

## **Implementation of an Architecture for the Dismantling Digital Mock-up System**

해체 디지털목업시스템 아키텍처 구현

**Hee-Seoung Park, Sung-Kyun Kim, Kune-Woo Lee and Won-Jin Oh**

Korea Atomic Energy Research Institute, 150 Duckjin-dong, Yuseong-gu, Daejeon

[parkhs@kaeri.re.kr](mailto:parkhs@kaeri.re.kr)

박희성, 김성균, 이근우, 오원진

한국원자력연구소, 대전시 유성구 덕진동 150번지

(Received April 8, 2005 / Approved May 31, 2005)

### **Abstract**

It is necessary to forecast the various dismantling activities prior to dismantling nuclear facilities by using various software instead of a physical mock-up system because the dismantling in a contaminated with radioactivity cause the results of an unexpected situation.

The component that needs to develop a dismantling mock-up system was examined. There are many component systems such as a decommissioning database system, 3D dosimetric mapping that represents a distribution of a radionuclide contamination, a component of modeling for nuclear facility and devices include the decontamination and decommissioning. The research of software architecture about these components was carried out because these component systems that have been independently doesn't describe not only to visual an activities of Decontamination and Decommissioning(D&D) but also to evaluate it.

The result was established an architecture that consist of an visualization module which could be visualized an D&D activities and a simulation module which can be evaluated a dismantling schedule and decommissioning cost.

---

**Key Words:** Dismantling digital mock-up system, Dismantling database system, 3D dosimetric mapping, software architecture

## 요 약

방사능에 오염된 시설물의 해체 작업은 예측할 수 없는 방사능의 출현으로 항상 사고의 위험성에 노출되어 있어 계획했던 해체 일정이 변경되어야 하고, 전체 공정의 재설계가 다시 수행되어야 하는 비경제적인 작업이 수없이 반복되고 있다. 해체 디지털 목업 시스템 설계에 필요한 구성인자들을 검토하였다. 조사된 단위 구성요소들은 해체 데이터베이스 시스템, 연구로 시설과 제염 및 해체 장비 모델링 시스템, 방사능 오염 분포도를 제작하는 3차원 방사화 맵핑, 그리고 해체 일정을 평가하는데 기초가 되는 단위 작업별 평가식과 가중치 값 등이 있다. 독립적으로 운영되는 이들 구성 요인들을 통합된 시스템으로 만들기 위해 단위 시스템들에 대한 아키텍처 구현 연구가 수행되었다.

연구 결과 해체 디지털 목업 시스템을 통합된 환경에서 다양한 시나리오를 시험 평가할 수 있도록 하기 위해 연구로 시설의 제염 및 해체 활동을 시각적으로 보여줄 수 있는 가시화(visualization) 모듈과 해체 일정 및 해체 비용을 평가 및 분석하는 시뮬레이션(simulation) 모듈로 구분하여 소프트웨어 아키텍처를 구현하였다.

**중심 단어:** 해체 디지털 목업 시스템, 해체 데이터베이스 시스템, 3차원 방사화 맵핑, 소프트웨어 아키텍처

## I. 서론

서울 공릉에 위치한 연구용 원자로 2호기(TRIGA Mark III, 2MW in 1972년) 해체가 2000년 6월에 시작하여 현재까지 진행되고 있다[1]. 방사능에 오염된 지역에서의 해체활동으로부터 작업자의 안전성 확보와 해체 폐기물의 감량 그리고 해체 비용을 평가하기 위해 해체 정보 통합관리 시스템 과제가 수립되어 연구가 진행되고 있다. 원자력 선진국의 경우 원자력 시설의 해체에 작업자의 안전성과 해체 폐기물과 같은 경제성 문제[2]를 최적화시키기 위한 수단으로 컴퓨터를 활용한 외부 피폭선량 평가 시스템[3, 4]이나 해체 비용 평가 시스템[5, 6] 개발에 노력을 기울이고 있는 추세다. 디지털 목업 시스템이란 물리적인 목업 시스템 대신에 3D CAD와 VRML 및 JAVA 3D API와 같은 소프트웨어를 이용하여 현실세계와 똑 같은 상황을 컴퓨터상에서 해체 활동을 가상으로 연출하여 해체가 수행되기 전에 해체 일정과 해체 폐기물량 그리고 해체 비용 등을 예측하는 시스템이다.

가상의 해체 현장을 구현시키기 위해서는 가장

먼저 3D CAD로 해체 시설물을 모델링 한 후 방사능에 오염된 위치와 분포를 확인 시킬 필요가 있다. 정확한 방사능 값을 얻기 위해서는 원자력 시설의 운전이력과 상세 도면 및 기타 자료들이 지원되어야 하는데, 수명이 오래된 원자력 시설들의 자료 부재는 제염 해체 계획을 수립하는데 장애 요인이 된다. 재래식 방식으로 제염 해체를 하게 되면 작업자들은 방사선 피폭과 다른 위험에 노출되게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 여러 종류의 소프트웨어를 사용하여 해체 시설 내부를 3차원으로 모델링하는 기술과 3D CAD를 포함한 가상현실 기술이 개발되고 있다[7]. 또한 상업용 원자로 해체 경험이 있는 선진국에서는 가상현실 기술[8, 9]과 Dose assessment와 human motion simulation을 결합한 3차원 Simulation tool을 개발하여 원자력 시설의 제염 해체에 ALARA 문제를 평가[10, 11]하고 있으며, 이 시스템은 원자력 시설 중 핫셀 해체에 적용되고 있다[12]. 해체 일정과 해체 비용을 정량적으로 평가하기 위해서는 작업자수와 해체 시간 및 해체 폐기물량을 평가할 수 있는 평가식과 가중치

(weighting factor)에 대한 정의[13]가 선행되어야 한다. 국내의 경우 원자력 시설에 대한 해체 경험이 없는 관계로 상업용 발전소를 해체한 결과 자료를 확보하여 연구로 해체에 사용할 수 있는지에 대한 타당성 검토를 진행하고 있는 중이다. 해체 디지털 목업 시스템이 필요로 하는 구성 요소 및 요구 조건들을 분석함으로써 시스템의 아키텍처 설계를 완료하였다.

