자갈축열층의 공기유동 및 축열성능

The Fluid Flow and Heat Storage Performance in Thermal Storage Bed using Gravel

이종원^{*,†}

Lee, Jong Won

ABSTRACT

Fossil energy is needed for a whole year greenhouse cropping due to climate in South Korea. Because the most of the fossil energy resources is imported, it is necessary to develop technology to be able to reduce the energy cost in order to manage greenhouse profitably. The greenhouse commonly consume less amount of energy as compared to other industrial sectors. Replacement of fossil fuel with solar thermal storage, therefore, can be an economical as well as environmentally sustainable option for greenhouse heating. The fluid flow, heat storage and radiation characteristic of the gravel bed model were analyzed to provide basic data for design of the experimental solar heated greenhouse with underground thermal storage using gravel. The air flow velocity in the gravel storage bed was proven to be affected from the capacity of circulation fan and the circulation method and the positive pressure method was proven to be the best among the different air circulation methods. The initial air temperature of the thermal storage bed of 1.2 m wide×9 m long×0.9 m deep was 10 °C. After the thermal storage bed is heated by air of the mean temperature 41 °C during 9 hours, the temperature has increased about 20.3 °C and the storage of heat was about 33,000 kcal. The important factors should be taken into consideration for design of the solar heated greenhouse with underground thermal storage using gravel are insulation of rock storage, amount of storing heat, inflow rate and direction of inlet and outlet duct.

Keywords: greenhouse; gravel; fluid flow; heat storage; heating energy; sensible heat storage; thermal storage;

I. 서 론

국내 원예시설 면적은 2008년 53,360 ha, 2010년 51,829 ha, 2012년 50,598 ha로 감소하고 있으나 가온면적이 차지하는 비중은 2008년 25.0 %, 2010년 30.1 %, 2012년 41.9 %로 증가하고 있는 추세이다. 그리고 가온방법별로는 2012년말 기준으로 고체연료가 29.3 %, 유류가 66.4 %, 전기류 3.5 %, 가스 0.2 %, 신재생에너지 0.6 % 등이다(MIFAFF, 2008a, 2008b, 2010a, 2008b; MAFRA, 2012a, 2012b). 이러한 난방에너지 원중 66.4 %를 차지하고 있는 유류는 수입에 의존하고 있는 국내실정과 시설원예농가의 경영비 중 난방비가 차지하는 비중을 감안할 때 난방연료비의 상승에 따른 고유가 시대에 대응하여 시설원예의 안정적인 유지 발전과 장기적으로 환경보존이라

는 측면에서 난방에너지를 줄이고 대체에너지의 개발 등을 통한 난방비 부담의 감소와 안정된 생산기술을 확립할 필요가 있다(Choi et al., 20013). 온실은 타 산업현장에 비해 높은 수준의 에너지를 필요로 하지 않으므로 화석에너지를 대체할 수 있는 에너지원중에서 환경문제, 경제성 등을 감안할 때 태양에너지의 축열에 의한 방법이 바람직하다(Akridge, 1977; Ahmet KürkLü, Sefai Bilgin and Burhan Özkan, 2003; Ahmet Sethi and Sharma, 2008). 그리고 Suh 등(2009a, 2009b, 2009c, 2011)은 태양에너지와 같이 발생하는 에너지량이 불안정한 열 에너지를 유효하게 이용하기 위해서는 열저장 혹은 축열시스템을 이용하는 방법이 효율적이며, 에너지의 저장에 이용되는 축열재는 잠열 및 현열축열재가 있다(Taylor et al., 1991).

