

## 2중 단동비닐하우스의 태양열 축열이용 효과

이성현 유영선 문종필 윤남규 권진경 이수장 김경원

### Solar Energy Storage Effectiveness on Double Layered Single Span Plastic Greenhouse

S. H. Lee Y. S. Ryou J. P. Moon N. K. Yun J. K. Kwon S. J. Lee K. W. Kim

#### Abstract

This study was carried out in order to reduce the amount of underground water which is used in the double layered single span plastic greenhouse for retaining heat. For this research, two plastic green houses of the double layered single span plastic greenhouse were installed. There was equipped of internal small tunnel for keeping warm air in the interior of the house. Then the internal small tunnel for keeping warm air was fitted with PVC duct of 50 cm in diameter filled with subsurface water. The surplus solar energy in the greenhouse was stored in the water in the PVC duct.

Four FCUs (Fan Coil Unit), which has the capacity of 8,000 kcal per hour, were installed in the middle of the house, and a circulation motor in heat storage water tank was operated from 10:30 a.m. to 16:00 p.m. in order to circulate water between the water tank and the FCUs. Consequently about 5 degrees celsius could be maintained in the interior of the internal small tunnel for keeping warm air with the external temperature of lower than minus 5 degrees celsius. It appeared that the alteration of an internal temperature of the house was flexible depending on the sunlight during daytime.

To prevent the water freezing, mixing antifreezing liquid in the water or operating FCU continuously was needed. Also, in order to use the surplus solar thermal energy on plastic green house of water curtain system efficiently, storing the surplus heat during daytime simultaneously finding a method of using water curtain systematic underground water happened to be important. As a result of this research, when the house's interior temperature is below zero the operation of FCU appeared to be impossible. Considering the amount of water used in the house with water-curtain-heating system is 150~200 ton per day, using the system mentioned in this research showed that reducing the underground water more than 80% in order to maintain the internal temperature as the level of 5 degree celsius at the extreme temperature of minus 5 degrees celsius.

**Keywords :** Water curtain system, Surplus solar thermal energy, Plastic greenhouse, Greenhouse keeping warm system

#### 1. 서론

우리나라의 시설원예 면적은 1990년대의 시설현대화 정책

에 힘입어 크게 증가하기 시작하였다. 2000년대에 들어와서는 시설원예의 전체적인 면적의 증가는 크지 않았으나, 과거 재래식 비닐하우스가 자동화비닐하우스, 유리온실 등으로 대

This study was carried out with the support of "Cooperative Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ007217)", Rural Development Administration, Republic of Korea and "Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ007726)", National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Republic of Korea. The article was submitted for publication on 2011-04-21, reviewed on 2011-05-09, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2011-05-17. The authors are Sung Hyoun Lee, Senior Researcher, KSAM member, Young Sun Ryou, Senior Researcher, KSAM member, Jong Pil Moon, Junior Researcher, KSAM member, National Agricultural Academy Science, Nam Kyu Yun, Junior Researcher, KSAM member, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Jin Kyung Kwon, Junior Researcher, KSAM member, Su Jang Lee, Technician, National Agricultural Academy Science, and Kyeong Won Kim, Responsible Researcher, KSAM member, The Foundation of Agricultural technology Commercialization and Transfer. Corresponding author: Sung Hyoun Lee, Senior Researcher, KSAM member, National Agricultural Academy Science, RDA, Suwon, 441-707, Korea; Tel: +82-31-290-1818; Fax: +82-31-290-1840; E-mail: <leesh428@rda.go.kr>.

