

유일한 에너지 대안, 원자력의 안전성 확보를 위한 노력

현재 21기의 원자력발전소(이하 원전)를 가동하고, 9기를 건설하고 있는 우리나라의 입장에서 2011년 3월 11일 발생한 후쿠시마 원전사고는 원자력발전의 안전확보의 중요성을 확인한 계기가 되었다. 그림 1에서 보는 바와 같이 원전의 안전성을 확보하기 위해서는 정부의 안전규제(인허가, 검사 및



안승규

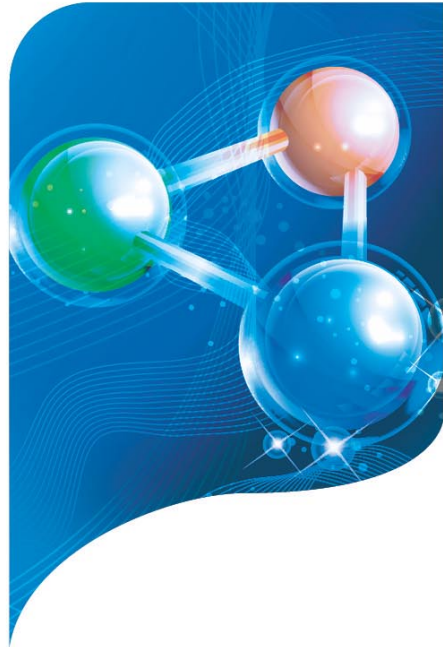
ska@kepco-enc.com

현대건설 플랜트사업담당 부사장 역임
현대엔지니어링 부회장 역임
現 한국전력기술(주) 대표이사 사장

감독) 아래 안전한 설계, 안전한 건설, 안전한 운영이 이루어져야 하며, 마지막으로 원전의 설계수명이 다했을 때 안전하게 원자로를 폐쇄하고 방사능이 누출되지 않도록 하는 후속조치까지 완벽해야 한다. 후쿠시마 원전사고 이후 정부(규제기관)와 원전 관련 기업들은 이러한 관점에서 국내원전의 안전성을 총체적으로 재점검하고 도출된 과제를 중심으로 원전 안전성 강화에 만전을 기하고 있다.

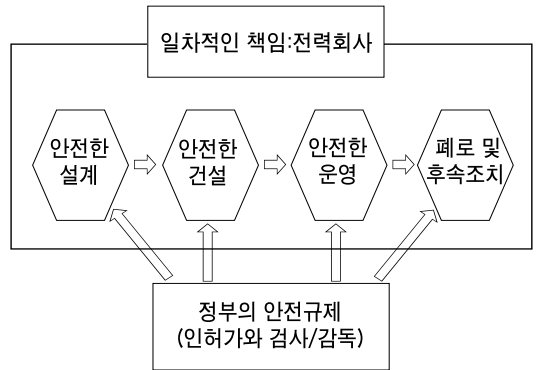
무엇이 위험이 되는가를 아는 것이 올바른 안전확보의

Plant Technology



첫걸음이기 때문에 현재까지 발생한 원전사고의 원인을 알아보고자 한다. 현재까지 발생한 원전사고 중 방사능 유출로 인간과 자연에 피해를 주었던 사고는 표 1과 같이 1979년의 TMI 원전사고, 1986년 체르노빌 원전사고, 그리고 작년 3월에 발생한 후쿠시마 원전사고이다.

각 원전사고의 원인을 살펴보면 TMI 원전사고는



[그림 1] 원자력 안전 관리체계

<표 1> TMI-2, 체르노빌 4호기, 후쿠시마 원전사고 비교

		TMI-2	체르노빌 4호기	후쿠시마 1호기
원전소개		미국 펜실바니아	구 소련 우크라이나	일본 후쿠시마현
노형		경수로(PWR)	흑연감속로(RBMK 1000)	비등경수로(BWR)
설계자		Babcock&Wilcox	구소련	GE
발전기 출력		906 MWe	925 MWe	460 MWe
상업운전 개시일		1978. 12. 30	1984. 3. 26	1971. 3. 26
사고발생일시		1979. 3. 28 04:00	1986. 4. 26	2011. 3. 11 14:45
사고원인 (IAEA 사건 등급)		5등급 (소외 위험사고)	7등급(대형사고)	잠정 7등급
사고 결과	사망자	없음	사고직접 영향 32명 사망 사고복구 참여자, 주민 피폭, 주변 지역오염 등 광범위한 영향	미확인(확인중)
	방사성물질 환경 누출	Noble gas : 250,000 Ci Iodine : 15 Ci	Cs 2.3 06 Ci 이상 Iodine : 4.6 07 Ci 이상	현재 사고 진행중
사고 특이사항		노심 용융 및 수소폭발이 있었으나 격납건물 건전성 유지	흑연연소 폭발	노심 용융 수소폭발이 있었으며 격납건물 파손

