

634.75
L293 표
U.2

폐광을 이용한 딸기야냉육묘 기술체계확립에 관한 연구

Establishment of technology for strawberry forcing seedling
using cool air from an abandoned coal mine

연구기관
강원대학교

농림부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “폐광을 이용한 딸기야생육묘 기술체계확립에 관한 연구” 과제의 최종보고서를 제출합니다.

1997. 1. 26

주관연구기관 : 강원대학교

총괄연구책임자 : 유근창

연구원 : 김일섭

강위수, 강화석

정천순, 이귀현

오재현, 윤형권

요 약 문

I. 제 목 :

폐광의 갱도내 냉기를 활용한 딸기야냉육묘 기술확립
Establishment of technology for strawberry forcing
seedling using cool air from an abandoned coal mine

II. 연구개발의 목적 및 중요성

현재 우리나라의 딸기재배는 3월부터 6월까지의 출하량이 대부분을 점유하는 보통 노지재배 및 반촉성재배 작형이 주류를 이루고 있으나, 촉성, 반촉성, 노지, 억제재배등 다양한 작형개발로 주년생산을 위한 작부체계 확립이 절실히 요구된다. 이를 위해서는 각 작형별 화아분화 촉진기술의 확립과 촉성재배를 위한 야냉육묘시설의 보급이 선결되어야 하나, 최근 일부 농가에서 이용하고 있는 야냉육묘 시설은 시설비나 냉방에 필요한 전기료등 시설 운용비의 과다로 농가 보급이 극히 부진한 실정으므로, 농가 현실에 맞는 省energy 야냉육묘시설의 개발이 시급한 실정이다.

석탄산업 합리화 조치 이후 강원도내에는 다수의 폐광이 산재해 있으나, 이러한 시설의 산업적 활용은 일부 양송이재배에 활용하는 이외에는 거의 활용되지 못하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 폐광의 갱도(坑道)내 온도가 년중 13℃ 전후로 딸기 야냉육묘에 최적 환경을 유지하고 있음에 착안하여, 갱도내 냉기 및

냉수의 효율적 활용 시스템 개발 및 개발된 시스템을 통한 딸기 야냉육묘 기술확립을 목적으로 사업을 추진하게 되었다.

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

본 연구는 강원도내에 산재되어 있는 폐광의 농업적 활용방안을 모색하기 위한 수단으로, 폐광의 갱도내 냉기 및 냉수를 효율적으로 활용하여 딸기의 야냉육묘시설을 개발하고, 개발된 시스템하에서 딸기 화아분화 촉진기술을 확립, 실용화를 모색하였다. 구체적인 수행내용 및 범위는 다음과 같다.

1. 폐광의 냉기, 냉수 활용 시스템 개발 및 시설내 온도조사
 - 현지조사 및 자료수집을 통한 활용 가능한 폐광 선정
 - 작업성, 경제성을 고려한 냉기활용 시스템 기본 설계도 작성 및 시공
 - 냉각시스템 고안 및 설치, 시설내 환경조사
2. 냉기활용 딸기 축성육묘 기술확립
 - 야냉단일 처리 기간이 품종간 묘소질, 화아분화, 수량 및 품질에 미치는 영향 구명
 - 야냉단일 처리 시기가 품종간 묘소질, 화아분화에 미치는 영향
 - 야냉단일처리시 교호처리가 화아분화에 미치는 영향 구명
 - 딸기 품종간 광합성 특성
 - CO₂ 시용에 의한 당, 유기산 함량의 변화

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구개발 결과

1) 냉기활용 기본모델 개발

석탄 합리화 조치이후 폐광이된 도내 150여개의 폐광을 대상으로 문헌 및 자료수집을 통해 1차로 활용이 가능한 13개의 폐광을 사업대상지로 선정하고, 수차에 걸친 현장방문 등을 통해 지리적 여건과 수질조사 및 갯내환경 등을 고려, 최종적으로 평창군 미탄면 창리에 소재하는 폐광을 사업대상지로 선정하였다. 야냉육묘 시설은 기술적, 경제적인 문제등을 고려하여 단동 파이프하우스 형태로 하고, 폐광의 지리적 요건을 고려, 갯구에서 50m정도 떨어진 폐석장 부지에 설치하였다. 갯내 냉기를 효율적으로 활용하기 위해 갯내 30m깊이 까지 송풍관을 인입하고, 갯구부터 육묘 시설까지의 냉기 유입은 직경 500mm의 주름관을 1m깊이로 지하 매설하였다. 또한 묘의 입.출고를 용이하게 하기 위해 호차와 레일을 이용한 이동 벤치형으로 시공하였다.

2) 냉방시스템 제작및 시설내 온도조사

시설내의 온도를 냉각시키기 위한 최적의 냉각방법을 고려하기 위해, radiator에 의한 냉각, 냉각 pad를 사용한 증발냉각, 냉기활용 모델등 여러 종류의 냉각방법의 효과를 검토하였다.

●소형 radiator에 의한 냉각

소형 radiator(소나타 자동차용: 60x45x2.5cm)의 앞면에 용량 50m³/min인

팬을 설치하였고, 유출되는 냉수(12-13℃)를 radiator내로 순환시켜 radiator표면을 지나는 공기를 냉각시킴으로써 radiator를 열교환기로 사용하였다. 주간의 외기 및 냉각 시설이 없는 옥묘실의 온도는 25 - 35℃ 범위에 있었으며, 야간에는 25 - 28℃ 범위에 있었다. 라디에이터를 통과하기 전 공기의 온도는 주간 및 야간에 약 22℃ 였으며, 라디에이터를 통과한 후 공기의 온도는 주간에 약 18 - 19℃ 야간에 약 17 - 18℃로 냉각되었다. 이러한 공기의 온도 감소는 라디에이터를 지나는 냉수에 의한 온실내 공기의 열손실에 기인하며 주간의 온실내 지상 0.3m 또는 2.3m에서 기온은 외기 온도에 비해 5 - 15℃ 정도 낮아진 21 - 23℃ 범위에 있었다.

● 냉각 Pad를 사용한 증발냉각

냉각 패드로부터 유출되는 냉수의 온도는 주간에 약 15℃ 야간에 약 13 - 14℃ 였다. 냉각 패드를 통과하기 전 공기의 온도는 주간 및 야간에 약 22℃ 였으며, 냉각 패드를 통과한 후 공기의 온도는 주간 및 야간에 약 17 - 18℃로 냉각되었다. 이러한 공기의 온도 감소는 냉각 패드를 지나는 냉수의 증발에 필요한 증발열을 온실 내 공기로부터 빼앗기 때문이며 주간의 온실내 지상 0.3m 또는 2.3m에서 기온은 외기 온도에 비해 5 - 10℃ 정도 낮아진 22 - 23℃ 범위에 있었다.

● 폐광의 냉기를 사용한 냉각

폐광으로 부터 유입되는 13-16℃의 냉기를 냉각duct를 사용하여 강제 대류시킨 결과 옥묘실내의 온도는 주간에 16-17℃, 야간에는 14-15℃로 유지되어 외부온도와의 차이가 5-10℃정도로, 야간에는 냉기에 의한 냉각 효과가 작은 것으로 나타났으며, 이러한 이유는 온실 내로 유입되는 냉기의 온도와 온실 내의 온도 차이가 작으므로 냉기에 의한 온실의 냉각 효

과가 저하되었기 때문인 것으로 사료되었다.

● 소형 Radiator, 냉기 및 냉각 pad를 동시에 사용한 냉각

온실 내의 지면 위 0.3, 2.3, 2.3m에서 측정된 온도는 약 20°C에서 거의 비슷한 온도 분포를 나타내고 있으며, 냉각장치에 의한 온실 내의 온도는 외기와 육묘실에 비교할 때 온도 5 - 8°C가 냉각되어졌다. 소형 radiator와 pad 출구에서의 공기의 온도는 약 17-18°C로 입구 온도 20-21°C와 비교할 때 약 3°C의 온도 저하 효과를 나타냈다. Pad와 Radiator 출구의 물의 온도는 13-15°C로 약 12.5°C의 입구 온도와 비교할 때 0.5-2.5°C의 물의 온도 상승에 해당하는 열을 온실 내의 공기로부터 빼앗으므로써 온실을 냉각시켰다.

● 대형 radiator를 사용한 냉각

지상으로부터 0.3m와 2.3m 위에서 측정된 온실 내부 공기의 온도는 각각 약 15 - 17°C와 14 - 15°C의 범위에 있었다. 이러한 대형 radiator 냉각장치를 사용은 주간외기 온도 또는 육묘실 온도와 비교할 때 온실 내부의 온도를 적어도 약 15°C 정도 냉각시키는 결과를 가져왔다. 또한 야간에는 온실의 온도가 외기에 비해 적어도 약 8°C 정도 냉각되어졌다. 온실 내에서 radiator로 유입되는 공기의 온도는 약 20°C 였으며, radiator를 통과한 후 공기의 온도는 약 15°C로 약 5°C 정도 냉각되어졌다.

이상의 결과, 온실의 냉각 효율면에서 여러 냉각 방법을 비교할 때 독립적으로 소형 라디에이터, 패드 냉각, 및 냉기를 사용한 냉각 방법은 거의 비슷한 결과를 가져왔으며, 여러 냉각 장치를 동시에 가동하였을 때는 독립적으로 개개의 냉각 장치를 가동할 때 보다 효율면에서 약간 좋았다.

그러나 대형 라디에이터를 독립적으로 사용할 때 온실의 냉각 효율은 다

른 방법에 비하여 상당히 높았으며, 주간 및 야간의 외기 온도가 23 - 37°C 범위에 있을 때 온실 내부 공기의 온도는 약 14 - 17°C 범위로 냉각되었다.

3) 냉기활용 딸기 축성육묘 기술 확립

● 야냉단일 처리 기간이 품종간 묘소질, 화아분화, 수량 및 품질에 미치는 영향

① 야냉단일 처리에 의한 화아분화, 묘소질의 변화

야냉단일 처리시기 및 기간에 따른 화아분화의 특성은 10일 처리에서 8월 11일이전에는 각 품종 공히 화아분화가 되지 않았으나, 8월 21일 이후 20-40%의 분화률을 보인 것은 자연상태의 야간 기온이 낮아지므로 인해 화아분화가 촉진된 것으로 사료되고, 15일 처리에서 '수홍'이 60-100%의 높은 분화률을 보여 야냉단일 처리에 민감한 반응을 보였으며, 20일 처리에서는 '도요노까'를 제외한 모든 품종이 80-100%의 높은 분화률을 보였다. 따라서 야냉단일 육묘시설 내에서의 화아분화 촉진을 위한 야냉처리 기간은 품종간에 다소 차이가 있지만 20일 전후가 적당한 것으로 사료된다.

② 야냉처리가 엽수와 crown에 미치는 영향

야냉처리후 엽수는 정식4주후부터 현저한 차이를 보였는데, 특히 정식 6주후부터 엽수의 증가는 빠르게 나타났다. 모든 품종에서 야냉처리에 따른 품종간 엽수의 차이는 통계적인 유의성은 없었지만, '보교조생', '수홍' 및 '여홍'은 야냉 3-4주 처리에서 대체적으로 엽수의 증가를 보였다.

반면에 야냉 5주 처리된 묘의 경우 사경 및 토경재배에서는 품종에 따른 커다란 차이가 나타났다. 이것은 엽수의 발생정도는 토심의 영향을 많이

받는 것으로 사료된다. 엽수와 crown의 크기는 처리기간에 비례증가하여 20일 처리후 각 품종별 엽수는 0.8-1.8배, crown의 크기는 0.1-0.6cm 증가하였다. '항미'가 엽수 0.8배, crown의 크기 0.1cm 증가로 생장이 늦은 반면 '도요노까'는 엽수 1.8배, crown의 크기는 0.6cm 증가로 처리기간중의 생육이 가장 빠르게 진전되었다.

③ 야냉단일 처리가 엽병장에 미치는 영향

엽병장의 차이는 정식후 6주부터 나타나기 시작하여 '보교조생', '수홍' 및 '여홍'은 야냉처리에서 엽병장의 신장을 촉진하여 무처리의 엽병장이 9.2cm에서 야냉 4주 처리에서는 최대 17.7cm까지 증가하였다. 고랭지 무처리도 야간온도가 낮아 엽병장 신장을 촉진한 것으로 사료되지만 야냉 3주 처리에서 엽병신장이 가장 좋아 야냉처리에서 엽병장의 분화가 진전된 결과를 보였다.

④ 야냉단일 처리가 엽장에 미치는 영향

엽장의 생장은 '보교조생' 및 '수홍'은 야냉 3주 이상 처리에서 다소 촉진되었으나, 반면에 '여홍'은 야냉처리에서 엽장의 생장이 다소의 감소를 보이며 이후에 사경재배 야냉 5주 처리에서 약간 증가하였다. 결국 엽장에서의 생장의 속도는 품종에 따라 커다란 차이가 있으며, 이러한 결과는 유전적인 특성이 기인된 것으로 사료된다.

⑤ 야냉단일 처리가 엽폭의 신장에 미치는 영향

정식후 생육이 진전될 때까지는 엽폭의 신장에는 야냉처리의 효과가 나타나지 않았다. '보교조생'의 경우에는 야냉처리 기간이 길어짐에 따라 엽폭이 다소 증가하는 경향을 보였지만 유의성은 없었다. 생육초기부터

엽의 생장은 엽수만 증가하는 것으로 판단된다. 야냉처리가 영양생장에 미치는 영향은 매우 복잡적이고 상호관계성이 있으며 어느 한가지 요인으로 설명할 수는 없지만 야간온도의 처리는 엽폭을 제외한 다른 성장에는 그 차이가 매우 크게 나타났다.

⑥ 야냉단일 처리가 개화에 미치는 영향

개화률은 정식 40일후에는 모든 처리구에서 개화가 시작되지만 야냉처리기간에 따라 개화률은 커다란 차이를 보였다. 평지 대조구에서는 각 품종 모두 15% 이하의 개화률을 보이는데 반해, 야냉처리구에서는 75% 이상의 개화률을 보였다. 정식 55일후는 무처리구의 개화률 30%에서 야냉처리구의 100%까지 개화가 가능하였고, 특히 정식 70일후는 평지 대조구가 66% 이하의 개화률을 보인 반면, 야냉처리구는 품종 및 처리기간에 관계없이 100% 개화률을 보였다. 품종별로는 '수홍', '여홍', '향미'순으로 개화률이 높았고, '도요노까' 품종은 비교적 다른 품종에 비해 개화가 지연되는 경향이였다. 따라서 본 야냉 시스템하에서의 처리기간은 20일 전후가 이상적이라고 사료된다.

야냉처리에 따른 화방 및 화뢰수에 관한 차이는 품종간에 차이는 있지만, 모든 품종에서 대조구에 비해 야냉처리가 화방수 및 화뢰수가 증가하였다. 품종별 처리효과는 '보교조생'에서 야냉 3주 처리에서 화방 3.8개, 화뢰12.3개, '여홍'은 야냉 4주 처리에서 화방 3.78개, 화뢰 14.9개로 가장 많았다. '수홍'의 화방수는 야냉 3주 처리에서 3.01개, 화뢰수는 5주 처리 토양재배에서 12.8개, '향미' 및 '도요노까'의 경우 화방수는 4주 처리에서 각각 3.7, 2.98개로 나타났고, 화뢰수는 3주 처리에서 18.01개와 12.43개로 가장 효과가 좋았다.

야냉단일 처리는 평균개화일수에도 영향을 미쳐 '보교조생'은 대조구에

비해 15일 전후, '수홍'은 7일에서 12일, '여홍'은 11일에서 14일, '향미'는 8일에서 15일, '도요노까'는 4일에서 10일 정도 단축시키는 효과를 얻었다.

⑦ 야냉단일 처리가 수량에 미치는 영향

처리구간에 따른 11월 및 12월에 총수량은 '보교조생'은 야냉 4주 처리구가 113개(2,143g), '수홍'은 5주 처리구에서 101개(2,507g), '여홍'은 4주 처리구에서 128개(2,412g), '향미'는 4주 처리에서 123개(2,286g)으로 가장 많았다. 전반적으로 평지의 대조구에 비해 각각 야냉처리구의 수량이 6-7배로 많았다.

● 야냉단일 처리시기가 화아분화에 미치는 영향

야냉단일 처리시기 및 기간에 따른 화아분화의 특성은 10일 처리에서 8월11일이전에는 각 품종 공히 화아분화가 되지 않았으나, 8월21일 이후 20-40%의 분화율을 보인 것은 자연상태의 야간 기온이 낮아지므로 인해 화아분화가 촉진된 것으로 사료되고, 15일 처리에서 '수홍'이 60-100%의 높은 분화율을 보여 야냉단일 처리에 민감한 반응을 보였으며, 20일 처리에서는 '도요노까'를 제외한 모든 품종이 80-100%의 높은 분화율을 보였다.

● 교호야냉처리 및 냉수처리가 화아분화, 생육에 미치는 영향

농가에서 5월 9일 여봉, 수홍, 도치노미을 분양받아 정식하여 지속적으로 런너를 받은 후 교호야냉처리 및 냉수처리를 실시하여 처리기간별 화아분화를 검경하였으며, 가장 적정한 교호처리 및 냉수처리기간을 확립하고자 본실험을 실시하였다.

● 딸기 품종간 광합성 특성 및 CO₂ 시용에 의한 당, 유기산 함량의 변화

딸기의 광합성 속도는 품종간에 차이가 없었고, 순광합성량은 20℃와 광도 800 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 광포화점이 나타났다. 저온(15℃)와 약광(500 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)하에서는 CO₂ 를 시용하면 무시용구 보다는 순광합성량이 높았고, 저온에서도 광도(800 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 이상)와 CO₂ 농도(1,600mg.L 이상)가 높으면 순광합성량은 2배 정도 증가하였다. 그리고 20℃에서는 800 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 광도와 900mg.L의 CO₂ 농도까지는 급속하게 증가하여 광합성이 약 60 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 으로 CO₂ 포화점이 나타났고, 25℃에서는 700mg.L의 농도에서 CO₂ 포화점을 나타냈다. 따라서 딸기재배에 필요한 최적 환경조건은 20℃와 CO₂ 는 900mg.L의 농도가 적당한 것으로 나타났다. 딸기의 품질에 미치는 당과 유기산의 함량은 무처리구에 비해 CO₂ 시용구에서 당은 증가하였고, 산은 감소하는 경향을 나타냈다. 특히 당류중 fructose와 glucose에는 변화가 없었지만, sucrose함량은 CO₂ 처리리의 하여 약 3배 정도 증가하였다. 그리고 무처리구에 비해 CO₂ 시용구에서 30-40%정도 증수효과가 있었다.

2. 연구결과 활용에 대한 건의

본 연구사업은 폐광의 냉기를 활용한 딸기의 야냉육묘 기술확립을 목적으로 수행되었기 때문에 그 활용범위는 다음과 같다.

- 딸기 야냉단일 육묘기술의 체계화--->균질묘 생산 및 축성묘 이용기술의 표준화 도모
- 자연에서 얻은 냉기를 육묘에 이용, 생산 코스트 절감에 의한 축성재배용 딸기묘의 대량생산 가능

- 폐광의 산업적 활용---> 탄광지역의 경기 활성화 및 이미지 쇄신에 일조
- 경제적인 냉방 시스템 개발을 통한 고품질 원예작물 생산---> 수출전략 상품화로 신규 수출시 장개척 및 수출확대
- 갯도내 냉기의 효율적 활용 시스템개발을 통한 야냉육묘시설 외에 저온저장고, 버섯재배시설, 땅드듬등의 연화재배시설등으로 활용 가능
- 개발된 냉방시스템을 여름철 온실의 고온대책을 위한 기초자료로 활용 가능
- 본 사업을 통해 체계화된 딸기야냉육묘 기술과 경제적 냉방시스템 모델을 지도사업 반영자료로 활용, 농가보급을 도모

여 백

S U M M A R Y

I . Title

Establishment of technology for strawberry forcing seedling using cool air from an abandoned coal mine

II . Objectives and Importance of the Research

Recently, most of strawberry culture type in Korea is field culture and semiforcing culture. However, it is urgent to develop several types of culture such as forcing-, semiforcing-, field-culture and retarding culture for establishing a year-around production system. For this reason, it is required to develop the induction of flower bud differentiation and provide nursery cooling seedling facilities. This study was conducted to develop the most effective cooling system using cool air water from an abandoned coal mine and to establish the technological system for hardening seedling of strawberry.

III . The content and scope of research

This study was conducted to evaluate potentials of abandoned coal mines located in Kangwon-Do province as an agricultural utilization,

to develop technology for strawberry forcing seedling using cool air and water from abandoned coal mine and to explore possibilities of practical utilization of this cooling system to accelerate strawberry flower bud differentiation under developed systems. The content and scope of research were as follows:

1. Development of cool air and water utilization system for abandoned coal mine and investigation of temperature in greenhouse built in this study.

- Selecting of useful abandoned coal mine by collection of informations and field survey.
- Framing of basic drawing of cool air utilization system by industrial and economical consideration, and execution.
- Designing of cooling system and construction, environmental investigations in greenhouse built in this study.

2. Establishment of strawberry forcing seedling technology by using cool air.

- Studying on effects of night cooling and short day treatments on seedling production, flower-bud differentiation, yield and qualities of strawberry.
- Investigating changes of sugars and organic acid content of strawberry cultivars by CO₂ enrichment.

IV. Research results and suggestions for utilization of systems developed.

1. Research results.

1) Development of basic model for cool air utilization.

In the first screen, 13 useful abandoned coal mines were selected by literature review and information survey among about 130 coal mines of Kangweon-Do abandoned after coal industrial rationalization arrangement and then of 13 abandoned coal mines was finally selected for this study through consideration of consideration of geological location and water quality and environmental conditions within mines. The selected mine was located in Changri, Mitanmeon, PychangGun, kangwon-Do, Korea. On the consideration of technological and economical problems of night cooling system, the single-pipe greenhouse was manufactured and constructed in abandoned coal filling lands at 50 meters away from the entrance of mine. The cooling duct for drawing effectively cool air from coal mine was extended up to 30 meters in depth of mine and the duct (diameter 50mm) was laid under the ground at the 1 meter deep from the entrance of mine to the night cooling greenhouse. The portable and moveable bench type on the rail was constructed for easy operation of treatments.

2) Manufacture of cooling air system and temperature measurements in greenhouse built.

Various cooling systems such as evaporative cooling system with cooling pad, heat exchanger using radiator were manufactured for searching for optimum cooling system to cool effectively greenhouse down.

● Cooling by small radiator.

The 50m³ /m capacity fan was built in front of small radiator (Sonata automobile 60×45×25cm) and the radiator in which cool water (12-13°C) recycling was used for heat exchanger to cool down the air temperature of greenhouse. The outside temperature of seedling greenhouse at daytime ranged from 25-35°C and 25-28°C at day and night whereas the air temperature after passing radiator was cooled down up to 17-18°C. These results indicated that the reduction of air temperature seemed to be due to the loss of air heat in greenhouse by cooling water passing radiator. The temperature in the 2.3 meter height of greenhouse ranged from 21-23°C, compared with the 28-38°C of the outside temperature.

● An evaporative cooling system with cooling pad.

The temperature of cool water drained from cooling pad was 15°C at day and 13-14°C at night. The air temperature before passing cooling pad was 22°C at day and night while the air temperature after passing cooling pad was cooled down to 17-18°C at day and night. The

reduction of air temperature was caused by the loss of evaporative heat required of cool water passing cooling pad. The air temperature at 0.3 and 2.3 meter height of greenhouse was 22-23°C, resulted in 5-10°C decrease, compared with the outside temperature.

● **Cooling by using cool air of abandoned mine.**

The temperature of seedling greenhouse after forcibly passing 13-16°C cool air inflowed from abandoned mine through cooling duct was 16-17°C at day and 14-15°C at night. The 5-10°C lower temperature than the outside temperature was obtained and the effect of cooling at night was a little decreased, compared with the daytime which suggested that there was little difference between the temperature of inflowed cool air and the temperature of greenhouse at night.

● **Cooling by combined cooling system with small radiator, cool air and cooling pad.**

The temperature measured at the 0.3, 2.3 meter height of the ground of greenhouse showed the similar distribution of around 20°C and the temperature of greenhouse by cooling system was 5-8°C lower than the outside temperature. The air temperature at the small radiator and pad outlet was about 17-18°C, resulted in obtaining 3°C lower temperature than the inlet temperature. The water temperature of temperature. As a result, the greenhouse was cooled down by taking heat(0.5-2.5°C required for increasing water temperature) from air of greenhouse.

● **Cooling by using large radiator.**

The air temperature of inside greenhouse measured at 0.3 and 2.3 meter height from the ground ranged from 15-17°C to 14-15°C. The cooling system with large radiator showed effects cooling down the temperature of inside greenhouse as much as 15°C, compared with the outside temperature of daytime and the temperature of seedling greenhouse. The greenhouse temperature at night was cooled down to 8°C. The air temperature inflow to radiator of the greenhouse was around 20°C and the air temperature after passing radiator was 15°C, getting 5°C reduction. On the consideration of the effective cooling system of greenhouse, it can be said that individual cooling systems such as cooling pad, small radiator, and cooling duct had the same effect on cooling greenhouse. The combined cooling system had little better cooling effect than individual cooling system except for the large radiator. The most effective cooling system for cooling of greenhouse was obtained by using a large radiator as the heat exchanger. By using a large radiator, temperature in greenhouse was dropped into about 15°C when outside temperature was 23-24°C during summer night.

3) Establishment of technology of strawberry forcing seedling using cool air.

Effects of the duration of night cooling and short day treatment on seedling production, flower-bud differentiation, yield and quality of different strawberry cultivars.

① Changes of flower-bud differentiation and seeding production by the night cooling and short day treatment.

Characteristics of flower-bud differentiation based on the night cooling and short day treatment showed that all cultivars treated for 10 days before August, 11 did not induce flowering whereas the flower induction rate in the treatment of August 21 was 20-40% due to the lower night temperature under condition of high land. Suhong getting 10-100% flower bud differentiation in 15 day treatment showed the most sensitive response to the night cooling treatment and all cultivars in the 20 day treatment except for Toyonka had about as much as 80-100% flower bud differentiation. The most effective duration of night cooling treatment for accelerating flower induction in the strawberry seedling production under the night cooling and short day was before and behind 20 days even though there were differences among cultivars.

② Effects of the night cooling treatment on leaf number and crown diameter

Leaf number of the night cooling treatment began to show significant difference 4 weeks after planting and rapidly increased especially 6 weeks after planting. Although there was no significant differences in all cultivars by the night cooling condition.. Bokujosang, Suhong and Yehong increased leaf numbers in 3-4 weeks of treatment of night cooling. However significant difference in the sand and soil cultivation of seedling treated for 5 weeks of night

cooling treatment were observed. These results indicated that the soil depth seemed to affect the occurrence of leaf number. Leaf number and crown diameter increased as the treatment duration increased. Leaf number of each cultivars 20 days after treatments increased 0.8-1.8 times and crown diameter increased up to 0.1-0.6cm. The slowest growth response occurred in Hyaomi of which leaf numbers and crown diameter increased 0.8 times and 0.1 cm while the most rapid growth appeared in Toyonoka.

③ Effects of the night cooling and short day treatment on petiole length.

Difference in petiole length began to be observed 6 weeks after planting. Bokyujosang, Suhong and Yaohong in the treatment of night cooling promoted the growth of petiole length up to 17cm, compared with 9.2cm of petiole length untreated. Even though the promotion of petiole length was observed in the control due to the low temperature of high land, the treatment of 3 weeks night cooling showed the most effective petiole length. It was proven that the night cooling treatment was much better than the control.

④ Effects of the night cooling and short day treatment on leaf length

The growth of leaf length in Bokyujosang and Suhong was a little increased more than 3 weeks after treatment of night cooling while reduction pattern of leaf length growth in Yaehong was shown and the

increasing Pattern was observed at least 5 weeks treatment of sand cultivation. As a result, the growth speed in leaf length seemed to depend on cultivars which showed that genetical characteristics influenced the growth of leaf length of all cultivars.

⑤ Effects of the night cooling and short day treatment on elongation of leaf width.

Effects of the night cooling and short day treatment did not appear until the growth a little progressed after planting. Bokujosang showed the increasing tendency of leaf width as the duration of treatment increased but there was no significant difference. Only the increasement of leaf number under the night cooling treatment was found from the early growth stage. Effects of the night cooling treatment on vegetative growth seemed to be very complex and interrelated and these effects were more apparent in all parts of growth except for that of leaf width.

⑥ Effects of the night cooling and short day treatment on flower.

When observed 40 days after planting, flowering began, but flower frequency was different, depending on the duration of night cooling treatment Flowering frequency was below 65% in the contron while 100% was found in plants under night cooling treatment rogardlcss of types of cultivars and the treatment duration. The flowering frequency was tin the order of Suhong, Yaeong, Hyaemi and the flowering of Toyonoka cultivar was delayed for considering other

frequency was in the order of Suhong, Yaeong, Hyaemi and the flowering of Toyonoka cultivar was delayed for considering other cultivars. According to the results in this study, the optimum duration of night cooling treatment for inducing flower-bud differentiation was found to be about 20 days. Numbers of flower buds and flower cluster were higher in treated plants, compared with the control. Numbers of flower bud and flower cluster of Bokujosang treated for 3 weeks were 12.3 and 3.8/plant and in case of Yaehong 14.9 and 3.78/plant counted. Numbers of flower bud of Hyami and Toyonoka treated for 4 weeks were 3.7 and 2.98 and numbers of flower cluster of above cultivars were 18.01 and 12.43/plant. The night cooling and short day treatment affected the average days to flowering. As a result, the average days to flowering in all treated cultivars took much less. The cooling treatment was contributed to effects shortening 11-14 days to flowering, compared with the control.

⑦ Effects of the night cooling and short day treatment on yield.

The total yield harvested on November and December in the all treatment levels 4 weeks after night cooling was in the order of 128 pieces/plant(2,143g) of Yaehong, 123 pieces/plant(2,286g) of Hyaemi, 113 pieces/plant(2,143g) of Bokujosang and 101 pieces/plant(2,507g) of Toyonoka. The total yield of treatment of night cooling increased 6-7 times, compared with the control.

Characteristics of flower-bud differentiation based on the night cooling and short day treatment showed that all cultivars treated for 10 days before August 11 did not induce flower bud differentiation whereas the flower bud differentiation rate when treated on August 21 was 20-40% due to the lower night temperature under nature conditions of high land. Suhong showing 10-100% flower bud differentiation in 15 days treatment seemed to be most sensitive to the night cooling treatment and all cultivars in the 20day treatment except for Toyonoka had about as much as 80-100% flower bud differentiation.

● Effects of cool water and alternate treatment on the flower-bud differentiation.

Yu-bong, Su-hong, and Dochinomi gifted from farms, were planted on May 9. Then runner were continually obtained from the three cultivars. Simultaneously, alternate and cold water treatments were performed to investigate the flower bud differentiation, dependent on each treatment duration. Through these treatments, the most effective alternate and cold water treatment periods were established.

● Characteristics of photosynthesis and changes of sugars and organic acid content by CO₂ enrichment in various strawberry cultivars.

There was no difference in photosynthetic rate among cultivars and

20°C and $800 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ led to light saturation point. CO_2 enrichment under low temperature (15°C) and weak light reduced net photosynthesis rate, but CO_2 enrichment was considered effective. Light intensity (more than $800 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) and CO_2 concentration (more than $1,600\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) increased doubly net photosynthesis rate. Light intensity ($800 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) and CO_2 concentration ($900\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) at 20°C rapidly increased photosynthesis rate ($60 \mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) and led to CO_2 saturation point. CO_2 saturation point occurred in $700\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ concentration at 25°C. 20°C and CO_2 enrichment ($900\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) was considered as optimum conditions appropriate for strawberry cultivation. CO_2 enrichment increased sugar content but decreased organic acid content. Especially there was little difference in fructose and glucose among sugars but sucrose content increased about three times. As a result, CO_2 enrichment increased yield up to 30-40% compared with control.

2. Suggestions for utilization of research results.

Since this study was carried out to establish technology of strawberry night cooling seedling, using cool air from an abandoned coal mine, the utilization scope is follows:

◎ The world outlook of strawberry night cooling seedling technology: contribution to the standard of utilization technology of forcing and uniform seedling production.

- ④ Mass production of strawberry forcing seedling by reducing the production cost with cool air and water from abandoned coal mine.

- ④ Industrial utilization of abandoned coal mine: contribution to activating economy of abandoned coal mine area and innovating image of abandoned coal mine area.

- ④ Production of high quality of horticultural crops by developing economical cooling system led to exploring export market and expanding export of strawberry.

- ④ Possibilities to use cooling system as a cool temperature storage house, mushroom cultivation facilities and softening. cultivation facilities by developing the effective utilization technology of cool air from abandoned coal mine.

- ④ Supply of the useful and basic informations for cooling greenhouse during summer time by cooling system.

- ④ Offer of technology of strawberry night cooling system and economical cool system model developed in this study as sources of farmer's guidance.

C O N T E N T S

Chapter I. Introduction

Chapter II. Construction of cooling system and investigation of room temperature

Section 1. Introduction

Section 2. Material and Methods

Section 3. Results and Discussion

Section 4. Abstracts

Chapter III. Establishment of technology for strawberry forcing seedling using cool air

Section 1. Introduction

Section 2. Effects of night cooling and short day treatment on the development in strawberry

1. Material and Methods

2. Results and Discussion

A) Effects of night cooling and short day treatment on the development

B) Effects of night cooling and short day treatment on the flower

C) Effects of night cooling and short day treatment on the fruit quality and yield

D) Effects of night cooling and short day treatment

on the flower-bud differentiation

3. Abstracts

Section 3. Growth characteristic of cool water and alternate treatment in strawberry cultivars

1. Material and Methods

2. Results and Discussion

A) Effects of alternate treatment on the flower-bud differentiation and growth

B) Effects of cool water treatment on the flower-bud differentiation and growth

3. Abstracts

Chapter IV. Analysis of photosynthetic rate and fruit composition in strawberry cultivars

1. Introduction

2. Material and Methods

3. Results and Discussion

A) Effects of photosynthetic rate and chlorophyll content on the treatment of night cooling and short day in strawberry cultivars

B) Effects of CO₂ enrichment on the fruit yield and content of sugar and organic acid in the fruit juice of strawberry

4. Abstracts

Reference

목 차

요약문

Summary

Contents

목차

표목차

그림목차

제1장. 서론

제2장. 냉방시스템 제작 및 실내온도 조사

제1절. 서론

제2절. 재료 및 방법

제3절. 결과 및 고찰

제4절. 요약

제3장. 냉기활용한 딸기 축성육묘 기술 확립

제1절. 서론

제2절. 야냉처리기간이 딸기의 생육에 미치는 영향

1. 재료 및 방법

2. 결과 및 고찰

1) 야냉처리기간이 생육에 미치는 영향

- 2) 야냉처리기간이 개화에 미치는 영향
- 3) 야냉처리기간이 수량 및 품질에 미치는 영향
- 4) 야냉처리시기가 화아분화에 미치는 영향

3. 요약

제3절. 품종별 교호처리 및 냉수처리에 의한 생육특성

1. 재료 및 방법

2. 결과 및 고찰

- 1) 교호처리가 화아분화 및 생육에 미치는 영향
- 2) 냉수처리가 화아분화 및 생육에 미치는 영향

3. 요약

제4장. 품종간 광합성 특성 및 CO₂ 시용에 의한 당, 유기산 함량의 변화

1. 서론

2. 재료 및 방법

3. 결과 및 고찰

- 1) 품종별 엽록소 함량 및 광합성 특성
- 2) CO₂ 시용에 의한 과실내 당 및 유기산 함량 변화

4. 요약

참고문헌

표 차례

〈표 1〉 폐광 용출수의 수질분석 결과.....	44
〈표 2〉 온실 지붕 재료의 따른 총열전달계수 값.....	45
〈표 3〉 온실의 공기 교환.....	46
〈표 4〉 열교환기 유용도.....	48
〈표 5〉 극간 환기율의 값.....	60
〈표 6〉 지표전열 부하.....	61
〈표 7〉 냉방시의 열관류율.....	62
〈표 8〉 야냉처리기간이 딸기의 엽수에 미치는 영향.....	110
〈표 9〉 야냉처리기간이 딸기의 crown에 미치는 영향.....	110
〈표 10〉 야냉처리기간이 딸기의 엽병장에 미치는 영향.....	111
〈표 11〉 야냉처리기간이 딸기의 엽장에 미치는 영향.....	112
〈표 12〉 야냉처리기간이 딸기의 엽폭에 미치는 영향.....	113
〈표 13〉 야냉처리기간이 딸기의 개화율에 미치는 영향.....	114
〈표 14〉 야냉처리기간이 딸기의 화방과 화퇴수에 미치는 영향.....	115
〈표 15〉 야냉처리기간이 딸기의 평균개화일수에 미치는 영향.....	116
〈표 16〉 야냉처리기간이 딸기의 수량에 미치는 영향.....	117
〈표 17〉 야냉처리기간이 딸기의 수확시기와 품질에 미치는 영향.....	118
〈표 18〉 야냉처리기간 및 시기가 화아분화에 미치는 영향.....	119
〈표 19〉 교호처리기간이 딸기의 crown에 미치는 영향.....	123
〈표 20〉 교호처리기간이 딸기의 엽병장에 미치는 영향.....	124
〈표 21〉 교호처리기간이 딸기의 엽폭에 미치는 영향.....	125
〈표 22〉 교호처리기간이 딸기의 엽장에 미치는 영향.....	126
〈표 23〉 교호처리기간이 딸기의 엽수에 미치는 영향.....	127
〈표 24〉 교호처리기간이 딸기의 출퇴율에 미치는 영향.....	128

<표 25> 냉수처리기간이 딸기의 생육에 미치는 영향.....	131
<표 26> 냉수처리기간이 딸기의 출퇴율에 미치는 영향.....	131
<표 27> 야냉처리기간이 딸기의 광합성율과 엽록소 함량에 미치는 영향.....	139
<표 28> CO ₂ 시용이 과실내 당 및 유기산 함량에 미치는 영향.....	140

그림 차례

〈그림 1〉 냉방시 온실내의 열수지.....	50
〈그림 2〉 일반적인 온실에서의 각 냉방부하의 측정예.....	51
〈그림 3〉 온실외면과 지표면에 단열재를 설치한 온실의 각부하측정예.....	54
〈그림 4〉 냉방개시후의 온실내 기온의 변화.....	57
〈그림 5〉 1차년도 온실의 정면도.....	69
〈그림 6〉 2차년도 온실의 정면도.....	70
〈그림 7〉 3차년도 온실의 정면도.....	71
〈그림 8〉 온도측정용 소프트웨어 Daqview Ver. 5.0.....	72
〈그림 9〉 온도측정용 소프트웨어(C.I. Engineering).....	72
〈그림 10〉 열전대의 작동범위.....	73
〈그림 11〉 소형 radiator 냉각장치.....	75
〈그림 12〉 소형 radiator에 의한 야냉실내 공기흐름의 단면도.....	76
〈그림 13〉 냉각 패드를 사용한 증발 냉각장치.....	77
〈그림 14〉 냉각 패드 고정상자 및 냉수 확산장치.....	78
〈그림 15〉 냉기 송풍장치.....	80
〈그림 16〉 냉기송풍 방법의 개략도.....	81
〈그림 17〉 냉수배출관 내부로부터의 냉기 유입관.....	82
〈그림 18〉 냉수배출관 냉기유입장치의 연결모습.....	82
〈그림 19〉 대형 radiator 냉각장치.....	83
〈그림 20〉 소형 radiator 가동시 야냉실내의 온도변화 (AM 9:00-PM 10:00)	87
〈그림 21〉 소형 radiator 가동시 야냉실내의 온도변화 (PM 10:00-AM 9:25)	88

<그림 22> 패드를 사용한 증발 냉각장치의 가동시 야냉실내의 온도변화 (AM 11:40-PM 7:10).....	89
<그림 23> 패드를 사용한 증발 냉각장치의 가동시 야냉실내의 온도변화 (PM 7:13-AM 11:25).....	90
<그림 24> 냉기 송풍 장치의 가동동안 야냉실내의 온도변화 (PM 1:35-AM 9:05).....	93
<그림 25> Hybrid systema 가동동안 야냉실내의 온도변화 (AM 11:25-PM 5:22).....	94
<그림 26> Hybrid systema 가동동안 야냉실내의 온도변화 (PM 5:35-AM 3:35).....	95
<그림 27> 대형 radiator의 가동시 야냉실내의 온도변화 (PM 2:15-PM 9:00).....	96
<그림 28> 대형 radiator의 가동시 야냉실내의 온도변화 (PM 9:30-AM 7:30).....	97
<그림 29> 대형 radiator의 가동시 야냉실내의 온도변화 (AM 7:50-PM 6:00).....	98
<그림 30> 대형 radiator의 가동시 야냉실내의 온도변화 (PM 6:05- AM 8:00).....	99
<그림 31> 폐광의 냉수배출관으로부터 유입되는 냉기를 이용한 냉각장치 의 가동시 야냉실내의 온도변화 (AM 09:00-PM 1:10).....	100
<그림 32> 폐광의 냉수배출관으로부터 유입되는 냉기를 이용한 냉각장치 의 가동시 야냉실내의 온도변화 (PM 1:24- PM 4:28).....	101
<그림 33> 폐광의 냉수배출관으로부터 유입되는 냉기를 이용한 냉각장치 의 가동시 야냉실내의 온도변화(PM 6:02- AM 2:22).....	102

〈그림 34〉 폐광의 냉수배출관으로부터 유입되는 냉기를 이용한 냉각장치 의 가동시 야냉실내의 온도변화 (AM 10:46-PM 3:46).....	103
〈그림 35〉 야냉단일처리에 의한 화아분화의 출현.....	120
〈그림 36〉 냉수처리 모습.....	122
〈그림 37〉 교호처리에 의한 화아분화의 출현.....	129
〈그림 38〉 냉수처리에 의한 화아분화의 출현.....	132
〈그림 39〉 광도 및 온도가 딸기의 광합성에 미치는 영향.....	141
〈그림 40〉 광도 및 이산화탄소 농도가 딸기의 광합성에 미치는 영향 (온도 15℃고정).....	142
〈그림 41〉 광도 및 이산화탄소 농도가 딸기의 광합성에 미치는 영향 (온도 20℃고정).....	143
〈그림 42〉 광도 및 이산화탄소 농도가 딸기의 광합성에 미치는 영향 (온도 25℃고정).....	144

제 1 장 서 론

딸기는 맛과 향기가 독특하고 비타민 C의 함량이 높고 각종 유기산이 풍부하여 영양면에서도 중요한 작물이다. 딸기는 과채류중에서 저온에 비교적 강하여 우리나라 남부지방에서 동기에 시설재배가 용이하여 농가의 고소득작물로 재배면적이 매년 확대되고 있으며, 품종도 다양하여 고온기 재배에 적합한 품종을 육성하여 한여름에도 재배가 가능하게 되었다.

