

連載

빙축열의 시스템적 효과에 관한 고찰 (VI)

Systematic Effects of Ice Storage System (VI)

생산기술연구원 빙축열 연구팀
Ice Storage Research Group
KAITECH

전력 부하의 평준화를 도모하여 발전설비를 효율적으로 이용하고 쾌적한 냉방환경을 조성하기 위하여 우리나라에서도 빙축열을 이용한 냉방시스템의 활발한 보급이 이루어지기 시작했습니다. 이와 때를 같이하여 최근 일본 東電建設(株)의 中本泰發씨가 省略에너지誌에 게재한 “빙축열의 시스템적 효과에 관한 고찰”이 우리나라 빙축열 관련 종사자 제위에게도 많은 참고가 되리라 사료되어 생산기술연구원 빙축열 연구팀에서 번역하여 금번 '94년 4월 호부터 7회에 걸쳐 연재할 예정입니다. 참고로 원문의 내용 및 분위기를 살리기 위하여 직역하였음을 밝힙니다.

9. 장거리 수송에 관한 고찰

얼음과 물의 고액이상 흐름에 의한 장거리 수송의 가능한계는 부(마이너스)의 방열손실만의 함수이며 기술적인 한계는 존재하지 않는다.

한편 경제적 평가에 대해서는 사용자측 열수요설비의 배치와 배관방식에 따라서 열공급센터에서 경제적 열공급지역이 결정된다. 이때 열부하밀도의 증가는 프로젝트의 초기단계에서 열반송계의 에너지 단가를 감소시키지만 어떤 수치를 넘어서면 거의 변화가 보이지 않게 되며, 그 후는 열부하밀도의 증가에 비례하여 증대해가며, 마침내 열공급 센터의 설비능력과 모관의 공급용량에 의해서 포화상태에 이른다.

그러나 본래 공급지역의 년차적 확대를 고려한 모델에서는 공급대상 지역이 넓어지는 것에 비례해 경비는 일방적으로 증대하기 때문에 열반송시스템 자체만의 거리에 대한 경제적 최적치는 확정할 수 없다. 따라서 다시 상세하게 열수요지역이나 열부하밀도의 시계

열적(時系列的)확대, 부하변동 등도 고려하고, 도목·건축분야나 열공급센터 열원시스템 등을 포함한 전체시스템의 경제성을 모델마다에 최적화하여 종합적으로 평가해야만 한다.

그래서 단순히 열공급모관만을 거리에 대해서 고찰한다면 관내유속에서 얼음이 폐색하지 않기 위한 하한이 있는 한 압력손실의 비례적 증대가 있으나 전회의 계산결과에서 냉열수송 시스템에서는 단위열량당 년경비가 차지하는 비율은 고정비가 압도적이고, 펌프운전비동 변동비는 전체 경비의 10%에도 미치지 않는다는 것이 판명되었으므로, 장거리배관에 의해 생기는 압력손실의 증가가 경제면에 미치는 부담은 그다지 크지 않다고 할 수 있다. 열부하가 일정하면 관내유속을 변화시키지 않는 한 압력손실의 증가는 펌프 동력을 비례적으로 증대시키는 것 뿐이기 때문이다.

마찬가지로 배관 표면으로부터의 흡열에 따른 손실(부의 방열손실)이 에너지단가에 미치는 영향도 무시할 수 있을 정도로 작은 것을 전회의 계산결과로부터 이해할 수 있었다. 확실히 냉수단상수송에 비하면 얼음반송관은 환

경온도와 유체와의 온도차이가 큰 점 때문에 불이익을 입지만 환경이 작은 점, 즉 흡열면적이 작은점이 이것을 보충한다. 따라서 흡열에 의한 열손실을 아깝게 여겨 배관·수송로의 구조를 이중으로 하거나 재료나 보온 등에 무리한 투자를 하기도해서 부질없이 고정비를 증가시키는 것은 이득이 되지 않는다. 물의 단상수송과 달리 얼음·물이상흐름은 사용자측에서의 도착온도가 0℃을 넘을 정도의 온도 상승을 고려할 필요는 없기 때문이다.

