

# 최근의 해외 빙축열시스템 연구개발동향

## [ 머리말 ]

축열방식에는 어느 것이 제일 좋다고 말하기가 어렵다. 이는 동일한 전력요금 체계 하에서 부하조건, 주변조건, 설치비용 등이 관여하므로 수요자 입장에 따라 구미가 틀리기 때문이다.

축열방식의 하나로 빙축열시스템은 여름철 전력 수요의 불균형을 개선하는 데에 중요한 자리매김을 하고 있으며 에너지의 효율적 이용 및 환경 친화적인 시스템 개발이라는 측면에서도 그 기여도가 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 빙축열방식이 외국에서 개발된 방식에 의존하고 있다는 점에서 보다 적극적인 시스템

개발이 이루어져야 할 필요성을 느낀다.

이에 본 내용에서는 동적형 시스템을 중심으로 한 제빙 및 해빙에 관한 외국의 빙축열 연구개발 사례를 간단히 소개하여 국내의 빙축열시스템 개발에 참고가 될 수 있도록 하는 데에 있다.

## 2. 에너지 이용과 빙축열

### 1. 일본에서의 에너지 이용현황

일본에서의 최근 10여 년 동안에 걸친 전력수요는 거품경제시기를 제외하고는 안정된 신장을 보이고 있다.

한편, 연부하율은 1990년도 이후 점점 감소하는 추세에 있다. 그 원인으로서 가정용 에어컨 및 오피스 건물의 냉방공조설비 보급증대에 의한 냉방수요의 증대, 생활 수준 향상에 따른 민간 소비전력



비율 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 40여종이상의 다양한 빙축열시스템이 개발되어 있으며 특히 1992년경부터 빙축열의 도입건수가 급격이 증대하였다.

## 2. 미국에서의 에너지 이용현황

지난 2000년 1월 중순에 발생했던 캘리포니아주의 정전사태는 미국 내에서 뿐 만 아니라 우리에게도 충격을 가져다 준 사건이었다.

홍수로 인한 전력예비율 급감에 따른 것이 원인으로 알려져 있지만 북미전기신뢰협의회(NERC)는 오는 6월~9월 사이에도 총 260 시간의 단전조치가 있을 것으로 내다보고 있으며 절전대책을 위해 전기요금의 인상 등을 대안으로 내놓고 있다.

이는 전력공 급의 부족이 근본적인 이유이기도 하나, 에너지 과소비국으로서의 미국이 에너지의 효율적 이용면에서 개선이 늦어지고 있음을 보여준다

축열시스템은 이미 여러 차례에 걸친 시뮬레이션을 통해서 source energy 및 CO2 배출의 절감효과가 크다고 평가되었다. 미국에서 빙축열시스템은 1975년경부터 연구개발이 시작되었다.

당시는 비효율적이기는 하나 건물전체를 냉장고로 간주한 엄청난 규모의 냉동시스템이 활발하게 만들어졌었고 이를 대체하기 위한 방식으로 설치되

기 시작하였다.

그러나 현재에는 100%까지 제빙이 가능한 원형탱크를 나열한 브라인 순환방식 시스템이 주류를 이루고 있다. 불과 20년 전까지 만 해도 수축열시스템이 축열시스템 가운데 상당수를 차지하고 있었으나 1995년도 당시 미국의 축열시스템 가운데 약 87%를 빙축열이 점유하였고 빙축열시스템의 보급률의 급성장을 알 수 있다.

그러나 최근의 전자 정보산업의 급속한 발달은 전력수급의 불균형에 큰 영향을 끼치고 있는 것처럼 보인다.

## 3. 빙축열시스템의 분류

### 1. 정적형

빙축열시스템은 제빙 및 해빙방식을 기준으로 크게 정적형(캡슐형을 포함)과 동적형으로 분류하고 있으며 설치용량 면으로 보아 현재 국내에 설치된 시스템 중 약 80%가 정적형에 이르고 있다.

