

빙축열 시스템의 연구개발 동향

The Status of Development on Ice Storage Cooling Systems(ISCs)

유 안 규
A. K. Ryou

한국전력공사 기술연구원 배전연구실



- 1949년생
- 전기공학을 전공했으며 한국전력공사에서 축냉관련 연구개발에 관한 기술행정을 담당하고 있다.

1. 머리말

최근 산업의 발달과 소득증대에 따른 쾌적성 추구로 급격한 전력수요 증가를 초래했으며 특히 냉방공조부하에 의한 전력 첨두부하의 증대는 전력계통 운용에 어려움과 막대한 발전소 건설비용의 부담까지 전력회사에 주고 있다.

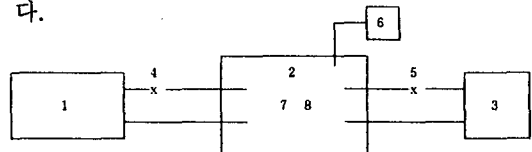
심야 경부하시 전력을 사용하여 축열한 후 주간에 사용하는 축냉시스템의 연구개발과 보급을 통해

- 냉방부하에 의한 전력소비 증가를 억제하여 발전설비비 투자억제 및 설비비용을 개선으로 전력회사 경영기여
- 냉방설비 시설자에게도 운전경비의 절감과 각종 정책 및 세제상의 지원으로 경제적인 제공을 도모하고 있으며 이를 위해 고성능 빙축열시스템의 연구개발과 보급을 적극적으로 추진하고 있다. 본 글에서는 빙축열시스템 관련 연구개발현황을 기술코자 한다.

2. 빙축열시스템의 연구개발 현황

2.1 빙축열시스템의 구성

빙축열시스템은 열원기기(냉동기, 열펌프 등), 축열조, 보조기(펌프, 보조탱크, 배관 등), 제어장치등으로 구성되며 각 기기의 방식에 따라 다양한 시스템이 있으며, 현재 보급 활성화단계인 미국과 일본도 설치여건에 따라 다양한 시스템을 적용하고 있으나 최적시스템은 결정되지 못한 상태로서 각종 시스템에 대한 운전과 경제성 평가를 통해 보급에 대한 각종 기술 및 평가자료를 확보해야 한다. 빙축열시스템에서는 축열조가 시스템의 주요 구성요소가 되므로 빙축열조의 형식에 따라 시스템의 형식이 결정된다.



1. 열원기기 : 냉동기 혹은 히트펌프
2. 축열조 : FRP 또는 철제탱크, 철근콘크리트 구조물 등
3. 공조부하 :
4. 2차냉매펌프 : 브라인, 수 또는 가스펌프 (냉동기 컴프레서 등)
5. 2차 순환수 펌프 : 브라인, 수 펌프
6. 팽창탱크 : 제빙시 체적증가 약 10%
7. 8. 제빙 및 해빙용 열교환기

그림 1 빙축열시스템의 구성

2.2 빙축열시스템의 분류

빙축열시스템의 분류법은 여러 가지가 있다. 이중 축열조 구조 및 성능에 관련되는 얼음의 생성과 사용하는 얼음의 상태에 따라 분류하면 고체상태의 얼음(Solid Ice)을 사용하는 정적제빙형(Static type)과 유동성을 가지는 결정상의 얼음(Liquid Ice, Slurry Ice)을 사용하는 동적제빙형(Dynamic type) (고체상태로 제빙한 후 박리시켜 제빙하는 빙박리형처럼 두 시스템의 중간 형태의 시스템도 포함)으로 나눌 수 있다.

또 열원방식에 의거 분류하면 2차냉매 순환 방식, 직접팽창방식, 직접접촉식 등이 있고 시공방식에 따라 축열조, 열원 일체화 유니트형, 현장에서 시스템을 구축하는 현장시공형 등이 있다. 빙축열시스템의 종류는 표 1과 같다.

