

工學碩士 學位論文

수용액 분사에 의한 아이스슬러리의
제조에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on Ice Slurry Creation by Injection
of an Aqueous Solution

指導教授 吳 喆



2010年 2月

韓國海洋大學校 大學院

機關시스템工學科

李 涌 求

本 論文을 李涌求의 工學碩士學位論文으로 認准함

主審 金 京 根 印

副審 尹 錫 勳 印



副審 吳 喆 印

2009年 12月 28日

韓國海洋大學校 大學院

목 차

| | |
|---------------------------|-----|
| Abstract | v |
| 사용기호 | vii |
| | |
| 제 1 장 서론 | 1 |
| 1.1 연구의 배경 | 1 |
| 1.2 연구의 목적 | 2 |
| 1.3 빙축열설비의 국내 보급 현황 | 4 |
| 1.4 빙축열설비의 국외 보급 현황 | 7 |
| | |
| 제 2 장 이론적 고찰 | 11 |
| 2.1 빙축열시스템의 분류 | 11 |
| 2.2 빙축열시스템의 종류 및 특징 | 12 |

| | |
|---------------------------|----|
| 제 3 장 실험장치 및 방법 | 18 |
| 3.1 실험장치 | 18 |
| 3.2 IPF 산정식 | 26 |
| 3.3 노즐내 균일 유입 유량 확인 | 28 |
| 3.4 실험방법 및 실험순서 | 32 |
| | |
| 제 4 장 실험결과 및 고찰 | 49 |
| 4.1 평균 유속에 의한 영향 | 49 |
| 4.2 냉각 온도에 의한 영향 | 53 |
| 4.3 수용액 농도에 의한 영향 | 56 |
| | |
| 제 5 장 결론 | 59 |
| | |
| 참 고 문 헌 | 60 |



An Experimental Study on Ice Slurry Creation by Injection of an Aqueous Solution

YONG-KOO, LEE

*Department of Marine Engineering System
Graduate School of Korea Maritime University*

Abstract

The problem for the global environment and air-conditioning power supply difficulties in the experience of summer energy conservation and the efficient use of energy is required.

In addition, extreme weather worldwide, the problem is also taken seriously. Global warming causes extreme weather and by the destruction of ecosystems, but a lack of understanding and inability to respond properly on the issue did not have access. However, unlike the past to recognize the seriousness of environmental problems today began. For these reasons, even in the environment can be used effectively has increased the interest in technology development.

The importance of these reasons has increased in the ice slurry. Therefore, further study is required at the time of manufacture ice

slurry by removing the power to improve the efficiency of the entire system is a way to grow efficiency by injection directly into the copper plate attached to the ice cooling in order to devise ways to prevent was performed experimentally.

This experiment it used ethylene glycol-water solution and a concentration is 10.0 % to 20.0 %. The experimental apparatus was constructed of an aqueous solution tank, flow meter, and the test section. The experiments were carried out under conditions, with velocity of fluid at the entry ranging from 1.0 m/s to 2.0 m/s and the cooling temperature of -10.0 °C to -17.0 °C.



사 용 기 호

Alphabet

| | | |
|-----------|-------------------|-----|
| IPF | : 얼음의 체적 분율 | [%] |
| C | : 실험 종료 후의 수용액 농도 | [%] |
| Q | : 작동 유체의 총용량 | [L] |
| q_{EG} | : 실험 종료 후 EG의 용량 | [L] |
| q_{eg0} | : 초기 조건에서의 EG의 용량 | [L] |
| q_w | : 실험 종료 후 물의 용량 | [L] |
| q_{w0} | : 초기조건에서의 물의 용량 | [L] |

Greeks symbol

| | | |
|--------|------|----------------------|
| ρ | : 밀도 | [kg/m ³] |
|--------|------|----------------------|



Subscript

| | |
|--------------|----------|
| Brine | : 수용액 |
| Copper plate | : 동판 |
| Ice-slurry | : 아이스슬러리 |
| Injection | : 분사 |
| EG | : 에틸렌글리콜 |

제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경

전 세계적으로 기상이변이 일어나고 있다. 유럽에서 발생한 홍수와 폭염, 그리고 우리나라에서도 2009년에 기상 관측사상 가장 심각한 가뭄과 이상기온 현상 등이 발생했다. 최근 이러한 환경 문제와 아울러 하절기의 냉방 전력 수급에 어려움을 겪게 되면서 에너지 절약과 에너지의 효율적인 사용이 요구되고 있다. 이런 현상이 일어나는 원인은 무엇일까? 산업화, 도시화는 지구의 자연 환경을 파괴하고, 온실가스를 증가시켜 지구 온난화 현상을 야기하였다. 이러한 지구 온난화 현상은 기상이변과 생태계 파괴 문제를 초래하였으나 그에 대한 인식이 부족하고, 대처방안을 강구하지 못하여 문제에 대해 제대로 접근하지 못했었다. 그러나 예전과 달리 오늘날에는 점진적으로 환경 문제의 심각성을 인식하기 시작했다. 이러한 이유에서 환경보존에도 효과적으로 이용할 수 있는 기술 개발에 대한 관심이 증가하고 있다.

역사적으로 살펴보면, 기록에 남아 있는 첫 번째 축냉 시스템은 1925년의 미국 달라스에 소재한 Bakcer Hotel의 제빙 시설이며, 밤에 제빙한 후 부하가 큰 커피숍과 식당에 냉방을 공급하였다. 빙축열은 역사적으로 보아도 생활의 질과 밀접한 관계를 가져왔으며, 현대의 빙축열은 건물의 냉방용 및 산업용으로 발전을 거듭해 왔다. [1] 이러한 기술개발에 아이스슬러리를 이용한 빙축열 시스템이 최근 많은 주목을 받기 시작하였다. 이 시스템은 건물의 저온 공조, 지역냉난방 시스템, 농수산용, 유통용, 의료용 냉각장치에 이르기까지 그 활용 영역 또한 광대하다는 장점을 가지고 있다.

1.2 연구의 목적

빙축열 냉방시스템이란 심야시간대에 전력을 이용하여 얼음을 생산하여 저장하였다가 다시 낮 시간 냉방에 이용하는 설비를 말한다. 이는 낮 시간대의 냉방전력소비로 발생하는 주야간 전력소비의 불균형을 개선하기 위해 도입된 냉방공조시스템이다. 만약에 냉방용 전력수요가 심야전력을 사용하는 빙축열 냉방시스템으로 대체된다면 신규 발전설비의 추가 건설 및 기존발전설비의 경제적인 운전이란 효과를 거둘 수 있다. 또한 특정 장소의 냉방에 일반 전기식인 경우, 100이라는 냉동기 용량이 필요한 반면, 빙축열은 60이하 용량으로 감당할 수 있으므로 설비용량을 줄여 전력계통에 미치는 피크를 최소화 할 수 있다. 이 점이 빙축열이 전 세계적으로 각광을 받고 있는 이유이다.

빙축열시스템은 0 °C의 상변화온도를 갖는 물을 사용하여 얼음이 녹을 때의 잠열을 냉방에 이용한다. 이 때 물의 잠열량은 약 335 KJ/kg이며 사용 온도대에서 고체-액체 상변화 열량으로는 기존의 다른 물질에 비하여 매우 높은 열량을 발생하는 특징을 갖고 있기 때문에 축열조의 용량을 최소화할 수 있다. 또한 환경 친화적인 물질로 주변에서 널리 접할 수 있어 거부감이 없고, 경제적인 면에서 큰 장점을 갖고 있다. [2], [8]

아이스슬러리 시스템의 특성 및 제조 특성을 파악하여 효율적인 운전을 위한 여러 가지 연구가 필요하며 그 아이스슬러리의 특성 파악 또한 중요한 과제라 할 수 있다. 아이스슬러리와 잠열슬러리를 제조하는 기술의 경우 국내 몇 업체에서 아이스슬러리 제빙기를 개발하여 생산 설치하고 있다. 하지만 아직 용도에 알맞도록 입자의 크기를 조절하거나 제조 효율이 그다지 높지 않다. 그러므로 열교환기에서 사용할 수 있는 아이스슬러리의 제조기술과 잠열슬러리를 효율적인 제조 기술 개발이 시급하

다. 또한 현재 냉동 냉장 공조용 등으로 사용되는 실내 열교환기의 전열 효율을 향상시키기 위한 여러 가지 형태의 열교환기들이 개발되어 사용되고 있다. [2],[5],[9]

따라서 본 연구에서는 아이스슬러리 제조 시에 소요되는 추가동력을 제거하여 시스템 전체의 효율을 향상시키기 위한 방법을 강구해보았다. 수용액을 냉각용 Copper Plate에 직접 분사하여 얼음이 냉각 Copper Plate에 부착되지 않도록 하였으며, 수용액의 온도와 농도 및 유속이 아이스슬러리 생성에 미치는 영향에 대하여 실험적으로 고찰하였다.



1.3 빙축열설비의 국내 보급 현황

아이스슬러리에 대한 각종 연구는 1980년대 중반부터 본격적으로 수행되어 왔다. 또한 최근 아이스슬러리에 대한 관심이 높아지면서 우리나라 뿐만 아니라 해외에서도 아이스슬러리에 대한 연구는 계속 수행되어 오고 있다. 지난 90년대에 국내에 도입된 빙축열 냉방시스템은 보급초기, 신기술에 대한 부담 등으로 건물주나 설계 엔지니어들의 망설임도 있었지만 정부와 기업의 금융 및 세제상의 각종 보급지원책과 공급회사 증가로 인한 치열한 수주전, 기술수준의 향상, 설계사무소의 시스템에 대한 인식변화 등으로 보급이 지속적으로 증가해 왔다. 빙축열시스템이 국내에 본격적으로 도입된 시기는 1990년대 초로 한전의 영업소를 중심으로 보급이 이루어졌다. 초기단계에는 새로운 시스템에 대한 인식부족 등으로 설치율이 낮았으나, 정부와 한전에서의 금융 및 세제상의 각종 보급지원제도 등으로 인해 공급업체들이 다수 등장할 수 있게 되었고, 나아가 업체 간의 치열한 기술개발이 이루어지고 있다. 설계회사에서도 환경 및 에너지의 효율적 이용이라는 측면에서 시공에 적극적으로 도입하는 등 그 보급이 꾸준히 증가하고 있는 상태이다. 또한 정책적으로 연평균 10% 이상의 수요 증가를 나타내는 냉방용 전력사용을 억제하기 위한 효율적인 수단의 하나로서도 빙축열 시스템을 찾아볼 수 있다.

Fig.1.1은 2002년까지의 국내 빙축열시스템 보급현황을 나타내고 있으며 Fig.1.2와 Fig.1.3은 각각 보급된 빙축열시스템의 종류별 분포도 및 설치장소 분포도를 나타낸 것이다.

