

중수로 원전의 지진 안전성 및 국민 수용성

Derek Mullin

캐나다 Point Lepreau 원전 원자로 안전성 담당 수석기술고문



“

에너지는 국가의 미래를 좌우하는 기본 요소이며, 원자력은 중요 에너지원 중 하나이다. 앞으로도 온실가스 감축, 특히 에너지 안보 차원에서 주요 국가들은 원자력을 중요한 에너지원으로 활용할 전망이다. 에너지 정책의 3E(에너지 안보, 환경성, 경제성)를 고려할 때 우리도 신재생 에너지와 상호보완 측면에서 원전의 적정 비중을 유지할 필요가 있다.

”

캐나다 원전의 내진 설계 역사

캐나다 캔두(CANDU)-6 설계의 원전은 하나밖에 없고 그 설계가 월성 1호기와 상당히 비슷하다. Point Lepreau 원전으로서도 최초로 운전되고 있는 캔두-6 설계이고 1982년부터 캐나다에서 상업 운전을 시작했다. 캐나다의 원전은 Point Lepreau 원전 기준으로 볼 때 일만년 동안의 지진 기록을 바탕으로 내진 기준을 마련했다. 또 3차원 모델링을 통해 안전성을 보유하고 있고 매우 보수적인 시험을 시행하고 있다.

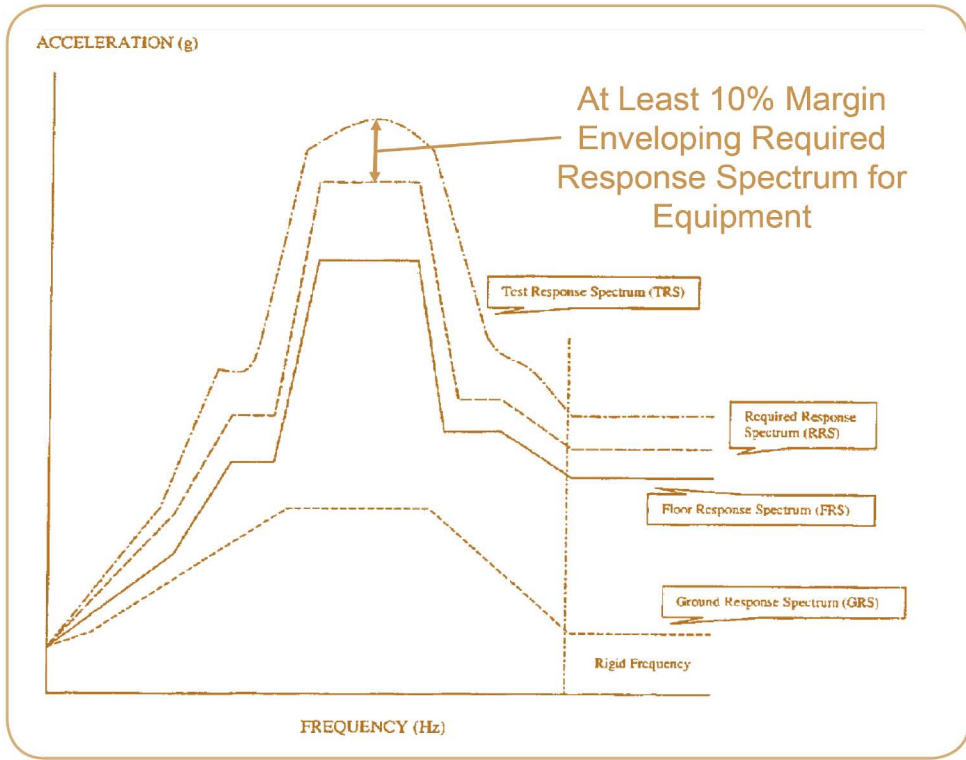
원전에 대해서는 일반적인 건물보다도 더 보수적으로 내진 설계가 돼 있다. 실제로도 지진이 발생했을 때 영향 받는 최대 지진값을 상정한다.

캐나다 원전의 지진 안전성

캔두를 기준으로 캐나다의 원자력 안전성에 대해 설명해 본다. 먼저 캐나다 캔두는 다중 백업 시스템을 보유하고 있다. 또 원자로 안전 정지가 가능한 설계를 비롯해 여러 가지 안전 장치를 마련했다.

