비움 구축 등을 수행하였다.

본 보고서는 ‘원자력기술 기록 사업’의 연구내용 및 결과를 정리한 보고서이다. 제 2장에서는 이론적 배경 및 KAERI의 연구기록관리 현황과 사업 개요를 기술하였으며, 제 3장부터 제 6장까지는 본 사업에서 수행했던 내용 및 결과를 정리하여 기술하였다. 제 3장에서는 원자력 핵심 분야 기술기록, 제 4장에서는 연구기록물 종합관리시스템(DADAMS) 운영, 제 5장에서는 연구기록물 수집, 정리 및 DB화, 제 6장에서는 원자력 라키비움 구축에 대하여 정리하였다.

SUMMARY

Project of the Atomic Energy Technology Record is the project that summarizes and records whole process, from the background to the performance, of each category in all fields of nuclear science technology which have been researched and developed at KAERI. This project includes development of Data And Documents Advanced Management System(DADAMS) to collect, organize and preserve various records occurred in each research and development process. In addition, it means the whole records related to nuclear science technology for the past, present and future.

At each step of research and development courses, much information and explicit knowledges such as experimental datas, databases, design reports, technical reports, guidelines and operation manuals have been produced. Also tacit knowledges based on experiences by staff members participated in each step of projects are very important for efficient research and development. Especially, those tacit knowledges based on experiences may be disappeared with the retirement of staff members unless there is an effective and systematic system. Therefore, it is necessary to preserve and maintain these explicit and tacit knowledges systematically. This is a supreme task which should be achieved by KAERI as a whole.

For the importance and urgency of this project, the pilot project was launched in 2011 with a strong will of head of the organization. And in the 3rd year of main project, four tasks were carried out - archiving of core atomic energy technology, operation of DADAMS, collecting, organizing and digitalizing of research records and construction of Atomic Energy Larchiveum.

This report summarizes research contents and results of 'Project of Atomic Energy Technology Record'. Section 2 summarizes the theoretical background, the current status of records management in KAERI and the overview of this project. And Section 3 to 6 summarize contents and results performed in this project. Section 3 is about archiving of core atomic energy technology, Section 4 summarizes about the operation of DADAMS, Section 5 summarizes about collecting, organizing and digitalizing of research records and Section 6 summarizes about the construction of Atomic Energy Larchiveum.

CONTENTS

Chapter 1. Introduction	1
Chapter 2. Introduction of Project of the Atomic Energy Technology Record · 3	
Section 1. Theoretical background	3
Section 2. KAERI research record management	5
Section 3. Introduction of the project	7
Chapter 3. Archiving of core atomic energy technology	12
Section 1. Introduction	12
Section 2. Selection of documentation fields	12
Section 3. Process	14
Section 4. Contents of core atomic energy technology	14
Chapter 4. Operation of Data And Documents Advanced Management(DADAMS) 29	
Section 1. Development of integrated storage	29
Chapter 5. Collecting, organizing and digitalizing of research records	32
Section 1. Introduction	32
Section 2. Contents	33
Chapter 6. Construction of Atomic Energy Larchiveum	35
Section 1. Introduction	35
Chapter 7. Etc	37
Chapter 8. Conclusion	40
<Appendix> Summary and contents of core atomic energy technology	42

목 차

제 1장 서론	1
제 2장 원자력기술 기록 사업 개요	3
제1절 이론적 배경	3
제2절 KAERI 연구기록관리	5
제3절 사업 개요	7
제 3장 원자력 핵심 분야 기술기록	12
제1절 개요	12
제2절 추진분야 선정	12
제3절 추진 과정	14
제4절 분야별 기술기록 내용	14
제 4장 연구기록물 종합관리시스템(DADAMS) 운영	29
제1절 통합 스토리지 구축	29
제 5장 연구기록물 수집, 정리 및 DB화	32
제1절 개요	32
제2절 주요 내용	33
제 6장 원자력 라키비움 구축	35
제1절 개요	35
제 7장 기타	37
제 8장 결론	40
<부록> 분야별 기술기록 요약문 및 목차	42

<표 차례>

표 1. 연구단계별 연구기록 종류 3
표 2. 원자력 기술기록 2014년도 추진분야 13
표 3. S/W분야 템플릿 15
표 4. H/W분야 템플릿 15
표 5. DADAMS 데이터베이스 현황 및 예측 29
표 6. 통합 스토리지 세부사양 31
표 7. 대통령령으로 정하는 기관의 범위(시행령 제3조) 37
표 8. 기록물관리 업무 법정 필수 요건 37
표 9. 직접관리기관의 의무 38



<그림 차례>

그림 1. KAERI 기록관리 추진방향 개념도	6
그림 2. 원자력기술 기록 사업 주요내용	7
그림 3. TOC 작성 및 기술기록 과정	14
그림 4. 기존 스토리지 운영현황	30
그림 5. 통합 스토리지 구축현황	30
그림 6. DB구축 업무절차	34



<약어 목록>

- ADD: Agency for Defense Development
- ANSIM: Advanced Nuclear Safety Information Management System
- CNS: Cold Neutron System
- DADAMS: Data And Documents Advanced Management System
- DB: Database
- HW / SW: Hardware / Software
- ISMP: Information Strategy Master Plan
- KAERI: Korea Atomic Energy Research Institute
- MDR: MetaData Registry
- OECD: Organization for Economic Cooperation and Development
- NEA: Nuclear Energy Agency
- OP: Official Publication
- PDF: Portable Document Format
- QA: Quality Assurance
- R&D: Research & Development
- SP: Special Publication
- S-RIMS: Gen IV SFR R&D Integration Management System
- TDP: Technical Data Package
- TN: Technical Note
- TOC: Table of Contents
- TRIGA: Training, Research and Isotope production reactor, General Atomic
- VESTA: Verification of Ex-vessel corium STabilization

제 1장 서론

원자력기술 기록 사업이란 연구원에서 연구개발한 제반 원자력기술을 각 분야별로 그 배경에서 성과까지의 전 과정을 전체적으로 요약하고 기록하는 사업이다. 연구개발 각 과정에서 발생한 각종 기록물들을 수집·정리·보존하고 이를 지식자원으로 활용할 수 있도록 하기 위한 체계적인 정보시스템, 즉 연구기록물 종합관리시스템(DADAMS: Data And Documents Advanced Management System)을 구축하는 것이다. 또한 이에 수록되는 정보는 과거, 현재는 물론 지속적인 기술개발에 의해 생산되는 새로운 원자력관련 지식과 기술에 관한 기록물까지도 포함된다.

1959년 원자력연구소가 출범한 이래, 우리나라의 원자력 기술은 세계수준에 진입하게 되었다. 그동안 연구소는 비약적인 발전을 거듭하여 전력생산과 핵연료 국산화, 한국형원자로 개발 등의 성과를 이룩하였다. 또한 방사선 및 방사성동위원소의 의학적, 농학적, 산업적 이용 연구를 통하여 국민의 삶의 질 향상에 크게 기여해 왔다.

이러한 원자력기술의 발전에도 불구하고, 50여 년 동안에 축적되었던 연구기록물에 대한 관리 체계는 매우 미비한 것이 현실이다. 그동안 축적된 연구기록물로서는 연구결과보고서 또는 발표된 연구논문만이 있을 뿐이며 여타의 기술개발관련 기록물들은 시간이 지나고 연구개발 수행주체의 조직변경 등으로 인하여 여기저기 산재되어 소재파악이 어려울 뿐만 아니라 대부분 유실되어 없어지게 된 것이 지금의 실정이다. 더욱이 반세기가 지나면서 원자력기술 자립 세대들의 퇴직으로 그들의 경험과 지식의 전수는 매우 시급한 사안으로 대두되고 있으나 이를 시행하기 위한 구체적이고 실제적인 전수체계가 갖추어져 있지 않아 대면에 의한 직접전수 외에는 다른 방법이 없었다. 따라서 퇴직 예정자들의 경험과 지식의 전수는 물론 연구개발 과정에서 발생하는 제반 연구기록물에 대한 종합적이고 체계적인 기록관리 체계의 구축을 통한 원자력기술 기록 사업은 그 필요성이 매우 큰 것임을 알 수 있다.

원자력 기술기록을 통하여 체계적인 기록관리가 이루어질 경우 각 과제(사업)별로 문서의 생산부터 보존, 활용까지의 전 주기적 관리 및 기록물 유지의 효율성을 제고시킬 수 있다. 과거, 현재 및 미래에 과제(사업)별로 연구개발 단계부터 운영, 폐쇄까지의 전 단계의 기록물을 종합적으로 관리함으로써 관련 참여 인력의 은퇴 시에도 그들이 가지고 있는 경험에 기반을 둔 암묵적 지식을 효율적이

고 체계적으로 관리시스템에 구축할 수 있게 된다.

또한 조직 내 부서이동, 이직, 구조 조정 등의 요인으로 인해 지식의 손실이 발생하는 경우가 많다. 한 조직 내의 구성원간의 업무와 관련된 정보의 교류가 원활하지 못해 유사한 업무를 중복 작업하는 경우, 구성원의 이직이나 퇴직 후, 후임 직원이 기존의 개발된 전문지식과 업무절차를 전수받지 못해서 똑같은 업무를 새로 시작하고 개발하는 경우가 발생한다. 원자력기술 기록 사업을 통하여 지식정보자원을 공유, 활용함으로써 연구원 세대 간의 경험과 지식이 효과적으로 전수될 수 있게 됨으로 위와 같은 문제점들을 극복할 수 있으며 나아가 연구 생산성 향상과 연구 성과 확대에 크게 기여할 수 있을 것이다.

연구원에서 원자력기술과 관련하여 각 단계별로 생산되는 모든 정보와 지식들은 장기간 효율적으로 관리 및 유지, 활용되어야 하며 이는 모든 과제(사업)의 필수조건이다.

원자력기술 기록 사업의 세 번째 해인 금년 사업에서는 기술적, 역사적 가치를 고려하여 원자력 핵심기술 35개 분야를 선정하였으며, 23개 분야에 대해 TOC(Table of Contents)를 작성하고 이에 따라 콘텐츠를 기술하였다. 또한 원자력 기술기록 업무를 위한 전주기적 관리시스템인 연구기록물 종합관리시스템(DADAMS)을 운영하였으며, 연구원내 산재된 기록물을 발굴 및 재조직하고, 퇴직(예정) 연구원 보유 자료를 수집하여 데이터베이스로 구축하기 위한 연구기록물 수집, 정리 및 DB화 작업도 지속적으로 수행하였다. 그리고 원자력 연구기술 정보의 안전한 영구보존 및 효율적 관리를 위한 원자력 라키비움(Larchiveum)을 구축하였다.

제 2장 원자력기술 기록 사업 개요

제1절 이론적 배경

1. 연구기록의 정의

연구기록은, 연구의 계획에서 종료에 이르기까지 연구의 전 과정 중에 생산된 기록으로, 실험실 기록, 연구개발 기록, R&D 기록 등으로 다양하게 불린다. 여상아¹⁾는 연구기록을 연구부서에서 생산된 기록이며, 연구소 소관 분야의 연구 활동과 직접 관련이 있는 내용을 담고 있는 기록으로 정의하였다. 또한 좁은 의미로는 순수한 연구 계획에 따른 진행과정 상에 생산되는 기록을 말하며, 넓은 의미로는 프로젝트 연구개발 활동 단계에서 생산되는 연구계획서, 결과보고서, 연구노트, 지적재산권 등 각종 기록과 연구지원, 연구기획, 기술사업화, 창업보육 등의 과정에서 생산되는 기록으로 정의하였다.

2. 연구기록의 종류

연구기록은 연구의 종류와 프로세스에 따라 다양하게 생산된다. 연구기관의 기록은 연구기록과 행정기록으로 크게 구분되지만, 일부 기록은 성격이 애매하거나 복합적이어서 연구지원 기록 등으로 세분화하기도 한다. 아래 표는 기획단계, 협약단계, 수행단계, 종료단계의 연구 프로세스에서 생산되는 연구기록의 종류를 정리한 것이다.

<표 1> 연구단계별 연구기록 종류

연구단계	연구기록
기획단계	기획보고서, 기술현황분석보고서, 과제제안요구서
협약단계	연구과제계획서, 협약서, 협약 부속서류
수행단계	품질보증계획서, 품질보증절차서, 기술문서(실험/시험보고서, 계산서, 도면, 기술사양서 등), 기술현황분석보고서, 기술보고서, 중간보고서(진도보고서), 기술메모(과제책임자 메모), TN(Technical Note), TDP(Technical Data Package), OP(Official Publication), SP(Special Publication), 실험 프로토콜, 연계업무통신문, 동의용 서류 배부전, 회의록, 연구일지, 연구실 기록부, 연구논문(학술지논문, 발표자료), 연구성과물 전문정보(사실 DB), 연구결과물
종료단계	최종보고서, 연구논문, 기술문서(실험/시험보고서, 계산서, 도면, 기술사양서 등), 특히, 기술요약정보, 기술이전, 사업화, 창업보육관련 기록, 연구원 발행·출판물(연보, 색인집, 초록집, 연구개발 성공사례집 등)

1) 여상아, 2007, 「과학기술분야 정부출연연구기관의 연구기록관리 개선 방안」, 석사학위논문, 서울대학교 대학원, 기록보존학협동과정 기록관리학 전공

3. 연구기록 관리의 필요성

연구기록을 관리해야 하는 필요성은 다음과 같다. (교육인적자원부 2006)

첫째, 연구노하우와 지식의 전수를 통해 차후 연구에 도움이 된다. 연구에 참여했던 연구자들이 지니고 있는 경험에 기반을 둔 암묵적 지식들이 연구기록이라는 형태로 형식지화 됨으로서 후대 연구자들에게 연구노하우와 연구지식의 효과적인 전수가 가능해진다.

둘째, 중복실험 방지 및 실험 재현에 도움이 된다. 후대 연구자가 선배 연구자가 수행했던 실험이나 연구를 반복해서 할 필요 없이 관련 연구기록을 활용함으로써 궁극적으로 예산 낭비를 최소화할 수 있다.

셋째, 연구기록을 통한 연구주제 선점 및 연구 독창성의 근거를 마련할 수 있다.

넷째, 연구윤리 보장, 연구진실성 확보, 연구 부정행위 의혹 해결 등 공공기관의 책임성 및 투명성을 보장한다. 책임 있는 연구는 적절하고 신뢰성 있는 방법을 사용하여 진행된 연구이다. 이러한 신뢰도는 신뢰할 수 있는 방법을 쓰느냐 아니냐에 달려 있다. 연구에서 부적절한 방법을 사용하는 것은 연구기록물의 윤리성을 훼손하므로 지양해야 한다.

다섯째, 품질보증(Quality Assurance)을 통해 연구결과의 공신력이 향상된다. 특히 한국원자력연구원 원자력 에너지라는 다소 민감한 사안을 다루는 연구기관이기 때문에 연구결과에 대한 품질(Quality)이 그 어떤 분야보다 중요하다. 정상적인 절차에 따라 생산된 품질보증 기록을 통해 연구결과의 신뢰도는 자연스럽게 향상될 수 있다.

여섯째, 감사에 대비할 수 있으며, 연구 후원자의 요구에 따른 제시가 가능하다. 한국원자력연구원 같은 정부출연연구소의 경우 관련법에 따라 매해 정부의 국정감사 대상이 되며, 예산을 부여하는 모 부처에게 예산사용 내역에 대한 정산도 해야 한다. 이때 연구업무 수행 중에 산출된 연구기록이 중요한 근거자료로 사용될 수 있다.

이 외에도 연구기록은 문제(사고)발생시 역추적을 위한 근거자료가 되며, 사후 보상이나 회복시 리스크를 감소시킬 수 있다. 또한 지식재산권 및 특허에 대한 법적분쟁 발생 시 증거로서도 활용 가능하다.

제2절 KAERI 연구기록관리

1. 현황 및 문제점

한국원자력연구원이 1959년 출범한 이래, 우리나라의 원자력 기술은 세계수준에 진입하게 되었다. 그동안 연구소는 비약적인 발전을 거듭하여 전력생산과 핵연료 국산화, 한국형원자로 개발 등의 성과를 이룩하였다. 또한 방사선 및 방사성동위원소의 의학적, 농학적, 산업적 이용 연구를 통하여 국민의 삶의 질 향상에 크게 기여해 왔다.

이러한 원자력기술의 발전에도 불구하고, 50여 년 동안에 축적되었던 연구기록물에 대한 관리 체계는 매우 미비한 것이 현실이다. 그동안 축적된 연구기록물로서는 연구결과보고서 또는 발표된 연구논문만이 있을 뿐이며 여타의 기술개발 관련 기록물들은 시간이 지나고 연구개발 수행주체의 조직변경 등으로 인하여 여기저기 산재되어 소재과약이 어려울 뿐만 아니라 대부분 유실되어 없어지게 된 것이 지금의 실정이다. 더욱이 반세기가 지나면서 원자력기술 자립 세대들의 퇴직으로 그들의 경험과 지식의 전수는 매우 시급한 사안으로 대두되고 있으나 이를 시행하기 위한 구체적이고 실제적인 전수체계가 갖추어져 있지 않아 대면에 의한 직접전수 외에는 다른 방법이 없었다. 이뿐만 아니라 조직 내 부서이동, 이직, 구조 조정 등의 요인으로 인해 지식의 손실이 발생하는 경우가 많다. 한 조직 내의 구성원간의 업무와 관련된 정보의 교류가 원활하지 못해 유사한 업무를 중복 작업하는 경우, 구성원의 이직이나 퇴직 후, 후임 직원이 기존의 개발된 전문지식과 업무절차를 전수받지 못해서 똑같은 업무를 새로 시작하고 개발하는 경우가 발생할 수 있다.

따라서 퇴직 예정자들의 경험과 지식의 전수는 물론 연구개발 과정에서 발생되는 제반 연구기록물에 대한 종합적이고 체계적인 기록관리 체계의 구축이 매우 시급하다고 할 수 있다.

2. 추진 방향

1959년 원자력연구소 설립 이래 50여년이 지난 지금, 원자력기술자립 1세대들의 퇴직으로 그들의 경험과 지식전수를 필요로 하고 있다. 지식 누수 방지를 위해 그동안 이룩한 기술발전에 대하여 원자력 50년의 기술기록과 퇴직예정자의 지식전수 및 연구기록물의 관리체계 구축의 필요성이 대두되었다. 이에 원자력기

술 기록 사업을 통해 지식경영시스템을 완성하여 지식전수체계 확립 및 연구개발 기반을 강화할 필요가 있다.

이를 위해 한국원자력연구원의 기록 관리는 연구원에서 연구개발한 제반 원자력기술을 각 분야별로 그 배경에서 성과까지의 전 과정을 전체적으로 조망하고 기록하는 방향으로 추진해 나가야 한다. 즉, 연구개발 각 과정에서 발생한 각종 기록물들을 수집·정리·보존하여 지식자원으로 활용할 수 있도록 연구기록물 종합관리시스템(DADAMS: Data And Documents Advanced Management System)을 구축하되, 과거, 현재 및 미래에 발생하는 원자력기술 기록물까지 포함해야 한다. KAERI의 기록관리 추진방향을 그림으로 나타내면 <그림 1>과 같다.



<그림 1> KAERI 기록관리 추진방향 개념도

제3절 사업 개요

1. 개요

가. 사업기간: 2014. 1. 1 - 2014. 12. 31 (12개월)

나. 과제책임자: 송기찬 책임연구원

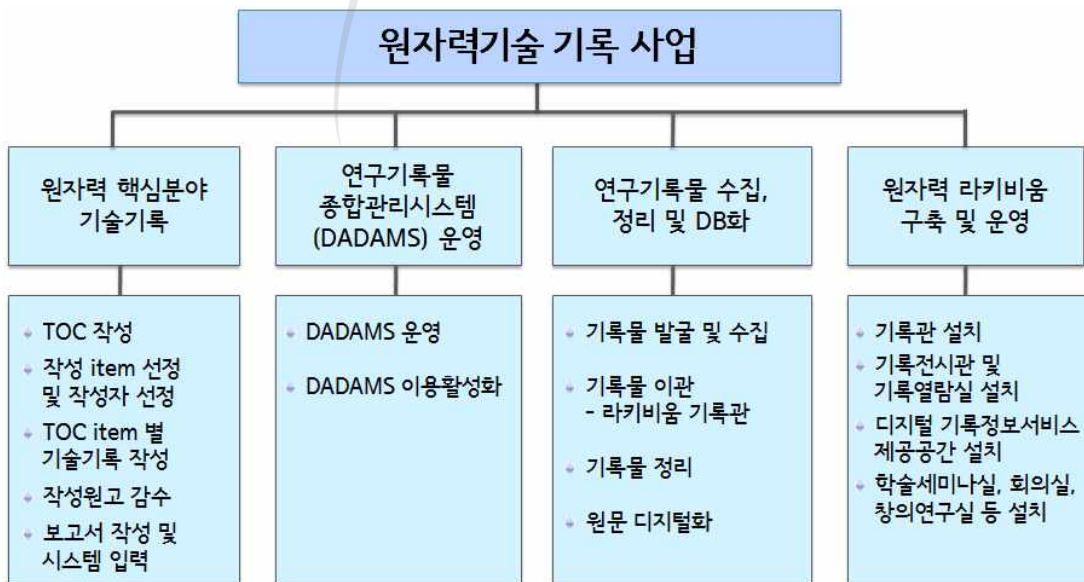
다. 참여자: 연구 분야 참여연구원 및 총괄 부서원

라. 사업목표: 원자력기술 기록을 통한 지식경영으로 지식전수체계 확립 및 연구개발 기반강화

마. 추진배경

- 연구원의 원자력 기술개발 50년의 축적된 지식의 자산화 및 지속적 활용 체계 구축 미비
- 원자력 기술개발/자립 주도 1세대의 세대교체로 인한 지식, 경험, 연구 기록물 소실/단절에 적극적 대응 수단 필요
- 현재 보유 중이거나 향후 생산될 연구기록물의 체계적 관리방안 필요
- 원자력기술 기록을 통한 지식경영으로 지식전수체계 확립 및 연구개발 기반강화를 목표로 기관 경영목표(2014-2017)로 추진

2. 주요사업 내용



<그림 2> 원자력기술 기록 사업 주요내용

3. 사업 주요 실적

가. 총괄 실적

○ 회의 및 보고

- 원자력기술 기록 사업 2014 과제설명회 개최(2.6/2.11)



- 원자력기술 기록 사업 착수회의 개최(3.20)



- 원자력기술 기록 사업 제1차 진도점검회의 개최(6.26)



- 원자력기술 기록 사업 제2차 진도점검회의 개최(9.18-19 / 전남신안)



- 원자력기술 기록 사업 2014년 완료보고 및 2015년 사업계획 검토회의 개최(12.23)
- 간담회 개최(5.15/8.26/12.23)

○ 국내전문가활용 자문회의 개최

- We can do, WE CANDU 및 일관된 KAERI의 정책(1.14): 한필순
- 경수로 핵연료 국산화 도전 및 공동설계 Joint Design 제안(1.17): 한필순, 남장수
- 원자로계통 설계기술 NSSS-한국형 원자로의 DNA(1.28): 한필순, 남장수
- NSSS 기술전수 계약(2.13): 한필순, 남장수
- 원자력발전과 핵연료주기-금지된 농축과 재처리(2.27): 한필순, 남장수
- 절름발이 기술자립-방사성 폐기물 사업과 PBS제도(3.11): 한필순, 남장수
- 재주는 곰이 부리고 돈은 되놈이 챙긴다-ERF사건(3.25): 한필순, 남장수, 문광남
- 원자력 생명과학연구의 재탄생(4.10): 한필순, 남장수, 이영일
- 원자력기술정책(4.15): 한필순, 남장수, 노환진, 이재설
- 원자력 품질 관리/보증 개발-원자력기술자립의 첫걸음(5.2): 한필순, 남장수, 최선규
- 핵연료개발공단의 수난사(5.13): 한필순, 남장수, 박현수, 박현휘
- 유능한 혁신적 사고의 동반자(5.27): 한필순, 남장수, 김병구, 이익환
- 핵연료개발공단 폐쇄 후, 부활의 단초(6.10): 한필순, 박진호, 유재형, 박현수
- KAERI, 기술독립선언서(6.17): 한필순, 남장수, 이병령, 장우현, 이재설

○ 내방기관

- 부산대학교 기록관(2.17): 기록관 벤치마킹
- 한국원자력안전기술원(3.6): DADAMS 벤치마킹
- 원자력환경공단(7.14): DADAMS 벤치마킹
- 한국항공우주연구원(7.17): 기록관리 평가수검 벤치마킹
- 국가기록원(7.31/9.3): 라키비움 벤치마킹
- 한국지질자원연구원(9.22): 기록관 벤치마킹
- 국회기록보존소(11.13): 라키비움 벤치마킹

- IAEA 교육생(11.27): 라키비움 벤치마킹
- 신학도서관협의회(11.28): 라키비움 벤치마킹
- 한남대학교 기록보존학과(12.18): 라키비움 벤치마킹

○ 발표 및 홍보

- KAERI Archives Project-Experience & Know-how Sharing 발표
(10.30 / IAEA주관 교육 / 송기찬)

○ 신입직원 교육(주제: 원자력 지식전수를 위한 노력)

- 1차 신입직원 교육(2.26)
- 2차 신입직원 교육(7.8)

○ 기타

- 원자력기술 기록 2014 수행계획서 제출 요청(1.8)
- 원자력기술 기록 2014 수행분야 선정결과 알림(2.25)
- 원자력라키비움 내 기록전시관 전시자료 수집 안내(7.30)

나. 연구기록물 종합관리시스템(DADAMS) 운영

- 통합 스토리지 구축: 3.13-4.11 / (주)유아이에스
- 과제문서관리시스템(PCM) 이용접수: 3개과제 / 5개부서
(누적: 13개과제 / 10개부서)
- PCM 유지보수 계약: 9.1-12.31 / (주)사이버다임 / 5,225,000원
- 2015년도 시스템 유지보수 계약
 - DADAMS: (주)에버트리스트정보기술 / 35,509,000원
 - PCM: (주)사이버다임 / 15,300,000원
 - HW: (주)유아이에스 / 13,600,000원

다. 연구기록물 수집, 정리 및 DB화

- 연구기록물 DB구축 사업 수행: 12.1-12.19 / (주)지플러스 / 28,370,000원

4. 활용계획 및 기대효과

- 가. 국가 원자력 기술자립 기록물의 종합적인 관리체제 확립
- 나. 원자력연구원 세대 간의 경험과 지식의 효과적인 전수
- 다. 원자력 지식경영의 중요한 자원으로 보존 및 활용
- 라. 원자력 홍보 및 성과확산의 주요 성과물로 활용
- 마. 연구/기술 기록의 영구 보존체제 구축
- 바. 디지털저작물 영구보존에 대한 개념적, 물리적 체계 완성으로 위상 제고

5. 사업결과 문제점 및 건의사항

가. 문제점

- 연구개발 실패 및 교훈적 부분의 원고 작성 어려움
- 개인 또는 부서 소장 기록물의 수집 어려움

나. 건의사항

- 중기전략계획에 따른 핵심 사업 기술기록 추진에 지속적 관심
- 기술기록에 적극적으로 참여할 수 있도록 보상체제 마련
- 개인 또는 부서 소장 연구기록물의 적극적인 수집 협조
- 보존 및 활용가치 있는 기록물의 라키비움(기록관)으로의 이관 협조
- 부서별 기록관리책임자 지정함으로써 체계적인 관리체제 마련

제 3장 원자력 핵심 분야 기술기록

제1절 개요

1959년 연구소 설립 이래 50여년이 지난 지금, 원자력기술자립 1세대들의 퇴직으로 그들의 경험과 지식전수를 필요로 하고 있으며, 지식누수 방지를 위해 그동안 이룩한 기술발전에 대하여 원자력 50년의 기술기록과 연구기록물의 관리체계 구축의 필요성이 대두되었다.

원자력 기술기록은 해당분야에 대한 연구개발 과정뿐만 아니라 개발배경 및 성과에 이르기까지 전 과정을 기록하는 것으로 전체적으로 요약하여 기록하는 사업이다. 따라서 배경에서 성과까지 전체적으로 요약하기 위해서는 무엇보다도 잘 만들어진 TOC(Table of Contents)를 통해 누락된 부분이 없도록 체계적으로 작성되어야 하며, 작성된 TOC의 각 부분별로 해당 내용을 잘 요약해서 기록해야 한다. 또한 기록한 내용에 대하여 관련 자료를 빠짐없이 첨부하여 기록들을 뒷받침해야 한다. 특히 연구를 진행하면서 겪은 문제 극복사례 및 향후방안(Lesson & Learned), 연구 노하우 등을 구체적으로 기술하는 과정이 중요하다.

제2절 추진분야 선정

1. 선정 과정

원자력기술 기록 중기전략계획(2012-2016)에 의거하여 2014년도 원자력 핵심분야 기술기록 추진분야를 대상으로 수행계획서를 접수하였으며, 최종적으로 TRIGA-Mark-II, III 건설 분야 등 35개 분야가 2014년도 추진분야로 선정되었다.(기술정보팀-1445, 2014.02.25.)

2. 선정 기준

2014년도 추진분야는 아래의 기준에 따라 선정하였다.

- 기술기록의 선행사례로서 모범이 되는 분야

- 기술기록이 시급한 분야(정년퇴직자가 다수 예정된 분야)
- 사업범위가 포괄적이고 광범위한 분야
- 사업이 종료된 분야

3. 선정 분야

위의 선정기준에 따라 최종 선정된 2014년도 추진분야는 다음과 같다.

