

빙축열시스템의 국내외 보급현황

강 채 동[†], 백 종 현*, 박 기 원**, 홍 회 기***

[†] 전북대학교 기계공학과, *생산기술연구원 냉동공조연구팀, **여수대학교 냉동공학과, ***경희대학교
기계산업시스템공학부

Trends in Supply of Ice Thermal Storage System

Chaedong Kang[†], Jong Hyeon Peck*, Ki-Won, Park**, Hiki Hong***

[†] Dept. of Mechanical Engineering, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea

*HVAC/R Research Team, KITECH, Chonan 330-820, Korea

**Department of Refrigeration Engineering, Yosu National University, Yosu 550-749, Korea

***School of Mechanical and Industrial system engineering, KyungHee University, Yongin 449-701, Korea

ABSTRACT: Ice thermal storage for air-conditioning is one of noticeable technology that contributes to load leveling of power in summer. Furthermore, the system can be used to significantly reduce energy costs by using efficient cooling equipment during off-peak periods. In last few years, the development of the ice thermal storage system came in sight of our attention though several problems remains yet so as to secure stable and economic supply. In this paper, the trends in supply of the ice thermal storage system was investigated briefly.

Key words: load leveling (부하평준화), Ice Thermal Storage System (빙축열시스템), IPF (제빙용), Dynamic type (동적형), Capsule type (캡슐형), Ice slurry (아이스슬러리),

1. 서 론

빙축열시스템은 1980년대 초반당시 미국과 유럽 등지에서 발전설비의 대용량화 및 부하조절을 위하여 개발·보급되고 있던 수축열시스템의 한 대안으로서 개발되었다. 수축열 방식이 단순히 물의 현열을 이용하여 냉난방에 적용되는 데 비해 빙축열 방식은 물의 상변화에 따른 잠열까지 활용할 수 있어서 냉열의 고밀도 저장을 필요로 하는 냉동창고 업체에서 식품의 저온보존을 위해 적용시킨 것이 빙축열시스템의 개발로 이어졌다

(1). 일반적으로 축열시스템은 에너지의 효율적 이용 및 환경 친화적인 시스템이라는 장점을 가지고 있으나, 여기서는 빙축열에 대해서만 국내외 개발동향을 살펴보고 향후의 전망에 대하여 언급하고자 한다.

2. 빙축열시스템의 종류

빙축열시스템은 얼음을 얼리는 제빙방식 및 얼음을 녹이는 해빙방식에 따라 다양하게 구분된다. 제빙방식에 따른 종류로는 크게 정적(static) 제빙방식과 동적(dynamic) 제빙방식으로 대별할 수 있다. 정적제빙방식은 축열조 내의 물을 덩어리 형태의 얼음으로 제빙하는 방식으로 시스템의 구성이 간단하다는 장점이 있으나, 제빙이 진행

[†] Corresponding author

Tel.: +82-63-270-2318; fax: +82-63-270-2315

E-mail address: ckang@moak.chonbuk.ac.kr

될수록 얼음의 두께가 커져 냉동기의 제빙효율이 낮아지는 단점이 있다. 정적제빙방식의 대표적인 시스템으로는, 냉매 또는 브라인이 통과하는 관 주변에 얼음을 얼리는 관외착빙형(ice-on-coil type), 구형 또는 판형 등의 용기 주변으로 브라인을 통과시키면서 용기 내부의 물을 얼음으로 얼리는 캡슐형(capsule type) 등이 있다. 정적제빙방식은 비교적 시스템의 가격이 저렴하며, 설치 및 운전이 용이하고, 오랜 기간 동안의 사용 실적을 통하여 신뢰성이 충분히 입증되었다는 장점으로 현재 사용되고 있는 빙축열시스템의 대부분을 차지하고 있다.

동적제빙방식은 축열조 내의 물을 작은 얼음 조각 형태의 얼음으로 제빙하는 방식으로, 시스템 구성 및 운전제어가 복잡하다는 단점이 있으나, 얼음의 크기 및 두께가 작아 냉동기의 제빙효율이 높아지며 해빙속도가 빠르고 부하측으로 얼음을 직접 반송할 수 있다는 장점이 있다.

