

한국 원전, 지진에 안전한가?

글 | 최인길 _ 한국원자력연구원 원자력안전연구본부 종합안전평가연구센터 책임연구원 cik@kaeri.re.kr

지난 7월 16일 오전 10시 30분 일본 니가타현에서 리히터 규모 6.8의 강력한 지진이 발생하여 인명과 재산피해가 발생하였다. 특히 원자력발전소가 미미하나마 직접적으로 피해를 본 사례는 이번이 처음이었기 때문에 원자력발전소의 지진 안전성에 대한 많은 관심을 불러일으키는 계기가 되었다.

니가타현 지진, 원전에 직접적 피해 첫사례

이번 지진으로 피해가 발생한 가리와 원자력발전소는 가시와 자카시에 위치한 발전소로 지진이 발생한 진앙으로부터 약 16 km 거리에 위치해 있다. 가리와 원자력발전소는 도쿄전력에서 운영 중인 발전소로 동일부지내에 BWR 형태의 발전소 7기가 위치하며 현재 세계에서 한 부지내에 가장 많은 원자력발전소를 보유한 세계 최대 규모의 발전단지다. 지진 발생 당시 전체 7호기 중 3기는 운전중에 있었으며 3기는 점검중, 그리고 나머지 1기는 기동중의 상태에 있었다. 지진이 발생하자 원자력발전소 내에 설치된 지진계에서 지진동이 감지되어 운전중 및 기동중인 4기가 자동 정지되었다.

이번에 발생한 지진으로 가리와 원자력발전소에서 계측된 지진동은 설계지진을 약 2.5배 초과하는 것으로 발표되었다. 8월 1일까지 파악된 피해는 총 1천263건으로 건물 벽의 균열이 367건, 기기의 파손 및 변형이 286건, 누수 272건, 설비의 정지 101건 등이다. 이를 중요도로 분류해 보면 사용후핵연료저장조 냉각수의 월류현상과 같은 1급 피해 10건, 배기관의 어긋남 및 소화용 배관의 파단과 같은 2급 피해가 33건, 소량의 누수와 같은 3급 피해가 21건, 경미한 피해가 1천197건이다.

지진 발생 후 일본 경산부장관은 원자력발전소의 안전성이 확인될 때까지 운전정지를 지시하였으며, 가시와자키 시장은

소방법에 의거 옥외 탱크 등의 안전성을 이유로 사용정지 명령을 내렸다. 이는 원자력발전소의 운전정지명령과 동일한 것으로 볼 수 있다. 도쿄전력은 원자력발전소의 피해 상황을 지속적으로 발표하고 있으며, 지진이 발생한 단층에 대한 조사 및 이에 따른 발전소의 안전성을 확인할 예정이다.

일본은 세계적으로 가장 많은 지진이 발생하는 환태평양대의 태평양판, 유라시아판 및 필리핀판이 만나는 곳에 위치하여 세계에서 발생하는 지진의 약 10% 정도가 그 주변에서 발생할 정도로 지진의 발생이 매우 빈번한 나라다. 반면 우리나라의 경우 지진관측 이래 규모 6.0 이상의 강진은 발생한 사례가 없으며 규모 5.0 안팎의 지진이 수회 발생하여 비교적 지진으로부터 안전한 지역으로 인식되어 왔다.

그러나 최근 들어 비록 작은 규모의 지진이긴 하나 전체적인 지진 발생빈도가 증가 추세에 있어 우리나라가 절대 지진 안전지대가 아니라는 주장도 제기되고 있는 실정이다. 특히 우리나라 역사문헌에 기록된 지진에 대해 전문가에 따라 평가한 진도의 크기에 차이가 있기는 하나 상당한 피해를 발생한 기록을 어렵지 않게 찾아 볼 수 있어 다시 우리나라에 지진이 빈발하는 시기가 도래한 것이 아니냐는 우려를 자아내고 있다. 지난 2005년 후쿠오카에서 발생한 지진으로 인해 국내 전역에서 지반진동을 느낄 수 있었으며, 일본과 인접한 부산지역에서는 아파트 주민들이 아파트의 흔들림에 놀라 아파트 밖으로 대피하는 등의 사건이 발생하기도 하였다.

국내 원자력발전소, 규모 6.5지진 대비 설계

일본 원자력발전소의 지진피해로 인해 우리나라 원자력발전소의 지진 안전성에 대한 관심이 국내에서도 크게 고조되고 있



헬기에서 촬영한 일본 니가타현 가시와자키 소재 가시와자키 가리와 핵발전소. 이 발전소는 지난 7월 15일의 강진으로 파이프 파열, 누수, 방사능 폐기물 누출 등의 피해를 보았다고 발표했다(AP=연합뉴스).