현재 우리나라의 딸기재배는 3월부터 6월까지 출하량의 대부분을 점유하는 노지재배 및 반축성재배 작형이 주류를 이루고 있는데, 축성 및 억제재배등 다양한 작형개발로 주년생산을 위한 작부체계의 확립이 절실히 요구된다. 최근 딸기의 생산동향은 10월부터 2월사이에 생산량이 점차 증가하는 경향이고 3월부터 9월사이에는 감소하는 추세이다. 이러한 원인은 고온기의 딸기의 재배 생리적 특성과 신선도유지 및 수송이 어려운 딸기의 상품특성으로 지적되고 있다.

딸기의 가격은 11월부터 12월까지 가장높고 1월 이후는 점차 떨어지는 경향이고, 산지에서 수확기를 당기는 것이 수익증가와 직결되므로 조기출하 재배에 중점을 두고 있다. 딸기는 저온·단일성식물으로써 온도 13℃와 일장이 8시간의 조건에서 화아가 형성되는데 축성재배에서는 야냉육묘를 해서 재배하고 있다.

축성재배 작형은 화아분화 및 발달의 기술적 측면과 휴면현상을 인위적으로 제어하여 산지의 입지조건에 맞는 품종과 재배법이 도입되어야 하겠다. 그러나 축성재배를 위한 야냉육묘시설의 보급이 되어 있지 않고, 최근 일부농가에서 이용하고 있는 야냉육묘시설은 시설비나 냉방에 필요한 전기료등 시설운영비의 과다로 농가보급이 극히 부진하다. 그래서 농

가현실에 맞는 에너지 절약형 야냉육묘시설의 개발이 시급한 실정이다.

현재 강원도내에 폐광이 산재하고 있는데 폐광의 갱도내 온도는 연중 13℃ 전후로 딸기의 야냉육묘에 천혜적인 환경조건을 갖추고 있다. 따라서 갱도내 냉기 및 냉수를 이용한 증발냉각장치, 열교환기로서 radiator 및 냉각 duct에 의한 야냉육묘 시스템을 개발하여 이용한다면 자연자원 이용 및 에너지 절약차원에서 매우 유리하다고 생각된다. 또한 축성재배 시 생육 및 출하기는 온도가 저하되는 9월~3월까지로 비닐하우스 및 온실재배가 필수적이므로 시설내의 환경이 중요하게 대두된다.

식물의 광합성 속도는 온도, 광도, 수분 및 CO₂ 농도에 의해 주로 영향을 받는다. 특히 시설재배에서의 CO₂ 시용은 생산성, 품질향상 및 에너지 등에 많은 영향을 미치고 있음이 인정되어 시설재배 면적의 증가와 비례하여 CO₂를 시비하여 재배하는 농가가 매년증가하고 있다. 현재 많이 이용하고 있는 CO₂ 발생원은 액화탄산가스나 LPG가스를 많이 사용하고 있는데 작목별, 품종별 적정 시용농도의 인식이 부족하여 재배농가에서 CO₂ 오용으로 생산비증가, 생리장해 및 환경오염을 증가시키는 결과를 초래하고 있다.

본 실험은 폐광을 이용한 저비용 야냉육묘 시스템을 통한 딸기 야냉육묘 기술확립, 저온단일처리에 의한 생리적 특성과 상이한 온도, 광도 및 CO₂ 농도를 달리해서 광합성을 측정하여 시설재배시 환경조건을 제시하고자 실시하였다.

제 2 장 냉방시스템 제작 및 실내온도 조사

제1절. 서 론

우리 나라는 UR협상 타결에 따른 농산물 수입 개방에 대응하기 위하여 농업의 국제 경쟁력 강화가 시급하며, 농업의 각 분야에서는 이에 대한 적절한 해결책들이 모색되고 있는 실정이다. 또한 석탄 산업의 퇴조로 인하여 현재 강원도내 탄전지역에는 많은 폐광들이 산재하고 있으며, 이에 따른 탄전지역의 급속한 경제적 쇠퇴가 사회적인 문제로 대두되고 있는 실정이므로 지역의 균형 발전을 위한 폐광의 산업적 활용이 적극적으로 검토되어야 한다.

온실의 설비는 기술 및 자본 집약형으로서 우리 나라 농업 실정에 적합한 국제 경쟁력이 있는 농업 분야의 하나이다. 최근 국민소득의 증가와 생활수준의 향상에 따른 신선한 채소 및 과일에 대한 수요가 급증하고 있으며, 온실을 이용한 시설농업은 크게 확대될 전망이다. 에너지 비용은 채소 및 과일의 생산을 위한 온실을 운용하는데 있어서 노동비 이외의 중요한 생산비로 고려된다. 그러므로 폐광으로부터 손쉽게 얻을 수 있는 냉기 또는 냉수를 온실의 환경조절을 위해 직접적으로 이용할 수 있다면, 온실을 냉방시키는데 있어 요구되는 에너지의 양을 극소화시킬 수 있을 뿐만 아니라 상업적인 온실 운용을 위한 잠재력을 증가시켜 탄전지역에 대한 경제적인 이점을 증가시킬 수 있을 것이다.

완전 냉방장치인 냉방기의 설치는 가동비용이 크므로 경제성이 큰 문제로 고려되고 있다. 그러나 폐광의 냉기를 이용한 온실의 냉방은 매우 경제적인 뿐 아니라 식물 생육에 필요한 온도로 온실의 기온을 낮추기 위한 냉기의 이용은 환기장치와 같은 기계적인 수단을 이용한 냉방에 비해 월

싌 효율적이다. 현재 많이 응용되고 있는 간이 온실 냉방 방법은 냉각 pad를 사용하는 증발 냉각장치, 미스트 냉각장치, 지중 및 지상 열교환기와 자연 환기팬에 의한 냉각법이 널리 응용되고 있다. 증발 냉각법은 실내에 들어오는 공기에 수분을 함유시켜 실내의 기화열을 빼앗아 온실의 온도를 냉각시키는 방식으로 미국의 습도가 낮은 중남부 지역에서 많이 사용되고 있다. 미스트 냉각 방법은 온실벽에 설치한 분무실의 물을 고압의 노즐에 의해 50-100 μ 정도의 가는 안개로 변화시켜 온실내에 불어넣어 공기로부터 기화열을 빼앗아 온실을 냉각시키는 방법이다. 이러한 미스트 냉각 시스템은 증발 냉각방법과 거의 비슷한 성능을 갖는 것으로 알려져 있다.

온실 또는 축사의 냉방을 위한 지중 열교환기의 사용에 대한 연구는 오래 전부터 시행되어져 왔다. 이러한 열교환기에 있어서 열전달율을 증가시킬 수 있는 몇 가지 방법이 응용되고 있다. 즉, 열전달 면적을 크게 하여 전체적인 열전달량을 증가시키거나 또는 유체의 속도를 빠르게 하여 열전달 계수의 크기를 증가시키는 것이다. 온실 및 축사를 냉방하는데 있어 지중 열교환기뿐만 아니라 지상 열교환기에 대한 연구가 현재 활발히 진행되고 있다. 이러한 열교환기에 대한 연구는 주로 공기-공기 및 공기-액체 열교환장치에 대해 수행되고 있다. 지상 열교환기로서 자동차용 radiator의 이용은 높은 열전달 효과를 얻을 수 있으므로 온실의 냉각장치로 유용하게 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

야간의 저온에서 딸기의 화아분화를 촉진시키기 위한 고랭지 육묘는 오래 전부터 일본에서 널리 행해져 오고 있다. 그러나 최근 이러한 고랭지 재배 기술을 대체하기 위해 인위적 냉방시설을 갖춘 온실을 이용하여 화아분화를 촉진시키는 방법이 널리 연구되고 있다. 따라서 강원도에 산재해 있는 폐광으로부터 유출되는 냉기와 냉수를 이용한 야냉 시스템은 온

실에서의 딸기 화아분화를 촉진시키는데 있어 유용하게 사용될 수 있을 것으로 사료된다. 따라서 본 연구에서는 폐광의 강도내 온도가 년중 13℃ 전후로 딸기 야냉육묘에 최적환경을 유지하고 있음에 착안하여, 강도내 냉기의 효율적 활용 시스템 개발 및 개발된 시스템을 통한 딸기 야냉육묘 기술확립을 목적으로 한 시스템 개발을 하고자 하였다.

1. 문헌 연구

유럽의 네덜란드, 영국, 미국의 클리블랜드, 오스틴 등지의 온실 시대는 여름철에 매우 서늘하므로 냉방할 필요성이 없으나, 우리나라의 여름철 기후는 매우 더우므로 식물의 생육에 적절한 온실의 냉방은 필수적이다. 그러나 완전 냉방장치인 냉방기의 설치는 가동 비용이 크므로 경제성이 큰 문제로 고려되고 있다. 미국의 탄전 지대에서는 오래 전부터 폐광의 냉기를 이용한 여름철 온실의 냉방에 대한 연구가 행해졌다.

미국탄전지대의 깊은 지하에서의 온도는 약 11.1℃ - 13.9℃의 범위에 있으며(Todd 1959), 이런 온도의 범위는 상추, 카네이션, 화단식물과 같은 많은 상업적인 온실작물에 있어서는 적절한 온도범위에 있음을 알 수 있다.(Edmond 외 2인, 1964).

Walker 외 3인(1976)은 폐광의 냉기를 이용한 온실의 냉방은 매우 경제적인 것 뿐 아니라, 식물 생육에 필요한 온도로 온실의 기온을 낮추기 위한 냉기의 이용은 기계적인 수단을 이용한 환기장치에 비해 훨씬 효율적이었음을 보였다. 현재 많이 응용되고 있는 간이 온실 냉방 방법은 pad를 사용하는 기화 냉각장치, 미스트 냉각장치, 지중에 관을 사용하는 열교환기, radiator를 사용한 열교환기 및 자연 환기팬에 의한 냉각법이 널리 응용되고 있다. 또한 Peterson 외 3인(1975)은 폐광으로부터 유입되는 공

기가 식물생장에 영향을 끼치는 어떠한 유해가스도 발견되지 않았음을 보고하였다.

기화 냉각(pad 냉각) 방법은 실내에 들어오는 공기에 수분을 함유시켜 실내의 기화열을 빼앗아, 온실의 온도를 냉각시키는 방식으로 미국의 습도가 낮은 중남부 지역에서 많이 사용되고 있다. Buffington(1983)은 Florida에서의 연구 기간인 10년 동안 대기 온도가 6595시간 29.4℃를 초과했으나, 75% 효율의 기화 냉각 장치를 설비한 시설에 있어는 단지 2시간만 29.4℃를 초과했음을 보였다. 기화 냉각 방법에 사용되는 냉각 pad는 사용 재질에 따라 여러 종류로 구분되며, 현재 한국에서는 수입에 의존하는 실정이다. 냉각 pad로 가장 많이 쓰이고 있는 재료는 섬유 종이이며, 이러한 섬유 종이로된 pad의 사용은 효과적으로 증발냉각을 촉진시키며 온실, 축사, 계사, 저장 시설 및 산업용 창고등 여러 시설에 유용하게 이용되고 있다. 이러한 상업적 구입이 가능한 냉각 pad의 성능은 pad를 지나는 공기의 속도 또는 압력과 큰 상관관계가 있으며, Koca등 2인(1991)은 냉각 pad에 대한 성능 평가 실험을 수행하였다. 그들의 실험 결과는 상업적으로 구입 가능한 45°- 45°의 냉각 pad는 보통의 공기속도하에서 73 - 90%였고, 15cm(6 in.)의 45°- 45° pad는 15cm(6in.)의 30°- 30° pad 보다 효율면에서 3-10% 높았음을 보였다. 열로 인한 동물의 스트레스는 축사에 냉각장치를 설치함으로써 감소될 수 있는 것으로 알려져 있다 (Nelson et al., 1972).

기화냉각 방법은 온실의 냉각뿐만 아니라 여름 동안 무더위에 의한 동물의 스트레스를 줄이기 위해 축사의 냉각 시스템에 널리 적용되고 있다.

축사에서 기화냉각과 적하냉각(dripping cooling)의 냉각 효과 비교에 대한 실험이 Harp와 Huhnke(1991)에 의해 행해졌으며, 동물의 호흡율은 냉각 방법에 따라 큰 차이를 보였으나 동물의 무게 변화는 냉각 방법에

따라 차이를 보이지 않았다. 또한 McNeill et al. (1993)은 축사에서 의 기화냉각 장치의 효율에 대한 실험을 수행하였으며, 그들은 기화냉각 방법은 축사의 기온을 낮추는데 매우 효과적이었음을 보였다.

미스트 냉각 방법은 온실 벽에 설치한 분무실의 물을 고압의 노즐에 의해 50-100 μ 정도의 가는 안개를 온실 속에 불어넣어 공기로부터 기화열을 빼앗아 온실을 냉각시키는 방법이다. 미스트 냉각 시스템을 갖춘 환경적 제어가 가능한 시설에 대한 분석이 Bottcher와 3인(1991)에 의해 행해졌었다. 그러나, 미스트 냉각에 있어 미스트되어지는 물은 외부의 습구온도에서 보다 오히려 시설 내부의 알수 없는 습구온도에서 이루어지기 때문에 문제의 해석은 상당히 복잡하다. 그러므로 Gattes 외 2인(1991)은 미스트 시스템의 분석을 비선형 수치 최적화 문제로 다루었다. 냉각방법에 대한 성능을 비교함으로써 Gates와 4인(1991)은 미스트 냉각 시스템이 기화 냉각 방법과 거의 비슷한 성능을 지녔음을 보였다. 이러한 낮은 가격의 미스트 시스템은 기화 냉각 시스템의 대안으로 온실뿐만 아니라 축사의 냉각을 위한 냉각 장치로 널리 쓰여지고 있다.

온실 또는 축사의 냉방을 위한 지중 열 교환기의 사용에 대한 연구는 오래 전부터 시행되어져 왔으며, Scott와 2인(1965)은 지중 열 교환기로서 지중관(earth tube)의 성능에 대한 연구를 하였고 또한 상업용으로 축사에서 의 이용 가능성을 분석하였다. 그러나 그들은 그 당시 상업적으로 지중관의 사용은 적당치 못한 것으로 결론을 내렸다. Walker와 Buxton(1977)은 온실의 난방 또는 냉방을 위한 지중관 사용의 유용성을 보고했었다. 그들의 연구 결과에 따르면 여름철에 이러한 지중관의 사용은 미국의 어느 지역이든지 온실 내의 높은 온도를 감소시키는데 효과적이었다. 또한 Ewen와 2인(1980)은 여름철 온실을 가동하는데 있어 단열에 의한 온도 상승의 억제 효과가 지상의 냉각된 공기를 직접 사용하므로써

얻어질 수 있음을 발견했다. Cramer와 Kammel(1980)은 돼지 축사를 냉방시키는데 있어 공기를 방습 및 냉각시키기 위해 지중에 공기관을 사용함으로써 배기 형태의 환기 장치를 설비하였으며, 그들은 이러한 시스템이 유입 공기를 냉각시키는데 있어 매우 효과적이며, 내부의 환경을 조절하는데 있어 적절한 냉각 효과를 주었음을 보고하였다. Puri(1986)는 냉방을 위한 지중관의 수행 능력을 유한요소법을 사용함으로써 지중관의 여러 작동 변수를 이론적으로 조사하였다.

밀폐된 공간의 에너지 및 질량 평형에 있어서 내부와 외부 공기의 환기에 기인한 에너지 및 질량 전달은 매우 중요한 역할을 한다. 또한 내부의 공기 온도, 상대습도 및 공기의 구성 성분과 같은 물리적 특성은 환기에 의해 직접적으로 영향을 받는다. 온실의 환기는 항상 내부 공기의 방습과 냉각을 목적으로 하고 있으며, 에어컨디셔너는 이러한 목적을 성취하기 위해 고안되어진 장치다. 또한 내부 열에너지의 전달을 위해 잘 고안된 장치는 열 교환기이다. 열 전달 표면을 통해 냉기는 더운 공기에 의해 방출된 열을 흡수하며, 열전달 표면적의 면적당 온기에 의해 방출된 열량은 열전달 계수에 달려 있다. 열교환기에 있어서 열전달율을 증가시키기 위한 몇 가지 기술이 있다. 즉, 열전달 면적이 크면 클수록 전체적인 열전달량은 증가하고 또한 열전달 계수의 크기는 항상 바람의 속도에 따라 다르고 난류는 이러한 열전달 계수의 크기를 증가시킨다.

온실 및 축사의 냉방을 위한 지중의 열 교환기뿐만 아니라 지상에 설치된 열 교환기에 대한 연구가 현재 활발히 진행되고 있다. 열 교환기에 대한 연구는 주로 공기-공기 열 교환 장치에 대해 수행되어지고 있으나, 몇몇 연구자들은 공기-액체 열 교환 장치에 대한 연구를 수행하고 있다.

Bergstron과 Walker(1987)는 열 교환기 입구와 출구에서 공기의 혼합에 의한 문제점을 줄이고 또한 열 교환 표면적을 피하기 위해 공기와 액체가

직접적으로 접촉하게 하기 위해 열 전달 매체로 기름을 사용하였다. 그들의 실험 결과에 의하면 열 회수 효율은 0.34-0.5 범위였으며, 시스템 수행 능력은 기름의 유량에는 무관계한 것으로 나타났다. Moysey와 Wilson(1980)은 상업적으로 냉각 탑으로서 알려진 낮은 충전탑과 분사실에 용제를 사용하여 만족스런 열전달율을 얻었지만, 특히 공기와 액체의 열용량비가 2를 초과하지 않는다면 공기와 액체가 평행 상태로 흐르는 곳에서 열전달이 효과적임을 알았다. Overhutt와 Fehr(1987)은 높은 열 전달 효과를 주는 저 가격의 자동차용 라디에이터에 대한 냉각장치로서의 이용 가능성에 대한 연구를 수행하였으며, 그들은 열 손실의 40-50%가 공기-액체-공기 열교환 장치를 사용함으로써 다시 회복될 수 있음을 발견했다. Clanton와 2인(1990)은 액체-공기 열교환기에 대한 연구를 수행하였으며, 입구의 공기와 액체의 온도 및 공기와 액체의 유량율의 함수로서 열 교환기의 성능, 열전달 계수, 열전달율을 예측하기 위한 함수 관계를 얻었다.

2. 현지조사를 통한 폐광선정

석탄합리화 조치 이후 폐광이된 도내 150여개의 폐광을 대상으로 문헌 및 자료수집등을 통해 1차로 13개의 폐광을 사업대상지로 선정하였다. 그 후 수차에 걸친 현장방문을 통해 지리적여건과 갭내환경등을 고려 최종적으로 평창군 미탄면의 창리에 소재하는 폐광을 최종 사업대상자로 선정하였다. 최종선정지의 수질조사 결과 pH는 7.7, EC는 0.107dS/m로서 일본 양액재배 수질기준인 pH5-8, EC는 0.3dS/m과 비교할 때 재배용수로 사용해도 별문제가 없을 것으로 생각되었다. Fe를 제외한 무기이온의 함량도 대부분 양액재배 원수 수질기준에 적합한 것으로 판단되었다. 다만 Fe의

함량은 3.44ppm으로서 네덜란드 원수 수질기준인 0.56 - 0.87ppm에 비해 상당히 높은 함량을 나타내 재배용수로 사용시는 Fe의 과다가 제한요소로 작용할 우려성이 제기되었다. 특히, 물속의 Fe은 $Fe(HCO_3)$ 로서 공기와 접촉하면 침전되므로 용출수를 활용한 냉방시스템 운용시 노즐이나 라디에이터 내부를 막히게 하는 원인이 되므로 이에 대한 대책을 강구해야 되리라 사료된다. 또한 대조구로 비교한 삼척탄좌 및 동원탄좌의 갱내 용출수는 특히 SO_4 및 Fe함량이 수질기준치보다 SO_4 는 100배 이상, Fe는 20배정도 높아 재배용수로 사용은 부적당한 것으로 나타났다(표 1).

표 1. 폐광 용출수의 수질분석 결과

채취장소	pH	E.C (mg m)	P (mg /l)	Ext. Cation (me/100g)			ppm(mg/l)									
				K	Ca	Mg	NO_3 -N	SO_4	Cl	Pb	Zn	Cu	Cr	Na	Fe	
미탄 폐광 용출수	7.7	0.10 7	0.03	0.60	9.21	2.17	1.08	11.2	7.8	0.33	0.03	ND	ND	0.18	3.44	
삼척 탄좌 용출수	6.5	-	-	-	-	-	-	428. 5	-	ND	0.53	0.03	0.01	-	16.3 0	
동원 탄좌 용출수	3.7	-	-	-	-	-	-	593. 0	-	ND	0.95	0.08	0.01	-	24.5 0	

3. 온실내의 열전달 이론

가. 개 요

1) 전도 열전달에 의한 온실로부터의 열손실

$$Q_c = UA(T_i - T_o)$$

여기서, Q_c =총 전도 열전달(W)

U =열관류 계수($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

A =열전달 면적(m^2)

T_i =내부 온도(℃)

T_o =외부 온도(℃)

2) 공기 침투에 의한 열손실

$$Q_i = 0.5VN(T_i - T_o)$$

여기서, Q_i =공기 침투에 의한 열손실(W)

V =온실 체적(m^3)

N =시간당 공기 교환 횟수

T_i =내부 온도(℃)

T_o =외부 온도(℃)

표 2. 온실의 지붕 재료에 따른 총열전달계수 값

온실 지붕의 자재	열관류 계수 (U) ($W/m^2.K$)
한겹의 유리 (밀폐)	6.3
한겹의 플라스틱	6.8
한겹의 섬유유리	6.8
이중 플라스틱, 폴리에틸렌	4.0
강화된 이중벽 아크릴	3.0
이중 유리 (밀폐)	3.0
유리 위에 덧붙인 이중 플라스틱	3.0
한겹의 유리 + 차광막	3.0
이중 플라스틱 + 차광막	2.5
이중 플라스틱 + 폴리스틸렌 펠릿*	0.3

이중 플라스틱 유리 사이에 끼워진 130mm의 폴리스틸렌 펠렛

표 3. 온실의 공기 교환

시 설	시간당 공기 교환의 수
시설, 유리 또는 섬유유리	0.75 - 1.5*
신 시설, 이중의 플라스틱 필름	0.5 - 1.0
구 시설, 유리 (양호한 상태)	1 - 2
구 시설, 유리 (불량한 상태)	2 - 4

*낮은 속도의 바람 또는 바람으로부터의 보호는 공기 교환율을 감소시킬 수 있다.

3) 총열손실량

$$Q = Q_c + Q_I$$

여기서, Q = 총열손실(W)

4) 폐광의 냉기로 부터의 공기의 공급량 결정

$$Q_v = \frac{60nV}{v} (h_n - h_i)$$

여기서, Q_v = 냉기로부터 열손실(W)

n = 분당 환기율

v = 냉기중 수분의 체적(m^3)

h_n = 온실로 유입되는 냉기의 엔탈피(J/Kg·K)

h_i = 온실을 떠나는 냉기의 엔탈피(J/Kg·K)

V = 온실의 체적(m^3)

온실로부터의 총열손실 = 냉기에 의해 공급되는 총열량

온실 지붕의 자재	열관류 계수 (U) (W/m ² .K)
한겹의 유리 (밀폐)	6.3
한겹의 플라스틱	6.8
한겹의 섬유유리	6.8
이중 플라스틱, 폴리에틸렌	4.0
강화된 이중벽 아크릴	3.0
이중 유리 (밀폐)	3.0
유리 위에 덧붙인 이중 플라스틱	3.0
한겹의 유리 + 차광막	3.0
이중 플라스틱 + 차광막	2.5
이중 플라스틱 + 폴리스틸렌 펠렛*	0.3

$$Q = Q_v$$

$$\text{즉, } UA(T_i - T_o) + 0.5VN(T_i - T_o) = \frac{60nV}{v}(h_a - h_i)$$

5) 열교환기의 열전달 해석

$$Q = U_m A_t F \Delta T_m$$

여기서, Q=총열전달률(W)

U_m =평균 열관류 계수(m²℃/W)

A_t =총열전달면적(m²)

F=수정 계수

ΔT_m =대수평균온도차(LMTD, ℃)

$$\Delta T_m(\text{LMTD}) = \{(T_{h1} - T_{c2}) - (T_{h1} - T_{c1})\} / \{1 \ln(T_{h2} - T_{c2}) / (T_{h1} - T_{c1})\}$$

여기서, T=온도(℃)

h=뜨거운 면

c=차가운 면

1=입구

2=출구

6) 열교환기의 성능결정

$$\epsilon = (T_{u1} - T_{h2}) / (T_{h1} - T_{c1}) \text{ when } C_h = C_{\min}$$

$$\epsilon = (T_{c2} - T_{c1}) / (T_{h1} - T_{c1}) \text{ when } C_c = C_{\min}$$

여기서, ϵ = 열교환기의 유용도

C_h = 뜨거운 유체의 열용량(W/℃)

C_c = 차가운 유체의 열용량(W/℃)

C_{\min} = C_h 와 C_c 중 작은 쪽

표 4. 열교환기 유용도, $NTU = UA/C_{\min}$, $C = C_{\min}/C_{\max}$

흐름 배열	ϵ 공식
평행류	$\epsilon = \{ 1 - \exp[-(NTU)*(1+C)] \} / (1+C)$
대향류	$\epsilon = \{ 1 - \exp[-(NTU)*(1-C)] \} / \{ 1 - C*\exp[-(NTU)*(1-C)] \}$
직교류: 양쪽 유체 비혼합, 근사식이다.	$\epsilon = 1 - \exp\{1/C*(NTU)^{0.22} * [\exp(-C*(NTU)^{0.78}) - 1]\}$

7) 야간냉방의 이론적 분석

가) 냉방시 온실의 열수지

야간냉방시의 온실의 열의 열수지는 그림1에 다음과 같이 나타내었다.
야간의 냉방부하는 다음과 같은 식으로 표시할 수 있다.

$$Q_c = Q_t + Q_{ven} + Q_{soil} + Q_{air} + Q_{st} \dots\dots\dots(1)$$

여기서 좌변의 Q_c 는 야간냉방부하로 온실의 설정온도를 유지하기 위해서 냉각장치가 제거하지 않으면 안되는 열량이다. 우변의 Q_t 는 관류열부하이고, 피복재를 통과해오는 열량이다. Q_{ven} 은 극간환기전열부하로 피복재의 이음새나 환기창, 출입구의 틈새를 통해 온실내로 들어오는 열량이다. Q_{soil} 은 지표전열부하로 온실내의 床面아래의 토양으로부터 온실내로 들어오는 열량이다. Q_{air} 는 온실내 공기가 열량변화에 따른 부하로 온실내 공기의 기온저하나 습도저하에 따른(공기의 엔탈피변화가 있는경우)부하이다. Q_{st} 는 온실구조재나 작물등의 온도변화에 따른 부하이다. 윗식의 Q_{air} 와 Q_{st} 는 특히 기온변화에 관한 부하이고 온실이 냉방설정온도에 도달한 후에는 기온변화가 작기 때문에 전체적인 냉방부하에 비해 Q_{air} 와 Q_{st} 의 부하는 약 5%이내로 무시할 정도이다. 따라서 야간의 온실냉방에 있어 Q_t , Q_{ven} 및 Q_{soil} 가 주요한 부하이다

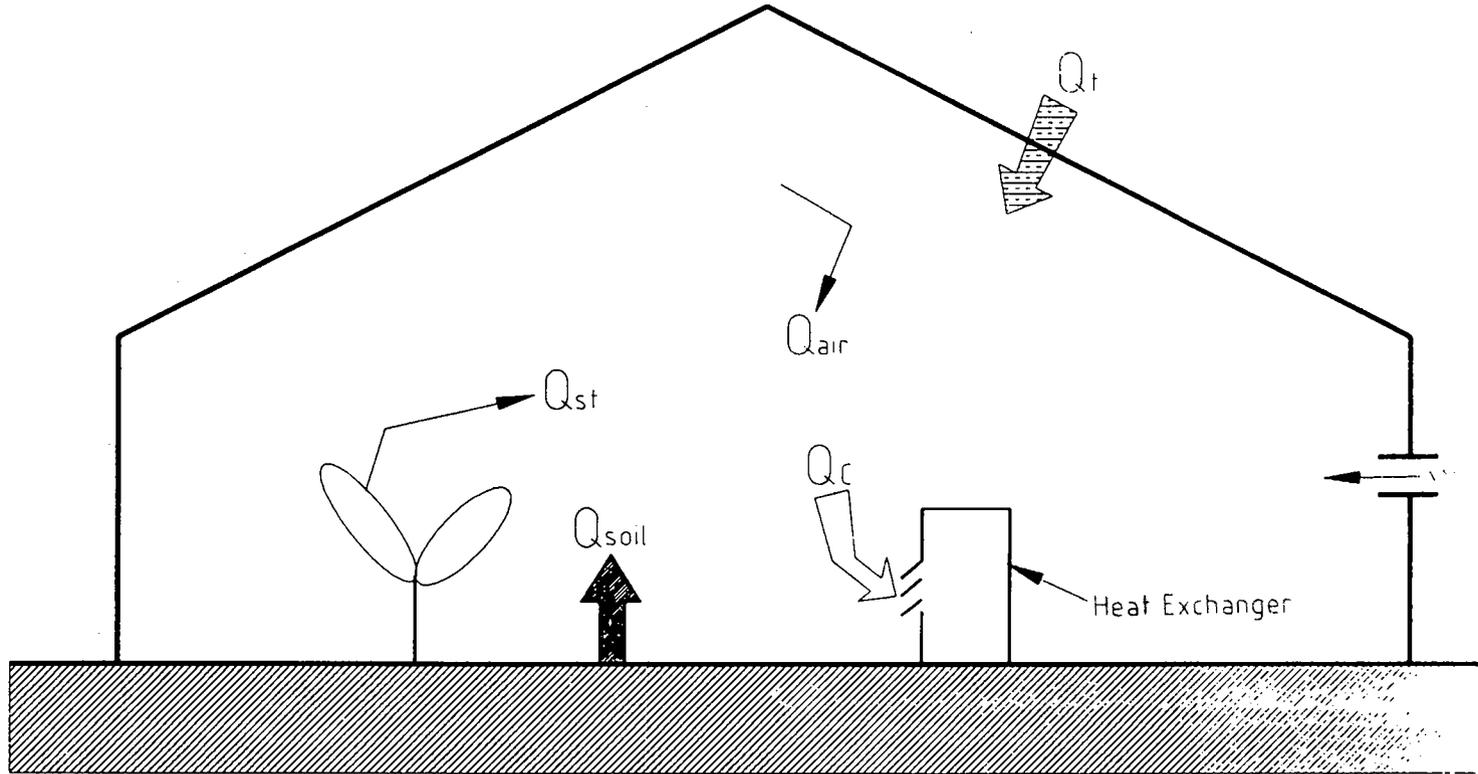


그림 1. 냉방시 온실내의 열수지

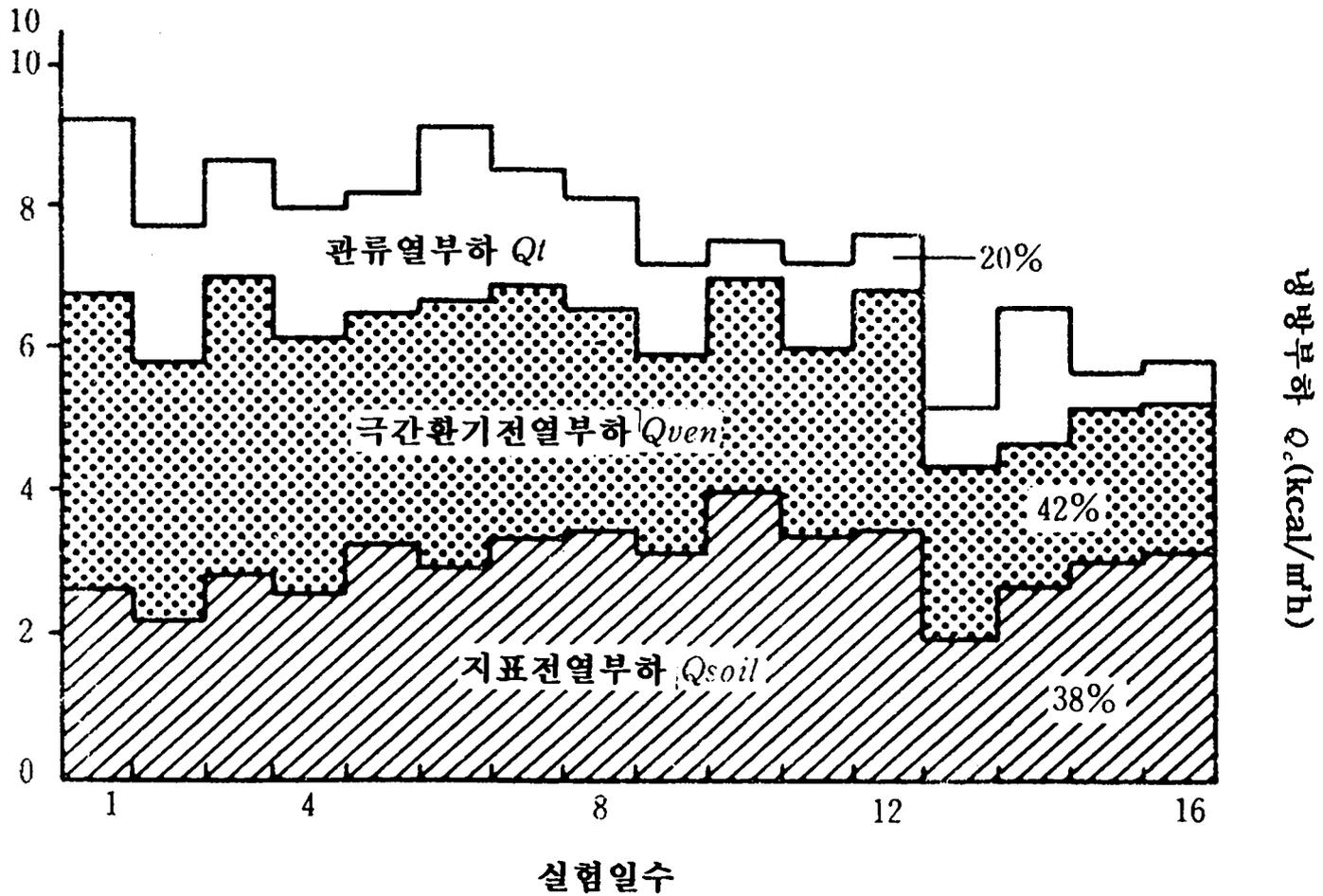


그림 2 일반적인 온실에서의 각 냉방부하의 측정에

그림2는 일반적인 온실에서 냉방을 하는 경우 온실이 냉방설정온도에 도달한 후의 3가지의 부하(Q_t , Q_{ven} , Q_{soil})의 측정예이다. 그림의 횡축은 실험일수이고 종축은 각 측정일의 1시간당의 평균치를 표시한 것이다. 전체적인 부하에 대한 Q_{ven} , Q_{soil} 및 Q_t 의 각각의 합은 전체 측정된 기간의 평균이고 각각 42, 38 및 20%이다.

난방의 경우 전부하의 60%이상을 관류부하가 차지하고 있으며 어떤때는 100%이상을 점유하는 경우도 있고 또 극간환기부하는 10% 전후이다. 게다가 일본의 관동지역에는 난방중에 대해서도 통상 온실상면에는 위로 향하는 열흐름이 있고 지표전열은 난방부하를 10 ~ 20 % 경감하고 있다. 이와같이 냉방시의 각 부하의 구성율의 합은 난방시와는 크게 다르게 되어 있어서 난방시에 비해 극간환기부하와 지표전열부하의 각각의 합이 커진다는 점에 주의해야한다.

나) 극간환기전열부하와 지표전열부하의 억제

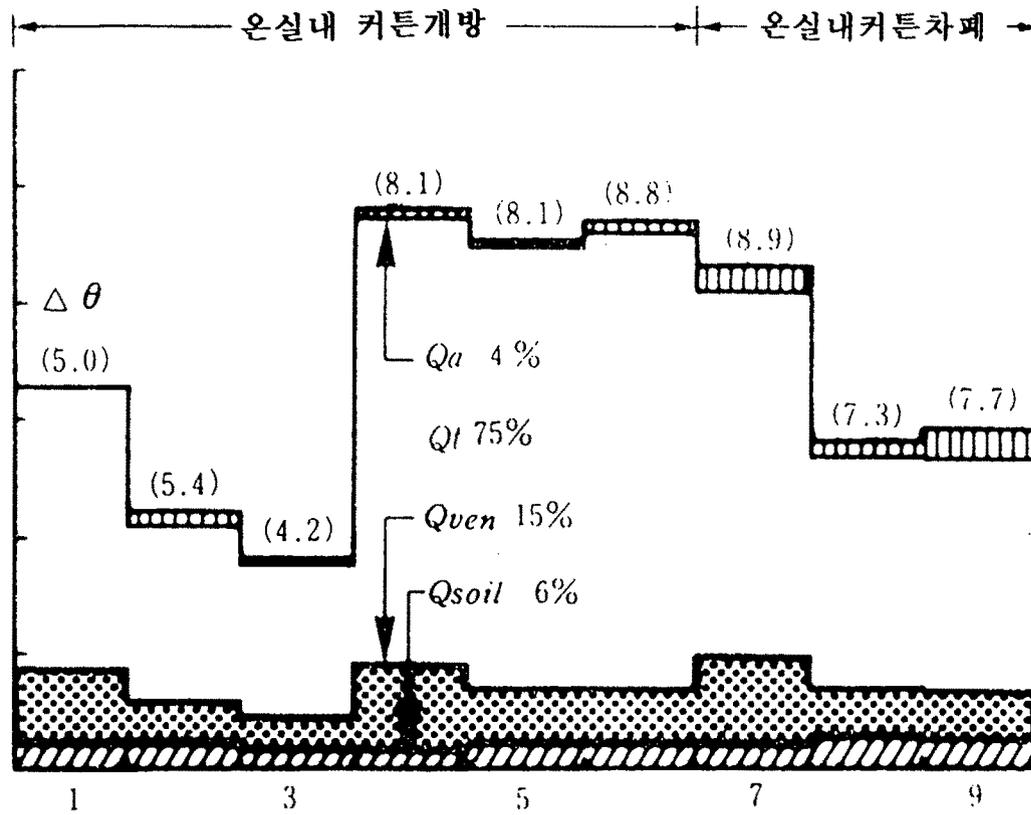
그림2의 결과로부터 온실이 완전 밀폐되어 Q_{ven} 이 0이되면 냉방부하는 약 40%감소되고 게다가 상면을 완전 단열하면 40%가 또 감소하여, 그결과 냉방부하는 당초의 1/5이 될 것이다. 그림3은 상면적이 약 175㎡의 유리 온실에 대한것으로 극간환기전열부하를 억제하기위해서 유리의 거의 전면적을 비닐필름(두께 0.05mm)으로 피복하였고 지표전열부하를 억제하기 위해서 온실상면에 5cm두께의 발포 스티로폴로 피복하였다. 게다가 위부분을 알루미늄 샌드위치 폴리에틸렌 필름을 도포한 상태에서 각 냉방부하를 측정된 결과이다. 그 결과 Q_{ven} , Q_t , Q_{soil} 의 합은 각각 15, 75, 6%이고, 동 온실내외기온차의 경우 그림2의 온실에 비교해서 Q_{soil} 은 약 1/15로, Q_{ven} 는 약 1/5로 감소된다. 그결과 냉방부하는 약 2/5로 억제되었다.

그림3의 결과를 토대로 계산하면 극간환기전열부하는 커튼을 닫는것에 비해 열어놓는 경우에 약 75%에 억제되어있다. 이와 같이 냉방부하는 환

기의 정도나 지표전열부하에 의존해서 크게 변한다. 여름철 온실은 주간 환기가 행해지기 때문에 환기구나 환기창의 조절부분등에 많은 틈새가 있다.