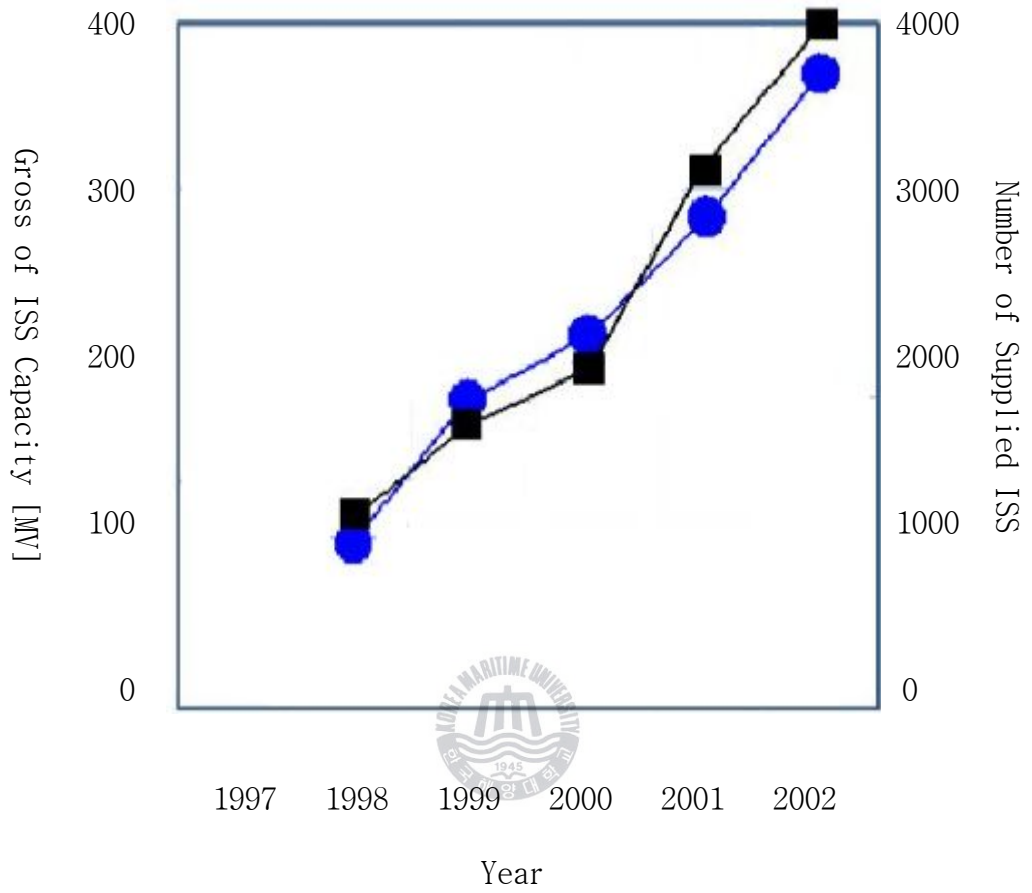


Fig.1.1 Recent Trends of ISS Supplied in KOREA

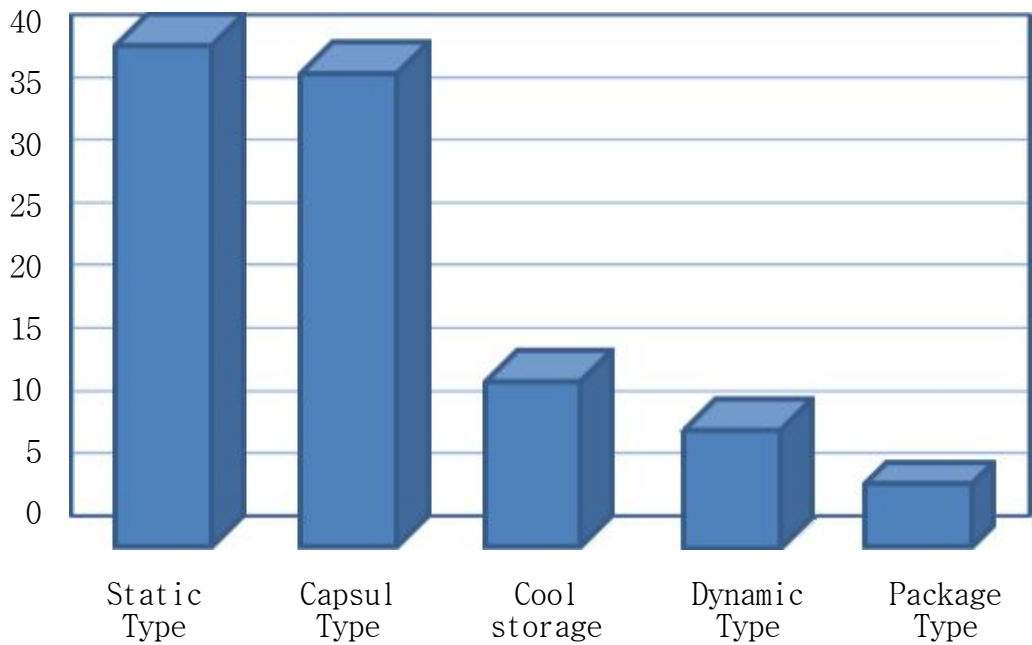


Fig.1.2 Distribution of Supplied Various Type of ISS in KOREA

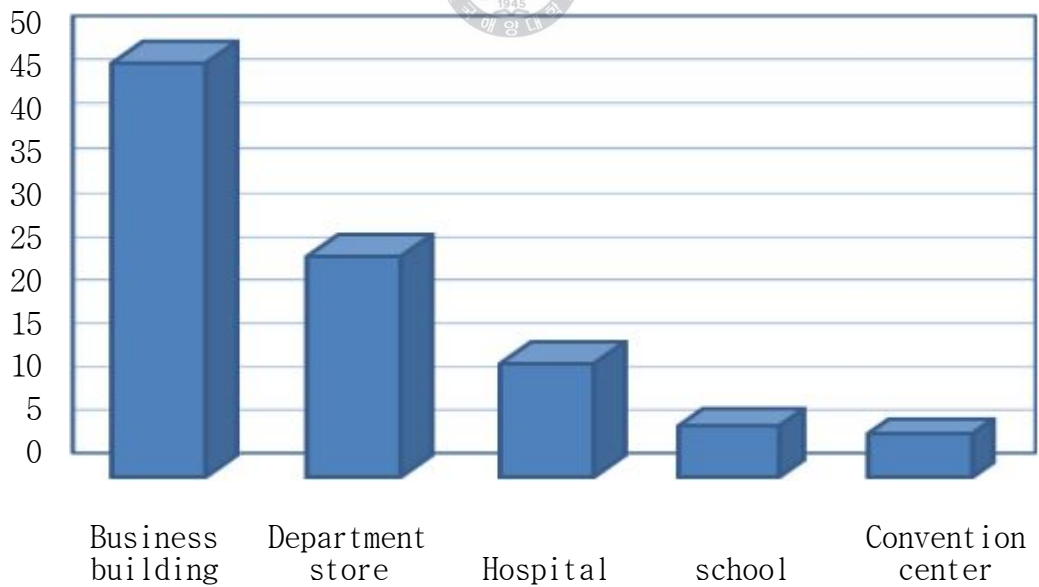


Fig.1.3 Distribution of Set-up Place of Supplied ISS in KOREA

1.4 빙축열설비의 국외 보급 현황

미국에서 빙축열시스템은 1975년경부터 연구개발이 시작되었다. 당시는 건물전체를 냉장고로 간주한 엄청난 규모의 냉동시스템이 활발하게 만들어졌었다. 그러나 현재에는 100 %까지 제빙이 가능한 원형탱크를 나열한 브라인 순환방식의 시스템이 주류를 이루고 있다. 불과 20년 전까지만 해도 수축열시스템이 축열시스템 가운데 상당수를 차지하고 있었으나 1995년도에는 미국의 축열시스템 가운데 약 87 %를 빙축열이 점유하고 있는 것으로 알려져 있다. 이는 빙축열시스템의 보급률이 급격히 성장하고 있음을 알 수 있다. 한편 일본의 경우 최근 10년 동안에 걸친 전력수요는 거품경제시기를 제외하고는 안정된 성장을 보이고 있으며 연간 최대 전력 값도 1990년도 이후 점차 증가하는 추세에 있다. 그 원인으로서 가정용 에어컨 및 오피스 건물의 냉방공조설비 보급증대에 의한 냉방수요의 증대, 생활수준 향상에 따른 민간 소비전력비율 향상, 그리고 소재형 산업구조에서 가공조립형 산업구조로의 변화 등을 들 수 있다.

현재 일본에서는 40여종이상의 다양한 빙축열시스템이 개발되어 있다.

Fig.1.4는 일본의 최근 빙축열시스템 유닛 및 빙축열 적용 패키지 에어컨의 도입용량을 나타내고 있다.

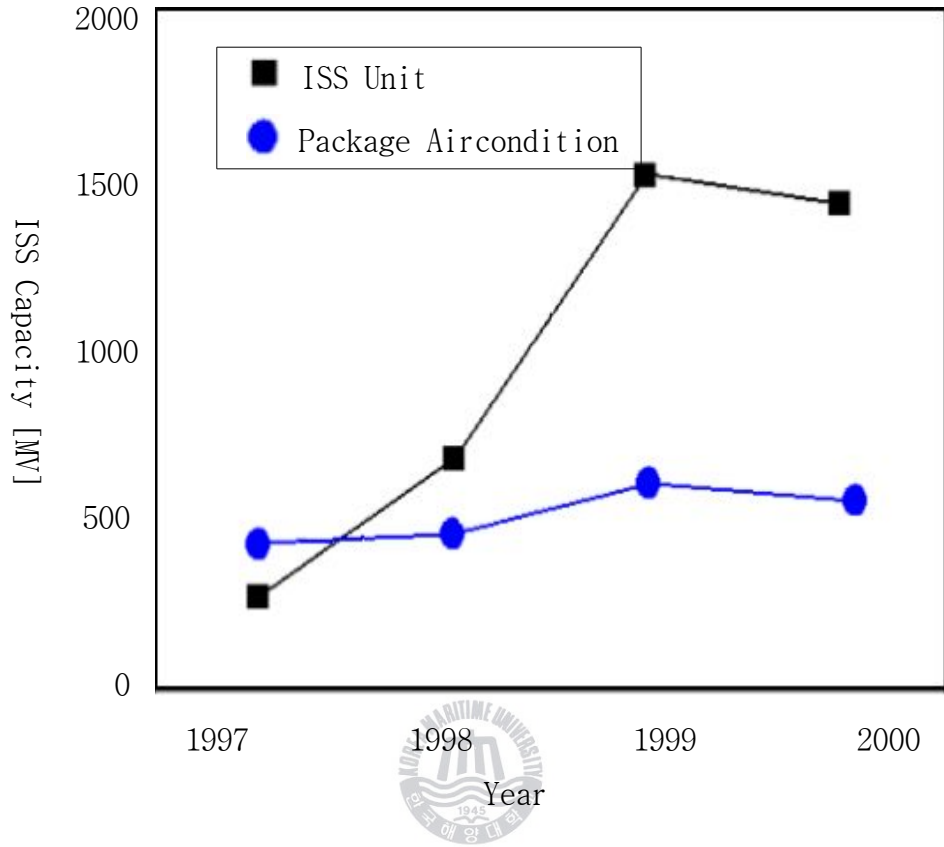


Fig.1.4 Recent Terends of ISS Supplied in JAPAN

1992년부터 빙축열유닛의 도입용량이 급격히 증대하였으나 2000년도부터 소강상태를 보이고 있는데 경기침체의 여파가 다소 작용됨을 살펴볼 수 있다. 일본의 시스템 보급 현황은 1980년대에 들어서면서 지하 공간형 수조내에 제빙코일을 설치하여 얼음을 만드는 방식으로 실증시험이 시작되어 점차로 중소규모 건물에 적용 가능한 여러 종류의 빙축열 히트펌프유닛이 제품화되었다. 빙축열 조와 히트펌프를 일체화한 제품은 일본 특유의 것으로 기후변화에 대응하여 냉방 및 난방운전이 가능한 제품도 등장하였다. [3]

2000년대에 들어 세계에서 가장 활발한 호황을 보이고 있는 빙축열시스템 시장은 바로 중국이다. 중국의 빙축열 도입 시기는 우리나라와 비슷한 90년대 중반이다. 지금까지 운행되고 있는 것과 시공 중인 시스템은 약 600여 개가 설치돼 운전 중에 있다. 중국에서는 개혁개방 정책을 실시한 후 국민경제가 급속히 발전하면서 그에 따른 여러 가지 사회문제가 나타나고 있다. 국민들의 경제 수준이 향상되면서 냉방에 이용되는 전력의 비율이 점차 늘어나는 상황에서 주간과 야간의 전력 불균형이 커지고 있다. 특히 각종 공해물질이 배출이 심해 강과 대기는 심각하게 오염이 되고 있다.

중국 정부는 이를 해결하기 위해 많은 제도 및 규제 정책을 만들고 있다. 최근 발표한 공해기업의 설립에 제한을 두는 조항이나 기존에 많은 혜택을 주었던 공해발생 기업에 부여했던 혜택을 모두 없애는 등의 정책을 추진하고 있다. 반면 에너지절약 제품이나 환경보호 제품에 대한 사용이나 제조 기업에 대한 유치를 각 도시별로 활발히 전개하고 있다.

최근 중국에서는 매년 약 3억 m²의 건축물을 설계하고 건설하고 있으며 이를 모두 일반냉동기로 냉방할 경우 수요 되는 전력은 1,500만 KW인

데 비해 빙축열을 사용 시 750만 KW의 전력을 절감할 수 있다. 그러나 실제 빙축열을 사용하기 위해서는 기존 일반 방식에 비해 약 20 % 전후의 초기투자비가 상승하므로 현재 빙축열을 보급하는 데 있어서 가장 큰 문제점으로 지적되고 있다. 이러한 어려움을 해결하기 위해 각 지역에서는 빙축열 설치를 법적으로 규제하기 시작했고, 한국과 비슷하게 일정 규모 이상의 공공기관에 대해서는 에너지절약 제품을 강제적으로 사용토록 하는 방안이 검토 중이며 축냉제품이나 지열과 같은 에너지절약 제품을 사용할 경우 정부에서 무상지원금을 지급하는 것도 일부지역에서는 이미 실행 중에 있다. 이러한 국가적인 정책과 중국 정부의 강제 정책으로 빙축열 시장은 더욱 커질 것으로 보이며, 또한 기존 시장에서 빙축열에 대한 인식이 매우 좋지 않았으나 기술의 발전으로 점차 빙축열에 대한 인식이 바뀌고 있는 것도 시장성장에 긍정적으로 작용할 것으로 전망된다. [4],[6]



제 2 장 이론적 고찰

2.1 빙축열시스템의 분류

여름철 냉방 수요의 증가로 빙축열 시스템의 대한 관심이 높아진 만큼 빙축열 시스템마다의 각각의 특징만을 가지고자 여러 가지 형태로의 발전되어 보급되고 있다. 빙축열시스템은 축열을 위한 제빙방법과 얼음의 저장 상태에 따라서 캡슐형과 관외착빙형 및 슬러리용과 빙박리형으로 분류된다. 고체 상태의 얼음을 비유동 상태로 이용하는 캡슐형과 관외착빙형은 정적형으로 나누고, 유동성의 상태의 얼음을 이용하는 빙박리형과 슬러리형은 동적형으로 분류된다.

정적형[Static Type]은 축열매체가 제빙과정을 통하여 얼음이 정적으로 형성되어 성장하는 시스템을 말하며, 이러한 빙축열시스템은 단순한 구조를 가지고 있으므로 설치용량 및 초기투자 비용면으로 보아 현재 국내의 설치된 시스템 중 가장 많이 보급되고 있으며, 이미 기존의 많은 연구와 개발을 통하여 실용화되어 상당한 기술 수준에 이르고 있다.

동적형[Dynamic System]은 축열매체가 유동상태에서 증발기를 통과하는 열교환 과정을 하면서 상변화한 얼음 또는 아이스슬러리를 만드는 시스템을 가리킨다. 냉각면 상에 빙부착에 의한 열전달 저하를 개선하기 위한 시스템으로 등장하여 수송 능력도 뛰어나 최근에 주목을 받고 있다. 동적시스템으로는 과냉각형, 하베스트형, 아이스슬러리형 등의 여러 종류의 방식이 개발되어 있다. ^{[1],[8]}

2.2 빙축열시스템의 종류 및 특징

캡슐형 빙축열시스템은 빙축열조 안에 물이 들어 있는 캡슐을 채우고 제빙시 이 캡슐 주위에 냉동기에서 냉각된 브라인을 흐르게 하여 내부의 물을 얼리고, 해빙 시에는 캡슐 주위로 열교환기에서 오는 브라인을 흐르게 하여, 캡슐 내부의 열을 녹여 냉열을 얻는다. 캡슐은 내부에 물의 체적 변화를 고려하여, 신축성 있게 만들기 위해 중간에 신축 부분을 설치한다. 이 시스템은 캡슐이 담겨진 물의 어느 것을 이용하는 방식으로 1982년 프랑스의 Cristopia사에서 개발된 STL[Storage Par Latente] 시스템에서 비롯되었다. [4]

Fig.2.1은 캡슐형의 대표적인 Ice Ball Type의 빙축열시스템이다.



Fig.2.1 Ice Ball Type

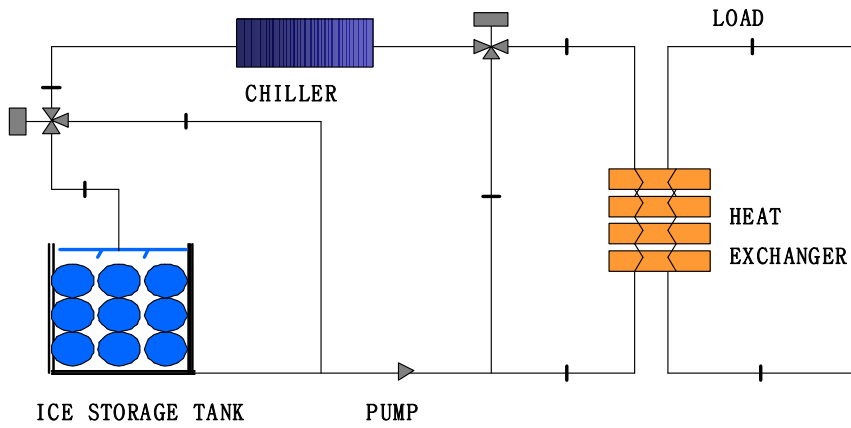


Fig.2.2 Ice Ball Type Diagram [A]

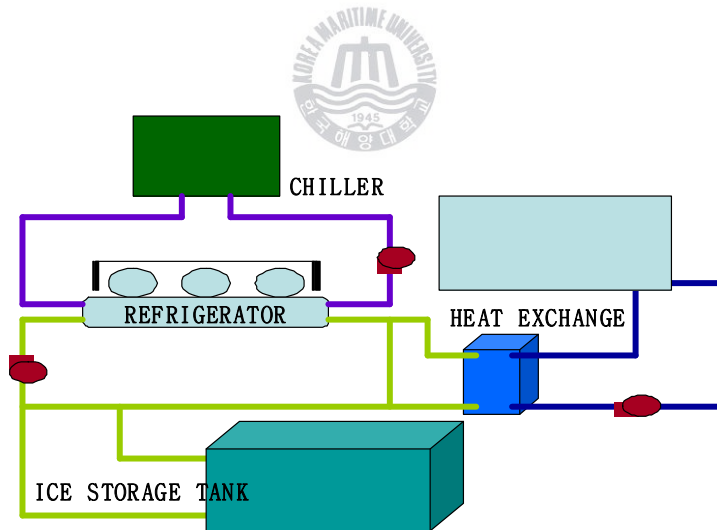


Fig.2.3 Ice Ball Type Diagram [B]

관외착빙형 빙축열시스템은 축열조 내에는 코일이 설치되어 있고, 그 주위에는 물이 채워져 있다. 제빙시 코일 내로 냉동기에서, 냉각된 차가운 브라인을 흐르게 하여, 주위의 물을 얼게 한다. 해빙시 코일에 얼어 붙어 있는 얼음에 코일 외부로 물을 흐르게 하여, 얼음을 해빙하여 물을 냉각시킨다. 이 물을 펌프로 실내에 있는 펜코일 유닛으로 공급하여, 실내 열 부하를 제거한다. 특징으로는 착빙이 진행됨에 따라 열전달 면적이 넓어져 성능계수가 커지고 물이 얼 때 부피가 팽창되므로 밀폐형으로 하기 힘들며, 별도의 열교환기가 필요하고 얼음두께의 균일화를 위하여 교반기가 필요하다.



