

## 연구로 1, 2호기 해체활동에 대한 자료 관리 및 평가를 위한 데이터베이스 시스템 개발

정관성 · 이동규 · 박희성 · 이근우

한국원자력연구소

E-mail : ksjeong1@kaeri.re.kr, dglee@kaeri.re.kr, hspark@kaeri.re.kr, nkwee@kaeri.re.kr

### Development of the Decommissioning Database System to Manage and Assess Data from Decommissioning Activities of Korea Research Reactor 1 & 2

Kwan-Seong Jeong, Dong-Gyu Lee, Hee-Seong Park and Kune-Woo Lee

Korea Atomic Energy Research Institute

#### 요 약

연구용 원자로 1, 2호기가 효용가치가 상실되어 운전을 정지하고 해체가 진행되고 있다. 연구용 원자로 해체 활동 중에 발생 자료가 여러 장소에서 상호 호환성 없는 형태로 발생함으로써 자료 관리와 활용이 어렵다. 연구로 1, 2호기를 해체하면서 발생하는 자료를 해체시설, 해체작업, 방사선학적 그리고 해체폐기물 정보영역별로 분류하여 자료를 관리하고 보다 객관적이고 정확한 정보 분석이 가능하도록 데이터베이스 시스템을 개발하였다. 연구용 원자로 해체활동 자료에 대한 체계가 구축됨으로써 해체 프로젝트를 보다 더 효율적으로 수행하는 데 도구로 활용할 수 있을 것이다.

**Abstract** — Korea Research Reactor (KRR) 1 & 2 has shut down and through preparatory activities, its decommissioning activities are underway. As its decommissioning activities have been done over several years, its relevant data have been spreaded with various type and media all over the discrete place and inadvertently managed. As a result, managing and assessing data of KRR 1 & 2 has been difficult and complex and its data cannot be evaluated. By developing the decommissioning database system of KRR 1 & 2, the data of decommissioning activities can be correctly evaluated, being systematically managed and objectively assessed. Finally, the decommissioning project of KRR 1 & 2 have come to more effectively accomplished.

#### 1. 서 론

전 세계의 원자력 시설이 점차 가동 중지되고 있고, 현재 약 90개 이상의 원자력발전소와 약 250개 연구용 원자로 및 핵연료 재처리 시설이 운전이 정지되어 해체되었거나 해체단계에 와있다<sup>[1]</sup>. 국내에서는 연구용 원자로(이하 '연구로') 1, 2호기(TRIGA Mark II & III) 효용가치가 상실되어 운전을 정지하고 1997년부터 해체가 시작되었다<sup>[2]</sup>.

연구로 해체작업은 장기간에 걸쳐 서로 다른 여러 가지 작업들이 수행되기 때문에 발생하는 자료의 형태가

다양하여 서로 호환이 용이하지 않고 그 양이 방대함으로써 자료관리가 어렵다. 연구로 해체 활동에 있어서 작업 인원과 장비가 어느 정도 투입이 되었고, 또 작업자의 피로는 어느 정도가 되는가 하는 계획, 분석 및 평가에 관한 문제는 과거 경험에 기초하여 결정되는 요소가 크기 때문에 실제로 행해진 연구로 해체에 관한 자료와 경험은 귀중하며, 이 축적된 자료를 장래의 해체 활동에 어떻게 활용하는가를 충분히 검토해 둘 필요가 있다. 방대한 해체 자료를 분석하기 위해서는 해체 자료가 동일한 형태와 동일한 곳에서 분류와 활용이 용이하고, 해체 대상 시설에 대한 방사선능 자료 그리고 해

체 프로젝트 관리를 위한 자료 분석이 가능하도록 여러 가지 특징을 갖는 해체 데이터베이스 시스템을 개발하여야 한다<sup>13)</sup>.

연구로 해체작업을 통해서 얻을 수 있는 지식이나, 경험을 데이터베이스화하여 보존하고 그것을 사용해서 데이터를 계산하고 실제 결과와 비교하여 검증함으로써 계산 코드 프로그램이나 데이터베이스를 개량하는 것이 우리나라 최초의 원자력시설 해체 작업 중의 아주 중요한 일종의 하나인 것이다. 또한, 원자력 시설 해체는 재사용 물질 또는 폐기처분될 방사성물질이 다량으로 발생되는 복잡한 과정이므로, 해체과정에 대한 기록 및 정보유지에 대한 결여는 궁극적으로 원자력시설 해체 시 자원과 시간의 낭비, 나아가서는 원자력 안전 문제에 대한 부담을 초래할 수 있다<sup>14)</sup>.