현열이용형 축열시스템은 태양열을 이용하여 축열재의 온도를 상승시킨 후 필요시 방열시켜 사용하는 방법으로 축열밀도가 낮지만 잠열축열법에 비하여 축열재의 가격이 저렴하고 대량 구입이 용이하다. 잠열축열법은 태양열에 의한 축열재의 상변화 과정에서 발생하는 잠열을 저장하여 사용하는 방법으로 현열축열에 비해서 축열밀도가 크지만 운전온도의 제한성, 부식성, 저장용기, 잠열재 누출에 의한 환경오염문제 등의 단점이

* 경북대학교 농업과학기술연구소, 연구초빙교수

† Corresponding author Tel.: +81-53-950-6432

Fax: +81-53-950-6752

E-mail: leewon@knu.ac.kr

2014년 5월 07일 투고

2014년 5월 26일 심사완료

2014년 5월 26일 게재확정

있다(Lee et al., 1992). 온실 난방이나 농산물 건조에 사용하기 위한 태양 에너지를 저장하는 방법으로 현열축열법이 많이 이용되고 있으며 고형축열재로는 가격, 열용량, 시공성 등이 유리한 자갈이 가장 많이 이용되고 있다(Foster and Peart, 1976; Akridge, 1977; Wilson et al., 1977; Walton et al., 1979; Willits et al., 1979; Henning Bredenbeck, 1984; Suh, 1986; Baek et al., 1990, 1991; Park et al., 1992; Lee et al., 1999; Ahmet KürkLü, Sefai Bilgin and Burhan Özkan, 2003; Ahmet Sethi and Sharma, 2008). 그러나 건물의 냉·난방에 이용할 수 있는 태양에너지 현열이용형 자갈축열조에 관한 기초연구가 일부 수행된 바 있으나 실용성이 있는 연구는 상당히 부족한 실정이다. 특히, 온실의 에너지 절감과 관련된 연구들은 온실외부에 태양열 집열기를 설치하여 태양에너지를 토양이나 축열수조 등에 저장하는 방법에 관한 연구로서 온실에 투여되는 난방에너지 절감만을 목적으로 하고 있다. 온실을 집열부로 한 자갈축열시스템으로 온실재배에 소요되는 난방 및 난방에너지를 절감할 목적으로 한 자갈축열시스템에 관한 연구는 거의 없는 실정이다. 따라서, 자갈축열 태양열 온실을 개발하고자 자갈 축열조를 이용한 축열층의 공기유동성 및 축열성능을 분석하여 자갈축열 태양열 온실의 설계에 필요한 자료를 얻고자 본 연구를 수행하였다.

II. 재료 및 방법

1. 자갈 축열층

자갈 축열층의 공기유동, 축열특성을 구명하기 위하여 Photo 1 및 Fig. 1과 같이 폭 1.2 m×길이 9.0 m×높이 0.9 m인 축열층을 제작하여 실험을 수행하였다. 축열층의 단열을 위해 축열층 내부에 두께 0.06 m의 폴리스티렌 폼을 부착하였으며, 자갈의 입경은 0.05~0.15 m 범위이며 자갈축열층은 공극율은 0.43이다. 자갈축열층의 공기유동실험에 사용된 팬의 용량은 $1.25 \text{ m}^3/\text{s}$ 이며, Fig. 1에서 보는 바와 같이 팬이 위치하는 곳의 덮개를 이중으로 하여 순환팬의 부착위치를 자유롭게 할 수 있도록 하였다. 팬을 축열층의 중앙에 부착하였을 경우에는 좌우측에 설치된 출구로 공기가 유출되도록 하였으며, 팬을 축열층 좌측 또는 우측에 설치하였을 경우에는 우측 또는 좌측의 출구로 공기가 유출되도록 시스템을 구성하였다. 그리고 팬이 위치하게 되는 좌우측 또는 중앙에 자갈을 채우지 않았을 때 축열재인 자갈이 이탈하지 않도록 직경 0.01 m의 철근으로 망을 설치하였다.

