

## 축산시설 내 온실가스(CO<sub>2</sub>) 포집 및 시설하우스 공급을 통한 온실가스 저감기술 개발

나규동\* · 조만수\*\*†

\*기바인터네셔널(주), \*\*대구가톨릭대학교 산업보건학과

### Development of GHG Reduction Technology by Collecting Greenhouse Gas (CO<sub>2</sub>) in Livestock Facilities and Supply of Facility House

Gyu Dong Nah\* and Man Su Cho\*\*

\*Giva International Co. Ltd.

\*\*Department of Occupational Health, Catholic University of Daegu

#### ABSTRACT

**Objectives:** Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) may be one of the biggest causes of climate change. The purposes of this study were to reduce greenhouse gases and to increase strawberry production by developing the supply devices in livestock facilities using the membrane technology

**Methods:** Carbon dioxide was collected from beside to livestock facilities. The injection of CO<sub>2</sub> was stopped when it reached 1,000 ppm in the facility house. Case group with injection of CO<sub>2</sub> was compared to control group with normal environment. The experiments were conducted for 8 days from December 11, 2017.

**Results:** Total strawberry production was found to be 1,317 kg in the case group and 1,176 kg in the control group. The correlation between CO<sub>2</sub> and crop yields has led to some statistical evidence that carbon dioxide helps to grow ( $\beta=0.832$ ,  $p<0.05$ ).

**Conclusions:** This study identified the potential for efforts to reduce the CO<sub>2</sub> in farming households. Increased concentrations of CO<sub>2</sub> have shown that strawberries have a better growth condition. In addition, it can be explained that the plants need wide leaves to quickly absorb much CO<sub>2</sub>.

**Keywords:** Membrane, carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), carbon cycle, facility house, strawberry

## I. 서 론

이산화탄소는 기후변화를 일으키는 가장 큰 원인 물질 중 하나이다.<sup>1-4)</sup> 기후변화로 인한 지구는 산업혁명 이후 지속적으로 환경파괴가 되고 있다.<sup>3,5)</sup> 산업혁명 이후 이산화탄소는 35% 이상 증가하였다.<sup>6)</sup> 이산화탄소 증가량은 다른 온실가스보다 빠르게 증가하고 있으며 이는 인류멸망까지 초래할 수 있다는

경고를 주고 있다. 세계 각국에서는 온실가스에 대한 규제 및 국가별 탄소배출권 거래까지 이뤄지고 있다.<sup>3,5,7)</sup> 현재 이산화탄소 배출량을 줄일 수 있는 방법을 전 세계적으로 연구하고 있으나 획기적인 성과 방법을 찾는 것은 어렵다고 볼 수 있다.<sup>7)</sup> 산업의 근간이 될 수 있는 1차 산업의 농업분야에서는 「농가마을 탄소 순환」이란 정책으로 탄소 배출 후 탄소를 자체 감축하는 캠페인이 추진되고 있다.<sup>8,9)</sup> 농

†Corresponding author: D5-217, 13-13 Hayang-ro, Hayang-eup, Gyeongsan-si, Gyeongsangbuk-do, Rep. of Korea., Department of Occupational Health, Catholic University of Daegu, Korea, Tel: +82-53-850-3739, Fax: +82-53-850-3736, E-mail: s100002@naver.com

Received: 07 December 2018, Revised: 13 December 2018, Accepted: 20 December 2018

업분야에서 탄소배출이 가장 많은 분야가 축산분야라고 할 수 있다.<sup>10)</sup> 전 세계의 온실가스 배출에 축산분야는 9%를 차지하고 있다.<sup>11)</sup> 그러나 자동차 및 중화학공업보다는 배출량이 많지 않으며, 축산이라는 분야가 인간의 수요에 의해서 생산되기 때문에 인간의 식량문제와 연결되어 탄소를 감축하기에는 여간 어렵지 않다.<sup>12)</sup> 환경분야에서도 Life Cycle Assessment (LCA)라는 분야를 볼 때 「요람에서 무덤까지라」는 테마로 탄소배출권의 소비와 생산이 동시에 될 수 있는 시스템을 설계해야 하고 종합적으로 탄소배출 저감은 환경부하저감이라는 내용을 담고 있다.<sup>13-15)</sup> 농업에서는 채소와 과일 등을 생육시킬 때 반드시 이산화탄소가 필요하다.<sup>16)</sup> 이산화탄소가 고농도 일수록 식물의 생육성장 속도가 빠른 것으로 조사되고 있다.<sup>17,18)</sup> 농업 및 농가 자체적인 탄소순환을 수립하기 위해서는 축산에서 배출된 탄소를 식물에 공급함으로써 농가의 이익 뿐만 아니라 지구 전체의 온실가스 부분의 환경부하저감을 완성할 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구는 분리막 기술을 이용하여 축산시설 내 이산화탄소를 포집 저장 후 시설 하우스에 공급하여 딸기의 생육 성장을 통해 이산화탄소 총량 감소를 확인해 보고자 한다.