(1) 정적제빙형

정적제빙형은 열교환기 표면에 접촉되는 물을 열교환기 벽면을 통하여 간접적으로 냉각시켜 그 표면에 얼음층으로서 성장시켜 제빙하는 방식이다. 열교환기와 냉열원의 위치관계에 따라 관외에 얼음을 얼리는 형(외용형), 관내에 얼음을 얼리는 형(내용형)으로 나눈다. 얼음을 녹일 때는 얼리는 방향과 반대로 녹이므로 외용식이 대부분을 점유하나 이와 반대인 내용식(Container or Capsule 형등)도 있으며 어느 것이나 동일한 장소에서 제빙·해빙을 반복하므로 정적

제빙형이라 한다.

제빙용 열교환기는 동, 알루미늄, PE 등의 재료를 사용하여 파이프 혹은 플레이트 형태로 전열면을 구성하며 이와 함께 직관, 라선, 와권 등으로 배치하여 균일한 얼음의 생성을 꾀하고 있다. 이 내부에 냉매 또는 2차냉매(브라인 또는 부동액 등)을 순환시키는 데 이와같은 정적제빙방식을 그림 2에 도시했다.

정적제빙형의 기본특성으로서 전열면에 얼음이 생성되면 얼음의 열전도율이 낮으므로 얼음 자체가 열저항체가 되어 제빙진행(착빙량의 증가)과 함께 전열특성이 악화되어 냉동시스템의 운전효율이 저하하는 문제가 있다. 또 이 시스템은 당연히 축열조내에 열교환기가 필요하여 축열조가 복잡해져 시공상의 문제점이 발생한다. 따라서 이 시스템은 대용량화에 문제점이 있어 중소형 시스템에 많이 적용된다.

(2) 동적제빙형

동적제빙형은 예를 들면 용기내 결정상의 얼음을 생성하기 위해 어떤 수용액을 개재시켜 수용액중의 수분만을 동결시키는 방식(Crystal Liquid Ice 등), 축열조외부에서 열교환기로 과냉각수를 만들어 과냉각을 해소한 후 만들어지는 얼음을 축열조에 저장하는 방식(과냉각수로 부터 빙 석출법)이 주요 형식이다.

이 방식은 얼음이 상시 유동하므로 동적제빙형이라 부른다. 이 방식은 축열조와 빙생성부를

표 1 제빙방식에 의한 빙축열시스템의 분류

제 빙 방 식		열 원 방 식	비 고
1. 정적제빙형	<ul style="list-style-type: none"> • Ice-on Coil형(외용식) • Ice-in coil형 • Container형(내용식) 	<ul style="list-style-type: none"> • 브라인형 • 직접팽창형 • 직접팽창 Heat pipe • 브라인형 • 브라인형 	<ul style="list-style-type: none"> • PVC관 • 동관 • Ice Lens, • Ice Ball
2. 동적제빙형	<ul style="list-style-type: none"> • Liquid(Slurry) Ice • 과냉각 Ice • Harvest type • 직접접촉형-Crystal Ice • 냉동 Unit일체형 	<ul style="list-style-type: none"> • 브라인형, 직팽형 • 브라인형, 직팽형 • 직접팽창형 	<ul style="list-style-type: none"> • 열매로 풀, 브라인 사용

