

에어로젤을 사용한 시설하우스의 온도 변화에 대한 연구

A Study on the Temperature Change of Green House using Aerogel

양지웅¹, 이은숙¹, 고준영¹, 김원경¹, 변재영², 박진규³, 최원식^{1*}

Ji-Ung Yang¹, Eun-Suk Lee¹, Joon-Young Ko¹, Won-Kyung Kim¹,
Jae-Young Byun², Jin-Gyu Park³, Won-Sik Choi^{1*}

〈Abstract〉

Green houses provide a more conditioned and warmer environment than the outside environment due to insulation. Currently used insulation materials include soft film (PVC, PE, EVA), foamed PE sheet, non-woven fabric, reflective film, and multi-layer insulation curtain, but there are many disadvantages and to compensate for this, silica aerogel insulation material with excellent warmth, light weight, and small volume Research using is in progress. In this study, the temperature change of the quadruple-structure green house and the temperature change in the dual-structure green house of soft film and silica airgel were investigated. The daytime temperature change was highest in A and A2 (soft film) at 10 to 16:00 after sunrise, but showed the lowest temperature at 17 to 18:00, which is the sunset time, showing the greatest change. The airgels of D and D2 showed the smallest change in temperature after sunrise and right after sunset. That is, it can be said that the airgel is hardly affected by external temperature. The temperature change at night was highest in D and D2 (aerogel) for both quadruple and dual structures. The temperature at night was measured higher in the quadruple structure than in the double structure. As for the ratio of the internal temperature to the external temperature for the quadruple structure and the double structure, D (aerogel) was not affected by the external temperature during the day in the quadruple structure and the double structure. D

1* 정회원, 교신저자, 부산대학교바이오산업기계공학과 교수 1* Department of Bio-industrial Machinery Engineering Pusan National University. E-mail: choi@pusan.ac.kr

2 정회원, 농업기술실용화재단 스마트농업본부 스마트팜사 2 Smart Farm Business Team The Department of Smart Agri. 업팀, 공학박사 E-mail: byunjae0@efact.or.kr 3 JEONG-IL GLOCHEM CO., LTD

3 비회원, (주)정일글로벌, 대표 E-mail: shilpark@chol.com

(Aerogel) seems to be able to reduce the damage caused by high temperatures in summer due to the high thermal insulation effect of the aerogel, as the temperature rises above 4°C at night. And in winter, it helps to save heating costs due to less heat emitted to the outside.

Keywords : Aerogel, Green House, Temperature, Insulation curtain, Quadruple structure green house

1. 서론

시설 재배용 하우스는 단열재로 인해 외부 환경 보다 더 따뜻해지고, 조절된 환경을 제공해 계절과 관계없이 채소(오이, 토마토, 고추 등)의 야간 최저온도인 12도 이상을 유지 할 수 있는 장점이 있으나 시설재배 환경은 지구온난화와 도시화로 인해 평균 기온이 1.5°C 상승하였고, 겨울철의 최저 기온 또한 상승으로 인한 내재해형 시설의 설치가 증가하고 있다. 시설재배 농가는 비닐 하우스가 전체 시설의 99.2% 이상이며, 10년 이상 노후 온실이 90% 이상이고 보일러 등 난방시설에 대한 경영비의 비중이 30~40%를 차지하고 있어 원가 절감이 요구되고 있는 실정이다(Lee 등, 2007). 이에 여러 분야에서 난방 에너지 절감방안이 연구되고 있으며, 그 중 난방에너지를 많이 소모하는 온실의 특성상 단열성이 우수한 보온소재의 개발을 통한 보온성 향상을 도모하고 있다(Chung 등, 2009). 1세대 보온 커튼은 5겹으로(마트/부직포/솜/부직포/마트) 초기 보온력을 위해 두꺼운 솜을 사용하였으나, 흡습성으로 인해 중량이 점차 증가하였고, 2세대 보온커튼은(마트/부직포/경량화솜/부직포/ 마트or알루미늄원단) 1세대의 문제점을 해결하기 위해 경량 솜을 사용하였다. 현재 시설재배 농가에서 사용 되고 있는 보온커튼

