

식물생장용 저압챔버 내의 기온, 상대습도 및 압력의 변화

박종현¹ · 김용현^{2*}

¹전북대학교 대학원 생물산업기계공학과,

²전북대학교 농업생명과학대학 생물산업기계공학과(농업과학기술연구소)

Variations of Air Temperature, Relative Humidity and Pressure in a Low Pressure Chamber for Plant Growth

Jong Hyun Park¹ and Yong Hyeon Kim^{2*}

¹Dept. of Bioindustrial Machinery Engineering, Graduate School, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea

²Dept. of Bioindustrial Machinery Engineering, College of Agriculture & Life Sciences, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea (The Institute of Agricultural Science & Technology)

Abstract. This study was conducted to analyze the variations of air temperature, relative humidity and pressure in a low pressure chamber for plant growth. The low pressure chamber was composed of an acrylic cylinder, a stainless plate, a mass flow controller, an elastomer pressure controller, a read-out-box, a vacuum pump, and sensors of air temperature, relative humidity, and pressure. The pressure leakage in the low pressure chamber was greatly affected by the material and connection method of tubes. The leakage rate in the low pressure chamber with the welding of the stainless tubes and a plate decreased by $0.21\text{kPa}\cdot\text{h}^{-1}$, whereas the leakage in the low pressure chamber with teflon tube and rubber O-ring was given by $1.03\text{kPa}\cdot\text{h}^{-1}$. Pressure in the low pressure chamber was sensitively fluctuated by the air temperature inside the chamber. An elastomer pressure controller was installed to keep the pressure in the low pressure chamber at a setting value. However, inside relative humidity at dark period increased to saturation level. Two levels (25 and 50kPa) of pressure and two levels (500 and 1,000scm) of mass flow rate were provided to investigate the effect of low pressure and mass flow rate on relative humidity inside the chamber. It was concluded that low setting value of pressure and high mass flow rate of mixed gas were the effective methods to control the pressure and to suppress the excessive rise of relative humidity inside the chamber.

Key words : air temperature, leakage rate, low pressure, plant growth chamber, relative humidity

서 론

우주비행사가 우주에서 장기간 체류하면서 임무를 수행할 때 식품, 물 및 공기 등 생명유지에 필요한 요소들이 안정적으로 공급되어야 한다. 그런데 이러한 요소들을 장기간에 걸쳐 지구로부터 지속적으로 공급 받는 것이 쉽지 않기 때문에 우주에서 직접 작물을 재배하여 우주비행사에게 식품을 제공하기 위한 노력이 시도되고 있다.

미국, 러시아, 일본 등 우주 개발에 앞장서고 있는

국가들은 우주에서 우주비행사를 위한 식량의 자급과 우주 공간 내에서 산소, 이산화탄소, 수분 등 한정된 자원의 효과적인 이용을 목적으로 우주에서 작물 재배가 가능한 생명유지시스템(Life Support System, LSS)을 개발하고 있다. LSS는 지구로부터 식품 또는 에너지의 재공급 없이 우주에서 인간의 생명이 유지되도록 식물의 생산, 물과 공기의 정화 및 재생, 폐기물의 처리 등이 가능한 생태계를 의미한다(Kim, 2005).

태양계 가운데 인간의 주요 탐사 대상에 해당하는 행성과 위성으로 화성과 달을 꼽을 수 있다. 이 가운데 대기 조건의 변화, 물의 존재 여부, 생명체의 생존 가능성 등의 이유로 화성에 대한 탐사가 활발하게 이루어지고 있다(NASA, 1996, 2004; ESA, 2005). 특

*Corresponding author: kjk0412@korea.kr
Received August 13, 2009; Revised August 27, 2009;
Accepted September 4, 2009

히 미국 항공우주국(National Aeronautics and Space Agency, NASA)에서는 화성 표면에서 식물 재배가 가능한 식물생산용 시스템을 개발하고자 팽창식 온실 구조, 압력, 자재, 조명, 방사선 차폐 등 다양한 접근을 시도하고 있다(Hublitz 등, 2004).

화성 표면에서의 평균 기온, 평균 대기압 및 밀도는 각각 -63°C , 0.61kPa , $0.020\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 이하로 알려져 있다. 또한 화성의 대기 조성은 CO_2 , N_2 , Ar , O_2 가 각각 95.5%, 2.7%, 1.6%, 0.15%로서 지구의 조성보다 커다란 차이가 있다(NASA, 2004; Kaplan, 1988). 화성 표면에서의 압력은 지구 대기압의 1%에도 미치지 못하는 저압에 해당한다. 그러므로 화성과 같은 우주에서 식물을 생산하려면 우선 저압 조건에서 구조적으로 견딜 수 있는 폐쇄형 식물생산 시설이 제시되어야 한다. 더구나 이러한 저압 환경은 식물의 영양 성장, 생식 성장 또는 생산성에 커다란 영향을 미칠 것이다.