특히 지진은 실제로 캐나다가 발전소를 건설할 때 상당히 많은 관심을 두고 있는 자연 재해 중 하나다. 따라서 캐나다는 내진 설계를 진행할 때 내진 여유도를 상당히 높게 가져간다.

또 장비의 내진 기준은 설계 기준보다 훨씬 높다. 지진 동안 겪게 되는 지



〈그림 1〉 캐나다 원전의 장비 시험을 위한 내진 여유도 분석

진동은 실제로 땅으로부터 얼마만큼 높은 곳에 있는지에 따라 달라진다. 높은 곳에 있을 경우 더 큰 지진동을 겪게 된다.

이는 응답 스펙트럼(Response Spectrum)이라고 해서 실제로 응답 스펙트럼 커브에 반영하고 있다. 이 커브는 최악의 시나리오를 반영한 것으로, 발전소의 어떤 곳에도 해당되는 그래프이다. 근본적으로 월성 1호기의 내진 개념이 이와 상당히 유사한 것으로 알고 있다.

지난 2001년 Point Lepreau 원전에서 설계 개선이 있었고 이때 도입한 장비에 대한 내진 성능과 관련해 새로운 시험을 진행했다. 〈그림 1〉에서 보면 제일 아래에 ‘그

라운드(ground) 응답 스펙트럼(GRS)’ 커브가 있고 위로 가면서 ‘플로어(floor) 응답 스펙트럼(FRS)’, ‘필요 기준 응답 스펙트럼(RRS)’, ‘시험 대상 응답 스펙트럼(TRS)’ 등으로 차례로 이어진다.

높은 곳에 있을수록 지진동의 힘을 많이 받는 만큼 윗 부분에 배치될 가능성이 있는 장비에 대해서는 RRS보다 최소한 10% 이상으로 내진 여유도를 갖추도록 하고 있다. TRS 커브는 RRS 커브를 위에서 감싸는 형태를 유지해야 한다는 것이다. 이에 따라 0.2g까지 최대 지진 가속도를 견디게 돼 있고 상당히 큰 규모의 지진도 감내할 수 있다는 것을 알 수 있다.

전 세계 지진 경험 축적 자료

캐나다 원전의 내진 성능은 전 세계적으로 발생해 축적된 여러 자료의 정보를 통해서도 확인되고 있다. 각종 지진 자료를 보면 실제로 어떤 영향이 있었는지 그리고 어떠한 피해가 있었는지 알 수 있다.

이를 통해 캐나다 원전은 모두 견고하게 만들어져 있고 지진이 발생해도 그렇게 많이 움직이지 않는다는 점을 검증할 수 있다. 일본 오나가와 원전 등에서도 마찬가지로 지진으로 인한 실제 피해가 별로 없었다.

캐나다의 새로운 내진 조사

캐나다에서는 후쿠시마 다이치 원전 사고 이후 캔두 원전의 안전성을 다시 한번 검토하게 됐다. 캐나다 원자력안전위원회(CNSC)가 테스크포스(TF)를 구성했고 캔두 원전 업계팀도 조사에 참여했다. 이후 원자로 안전, 비상사태에 대응한 준비 태세, 개선 사항 등에 대해 파악했다.

이에 따라 설계 기준을 초과하는 지진이 발생했을 때의 안전성에 대해 실제로 점검했고 액션 플랜도 나왔다. 후쿠시마 사태에서 나온 교훈을 어떻게 적용할 것인지도 다뤘다. 또 만년 주기의 지진을 검토해 새로운 규정을 만들게 됨에 따라 설계 기준 지진보다도 훨씬 더 높은 수준의 내진 설계를 하게 됐다. 운영 허가 과정에서도 캐나다 원자력안전위원회에서 내진 안전 검토를 진행토록 했다.

Point Lepreau 원전(PLNGS)의 지진 위험 평가

앞서 살펴본 조치에 따라 Point Lepreau 원전은 운영 허가를 갱신(계속운전 승인 신청)할 때 새로운 내진 조

사 규정을 근거로 해서 지진 위험 평가가 실행됐다.

〈그림 2〉의 오른쪽 맨 아래 선을 보면 설계 기준 지진(DBE)으로 일반적인 캐나다 원전의 응답 스펙트럼과 비슷하다. 가운데 선은 1,000년 주기의 지진을 가리킨다.

