

수용액 분사에 의한 아이스 슬러리의 제조에 관한 실험적 연구

이용구* · 오 철†

* 한국해양대학교 대학원, † 한국해양대학교 기관시스템공학부 교수

An experimental study on ice slurry creation by injection of an aqueous solution

Yong-Koo Lee*, Cheol Oh†

* Division of Engine System, National Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

† Dept. of Marine System Engineering, National Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

요 약 : 아이스슬러리의 생성을 위하여 냉각평판에 작동수를 분사하는 실험을 수행하여 그에 대한 영향에 대하여 영향을 평가하였다. 실험에 사용된 에틸렌글리콜 수용액은 10~20wt%의 수용액을 사용하였다. 실험장치는 슬러리아이스 저장탱크, 브라인 탱크, 브라인 순환장치, 유량계 및 온도기록계로 구성되어 있다. 실험조건은 평균유속 1.0~2.0m/s, 냉각온도 -17~-10℃의 조건 하에 실험을 수행하였다.

핵심용어 : 브라인, 냉각평판, 아이스슬러리, 분사, 에틸렌글리콜, 얼음의 체적 분율

Abstract : This study is experimented to observe an influence of experimental conditions on production characteristics of slurry ice by injection operating water to cooling plate. And at this experiment it used ethylene glycol-water solution and the concentration is 10 to 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 single copper plate as test section. The experiments were carried out under various conditions, with mean velocity of fluid at the entry ranging from 1.0 to 2.0m/s and the cooling temperature of -17℃ to -10℃.

Key words : Brine, Cooling plate, Ethylene glycol, Ice-slurry, Injection, IPF

1. 서 론

여름철 냉방에 따른 전력 수요량이 증가함에 따라 에너지 이용 효율 향상에 대한 관심이 높아지고, 최근 국내 및 국외의 슬러리아이스와 관련된 많은 연구개발과 실제 적용 사례가 알려지면서 슬러리 아이스 빙축열시스템에 대한 관심이 높아지고 있는 추세이다.^[1-9]

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

이러한 슬러리아이스의 보급 및 이용확대를 위해서는 신뢰성을 바탕으로 하여, 경제적이고 효율적으로 슬러리아이스를 만드는 것이 중요하다.

슬러리아이스를 만드는 방법에는 여러 가지가 있겠지만, 그 중 대표적인 것이 얼음을 만든 후 분쇄하는 방법과, 전열표면에서의 빙박착 제거를 위해 스크래퍼, 브러쉬, 로드, 스프링 등으로 연속적으로 스크래핑하는 방법 등이 있으며, 현재 가장 널리 보급된 방식이 바로 미국과 유럽 등에서 개발된 스크래퍼 방식이다.^[4] 또한 국내에서는 동관 주위에 형성된 얼음을 떼어내기

위한 방법으로 유압이나 스프링 및 공기압을 이용하여 진동을 주어 제거하는 연구를 시도하였으나 슬러리아이스를 제조하는 공정의 개발에는 성공하지 못하였다.

분쇄기를 사용하는 방식이나 스크래퍼 방식은 얼음을 슬러리 형태로 만들기 위해 추가적인 동력이 필요하기 때문에, 본 연구에서는 그에 따른 에너지 효율성에 주목하였다.

본 연구에서는 슬러리 아이스 제조 시에 소요되는 추가동력을 제거하여 시스템 전체의 효율을 향상시키기 위한 방법으로, 수용액을 냉각용 동관에 직접 분사하여 얼음이 냉각 동관에 부착되지 않도록 하는 방법을 고안하기 위하여 실험적으로 수행하였다.

2. 빙축열시스템의 종류 및 특징

빙축열시스템은 축열을 위한 제빙방법과 얼음의 저장 상태에 따라 캡슐형(encapsulated), 관외착빙형(ice no coil), 슬러리형(ice slurry) 및 빙박리형(ice harvest type)으로 분류된다. 고체 상태의 얼음을 비유동상태로 이용하는 캡슐형과 관외 착빙형은 정적 제빙형이라고하고, 유동성의 상태의 얼음을 이용하는 빙박리형과 슬러리형은 동적제빙형이라고 한다.

