

# 다양한 각도의 곡관 내에서 아이스슬러리의 유동에 따른 영향

김 규 목, 박 기 원\*, 권 일 옥\*\*

여수대학교 대학원, \*여수대학교 냉동공학과, \*\*(주)한국마이콤화학플랜트

## Effect on Ice Slurry Flowing in the Elbow of Various Angle

Kyu-Mok Kim, Ki-Won Park\*, Il-Wook Kwon\*\*

Graduate School, Yosu National University, Yeosu 550-749, Korea

\*Department of Refrigeration Engineering, Yosu National University, Yeosu 550-749, Korea

\*\*Mycom Korea Chemical Plant Co., Gwangju 500-881, Korea

(Received October 20, 2003; revision received December 19, 2003)

**ABSTRACT:** Recently, the government introduced the thermal storage system for reducing the electric power load. Especially, the ice slurry type has gained lots of interest due to its good heat transfer and flowing characteristics.

This study was performed to understand the effects of transporting ice slurry through elbows of various angle. Propylene glycol water solution was used and about 2 mm ice particles were circulated. The experiments were carried out under various conditions, such as concentration and velocity of water solution ranging between 0~20 wt%, 1.5~2.5 m/s, respectively. And elbows with 4 different angles of 30°, 45°, 90°, 180°. The differential pressure and IPF (ice packing factor) between the pipe entry and exit were measured.

The tendency of pressure loss and outlet IPF in elbow is that the pressure loss was reduced as concentration and flow velocity of water solution is increased, and low value appeared at 10 wt% and 2.5 m/s. The variation of outlet IPF was compared with the inlet IPF in the range of ±20%.

**Key words:** Ice slurry(아이스슬러리), Elbow(곡관부), Pressure loss(압력손실), IPF(빙충전율)

### 기 호 설 명

### 하첨자

$C$  : 수용액의 농도 [wt%]

$D$  : 관경 [mm]

IPF : 빙충전율(Ice Packing Factor) [%]

$\Delta P$  : 압력손실 [Pa]

$R$  : 곡률반경 [mm]

$V$  : 유속 [m/s]

$in$  : 입구

$out$  : 출구

$sol$  : 수용액

### 1. 서 론

지구환경보존과 에너지 유효이용이라는 측면에서 소비전력부하의 평준화가 가능한 빙축열 시스템의 도입이 추진되고 있다. 또한 아이스슬러리는 큰 축열밀도와 우수한 유동성을 지니고 있어

† Corresponding author

Tel.: +82-61-659-3274; fax: +82-61-659-3274

E-mail address: pkw@yosu.ac.kr

냉열축열 수송매체로 주목받고 있는데, 아이스슬러리는 얼음에서 물로의 상변화시 발생하는 융해 잠열과 융해 후의 현열도 이용할 수 있기 때문에 시스템의 냉열 수송밀도를 높일 수 있다. 이로 인해 배관경을 줄일 수 있고, 설비의 소형화, 설비비의 절감을 도모할 수 있으며, 열손실과 수송 동력의 절감도 도모된다.

그러나 아이스슬러리의 수송을 이용한 냉방설비로는 국내에서는 아직 그다지 활용화되지 않고 있다. 국외의 경우에는 일본, 캐나다, 미국 등지에서 점차적으로 증가되고 있는 실정이다.<sup>(1,2)</sup> 그러나 관내에서 슬러리가 미치는 영향에 대해 완전히 파악하지 못하고 있기 때문에, 관내 유동 슬러리의 IPF를 높일 수 없는 등 해결해야 할 많은 문제를 안고 있는 실정이다.

지금까지 주로 연구되고 있는 내용으로는 수평 관내에서의 유동특성으로써 Torikoe et al.<sup>(3)</sup>이 유속과 관경에 따른 압력손실에 대해 보고하였으며, Murai et al.<sup>(4)</sup>은 아이스슬러리의 IPF를 변화시켜 가며 수평이중관 열교환기에서의 열통과율, 열전달률을 측정하였다. 그리고 수직관에서는 Takahashi et al.<sup>(5)</sup>이 유동방향에 따른 압력손실을 측정하였다. 이외에 국내에서도 Lee et al.<sup>(6,7)</sup>에 의한 수평관, 수직관 등에서의 연구와 Park et al.<sup>(8)</sup>에 의한 분기관에서의 연구 등이 있지만, 아직까지 다양한 관내에서의 아이스슬러리 유동에

대한 연구결과가 미흡할 뿐만 아니라 명확하게 밝혀져 있지 않은 실정이다.

그러나 아이스슬러리를 효과적으로 수송하기 위해서는 수송액의 농도, 유속 등 관 내부와의 관계 및 여러 가지 조건하에 있는 관내에서의 아이스슬러리 유동특성에 대하여 보다 근본적으로 명확하게 파악하지 않으면 안될 것이다.

