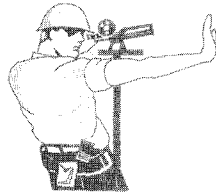


농사용 화훼재배에 수축열 시스템 적용 사례



1. 서론

최근에 발전설비의 대용량화 및 원자력 발전량의 증가에 따른 발전설비의 부하조절용으로 미국에서는 1980년대 초, 일본에서는 1980년대 중반, 그리고 우리나라에서는 1990년대 초부터 축열 시스템이 보급되기 시작하며 필요성이 더욱 부각되었다. 여름철 주간 냉방용 전력수요가 연중 최고 첨두부하를 구성하는 주된 요인이므로 이를 심야시간대로 전이시킬 수 있는 축열식 냉방시스템이 보급 확대되면 전력부하의 평준화를 이루어 국가적으로 발전설비의 효율적인 운영을 도모할 수 있다.

초기에 개발된 이러한 축열 시스템 대부분은 건물의 공조용으로 사용되어 왔으며 일부는 산업용 생산라인의 냉각용으로 사용되기도 하였다. 이번에 발표하게 될 수축열 시스템의 설치장소는 일반 건물이 아닌 화훼 재배용 비닐하우스로 경기도 화성군 비봉면에 설치하였다. 최근 경기 발전 및 국민 생활 수준의 향상으로 인하여 꽃의 수요가 증가하였으며 이로 인하여 일정 계절에만 볼 수 있는 꽃을 일년 내내 재배하는 기술이 농가와 정부에서 계속 연구중이다. 이와 같은 이유로 2년 전부터 정부에서는 농어촌 구조

개선사업의 일환으로 시설재배농가에서 저온처리용 시설을 설치할 경우에 공사비의 일부를 지원해 주고 있으며 전체 지원규모가 계속 증가되고 있다.

현재 국내 시설재배 농가에서 재배하고 있는 품종 중에 하절기 고온에서는 재배가 불가능한 품종으로는 팔레놉시스(호접란), 시클라멘 등이 있으며, 여름철에 꽃을 피우기 위하여 저온이 필요한 이러한 작물은 여름철에 고랭지로 잠시 이동하여 더위를 피하는 수동적인 방법이나 비닐하우스 내부에 사무실용 대형 에어컨으로 냉방하는 방법을 사용하여 재배하고 있는 실정이다.

이와 같은 방법으로 재배할 경우에는 작물의 품질이 떨어지고 출하시기 조절이 불가능해져 한꺼번에 대량 출하되거나 냉방 시설의 과대로 인하여 전기용량의 증가로 인한 제품 생산단가의 증가 등 여러 가지 문제점이 발생하고 있다. 그러나 다른 대체 냉방 시설이 미흡한 관계로 인하여 현재 대다수 시설재배 농가에서는 냉동기를 사용하여 직접냉각방식을 적용하거나 대형 에어컨을 설치하여 냉방하고 있는 실정이다. 그러므로 하절기 전력수요 관리에 많은 영향을 주고 있으나 아직까지 정확한 통계조차 마련되지 않

고 있는 실정이다. 특히, 근래에는 국내 수요가 폭발적으로 증가하고 있으며 해외 수출 물량이 꾸준히 증가되고 있으므로 작물의 품질 향상 및 년 중 생산체계가 반드시 필요하게 되었다. 이러한 필요성에 의하여 수축열 시스템을 화훼재배에 적용하여 한 여름철을 기동하였으며 여기에서 얻은 결과를 정리하였다.

2. 수축열 시스템

1) 시스템 동작 원리

빙축열 시스템의 경우 물의 잠열을 이용하여 야간에 냉동기를 가동하여 축냉하였다가 주간에 이용하는 시스템이나 본 축냉시스템은 물의 현열(Sensible Heat)만을 이용하여 축냉한다.

심야시간을 이용하여 축열조 상부의 물을 냉동기로 순환시켜 생성된 냉수(약 5°C)를 축열조 하부로 공급하여 저장한다. 따라서, 탱크의 하부에는 찬물이 상부에는 더운물이 있으며 축냉이 완료되면 상부의 더운물이 완전히 찬물로 바뀌게 되어 탱크 전체가 찬물로 채워진다. 주간의 방생 시간에는 하부에 있는 찬물을 공조기 또는 팬코일에 공급하여 냉방하고 공조기 출구의 더운물은 다시 축열조의 상부로 이송되며 축열조 하부의 찬물이 완전히 소진될 때까지 방생할 수 있다. 이와 같이 저장된 찬물을 직접 냉방에 이용하므로 별도의 열교환기가 필요없게 되어 시스템이 매우 간단해진다. 그림 1에는 장비구성 및 수축열 시스템의 개략도를 나타내었다.

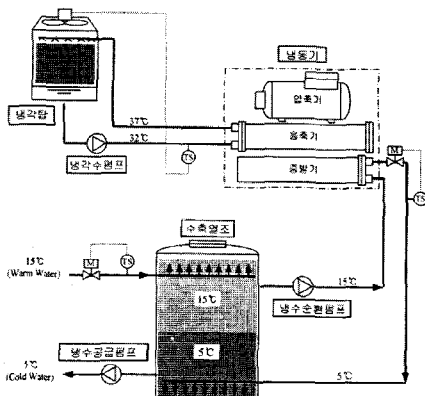
2) 수축열조(Chilled Water Storage Tank)

축열조 내부는 앞서 설명한 바와 같이 상부는 더운물, 하부는 찬물이 같이 저장되어 있으며 찬물과 더운물의 경계층은 별도의 기구가 없으며 단지 온도에 따른 물의 비중 차이를 이용하여 구분한다. 만약, 공조기 출구의 더운물이 축열조 하부의 찬물과 섞이게 되면 온도가 상승하므로 냉방이 불가능해진다. 따라서, 수축냉시스템의 핵심기술은 탱크 내부에서 찬물과 더운물이 절대 섞이지 않도록 하는 것이다. 이를 위하여 축열조의 온수 및 냉수 입·출구에는 Diffuser 라고 하는 물분배기가 설치되어 있으며 이 Diffuser가 수축열 시스템의 가장 중요한 장비이다.

건물 또는 비닐하우스에 필요한 냉방부하의 일부 또는 전부를 냉수(5°C)로 저장할 수 있는 탱크로서, 일반적으로 사용하는 재질은 스틸, FRP, PE, 콘크리트 등이며 축열조의 외부는 단열재로 처리한다. 수축열조의 설계시 항상 일정한 온도의 냉수가 부하측에 이송되어야 냉방이 가능하므로 탱크 내부에서 찬물과 더운물이 섞이지 않도록 탱크를 구성하는 것이 가장 중요하다. 이를 위해 성층화방법, 다중탱크방식, 멤브레인방식, 미로/격막방식 등 여러 가지 방안이 고안되어 있으며 가장 많이 사용하는 방법이 성층화(Stratification) 방법이다.

