

## 유도가열식 저온용융로내 용융유리의 버블링 현상 측정

최석모, 김천우, 박종길

한국수력원자력(주) 원자력발전기술원, 대전광역시 유성구 장동 25-1

[csm7921@khnp.co.kr](mailto:csm7921@khnp.co.kr)

### 1. 서론

유도가열식 저온용융로(CCIM) 내부 용융유리는 용융로 벽과 바닥면의 수냉각 영향으로 버블링이 없는 경우 일반적으로 500℃ 이상의 온도구배가 존재한다. 이 경우 용융유리의 점도 또한 5에서 200 poise 이상 영역까지 다양한 분포를 가지게 된다. 이러한 점도차이로 인하여 용융유리의 흐름이 방해받게 되어 용융유리 주변이 원활하게 혼합되지 않게 되면 유리화를 위해 투입하는 폐기물내의 무기물은 용융유리의 전 영역으로 전달되지 못하게 된다. 이런 경우 균질한 유리를 만들기 어렵게 되고 폐기물 처리율 감소 등 운영상의 문제점이 발생하게 된다. 이런 현상들을 이해하고 문제점들을 해결하기 위하여 CCIM과 유사한 환경을 만들어 몇 가지 변수에서의 버블링 모사실험을 수행하였고, 실제 유리용탕에서의 실측 등을 통하여 CCIM 내 용융유리의 버블링 현상을 이해하였다[1].

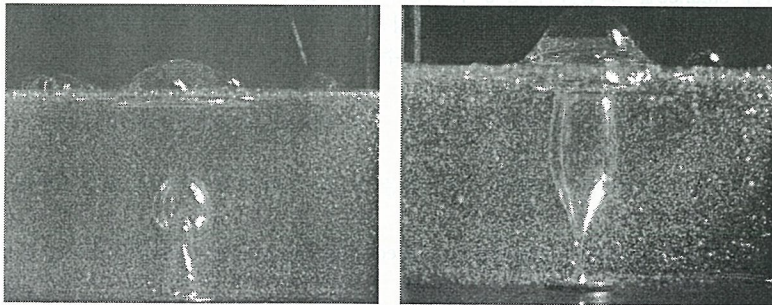
### 2. 본론

#### 가. 실험방법

시간에 따른 버블링 변화 현상을 측정하기 위하여 점도가 5에서 200 poise 되는 모사유체를 이용한 실험실 규모의 버블링 모사장치를 제작하였고 버블링 유량을 변화시켜 버블거동을 고속카메라로 촬영하였다. 실제 CCIM 용융유리에서는 버블의 단면현상을 관찰할 수 없기 때문에 버블의 표면만을 관찰하여 모사실험 결과와 비교, 평가하였다.

#### 나. 실험결과

모사유체를 이용하여 측정한 버블링 현상 중 주요한 특징은 2개의 버블이 유체 내에서 중첩되어 함께 상승하는 양상을 보이는 것이다. 즉, 처음으로 분출된 버블이 상부로 올라가면서 저항에 의해 갓모양으로 퍼지는 동안 첫 번째 버블에 의해 유도된 하부의 상승유동을 따라 두 번째 버블이 첫 번째 버블보다 빠르게 상승하여 중첩되는 현상이 발생하는 것이다. 시간이 지남에 따라 싱글버블의 생성주기와 중첩주기가 일치하지 않기 때문에 다시 개개의 버블이 중첩되지 않고 개별적으로 상승하다 다시 시간이 흘러 중첩되는 일종의 반복현상이 발생하였다. 특히 모사유체의 점도가 높은 경우 버블의 크기가 커지고 상승속도가 낮아짐에 따라 버블이 중첩되는 빈도가 상대적으로 커짐을 확인할 수 있었다. 표면위로 분출되는 버블의 형상은 낮은 점도의 모사유체일 경우 관성을 가진 버블이 저점도 모사유체의 약한 표면장력을 이기고 상부로 강하게 튀어오름에 따라 침탑과 같이 예리한 형상을 표면부에서 생성시키는 것을 확인할 수 있었다. 그림 1에 점도 10과 100 poise 일 때 버블유량 1.0 Nm<sup>3</sup>/h에서의 대표적인 버블모양을 나타내었다.



