

여름철 자갈축열 태양열 온실의 내부환경 변화

Inside Environment Variation of Solar-Heated Greenhouse with Rock Bed Storage in Summer Season

이 석 건 · 이 종 원* · 이 현 우 · 김 길 동(경북대)

Lee, Suk Gun · Lee, Jong Won · Lee, Hyun Woo · Kim, Gil Dong

Abstract

Objects of this study were to find the cooling effect of solar-heated greenhouse with rock bed storage in summer season and to suggest operation method of cooling energy saving in summer cropping greenhouse. Experiments were performed to analyze inside environment variation of solar-heated greenhouse.

When we took account of different shading and ground conditions of greenhouse, we could conclude that inside average daytime temperature of the solar-heated greenhouse was 2.0~2.4°C lower than the general greenhouse in summer season.

I. 서 론

시설원예에 있어 생산비절감을 통한 생산성 향상과 고품질 농산물의 주년생산을 위해서는 우리 나라 기상여건상 냉·난방에너지의 인위적인 투입이 불가피한 실정이다. 하지만, 에너지원의 대부분을 수입에 의존하고 있는 국내여건상 원예시설에 투입되는 에너지의 절감은 시설원예산업에 있어 해결하여야 할 시급한 당면과제로 분석된다.

더욱이 국제 유가의 폭등으로 인한 국내 유가의 불안정은 시설원예산업의 위축과 시설원예농가의 불안을 초래하고 있는 실정이다. 이러한 문제점들을 해결하고자 시설원예에 있어 생산비에 큰 비중을 차지하고 있는 냉·난방비의 절감을 위한 연구들이 수행되고 있는 실정이다. 일례로, 시설원예에 투입되고 있는 화석에너지를 대체할 수 있는 에너지원중 태양에너지를 이용한 방법이 있다. 현재 국내에는 잠열축열재과 토양축열을 이용한 지중열교환온실에 대한 연구는 다소 수행되고 있으나 이들 시스템은 겨울철 난방에너지의 절감을 목적으로 하고 있으므로 여름철 냉방시 별도의 시스템을 구비하여야 한다. 따라서, 원예시설의 해결과제중 시급하고 중요한 냉난방에너지 문제의 해결책을 모색하고자 자갈을 축열재로 이용하여 난방기간중 주간 온실내로 입사된 태양에너지를 자갈축열층에 축열하여 야간에 난방에너지로 사용하는 동시에 고온기인 여름철에는 자갈축열로 인하여 주간 온실내부 온도의 과다상승을 방지할 목적으로 자갈축열 태양열 온실을 개발하였다. 본 연구는 여름철 자갈축열 태양열 온실의 내부환경 변화를 계측·분석하여 온실에 투입되는 냉방에너지 절감 방안을 모색하는데 필요한 기초자료를 제공하고자 수행하였다.

II. 실험장치 및 방법

가. 실험장치

본 연구에 사용된 자갈축열 태양열 온실은 그림 1에서 보는 바와 같이 폭(7m)×길이(11m)×동고(4.1m)의 양지붕형 유리온실로서 건설방위는 동서동이며 천창과 3-way방식의 측창이 설치되어 있다. 자갈축열층은 폭(7m)×길이(11m)×높이(0.8m)의 규모로 온실하부에 설치되어 있으며 축열재는 150~250mm의 강자갈을 사용하였다. 그리고, 축열온실의 내부환경을 비교·분석하고자 대조온실은 동일한 크기의 일반 유리온실을 이용하였으나 축열온실의 바닥은 콘크리트로 피복되어있으며 대조온실의 바닥은 일반토양으로 되어 있다.

자갈축열 태양열 온실에는 온실내부와 자갈축열층의 원활한 공기순환을 위하여 온실내부에 최대풍량이 53m³/min인 공기순환팬(유출·입팬)을 각각 4대씩 설치하였으며 온실외부와 자갈축열층의 공기순환을 위하여 온실외부에 직경이 30cm인 외기유입구와 배기팬을 측창쪽에 각각 3개씩 설치하였다.