이를테면 내경 1m, 단열재 두께 200mm의 배관에서는 열공급센터 출구에서 빙분률 30%의 빙수 모두가 0℃의 물이 될 때까지의 도달 거리는 환경온도 20℃에서 450km에 이른다. 단, 단열재에 의한 열차폐를 완전히 하지 않는 경우는 1.4km 정도까지 밖에 얼음을 수송할 수 없다. 그러나 반대로 에너지 경제를 무시하면 보냉을 하지 않고서 1.4km나 얼음을 운반시키게 된다. 아마 단열재 두께를 늘려서 애써 작게 만든 환경의 장점을 상살시켜 버리는 것은 우매한 일이다.

이때의 수치효과는 극히 현저하고 관직경이 커질수록 수송열량 다시말해 관내유체용적에 대한 관표면적의 비가 상대적으로 작아지므로 전열손실이 감소하며 또한 얼음의 혼입에 의한 부가 압력손실계수도 상대적으로 작아지므로 관내유속을 높일 수 있으며 결과적으로 환경이 커짐에 따라서 관단면적의 증가이상으로 큰 냉열량을 보다 장거리로 수송하는 것이 가능하게 된다.

이들의 검토에 의해 재래형 냉수단상 현열반송 시스템에 비해 대용량 열수송면에서 뿐만 아니라 장거리수송에 대한 적용성에 있어서도 얼음물이상(二相)흐름에 의한 잠열반송 시스템이 기술적·경제적으로 현격히 우수하다는 점이 밝혀지게 되었다.

근년의 기술진보는 청소공장의 배열이나 LNG 냉열뿐만 아니라 지하철·하천수·하수 등의 소온도차 에너지라고 하는 지금까지 이용되지 않았던 에너지까지를 활용해서 100℃

미만의 열수요에 대응하는 것을 가능하게 하였다. 이들을 열원으로 하는 지역열공급시스템의 도입은 에너지절약 및 이산화탄소발생량 제어등의 면에서도 큰 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대되어 국가적인 추진이 도모되고 있다. 한편, 현재 특히 도시부에서 계속적으로 증가하고 있는 열수요는 거주환경이나 작업환경 등 생활환경의 쾌적화와 고도정보화, 인텔리전트화에 의해서 촉진되는 것이며 따라서 열수요의 확대는 도시부의 사무실 빌딩을 중심으로하는 경향이 있으므로 여기에 미이용 에너지를 도입하도록 하려면 열원과 수요지와 의 거리가 멀어 기왕의 열반송시스템은 수송량과 수송거리에 한계를 만드는 경우도 있다. 냉열을 멀리 운반할 때의 장점은 에너지원과 부하중심이 분리되어 있는 경우에 특히 두드러진다.

부가하여 설명하자면 열공급도관에는 원칙적으로 냉매 등 물 이외의 성분을 포함한 유체를 직접 이용하지 않는 것이 바람직하다. 그 혼입농도가 약간이더라도 이차측의 공조기기를 오손시킬 염려가 있으며 만일의 누설에 의해서 지하수로 혼입되는 등 환경을 오염시키게 되는 문제를 발생시킬 가능성을 안고 있기 때문이다.

그런 의미 때문에 제빙과정에서 프레온이나 브라인 등의 사용은 피하는 것이 좋다고 말할 수 있을 것이다.

브라인에 의한 직접 접촉식 제빙방식은 얼음물중에 브라인이 혼입되어 축열조에서 관로로 유출되는 것은 피할 수 없으며 방식에 따라서는 이것이 수%나 되어 밀폐계 관로에서는 점차 축적되므로 브라인 얼음은 재용결하지 않아서 저장·수송에 뛰어나다는 보고가 있으나,¹⁹⁾ 환경면뿐만 아니라, 경제성의 문제도 있다. 저비점 화합물을 게스트(guest)물질로 하는 포접화합물은 물과 용해하기 어렵기 때문에 비중차에 의해 호스트(host)물질과 분리되어 버리지 않게 하는 계면활성제를 넣지만 이것들도 좋지 않은 예이다.

이처럼 냉열의 반송매체로서 물이 압도적으로 우수하며 다른 유체는 앞서 열거한 취급이나 환경면에 있어서 기술적 과제, 경제성에서 특히 장거리·대용량수송에서 물에 뒤떨어진 다. 예를 들어 머지않아 폐지될 예정인 프레온류 냉매로서 많이 사용되고 있는 R-22를 예로 들면 단가를 500엔/kg로 해도 관경 500mm, 거리 1km의 수송관내에 충전되는 R-22의 총량은 196m³, 235톤에 이르며 초기충전량에 소요되는 1.2억엔은 배관공사비 3.9억엔의 거의 30%에 달한다.