의 종류에는 연질필름(PVC, PE, EVA), 발포 PE 시트, 부직포, 반사필름, 다겹보온재가 있다. 연질 필름(PVC, PE, EVA)중 PE는 보편적으로 사용되며 가격이 싸고 작업성이 좋으나 보온성과 내구성이 떨어지는 단점이 있고 다겹 부직포와 다겹 보온커튼은 보온성과 차광성이 우수하지만 사용 수명이 짧으며 교체 비용과 폐기물 처리에 어려움이 따르며 다겹(5겹이상)의 구조로 부피가 크고, 중량이 무거워 설치 작업시간이 오래 소요되며 설치를 위한 구조변경이 요구된다. 또한 온실 내부의 수증기를 배출 하는 투습기능을 고려하지 않아 온실내부에서 응결된 수증기의 낙수로 인해 작물의 병충해를 유발하고 한겨울 수증기를 머금은 커튼은 보온율이 급격히 저하되며 커튼의 응결 현상으로 개폐기 오작동의 원인이 되기도 하며 장기간 사용할 경우 내구성이 떨어지는 단점이 있다. 이에 현재 사용되고 있는 연질필름(PVC, PE, EVA), 발포 PE 시트, 부직포, 반사필름, 다겹보온커튼의 문제점을 해결하기 위하여 보온성이 우수하며 무게가 가볍고, 부피가 작은 실리카 에어로겔 단열재를 이용한 연구가 진행되고 있다. 실리카 에어로겔은 기네스북에 등재될 정도로 초경량 (0.003 g/cc)이며 밀도가 0.01~0.1g/cm³인 다공성물질로서 기공의 지름이 10~100μm의 크기를 갖는다(Hostler 등, 2009). 에어로겔은 90%이상의 기공도와 나노크기의 미세한 고상입자들이 망목구조를 형성하고 있

는 다공성 신소재이며 상온에서 매우 낮은 열전도율을 갖기 때문에 기존 단열재의 대체재로 주목받고 있다(Dorcheh와 Abbasi, 2008). 본 연구에서는 4중 구조물 시설 하우스(1중 연질필름, 2중 AL보온커튼, 3중 연질필름, 4중 실리카 에어로젤)의 온도를 알아보고, 1중에 설치된 연질필름과 4중에 설치된 4세대 보온커튼인 실리카 에어로젤의 2중 구조에서의 온도 변화도 알아보고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 실험 온실

본 실험에 사용된 온실은 밀양시 무안면에 소재에 위치한 4중 시설하우스 1개동 이다. 시설 하우스의 규격은 1중 높이 4200mm, 폭 7000mm, 길이 10,200mm 2중의 규격은 높이 3800mm, 폭 6100mm, 길이 8400mm 3중의 규격은 높이 3300mm, 폭 5500mm, 길이 6000mm 이며 4중의 규격은 높이 2300mm, 폭 4400mm 길이 4800mm으로 설치되었다.

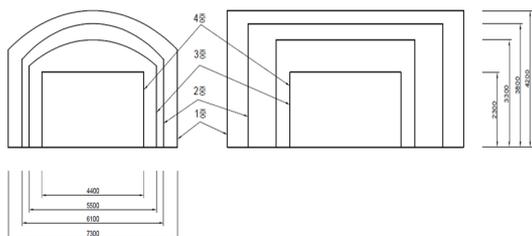


Fig. 1 Green House (Quad structure)

2.2 실험 재료

본 연구에 사용한 시설 하우스는 1중 연질 필

름, 2중 AL 다겹보온커튼, 3중 연질 필름, 4중 실리카 에어로젤(두께: 2mm)이 설치되었으며, 설치된 센서는 온도 -19.9~60℃, 습도 0.0~99.9%까지 측정되며, 시설하우스 마다 중앙에 각각 1개씩 설치되었다.