다. 우리 나라 원자력발전소의 지진 안전성을 논하기 전에 우리나라의 내진설계에 대한 역사를 돌아켜 보자. 국내에서는 1972년 고리 원자력발전소 설계에 처음으로 내진설계라는 개념이 도입되었다. 그 후 멕시코지진 이후 국내 건축물에 대한 내진설계 필요성을 인식하고 1988년에 건축물에 대한 내진설계기준을 마련하였으며, 1995년 일본의 고베지진을 계기로 1997년부터 교량, 댐 등 주요 사회간접자본 시설에 대한 내진설계기준이 마련되었다. 이와 같이 원자력발전소의 내진설계가 국내 내진설계의 효시가 되었으며, 우리나라에 원자력발전소가 처음 도입되었을 당시부터 원자력발전소의 지진 안전성을 확보하기 위한 노력을 기울여 왔다.

우리 나라 원자력발전소는 규모 6.5의 지진에 대비하여 설계 건설되었으며 설계지진으로는 0.2g(중력가속도 9.8m/sec²) 즉 지반에서의 최대가속도가 중력가속도의 20%에 이르는 지진이 발생하더라도 안전하게 원자력발전소의 운전을 정지할 수 있도록 설계되어 있다. 일반 건축물의 내진설계는 건물의 붕괴를 방지하는 수준으로 이루어지기 때문에 원자력발전소의 내진설계와는 설계개념에서 근본적인 차이가 있다. 따라서 단순히

설계 지진가속도 크기만으로 원자력발전소의 지진 안전성과 단순 비교하는 것은 곤란하다. 원자력발전소 구조물은 지진으로 붕괴되기까지는 매우 큰 여유가 있다. 일례로 원자력발전소에서 가장 중요한 구조물인 격납건물의 경우 0.2g의 지진에 대해 설계를 하였으나, 실제 그 내진성능을 평가해 보면 설계기준 지진의 최소 5배 이상의 내진성능을 가지고 있는 것으로 평가되고 있다. 이는 기본적으로 원자력발전소내의 구조물은 설계지진에 대해 탄성거동을 하도록 설계하고 있으며, 극한하중과 방사선 방호 관점 등에서 구조물의 벽 두께 등이 산정됨에 따라 지진 안전성 관점에서 충분한 여유를 확보하고 있는 것이다. 실제 원자력발전소내의 격납건물이나 보조건물의 철근콘크리트 벽 두께는 약 1.2m에 달해 일반구조물과는 비교할 수 없을 정도로 매우 튼튼하게 건설되어 있다.

이번 지진으로 피해를 본 가리와 원자력발전소의 피해 사례에서도 이 같은 사실을 알 수 있다. 가리와 원자력발전소의 설계 지진을 훨씬 상회하는 지진동이 관측된 각 발전소의 피해상황을 보면 안전관련 구조물에서 발생한 구조적인 피해는 거의 발생하지 않았으며 대부분 사무실 건물과 같은 일반 건물에 집중

되어 나타났다. 따라서 원자력발전소의 안전과 직결되는 주요 구조물의 경우 설계지진에 비해 매우 큰 내진성능을 보유하고 있음을 간접적으로 확인할 수 있다.