저압 조건에서 식물의 생육이 정상적으로 이루어지려면 식물 생산 시설 내외부의 커다란 압력차에 견딜 수 있는 구조적 설계와 더불어 식물 생육에 필요한 물, 영양분, O_2 , CO_2 의 공급, 충분한 광양 확보 및 명기와 암기에서의 온도 유지가 필요하다(Fowler, 2000). 저압이 식물생장에 미치는 영향을 구명하고자, 저압조건을 유지하기 위한 실험 장치의 개발이 국외에서 활발하게 시도되고 있다. Purswell(2002)는 가스공급, 샘플링, 배양액 공급, 배수, 냉각시스템, 환기용

fan 및 측정 장치 등으로 이루어진 식물 성장용 저압 챔버를 구성하였고, Brown과 Racey(2002)는 마이크로 컨트롤러와 가스크로마토그래프 등으로 이루어진 저압 식물생산 시스템을 구축하기도 하였다. 한편 Guo 등(2008)은 10~101kPa까지 제어할 수 있는 식물 성장용 저압 챔버를 제작한 후 저압 조건에서 밀을 재배한 바 있다.

이에 비해서 국내에서는 식물 성장용 저압 챔버의 개념 및 설계에 관한 연구가 아직 전무한 실정이다. 저압 조건이 식물의 성장 또는 생산성에 미치는 영향을 구명하고자 식물 성장용 저압 챔버를 개발하려는 본 연구의 목적은 저압조건에서 기온, 상대습도 및 압력의 변화 특성을 분석하는 데 있다.

재료 및 방법

1. 식물 성장용 저압 챔버

본 연구에서 설계된 식물 성장용 저압 챔버(‘저압챔버’)의 구성은 Fig. 1과 같다. 저압챔버는 식물 생장이 이루어지는 상단의 원통형 아크릴 실린더, 아크릴 실린더 내의 진공 또는 혼합가스의 주입을 위해서 여러 개의 구멍이 가공되어 있는 스테인레스 하판, 진공펌프를 비롯하여 혼합가스의 유량 조절을 위한 조절계 등이 설치된 하단부로 구성되어 있다. 원통형 아크릴 실린더에는 기온과 상대습도 측정을 위한 센서와 전기히터가 설치되어 있다. 하단부에는 혼합가스의 양을 제어

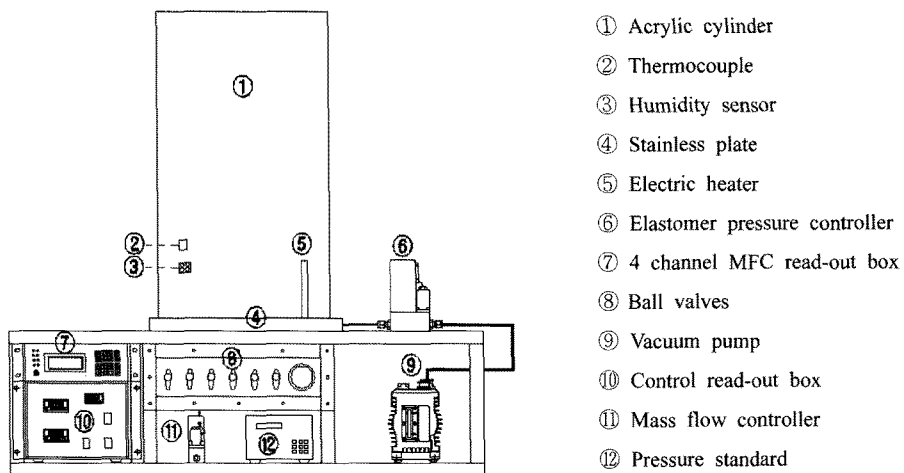


Fig. 1. Schematic diagram of a low pressure chamber for plant growth.

Table 1. Specifications of the sensors and measuring devices used in this study.

Sensors & measuring devices	Specifications
Acrylic cylinder	Clear acrylic (PMMA), 400 (D) × 760 (H) × 8 (T)
Thermocouple	K-type, DS-2000, ORIENTAL TEMP SENSOR Output: 4-20 mA
Humidity sensor	HS-200M, SENTECH Co., Ltd. Range: 5~95% RH, output: 4~20mA
Stainless plate	460 (D) × 5 (T)
Electric heater	Rated capacity: 60W, Max temperature: 60°C
Elastomer pressure controller	Flow range: 0~30,000sccm
4 channel MFC readout box	NEO301, NEOSYS Co., Ltd.
Ball valves	SS-42GS4, SWAGELOK Co., Ltd.
Vacuum pump	WOVP-0040, WONCHANG Co., Ltd. Degree of vacuum: 2.0 mbar
Vacuum gauge	D65, WIKA Instruments Ltd. Range: -1~0cmHg
Regulator	TS-442262241, TESCOM Co., Ltd. Inlet: 3,500Psig, outlet: 100Psig
Mass flow controller	BROOKS 5850E, Brooks Automation Inc. Range: 0~3,000sccm
Pressure standard	Model 745, Paroscientific, Inc. Range: 0.1~1.38 mbar
Sampling cylinder	304L-HDF4-50, SWAGELOK Co., Ltd. Capacity: 50 sccm, pressure: 344bar

