



전력부하 평준화를 위한 축냉시스템 개발

최 병 윤*, 유 재 인**, 윤 재 호 **

(* 한국전력공사 기술연구원 전력연구실 선임연구원

** 생산기술연구원 산업에너지연구부 수석연구원)

1. 서 론

시스템 사용자 모두에게 이익이 있어 궁극적으로는 국가적 차원에서 에너지 및 자원의 합리적 이용에 크게 기여할 수 있다.

최근 들어 원자력 발전량의 증가 및 발전 설비의 대용량화에 따라 발전 설비를 부하추종형으로 운전하기 어렵게 되었으며, 한 소득 수준의 향상에 따른 냉방수요가 급증하고 있다. 그로 작년 여름철의 전력예비율이 우리나라가 전기를 사용한 이래 최저치인 3% 이하로 떨어지는 등 전력 수급의 안정화, DSM(Demand Side Management) 및 전력 피크 부하의 평준화를 위한 축냉 시스템의 도입 필요성이 증대되고 있다. 국가의 기간 산업인 전력 에너지를 생산하는 발전 설비는 100만 kW에 약 1.5조원이 소요되는 막대한 자본투자가 필요하므로, 여름철 첨두부하를 축소할 수 있는 축열식 냉방시스템의 개발 및 보급 확대가 필요하다. 이는 에너지의 효율적으로 사용할 수 있을 뿐만 아니라 국가 경제적인 측면에서 DSM을 통한 사회적 자본의 효율적인 운영을 도모할 수 있다.

1992년 12월부터 일정규모 이상의 건물에 대한 절전설비의 설치 의무화가 시행되면서 국내에서의 빙축열시스템 보급이 크게 확대될 것으로 전망된다. 그러나 현재 국내에 도입되어 설치되는 빙축열시스템은 외국으로부터의 기술도입이나 완제품으로 수입되는 제품들이 대부분이며 빙축열시스템 사업에 참여하고자 하는 기업들 역시 수입을 검토하고 있는 실정이다.

그러므로 열적성능이 뛰어나고 시스템의 효율적인 운용이 가능하며 경제적으로 우위에 있는 빙축열시스템을 국산화 개발하는 것은 매우 중요하리라 사료된다. 이러한 필요성에 의하여 본 연구원의 냉동공조연구팀은 포접화합물과 공융염을 이용한 두가지의 새로운 빙축열시스템을 개발하였으며, 열적 성능이 뛰어나 원활한 전력에너지 수급과 수입 대체 및 수출을 통한 기업의 국제 경쟁력 향상을 꾀할 수 있을 것으로 사료된다.

2. 빙축열시스템 도입의 필요성

빙축열 냉방시스템은 다음과 같은 측면에서 전력공급자 및

2.1 전력부하 평준화 측면

신규 발전설비의 추가 건설을 초래하는 연 10% 이상의 전력 수요 증가율도 심각한 문제이나, 더욱 주간과 야간 또는 여름과 겨울철의 극심한 전력부하의 불균형도 평준화 되어야 한다. 그림1에는 1994년 최대수요를 기록한 7월 22일의 시간별 전력수요를 나타내고 있다. 오후 2시의 최대 수요는 2,669.6만 kW이고 오전 5시의 최소수요는 1839.8만 kW로서 하루중의 차이는 830만 kW에 이르고 있다. 그림1에 표시된 바와 같이 약 1,850만 kW의 기저부하는 대용량의 원자력이나 유연탄 발전소의 경제적인 저원가 발전(약 23.96원/kWh)으로 담당하고 주간과 야간의 첨두부하는 소용량으로서 수시 기동정지가 가능한 경우나 가스를 이용한 고원가 발전(30원/kWh 이상)이 담당하고 있다. 따라서 대부분 높은 발전원가로 생산된 약 400만 kW의 냉방

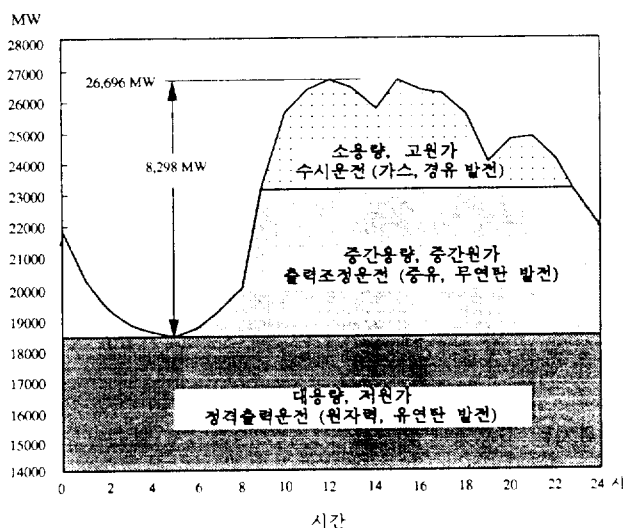


그림 1 1994년 최대전력수요일(7월 22일)의 시간별 전력부하

용 전력 수요가 심야전력을 사용하는 빙축열시스템으로 대체되면 신규 발전설비의 추가 건설 억제 및 기존 발전설비의 경제적인 운전이라는 一石二鳥의 효과가 있다.

2.2 경제적·기술적·환경적 측면

건물 및 산업현장에서의 빙축열 냉방 또는 냉열원 공급 시스템은 초기 투자비가 증가하고 설치공간을 필요로하는 단점이 있기는 하나 다음과 같은 경제적, 기술적, 환경적 측면에서 많은 장점이 있다.