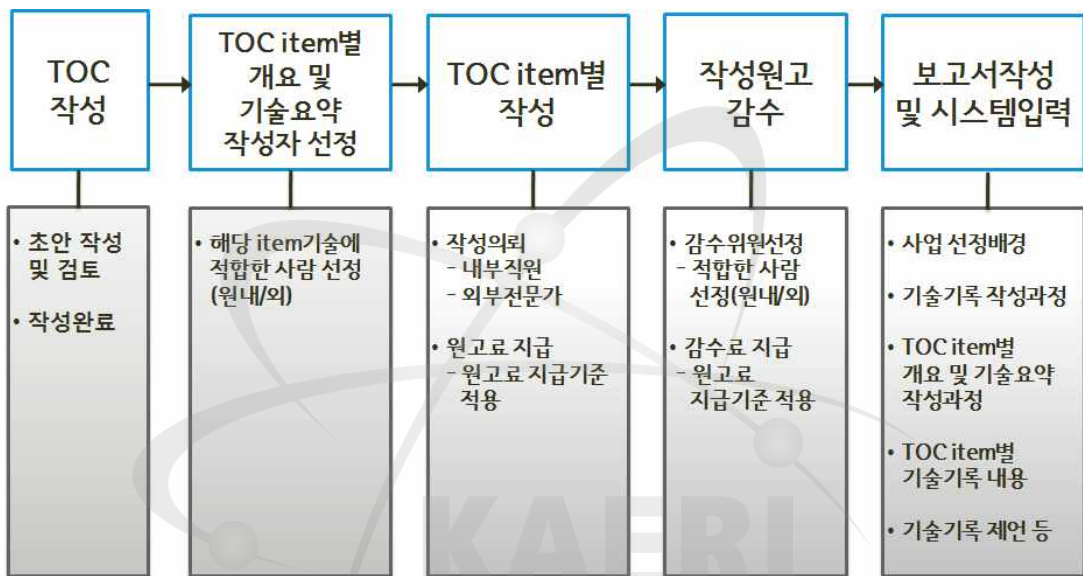
<표 2> 원자력 기술기록 2014년도 추진 선정분야

No	기술 분야명	작성 책임자
1	TRIGA Mark-II,III 건설	홍광표
2	연구용원자로 수출*	오수열/박철
3	압력기기재료 건전성	이봉상
4	조사손상 및 조사효과 연구	권상철
5	부식 평가 및 수화학 기술	황성식
6	재료 손상 진단/비파괴 연구	이덕현
7	원자로 노심/핵연료 열수력 실험	문상기
8	노심용융물-구조물 반응 실증 실험(VESTA)	김환열
9	방사성물질 생태계 경로 및 피폭해석기술	금동권
10	구조물 건전성 평가기술개발*	전영선
11	방사성폐기물처리시설 건설 및 운영	손종식/홍대석
12	방사성폐기물 처리기술 연구개발	박환서
13	중저준위 폐기물 처분기술*	고용권
14	고준위폐기물 처분연구	최희주
15	우라늄변환시설 해체	황두성
16	핵화학공정 기술 개발	정동용
17	TRIGA Mark-II,III 운영*	박상준
18	냉중성자 연구기반시설 구축(CNS)	김영기
19	방사성동위원소 생산 및 이용 연구*	한현수
20	방사선 이용 환경기술 개발	이면주
21	방사선조사시설 구축 및 운영	강태진
22	사이클로트론(RFT-30) 구축 및 운영	허민구
23	우라늄 정련,변환,재변환기술	최운동
24	중수로용 개량핵연료 개발(CANFLEX)*	박주환
25	핵연료성능평가코드 개발	양용식
26	지지격자 개발	송기남
27	하나로 핵연료 국산화/제조기술	박종만
28	초전도 재료/기술 개발*	김찬중
29	조사후시험시설 건설 및 연구	김용범
30	조사재시험시설 건설 및 연구	안상복
31	원자력기술 사업화 및 사업개발*	이후승
32	원자력 기술자립 추진과정*	남장수
33	SMART*	김궁구
34	리스크평가/관리 소프트웨어 개발*	한상훈
35	원자력 정책 개발*	양명호

* 12개 분야는 작성이 미완료되어 향후 지속 추진하기로 하였다.

제3절 추진 과정

분야별로 그 분야 핵심 연구원들의 협의를 거쳐 TOC 초안을 만들었고 몇 번의 조정을 거쳐 마침내 TOC를 완성하였다. 완성된 TOC를 가지고 각 아이템별 개요 및 기술요약을 작성할 수 있는 원내·외 전문가를 선정하고 원고의뢰를 하였으며, 작성된 원고는 그 내용을 잘 아는 전문가에게 원고감수를 의뢰하여 수정 보완하였다. 다음 <그림 3>은 TOC 작성 및 기술기록 과정을 나타낸 것이다.



<그림 3> TOC 작성 및 기술기록 과정

제4절 분야별 기술기록 내용

각 분야별로 정해진 템플릿에 맞게 연구개발 과정뿐만 아니라 개발배경 및 성과까지의 전 과정을 누락 없이 체계적으로 기술하고, 특히 연구를 진행하면서 겪은 문제 극복사례 및 향후방안(Lesson & Learned), 연구 노하우 등을 구체적으로 기술하였다.

1. 분야별 템플릿

원자력 기술은 크게 시설, 장치 등과 관련된 하드웨어(HW) 부문과 시스템, 코드 등과 관련된 소프트웨어(SW) 부문으로 구분해볼 수 있다. HW와 SW 분야별

로 원자력 기술기록을 추진할 때 TOC 작성 단계에서 참고할 수 있도록 각 분야별 목차 템플릿을 개발하였다. 이는 2011년 시범사업으로 추진한 분야를 대상으로 개발되었으며, 분야별 TOC 템플릿은 아래와 같다.

<표 3> S/W분야 템플릿

<ol style="list-style-type: none"> 1. S/W 역사 및 배경 <ol style="list-style-type: none"> 1.1. S/W 기술개발의 배경과 의의 <ol style="list-style-type: none"> 1.1.1 기술개발의 의의 1.1.2 앞으로의 역할 1.2. 단계별변천사 (각 단계별로 구분하여 작성) 1.3. 기술적 문제점 및 해결방안 <ol style="list-style-type: none"> 1.3.1 발생한 기술적 문제 1.3.2 해결방안 1.3.3 미해결과제 및 향후 연구방안 1.4. 기술적 성과 <ol style="list-style-type: none"> 1.4.1 개발된 주요기술 1.4.2 향후 개발기술 1.5. Lessons Learned <ol style="list-style-type: none"> 1.5.1 도입 및 개발 시의 장애물 1.5.2 장애 극복방안의 활용 2. S/W 관련 기술 종합 <ol style="list-style-type: none"> 2.1. S/W 설계종합 <ol style="list-style-type: none"> 2.1.1 S/W 관련 개발계획 2.1.2 S/W 관련 기술현황 검토 2.2. 공정 및 프로젝트관리 <ol style="list-style-type: none"> 2.2.1 공정관리 2.2.2 국내외 협력관리 총괄 2.3. 품질 관리 및 보증 <ol style="list-style-type: none"> 2.3.1 품질관리 2.3.2 품질보증 2.4. 경제성평가 	<ol style="list-style-type: none"> 3. S/W 관련 개별 기술 <ol style="list-style-type: none"> 3.1 ... 개념설계 3.2 개별기술에 해당되는 기술개발사항 3.3 ...실험내용 3.4 ...(성능)평가 3.5 관련 목록 및 매뉴얼 <p>(각 기술별로 반복)</p> 4. 개발 S/W 유지보수 <ol style="list-style-type: none"> 4.n 기술개발의 종류별로 유지보수 현황 5. 대내외 협력/홍보 프로그램 <ol style="list-style-type: none"> 5.n 국내외 협력프로그램 5.n.n 국내 프로그램 종류별 TOC 첨가
--	--

<표 4> H/W 분야 템플릿

<ol style="list-style-type: none"> 1. 관련시설 사업 개요(사업 초기단계) <ol style="list-style-type: none"> 1.1 사업 배경 <ol style="list-style-type: none"> 1.1.1 국내외 현황 1.1.2 관련시설 필요성, 역할 및 목표 1.1.3 기타 	<ol style="list-style-type: none"> 3. 관련시설 설계 및 구축 <ol style="list-style-type: none"> 3.1 시설 기본설계 3.2 시설 상세설계 3.3 시설 제작 및 설치 3.4 시설 검증(QA, 절차서)
--	---

<ul style="list-style-type: none"> 1.2 사업추진 경위 <ul style="list-style-type: none"> 1.2.1 사업 추진 연혁 1.2.2 사업 추진 계획 및 절차 1.2.3 참조모델 선정 1.2.4 기술적 제약 조건 1.2.5 기타 1.3 문제점 및 해결 방안 <ul style="list-style-type: none"> 1.3.1 추진과정 문제점 1.3.2 해결방안 1.4 기타 <ul style="list-style-type: none"> 2. 관련시설 개념 정립 <ul style="list-style-type: none"> 2.1 관련시설 설계 개념 2.2 중요시설 설계 개념 2.3 기타시설 설계 개념 2.4 기타 	<ul style="list-style-type: none"> 3.5 기타 <ul style="list-style-type: none"> 4. 관련시설 운영 (시설 가동 및 관련 실험 수행 등) <ul style="list-style-type: none"> 4.1 시설 운영 (실험계획서, 절차서, 결과분석 등) 4.2 시설 유지관리 (장치변경, 수정, 유지보수 계약 등) 4.3 기타 <ul style="list-style-type: none"> 5. 기타사항 <ul style="list-style-type: none"> 5.1 국내외 협력 5.2 홍보 프로그램 5.3 국내외 성과 5.4 기타
--	--

그리고 각 TOC 아이탬별 개요 및 기술요약 작성에 공통적으로 필요한 요소를 제시하였다. 이러한 요소들을 제시해줌으로서 작성자들이 기술요약시 필요한 내용들을 빠짐없이 작성할 수 있는 기준이 될 수 있다. 이 요소들을 빠짐없이 기술하는 것을 원칙으로 하며 해당사항이 없는 부분에 대해서는 기술하지 않되, 이외에 필요한 부분은 추가하여 기술하도록 하였다.

SW 분야와 HW 분야에 기술요약 작성내용 요소 및 해당 요소에 작성해야 할 내용은 다음과 같다.

- 1. 기술개발 배경
 - 해당 연구기술의 역사 및 발전배경, 국내·외 현황, 기술개발 필요성 및 목적 등을 기술

 - 2. 연구방법 및 진행 경과
 - 연구 수행 방법과 진행 경과에 대하여 기술

 - 3. 연구의 주도적 참여자
 - 해당 연구개발을 주도적으로 수행한 참여자 기술

 - 4. 기술 요약
 - 해당 연구기술에 대하여 간략히 요약하여 기술

5. 성과 및 활용

- 해당 연구개발의 성과 및 활용 사례를 기술(실험 수행 및 응용사례)

6. 문제 극복사례 및 향후 방향(Lesson & Learned)

- 연구를 수행하면서 발생했던 문제점과 극복사례 및 향후 방향에 대하여 기술

7. 관련 문헌(해당 아이템과 관련된 보고서, 논문 등의 발간자료)

- 연구개발과 관련하여 참고할 수 있는 대표적인 참고자료 기술

8. 기술자료 목록(해당 아이템과 관련된 문서, 사진, 도면 등의 미발간자료)

- 해당 연구개발과 관련된 각종 계획서 및 보고서 등으로 개별적으로 소장하고 있는 자료에 대한 대략적인 목록, 보관위치, 및 자료의 형태와 수량 기술

9. 정보보안 level(원내공개/원내비공개)

- 해당 연구개발 내용 및 자료의 원내공개 및 원내비공개 여부 기술

10. 관련 행정 절차 및 공문

- 연구개발 수행과 관련하여 생산 및 수집된 각종 공문서 기술

11. 타기술 또는 과제와의 연관성

- 해당 연구개발 기술이 다른 기술 또는 과제와 연계성이 있는 경우 관련 내용 기술

12. 키워드

- 해당 연구개발과 관련한 키워드 기술

13. 관련 과제명(과제번호)

- 해당 연구개발과 관련한 사업 및 과제명(과제번호) 기술

2. 분야별 기술기록 내용

각 분야별 기술기록 내용을 요약하면 다음과 같다.

※ 각 분야별 기술기록 요약문 전체 및 목차는 <부록>에 수록하였다.

■ TRIGA MARK-II,III 건설

대한민국 최초의 연구용 원자로는 1959년 7월 14일 한국원자력연구소가 있던 서울특별시 노원구 공릉동(孔陵洞)에서 기공해 1962년 3월 첫 임계에 도달하면서 가동을 시작하였다. 이승만 대통령이 ‘장차 원자력연소는 훌륭한 Atomic Machine을 만들어야 합니다.’라는 의미가 있는 말로 미국 대사의 눈을 크게 뜨게 만들 정도로 정부의 원자력 기반기술 확보 의지로 TRIGA Mark-II 연구용 원자로가 운영되었고, 이를 기반으로 지금의 한국 원자력 산업 부흥기를 이룬 역할을 하였다. 본 보고서의 기술기록은 1차적으로 당시의 노심 콘크리트 차폐벽 건설보고서와 제어반의 유지보수 영문 메뉴얼을 번역하여 기록하였다. GA사가 제공한 원자로 시스템 관련 기술개발 보고서를 주로 기록하고자 하였으나, 이에 대한 자료 부족과 너무 오래된 개발내용을 추적하기에는 어려움이 있어 2차적으로 추가 보완하여 건설부분을 기록화에 기여하고자 한다.

■ 압력기기재료 건전성

1980년 이후로 원자력 압력기기의 재료건전성 평가 및 향상을 위해 추진되어 온 연구개발 내용들을 시대별 혹은 주제별로 요약하여, 향후 연구개발에서도 직면할 수 있는 기술적/사회적 상황들에 효과적으로 대처할 수 있는 관련 경험들을 공유하고자 하였다. 직접적인 연구개발 내용이외에도 연구과제의 도출이나 수행과정에서 벌어진 여러 상황적 내용들을 포함하려 노력하였다. 특히 1980년 이전의 오래된 기록과 기억들을 찾아내어 더 늦기 전에 일부라도 기록화할 수 있었던 것은 정말 다행스러운 일이다. 과거의 기술기록을 요약한 본 보고서가 현재와 미래에 보다 효과적인 연구개발을 위한 초석이 될 수 있기를 바라며, 수년 후에는 더욱 풍성한 연구성과가 기록화 될 수 있도록 관련 연구자들이 더욱 분발할 수 있는 계기가 되기를 바란다.

■ 조사손상 및 조사효과 연구

조사손상 및 조사효과와 관련연구는 2002년 원자력연구개발 중장기계획사업에서 독립된 과제의 형태로 출발하여 다른 연구내용과 구분하여 관리됨으로써 검색이 용이할 것이다. 조사손상연구는 원자력재료에서 항상 고려하여야 할 분야이기 때문에, 시기에 따라서는 중단될 수 있겠지만, 원자력연구가 지속되는 한은 항상 연구가 수행될 분야이다. 따라서 지속적으로 자료가 발생할 것이므로 특별한 별도 관리체계가 있으면 활용가능성이 매우 높다. 실험과 관련되어 논문에는 언급되지 않으나, 보고서 내용으로는 적합한데도 불구하고 보고서화 하지 않은 내용중에는 매우 중요한 것이 있을 수 있다. 이러한 자료들이 구체화 되고 보관 관리될 수 있어야 기록 관리에 의미를 둘 수 있을 것이다. 본 보고내용에는 가능하면 그러한 기록들에 관련된 정보를 알 수 있도록 신경을 쓰기는 하였으나, 부족한 점이 많다. 일단 자료의 존재 여부를 확인하려면 관련 보고서를 검토한 후, 연구 참여자 중심으로 확인함이 가장 빠른 길로 생각된다. 외국에서 귀중한 자료를 단독으로 입수하였지만 본인 이외에는 관심을 기울이지 않는 가운데 본인만 보관하고 있는 자료도 있기 때문이다. 예를 들면, 조사결합의 TEM 이미지 전산모사 프로그램이 그러하다. 그리고 실험장비의 사용절차 매뉴얼은 실험장비가 있더라도 사용법에 관한 자료를 찾지 못하면 사용할 수 없는 경우가 많기 때문에 관리의 필요성이 있다.

■ 부식 평가 및 수화학 기술

국내 원자력발전소는 1978년 4월에 상업적 가동을 시작한 고리 1호기를 필두로 하여 1980년대 8기, 1990년대 9기 등 대부분 2000년 이전에 건설 및 가동이 이루어졌다. 따라서 가동 원자력발전소 주요 설비 및 부품소재에 대한 가동환경에서의 부식 및 수화학 관련 연구도 1980년대 초에 한국원자력연구원을 중심으로 시작되었다. 국내 최초 가동원전인 고리 1호기의 경우, 1985년에 증기발생기 전열관이 손상되어 1차 계통 냉각수가 2차 계통으로 누설되는 문제가 발생되었다. 손상 원인의 분석 결과 복수기에서 해수가 누설되고 증기발생기로 염소이온 등이 유입되어 전열관 2차측으로부터 pitting으로 인한 손상이 발생된 것으로 판명되었다. 이에 따라 원전 가동환경에서의 Alloy 600 전열관 재료에 대한 공식 민감성 평가기술 개발을 시작으로 원전 설비 및 부품소재에 대한 부식 연구가 본격적으로 이루어지게 되었다.

■ 재료손상 진단 및 비파괴 연구

국내 고유의 혁신기술 개발을 목적으로, 원전 1차측 냉각재와 압력경계를 이루는 접촉 면적이 가장 크고 설계구조 및 가동 환경이 복잡하여 부식 및 균열, 마모, 피로 등 다양한 유형의 손상에 취약하여 건전성 확보가 가장 강조되는 핵심 기기인 증기발생기를 대상으로 재료손상 평가 및 비파괴 전문 기술을 융합한 손상 정밀진단 및 제어 기술개발 연구를 1999 년에 착수하였으며 현재까지 수행된 주요 내용 및 성과를 본 보고서에 정리, 기술하였다. 원자력발전소 안전에 필수적이며 운전 인허가 법적 조건의 하나인 원자력발전소 가동중검사 기술 개발의 역사, 연구원에서 선진 기술을 도입하여 국산화하는 과정과 1990 년대 후반에 기술 국산화를 완료하고 선진국에 역수출 및 가동중검사 사업을 민간에 이관하는 과정을 기록하였다. 아울러 사업 이관 후에 원자력발전소 가동중검사 기술의 신뢰도 향상을 위한 기량검증제도 및 가동중검사와 연계된 연구개발 방안에 대해서도 기술하였다.

■ 원자로 노심 및 핵연료 열수력 실험

1990년대 중반부터는 원자력중장기개발사업이 착수되면서, 원자로 노심/핵연료를 대상으로 인허가를 위한 정상상태 및 과도 조건에서의 임계열유속, 사고조건에서의 임계열유속, 냉각재상실사고 조건에서의 비상냉각성능 평가 연구들이 수행되기 시작하였다. 1990년대 후반부터는 국내 안전해석코드의 개발이 수행되면서, 국내 안전해석코드의 모델 개발에 필요한 실험과 안전해석코드의 검증 실험들을 수행하였다. 본 보고서에는 원자로 노심과 핵연료 열수력 시험의 수행 경험과 노하우를 기록함으로써 앞으로 유사한 열수력 시험의 수행에서 도움이 될 수 있도록 작성하였으며, 이를 통해 시험 계획과 수행 중에 발생할 수 있는 시행착오를 막는데 도움이 될 수 있도록 하였다.

■ 노심용융물-구조물 반응 실증 실험(VESTA)

본 보고서의 기술기록은 VESTA 장치 개발 및 관련 실험에 대해 다루고 있다. 1장에서는 VESTA 장치 개발에 관련된 APR+ 공통핵심과제 및 EU-APR1400 과제의 연관성 및 코어캐치 개념정립 과정에 대해 기술하였다. 2장에서는 VESTA 실험장치 구축을 위한 실험동 건축, 실험장치 설계 및 제작, 시운전 과

정에서 겪었던 에피소드에 관하여 기술하였다. 노심용융물과 희생물질의 반응실험을 수행하기 위해서는 희생물질 시편을 구비하여야 하므로, 희생물질 시편개발과 관련된 러시아 NITI 연구소와의 협력 및 희생물질 자체제조에 대한 기술도 하였다. 3장에서는 소형 희생물질 시편에 대한 실험수행을 위해 고주파가열기, 냉각 계통 및 반응기체 처리계통 등과 같은 VESTA 실험장치의 주요 부분을 공유하는 VESTA-S 소형 실험장치에 대한 설계, 시운전 과정, 실험결과를 상세하게 기술하였다.

■ 방사성물질 생태계 경로 및 피폭해석기술

방사성물질 생태계 경로 및 피폭해석기술은 원자력시설 운영이나 예기치 않은 사고로 인해 방사성핵종이 환경으로 누출되었을 경우 인간 및 환경에 미치는 방사선 위험을 평가하기 위한 기술로 국내에서 30년 이상의 연구 역사를 가지고 있다. 이번 기술 기록화 사업을 통해 그 동안 수행된 연구의 배경, 경험, 실험과정, 결과 등이 잘 요약 정리되어 향후 관련 기술개발 계획 수립이나 후배들의 기술 정보 획득에 좋은 참고자료로 활용될 것으로 보인다. 본 문서는 크게 주민섭취선량평가기술, 환경방호기술, 국제협력으로 세분되어 기술되어 있다.

■ 방사성폐기물처리시설 건설 및 운영

한국원자력연구원에서는 연구용 원자로, 동위원소생산시설 및 핵주기시설 등 방사성물질을 취급하는 각종 원자력시설과 각 연구실에서 방사성폐기물이 발생되고 있다. 따라서 연구원의 시설운영 및 연구개발 과정에서 발생하는 모든 방사성폐기물을 안전하게 관리할 수 있는 방사성폐기물처리시설의 운영이 필수적이다. 방사성폐기물처리시설의 운영 목적은 방사성폐기물을 안전하게 수집하고 저장관리하며 각 폐기물의 특성을 고려한 처리방법을 개발하고 적용함으로써 주변 환경을 방사성 오염으로부터 보호하는 것이다. 방사성폐기물처리시설 건설 및 운영 부문을 기술기록 함으로써 향후 연구원에 저장중인 중·저준위 방사성폐기물의 경제적이고 효율적인 영구처분, 방사성폐기물의 부피감용을 통한 처분비용 절감, 방사성폐기물 특성시험 등의 처분 기술 개발 등에 도움이 될 것이다.

■ 방사성폐기물 처리기술 연구개발

본 보고서는 지난 30여년이 넘는 동안의 방사성 폐기물 처리연구과정을 기술 도입 및 연구단계, 중·저준위 폐기물 처리기술개발 단계, 핵주기 폐기물 및 파 이로 공정 폐기물 처리단계로 분류하여, 선배 연구원들의 노력에 의해 얻어진 결과물을 정리하여, 앞으로 방사성 폐기물처리 기술을 개발함에 있어서 시행착오를 최소화 할 수 있도록, 연구방향을 수립하는 데, 도움이 될 수 있기를 기대하며 보고서를 작성하였다. 본 보고서에는 일부분야는 중요한 기술적 결과물들을 기록 하였으며, 몇몇 분야는 개발과정 동안의 겪은 어려운 점, 난제 등을 해소하는 과정들을 기술하였다.

■ 고준위폐기물 처분연구

한국원자력연구원에서의 고준위폐기물 처분연구는 1997년 중저준위 방사성폐기물 관리 업무의 한국전력으로의 이관과 함께 착수되었다. 사용후핵연료의 직접 처분을위한 심지층 처분시스템 개발을 목표로 10년간 연구가 착수되었으며, 한국의 대표 암반(화강암) 내에 고준위폐기물 처분시스템 개발이 가능한가에 대한 해답을 얻기 위하여 심부지질 환경 특성평가 기술, 공학적방벽 개발, 안전성평가 기술 개발, 지하핵종거동 규명 연구와 같이 세부 과제를 도출하여 필요한 핵심 요소 기술을 개발하였다. 이와 같은 기술을 바탕으로 2006년도에는 지하처분연구 시설인 KURT를 준공하였으며, 한국 대표 암종을 대상으로 사용후핵연료 직접 처분시스템인 KRS를 개발하였다.

■ 우라늄변환시설 해체

우라늄변환시설은 월성원전(중수로형 원자로)의 핵연료 국산화 기술자립을 위한 핵원료물질을 성공적으로 생산하는데 기여하고 1993년부터 휴지상태로 유지하여 오다가, 2001년부터 환경복원의 일환으로 변환시설 해체사업을 착수하게 되었다. 변환시설 해체사업은 해체계획서를 작성하여 2002년 9월 과학기술부에 인허가를 신청하여 2004년 7월에 승인을 받게 되었다. 인허가 승인 후, 실제적인 해체공사를 진행하면서 모두 7차례에 걸친 해체계획서 변경이 있었다. 본 보고서에는 상기와 같은 해체공사 중 수행된 모든 업무를 간략히 소개하였다. 또한 사업을 진행하면서 보고서로 작성되지 않은 사항들 또한 간략히 기술하였고 상세

한 내용은 참고문헌으로 첨부하였다.

■ 핵화학공정 기술 개발

본 보고서는 상기 추진경위를 중심으로 총 5장으로 구분하여 작성하였으며, 제 1 장 “핵연료주기 습식처리 기반기술 개발 (1980년대)”에서는 우라늄 분리(우라늄 정제 및 비분리처리)공정 개발, 핵연료물질 생산기술 개발, 중수로 핵연료물질 생산기술 개발, 우라늄스크랩 정제기술 개발 등에 관해 각각 서술하였으며, 관련 자료, 보고서 및 장치 제작도면 등을 포함하였다. 제 2 장에서는 “고준위 방사성 폐액 처리 습식분리 기술개발 (1992~2006년)”로 “군분리 공정(/기술)개발” 연구와 “방사화학 분리기술 개발” 연구로 나누어 기술개발 배경, 연구추진 전략, 주요 연구내용 및 성과, 문제 극복사례 및 향후연구 방향, 선진화 습식분리기술 개발과 관련하여 향후 고려하여야 할 연구항목 및 사항 등을 기술하였고, 군분리 Mock-up 공정 관련 주요장치 제작도면 등을 포함하였다. 제 3 장은 “악티나이드 위해도 저감화 기술개발 (2007-2011년)”로 기술개발 배경, 연구개발 내용, 연구추진 전략, 주요 연구성과, 문제 극복 사례 및 향후 방향 등을 서술하였으며, 주요 장치 제작도면 등을 포함하였다. 제 4 장에서는 “난처리성 방사성폐기물 처리기술 개발 (2012~)”로 “우라늄혼합물 위해도 저감화 기술개발”과 “특수 방사성폐기물 처리기술 개발” (대용량 고방사능/고염 폐액 처리기술, 우라늄 복합폐기물 처리기술 등)을 구분하여 이에 따른 기술개발 배경, 주요 연구내용 및 성과, 극복 사례 및 향후 연구방향 등을 서술하였으며, 사용후핵연료(/고준위폐기물) 관련 습식분리 연구와는 직접적인 관계는 없다. 마지막으로 제 5 장은 “핵화학 공정기술 향후 전망”으로 사용후핵연료(/고준위폐기물) 관련 습식분리 연구에 한정하여 미래의 기술개발 방향, 관련분야에 대한 연구기관 주체와 정부, 의회 등의 대외 환경 개선 노력 및 정책 결정, 그리고 해당분야 연구자들의 뚜렷한 목표의식 제고 등에 관해 기술하였다.

■ 냉중성자 연구기반시설 구축(CNS)

본 보고서는 연구용 원자로인 하나로에 설치된 냉중성자 연구기반 시설 구축 과제를 진행하면서 기술보고서 등으로 반영되지 못해 사장 될 수도 있었던 노후를 기록하고자 작성되었다. 이에 따라 초반부에는 냉중성자 연구기반 시설의 정의 기술로 시작하여 사업의 배경, 어떻게 완료가 되었는지의 추진 경위, 그리

고 참고적으로 각국의 냉중성자원 이용현황 등이 기술되어 있다. 중반부에는 냉중성자 연구기반시설을 설계하기 위해, 5 개의 세부과제로 구성하여 설계, 구매, 제작 설치 단계의 전반적인 내용을 기술하고자 하였다. 후반부에는 이렇게 구축된 시설에서 수행된 시운전단계에서의 전반적이 어려움이나 이를 극복한 사례를 기술하였으며, 대과제 차원에서의 품질관리 및 새로운 시설을 연구용원자로에 설치하고 운전하기 위해 필요한 인허가 단계도 기술하였다.

■ 방사선이용 환경보전분야 기술

본 보고서는 1) 기술태동기: 1993-1996년 대전 본원에서 연구시작, 2) 기술성장기: 1997-2005년 1차 및 2차 원자력중장기 연구사업에서 수행한 연구기간, 3) 기술도약기: 2006-현재, 첨단방사선연구소에서 수행한 연구기간, 3 단계로 구분하여 작성하였고, 연구를 수행하면서 얻은 경험과 노하우를 체계적으로 기록함으로써 매우 보수적인 환경보전기술 분야에 있어서 새로운 기술 개발시 기존의 아이디어를 참고함으로써 새로운 연구 영역을 개척하는데 도움을 주도록 작성하였다.

■ 방사선조사시설 구축 및 운영

본 보고서는 원자력기술기록화 사업의 일환으로 방사선조사시설 구축 및 운영 분야의 연구와 운영기술 변천사에 대하여 서울 방사선조사시설, 대전 방사선조사시설 및 정읍방사선 조사시설 순으로 기술하였다.

■ 사이클로트론(RFT-30) 구축 및 운영

사이클로트론(Cyclotron)이란 직류 자기장과 고주파 전기장을 이용한 원형의 하전입자 가속기로써 원자핵의 반응연구, 방사성동위원소 제조, 하전입자를 이용한 암 치료 등에 사용하고 있다. 기존의 13 MeV급 사이클로트론은 주로 병원에서 많이 쓰이는 F-18을 생산하는데 사용되고 있다. 하지만 더 다양한 방사성동위원소를 생산하고 관련연구를 수행하기 위해서는 30 MeV급 이상의 고에너지 사이클로트론이 요구된다. 이에 한국원자력의학원은 2004년부터 30 MeV급 사이클로트론 국산화를 위하여 원자력연구개발사업(중장기계획사업)을 통해 연구/개

발에 착수하였다. 그 결과 IBA사와 TRIUMF사의 30 MeV급 사이클로트론 각각의 장점을 최대한 수용한 자체 모델인 KIRAMS-30을 개발하였다.

■ 우라늄 정련 변환 재변환 기술

우라늄 정련 변환 재변환은 천연으로부터 우라늄 물질 만을 순수한 형태로 추출하여 원자로에 사용할 핵연료로 가공하기 위하여 여러 가지 우라늄 화합물로 화학적 변환시키는 일련의 과정을 말한다. 국내 핵연료 주기에 대한 관심은 1976년 재처리사업이 보류되면서 이를 대신 하여 화학처리대체사업을 수행하면서부터 시작되었다. 화학처리대체사업으로 우라늄정련변환시설에 대한 시설 건설이 1979년 5월부터 시작되어, 1982년 4월 시설준공식을 가졌다. 우라늄정련변환시설에 대한 시운전이 불란서 기술자가 참여한 가운데 있었다. 정련시설 시운전에서는 우라늄 광 처리 규모 150kg/hr에 충분하였고 95% 이상의 좋은 침출효율과 계약상 수치에 만족할만한 결과를 얻었으며 최종적으로 71.3%의 Yellow cake(U3O8)을 얻었다. 변환시설 시운전은 20kg/hr 규모로 Yellow cake인 U3O8부터 시작하여 용해, 정제, ADU(ammonium di-uranate) 침전, 배소 및 환원을 거쳐 UO₂를 제조하였으며 또한 이를 40kg/hr 규모로 무수-불산(HF)과 반응시켜서 순도 95%의 UF₄를 제조하였다. 이로써 우리나라는 단번에 선핵연료주기에 대한 기술을 보유하게 되었으며, 이를 바탕으로 관련된 핵연료주기 전반에 관한 기술을 더욱 발전시킬 수 있는 계기가 되었다.

