

경주 지진을 통해 본 국내 원전 안전 실태

리히터 규모 6.5 수준 내진 설계 구축
총 16대의 지진계측기로 지속적 내진 성능 강화
컨트롤타워로 전 원전 골든타임 확보 시스템 구축



월성원전 1~4호기

지난 9월 12일 경주 지역에서 리히터 규모 5.1과 5.8 지진, 그리고 이에 따른 여진이 18일, 21일에 연이어 발생했다. 특히 규모 5.8 지진은 기상 관측 이래 최대 규모의 지진으로, 원전 등 시설에 대한 대비가 어느 정도인지 관심이 급증하고 있다. 지진에 대비한 원전 안전성을 알아본다.

원전 건설 후보지를 결정할 때는 부지의 지리적 특성, 주변 산업·수송·군사시설, 기상·해양 특성, 지질·지진 및 지반 공학 특성 등을 검토해 부지 적합성을 평가한다. 원자력안전법 규정에 따라 발전소가 세워지는 부지의 반경 320km 지역은 문헌 조사, 인공위성 및 항공사진 판독 등 광역 조사를 수행하며, 40km, 8km, 1km 이내의 지역은 기존 자료를 수집·검토한다.

또한 지질의 구조, 단층 분포, 암반 특성 등을 확인하기 위해 지구물리학적 조사, 야외 지질 조사, 단층 연대 측정, 해양 물리 탐사, 시추 조사, 탄성과 활용 물리 탐사, 트랜치 조사 등 단계적 정밀 조사를 수행한다. 이 검사들을 통과하면 비로소 원전 건설에 적합한 부지로 선정될 수 있다.

부지에 단단한 암반이 확인되면 약 20m 깊이까지 파고 들어가서 단단한 철근을 조밀하게 설치한다. 건물을 암반에 고정시키려는 공정으로, 원전에 사용하는 콘크리트도 일반 건물에 사용하는 것보다 두 배 정도의 강도를 지니는 특수 제품이라 지진에도 튼튼하게 버틸 수 있다. 조밀하게 배치한 철근을 고강도 콘크리트로 둘러싼 벽이 자그마치 1.2m 두께에 이르도록 단단하게 건설한다.

내진 설계는 한국에서 일어날 수 있는 최대 지진을 예측해 놓고 여기에 여유도를 추가해 결정한다. 이에 맞춰 원전은 지진 가속도 0.2g(리히터 규모 6.5 수준)로 내진 설계를 했다. 여기에다가 일본과 대만 등 세계 지진 빈발 국가의 경험을 토대로 지속적으로 지진 안전성을 보완하고 있다.

한국수력원자력은 원전 시설과 방사성폐기물 임시저장고의 내진 성능도 강화했다. 또 지진 감시 능력을 높여 일정 규모 이상의 지진이 감지될 경우 원자로가 자동으로 정지되는 지진 자동 정지 시스템도 구축했다. 이 설비는 세계에서 대규모 지진이 자주 일어나는 일본 원전과 대만 원전, 미국의 디아블로 캐년 1호기에만 구축되어 있으며, 한국 원전의 경우 전 원전에 설치되어 있다.

월성원전의 경우 월성 1호기와 2호기에 각각 5대, 신월성 1호기에 6대 등 총 16대의 지진계측기가 설치되어 있어 원전 부지뿐 아니라 원자로건물이나 보조건물의 기초와 외벽 등이 받는 지진을 세밀히 측정한다.

진앙지에서 27~28km 정도 떨어져 있는 월성원전의 경우 지진 최대 가속도 0.2g(규모 6.5)로 내진 설계가 되어 있고 이에 따른 원전 운영 절차를 마련해놓고 있다. 이에 따르면 SSE(안전 정지 지진 Safe Shutdown Earthquake)는 0.2g(규모 6.5) 정도 규모의 지진이 발생할 경우에도 안전하게 정지될 수 있는 기준이며, OBE(운전 기준 지진 Operating Basis Earthquake)는 0.1g(규모 6.0)의 지진에서도 정상적으로 운전 가능한 기준이다.

원전 주요 기기가 받는 충격에 따른 지진 대응 시스템은 3단계로 구성되어 있다. 지진 경보 발생, 데이터 분석 후 내진 설계의 50% 수준에 도달하면 수동 정지 후 안전 점검, 90% 수준 도달하면 자동 정지되도록 설계한 것이다.

지진계측기에 측정된 값이 지진 가속도 0.01g(규모 2~3)가 넘으면 지진 자동 경보가 울린다. 경보에 따라 원전 현장에서는 지진 상황에 대비하고 주요 안전 설비와 구조물 등을 점검한다.