## II. 해체 정보인자 도출

연구로 해체 활동 준비 작업부터 제염 및 절단 그리고 해체 후 처리 작업의 전 과정에서 해체 작업자, 해체 소요시간, 해체 폐기물량과 해체 비용 등에 영향을 미치는 변수들을 조사하기 위해 해체 작업자 정보와 방사선 및 방사능 정보 그리고 해체 폐기물 정보 등을 검토[14]하였으며, 방사선에 조사된 해체 시설물들 중 연구로 2호기의 콘크리트 차폐체와 노심 및 Thermal column에 대한 해체 결과자료를 분석하였다[15]. 해체 디지털 목업 시스템의 개념 설계를 확립하기 위해 시스템의 설계 기준과 사용자 요구조건들을 분석하였으며, 시스템 설계에 필요한 소프트웨어와 하드웨어를 선정하였고, 단위 프로그램들 간 인터페이스 개발 방안을 확보하였다.

## III. 해체 디지털 목업 구성요소 및 기능

고방사능에 오염된 원자력 시설물의 해체 활동에서 가장 중요한 사항은 작업자의 피폭으로부터의 보호와 해체 비용을 절감하는데 있다. 해체 준비 작업부터 해체 후 처리까지 가상의 디지털 해체 환경에서 해체 활동의 예측에 필요한 기능들을 요소별로 검토 분석하였다.

### 가. 해체 시설물 3차원 설계

디지털 목업 시스템은 컴퓨터 상에서 해체 활동을 실험하기 때문에 가장 먼저 해체 시설물을 입체적으로 설계되어야 한다. 원자력 시설 및 부품들의 설계와 모델링 도구로는 여러 상업용 소프트웨어들이 있

으나 해체 준비 작업부터 제염 및 해체 과정 그리고 해체 후 처리 과정 등 복잡한 단계를 효과적으로 가시화 시킬 수 있는 기능을 가진 제품이 선정되어야 한다. 이러한 조건을 만족시킬 수 있는 제품으로는 AutoCAD와 3D MAX 그리고 CATIA 및 VRML 제품 등이 있다. 해체 디지털 목업 시스템은 해체 작업자가 해체 시설물을 절단하는 과정을 재현하면서 주요 변수들에 대한 거동을 분석하기 때문에 각 소프트웨어의 장점들을 조합하여 해체 시설물을 3차원으로 설계한다. 3D Max로 설계된 연구로 2호기 콘크리트 차폐체의 원형을 그림 1에 나타내었으며, 그림 2는 원자로 2호기 내 노심을 모델링한 결과를 2차원으로 보여주고 있다.

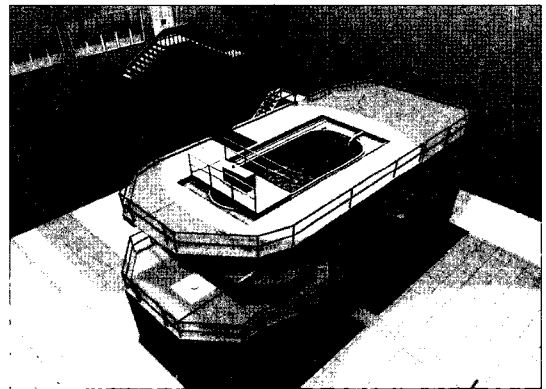


Figure 1. Panoramic view(KRR-2)

