

온실용 축열 연소기형 이산화탄소 발생기의 배기 및 열회수 특성 Emission and heat recovery characteristics of heat recovery and combustor-type CO₂ generator for greenhouses

최병철*† · 이정현**

Byungchul Choi*† and Jung-Hyun Lee**

(접수일 : 2014년 06월 11일, 수정일 : 2014년 07월 22일, 채택확정 : 2014년 07월 22일)

Abstract: The purpose of this study is to evaluate the performance of after-treatment equipment and thermal storage devices for a heat recovery and combustor-type CO₂ generator fuelled a kerosene. To reduce the levels of harmful exhaust gases produced by a CO₂ generator, a catalyzed particulate filter(CPF) has been selected as an after-treatment device, by considering back pressure and exhaust gas temperature. The CO conversions of the catalyzed SiC filter(full plugging) were 92%, and the concentration of PM(particulate matter) was near ambient. A thermal recovery device was used to recover 13% of the heat energy from the exhaust gas through heat exchangers installed on the exhaust line of the CO₂ generator. 69% of the moisture within the exhaust gases was removed by condensing water, in order to minimize excessive humidity within the greenhouse.

Key Words : CO₂ generator, Combustor, Emission, After-treatment device, Heatrecovery

1. 서 론

고수익의 고품질 원예작물의 재배 조건에 있어서 광합성 속도는 광도, 온도, 이산화탄소(CO₂)의 농도에 크게 영향을 받는다. 원예 작물은 대기 중의 CO₂를 흡수하여 광합성으로 작물 생육에 필요한 동화산물(anabolite)을 생산하는데, 광합성 산물의 증가에 따라 작물의 수량과 품질이 향상된다. 따라서 적절한 CO₂의 공급은 원예작물 재배 시 중요한 요인 중 하나이다. 겨울철 시설하우스 내

의 환기는 열손실의 최소화를 위해 제한적으로 수행하고 있다. 일반적으로 CO₂농도가 50-125 ppm 정도로 낮아지면, 작물의 CO₂ 보상점보다 낮아져 광합성 속도가 영에 도달할 수도 있다.¹⁻²⁾ 따라서 시설하우스 내의 CO₂ 농도는 매우 중요하다. 시설 하우스내의 CO₂ 농도는 하루 중 시간대에 따라 변한다. 아침에 해가 뜨고 식물이 광합성을 시작하면 CO₂의 농도는 서서히 낮아지며, 낮에는 최저가 되고, 밤이 되면 CO₂ 농도는 식물호흡과 토양 미생물의 분해활동에 의해 높아진다. 시설하우스 내 적정 이산화탄소 농도는 원예작물 중 토

*† 최병철(교신저자) : 전남대학교 기계공학부
E-mail : bcchoi@jnu.ac.kr, Tel : 062-530-1681
**이정현 : 전남대학교 식물생명공학과

*† Byungchul Choi(corresponding author) : School of Mechanical Engineering, Chonnam National University. E-mail : bcchoi@jnu.ac.kr, Tel : 062-530-1681
**Jung-Hyun Lee : Department of Horticulture & Plant Biotechnology, Chonnam National University.

