

실리카 에어로겔을 이용한 다겹보온커튼의 온실 난방 특성 분석

진병옥¹ · 김형권² · 유영선³ · 이태석² · 김영화² · 오성식⁴ · 강금춘^{3*}

¹국립농업과학원 농업공학부 연구원, ²국립농업과학원 농업공학부 농업연구사, ³국립농업과학원 농업공학부 농업연구관,
⁴국립농업과학원 농업공학부 기계운영주사보

Analysis of Heating Characteristics of Multi-Layered Insulation Curtain with Silica Aerogel in Greenhouses

Byung-Ok Jin¹, Hyung-Kweon Kim², Young-Sun Ryou³, Tae-Seok Lee², Young-Hwa Kim²,
Sung-Sik Oh⁴, and Geum-Choon Kang^{3*}

¹Researcher, Dept. of Agricultural Engineering, National Institute of Agricultural Science, RDA, Jeonju 54875, Korea

²Agricultural Junior Researcher, Dept. of Agricultural Engineering, National Institute of Agricultural Science, RDA, Jeonju 54875, Korea

³Agricultural Senior Researcher, Dept. of Agricultural Engineering, National Institute of Agricultural Science, RDA, Jeonju 54875, Korea

⁴Machine Operation Injection Report, Dept. of Agricultural Engineering, National Institute of Agricultural Science, RDA, Jeonju 54875, Korea

Abstract. This study aimed to analyze thermo-keeping and economic feasibility by utilizing silica aerogel, which has been attracting attention as a new material, complementing the disadvantages of the conventional multi-layered thermal screen, and producing and installing multi-layered thermal screen. The multi-layered thermal screen used in the experiment was produced in two combinations using a non-woven fabric containing silica aerogel and measured and compared the temperature and fuel consumption changes due to differences in practice with the multi-layered thermal screen being sold and used on the market. Experimental results show that the temperature and relative humidity changes due to the differences of the multi-layered thermal screens in the single-span greenhouse and the multi-span greenhouse were small but remained almost the same temperature and relative humidity. It is judged that this shows that the multi-layered thermal screen using silica aerogel is not inferior to the conventional multi-layered thermal screen. As a result of a comparative analysis of heating energy, the aerogel-based multi-layered thermal screen reduced fuel consumption by about 15% in the single-span greenhouse and about 20% in the multi-span greenhouse compared to the conventional multi-layered thermal screen. It is clear that heating energy is saved as a greenhouse size and duration increase. It was found that the silica aerogel-based multi-layered screen was more breathable and warmer than the conventional multi-layered thermal screen, but It was found that the multi-layered screen used in the multi-span greenhouse was heavier and stiff compared with the conventional multi-layered thermal screen, indicating less workability and operability. Therefore, improvements were applied to the multi-layered screens used in the single-span greenhouses. It was confirmed that the replacement of internal insulation materials reduced thickness and improved stiffness so that there could be sufficient possibility for farmers to use.

Additional key words : heat energy saving, insulator, multi-span greenhouse, single-span greenhouse, thermo-keeping

서 론

국내 시설원에 면적은 2018년 기준 53,109ha이며, 그중 가온재배는 17,399ha로 전체 재배면적의 약 32.3%가 가온을 하

고 있는 실정이다(MAFRA, 2019a; 2019b). 가온방법은 유류를 이용한 가온방법이 전체 가온방법의 약 81%를 차지하고 있어 유류 의존도가 매우 높은 실정이며, 시설재배 농가에서는 유가변동에 민감할 수 밖에 없다. 이러한 상황에서 생산비 중 난방비가 차지하고 있는 비중이 30~40% 내외로 매우 높고 유류 또한 전량 수입에 의존하고 있어 무역수지 면에서도 크게 불리한 입장에 있다(Lee 등, 2007). 온실재배에 있어 에

*Corresponding author: kanggch@korea.kr

Received June 18, 2020; Revised July 15, 2020;

Accepted July 16, 2020

너지 절감방안은 크게 가온에너지 절감과 보온에너지 절감으로 나눌 수 있다(Chung 등, 2009). 그 중 보온에너지 절감은 단열성이 우수한 보온자재를 사용하여 보온성의 효율화를 통해 에너지를 절감하는 것으로 기존 보온시스템에 추가 및 부분 변형을 통해 간편하게 할 수 있기 때문에 효율적으로 에너지 절감을 할 수 있다(Kim 등, 2007; Lee 등, 2007). 국내 시판중인 다겹보온커튼은 다양한 업체에서 생산 및 판매를 하고 있으나, 보온성을 높이기 위해 보온커튼의 두께를 증가함에 따라 하중 증가, 통기성 감소 등 여러 문제점이 발생하고 있다(Chang 등, 1996; Jin 등, 2019). 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 연구에서는 다겹보온커튼의 기존 단열재를 보온성이 우수하며 무게가 가볍고, 통기성이 좋은 실리카 에어로겔로 대체하는 방법에 대하여 연구를 진행하였다.