하는 질량유량계(Mass flow controller, MFC), MFC에 전원을 공급하면서 유량을 표시하는 read-out box, 진공펌프, 온습도 센서로부터의 출력을 표시하는 read-out box, 혼합가스 주입과 압력 측정 및 진공도를 제어하는 볼 밸브, 압력 측정계 등이 설치되어 있다. 또한 아크릴 실린더 내의 압력이 설정치에 비해서 높거나 낮을 경우, 상시 가동되고 있는 진공펌프 배관 라인의 중간에서 진공유체의 흐름을 제어함으로써 압력을 일정하게 유지하는 압력조절계(Elastomer pressure

controller, EPC)가 설치되어 있다. 저압챔버에 사용된 각종 구성 요소의 규격은 Table 1과 같다.

2. 계측 시스템의 구성 및 가스 흐름도

저압챔버 내·외부의 기온, 상대습도 및 압력을 측정하고자 K-type의 열전대와 고분자 정전용량식의 습도센서 및 데이터로거(NI-SCXI 1000, National Instruments Co.), 계측용 소프트웨어(LabVIEW 8.0, National Instruments Co.), 노트북을 이용한 계측시스템을 구성

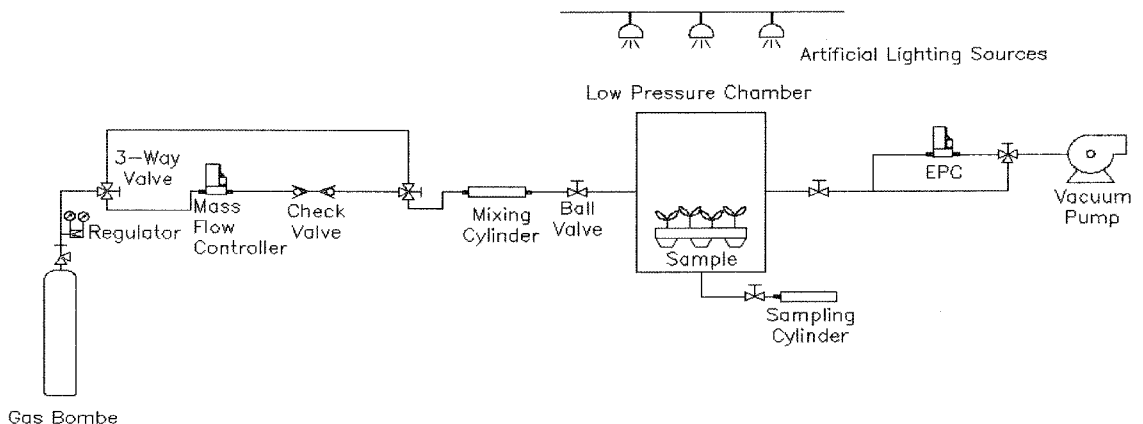


Fig. 2. Schematic diagram of gas flow in a low pressure chamber for plant growth.

Table 2. Treatment for the measurement of air temperature, relative humidity and pressure in a low pressure chamber for plant growth.

Treatment	Description
A	Use of the teflon tube with rubber O-ring
B	Replacement of the teflon tube with rubber O-ring by the stainless tube with silicon O-ring, use of grease for vacuum, addition of one more silicon O-ring, installing of acrylic plate on the top of acrylic cylinder and four rods to tighten the acrylic plate
C	Welding of the stainless tube and plate
D	Installing of an elastomer pressure controller

하였다. 압력 측정은 Pressure standard(Model 745, Paroscientific, Inc.), RS-232C 케이블, Digital Interactive 2.0 소프트웨어를 이용한 컴퓨터와의 통신을 통해 이루어진다.

Fig. 2는 저압챔버 내부의 진공, 혼합가스의 유입 및 압력 유지 과정을 나타낸 것이다. 진공펌프의 기능으로 저압챔버 내부의 압력을 목표 수준으로 내린 후, 가스봄베로부터 혼합가스가 유입된다. 이 때 유입되는 혼합가스의 흐름은 3방향 밸브(SS-42GXS4, SWAGELOK Co., Ltd.)에 의해 2방향으로 나누어진다. 2방향은 저압챔버 내부 가스 성분 분석에 필요한 가스를 샘플링할 때 봄베와 MFC 사이 배관의 불필요한 가스제거를 위한 우회용 배관방향과 혼합가스의 유량조절을 위한 MFC배관 방향이다. MFC에 의해 조절된 혼합가스는 역류방지를 위한 체크밸브(SS-4C-1, SWAGELOK Co., Ltd.)에 도달하게 된다. 체크 밸브를 통과한 가스는 다시 3방향 밸브에 도달하게 되며 혼합실린더(제작품)를 통해 저압챔버로 유입된다. 이 때 가스흐름의 차단 여부는 볼밸브(SS-42GS4, SWAGELOK Co., Ltd.)에 의해 조절된다.