Table 1. Insulation curtain installed in Green House

Product name	Layer arrangement
A, A2 (1st Green House)	Soft Film
B (Double Green House)	Aluminum Screen
C (Triple Green House)	Soft Film
D, D2 (Quadruple Green House)	Aerogel

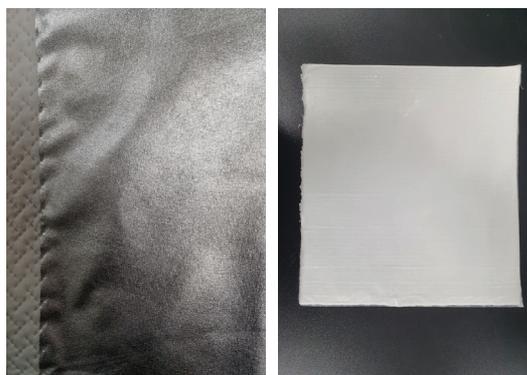


Fig. 2 Aluminum Screen and Aerogel installed in GreenHouse



Fig. 3 Green house with temperature/humidity sensor node and Aerogel installed

2.3 실험 방법

실험은 2020년 11월 19일부터 23일 까지 수행 하였다. 주간(오전9시~오후 6시)과 야간(오후 6시~익일 오후9시)으로 구분 하여 1시간 간격으로 온도를 측정 하여 그래프로 나타냈었다. 외부 온도는 기상청을 통하여 측정 하였으며, 본 논문에서는 외부 온도에 대한 내부온도의 비는 다음 식 (1)과 같으며, 여기서 외부 온도 T_1 , 내부 온도 T_2 로 나타낸다.

$$\frac{T_2}{T_1} \quad (1)$$

온도측정은 시설하우스 내에 설치한 온도센서를 통하여 데이터 컨트롤 박스를 거쳐 인터넷을 통하여 학교 실험실에서 컴퓨터 모니터로 모니터링 하여 데이터를 수집하여 정리하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 시설하우스 4중 구조와 A2(연질필름), D2(에어로겔) 구조의 주간 온·습도 변화

Fig. 4와 Fig.5는 2020년 11월 19일~23일 10시에서 9시까지 시설하우스 4중 구조와 A2(연질 필름), D2(에어로겔) 2중 구조의 주간 온·습도 변화를 나타내었다.

주간 온도 변화는 4중 구조 시설하우스 A(연질 필름)에서 가장 높게 측정되었다. A(연질 필름)는 일출 후 10시~16시에 가장 높음을 보였으며, 일몰 시간인 17~18시에는 가장 낮은 온도를 보였

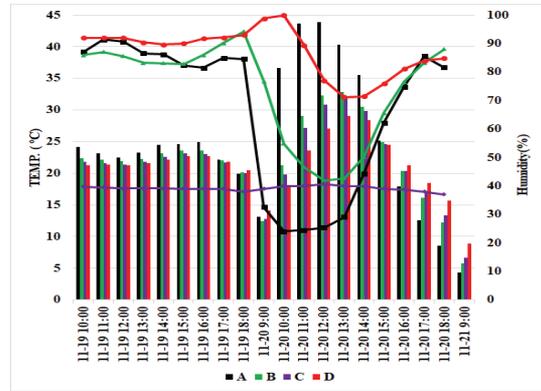


Fig. 4 Daytime Temperature and Humidity Variation of Greenhouse in Quadruple Structure

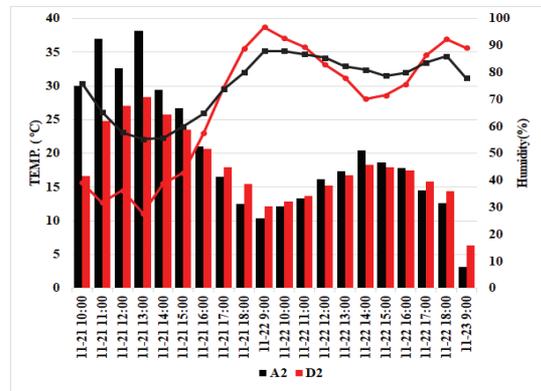


Fig. 5 Daytime Temperature and Humidity Variation of Greenhouse in Double Structure (A2: soft film, D2: Aerogel)