2. 자갈축열층의 공기유동 실험

축열층내의 열이동은 초기상태에서는 공기와 축열재 사이에

Photo 1 Model of gravel thermal storage

Fig. 1 View of construction of gravel thermal storage model

열적으로 평형상태로 있다가 일사에 의해 더운 온실내의 공기가 유입되면서부터 축열층내 순환유체의 온도상승에 따라 열 전달이 일어난다. 따라서 축열층내의 공기순환은 매우 중요한 문제이며 축열효율과도 관계가 된다. 이러한 축열층내의 공기유동을 파악하기 위하여 자갈축열층의 공기순환방식을 Fig. 2와 같이 구성하였다.

Fig. 2(a)에서와 같이 축열조 가운데에 공기순환팬을 설치하여 축열조 좌우로 공기유동이 이루어지도록 공기순환시스템을 구성하여 공기순환팬 하부에 자갈이 없을 경우, 자갈을 1/2 채웠을 경우 및 완전히 채웠을 경우에 대하여 자갈층의 유속을 측정하였다. 그리고, Fig. 2(b)~Fig. 2(d)와 같이 축열조 유입구와 유출구에 공기순환팬을 각각 설치하여 공기순환방식(정압식, 부압식 및 복합식)에 따른 자갈층의 유속을 측정하였다.

자갈층의 공기유동성을 파악하기 위하여 최대정압이 176.58 Pa고 최대풍량이 $1.25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 인 팬을 모형축열조의 중앙, 좌측 또는 우측 및 좌우측에 각각 설치하였으며 유출구쪽의 공기유동속도는 Fig. 3에서와 같이 축열조 바닥에서 0.25 m, 0.55 m, 0.8 m 높이에 다점풍속센서(ANEMOMASTER Model 6243, Kanomax, Japan)를 설치하여 측정하였다. 그리고 축열층내 공

Fig. 2 Fan location and air flow route in plan of thermal storage bed

Fig. 3 Location of sensors for measuring air flow velocity in thermal storage bed(side view).

기순환용 파이프 매설여부를 검증하기 위해 Fig. 3과 같이 축열층내에 풍속센서 6점을 설치하였다. 그리고, 유입구에 순환팬을 설치하여 정압식으로 자갈축열층내로 공기순환시켰을 경우에는 축열층 가운데와 유출구에 높이별로 3점의 센서를 각각 설치하였으며 유출구에 순환팬을 설치하여 부압식으로 공기를 유동시켰을 경우에는 유입구에 높이별로 센서를 3점, 축열층 가운데와 유출구에 센서 1점을 각각 설치하여 300 s 평균값으로 공기유동성을 측정하였다.

3. 자갈축열층의 축열 및 방열 실험

자갈축열층은 축열층 내부를 통과하는 유체와 자갈 표면에서 일어나는 대류열전달에 의해 축열과 방열을 하게 된다(Coutier and Farber, 1982). 이러한 자갈축열층의 축열 및 방열 특성을 분석하기 위해 공기순환팬을 축열조 중앙에 설치하여 모형 자갈

** : Temperature and humidity sensor, ° : Temperature sensor

Fig. 4 Location of sensors for measuring temperature

축열조의 좌·우측 유출구쪽으로 공기를 순환시켰을 경우와 모형 자갈축열조의 우측에 팬을 설치하여 반대편의 유출구 방향으로 공기를 순환시켰을 경우에 대하여 축열조 내부온도 변화를 분석하였다. 주야간으로 순환팬을 작동하여 외기를 축열조내로 유입시켜 공기순환경로에 따른 축열조 내부온도를 계속하였으며, 모형 자갈축열조의 축열성능을 분석하기 위해 가온장치를 이용하여 평균온도가 약 41 °C 인 공기를 축열조에 유입시켜 축열시간에 따른 모형 자갈축열조 내부의 온도 및 공기유동속도를 측정하였다. 축열조 내부의 온도를 측정하기 위하여 Fig. 4와 같이 축열층 내부에 온도센서(HMP35AC, CAMPBELL SCIENTIFIC, USA) 29점을 설치하여 데이터로거(21X, CAMPBELL SCIENTIFIC, USA)를 이용하여 15분 간격으로 저장하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 모형 자갈축열조의 공기유동성

가. 공기순환팬을 축열조 중앙에 설치한 경우

모형 자갈축열조의 중앙에 팬을 설치하여 좌측과 우측의 유출구 방향의 유속을 팬 하부에 자갈이 없을 경우(case1), 1/2 채웠을 경우(case2), 완전히 채웠을 경우(case3)에 대하여 축열층 내부의 풍속을 300 s 평균값으로 90 min 동안 측정하였으며, 측정결과는 Table 1과 같다.