실리카 에어로겔은 90%이상의 기공도와 나노크기의 미세한 고상입자들이 망목(그물) 구조를 형성하고 있는 다공성 신소재이며 상온에서 매우 낮은 열전도율을 갖기 때문에 기존 단열재의 대체재로 주목받고 있다(Dorcheh와 Abbasi, 2009). 이와 관련하여 Cha와 Kim(2011)은 아크릴계 점착제(PSA)에 에어로겔을 섞어 만들어진 점착제를 건물 창호에 적용하여 단열 특성을 파악하였다. 그 결과 에어로겔이 섞인 PSA를 필름에 도포하면 열전도율이 감소하는 것을 확인 할 수 있었다. 또한 Jin 등(2018; 2019)은 에어로겔을 적용한 다겹보온커튼과 기존 다겹보온커튼간의 열유속을 측정하여 보온성을 구명하였다. 실험 결과 에어로겔이 적용된 다겹보온커튼은 기존 다겹보온커튼과 비교하여 보온성이 유사하거나 높게 측정되었으며, 무게와 두께 역시 기존의 다겹보온커튼에 비해 유사하거나 낮게 측정되었다.

이에 본 연구에서는 실리카 에어로겔을 이용하여 현재 사용되고 있는 다겹보온커튼의 단점을 보완하고 보온성을 유지 및 향상 시킬 수 있는 새로운 조합의 다겹보온커튼을 제작 하여 현장에 설치함으로써 보온성과 난방에너지 절감효과를 분석하고자 한다.

재료 및 방법

1. 공시재료

실험에 사용된 공시재료는 처리구인 실리카 에어로겔 이용 다겹보온커튼과 대조구인 관행 다겹보온커튼을 사용하였다. 실험구인 실리카 에어로겔 이용 다겹보온커튼은 단동온실과 연동온실 두 가지 조합으로 사용하였으며, 각각의 구조는 단동온실의 경우 매트지 + 실리카 에어로겔 멜트블로운 부직포(40gm^{-2}) + 실리카 에어로겔 발포 부직포(스펀레이스 부직포, 40gm^{-2}) + 실리카 에어로겔 멜트블로운 부직포(40gm^{-2}) + 마

트지 조합, 연동온실의 경우 매트지 + 중공사 부직포(80gm^{-2}) + 실리카 에어로겔 발포 부직포(중공사 부직포, 80gm^{-2}) + 중공사 부직포(80gm^{-2}) + 매트지 조합으로 구성되어 있다. 대조구는 매트지 + 스펀본드 부직포(40gm^{-2}) + 화학솜(113gm^{-2}) + 스펀본드 부직포(40gm^{-2}) + 매트지 조합의 시중에 판매되고 실제 농가에서 사용되는 관행 다겹보온커튼을 사용하였다.

실험에 사용된 실리카 에어로겔 이용 다겹보온커튼은 선행 연구결과(Jin 등, 2019)를 토대로 제작하였으며, 선행 연구결과에서 우수한 보온성을 나타낸 두 가지 조합을 단동온실과 연동온실에 적용하여 관행 보온커튼과의 보온성을 비교분석하였다.

2. 현장설치

2.1 단동온실

실험에 사용된 온실은 전북 전주시 덕진구에 위치한 단동 이중비닐하우스 2개동으로 선정하였다. 설치방향은 동서동이며, 온실 피복재는 PE 필름을 사용하였으며 온실 규격은 폭 7m, 동고 3.7m, 측고 1.7m, 길이 29.5m이다. 다겹보온커튼의 설치 위치는 1중과 2중 온실 사이 2중 비닐하우스 위에 설치하였으며, 권취식으로 개폐되도록 하였다. 주간(08:30 ~ 17:30)에는 2중 비닐하우스 용마루에 다겹보온커튼을 말아놓고, 야간(17:30 ~ 익일 08:30)동안 다겹보온커튼을 쳐서 처리구와 대조구의 보온성을 비교분석 하였다. Fig. 1은 단동온실의 입체도를 나타낸 것이다.

