

가압열충격 평가를 위한 열성층 발생기준 개발

Development of Thermal Stratification Formation Criteria with Applications to Pressurized Thermal Shock Evaluation

황경모, 염학기, 진태은

한국전력기술(주)
경기도 용인시 구성면 마북리 360-9

요 약

원자력 발전소에서 냉각재 상실사고와 같은 과냉사고가 발생하면 노심 보호를 위해 원자로냉각재계통 저온관으로 저온의 안전주입수가 주입된다. 이때, 주입되는 안전주입수는 원자로냉각재계통의 유동조건에 따라 냉각재 저온관에서 잘 혼합되거나 또는 밀도차로 인해 성층화 될 수 있다. 성층화된 유동이 원자로냉각재 배관을 따라 압력용기 하향유로로 유입되면 원자로 압력용기의 특정부분이 급격하게 냉각되며, 특히 장기간의 운전으로 취화된 원자로 압력용기에 국부냉각이 발생하면 파손확률이 증가된다. 이러한 열성층 현상은 압력용기의 가압열충격 평가시 반드시 고려하여야 하는 중요한 변수이므로 열성층 발생여부 확인과 발생시점의 정확한 예측은 최근 원전의 주요 관심사항으로 등장하고 있다. 이에 따라 본 논문에서는 상용 수치해석 코드인 PHOENICS를 사용하여 열성층 발생기준을 도출하기 위한 해석모델을 구성하고 이를 CREARE 1/2 Scale 실험결과와 비교하여 검증하였다. 그리고 Ri(Richardson)수와 무차원 시간을 도입하여 압력용기 가압열충격 평가시 유동혼합 해석(Thermal Mixing Analysis)이 필요한 사건추이(Event Sequence)를 선정할 수 있는 판정기준을 제시하였다.

Abstract

When a cold HPSI (High Pressure Safety Injection) fluid associated with an overcooling transient, such as LOCA (Loss of Coolant Accident), enters the cold legs of a stagnated primary coolant loop, a thermal stratification phenomena will arise due to incomplete mixing. If the stratified flow enters the downcomer of the reactor pressure vessel, the failure probability of a radiation embrittled vessel is increased by local overcooling. The thermal stratification phenomena have recently raised both reactor pressure vessel integrity and Pressurized Thermal Shock (PTS) evaluation concerns in the nuclear industry. Therefore, it has become important to identify the formation possibility and time of thermal stratification phenomena. This paper focuses on development of a numerical analysis model for buoyancy driven thermal stratification formation criteria using PHOENICS code which can predict the unsteady 3-dimensional mixing for stratified turbulent flow in reactor coolant system piping and apply to PTS evaluation. The developed model was validated by the test results performed in CREARE 1/2 scale test facility. Richardson (Ri) number and dimensionless time were introduced to present the thermal stratification formation criteria. The thermal stratification formation line expressed in this paper may be used as decision criteria for the detailed thermal-mixing analysis recommended in Regulatory Guide 1.154.