체 되는 등 보다 진보적인 시설들이 많이 증가하였다. 2008년 기준으로 우리나라의 시설재배 면적은 약 53,000 ha에 이르렀고, 이 가운데 난방을 하는 면적이 13,300 ha로 전체 시설재배 면적의 약 25%를 차지하고 있다(R.D.A., 2010). 또한 난방 재배면적의 92% 이상인 대부분의 시설재배농가에서 석유유를 난방연료로 이용하고 있어 국제유가의 변동에 따라 생산비가 크게 영향을 받고 있다. 2008년 농업인에게 공급된 면세유류는 2,970천 kL로 국가 전체 사용량의 2.6% 수준이며, 이 가운데 농업용이 66.5%인 1,975천 kL이며, 나머지 33.5%는 어업용이다. 면세 유류의 대부분은 경유이며 약 63.6%가 시설원에 난방에 사용된 것으로 추산된다. 겨울철 시설원에 농가의 최대 관심사는 농업시설 내부의 기온을 작물의 성장에 적합하게 유지하여 주기 위하여 투입되는 난방비를 어떻게 줄이느냐 하는 것이다(R.D.A., 2007; 2008; 2009). 겨울철 작물을 재배하기 위하여 투입되는 난방비와 기자재비, 노동력을 합한 것이 작물을 생산하여 판매했을 때의 비용보다 더 많이 들어간다면 겨울철 재배를 하는 아무런 이유가 없을 것이다. 시설원에 난방을 위해 사용되는 이러한 막대한 양의 에너지 비용을 줄이기 위하여 최근 다겹보온커튼, 순환식수막재배시스템 등의 보온 기술을 농가에 보급함과 동시에 친환경 에너지 자원인 지열을 이용한 히트펌프 시스템이 정부의 지원 사업으로 농업용 시설에 공급되고 있으나, 설치비용의 과다로 시설이 현대화된 자동화비닐하우스와 유리온실을 중심으로 설치되고 있다.

우리나라 원예시설의 90% 이상을 차지하고 있는 단동형 비닐하우스는 대부분 많은 난방비 부담 때문에 겨울재배를 포기하거나 지하수를 1중과 2중 비닐하우스 사이의 공간에 뿌려 시설을 보온하는 수막재배를 하고 있다. 그러나 관행의 수막재배는 10a당 한 시간에 약 10~15톤에 달하는 막대한 양의 지하수를 이용하고 있어 지하수 부족 및 지하수위가 낮아지는 등의 문제가 발생되고 있는 것으로 보고된다. 최근 수막재배에 사용되는 지하수 양을 줄이기 위하여 순환식 수막재배시스템이 개발되어 보급되고 있는 등 단동형 비닐하우스의 안정적인 보온기술을 개발하기 위한 시도가 이루어지고 있고, 정부의 저탄소 녹색성장 정책 추진에 힘입어 화석연료를 사용하지 않는 새로운 기술 개발에 대한 요구가 제기되고 있으며, 지열, 수열원, 농산부산물, 태양에너지 등을 이용한 난방기술 개발이 주목받고 있다(Kim et al., 2003; Yun et al., 2003). 특히 비닐하우스의 북쪽면에 태양에너지를 축열할 수 있는 벽을 설치하여 온실내부의 보온을 유지하는 연구를 수행한 결과 태양열 축열이용 효과가 큰 것으로 보고되었다(Beshada 등, 2006). Ryou 등(2006)은 온실의 효과적인 온도 관리를 위해서는 단열효과가 우수한 보온재를 이용하거나 난방공간의 체적을 최소화 할 수 있는 보온터널재배가 바람직하다고 하였으며, 이를 위하여 단동형 온실내부에 중앙권취

식 보온터널 자동개폐기와 코일튜브를 이용한 보온터널 내부 난방시스템을 개발하였다.

본 연구에서는 기존 수막재배를 이용하는 하우스에 주간내부에 유입된 태양에너지를 축열하여 외기온 -5℃에서 비닐하우스 내부 작물생육공간의 최저 온도를 5℃ 이상 유지하기 위한 것에 목표를 두고 비닐하우스 내부의 구조개선과 이에 따른 내부의 온도 유지 가능성을 시험하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 시험용 비닐하우스 및 계측시스템 구성

