

碩士學位論文

수용액 냉각에 의한 아이스슬러리의
생성 및 부착에 관한 연구

A Study on Ice Slurry Formation and Adhesion by
Cooling Aqueous Solution

指導教授 朴 涇 錫
洪 熙 基

慶熙大學校 大學院
機械工學科

李 勇 周

2002年 2月 日

수용액 냉각에 의한 아이스슬러리의
생성 및 부착에 관한 연구

指導教授 朴 涇 錫
洪 熙 基

이 논문을 기계공학과 석사학위논문으로 제출함

慶熙大學校 大學院
機械工學科

李 勇 周

2002年 2月 日

이용주의 석사학위 논문을 인준함

主審教授 (印)

副審教授 (印)

副審教授 (印)

慶熙大學校 大學院

2002年 2月 日

요 약

본 연구에서는 동적형 빙축열시스템에서 사용되는 3성분계 수용액을 제작하여 냉각면에서의 빙생성 및 부착을 확인하였다. 냉각면에서의 빙부착을 억제하기 위하여 제면활성제로서 실란커플링제($\text{H}_2\text{N}(\text{CH}_2)_3\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3$)를 사용하였다. 시라놀수용액에 에틸렌글리콜을 첨가한 혼합액을 제작하여 과냉도 및 에틸렌글리콜의 농도에 따른 빙생성 및 부착을 확인하였다.

동일한 조성비에서 과냉도가 클 수록 빙부착이 일어났으며 에틸렌글리콜을 7 vol%를 첨가한 경우에는 과냉도가 크더라도 빙부착은 일어나지 않았다. 그러나 제빙과정시 교반기 소요동력의 변화는 빙부착인 경우와 유사한데 이는 농도증가에 따른 미세한 빙입자의 생성으로 인해 유동저항이 증가하기 때문으로 사료된다.

본 연구에서는 빙부착 여부를 교반기 소요동력의 변화를 통해 판단할 수 있는 정성적인 결과를 제시하였다. 빙부착이 일어난 경우 소요동력은 계단상 또는 급격히 증가하나 비부착인 경우는 소요동력이 변하지 않았다.

목 차

요 약

목 차

List of Figures

List of Tables

Nomenclature

제 1 장 서 론	1
1.1 빙축열시스템	5
1.1.1 정적형 시스템	5
1.1.2 동적형 시스템	10
1.2 국내의 동향	13
1.2.1 국외의 동향	13
1.2.2 국내의 동향	18
1.3 아이스슬러리의 연구동향	20
제 2 장 실험	23
2.1 동결점 파악을 위한 실험	23
2.1.1 실험 목적	23
2.1.2 Silane coupling agent	23
2.1.3 과냉각현상	24
2.1.4 Ethylene glycol	26

2.1.5 실험 방법	27
2.1.6 실험 결과	30
2.2 제빙실험	33
2.2.1 실험 목적	33
2.2.2 실험 방법	33
2.2.3 실험 결과 및 고찰	36
가. 과냉도에 의한 영향	36
나. 농도에 의한 영향	40
제 3 장 결 론	47
참고 문헌	

List of Figures

- Fig. 1 Energy consuming trend in Korea.
- Fig. 2 Compare with non-ice storage type and ice storage type.
- Fig. 3 Diagram of outside-tube icing type.
- Fig. 4 Diagram of inside-tube icing type
- Fig. 5 Diagram of capsule type.
- Fig. 6 Diagram of all-brine type
- Fig. 7 Diagram of supercooling type.
- Fig. 8 Diagram of seperated ice storage type.
- Fig. 9 Diagram of harvest type.
- Fig. 10 Separating condition of ice.
- Fig. 11 Role of silane coupling agent.
- Fig. 12 Supercooling.
- Fig. 13 Frozen point variation of ethylene glycol aqueous solution.
(by courtesy of Jinsung C&B Co's data)
- Fig. 14 Diagram of experimental apparatus to measure frozen point of
mixture.
- Fig. 15 Photograph of bath with test tubes established.
- Fig. 16 Result of experiment.

Fig. 17 Result of experiment.

Fig. 18 Diagram of experimental apparatus for ice slurry formation.

Fig. 19 Section view of beaker.

Fig. 20 Photograph of experimental apparatus.

Fig. 21 Result of experiment($\Delta T = 0.5$ K, EG 4 vol%).

Fig. 22 Photograph of ice particle(end of test, $\Delta T = 0.5$ K).

Fig. 23 Result of experiment($\Delta T = 2$ K, EG 4 vol%).

Fig. 24 Photograph of ice particle(end of test, $\Delta T = 2$ K).

Fig. 25 Result of experiment($\Delta T = 4$ K, EG 4 vol%).

Fig. 26 Photograph of ice particle(end of test, $\Delta T = 4$ K).

Fig. 27 Result of experiment($\Delta T = 4$ K, EG 1 vol%).

Fig. 28 Photograph of ice particle(EG 1 vol%, end of test).

Fig. 29 Result of experiment($\Delta T = 4$ K, EG 4 vol%).

Fig. 30 Photograph of ice particle(EG 4 vol%, end of test).

Fig. 31 Result of experiment($\Delta T = 4$ K, EG 7 vol%).

Fig. 32 Photograph of ice particle(EG 7 vol%, end of test)

List of Tables

Table 1 Selling trend of ice storage type air conditioner in Japan.

Table 2 Projects about ice storage system in China.

Table 3 Components consisting ratio for measuring frozen point of mixture(vol%).

Table 4 Components consisting ratio for ice slurry formation(vol%).

Table 5 Result of experiment.

Nomenclature

ΔT : 과냉도 (degree of supercooling = $T_{fp} - T_{sc}$), K

T_{fp} : 동결점 (freezing point), $^{\circ}\text{C}$

T_{sc} : 과냉각온도 (supercooled temperature), $^{\circ}\text{C}$

C : 농도 (concentration), vol%

C_{EG} : 에틸렌글리콜의 농도, vol%

C_{SCA} : Silane coupling agent의 농도, vol%

제 1 장 서 론

우리 나라는 부존자원이 빈약하여 전체 에너지소비량의 약 97%를 외국에서 수입하고 있는 실정으로 에너지 수입 비용이 연간 약 300억 달러에 이르고 있다. 따라서 전력 수요의 균형을 통한 에너지 사용의 극대화와 에너지 절약 및 환경보존이라는 다양한 측면에서 볼 때 전력수급 문제의 중요성은 이제 언급할 필요가 없을 것이다.

이와 같은 전력수요는 생활습관, 일조시간, 기후조건, 산업경기 등에 따라 시시각각 변화하는데, 우리 나라의 경우 기온이 온화한 봄철과 가을철에는 전력수요가 감소하는 반면, 기온이 높아 냉방이 필요한 여름철과 기온이 낮아 난방이 필요한 겨울철에는 전력수요가 증가하는 경향을 보인다.

또한 시간대별로는 산업활동이 활발한 주간시간대에 전력사용이 급격히

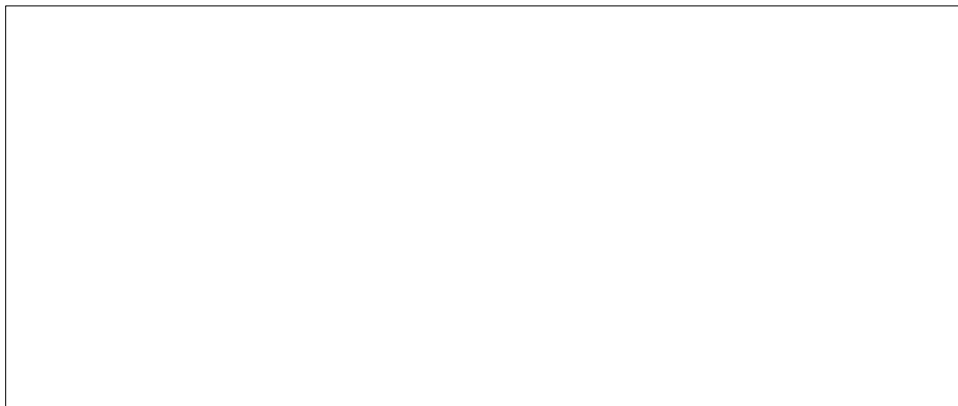


Fig. 1 Energy consuming trend in Korea.

증가하며, 특히 여름철 오후 3시경에 냉방용 전력 수요가 집중되면서 연중 최고치를 기록한다. 이러한 여름철 주간에 일시적으로 발생하는 전력수요에 대처하기 위해서는 막대한 비용을 투입하여 전력설비를 건설해야 한다. 그러나 야간에는 반대로 전력수요가 떨어짐으로써 전력설비 이용률이 저하되어 전력공급원가가 상승하는 요인으로 작용하게 된다.

이를 개선하기 위하여 여름철 낮에 일시적으로 집중되는 전력수요를 심야 시간대로 분산시켜 설비투자비 절감은 물론 전력수요가 적은 심야시간대의 수요를 증가시켜 전력 설비 이용률을 향상시키는 노력이 양수발전 등의 형태로 행해져 왔다.

이와는 별도로 여름철 냉방부하의 집중을 분산시키기 위한 방법으로 빙축열시스템에 대한 연구 및 보급이 활발히 이루어지고 있다. 빙축열시스템은 상대적으로 전력 수요가 적은 심야 시간대에 냉동기를 운전하여 물을 제빙

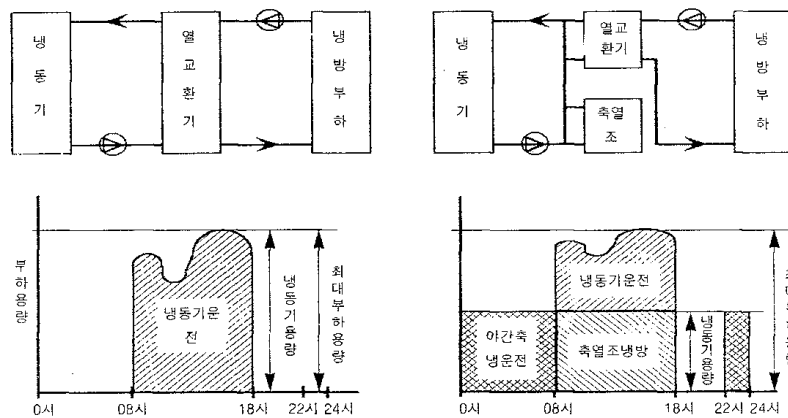


Fig. 2 Compare with non-ice storage type and ice storage type.

하고 얼음의 형태로 저장하였다가, 주간에 저장된 얼음을 녹일 때 발생하는 용해잠열을 냉방에 사용하는 대표적인 잠열이용 축냉식 냉방시스템이다. 또한, 동일한 공급전력량에 대하여 잠열이용 축냉시스템은 양수발전보다 에너지 변환 효율이 훨씬 높은 것으로 알려져 있다. Fig. 2에 빙축열방식과 비축냉식 냉방시스템의 구성 및 냉동능력을 비교하여 나타내었다.

빙축열시스템 가운데 정적형의 경우는 제빙시 열저항의 증가에 따른 냉동능력 저하 그리고 해빙시의 열적 응답성 저하 등의 문제점을, 동적형의 경우는 냉각면에서 얼음이 형성됨에 따라 열저항의 증가, 심할 경우 관내부 폐색에 이르기도 하며 이를 해결하기 위해 추가동력을 필요로 하고 그로 인하여 설비비 및 유지비가 증가하게 되는 등의 단점이 있다.

동적형 시스템의 제빙성능을 개선하기 위한 방법으로 표면장력이 작은 실리콘유와 같은 기름을 물에 분산시킨 에멀션을 이용한 축열제를 사용하는 방법, 에틸렌글리콜 수용액을 사용하는 방법, 별도의 히터를 설치하는 방법 등이 연구되고 있다. 그러나 실리콘유는 고가이며 누출시 환경오염의 우려가 있으며 별도의 히터를 설치하는 경우는 설치비용의 증가가 문제가 된다.

