국내외 지진발생 현황과 국내원전의 안전성 평가

국내 원전은 내진성 확보를 위해 부지의 선정단계에서는 원전의 예상입지를 중심으로 320km 내의 지진특성과 과거 지진기록을 면밀히 분석 · 반영하고, 부지중심으로부터 반경 8km 내에 대해서는 정밀지질조사를 실시하여 단층대나 연약지반 등 지진발생 가능지역은 제외시키고 있으며, 구조물의 설계와 설치시에는 과거의 지진발생기록을 근거로 하여, 발전소 인근지역에서 발생이 가능한 최대 지진과 부지의 지반특성, 그리고 구조물의 하중 등을 복합적으로 고려하여 내진설계를 하고 있다.

가동중에는 각종 자동지진감시계통이 지진발생 여부를 지속적으로 계측한 후에, 설계지진값의 절반인 지반가속도 0.1g 이상의 지진을 감지하면 자동경보장치를 작동시켜 즉각 운전이 정지되도록 설계되어 있다.

최근 세계 여러 곳에서 크고 작은 지진이 빈번히 발생하여 발생지역에 막대한 인적 · 물적 피해를 주고 있다.

금년 들어서만 해도 지난 1월 17일에는 일본 간사이지방을 강타한 지진강도(Intensity) 7.2의 고베지진으로 5천5백명이 사망하고 고가도로 파괴 등 경제적으로도 엄청난 재산피해를 가져왔다.

5월 29일에는 사할린 북부의 네프테고로스크지역에서 지진강도 7.6의 강진이 발생하여 수천명의 인명피해를 내기도 하였다.

김 영 식

과학기술처
원자력협력과장

이러한 지진은 세계적으로는 매년 1천만회 정도 발생하고 있으나, 아직까지 9 이상 강도를 지닌 지진은 관측되지 않았다.

리히터(Richter) 지진계로 지진강도 6 이상은 매년 약 100회 이상, 그리고 강도 4~6 정도는 1만5천회 정도 발생하고 있다.

특히 지진이 많이 발생하고 있는 미국의 경우에는 LA지역에서만도 1989년에 지진강도 7.1의 강진이 발생하여 67명이 사망하였고 6천만달러의 경제손실을 가져왔으며, 1993년에는 6.6의 지진이 발생하여 32명의 인명피해를 낸 바 있다.

그러나 다행히도 한반도는 지질학적으로 북남미 서부와 일본 동부 및 필리핀 열도로 연결되는 「환태평양 지진대」의 후방에 위치하여, 지진이 많이 발생하는 미국이나 일본과는 달리 대규모 지진 발생확률이 극히 적은 지역으로 분류되고 있다.

우리나라의 경우에는 서기 27년부터 1904년까지 총 309회의 지진이 발생하였다는 기록이 있는데, 기록 중 물체가 흔들리고 건물이 약간 파손되는 지진강도 5 이상에 해당하는 지진은 51회 발생하였다.

지진관측이 기록되기 시작한 1905년 이후에 한반도에 영향을 미친 지진은 약 1천회 발생하였다.

그중 지진강도 5 이상에 해당하는 지진은 11회 발생하였고, 최대규모의 지진은 1978년에 속리산에서 발생한 지진강도 5.2 지진으로 당시 낡은 가옥이 파손되었다.

지난 1995년 4월 30일 대구지역에서 발생한 지진은 지진강도 2에 해당하는 약진으로 이 정도의 지진규모는 지진계에만 기록된다.

지진발생시 강도판정방법

지질학적 관점에서 볼 때, 지진은 대체로 북미판과 태평양판 사이에 끼인 COCOS판이 북미판의 하부로 서서히 밀려들어가면서 거대한 응축응력이 일시에 발생하고, 이러한 응력이 외부로 방출되어 강력한 지진이 발생한다는 판구조이론(Plate Theory)에 따라, 지진의 대부분이 판의 경계에서 발생하게 되어, 미국 서부해안과 일본 · 필리핀 · 하와이군도 등이 위치한 환태평양 지진대에서 지진이 빈번히 발생하는 것으로 평가된다.

그리고 동일한 지진력이 가해져도 지반의 특성과 구조물의 형태에 따라 미치는 힘이 다르기 때문에, 지표의 퇴적층에 가해지는 지진력은 기초암반에 가해질 때보다 약 2~3배 피해가 크게 나타난다.

