

자갈축열온실의 축열성능 향상을 위한 공기유동 분석

Analysis of Air Flow for Improving the Heat Storage Efficiency of the Solar-heated Greenhouse with Rock Bed Storage

이석건 · 이종원* · 이현우
경북대학교 농업토목공학과

S. G. Lee · J. W. Lee* · H. W. Lee
Department of Agricultural Engineering, Kyungpook National University

서 론

자갈축열 태양열온실은 주간에 일사로 데워진 온실 내부공기를 온실하부에 설치된 자갈축열층사이로 강제순환시켜 자갈에 에너지를 축열한다. 이러한 축열과 방열과정을 통하여 겨울철 야간에 난방시스템으로 이용하고, 여름철에는 냉방효과를 꾀하게 된다.

온실내 공기가 축열층을 통과하는 동안의 열전달은 강제대류열전달이며, 이 경우 축열층내의 열이동은 축열층내 공기와 자갈표면온도가 초기에는 열적으로 평형상태로 존재하다가 순환공기의 온도상승에 따라 열전달이 일어나게 된다. 그리고, 자갈축열 태양열온실의 집열부는 온실자체가 되므로 온실상부의 더운 공기를 일정시간동안 많은 공기를 자갈층으로 순환시켜야 축열효율을 향상시킬 수 있다. 온실 상부의 공기를 자갈축열층으로 유입시키기 위해서는 온실 길이방향으로 천정부위에 유입덕트를 설치하여 온실상부 공기를 자갈축열층으로 유입시키는 방법이 있으나 유입덕트에 의해 태양광이 차단되어 작물재배환경을 저해할 뿐만 아니라 보온커튼이나 차광막을 설치하는데도 장애요소가 될 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 보온커튼과 차광설비의 작동에 장애가 되지 않도록 유입덕트를 설치하여 실험용 자갈축열 태양열 온실의 축열효율을 향상시킬 수 있는 방안을 모색하고자 다양한 유출입덕트의 설치형태에 따른 온실내부의 공기유동성과 축열성능을 분석하였다.

재료 및 방법

가. CFD 시뮬레이션 모델

자갈축열 태양열온실의 축열성능을 향상시킬 수 있는 방안을 모색하기 위하여 자갈축열 태양열온실 내부에 설치된 유입 및 유출덕트의 설치형태에 따른 온실내부 공기유동성을 분석하고자 상용 CFD 해석 소프트웨어인 Fluent를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션에 사용된 덕트모델은 그림 1과 같으며, 다양한 유입 및 유출덕트 배치와 내부 순환팬 설치에 따른 온실내부의 공기유동성을 분석하였다.

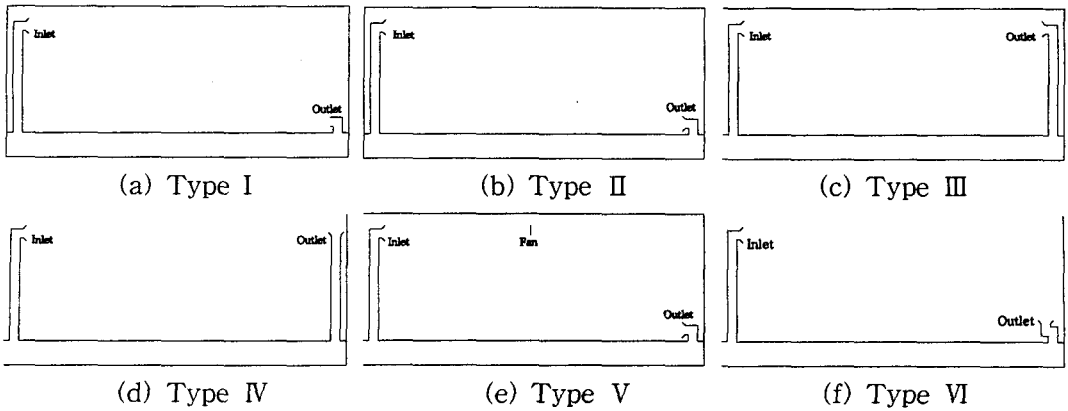


Fig. 1. Different types of inlet and outlet locations for CFD simulation.

나. 축열성능 분석을 위한 공기순환방식

CFD 시뮬레이션 결과로 예측되는 공기순환방식에 따른 축열성능을 분석하기 위하여 그림 2와 같이 온실 내부공기의 순환덕트를 상이하게 배치하였을 경우에 여름철 주간의 온실 내부온도 변화를 계측·분석하였다.

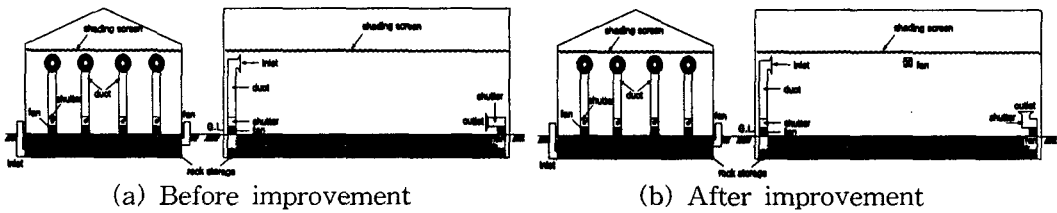


Fig. 2. Improved solar heated underground rock storage greenhouse system.