## II. 연구 재료 및 방법

### 1. 연구대상

경상북도 군위군 군위읍 내랑리 소재의 약 1,500평(5,000 m<sup>2</sup>) 규모 면적의 딸기 농장과 옆의 돈사를 대상으로 실험하였다. 딸기 시설하우스는 총 10동으로 되어 있으며, 높이 5m의 넓이 66 m<sup>2</sup> 형태로 되어 있는 비닐하우스 형태이며, 온도와 습도 유지를 위해 외부와 내부 공기가 통하지 않을 수 있기 문틈사이를 비닐로 끼워 넣는 등으로 완전 밀폐까지는 아니지만 밀폐 형태를 유지하려고 노력하였다.

딸기의 품종은 설향(*Fragaria x ananassa Duch*)을 이용하였으며, 일본, 한국 등에서 매우 많이 사용하는 품종으로 잘 알려져 있다.

딸기의 정식기간은 10월 4~6일까지 이루어졌으며, 3월 28일까지 재배된 총 수확량을 전자식 중량 선별기(지테크 ST III-30, 한국) 제품을 사용하여 실험군과 대조군 시설하우스 내 딸기의 출하 누적 총량을 측정하였다.

### 2. 연구재료

분리막은 이산화탄소 선택형 투과막으로 1barrer의 막 투과도로부터 6.7'10<sup>-10</sup> mol/m<sup>2</sup>×s×Pa의 기체 흐르게 할 수 있는 중공사형 모듈(Hollow-FiberType Module) 기체 분리막 선정하였다. 선정된 분리막은 배기의 이산화탄소농도가 높을수록 분리효율이 증가하며, 최소 20% (vol) 이상이 적합하고 75%의 CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> 선택도로 최대 90%의 순도를 얻을 수 있는 민감도 조사에서 15%의 CO<sub>2</sub>농도에서 포집 효율은 50% (압축비 0.01), 30%의 CO<sub>2</sub>에서는 80% (압축비 0.07)로 나타난 제품을 사용하였다(Table 1).

분리막을 이용한 고압용기의 경우, 고농도의 CO<sub>2</sub> 발생 지역에서 포집하여 10,000~12,000 ppm의 CO<sub>2</sub>를 8~9 bar로 압축한다. 1~2 m<sup>3</sup> 규모의 압축용기에 저장하여 온실에 공급할 경우 단일 장비의 활용도를 더욱 높일 수 있을 것으로 판단되기 때문에, 적정 설계 및 용량 산정을 통하여 이동 가능형 압축용기 어셈블리 및 이송용 대차를 설계하고 제작하였다. Fig. 1는 분리막을 통하여 시설하우스로 주입하는 것에 대한 흐름도이고, Fig. 2은 분리막의 이산화탄소 교환장치 장면이다. Fig. 3는 이산화탄소 공급을 위한 압축 및 저장장치이다.

돈사 내 강제식 환기의 환기율은 두당 30 m<sup>3</sup>/h으로 유지 하였으며, 돈사 1개동 내 돼지는 100마리를 사육하였다. 이산화탄소 포집은 강제식 환기시설 내 연결 포집 장치를 통해 멤브레인 필터를 이용하여 이산화탄소를 선택적으로 포집 할 수 있게 하였다. 돈사 내 온습도 측정은 Testo사 model 535 내 자체 온습도 기능 옵션을 추가한 제품을 사용하였다.

### 3. 측정 및 분석 방법

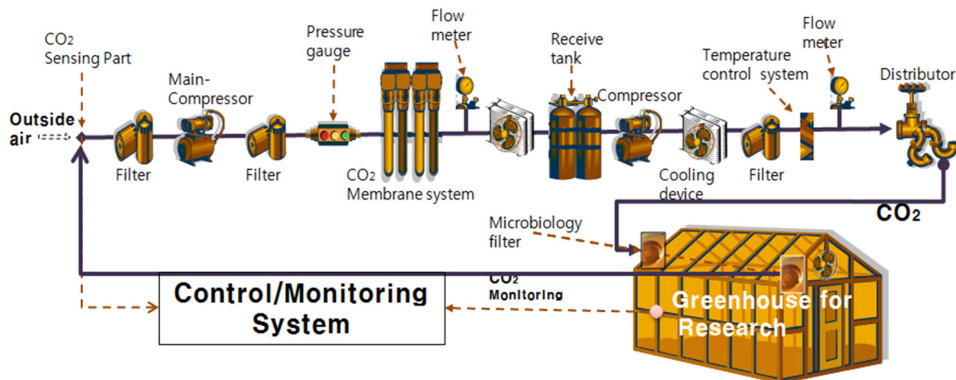
실험은 2017년 12월 8일부터 19일까지 8일간에 걸쳐 시행되었으며, 시행되기 전 2일은 워밍업으로 기기를 가동하였다.