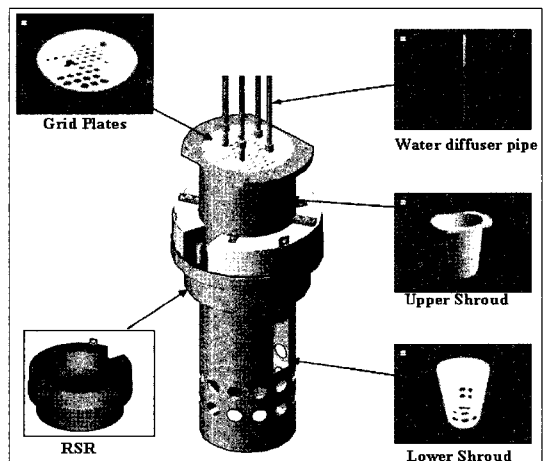


Figure 2. Reactor Core modeled 3D

## 나. 해체 시설물의 제원 및 방사능 정보

해체 디지털 목업 시스템은 방사능에 오염된 시설물을 해체 및 절단 하면서 발생하는 현상들을 평가하는 것이기 때문에 3차원으로 설계된 해체 시설물의 형상에 제원 및 방사선에 조사된 이력과 관련한 데이터들이 필요하다. 해체 시설물의 두께 및 크기와 재질 그리고 방사능 정보 등은 연구용 원자로 해체 활동으로부터 발생된 자료들을 저장 관리하고 있는 해체 데이터베이스 시스템으로부터 해당 데이터들을 인출하여 사용한다. 해체 디지털 목업 시스템에서 콘크리트 차폐체에 대하여 해체 공정을 가시화하고 시뮬레이션 하기 위해서는 먼저 해체 데이터베이스에 접속해서 시설 정보 내 콘크리트 차폐체와 관련된 테이블을 찾아 ODBC(Open DataBase Connectivity)를 통하여 해당 제원 값을 가져올 수 있도록 프로그램을 해야 한다. 해체 데이터베이스 시스템으로부터 얻을 수 있는 콘크리트 차폐체의 시설 정보는 규격이  $17,602 \times 9,906 \times 7,823$  mm 이고, 밀도는 특수 콘크리트로서 수평 콘크리트 차폐체는  $3.5 \text{ ton/m}^3$  이며 나머지는  $2.5 \sim 2.7 \text{ ton/m}^3$  이다. 방사능 정보는 총 방사능의 경우  $3.3 \times 10^9 \text{ Bq/m}^3$  이고 총 비방사능의 경우는  $3.84 \times 10^8 \text{ Bq/m}^3$  이다. 콘크리트 차폐체에 함유된 핵종으로는 Na-22, Mn-54, Fe-55, Co-60, Eu-152, 그리고 Eu-154등이 있는데 이 중 주 핵종은 Fe-55와 Eu-152로써 가동 정지 후 9개월 경과 시 총 방사능은 각각  $1.4 \times 10^7 \text{ Bq}$ 와  $1.4 \times 10^7 \text{ Bq}$ 로 되어 있다.(이 데이터는 현재 연구로 2호기에 대한 시료 분석자료가 없기 때문에 노형이 유사하고 최대출력이 250kW로서 연구로 1호기와 동일한 영국의 연구용 원자로인 ICI 원자로의 콘크리트 방사화 자료를 이용함.)

## 다. 3차원 방사화 매핑

해체 작업 시 작업자가 받는 피폭량을 최소화 시키고 나아가 해체 일정 및 해체 폐기물량을 줄이기 위한 방법으로 오염된 해체 시설물의 방사능 재고량 산출 및 농도별 분포를 입체적으로 가시화 시킬 수 있는 연구가 수행되어야 한다. 연구로 및 원자력발전소 해체에 필수적으로 요구되는 것이 방사화 및

표면오염 방사능 재고량 평가이다. 방사능 재고량 계산은 해체를 수행하면서 발생하는 방사능량을 예측하여 해체 작업환경의 안전성을 높이기 위한 수단으로서 그 목적이 중요하다고 볼 수 있다. 중성자에 조사된 해체 대상 시설물의 방사성 핵종농도와 방사능 및 이로 인한 감마 선량은 대상 구성물질에 대한 중성자 방사화 계산으로부터 추정할 수 있다. 방사능 재고량 산정은 원자로 운전기간에 걸친 방사성핵종의 생성과 소멸을 포함하여 많은 종류의 방사성핵종을 계산할 수 있는 ORIGEN2 코드와 계산된 방사능 자료를 활용하여 수송 이론을 이용한 ANISN나 DOT/ DORT 혹은 TORT 코드 그리고 MicroShield와 같은 점 선원 코드를 이용하여 계산할 수 있다 [16]. 그러나 이들 코드들은 기하학적 모델링의 한계와 핵단면적과 선원항의 균정수화 등에서 발생하는 코드 고유의 불확실성을 포함하고 있어 콘크리트 차폐체 심층부에 존재하는 선원항을 계산하기는 어려운 현실이다. 최근에는 감마 카메라를 이용하여 오염된 시설물에 존재하는 방사선을 측정하는 기술이 개발[17]되고 있지만 콘크리트 차폐체 내부의 농도를 판별하지는 못하고 있다. 본 연구에서는 콘크리트 차폐체 내부의 방사능 재고량을 코어 드릴링 머신으로 채취한 샘플링한 값으로 대신하여 3차원으로 입체화 하였다.

## 라. 해체 정보 요소 기술 평가 인자

해체 일정과 직접 관련된 해체 작업자 수, 해체 장비 및 작업 시간 그리고 해체 폐기물량을 정확히 예측하기 위해서는 해체 단위 작업별 난이도와 복잡도가 포함된 수학적 함수식 및 가중치 등이 고려되어야 한다. 국내의 경우 아직 연구로 및 원자력 시설 해체와 관련한 단위 작업별 평가식과 가중치 값이 없기 때문에 일본에서 동력 시험로(JPDR)를 10년간 해체한 후 분석한 데이터들을 검토하여 해체 디지털 목업 시스템의 요소 기술을 시뮬레이션하는 모듈에서 사용가능한지를 시험하였다. 해체 절차 중 건물 제염 및 해체 단위 항목을 표 1에 나타내었으며, 이들 단위 항목과 관련된 평가식과 가중치 값을 표 2에 나타내었다. 해체 단위 항목 중 해체 디지털 목업 시스템

에서는 제염·측정 범위 설정, 표면 제염, 분해 및 절단, 세단 장소로 이동, 절단 항목들을 고려하였고, 단위 항목별 평가식과 가중치 값은 연구로 해체에 직접 적용이 어렵지만 보수적인 평가가 이루어질 것으로 보아 해체 디지털 목업 시스템 기본 설계에서는 이 값들을 그대로 사용하기로 하였다. 해체 장비 역시 해체 일정과 해체 비용에 지대한 영향을 미치는 인자 중 하나이다. 재래식 해체 공법과 원격 해체 공법에 따라 사용되는 장비들의 제원에 대한 연구가 수행된 바 있으나 시설별 해체 활동에 따른 평가식과 가중치에 대한 실제 사례가 없기 때문에 일본의 JPDR 자료를 인용하였다.