저압챔버 내부의 혼합가스 성분분석에 필요한 가스를 샘플링할 때 샘플링 실린더가 사용된다. 온도 변화에 따른 압력변화는 저압챔버와 진공펌프 사이에 위치한 압력조절계가 진공유체의 흐름을 제어함으로써 유지된다.

작물재배에 필요한 인공광원으로는 메탈할라이드 고압램프(MH 250W, SAMLIP ELECTRIC Co., Ltd.)와 고압나트륨 램프(HPS 250W, SAMLIP ELECTRIC Co. Ltd.)를 사용하였다. 이때 저압챔버 내에 위치한 플러그트레이의 표면에서 광양자센서(LI-190SA, LICOR)로 측정된 광합성유효광양자속은 $240\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 이다.

3. 처리 조건

저압챔버 내의 기온, 상대습도 및 압력 변화를 측정하기 위한 처리 조건을 저압챔버의 보강 내용에 따라 크게 4가지로 구분하였다(Table 2). 처리 조건 A는 아크릴 실린더와 아크릴 하판의 결합부위에 고무 오링 및 각종 홀과 아크릴 하판의 연결에 테프론 재질의 배관을 사용한 경우에 해당한다. 이후 테프론 재질의 배관을 스테인레스 배관으로 교체하였고, 배관과 하판의 이음부에 진공그리스를 도포하였다. 또한 고무재질의 오링을 실리콘 재질의 오링으로 교체하였고, 기존의 오링 이외에 오링 1개를 추가로 설치하였다. 이밖에 아크릴 실린더와 아크릴 하판의 압착력을 높이기 위해 원형 아크릴 상판과 이를 지지하고 조여 줄 지지봉 4개를 설치한 경우가 처리조건 B에 해당한다. 다음으로 아크릴 하판을 스테인레스 하판으로 교체한 후, 스테인레스 배관과 하판의 결합 부위를 용접하여 보강한 경우가 처리조건 C에 해당한다. 처리 조건 C에서는 상추묘(*Lactuca Sativa* L.) 20주를 공시작물로 재배 실험을 수행하였다. 이 때 광합성유효광양자속, 광주기 및 기온은 각각 $240\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 16/8h, 26/18°C이었다. 처리조건 D는 기온 변화에 따른 압력 변화를 제어하고자 압력조절계를 설치한 경우에 해당한다. 이와 함께 25kPa, 50kPa의 압력조건에서 MFC를 통해 각각 500sccm, 1,000sccm의 유량으로 혼합가스를 흘려보내고 이로 인해 발생하게 되는 압력의 변화를 압력조절계가 제어함으로써 나타나는 습도변화를 측정할 실험이 처리조건 D에 해당한다.

결과 및 고찰

1. 처리 조건 A

초기 저압챔버의 밀폐도를 측정하고자 내부 압력을

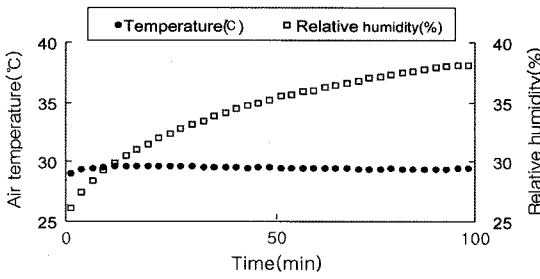


Fig. 3. Variations of air temperature and relative humidity in a chamber operated at treatment A.

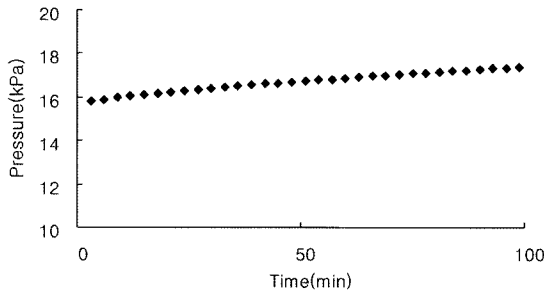


Fig. 4. Variations of pressure in a chamber operated at treatment A.

15kPa로 설정하였다. 저압챔버 내의 기온이 28.6°C 정도로 일정하게 유지되는 가운데 압력은 15.6kPa에서 109min(1.8h)이 경과한 후 17.5kPa로 상승하면서, 압력 변화가 1.0kPa · h⁻¹로 나타났다(Fig. 4). 이러한 결과는 저압챔버가 저압상태를 충분하게 유지하지 않음을 의미하는 것이다. 진공전에 54%를 유지하던 상대습도가 초기 진공 과정에서 25%까지 감소하였으며, 이후 시간이 경과함에 따라 37.9%까지 서서히 증가하였다.