Fig.2.4 Ice-on-Coil Type Shape

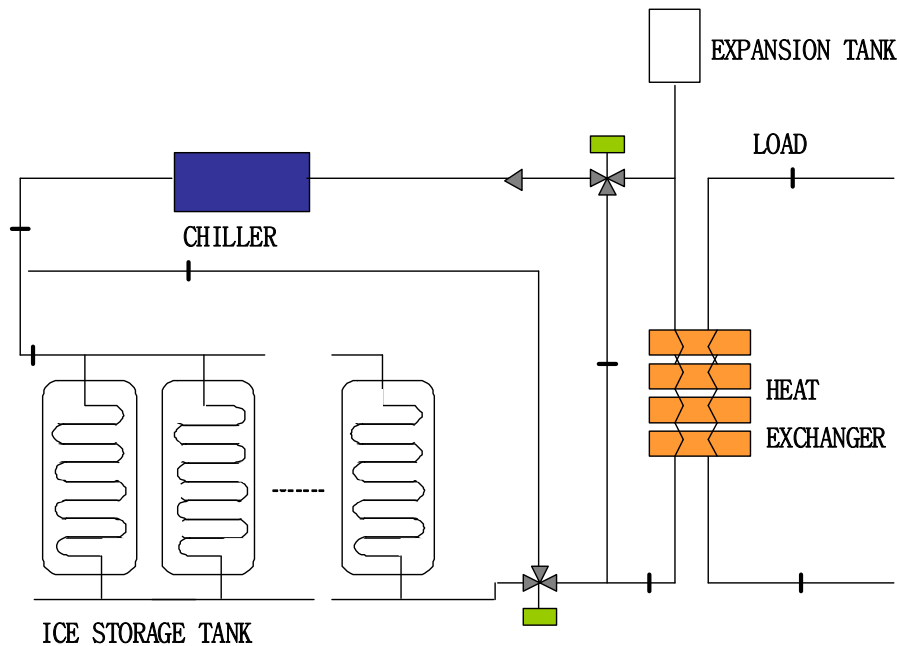


Fig.2.5 Ice-on-Coil Type Diagram

빙박리형 빙축열시스템은 축열조 상부에 제빙기를 설치하여, 제빙판 내부에 냉매를 흐르게 하고, 외부에 물을 분사하여 얼음을 착빙시킨 후 냉매가스[hat gas]를 역 순환시킨 다음, 착빙된 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 최소화를 도모할 수 있다. [7].[8]

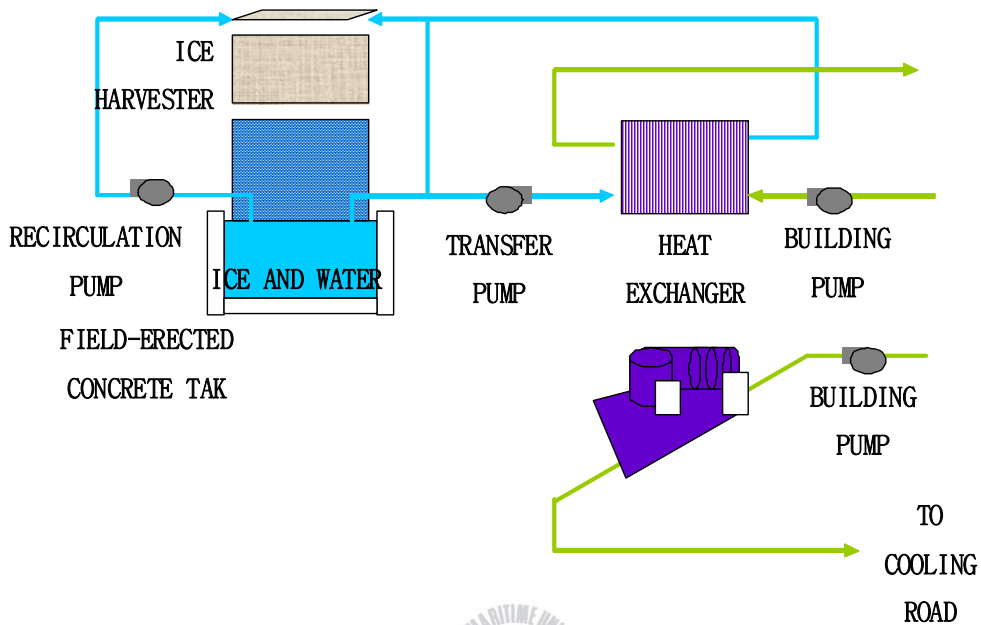


Fig.2.6 Ice Harvest Type Diagram

슬러리형 빙축열시스템은 증발판에 프로필렌글린콜 등의 첨가제를 첨가한 물을 통하게 하여 증발판 위에 살얼음이 형성되게 하고, 이 얼음을 스크레이퍼로 긁어내려 아이스슬러리를 만든다. 이 방식은 냉동 시스템이 고효율로 운전 가능하고, 슬러리를 직접 반송할 수 있다는 이점이 있다. 빙축열 시스템의 종류와 특징에 대하여 살펴보았는데 이처럼 빙축열 시스템은 축열조의 단열공사 비용이 소요되고, 축열조에서 열 손실이 발생된다. 개방식 축열조인 경우 수 처리도 필요하다. 그리고 야간운전에 따른 인건비 등이 증가하는 등 단점들이 있으나, 전력수요 피크시대의 전력사용량을 절감하는 데에는 많은 도움이 되고 있다.

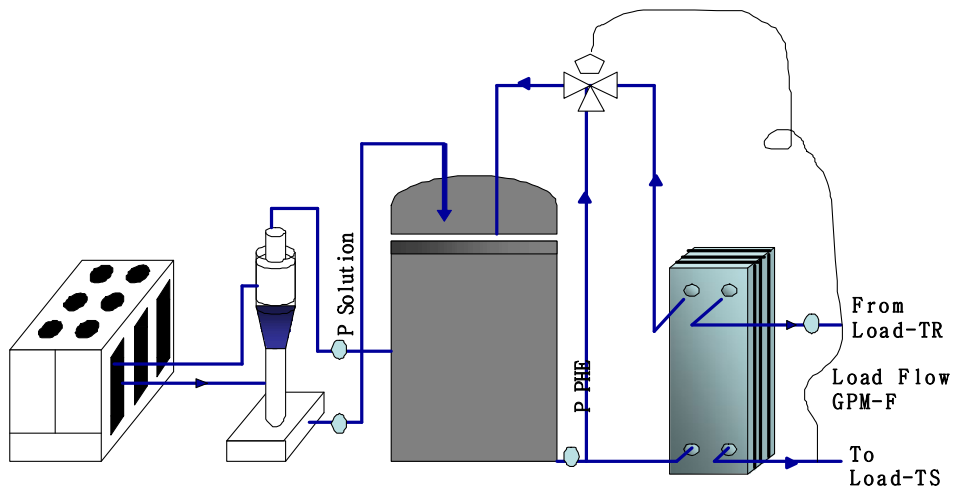


Fig.2.7 Ice Slurry Type Diagram [A]

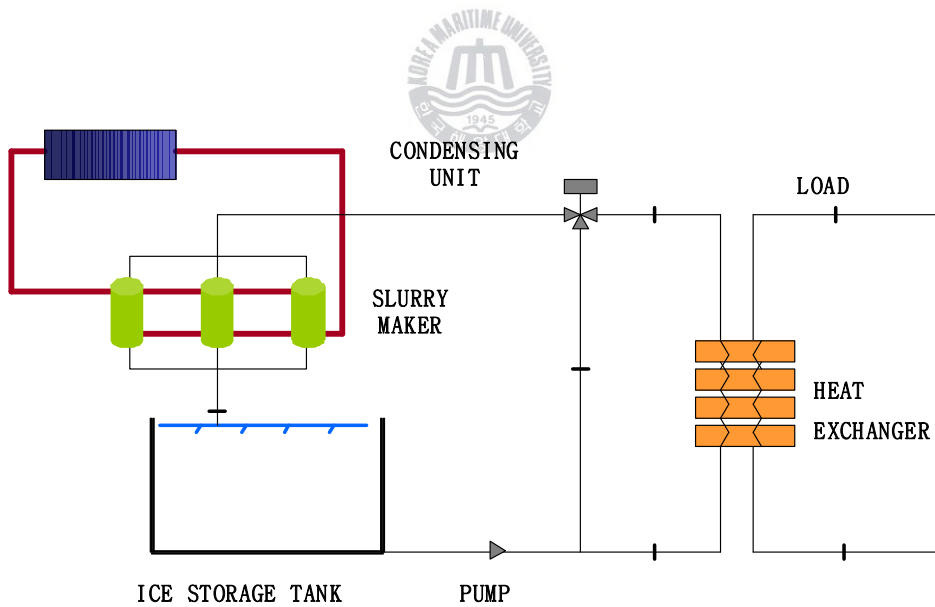


Fig.2.8 Ice Slurry Type Diagram [B]

제 3 장 실험장치 및 실험방법

3.1 실험장치

Fig.3.1은 실험장치의 계통도를 나타낸 것이며 Fig.3.2는 실험장치의 전체적인 모습을 나타낸 사진이다. 실험 장치는 크게 유체를 순환시키기 위한 순환부, 아이스슬러리를 제조하기 위한 브라인 순환부, 아이스슬러리의 생성 특성을 측정하기 위한 측정부, 측정한 값을 가시화시키기 위한 가시부로 구성된다.

먼저 시험부[Test Section]은 $500 \times 300 \times 300$ mm의 투명아크릴로 제작하였으며, 내부의 분사 Nozzle은 모든 부분에서 동일한 유량 및 유속이 될 수 있는 구조로 되어 있다. 또한 냉각동판의 온도를 일정하게 유지하기 위하여 냉각동판에 75 mm의 간격으로 3개의 열전대[C-A type] 설치하였으며, 수용액 입구부분에도 1개의 열전대를 설치하였으며, 각부 온도는 온도기록계[DR230]을 이용하여 측정하였다. 저온 열교환기의 수용액 탱크 출구 측에서의 열전대 설치 시 과냉각 상태의 수용액이 설치된 열전대에 의해 해소되어 아이스슬러리를 형성시켜 관 폐색을 일으킬 우려가 있으므로, 이점에 유의하며 실험을 하였다.

유체로는 에틸렌글리콜[Ethylene glycol] 20.0 %, 10.0 %의 수용액을 사용하였다. 에틸렌글리콜은 알코올계 브라인으로 점조하고 감미가 있는 무색 액체로 습기를 잘 흡수하고, 물, 에탄올, 아세트산 등과 임의의 비율로 잘 섞이는 성질을 가지고 있다. 에틸렌클로로히드린을 합성하고, 이것을 탄산나트륨 수용액과 오토클레이브 속에서 가열하여 가수분해 시키면 생긴다. 에틸렌글리콜은 물에 혼합되기 쉽고 분자 구조적으로 비교

적 물과 무기물 사이에 개입하기 쉬운 구조를 하고 있으며, 또한 물성이 상당부분 알려져 있고 소량 사용 시 환경에 큰 영향을 주지 않는 물질로 알려져 있다. 기초물성은 분자량 62.07, 녹는점 $-12.6\text{ }^{\circ}\text{C}$, 끓는점 $197.7\text{ }^{\circ}\text{C}$, 비중 1.1131이다. [9]~[12],[14] 이러한 성질 때문에 에틸렌글리콜과 물의 혼합물의 온도를 낮추면 분자-분자간의 인력의 증가로 물이 먼저 얼게 되는 성질을 가지고 있어서 아이스슬러리를 제조하는 유체로 에틸렌글리콜을 선정하게 되었다. 에틸렌글리콜의 화학 구조식은 $\text{CH}_2\text{OHCH}_2\text{OH}$ 로 나타낸다.

브라인은 순환 펌프를 가동하여 브라인의 온도를 $-17.0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-10.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 을 유지하도록 하였으며, 유량은 By-Pass Valve를 통하여 디지털 유량계를 이용하여 유속을 측정하였다.

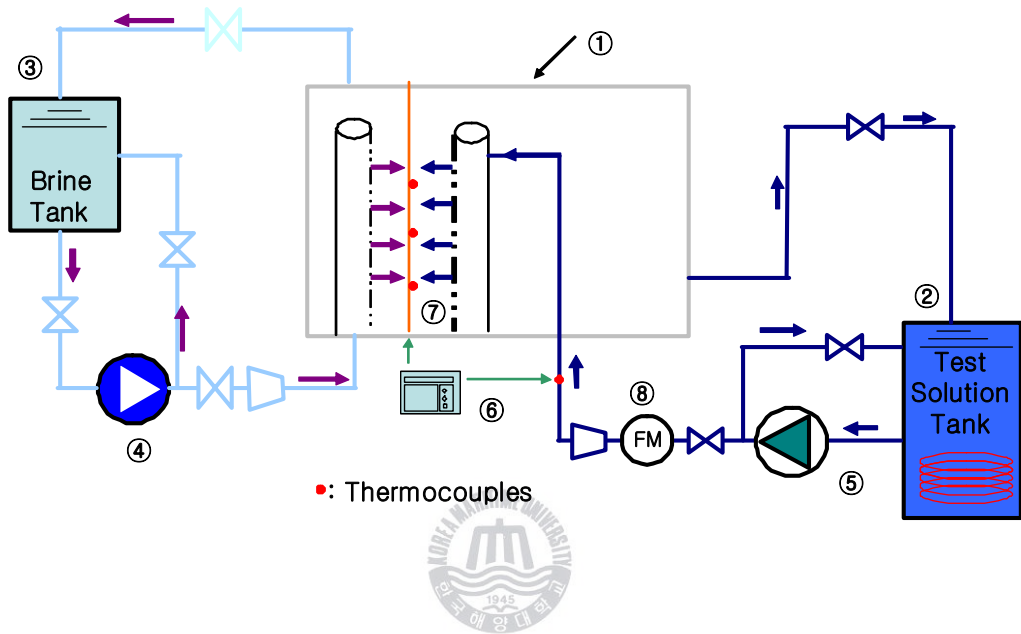
열전달 실험 장치는 열교환기를 통해 아이스슬러리가 열전달이 이루어지도록 하였으며, 일정한 온도로 만들고 실험 장치로 공급할 수 있는 냉각조가 필요하였다. 400 l의 용량의 냉각조에는 내부에 저장된 수용액이 일정한 온도를 유지할 수 있도록 자동온도 조절장치가 설치되었으며, 이에 따라서 정해진 온도에서 $\pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 이내의 온도를 갖는 수용액을 실험 장치로 공급할 수 있었다. 또한 본 실험에서는 아이스슬러리의 연속 제빙을 할 수 있도록 하는 것이 중요한 과제 가운데 하나였다.

브라인은 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 이하로 충분히 냉각하여 브라인 탱크에 저장되며, 일부는 브라인 탱크에서 별도의 배관을 통하여 저온 열교환기로 순환하면서 수용액 코일을 냉각시켜 수용액을 과냉각 또는 아이스슬러리가 형성되도록 한다. 아이스슬러리의 제조 특성을 파악하기 위한 실험은 배관 입구에서의 균일한 유입이 보장되어야 하며 이러한 균일 유입이 보장되지 않으면 실험의 결과에 있어서 신뢰성이 떨어지게 된다. 그래서 실험 장

치를 제작하면서 가장 주의를 요하는 부분이 바로 Nozzle부분이었다.

Nozzle에서 분무된 분사압력은 여러 가지 조건에 의해서 유량이 달라질 수가 있다. 이 12개의 Nozzle에서 동일한 유량을 분사하게 하는 것이 본 실험의 가장 중요한 과정이었다. 12개의 각각의 Nozzle에서 분사되는 유량을 구하기 위하여 유량 계산 공식을 이용하여 파이프의 단면적 및 Φ 를 구하여 Nozzle Hole을 제작하였으며, 각각의 수용액과 Brine Line에는 120 m³/min의 용량을 가진 펌프를 설치하여 유체를 이송할 수 있도록 실험 장치를 제작하였다.