가) Stratification (성층화)

현재 가장 많이 사용하는 방식으로 물의 온도에 따른 비중차이를 이용하는 방법이다. 일반적으로 물은 4°C에서 가장 무겁고 이보다 온도가 높을 경우에는 점차 가벼워지므로 한 개의 탱크에 상부에는 더운물이 위치하려고 하며 하부에는 찬물이 위치하려는 원리를 적용한 것이다. 이 방법에는 탱크 내부에서 물의 속도를 떨어뜨리고 수평흐름으로 바꾸어주며 사방으로 골고루 분포되게 하는 Diffuser가 이용되고 있으며 원통형 탱크에서는 Radial Disk Type의 Diffuser가 많이 사용된다. Diffuser가 잘 설계되어야 온도변화구간(Thermocline)이 작아지고 성층이 잘되어 사용할 수 있는 냉수량이 증가된다. 이 방식은 원형탱크, 사각탱크 등에 모두 적용이 가능하며 Diffuser는 탱크 형상에 따라 달라진다.



〈그림 1. 장비 구성 및 운전계통도〉

나) Multiple Tank (다중탱크 방식)

두 개 이상의 탱크를 사용하여 항상 찬물과 더운물을 분리하여 보관하는 방식이다. 한 개의 탱크는 항상 비워 둔 상태에서 부하측을 통과한 더운물을 빈 탱크에 별도로 보관하여 찬물과 더운물이 완전히 분리되도록 한다. 탱크 설치공간이 증가되는 단점이 있다.

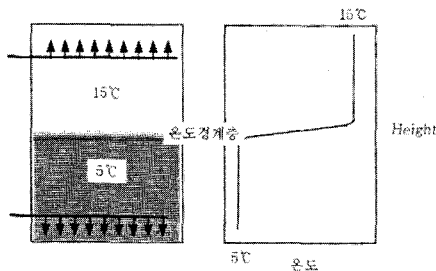
다) Membrane or Diaphragm 방식

탱크의 가운데에 Membrane 또는 Diaphragm을 설치하여 강제로 더운물과 찬물을 구분하는 방식이다. 이 방식은 Membrane 또는 Diaphragm이 손상되지 않는 한 더운물과 찬물이 혼합되지 않는 장점이 있으나 제작이 어렵고 장기간 사용이 곤란한 단점이 있다.

라) Labyrinth and Baffle 방식

주로 사각탱크에 적용되고 있으며, 탱크 내부에 격막을 설치하여 여러 부분으로 구분하고 냉수가 인입되는 경로가 미로와 같이 구성하여 찬물과 더운물을 구분하는 방식이다.

상기 방식 중에서 국내에 적용하기가 가장 좋은 방식은 성층화방식이며 핵심기술인 Diffuser 설계기술은 세계적인 기술 수준까지 확보되어 있으므로 국내 적용시 문제가 전혀 없는 것으로 알려져 있다. 그림 2에는 수축열조의 대표적인 온도성층화된 후에 수직방향으로의 온도변화를 나타내었다.



<그림 2. 온도경계층과 온도분포>

3) 시스템 특성

수축냉 시스템의 가장 큰 특징은 물의 현열(Sensible Heat)를 이용하여 냉기를 저장하는 것이다. 일반적인 물질 중에서 가장 높은 비열(Specific Heat)을 가진 물

을 저장 매개(Medium)로 사용하므로 빙축열 시스템 또는 공용열축열장치 등에 비해 가장 냉동기의 효율이 높은 시스템이다.

수축열 시스템에서 보편적으로 저장되는 물의 온도는 4~7°C이며 이 온도는 일반 냉동기를 이용한 공조 시스템이나 흡수식 냉동기를 냉열원으로 사용할 수 있다는 것을 나타낸다.

본 수축열 시스템의 장, 단점을 요약하면 다음과 같다.

장점

- 축열조의 방냉효율이 빙축열 시스템에비하여 8배 이상 높다.
- 일반 표준 냉동기를 사용할 수 있으며 높은 증발 온도를 유지하므로 냉동기효율이 매우 높다. (타 시스템에 비하여30% 이상 에너지 절감)
- 관형열교환기 등의 특수 장비가 필요 없으므로 시스템이 간단하고 제어 및 조작이 용이하다.
- 기존에 사용 중인 냉동기에축열조만 추가하면 냉방능력의 증가가 손쉽게 이루어지므로 냉동기 추가 사용에 따른 CFC 사용이 억제될 수 있다.
- 빙축열 방식에 비해 경제성이 매우 뛰어나다.
- 축열조를 비상시에는 소방용수로 사용이 가능하므로 소방대책에도 효과적이고 전체 건축비용이 절감될 수 있다.
- 온수를 저장할 수도 있으므로 겨울철 난방으로도 사용이 가능하다. (히트펌프식, 태양열, 지열 이용 등)
- 별도의 저온용액(Brine)을 사용하지 않으므로 환경친화적이다.
- 빙축열 방식에 비해 제어가 매우 간단하다.
- 초기 설치비가 상대적으로 작고 운전경비가 대폭 절감된다.

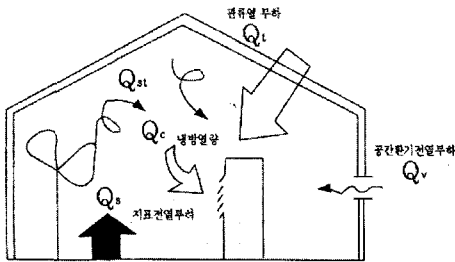
단점

- 수축열 탱크 설치공간이 많이 소요된다.

3. 온실의 냉방 시스템

1) 냉방 부하

냉방 온실의 열수지는 다음 그림과 같이 일사량, 의 부 관류열, 환기 전열, 지표 전열 등으로 산출할 수 있는데, 다음과 같은 식으로 계산한다.



<그림 3. 냉방 온실의 열수지>

$$q_c = q_{sun} + dt + q_{soil} + q_{air} + q_{st}$$

q_c : 냉방 부하

q_{sun} : 일사에 의한 부하

qt : 관류열부하 (피복재를 통과해서오는 열량) (kcal/m²hr)

qv : 공간환기전열부하(환기창 공간,피복재 이음새 등을 통해 들어오는 열량) (kcal/m²hr)

qs : 지표전열부하 (kcal/m²hr)

qa : 온실내 공기의 열변화에 따른 부하

qst : 온실구조재나 작물 등의 온도변화에 따른 부하

위 식의 qa 와 qst 는 기온변화에 관계하는 부하인데, 온실내 온도가 설정치에 도달한 후에는 기온변화가 적기 때문에 전냉방부하에 점유하는 이들의 부하는 약 5% 내외가 된다. 따라서 q_{sun} , qt , qv 및 qs 가 중요한 부하이다.

온실의 냉방부하는 동적 냉방부하와 정적 냉방부하의 2가지로 나누어 생각한다.

냉방 개시 시 온실 내 기온은 냉방설정 온도보다도 높기 때문에 냉방 개시 후에 실온을 냉방 설정온도까

지 낮추어야 하는데 이 때의 부하를 동적 냉방부하라 한다. 실온이 설정치에 달한 후 실온을 설정치에 유지 하기 위한 부하를 정적 냉방부하라 한다. 동적 냉방부 하는 정적야간 냉방부하보다도 크고, 온실 내 기온을 냉방 설정온도까지 유지시키는데 소요시간을 단축하 는 만큼 크다.