이는 제빙시의 현상이 냉각면에서 얼음이 정적으로 성장하는 단순한 메카니즘을 갖고 있으므로 이미 기존의 많은 연구 및 실험을 통해 밝혀진 부분으로 상당부분이 기술적으로 성숙되어 있는 상태이다.

이와는 달리 동적형인 경우 연구의 본질이라고 할 수 있는 얼음이 동적 상태에서 형성되는 관계로 제빙을 조절하기에는 아직 기술적으로 부족한 부분이 많다. 기술적인 측면에서 정적형 시스템의 제빙 및 응해에 관한 연구는 1990년대 초에 대부분 매듭지어졌으며 고효율 제빙을 위한 제빙 두께 및 냉각

코일 간격의 최적치를 찾는 것이 주요 개발부분이었다.

이 후로는 운전 및 제어 방법 개발에 치중하고 있다. 제빙방식에 따른 빙축열시스템은 대체로 다음과 같이 분류할 수 있다

(IPF)은 약 50~60%가 한도이다.

또한 코일 상에 균일한 두께로 형성된 얼음이 서로 붙지 않도록 하여 방빙 시의 불균일 응해를 억제시킬 필요가 있다. 제조회사로서 미국의 BAC사, FAFCO사 등이 있다.

형식	제빙형태	제빙기재질	얼음의 모양	기타	
정적형	관외제빙형	연속제빙	강관/동관/	투명, 고착	외융/내융
		연속제빙	폴리에틸렌관		외융/내융
		연속제빙	히트파이프		
관내제빙형	연속제빙	강관	투명, 고착	외융	
캡슐형	연속제빙	폴리에틸렌 용기/관	투명/불투명	외융	
동적형	하베스트형	주기적 제빙	스테인레스강관	수~수백mm 길이의 박편	탈빙모드 있음
	벌크분리형	주기적 제빙	강코일	수십mm 길이의 균일한 육면체	탈빙모드 있음
	과냉각 방식	trigger에 의한 연속제빙	스테인레스강관 (과냉각 열교환기)	수십 $\mu\text{m}$ 의 樹狀品, 圓板狀 (그림 3(a))	빙해제거용 필터 있음
	기계식 빙파리형†	주기적 제빙	강벽면	수백 $\mu\text{m}$ 의 球狀品, 片狀 (그림 3(b))	스크랩퍼 있음
	밀폐팽창형†	연속제빙	밀폐형 내압축열조	수~수십 $\mu\text{m}$ 의 球狀品	직접 열교환
액막유동형†	연속제빙	스테인레스강 내벽	수~수십 $\mu\text{m}$ 의 球狀品	특수용액	
	연속제빙	강코일 내벽	수~수십 $\mu\text{m}$ 의 球狀品	특수용액	

†: 축열재료가 수용액(응고점:0℃~-5℃)인 형식, ‡: 일부가 수용액을 축열재료로 하고 있음

### 가) 관외 착빙형

냉온수축열조로서 채용되었던 지하의 평형수조 내에 제빙코일을 배치하여 빙축열조로 바꾸었으며 작업이 단순하여 대형건물에 많이 채용되었다.

방빙 시 브라인이 순환하는 경우를 제외하고는 수조 내에는 방빙 시 순환에 필요한 여분의 물을 남겨두어야 하는 관제로 제빙완료 후의 빙층전를

### 나) 관내 착빙형

관내부의 물의 동결 혹은 얼음의 응해가 축열조 내 브라인에 의해 이루어지며 시스템이 밀폐되어 있으므로 부식 및 압력문제를 억제할 수 있고 높은 IPF를 얻을 수 있다. 그 대신 다량의 브라인을 사용하거나 공조측과 축열조사이에 열교환기를 설치해야 하는 단점이 있다.

### 다) 조내 캡슐형

브라인으로 채워진 축열조 내에 축열물질이 들어 있는 캡슐을 다량 투입하여 -5~-10도씨 정도의 브라인을 순환시킴으로써 캡슐내에 얼음을 형성 또는 응해시키는 방식이다.

응고 시의 체적팽창을 고려하여 캡슐 내부에 공기를 투입하거나 오목한 형상으로 팽창에 의한 응력변형을 피하도록 구성되어 있다.