따라서 이것들의 극간을 작게하고 피복재의 겹은 차게하고 냉방중에는 온실내 커튼을 닫고, 게다가 온실외면을 필름으로 피복한다면 환기량을 통상의 1/3정도로 줄일 수 있다. 그것만으로 냉방부하를 30%정도 억제 하는 것이 가능하다. 또 지표전열부하에 대해서도 벤치재배의 경우이면 상면에 단열재료를 깔고 토경재배에는 벚짚등을 깐다. 이와같이 냉방의 경우 단열에 대한 대책으로 인해 초기에 냉방부하가 처음에 억제되어 냉방 경비의 대폭적인 절감이 가능하다.

본 연구에서는 야냉실이 따로 구성되어 있고, 광을 차단하고 환기시설을 하지 않은 상태에서 냉각장치가 운용되기 때문에 극간환기전열부하와 지표전열부하는 거의 무시할 정도로 작다고 할 수 있다.



실험일수

$\Delta\theta$: 온실내외기온차 Q_l : 관류열부하
 Q_{ven} : 극간환기전열부하 Q_{soil} : 지표전열부하
 Q_a : 기타 부하

그림 3. 온실외면과 지표면에 단열재를 설치한 온실의 각부하측정에

다) 야간냉방부하의 산정법

냉방의 경우도 난방의 경우와 같이 도입된 설비는 실외의 기상조건에 대하여 희망하는 설정기온이나 설정지온을 유지할 수 있는 냉방설비용량(냉방능력)을 갖추어야 한다. 또한 이 설비가 초기경비 및 운전경비의 면에서 경제적으로 이익인 것등의 기본조건을 만족하는 것이 필요하다.

제1의 조건을 만족하는 설비용량을 결정하는 것은 우선 최대 냉방부하의 산정이 필요하다. 냉방중 온실내 기온을 설정치에 유지하기 위해서 냉방설비에 의해 제거하지 않으면 안되는 열량을 냉방부하라하고 냉방기간중의 냉방부하의 최대치를 최대냉방부하라고 부른다. 최대냉방부하를 구하는 것에 따라 설비용량이 결정되고 게다가 설비의 초기경비를 예측하는 것이 가능하다. 또, 제 2의 운전경비를 추정하는 기초가 되는 기간냉방부하의 산정이다. 기간냉방부하는 전제배기간중 또는 일정냉방기간중의 냉방열량의 총량이다. 이하에서는 야간에 한하여 상기의 냉방부하(야간냉방부하)의 산정법을 중심으로 서술한다. 냉방부하 산정법의 검토는 냉방부하 산정법의 그것에 비해 늦어지고 있다. 최대야간냉방부하 산정법에 관해서는 현재 제시되어 있는 산정식을 나타내지만 기야간냉방부하 산정법에 관해서는 지금까지 별로 검토되지 않고 있다.

(1) 최대야간냉방부하의 산정

냉방온실의 열수지는 이미 그림에 표시된 바와 같다. 부호는 난방시와는 역으로 실외로부터 온실내에 향하는 열류를 (+)로 한다. 여기서 온실내에 설치된 냉방장치 자체로부터의 발열(컴프레서, 열교환기 fan, 물순환펌프 등)은 야간냉방부하에 포함되지 않는다. 이것은 온실고유의 부하가 아니고, 도입한 냉방장치에 기인하는 부하이기 때문이다.

○ 동적야간냉방부하와 정적야간냉방부하

온실의 야간냉방부하는 동적부하와 정적야간냉방부하의 두가지로 나뉘

서 생각하면 편리하다. 냉방개시시의 온실내 기온은 냉방설정기온보다 높기 때문에 그림4에 표시한 것과 같이 냉방개시후에 온실내의 온도를 냉방설정온도까지 내리지 않으면 안된다. 이런 부하를 동적야간냉방부하라고 한다면, 실온이 설정치에 도달한 후 실온을 설정치에 유지하기 위해 부하를 정적야간냉방부하라고 한다. 동적야간냉방부하는 정적야간냉방부하에 비하여 크고, 또 온실내 기온을 냉방설정온도까지 저하되는 소요시간을 단축하면 증대가 된다. 지금까지의 보고된 바에 의하면 일정용량의 히트펌프로 온실을 냉방한 경우, 냉방개시후 약 2시간 정도에 온실내의 기온차가 일정하게 되는 것이 확인되고 있다. 냉방의 경우 실온을 설정치까지 내리는데 이 정도의 시간이 걸렸다고 해도, 특히 문제는 없다고 보기 때문에 과대한 용량의 히트펌프를 설치하지 않고 보통 정적야간냉방부하의 최대치보다도 보다 더 큰 값을 최대야간냉방부하로 하는 것이 좋다. 최대야간냉방부하를 산정하는 마지막의, 정적냉방부하 산정시각은 일반적으로 외기온도와 냉방설정온도의 차이가 최대가 되는 냉방개시시각이다.

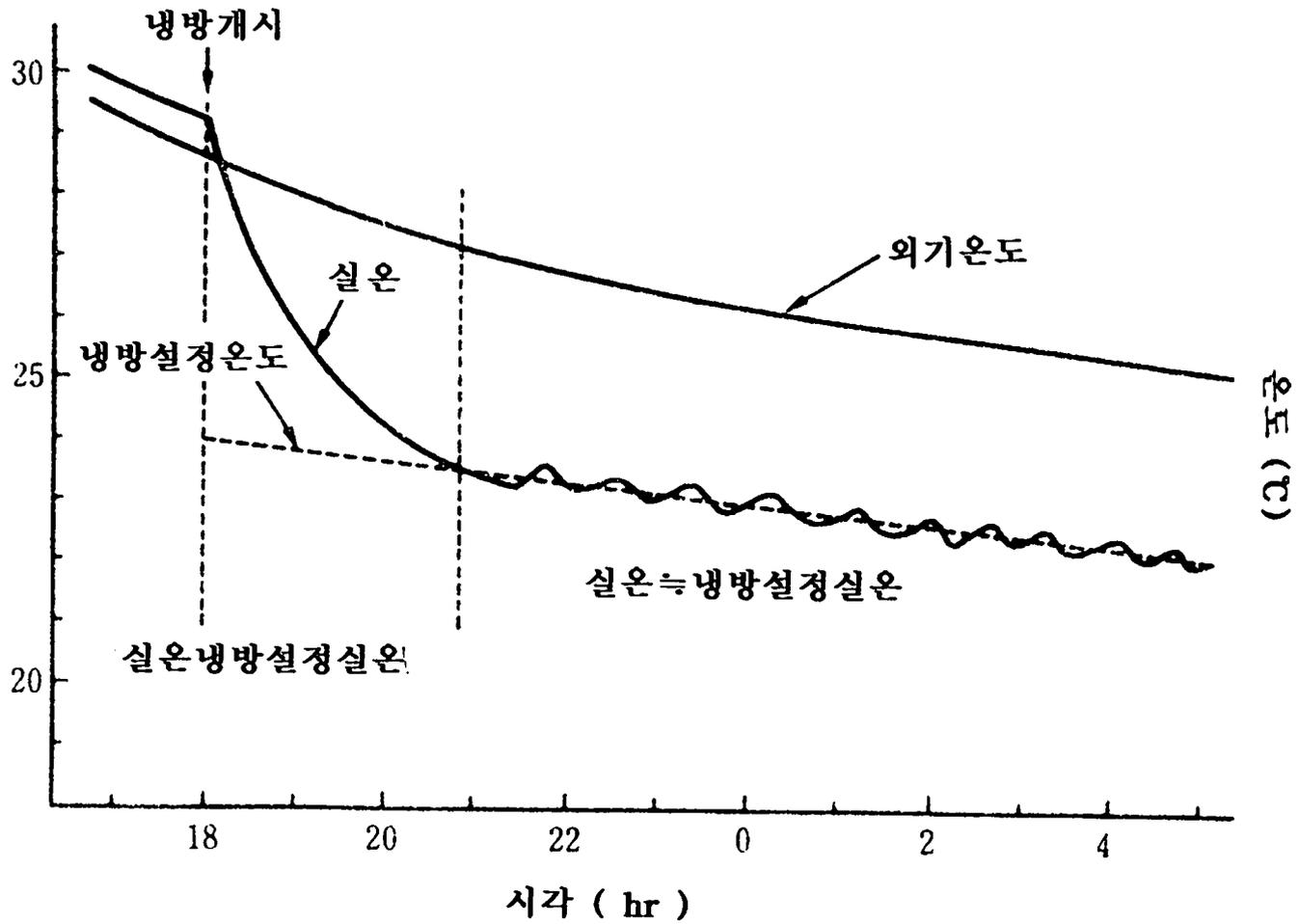


그림 4. 냉방개시후의 온실내 기온의 변화

○ 최대야간냉방부하의 산정식

(1)식의 Q_{air} 와 Q_{st} 는 주요한 기온변화에 관련된 부하이다. 실온을 냉방설정 실온에 유지하고 있을 때에 기온변화는 작으므로 정적야간냉방부하를 고려하지 않는다. 이것들의 부하는 무시하여 0으로 하고 (1)식과 (2)식은 같이 된다.

$$Q_c = Q_t + Q_{ven} + Q_{soil} \dots\dots\dots(2)$$

위의 식으로부터 최대야간냉방부하를 구한다.

(2)식에 함유된 전열요소는 최대냉방부하의 산정의 경우와 같으나, 전에 설명한 바와 같이 각 부하가 야간냉방부하에 점하는 비율은 난방시와는 크게 다르다는 점에 주목할 만하다. 즉 난방시에 비해 소극환기전열부하와 지표전열부하의 각각의 합은 상당히 커지고, 반대로 관류열부하의 각각의 합은 작아진다. 그러나 소극환기전열부하에 대해서는 온실의 밀폐 정도에 따라서 상당한 수치가 변화하며, 또 지표전열부하에 대하여도 기상조건(일사량의 많고 적음, 상면에직사광이 비칠 때, 기온의 고저등)이나 토양조건의 변화에 따라 상당히 수치가 변화한다. 이 때문에 최대야간냉방부하산정에 대해서는 기준적으로 수치를 표시하는것이 어렵다. 최대야간냉방부하의 산정정도는 최대야간난방부하와 비교해서 낮다. 그러나, 냉방의 경우는 난방의 경우와는 달리 재배기간중에 설정기온을 유지하지 않는 것이 수회정도라고 해도 작물이 치명적인 타격을 받는 것이 작기 때문에 이것으로부터 최대야간냉방부하는 최대냉방부하의 경우 만큼 세밀히 고려할 필요가 없다.

(2) 극간 환기전열부하

단위 피복면의 극간환기전열부하는 다음식에 의해 산정한다.

$$q_{ven} = V_g(i_{ou} - i_{in})/(v \cdot \beta) \dots\dots\dots(3)$$

여기서, q_{ven} : 극간환기전열부하 (Kcal/m² · h)

V_g : 극간환기율 (단위벽면적당의 극간환기량 (m³/m² · h))

i_{ou}, i_{in} : 온실내외 공기의 엔탈피 (Kcal/kg)

v : 온실내외 공기의 비용적 (≈ 0.85 m³/kg)

β : 온실의 보온비 (상면적 / 피복면적)

최대야간냉방부하에 포함되는 극간환기전열부하의 각각의 합이 큰 것으로부터 극간환기전열부하를 가능한한 정확히 구할 필요가 있고 그것을 위해 (3)식에서는 온실내외 공기의 엔탈피의 차이와 극간환기율을 설계에 이용한다.

○ 온실내외의 엔탈피

온실내외공기의 엔탈피(습한 공기의 열량)인 i_{in} 및 i_{ou} 는 온실내외 공기의 설계건구온도와 설계습구온도(또는 설계 상대습도)를 정하는 것에 따라 습한공기선도 또는 습한 공기의 상태 관계식으로부터 구한다. 설계에는 냉방시간대의 설계외기온과 냉방설정실온과의 차이가 최대가 되는 시간의 엔탈피 값을 채용하면된다. 설계 외기온도에는 매년 출현한 외기온도의 최대치를 이용한다.

○ 극간환기율

극간의 정도와 피복방법에 의해 표-5의 수치를 잠정적으로 사용한다. 극간환기율은 온실의 밀폐도의 불량 이외에도 실외풍속 · 온실내외 기온차 등의 영향을 받는 수치이다. 따라서 표-5에서는 제한적으로 실측예에 기본을 둔 개략적인 수치를 나타내고 있다. 냉방의 경우 연간 수회정도 출현하는 최대야간냉방부하를 산정하면 좋기 때문에 표-5의 수치는 실외풍속 5% 정도로 정한다.

표 5. 극간 환기율의 값

(단위 : $m^3/m^2 h$)

피복 방법	밀폐의 정도		
	양호	보통	나쁨
1겹 피복	1	2	3
1겹피복 + 1층 커튼	0.7	1.5	2.0
1겹피복 + 2층 커튼	0.5	1.0	1.5

(3) 지표전열(지중전열)부하

단위상면적당의 지표전열부하(지표열류속, $q_{soi}(kcal/m^2h)$)에는 표6의 수치를 이용한다. 온실의 상면에는 토양표면과 지중의 온도차에 상응하는 열흐름이 발생하고 온실내와의 열의 출입이 발생한다. 야간의 지표전열부하는 주간 태양열의 축열에 기인한 것으로 냉방중은 통상 토양중으로부터 온실로 향하는 위방향으로의 열류가 있고 냉방온실이 실온이 저하되면 될수록 이 열량은 증가한다. 여기서 표시한 값은 내외기온차를 5~10℃로 한 경우의 최대야간냉방부하를 산정한 것이다. 일반적으로 이값보다도 적은 점에 주의한다. 본연구에서는 태양열이 야냉실로 직접 복사되지 않기 때문에 지표전열에 의한 부하는 거의 없다고 보아도 무방할 것이다.

표 6. 지표 전 열 부하

(단위 kcal/m²h)

내외기온차(℃)	토양면적당 일사(日射)의 정도		
	작 음 (작물이무성한 경우)	보 통	많 음 (작물이적을때)
5	10	20	30
10	20	30	40

(4) 관류열부하

단위 피복면적당의 관류열부하는 다음식에서 구할 수 있다.

$$q_t = h_t (\theta_{ou} - \theta_c) \dots\dots\dots(4)$$

여기서, q_t : 단위피복면적의 관류열부하 (kcal/m²h)

h_t : 열관류율 (kcal/m²h℃)

θ_c : 냉방설정실온 (℃)

θ_{ou} : 설계외기온 (℃) 이다

h_t 는 표 6의 값을 사용하였다.

관류열부하는 피복재를 통과하는 열량이다. 냉방중이어도 온실피복재온도는 천공온도쪽이 낮다. 방사열류는 온실피복면으로부터 천공에 향해있다. 피복재 외면은 방사로 온실외로 빠져나간 열량을 냉방의 경우 부하를 경감하는 방향에 움직임 때문에 h_t 의 값은 난방시와 비교해 절반이하가 된다. 열관류율은 온실내의 조건 (특히 옥외풍속이나, 날씨의 맑은 흐림 등)에 복잡하게 좌우된다.

표 7. 냉방시의 열관류율

(단위 kcal/m²h℃)

피복 방법	열관류율
1겹 피복	2.5
1겹피복 1층 커튼	2.0

(5) 최대야간냉방부하

온실 전체의 최대야간냉방부하 Q_{cm} , kcal/h는 (q_t , q_{ven} 및 q_{soil})에 각각의 작용면적을 곱하여 구한다.

$$Q_{cm} = \{ A_g(q_t + q_{ven}) + A_s \cdot q_{soil} \} f_w \dots \dots \dots (5)$$

여기서, A_g : 온실의피복면적 (m²)

A_s : 온실의 상면적 (m²)

f_w : 안전율이다

이전에 기술한 것과 같이 최대야간냉방부하를 정적야간냉방부하의 최대치보다도 좀더 큰 값으로 하기 때문에 10%정도의 안전률($f_w=1.1$)을 권적한다.

라) 기간야간냉방부하의 산정

기간야간냉방부하의 산정법은 아직 확립되어 있지 않고 여기서는 그 기본적인 고려 방법에 대해서 나타내고 있다.

n 일간의 기간야간냉방부하는 다음과 같은 식이다.

$$Q_{ca} = \sum_{i=1}^n Q_{nc} \dots \dots \dots (6)$$

여기서 Q_{ca} : 기간야간냉방부하 (kcal/n days)

Q_{nc} : 일야간냉방부하 (kcal/day)

기간야간냉방부하는 매일의 야간냉방부하(일야간냉방부하)를 일정기간 적산한 것이다.

○ 일야간냉방부하

$$\begin{aligned}
 Q_{nc} &= \int_{t_1}^{t_2} Q_c dt \\
 &= \int_{t_1}^{t_2} (Q_t + Q_{ven} + Q_{soil}) dt \\
 &= A_g \left(\int_{t_1}^{t_2} q_t dt + \int_{t_1}^{t_2} q_{ven} dt \right) + A_s \left(\int_{t_1}^{t_2} q_s dt \right) \dots \dots \dots (7)
 \end{aligned}$$

여기서, Q_{nc} : 일야간냉방부하 (kcal/day)

Q_c : 냉방부하 (kcal/h)

Q_t : 관류열부하 (kcal/h)

Q_{ven} : 극간환기전열부하 (kcal/h)

Q_{soil} : 지표전열부하 (kcal/h)

q_t : 단위피복면적당의 관류열부하 (kcal/m²h)

q_{ven} : 단위피복면적의 극간환기전열부하(kcal/m²h)

q_{soil} : 단위상면적의 지표전열부하(kcal/m²h)

t_1 : 냉방개시시간 (h)

t_2 : 냉방종료시간 (h) 이다.

부호는 실외로부터 온실내에 향하는 열류를 (+)로 하였다. 야간의 히트펌프 냉방중은 q_t , q_{ven} 및 q_{soil} 은 평상시에(+)값을 갖기 때문에 (7)

식과 같이 q_l , q_{ven} 및 q_{soil} 을 냉방시간대에 적산하고, 그것에다 온실의 작용면적을 곱해서 그것들의 합을 구하면 일야간냉방부하가 얻어진다.

q_l , q_{ven} 및 q_{soil} 을 구하기 위해 기준수치는 측정예가 아직 적기 때문에 여기서 표시한 것은 차이가난다. 금후의 측정예 증가에 따라 표시되어 있다.

마) 냉방용의 히트펌프 설비용량의 결정

야간냉방의 히트펌프 설비용량의 산정식을 표시하였다. 히트펌프를 냉난방 겸용으로 하는 경우, 양자의 필요 설비용량을 산정해서 큰 쪽의 용량을 사용하는 것이 히트펌프 설비용량이라한다.

축냉열수도를 포함한 냉방시스템의 경우 히트펌프 용량은 이것 보다도 작다. 1일의 냉방부하의 반정도의 축냉열용량을 시스템에서는 히트펌프 용량은 축냉열장치를 준비한것의 1/2정도이다.

지하수를 이용한 냉난방겸용 시스템의 경우, 난방시의 설계내외기온차를 약 20°C 냉방시의 설계내외 기온차가 6~8°C이내면 난방시의 용량에 개략 냉방시의 부하를 만족할 수 있다고 볼 수 있다. 히트펌프의 냉방시의 필요설비 용량은 다음과 같은 식으로 구할 수 있다.

$$Q_{hpc} = Q_{cm}(1 + \gamma_e) / \epsilon_{cs} \dots \dots \dots (8)$$

$$\epsilon_{cs} = Q_{cl} / Q_{cl} \dots \dots \dots (9)$$

여기서, Q_{hpc} : 히트펌프의 설비용량 (kcal/h)

Q_{cm} : (5)의식으로부터 구한 최대 냉방부하 (kcal/h)

γ_e : 안전계수

ϵ_{cs} : 냉방시스템의 열이용효율

Q_{cl} : 냉방시스템의 온실내에 흡열량(kcal/h)

Q_{c2} : 히트펌프의 흡열량(kcal/h) 이다.

단지, 냉방온실내에서 히트펌프 냉방시스템에 발열 (컴프레샤, 열교환 fan 순환펌프 등)이 있는 경우는 냉방시스템의 온실내에서 흡열량으로부터 이 열량을 뺀 열량을 Q_{cl} 이라한다. 따라서 온실내에서 히트펌프 냉방시스템에 의한 발열의 경우, 그 열량분만큼, 히트펌프 설비용량을 증가하지 않으면 안된다. 안전계수 γ_e 는 일반적으로 0.1을 사용한다.

바) 히트펌프 소비전력량 또는 연료소비량 추정

○ 전기히터 펌프의 경우

$$E_{ec} = Q_{nc} / \epsilon_{cs} / COP_r / 860 \dots \dots \dots (10)$$

$$COP_r = Q_{c2} / Q_{c3} \dots \dots \dots (11)$$

여기서 E_{ec} : 소비전력량 (Kwh /day)

Q_{nc} : 일야간냉방부하 (Kcal/day)

ϵ_{cs} : (9)식에서 구한 냉방시스템의 열이용효율

COP_r : 히트펌프의 냉방시 성적계수

860 : Kcal rk Kwh로의 변환치(1Kwh = 860Kcal)

Q_{c2} : 히트펌프의 흡열량(kcal/h)

Q_{c3} : 히트펌프에서 운전에서 소비한 전소비전력량

(컴프레샤, 물순환펌프, 송풍팬등의 모든곳을 포함한다.단위는 Kcal/h로 환산)

○ 엔진히터 펌프의 경우

$$E_{ec} = Q_{nc} / \epsilon_{cs} / PER_r / B \dots \dots \dots (12)$$

$$PER_r = Q_{c2} / (F \cdot B) \dots \dots \dots (13)$$

여기서 E_{ec} : 연료 소비량 (ℓ /day)

PER_r : 냉방시 일시에네르기비

B : 연료 1ℓ의 발열량 (kcal/ℓ)

Q_{c2} : 히트펌프의 흡열량(kcal/h)

F : 기름소비량 (ℓ/hr)이다.

제 2 절 재 료 및 방 법

온실의 냉방 실험은 1995년 8월, 1996년 8월, 1997년 8월에 평창군 미탄면의 폐광 근처에 설치된 야냉시설에서 수행되었다. 온실의 냉방 실험을 위해 설비된 온실은 야냉실 및 육묘실로 구분하여 운영하였고 야냉실의 피복 재료로는 한 겹의 플라스틱 필름과, 온실의 열손실을 줄이기 위해 피복재 주위에 단열재(유리섬유)를 피복하고 그위에 다시 한겹의 천을 피복하였다. 환기시설은 딸기의 야냉처리기간중에 식물체의 호흡으로 인하여 생기는 생기는 CO₂등의 가스가 딸기에 영향을 끼치지 않을 것이라는 전제하에 냉방의 효율을 높이기 위해 따로 설치하지 않았으며, 유입되는 냉기로 인해 야기되는 야냉실내부의 압력상승으로 야냉실내부의 틈새 및 출입구의 틈으로 자연 해소되도록 하여 자연환기가 되도록 하였다. 또한 육묘실은 한겹의 비닐로 피복하였고 천장에 미스트 발생장치를 설치하여 급수 및 냉각 시설로 이용하였고, 측면에 환기를 위해 기둥에 롤러를 설치하여 필요한 만큼의 환기되는 면적을 조절하여 자연적인 환기가 이루어

지도록 하였다.

1차년도 2차년도 3차년도에 대한 냉각장치 설치장소 및 온도 측정을 위한 열전대의 고정 위치를 나타내는 온실의 정면도를 각각 그림 5, 6, 7에 나타내었다.

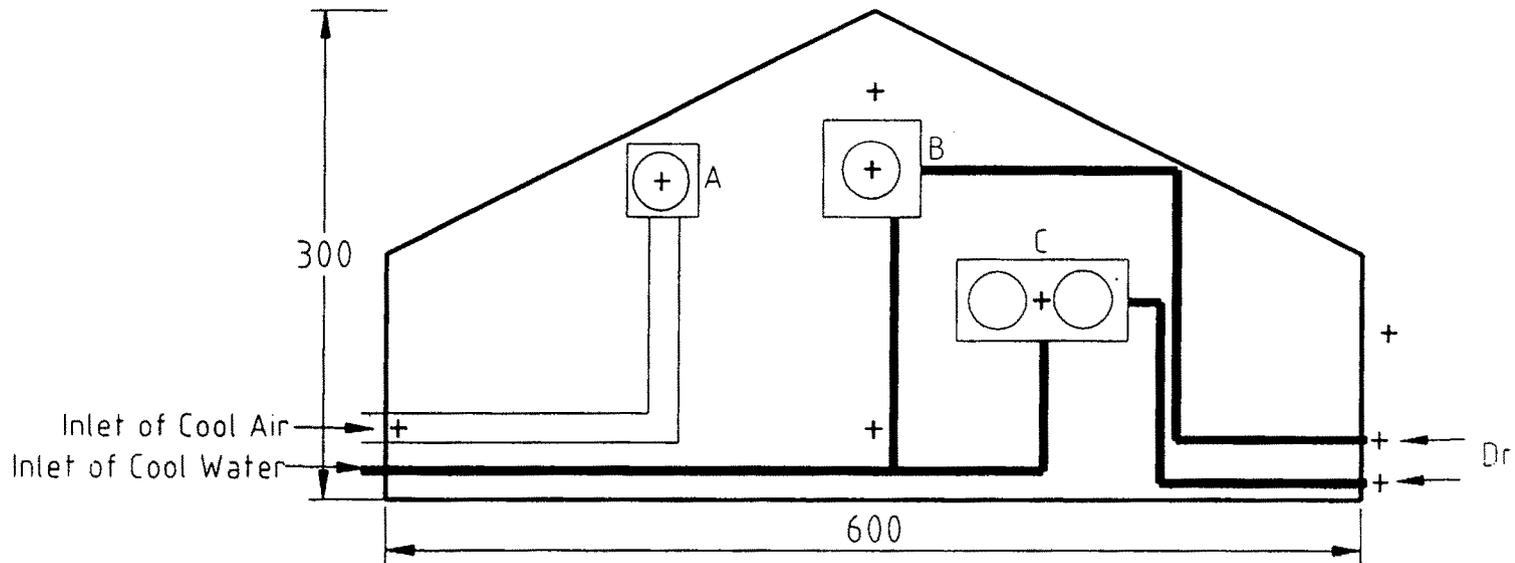
그림에서와 같이 온도의 측정은 육묘실 내부온도, 외기온도, 온실의 내부 및 냉각장치 출구의 물 및 공기의 온도를 측정하였으며, 온실 내부의 온도는 지면으로부터 0.3m 및 2.3m 위에서, 외기온도는 지상 1.5m 높이에 백엽상을 설치하여 측정하였고 냉각장치로부터 나오는 냉각된 공기의 온도는 장치로부터 30cm떨어져 열전대를 설치하여 측정하였다. 사용된 온도 측정장치는 일정시간마다의 온도를 측정하기 위해 Data Acquisiton System(DBK 19, IOtech & TS 16, RTD Co.)이 사용되었다. 측정용 소프트웨어는 IOtech 사의 Daqview Ver.5.0(그림8)과 CIE사의 CIE window version(그림9)을 사용하여 온도를 측정하였다. 사용한 열전대는 그림 10에서와 같이 상온(10 - 40℃)에서 적용범위가 적합한 “J”형의 열전대(φ 5mm)를 사용하였다.

또한 각종냉각 장치의 성능을 평가하기 위해서 팬의 송풍량, 크기, 제원 및 냉각장치로 유입되는 냉수의 유량등을 조사하였다. 본 연구에서는 온실 내의 온도를 냉각시키는데 가장 적합한 냉각 방법을 결정하기 위해 아래와 같은 여러 종류의 냉각 방법이 사용되었다.

1. 소형 radiator에 의한 냉각

그림 11에 보여지는 것과 같이 소형의 radiator 앞면에 용량 50m³/min 인 팬을 설치하였으며, 폐광에서 유출되는 약 12.5℃의 냉수를 radiator내로 순환시켜 radiator 표면에 접촉되는 주위 공기를 냉각시킴으로써 radiator를 열교환기(heat exchanger)로 사용하였다. 온실 내의 더운 공

기는 팬에 의해 radiator의 좌측면에서 흡입되며, 냉각된 공기는 radiator 우측면에 설치된 duct를 통해 온 실내로 배출된다. 여기서 duct는 온실의 한쪽 끝에 설치된 radiator의 우측면으로부터 온실의 다른 쪽 끝에 고정되게 하였다. Duct의 크기는 직경 50cm 였으며, duct의 밑면은 15cm 간격으로 직경 2cm인 구멍들이 천공되어졌다. 그러나 2차년도 부터는 냉각된 공기를 공급하는 duct를 제거하고, radiator의 전면에 설치된 가이드를 이용하여 그림 12에서 보는바와 같은 공기흐름이 발생하도록 하였다. 소형 radiator는 지상으로부터 약 1.2 m 위치에 설치되어 냉각된 공기를 식물체로 직접 강제대류를 시키도록하였다.

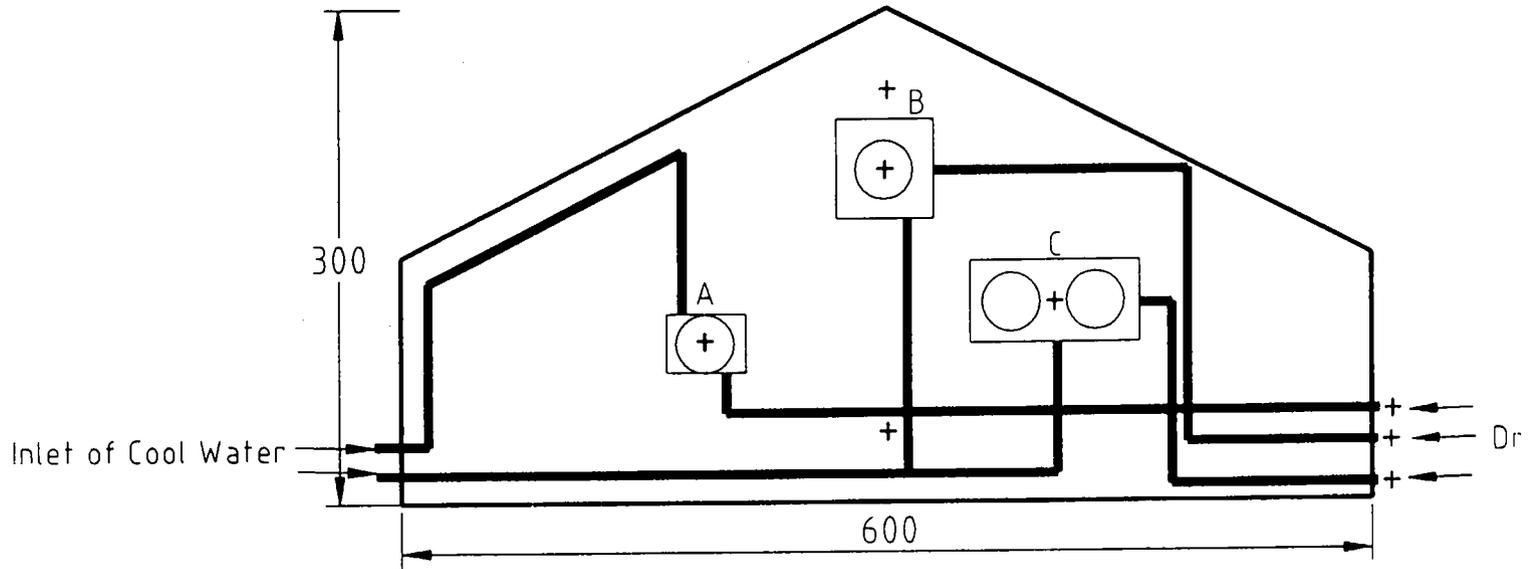


+ : Thermocouple ○ : Fan — : Water pipe laying

A: Cool air B: Pad cooling system C: Large radiator

Dimensions are in centimeters

그림 5. 1차년도 온실의 정면도

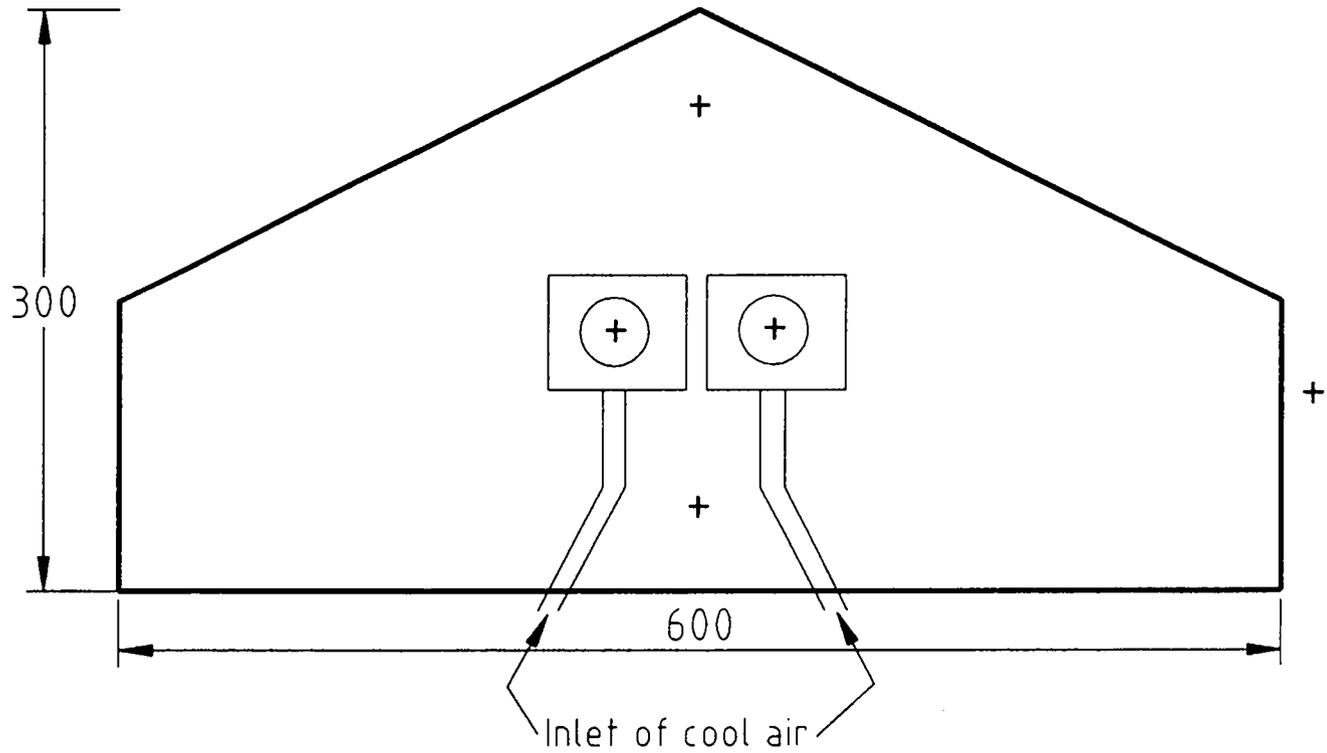


+ : Thermocouple ○ : Fan — : Water pipe laying

A: Small radiator B: Pad cooling system C: Large radiator

Dimensions are in centimeters

그림 6. 2차년도 온실의 정면도



+ : Thermocouple ○ : Fan

A: Cool air B: Pad cooling system C: Large radiator

Dimensions are in centimeters

그림 7. 3차년도 온실의 정면도

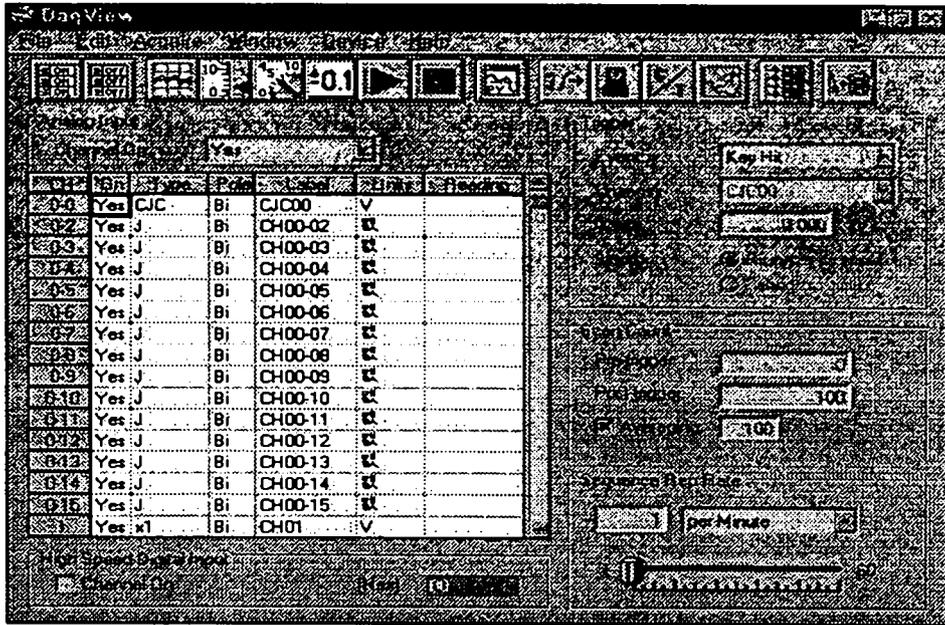


그림 8. 온도측정용 소프트웨어 Daqview Ver. 5.0

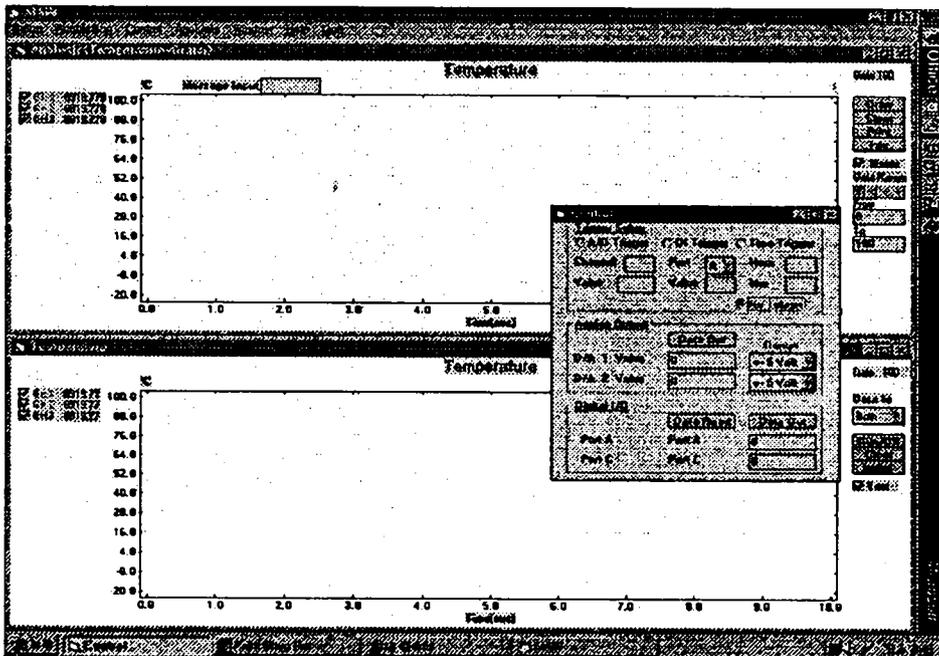


그림 9. 온도측정용 소프트웨어(C.I. Engineering)

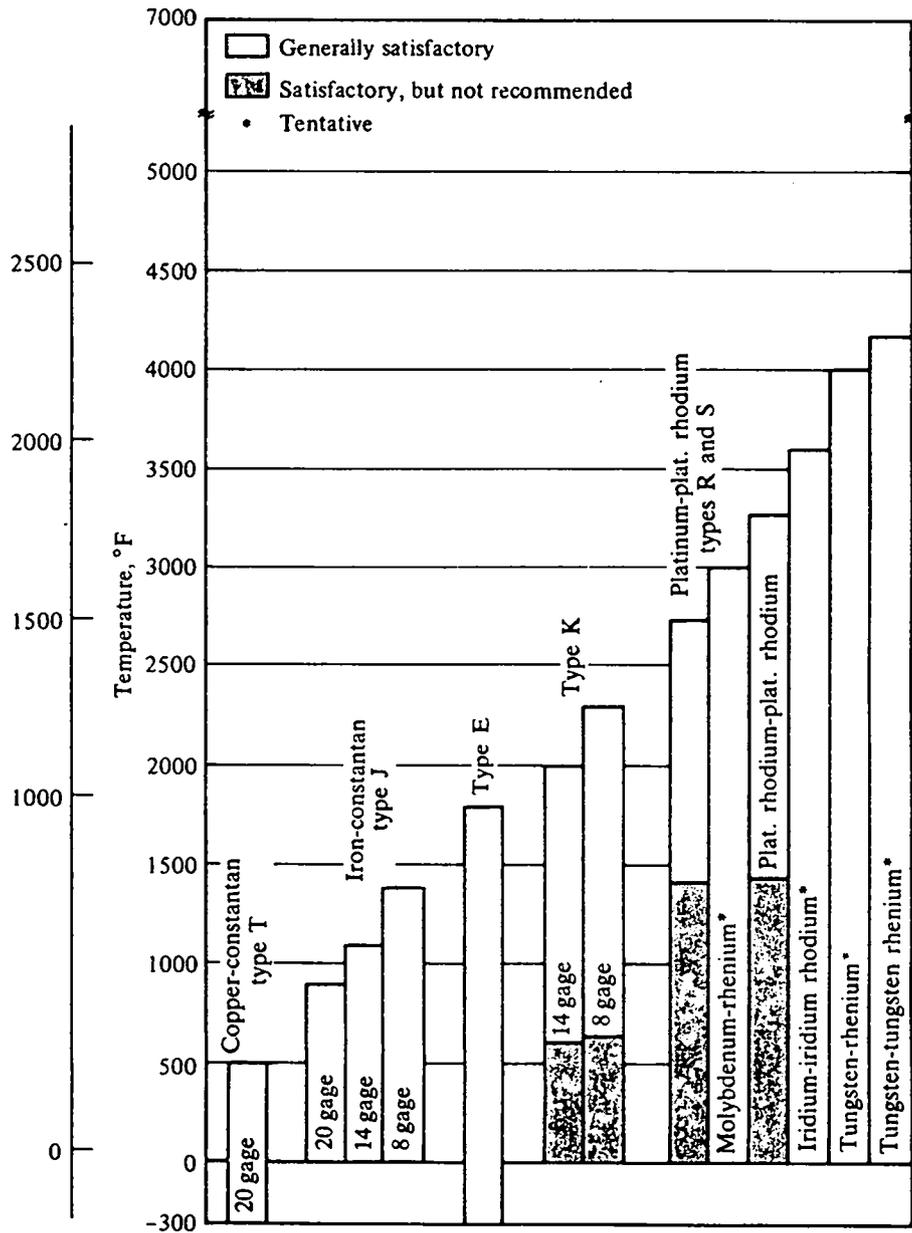


그림 10. 열전대의 작동범위

2. 냉각 Pad를 사용한 증발냉각

증발냉각 장치가 그림 13에 보여지고 있다. 냉각 pad의 앞면에 용량 45 m³/min인 팬을 설치하였으며, 폐광으로부터 유출되는 냉수를 냉수 확산 장치를 통해 냉각 패드 고정 상자에 부착된 냉각 패드의 전체 면에 흘려 보냄과 동시에 온실 내의 더운 공기를 pad의 앞면에서 흡입되게 하여 공기의 고른 분포를 위해 pad 냉각장치의 뒷면에 설치된 duct를 통해 배출되게 하였다. 그림 14는 증발 냉각장치에 사용된 냉각 패드 고정 상자 및 냉수 확산 장치를 보여주고 있다. 이장치는 냉수의 증발에 필요한 열을 온실 내의 더운 공기로부터 흡수하여 온실을 냉각시키기 위한 장치이다. 사용된 pad재료는 사방공사용 녹화 피복재로 사용되는 재료로서 야자섬유로 만들어진 것을 사용하였다. 이 재료는 일반 pad재료에 비해 가격이 저렴하지만 보습성이 일반 pad재료에 비해 떨어지며 지속적으로 물공급이 이루어져야만 하는 단점이 있다. 그러나 일반 pad에 비해 단위두께당 접촉면이 커 냉각효율이 우수할 것으로 사료되어 재료로 사용 하였다.