- 경제적 측면
 - 값 싼 심야전력을 사용하여 운전비용 절감
 - 대기온도가 낮은 심야 시간에 냉동기를 연속적으로 정격 용량 운전을 하여 효율 향상에 따른 운전비용 절감
 - 작은 용량 (최대 50%까지)의 냉동기 사용이 가능하여 설비 비용절감
 - 수전설비 용량축소 및 계약전력 감소에 따른 비용절감
 - 저온급기 (Cold Air Distribution) 시스템 채택 시 배관 및 덕트공사 비용절감
- 기술적 측면
 - 냉동기등의 부속기기를 정격용량에서 연속운전하여 시스템 안정
 - 축열조의 완충 역할로 시스템의 신뢰성 향상
 - 냉동기 고장, 보수시에 축열조를 비상 back - up용으로 사용가능
 - 건물 증축이나 부하증가에 대처하기 용이
- 환경적인 측면
 - 전력설비의 부하율 향상에 따른 에너지 절약으로 지구온난화 방지에 기여
 - 작은 용량의 냉동기 사용으로 CFC의 사용감축 가능

3. 빙축열 냉방시스템의 종류

축냉식 냉방시스템에는 물을 이용한 빙축열, 화합물의 공융점을 이용한 공융염 및 포접화합물이 있다. 공융염과 포접화합물에 대한 것은 본문에서 다루었다.

잘 알려진 바와 같이 빙축열의 장점은 얼음의 잠열을 이용하므로 잠열량이 커서 축열조의 크기를 작게할 수 있으며, 결빙 및 해빙동 반복사이클에도 열성능이 변화하지 않는 안정된 열 저장 매체인 점이다. 또한, 빙축열시스템에서는 낮은 급기 온도를 얻을 수 있어 저온 급기 시스템의 채용이 가능하여 이송에너지 및 급기 시스템 설치 공간의 절약을 꾀할 수도 있다. 그러나, 기존의 냉방방식에 비해서 얼음을 생성시키기 위해 저온 냉동기를 사용해야 하므로 시스템의 에너지 효율이 떨어지는 단점이 있다.

빙축열시스템의 종류를 구분하는 방법에는 여러가지가 있다. 즉 축열조 용량에 의한 분류, 착빙 방식에 따른 분류, 시공 방식에 따른 분류, 냉매순환 방식에 따른 분류, 운전방식에 따른

분류, 2차측 부하설비에 따른 분류, 사용용도에 따른 분류, 반송 방식에 따른 분류 등이 있다. 여기서는 착빙방식에 의한 Static - direct contact(정적 직접접촉식), Static-indirect contact(정적 간접접촉식) 및 Dynamic-direct contact(동적 직접접촉식)으로 나누어 설명한다.

3.1 Static - direct contact, Ice on coil 방식

본 방식은 빙축열 시스템에서 가장 많이 채용되고 있는 방식으로 외부 해빙시스템이라 불리운다. 제빙 과정중에는 냉매 또는 2차냉매가 관 외부의 얼음을 성장시키기 위해 축열조내에 잠겨져 있는 관 내부를 통과하게 된다(그림 2 참조). 해빙 과정중에는 탱크내의 물이 관외 표면에 부착된 얼음과 직접접촉하여 순환하게 된다.

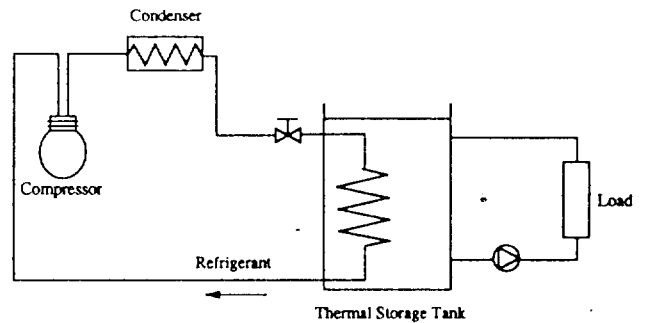


그림 2 Static-direct, Ice on coil 방식

3.2 Static - indirect, Coils

보통 25% 에틸렌글리콜등의 2차냉매를 사용하여 축열조내의 물을 얼린다. 축냉과정에서는 냉동기에서 나온 1차 냉매는 축열조내의 전열관을 통하여 순환이 되며 관 주위에 있는 물은 얼음이 된다. 축냉이 완전히 끝나면 관 외부의 물은 모두 얼게 된다(그림 3 참조). 방냉 과정중에는 부하측에 순환하는 2차냉매가 관내를 순환하여 해빙하게 된다.

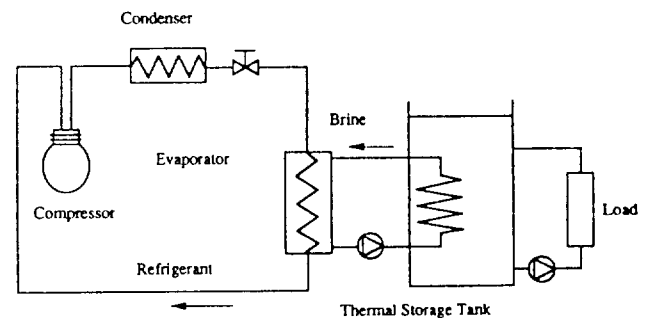


그림 3 Static-indirect, Ice on coil 방식

3.3 Static - indirect, Container 시스템

또 다른 형태의 Static - indirect 시스템은 플라스틱 볼 또

는 판형 용기내에 물을 주입한 Module을 축열조내에 적층시킨 형태이다. 축냉과정중에는 2차냉매가 축열조내 즉, 용기외부를 순환하게 되어, 용기내부의 물을 얼리게 된다. 또한, 방냉과정 중에는 부하측을 순환하는 2차냉매가 용기내의 얼음을 녹여 냉방을 가능하게 한다[그림 4 참조]. 용기내의 물이 결빙하게 되면 용기는 2차냉매 보다 가벼워져 부력때문에 축열조내에서 뜨게 되므로 용기를 고정시키는 방안이 고려되어야 한다.