따라서 본 연구에서는 유동 아이스슬러리를 필요로 하는 열교환기까지 효율적으로 수송할 수 있도록 있도록 하기 위한 배관시스템 중에서 다양한 각도를 가지는 곡관부를 그 대상으로 하였다. 이러한 부분에서의 아이스슬러리 유동특성을 파악함으로써 근본적인 문제를 해결하는 기초자료를 제공하고자 한다. 이를 위하여 본 논문에서는 곡관부에서의 압력손실과 IPF 변화에 대해 정리하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

본 연구에 이용된 실험장치의 개략도는 Fig. 1과 같으며, 실험장치의 주요 부분으로는 아이스슬러리 혼합탱크, 볼텍스펌프, IPF 측정기, 차압 측정용 manometer, 유속측정부, 유동안정화구간부, 그리고 시험부로 구성하였다.

곡관시험부로는 곡률 반경  $R=1.5D$ 를 기준으로 하여 각도  $30^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 180^\circ$ 의 4종을 가공하

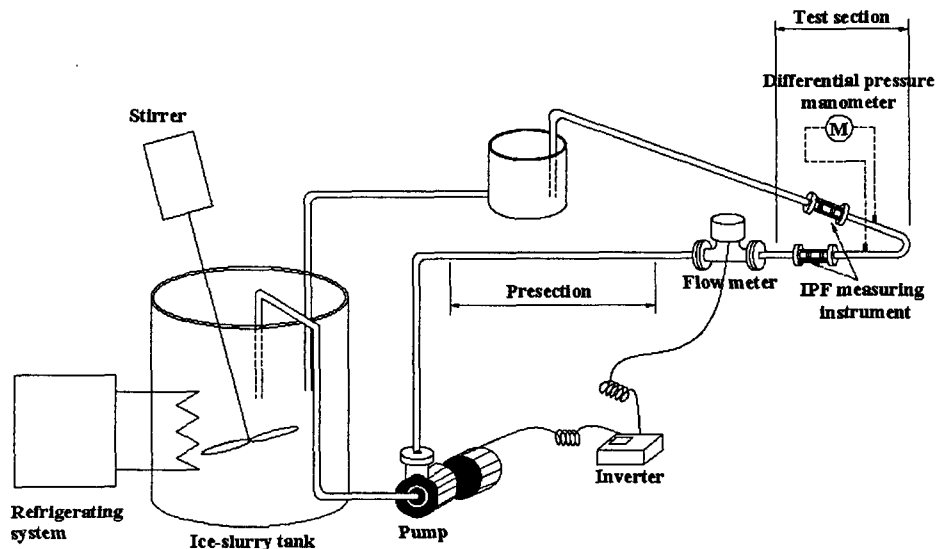


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental apparatus.

여 그 대상으로 하였으며, 시험부의 내경은 25 mm로 하였고, 시험부의 입구측과 출구측 각 1개 소씩 차압측정용 manometer와 IPF 측정기를 설치하였다.

차압측정에는 수은주 마노메타(내경 4 mm)를 이용하였고, IPF 측정기는 전기전도도법에 의한 수송관내의 IPF를 측정하는 방법<sup>(8-11)</sup>을 사용하였다. 또 아이스슬러리가 일정유속으로 공급되도록 공급유속에 따라 인버터를 사용하여 펌프의 회전수를 조정하였으며, 각 시험부의 입구측로 공급되는 아이스슬러리가 일정속도로 가속될 수 있도록 충분한 유동안정화구간부(길이 약 700 mm)를 설치하였다.

아이스슬러리 혼합탱크로는 스테인레스제 탱크를 사용하고, 내부의 얼음입자가 고착되거나 용해되지 않는 온도로 유지되도록 냉동장치를 부착하였다. 또 혼합탱크 내에는 교반기(최대 0.4 kW, 3,000 rpm)를 설치하여, 혼합탱크 내에 투입된 얼음입자와 수용액이 안정되고 균일한 상태로 유지되면서 수송용 볼텍스펌프(최대 1.5 kW, 0.2 m<sup>3</sup>/min)로 유입되도록 하였다.

본 실험에서는 수용액의 농도를 0, 10, 20 wt%로 조정하였는데, 수용액으로는 고순도의 프로필렌글리콜(CH<sub>3</sub>CH(OH)CH<sub>2</sub>OH, 분자량 76.10)과 수도수를 이용하여 제조하면서 일정농도가 유지되도록 하였다.

