

## 물(溼水) 이외의 감속재를 사용하는 원자로

강재열

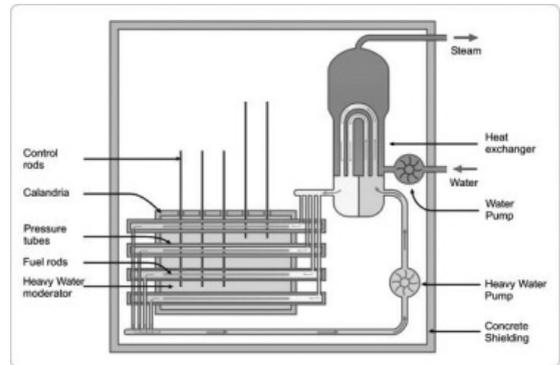
한국원자력산업협회 상근부회장

가압경수로에 이어 캐나다와 우리나라를 비롯한 중국, 인도, 파키스탄 등에서 가동하고 있는 가압중수로<sup>PHWR</sup>(Pressurized Heavy Water Reactor)가 있다. PHWR은 천연우라늄, 중수, 가동 중 연료 교체를 특징으로 한다. 이 원자로는 중수(重水, D<sub>2</sub>O)를 감속재와 냉각재로 사용한다. 지구상에 있는 물의 대부분은 수소 2개와 산소 1개로 구성된 경수(H<sub>2</sub>O)이고 나머지 130~150ppm 정도가 수소의 동위원소(중성자 수만 다른 원소)인 중수소 2개와 산소 1개로 구성된 중수인 것으로 알려져 있다.

중수는 경수보다 질량이 약 1.1배 정도 무거울 뿐 대부분의 화학적 특성은 경수와 같다. 경수가 중성자를 흡수하는데 반해 중수는 중성자를 흡수하지 않는다. 따라서 경수로에는 저농축 우라늄을 사용하지만 가압중수로에는 우라늄-235가 0.7% 정도 들어 있는 천연우라늄을 그대로 사용한다.

PHWR은 '중수로(重水爐)'로 약칭하는데 캐나다에서 개발했다고 하여 '캔두<sup>CANDU</sup>(Canadian+중수소+천연우라늄을 뜻하는 Deuterium Uranium)'로 부르는 경우가 많다. 우리나라 경주시 월성에 있는 4기의 원자력발전소(원전)가 여기에 속한다.

캐나다는 제2차 세계대전 때 미국처럼 핵무기를 만드는데 필요한 우라늄 농축 기술을 가질 수 있는 기회가 없었다. 따라서 국내에 풍부하게 매장되어 있는 값싼 우라늄자원을 활용하기 위해 제2차 세계대전 후 많은 노력을 기울여 중수를 감속재와 냉각재로 사용할 수 있는 PHWR을 개발하게 되었다.



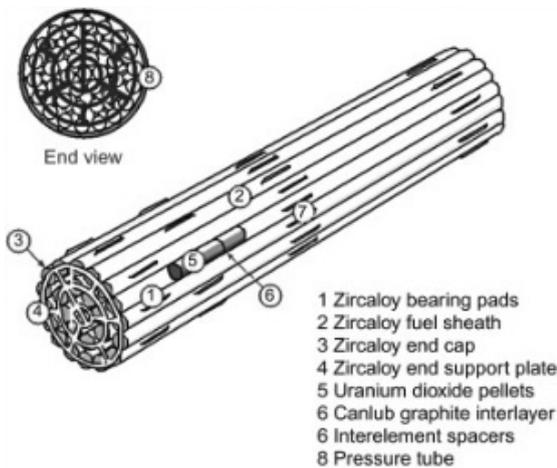
이 원자로에는 380개의 튜브용기가 수평으로 배열되어 있고 1개의 튜브 용기에는 12개 천연우라늄 연료다발<sup>fuel bundle</sup>이 들어있다. 따라서 과거 각 가정에서 연탄을 갈아 넣는 것처럼 발전소가동 중에 연료다발 중에 일부를 매일 교체할 수 있는 이점이 있다. 원자로 계통은 가압기로 약 110기압 정도 가압돼 중수가 끓는 것을 방지한다. 이곳에서 300℃ 정도로 가열된 물이 증기발생기로 흘러 물리적으로 완전히 분리된

튜브 사이를 지나면서 2차 냉각수에게 열을 전달하고 다시 원자로로 돌아간다.

증기발생기에서 열을 받은 2차 냉각수는 펄펄 끓어 증기를 발생시키는데 이 증기가 경수로에 서처럼 터빈발전기를 돌려 전기를 생산한다.

원자로 계통은 열전달 역할을 하는 냉각재가 칼란드리아<sup>Calandria</sup>라고 하는 수평형 튜브용기 속을 통과하여 핵분열로 생성된 열을 받아 가열된다. 반면 경수로에서는 원자로가 수직원통형 금속용기<sup>Reactor Vessel</sup>이므로 냉각재가 수직으로 서 있는 연료다발 하부에서 상부로 순환하면서 열을 받는 차이가 있다.

중수로는 천연우라늄을 연료로 사용하기 때문에 핵분열 연쇄반응을 일으킬 수 있는 확률이 가압경수로에 비해 매우 낮다. 때문에 핵분열에서 나오는 중성자를 잘 감속시켜서 중성자가 핵분열 연쇄반응에 많이 기여할 수 있도록 냉각재 중수와는 별도로 감속재 중수계통을 갖는다.



중수로 핵연료 : 지름102mm, 길이495mm

흑연(黑煙)을 감속재로 하는 원자로로는 핵무기의 원료가 되는 플루토늄-239 생산에 유리하다. 때문에 미국, 영국, 프랑스 등에서 많이 개발하였다. 1956년 영국은 흑연을 감속재로 하고 탄산가스를 냉각재로 사용한 흑연가스냉각로를 콜더홀에 세움으로써 세계 최초의 원전을 건설하였다.

흑연원자로는 연료로 천연우라늄이나 저농축우라늄을 사용하고 냉각재로는 탄산가스나 경수를 사용한다. 그러나 흑연은 중수에 비해 중성자를 감속시키는 능력이 떨어지기 때문에 원자로의 부피가 매우 크다. 탄산가스를 냉각재로 사용하므로 열전달이 나빠 증기발생기가 매우 커야하는 단점이 있다.

이러한 문제점을 보완하기 위해 구(舊) 소련에서는 흑연을 감속재로 사용하는 원자로에 연료로 저농축우라늄을 사용하고 냉각재로 경수를 사용하는 독특한 RBMK1000 원전을 개발하였다. 유감스럽게도 이 원자로는 1986년 4월 25일 우크라이나 체르노빌에서 대형 사고를 일으켰다.

영국은 흑연가스냉각로가 갖는 비효율성과 엄청난 비용 원자로와 증기발생기 등으로 인한 비경제성 때문에 경수로와 경쟁할 수 없다고 판단해 더 이상 흑연원자로를 건설하지 않고 있다.

1960년대 말 국내 최초의 원전인 고리 1호기 건설을 추진할 때 영국의 흑연가스냉각로 도입을 심도 있게 검토한 적이 있었다. 그때 흑연가스냉각로를 선택했다면 한국의 원자력산업은 실패의 길을 걸었을 것이다. **KMIF**