과대용량의 냉방기(히트펌프)를 설치하지 않기 위 해서는 통상 정적 냉방부하 최대치보다도 약간 큰 용 량을 가지고 최대 냉방부하로 하는 것이 바람직하다. 온실 전체의 최대 냉방부하는 다음과 같다.

$$m = (Ag (qt + qv) + Asqs)/fw$$

Ag : 온실피복면적(m²)

As : 온실상면적 (m²)

fw : 안전율

최대 냉방부하는 정적 냉방부하의 최대치보다 약간 큰 수치로 하기 때문에 10%의 안전율이 바람직하다. ($fw = 1.1$)

● 일사에 의한 부하 (q_{sun})

여름철 맑은 날의 최대 일사에너지는 약 800kcal/m².hr에 달하므로 환기만으로 온실내 목표 온 도 유지가 어려운 경우가 많은데 이 경우 차광으로 온도를 더 낮출 수 있다.

보통 여름철 한낮의 외부 광도는 10만 lux를 넘고 하우스 내 광도도 7만 lux에 달해 30-50% 차광으로 실 내광도를 3-5만 lux 선에서 유지하면 고온장애를 피하 면서 수확량에 큰 손실이 없게 조절이 가능하다.

● 관류열부하 (qt)

$$qt = ht (ou - c)$$

ht : 열관류율 (kcal/m²hr c)

c : 냉방설정실온(°C)

ou : 설정외기온(°C)

ht : 1중피복 2.5, 1중1층커트 2.0, 공간환기전열부하 (qv)

● 공간환기전열부하 (qv)

$$qv = Vg (iou - iin) / V$$

Vg : 공간환기율 (단위벽면적당 공간환기량 m^3/m^2hr)

iou, iin : 온실내외의 공기 엔탈피 (kcal/kg)

V : 온실내외의 공기비용적 ($\approx 0.85m^3/kg$)

β : 온실의 보온비 (상면적/피복면적)

가장 경제적이고 일반적인 냉방법은 온실내외의 더운 공기를 외부 공기로 교환해주는 환기라 할 수 있으며, 이 때 밀폐된 온실 내에서 광합성으로 부족하게 된 탄산가스를 보충해주는 효과도 있다.

단동형 온실에서 고온성 작물을 재배할 때에는 자연환기만으로도 하절기 재배가 가능하나, 연동형 온실로 일반 작물을 재배할 때에는 강제 환기나 기계적 냉방법이 필요하다.

2) 온실 냉방의 종류

(1) 패드 앤 팬 (pad & fan)

한쪽 측벽에 물이 흐르는 패드를 설치하고 맞은편 측벽에서 환풍기로 공기를 배출시키는 시설로서 물의 기화열을 이용하는 시스템이다.

설치비가 많이 소요되나 온도 강하 효과가 좋아 여름에 낮은 온도 관리를 함으로서 생장 생리를 번식 생리로 전환하고자 할 때 많이 사용(하체, 딸리 등)한다.

온도강하 효과는 규모가 작은 온실일 경우 외기보다 8-10°C 낮은 수준으로 내부 기온을 강하시킬 수 있는데 환풍기의 배출 풍량이 부족하게 되면 이보다 5°C정도 온도가 올라간다.

(2) 포그 앤 팬 (fog & fan)

포그(fog)란 물방울 직경이 40 μm 이하의 것을 말하며 보통 10-30 μm 로 분무되는 물방울이 공기중에 증발하여 기화열(1g당 539cal)을 빼앗아가는 현상을 이용해 온실내외의 기온을 미설치시보다 10°C정도 낮출 수 있다. 포그시스템은 자연환기 시스템에서도 사용할 수 있고 강제환기 시스템에서도 사용할 수 있는데 공기

입구 쪽에서 분무되어야 물방울의 떨어짐이 적고 냉방효과가 크다. 포그 중에는 보통 직경이 큰 물방울도 다소 섞여 있어 자연낙하가 발생되므로 공기는 물론 토양까지도 다습하게 하는 경향이 있다. 분무압은 보통 15-20kg/cm²의 고압을 사용하는데 압력이 높을수록 분무입자가 작아진다.

적정한 공기 배출량은 분당 2m³/m²인데 공기 배출량이 충분하지 못하면 공기 중의 습도가 포화되어 기화가 제대로 일어나지 않게 된다. 공기입구(물분무 위치)에서 출구까지의 거리가 길면 한 번 냉각된 공기가 이동 과정에서 다시 온도가 상승하므로 중간 중간에서 물을 분무할 수 있도록 해야 한다. 포그 노즐 구멍이 막힐 우려가 많기 때문에 필터의 기능이 매우중요한데 점토 입자까지 걸러낼 수 있는 다중필터를 사용하는 것이 좋다. 타이머에 의해 주간에만 1-20분마다 3-4분씩 작동시키거나 온도센서에 의해 일정온도 이상에서 작동하게 한다.

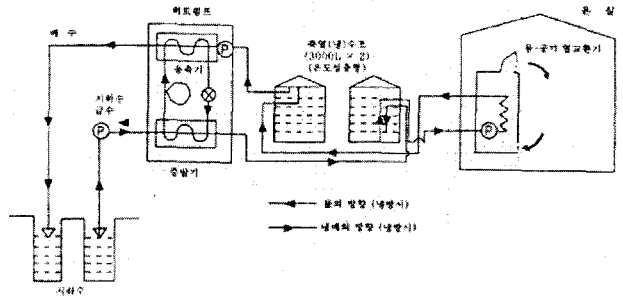
(3) 지하수 이용

토심 3-100m 대는 온도 불변층으로 대개 15-18°C의 범위를 년중 계속 유지하는데 여기에 있는 지하수는 이보다 다소 온도가 낮다. 물은 비열이 높아 물 1kg(1리터)을 1°C 식힐 때 1000cal의 열량이 나오는데 공기 1000리터(1m³)를 1°C 덥히는데 279cal(공기 300k = 27°C 기준)이 소요되므로 물 1리터는 공기 3584리터와 대응할 수 있다. 지하수를 직접 지붕위에 살수하는 방식과 파이프나 라디에이터(방열기)에 지하수를 통과시키고 더운 공기를 이 외부에 통과시켜 냉각하는 열흡수식 방식이 있는데, 지붕살수법으로 자연환기와 내부 차광망을 병용했을 때 10°C 정도의 온도 강하효과(외기온 보다 2-3°C 낮은 상태)가 있다. 지붕살수법은 직접 냉각과 기화열 냉각작용을 함께 사용하는 것이나 열흡수식은 지하수온 보다 5°C 높은 정도의 냉각된 냉풍을 얻을 수 있는데, 물의 비열만을 이용하는 직접 냉각 방식이므로 기화열 흡수식에 비해 훨씬 많은 지하수량이 요구된다.

(4) 냉각 유동팬

원통형으로 된 본체에 팬과 원심회전판을 설치한

초미립 분사 냉각 장치로 포그 발생기를 부착시킨 유 동팬을 50평당 1대 정도씩 온실내의 공중에 설치한다. 포그의 입자크기는 5-10 μ m 정도인데 이것을 공중에 부유시키면 온실내의 공기를 기화열로 냉각시킨다. 기본원리는 포그엔 팬 방식과 유사하나 포그를 발생 하는 방식과 설치위치가 다르며 고압 컴프레셔와 포 그노즐을 사용하지 않는다는 것이 다른 점이다. 따라서 고압사용에 따른 고장 발생이없다는 장점이 있다. "에어쿨"이라는 상품명으로 시판되고 있는데 설치비 가 저렴하고 설치가 간편하여 온실내의 다습환경우려 가 있기는 하나 가장 많이 보급되어 있는 냉방시스템 이다.