시험용 비닐하우스는 농림수산식품부고시 2008-76호(2008. 8. 26)의 07-단동-3형 설계도를 기준으로 수원시 입북동에 소재한 시험포장에 수막재배를 할 수 있는 시스템으로 설치하였다. 시험을 위해 설치한 07-단동-3형의 단동비닐하우스는 폭이 7 m, 동고는 3.3 m, 길이는 50 m이다. 07-단동-3형은 내재해형 비닐하우스로 적설에 대한 구조 안전성은 50 cm 이고, 바람에 대한 구조 안전성은 36 m/s이다. 2중하우스는 폭 6.4 m로 1중하우스와 2중하우스의 간격은 30 cm로 설치하였다. 2중하우스의 내부에는 폭 3.1 m의 보온터널을 2열 설치하였다. 그림 1은 시험에 사용한 비닐하우스의 구조 및 센서 배치상황을 나타낸 것이다. 비닐하우스 내부 및 외기 환경을 측정하기 위하여 사용한 습도센서는 HOBO RH, Temp (Onset Cooperation, USA)이고, 축열 물탱크의 물 온도와 지온을 측정하기 위하여 사용한 센서는 Pt100 (AHLBORN, Germany)을 사용하였다. 그리고 비닐하우스 외부의 일사량과 비닐하우스 내부 터널에 입사된 일사량을 측정하기 위하여 AHLBORN 일사계(AHLBORN, Germany)를 사용하였다. 비닐하우스 내부의 온도는 비닐하우스 중앙에서 측정하였다. 모든 센서의 데이터는 10분 간격으로 기록하였으며, 2중비닐하우스 내부의 보온터널을 비닐로 덮는 것 이외에 다른 보온 방법은 사용하지 않았다.

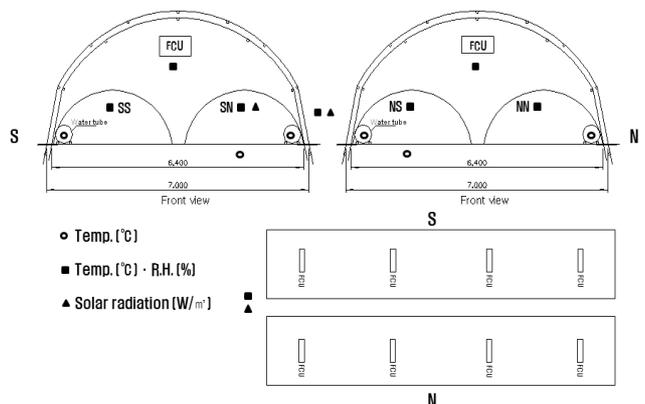


Fig. 1 Sensors layout of the experimental site.

### 나. 태양열 축열시스템 설치

수확재배를 위한 단동형 비닐하우스 내부는 햇빛이 비치는 주간에는 내부에 입사된 태양에너지로 인해 비닐하우스 내부의 온도가 외기온 보다 높게 올라간다. 비닐하우스에 입사된 태양에너지를 적극적으로 이용하기 위한 시설이 설치되지 않았을 경우에는 비닐하우스 내부에 입사된 태양에너지는 비닐을 통한 외부와의 대류 또는 전도 열전달, 온실내부의 온도를 작물의 생육에 알맞게 유지하기 위하여 실시하는 환기와 비닐을 통한 복사열 형태로 손실된다. 그리고 손실되지 않은 일부의 태양에너지는 비닐하우스 내부의 토양에 축열된다. Suh 등(2009)에 따르면 연간 온실의 총 에너지 투입량의 85%가 태양에너지 이고, 난방기에 의한 에너지 투입량은 15%에 불과하며, 온실에 투입된 에너지 중에서 작물의 광합성이나 증발산 등에 이용되는 것이 26.4% 이었으며, 이를 제외한 나머지 73.6% 중에서 44.2%가 온실의 표면을 통해 복사열 형태로 손실되고, 내부의 온도 상승으로 인한 환기에 의해 손실되는 열량이 25.2%라고 하였다. Suh 등(2009)은 단동형 온실 내부에서 환기로 인해 손실되는 25.2%를 잉여 태양에너지로 분류 하였다. 본 연구에서는 주간의 잉여 태양에너지를 축열 이용하기 위하여 그림 1에서와 같이 남쪽면과 북쪽면 하우스의 보온터널 내부에 회색 타폴린으로 제작한 직경 50 cm의 덕트를 각각 설치하고, 덕트내부에 지하수를 채워넣어 축열 매체로 사용하였다. 비닐하우스 내부의 잉여 열을 축열하기 위해 덕트에 채워넣은 물량은 한쪽 내부 터널당 약 7톤이고, 하우스 한 동당 약 14톤이다. 양쪽 비닐하우스 내부에는 비