* 이용구 (ABS), E-mail: yolee@eagle.org, Tel: 055)640-6103

† 교신저자 : 오 철(종신회원), E-mail: ohcheol@hhu.ac.kr, Tel: 051)410-4268

Fig.1은 캡슐형 빙축열시스템으로 빙축열조 안에 물이 들어 있는 캡슐을 채우고 제빙 시 이 캡슐 주위에 냉동기에서 냉각된 브라인을 흐르게 하여 내부의 물을 얼리고, 해빙 시에는 캡슐 주위로 열 교환기에서 오는 브라인을 흐르게 하여, 캡슐 내부의 얼을 녹여 냉열을 얻는다. 캡슐은 내부에 물의 체적 변화를 고려하여, 신축성 있게 만들기 위해 중간에 신축 부분을 설치한다.

Fig.2는 관외작빙형 빙축열시스템으로 축열조 내에는 코일이 설치되어 있고, 그 주위에는 물이 채워져 있다. 제빙 시 코일 내로 냉동기에서, 냉각된 차가운 브라인을 흐르게 하여, 주위의 물을 얼게 한다. 해빙 시 코일에 얼어붙어 있는 얼음에 코일 외부로 물을 흐르게 하여, 얼음을 해빙하여 물을 냉각시킨다. 이 물을 펌프로, 실내에 있는 팬 코일유닛으로 공급하여, 실내 열 부하를 제거한다. 특징으로는 작빙이 진행됨에 따라 열전달 면적이 넓어져 성능계수가 커지고 물의 동결 시 체적이 팽창되어 밀폐형으로 하기 힘들며, 별도의 열교환기가 필요하고 얼음두께의 균일화를 위하여 교반기가 필요하다.

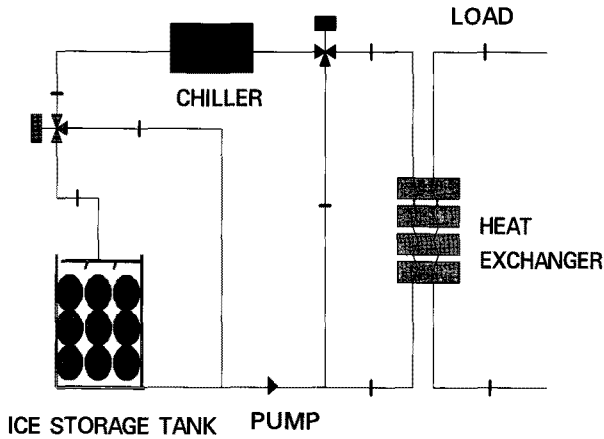


Fig. 1 Diagram of capsule type ice slurry system

빙박리형 빙축열시스템은 축열조 상부에 제빙기를 설치하여, 제빙판 내부에 냉매를 흐르게 하고, 외부에 물을 분사하여 얼음을 작빙시킨 후 냉매가스(hat gas)를 역 순환시킨 다음, 작빙된 얼음을 제빙판에서 분리시켜 축열조 하부에 저장한다. 시스템의 특성에 따라서 기기배치 및 설치 공간상의 제약이 있으나, 냉동기를 고효율로 운전할 수 있다. 물을 부하 측으로 직접 순환시킬 수 있어 브라인을 사용하지 않아도 되고 운전 방법에 따라 설비의 최소화할 수도 있다.

Fig.3의 슬러리형 빙축열시스템은 증발관에 프로필렌글리콜 등의 첨가제를 첨가한 수용액을 순환시켜 아이스슬러리를 제조하는 장치이다. 이 시스템은 순환되는 수용액의 유동에 의해 아이스슬러리가 형성되기 때문에 생성되는 얼음이 관 부착 현상에 의하여 생성되는 아이스슬러리의 양이 감소된다. 따라서 본 연구에서 수행하는 수용액 분사방식은 많은 동력의 소모 없이 이러한 문제점을 해결하기 위한 최선의 방법이라 할 수 있다.