10. 반송 배관방식과 수요가의 수열(受熱)방법

열의 반송 배관방식으로는 개방계, 밀폐계 및 복관식, 단관식 등을 생각할 수 있으며 각각 특징이 있다. 그림10-1에는 대표적인 밀폐가압관시스템인 왕복2관식과 루프 1관식의 2방식을 나타내었다.

이들의 선택은 일반적으로 열수요설비(사용자측)의 배치, 공급지역이나 열수요밀도의 장래적 확대예측, 부하변동 등의 제조건을 고려

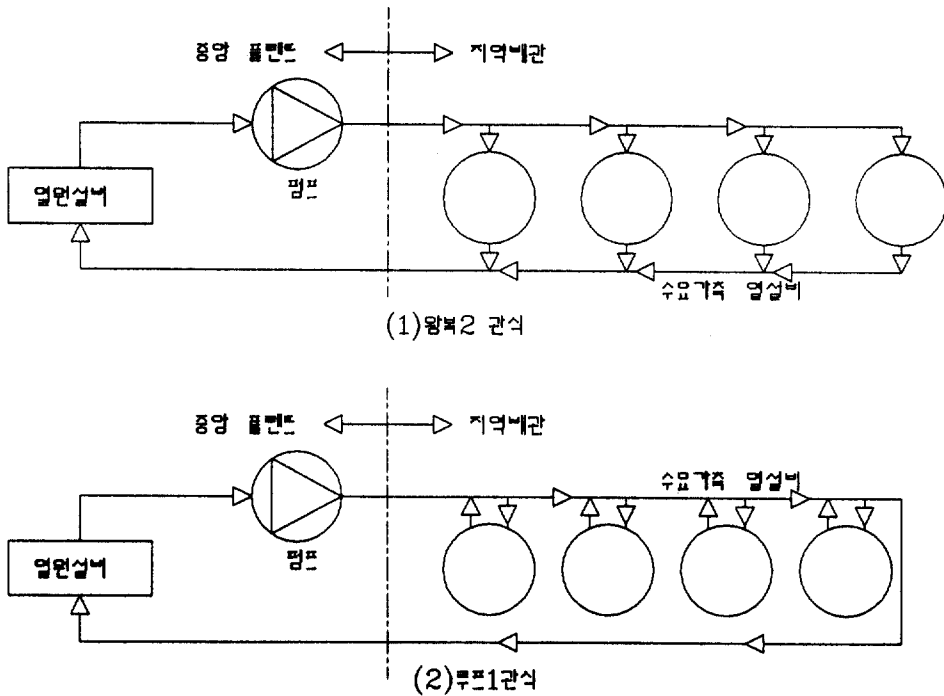


그림 10-1 대표적 밀폐가압관 시스템

해서 주로 경제성으로부터 결정된다. 그러나 열공급센터에서 복수의 사용자로 냉수를 공급하는 지역열공급용 열음물 이상반송모관에 있어서는 그다지 선택의 여지없이 왕복 2관식이 바람직하다.

왕복 2관식은 사용자측으로 빙수를 배분하는 고액이상(固液二相)흐름의 공급모관과 사

용자로부터의 순환수를 모아서 열공급센터에 환류시키는 귀환모관을 각각 독립시켜 설치하는 방식으로 순환모관에는 원칙적으로 열음이 존재하지 않아도 좋다. 이 방식은 하나의 도로의 양측에 따라서 사용자가 나란히 있는 지역에서는 극히 뛰어난 경제성을 발휘하지만 널리 퍼져 있는 지역에서는 모관이나 분지

(branch)의 수가 많아지거나 모관에서부터 사용자까지의 유입관이 길어지는 등의 결점이 있다.