본 논문에서는 연구로 1, 2호기 해체활동을 수행하면서 발생하는 자료를 분류, 분석 및 평가할 수 있는 연구로 해체 데이터베이스 설계 및 시스템 개발 내용을 기술한다.

## 2. 연구로 해체활동 자료 분석

해체 데이터베이스 작업 특징에 대한 상세한 평가가 가능하도록 연구로 해체활동에 대한 자료를 분석하였다.

연구로 해체활동은 Fig. 1과 같이 해체 대상을 분석, 해체작업, 방사선학적 검사 등을 통하여 해체 작업이 이루어지고 핵종분석을 통하여 최종 폐기물 처리까지의 다양한 작업과정으로 이루어져 있다.

연구로 해체활동에서 발생하는 자료는 Fig. 2와 같이 크게 해체 시설 자료, 해체작업 자료, 방사선학적 자료, 그리고 해체 폐기물에 관한 자료로 분류할 수 있다.

연구로 해체 활동 중에 발생하는 해체 시설에 대한 자료는 연구로 시설물을 구성하고 있는 형태, 특성 및 크기나 무게와 같은 재원에 대한 자료가 발생하고, 위치와 관련하여 시설에 대한 도면과 형상에 대한 사진 등에 대한 자료가 발생한다. 해체 시설 자료는 해체활동 자료의 기준과 대상이 되는 자료이기 때문에 시설에 대한 정확한 자료가 파악이 되면, 해체활동에서 발생하는 작업 분석 및 각종 폐기물과 연계하여 분석이 용이하게 된다.

연구로 해체활동 중에 발생하는 해체작업과 관련된 자료는 언제, 어떤 작업을 어느 정도의 인원 구성으로 실시된 특징을 바탕으로 자료가 발생하는데, 해체작업 내용을 기술한 것, 작업원의 작업시간, 작업자 수 등에 대한 자료가 그 내용을 이루고 있다. 매일의 해체 작업 내용에 대해서는 현장감독이 보고서를 작성해서 자료를 보관하고 있다. 해체작업에 관한 자료는 작업이 시작되기

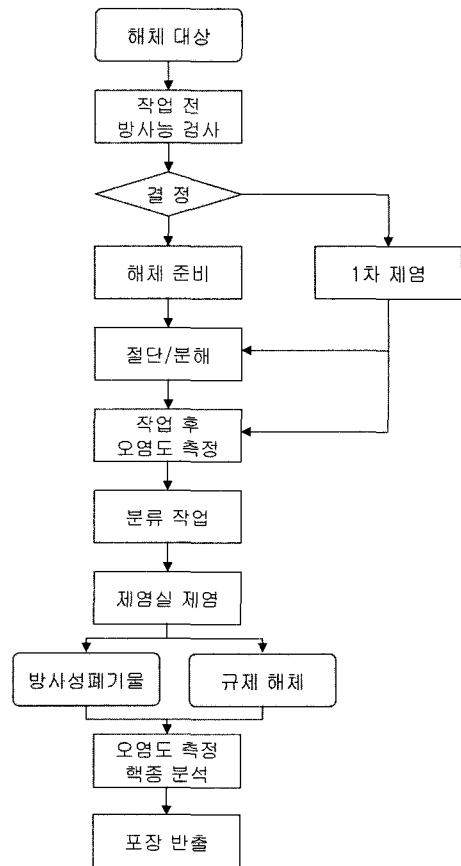


Fig. 1. 연구로 해체 작업 흐름도.

전에는 그 작업에 대해서 작업번호가 부여되고 있으며, 모든 데이터는 이 작업번호에 따라 정리되고 있다.

연구로 해체활동 중에 발생하는 방사선학적 자료는 작업자의 피폭선량, 작업환경의 집단선량, 기기나 바닥 등의 해체작업 전/후 오염 검사, 그리고 환경모니터링 측정 등에 관한 자료가 발생한다. 해체작업자에 대한 출입자 피폭 자료는 자동 피폭이력관리시스템을 이용하여 관리되고 있다. 작업자 피폭 자료는 작업번호와 작업일시가 반드시 기록되어 있기 때문에 해체작업에 관한 데이터와 연계하여 그 내용을 분석할 수 있다.

연구로 해체활동 중에 발생하는 폐기물 자료는 폐기물 발생원부터 저장까지의 폐기물의 발생량, 내역(방사능준위, 재질 등), 폐기물의 발생 시기, 용기의 수, 용기의 보관 장소 등에 대한 자료가 발생한다. 또한, 해체 작업 중에 폐기물수납용기를 필요에 따라서 수배하거나, 폐기물 수납용기를 시설 내 적당한 임시 보관 장소에 보관하거나, 다른 장소로 이동하는 자료가 발생한다.

