

역전 유동층 내에서의 슬러리아이스 생성에 관한 실험적 연구

최영규⁺·윤석훈⁺⁺·오철⁺⁺⁺

An experimental study on formation of slurry ice in reversing flow

Young-gyu Choi⁺, Seok-hun Yoon⁺⁺ and Cheol Oh⁺⁺⁺

Abstract : This study experimented to observe an influence of experimental conditions on production characteristics of slurry ice by putting ball into test section to disturb ice adhesion. And at this experiment it used ethylene glycol-water solution and the concentration is 20wt%. The experimental apparatus was constructed of ethylene glycol-water solution and slurry ice storage tank, brine tank, pumps for ethylene glycol-water solution and brine circulating, a mass flow-meter, data logger for fluid temperature measuring and a vertical circular tube with two copper tubes as test section. The experiments were carried out under various conditions, with mean velocity of fluid at the entry ranging from 0.07 to 0.13m/s and ball diameter is 10mm, 15mm. Also ball filling rate is 33%, 50%.

Key words : Ball filling rate(충전율), Ice adhesion(빙부착), Slurry ice(슬러리아이스)

1. 서론

여름철 냉방에 따른 전력 수요량이 증가함에 따라 에너지 이용 효율 향상에 대한 관심이 높아지고, 최근 국내 및 국외의 슬러리아이스와 관련된 많은 연구, 개발과 실제 적용 사례가 알려지면서 슬러리아이스형 빙축열시스템에 대한 관심이 높아지고 있는 추세이다.

슬러리아이스는 냉에너지의 저장과 재생 및 수송^[1] 분야에서 그 장점과 기능이 입증되어 공조 분야의 축냉 시스템을 비롯하여, 지역 냉방용^{[2],[3]}, 농·수산물의 보관·판매용, 상업용, 의료용 등 광범위한 용도로 사용될 것으로 기대를 모으고 있다.

슬러리아이스를 만드는 방법에는 대표적인 방법은 분쇄기를 사용하는 방식과 스크래퍼 방식^[4]은 얼음을 슬러리 형태로 만들기 위해 추가적인 동력이 필요하기에, 본 실험에서는 소요되는 추가 동력을 제거하기 위하여 시험부 내에 가벼운 플라스틱 볼을 삽입하여 역전 유동층을 형성하고, 유체의 흐름에 따른 볼의 유동에 의해 냉각튜브 표면에 빙부착이 심화되기 전에 얼음 입자를 분리시켜 수 내지 수십 마이크로 단위의 슬러리아이스를 생성하도록 하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

Fig. 2.1은 실험장치의 계통도이다. 실험장치부는 크게 유체를 순환시키기 위한 유체 순환부와 시험부 내에서의 제빙 및 유체의 온도를 일정하게 유지시키기 위한 시스템 냉각부, 온도 측정부로 구성된다. 유체로는 에틸렌글리콜(Ethylene glycol, 이하 EG)수용액을 사용하였다. EG는 물에 혼합되기 쉽고 분자 구조적으로 비교적 물과 무기물 사이에 개입하기 쉬운 구조를 하고 있으며, 또한 소량사용 시 환경에 큰 영향을 주지 않는 물질로 알려져 있다.^[5]

시험부는 $\varnothing 100\text{mm}$, 600mm길이의 아크릴관 내에 $\varnothing 15\text{mm}$ 동관을 삽입하고, 동관 내에 냉매가 흐르도록 하였다.

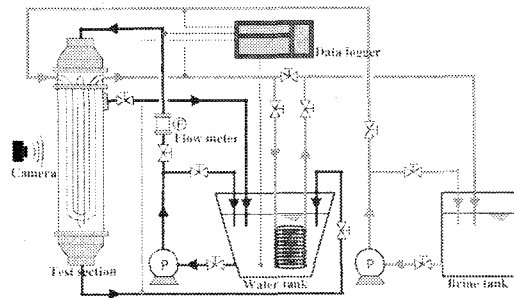


Fig. 2.1 Schematic diagram of experimental apparatus

2.2 실험방법

시험부 내로 유입되는 냉매의 온도는 -20°C 로 일정하게 하였으며, 실험 시작 전에 유체를 냉각하여 온도를 안정시킨 후 유체의 유속을 실험조건에 맞게 조정후 6시간동안 슬러리아이스의 제빙 상태를 관찰하였다.