마토, 멜론, 딸기가 500-800ppm, 오이, 피망, 가지가 800-1500ppm, 과채류가 500-1500ppm이다.²⁻⁴⁾ CO₂ 농도에 따른 작물의 생산량 변화는 비닐하우스내의 CO₂ 농도를 대기 농도인 380ppm을 기준으로 할 경우, CO₂ 농도가 750ppm이 되면 생산량이 30% 증대되고, CO₂ 농도가 250ppm이 되면 생산량이 약 20% 감소한다.³⁻⁵⁾ 원예작물에 CO₂를 공급하는 방법은 크게 연료의 연소식, 액화탄산가스의 기화식, 고체형 공급방식이 있다. 기화식은 액화 CO₂를 저장 용기에 보관한 후 기화시키면서 시설 내로 공급한다. 이 방법은 시설하우스 내의 CO₂의 농도 조절이 용이하지만 액체가 기화하는데 필요한 에너지 소모 때문에 시설 내부의 온도를 하강시키며, 액체 CO₂ 비등점이 -78℃이므로 저장이 어렵고 고가(0.3 \$/kg)이다. 고체형 공급방식은 사용하기에는 편리하지만, CO₂ 발생량이 적으며, 농도 조절이 어렵고 비싸다. 연료의 연소방식은 탄화수소계 연료를 연소시키는 방식으로, 사용할 수 있는 연료로는 LPG(liquefied petroleum gas), 천연가스, 등유 등이 있다. 액화 이산화탄소를 사용하는 것에 비하여 설치비가 저렴하나, 불완전 연소에 의해 유해가스가 발생할 우려가 있다.⁶⁻⁷⁾ 연소식 CO₂공급방법에는 확산식(diffusion-type heating system), 폐열형(waste heating system), 그리고 축열형(regenerative heating system) 시스템이 있다. 확산식 시스템은 발생열을 온실 안으로 직접 방출하는 방식이다. 폐열형 시스템은 과잉열을 온실 밖으로 방출하는 방식이고, 축열형 시스템은 과잉열을 축열장치에 저장하여 필요한 때 사용하는 방식이다. 확산식 시스템의 경우 CO₂와 더불어 유해가스가 같이 공급되어 배출가스에 의한 작물의 피해가 예상된다. 배출가스 중 수분은 시설하우스내의 습도를 높여 작물에 결로현상을 발생시켜 작물의 질병 발생율을 높일 수 있다. 이상의 상황을 고려할 때 에너지효율 향상과 저공해 CO₂를 공급하기 위해서는 축열시스템이 유리하다.⁸⁾ 연소기의 연료로는 농촌지역에서 면세유인 등유가 적절하지만, 등유 연소 시 배출가스, 특히 탄화수소, CO, 그리고 PM (particulate matter)의 배출이 문제가 될 수 있다. 등유를 사용

하는 연소장치의 배출가스 저감을 위해서는 디젤 자동차에 사용하는 산화촉매⁹⁻¹⁰⁾와 입자상물질 제거 장치^{9,11)}와 같은 후처리장치가 필요하다.¹²⁾

이 연구의 목적은 등유를 사용하는 축열형 연소식 CO₂ 공급장치의 최적 운전조건, 배출가스 특성 및 저감 대책을 검토하고 열회수 특성을 파악하는 것이다.

2. 실험 장치 및 방법

Fig. 1은 배기 후처리장치와 축열시스템을 가진 연소기형 CO₂ 발생장치를 나타내고 있다. CO₂ 발생 연소기는 등유를 연료로 사용하는 보일러이다. CO₂ 발생기의 유해 배출가스는 촉매를 사용하여 저감시켰다. 그리고 촉매가 활성화하기 전 초기시동 시 발생하는 가스는 전환밸브를 이용하여 밖으로 배출된다. 축열 시스템은 축열탱크 B와 C로 구성되어 있고, CO₂ 발생 연소기로부터 회수된 열은 축열탱크 B, 배기열은 축열탱크 C에 각각 축열된다.

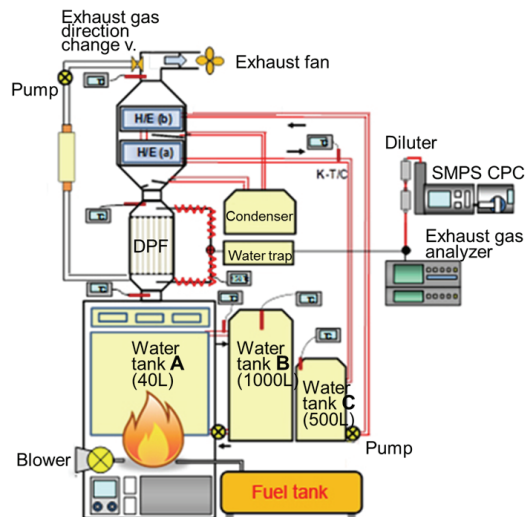


Fig. 1 Combustor-type CO₂ generator with emission after-treatment and regenerative heating devices

열교환기에서 제거된 응축수는 회수시스템에

모았다. 연소기의 연료 등유는 C₁₁H₂₄로 대표 성분으로 가정하였다. 연소기의 가열 열용량(tank A)는 146.54 MJ/h이고, 연료소모율은 3.88 L/h 이다. CO₂ 생성을 위해 사용한 버너 연소기의 사양은 Table 1과 같다.