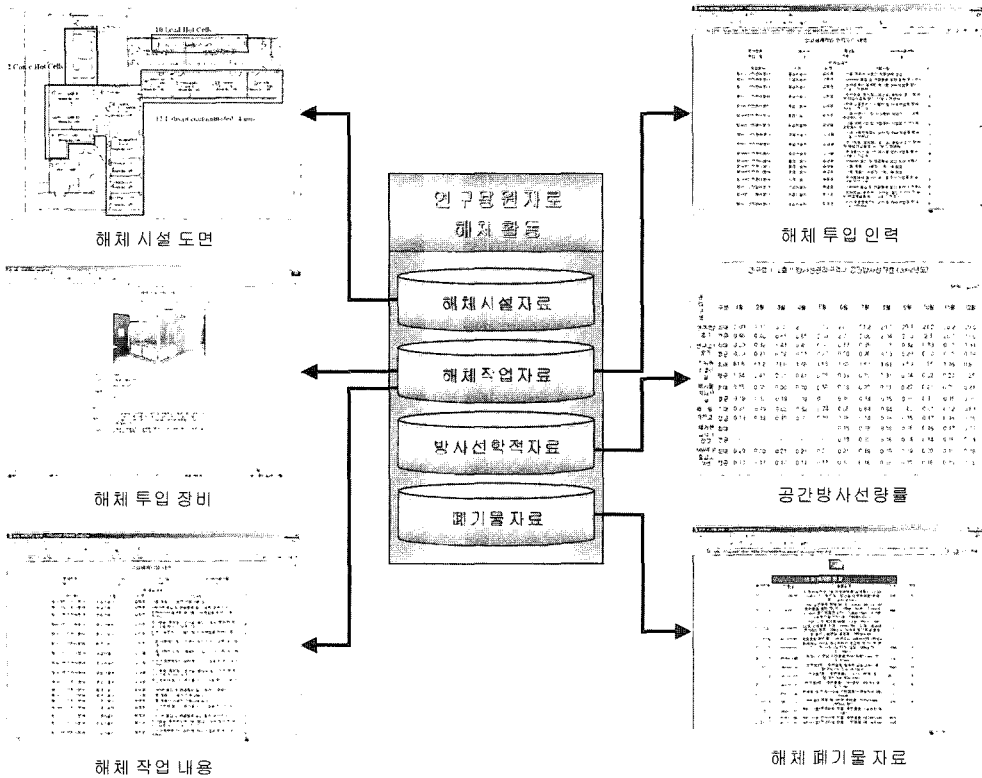


Fig. 2. 연구로 해체활동 발생자료 분류.

3. 연구로 해체 자료 분류 체계 및 최적화

연구로 해체활동 자료를 상호 연계하여 해체 작업관리나 분석에 효율적으로 이용하기 위해서 여러 가지 해체 코드 관련 자료를 추가로 생성하였다. 해체 자료 코드로는 단위코드, 시설코드, 장비코드, 작업코드 그리고 WBS(Work Break-down Structure) 코드로 구성 되어 있다. 단위코드는 각종 계수와 측정을 할 때 공통된 단위를 사용하여 단위당 작업 계수, 작업 요건 등을 분석 및 평가를 할 수가 있도록 해준다. 시설코드는 해체활동이 이루어지는 기기 및 대상으로 설정하여 각종 해체작업과 폐기물 관리를 위한 기준이 되는 역할을 한다. 장비코드는 해체작업의 특징과 기술을 관리하고 주요 작업에 어떤 주요 장비가 필요하고 투입되는지를 분석할 수 있도록 해주는 역할을 한다. 작업코드는 해체작업을 상세히 분류하여 분석할 수 있도록 하였다. WBS코드는 연구로 구성기기와 해체작업 절차를 혼합하여 상호관계를 유지하면서 계층적으로 표현하여 해체공정 및 계획을 분석할 수 있도록 구성 하였다.

연구로 해체 데이터베이스 프로그램을 개발하기 위해

연구로 해체활동에서 발생하는 자료와 추가로 생성한 코드자료를 바탕으로 상호 유기적이면서도 중복되지 않도록 해체활동 자료 구조를 세분화하여 체계화 하였다. 해체활동 자료를 바탕으로 해체 자료의 발생부터 종료까지 과정을 Fig. 3과 같이 해체 자료흐름도를 사용하여 각 자료의 하부구조간의 관계를 설정하였다. 또한 Fig.