2. 처리조건 B

초기 저압챔버의 낮은 밀폐도를 높이기 위해 보강한 작업 내용과 그에 따른 압력 변화는 Table 3과 같다.

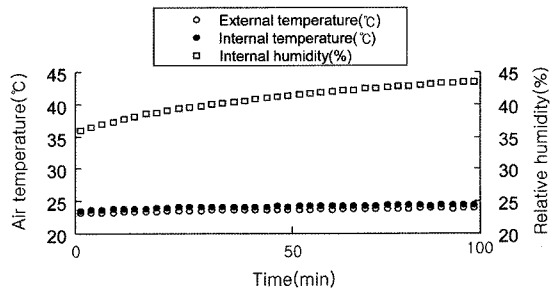


Fig. 5. Variations of air temperature and relative humidity in a chamber operated at treatment C.

기존의 테프론 배관을 스테인레스 배관으로 교체하고 (I), 진공그리스의 도포(II), 실리콘 오링으로의 교체(III) 및 추가(IV)한 결과 저압챔버의 압력변화율은 처리조건 A에서의 1.0kPa · h⁻¹ 보다 낮은 0.4~0.4kPa · h⁻¹로 나타났다. 하지만 아크릴 원형의 상판과 4개의 지지봉을 보강한 처리(V)에서는 만족할만한 밀폐도를 얻지 못하였다. 이는 아크릴원형의 상판과 4개의 지지봉을 볼트로 조이는 과정에서 각각의 볼트에 균일한 힘이 가해지지 않아 오히려 밀폐도 유지에 방해가 되었던 것으로 판단된다.

3. 처리조건 C

Fig. 5와 Fig. 6은 스테인레스 하판과 스테인레스 배관을 용접한 후, 저압챔버 내의 압력을 25.0kPa로 조절한 상태에서 챔버 내 · 외부의 기온, 상대습도 및 압력변화를 나타낸 것이다. 저압챔버 내 · 외부의 기온이 일정하게 유지되고 있는 상태에서 초기압력 25.0kPa은 109min(1.8h)이 경과한 후 25.4kPa으로서 압력 변화가 크지 않았다. 이는 기존의 아크릴 하판과 스테인레스 배관을 볼트로 조여 사용한 처리조건 B보다 낮은 0.2kPa · h⁻¹의 압력 변화율을 의미하는 것으로서, 하판과 배관의 결합 방식 및 재질이 밀폐도에 큰 영향을 미쳤음을 알 수 있다.

Table 3. Initial pressure, final pressure and pressure leakage rate in a low pressure chamber according to the treatment.

Treatment	Initial pressure (kPa)	Final pressure (kPa)	Measured time (h)	Pressure leakage rate (kPa · h ⁻¹)
I	21.6	26.3	10	0.5
II	19.6	24.5	12	0.4
III	16.6	20.9	10	0.4
IV	13.3	18.1	12	0.4
V	16.1	26.2	12	0.8

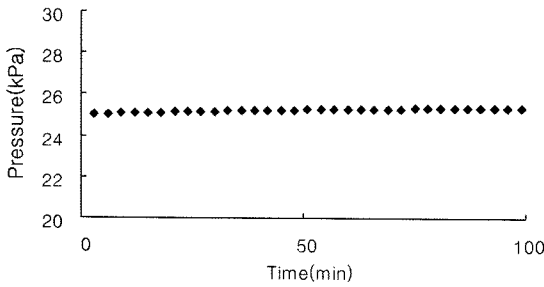


Fig. 6. Variations of pressure in a chamber operated at treatment C.

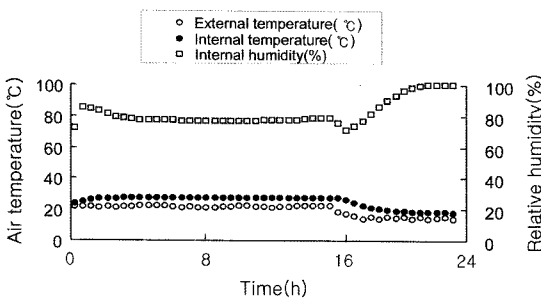


Fig. 7. Variations of air temperature and relative humidity in a chamber operated at treatment C during 1 day.

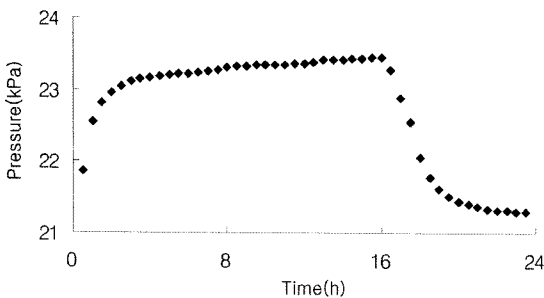


Fig. 8. Variations of pressure in a chamber operated at treatment C during 1 day.

