



시뮬레이터를 통한 사고 대응 훈련

일본의 원전사업자들은 시뮬레이터를 기반으로 한 사고 대응 훈련 프로그램에 더욱 집중하고 있다. 이런 현상에 후쿠시마 원전 사고의 경험이 어떤 영향을 미쳤는지, 그리고 그런 훈련 프로그램이 과연 비상 상황에 대응할 준비 상태를 갖추는 데 충분한 대책이 되는 것인지 알아본다.

2011년 3월 11일 거대한 지진해일에 의해 발생한 후쿠시마 원전 사고는 도쿄전력(Tepco)의 후쿠시마 제1원전에 있는 6기의 원자로가 영구 폐쇄되는 결과를 낳았고, 일본 원자력규제위원회(NRA)는 원전의 안전을 확보하기 위한 여러 가지 새로운 조치를 도입했다.

그 조치 가운데는 일본 원전의 계측제어(I&C) 시스템에 대한 안전성 분석은 물론 최신형 원자로 시뮬레이터 장치를 도입하는 것이 포함되었다.

일본 원자력규제위원회(NRA)의 업무 가중

일본의 원전 재가동 문제는 예상보다 상당히 지연되고 있다. 현재 일본에서 가동되고 있는 원전은 센다이 1,2호기와 지난 9월 7일부터 재가동이 시작된 시코쿠전력의 이카타 3호기가 전부다. 간사이 전력의 다카하마 3호기는 지난 2월에 재가동을 시작했지만 지역 환경운동가들이 제소한 안전상의 문제 때문에 3월 10일에 법원으로부터 가동을 중지하라는 명령을 받았다.

법적 대응 같은 여러 가지 이유로 재가동이 늦어짐에 따라 일본 NRA의 재가동 허가 과정도 계속 지연되면서 재앙적 사고에 대응하기 위한 전혀 새로운 원전 규제의 틀이 2013년부터 도입되었다.

영국의 한 분석가는 9월 30일의 인터뷰에서 “후쿠시마 원전 사고 이후 일본 원전의 재가동은 일본 정부에서 원하던 것보다 매우 늦어지고 있다. 물론 일본이 위험을 감수하면서 원전을 조기에 재가동시키지 않겠다는 것이 잘못되었다는 말은 아니다. 그렇지만 2013년에 도입된 새 규제안과 그에 따라 매우 지연되고 있는 재가동 승인 과정은 일본과 국제 원전산업의 기대에 못 미치는 실망스러운 것이다.”고 밝혔다.

일본 NRA는 전국 48곳의 원전이 제출한 원자로 21기의 재가동 허가 신청을 접수하고 곧 심의에 들어갈 예정이다. 재가동을 신청한 21기의 원자로는 기술적 사항과 규제사항 준수 여부에 대한 NRA의 확인 절차가 마무리 될 때까지는 가동을 할 수 없는 형편이다. 따라서 그 모든 허가 신청을 검토하고 최종 안전 검사를 시행한 후에 재가동을 허가해 주어야 하는 당국은 엄청난 업무 부담



을 떠안게 되었다.

이러한 업무 부담의 문제를 해결하기 위해서 NRA는 30여 명의 숙련된 원전 엔지니어를 채용하고 있다. 작년 까지 벌써 인력 채용을 네 차례 하고 있는데 채용된 인력은 NRA의 각 부서에 배치돼 신청한 서류의 심사, 원자로의 안전 검사, 그리고 재난 방지를 위한 비상계획안 등의 업무를 다루게 된다. 이 모든 업무를 해내기 위해서는 약 80명 정도의 엔지니어가 더 필요할 것으로 보인다.

NRA 측에 따르면 원전 가동의 경험을 통한 안전성 향상의 정도와 더불어 원전의 안전성과 안전의 체계적 접근에 대한 정기적 평가 등이 NRA의 안전 관련 평가 업무의 핵심적 사항으로 자리잡게 되었다고 한다. NRA가 채택한 새로운 조치와 관련된 세부 사항은 연초에 열린 국제방사선방호협회(IRPA) 제14차 국제학술총회에서 발표되었다.

후쿠시마 원전 사고 이후 일본 정부는 적지 않은 추가적 개혁 조치를 단행하였다. 원전 분야를 담당하는 원자력위원회, 원자력안전위원회, 자원에너지청, 경제산업성, 문부과학성 같은 정부 기관들은 이제 모든 사항을 NRA에 직접 보고하게 되었고, NRA의 업무는 환경성의 감독을 받도록 되었다. 이런 관리 감독 구조는 원전산업에 대한 일본 정부의 법적인 조치와 규제의 틀을 단순화 시키기 위한 것이다.

