

디지털 목업 인터페이스 설계

박희성*, 김성균*, 이근우*, 오원진*, 진성일**
*한국원자력연구소 원자력 연구시설 해체 기술개발
**충남대학교 정보통신공학부 컴퓨터학과
e-mail : parkhs@kaeri.re.kr

Design of a Interface for Digital Mock-up

Hee-Seung Park*, Sung-Kyun Kim, Kyne-Woo Lee, Won-Jin Oh, Seong-Il Jin**

*Dept. of D&D Technology R&D Division, KAERI

**Dept. of Computer Science, Chungnam National University

요 약

원자력 시설 및 연구용 원자로 해체 시 해체 일정과 해체 폐기물량 그리고 해체 비용을 분석하기 위한 평가식이 수립되었다. 연구로 2 호기 Thermal column 자료를 참고하여 평가식을 실험하였다. 해체 공정 모사 결과를 애니메이션으로 보여주는 가시화 모듈과 해체 일정과 해체 폐기물량, 작업자 피폭선량 및 해체 비용 등을 평가식으로 계산 한 후 그 결과를 그래픽으로 보여주는 시뮬레이션 모듈로 구성된 해체 디지털 목업 시스템의 그래픽 사용자 인터페이스가 설계되었다. 해체 단위 작업별 평가식은 원자력과 관련한 시설 해체 시 해체 일정 및 해체 비용 분석 및 예측에 중요한 기초자료로 사용 될 것이다. 또한 그래픽 사용자 인터페이스는 방사능의 오염으로 인해 작업자가 접근하기 힘든 환경에서의 해체 활동을 사전에 경험함으로써 피폭으로부터 작업자의 안전성을 향상시킬 수 있는 유용한 도구로 활용될 수 있다.

1. 서 론

서울 공릉에 위치한 연구용 원자로는 1995 년 수명이 다하여 이 후 관리의 어려움, 시설의 노후와 및 30MW 급 다목적 연구용 원자로인 하나로의 가동에 따라 과학 기술부는 연구로 1, 2 호기를 폐로하기로 결정하였다. 이에 따라 한국원자력연구소는 2000 년 11 월에 정부로부터 승인을 얻어 해체 활동을 현재까지 진행하고 있다[1].

해체 작업 종사자의 안전성 확보와 해체 비용의 경제성 문제를 체계적으로 관리하기 위해 해체 디지털 목업 기술 개발 연구가 수행되고 있다. 해체 활동으로부터 발생하는 해체 일정, 해체 폐기물량, 작업자 피폭선량 그리고 해체 비용에 절대적인 영향을 미치는 해체 단위 항목별 주요 인자들을 도출하기 위해 해체 현장에서 기록 관리하고 있는 자료들을 수집하여 검토하였다. 해체 일정과 해체 비용을 정량적으로 평가하기 위해서는 해체 단위 작업 별 작업자수와 해체 시간 및 해체 폐기물량

등에 대한 상관관계를 파악해야 하며, 또한 작업의 난이도와 복잡도 등이 포함된 가중치(weighting factor)값 등이 정의되어야 한다. 국내의 경우 원자력 시설에 대한 해체 경험이 없는 관계로 상업용 발전소를 해체한 결과 자료[2]를 확보하여 연구로 해체에 사용할 수 있는지에 대한 타당성 검토를 한 후 국내 연구용 원자로 해체 시 발생된 자료[3]들을 분석하여 해체 작업 단위 별 평가식을 만들었다. 평가식 도출에 사용된 자료는 연구용 원자로 2 호기 내 Thermal column 해체 결과를 이용하였으며, Thermal column 의 해체 작업 내용은 WBS(work breakdown structure)의 내용을 참조하였다. 해체 디지털 목업 시스템의 효율성과 다른 원자력 시설의 해체 시 해체 설계 및 평가 인자들을 쉽게 분석할 수 있도록 시스템의 변경가능성 및 재연성을 확보하기 위해 그래픽 사용자 인터페이스를 설계하였다. 현재까지 다른 산업 분야에서 개발된 애니메이션과 가상현실을 이용한 시스템들은 주로 시각적으로 보여주는데 많은 비중을 차지하고 있어 원자력