〈그림 4. 냉동기(Heat Pump)를 이용한 냉방시스템〉

(5) 냉동기를 이용한 냉방 (히트펌프)

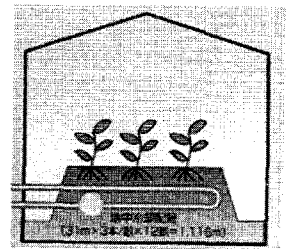
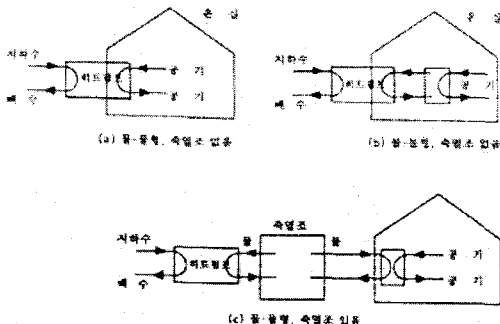
에어컨디셔너를 이용한 냉방방법은 히트펌프의 회로 를 바꿔 내부에서 열을 흡수하여 외부에다 열을 방출 케 하는 시설을 말한다.

딸기나 양란의 화아분화를 유도하거나 야생 육묘시 에는 상당한 수준의 저온환경을 필요로 하는 경우가 많다. 주로 야간의 냉방에 이용하거나 주간외의 차광 상 태에서 냉방시 이용된다. 열매체로 전용냉매를 사용 하는 방식과 냉매와 물을 함께 사용하는 방식이 있고 축열조를 사용하는 방식 등 그림과 같이 다양한 방식 을 구사할 수 있다. 또한 공기에 열을 배출하는 방식 과 물에 배출하는 방식이 있는데 열흡수체로 물을 이 용하는 형식이 작은 규모로 많은 열을 배출할 수 있 다. 보통 250평 온실에 40-60RT (1RT = 3,024kcal/hr) 의 규격이 필요하다.

3) 기타 식물 냉방

기타 작물의 재배에 이용되는 냉방 방식은 식물에 토여되는 양액을 냉방하는 양액냉방, 근권냉방 등이 있으며 근권냉방은 고온기의 식물 활력을 유지하고자 할 때 도는 화아의분화를 촉진하고자 할 때 근권부의 냉방이 유효하게 사용되는 경우가 많은데 파이프를 근권부 지하에 매설하여 지하수를 통과시키거나, 냉 각기를 설치하여 순환수를 냉각시키는 방식을 사용한다.

보통 직경 20mm 내외의 파이프를 토양이나 양액 재배 베드 밑부분에 매설하여 5-15°C의 물을 순환시 킨다. 이 때에는 지표를 차광재로 덮는 것이 효과적이 다. 사진 1에는 개략도와 설치된 예를 나타내었다.



〈사진 1. 근권냉방의 개념과 설치 예〉

4) 설치 사례

가. 건물 (비닐하우스) 개요

소재지 : 경기도 화성군 비봉면 구포2리 872-1번지,
방임농원

소유주 : 한택권

시설규모 : 지상 비닐하우스

- 연면적 : 1,512m², 458평

- 냉방면적 : 756m², 229평

용도 : 저온성 원예작물 재배

(작물의 성장 및 화아 축진을 통한 품질 향상과 농
가 소득증대를 위해 하절기에 실내온도를 25°C이하로
냉방함.)

냉방시간 : 10시간 이상 (오전 8시 ~ 오후 6시)

건축시기 : 1997년 3월 10일

- 총 8동(1개동 : 길이 27m × 넓이 7m × 높이
2.8m (중앙높이 4.5m))

- 냉방구역은 4개 동이며, 나란히 연결되어 있고 각
동 사이는 Open 상태임.

- 비냉방 구역과 냉방구역 사이에는 단열커튼이 설
치되어 있음.

- 작물은 성장대(지상에서 약 1M 높이)위에 놓여
있으며 상부에는 강제환풍기가 여러 개 설치되어 있
어 실내 공기 순환을 촉진시킨다.

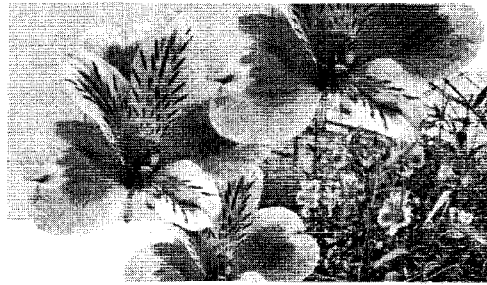
- 비닐하우스 외피복은 열화비닐 0.5t 2겹이며 실내
상부에는 개폐식 차광막이 설치되어 있다.

나. 재배작물 소개

팔레놉시스(Phalaenopsis)는 꽃의 모양이 나비모양과
같다 해서 일명 호접란이라고 부르며 원산지는 태국,
미얀마, 인도네시아, 오스트레일리아 등 열대, 아열대
의 고온다습한 지역에 40~50여종이 반다, 에리리데스
등과 같이 자생하고 있다.

주요 품종은 백색계의 아마빌리스와 핑크계의 시텔
리아라, 황색계의 린데니맨니를 기본으로 해서 육성
된 품종과 도리티스, 반다 등 속간교배에 의해 육성된
교배종 등 다양하다. 사진 2에는 호접란의 모습을 나
타내었다.

팔레놉시스는 CAM(Crassulacean Acid Metabolism)식물
로서 건조에 강하고 단경성 착생란이며 18-23°C의 온
도와 단일에서 화아가 축진되고 우리나라에서는 1~4
월경 개화된다. 주로 실생이나 조직배양에 의해 번식
되는데 국내에서는 실생묘가 많고 실생묘 중 2년생을
개화시켜 출하하고 있다. 잘 생육된 것은 개화기간이
3개월간으로 오래 가며 주로 분화로서 이용되는데 개
화기 조절 등에 의해 연중생산체계가 확립되면 신부
용 부케나, 꽃꽂이, 코사지용 등 절화로서 이용이 늘
어날 전망이다.



〈사진 2. 냉처리로 개화된 호접란〉

국내 팔레놉시스의 생산을 보면 절화재배는 거의
없고 분화재배로 연간 20만본 이상이 생산되고 있다.
그러나, 이웃 일본의 경우 30% 이상이 절화 재배이며
분화재배도 300만본 이상임을 감안할 때 국내 소비는
날로 증가할 것으로 전망된다. 팔레놉시스는 꽃이 아
름답고 개화기간이 길어 분화 및 절화용 식물로 유망
하며 재배 면적과 소비가 급격히 늘어나고 있는 실정
이다. 그러나 개화기간이 1~4월로 편중되어 있어 대
량재배시 가격하락 요인이 발생되고 중부이북지방에
서는 겨울철 꽃대관리 등 난방비 문제가 커서 경제성
이 떨어지고 있다. 따라서 꽃의 수요가 많고 소득이
높으며 난방비 문제가 거의 없는 시기인 9~11월 생
산작형 개발이 절실한 실정이다.