한편 루프 1관식인 경우는 하나의 모관이 각 사용자를 차례차례로 걸쳐서 한바퀴 도는 방식인데 사용자의 배치가 루프형상으로 넓게 퍼져있는 지역에서는 모관의 총연장이 짧고 반송동력도 작아서 경제성이 뛰어나다. 그러나 사용자로부터의 순환수는 같은 모관으로 모여서 돌아 오므로 각 사용자에게 분배되는 얼음의 양(빙분률)은 루프의 하류측일수록 작아지며 또한 상류 사용자의 부하변동의 영향을 하류 사용자가 직접 받는 등 사용자마다의 공평성이 보장되지 않아 계약상의 문제를 야기시킬 우려가 있다. 따라서 같은 열량을 사용하는 사용자더라도 사용자마다 입구에 설치한 분배기나 부스터펌프등의 설비용량이 루프하류에 위치하는 사용자일수록 큰것을 준비해 둘 필요가 있다. 또한 최악의 사태에서도 하류 사용자에게 얼음의 분배 등 받을 수 없는 시간대가 생기지 않도록 공급설비는 여유를 갖고 있는 것으로 하고 내보내는 얼음의 분률도 충분할 정도로 해 둘 필요가 있으며 열공급센터에 다소의 얼음이 되돌아 오는 정도로 하는것이 필요한 점 등, 반송빙분률 상한과 열량배분제어상의 문제도 있다.

특히, 하류의 사용자가 얼음을 받아 쓸 수 없거나 공급수온이 0℃을 훨씬 넘어 상승하는 것은 배분의 공평뿐만이 아니고 공조설비의 이용 상한온도로서도 허용되지 않는다. 왕복 2관식인 경우에는 모든 사용자에 대해서 배분되는 냉열의 단위량(빙분률)은 기본적으로 같고 또한 사용자마다 순환온도의 제한이 없어 각자가 임의의 순환온도를 선택할 수 있으므로 대온도차 이용이 가능하게 되는 등 설비설계의 자유도가 크다. 전회에서도 서술했듯이 센터축열조에서 빙수혼합유체를 0℃로 내보내면서 사용자가 얼음의 잠열분만을 이용하고 다시 0℃로 되돌려 보낸다고 하는 것은 얼음을 운반하는 것과 동시에 스스로도 좋은 열매

체인 나머지의 대부분의 체적을 차지하는 물은 아무런 쓸모가 없게 된다는 점이다. 얼음을 0℃의 물이 운반하는 이상 상환온도까지 이용하고 돌려 보내는 다시말해 물의 현열을 충분히 이용하는 것이 아니라면 의미는 없다. 루프 1관식에서는 공조설비측에서의 대온도차 이용을 달성할 수 없는 것이다.

그런데 지역열공급과 같이 다양한 요구를 갖는 복수의 사용자로서 구성되는 거대시스템에서는 얼음반송이 반드시 모든 사용자에게 환영받는다고는 할 수 없다. 빌딩마다 설계자가 다르고 설계자가 달라지면 부하대응, 에너지절약 및 위험에 대응하는 이념도 달라질 것이다. 스스로가 축열설비를 갖고 있지 않고 낮동안의 수요기에 냉수만을 받고 싶은 사용자도 있지만 야간에 센터로부터 얼음의 공급을 받아서 자신의 축열조에 얼음을 저장해 두고 싶은 사용자가 있을지도 모른다. 빙축열 시스템측에서는 공조측에서 0℃라고 하는 저온을 아주 유효하게 이용하고 싶지만 대온도차공조에 대해서도 생각하는 방식이 다르거나 다른 사정이 있어서 이것을 적용할 수 없는 경우도 있을 것이다. 그렇게 되면 빙축열 시스템의 전체적효과가 삭감되는 상황도 있을 수 있다.

그러나 역으로 말하자면 얼음의 반송에 의한 0℃의 저온송수는 다양한 사용자의 다양한 용도에 적합한 자유도가 높은 우수한 시스템이라고 말할 수도 있게된다. 얼음을 필요로 하지 않는 사용자는 물만을 취급하면 좋을 것이다. 냉열을 전달하는 방식중에 얼음을 취하지 않고 물만을 받는 방식은 아주 현실적이며 기술적으로도 실현성이 높은 시스템이라고 말할 수 있다. 얼음·물이상반송인 경우에는 모관내의 얼음의 분률이 변화하여도 온도는 일정하기 때문에 계약적으로는 이 방식이 얼음의 분배에 따른는 문제, 즉 단위유량당의 열량의 과부족이 없고 기술적으로는 수요가측으로 물만을 배분하기 위한 수분리기(얼음여과기)가 각수요가마다 필요로 하지만 모관에서

분지 이후의 유입관에 대한 수요가측의 경제적 부담도 작다. 수요가가 사용하는 열교환기도 통상의 물-물방식이므로 재래의 것을 그대로 쓰고 열량계도 현열만을 계량하면 되므로 기술적인 문제점은 없다.