시설과 같은 복잡한 시스템에서 필요한 공학적인 요소들을 배제한 부분들이 많이 있었다. 이러한 문제들을 보완하기 위해 본 논문에서는 기존에 개발된 전산모사 결과를 애니메이션으로 보여주는 가시화 모듈과 작업자가 해체에 참여한 시간 및 일정, 해체로부터 발생된 해체 폐기물량, 그리고 해체 비용을 정량적으로 계산하여 그래픽으로 그 결과를 보여주는 시뮬레이션 부분으로 나누어 프로그래밍 하였다. 해체 디지털 목업 사용자 인터페이스는 방사능에 노출된 상황에서 해체 작업을 하는 작업자의 안전을 보장하는 교육용 및 대국민 홍보용 자료뿐만 아니라 해체 기획에 필요한 정보를 제공해주는 중요한 시스템 역할을 할 것으로 사료된다.

2. 해체 주요 인자 평가식 산출

가. 해체 단위 작업 별 주요 항목

해체 작업자 투입 인원수, 해체 소요시간, 해체 폐기물량과 해체 비용 등에 영향을 미치는 주요 항목들을 조사하기 위해 해체 데이터베이스 시스템의 해체 작업자 정보와 방사선/능 정보 그리고 해체 폐기물 정보 등을 검토하였다[4]. 이 중에서 방사능에 조사된 해체 시설물들 중 연구로 2 호기의 콘크리트 차폐체와 노심 및 Thermal column 에 대한 해체 결과[5] 자료를 선정하여 항목 도출의 기초자료로 활용하였다. 해체 정보 주요 인자들을 분석한 결과 해체 일정 및 해체 폐기물량과 해체 비용을 평가하는데 필요한 항목들이 다음과 같이 도출되었다.

- o 연구로 시설에 존재하는 공간선량률
- o 방사능 재고량: 방사능량 및 비 방사능량
- o 제염 및 해체 공정에 투입된 작업자 수 및 작업자 등급 분포
- o 제염 횟수에 따른 제염 시간
- o 제염 결과 방사능량과 비 방사능량
- o 해체 장비 선정 및 설치 시간
- o 해체 공정; 대상물 절단 및 세단 시간
 - 방사성물질 해체
 - 비 방사성물질 해체
 - 자체 처분 물질 해체

나. 해체 일정 및 비용 평가 방법

해체 일정과 해체 폐기물량 그리고 작업자가 받는 피폭량을 비롯한 해체 비용을 정량적으로 평가하기 위해서는 해체 단위 공정별 작업 난이도 및 복잡도 등이 포함된 산술식과 작업 별 가중치 값이 정의되어야 한다. 국내의 경우 원자력 시설을 해체한

경험이 없기 때문에 이에 대한 자료가 없는 실정이며, 본 논문에서는 2004년 9월부터 12월까지 약 3개월 동안 해체된 연구용 원자로 2 호기 내 thermal column 을 해체한 결과 데이터를 분석하여 해체 일정과 해체비용 중 작업자 인건비와 관련한 평가식을 산출하였다. 해체 작업 내용은 Thermal Column 의 WBS(Work Breakdown Structure)의 결과 자료를 참조하였으며, X 는 각 항목의 입력 값이며, Y 값은 인공수(man-year)를 의미한다.

O 해체 일정

- 제염을 위한 방사능 측정; $Y = 1.6 X + 0.3$
- Thermal 내 흑연 제거; $Y = 0.8 X + 43.3$
- Green house; $Y = 20.1 X - 124.3$
- 흑연 인출 장치 설치; $Y = 0.2 X + 19.2$
- Plasma cutting 장치 설치; $Y = 0.3 X + 7.0$
- Thermal column 해체; $Y = 69.1 X - 170.9$

O 해체 비용

- 작업자 시간 별 노임; 해체 일정으로부터 계산된 해체 시간을 기준하여 1 시간당 146,000 으로 가정함.

연구로 2 호기 Thermal column 을 해체 하는데 소비된 작업 별 시간과 비용을 표 1 에 나타내었다.