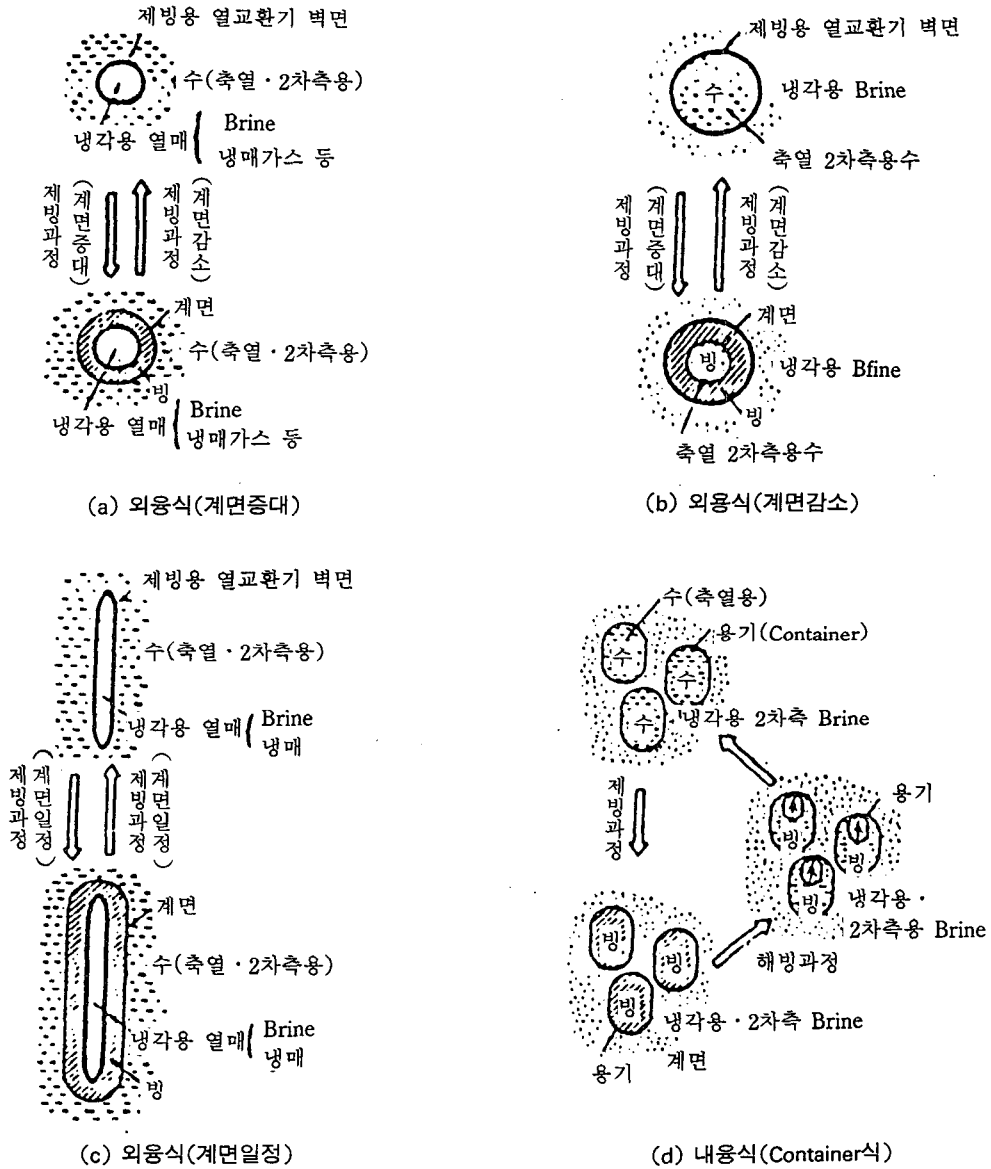


그림 2 정적제빙형의 제빙방식

분리시킬 수 있어 시스템 설계상의 자유도를 확보할 수 있는 것이 가장 큰 특징이다. 이외에 하베스트방식, 냉매와 물을 직접 접촉시키는 방식, 근래는 파이프내에 얼음을 만든 후 이를 순차적으로 배출하여 사베트형태의 얼음으로 만드는 방식등이 제안되고 있다. 그림 3은 동적제빙방식의 제빙원리도이다.

2.3 빙축열조의 구성

빙축열조는 제빙방식에 따라 구성요소 및 구조가 달라지나 기본적으로 축열탱크, 열교환기(제빙부), 제빙량 측정센서(빙센서), 축열조의 단열방수부등으로 구성된다.