온실 내 환경 측정은 온습도 센서(TR-72wf, T&D, Japan)를 각 온실별 3개, 실외 2개를 설치하여 1분단위로 데이터를 측정한 뒤 평균값을 구해 내외부 온습도를 측정하였다. 실험에 사용된 난방시스템은 입형식유류용보일러(KDB-735RPS, 경동나비엔, Korea)를 사용하였으며, 난방출력은 $70,000\text{kcal/h}$ (81.3kw)이다. 온실 내부 기온은 10°C 로 설정하였으며, 다겹보온커튼의 사용시간과 동일하게 야간(17:30 ~ 익일 08:30) 동안 난방기를 사용하여 온실 내부 기온을 조절하고, 연료소비량은 유량계(SSO-8, DS Water, Korea)를 이용하여 난방기

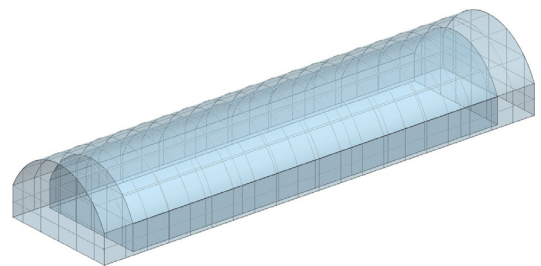


Fig. 1. 3D drawing of a single-span greenhouse with the experimental multi-layered thermal screens.

로 공급되는 등유량을 1일 단위로 측정하였다. 실험 기간은 2018년 12월부터 2019년 1월까지 실시하였으며, 누적 연료 소비량과 내부 기온변화 분석을 통해 처리구와 대조구의 보온성을 비교하였다.

2.2 연동온실

실험에 사용된 온실은 전북 전주시 덕진구에 위치한 2연동 일중비닐하우스로 선정하였다. 설치방향은 남북동이고, 온실 피복재는 PO 필름을 사용하였으며 온실 규격은 폭 8m, 측고 2m, 길이 8m 이다. 다겹보온커튼은 온실을 길이방향으로 각각 4m로 분리하여 처리구와 대조구를 설치하여 중방 위에서 온실 길이방향으로 락-피니언 방식으로 개폐되도록 하였다. 온실의 분리 방법은 나누어진 두 공간이 개별적인 환경을 조성할 수 있도록 Fig. 2와 같이 PO 필름을 이용하여 공간을 분리한 뒤 양면에 다겹보온커튼을 부착하여 간섭을 최소화 하였다. 다겹보온커튼의 작동시간은 단동온실과 동일하게 주간에는 항상 열림 상태로 유지하고, 야간동안 다겹보온커튼을 쳐서 처리구와 대조구의 보온성을 비교분석 하였다.

온실 내 환경 측정은 온습도 센서(HOBO U23 Pro v2, Onset Inc., USA)를 각 온실별 2개, 실외에 1개를 설치하여 1분단위로 데이터를 측정 후 평균값을 구해 내외부 온습도를 측정하였다. 실험에 사용된 난방시스템은 건타입오일버너(SHG 3, 승화공업, Korea)를 사용하였으며, 난방출력은 11,000~27,600 kcal/h이다. 온실 내부 기온은 15°C로 설정하였으며, 앞선 단동 온실과 마찬가지로 야간동안 난방기를 사용하여 온실 내부 기온을 조절하고, 유량계(SSO-8, DS Water, Korea)를 이용하여 난방기로 공급되는 등유량을 1일 단위로 측정하여 연료사용량을 구하였다. 실험 기간은 2017년 12월부터 2018년 2월까지 실시하였으며, 누적 연료소비량과 내부 기온변화 분석을 통해 처리구와 대조구의 보온성을 비교하였다.