인적실수, 체르노빌 원전사고는 인적실수와 설계오류, 후쿠시마 원전사고는 지진과 해일에 의한 자연재해이다. 사고의 원인 중 인적실수는 원자력발전에서 종사하는 설계자, 건설자, 운전원을 포함한 운영자에 대한 주기적이고 체계적인 교육과 관리로 미연에 방지하여야 한다. 또 하나의 사고원인은 설계오류와 자연재해이다. 필자가 몸담고 있으며 원전설계를 전담하고 있는 설계사의 입장에서 이 위험요소를 살펴보고자 한다. 한국형 원전설계기술을 개발하고 이를 적용하여 원전을 건설하는 모든 과정에서 ‘안전성 확보’는 언제나 최우선 과제였다. 이 지면을 빌어 원전의 안전설계에 대해 그 기본부터 다시 짚어보고자 한다.

원전을 안전하게 설계한다는 것은 중대사고 발생 시 원자로건물 내에서 수소폭발가능성을 방지하고, 중대사고 상태에서 발생할 수 있는 주중기관 파단이나 냉각재상실사고 조건하에서도 중요 건물과 계통들이 목표 성능을 유지할 수 있도록 설계하는 것이다. 여기서 중대사고란 원자력발전소를 설계하는 과정에서 고려한 기준사

고보다 더 심각한 사고로, 지진이나 해일, 토네이도 등을 포함한 자연재해와 항공기 충돌 등의 외부테러에 의한 사고로 방사능 누출을 방지하기 위해 발전소를 안전하게 정지시켜야 하는 사고를 일컫는다.

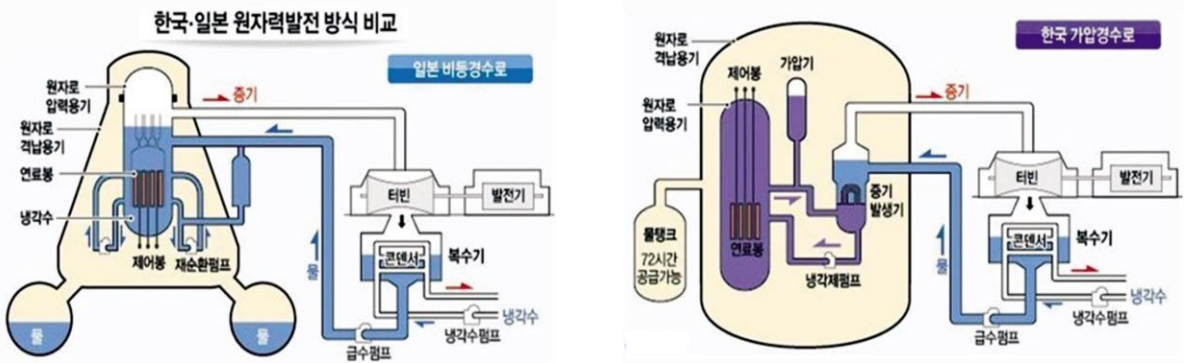
이 중 원자력발전소 설계에 가장 심각한 영향을 미칠 수 있는 자연재해가 지진이다. 원전을 건설할 때는 그 부지에서 역사적으로 발생한 지진의 크기와 앞으로 발생할 가능성이 있는 최고 강도의 지진을 가정하여 건물과 기기가 강도와 성능을 유지할 수 있도록 설계한다. 또한 지진으로 인한 해일이 밀려올 것을 고려하여 발전소 중요 기기가 해일로 인하여 물에 잠기지 않도록 충분히 높은 위치에 원자로 건물을 건설한다. 하지만 작년 3월 11일, 일본이 예상했던 크기의 지진보다 훨씬 큰 규모의 지진(규모 9.0)이 후쿠시마 원전 가까운 곳에서 발생했고, 짧은 시간 안에 15 m 정도의 해일이 원전부지를 덮쳐 주요 건물의 2층 정도까지 물에 잠김으로써 비상전원이 상실되었다. 그리고 이로 인하여 대부분의 기기와 전기장치가 가동 중지됨으로써 설계에서 확보하였던 안전장치

들이 그 기능을 발휘하지 못하여 방사능 오염이라는 초유의 사태가 발생하게 된 것이다. 후쿠시마 원전사고를 목격한 전 세계 사람들은 다시 한번 원자력발전소의 안전성에 대한 의문과 불안감을 품게 되었다. 우리 국민들도 국내원전과 사고원전이 어떻게 다르며 국내원전에서 유사한 사고가 발생한다면 우리들은 방사능으로부터 안전한가라는 의문을 갖고 있을 것이다.