■ 핵연료성능평가코드 개발

1997년부터 2007년까지 10년여에 걸쳐 개발된 INFRA는 시대의 요구에 부응하여 기존의 저연소도 핵연료에 한정된 핵연료 성능평가기술을 고연소도까지 확대하고, 국내 고유 코드체계를 확보하기 위한 목적으로 개발되었다. INFRA 개발을 위해, NRC의 FRAPCON을 참조 코드로 하여 고유의 성능모델들을 개발하여 적용하였으며, 특히, 핵분열 기체방출 모델, Rim microstructure 생성 모델, 열전도도 저하 모델 등 고연소도 핵연료를 대상으로 한 최신의 모델들이 포함되었다. 또한, 핵연료 기계적 해석을 위해 FEM 모듈을 학계와의 협동연구를 통해 장착하여 앞선 기술력을 확보하였다. 개발된 INFRA 코드는 Halden Reactor Project 및 CABRI Project의 참여로부터 확보된 신뢰도 높은 DB를 통해 검증되었으며,

IAEA CRP FUMEX-II를 통한 benchmark 프로그램을 통해 해외 유수의 성능평가코드들과의 비교/검증에서 우수한 예측성능을 확인하였다. INFRA 코드 및 개발 기간동안 확보된 여러 기술들은 현재까지도 학계, 규제기관 등에 기술이전이 진행되어 활발히 사용되고 있으며, 다양한 후속연구 및 수탁과제 등에 직접 적용되어 널리 활용되고 있다.

■ 지지격자 개발

1986년에 독일의 Siemens/KWU 및 미국의 ABB/CE사로부터 경수로핵연료 설계기술을 습득하여 시작한 한국원자력연구원의 경수로핵연료사업이 정부방침에 따라 1996년 말에 산업체인 KNF로 이관할 때 까지 한국원자력연구원에서는 경수로핵연료집합체의 핵심 구조부품인 지지격자에 대한 통상적인 설계기술을 보유하고 있었으나 독자적으로 지지격자를 연구개발을 할 수 있는 계기가 된 것은 1997년에 시작한 원자력중장기계획사업의 일환으로 추진된 경수로용신형핵연료 개발의 지지격자개발과제가 출범하고부터라고 말할 수 있다. 경수로핵연료에 있어서 지지격자는 일차적으로 핵연료봉을 견전하게 지지하는 구조부품으로 개발되었으나 점차적으로 핵연료의 성능도 향상시키는 구조부품으로 개발되고 있다. 지지격자는 경수로핵연료집합체 구조부품 중에서 백미라고 불러 질 수 있을 만큼 핵연료 성능개선에 중요하였고 또한 개발 후에는 부가가치와 원천기술 확보에 미치는 영향이 매우 크다고 생각되었기에 핵연료사업이 산업체로 이관된 후 연구소에 남게 된 핵연료집합체 구조 및 열수력 설계분야의 인력을 주축으로 1997년 7월부터 2007년 2월 까지 지지격자개발과제를 수행하게 되었다.

■ 하나로 핵연료 국산화 및 제조기술

한국원자력연구원에서는 1980년대에 캐나다 AECL의 도움 받아 다목적연구용 원자료를 설계되면서 캐나다가 저농축핵연료로 개발한 AI기지에 U3Si가 분산된 봉상 핵연료가 다목적연구용원자로 즉 하나로용으로 선정되었다. 이 하나로 핵연료를 국내에서 가공하여 공급하고자 핵연료기술을 개발하기 위하여 “다목적연구로용 핵연료 국산화 기술개발”연구가 1987년 5월부터 특정연구과제로 수행되었다. “다목적연구로용 핵연료 국산화 개발” 연구과제 1단계가 1987년부터 1990년까지 핵연료 설계분야, 핵연료 제조분야, 임계해석 분야로 나누어 수행되었고, 연

구과제 2단계는 1991년부터 시작했으나 1년간 수행한 후 1992년부터는 중장기 연구 사업으로 계속 추진되었다. 1998년에는 원자력연구개발사업 보완기획 종합 평가에서 하나로핵연료 기술개발을 완료한 것으로 평가를 받고 핵연료 국산화에 필요한 핵연료 공정장치 제작 및 가공시설은 별도 실용화 연구사업으로 추진토록 하는 과제 평가의견을 받았다. 또한 새로운 핵연료 제조기술인 원심분무 핵연료분말 제조기술이 핵연료 성능 면에서도 입증되어 하나로 핵연료는 물론 외국의 연구로 핵연료에도 활용될 전망이 있어 하나로 핵연료 국산화사업을 더욱 촉진하는 계기가 되었다. 2001년에는 핵물질 가공사업 허가를 받게 됨에 따라 핵물질 가공사업 장비 시설을 설치할 핵연료기술개발동을 착공하였다. 더불어 중장기 연구사업으로 개발한 하나로핵연료의 성능을 실증하는 노내연소시험을 실시하였다. 그리고 마침내 2004년에 본격적인 시설의 가동하게 되었으며, 현재까지 하나로에 필요한 핵연료를 전량 제조하여 공급하고 있다. 본 보고서에서는 이러한 하나로 핵연료 국산화 수행과정을 상세히 기록하였다.

■ 조사후시험시설 건설 및 연구

이번 "조사후시험시설 건설 및 연구" 기록화사업을 통하여 그 동안 방치되었거나 개인이 소지하고 있던 조사후시험시설 건설 및 연구개발 관련된 자료들을 수집 발굴하고, 희미해져 가는 기억을 되살려 이를 정리하여 중요기술과 그 과정을 기록함으로써 앞으로 조사후시험시설의 운영 및 연구에 중요한 기술전수 자료로 쓰이도록 노력하였다. 본 기록보고서는 조사후시험시설의 건설 및 운영에 중점을 두고 조사후시험기술 개발 및 연구 내용도 함께 기술하였으며 모두 2장으로 구성하였다. 1장에는 조사후시설의 건설과 운영에 관련한 내용들을, 2장에는 조사후시험 기술개발 및 조사후핵연료의 시험평가 등 관련 기술개발 및 연구 내용을 기술하였다.

■ 조사재시험시설 건설 및 연구

본 보고서에는 조사재시험시설 건설 당시의 추진 경위와 배경, 설계개념 수립, 설계, 장치구매, 건설공사, 인허가 등 일련의 건설사업 과정이 종합적으로 정리되었으며, 신규 원자력시설 건설과정에서의 난관 극복의 경험과 시설에 필요한 주요 핵심기술들도 요약 정리하였다. 이 기술기록은 향후에 유사한 원자력시설을

건설할 경우에 참고가 되도록 하였으며, 설계개념의 수립, 설계 및 공사 등 건설
각 단계별로 활용이 가능하도록 작성하였다.



제 4장 연구기록물 종합관리시스템(DADAMS) 운영

제1절 통합 스토리지 구축

1. 배경 및 필요성

현재 연구원에서는 연구개발 분야에 적합한 아카이브 체제 구현을 위한 연구 기록물 종합관리시스템(DADAMS)과 연구원의 연구개발 업무 지원을 위한 기술 정보서비스 시스템인 전자도서관(NUCLIS21)을 구축하여 운영 중에 있다.

DADAMS의 경우, 전용 스토리지가 부재하여 임시로 운영서버에 데이터를 보관하여 왔으나 반입 데이터의 양이 증가함에 따라 운영서버의 공간이 부족한 상황이며, NUCLIS21의 경우 기존의 스토리지 장비가 노후하여 최근 들어 데이터 오류가 자주 발생하고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 DADAMS 및 NUCLIS21에 보관 중인 연구기록물 및 기술정보 데이터베이스의 안정적인 유지를 목표로 별도의 통합 스토리지 구축을 추진하였다.

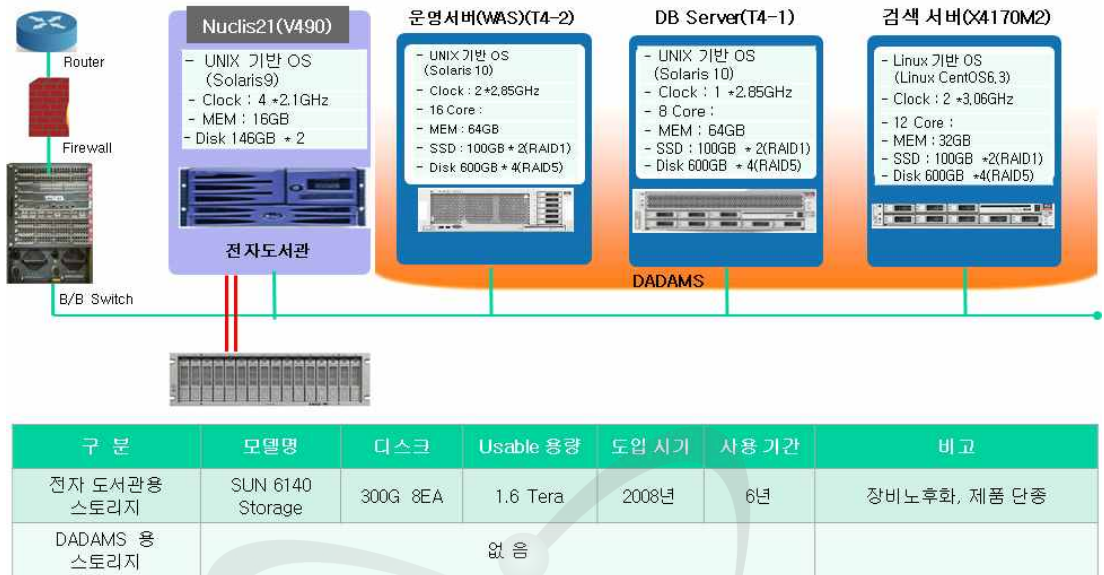
<표 5> DADAMS 데이터베이스 현황 및 예측

구분	현재	2014년(예측)	2015년(예측)	2016년(예측)
현재용량	1,600 GB			
사용용량	1,205 GB	1,250 GB	1,550 GB	1,850 GB
남은용량	395 GB	-855 GB	-2,405 GB	-4,255 GB

증가추이 (연평균)	DB구축	100 GB	100 GB	100 GB
	시스템연계	250 GB	250 GB	250 GB
	PCM	900 GB	1,200 GB	1,500 GB

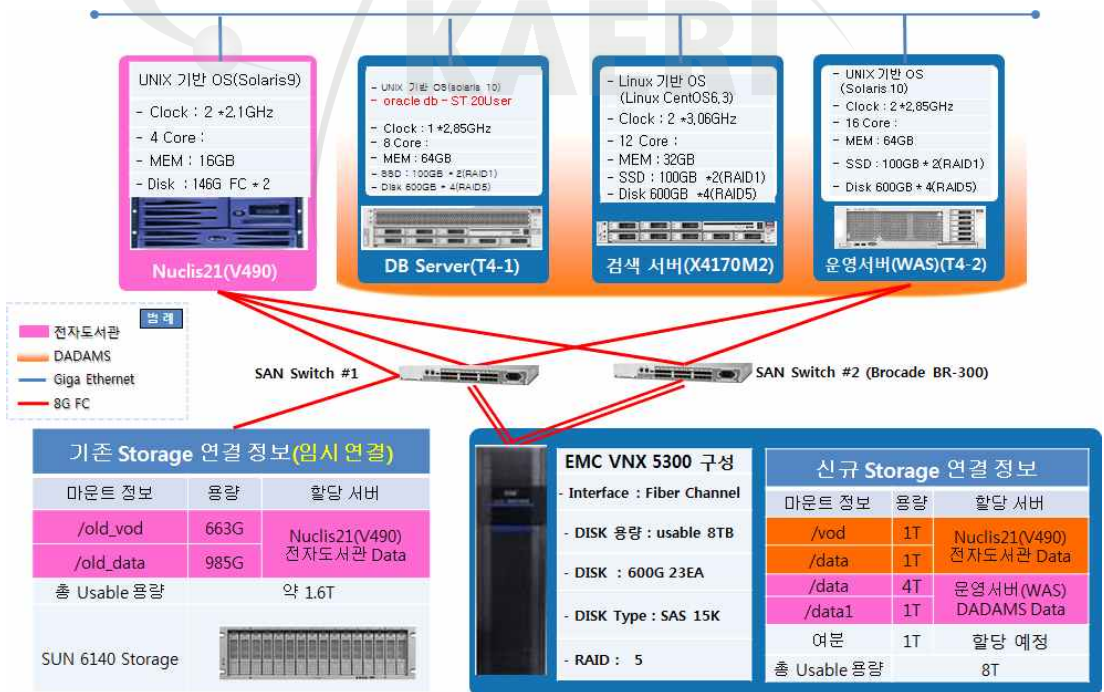
- 2012년 수행 연구기록물 ISMP 및 연구기록물DB 기구축 용량 참고하여 예측
- 데이터베이스의 저장 추이로 볼 때, 최소 5TB의 스토리지 저장공간이 필요함

2. 기존 스토리지 운영현황



<그림 4> 기존 스토리지 운영현황

3. 통합 스토리지 구축현황



<그림 5> 통합 스토리지 구축현황

4. 통합 스토리지 세부사양

<표 6> 통합 스토리지 세부사양

항목		상세 사양		
모델명		EMC VNX5300		
스토리지 아키텍처		Unified Storage 아키텍처		
파일 모듈	X-Blade 수와 프로세서 상세 스펙	1~2개	Xeon 5600 2.13GHz(Quad core)	
	메모리	6GB		
	PCI-e 슬롯	3개(2개는 네트워크 모듈 장착가능)		
	지원 가능 네트워크 모듈	- 4포트 1000 BaseT 모듈 - 2포트 Optic Gigabit 와 2 포트 1000 BaseT 모듈 - 2포트 10GbE 모듈 - Optic 모듈 - 2포트 10GbE 모듈 - Twinax 모듈		
블록 모듈	스토리지 프로세서	SP 수 / 프로세서 상세 스펙	2개 Xeon 5600 1.6GHz (Quad core) / SP	
	PCI-e 슬롯		4 (2/SP)	
	프런트 엔드	호스트 접속 방식 및 지원 포트 수	Fibre Channel (8G :FCAL/FCSW)	최대 16개 (8개/SP)
			FCoE	최대 4개 (2개/SP)
			10G iSCSI	최대 4개 (2개 /SP)
			1G iSCSI	최대 8개 (4개 /SP)
	캐시	용량 및 구성	최대 16GB	
FAST Cache		최대 400GB		
백엔드	디스크 접속 채널	4개 * 6Gbps(4Lane) SAS		
	용량 및 디스크 드라이브 수	최대 125개	최대 250TB (2TB 디스크 기준 물리 용량)	
	RAID 레벨		RAID 0, 1, 1/0, 3, 5, 6	
	디스크 드라이브	Flash Disk	100GB,200GB	
		SAS	3.5" (10K, 15K rpm)	300GB, 600GB Disk
			2.5"(10K rpm)	300GB, 600GB Disk
NL-SAS	3.5"(7,2k rpm)	2TB Disk		

5. 기대효과

- 가. 디스크 컨트롤러의 이중화로 데이터베이스의 안정적인 운영 가능
- 나. 디스크 확장성이 우수해 최대 250TB까지 데이터 관리 가능
- 다. 데이터 송수신 속도 향상

제 5장 연구기록물 수집, 정리 및 DB화

제1절 개요

1. 배경 및 필요성

- 가. 국가 원자력 기술 개발 50년의 축적된 지식의 자산화 및 지속적 활용 체계 구축 필요
- 나. 원자력 기술 개발/자립 주도 1세대의 세대교체로 인한 지식, 경험, 연구기록물 소실/단절에 적극적 대응 수단 필요
- 다. 퇴직예정자의 지식전수 및 연구기록물 관리체계 확보로 국가 원자력 연구개발 투자효과의 지속성 확보 필요
- 라. 연구원에서 생산한 다양한 연구기록물이 개별 과제 및 부서에 산재되어 보관 중이며, 이러한 기록물들이 과제가 종료되거나 담당자가 퇴직할 경우에 소실될 우려가 큼

2. 목표

- 가. 개별 과제 및 부서에서 분산 보관 중인 연구기록물의 보유현황을 파악하고, DB구축 우선순위를 고려하여 DB구축 대상 기록물을 선정
- 나. 연구개발과정에서 산출된 모든 형태의 연구기록물을 관리 및 검색할 수 있도록 수집, 정리, 분류, 변환하고, 필요한 메타데이터를 작성하여 등록
- 다. 향후 계속사업으로 진행될 디지털화 사업을 위한 DB구축 방향의 정의와 자료의 활용성 제고
- 라. 연구기록물의 디지털화로 연구정보의 공유 및 활용체계 구축

3. 내용 및 범위

- 가. 연구원에서 소장하고 있는 연구기록물 디지털화
- 나. 분야별 기술기록 데이터 구축

제2절 주요 내용

1. 연구기록물 디지털화

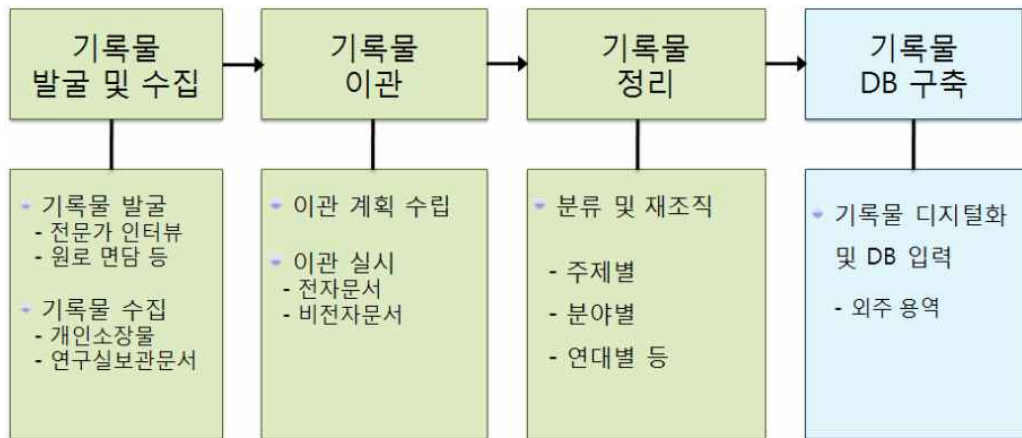
가. 대상 기록물 범위

연구기록물 중에서 역사적으로 보존가치가 있는 기록물을 선별하여 DB구축한다. 대상 기록물 범위는 다음과 같다.

- 해당 기술과 관련한 모든 기록물
- 실패한 경험담(Lesson&Learned) 혹은 보고서에 담기진 않았지만 유용성이 매우 높은 정보
- 연구보고서, 연구논문, 사료, 사진, 다큐물, 출판물 중 해당 내용
- 홍보 및 성과확산 자료(신문 및 방송자료, 성과전시기획물, 기획사진)
- 각종 보고자료(업무보고, 연보, 기획 및 진도보고 등)
- 전자도서관, ANSIM 등 기존 시스템에 등록된 자료는 제외(시스템 연계를 통해 구축)

나. DB구축 업무절차

- 기록물 발굴 및 수집
 - 전문가 인터뷰, 원로 면담 등을 통해 연구원 내 산재되어 있는 연구기록물을 발굴하고, 퇴직예정자의 개인소장물, 연구실 보관문서 등을 수집
- 기록물 이관
 - 이관 대상 기록물이 정해지면 이관 계획을 수립하고, 계획에 따라 전자/비전자문서에 대해 이관을 실시
- 기록물 정리
 - 기록물분류체계에 따라 기록물 정리
- 기록물 DB 구축
 - 기록물 디지털화(스캐닝·인코딩) 지침(국가기록원, 2004년) 준용



<그림 6> DB구축 업무절차

2. 분야별 기술기록 데이터 구축

가. 대상: 2014년 구축 23개 분야

나. 내용

- 분야별 보고서 편집 및 정비
- 분야별 기술기록 데이터 구축
- 기술기록 아이템별 속성정보(작성자, 감수자, 보안정책 등) 입력
- 참고문헌 및 관련 연구기록물 하이퍼링크 연결
- 기타 미비사항 보완

다. 방법

- 아래아한글 혹은 워드형태(hwp/doc)의 문서를 주관기관의 정형화된 HTML 형식으로 정보를 정리하여 DADAMS에 탑재

※ DB구축 사업의 모든 결과는 2014년도에 용역사업으로 수행한 「연구기록물 DB구축 사업」 완료보고서에 수록되어 있다.

제 6장 원자력 라키비움 구축

제1절 개요

1. 배경 및 필요성

- 가. 원자력 기술기록을 통한 지식경영으로 지식전수체계 확립 및 연구개발 기반강화 인프라 필요
- 나. 다양한 관리주체에 따라 원내에 분산되어 보관 중인 기록물을 한 곳에 일원화하여 체계적으로 종합관리 필요

2. 목표

- 가. 원자력 연구기술정보의 안전한 영구보존 및 효율적 관리를 위한 기록관 구축
- 나. 원자력 50년 역사가 담겨있는 주요 기록물의 활용 및 전시 공간 구축

3. 내용 및 범위

- 가. 기록관 공간 확보를 위한 기존 사무실 이전 및 정보과학동(도서관) 공간 재배치
- 나. 영구기록물(연구노트 등) 보관을 위한 기록1관 설치
- 다. 일반 연구기록물 보관을 위한 기록2관 및 기록열람실/작업실 설치
- 라. 기록전시활용실 및 기록관 부대시설(기록세미나실, 멀티미디어실 등) 설치

4. 추진 방향

- 가. 연구원의 역사와 전통이 살아 숨 쉬는 첨단 기록보존 공간 조성
- 나. 기록전시활용실, 기록정보서비스 데스크 등의 운영을 통한 지식전수 및 창의적 활용공간 제공
- 다. 기록관 설치관련법 및 IAEA Record Keeping Rule 준수

5. 기대효과

- 가. 원자력분야 핵심 정보자료 보유 및 국가원자력전문정보센터 역할의 지속적 수행
- 나. 법적 설치 기준을 충족하는 기록물 보관 공간 마련을 통한 영구적이고 안전한 기록물 보존 가능
- 다. 연구실에 산재되어 있는 기록물 이관을 통한 기록물의 통합 관리 및 연구실 공간 확보 효과
- 라. 기록전시 활용공간을 통한 연구원의 역사가 담겨있는 기록물의 홍보 효과
- 마. 연구기록물 관리 체계 구축 선진기관으로서 국가 연구기관의 연구기록물 관리 체계 선도

※ 원자력 라키비움 구축과 관련한 상세한 내용은 「원자력 라키비움 구축 기술 보고서」(KAERI/TR-5564/2014)에 수록되어 있다.



KAERI

제 7장 기타

공공기록물 관리에 관한 법률(이하 ‘공공기록물법’)에 의거 공공기관은 동 법에 따라 기록물을 생산·관리하는 의무를 부여 받고 있다. 우리 연구원도 <표 7>과 같이 동 법 시행령 제3조에서 규정하는 대통령이 정하는 기관에 속하게 되어 동 법에 따라 <표 8> 기록관리 업무 법정 필수 조건과 같이 기록물관리를 해야 한다.

<표 7> 대통령령으로 정하는 기관의 범위(시행령 제3조)

- 공공기관의 운영에 관한 법률 제4조에 따른 기관
 - * 공기업, 준정부기관, 기타공공기관(*우리연구원 포함)
- 지방공기업법에 다른 지방공사 및 지방공단
- 특별법에 의하여 설립된 기관
- 초·중·등교육법 및 고등교육법, 타 법률에 따라 설립된 각급 학교

<표 8> 기록물관리 업무 법정 필수 조건

- 기록물관리기관 설치(법 제3조 및 제13조)
 - 시설, 장비 및 전문인력을 갖춘 기록물관리업무 수행기관
- 기록물관리 제도 구축(법 제16조 및 지침)
 - 정부법규를 참고하여 기관실정에 맞게 기록물관리규정 정비
- 기록관리시스템 구축(법 제20조)
 - 기록관리시스템(Records Management System:RMS)
 - 기록물분류기준표를 탑재한 전자문서시스템(전자결재시스템)
- 기록물 보관시설 구축(법 제28조)
 - 법적 요건에 맞는 기록물보관시설(서고)
- 법 및 규정에 따른 기록물관리 (법 제19조 등)
 - 기록물 등록·정리·이관·보존·폐기, 기록물평가심의회 구성·운영 등

특히 우리연구원은 2012년도부터 공공기록물법에 의거 국가기록원의 직접관리기관으로 지정되어 <표 9>와 같이 의무가 부여되고 매년 평가를 받도록 되어 있다.

<표 9> 직접관리기관의 의무

- 기록물관리기준표 및 단위과제별 보존기간 국가기록원과 협의확정
- 기록물생산현황 국가기록원에 통보(매년8.31까지 전년도 실적)
- 기록관리 기관평가 수감(국가기록원장이 지정)

우리연구원은 그 동안 행정부 총무팀 문서관리에서 담당하고 있는 기록물관리 업무를 기술정보팀에서 인수하여 법적 요건을 충족하는 기록물관리를 목표로 하여 2014년에는 아래와 같이 준비를 하였다.

가. 기록물관리 관련 부서 협의

현재 기록물관리 관련 업무는 총무팀(문서관리), 정보통신팀(전자결재시스템 관리) 및 기술정보팀(연구기록물 관리)에서 나누어 관리하고 있어 아래와 같이 관리하기로 3 부서가 합의하여 각 부장의 동의를 얻었다

- 총무팀의 문서관리 업무 중 기록관리 부문은 기술정보팀으로 이관
- 정보통신팀 전자결재시스템 관리 중 전자문서 분류는 기술정보팀에서 수행하고 시스템관리는 정보통신팀에서 계속 관리(업무분장 변동 무)

나. 업무분장규정 개정(안) 수립 및 개정 요구

총무팀과 협의한 업무분장에 따라 업무분장규정안을 수립하여 각 부장의 협조를 얻어 기획부에 업무분장 개정안을 6.30에 제출하였으나 기획부에서 관련 규정 개정과 함께 부의할 것을 요구하며 반려되어 연말 12.15에 기록물관리규정 신설 및 문서관리규정 개정안과 함께 다시 요구하였다.

다. 기록물관리제도구축 용역 발주 및 수행

공공기록물법에 따라 기록관리 업무를 수행하기 위하여 기록물관리제도의 구축이 필연적이기 때문에 전문기관의 컨설팅을 받아 구축하기 위하여 아래와 같이 추진하였다.

- 사전조사(2-6월): 관련 회사 3곳 등
- 1차 발주(7.22, 29,954천원): 응찰자가 없고 향후 가능성도 없어 구매팀과 협의하여 폐안(8.26/구매팀)
- 2차 발주(8.29, 57,983천원): 2회에 걸쳐 응찰자가 1회사 밖에 없어

부득이 적격심사 후 수의계약 체결(10.22)

- 용역기간: 2014.11.1.-2015.1.30.
- 계약금액: 55,330천원
- 계약업체: 한국문헌정보기술(주)

상기 용역은 용역책임자가 기록관리학 박사 학위 소지자로 전문지식과 경험이 풍부하고 참여연구원들도 기록관리학 석사 이상의 전문지식을 가지고 있고 우리 연구원과 협의도 원활하게 하여 용역을 차질 없이 수행하였다. 특히, 우리연구원이 만든 기록물관리규정(안)을 미리 세밀히 검토하여 수정의견을 제시하여 동 안을 반영한 기록물관리규정(안)을 기획부에 제출하는데 기여하였다.

라. 기록물관리규정 등 제정(안) 수립 및 연심 의뢰

기술정보팀에서 만든 기록관리규정(안)을 한국문헌정보(주)에서 검토하여 의견을 제시하였으며, 기술정보팀은 동 의견을 검토하여 수정하기로 합의한 최종(안)을 수립하여 12.15에 기획부에 연심 상정을 의뢰하였다. 동 규정과 더불어 문서관리규정개정(안)도 행정부의 협조를 받아 확정하여 같은 날짜에 기획부에 연심 상정을 의뢰하였다.

마. 기타 업무 실적

- 2013년도 국가기록원 평가 수감
 - 평가결과: 라 등급(58.7점, 전년도 29.7점 보다 점수 향상)
- 국가기록원 사이버 기록관리기초과정 수강(10시간)

제 8장 결론

연구개발과정에서 발생하는 각종 연구개발 기록물은 연구원의 이익과 발전에 중요한 정보자원이며 중복연구방지 및 실현재현에 도움이 되는 물론 연구진실성 확보와 연구 윤리 확립에도 기여할 수 있을 뿐만 아니라 이는 증거적 권리 확보가 가능한 종합적 지식자원이며 새로운 정보가치 창출의 디딤돌이 될 수 있는 것이다. 따라서 연구개발 프로젝트의 전 주기에 걸쳐 생산·수집된 각종 기록물의 체계적인 조직 관리는 곧 지식자원의 관리인 것이며 지속가능한 기술전수시스템을 갖추게 되는 것이다.

이와 같은 기술기록 사업의 중요성과 그 시급성을 새롭게 인식하여 2011년부터 기관장의 절대적인 강력한 추진 의지와 함께 시범사업을 착수하게 되었으며, 본 사업 세 번째 해인 2014년의 주요 추진내용은 다음과 같다.

2013년 원자력기술 기록 사업의 안정적이고 지속적인 사업 추진을 위하여 ‘원자력기술 기록 사업 중기전략계획(2012-2016)’을 수립한 바 있으며, 이에 근거하여 기술적, 역사적 가치를 고려하여 원자력 핵심기술 35개 분야를 선정하였으며, 이중 23개 분야에 대해 분야별로 TOC(Table of Contents)를 작성하였다. 작성된 TOC의 각 아이템 단위로 해당분야에 대한 연구개발 과정뿐만 아니라 개발배경 및 성과에 이르기까지 전 과정을 기록하였으며, 기록한 내용에 대하여 관련 자료를 빠짐없이 첨부하여 기록들을 뒷받침하였다. 특히 연구를 진행하면서 겪은 문제 극복사례 및 향후방안(Lesson & Learned), 연구 노하우 등을 구체적으로 기술하였다. 이렇게 기술된 내용은 연구기록물 종합관리시스템(DADAMS)에 탑재하여 이용자에게 서비스하고 있다.

또한 연구원내 산재된 기록물을 발굴 및 재조직하고, 퇴직(예정) 연구원 보유 자료를 수집하여 데이터베이스로 구축하기 위한 기록대상 기록물 수집, 정리 및 DB화 작업도 지속적으로 수행하였다.

다양한 관리주체에 따라 원내에 분산되어 보관 중인 기록물을 한 곳에 일원화하여 체계적으로 종합관리하기 위한 원자력 라키비움을 기존 도서관 건물을 리모델링하여 구축하였다. 원자력 연구기술정보의 안전한 영구보존 및 효율적 관리를 위한 기록관과 원자력 50년 역사가 담겨있는 주요 기록물의 활용 및 전시 공간을 구축하였다.

금번 사업을 통하여 얻게 된 경험과 지식, 그리고 대두된 문제점과 선결요건 등은 향후 추진하게 될 다른 연구 분야에서 적용되고 개선되어 보다 효율적인

원자력기술 기록 사업 추진이 가능할 것이다. 또한 원자력 분야 전반에 걸쳐 그동안 연구원에서 개발한 전 분야로 기록이 확대되어 갈 것이다.

이와 같은 원자력기술 기록 사업 추진을 통해 국가 원자력기술 기록물의 종합적인 관리체계가 확립되어 나갈 것이며 원자력기술 기록물의 보존과 원자력 기술의 진보 및 발전에 토대를 마련하게 될 것이다. 또한 원자력기술 기록 사업에 의해 축적된 기록물은 원자력 지식경영의 중요한 지식정보자원으로서 원자력 연구원 세대 간의 경험과 지식의 효과적인 전수를 위한 주요한 수단이 될 것이다. 아울러 이와 같은 지식정보자원은 원자력 홍보 및 성과확산의 주요 정보자원으로 활용할 수 있을 것이다.