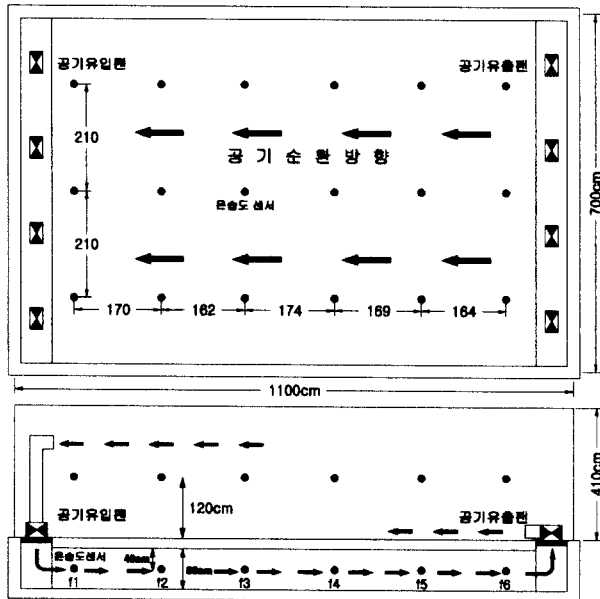


그림 1. 실험온실내 온습도센서 설치도

나. 실험방법

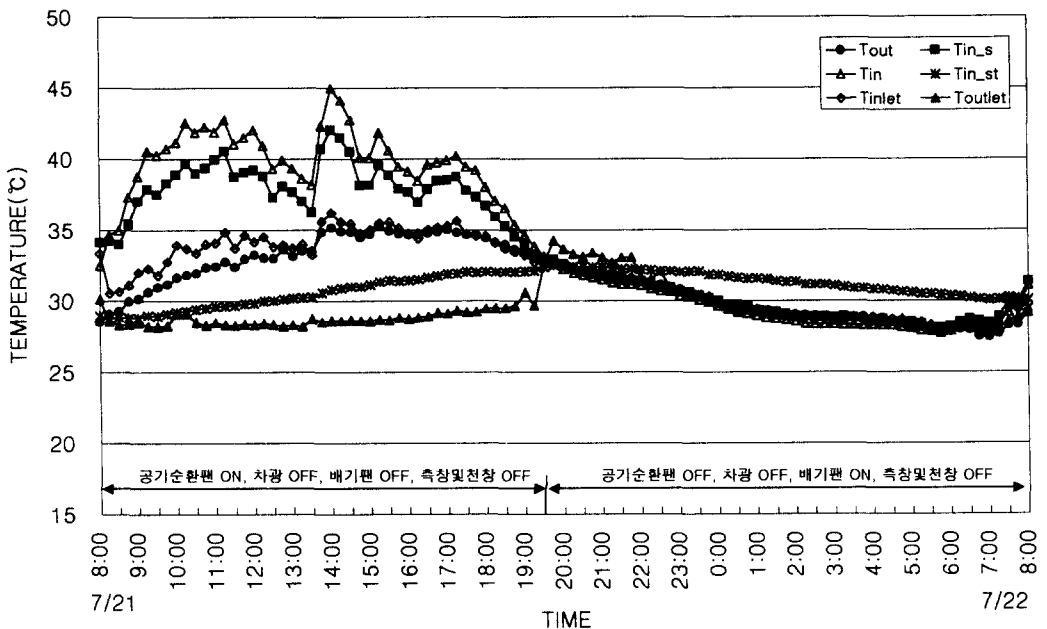
자갈축열 태양열 온실의 내부환경 변화를 분석하고자 자갈축열 태양열 온실과 대조온실 내부에 그림 1에서 보는 바와 같이 온실내부에 길이방향으로 6점, 폭방향으로 3점의 온습도 센서를 지면에서 높이 120cm되는 곳에 총 18점 설치하여 온실내부의 온습도 환경을 계측하였으며 자갈축열층 내부에도 온실길이방향으로 6점, 폭방향으로 3점의 온습도 센서를 축열층 높이

40cm되는 곳에 총 18점 설치하여 축열층 내부의 온·습도를 계측하였다. 또한, 외부기상 계측을 위하여 실험온실에서 약 30m떨어진 곳에 종합기상관측장비를 설치하였으며 센서의 데이터는 15분간격으로 계측되도록 하였다. 그리고, 공기순환·배기팬의 작동방식과 차광·환기상태를 각각 다르게 하여 축열온실과 대조온실의 내부환경 변화를 비교·분석하였다.

III. 결과 및 고찰

가. 온실내외 및 자갈층의 온도변화

그림 2는 축열온실 내부에 설치된 공기순환팬(유출·입팬)을 최대풍량(212m³/min)으로 08:00~19:30(2000. 7. 21)동안 작동하여 축열하고 19:30~익일 08:00까지는 공기순환팬(유출·입팬)을 정지시키고 온실외부에 설치된 외기유입구와 배기팬을 작동하여 방열시켰을 때 외기온에 따른 자갈축열 태양열 온실 및 대조온실의 내부온도를 계측한 결과이다. 이때 축열 및 대조온실은 무차광, 무환기상태이다.



