

후쿠시마 원전 사고 이후 원전의 구조 평가

Carl Gimbrone

웨스팅하우스 구조 분석 책임자



“

2015년 웨스팅하우스는 '시스템 80' 설계 원전에 대해 내진 평가를 수행했다. 이는 웨스팅하우스 기술을 기반으로 활용한 원전이 대상이라고 할 수 있다. 한국의 13개 원전도 웨스팅하우스가 합작으로 기술을 제공한 바 있다. 따라서 지진 값 0.25g를 기반으로 설계됐고 일반적인 한국 원자력발전소도 0.2g를 기반으로 했다.

”

웨스팅하우스의 한국 원전 설계

웨스팅하우스의 기술은 전 세계적으로 상업 원전의 절반 정도에 사용이 되고 있다. 특히 경수로형 원자로에서 웨스팅하우스의 참여가 높고 원자력발전소를 운영하고 있는 국가 대부분이 웨스팅하우스 기술을 채택하고 있다. 구체적으로는 웨스팅하우스의 경수로를 채택하고 있고 1950년대의 설계를 기반으로 하고 있다.

한국의 25개 원전 중 19개가 경수로이며 이 가운데 6개는 웨스팅하우스의 설계를 기반으로 하고 있다. 이 중 13개는 웨스팅하우스/CE 합작의 '시스템 80' 디자인을 기반으로 한다.

웨스팅하우스의 원자력 전문 직업 문화

한국 내에서 웨스팅하우스가 어떤 협력을 통해 원자력발전소 설계를 하고 운영을 하고 있는지 우려하는 국민이 있다고 들었다. 웨스팅하우스는 이와 관련한 프로그램이 있고 4가지의 기본적인 활동을 진행한다.

우선 모든 직원이 일단 원자력발전소의 기술이 특별하다는 것을 이해한다. 원자력발전소는 화력발전소와는 다르다는 것이다. 원자력 트립(정지)이 되면 붕괴열을 알려야 하고 그러지 않으면 문제가 발생한다. 그래서 원자력 업계 직원 모두는 원자력은 보통 특별한 기술이기 때문에 조심해 취급해야 한다고

이해한다.

두 번째, 웨스팅하우스에서는 우리가 내리는 모든 결정에 있어서 어떤 결과가 따른다는 것을 이해한다. 따라서 웨스팅하우스의 모든 직원들은 충실한 성과를 만들려고 노력한다. 그냥 하는 식이 아니라 완벽하게 올바른 결정을 내리고 일을 해야 한다. 그래서 여러 가지 설계 검토라든가 다양한 검토 과정을 통해 우리가 제대로 일을 하고 있는지 확인해야 한다.

세 번째, 특히 보수적인 결정을 내려야 하는 것이 중요하다. 원자력이라는 기술은 굉장히 독특하다. 따라서 안전성을 확신하기 위해 우리가 내리는 결정이 중요하고 이런 결정에 대해 국민이 잘 이해를 하게 한다.

그래서 모든 엔지니어들은 어떤 부분에 있어 우려가 된다고 말할 권리가 있다. 이것은 맞지 않는 것 같다는 의견도 언제든지 개진할 수 있다. 그러면 웨스팅하우스에서는 그런 상황에 대해 면밀히 파악해 조직 내의 맞는 직급에게 그 문제를 제기를 해서 모든 결정이나 설계가 제대로 이뤄질 수 있도록 대처한다.

네 번째, 신입 직원도 언제든지 질문을 할 수 있다. 이런 부분은 굉장히 중요하다. 이렇게 해야만 우리는 설계를 성급하게 만든다거나 검토를 급하게 하지 않고 또 의도적으로 무엇인가 왜곡되게 하지 않으며 엔지니어들이 제대로 업무를 진행하고 있다는 점을 대중이 확신할 수 있게 한다.

웨스팅하우스의 안전 기술과 심층 방어

웨스팅하우스는 안전 기준을 기초로 여러 가지 핵분열 물질이 외부로 누출되지 않도록 하고 있다. 이를 통해 대중이 영향을 받지 않도록 노력을 하고 있다.

이를 위해서는 다중 방어를 마련했다. 먼저 연료 자체가 펠렛으로 둘러싸여 있다. 또 작은 사건이라도 냉각재

사고로 이어질 수 있는 만큼 안전한 '원자로 냉각 시스템(RCS)'을 위한 설계가 이뤄져야 한다. 이처럼 RCS가 건전성을 유지할 수 있도록 하는 것이 두 번째 단계이고 두 번째 방어라고 할 수 있다.

이런 RCS의 누출이 있을 경우에 격납건물이라고 하는 3중 방어책이 있으며 방사성 핵종이 환경에 누출되지 않도록 격납고의 건전성을 유지하는 것이 중요하다. 이렇게 3중 방어를 통해 웨스팅하우스는 안전성을 유지할 수 있다.