특히 브라인이 캡슐사이를 균일하게 흘러갈 수 있도록 축열조의 입출구에서의 브라인 분배기 설계에 주의할 것과 캡슐 내부에 조해제 투여를 통한 물의 과냉각 억제에 주의를 기울일 필요가 있다. 일본의 Mitsubishi Chemical사, Fuji Benki사 등이 제조에 참여하고 있다.



## 2. 동적형

냉각면 상에 빙부착에 의한 열전달 저하를 개선하기 위한 시스템으로 등장하여 수송성도 뛰어 나 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 영하2도씨로 과냉각시킨 물을 배출과 동시에 트리거에 의해 동결시킨 후 축열조에 저장하는 방식이다.

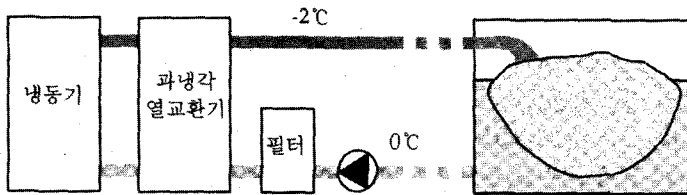


그림 1 과냉각방식에 의한 제빙 (Takasago, Toshiba, Nippon Steel, Shinryo, Shimizu 이상 일본회사)

물만을 사용하므로 동적형 빙축열시스템 가운데 가장 환경친화적이며 냉동기의 성능에도 거의 변화가 없는 것이 특징으로 기계식 빙박리형처럼 기기 배치에 대한 자유도가 높고 열응답성이 뛰어나지만 과냉각 열교환기 내에서 빙결정이 발생할 경우 냉각면에 부착하여 관폐색 등을 일으킬 수 있다.

주로 일본에서 개발되었고 Takasago Thermal Engineering, Nippon Steel, Toshiba 그리고 Shirryo 등에서 제품화가 되어 있다. 그림 1은 과냉각형 제빙시

스템의 개략도를 나타낸다.

### 나) 기계식 빙박리형

제빙표면 상의 얼음을 기계적으로 깎아내어 슬러리화하는 방식으로 보통은 물을 축열재질로 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 뛰어나는 특징을 갖고 있다.

1970년대 후반, 식품 및 공 기초화를 위한 냉장 및 냉동을 목표로 한 축열 및 식품냉장의 Sunwell사

(캐나다)는 특수첨가제가 들어있는 수용액을 축열재료로 한 만액식의 빙박리형 시스템으로 독일의 Flow Ice Tech Business사, 미국의 Mueller사 등이 대표적인 제조회사라 할 수 있다.

일본에서는 Takenaka사 등에

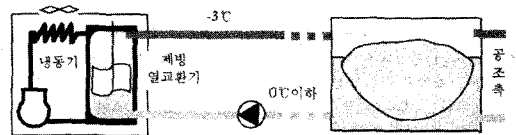


그림 2 수용액방식에 의한 아이스슬러리 제빙 (Sunwell(캐나다), Mueller(미국), Flow Ice Tech Business (독일), Sanki(일본))



그림 3 아이스 슬러리 (a) 수돗물 (b) 수용액 (c) 물-기름 에멀션



서 일부 도입하고 있으며 비만액식이나 기계식 빙박리형인 시스템을 일본 Sanki사에서 제조하고 있다. 그림 2는 기계식 빙박리형 제빙시스템의 개략도이다. 또한 과냉각방식과 수용액방식에 의해 생성된 아이 스슬러리의 모습 일부를 각각 그림 3 (a), (b)에 나타내었다.

다) 하베스트형

축열조 상부에 위치한 특수한 형상의 증발기 (가령, 수직의 제빙면) 표면에 물을 흘려보내 동결시켜 그 두께가 5~15mm 정도로 되면 valve절환에 의해 고온의 냉매를 제빙면 내측으로 보내 외 측 표면의 얼음을 하방으로 분리시켜 축열조에 저장하는 작업을 1사이클로 반복적으로 실시한다.