또한 일본의 원전에 대한 규제 업무는 후쿠시마 원전 사고 이후 완전히 독립성을 확보하게 되었다. 새로운 독립적인 구조는 안전과 관련된 협력 시스템 상의 명령 계통을 분명하게 만들어서 원전을 가동하면서 발생할 수 있는 인적 오류를 감소시킬 수 있을 것이다.

NRA는 2016년 1월 국제원자력기구(IAEA)의 통합규제검토서비스(IRRS)팀으로부터 감사를 받았다. 24명으로 구성된 감사 팀은 NRA가 처음 설립된 2012년부터

“독립성과 투명성을 확보하고 있다.”고 결론을 내렸지만 기술적 능력을 향상시킬 필요가 있으며 전문적인 요원을 좀 더 채용해야 한다고 밝혔다.

또 NRA는 반드시 “매사에 의문을 품어보는 태도 등을 포함해서 안전을 우선시 하는 문화를 지속해서 진작 시켜야 한다.”고 IRRS팀을 이끌고 있는 프랑스 원자력 시설 안전국장 Philippe Jamet는 말했다.

IRRST팀의 감사에 이어 NRA의 요청에 따라 2015년 2월에 운전안전점검팀(OSART)이 투입되었다. OSART는 일본 정부에서 운영하고 있는 핵시설은 물론 주부전력의 하마오카 원전과 일본 원자력 연구개발기구(JAEA)가 운영하는 고속로 임계 실험 장치와 플루토늄 연료 생산 시설을 전부 점검했다.

IAEA는 지금까지 유럽에서 128회, 아시아에서 30회, 북미에서 18회, 남아메리카에서 8회 그리고 아프리카에서 4회 등 OSART를 188번 가동시켰다. 이 팀이 점검하는 사항에는 안전, 교육 훈련, 운영, 유지 보수, 방사선 방호, 화학, 비상 대응 및 준비 태세, 사고 관리, 인간공학, 조직 간의 소통 등 전반적인 지휘와 관리 감독의 제반 사항이 모두 포함되어 있다.

IEAE의 점검 팀은 “일본의 원자력 안전에 관한 제도와 핵시설과 핵물질에 대한 물리적 방호 조치에 대한 실행 의지는 전체적으로 확고했으며 지속성도 담보되었다고 볼 만큼 최근에 상당히 보강되었다.”는 결론을 내렸다.

일본의 새로운 시뮬레이터(Simulator)

2016년 3월에 NRA는 발생 가능한 원전의 재난 사고 상황에 대응하는 훈련을 위해 도쿄에 소재한 인적자원 개발센터 안에 새로운 시뮬레이터를 갖추었다.

이 시뮬레이터는 원전의 중앙제어실 기능을 복제한

각기 다른 69가지 유형의 제어판과 계기 장치를 전부 보여줄 수 있는 터치 패널을 장착하고 있다. 이 시뮬레이터는 비등수형 원자로(BWR)와 가압수형 원자로(PWRs)의 재난 상황에 대한 모의 실험이 가능해서 최신형 원자로들의 재난 상황을 테스트해 볼 수 있는 기능이 마련되어 있다.

NRA 사무국 직원들이 준비한 이 시뮬레이터는 이미 교육 과정에서 유용한 교재로 활용되고 있다. 물론 이 사무국 직원들이 재난 상황에서 원전을 운영하게 되는 것은 아니지만 이 시뮬레이터는 “비상시에 대응지침을 제공해 줄 능력을 길러준다는 면에서 매우 효과적일 것”이라고 NRA 인적자원개발센터 준이치로 이토 부소장이 말했다.

NRA는 시뮬레이터에 활용하는 교육 프로그램을 개발해서 계획한 대로 시행하고 있다. 이 교육 프로그램은 원전 규제와 관련해서 특정화된 교육, 안전검사원 또는 비상대응 준비태세 담당관 역할을 수행하기 위한 NRA 직원의 자격 교육 같은 다양한 현장 분야와 관련된 과정이 있으며, NRA 직원들이 교육을 통해 실물 크기의 장비를 사용한 검사 과정에 숙달되어 실제적인 훈련을 맡을 수 있도록 하는 과정 등으로 되어 있다.