본 연구에서는 이와 같은 문제점을 해결하기 위한 방법의 하나로 동적형 빙축열시스템에 대한 기초 연구를 수행한다. 주재료인 물에 저가이며 물성치가 널리 알려져 있고 소량을 첨가하였을 때 인체에 무해하다고 알려진 에틸렌글리콜(Ethylene glycol: 이하 EG라 함)과 냉각면으로의 빙부착을 억제하기 위한 첨가제로 실란커플링제(Silane coupling agent: 이하 SCA라 함)

를 혼합한 축열제를 제작하여 교반·냉각하면서 냉각면으로의 빙부착 여부를 확인하여 적절한 조성비를 찾아 축열제로서의 사용 가능성을 확인하고자 한다. 또한 제빙과정에서 교반기의 소요동력을 측정함으로써 빙부착의 여부를 판단할 수 있는 기준을 제시하고자 한다.

1.1 빙축열시스템

빙축열시스템은 제빙방식에 따라 물을 덩어리 형태의 얼음으로 얼리는 정적형과 작은 입자 형태의 얼음으로 얼리는 동적형으로 나눌 수 있다. 축열 방식에는 어느 것이 제일 좋다고 말하기가 어려우며, 선정에는 동일한 전력 요금 체계 하에서 부하조건, 주변조건, 설치비용 등을 종합적으로 고려하여 판단하여야 한다. 축열방식의 하나로 빙축열시스템은 여름철 전력수요의 불균형을 개선하는 데 중요한 위치를 차지하고 있으며 에너지의 효율적 이용 및 환경 친화적인 시스템 개발이라는 측면에서도 그 기여도는 높다고 할 수 있다. 빙축열시스템이 국내에 보급된 지도 10여 년이 지났고 몇 가지 형태의 시스템이 현재 개발 또는 제작 중이나 아직 시스템의 종류 면에서 수요자의 요구를 만족시키기에는 부족한 부분이 적지 않다. 특히 대부분의 빙축열 방식이 외국에서 개발된 방식에 의존하고 있다는 점에서 보다 적극적인 시스템 개발이 이루어져야 할 것이다.

1.1.1 정적형 시스템

정적형 시스템은 축열매체(물)를 기준으로 하였을 때 매체가 거의 정적인 상태에서 얼음을 형성하는 과정을 갖는 시스템을 말한다. 이러한 빙축열시스템은 단순한 구조를 하고 있어 설치용량 면으로 보아 현재 국내에 설치된 시스템 중 약 80%가 정적형이며 이미 기존의 많은 연구 및 실험을 통해서

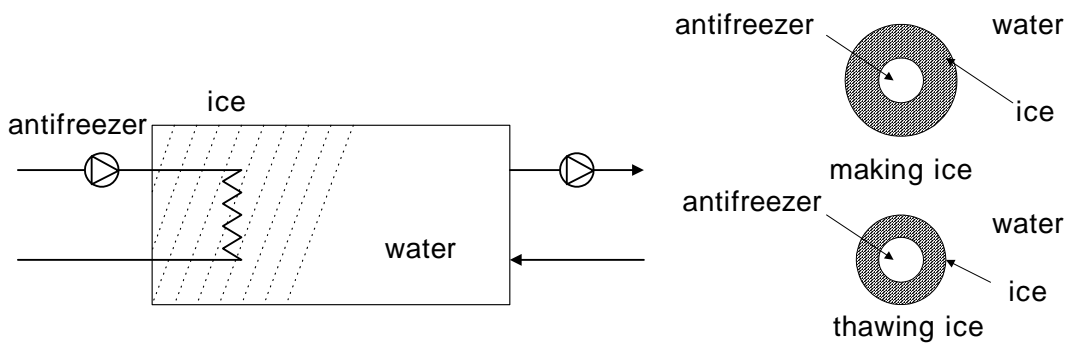


Fig. 3 Diagram of outside-tube icing type.

상당부분이 기술적으로 성숙되어 있는 상태이다.

종류로는 관외제빙형, 관내제빙형, 캡슐형 등이 있다.

가. 관외제빙형

조내에 동관 또는 폴리에틸렌(polyethylene)제 코일을 설치하고, 그 주위에 얼음을 생성하는 방법이다. Fig. 3에 나타낸 바와 같이 축열조 내에 물을 채우고 코일 내부에는 브라인 또는 냉매를 순환시켜 코일 주위에 착빙시키며 방냉(放冷)시에는 조내의 물을 부하측에 순환시키는 구조이다. 비교적 COP를 높일 수 있으며 착빙이 진행됨에 따라 열전달 표면적이 넓어지므로 열전달 면에서 유리하다. 또한 부하측이 물이므로 기존의 공기조화기를 사용하는 데 어려움이 없으나 조내에 별도의 열교환기를 필요로 한다. 열교환기로는 다양한 코일 형태가 개발되고 있다.

나. 관내제빙형

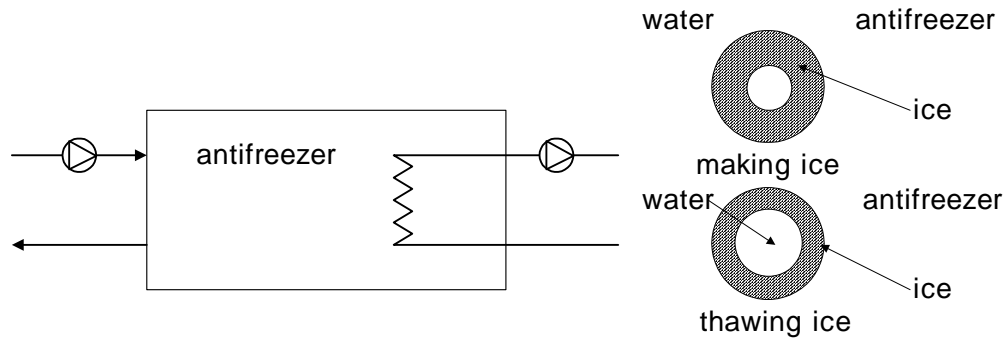


Fig. 4 Diagram of inside-tube icing type

Fig. 4와 같이 조내에 열교환기를 설치하고 관외로 브라인이 통과할 수 있게 한 구조이다. 제빙시 얼음이 관의 안쪽을 향해 성장하므로 제빙량이 늘어날수록 열전달표면적은 감소하나 관내에 남아 있는 물의 양도 감소하므로 관내에 남아있는 물에 대한, 즉 단위 수량당 열전달 면적은 증가한다.

따라서 필요한 얼음량의 제빙시간이 감소하고, 초기수온(10℃ 정도)을 0℃ 까지 낮추는 시간도 감소한다.

해빙시에는 관내를 흐르는 냉수가 얼음과 직접 접촉하므로 열교환 효율이 좋아지며 균일한 해빙이 가능하다. 그러나 브라인이 조 내벽에 접하므로 열 손실이 크며, COP는 다소 감소한다. 부하측이 물이므로 사용이 용이하며 폐 회로로 할 수 있어 펌프동력이 감소하는 등 장점이 있다.

다. 캡슐형

Fig. 5와 같이 조내에 캡슐을 설치하고 그 내부에 물을 채우고 얼림으로

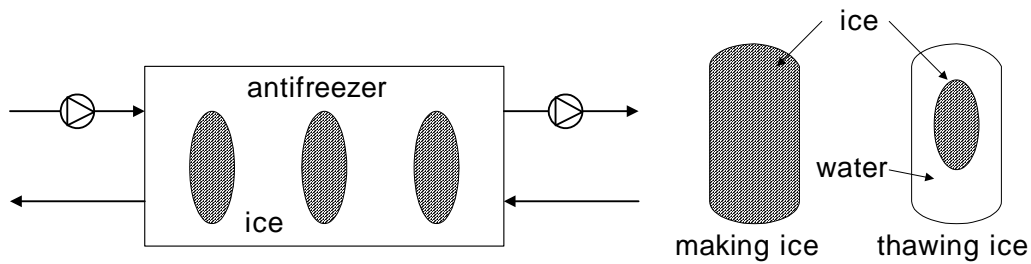


Fig. 5 Diagram of capsule type.

씨 열을 저장하는 방법이다. 조내에는 브라인을 채우고 완전동결형과 같이 냉동기 및 부하측 순환매체를 브라인으로 하는 것으로 이에 따른 장단점은 완전동결형과 같다. 지금까지 나열한 방법과는 달리 별도의 열교환기를 설치할 필요가 없고 대량 생산이 용이한 캡슐을 사용할 수 있으나 캡슐 내부의 물이 과냉현상을 일으킬 수 있고 브라인의 유동이 불균일해지기 쉽다.

라. 완전동결형

이 방식은 조내에 제빙용 열교환기를 설치하고 제빙측 브라인 회로 및 부하측 브라인 회로를 완전밀폐한 구조이다. 조내의 물은 단순히 열을 저장하는 용도에만 사용되며 부하측으로 순환되지 않는다.

Fig. 6에 개략도를 나타내었으며, 부하측이 폐회로이므로 펌프동력이 감소하며, 조내의 물을 거의 완전히 동결시킬 수 있으므로 축열조의 크기를 가장 작게 할 수 있으며 COP도 높일 수 있으나, 부하측도 브라인을 순환시키

므로 브라인 소요량이 많아진다. 해빙시의 효율은 나쁜 편이며 간접용해특성으로 유용에너지의 양, 즉 온도 포텐셜이 감소한다. 일반적으로 대형 시스템에는 부적합한 것으로 알려져 있다.

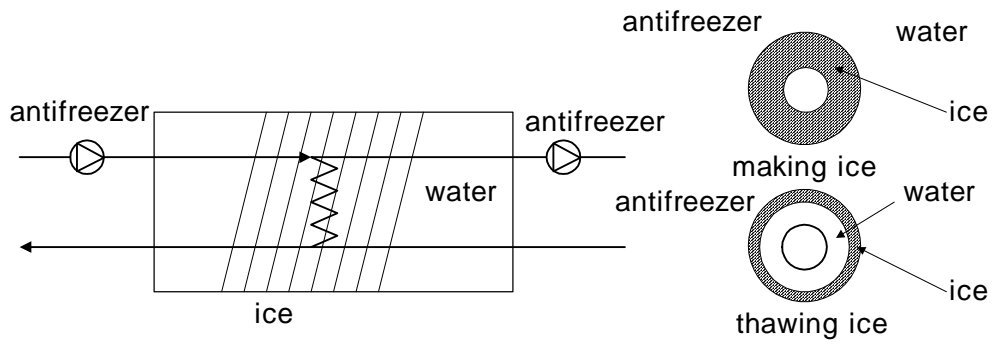


Fig. 6 Diagram of all-brine type

1.1.2 동적형 시스템

축열매체가 유동상태하에서 냉각면을 통해 냉각·제빙되는 시스템을 말한다. 이는 냉각면 상에 빙부착에 의한 열전달 저하를 개선하기 위한 시스템으로 등장하여 수송성도 뛰어나 최근에 주목받고 있는 시스템이다. 동적형 제빙방식으로는 과냉각방식, 기계적 박리식, 가열박리식, 밀폐팽창식, 직접접촉식 등의 여러 종류의 방식이 개발되어 있다.

가. 과냉각형

축열매체는 수돗물을 사용하고 과냉각 열교환기에서 약 -2°C 로 과냉각시킨 물을 배출과 동시에 트리거에 의해 동결시킨 후 축열조에 저장하는 방식이다. 물만을 사용하므로 동적형 빙축열시스템 가운데 가장 환경 친화적이며 냉동기의 성능에도 거의 변화가 없는 것이 특징으로 기계식 빙박리형처럼 기기 배치에 대한 자유도가 높고 열응답성이 뛰어나지만 과냉각 열교환

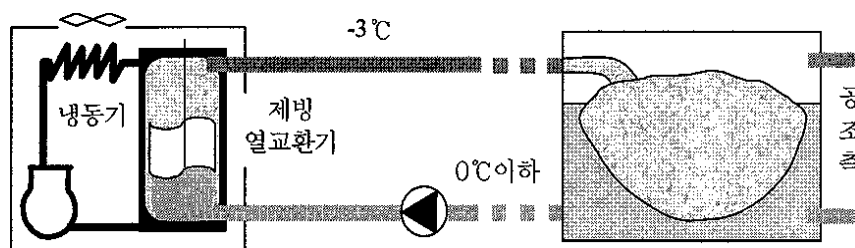


Fig. 7 Diagram of supercooling type.