제빙방식은 정적형에 가까우나 해빙방식은 동적형에 가까운 것이 특징이다. 미국의 dueller사 AEP사가 대표적인 제조사이다

전이 가능한 제품도 등장하였다. 대표적으로 패키지형 에코아이스(상품명)를 들 수 있다. 이는 기본적으로 물을 축열재료로 한 축열식 에어컨을 뜻하며 여름에는 축열조에 제빙을 통하여 냉방을, 그리고 겨울에는 온수형태로 저장하여 부분난방에 이용하는 시스템이다.

다음의 표는 최근 5년간에 걸친 패키지형 빙축열 에어컨의 출하 집계를 나타낸 것이다 설치비율이 급격히 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 패키지형의 평균 축열용량은 일반 빙축열방식의 약 1/15에 해당 하는 소용량 시스템으로 이는 캡슐형을 포함한 정적형 시스템이 소용량 및 증용량시스템에 적정성을 갖고 꾸준히 보급되고 있음을 보여주는 예이다.

((社)日本冷凍空調工業會자료)

종류	빙축열식 패키지 에어컨 <sup>†</sup>		빙축열유닛 <sup>‡</sup>		빙축열조	
	수량 (대)	축열용량 (×1000kWh)	수량 (세트)	축열용량 (×1000kWh)	수량 (대)	축열용량 (×1000kWh)
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.

## 4. 시스템 개발현황

### 1. 정적형 시스템

#### 가) 에코아이스

일본에서는 1980년대에 들어서면서 지하공간형 수조내에 제빙코일을 설치하여 얼음을 만드는 방식으로 실증시험이 시작되어 점차로 중소규모 건물에 적용 가능한 여러종류의 빙축열 히트펌프 유닛이 제품화되었다.

빙축열조와 히트펌프를 일체화한 제품은 일본 특유의 것으로 기후변화에 대응하여 냉방 및 난방운

### 2. 동적형 시스템

#### 가) 유럽의 경우

덴마크에서 1998년에 아이스슬러리 센터가 설립된 이래 Grundfos, It-coil, Swep, Texaco, Georg Fisher, Hans Buch, Sunwell 그리고 덴마크의 기술연구소 (Danish Technological Institute DTI) 로 그룹을 구성하여 아이스슬러리에 관한 제반 열물성 및 발생 장치



에 관한 연구를 수행 중이다.

각 업체의 기술적인 노하우에 의하면 초기 개발 단계에서는 아이스슬러리 발생기, 원심펌프, shell and tube식 열교환기, tube and fin식 열교환기, plate식 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 제조사 이외에도 육류연구소, 어업협회 등의 잠재력을 갖고 있는 사용자그룹들이 아이스슬러리 센터와 연결되어 있고 음식물 첨가제회사, 알코올, 개별로 된 가열 및 냉각장치를 위한 기성절연관 등을 전문으로 하는 읍서버들에 의해 한층 높은 기술적 지원을 받고 있다.

아이스슬러리를 이용하는 상업용 냉동시스템의 경우, 덴마크에서는 전기와 냉동기 기 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.

#### 나) 하이브리드형

동적형 빙축열의 제빙과정을 통해 돌발적(과냉각형의 경우) 혹은 지속적(기계식 빙박리형)으로 발생하는 냉각면상에서의 얼음의 부착현상은 축열재료에 대해 유동성 및 열전달 저하를 일으켜 시스템의 성능 저하를 가져온다.

과냉각형의 경우 심하면 관내 폐색까지 발생하여

시스템 가동을 중단시키고 동결부를 히터로 가열하거나 온수를 흘려보내 막힌 관속의 얼음을 녹이도록 보조사이클을 작동시킴으로 인해 시스템 효율에 적지 않은 영향을 끼친다.

이에 대한 개선책의 하나로 표면장력이 작은 실리콘유를 물에 분산시킨 에멀션을 이용한 축열재료가 일본에서 제안되었다. 아직 실용화 단계에 있지는 않지만, 슬러리의 장기보존이나 빙부착이 방지된다는 면에서 특수한 용도의 빙축열시스템에 자리잡을 수 있으리라 예측된다.