내진설계(0.2g)의 50%인 0.1g 이상이 되면 원전은 수동 정지하게 되어 있다. 내진기준에는 한참 못미치기 때문에 원전을 돌리는 데는 문제가 없지만 일단 수동으로 정지시킨 후 정밀 안전 점검을 하는 게 매뉴얼이다. 내진 설계(0.2g)의 90% 수준이 넘지 않는 0.18g(규모 6.0)가 되면 원전은 자동으로 안전 정지된다.

9월 12일 오후 7시 44분과 8시 23분 지진이 발생하자 한수원은 지진에 따른 A급 비상을 월성본부 오후 8시, 본사 8시20분, 고리본부 8시34분에 잇따라 발령했다. 사상 첫 A급 비상에 대부분의 직원이 복귀했고 매뉴얼에 따른 대응시스템이 가동되었다.

이번 지진의 경우 지진가속도 기준 0.1g를 넘지 않았지만 지진 파동을 분석한 응답스펙트럼 값이 기준치를 넘어 정지에 따른 준비 및 후속조치를 취한 뒤 정밀 안전 점검을 위해 월성 1호기가 9월 12일 밤 11시 56분부터 수동정지에 들어갔다. 발전소 설비는 안전 운전이 가능한 수준이었지만 안전 최우선 원칙에 따른 절차서 기준대로 수동 정지를 한 것이다. 월성 1~4호기는 정밀 안전 점검 결과 문제가 없었다.

원전에서의 지진 감지 및 대응 상황은 원자력안전위원회, 원자력안전기술원, 산업부, 전력거래소, 소속 지자체 등에 자동통보시스템(ACS), 전화, 팩스 등을 이용해 정보가 공유된다.

그렇다면 설계기준을 넘는 지진이 발생할 때는 어떻게 되는가가 국민들의 관심사이다. 이를 대비해 월성 1호기와 고리 1호기 등 오래된 원전을 중심으로 스트레스 테스트를 실시했다. 스트레스 테스트는 설계 기준 이상의 최악의 상황을 가정해 원전 주요 기기 안전성을 테스트하는 것으로 지진 가속도 0.3g(규모 7.0)의 지진이 발생해도 기기의 건전성이 유지되는 것으로 결과가 나왔다.

일본 후쿠시마 원전사고가 우리나라 원전에는 타산지석이 되었다. 2011년 3월 규모 9.0이라는 지진에다가 10m의 쓰나미가 발생한 동일본 대지진으로 후쿠시마원전의 비상발전기가 침수되자 핵연료가 녹아내려 방사능이 누출되는 상황으로까지 치달았다.

이를 계기로 우리나라 원전은 지진과 해일 대비 설비를 대폭 확충하고 최악의 시나리오에 대비하는 안전시설을 강화했다. 사고 직후 국내에서는 국내 원자력시설 안전 점검이 이뤄졌고 구조물 안전성을 확인한 후 침수 가능성을 대비한 전력 및 냉각 계통을 강화했다.

모든 원전 비상발전기가 침수되지 않도록 방수문을 설치하고 부지고가 상대적으로 낮은 고리 원전에는 해안 방벽을 구축했다. 비상 발전 시스템이 무력화되는 등 최종 열제거원이 상실될 때를 대비하기 위해 4개 원전 본부에 이동형 발전차도 도입했다.

또한 노심이 용융되는 중대사고로 진전되더라도 방사능 누출이 없도록 전원 없이도 격납건물에서 발생하는 수소를 제거할 수 있는 피동형 수소 제거 설비를 모든 원전에 설치했다. 또 압력이 높아져 격납건물이 손상되는 것을 방지하기 위해 격납건물 여과 배기 계통을 설치하고 있으며, 원자로에 냉각수를 공급하기 위한 원자로 비상냉각수 외부 주입 유로를 설치했다.

한수원은 본사에 발전운영종합센터를 신설해 사고 시 전 원전에 대한 골든타임을 확보할 수 있도록 컨트롤타워를 구축해 운영하고 있다. 원전을 실시간으로 통합 감시하고 원전의 고장 징후를 조기 감지해 발전 정지를 예방하는 기능을 하며 방사선 유출이나 테러 상황 같은 비상시에 신속하게 상황을 공유해 적기에 비상 대응이 가능하도록 설계했다.