본 실험에서 사용한 얼음입자는 일정농도로 조절된 프로필렌글리콜 수용액을 용기 내에 채우고 이를 약 -20℃인 냉동고 속에서 약 24시간에 걸쳐 얼린 것을 쇠빙기로 절삭한 다음 이 얼음입자를 다시 -20℃에서 약 24시간 이상을 저장한 뒤에 사용하였다. 이 얼음입자 200개를 샘플로 채집하여 입자 직경을 측정한 결과 1.7~2.2 mm의

입자 직경을 가지고 있고, 평균 입자경은 1.943 mm인 것을 확인하였다.

본 실험에 있어서는 아이스슬러리의 곡관내의 유동특성에 영향을 미치는 인자라고 생각되는 아이스슬러리의 공급유속, 아이스슬러리의 공급 IPF 및 곡관시험부의 형상에 따라 실험을 행하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 압력강하

##### 3.1.1 30° 곡관부

Fig. 2에는 30° 곡관부에서의 압력손실 ΔP 측정결과를 관내 유속과 수용액의 농도에 따라 정리한 것이다.

우선 수용액의 농도에 따라 살펴보면, 전반적으로 농도 10 wt%일 때의 압력손실이 가장 적게 나타나고 있으며, 얼음입자를 높은 IPF로 공급할 수 있는 가능성에 있어서는 농도 20 wt%인 경우가 가장 높게 나타나고 있다. 이는 수용액을 첨가하지 않고 물만 유동시킨 0 wt%인 경우에는 공급되는 온도와 압력손실의 영향으로 인해 얼음입자의 덩어리짐이 빨라지고, 이로 인해 더욱 압력손실이 커지는 경향을 띠고 있는 것으로 생각되며, 수용액의 농도가 높을수록 얼음의 덩어리짐을 막을 수 있어 높은 IPF를 나타내는 것으로 생각된다.

유속에 따라서는 전체적으로 유속이 빠를수록 압력손실이 줄어들고 있음을 알 수 있다. 이는 유속이 느린 상태에서는 수용액에 함유된 얼음입자가 관벽을 따라 부상함으로써 인해 압력손실이 커지지만, 유속이 빨라지면 얼음입자가 관 중심부로 몰려 관벽 주위에는 액막이 형성되어 관벽

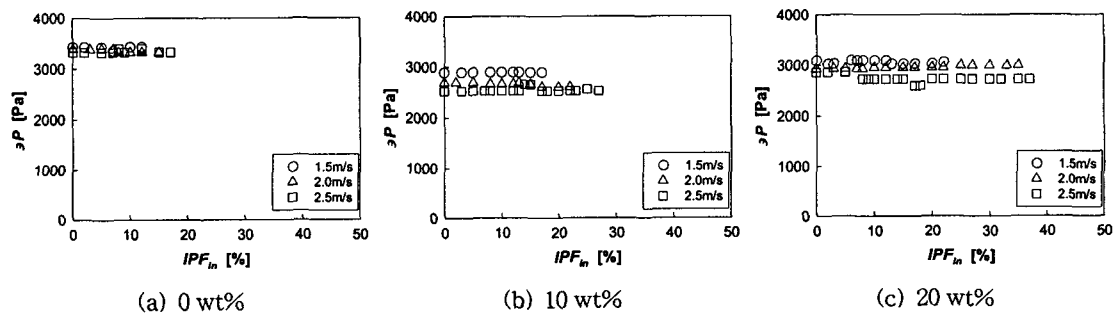


Fig. 2 Pressure drop at 30° elbow for various velocity of the water solution.

과의 마찰이 감소하기 때문으로 생각된다. 이런 현상은 수용액의 농도가 0 wt%인 경우를 제외하고는 비교적 뚜렷하게 나타나고 있다. 이런 경향으로 미루어 볼 때 수용액의 농도가 10 wt% 이상이고 유속 2.0~2.5 m/s 사이에서 압력손실이 가장 낮아질 것으로 생각된다.

공급되는 IPF<sub>in</sub>에 따라서는 IPF가 증가함에 따라 압력손실이 그다지 변화하지는 않으나 약간의 감소경향을 나타내고 있다. 이런 현상은 수용액의 농도 20 wt%이고 유속 2.5 m/s일 때 가장 뚜렷하게 나타나고 있다. 그 이유는 앞에서와 같이 농도가 높음으로 인해 관벽에서의 미끄러짐이 활발해지고, 유속이 빠를수록 관 중심부로 얼음입자가 모이기 때문이라고 생각된다.

3.1.2 45° 곡관부

Fig. 3에는 45° 곡관부에서의 압력손실 ΔP 측정결과를 관내 유속과 수용액의 농도에 따라 정리한 것이다.

우선 수용액의 농도에 따라 살펴보면, 전반적으로 농도 10 wt%일 때의 압력손실이 가장 적게 나타나고 있으며, 얼음입자의 공급 가능성에 있어서도 농도 20 wt%인 경우와 크게 다르지 않음을 알 수 있다. 이는 수용액을 첨가하지 않고 물만 유동시킨 0 wt%인 경우에는 공급되는 온도와 압력손실의 영향으로 인해 얼음입자의 덩어리짐이 빨라지고, 이로 인해 더욱 압력손실이 커지는 경향을 띠고 있다.

