

글로벌 원전 내진 설계 현황 및 향후 전망

Shin Morita

국제원자력기구(IAEA) 국제지진안전센터장



“

경주 지진과 같은 그런 사건이 발생한다면 원자력사업주, 운영사는 이런 지진이 설계 기준을 초과하는지 파악해야 한다. 만약에 이 지진이 설계 기준을 초과하지 않는다면 문제가 되지 않는다. 왜냐하면 원자력발전소는 그런 설계 기준의 지진, 외부 사건을 견딜 수 있도록 설계됐기 때문이다.

”

IAEA 안전 기준과 안전 점검 서비스

국제원자력기구(IAEA)의 안전 기준은 ▲원전 부지 평가 ▲위험 대비 원전 설계 ▲원자력발전소 운전의 세 부문으로 크게 나뉜다. IAEA는 회원국 원전이 이런 원전 안전 기준에 부합하는지 준수 여부를 검증할 목적으로 안전 점검(Peer review service) 서비스를 실시한다.

부지 평가(Site evaluation) 및 외적(外的) 위험 요소 대응 설계(External Event Design)를 다루는 점검 서비스는 SEED 안전 점검 서비스로 명명된다.

이런 내용의 안전 점검 서비스를 오나가와 일본 발전소에 대해 2012년 진행한 바 있다. 원전을 방문하게 되면 해당 발전소의 상황에 대해 듣고 IAEA 담당 부서의 지식을 발전소 측에 전달한다. 필요하다면 권고나 제안 사항을 회원국에 제공한다.

IAEA의 외적위험요소 안전대응색션(EESS)의 역할

IAEA 안전 기준에 따른 안전 점검 서비스는 IAEA 원자력안전보안국 원자력시설안전과 외적위험요소 안전대응색션(EESS)이 맡고 있다.

IAEA EESS 팀은 먼저 회원국으로부터 정보를 수집하는 기능을 수행한다. 수집된 정보는 IAEA 안전 기준 문서로 만들어진다. EESS 팀은 이 안전 기준 문서를 바탕으로 안전 점검을 시행하고 여러 가지 지식이나 정보를 회원국에

제공한다.

사실 IAEA를 국제 규제 기관으로 오해하는 경우가 있지만 사실과는 다르다. IAEA는 국제기구로서 각종 정보와 기술을 회원국과 공유하는 기관이다. 먼저 IAEA EESS 팀이 수행하는 원전 부지 평가는 방사능 확산, 지진, 기상학-수문학적 위험 요소, 화산학, 인적 유발 위험 요소, 지질공학 현상 등의 안전 이슈를 다룬다. 인적 유발 위험 요소는 항공기 충돌이라든가 화재, 폭발, 교통 수단 간 충돌 사례 등을 포함한다.

이어 위험 대비 원전 설계는 내진 설계와 인증, 다른 위험 요소 대비 설계, 지진 대응력 등을 안전 이슈로 포함한다.

설계와 건설 부분을 살펴본 후에는 그 발전소의 운전적인 측면의 안전성을 검토한다. 원전 운전 부문 안전성에는 주기적 안전성 평가, 지진 안전성 재평가, 외적 요소의 경험으로 얻는 피드백 등의 안전 이슈를 분석 대상으로 한다.

마지막으로 진행되는 총괄적 안전성 평가의 안전 이슈 대상은 설계 기준 초과 중대 위험 요소와 '벼랑끝 효과'로 대표되는 안전 여유도, 단일 부지 다수 호기 시설 등이다.

원자력 시설물의 설계와 외적 위험 요소

여기에 IAEA는 추가 검토로서 리스크를 평가한다. 리스크를 평가하기 위해서는 특정 부지별로 외적 위험 요소에 대한 리스크를 평가해야 한다. 특히 안전 점검을 받아야 할 수준의 외적 요소(자연적 요소와 인적 요소 포함)도 리스크 평가 대상이다. 이를 통해 원자력발전소가 설계 기준 초과 지진에도 견딜 수 있다는 안전성을 확인할 수 있고 추가적 신뢰를 얻게 된다.

안전 검토 대상의 외적 위험 요소에 대한 리스크 혹은

여유도, 벼랑끝 효과, 공동 원인의 실패 사례 등과 같은 사항을 평가한다. 이런 모든 리스크가 허용 가능한 수준이라면 원자력발전소는 안전하다고 결론내릴 수 있다.