캐나다에서는 동일한 내진 평가 기준을 적용하는데, 그래프를 보면 주파수 10헤르츠 이상에서 설계 기준 지진을 넘어서게 된다.

이로 인해 고주파수 프로그램을 진행했으며 어떤 조사에 따라서는 설계 기준을 초과하는 일이 발생한다 하더라도 원전의 안전성에 대해 별다른 영향을 미치지 않는다는 결과가 나왔다.

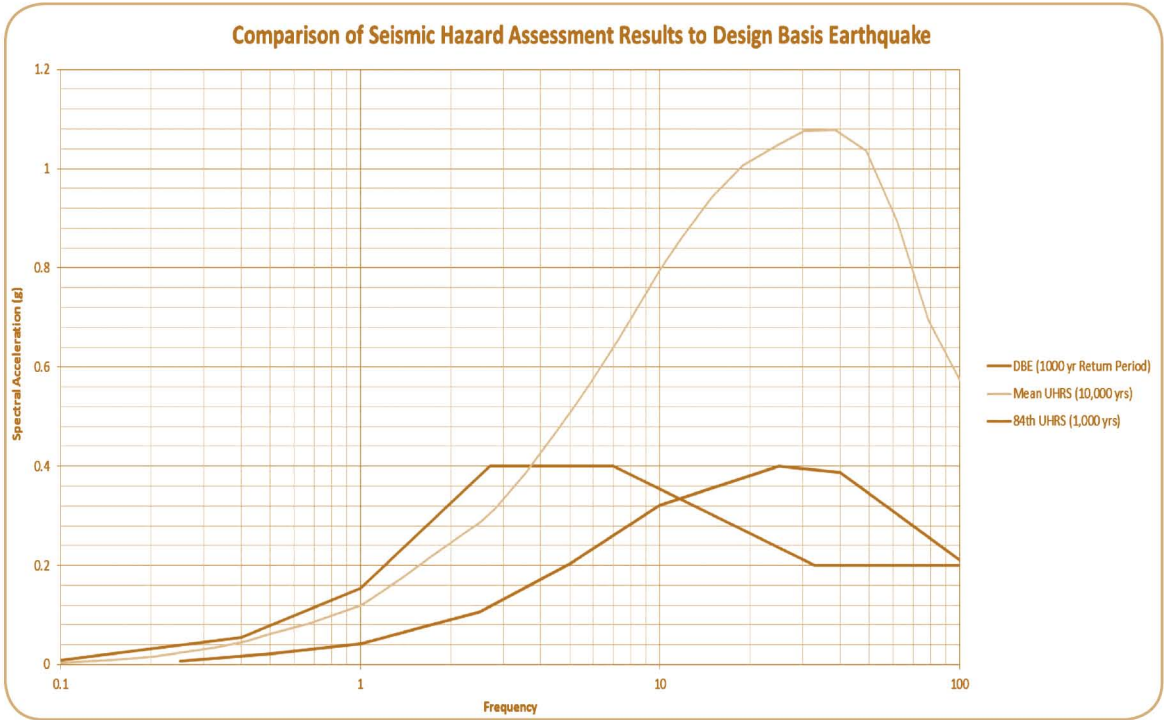
맨 위의 선은 만년 주기로 분석, 통일된 지진 응답 스펙트럼(UHRS: Uniform Hundred Response Spectrum) 단위를 사용했다. 실제로 이런 만년 주기의 지진을 대상으로 비교 분석한다는 것은 상당히 큰 내진 설계 요건을 의미한다.

캐나다는 이런 내용을 바탕으로 실제 원자력발전소의 내진 안전성에 대해 정량적이고 정성적인 검토를 했으며 안전하다는 최종 결론에 이르렀다.

캔두-6 원전의 안전한 냉각 시스템

캔두-6 설계 원전은 물론 많은 물을 사용한다. 어떤 사고가 발생했을 경우 악화하는 것을 막는 데 사용된다. 2,000톤 정도의 경수는 증기발생기 같은 장치로 제공된다. 또 이 경수는 전력이 손실될 때 사용될 수 있고 4일 동안 사용할 수 있는 양이다. 비상시의 냉각과 원자로 건물에 압력이 올라갈 때 감압을 하는 데도 이용할 수 있다.