공기순환팬을 자갈축열조 중앙에 설치하여 공기를 순환시킬 경우, 축열층 좌·우측에 설치되어 있는 유출구의 공기유동속도는 대칭적으로 나타날 것으로 예상하였으나 좌우측 유출구로 순환되는 공기의 유동속도는 Table 1에서와 같이 비대칭적으로 나타났으며 축열층 높이별로도 공기유동속도의 차이가 있었다. 이러한 결과는 모형축열층내 자갈의 입경에 따라 채움정도가 균일하지 못하기 때문인 것으로, 모형축열층내 자갈의 채움

Table 1 Average air flow velocity for each height when the fan was installed at the middle of rock storage model.

Height from bottom (cm)		CASE 1			CASE 2			CASE 3		
		80	55	25	80	55	25	80	55	25
velocity of flow (m/s)	Left inlet	0.39 ±0.021	0.12 ±0.004	0.25 ±0.004	0.23 ±0.006	1.62 ±0.030	0.63 ±0.007	0.19 ±0.003	1.20 ±0.011	0.51 ±0.004
	average	0.25±0.017			0.82±0.082			0.63±0.059		
	Right inlet	0.76 ±0.014	0.90 ±0.005	0.16 ±0.004	0.90 ±0.017	0.12 ±0.003	0.24 ±0.004	0.64 ±0.007	0.08 ±0.002	0.19 ±0.003
	average	0.60±0.046			0.42±0.049			0.30±0.034		

* CASE 1 : The space under circulation fan was vacant.

CASE 2 : The half of space under circulation fan was filled with gravel.

CASE 3 : The all space under circulation fan was filled with gravel.

상태를 조정하여 좌·우측 유출구 방향의 유속차를 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다. 공기순환팬 하부에 자갈을 채우지 않은 경우(case1)에는 축열층 좌측 유출구의 공기유동속도는 축열층 바닥높이 0.8 m에서 가장 높게 나타났으며, 팬 하부에 자갈을 채운 경우(case2와 case3)에는 바닥높이 0.55 m에서 유동속도가 가장 높게 나타났다. 이러한 원인은 팬 하부에 자갈을 채우지 않은 경우에는 축열조 커버와 자갈층 상층사이의 틈으로 인하여 다른 위치에 비해 팬의 압력손실이 적었기 때문인 것으로 판단되며, 팬 하부에 자갈을 채운 경우에는 자갈로 인하여 팬 정압력의 손실로 인하여 바닥높이 0.55 m에서 유동속도가 가장 높게 나타난 것으로 판단된다. 그러나, 축열층 우측 유출구의 경우에는 팬 하부에 자갈을 채우지 않은 경우(case1)가 팬 하부에 자갈을 채운 경우(case2와 case3)에 비해 공기유동속도가 가장 높게 나타났으며, 바닥높이별 공기유동속도는 case 1에서는 바닥높이 0.55 m, case2와 case 3에서는 바닥높이 0.8 cm에서 가장 높게 나타났다. 이러한 결과로 미루어 볼 때 자갈축열층 내의 공기유동은 팬 최대정압력, 자갈축열층 공극율의 균일성과 축열조 커버와 자갈층의 상부의 틈새 등에 많은 영향을 받음을 알 수 있다.