결과 및 고찰

1. 단동온실 난방에너지 절감효과

1.1 온실 내부 온습도변화

Fig. 3은 단동온실의 처리구와 대조구의 기온변화를 나타낸 것이다. 주간 기온변화는 다겹보온커튼을 사용하지 않고 자연 광을 통한 온실 내부 기온변화로 미세한 차이는 있으나, 비슷한 기온변화를 나타냈다. 야간 기온변화는 외부기온이 -8.7~6.2°C 범위로 변화할 때 처리구 온실은 9.1~15°C 범위로 변화하며 평균기온은 9.9°C로 나타났으며, 대조구 온실은 9.2~14°C 범위로 변화하며 평균기온은 9.8°C로 설정기온인 10°C

에서 0.1~0.2°C 차이로 거의 비슷하게 유지되는 것을 확인하였다. 야간 다겹보온커튼 실험 중 최고기온이 14~15°C로 설정기온보다 높게 나타났는데 이는 주간 온실 내부에 축열된 열에 의해 야간 초기인 17:30~18:00에 다소 기온이 높게 나타난 것으로 판단된다.

Fig. 4는 단동온실 처리구와 대조구의 상대습도 변화를 나

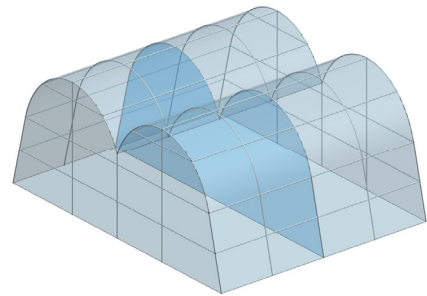


Fig. 2. 3D drawing of a multi-span greenhouse with the experimental multi-layered thermal screens.

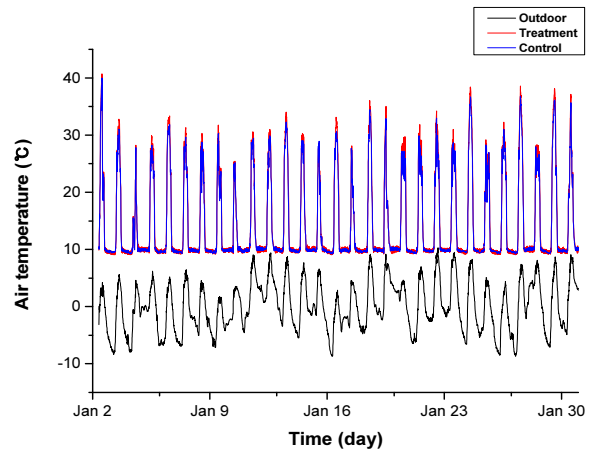


Fig. 3. Air temperature changes in experimental plots.

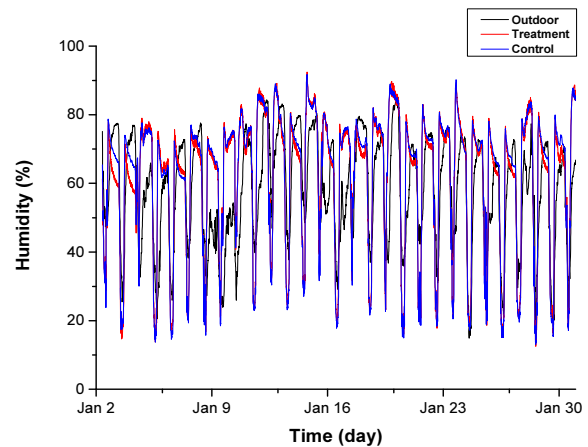


Fig. 4. Relative humidity changes in experimental plots.

타낸 것이다. 주간 습도 변화는 다겹보온커튼을 사용하지 않고, 측창을 사용한 온실 내부 습도변화로 처리구와 대조구의 미세한 차이는 있으나, 비슷한 습도변화를 나타냈다. 야간 습도변화는 외부 습도가 26.7~84.3% 범위로 변화할 때 처리구 온실은 57~92.5% 범위로 평균습도는 73.1%, 대조구 온실은 60.8~91.8% 범위로 평균습도는 74.2%로 나타났다. 평균 습도차이는 약 1.1% 거의 비슷한 값을 나타냈다.

단동온실에서 처리구와 대조구의 차이에 따른 온습도변화를 분석한 결과 미세한 차이는 나타났으나, 비슷하게 유지가 되는 것을 확인할 수 있었다.

1.2 난방에너지 절감효과

Fig. 5는 처리구와 대조구의 야간 연료소비량을 나타낸 것으로 외부 최저기온이 -8.7~1°C 범위로 외부 최저 평균기온이 -4.7°C 일 때 처리구가 대조구에 비해 4.2~21.2% 범위로 연료소비량이 평균 15% 절감되는 것으로 나타났고, 실험기간 동안의 누적 연료소비량은 각각 337.5L, 396.9L로 측정되었다.