이산화탄소 측정방법은 환경부 「실내공기질 관리법」의 실내공기질 공정시험방법을 이용하여 이산화탄소를 측정하였다.

분석방법은 NDIR(Non-dispersive infrared) 비분산 적외선을 이용한 가스 센서 방법을 채택하여 농도를 산출한다. 주입은 기계 순간적인 수치에서 1,000 ppm이 되는 시점에서 중단하게 되었으며, 이산화탄소의 흡수에 관한 증명을 위하여 새벽 4시부터 3시간 동

**Table 1.** Specification of CO<sub>2</sub> Collection System through Membrane

Product name	Specification
Membrane Module	MC-6060A
Oil-free Scroll Compressor ①	SLPS-75E, 10HP Discharge air mass: 8405 L/min, Discharge pressure: 0.65-0.8 Mpa Size: 650 mm*955 mm*1195 mm
Oil-free Scroll Compressor ②	SLPS-40B, 5HP Discharge air mass: 165 L/min, Discharge pressure: 0.65-0.8Mpa Size: 435 mm*645 mm*790 mm
Air Tank	600 liters, 230 liters
Flow meter	RMC-500LPM, RMC-800LPM
Air Dryer	HYD-10HT
PLC	XBC-DR32H
Breaker	ABS103C (125A)
SMPS	VSF50-24
Regulator	PNR4000-04
Pneumatic Valve	TX350-02DA-15S



**Fig. 1.** Membrane system flow diagram

안 이산화탄소를 실험군 시설하우스에 주입하고 8일간 연속측정 실시하였다.

식물의 경우 태양의 광량에 따라 식물의 이산화탄소 흡입량이 달라지므로 실험의 조건을 맞추기 위해 새벽 시간에 실험을 진행하였다. 이에 대한 실험군과 대조군을 최대한 동일한 환경조건을 맞추려고 노력하였다. 딸기의 생육성장을 확인하기 위해서 데이터 취합 방법은 직독식으로서 실시간 데이터는 RS232-cable을 통해 다운로드 실시하였다. 통계분석방법은 IBM SPSS V20.0을 이용하여 실험군과 대조군의 비

교를 위하여 T-test를 사용하였다. 딸기의 생육성장 및 온습도, 이산화탄소 농도, 출하량에 대한 상관관계를 알아보려고 매일 농장 주에게 실험군의 시설하우스 내 온습도, 이산화탄소 농도, 출하량 S/W (Giva Smart V 1.0)의 통계 집계하여 데이터 수집하였다.

