

냉각재상실사고 시 격납건물내 핵연료재장전수조에서의 냉각수 거동 및 pH 분석

박 만 흥^{**}, 김 광 추^{*}, 이 승철^{**}

^{*} 한전기술(주), ^{**} 동해대학교

A Coolant Behavior and pH Analysis in the IRWST during LOCA

Man-Heung Park^{**}, Kwang-Chu Kim^{*}, Seung-Chul Lee^{**}

^{*} Korea Power Engineering Company, ^{**} Donghae University

요 약

차세대원전은 안전성 향상을 위하여 많은 설계개선 사항을 적용한 4000 MW급 개량형 가압경수로 원전이며, 그 중 주요특성중의 하나가 공학적 안전설비와 연관된 격납건물내 핵연료재장전수조(IRWST, In-Containment Refueling Water Storage Tank)를 도입한 것이다.

미국 원자력 규제위원회(NRC)는 SRP 6.5.2 (Rev.2) 및 새로운 방사선원항 보고서인 NUREG -1465를 통하여 격납건물살수계통에서의 재순환 단계 이후에 살수용액의 pH값이 7.0 이상을 유지해야 한다고 권고하고 있다. 그러나 IRWST내의 냉각수에는 붕산을 포함하고 있는 산성용액이므로, 냉각재상실사고(LOCA, Loss Of Coolant Accident)후 격납건물살수계통에 의하여 격납건물 대기 중으로 재순환되어 살수되는 동안에 IRWST내 냉각수의 pH값을 7.0 이상의 중성용액으로 유지시키는 것은 IRWST를 설계하는데 중요한 설계 사항중의 하나이다. 살수용액의 pH값은 IRWST의 재장전수 및 원자로냉각재계통에 포함되어 있는 붕산(H₃BO₃)과 격납건물내 HVT(Hold-up Volume Tank)에 저장된 제3인산나트륨(Na₃PO₄·12H₂O, Tri-Sodium Phosphate Dodecahydrate, TSP)의 농도분포에 의하여 결정된다.

본 연구에서는 차세대 원전에서 LOCA후, IRWST내 냉각수가 격납건물살수계통에 의하여 격납건물 대기 중으로 살수 될 때 붕산 및 TSP 용해율에 대하여 살수용액의 pH값이 7.0 이상 유지되는지를 고찰하기 위하여 수치해석을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) Spillway를 통하여 IRWST로 공급되는 냉각수는 바닥면에 충돌한 후 시간이 경과함에 따라 IRWST 내부벽면을 따라 이동한 후 유출구를 통하여 배출되며, spillway가 위치한 상부면인 자유표면에서는 재순환유동이 발생한다. 또한 spillway에 대하여 유출구가 한쪽으로 치우쳐 운전하게 되면 IRWST내의 유체유동이 균일하게 나타나지 않으므로 온도 및 농도분포가 불균일을 초래하므로 균일한 pH를 유지하지 못하는 원인이 된다.

(2) 고온 냉각수가 spillway를 통하여 공급되면 냉각수가 충돌하는 바닥면의 온도가 상승하게 되며, 냉각수는 IRWST 내부벽면을 따라 유동하기 때문에 일정 시간동안에는 외부 및 내부벽면의 온도차가 크게 나타난다. 또한 유출구에서는 약 3000초 시간이 경과한 후에 고온 냉각수가 도달하게 되면 최종적으로 냉각수 온도가 약 80°C 로 유출하게 된다.

(3) HVT에서 완전히 용해된 TSP가 IRWST로 공급되면 초기에는 spillway 근처에만 높은 농도값을 가지지만, 시간이 경과함에 따라 전체 영역에서 균일한 TSP 농도분포를 나타낸다.

(4) IRWST로 유입되는 TSP의 농도가 144.517 kg/m³으로 공급된다면, 초기에는 spillway 부근에서만 냉각수의 pH값이 7.0 이상이지만 시간이 경과함에 따라 6000초 이후에는 IRWST 전체 영역에서 pH값이 7.0 이상으로 나타난다. 이는 차세대 원전 설계 시 냉각수의 pH값이 7.0 이상을 유지하여야 한다는 설계요건을 만족한다고 할 수 있다.