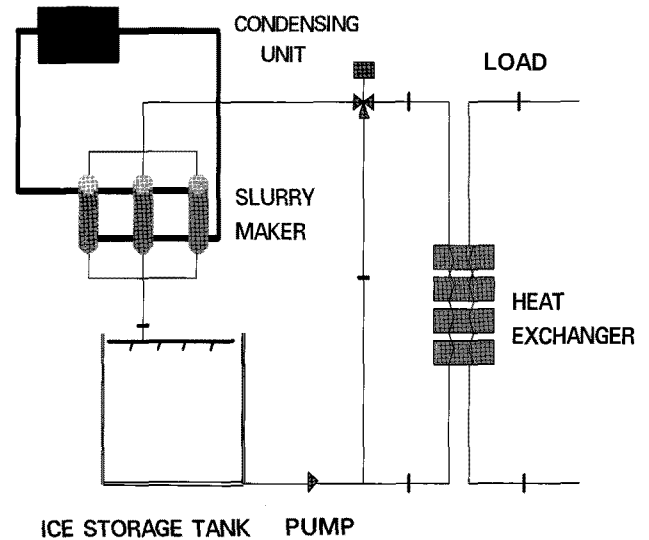


Fig. 3 Diagram of ice slurry type

3. 실험 장치 및 실험 방법

3.1 실험 장치

Fig.4는 실험 장치의 전체 계통도를 나타낸다. 실험 장치는 냉각브라인을 순환시키기 위한 냉각브라인 순환부와 수용액을 순환시키기 위한 수용액 순환부로 구성되어 있다. 냉각을 위한 브라인은 에틸렌글리콜 40%의 수용액을 사용하였으며, 수용액은 10~20wt%의 에틸렌글리콜 수용액을 사용하였다.

시험부(Test section)는 500×300×300mm의 투명아크릴로 제작하였으며, 내부의 분사 노즐(nozzle)은 모든 부분에서 동일한 유량 및 유속이 될 수 있는 구조로 되어 있다. 또한 냉각동판의 온도를 일정하게 유지하기 위하여 냉각동판에 75mm의 간격으로 3개의 열전대(C-A type) 설치하였으며, 수용액 입구부분에 1개의 열전대를 설치하였다. 각 부분의 온도는 온도기록계를 이용하여 계측하였다.

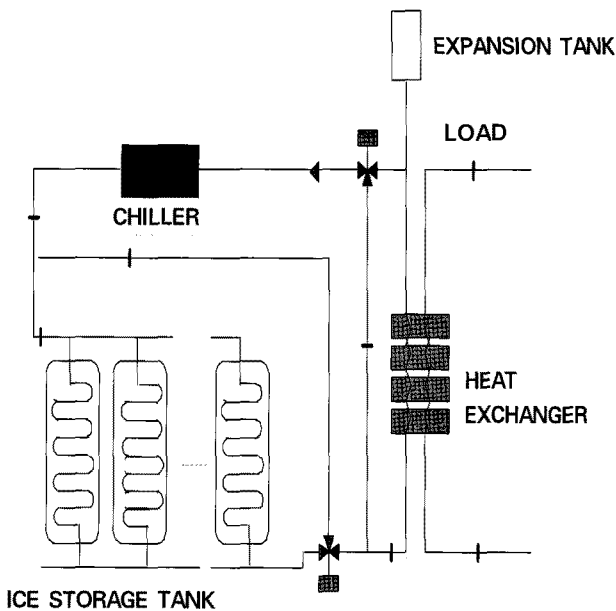
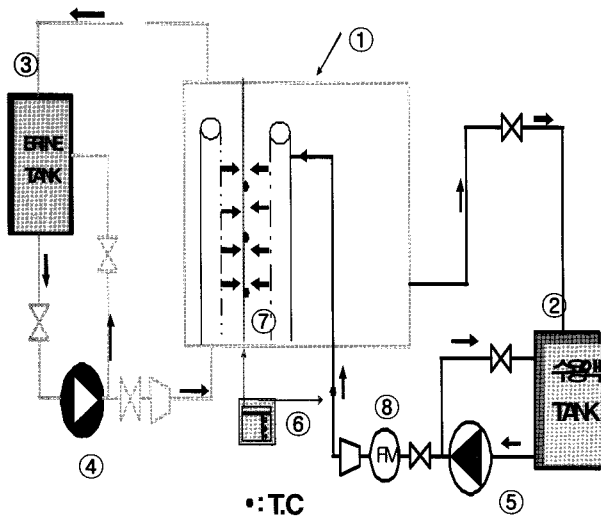