나. 공기순환팬을 축열층 좌우측에 설치한 경우

축열층 좌·우측에 공기순환팬을 각각 설치하여 공기순환방식(정압식, 부압식 및 복합식)에 따른 자갈층의 공기유동성을 분석하기 위해 축열조 중앙부와 유출구에 풍속센서를 설치하여 유속을 측정하였으며, 측정된 결과는 Table 2와 Fig. 5와 같다. Table 2에서 보는 바와 같이, 정압식으로 공기를 순환시켰을 경우에는 축열층내 공기유동은 0.14~1.50 m/s(평균 0.60 m/s)범위, 부압식으로 공기를 순환시켰을 경우 축열층내 공기유동은 0.15~0.90 m/s(평균 0.46 m/s)범위에서 변화하였으며 유입 및 유출구에 모두 공기순환팬을 설치하였을 때는 축열층내 공기유동은 0.23~2.28 m/s(평균 0.93 m/s) 범위에서 변화

Table 2 Flow velocity variation in the rock storage model according to air circulation method.

Circulation method	Positive	Negative	Composition
Air flow velocity (m/s)	0.14~1.50 (0.60)	0.15~0.90 (0.46)	0.23~2.28 (0.87)

Fig. 5 Variation of air flow velocity according to measuring location.

하였다. Fig. 5에서 보는 바와 같이 복합식과 부압식으로 공기를 순환시켰을 경우는 유출구에서의 공기유동속도는 거의 유사하게 나타났으나 정압식은 유출구에서의 공기유동속도가 가장 낮게 나타났다. 이러한 결과를 미루어 볼 때 자갈축열 태양열 온실의 공기유동방식은 복합식이 가장 유리할 것으로 판단된다.

2. 자갈 축열층의 축열 및 방열 특성

가. 공기유동 속도에 따른 자갈축열층 온도 변화

팬을 축열층 가운데 설치하여 좌측과 우측으로 공기를 순환시켰을 때(case 1) 축열층 좌측과 우측의 내부 공기유동속도는 Table 1에서 알 수 있듯이 각각 0.25±0.017 m/s, 0.60±0.046 m/s로 나타났다. 축열층 내부의 공기유동속도가 축열성능에 미

치는 영향을 파악하고자 축열층 내부 공기유동속도가 상이한 조건에서 외기를 유입시켜 축열층 내부온도 변화를 분석한 결과는 Fig. 6과 같다. 팬을 작동하지 않았을 때(10:30~15:00) 축열층 내부온도는 거의 일정한 온도를 유지하다가 팬을 작동시키면(15:00~18:00) 축열층 내부온도는 다시 상승함을 알 수 있으며, 공기유동속도가 빠른 우측 축열층 내부온도가 빨리 상승하는 경향으로 나타났다. 이러한 결과로 볼 때 공기유동속도가 증가하게 되면 축열시간 동안 축열층 내부온도가 빨리 상승하여 축열능력이 향상됨을 알 수 있다.

자갈축열층의 축열성능을 분석하기 위해 가온장치를 이용하여 평균온도가 41 °C 인 공기를 자갈축열조내로 유입시켰다. 축열과정은 9 시간동안 이루어졌으며 축열이 종료된 직후부터 평균온도가 5 °C 인 외기를 축열조내로 유입시켜 방열과정을 수행하였다. Fig. 7은 축열 및 방열시 자갈 축열층의 온도변화를 나타낸 것으로 유입구에서 가까운 곳에 위치한 자갈층의 온도상승은 급격하게 이루어지는 반면, 유입구에서 멀어질수록 자갈층의 온도상승은 완만하게 이루어졌다.