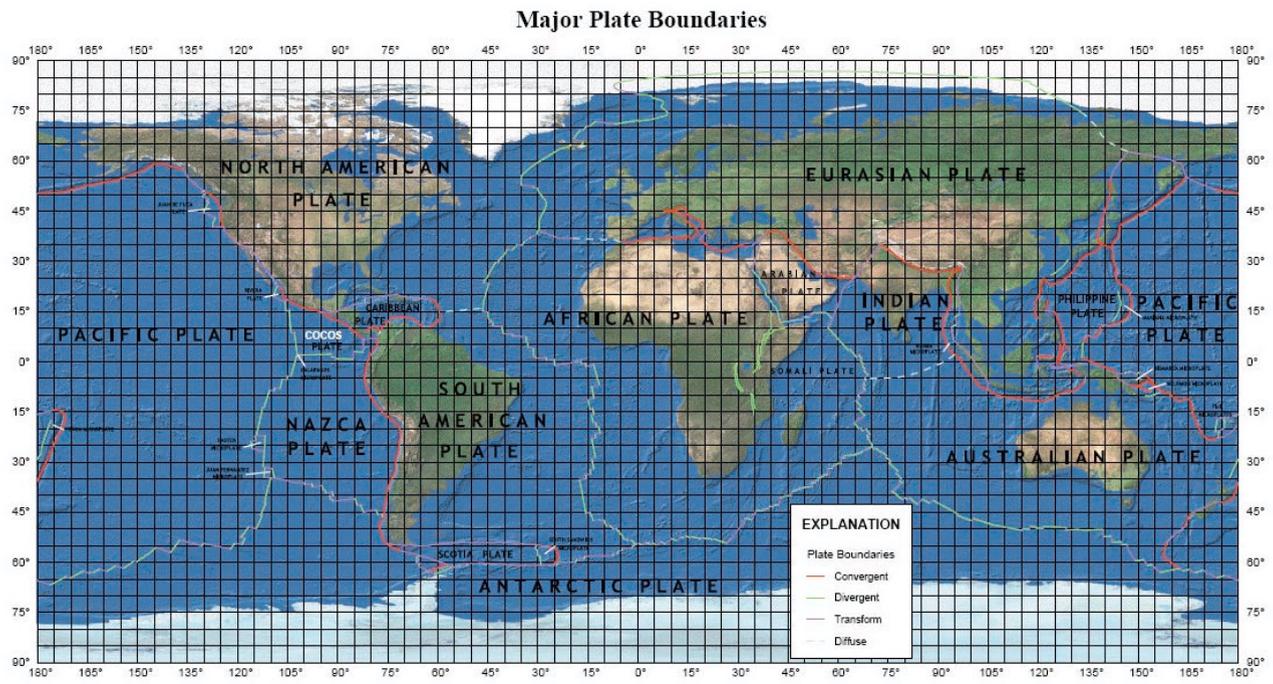
원자력발전소는 설계단계에서 발생가능한 지진에 대비하여 내진설계를 하는 것은 물론 건설 후 및 가동중에 주기적으로 내진안전성을 평가하여 지진으로부터의 위협에 대비하고 있다. 건설 후 확률론적 지진 안전성 평가를 통하여 지진이 발생하였을 때 원자력발전소의 안전에 미치는 영향을 노심손상빈도(핵연료가 고온에 의해 파손되는 사고의 발생 빈도)와 같은 정량화된 지표를 이용하여 평가하고 미비점을 보완하여 상업운전을 실시하며, 10년 주기로 유사한 방법에 따라 내진안전성을 평가하고 있다. 원자력발전소내의 주요 구조물 및 기기는 설계지진 하에서 전혀 피해를 보지 않도록 설계하고 있다. 그러나 지진이라는 자연현상을 설계지진이라는 하나의 선정된 값 이하로 발생하도록 조절하는 것은 불가능한 것으로 지진이라는 자연현상이 설계시 반영한 크기 이상으로 발생될 경우 즉, 설계지진을 초과하는 지진 발생시에 지진 안전성을 확보하기 위한 방안으로 확률론적 지진 안전성 평가를 수행하는 것이다. 그러므로 우리나라 원자력발전소는 설계지진에 대해 충분한 안전성을 확보하

고 있는 것으로 볼 수 있다.