### III. 결 과

시설하우스 내 실험군과 대조군의 측정 결과 이산화탄소 농도는 실험군이 평균 693.21±133.26 ppm,

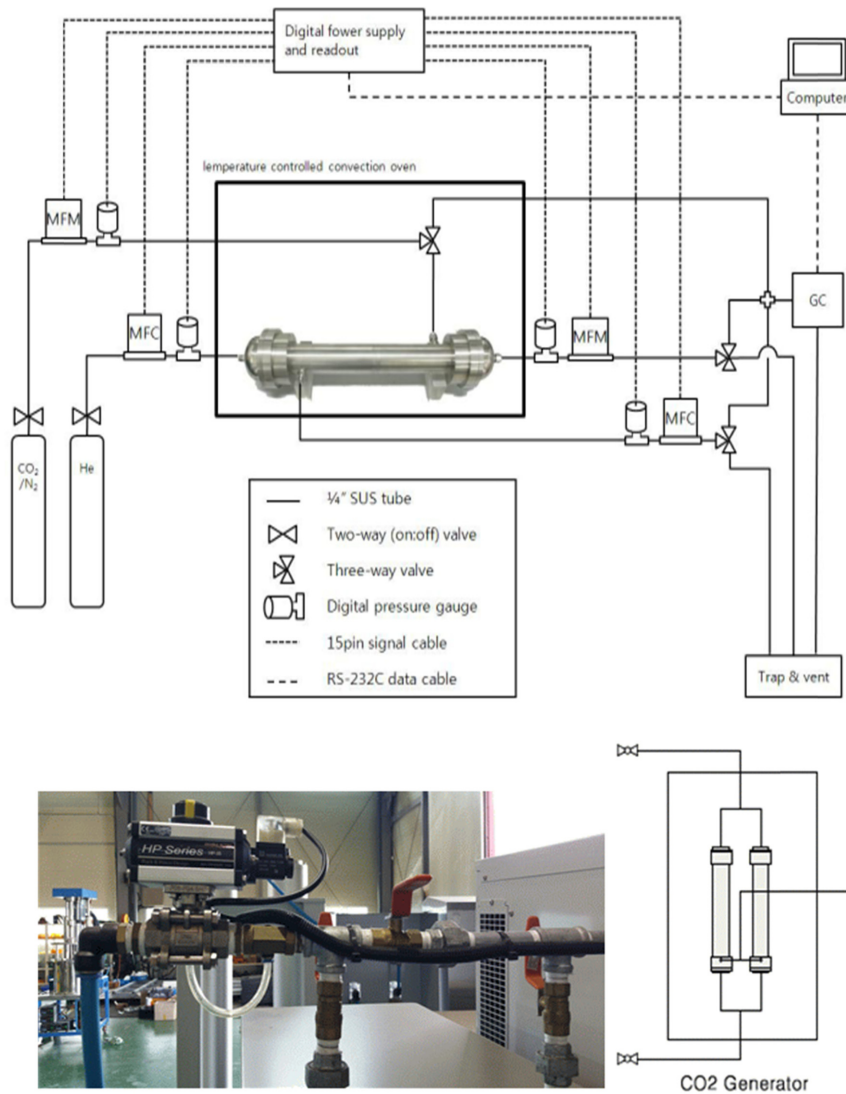


Fig. 2. Installation photograph and flow diagram of carbon dioxide transfer unit

대조군이 평균 450.77±25.85 ppm로 나타났다(Table 2).

총 수확량은 실험군이 1,317 kg으로 조사되었으며, 대조군은 1,176 kg으로 조사되었다. 전체적으로 실험군과 대조군의 수확량을 비교 확인하였을 때 실험군의 총 누적 중량이 12% 정도 높게 수확되었다.

실험군의 시설하우스 내 이산화탄소는 흡수량이 약 90~100분간 현저하게 거시적으로 나타났으며, 400 ppm 농도 부근에서는 실험군 시설하우스의 이산화탄소량은 변화가 적었다. 온실 외부 및 대조군

시설하우스에서는 400 ppm대에서 변화가 적었다 (Fig. 4). 온습도 및 이산화탄소량, 수확량을 변수별로 피어슨 이변량 상관관계로 파악한 결과 이산화탄소와 수확량의 상관관계가 양의 상관관계를 이루는 것으로 나타났다( $\beta=0.832, p<0.05$ )(Table 3).