다. A2(연질필름)와 D2(에어로겔)로 설치한 시설 하우스도 같은 결과를 보였다. 4중 구조의 A, B, C, D와 A2(연질필름), D2(에어로겔)로 설치한 시설하우스의 주간 평균 온도와 습도는 Table 2.에 나타나 있다. 4중 구조의 시설하우스에서 A(연질 필름)는 평균 24.5°C로 가장 높게 측정 되었고 가장 낮게 측정된 D(에어로겔) 보다 3.3°C 높게 나타났다. 반면에 A2(연질필름)와 D2(에어로겔)를 설치한 시설하우스는 D2(에어로겔)가 1°C 높게 측정 되었다.

Table 2. Average Daytime temperature (°C) and average humidity (%)

	외부1	A	B	C	D	외부2	A2	D2
TEMP	16.6	24.5	22	21.6	21.2	10	12.7	13.7
RH	65.1	67	74.4	39.2	87.5	68	68.1	75.3

A(연질 필름)는 주간에는 외부보다 최대 약 8°C 높게 나타나 여름철 고온에 영향을 받을 것으로 보인다. 하지만 D(에어로젤)는 주간에는 A(연질 필름)에 비해 외부 온도영향을 거의 받지 않아 여름철 고온으로 인한 피해를 줄여 줄 수 있을 것으로 보인다. 4중으로 설치한 시설하우스는 2중으로 설치한 시설 하우스에 비해 높은 온도를 나타냈고, 일몰 후 2중 구조에 비해 온도 또한 높은 것으로 보아 2중 구조에 비해 단열에 도움이 될 것으로 보인다. 습도는 온도가 높을수록 낮아지는 결과를 보였다. 이는 습도가 일정한 온도에서 온도에 반비례 하기 때문으로 보인다. 하지만 4중 구조의 C(연질 필름)에서는 D(에어로젤)보다 온도가 높으나 낮은 습도를 보였다. 이는 습도 조절을 위한 환기 조절 장치가 설치되지 않은 결과로 보이며 배기팬을 설치하면 습도 조절이 가능할 것으로 사료된다.

3.2 시설하우스 4중 구조와 A2(연질필름), D2(에어로젤) 구조의 야간 온·습도 변화

Fig. 6와 Fig.7은 2020년 11월 19일~23일 18시에서 9시까지 시설하우스 4중 구조와 A2(연질 필름), D2(에어로젤) 2중 구조의 야간 온·습도 변화를 나타내었다.

야간 온도 변화는 4중 구조와 2중 구조는 모두 D(에어로젤)에서 가장 높은 온도로 측정되었다. 4중 구조에서 D(에어로젤)는 ABC에 비해 평균 1~

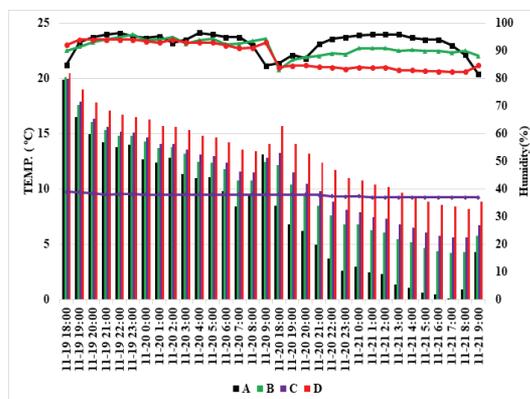


Fig. 6 Night Temperature and Humidity Variation of Greenhouse in Quadruple Structure