Table 1 Specifications of combustor-type CO₂ generator

Specifications		Quantity
Heating capacity with tank A(MJ/h)		146.54
Storage tank volume (L)	Tank A	40
	Tank B	1000
	Tank C	500
Weight (kg)		74
Fuel consumption(L/h)		3.88

후처리장치의 압력강하는 별도의 압력강하 리그장치에서 측정하였는데, 촉매 전단에 블로워로 공기유량 10 - 70 m³/h로 공급하고 촉매 전/후단에서 압력차를 laminar flow meter (Meriam Co.)로 측정하였다. 압력강하가 작은 촉매를 선정하여 CO₂ 발생기에 장착하였다. 배기 후처리장치와 열교환기를 장착한 CO₂ 발생기의 배압은 전자식 차압계 (Yakogawa)를 이용하여 측정하였다(Fig. 1 우측 하단). 배기 후처리장치와 열교환기를 장착한 CO₂ 발생기에 후처리장치를 장착하면 배압이 증가하므로 이 배압을 감소시키기 위해서 배기팬을 설치하였다. 모든 실험은 축열탱크 B, C의 입구온도가 20±2℃일 때 시작하였다. CO₂ 발생기의 촉매 전단과 후단에서 CO, HC, CO₂, O₂ 그리고 NO_x의 농도는 배출가스분석기 (MRU)를 사용하여 측정하였다.

PM의 측정은 배출가스 온도가 245±5℃일 때 측정하였다. PM의 입자수와 크기는 condensation particle counter (CPC, TSI, 3025A) 와 scanning mobility particle sizer (SMPS, TSI, L-DMA 3081)로 측정하였다.

Table 2는 SMPS와 에젝트형의 희석장치의 사양을 나타내고 있다. 연소기형 CO₂ 발생기에서 배

출되는 PM의 입자수와 분포는 CPC에서 입자수를 측정 할 수 있는 한계가 10⁸개(particles/cm³)이기 때문에 희석장치를 통해 배출가스를 공기로 132 배 희석한 후 SMPS를 이용하여 10 - 400 nm 범위에서 측정하였다. 희석장치를 150℃로 가열하여 배출가스와 공기를 희석할 때 생성되는 입자를 억제하였고, 희석에 사용한 공기는 Hepa filter를 사용하여 입자를 제거하였다. 그러나 대기 중의 PM 입자수를 측정할 때는 희석과정을 생략하였다.

CO₂ 발생기에 후처리시스템과 축열시스템을 장착했을 때 유동저항이 증가해 공기공급량은 감소한다. 축열탱크 B, C에 30분 동안 축적된 열량은 축열탱크 안의 물의 질량과 온도차를 이용하여 계산하였다. 열교환기로부터 생성된 응축수의 질량은 전자저울 (Shimadzu co.)을 사용하여 10분 간격으로 측정하였으며, 등유(C₁₁H₂₄)에서 생성될 수 있는 이론적인 (stoichiometric) 수증기량과 비교하였다.

Fig. 2는 이 실험에 적용한 SiC 필터의 장착 모습을 나타내고 있다. Fig. 3은 반 플러그 SiC 필터 (a)와 전 플러그 SiC 필터(b)의 모형을 나타내고 있다. 필터의 종류에 따른 배압이나 PM의 배출 특성을 관찰한다.

Table 2 Specifications of SMPS and diluter

SMPS (TSI 3080)	
Description	Specification
Particle size range (L-DMA 3081)	Adjustable: From 10 to 1000 nm
Upper concentration limit (3025A CPC)	108(particles/cm ³)
Scanning time	From 30 to 300 sec
Diluter (Ejector type)	
Diluter	Dilution ratio
1st diluter	1:12
2nd diluter	1:11 (Total Dilution Ratio 1:132)

시설하우스 내의 온도, 일조량, CO₂농도 측정에는 K형 시스형 열전대 및 전기저항 온도계 ((NTC-10kΩ/25℃, Youngin Korea Co.), 일조량 계

측기(Davis instruments, USA), CO₂ 농도측정계 (SH-300-DC, Soha Tech) 각각 사용되었다. 이 모든 데이터는 시설하우스 환경제어시스템(Green CS)에 저장된다.

