

패드엔팬을 이용한 온실냉방효과

The Cooling Effect Using Pad & Fan in Greenhouse

장유섭* 김동역* 이동현*

정회원 정회원 정회원

Y. S. Chang D. E. Kim D. H. Lee

1. 서론

우리나라는 여름에는 최고기온평균이 지역마다 차이가 있으나 31~37℃로 매우 높기 때문에 작물생육이 정체 내지 쇠퇴하므로 여름에 경작을 포기하는 경우가 많다. 여름철에 온실내부를 최대한 냉방하여 온실의 가동율을 높이는 것이 농가 소득을 증대시킬 수 있다. 이러한 관점에서 최근에 에너지 절약적 차원에서 온실의 난방, 보온에 관한 관심이 높아지고 있고 이와더불어 여름철 고온기 작물재배를 위한 냉방시설에 관한 관심과 연구가 매우 높아지고 있다.

여름철 고온기에 시설내부를 외기온도 정도로 유지하기 위해서는, 차광이나 환기만으로는 불가능하므로, 시설에서의 냉방이 필요하다. 차광이나 환기 보다 시설내 온도상승을 적극적으로 억제하는 방법으로서 기화냉각방식인 패드엔팬, 미스트엔팬, 포그엔팬 등의 냉각방법이 이용된다. 그러나, 고압으로 노즐을 통하여 물을 온실내부로 분무하는 방식은 물입자가 굵어 실내를 과습하게하거나 냉방효과를 떨어뜨리는 원인이 되며, 패드엔팬 방식은 온실의 폭이 크거나 패드와팬의 거리가 멀면 충분한 효과를 거두기 어렵다.

따라서 본연구에서는 패드상자를 이용하여 보다 냉방에 유리한 방식의 패드엔팬방식의 냉방장치를 개발하기 위하여 물공급량별 풍속별 패드의 증발량과 온도강하 효과에 대한 기초 시험을 실시하였다.

2. 재료 및 방법

가. 시험재료

패드와 팬을 이용한 냉방장치는 그림 1,2에서 보는 바와 같이 좌우 측면과 후면에 셀룰로스로된 패드를 설치하였으며, 패드의 상부에는 패드로 물을 고르게 분무할 수 있는 다공의 배관을 설치하였다. 또한, 장치의 전면에는 평균풍속이 10m/s, 풍량이 150m³/min인 축류팬을 설치하였고 패드의 아래에는 수조가 설치되어 80 l/min의 용량을 갖는 펌프와 외부로부터 물이 증발되어 부족한 물을 공급하는 볼탭으로 구성되었으며, 패드와 팬의 주요 제원은 표 1과 같다.

* 농업기계화연구소 생물생산기계과

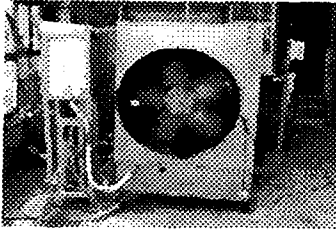


Fig. 1. A View of pad and fan cooling system.

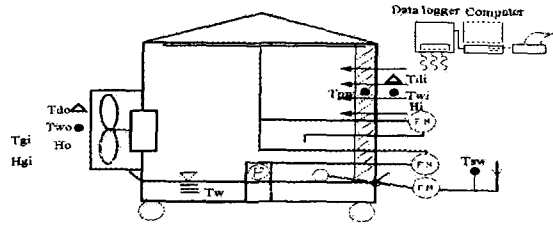


Fig. 2. Schematic diagram of experimental Apparatus

Table. 1. Specifications of pad and fan cooling set

Pad		Fan		
Size (Width*Height* thickness, cm)	Materials	Wind Speed (m/s)	Wind Volume (m ³ /min)	Power (kW)
Right & Left side : 90*30*10 Back side : 90*60*15	Corrugated cellulose	10	150	0.75

나. 시험방법

물을 패드상부에 공급하여 아래로 흐르게 하고 장치의 전반부에 설치된 팬이 구동하여 패드내부의 공기를 불어내면 패드에 스며들어 아래로 흐르는 물이 증발하게 된다. 시험은 물량을 조절하여 패드가 완전히 적셔지는 최소의 물량인 58 l/min에서 최대 70 l/min까지의 범위내에서 물공급량을 6수준으로 조절하여 증발량, 흡기와 배기의 온도변화 등을 측정 비교하였다. 풍속은 1170rpm으로 고정하여 시험하였다. 한편, 패드에 적셔 흐르는 물기를 증발시키는 데 이용되는 팬의 풍속이 변함에 따라서 패드의 물이 증발하는 영향을 알아보기 위하여 팬의 회전수를 100rpm에서 최대 1170rpm까지의 범위에서 5수준으로 조절하여 증발량과 흡기와 배기의 온도변화 등을 측정 비교하였다.