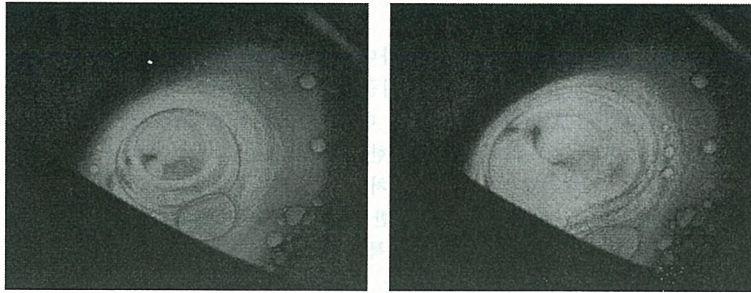
(a) 10 poise, 1.0 Nm<sup>3</sup>/h

(b) 100 poise, 1.0 Nm<sup>3</sup>/h

그림 1. 모사유체에서 버블의 점도 및 버블분출속도에 따른 버블링 현상의 변화

그림 2와 3은 실제 CCIM 유리용탕의 버블거동을 고속카메라를 사용하여 시간변화에 따라 촬영한 사진

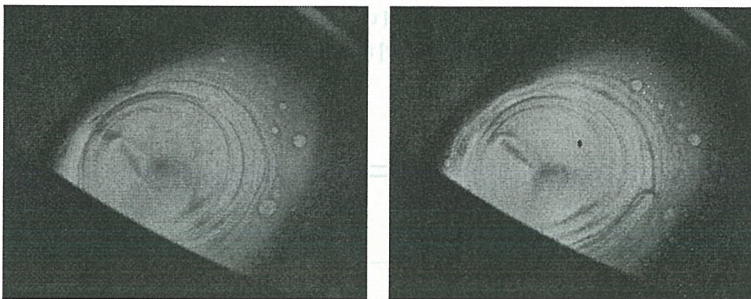
으로, 버블유량  $1.0 \text{ Nm}^3/\text{h}$  조건에서는 버블이 일정한 패턴이 없이 분출되는 비정상적인 거동을 보였다. 버블유량  $1.5 \text{ Nm}^3/\text{h}$  조건에서는 시간변화에 따라 버블이 표면에서 반구형상을 보이며 상승한 후 직경이 점차 증가하여 부피가 커지고 이후 중앙부로부터 구멍이 생긴 후 폭발하면서 원형띠를 형성하며 사라지는 형상이 반복되었다. 점도에 의해 원형띠 모양의 버블 흔적이 쉽게 사라지지 않고 나무의 나이테와 같이 중첩되는 형상이 확인되었다.



(a) t=0.0 sec

(b) t=1.0 sec

그림 2. 버블링 유량  $1.0 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 에서의 유리용탕 버블의 시간에 따른 변화 사진



(a) t=0.0 sec

(b) t=1.0 sec

그림 3. 버블링 유량  $1.5 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 에서의 유리용탕 버블의 시간에 따른 변화 사진

### 3. 결론

모사유체를 이용하여 점도, 버블유량, 시간변화에 따른 유체의 버블거동을 측정하였으며 실제 CCIM내 용융유리 버블현상과 모사유체의 결과를 상호 비교하였다. 실험실조건과 실제 CCIM내 유리용탕조건에는 다소 차이가 있었으나 유체의 점도, 시간, 유량 사이의 상관관계를 확인할 수 있었다. 모사유체의 버블링 자료와 CCIM내 용융유리 실측 버블링 자료는 버블링 유동데이터 후처리프로그램에 입력되어 유체의 유동장과 속도장을 계산하고 관심영역에 대한 정밀한 정량 데이터로 가공 하는데 유용하게 사용될 예정이다.

### 참고문헌

- [1] 중·저준위 방사성폐기물 유리화 원형플랜트 개발(II), 지식경제부, R-2002-A-214, pp.301-303, (2008)