Fig. 2 Diagram of outside freezing type ice slurry system



- ① Test Section
- ② Operating water Tank,
- ③ Brine Tank,
- ④ Brine Pump,
- ⑤ Recirculating Pump
- ⑥ Data Recorder
- ⑦ Thermocouple
- ⑧ Flow Meter

Fig. 4 Schematic diagram of experimental apparatus

3.2 IPF(빙층진율) 산정식

빙층진율(IPF)의 측정은 빙축열 시스템의 성능평가 및 얼음의 체적팽창에 따른 축열조의 압력과파방지 등을 방지하기 위해 반드시 필요하며, 측정방법으로는 빙축열조 내에서 정지한 상태에서의 빙층진율 측정법 및 아이스슬러리와 같이 유동상태에서의 빙층진율 측정법이 있다.

IPF는 전체 유량 중에서 슬러리아이스 입자가 생성된 양을 표시한 것이다. 실험에서 사용한 IPF 측정은 실험 시작과 실험 종료 시의 유체의 에틸렌글리콜의 농도를 측정하여 농도차를 비교하여 IPF를 산정하였다. IPF를 구하는 식은 다음과 같다.

$$IPF = \frac{X}{Q} \tag{1}$$

$$Q = q_{w0} + q_{EG0} = q_w + q_{EG} + X \tag{2}$$

식(2)에서 실험 초기 조건의 물과 에틸렌글리콜 용액의 부피의 합과 실험종료 후의 물과 에틸렌글리콜 용액의 부피의 합에 생성된 아이스슬러리를 더한 것과 같은 것을 알 수 있다.

$$q_{w0} = Q \times (1 - C_0) \tag{3}$$

$$q_{EG0} = Q \times C_0 \tag{4}$$

$$q_w = Q \times (1 - C) \tag{5}$$

$$q_{EG} = Q \times C \tag{6}$$

식(3), (4), (5) 및 (6)을 실험을 통해서 구하여 식 (2)에 대입하여 생성된 슬러리 아이스 양 X를 구할 수 있고, 이를 통해서 (1)에 대입해서 IPF 값을 구할 수 있다.

3.3 Nozzle내 균일 유량 확인

시험부 내 냉각평판에 분사되는 수용액의 유량을 동일하게 공급하는 것이 매우 중요하다. 따라서 본 연구에서는 배관 내 노즐 입구구간의 영향을 최소화하고 균일 유입을 확보하기 위해 다공관의 형태의 노즐을 자체 제작하여 실험을 수행하였다. Fig.5는 시험부 내부에 설치된 12개 노즐의 위치 및 노즐직경을 각각 나타낸다.