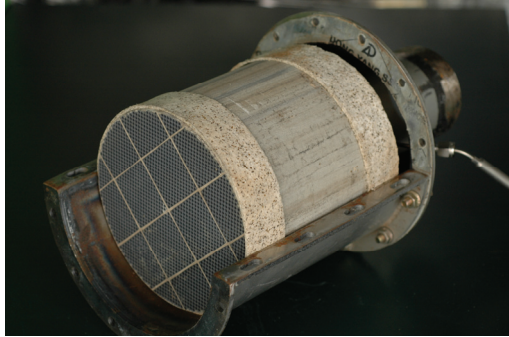
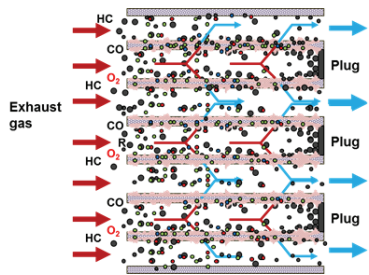
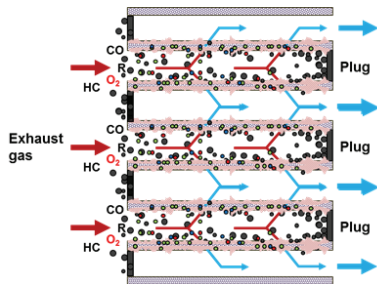


Fig. 2 PM filter of SiC full plugging



(a) half plugged filter



(b) fully plugged filter

Fig. 3 Shape of SiC PM filter

3. 실험결과 및 고찰

3.1 시설하우스내의 CO₂ 농도공급 최적화

Fig. 4는 시설하우스에서 딸기 시설하우스내의

의 온도 및 CO₂ 농도, 일사량 측정 결과이다.¹³⁾

일출 시간 7:00에 초기 시설하우스 내의 CO₂ 농도는 약 800 ppm이며, 이는 일출과 동시에 점점 떨어지다가, 일출 후 약 2시간 반까지 서서히 딸기의 광합성에 의해 줄어들다가 일출 후 2시간 30분 이후부터는 약 1시간동안 급격하게 떨어지며, 그 후는 대기의 농도 380 ppm 수준으로 유지하고 있다. 일몰시간 18:24의 약 한 시간 전 17:30부터 급격하게 다시 올라가는 현상이 보이고 있다. 따라서 CO₂ 농도를 집중적으로 공급해야할 시기는 일출시간 7:00부터 17:30까지이다. Fig. 4에서 일출 시간 7:00 이후의 딸기 재배 온실(1560 m³)의 CO₂ 소모속도는, 처음 2시간 30분 동안에 0.8935 ppm/min ($y(\text{CO}_2)=0.8935x(\text{min})$)이며, 그 다음 한 시간은 5.27 ppm/min ($y=5.2706x+635.92$)의 속도를 나타내고 있다.

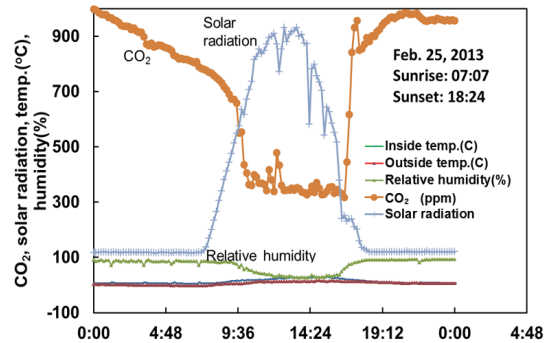
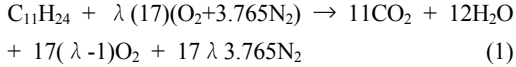


Fig. 4 Temperature profiles, CO₂ concentration, humidity and solar radiation

시설하우스의 크기는 폭 6 m, 길이 100 m, 높이 3 m의 아치형으로 전체 체적은 약 1560 m³이다. 시설하우스 내의 CO₂ 농도는 과채류 경작을 상정하여 1000 ppm 확보를 목표로 정한다. 시설하우스 내의 초기 CO₂ 농도는 380 ppm, 1 atm, 실내온도는 0℃로 가정한다. 공기밀도는 1.286 kg/m³일 경우 시설하우스 내의 공기의 무게는 2,006 kg이다. 등유의 밀도는 0.82 kg/L이다. 등유 (C₁₁H₂₄) 1L가 완전연소될 때 생성되는 CO₂는 다음 식(1)에서 계산한다.