화학적으로 비활성에 가깝고 비위험 물질로 취급되고 있는 실리코우는 물과 밀도 차가 작아 혼합 및 교반 후에 쉽게 분리하지 않는 특징을 지니고 있다.

그러나 물과 실리코유 만으로는 벽면과 물 사이에 유막을 균일하게 형성시키기 어렵다. 이러한 물-기름 에멀션에 계면활성제를 소량 혼입시키면 에멀션의 동결 시에 첨가제가 얼음의 재결정화 및 냉각벽면에서의 부착을 한층 억제한다.

이러한 조건을 만족시키는 첨가제의 하나로써 실리콘커플링제 (silane-coupling agent)가 알려져 있고 물에 녹아 분자 구조 상에서 변화를 가져와 한 쪽에서는 물 그리고 다른 한 쪽에서는 유기물과 결합할 수 있는 독특한 구조를 갖추게 된다.

즉 물(얼음)이나 무기물로 구성된 벽과 기름사이에 안정된 형태로 개재하기 쉬워지므로 계면 상에서의 얼음의 부착 혹은 얼음 입자간의 결합의 억제와 동시에 분산성의 향상 등의 효과를 기대할 수 있다.



**-제빙실험에 의한 빙 생성형 태**

소량의 첨가제를 물에 녹인 혼합액에 함수율이 80vol% 가 되도록 실리콘유를 넣어 냉각용기에 넣고 교반하여 에멀션화한 다음, 용기 외측으로부터 브라인으로 냉각한다. 온도 하강과 함께 응고점보다 낮은 과냉각 상태에 도달한 에멀션으로부터 슬러리 상태의 얼음이 발생한다.

그림 3(c)는 과냉각 평형온도를 -2도씨로 유지한 상태에서 빙핵 투여에 의해 얼음을 생성시킨 후 혼합액의 응고점이 -1.4도씨가 되었을 때의 얼음의 상태를 나타낸 것으로 0.5mm 이하의 미세한 얼음을 보이고 있다.

이 때 얻어진 얼음을 채취하여 시사미분열량계(DSC)에 의해 얻어진 융해잠열은 246.5~ 274 kJ/kg의 분포를 보였고 그 평균치 246.5 kJ/kg 은 실제 얼음의 융해잠열치 333.7 kJ/kg 의 70%를 상회한다

**-냉각면 상의 빙부착 형태**

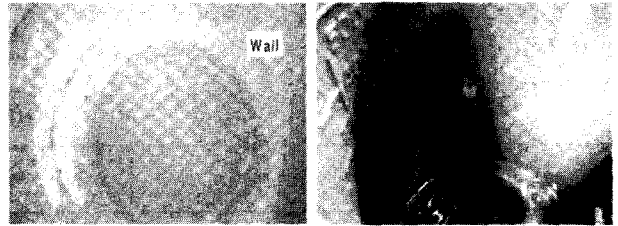
스테인레스강 (SUS304), 내열유리(Pyrex), 폴리카아보네이트(PC) 그리고 불소수지 계(PFA) 등의 네 종류의 용기에 물-기름 에멀션을 넣고 각기 냉각 및 교반을 행한 결과, 용기 재질의 변화에 따른 빙 생성 형태의 차이는 없었으나 냉각속도의 변화로 인해 빙생성 시점과 생성량에서 차이를 보였다.

그림 4(a)는 혼합액의 빙생성 직전의 과냉각온도 -2'S 의 조건에서 빙생성 후 응고점이 -1.4'7일 때의 PFA 용기 내부의 아이스슬러리를 떨어내고 난 뒤의 상태로 냉각면에 얼음이 부착 되어 있지 않음을 알 수 있다.

물이나 에틸렌글리콜 수용액을 사용했을 경우, 같은 조건하에서 냉각면 상에서 얼음이 강하게 부착

하는 사실로 미루어 물-기름 에멀션은 냉각면 상에서의 빙 부착을 억제함을 알 수 있다.