유속에 따라서는 전체적으로 유속이 빠를수록 압력손실이 줄어들고 있음을 알 수 있다. 이는 유속이 느린 상태에서는 수용액에 함유된 얼음입자가 관벽을 따라 부상함으로써 인해 압력손실이 커지지만, 유속이 빨라지면 얼음입자가 관 중심

부로 몰려 관벽 주위에는 액막이 형성되어 관벽과의 마찰이 감소하기 때문으로 생각된다. 이런 현상은 수용액의 농도가 0 wt%인 경우에 더욱 뚜렷하며 농도 20 wt%에서보다 10 wt%에서 그 경향이 다소 약하다. 특히 농도 10 wt%에서는 유속의 영향이 가장 둔하게 작용하고 있음을 알 수 있다. 이런 경향으로 미루어 볼 때 수용액의 농도가 10 wt% 이상이고 유속 2.0~2.5 m/s 사이에서 압력손실이 가장 낮아지는 것으로 생각된다.

또 공급 IPF<sub>in</sub>이 증가하더라도 압력손실에는 큰 변화가 나타나지 않고 있으나, 약간의 감소경향을 띠고 있기는 하다. 이런 경향은 유속 2.5 m/s 일 때 가장 뚜렷하게 나타나고 있다.

3.1.3 90° 곡관부

Fig. 4에는 90° 곡관부에서의 압력손실 ΔP 측정결과를 관내 유속과 수용액의 농도에 따라 정리한 것이다.

우선 수용액의 농도에 따라 살펴보면, 전반적으로 수용액을 첨가한 경우의 압력손실이 적게 나타나고 있으며, 얼음입자의 공급 가능성에 있어서도 20 wt%인 경우에 공급 IPF가 증가하고 있음을 볼 때 수용액의 농도가 짙어질수록 슬러리의 다량공급이 가능할 것으로 생각된다. 이는 수용액을 첨가하지 않고 물만 유동시킨 0 wt%인 경우에는 공급되는 온도와 압력손실의 영향으로 인해 얼음입자의 덩어리짐이 빨라지고, 이로 인해 더욱 압력손실이 커지는 경향을 띠고 있다.

유속에 따라서는 전체적으로 유속이 빠를수록 압력손실이 줄어들고 있음을 보여주고 있으나 수용액의 농도 10 wt%와 20 wt%일 때에는 유속 1.5 m/s일 때보다 유속 2.5 m/s일 때의 압력손실이 크게 나타남을 알 수 있다. 이는 유속이 느린

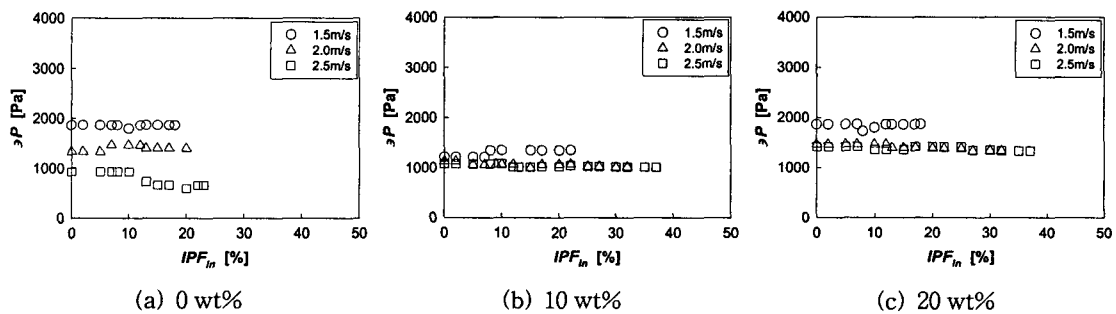


Fig. 3 Pressure drop at 45° elbow for various velocity of the water solution.

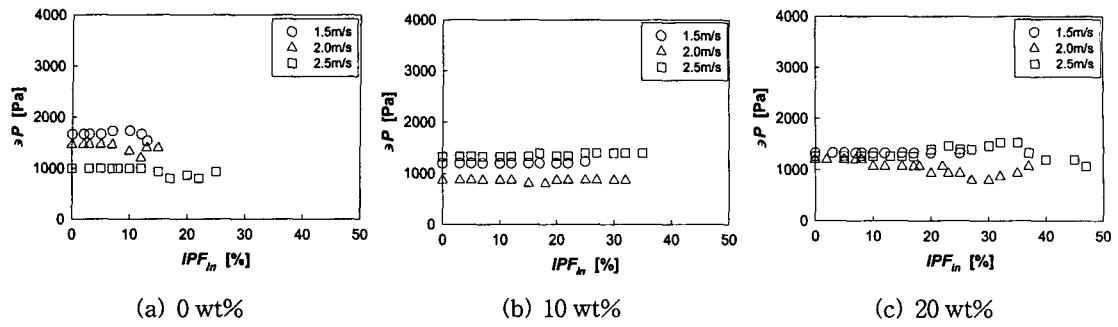


Fig. 4 Pressure drop at 90° elbow for various velocity of the water solution.