따라서 동일 강도의 지진이 발생한다 하더라도, 어떤 시설물이 단단한 기초암반 위에 설치되어 있다면, 일반 표층에 설치된 시설물보다 훨씬 더 안전하게 된다.

지난 1월 일본에서 발생한 고베지진의 경우에도, 진앙지로부터 북쪽으로 약 100km 지점에 위치하여 운전중에 있던 간사이전력의 원전 8기 역시, 기초암반 위에 설치된 관계로 모두 정상으로 운전되었다.

이러한 지진은 그 발생형태에 따라 크게 지표 바로 밑에서 발생하는 「직하형 지진」과 해상에서 발생하는 「해상발생형 지진」으로 구분하는데, 특히 직하형 지진이 발생하게 되면 지진을 일으킨 땅속지점(진원)과 지표와의 거리가 짧아, 지진에너지의 감쇠정도가 작게 되어 지표상의 건축물에 큰 피해를 주게 된다.

우리나라의 경우 지진강도는 기상청이 서울 · 부산 · 광주 등 전국 12개 지진관측망을 통해, 단주기 수직성분을 종이위에 기록하는 방식으로 한다.

탐지된 지진을 관측한 다음 나타난 지진파를 분석하여 그 등급을 판정하고 있는데, 지진의 크기는 리히터 지진계로 나타내며, 지진에너지가 약 30배 정도 증가하면 강도는 1 정도 증가한다.

이처럼 기상청을 통한 관측 이외에도 지질연구를 중점 수행하는 한국자원연구소가 포항과 대전지역에 설치한 3 성분디지털 지진계로 광대역 성분과 단주기 성분을 이중으로 체크하고 있다.

국내 원자력발전소 역시 지진 발생 감지와 지진시 안전운전을 도모하기 위하여, 원전별로 지진감시계와 지진강도 측정기 및 현장기록장치 등을 설치 · 운영하고 있다.

국내 원전이 보유한 주요 관측 · 기록기기로는,

△ 감지된 진동측정치를 주파수대별로 측정하는 삼축반응스펙트럼기록기 (R/S : Triaxial Response Spectrum Recorder) △ 진동진폭의 최대치를 기록하는 삼축최대가속도계 (P/A : Triaxial peak Accelerograph) △ 지진측정치가 설정치에 도달하면 이를 제어반에 전송하여 기록케하는 삼축시간이력가속도계 (T/A: Triaxial Time-History Accelerograph) △ 전송신호를 분석하여 제어하는 지진감시제어반과 설정치 초과시 지진감시제어반에 경보신호를 울리는 삼축지진경보계(S/S : Triaxial Seismic Switch) 등이 설치되어 있다.

국내 원전의 내진현황

국내 원전은 지진과 같은 천재지변하에서도 방사선재해가 일어나지 않도록 완벽한 안전대책을 적극 반영하고 있다.

국내 원전은 내진성 확보를 위해 부지의 선정단계에서부터 설계 · 건설 · 운영에 이르는 전 단계에 걸쳐 지진에 대한 철저한 대비책을 마련하여 시행하고 있다.

부지의 선정단계에서는 원전의 예상입지를 중심으로 320km 내의 지진특성과 과거 지진기록을 면밀히 분석 · 반영하고 있다.

부지중심으로부터 반경 8km 내에 대해서는 정밀지질조사를 실시하여 단층대나 연약지반 등 지진발생 가능지역은 제외시키고 있다.

또한 구조물의 설계와 설치시에는 과거의 지진발생기록을 근거로 하여, 발전소 인근지역에서 발생이 가능한 최

〈표 1〉 국내 주요 역사기록 지진피해 내용

연 월 일	지역	기 록 내 용	기록근거
89. 6.	미상	땅이 흔들려 갈라지고 죽은 사람이 많았다.	백 제 본 기
304. 9.	경주	땅이 흔들려 민가가 무너지고 죽은 사람이 많았다.	신 라 본 기
502. 10.	미상	땅이 흔들리고 민가가 무너져 땅바닥에 깔려죽은 사람이 있었다.	고구려본기
1260. 6. 24	개성	땅이 크게 흔들리고 기와집과 담이 무너지고 부서졌다.	세 가 권
1409. 7. 26	서울	한강변에 지진이 일어나 도로가 길이 24자, 넓이 5자로 갈라졌다.	태 종 실 록
1643. 6. 9.	진주 합천 서울	바위가 무너져 2인이 깔려죽었고 오래 말랐던 샘에서 흙탕물이 솟아 나왔으며 관아의 문앞길이 10여리 갈라졌다.	인 조 실 록
1757. 7. 30	덕산	지진이 일어나 사람이 죽었다.	영 조 실 록