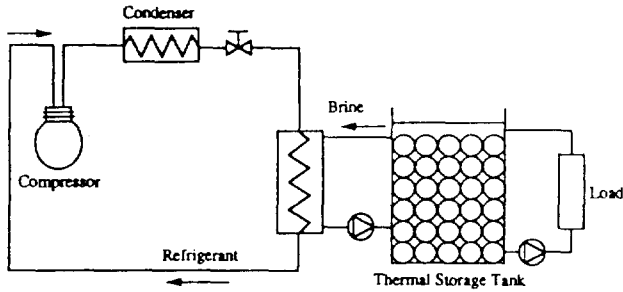


그림 4 Static-indirect, Container 방식

3.4 Dynamic - direct, Ice Harvesters

Dynamic - direct contact 시스템의 경우는 축열조 상부에 얼음제조 장치가 있다. 1차냉매는 냉동기로부터 얼음제조장치를 순환하게 된다. 또한 물은 얼음제조장치 중의 증발기표면과 축열조내를 순환한다[그림 5 참조]. 축냉과정중 얼음은 5~10mm 두께로 성장하게 되며, 일단 규정 두께에 도달하면 1차냉매의 순환은 정지되고, 증발기 표면은 by-pass된 Hot gas에 의해 가열되어 증발기 표면으로부터 얼음이 이탈되어 축열조내에 떨어지게 된다.

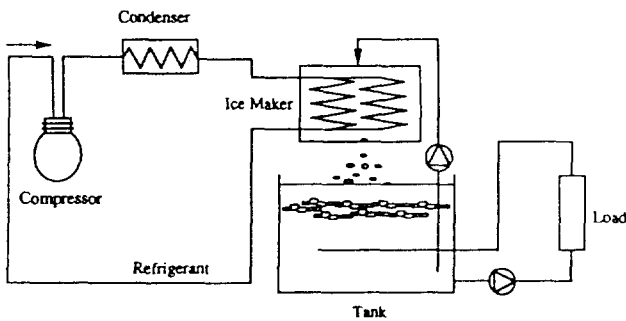


그림 5 Dynamic-direct, Ice Harvesters 방식

3.5 Dynamic - direct, Slurry Generators

Slurry Generator의 경우는 수 퍼센트의 글리콜이 포함된 수용액이 사용된다. 냉동기의 증발기에서 생성된 Ice crystal인 Slurry는 펌프에 의해 축열조로 유송된다[그림 6 참조]. 특히 본 Slurry 시스템에서는 축열조내의 온도가 축열조내 얼음의 양을 나타내는 기준이 된다. 즉, 축열내에 얼음이 많이 존재할 수록 남아 있는 용액중에 글리콜의 농도가 증가되므로 빙점이

강해진다. 따라서 축열조내의 온도는 시스템운전에서 중요한 인자가 된다.

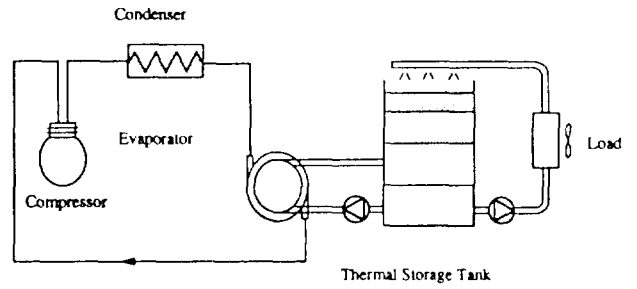


그림 6 Dynamic-direct, Slurry Generators 방식

3.6 Dynamic - direct, Slippery Ice

본 시스템은 미국의 EPRI가 주관하여 최근에 개발한 것으로 증발기 표면에 특수 코팅을 하고 아세테이트를 물에 첨가제로 사용하여 Slippery Ice라고 불리는 Slurry 형태의 얼음을 제조하여 사용한다. 이 Slippery Ice는 그림 5에서 보인 Harvester 형태의 얼음 제조장치로 만들 수 있다. 일반적으로 Harvesting 시스템은 Hot gas를 by-pass 시켜 증발기 표면으로부터 얼음을 이탈시키나, 이 경우 많은 에너지가 손실되어 시스템 효율을 저하시킨다. 그러나 Slippery ice의 경우는 증발기 표면으로부터의 얼음이탈 과정이 불필요하게 되어 단위시간당 제빙능력이 증가된다. 특히, 이 Slippery Ice는 일반 원심펌프를 사용하여 순환시킬 수 있어 물순환 방식보다 순환동력이 작아지는 장점을 가지고 있다.

4. 새로 개발된 빙축열 시스템

본 연구팀에서 개발한 새로운 빙축열 시스템은 국내에서 최초 개발한 시스템으로 공용염과 포접화합물을 이용한 두가지의 시스템이다. 두 시스템의 특징은 물이외의 다른 상변화 물질을 이용하여 물을 이용한 빙축열 시스템과 수축열 시스템의 장점을 잘 살렸다는 데 있다. 그러므로 개발된 두 축냉 시스템은 수입에만 의존하는 국내 빙축열 시장에 국산화 빙축열 시스템이 보급될 수 있는 길을 넓힐 수 있을 것으로 판단된다.