#### IV. 고찰

##### 1. 실험에 대한 고찰

실험은 대조군과 실험군의 현장 안정화를 위해 2

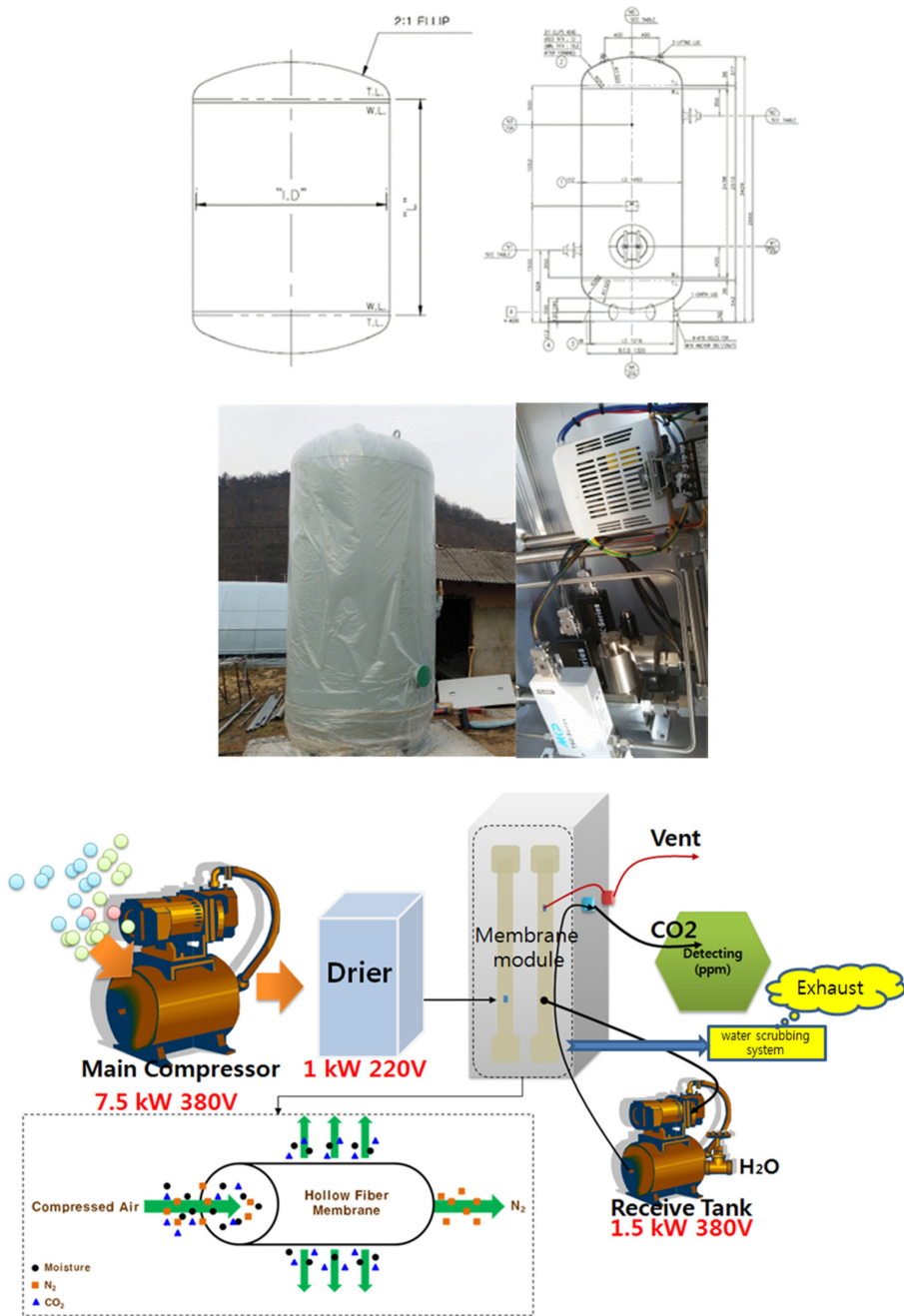


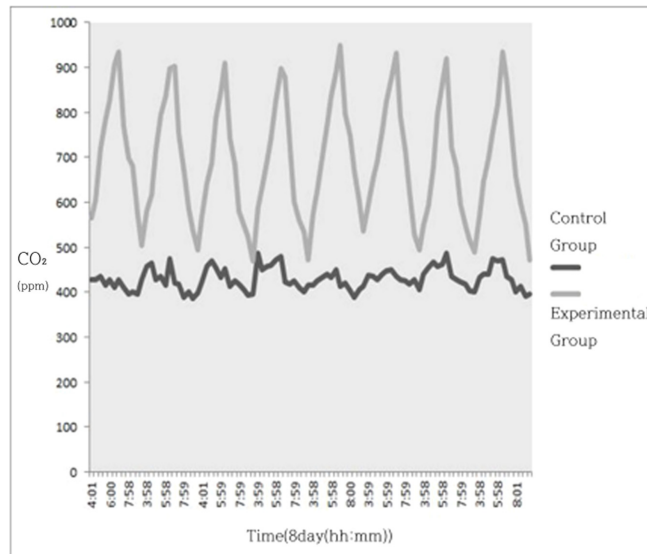
Fig. 3. Compressed Container and Transfer Unit Controller Photograph and Flow Diagram

일 정도 위밍업 기간으로 세팅한 후 3일차부터 8일차까지 실험을 실시하였다. 초기 농도의 경우 약간의 차이가 있을 수 있으나 2일이라는 안정화 기간을 통해 동일 조건에서 실험을 시작하였다. 그리고

사람의 호흡 및 농작업(잎 따기, 딸기 꽃 확인) 등의 사람 출입까지 컨트롤 할 수 없었기 때문에 CO<sub>2</sub>의 미세한 차이가 있을 수 있으므로, 새벽 시간을 이용하여 측정하여 최대한 주변 실험 방해 인자를

**Table 2.** Experimental measurements and results

	Number of measurements (once a minute)	Temperature (°C)	Relative humidity (%)	CO <sub>2</sub> Concentration (ppm)	P-Value	Weight of production (kg)
Experimental Group	1,440	16.1±5.7	70.2±20.8	693.2±133.2	0.000	1,317
Control Group	1,440	16.3±5.7	70.1±20.7	450.7±25.8		1,176