상태에서는 수용액에 함유된 얼음입자가 관벽을 따라 부상함으로써 인해 압력손실이 커지지만, 유속이 빨라지면 얼음입자가 관 중심부로 몰려 관벽 주위에는 액막이 형성되어 관벽과의 마찰이 감소하기 때문으로 생각된다. 그러나 수용액의 농도 10 wt%와 20 wt%에서는 유속 1.5 m/s일 때보다 2.0 m/s일 때의 압력손실이 낮아지다가 유속이 2.5 m/s로 증가하면 급격하게 압력손실이 증가하고 있음을 볼 때 90° 곡관부에서는 유속 2.0 m/s 근처에서 압력손실이 가장 낮아지는 것으로 생각되고, 그 이상의 유속에서는 압력손실이 급격하게 증가하게 된다.

공급 IPF<sub>in</sub>의 증가에 따라서는 큰 변화는 없지만 약간의 감소추세를 보이고 있다. 특히 수용액의 농도 0 wt%에서의 유속 2.5 m/s, 농도 20 wt%에서의 유속 2.0 m/s일 때 고 IPF에서 압력손실이 다소 감소하고 있다.

3.1.4 180° 곡관부

Fig. 5에는 180° 곡관부에서의 압력손실 ΔP 측정결과를 관내 유속과 수용액의 농도에 따라 정리한 것이다.

우선 수용액의 농도에 따라 살펴보면, 수용액을 첨가하지 않은 경우(0 wt%)보다 수용액을 첨가한 경우의 압력손실이 적게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이는 수용액을 첨가하지 않고 물만 유동시킨 0 wt%인 경우에는 공급되는 온도와 압력손실의 영향으로 인해 얼음입자의 덩어리집이 빨라지고, 이로 인해 더욱 압력손실이 커지는 경향을 띠고 있다.

유속에 따라서는 전체적으로 유속이 빠를수록 압력손실이 줄어들고 있음을 알 수 있다. 이는 유속이 느린 상태에서는 수용액에 함유된 얼음입자가 관벽을 따라 부상함으로써 인해 압력손실이 커지지만, 유속이 빨라지면 얼음입자가 관 중심부로 몰려 관벽 주위에는 액막이 형성되어 관벽과의 마찰이 감소하기 때문으로 생각된다. 이런 현상은 수용액의 농도가 0 wt%인 경우를 제외하고는 뚜렷하게 나타나고 있으며 농도 10 wt%, 유속 2.5 m/s인 경우에는 IPF 약 15% 정도에서 IPF가 증가함에 따라 압력손실이 크게 줄어들고 있음을 알 수 있다. 이런 경향으로 미루어 볼 때 수용액의 농도가 10 wt% 이상이고 유속 2.5 m/s 정도에서 압력손실이 가장 낮아지는 것으로 생각된다.

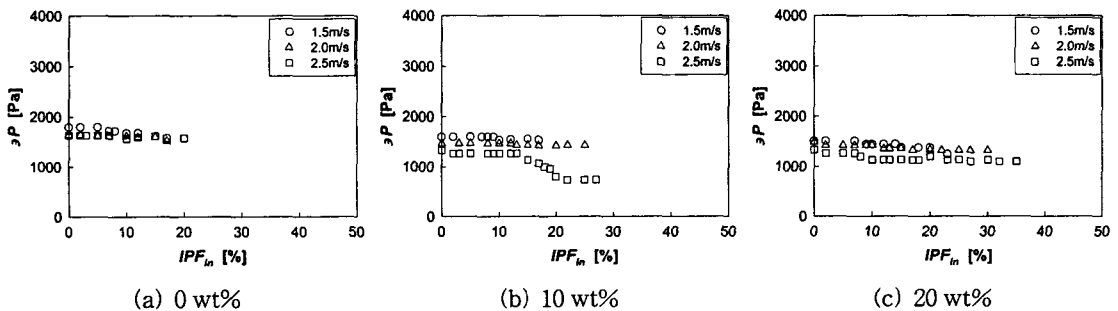


Fig. 5 Pressure drop at 180° elbow for various velocity of the water solution.