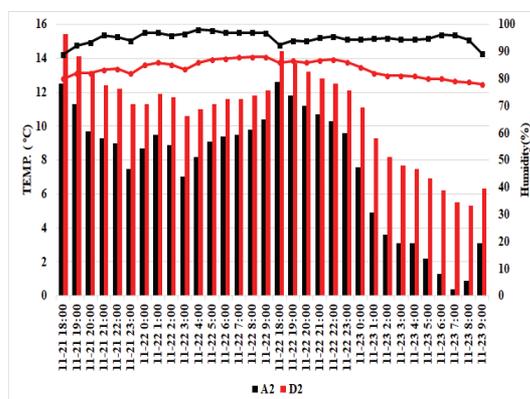


Fig. 7 Night Temperature and Humidity Variation of Greenhouse in Double Structure (A2: soft film, D2: Aerogel)

Table 3. Average Night temperature (°C) and average humidity (%)

	외부1	A	B	C	D	외부2	A2	D2
TEMP	9.9	12.8	13.5	14	15.4	8	7.7	10.8
RH	69	92.7	91.3	37.8	88.3	71.1	94.9	83.7

2°C 높음을 보였고, 2중 구조에서는 D2(에어로젤)는 A2(연질필름)에 비해 평균 약 3°C 높음을 보였다. 외부 온도에 비해서도 에어로젤은 평균 약 3~5°C 높음을 보였다. 이와 같이 에어로젤의 온도

영향은 에어로겔의 높은 단열성의 효과라고 사료된다. 즉 에어로겔은 외부온도영향을 거의 받지 않는다고 할 수 있다. 따라서 야간의 온도변화로 식물의 성장에 큰 영향을 준다는 보고가 있으므로 에어로겔을 추가한 4중 구조는 야간의 식물성장에 도움이 된다. 특히 저온식물이나 고온식물의 경우 주야간의 온도차가 커지면 성장에 지장이 있는데 이를 극복할 수 있는 방법으로 에어로겔을 추가로 사용함은 매우 타당하다고 할 수 있다. 하지만 에어로겔의 라미네이팅 기술과 수명연장을 위한 개폐시설의 개발이 요구된다.

4중 구조와 2중 구조의 습도 변화는 온도가 높을수록 습도는 낮아지는 경향을 보였다. 하지만 4중 구조의 C(연질 필름)에서는 온도와 관계없이 낮은 습도를 보였다. 이는 환기 조절 장치의 유·무에 따른 현상으로 판단된다.

3.3 외부 온도에 대한 내부온도의 비

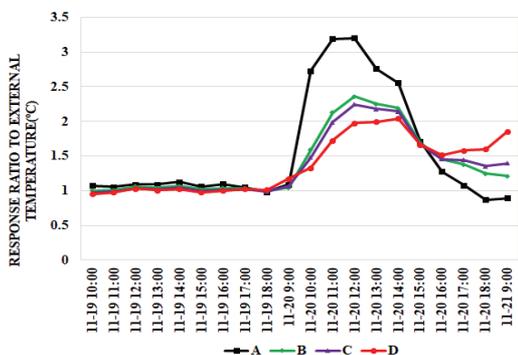
Fig. 8은 4중 구조와 A2(연질필름)와 D2(에어로겔)에 대한 외부 온도에 대한 내부 온도의 비를 각각 나타낸 것이다. a와 c는 주간 외부 온도에 대한 내부 온도의 비를 나타낸 것으로 A(연질필름)는 일출 후 10시~16시에는 온도가 외부 온도에 비해 최대 4°C 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 하지만 A와A2(연질필름)는 일몰 후, 일출 직전에는 4중 구조에서 가장 낮은 온도를 보였다. 일출 후에는 가장 낮은 온도를 보이던 D와D2(에어로겔)는 일몰 후, 일출 직전 가장 높은 온도를 보였다. B(AL보온커튼)와C(연질필름)는 주간 D(에어로겔)와 큰 차이를 보이지 않았다. 주간 A와A2(연질필름)는 외부 온도에 비해 최대 4°C~최소 0.5°C의 편차를 보인 반면 D와D2(에어로겔)는 외부에 비해 최대 2.5°C~최소 1°C의 편차를 보였다. b와 d는 야간 외부 온도에 대한 내부 온도의