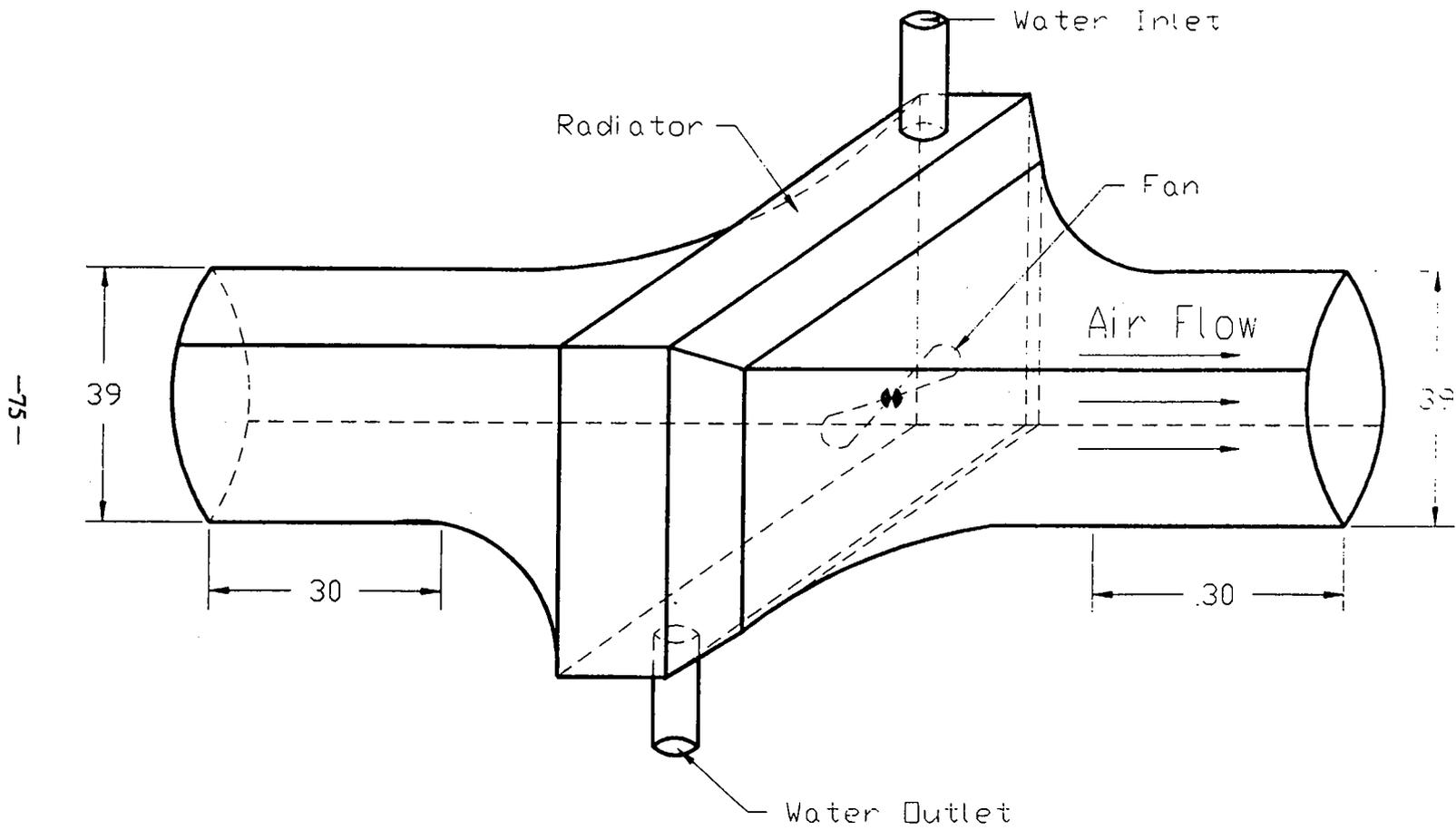


그림11 소형 라디에이터 냉각장치

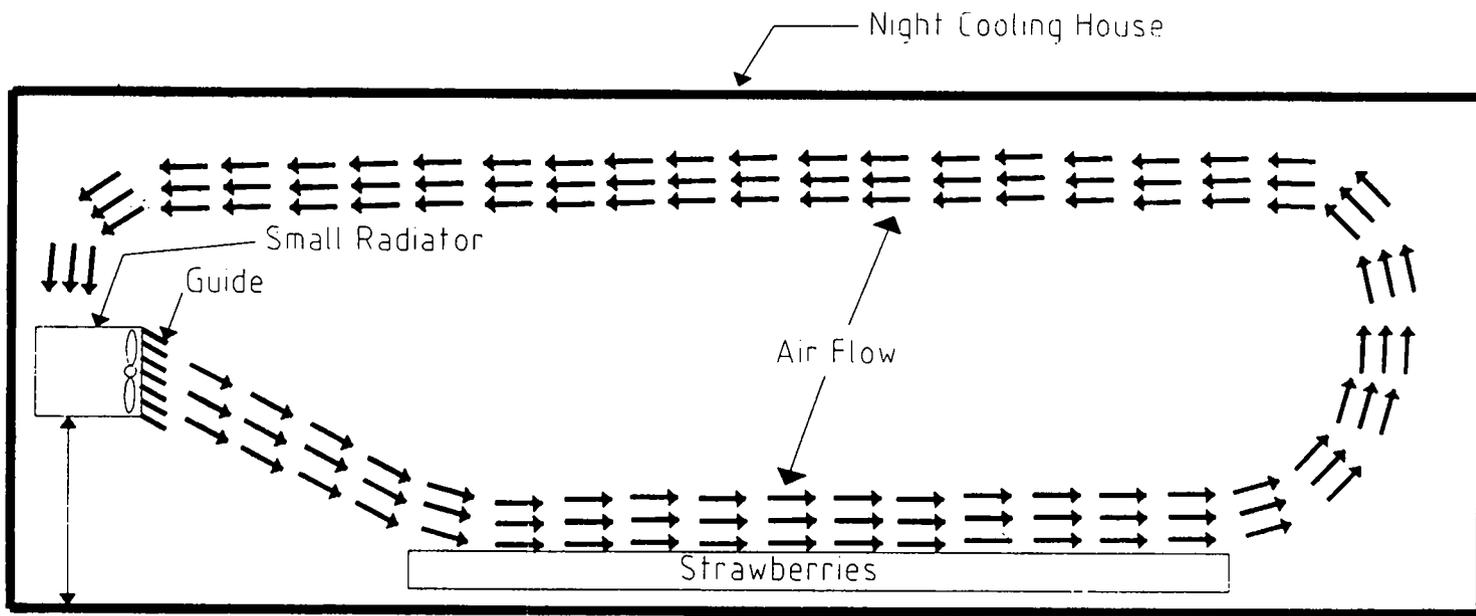


그림12 소형 radiator에 의한 야냉실내 공기흐름의 단면도

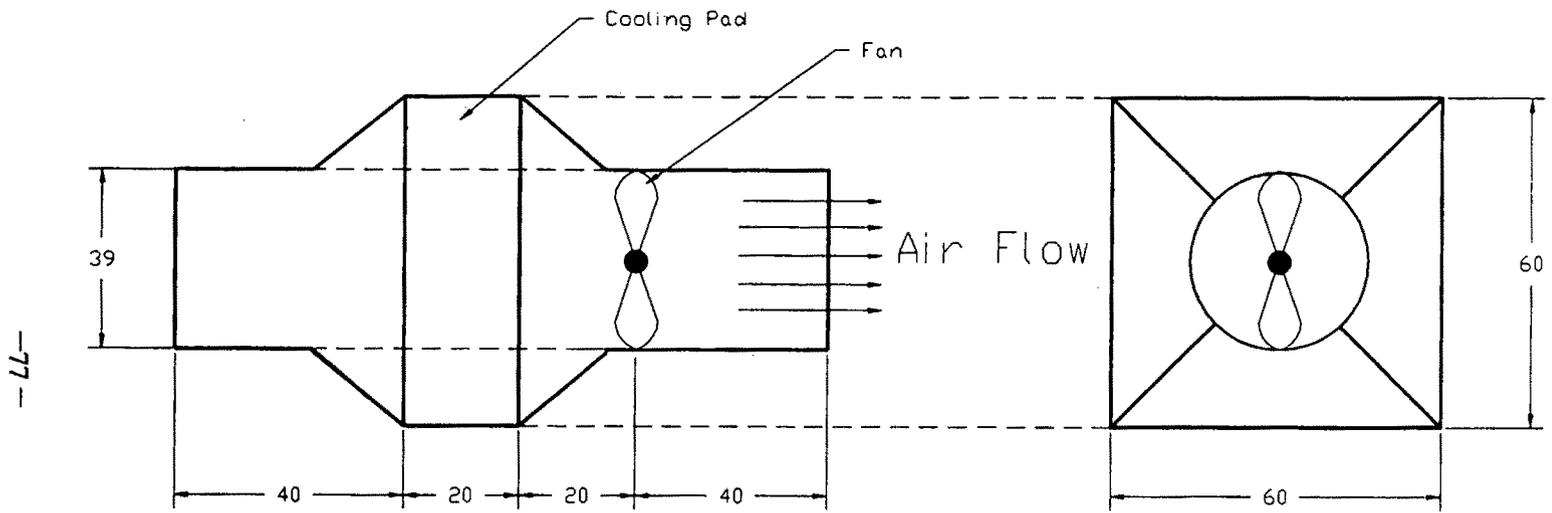


그림 13. 냉각 패드를 사용한 증발 냉각장치

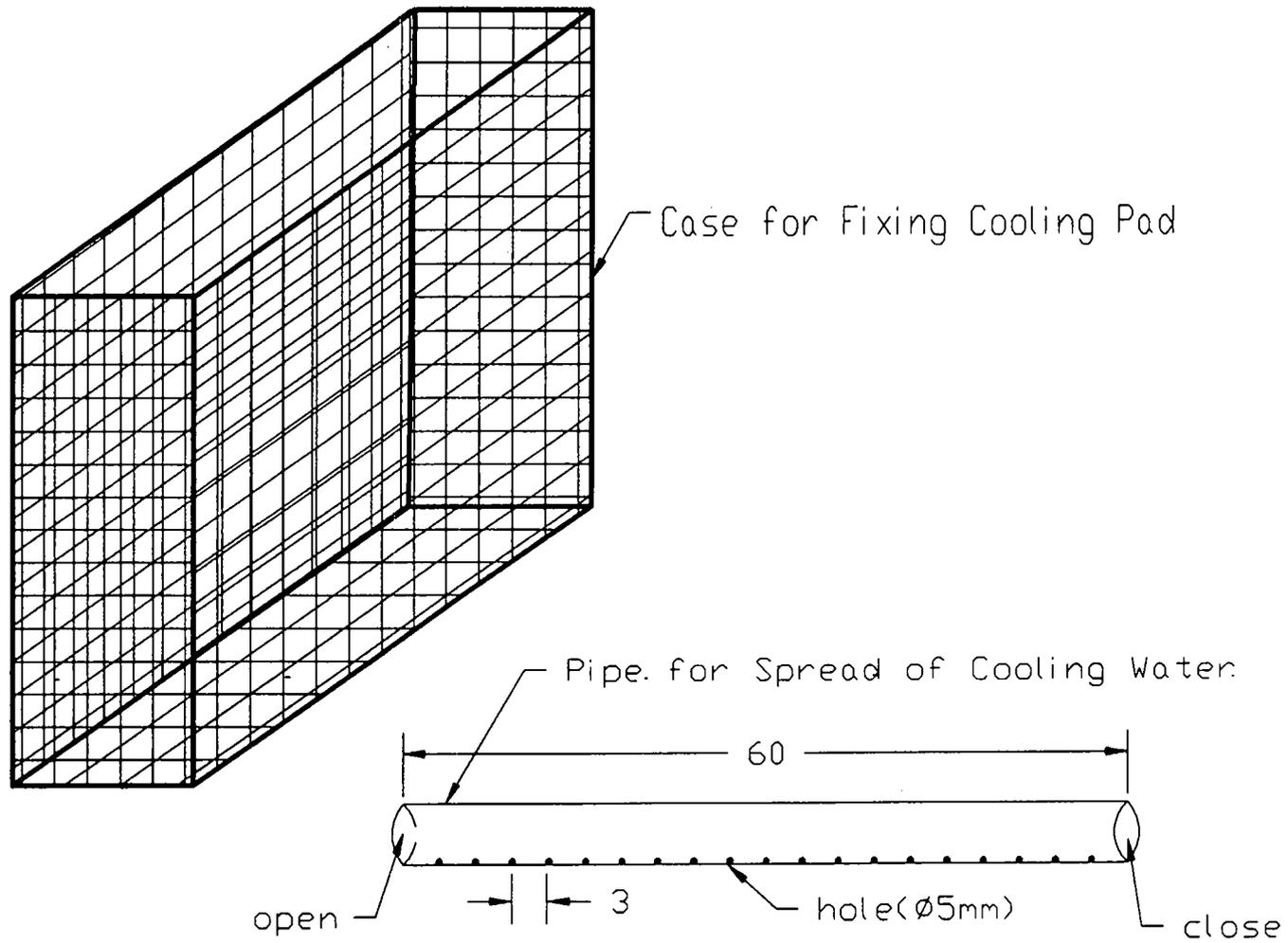


그림 14. 냉각 패드 고정 상자 및 냉수 확산장치

3. 폐광의 냉기를 사용한 냉각

그림 15에서와 같이 송풍 용량이 $45\text{m}^3/\text{min}$ 인 팬을 관의 내부에 설치함으로써 폐광으로부터 유출되는 $13 - 15\text{ }^\circ\text{C}$ 의 냉기를 온실 내의 duct로 유입되게 하여 강제 대류에 의해 온실의 더운 공기를 냉각시키는 장치이다 (그림 16). 그러나 2차년도 부터는 폐광으로부터 배출되는 지하냉수($12.8\text{ }^\circ\text{C} - 13.5\text{ }^\circ\text{C}$)배출관에 그림 17, 18에서와 같이 공기 유출관을 설치하여, 폐광의 냉수에 의해 냉각된 배출관내의 냉기를 야냉실로 공급하여 또는 팬으로 강제송풍을 하여 냉각시키는 방법을 채택하였다.

4. 소형 radiator, 냉각 pad 및 냉기를 동시에 사용한 냉각

소형 radiator, 증발냉각(냉각 pad)장치 및 냉기 송풍 장치를 동시에 가동하는 hybrid system을 사용하여 야냉실의 냉각방법으로 사용하였다. 이때 사용된 각각의 냉각장치의 사용조건은 모두 같고 단지 정해진 냉수의 유량으로 인하여 동시에 사용할 경우에는 단독으로 사용할 때 보다 적은 유량이 공급되었다.

5. 대형의 radiator를 사용한 냉각

그림 19에 보여지는 것과 같이 대형의 radiator 앞면에 용량 $50\text{m}^3/\text{min}$ 인 팬 2개를 설치하였으며, 폐광에서 유출되는 약 $12.5\text{ }^\circ\text{C}$ 인 냉수를 radiator에 순환시켜 radiator를 열교환기(heat exchanger)로 사용하였다. 온실 내의 더운 공기는 팬에 의해 속도 3.63 m/s 로 radiator의 앞면에서 흡입되어 radiator의 뒷면으로 유출됨으로써 온실 내로 확산되게 하였으며 radiator 내로 유입되는 냉수의 유량은 $0.01807224\text{ m}^3/\text{min}$ 로 공급하였다.

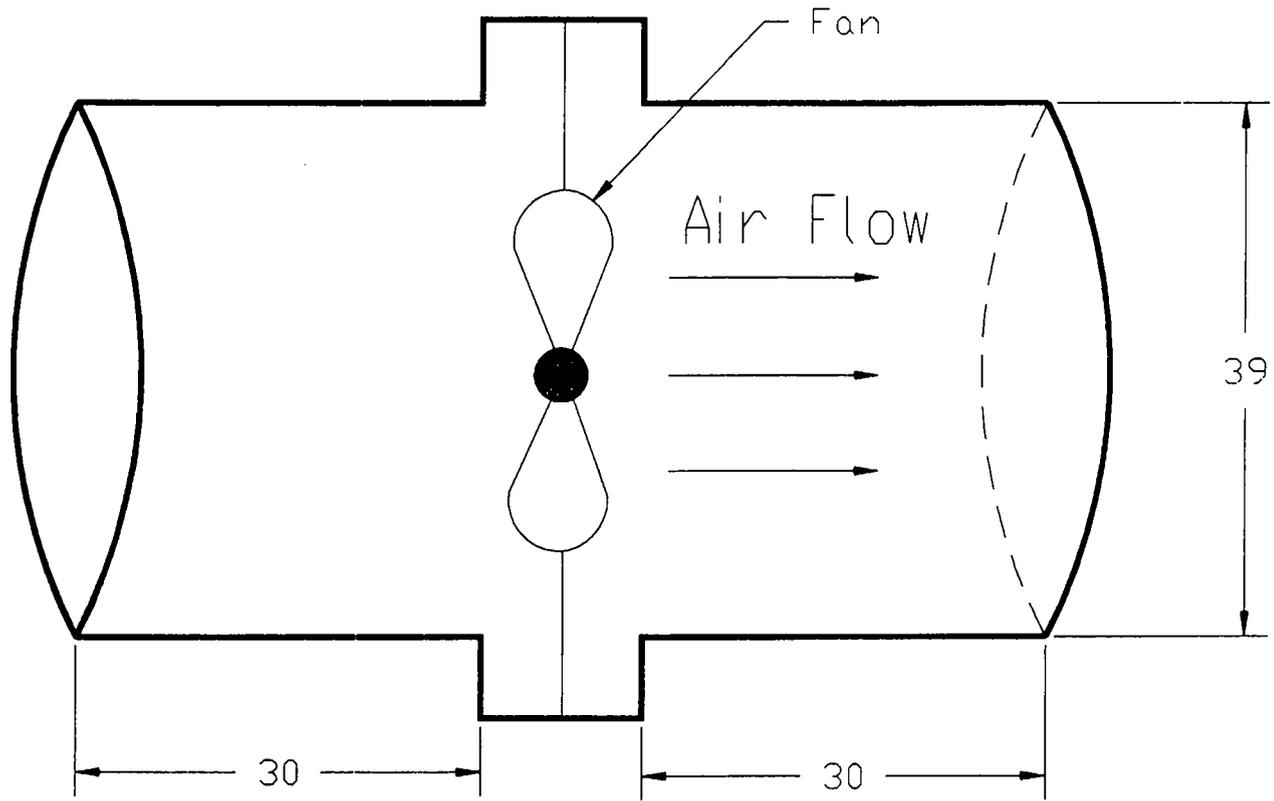


그림 15. 냉기 송풍장치

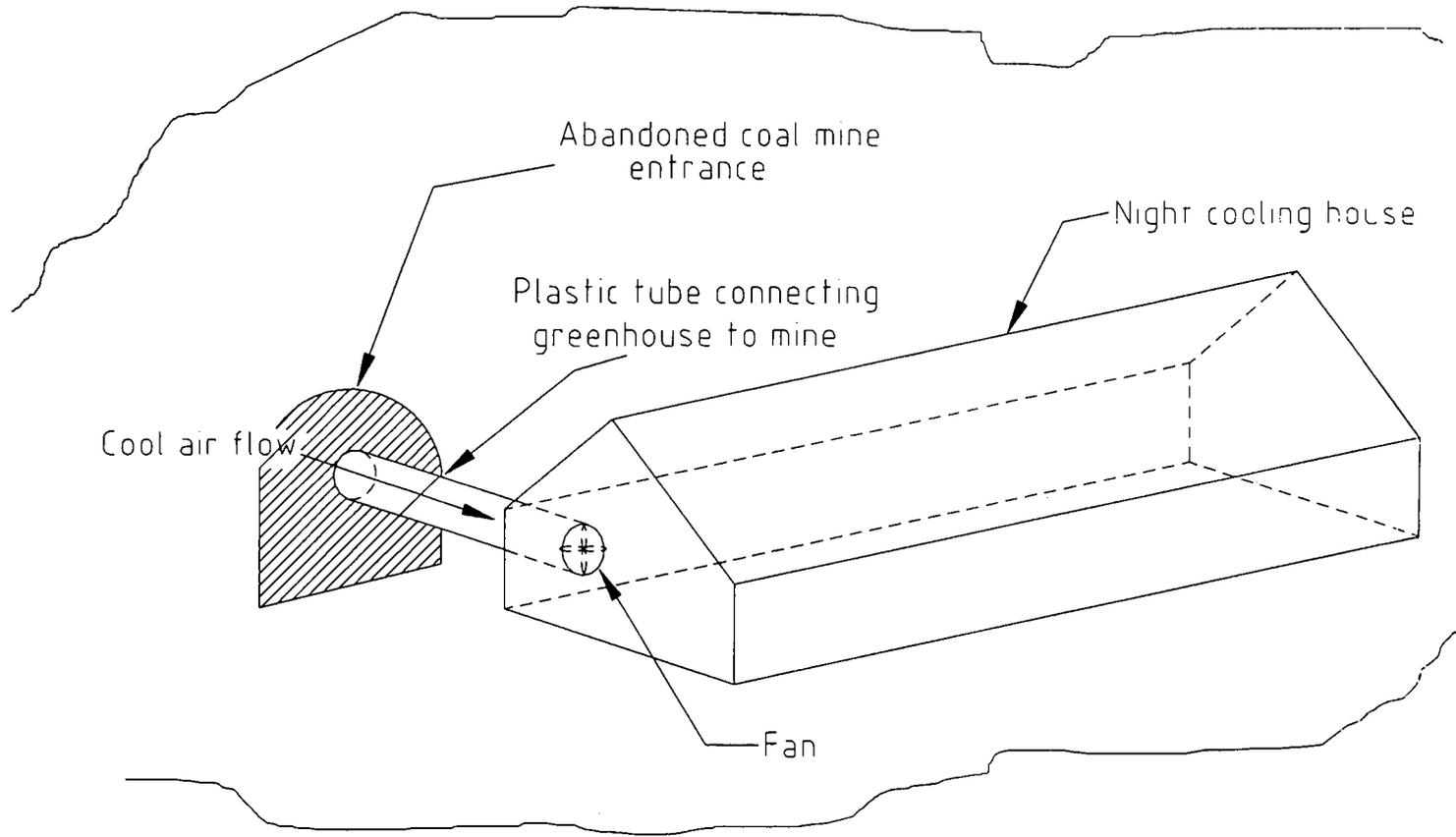


그림 16. 냉기송풍 방법의 개략도



그림. 17. 냉수배출관 내부로부터의 냉기 유입관

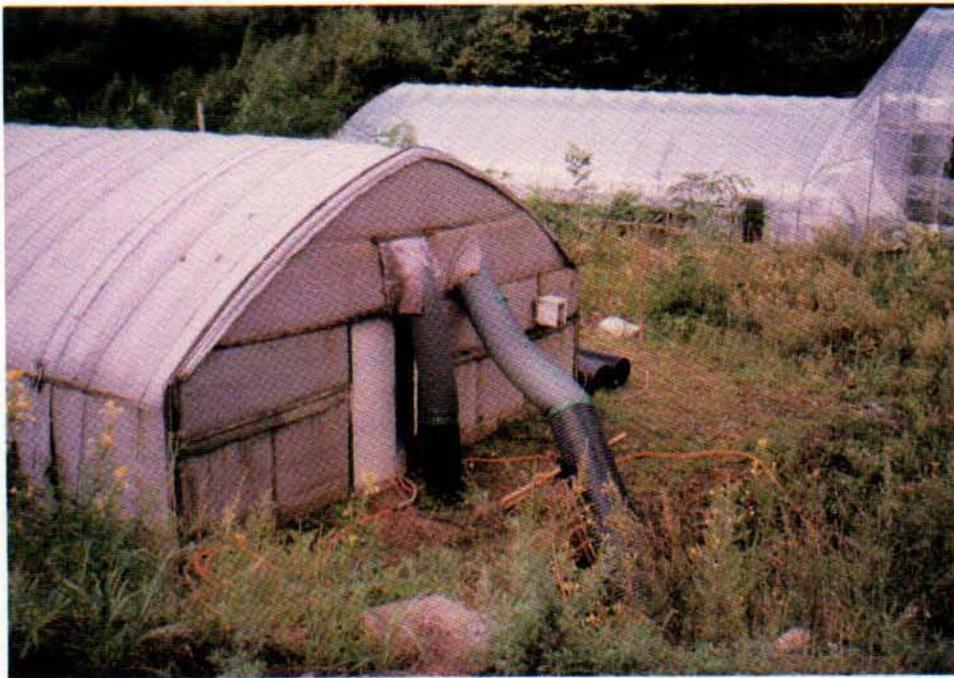


그림. 18. 냉수배출관의 냉기유입장치의 연결모습

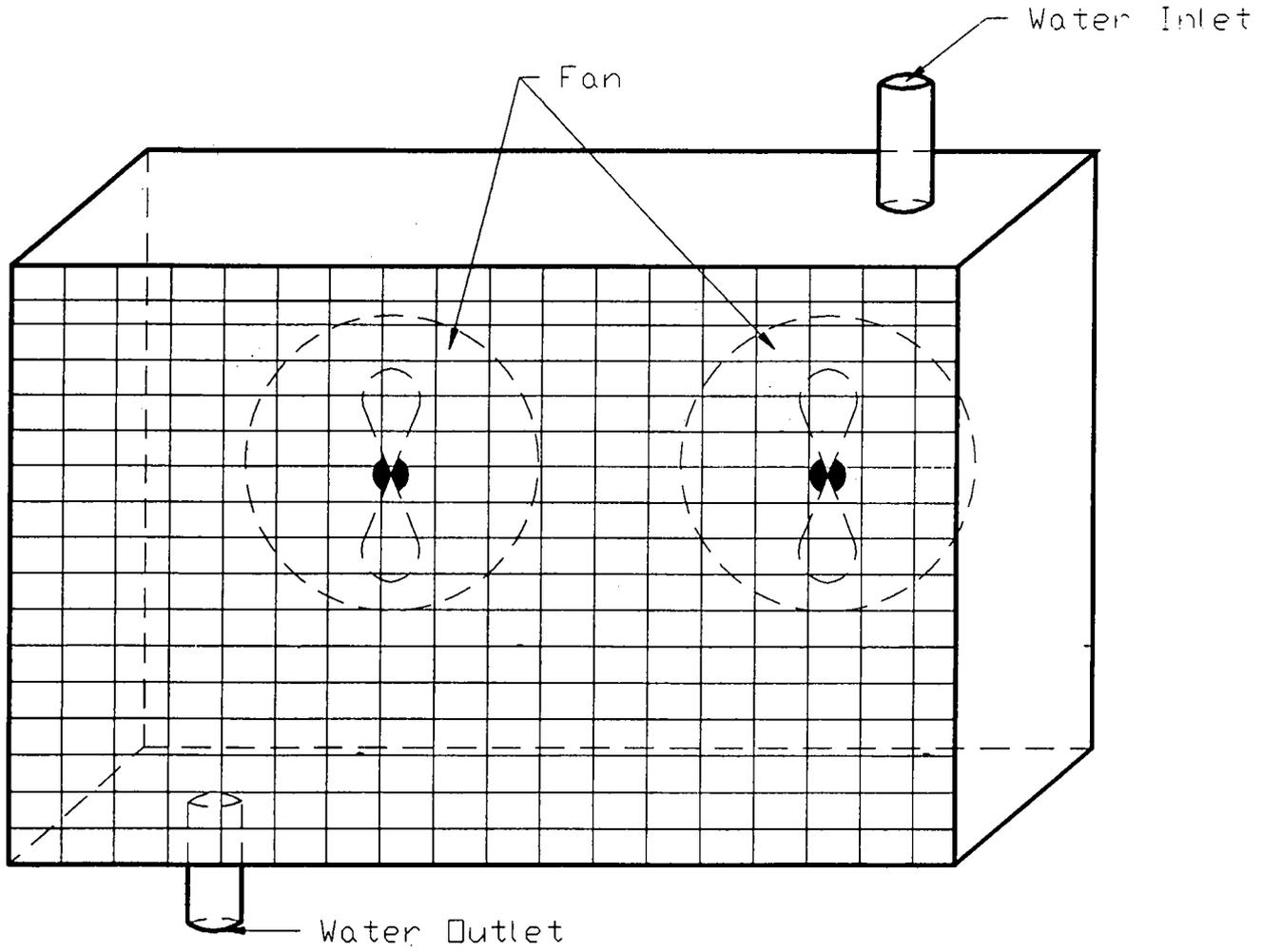


그림 19. 대형 radiator 냉각장치

제 3 절 결과 및 고찰

1. 각 냉각 장치별 냉각효과

가. 소형 radiator에 의한 냉각

소형의 radiator 냉각 장치를 사용한 주간 및 야간의 온실 냉각 실험 결과가 각각 그림 20 및 그림 21에 보여지고 있다. 주간의 외기 및 냉각 시설이 없는 옥묘실의 온도는 25 - 35°C 범위에 있었으며, 야간에는 25 - 28°C 범위에 있었다. 라디에이터로부터 유출되는 냉수의 온도는 주간에 약 13°C 야간에 약 14°C 였다. 라디에이터를 통과하기 전 공기의 온도는 주간 및 야간에 약 22°C 였으며, 라디에이터를 통과한 후 공기의 온도는 주간에 약 18 - 19°C 야간에 약 17 - 18°C로 냉각되었다. 이러한 공기의 온도 감소는 라디에이터를 지나는 냉수에 의한 온실 내 공기의 열손실에 기인하며 주간의 온실내 지상 0.3m 또는 2.3m에서 기온은 외기 온도에 비해 5 - 15°C 정도 낮아진 21 - 23°C 범위에 있었다.

나. 냉각 Pad를 사용한 증발냉각

냉각 패드를 사용한 증발냉각 장치가 가동되는 동안 주간 및 야간의 온실 냉각 실험 결과가 각각 그림 22 및 그림 23에 주어져 있다. 주간의 외기 및 냉각 시설이 없는 옥묘실의 온도는 25 - 33°C 범위에 있었으며, 야간에는 20 - 30°C 범위에서 있었다. 냉각 패드로부터 유출되는 냉수의 온도는 주간에 약 15°C 야간에 약 13 - 14°C 였다. 냉각 패드를 통과하기 전 공기의 온도는 주간 및 야간에 약 22°C 였으며, 냉각 패드를 통과한 후 공기의 온도는 주간 및 야간에 약 17 - 18°C로 냉각되었다. 이러한 공기의 온도 감소는 냉각 패드를 지나는 냉수의 증발에 필요한 증발열을 온실 내 공기로부터 빼앗기 때문이며 주간의 온실내 지상 0.3m 또는 2.3m에서 기온은 외기 온도에 비해 5 - 10°C 정도 낮아진 22 - 23°C 범위에 있었다.

다. 폐광의 냉기를 사용한 냉각

폐광의 냉기만을 사용하여 온실을 냉방시키는 경우의 시간에 따른 온실내 온도 변화에 대한 결과가 그림 24에 주어져 있다. 주간외기 온도는 25 - 30°C 범위에 있었으며, 야간에는 18 - 22°C 범위에 있었다. 주간의 육묘실 온도는 30 - 40°C로 태양의 복사열로 인하여 외기 온도에 비해 높은 온도 분포를 보였다. 주간외기 온도에 있어 온실 내의 지상으로부터 0.3m 인 곳에서의 온도 분포는 자연대류로 인하여 지상으로부터 2.3m 인 곳에서의 온도에 비해 2 - 4°C 정도 낮았으며, 야간에는 온실 내의 지상으로부터의 높이에 영향을 받지 않았다. 또한 실험 결과에 의하면 주간에는 냉기에 의해 온실이 4 - 6°C 정도 냉각되었으나 야간에는 냉기에 의한 냉각 효과가 작은 것으로 나타났으며, 이러한 이유는 온실 내로 유입되는 냉기의 온도와 온실 내의 온도 차이가 작으므로 냉기에 의한 온실의 냉각 효과가 저하되었기 때문인 것으로 사료된다.

라. 소형 Radiator, 냉기 및 냉각 pad를 동시에 사용한 냉각

소형의 radiator, 폐광의 냉기 및 냉각 pad 장치를 사용한 온실의 주간 및 야간의 냉각 실험 결과가 각각 그림 25 및 26에 보여지고 있다. 외기의 온도와 냉각장치가 없는 육묘실(breeding room) 내부의 온도는 25 - 28°C의 범위에서 변화하였다. 온실 내의 지면 위 0.3, 2.3, 2.3m에서 측정된 온도는 약 20°C에서 거의 비슷한 온도 분포를 나타내고 있으며, 냉각장치에 의한 온실 내의 온도는 외기와 육묘실에 비교할 때 온도 5 - 8°C가 냉각되어졌다. 소형 radiator와 pad 출구에서의 공기의 온도는 약 17-18°C로 입구 온도 20-21°C와 비교할 때 약 3°C의 온도 저하 효과를 나타냈다.

Pad와 Radiator 출구의 물의 온도는 13-15°C로 약 12.5°C의 입구 온도와 비교할 때 0.5-2.5°C의 물의 온도 상승에 해당하는 열을 온실 내의 공기로

부터 빼앗으므로써 온실을 냉각시켰다.

마. 대형 radiator를 사용한 냉각

그림 27, 28에 보여지는 것과 같이 주간외기 온도는 약 30°C로부터 37°C에서 변화하였으며, 그림 29과 30은 밤의 외기가 약 23°C로부터 26°C까지 변화하였음을 보여주고 있다. 또한 냉각장치가 설치되지 않은 breeding room의 내부 공기 온도는 주간에는 외기의 온도에 비해 약간 높았으나, 반면 야간에는 온도가 오히려 외기 온도에 비해 낮았다. 이러한 외기 및 육묘실(breeding room)의 심한 온도의 일교차에 비해 냉각장치에 의해 냉각된 온실 내부의 공기 온도는 주간 및 야간에 따라 크게 변화하지 않았다. 지상으로부터 0.3m와 2.3m 위에서 측정된 온실 내부 공기의 온도는 각각 약 15 - 17°C 와 14 - 15°C의 범위에 있었다. 이러한 대형 radiator 냉각장치를 사용은 주간외기 온도 또는 육묘실(breeding room)의 온도와 비교할 때 온실 내부의 온도를 적어도 약 15°C 정도 냉각시키는 결과를 가져왔다. 또한 야간에는 온실의 온도가 외기에 비해 적어도 약 8°C 정도 냉각되어졌다. 온실 내에서 radiator로 유입되는 공기의 온도는 약 20°C 였으며, radiator를 통과한 후 공기의 온도는 약 15°C로 약 5°C 정도 냉각되어졌다. 대체로 지상으로부터 2.3m 위에서 측정된 온실내 공기의 온도가 지상으로부터 0.3m 위에서 측정된 온실내 공기의 온도에 비해 2 - 3°C 정도 낮았으며, 이와 같은 결과는 Radiator 냉각장치가 온실의 윗 부분에 설치되어 있기 때문인 것으로 사료된다. 또한 오전 4:35에는 딸기육묘가 온실 내로 옮겨졌으며, 육묘의 호흡열에 의한 온실의 온도 상승 효과는 매우 적은 것으로 나타났다.