#### IV. 해체 단위작업 항목별 해체시간 예비평가

연구로 2호기 중 상대적으로 방사능 분포가 높게 나타난 원자로 수조 내 Exposure room을 해체 한다고 가정된 후 도출된 해체 디지털 목업 시스템의 기본 설계인자들을 기초로 하여 해체 시간을 예비 평가

함으로써 해체 디지털 목업 시스템 개념 설계 중 해체 정보 주요 기술 평가 모듈에서의 해체에 소요된 작업 시간의 예측 가능성을 확인하였다.

#### 가. 가정 사항

- 제염 및 해체 준비작업은 제염 측정 범위를 설정하는데 소요되는 시간과 해체 용기류를 설치하는데 필요한 시간으로 한다.
- 시설물 제염은 표면 벽면만 한다.
- 콘크리트 차폐벽 내부 선원향 결과 값은 채취한 슬라이스 측정값으로 한다.
- 방사능 값 0.4 Bq/g를 기준하여 해체 폐기물의 방사성과 비방사성폐기물로 구분한다.
- 해체 대상물 절단에 사용된 해체 장비는 Arc saw이다.

#### 나. 방사능 분포-Exposure room

연구용 원자로 2호기 수조 내 exposure room에 대한 방사능 측정 결과 서쪽 벽면에서 많은 양의 방

Table 1. Unit Work Items for D&D

1. 준비작업	Greenhouse 설치
	제염·측정 범위 설정
	족장 설치
	자재·기기 반입
	용기반입
	해체용기기류설치
	작업영역조사
2. 절단·수납작업	표면 제염
	분해, 절단
	세단장소로 이동
	절단
	용기수납
	정리
	확인 측정
	건물 해체
	정지
3. 해체 후 처리작업	Greenhouse 제거
	해체용기기류 반출
	자재·기기 반출
	폐기물 반출

Table 2. Evaluation Equation and Weighting Factor

Pump (500kg 미만)	$y=28.3w + 5$	0.363
Pump (500kg 이상)	$y=13.2w + 24$	0.832
배관,관	$y=38.9w + 43$	0.923
배설배관	$y=319w + 102$	0.889
보온재	$y=98.1w + 10$	0.889
Tank(용기 수납)	$y=27.3w + 49$	0.606
Tank(분해,조단)	$y=19.1w - 9$	0.995
기계적절단 준비	$y=26.3w + 41$	0.969
절단(수직)	$y=29.6w + 39$	0.756
절단(수평)	$y=62.7w + 33$	0.937
절단(core)	$y=26.9w + 35$	0.732
수 처리	$y=63.0w + 24$	0.859
수납(core)	$y=19.7w + 26$	0.821
수납(blck)	$y=3.2w + 10$	0.968
소형기기류	$y=17.2w + 43$	0.431
벽·기초	$y=14.9w + 36$	0.825
건물제염(표면상부)	$y=1.90s + 35$	0.979
건물제염(심층상부)	$y=4.51s + 57$	0.492
건물제염(표면벽부)	$y=3.52s - 15$	0.826
건물제염(심층벽부)	$y=5.79s - 38$	0.767

y: 인공수(작업자×시간), w: 중량(ton), s: 면적(m<sup>2</sup>)

사능이 측정되어 core sampling을 채취한 후 슬라이스로 절단하여 방사능을 측정하였다. 그림 3에 Exposure room의 평면도를 나타내었다. 그림 4는 Exposure room 서쪽 벽면에서 코어 볼링을 채취하기 위한 위치를 보여주고 있다. Exposure room 서쪽 벽면의 6개 위치에서 측정된 높이가 두께별 방사능 값을 그림 5에 나타내었다. 이 값을 근거로 하여 콘크리트 벽면의 방사화 분포도를 Tecplot 소프트웨어의 3dimensional volume data interpolation과 contour plot 기능을 사용하여 3차원으로 표시하였다(그림 6).

**다. 해체 소요 시간 평가**

오염된 시설물의 제염 측정범위 및 표면 제염 평가식과 가중치 값을 이용하여 제염 작업에 투입된 작업자 수 및 제염 시간 등을  $y=1.90s+35$  (0.979) 식으

로부터 계산한다. 여기서 s는 제염 면적(m<sup>2</sup>)을 의미하며, 0.979는 가중치(weighting factor) 값이다. 해체 대상인 exposure room의 오염 면적이 10m<sup>2</sup>이라고 가정했을 때 제염에 투입된 작업자와 제염 시간은 위 식으로부터 총 54(작업자수 · 제염 시간)라는 값이 산출된다. 이 값으로부터 해체 작업자가 2명이 해체 시설물을 제염할 경우 27시간이 걸린다는 사실을 추정해 낼 수 있다. 단위 해체 작업별 해체 장비를 사용하였을 때 작업횟수와 절단 길이에 대한 평가식을 이용하여 해체 시간을 평가하였다. 방사능 레벨이 높은 시설을 해체할 경우 기계적인 절단 방법을 사용하는데(여기서 기계적인 절단 방법이란 콘크리트 차폐체를 수평 및 수직으로 절단하는 공법을 의미한다.) 기계적인 방법으로 exposure room의 서쪽 벽면을 수평과 수직으로 절단한다고 가정할 때 다음과 같은 평가식으로부터 절단 시간을 산출할 수 있다.