비를 나타낸 것으로 일몰 후 D와D2(에어로겔)는 외부 온도에 비해 최대 4°C~최소 1°C 높게 측정되었다. A와A2(연질필름)는 외부에 비해 최대 1°C 높게 측정 되어 외부와 큰 차이를 보이지 않았고 B(AL보온커튼)는 외부에 비해 최대 2°C 높게 측정되어 A(연질필름) 보다는 야간 온도 관리에 효과가 있을 것으로 보인다. A와A2(연질필름)는 주간 최대 4°C 이상 상승하는 것으로 보아 여름철 고온에 따른 식물 관리에 어려움이 있을 것으로 보이지만 D와D2(에어로겔)는 주간에는 외부 온도에 영향을 받지 않고 야간에는 4°C 이상 온도가 상승하는 것으로 보아 에어로겔의 높은 단열효과로 인해 여름철에는 고온으로 인한 피해를 줄여 줄 수 있을 것으로 보이며 겨울철에는 외부로 방출 되는 열이 적어 난방비 절약에도 도움이 될 것으로 보인다.

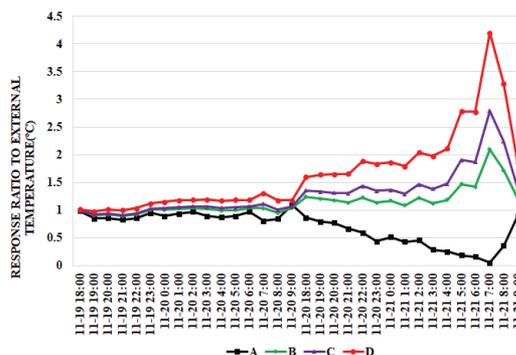
4. 결론

4중 구조물 시설 하우스의 온도와 1중에 설치된 연질필름과 4중에 설치된 실리카 에어로겔의 2중 구조에서의 온도 변화를 알아보았다.

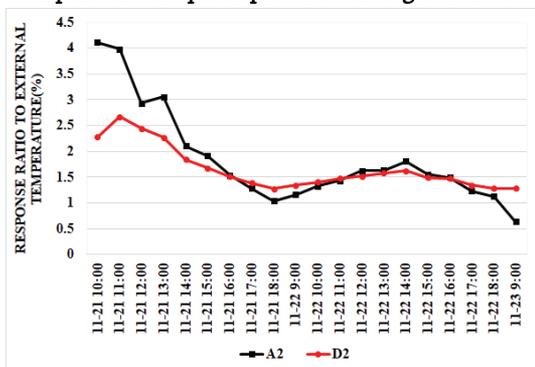
1. 주간 온도 변화는 4중 구조 시설하우스에서는 A와A2(연질 필름)는 일출 후 10시~16시에 가장 높음을 보였으며, 일몰 시간인 17~18시에는 가장 낮은 온도를 보여 변화 폭이 가장 컸으나, D와D2(에어로겔)는 일출 후와 일몰 직후의 온도 변화 폭이 가장 작았다. 즉 에어로겔은 외부온도영향을 거의 받지 않는다고 할 수 있어 여름철 고온으로 인한 작물의 피해를 줄여 줄 수 있을 것으로 보인다.
2. 야간 온도 변화는 4중 구조와 2중 구조는 모두 D와D2(에어로겔)에서 가장 높은 온도



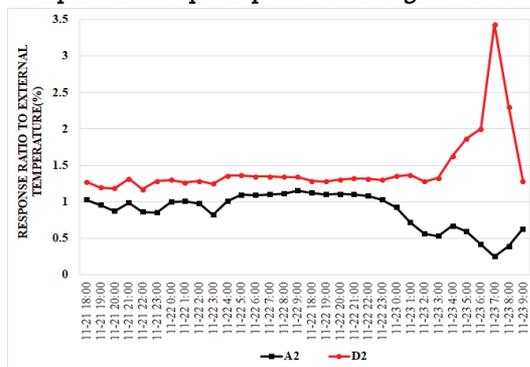
(a) Ratio of internal temperature (daytime) to outside temperature of quadruple-structured green house