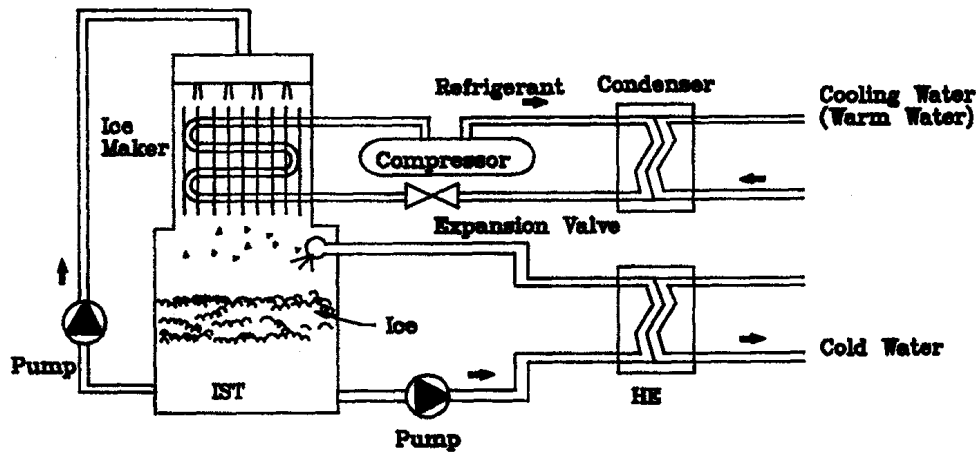


Fig. 8 Diagram of seperated ice storage type.

기 내에서 빙결정이 발생할 경우 냉각면에 부착하여 관폐쇄 등을 일으킬 수 있다.

나. 기계식 빙박리형

제빙표면 상의 얼음을 기계적으로 째아내거나 훑어내어 슬러리화하는 방식으로 보통은 물을 축열매질로 하고 있지만, 얼음이 표면에 강하게 부착되는 것을 방지하기 위해 냉각온도가 다소 저하하기는 하나 글리콜계의 부동액(5% 정도)을 사용하기도 한다. 이 시스템은 제빙장치와 빙축열조 등의 기기 배치에 자유도를 가지며, 열부하 응답성이 뛰어난 특징을 갖고 있다.

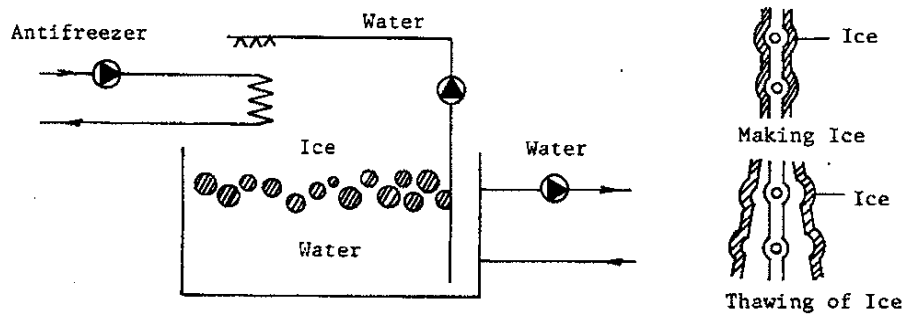


Fig. 9 Diagram of harvest type.

다. 하베스트형

축열조 상부에 위치한 특수한 형상의 증발기(예를 들면, 수직의 제빙면) 표면에 물을 흘려보내 동결시켜 그 두께가 5~15 mm 정도로 되면 밸브 전환에 의해 고온의 냉매를 제빙면 내측으로 보내 외측 표면의 얼음을 아래 방향으로 분리시켜 축열조에 저장하는 작업을 1사이클로 반복적으로 실시한다. 제빙방식은 정적형에 가까우나 해빙방식은 동적형에 가까운 것이 특징이다.

1.2 국내외 동향

1.2.1 국외의 동향

가. 일본의 에너지 이용현황

일본에서의 최근 10여년 동안에 걸친 전력수요는 거품경제시기를 제외하고는 안정된 신장을 보이고 있다. 한편, 연부하율은 1990년도 이후 점점 감소하는 추세에 있다. 그 원인으로서는 가정용 에어컨 및 오피스 건물의 냉방 공조설비 보급증대에 의한 냉방수요의 증대, 생활 수준 향상에 따른 민간 소비전력비율 향상, 그리고 소재형 산업구조에서 가공조립형 산업구조로의 변화 등을 들 수 있다. 이를 개선하기 위해 1997년 4월에 '총합에너지 대책 추진 각료회의'를 통해 부하평준화 대책이 발표되었고 그 내용 중 냉수 방식만이 축열식 공조로 되어 있던 현행기준에 빙축열 방식을 추가함으로써 정부차원에서의 적극적인 참여가 이루어졌다. 현재 일본 내에서는 40종 이상의 다양한 빙축열시스템이 개발되어 있으며 특히 1992년경부터 빙축열의 도입건수가 급격히 증대하였다.

나. 미국의 에너지 이용현황

지난 2000년 1월 중순에 발생했던 캘리포니아주의 정전사태는 미국 내에서뿐만 아니라 우리에게도 충격을 가져다 준 사건이었다. 홍수로 인한 전력 예비율 급감에 따른 것이 원인으로 알려져 있지만 북미전기신뢰협의회

Table 1 Selling trend of ice storage type air conditioner in Japan

<(社)일본동경공조공업회 자료>

종류 연도	빙축열식 패키지에어컨 [†]		빙축열유닛 [†]		빙축열조	
	수량 (대)	축열용량 (×1,000kWh)	수량 (세트)	축열용량 (×1,000kWh)	수량 (대)	축열용량 (×1,000kWh)
1996	1243	146	152	339	101	103
1997	2963	400	187	357	76	71
1998	4311	632	218	384	192	155
1999	7741	1049	194	391	177	355
2000	10146	1475	210	484	242	481

[†]:빙축열조를 갖춘 에어컨으로 업무용 에어컨의 수임, [†]:제빙유닛과 축열조를 세트로 함

(NERC)는 2000년 6월~9월 사이에도 총 260시간의 단전조치가 있을 것으로 내다보고 있으며 절전대책을 위해 전기요금의 인상 등을 대안으로 내놓고 있다. 이는 전력공급의 부족이 근본적인 이유이기도 하나, 에너지 과소비국으로서의 미국이 에너지의 효율적 이용 면에서 개선이 늦어지고 있음을 보여준다.

축열시스템은 이미 여러 차례에 걸친 시뮬레이션을 통해서 source energy 및 CO₂배출의 절감효과가 크다고 평가되었다. 미국에서 빙축열시스템은 1975년경부터 연구개발이 시작되었다. 당시는 비효율적이기는 하나 건물전체를 냉장고로 간주한 엄청난 규모의 냉동시스템이 활발하게 만들어졌었고 이를 대체하기 위한 방식으로 설치되기 시작하였다. 그러나 현재에는 100%

까지 제빙이 가능한 원형탱크를 나열한 브라인 순환방식 시스템이 주류를 이루고 있다. 불과 20년 전까지 만해도 수축열시스템이 축열시스템 가운데 상당수를 차지하고 있었으나 1995년도 당시 미국의 축열시스템 가운데 약 87%를 빙축열이 점유하였고 빙축열시스템의 보급률의 급성장을 알 수 있다.

다. 유럽

덴마크에서 1998년에 아이스슬러리 센터가 설립된 이래 Grundfos, tt-coil, Swep, Texaco, Georg Fisher, Hans Buch, Sunwell 그리고 덴마크의 기술연구소(Danish Technological Institute, DTI)로 그룹을 구성하여 아이스슬러리에 관한 제반 열물성 및 발생 장치에 관한 연구를 수행 중이다. 각 업체의 기술적인 노하우에 의하면 초기 개발단계에서는 아이스슬러리 발생기, 원심펌프, 원통-관식 열교환기, 권분이 튜브식 열교환기, 플레이트(plate)식 열교환기, 부식억제제와 첨가제, 플라스틱관 및 측정장치를 포함시키고 있다. 이를 바탕으로 DTI에서는 가동부가 없는 아이스슬러리 발생기를 개발하였다. 즉, 특수한 첨가물이 들어 있는 슬러리와 특수처리된 열교환기의 표면이 기술의 주요 내용이라 할 수 있다. 이미 언급한 제조자 이외에도 육류연구소, 어업협회 등의 잠재력을 갖고 있는 사용자 그룹들이 아이스슬러리 센터와 연결되어 있고 음식물 첨가제회사, 알코올, 개별 가열 및 냉각장치를 위한 기성절연관 등을 전문으로 하는 업체들에 의해 한층 높은 기술적 지

원을 받고 있다. 아이스슬러리를 이용하는 상업용 냉동시스템의 경우, 덴마크에서는 전기와 냉동기기 등의 비용이 현재 시장에서 비교적 고가인 아이스슬러리 발생기로 할 경우 3~4년의 회수년수를 보이고 있으며 가동부분이 없는 아이스슬러리 발생기를 사용하게 되면 초기비용을 약 50% 절감하게 되어 회수년수를 1년 이상 앞당길 수 있다고 전망하고 있다.

라. 중국

중국의 발전용량은 해마다 1200만 kW씩 증가하고 있으며 총 발전 용량은 약 3억 kW라고 한다. 2000년 6월 광둥성에서는 130만 kW의 제한송전을 하였다. 전력부족의 이유로 전력 보급망의 낮은 부하율을 들 수 있으나 본토 연안지역의 경제발전에 따른 전력소모의 급격한 증가로 인해 침투부하와 오프피크부하의 격차가 매우 높아진 것이 결정적 이유라 할 수 있다. 이를 개선하기 위해 중국 정부에서는 5년에 걸쳐 전력부하의 이동을 계획하고 있고 약 3만~5만 kW의 부하이동을 축열시스템으로 할당하려 하고 있다. 빙축열 시스템은 1990년대 초에 도입되어 보급률은 아직 미미한 상황이나 최근 들어 축열관련 프로젝트가 급증하고 있다. 빙축열 유형별로는 캡슐형이 전체

Table 2 Projects about ice storage system in China

지역	절강	북경	산둥	광둥	사천	상해	화북	천진	호북	그외지역	합계
프로젝트수	32	27	10	8	6	5	4	4	3	10	109
비율	29.4	24.8	9.2	7.3	5.4	4.5	3.7	3.7	2.7	9.2	100

의 약 57%를 점유하고 있고 그 나머지를 완전제빙형(17%), 관외제빙형(15%), 수축열(9%), 동적제빙형(2%) 그리고 공용열(1%) 등의 순으로 되어 있다. Table 2에 중국의 지역별 빙축열 관련 프로젝트 현황을 나타낸 것이다. 이와 함께 축열시스템의 보급이 우선 과제로 인식되고 있고 중국실정에 맞는 선진기술 도입을 위해 연계 벤처를 수입하거나 설립할 것으로 알려져 있다.

1.2.2 국내의 동향

우리 나라에 빙축열 냉방시스템이 처음 도입된 것은 1990년이지만 본격적인 보급시점은 1992년부터이다. 그 동안 빙축열설비는 꾸준한 증가추세를 보이고 있다.

빙축열설비 도입 초기에는 신기술에 대한 부담 등으로 건물주나 설계엔지니어들의 외면을 받기도 하였으나 정부와 한국전력의 적극적인 지원정책과 공급업체들의 기술개발 노력이 이루어지면서 백화점이나 대형 인텔리전트 빌딩 등 연중 냉방부하가 큰 건축물의 냉방설비로 각광을 받고 있다.