(Tout : 외기온, Tin_s : 축열온실 내부온도, Tin : 대조온실 내부온도, Tin_st : 축열층 내부온도)

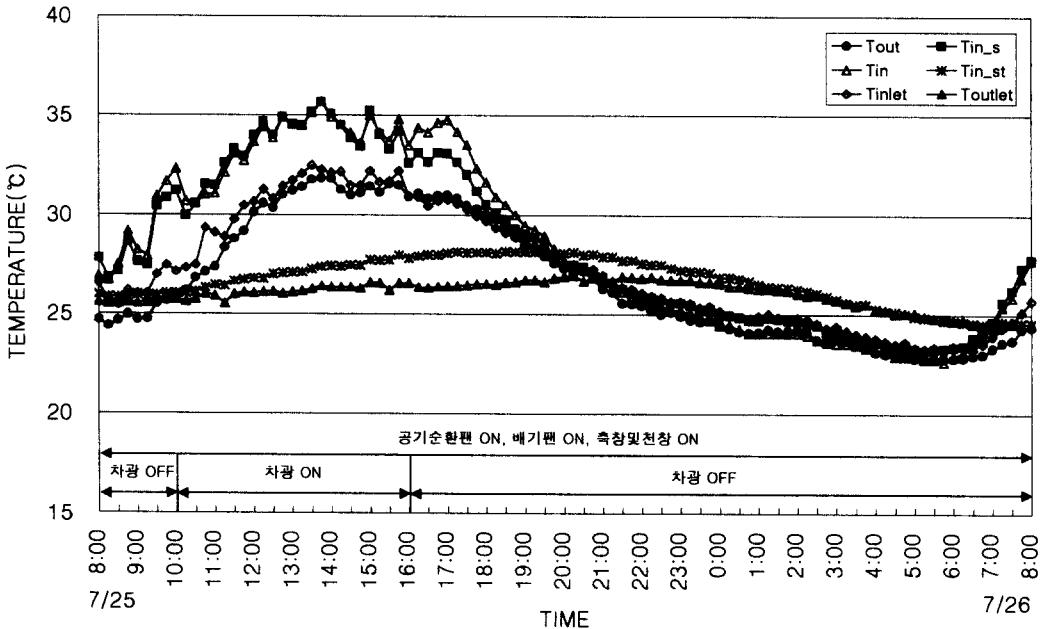
그림 2. 외기온 변화에 따른 온실 및 자갈축열층 내부온도(무환기·무차광시)

그림 2에서 보는 바와 같이 주간(08:00~18:00)에 외기온이 28.5℃~35.3℃(평균온도 33.1℃) 범위에서 변화할 때 축열온실 내부온도는 34.0℃~42.0℃(평균온도 38.0℃)범위, 대조온실 내부온도는 32.4℃~44.9℃(평균온도 40.0℃)범위에서 변화하였으며 자갈축열층 내부온도는 28.7℃~32.0℃(평균온도 30.3℃)범위에서 변화하였다. 그리고, 야간(18:00~익일 08:00)에는 외기온이

27.8℃~34.4℃(평균온도 30.4℃)범위에서 변화할 때 축열온실 내부온도는 28.1℃~36.7℃(평균온도 30.6℃)범위, 대조온실 내부온도는 27.7℃~38.0℃(평균온도 30.4℃)범위에서 변화하였으며 자갈축열층 내부온도는 30.3℃~32.5℃(평균온도 31.6℃)범위에 변화하였다.

따라서, 무차광·무환기상태에서 축열온실은 일반온실보다 주간동안 평균 2℃의 승온억제효과가 있는 것으로 나타났으나 축열온실의 바닥이 콘크리트인 점을 감안한다면 일반온실보다 2℃ 이상의 승온억제효과가 있는 것으로 분석되었다. 그리고, 야간에는 축열 및 일반온실의 내부온도 모두 외기온과 유사한 것으로 나타났다. 이는 축열온실에 있어 야간에 공기순환팬을 작동않아 축열온실 또한 일반온실과 같이 외기온의 영향을 직접 받은 결과로 분석된다.