또 공급  $IPF_{in}$ 이 증가함에 따라 그다지 크지는 않지만, 압력손실이 조금씩 낮아지고 있음을 알 수 있다. 이런 경향은 유동방향이 급격하게 바뀌면서 엘보 내에서 일시 정체하던 흐름이 출구부에서 빠르게 유출하기 때문인 것으로 생각된다. 이런 경향은 유속 2.5 m/s일 때 가장 뚜렷하게 나타나고 있다.

### 3.2 IPF 변화

#### 3.2.1 30° 곡관부

Fig. 6에는 30° 곡관부 입구에서의 공급 빙층전율인  $IPF_{in}$ 과 출구에서의 빙층전율인  $IPF_{out}$ 을 비교하여 나타낸 것이다.

전체적으로 수용액의 농도에 관계없이 출구에서의 IPF는 공급되는 IPF보다 다소 높게 나타나는 하지만,  $\pm 10\%$ 의 범위에서 매우 안정적인 IPF를 유지하면서 유동되는 것으로 생각할 수 있다.

유속에 따라서도 그다지 큰 차이를 보이지는 않고 있지만, 수용액의 농도유속 2.5 m/s일 때가 가장 안정적인 IPF로 슬러리를 수송하는 것으로 판단된다.

#### 3.2.2 45° 곡관부

Fig. 7에는 45° 곡관부 입구에서의 공급 빙층전율인  $IPF_{in}$ 과 출구에서의 빙층전율인  $IPF_{out}$ 을 비교하여 나타낸 것이다.

우선 수용액의 농도에 따라 살펴보면, 전반적으로 수용액의 농도에 관계없이 출구의  $IPF_{out}$ 이 +40~-10%로 다소 높게 나타남을 알 수 있다. 그러나 수용액을 첨가한 경우가 첨가하지 않은 경우보다 비교적 안정된 IPF 변화를 나타내 보이고 있다. 특히 수용액의 농도 10 wt%에서 가장 안정된 IPF 수송특성을 지니고 있음을 알 수 있다. 그러나 농도 10 wt%에서도 공급  $IPF_{in}$ 이 20%를 넘으면서부터는 출구의  $IPF_{out}$ 이 다소 낮게 나타나고 있다.

여기서 출구에서의 IPF 변화는 주로 곡관부에서의 일시정체나 순간적인 유출로 인한 결과라고 판단된다. 단지 0 wt%나 20 wt%에서는 관내 온도가 낮고(-2℃ 정도) 곡관부에서의 압력강하로 인해 미량이지만 얼음의 성장이 일어나는 것으로 생각할 수 있다.

유속에 따라서는 그다지 큰 차이를 보이지는 않고 있지만, 수용액의 농도 0 wt%와 20 wt%에

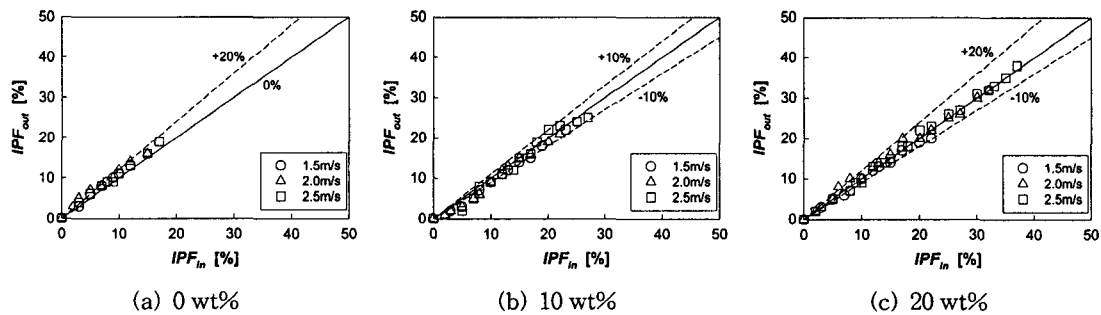


Fig. 6 Variation of IPF at 30° elbow for various velocity of the water solution.

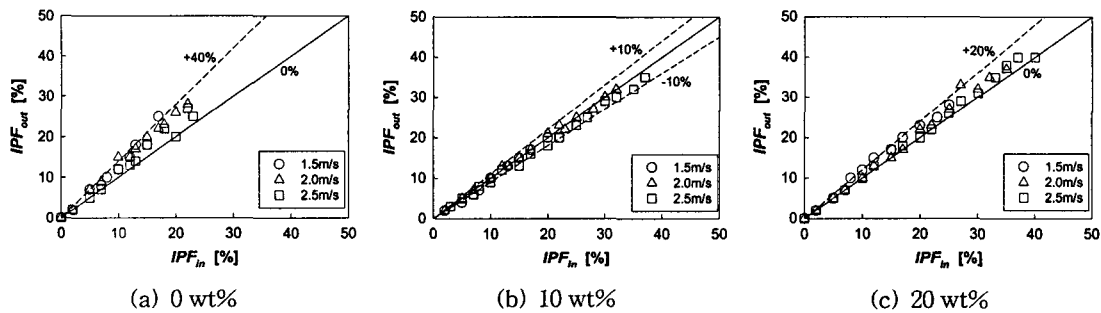


Fig. 7 Variation of IPF at 45° elbow for various velocity of the water solution.