TRIGA MARK-II, III 건설

요약문

대한민국 최초의 연구용 원자로는 1959년 7월 14일 한국원자력연구소가 있던 서울특별시 노원구 공릉동(孔陵洞)에서 기공해 1962년 3월 첫 임계에 도달하면서 가동을 시작하였다. 이승만 대통령이 ‘장차 원자력연소는 훌륭한 Atomic Machine을 만들어야 합니다.’라는 의미가 있는 말로 미국 대사의 눈을 크게 뜨게 만들 정도로 정부의 원자력 기반기술 확보 의지로 TRIGA Mark-II 연구용 원자로가 운영되었고, 이를 기반으로 지금의 한국 원자력 산업 부흥기를 이룬 역할을 하였다

TRIGA는 ‘Training, Research, Isotope Production, General Atomic’의 머리글자를 딴 것으로 미국의 제너럴아토믹사(社)가 공급한 한국 최초의 연구용 원자로이다. 정식 명칭은 TRIGA II이다. 열출력은 처음에는 100kW였으나, 1979년에 250kW로 증강하였다. 원자력 관련 교육훈련, 중성자 빔을 이용한 물질 연구, 방사성동위원소 생산, 방사화 분석, 방사선 응용연구, 육종개량, 중성자 회절연구 등 원자력 이용기술 개발의 기반을 마련하는 데 주로 활용되었다.

1995년 4월 다목적 연구용 원자로인 하나로가 준공될 때까지 총 2만 6535시간의 노운전(爐運轉)을 기록하였다. 총 열출력은 373만 6000kW이다. 이 TRIGA Mark-II에 이어 등장한 연구용 원자로가 TRIGA Mark-III인데, 1969년 4월에 기공해 1972년 첫 임계에 도달하면서 가동을 시작하였다. 열출력은 2MW이다. 활용도는 TRIGA Mark-II와 같다.

TRIGA Mark-II는 1996년 5월에 가동이 중지된 뒤 7월에 폐지되었고, TRIGA Mark-III는 1996년 6월에 가동이 중지된 뒤 1998년 7월에 폐지되었다. 공릉동 옛 한국원자력연구소 부지에 기념관이 설립되었다.

본 보고서의 기술기록은 1차적으로 당시의 노심 콘크리트 차폐벽 건설보고서와 제어반의 유지보수 영문 메뉴얼을 번역하여 기록하였다. GA사가 제공한 원자로 시스템 관련 기술개발 보고서를 주로 기록하고자 하였으나, 이에 대한 자료

부족과 너무 오래된 개발내용을 추적하기에는 어려움이 있어 2차적으로 추가 보완하여 건설부분을 기록화에 기여하고자 한다.

목 차

제 1 장 TRIGA Mark 건설 역사 및 배경	1
제 1 절 최초 연구용 원자로 건설 및 배경	1
1. TRIGA Mark-II 건설 및 운영, 해체	3
2. TRIGA Mark-III 건설 및 운영, 해체	13
제 2 장 TRIGA Mark-II, III 건설	18
제 1 절 TRIGA Mark-II 건설	18
1. 노심 차폐벽 지반공사	18
2. 콘크리트 공사	19
3. 금속공사	29
4. 배관공사	34
5. 내벽과 코팅 공사	35
6. 그 외 작업	38
7. 전기 원치방식의 문	39
8. 전기공사	41
제 2 절 TRIGA Mark-III 건설	42
1. 노심 차폐벽 콘크리트 공사	42
2. 금속공사 및 배관공사	48
3. 조사실 문 공사	54
4. 전기공사	57
5. 그 외 작업	60
제 3 장 TRIGA Mark의 주요 시스템	63
제 1 절 TRIGA Mark-II 주요 시스템	63
1. 서론	63
2. 장치 설명	66
3. UNIT 1A 계수율 전치 증폭기	68
4. UNIT 1B 대수율 측정 채널	69

5. UNIT 2A 주기 회로	78
6. UNIT 2B 이온 전리함 파워 서플라이	80
7. UNIT 3 제어 유닛	81
8. UNIT 4A 조절봉 구동 서보	88
9. UNIT 4B 백분율 출력 채널	95
10. UNIT 5A 방사선 감시기와 수온 브릿지	96
11. UNIT 5B 냉각수 전도도 회로	98
12. UNIT 6A 대수 기록계 입력 프레임	100
13. UNIT 6B 선형 출력 기록계 입력 프레임	103
14. UNIT 7 인터 프레임 재선 벨트	105
15. UNIT 8 이온 전리함과 조립 부품의 설치	105
16. UNIT 9 봉 구동 장치	108
17. UNIT 10 냉각 시스템	115
18. UNIT 11 시료 픽업 어셈블리	117
19. UNIT 12 압축공기 전달 시스템	117
제 2 절 TRIGA Mark-III 주요 시스템	119
1. 서론	119
2. 중앙 제어 콘솔	119
3. 좌측 제어 콘솔	127
4. 우측 제어 콘솔	159
5. 쌍안정 트립 MODEL NT-4	173
6. 주기 모듈 MODEL NR-4	174
7. 안전 채널	180
8. 고전압 파워 서플라이 MODEL HV-6	186
제 4 장 중성자 빔 이용 물성연구	188
제 1 절 연구용 원자로별 빔 이용 연구	188
1. TRIGA Mark-II 빔 이용 연구	188
2. TRIGA Mark-III 빔 이용 연구	188
제 2 절 연구 분야별 빔 이용	189
1. 물리학	189
2. 화학	189
3. 생물학	189
4. 원자로 공학	190
5. 전기공학	190

6. 보건물리학	190
7. 의학	190
8. 농학	191
제 5 장 TRIGA Mark 건설 도면	192
제 1 절 TRIGA Mark-II 건설 도면	192
제 2 절 TRIGA Mark-III 건설 도면	196



압력기기재료 건전성

요약문

원자로압력용기와 배관을 비롯한 일차 압력경계기기는 고온고압의 방사성 냉각재가 외부환경으로 누출되는 것을 방지하는 구조적 안전성을 제공한다. 특히 원자로용기는 40년 이상의 운영기간중 교체가 현실적으로 불가능하기 때문에, 시간에 따른 재질의 변화를 고려하면서도, 정상 및 비정상 가압 상황에서 압력기기의 건전성을 신뢰할 수 있도록 해당 기술 및 검증 데이터베이스를 개발하는 업무는 원전의 안전 운영을 위해서 필수적이다. 우리 연구원은 1960년대와 70년대 고체물리 분야의 기초연구로부터 시작하여 80년대 초부터는 국내 원자력발전소의 가동과 함께 원자력 압력기기재료의 건전성 증진을 위한 연구개발이 진행되었다. 특히 원자력 기반기술이 일천하던 시절에 국내 원자로용기의 조사취화 건전성 시험평가 기술을 자립하기 위해 많은 노력을 경주하였다. 1993년도부터는 정부의 원자력연구개발 중장기 지원사업에 힘입어, 약 10년간에 걸쳐 우리 연구원의 압력기기재료 건전성 평가분야 기술력이 선진국 수준으로 올라설 수 있는 과학기술적 기틀을 마련할 수 있었다. 이렇게 축적된 원자력재료 건전성 핵심기술을 통해 고리1호기의 제1차 계속운전 성공, 한국형 표준원전의 주배관 파단전 누설(LBB) 설계적용 성공 등 국가의 원자력에너지 공급 안정화에 지대한 기여를 할 수 있었다. 이후 지속적인 연구개발 투자를 통해 보다 성능이 우수한 차세대 용 압력용기강의 개발 및 비상사고 상황에서도 압력용기의 건전성 신뢰도를 향상시킬 수 있는 진보된 기술들이 개발되고 있다.

본 보고서에서는 1980년 이후로 원자력 압력기기의 재료건전성 평가 및 향상을 위해 추진되어온 연구개발 내용들을 시대별 혹은 주제별로 요약하여, 향후 연구개발에서도 직면할 수 있는 기술적/사회적 상황들에 효과적으로 대처할 수 있는 관련 경험들을 공유하고자 하였다. 직접적인 연구개발 내용이외에도 연구과제의 도출이나 수행과정에서 벌어진 여러 상황적 내용들을 포함하려 노력하였다. 특히 1980년 이전의 오래된 기록과 기억들을 찾아내어 더 늦기 전에 일부라도 기록화할 수 있었던 것은 정말 다행스러운 일이다. 과거의 기술기록을 요약한 본 보고서가 현재와 미래에 보다 효과적인 연구개발을 위한 초석이 될 수 있기를

바라며, 수년 후에는 더욱 풍성한 연구성과가 기록화 될 수 있도록 관련 연구자들이 더욱 분발할 수 있는 계기가 되기를 바란다.

목 차

제 1 장	압력기기재료 건전성 분야의 기술개발 배경 및 변천사	1
제 1 절	기술개발 배경, 의의 및 범위	1
제 2 절	기술개발 변천사	8
1.	1980년대 초반까지 압력기기재료 연구의 태동기	8
2.	국내 최초의 감시시험 (미국 SWRI) 수행 상황 및 국산화 과정	12
3.	1990년대 초 중장기연구 착수 이전 압력기기재료 연구	16
4.	1993년 중장기 원자력연구개발사업의 착수	21
5.	표준원전의 압력용기 국산화와 LBB 특성 평가	28
6.	고리1호기 원자로압력용기 건전성평가와 계속운전	31
제 2 장	압력기기재료 건전성 평가 및 확보 관련 연구	35
제 1 절	건전성 시험, 평가, 해석 및 예측기술 개발	35
1.	기술개발 배경	35
2.	건전성평가를 위한 탄소성 파괴역학 시험 및 해석기술	39
3.	미소 및 소형시편을 이용한 기계적, 파괴적 특성 시험 평가기술	44
4.	마스터커브 파괴인성 시험기술 및 파괴인성 천이특성 정량화기술	56
제 2 절	원자로 압력용기 건전성 확보연구	69
1.	기술개발 배경	69
2.	조사취화 특성 평가 및 조사효과 분석기술	72
3.	압력용기재료의 저인성 및 가압열충격 건전성 확보 기술	79
4.	압력용기의 파괴거동 정밀평가 및 예측기술	84
5.	장기 가동 원전의 조사취화 안전여유도 검증기술	89
제 3 절	원자력 배관 및 관통관 건전성 확보연구	97
1.	기술개발배경	97
2.	파단전누설 설계 적용을 위한 고온 파괴저항성 (J-R) 평가기술	99
3.	가압기 밀림관의 열피로 균열성장특성 평가기술	102
4.	압력용기 관통관의 이중금속 용접부 특성평가기술 개발	105
5.	주조 스테인리스강 부품의 열취화 평가기술	110

제 3 장	압력기기재료 건전성 향상연구	113
제 1 절	고강도 고인성 원자로 압력용기재료 개발	113
1.	기술개발 배경	113
2.	이상영역열처리 등을 통한 재질개선	119
3.	원자로용기강 고강도 고인성화 기반기술	124
4.	고강도 고인성 원자로용기강 SA508 Gr.4N 재료 개발	130
5.	RPV강 물성자료 생산/체계화 및 d-base 구축	145
제 2 절	배관 및 노내구조물 재료에서의 재질개선	150
1.	기술개발배경	150
2.	원자로 배관용 고강도, 고인성 스테인리스강 개발	153
3.	미래 원자력시스템용 고온 고강도 스테인리스강 개발	158
4.	미래 원자력시스템용 FM강 개발	160
제 4 장	압력기기 건전성 관련기술의 현장적용	163
제 1 절	경수로 압력용기재료 감시시험	163
1.	원자로 압력용기 감시시험 배경	163
2.	감시시험 현황 및 결과	164
3.	노외 중성자 감시자 설치	167
4.	원자로감시기술(주) 창업	169
5.	향후 전망	169
제 2 절	고리1호기 원자로용기 건전성 및 계속운전 안전성 평가	171
1.	개요 및 배경	171
2.	감시시험 수행 및 대체감시자 기술개발	173
3.	원자로용기 저인성 문제에 대한 건전성 평가	174
4.	가압열충격 안전성 평가	176
5.	고리1호기 원자로용기 조사취화 건전성 평가 약사	178
6.	계속운전에 대한 지역주민의 염려 및 반핵단체의 반대 여론	180
7.	고리1호기 계속운전 현안에 대한 우리 연구원의 입장 및 향후 전망	182
제 3 절	국산 원자로용기재료 시제품(core shell) 특성 검증평가	183
제 4 절	국산 원자로용기재료 조사취화 특성 종합평가, 검증	187
제 5 절	국내 제조 원자로용기재료에 대한 Baseline Tests	194
제 6 절	배관 및 밀림관 파단전누설 설계 적용을 위한 고온 J-R 특성시험 ..	198
제 7 절	기타 수탁과제 등 기술지원	200
1.	개괄	200
2.	한수원의 원전가동 중 발생한 기술현안에 대한 원인분석 해결	200
3.	원전배관 및 원자로용기 재료의 파괴저항 특성 평가	201

4. 원전 압력기기재료의 품질특성 향상 및 개선 연구	201
5. 국산 원자로 압력용기 재료의 중성자 조사취화 평가	202
6. 가동원전의 조사취화 안전성 및 수명관리	203
7. 기타 타 산업체 지원	203
8. 외국기관의 기술지원	204
제 8 절 연구협력 활동 (연구회, 협의회, 학회 등)	205
1. 경년열화 및 수명평가연구회	205
2. 대한기계학회 보일러 및 압력용기 위원회	205
3. 대한금속.재료학회 재료강도분과위원회 및 대한금속.재료학회	206
4. 한국압력기기공학회(KPVP)	206
5. 원자력발전소 수명연구회	207
6. 원전재료손상 연구회 (NUMADER GROUP (Nuclear Materials Degradation Research Group))	208
7. 원자력 부품소재 신뢰성 평가 협의회 (NUMARA)	208
8. KINS-KAERI 연구 협의회	209
9. PRIMA-Net (Proactive Research and Innovative Materials Aging NETwork, 원전재료열화연구협의회)	210
제 5 장 요약 및 결론	213
부 록 1980년~2014년 기간동안 주요 연구실적 목록	216
A1. 기간별 연구개발 참여자 명단 (내부 직원)	217
A2. 인력양성 (석사/박사 학위 지도, 석사후/박사후 연수생)	218
A3. 국내외 위탁과제 협력	219
A4. 주요 연구개발 수행과제 및 보고서 (KAERI/RR)	221
A5. 산업체 기술지원 보고서 (KAERI/CR)	222
A6. 기술보고서 발간 (KAERI/TR, KAERI/AR)	223
A7. 국외 학술지 게재 논문	224
A8. 국내 학술지 게재 논문	229
A9. 지식재산권 등록	232

조사손상 및 조사효과 연구

요약문

원자력재료와 관련한 연구에서 조사손상 또는 조사효과와 관련한 연구는 원자력연구원의 역사와 같이 오래되어 많은 자료가 있겠으나, 독립적으로 조사손상연구라는 분야가 생기기 전에는 일반 연구과제 내용에 포함되어 구분이 되지 않는다. 그러한 자료까지 검색하기는 현재 자료관리 상태로는 곤란하다. 도서관의 보고서를 검색하면 1970년대에도 일부 조사손상이라는 용어는 사용하지 않았지만 관련 자료가 나타난다. 체계적인 자료는 원자력압력용기 감시시험과 관련된 자료에서부터 출발한다고 볼 수 있다. 대부분의 자료는 보고서와 논문으로 남아 있어서 도서관을 이용하면 자료 검색이 되지만, 실험장치를 개발하였거나 등록하지 않은 컴퓨터 프로그램, 과거 행정문서 같은 자료는 개인이 소장하고 있는 것이 많다. 거의 모든 내용을 보고서로 작성하면 가능한 것이지만, 연구부서의 경우 보고서에 대하여 실적자료 인정이 미급하기 때문에 관리가 제대로 되고 있지 않다.

조사손상 및 조사효과와 관련연구는 2002년 원자력연구개발 중장기계획사업에서 독립된 과제의 형태로 출발하여 다른 연구내용과 구분하여 관리됨으로써 검색이 용이할 것이다. 조사손상연구는 원자력재료에서 항상 고려하여야 할 분야이기 때문에, 시기에 따라서는 중단될 수 있겠지만, 원자력연구가 지속되는 한은 항상 연구가 수행될 분야이다. 따라서 지속적으로 자료가 발생할 것이므로 특별한 별도 관리체계가 있으면 활용가능성이 매우 높다. 실험과 관련되어 논문에는 언급되지 않으나, 보고서 내용으로는 적합한데도 불구하고 보고서화 하지 않은 내용중에는 매우 중요한 것이 있을 수 있다. 이러한 자료들이 구체화 되고 보관 관리될 수 있어야 기록 관리에 의미를 둘 수 있을 것이다.

본 보고내용에는 가능하면 그러한 기록들에 관련된 정보를 알 수 있도록 신경을 쓰기는 하였으나, 부족한 점이 많다. 일단 자료의 존재 여부를 확인하려면 관련 보고서를 검토한 후, 연구 참여자 중심으로 확인함이 가장 빠른 길로 생각된다. 외국에서 귀중한 자료를 단독으로 입수하였지만 본인 이외에는 관심을 기울이지 않는 가운데 본인만 보관하고 있는 자료도 있기 때문이다. 예를 들면, 조사

결합의 TEM 이미지 전산모사 프로그램이 그러하다. 그리고 실험장비의 사용절차 매뉴얼은 실험장비가 있더라도 사용법에 관한 자료를 찾지 못하면 사용할 수 없는 경우가 많기 때문에 관리의 필요성이 있다.

작성순서는, 제1장에서 그동안 연구를 단계별로 구분하여 보았으며, 제2장에서는 실험적으로 조사손상을 평가한 각종 측정법에 대하여, 제3장은 전산모사 방법에 의한 연구, 제4장에서 이 두 방법을 사용하여 실제 조사손상을 평가한 내용, 제5장에서는 향후 연구의 추진 방향에 관하여 기술하였다.

목 차

제 1 장 조사손상 및 조사효과 연구 개요	1
제 1 절 조사손상연구 배경 및 의의	1
제 2 절 단계별 연구개발	4
1. 1980년 이전	4
2. 1980년대 - 1990년대(~ 2002.3)	6
3. 조사손상연구 기반구축 단계 (2002.4~2005.3)	7
4. 기반기술 개발 단계 (2005.4~2007.2)	17
5. 압력용기강 조사손상 평가	19
6. 노내구조재료의 조사손상 평가	22
제 2 장 조사손상평가 측정 연구	24
제 1 절 이온조사기술	24
제 2 절 기계적 특성시험에 의한 조사손상 평가	25
1. 경도측정에 의한 조사경화 평가	25
2. 소형 펀치시험(Small Punch Test: SP) 에 의한 양성자 조사효과 평가	27
3. 나노 압입시험을 이용한 조사재 특성 평가	28
제 3 절 투과전자현미경에 의한 분석기술	33
1. 연구 추진 배경	33
2. 주요 연구 내용	37
제 4 절 양전자 소멸수명 측정에 의한 조사손상 평가기술	62
1. 배경	62
2. 양전자소멸 측정 이론	63
3. 양전자 소멸 측정 시스템	64
4. 양전자 소멸장치 활용	69

제 5 절 소각중성자산란(SANS)에 의한 조사손상 평가 기술	74
1. 개요	74
2. 조사결합 해석에 있어서 중성자 산란(SANS)기술의 적용	75
3. SANS를 이용한 원자로 재료의 조사결합 측정	77
4. SANS 를 이용한 조사결합 측정 절차	79
5. SANS 를 이용한 조사손상기구 연구	86
6. 결론 및 전망	87
제 6 절 중성자 도시메트리 기술개발	88
1. 중성자 도시메트리 기술개발의 배경 및 의의	88
2. 중성자 도시메트리의 내용 및 전망	91
제 3 장 전산모사에 의한 조사손상 평가	98
제 1 절 다중스케일 전산모사에 의한 조사효과 예측	98
1. 배경	98
2. 조사효과 다중스케일 (multi-scale) 모델링	99
3. 중성자 조사효과 전산모사	100
4. SPECTER 전산코드	102
5. 중성자 조사손상 연구의 방향	103
제 2 절 분자동력학에 의한 전산모사	105
1. 배경	105
2. 분자동력학 코드 MOLDY	106
3. 초기손상 전산모사	108
4. 분자동력학 계산결과의 활용	110
제 3 절 Kinetic Monte Carlo(KMC) 및 반응속도론적 방법에 의한 전산모사	115
1. Kinetic Monte Carlo (KMC)	115
2. 반응속도론 (Rate Theory)	119
제 4 절 전위동력학 전산모사	123
1. 연구 추진 배경	123
2. 주요 연구 내용	125
제 4 장 조사손상평가기술의 활용 연구	133
제 1 절 원자로압력용기 감시시험	133
1. 원자로압력용기 재료 감시시험	133
2. 대체감시자 및 조사량 평가	137
제 2 절 원자로구조재료의 조사손상 평가	139

1. Fe-Cu합금의 조사손상평가	139
2. 압력력용기강 열처리 회복 효과	145
3. 스텐레스강의 조사손상평가	148
4. 국제협력연구	156
제 5 장 향후 추진계획	164
제 1 절 조사손상 평가기술 분야	164
제 2 절 조사손상 전산모사 분야	164



부식 평가 및 수화학 기술

요약문

국내 원자력발전소는 1978년 4월에 상업적 가동을 시작한 고리 1호기를 필두로 하여 1980년대 8기, 1990년대 9기 등 대부분 2000년 이전에 건설 및 가동이 이루어졌다. 따라서 가동 원자력발전소 주요 설비 및 부품소재에 대한 가동환경에서의 부식 및 수화학 관련 연구도 1980년대 초에 한국원자력연구원을 중심으로 시작되었다. 국내 최초 가동원전인 고리 1호기의 경우, 1985년에 증기발생기 전열관이 손상되어 1차 계통 냉각수가 2차 계통으로 누설되는 문제가 발생되었다. 손상 원인의 분석 결과 복수기에서 해수가 누설되고 증기발생기로 염소이온 등이 유입되어 전열관 2차측으로부터 pitting으로 인한 손상이 발생된 것으로 판명되었다. 이에 따라 원전 가동환경에서의 Alloy 600 전열관 재료에 대한 공식 민감성 평가기술 개발을 시작으로 원전 설비 및 부품소재에 대한 부식 연구가 본격적으로 이루어지게 되었다. 한국원자력연구원은 1987년 부식공학연구실이 신설된 이래 세계 최고 수준의 기술개발을 근간으로 하여 그 동안 국내 가동 원자력발전소의 설비 및 부품에서 발생한 다양한 부식손상에 대한 검사 및 분석을 통하여 손상원인을 규명하고 대책을 수립하는데 주도적인 역할을 하였고, 이를 통하여 국내 가동원전의 가동률 세계 1위를 유지하는데 많은 기여를 하였다. 이와 더불어 현재는 취약한 부품에 대한 손상억제 또는 방지기술 개발하여 가동원전의 안전성을 확보하고 가동률을 한층 더 향상시켜 세계에서 가장 원전을 효율적이고 안전하게 운용하는 국가 중 하나로 자리매김하는데 핵심 역할을 하고 있으며, 국내에서 가동이 오래된 원전의 수명 연장을 위한 손상예측과 장수명 가동관련기술 개발에 박차를 가하고 있다. 현재의 한국원자력연구원이 보유한 가동원전 주요 부품 부식관리기술은 세계 선진기술과 동등한 수준이며, 이에 걸맞게 미국 EPRI를 비롯한 세계 관련 전문기관과의 공동연구를 활발하게 수행하고 있을 뿐만 아니라 한국에서 최초로 수출한 원자력발전소의 사후관리에도 직접적인 기술이전을 통하여 참여할 수 있는 수준에 이르게 되었다.

목 차

제 1 장	가동원전 주요 부품 부식관리기술의 역사 및 배경	1
제 1 절	기술개발 배경 및 의의	1
제 2 절	기술개발 변천사	2
제 2 장	국외 원전 주요 부품 재료열화 현황	8
제 1 절	국외 증기발생기 전열관 부식 및 균열	8
제 2 절	국외 Alloy 600 이중용접부 부식균열	12
제 3 절	국외 2차 계통 배관 부식	16
제 3 장	국내 원전 주요 부품 재료열화 현황	21
제 1 절	국내 증기발생기 전열관 부식 및 균열	21
제 2 절	국내 Alloy 600 이중용접부 부식균열	27
제 3 절	국내 2차 계통 배관 부식	32
제 4 장	부식관리 연구 기반기술	36
제 1 절	미세조직 분석 기술	36
제 2 절	가동원전 부품 부식균열 평가 기술	41
제 3 절	1, 2차 계통수 모사 시험장치 운영기술	46
제 4 절	배관부식 시험장치 설계 제작 기술	52
제 5 절	잔류 변형량 분석 기술	56
제 6 절	중저준위 방사능 시편 분석시설 구축	61
제 5 장	부식균열 평가 신기술 개발	65
제 1 절	균열 개시 및 전파평가 기술	65
제 2 절	부식억제제 개발 기술	75
제 3 절	전열관 보수도금 기술	84
제 4 절	증기발생기 전열관 결함 제작 기술	94
제 5 절	배관 누설 및 파열거동 평가기술	105
제 6 절	배관 균열 보수 기술(레이저 피닝)	114
제 7 절	부식 손상부 분석기술	126
제 8 절	원자로 내부구조물 균열평가 기술	135
제 9 절	2차측 배관 부식 평가기술	144

제 6 장	부식균열 평가 신기술 개발 국내외 협력	152
제 1 절	국제공동연구 프로그램	152
제 2 절	국내 재료부식 평가연구 활동	162
제 7 장	수화학 기술개발 변천사	175
제 1 절	태동기 (1979-1990)	175
제 2 절	발전기 (1991-2000)	176
제 3 절	성숙기 (2001-현재)	177
제 8 장	원전 재료 손상평가 핵심기술 개발	179
제 1 절	증기발생기 전열관 손상 평가기술	179
제 2 절	CRDM 응력부식균열 평가기술	184
제 3 절	복수기 전열관 수소취화 평가기술	186
제 4 절	터빈 건전성 평가기술	187
제 5 절	2차계통 배관감육 평가기술	189
제 9 장	원전 계통수화학 기반연구	207
제 1 절	1차계통 수화학 기반기술 연구	207
제 2 절	2차계통 수화학 기반기술 연구	209
제 10 장	수화학 응용기술 개발	212
제 1 절	증기발생기 화학세정기술	212
제 2 절	증기발생기 인출 전열관 손상원인 규명기술	215
제 3 절	고온고압 기준전극	218
제 11 장	재료열화 완화 신기술 개발	227
제 1 절	금속이온 용출 완화기술	227
제 2 절	크러드 억제기술	235
제 3 절	덴팅 원천 방지기술	243

제 12 장	국내 및 국제협력	246
제 1 절	원전 수화학 및 부식 워크숍	246
제 2 절	국제 수화학 컨퍼런스	249
제 13 장	기타 사항	267
제 1 절	실험 시 주의사항	267
제 2 절	관련 수행과제	268



재료손상 진단 및 비파괴 연구

요약문

재료 손상진단 연구 분야 : 원전 구조재료의 건전성 평가와 교체/보수 등의 판단근거를 제공하는 중요한 역할을 담당하고 있는 가동전·중 비파괴검사 등 진단기술 분야에 있어서 가장 큰 문제점은 결함의 정밀탐지 능력과 신호평가/해석에 불확실성이 크고 또한 손상원인 규명의 기술력이 떨어진다는 점이다. 이러한 한계를 극복할 수 있는 국내 고유의 혁신기술 개발을 목적으로, 원전 1차측 냉각재와 압력경계를 이루는 접촉 면적이 가장 크고 설계구조 및 가동 환경이 복잡하여 부식 및 균열, 마모, 피로 등 다양한 유형의 손상에 취약하여 건전성 확보가 가장 강조되는 핵심기기인 증기발생기를 대상으로 재료손상 평가 및 비파괴 전문 기술을 융합한 손상 정밀진단 및 제어 기술개발 연구를 1999 년에 착수하였으며 현재까지 수행된 주요 내용 및 성과를 본 보고서에 정리, 기술하였다.

비파괴 연구 분야 : 원자력발전소 안전에 필수적이며 운전 인허가 법적 조건의 하나인 원자력발전소 가동중검사 기술 개발의 역사, 연구원에서 선진 기술을 도입하여 국산화하는 과정과 1990 년대 후반에 기술 국산화를 완료하고 선진국에 역수출 및 가동중검사 사업을 민간에 이관하는 과정을 기록하였다. 아울러 사업 이관 후에 원자력발전소 가동중검사 기술의 신뢰도 향상을 위한 기량검증제도 및 가동중검사와 연계된 연구개발 방안에 대해서도 기술하였다. 마지막으로 유도 초음파, 비선형 초음파, 초음파 공명분광 등 음향원리를 이용한 비파괴 검사기술과 펄스와전류 및 자기특성 등 전자기 원리를 이용한 비파괴 검사기술, 그리고 증성자 도시메트리 기술 등 현재까지 수행된 연구개발 내용의 기술적 배경과 주요 결과를 기술하였다.