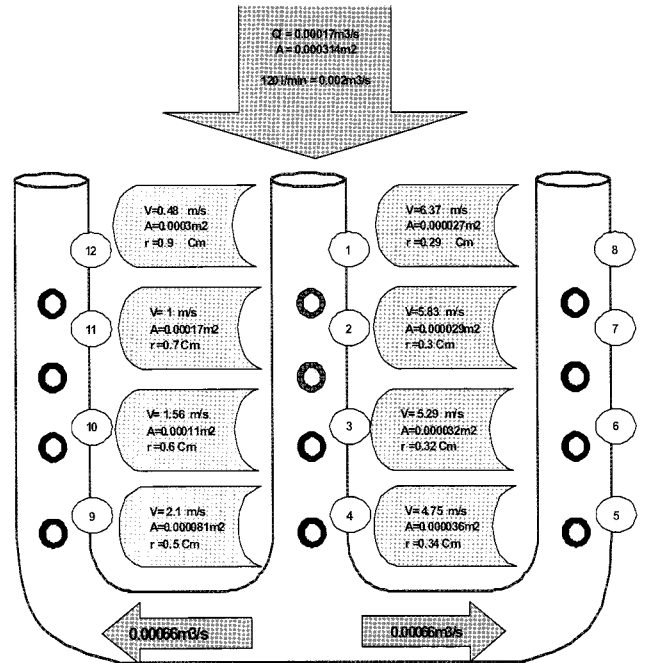


Fig. 5 Construction of nozzle element

3.4 실험 방법

본 실험은 표1의 실험조건에 따른 아이스슬러리의 제조의 특성을 비교 검토하였다. 실험조건으로 유체의 평균유속 1.0m/s, 2.0m/s, 에틸렌글리콜 수용액 농도를 각각 10%, 20%로, 수용액 온도 0℃ 및 냉각온도를 -10℃, -17℃로 하여 실험을 통하여 비교 검토하였다. 실험에 사용한 작동유체는 에틸렌글리콜 수용액을 사용하였으며, 에틸렌글리콜 수용액 농도 측정은 브라인 농도계(BR-1E)를 사용하여 각 실험이 종료 후 농도를 측정하였다.

실험은 투명한 수조에 칸막이를 설치하여 한쪽 면에는 브라인을 흐르게 하였고, 다른 쪽에는 에틸렌글리콜 수용액을 흐르게 하여 아이스슬러리를 생산하였으며, 순환 펌프에 의해 실험 회로에 유입된 아이스슬러리는 질량 유량계로 유입되고, 유입된 아이스슬러리의 유량과 밀도는 질량 유량계를 이용하여 실시간으로 측정하였다. 순환 펌프를 작동 시켜 아이스슬러리가 실험 회로에 유입되는 순간부터 각 실험조건으로 나누어 실험 시간은 2시간으로 하고, 30분 간격으로 온도 및 에틸렌글리콜 수용액 농도를 측정하면서 각 실험 변위마다 아이스슬러리의 생산량을 조사하였다.

Table 1 Experimental Condition

| Condition | Range |
|--------------------|----------|
| Brine Temp.(°C) | -10, -17 |
| 브라인 농도(wt%) | 10, 20 |
| 수용액 온도(°C) | 0 |
| Mean Velocity(m/s) | 1, 2 |

표2는 아이스 슬러리 제조의 실험 전체 결과 값을 IPF(%)로 나타낸 값이다.

Table 2 Experimental Results

| 수용액(wt%) | mean velocity(m/s) | °C | IPF(%) |
|----------|--------------------|-----|--------|
| 10 | 1.0 | -10 | 15 |
| 10 | 2.0 | -10 | 16 |
| 10 | 1.0 | -17 | 18 |
| 10 | 2.0 | -17 | 19 |
| 20 | 1.0 | -17 | 23 |
| 20 | 2.0 | -17 | 24 |
| 20 | 1.0 | -10 | 21 |
| 20 | 2.0 | -10 | 22 |

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 평균유속에 의한 영향

Fig.6은 브라인 수용액의 농도를 10%로 일정하게 유지하고 냉각 동판에 분사하는 평균유속의 증가에 따른 IPF(%)값의 변화상을 나타낸 결과이다. Fig.6에서 나타난 것처럼 브라인 수용액 농도를 10%로 유지하고, 수용액의 유속을 변화를 주면 평균 유속이 증가함에 따라 IPF(%)값이 점점 증가하는 것을 알 수 있다. 특히 분사되는 브라인 수용액의 온도가 낮은 쪽이 높은 쪽보다 약 3% 높은 것을 알 수 있다.^[10] Fig.7에서도 브라인 수용액 농도를 20%로 유지하고 동일한 조건으로 실험을 진행한 것으로서 수용액 농도가 감소함으로써 전체적으로 IPF(%)값이 증가하는 것을 알 수 있으며, 마찬가지로 유속이 증가할수록 IPF(%)값은 증가함을 알 수 있다. 그 원인으로는 평균유속이 증가하게 되면 노즐에서 분사되는 수용액은 큰 운동에너지에 의해 냉각 동판에서 큰 충격을 받고 에틸렌글리콜과 물이 미립화 되며, 미립화된 물 분자는 열교환을 많이 할 수 있게 되어 아이스슬러리의 생산량이 많아져서 IPF(%)값이 증가한 것으로 판단된다.

