



본 기고문은 ‘원자력발전소 고리 1호기 RPVI 해체활동에 대한 직무분석’의 제목으로 단국대학교 신소재공학과 석사학위논문으로 게재된 내용의 일부이다. 원문은 학술연구정보서비스 홈페이지(<http://www.riss.kr>)에서 찾을 수 있다.

원자력발전소 고리 1호기 RPVI 해체 활동에 대한 직무분석

유현재

한국원자력산업협회 경영혁신실 주임

현 재 원자력 분야를 포함한 다양한 산업 분야에서 시스템 및 기술의 발전은 날이 향상되고 있다. 따라서 기계, 시스템을 통한 사건(Event) 및 사고(Accident)는 줄어드는 반면에 작업자(인간)에 의한 즉, 인적오류에 의한 사건 및 사고는 점점 증가하는 추세이다.

주요 원전 사고들의 역사를 되짚어 원인들을 살펴보면 먼저 1979년 3월 미국의 TMI(Three Mile Island) 원전 사고는 작업자들의 긴급노심 냉각장치 정지 및 경고등 표시 미확인 등의 원인으로 발생했으며, 1986년 4월 우크라이나의 체르노빌 원전 사고는 작업자의 긴급노심냉각장치 정지, 저전력 상태로 발전소를 무리하게 가동하여 발생하였다. 2011년 3월 일본 후쿠시마 원전 사고는 근본적으로 엔지니어의 지진 및 해일을 고려하지 않은 발전소의 위치 및 설계 판단 실수로 인해 발생하였다. 이처럼 주요 원전 사고는 작업자(인간)의 실수, 인적오류라는 원인에 의해 사고가 발생하였고, 현재도 인적오류에 의한 사건 및 사고가 빈번히 발생하고 있는 중이다. 이와 같은 사고는 원자력발전소 운영 중에 발생하였다. 뿐만 아니라 원전해체 과정에서도

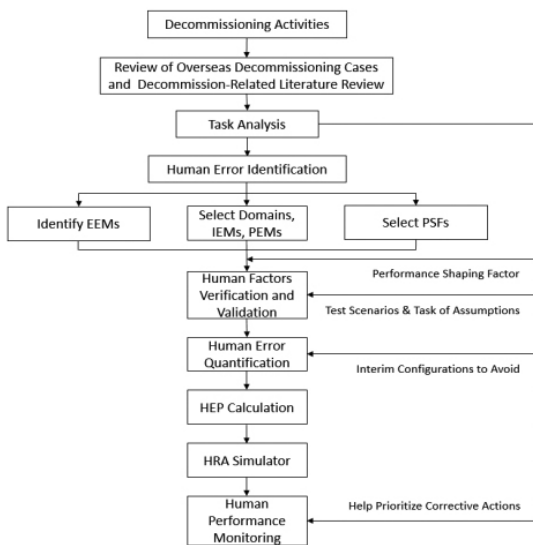
인적오류가 발생할 수 있다. 원전해체는 원전운영에 비해 전문적인 기술을 요구하지 않아 어렵지 않다. 이러한 이유로 방심한다면 인적오류 사고로 이어질 수 있다.

우리나라는 2017년 6월에 원자력발전소 고리 1호기를 영구정지하고 해체를 선언하였다. 지난해 고리 1호기에 대한 최종해체계획서 초안을 발표하였으며, 지역주민들과의 많은 공청회를 통해 원자력 관련 종사자들이 국민들과 소통하고 있다. 원자력발전 선진국(미국, 독일 등) 중 일부 국가들은 오래전부터 원전 해체 시장에 뛰어들어 많은 경험과 노하우(Know-How) 및 기술들을 보유하고 있다. 우리나라도 한국원자력연구원(KAERI)의 ‘TRIGA Mark-II’라는 연구용 원자로 해체 경험 및 기술을 가지고 있다. 하지만 고리 1호기 해체는 국내 최초 상업용 원전해체이기 때문에 연구용원자로 해체에 비하면 기술적 측면에서 더 복잡하고 잠재위험을 많이 내포하고 있어 해체과정에서 정확도, 안전성 등을 요구한다.

원전해체 과정에서 인적오류를 예측 및 예방하기 위해서는 인간신뢰도분석(HRA, Human



Reliability Analysis)과 같은 인적오류 저감을 위한 대책을 수립해야한다. HRA는 [그림 1]과 같이 직무분석(TA, Task Analysis) 및 수행영향인자(PSFs, Performance Shaping Factors) 도출 등을 수행하는 정성적 평가와 인적오류 발생 확률 계산 등의 정량적 평가를 포함하고 있다.



[그림 1] 원전 해체를 위한 HRA 절차¹⁾

HRA 절차 중 가장 중요한 단계는 초기단계의 직무분석이다. 직무분석은 수행영향인자와 궁극적으로 인적오류 원인을 도출하기 위해 직무 목표, 방법, 절차 등을 분석하여 직무특성, 취약성 및 적정성을 파악하는 작업이다. 직무분석의 절차는 ① 직무분석 대상을 설정하고 ② 대상에 대한 절차 수립 ③ 해당 직무(해체)에 따른 적용 가능한 TA Form 개발 ④ 직무분석 적용 ⑤ 결

