

## 과채류 저장시 호흡량과 중량감소의 자동계측

박제균·전재근·이승구·김공환\*

서울대학교 농과대학, \*아주대학교 공과대학

### Automatic Measurement of Respiration Rate and Weight Loss during Storage of Citrus fruits

Je-Kyun Park, Jae-Kun Chun, Seung-Koo Lee and Kong-Hwan Kim\*

College of Agriculture, Seoul National University, Suwon

\*College of Engineering, Ajou University, Suwon

#### Abstract

Citrus fruit (*Citrus unshiu Marc*) were stored in the facility controlled with a microprocessor-based storage controller, and the respiration rate and weight loss of fruits were measured with the infrared gas analyzer and the strain gauge load cell. The storage conditions and measuring intervals were set by the keyboard of personal computer. The interfacing circuitry between the computer and Z-80 microprocessor was built with peripheral interfacing IC chips 6821 and 8255. The data measured were saved to a data file for recording and further analysis. When the fresh and bruised fruits were subjected to the storage condition for 4 days at 20 C, the respiration rate of the fresh one showed a stable value of 3-5ml CO<sub>2</sub>/kg h throughout the storage period while the bruised one exhibited an abruptly increased rate after 50 hours. And the weight loss recorded about 5% during the storage.

Key words: respiration, weight loss, citrus, microprocessor, automation.

#### 서 론

원예작물의 저장연구에 있어서 가장 중요한 측정변수는 저장생리의 변화를 예측하는 일이다. 특히 호흡량의 측정은 생리연구에 기본자료를 제공할 수 있기 때문에 그 측정방법에 관한 연구가 많이 진행되어 왔다<sup>(1-3)</sup>.

호흡량의 측정은 밀폐식 시스템과 공기순환식 시스템으로 크게 두 종류로 나누어 생각할 수 있으며 후자의 경우 휘발성 물질의 축적을 피할 수 있어 생리연구에 이상적이라 할 수 있다<sup>(3)</sup>.

저장식품의 중량감소는 개체식품의 구조와 수분함량, 온도, 습도 등에 의해 영향을 받으며 호흡에 관여하는 효소들이 기질소모를 촉진시키기 때문에 호흡량의 증가와도 밀접한 관계가 있다.

그러나 이러한 저장생리의 변화를 예측하는데 있어서 가장 문제시 되는 점은 sampling 시의 on-line 화이며 측정된 자료가 실제 작물의 저장환경을 대변할 수 있어

야 한다. 따라서 동일한 저장환경을 유지시켜 주면서 변화되는 생리요인을 분석할 수 있도록 컴퓨터와 분석장치를 접속 운영하는 기술이 요구된다.

본 연구는 박 등<sup>(4)</sup>에 의해서 개발된 원예작물 자동생리계측 시스템에 과실의 호흡량과 중량감소를 측정할 수 있는 장치를 제작, 설치하고 여기에 가스분석기(IR gas analyzer)를 접속 운영하는 방법을 개발하고 이를 감귤류 저장연구에 활용하여, 저장환경 조건을 제어함과 동시에 저장기간 중 호흡량 및 중량감소를 무인 자동계측하는 방법을 개발하고자 하였다.

#### 재료 및 방법

##### 재료

제주감귤(*Citrus unshiu Marc*)을 시중에서 구입하여 저장시료로 사용하였다.

##### 방법

과채류 저온 저장시스템

저장시험에 사용된 저장시설 및 제어장치는 박 등<sup>(4)</sup>

Corresponding author: Jae-Kun Chun, Department of Food Science and Technology, Seoul National University, Suwon 440-744

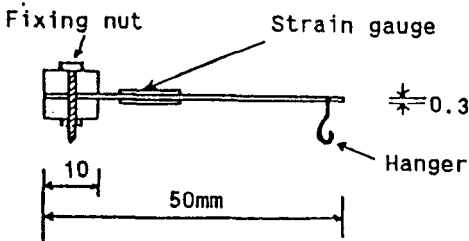
이 개발한 장치를 활용하였고 저장상자로부터 배출되는 탄산가스의 양을 분석하기 위해서 적외선 가스분석기 (IR CO<sub>2</sub> analyzer, ADC model, 225-MK3, UK) 와 접속 운영하였다. 저장실내의 저장조건은 저장제어 장치에 내장된 컴퓨터프로그램에 의하여 임의 설정하였으며 본 연구에서는 20±1°C의 온도를 유지할 수 있도록 하였고, 저장습도는 95-98% RH 조건을 유지시켰다.