〈표 2〉 우리나라에서 발생한 주요 지진현황

연 월 일	지 역	규 모	피 해 상 황
1978. 9. 16	속리산	5.2	일부 낡은 가옥 파손
1978. 10. 7	홍 성	5.0	부상 2명, 건물 118동 파손
1980. 1. 8	삭 주	5.0	서울에서 감지
1981. 4. 15	포 항	5.0	일부 가옥 파손
1982. 2. 14	사리원	5.1	서울에서 놀랄 정도, 대전에서도 감지
1982. 3. 1	울 진	5.0	물건이 떨어짐, 남한 대부분 감지
1982. 5. 26	일본 아끼다 북서해역 (동해 북동부)	7.7	동해안 지진해일, 3명 사망, 선박 81척 파손, 이재민 400명
1992. 1. 21	울산 동남쪽 50km 해상	4.0	5초 가량 지진 감지

〈표 3〉 리히터 지진계의 등급별 피해정도

구 분	느 낌 또 는 현 상
2 등급	지진계에는 나타나나 느끼지 못함
3 등급	아주 약하나, 민감한 사람은 느낌
4 등급	대부분의 사람이 느낌
5 등급	약간 강함, 물체가 흔들리고 약간 파손
6 등급	강함, 건물이 부분적으로 파손
7 등급	매우 강함, 땅이 갈라지고 석조와 목조 건물 파손
8 등급	땅이 갈라지고 물이 용출, 해일을 일으킴
9 등급	물체가 공중으로 튀어 오름

대 지진과 부지의 지반특성, 그리고 구조물의 하중 등을 복합적으로 고려하여 내진설계를 하고 있다.

이러한 내진설계는 자국의 지진상황 등에 따라 다르게 되는데, 미국의 경우 동부와 중부지역에 위치한 원전의 대부분은 0.2g 이하를 적용하고 있고, 지진빈도가 큰 서부지역은 Diablo Canyon 원전의 0.75g, San Onofre 원전의 0.67g 등과 같이 0.2g 이상을 적용하고 있다.

일본 역시 지진발생 빈도가 커 보통 0.34g~0.6g의 내진설계를 적용하고 있다.

현재 우리나라의 원전은 설계시 과거 지진기록 등을 참고하여 지반가속도(지진의 강도를 계산한 가속도) 0.2g를 채택한 내진설계로, 리히터 지진강도 7에도 안전하도록 설계되어 있다.

그리고 원자력발전소를 건설하는 단계에서는 구조물의 강도와 기기의 안전성에 대한 계속적인 검사를 통해 완벽한 시공이 이루어지도록 하고 있다.

가동중에는 각종 자동지진감시계통이 지진발생 여부를 지속적으로 계측한 후에, 설계 지진값의 절반인 지반가속도 0.1g 이상의 지진을 감지하면 자동경보장치를 작동시켜 즉각 운전이 정지되도록 설계되어 있다.

고리와 울진원전은 10CFR100 규정에 따라 19년과 1979년에 반경 320km 내를 대상으로 지진기록조사 및 설계에 영향을 주는 단층조사 등 광역지질조사를 수행하고, 반경 8km 내의 시추와 현지답사를 통해 부지지질조사와 지표단층조사를 하였다.

이를 토대로 고리 3·4호기는 지진강도 6.1의 지리산지진이 원전에서 106km 지점에서 발생한다고 가정하여 지반가속도가 0.19g로 산출되었다.

울진 1·2호기는 지리산지진이 부지직하에서 발생한다고 가정하여 지반가속도가 0.15g로 산출되었으나, 실제설계에는 안전여유를 감안하여 0.2g를 적용하였다.

아울러 월성원전은 CAN 3-N 289.2 규정에 따라 역사지진 조사 및

광역지진 전달특성 조사를 통한 지진조사와 지각구조조사, 시추·지표지질조사 등 지질조사를 수행하였다.