볼의 직경(\varnothing)은 10mm, 15mm의 두 가지를 사용하였으며, ‘볼을 삽입한 양과 시험부 전체 용적의 비’를 충전율(Ball filling rate)로 정의하고, 충전율 33%, 50%일 때의 경우와 볼의 유동이 없는 경우를 살펴보았다. 또한 유속에 따른 영향을 평가하기 위하여 0.07m/s, 0.10m/s, 0.13m/s의 세 가지 경우의 실험을 수행하였다.

슬러리아이스의 제빙량을 정량화하기 위해, 전체 유량 중에서 슬러리아이스 입자가 생성된 양을 IPF(%)로 표시하였으며 전체 유량과 실험 종료 시의 에틸렌글리콜의 농도를 측정하여 농도에 따른 부피 식을 구하고, 초기조건인 에틸렌글리콜 20% 수용액 일 때의 부피 식과 연립방정식을 통하여 IPF 산출하였다.

⁺ 최영규(한국조선기자재연구원), E-mail:choiyg77@komeri.re.kr, Tel: 051)405-6897

⁺⁺ 윤석훈, 한국해양대학교 기관시스템공학부

⁺⁺⁺ 오 철, 한국해양대학교 기관시스템공학부

3. 실험결과 및 고찰

3.1 평균유속에 대한 영향

Fig. 3.1은 삽입한 볼의 직경이 10mm의 경우에 있어서, 평균유속이 0.07m/s, 0.10m/s, 0.13m/s로 변화할 때 평균유속의 변화가 슬러리아이스 생성에 미치는 영향을 나타낸다. 볼의 유동이 없는 경우, 평균유속이 증가함에 따라 IPF값도 증가함을 알 수 있으며, 이는 유속증가가 진열표면에서의 열전달효과의 증가에 따라 얼음 부착을 방해하려는 경향을 보여주기 때문이다. 그리고 충전율이 33%의 경우 평균유속이 0.13m/s의 경우가 충전율 50%의 경우보다 IPF값이 큰 것은 평균유속의 증가에 따른 볼의 유동이 충전율 33%의 경우가 더 활발하기 때문이며, 충전율 50%의 경우에는 볼의 과다 충전으로 인하여 시험부의 하부에 일부의 볼이 정체되는 현상을 나타내고, 이것이 유동을 방해하기 때문에 IPF의 값이 작게 나타난다고 생각된다. 볼의 정체현상은 평균유속이 증가할수록 크게 나타났다.

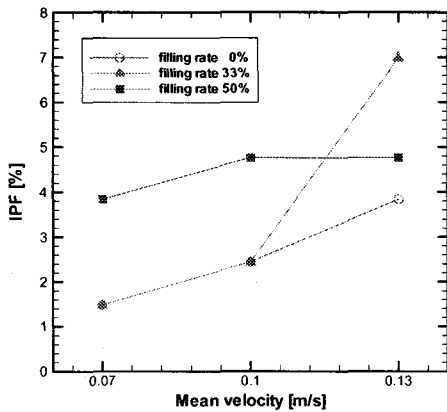


Fig. 3.1 Effect of mean velocity at ball diameter 10mm

3.2 충전율에 대한 영향

Fig 3.2는 볼의 직경이 10mm의 경우에 충전율이 슬러리아이스 생성량에 미치는 영향을 나타낸다. 볼을 충전하였을 경우와 평균유속이 증가할수록 큰 값을 나타내는데 이는 앞에서 설명한 바와 같이 볼의 유동이 얼음의 부착을 방해하기 때문이다. 또한, 0.13m/s의 경우 충전율이 50%의 경우에는 반대로 IPF의 값이 작게 나타나는데 이는 볼의 과다 충전으로 인하여 볼 사이의 충돌이 많아져 시험부 하부에서 볼의 정체영역이 발생하여 시험부 하부의 얼음의 부착을 억제하지 못하기 때문이다.