다. 열부하 상황

○ 시간 최대 부하 : 187,790 kcal/h = 62.1 RT

(산출조건) 1. 하절기 태양광에 의한 일사량 최대 800W/m²

2. 비닐하우스 피복 재질 : PVC 0.5mm, 2중 피복
3. 측면 환기창 완전 개방
4. 실내 강제 환기팬 가동(45회/시간당)
5. 내부 차광막 설치(백색 알루미늄 45% 차광재)
6. 외기 온도 조건은 기상대 자료 참조

(외기조건) 건구온도 33.2°C, 습구온도 26.9°C (표준기상조건)

(실내조건) 건구온도 25°C, 상대습도 70%

○ 일일 최대 부하 : 1,637,442 kcal/day

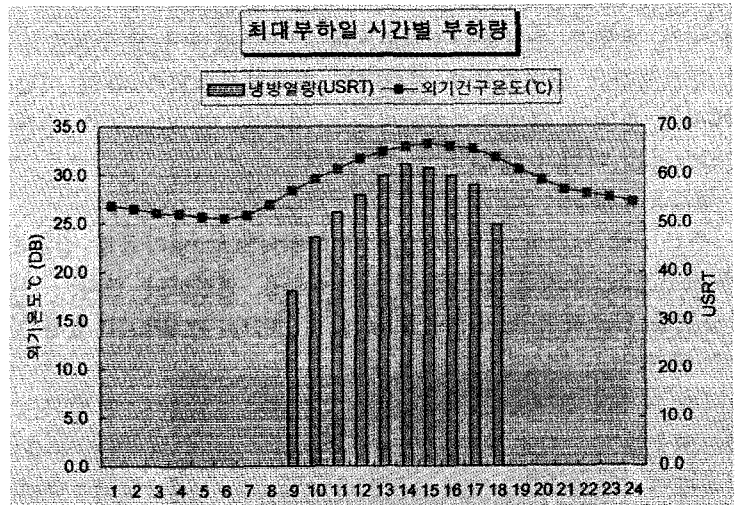
○ 최대 부하일 시간별 부하량

농사용 비닐하우스의 냉방 및 난방부하를 정략적이고 객관적으로 제시하기는 매우 어렵다. 그 이유는 일반건물과 같이 많은 계산자료가 아직까지 마련되지 않은 상태이고 특히 사용자의 기술수준 및 작물의 특성에 따라 일사량 차광정도와 외피복상태 내부환기시설 설치유무 등 여러 가지 조건이 달라지므로 열부하를 계산하기가 현재까지의 국내의 자료로서는 거의 불가능하다.

실제로 비닐하우스의 실내온도는 태양광에 직접 영향을 받으므로 실내강제환풍기 등 보조냉각수단이 없을 경우에는 외부온도보다 5~10°C까지 상승한다고 연구결과에 언급되어 있다. 이와 같이 여러 가지 변수가 내재되어 있으므로 객관적인 값을 제시하는 것은 매우 어렵다.

따라서, 본 자료에서의 냉방부하 상황은 농림부의 연구과제 결과 및 시설재배학 교재 등의 자료를 종합한 Data와 당사에서 98년에 설치한 냉동기를 이용한 직접냉방방식이 적용된 비닐하우스에서 실측한 결과를 종합하여 산출하였다. 일반건물의 경우에는 최대냉방부하(Peak Cooling Load)가 통상 평당 400~450 kcal/h 정도이나, 비닐하우스는 부분차광과 강제송풍 등을 하여도 식물의 광합성

을 위해 최소한의 빛을 통과시켜야 하므로 최대 부하량은 평당 약 820kcal/h 까지 요구되고 있다. 만약, 비닐하우스 내부에 부분차광 및 강제송풍시설이 없다면 엄청나게 큰 냉방능력이 요구된다. 따라서, 여기서 제시된 냉방부하량은 앞서 기술한 산출근거를 기준으로 한 것이다.



〈그림 5. 최대일의 하우스 냉방부하〉

라. 수축열 시스템 구성 장비 선정

항 목	장비 형식	용 량	수 량	비 고
냉동기	왕복동식	40 RT	1	
냉각탑	대항류형	40 RT	1	
수축열조	FRP 원형	274 RT-hr	1	
냉수 순환펌프	단단블류트	310lpm × 20m × 3HP	1	
자동제어공사	Local Panel		1	

(1) 수축열조 및 Diffuser

축열율은 축열식 냉방시스템의 경제성 문제에 직접적으로 연관되므로 최적의 축열율을 선택하여야 한다. 최적의 축열율을 선택하기 위해서는 축열율에 따른 초기 투자비의 변화와 이에 따른 전체 냉방기간 동안의 운전비용 등을 고려하여 비축열 방식 대비 총비용이 최소가 되는 점을 최적 축열율로 한다.

사용목적, 장소 등에 따라 전축열 방식이나 부분축열방식을 선택할 수 있다.

수축열 시스템은 빙축열시스템과 달리 냉동기 효율이 비축열 방식과 동일하므로 빙축열 시스템의 경제성 분석과는 다소 차이가 있다.

(가) 축열량

축열량은 일일 냉방부하에 축열율을 곱한 값이 된다.

$$QNs = Ld \times \alpha$$

Ld : 일일 최대 냉방부하 (kcal/Day)

α : 축열율(%)

따라서, 축열량은

$$QNs = 1,637,442 \text{ kcal/Day} \times 51\% \\ = 827,971 \text{ kcal/Day}$$

주간 생산 열량(주간 냉동기 운전분)은 일일 최대 냉방부하에서 총축열량을 제외한 값이 된다. 주간 냉동기 운전시간은 일반건물에 설치되는 빙축열 시스템과 달리 빌딩하우스에 설치되는 수축열 시스템에서는 한낮의 전락수요 최고시간을 회피할 수 있으므로 주간냉각능력을 주간 운전시간으로 나누는 것은 의미가 없다.

(나) 냉동기 냉각용량 선정

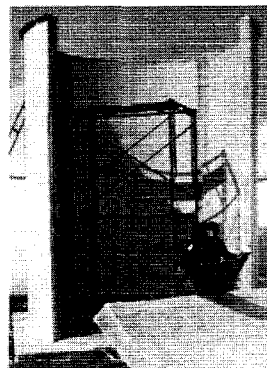
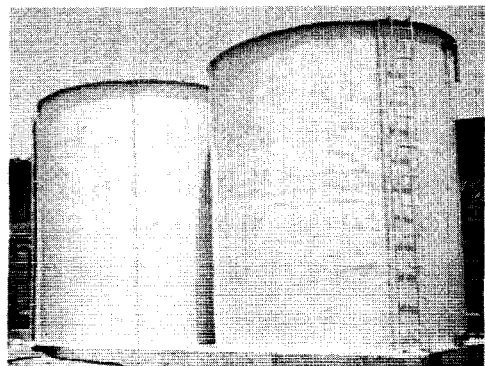
수축열 시스템은 주간 및 야간의 냉동기 효율이 동일하므로 냉각용량 선정시 효율을 무시하고 초기 투자비와 축열조의 크기를 감안하여 냉각용량을 선정해야 한다. 본 실증시험에서는 앞의 냉방능력 분담표를 참조하여 냉각용량을 40RT(120,000 kcal/h)로 선정한다.

