

폐광의 냉기 및 냉수를 이용한 온실의 야생 시스템 개발†

강화석* · 강위수* · 이귀현* · 오재현* · 김일섭* · 류근창**

Development of Night Cooling System for Greenhouse Using Cool Air and Water from an Abandoned Coal Mine

Whoa Seug Kang, Wie Soo Kang, Gwi Hyun Lee,
Jae Heun Oh, Li Seop Kim and Keun Chang Yoo

Abstract

This study was to develop the most effective cooling system which is needed to cool greenhouse during summer night for getting up early blooming of strawberry. Various cooling systems were designed and constructed to use cool air and water from an abandoned coal mine. Cooling systems built for this study included an evaporative cooling system with cooling pad, heat exchanger using small or large radiator, and cooling duct for drawing cool air from coal mine. The cooling pad, small or large radiator and cooling duct were individually tested. Also, combined cooling system was tested by operating cooling pad, small radiator, and cooling duct simultaneously.

The results in this study showed that individual cooling systems such as cooling pad, small radiator, and cooling duct had about the same effect on cooling greenhouse. The combined cooling system had little better cooling effect than individual cooling system except 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

† 본 연구는 1995년도 농림수산부 농업특정연구 개발과제에 의해 수행되었음.

* 강원대학교 농업기계공학과(Dept. of Agricultural Machinery, Engineering, Kangwon Nat'l Univ., Chunchon 200-701, Korea)

** 강원대학교 식물응용과학부(Division of Applied Plant Science Kangwon Nat'l Univ., Chunchon 200-701, Korea)

radiator, temperature in greenhouse was dropped into about 15°C when outside temperature was 23-24°C during summer night.

서 론

우리 나라는 UR 협상 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 실정이다. 따라서 지역의 균형 발전을 위한 폐광의 산업적 활용이 적극적으로 검토되어야 한다.

온실의 설비는 기술 및 자본 집약형으로서 우리나라 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 노농비 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 경제적일 뿐만 아니라 식물 생육에 필요한 온도로 온실의 기온을 낮추기 위한 냉기의 이용은 환기장치와 같은 기계적인 수단을 이용한 냉방에 비해 훨씬 효율적이다¹⁾. 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 있다²⁾. 미스트 냉각 방법은 온실벽에 설치한 분무실의 물을 고압의 노즐에 의해 50~100μ 정도의 가는 안개로 변화시켜 온실내에 불어넣어 공기로부터 기화열을 빼앗아 온실을 냉각시키는 방법이다. 이러한 미스트 냉각 시스템은 증발 냉각 방법과 거의 비슷한 성능을 갖는 것으로 알려져 있다³⁾.

온실 또는 축사의 냉방을 위한 지중 열교환기의 사용에 대한 연구는 오래 전부터 시행되어져 왔다^{4,5)}. 이러한 열교환기에 있어서 열전달율을 증가시킬 수 있는 몇 가지 방법이 응용되고 있다. 즉, 열전달 면적을 크게하여 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^{6,7,8)}. 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 온실에서의 딸기 화아분화를 촉진시키는데 있어 유용하게 사용될 수 있을 것으로 사료된다. 본 연구의 목적은 폐광으로부터 유출되는 냉기 또는 냉수를 이용한 증발

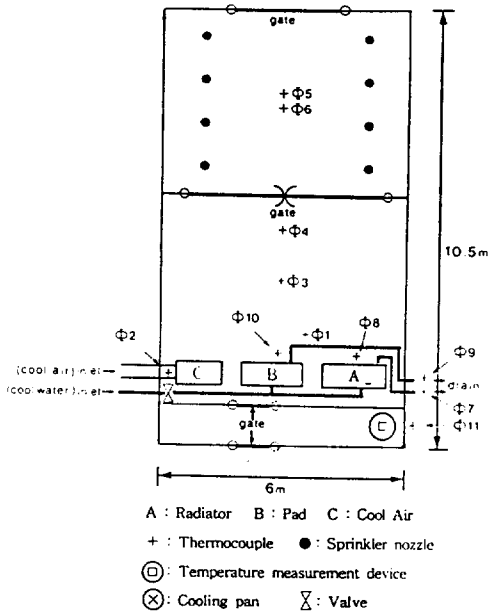


Fig. 1. Plane view of greenhouse showing positions of thermocouple and cooling systems.