- | | |
|-------------------------|-------------------------|
| ① Test Section | ⑤ Aqueous Solution Pump |
| ② Aqueous Solution Tank | ⑥ Temperature Recorder |
| ③ Brine Tank | ⑦ Thermocouple |
| ④ Brine Pump | ⑧ Flow Meter |

Fig.3.1 Schematic Diagram of Experimental Apparatus

Fig.3.1의 Schematic Diagram of Experimental Apparatus의 계통도를 간략하게 살펴보면 실험 장치의 왼쪽 부분은 에틸렌글리콜 수용액 브라인 Line을 나타내며, 실험장치의 투명아크릴 제작되어진 Test Section은 본 실험에서 Nozzle을 통해 열 교환이 일어나는 곳으로서 아이스슬러리가 생성되는 장소이다. 실험 대상인 에틸렌글리콜 수용액을 나타내는 브라인 수용액은 Test Section의 냉각 동판으로 이동하고, 이 냉각 동판은 $-10.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 에서 $-17.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 까지 일정하게 냉각시키게 된다. 에틸렌글리콜 수용액은 펌프를 통해서 유량계를 지나 Test Section내의 Nozzle 측으로 이동한 뒤 Nozzle에서 일정한 수용액을 분사한다. Nozzle에서 분사된 수용액은 아이스슬러리가 Copper Plate에 부착되는 것을 방지하며 분사된 수용액은 Copper Plate에서 열 교환이 일어난 후 수용액탱크로 이동하게 되는 시스템으로 설계 되어있다. Fig.3.2부터 Fig.3.7은 본 연구의 주요 실험 장치를 보여주고 있다.





Fig.3.2 Photograph of Experimental Apparatus



Fig.3.3 Photograph of Test Section

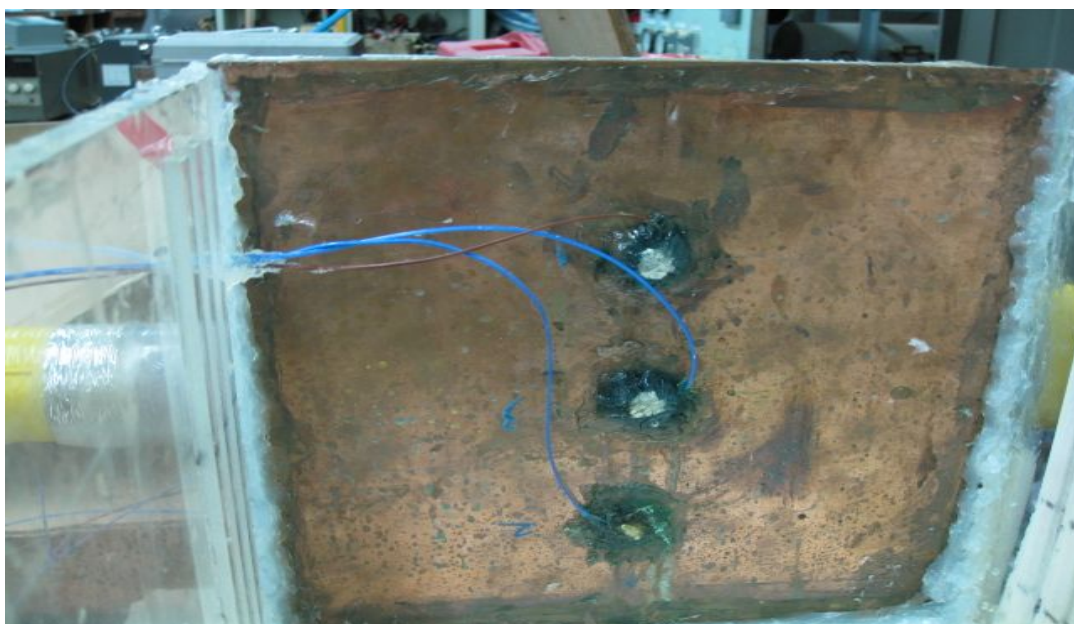


Fig.3.4 Thermocouple Sensor and Copper Plate



Fig.3.5 Photograph of Flowmeter

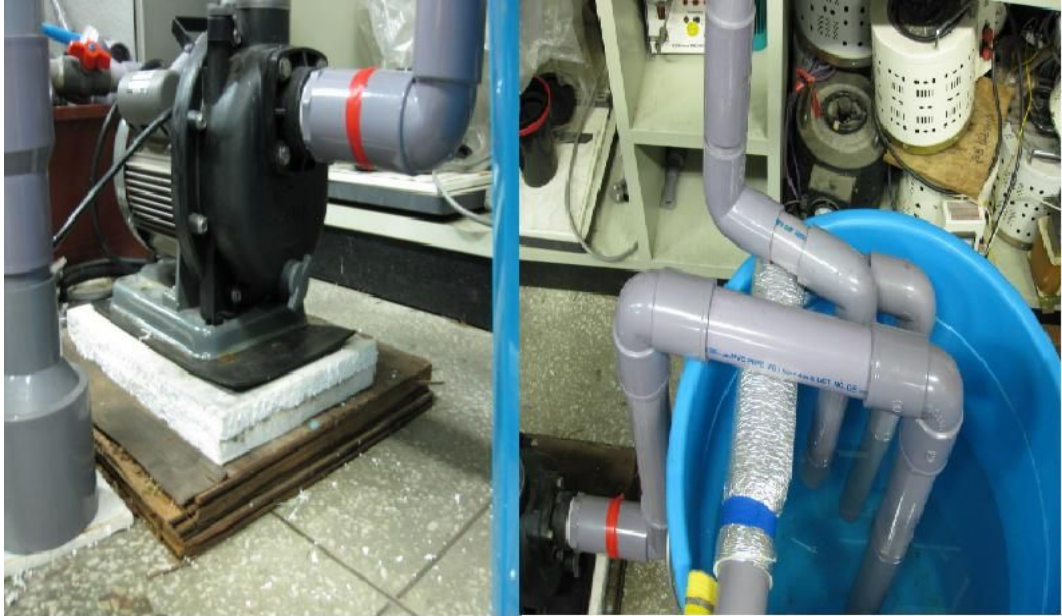


Fig.3.6 Aqueous Solution Tank and Pump



Fig.3.7 Photograph of Brine Tank

3.2 IPF 산정식

빙층진율[IPF]의 측정은 빙축열 시스템의 성능평가 및 얼음의 체적 팽창에 따른 축열조의 압력 파괴방지 등을 방지하기 위해 반드시 필요하며, 측정방법으로는 빙축열조 내에서 정지한 상태에서의 빙층진율 측정법 및 아이스슬러리와 같이 유동상태에서의 빙층진율 측정법이 있다.

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

$$IPF = \frac{X}{Q} \quad [1]$$

$$Q = q_{w0} + q_{EG0} = q_w + q_{EG} + X \quad [2]$$

식[2]에서 실험 초기 조건의 물과 에틸렌글리콜 용액의 부피 합과 실험종료 후의 물과 에틸렌글리콜 용액의 부피의 합에 생성된 아이스슬러리를 더한 값이 같음을 알 수 있다.

$$q_{w0} = Q \times [1 - C_0] \quad [3]$$

$$q_{EG0} = Q \times C_0 \quad [4]$$

$$q_w = Q \times [1 - C] \quad [5]$$

$$q_{EG} = Q \times C \quad [6]$$

식 [3], [4], [5], [6]을 실험을 통해서 얻어진 결과를 식 [2]에 대입하여 생성된 슬러리 아이스 양 X 를 구할 수 있고, 이를 통해서 [1]에 대입해서 IPF 값을 구할 수 있다.



3.3 노즐내 균일 유입 유량 확인

배관 내 유체의 특성을 파악하기 위한 실험은 노즐 입구에서의 균일한 유입이 보장되어야 하며 이러한 균일 유입이 보장되지 않으면 실험의 결과에 있어서 신뢰성이 떨어지게 된다. 그러므로 본 실험에서는 배관 내 노즐 입구 구간의 영향을 최소화하고 균일 유입을 확보하기 위해 다공관의 형태의 노즐을 자체 제작하여 실험을 수행하였다. 아래 식은 동일한 유량의 노즐을 제작하기 위하여 산정한 식이다.

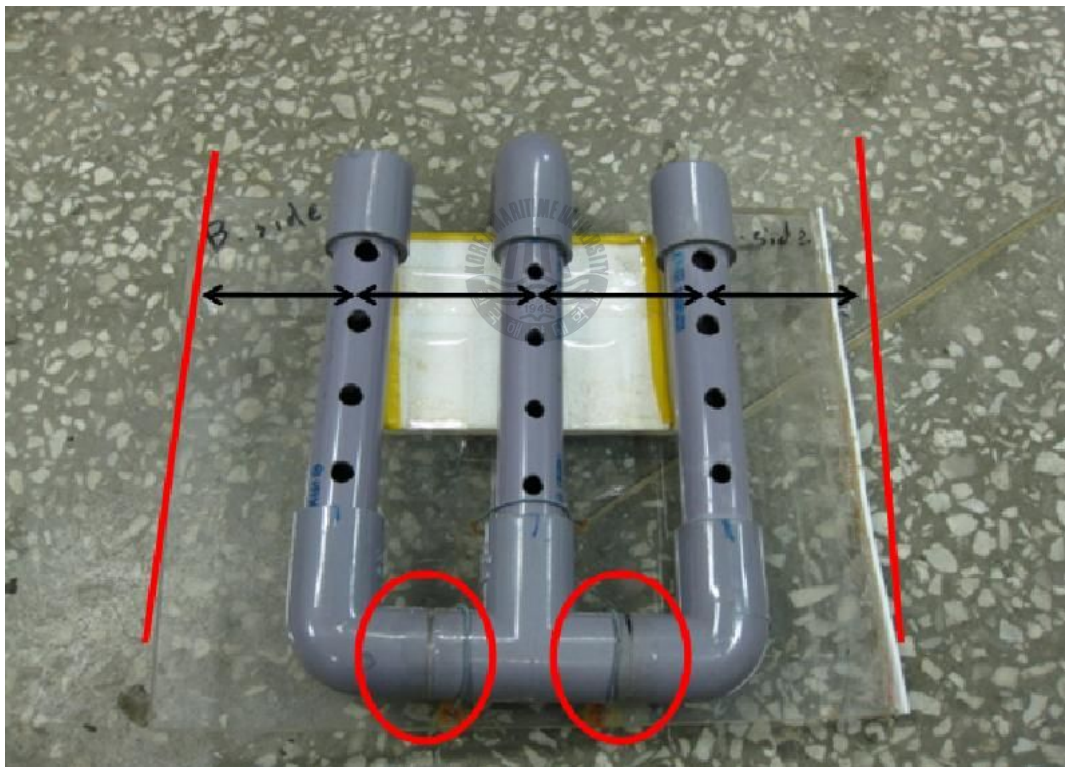


Fig.3.8 Photograph of Nozzle Apparatus

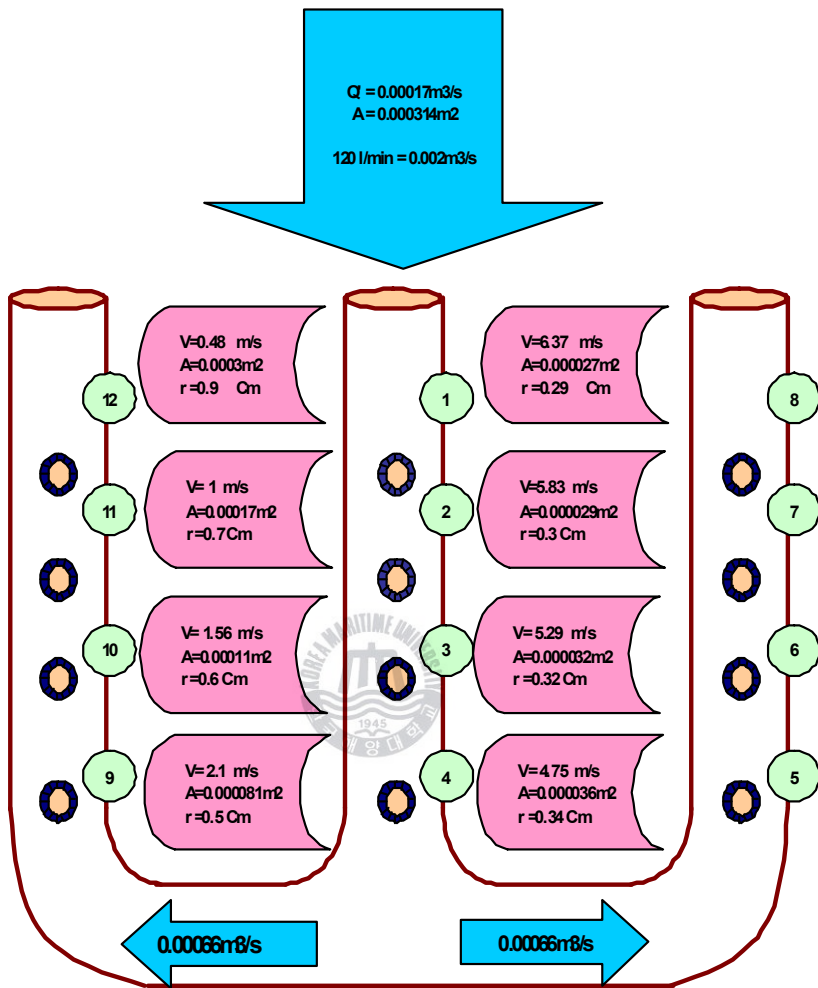


Fig.3.9 Nozzle Design Model

위의 Fig.3.9 Nozzle Design model의 12개 Nozzle의 Data값을 구하기 위해서 아래의 식을 이용하여 산출하였다.

1. 각 Nozzle의 유량 : 약 $10 \text{ l /min} = 0.00017 \text{ m}^3/\text{s}$
2. Brine 파이프의 단면적 A : 약 0.000314 m^2
3. Nozzle의 단면적 A' : Nozzle마다 사이즈 다름.
4. Brine 파이프의 Nozzle 유입 전 유량 : Q
5. 각 Nozzle의 동일한 유량 : Q'
6. Pump의 용량 : $120 \text{ l /min} = 0.002 \text{ m}^3/\text{s}$
7. Nozzle의 개수 : 12개

1 ~ 7의 조건을 이용하여 각 12개의 Nozzle에 대한 면적 계산을 하여 다음과 같은 값을 얻었다.



① No.1 Nozzle의 면적 계산

$Q = AV$ 를 이용하여 Brine 파이프 내의 속도를 구할 수 있다.

$0.002 \text{ m}^3/\text{s} = 0.00314 \text{ m}^2 \times V \text{ m/s}$ 에서 유속V를 구하면 $6.37 \text{ m}^3/\text{s}$ 이다. 식 $Q' = A'V$ 를 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$0.00017 \text{ m}^3/\text{s} = A' \times 6.37 \text{ m/s}$ 이므로, $A' = 0.000027 \text{ m}^2$ 이다.

따라서 Nozzle의 단면적을 알았기 때문에 반지름 $r = 0.29 \text{ cm}$ 를 구할 수 있다.

② No.2 Nozzle의 면적 계산

No.1 Nozzle에서 Q'가 $0.00017 \text{ m}^3/\text{s}$ 이므로 $[Q-Q'] = AV$ 이다.

$[0.002-0.00017] \text{ m}^3/\text{s} = 0.00314 \text{ m}^2 \times V \text{ m/s}$ 에서 유속 V 를 구하면 $6.37 \text{ m}^3/\text{s}$ 이므로, 식 $Q' = A'V$ 를 이용하여 아래와 같은 식을 구할 수 있다. 식 $[0.002-0.00017] \text{ m}^3/\text{s} = A' \text{ m}^2 \times 5.83 \text{ m/s}$ 을 이용하여 단면적 $A' = 0.000029 \text{ m}^2$ 이다.

따라서 Nozzle의 단면적을 알았기 때문에 반지름 $r = 0.3 \text{ cm}$ 를 구할 수 있었다.

위와 같은 방법으로 1 ~ 12개의 Nozzle의 V , A' , r 을 구할 수 있었다. 각각의 12개의 Nozzle의 유입되는 유체가 균일하게 분사되도록 실험 장치를 제작하여, 유체의 유속 및 유량 따른 아이스슬러리의 생성량 변화를 파악하였다.