등유 1 mol(156 g)가 완전연소될 때 생성되는 CO₂는 2464 L이다. 등유 1L 연소시 배출하는 CO₂량은 1.2968 m³/L이며, 이는 등유 1 g 연소시 배출하는 CO₂량은 0.00158 m³/g이다. CO₂ 발생기의 연소효율은 87 %이다. 따라서 시설하우스 내부의 CO₂ 농도를 초기상태 380 ppm에서 1000 ppm으로 올리는데 필요한 CO₂량은 약 1.111 m³이며, 이 CO₂량을 생성하는데 필요한 등유량은 0.86 L이다.

CO₂ 발생기의 연료소모율 3.88 L/h임을 고려하면, 이 시설하우스에서 CO₂ 발생기의 CO₂ 배출능력은 53.68 ppm/min이다. 따라서 CO₂ 농도를 초기상태 380 ppm에서 1000 ppm으로 올리는데 소요시간은 13.3분이 필요하다. 연소기는 초기 시동시 많은 유해 배출가스(HC, CO)가 배출되기 때문에 on-off를 자주하면 배출가스 배출과 열효율 측면에서 불리하다.

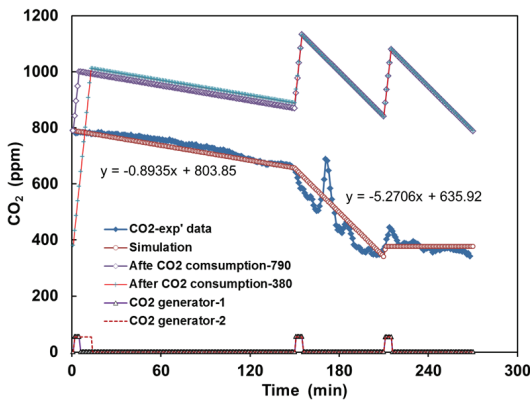


Fig. 5 Simulation results of CO₂ supply according to CO₂ consumption

이상의 CO₂ 방생장치의 CO₂ 배출량 계산 결과와 시설하우스 내에서 딸기의 CO₂ 소모율을 토대로 실제로 시설하우스 내의 CO₂ 농도를 1000 ppm 유지하기 위한 최적의 방법을 시뮬레이션한 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 초기 시설하우스 내의 CO₂ 농도를 800 ppm으로 유지하기 위해서는 초

기 CO₂ 발생기의 가동 시간을 5분으로 설정하면 내부 CO₂ 농도는 약 1000 ppm에 도달한다. 그리고 일출 직후 2시간 30분 동안은 CO₂ 소모율이 0.8935 ppm/min이기 때문에 더 이상 가동하지 않고 있다가, 2시간 30분 후에 5분을 가동해주면 CO₂ 농도가 약 1100 ppm으로 상승한다. 그 후 오후 5:30까지는 매 한 시간마다 5분씩 CO₂ 발생기를 가동을 해주면 CO₂ 농도를 약 1000 ppm으로 유지해 줄 수 있다.

초기 시설하우스 내의 CO₂ 농도가 380 ppm일 경우는, 위 계산에서 나온 것처럼 약 13분 동안 가동을 해주면 CO₂ 농도가 약 1000 ppm에 도달한다. 그리고 일출(7:00) 후 2 시간 30분 동안 정지했다가, 매시간마다 5분씩 CO₂ 발생기를 가동을 해주면 CO₂ 농도를 약 1000 ppm으로 유지해 줄 수 있다.