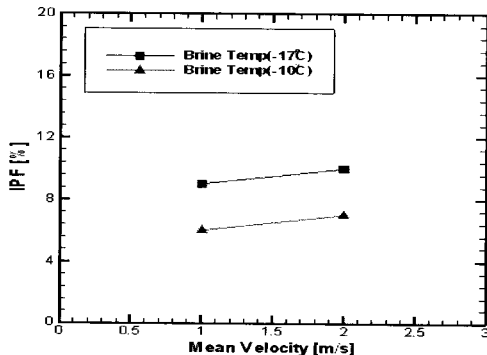


Fig. 6 Effect of mean velocity at brine concentration(10%)

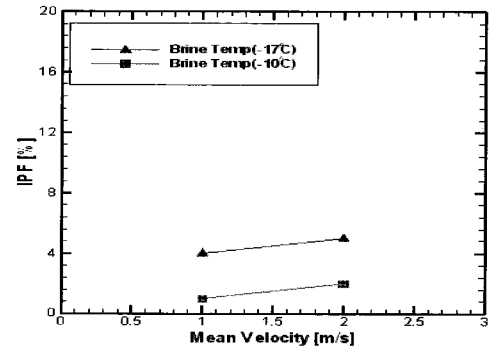


Fig. 7 Effect of mean velocity at brine concentration(20%)

반면 평균 유속이 1m/s미만인 경우에는 유속이 너무 작아 생성된 아이스슬러리가 냉각 동판에 부착되기 때문에 IPF(%)값은 증가하지 않는 것으로 판단되어진다.

4.2 냉각온도에 의한 영향

Fig.8은 브라인 수용액 농도 10%일 경우, 브라인 수용액의 온도에 따른 IPF(%)값의 나나낸 그림으로서 브라인 온도가 낮아질수록 IPF(%)값은 전체적으로 증가함을 알 수 있다. 또한 Fig.9은 동일한 조건에서 브라인 수용액 농도가 20%인 경우를 나타낸 그림으로서 Fig.8과 같이 냉각온도가 낮아질수록 IPF(%)값이 전체적으로 증가하는 것을 알 수 있다. 브라인 수용액의 온도가 낮아질수록 IPF(%)값이 증가하는 원인은 브라인 온도가 낮아짐에 따라서 냉각동판의 열전달 증가에 따른 동결점에서의 아이스슬러리 양이 증가하였기 때문이다.

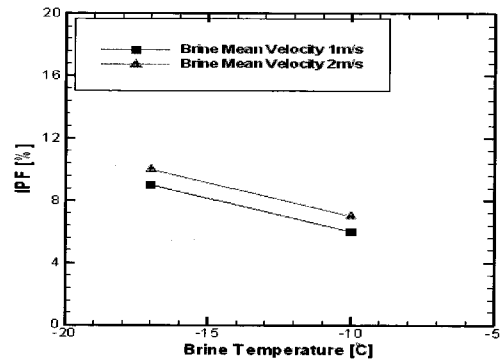


Fig. 8 Effect of brine temperature at brine concentration(10%)

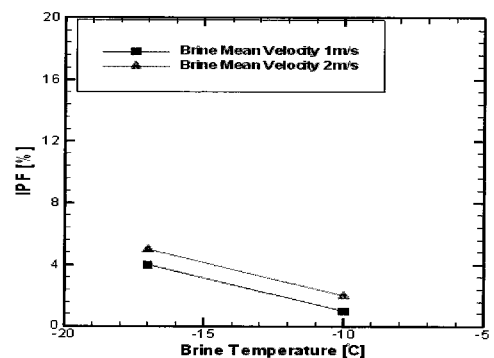


Fig. 9 Effect of brine temperature at brine concentration(20%)