Fig. 7과 Fig. 8은 본엽이 5매 정도인 상추묘 20주를 정식한 가운데 $240\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 광합성유효광양자속, 광주기 16/8h, 명기와 암기의 기온을 26/18°C로 유지한 상태에서 1일 동안 측정된 기온, 상대습도 및 압력변화를 나타낸 것이다. 내부기온 22.2°C, 상대습도 70.4%는 초기 진공과정에서 18.4°C와 45.7%까지 감소하였고 이후 시간이 지남에 따라 증가하는 모습을 나타냈다. 외부기온이 19°C로 낮았지만 광원의 영향으로 내부기온은 26.2°C까지 증가하였다. 증가한

내부기온 26.2°C는 16h의 명기 동안 일정하게 유지되었고, 초기 압력 21.1kPa은 23.4kPa까지 다소 증가하였다. 이후 암기 8h 동안 내부기온이 18°C까지 감소하면서 압력은 21.2kPa까지 감소하였다. 결국 저압챔버 내부의 압력은 내부기온 변화에 따라 다르게 나타났다.

4. 처리조건 D

처리조건 C에서 검토한 바와 같이 저압챔버 내부의 압력은 내부기온이 변화함에 따라 변화한다. Fig. 9와 Fig. 10은 외부기온과 인공광원의 영향으로 내부기온이 변화하지만 압력조절계를 통한 압력제어를 통해 압력이 일정하게 유지되고 있는 상태를 나타내고 있다. 저압챔버 내의 기온은 진공펌프의 작동과 함께 4분 이내에 24.8°C에서 19.3°C까지 감소하였다. 이후 시간이 경과함에 따라 광원의 영향으로 기온은 26°C까지 증

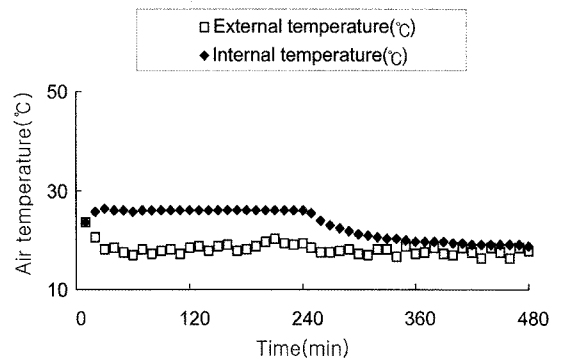


Fig. 9. Variations of the air temperature in a chamber by artificial lights and variation of mass flow operated at treatment D.

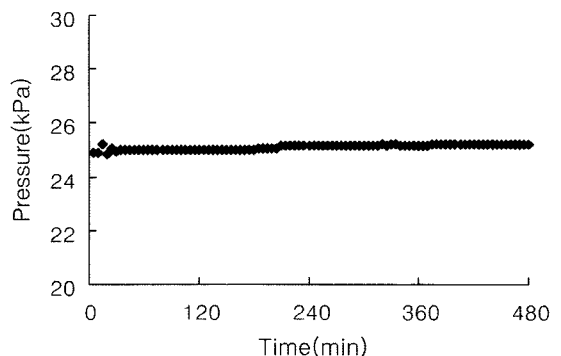


Fig. 10. Variations of the pressure in a chamber operated at treatment D.

가하였고 이후 4h 동안 일정하게 유지 되었다. 암기에 접어들어 기온은 18°C까지 하강하였고 4h 동안 일정하게 유지되었다. 압력은 진공펌프의 작동과 함께 4분 이내에 설정값에 해당하는 25kPa에 도달하였고 동시에 MFC를 통해 주입된 혼합가스의 유량은 500sccm 이었다. 이러한 8h 동안의 내부기온과 유량의 변화에도 불구하고 압력조절계의 제어를 통해 초기 설정값 25kPa 는 일정하게 유지되었다.

압력조절계는 설정한 압력값을 일정하게 유지하는 동시에 MFC를 통해 주입되는 혼합가스의 양에 따라 변화하는 압력을 제어함으로써 각각 다른 상대습도의 변화를 나타냈다. Fig. 11과 Fig. 12는 25kPa과 50kPa 의 압력에서 혼합가스의 유량을 각각 500sccm과 1,000sccm으로 주입하여 얻은 습도변화를 나타낸 것이다. 25kPa에서 혼합가스의 유량을 500sccm으로 흘려