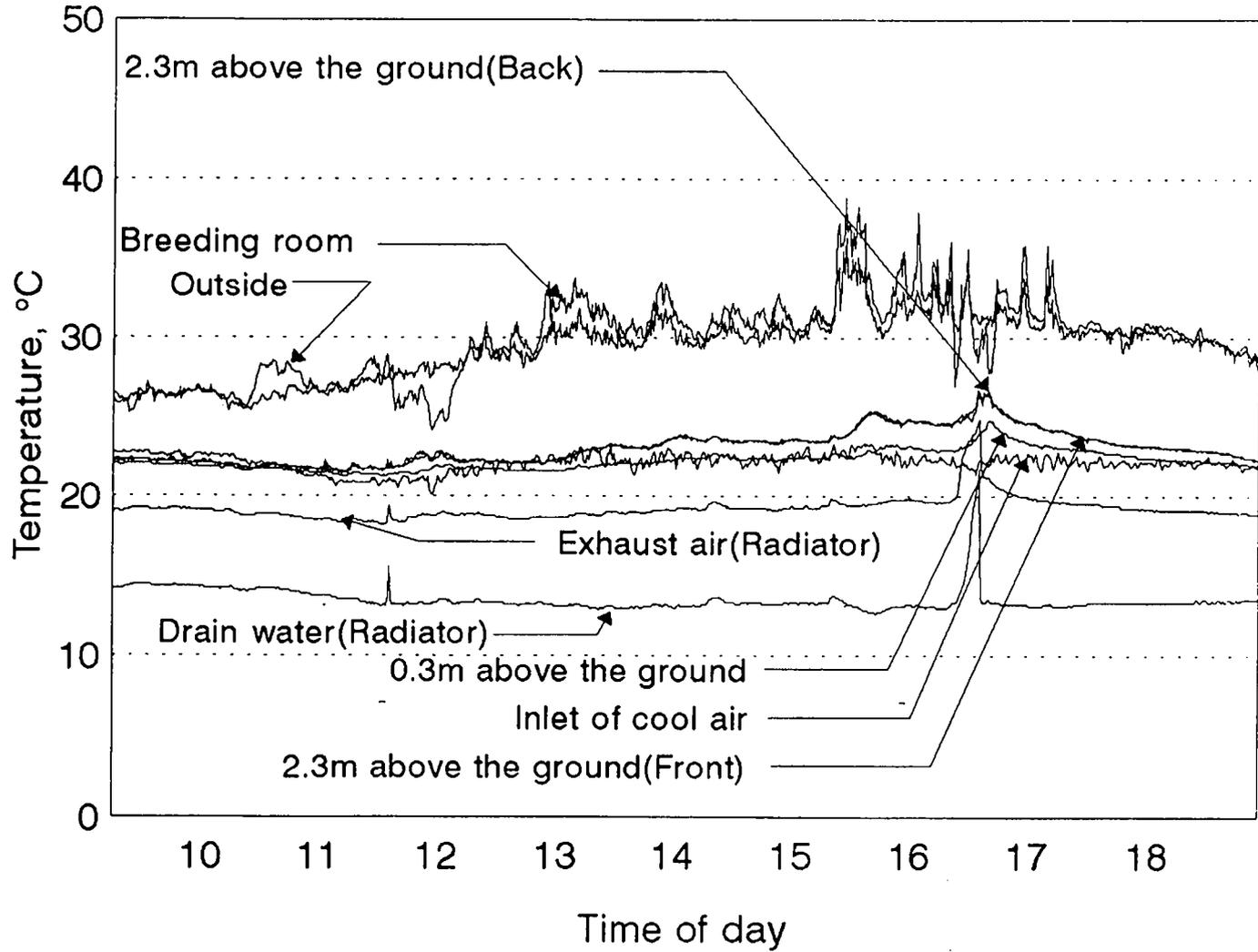


그림 20. 소형 radiator 가동시 야생실내의 온도 변화 (AM 9:15 - PM 10:00)

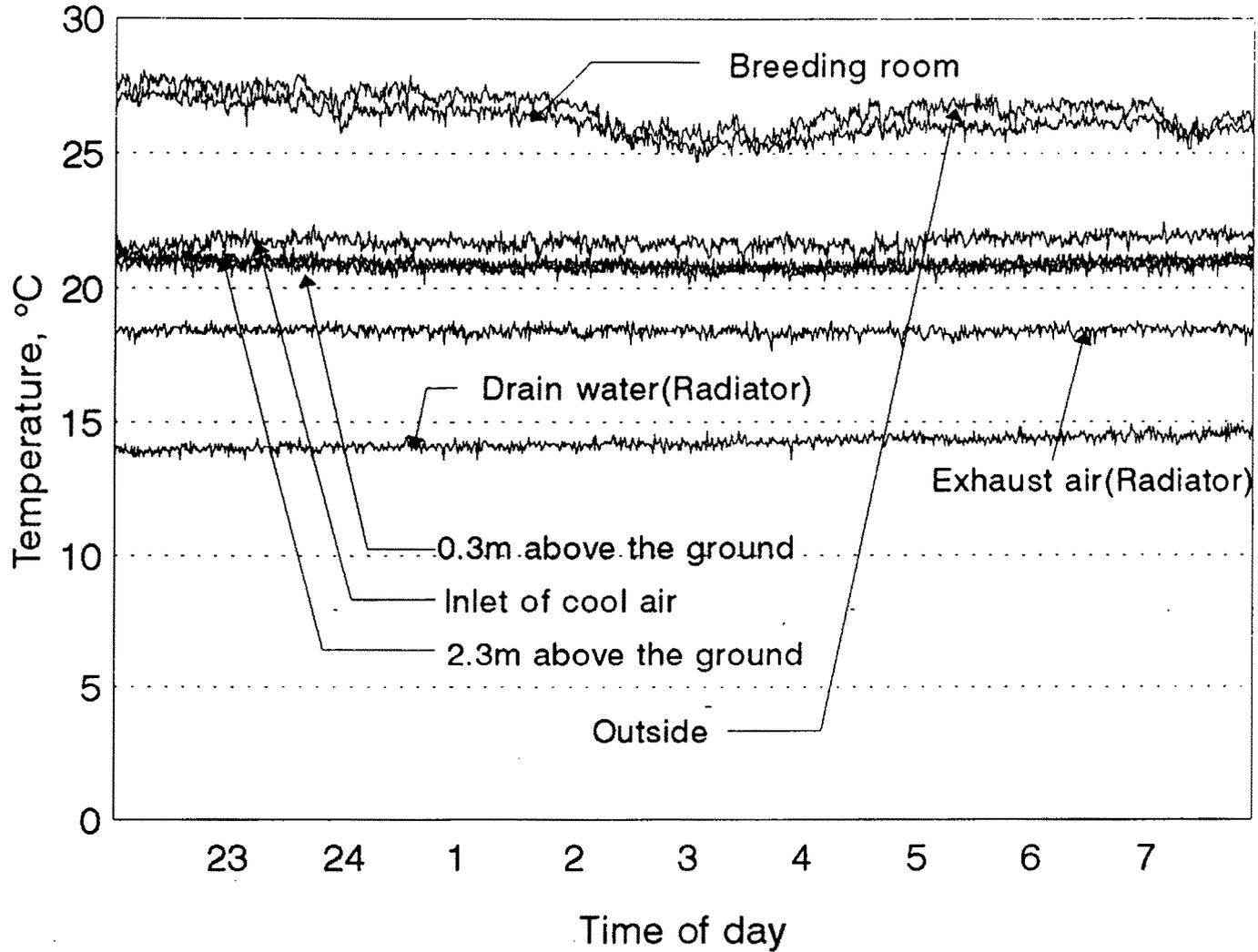


그림 21. 소형 radiator 가동시 야빙실내의 온도 변화(PM 10:00 - AM 9:25)

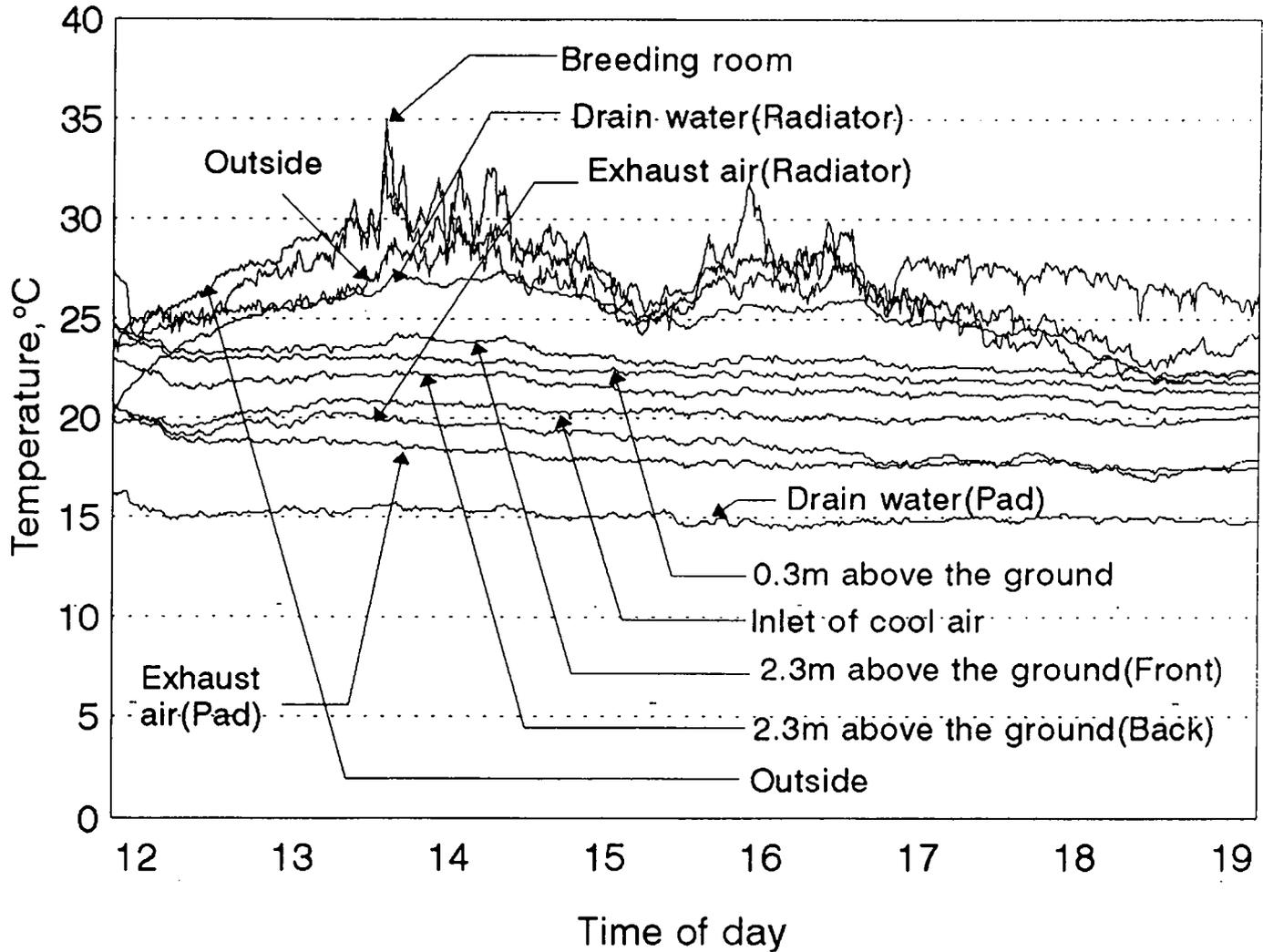


그림 22. 패드를 사용한 증발 냉각장치의 가동시 야생실내의 온도변화 (AM 11:49 - PM 7:10)

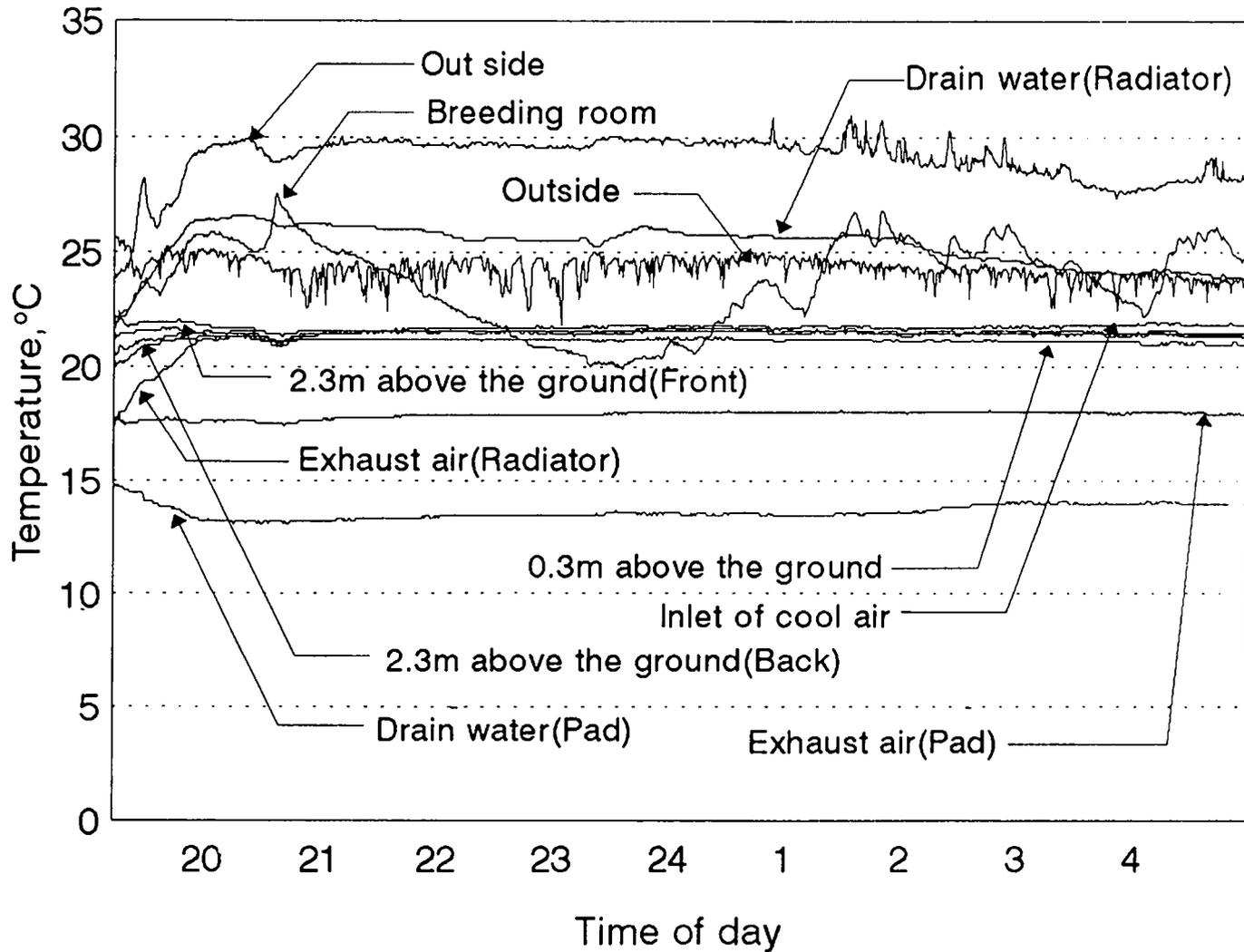


그림 23. 패드를 사용한 중발 냉각장치의 가동시 야빙실내의 온도변화 (PM 7:13 - AM 11:25)

바. 폐광의 배출 냉수관내의 냉기를 이용한 냉각

2차년도에 설치한 배출 냉수관내의 유입되는 냉기의 온도는 평균 14.1℃였지만 3차년도에 설치한 배출냉수관의 유입냉기온도는 평균 13.5℃로 더 낮은 온도를 나타내었다. 그림 31에서와 같이 오전 10시를 기준으로 그 이후에는 온실내의 온도가 15℃이상으로 상승하고 있는 것을 볼 수 있다. 이것은 10시 이후가 되면서 태양복사열에 의한 지면온도의 상승으로 냉기 유입관 자체가 주위의 대기온도와 태양복사열에 의해 온도가 상승하여 유입되는 냉기의 온도가 상승되었기 때문이다. 그림 32에서 오후 2:59분에 옥묘실의 문을 개방하여 상대적으로 야냉실의 온도가 22℃이상으로 상승하였다. 그러나 오후 1:24분부터 오후 3:38분까지 아무런 장비의 사용없이 자연적인 환기에 의해서만 폐광의 냉기를 유입시켰는데도 옥묘실을 개방하기 시작한 2:59분까지 약 1:35분간 강제대류용 송풍팬의 작동전과 비슷한 17℃의 온도를 유지할 수 있었다. 다시 오후 3:38분에 송풍팬의 작동과 함께 옥묘실의 문을 닫고 냉각을 다시 시작하였다. 이때 옥묘실의 개방으로 온도가 상승한 야냉실이 다시 설정온도로 돌아가는 속도는 약 0.25℃/min였다. 이처럼 팬을 작동하지 않아도 야냉실의 온도를 설정온도로 유지할 수 있었던 이유는 냉수배출관으로부터 유입되는 냉기의 공급량이 많기 때문이다. 냉수배출관의 배출속도가 빨라 그로인해 배출관내의 공기의 흐름도 빨라져 약간의 압력을 가지 냉기가 야냉실내로 송풍팬을 작동하지 않아도 공급이 되기 때문이다. 송풍팬을 작동할때는 2차년도에 설치한 냉기공급장치의 경우 110.74m³/min, 3차년도에 설치한 냉기공급장치는 159.33 m³/min였다. 본 연구에서 사용된 야냉실내의 체적이 약135m³이므로 냉각을 위해 표 2와 같이 보통 1분에 1회정도의 환기가 이루어지는 대부분의 온실과 마찬가지로 이 정도의 송풍량은 충분한 환기용량을 가졌다고 할 수 있다. 그러나 송풍팬을 작동하지 않아도 각각 15.70

m³/min, 28.17m³/min의 송풍량을 나타내었다. 이것은 일반 온실과는 달리 외면이 단열재로 잘 피복이 되었고 태양복시열을 온실내로 직접받지 않기 때문에 온실내의 온도를 상승시킬만한 큰 냉방부하가 존재하지 않기 때문인 것으로 사료된다. 그림 33에서와 같이 태양광이 사라진 오후6시이후에는 즉 딸기의 야냉실 입고가 이루어지는 시간대에는 평균외기온도도 20℃ 이하로 떨어지고 냉수배출관으로부터 유입되는 냉기의 온도도 평균 12.95 ~ 13.27℃였고 냉방부하가 오전에 비해서는 적어진탓에 야냉실내의 온도도 평균 14.2℃를 유지할 수 있었다. 그림34에서는 오전 10시경부터 야냉실의 온도가 다시15℃이상으로 상승하고 있으며 낮 동안은 야냉실내의 온도가 평균 17℃정도로 유지되었으명 오후 3시를 고비로 다시 온도가 낮아지고 있음을 나타내고 있다. 또한 냉수 배출관으로부터 유입되는 냉수의 온도도 마찬가지로 경향을 띠고 있다.

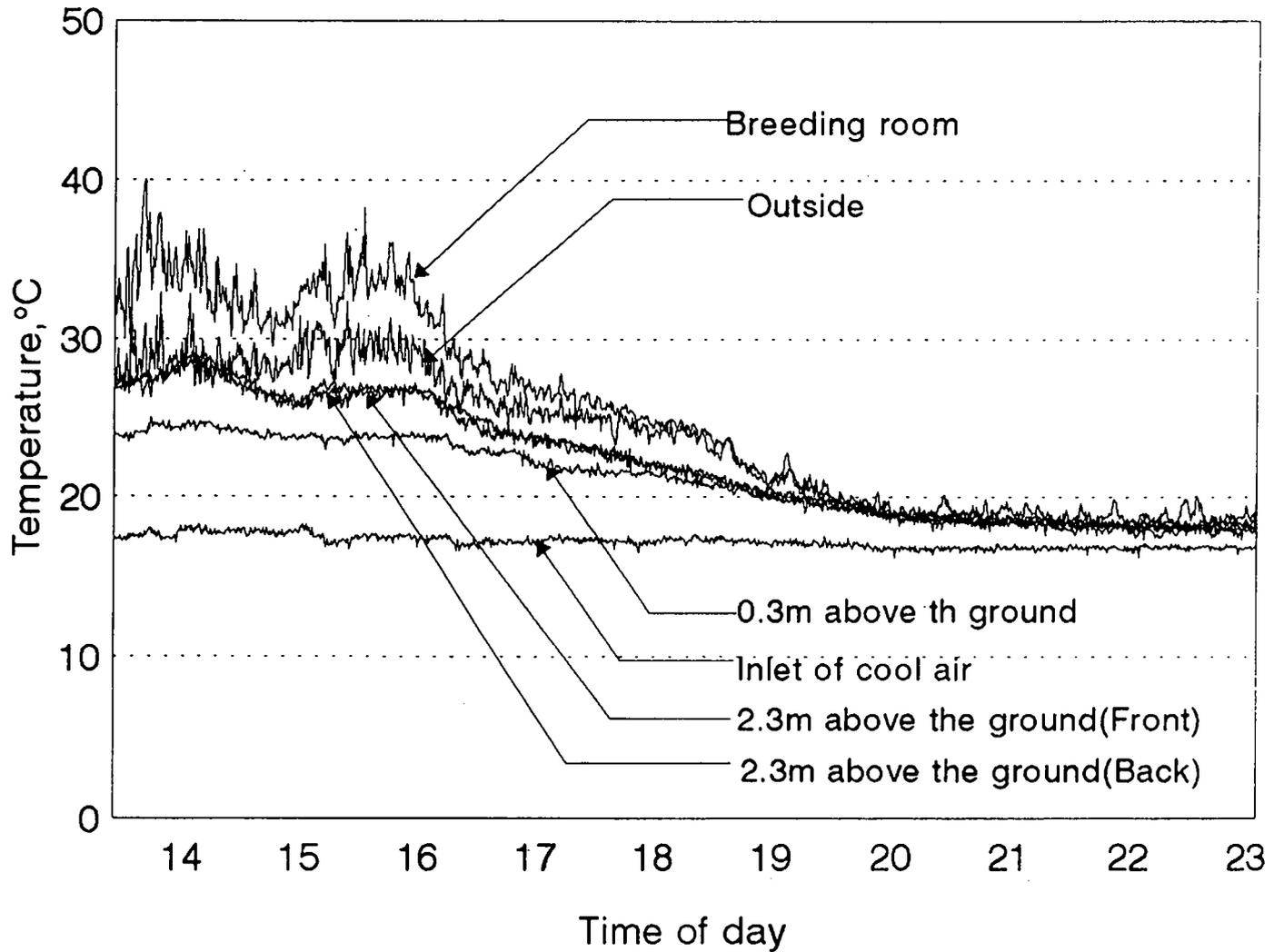


그림 24.. 냉기 송풍 장치의 가동 동안 야방실내의 온도 변화(PM 1:35 - AM9:05)

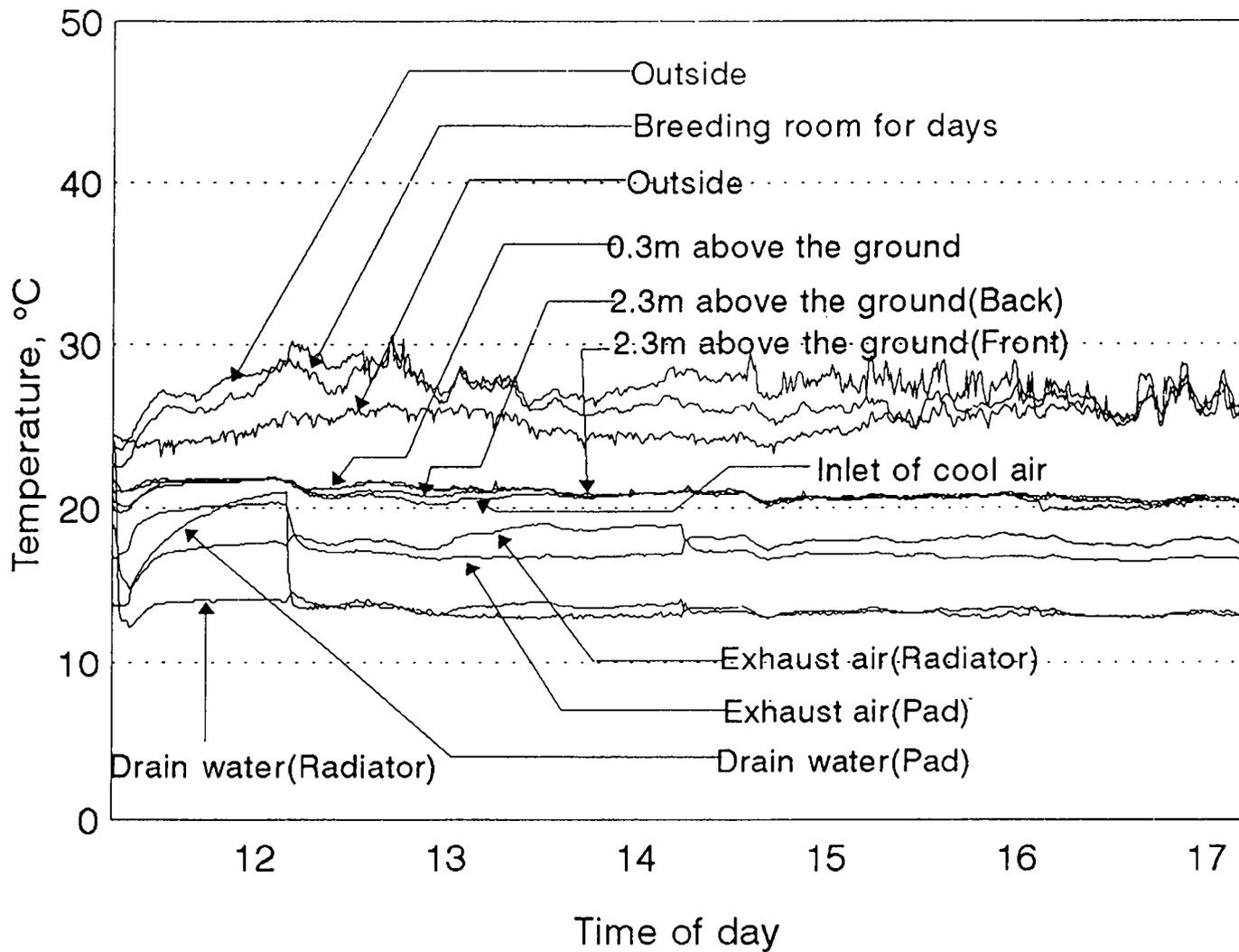


그림 25. Hybrid system가동 동안 야냉실내의 온도 변화 (AM 11:25 - PM 5:22)

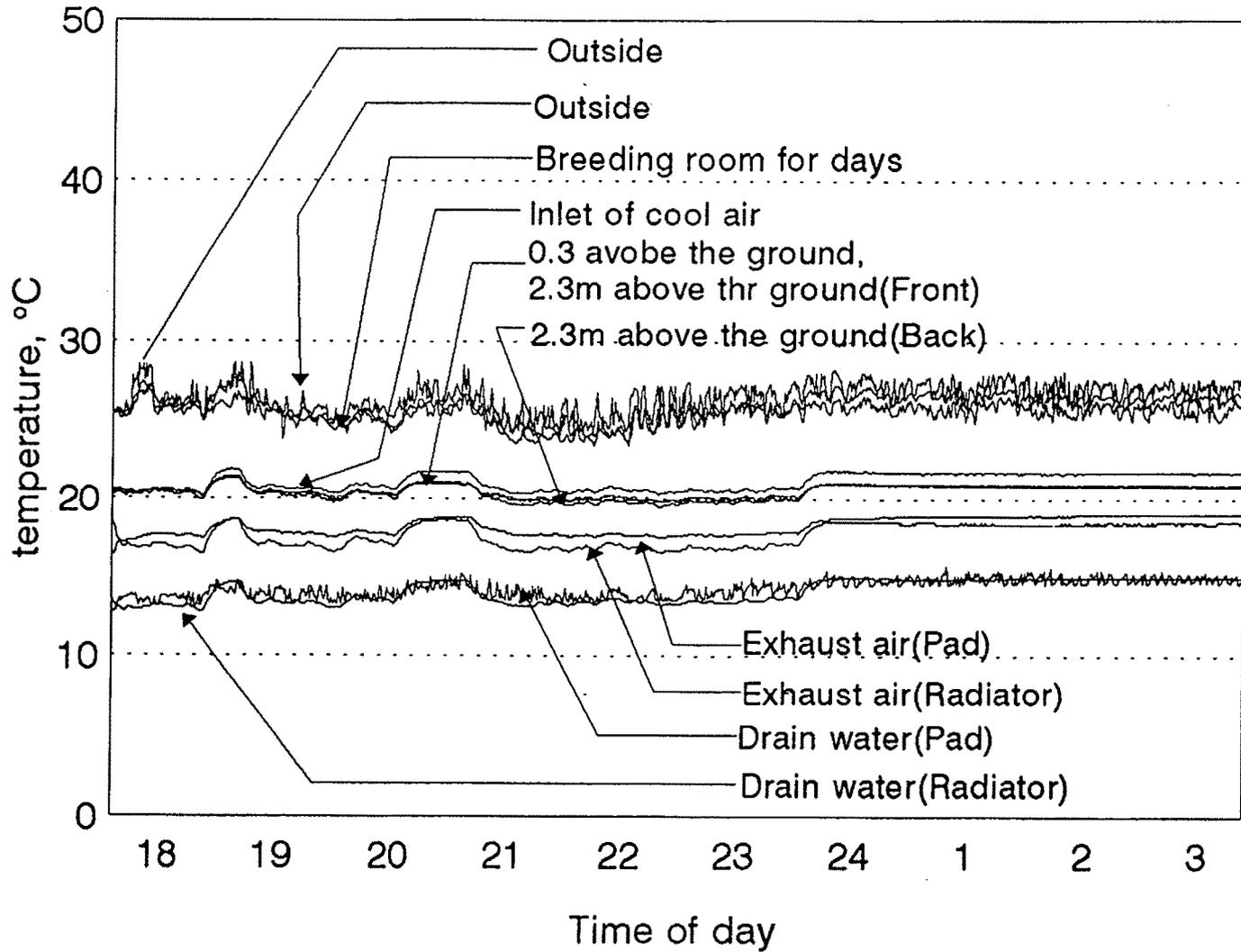


그림 26. Hybrid system가동 동안 야빙실내의 온도 변화 (PM 5:35 - AM 3:35)

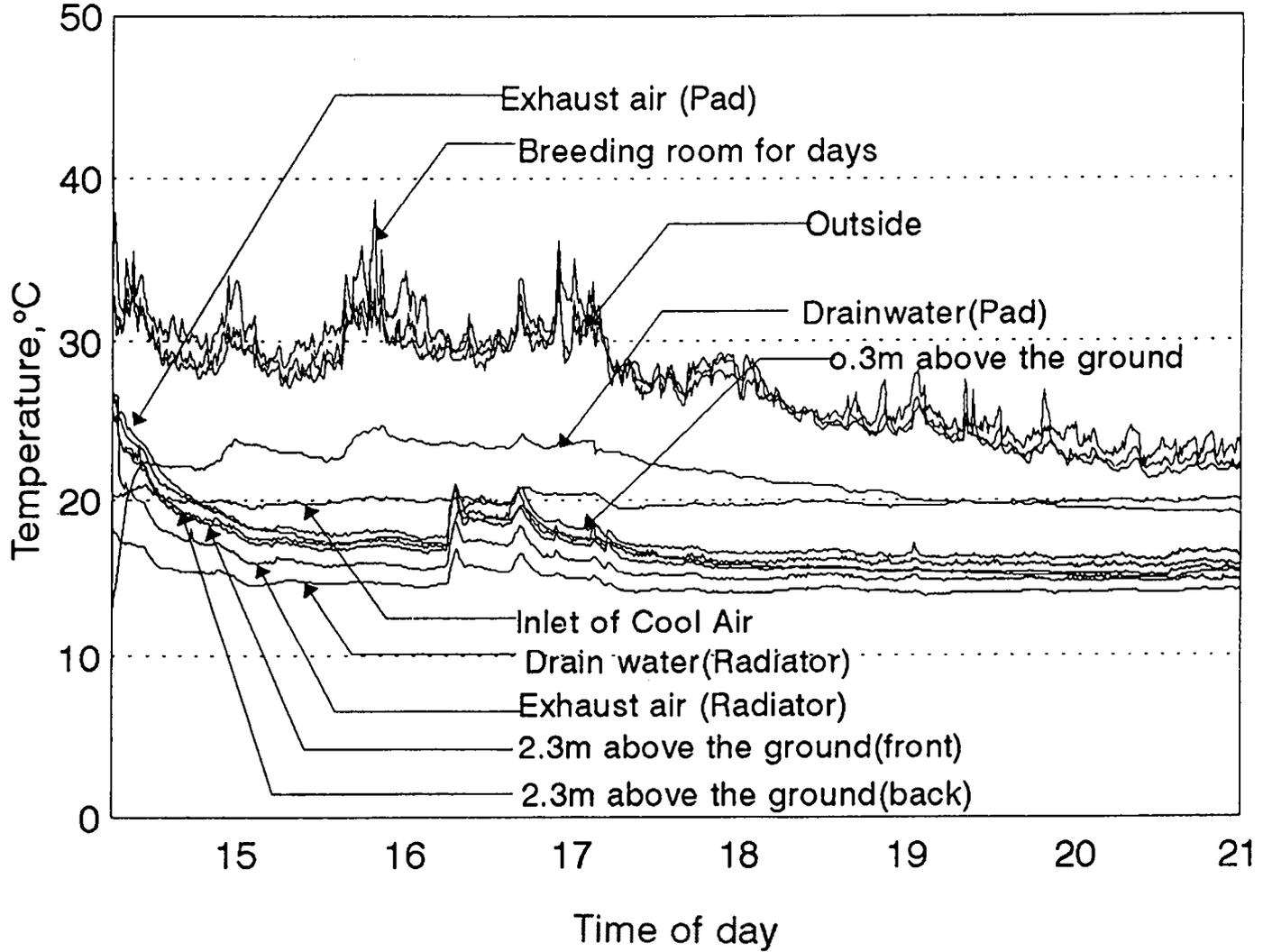


그림 27. 대형 radiator의 가동시 야농실내의 온도 변화 (PM 2:15 - PM 9:00)

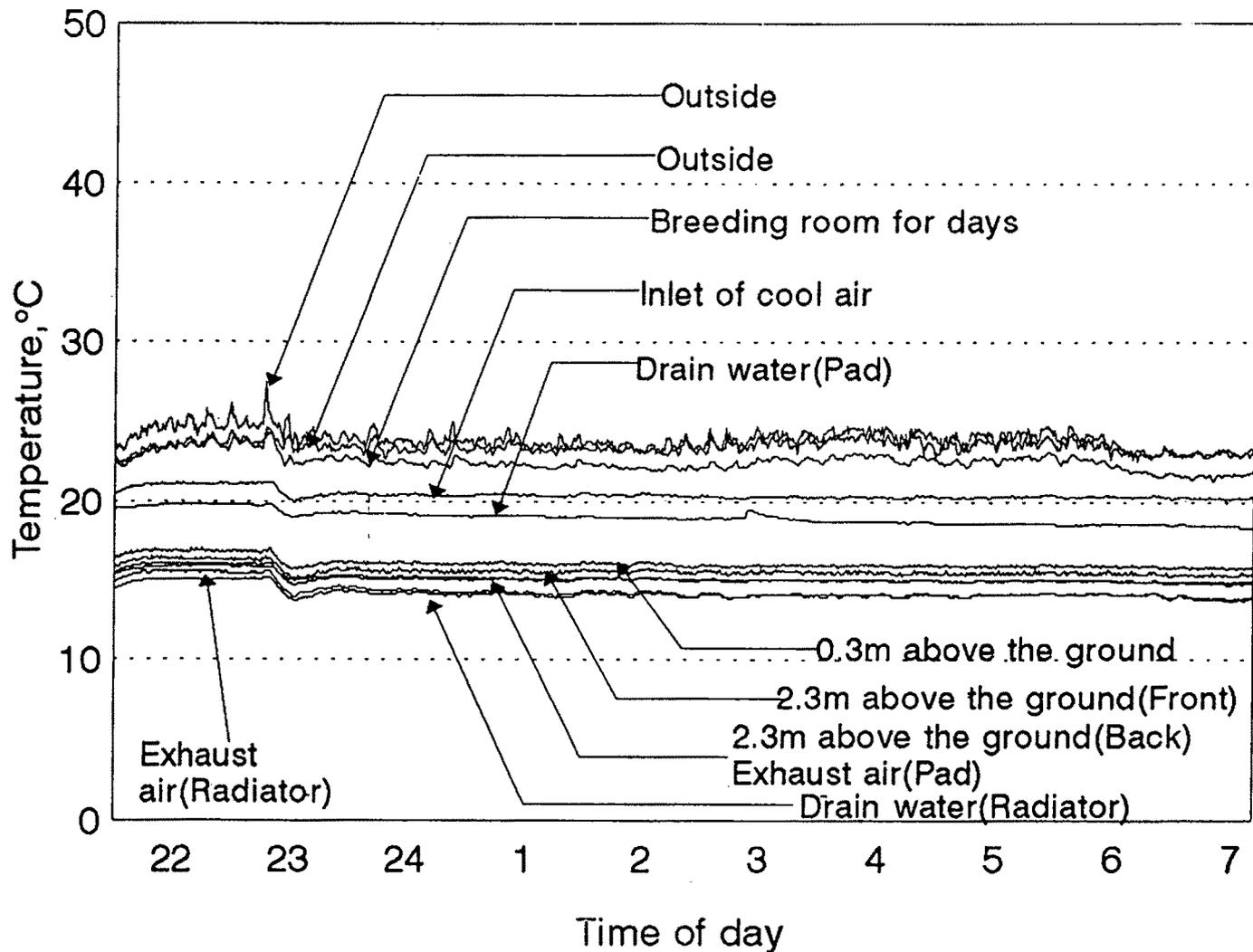


그림 28. 대형 radiator의 가동시 야냉실내의 온도 변화(PM 9:30 - AM 7:30)

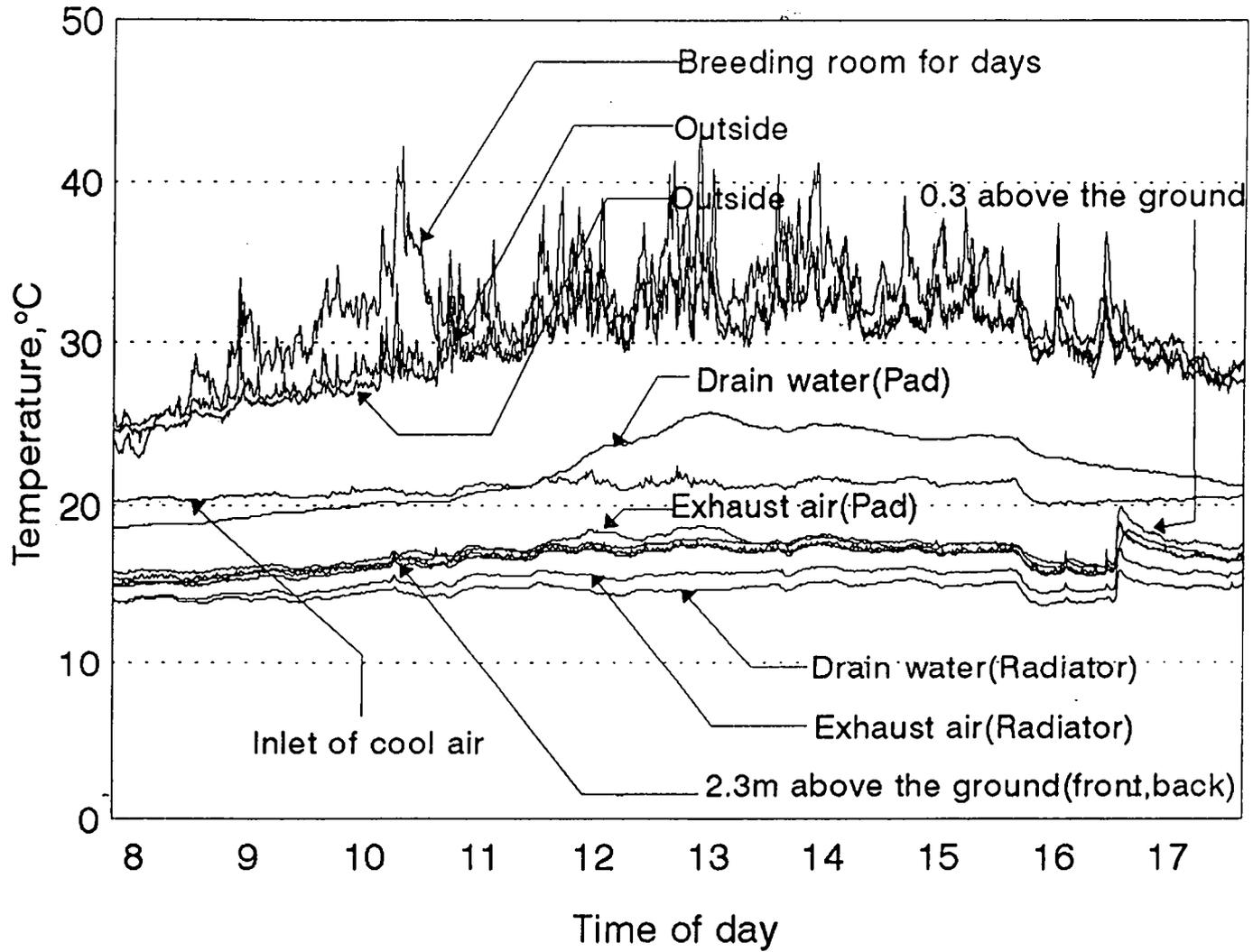


그림 29. 대형 radiator의 가동시 야농실내의 온도 변화(AM 7:50 - PM 6:00)

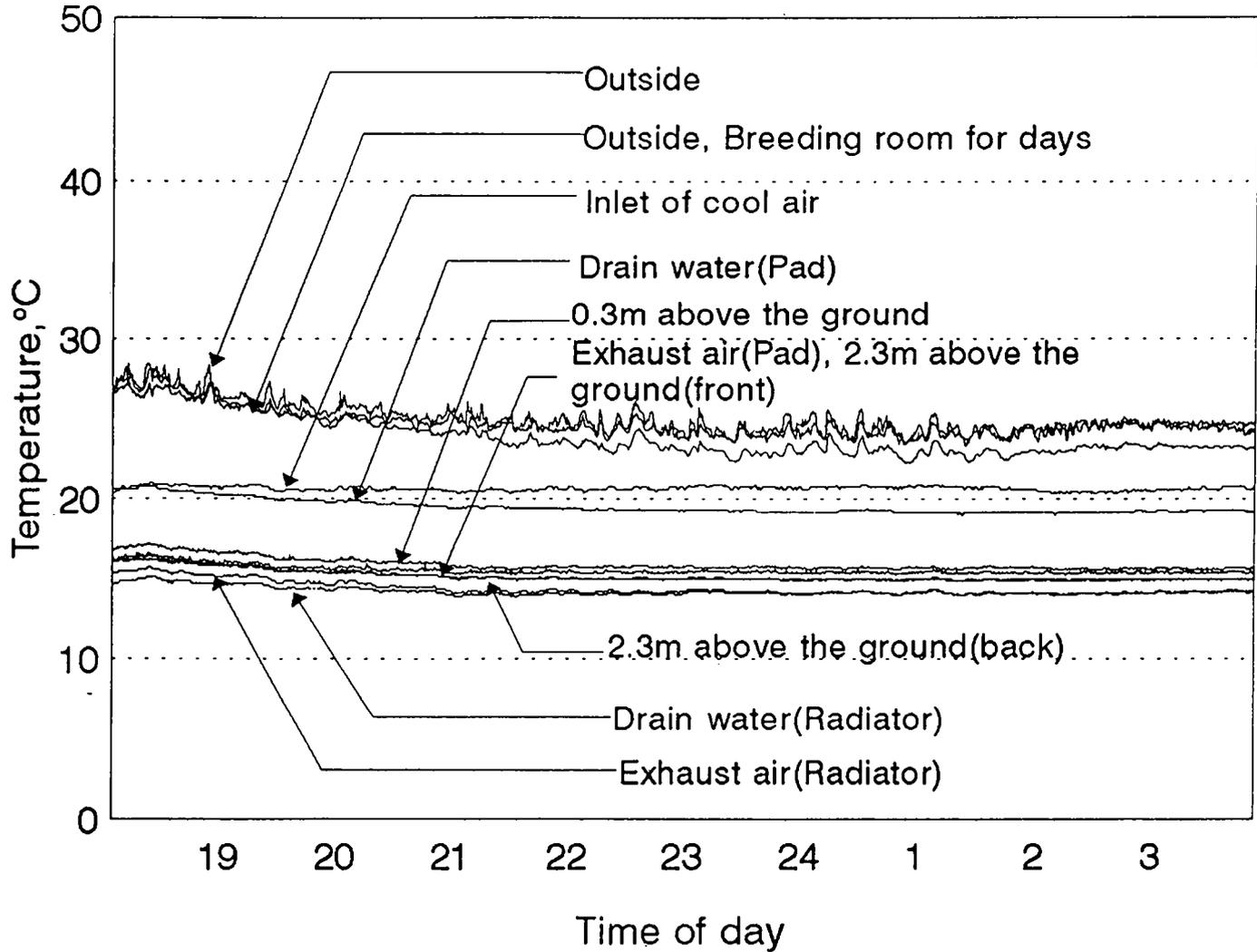


그림 30. 대형 radiator의 가동시 야빙실내의 온도 변화(PM 6:05 - AM8:00)