목 차

제 1 장 증기발생기 손상 정밀진단 기술개발 역사	1
제 1 절 정밀진단 기술개발의 필연성과 도전	1

1. 정밀진단기술의 정의	1
2. 정밀진단기술의 출발	1
3. 원전사업 유관분야에 대한 파급효과	2
제 2 절 단계별 기술개발 역사	2
1. 자연결합 제조기술(1999~2001)	2
2. 정밀진단 고유기술 정립(2002~2006)	5
3. 증기발생기 손상제어 핵심기술(2007~2012)	7
제 2 장 증기발생기 전열관 와전류 신호 정밀분석	10
제 1 절 와전류 검사 일반	10
1. 와전류 검사 원리	10
2. 와전류 검사 이용 및 장단점	15
3. 와전류 검사 규격 및 절차서	16
4. 와전류 검사 코일	17
5. 보정표준시험편	19
6. 시험주파수 선택	22
7. 주파수 Mixing 원리	23
제 2 절 국내 가동원전 와전류 검사자료 정밀분석 결과	23
1. 증기발생기 관판상부 제작 관련 문제점 발생 사례	23
2. 증기발생기 전열관 근접에 의한 가동중 균열손상	26
3. 증기발생기 전열관 관판상부 체적성 결함	27
4. 증기발생기 전열관 관지지대 위치 체적성 결함	28
5. 전열관 밀봉 용접부 끝단 원주방향 균열	30
6. 와전류 검사 신호품질 문제점	33
제 3 장 전열관 형상/결합 동시진단 신기술(D-Probe) 개발	37
제 1 절 형상/결합 동시진단 신기술 개발 추진 배경	37
제 2 절 P-Probe 기술 개발	38
1. 탐촉자 설계 및 제작	38
2. 레이저 검사장치 도입 및 성능시험	41
3. 보정용 표준시험편 제작 및 신호처리 기법	43
4. 확관부 형상측정 결과	46
5. 가동원전 시범적용 결과	48
제 3 절 D-Probe 기술 개발	49
1. 탐촉자 최적화 설계 및 제작	49
2. 평가용 프로그램 개발	52

3. 가동/제작 원전 대상 시범적용 및 현안해결	55
제 4 절 전열관 와전류 신호 변환 및 형상 시각화 프로그램 개발	64
1. 연구추진 배경	64
2. 연구 주요 전략	66
3. 주요 연구 내용	67
4. 연구 성과 및 활용	81
제 5 절 후속연구 현황 및 향후 추진계획	82
제 4 장 증기발생기 취약구조 개량 기술개발	85
제 1 절 표준형 원전 증기발생기 구조 취약성	85
1. 마모손상 가속 원인분석	85
2. 전열관간 근접 취약구조 분석	89
제 2 절 표준형 원전 증기발생기 상부구조 개량	92
1. 상부구조 개량 설계	92
2. 개량설계 반영 상부구조물 모형 제작	94
제 5 장 원전 가동중검사/비파괴검사 기술개발 역사 및 배경	96
제 1 절 기술개발 배경 및 의의	96
1. 원전 가동중중검사 기술 정의	96
2. 기술개발 배경	100
3. 기술개발 추진 전략	101
제 2 절 기술개발 변천사	102
1. 기술 도입 단계 (1979~1986)	102
2. 핵심 기술 자립 단계 (1987~1997)	105
3. 기술 고도화 단계 (1997~2007)	107
제 6 장 초음파 비파괴검사기술 개발	118
제 1 절 유도초음파 검사기술	118
1. 연구 추진 배경	118
2. 연구 주요 이슈	119
3. 연구 추진 전략	122
4. 주요 연구 내용	123
제 2 절 초음파공명분광 기술	126
1. 연구 추진 배경	126
2. 연구 주요 이슈	127
3. 연구 추진 전략	128

4. 주요 연구 내용	130
제 3 절 비선형초음파 진단기술	131
1. 연구 추진 배경	131
2. 연구 주요 이슈	133
3. 연구 추진 전략	135
4. 주요 연구 내용	137
제 7 장 펄스 와전류 검사 기술 개발	139
제 1 절 펄스 와전류 기술의 소개	139
1. 펄스와전류 기술의 개요	139
2. 펄스와전류 기술의 구성	140
제 2 절 펄스와전류 기술의 적용	141
1. 연구추진 배경	141
2. 펄스와전류 연구내용	143
3. 펄스와전류 장치	143
4. 펄스와전류 신호의 탐지	145
5. 펄스와전류 신호해석	148
제 3 절 펄스와전류를 이용한 보온재 비해체 배관감육 평가 기술	149
1. 장치제작	149
2. 탐촉자 제작	151
제 4 절 결 론	151
제 8 장 중성자 도시메트리 기술개발	152
제 1 절 중성자 도시메트리 기술개발의 배경 및 의의	152
1. 중성자 도시메트리 기술의 개요	153
2. 중성자 도시메트리 기술의 중요성	153
3. 중성자 도시메트리 기술의 구성	155
제 2 절 중성자 도시메트리의 내용 및 전망	155
1. 중성자도시메터 재료	155
2. 중성자조사량 평가	157
3. 중성자 spectrum 결정방법	159
4. 중성자 도시메트리의 향후 전망	161
제 9 장 원자로 압력용기 재료열화 비파괴 방법 개발	162
제 1 절 비파괴 방법을 이용한 재료열화 평가기술의 의의	162
1. 재료열화 비파괴 평가방법의 개요	162
2. 조사취화 비파괴 평가방법	162

3. 재료열화 비파괴 평가방법의 해외 동향	163
제 2 절 자기적 방법을 이용한 재료열화 비파괴 방법 국제공동연구	164
1. 연구 추진배경	164
2. 연구 주요 이슈	164
3. 연구 경과 및 현재 상황	166
제 3 절 재료열화 비파괴 평가법의 주요 연구내용 및 향후 전망	167
1. Magnetic Barkhausen Noise 를 이용한 재료열화 평가시 주의점	167
2. 자기이력곡선을 이용한 재료열화 평가시 주의점	168
3. 자기적 방법 이용 재료열화 비파괴 평가방법의 향후 전망	170



원자로 노심/핵연료 열수력 실험

요약문

원자로 노심과 핵연료의 신뢰성과 안전성은 원자력발전소의 인허가 획득 과정에서 가장 중요한 변수 중의 하나이다. 원자력 선진국들은 원자로를 개발하는 과정에서 원자로 노심에 대한 성능과 안전성 실증 실험들을 꾸준히 수행하여 왔다. 특히 열적 성능이 강화된 개량형 핵연료들이 새롭게 개발되면서 인허가에 필요한 기계 구조 시험뿐만 아니라 임계열유속 실험 등을 수행하여 원자로 노심과 핵연료의 성능 개선하고, 안전성을 향상시키고 있다. 성능이 향상된 개량형 핵연료를 원자로에 장전하기 위해서는 핵연료집합체의 열수력 특성 시험, 기계 구조 시험, 임계열유속과 같은 열수력 시험 등의 실증시험을 통해 핵연료집합체의 성능, 건전성과 안전성에 관한 평가가 선행되어야 한다.

국내에서는 1978년 고리 1호기가 상업 운전을 개시한 이후 핵연료 국산화를 위해서는 핵연료 설계, 제작 기술뿐만 아니라, 핵연료 설계코드를 개선하고 이를 검증할 수 있는 실험 기술도 확보가 되어야 했다. 1990년대 초반까지는 기술자립을 위해 핵연료집합체의 수력학적 성능 실험에 초점을 맞추어 원자로 노심/핵연료 연구를 수행하였다. 국내에서도 중수원자로와 가압경수로의 국내 도입으로 이에 필요한 성능 관련 실험들을 수행하기 위해 CANDU Hot Test Loop과 PWR Hot Test Loop를 설치하였다. 또한 노심 부수로 내부의 유동장과 난류를 측정하기 위하여 레이저 도플러 속도계를 도입하여 관련 기초 연구들을 수행하였다.

1990년부터 국내 원자력 기술의 자립을 추진하면서 개량형 핵연료의 성능을 검증하기 위해서는 기계, 재료, 열수력 등 다양한 검증 실험들이 필요하였다. 국내 기술 자립을 위한 다양한 핵연료 성능 검증 시험들을 수행하였으며 설계 코드와 안전해석코드의 개발 혹은 검증을 위해 핵연료와 관련된 사고 조건에서의 안전성 평가 실험들을 수행하였다.

1990년대 중반부터는 원자력중장기개발사업이 착수되면서, 원자로 노심/핵연료를 대상으로 인허가를 위한 정상상태 및 과도 조건에서의 임계열유속, 사고조건에서의 임계열유속, 냉각재상실사고 조건에서의 비상냉각성능 평가 연구들이 수행되기 시작하였다. 1990년대 후반부터는 국내 안전해석코드의 개발이 수행되면

서, 국내 안전해석코드의 모델 개발에 필요한 실험과 안전해석코드의 검증 실험들을 수행하였다.

본 보고서에는 원자로 노심과 핵연료 열수력 시험의 수행 경험과 노하우를 기록함으로써 앞으로 유사한 열수력 시험의 수행에서 도움이 될 수 있도록 작성하였으며, 이를 통해 시험 계획과 수행 중에 발생할 수 있는 시행착오를 막는데 도움이 될 수 있도록 하였다.

목 차

제 1 장 원자로 노심/핵연료 열수력 실험 개요	1
제 1 절 기술 개발 배경 및 의의	1
제 2 절 기술 개발 변천사	6
제 3 절 기술 개발의 성과 및 활용	9
제 2 장 Hot Test Loop 시험	11
제 3 장 RCS 열수력 Loop 실험	20
제 1 절 임계열유속 실험	20
제 2 절 Post-CHF 실험	38
제 3 절 하나로 FTL 임계열유속 실험	38
제 4 장 Freon 열전달 실험	68
제 1 절 단일관 임계열유속 실험	68
제 2 절 5x5 가열봉다발 임계열유속 실험	82
제 3 절 국내외 수탁 시험	94
제 4 절 초임계 근처 열전달 실험	106
제 5 장 재관수 열전달 실험	116
제 1 절 단일봉 재관수 실험	116
제 2 절 2x2 재관수 실험	121
제 3 절 6x6 재관수 실험	126
제 4 절 재관수 열전달 후속 연구	137
제 6 장 봉다발 지지격자 압력강하 및 난류혼합 실험	147

제 1 절 붕다발 난류혼합 실험	147
제 2 절 MATIS-H 붕다발 난류혼합 실험	157
제 3 절 국제표준문제 및 후속 연구	170



노심용융물-구조물 반응 실증실험(VESTA)

요약문

한국수력원자력(주) 주도로 수행하였던 APR+ 기술개발 1단계 제2과제인 “공통 핵심기술개발” 과제를 통해 2010년 7월에 VESTA 장치를 구축하였다. 이 장치는 원자로용기 외부로 방출된 노심용융물을 안전하게 가두고 냉각시키는 중대사고 대처설비인 EU-APR1400 코어캐처에 대한 검증실험을 위한 것으로서, 수냉도가니 기법을 활용하여 용융온도가 2500 °C 이상인 실제 코륨을 400 kg 까지 녹일 수 있도록 설계되어 있다. 이는 수냉도가니 기법을 사용하여 용융물을 생성할 수 있는 현존하는 실험장치 중 최대 용량이다. EUR, YVL 등 미국과 다른 중대사고 관련 요건을 가진 유럽에 APR1400을 수출하고자 할 때 요구되는 중대사고 대처설비인 코어캐처는 EU-APR1400 과제를 통하여 개발이 본격화되었고, 이에 대한 설계검증을 위해 VESTA 장치를 유용하게 활용하였다.

본 보고서의 기술기록은 VESTA 장치 개발 및 관련 실험에 대해 다루고 있다. 1장에서는 VESTA 장치 개발에 관련된 APR+ 공통핵심과제 및 EU-APR1400 과제의 연관성 및 코어캐처 개념정립 과정에 대해 기술하였다. 2장에서는 VESTA 실험장치 구축을 위한 실험동 건축, 실험장치 설계 및 제작, 시운전 과정에서 겪었던 에피소드에 관하여 기술하였다. 노심용융물과 희생물질의 반응실험을 수행하기 위해서는 희생물질 시편을 구비하여야 하므로, 희생물질 시편개발과 관련된 러시아 NITI 연구소와의 협력 및 희생물질 자체제조에 대한 기술도 하였다. 3장에서는 소형 희생물질 시편에 대한 실험수행을 위해 고주파가열기, 냉각 계통 및 반응기체 처리계통 등과 같은 VESTA 실험장치의 주요 부분을 공유하는 VESTA-S 소형 실험장치에 대한 설계, 시운전 과정, 실험결과를 상세하게 기술하였다.

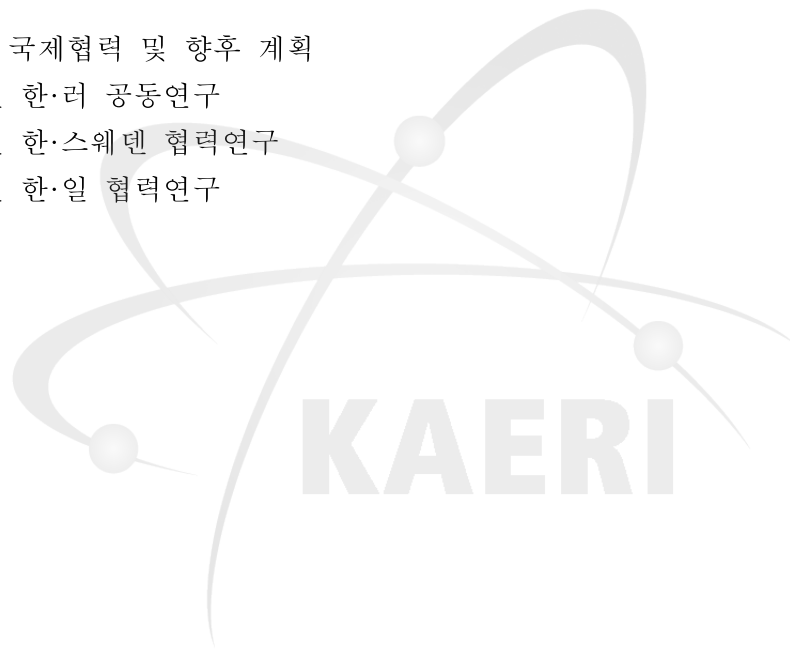
코어캐처 개발 과제가 종료됨에 따라 현재 APR1400 원자로 하부 관통부 파손 연구에 VESTA 장치를 활용하고 있고, 후쿠시마 원전 사고에서 원자로가 파손된 것으로 확실시됨에 따라 KAERI의 관통부 파손연구는 국제적으로 많은 관심을 받고 있다. 스웨덴 KTH 연구소와는 VESTA 장치를 활용한 관통부 파손연구 결과에 대해 상호 호혜적 관점에서 연구협력이 진행되고 있다. 일본 IAE 연구소

로부터 후쿠시마 원전 관통부 파손실험을 의뢰받아 VESTA 장치에서 실험을 준비 중에 있다.

목 차

제 1 장	노심용융물-구조물 반응 실증 실험 개요	1
제 1 절	기술개발 추진과정	1
제 2 절	기술개발 배경	5
제 2 장	VESTA 실험 장치 구축 및 실험	10
제 1 절	실험동 건축	10
1.	실험동 설계 특징	10
2.	실험동 건축 과정	13
3.	원자로물질 구비	15
제 2 절	실험 장치 설계 및 제작	17
1.	주요 기기	17
2.	용융물 용융 및 이송장치	19
3.	실험용기 및 보조계통	27
4.	계측 및 제어시스템	31
제 3 절	희생물질 제조	34
1.	배경	34
2.	희생물질 조성	35
3.	제조공정	37
4.	장치설치 및 실험결과	41
제 4 절	VESTA 실험	63
1.	실험절차서 작성	63
2.	시운전 및 예비실험	75
3.	실험결과	107
제 3 장	VESTA-S 실험 장치 구축 및 실험	119
제 1 절	실험 장치 설계 및 제작	119
1.	용융물과 희생물질의 반응 실험 장치 개념	119
2.	실험 장치의 개념	122
3.	수냉도가니	124
4.	용융물 이송장치	129

5. 온도 측정장치	131
6. 크러스트 파괴장치	132
7. 고주파 발생장치	133
8. 냉각장치	133
9. 수소 및 산소 측정기	135
10. 계측 계통	136
11. 시운전 및 장치 보완	137
제 2 절 VESTA-S 실험	143
1. 실험절차서 작성	143
2. 시운전 및 예비실험	153
3. 실험결과	173
제 4 장 국제협력 및 향후 계획	184
제 1 절 한·러 공동연구	184
제 2 절 한·스웨덴 협력연구	186
제 3 절 한·일 협력연구	188



방사성물질 생태계 경로 및 피폭해석기술

요약문

방사성물질 생태계 경로 및 피폭해석기술은 원자력시설 운영이나 예기치 않은 사고로 인해 방사성핵종이 환경으로 누출되었을 경우 인간 및 환경에 미치는 방사선 위험을 평가하기 위한 기술로 국내에서 30년 이상의 연구 역사를 가지고 있다. 이번 기술 기록화 사업을 통해 그 동안 수행된 연구의 배경, 경험, 실험과정, 결과 등이 잘 요약 정리되어 향후 관련 기술개발 계획 수립이나 후배들의 기술 정보 획득에 좋은 참고자료로 활용될 것으로 보인다. 본 문서는 크게 주민섭취선량평가기술, 환경방호기술, 국제협력으로 세분되어 기술되어 있다.

주민섭취선량평가코드 KFOOD는 원자력발전소 운영 시 매년 법적으로 요구하는 방사선환경영향평가를 위하여 당시 한국원자력연구원에서 개발하여 국내 규제기관이 현장에서 활용하던 기존코드의 미비점과 국내환경 요인을 고려하여 개선한 업그레이드 버전이며, ECOREA는 체르노빌, 후쿠시마 사고와 같은 원자력 사고시 음식물로 인한 주민섭취선량을 계산하기 위한 코드이다. 주민섭취선량코드 개발과 함께 국내 고유 환경에 적합한 생태계 핵종 경로 특성자료 생산을 위해 국내 최초로 방사성물질을 취급할 수 있는 온실을 건설하였으며, 온실 건설 당시 경험, 문제해결, 온실 건설과 함께 수행된 국내 주요 농작물의 전이계수 측정과 생태계 핵종이동 경로 해석을 위한 다양한 실험 등이 잘 정리되어 있다.

또한 주민섭취선량평가기술과 함께 국제방사선방호위원회 (ICRP) 신권고 103의 환경방호국내 기술기반 구축을 위한 야생동식물 방사선량평가 코드 K-BIOTA 개발 과정과 국제공동연구 참여를 통한 코드의 검증 경험, 국내 동식물 전이인자 DB 구축 과정이 기술되어 있다.

끝으로 국내기술의 검증 및 국제사회 기여를 위한 국제원자력기구(IAEA)의 EMRAS, MODARIA 국제공동연구 현황 및 참여과정, 유엔방사선과학위원회(UNSCEAR) 후쿠시마 방사선영향평가 사업 참여 현황 등 그 동안 경험한 국제협력 활동을 정리하여 향후 본 기술 분야에 종사할 후배들이 큰 시행착오나 두려움 없이 관련 국제협력 활동에 적극 참여할 수 있도록 하였다.

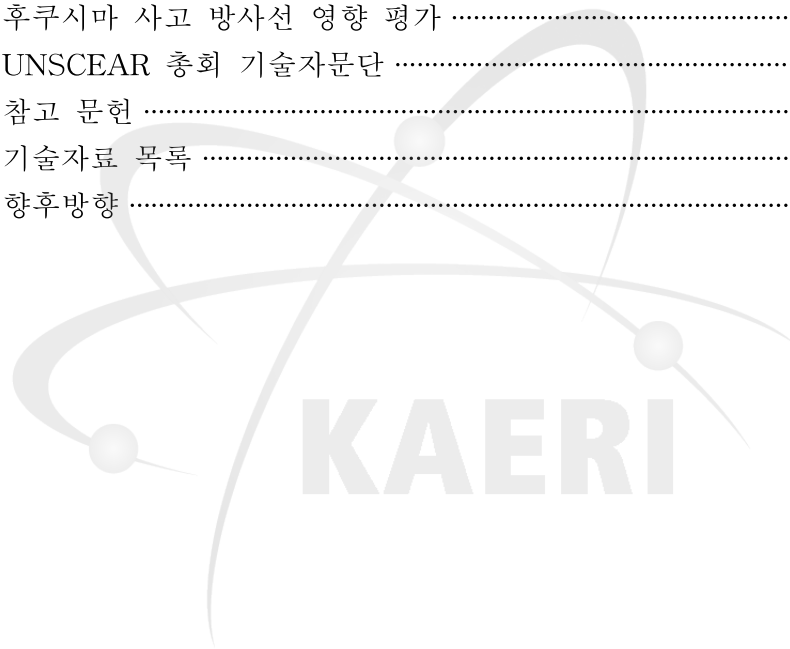
목 차

제 1 장 주민섭취 선량평가 코드 개발 역사 및 배경	1
1.1 KFOOD 및 ECOREA 개발	1
1.1.1 개발배경	1
1.1.2 연구방법 및 진행 경과	3
1.1.3 연구의 주도적 참여자	6
1.1.4 기술요약	6
1.1.5 성과 및 활용	12
1.1.6 문제 극복 사례 및 향후 방향	13
1.1.7 참고 문헌	15
1.1.8 기술자료 목록	15
1.1.9 정보보안	16
1.1.10 관련행정 절차 및 공문	16
1.1.11 타 기술 또는 과제와의 연관성	16
1.1.12 키워드	16
1.1.13 관련 과제명 (과제번호)	16
1.2 ECOREA 단위모델 개선	17
1.2.1 개발배경	17
1.2.2 연구방법 및 진행 경과	17
1.2.3 연구의 주도적 참여자	17
1.2.4 기술요약	17
1.2.5 성과 및 활용	23
1.2.6 향후 방향	24
1.2.7 참고 문헌	24
1.2.8 기술자료 목록	25
1.2.9 타 기술 또는 타과제와의 연관성	25
1.2.10 키워드	26
1.2.11 관련 과제명	26
제 2 장 생태계 경로 및 피폭해석 실험	27
2.1 동위원소 실험 온실의 건설	27
2.1.1 건설배경	27

2.1.2	추진과정	29
2.1.3	연구의 주도적 참여자	37
2.1.4	성과 및 활용	37
2.1.5	문제 극복 사례 및 향후 방향	39
2.1.6	참고 문헌	42
2.1.7	기술자료 목록	42
2.1.8	정보 보안	42
2.1.9	관련행정 절차 및 공문	42
2.1.10	타 기술 또는 과제와의 연관성	43
2.1.11	키워드	43
2.1.12	관련 과제명 (과제번호)	43
2.2	농작물-핵종 전이계수 종합 DB 구축	44
2.2.1	개발배경	44
2.2.2	연구방법 및 진행 경과	45
2.2.3	연구의 주도적 참여자	51
2.2.4	기술요약	53
2.2.5	성과 및 활용	59
2.2.6	문제 극복 사례 및 향후 방향	62
2.2.7	참고 문헌	64
2.2.8	기술자료 목록	67
2.2.9	정보 보안	67
2.2.10	관련행정 절차 및 공문	67
2.2.11	타기술 또는 과제와의 연관성	68
2.2.12	키워드	68
2.2.13	관련 과제명 (과제번호)	68
2.3	생태계 핵종 이동 경로 해석실험	69
2.3.1	개발배경	69
2.3.2	연구방법 및 진행 경과	70
2.3.3	연구의 주도적 참여자	75
2.3.4	기술요약	75
2.3.5	성과 및 활용	83
2.3.6	문제 극복 사례 및 향후 방향	84
2.3.7	참고 문헌	88
2.3.8	기술자료 목록	89

2.3.9 정보 보안	89
2.3.10 관련행정 절차 및 공문	89
2.3.11 타 기술 또는 과제와의 연관성	90
2.3.12 키워드	90
2.3.13 관련 과제명 (과제번호)	90
제 3 장 생태계 방사선 위해도 평가기술 개발	91
3.1 생태계 선량평가 코드 K-BIOTA 개발	91
3.1.1 개발배경	91
3.1.2 연구방법 및 진행 경과	92
3.1.3 연구의 주도적 참여자	93
3.1.4 기술요약	93
3.1.5 성과 및 활용	103
3.1.6 문제 극복 사례 및 향후 방향	103
3.1.7 참고 문헌	104
3.1.8 기술자료 목록	105
3.1.9 타기술 또는 과제와의 연관성	105
3.1.10 키워드	105
3.1.11 관련 과제명 (과제번호)	105
3.2 생태 특성인자 측정 및 DB 구축	106
3.2.1 개발 배경	106
3.2.2 연구방법 및 진행경과	106
3.2.3 연구의 주도적 참여자	106
3.2.4 기술요약	106
3.2.5 성과 및 활용	108
3.2.6 문제 극복 사례 및 향후 방향	108
3.2.7 참고 문헌	109
3.2.8 기술자료 목록	109
3.2.9 타 기술 또는 과제와의 연관성	109
3.2.10 키워드	109
3.2.11 관련 과제명 (과제번호)	109
제 4 장 국제협력	110
4.1 IAEA 협력	110

4.1.1 EMRAS(Environmental Modeling for Radiation Safety) 국제공동연구	110
4.1.2 MODARIA(Modelling and Data for Radiological Impact Assessments) 국제공동연구	113
4.1.3 IAEA 워크숍 주관 개최	114
4.1.4 향후 방향	116
4.1.5 참고 문헌	116
4.1.6 기술자료 목록	117
4.1.7 관련 과제명	117
4.2 UNSCEAR(유엔방사선과학위원회) 협력	117
4.2.1 후쿠시마 사고 방사선 영향 평가	118
4.2.2 UNSCEAR 총회 기술자문단	118
4.2.3 참고 문헌	119
4.2.4 기술자료 목록	119
4.2.5 향후방향	119



방사성폐기물처리시설 건설운영

요약문

I. 제 목

방사성폐기물처리시설 건설 및 운영 기술기록

II. 목적 및 중요성

한국원자력연구원에서는 연구용 원자로, 동위원소생산시설 및 핵주기시설 등 방사성물질을 취급하는 각종 원자력시설과 각 연구실에서 방사성폐기물이 발생되고 있다. 따라서 연구원의 시설운영 및 연구개발 과정에서 발생하는 모든 방사성폐기물을 안전하게 관리할 수 있는 방사성폐기물처리시설의 운영이 필수적이다.

방사성폐기물처리시설의 운영 목적은 방사성폐기물을 안전하게 수집하고 저장 관리하며 각 폐기물의 특성을 고려한 처리방법을 개발하고 적용함으로써 주변 환경을 방사성 오염으로부터 보호하는 것이다.

방사성폐기물처리시설 건설 및 운영 부문을 기술기록 함으로써 향후 연구원에 저장중인 중·저준위 방사성폐기물의 경제적이고 효율적인 영구처분, 방사성폐기물의 부피감용을 통한 처분비용 절감, 방사성폐기물 특성시험 등의 처분 기술 개발 등에 도움이 될 것이다.

III. 범위

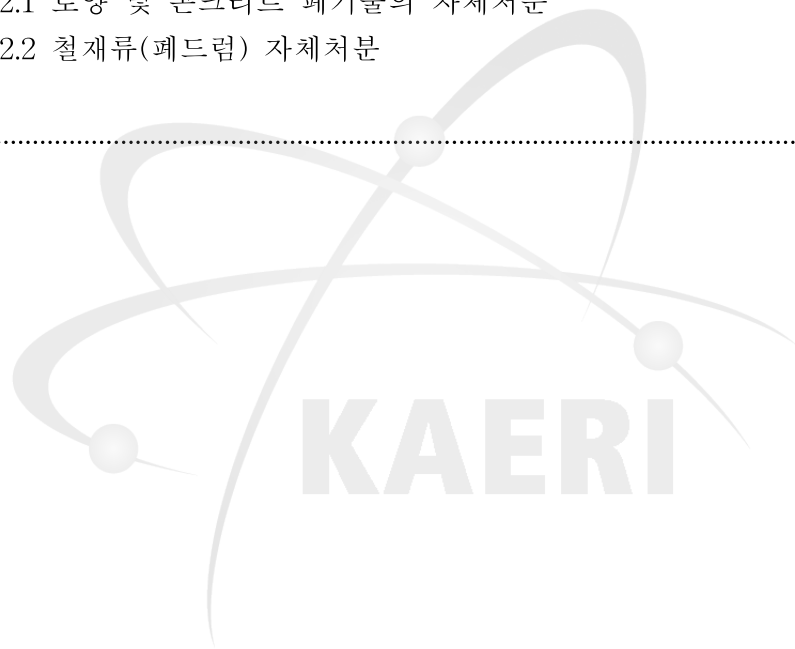
1. 사업개요 및 추진 내용
2. 시설 설계 용역 및 시설 건설
3. 시운전 및 시설의 인허가
4. 시설 운영
5. 처분준비

목 차

제 1 장 사업개요	1
1.1 사업추진 배경	1
1.2 사업추진 경위	1
제 2 장 사업추진 내용	4
2.1 사업 내용 및 방식	4
2.2 사업추진 일지	7
2.3 내외자 기기 구매	9
2.4 사업추진 상의 문제점	12
제 3 장 시설 설계 용역	14
3.1 개념설계	14
3.1.1 방사성폐기물처리시설	14
3.1.2 제염시설	21
3.1.3 세탁시설	22
3.2 상세설계	23
3.2.1 국외 상세설계	23
3.2.2 내진설계	25
3.2.3 국내 상세설계	28
제 4 장 시설 건설	30
4.1. 토목공사	30
4.1.1. 지질조사	30
4.1.2. 부지정지 및 굴착공사	31
4.1.3. 기초 지반 보강공사	31
4.1.4. 지하수 처리	32
4.2. 철근 콘크리트 공사	32
4.2.1. 철근공사	32
4.2.2. 콘크리트 공사	33
4.2.3. 방수공사	35
4.2.4. 핫셀 (hot cell) 공사	38
제 5 장 시운전	40
5.1 시운전 개요	40

5.2. 공시험(Blank Test)	40
5.3. 비방사성시험(Inactive Test)	41
5.3.1 증발농축 공정	42
5.3.2 아스팔트 고화 공정	43
5.4. 방사성시험(Active test)	45
제 6 장 시설의 인허가	47
6.1. 방사성폐기물처리시설의 인허가 관련법	47
6.2. 방사성폐기물처리시설의 인허가 내역	49
제 7 장 시설 운영	60
7.1 방사성폐기물처리 실적	60
7.1.1. 액체 방사성폐기물의 처리	60
7.1.2 고체 방사성폐기물의 처리	61
7.2 방사성폐기물처리시설의 인허가 변경	62
7.2.1 극저준위 고체폐기물 저장시설 설치(1989. 05. 04)	62
7.2.2 연구용원자로 발생 액체폐기물 이송배관 설치(1993. 11. 10)	64
7.2.3 극저준위 우라늄함유 폐액처리의 자연증발처리(2002. 07. 03)	66
7.2.4 방사성폐기물 저장방법(저장시설) (2005. 09. 01)	66
7.2.5 방사성폐기물드럼 핵종재고량 평가시설 구축 (2011. 11. 10)	68
7.3 실용기술 개발과 공정개선	70
7.3.1 자연증발처리	70
7.3.2 오염토양의 자체처분	70
7.3.3 기타 공정 개선	70
7.4 사업이전과 대외대책	71
7.4.1 산업체 동위원소폐기물 관리사업	71
7.4.2 IAEA 핵물질 특별 사찰	72
7.4.3 언론보도와 대책	76
제 8 장 처분 준비	78
8.1 처분 관련 규정 및 기준	79
8.1.1 중·저준위 방사성폐기물 인도규정	79
8.1.1.1 방사능 농도 등의 제한	79
8.1.1.2 핵종 규명	80
8.1.1.3 고형화의 조건	80
8.1.1.4 유리수	81

8.1.1.5 기타	81
8.1.2 방사성폐기물 인수방법 등에 관한 규정	81
8.1.2.1 발생지 예비검사	81
8.1.2.2 인도 및 인수	82
8.1.2.3 부적합 운반물에 대한 조치	82
8.1.2.4 연간 인도계획 제출	82
8.1.3 처분장 운영 기준	83
8.1.3.1 운영절차서	83
8.1.3.2 처분시설 안전성분석보고서	83
8.2 폐기물의 자체처분	84
8.2.1 극저준위 폐기물 자체처분	84
8.2.2.1 토양 및 콘크리트 폐기물의 자체처분	84
8.2.2.2 철재류(폐드럼) 자체처분	88
부록	90



방사성 폐기물 처리기술

요약문

1950년대 연구용 원자로가 국내에 도입된 후, 20여년이 흘러 국내에서 1978년에 고리의 상용원전이 가동되었다. 30여년이 넘는 동안 원자력 발전은 대한민국의 농경사회에서 산업사회로 가는 데 필수적인 에너지를 공급하며, 국가의 과학기술과 산업을 진보시키는데 일조하여 왔다. 원자력 발전 및 연구시설이 가동되는 동안, 에너지 공급과 과학기술의 발전이라는 득을 얻은 반면에, 방사성 폐기물로 발생하는 문제는 여전히 현재에도 진행 중에 있으며, 이를 해소하기 위해 수많은 선배연구원들의 노력과 땀이 있었다.