동적제빙방식의 차세대 기술인 아이스슬러리형 빙축열 시스템에서 가장 중요한 것은 이를 만드는 제빙기의 신뢰성과 경제성 확보이다. 신뢰성의 확보를 위해서는 얼음 입자의 응착과 이로 인한 관내 폐색, 축열조 내 열교환 저하의 방지 등의 해결이 전제되어야 한다. 빙축열조에 저장된 아이스슬러리 혹은 판형 얼음은 일반적으로 물 또는 수용액과 혼합되어 있는 상태로 구속력이 없을 경우, 빙산과 같이 부유되어 있는 상태로 있게 되며 시간 경과와 함께 얼음입자 간의 응착(재결합)이 진행하고 아이스슬러리의 하부로부터 부력에 의한 압력이 작용하여 아이스슬러리의 응착을 더욱 촉진시킨다. 아이스슬러리의 해빙특성은 우수하지만 축열조 내에 부유하는 얼음덩어리는 녹이기 어려운 경우도 있다. 또한 조내에서 큰덩어리로 분리된 경우 축열조 및 내부 배관을 파손시킬 우려가 있으므로 축열조내 아이스슬러리가 고르게 응해되도록 설계시 충분한 고려가 필요하다.

2.1 정적형(static type)

2.1.1 관외 착빙형

냉온수축열조로서 채용되었던 지하의 평형수조

내에 제빙코일을 배치하여 빙축열조로 바꾸었으며 작업이 단순하여 대형건물에 많이 채용되고 있다. 방냉 시 브라인이 순환하는 경우를 제외하고는 수조 내에는 방냉 시 순환에 필요한 여분의 물을 남겨두어야 하는 관계로 제빙완료 후의 빙충전률(IPF)은 약 50~60%가 한도이다. 또한 코일 상에 균일한 두께로 형성된 얼음이 서로 붙지 않도록 하여 방냉 시의 불균일 응해를 억제시킬 필요가 있다. 제조회사로서 미국의 Applied Thermal Technologies, BAC, Chester-Jensen, Dunham Bush, Evapco, FAFCO, CALMAC, Girton Mfg., Integrated Ice Systems, Powell Energy Products, Trane 그리고 일본의 Sekisui, Hitachi 등이 있다^(2, 3).

2.1.2 조내 캡슐형

브라인으로 채워진 축열조 내에 축열물질이 들어 있는 캡슐을 다량 투입하여 -5~-10℃ 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 조핵제 투입을 통한 물의 과냉각 억제에 주의할 기술훈련이 필요하다. 미국의 Cryogel, Cristopia Energy Systems, 일본의 미츠비시화학, 후지덴키 등이 제조에 참여하고 있다.

2.2 동적형(dynamic type)

동적제빙방식의 대표적인 시스템으로는, 축열조 상부에 설치된 판형의 증발기 표면에 일정 두께(대략 5~10mm)로 얼음을 얼린 후에 증발기 고온의 냉매가스를 통과시켜 증발기 표면에 부착되어 있는 얼음을 이탈시켜 하부의 축열조로 중력에 의하여 떨어지며 그 충격으로 얼음이 작은 조각(수mm~수cm 정도의 크기)으로 파쇄되는 하베스트형(harvest type)을 들 수 있으며 초기에 개발된 형태이다. 이보다 더욱 얼음을 미세한 형태로 형성시키는 것이 아이스슬러리(ice slurry)