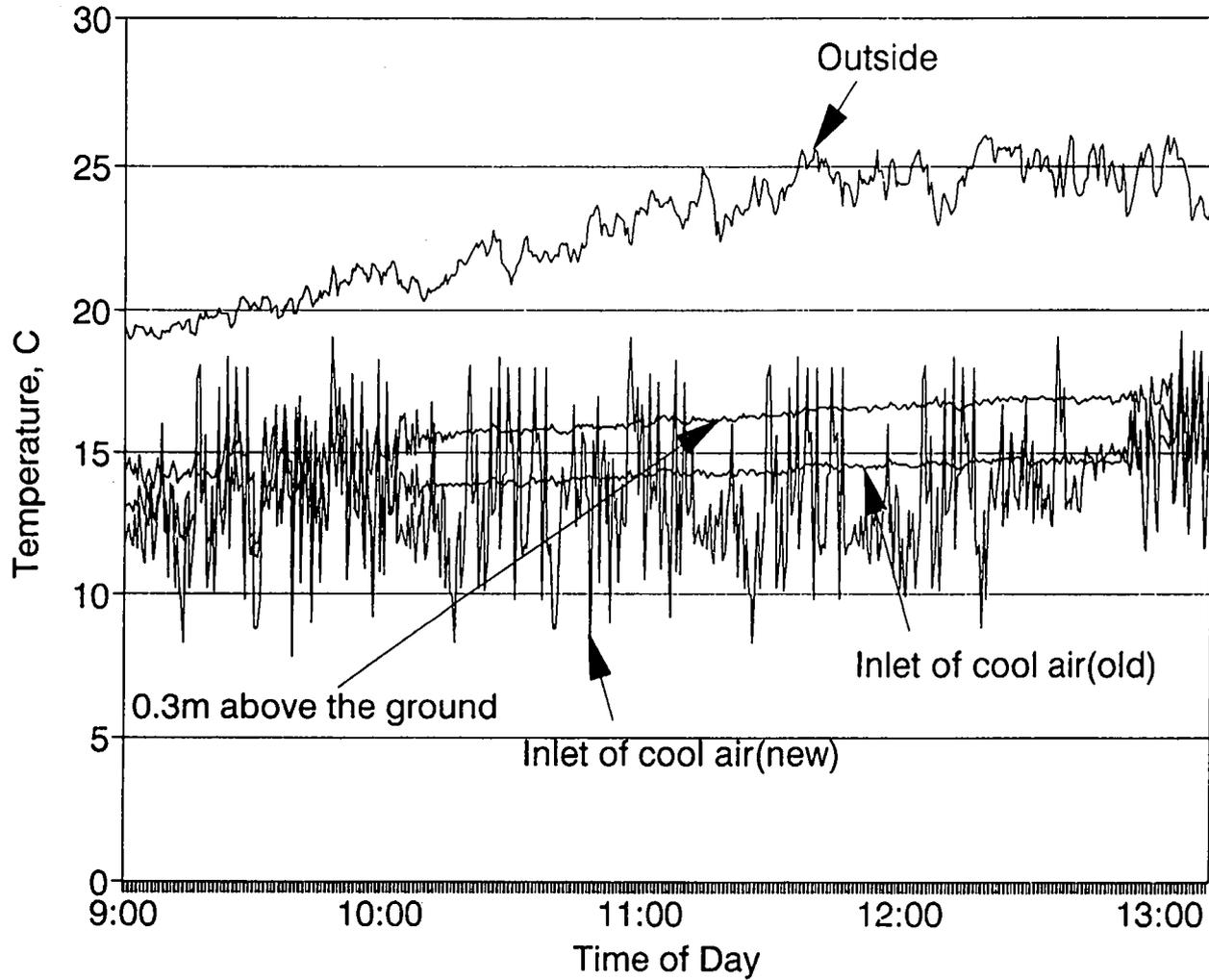


그림 31. 폐광의 냉수배출관으로부터 유입되는 냉기를 이용한 냉각장치의 가동시 야냉실내의 온도 변화(AM 09:00 - PM 1:10)

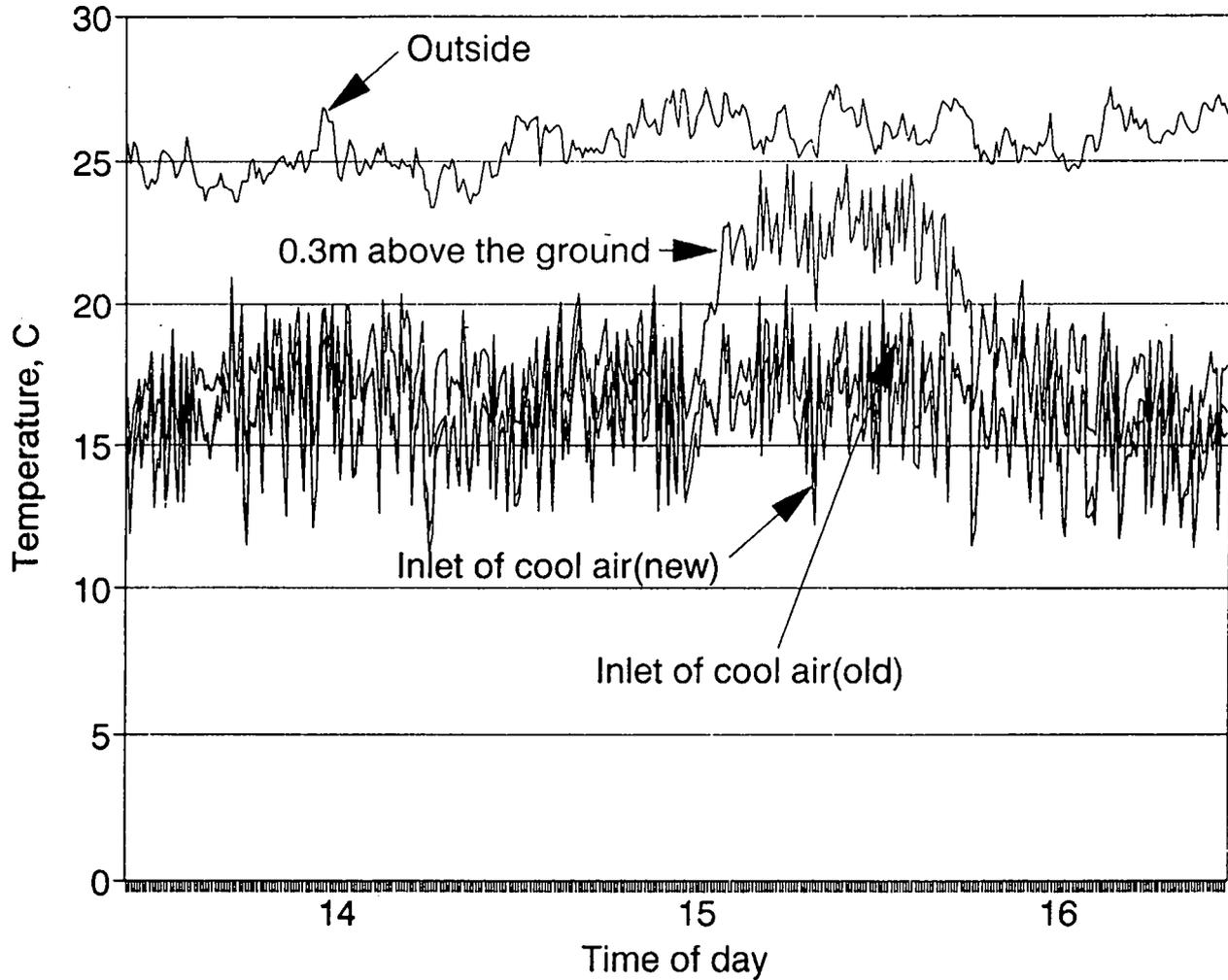


그림 32. 폐광의 냉수배출관으로부터 유입되는 냉기를 이용한 냉각장치의 가동시
야냉실내의 온도 변화(PM 1:24 - PM 4:28)

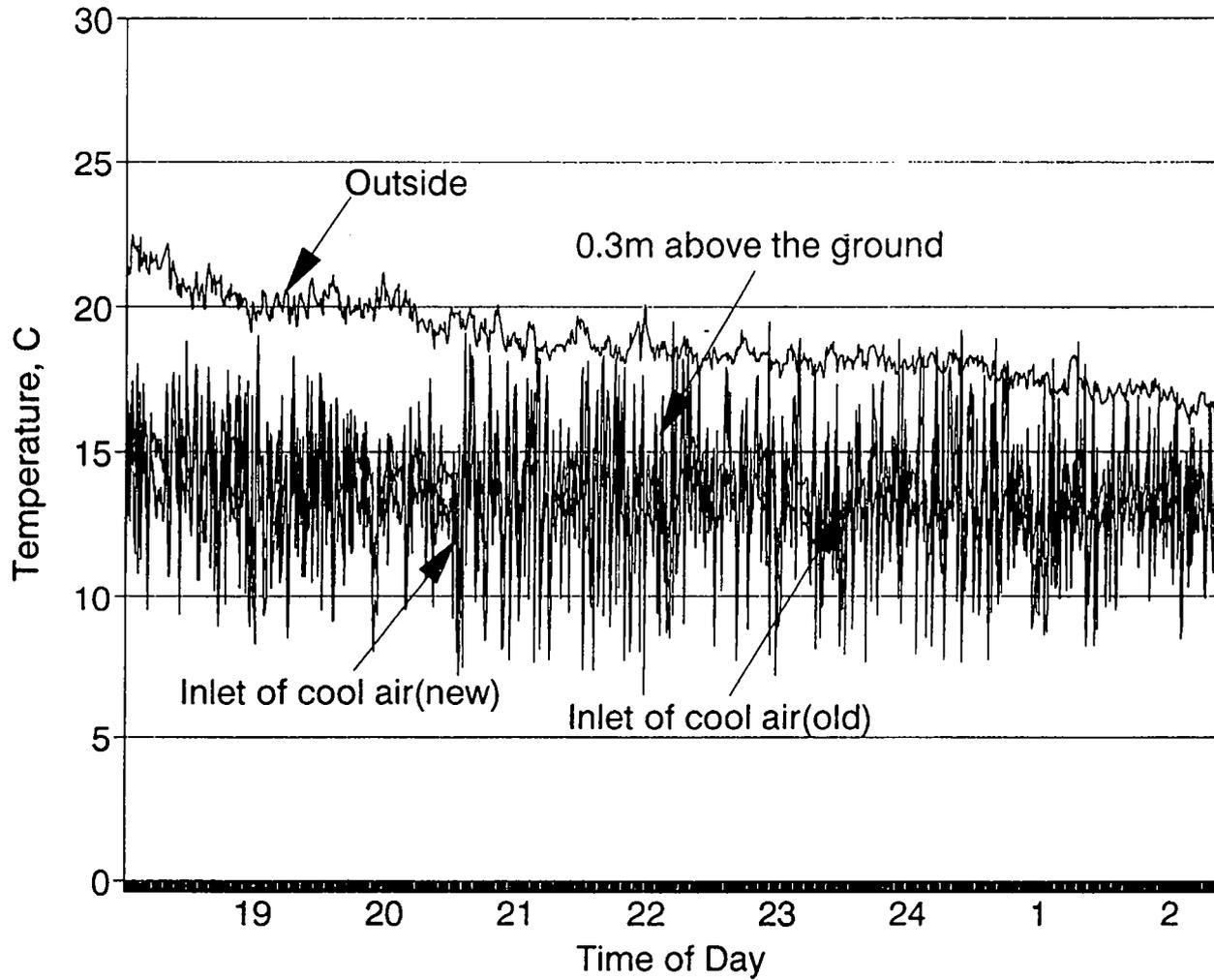


그림 33. 폐광의 냉수배출관으로부터 유입되는 냉기를 이용한 냉각장치의 가동시 야냉실내의 온도 변화(PM 6:02 - AM 2:22)

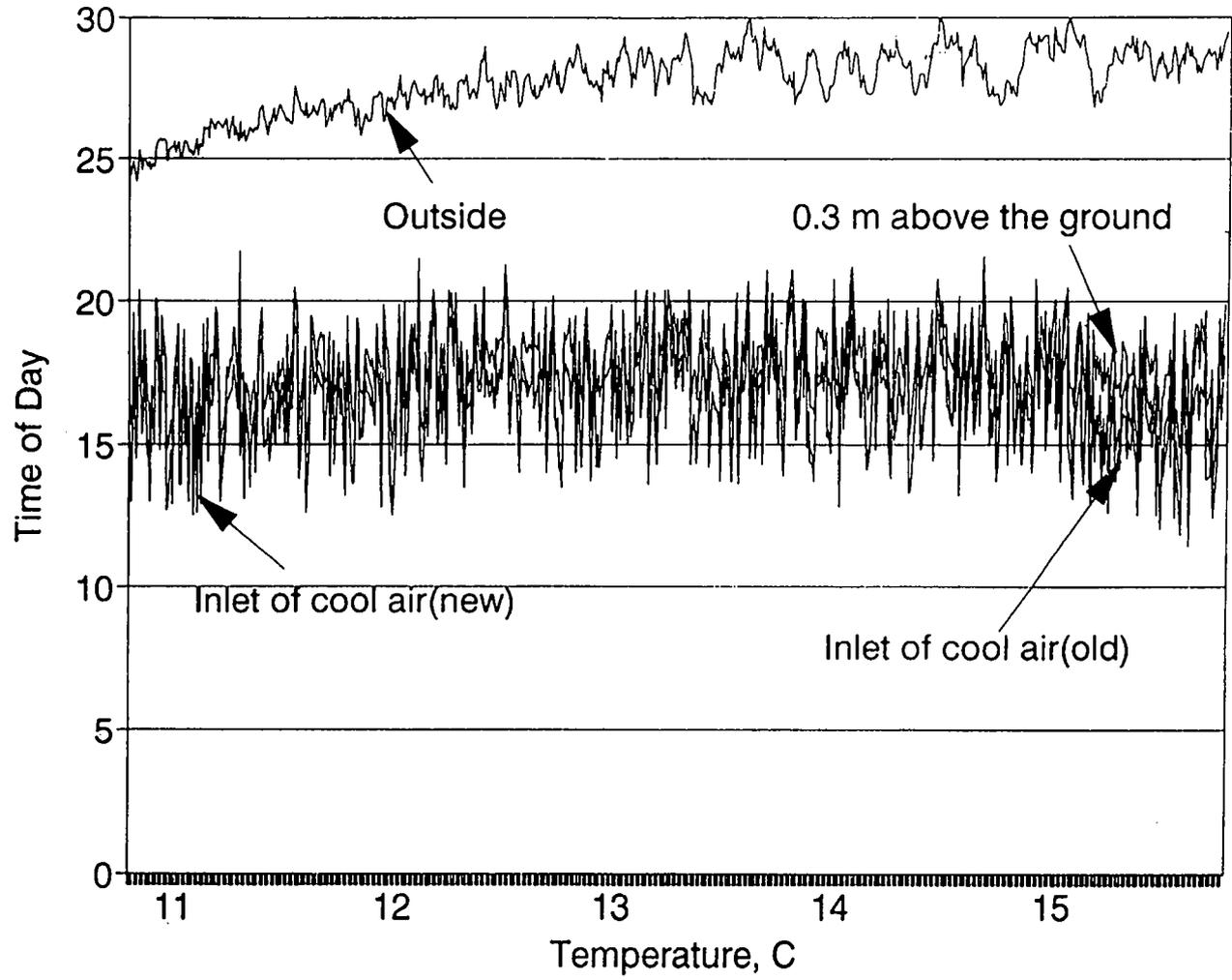


그림 34. 폐광의 냉수배출관으로부터 유입되는 냉기를 이용한 냉각장치의 가동시 야냉실내의 온도 변화(AM 10:46 - PM 3:46)

2) 각 냉각 장치의 장단점

온실의 냉각 효율면에서 여러 냉각 방법을 비교할 때 독립적으로 소형 radiator, 패드 냉각, 및 냉기를 사용한 냉각 방법은 거의 비슷한 결과를 가져왔으며, 여러 냉각 장치를 동시에 가동하였을 때는 독립적으로 개개의 냉각 장치를 가동할 때 보다 효율면에서 약간 좋았다. 그러나 대형 라디에이터를 독립적으로 사용할 때 온실의 냉각 효율은 다른 방법에 비하여 상당히 높았으며, 주간 및 야간의 외기 온도가 23 - 37°C 범위에 있을 때 온실 내부 공기의 온도는 약 14 - 17°C 범위로 냉각되었다. 소형 radiator를 이용한 냉각장치는 크기면에서 야냉실내에서 발생한 냉방부하에 대한 충분한 용량을 가지지 못했다. 또한 소형 radiator, 대형 radiator 모두 야냉실내에서 환기 시설이 전혀 없는 상태에서 사용하기 때문에 냉각효율면에서는 다른 냉각장치보다 뛰어나지만 작물이 배출하는 CO₂가스로 인한 작물의 영향, 또한 호흡에 필요한 O₂의 양이 부족하는 등의 문제가 발생하기 때문에 또다른 배기팬을 설치하여야 할 것이며 작물에 영향을 주지 않는 범위내에서 환기용량을 고려한 팬을 선택해야 할 것이다. 패드냉각장치의 경우에는 증발냉각 원리를 이용한 냉각방식으로 상대 습도가 낮을수록 효과가 있는데, 야냉실내에 설치되어 그본래의 목적과는 다르게 설치 운영되었다. 이로 인해 패드냉각장치의 효율은 야냉실내의 상대습도가 높을수록 그효과가 줄어들었겠지만, 본 연구에서는 13°C의 냉수를 패드에 공급하여 radiator의 역할과 비슷하게 사용하였다. 그 결과 야간에는 필요한 설정온도에 근접하였지만 radiator의 효율에는 미치지 못하였다. 폐광으로부터 직접유입되는 냉기를 이용한 경우는 유입되는 냉기의 온도가 약 18°C 정도로 설정기온에 못미치는 온도로 야냉실내로 유입이 되었다. 그러나 실제폐광내의 온도는 13-14°C로 이온도의 냉기가 야냉실로 직접 유입이 된다면 냉방부하를 최소화하여 설정온도로 야냉실

의 온도를 조정할수 있을 것이다. 이렇게 하기 위해서는 폐광으로부터 냉기유입구의 크기도 지금보다는 훨씬 크게 조정하여 냉기를 유입시켜야 할 것이다. 또한 일반적으로 대부분의 폐광내부의 CO₂ 농도가 일반주위공기의 농도보다 높기 때문에(Peterson et al., 1975) 직접적인 야냉실 또는 온실내로의 송풍은 야냉실또는 온실내의 CO₂농도를 높이는 결과를 초래한다(Marsh et al., 1994). 그러므로 온실내의 작물을 고려한 냉각이 되어야 할 것이며 CO₂로 인해 영향을 받는 작물인 경우에는 예비냉각처리등의 방법으로 사용해도 좋을 것이다. 그러나, 폐광의 배출냉수관으로부터 유입되는 냉기는 폐광내의 지하수가 원천이므로 CO₂ 가스에 대한 문제는 자연히 줄어들 것이다. 그러나 배출냉수관으로부터 얻을 수 있는 냉기는 반드시 배출냉수관 시설이 되어 있어야 하며, 배출냉수관까지의 연결작업을 할 수 있는 장소라야 하는 제약이 있다. 또한 배출냉수관의 유량에 따라 많은 제약을 받으므로, 우기시나 건기를 고려하여 냉기만을 단독으로 사용하지 않고 다른 보조 냉각장치를 함께 사용하는 hybrid system을 고려해야 하는 단점이 있다.

제 3 절. 요약

일반적으로 전통적인 온실의 운영에 있어서 식물생산 비용중 약 15 - 40%가 온실의 냉난방에 소요되는 에너지 비용으로 계산하고 있다(Aldrich and Bartok, 1989). 이런 것으로 보아 온실의 냉난방에 관련된 에너지 비용을 줄인다면 식물생산비용을 대폭절감할 수 있으며 이에따른 경쟁력 있는 작물을 생산해낼 수 있을 것이다. 효과적인 냉각계획을 수립 하기 위해서는 먼저 설치대상온실의 냉방부하 및 입지조건을 고려하여야 한다. 냉각장치를 설치할 온실의 냉방부하를 계산하여 설치할 냉각장치의 용량을 결정한다. 이때 반드시 냉각장치의 용량은 계산된 냉방부하보다 커야한

다. 일반적으로 계산된 최대냉방부하보다 1.1 - 1.2정도의 용량을 선택하는 것이 좋다. 본 연구에서와 같이 딸기의 화아분화 촉진을 위한 온실의 냉각장치는 여름철에만 사용하는 장비로 많은 시설비를 투자할 수 없다는 단점이 있다. 따라서 년중 계속사용할 수 있는 장비의 선택이 가장 효과적이라고 할 수 있다. 이에 본연구에서 수행한 폐광내의 냉기를 이용한 냉각장치의 구성은 여름철의 냉각뿐만이 아니라 폐광내의 온도분포가 년중 고른 것을 이용하여 겨울철에는 난방장치의 열원으로도 활용할 수 있다는 잠재력을 가지고 있을 뿐만 아니라 저렴한 시설투자비로 최대의 효과를 올릴 수 있는 장점을 가지고 있다.

그러나 재배작물의 특성에 따라 폐광내의 자연적인 에너지원은 radiator, 배출관의 냉수에 의한 냉기등의 다양한 형태의 냉각방식으로 전환 될 수 있으며, 폐광내의 냉기와 CO₂ 수준등을 고려한다면 수확작물 및 과채류의 저장시설로도 충분히 활용될 수 있다. 따라서 경제적인면과 효율면을 고려한 냉각장치의 선택은 냉매를 이용한 일반 냉각장치의 구성보다 설치와 관리가 용이한 폐광의 냉기 및 냉수를 이용한 냉각 시스템이 적절할 것이며 시스템의 구성형태 및 냉각방식은 작물과 입지조건을 고려하여야 할 것이다.

제 3 장 냉기활용한 딸기축성육묘 기술확립

제 1 절 서 론

딸기 축성재배에서 작형성립의 기본조건은 화아분화와 발달에 기술적으로 어떻게 대응하는가, 또 휴면현상을 인위적으로 어떻게 제어하는가 하는 점에 달려있다. 최근에는 이러한 딸기의 화아분화와 휴면의 생리적 성질을 이용하여 인위적으로 화아분화를 촉진시키고 휴면을 타파시킬수 있는 기술이 향상됨에 따라 주년재배의 가능성이 증대되고 있다.

화아분화 촉진기술은 지금까지 고행지육묘가 안정된 기술로 보급되어 왔으나, 재배자의 고령화, 작업효율을 악화, 교통사정등으로 고행지 육묘는 점차 감소하는 추세이고, 새로운 조생품종을 이용하거나, 풋트육묘, 베드육묘, 차광 단일처리 육묘, 단근 및 질소중단, 냉장시설을 활용한 저온처리육묘등 여러 가지 방법이 시도되고 있다. 우리나라에서도 이러한 방법을 이용하여 일부 농가에서 수확기 촉진과 단경기 재배를 피하고 있으나, 우리나라 재배조건에 맞는 화아분화 촉진기술이 정립되어 있지 않아 많은 문제점을 내포하고 있는 것도 사실이다.

본 실험은 폐광의 냉기와 냉수를 활용한 야냉육묘 시스템의 실용 가능성을 검토하기 위하여 야냉단일 처리 기간 및 시기가 딸기의 화아분화와 생육에 미치는 영향을 검토함과 동시에 야냉단일 처리와 주냉단일 처리를 조합처리한 교호처리의 효과를 아울러 검토했다.

제 2 절 야냉처리 기간이 딸기의 생육에 미치는 영향

1. 재료 및 방법

공시품종은 ‘보교조생’, ‘도요노까’, ‘항미’, ‘수홍’, 및 ‘여홍’ 5품종을 강원도농촌진흥원에서 분양받아 5월 20일 포장에 정식하였다. 런너발생 초기에 직경 12cm의 흑색비닐 포트에 묘를 받아 발근시켜 양성한 묘를 8월 4일부터 야냉육묘 시설에 입고하여 야냉처리를 하였고, 처리는 09:00-17:00의 8시간 단일처리후 야냉처리에 입고하였다가 다음날 09:00에 출고하는 방식으로 9월 11일까지 3주, 4주 및 5주간으로 나눠 야냉처리기간별 실험을 하였으며, 야냉처리시기는 7월 30일, 8월 11일, 8월 21일, 9월 2일로 입고하였으며, 각 시기별로 처리기간은 10일, 15일, 20일로 처리하였다.

야냉처리기간 및 시기에 따른 각 품종별 화아분화 특성을 규명하기 위해 야냉육묘시설에 7월 30일부터 10일 간격으로 4회 입고하여 각각 10, 15 및 20일 간격으로 5주씩 채취하여 외엽과 뿌리를 절단하고 70% alcohol과 30% acetic acid에 고정하여 江口가 실시한 박피법에 의하여 해부현미경으로 화아분화를 검경하였다.

야냉단일처리 종료후 평창에서 묘를 운반하여 강원대학교의 비닐하우스 내에 120 × 25cm(2조식)로 9월 12일 정식하였다. 생육단계별로 출엽수, 화성유도율, 묘소질, 수량 및 품질등 생육조사를 하였다.

2. 결과 및 고찰

가. 야냉처리 기간이 생육에 미치는 영향

1) 야냉처리기간이 엽수에 미치는 영향

야냉처리간 품종별 엽수의 증가를 보면 표 8과 같다. 야냉처리후 엽수는 정식 4주후부터 현저한 차이를 보였는데, 특히 6주후부터 엽수의 증가는 빠르게 나타났다. 모든 품종에서 야냉처리에 따른 품종간 엽수의 차이는 통계적인 유의성은 없었지만, '보교조생', '수홍' 및 '여홍'은 야냉 3-4주 처리에서 대체적으로 엽수의 증가를 보였다. 반면에 야냉 5주처리된 묘의 경우 사경 및 토경재배에서는 품종에 따라 커다란 차이가 나타났다. 이것은 엽수의 발생정도는 토심의 영향을 많이 받는 것으로 사료된다. 엽수는 4주에서 최저 5.3매에서 최고 7.1매를 보여 정식일수가 증가함에 따라서 엽수가 급격히 증가하여 정식 8주에는 15~23매로 증가하였다. 야냉처리는 엽분화를 촉진시켜 엽수증가, 광합성능 증가, 생산량을 증가시키고 또한 엽수의 증가는 묘의 휴면이 완전타파된 것으로 생각된다.

2) 야냉처리기간이 crown크기에 미치는 영향

표 9에 나타난 야냉처리별 crown 직경의 차이를 보면 무처리에 비하여 야냉처리에서 crown 직경에 현저한 증가반응을 보이고 있어 crown 성장속도가 다른 것으로 나타났다. '보교조생', '수홍', '여홍', '향미' 품종 모두 정식일수가 증가함에 따라 crown 직경이 급격하게 커지며 야냉 4주 처리된 묘는 정식 8주후에 crown 직경이 최대 30.5cm까지 증가하였지만 처리별에 따른 차이는 없었다. Crown은 서서히 생장을 보이다가 다시 저하하게 되는데 이는 후기 영양생장기에 화아분화가 시작되면서 양분 및 동화산물이 성장점으로 이동하면서 crown 생장이 저하된 것으로 생각된다. Crown 직경의 성장율을 높이기 위해서는 야냉 3주 이상의 처리가 요구되며 이 기간동안 우수한 생육을 보인 품종을 선발하여 crown 성장에 미치는 영향에 대한 세부적인 연구가 필요하며 야냉처리에 따른 crown에서의 생리, 생화학적인 변화에 대해서도 검토되어야 할 것이다.

표 8. 야냉처리 기간이 딸기의 엽수에 미치는 영향

품종	정식후 일수 (주)	control				야냉5주	
		평지 (cm)	고냉지 (cm)	야냉3주 (cm)	야냉4주 (cm)	Soil (cm)	Sand (cm)
보교조생	4주	5.3±0.8	4.9±1.1	5.6±0.8	5.5±1.6	6.4±0.8	7.1±1.2
	6주	11.9±1.6	10.2±1.6	14.3±2.2	14.6±2.2	16.5±2.0	15.6±1.9
	8주	19.0±2.5	15.0±3.3	20.3±4.0	20.5±2.5	21.2±3.5	19.6±2.0
수홍	4주	5.9±1.0	4.1±0.7	4.4±0.7	5.0±0.8	5.7±1.2	5.6±1.6
	6주	10.8±2.3	12.3±1.8	12.3±0.7	13.7±1.3	12.1±1.8	15.5±4.2
	8주	17.1±3.0	17.5±3.0	17.9±3.1	19.9±2.4	16.6±4.6	23.3±4.2
여홍	4주	7.2±1.5	5.2±1.0	4.7±1.1	5.2±1.7	4.8±0.4	6.0±1.4
	6주	10.8±4.2	8.3±1.1	9.9±2.8	13.3±2.5	14.5±2.2	12.1±1.1
	8주	19.5±6.8	15.0±2.9	16.3±3.7	19.3±1.7	19.9±1.7	18.4±3.0
향미	4주		2.5±0.5	3.6±1.0	3.5±1.1	3.0±0.9	6.0±1.2
	6주		12.2±2.3	13.6±2.2	12.7±1.7	13.9±2.1	14.2±1.5
	8주		21.6±1.8	20.7±3.2	20.7±2.8	19.5±2.3	17.4±1.4
도요노까	4주	7.1±0.7	5.3±1.5	5.9±1.0	5.6±1.3	5.2±1.3	5.7±1.1
	6주	9.5±3.0	9.1±3.6	13.1±2.8	11.0±2.7	12.1±3.3	12.1±3.3
	8주	14.3±4.7	12.6±3.9	17.8±4.1	13.7±2.9	16.5±5.1	15.6±3.7

표 9. 야냉처리 기간이 딸기의 crown 직경에 미치는 영향

품종	정식후 일수 (주)	control				야냉5주	
		평지 (mm)	고냉지 (mm)	야냉3주 (mm)	야냉4주 (mm)	Soil (mm)	Sand (mm)
보교조생	4주	7.4±1.4	7.4±0.9	8.7±1.3	8.5±1.9	8.2±1.3	7.4±1.2
	6주	26.6±3.7	25.1±3.5	29.3±1.7	28.1±3.6	30.5±3.8	31.3±3.5
	8주	28.4±4.0	27.2±3.4	31.3±2.3	29.7±3.6	32.4±3.7	33.0±3.3
수홍	4주	6.9±1.1	7.9±1.5	7.6±1.4	9.3±1.3	7.3±0.8	7.2±1.7
	6주	28.7±5.2	28.2±3.5	26.1±2.9	27.9±2.7	25.7±3.5	31.6±2.3
	8주	31.2±5.2	29.7±3.6	28.1±2.3	30.3±3.0	28.1±3.6	33.6±2.4
여홍	4주	7.35±1.4	7.0±1.6	7.6±1.7	7.9±1.2	7.6±1.1	6.9±1.7
	6주	24.6±3.3	23.4±3.2	23.5±5.1	26.3±2.7	26.2±2.4	29.4±1.7
	8주	26.2±3.2	25.1±3.1	25.4±5.5	28.2±3.0	28.1±2.3	30.7±1.6
향미	4주		7.2±1.2	8.2±0.8	9.3±1.0	8.0±0.6	6.6±1.1
	6주		28.6±2.9	28.4±3.9	27.7±2.8	27.9±2.7	30.3±1.1
	8주		30.0±2.4	30.0±4.0	28.9±3.0	29.1±2.8	31.4±2.8
도요노까	4주	6.5±1.1	4.8±1.6	5.3±1.8	5.8±1.5	4.3±1.4	5.7±1.1
	6주	27.1±3.0	25.1±3.7	29.1±4.9	24.3±4.6	22.5±2.8	27.1±2.9
	8주	29.7±2.9	26.0±4.8	30.8±4.5	26.4±4.4	24.2±3.0	29.0±2.9

3) 야냉처리기간이 엽병장에 미치는 영향

표 10은 야냉처리에 따른 엽병장의 차이를 나타냈다. 엽병장의 차이는 정식후 6주부터 나타나기 시작하여 '보교조생', '수홍' 및 '여홍'은 야냉처리에서 엽병장의 신장을 촉진하여 무처리에서 엽병장이 9.2cm인데 비해 야냉 4주처리에서 최대 17.7cm까지 증가하였다. 고냉지 무처리도 야간온도가 낮아 엽병장 신장을 촉진한 것으로 사료되지만 야냉 3주처리에서 엽병신장이 가장 좋아 야냉처리에서 엽병장의 분화가 진전된 결과를 보였다.

표 10. 야냉처리 기간이 딸기의 엽병장에 미치는 영향

품종	정식후 일수 (주)	control				야냉5주	
		평지 (cm)	고냉지 (cm)	야냉3주 (cm)	야냉4주 (cm)	Soil (cm)	Sand (cm)
보교조생	6주	9.2±1.1	8.9±1.1	10.3±1.4	10.4±2.1	11.2±1.8	11.0±1.4
	8주	10.5±0.8	10.1±1.6	11.3±1.3	11.5±1.5	12.2±1.5	13.4±3.0
수홍	6주	14.5±2	16.8±1.7	14.9±1.8	17.7±1.0	14.9±2.4	14.0±1.6
	8주	15.0±2	16.8±1.1	15.8±1.6	18.3±1.2	15.0±2.8	15.6±2.0
여홍	6주	10.6±1.5	10.1±3.1	10.6±2.1	11.3±1.4	12.4±1.7	9.8±1.7
	8주	10.9±1.2	11.6±3.3	11.6±2.0	12.2±1.6	12.9±1.0	12.5±1.6
향미	6주		9.4±1.7	10.9±1.2	9.9±0.7	9.5±0.9	10.4±1.8
	8주		11.1±1.4	12.3±1.7	11.0±1.0	12.0±1.6	11.5±1.7
도요노까	6주	9.9±0.9	10.6±2.2	13.1±2.4	13.0±0.9	11.7±2.3	10.8±2.7
	8주	11.6±1.6	11.0±1.5	14.0±3.2	14.6±1.6	12.5±2.4	11.6±2.0

4) 야냉처리기간이 엽장에 미치는 영향

본 실험에서 측정된 엽장의 경시적인 증감양상을 보면 표 11과 같다. 엽장의 생장은 '보교조생' 및 '수홍'은 야냉 3주 이상 처리에서 다소 촉진되었으나, 반면에 '여홍'은 야냉처리에서 엽장의 생장이 다소의 감소 또는 둔화경향을 보이며 이후에 사경재배 야냉 5주처리에서 약간 증가하였다. 결국 엽장의 성장속도는 품종에 따라 커다란 차이가 있으며 이러한 결과는 품종간 유전적인 특성에 기인된 것으로 사료된다.

표 11. 야냉처리 기간이 딸기의 엽장에 미치는 영향

품 종	정식후 일수 (주)	control				야냉5주	
		평지 (cm)	고냉지 (cm)	야냉3주 (cm)	야냉4주 (cm)	Soil (cm)	Sand (cm)
보교조생	6주	8.1±0.7	8.5±1.1	8.9±0.5	8.7±1.0	8.7±0.5	8.1±0.7
	8주	8.6±0.9	8.5±0.5	9.1±0.8	9.1±0.7	9.2±0.9	8.3±0.9
수 홍	6주	11.5±0.9	11.5±1.0	11.2±0.9	11.7±0.7	11.1±0.6	12.3±0.7
	8주	11.8±1.4	12.1±0.7	11.5±0.9	11.9±0.8	11.3±0.9	12.9±0.8
여 홍	6주	9.0±1.8	9.3±2.4	9.2±1.6	8.6±1.4	8.2±0.6	8.7±1.5
	8주	9.5±1.5	10.0±2.1	10.0±1.8	9.1±1.1	8.9±0.5	10.1±2.3
향 미	6주		8.4±1.2	8.4±0.7	7.9±0.8	8.0±0.5	8.3±0.5
	8주		9.5±0.8	9.2±0.5	8.5±0.6	8.6±0.4	8.4±0.5
도요노까	6주	9.7±1.3	9.7±1.7	10.3±1.9	11.5±1.3	9.9±1.7	10.1±2.7
	8주	10.1±1.6	10.0±2.1	10.4±1.5	11.5±2.0	10.3±1.8	10.8±2.7

5) 야냉처리기간이 엽폭의 신장에 미치는 영향

표 12은 야냉처리에 따른 엽폭의 신장을 나타낸 것이다. 정식후 생육이 진전될 때까지는 엽폭의 신장에는 야냉처리의 효과는 나타나지 않았다. '보교조생'은 야냉처리 기간이 길어짐에 따라 엽폭이 다소 증가하는 경향을 보였지만 유의성은 없었다. 생육초기부터 엽의 생장은 엽수만 증가하는 것으로 판단된다. 야냉처리가 영양생장에 미치는 영향은 매우 복잡적이고 상호관련성이 있으며 어느 한가지 요인으로 설명할 수는 없지만 야간온도의 처리는 엽폭을 제외한 다른 생장에는 그 차이가 나타나지 않았지만 다른 영양기관의 생장에는 차이를 보였다.

표 12. 야냉처리 기간이 딸기의 엽폭에 미치는 영향

품 종	정식후 일수 (주)	control				야냉5주	
		평지 (cm)	고냉지 (cm)	야냉3주 (cm)	야냉4주 (cm)	Soil (cm)	Sand (cm)
보교조생	6주	7.0±1.0	7.5±1.2	7.6±0.4	7.6±0.6	7.6±0.7	6.7±0.9
	8주	7.6±1.1	7.8±0.8	8.1±0.8	8.1±0.7	8.0±0.8	7.0±0.8
수 홍	6주	10.5±1.3	10.4±1.0	9.9±0.8	10.3±0.7	9.9±1.1	10.3±1.1
	8주	10.5±1.5	10.8±0.9	10.5±0.9	10.3±0.8	9.9±1.1	10.4±0.9
여 홍	6주	7.7±0.9	7.0±0.9	6.9±1.0	6.9±1.0	7.0±1.1	7.0±1.2
	8주	8.0±1.4	7.5±0.4	7.3±1.1	6.9±0.8	7.2±0.7	7.8±1.4
향 미	6주		7.4±0.8	7.1±0.7	6.5±0.8	7.2±0.6	6.9±0.4
	8주		7.4±0.7	7.2±0.6	7.0±0.6	7.6±0.8	7.5±0.8
도요노까	6주	9.0±1.8	9.1±2.4	9.5±1.8	9.6±0.9	8.6±1.4	8.4±2.6
	8주	9.3±1.9	9.1±2.1	9.6±2.2	9.8±1.2	8.6±1.2	8.4±2.6

나. 야냉처리기간이 개화에 미치는 영향

1) 개화율에 미치는 영향

개화율은 정식 40일후에는 모든 처리구에서 개화가 시작되지만 야냉 처리 기간에 따라 커다란 차이를 보였다 (표 13). 평지 대조구에서는 각 품종 공히 15% 이하의 개화율을 보이는데 반해, 야냉처리구에서는 80% 이상의 개화율을 보였다. 정식후 55일에는 무처리구에서 개화율이 50%에서 야냉처리구의 100%까지 개화가 가능하였다. 특히, 정식후 70일에는 평지 대조구가 65% 이하의 개화율을 보인 반면, 야냉처리구는 품종 및 처리기간에 관계없이 100% 개화율을 보였다. 품종별로는 '수홍', '여홍', '향미'순으로 개화율이 높았고, '도요노까' 품종은 비교적 타품종에 비해 개화가 지연되는 경향이였다. 따라서 본 야냉 시스템하에서의 처리기간은 25일 전후가 이상적이라 판단되었다.