이러한 증가추세는 1992년 정부의 일정 규모 이상의 건물에 중앙집중식 냉방설비를 설치할 경우, 해당 건물에 소요되는 주간 최대 냉방부하의 60% 이상을 축냉식이나 가스식 냉방설비로 설치하도록 의무한 것이 기폭제가 되었다. 이에 따라 신축, 개축, 재건축되는 건물 중 연면적 합계가 1만㎡ 이상 중앙집중식 냉난방설비 설치 건축물, 3천㎡ 이상 업무시설과 판매시설 및 연구소, 2천㎡ 이상 숙박시설, 기숙사, 유스호스텔, 병원, 실내수영장 등은 의무적으로 축냉식이나 가스식 냉방설비 중 한 설비를 설치하고 있다.

이처럼 정부의 설치의무화 정책으로 빙축열설비가 급속히 보급되는 추세지만 시장점유율(가스식과 축냉식 시장을 100%로 볼 때)에서는 가스식 대비 시장점유율이 아직은 17% 선에 불과하다. 하지만 빙축열 설비 도입 초창기 4%였던 점을 감안하면 7년 사이에 약 380%라는 놀라운 성장세를 기

록하고 있다. 한국전력에서는 2~3년 내에 병축열설비 시장점유율이 가스식 시장을 앞지를 것으로 내다보고 있기도 하다.

병축열 설비는 지난해 말 현재 업무용 빌딩 266개소, 백화점·상업용 빌딩 46개소, 병원·호텔 38개소, 학교·도서관·연구시설 31개소, 교회·성당 등 종교시설에 30개소, 전시장·스포츠센터 등 20개소, 주택·상점 90개소 등 업무용 건물에서부터 일반 주택에 이르기까지 총 521개소에 16만2천kW가 설치되어 운영중이다.

1.3 아이스슬러리의 연구 동향

물의 과냉각 현상에 관하여 주로, 냉각면의 조건, 과냉각수의 상태 그리고 외부적 요인에 의한 영향에 대해 수많은 연구가 수행되었다. 그 중 齋藤와 大河는 냉각면의 재질, 과냉각수의 진동, 과냉각수의 대류에 의한 영향을 검토했으며, 과냉각수의 응고가 확률적인 분포를 갖는 현상이라는 것, 냉각면의 재질 및 형상에 따라 과냉각수 응고의 확률분포가 다르다는 것, 자연대류에 의해 과냉각수의 응고확률이 높아진다는 것, 그리고 과냉각수의 진동, 회전, 충격운동은 응고에 영향을 주지 않는 반면, 유리봉을 과냉각수의 경계면에 충돌시, 충돌거리에 따라 응고에 영향을 준다는 것을 밝혔다. 한편, 유동을 갖는 과냉각수에 관한 연구는 과냉각방식에 의한 슬러리의 연속생성에 직접 관계하는 것으로서, 주로 과냉각수의 해소에 영향을 주는 요인 및 보다 안정된 유동상태를 얻기 위한 요인을 찾는 데 행해졌다. 齋藤 등은 유동과냉각수의 일부에서 얼음이 관찰된 후, 평균유속이 격감하고 상류의 압력이 상승하는 것과 수상정빙(樹狀晶氷)의 성장형태를 관찰하였고, 벽면에서 수상정빙의 초기성장과정에 있어서, 벽면을 따라 하류로부터 상류측으로 성장해 가는 동결의 진행속도는 과냉도 만에 의존하는 것 그리고 일정한 단계를 거쳐 관이 폐쇄되는 것을 확인하고 있다. 또한, 稻葉 등은 유동과냉각수의 안정된 과냉각 상태를 얻기위한 냉각면의 재질 및 상태, 물에 포함되어 있는 용질, 불용성 미립자 등이 물의 과냉각 현상에 미치는 영향을 검토하였다. 또한, 平田 등은 물의 과냉각 상태가 해제되는 관벽면의 과냉도와 레이

높즈수의 관계, 관벽면의 과냉도와 온도구배의 관계를 밝혔다. 그 밖의 외적
 요인으로서 전기장, 초음파진동이 과냉각 해소에 미치는 영향에 관한 연구
 도 찾아 볼 수 있다. 빙결정 완화방식에 의한 과냉각 수용액에 대한 제빙에
 관한 연구도 다양하게 진행되었으나, 특히 연속제빙을 위한 냉각면 조건에
 대해서 平田 등은 냉각면의 재질이 빙결정의 생성과 이탈에 미치는 영향을
 살폈으며, 수용액의 농도가 빙결정의 이탈횟수와 빙결정의 생성체적에 관계
 하고, 또한 부력에 의한 연속제빙을 확인하였다. 결과적으로, 빙결정의 이탈
 조건은 냉각면과 수용액의 물성치 및 무차원화 된 냉각열 이동속도로 나타
 남을 보였다. Fig. 10은 냉각면상에서 빙결정의 이탈조건을 나타낸 것이다.
 그 외에 과냉각 수용액을 이용한 연속제빙에 관한 연구로서는, 액적 분무를

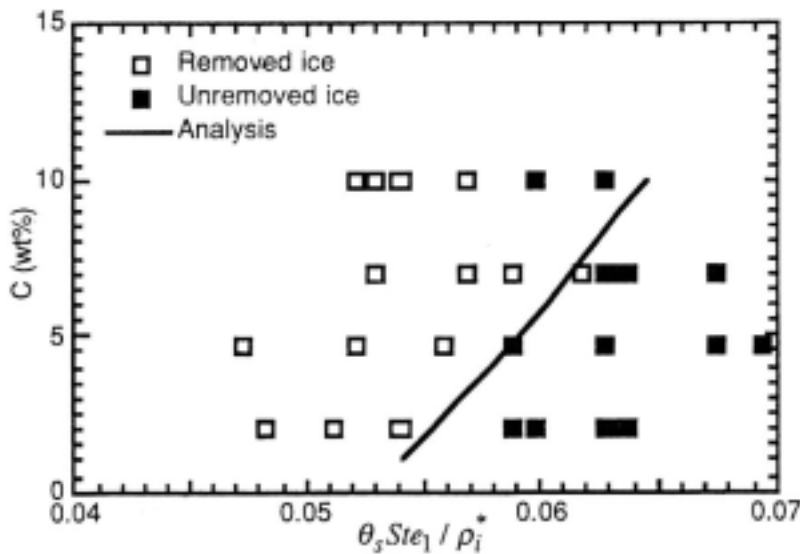


Fig. 10 Separating condition of ice.

이용한 방법, 유동층을 이용한 방법, 수용액 내의 냉각면의 주기적 진동에 의한 방법 등이 보고되어 있고, 각기 독특한 형태의 연속제빙을 확인하고 있다. 岡田 등은 수용액으로 충전된 유로단면이 관내 동결로 수상정의 동결층이 형성된 상태에서의 투과율을 실험을 통해 측정하였고, 그로부터 투과율이 액상 체적분율, 과냉도 및 수용액의 초기농도에 미치는 영향을 파악하였으며, 다공질층에서의 이론적인 결과와도 잘 일치함을 보였다. 또한, 谷野 등은 빙축열조 내의 아이스슬러리의 축빙량을 해석적인 방법을 통해 검토하는 등, 축빙에서의 퇴적 및 열전달 현상을 모델화 하였다. 이상의 과냉각 및 아이스슬러리 생성에 관한 연구는 동적형 제빙방식의 주요한 기초사항을 제공하고 있다.

제 2 장 실 험

2.1 동결점 파악을 위한 실험

2.1.1 실험 목적

실란커플링제와 에틸렌글리콜 등으로 구성된 3성분계 수용액의 동결점을 포함한 물성은 아직 확보되지 않은 상태이다. 이에 본 실험에 사용한 3성분계 수용액의 동결점에 대한 자료를 얻기 위하여 냉각실험을 하였다. 이는 제빙실험을 위한 예비실험으로서 향후 제빙실험에서 농도에 따른 제빙량의 추정에 사용되는 것으로 농도와 동결점사이의 관계식을 구한다.

2.1.2 Silane coupling agent

본 연구에서는 냉각면에서 빙부착을 억제하기 위해 계면활성제를 첨가하

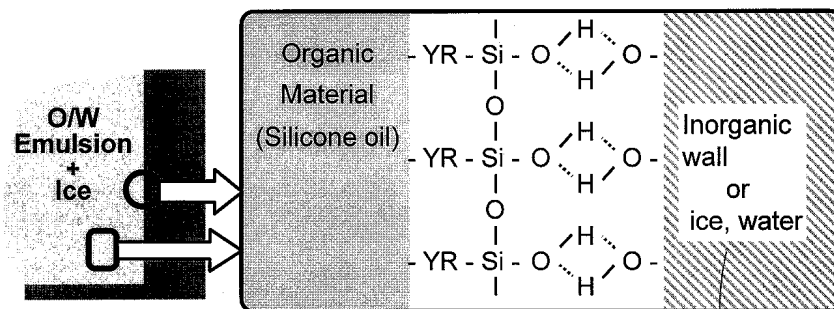
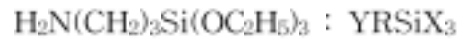


Fig. 11 Role of silane coupling agent.

였다. 사용된 계면활성제는 실란커플링제(silane coupling agent, 도시바 실리콘 제작)로 화학식은 다음과 같다.



여기서, X는 가수분해기로서 물과 반응하여 시라놀수용액을 형성하고 Y는 유기관능기로서 유기물과 결합한다.

Fig. 11은 실란커플링제의 역할을 나타낸 한 예로서 물-기름 에멀션에 실란커플링제를 투입한 결과 물과 반응하여 형성된 시라놀 수용액이 무기물과 결합하고 있으며 유기관능기는 유기물과 결합하여 서로 분리되는 결과를 나타내고 있다.

2.1.3 과냉각 현상

하베스트형 제빙방식을 제외한 대부분의 동적형 빙축열시스템에서는 축열재를 냉각하는 과정에서 인위적 과정을 추가하지 않는 한, 과냉각 현상을 나타낸다. 과냉각 현상이란, 냉각하는 액체를 액체의 응고점, 심지어는 그 이하의 적정온도까지 냉각해도 좀처럼 응고되지 않는 현상을 말한다. Fig. 12는 액체의 냉각과정을 나타낸 것이다. 물 또는 수용액을 냉각하면, 응고점 이하까지 온도가 저하된 후(과냉각영역), 물 또는 수용액 내부에서 발생한 수많은 핵 혹은 불순물에 의해 과냉각이 해소되어 얼음이 발생하기 시작하고 온도는 응고점까지 상승한다(과냉도). 이 단계에서 얼음은 잠열을 방출함

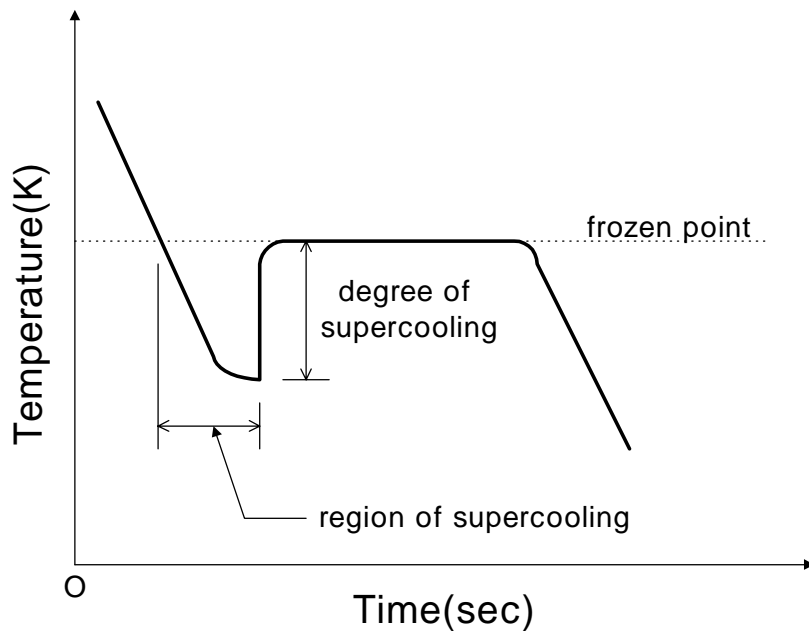


Fig. 12 Supercooling.