2. 연동온실 난방에너지 절감효과

2.1 온실 내부 온습도변화

Fig. 6은 연동온실의 처리구와 대조구의 기온변화를 나타낸 것이다. 주간 기온변화는 다겹보온커튼을 사용하지 않고 자 연광을 통한 온실 내부 기온변화로 미세한 차이는 있으나, 비슷한 기온변화를 나타냈다. 야간 기온변화는 외부기온이 -14.4~5.2°C 범위로 변화할 때 처리구 온실은 13.1~17.7°C 범위로 변화하며 평균기온은 14.4°C로 나타났으며, 대조구 온실은 12.7~16.2°C 범위로 변화하며 평균기온은 14.6°C로 온실 설정기온인 15°C에서 0.4~0.6°C 차이로 약 0.5°C 낮게 유지되는 것을 확인하였다. 이는 난방기 기온센서와 실측된 기온센서간의 오차로 판단된다. 야간 다겹보온커튼 보온성 실험 중 최고기온이 약 16~18°C로 설정기온보다 높게 나타났는데 이는 앞선 단동온실의 실험과 마찬가지로 주간에 축열된 열에 의해 야간 초기기온이 높게 나타난 것으로 판단된다.

Fig. 7은 연동온실 처리구와 대조구의 습도변화를 나타낸 것이다. 주간 습도 변화는 단동온실과 마찬가지로 측창을 사용한 온실 내부 습도변화로 처리구와 대조구의 미세한 차이는 있으나 비슷한 습도변화를 나타냈다. 야간 습도변화는 외부 습도가 24.5~94.2% 범위로 변화할 때 처리구 온실은 22.8~47.5% 범위로 평균습도는 33.1%, 대조구 온실은 21.2~48.8% 범위로 평균습도는 31%로 나타났다. 평균 습도차이는 약 2%로 거의 비슷한 값을 나타냈다.

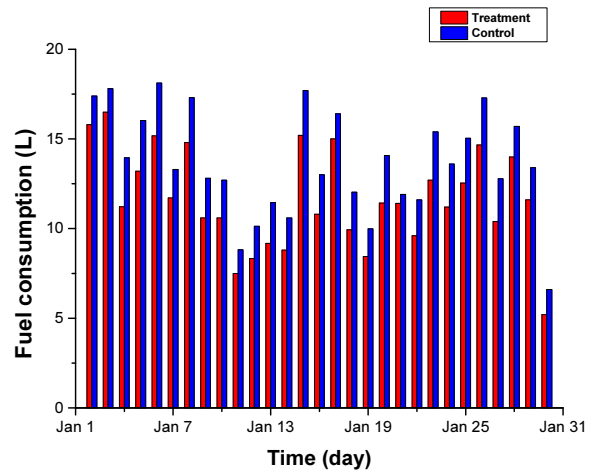


Fig. 5. Consumption of fuel in experimental plots (single-span greenhouse).

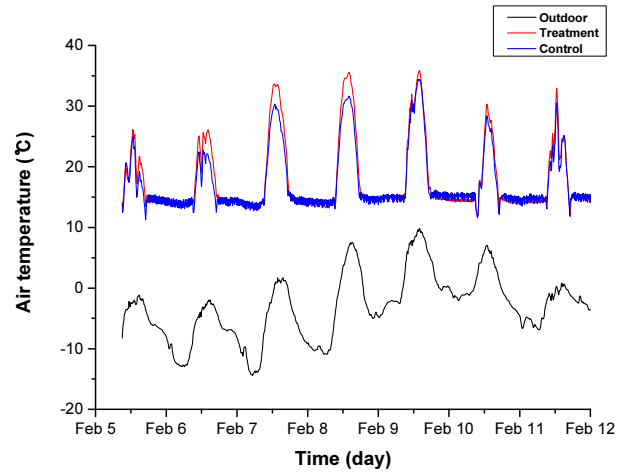


Fig. 6. Air temperature changes in experimental plots.