국내 원전은 설계 단계에서 충분한 여유를 갖도록 내진 설계를 하고, 지진의 발생부터 중대사고를 완화하는 모든 단계에서 취약한 요소를 찾아내 안전성을 강화하고 있다. APR1400으로 건설되어 완공을 앞두고 있는 신고리 3,4호기는 지진 가속도 0.3g(규모 7.0)의 지진에도 기기의 건전성이 유지될 수 있도록 설계되었다. IAEA 검증단은 한국 원전의 지진과 해일 대비에 대해 “후쿠시마 사고 이후 취한 조치가 신속성과 양에 있어 세계 어느 나라에도 뒤지지 않는다.”고 평가한 바 있다.

향후 한수원의 지진 관련 대비책을 종합하면 다음과 같다. 첫 번째로, 주요 안전 계통의 내진 성능을 0.2g에서 0.3g로 보강할 예정이다. 이미 8개 호기(월성1호기, 고리1호기 및 한빛 1~6호기)는 완료하였고, 나머지 16개 호기를 대상으로 내후년 4월을 목표로 내진 성능 강화를 추진한다. 두 번째로, 현재 2019년 말까지 추진 예정이었던 전 원전 스트레스 테스트를 2018년 말까지 1년 단축하여 조기 추진하고, 월성 및 고리본부는 내년 말까지 완료할 예정이다. 세 번째로, 현재 지진 계측기 설치 위치와 수량이 발전소별로 서로 상이함에 따라 이에 대한 최적화를 2018년 4월까지 완료할 예정이다.

경주지진 원전·방폐장 안전 점검 진행중 원자력안전위원회, “현재까지 안전설비 이상은 발견되지 않아”

원자력안전위원회는 9월 12일 19:44 이후 경주 인근에서 리히터 규모 5.0 이상의 지진이 2회 발생한 당일부턴 국내 원자력발전소 및 중·저준위 방사성폐기물 처분시설을 대상으로 이번 지진의 영향에 따른 안전 점검을 실시하고 있다.

원안위는 현재 가동중이거나 정비중인 원전을 대상으로 지진감시설비의 건전성, 주요 설비와 구조물 등에 대한 지진 영향을 면밀히 점검중에 있으며, 특히 한수원이 자체 절차서에 따라 수동 정지한 월성 1~4호기에 대해서는 정밀 점검 과정에서 주요 기기, 계통에 대한 시험 등을 통해 성능을 확인중이다. 원안위는 현재까지 원전시설을 점검한 결과 안전 관련 설비에 이상이 발견되지 않았다고 밝혔다.

아울러 대전의 하나로에 대해서도 점검을 실시하여 안전성에 이상이 없음을 확인하였고, 중·저준위 방사성폐기물 처분시설의 경우에도 기기 및 구조물, 폐기물 저장상태가 양호한 것을 확인하였다.

원안위는 원전별로 설비에 대한 세부점검과 함께 한수원이 지진 발생 이후 조치한 사항에 대해 적절성을 점검해 나갈 예정이며, 정지중인 월성 원전에 대해서는 진행중인 성능 시험 등 정밀 점검 결과 구조물·계통·기기의 안전성이 최종 확인된 후 재가동 여부를 결정할 계획이다.

한편 원안위는 이번 지진 영향에 대한 현장 점검과는 별개로 향후 대규모 지진 발생에 대비하여 원전 및 방폐장을 대상으로 시설의 내진 성능, 방재 대책 등에 대해 전면 재점검을 실시할 계획이다.

산업부, 연말까지 「내진 등 에너지시설 안전 종합대책」 수립 ‘에너지안전자문위원회’ 출범

산업통상자원부는 9월 23일 서울상공회의소에서 최근 경주지역의 잇따른 지진 발생을 계기로 원전, 발전소, 비축기지 등 에너지 시설의 안전 수준을 근본적으로 제고하기 위해 ‘에너지안전자문위원회’를 출범하고 제1차 회의를 개최했다.

에너지안전자문위원회는 지진, 지질, 구조, 설비, 방재, 소방, 에너지시설 운영 등 각 분야별 민간 안전 전문가들로 구성되었으며, 그 산하에 원자력, 석유, 가스, 전력, 광산 및 지역난방 등 5개 작업반을 두고 활동할 계획이다.

위원회는 10월 초부터 국내 원전, 석유비축기지, 발전소, 가스생산기지 등 주요 에너지 시설을 대상으로 특별 안전 점검을 실시하고, 개선이 필요한 사항은 산업부에 권고할 예정이다. 또한 에너지 시설별 각종 재난 대응 매뉴얼의 적정성을 검토하고, 사이버테러 등 새로운 형태의 재난에 대한 안전 대책도 마련할 계획이다.

산업부는 에너지안전자문위원회의 권고안을 반영하여 연말까지 ‘내진 등 에너지시설 안전 종합대책’을 수립, 발표할 예정이다.