또 연료를 전송하는 부분에 약 190톤 정도의 중수가 있다. 이 중수도 실제로 어떤 냉각 문제가 발생했을 때 사용할 수 있다. 캔두-6 설계에서 실제로 압력이 올라



〈그림 2〉 Point Lepreau 원전(PLNGS)의 지진 위험도 평가

가게 되면 튜브에 문제가 생기게 되는데, 이때 열이 방습제로 전달된다. 이렇게 되면 240톤 정도의 중수가 그 안에 있기 때문에 실제로 중대한 사고가 발생했을 때 열이 계속 증가하는 것을 막아줄 수 있다.

아울러 후쿠시마 사고 이후 캐나다에서는 이동형 디젤 물탱크를 구입했다. 이를 통해 물이 있어야 할 곳에 물을 계속해서 보충할 수 있다. 문제는 지진이 발생한 이후 이런 구조물이 얼마나 튼튼하게 견디는지가 중요하며 충분히 검증됐다고 자신할 수 있다.

캐나다의 내진 PSA 결과 및 내진 모니터링

캔두-6 설계가 매우 견전하지만 지진으로 영향을 받을 수 있는, 이른바 내진 PSA(확률론적 안전성 평가)를 높은 수준으로 시행하는 것도 매우 중요하다. 조사 결과를 보면, 중대한 노심 손상 빈도라든가 만년 기간 대규모 누출이 발생할 빈도 가능성에 대해서도 모든 안전 기준을 충족한 것으로 나타났다. 앞서 캐나다의 내진 모니터링에 대한 기준은 1991년에 마련됐다. 이로 인해 캐나다 원전에서는 여러 가지 지진 모니터링 장비를 중요한 위치에 설치해 놓고 있다. 모니터링을 한 결과를 보여주는 세 개의 기록기가 있다.

또 내진 네트워크를 만들어 지진이 발생했을 경우 실시간으로 설계 기준 지진과 비교해 원전 운영을 우선 중단해야 하는지 아니면 계속 운전해도 되는지 의사 결정을 곧바로 내리게 돼 있다.

그리고 실제로 지진이 발생한 이후 계통에 어떤 문제가 발생했는지 살펴보고 설계 기준과 비교한다. 설계 기준보다 규모가 작을 때에는 실제로 발전소 자체적으로 운전을 계속하는 결정을 내릴 수가 있다.

아울러 관련된 위원회의 소집을 미룰 수가 있고 지속적으로 발전소를 운전할 수 있다. 하지만 무엇인가 문제가 생기고 설계 기준보다 높은 규모의 지진이라고 한다면 수동으로 발전소를 정지할 수 있다. 또 이 경우에는 구석구석 발전소를 점검하는 현장 점검을 진행하게 된다.

대중 및 공동체와의 교류 · 소통

현재 캐나다 당국에서는 원자력 운영 승인과 관련해 지역 사회와 긴밀한 관계를 갖고 있다. 원자력 발전과 관련한 여러 부문에서 소통하고 시기적절한 방법으로 관련 정보를 이해당사자에게 제공한다. 이를 통해 존중하는 방식으로 이해 당사자와 상호 작용을 유지한다.

현재 캐나다 국민은 캔두 원전의 내진 설계에 대해 큰

의구심을 갖고 있지 않다. 물론 운영 허가 과정에서 우려를 표현하기도 한다. Point Lepreau 원전의 내진 설계에 대해 일부 반대가 있었지만 관련 전문가들과 의구심을 갖는 국민이 한 자리에서 만남을 가졌다.

그리고 캐나다의 원자력 규제 요건과 가이드라인을 마련함에 있어 투명성과 공개성을 상당히 중요시한다. 따라서 원자력 사업자들은 가능하면 최대한 투명한 방법으로 관련 정보를 대중에게 공개토록 하고 있다. 달리 말하면 어떤 취약점에 대해서는 공개가 되지 않는 점도 있다는 것을 의미한다.

결론

이처럼 우리는 캔두-6 원전의 설계가 매우 강하고 견고하다는 점을 증명했다. Point Lepreau 원전에서 진행했던 분석이나 점검 내용을 살펴보면 실제로 설계기준보다 더 큰 기준의 지진을 견딜 수 있는 구조를 갖고 있다고 생각한다.

이런 이유로 환경적으로나 국민에게나 어떤 위해 요소도 보이지 않는다고 말할 수 있다. 그래서 캔두-6 설계 원전은 다시 한 번 재차 안전하다고 마지막으로 강조한다. 🍌