(1) 조(Tank)

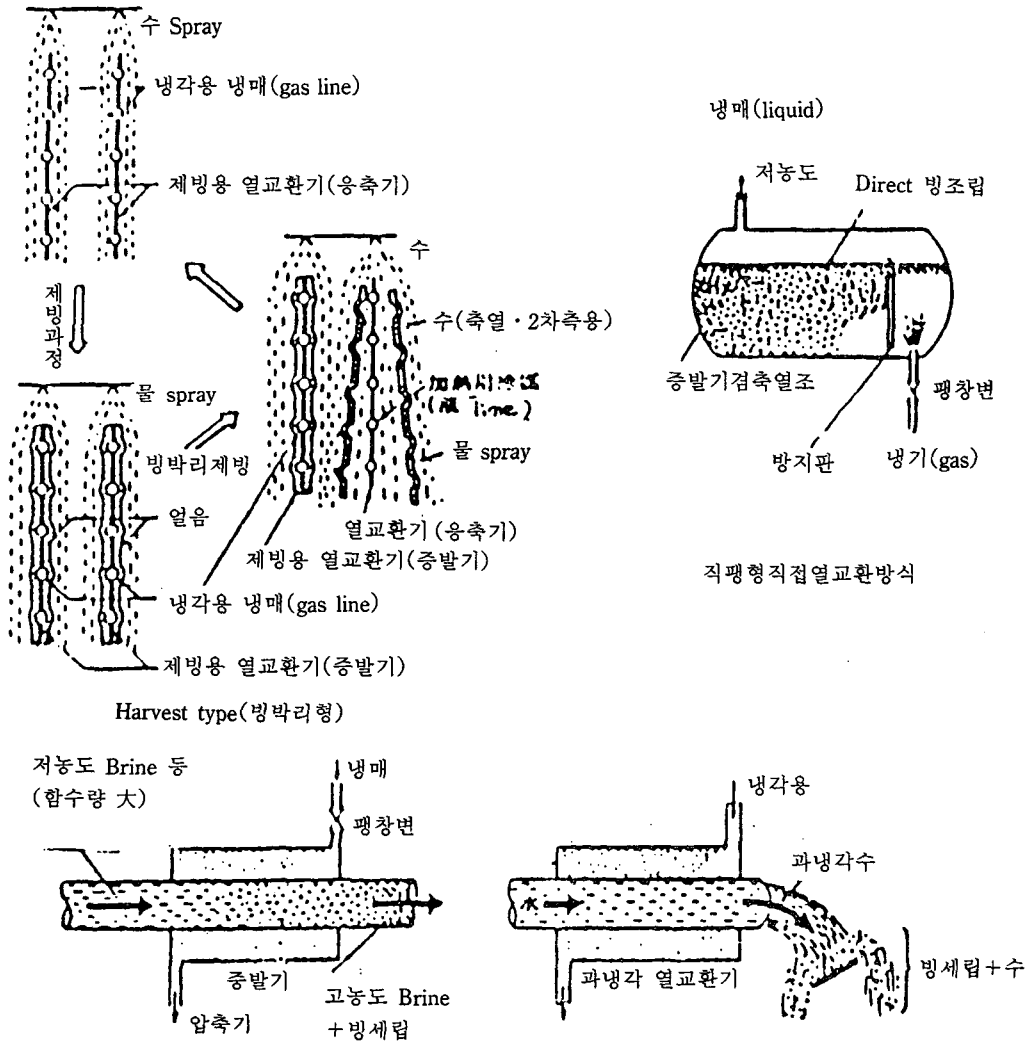


그림 3 동적제빙형의 제빙방식

축열조는 기계적강도와 조내 제빙 및 해빙용 열교환기를 설치하기 편리하고 외부배관 접속의 용이성과 제빙시 체적증가에 대한 대비가 필요하다. 제빙방식에 따라 축열조 구조가 다른데 특히 직접접촉식의 경우 축열조내에서 냉매의 증발이 이뤄지므로 기밀성이 중요하며 하베스트형의 경우 제빙기와 조가 분리되므로 구조가 단순하다. 제빙시 물의 체적증가는 약 8%이며 별도의 팽창탱크를 두거나 개방형축열조의 경우 상부에 여유공간을 두어 이에 대처한다. 제빙용 2차냉매로 30% 에틸렌글리콜을 사용하는 경우

축열조 구성품의 내식성과 내화확성도 고려해야 한다.