3.2 배출가스 배출 특성 및 저감 대책

Fig. 6은 이 실험을 위해 설계한 입자상물질 제거 필터(SiC)와 OC(oxidaton catalyst) + MPF(metal particulate filter)의 배압을 비교한 결과이다. 반 플러그 SiC와 OC+MPF는 거의 같은 수준의 배압을 나타내고 있다. 그러나 전 플러그 SiC의 경우는 이 두 필터보다 높은 0.36 kPa을 나타내고 있다. 전 플러그의 필터는 배압이 높기 때문에 배기팬의 용량을 증가시켜야 한다.

Fig. 7은 CO₂ 발생기의 착화 후 초기 약 150초 동안 SiC filter 2종과 OC+MPF 후단에서의 CO 농도를 나타내고 있다. 이 때 HC의 농도는 거의 0에 가까웠다. CO의 경우 초기 20초에 피크가 나타나고 있다. 이 초기 배출 농도는 연소기 출구의 농도와 후처리장치의 후반의 농도가 모두 높게 나타나고 있다. 이것은 촉매가 활성화 온도에 도달하지 못했기 때문이다. 그러나 착화 후 50초 정도 지난 후부터는 각 배기후처리장치에 의해 CO의 농도가 낮게 배출되고 있음을 알 수 있다. CO₂ 발생기의 입구농도에 비교하여 CO 정화율이 가장 높은 것은 반 플러그 SiC, 전 플러그 SiC, OC+MPF 순이다. 착화 후 2분 이후에 전 플러그 SiC의 CO 정화율은 92%, 반 플러그 SiC는 100%, OC+MPF는 75%의 정화율을 보이고 있다.

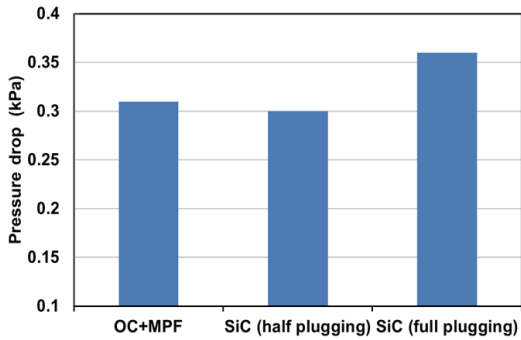


Fig. 6 Pressure drop of particulate filters

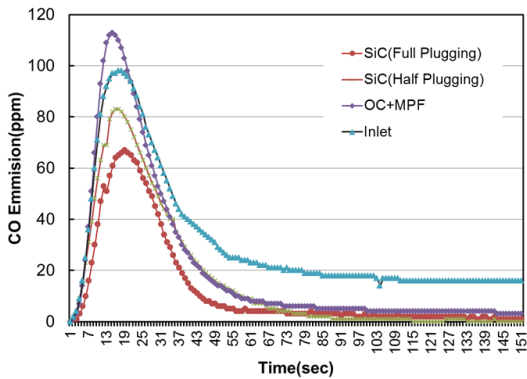


Fig. 7 CO emission of CO₂ generator

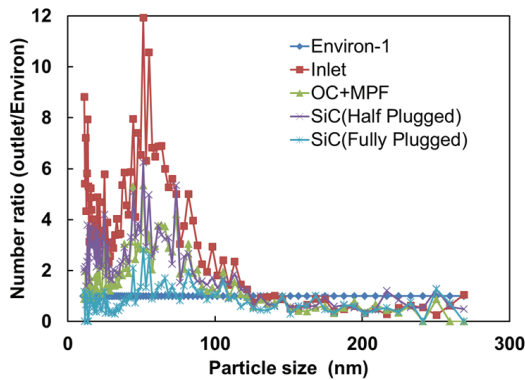


Fig. 8 Particulate emission characteristics of several after-treatment equipments.

Fig. 8은 CO₂ 발생기의 정상상태에서의 SiC filter 2종과 OC+MPF 후단에서의 PM의 수분포의 상대 농도를 나타내고 있다. CO₂ 발생기의 PM수

분포는 참고로 대기 중의 농도를 기준으로 비교하였다. CO₂ 발생기에서 배출되는 농도는 대기 중의 입자상물질의 수보다 4-12배 정도 많은 입자를 배출함을 알 수 있다. 입자수는 OC+MPF와 반 플러그 SiC가 거의 동등한 수 분포를 나타내고 있다. 전 플러그 SiC의 입자수 배출 특성은 입자 직경 120 nm 이하에서는 거의 대기 수준이다.