그 중에서 수요가측에도 축열조를 설치하고 여기서 일단 열음을 모아두는 경우도 있을 것이다. 결국, 똑같은 축열조가 열원측(공급센터측)과 수열측(사용자측)에 중복해서 설치되는 시스템이 고려되고 있다. 이것도 비교적 현실적인 방식으로 부하측에서 빙수를 직접 냉풍으로 변환·이용하는 경우에 생기는 단말 기기나 제어 등 고도의 기술을 요구하는 경우보다도 단지 수송만의 문제를 해결하면 되므로 신뢰성이 높기 때문이다. 또한 이 경우에는 최대부하에 맞는 큰 열수송을 행할 필요는 없고 부하가 비교적 작은 일정시간 폭으로 평균적으로 수송·축열을 완료하면 되므로 수요가측의 분지배관은 소구경관이 좋고 또한 수요가측 펌프도 작아서 좋은점 등의 장점이 있다.

그러나 이때 수요가측 축열조로부터는 물을 빼내지 않으면 조내의 빙층전율은 수송관내의 빙분률과 같은 저밀도축열 밖에 되지 않는다. 이것은 축열조의 가능최대 빙층전율과 동등한 높은 빙분률로서 수송하는 것이 불가능하기 때문이며, 축열조를 높은 빙층전율로 하기 위해서는 대온도차 이용면에서 보면 좋지는 않지만 수요가측 축열조내로부터 물만을 빼내어 순환모관으로 돌려보내든가 수분리기를 사용하는 등 무엇인가 농축수단이 필요하다.

11. 저온송풍·저온분출

소풍량 및 저온송풍·저온분출은 저온송수·대온도차이용과 결합하여 사용하는 것으로 주입송풍형 공조기의 채용정도로 비교적 용이하게 실현가능하다고 생각할 수 있다. 단, 풍량이 적은 공조 시스템에서는 외부에서 침입하는 열량이나 송풍기의 발열에 의한 온도상

승등이 문제가 될 가능성도 예상되므로 단열의 강화가 필요할지도 모른다.

저온분출에는,

- ① 1차공기(저온공기)의 직접분출 방식
- ② 분출 직전에 1차공기와 재순환공기를 혼합하는 혼합분출방식

의 2방식이 있다. 후자(mixing·box방식)는 양호한 실내기류 분포가 얻어지며 결로나 안개의 발생도 방지할 수 있고 이미 축열과의 조합실적도 있으나 저온공의 직접분출 방식인 경우에도 디퓨저를 이용한 천정분출 냉방에 있어서는 분출간격이 적절하다면 온도분포, 온냉감, 쾌적성등에 문제는 없다고 말할 수 있다. 단, 분출방식·방향의 차, 냉온풍 공용분출인 경우의 대응책 등 보다 넓은 연구가 필요하다고 하겠다.²⁰⁾ 또 먼지제거를 위한 환기횟수가 감소하므로 공기의 질적면으로는 실내공연이 필수인 점을 지적하고 있다.

대온도차 공조의 실시에 있어서 이 외에도 습도의 문제가 있으며 건축기준법이나 빌딩위생관리법이 정하는 최저 상대습도에 관한 기준을 만족시키기 위해 재가습의 필요성이 발생할 지도 모른다. 그러나 Suzuki²¹⁾ 등은 운동시나 작업중의 평균피부온도는 안정시에 비해서 약간 낮은 쪽이 쾌적하므로 스포츠 시설이나 작업부하를 수반하는 장소 등에서는 저습도가 유효하다고 하여 빙축열을 단순한 심야 잉여전력의 이용이라고 하는 목적만이 아니고 저온송수에 의해서 비교적 용이하게 달성할 수 있는 저습도 공조라는 관점에서도 고려할 만한 것이라고 서술하고 있다. 현행법규에서는 다소의 문제를 갖고 있는 부분이 있을지도 모르지만 이와 같은 적극적인 제안은 참으로 뛰어난 의견이다.

또한 대온도차공조에 의해 소요 열부하당 필요풍량이 감소하면 반송 펌프나 송풍기 용량을 절감할 수 있다는 사실은 자명한 것과 동시에 송풍 덕트 단면적이 축소되므로써 건물충고의 감소에 따른 건축비의 저감도 기대할 수 있다. 단, 대온도차공조 그것은 수축열

시스템에 의해서도 어느 정도까지 달성이 가능하므로 빙축열 시스템의 우위차나 공급수온으로서 5~7℃ 정도라고 생각해도 좋을 것이다. 또 부분부하에 있어서는 제어방식에 크게 의존하므로 정량적으로 엄밀한 비교는 여기서는 곤란하다. 그러나 다시 한번 강조하지만 이 시스템이 이용하는 에너지 레벨에 있어서 5~7℃의 온도차는 열역학적과 실용적으로도 아주 큰 가치를 갖고 있는 것이다.

