

간극을 통한 노내 노심용융물 냉각 방안에 관한 연구
Study on In-vessel Debris Retention through Gap Cooling

강경호, 김종환, 박래준, 김상백, 김희동
한국원자력 연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

원자로 용기 하부 반구를 1/8로 선형 축소한 반구형 반응 용기 내부에 Al_2O_3/Fe 혼합 용융물(혹은 순수한 Al_2O_3 용융물)을 주입하여 반구 내외부의 압력 부하와 주입 용융물 성분이 반구의 열적, 기계적 거동 및 간극 형성에 미치는 영향을 분석하였다. 실험 결과, 반구 내외부의 압력 차이가 존재하는 경우에는 용융물과 반구 내벽 사이에 0.6 mm에서 3.0 mm 크기의 간극이 형성되었으나, 압력 부하 효과가 제거된 실험에서는 Fe 용융물과 반구 내벽이 용접되어 간극이 형성되지 못하였다. 동일한 압력 부하 조건에서 순수한 Al_2O_3 용융물을 주입한 실험의 경우에는 혼합 용융물을 주입한 실험에 비해 반구의 냉각율이 약 10 배 이상 높게 측정되었는데, Al_2O_3 용융물의 경우는 용융물 층 내부의 다공을 통하여 간극 내부에서 비등한 수증기가 방출되어 효과적인 열 제거가 이루어진 반면, Fe 용융물이 주입된 실험에서는 간극 내부에서 생성된 수증기가 방출될 수 있는 유로가 제한되어 효율적인 냉각이 이루어지지 않은 것으로 생각된다. 실험 결과와 더불어 FLUENT 코드와 ABAQUS 코드 해석을 수행하여 실험 결과를 분석하였다. 용융물과 반구 내벽 사이에 간극이 존재한다고 가정하고 비등에 의한 열 제거 효과를 부여하여 FLUENT 코드 해석을 수행한 결과, 실험에서 측정된 반구 외벽 온도 거동과 유사한 결과를 보였는데, 이는 간극을 통한 열 제거 가능성을 제시한 것으로 생각된다. 간극 형성의 주요한 기구로 작용하는 반구의 팽창 거동을 분석하기 위하여 수행한 ABAQUS 코드 계산 결과를 보면, LAVA 실험에서 측정된 반구 변형의 원인은 용융물에 의해 반구 내벽에 가해지는 열적 부하라는 사실을 알 수 있었다.

Abstract

A series of experiments, called LAVA(Lower-plenum Arrested Vessel Attack), are in progress to investigate the possibility of in-vessel debris cooling in a narrow gap. A 1/8 linear scaled mockup of a lower head vessel was used with Al_2O_3/Fe thermite melt(or Al_2O_3 only) as a corium simulant. In these tests, the influence of internal pressure load and the material component of the melt simulants on gap formation were studied. As well, the thermal behavior of the vessel was examined. In case the internal pressure was imposed, a gap formed at the interface between the debris crust and vessel wall. This gap affected initial heat-up of the vessel but couldn't ensure the cooling of the vessel wall. A significantly rapid temperature reduction occurred only in the Al_2O_3 melt test, which is postulated that in Al_2O_3 melt, water ingress into the gap is rather easy because the evaporated steam escapes through the porous media of the Al_2O_3 melt. Also, thermal behavior analyses of the vessel using FLUENT code show that water penetration into the gap could cause effective cooling of the vessel. For clear confirmation of the vessel expansion and its effect on the gap formation, analytical investigations using ABAQUS code were performed. Through the ABAQUS code calculations, it is confirmed that the vessel was experienced due mainly to the thermal load from the thermite melt.