CO₂ 발생기에서 입자를 완전히 제거와 동시에 HC, CO를 제거하기 위해서는 전 플러그 SiC를 장착하고 배기압 증가를 만회하기 위해서는 배기팬을 설치하는 것이 바람직하다.

3.3 CO₂ 발생기의 열회수 특성

Fig. 9는 CO₂ 발생기의 연소열 및 배기열을 회수한 축열탱크 B와 C의 입구와 탱크 중앙의 물의 온도변화를 나타내고 있다. CO₂ 발생기 내부에 있는 축열탱크 A의 온도가 연소열에 의해 60°C에 도달하면 순환펌프가 작동하기 때문에 축열탱크 B의 입구 온도는 주기적으로 상승과 하강을 반복하며, 축열탱크 B의 중앙온도는 점진적으로 상승한다. 반면에, 축열탱크 C의 입구온도는 CO₂ 발생기의 배기파이프에 설치된 열교환기로부터 배기열을 회수하므로 시간이 경과함에 따라 축열탱크 C의 입구 및 중앙의 온도는 서서히 상승한다.

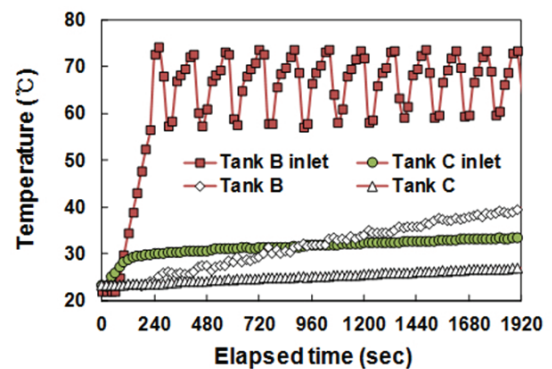


Fig. 9 Experimental results of temperature profiles

연소열과 배기열을 고려한 축열탱크 B, C의 축열량은 다음 (2)식으로 계산하였다.

$$Q = m C \Delta T \quad (2)$$

여기서 m은 질량 (kg), C는 물의 비열(평균 온도값으로 고정) (kJ/kg · K), Δ는 온도차 (K)를 나타낸다. CO₂ 발생기를 30분 동안 운전하였을 때 축열탱크 B, C에 축적된 축열량이다. 연소열에 의해 축열탱크 B에 축적된 총축열량은 108 MJ이다. 그리고 배기열 회수에 의해 축열탱크 C에 축적된 축열량은 약 14 MJ이었다. 따라서 배기열로부터 회수된 총 축열 열량은 연소열에 의해 발생된 열량의 약 13% 수준이다.

그리고 CO₂ 발생기를 1시간 동안 운전했을 때, 열교환기 a, b에서 회수되는 응축수의 양을 측정 한 결과, 회수된 수분의 총질량은 2.2 kg/h이었다. 이론 수분 생성량 3.2kg/h에 비교하여 약 69%가 응축수로 회수되었으며, 이 때 배출가스의 온도는 약 30℃이었다. 이 정도로 배출가스 중의 수분이 제거되면 시설하우스 내의 과도한 습도로 인한 작물에 미치는 영향은 최소화할 수 있다.

4. 결 론

등유를 사용하는 시설하우스용 CO₂ 공급장치의 최적 운전조건, 배출가스 특성 및 열회수 특성을 파악하고 후처리장치에 의한 배출가스 저감 대책을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 시설하우스 내의 CO₂ 초기 농도가 380 ppm 일 경우, 처음 약 13분 동안 가동하면 CO₂ 농도가 약 1000 ppm에 도달하고, 그 후 2 시간 반동안 정지했다가, 매시간 마다 5분씩 CO₂ 발생기를 가동을 해주면 CO₂ 농도를 약 1000 ppm으로 유지할 수 있다.

(2) 전 플러그 SiC의 배압은 이 두 필터보다 높은 0.36 kPa을 나타내어, 전 플러그 필터를 사용할 경우 이 배압을 감소시키기 위해 배기팬의 용량을 증가시켜야 한다.