이 분야는 필자의 전문의이지만 시스템의 설계조건을 최적으로 선정하므로써 얼음 시스템에 있어서의 히트펌프동력의 숙명적인 불리함을 공조시스템 측에서도 충분히 보상할 수 있는 것을 공조설비 설계자가 이해하길 바라는 바이며 대온도차공조가 일부의 학문적 의논이나 실험보고만으로 끝나 버리는 것이 아니기를 바라는 바이다.

이상 이번 회의는 주로 장거리수송이나 공급모관시스템 및 저온공조에 대해서 고찰하였다.

다시말해 열공급배관에 있어서 얼음·물이상반송의 장점은 배관부 설비의 대폭적인 삭감과 반송동력의 저감에 의한 년경비의 절감은 물론 열수송의 장거리화를 도모할 수 있으며 그것에 의해 지역열공급 지역의 광역화가 가능하게 될 뿐만 아니라 부하중심에서 떨어져 있어서 이용이 곤란하였던 미이용 에너지원의 활용을 실현할 수 있게 끌어 들일 수 있는 점, 열공급을 위한 반송배관 방식으로서는 사용자에게 대한 공급비용이 공평하고 나아가서 사용자마다 순환온도의 제한이 없이 사용자측 시스템 선택의 자유도가 큰 왕복 2관식이 대온도차이용의 면에서도 바람직하다는 점, 소풍량 저온송풍·저온분출은 얼음 시스템에 의한 저온송수·대온도차이용과를 결합하는 것이 중요한 것으로 공조소요동력의 절감만이 아니고 송풍 덕트 단면적인 축소는 건물층고의 감소효과도 기대할 수 있는 점, 더우기 스포츠시설이나 작업부하를 수반하는 곳 등에서는 저습도가 유효하므로 빙축열을 단순히 심야전력의 이용이라고 하는 목적뿐만이

아니고 저온송수에 의해서 비교적 용이하게 달성할 수 있는 저습도공조를 위해서 적극적인 이용을 생각할 수 있는 점 등을 서술하였다.

확실히 14℃ 전후의 송풍에 의한 고전적인 공조방식을 채용하는 한 반드시 얼음시스템의 0℃라고 하는 레벨의 냉수를 필요로 하지는 않는다고 하는 공조설비측의 주장은 충분히 이해할 수 있다. 그러나 저온분출에 대해서는 흡출구의 선정을 잘못하지 않는다면 실내환경적으로 문제가 없다고 말해지고 있다. 미국에서는 빙축열기술이 만들어진 때부터 저온송풍이 전제되었다고 들었다. 왜 국내에서는 이 두개가 공생해서 발전하지 않는 것일까.

빙축열 시스템은 얼음·물고액이상반송에 의해서 큰 경제성을 나타내며 고액이상반송에 의한 저온송수는 대온도차이용의 실현에 의해서 그 위치를 확립하고 이것이 빙축열의 시스템적 효과를 결정하는 것이다. 여기서 빙축열 시스템은 이미 수축열 시스템으로부터 독립을 얻어냈다는 점을 꼭 여러분들이 여기서 다시 한번 확인해 주기를 바란다.

다음 회의는 시스템이 유효하게 쓰이기 위해서 해결해야만 하는 요소기술에 대해서 다루며 전체의 종합을 서술하여 최종회로 한다.

참고문헌

- 19) Kurihara, S, "지역냉난방 경제적 규모 결정에 관한 연구 (제2보)- 특정계획 규모에 대한 열반송계의 경제성에 대하여", 동경전력 설계기술 연구지, No5(1990)
- 20) Nakahara, N, "빙축열의 현상과 과제", 일본 혼상류학회·혼상류 Lecture series, No.9(1992-12-2, 3 Osaka)
- 21) Suzuki, S외, "빙축열이용 공조시스템에 관한 연구(제15보)- 작업시에 있어서 저습도 공조공간의 체감평가", 일본 건축학회대회 학술강연회 논문집(1993-9 Kantoh)