닐하우스 중앙에 바닥으로부터 약 2 m 지점에 시간당 열교환율이 8,000 kcal인 FCU(Fan Coil Unit)를 4대 설치하였다. 그리고 남쪽 하우스의 축열 튜브에는 수중모터를 이용해 PVC관의 물을 FCU로 송수하여 비닐하우스 내부의 고온측과 열교환 된 후 다시 축열튜브에 보내는 방법으로 열교환이 되어 축열되도록 하였다.

### 다. 태양열 축열시스템 설치온실 운영 방법

비닐하우스의 잉여 태양에너지 축열이용시 비닐하우스 내부의 온도 유지 상황을 분석하기 위하여 표 1과 같이 내부 시설의 작동방법을 두 가지로 설정하여 시험을 하였다.

시험 1과 시험 2의 차이점은 시험 1하우스는 축열 튜브의 물을 FCU로 보내어 적극적으로 열교환이 되도록 한 것이고, 시험 2는 똑같은 시스템을 설치했으나 축열튜브의 물을 FCU로 보내지 않고 수동적인 상태로 축열이 되도록 한 데 있다. 시험 1과 시험 2 하우스 모두 온실의 운영은 내부 터널의 비닐을 덮은 상태로 두면서 각종 환경을 측정하였다. 2중 하우스 내부에 설치한 FCU의 팬은 오전 10시 30분부터 가동하여 오후 4시에 가동을 멈추도록 하였다. 시험 1의 경우에는 축열튜브 내부의 물이 FCU를 가동하지 않는 시간에도 지속적으로 FCU로 보내어 진 후 다시 축열튜브로 되돌아오도록 가동하였다. 이렇게 한 것은 겨울철 외기온이 영하로 내려갔을 때 2중 비닐하우스 내부의 기온도 영하로 내려가 설치한 FCU가 동파되는 현상이 발생하였기 때문에 이를 방지하고자 취한 운영방법이다.



Fig. 2 Experimental greenhouse with FCU.

Table 1 Operation scheme of the experimental system

Items	Internal vinyl tunnel		Water pump	FCU Fan running time
	South	North		
Case I	Close	Close	On	10:30~16:00
Case II	Close	Close	Off	10:30~16:00

### 3. 결과 및 고찰

표 2는 내부터널의 비닐을 덮은 상태로 측정된 데이터의 분석결과이다. 데이터 분석에 사용된 시험기간의 데이터는 '11. 1. 17일부터 '11. 2. 28일까지의 것이고, 분석시간은 일사량이 없는 18시부터 익일 7시 30분까지 이다. 측정된 데이터는 매 10분 간격으로 저장되도록 하였다. 표 2에서 보는 바와 같이 축열튜브의 물을 FCU를 통해 열교환하여 이용하는 Case I의 경우 시험기간 동안의 외기온이 평균 -8.0℃일 때 작물재배 공간의 평균온도는 4.3℃에서 4.4℃로 유지되는 것으로 나타났고, 외기온이 최소 -18.8℃일 때 작물재배공간의 최소온도는 -1.5℃에서 -0.6℃로 유지되는 것으로 나타났다. 그러나 축열튜브의 물을 FCU를 통해 열교환 하지 않은 Case II의 경우에는 작물재배공간의 평균온도가 1.9℃에서 2.1℃로 유지되는 것으로 나타났고, 최소온도는 -3.9℃에서 -3.4℃로 나타났다. 따라서 FCU를 통한 열교환 축열이용 방법을 통해 작물재배공간의 평균온도를 약 2℃ 이상 높일 수 있는 것으로 나타났다. 시험 기간 중에 축열튜브의 물을 계속하여 FCU를 통해 흐르도록 한 것은 밤 동안에 FCU가 설치된 하우스 내부의 기온이 영하로 내려가 FCU가 동파되는 현상이