주요 원전 사고와 심층 방어

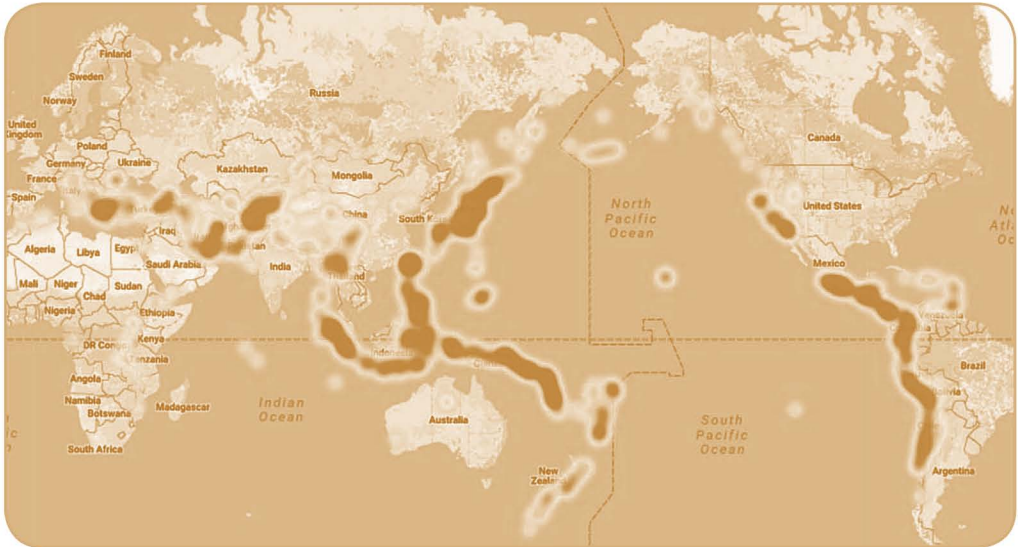
심층 방어와 관련해 지금까지 미국에서 있었던 최악의 사고를 보면 먼저 쓰리마일 아일랜드(TMI) 사고를 들 수 있다. TMI 사고는 큰 규모였으며 실제로 1차 계통에서 방사능 누출이 있었다. 이는 감압 밸브가 열렸기 때문이었고 실제로 격납 내에 냉각수가 많이 유입됐다.

격납건물 자체는 안전성이 있었지만 격납건물 내 문제로 인해 사고로 이어졌다. 이는 과거에는 인식하지 못했던 상황이었다. 그래서 이런 상황에 대해서는 이제는 많이 인식하게 됐고 한국은 이에 대비한 심층 방어를 잘 유지하고 있다.

세계 각국 지진 발생과 웨스팅하우스의 내진 평가

지진과 관련된 활동이 지속적으로 일어난다. 후쿠시마 사고를 일으킨 2011년 일본 지진이 대표적이다. 같은 해인 2011년 8월 미국 버지니아에서도 지진이 있었다. 이 지역은 실제로는 과거에 지진이 없었다. 2016년 9월 한국에서도 큰 지진이 있었다.

웨스팅하우스는 원전의 내진 평가를 단기, 장기로 진행한다. 단기적으로는 내진 설계 기준을 초과하는 지진



〈그림 1〉 세계의 지진 지도

을 집중해 살펴보고 이를 통해 적극적인 장비 보완 등 내진 평가 프로그램을 시행하고 있다. 장기적으로는 안전 장치와 관련되고 또 중요한 모든 안전조치를 취하고 특히 원자로 냉각 시스템(RCS)을 면밀히 점검한다.

아울러 이런 지진 등에 대비해 확률론적 사고 시나리오를 기반으로 안전평가를 하고 이를 통해 주요 문제를 파악하고 물론 결정론적 안전 평가도 진행한다. 웨스팅하우스는 확률론적 평가와 결정론적인 평가를 모두 동시 진행한다.

미국에서의 지진과 대응

미국은 서부는 물론이고 앞서 언급한 2011년의 버지니아 지진과 같이 동부 지역에서도 지진이 발생한 바 있다. 버지니아 지진은 굉장히 놀라운 일이었다. 당시 미국에서는 원자력발전소에 어떤 영향이 있었는지, 특히

내진 설계 기반 분석을 많이 하지 않았던 미국 동부 지역에서도 큰 지진이 났을 때 안전관지에 대해 추가적인 평가를 진행했다. 한국의 경주 지진과 마찬가지로 미국 동부 지역도 예상보다 큰 지진이 났을 때 어떤 의미가 있는지 잘 파악을 해야 한다.

웨스팅하우스의 NSSS 내진 재평가

웨스팅하우스의 원자로 구조분석팀은 원전 내에서 터빈발전기를 제외하고 원자로를 중심으로 한 원자력 증기 공급 계통(NSSS)에 대한 내진 평가를 진행한다.

먼저 설계 기준 지진에 대해서는 0.4g를 기반으로 평가한다. 또 1970년대 처음 상업 운전을 진행했을 때 0.75g까지의 지진대를 일으킬 수 있는 단층을 발견했다. 당초 평가했을 때는 문제가 없었고 운전에도 전혀 문제가 없는 것으로 평가를 내렸다.