먼저 간략히 원자로형을 비교해 보면 우리나라 원전의 대부분은 가압경수로형 원자로(Pressurized Water Reactor : PWR)이고 후쿠시마 원자로형은 비등경수로형 원자로(Boiling Water Reactor : BWR)이다. 그림 2에서 볼 수 있듯이 BWR은 원자로에서 증기를 발생시키고 이를 직접 터빈에 보내 전기를 생산하는 방식인 반면, PWR은 원자로에서 생산된 150기압, 300℃ 정도로 가압된 고온의 물을 이용하여 증기발생기에서 열교환을 통해 터빈에 이용할 증기를 생산하는 방식으로 발전용 증기에는 방사능 오염의 위험이 전혀 없다. 즉 PWR은 BWR에 비해 효율 면에서 불리하고 또한 증기발생기를 포함한 추가적인 장치로 격납건물의 크기가 훨씬 크지만 안전성 면에서는 월등하다고 할 수 있다.

또 하나의 의문은 국내원전에 적용된 설계한도를 넘는 큰 지진이 원전 근처에서 발생하고 이로 인한 해일이 원전을 덮친다면 어떻게 될 것인가 하는 것이다. 이 경우 발생 가능한 최악의 사고는 원자로를 안전하게 정지시키는데 필요한 필수전원의 상실과 노심용융으로 인한 수소 발생과 폭발이다. 후쿠시마 사고가 바로 이 경우였다. 다양한 경우를 가정해보면 첫째, 설계한도를 넘는 지진만

발생하고 쓰나미는 발생하지 않는 경우이다. 원전의 내진설계는 일반시설물의 내진설계와 근본적으로 차이가 있다. 일반시설에서 내진설계 값에 해당하는 지진이 발생할 경우 ‘무너지지만 않도록’ 설계를 하지만 원전은 안전관련기능이 유지되도록 설계를 한다. 예를 들어 원자로를 감싸고 있는 콘크리트 격납건물의 경우 국내 운전 중인 원전의 내진설계 값은 0.2g이나 0.5g 이상에서도 견딜 수 있는 것으로 평가되고 있다. 따라서 내진설계 값을 어느 정도 초과하는 지진이 발생하더라도 격납건물이 무너지지 않음은 물론이고, 외벽의 균열도 발생하지 않아 내부의 방사성물질을 안전하게 가두어둘 수 있다. 또한 원전의 주요한 기기들, 즉 원자력발전소를 안전하게 정지시키고 동시에 방사능 누출을 방지하는데 주요한 기능을 하는 기기들은 요구된 지진환경 하에서 주어진 기능과 강도를 유지함을 반드시 입증하여야 함은 물론 설계부터 제작, 시공까지 철저한 품질관리가 이루어진다. 또한 상업 운전 중인 국내원전은 적어도 1년 반에 한번씩 원전의 가동을 중지한 후 상태를 전반적으로 점검하여 원전 운영기간 중에도 당초 설계에서 목표한 기능이 유지되도록 하고 있다. 둘째, 해일을 동반한 지진이 발생하는 경우이다. 후쿠시마 원전사고 이후 이에 대한 장치를 보강하는 대책이 마련되었다. 일차적으로 발전소에 쓰나미가 덮치지 못하도록 방파제를 설계하여 설치하였다. 또한 비상전원발전기의 가동이 불가할 경우를 대비하여 차량용(이동용) 발전기를 설계, 제작하여 해일로부터 안전하면서도 가장 빨리 발전소에 출동할 수 있는 지역에 보관하였다. 이 차량용(이동용) 발전기는 비상사



