

해체 정보 평가 시스템의 모듈 연구

박희성*, 김성균*, 이근우*, 오원진*

*한국원자력연구소 원자력 연구시설 해체 기술개발

e-mail : parkhs@kaeri.re.kr

A Study on Modularization of a Decommissioning Information Evaluation System

Hee-Seoung Park, Sung-Kyun Kim, Kyne-Woo Lee, Won-Jin Oh
Dept. of D&D Technology R&D Division

요 약

해체 준비 작업부터 해체 후 처리까지 가상의 디지털 해체 환경에서 해체 활동의 예측에 필요한 모듈별 기능들을 요소별로 검토 분석하였다. 해체 정보 통합 관리 시스템의 기본 정보를 제공할 수 있는 모듈을 확립하기 위해 해체 데이터베이스와 3D CAD 를 연동시키는 방안에 대하여 연구하였다. 3 차원 dosimetric mapping 기술로 방사능 오염 분포를 입체적으로 묘사할 수 있는 모듈과 제염 해체 단위 작업별 평가식과 가중치 값을 이용하여 해체 작업자수와 해체 시간을 평가할 수 있는 모듈을 연구하였다. 연구 결과 가상의 해체 환경에서 연구로 및 원자력 시설 해체 시 경제성과 안전성에 영향을 미치는 해체 일정과 해체 비용을 평가할 수 있는 단위 모듈들의 기능을 활용하여 해체 통합 관리 시스템의 설계 기준과 요구 조건 및 기능을 도출하였다.

1. 서론

방사능에 오염된 지역에서의 해체활동으로부터 작업자의 안전성 확보와 해체 폐기물의 감량 그리고 해체 비용을 평가하기 위해 해체 정보 통합관리 시스템 과제가 수립되어 1 차년도 연구과제로서 해체 Digital Mock-up system 개발 연구가 진행되고 있다.

해체 정보 평가 시스템 모듈 연구의 목적은 당 과제의 최종 목표인 해체 정보 통합관리 시스템을 성공적으로 개발하기 위해 필요한 복잡하고 다양한 구성요소(component)들을 체계적으로 분석하고 설계하는데 있다. 이를 위해서는 실제 연구로 및 원자력 시설의 해체 현장을 3D CAD 와 VRML 및 JAVA 3D API 와 같은 software 를 이용하여 현실세계와 동일하게 computer 상에서 가상으로 연출하여 해체가 수행되기 전에 해체 작업자의 안전성과 해체 비용에 영향을 미치는 주요 인자들을 평가할 수 있는 기술요소들이 필요하다. 해체 현장을 가상으로 구현시키기 위해서는 3D CAD 로 해체 시설물을 모델링 한 후 방사능에 오염된 위치와 방사능 분포가 설계되어야 한다. 30 년이 넘는 원자력 시설의 정확한 방사선/능 현황을 재연시키기 위해 여러 종류의

S/W 를 사용하여 해체 시설 내부를 3 차원으로 modeling 하는 기술과 3D CAD 를 포함한 가상현실 기술이 개발[1]되고 있으며, CAD 데이터의 활용을 극대화하기 위해 집적된 데이터베이스와의 연동에 대한 연구가 여러 산업 분야에서 활발히 수행[2]되고 있다. 해체 일정과 해체 비용을 정량적으로 평가하기 위해서는 작업자수와 해체 시간 및 해체 폐기물량을 평가할 수 있는 평가식과 가중치(weighting factor)에 대한 정의[3]를 규명되어야 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. 이질적이고 다양한 특성들로 구성된 해체 정보의 모듈들 간 인터페이스를 검토한 결과는 해체 정보 통합관리 시스템 기본 설계 기초 자료로 사용될 것이다.

2. 해체 정보 주요 항목 및 시스템 모듈 분석

가. 해체 단위 작업별 주요 항목 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/능 정보 그리고 해체 폐기물 정보[4] 등을 검토하였으며, 해체 정보 통합관리 시스템의 적용 연구를 위해 방사능에 조사된 해체 시설물들 중 연구로 2 호기의 콘크리트 차폐체와 노심 및 Thermal column 에 대한 해체 결과[5] 자료를 검토하여 항목 도출에 반영하여 시험하였다. 해체 활동으로부터 생산된 여러 자료를 통하여 해체 정보 주요 인자들을 분석한 결과 해체 일정 및 해체 폐기물량과 해체 비용을 평가하는데 필요한 항목들이 다음과 같이 도출되었다.