원자력 시설에 대해 안전 평가 흐름도를 살펴보는 것도 중요하다. 원자력발전소가 지진에 대해 안전한가를 평가하기 위해서는 탄탄한 설계와 구조물을 먼저 갖춰야 한다.

이런 목적을 위해 일단 위험을 파악해야 한다. 위험이라는 것은 위험원을 인식하는 것으로, 자연적 위험 요소일 수도 있고 인적 유발된 위험 요소일 수도 있다. 위험도를 파악한 것을 기반으로 원전 설치물을 갖춘다.

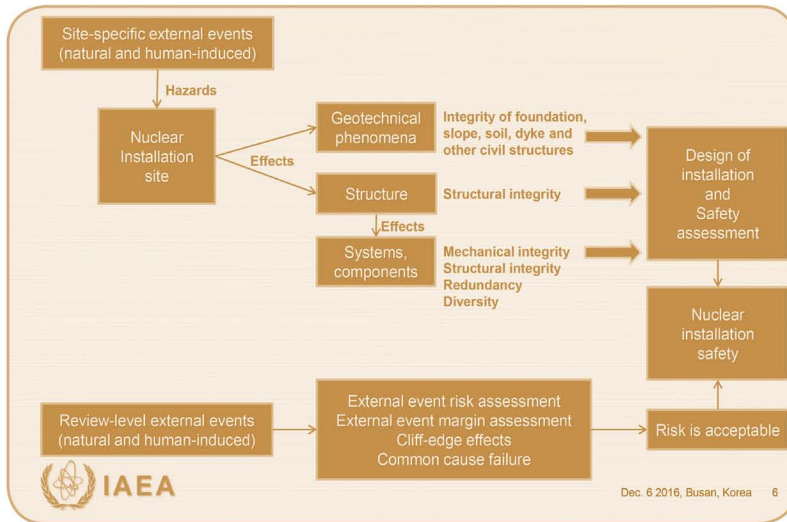
해당 원전 부지 내에서는 물론 리스크가 있고 위험성이 있을 수 있다. 부지 자체가 가진 리스크로 지진이 발생했을 때 지반의 진동이 있으면 원전에 영향을 줄 수 있다. 일단 위험을 파악하고 이를 기반으로 설계 과정에서 위험에 대비할 수 있는 탄탄한 설계를 마련할 수 있도록 해야 한다.

그 구조물 내에 있는 계통과 기기에 대한 부분도 파악한다. 지질공학적인 현상도 파악해야 한다. 토양이나 땅의 경사, 암맥(岩脈)과 같은 부분을 잘 파악해 분석한 후 이런 지질공학적 요소가 원전에 영향을 주는지 분석해야 한다. 설계적인 부분도 반영하고 기기적·구조적 건전성, 다중성이라든가 다양성과 같은 요소들도 갖췄는지 파악해야 한다.

이를 기반으로 일단 설계가 온전하고 설치물이 건전하다는 것을 확인했다면 원자력 시설물은 안전하다고 평가할 수 있다.

원자력 시설 운전과 외적 위험 요소

만약에 설계가 충분히 탄탄하고 견고하다고 판단이 되고 리스크가 적다고 생각되면 한 가지 더 추가해 권고



〈그림 1〉 원자력 시설물 설계와 외적 위험 요소

하는 것이 지진에 대한 모니터링이다. 건설 이후 운전 단계에서 지속적으로 이런 외부 사건에 대한 모니터링이 필요하다.

예를 들어 경주 지진과 같은 그런 사건이 발생한다면 원자력사업주, 운영사는 이런 지진이 설계 기준을 초과하는지 파악해야 한다. 만약에 이 지진이 설계 기준을 초과하지 않는다면 문제가 되지 않는다. 왜냐하면 원자력발전소는 그런 설계 기준의 지진, 외부 사건을 견딜 수 있도록 설계됐기 때문이다.

하지만 설계 기준을 초과하는 지진이라면 원자력발전소의 엔지니어는 다음 단계로 가서 구조물에 손상은 있었는지, 계통에 영향은 있었는지, 혹은 계통 고장이 있는지 파악해야 한다. 만약 안전 계통의 기능이 상실됐다면 사고 상태까지 이르렀는지 분석해야 한다.