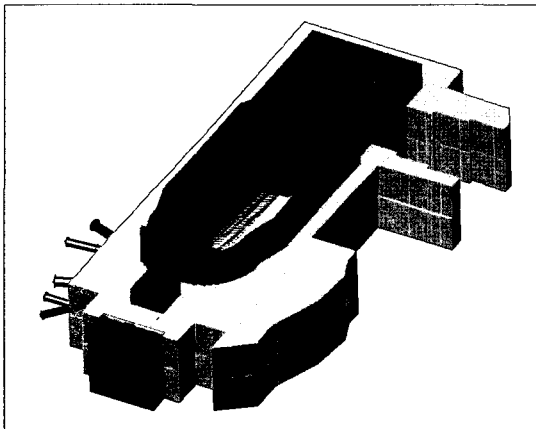


Figure 3. Elevation of exposure room

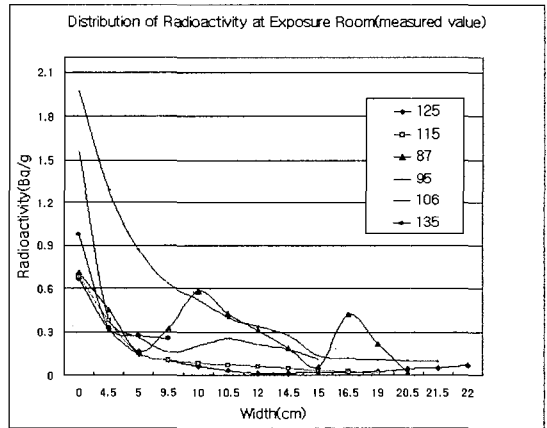


Figure 5. Radioactivity Value at Exposure Room

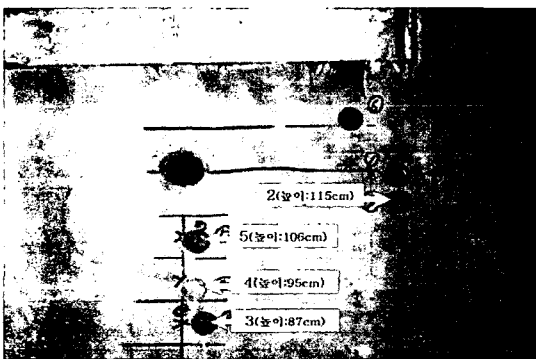


Figure 4. Location of core sampling

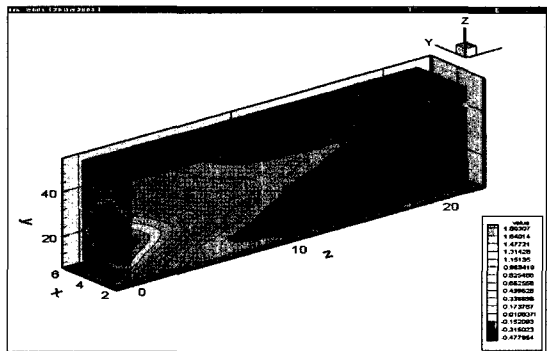


Figure 6. Activation Distribution of Exposure room

- 절단준비:  $y=0.82n+2.7$
  - 수직 절단:  $y=0.69c+6.4$ (절단 길이:  $0.88x+4.9$ )
  - 수평 절단:  $y=1.36c-0.9$ (절단 길이:  $0.46x-0.7$ )
- 여기서  $y$  = 인공수(절단시간),  $c$  = 절단회수,  
 $n$  = 작업회수,  $x$  = 절단길이(m)

콘크리트 차폐체를 기계적인 공법으로 절단할 경우 해체 준비 작업을 하는데 3회 동안 5시간이 걸렸으며, 절단 길이 2m를 수직으로 4번 절단하는데 7시간과 9시간이 소요되었고, 수평으로 2m를 3회에 걸쳐 절단하는데 각각 40분과 3시간이 경과되었으므로 콘크리트 차폐체를 해체하는데 총 24시간 40분이 필요할 것으로 추정할 수 있다.

연구로 2호기의 Exposure room에 대한 해체 시나리오를 설정하여 해체에 소요될 시간을 미리 살펴보았다. 해체 디지털 목업 시스템 구현에 필요한 구성 인자들과 예비 실험 결과, 복잡한 해체 시나리오를 정교하게 해결하기 위해서는 하나의 중요 변수가 변할 때 마다 다음 요소들이 바뀌기 때문에 주요 변수들의 거동 현상을 가장 먼저 분석해야 할 것이며, 해체할 대상물의 방사능 농도 값의 규명 작업 역시 작업자의 피폭선량에 직접 관련되기 때문에 신중하게 결정되어야 한다는 사실을 확인할 수 있었다. 또한 연구용원자로와 원자력 관련 시설의 정확한 해체 일정을 산출해 내기 위해서는 단위 항목별 제염 및 해체 그리고 해체 장비들의 평가식과 가중치 값에 대한 연구가 보강 되어야 할 것이다. 그림 6에서 0.4 Bq 이상과 이하는 방사성폐기물과 비방사성폐기물로 구분된다는 가정 하에 해체 계획이 수립되면 해체 절단 방법과 절단 개수가 결정될 것이며, 나아가 해체 폐기물 량이 결정될 것이다.