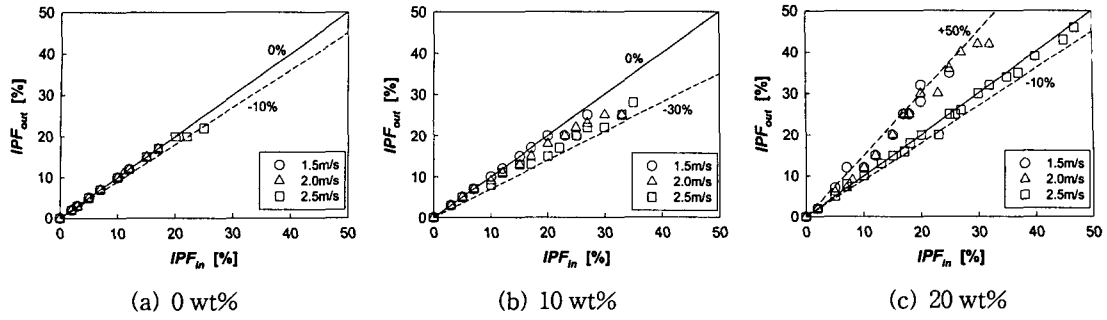


Fig. 8 Variation of IPF at 90° elbow for various velocity of the water solution.

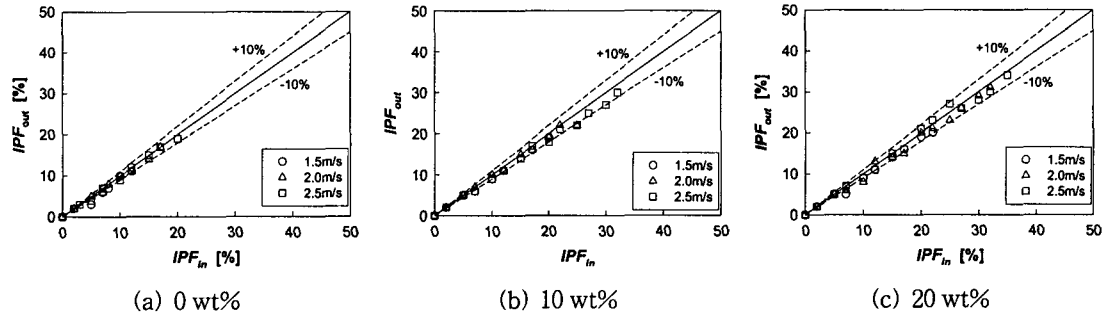


Fig. 9 Variation of IPF at 180° elbow for various velocity of the water solution.

서는 유속 2.5 m/s일 때, 농도 10 wt%에서는 유속 2.0 m/s일 때가 가장 안정적인 IPF로 슬러리를 수송하는 것으로 판단된다.

3.2.3 90° 곡관부

Fig. 8에는 90° 곡관부 입구에서의 공급 빙층전율인  $IPF_{in}$ 과 출구에서의 빙층전율인  $IPF_{out}$ 을 비교하여 나타낸 것이다.

우선 수용액의 농도에 따라 살펴보면, 수용액의 농도 20 wt%인 경우를 제외하고는 출구의  $IPF_{out}$ 이 0~−30%로 다소 낮게 나타남을 알 수 있다. 그러나 수용액의 농도 20 wt%일 때에는 +50~−10%로 역현상이 나타나고 있다. 또 45° 곡관부인 경우와는 달리 수용액을 첨가하지 않은 경우가 첨가한 경우보다 비교적 안정된 IPF 변화를 나타내어 보이고 있다. 특히 수용액의 농도 0 wt%에서 가장 안정된 IPF 수송특성을 지니고 있음을 알 수 있다. 또한 농도 20 wt%에서도 공급  $IPF_{in}$ 이 증가하면서 출구의  $IPF_{out}$ 이 급격히 높게 나타나고 있다.

여기서 수용액을 첨가하지 않은 경우라 하더라도 45° 곡관부보다는 압력손실의 저하 정도가

적어 얼음의 생성은 이루어지지 않고 곡관부에서 일시 정체하는 현상이 나타나기 때문으로 생각된다.

유속에 따라서는 0 wt%에서는 그다지 큰 차이를 보이지 않고 있지만, 수용액의 농도 10 wt%에서는 유속이 빨라질수록 출구의  $IPF_{out}$ 이 상대적으로 낮아지며, 20 wt%에서는 유속 2.5 m/s일 때가 가장 안정적인 IPF로 슬러리를 수송하는 것으로 판단된다.