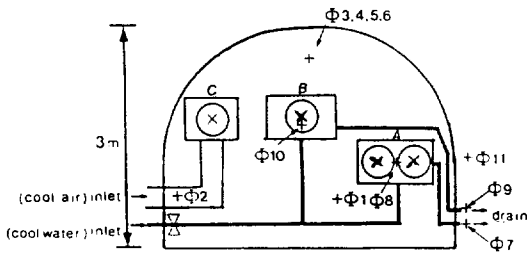


Fig. 2. Front view of greenhouse showing positions of thermocouple and cooling systems.

냉각장치(pad 냉각장치), 열교환기로서 radiator 및 냉각 duct의 성능을 조사하여 가장 효과적인 딸기 육묘 야냉 시스템을 개발하기 위한 것이다.

재료 및 방법

온실의 냉방실험은 한 겹의 플라스틱 필름 및 열손실을 줄이기 위해 피복재 주위에 단열재로 피복된 온실에서 행해졌다. 냉각장치의 설치장소 및 온도측정을 위한 열전대의 고정 위치를 나타내는 온실의 평면도 및 정면도가 각각 그림 1과 그림 2에 보여지고 있다. 육묘실, 외기, 온실의 내부 및 냉각장치 출구의 물과 공기의 온도가 측정되어졌으며 온도 측정장치로는 data acquisition system이 사용되어졌다. 온실내의 온도는 지면으로부터 0.3m 및 2.3m 위에서 측정되었으며, 온실의 냉방실험은 1995년 8월에 평장군 미탄면의 폐광 근처에 설치된 온실에서 수행되어졌다. 본 연구에서는 온실을 냉방시키는데 있어 가장 적합한 냉각 방법을 결정하기 위해 아래와 같은 여러 종류의 냉각장치가 사용되어졌다.

1. 소형 radiator에 의한 냉각

소형 radiator(소나타 자동차용 : 60×45×2.5cm)의 앞면에 용량 50m³/min인 팬을 설치하였으며, 폐광에서 유출되는 약 12.5℃의 냉수를 radiator내로 순환시켜 radiator 표면을 지나는 공기를 냉각시킴으로써 radiator를 열교환기(heat exchanger)로 사용하였다. 온실내의 더운 공기는 팬에 의해 radiator의 좌측면에서 흡입되었으며, 냉각된 공기는 radiator 우측면에 설치된 duct를 통해 온실내로 배출되었다. 여기서 radiator는 온실 한쪽 끝의 위 부분에 설치되었으며, duct는 radiator의 우측면으로부터 온실의 다른쪽 끝에 고정되었다. radiator에 연결된 duct의 직경은 50cm였으며, 냉각된 공기를 고르게 온실내에 분포시키기 위해 duct의 밀면은 길이 방향을 따라 15cm 간격으로 직경 2cm인 구멍들이 천공되어졌다.

2. 냉각 pad를 사용한 증발냉각

냉각 pad의 앞면에 용량 45m³/min인 팬을 설치하였으며, 폐광으로부터 유출되는 냉수는 물 확산장치를 통해 고정 상자에 부착된 냉각 pad의 전체면에 흘러 보내졌다. 또한 냉각 pad의 앞면에서 흡입된 공기는

pad 냉각장치의 뒷면에 설치된 duct를 통해 온실내로 고르게 분포되어졌다. 이러한 냉각장치는 냉수의 증발에 필요한 열을 온실내의 더운 공기로부터 흡수함으로써 온실을 냉각시키는 방법이다.

