

특수배관에서의 아이스슬러리 유동특성

이동원*, 윤찬일**, 임효묵***

Flow Characteristics of Ice Slurry in Special Pipings

Dong Won Lee*, Chan Il Yoon** and Hyo Mook Im***

Key Words : Ice Slurry(아이스슬러리), Direct Transportation(직접수송), Flow Characteristics(유동특성)

Abstract

The flow characteristics of ice slurry which was made from 6.5% ethylene glycol-water solution flowing in the special pipings including the enlargement, the contraction and the orifice were experimentally investigated. The flow patterns and the pressure drops were measured in acrylic pipes when the fraction of ice were varied from 0 to 30%. The pressure drop behavior of the contraction and the orifice appears to be similar to that of the elbow pipe, since these piping may provide similar frictional resistance to the elbow. In the mean while, the pressure drop increased unexpectedly high with the ice fraction in the enlargement pipe. It seems that the onset of sharp increase in the pressure drop depends on the flowing time as well as the ice fraction and the flow rate.

1. 서론

물 또는 수용액에 수십 μm 에서 수 mm 정도의 작은 얼음입자가 섞인 2상유체(Solid-Liquid Fluid)인 아이스슬러리는, 제빙 및 해빙특성이 우수하고 유동성이 있다는 장점을 가지고 있다. 유동성이 있는 아이스슬러리는 일반배관을 통하여 직접수송할 수 있는데, 이 경우 단위유량당 냉열수송량이 커서 건물의 냉방은 물론 지역냉방 시스템, 그리고 각종 산업용 냉각 시스템에 효과적으로 활용될 수 있는 것으로 알려져 있다[1]. 아이스슬러리를 일반배관을 통해서 직접수송하는 경우, 얼음입자가 서로 응집하여 배관을 막는 관내밀폐 현상이 발생하지 않도록 하는 것이 중요하며, 이 외에 배관내 유동특성을 정확하게 파악하는 것도 필요하다. 아이스슬러리의 유동특성에 대한 연구는 투명 배관을 통한 유동형태의 관찰과 함께 배관내 압력강하 특성을 분석하는 것으로 1980년대 중반부터 간헐적으로 연구가 수행되어 왔다. 특히 아이스슬러리 제빙기가 상용화되고 그 활용 가능성이 알려진 1990년대 중반 이후부터는 많은 연구가 수행되었는데, 국내에서도 관련 연구[2]가 진행되고 있다.

아이스슬러리의 직접수송을 저해하는 가장 중요한 요소인 관내밀폐는, 일반적으로 유속이 갑자기 감소 또는 정체하는 부분과 배관경이 급격히 축소되는 부분에서 발생할 수 있는 것으로 알려져 있다[3]. 유속이 감소하는 경우에는 얼음입자가 배관상단부로 부유하면서 응집하여 배관을 밀폐시킬 수 있으며, 배관경이 축소되는 부분에서는 얼음입자가 서로 겹쳐지면서 압착되고 이것이 배관을 밀폐시킬 수 있기 때문이다. 아이스슬러리

직접수송 배관에서의 관내밀폐는 매우 중요하지만 이에 대한 기존 연구는 극히 드문 실정이며, 그 연구결과[3] 또한 수십 mm 크기의 각빙을 이용한 결과이기 때문에, 일반적으로 이용되고 있는 아이스슬러리의 경우에는 다른 결과가 나타날 것으로 예상된다.

본 연구에서는 상용화된 제빙기를 이용하여 EG 6.5% 수용액으로 제빙된 아이스슬러리의 확장 및 축소관, 그리고 오리피스에서의 유동특성을 살펴보았다. 가시화 배관을 이용하여 유동형태를 관찰하였으며, 얼음입자의 비율에 따른 압력강하 특성을 분석하여 그 결과를 비교하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험 및 측정장치

확관 및 축소관, 그리고 오리피스와 같은 특수배관에서의 아이스슬러리 유동특성을 파악하기 위한 실험장치는 실외기와 연결된 제빙기, 축열조, 그리고 유동형태를 관찰하고 압력강하 등을 측정하기 위한 실험회로로 구성하였다. 실험회로를 제외한 실험장치는 기 발표된 연구내용[2]과 동일하며, 본 연구의 실험회로는 Fig. 1과 같다.