3.3 유동물질 크기에 대한 영향

Fig. 3.3은 충전율이 50%의 경우에 볼의 직경에 따른 슬러리아이스 생성량에 미치는 영향을 나타낸다. 볼의 직경이 증가함에 따라 IPF의 양은 증가하고 있으나 평균유속 0.1m/s의 경우에는 15mm에서 IPF값이 적어지는데 이는 평균유속에 의한 하부로의 유동특성과 볼 체적에 따른 부력과의 평형관계에서 볼이 하부까지 미치지 못하고 상승하는 볼과의 충돌에 의해서 유동이 원활하지 못하기 때문이다. 반면에 0.07m/s의 경우 평균유속이 작아 상기와 같은 충돌현상이 적어 상대적으로 IPF의 값이 증가하고 있다.

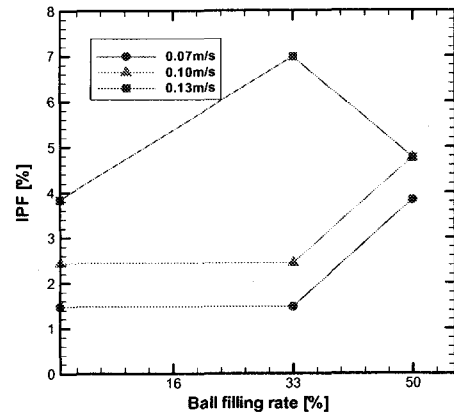


Fig. 3.2 Effect of ball filling rate at ball diameter 10mm

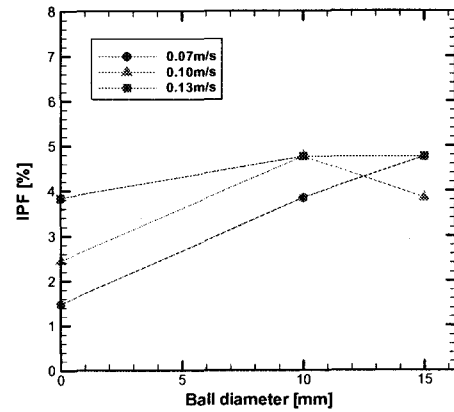


Fig. 3.3 Effect of ball diameter at ball filling rate 50%

4. 결론

- 본 연구는 본 실험 범위 내에서 다음과 같은 결론을 얻었다.
1. 유동체가 없는 경우, 유속 증가에 따라 IPF값도 증가한다.
 2. 유동체가 있는 경우가 없는 경우보다 IPF값이 크다.
 3. 충전율 33%의 경우가 유속에 따른 IPF값 증가가 더 크다.
 4. 볼의 유속과 부력의 크기에 따라, 볼의 유동특성 및 IPF값은 영향을 받는다.

참고문헌

- [1] 이동원, "아이스슬러리를 이용한 냉열수송", 대한설비공학회지(설비저널), pp.8~14, 2001.
- [2] 이봉진 외 3인, "냉수 및 아이스슬러리 직접수송 지역냉방 시스템의 경제성 평가", 대한설비공학회 동계학술발표대회 논문집, pp.27~32, 2004.
- [3] 이윤표, "지역냉방용 아이스슬러리 시스템의 특성", 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, pp.1223~1228, 2004.
- [4] 임효목 외 1인, "스크래퍼형 아이스슬러리 제빙기", 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, pp.461~468, 2004.
- [5] 강채동 외 3인, "수용액의 교반/냉각을 동반한 슬러리 얼음의 빙부착", 설비공학논문집, pp.1071~1077, 2002.