3. 폐광의 냉기를 사용한 냉각

송풍 용량이 45m³/min인 팬을 함석으로 제작된 직경 50cm 관(cooling duct)의 내부에 설치함으로써 폐광으로부터 유출되는 냉기를 온실내의 duct로 유입시켜 강제대류에 의해 온실의 더운 공기를 냉각시키는 장치이다.

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

소형 radiator, 증발 냉각장치 및 냉기 송풍장치를 동시에 가동시켜 온실을 냉각시키기 위해 여러 냉각장치를 종합하여 사용한 것이다.

5. 대형의 radiator를 사용한 냉각

대형의 radiator(125×90×45cm) 앞면에 용량 50m³/min인 팬 2개를 설치하였으며, 폐광에서 유출되는 약 12.5°C인 유량 0.000301204 m³/s의 냉수를 radiator에 순환시켜 radiator를 열교환기(heat exchanger)로 사용

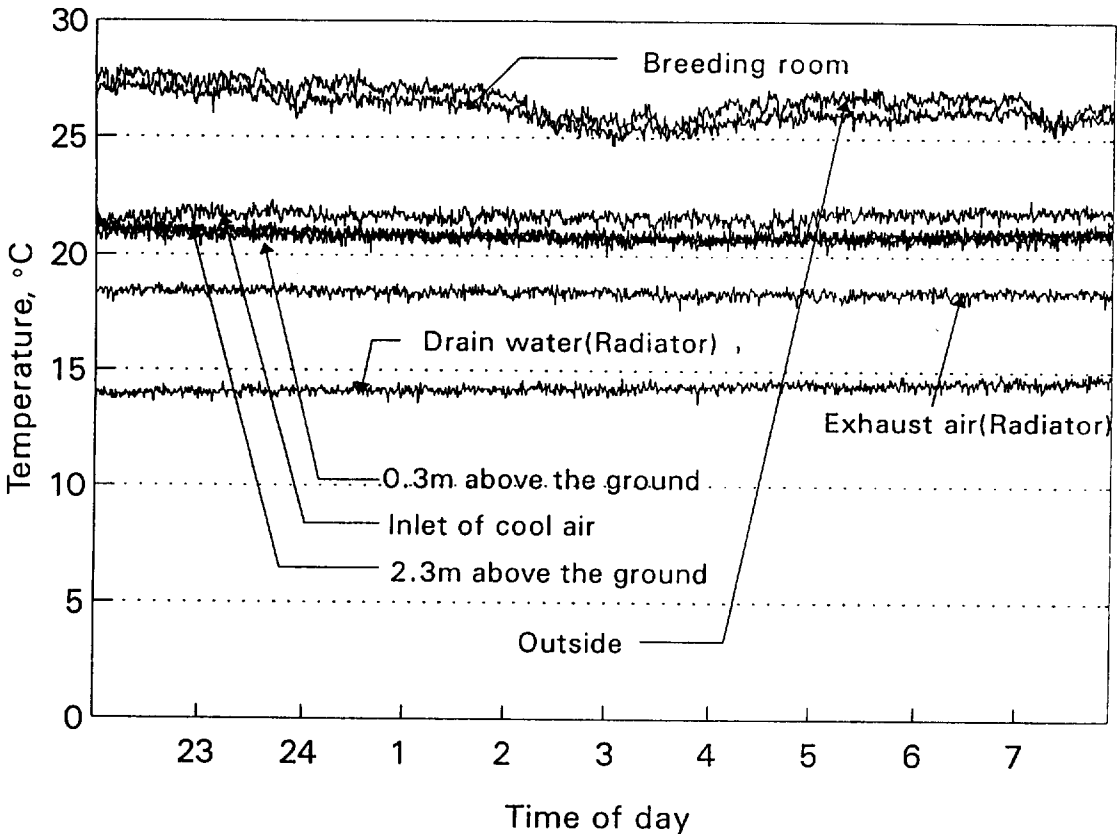


Fig. 3. Temperature distribution in greenhouse during operation of small radiator.