(다) 수축열조 체적

수축열 시스템에서의 축열조 체적은 물의 현열량으로 이루어지며, 전체 시스템의 효율을 최대화하기 위해서는 수축열조의 상하부 온도차이를 최대화하는 것이 매우 중요하다. 즉 온도차이가 클수록 탱크용량이 작아져도 되며 온도차이가 작을 경우에는 탱크용량이 크게 되어 경제성이 떨어진다.

ASHRAE에서 수축열조의 상하부 온도차이를 $\Delta T = 10 \sim 12^\circ\text{C}$ 로 추천하고 있다. 따라서, 본 실증시험 수축열시스템에서는 냉수온도를 5°C 로 하고 온수(Return)온도를 15°C 로 하여 $\Delta T = 10^\circ\text{C}$ 로 선정하였다.

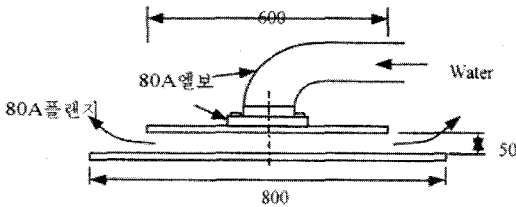
본 실증시험 수축열 시스템에서는 설치공간 및 초기시설비, 운영모드 등을 감안하여 45Ton 탱크 2조를 설치하기로 하였다. 사진 3에는 설치된 수축열조 및 제작과정의 사진을 나타내었다.



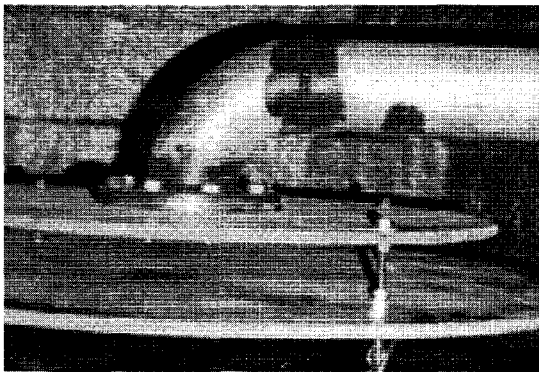
(라) Radial Disk Diffuser

수직 원통형 성층화(Stratification) 수축열 시스템에서 가장 중요한 Radial Disk형의 Diffuser 치수는 입, 출구 온도 및 유량, 탱크용량 등에 따라 완전히 달라진다.

본 실증시험에 설치되는 Diffuser의 형상 및 외형치수는 다음과 같고 상하부(입·출구) 형상은 동일하다. (주: 계산과정 및 관련이론은 전문 문헌을 참조하여야 한다.)



<그림 6. Diffuser 설계도>



<사진 4. 설치된 Diffuser 모습>

5. 수축열 시스템 운전 결과

1) 일별 측정점의 측정 결과

시스템을 축냉, 방냉 및 동시운전 등의 세 가지 모드를 운전하였으며 운전된 데이터를 HP Data

Acquisition 장비를 이용하여 온도, 유량 및 전력량에 대한 결과를 얻었다. 데이터의 취득은 30초간 수집한 것을 5분 간격으로 평균하였으며 온도는 J-type 열전대와 RTD, 유량은 초음파 유량계, 전력은 전력량계를 사용하여 취득하였다. 성능실험은 8월 5일 ~ 10일까지 6일에 걸쳐 실험을 수행하였으며 결과를 나타내면 다음과 같다.

그림 7~9는 8월 5일 저녁부터 8월 6일 새벽 동안 수행된 축냉 운전시의 특성을 보인 것으로서 각종 온도와 유량, 소모 전력 및 이들을 이용하여 계산한 축냉 열량 및 냉동기의 성적 계수 등의 시간에 따른 변화를 나타낸 것이다. 먼저 그림 7은 냉동기 증발기 입·출구에서의 물의 온도 변화를 나타낸 것으로 그림에서 보면 냉동기에서 약 5°C의 온도 차이가 발생되며, 전체적으로 15°C를 유지하던 축열조의 물은 2단계에 걸쳐 5°C 냉수로 변화하는 것을 명확하게 볼 수 있다. 그림 8은 수축열조 내 9개 지점의 시간에 따른 온도 변화를 보인 것으로 그림 7과 같이 2단계에 걸쳐 매우 확실하게 성층화를 이루면서 냉수로 변화함을 알 수 있다. 성층화된 상태에서 온수와 냉수의 온도 경계층 두께를 계산하면 약 35cm 정도가 되는 것을 알 수 있다. 높이 4.5m 탱크에서 경계층의 두께가 차지하는 비율은 10% 미만으로 나타나는 것을 알 수 있으며 축열조의 축열 효율이 매우 높다.

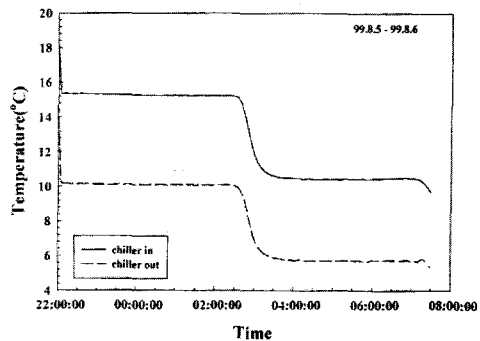
그림에서 9개 측정점에 대한 축냉 시작과 종료 시점의 평균 온도는 각각 15.17°C와 6.11°C로 나타났으며 이 온도를 이용하여 구한 축냉 열량(축열조 내 수량 × 물의 비열 × 온도차)은 815,400 kcal로 계산되었다. 냉동기의 소비 전력은 평균 32.1 kW 정도였으며 이를 제외한 펌프용 모터, 냉각탑 및 제어 장치의 소비 전력은 평균 약 5.8kW로 측정되었다. 축냉 시간 동안의 냉동기와 시스템 전체의 총 소비 전력량은 각각 251.9, 307.7kWh로 측정되었다. 그림 9는 측정 결과를 이용하여 구한 축냉 열량과 냉동기의 성적계수를 보인 것이다. 축냉 열량과 성적계수는 냉동기의 증발기로 유입되는 물의 온도가 낮아짐에 따라 조금 감소함을 볼 수 있으며, 5분 간격으로 기록된 이들 평균값은 각각 7,033kcal와 3.70으로 나타났다. 이 그림으로부터 구한 총 축냉 열량은 808,899kcal로서 수축열조 내 평균 온

도를 이용하여 구한 값과 약 6,500kcal 정도(상대 오차 0.8%)의 차이만을 보여 측정이 비교적 정확하게 이루어졌음을 알 수 있다.