보통 축열조는 FRP 또는 강판을 사용하여 소형은 공장생산형으로 중대형은 현장 조립형으로 제작하며 건물구조상 지하 공간을 축열조로 활용할 경우도 있으나 이 경우 구조 및 크기가 정해져 있는 경우가 많아 설계 및 적정시스템의 채택에 신중한 검토가 필요하며 단일방수 시공도 어려워진다.

(2) 제빙 및 해빙용 열교환기

정적제빙형의 관외착빙형의 경우 제빙 및 해

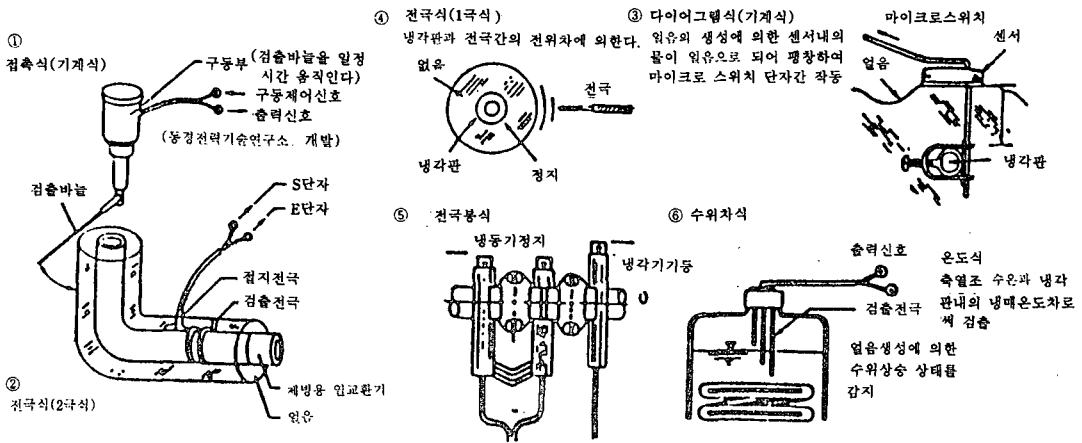


그림 4 제빙용 센서

빙용 열교환기가 필요하며 기타 방식은 시스템 형식에 따라 구성요소가 변한다. 열교환기의 재질은 동과, PE관 등을 사용하여 동이 PE관보다 열전도율이 우수하나 제빙된 얼음의 열전도율이 나쁘기 때문에 착빙후의 열전도율차, 즉 종합적인 차는 적다.

열교환효율을 향상시키기 위해 열교환기 형상은 중요하며 플레이트형, 사관(Hair Pin), 라선형 등을 채택하고 있다.

(3) 제빙량센서

시스템 제어를 위해 제빙량센서로 축열열량을 계산한다. 제빙량센서는 시스템 형식에 따라 제빙시 물의 체적증가를 팽창탱크 수위나 축열탱크 수위를 측정하여 간접적으로 측정하는 방식, 관외착빙된 얼음의 두께를 직접 측정하는 방식 등 다양하다.

(4) 단열방수

축열조 열손실 감소와 표면 결로현상을 방지하기 위해 축열조 단열방수는 극히 중요하다. 중소형 축열조의 경우 외부를 단열하는 외단열 방식으로 시공이 비교적 쉽고 공장에서 일체형으로 제작되어 단열방수 시공이 완벽하나 대형 축열조 또는 건물 지하구조물을 이용하는 축열조의 경우 내부단열방식이므로 시공이 어려우며 방수층이 직접 물과 접촉하여 온도, 압력, 화학

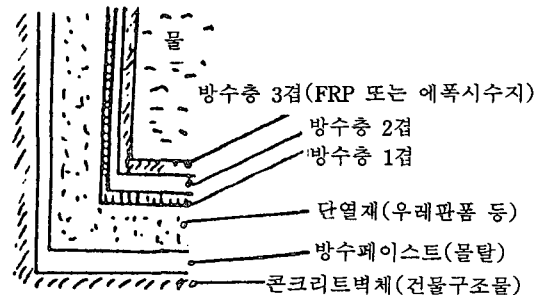


그림 5 조내단열방수 예

적인 스트레스를 받으므로 이에 대한 충분한 대책이 필요하다.