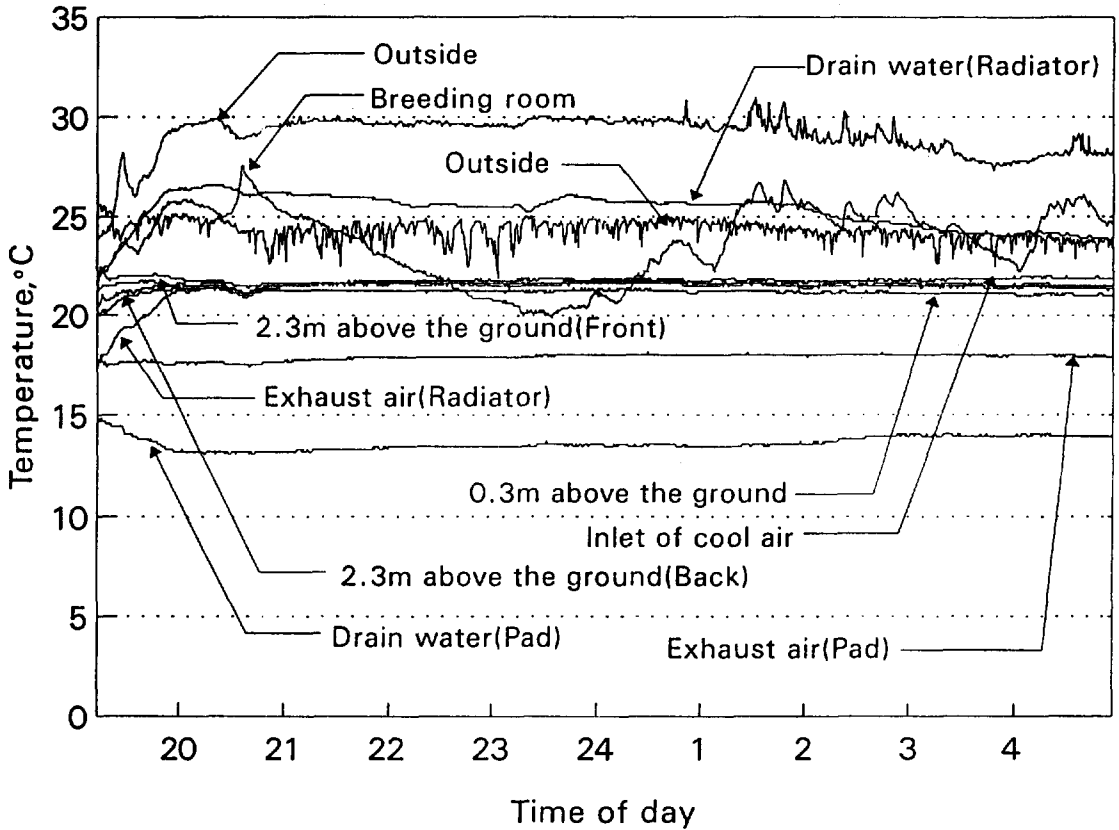


Fig. 4. Temperature distribution in greenhouse during operation of cooling pad.

하였다. 속도 3.63m/s로 radiator의 앞면에서 흡입된 온실내의 더운 공기는 radiator의 주위를 지나는 동안 냉각되어져 온실내로 확산되었다.