방식으로 다양한 형태로 개발되고 있으며 일부는 상용화되고 있는 상황이다. 이중관 형태의 증발기 표면에 형성되는 얇은 얼음층 또는 물의 과냉각층을 스크레이퍼 등의 회전 도구를 이용하여 증발기 표면에서 이탈시켜 아주 미세한(대략 수십 μm ~수nm 정도의 크기) 얼음 알갱이 형태로 제빙하는 증발판식 슬러리형, 과냉각 열교환기를 통과하여 0℃ 이하의 과냉각 상태로 유지된 물을 열교환기 출구 쪽에서 과냉각을 해소시키면서 미세한 얼음 알갱이 형태로 제빙하는 과냉각식 슬러리형이 실용화 단계에 도달하였다. 이밖에도 물을 삼중점 이하의 진공상태에서 일부를 증발시켜 그때의 증발열로 나머지 물을 얼음 알갱이 형태로 제빙하는 진공식 슬러리형, 축열조 내부에 냉매액을 직접 분사하여 냉매의 증발열을 이용하여 물을 얼음 알갱이 형태로 제빙하는 직접접촉식 슬러리형, 에멀션을 이용한 수용액 슬러리형 등 특수한 용도에 적용될 수 있는 것이 제안되어 있다^(1, 4, 5).

동적제빙방식은 얼음을 큰 덩어리 상태에서 작은 알갱이 형태로 변경하여 제빙 및 해빙 특성을 향상시키고 얼음 알갱이를 부하측으로 직접 반송하는 특성을 효율적으로 이용하기 위하여 개발된 시스템이지만, 비교적 시스템의 가격이 비싸며, 구성 및 운전제어가 복잡하고 실제 사용실적이 많지 않아 신뢰성이 충분히 입증되지 않았다는 단점 때문에 정적제빙방식에 비해 아직까지는 널리 사용되지 못하고 있는 실정이다.

해빙방식은 얼음이 축열조에 작은 알갱이 형태로 저장되는 관계로 대부분 축열조 내부에 저장된 물(또는 물과 얼음 알갱이의 혼합물)을 부하측으로 순환시켜서 축열조 내의 슬러리 얼음층과 열교환이 이루어진다. 시스템의 특성상 축열조 내부의 물을 부하측으로 직접 순환시키는 것이 곤란한 경우에는 축열조 내부에 열교환 코일 등을 설치하고 열교환 코일 내부로 브라인 또는 물을 순환시켜 간접 해빙하는 방식을 사용하기도 한다.

슬러리 방식의 가장 큰 장점은 제빙된 얼음입자를 배관을 통하여 부하측에 직접 반송하고 큰 온도차를 이용한 공조시스템이 구현이 가능하다는 점이다^(6, 7). 즉 잠열수송의 형태가 되므로 열

수송능력이 비약적으로 향상되어 동력저감 및 배관경의 감소 등의 많은 이득을 볼 수 있다. 4℃의 물을 보내어 부하측에서 12℃까지 이용할 경우 수송되는 열량은 8kcal/kg이나 얼음의 비율이 30%인 아이스슬러리의 경우 36kcal/kg의 열수송능력을 갖게 된다. 그러나 본격적인 보급을 위해서는 유동성이 좋으면서도 높은 빙층전율(얼음의 비율)에서도 응집되지 않는 아이스슬러리를 경제적으로 제작할 수 있는 능력을 필요로 한다. 이를 위해서는 에멀션형 아이스슬러리에 대한 연구를 포함하여 장기적인 안정성 확보 문제 등이 선결되어야 할 것이다. 이외에도 얼음입자를 고르게 분포시킨 상태로의 저장 및 추출에 관한 기술, 분배기술, 빙층전율 측정 및 제어기술 그리고 저온급기 등의 대온도차 공조에 대한 연구 및 기술개발이 이루어지면 매우 경쟁력 높은 냉방방식으로 자리잡을 것으로 전망된다.

2.2.1 과냉각형

축열매체는 수돗물을 사용하고 과냉각 열교환기에서 약 -2℃로 과냉각시킨 물을 배출과 동시에 트리거에 의해 동결시킨 후 축열조에 저장하는 방식이다. 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 Takasago열학, 신닛폰제철, 도시바 그리고 신료 등에서 제품화되어 있다⁽¹⁾.