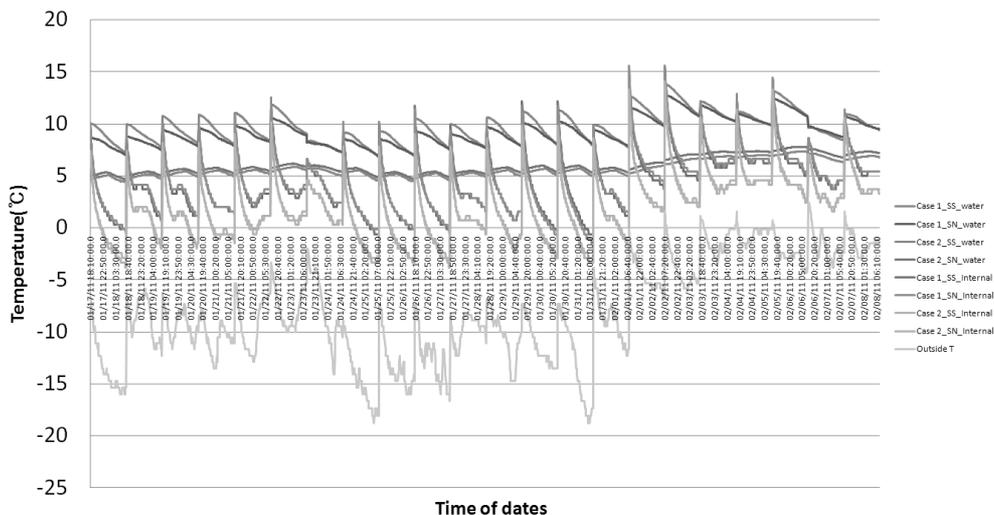
발생하였기 때문이다.

표 3은 내부터널의 비닐을 벗긴 상태로 측정된 데이터의 분석결과이다. 데이터 분석에 사용된 시험기간의 데이터는 '11. 3. 3일부터 '11. 3. 6일까지의 것이고, 분석시간은 일사량이 없는 19시부터 익일 7시까지의 데이터를 사용했다. 환경계측 인자의 기록간격은 10분이다. 표 3에서 보는 바와 같이 축열튜브의 물을 FCU를 통해 열교환하여 이용하는 Case I의 경우 외기온이 평균 -2.2℃일 때 작물재배 공간의 평균온도는 7.3℃에서 7.5℃로 유지되는 것으로 나타났고, 외기온이 최소 -7.9℃일 때 작물재배공간의 최소온도는 2℃로 유지되는 것으로 나타났다. 그러나 축열튜브의 물을 FCU를 통해 열교환 하지 않은 Case II의 경우에는 작물재배공간의 평균온도가 5.0℃에서 5.2℃로 유지되는 것으로 나타났고, 최소온도는 -1.1℃에서 -0.6℃로 나타났다. 따라서 FCU를 통한 열교환을 통해 작물재배공간의 평균온도를 약 2.0℃ 높일 수 있는 것으로 나타났다.

시험결과 비닐하우스 내부의 잉여 열을 축열하여 작물재배 공간의 보온에 이용하기 위해서는 FCU를 통한 적극적 열교환 방식이 유리한 것으로 나타났다. 그리고 축열 튜브에 비닐하우스 내부의 열을 축열하여 이용하기 위해서는 비닐하우스