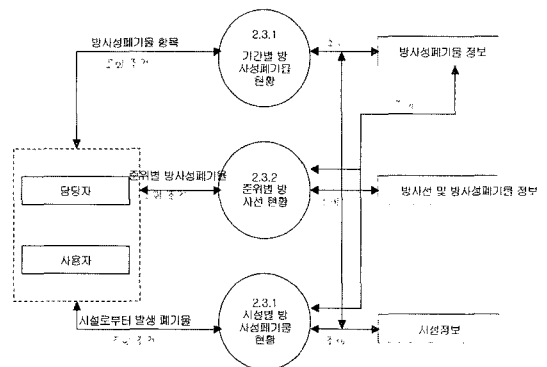


Fig. 3. 연구로 해체 자료흐름도.

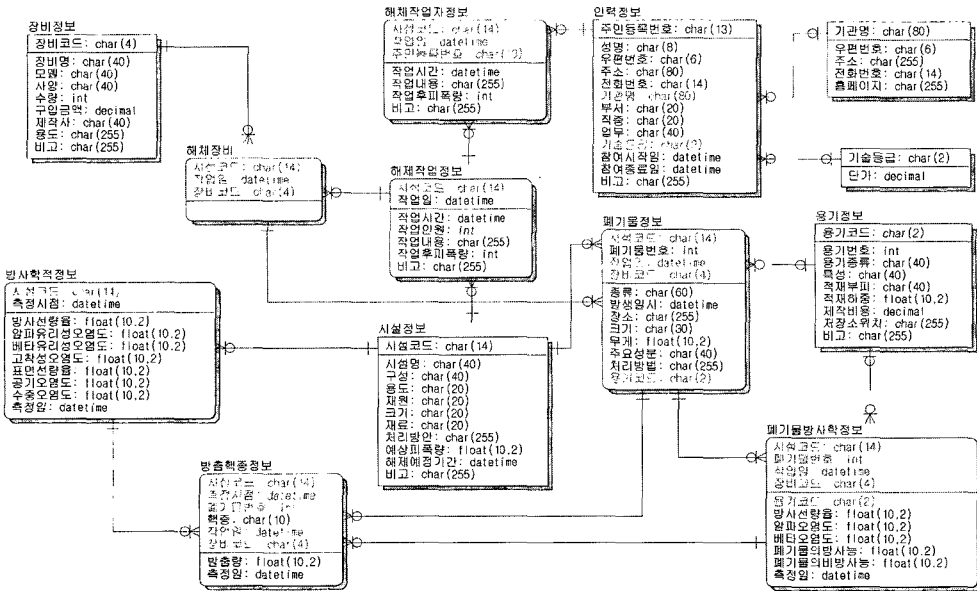


Fig. 4. 연구로 해체 자료 개체관계도.

4와 같이 해체 자료 개체관계도를 이용하여 자료간의 연계성과 자료의 중복을 제거하여 자료 처리의 정확도를 한층 높였다. 체계화된 자료구조를 바탕으로 각 정보영역별로 데이터베이스 파일에 저장되도록 자료형식을 설정하고 상호 연관관계를 설정하여 테이블을 구성하였다.

4. 연구로 해체 데이터베이스 구성

4-1. 연구로 해체 데이터베이스 시스템 구조

연구로 해체 데이터베이스 시스템 구성은 해체자료에 대한 보안성, 호환성, 그리고 확장성 측면을 고려하여 시스템을 Table 1과 같이 구성하였다.

운영체제로는 Windows 환경을 설정하였고, 하드웨어 장비로는 대용량 자료처리를 원활하게 처리 할 수 있고 안정성 있는 Server급 장비로 구성하였으며, Fig. 5와 같이 자료 처리는 승인된 사용자가 접속하여 자료 저장소 간 이동 없이 어디서나 자료를 조회할 수 있고 데이터베이스 관리시스템에 접근하여 사용할 수 있도록 ODBC(Open DataBase Connectivity)를 이용하고 Web

기반의 SQL(Structured Query Language) 언어를 내포하여 다양한 함수를 사용할 수 있는 ASP(Active Server Pages) 스크립트를 이용하여 프로그램을 개발 하였다. 데이터베이스 관리시스템 소프트웨어는 백업과 유지보수가 용이한 SQL-Server 2000로 구성하였다. SQL-Server 2000에는 저장된 자료의 활용이 용이하고 분석된 자료에 대한 민감도 분석을 할 수 있도록 텍스트 파일로도 내려받기 기능이 있는 SQL Query Analyzer 도구가 내포되어 있다.

해체 데이터베이스 시스템 운영은 자료 관리는 한 곳에서 자료를 관리 및 처리하고, 네트워크이 구성되어 있는 곳이면 어디서든지 인증절차를 거쳐 접속하여 자료를 활용할 수 있도록 구성하였다. 또한 분산된 자료 관리로 인한 집계의 어려움을 제거함으로써 자료 관리에 대한 일원화가 되고 자료에 대하여 이용이 곧바로 이루어질 수 있도록 Fig. 6과 같이 시스템 운영 구조를 설정하였다.