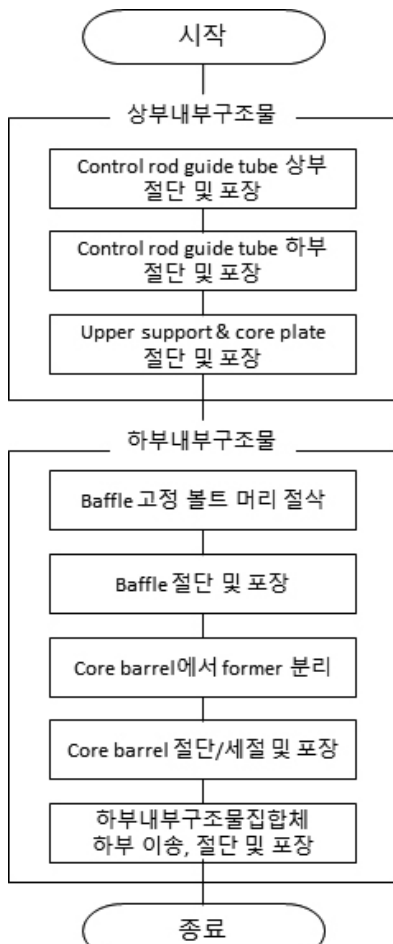
과 및 PSFs 도출 이다.

첫째, 직무분석 대상은 고리 1호기 내에서 해체하기에 가장 복잡하며, 방사화가 심해 잠재적 위험성을 가장 많이 내포하고 있어 인적오류가 많이 발생할 수 있는 원자로 압력용기 내부구조물(RPVI, Reactor Pressure Vessel Internal)로 설정하였다. 둘째, RPVI는 절단 장비(기계적 절단: Circular Saw, Diamond Saw 등 / 열적 절단: Arc 절단 등) 및 설비(Manipulator, Crane 등)를 활용하여 [그림 2]와 같이 상부의 제어봉 경로안내 및 구동을 도와주는 Control Rod Guide Tube 절단 및 포장을 시작으로 Core Barrel 하부와 용접되어있는 Core Support Assembly 절단 및 포장을 끝으로 RPVI의 해체 절차를 거시적으로 총 8단계로 수립하였다.

셋째, <표 1>과 같이 원전해체 시 고려해야 할 사항들을 상세히 파악할 수 있는 form을 개발하는 것이다. 8단계의 절차를 단계마다 form에 적용해 해당 단계의 상세절차, 필요요건, 작업시간 및 환경, 예상 가능한 수행영향인자 등을 파악한다.

마지막으로 수행 결과, 직무에 대한 요건 및 피드백 사항을 파악하였고, 상세한 절차 및 작업에 필요한 장비 및 설비, 절단시간, 작업장에 따른 물리적인 작업환경 상태 등을 파악할 수 있었다. 이러한 항목들을 통해 작업자가 작업 수행 중 발생할 수 있는 인적오류의 원인이 되는 수

1) O'Hara, J. M., et al.: Human Factors Engineering Program Review Model, US NRC, NUREG-0711, Rev. 3, (2012)



[그림 2] RPVI 해체절차

행영향인자를 파악할 수 있었다. RPVI 절단작업은 원전 해체작업 중 가장 복잡하고, RPVI가

수조 내에 위치하여 원격으로 해체작업이 이루어져 정확도와 팀원들 간의 의사소통 등의 신뢰도를 요구하는 작업이다. 또한 장시간이 소요되어 시간적 제약이 있다. 따라서 작업자의 내적·외적 요인에 미치는 영향이 상당히 크고, 많은 애로사항이 발생하기 때문에 작업자의 충분한 교육 및 훈련과 휴식이 필요하며, 사전에 면밀한 절단계획이 수립되어야 인적오류를 최소화할 수 있다.

차세대 한국형 원자로 APR1400, 소형모듈원자로(SMR, Small Modular Reactor)와 같이 원자력 기술력은 지속적으로 발전하고 있기 때문에 그에 발맞춰 원자력 관련 종사자들은 교육 및 훈련을 충분히 받아 인적오류 및 사고 발생을 최소화해야한다. 원자력 기술개발, 원전 건설 및 운영에서뿐만 아니라 원전해체 분야에서도 마찬가지이다. 현재 탈원전 정책으로 원전 건설이 중단 및 백지화된 상태이며, 고리 1호기는 해체 중이다. 국내 최초 원전해체가 충분한 계획, 기술, 교육 및 훈련 등을 통해 인적오류로 인한 사고 없이 성공적인 업적을 인정받는다면 세계 원전해체 시장에서도 인정받기란 시간문제일 것이다. **KAIF**



〈표 1〉 원전해체 직무분석(TA) Form

Task	Title
직무 정보 및 요건	• 주요 작업 인자 • 작업 결과물 요건 • 수행 작업 행위의 결과에 대한 피드백 • 경보 및 경고 형태
직무 고려사항	• 수행 작업 행위 • 필요한 주요 작업 장비(type, size, performance, etc.) • 작업의 빈도 및 정확성 • 작업자의 물리적인 위치 및 자세(standing, sitting, squatting, etc.)
작업 시간	• “작업 내용”을 기준으로 한 단위 작업시간 • “업무 지원”과 “작업 환경 요인”을 고려한 휴식 및 추가 작업 시간
팀워크 및 의사소통	• 근무 교대 횟수 및 근무 교대 당 작업자 수 • 작업 간 의사소통 방법 • 작업을 수행하는 팀 간에 필요한 협력사항
직무부하	• 인지적 직무부하 • 물리적 직무부하 • 직무 요구사항의 중복성(serial vs. parallel task elements)
운영 지원	• 작업에 필요한 복장 • 필요한 장비 및 설비
작업 환경요인	• 작업장 출입 경로 • 작업 수행에 필요한 작업 공간 • 작업 공간에 따른 일반적인 작업장 환경 조건
업무 관련 재해	• 예시) 개인 상해 위험 가능성, 시설 관련 사고
예상 관련 작업 성능인자	예시 • 스트레스 • 시간 압박(critical path operations) • 극한의 작업 환경 • 인력 감소