이런 사고 상태에는 설계 기준 사건에 포함되는 기기, 특히 안전 관련 계통이 포함된다. 특별 안전 관련 계통에 있어서는 지진, 무엇보다 설계 기준 지진을 견딜 수

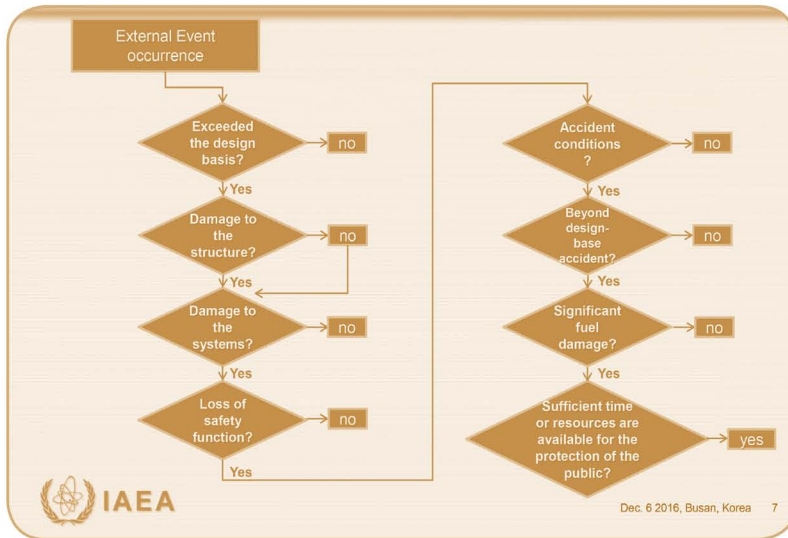
있도록 설계가 돼 있는지, 설계 기준을 초과하는 경우도 안전 여유도가 충분히 있어서 지진을 견딜 수 있는지 살펴본다.

중대한 지진 발생 사례

1980년대에 발생한 지진들이 실제로 미국에 있는 원전, 아르메니아와 슬로베니아의 원전에 영향을 준 바가 있다. 상당히 강도가 큰 지진이었고 이를 기반으로 해당 사업주는 가이드라인을 마련했다. 지진 후 조치를 마련했고 지진 모니터링을 실시했다.

미국 원자력규제위원회도 규제 가이드와 관련된 두 가지 문서를 만들었다. IAEA도 2003년 안전 기준을 마련, 지진과 관련된 설계 기준을 포함시켰다. 또한 일련의 지진이 일본에서 발생했다. IAEA는 이를 통해 배울 수 있었던 운전 경험을 회원국과 공유했다.

2005년 오나가와 발전소 근처에 지진이 있었다. 시



〈그림 2〉 원자력 시설 운전과 외적 위험 요소

카, 가시와자키 가리와 원자력발전소도 지진으로 인한 영향이 있었다. 이때 발생했던 지진은 설계 기준을 약간 초과했다. 가시와자키 발전소 같은 경우에는 실제 설계 기준 두 배를 초과하는 지진이 발생했지만 실제로 이 발전소의 안전 구조물에 영향은 별로 없었다. 물론 여러 가지 안전성과 관련 없는 비안전 관련 구조물이나 계통에는 약간의 손상이 있었지만 원자력 안전성을 유지하기 위한 안전 관련 계통은 큰 영향이 없었다.

지진으로 인한 화재 위험성

지반에서 발생한 지진 중심지를 진앙지라고 부르고 단층이 움직이면서 진동하게 된다. 클러스터 상에서 이런 지반 진동이 있으면 원전까지 영향을 주는 상황이 있다.

규모라는 것은 지진의 세기를 재기 위한 것으로 단층의 세기를 말한다. 또 다른 방식으로 지진의 세기를 측

정할 수 있는데 강도라고 하는 것으로 지반의 움직임의 표면에서 측정하는 것이다.

지진과 관련해 주목할 대목은 2007년 가시와자키 가리와 원전의 화재 사례다. 당시 전기 변압기에서 화재가 발생했다. 실제로 이 화재는 바로 그 지진이 있을 후에 발생했다. 왜냐하면 이 변압기에 누유가 있었기 때문에 화재가 났고 누유가 멈추면서 바로 화재가 진압됐다.

만약에 가시와자키 가리와 발전소에 더 큰 화재가 있었다면 그 건물 내에서 더 큰 일이 있을 수도 있었다라고 지적할 수도 있다. 하지만 IAEA가 실제로 안전 점검 서비스를 진행한 결과를 보면 안전 관련 계통이나 기기에는 손상이 없었다.

물론 전체적으로 비안전 관련 계통 혹은 구조물, 기기에 대해서는 손상이 있었지만 가장 중요한 안전 관련 기기나 계통에 있어서는 기능이 유실된 바가 없는 것으로 나타났다.