본시험에서 패드에 공급되는 물량과 증발량을 측정하기 위해, 패드에 공급되는 물은 공급호스에 설치된 볼 밸브로 조절하고, 여분의 물은 여수호스를 통해 수조로 되돌아가게 하였으며, 공급호스와 여수호스, 볼밸브를 통과하는 물량은 순간 물량과 누적물량이 측정되는 디지털유량계를 각각의 호스에 부착하여 측정하였다. 패드에 공급되는 물량은 총 공급물량에서 여수물량을 감하여 계산하였고, 증발량은 수조에서 증발된 물을 보충할 때에 볼밸브를 통과하는 물의 량을 30분간 측정한 값을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 물공급량별 증발냉각 효과

(1) 패드의 흡입과 배출 공기 온도차

패드엔팬의 흡입공기와 패드상자로부터 배출되는 공기의 온도변화를 측정하여 온도차를 비교한 결과 그림 2에서 보는바와 같이 패드에 공급되는 물량이 58 l/min인 경우가 흡배출 공기의 온도차가 다소 적은 것으로 나타났으나 다른 처리에서는 특이한 경향이 나타나지 않았다. 이것은 충분히 패드가 적시어지면 팬에 의해 물이 잘 증발되어 온도강하를 할 수 있음을 보여주고 있다. 각 처리 결과를 간단히 하기 위하여 평균하여 보면 흡·배기의 온도차가 2.0~9.5℃의 범위에서 13:00~14:00 사이에 8~9.5℃로 가장 큰 온도차가 나타나고, 온도강하 효과도 높아진다는 것을 알 수 있다.

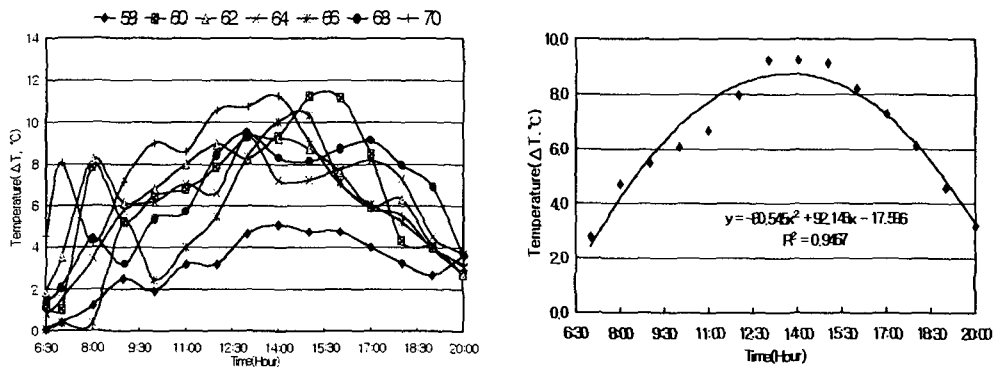


Fig. 3. Temperature difference by the flow rate between inlet and outlet of Pad and Fan cooling system

(2) 온실과 팬의 배출구 공기의 온도차

패드를 통과한 냉각 가습된 공기의 온도와 팬으로부터 10m에 위치한 온실내부 공기와의 온도변화의 차를 비교한 결과는 그림3에서 보는 바와 같이 온실내부와 팬 배출구의 온도차가 0.0~7.8℃의 범위로 14:30에서 16:00 사이가 6.0~7.8℃로 온도차가 매우 큰 것으로 나타났다. 이것은 흡·배기 온도차는 가장 더운 시기인 14:00에 그 차가 가장 컸으며, 온실의 냉각효과를 알 수 있는 온실과 팬출구의 온도차는 14:00 이후에 가장 크게 나타나 최대 6℃이었다.