결과 및 고찰

가. 공기순환덕트 배치에 따른 자갈축열온실의 공기유동

CFD 모형을 이용하여 공기순환덕트의 배치가 상이한 경우에 온실내부의 공기유동성을 분석한 결과는 그림 3과 같다. 유입구와 유출구의 형상 및 온실내부 순환팬이 축열 온실 내부의 공기흐름에 주는 영향을 분석한 결과는 그림 3에서 보는 바와 같이, 유출구 형상에 따라 와류현상이 발생하여 유출구 상부의 공기가 유입구쪽으로 이동하지 못하는 것으로 나타났으며, 그림 3(e)에서 보는 바와 같이 온실내부에 순환팬을 부착하여 축열시스템을 작동하였을 경우에 온실상부의 공기가 원활히 자갈축열층으로 유입되는 것을 확인할 수 있다. 그리고, 온실내부공기의 유속은 0.87m/s ~ 2.6m/s 범위에서 변화하였으나 덕트 형상에 따라 위치에 따른 유속의 편차가 많이 나타났다.

따라서, 유출구 덕트의 형상과 내부순환팬의 설치유무가 온실내부의 공기흐름에 많은 영향을 미치므로 유출구 방향을 개선하여 별도의 순환팬을 온실상부에 설치하면 축열 효율을 더욱 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

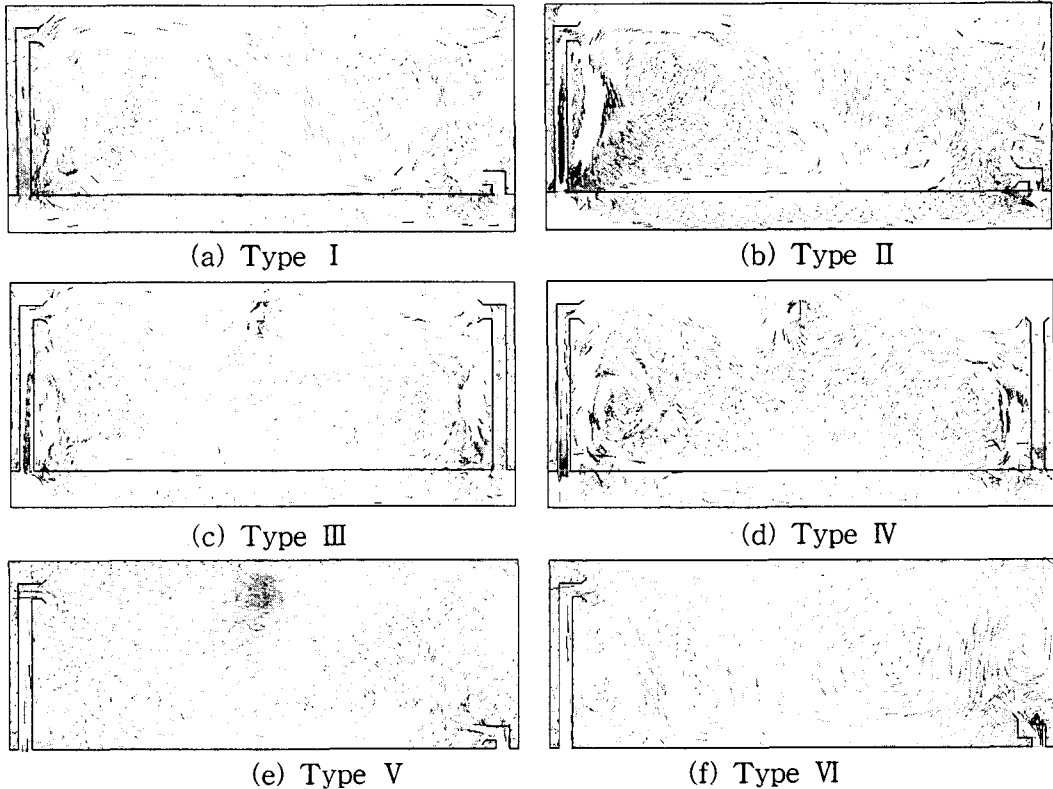
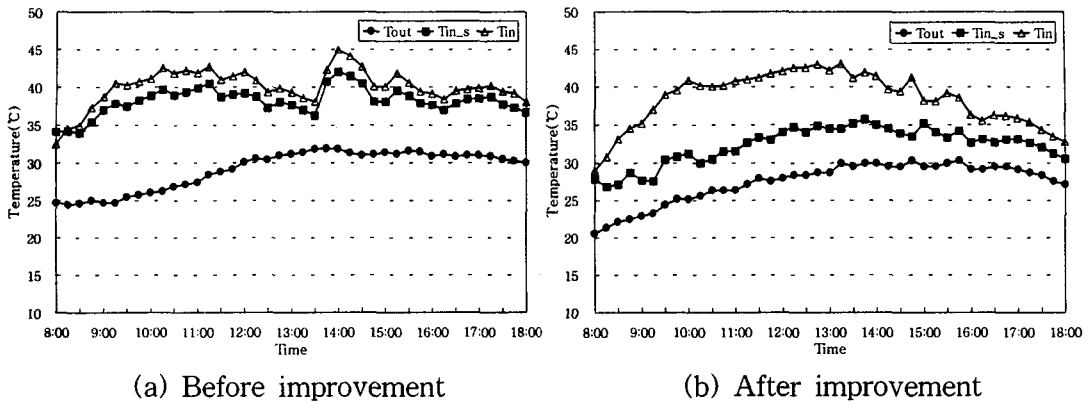