- o 해체 시설물에 조사된 방사능량 및 비 방사능량
- o 방사능 재고량: 코드를 이용하여 농도별 재고량 산정
- o 제염 공정: 제염 횟수에 따라 제염 시간과 해체 비용 및 해체 폐기물량이 결정됨.
- o 제염 결과 방사능량과 비 방사능량 재평가
- o 해체 활동
 - 절단 위치 및 절단 개수 결정
 - 해체 장비 선정
 - 1차 절단(조단): 길이 판정
 - 2차 절단(세단): 길이 판정

나. 해체 시설물 및 장비 모델링

해체 정보 통합관리 시스템 중 디지털 목업 시스템은 computer 상에서 해체 활동을 실험하기 때문에 가장 먼저 해체 시설물을 입체적으로 설계되어야 한다. 원자력 시설 및 부품들의 설계와 모델링 도구로는 여러 상업용 소프트웨어들이 있으나 해체 준비 작업부터 제염 및 해체 과정 그리고 해체 후 처리 과정 등 복잡한 단계를 효과적으로 가시화시킬 수 있는 기능을 가진 제품이 선정되어야 한다. 이러한 조건을 만족시킬 수 있는 제품으로는 AutoCAD 와 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 차원으로 설계 해야 한다. 연구로 2 호기 콘크리트 차폐체의 원형을 3 차원으로 묘사한 결과를 그림 1 에 나타내었다.

다. 해체 DB 와 3D CAD 연동

해체 디지털 목업 시스템은 방사능에 오염된

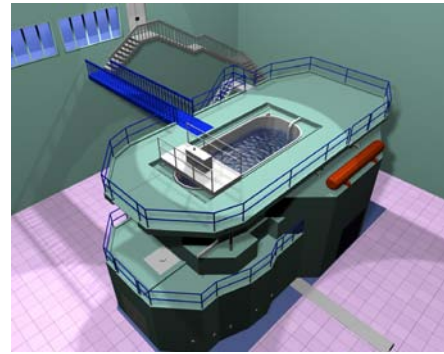


그림 1. 3D로 설계된 연구로 2 호기

시설물을 해체 및 절단 하면서 발생하는 현상들을 평가하는 것이기 때문에 3 차원 CAD 로 설계된 해체 시설물의 형상에 해체 대상물의 제원 및 방사능에 조사된 이력과 관련한 데이터들이 필요하다. 해체 데이터베이스와 3D CAD 데이터의 연동에 필요한 기술 요소들에 대하여 분석하였다.

- 해체 데이터베이스와 3D CAD 연동에 사용된 실험 데이터로는 해체 시설물로 연구로 2 호기의 노심, 콘크리트 차폐체, Beam Port 그리고 Thermal Column 이 선정되었으며, 해체 장비로는 DARDA, Drill, Wire Saw, 유압절단기, 천공 드릴, 크레인, Brokk, 그리고 Nibbler 장비가 채택되었다.

- 3D CAD 로 설계된 해체 대상물과 해체 장비 모델링 결과들을 해체 데이터베이스에 저장 관리하기 위해 필요한 entity 들을 정의하였으며, 기존 해체 데이터베이스를 구성하고 있는 entity 들과의 relationship 을 재분석하여 새로운 entity 들을 설계하였다. 2 개의 단위 모듈들의 연계를 실험하기 위해 연구로 2 호기 회전시료조사대(Rotary Speciman Rack)을 선정하여 해체 데이터베이스에 저장하였다.

- 해체 활동으로부터 발생된 텍스트(text), 그림(image), 동영상(video) 및 animation 자료들을 멀티미디어 콘텐츠로 가공(Edu-V), 압축하여 Web 환경에서 실시간으로 보여 줄 수 있도록 자료 구조를 설계하였으며, 주요 공정들에 대한 해체 시나리오를 분석할 수 있도록 동영상 자료를 색인화 하였다.

라. 방사능 분포도-3차원 Dosimetric mapping

해체 작업 시 작업자가 받는 피폭량을 최소화시키고 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 산정은 원자로 운전기간에 걸친 방사성핵종의 생성과 소멸을 포함하여 많은 종류의 방사성핵종을 계산할 수 있는 ORIGEN2 코드와 계산된 방사능 자료를 활용하여 수송 이론을 이용한 ANISN 나 DOT/DORT 혹은 TORT 코드 그리고 MicroShield 와 같은 점선원 코드를 이용하여 계산할 수 있다[6]. 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[7]되고 있지만 콘크리트 차폐체 내부의 농도를 판별하지는 못하고 있다. 본 연구에서는 연구용 원자로 2 호기 수조 내 exposure room 서쪽 벽면에서 측정된 데이터를 대상으로 방사화 분포도를 3 차원으로 가시화하였다(그림 2).