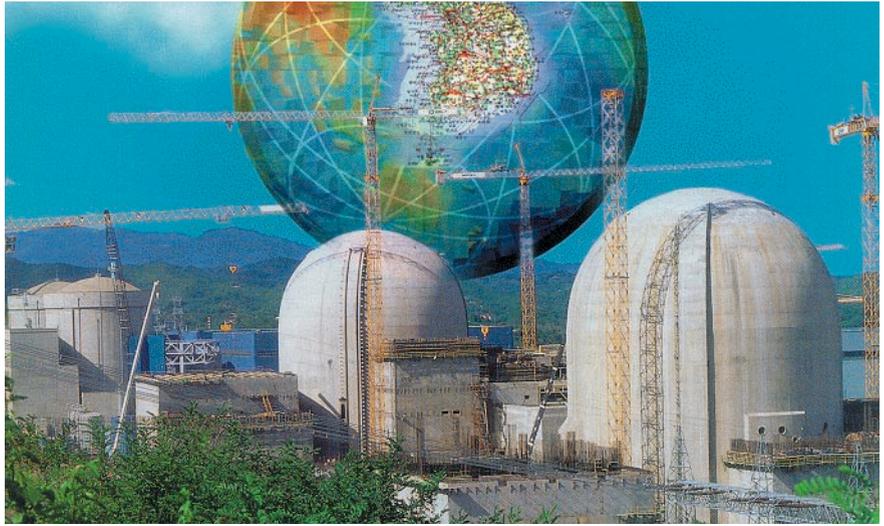
차세대 원자로엔 더욱 안전한 ‘면진설계’ 도입 추세

그러나 최근 들어 세계적으로 대규모 지진이 빈발하고 있으며 이에 따라 인명 및 재산의 피해가 막대하게 발생하고 있다. 이러한 대규모 지진에 대비하여 원자력발전소의 안전성을 확보하기 위한 노력이 세계적으로 이루어지고 있다. 특히 지진학 및 내진공학의 발달로 설계지진 자체에 대한 재검토, 내진성능의 향상 방안 등에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 우리나라에서도 원자력발전소의 지진 안전성을 확보함은 물론 나아가 더욱 향상시키기 위한 연구를 지속적으로 수행해 오고 있다. 특히 원자력발전소의 내진안전성을 더욱 향상시키기 위한 방안으로 과거 내진개념에서 한발 나아가 면진개념을 원자력발전소에 적용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있으며 미국, 일본 등을 중심으로 차세대 원자로에는 필수적으로 면진설계가 도입되고 있는 실정이다.

면진설계는 지진 발생시 지진하중에 대해 구조물을 더욱 튼튼하게 건설하여 지진에 저항하는 내진설계 개념에서 한발 나아가 주요 구조물이나 설비의 하단과 기초 상단 사이에 면진장



지구의 판구조(출처 : USGS)



한국 표준형 원자력발전소

치를 설치하여 지진에너지를 면진장치가 대부분 흡수하게 함으로써 구조물이나 설비에 전달되는 지진력을 최소화하는 개념이다. 면진설계 개념은 일찍이 미국, 일본, 뉴질랜드 등의 강진 다발국가에서 연구, 적용되기 시작하여 주로 소방서, 방송국 등의 주요 시설에 적용하여 건설되어 왔다. 특히 일본에서는 1995년 일본 고베 지진 전에 건설된 면진건축물이 고베 지진시 전혀 피해를 보지 않은 것으로 나타나 이후 면진장치를 사용하여 건설하는 건축물이 급격히 증가하게 되었다. 우리나라에서도 이러한 면진장치를 고속도로 교량 등의 주요 교량에 적용하여 건설하고 있다.

현재까지 원자력발전소에 면진장치를 적용한 예는 프랑스, 남아프리카공화국 등 일부 원자력발전소에 불과하다. 그러나 일본에서는 ABWR+ 등 신형 원자력발전소에 면진장치를 적용하기 위한 연구를 활발히 수행하고 있으며 작년에 개정된 일본 원자력발전소 내진설계 기준에서도 면진장치의 사용을 허용하고 있다.

지진에 의해 원자력 시설이 큰 손상을 입을 경우 그 피해와 파장은 매우 심각해지므로 원자력의 지진 안전성에 대한 대비는 아무리 강조해도 지나치지 않다고 볼 수 있다. 원자력발전소 안전성에 큰 영향을 미치지 않는 사소한 피해도 원자력발전소 전체의 지진 안전성에 대한 불신을 초래하고 나아가 원자력산업 전체에 대한 국민적 신뢰를 잃을 수 있는 원인을 제공할 수 있다.

그 예로 일본 가리와 원자력발전소의 피해사례에서 보듯이

변압기 화재, 소의 소방설비의 파손 등 미처 내진안전성에 대한 고려가 미진했던 부분에서 주로 피해가 발생하고 이로 인해 원자력발전소 전체의 안전성에 대해 의문을 야기하는 결과를 가져오게 된다.

이번 지진으로 피해를 본 가리와 원자력발전소 사태를 교훈으로 우리 나라 원자력발전소의 지진 안전성을 다시 한 번 되돌아보고 더욱 지진 안전성을 향상시킬 수 있는 노력을 경주함으로써 우리 나라 원자력발전소의 지진 안전성이 한 단계 업그레이드될 수 있는 계기가 되어야 한다. 또한 과거 신규 원자력발전소 건설을 포기하거나 망설여 왔던 나라들이 새로운 원자력발전소 건설을 서두르고 있는 이 시점에서 우리 나라도 세계시장을 겨냥한 독자적인 원천기술의 확보뿐 아니라 안전성이 더욱 향상된 원자력발전소 설계기술을 확보해야 할 것이다. 최근 중국이 신규 원자력발전소 건설을 시작하였으며 동남아시아의 많은 국가들이 원자력발전소 건설계획을 발표하고 있다. 이에 따라 우리 나라도 우리 고유 브랜드를 가진 원자력발전소 수출에 많은 노력을 기울이고 있다. 그러나 이들 동남아 국가 대부분이 대규모 지진이 빈발하는 강진지역이기 때문에 지진 안전성 측면에서 탁월한 성능을 가진 원자력발전소 설계기술을 확보해야 할 것이다. **SD**



글쓴이는 충남대학교에서 토목공학 박사학위를 받았다.