〈그림 2〉 미국의 지진 지도

하지만 2011년 일본에서 초강력 지진이 실제로 일어났기 때문에 우려가 증명됐고 1970년대 문서를 다시 한번 검토했다. 1970년대의 분석은 지난 10년, 15년 전과 비교했을 때 충분치 않았다. 현재 더 좋은 기술이 많이 나왔고 연산 능력도 더 뛰어나다. 여러 가지 요구를 기반으로 한 분석도 더 잘 할 수가 있다.

따라서 여러 우려 사항이 있었고 웨스팅하우스는 발전소와 협력해 굉장히 큰 규모로 NSSS에 대한 연구 조사를 실행했다. 여러 가지 건축학적인 부분을 비롯해 발전소 측에서도 대규모 프로그램을 진행했다. 이를 통해 이 발전소가 어떤 설계 기준 이상 혹은 정상보다 큰 지진을 견딜 수 있는지 파악했다. 그리고 여러 가지 모델과 기준을 바탕으로 조사했다.

조사 결과, NSSS와 관련해 충분한 여유도가 있었

고 실제로도 그렇기 때문에 추가적인 설비 개선이라든가 변경은 필요 없다는 결론에 도달했다. 다시 말해 현재 갖고 있는 하드웨어적 구조물이나 계통 기기들이 구조적 건전성을 충분히 확보하고 있기 때문에 추가적 설계 변경을 할 필요가 없다는 결론을 얻었다. 재작업이라든가 설계 변경과 같은 것이 필요 없다는 점이다. 아울러 몇몇 사례 같은 경우에 이런 분석학적 기법을 통해 설계 기준 이상의 강력 지진을 견딜 수 있을 뿐만 아니라 다른 요건들도 모두 부합하고 있기 때문에 일단 대중에게 영향을 줄 수 있는 사고까지로 이어지지 않는다는 것을 파악할 수가 있었다.

미국의 동부 해안 지역도 이제는 매우 심층적인 재평가를 진행하면서 이런 지진 분석을 하고 있고 또 확률론적인 평가를 내려서 문제가 있는지 없는지 파악하고 있다.

웨스팅하우스의 '시스템 80' 국내 원전 설계에 대한 내진 평가

2015년 웨스팅하우스는 '시스템 80' 설계 원전에 대해 내진 평가를 수행했다. 이는 웨스팅하우스 기술을 기반으로 활용한 원전이 대상이라고 할 수 있다.

앞서 설명한 바대로 한국의 13개 원전도 웨스팅하우스가 합작으로 기술을 제공한 바 있다. 따라서 지진 값 0.25g를 기반으로 설계됐고 일반적인 한국 원자력발전소도 0.2g를 기반으로 했다. 신고리 같은 경우에는 좀 더 높은 내진 설계 기준을 갖고 있다.

이런 분석을 진행한 이유는 발전소가 지진을 견딜 수 있는지 보기 위한 것보다는 현재 출력 증강을 하고자 했고 또는 연료 설계의 변형이 있었기 때문이다. 그래서 설계 변경을 한 부분에서 심층 분석을 하자는 것이었다. 다시 말해 1970년대 이런 발전소들이 설계됐기 때문에 지난 수십 년 NSSS나 다른 구조물에서 여러 가지로 설계 변경 혹은 설계 개선이 있었을 때 최신 기술을 활용하면서 이런 지진을 견딜 수 있는지 파악하고자 실행했다.

'시스템 80' 설계 원전 내진 등 안전 재평가 실행 방법과 조사 결과

'시스템 80' 설계 원전을 대상으로 1차 계통을 비롯해 심층 방어 체제 등을 점검했다. 또한 여러 가지 동적 분

석을 진행했고 검토를 통해 각각의 구조물들이 어떤 작용을 하는지 모두 파악했다. 모델링을 하면서 각각의 구조물들이 어떤 식으로 작동하는지 조사해 불필요하게 능력이 많이 쌓이지 않도록 점검도 했다.

조사와 점검 결과, 각 구조물은 충분한 여유도를 갖고 있는 것으로 나타났다. 아울러 가능한 모든 분석과 섬세한 통합적 검토를 구성 기기에 실시했다. 그 결과 실제로 발전소를 다른 방식으로 더 설계 변경할 필요가 없고 후쿠시마 이후 새로운 지진 기준에도 부합한다는 것을 확인할 수 있었다.

결론

결론적으로 웨스팅하우스는 초기 설계 과정에서 회사 자체적으로 생각했던 것보다 더 견고하고 안전 여유도도 충분히 확보하고 있다는 점을 알 수 있었다.

웨스팅하우스 발전소뿐만 아니라 한국적 기술을 통한 발전소에서도 초기설계나 이를 통한 구조물 설치 과정에서 충분한 여유도를 갖고 있기 때문에 당초 상정한 것 이상의 강력 지진을 견딜 수 있는 것으로 분석됐다. 🍌