보낸 경우 초기 상대습도 76.6%는 진공을 하는 과정에서 41.2%까지 낮아지고 이후 80.2%까지 증가한 후 명기 4h 동안 79.2%로 일정하게 유지 되었다. 일정하게 유지되던 상대습도는 암기에 접어들어 포화상태에 도달하였다. 동일한 압력조건에서 혼합가스 유량을 1,000sccm으로 흘려보낸 경우, 초기 상대습도 60.6%는 진공 과정을 거쳐 40.7%까지 낮아지고 이후 82%까지 증가한 후 68.8%를 일정하게 유지하였다. 일정하게 유지되던 상대습도는 암기에 접어들어 84%를 유지하였다. 같은 압력조건이지만 흘려보내는 혼합가스의 유량을 달리함에 따라 일정하게 유지되는 상대습도의 범위가 다르고, 암기에 포화상태에 도달하는 경우를 방지할 수 있음을 알 수 있다. 압력을 높여 50kPa에서 수행한 상대습도의 변화는 다음과 같다. 혼합가스의 유량을 500sccm으로 흘려 보낸 경우 초기 상대습도 60.9%는 진공과정을 거쳐 58.2%까지 낮아지고, 이후 92%까지 증가한 후 명기 4h 동안 82.3%를 유지하였다. 일정하게 유지되던 상대습도는 암기에 접어들어 포화상태에 도달하였다. 혼합가스의 유량을 1,000sccm으로 흘려보낸 경우 초기 상대습도 57.8%는 45.4%까지 감소하였고, 이후 77%까지 증가한 후 명기 4h 동안 80.1%를 일정하게 유지하였다. 암기에 접어들어 일정하게 유지되던 상대습도는 93%에 도달하였다. 50kPa 의 조건에서도 500sccm 보다 1,000sccm으로 흘려보냈을 경우 상대적으로 낮은 상대습도를 일정하게 유지하였고, 암기에 포화상태에 도달하지 않았다. 25kPa과 50kPa의 조건에서 진공과정을 통해 초기 상대습도가 감소하는 정도는 설정 압력값이 낮아 진공을 더 많이 해야 하는 25kPa에서 더 높았고, 일정하게 유지되는 상대습도의 범위 역시 25kPa과 혼합가스의 유량 1,000sccm의 조건에서 낮았다. 이처럼 초기 설정값이 낮고 흘려보내는 혼합가스의 양이 클수록 유지되는 상대습도의 범위가 낮아짐을 알 수 있다.

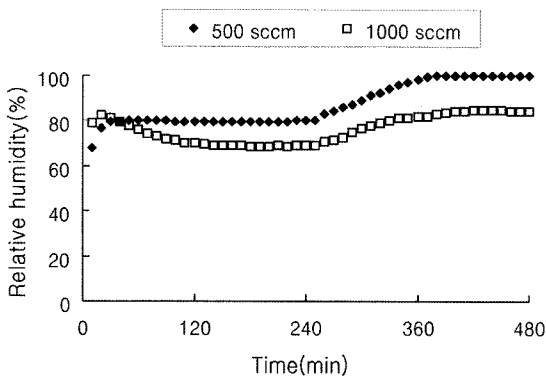


Fig. 11. Variations of the relative humidity affected by mass flow rate at the pressure of 25kPa.

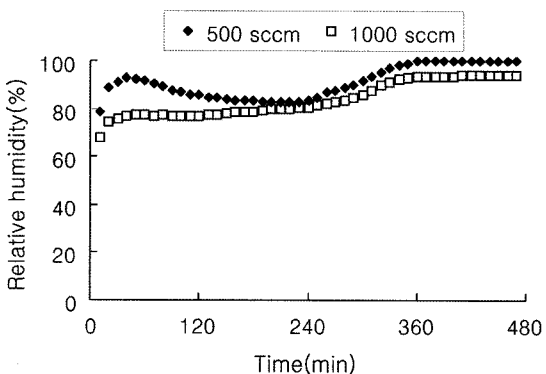


Fig. 12. Variations of the relative humidity affected by mass flow rate at the pressure of 50kPa.

요약 및 결론

본 연구에서는 저압조건이 식물의 생장 또는 생산성에 미치는 영향을 구명하고자 식물생장용 저압챔버를 개발하였고, 저압조건에서 기온, 상대습도 및 압력의 변화 특성을 살펴보았다. 저압챔버의 구성으로는 식물생장이 이루어지는 원통형 아크릴 실린더, 실린더 내의

진공 또는 혼합가스의 주입을 위해서 다공 성형이 되어 있는 스테인레스 하판, 혼합가스의 유량을 제어하는 질량유량계, 압력을 일정하게 유지하는 압력조절계, 온습도 및 압력을 측정할 수 있는 센서와 출력값을 표시하는 read-out-box, 진공을 위한 진공펌프로 이루어져 있다. 이와 함께 저압챔버 내의 기온, 상대습도 및 압력의 변화를 측정하고자 데이터 로거, 계측용 소프트웨어 및 노트북으로 구성된 계측 시스템을 구성하였다.