또한 스테인레스강 벽면에 PFA 피막을 입힘으로써 표면개질과 동시에 PFA용기보다 열전달을 향상시켜 그림 4(b)와 같이 제빙 후 아이스슬러리를 쏟아냈을 때 빙부착이 없는 상태의 용기 벽면을 나타내고 있다.



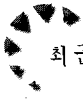
(a) PFA 용기 (b) 스테인레스강 용기  
그림 4 제빙 후 벽면 (아이스슬러리를 떨어진 상태)

**다) 아이스슬러리 수송**

잠열물질을 이용함으로써 열수송밀도를 높여 에너지를 경제적, 효율적으로 이용하도록 하는 데에 주안점을 둔 고밀도 열 수송을 위한 시스템의 기술 개발이 1991년도부터 진행되고 있다.

즉 PPF변화가 수송능력에 미치는 영향, 전부하시에 필요로 하는 냉열에 대한 수송냉열의 비율 및 부하 추종성 정도, 관내 폐색조건 및 발생 장소의 예측 및 억제방안, 최대연속 운전시간, 그리고 물수송에 대한 압력손실비 정도를 관찰하는 데에 두었고, 그 결과 잠열물질로서 아이스슬러리가 유망한 매체 중의 하나임이 확인되었다.

기계식 빙박리형과 과냉각형 시스템으로부터 생성된 아이스슬러리는 빙축열조로부터 바로 2차축이



나 다른 장소로 배관을 통한 수송이 가능하다.

빙수 형태로 수송되므로 단위열량당 수송유량을 작게 할 수 있고 배관의 지름을 작게 하거나 수송을 위한 펌프동력을 절감할 수 있다. 브라인 등으로 제조된 아이스슬러리는 물만으로 만든 슬러리보다 냉열 수송성이 뛰어나서 지역간 냉열 공급시설 등에 기대되고 있다.

단지 접도가 높은 관계로 계면활성제 등을 투여하여 관마찰 손실 증가를 억제하고 있다

### 3. 미국에서의 빙축열시스템

ASHRAE의 축열전문위원회 TC6.9가 대표적인 연구단체라 할 수 있고 1999년에서 2000년에 걸쳐

1) 축열시스템을 위한 아이스슬러리 설계데이터 작성

2) 수용액 냉매의 관유동에서의 입력손실 절감을 위한 첨가제의 확인

3) 축열시스템의 운전 및 유지를 위한 지침 개발

4) 축열시스템의 운전 및 제어 전략 확립

5) 실시간 에너지 산가 기능의 효용성을 위한 축열시스템 설계

6) 축열을 합체화한 시스템의 모델링을 위한 개선된 루틴의 개발

등의 연구계획을 수립한 바 있고

일부는 현재까지 진행 중이며 2000년에서 2001년에 걸쳐서는

1) 전기 항목(5)의 평가

2) 전기 항목(4)의 계속

3) 동부하율과 축열시스템 제어간의 상호관계

등을 우선적 과제로 뽑고 있다. 세부적인 연구과제로 아이스슬러리와 관련하여 얼음 밀도측정, 얼

음의 응집 및 합체, 관폐색 등에 관한 실험 등이 계획되어 있다.

또한 올해 6월 24일에 개최예정인 TC6.9의 연차대회에서는 수축열에 관한 연구 및 운영, 아이스슬러리 그리고 정전 및 규제완화에 대한 기본적 해법으로서의 축열에 대한 제안이 있을 예정이다. 올 여름 다가올 전력공급 비상사태에 발맞추기 위한 일환으로 볼 수 있다

### 4. 중국에서의 빙축열시스템

중국본토에서의 발전용량은 해마다 1200만 kW씩 증가하고 있으며 총발전 용량은 약 3억kW라고 한다. 지난 해 6월 광둥성에서는 130만 kW의 제한송전을 하였다.

전력부족의 이유로 전력 보급망의 낮은 부하율을 들 수 있으나 본토 연안지역의 경제발전에 따른 전력소모의 급격한 증가로 인해 침투부하와 오프피크 부하의 격차가 매우 높아진 것이 결정적 이유라 할 수 있다.