2.2.2 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 부동액을 첨가하여 사용하기도 한다. 이 시스템은 제빙장치와 빙축열조 등의 기기 배치에 자유도를 가지며, 열부하 응답성이 뛰어나다는 특징을 갖고 있다. 특히 식품 및 공기조화를 위한 냉장 및 냉동에 많이 적용되며 만액식의 빙박리형 시스템으로 독일의 Flow Ice Tech

Business사, 미국의 Paul Mueller, Sunwell Technologies와 일본의 Sanki 등이 대표적인 제조회사이다⁽²⁾.

2.2.3 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 외측 표면의 얼음을 하방으로 분리시켜 축열조에 저장하는 작업을 1사이클로 반복적으로 실시한다. 제빙방식은 정적형에 가까우나 해빙방식은 동적형에 가까운 것이 특징이다. 미국의 Berg Chilling Systems, Caldwell Energy and Environmental, Morris and Associates, North Star Ice Equipment, AEP가 대표적인 제조회사이다.

3. 국내 보급현황

3.1 국내

3.1.1 에너지 이용 현황

빙축열시스템이 국내에 본격적으로 도입된 시기는 1990년대 초로 한전의 영업소를 중심으로 보급이 이루어졌다. 초기단계에는 새로운 시스템에 대한 인식부족 등으로 설치율이 저미하였으나 정부와 한전에서서의 금융 및 세제상의 각종 보급 지원제도 등과 함께 공급업체들이 다수 등장할 수 있게 되었고 나아가 업체간의 치열한 기술개발로 나타나고 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 빙축열시스템을 찾아 볼 수 있다. Fig. 1은 최근의 국내 빙축열시스템 보급현황을 나타내고 있고 Fig.2(a),(b)는 각각 보급된 빙축열시스템의 종류별 분포도 및 설치장소 분포도를 나타낸 것이다.

다양한 빙축열시스템이 존재하지만 각각의 시스템은 나름대로의 특징과 그에 따른 장단점을 갖고 있어 일률적으로 어느 운전방식이 더 우수

하다고 현재로서는 단정할 수는 없다. 따라서 빙축열시스템의 선정은 적용하고자 하는 용도 및 목적, 부하 및 운전특성, 시설 투자비, 적용되는 전력의 종류 및 요금 등의 제반 사항을 종합적으로 고려하여 적절한 방식을 선택하게 된다.

한전에서는 “축냉식 냉방 심야전력기기 인정기

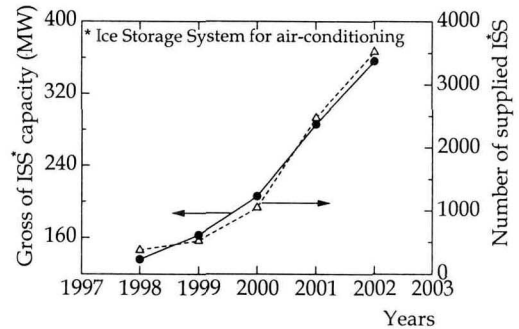


Fig.1 Recent trends of ISS supplied in Korea (Ref. 1)

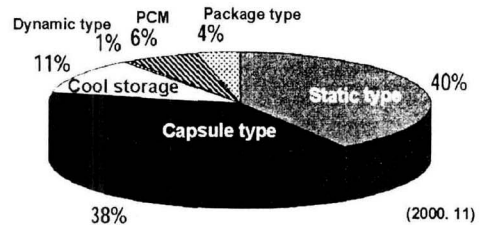


Fig.2(a) Distribution of supplied various type of ISS in Korea (Ref. 8)

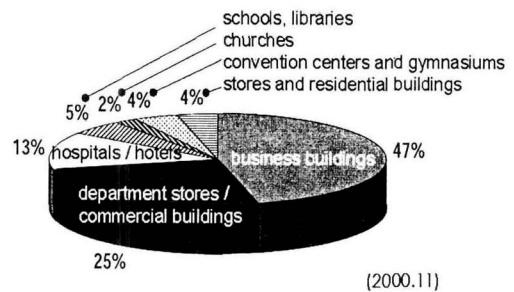


Fig.2(b) Distribution of set-up place of supplied ISS in Korea (Ref. 8)