연구로 해체 작업이 진행되면서 투입된 인력과 장비 및 특수 작업환경에서 이루어진 해체활동, 작업관리 구

Table 1. 연구로 해체 데이터베이스 시스템 구성.

시스템	O. S. Hardware	Windows 계열 Compaq Compatible Server
개발도구	Software RDBMS Web Server	ASP(SQL), Dreamweaver MS SQL-Server 2000 MS IIS Server

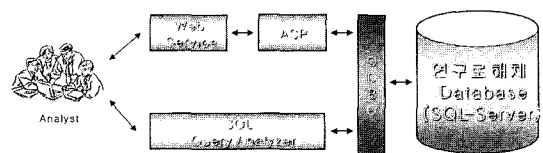


Fig. 5. 연구로 해체 데이터베이스 시스템 개략도.

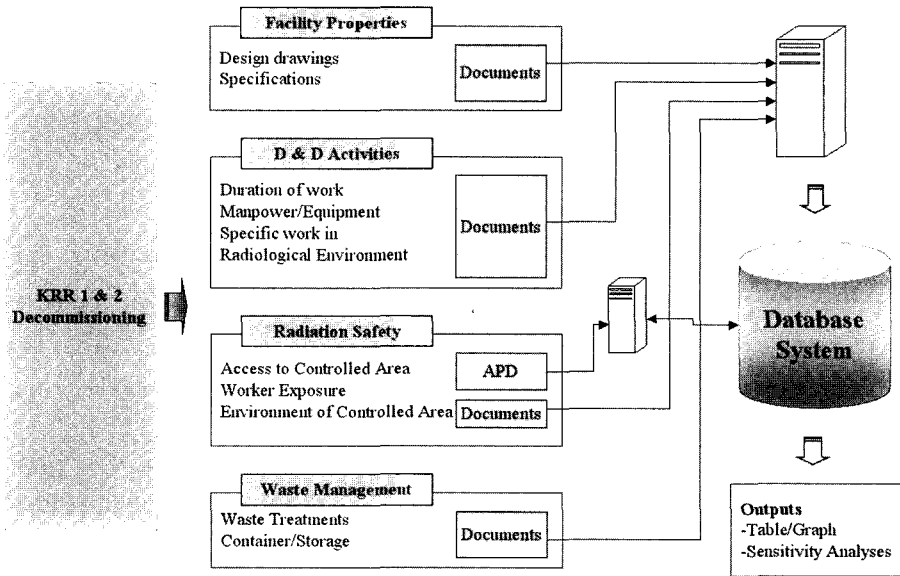


Fig. 6. 연구로 해체 데이터베이스 시스템 운영구조.

역 내의 환경모니터링 검사와 폐기물 처리 과정에 대한 자료 관리 및 평가를 위한 데이터베이스 시스템에 자료를 저장하여 다른 자료

와 연계하여 통합 하였다. 또, 해체활동의 방사선학적 자료는 작업이 이루어지는 현장에서 직접 자동 피폭이력 관리 시스템으로 관리되는 자료를 데이터베이스 시스템