3.4 실험방법 및 실험순서

수용액을 축열매체로 한 기존의 제빙시스템은 주로 Scraper에 의한 기계적 빙방리식 장치를 사용한 것으로서 냉각 및 제빙부에서 기계적 구동 장치를 필요로 한다. 본 실험에서 제작한 제빙장치는 이러한 기계적 구동부를 장착하지 않은 단순한 열교환기를 이용한 것으로서 수용액 농도 및 냉각조건을 달리하여 제빙을 실시하였다. 본 실험을 구현하기 위해서 냉각 온도 및 열교환기의 입구에서의 수용액의 온도 제어와 실험 장치로 유입되는 수용액의 유량 조건이 핵심 기술이 된다.

실험방법에서는 아래의 Table 1 Experimental Condition 실험조건에 따른 아이스슬러리의 제조의 특성을 비교 검토하였다. 실험조건으로 유체의 평균유속을 1.0 m/s, 2.0 m/s로, 에틸렌글리콜 수용액 농도를 10.0 %, 20.0 %로, Brine Temp를 $-10.0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-17.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 로 하여 각각의 조건으로 실험을 통하여 비교 검토하였다. 실험에 사용한 작동유체는 에틸렌글리콜 수용액을 사용하였으며, 에틸렌글리콜 수용액 농도 측정은 Fig.3.10 아타고 브라인 농도계[BR-1E]를 사용하여 각 실험이 종료 후 농도를 측정하였다. 실험은 투명한 수조에 칸막이를 설치하여 한쪽 면에는 Brine을 흐르게 하였고, 다른 쪽에는 에틸렌글리콜 수용액을 흐르게 하여 아이스슬러리를 생산하였다. 또한 400 ℓ의 용량을 갖는 수조에 브라인 Suction Line을 설치하여 $-17.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 및 $-10.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 로 냉각하여 아이스슬러리를 제조하였고, 0.12 m³/min의 용량을 갖는 순환 펌프에 의해 실험 회로에 보내진 수용액은 질량 유량계를 통과하여 12개의 Nozzle을 통해서 Copper Plate에 분사 되었으며, 생성된 아이스슬러리의 유량과 밀도는 질량 유량계를 이용하여 30분 간격으로 측정하였다.



Fig.3.10 Atago Brine Densitometer[BR-1E]

실험 회로의 측정은 실험 회로의 동일한 조건하에서 아이스슬러리가 없는 흐름에 대해 IPF값을 측정한 후 아이스슬러리 생성 시와 비교하여 IPF값을 측정 비교하였다. 또한 균일한 유속으로 수용액을 순환시키고 시험부 입구 영향을 최소화하기 위하여 자체 제작한 Nozzle을 설치하였다. 다음 순환 펌프를 작동시켜 아이스슬러리가 실험 회로에 유입되는 순간부터 농도 및 평균유속을 확인, 동시에 온도 Sensor를 이용하여 실험 온도를 측정하였다. 실험에 의해 측정된 IPF값의 결과는 30분마다 그 값을 기록하였다. 균일 유입 속도를 확인하기 위해서는 노즐내의 균일 유량 확인은 3.3 노즐내 균일 유입 유량 확인에 의해 해석되었다.

한편 실험에 이용된 수용액은 일정하게 20.0 % 및 10.0 %를 유지하였고, 이와 같이 수용액으로부터 제빙된 아이스슬러리는, 물과 얼음 입자

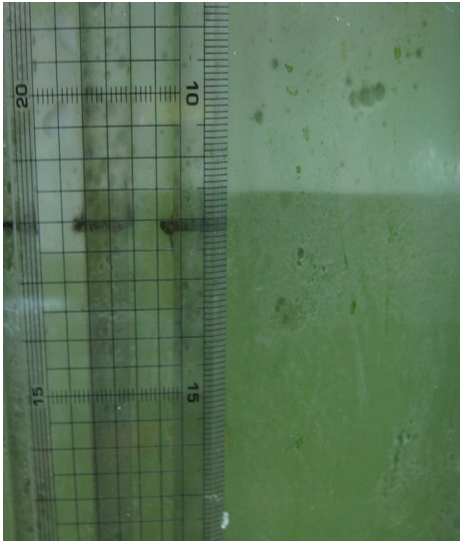
로 된 아이스슬러리에 비해, 제빙 시 또는 상호간의 결합에 의해 입자크기가 커지는 것이 억제되며 생산성도 향상되는 것으로 알려져 있다. [14]

순환 펌프를 작동 시켜 아이스슬러리가 실험 회로에 유입되는 순간부터 각 실험조건으로 나누어 테스트 시간은 2시간으로 하고, 30분 간격으로 온도 및 에틸렌글리콜 수용액 농도를 측정하면서 각 실험 변위마다 아이스슬러리의 생산량을 조사하였다.

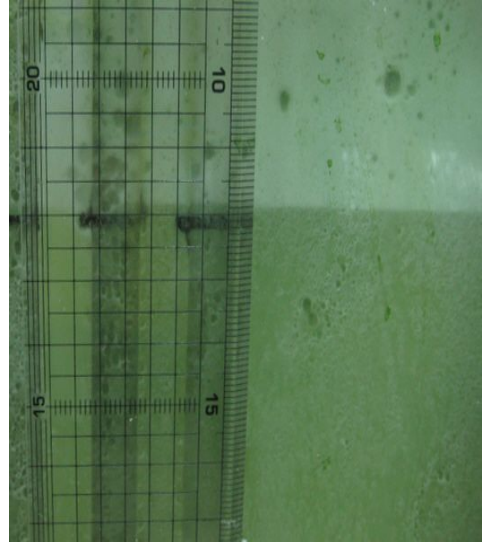
실험은 수용액의 냉각온도는 제빙 실험 전 수차례의 예비 실험을 통하여 일정하게 유지시킨 다음 냉각브라인을 공급하는 시점을 실험 개시 시간으로 하였으며, 30분이 경과된 시점에서 수용액의 농도를 측정하여 아이스슬러리의 충진율 IPF값을 산출하였다.

Table 1 Experimental Condition

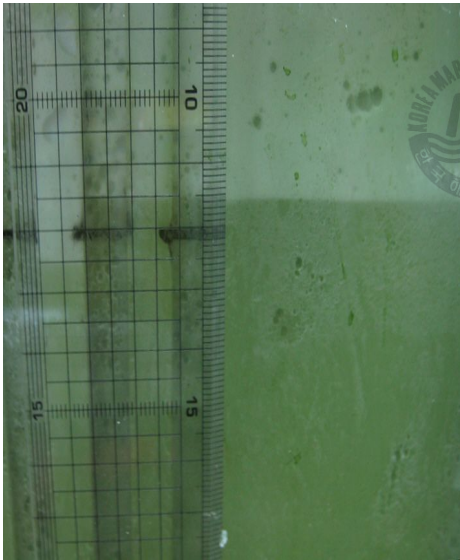
| Condition | Range |
|------------------------|--------------|
| Brine Temp.[°C] | -10.0, -17.0 |
| Brine Concentration[%] | 10.0, 20.0 |
| Mean Velocity[m/s] | 1.0, 2.0 |



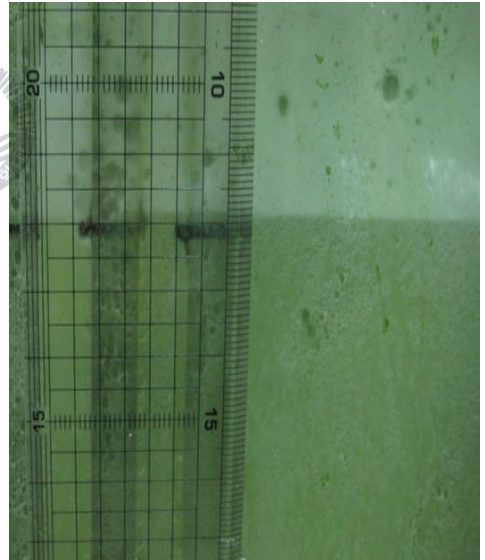
EG Brine Concentration 15.0 %



EG Brine Concentration 15.0 %

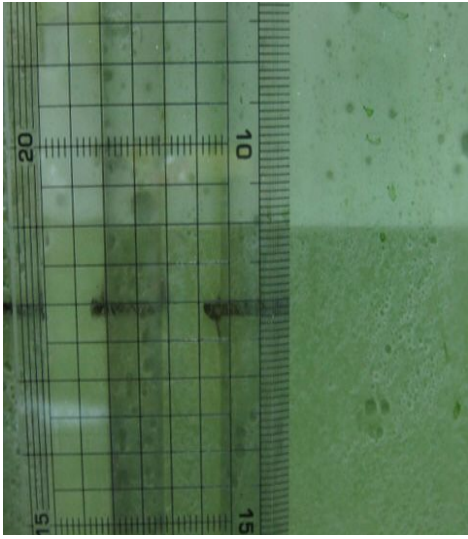


EG Brine Concentration 15.0 %

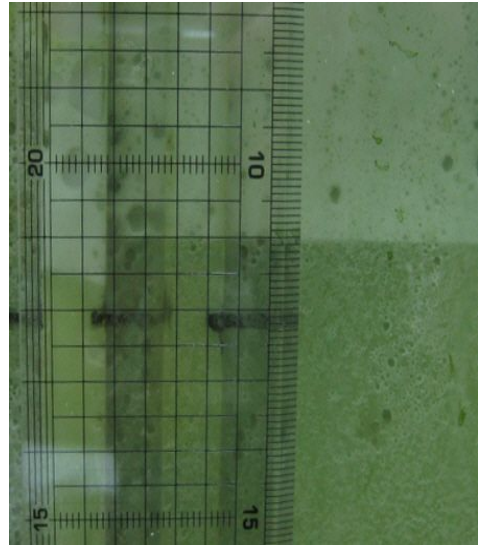


EG Brine Concentration 15.0 %

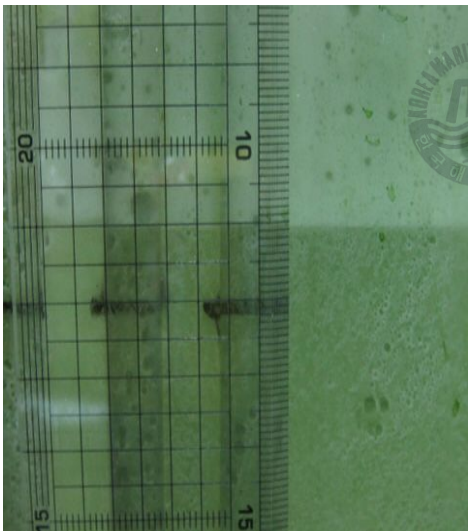
Fig.3.11 EG Brine Concentration 10.0 %, Mean Velocity 1.0 m/s
Brine Temperature -10.0 °C



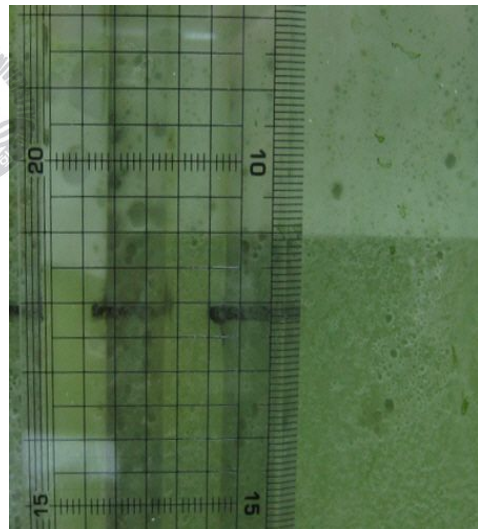
EG Brine Concentration 15.0 %



EG Brine Concentration 16.0 %



EG Brine Concentration 16.0 %

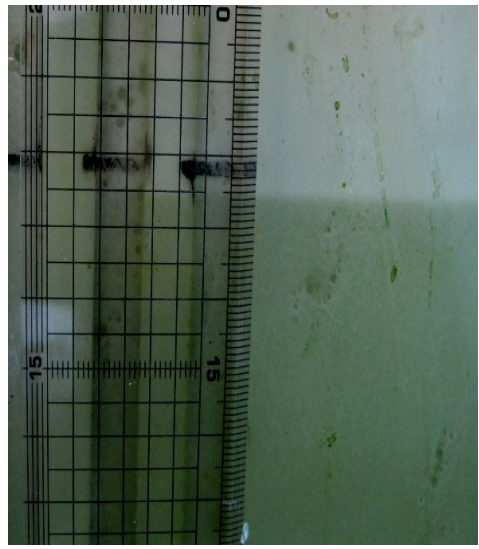


EG Brine Concentration 16.0 %

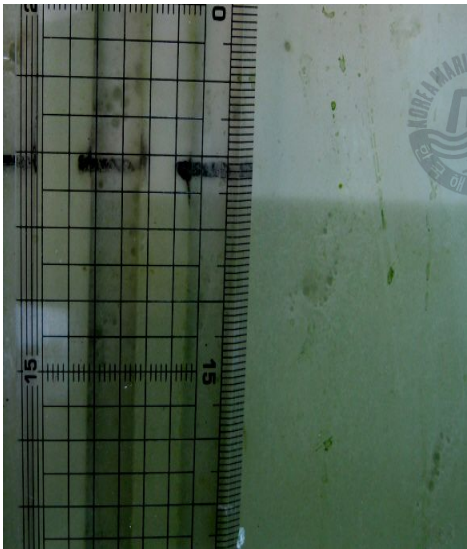
Fig.3.12 EG Brine Concentration 10.0 %, Mean Velocity 2.0 m/s
Brine Temperature -10.0 °C



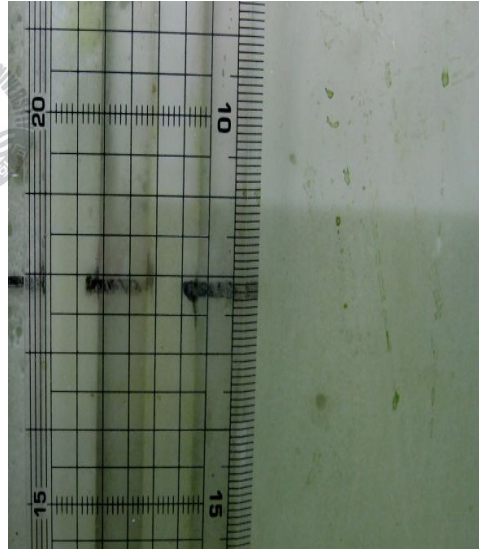
EG Brine Concentration 17.0 %



EG Brine Concentration 18.0 %

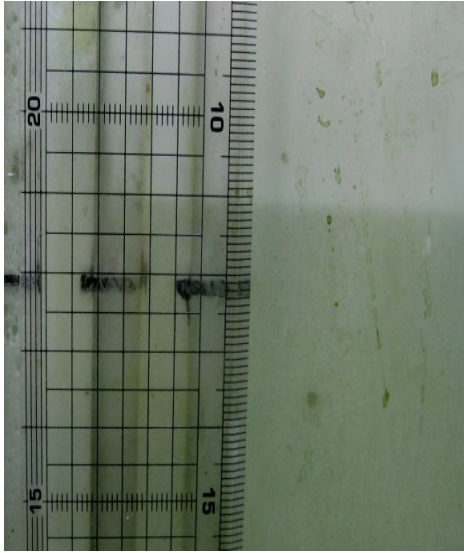


EG Brine Concentration 18.0 %

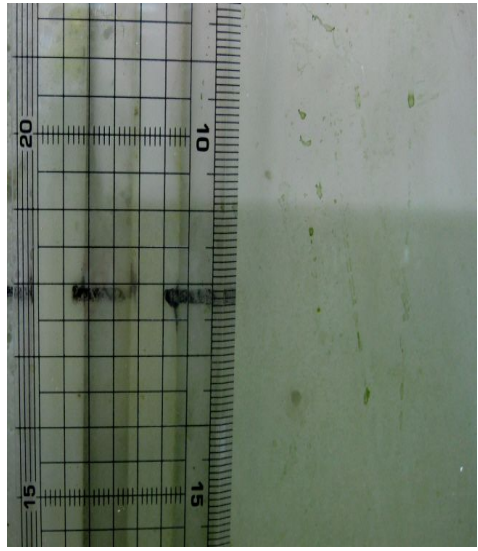


EG Brine Concentration 18.0 %

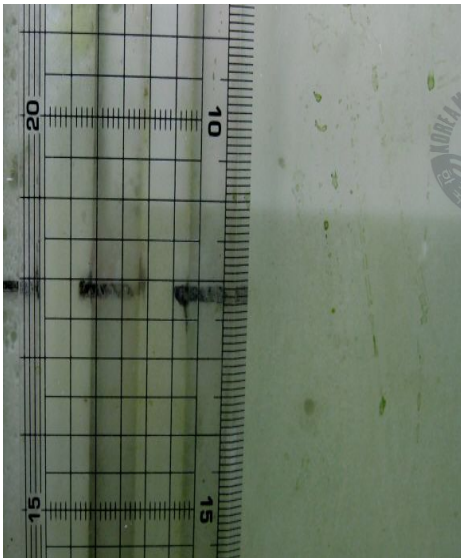
Fig.3.13 EG Brine Concentration 10.0 %, Mean Velocity 1.0 m/s
Brine Temperature -17.0 °C