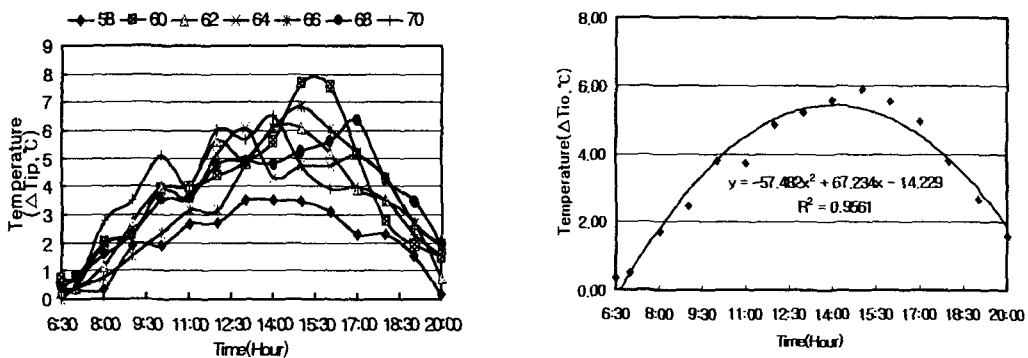


Fig. 4. Temperature difference by the flow rate between outlet of Pad and Indoor

(3) 30분당 패드의 물 증발량

패드에 흐르는 물의 증발량은 그림4에서 보는 바와 같이 11:00에서 16:00 사이에 물의 증발이 가장 많아 30분 동안 물의 증발량이 20~28 l/30min으로 매우 높은 것으로 나타났다. 온실내부 공기온도가 상승할수록 패드의 물이 많이 증발하는 것을 알 수 있는데, 이것은 환기팬에 의해 온실내부 공기 약 30%가 외부로 배출되도록 하였기 때문으로 생각되었다.

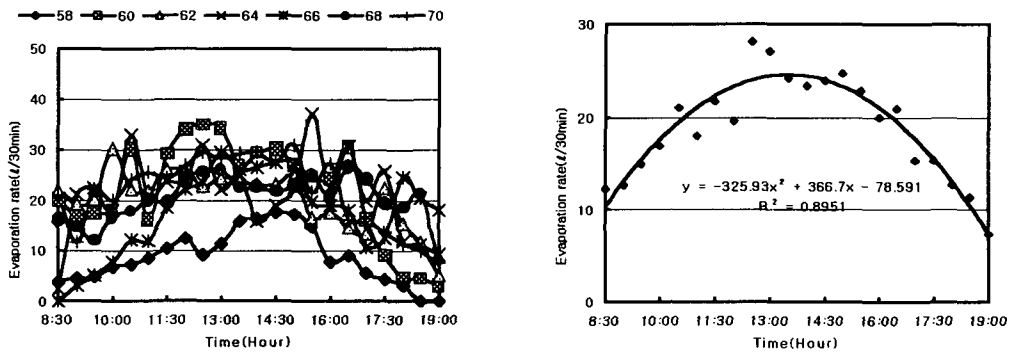


Fig. 5. Evaporation rate by the flow rate for 30 minute in Pad and Fan cooling system of box type

나. 팬 회전수별 증발냉각시험

(1) 패드의 흡기와 배기, 패드출구와 온실의 온도차

배출팬의 회전수가 변화함에 따라 패드의 흡·배기 온도 변화를 측정 비교한 결과는 그림5에 나타내었다 그림에서 보는 바와 같이 회전 속도의 변화에 관계없이 비슷한 경향으로 나타났고, 처리간에 경향차를 보이지 않았다. 이 결과는 흡기가 패드를 통과하면서 흡기 온도와 패드에 흐르는 물의 온도가 관여하여 흡기와 물의 온도차와 유사하기 때문인 것으로 판단된다. 패드엔팬 냉각기의 온실냉각정도를 알아보기 위하여 배기 팬회전수 변화에 따른 패드상자의 배기팬측의 온도와 10m거리에 위치한 온실내의 온도 변화를 측정된 결과는 그림6에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 배기온도와 실내온도차는 팬회전수 100~400rpm인 경우 온도차가 0.0~4.0℃ 범위로 패드로부터 물을 많이 증발시켜 실내에서 물이 기화 증발하지 못하였으며, 800rpm의 경우는 온도차가 다소 커졌으나 온도차를 크게 하기는 미흡하였으며, 최대 팬회전속도 1170rpm일때 냉각효과가 높아 온실과 배기측의 온도차가 11:00에서 16:00 기간의 6.0~9.0℃의 온도강하 효과를 가져와 패드용량이 같을 경우 팬회전속도 즉 배출풍량을 증가시켜야 냉각효과가 좋은 것을 알 수 있다.