(a) Left side

(b) Right side

T_{inlet} : Temperature of inlet, T_{outlet} : Temperature of outlet,
 $T_{125(266)}$: Temperature of point 125(266) cm away from inlet

Fig. 6 Variation of temperature for depth of 44 cm when the fan was installed at the middle of thermal storage

9시간동안 축열하는 과정에서 유입구에 약 3 m 떨어진 곳의 자갈축열층의 온도는 유입공기의 평균온도인 41 °C 에 도달하였으나 유입구에서 3 m 이상 떨어진 자갈축열층의 온도는 유입공기의 평균온도에 미치지 못하였다. 그리고, 방열과정에서도 유입구에서 3 m 이내로 떨어진 축열층의 온도는 방열직후 차가운 유입공기의 영향으로 급격히 하강하였으나 유입구에서 3 m 이상 떨어진 자갈층의 온도는 방열과정에서도 상승하다가 방열시간이 지속됨에 따라 서서히 하강하는 경향으로 나타났다. 자갈층의 축열량은 Fig. 8에서 보는 바와 같이, 자갈층의 초기온도가 약 10 °C 일 때 평균온도가 41 °C 인 공기를 9시간동안 유입시키면 자갈층의 평균온도는 30.3 °C 로 약 20.3 °C 증가하였으며 자갈축열층에 축열된 에너지량은 약 33,000 kcal인 것으로 나타났다.

이러한 결과로 볼 때 축열층 길이방향으로 공기를 순환시킬 경우 축열층 길이가 3 m 이상이 되면 축열과 방열효과를 높이지 못할 것으로 판단되며, 이를 개선하기 위해서는 축열층 공기유동 거리를 짧게 하거나 최대정압과 풍량이 높은 팬을 사용하여 할 것으로 사려된다.

(a) heat storage process

(b) heat radiation process

T_{inlet} : Temperature of inlet, T_{outlet} : Temperature of outlet
 T_{72} : Temperature of point 72cm away from inlet

Fig. 7 Variation of temperature in thermal storage during the heat storage and radiation period.

Fig. 8 Stored heat capacity in thermal storage

IV. 결 론

온실을 집열부로 한 자갈축열시스템으로 시설재배에 소요되는 난방 및 냉방에너지를 절감할 목적으로 한 자갈축열시스템을 적용한 자갈축열 태양열 온실의 설계에 필요한 자료를 얻고자 모형 자갈 축열조를 이용하여 공기순환팬 작동방식에 따른 축열층 내부의 공기유동성, 축열 및 방열 특성을 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 자갈축열조내 유속은 순환팬의 용량 및 공기순환방식과 밀접한 관계가 있는 것으로 나타나, 자갈축열층 내부의 공기유동을 빠르게 하기 위해서는 유입구와 유출구에 팬을 모두 설치하는 것이 가장 유리한 것으로 나타났다.
2. 공기순환팬 하부에 자갈 채움 여부가 축열층 내부의 공기유동속도에 미치는 영향은 뚜렷한 경향을 확인할 수 없었으며 자갈층에 의한 팬의 정압손실에 따른 풍량 감소가 발생하는 것으로 나타나 자갈축열 태양열 온실의 축열층 설계시 정압손실에 따른 풍량 감소가 적은 팬을 사용하는 것이 타당할 것으로 판단된다.
3. 축열조 내부의 공기유동속도가 증가하면 축열층 내부를 통과하는 공기의 질량유량 증가로 축열시간에 따른 축열층 내부온도 상승속도가 증가하여 단위시간당 축열량은 증가하는 것으로 나타났다.
4. 폭 1.2 m × 길이 9 m × 깊이 0.9 m인 자갈축열층의 초기온도가 약 10 °C 일 때 평균온도가 41 °C 인 공기로 9시간 동안 축열하면 축열조 평균온도는 약 20.3 °C 증가하였으며 축열량은 약 33,000 kcal 였다.
5. 자갈축열 태양열 온실의 설계시 고려하여야 할 주요사항은 축열층의 단열, 축열량, 축열층 공기유동속도 및 유출덕트의 방향 등인 것으로 분석되었다.