과 동시에 초기 농도, 냉각속도에 맞는 크기로 성장하며 그로 인해 물이 전부 얼음으로 변화할 동안 응고점을 유지한다. 아이스슬러리는 이 과정에서 생성되며, 그 후에 냉각을 계속할 경우, 온도가 다시 감소하게 되고 그에 따라 생성된 아이스슬러리는 주위의 미소한 얼음입자와 결합하거나 자체적으로 성장하여 경질의 얼음으로 변화한다. 따라서 과냉도가 작아 질수록 요구되는 냉동기의 능력도 작아진다. 즉, 과냉도가 COP에 직접 영향을 주며, 또한 생성되는 얼음의 형태도 변화가 나타나, 가령 과냉도가 작은 조건에서 생성되는 얼음은 원반상으로, 과냉도가 커지면 수상(樹狀) 혹은 침상(針狀)의 빙결정이 생성된다.

2.1.4 Ethylene glycol

시료의 제작에 사용된 에틸렌글리콜[HO(CH₂)₂OH]은 물성이 널리 알려져 있고 소량 첨가시 인체에 무해하다고 알려져 있으며 부동액 등에 널리 사용되고 있다.

Fig. 13에 에틸렌글리콜 수용액의 농도에 따른 동결점의 변화를 나타내었다.

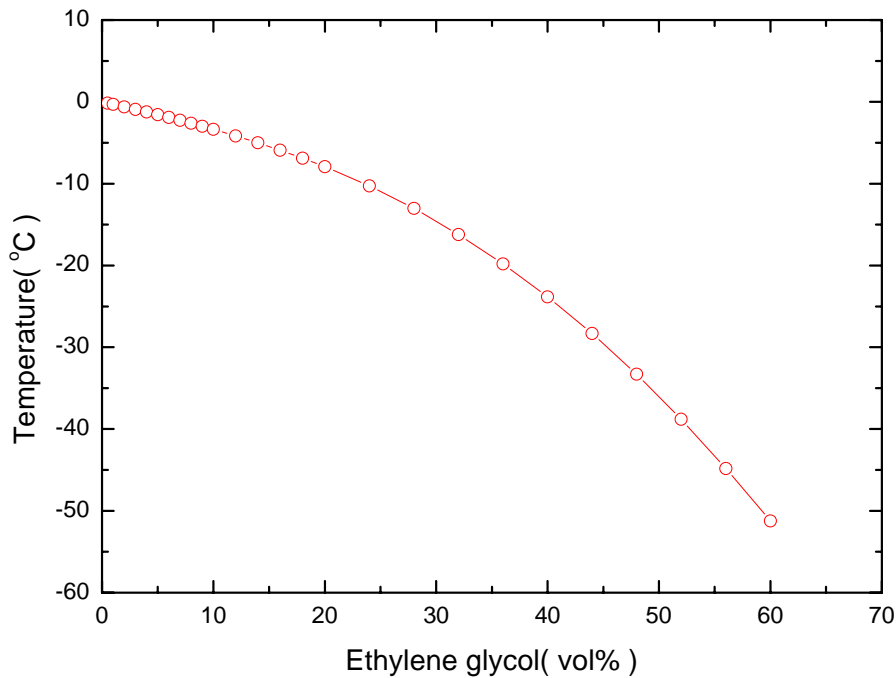


Fig. 13 Frozen point variation of ethylene glycol aqueous solution.
(by courtesy of Jinsung C&B Co's data)

2.1.5 실험 방법

Table 3 Components consisting ratio for measuring frozen point of mixture(vol%)

H ₂ O	Ethylene glycol	Silane coupling agent
96	1	3
93	4	3
89	8	3
85	12	3
81	16	3

시료는 총체적의 3 vol%에 해당하는 소량의 SCA를 증류수에 혼입하여 시라놀 수용액을 만든 다음 에틸렌글리콜의 농도를 변화시켜 가면서 동결점의 변화를 측정하였다. 시료의 구성은 Table 3과 같다. 피펫에 의해 계량된 각 시료를 내경 13.4 mm, 길이 120.7 mm 유리 시험관에 넣은 후, 시료의 농도분포를 균일하게하기 위하여 시료를 시험관에 봉입된 상태로 수 초간 손으로 흔들어 교반시켰다.

각 시험관내 시료의 총량은 13 ml이며 수용액의 온도를 측정하기 위해 T-형 열전대를 직경 1.2 mm 스테인리스 세관에 넣은 후 충전용 본드로 틈새를 밀봉하여 시험관 마개에 설치하였다.

각기 다른 농도의 시료를 갖는 시험관을 저온 항온조에 넣고 브라인으로 상온에서 -20℃까지 연속적으로 냉각하여 수용액의 온도변화를 측정하였다. 수용액의 동결점은 동일 농도의 시료에 대하여 5차례씩 냉각실험을 수행하

여 각 시험관에 대하여 과냉각 상태에서부터 해소된 직후의 온도 상승값으로부터 측정하였다. 냉각과정 동안 수용액의 온도, 저온 항온조 내부 및 외기 온도를 데이터로거(Agilent 34970A)와 계측용 프로그램(HP-VEE)를 사용하여 5초 간격으로 측정하였다. Fig. 14에 실험장치와 측정장치를, Fig. 15에 저온항온조에 설치된 실험장치를 나타낸다.

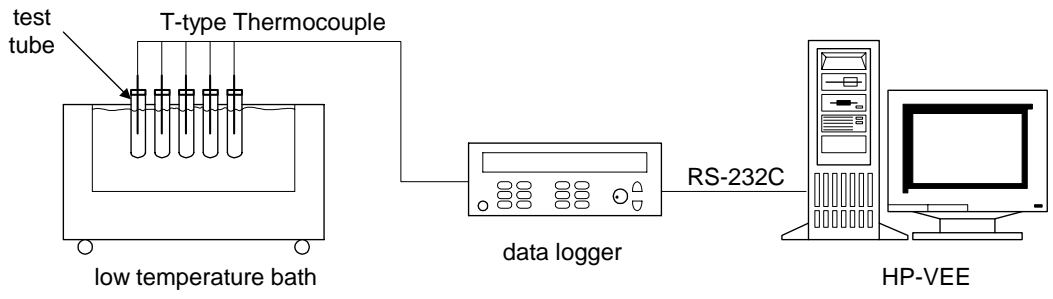


Fig. 14 Diagram of experimental apparatus to measure frozen point of mixture.



Fig. 15 Photograph of bath with test tubes established.

2.1.6 실험 결과

Fig. 16은 시라놀 수용액에 첨가되는 에틸렌글리콜의 농도를 변화시켜 실험한 결과를 나타낸 것이다. 동결점의 결정은 각 농도에서 과냉각이 해소된 후 최고온도를 나타내는 점으로 하였다. 실험결과 에틸렌글리콜의 농도에 따라 용고점이 점차 낮아지는 것을 알 수 있었다.

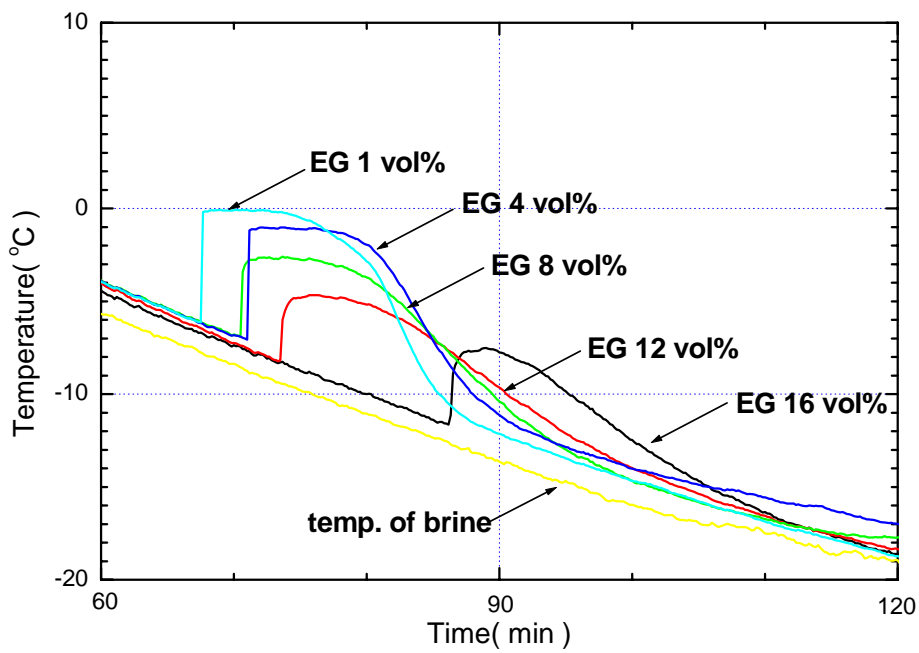


Fig. 16 Result of experiment.

5회에 걸쳐 반복실험한 결과로 농도에 따른 응고점변화에 대한 관계를 확인하기 위하여 Fig. 17과 같은 그래프를 작성하였다. 동결점이 저하될수록 2차곡선의 성향을 보이고 있으나 에틸렌글리콜이 약 8 vol%까지는 농도증가에 따른 동결점저하와 농도의 관계를 최소제곱법으로 1차함수의 형태로 근사하였다. 근사식을 식(1)과 같이 나타내었다.

$$y = -0.446x \quad \text{식(1)}$$

동결점과 수용액농도와의 관계가 1차함수형태로 나타나는 것으로부터 용기 내 수용액에 대한 체빙시 체빙량 증가에 따른 농도변화로부터 체빙량을

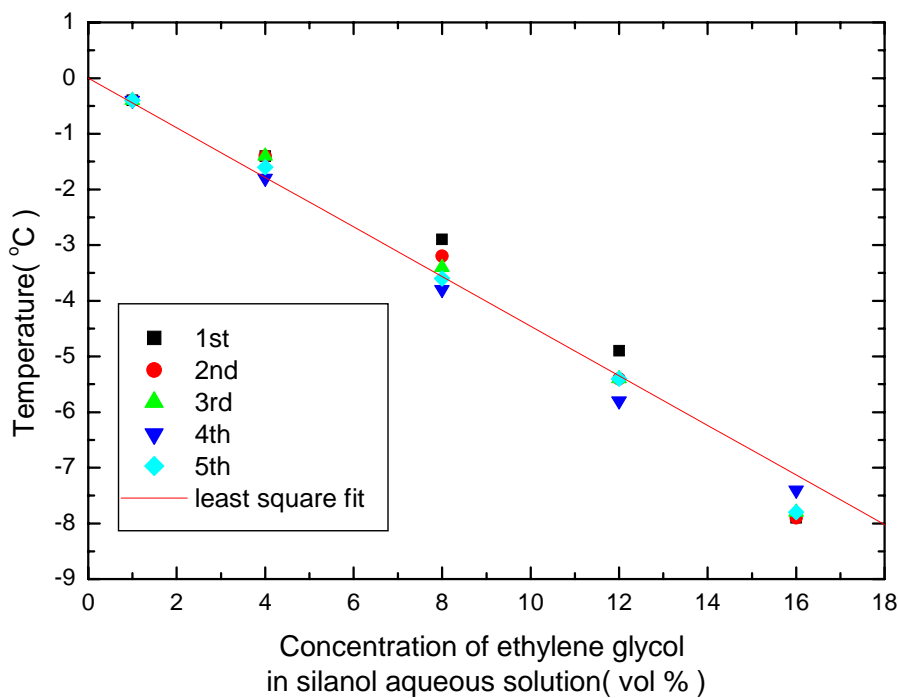


Fig. 17 Result of experiment.