그림 3은 주·야간(2000. 7. 25, 08:00~익일 08:00)에 축열온실 내부에 설치된 공기순환팬과 온실외부에 설치된 배기팬을 연속적으로 작동하고 환기 및 차광(축열온실 차광율:55%, 대조온실 차광율:85%)을 하였을 때 외기온에 따른 자갈축열 태양열 온실 및 대조온실의 내부온도를 계측한 결과이다.



(Tout : 외기온, Tin_s : 축열온실 내부온도, Tin : 대조온실 내부온도, Tin_st : 축열층 내부온도)

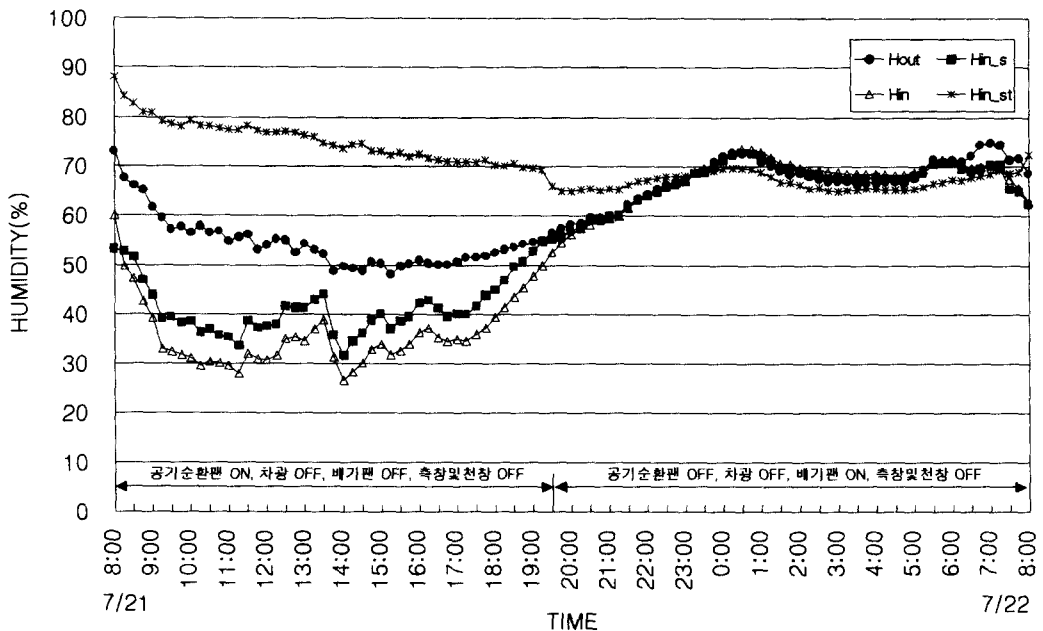
그림 3. 외기온 변화에 따른 온실 및 자갈축열층 내부온도(자연환기·차광시)

그림 3에서 보는 바와 같이, 주간(08:00~18:00)에 외기온이 24.4℃~31.9℃(평균온도 29.1℃)범위에서 변화할 때 축열온실 내부온도는 26.8℃~35.7℃(평균온도 32.3℃)범위, 대조온실 내부온도는 26.7℃~35.7℃(평균온도 32.6℃)범위에서 변화하였으며 자갈축열층 내부온도는 25.8℃~28.2℃(평균온도 27.0℃)범위에서 변화하였다. 그리고, 야간(18:00~익일 08:00)에는 외기온이 22.8℃~30.0℃(평균온도 25.1℃)범위에서 변화할 때 축열온실 내부온도는 23.2℃~30.5℃(평균온도 25.6℃)범위, 대조온실 내부온도는 22.6℃~31.6℃(평균온도 25.4℃)범위에서 변화하였으며 자갈축열층 내부온도는 24.7℃~28.2℃(평균온도 26.8℃)범위에 변화하였다. 계측된 결과에서 알

수 있듯이 차광을 실시한 경우에는 축열 및 일반온실의 내부온도는 유사하게 나타났으나 차광이 끝난 시각부터는 축열온실의 내부온도가 일반온실에 비해 최고 1.7℃ 낮게 나타났다. 그리고, 야간에는 축열온실의 내부온도는 자갈축열층의 영향을 받아 일반온실에 비해 최고 1.1℃, 평균 0.2℃정도 높게 나타났다. 따라서, 자연환기와 차광을 동시에 수행한 상태에서는 축열온실 내부온도와 일반온실 내부온도는 유사하게 나타났으나 연구결과에 따르면 내부차광율이 55%인 온실내부온도가 내부차광율 85%인 온실내부온도보다 평균 2.4℃ 높은 것으로 보고된 바 있으므로 축열온실의 승온억제효과는 바닥조건이 상이한 점을 고려한다면 평균 2.4℃이상인 것으로 분석된다.