REFERENCES

1. Ahmet KürkLü, Sefai Bilgin, Burhan Özkan, 2003. A study on the solar energy storing rock-bed to heat a polyethylene tunnel type greenhouse, *Renewable Energy* 28: 683-697.
2. Akridge, J.M., 1977. Rock collector and storage system for greenhouse and resident heating, *Proceedings of A conference on solar energy for heating greenhouses and greenhouse-residential combinations*, The Ohio Agricultural Research and Development Center, pp. 122~134.
3. Boulard, T., E. Razafinjohany, A. Baille, A. Jaffrin, and B. Fabre, 1990. Performance of a greenhouse heating system with a phase change material, *Agricultural and Forest Meteorology* 52: 303-318.
4. Coutier, J.P. and E.A. Farber, 1982. Two applications of a numerical approach of heat transfer process within rock beds, *Solar Energy* 29(6): 451-462.
5. Foster, G.H. and R.M. Peart, 1976. Solar grain drying progress and potential, *Agriculture Information Bulletin*, No. 401, USDA.
6. Bredenbeck, H. 1984. Rock bed storage inside of greenhouses, *Acta Horticulturae* 148: 739-744.
7. Kozai, T, 1985. Thermal performance of a solar greenhouse with under-ground heat storage system, *Proc. of the international symposium on thermal application of solar energy*: 503-508.
8. Lee, J. W., 2001. Heating and Cooling Performances of Solar Heated Underground Rock Storage Greenhouse. Ph.D. Diss., Kyungpook Nat'l Univ. (in Korean)
9. Lee, S. G., J. W. Lee, H. W. Lee and G. D. Kim, 1999. Model Experiment of Rock Bed Storage for Solar-Heated Greenhouse Design, *Proceedings of the 1999 Annual Conference The Korean Society of Agricultural Engineers*: 393~398 (in Korean).
10. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (MFAFF), 2008a. 2010a. Production performance of vegetables in South Korea (in Korean).
11. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (MFAFF), 2008b. 2010b. Cultivation of flowers in South Korea (in Korean).
12. Mistry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA), 2012a. Production performance of vegetables in South

- Korea (in Korean).
13. Mistry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA). 2012b. Cultivation of flowers in South Korea (in Korean).
 14. Park, J. W., Park, B. K. and Ahn, S.K. 1992. A study on the thermal characteristics of a thermal storage tank for using gravels. *Solar energy* 12(1): 81-87 (in korean).
 15. Song, H. K., Ryou, Y. S. and Kim, Y. B., 1993. Study on the Thermal Storage Characteristics of Phase Change Materials for Greenhouse Heating. *Solar energy* 13(2): 65-78 (in korean).
 16. Suh, W.M., 1986, Modeling of a Greenhouse Equipped with a Solar Rockbed System and with Carbon Dioxide Enrichment, Ph.D. Diss., The Kansas state university, Manhattan, Kansas, USA.
 17. V. P. Sethi, S. K. Sharma, 2008. Survey and evaluation of heating technologies for worldwide agricultural greenhouse applications, *Solar energy* 82: 832-859.
 18. Walton, L.R., W.H. Henson, Jr., S.G. McNeill, and J.M. Bunn, Henson, 1979. Storing solar energy in an underground rock bed, *Transactions of the ASAE* 22: 1202-1207.
 19. Willits, D.H. and C.H. Miller, 1979. Performance of a collection/storage system for greenhouses, *Proceedings of Fourth annual conference on solar energy for heating of greenhouses and greenhouse-residence combinations*, Department of biological and agricultural engineering cook college-rutgers university: 73-82.
 20. Wilson. G.E., D.R. Price, L.D. Albright, N.R. Scott, R.W. Langhans, and P. Chandra 1977, Experimental results of a greenhouse solar collection and modular gravel storage system, *Proceedings of A conference on solar energy for heating greenhouses and greenhouse-residential combinations*, The Ohio Agricultural Research and Development Center: 256-286.
 21. Y. H. Kim, H. K. Koh and M. K. Kim, 1990. Development of Thermal Storage System in Plastic Greenhouse (I). *Journal of KSAM* 15(1): 14~ 22 (in Korean).