추정할 수 있다. 즉 제빙량이 약 150 g이 될 때의 동결점을 계산하여 제빙 종료시점을 추정하였다.

2.2 제빙 실험

2.2.1 실험 목적

혼합액의 빙부착 여부를 확인하기 위해 스테인리스 재질의 비커에서 혼합액을 제작한 후, 배치(batch)식 제빙장치를 구성하여 교반·냉각과정 중에 냉각면에서의 빙생성 및 부착 여부를 확인한다.

2.2.2 실험 방법

Table 4와 같은 비율의 혼합액을 총량을 300 ml로 하여 스테인리스 재질의 비커에서 제작하였다. 혼합액의 제작방법은 동결젤 파약을 위한 실험과 동일하다.

제작된 혼합액이 담긴 비커를 초기온도로 설정된 저온 항온조에 넣고 교반기를 설치했다. 비커 내부 온도, 브라인의 온도 및 외기온도를 측정하기 위해 T-형 열전대를 설치하였으며, 비커 내부의 온도는 교반기 상부의 위치

Table 4 Components consisting ratio for ice slurry formation(vol%).

H ₂ O	Ethylene glycol	Silane coupling agent
96	1	3
93	4	3
90	7	3

를 측정하는 것으로 하였다. 또한 교반·냉각과정 중에 소요되는 교반기 모터의 동력을 파악하기 위해 교반기 모터에 가해지는 순시전압과 전류를 측정하였으며, 측정된 순시전압과 전류의 곱으로부터 교반기 모터의 동력을 계산하였다. 교반·냉각과정 동안 각 지점의 온도 및 전압, 전류, 회전수(rpm)를 데이터로거(Agilent 34970A)와 계측용 프로그램(HP-VEE)를 사용하여 5초 간격으로 측정하였다.

과냉도를 일정하게 하기 위해 브라인의 온도를 동결점에 비해 4℃ 낮게 설정하였으며 설정온도에서 5분 이상을 유지한 후 1 g 정도의 빙핵을 투입하여 강제적으로 과냉각을 해소하였다. 과냉각이 해소된 시점부터 10분마다 비커 내에 생성된 슬러리 형태의 얼음을 채취하여 CCD카메라(배율: 40배)로 촬영하였다. Fig. 18에 실험장치의 구성도와 실제 모습을 나타내었다.

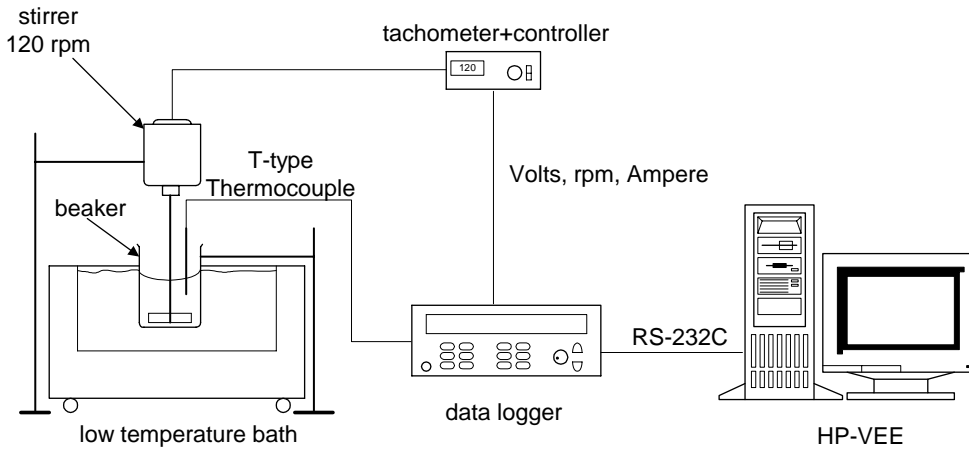


Fig. 18 Diagram of experimental apparatus for ice slurry formation.

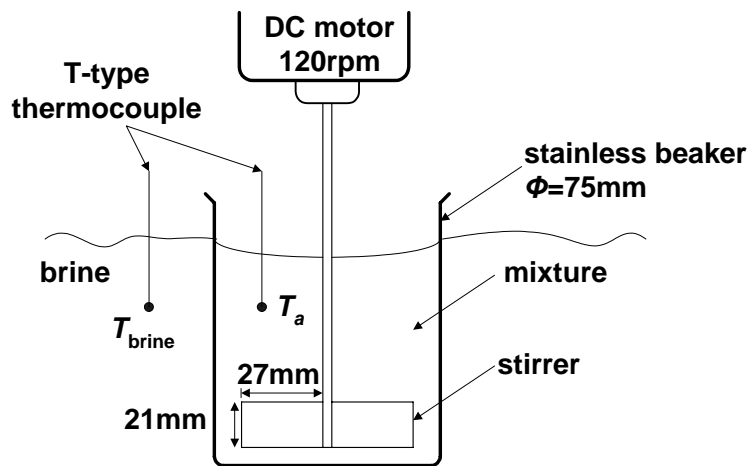


Fig. 19 Section view of beaker.

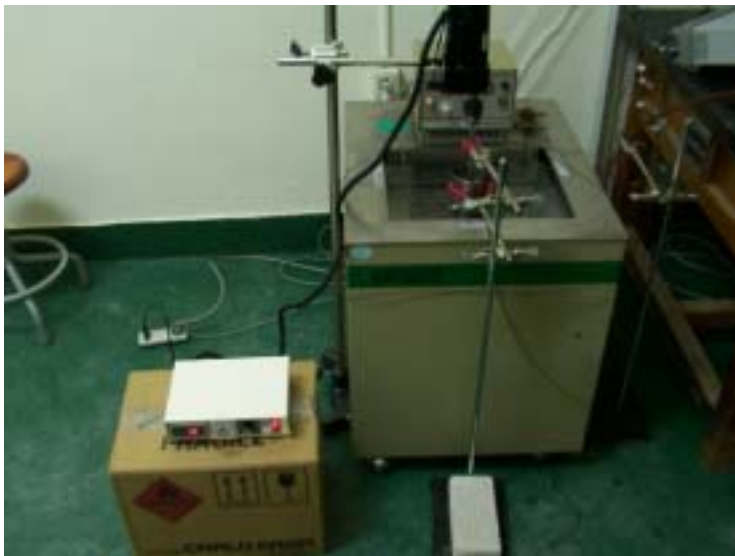


Fig. 20 Photograph of experimental apparatus.

2.2.3 실험 결과 및 고찰

가. 과냉도에 의한 영향

Fig. 21, Fig. 23, Fig. 25는 EG와 SCA의 농도를 4 vol%, 3 vol%로 하여 제작한 혼합액을 대상으로 과냉도를 각각 0.5 K, 2 K, 4 K 하에서 제빙한 결과를, 또한 얼음 입자의 모습을 Fig. 22, Fig. 24, Fig. 26에 나타내었다.

Fig. 21에서 동결개시 후 용기 내에서 미세한 얼음이 발생하였고 상변화에 따른 응고잠열 방출로 동결점까지 온도가 상승한 이후 용기 내 얼음의 증가에 따른 농도증가로 인하여 동결점이 직선에 가깝게 서서히 하강하고 있다. Fig. 22는 제빙실험이 종료된 후에 얻은 슬러리 형태의 얼음을 CCD 카메라로 촬영한 모습이다. 입자의 유동성으로 인하여 평균 입자의 지름을 구하기가 어려웠으나 대체로 수 내지 수십 마이크로미터의 입자가 영겨있는 미세한 슬러리임을 알 수 있다. 실험 종료시의 동결점은 -3.8°C 로 하였고 이때의 제빙량은 175 g으로 농도변화로 추정된 값 150 g에 비해 약 14% 크게 나타났다. 이는 분액기로부터 수분을 제거하여 제빙량을 측정할 때 빙 입자간에 남아있는 수분이 영향을 미친 것으로 보인다. 실험종료 후 용기를 서서히 역전시켜 중력에 의해 아이스슬러리를 떨어낸 다음 용기 벽면에서의 빙 부착 여부를 확인하였다. 이때 부착 여부는 얼음 입자 사이에 혹은 냉각면과 얼음 사이에 결합이 이루어지더라도 용기를 기울였을 때 냉각면을 따라 얼음이 분리되면 부착하지 않은 것으로 간주하였다.

① 과냉도 = 0.5 K

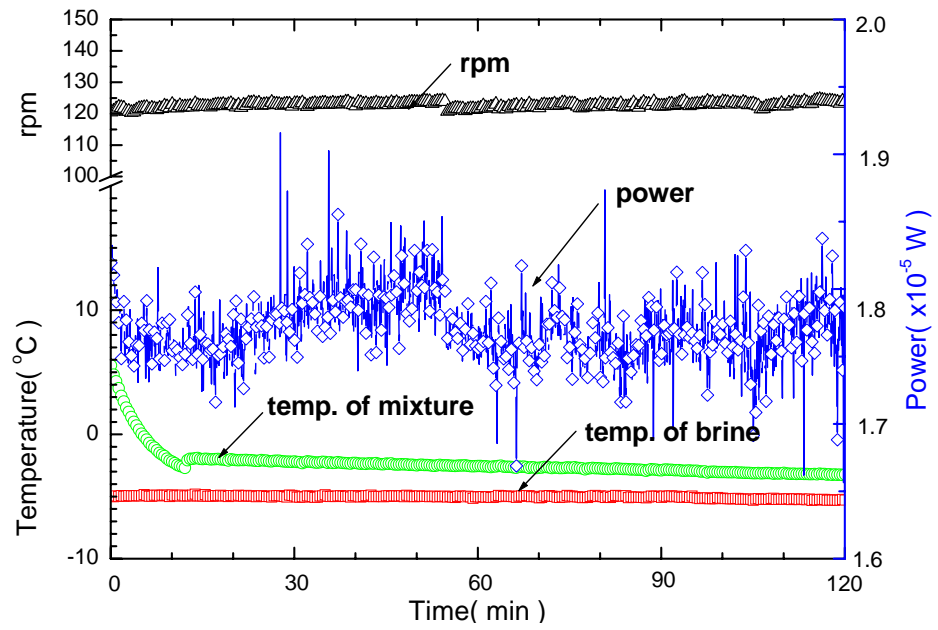


Fig. 21 Result of experiment ($\Delta T = 0.5$ K, EG 4 vol%).



Fig. 22 Photograph of ice particle.
(end of test, $\Delta T = 0.5$ K)

② 과냉도 = 2 K

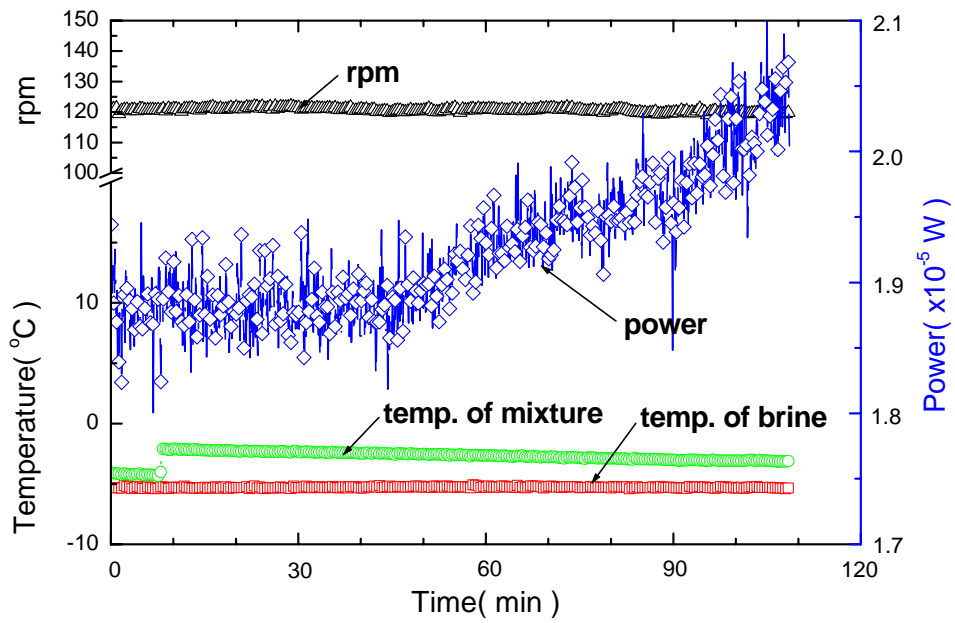


Fig. 23 Result of experiment($\Delta T = 2$ K, EG 4 vol%).