**Table 2** Temperature variation of the experimental greenhouse with tunnel covering

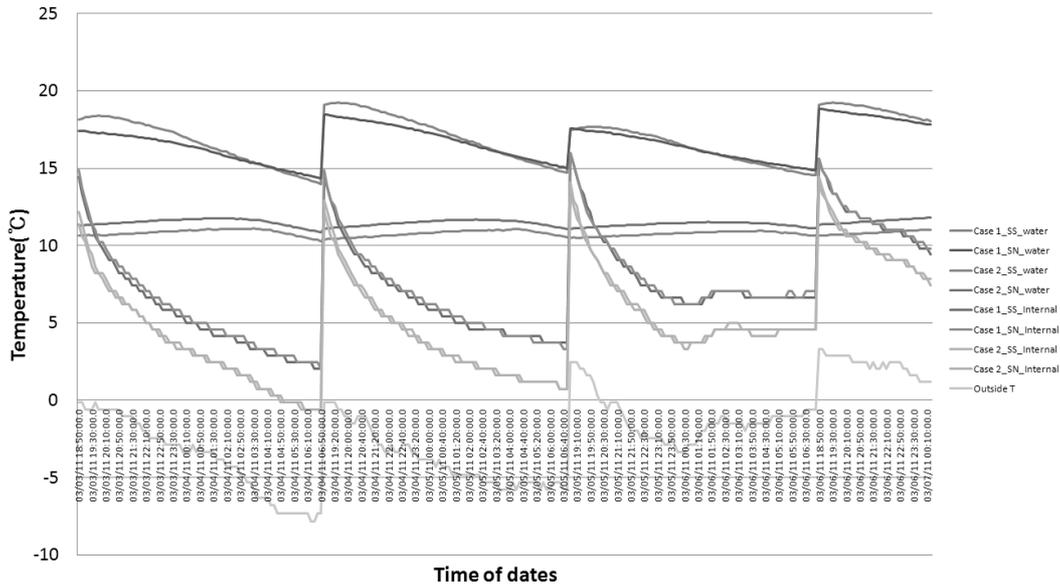
Items		Maximum		Minimum		Average	
		SS	SN	SS	SN	SS	SN
Case I	Water temp.(℃)	13.8	12.9	6.8	6.9	9.7	9.3
	Internal temp.(℃)	15.6	15.6	-0.6	-1.5	4.3	4.4
Case II	Water temp.(℃)	7.4	7.8	4.4	4.7	5.7	6.0
	Internal temp.(℃)	13.3	14.1	-3.4	-3.9	2.1	1.9
Ambient temp.(℃)		2.5		-18.8		-8.0	



**Fig. 3** Temperature profile of the experimental duration.

**Table 3** Temperature variation of the experimental greenhouse without tunnel covering

Items		Maximum		Minimum		Average	
		SS	SN	SS	SN	SS	SN
Case I	Water temp.(°C)	19.2	18.8	14.0	14.4	17.0	16.7
	Internal temp.(°C)	7.3	7.5	2.0	2.0	7.3	7.5
Case II	Water temp.(°C)	11.1	11.8	10.3	10.9	10.8	11.4
	Internal temp.(°C)	14.5	14.1	-1.1	-0.6	5.0	5.2
Ambient temp.(°C)		3.3		-7.9		-2.2	



**Fig. 4** Temperature profile of the experimental duration.

내부에 소형의 비닐터널을 만들어 보온을 위한 작물재배 공간을 최소화할 필요가 있는 것으로 나타났다. 또한 낮 동안에 구름이 끼어 햇빛이 비추지 않으면 비닐하우스 내부의 기온도 올라가지 않기 때문에 태양에너지를 축열하여 비닐하우스를 보온하는 것만으로는 안정적인 작물재배가 어려울 것으로 판단되며, 이를 대비하여 온풍난방기 등 보조난방 수단을 반드시 갖추어야 할 것으로 판단되었다. 국내 시설재배 농가중 무가온 비닐하우스를 이용하는 많은 농가가 지하수를 펴 올려 내부 비닐의 상부에 살포하는 수막재배시스템을 이용하고 있고, 이들 비닐하우스에서 사용하는 지하수의 양이 10당 시간당 약 10~15톤에 이르는 것을 감안하면 본 연구에서 제시된 태양열 축열이용 방법을 통해 상당한 양의 지하수 절약이 가능할 것으로 판단되었다.

**4. 요약 및 결론**

본 연구는 기존 수막재배 하우스에서 하우스를 보온하기 위하여 사용하는 지하수의 양을 줄이기 위하여 수행되었다. 본 연구를 위하여 2동의 2중 비닐하우스를 설치하였다. 비닐

하우스에는 내부에 소형 보온터널을 설치하고, 보온터널 내부에 직경 50 cm의 축열튜브를 설치한 후 내부에 지하수를 채워 인여 태양에너지를 축열튜브 내부의 물에 축열하는 방법을 취하였다. 비닐하우스에는 중앙부분에 FCU를 설치하고, 한쪽의 비닐하우스에는 축열 튜브에 FCU와 열교환이 되도록 순환모터를 설치하여 10시 30분부터 16시까지 가동하였고, 다른 한쪽에는 FCU와 축열튜브를 똑같이 설치하고, FCU는 시험구와 마찬가지로 가동하였지만 열교환을 위한 순환모터의 가동은 하지 않았다. FCU는 시간당 8,000 kcal 용량의 것을 4대 설치하였다.