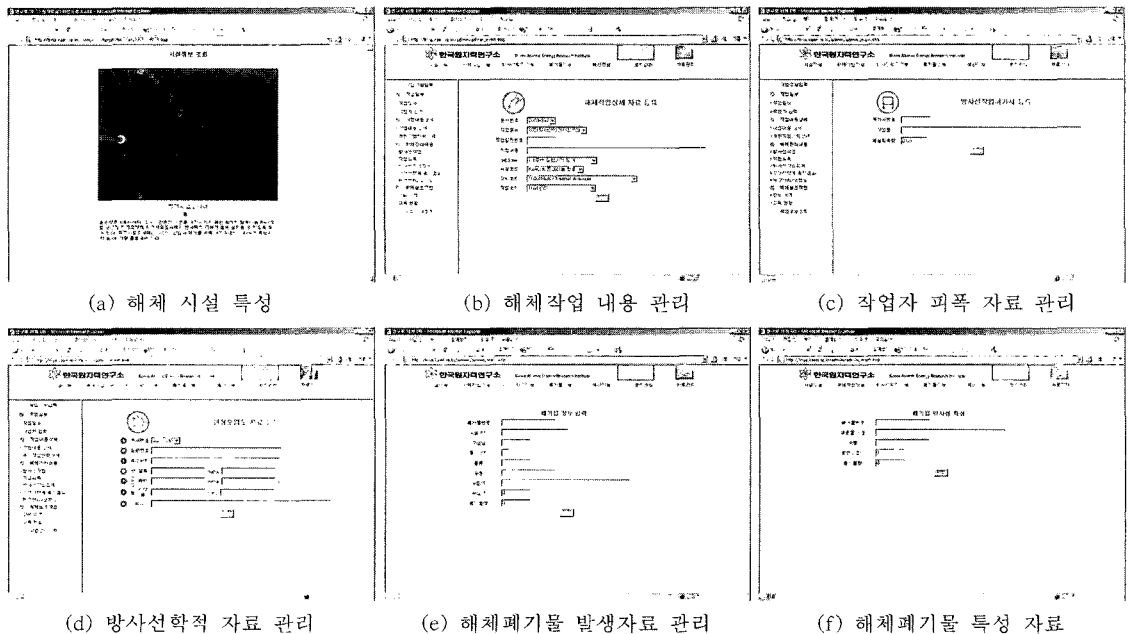


Fig. 7. 해체 데이터베이스 입력 프로그램.

으로 통합 하였다.

4-2. 연구로 해체 데이터베이스 입력 모듈

연구로 해체 자료를 입력하여 효율적으로 관리하기 위하여 연구로 해체 정보영역별로 분류하여 데이터베이스 입력 프로그램을 Fig. 7과 같이 개발하였다.

연구로 해체정보 영역별로 자료를 처리할 수 있도록 입력 모듈을 통해 입력 자료 확인이 용이하고 중복되지 않게 함으로써 자료처리 정확성과 입력 시간을 단축할 수 있도록 개발하였다.

해체시설 정보에 대해서는 시설물을 부속물에 따라 대·중·소별로 관리할 수 있도록 구성 하였다. 해체 시설에 대한 기본적인 자료를 입력한 후 갱신 및 삭제할 수 있도록 프로그램을 개발하였다.

해체작업 정보에 대해서는 해체시설(대상)에 대한 해

체 작업내용 및 작업분류별로 자료를 관리할 수 있도록 하였으며, 해체작업 투입인력은 분야별, 직종별로 관리할 수 있도록 하였으며, 투입장비에 대해서는 투입장비 상세내역을 관리하고 특수한 목적으로 투입된 장비에 대한 자료를 관리할 수 있도록 프로그램을 개발하였다.

방사선학적 정보에 대해서는 방사선 관리 구역 시설내의 공간 방사선량률, 공기오염도, 표면오염도 및 수중오염도를 감시한 결과에 대한 자료를 관리할 수 있도록 프로그램을 개발하였다.

해체 폐기물 정보에 대해서는 폐기물 발생원인 해체 시설 자료를 이용하여 폐기물 자료를 관리할 수 있도록 개발하였다.

4-3. 연구로 해체 데이터베이스 조회 및 출력 모듈

연구로 해체 정보 영역별로 입력된 자료를 바탕으로



Fig. 8. 해체 데이터베이스 조회 및 출력 프로그램.

해체 자료 집계와 정보 분석이 용이하도록 Fig. 8과 같이 조회 및 출력에 관한 프로그램을 개발 하였다.

해체시설정보 영역에서는 시설물 특성에 대한 자료, 시설물 사진 그리고 도면을 조회할 수 있도록 프로그램을 구성하였고, 시설물이 위치하는 소속별로 시설을 그룹핑하여 확인할 수 있게 기능을 부여하여 프로그램을 개발 하였다.

해체작업 정보 영역에서는 해체작업내용을 일별, 월별, 년도 별로 조회할 수 있도록 개발하였으며, 해체작업 분야별 및 직종별로 투입 현황을 조회할 수 있도록 하였다. 해체 투입 주요 장비에 대해서는 장비별 투입 수에 대한 집계가 가능하고 주요 장비 특성에 대한 자료를 조회할 수 있도록 구성하였다. 작업자 피폭에 자료는 작업 허가 문서별로 예상피폭선량과 실제 피폭선량을 비교 검토할 수 있도록 프로그램을 개발 하였다.

방사선학적 정보 영역에서는 방사선 관리 구역 내에 존재하고 있는 방사성물질로부터 시설의 건전성을 확인 하고 동시에 방사성물질이 시설 외부로 누출 여부를 확인할 수 있도록 환경모니터링 자료를 관리구역별, 핵종별, 일별 측정결과를 도표로 확인할 수 있도록 하였다.

해체 폐기물 정보 영역에서는 해체시설물 자료와 연계하여 폐기물 처리 이력에 대한 자료를 확인할 수 있도록 구성하였다.