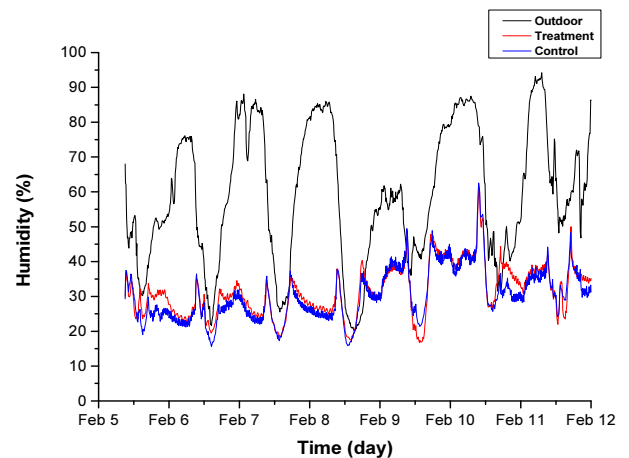


Fig. 7. Relative humidity changes in experimental plots.

연동온실의 온습도변화를 분석한 결과 앞선 단동온실의 실험결과와 마찬가지로 처리구와 대조구는 미세한 온습도 차이는 나타났으나, 비슷하게 유지가 되는 것을 확인할 수 있었다.

2.2 난방에너지 절감효과

Fig. 8은 난방에너지 절감효과를 나타낸 것으로 외부 최저 기온이 -14.2 ~ -1.9°C 범위로 외부 최저 평균기온이 -4.7°C인 경우 처리구가 대조구에 비해 평균적으로 약 20%의 난방에너지를 절감되는 것으로 나타났고, 실험기간 동안의 누적 연료 소비량은 각각 65.6L, 81.8L로 측정되었다.

단동온실과 연동온실에서 실리카 에어로겔을 이용한 다겹 보온커튼과 관행 다겹보온커튼간의 보온성과 경제성분석을 실험한 결과 실리카 에어로겔을 이용한 다겹보온커튼은 관행 다겹보온커튼과 비교하여 온실내부 온습도 유지에 미세한 차이는 보이나 유사한 결과값을 보여 기존 다겹보온커튼과 비교하여 온습도 제어 측면에 문제가 없음을 나타냈으며, 난방에너지 절감효과는 각각의 온실에서 약 15%, 20%의 난방비가 절감되는 것으로 나타났다. 실리카 에어로겔 이용 다겹보온 커튼이 관행 다겹보온커튼에 비해 통기성과 보온성이 증가되는 것이 확인되었다. 그러나 관행 다겹보온커튼에 비해 다소 무겁고 뻣뻣하여 시공성과 작동성이 떨어지는 것을 확인할 수 있었다. 단동온실에 사용된 실리카 에어로겔 이용 다겹보온커튼은 연동에서 사용된 다겹보온커튼의 개선품으로 내부 단열재의 두께를 감소시키고 중공사 부직포를 멜트블로운 부직포로 교체하여 기존의 다겹보온커튼에 비해 통기성이 증대되고 무게가 가벼워져 시공성과 작동성이 향상되는 장점이 나타났다. 이에 실리카 에어로겔 이용 다겹보온커튼은 실제 농가에서 사용하기에 충분한 가능성을 보였으며, 본 실험

힘에서는 작물이 없는 온실에서 실증실험을 한 결과로 추후 실리카 에어로겔 이용 다겹보온커튼을 사용한 온실이 작물에 미치는 영향에 대한 실증실험이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

적 요

본 연구는 최근 신소재 단열재로 주목받고 있는 실리카 에어로겔을 이용하여 현재 사용되고 있는 다겹보온커튼의 단점을 보완하고 보온성을 유지 및 향상시킬 수 있는 새로운 조합의 다겹보온커튼을 제작 하여 현장에 설치함으로써 보온성과 경제성을 분석하고자 한다. 실험에 사용된 다겹보온커튼은 실리카 에어로겔이 함유된 부직포를 사용하여 2가지의 조합으로 제작하였으며 시중에 판매, 사용되고 있는 관행 다겹보온 커튼과의 차이에 따른 온습도변화와 연료소비량을 측정하여 비교분석하였다.