Fig. 24 Photograph of ice particle.
(end of test, $\Delta T = 2$ K)

③ 과냉도 = 4 K

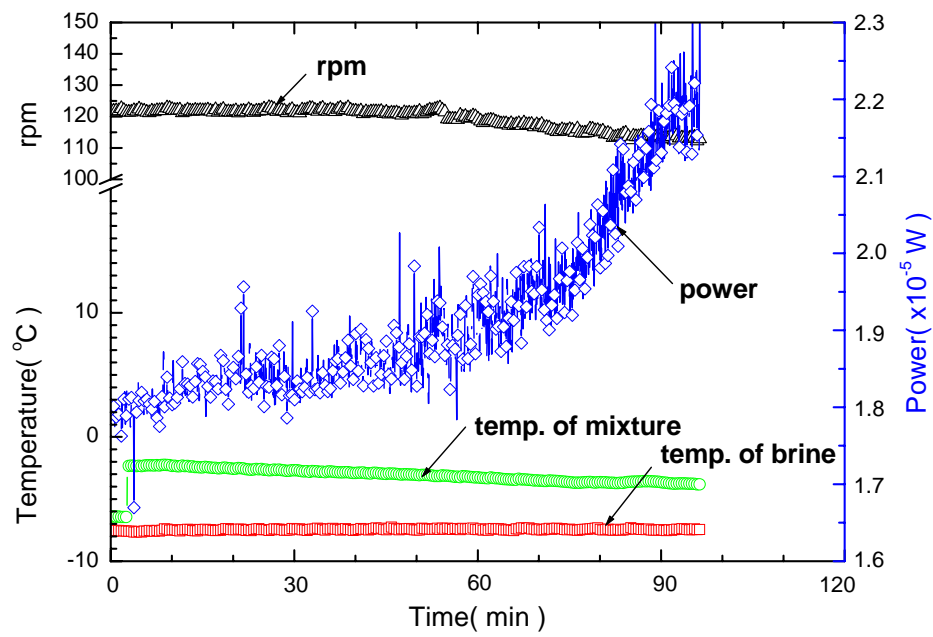


Fig. 25 Result of experiment($\Delta T = 4$ K, EG 4 vol%).



Fig. 26 Photograph of ice particle.
(end of test, $\Delta T = 4$ K)

나. 농도에 의한 영향

EG의 첨가 농도에 따른 영향을 살펴보기 위해 과냉도를 4 K로 고정한 후 EG의 농도를 변화시켜 제작한 혼합액(SCA는 3 vol%로 고정)으로 냉각실험을 하였다. 실험결과를 Fig. 27, Fig. 29, Fig. 31에 나타내었으며 실험종료 후 얼음입자의 모습을 Fig. 28, Fig. 30, Fig. 32에 각각 나타내었다.

그 결과, 4 K의 동일 과냉도 하에서 EG 1 vol%를 첨가한 경우 얼음이 용기 벽면에 부착하였으나 7 vol%를 첨가한 경우에는 빙 부착이 일어나지 않았다. 이는 EG의 조성비 증가에 따른 상대적인 냉각 열유속의 저하에 의한 영향으로 볼 수 있다.

제빙 형태 면에서 볼 때, 일정 과냉도(4 K)하에서 EG 농도가 큰 쪽(4 vol%)보다 작은 쪽(1 vol%)에서 용기 벽면에 부착된 얼음의 평균두께가 두꺼웠고 부착정도도 강하였다. 그러나 EG 4 vol% 혼합액의 경우에는 빙부착의 강도가 약하여 약 2분 후에 벽면에 부착되어 있던 얼음들이 모두 분리되었다. 이와 같이 실험 종료 후 용기를 뒤집었을 때 용기로부터 얼음의 분리 여부만으로 빙부착을 판단하는 것은 용기의 착탈 및 일시적인 분위기에 의한 노출 등의 영향을 무시한 것으로 무엇보다도 정량화되어 있지 않은 문제점을 갖고 있다. 이에 본 연구에서는 빙부착의 판단을 종래의 방법과 함께 교반기 모터가 냉각과정 동안 소요되는 동력과 회전수를 함께 비교함으로써 빙부착을 판단하고자 하였다.

Fig. 27은 빙부착이 일어난 경우로서 물, EG, SCA의 조성비가 96 : 1 : 3

(vol%)인 혼합액을 초기과냉도 4 K로 하였을 때의 시간에 따른 용기 내 온도, 소요동력 및 회전수의 변화를 나타내었다. 과냉각 해소 직후로부터 약 20분 동안 소요동력과 회전수에서 변화를 찾아 볼 수가 없으나 얼음과 교반기 날개의 마찰에 의해 생기는 것으로 판단되는 소리가 나기 시작하는 때 (약 30분 경과)를 기점으로 소요동력이 계단형태로 증가하여 그 후로 점차 증가하는 경향을 보이고 있다. 이는 냉각면 상에서 성장한 얼음 선단부가 교반익과 부딪힘에 따른 저항증가로 볼 수 있다. 이후로 용기 벽면에 부착·성장하는 얼음의 정도와 액 중의 얼음량이 점차 증가함에 따라 교반기의 소요동력이 점차 증가하여 약 110분 후에는 급격히 증가하여 그 저항으로 인해 교반익이 정지되었다.

Fig. 29와 Fig. 31은 각각 빙부착이 일어나지 않은 경우로 과냉도 4 K, EG농도가 각각 4 vol%와 7 vol%일 때, 용기 내 온도 및 소요동력을 나타낸다. 양 쪽 모두 제빙 시작 후 약 40분 이후부터 동력이 서서히 증가하는 양상을 보이고 있다. 이는 제빙량의 증가로 유동저항이 증가함과 함께 교반기의 소요동력이 점차 증가하는 것으로 판단된다. 그러나 제빙 종료 때까지 벽면에서의 빙부착은 관찰되지 않았고 빙 입자간의 응결도 거의 없는 슬러리 상태로 나타났다. 그러나 과냉도를 4 K로 할 경우 주어진 제빙량 한도에서 빙부착이 발생하였다.

① Ethylene glycol 1 vol%

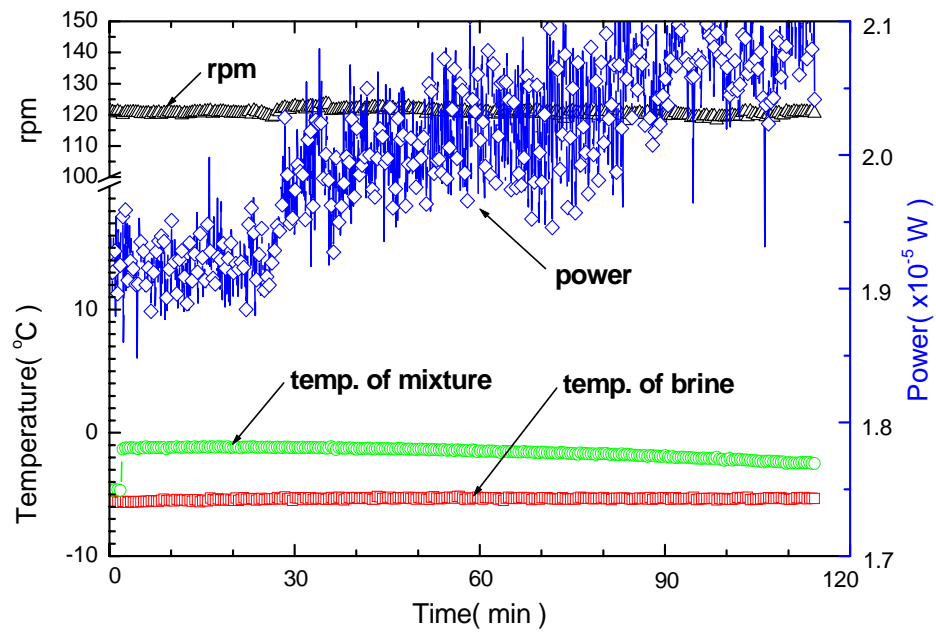


Fig. 27 Result of experiment ($\Delta T = 4$ K, EG 1 vol%).

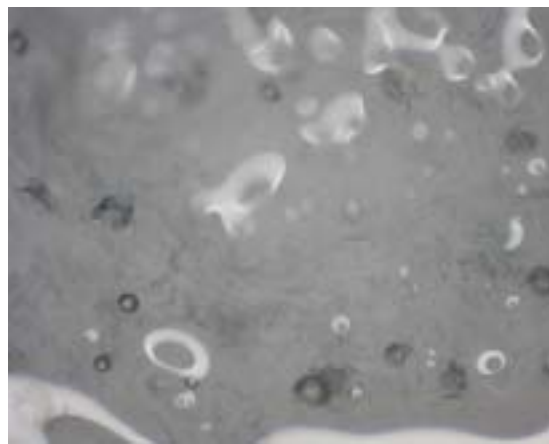


Fig. 28 Photograph of ice particle.
(EG 1 vol%, end of test)

② Ethylene glycol 4 vol%

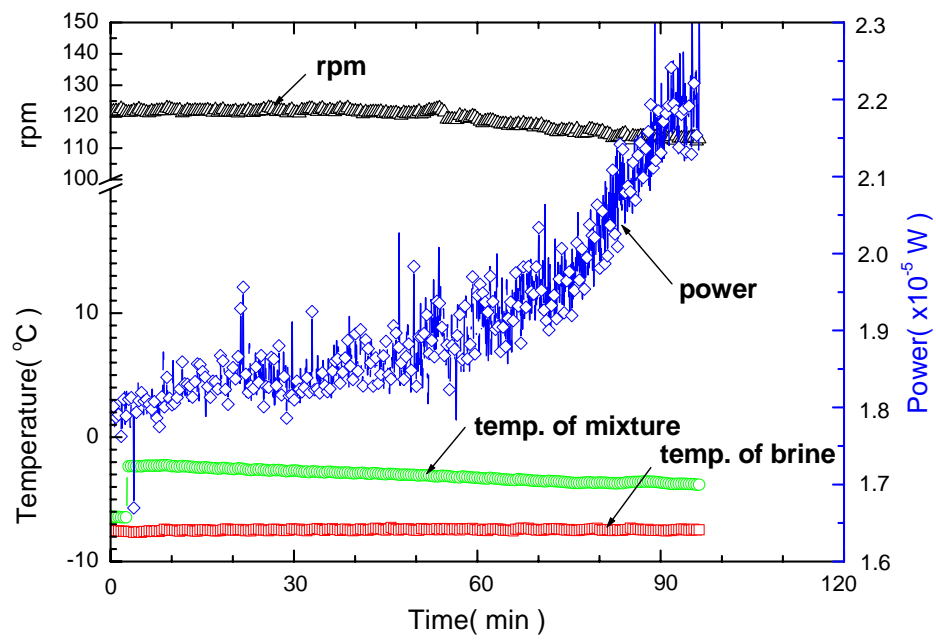


Fig. 29 Result of experiment($\Delta T = 4$ K, EG 4 vol%).