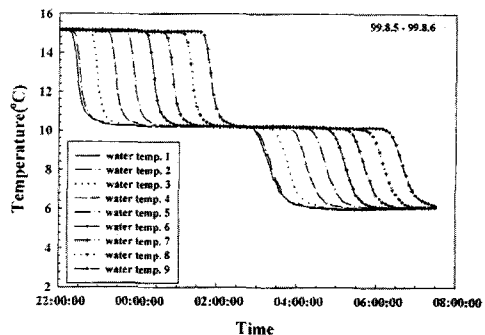
그림 10과 11은 8월 6일에 축열조 단독으로 방냉 운전한 경우의 측정 결과를 보인 것이다. 그림을 보면 축열조에 축냉된 냉열만을 이용하여 오후 8시 30분까지 냉방을 수행하였음을 알 수 있다. 그림 10은 수축열조 내 냉수의 온도 변화를 보인 것으로 실내 냉방 부하에 대응한 운전으로 냉수의온도가 크게는 2단계에서 작게는 4단계에 걸쳐 상승함을 알 수 있다. 이는 축열조에서 부하측으로 주는 열량이 오전에는 큰 온도차로 운전되므로 유량이 작아 축열조내의 물이 완전히 순환하는 데 걸리는 시간이 길며 오후를 들어서면서 축열조의 온도가 상승하여 같은 열량을 발생하기 위하여 유량이 증가하므로 나타나는 현상이다. 방냉 시작과 종료 시점의 수축열조 내 냉수 평균 온도는 각각 6.15°C와 15.12°C로서 이를 이용하여 구한 수축열조의 총 방냉 열량은 807,390kcal로 나타났다. 그림 11은 수축열조와 냉동기로부터 생산된 열량을 보인 것으로 부하에 따라 열량이 계속 변화함을 볼 수 있다. 이 그림으로부터 구한 전체 방열량은 829,563kcal로서 축열조 내 냉수의 온도 변화로 구한 값과 비교적 잘 일치(상대오차 2.7% 정도)함을 알 수 있다. 방냉시 하우스 내부의 온도는 거의 24°C 정도를 유지하였으며 방냉 말기에는 약간 상승하였다.

그림 12~14는 8월 7일에 최대 부하 상태(비닐하우스의 측면 일부를 개방)에서 냉동기와 축열조가 동시에 운전되는 상태에 대한 실험 결과를 보인 것이다. 한전의 기준에 의하여 실험을 실시하였으나 최대부하가 걸리지 않아 그림 12에서 보는 바와 같이 냉동기 온도차이가 부하 온도차이와 같이 나타나는 것을 알 수 있다. 그러나 오후 들어 부하가 커지면서 축열조에서 냉방부하를 사용한다. 축열조에 저장된 냉기를 완전히 사용하지 못한 것을 축열조 내부 온도로 알 수 있다. 그림 13은 수축열조 내 냉수의 온도 변화를 나타낸 것으로 최대 부하 상태에서 동시 운전을 할 경우에도 축냉시와 유사하게 냉수가 2단계에 걸쳐 모두 사용됨을 알 수 있다. 그림에서 방냉 시작 시점의 축열조내 평균 온도는 약 6.32°C였으며 약 10시간 동안

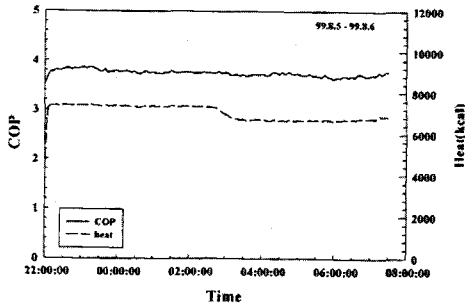
의 방냉 완료 시점에서의 수축열조 내 평균 온도는 12.46°C로 나타났다. 이 값과 앞의 시작 온도(6.32°C)를 이용하여 계산한 수축열조의 전체 방냉 열량은 55,060kcal로서 냉동기와 동시 운전으로 인해 수축열조 내의 냉열이 완전히 소진되지 않았음을 알 수 있다. 그림 14는 앞의 유량과 소요 동력을 이용하여 계산한 열량과 성적계수의 변화를 보인 것으로 냉동기에서 생산되는 열량은 거의 일정한 반면, 부하측의 열량은 부하에 따라 제어됨을 알 수 있다. 그림에서 부하측의 열량은 냉동기와 수축열조 열량의 합으로써 총 방냉 열량은 1,304,900 kcal로 나타났으며, 이 때 냉동기에서 생산된 총 열량은 763,163kcal로 나타났다. 따라서 수축열로부터 생산된 열량은 541,737kcal로서 수축열조 내 냉수 온도 변화로부터 구한 열량(552,060kcal)과 비교적 잘 일치함을 알 수 있다.