## V. 결과 및 고찰

해체 활동으로부터 생산된 여러 자료를 통하여 해체 정보 주요 인자들을 검토한 결과에 따라 해체 일정 및 해체 폐기물량과 해체 비용을 평가하는데 필요한 항목들을 다음과 같이 도출하였다.

- 연구로 시설에 존재하는 공간선량

- 방사능 재고량: 방사능량 및 비 방사능량
- 제염 공정;
  - 초기 제염 핵종 및 농도, 제염 장비, 제염 작업자 수, 제염 시간, 제염 후 농도
- 제염 결과 0.4 Bq/g을 기준하여 방사능량과 비 방사능량 재평가
- 해체 공정;
  - 해체장비, 장비 설치 시간
  - 대상물 절단 및 세단 시간
  - 절단 길이 및 부피

## 가. 시스템 설계 기준

- ① 해체 시설물들의 속성과 기능들을 2D 혹은 3D로 가시화하여 해체 현장과 동일하게 설계되어 물리적인 목업 시설을 대신할 수 있는 기능을 갖추어야 한다.
- ② 고방사능에 오염된 해체 공간을 3D CAD 및 가상현실(VRML)기법을 응용하여 모델링되어야 한다.
- ③ 오염된 해체 대상물에 대한 방사능 재고량 산출 및 농도별 분포를 그래프로 설계되어 해체 계획 수립 시 참고가 될 수 있도록 해야 한다.
- ④ 해체 작업자 수와 해체 소요 시간, 해체 폐기물량과 작업자의 피폭량을 시뮬레이션을 통하여 사전에 예측하기 위해서는 해체 단위 작업별 난이도와 복잡도 등이 포함된 산술식과 가중치 값이 먼저 정의되어야 한다.

## 나. 시스템 설계 요구조건

- ① 해체 활동에 관계하는 엔지니어와 작업자들이 시스템에 쉽게 접근할 수 있고, 사용하기 용이하도록 그래픽 사용자 인터페이스(GUI)가 설계되어야 한다.
- ② 시스템 개발과 운용이 편리하도록 소프트웨어 및 하드웨어가 구성되어야 한다.
- ③ 기본적인 데이터가 확보되어 있어야하며 독립적인 단위 프로그램들 간의 데이터 호환성 문제를 해결하기 위해 인터페이스가 설계되어야 한다.
- ④ 향후 컴퓨터 기술 발전에 충분히 대응할 수 있도록 자료 구조를 융통성 있게 설계되어야 한다.
- ⑤ 인터넷에서 사용할 수 있도록 웹(web) 기술이 고려되어야 한다.

**다. 시스템 구성 및 기능**

설계 기준안과 요구 조건에 따라 해체 디지털 목업 기술이 하나의 통합된 환경에서 운영될 수 있도록 단위 프로그램들간의 인터페이스를 정의하여 각 단위 모듈간의 입·출력 관계를 정립 하였다. 이러한 인터페이스 특징을 갖는 해체 디지털 목업 시스템은 개발된 해체 데이터베이스 시스템과 해체 공정 전산모사 결과를 바탕으로 가상의 해체 공간을 가시화 시켜주는 가시화 모듈과 가상 해체 공간에서 작업자의 안전성과 해체 비용에 직접적인 영향을 초래하는 해체 일정을 평가하고 분석하는 시뮬레이션 모듈로 구분된다. 해체 디지털 목업 시스템 구현에 필요한 소프트웨어와 하드웨어의 구성 성분은 다음과 같다.

**① 시스템 하드웨어**

- 해체 데이터베이스 서버 시스템
  - DBMS: MS-SQL 2000 Server
  - Window: MS Windows 2000 Server
  - User Interface: MS Visual Basic
  - Network: Web-based and Client/Server
- 해체 디지털 목업 시스템
  - OS: Window 2000 or XP
  - Network: Web-based

**② 시스템 소프트웨어**

- 해체 데이터베이스 서버 시스템
  - DBMS : RDBMS(Relational DataBase Management System)
- 연구로 시설 가상 공간 모델링
  - EON, VRML(Virtual reality Markup Language)
- 제염 및 해체 장비 모델링
  - AutoCAD, 3D MAX
- 시뮬레이션 결과물 가시화 프로그램
  - Visual Basic script, JAVA 3D API

**③ 단위 시스템 특징 및 구성요소**

해체 디지털 목업 시스템을 구성하는 단위 프로그램의 특징과 역할을 그림 7에 나타내었다. 그림 7의 내용을 살펴보면 다음과 같다.

○ 해체 데이터베이스 시스템

- 해체 디지털 목업 시스템에서 다루게 될 4개 주요 공정들에 대한 시설 정보 및 방사능 정보는 해체 데이터베이스로부터 추출하여 해체 전 시설들이 갖추고 있는 형상을 설계 도면이나 수치적으로 보여 준다. 데이터베이스로부터 가져올 데이터는 시설의 제원 값과 방사능 핵종 및 농도 그리고 공간선량 등이다.