Fig. 30 Photograph of ice particle.
(EG 4 vol%, end of test)

③ Ethylene glycol 7 vol%

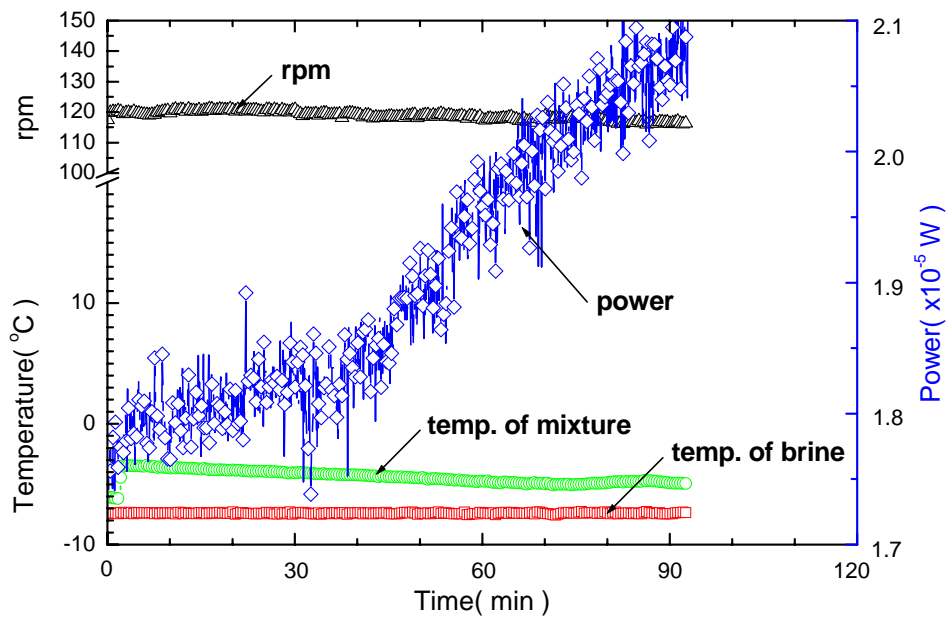


Fig. 31 Result of experiment ($\Delta T = 4$ K, EG 7 vol%).



Fig. 32 Photograph of ice particle.
(EG 7 vol%, end of test)

Table. 5에 3성분계 수용액을 대상으로 실험한 결과를 가로축을 과냉도, 세로축을 에틸렌글리콜의 농도로 하여 나타내었다.

동일한 과냉도하에서는 첨가되는 에틸렌글리콜의 농도가 증가함에 따라 빙부착이 일어나지 않았다. 또한 일정한 농도에서는 과냉각이 클수록 빙부착이 일어나고 있음을 알 수 있다. 그러나 에틸렌글리콜을 4 vol%를 첨가한 경우 실험종료후 비커를 뒤집었을 때 얼음이 곧바로 빠져 나오지 않고 수 초 후에 전부 빠져 나왔다. 이는 빙부착의 강도가 에틸렌글리콜 1 vol%를 첨가한 경우보다 약하기 때문으로 생각된다.

빙부착이 일어나지 않은 경우 교반기 모터의 동력변화는 크지 않거나 완만하게 증가하고, 빙부착이 일어나면 동력변화는 계단상 또는 급격하게 증가하는 경향을 나타낸다.

에틸렌글리콜의 농도가 7 vol%인 경우에는 과냉도가 증가하더라도 빙부착은 일어나지 않았다. 그러나 제빙과정시 모터의 동력곡선을 살펴보면 빙부착의 경우와 유사한 증가형태를 보이는데 이는 제빙과정 중에 첨가제의 농도 증가로 인해 고농도의 미세한 얼음이 생성되어 유동저항이 증가하였기 때문으로 사료된다.

Table 5 Result of experiment.

		과냉도(K)		
		0.5	2	4
농도 (vol%)	1			
	4			
	7			

■: ice adhesion, □: ice non-adhesion

제 3 장 결 론

동적형 빙축열 시스템의 축열체료로 물을 주원료로 하여 첨가제인 실란커플링제와 에틸렌글리콜을 함유한 혼합액을 제작하였다. 이를 배치식 제빙장치에서 교반·냉각 실험을 통해 아래와 같은 냉각면에서의 빙부착특성을 얻었다.

(1) 허용된 제빙량 하에서 동일한 과냉도(2 K)에서 에틸렌글리콜을 4 vol% 이상 첨가하였을 때 빙부착은 일어나지 않았다.

(2) 허용된 제빙량 하에서 체적비(물 : EG : SCA)가 93 : 4 : 3인 경우 과냉도가 큰 쪽(4 K)에서 빙부착이 발생하였다.

(3) 빙부착 여부를 모터의 소요동력으로부터 판단할 수 있는 정량적인 판단결과를 제시하였다. 그 결과, 빙부착시 소요동력은 급격하게 증가하였다. 반면에 빙 비부착시 소요동력은 완만하게 증가하였다.

참고 문헌

1. Chaedong Kang, Masashi OKADA, Shinsuke ODA, Koji MATSUMOTO, 2001, Tetsuo KAWAGOE, Investigation of Effective Factor on Ice Formation Process of Ice Thermal Energy Storage Using Water-Oil Emulsion, Trans. of the JSRAE, Vol. 18, No. 1, pp. 51-59.
2. Koji MATSUMOTO, Yasuo SHIOKAWA, 2000, Ice Storage System with Oil-Water Mixture.
3. Tsuyoshi SAITO, Akira YABE, 1998, Microscopic Obsevation of Ice Crystal Surface Adsorbed by Silane Coupling Agent, pp. 959-960.
4. Ryohei TSUCHIYA, Yoshitaka KAWADA, 2001, Study for Optimal Design of Ice/Water Direct Contact Heat Exchanger Used in the New District Cooling System Utilizing Ice Water Mixture Flow, pp. 55-56.
5. Masahiro SUGAWARA, Takuma ISHIKURA, 2001, Effect of Inclined Angle of Temperature And Concentration Conmbined Convection Due to an Ice Plate melting, pp. 631-632.
6. Junichiro KAWAKAME, Gaku TANAKA, 2001, Solidification of NaCl Solution Filled in a Porous Media, pp. 807-808.
7. 齋藤彬夫 他4人, 1988, 日本冷凍協會論文集, Vol. 5, No. 2, pp. 65-75.

8. 齋藤彬夫 他4人, 1988, 日本機械學會論文集B編, Vol. 54, No. 502, pp. 1439-1446.
9. 齋藤彬夫, 大河誠司, 玉木淳, 1989, 日本冷凍協會論文集, Vol. 6, No. 1, pp. 31-38.
10. 齋藤彬夫, 大河誠司, 小金澤新治, 1990, 日本冷凍協會論文集, Vol. 7, No. 3, pp. 213-223.
11. 齋藤彬夫 他4人, 1991, 日本冷凍協會論文集, Vol. 8, No. 2, pp. 59-68.
12. 大河誠司, 齋藤彬夫, 1992, 日本冷凍協會論文集, Vol. 9, No. 1, pp. 53-64.
13. 齋藤彬夫, 大河誠司, 石井剛人, 1998, 日本冷凍空調學會論文集, Vol. 15, No. 3, pp. 203-212.
14. 稻葉英男, 武谷健吾, 野津滋, 1993, 日本機械學會論文集B編, Vol. 59, No. 560, pp. 1202-1209.
15. 稻葉英男, 武谷健吾, 1993, 日本機械學會論文集B編, Vol. 59, No. 567, pp. 3557-3564.
16. 稻葉英男, 武谷健吾, 淺野敬也, 1994, 日本冷凍協會論文集, Vol. 11, No. 3, pp. 277-287.
17. 平田哲夫, 田中邦章, 1991, 日本傳熱シンポジウム講演論文集, pp. 325-326.
18. 齋藤彬夫, 大河誠司, 深尾剛, 1998, 日本冷凍空調學會論文集, Vol. 15, No.

- 3, pp. 221-228.
19. 寶積勉 他3人, 1999, 日本冷凍空調學會論文集, Vol. 16, No. 2, pp. 141-146.
20. 寶積勉, 齋藤彬夫, 大河誠司, 1999, 日本冷凍空調學會論文集, Vol. 16, No. 2, pp. 147-156.
21. 稲田孝明 他4人, 1997, 第34回日本傳熱シンポジウム講演論文集, p. 703.
22. 稲田孝明 他4人, 1997, 第35回日本傳熱シンポジウム講演論文集, p. 895.
23. 平田哲夫, 石川正昭, 長坂恒次, 1998, 日本冷凍空調學會論文集, Vol. 15, No. 3, pp. 185-191.
24. 堀部明彦, 福迫尚一郎, 山田雅彦, 1994, 日本冷凍協會論文集, Vol. 11, No. 1, pp. 79-87.
25. Fukusako, S., Yamada, M. and Horibe, A., 1994, ASME-Paper, HTD-284, p. 137.
26. 河部弘道 他3人, 1998, 日本冷凍空調學會論文集, Vol. 15, No. 3, pp. 193-201.
27. 岡田昌志, 姜塚東, 沖山晴彦, 1998, 日本冷凍空調學會論文集, Vol. 15, No. 3, pp. 229-236.
28. 谷野正幸 他3人, 1997, 日本冷凍空調學會論文集, Vol. 14, No. 1, pp. 87-95.

Abstract

A Study on Ice Slurry Formation and Adhesion by Cooling Aqueous Solution

LEE Yong Joo

Dept. of Mechanical Engineering

The Graduate School

Kyung Hee Univ., Korea

This study confirmed the ice slurry formation and adhesion of cooling surface by constructing the 3-components aqueous solution which was used dynamic ice storage system. To inhibit the adhesion of cooling side, silane coupling agent($\text{H}_2\text{N}(\text{CH}_2)_3\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3$) as detergent was used. Ice formation and adhesion was determined as supercooling rate and the concentration of ethylene glycol to make solution added silanol aqueous solution into ethylene glycol.

In the rate of same composition, the higher degree of supercooling rise, the more ice adhesion increase. When ethylene glycol was added as 7 vol%, ice adhesion was not showed even if degree of supercooling was high. However during ice making procession the change of stirrer's power was similar as the case of ice adhesion. That would be considered as flow resistance was

increased by the formation of ice particle as increment of concentration.

This study presented qualitative basic results which determined to be ice adhesion or not through the change of stirrer's power. When the ice adhesion was happened, stirrer's power showed rapid or step by step increase. But in case of non ice-adhesion, stirrer's power was not changed.

감사의 글

늦게나마 만학을 하겠다는 선택을 하면서 대학원이라는 또 다른 세계를 접하게 되었습니다. 처음에는 작은 흥분으로, 학업 중에는 미지의 세계에 대한 설렘으로, 나중에는 또 다른 무지에 대한 두려움으로 다가왔습니다.

이제 정들었던 연구실을 떠나려 합니다. 홀가분함과 동시에 떠나는 아쉬움이 마음속에 자리합니다.

먼저 부족한 저를 오늘이 있기까지 열과 성의로 지도해 주신 박경석 교수님께 감사의 말씀을 드리며, 논문지도를 해 주신 홍희기 교수님, 강채동 교수님 및 기계공학과 모든 교수님께 진심으로 머리 숙여 감사드립니다.

또한 함께 생활했던 손권 군, 언제나 밝은 창현 군, 무엇인가를 찾고자 노력하는 석균 군, 믿음직한 경용 군 모두에게 고맙다는 말을 전해주고 싶습니다.

특히 강채동 교수님의 세심한 지도와 배려에 감사드리며, 바쁜 중에도 마지막까지 불을 밝혀 준 손권 군에게 다시 한 번 감사의 마음을 전합니다.

그리고 늘 염려해 주시고 걱정해 주시던 부모님과 어려운 상황에서도 묵묵히 집안을 이끌어준 아내 현정이, 그리고 항상 자는 모습만 봐서 미안하지만 튼튼하게 무럭무럭 잘 자라준 아들 승민이 형민이 모두에게 진심으로 감사의 마음을 전합니다.

이천일년 십이월

정든 연구실에서