4.4. 연구로 해체데이터베이스 평가 모듈

연구로 해체활동을 통해 발생하는 자료를 입력 표준안에 맞게 분류한 후 매일 또는 주기적으로 해체 데이터베이스 시스템에 입력하고 입력된 결과를 작업관리나 데이터 분석에 필요한 자료를 자료 특성에 맞게 표와 그래프로 이용하여 평가할 수 있도록 개발하였다. 또한 엑셀 프로그램과 같은 Spreadsheet를 이용하여 민감도 분석을 하여 평가할 수 있도록 텍스트 파일 형태로 자료를 내려 받을 수 있는 기능을 부여했다.

해체 데이터베이스 시스템의 코드 자료를 해체작업과 연계하여 내용을 분석 및 평가할 수 있도록 개발하였고 해체 대상물과 방사선 관리 환경에서의 작업자의 해체 활동 능력을 시설별로 구분하여 해체 시설별 작업의 난이도를 평가할 수 있도록 투입량에 대한 분포를 확인할 수 있도록 구성하였다.

4.5. 연구로 해체 데이터베이스 시스템 평가 및 고찰

연구로 해체 데이터베이스 시스템에 각 정보영역별로 자료를 입력하여 검색과 집계에 대한 프로그램 기능의 처리가 정확하게 처리가 되었다. 해체시설 자료 처리는 해체작업과 폐기물자료와 연계가 정확하게 처리가 되었다. 해체작업에 대한 자료는 작업번호에 따라 작업내용, 작업자, 장비에 대한 자료처리가 상호 연관되어 처리가 되어 분류가 되었고, 방사선학적 자료는 환경 모니터링 자

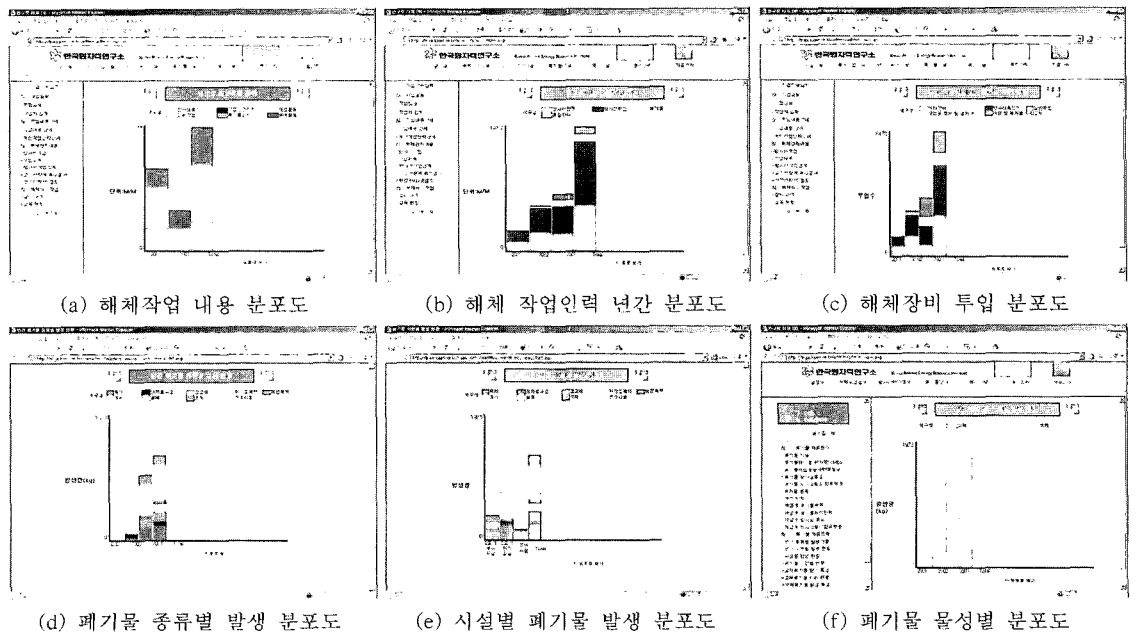


Fig. 9. 연구로 해체자료 분석 및 평가 프로그램.

료가 시설코드와 연계가 되어 처리가 되었다. 해체폐기물 자료는 폐기물 처리과정이 순서대로 자료가 처리가 되었다.

