

## 강수관 비등 계면 마찰 모델을 위한 Bubble 속도계측

권태순<sup>a</sup>, 송철화<sup>a</sup>, 이영진<sup>a</sup>, 정법동<sup>a</sup>, 김인구<sup>b</sup>

<sup>a</sup> KAERI, 150 Duckjin-Dong, Yuseong-Ku, Daejeon, [tskwon@kaeri.re.kr](mailto:tskwon@kaeri.re.kr), <http://theta.kaeri.re.k>

<sup>b</sup> Korea Institute of Nuclear Safety, 19 Guseong-dong, Yuseong, Daejeon, 305-338, Korea.

### 1. 서론

대형냉각재 상실사고의 재관수 후기의 노심 재가열 현상을 규명하는 과정에서 강수관에서 사용하는 계면마찰모델이 중요한 역할을 하는 것을 알게 되었다[1]. APR1400 LBLOCA 재관수 기간 중 노심 재가열 현상에 대한 보다 신뢰성 있는 해석을 위하여 강수부 비등 유동시 환형 강수관에서 적용을 할 수 있는 특별한 계면마찰계수 모델의 개발이 요구된다. 개발모델은 기존의 RELAP5/MOD3 drift flux 모델의 버블속도 상관식을 수정하는 형태로 이루어지며 이를 위해 수정 상수값의 검증 데이터가 필요하다. 본 연구는 그러한 관점에서 정사각형 수조내에서 벽면으로부터 주입되는 공기 버블의 수직 상승 속도에 대한 정보를 제공하고자 한다.

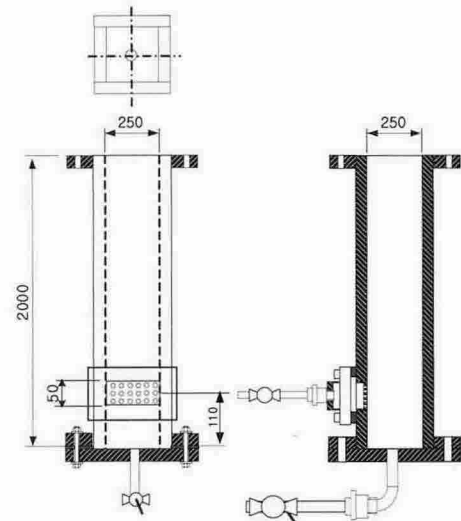


그림. 1 실험부 형상

### 2. 실험방법 및 결과

#### 2.1 실험 방법 및 조건

실험장치는 가로 세로가 각각 25 cm의 정사각형 단면이며, 높이는 2m 이다. 시험부 밑면 바닥으로부터 50cm 높이 지점에 버블 주입기가 횡단면에 걸쳐 설치되어 있다. 버블 주입기는 벽면 하나가 가열될 때 생기는 버블을 대상으로 모의하고자 한쪽면에서만 버블이 주입된다. 버블 주입기에는 압축공기가 주입된다. 버블 주입기의 단면은 가로 세로가 각각 25 x 5 cm 이다. 버블 주입기 단면은 직경이 각각 1,2,3 mm 까지 교체 가능한 다공판이 있어 Bubble의 직경을 조절할 수 있다. 그럼에도 불구하고 시험부의 건도율이 일정 비율이상으로 증가하는 경우 버블의 직경은 조절할 수 없으므로, 버블의 직경은 시험부의 건도율이 매우 낮은 경우에만 제한적으로 적용된다. 본 실험의 조건은 정채된 수조내의 버블에 대한 것으로 실험조건은 표 1과 같다. 물은 상온, 대기압조건이다.

표. 1 실험조건

Liquid Fraction, $\alpha_f$ , %	Free Surface, m	Lowest Height of Reverse Bubble, cm
0.970	143	-
0.955	145	50
0.934	148	35
0.895	154	12