특히 냉난방겸용 시스템의 경우 온도변화폭이 60℃ 이상으로 커져 온도변화에 의해 변형되기 쉽다. 방수재는 방수페이스트, 에폭시수지, FRP 라이닝 등을 3겹 정도 현장도포하여 시공한다.

단열재는 우레탄재(현장 또는 공장발포 폼, 공장제작 우레탄보드 등), 폴리에틸렌폼, 스티로폼(아이소핑크, 또는 스티로폼 등)등을 사용하나 사용온도 범위와 시공의 용이성 및 단열특성면에서 우레탄재가 채택되고 있다. 방수부가 파괴되어 단열재에 물이 흡수되면 단열특성이 저하되며 특히 FRP는 호흡작용에 의해 파괴되기 쉬우므로 선정 및 시공시 주의해야 한다. 일본의 경우 브리지스톤(Bridgestone)등 전문 시공회사에서 축열조를 공장제작 또는 현장시

공하고 있으며 우리나라에서도 관련 전문업체에 의한 전문화된 축열조 제작 및 시공이 절실하다. 그림 5는 내단열 경우의 축열조 단열방수 시공례이다.

(5) 브라인(Brine)

브라인이란 원래 염수를 의미하며 염류를 물에 녹이면 동결온도가 낮아지며 이를 빙점강하라 한다. 빙축설비에서 사용하는 브라인은 염화

칼슘 또는 염화나트륨 등을 사용했으나 에틸렌 글리콜이나 프로필렌콜계의 수용액도 금속에 대한 부식성을 억제할 수 있으므로 현재는 많이 사용한다.

2.4 빙축열시스템 연구개발

현재 7개사가 한국전력공사와 협약을 체결하여 축냉시스템을 공급중이며 이중 고온잠열 축열재 1개사, 용기형(아이스볼, 아이스렌즈형

표 2 국내 빙축설비 도입 및 연구개발 현황

회 사 명	빙축설비 형식	기술제휴(도입)사	연구개발 현황
• J개발	정적제빙형	York(미), Cryogel	• 년말 Ice Ball 국산화 • Ice Ball 103mm, 530cm ³ • 총축열량 19.4Rth/m ³ 잠열량 14.8Rth/m ³ 현열량 5.0Rth/m ³
• H터보	동적제빙형 Ice Harvest	Turbo(미)	• Ice Marker 등 시스템 도입 시공 • 축열량 10.75Rth/m ³
• D캐리어 빌딩사업부	정적제빙형 Ice Lens	Carrier(미), Reaction	• Ice Lens도입 • 잠열량 19.6Rth/m ³
• K전선 공조영업부	정적제빙형 Ice on coil	Evapco(미)	• 축열조내 열교환기 도입시공
• B냉방 빙축열사업팀	정적제빙형 Ice Lens	B.A.C(미)	“ “
• S공조	정적제빙형 Ice on coil	자체개발	• 총축열량 11.2Rth/m ³
• H비료	공용염(고온잠열축열재)	자체개발	• 총축열량 16.6Rth/m ³

* 신성칼막 등 수개사 빙축설비 사업 참여추진

* 금성산전(동적제빙형), 우원설비, 오양공조기, 서일전기(고온축냉설비), 세원공조(직팽식), 한성전자 등이 소형빙축설비 연구개발 추진 중

표 3 한국전력공사 연구개발 현황

단 계	주 요 연 구 내 용	비 고
1단계 (’90.7~’91.3)	• 빙축설비 연구개발 현황조사 • 7개 빙축설비 성능평가, 진단	생산기술연구원
2단계 (’92.7~’94.6)	• 빙축설비 3개시스템 계절성능평가, 분석 • 고온축냉설비 개발, 성능평가, 분석, 실용화 • 성능평가기준안 제시	국민대학교 생산기술연구소