이 시뮬레이터는 원전 사고를 당한 개인들이 처하게 되는 다양한 상황을 조성할 수 있으며, 그런 상황에서 계기 및 제어(I&C) 시스템의 작동 성능에 대한 분석도 할 수 있게 되어 있다.

시뮬레이터가 처음 설치된 후 NRA는 사업 파트너인 마루베니 상사와 미쓰비시 연구소를 통해 프랑스 업체 CORYS에 시뮬레이터의 성능을 업그레이드하는 작업을 의뢰했다.

CORYS는 업그레이드 작업으로 정상 상태는 물론, 사고 상황의 훈련이 가능한 최신 제어실 기능을 갖추고 3-루프 가압수형 원자로의 전면적인 모의 실험이 가능

한 수준으로 기능을 향상시키게 된다.

NRA가 직원의 수를 늘리면서 일본의 원전산업을 원상 복구시키는 일을 감독하는 중요한 임무를 맡음에 따라 이 시뮬레이터는 원전 규제를 담당하는 기관의 직원들을 다양한 상황에서 훈련을 시키는데 점점 더 중요한 역할을 감당하게 될 것이다.

영국의 한 분석가는 “물론 그 시뮬레이터가 일본에게 새롭고 유용한 도구임에는 틀림이 없고, NRA가 신임 검사원을 채용하는 등 전체적인 인력과 직무 범위의 폭을 넓히기 위해 노력하는 것이 확실한 성과를 얻을 수 있기를 나도 원하지만 원전이 재가동에 들어가는 시기에 대한 전반적인 우려는 아직도 일본의 원전업체가 시급히 해결해야 할 가장 중요한 과제”라고 말했다.

영국 업체 Large Associates의 엔지니어링 컨설턴트 John Large는 “시뮬레이션으로는 위험 요소의 극히 일부분 밖에 찾아낼 수 없다.”고 말한다. 그는 또 “체르노빌과 후쿠시마 원전 사고의 경우를 놓고 미루어 볼 때 인적 실수의 징후에 따른 변화를 관찰하는 것 말고는 사람의 실수를 예측할 방법이 없기 때문에 원전 사고를 예견하는 것은 사실상 불가능하다.”고 언급했다.

또 Large는 “현재 우리가 직면하고 있는 가장 큰 문제는 원전의 제어 시스템에 사용되는 컴퓨터 소프트웨어에서 발생하는 오류를 처리하는 것과 사이버 테러에 대응하는 것이다. 이 두 가지 모두 원전 운영에 큰 위협이 되는데 미리 확인할 수 없는 것들이기 때문에 시뮬레이터에 적용하기 어렵다.”고 덧붙였다. 그러면서 Large는 원전들이 디지털 계측제어(I&C) 시스템을 활용하는 쪽으로 나아가야 할 것을 언급하고 있다.

현대식 원전의 계측제어 시스템 안에는 1만여 개의 센서와 탐지기, 그리고 약 5,000km의 케이블이 들어가 있다. 이미 이렇게 대단히 복합적인 시스템의 구성이 아날로그에서 전부 디지털 계측제어 시스템으로 바뀌게



일본 원자력규제위원회(NRA)는 발생 가능한 원전의 재난 사고 상황에 대응하는 훈련을 위해 도쿄에 소재한 인적자원개발센터 안에 새로운 시뮬레이터를 갖추었다. 이 시뮬레이터는 원전의 중앙제어실 기능을 복제한 각기 다른 69가지 유형의 제어판과 계기 장치를 전부 보여줄 수 있는 터치 패널을 장착하고 있다.

되면 더욱 더 복잡하게 될 것이 분명하다.

평균적인 원전의 경우 계측제어 시스템의 대략 40% 가 디지털 부품으로 구성되어 있다. 일본에서 원전이 디지털 계측제어 시스템을 사용하기 시작한 것은 1996년 가시와자키 가리와 원전의 6호기와 7호기 개량형 비등수형 원자로(ABWRs)가 처음이었다. 그리고 100% 디지털 계측제어 시스템을 일본에서 처음으로 사용한 것은

2009년 가동을 시작한 하마오카 원전 5호기와 도마리 원전 3호기부터이다.

러시아는 2004년에 가동에 들어간 러시아형 가압수형 경수로(VVER-1000) Kalinin 3호기에 최초로 디지털 계측제어 안전 시스템과 디지털 공정제어 시스템을 갖추게 되었다.

–〈NEI〉Vol.61 No.748