연구용 원자로 및 연구시설에서 발생하는 폐기물을 단순 관리하던 시기를 지나, 원전이 상용운전을 시작함에 따라, 해외 폐기물 처리기술의 도입/모방의 시기를 거쳐, 방사성 폐기물의 안정적 관리를 위한 새로운 기술시도들이 있어왔다. 80년대 이르러 원전의 주요 폐기물처리에 대한 연구체계를 구축하여 중장기 개발사업으로 진행되고, 한수원이 분리/독립함에 따라, 본 연구원은 후행핵주기 발생 폐기물 연구분야를 개척하게 되었다. 핵주기 폐기물 처리기술개발을 시작으로 현재, 사용후 핵연료 건식처리공정에서 발생하는 고방사성 폐기물 처리기술 연구개발을 수행 중에 있다.

본 보고서는 지난 30여년이 넘는 동안의 방사성 폐기물 처리연구과정을 기술도입 및 연구단계, 중·저준위 폐기물 처리기술개발 단계, 핵주기 폐기물 및 파이로 공정 폐기물 처리단계로 분류하여, 선배 연구원들의 노력에 의해 얻어진 결과물을 정리하여, 앞으로 방사성 폐기물처리 기술을 개발함에 있어서 시행착오를 최소화 할 수 있도록, 연구방향을 수립하는 데, 도움이 될 수 있기를 기대하며 보고서를 작성하였다. 본 보고서에는 일부분야는 중요한 기술적 결과물들을 기록하였으며, 몇몇 분야는 개발과정 동안의 겪은 어려운 점, 난제 등을 해소하는 과정들을 기술하였다.

다양한 형태의 방사성 폐기물의 처리기술개발 과정을 통해서, 축적된 경험과 그 결과물들이 현재 어떻게 적용되고 있으며, 현재 개발하고자 하는 기술들이 어떠한 방향으로 적용될지를 가늠해 볼 수 있는 자료로 활용되기를 기대한다.

목 차

제 1 장 방사성 폐기물 처리기술개발 역사 및 배경	1
제 1 절 방사성 폐기물 처리기술개발 개요	2
1. 방사성 폐기물 정의	2
2. 방사성 폐기물 발생, 처리 및 처분	7
3. 방사성 폐기물 처리기술개발 분야	13
제 2 절 방사성 폐기물 처리기술개발 변천사	17
1. 개요	17
2. 개념 도입 및 기초기술 연구	18
3. 중·저준위 폐기물 처리기술 개발단계	18
4. 핵연료주기 폐기물 처리기술개발 단계	20
5. 고방사성 폐기물 처리기술개발 단계	21
6. 방사성 폐기물 처리기술 변천사 요약	22
제 2 장 중·저준위 폐기물 처리기술개발	23
제 1 절 방사성 폐기물 소각기술개발	23
1. 연구 추진 배경	23
2. 실증소각공정 설계	26
3. 실증공정을 이용한 폐기물 시험소각	31
4. 실증용 소각공정 운전	36
제 2 절 방사성 폐액 처리기술 개발	46
1. 연구 추진 현황	46
2. 세부 기술별 추진 내용	50
제 3 절 고온 배기체 처리기술개발	65
1. 연구배경 및 추진내용	65
2. 여과기 제조 및 특성평가	66
3. 배기체 처리기술 평가	78
제 4 절 방사성 폐기물 고화기술개발	79
1. 연구 추진 배경	79
2. 연구 추진 전략	82
3. 주요 연구 내용	86

제 3 장 핵연료주기 폐기물 처리기술개발	93
제 1 절 고감용 고건전성 고화기술개발	93
1. 연구의 필요성과 개요	93
2. 연구의 주요이슈	96
3. 주요 연구내용	98
제 2 절 알파폐기물 소각기술개발	110
1. 연구개발의 필요성 및 추진내용	110
2. 알파 폐기물 소각로 설계개념 수립	111
3. 소각공정을 고려한 방사성 핵종 surrogate의 열적거동	119
제 3 절 고준위/알파폐기물 고화기술개발	121
1. 연구의 필요성	121
2. 연구 추진 전략	122
3. 고준위 폐기물 고화기술 개발	123
4. 알파폐기물 상온고화기술개발	133
제 4 절 방사성 폐기물 유리고화 실증시험설비 개발	137
1. 배경 및 추진 내용	137
2. 유리고화 실증시험설비	138
3. Trial Burn	140
4. 유리고화체 특성평가	145
제 4 장 사용후핵연료 파이로공정 폐기물 처리기술개발	150
제 1 절 연구 추진 배경	150
1. 기체폐기물 처리기술 개발	152
2. 염폐기물 처리기술 개발	152
3. 금속폐기물 처리기술 개발	153
4. 고방사성물질 운반저장 시스템 개발	153
제 2 절 연구 주요 이슈	154
1. 기체폐기물 처리기술 개발	154
2. 염폐기물 처리기술 개발	155
3. 금속폐기물 처리기술 개발	155
4. 고방사성물질 운반저장 시스템 개발	156

제 3 절 연구 추진 전략	157
1. 기체폐기물 처리기술 개발	157
2. 염폐기물 처리기술 개발	157
3. 금속폐기물 처리기술 개발	158
4. 고방사성물질 운반저장 시스템 개발	158
제 4 절 주요 연구 내용	159
1. 기체폐기물 처리기술 개발	159
2. 염폐기물 처리기술 개발	161
3. 금속폐기물 처리기술 개발	165
4. 고방사성물질 운반저장 시스템 개발	167
제 5 장 방사성 폐기물 처리기술의 미래	172
제 1 절 국내 방사성 폐기물 분야 환경변화	172
1. 원자력 환경변화	172
2. 방사성 폐기물 처리기술의 변화	173
제 2 절 방사성 폐기물 처리기술 방향	174
1. 기술 고도화를 위한 노력	174
2. 방사성 폐기물의 취급 및 고화처리 방향	176
3. 방사성 폐기물 처리기술의 미래	177
제 6 장 참고문헌	179

고준위폐기물 처분연구

요약문

한국원자력연구원에서의 고준위폐기물 처분연구는 1997년 중저준위 방사성폐기물 관리 업무의 한국전력으로의 이관과 함께 착수되었다. 사용후핵연료의 직접 처분을위한 심지층 처분시스템 개발을 목표로 10년간 연구가 착수되었으며, 한국의 대표 암반(화강암) 내에 고준위폐기물 처분시스템 개발이 가능한가에 대한 해답을 얻기 위하여 심부지질 환경 특성평가 기술, 공학적방벽 개발, 안전성평가 기술 개발, 지하핵종거동 규명 연구와 같이 세부 과제를 도출하여 필요한 핵심 요소 기술을 개발하였다. 이와 같은 기술을 바탕으로 2006년도에는 지하처분연구 시설인 KURT를 준공하였으며, 한국 대표 암종을 대상으로 사용후핵연료 직접 처분시스템인 KRS를 개발하였다.

심부지질환경 특성연구 분야에서는 한국형기준처분시스템 도출에 필요한 국내 대표 심부지질 환경에 대한 자료의 생산과 관련된 기술개발을 목표로 1단계에서는 심지층처분장의 지질방벽요건을 설정하고 국내 7개 기반암 특성 분석을 통하여 3개 후보매질을 도출하였다. 2단계 연구를 통하여 대표 중생대 화강암 2지역(영동형, 영서형)을 대상으로 심부암반의 투수성 단열에 대한 현장시험을 수행하였으며, 심부 암반의 지화학적 특성을 평가하였다. 3단계에서는 기준처분장 규모의 암반을 대상으로 설계 인자를 도출하였다.

일반적으로 심지층처분시스템의 공학적방벽은 처분용기, 완충재, 뒤채움재, 밀봉재 등으로 구성되나 공학적방벽 중 가장 중요한 완충재 개발과 성능 규명에 중점을 두어 연구를 수행하였다. 1단계 연구를 통해 완충재의 성능기준을 분석하고 설정하였으며, 국내산(경주) 칼슘 벤토나이트를 후보 물질로 선정하고 완충재 대상 물질의 특성을 규명하였다. 2, 3단계 연구를 통해 공학적방벽시스템의 성능 실증에서는 열-수리-역학적 복합거동 실증시설(KENTEX)을 자체 개발하여 실증 연구를 수행하였으며, 완충재의 침식거동, 벤토나이트의 열수 반응에 대한 연구를 수행하였다.

안전성평가 기술개발은 1단계와 2단계 연구에서는 심지층 처분시스템 개발과 함께 수행되었다. 즉, 처분시스템 개발의 일부로서 설계 및 안전성평가가 서로

피드백을 이루며 수행되었고, 3단계에서는 한국형기준처분시스템 개발과 안전성 평가가 업무 확대와 함께 독립적으로 수행되었다. 3단계에서는 개발된 기준처분 시스템에 대해 1, 2단계를 통해 개발된 컴퓨터 코드를 이용한 종합안전성평가를 수행하였다.

지하핵종거동규명연구에서는 심부 지하환경에서의 핵종별 용해도, 지하 매질과의 상호작용의 정량적 평가(확산계수, 수착분배계수)를 주요 연구 대상으로 수행하였다. 1단계 연구에서는 심지층 처분환경에서 핵종 및 화학종의 평가를 위해 실험실적 평가와 자연유사 연구, 핵종이동 예측 모델 개발 등을 수행하였으며, 2단계 연구에서는 처분시설 안전성평가에 필요한 입력인자 생산과 관련된 연구에 집중하였다. 3단계 연구에서는 환원조건에서의 핵종이동 특성 연구와 KURT에서 핵종이동 현장실험을 위한 준비를 착수하였다.

사용후핵연료 직접 처분을 위한 한국형처분시스템(KRS) 개발은 과제 착수와 함께 시작되었으며, 3단계 과제가 진행되는 2002년부터 2006년까지 집중 수행되었다. PWR 사용후핵연료 20,000톤과 CANDU 사용후핵연료 16,000톤을 대상으로 핀란드 POSIVA와 함께 공동연구를 통해 개념설계를 수행하고 비용평가 체계를 구축하였다. 처분소요면적은 대략 4.6제곱킬로미터이며, 지하 500미터 심도에 길이 251 미터의 터널 323개가 필요하였다. 개발된 한국형처분시스템은 국내에서 가능한 다양한 핵연료 주기 평가시 처분면적 효율 비교에 이용되고 있다. 또한 개발된 처분비용평가 프로그램은 유상으로 (주)코네스코퍼레이션에 기술이전 되어, 방사성폐기물관리법에 따라 2년마다 수행되는 사용후핵연료관리부담금 산정에 이용되고 있다.

목 차

제 1 장	고준위폐기물 처분연구 역사 및 배경	1
제 1 절	연구배경 및 의의	1
1.	고준위폐기물 처분기술 정의	1
2.	기술개발 배경	2
3.	기술개발 추진 전략	4
4.	추진경과 평가	6
제 2 절	연구개발 변천사	7
1.	처분 개념 정립 단계 (1997~2000.3)	8

2. 핵심기술 개발단계 (2000.4~2003.3)	12
3. 한국형처분시스템 개발단계 (2003.4~2007.2)	14
제 2 장 처분 핵심기술 개발	25
제 1 절 심부지질환경 특성 연구	25
1. 연구 추진 배경 및 주요 이슈	25
2. 연구 추진 전략	30
3. 주요 연구 내용	35
제 2 절 공학적방벽 개발	72
1. 연구 추진 배경	72
2. 연구 주요 이슈	74
3. 연구 추진 전략	76
4. 주요 연구 내용	79
제 3 절 안전성평가 기술개발	109
1. 연구 추진 배경 및 주요 이슈	109
2. 연구 추진 전략	112
3. 단계별 주요 연구 내용	114
제 4 절 지하 핵종 거동 규명 연구	133
1. 연구 추진 배경	133
2. 연구 주요 이슈	134
3. 연구 추진 전략	135
4. 주요 연구내용	136
제 3 장 한국형처분시스템 개발	164
제 1 절 개발 배경 및 의의	164
제 2 절 한국형처분시스템 개념설계	168
1. 한국형처분시스템 정의	168
2. 공학적방벽시스템 설계	180
3. 비용평가 프로그램 개발	189
제 3 절 향후 추진계획	204
제 4 장 국제협력	206
제 1 절 KAERI-해외연구기관 공동연구	206
1. 미국 샌디아국립연구소 공동연구	206
2. 핀란드 POSIVA 공동연구	211
3. 캐나다 AECL 공동연구	215

제 2 절 IAEA Peer review

218

제 3 절 기타 국제 협력

221



우라늄변환시설 해체 분야

요약문

우라늄변환시설은 월성원전(중수로형 원자로)의 핵연료 국산화 기술자립을 위한 핵연료물질을 성공적으로 생산하는데 기여하고 1993년부터 휴지상태로 유지하여 오다가, 2001년부터 환경복원의 일환으로 변환시설 해체사업을 착수하게 되었다. 변환시설 해체사업은 해체계획서를 작성하여 2002년 9월 과학기술부에 인허가를 신청하여 2004년 7월에 승인을 받게 되었다. 인허가 승인 후, 실제적인 해체공사를 진행하면서 모두 7차례에 걸친 해체계획서 변경이 있었다.

시설의 해체는 모든 격실내의 기기와 공정장치들을 해체완료 하고, 해체된 시설의 내부 콘크리트 제염 및 오염토양 제거 작업을 수행하였다. 건물내부의 콘크리트와 철구조물을 일반시설로 사용할 수 있도록 제염을 실시하였고, 또한 ADU 구역 내 집수조를 통하여 시설 바닥의 오염된 토양을 제거하였으며, 건물을 재사용하기 위하여 건물 기둥의 보강 작업을 수행하였다. 우라늄변환시설 조업 중 발생한 우라늄함유 질산염 슬러지폐기물은 열분해 처리하여 저장에 용이하도록 안정한 화학적 형태의 폐기물로 전환하였다. 이들 슬러지폐기물처리는 세계에서는 처음으로 자체 개발한 열분해처리설비를 활용하여 슬러지폐기물 전량을 처리 완료하였고 최종 처리 후 폐기물의 감용율은 약 70%이다. 라군 구조물은 제염 완료한 후 개조하여 폐기물 저장고로 활용 중에 있다.

그동안 해체공사를 진행하면서 발생한 폐기물량은 200L 드럼으로 환산할 경우 총 10,797 드럼이며 대부분이 토양오염으로부터 대량 발생한 토양폐기물로, 이들은 해체폐기물 폐기물저장고와 저준위방사성폐기물 저장시설에서 저장 관리 중에 있다. 해체 금속폐기물 중 스테인레스강 53톤과 탄소강 73톤을 각각 초음파화학제염 및 용융제염 처리하여 자체처분대상폐기물로 전환하였다.

건물 및 부지 지역에 대해서는 최종 방사선/능 평가를 실시하여 최종현황보고서를 작성하였으며, 해체 종료에 따라 교육과학기술부에 우라늄변환시설 사업폐지 신고를 하였으며, 2012년 4월 교육과학기술부의 시설 폐지 신청 수리 후 변환시설 건물 및 부지가 규제 해제됨에 따라 우라늄변환시설의 모든 해체공사를 완료하였다.

본 보고서에는 상기와 같은 해체공사 중 수행된 모든 업무를 간략히 소개하였다. 또한 사업을 진행하면서 보고서로 작성되지 않은 사항들 또한 간략히 기술하였고 상세한 내용은 참고문헌으로 첨부하였다.

목 차

제 1 장 우라늄변환시설 해체사업	1
제 1 절 우라늄변환시설	1
1. 부지 및 시설현황[1-1-1]	1
2. 운영 이력	2
3. 참고문헌	3
제 2 절 우라늄변환시설 해체사업 추진 개요	3
1. 해체사업 신청 및 승인	4
가. 해체사업 신청 및 승인 [1-2-1, 2]	4
나. 해체사업 예산의 특징 및 문제점	5
2. 해체 준비공사	6
3. 해체계획서 작성 및 인허가	6
4. 해체공사	7
5. 해체종료	8
6. 참고문헌	8
제 2 장 우라늄변환시설 해체공사 및 기술개발	9
제 1 절 해체설계 및 사업관리	9
1. 해체설계	9
2. 해체계획서 작성	9
3. 해체계획서 인허가	11
가. 해체계획서 인허가 1차 질의 및 답변 내용	11
나. 해체계획서 인허가 2차 질의 및 답변 내용	12
다. 해체계획서 인허가 3차 질의 및 답변 내용	12
라. 알파선 방출핵종에 대한 측정기술개발	12
마. 해체계획서 수정.보완판 제출	13
바. 각종 절차서 작성	13
4. 해체사업 관리	14
가. 특성조사 및 해체설계	15

나. 해체계획서 인허가	15
다. 시설해체 및 제염	16
라. 라군슬러지 처리	18
마. 위탁과제	19
바. 국제협력	19
사. KINS 점검 및 수집활동	19
아. 사업예산 집행내역	21
5. 참고문헌	22
제 2 절 방사선능 분석 및 안전관리	23
1. 방사선능 측정	23
가. 우라늄 측정방법에 대한 분석	24
나. 우라늄 측정방법에 대한 결과 및 고찰	26
2. 방사선 안전관리	29
가. 시설내 방사선안전관리	29
나. 해체 작업자 피폭관리	29
다. 해체 작업장 내 방사선/능 감시	30
라. 환경감시	31
마. 활용 및 전망	33
제 3 절 해체공사	33
1. 해체 준비공사 및 해체 전 제염	33
가. 고체폐기물 분류 및 포장	33
나. 임시전기설비공사	34
다. 환기설비	35
라. 출입구역관리 정비	36
마. 방사선 측정실 설치	37
바. 화재경보계통 및 방호설비 점검	37
사. 호이스트 점검 및 수리	38
아. 사전 제염	38
2. 시설 내 변환공정설비 해체 절단	42
3. 구조물 해체 절단	55
4. 환기설비 및 제염장비 해체	56
5. 라군시설 제염 해체 및 개조	58
제 4 절 제염	64
1. 콘크리트 구조물 제염	64
2. 철 구조물 제염	65
제 5 절 오염토양제거	66

1. 토양 오염 현황	66
2. 오염 토양제거 및 콘크리트 구조물 보강공사	71
3. 참고문헌	83
제 6 절 건물 및 부지 최종방사선능 조사	84
1. RCP 시험시설 부지	85
가. 부지 현황	85
나. 최종현황조사 내용 및 결과	86
2. 건물	89
가. 개방기준의 설정 및 DCGL 도출	90
나. 측정기기의 선정 및 적용	93
다. 최종현황조사를 위한 설계	93
라. 최종현황조사 및 측정결과	99
마. 최종현황조사 결과의 판정	100
3. 부지	103
가. 개방기준의 설정 및 DCGL 도출	105
나. 측정기기의 선정 및 적용	106
다. 최종현황조사를 위한 설계	107
라. 최종현황조사 및 측정결과	111
마. 최종현황조사 결과의 판정	113
바. 최종현황조사에 대한 확인 검증 (verification measurement)	114
사. 결론	115
아. 최종현황조사보고서에 대한 주요 질의 및 답변내용 정리	115
4. 참고문헌	123
제 7 절 폐기물관리	123
1. 해체폐기물관리 개요	123
2. 금속폐기물 처리	125
가. 초음파화학제염	125
나. 용융제염	127
3. 기타 고체폐기물 처리	130
4. 질산염 함유 슬러지 폐기물 처리	131
5. 액체폐기물 처리	135
6. 고체폐기물 저장 관리	136
제 8 절 해체공사 진행에 따른 해체계획서 변경	140
1. 해체계획서 변경 내역	140
가. 1차 해체계획서 변경	140
나. 2차 해체계획서 변경	141

다. 3차 해체계획서 변경	141
라. 4차 해체계획서 변경	143
마. 5차 해체계획서 변경	146
바. 6차 해체계획서 변경	148
사. 7차 해체계획서 변경	152
아. 7차 해체계획서 변경에 따른 해체계획서 최종본 [2-8-30]	153
2. 참고문헌	153
제 3 장 해체종료 및 해체사업 결과	155
제 1 절 우라늄변환시설 해체 종료	155
1. 원자력시설 해체 종료를 위한 관련 법규 및 절차	155
2. 해체 종료를 위한 관련 문서 제출 내역	156
가. 우라늄변환시설 해체 완료에 따른 변환사업 폐지신고서 제출 (2010.5.31.)	156
나. 우라늄변환시설 사업 폐지신고 관련 KINS 보완요구사항	156
다. KINS 보완요구사항에 대한 답변자료 조치 사항	157
라. 해체종료 및 건물 및 부지 규제해제	162
3. 참고문헌	162
제 2 절 원자력시설 해체사업 결과	164
1. 해체사업 평가	164
2. 교 훈	166

핵화학공정 기술 개발

요약문

핵화학공정 기술은 원자력 분야에 적용되고 있는 화학공정 기술들을 총칭하나, 본 보고서는 원자로에서 타고나온 사용후핵연료나 고준위방사성 폐액(고준위폐기물)을 화학 처리하는 선/후행 핵연료주기 습식분리기술에 한정하여 기술하였으며, 지금까지 우리연구원에서 수행한 사용후핵연료(/고준위폐기물) 관련 습식분리 연구는 실제의 사용후핵연료나 고준위폐기물을 직접 적용하지 않고, 모두가 모의 핵연료나 모의 폐액을 대상으로 한 비방사성 분위기하에서 수행하였다. 이의 추진 경위를 살펴보면 1975~1976년 프랑스와의 기술협력으로 재처리(사용후핵연료로부터 우라늄과 플루토늄을 상호분리하는 기술임) 연구시설 건설계획을 추진하여 이의 개념설계를 프랑스의 SGN사가 맡아서 수행하고 있었으나, 미국 정부의 반대로 재처리 연구시설 건설계획이 중지되고, 대신 턴키베이스로 한-불 협력자금에 의해 우라늄 정련 및 변환공장이 1980년대 초반에 한국원자력연구원(당시는 한국에너지연구소)에 설치되었다. 이를 기점으로 국내에서 운영되고 있는 고리의 경수로(PWR)과 월성의 중수로(PHWR)의 핵연료 국산화 연구가 시작되었다. 이때 핵연료 국산화 관련 습식분리 기술개발 방향은 주로 용매추출 공정(재처리기술의 주요 핵심공정)을 기반으로 하는 우라늄 분리(/정제) 기술과 경수로/중수로를 동시에 보유하고 있는 우리나라의 특성을 살린 “탄뎀 핵연료주기”로 불리는 비분리기술(재처리 기술과는 다르게 우라늄과 플루토늄을 상호분리하지 않음) 개발 등이 추진되었으며, 이중 비분리기술은 한-카 공동연구로 1983년 1년 동안은 순조롭게 진행되다가 1984년 “탄뎀 핵연료주기”에 대한 미국의 반대로 이 또한 중단되어 비분리기술에 대한 연구가 더 이상 진전되지 못하였다. 이후 습식분리 기술은 한국원자력연구원에 건설된 우라늄 정련/변환 시설의 가동(기초연구 포함)을 통한 월성원전의 핵연료물질 생산기술을 조기에 토착화할 목적으로 수행한 “중수로용 핵연료물질 생산기술개발” 과제와 경수로/중수로 핵연료 제조 시 다량 발생하는 우라늄스크랩 처리를 위한 회수시설의 건설과 관련 핵주기 기술의 조기 확립을 위한 목적으로 수행한 “핵연료물질 생산기술개발” 과제 등에서 우라늄 또는 우라늄스크랩 분리(/정제) 연구가 1980년 말까지 수행되었다.

1990년대 초반에서는 원자력 이용에 대한 국민의 신뢰성 구축 및 미래의 환경 안전성 제고를 위한 방사성폐기물의 안전관리 차원에서 “원자력연구개발 중장기 계획사업”의 일환으로 고준위 방사성폐기물(재처리공정에서 발생하지만 우라늄과 플루토늄이 미리 분리되어 폐기물 안에는 존재하지 않음)에서 초우라늄 핵종이나 고방열성핵종 등을 분리하는 “군분리” 연구를 수행하였으나, “군분리” 연구 또한 용매추출공정 중심의 습식분리 기술로, 핵비확산성에 자유롭지 못하다는 연구원 내 의견과 원자력연구원에서의 사용후핵연료 관련 후행핵연료주기 연구방향이 Pyro 기술 개발로 이동됨에 따라 “군분리” 연구가 2001년도에 종료되었다. 2002년부터는 “습식분리 공정개발” 연구보다는 장수명핵종(초우라늄 핵종 포함) 분리의 방사선 조사시험/성능평가, 분리효율 고도화 요소기술 개발 등 주로 단위분리 기술의 화학적거동 규명 및 관련 단위장치 개발(모사코드, 소재 개발 등)에 역점을 둔 “방사화학분리” 연구가 2006년 까지 수행되었다.

2007년부터는 용매추출공정 중심의 습식분리기술 연구수행이 핵투명성에 대한 국제사회의 신뢰를 얻지 못한 우리나라의 경우 핵확산 저항성이 취약한 공정개발에 대한 국내외 우려를 야기 시킬 수 있어(현재에도 그 상황은 변화가 없음), 용매추출 공정이 아닌 염기성 매질의 저온조작과 조업 안전성이 제고된 핵확산 저항성을 가지는 친환경적 습식분리기술 개발을 위한 “악타니아드 위해도 저감화” 연구를 2011년 까지 수행하였으나(종래의 재처리 기술과는 전혀 다른 기술로 우라늄만 선택적으로 분리함), 2012년 이후부터 현재까지는 정부 및 원자력연구원에서 사용후핵연료 화학처리가 Pyro 공정으로 고착됨에 따라 “사용후핵연료 재처리관련 습식분리 기술” 연구는 모두 중지된 상태이다.

본 보고서는 상기 추진경위를 중심으로 총 5장으로 구분하여 작성하였으며, 제 1 장 “핵연료주기 습식처리 기반기술 개발 (1980년대)”에서는 우라늄 분리(우라늄 정제 및 비분리처리)공정 개발, 핵연료물질 생산기술 개발, 중수로 핵연료물질 생산기술 개발, 우라늄스크랩 정제기술 개발 등에 관해 각각 서술하였으며, 관련 자료, 보고서 및 장치 제작도면 등을 포함하였다. 제 2 장에서는 “고준위 방사성 폐액 처리 습식분리 기술개발 (1992~2006년)”로 “군분리 공정(/기술)개발” 연구와 “방사화학 분리기술 개발” 연구로 나누어 기술개발 배경, 연구추진 전략, 주요 연구내용 및 성과, 문제 극복사례 및 향후연구 방향, 선진화 습식분리기술 개발과 관련하여 향후 고려하여야 할 연구항목 및 사항 등을 기술하였고, 군분리 Mock-up 공정 관련 주요장치 제작도면 등을 포함하였다. 제 3 장은 “악티나이드 위해도 저감화 기술개발 (2007-2011년)”로 기술개발 배경, 연구개발 내용, 연구추진

진 전략, 주요 연구성과, 문제 극복 사례 및 향후 방향 등을 서술하였으며, 주요 장치 제작도면 등을 포함하였다. 제 4 장에서는 “난처리성 방사성폐기물 처리기술 개발 (2012~)”로 “우라늄혼합물 위해도 저감화 기술개발”과 “특수 방사성폐기물 처리기술 개발” (대용량 고방사능/고염 폐액 처리기술, 우라늄 복합폐기물 처리기술 등)을 구분하여 이에 따른 기술개발 배경, 주요 연구내용 및 성과, 극복 사례 및 향후 연구방향 등을 서술하였으며, 사용후핵연료(/고준위폐기물) 관련 습식분리 연구와는 직접적인 관계는 없다. 마지막으로 제 5 장은 “핵화학 공정기술 향후 전망”으로 사용후핵연료(/고준위폐기물) 관련 습식분리 연구에 한정하여 미래의 기술개발 방향, 관련분야에 대한 연구기관 주체와 정부, 의회 등의 대외 환경 개선 노력 및 정책 결정, 그리고 해당분야 연구자들의 뚜렷한 목표의식 제고 등에 관해 기술하였다.

목 차

제 1 장 핵연료주기 습식처리 기반기술 개발	1
제 1 절 우라늄 분리(/정제) 및 비분리 기술	2
1. 우라늄 분리(/정제) 기술개발	2
2. 우라늄 비분리 기술개발	8
3. 개발도상국 연구원의 기술훈련	11
제 2 절 중수로 핵연료물질 생산기술 개발	13
1. 연구 목적 및 배경	13
2. 연구 참여자	13
3. 주요 연구 내용 ('84년도)	13
4. 연구결과의 활용 및 문제 극복 사례	14
제 3 절 핵연료물질 생산기술 개발	15
1. 연구 목적 및 배경	15
2. 연구 참여자	16
3. 주요 연구 내용 ('85년도)	16
4. 연구결과의 활용 및 문제 극복 사례	17
제 4 절 우라늄스크랩 정제기술 개발	19

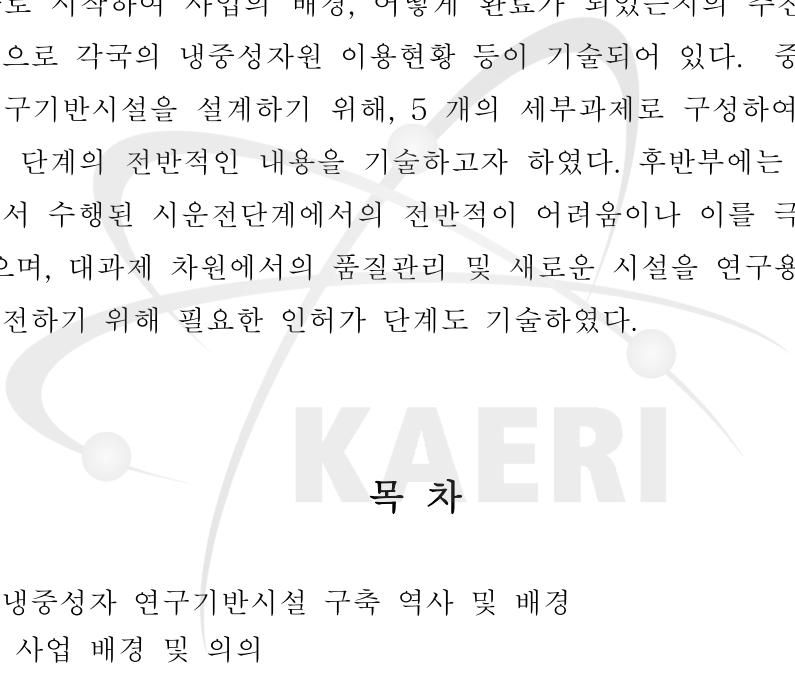
1. 기술개발 배경	19
2. 용매추출법에 의한 우라늄 정제기술	21
3. 침전결정화에 의한 우라늄스크랩 정제기술	31
제 2 장 고준위 방사성폐액 처리기술 개발	35
제 1 절 기술 개발 배경	35
1. 균분리 공정(/기술) 개발 연구	35
2. 방사화학 분리기술 개발 연구	36
제 2 절 연구추진 전략	37
1. 균분리 공정(/기술) 개발 연구	37
2. 방사화학 분리기술 개발 연구	38
제 3 절 주요 연구내용	38
1. 균분리 연구	38
2. 방사화학 분리기술 개발	42
제 4 절 문제 극복사례 및 향후연구 방향	45
제 5 절 선진화 습식분리기술개발 관련 향후 고려해야 할 연구항목 및 사항 ·	46
1. 균분리 기술	46
2. 균분리 시스템	47
3. 기초 연구	48
부록 2-1. 균분리 Mock-up 공정	49
부록 2-2. 균분리 Mock-up 관련 주요장치 제작도면	59
부록 2-3. 습식 납차폐 α - γ 셀 건조	75
부록 2-4. 한-러 공동연구 결과 요약	76
부록 2-5. 국내외 균분리 공정(/기술) 개발관련 기술완성도 비교	79
제 3 장 악티나이드 위해도 저감화 기술개발	84
제 1 절 악티나이드 위해도 저감화 기술개발 배경	84
1. 악티나이드 위해도 저감화 기술개발 과제의 태동 배경	84
2. 악티나이드 위해도 저감화 기술개발 과제의 기술적 배경	85

제 2 절 악티나이드 위해도 저감화 기술개발 연구	90
1. 연구개발 내용	90
2. 연구추진 전략	90
3. 주요 연구개발 내용	92
제 3 절 문제 극복 사례 및 향후 방향	94
제 4 장 난처리성 방사성폐기물 처리 기술개발	97
제 1 절 우라늄혼합물 위해도 저감화 기술 개발	97
1. 우라늄혼합물 위해도 저감화 기술개발 과제의 기술적 배경 및 목표	97
2. 연구개발 내용	98
3. 문제 극복 사례 및 향후 방향	101
부록 4-1. COL 공정 평가 test station 설치	102
부록 4-2. 반연속식 필터형 고-액분리 장치 개발	112
제 2 절 특수 방사성폐기물 처리 기술 개발	114
1. 대용량 고방사능/고염 폐액 처리 기술	114
2. 우라늄 복합 폐기물 처리 기술	116
제 3 절 문제 극복 사례 및 향후 방향	118
제 5 장 핵화학공정 기술 향후방향	120

냉중성자 연구기반시설 구축

요약문

본 보고서는 연구용 원자로인 하나로에 설치된 냉중성자 연구기반 시설 구축 과제를 진행하면서 기술보고서 등으로 반영되지 못해 사장 될 수도 있었던 노하우를 기록하고자 작성되었다. 이에 따라 초반부에는 냉중성자 연구기반 시설의 정의 기술로 시작하여 사업의 배경, 어떻게 완료가 되었는지의 추진 경위, 그리고 참고적으로 각국의 냉중성자원 이용현황 등이 기술되어 있다. 중반부에는 냉중성자 연구기반시설을 설계하기 위해, 5 개의 세부과제로 구성하여 설계, 구매, 제작 설치 단계의 전반적인 내용을 기술하고자 하였다. 후반부에는 이렇게 구축된 시설에서 수행된 시운전단계에서의 전반적이 어려움이나 이를 극복한 사례를 기술하였으며, 대과제 차원에서의 품질관리 및 새로운 시설을 연구용원자로에 설치하고 운전하기 위해 필요한 인허가 단계도 기술하였다.