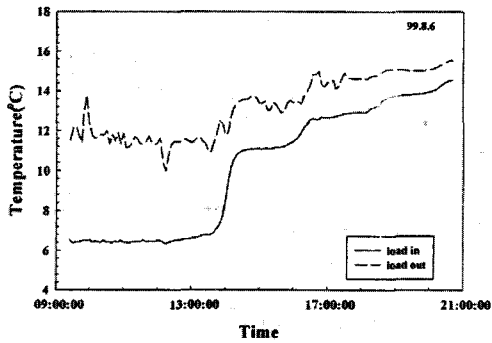
〈그림 7. 축냉시 냉동기 입·출구 온도〉



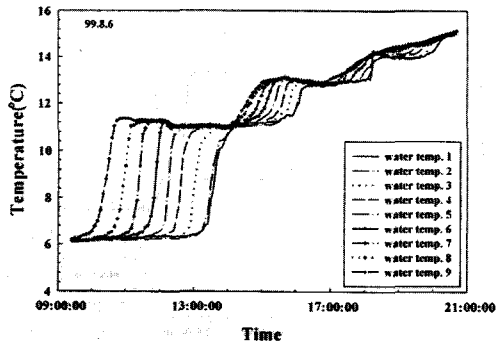
<그림 8. 축냉시 수축열조 내 온도 변화>



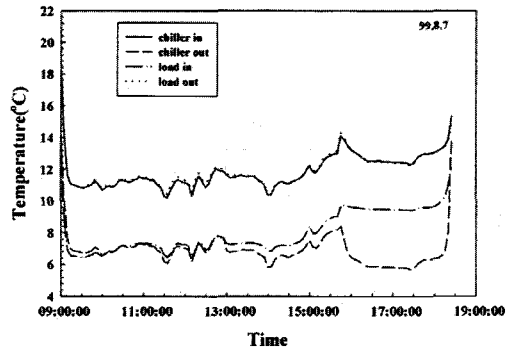
<그림 9. 축냉시 냉동기 성적계수 및 생산열량>



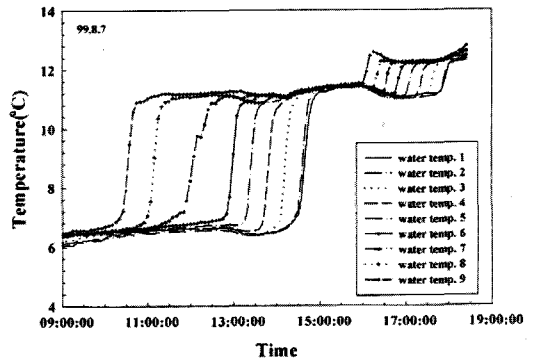
<그림 10. 축열조 방냉시 부하측 냉수 온도 변화>



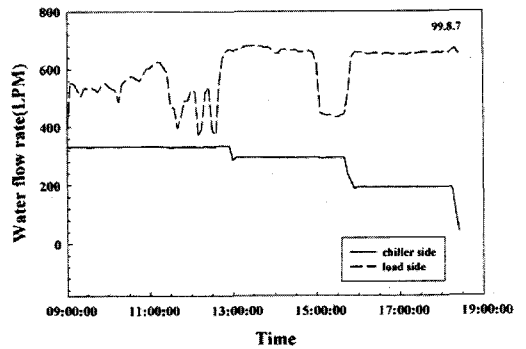
<그림 11. 방냉시 수축열조 내 온도 변화>



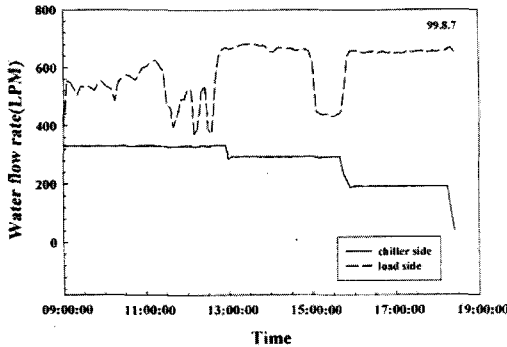
<그림 12. 동시 운전시 증발기 및 부하측 냉수 온도 변화>



<그림 13. 동시운전시 수축열조 내 온도 변화>



<그림 14. 동시운전시 냉수 유량 변화>



〈그림 15. 동시운전시 성적계수 및 열량 변화〉

3) 경제성 평가

한전에서 제시하고 있는 “축냉식 냉방시스템에 관한 실증시험 및 평가기준”에 나와 있는 경제성 평가 지표를 사용하여 경제성 평가를 수행하였다. 경제성 평가는 일반식의 경우에는 왕복동식 냉동기 70RT를 사용하는 것을 가정하여 시스템 투자비 및 운전비를 산출하였으며, 운전비는 일반 전기를 사용하는 것에 대하여 고려하였다. 농사용 전력을 이용할 경우에는 연간 약 1,000,000원의 운전비 차액이 발생하였다.

[단위 : 천원]

항 목	일 반 식	수축열 시스템	비 고
초기투자비	66,533	63,430	공기축 배관 및 설비 제외
한전무상지원금		13,152	
순수초기투자비	66,533	50,278	
연간운전비	7,531	1,697	운전비차액 : 5,834
투자비회수기간			

2) 성능 계산

위에서 얻어진 결과를 정리하면 다음과 같다.

구 분	한전 기준치	실증 시험치	결과
- 축열조 단열 효율	92 %	99.17 %	
- 축열조 축열 밀도	1.2 RTH/m ³	3.11 RTH/m ³	
- 총괄에너지 이용 효율	1,260 kcal/kWh	2,594 kcal/kWh	
- 냉동기 COP		약 3.7	

화훼용 수축열 냉방 시스템의 현장 시험 결과는 위 표에서 보는 바와 같이 한국전력 공사의 제반 기준을 충족하므로 심야전력을 이용하는 축냉식 냉방시스템 기기로서 적합하다고 사료된다.

또한 심야운전시 냉동기의 성적계수(COP) 측면에도 빙축열 시스템이나 일반식에 비하여 더 높게 나타났다. 즉 증발 온도가 일반 방식과 비슷하여 효율이 높았으며 일정 부하 운전과 심야의 낮은 외기온도에서 축냉이 이루어 지므로 전체적인 시스템 효율이 매우 높게 나타난 것이다.

한전의 무상지원금을 이용할 경우에는 초기 투자비가 실제 일반식에 비하여 작아지는 결과를 초래하여 경제성 평가에 대한 의미가 없었다. 이와 같이 초기 투자비가 수축열 시스템이 작은 이유는 냉동기의 크기를 반으로 줄였으며, 수축열조가 빙축열조와는 달리 공사금액이 크지 않기 때문으로 평가된다. 실제 농가에 설치할 경우 가장 큰 문제점은 용

량의 증가로 인하여 전기 설비가 커지며 이에 따른 관리자의 선임 문제가 더 크게 대두되고 있다. 또한 실제 농가에서 가장 많이 사용하고 있는 Package Type Air Conditioner에 비하면 초기 투자비 대비 약 3년 정도의 투자비 회수 기간이 걸리는 것으로 나타났다.

6. 결론

우리나라의 기상조건은 온도변화가 사계절에 따라 뚜렷하다. 따라서, 과거의 작물재배방법은 겨울철 난방을 통한 온도관리에만 주력해 왔고 여름철에는 고온에서도 성장 가능한 작물 위주로 재배하였으며 고온에서 재배가 불가능한 식물은 하절기에 재배를 하지 않는 수동적 재배방법이 주를 이루었다. 이는 상품 출하시기가 년 중 일정기간에 집중되어 가격이 폭락하고 반대로 재배가 불가능한 기간에는 폭등하는 현상을 초래하였다.

최근에는 일부 시설재배농가에서 냉방장치를 설치하여 하절기에도 작물을 재배하는 능동적 재배방법으로 변모하고 있는 추세이며 이것은 년 중 생산을 가능케 하여 농가소득 증대와 소비자 구매가격 하락으로 이어지고 있다.

현재 많은 시설재배농가에서 사용하고 있는 냉방장치들은 시설 초기투자비나 운전비 부분에서 경제성이 매우 떨어지는 문제점이 있다. 또한 국가적 차원에서 한 여름 전력피크를 줄이기 정부에서 실시하는 정책

에 정면으로 위배되는 일이다. 이러한 하우스의 냉방 시스템은 국내 농가의 실정으로 고가의 작물(버섯, 양란 등) 재배 등에 제한적으로 사용되고 있는 실정이다.

특히, 카네이션, 장미, 국화 등은 고가의 냉방장치를 설치하여 육묘 출하전에 저온으로 저장하는 일정한 용도로만 활용되고 있으며 장비 활용도가 매우 저조한 상태이다. 이는 장비의 수명 저하와 투자비 회수기간이 길어지는 등 많은 문제점을 가지고 있다. 하지만 이러한 문제점에도 불구하고 년 중 생산 체제 확보와 작물의 출하시기 조절 등을 위하여 이러한 냉방장치를 설치하지 않을 수 없는 실정이므로 이의 개선책이 절실히 요구되고 있다.

따라서, 일반 냉방방식이나 빙축열 시스템에 비하여 투자비 및 운전비에 대하여 경쟁력이 있는 본 수축열 시스템을 비닐하우스 냉방용으로 채택하도록 하여 국가적인 차원에서 하절기 피크전기사용량을 억제하여 에너지 절감을 도모하며 사용자에게는 초기 시설 투자비 및 운전경비를 대폭 절감할 수 있게 하는데 주목적이 있다. 수축열 시스템의 유일한 단점인 수축열 탱크의 대형화는 많은 설치공간을 필요로 하지만 주변에 유희지나 공장이나 일반 건물의 주차장을 축열조로 이용할 경우에는 도시와 달리 공간적인 문제점은 해결이 가능하다.

리임덕 현상

미국 대통령 선거에서 현직 대통령이 패배하는 경우 새 대통령이 취임할 때까지 약 3개월 동안 국정(國政)정책 상태를 기우뚱 거리며 걷는 오리에 비유해 이르는 말이다. 우리나라의 경우 '통치력 누수현상'이라고도 표현한다

NGO(Non-Governmental Organization)

비정부기구, 공동의 이해를 가진 사람들이 특정목적을 위해 자발적으로 조직한 비영리 시민단체, 정부의 정책을 감시하고 정보제공을 통해 시민의 정치 참여를 장려하며 인권, 환경, 보건, 성차별 등의 특정 이슈를 추구하기도 한다. 유엔기구와는 조직의 목적에 따라 다양한 관계에 있다.