입력된 해체활동 자료를 바탕으로 코드와 상호 연관 자료를 바탕으로 각 정보영역별로 Fig. 9과 같이 다양한 정보 분석이 가능하게 되었다. 연구로 해체 데이터베이스의 주요 분석 기능 중의 하나는 해체 데이터베이스 시스템의 WBS 코드, 작업코드와 해체시설자료를 연계하여 해체활동을 분석 및 평가할 수 있게 되었다는 점이다. 연구로 해체작업을 분석해보면, 작업 내용이 방사선 관련 작업(안전관리, 오염검사), 해체 관련 일반작업(해체, 유지보수), 폐기물 관련 작업(고체폐기물, 액체폐기물), 품질관리와 같은 작업이 규칙성을 이름을 알 수가 있다. 이 규칙에 의해서 모아진 작업마다 관리데이터의 계산이 또한 가능하게 되었다. 즉, 기기 하나하나를 해체할 경우에도 그 기기가 갖는 특징에 맞추어 일정한 규칙적인 절차에 따라서 해체작업이 진행되고, 어느 작업에 어느 정도의 작업 장비 및 인원이 필요 하는지 알 수 있게 되었다. 또한, 해체작업 내용을 준비작업, 해체작업, 포장작업, 수송 작업, 뒤처리작업에 해당하는 작업군 등의 그룹으로 나누어 이 각 항목의 계층 정도를 세분화하여 그룹의 세분화된 항목에 대하여, 작업에 필요한 인공수, 작업자의 피폭선량, 폐기물 발생량 등을 평가하여 작업 항목마다에 필요한 양을 구할 수 있게 되었다. 해체 대상물과 방사선 관리 환경에서의 작업자의 해체활동 능력을 시설별로 구분하여 분류함으로써 해체 대상물별 작업의 난이도를 평가할 수 있으며, 예상했던 작업자 투입량과 실 투입량을 비교 평가할 수 있게 되었다.

현재 연구로 해체 데이터베이스 시스템에는 해체활동 평가 기능이 부족하다. 앞으로 연구로 해체 데이터베이스 시스템을 이용하여 해체계획이나 관리에 필요한 작업자 수, 비용, 작업자의 피폭선량 등 관리데이터를 이용하여 연구로 해체활동에 대한 평가 방법론을 다양하게 개발하고 이것을 연구로 해체 데이터베이스 시스템에 적용함으로써 해체활동 및 기술에 대한 보다 체계적인 평가를 할 수 있도록 기능을 보완 및 확장할 계획이다.

## 5. 결 론

연구로 1, 2호기 해체는 국내에서 처음으로 시도되는 원자력시설 해체작업이므로, 수집 가능한 많은 상세한 자료를 보관하고, 이 자료를 바탕으로 다양한 분석이 가능하도록 해체 데이터베이스를 설계 및 개발 하였다.

원자력 분야에서 자료 관리를 위한 시스템은 원자력 발전소에서도 이미 만들어져 운전 중이거나 정기 검사의 작업관리에 사용되고 있다. 이러한 시스템과 해체활동에 대한 데이터베이스 시스템이 크게 다른 점은 원자력 시설에 대한 해체작업이 처음인 만큼, 되도록 안전을 기준으로 수행하고 있는 해체활동에 대한 상세한 자료를 모으고 해체 활동 특징에 대한 분석 및 평가가 가능하도록 했다는 점이다.

이와 같이 연구로 해체활동 중에 발생한 자료를 수집하여 이를 데이터베이스를 이용하여 처리함으로써, 해체활동을 통해 발생하는 여러 형태의 자료와 분산된 보관 방법을 호환성 있고 동일한 자료 체제로 관리 및 분석을 통하여 해체활동에 대한 자료 관리와 평가를 위한 토대를 구축하게 되었다.

궁극적으로, 본 논문에서 개발된 연구로 해체 데이터베이스 시스템을 이용하여 우리나라 최초의 원자력 관련 시설 해체인 연구로 1, 2호기에 해체활동에 대한 체계적인 자료 관리 및 분석이 가능하게 되었고, 해체활동에 대한 보다 객관적이고 정확한 정보 분석 및 평가가 가능하게 되어 연구로 해체활동을 보다 효율적으로 수행할 수 있게 되었다. 나아가, 향후 원자력관련 시설 해체 시 해체 대상에 맞게 입지조건, 운전조건, 시설의 특성 등을 충분히 고려해서 최적의 해체 계획을 세우는 데 중요한 도구로 활용할 수 있을 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 과학기술부에서 주관하는 원자력중장기 연구개발사업의 일환으로 수행하였습니다.

## 참고문헌

1. World Nuclear Association, <http://www.world-nuclear.org/> (2004).
2. 정기정 외: "연구로용원자로 폐로사업", 한국원자력연구소 (2000).
3. IAEA: "Record Keeping for the Decommissioning of Nuclear Facilities : Guidelines and Experience", Technical Report Series No.411 (2002).
4. 이시카와 미치오: 안전한 퇴역을 위한 원자로 해체, 한국원자력문화재단 (1997).
5. Park, HeeSeong: "Conceptual Data Modeling on the KRR-1 & 2 Decommissioning Database", KNS (2002).