이를 개선하기위해 중국 정부에서는 5년에 걸쳐 전력부하의 이동을 계획하고 있고 약 3만~5만kW의 부하이동을 축열시스템으로 할당하려 하고 있다. 빙축열시스템은 1990년대 초에 도입되어 보급률은 아직 미미한 상황이나 최근 들어 축열관련 프로젝트가 급증하고 있다.

빙축열 유형별로는 캡슐형이 전체의 약 57%를 점유하고 있고 그 나머지를 완전제빙형(17%), 관외차빙형(15%), 수축열(9%), 동적제빙형(2%) 그리고 공용열(1%) 등의 순으로 되어 있다. 지역별로는 프로젝트 현황을 나타낸 것이다.

이와 함께 축열시스템의 보급이 우선과제로 인



식되고 있고 중국실정에 맞는 선진기술 도입을 위해 연계 벤처를 수입하거나 설립할 것으로 알려져 있다.

지역	질강	북경	산둥	광둥	사천	상해	화북	천진	호북	그외지역	합계
프로젝트 수	32	27	10	8	6	5	4	4	3	10	109
비용	29.4	24.8	9.2	7.3	5.5	4.5	3.7	3.7	2.7	9.2	100

### 5. 동적형 용해방식

빙축열조에 저장된 아이스슬러리 혹은 판형 얼음은 일반적으로 물 또는 수용액과 혼합되어있는 상태로 구속력이 없을 경우, 빙산과 같이 물 또는 수용액에 부유되어 있는 상태로 있게 되며 시간 경과와 함께 얼음입자 간의 응착이 진행하고 아이스슬러리의 하부로부터 부력에 의한 압력이 작용하여 아이스슬러리의 응착을 촉진시킨다.

방냉과정과 함께 2차 측에서 돌아온 물 또는 수용액은 소정의 운동량을 갖고 아이스슬러리와 직접 열교환을 하게 된다. 빙축열조의 출구온도와 운전시간은 용해방법에 의존하며 다양한 용해실험들이 수행되었다.

빙축열조 상부에 위치한 스프레이에 의한 실수방식과 수면하에 위치한 노즐에 의한 제트분사 방식에 의한 용해실험으로부터 노즐보다 제트분사방식에 의한 출구온도가 일정하게 유지되고 있다.

실수방식에 의한 해빙양상의 일부를 그림5)에 나타냈다. 또한 소형팬크에 충전된 아이스슬러리의 용해실험 및 해석을 통해, 아이스슬러리 층 내에서 유로가 형성됨으로써 유입된 수용액이 빙층과 충분한 열교환을 하지 못해 축열조의 출구온도가 응점

보다 높아지는 것이 빙층 내의 유로형성 정도와 관계하고 있음을 보였다.

한편, 실제 시스템의 운용 결과로부터 축열용량의 변화에 따라 빙축열시스템의 용해시의 출구온도의 변화가 그림 6과 같이 나타나고 있는 것에 주목하였다.

이 사실로부터 아이스슬러리형 빙축열시스템에도 적정의 IPF가 존재함을 보이고 있고 축열조 내에서의 빙층 내 얼음표면적 상에서의 열교환을 기준으로 한 용해방식이 중요한 연구 대상이 되고 있다.

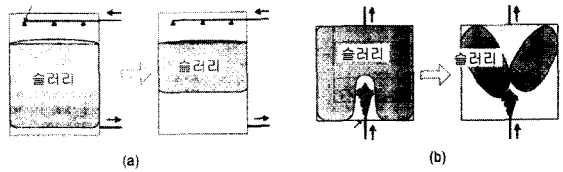


그림 5 조내 방냉방식 (a) 조 상부 살수 (b) 조 측부 노즐분사

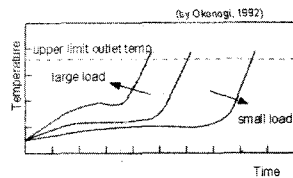


그림 6 방냉 시 부하용량에 따른 출구온도 변화

### 6. 냉매 및 축열재료

오존층 파괴 및 지구 온난화의 문제로 사용에 제약을 받고 있는 CFC계 냉매를 대신하여 환경친화적인 동시에 자연냉매인 암모니아를 사용한 빙축열시스템이 일본의 유가공회사에 시험적으로 설치된 사례가 있다.