(3) 정상상태에서 전 플러그 SiC 필터, 반 플러그 SiC 필터 및 OC+MPF의 CO 정화율은 각각 92%, 100%, 75%를 나타냈다.

(4) 배기열로부터 회수된 총축열 열량은 연소열

의 약 13 %, CO₂ 발생기를 운전한 후 회수된 수분은 이론 수분 생성량의 약 69 %이며, 이 때 배출가스의 온도는 약 30 ℃로 시설하우스 내의 과도한 습도로 인한 작물에 미치는 영향을 최소화할 수 있었다.

후 기

이 연구는 농림수산식품부 2011년도 생명산업 기술개발사업의 지원으로 수행되었습니다.

Reference

1. S. H. Kim, D. C. Gitz, R. C. Sicher, J. T. Baker, D. J. Timlin and V. R. Reddy, 2007, "Temperature dependence of growth, development, and photosynthesis in maize under elevated CO₂", *Environ. and Experiment. Botany*, Vol. 61, pp. 224-236.
2. O. Ghannoum, N. G. Phillip, J. P. Conroy, R. A. Smith, R. D. Attard, R. Woodfield, B. A. Logan, J. D. Lewis and A. T. Tissue, 2010, "Exposure to preindustrial, current and future atmospheric CO₂ and temperature differential affects growth and photosynthesis in Eucalyptus", *Global Change Biology*, Vol. 16, pp. 303-319.
3. K. H. Kang, K. B. Kweon, Y. H. Choi, H.T. Kim and H. C. Rhee, 2002, "Effect of NaCl stress on the growth, photosynthetic rate and mineral uptake of tomato, red pepper, and egg plant in pot culture", *J. of Bio-Environment Control*, Vol. 11, pp. 133-138.
4. H. C. Rhee, M. W. Cho, S. Y. Lee, G. L. Choi and J. H. Lee, 2007, "Effect of salt concentration in soil on the growth, yield, photosynthetic rate, and mineral uptake of tomato in protected cultivation", *J. of Bio-Environment Control*, Vol. 16, pp. 328-332.
5. S. H. Han, D. H. Kim, G. N. Kim and J. C.

- Lee, 2011, "Changes on growth, photosynthesis and pigment contents of the *Maackia amurensis* and *Viburnum opulus* var. *calvescens* under enhanced temperature and CO₂ concentration", Korean J. of Agricultural and Forest Meteorol., Vol. 13, PP.115-22.
6. J. S. Park, J. W. Shin, T. I. Ahn and J. E. Son, 2010, "Analysis of CO₂ and harmful gases caused by using burn-type CO₂ generators in greenhouses", J. of Bio-Environment Control, Vol. 19, pp. 177-183.
7. J. E. Son and J. S. Park, 2001, "NO₂ absorption and physiological response of lettuce in a semi-closed plant production system", J. of Bio-Environmental Control, Vol. 10, pp. 207-212.
8. H. Shimaji, 2003, "Complex control of the environment and energy conservation technology: Greenhouse Horticulture Handbook 5th ed." Japan Greenhouse Horticulture Association, Agri press, Tokyo, pp. 206-216.
9. G. C. Koltsakis, D. K. Katsaounis, I. A. Markomanolakis, Z. C. Samaras, D. Naumann, S. Saberi and A. Böhm, 2007, "Metal Foam Substrate for DOC and DPF Applications", SAE Technical paper 2007-01-0659.
10. C. Gong, K. Huang, B. Deng and X. Liu, 2011, "Catalyst light-off behavior of a spark-ignition LPG (liquefied petroleum gas) engine during cold start", Energy, Vol. 36, pp. 53-59.
11. H. N. Kim, Y. H. Sung, K. S. Jung, B. C. Choi BC and M. T. Lim, 2008, "Size distributions and number concentrations of particles from the DOC and CDPF", J. of Mechanical Science and Technol. Vol. 22, pp. 1793-1799.
12. T. Compernelle, N. Witters, S. V. Passel and T. Thewys, 2011, "Analyzing a self-managed CHP system for greenhouse cultivation as a profitable way to reduce CO₂ emissions", Energy, Vol. 36, pp. 1940 - 1947.
13. B. C. Choi and J. H. Lee, submitted paper