**Fig. 4.** CO<sub>2</sub> change in control and experimental houses

줄이려고 노력하였다. 다만, 실험군의 시설하우스는 대조군의 시설하우스와 달리 외기 이산화탄소 보다 10~50 ppm 정도 높았으며, 외기 온도가 낮아 딸기가 동사할 가능성이 있어 환기를 실시할 수 없었다. 그리하여 Fig. 4과 같이 대조군 시설하우스보다 실험군 시설하우스의 이산화탄소가 약간 높은 농도를 보였다. 대조군의 시설하우스 내 이산화탄소는 외기 이산화탄소와의 농도와 거의 차이가 없었다.

## 2. 식물의 이산화탄소 감소에 대한 고찰

식물은 광호흡에 따라 그 종류가 나뉘어 있는데 이산화탄소를 광호흡으로 식물이 받아드린 후 탄소의 개수를 변화하는 과정에 따라 식물의 종류가 나뉘어 진다.<sup>19)</sup> 일반적으로 식물이 ATP (Adenosine Triphosphate, 가수분해 유기산물)를 얻어 에너지로 전환시키기 위해서는 이산화탄소에서 받아드린 무기물 탄소를 유기물 탄소로 변환시켜야 한다. 먼저 캘빈 회로의 첫번째 탄소의 합성을 위해 산화제를 통

한 대사과정이 필요한데 Rubisco (Ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase oxygenase)를 통해 6개의 탄소를 만들어진 6탄당의 에너지를 2개의 3탄당 또는 농축에 의한 4탄당으로 변화하게 된다.<sup>20)</sup> 이들은 C3 (이산화탄소 벼, 콩, 밀, 보리 등, 95% 이상의 식물), C4 (이산화탄소를 농축하고 고정시켜 저장하는 시스템이 있는 식물 고정을 할 때 낮에도 밤에도 기공을 닫아 이산화탄소가 식물로부터 빠져나가는 것을 방지하는 식물(옥수수, 사탕수수, 참억새 등, 1~2%의 식물)), CAM ((Crassulacean acid metabolism) 낮에는 기공을 닫고 밤에는 기공을 열어 이산화탄소를 보다 효율적으로 시간을 조정해서 고정하는 식물(선인장, 파인애플, 난초 등, 3~4%의 식물))이다. 특히, CAM, 둘나물형 유기산 대사)식물의 경우 밤에 이산화탄소를 받아들여 말산형태로 저장했다가 낮에 말산을 탈탄산반응으로 탄산이온을 얻어 당을 합성하는 광합성 형태를 가진 식물을 의미한다<sup>21)</sup>. C4와 CAM은 탄소를 받아들인데 탄소의 개수 합성은 4

**Table 3.** Correlation Analysis of Two-Variates between the Experimental Variables

	Temperature	Relative Humidity	CO <sub>2</sub> concentration	Yield
Temperature	1	-.468*	.525*	.341
Relative Humidity		1	-.131	-.110
CO <sub>2</sub> concentration			1	.832**
Yield				1

개로 동일하나 CAM식물이 좀 더 진화되었다고 볼 수 있으며, 고생대부터 진화해 온 식물은 탄소 합성 개수에 따라 식물의 진화가 되었다고 볼 수 있다.<sup>22)</sup>

C3의 식물은 다른 식물보다 이산화탄소가 많았던 고생대 때부터 번성했던 식물로 이산화탄소를 언제든지 흡수할 수 있게 기공을 열어 엽록소와 결합하는데 어느 정도 습한 기후 조건을 이루어야 살 수 있다. C4부터는 건조한 기후에도 자생할 수 있으나 추위에 약한 식물들이 대부분이다. 또한, 낮에는 광호흡 형태로 탄소에너지를 빠르게 소모되므로 더 많은 이산화탄소를 요구하게 된다.<sup>23)</sup>

이런 특징을 종합하여 볼 때, 식물이 이산화탄소를 많이 또 빨리 흡수하기 위해서는 C3 식물의 잎이 넓은 식물이 필요하다고 볼 수 있다.