[그림 2] 한국·일본 원자력 발전방식 비교

태 발생 시 출동하여 이에 전선만 연결하면 원전의 주요한 기기들이 작동할 수 있게 된다. 셋째, 노심용융으로 인한 수소발생과 폭발문제인데 우리나라의 원전은 원전이 안전하게 정지된 후에 빠른 시간 내에 노심잔열을 제거하도록 설계되어 있으며 수소가 발생하더라도 화학적으로 제거하거나 미리 태워버리는 장치가 설치되어 있어 수소폭발의 가능성은 없다. 이와 더불어 원전설계 단계에서 원자력 안전을 확실히 확보하기 위한 추가적인 방법으로 원자력발전소 운영 중에 발생할 수 있는 모든 중대사고의 가상 시나리오에 대해 리스크 크기, 사고 시나리오의 리스크 기여도, 기기·계통·운전원 행위 등의 리스크 기여도 등을 분석한다. 그리고 그 분석결과를 바탕으로 취약점을 설계단계에서 파악 및 개선하여 리스크를 감소시키고 원전 안전성을 향상시키고 있다.

후쿠시마 원전사고 이후 일본은 제한송전으로 산업이 마비되고 국민들은 모든 활동에 전기로 인한 제약을 받는 불편을 감내하고 있다. 우리나라의 경우는 어떠한가? 우리나라는 기본적으로 에너지 다소비의 산업구조이다. 전력을 많이 소비하는 제조, 생산업에 국가 경제의 의존도가 높은 것이다. 또한 수십 년 동안 유지되어온 낮은 전기요금 덕분에 일반 국민들 사이에선 전력 과소비 경향마저 생겨났다. 이러한 상황에서 우리나라의 전력예비율은 평균 10% 미만으로 유지되고 있고 1월, 8월 등 전력피크 시기에는 5% 미만으로 떨어져 사실상 블랙아웃(black out) 직전의 상황이 반복되고 있다. 주요 선진국들이 전력예비율을 15% 안팎으로 유지하는 것에 비교해 볼 때 매우 열악한 전력수급 상황이라 할 수 있다. 반면 전력소비 연평균 증가율은 지난 2000년부터 10년간 4.66%로 독일(0.18%), 프랑스(0.92%), 이탈리아(0.50%), 영국(0.23%) 등의 국가들보다 최대 25배 가량 크다. 이것이 현재 전력생산의 31%를 담당하고 있는 원

자력을 포기하기는 현실적으로 불가능한 이유이다. 국내 원전을 모두 중지할 경우, 모든 화력발전소를 100% 가동하더라도 수요전력의 14%는 공급이 불가능하여 제한송전이 불가피하다. 연중 약 7,000시간의 정전을 감내해야 하는 것이다. 뿐만 아니라 화석연료는 매장량의 제한이라는 문제와 더불어 지구온난화의 주범이라는 혐의에서 자유롭지 못하다. 가장 강력한 대안으로 제시되고 있는 신재생에너지의 경우 정부의 계획하에 중장기적으로 그 비중을 높여가고 있는 중이며 앞으로 멀지 않은 미래에 태양광, 풍력, 조력, 지열, 수소 등을 이용한 신재생에너지의 시대가 도래할 것이라는 사실은 분명해 보인다. 그러나 아직은 우리가 사용할 수 있는 충분한 에너지를 생산하지 못하고 있으며, 신재생에너지의 발전단계는 원자력의 2.5 ~ 11배 수준에 이른다. 신재생에너지도 현 단계에서는 경제성과 함께 전력공급의 안전성도 담보하기 어려운 것이다. 때문에 현재로서는 원전만이 그린에너지로서 우리의 안락하고 편리한 생활을 유지하기 위한 대안이 된다. 그리고 그 유일한 대안을 안전하게 활용하기 위해서는 끊임없는 연구와 노력이 필요하다. 과거 TMI 원전사고, 체르노빌 원전사고가 발생했을 때 우리는 그 사고를 교훈 삼아 더 안전한 원전을 설계, 건설하고 운영하는 방법을 찾아냈다. 후쿠시마 원전사고 역시 가슴 아프고 안타까운 사고이지만 우리의 원전 안전성을 한 단계 더 강화하는 계기가 되고 있다. 우리는 지금까지 어려움 앞에서 좌절과 포기 대신 극복과 도전을 선택했으며 그 과정에서 눈부신 발전을 이루어냈다. 그리고 앞으로도 최상의 안전성 확보를 위한 노력을 멈추지 않을 것이다. 그것만이 후쿠시마 원전사고와 같은 불행한 일이 다시는 일어나지 않도록 방지하는 일인 동시에 현재의 우리의 생활을 영위하고 또한 후손들의 부담을 덜어 줄 유일한 길임을 알기 때문이다. (KIEPC)