4.3 수용액 농도에 의한 영향

Fig.10은 수용액 냉각온도 -10°C 일 경우, 냉각 동판으로 분사하는 수용액의 농도변화에 따른 IPF(%)의 변화량을 나타낸 그림이다. Fig.10에서 수용액의 농도가 낮을수록 IPF(%)값이 증가하는 것을 알 수 있다. Fig.11은 냉각온도를 -17°C 일 경우, 수용액의 농도변화에 따른 IPF(%)의 변화량을 나타낸 그림이다. Fig.10의 결과와 마찬가지로 수용액농도가 낮을수록 IPF값이 증가하는 것을 알 수 있다. 그 원인으로는 물이 얼기 위해서는 물 분자들이 가까이 붙어서 고체화 되어야 얼음이 형성이 되는데 단위체적 내부의 에틸렌글리콜수용액 농도가 높아짐에 따라 동결점이 낮아지게 되며, 이 현상은 수용액 내부의 수분성분이 동결되는 과정을 방해하기 때문에 얼음생성량이 감소하게 된다. 에틸렌글리콜농도가 낮아지게 되면 이와 반대로 수분의 양이 많기 때문에 상대적으로 IPF값이 증가한 것으로 생각된다. 또한 물을 분사하는 경우 냉각평판에 얼음의 부착이 매우 커 아이스슬러리의 양은 감소되었다.

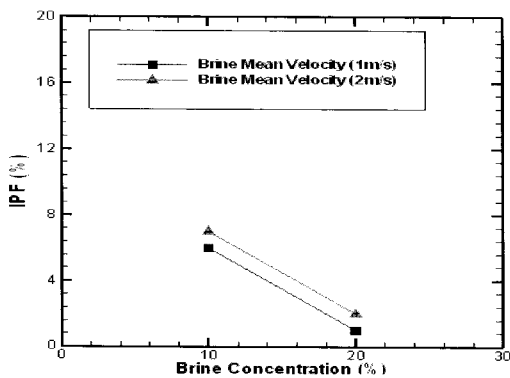


Fig. 10 Effect of brine concentration at brine temperature(-10°C)

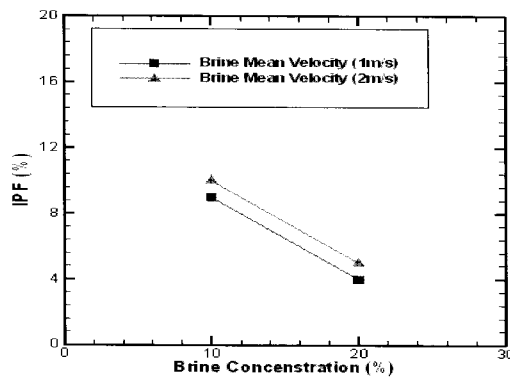


Fig. 11 Effect of brine concentration at brine temperature(-17°C)

5. 결 론

본 연구에서는 분사되는 수용액의 평균유속과 수용액의 농도 변화에 따른 실험적 연구를 통하여 본 실험 범위 내에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 수용액의 평균유속이 증가할수록 슬러리아이스의 생성량이 증가함을 알 수 있다.

2. 냉각 브라인의 온도가 낮아질수록 슬러리아이스의 생성량이 증가함을 알 수 있다.

3. 수용액의 농도가 낮을수록 수용액의 동결온도가 높아져 슬러리아이스의 생성량은 증가함을 알 수 있다.

참고문헌

- [1] 권재성(2008) "지역냉방을 위한 아이스슬러리의 연속제조 및 배관내 빙층전열 조절" 설비공학 논문집. 제20권 제12호.
- [2] 김호상(2003) "빙축열 시스템의 정책방안" 홍익대 정보대학원.
- [3] 박기원(1998) "빙축열시스템의 현재와 전망", 냉동동조기술 Vol.15, No4 pp.119-131.
- [4] 박기원(2003), "아이스슬러리 빙축열시스템의 개요"한국설비기술협회2003, 設備 제20권 2호 통권221호, pp93-100.

원고접수일 : 2009년 11월 17일
 심사완료일 : 2010년 1월 13일
 원고채택일 : 2010년 1월 21일