준(2000. 10. 20)"에 의하여 소형설비와 중대형설비로 구분하고 있다. 소형은 심야시간대에 냉열을 생산저장하기 위한 전기설비용량이 20kW 미만인 설비로 규정하고 있으며, 주간 및 저녁시간대에 필요한 냉방에너지량 전체를 심야시간대에 축열하는 "전축열 운전방식"만을 인정하고 있다. 국내에서 보급되고 있는 소형시스템은 대부분이 냉매직팽식 코일을 이용하는 관외작빙형으로서 8개사 중 7개사가 이 방식을 채택하고 있다. 설치개소 면에서는 비약적인 증가경향을 보이고 있으나, 냉방면적 및 설비용량 면에서는 아직 미미한 상태이다. 그러나 냉방용 전력수요량 중의 약 절반이 일반주택 및 상점 등의 중소형 건물임을 감안하면 소형 빙축열시스템의 보급 확장 가능성은 매우 높다고 판단된다. 또한 대형 시스템과 달리 별도의 기계실 및 관리요원이 불필요하다는 장점이 있으나 이를 구현하기 위해서는 자동제어 및 운전, 성능의 고효율화 등의 뒷받침이 필요하며 관련된 연구개발은 지속될 것으로 보인다. 이와 더불어 축열조의 크기가 작아져 설치장소의 제약에서 훨씬 자유로워질 수 있는 부분 축열방식에 대해서도 심야전력(갑)의 요금이 적용되는 경우 시장 보급 가능성은 매우 클 것으로 예상된다.

4. 국외 보급현황

4.1 미국의 에너지 이용현황

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 (Ia). Sunwell의 경우 1970년대 후반, 식품 및 공기조화산업을 위한 냉장 및 냉동을 목표로 설립되어 축열 및 식품냉장의 대표적 주자의 하나로 군림하고 있다.

4.2 일본의 보급현황

4.2.1 에너지·이용·현황

일본의 경우 최근 10여년동안에 걸친 전력수요는 거품경제시기를 제외하고는 안정된 신장을 보이고 있으며 연간 최대전력값도 1990년도 이후 점차 증가하는 추세에 있다. 그 원인으로서 가정용 에어컨 및 오피스 건물의 냉방공조설비 보급 증대에 의한 냉방수요의 증대, 생활 수준 향상에 따른 민간 소비전력비율 향상, 그리고 소재형 산업구조에서 가공조립형 산업구조로의 변화 등을 들 수 있다. 이와 더불어 1997년 4월 '총합에너지 대책 추진 각료회의'를 통해 부하평준화 대책이 발표되었고 그 내용 중 냉수 방식 만이 축열식 공조로 되어 있던 현행기준에 빙축열 방식이 추가됨으로써 정부차원에서의 적극적인 참여가 이루어졌다. 현재 일본에서는 40여종이상의 다양한 빙축열시스템이 개발되어 있다. Fig.3은 일본의 최근 빙축열시스템 유닛 및 빙축열 적용 패키지 에어컨의 도입용량을 나타내고 있다. 1992년경부터 빙축열유닛의 도입용량이 급격히 증대하였으나 2000년도부터 소강상태를 보이고 있는데 경기침체의 여파가 다소 작용됨을 살필 수 있다.