Fig. 3. Air flow stream line in the underground rock storage greenhouse.

나. 공기순환방식에 따른 여름철 냉방효과

그림 4는 여름철 주간(08:00~16:00)에 내부차광(축열온실 차광율 : 55%, 대조온실 차광율 : 85%)시 공기순환방식별(그림 2 참조)로 외기온 변화에 따른 자갈축열 태양열 온실 및 대조온실의 내부온도 변화를 도시한 것이다. 공기순환덕트를 그림 2(a)와 같이 설치하였을 때 외기온 변화에 따른 축열온실과 대조온실의 내부온도 변화는 그림 4(a)에서 보는 바와 같이, 외기온이 24.4~31.9℃(평균 29.1℃)범위에서 변화할 때 축열온실 내부온도는 34.0~42.0℃(평균 38.1℃)범위, 대조온실 내부온도는 32.4~44.9℃(평균 40.0℃)범위에서 변화하여 축열온실이 대조온실에 비해 평균 1.9℃ 승온억제효과가 있는 것으로 나타났다. 그리고, 공기순환덕트를 그림 2(b)와 같이 설치하였을 때 외기온 변화에 따른 축열온실과 대조온실의 내부온도 변화는 그림 4(b)에서 보는 바와 같이, 외기온이 20.6~30.3℃(평균 27.4℃) 범위에서 변화할 때 축열온실 내부온도는 26.8~35.7℃(평균 33.3℃)범위, 대조온실 내부온도는 29.0~43.1℃(평균 38.4℃)범위에서 변화하여 축열온실이 대조온실에 비해 평균 5.1℃ 승온억제효과가 있는 것으로 나타났다. 이러한 축열온실의 승온억제효과는 차광율이 상이한 대조온실과 비교한 결과이다. 김(2000)은 내부차광율 55% 및 85%의 차광효과는 평균 2.4℃ 차이가 있는 것으로 보고한 바 있으므로, 공기순환방식에 따른 축열온실의 승온억제효과는 4.3℃ 및 7.5℃인 것으로 판단된다. 따라서, 공기순환방식의 개

선을 통하여 자갈축열 태양열온실의 냉방효과를 약 3.2℃정도 향상시킬 수 있는 것으로 나타나 CFD 모형에서 예측한 결과가 타당한 것으로 판단된다.



Tout : Outside temperature

Tin_s, Tin : Inside temperature of underground rock storage greenhouse and control greenhouse

Fig. 4. Variation of inside temperature of underground rock storage greenhouse and control greenhouse.

요약 및 결론

본 연구는 자갈축열 태양열 온실의 축열효율을 향상시킬 수 있는 방안을 모색하고자 축열온실 내부의 공기순환 덕트의 형태에 따른 온실내부의 공기유동성과 축열성능을 분석하였다. CFD 모형을 이용하여 공기순환덕트의 형상을 다르게 하였을 때 온실내부의 공기유동성을 분석한 결과, 축열온실 내부공기 순환덕트의 유출구 형상과 내부순환 팬의 설치유무가 온실내부의 공기흐름에 많은 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 공기순환방식의 개선을 통하여 자갈축열 태양열온실의 냉방효과를 약 3.2℃정도 향상시킬 수 있는 것으로 나타났다.

인용문헌

1. 김길동, 2000, 차광이 온실의 광환경 및 온도 변화에 미치는 영향, 경북대학교 석사학위논문, pp. 40~41.
2. 이석건 등, 1999, 자갈축열 태양열 온실의 내부온·습도 변화, 한국생물환경조절학회 학술발표논문집 9(1), pp. 38~41.
3. 이석건 등, 2000, 여름철 자갈축열 태양열 온실의 내부환경변화, 한국농공학회 학술발표회 발표논문집, pp. 308~314.
4. 이석건, 이종원, 이현우, 2001, 자갈축열 태양열 온실의 공기유동 및 축열성능, 한국농공학회 학술발표회 발표논문집, pp. 275~280.