표 13. 야냉처리 기간이 딸기의 개화율에 미치는 영향

품종	정식후 일수 (일)	Control		야냉3주		야냉5주	
		평지 (%)	고냉지 (%)	야냉3주	야냉4주	Soil (%)	Sand (%)
보교조생	40	10	25	85	75	80	95
	55	60	80	90	90	90	97
	70	64	78	100	100	100	100
수 홍	40	5	25	75	100	55	87
	55	50	80	100	100	75	95
	70	63	86	100	100	100	100
여 홍	40	0	25	80	100	95	90
	55	45	75	95	100	95	100
	70	66	88	100	100	100	100
향 미	40	15	45	95	90	75	80
	55	30	75	95	90	85	100
	70	58	90	100	100	100	100
도요노까	40	10	35	85	75	55	60
	55	55	65	85	90	85	70
	70	65	80	100	100	100	100

2) 화방, 화퇴수 및 평균개화일수에 미치는 영향

야냉처리에 따른 화방 및 화퇴수의 차이는 표 14과 같다. 품종간에 차이는 있지만, 모든 품종에서 대조구에 비해 야냉처리가 화방수 및 화방당 화퇴수가 증가하였다. 품종간 처리효과는 '보교조생'에서 야냉 3주처리에서 화방 3.8개, 화퇴 12.3개, '여홍'은 야냉 4주처리에서 화방 3.78개, 화퇴 14.9개로 가장 많았다. '수홍'의 화방수는 야냉 3주처리에서 3.01개, 화퇴수는 5주처리 토경재배에서 12.8개, '항미' 및 '도요노까'의 경우 화방수는 4주처리에서 각각 3.7, 2.98개로 나타났고, 화퇴수는 3주처리에서 18.01개와 12.43개로 가장 효과가 좋았다.

표 14. 야냉처리 기간이 딸기의 화방과 화퇴수에 미치는 영향

품 종	Control		야냉3주 (No.)	야냉4주 (No.)	야냉5주		
	평지(No.)	고랭지(No.)			Soil	Sand	
보교조생	화방	1.10±0.09	2.20±1.87	3.80±1.14	3.40±1.51	3.40±1.51	3.10±0.88
	화퇴	6.60±1.50	7.60±1.53	12.30±2.22	8.60±2.26	10.90±2.24	11.10±1.10
수 홍	화방	1.20±0.92	1.80±0.79	3.01±0.04	2.55±0.06	2.21±1.10	2.98±1.37
	화퇴	6.80±1.48	5.70±2.08	10.99±2.51	12.00±2.83	8.40±1.95	12.80±2.49
여 홍	화방	2.80±1.93	2.20±1.14	3.33±0.94	3.78±1.18	2.70±0.16	3.40±1.35
	화퇴	7.60±2.81	7.75±2.01	10.20±2.82	14.90±3.51	14.10±3.54	11.50±2.37
항 미	화방	1.08±0.01	1.40±0.78	3.50±1.18	3.70±1.34	3.60±1.43	2.90±0.37
	화퇴	5.46±2.31	9.89±1.23	18.01±4.56	14.60±1.96	13.30±3.25	12.80±3.49
도요노까	화방	1.70±0.96	1.80±1.03	2.80±1.14	2.98±0.84	2.70±0.95	2.71±1.25
	화퇴	4.80±3.70	5.70±3.42	12.43±2.75	9.80±2.74	9.40±2.01	9.29±2.30

3) 평균개화일수에 미치는 영향.

야냉단일처리는 평균개화일수에도 영향을 미쳐 '보교조생'은 대조구에 비해 15일 전후, '수홍'은 7-12일, '여홍'은 11-14일, '향미'는 8-15일, '도요노까'는 4-10일 정도 단축시키는 효과를 얻었다 (표 15).

표 15. 야냉처리 기간이 딸기의 평균개화일수에 미치는 영향

품 종	Control		야냉3주 (No.)	야냉4주 (No.)	야냉5주	
	평지(No.)	고랭지(No.)			Soil	Sand
보교조생	47.25	43.88	32.59	32.78	33.17	31.31
수 홍	44.80	42.71	37.35	32.25	36.00	34.13
여 홍	45.47	40.93	34.58	31.15	32.37	33.61
향 미	48.23	37.80	29.80	30.40	33.60	31.80
도요노까	42.50	39.10	35.20	32.20	38.50	33.40

다. 야냉처리기간이 수량 및 과실품질에 미치는 영향

처리구간에 따른 11월 및 12월에 총수량은 '보교조생'은 야냉 4처리구가 113개 (2,143g), '수홍'은 5주처리구에서 101개 (2,507g), '여홍'은 4주처리구에서 128개 (2,411g), '향미'는 4주처리에서 123개 (2,285g)으로 가장 많았다. 전반적으로 평지의 대조구에 비해 각각의 야냉단일 처리구에서 수량이 6-7배로 많았다 (표 16).

야냉단일처리 기간별 평균수확일은 정식후 80일에서 97일사이로 '보교조생' 및 '향미'가 3주처리에서 각각 86.6일, 80.1일, '수홍' 및 '여홍'은 5주처리에서 각각 89.9일, 86.4일로 처리기간중 가장 빠르게 나타났다. 수확과실의 크기는 '수홍'이 과경, 과장이 크고, 과중이 24.2g/개로

표 16. 야냉처리 기간이 딸기의 수량에 미치는 영향

품 종	야냉처리 기간 (주)	11월		12월		합 계	
		과수 (개)	과중 (g)	과수 (개)	과중 (g)	과수 (개)	과중 (g)
보교조생	Cont.	5	81.8	11	165.3	16	246.6
	Cont.	13	206.7	22	312.3	35	519.5
	3	38	668.8	68	1,135.7	106	1,804.5
	4	42	791.4	71	1,351.2	113	2,142.6
	5	37	603.1	59	991.2	96	1,594.3
수 홍	Cont.	3	62.9	11	259.6	14	322.5
	Cont.	9	220.3	15	306.6	24	580.9
	3	27	729.5	48	1,238.4	75	1,967.9
	4	31	745.4	56	1,451.2	87	2,196.6
	5	42	1,079.4	59	1,427.8	101	2,507.2
여 홍	Cont.	10	157.9	17	294.3	27	452.2
	Cont.	17	253.3	21	315.4	38	568.7
	3	48	820.8	59	989.8	107	1,810.6
	4	47	864.8	81	1,547.1	128	2,411.9
	5	42	745.5	49	870.2	91	1,615.7
향 미	Cont.	15	238.5	11	169.4	26	407.9
	Cont.	21	338.1	24	309.	45	647.7
	3	56	1,019.2	61	1,068.	117	2,087.9
	4	45	846.4	78	1,439.3	123	2,285.7
	5	59	1,132.8	57	972.4	116	2,105.2

공시품종중 가장 컷으며, 당도는 '보교조생'이 11.2 - 11.7%로 가장 높았다. 처리기간별로는 대체로 처리기간이 길수록 과경, 과폭이 크고 과중이 무거우나 커다란 차이는 없었고, 당도도 일정한 경향은 없었다.

이상의 결과로 볼 때 야냉처리가 딸기의 영양 및 생식생장에 커다란 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서 본 실험에서도 각 야냉처리 방법에 따른 생육차이가 현저하였고, 특히 엽면적, 평균개화일수 단축, 화방당 화퇴수에서 차이가 뚜렷이 나타났다. 야냉 3주 처리는 양호하게 나타난 반면 야냉 5주 처리에는 비교적 완만한 반응을 보였다. 이러한 차이는 품종에 따라서 다르게 나타나는 것으로 사료된다(표 17).

표 17. 야냉처리 기간이 딸기의 수확시기와 품질에 미치는 영향

품 종	야냉처리 기간(주)	수확일	과경 (mm)	과장 (mm)	과중 (g)	Brix(%)
보교조생	3	86.6±7.8	32.8±4.6	40.6±6.5	16.7±4.8	11.2±1.1
	4	87.8±8.4	33.8±3.5	44.5±3.7	18.7±2.4	11.7±1.1
	5	88.6±12.4	32.1±4.4	38.8±5.4	16.3±4.4	11.3±1.2
수 홍	3	97.0±9.08	34.8±2.3	41.5±2.1	24.0±3.2	10.5±0.6
	4	97.3±12.3	35.7±3.5	40.2±4.9	22.2±6.0	10.7±1.9
	5	89.9±12.2	37.0±6.5	41.5±3.8	24.2±9.3	10.8±1.8
여 홍	3	93.7±11.2	33.5±5.3	39.2±3.5	15.8±7.7	11.6±0.9
	4	89.9±13.8	34.2±3.1	39.4±5.7	18.0±5.23	10.7±1.9
	5	86.4±13.6	33.7±3.6	38.4±4.8	18.2±4.2	11.2±1.4
향 미	3	80.1±10.2	31.1±4.9	40.3±6.2	15.9±5.1	10.9±0.9
	4	81.3±11.6	32.2±4.4	41.1±6.3	17.5±5.5	10.7±1.6
	5	92.8±13.1	33.8±4.8	42.8±4.6	19.2±5.5	12.2±1.2

라. 야냉처리 시기가 화아분화에 미치는 영향

야냉단일 처리시기 및 기간에 따른 화아분화의 특성은 10일 처리에서 8월 11일 이전에는 각 품종 공히 화아분화가 되지 않았으나, 8월 21일 이후 20 - 40%의 분화율을 보인 것은 자연상태의 야간 기온이 낮아지므로 인해 화아분화가 촉진된 것으로 사료되고, 15일 처리에서 '수홍'이 60 - 100%의 높은 분화율을 보여 야냉단일 처리에 민감한 반응을 보였으며, 20일 처리에서는 '도요노까'를 제외한 모든 품종이 80 - 100%의 높은 분화율을 보였다. 따라서 야냉단일 육묘시설 내에서의 화아분화 촉진을 위한 야냉처리 기간은 품종별에 다소 차이가 있지만 20일 전후가 적당한 것으로 사료된다(표18, 그림35).

표 18. 야냉처리기간 및 시기가 화아분화에 미치는 영향

품 종	야냉처리시기	화아분화율(%)		
		야냉처리10일	야냉처리15일	야냉처리20일
보교조생	30, 7월.	0	60	100
	11, 8월.	0	40	80
	21, 8월.	0	40	80
	2, 9월.	40	60	100
수 홍	30, 7월.	0	60	100
	11, 8월.	0	80	100
	21, 8월.	20	100	100
	2, 9월.	20	100	100
여 홍	30, 7월.	0	40	100
	11, 8월.	0	40	80
	21, 8월.	0	20	80
	2, 9월.	40	60	100
향 미	30, 7월.	0	60	80
	11, 8월.	0	20	80
	21, 8월.	20	40	100
	2, 9월.	40	40	100
도요노까	30, 7월.	0	20	60
	11, 8월.	0	40	80
	21, 8월.	0	20	60
	2, 9월.	0	20	80

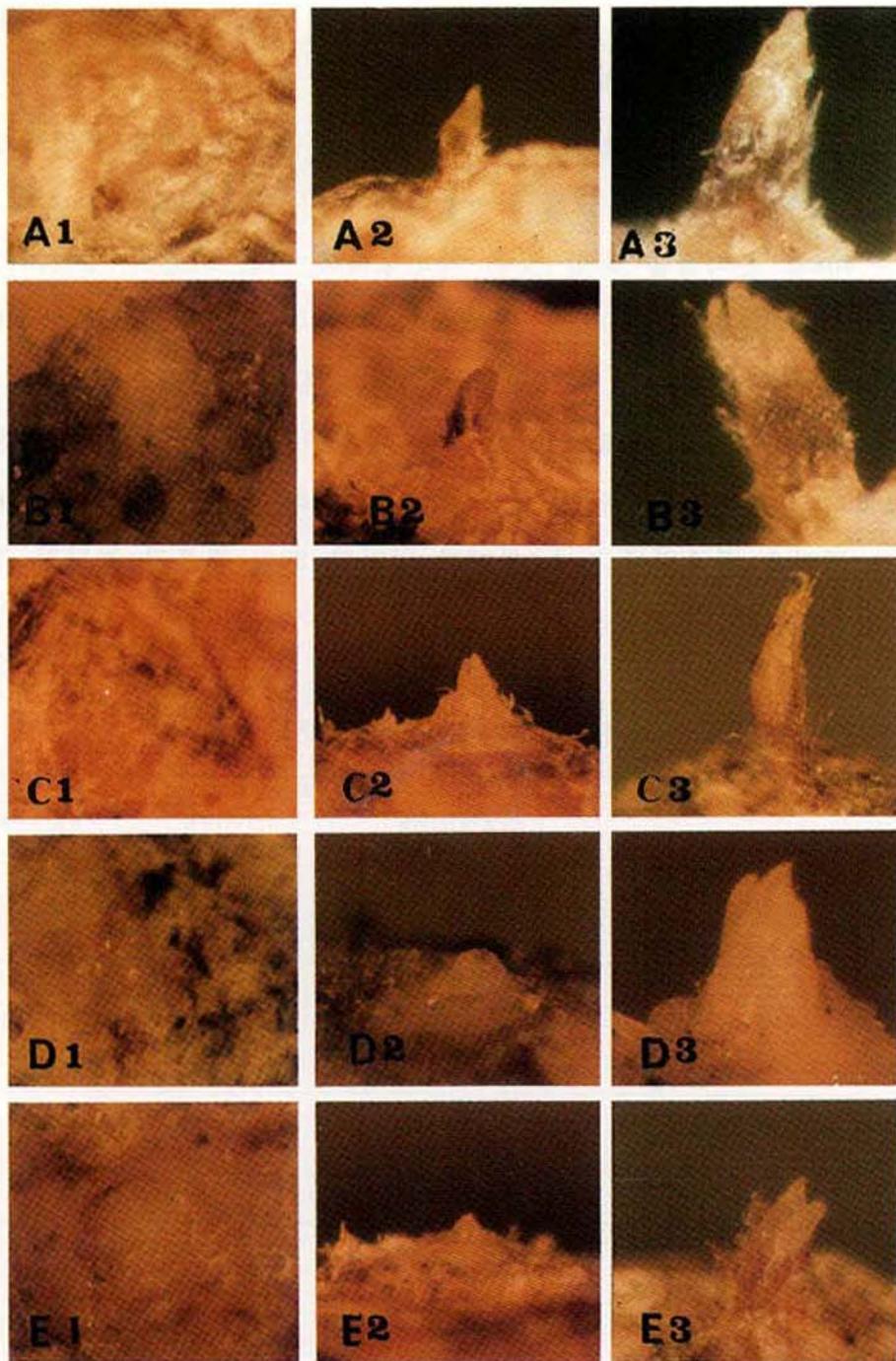


그림. 35. 야냉단일처리에 의한 화아분화의 출현

A: 보교조생 B: 수홍 C: 여홍 D: 향미 E: 도요노까

1. 야냉단일처리 10일 2. 야냉단일처리 20일 3. 야냉단일처리 30일

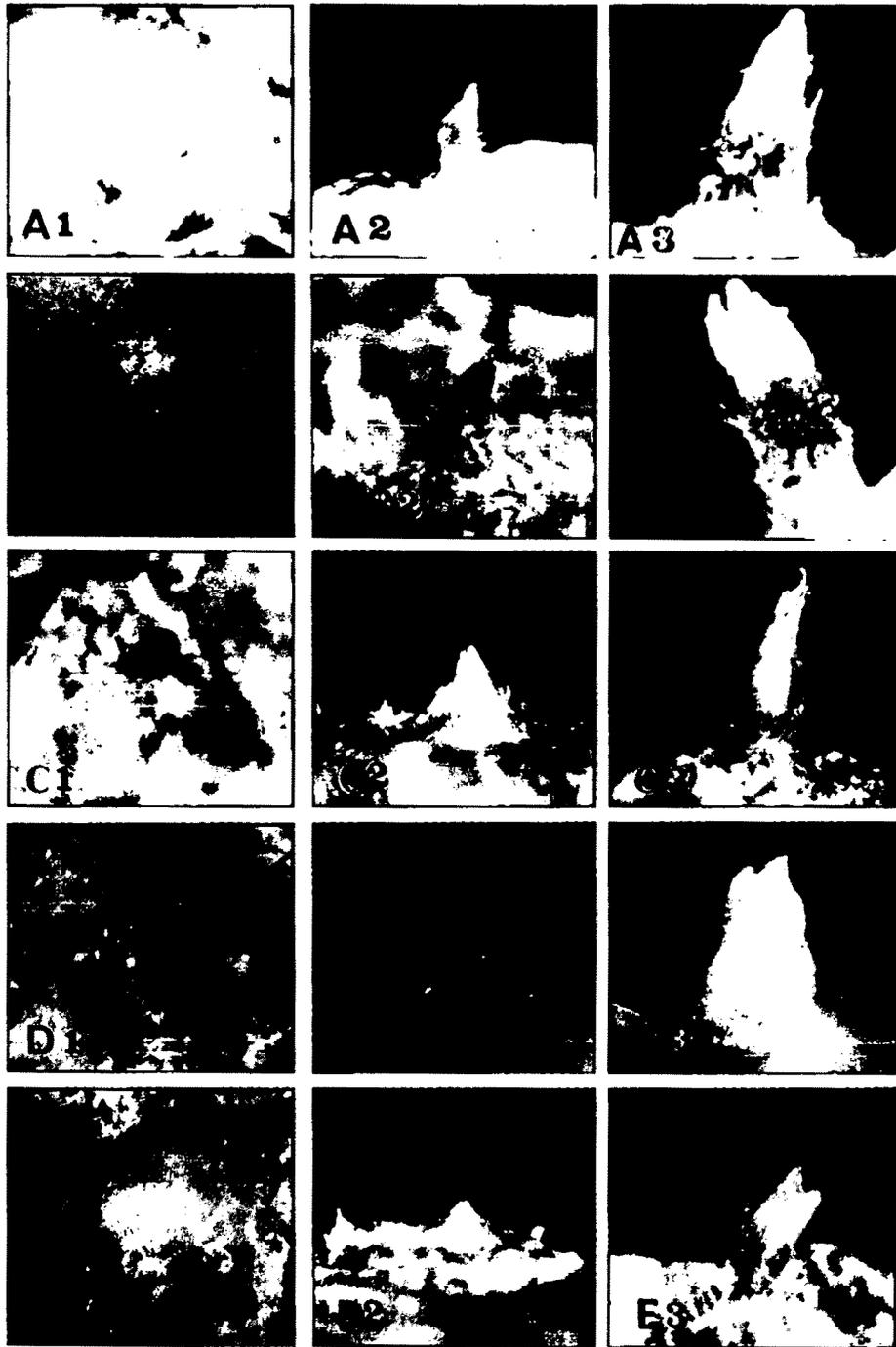


그림. 35. 야냉단일처리에 의한 화아분화의 출현

A: 보교조생 B: 수홍 C: 여홍 D: 향미 E: 도요노까

1. 야냉단일처리 10일 2. 야냉단일처리 20일 3. 야냉단일처리 30일

3. 요약

폐광으로부터 유출되는 냉기·냉수를 이용한 야냉육묘 시설내에서 딸기의 야냉육묘의 기술체계를 확립하고자 야냉단일 육묘가 딸기의 품종별 화아분화, 생육 및 수량에 미치는 영향과 이와 연계한 축성재배시 문제가 되는 시설내 환경변화와 CO₂와의 상관관계 및 과실의 품질에 미치는 영향에 대한 실험결과는 다음과 같다.

가. 야냉단일 처리시기 및 기간에 따른 화아분화의 특성은 10일 처리에서는 품질 및 처리시기별로 0 - 40%의 분화율을 보였고, 15일 처리에서 20 - 100%, 20일 처리에서는 '도요노까'를 제외한 모든 품종에서 80 - 100%의 높은 분화율을 보였다. 엽수와 crown 크기는 처리시기에 비례하여 증가하였다.

나. 엽수와 crown 직경은 정식 6주후부터 급속히 증가하여 야냉단일 처리구의 정식 8주후에는 엽수가 14 - 23개, crown 직경이 24 - 33.6mm로 증가하였고, 엽병장의 차이는 정식 6주후부터 나타났다. 그리고 모든 품종에서 야냉단일처리의 효과가 검정되었고, 엽장의 신장은 '보교조생', '도요노까'에서 '수홍'은 4주처리 이후부터 촉진되었다.

다. 개화율은 정식 70일후 대조구에서 65%이하, 야냉단일처리구는 품종 및 처리간에 관계없이 100%의 개화율을 보였다. 화방 및 화퇴수는 모든 품종에서 대조구에 비해 야냉단일 처리구에서 현저히 증가하였으며, 평균 개화일수도 야냉처리에서 7 - 15일 단축효과가 나타났다.

라. 과중 및 총수량은 '수홍'이 5주 처리에서 24.2g/개 (2,507)로 가장

많았고, 대조구에 비해 야냉단일 처리구에서 수확기간내의 총수량이 6 - 7배 증가하였고, 평균 수확일은 정식후 80 -97일 사이였다.

제 2 절 품종별 교호처리 및 냉수에 의한 생육특성

1. 재료 및 방법

본 실험에 사용한 공시품종은 '여봉', '수홍' 및 '도치노미' 3품종을 강원도농촌진흥원에서 분양받아 5월 20일 포장에 정식하였다.

교호처리는 격일로 실시하였으며, 처리는 09:00 - 17:00의 8시간 단일처리후 야냉시설에 입고하였다가 다음날 09:00에 출고하는 방식으로 20일, 25일 및 30일 간격으로 실험을 실시하였으며, 냉수처리는 그림 36와 같이 18℃ 흐르는 물에 25일, 30일 처리를 하였다. 교호처리 및 냉수처리 종료 후 강원대학교의 비닐하우스내에 120 × 25cm(2조식)로 정식하여 생육단계별로 출엽수, 화성유도율, 묘소질, 수량 및 품질등 생육조사를 하였다.



그림. 36. 냉수처리 모습

2. 결과 및 고찰

가. 교호처리 기간이 화아분화 및 생육에 미치는 영향

표 19에 나타난 교호처리별 crown 직경의 차이를 보면 교호처리 30일에 비하여 교호처리 20, 25일 처리에서 crown 직경에 현저한 증가반응을 보이고 있어 crown 성장속도가 다른 것으로 나타내주고 있다. 여봉, 수홍, 도치노미 품종 모두 정식후 일수가 증가함에 따라 crown 직경이 급격하게 커지며 교호처리 20일 처리된 묘의 정식 50일후에는 crown 직경이 최대 1.75cm까지 증가하였지만 처리별에 따른 현저한 차이는 나타나지 않았다.

crown 직경의 성장율을 높이기 위해서 교호 20일 처리가 요구되며 이 기간동안 우수한 생육을 보인 품종을 선발하여 crown 성장에 미치는 영향을 다각적인 면에서 연구되어야 할 것으로 판단되며 앞으로 교호처리에 따른 crown에서 생리, 생화학적인 변화에 대한 검토가 요청된다.

표 19. 교호처리 기간이 딸기의 crown에 미치는 영향

품종	정식후 일수	교호처리20일 (cm)	교호처리25일 (cm)	교호처리30일 (cm)
여봉	30일	1.41±0.1	1.24±0.1	1.06±0.1
	40일	1.30±0.1	1.35±0.2	1.16±0.4
	50일	1.68±0.4	1.69±0.4	1.47±0.5
수홍	30일	1.20±0.1	1.21±0.1	1.06±0.1
	40일	1.41±0.5	1.34±0.4	1.33±0.7
	50일	1.75±0.9	1.63±0.6	1.46±0.8
도치노미	30일	1.16±0.1	1.11±0.1	1.14±0.1
	40일	1.26±0.4	1.22±0.6	1.20±0.6
	50일	1.61±0.8	1.66±0.9	1.47±0.7

표 20는 교호처리에 따른 엽병장의 차이를 보여준다. 엽병장의 차이는 정식후 40일부터 나타나기 시작하여 수홍은 교호처리20일 처리에서 엽병장의 신장을 촉진하여 최대 9.12cm까지 증가하였다. 품종별로는 큰 차이는 나타내지 않았다.

표 20. 교호처리 기간이 딸기의 엽병장에 미치는 영향

품종	정식후 일수	교호처리20일 (cm)	교호처리25일 (cm)	교호처리30일 (cm)
여봉	30일	7.30±0.1	6.50±0.4	6.11±0.3
	40일	7.70±0.3	6.80±0.4	6.58±0.3
	50일	7.85±0.3	7.70±0.4	7.30±0.2
수홍	30일	8.90±0.4	8.65±0.7	7.91±0.9
	40일	9.00±0.8	9.01±0.8	8.12±0.7
	50일	9.12±0.7	9.18±0.6	8.43±0.4
도치노미	30일	6.98±0.3	7.53±0.5	5.14±1.0
	40일	7.26±0.6	8.31±0.7	5.94±0.7
	50일	7.68±0.5	8.51±0.6	7.45±0.9

표 21는 교호처리에 따른 엽폭의 신장을 나타낸 것이다. 여봉, 수홍의 경우에는 교호처리 기간이 짧아짐에 따라 엽폭이 다소 증가하는 경향을 보였지만 통계학적인 유의성이 없었다. 생육초기부터 엽의 성장에는 엽수만 증가하는 것으로 판단된다. 교호처리가 영양생장에 미치는 영향은 매우 복합적이고 상호관련성이 있으며 어느 한가지 요인으로 설명할 수 없다.

표 21. 교호처리 기간이 딸기의 엽폭에 미치는 영향

품종	정식후 일수	교호처리20일 (cm)	교호처리25일 (cm)	교호처리30일 (cm)
여봉	30일	14.40±0.3	14.33±0.4	13.25±0.8
	40일	15.50±0.4	15.25±0.4	13.92±0.7
	50일	16.00±0.2	15.45±0.4	14.20±0.5
수홍	30일	15.41±0.7	15.41±0.7	13.38±1.0
	40일	16.44±0.8	15.75±0.8	14.31±0.8
	50일	16.62±0.7	15.87±0.4	15.62±0.9
도치노미	30일	14.91±0.4	15.31±0.5	13.06±0.2
	40일	15.13±0.5	16.00±0.7	13.50±0.7
	50일	15.71±0.6	16.37±0.6	13.93±0.7

표 22은 본 실험에서 측정된 엽장의 경시적인 증감 양상을 보여주고 있다. 엽장의 생장은 수홍이 교호처리20일 처리에서 다소 촉진되었으나 반면에 여봉, 도치노미는 차이를 나타내지 않았다. 결국 엽장에서 생장의 속도는 품종에 따라 커다란 차이가 있으며 이러한 결과는 품종간 유전적인 특성이 기인된 것으로 사료된다.

표 22. 교호처리 기간이 딸기의 엽장에 미치는 영향

품종	정식후 일수	교호처리20일 (cm)	교호처리25일 (cm)	교호처리30일 (cm)
여봉	30일	8.24±0.3	7.87±0.4	7.43±0.4
	40일	8.61±0.3	8.35±0.3	7.83±0.5
	50일	8.68±0.2	8.85±0.3	7.77±0.3
수홍	30일	8.81±0.4	8.55±0.3	7.50±0.5
	40일	9.06±0.5	8.98±0.4	7.81±0.4
	50일	9.43±0.4	8.99±0.3	8.31±0.4
도치노미	30일	8.04±0.2	8.63±0.5	6.03±0.2
	40일	8.14±0.2	8.75±0.3	6.65±0.4
	50일	8.62±0.4	8.93±0.3	6.86±0.3

교호처리별 품종별 엽수의 증가를 보면 표 23과 같다. 교호처리에 따라 엽수에 있어 정식 40일후 부터 현저한 차이를 보였는데 특히 정식 50일후 부터 엽수의 증가는 빠른 것으로 나타났다. 모든 품종에서 교호처리에 따른 품종간 엽수의 차이는 통계적인 유의성은 없었지만, 여봉은 교호처리 20, 25일 처리에서 대체적으로 엽수의 증가를 보였다. 교호처리는 엽분화에 영향을 미치는 것으로 생각된다. 엽수의 증가는 결국 광합성의 능력을 증가시켜 과실의 생산량을 증가시킬 것으로 사료되며 또한 엽수의 증가는 딸기묘가 휴면으로부터 완전히 타파된 것으로 생각된다.

표 23. 교호처리 기간이 딸기의 엽수에 미치는 영향

품종	정식후 일수	교호처리20일 (개)	교호처리25일 (개)	교호처리30일 (개)
여봉	30일	5.50±0.2	5.50±0.2	5.50±0.2
	40일	6.60±0.3	6.50±0.2	5.60±0.4
	50일	7.50±0.3	8.10±0.3	6.30±0.3
수홍	30일	5.88±0.4	5.62±0.2	5.00±0.3
	40일	6.00±0.3	5.75±0.4	5.62±0.4
	50일	7.21±0.2	7.54±0.5	7.42±0.6
도치노미	30일	5.50±0.4	5.50±0.2	5.38±0.2
	40일	6.08±0.4	5.75±0.3	5.38±0.3
	50일	7.12±0.4	7.12±0.4	6.50±0.4

교호처리에 따른 출퇴율의 차이는 표 24에 나타났다. 출퇴율은 정식40일에 여봉, 도치노미 처리에서 출퇴가 시작되지만 수홍은 출퇴가 전혀 발생하지 않아 커다란 차이가 나타났다. 반면에 정식50일 이후부터 무처리에서 출퇴율이 10%에서 교호처리에서 최고 100%까지 출퇴가 가능하였다. 출퇴율은 각 처리별 차이가 현저히 나타났는데 품종별로는 여봉, 도치노미 수홍순으로 출퇴율이 높았다. 특히 여봉 품종은 정식후 50일에 전처리구에서 100%까지 출퇴하였다. 여봉, 도치노미에서는 적어도 교호20일 처리가 출퇴율을 높이는데 최적 조건으로 사료된다. 결국 교호처리는 출퇴율 상승에 장점이 있어 산업화를 위한 딸기 교호처리에는 별 지장이 없다고 생각된다. 앞으로 딸기의 품질향상을 위해서 이용면에서 지속적인 연구가 요구되고 있다.

표 24. 교호처리 기간이 딸기의 출퇴율에 미치는 영향

품종	정식후 일수	control	교호처리20일 (%)	교호처리25일 (%)	교호처리30일 (%)
여봉	40일	10%	80%	60%	50%
	50일	10%	100%	100%	100%
수홍	40일	0%	0%	0%	0%
	50일	0%	0%	12.5%	12.5%
도치노미	40일	0%	12.5%	50%	12.5%
	50일	12.5%	87.5%	75%	62.5%

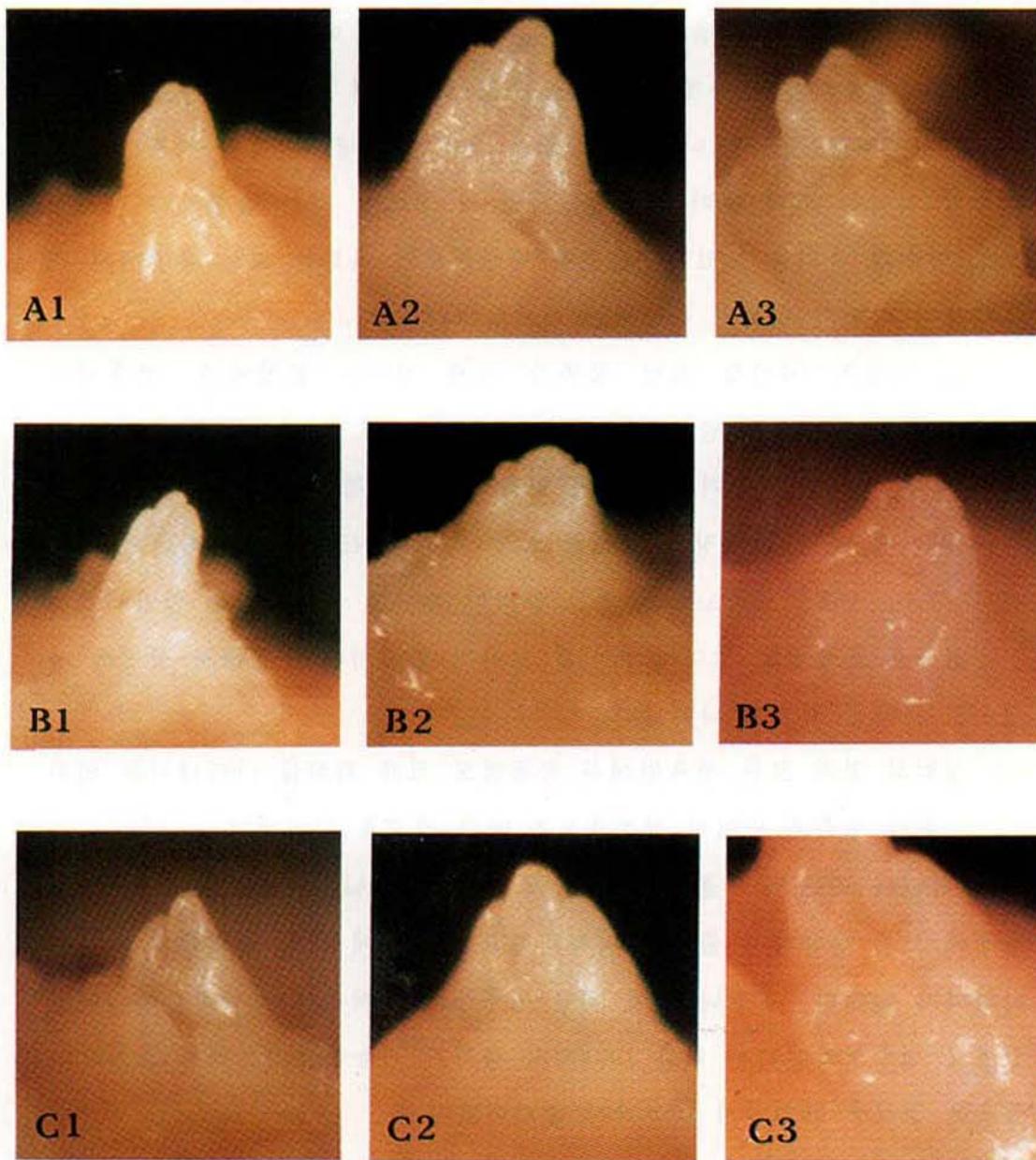


그림. 37. 교호처리에 의한 화아분화의 출현

A: 여봉 B: 도치노미 C: 수홍

1. 교호처리 20일 2. 교호처리 25일 3. 교호처리 30일

나. 냉수처리기간이 화아분화 및 생육에 미치는 영향

표 25는 냉수처리별 품종별에 따른 생육상태를 보여준다. 엽수에 있어 정식 40일후부터 현저하게 증가되는 것을 보였으며 특히 50일후부터 엽수의 증가는 빠른 것으로 나타났다. 모든 품종에서 냉수처리에 따른 품종간 엽수의 차이는 크게 나타나지 않았지만, 수홍에서 다른 품종보다 대체적으로 엽수의 증가를 보였다. 반면에 냉수처리된 옥묘는 모든 품종에서 대조구보다 상당히 활착이 늦어지는 것으로 나타났다.

crown 직경의 차이를 보면 품종간 크게 차이는 없었지만, 수홍에서 crown 직경이 현저하게 증가하는 것을 볼수 있었다. 여봉, 수홍, 도치노미 품종 모두 정식후 일수가 증가함에 따라 crown 직경이 급격하게 커졌다.

냉수처리에 따른 엽병장의 차이를 보면 정식후 40일부터 나타나기 시작하나 여봉, 수홍, 도치노미 품종간 급격한 차이를 나타내지는 않았다. 엽장, 엽폭은 품종별로 그다지 차이를 보이지 않았지만 수홍에서 상당히 성장속도가 빠른 것으로 나타났다.

본 실험의 결과 모든 생육면에서 품종별로 크게 차이를 나타내지는 않았지만, 특히 수홍에 있어서 성장속도가 빠른 것으로 나타났다.

냉수처리에 따른 출퇴율의 차이는 표 26에 나타났다. 출퇴율은 정식 40일후에 모든 품종에서 출퇴가 시작되었으며 품종에 따라 출퇴율의 차이는 나타나지 않았다. 그러나 정식 50일 이후부터 무처리에서 출퇴율이 10%인 반면에 냉수처리에서는 최고 100%까지 출퇴가 가능하였다. 특히 도치노미 품종은 정식후 50일에서 100%까지 출퇴하였다.

표 25. 냉수처리가 딸기의 생육에 미치는 영향

품종	정식후 일수	엽수 (개)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽병장 (cm)	crown (cm)
여봉	30일	4.0±0.2	6.6±0.4	12.3±0.8	6.4±0.7	0.9±0.1
	40일	4.2±0.5	6.7±0.5	12.9±0.7	6.7±0.5	1.0±0.7
	50일	5.3±0.3	7.2±0.4	13.4±0.7	6.8±0.8	1.4±1.0
수홍	30일	5.5±0.2	7.3±0.3	13.8±0.5	6.9±0.1	1.0±0.4
	40일	5.7±0.2	7.3±0.5	13.9±0.1	7.1±0.6	1.2±0.4
	50일	6.5±0.3	8.0±0.3	14.4±0.6	7.9±0.6	1.6±0.9
도치노미	30일	4.3±0.2	6.2±0.3	12.1±0.4	5.7±0.8	0.9±0.1
	40일	4.4±0.2	6.6±0.2	12.2±0.4	6.5±0.3	1.0±0.3
	50일	5.1±0.1	6.7±0.3	12.6±0.4	6.7±0.4	1.3±0.6

표 26. 냉수처리가 딸기의 출퇴율에 미치는 영향

품종	정식후 일수	control (%)	냉수처리25일 (%)
여봉	40일	10%	37.5%
	50일	10%	87.5%
수홍	40일	0%	37.5%
	50일	0%	87.5%
도치노미	40일	0%	25%
	50일	12.5%	100%

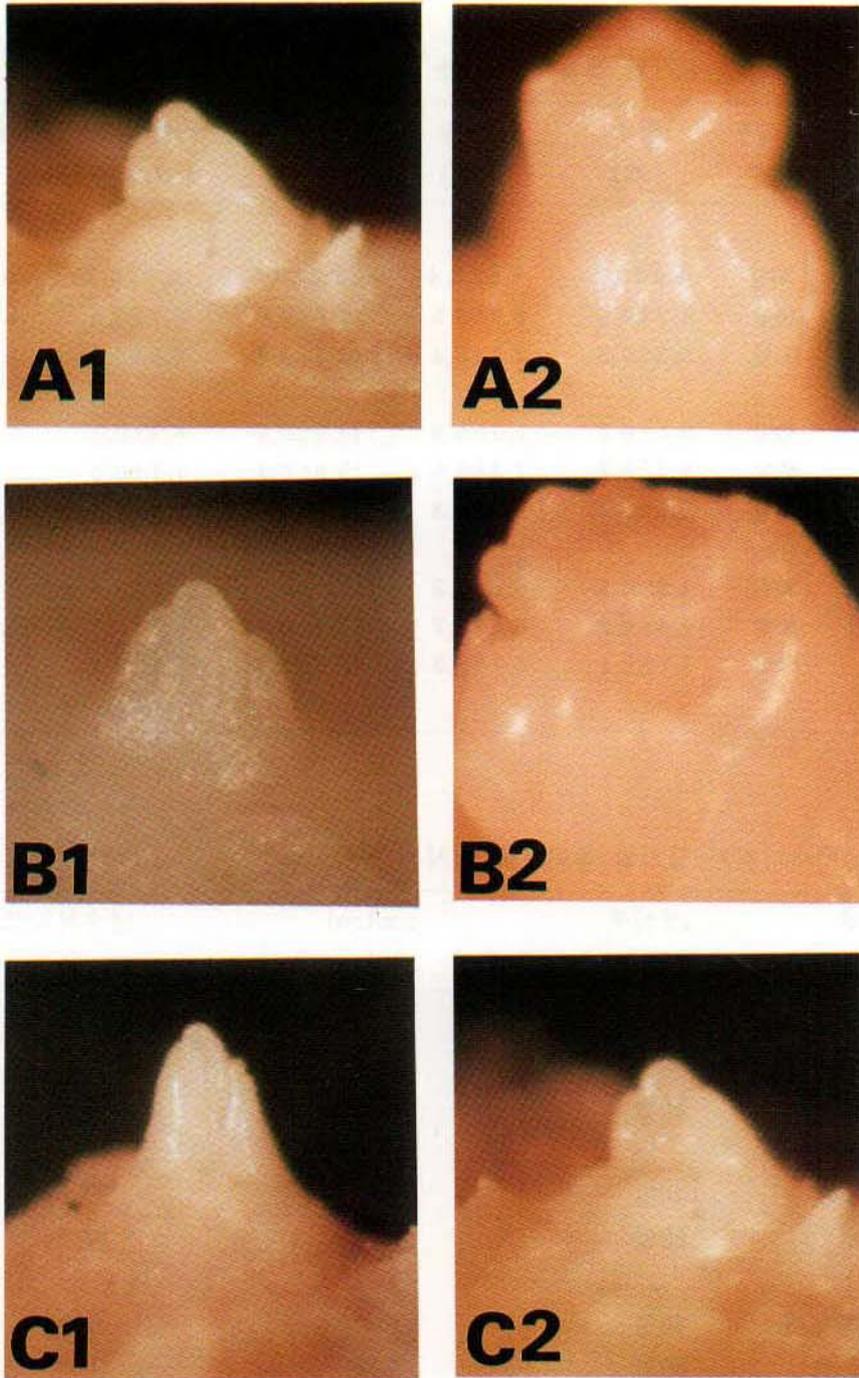


그림. 38. 냉수처리에 의한 화아분화의 출현

A: 여봉 B: 도치노미 C: 수홍

1. 냉수처리 25일 2. 냉수처리 30일

3. 요약

교호처리의 유무와 처리기간에 따른 딸기의 영양생장(엽수, 엽폭, 엽장, 엽병장 및 크라운경)에는 큰 유의차를 보이지 않았으나, 생식생장(개화일수)에는 무처리에 비해 교호처리구에서 상당히 촉진되는 경향을 나타내었다. 그러나 수홍은 여봉, 도치노미에 비해서 상대적으로 크게 출퇴율이 떨어지는 것으로 나타났다. 품종에 따라 야냉장치가 처리할 수 있는 능력의 2배량의 묘를 교대로 야냉처리하면 모든 같은 시기에 화아분화시킬 수 있다는 것을 시사한다. 다만 연속하여 야냉처리한 경우보다 야냉처리 개시부터 화아분화까지의 소요일수는 길어진다.