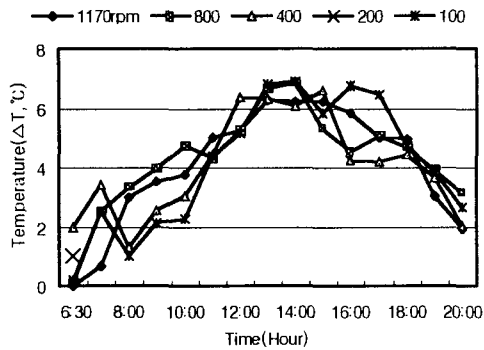


Fig. 6. Temperature difference by the rpm of fan between inlet and outlet temperature of Pad and fan cooling system of box type

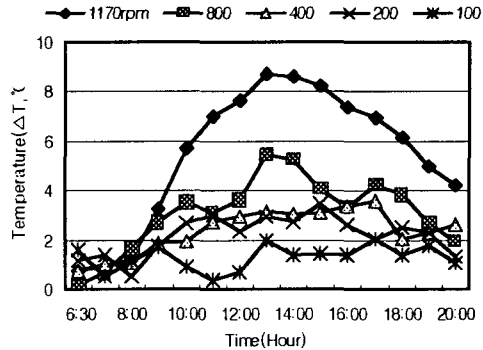


Fig. 7. Temperature difference by the rpm of fan between indoor temperature and outlet temperature of Pad and fan cooling system of box type

(2) 온실내의 온도변화와 증발량

패드엔팬에 의한 온실내의 온도 강화효과를 구명하기 위해 실내온도 변화를 측정 한 결과는 그림 7에서 보는 바와 같다. 온실내 온도변화는 6:30경 외기온이 22℃에서 최고 28.0℃ 범위로 변화하였으며, 이때 배기팬의 회전속도가 낮으면 온실 온도 강화 효과가 매우 적어 실내온도가 최고 35℃정도 높아졌고, 회전속도가 1170rpm일 때 30℃이하로 온도가 강화하여 외기온과 근접한 경향을 나타내었다.

배출팬의 회전속도가 증감함에 따라 패드에 흐르는 물의 증발 정도를 구명하기 위하여 30분간 증발량을 측정하여 비교한 결과를 그림8에 나타내었다. 배출팬의 회전속도가 낮으면 패드상자내 공기 배출량이 적어지고 패드에 흐르는 물의 증발은 매우 적었으며, 패드의 배출팬의 회전속도가 클수록 증발량은 급격히 증가하였다. 이 경우 11:00에서 16:00까지의 증발량 변화 20~30 l /30min으로 매우 많은 것을 볼 수 있다. 다만, 배출팬 팬의 회전수가 높으면 풍속이 증가하고 실내습도가 증가하여 작물과 연계되는 영향평가나 기화증발된 수증기의 배출 방법과 냉공기의 실내 유입 방법이 별도로 고려되어야 한다.

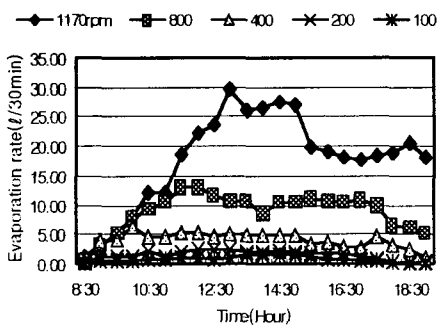


Fig.8. Evaporation rate by the rpm of fan in Pad and fan cooling system of box type

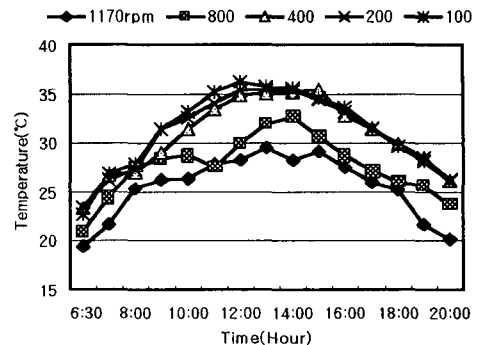


Fig. 9. Indoor temperature by the rpm of fan in Pad and fan cooling system of box type

다. 엔탈피의 변화와 냉각효율

패드상자를 통과하는 흡·배기의 에너지 변환 정도를 구명하기 위하여 흡·배기의 온도, 상대습도, 절대습도를 측정하였고 흡·배기의 엔탈피의 차로 경시적 변화를 그림9에, 냉각효율은 그림10에 나타내었다. 엔탈피 변화를 보면, 패드엔팬 구동시간을 6:30에 시작하여 20:00까지 측정한 결과 6:30~9:00사이에는 실내공기가 패드내 물의 온도보다 낮을 경우에는 오히려 패드측에 에너지를 주는 결과를 나타냈고, 그 이후에는 엔탈피가 $-2.0\sim-4.0\text{KJ/kg}$ 으로 나타났으며 더운 시간에 엔탈피 차이가 큰 것을 알 수 있다. 이때의 패드의 냉각효율은 65~80%수준으로 나타났다. 이와 같이 패드냉각의 일반적 효율이 75~85%수준인 것과는 다소 차이가 있는 것으로 나타났는데, 이것은 패드상자내에 있는 수조의 물을 계속 순환시키고 증발되어 부족한 물만 보충하여 수온이 20.0°C 수준에서 26°C 까지 상승하였기 때문이다. 여기서 수조의 물을 패드로 흘린 후 버리고 다시 부족한 물을 보충하지 않은 것은 패드 상자를 온실내에 설치하고 운전할 수 있는 방법을 모색하고자 하였기 때문이다.