1977년의 단층조사 결과 양산단층은 활성단층이 아니며 변위를 일으킬 가능성도 없으나, 지진설계치의 보수성확보를 위해 활성으로 가정하여, 월성 1호기는 1643년 7월 동해에서 발생한 8.2의 역사지진이 75km 떨어진 지점에서 발생한다는 가정과, 양산단층에 의해 강도 6등급 지진이 부지에서 22.5km 떨어진 지점에서 발생한다는 가정하에서, 지반가속도가 0.15g로 산출되었으나 실제설계에는 0.2g가 적용되었다.

국내원전의 지진안전성종합평가

이처럼 국내원전은 과거의 지진발생 기록을 근거로 내진설계되었고, 설계기준 이상의 지진이 발생하여 일반계통이 손상되고 송전탑이 붕괴되어도 자동설비에 의해 발전소가 안전하게 정지되도록 안전여유를 확보하는 등 엄격한 내진설계와 자동지진감시계통의 안전운전 등을 통해 지진 안전성을 확보하고 있다.

특히 우리나라의 원전 구조물은 내진설계시 지진발생 상태를 과학적으로 고려하여, 역사적 최대지진 규모로 산출된 0.165g보다 여유도가 큰 지반가속도 0.2g를 안전정지지진(SSE : Safe Shutdown Earthquake)으로 채택하고 있다.

리히터 지진강도 7.5 이상의 직하형 지진이 원전 인근지역에서 발생되지 않는 한 그 안전성이 보장되도록 설계되어 있다.

0.1g 이상의 지진이 발생할 경우 원자로가 자동으로 정지되도록 운전기준지진(OBE : Operating Basis Earthquake)을 반영하고 있어 지진안전성을 보장하고 있다고 전문가들은 평가하고 있다.

관측기능의 보강과 지진연구강화

과학기술처는 원전의 건설 초기단계에서부터 철저한 지진대책을 마련해 오고 있어 지진의 안전성에는 별 문제가 없을 것으로 판단하고 있으나, 최근 들어 국내 일각에서 양산단층의 활성(수만년 또는 수십만년의 운동여부를 평가) 여부가 제기되어, 이에 대한 해결과 세계 최고수준의 지진관측망 형성을 위해 노력하고 있다.

이런 맥락에서 정부는 김해에서 양산·포항에 이르는 약 150km의 양산단층(고리에서 23km, 월성에서 25km)에 대한 활성여부를 명확히 판단하기 위하여, 1995년 6월부터 약 8.4억원을 투입하여 한국자원연구소를 중심으로 국내외 지진 및 지질전문가(일본·미국·그리스·뉴질랜드 등)를 초청·활용하여, 향후 3년간 양산단층의 활동성 규명조사를 수행해 나갈 계획이다.

지금까지의 연구 및 조사결과에 따르면, 양산단층은 두꺼운 충적층(Alluvial Deposit)으로 덮여있고, 단층선상을 따라 하천이 발달되어 있으며, 약 200~300만년 전에 생성된 제4기(Quaternary)의 하천에서 어떠한 변위도 발견되지 않아, 양산단층은 비활성 단층(Non-active Fault)으로 인식되어 왔다.

이외에도 정부는 지진연구를 더욱 강화해 나가기 위하여 1994년부터 「한반도 지진활동 및 지각변동에 관한 연구」(1998년까지 매년 4.3억원 투입)와 「해저지질 및 지구물리 D/B 구축 연구」(1997년까지 매년 1.19억원 투입) 등을 수행해 오고 있다.

이와 함께 지진의 고감도 관측정밀도를 제고시켜 나가기 위하여 1995년 4월 한국자원연구소에 「방재지질연구센터」를 신설하여 지진·화산·지진·해일 등 자연재해 감소를 위한 연구를 진행하고 있다.

또한 고리·월성원전지역에 대한 지진관측을 강화해 나가기 위하여 운영중에 있는 6개의 지진관측소 외에 1995년말까지 6개의 지진관측소를 추가로 설치해 나갈 예정이다.

그리고 기상청의 지진관측망을 유기적으로 연계·활용해 나가면서 국내 지진관측망을 보강해 나가기 위하여, 매우 작은 변위까지 감지가 가능하고 세계 최고수준의 지진관측망을 보유한 미공군의 감지·해석 탐지시설(Korea Seismic Monitoring Station) 인수도 추진하고 있다.