나. 온실내외 및 자갈층의 습도변화

그림 4는 축열온실 내부에 설치된 공기순환팬(유출·입팬)을 최대용량(212m³/min)으로 08:00~19:30(2000. 7. 21)동안 작동하여 축열하고 19:30~익일 08:00까지는 공기순환팬(유출·입팬)을 정지시키고 온실외부에 설치된 외기유입구와 배기팬을 작동하여 방열시켰을 때 외부습도 변화에 따른 자갈축열 태양열 온실 및 대조온실의 내부습도를 계측한 결과이다. 이때 축열 및 대조온실은 무차광, 무환기상태이다.



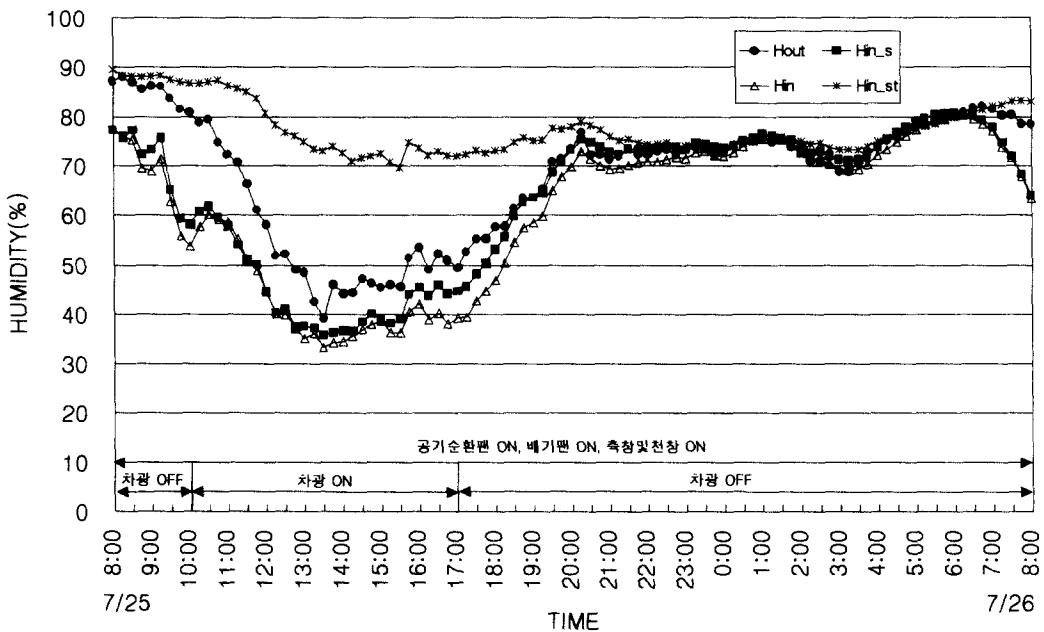
(Hout : 외부습도, Hin_s : 축열온실 내부습도, Hin : 대조온실 내부습도, Hin_st : 축열층 내부습도)

그림 4. 외부습도 변화에 따른 온실 및 자갈축열층 내부습도(무환기·무차광시)

주·야간(2000. 7. 21, 08:00~익일 08:00)에 외부습도가 48.1%~74.8%(평균습도 61.3%)범위에서 변화할 때 축열온실 내부습도는 31.6%~72.9%(평균온도 54.8%)범위, 대조온실 내부습도는

26.7%~73.6%(평균습도 52.4%)범위에서 변화하였으며 자갈축열층 내부습도는 64.9%~88.1%(평균습도 70.9%)범위에서 변화하였다. 그림 3에서 보는 바와 같이 주·야간에 축열온실과 대조 온실의 내부습도는 모두 외기의 영향을 받아 외부습도와 유사한 경향으로 변화하였으나 주간에는 자갈축열층의 내부습도 영향으로 축열온실의 내부습도가 대조온실의 내부습도보다 평균 5.4%정도 높게 나타났다.