결과 및 고찰

1. 소형 radiator에 의한 냉각

소형의 radiator 냉각장치를 사용한 야간의 온실 냉방실험 결과가 그림 3에 보여지고 있다. 야간의 외기 및 냉각 시설이 없는 육묘실의 온도는 25-28°C의 범위에 있었으며 radiator를 통과한 후 유출되는 냉수의 온도는 약 14°C 였다. 또한 radiator를 통과하기 전의

공기 온도는 약 22°C였으며, radiator를 통과한 후의 공기는 약 18°C로 냉각되어졌다. 이러한 공기의 온도 감소는 radiator를 지나는 냉수에 의해 냉각된 radiator의 표면을 지나는 공기의 열손실에 기인하며 지상으로부터 0.3m 또는 2.3m 위의 온실내 기온은 외기 온도에 비해 5-15°C 정도 낮은 21-23°C 범위에 있었다.

2. 냉각 pad를 사용한 증발냉각

냉각 pad를 사용한 증발냉각 장치가 가동되는 동안 야간의 온실 냉방실험 결과가 그림 4에 보여지고 있다. 야간의 외기 및 냉각시설이 없는 육묘실의 온도는 20-30°C 범위에 있었으며, 냉각 pad로부터 유출되는 냉수의 온도는 약 13-14°C 였다. 냉각 pad를 통과

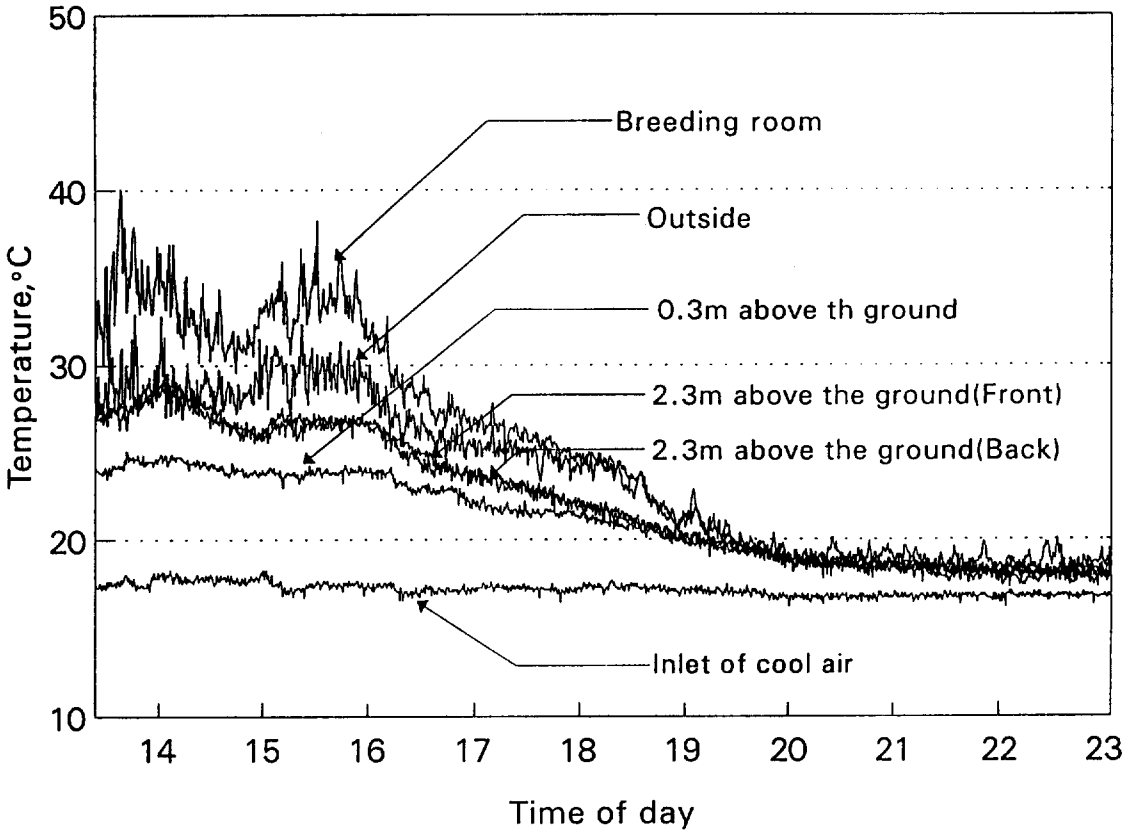


Fig. 5. Temperature distribution in greenhouse during operation of cooling duct.