### 3. 돈사 내 이산화탄소 저감과 돼지 및 농작업자 건강영향 고찰

돈사 내 실내공기오염물질 중 이산화탄소 농도는 기계식 환기장치의 경우 350~4,350 ppm 정도 되고<sup>23)</sup>, 자연식 환기장치는 1,430~3,050 ppm 정도 된다고 보고되고 있다.<sup>24)</sup> 이산화탄소 배출로 인해 환기 시스템이 6~8시간 동안 작동하지 않을 경우 건물 내 동물들이 질식할 수 있다.<sup>25)</sup> 재채기, 기침 또는 폐렴과 같은 동물의 기후 관련 호흡기 질환은 이산화탄소 농도가 1,000~3,000 ppm 영역대 보다 2,000~9000 ppm에서 질병 발생이 많이 발생된다고 보고되었다.<sup>26)</sup> 이산화탄소 농도가 높을 경우 돼지 생육 성장 뿐만 아니라 농작업자에게도 건강 영향을 줄 수 있다. 이산화탄소는 최소 환기율을 결정하는 매개변수의 환기지표로 활용되는데 이산화탄소 농도가 높게 되면 다른 실내공기오염물질의 농도가 높다고 판단할 수 있다. 돼지의 사육기간은 6개월 정도이므로 비교적 단기간이라 볼 수 있으나 농작업자의 경우 장기간에 걸쳐 건강영향을 주는 실내공기오염물질에 노출됨에 따라 실내공기질에 대한 중요성이 강조된다. 이에 쾌

적한 실내공기질을 유지하기 위해서는 돈사 내 강제적인 환기 시설이 필요하고 볼 수 있다. 농작업자의 실내공기오염물질 노출은 타 직종 작업자에 비해 높은 편이고 공기질에 대한 관리 인식도 역시 떨어진다.<sup>27,28)</sup> 이에 대한 실내공기오염 기준치 수립 및 지속적인 관리방안이 필요하다.

## V. 결 론

본 연구는 분리막 기술을 이용하여 축산시설 내 이산화탄소를 포집 저장하고 시설 하우스에 공급하는 장치 개발하였다. 그리고 시설하우스 내 딸기의 생육 성장과정을 통해 온실가스의 환경부하물질이 감소되는 것을 확인되었다.

이산화탄소의 흡수에 관한 증명을 위하여 2017년 12월 8일부터 19일까지 8일간 새벽 4시부터 3시간 동안 이산화탄소를 실험군과 대조군의 시설하우스에 주입하고 처음 2일은 워밍업 기간을 거치고 8일간 연속측정 실시하였다. 온실의 실험군에 대해서는 이산화탄소 흡수가 현저하게 거시적으로 나타났으며, 온실 외부 및 대조군에서는 300~400 ppm대에서 변화가 적었다. 이산화탄소 농도가 증가할수록 딸기 재배에 도움이 될 것이라 판단된다. 다만, 통상적인 농도에서는 크게 개선되지 않으므로 분리막을 통한 압력을 통해 농축하여 시설하우스 내 주입을 통하여 탄소를 감축하는 것이 필요할 것으로 사료된다. 또한, 식물의 경우 이산화탄소를 많이 또 빨리 흡수하기 조건은 C3 식물의 잎이 넓은 식물이 필요하다고 판단된다.

또한, 돈사 내 이산화탄소 저감을 통하여 돼지 및 농작업자의 건강영향을 줄 수 있는 환기시설 설치를 통해 실내공기오염물질을 제거 함으로 쾌적한 돈사 공기질을 추구할 수 있게 되었다. 그리고, 지구 환경부하오염물질인 이산화탄소를 농가 자체적으로 저감함으로써 탄소순환의 탄소 감축을 확인하였다고 볼 수 있다.

## 감사의 글

본 논문은 농림식품기술기획평가원 기술사업화지원사업 과제번호 815008(분리막 기술을 이용한 축산시설 CO<sub>2</sub> 포집 및 시설 하우스 공급 장치 개발과 사업화)의 지원을 받아 작성되었습니다.