목 차

제 1 장 냉중성자 연구기반시설 구축 역사 및 배경	1
제 1 절 사업 배경 및 의의	1
제 2 절 사업추진개요	6
제 3 절 국제협력	26
제 2 장 냉중성자 연구기반시설 설계	31
제 1 절 냉중성자원 설계	31
제 2 절 냉중성자 시설계통 설계	43
제 3 절 냉중성자 유도관 개발	55
제 4 절 냉중성자 산란장치 설계	68
제 5 절 냉중성자 실험동 설계	76
제 3 장 기자재 구매 및 설치	77

제 1 절 기자재 구매	77
제 2 절 설치	85
제 4 장 시운전	92
제 1 절 건설인수시험	92
제 2 절 계통성능시험	96
제 3 절 종합성능시험	102
제 4 절 원자로연계시험	105
제 5 절 냉중성자 산란장치 제작 및 성능시험	109
제 5 장 품질보증	131
제 1 절 품질보증계획	131
제 2 절 품질보증 적용 품목 및 용역	134
제 3 절 주요 품질보증 활동	136
제 4 절 Lessons Learned	137
제 6 장 인허가	138
제 1 절 냉중성자 실험동 인허가	138
제 2 절 냉중성자원 인허가	141
제 3 절 냉중성자 연구시설 준공	144

방사선이용 환경보전

요약문

국내의 방사선을 이용한 환경보전기술은 1993년 한국원자력연구소(현 한국원자력연구원) 환경영향평가실에서 방사선을 이용한 염료처리기술을 시작으로 태동되었으며, 1997년 원자력 중장기연구과제에 참여하기 시작하면서 본격화 되었다.

본격적인 연구가 시작된 제1차 원자력중장기 연구개발사업이 시작된 해에는 방사선을 이용하여 하수종말처리장에서 처리 후 유출되는 방류수를 농업용이나 산업용으로 재활용할 목적으로 연구를 수행하였다. 연구결과 하수방류수중의 색도 및 생물학적 산소요구량 그리고 미생물의 살균에 탁월한 성능이 있음을 밝히고 지방자치체의 담당자들과 협의를 통하여 현장에서의 실증을 추진하였지만 방사성 발생장치의 부재로 인하여 현장적용 가능성만을 확인한 상태에서 연구를 종료하였다.

2002년 제2차 원자력중장기 연구사업이 진행되고 어느 정도의 연구팀 면모를 갖추면서 본격적인 연구가 시작되었다. 화학물질 특히 TCE(Trichloroethylene)과 PCE(Perchloroethylene)로 오염된 우리나라 산업단지 지하수에 대해 방사선을 이용하여 복원시키는 연구가 수행되었다. 연구결과는 이들 화학물질이 방사선에 의해 쉽게 파괴되면서 제거되는 것을 밝혔으며 정화방법으로 지하수를 지상으로 끌어올린 후 방사선을 조사시키고 다시 지하로 돌려 보내는 방법을 정립시켰다. 아울러 관련분야로의 기술전파를 목적으로 이들 화학물질 뿐만 아니라 질산성 질소가 함께 지하수에 포함된 타 지역의 지하수 정화를 목적으로 지하수중의 질산성 질소만을 선택적으로 제거할 수 있는 소재 및 장치를 개발하고 복합적 오염지하수를 정화할 수 있는 복합 오염지하수 정화시스템을 개발하였다.

2004년에는 하수처리장에서 발생하는 하수슬러지를 퇴비로 재활용하고자 하는 기술이 개발되었다. 해안생태계를 파괴하는 불가사리를 방사선으로 처리한 하수슬러지와 혼합시켜 녹생토를 제조하였으며 이들에 대한 성능을 작물재배 비교실험을 통하여 수행하였다. 연구결과 녹생토의 성능이 매우 우수하면서 육상과 해양환경을 동시에 보존하는데 있어서 큰 기여를 할 수 있을 것으로 평가되면서 기업체의 관심을 끌었지만 기업으로의 기술이전 단계에서 하수슬러지에 함유된

미량의 중금속으로 인한 후속적 환경오염 유발 가능성 때문에 보류되었으며 지금까지 정부의 정책변화에 대한 적용시기를 기다리고 있는 상황이다.

2005년에는 한국전력이 사용하고 폐기하는 폐변압기내에 절연성을 높이기 위하여 절연유에 첨가된 환경오염물질인 PCBs(Poly Chlorinated Biphenyl)를 처리하는 기술을 개발하였다. 개발된 기술은 한국전력을 포함한 많은 기업들로부터 호평을 받았다. 기술개발 후 후속적으로 환경부에서 주관하는 환경신기술 인증을 획득하고 검증까지 완료하였다. 곧이어 국무총리실에서 주관하는 올해의 녹색기술상을 수상하였다. 기술은 (주)에너기아에 이전완료 되었지만 특정폐기물처리가 갖는 특성 상 공장건설을 위한 부지를 확보하지 못해 공장 건설은 실패하였다. 그 후 기술은 연구원으로 회수되었고 다시 (주)카리스이노비즈로 이전 완료되었다.

2010년 이동형전자선가속기가 실험실에서 개발된 방사선 환경보전기술을 현장에서 시연하기 위한 목적으로 구축되었다. 총에너지 0.65MeV, 33 mA, 20kW 출력을 지니고 있다. 본 장비는 다음해에 하폐수위생화 기술의 신기술 인.검증 실시때에 바로 현장에 투입되어 소기의 목적을 달성하였다.

2011년 제3차 원자력 중장기연구사업이 완료되고 하폐수 위생화 기술, 축산폐기물 처리기술 등이 개발되었다. 하폐수 위생화 기술은 하폐수 방류수중에 함유된 항생물질, 내분비장해물질, 대장균 및 미생물을 동시에 방사선으로 처리하는 기술로써 기술개발 완료 후 환경부에서 주관하는 신기술인증을 획득하고 검증도 수행하였다. 이에 따라 환경부로부터 신기술인증기업 인증서를 수여 받았다. 본 기술은 이후 (주)동서건설과 MOU체결을 거쳐 이전을 추진하였다. 방사선을 융합한 축산폐수처리기술은 기존의 여러 단위시스템으로 구성된 공정을 방사선으로 전처리 함으로써 단위공정을 줄일 수 있었으며, 관련 기술들이 현재 개발 중에 있다.

본 보고서는 1) 기술태동기: 1993-1996년 대전 본원에서 연구시작, 2) 기술성장기: 1997-2005년 1차 및 2차 원자력중장기 연구사업에서 수행한 연구기간, 3) 기술도약기: 2006-현재, 첨단방사선연구소에서 수행한 연구기간, 3 단계로 구분하여 작성하였고, 연구를 수행하면서 얻은 경험과 노하우를 체계적으로 기록함으로써 매우 보수적인 환경보전기술 분야에 있어서 새로운 기술 개발시 기존의 아이디어를 참고함으로써 새로운 연구 영역을 개척하는데 도움을 주도록 작성하였다.

목 차

1장 방사선이용 환경보전기술 개발의 역사 및 배경	1
1절 기술 정의 및 기술개발 역사	1
1. 기술정의	1
2. 기술개발 역사	1
2절 기술개발 변천사	3
1. 기술 태동기(1993 - 1996)	3
2. 기술 성장기(1997 - 2005)	4
3. 기술 도약기(2006 - 현재)	4
2장 기술개발 추진 실적	6
1절 방사선이용 수처리 기술 개발	6
1. 하수 재활용 기술개발	6
2. 지하수 복원 기술개발	13
3. 하폐수 위생화 기술개발	21
2절 방사선 이용 폐기물처리 및 재활용 기술개발	30
1. 하수슬러지 퇴비화 기술개발	30
2. PCBs(Poly Chlorinated Biphenyl) 처리 기술개발	36
3. 축산폐기물 퇴비화기술 개발	45
4. 축산환경중 잔류항생제 및 항생제내성균 처리기술 개발	50
5. 축산폐수 처리기술 개발	62
3절 방사선이용 환경보전기술개발 기반 구축	69
1. 이동형 전자선가속기 구축	69
3장 성과	79
1절 녹생토 제조기술	79
2절 PCBs 처리 기술 상용화	85
3절 하폐수 위생화 신기술 인증	93

방사선 조사시설 구축 및 운영

요약문

본 보고서는 원자력기술기록화 사업의 일환으로 방사선조사시설 구축 및 운영 분야의 연구와 운영기술 변천사에 대하여 서울 방사선조사시설, 대전 방사선조사시설 및 정읍방사선 조사시설 순으로 기술하였다.

1. 서울 방사선조사시설

국내 최초의 Co-60 감마선조사장치는 원자력연구소와의 통합 이전에 방사선농학연구소가 1965년경에 도입하여 공작동 남쪽에 설치되어 있던 1,000Ci Co-60 조사시설이었다.

두 번째는 미국 BNL의 Shipboard Irradiator(25,000Ci)로 1970년 서울 공릉동 소재 한국원자력연구소 부지에 설치되었다. 이후 1973년에 영국 United Kingdom Atomic Energy Authority (UKAEA)로부터 저준위 Co-60 감마선조사시설(10,000Ci)을, UNDP가 지원한 '대단위방사선가공처리 시범사업'의 일환으로 1975년도에 캐나다 원자력공사((AECL)로부터 고준위 Co-60 감마선조사시설(100,000Ci)을, 미국의 High Voltage Engineering Corporation (HVEC)사로부터 전자선가속기(300keV, 25mA)를 순차적으로 도입하여 설치되었다. 이 시설들은 방사선 멸균, 방사선 육종, 방사선을 이용한 고분자재료 개발, 물질의 내방사선성 평가, 보석류의 착색 등을 위한 광범위한 방사선조사서비스에 활용되다가 1991년 9월 대전 대덕의 한국원자력연구원으로 이전 설치되었다.

2. 대전 방사선조사시설

서울 공릉동의 원자력연구소 부지가 한국전력(주)에 매각됨에 따라 방사선조사시설은 대전 본소로 이전 설치되었다. 저준위감마선조사시설, 고준위감마선조사시설 및 전자선가속기를 1991년 9월부터 2005년도까지 방사선멸균 조사, 기능성 고분자재료 개발, 원전안전 성기기 검증업무(EQ), 공해처리 기술개발, 식품조사 및 유전육종연구 등 각종 연구를 위해 운영되었다. 이후 정읍 첨단방사선이용연구센터의 설립으로 고준위 방사선조사시설은 2005년에 정읍으로 이전 설치, 전

자선가속기는 폐기하였으며 저준위감마선조사장치는 2012년 원자력환경안전연구부에 이관되어 현재까지 운영되고 있다.

3. 정읍 방사선조사시설

원자력법(제8조의 2항)에 따라 2001년 7월 국무총리 주재 제251차 원자력위원회(2001.7.12.)에서 확정한 제2차 원자력진흥종합계획에 따라 2001년 5월 첨단방사선이용연구센터 설립(2002년부터 2006년까지 5년간 수행)을 의결하고 2003년 6월 전북 정읍시 신정동 1266번지에 첨단방사선이용연구센터 기공식을 가졌다. 첨단방사선이용연구센터의 핵심 원자력시설인 방사선조사시설은 2005년 12월 감마선조사장치 2기(고준위 49만Ci, 저준위 1만Ci), 2006년 9월에 전자선가속기(10MeV, 1mA), 2007년 4월에 이온주입장치(300KeV)를 순차적으로 구축하였으며, 방사선융합기술 개발과 국가 방사선 기술의 고도화 및 산업적 활용을 위해 KAERI 및 산·학·연 연구자들이 활발히 이용하고 있다. 시설의 안정적 운영을 위해 교육훈련 및 운영절차서 작성, Co-60 선원관리 및 방사선량을 측정하였으며, 연도별 방사선조사 지원현황(KAERI 및 산·학·연)과 조사시설을 이용한 연구부서의 주요 연구 성과물을 이용분야별로 기술하였다.

시설의 안정적 운영 및 양질의 조사서비스를 최대 목표로 동 시설을 관리하고 있으며, 방문객 및 지자체 주민에 대한 조사시설 홍보를 통해 방사선에 대한 대국민 원자력 이해도 증진에 큰 기여를 하고 있다.

목 차

제 1 장 방사선조사시설의 배경 및 역사	1
제 1 절 방사선조사기술의 정의 및 이용분야	1
1. 방사선조사기술의 정의	1
2. 방사선조사기술 이용분야	1
제 2 절 소내 방사선조사시설의 역사	3
제 2 장 서울 방사선조사시설 구축 및 운영	7
제 1 절 서울 방사선조사시설 구축 추진 배경	7
1. ‘Co-60 감마선조사시설’	7
2. ‘저준위감마선조사시설’(10,000Ci Co-60 조사실)	7

3. 'BNL 감마선 조사장치'(25,000Ci Co-60 조사실)	7
4. 대단위방사선조사시설	8
제 2 절 Co-60 감마선조사시설	10
제 3 절 BNL 감마선 조사장치	11
제 4 절 저준위감마선조사시설	12
제 5 절 고준위감마선조사시설	15
1. 시설 개요	15
2. 선원 보강	18
3. 방사선 멸균사업	18
4. 방사선 제품의 멸균관리	20
제 6 절 전자선가속기 시설	28
1. 시설 개요	28
2. 시설 운전 및 이용	28
3. 선량측정	28
제 7 절 국제협력	30
1. 극동 및 아시아지역 방사선멸균 자문회의 개최	30
2. 의료제품의 방사선멸균에 관한 시범훈련과정 개최	31
제 3 장 대전 방사선조사시설 구축 및 운영	32
제 1 절 조사시설 구축(이전) 추진 배경	32
제 2 절 조사시설 구축 및 운영	32
1. 건설	32
2. 운영	35
제 4 장 정읍 방사선조사시설 구축 및 운영	38
제 1 절 방사선조사시설 구축	38
1. 구축 배경	38
2. 사업규모 및 주요시설	38
3. 조사시설 이용 연구분야	39
4. 방사선조사 연구시설 건설	40
제 2 절 감마선조사장치 구축	46
1. 고준위감마선 조사장치	46
2. 저준위 감마선조사장치	61
3. 크레인 및 호이스트 설치	64
4. 참고문헌	65
5. 정보보안 레벨(공개여부)	66
6. 타기술 또는 과제와의 연관성	66

7. 키워드	66
제 3 절 전자선가속기	66
1. 선형가속기의 개요	66
2. 선형전자선가속기 구축	69
3. 시 운전 및 선량 측정	79
4. 참고문헌	84
5. 기술자료 목록(해당 아이템과 관련된 문서, 사진, 도면 등의 미발간자료)85	
6. 키워드	85
제 4 절 이온주입장치 구축	85
1. 기술개발 배경	85
2. 연구내용 및 결과	86
3. 연구의 주도적 참여자	97
4. 기술 요약	97
5. 연구개발시 문제점 및 이슈사항	97
6. 문제 극복사례 및 향후 추진방향	98
7. 관련 문헌	99
8. 기술자료 목록	99
9. 정보보안 level(공개여부)	99
10. 타기술 또는 과제와의 연관성	99
11. 키워드	99
제 5 절 교육훈련 및 운영절차서	99
1. 운전원 교육	99
2. 운영절차서 작성	100
제 6 절 Co-60 방사선원	101
1. Co-60 방사선원 이송	101
2. Co-60 방사선원 장전	102
3. Co-60 선원 특성 및 명세	102
4. Co-60 선원 보강 및 폐기(2011년)	103
제 7 절 선원 교체에 따른 방사선량을 측정	105
1. 개요	105
2. 측정 방법	105
3. 방사선 조사 위치별 방사선량을 측정	106
제 8 절 방사선조사시설 운영	109
1. 운영 목적	109
2. 조사시설 이용 연구분야	110
3. 방사선조사 지원 현황	111

4. 조사시설을 이용한 주요 연구성과	114
5. 국내성과 홍보	117
6. 참고문헌	118
7. 정보보안 레벨(공개여부)	119
8. 타기술 또는 과제와의 연관성	119
9. 키워드	119
제 9 절 향후 발전 방안	121
1. 선원 구입 비용 확보	121
2. 노후화 장비 교체 및 보수 대책	121
3. 시설 증강	121



사이클로트론(RFT-30) 구축 및 운영

요약문

사이클로트론(Cyclotron)이란 직류 자기장과 고주파 전기장을 이용한 원형의 하전입자 가속기로써 원자핵의 반응연구, 방사성동위원소 제조, 하전입자를 이용한 암 치료 등에 사용하고 있다. 기존의 13 MeV급 사이클로트론은 주로 병원에서 많이 쓰이는 F-18을 생산하는데 사용되고 있다. 하지만 더 다양한 방사성동위원소를 생산하고 관련연구를 수행하기 위해서는 30 MeV급 이상의 고에너지 사이클로트론이 요구된다. 이에 한국원자력의학원은 2004년부터 30 MeV급 사이클로트론 국산화를 위하여 원자력연구개발사업(중장기계획사업)을 통해 연구/개발에 착수하였다. 그 결과 IBA사와 TRIUMF사의 30 MeV급 사이클로트론 각각의 장점을 최대한 수용한 자체 모델인 KIRAMS-30을 개발하였다.

한편, 한국원자력연구원의 첨단방사선연구소 설립 후 국가 방사선기술 전문연구기관으로서 방사선 관련연구기반이 조기에 확립되어야 할 필요성이 제기됨에 따라, RI 개발 및 생산에 필수 장비인 30 MeV급 사이클로트론 시스템 도입에 필요한 ‘국가 방사선기술 고도화 기반구축’ 과제가 도출되었다. 이 과제의 위탁연구 형식으로 한국원자력의학원의 KIRAMS-30을 도입하여 정읍 첨단방사선연구소에 제작/설치하게 되었으며, RFT-30으로 명명하였다.

사이클로트론을 이용한 의료용 방사성동위원소 생산 및 방사성의약품 개발을 통하여 암, 뇌질환 등의 조기 진단이 가능하게 되고, 이는 국민건강 증진에 지대한 역할을 하게 될 것이다. 또한 30 MeV 사이클로트론은 의료·산업용 방사성동위원소 생산이외의 다양한 분야에서 활용할 수 있다. 산업분야, 특히 나노 반도체 소자 및 소재, 전하입자의 스핀트로닉스를 이용한 고용량 하드디스크, 비파괴 물질검사, 그리고 식물 유전체 연구 및 돌연변이 생성연구 등에 실질적으로 활용이 가능하기 때문에 관련분야의 파급효과는 대단히 클 것으로 예상된다.

현재 계획중인 사이클로트론 양성자빔을 이용한 고에너지 중성자 발생시설이 구축되면, 시설의 산학연 연구지원을 통하여 타부처/타기관과 연계한 다양한 분야에서의 융합형 응용 연구의 확대 및 spin-off 기술 개발 등의 효과를 가져올 수 있다. 또한 다양한 핵자료 획득을 통한 방사성동위원소 관련연구의 기초기반

확립 및 방사성동위원소 관련산업(방사성의약품, 방사선치료 등)의 활성화와 시설의 산학연 연구활용/지원을 통한 전문인력 양성 및 고용 창출 등의 효과가 기대된다.

목 차

제 1 장	사이클로트론 구축사업 개요	1
제 1 절	사이클로트론 개요 및 원리	1
제 2 절	사이클로트론 개발 약사	7
제 3 절	추진 경위	10
제 2 장	종합연구동 구축	12
제 1 절	건설사업 개요	12
제 2 절	종합연구동 설계 및 건설	14
제 3 장	사이클로트론 구축	19
제 1 절	사이클로트론 개발	19
제 2 절	사이클로트론 이전	31
제 3 절	사이클로트론 정상화 및 시운전	42
제 4 장	사이클로트론 원자력안전법 인허가	52
제 1 절	원자력 인허가 개요	52
제 2 절	방사성동위원소 생산허가 신청 및 심사	53
제 3 절	생산허가 심사 및 시설검사 결과	54
제 5 장	사이클로트론 이용 연구	56
제 1 절	방사성동위원소 생산 연구	56
제 2 절	방사성표지화합물 개발 연구	57
제 3 절	방사성 동위원소 및 표지화합물 생산자동화 연구	58
제 4 절	사이클로트론 이용 연구지원	60

제 6 장 사이클로트론 운영 및 발전방향	61
제 1 절 종합연구동 운영 및 발전방향	61
제 2 절 사이클로트론 성능 강화 방향	61
제 3 절 향후 전망과 기대효과	62



우라늄 정련 변환 재변환 기술

요약문

우라늄 정련 변환 재변환은 천연으로부터 우라늄 물질 만을 순수한 형태로 추출하여 원자로에 사용할 핵연료로 가공하기 위하여 여러 가지 우라늄 화합물로 화학적 변환시키는 일련의 과정을 말한다. 국내 핵연료 주기에 대한 관심은 1976년 재처리사업이 보류되면서 이를 대신 하여 화학처리대체사업을 수행하면서부터 시작되었다. 화학처리대체사업으로 우라늄정련변환시설에 대한 시설 건설이 1979년 5월부터 시작되어, 1982년 4월 시설준공식을 가졌다. 우라늄정련변환시설에 대한 시운전이 불란서 기술자가 참여한 가운데 있었다. 정련시설 시운전에서는 우라늄 광 처리 규모 150kg/hr에 충분하였고 95% 이상의 좋은 침출효율과 계약상 수치에 만족할만한 결과를 얻었으며 최종적으로 71.3%의 Yellow cake(U3O8)을 얻었다. 변환시설 시운전은 20kg/hr 규모로 Yellow cake인 U3O8부터 시작하여 용해, 정제, ADU(ammonium di-uranate) 침전, 배소 및 환원을 거쳐 UO₂를 제조하였으며 또한 이를 40kg/hr 규모로 무수-불산(HF)과 반응시켜서 순도 95%의 UF₄를 제조하였다. 이로써 우리나라는 단번에 선행핵연료주기에 대한 기술을 보유하게 되었으며, 이를 바탕으로 관련된 핵연료주기 전반에 관한 기술을 더욱 발전시킬 수 있는 계기가 되었다.

우라늄 정련시설은 국내산 우라늄원광에 대한 경제성 검토를 위한 시설운전이 1983~1984에 걸쳐서 있었고, 그 후 우라늄 정련 대체공정연구에 이용 후 1990년 12월 정련시설 휴지 신고 그리고 1995년 2월 6일 정련시설 폐지 신고로 정련시설은 막을 내리게 되었다. 한편 우라늄 변환시설은 시운전 후 우라늄정제공정개선, 장치 개선 및 자동화, 등을 거친 후, 중수로용 핵연료를 실증 생산하는데 충분히 활용되었다. 변환시설은 1992년 12월 휴지이래로 사후관리를 받다가, 2001년부터 제염해체되어 2012년 환경복원 되었다.

핵연료 국산화는 핵연료 제조를 위한 변환공정 비교연구로부터 본격적으로 시작되었으며, 1980년대 초반부터 시작된 실험실적 연구가 바탕이 되었음은 말할 것도 없다. 핵연료 제조를 위한 공정으로 습식공정인 AUC(ammonium uranyl carbonate) 공정을 채택하였으며, 공학규모로 대규모화 연구를 수행하여 성공적

으로 핵연료를 실증 생산한바 있다. 그 후 핵연료 생산을 위한 변환 및 재변환 기술은 한전원자력연료주식회사로 이관되었다.

우라늄 정제 기술에 관한 연구와 UF₄ 및 우라늄 금속 제조를 위한 공학규모 연구가 있었으며, 이로부터 우라늄 농축기술을 제외한 선행핵연료주기 기술에 대한 완성을 이루었다.

목 차

제 1 장 우라늄 정련 및 변환 시험시설 도입	1
제 1 절 기술개발 배경	1
1. 기술 개요	1
1.1 용어정의	2
1.2 우라늄 채광 및 정련	3
1.3 우라늄 변환	4
2. 정련 및 변환 시험시설 도입 배경	4
3. 국제협력 추진 경위	5
제 2 절 연구방법 및 진행 경과	6
1. 우라늄 정련	6
1.1 국내산 우라늄광의 탐사	6
1.2 우라늄정련시험시설	18
2. 우라늄변환시험시설	42
2.1 우라늄변환시험시설의 도입 및 시운전	42
2.2 우라늄변환시험시설 운영요원의 교육훈련	43
2.3 우라늄변환시험시설의 단위공정 및 시운전	43
제 3 절 우라늄 정련 및 변환 시험시설 시운전 결과	47
1. 수행후기	47
2. 우라늄 정련/변환 기술 요약	47
3. 우라늄정련 기술개발 연대기	48
4. 성과 및 활용	48
5. 문제 극복사례 및 향후 방향	48
5.1 IAEA 특별사찰	50
5.2 과학기술부감사	51

5.3 관련 행정 절차 및 공문	51
6. 키워드	51
제 2 장 핵연료 제조 기술 개발	55
제 1 절 기술개발 배경	55
1. 변환 및 재변환 기술 정의	55
2. AUC 공정 기술개발 배경	56
3. 국제협력 추진 의의	59
제 2 절 기술개발 변천사	60
1. 우라늄변환시험시설 공정 개선	60
1.1 용매추출 장치 개선	60
1.2 용해 및 여과장치 개선	61
1.3 폐기물 처리 공정 및 라군 증축	62
1.4 변환시설 운영(1988~1992)	63
2. AUC 변환 및 재변환 공정개발	67
제 3 절 AUC 변환 및 재변환 공정기술 개발	70
1. AUC 공정개발 기초연구 단계(1979~1981)	70
2. AUC 공정 파일럿 Plant 실증 단계(1982~1986)	77
2.1 1톤 Bench plant	77
2.2 10톤 파일럿 Plant	80
2.3 25톤 파일럿 Plant	87
제 4 절 중수로/경수로 핵연료 국산화 단계	91
1. AUC 변환 및 재변환 상용시설(1986.3~1994.8)	91
1.1 AUC 변환 상용시설(1985. 4~1992. 12)	93
1.2 AUC 재변환 상용시설(1986. 3~1990.12)	103
1.3 UO ₂ 분말특성 개선 및 공정 개선(1987.1~1994.8)	117
제 5 절 핵연료주기 기술자립 의의	121
제 3 장 핵연료주기 변환기술	135
제 1 절 우라늄 정제기술	135
1. 우라늄 정제기술개발 개요	135
2. 우라늄 정제기술 개발배경 및 주요 기술개발 실적	135

2.1	우라늄 정제기술개발 배경	135
2.2	우라늄 추출계의 화학평형 연구	136
2.3	비분리처리 기술개발 연구	137
2.4	핵중분리 공정 연구	137
2.5	화학공정 동특성모사 전산코드 연구[15]	138
제 2 절	UF4 제조기술	140
1.	UF4제조 기술개발의 착수와 태동	140
2.	감손 우라늄금속의 산업적 활용을 위한 UF4 제조기술 개발	140
2.1	방사선 차폐재료개발 과제의 출범	142
2.2	2.5 kg/hr 규모의 UF4 제조실험장치 설계와 구축	142
2.3	감손 UF6 핵물질 이송 및 취급	145
2.4	UF4 제조실험 및 Scale-up 설계자료 생산	146
3.	50톤/년 규모 UF4제조시험시설의 건설과 운영	155
3.1	50톤/년 규모 UF4 제조시험시설의 설계 및 건설계획 지연	155
3.2	50톤/년 규모의 UF4 제조시험시설의 건설부지 선정	156
3.3	50톤/년 규모 UF4 제조 시험시설의 설계와 건설	156
4.	국내도입 감손 UF6 핵물질의 자원화를 위한 과제제안 노력	187
5.	UF4 제조 기술개발의 주요 연대기	188
제 3 절	우라늄금속 제조기술	189
1.	우라늄 금속제조 기초기술개발	189
1.1	우라늄 금속제조 기술개발 착수	189
1.2	우라늄 금속제조 연구방법 및 추진과정	190
2.	공학규모 우라늄 금속제조 기술개발	204
2.1	공학규모 우라늄 금속제조 기술개발 배경	204
2.2	우라늄 금속제조 연구방법 및 추진과정	205
3.	우라늄 금속제조 기술개발 주요성과 및 기술개발 후기	217
3.1	우라늄 금속제조 기술개발 후기	217
3.2	우라늄 금속제조 기술개발 요약	219
3.3	우라늄 금속제조 기술개발 주요성과 및 활용	219
4.	핵연료주기 변환기술 키워드	220

핵연료성능평가코드 개발

요약문

1997년부터 2007년까지 10년여에 걸쳐 개발된 INFRA는 시대의 요구에 부응하여 기존의 저연소도 핵연료에 한정된 핵연료 성능평가기술을 고연소도까지 확대하고, 국내 고유 코드체계를 확보하기 위한 목적으로 개발되었다.