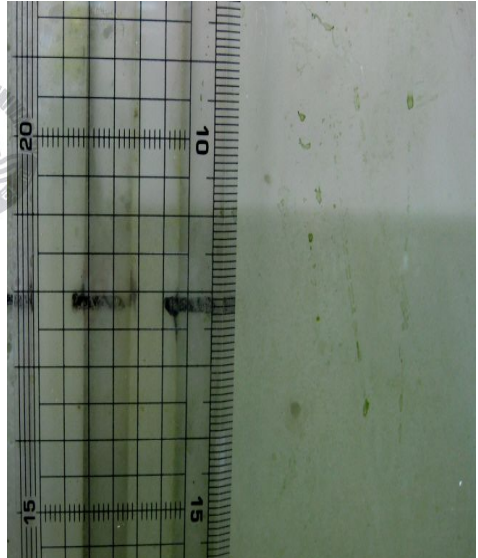
EG Brine Concentration 18.0 %



EG Brine Concentration 19.0 %

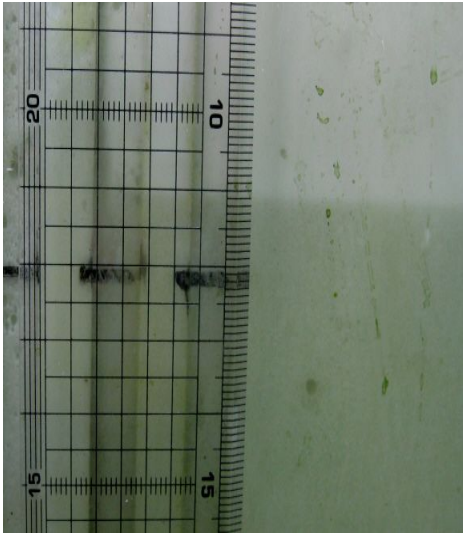


EG Brine Concentration 19.0 %

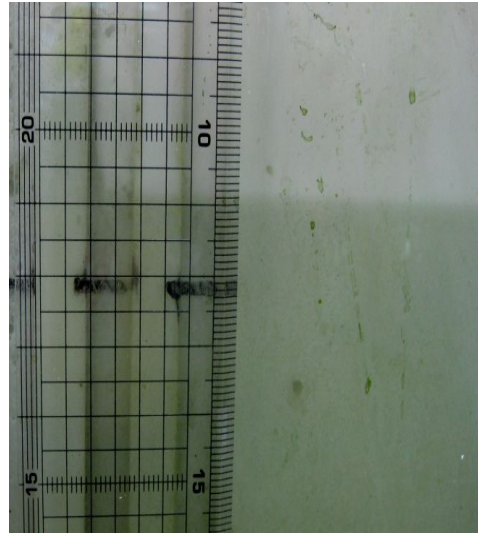


EG Brine Concentration 19.0 %

Fig.3.14 EG Brine Concentration 10.0 %, Mean Velocity 2.0 m/s
Brine Temperature -17.0 °C



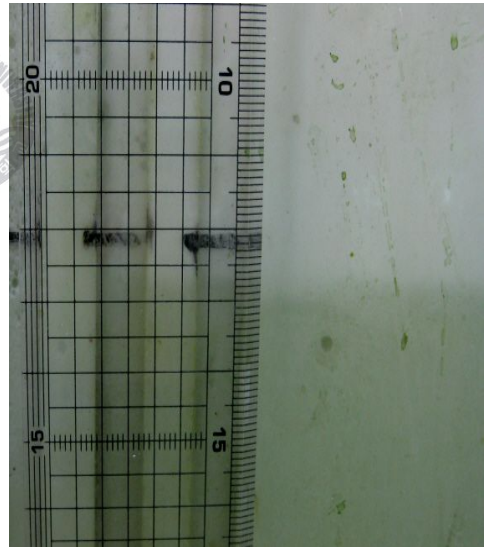
EG Brine Concentration 22.0 %



EG Brine Concentration 23.0 %

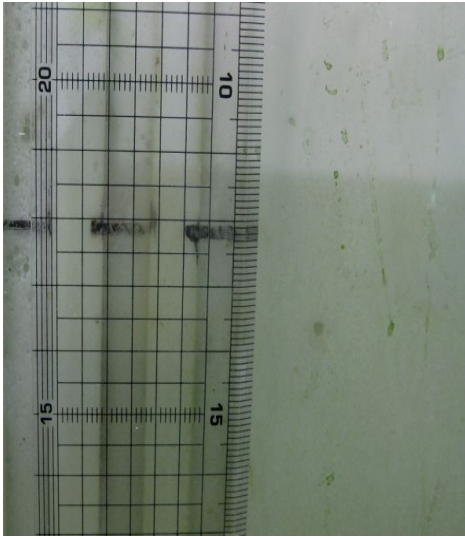


EG Brine Concentration 23.0 %

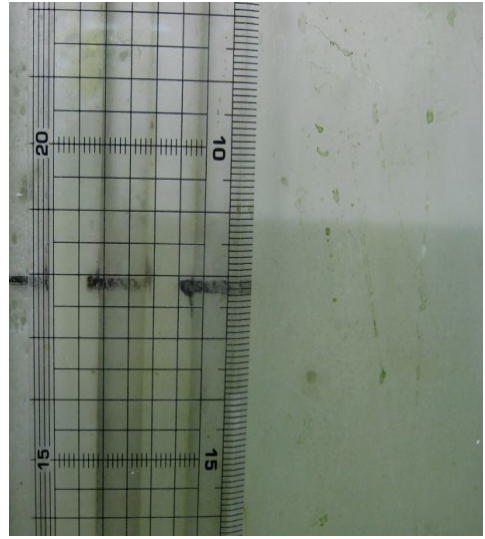


EG Brine Concentration 23.0 %

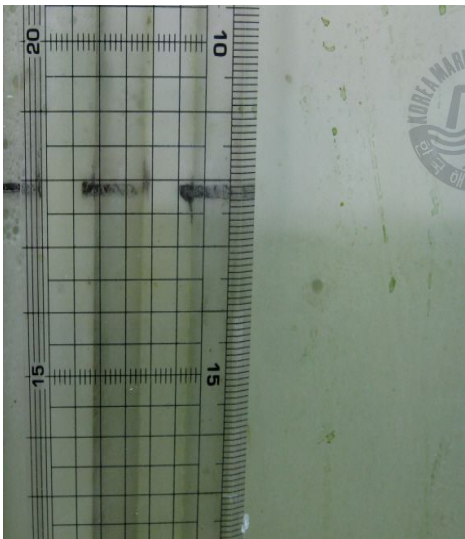
Fig.3.15 EG Brine Concentration 20.0 %, Mean Velocity 1.0 m/s
Brine Temperature -17.0 °C



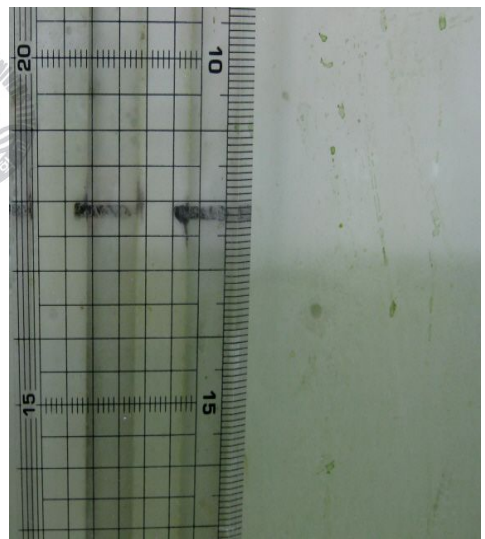
EG Brine Concentration 23.0 %



EG Brine Concentration 24.0 %

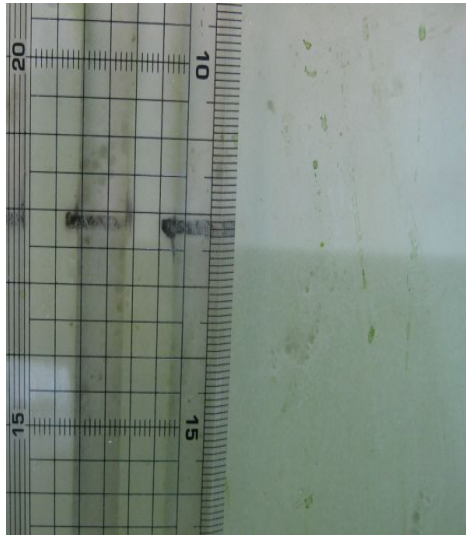


EG Brine Concentration 24.0 %

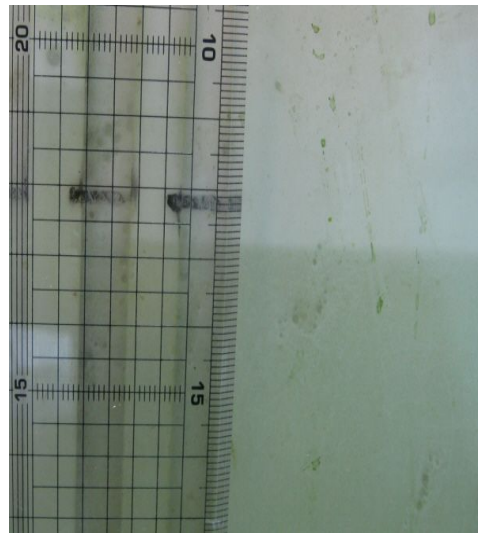


EG Brine Concentration 24.0 %

Fig.3.16 EG Brine Concentration 20.0 %, Mean Velocity 2.0 m/s
Brine Temperature -17.0 °C



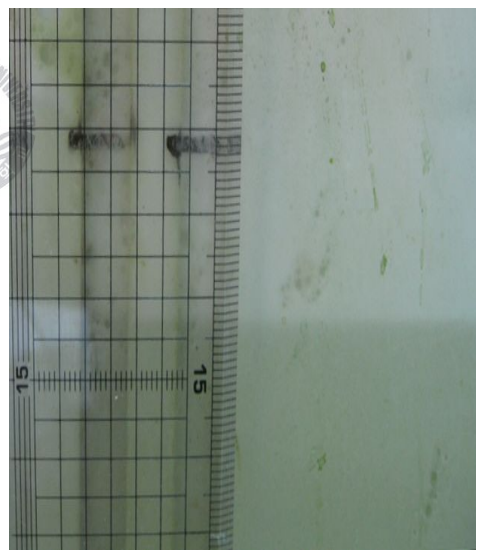
EG Brine Concentration 21.0 %



EG Brine Concentration 21.0 %

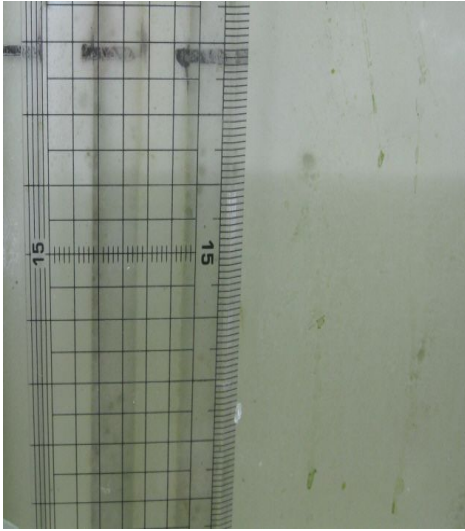


EG Brine Concentration 21.0 %

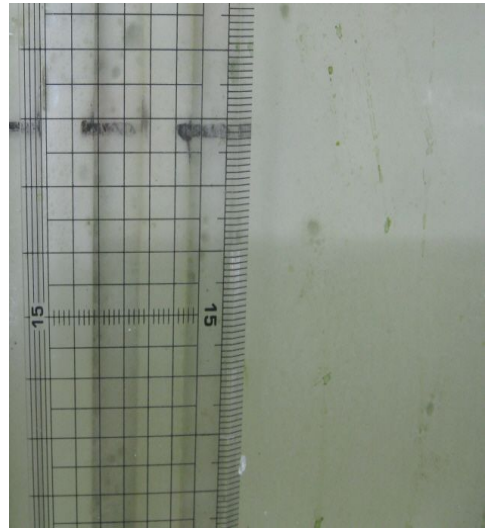


EG Brine Concentration 21.0 %

Fig.3.17 EG Brine Concentration 20.0 %, Mean Velocity 1.0 m/s
Brine Temperature -10.0 °C



EG Brine Concentration 21.0 %



EG Brine Concentration 22.0 %



EG Brine Concentration 22.0 %



EG Brine Concentration 22.0 %

Fig.3.18 EG Brine Concentration 20.0 %, Mean Velocity 2.0 m/s
Brine Temperature -10.0 °C



Fig.3.19 Photograph of Ice-Slurry



Fig.3.20 Photograph of Ice-Slurry Test



Fig.3.21 Photograph of Temperature Recorder(DR230)

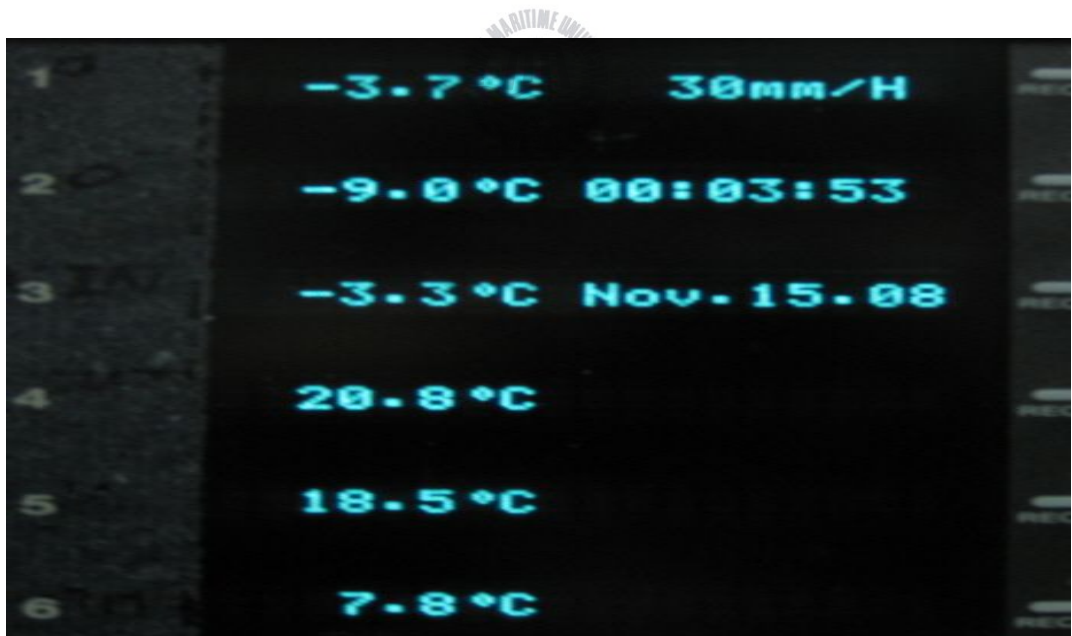


Fig.3.22 Experiment is to Measure the Temperature Recorded

Fig.3.11~Fig.3.18은 수용액 분사에 의한 아이스슬러리의 제조 특성에 관한 실험과정을 나타낸 것이다. 위의 그림과 같이 실험 장치를 준비하기 위해 시스템 설계부터 시작하여 아이스 슬러리 실험 장치는 6개월 이상의 시간을 가지고 준비하였다. 아이스슬러리 제조 시스템의 운전으로 단순히 냉동 능력을 파악하는 것이 아니라 아이스슬러리를 경제적으로 생성하는 방법에 주안점을 두고 실험 조건의 변위를 변경해가면 실험을 시작하였다. 실험방법은 브라인 온도를 $-10.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 와 $-17.0\text{ }^{\circ}\text{C}$, 유속을 1.0 m/s 와 2.0 m/s 에틸렌글리콜 수용액의 농도를 10.0% 와 20.0% 로 각각의 파라미터를 변화시켜 4번의 실험을 수행하였으며, 또한 브라인 수용액의 온도는 탱크 안에 설치된 온도 조절장치를 이용하여 실험온도 범위를 항상 일정하게 유지하였으며, 브라인 수용액의 유속은 이송관의 바이패스 밸브를 조절하여 유속계를 이용하여 1.0 m/s 와 2.0 m/s 되도록 유지하여 실험을 하였다. 브라인 수용액의 농도측정은 아타고 브라인 농도계(BR-1E)를 사용하여 실험 시작과 실험 종료 후의 농도를 측정하여 IPF 계산식을 이용하여 IPF값을 산출하였다.