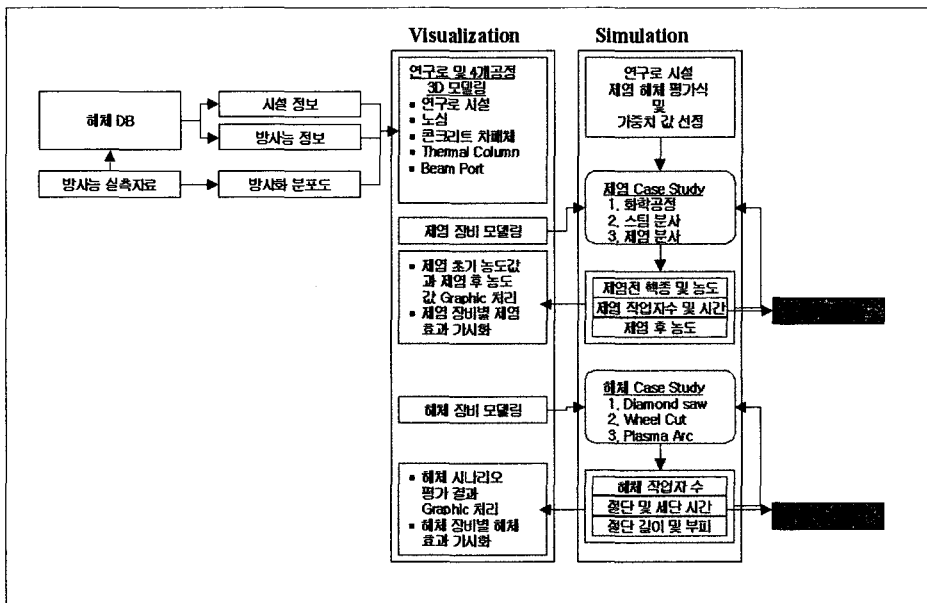


Figure 7. Schematic diagram of a dismantling digital mock-up system



- 해체 디지털 목업 시스템을 통해 생성된 결과 데이터들은 다시 해체 데이터베이스에 저장 관리되도록 설계될 예정이다.

○ 방사화 분포도

- 해체 데이터베이스에 저장된 방사능 정보와 연구로 해체 현장에서 측정된 데이터를 입력 받아 해체 대상물의 방사능 분포도를 3차원 그래픽으로 가시화시킨다. 이 정보를 통하여 제염 방법과 제염 횟수를 결정하게 되고, 제염이 끝난 후 해체를 하기 전 해체 대상물의 절단 위치와 절단 장비 선택 및 절단 개수 등을 결정하는 과정에서 다양한 해체 시나리오를 설정하게 된다.

○ 연구로 및 4개 공정 3D 모델링

- 연구로 2호기와 주변 부속시설의 형상 모델을 컴퓨터 가상공간 내에 실척(1:1)으로 설계되어야 한다.  
- 연구로 2호기 내 4개 대상물(노심, 콘크리트 차폐체, Thermal Column, Beam Port)을 3차원으로 볼 수 있도록 가상현실화 시켜야 한다.

○ 제염 및 해체 장비 모델링

- 방사능에 오염된 시설물을 3가지 종류의 제염 장비를 이용하여 제염하는 과정을 모사하기 위해 화학 제염, 초음파 제염, 그리고 스팀 분사 제염과 관련한 장비를 모델링 하였다.

- 제염을 마친 후 4개의 시설물을 해체하기 위해 각 시설물에 적용될 해체 장비를 선정하여 해체 장비를 모델링 하였다. 노심 해체에 사용될 장비로는 유압 절단기가 있고, 콘크리트 차폐체의 경우는 Diamond Wire, Rock Splitter 그리고 Abrasive Water Jet 장비가 사용될 예정이고, Thermal Column 해체 장비는 Diamond saw, Wheel cutting 그리고 Plasma arc 가 선택되었으며, Beam Port는 기계톱, Nibbler 장비를 이용하여 해체가 수행될 예정이다.

○ 연구로 시설 제염 및 해체 평가식과 가중치 값

- 연구로 해체에 필요한 단위 작업별 평가식과 가중치 값은 현재 연구로 2호기를 해체하면서 발생되고 있는 데이터를 해체 데이터베이스 시스템에서 관리하기 위해 적용된 WBS(Work Breakdown System)개념의 단위 작업별 항목에 입각하여 수식을 구한다.

○ 제염 공정

- 작업자가 선택된 제염 장비를 가지고 해체 대상물을 제염 하는 과정을 가상현실로 보여준다.

- 제염 전 초기 농도 값과 제염 후 농도 값을 그래픽으로 처리하여 제염 효과를 이해할 수 있도록 한다.

- 제염 작업자 투입 인원수에 따라 제염하는데 소요된 시간 등을 수치적으로 표시하여 제염 장비별로 제염 후 나타난 결과 값들을 비교 평가 할 수 있도록 그래픽으로 처리한다.

- 이 수치 데이터는 해체 활동과 연계하여 여러 유형 별로 해체 비용을 평가하는데 사용될 수 있도록 한다.

○ 해체 공정

- 작업자가 이동 경로를 통해 해체하고자 하는 시설물에 접근하는 과정을 시각화 할 수 있도록 설계해야 한다.

- 기 개발된 해체 주요 공정 모사 결과 자료를 활용하여 해체 시나리오 별로 해체하는 과정을 3D 모델링 자료를 이용하여 애니메이션으로 보여 줌과 동시에 각 단계별 절단에 소요되는 시간과 해체 작업자 수 및 작업자가 받는 피폭량을 그래픽으로 보여 주어야 한다.