그림 5는 주·야간(2000. 7. 25, 08:00~익일 08:00)에 축열온실 내부에 설치된 공기순환팬과 온실외부에 설치된 배기팬을 연속적으로 작동하고 주간에 환기 및 차광(축열온실 차광율:55%, 대조온실 차광율:85%)을 실시한 경우 외부습도에 따른 자갈축열 태양열 온실 및 대조온실의 내부습도를 계측한 결과이다. 그림 5에서 보는 바와 같이, 외부습도가 39.1%~88.1%(평균습도 68.3%)범위에서 변화할 때 축열온실 내부습도는 35.9%~80.7%(평균온도 63.7%)범위, 대조온실 내부습도는 33.3%~80.3%(평균습도 61.5%)범위에서 변화하였으며 자갈축열층 내부습도는 69.6%~89.6%(평균습도 77.5%)범위에서 변화하였다. 계측된 결과에서 알 수 있듯이 자연환기 상태에서는 축열온실과 대조온실의 내부습도 모두 외기의 영향을 직접 받는 것으로 나타났으나 주간에는 외기에 비해 평균 10.5%~13.0% 낮게, 야간에는 외부습도와 유사하게 나타났다.



(Hout : 외부습도, Hin_s : 축열온실 내부습도, Hin : 대조온실 내부습도, Hin_st : 축열층 내부습도)

그림 5. 외부습도 변화에 따른 온실 및 자갈축열층 내부습도(자연환기·차광시)

IV. 결 론

온실에 투여되는 냉방에너지 절감방안을 모색하기 위한 기초자료를 제공하고자 여름철 자갈 축열 태양열 온실의 내부환경 변화를 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 무환기·무차광시 주간(08:00~18:00)에 평균 외기온이 33.1℃일 때 축열온실은 일반온실에 비해 약 2.0℃의 승온억제효과가 있었으나 축열온실의 바닥이 콘크리트인 점을 감안한다면 일반온실보다 2℃이상의 승온억제효과가 있는 것으로 분석되었다. 그리고, 야간에는 축열시스템을 작동하지 않아 축열 및 일반온실 모두 외기온과 유사하게 나타났다.
2. 환기·차광시 주간(08:00~18:00)에 평균 외기온이 29.1℃일 때 축열 및 대조온실의 내부온도는 32.3℃~32.6℃범위로 유사하게 나타났으나 차광이 끝나는 시각부터는 축열온실의 내부온도가 일반온실에 비해 최고 1.7℃ 낮게 나타났으며 야간에 축열시스템을 작동하였을 경우 축열온실의 내부온도는 자갈축열층의 내부온도 영향으로 대조온실에 비해 최고 1.1℃, 평균 0.2℃높게 나타났다. 하지만, 축열 및 일반온실의 상이한 차광율과 온실바닥 조건을 고려한다면 축열온실의 승온억제효과는 평균 2.4℃이상인 것으로 분석된다.
3. 무환기·무차광시 주·야간에 축열온실과 대조온실의 내부습도는 모두 외기의 영향을 받아 외부습도와 유사한 경향으로 변화하였으나 주간에는 자갈축열층의 내부습도 영향으로 축열온실의 내부습도가 대조온실의 내부습도보다 평균 5.4%정도 높게 나타났다.
4. 환기·차광시 축열온실과 대조온실의 내부습도는 모두 외기의 영향을 받아 외부습도와 유사하게 나타나 자연환기상태에서는 축열온실의 내부습도는 자갈축열층의 내부습도보다는 외기의 영향을 더 받음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 이석건, 이종원, 이현우, 김길동. 1999. 자갈축열 태양열 온실의 내부온·습도 변화. 한국생물환경조절학회 학술발표논문집 9(1) : 38~41.
2. 이현우, 이석건, 김길동, 이종원. 1999. 내부차광 온실의 기온 및 일사량 변화. 한국생물환경조절학회 학술발표논문집 9(1) : 94~97.
3. 이종호, 박승제, 김용현, 김철수, 이종용. 1994. 지중열교환 온실의 축열 및 방열 특성. 한국농업기계학회지 Vol. 19(3) : 222-231.
4. 山本雄二郎. 1966. 地中-空氣熱交換 하우스の溫度環境および熱特性. 農業氣象. 29(1) : 11-15.
5. Henning Bredenbeck, ROCK BED STORAGE INSIDE OF GREENHOUSES, Acta Horticulturae 148, 1984, pp. 739~744.
6. T.Mori, UTILIZATION OF SOLAR ENERGY FOR WINTER CROPPING GREENHOUSE TOMATO, Acta Horticulturae 87, 1978, pp. 321~327.