하기 전 공기의 온도는 약 21°C였으며, 냉각 pad를 통과한 후에는 약 17-18°C로 냉각되어졌다. 이러한 공기의 온도 감소는 냉각 pad를 지나는 냉수의 증발에 필요한 증발열을 pad를 통과하는 공기로부터 빼앗기 때문이며 지상 0.3m 또는 2.3m에서 온실내의 온도는 외기 온도에 비해 4-9°C 정도 낮아진 약 22°C 범위에 있었다.

3. 폐광의 냉기를 사용한 냉각

폐광의 냉기만을 사용하여 온실을 냉방시킬 때 시간에 따른 온실내의 온도변화에 대한 결과가 그림 5에 보여지고 있다. 야간의 외기 및 냉각장치가 없는 육묘

실의 온도는 18-22°C 범위에 있었으며 온실내 지상으로 부터 0.3m인 곳에서의 온도는 17-18°C 범위에 있었다. 위의 결과는 야간의 냉기에 의한 온실의 냉방 효과가 매우 작음을 나타내고 있다. 이러한 이유는 온실내로 유입되는 냉기의 온도와 온실내의 온도 차이가 작으므로 냉기에 의한 온실의 냉각 효과가 작기 때문인 것으로 사료된다.

4. 소형 radiator, 냉기 및 냉각 pad를 동시에 사용한 냉각

소형의 radiator, 폐광의 냉기 및 냉각 pad 장치를 동시에 사용한 야간의 온실 냉방 실험결과가 그림 6에

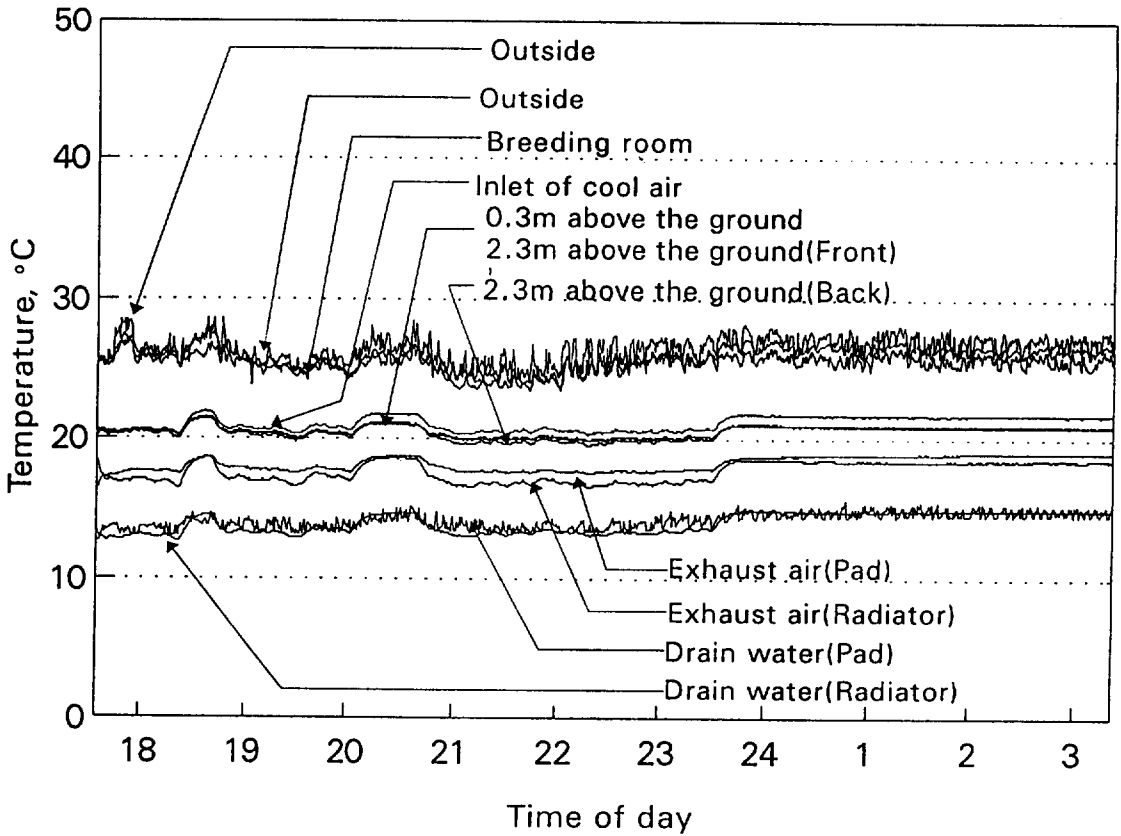


Fig. 6. Temperature distribution in greenhouse during operation of small radiator, cooling pad, and cooling duct.