표 1. 해체 단위 작업별 소요된 인공수 및 해체 비용

해체 작업	활동	단위	입력	인공수	비용(천원)
제염	방사능 측정	m ²	15.36①	24.9	3,635
흑연제거	내부 흑연 제거	회수	225 ②	223.3	32,601
흑연 인출	인출 장치 설치	무게	700③	159.9	23,345
장비 설치	Plasma 설치	무게	50④	22	3,212
흑연 해체	빔포트 절단	회수	64 ⑤	26.2	3,825

여기서 ①은 $Y = 1.6 X + 0.3$,
 ②는 $Y = 0.8 X + 43.3$,
 ③은 $Y = 0.2 X + 19.2$,
 ④는 $Y = 0.3 X + 7.0$,
 ⑤는 $Y = 28.9 X - 390.2$

3. 그래픽 사용자 인터페이스 설계

해체 디지털 목업 기술이 하나의 통합된 환경에서 운영될 수 있도록 하기 위해 그래픽 사용자 인터페이스를 설계하였다. 해체 디지털 목업 기술에서 고려해야 될 단위 모듈들은 해체 시설물 3 차원 설계, 해체 시설물의 제원 및 방사능 정보를 제공하는 데이터베이스, 방사능에 조사된 시설물의 방사화 분포도, 연구로 및 주요 공정 3D 모델링, 제염 및 해체 장비 3D 모델링, 연구로 시설 제염 및 해체 평가식과 가중치 값, 그리고 제염 및 해체 시나리오 등이 있다. 이러한 단위 모듈들의 특징과 요구사항들에 대한 연구 및 시스템 구성과 기능들을 검토 분석하였다. 해체 디지털 목업 시스템의 구조도를 그림 1 에 나타내었다. 해체 디지털 목업 사용자 인터페이스는 기 개발된 해체 데이터베이스 시스템과 해체 공정 전산모사 결과를 바탕으로 가상의 해체 활동을 그래픽으로 보여주는 가시화 모듈(visualization module)과 가상 해체 공간에서 작업자의 안전성과 해체 비용에 직접적인 영향을 초래하는 해체 일정과 해체 폐기물량 그리고 작업자 피폭선량 등을 평가한 후 그 결과를 그래픽으로 보여주는 시뮬레이션 모듈(simulation module)로 구분하여 설계를 하였다.

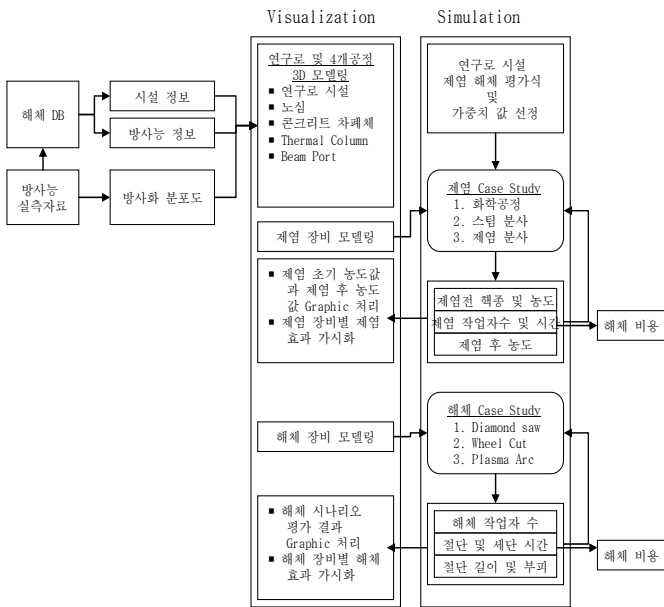


그림 1. 해체 디지털 목업 시스템 구조도

그림 2 는 해체 디지털 목업 시스템의 개념적 설계도를 바탕으로 만들어진 사용자 인터페이스를 보여주고 있다. 왼쪽 상단 그림은 연구로 1 호기 thermal column 내 빔 포트를 인출한 후 BROKK 장비를 이용하여 절단하는 장면을 애니메이션으로 보여주고 있으며, 나머지 부분은 해체 과정에서 투입된 작업자 수와 해체 일정, 해체로부터 발생된