실험결과 단동온실과 연동온실에서 다겹보온커튼 차이에 따른 온습도변화는 미세하게 나타났으나, 거의 비슷한 온도 값을 유지하였다. 이는 실리카 에어로겔을 이용한 다겹보온커튼이 관행 다겹보온커튼에 비해 온습도 제어 측면에서 문제가 없음을 나타냈다. 난방에너지 비교분석 결과, 실리카 에어로겔을 이용한 다겹보온커튼이 관행 다겹보온커튼에 비해 연료소비량은 단동온실에서 약 15%, 연동온실에서 약 20%의 연료소비량을 절감한 것으로 나타나 온실의 규모와 사용기간이 증가함에 따라 난방에너지는 절감될 것으로 판단된다. 실리카 에어로겔 이용 다겹보온커튼이 관행 다겹보온커튼에 비해 통기성과 보온성이 증가되는 것이 확인되었다. 그러나, 연동온실에서 사용된 다겹보온커튼은 관행 다겹보온커튼에 비해 무게가 증가하고 뻣뻣하여 시공성과 작동성이 떨어지는 것을 확인할 수 있었다. 이에 단동온실에서 사용된 다겹보온 커튼에서는 개선사항을 적용하였다. 내부단열재의 교체를 통해 두께를 감소시키고 뻣뻣함을 개선함으로써 농가가 사용하기에 충분한 가능성이 있다는 것을 확인하였다.

추가주제어: 난방에너지 절감, 단동온실, 단열재, 보온성, 연동온실

사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ01175-301)의 지원에 의해 이루어진 것임.

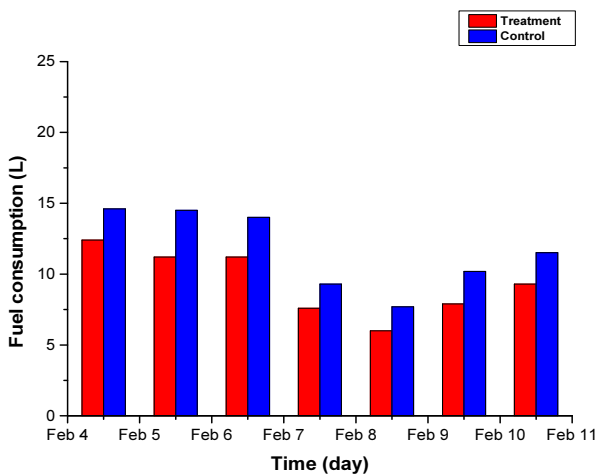


Fig. 8. Consumption of fuel in experimental plots (multi-span greenhouse).

Literature Cited

- Cha J.H. and S.M. Kim. 2011. Study of aerogel insulation performance for building application. *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*. 31:303-304 (in Korean).
- Chang Y.S., K.Y. Oh, S.H. Kim, J.G. Jeun, K.C. Kang, and D.H. Chyong. 1996. Study on the physical property of thermal curtains for greenhouse. *Journal of Bio-Environment Control*. 5:34-42 (in Korean).
- Chung S.W., D.K Kim, S.G. Lee, S.H. Nam, and Y.B. Lee. 2009. Heat insulation characteristics of multi layer materials for greenhouse. *Journal of Bio-Environment Control*. 18: 341-347 (in Korean).
- Dorcheh A.S. and M.H. Abbasi. 2008. Silica Aerogel : Synthesis, properties, characterization. *journal of materials processing technology*. 199:10-26.
- Jin B.O., H.K. Kim, Y.S. Ryou, T.S. Lee, Y.H. Kim, S.S. Oh, J.P. Moon and G.C. Kang, 2018. Comparative analysis of thermal performance according to combines of multi-layered thermal screen. *Journal of the Korean Society of Mechanical Technology*. 20:763-769 (in Korean).
- Jin B.O., H.K. Kim, Y.S. Ryou, T.S. Lee, Y.H. Kim, S.S. Oh, and G.C. Kang, 2019. Analysis of heat transfer characteristics on multi-layered thermal screens coated with silica aerogel. *Protected Horticulture and Plant Factory*. 28:273-278 (in Korean).
- Kim Y.B., J.C. Park, M.R. Hur, S.Y. Lee, and S.W. Jeong. 2007. Effectiveness of the aluminum thermal screens depending on the allocation type. *Journal of Bio-Environment Control*. 16:284-290 (in Korean).
- Lee S.Y., H.J. Kim, H. Chun, S.H. Yum and H.J. Lee. 2007. Comparison of heat insulation characteristics of multi-layered thermal screen and development of curtain system. *Journal of Bio-Environment Control*. 16:89-95 (in Korean).
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA). 2019a. Greenhouse status for the vegetable grown in facilities and the vegetable productions in 2018. Press release. 2018. <http://www.marfa.go.kr> (in Korean).
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA). 2019b. Cultivation status of floricultural crop in 2018. Press release. 2019. <http://www.marfa.go.kr> (in Korean).