냉수처리처리기간에 따른 딸기의 영양생장에는 크게 유의차를 나타내지 않았으나, 교호처리구에 비해서 활착이 상당히 늦어지는 경향을 나타내었으며, 수홍은 여봉, 도치노미에 비해서 상당히 출퇴율이 떨어지는 것으로 나타났다.

제4장 품종간 광합성, 엽록소 함량 및 과실 성분 분석

1. 서론

식물의 광합성 속도는 주로 온도, 광도, 수분 및 CO₂ 농도에 의해서 많은 영향을 받는다. 특히 시설재배는 토마토, 오이 등의 작물에 있어서 CO₂ 시용이 생산성, 품질향상 및 에너지절약 등에 영향을 미치고 있음이 인정되고 있다. 현재 많이 이용하고 있는 CO₂ 발생원으로는 LPG가스나 액화 CO₂ 가스를 주로 이용하고 있는데 적정 시용농도의 인식이 부족하여 재배농가에서 CO₂ 의 오용으로 생산비증가, 생리장해 및 환경오염을 가중시키는 결과를 초래하는 경우도 있다. 그리고 일부 보고에 의하면 CO₂ 를 시용할 경우 초기에는 광합성 촉진, 증수효과가 인정되지만, 장기간 시용할 경우 광합성능 및 수량이 감소한다고 하였다.

久富와 森岡는 토마토를 재배하우스내의 CO₂ 농도를 측정된 결과 일출전에는 500-600ppm을 유지하지만, 일출후에는 200ppm 이하까지 저하되어 2-3시간 동안 지속된다고 보고하였다. 이러한 농도는 광합성에 있어서 CO₂ 가 제한요인으로 작용할 수 있다. CO₂ 시비에 따른 순광합성 및 생육 촉진, 수량증대에 대한 연구는 호온성 작물인 토마토와 오이에서 많이 이루어져 있다. 그런데 딸기는 저온에 비교적 강한데, 織田에 의하면 딸기는 품종에 따라 약간의 차이는 있지만, 광보상점은 0.5-1klux, 광포화점은 16-25klux로 이때 CO₂ 흡수속도는 10-15mg CO₂ dm⁻².hr⁻¹이지만, CO₂ 를 시용하여 광합성량을 측정한 결과 2-3배로 현저하게 증가한다고 하였다. 지금까지 연구된 것은 광도에 따른 CO₂ 포화점을 중심으로 이루어졌고,

온도의 변화에 따른 CO₂ 포화점에 대한 연구는 부족한 실정이다. 冬季에 하우스에서 딸기를 재배할 때 기상조건은 일반적으로 약광, 단일 및 저온인데 이중 온도제어는 인위적으로 가능하기 때문에 온도변화에 따른 적정 CO₂ 농도의 구명은 중요하다고 생각된다.

2. 재료 및 방법

공시품종은 '보교조생', '수홍' 및 '여홍'을 이용하였고, 재배환경은 주간/야간온도를 25/18℃로 조절한 유리온실에서 각 품종당 10개씩 정식하였다. CO₂ 처리는 07:00~12:00시까지 700 및 1,200mg.L⁻¹을 사용하여 재배하였다. 야냉육묘 처리기간에 따른 광합성속도를 보기 위하여 정식후 제1화방 개화후 완전전개엽을 중심으로 1처리당 3반복 측정하였다. 그리고 엽록소 함량은 chlorophyll meter (model:SPAD-502, Minolta Co., Japan)를 이용해 10회 반복 측정하여 평균치로 계산하였다.

광합성측정을 위한 식물체는 유리온실내에서 생육시켰고, 광합성 측정에 이용한 엽령은 전개후 30-50일 (엽위 제 3-5엽) 사이의 엽을 3개체에 대하여 3반복으로 측정하여 광합성량의 평균치를 계산하였다. 품종간 광도, 온도 및 CO₂ 농도에 따른 광합성량을 측정하기 위하여 동화상내의 온도를 15, 20 및 25℃, 광원은 1KW tungstenhalogen lamps (태우 할로겐 Co., 국산)를 이용해서 200, 500, 800 및 1,200 μmol. m⁻². s⁻¹ 광도로 조사하였다.

CO₂ 농도는 500, 700, 900, 1,600 및 2,000mg. L⁻¹으로 조절한 후 호스를 통해 동화상내에 유입하여 1시간 동안 순화시킨후 휴대용 광합성 측정기 (model:ADC-4, ADC Co., England)로 광합성량을 측정하였다. CO₂ 시용에 따른 수량, 당 및 유기산의 변화를 보기 위하여 재배환경은 주간/야간

온도를 25/8℃로 조절하여 3개의 품종을 처리당 각각 10개체씩 정식하였다. CO₂ 처리는 07-12시까지 700 및 1,200mg.L⁻¹을 사용하여 대조구와 비교하였다. 각각의 CO₂ 농도는 CO₂ 조절기 (model : GH250E, SENSONIX Co., Japan)로 조절하였고, 액화 CO₂ 가스는 호스를 통해 밀폐된 온실내로 유입하여 처리하였다. 수량은 제1화방 부터 제3화방까지의 과실을 대상으로 10g 이상의 과실을 무처리구와 비교하여 총수량을 계산하였고, 당류는 완속과 10과를 착즙하여 0.45 μm membrane filter로 여과하여 25:1로 희석하여 HPLC로 분석하였다. HPLC의 조건은 鄭 등의 방법과 동일하게 하였다. 유기산 분석에 필요한 시료의 전처리는 당분석시료와 동일하게 하였고, column은 역상 μ-Bondapak C₁₈ (particle size 9 μm, 30cm x 3.9mm I.D. Waters Assoc.)을 사용하였다. HPLC 분석조건은 column 온도는 25℃, mobile phase 0.2% phosphoric acid, flow rate 0.6ml/min. detector UV 214nm에서 10μl씩 3회 반복주입하여 평균치를 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 품종별 엽록소 함량 및 광합성 특성

야냉처리 기간에 따른 광합성 속도 및 엽록소 함량은 표 27에 나타냈다. 야냉처리간에는 무처리보다 광합성속도가 증가하였고, 야냉 4주처리에서는 다소 감소하는 경향을 보였고, 품종간에 차이는 인정되지 않았다. 엽록소 함량은 처리 및 품종간 차이가 없었다.

딸기의 순광합성량은 온도 20℃, 광도가 800 μmol. m⁻². s⁻¹에서 '수홍' (26.0 μmol. CO₂. m⁻². s⁻¹), '여홍' (25.2 μmol. CO₂. m⁻². s⁻¹), '보교조생' (26.1 μmol. CO₂. m⁻². s⁻¹) 순으로 가장 높게 나타났다. 온도에 따른 순광합성량은 15℃ 및 25℃보다 20℃에서 높았고, 25℃에서는 '수홍' 및 '여홍'

이 광도 $500 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 그리고 '보교조생'은 광도 $800 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 광포화점을 나타내 온도가 높으면 광포화점은 상대적으로 낮은 광도에서 나타나는 것으로 생각된다. 그러나 15°C 에서는 광도가 $1,200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 까지 순광합성량이 계속 증가하는 경향을 나타냈다 (그림 39).

딸기를 생육단계별로 구분하여 온도와 광도에 따른 순광합성을 측정된 결과 엽전개기, 개화기 및 과비대기에는 15°C 및 20°C 와 광도 $800 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 광포화점이 나타났다. 이 결과는 수확기와 런너 발생기에는 15°C 에서 순광합성량이 가장 높다는 보고와 유사한 경향을 나타냈다.

한편 15°C 에서 CO_2 농도 및 광도를 달리하여 순광합성을 측정된 결과는 그림 40와 같다. 종간의 CO_2 시용효과는 공시한 3개 품종 모두 $2,000\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 고농도에서 800 및 $1,200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 약 $36 \mu\text{mol} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 으로 나타나서 약광인 $200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 보다 3배 정도 순광합성량이 많았다. 저온 및 약광에서는 CO_2 농도가 높으면 순광합성에 미치는 효과는 비록 적지만, 광합성 촉진효과는 인정되었다. 鄭等은 고추에 CO_2 를 시용하여 순광합성을 측정된 결과 저온 (15°C)에서 CO_2 를 시용하면 고온에 비해 순광합성량은 떨어지지만 무처리 보다는 광합성량이 높으며 고온 (30°C)에서는 2배 정도 증가한다고 보고하였다. 또한 약광하에서는 CO_2 시용에 따른 광합성량에 미치는 효과가 적었고, 광도가 증가하면서 순광합성 속도가 60klux 까지 급속하게 증가하여 CO_2 포화점이 나타난다고 하였다. 따라서 저온 및 약광일때 고농도의 CO_2 를 시용하면 순광합성에 미치는 CO_2 시용효과가 인정되기 때문에 약광 및 저온의 환경조건에서 딸기를 재배할때 고농도의 CO_2 ($1,600\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 이상)를 시용하면 광합성 촉진효과가 있을 것으로 사료된다.

20°C 에서는 CO_2 농도 및 광도에서 측정된 순광합성은 그림 41과 같다. 공시한 3개 품종 전부 $200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 약광에서는 $500\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 보다

1,600mg.L⁻¹의 농도에서 순광합성량이 40 $\mu\text{mol. CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ 내외로 2배 정도 증가하였다. 그리고 800 및 1,200 $\mu\text{mol. m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ 광도와 CO₂ 농도가 900mg.L⁻¹까지 급속하게 증가하여 '수홍' 및 '여홍' 품종에서 광합성은 60 $\mu\text{mol. CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ 이상 높게 나타났고, '보교조생'은 CO₂가 1,600mg.L⁻¹까지 증가하는 경향을 나타냈다. Nilsen等은 호온성 채소인 토마토는 350ppm 처리가 15-20℃에서 순광합성량이 가장 높았지만, 1,000ppm의 농도에서는 25℃에서 CO₂ 포화점이 나타나서 CO₂ 시용시 최적온도라고 하였다. 이와같이 CO₂를 시용했을 때 광합성 촉진을 극대화하기 위해서는 온도의 관리가 중요하다고 생각된다. 25℃에서는 전체적으로 광도 1,200 $\mu\text{mol. m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ 에서는 CO₂ 농도 700mg.L⁻¹에서 가장 높은 순광합성량을 보였고, 이후의 고농도에서는 감소하는 경향이 나타났다 (그림 42).

500 $\mu\text{mol. m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ 의 광도에서는 900mg.L⁻¹에서 CO₂ 포화점이 나타나서 온도와 광도가 높으면 CO₂ 요구량이 적은 것으로 나타났다. 20℃에 비해 25℃에서 순광합성량은 높게 나타났지만, 약광하에서는 효과가 다소 떨어지는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 온도와 CO₂ 농도가 충족되어도 광도가 부족하면 광합성의 효율성이 떨어지므로 3가지 요소가 복합적으로 작용해야 광합성량을 최대화시킬 수 있다고 사료된다. 그리고 이 실험결과 딸기재배에 필요한 주간의 온도는 20℃ 내외, CO₂ 농도는 900mg.L⁻¹이 최적환경 조건이라고 생각된다.

織田는 딸기에 대하여 23℃에서 4-10klux까지의 약광하에서는 800ppm에서 CO₂ 포화점이 인정되었고, 1,400ppm에서는 촉진효과가 적다고 하였다. 그러나 광도가 20klux 이상이면 CO₂ 시용효과가 1,400ppm까지 순광합성량이 급속하게 증가한다고 보고하였다. 본 연구의 결과는 25℃의 고온에서 CO₂를 시용하면 500-700mg.L⁻¹ 사이의 농도에서는 순광합성량의 증가율이 완만하게 진행됨을 볼 수 있는데 고온에서는 CO₂를 시용할 경우

저농도로 사용하는 것이 경제적이라고 사료된다.

표 27. 야냉처리기간이 딸기의 광합성율과 엽록소 함량에 미치는 영향

품 종	야냉처리 기간 (주)	Photosynthetic rate ($\mu\text{mol. CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Relative chlorophyll content
보교조생	Cont.	16.88	45.8
	1	21.15	46.7
	2	23.76	47.9
	3	27.19	45.8
	4	24.19	47.4
여 홍	Cont.	20.12	47.9
	1	21.78	46.0
	2	21.63	47.8
	3	21.81	48.3
	4	19.97	48.8
수 홍	Cont.	17.81	42.4
	1	18.81	45.0
	2	22.57	42.8
	3	24.03	46.3
	4	23.97	44.5

나. CO₂ 시용에 의한 과실내 당 및 유기산 함량의 변화

CO₂ 시용이 과실내 당 및 산축적에 대한 결과는 표 28과 같다. 품종간에 전당함량은 무처리구에서는 10% 내외로 차이가 없었고, 당류별로는 fructose와 glucose가 각각 5% 정도의 함량을 나타내 주요당으로 작용하였고 sucrose는 0.5% 미만으로 적었다. Charles와 Breen³⁾에 의하면 딸기의 sucrose 함량은 개화후 10일까지는 검출되지 않았지만, 이후 20일경까지 약 1.3%로 급속하게 증가한 후에 25일경부터는 약 50% 정도 감소한

다고 보고하였다.

본 연구에 공시한 3개 품종 모두 sucrose 함량이 0.5% 미만으로 나타난 것은 완숙기에 수확한 과실이기 때문이라고 사료된다.

표 28. CO₂ 사용이 과실내 당 및 유기산 함량에 미치는 영향

품 종	CO ₂ concentration (mg.L ⁻¹)	Sugar (%/ml-juice)				Organic acid (%/ml-juice)			g/plant (%) ^z
		suc	fru	glu	T.S. ^x	malic	citric	T.O. ^y	
수 홍	cont.	0.46	4.69	4.32	9.47	trace	1.66	1.66	100 ^{cy}
	700	1.21	4.69	4.52	10.42	trace	1.43	1.43	134 ^{ab}
	1200	1.56	5.04	4.89	11.49	trace	1.21	1.21	140 ^a
여 홍	cont.	0.48	5.27	4.98	10.73	0.44	1.56	2.00	100 ^c
	700	0.71	5.33	5.04	11.08	0.24	1.48	1.72	130 ^{ab}
	1200	1.63	5.44	4.47	11.54	0.27	1.24	1.51	138 ^a
보교조생	cont.	0.38	5.29	4.67	10.34	0.58	1.43	2.01	100 ^b
	700	1.46	5.32	5.35	12.13	0.26	1.73	1.99	127 ^a
	1200	1.40	5.57	4.11	11.08	0.19	1.17	1.36	125 ^a

^zAverage of 10 plants per each treatment.

^yMean separation with columns by Duncan's multiple range test at the 5% level.

^xT.S.=Total sugar, suc: sucrose, fru: fructose, glu: glucose. ^yT.O.=Total organic acids

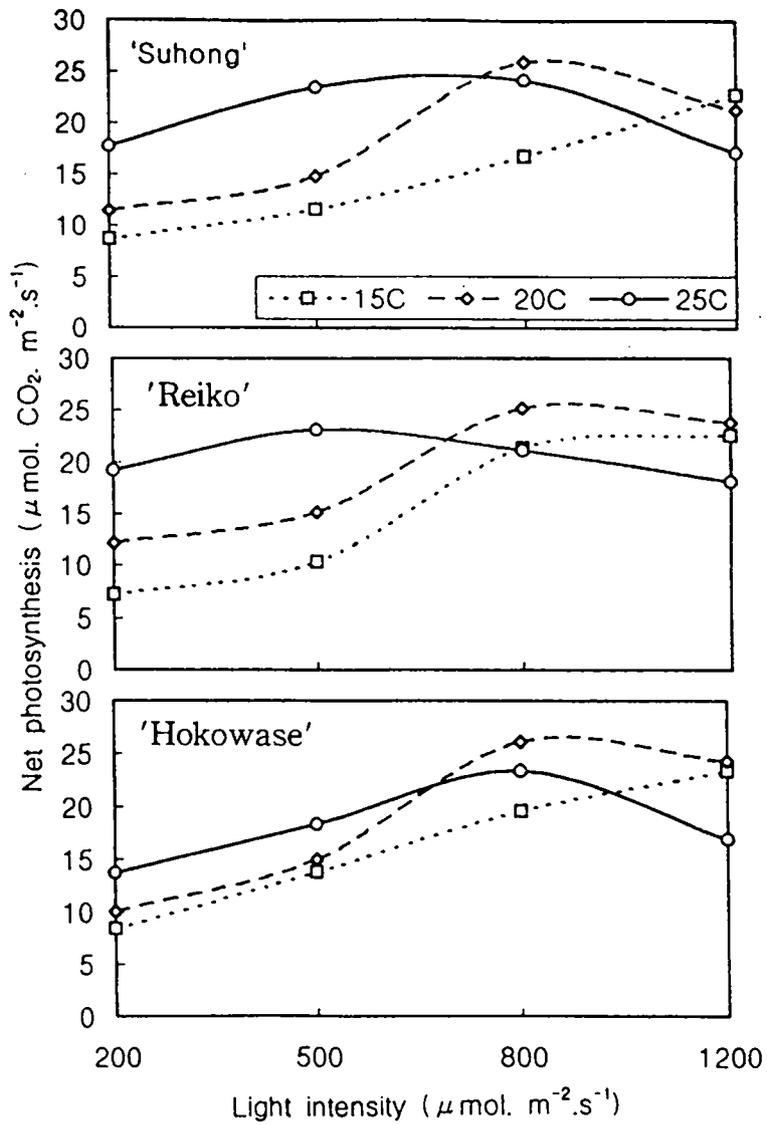


그림. 39. 광도 및 온도가 딸기의 광합성에 미치는 영향

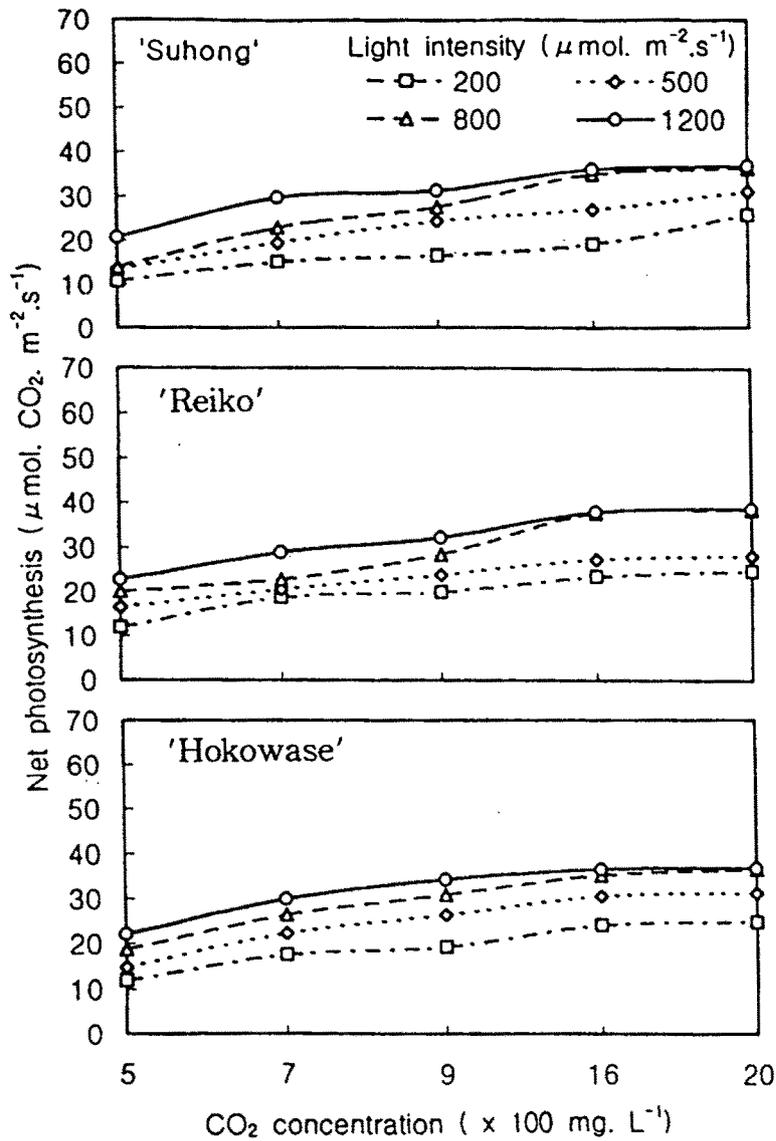


그림. 40. 광도 및 이산화탄소 농도가 딸기의 광합성에 미치는 영향
(온도 15°C고정)

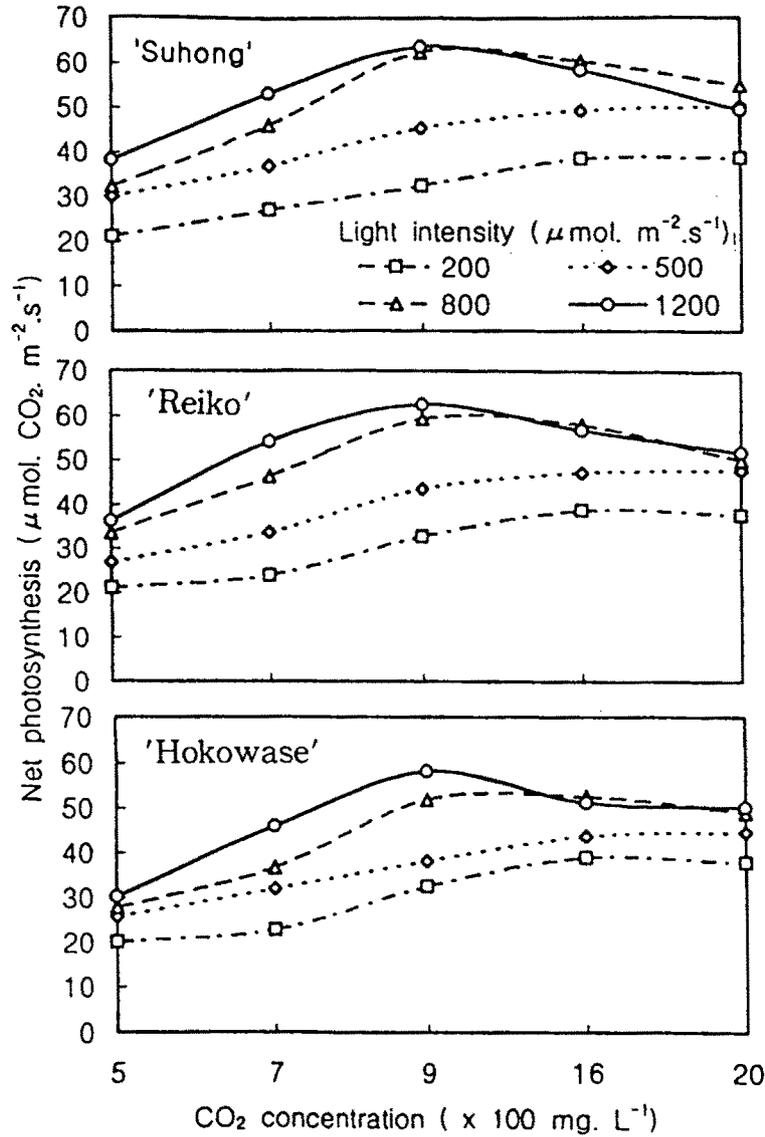


그림. 41. 광도 및 이산화탄소 농도가 쌀의 광합성에 미치는 영향
(온도 20°C 고정)

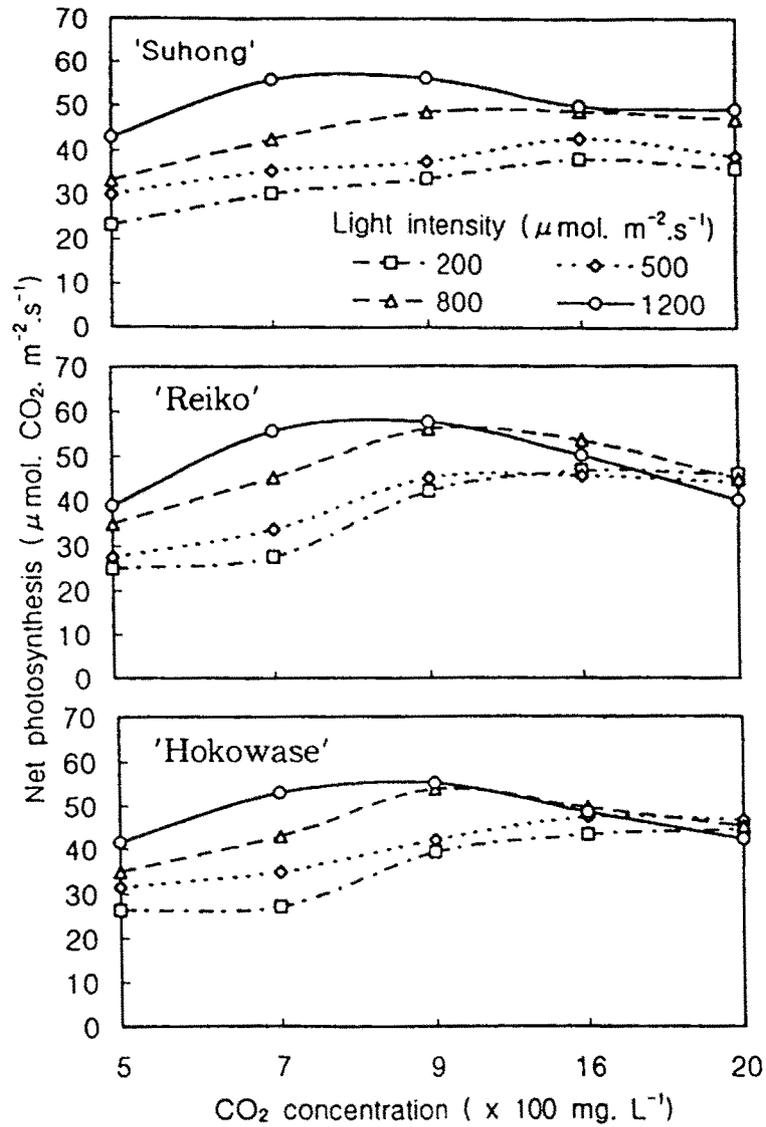


그림. 42. 광도 및 이산화탄소 농도가 딸기의 광합성에 미치는 영향
(온도 25°C 고정)

그러나 CO₂를 시용할 경우 sucrose 함량은 매우 민감하게 작용하여 품종간에 차이가 있었고, 무처리구에 비해 약 3배 정도 증가하였다. 품종간 당축적은 CO₂ 농도가 증가할수록 당함량도 증가하였지만, '보교조생'은 1,200mg.L⁻¹에서 감소하였다. 鄭等은 고추에 CO₂ 1,000ppm 및 1,500ppm을 각각 시용하여 과실내 당을 분석한 결과 대조구에 비해 당함량이 증가하였지만, 1,500ppm구에서는 1,000ppm구보다 감소한다고 하였다. 산함량은 2% 미만으로 CO₂ 농도가 증가할수록 감소하는 경향을 보였다. 산류는 구연산이 사과산 보다 많이 집적되었고 딸기에 축적되는 산의 종류는 9종류가 있는데 이중 사과산과 구연산이 90%이상 높은 비율을 차지한다고 하였다. 상품성이 있는 총생산량은 품종간에 차이가 있었고, 무처리구 보다는 CO₂ 시용구에서 약 25-40% 정도 증수효과에 유의성이 인정되었다. 中川등은 CO₂를 시용해서 재배하면 45%의 증수효과가 있고, 당도 및 당산비에 대해서는 수확시기에 따라 다르고 수확전기에는 CO₂ 시용구가 높지만, 후기에는 커다란 차이가 없고, 그이후에는 약간 떨어지는 경향이 있다고 하였다. CO₂를 시용하면 당류중 fructose와 glucose는 변화가 없지만, sucrose 함량은 증가하고, 수량은 35% 정도 증수된다고 하였다. 본 연구 결과도 유사한 경향을 나타냈는데, CO₂를 시용할 경우 광합성능이 현저하게 증가하면서 광합성산물의 분배로 뿌리의 발달과 더불어 생산력과 과실로의 축적기관(sink)에 강하게 관여하여 당도가 높게 나타나는 것으로 사료된다. 그러나 본 연구의 결과는 수량이 1-3회방까지 조사된 것이고 후기의 식물체에 대한 생육 및 생리 등에 대하여는 조사가 이루어지지 않아 이것에 대한 상세한 연구는 계속 수행되어야 할 것이다.

이상의 결과를 종합하여 보면 딸기의 광합성에 미치는 요인은 CO₂ 농도, 광도 및 온도에 따라 순광합성량이 상이하게 나타나므로 저온기의 시설내에서 고당도, 고품질생산 및 증수효과를 위해서는 적정 CO₂ 시용과 경

제적인 생산을 위해서는 광도 및 온도의 변화에 따라 CO₂ 농도를 자동으로 조절하여 시용할 수 있는 장치의 개발이 중요하다고 생각된다.

4. 요약

딸기의 광합성속도는 품종간에 차이가 없었고, 순광합성량은 20℃와 광도 800 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에서 광포화점이 나타났다. 저온 (15℃)과 약광 (500 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)하에서는 CO₂를 시용하면 무처리구 보다는 순광합성량 높았고, 저온에서도 광도 (800 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 이상)와 CO₂ 농도 (1,600mg.L⁻¹ 이상)가 높으면 순광합성량은 2배 정도 증가하였다. 그리고 20℃에서는 800 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 광도와 900mg.L⁻¹의 CO₂ 농도까지는 급속하게 증가하여 광합성이 약 60 $\mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 으로 CO₂ 포화점이 나타났고, 25℃에서는 700mg.L⁻¹의 농도에서 CO₂ 포화점을 나타냈다.

따라서 딸기재배에 필요한 최적 환경조건은 20℃와 CO₂는 900mg.L⁻¹의 농도가 적당한 것으로 나타났다. 딸기의 품질에 미치는 당 및 유기산의 함량은 무처리구에 비해 CO₂ 시용구에서 당은 증가하였고, 산은 감소하는 경향을 나타냈다. 특히 당류중 fructose와 glucose에는 변화가 없었지만, sucrose 함량은 CO₂ 처리에 의하여 약 3배 정도 증가하였다. 그리고 무처리구에 비해 CO₂ 시용구에서 30-40% 정도 증수효과가 있었다.

참고문헌

Aoki, M. And K. Yabuki. 1997. Studies on carbon dioxide enrichment for plant growth. VII. Changes in drymatter production and photorynthrtic rate of cucumber during carbon dioxide enrichment. Agricultural Meteorology 18:475-485.

Bergstrom, N. C. and P. N. Walker. 1987. Air-to-liquid heat exchanger system for ventilation heat recovery. Transactions of the ASAE 30(6):1751-1757.

Buffington, D. E. 1983. Performance characteristics of evaporative cooling systems-Progress report. ASAE Paper No. 83-4023. St. Joseph, MI 49085

Buttcher, R. W., G. R. Baughman, R. S. Gates and M. B. Timmons. 1991. Characterizing efficiency of misting systems for poultry. Transactions of the ASAE 34(2): 586-590.

Calvert, A. and G. Slack. 1976. Effect of carbon dioxide enrichment on growth, development and yield of glasshouse tomatoes. II. The duration of daily periods of enrichment. J. of Hort. Sci. 51:401-409.

Charles, F. F. and P. J. Breen. 1986. Sugar content and uptake in the strawberry fruit. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 111(2):241-247.

崔實淳. 徐宗澤. 柳承烈. 池光鉉. 1992. 高冷地를 利用한 딸기 花芽分化 促進 및 連繫栽培에 關한 研究. 農試論文集(園藝篇)34(1):5-12.

Clanton, C. J., L. D. Jacobson, and J. J. Boedicker. 1990. Preheating inlet air with a liquid-to-air heat exchanger. Transactions of the ASAE 33(6): 2027-2032.

Cramer, C. O. and D. W. Kammel. 1980. Underground air inlets for farrowing house cooling. A case study. ASAE Paper No. 80-4556. St. Joseph, MI 49085.

Darrow, G. M. 1934. Responses of strawberry varieties and species to duration of the daily light period. U. S. D. A. Tech. Bull., No. 453

Dawns, R. J., Piringier, A. A. 1966. Difference in photoperiodic responses of everbearing and June-bearing strawberries. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 66: 234-236.

鹽野目文夫. 1963. 高冷地育苗で石垣栽培. 農と園 18(3):61-63.

江口庸雄. 1934. 苗の花芽分化前及分化後に於ける日照時間の長短の影響に就て. 園學雜. 5:42-52.

江口庸雄. 1934. 低温及土壌の乾湿と苗の花芽分化との関係に就いて. 同志
5:233-250.

Ewen, L. S., J. N. Walker and J. W. Buxton. 1980. Environment in a
greenhouse thermally buffered with ground-conditioned air.
Transactions of ASAE 23(4): 985-993.

Harp, S. L. and R. L. Huhnke. 1991. Drip vs. wetted-pad evaporative
cooling of farrowing houses in Oklahoma. Applied Engineering in
Agriculture 7(4): 461-464.

Hartman, H. T. 1947. Influence of temperature on the photoperiodic
response of several strawberry varieties grown under controlled
environment condition. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 50:243-245.

Hicklenton, P.R. and P.A. Jolliffe. 1978. Effects of greenhouse CO₂
enrichment on the yield and photosynthetic physiology of tomato
plants. Can. J. Plant Sci. 58:801-817.

久富時男. 森岡和之. 1978. 食品, 多収のための環境管理基準の設定に關す
る研究(第3報)低日射期におけるすみビニールハウス内の炭酸ガス環境とトマ
トの光合成について. 奈良農業試験場研究報告 9:1-12

稲葉昭次, 伊東卓爾, 中村怜之輔. 1977. イチゴの作型と果實中の糖および有機酸組成. 岡山大農學報. 50:37-42.

稻垣昇, 津田和久, 前川進, 寺分元一. 1989. アスパラガスの光合成にCO₂濃度及び温度の影響. 園學雜. 58(2):369-376.

Gates, R. S., M. B. Timmons and R. W. Bottcher. 1991. Numerical optimization of evaporative misting systems. Transactions of the ASAE 34(1): 275-280.

Gates, R. S., J. L. Usry, J. A. Nienaber, L. W. Turner, and T. C. Bridges. An optimal misting methods for cooling livestock housing. Transactions of the ASAE 34(5): 2199-2206.

Ito, H., Saito, T. 1963. Studies on the flower formation in the strawberry plants, I. Effects of temperature and photoperiod on the flower formation. Thhocu J. Agr. Res. 13: 191-203.

伊東秀夫. 1963. イチゴの花芽分化促進と温度日長關係. 農及園 38(2):291-294.

鄭天淳, 柳根昌, 長岡正昭, 今田成雄. 1995. 靑果用 고추 栽培를 위한 光度, 夜溫 및 CO₂ 濃度의 效果. 韓園誌. 36(2):211-217.

Jonkers, H. 1965. On the flower formation, the dormancy and the early forcing of strawberries. Meded Land-bouwhoge School Wageningen. 65:1-59.

金指信夫. 横森遠郎. 1972. 寶交早生の早出し栽培. 静岡農試 試験研究成果の摘要集.

金指信夫. 飯山俊男. 1974. 高冷地 育苗場所による苗質の變化に関する試験. 静岡農試試験研究成果の摘要集.

金指信夫. 横森遠郎. 1972. 休眠打破による半促成イチゴの早出し栽培. 静岡農試 試験研究成果の摘要集.

金指信夫. 横森遠郎. 1972. 休眠打破による半促成イチゴの早出し栽培に関する試験. 静岡農試 試験研究成果の摘要集.

金指信夫. 飯山俊男. 1974. 休眠打破による半促成イチゴの早出し栽培に関する試験. 山上げ時の苗質と収量に関する試験. 静岡農試 試験研究成果の摘要集.

강화석. 강위수. 이귀현. 오재현. 김일섭. 유근창. 1996. 폐광의 냉기 및 냉수를 이용한 온실의 야냉시스템개발. 한국환경농학회지 15(2):223-231.

川島信彦. 1991. 施設栽培におけるCO₂施用の現状と課題. 農業氣象 47(3):177-182.

- 香川彰. 1971. イチゴの株冷抑制栽培による周年生産. 農と園 46(1):47-49
- 香川彰. 1964. イチゴの抑制栽培の原理上基礎問題. 農と園 19(2):38-40.
- Koca, R. W., W. C. Hughes, and L. L. Christianson. 1991. Evaporative cooling pads: test procedure and evaporation. Applied Engineering in Agriculture 7(4): 485-490.
- 羅相煒. 李殷模. 禹仁植. 1992. 딸기育苗方法이 花芽分化에 미치는 影響. 農試論文集(園藝篇) 34(1):13-19.
- 李龍範. 李炳駟. 1994. 長期施用이 토마토의 生育, 收量 및 品質에 미치는 影響. 韓園誌. 35(2):103-110.
- 眞部孝明. 1989. 生食用イチゴの品質評價(2)一般成分, 有機酸組成, 香氣成分及びペクチン質と物性の品種間差異. 廣島農短大報. 8:669-677.
- 松本理. 1987. イチゴの株冷抑制栽培をあぐる生態的諸問題[1]. 農と園 62(1):57-62.
- 森岡和之. 久富時男. 1973. 食品, 多收 環境背履基準の設定に関する研究 (第1報)長期栽培トマトに對するCO₂施用の影響について. 奈良農業試験場研究報告 5:12-17.

中川泉, 吉岡宏, 河田貢, 西村仁一, 村上晶子. 1989. 寡日照地域における施設野菜のCO₂施用に関する研究(第2報)イチゴ‘女峰’の生育・収量に及ぼすCO₂施用の影響. 園学雑 58(別2):352-353.

長岡正昭, 高橋和彦. 1983. 複合環境制御下におけるトマトの生育・収量. 野菜試験場報告 A.11:45-56

Marsh, L. S., S. Singh. 1994. Economics of greenhouse heating with a mine air-assisted heat pump. Transaction of the ASAE 37(6): 1959 - 1963

McNeil, S. G., R. L. Fehr, J. N. Walker, and G. R. Parker. 1983. Performance of evaporative coolers for mid-South gestation housing. Transactions of the ASAE 26(1): 219-222.

Moysey, E. B. and R. D. Wilson. 1980. Liquid-to-air heat exchangers for livestock buildings. ASAE Paper No. 80-4013. St. Joseph, MI 49085.

Nelson, D. P., C. H. Read, B. J. Barfield, J. N. Walker, V. Hays, and G. Cromwell. 1972. The performance of swine under warm environments. Transactions of the ASAE 15(1): 219-222.

Nilsen, S., K. Houland, C. Dons and S.P. Sletten. 1983. Effect of CO₂ enrichment on photosynthesis, growth and yield of tomato. Sci.

Hort. 20:1-14.

二宮敬治. 1954. 高冷地育苗に依る早出し栽培法. 農及園 29(7):893-896.

二宮敬治. 鉦木當治 1965. イチゴ奇形果に關つる研究特に不稔花粉の發生と高低温の影響について. 静岡農試研報. 10:61-70.

西澤隆, 堀裕. 1989. イチゴの營養生長期から休眠期にかけての光合成と光合成産物の轉流・分配. 園學雜. 57(4):633-641.

織田彌三郎. 1975. イチゴに對する施用の理論とその實用化. 農業おとび園藝 50(12):57-62.

遠藤喜重. 1962. 促成イチゴの高冷地育苗について. 農と園17(9):38-40.

佐藤紀男. 1985. イチゴ‘寶交早生’の促成栽培における糖度向上について. 神奈川園試研報. 33:18-25

Overhults, D. G. and R. L. Fehr. 1987. Design and performance of an air-to-water heat exchanger. ASAE Paper No. 87-4508. St. Joseph, MI 49085.

Puri, V.M. 1986. Feasibility and performance curves for intermittent earth-tube heat exchanger. ASAE Paper No. 65-840. St. Joseph, MI 49085.

Scott, N. R., R. A. Parsons and T. A. Kochler. 1965. Analysis and performance of an earth-tube heat exchanger. ASAE Paper No. 65-840. St. Joseph, MI 49085.

Sudds, R. H. 1928. Fruit-bud differentiation in the strawberry, Pennsylv. Agr. Exp. Sta. Bull. 230:1-35.

上野善和. 1965. イチゴの花成と營養生長に関する研究(第1報). 日園學雜 31(1):81-85.

Walker, J. N. and J. W. Buxton. 1977. Can circulating air through a buried pipe be used to heat and cool greenhouses? J. Am. Soc. of Hort. Sci. 102(5): 626-629.

Walker J. N., W. O. Peterson, G. A. Duncan, and D. T. Anastasi. 1976. Temperature and humidity in a greenhouse ventilated with coal mine air. Transactions of the ASAE 19(2):311-317.

Went, F. W. 1957. Experimental control of plant growth. Waltham, Mass. pp. 129-138.

Willits, D.H. and M.M. Peet. 1989. predicting yield responses to different greenhouse CO₂ enrichment schemes cucumbers and tomatoes. Agricultural and forest meteorology 44:275-293.

尹亨權, 柳根昌. 1992. 딸기의 生育 段階別 光合成 特性. 韓園誌. 33(1):16-20.

岡宏. 1990. 寡日照地域における施設野茶に対するCO₂施用効果. 農業および園藝 65(12):50-54.