- 선정된 시설물에 대하여 해체 장비 별로 시나리오를 수행할 수 있도록 설계되어야 하며, 이 때 발생되는 해체 시간 및 작업자 수 그리고 작업자 피폭선량 등을 평가할 수 있도록 입력 양식이 만들어져야 한다.

- 입력 되는 수치 데이터들은 프로토타입에서 임의의 데이터를 사용할 것이나 시스템 구현시 실제 데이터를 입력할 수 있도록 프로그램 해야 한다.

- 여러 경우의 해체 시나리오에 따라 계산된 결과들은 분석하기 쉽게 그래픽으로 가시화 시켜야 한다.

#### IV. 결론

해체 디지털 목업 시스템 설계에 필요한 인자들을 도출하기 위한 연구가 수행되었다. 해체 디지털 목업 시스템에서 사전에 해체 활동을 평가하기 위해서는 해체 시설물들을 3차원으로 설계할 수 있어야 하며,

해체 시설물의 제원 및 방사능 정보 등이 지원되어야 한다. 또한 해체 하고자 하는 시설물과 주위에 분포된 방사능 농도에 대한 정보를 정확히 규명해야 한다. 본 논문에서는 3D 매핑 기술을 활용하여 방사능 분포를 3차원으로 가시화 시키는 방법을 확보하였다. 이렇게 해체 현장을 입체적으로 가시화 시킨 후 작업지수와 해체 시간 그리고 해체 폐기물량의 상관관계를 분석하기 위해 제염 및 해체 단위 작업별로 시간의 함수로 계산되는 평가식과 가중치 값을 인용하여 해체 시간에 대한 계산을 예비 평가하였다. 본 논문에서 인용된 해체 단위 작업별 평가식 및 가중치 값을 연구용 원자로 및 핵주기 시설에 적용시키기 위해서는 해당 시설물의 특징과 해체 활동의 범위 등을 세부적으로 고찰한 뒤 타당성을 검증해야 할 것이다.

이와 같이 해체 공정 디지털 목업 시스템 설계에 필요한 주요 구성 인자들을 확보함으로써 물리적인 목업 시설 없이도 해체 기술 개발에 필요한 실험을 컴퓨터상에서 수행할 수 있는 디지털 목업 시스템의 개념 설계를 완료할 수 있었다. 해체 디지털 목업 시스템이 구현되면 후행핵연료주기시설 중 핫셀 및 조사후 시험 시설에 대하여 제염 해체 연구에 활용될 것이며 나아가 원자력 시설 해체 시 유용한 실증 도구로 사용될 것으로 예상된다.

**참고문헌**

1. 정기정 외., "Dismantle Plan on Research Reactor 1&2", KAERI-TR-1654/2000.
2. Michel Klein et al., "The Management of Radioactive Concrete Arising from the Dismantling of a Pressurised Water Reactor: The R&D Project on the Recycling of Radioactive Concrete", Radioactive Waste Management and Environment Remediation-ASME 2001.
3. Yukihiro Iguchi et al., "Development of a Decommissioning Engineering Support System of the Fugen NPS", 11th International Conference on Nuclear Engineering, ICONE11-36270, Tokyo, JAPAN, April 20-23, 2003.

4. Julia L. Tripp et al., "Tools for Optimal Waste and Exposure Reduction", WM '02 Conference, Feb. 24-28, 2002.
5. S. Yanagihara, "COSMARD: Code System for Management of JPDR Decommissioning", J. Nucl. Sci. Technol., 30(9), 890(1993).
6. Roy Manning, Jeremy Gilmour, "Decommissioning Cost Estimating the Price Approach", Waste Management 2002, Tucson AZ, Feb 2002.
7. Charles E et a., "Computer Mapping and Visualization of Facilities for Planning of D&D Operations", Radioactive Waste Management and Environment Remediation-ASME 1995
8. D J Lee et al., "Virtual reality for Inspection, Maintenance, Operation and Repair of Nuclear Power Plant(VRIMOR).
9. Rindahl, G., et al., "International Conference on Safe Decommissioning for Nuclear Activities", IAEA, Berlin, 2002.
10. Vermeersch F , "The Combined Use of 3D Dose Assessment and Human Motion Simulation in ALARA D&D Problems", 7<sup>th</sup> ALARA Network Workshop in Decommissioning of Installations and Site Remediation.
11. F. Vermeersch, C. Van Bosstraeten, "Development of the VISIPLAN ALARA planning tool", Proceeding of the International Conference on Topical issues in Nuclear Radiation and Radioactive Waste Safety, Vienna Austria, 31-August to September 1999.
12. Philippe et al., "Dismantling of the Hot Cell Nr 41 at the SCK-CEN using the ALARA Planning Tool VISIPLAN".
13. Kunio Shiraiishi et al., Data Analysis on Work Activities in Dismantling of Japan Power Demonstration reactor(JPDR), JAERI-data/Code-98-010.
14. 박희성 외., "연구로 해체 DB Structure 평가", Proceedings of the Korea Society of Information

technology applications, September, 2003.

15. 두산 중공업., 연구로 1, 2호기 제염 해체 인력 수급 부문 공사, 월간 진도 보고서, 제 42~43호, 2003. 7.
16. R.J. Morford, "Source Term and Shielding Calculations to Support Decommissioning of Shippingport Reactor," WHC-SA-0206, Westinghouse Hanford Company, 1988.
17. Le Goaller C., Costes JR., "On Site Nuclear Video Imaging", Waste Management 1998, Tucson AZ, Feb 1998.