

가장 안전한 원자로는 한국이 갖고 있는 경수로

강재열

한국원자력산업협회 상근부회장

우리나라가 해외에 처음으로 수출한 바라카 원자력발전소^{BNPP} 1호기가 4월 6일 상업운전을 들어갔다. BNPP 1호기는 2012년 7월 18일 최초 콘크리트 타설을 시작으로 건설 공사에 착수하였다. 향후 BNPP 4개 호기가 모두 준공될 경우 UAE 전력수요의 25%를 담당하게 된다. 문재인 대통령은 4월 7일 모하메드 빈 자이드 알 나흐얀 아랍에미리트^{UAE} 아부다비 왕세제에게 BNPP 1호기 상업운전을 축하하는 서한을 보냈다. 우리나라가 개발한 수출형 원전인 Advanced Power Reactor^{APR} 1400 BNPP 1호기 상업운전을 계기로 원자력발전소의 핵심인 원자로에 대해 알아본다.



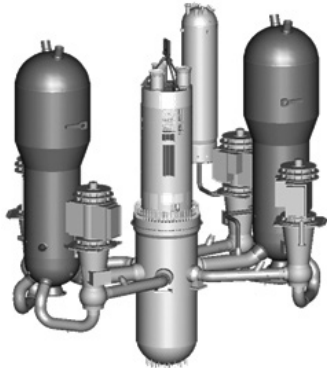
원자로는 화력발전소의 보일러와 같은 역할을 하는 것으로 생각하면 된다. 우리나라 농축 기술을 가질 수 없었던 캐나다는 중수를 이용해 천연우라늄을 때는 중수로를 개발했다. 영국은 흑연가

스냉각로를 개발했으나 비효율성과 비경제성 때문에 시장성이 없어 실패했다. 경수로에는 가압경수로^{PWR}(Pressurized Water Reactor)와 비등경수로^{BWR}(Boiling Water Reactor) 두 가지가 있다. 원자로에서 증기를 바로 만드는 BWR은 터빈으로 방사능이 넘어 갈 가능성이 높다. 2011년 3월 동일본 대지진 당시 쓰나미로 인하여 방사능 누출 사고를 당한 후쿠시마 제1원자력발전소가 BWR이다.

PWR은 잠수함을 비롯한 항공모함 동력용으로 개발된 원자로를 발전용으로 전용해 대형화시킨 것이다. 미국, 프랑스, 한국 원전에서 주종을 이루고 있는데, 특징은 25cm 두께의 금속 용기로 된 원자로 안에 냉각재인 물(경수)이 들어 있다는 점이다. 밀폐된 원자로 안에 있는 냉각재가 핵분열을 일으키는 핵연료의 열을 받아 끓기 시작하면 그 압력이 높아진다. 따라서 냉각재를 끓지 않게 하는 것이 중요한데, 이를 위해 원자로 안에 있는 냉각재에는 100~160kg/cm²(약 100~160기압)의 높은 압력을 가한다. 물은 1기압 상태에서는 100℃에서 펄펄 끓지만 1기압 이하인 높은 곳에 올라가면 100℃가 되지 않아도 끓는다. 같은 이유로 높은 압력을 가하면 수백 도(320℃ 정도)로 온도가 올라가도 끓지 않

는 것이 물의 특징이다. 이러한 물은 펄펄 끓는 물에 비해 온도를 전달하는 능력이 좋고 핵연료 피복재 주변의 열전달 과정에서 발생하는 막비등(film boiling)을 막을 수 있다. PWR에서 또 다른 특징은 2~5% 정도로 저농축 우라늄 235를 연료로 사용한다는 점이다. 원자폭탄은 90% 이상의 고농축 우라늄 235를 사용하나 PWR은 저농축 우라늄을 사용해 핵확산을 방지하는데 유리한 장점이 있다.

원자로 안에서 열을 받은 냉각재는 증기발생기 안에 있는 열을 2차 냉각수로 전달한다. 증기발생기는 원자로 안에 있던 냉각재가 흐르는 관과



APR1400 원자로와 핵증기공급계통

이 냉각재로부터 열을 받아 증기를 발생시킬 2차 냉각수는 완전히 분리되어 있다. 원자로냉각재는 핵연료와 접촉하기 때문에 방사성 물질에 오염될 가능성이 있다. 이때 냉각재가 증기를 발생시킬 2차 냉각수에 섞인다면 방사성 물질은 기체인 증기를 통해 원자로 건물 밖으로 누출될 수 있다. 이를 방지하기 위해 증기발생기를 통해 원자로냉각재와 2차 냉각수를 철저히 물리적으로 분리시킨다. 원자로냉각재로부터 열을 받은 2차 냉각수는 포화증기압력 상태에서 펄펄 끓어 0.25% 이하의 습분을 동반한 포화증기가 된

다. 이렇게 만들어진 증기는 곧바로 터빈에 분사되어 터빈을 돌리고, 터빈은 함께 연결되어 있는 발전기 회전자를 돌려 발전기 고정자로부터 전기를 생산한다.

PWR은 핵연료와 접촉하는 냉각재가 끓지 않도록 압력을 가해줬다고 해서 가압(加壓)경수로란 이름을 얻었다. 그리고 핵연료와 접촉한 냉각재는 증기발생기 안에서 2차 냉각수와 섞이지 않고 자기 회로만 흘러가며 2차 냉각수에 열만 전달하는 완전 폐쇄회로를 구성하고 있다. 2차 냉각수에서 발생한 증기는 터빈을 때려 터빈을 분당 1800바퀴 돌아가게 한다. 터빈을 때려준 증기는 바닷물이 지나가는 복수기(復水機) 안에 있는 관(管) 위로 떨어지면서 이 관속으로 지나가는 바닷물에 열을 빼겨 다시 물이 되는데 이를 다시 물로 돌아왔다고 하여 '복수(復水)'라고 한다. 복수 과정을 거쳐 물로 돌아온 2차 냉각수는 다시 증기발생기로 흘러가 원자로냉각재로부터 열을 받아 끓으면서 증기가 돼 터빈을 때려준다. 2차 냉각수도 증기발생기와 터빈-복수기를 거쳐 2차 냉각수 급수관을 지나 다시 증기발생기로 들어오는 폐쇄회로를 구성한다. 때문에 원자로냉각재가 2차 냉각수로 누설되더라도 그 피해를 최소화할 수 있다는 장점이 있다. 이런 이유로 PWR은 가장 안전한 원자로로 꼽히고 있다. 우리나라에서 지금까지 가동해 온 26기의 원전 가운데 월성에 있는 4기를 제외한 22기가 PWR이다. **KAIF**