보여지고 있다. 외기의 온도와 냉각장치가 없는 육묘실내의 온도는 25-28°C의 범위에 있었다. 온실내의 지면 위 0.3, 2.3m에서 측정된 온도는 약 20°C에서 거의 비슷한 온도 분포를 나타냈으며, 냉각장치에 의한 온실내의 온도는 외기와 육묘실에 비교할 때 온도 5-8°C가 냉각되어졌다. 소형 radiator와 냉각 pad 출구에서 공기의 온도는 약 17-18°C로 입구온도 20-21°C와 비교할 때 약 3°C의 온도 저하 효과를 나타냈다. 냉각 pad와 radiator 출구에서 물의 온도는 13-15°C로 폐광으로부터 유출되는 약 12.5°C의 입구온도와 비교할 때 0.5-2.5°C의 물 온도 상승에 해당하는 잠열을 온실내의 공기로부터 흡수함으로써 온실 공기를 냉각시켰다.

5. 대형 radiator를 사용한 냉각

그림 7은 대형 radiator를 사용한 야간의 온실 냉방 실험 결과를 나타내고 있으며, 야간의 외기 및 냉각장치가 설치되지 않은 육묘실의 온도는 약 23-24°C 범위에서 변화하였음을 보여주고 있다. 지상으로부터 0.3m와 2.3m 위에서 측정된 온실내의 공기온도는 약 15°C였다. 이러한 대형 radiator 냉각장치의 사용에 의해 야간의 온실내 온도는 외기 온도에 비해 적어도 약 8-9°C 정도 냉각되어졌다. 온실내에서 radiator로 유입되는 공기의 온도는 약 21°C였으며, radiator를 통과한 후 공기의 온도는 약 15°C로 약 6°C 정도 냉각되어졌다. 지상으로부터 2.3m 위에서 측정된 온실내 공기의