각각의 실험조건은 Table1 Experimental Condition에 따라서 실험을 진행하였고, 각 실험 조건에 따라서 30분 간격으로 2시간 동안 실험 장치를 운전하였으며, 4회분을 평균데이터로 성능분석에 활용하였으며, 성능 시험의 결과 데이터는 각종 계측기에서 측정한 데이터를 Data Logger를 통하여 컴퓨터에 데이터를 저장하였다. Brine Concentration, Mean Velocity, Brine Temperature 3가지 실험 변위를 이용하여 수용액 분사에 의한 아이스슬러리를 제조에 관한 실험을 하였다.

아래의 Table2 Experimental Results는 수용액 체트분사에 의한 아이스 슬러리 제조의 전 실험결과 과정을 IPF값으로 나타낸 것이며, Table3

Experimental Average Results는 각 실험 변위마다 30분 간격으로 총4회 동안 아이스슬러리를 생산한 IPF값을 평균으로 나눈 데이터 값을 나타낸다. Fig.3.19 ~Fig.3.20은 수용액 분사에 의한 아이스슬러리 제조에 관한 실험으로 시스템 운전 후 실험 장치의 내부의 아이스슬러리의 동결 사진을 보여주고 있으며, Fig.3.21 ~ Fig.3.22는 실험 과정 중 수용액의 온도를 Temperature Recorder[DR230]을 이용하여 유체의 온도를 나타내는 모습이다.



Table2 Experimental Results

| Brine Concentration [%] | Mean Velocity [m/s] | Brine Temp. [°C] | IPF [%] | 30 min IPF [%] | 60 min IPF [%] | 90 min IPF [%] | 120 min IPF [%] |
|-------------------------|---------------------|------------------|---------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| 10.0 | 1.0 | -10.0 | 14.0 | 15.0 | 15.0 | 15.0 | 15.0 |
| 10.0 | 2.0 | -10.0 | 15.0 | 15.0 | 16.0 | 16.0 | 16.0 |
| 10.0 | 1.0 | -17.0 | 17.0 | 17.0 | 18.0 | 18.0 | 18.0 |
| 10.0 | 2.0 | -17.0 | 18.0 | 18.0 | 19.0 | 19.0 | 19.0 |
| 20.0 | 1.0 | -17.0 | 22.0 | 22.0 | 23.0 | 23.0 | 23.0 |
| 20.0 | 2.0 | -17.0 | 22.0 | 23.0 | 24.0 | 24.0 | 24.0 |
| 20.0 | 1.0 | -10.0 | 22.0 | 21.0 | 21.0 | 21.0 | 21.0 |
| 20.0 | 2.0 | -10.0 | 21.0 | 21.0 | 22.0 | 22.0 | 22.0 |

Table3 Experimental Average Results

| Brine Concentration [%] | Mean Velocity [m/s] | Brine Temp. [°C] | Average IPF [%] |
|-------------------------|---------------------|------------------|-----------------|
| 10.0 | 1.0 | -10.0 | 14.8 |
| 10.0 | 2.0 | -10.0 | 15.6 |
| 10.0 | 1.0 | -17.0 | 17.6 |
| 10.0 | 2.0 | -17.0 | 18.6 |
| 20.0 | 1.0 | -17.0 | 22.6 |
| 20.0 | 2.0 | -17.0 | 23.4 |
| 20.0 | 1.0 | -10.0 | 21.2 |
| 20.0 | 2.0 | -10.0 | 21.6 |

제 4 장 실험결과 및 고찰

4.1 평균 유속에 의한 영향

본 실험에서는 수용액의 유속은 배관에 부착 되어있는 밸브의 개폐 변화로 조절하도록 하였다. 수용액의 제빙 및 관 폐색에 유의하며 유속을 달리하는 제빙 실험으로 아래와 같은 결론을 얻게 되었다.

Fig.4.1은 브라인 수용액의 온도를 $-10.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 로 일정하게 유지하고 냉각 동관에 분사하는 유속을 증가함으로 나타나는 결과를 IPF값으로 변환한 그래프이다. Fig.4.1에서 나타난 것처럼 브라인 수용액 온도를 $-10.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 로 유지하고, 수용액의 유속을 변화를 주면 평균유속이 증가함에 따라 IPF값이 점점 증가하는 것을 알 수 있다. 특히 분사되는 브라인 수용액의 온도가 낮은 쪽이 높은 쪽보다 약 3.0 % 높은 것을 알 수 있다. Fig.4.2에서도 브라인 수용액온도를 $-17.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 로 유지하고 동일한 조건으로 실험을 진행한 것으로서 수용액 온도가 감소함으로서 전체적으로 IPF값이 증가하는 것을 알 수 있으며, 마찬가지로 유속이 증가할수록 IPF값은 증가함을 알 수 있다.

본 실험에서는 유속에 따라서 아이스슬러리의 생산량을 살펴본 결과 유속이 빠를수록 IPF값이 증가하는 것을 실험 그래프를 통해서 보여 주고 있다. 그 원인으로는 평균유속이 증가하게 되면 노즐에서 분사되는 수용액은 큰 운동에너지에 의해 냉각 동관에서 큰 충격을 받고 에틸렌글리콜과 물이 미립화 되면, 미립화된 물 분자는 열 교환을 많이 할 수 있게 되어서 아이스슬러리의 생산량이 늘어나서 IPF값이 증가한 것으로 판단된다. 이는 유속이 느린 상태에서는 수용액이 관을 통해서 동관으로

나오기까지 압력 손실이 커져서 IPF값이 낮아지게 된다. 그래서 평균 유속이 1.0 m/s 미만인 경우에는 유속이 너무 작아 생성된 아이스슬러리가 냉각 동판에 부착되기 때문에 IPF값이 증가하지 않는 것으로 판단되어진다.



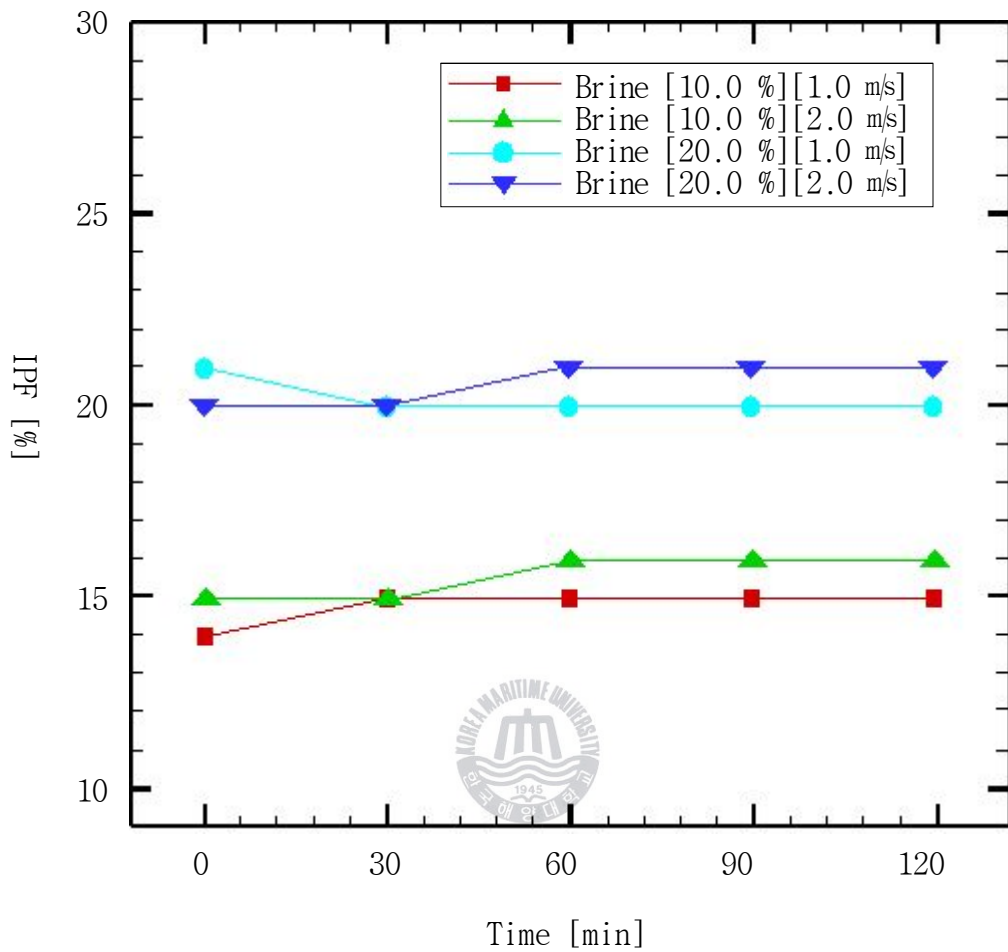


Fig.4.1 Effect of Mean Velocity Change at Brine Concentration [-10.0 °C]

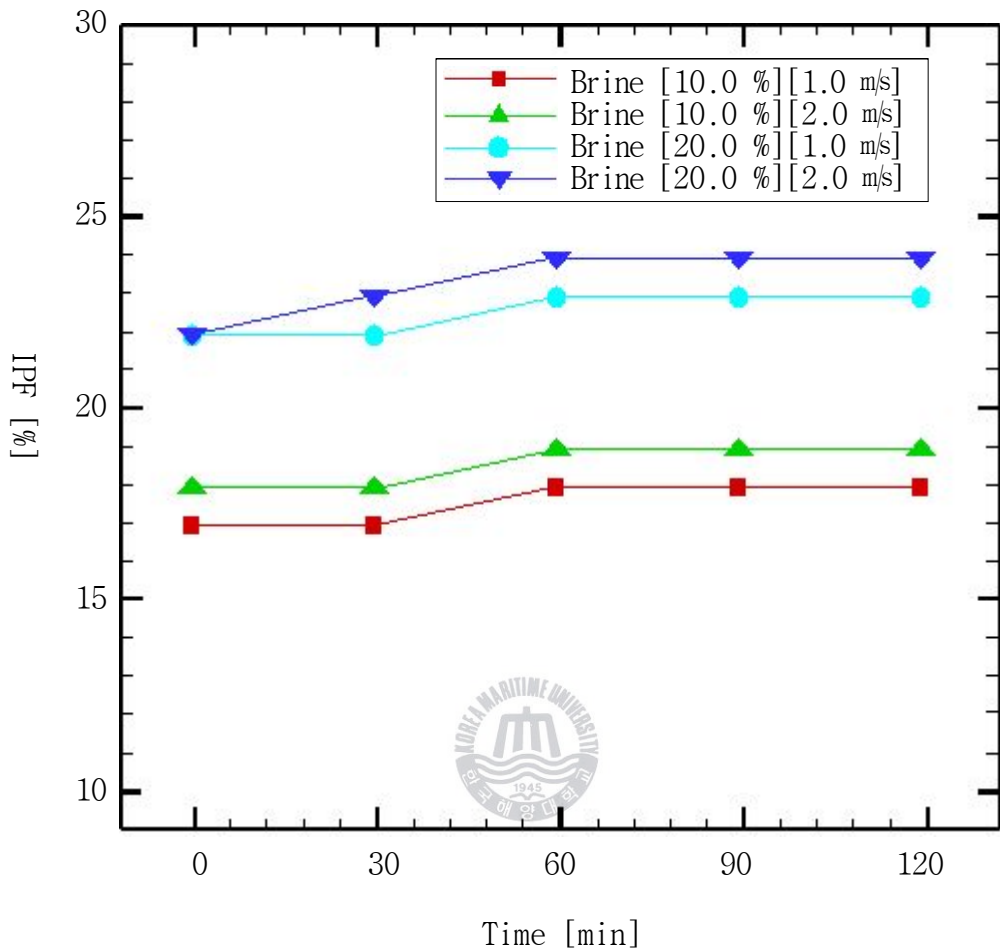


Fig.4.2 Effect of Mean Velocity Change at Brine Concentration [-17.0 °C]

4.2 냉각 온도에 의한 영향

Fig.4.3은 브라인 수용액 농도를 10.0 %로 유지하고 브라인 수용액의 유속을 달리하여 브라인 수용액의 온도에 따라 나타나는 결과를 IPF값으로 변환한 그래프로서 브라인 온도가 낮아짐에 따라서 IPF값은 전체적으로 증가함을 알 수 있다.

마찬가지로 Fig.4.4에서도 브라인 수용액 농도가 20.0 %인 경우에도 동일하게 냉각온도가 낮을수록 IPF값이 전체적으로 증가하는 것을 알 수 있다. 브라인 수용액의 온도가 낮아질수록 IPF값이 증가하는 원인은 브라인 온도가 낮아짐에 따라서 동결점에 도달하는 아이스슬러리 양이 증가하였기 때문이다. 이는 냉각 온도가 낮을수록 동결량이 크게 증가하기 때문이라고 판단된다.

실험을 통하여 냉각온도가 낮을수록 에틸렌글리콜 수용액 내부에서 동결점에 도달하는 아이스슬러리 양이 증가하기 때문에 IPF값이 높아진 것으로 판단된다.