- (1) 시험결과 FCU를 이용한 적극적 열교환 축열이용의 경우 외기온이 평균 -8.0°C일 때 작물재배 공간의 평균온도는 4.3°C에서 4.4°C로 유지되는 것으로 나타났고, 외기온이 최소 -18.8°C일 때 작물재배공간의 최소온도는 -1.5°C에서 -0.6°C로 유지되는 것으로 나타났으나, FCU를 이용한 열교환을 하지 않은 경우에는 작물재배공간의 평균온도가 1.9°C에서 2.1°C로 유지되는 것으로 나타났고, 최소온도는 -3.9°C에서 -3.4°C로 나타났.

- (2) 비닐하우스에 입사된 태양에너지를 효율적으로 축열하여 이용하기 위해서는 비닐하우스 중앙에 열교환을 위한 FCU를 설치하여 적극적 방법에 의한 열교환을 하는 것이 작물재배공간의 평균온도를 약 2℃ 이상 높일 수 있는 것으로 나타났다.
- (3) 화석연료 등을 이용하여 비닐하우스 내부에 보조난방을 하지 않는 경우 낮 동안의 잉여열을 열교환하기 위해 설치한 FCU는 하우스 내부의 온도가 영하로 내려가면 동파되기 때문에 작동이 불가능한 것으로 나타났다. 따라서 FCU의 안정적 가동을 위해서는 축열매체로 사용한 물이 FCU를 지속적으로 흘러 FCU가 어는 것을 방지해야 할 것으로 판단되었다.
- (4) 본 시험연구 결과 겨울철 수확재배 온실에서 사용하는 물의 양이 150~200톤임을 감안할 때 본 연구에서와 같은 시스템을 사용하면 외기온 -5℃에서 보온터널 내부 기온 5℃를 유지하는 경우에 지하수 양을 약 80% 이상 줄일 수 있을 것으로 판단되었다.

## 사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ007217) 및 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호: PJ007726)의 지원에 의해 이루어진 것입니다.

## 참 고 문 헌

1. E. Beshada, Q. Zhang and R. Boris. 2006. Winter performance of a solar energy greenhouse in southern Manitoba. *Canadian Biosystems Engineering* 48: 5.1-5.8.
2. H. J. Kim, N. K. Yun, S. Y. Lee, S. H. Yum and Y. I. Nam. 2004. Development of Closed Water Curtain System in Greenhouse. *Proceeding of the KSAM Summer Conference* 9(2): 394-397.
3. N. K. Yun, H. J. Kim, S. Y. Lee, S. H. Yum and Y. I. Nam. 2003. Analysis of Thermal Environment in Greenhouse with Closed Water Curtain System. *Conference of the Korean Society for Bio-Environment Control* 12(1): 44-47.
4. R.D.A. 2007. Water Curtain Technique of Plastic Greenhouse.
5. R.D.A. 2008. Energy Reducing Guide Book of Agricultural Greenhouse.
6. R.D.A. 2009. Diagnosis Casebook of Heat Loss at Agricultural Facilities.
7. R.D.A. 2010. New Agricultural Energy Reducing Technique.
8. W. M. Suh, Y. H. Bae, Y. S. Ryou, S. H. Lee and Y. C. Yoon. 2009. Estimation of Surplus Solar Energy in Greenhouse (I) -Case Study Based on 1-2W Type. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 51(5): 79-86.
9. Y. S. Ryou, K. C. Kang, Y. J. Kim, Y. Paek, Y. G. Kang and H. M. Lee. 2006. Heat Transfer Characteristics of Coil Tube Heat Exchanger for Hot Water Heating of Greenhouse Thermal Tunnel. *Journal of Biosystems Engineering* 31(5): 430-435.