4.1 포접화합물을 이용한 축냉시스템

포접 화합물은 그림7과 같이 수소결합된 물분자의 격자중에 기체분자가 둘러싸여진(包接된)구조로 되어있다. 이러한 결정 구조는 수소결합으로만 결합된 물분자와는 달리, 기체분자가 주위의 물분자와 약한 Van der Waal's force에 의해 구속되어 있으므로 순수한 얼음보다 높은 온도에서 수화물 결정생성을 가능하게 한다. 따라서 냉동기 증발부의 온도가 물을 매체로 사용하는 경우처럼 0℃이하로 내려갈 필요가 없어 열역학적인

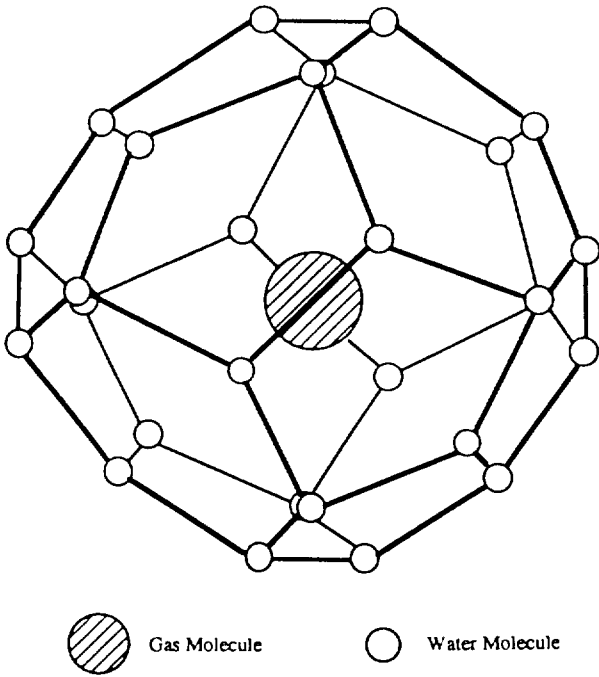


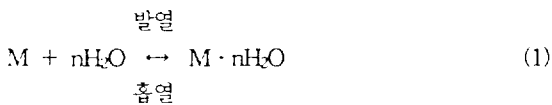
그림 7 Gas Hydrate Structure

로 성능 계수가 높아진다. 이러한 장점과 더불어 물과 유사한 성질을 지니고 있어 대체 냉열 축열재로서 많은 가능성을 안고 있다. 포접 화합물중에서 메탄, 에탄등의 저급 탄화수소류와 R-11, R-12 등의 할론화 메탄 등은 저온의 수용액중에서 수화물(水和物)의 결정을 만드는 것으로 알려져 있는데 이처럼 저비등점 화합물이 물분자에 포접되는 경우를 특히 기체 수화물(Gas Hydrate)이라고 부른다. 기체 수화물은 표1에서 보이는 바와 같이 생성열은 얼음의 잠열과 거의 같은 80~100kcal/kg 정도이며

표 1 기체수화물과 얼음과의 비교

	기체수화물	얼음
냉열축열밀도	80~100kcal/kg	80kcal/kg
축열 온도	5~20℃	0℃이하
전열 방식	직접접촉식	간접식

또 얼음이 생성되는 것에 비해 5~20℃로 비교적 높은 온도에서 슬러리 상태로 생성된다. 이러한 특징에 주목하여 축열식 공조 시스템의 냉열 축열재로서 기체 수화물이 검토되고 있다. 한편, 기체 수화물의 생성 및 분해 과정은 식(1)과 같다.



여기서, M은 수화제, n은 수화수(水和數)이고 기체 수화물은 발열 과정을 거쳐 생성되고 흡열 과정으로 분해된다. 즉, 수화제(水和劑)인 Freon등의 저비등점 화합물을 액상으로 수중에 분무하면 저비등점 화합물의 일부는 주위의 물로부터 열을 얻어 기화한다. 분무를 계속하여 물의 온도가 일정 온도 이하로 되면, 기체 수화물이 생성되며 수화제의 기화열에 상당하는 냉열을 기체 수화물의 생성열로서 축적할 수가 있다. 한편, 축적된 냉열을 이용할 때에는 계의 압력을 내리든지, 또는 온도를 임계 분해 온도 이상으로 올려서 식(1)의 기체 수화물의 흡열 분해 반응을 행하도록 하면된다. 이러한 방법으로 이용할 수 있는 포접 화합물은 그 종류만큼이나 각각의 상변화 온도도 다양하여 R-11은 8.3℃, R-12는 11.8℃, THF는 5.1℃, 그리고 R-134a는 10.2℃등으로 나타난다. 이렇듯 여러 물질중 축냉재를 선정하기 위해서는 생성 압력과 생성열등을 고려하여야 한다. 그리고 수화제의 종류에 상관없이 생성, 분해 과정에서 일반적으로 나타나는 현상은 기체 수화물 생성 초기에 과냉각(Subcooling)이 존재한다는 것

이다. 과냉각 현상은 냉동기의 효율 저하의 원인이 되므로 가능한한 작게하는 것이 바람직하다. 과냉각도를 줄이는 방법으로는 Seeding방법이 효과적인 것으로 알려져 있는데 R-22의 경우는 입경 200~400μm의 활성 Alumina를 사용하고 R-11은 염화 에틸 수화물을, 그리고 R-12는 Freon계의 비이온성 계면활성제를 사용하는 것이 과냉각도를 작게하는 것으로 밝혀져 있다.

이상과 같은 포접 화합물에 대한 이해에 기초하여 실제 냉동 공조용 축열 시스템으로의 적용이 가능하며 기존 빙축열 시스템과 비교할 때의 장단점은 다음과 같다. 즉, 장점으로는

- 빙축열에 비해 천이 온도가 5~10℃정도 높기 때문에 제빙시 냉동기의 COP를 크게 높일 수 있다.
- 직접 접촉 열교환 방식을 택하여 고효율의 시스템 구성이 가능하다.

등이 있으며 단점으로는

- 제빙이 진행되면서 축열조내 압력 변화가 있다.
- 교반 장치가 필요하다.
- 사용 냉매에 따라서는 고압 용기가 필요하다.

는 부분이 존재한다.