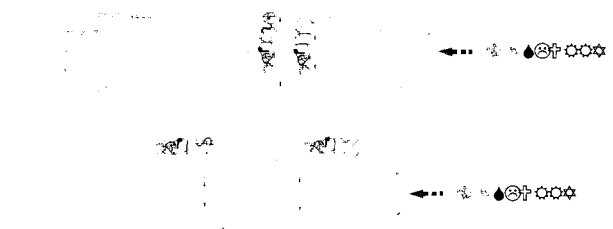


Fig.1 Schematic diagram of various pipings.

* 한국에너지기술연구원, dwlee@kier.re.kr
** 농협, yoonchanil@hanmail.net
*** 디와이 주식회사, lhymook@yahoo.co.kr

주 실험회로는 내경 24mm의 아크릴 관을 이용하여 제작하였으며, 그 사이에 내경 49mm, 길이 1.5m의 아크릴 관을 삽입하여 확관과 축소관을, 그리고 내경 18mm인 오리피스를 삽입하여 특수배관을 구성하였다. 실험회로에 유입되는 아이스슬러리의 유량과 밀도는 질량유량계를 이용하여 측정하였고, 측정된 아이스슬러리의 밀도는 얼음입자의 체적분율 IPF(Ice Packing Factor)로 변환되었다. 또한 각 배관의 압력강하는 차압계를 이용하여 측정하였으며, 컴퓨터와 연결된 측정장치를 통해 모든 데이터를 4초 간격으로 측정하였다.

2.2 실험방법

축열조내 6.5% EG 수용액을 채우고 제빙기로 아이스슬러리를 제빙하였으며, 아이스슬러리가 어느 정도 제빙되었다고 판단되면 실험회로로 순환시키면서 정확한 IPF를 측정하였다. 측정된 IPF가 30% 이상이면 제빙을 멈추고 실험을 시작하였는데, 일정한 유량의 아이스슬러리를 실험회로에 유입시키면서 배관내 차압 등을 측정하였다. 실험중 외기로의 열손실과 축열조내 히터에 의해 아이스슬러리의 IPF는 점차 감소하고, 따라서 유량이 일정한 경우 IPF 변화에 따른 차압의 변화를 측정할 수 있었다. 측정된 데이터는 유량, IPF 그리고 차압이 안정된 2분 이상의 데이터를 평균하여 하나의 측정 데이터로 간주하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 2는 확관에 유입되는(우측에서 좌측으로) 아이스슬러리의 유동형태를 찍은 사진이다. 확관으로 유입된 아이스슬러리는 유속이 급격히 감소하게 되고, 이에 따라 아이스슬러리내 얼음입자가 부유하여 배관 상단부에 응집함으로써 구름과 같은 피(cluster)를 형성하는 것을 확인할 수 있다. 응집된 얼음입자는 점차 커지게 되면서 수류축의 점성 전단력에 의해 단속적으로 하류로 밀려가고, 다시 새로운 얼음입자가 배관 상단부에 응집하는 것을 반복하였다. 그러나 유량이 적은 경우에는 응집된 얼음입자가 확관부 주변에 오랫동안 머물면서 보다 큰 피를 형성하게 되고, 이에 따라 유동에 영향을 미치는 것을 볼 수 있었다.