3.2.4 180° 곡관부

Fig. 9에는 180° 곡관부 입구에서의 공급 빙층전율인  $IPF_{in}$ 과 출구에서의 빙층전율인  $IPF_{out}$ 을 비교하여 나타낸 것이다.

우선 수용액의 농도에 따라 살펴보면, 수용액의 농도에 관계없이 전체적으로 ±10%의 범위에 있음을 볼 때 IPF 측면에서는 비교적 안정된 변화를 나타낸다고 할 수 있다.

유속에 따라서는 그다지 큰 차이는 없다고 할 수 있겠으나, 유속 2.0 m/s일 때가 가장 안정적이라 할 수 있겠다.

4. 결 론

수용액의 농도를 0~20 wt%, 유속을 1.5~2.5 m/s로 하였을 때 곡관부에서의 아이스슬러리 수송특성에 대하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 30° 곡관부에서 가장 높은 압력손실을 나타내고 있으며, 나머지 45°, 90°, 180° 곡관부에서는 그다지 큰 차이가 없었다.
- (2) 유속이 증가할수록 압력손실이 낮아지고 있었다.
- (3) 수용액을 첨가하지 않은 경우보다 수용액을 첨가하였을 때의 압력손실이 낮아짐과 동시에 공급 IPF도 증가시킬 수 있었다.
- (4) IPF에 따라서는 일부를 제외하고는 압력손실에 그다지 큰 변화를 보이지 않았다.
- (5) 입구로 공급된 얼음입자의 IPF가 ±20%의 범위에서 곡관부를 통해 유출되고 있었다.
- (6) 수용액의 농도에 따라서는 그다지 일정한 패턴은 없었으나 대개 10 wt%일 때가 비교적 안정적인 경향을 띠고 있었다.
- (7) 유속에 따라서도 일정하지는 않았지만, 비교적 고유속인 2.0 m/s와 2.5 m/s일 때가 가장 안정적인 IPF 변화를 나타내고 있었다.

참고문헌

- 1. Park, S. Y., 1998, Cooling technology using ice slurry, Mag. Korea Refrig. Air Cond. Tech. Asso., Vol. 15, No. 5, pp. 89-96.
- 2. Lee, D. W., 2001, Ice slurry type ice thermal storage system and its application, Mag. Soc. Air-Cond. and Refrig. Eng. Korea, Vol. 30, No. 6, pp. 21-26.
- 3. Torikoe, Nakazawa and Asano, 1992, Flowing characteristics of the ice-water two phase flow in tube, The 26th Japanese Joint Conf. Air-cond. Refrig., pp. 185-188.

- 4. Murai, M., Sudo, H., Hattori, M., Aoki, K. and Ogawa, Y., 1993, Heat transfer of ice-water mixture in a horizontal tube, 30th Nat. Heat Trans. Symp. Japan, pp. 430-432.
- 5. Takahashi, H., Masuyama, T. and Kawashima, T., 1992, Experimental study on flow characteristics of ice-water slurries in a horizontal pipe, Japanese J. Resource · Material, Vol. 108, No. 5, pp. 357-363.
- 6. Lee, D. W., Yoon, C. I. and Yoon, E. S., 2002, Experimental study on flow patterns and pressure drop characteristics of ice slurry in small size pipe (1), Korean J. Air-Cond. Refrig. Eng., Vol. 14, No. 5, pp. 385-390.
- 7. Lee, D. W., Yoon, C. I. and Joo, M. C., 2002, Experimental study on flow patterns and pressure drop characteristics of ice slurry in small size pipe (2), Korean J. Air-Cond. Refrig. Eng., Vol. 14, No. 5, pp. 391-397.
- 8. Park, K. W., Choi, H. W., Roh, G. S. and Jeong, J. C., 2003, Experimental study on transformation of IPF and pressure drop in branches with ice slurry, J. Korean Soc. Marine Eng., Vol. 27, No. 2, pp. 272-279.
- 9. Kitahara, T. and Shirakashi, M., 1993, Hydraulic conveying of snow and ice-Development of a snow-fraction meter-, Setpyo, Vol. 55, No. 4, pp. 307-315.
- 10. Katsuya, Morioka, 1997, Study on IPF measuring instrument in tube during ice-water transportation, Proceedings of SHASE Conference, pp. 1125-1128.
- 11. Park, K. W., Oh, H. K., Inaba, H., Horibe, A., Haruki, N. and Miura, H., 2001, Influence of control pressure and concentration of water solution at continuous ice making in a tube, Korean J. Air-Cond. Refrig. Eng., Vol. 13, No. 2, pp. 1236-1244.