폐기물량 및 작업자가 받은 피폭량 그리고 작업자의 인건비와 관련한 해체 비용 등을 도표와 그래픽으로 보여주고 있다. 해체 디지털 목업 사용자 인터페이스는 가상현실 구현 프로그램인 EON 소프트웨어를 사용하여 가상의 해체 공간을 모델링하였으며, 제염 및 해체 장비 모델링은 AutoCAD 와 3D MAX 소프트웨어를 사용하였고, 시뮬레이션 결과물 가시화 프로그램은 Visual Basic script 를 이용하였다. 주요 공정 평가식에 사용된 기초 데이터들은 기존 해체 데이터베이스 시스템으로부터 해당 자료를 추출하여 계산하였다.

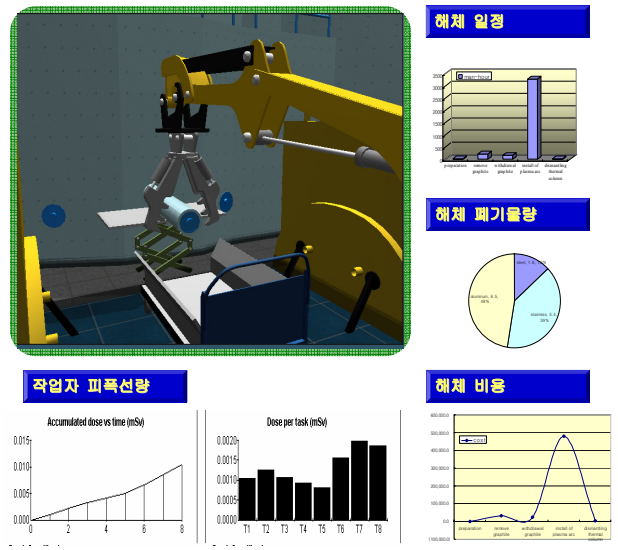


그림 2. 해체 공정 사용자 인터페이스

4. 결론

해체 일정과 해체 비용을 분석하고 예측할 수 있는 평가식을 수립하였다. 평가식 도출에는 연구로 2 호기 내 Thermal column 해체 과정에서 사용된 WBS 자료를 활용하였으며, 이 중에서 가장 많은 시간을 소비한 해체 활동 영역을 선별하여 데이터를 분석한 후 평가식을 만들었다. 방사능에 오염된 원자력 시설의 복잡성을 최대한 살리기 위해 해체 디지털 목업 기술에 필요한 모듈들에 대한 연구가 먼저 수행되었다. 연구 결과 해체 현장을 full scale 로 설계하는 것 이상으로 해체 일정과 해체 비용, 해체 폐기물량과 작업자 피폭선량에 대한 분석이 우선해야 하기 때문에 크게 가시화 모듈과 시뮬레이션 모듈로 구분하여 설계를 완료하였다.

본 논문에서 소개한 해체 단위 작업 별 평가식은 해체 전 공정에서 필요한 해체 일정 및 해체 비용 평가에 중요한 기초 자료로 활용될 것이다. 그러나 원자력 시설과 같은 복잡한 시스템에서의 주요 변수들의 상관관계와 인과 관계를 예측하기란 쉽지가

않다. 특히 가상현실환경에서 공정에 소요되는 일정과 그 결과로 나타나는 비용 그리고 작업자의 피폭선량을 물리적 혹은 수학적으로 표현하기가 대단히 어려운 일이다. 향후 수학적이며 통계적 방법으로 일정과 비용 문제를 예측 가능하게 하는 불연속 사건 시뮬레이션 방법을 연구하여 이러한 문제들을 해결할 예정이다.

참고문헌

1. 정기정 외., “연구로 1 호기 및 2 호기 폐로 사업 해체 계획서”, KAERI/TR-1654/2000
2. Kunio Shiraishi et al., "Data Analysis on Work Activities in Dismantling of Japan Power Demonstration reactor(JPDR)", JAERI-data/Code-98-010
3. 박희성 외., “연구로 1&2 호기 해체 정보 분류 체계 및 개념적 모델링”, proceedings of the korea society of information technology applications, pp 85-86, May, 2002
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