기본적으로는 기존시스템에서의 브라인 냉각용

증발기가 제빙기로 바뀌 것으로 아이스슬러리를 만들어 빙축열조에 저장 후 연구동, 생산공정 및 냉장공조를 위해 사용하고 있다. 또한 자연냉매인 CO2를 사용한 정꼭형 브라인 순환방식의 빙축열시스템도 대학에 설치되어 있다.

환경친화성이 큰 에탄올은 수용액 형태로 식품냉동에 많이 사용되어 왔으나 최근에는 2차 측 냉매인 일반 공업용 브라인이로서도 주목받고 있다. 에탄올의 점도는 물보다 작으나 수용액 형태에서는 대부분 물보다 높게 나타나고 있으며 변성 에탄올의 금속에 대한 부식성 정도도 파악되어 있다.

덴마크의 DTI에서는 슈퍼마켓을 대상으로 한 동결을 위한 CO2 회로를 갖는 중앙식 암모니아 냉동장치를 개발하였다. 즉 에탄올 수용액을 2차 냉매로 냉장(아이스슬러리)에, 증발하는 2차 냉매를 동결에 적용시킨 시스템으로 CO2 냉매는 캐스캐이드 시스템의 저압측으로 작동하는 사이클로 되어 있다. 그림7)은 시스템 개략도를 나타낸다.

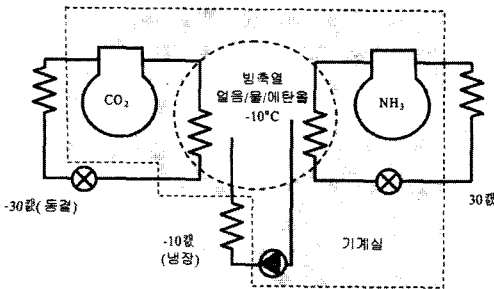


그림 7 이중회로를 갖는 중앙식 암모니아 냉동장치

## 7. 운전

### 1. 큰 온도차를 이용한 저온냉풍 공조시스템

반송동력의 운전비용을 절감하기 위해 제안된 시

스템으로 빙축열과 같이 저온상태의 축열매체의 반송에 적합하다.

즉 빙축열조에서 4~5도씨의 냉수를 공조기(FCU, AHU)로 보내어 실내로의 입구온도를 기존의 16도씨에서 10도씨로 낮추어 급기한 후 빙축열조로 환수되는 온도를 14~15도씨로 함으로써 전체적으로 보아 일반 공조시스템보다 약 10도씨가 큰 온도차를 갖는다. 실내에 저온공기를 분산시키는 취출구의 설계도 중요한 부분이다.

## 2. 전부하 빙축열시스템

야간에 비축한 냉열로 주간의 공조를 100% 조달하는 전부하 빙축열방식은 빙축열시스템 등 과거의 때를 같이 하고 있으나 다음날 부하예측의 어려움과 실용성, 용량부족 등으로 인해 그다지 주목받지 못하였고 현재까지 부분부하 축열방식이 그 주종을 이루고 있다.

일본의 Takemaka사 기존의 빙축열시스템에 냉매 자연순환시스템을 추가로 도입하여 열반송동력을 대폭으로 줄여 동체축열을 병용하여 전부하 빙축열방식을 채용하고 있다.

## 8. 맺음말

이상 개괄적인 내용을 종합해 보면 지역 냉방을 고려한 아이스슬러리형 빙축열시스템, 기시스템의 운전 및 제어방식 개선, 냉매 및 축열재료의 반송동력 절감, 자연냉매를 이용한 고효율 빙축열시스템의 개발 등을 차후의 과제로 올리고 싶으며 이와 함께 수요자의 요구에 잘 대응 수 있는 유연성있는 시스템 개발이 필요하다고 생각한다.