경주 지진 자료와 원전 안전성

오스트리아 빈 소재 IAEA는 세계 각국의 지진 발생과 관련해 USGS(미국 지질조사국) 등 미국이 갖추고 있는 여러 가지 기관들의 자료 등을 통해 개략적이지만 즉각적인 정보를 알 수 있다. 사상자라든가 시민 사회에 어떤 영향이 있었는지 추정할 수 있는 시스템이다.

미국 시스템이 굉장히 편리하게 무료로 사용할 수 있고 정보를 지진 발생 후 빠르게 활용할 수 있다. 지반 진동에 따라 혹은 인구 밀도에 따라 자동적으로 이 시스템이 어느 정도의 손상이 있는지를 추정하게 해준다.

2016년 9월 경주에서 있었던 지진이 여기 해당한다. 당시 지진은 규모 5.8로 전체적인 손상 정도는 녹색(안전)으로 나타나 있다. 월성이라든가 고리 지역에 어떤 영향이 있는지에 대한 추정치도 있는데 모두 녹색으로 나타나 있다.

IAEA의 안전 기준 개정

IAEA는 2016년 2월 부지 평가에 대한 안전 기준을 개정했다. 부지 평가와 관련해서는 위험도와 불확실성의 설명에 대한 안전 기준이 마련됐다. 물론 이런 조사를 시행하다 보면 불확실성이 있기 마련이지만 불확실성을 파악하기 위해 다양한 전문가들이 참여한다는 내용이다. 이런 부분이 이전 버전에도 포함돼 있지만 최신 개정판에서는 불확실성에 대한 기술적 내용이 조금 더 강화돼 마련됐다.

또 복합 사건에 대한 안전 기준이 포함됐다. 지진과 지진해일이 같이 일어나는 경우, 지진과 화재가 함께 일어나는 경우, 지진과 산사태가 동시에 일어나는 경우 등의 복합 사건에 대한 안전 기준이 포함돼 이에 대한 경고를 하기 위한 내용이다.

발전소별 위험도에 대한 정기 검토도 개정됐다. 설계

를 완료한 다음 위험도를 파악하고 나서는 회원국들이 이런 지진에 대한 위험도 분석을 10년마다 할 것을 권고하고 이를 규정한 내용을 안전 기준 문서에 포함했다. 이에 따라 10년마다 회원국들은 위험도 분석을 진행해야 한다. 이를 통해 해당 발전소 현황에 대한 최신 정보를 계속해서 알 수 있다.

설계에 대한 안전 기준도 개정했다. 베팅 끝 효과에 대한 여유도를 말한다. 베팅 끝 효과라는 것은 불과 한 발짝이지만 베팅에서 한 발만 벗어나도 큰 결과로 이어지는 상황을 가리킨다. 원전에서 베팅 끝 효과를 예방하기 위해서 충분히 좀 더 여유 있는 여유도를 가져야 한다.

그 다음으로는 설계 기준을 초과한 외적 위험 요소에 대한 부분이다. 설계 기준도 역시 지진을 분석하는데 있어 아주 조심해서 주의 깊게 다뤄야 한다. 특히 설계 기준을 초과한 외적 요소에 대해 고려해야 한다. 또 단일 부지의 다수 호기 설비에 영향을 주는 외적 요소에 대한 검토도 이뤄져야 한다. 아울러 후쿠시마 다이치 원전 사고라든가 다른 원전에 있었던 운전 경험을 바탕으로 안전 기준을 개정했다. 이와 함께 기술 문서(TecDoc)라고 부르는 문서를 발행했다.

고지진학에 대한 부분도 있다. 고지진학이라는 것은 지진이나 해일이 과거 기록하기 전부터 일어난 것, 기록이 있기 전부터 일어났던 지진이나 해일에 대한 역사를 찾아보는 것으로 이에 대한 기술 문서를 마련했다.

앞으로 IAEA EESS 팀은 안전 기준을 완전히 개정해 지진에 대한 안전 검토를 진행하고자 한다. 따라서 내년 부터는 이런 부분을 공유해 새로운 안전 기준을 기반으로 활동을 진행할 계획이다.

향후 진행될 활동은 단층 변이 위험에 대한 프로젝트, 쓰나미와 기타 요소에 대한 위험도 평가가 있다. 아울러 쓰나미 평가와 관련된 벤치마킹 기준을 마련하고 여러 가지 안전 평가 기준도 추진할 예정이다. 🍌