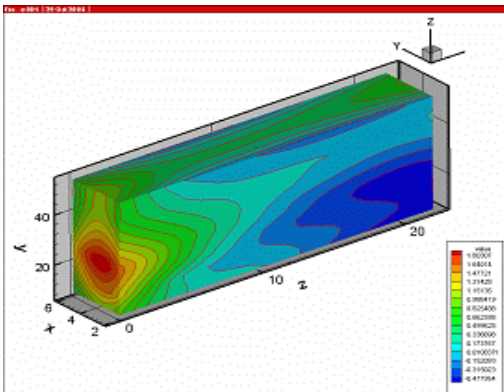


그림 2. Exposure room 의 방사화 분포도

마. 해체 정보 통합 관리 시스템 모듈 구성 및 기능

설계 기준안과 요구 조건에 따라 위에서 언급한 여러 단위 프로그램들이 통합된 환경에서 해체 시나리오를 평가할 수 있도록 단위 모듈들간의 인터페이스를 검토하였다. 단위 모듈들 간의 인터페이스를 통해 구현하고자하는 해체 정보 통합관리 시스템의 재편된 모듈들의 기능을 살펴보면 다음과 같다.

- **해체 시설 및 대상물 Profile:** 해당 시설물들에 대한 기본 정보, 즉 시설물의 제원 및 방사능 과 핵종 정보 등을 보여준다.

- **방사능에 오염된 시설의 방사화 분포:** 해체 하고자 하는 시설물의 오염 정도를 3 차원 dosimetric mapping 기술을 응용하여 입체적으로 가시화시킨다. 이 정보를 기초로 하여 제염 방법과 제염 횟수를 결정하게 되고, 제염이 끝 난 후 해체를 하기 전 절단 위치와 절단 장비 선택 및 절단 개수 등을 결정하는 과정에서 다양한 해체 시나리오를 설정하게 된다.

- **해체 시뮬레이션:** 연구를 통해 도출된 방법론을 기초로 하여 다양한 시나리오를 수행하면서 최적의 해체 시나리오를 선정한다. 해체 시뮬레이션 모듈에서는 해체 작업자 수와 해체 일정 및 해체 폐기물량의 상관관계를 평가하기 위해 각 절차에 맞는 단위작업 평가식과 가중치(weighting factor) 값을 선정하여 시뮬레이션을 수행한다.

- **해체 전산모사 및 동영상:** 해체 데이터베이스에 저장된 주요 해체 공정 결과 자료를 이용하여 해체 시나리오 중 주요 절단 장면을 Web 상에서 보여준다.

3. 결론

해체 시나리오 최적 공정 평가에 필요한 단위 모듈들에 대한 연구가 수행되었다. 3D CAD 와 해체 데이터베이스 연동 결과는 해체 데이터베이스의 기능을 한 단계 향상 시키는 기회가 되었으며, 해체 디지털목업 시스템에서 새로운 시설을 대상으로 해체 시나리오를 수행할 때 해체 데이터베이스 시스템으로부터 필요한 CAD 데이터와 해당 시설의 제원 및 방사능 정보 등에 대한 기초 자료를 제공하게 될 것이다. 연구로 2 호기 수조 내 오염 준위가 높은 exposure room 을 대상으로 방사화 정도를 3 차원으로 가시화 시킨 결과 방사능의 분포를 이상적으로 표현함으로써 연구로 및 원자력 시설 제염 및 해체 계획 수립 시 해체 일정과 해체 비용 결정에 중요한 의사결정 자료를 제공하는 모듈이 될 것이다. 방사화된 자료를 바탕으로 연구로 시설물을 해체 할 때 필요한 작업자수와 해체 시간 그리고 해체 폐기물량의 상관관계를 분석하기 위해 제염 및 해체 단위 작업별로 시간의 함수로 계산되는 평가식과 가중치 값을 국내 연구로와 원자력시설에 적용시키기 위해 현재 분석 중에 있다. 이 모듈은 타당성이 입증 되는대로 해체 통합 시스템 설계에 반영할 계획이다.

이상과 같이 단위 모듈들의 특징과 기능을 활용하여 해체 통합관리 시스템에서 필요한 구성요소를 확립하였다. 향후 이 자료를 근거로 하여 하나의 통합된 환경에서 해체 시나리오를 평가할 수 있도록 Graphic User Interface 를 설계할 예정이다.

참고문헌

1. Charles E et al., "Computer Mapping and Visualization of Facilities for Planning of D&D Operations", Radioactive Waste Management and Environment Remediation-ASME 1995
2. Gibson, George E. and Bell, Lansford C., "Intefrated Data-Based System" Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Vol 118 No. 1, 1992. pp. 50-58
3. Kunio Shiraishi et al., "Data Analysis on Work Activities in Dismantling of Japan Power Demonstration reactor(JPDR)", JAERI-data/Code-98-010
4. 박희성 외., "연구로 해체 DB Structure 평가", Proceedings of the korea society of information technology applications, September, 2003
5. 두산 중공업., "연구로 1, 2 호기 제염 해체 인력 수급 부문 공사", 월간 진도 보고서, 제 42 ~ 43 호, 2003. 7
6. R.J. Morford, "Source Term and Shielding Calculations to Support Decommissioning of Shippingport Reactor," WHC-SA-0206, Westinghouse Hanford Company, 1988
7. Le Goaller C., Costes JR., "On Site Nuclear Video Imaging", Waste Management 1998, Tucson AZ, Feb 1998