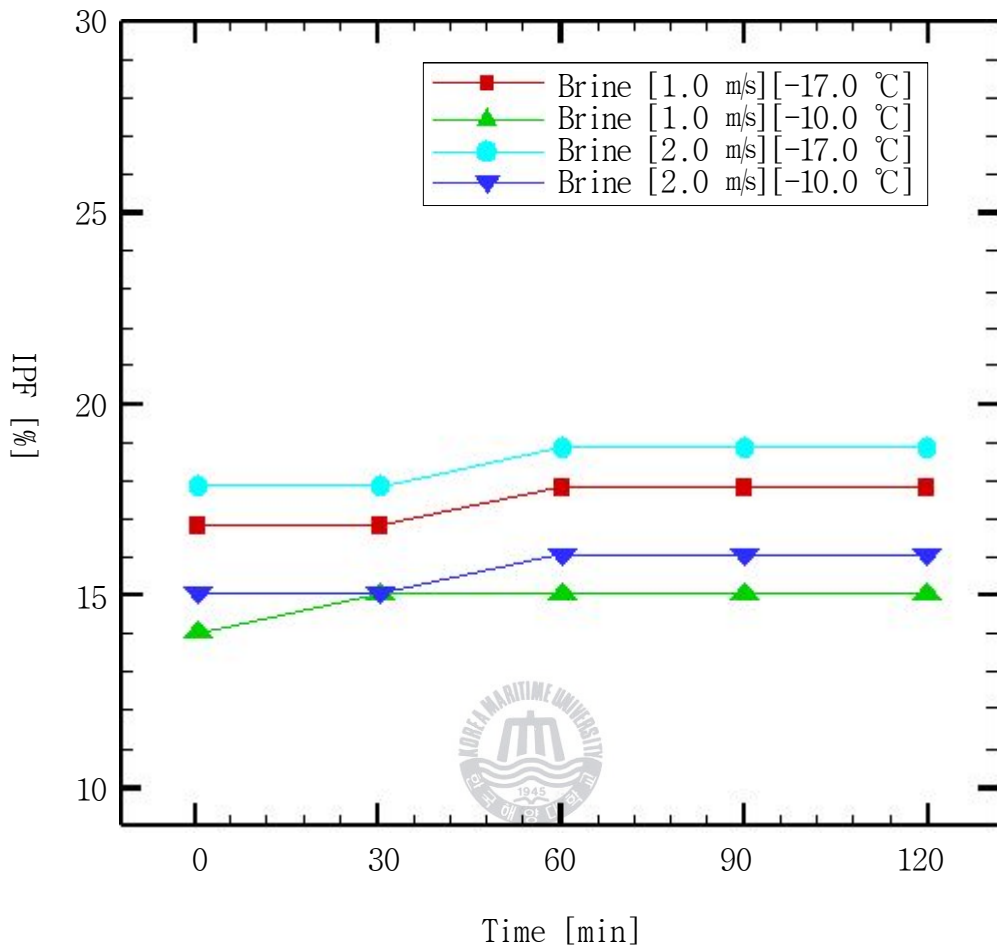


Fig.4.3 Effect of Temperature Change at Brine Concentration [10.0 %]

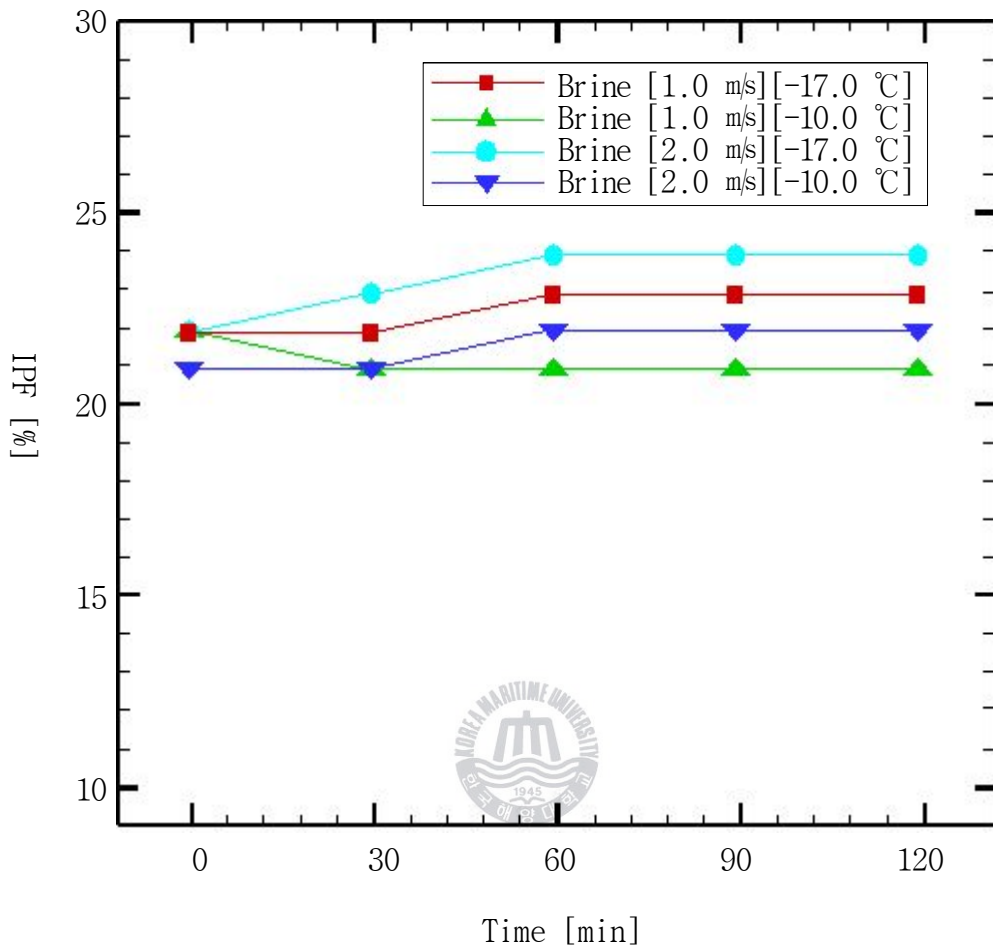


Fig.4.4 Effect of Temperature Change at Brine Concentration [20.0 %]

4.3 수용액 농도에 의한 영향

수용액 농도를 변화시켜 가며 조성비를 구성하면서 아이스슬러리의 연속 제빙 실험을 수행하였다. Fig.4.5는 수용액 온도를 $-10.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 로 일정하게 유지하고 냉각 동판으로 분사하는 수용액의 농도를 다르게 하여 얻은 실험 결과 값을 IPF로 변환한 그래프로서 전체적으로 농도가 증가 할수록 IPF값은 증가하는 모습을 볼 수 있다. 수용액농도를 10.0 %에서 20.0 %로 감소하여 실험한 모습은 전체적으로 농도가 증가 할수록 IPF값은 증가함을 아래의 그래프를 통해서 알 수 있다.

Fig.4.5의 그래프를 보면 유속이 빠른 쪽이 약 1.0 %정도 IPF값이 높게 나타난 결과를 알 수 있다. 마찬가지로 Fig.4.6 그래프는 냉각온도를 $-17.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 로 일정하게 유지하고 수용액농도를 10.0 %에서 20.0 %로 변화시키면 IPF값이 증가하는 것을 알 수 있다. 수용액의 농도에 따라서 그다지 일정한 패턴을 잘 볼 수는 없지만, 대개 수용액 농도가 20.0 %일 때가 10.0 %인 경우보다 IPF값이 비교적 높게 나온 것을 알 수가 있다.

이는 수용액을 첨가하지 않고 물만을 이용하여 아이스슬러리를 제조하는 경우보다 수용액을 첨가한 경우가 더 높은 값의 IPF를 얻을 수 있었다. 이러한 이유로 에틸렌글리콜농도가 높으면 얼음이 형성되는 과정을 방해하는 작용이 적어지게 때문에 IPF값이 증가한 것으로 판단된다.

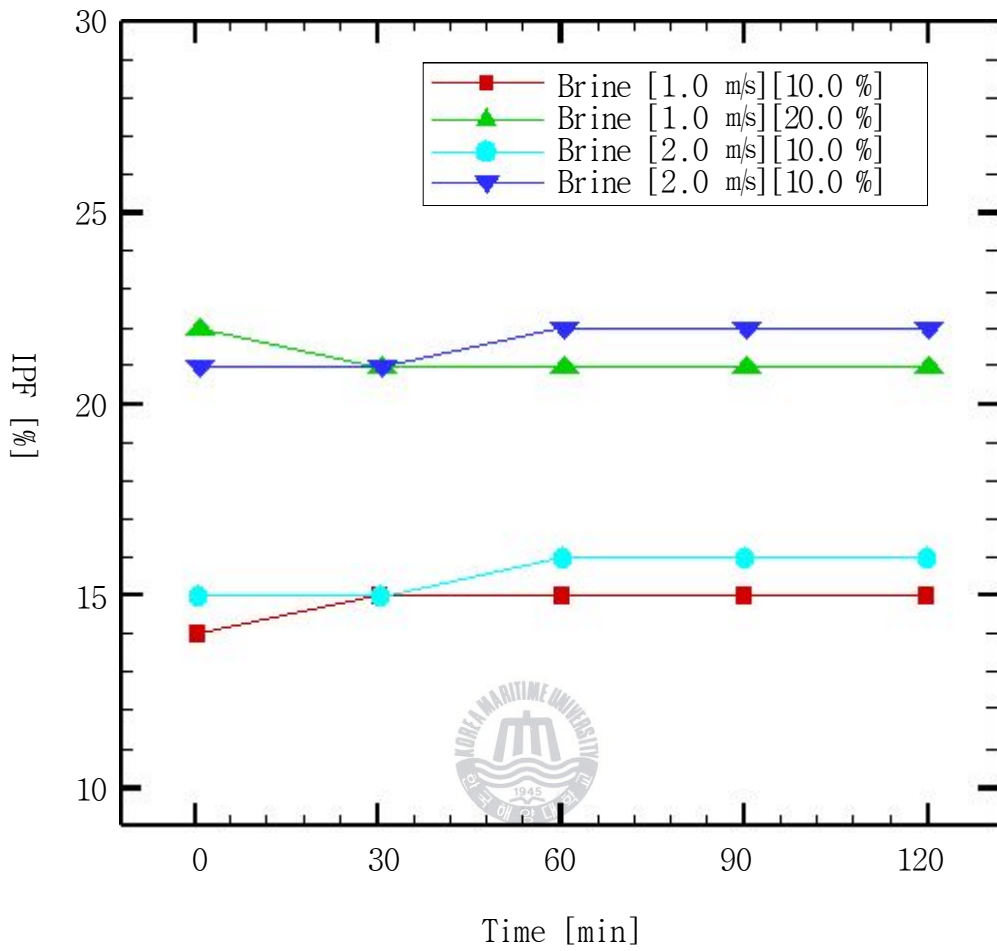


Fig.4.5 Effect of Concentration Change at Brine Temperature [-10.0 °C]

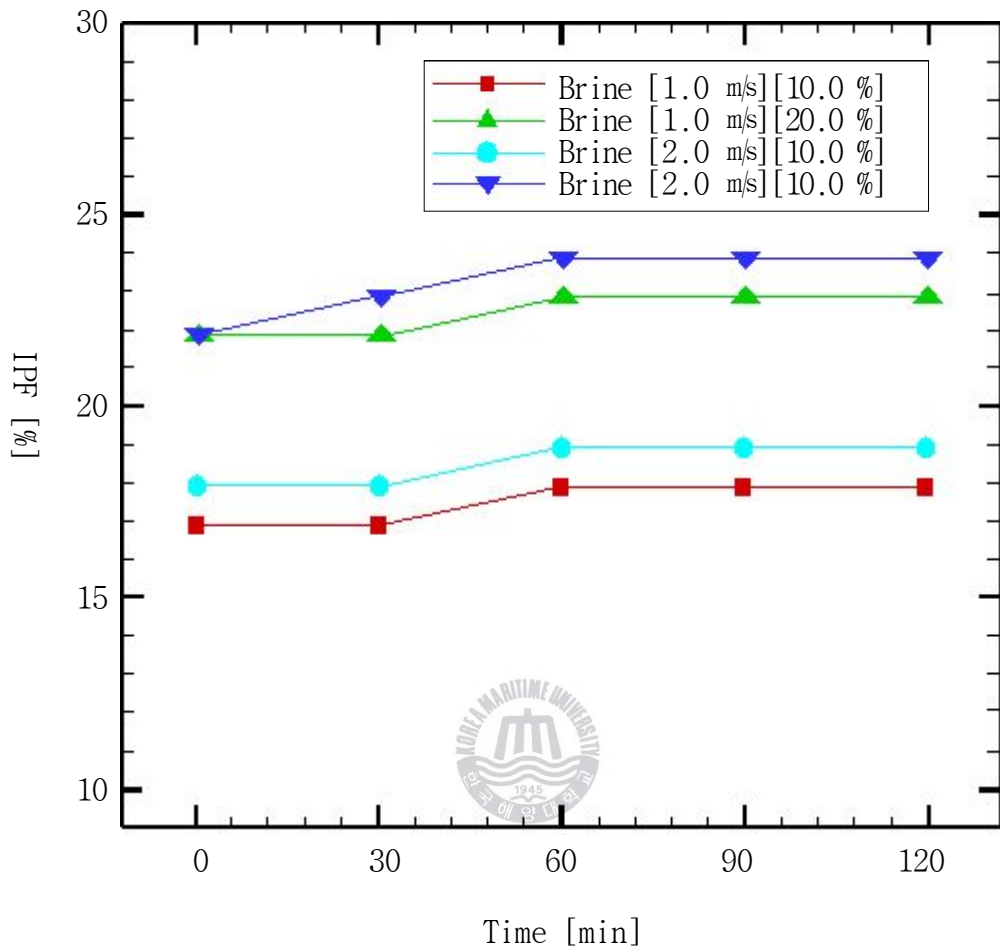


Fig.4.6 Effect of Concentration Change at Brine Temperature [-17.0 °C]

제 5 장 결 론

본 논문은 아이스슬러리 연구에 있어 빙축열 시스템의 가장 기본적인 아이스슬러리의 제조의 특성을 파악하여 더 나아가 아이스슬러리를 이용하여 제빙 열교환기를 제작하기 위한 기초 이론으로 하는데 그 목적이 있다.

에틸렌글리콜[Ethylene glycol] 수용액 농도 10.0 %, 20.0 %를 이용하여 냉각온도 $-10.0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-17.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 및 평균 유속 1.0 m/s, 2.0 m/s 실험 조건으로 나누어 수용액 제트 분사에 의한 아이스슬러리의 제조 및 특성을 살펴보았다.

위와 같은 실험조건에 의해 실험을 수행한 결과 본 실험 범위 내에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.



1. 에틸렌글리콜[Ethylene glycol] 수용액의 평균 유속이 증가하면 할수록 아이스슬러리의 IPF값은 증가한다.
2. 냉각 브라인 온도가 낮아질수록 아이스슬러리의 생성량 IPF값은 증가하게 된다.
3. 수용액 농도가 증가할수록 아이스슬러리의 생성량 IPF값은 증가하게 된다.

참 고 문 헌

- (1) 조성은, 「부하변동에 따른 빙축열 시스템의 경제적 운전방식에 관한 연구」, 중앙대학교 대학원 학위논문(2003)
- (2) 박기원, 「빙축열시스템의 현재와 전망」, 냉동동조기술163권(1988)
- (3) 강채동 외, 「빙축열시스템의 국내외 보급 현황」, 대한설비공학회(2003)
- (4) 박승상 외, 「빙축열시스템의 이용기술」, 설비공학회저널 Vol.30(2001)
- (5) 윤제호 외, 「Slurry Ice를 이용한 빙축열기술 연구 동향」, 한국냉동공조 기술협회, 빙축열 시스템 강연회 원고(1977)
- (6) 강한기, 「중국의 빙축열 시장 현황」, 투데이에너지(2008)
- (7) 이동원, 「아이스슬러리를 이용한 냉열 수송」, 설비공학회저널Vol.12(2001)
- (8) 박기원 「아이스슬러리 빙축열 시스템의 개요」, 한국설비기술협회 제20권 제2호 통권221(2003)
- (9) 이동원, 「냉각·냉장용 열교환기에서의 아이스슬러리 이용기술 개발」, 산업자원부(2005)
- (10) 홍희기 외, 「판형 열교환기를 이용한 아이스 슬러리 생성장치」, 대한설비 공학회 동계학술 발표대회 논문집(2004)
- (11) 이동규, 「판형열교환기를 이용한 수용액의 과냉각 및 아이스슬러리의 연속생성」, 전북대 대학원(2008)
- (12) 권재성 외, 「지역냉방을 위한 아이스슬러리의 연속제조 및 배관내 빙충전을 조절」, 설비공학 논문집 제20권 제12호(2008)
- (13) 이동원 외, 「소구경 배관내 아이스슬러리의 유동현상 및 압력강하 특성에 관한 실험」, 설비공학논문집 제14권 제5호(2002)

(14)노승탁, 「부착 및 재결정 억제를 위한 수용액 이용 아이스슬러리 생성기술」, 산업자원부(2004)