한편, 포접화합물을 이용하는 축냉시스템에는 직접축열방식과 간접축열방식이 있으며 냉매를 사용하는 포접화합물의 경우 직접 접촉 열교환 방식을 적용하는 경우 고효율의 시스템 구성이 가능한 반면, 가격이 비싼 Oil-free Compressor를 사용해야 하고 수액기에 물분리기를 설치해야 하는등의 단점이 있다. 또한 위에서 열거한 두가지 방식 모두 축열조 내에서의 반응을 촉진시키기 위해 교반을 할 필요성이 있으므로 Mechanical

Scaling을 사용해야 한다. 그림 8에 포접화합물을 이용한 축냉식 냉방 시스템의 개략도를 나타내었다. 여기서는 간접 축열 방식과 직접 방열 방식의 시스템을 보이고 있다.

밀폐형 탱크방식은 시스템 설치시 축열조의 형상에 따른 대응능력이 뒤떨어지는 단점이 있어 포접화합물을 밀폐형 용기에 넣어 사용할 필요가 있다. 이러한 요구에 의해 생산기술연구원과 우원설비(주)가 세계 최초의 용기화된 포접화합물(ICE PAN: 氷板)을 공동 개발하여 현재 실용화를 위한 실증실험중에 있다. 그림 9는 바로 개발된 용기를 나타내고 있다.

본 ICE PAN은 물과 THF를 기본으로 하고 몇가지의 첨가제를 포함하고 있으며 또한 교반장치 없이 화학반응을 용이하게 일어나도록 용기 주위에서의 열 및 유체 역학적인 거동을 고려하여 최적형상이 결정되었다.

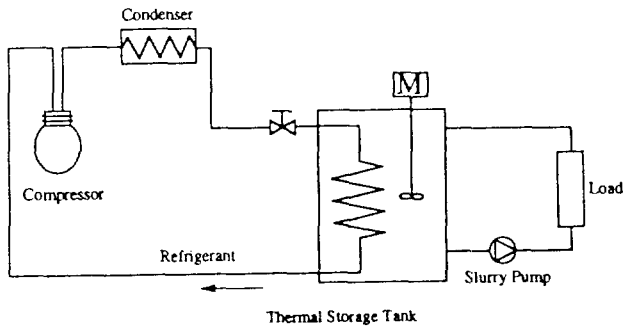


그림 8 포접화합물 방식

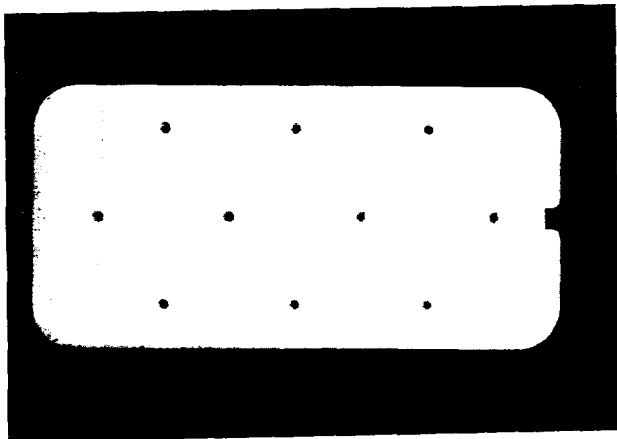


그림 9 용기화된 포접화합물용 모듈인 ICE PAN(氷板)의 현상

4.2 공용염을 이용한 축냉시스템

공용염(Eutectic)이란 2개 이상의 성분이 섞여 있는 혼합물이 등온에서 얼고 녹는 성질을 이용한 것으로 공용점은 가장 낮은 온도에서 녹는 상태를 나타내는 말이다. 공용염을 이용한 잠열 축열제는 사용 온도에 따라 $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O(58^\circ C)$ 등 여러 종류가 있으나 냉방시스템에 사용가능한 것은 $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ 를 기본으로 하여 KCl, NH_4Cl , NaCl 등의 조성에 따

라 12.8, 7.5, $5.0^\circ C$ 등이 있다. 특히 용점이 5.0° 또는 $7.5^\circ C$ 인 경우는 냉동기의 저온 운전이 불필요하기 때문에 냉동기의 성적계수를 많이 향상시킬 수 있는 장점이 있다.

용기는 납작한 판형을 사용한 Transphase 제품과 36~50mm 직경의 PP튜브를 사용한 Calor Alternative Energy의 Calortherm 7이 있다. 두 제품 모두 축열조에 쌓은 후 순환수와의 열교환을 위한 유체흐름공간을 마련하였다. 공용염의 경우에는 상분리 현상등을 최소화하기 위하여 용기를 수평으로 설치하는 것이 바람직하다. 대부분의 잠열저장재는 용융·응고시의 부피 팽창수축이 약 10% 정도로 큰 편이나, 공용염의 팽창·수축은 무시할 정도이다. 또한 밀도가 물보다 크기 때문에 공용염이 충전된 용기를 축열조에 고정시킬 필요가 없는 장점도 있다. 그의 공용염 축냉 시스템의 장점은 다음과 같다.

- 낮은 운전비
- 기존의 냉방시스템에 대한 구조 변경이 용이
- 정확한 용량산출 기준
- 운전의 단순성

공용염의 문제점으로는 과냉각 현상과 상분리가 있으나, 적절한 조해제의 사용으로 과냉각 현상은 방지할 수 있고, 상분리 현상은 흡수성 고분자나 규조토 등의 증점제를 첨가함으로써 최소화될 수 있다. 그림 10에는 공용염을 이용한 축냉식 냉방 시스템의 개략도를 나타내었다.

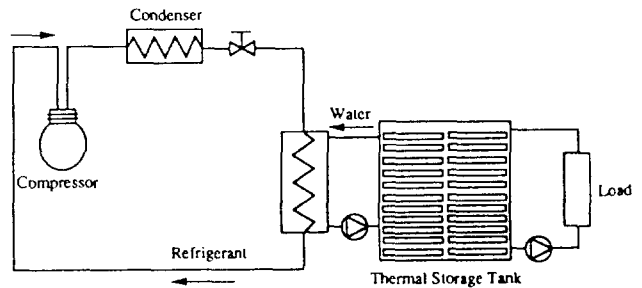


그림 10 Static Container 공용염방식

4.2.1 Eutectic 잠열저장재 개발

공용염이란 2개 이상의 성분으로 구성된 혼합물이 등온에서 얼고 녹는 성질을 이용한 것으로 공용점은 가장 낮은 온도에서 녹는 상태를 말한다. 특히 용점이 $5.0^\circ C$ 또는 $7.5^\circ C$ 인 공용염의 경우는 냉동기의 저온 운전이 불필요하기 때문에 2차 냉매로 물을 사용하며 냉동기의 성적계수를 크게 향상시킬 수 있는 장점이 있다.