표 4 연구 필요사항

연 구 필 요 사 항	비 고
<ul style="list-style-type: none"> • 빙축설비 국산화 및 비용저감(최적화) <ul style="list-style-type: none"> - 축열용기 및 축열조 - 제어장치 및 감지기 - 주기기 및 보조기기 • 운전기법 최적화 및 예측축열제어 	<ul style="list-style-type: none"> • 축열조 구성, 단열방수, 열교환기 • 냉동기, 보조기기, 각종감지기 • 제어 최적화 고효율화, 단기능화 • 심야이전율제고/운전비 감소
<ul style="list-style-type: none"> • 빙축설비관련 각종기준, 법령 연구제정 <ul style="list-style-type: none"> - 국내 기후조건/전력요금제 분석평가기법 - 기술기준, 표준품셈, 지원법령, 성능평가안 	<ul style="list-style-type: none"> • 설계, 시공, 감리, 구매, 운전제어, 성능측정, 경제성평가 기준제시
<ul style="list-style-type: none"> • 고온 신행잠열축열제 개발, 응용시스템상용화 <ul style="list-style-type: none"> - 고온잠열제 및 축열용기, 축열조 개발 	<ul style="list-style-type: none"> • 공용염, 포집화합물 • 화학축열
<ul style="list-style-type: none"> • 냉난방겸용 축냉설비 연구개발 상용화 	<ul style="list-style-type: none"> • 보급활성화 및 초기투자비 감소

각1) 2개, 빙박리형 1개사, 관외착빙형 3개사로 브라인순환 정적제빙형이 빙축시스템 6개중 4개를 점유하고 있다. 현재 외국 전문회사의 기술도입에 의한 부분 국산화가 주류이나 용기형의 경우 용기내의 원활한 제빙 및 해빙과 과냉각 억제제를 위한 첨가제 연구와 용기재질의 연구로 국산화를 시도중이다. 빙축시스템의 보급활성화를 위해 기기가격의 저하가 중요하며 국산화와 기술개발이 선결과제이다. 표 2는 국내 도입된 빙축시스템의 방식과 기술도입선을 요약한 것이다.

한국전력공사에서는 빙축설비 보급을 정책적으로 지원함과 동시에 관련 연구기관과 공동연구로 빙축설비의 국산화와 보급시의 각종 기술자료를 제시하기 위해 1990년부터 연구를 수행중이며 표 3은 이를 요약한 것이다.

3. 맺 음 말

빙축시스템은 각종 지원정책과 특정 건축물의 빙축설비 의무화로 증가추세에 있으나 보급활성화를 위해서는 국산화로 기기 구입비의 저하와 시스템의 신뢰도 향상 및 국내 기후조건 및

전력료 체제(심야전력제도)에 적절한 설계(안) 확립등에 관련 업계와 연구기관 및 전력회사와 정부 유관기관의 공동노력이 절실하다. 빙축열시스템의 보급 활성화를 위한 연구 필요점을 요약하면 표 4와 같다.

한국전력공사에서는 빙축열시스템의 보급활성화에 기여하기 위해 현재도 연구개발과 보급을 지원중이며 추후 연구과제도 적극 참여할 것이다.

참 고 문 헌

1. "심야전력을 이용한 빙축열 기술개발", 1차년도 최종보고서, 1991. 4 한전기술연구원/생산기술연구원, 김영인의, 김윤동의
2. "빙축열 냉방시스템 종합기술자료", 1991. 10, 한국전력공사 영업처
3. "에너지저장시스템", 일본 에너지자원학회 스즈끼의 1인 1992. 9
4. 빙축열세미나자료", 1992. 12 한국전력공사 영업처
5. 빙축설비 제조업체 기술자료, 대우캐리어의 4개사