아크릴 실린더와 하판의 결합에 사용된 재질 및 결합 방식에 따라 챔버내의 밀폐도는 커다란 차이를 보였다. 아크릴 실린더와 아크릴 하판의 결합 부위에 고무 오링과 테프론 재질의 배관을 사용한 처리에서는 압력변화율이 $1.03\text{kPa} \cdot \text{h}^{-1}$ 로서 비교적 높게 나타났다. 하판과 배관에 스테인레스 재질을 사용하고 용접한 처리에서 압력변화율은 $0.21\text{kPa} \cdot \text{h}^{-1}$ 로 나타났다. 이처럼 하판과 배관의 재질 및 결합방식에 따라서 밀폐도의 커다란 차이가 나타났다.

진공과정에서 초기 기온 및 상대습도는 하강하였고 이후 시간이 경과함에 따라 서서히 증가하였다. 내부기온의 경우 인공광원의 영향으로 외부기온보다 더 높은 온도를 나타냈다. 압력은 내부기온에 따라 민감하게 변화하는 모습을 나타냈다. 즉 명기 16h 동안 기온이 26°C 로 일정하게 유지되면서 초기압력 21.1kPa 은 23.4kPa 까지 다소 증가하였고, 8h의 암기 동안 기온이 18°C 까지 내려가면서 압력은 23.4kPa 에서 21.2kPa 까지 감소하였다. 이러한 기온변화에 따른 압력변화를 제어하기 위해 EPC를 설치하였다. EPC를 통한 압력제어 결과 명기 4h 동안 저압챔버 내의 초기 기온이 18°C 에서 26°C 까지 증가한 후 일정하게 유지되었고, 암기 4h 동안 기온이 18°C 까지 낮아지고 이후 일정하게 유지되는 기온 변화에도 불구하고 초기압력 25kPa 은 8h 동안 일정하게 유지되었다.

MFC를 통해 주입되는 혼합가스 유량에 따라 압력을 제어하는 압력조절계에 의해서 챔버내의 압력을 일정하게 유지하였다. 한편 혼합가스의 유량에 따라 챔버내의 상대습도 변화가 다르게 나타났다. MFC를 통해 25kPa 과 50kPa 에서 각각 혼합가스의 유량을 500sccm 과 $1,000\text{sccm}$ 으로 흘려보냈고, 초기 상대습도의 차이는 있었지만 압력이 낮은 25kPa 과 $1,000\text{sccm}$ 의 유량 조건에서 상대적으로 낮은 상대습도를 유지하였다. 결국 압력조절계를 사용하였을 때 낮은 설정압력과 상대

적으로 큰 유량이 저압챔버 내의 압력 조절은 물론 상대습도의 과도한 상승 억제에 효과적인 것으로 나타났다.

사 사

이 논문은 2007년 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2007-030107008-106560).

인 용 문 헌

1. Brown, D. and R.E. Lacey. 2002. A distributed control system for low pressure plant growth chambers. ASAE Paper No. 023078.
2. Chuangjiu, H, F.T. Davies Jr., R.E. Lacey, M.C. Drew, and D.L. Brown. 2003. Effect of hypobaric conditions on ethylene evolution and growth of lettuce and wheat. J. Plant Physiol. 160:1341-1350.
3. ESA, 2005. http://www.esa.int/esaCP/SEMObUV797E_index_0.html
4. Fowler, P.A. and R.M. Wheeler. 2000. Low pressure greenhouse concepts for Mars, NASA technical memorandum 208577, NASA Johnson Space Center, Houston, Texas.
5. Guo, S., Y. Tang, F. Gao, W. Ai, and L. Qin. 2008. Effects of low pressure and hypoxia on growth and development of wheat.
6. Hublitz, L., D.L. Henninger, B.G. Drake, and P. Eckart. 2004. Engineering concepts for inflatable Mars surface greenhouses. Adv. Space Res. 34(7):1564-1551.
7. Kaplan, D. 1998. Environment of Mars, NASA technical memorandum 100470, NASA Johnson Space Center, Houston, Texas.
8. Kim, Y.H. 2005. Engineering approach to crop production in space. J. of Bio-Environment Control. 14(3): 218-231 (In Korean).
9. Levine, L.H., P.A. Bisbee, J.T. Richards, M.N. Birmele, R.L. Prior, M. Perchonok, M. Dixon, N.C. Yorio, G.W. Stutte, and R.M. Wheeler. 2008. Quality characteristics of the radish grown under reduced atmospheric pressure. Advances in Space Research 41:754-762.
10. NASA. 1996. Requirements and design considerations. Report Nr. JSC 38571, CSTD-ADV-245, NASA Johnson Space Center, Houston, Texas.
11. NASA. 2004. Mars fact sheet. <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/marsfact.html>
12. Purswell, J.L. 2002. Engineering design of a hypobaric plant growth chamber. MS thesis. Texas A&M University.