INFRA 개발을 위해, NRC의 FRAPCON을 참조 코드로 하여 고유의 성능모델들을 개발하여 적용하였으며, 특히, 핵분열 기체방출 모델, Rim microstructure 생성 모델, 열전도도 저하 모델 등 고연소도 핵연료를 대상으로 한 최선의 모델들이 포함되었다. 또한, 핵연료 기계적 해석을 위해 FEM 모듈을 학계와의 협동 연구를 통해 장착하여 앞선 기술력을 확보하였다.

개발된 INFRA 코드는 Halden Reactor Project 및 CABRI Project의 참여로부터 확보된 신뢰도 높은 DB를 통해 검증되었으며, IAEA CRP FUMEX-II를 통한 benchmark 프로그램을 통해 해외 유수의 성능평가코드들과의 비교/검증에서 우수한 예측성능을 확인하였다.

INFRA 코드 및 개발 기간동안 확보된 여러 기술들은 현재까지도 학계, 규제 기관 등에 기술이전이 진행되어 활발히 사용되고 있으며, 다양한 후속연구 및 수탁과제 등에 직접 적용되어 널리 활용되고 있다.

목 차

제 1 장 성능평가코드 기술개발 역사 및 배경	1
제 1 절 참조코드 선정	1
제 2 절 코드개발 계획 수립	2
제 2 장 단계별 코드 개발 경험	8
제 1 절 핵심 모델 개발	8
제 2 절 모델 이식 및 코드 개발	71

제 3 절 고연소도 핵연료 성능평가 코드 INFRA 검증	117
제 3 장 코드 개발 경험 활용 및 전파	156
제 1 절 개발 기술 활용 현황	156
제 2 절 코드 개발 후 기술전파	159
첨부1	166
제 4 장 국제협력	174
제 1 절 Halden Project	174
제 2 절 CABRI Project	185



지지격자 개발

요약문

1986년에 독일의 Siemens/KWU 및 미국의 ABB/CE사로부터 경수로핵연료 설계기술을 습득하여 시작한 한국원자력연구원의 경수로핵연료사업이 정부방침에 따라 1996년 말에 산업체인 KNF로 이관할 때 까지 한국원자력연구원에서는 경수로핵연료집합체의 핵심 구조부품인 지지격자에 대한 통상적인 설계기술을 보유하고 있었으나 독자적으로 지지격자를 연구개발을 할 수 있는 계기가 된 것은 1997년에 시작한 원자력증장기계획사업의 일환으로 추진된 경수로용신형핵연료 개발의 지지격자개발과제가 출범하고부터라고 말할 수 있다.

경수로핵연료에 있어서 지지격자는 일차적으로 핵연료봉을 견전하게 지지하는 구조부품으로 개발되었으나 점차적으로 핵연료의 성능도 향상시키는 구조부품으로 개발되고 있다. 지지격자는 경수로핵연료집합체 구조부품 중에서 백미라고 불려 질 수 있을 만큼 핵연료 성능개선에 중요하였고 또한 개발 후에는 부가가치와 원천기술 확보에 미치는 영향이 매우 크다고 생각되었기에 핵연료사업이 산업체로 이관된 후 연구소에 남게 된 핵연료집합체 구조 및 열수력 설계분야의 인력을 주축으로 1997년 7월부터 2007년 2월 까지 지지격자개발과제를 수행하게 되었다.

1997년에 지지격자개발과제를 시작할 때까지만 해도 지지격자에 대한 연구개발 경험, 기술 및 시설 등이 거의 없었던 시기에 지지격자개발에 대한 후발주자인 우리로서는 해외 핵연료회사들의 선행특허를 피할 수 있는 우리 고유의 지지격자 형상들을 고안하여 국내·외로부터 특허를 획득하는 것과 고안된 지지격자 형상이 당시의 최첨단 상용핵연료 지지격자에 비해 기계/구조적 및 열수력적 성능이 우월함을 객관적으로 실증하는 것이 과제의 일차적인 목적이었고 부수적으로는 연구인력 양성, 연구시설 및 연구역량을 확보하는 것이었다.

지지격자개발과제의 주목할 연구성과로는 16종의 고유 지지격자 형상을 고안하여 국내·외로부터 특허를 획득하였고 고안된 고유 지지격자 형상에 대한 screening test를 거치고 성능극대화를 위한 형상최적설계를 거쳐서 기계/구조적 및 열수력적 성능이 우수한 지지격자 형상 2종을 선정하였으며 선정된 고유형상

의 지지격자에 대하여 균일한 용접품질을 갖는 용접공정 개발, 상세 성능해석 수행 및 국내·외의 시험시설을 이용한 성능시험을 통해 당시의 최첨단 상용핵연료 지지격자에 비해 기계/구조적 및 열수력적 성능이 우월함을 객관적으로 입증하였는데 특히 핵연료봉의 프레팅마모 저항성을 월등하게 향상시키는 지지격자 스프링 형상과 개념을 개발하여 국내·외로부터 특허를 획득하였다. 우리가 획득한 모든 특허권은 한국원자력연구원과 한전수력원자력발전소가 공동권리자로 등재되어 있다. 한편 지지격자체의 내부격자판을 용접할 때 기존의 레이저 점용접 방법 이외에 조립된 내부격자판의 교차선을 따라 선용접할 수 있는 원리를 제시하고 이를 구현할 수 있는 장치를 고안하여 국내·외로부터 특허를 획득하였으며 이를 지지격자체 시편 제조에 적용하였다. 제조된 지지격자체 시편에 대한 측면 충격시험 및 해석을 수행한 결과 기존의 레이저 점용접한 경우에 비해 선용접한 경우가 지지격자체 측면 충격강도를 최대 80%까지 증강시킬 수 있음을 확인하였는데 지지격자체 선용접 기술은 핵연료의 지진 설계기준이 상향될 경우에 유용하게 활용될 수 기술이다.

상기와 같은 우수한 연구성과가 과학기술부의 지원을 받아 원자력중장기계획 사업으로 개발되었음에도 불구하고 안타깝게도 산업체에서는 한국원자력연구원의 연구성과를 활용할 계획을 시행하기 보다는 별도로 산업자원부의 지원을 받아 KNF와 외국 핵연료 회사와 공동으로 개발한 핵연료 및 지지격자를 국내 원자력발전소의 핵연료로 공급하고 있다.

목 차

제 1 장 경수로용신형핵연료의 고성능지지격자 기술개발 역사 및 배경	1
제 1 절 고성능 지지격자 기술개발 배경 및 의의	1
1. 핵연료집합체와 지지격자	1
2. 지지격자 구조	3
3. 지지격자 개발시에 필요한 기술 정의	4
4. 고성능 지지격자 기술개발 배경 및 역사	6
4.1 경수로핵연료 공동설계사업	6
4.2 경수로핵연료 독자설계사업	8
4.3 신형핵연료개발타당성연구 (53284-96)	13
4.4 고성능지지격자개발 1단계 연구 (53134-97, -98, 53136-99)	16

4.5 고성능지지격자개발 2단계 연구 (53144-00, -01, 53124-02, 524008-01)	
18	
4.6 고성능지지격자개발 3단계 연구 (53124-03, -04, -05, -06)	32
5. 고성능지지격자기술개발 추진시 전략	42
제 2 절 경수로 핵연료용 지지격자의 국내 연구/개발 이력	55
1. 전량 수입 단계 (~ 1985)	55
2. 공동설계 및 국내 Licensing 생산단계 (1986~1996)	56
3. KAERI의 독자 개발 단계 (1997~2007)	59
4. 국내 핵연료회사의 공동개발 단계 (1999-2004)	62
제 2 장 고성능 지지격자 핵심기술 개발	68
제 1 절 지지격자 기계/구조 기술	68
1. 프레팅 마멸 연구	68
1.1 설계 및 해석 기술	68
1.2 시험 기술	74
2. 지지격자 해석 및 시험 기술	86
2.1 해석기술	86
2.2 시험기술	89
3. 핵연료봉 진동 해석 및 시험기술	102
3.1 핵연료봉 진동 해석 기술	102
3.2 핵연료봉 진동 시험 기술	106
4. 핵연료집합체 유동기인진동 시험기술	113
4.1 유동기인진동 시험 기술	113
제 2 절 지지격자 열수력 기술	119
1. 지지격자 열수력 성능 향상 연구	119
2. 지지격자 난류유동 해석	120
2.1 전산유체해석 기술	120
2.2 지지격자 유동혼합날개 설계	123
3. 지지격자 난류유동 시험	128
3.1 시험장치	128
3.2 시험결과	131
4. 지지격자 압력손실 시험	134
4.1 시험장치	134
4.2 시험결과	136

5. 지지격자 임계열유속 시험	138
5.1 시험장치	138
5.2 시험결과	141
제 3 절 지지격자 제조/용접 기술	146
1. LBW 점용접에서 최적 용접파라미터 선정	146
2. 측면 충격강도 증강을 위한 선용접(Line welding) 기술 개발	161
3. 지지격자체 측면 충격강도 향상을 위한 시도	168
제 4 절 지지격자 개발과제 중에 일어난 에피소드	179
1. Siemens/KWU와 협력 문제	179
2. AECL 프레팅 마모시험	179
3. 과제책임자의 위상	180
4. 과제책임자의 역할	181
제 3 장 고성능지지격자 특허와 타회사 특허와의 침해 논쟁	183
제 1 절 KAERI의 Contoured spring 개발 이력	183
제 2 절 PLUS7 핵연료 지지격자와의 특허분쟁	192
1. PLUS7핵연료 지지격자의 미국특허 등록	192
2. KAERI 특허와 선형특허와의 저촉가능성에 검토	197
3. PLUS7 핵연료 지지격자의 미국특허 등록에 대한 대책	200
4. 특허분쟁 관련 자료 모음	201
제 4 장 에필로그	283
후 기	289
참 고 문 헌	290
추가로 참고할 만한 자료	294
첨 부 자 료	301

하나로 핵연료 국산화/제조기술

요약문

한국원자력연구원에서는 1980년대에 캐나다 AECL의 도움 받아 다목적연구용 원자로를 설계되면서 캐나다가 저농축핵연료로 개발한 AI기지에 U3Si가 분산된 봉상 핵연료가 다목적연구용원자로 즉 하나로용으로 선정되었다. 이 하나로 핵연료를 국내에서 가공하여 공급하고자 핵연료기술을 개발하기 위하여 “다목적연구로용 핵연료 국산화 기술개발”연구가 1987년 5월부터 특정연구과제로 수행되었다. “다목적연구로용 핵연료 국산화 개발” 연구과제 1단계가 1987년부터 1990년까지 핵연료 설계분야, 핵연료 제조분야, 임계해석 분야로 나누어 수행되었고, 연구과제 2단계는 1991년부터 시작했으나 1년간 수행한 후 1992년부터는 중장기 연구 사업으로 계속 추진되었다. 1998년에는 원자력연구개발사업 보완기획 종합평가에서 하나로핵연료 기술개발을 완료한 것으로 평가를 받고 핵연료 국산화에 필요한 핵연료 공정장치 제작 및 가공시설은 별도 실용화 연구사업으로 추진토록 하는 과제 평가의견을 받았다. 또한 새로운 핵연료 제조기술인 원심분무 핵연료분말 제조기술이 핵연료 성능 면에서도 입증되어 하나로의 핵연료는 물론 외국의 연구로 핵연료에도 활용될 전망이 있어 하나로 핵연료 국산화사업을 더욱 촉진하는 계기가 되었다. 2001년에는 핵물질 가공사업 허가를 받게 됨에 따라 핵물질 가공사업 장비 시설을 설치할 핵연료기술개발동을 착공하였다. 더불어 중장기 연구사업으로 개발한 하나로핵연료의 성능을 실증하는 노내연소시험을 실시하였다. 그리고 마침내 2004년에 본격적인 시설의 가동하게 되었으며, 현재까지 하나로에 필요한 핵연료를 전량 제조하여 공급하고 있다. 본 보고서에서는 이러한 하나로 핵연료 국산화 수행과정을 상세히 기록하였다.

목 차

제 1 장 하나로 핵연료 국산화/제조기술 배경 및 역사	1
--------------------------------	---

제 1 절 기술의 정의	1
제 2 절 기술개발의 배경 및 역사	2
제 3 절 기술개발의 의의	9
제 2 장 연구로 핵연료 기반기술 및 하나로 핵연료 공정기술 개발	10
제 1 절 연구로 핵연료 기반기술	10
1. 개요	10
2. 핵연료 물질의 종류	10
3. 연구용 원자로 종류별 핵연료 형태	30
제 2 절 하나로 핵연료 공정 기술 개발	42
1. 캐나다 AECL, Chalk River Nuclear Laboratories (CRNL)의 핵연료제조공정 및 시설	42
2. U-Si 합금 주조공정 기술개발	58
3. U3Si 열처리공정 기술개발	59
4. U3Si 파쇄분말 제조공정 기술개발	62
5. 구형입자의 균질 혼합공정 개선	75
6. 와전류탐상검사 기술개발	87
7. 봉단마개 용접공정 기술개발	104
8. 봉단마개 용접부 비파괴검사 기술개발	128
제 3 절 Dummy 핵연료 제조	136
1. 시설	136
2. KMRR dummy fuel 과제 연혁	137
3. Dummy fuel 집합체 제조	138
4. 품질문서	149
5. 결론	154
제 3 장 하나로 핵연료 적용 검증시험 및 평가	156
제 1 절 노외특성 평가	156
1. 핵연료 기계적특성 시험	156
2. 열전도도 특성	160
3. 핵연료 양립성 시험평가	179
4. 부식특성 평가	201
5. 결론	206
제 2 절 열수력 시험	207
1. 개요	207

2. 실험	208
3. 실험결과	212
4. 결론	219
제 3 절 노내 연소시험	224
1. 서론	224
2. 조사 시험 계획 및 일정	225
3. 조사 시험봉 및 집합체 설계	229
4. 조사시험봉의 제조 및 노외특성 평가	233
5. 노내 성능 및 안전성 평가	237
6. 조사후 시험 평가	254
제 4 장 새빛연료과학동 건설 및 관련 인허가 취득	307
제 1 절 새빛연료과학동 건설 추진 배경	307
1. 하나로 핵연료 가공기술 개발 완료	307
2. 원심분무 핵연료 분발 제조기술 개발	307
3. 신규 핵연료 연구시설 필요	308
4. 새빛연료과학동 건설	308
제 2 절 인허가 자료 작성	308
1. 사업계획서 작성	309
2. 가공기술능력에 관한 설명서	313
3. 가공시설의 위치, 구조 및 설비와 가공방법에 관한 서류	318
4. 방사선환경영향평가서	324
5. 가공사업 운영에 관한 품질보증계획서	326
6. 안전관리규정	326
7. 설계 및 공사방법에 관한 서류	327
제 3 절 하나로 핵연료 가공사업 인허가 추진	327
1. 가공사업 허가 신청	327
2. KINS 심사질의 및 답변	328
3. 가공사업 허가 심의와 의결	348
4. 부지 구조물의 시설 검사	351
5. 공정장비 및 유틸리티 시설검사	360
6. 감마스캐닝 장비 시설검사	409
7. 사업개시 신고	409
제 4 절 새빛연료과학동 건설	410
1. 시설 설계	410
2. 설계 주요 내용	410

3. 주요 변경 사항	413
4. 시설 개요	413
5. 건설 공사 추진	413
제 5 절 공정장비 및 유틸리티 구축	416
1. 동심압출기	416
2. 인발기 장치 제작	426
3. 200 Ton 수직압출기 개조 및 이전설치	429
4. 원심분무 분말제조 장치 제작	435
5. 핵물질 저장시설 제작	449
6. 집합체 용접장치 제작	454
7. 감마스캐닝 장치 보완	456
제 5 장 하나로 핵연료 양산화	460
제 1 절 가동 인허가 추진	460
1. 우라늄 세수 폐액 처리기술	460
2. 환기설비 관리	468
제 2 절 하나로 핵연료 가공생산 및 공급실적	480
1. 양산 공정에 대한 기술적 해결	480
2. AECL 핵연료 수리	492
3. 하나로핵연료 생산 및 공급실적	495
제 3 절 하나로 핵연료 국산화/제조기술 개발 중 특기 사항	500
제 6 장 종합 및 결론	504

조사후시험시설 건설 및 연구

요약문

조사후시험시설은 1970년 초 정부의 핵연료주기기술 확보차원에서 의욕적으로 추진한 프랑스 차관사업으로 건설된 시설로 사용후핵연료에 대한 여러 가지 시험 및 검사를 통하여 월자력 발전의 안전성 검증과 관련 기술개발에 필수적인 중요 연구시설이다.

1985년 시설을 준공한 이래 지금까지 30여년 동안 약 20 여차에 걸쳐 국내 발전소의 가압경수로 사용후핵연료를 수송하고, 이 사용후핵연료에 대한 조사후시험을 수행하였다. 이를 통하여 처음으로 국내 가압경수로 사용후핵연료를 운반, 취급 및 시험할 수 있는 기회를 제공하고 관련기술을 개발하고 국내 가압경수로 사용후핵연료의 안전성을 검증하였을 뿐만 아니라 새로운 핵연료의 개발에 필요한 노내 성능자료도 제공할 수 있었다. 그러나 오랜 시간이 지나는 동안 조사후시험시설 건설 및 운영의 초창기 멤버들이 퇴직하여 연구소를 떠났거나 떠나고 있고, 또 관련 자료들도 잘 관리가 되지 않을 뿐만 아니라 손실된 것도 많아, 중요한 과거기술을 보전하고 후대에 전수하기 위한 기록화가 필요한 실정이었다.

이번 "조사후시험시설 건설 및 연구" 기록화사업을 통하여 그 동안 방치되었거나 개인이 소지하고 있던 조사후시험시설 건설 및 연구개발 관련된 자료들을 수집 발굴하고, 희미해져 가는 기억을 되살려 이를 정리하여 중요기술과 그 과정을 기록함으로써 앞으로 조사후시험시설의 운영 및 연구에 중요한 기술전수 자료로 쓰이도록 노력하였다.

본 기록보고서는 조사후시험시설의 건설 및 운영에 중점을 두고 조사후시험기술 개발 및 연구 내용도 함께 기술하였으며 모두 2장으로 구성하였다. 1장에는 조사후시설의 건설과 운영에 관련한 내용들을, 2장에는 조사후시험 기술개발 및 조사후핵연료의 시험평가 등 관련 기술개발 및 연구 내용을 기술하였다.

목 차

제 1 장 조사후시험시설 건설	1
제 1 절 사업추진 경위 및 배경	1
1. 배 경	1
2. 추진 경위	2
3. 건설 준비 기초조사	13
4. 건설공사 및 연구개발 계획 수립	16
5. 국내·외 기술연수	19
참고문헌	21
제 2 절 조사후시험시설 공정 및 설계	23
1. 시설 개요	23
2. 시설의 개념정립	27
3. 풀 시설	34
4. 핫셀 시설	39
5. 기타설비	44
참고문헌	55
제 3 절 조사후시험시설 건설	56
1. 건설공사 개요	56
2. 건설 인허가	57
3. 건축	65
4. 기기장치 구매 및 설치	72
참고문헌	78
제 4 절 조사후시험시설 운영	79
1. 시운전	79
2. 운영	89
3. 시설 유지 및 보수	99
4. 기타	108
참고문헌	116
제 2 장 조사후시험 연구 및 기술개발	117
제 1 절 조사후시험기술 및 장치개발	118
1. 월성로형 핵연료 조사후시험 및 장치개발	118
2. 가압경수로형 핵연료의 조사후시험 및 장치개발	120
참고문헌	124
제 2 절 가압경수로형 조사핵연료 시험평가기술 개발	125

1. 정상연소 사용후핵연료 조사후시험 평가	126
2. 고연소 핵연료 조사후시험 평가	128
3. 손상핵연료 조사후시험 평가	131
참고문헌	137
제 3절 국제협력 및 기타활동	138
1. TMI-2 노심 용융체 조사후시험	138
2. KAERI-IAEA 공동연구	139
3. KAERI-JAERI(현 JAEA) 조사후시험기술 협력	139
참고문헌	142



조사재시험시설 건설 및 연구

요약문

조사재시험시설(Irradiated Materials Examination Facility, IMEF)은 각종 조사재료(하나로 조사 핵연료 및 재료, 상용원자로 구조재료 등)의 핫셀시험시설이다. 연구원 내 추가적인 핫셀시설 확보의 필요성에 따라 조사재시험시설은 1987년도에 건설이 시작되어 1993년도 완공되었으며, 인허가 관련절차를 이행한 후 1996년도부터 정상가동에 들어갔다. 이 후 현재까지 각종 조사재에 대한 핫셀 시험을 수행함으로써 원자력 연구개발 등에서 필요로 하는 시험 자료를 생산, 지원하고 있다.

본 보고서에는 조사재시험시설 건설 당시의 추진 경위와 배경, 설계개념 수립, 설계, 장치구매, 건설공사, 인허가 등 일련의 건설사업 과정이 종합적으로 정리되었으며, 신규 원자력시설 건설과정에서의 난관 극복의 경험과 시설에 필요한 주요 핵심기술들도 요약 정리하였다. 이 기술기록은 향후에 유사한 원자력시설을 건설할 경우에 참고가 되도록 하였으며, 설계개념의 수립, 설계 및 공사 등 건설 각 단계별로 활용이 가능하도록 작성하였다.

본 보고서의 앞 부분에는 우선 조사재시험시설을 건설하게 된 추진 경위로부터 이를 추진하기 위한 국내외 시설조사, IAEA 등 국제협력 부분을 정리하였고, 정부의 승인을 받기 위한 설명 및 인허가 절차이행 부분을 정리하였다. 또한 조사재시험시설의 기능 및 시설구조의 개념을 기술하였는데, 핫셀을 포함한 건물배치 전략과 핫셀 지원설비의 구축방안을 요약하여 기술하였다. 건설 단계에서는 사업을 원활히 추진하기 위해 설계관리, 구매관리, 시공관리, 인허가 및 사업관리 등 사업수행체제를 어떻게 구성하여 추진하였는지를 설명하였으며, 시설 본래의 기능인 핫셀시험 기능을 충실히 하기 위해 적절한 시험공정을 수립하고 각종 시험기기를 선정하게 된 내역을 설명하였다. 또한 핵심시설인 핫셀 구조물의 설계개념을 정리하였으며, 이 핫셀운전을 지원하기 위한 수조, 물질이송계통, 공기조화계통, 전력공급계통, 방사선감시계통 등에 대해서 각 계통별로 설계 개념과 중요한 기술들을 요약 정리하였다. 마지막으로 시설운영의 단계로서 각종 조사재에 대한 시험내용, 시험기기의 확충 부분을 다루었으며, 시설의 유지관리도 포함

하였다. 또한 시설운영과 관련되어 국내외 기술협력 부분도 포함하였다.

목 차

1. 조사재시험시설 건설사업 개요	1
1.1 사업추진 배경 및 경위	1
1.2 조사재시험시설 설계개념	5
1.2.1 시설 기능	5
1.2.2 건물배치 및 핫셀배치	7
1.2.3 등급분류	7
1.2.4 방사선구역 설정	8
1.2.5 설비계통 설계개념	9
2. 조사재시험시설 건설	10
2.1 건설사업 수행체제	10
2.1.1 사업 수행 체계 및 조직	11
2.1.2 설계관리	12
2.1.3 장치구매관리	31
2.1.4 시공관리	31
2.1.5 인허가 및 사업관리	36
2.2 건물	39
2.2.1 건물의 기능	39
2.2.2 건물의 구조	40
2.2.3 등급분류(classification)	43
2.2.4 건물의 계통	47
2.2.5 건물설계 및 구조해석	48
2.2.6 각 층별 설계도	49
2.3 시험공정 및 시험기기	50
2.3.1 시험기능 정립 및 시험기기 선정	50
2.3.2 비파괴시험(M1 핫셀)	51
2.3.3 절단 및 가공장치(M2 핫셀)	58
2.3.4 시편준비 장치(M3 핫셀)	60
2.3.5 시편저장(M4 핫셀)(보완 예정)	64
2.3.6 기계적·물리적특성 시험장치	64
2.3.7 조직시험장치	78

2.3.8	알파감마 핫셀장치	83
2.3.9	비 핫셀구역 실험장치	83
2.4	수조 및 핫셀계통	98
2.4.1	수조 구조물	98
2.4.2	핫셀구조물	100
2.4.3	납유리	105
2.4.4	원격조종기	108
2.4.5	핫셀도어	109
2.5	물질이송계통	115
2.5.1	기자재 취급설비	115
2.5.2	점검 내용 및 주기	117
2.6	공기조화계통	125
2.6.1	설계 기준	125
2.6.2	계통 및 기기	127
2.6.3	계통 운전	130
2.6.4	시험 및 검사	130
2.6.5	안전성 평가	131
2.6.6	핫셀 환기 계통	131
2.6.7	공기조화계통 관련 설비 현황	133
2.7	전기계통	136
2.7.1	시설 내 전력공급 전략과 전원등급 개념	137
2.7.2	비상전원설비	139
2.7.3	변전실의 온도관리 사항	139
2.7.4	지하 침수에 대비한 대응전략 및 조치	139
2.8	방사선감시계통	140
2.8.1	지역방사선감시기(area monitor)	140
2.8.2	공기오염감시기(room air monitor)	141
2.8.3	핫셀 출입문감시기(hot cell monitor)	141
2.8.4	덕트 모니터(duct monitor)	142
2.8.5	고정 오염감시기(hand/foot monitor)	142
2.8.6	종합감시계통	142
2.8.7	기타 방사선 감시기의 운영등에 관한 문제점 등	143
3.	조사재시험시설 운영	144
3.1	핫셀시험지원	144
3.1.1	기능확장기(1994년~1999년)	144

3.1.2 서비스 극대화(2000년~2006년)	147
3.2 시험기능의 확충	185
3.2.1 EPMA(전자탐침미량분석기)교체 및 차폐보강	185



서 지 정 보 양 식

수행기관보고서번호		위탁기관보고서번호	표준보고서번호	INIS 주제코드	
KAERI/RR-3769/2014					
제목 / 부제		원자력기술 기록 사업			
연구책임자 및 부서명		송기찬			
연구자 및 부서명		공영배, 권장순, 권준현, 권형문, 김기남, 김명섭, 김병호, 김영인, 김인영, 김종록, 김탁현, 김태환, 김효찬, 노인영, 류은현, 류지명, 문동섭, 박근일, 박순동, 박승국, 박종학, 박찬국, 박희성, 손재민, 송이영, 송태길, 신기백, 심희상, 안상모, 오정훈, 유안나, 유재복, 은희철, 이규정, 이근영, 이유진, 이지호, 이태훈, 이희원, 임돈순, 장수동, 정의현, 진영관, 천영춘, 최강혁, 최민재, 최정운, 함대기, 함형욱, 홍석민, 황덕구			
출판지	대전	발행기관	한국원자력연구원	발행년	2014
페이지	140 p.	도표	있음(V), 없음()	크기	29.7 Cm.
참고사항					
공개여부	공개(V), 비공개()		보고서종류	연구보고서	
비밀여부	대외비 (), ___ 급비밀				
연구위탁기관			계약 번호		
초록 (15-20줄내외)					
<p>원자력기술 기록 사업이란 연구원에서 연구개발한 제반 원자력기술을 각 분야별로 그 배경에서 성과까지 전체적으로 요약하고 기록하는 사업이다. 연구개발 각 과정에서 발생한 각종 기록물들을 수집·정리·보존하여 지식자원으로 활용할 수 있도록 연구기록물 종합관리시스템(DADAMS)을 구축하는 것까지 의미한다. 또한 과거, 현재 및 미래에 발생하는 원자력기술과 관련된 기록물을 포함하는 것이다.</p> <p>본 보고서는 ‘원자력기술 기록 사업’의 연구내용 및 결과를 정리한 보고서이다. 제 2장에서는 이론적 배경 및 KAERI의 연구기록관리 현황과 사업 개요를 기술하였으며, 제 3장부터 제 6장까지는 본 사업에서 수행했던 내용 및 결과를 정리하여 기술하였다. 제 3장에서는 원자력 핵심 분야 기술기록, 제 4장에서는 연구기록물 종합관리시스템(DADAMS) 운영, 제 5장에서는 연구기록물 수집, 정리 및 DB화, 제 6장에서는 원자력 라키비움 구축에 대하여 정리하였다.</p>					
주제명키워드 (10단어내외)		기술기록, TOC, 원자력기술 기록 사업, 연구기록물 종합관리시스템(DADAMS), DB구축, 라키비움			

BIBLIOGRAPHIC INFORMATION SHEET					
Performing Org. Report No.		Sponsoring Org. Report No.		Standard Report No.	INIS Subject Code
KAERI/RR-3769/2014					
Title / Subtitle		Project of Atomic Energy Technology Record			
Project Manager and Department		KC Song			
Researcher and Department		YB Gong, JS Kwon, JH Kwon, HM Kwon, KM Kim, MS Kim, BH Kim, YI Kim, IY Kim, JR Kim, TH Kim, TH Kim, HC Kim, IY Roh, EH Ryu, JM Ryu, DS Moon, KI Park. SD Park. SK Park. JH Park. CG Park, HS Park, JM Sohn, IY Song, TG Song, GB Shin, HS Shim, SM Ahn, JH Oh, AN Ahn, JB Yoo, HC Eun, KJ Lee, KY Lee, YJ Lee, JH Lee, TH Lee, HW Lee, DS Im, SD Jang, EH Jung, YG Jin, YC Chun, KH Choi, MJ Choi, JW Choi, DG Ham, HW Ham, SM Hong, DG Hwang			
Publication Place	Taejeon	Publisher	KAERI	Publication Date	2014
Page	140 p.	Ill. & Tab.	Yes(<input checked="" type="checkbox"/>), No (<input type="checkbox"/>)	Size	29.7 Cm.
Note					
Open	Open(<input checked="" type="checkbox"/>), Closed(<input type="checkbox"/>)		Report Type	Research Report	
Classified Document	Restricted(<input type="checkbox"/>), ___Class				
Sponsoring Org.		Contract No.			
Abstract (15-20 Lines)		<p>Project of the Atomic Energy Technology Record is the project that summarizes and records whole process, from the background to the performance, of each category in all fields of nuclear science technology which have been researched and developed at KAERI. This project includes development of Data And Documents Advanced Management System(DADAMS) to collect, organize and preserve various records occurred in each research and development process. In addition, it means the whole records related to nuclear science technology for the past, present and future.</p> <p>This report summarizes research contents and results of 'Project of Atomic Energy Technology Record'. Section 2 summarizes the theoretical background, the current status of records management in KAERI and the overview of this project. And Section 3 to 6 summarize contents and results performed in this project. Section 3 is about archiving of core atomic energy technology, Section 4 summarizes about the operation of DADAMS, Section 5 summarizes about collecting, organizing and digitalizing of research records and Section 6 summarizes about the construction of Atomic Energy Larchiveum.</p>			
Subject Keywords (About 10 words)		Project of Atomic Energy Technology Record, DADAMS, Technology Records, Table of Contents, TOC, Database, DB, Larchiveum			