아이스슬러리내 얼음입자의 비율에 따른 압력강하 특성을 정확하게 파악하기 위해서, IPF가 0일 때(얼음입자가 없는 수용액 상태) 측정된 압력강하(ΔP_L)와 얼음입자가 포함된 아이스슬러리의 압력강하(ΔP_s)와의 비율을 다음과 같이 정의하였다.

$$\epsilon = \frac{\Delta P_s}{\Delta P_L} = \frac{f_s}{f_L} \quad (1)$$

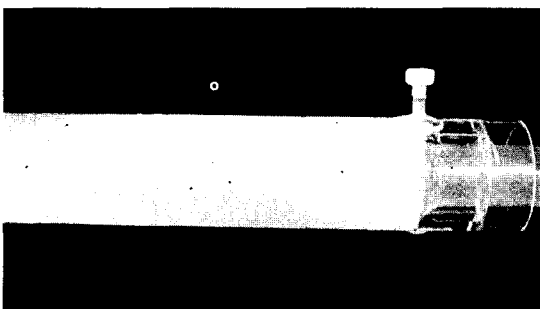


Fig. 2 Flow pattern in the enlargement.

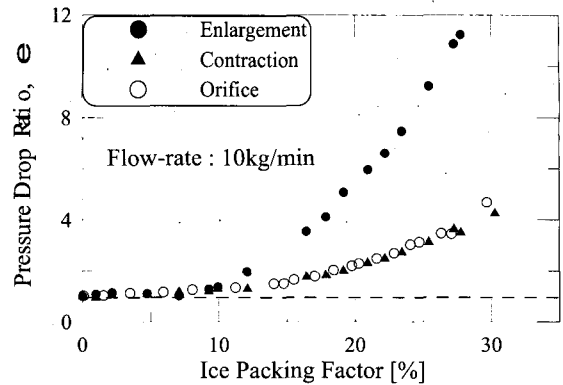


Fig. 3 Pressure drop ratio with IPF.

Fig. 3은 아이스슬러리의 유량이 10kg/min인 경우, IPF 변화에 따른 각 배관에서의 압력강하 비율 변화를 나타낸 것이다. 축소관과 오리피스에서는 IPF의 증가에 따라 압력강하가 서서히 증가하지만, 확관에서는 어떤 IPF에서 압력강하가 급격히 증가하는 것을 볼 수 있다. 축소관과 오리피스에서의 이러한 현상은 이전의 연구[2]에서 다른 엘보우에서의 압력강하 특성과 같은 것으로, 이 결과로부터 아이스슬러리 유동에 있어서 축소관 및 오리피스의 유동저항은 엘보우의 유동저항과 유사하다는 것을 확인할 수 있었다. 반면에 확관에서의 압력강하는 매우 불안정하게 나타났으며, 유량과 IPF만이 아니라 시간에 따라서도 다른 값을 나타내는 경우가 있었다.

4. 결론

확관 및 축소관, 그리고 오리피스에 있어서 아이스슬러리의 유동특성을 실험적으로 살펴보았고, 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

축소관 및 오리피스에서의 아이스슬러리 유동특성은 일반적인 엘보우에서의 유동특성과 유사하였으며, 특이한 압력강하 변동 등이 나타나지 않았다. 그러나 확관으로 유입된 아이스슬러리는 유속의 감소에 의해 얼음입자가 배관 상단부로 부유하여 응집하는 것을 확인할 수 있었다. 이로 인해 압력강하의 급격한 증가가 측정되었으며, 유량과 IPF 뿐만 아니라 경과시간도 압력강하 변화에 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 따라서 아이스슬러리 직접수송 배관을 구성하는 경우, 확관의 설치에 매우 유의해야 할 것으로 판단되었다.

참고문헌

- [1] Lee, D. W., Ice slurry type storage system and utilization, The Magazine of the SAREK, Vol. 30, No. 6 (2001), pp. 21-26.
- [2] Lee, D. W., Yoon, C. I. and Yoon, E. S., Experimental study on flow patterns and pressure drop characteristics of ice slurry in small size pipe(1), (2), Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 14, No. 5 (2002), pp. 385-397.
- [3] Shirakashi, M., Sato, K., Sato, S., Koshio, A., Umemura, T. and Wakiya, S., Hydraulic conveying of snow(IV. Flow pattern of snow/water mixture in straight pipes), Japanese Journal of Snow and Ice, Vol. 46, No. 4 (1984), pp. 163-170.