순수한 망초는 용점이 $32^\circ C$ 이고, 잠열량이 58 kcal/kg으로서 축열용량은 큰 편이나, 축냉제로 사용하기 위해서는 용점을 내려야 한다. 일반적으로 사용하는 용점강화제는 KCl, NH_4Cl , NaCl 등의 무기염 등으로, 망초에 적절한 양을 혼합하여 사용한다. 일반적인 공용염의 문제점으로는 과냉각 현상과 상분리 현상이 있으나, 적절한 조해제의 사용으로 과냉각 현상을 $0.5^\circ C$ 이내로 하였고, 상분리현상은 고흡수성 고분자를 증점제로 첨가하여 최소화하였다.

잠열재의 물질특성을 측정하기 위해 사용된 시료의 조성비는

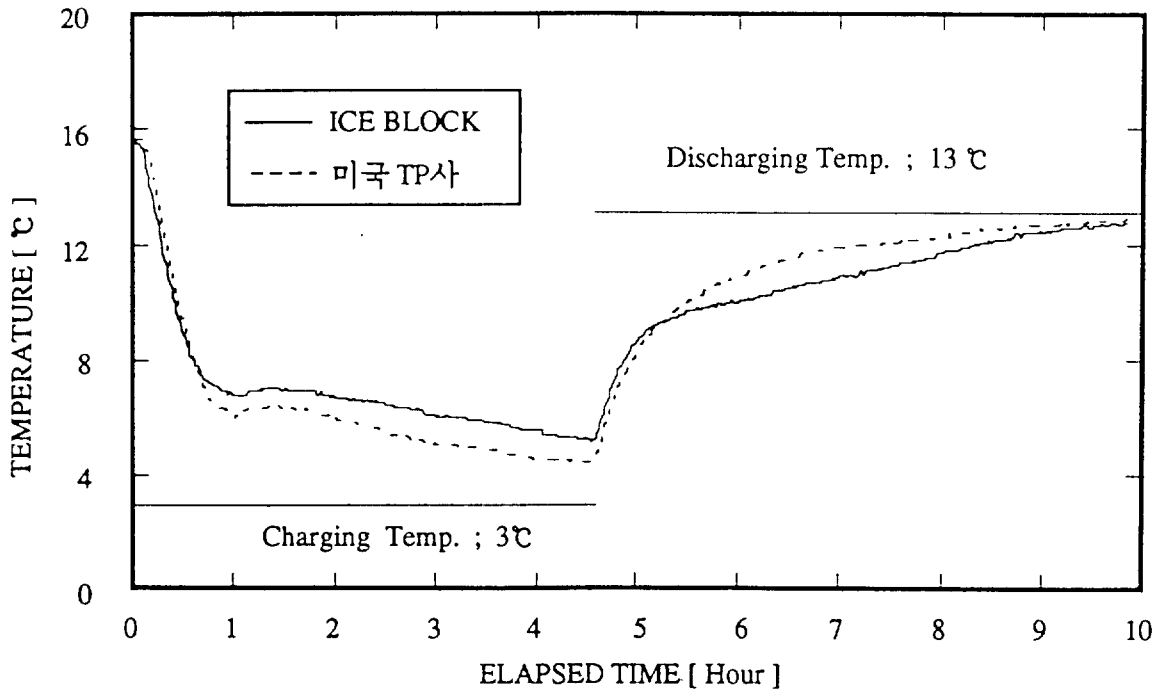


그림 11 ICE BLOCK과 미국 TP사의 성능비교 Cycle Test
(8th Cycle as of 9/20/93)

기초 cycle test와 증점제 첨가 실험을 토대로 screening test에 의해 결정되었으며, 잠열재의 제조공정에 대한 최적방안을 확립하였다. 또한 잠열저장재의 열성능 실험 및 cycle 실험을 통하여 개발된 공용염의 성능 및 안정성을 확인하였다. 용융 및 응고의 반복되는 cycle에 따른 잠열저장재로서의 퇴화현상은 초기(약 5 cycle까지)에만 나타나다가 안정화되어 장기적으로 사용할 수 있음이 기초실험으로 입증되었다.

본 연구를 통하여 개발된 잠열재의 물성치를 표2에 나타내었다.

표 2 개발된 잠열재의 물성치

항 목	개 발 품
열저장매체	망초, 물 및 첨가제
상변화온도	7.6°C (DSC)
용해잠열	25 kcal/kg
밀도	1470 kg/m ³
용기의 크기	600×300×49 mm
용기의 용해잠열	223 kcal/ea
USRT당 필요 갯수	13.5 개
축냉온도	5°C
방냉온도	12°C

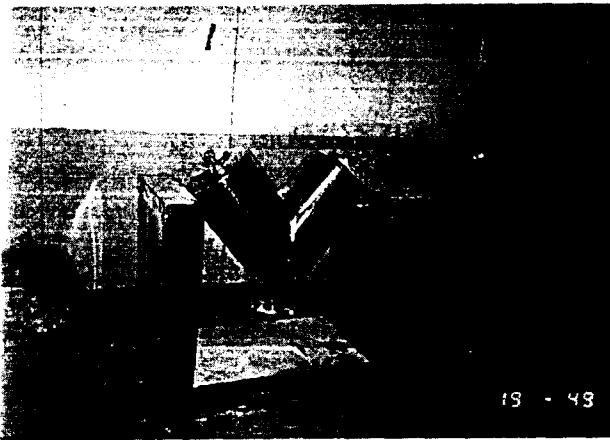
표2에서 보면 물을 이용한 빙축열 시스템에 비해 잠열은 작으나 상변화 온도가 높아 시스템 효율이 뛰어나고, 저온 냉동