## References

- Cramer W, Bondeau A, Woodward FI, Prentice IC, Betts RA, Brovkin V, Cox PM, Fisher V, Foley JA, Friend AD. Global Response of Terrestrial Ecosystem Structure and Function to CO<sub>2</sub> and Climate Change: Results from Six Dynamic Global Vegetation Models. *Global change biology*. 2001; 7(4): 357-373.
- Hansen J, Johnson D, Lacis A, Lebedeff S, Lee P, Rind D, Russell G. Climate Impact of Increasing Atmospheric Carbon Dioxide. *Science*. 1981; 213(4511): 957-966.
- Nakicenovic N, Alcamo J, Grubler A, Riahi K, Roehrl R, Rogner H-H, Victor N. Special Report on Emissions Scenarios (Sres), a Special Report of Working Group Iii of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2000.
- Sala OE, Chapin FS, Armesto JJ, Berlow E, Bloomfield J, Dirzo R, Huber-Sanwald E, Huenneke LF, Jackson RB, Kinzig A. Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100. *science*. 2000; 287(5459): 1770-1774.
- Seinfeld JH, Pandis SN. Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change. 2012.
- EPA. Recent Climate Change: Atmosphere Changes. <Climate Change Science Program>. 2007.
- Hawken P, Lovins AB, Lovins LH. Natural Capitalism: The Next Industrial Revolution. 2013.
- Qiu J-J, Wang L-G, Tang H-J, Li H, Li C. Studies on the Situation of Soil Organic Carbon Storage in Croplands in Northeast of China. *Agricultural Sciences in China*. 2005; 4(8): 594.
- Matsuoka Y, Kainuma M, Morita T. Scenario Analysis of Global Warming Using the Asian Pacific Integrated Model (Aim). *Energy Policy*. 1995; 23(4-5): 357-371.
- Thornton PK, Herrero M. Potential for Reduced Methane and Carbon Dioxide Emissions from Livestock and Pasture Management in the Tropics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2010; 107(46): 19667-19672.
- IPCC. *Ipcc Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (Ar4)*. 2007.
- Delgado C, Rosegrant M, Steinfeld H, Ehui S, Courbois C. *Livestock to 2020: The Next Food Revolution. Outlook on Agriculture*. 2001; 30(1): 27-29.
- Roy P, Nei D, Orikasa T, Xu Q, Okadome H, Nakamura N, Shiina T. A Review of Life Cycle Assessment (Lca) on Some Food Products. *Journal of food engineering*. 2009; 90(1): 1-10.
- Jensen AA. *Life Cycle Assessment (Lca): A Guide to Approaches, Experiences and Information Sources*. 1998; (6).
- Guinée JB. *Handbook on Life Cycle Assessment Operational Guide to the Iso Standards*. The international journal of life cycle assessment. 2002; 7(5): 311.
- Kramer PJ. Carbon Dioxide Concentration, Photosynthesis, and Dry Matter Production. *BioScience*. 1981; 31(1): 29-33.
- Cure JD, Acock B. Crop Responses to Carbon Dioxide Doubling: A Literature Survey. *Agricultural and forest meteorology*. 1986; 38(1-3): 127-145.
- Peppelenbos HW, van't Leven J. Evaluation of Four Types of Inhibition for Modelling the Influence of Carbon Dioxide on Oxygen Consumption of Fruits and Vegetables. *Postharvest Biology and Technology*. 1996; 7(1-2): 27-40.
- Sharkey TD. Estimating the Rate of Photorespiration in Leaves. *Physiologia Plantarum*. 1988; 73(1): 147-152.
- Leegood RC. A Welcome Diversion from Photorespiration. *Nature biotechnology*. 2007; 25(5): 539.
- Taiz L, Zeiger E. *Plant Physiology 5th Ed*. Sunderland, MA: Sinauer Associates. 2010.
- Raven JA, Giordano M, Beardall J, Maberly SC. Algal Evolution in Relation to Atmospheric CO<sub>2</sub>: Carboxylases, Carbon-Concentrating Mechanisms and Carbon Oxidation Cycles. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2012; 367(1588): 493-507.
- Ni J-Q, Vinckier C, Hendriks J, Coenegrachts J. Production of Carbon Dioxide in a Fattening Pig House under Field Conditions. Ii. Release from the Manure. *Atmospheric Environment*. 1999; 33(22): 3697-3703.
- Anderson GA, Smith RJ, Bundy DS, Hammond EG. Model to Predict Gaseous Contaminants in Swine Confinement Buildings. *Journal of Agricultural*



- tural Engineering Research. 1987; 37(3): 235-253.
25. Donham KJ, Knapp L, Monson R, Gustafson K. Acute Toxic Exposure to Gases from Liquid Manure. *Journal of occupational medicine: official publication of the Industrial Medical Association*. 1982; 24(2): 142-145.
26. Busse F. Comparison Measurements of the House Climate in Swine Stables with and without Respiratory Diseases or Cannibalism. *Livestock Environment Fourth International Symposium*. 1993: 904-908.
27. Youn JY, Choi Y, Lee WJ, Kim J. Risk-Accepting Personality and Associated Factors among Korean Farmers. *Korean Journal of Environmental Health*. 2016; 42(5): 333-344.
28. Kim I, Kim K-R, Lee K-S, Chae H-S, Kim S. A Survey on the Workplace Environment and Personal Protective Equipment of Poultry Farmers. *Korean Journal of Environmental Health*. 2014; 40(6): 454-468.

#### 저자정보

나규동(대표이사), 조만수(연구교수)