(b) Ratio of internal temperature (night) to outside temperature of quadruple-structured green house



(c) Ratio of internal temperature to ambient temperature of soft film and aerogel (daytime)



(d) Ratio of internal temperature to ambient temperature of soft film and aerogel (night)

Fig. 8 Ratio of internal temperature to outside temperature of green house

로 측정되었다. 야간에 4중 구조는 2중 구조와 비교하면 평균 약 5°C 높게 측정 되는 것으로 보아 에어로젤을 추가한 4중 구조는 야간의 식물 성장에 도움이 된다.

3. 주·야간 4중 구조와 2중 구조에서 외부 온도에 대한 내부 온도의 비는 에어로젤은 주간에는 외부 온도에 영향을 받지 않고 야간에는 4°C 이상 온도가 상승하는 것으로 보아 여름철에는 고온으로 인한 피해를 줄여 줄 수 있고 높은 단열효과로 인해 겨울철에는 외부로 방출 되는 열이 적어 난방비 절약에도 도움이 될 것으로 보인다.
4. 4중 구조와 2중 구조에서의 습도는 온도가

높을수록 습도는 낮아지는 현상을 보였다. 하지만 4중 구조의 C(연질 필름)에서는 온도와 관계없이 낮은 습도를 보였다. 이는 환기 조절 장치의 유·무에 따른 현상으로 기인된다.

사 사

본 연구는 농림식품부 농축산자재산업화기술 개발(118074-3) 2018년도 농림축산식품 연구사업의 시설재배용 보온 커튼의 경량화 및 보온력 향상 소재개발사업의 지원을 받아 수행하였음.

참고문헌

- [1] Lee, S.Y., H.J. Kim, H. Chun, S.H. Yum and H.J. Lee, "Comparison of Heat Insulation Characteristics of Multilayer Thermal Screen and Development of Curtain System.", *Journal of Bio-Environment Control*, 16(2), 89-95, (2007).
- [2] Chung, S.W., D.K Kim, S.G. Lee, S.H. Nam, and Y.B. Lee, "Heat Insulation Characteristics of Multi Layer Materials for Greenhouse.", *Journal of Bio - Environment Control*, 18(4), 341-347, (2009).
- [3] Hostler, S.R., A.R. Abramson, M.D. Gawryla, S.A. Bandi, and D.A. Schiraldi, "Thermal conductivity of a clay-based aerogel. ", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52:665-669, (2009).
- [4] Dorcheh, A.S., and M.h. Abbasi, "Silica Aerogel: Synthesis, Properties, Characterization.", *Journal of Materials Processing Technology*, 199:10-26, (2008).
- [5] Chou, C.M., M.S. Ismail, Y. Tochihara, and J.Y. Lee, "Physiological Strains of Wearing Aluminized and Non-aluminized Firefighters' Protective Clothing during Exercise in Radiant Heat.", *Industrial Health*, 49(2), 185-194, (2011).
- [6] Kim, K.S. and C.H. Park, "Thermal Comfort and Waterproof-breathable Performance of Aluminum-coated Polyurethane Nanowebs.", *Textile Research Journal*, 83(17), 1808-1820, (2013).
- [7] Byung-Ok Jin, Hyung-Kweon Kim, Young-Sun Ryou, Tae-Seok Lee, Young-Hwa Kim, Sung-Sik Oh, Geum-Choon Kang, "Analysis of Heat Transfer Characteristics on Multi-layer Insulating Curtains Coated with Silica Aerogel.", *The Korean Society For Bio-Environment Control*, 28(3), 273-278, (2019).

(접수: 2020.11.18. 수정: 2020.11.30. 게재확정: 2020.12.02.)