기를 사용하지 않고 기존의 냉방기를 그대로 사용할 수 있는 장점을 갖는 것을 알 수 있다. 그러므로 기존 냉방설비의 증설 및 기존 냉방시스템을 축열식으로 변경할 경우 공용염을 이용한 잠열재가 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

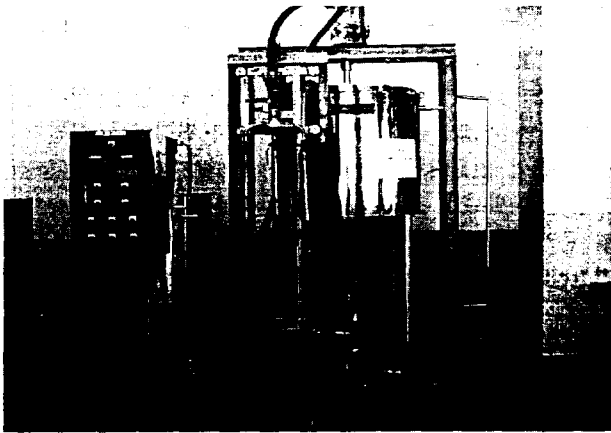
개발된 공용염을 용기에 충전하기 위하여 수치해석에 의한 용기설계를 하였으며, 설계된 용기의 금형을 제작하였다. 공용염을 충전하기 위한 용기의 두께 및 강도는 물을 이용한 축냉 시스템의 용기설계시 고려해야 하는 부피팽창 및 수축현상이 거의 미비하여 최대한 열교환이 잘되도록 용기의 두께를 얇게 설계하였다. 그외 용기설계 및 제작시 고려된 사항으로는 다음과 같은 것이 있다.

- 전열면적의 최대화
- 순환동력의 최소화
- 잠열재의 퇴화 방지를 위한 적절한 용기 두께
- 순환수와 열교환을 위한 공간설정

그림 11에는 생산기술연구원과 (주)서일전기/(주)오양공조기가 공동개발한 공용염(Ice Block-氷塊)과 현재 미국에서 상용화되어 판매되고 있는 미국 Transphase(TP)사 제품을 같은 용기에 충전하여, 축냉 및 방냉시의 열성능 비교실험 결과가 나타나 있다. TP사의 사양에 의하면 상변화 온도가 8.3 °C이나 축냉시(응고시)는 약 6.0~6.5°C, 방냉시(용해시)는 9.0°C 이상임을 알 수 있다. 또한 개발품은 축냉시 약 7.5°C, 방냉시 9.0°C 정도이다. 따라서 현재까지의 life cycle test에서는 잠열저장재



(a)



(b)

그림 12 (a) V-mixr, (b) 교반기 및 충전기

의 열용량의 측면에서 개발품이 TP사 보다 우수함을 확인하였다.

이렇게 제작된 용기에 공용염을 충전하여 축열조에 쌓아 사용하며, 공용염이 충전된 용기와 순환수의 열교환을 위하여 유체가 고르게 흐를 수 있도록 하기 위하여 축열조의 입구와 출구에는 각각 diffuser를 설치한다. 축열조는 냉방부하 용량이 결정되면 필요한 용기의 갯수가 구해지며 이에 의하여 크기가 결정된다. 용기는 순환수가 흐를 수 있는 공간을 갖도록 설계하고 상분리 현상 등을 최소화하기 위하여 수평으로 설치하는 것이 바람직하다. 대부분의 잠열저장재는 용융·응고시의 부피 팽창 및 수축이 약 10% 정도로 큰 편이나, 공용염의 경우는 무시할 정도이다. 또한 밀도가 물보다 높아 공용염이 충전된 용기를 축열조에 고정시킬 필요가 없는 장점도 있다.

4.2.2 축냉시스템 성능시험 및 경제성 평가

본 연구를 통하여 개발된 잠열저장재의 실제 시스템에서의

열성능을 확인하기 위하여 과제 참여기업인 (주)오양공조기에 약 50RT-hr급의 축열조를 제작하여 성능실험을 수행하였다. 시스템의 운전은 부분축열식으로 설계하였으며, 장비의 선정 및 결과분석은 한전에서 정하고 있는 실증시험 기준에 의거하여 수행하였다.

양산용 eutectic 잠열 저장재의 열성능을 시험하기 위하여 그림 12에서 보는 것과 같은 V-mixer와 충전기를 만들었으며, 시스템 실험을 위하여 약 1000개의 용기를 제작하였다. 만들어진 용기는 앞에서도 설명한 바와 같이 축열조에 수평으로 설치하였으며, 자체 제작한 diffuser를 축열조의 입구측과 출구측에 설치하였다.

그림 13과 그림 14에는 축냉 및 방냉 실험시 축열조 입·출구 온도를 나타낸 것이다. 그림에서 보면 축냉시 냉동기에서 낮은 온도로 유출된 순환수는 축열조의 입구측으로 유입되어 조내의 용기와 열교환을 거친 후 온도가 상승하여 축열조의 출구로 나온다. 축열조의 입·출구의 온도를 가지고 용기내부 잠열저장재의 상변화 온도 및 상변화 완료 시점을 알기는 어려우나 7.5℃ 부근에서 축열조 출구의 온도가 어느정도 일정하게 나타내는 것을 알 수 있다. 방냉시에는 부하측에서의 열교환을 거쳐 온도가 상승한 순환수가 축열조를 통과하며 낮은 온도가 되어 다시 부하측으로 유입된다. 축냉시와 같이 뚜렷한 상변화 온도는 알기 어려우나 앞의 cycle 실험에서와 비슷하게 약 9.0℃ 부근에서 일정한 온도를 나타내었다.