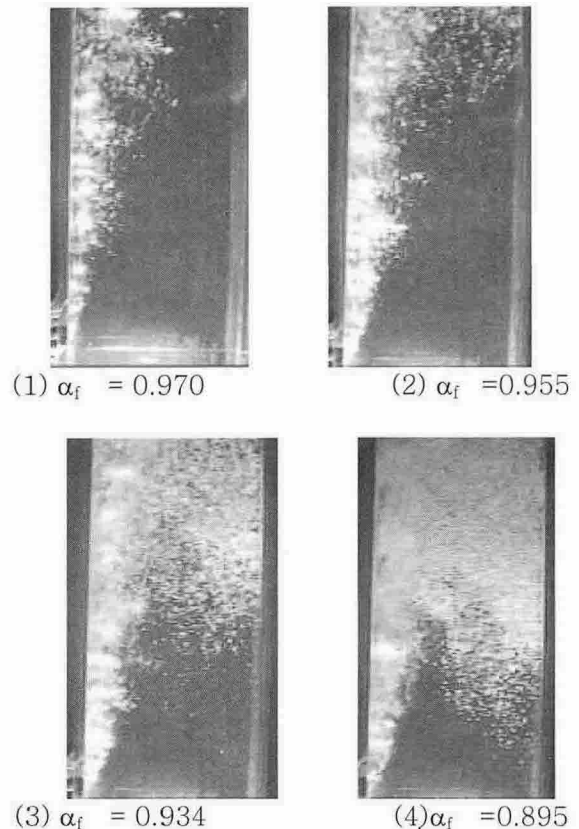


그림. 2 버블 주입기 부위에서의 버블상승 모습

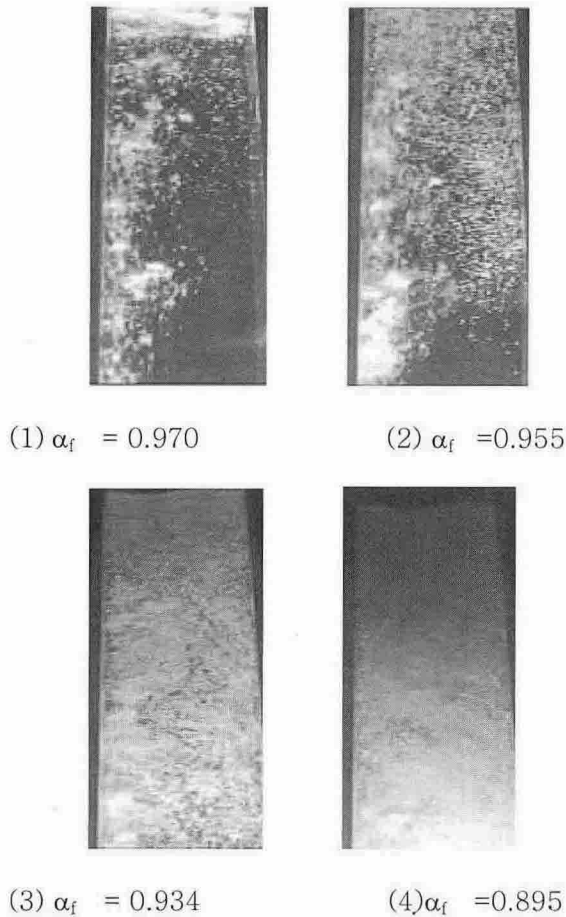


그림. 3 시험부 상부 자유표면근처에서의 버블 모습



그림. 4 버블 주입기 부위에서의 버블상승 모습 측면사진,  $\alpha_f = 0.895$

## 2.2 버블유동 가시화

그림 2는 기공율이 높아짐( $\alpha_f$  감소)에 따라 수조내의 버블 유동을 나타내고 있다. 버블의 주입이 증가하여 기공율이 증가하면 상승하던 버블의 일부는 상승 버블군으로부터 이탈하여 시험부 하부로 하강된다. 버블의 상승 체적율에 해당하는

만큼 질량보존에 따라 하강류가 유발되는데 버블이 이에 딸려 내려오게 된다. 그림 2의 (3)과(4)의 중간 고도에서 나타나는 버블 하강영역 최하단에서 버블 주입기 출구까지의 영역 중 버블의 영역을 제외한 나머지 물 부위는 순환하지 않는 약한 정체 경향을 보인다. 이 영역은 강수부에서 노심입구로의 냉각수 유동이 실제로 존재하는 사고조건에 대한 모의실험 조건시, 즉 순환류 조건에서 실험한다면 더 큰 하강 속도 성분을 갖게 되며, 동시에 버블이 하강하여 도달되는 최하단 고도도 지금보다는 더욱 낮아지게 될 것이다.

그림 3은 자유수면에 가까운 시험부 상부에서의 버블 유동을 나타낸 것이고 그림. 4는  $\alpha_f = 0.895$ 에 대한 측면에서의 사진이다. 상부영역은 상승하는 버블과 정체된 버블의 혼합 영역으로써 뚜렷한 상승성분만 있는 것이 아니라, 정체되는 영역이 국소적으로 광범위하게 나타나는 특징이 있다. 이 영역 또한, 강수부에서 노심입구로의 냉각수 유동을 실제로 모의하는 순환류 조건에서 실험한다면 지금보다 더 큰 하강 속도 성분이 유발되므로 하강 버블의 비율이 좀 더 많이 나타나며, 뚜렷한 상승 주 유동이 나타나지 않고 버블의 유동이 또한 상하 좌우 성분이 강해 매우 복잡한 유동양상을 갖게 될 것이다.

## 3. 결론

APR1400 LBLOCA 재관수 기간 중 노심 재가열 현상에 대한 보다 신뢰성 있는 모델을 개발하기 위한 계면마찰계수 모델 검증용 버블 속도 및 유동 형태등에 대한 기초실험을 수행하였다. RELAP5 drift flux모델의 버블속도 상관식을 수정하기 위한 수정 상수값의 검증 데이터를 생산하였다.

## 감사의 글

본 연구는 한국원자력안전기술원의 위탁과제로 수행되었으며 과학기술부의 원자력 연구개발사업의 일환이다.

## 참고문헌

- [1] 정범동 외, Development of Interfacial Drag Model for Bubbly Flow in Downcomer during Reflood phase of APR1400 LBLOCA, 2004 춘계원자력학회.
- [2] Thermal Hydraulics Group "RELAP5/MOD3 Code Manual Volume 1 : Code Structure, System Models, and Solution Methods", Sciencetech, Inc. , NUREG/CR-5535 (1998)