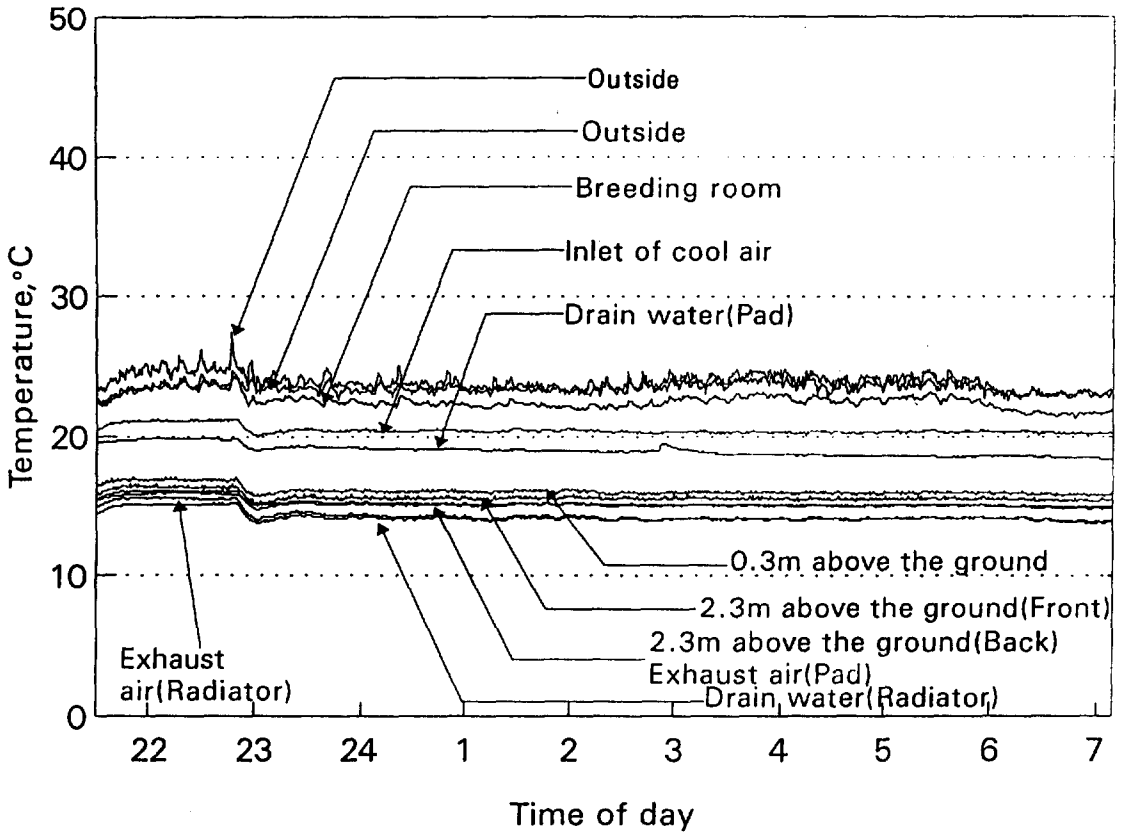


Fig. 7. Temperature distribution in greenhouse during operation of large radiator.

온도는 지상으로부터 0.3m 위에서 측정된 온실내 공기의 온도에 비해 약 1-2°C 정도 낮았으며, 이와 같은 온도의 차이는 radiator 냉각장치가 온실의 상부에 설치되었기 때문인 것으로 사료된다.

요 약

폐광으로부터 유출되는 냉기 또는 냉수를 이용하여 여름 동안 야간에 온실을 냉방시키는데 있어 가장 효율적인 냉각방법을 결정하기 위해 여러 종류의 냉각장치가 제작 및 냉각 실험되어졌다. 온실을 냉방시키는데 있어 여러 냉각장치의 효율을 비교할 때 독립적으로 소형 radiator, 냉각 pad 및 냉기를 사용한 냉각

방법은 거의 비슷한 결과를 나타냈다. 또한 대형 radiator를 제외한 여러 냉각장치를 동시에 가동하였을 때는 독립적으로 이러한 냉각장치를 각각 가동하였을 때 보다 약간 향상된 냉각 효율을 나타냈다. 그러나 대형 radiator를 독립적으로 사용했을 때 온실의 냉각 효율은 다른 냉각 방법에 비하여 상당히 좋았으며, 야간의 외기 온도가 23-24°C 범위에 있을 때 온실내의 공기 온도는 약 15°C로 냉각되었다.

참고문헌

1. 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.
2. Buffington, D. E.(1983). Performance characteristics of evaporative cooling systems-Progress report. ASAE Paper No. 83-4023. St. Joseph, MI 49085
 3. 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.
 4. 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.
 5. 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.
 6. 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.
 7. 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.
 8. 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.