4.2.2 시스템 보급 현황

일본에서는 1980년대에 들어서면서 지하공간형 수조내에 제빙코일을 설치하여 얼음을 만드는 방식으로 실증시험이 시작되어 점차로 중소규모 건

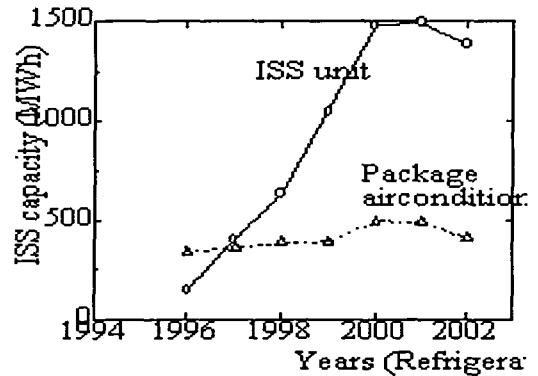


Fig. 3 Recent trends of ISS supply in Japan

물에 적용 가능한 여러종류의 빙축열 히트펌프유닛이 제품화되었다. 빙축열조와 히트펌프를 일체화한 제품은 일본 특유의 것으로 기후변화에 대응하여 냉방 및 난방운전이 가능한 제품도 등장하였다.

4.3 그 외 보급현황

4.3.1 유럽

덴마크의 경우 1998년에 아이스슬러리 센터가 설립된 이래 Grundfos, tt-coil, Swep, Texaco, Georg Fisher, Hans Buch, Sunwell 그리고 Danish Technological Institute 로 그룹을 구성하여 아이스슬러리에 관한 제반 열물성 및 성분 에 관한 연구를 수행 중이다. 각 업체의 기술적인 노하우에 의하면 초기 개발단계에서는 아이스슬러리 발생기, 원심펌프, shell and tube식 열교환기, tube and fin식 열교환기, plate식 열교환기, 부식억제제와 첨가제, 플라스틱관 및 측정장치를 포함한다고 보고 있다.

이미 언급한 제조자이외에도 육류연구소, 어업 협회 등의 잠재력을 갖고 있는 사용자그룹들이 아이스슬러리센터와 연결되어 있다.

음식물첨가제 회사, 알코올, 개별로 된 가열 및 냉각장치를 위한 기성절연관 등을 전문으로 하는 읍서버들에 의해 한층높은 기술적 지원을 받고 있다.

5. 맺음말

지금까지 빙축열시스템의 개요와 현재 외국의 빙축열 연구개발 사례를 간단히 소개하였다.

축열시스템은 여름철 전력수요의 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 어언 10 여년이 지났고 새로운 형태의 시스템이 현재 개발 또는 제작 중이나 아직 빙축열시스템의 다양화 그리고 그에 대한 수요자의 이해도가 결여되어 있는 형편이다. 본 고에서는 외국의 빙축열

연구개발 사례를 간단히 소개하였다. 비록 시스템의 대부분이 기술적으로 증대한 점이라서 자료가 상당히 미흡한 감이 없지 않다.

아울러 앞으로의 과제로서 지역 냉방을 고려한 아이스슬러리형 빙축열시스템, 기존 시스템의 운전 및 제어방식 개선, 냉매 및 축열재료의 반송동력 절감 그리고 환경친화적인 고효율 빙축열시스템의 개발 등을 떠올릴 수 있으며 무엇보다도 수요자의 요구에 잘 대응할 수 있는 유연성있는 시스템 개발이 필요할 것이다.

후 기

본 연구는 산업자원부 에너지기술 학술진흥사업(과제번호 2002-E-BD03-P-01-0-000)지원으로 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. Cold Storage Seminar2002, Vol.1,2, KITECH, 2002.
2. Federal Energy Management Program, DOE/EE-0241().
3. <http://www.jraia.or.jp> (JRAIA)
4. Matsumoto, K., et al., 2000, Trans. JSME (B), Vol. 66, No. 641, pp. 182.(Japanese)
5. Kim, B. S. et al, 1996, Study on Ice Slurry Production by Water Spray, Proceedings of the SAREK, pp. 439-447.
6. Park, K.W. et al., 2000, Study on Continuous Ice making in a Tube, Proceedings of the SAREK winter, pp.441-445.
7. Lee, D.W. et al., 2001, Experimental Study on Pressure Drop in Ice Slurry Direct Transportation Loop, Proceedings of the SAREK winter, pp.600~605.
8. Ro, S.T. and Kim, J.H, 2002, Present Status of Cold Energy Storage Systems in Korea, Proceedings of Fundamental Research on Thermal Energy Storage to Preserve Environment, Tokyo, pp.77-82.