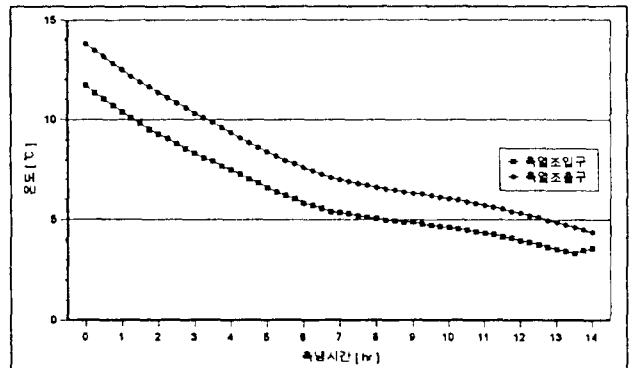


그림 13 축냉시 축열조의 입·출구 온도

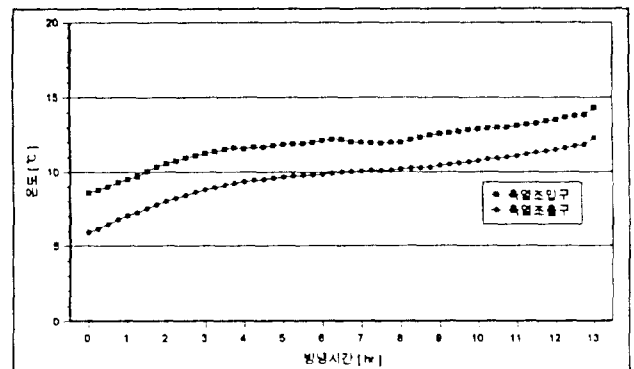


그림 14 방냉시 축열조의 입·출구 온도

또한 eutectic 축냉 시스템으로 냉방을 하는 건물에 대한 경제성을 평가하였다. 경제성 평가는 한전에서 규정하는 방법에 의하여 수행하였으며, 계절성능 분석에 의한 사용자 측면에서의 경제성 평가를 수행하였다. 계절 성능 분석은 실증실험을 근거로 하여 6월부터 9월까지의 냉방기간에 대한 모의 해석으로 일반방식 냉방 시스템과 축냉식 냉방시스템에 대한 전력 사용량을 알 수 있다. 이를 근거로 하여 경제성 분석을 수행한 결과 일반 방식에 대한 축냉시스템의 추가 투자비에 대한 회수기간이 3.24년으로 한전에서 정하는 3.5년의 기준에 비하여 작게 나왔다.

5. 결 론

우리나라의 전력수급 사정상 전력부하 평준화의 필요성이 대두된 이래 빙축열 시스템은 정부 및 한국전력공사의 적극적인 지원하에 시장 도입단계에 지나 성숙단계의 첫 걸음을 시작하고 있는 실정이다. 그러나 현재 국내에 도입되어 설치된 빙축열 시스템은 외국의 기술도입이나 완제품으로 수입된 제품들이다. 특히 일정규모 이상의 건물 냉방의 경우 빙축열 시스템의 설치 의무화에 따른 빙축열 시스템 보급이 크게 확대될 것이 예상되어 수입증가에 따른 산업경쟁력 약화, 기술료 지불 증대 및 대외기술 의존도 심화가 우려된다. 따라서 열적 성능이 뛰어나고 시스템의 운전 효율이 높으며, 경제적으로 우위에 있는 빙축열 시스템의 국산화 개발 및 보급이 그 어느 때보다도 시급하리라 사료된다.

이러한 점에서 생산기술연구원 냉동공조연구팀에서 개발한 빙축열시스템에 대한 실증실험이 완료되면 상품화를 위한 설비공사 및 운전경험 등에 대한 기술을 축적하여 외국제품에 비하여 성능이 우수한 축냉물질뿐만 아니라 전체 시스템에서도 충분한 경쟁력을 갖출 수 있을 것으로 사료된다. 아울러 개발된 시스템이 충분한 기술적, 경제적 경쟁력을 갖고 국내는 물론 수출 상품화가 될 수 있도록 더욱 노력을 경주하여야 할 것이다.

저 자 소 개



최병운(崔炳允)

1956년 5월 21일생. 1980년 2월 연세대 공대 전기공학과 졸업. 1983년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 한국전력공사 기술연구원 전력연구실 선임연구원.



유제인(柳濟仁)

1953년 7월 19일생. 1977년 서울대 공대 기계계학과 졸업. 1982년 Univ. of Iowa 기계공학과 졸업(석사). 1986년 Univ. of Now Mexico 기계공학과 졸업(공학). 1979년 7월-80년 8월 KIST 부설 태양에너지 연구소 연구원. 1987년 3월-91년 6월 한국동력자원연구소(現에너지기술연구소) 선임연구원. 현재 생산기술연구원 산업에너지연구부 수석연구원(부장), 공기조화·냉동공학회 편집이사, 공업기반기술개발사업 전문위원회 환경기술연구개발기획단 위원(상공부), 생산기술개발사업 심의위원(한국전력공사), 에너지기술개발사업 운영위원회 위원(에너지관리공단 부설 에너지자원기술개발지원센터), 대한기계학회 에너지 및 동력공학부문 운영위원.



윤재초(尹在鎬)

1955년 9월 29일생. 1978년 2월 서울대 공대 기계공학과 졸업. 1980년 2월 한국과학기술원 기계공학과 졸업(석사). 1990년 3월 일본 동경공업대학 기계공학과 졸업(공학). 1980년 2월-83년 6월 삼성중공업(주) 과장대리. 1983년 7월-91년 5월 한국기계연구소 선임연구원. 현재 생산기술연구원.