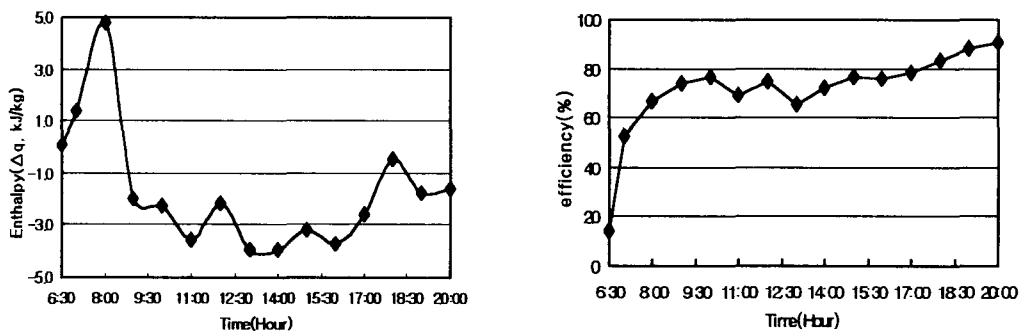


Fig. 10. Enthalpy difference and cooling efficiency for Pad and Fan cooling

4. 요약 및 결론

패드엔팬을 이용하여 물 공급량, 팬 회전속도의 변화에 따른 온실 냉방효과 시험한 결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 패드에 흐르는 물 공급량별로 일중 11:00~16:00경에 물 공급량이 분당 60 l 이상 공급하면 $8.0\sim 9.5^{\circ}\text{C}$ 의 온도차를 낼 수 있으며, 팬을 1170rpm으로 회전시킬 경우 $6.0\sim 9.0^{\circ}\text{C}$ 의 온도차를 낼 수 있었다.

나. 온실과 팬출구 공기의 온도차는 일중 14:30~16:00 경에 60 l 이상의 물을 패드에 공급하는 경우 $6.0\sim 7.8^{\circ}\text{C}$ 온도 강하 효과가 있고 팬을 1170rpm으로 회전시킬 경우에는 외기온 28°C 일 때 30°C 이하로 온도를 강하시킬 수 있었다.

다. 패드에 흘리는 물의량을 60 l/min 이상을 공급하여 주면 30분당 20~28 l의 물을 증발시킬 수 있다. 배출팬 회전속도가 1170rpm일 경우에 30분당 20~30 l의 물을 증발시키는 것으로 나타났다.

라. 본시험에 사용된 패드엔팬의 흡·배기의 엔탈피변화는 8:30이전에는 흡기가 배기보다 온도가 낮아 엔탈피가 양(+)의 값을 나타냈고, 8:30 이후에는 흡기가 배기보다 온도가 높아 $-2.0\sim-4.0\text{kJ/kg}$ 의 엔탈피 차만큼 냉각효과가 있었으며, 냉방효율을 65~80% 수준으로 나타냈다.

마. 본시험결과로 패드엔팬의 냉기 공급방식만 개선된다면 이동식인 박스형 패드엔팬도 냉방장치로 사용 가능할 것으로 판단된다.

5. 참고문헌

- 가. 남상운, 1998, 증발냉각시스템의 온실냉방 적용성 평가, 한국생물생산시설환경학회지 7(4), p283-289
- 나. 농림부, 2000년 채소생산 실적
- 다. 서원명·윤용철·이종렬·이석건, 1999, FOG SYSTEM을 이용한 여름철 온실냉방, 한국농공학회지 제41권 제1호, 60.
- 라. 일본 농림수산기술회의사무국, 1970, 고능률 원예에 관한 종합연구
- 마. Albright, L.D. 1990. Environment Control for Animals and Plants. The American Society of Agricultural Engineers. p. 7-48.
- 바. ANSI/ASAE, 1997, Heating, Ventilating and Cooling Greenhouse, ASAE STANDARDS 1997. p. 663-670.