**호흡량의 측정**

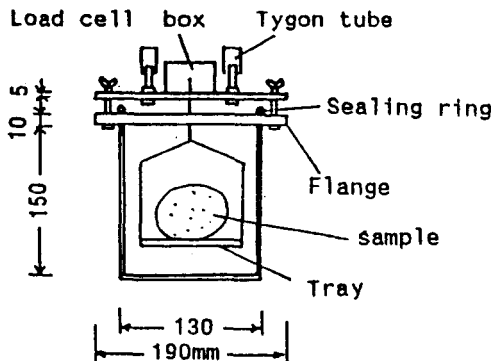
CO<sub>2</sub> 가스의 측정은 적외선 가스분석기의 측정모드 (measurement mode)에 따른 가스 연결방법에 준하였고<sup>(5)</sup> 계측기 출력단자에서 얻어지는 계측신호(0-100 mV)를 제어장치측의 입력조건(0-5V)에 맞도록 가공하고 디지털(digital)화 하였다<sup>(4)</sup>. 호흡속도는 식 (1)에서 산출하였으며<sup>(5)</sup> 탄산가스의 분석값은 표준 CO<sub>2</sub> 가스를 가스크로마토그래프(gas chromatograph)로 분석 후 보정하였다.

$$\text{Respiration rate(m/ CO}_2\text{/kg}\cdot\text{hr)} = (\text{C}_s - \text{C}_r) \text{F/S} \dots\dots\dots (1)$$

식에서 C<sub>s</sub>, C<sub>r</sub>은 각각 시료와 대조구(공기)로부터 배출되는 기체의 탄산가스의 농도이며 S는 시료의



(a) Structure of the Load cell



(b) Storing sample jar installed with weight measurement device

Fig. 1. Weight loss measurement device.

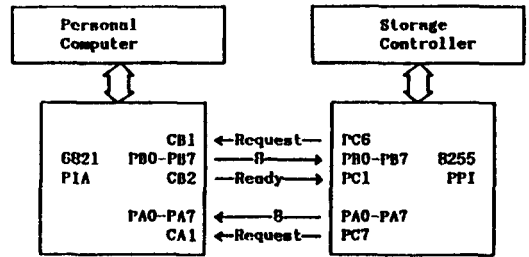


Fig. 2. Interface system between storage controller and personal computer using the handshaking method.

무게(kg), F는 가스분석기에 유입되는 시료공기의 유속(ml/hr)이다.

**저장 중 무게측정**

그림 1과 같이 스트레인게이지(strain gauge)를 활용한 load cell 장치를 제작하여 저장상자 뚜껑위에 장착시키고 저장상자내에 담겨져 있는 과실의 무게변화를 측정하였다<sup>(6)</sup>. 무게측정은 0-300g까지 가능하도록 하였으며 load cell의 감도는 ±0.05g이었다.

**주 컴퓨터와 접속시스템의 제작**

저장시험시 저장조건 및 저장상태의 계측주기 등은 실험실제 조건에 따라 달리할 필요가 있다. 따라서 제어장치의 운영프로그램을 사용자가 수시로 변경하여야 하는 불편을 덜고 개인용 컴퓨터의 키보드(key-board) 입력에 의해 실험조건을 설정할 수 있는 시스템을 그림 2와 같이 구성하였다. 제어기와 주 컴퓨터간의 대화는 handshaking 방식을 이용하였다<sup>(7)</sup>. 주 컴퓨터와 제어기의 동작을 결정해 주는 프로그램은 BASIC어로 작성하였고(그림 3) 자료전송 요구신호를 발하기 위한 기계어 routine을 제어장치의 ROM에 내장시켰다<sup>(8)</sup>.

**결과 및 고찰**

**과실류저장시 호흡량의 계측**

적외선 가스분석기를 사용하여 탄산가스의 발생량을 계측하는데 있어서 절대계측과 차등계측의 두 가지 방법을 사용할 수 있다<sup>(5)</sup>.

절대계측의 경우 그림 4(a)와 같이 시료의 탄산가스 발생량은 유입되는 기체에 의해 영향을 받았는데 이는 공기공급에 사용된 compressor의 유입공기의 차이에 의해 나타난 것으로 생각한다. 따라서 절대계측을 on-line화 하기 위해서는 기준공기의 농도를 소프트웨어적으로 고려해 주어야 한다.

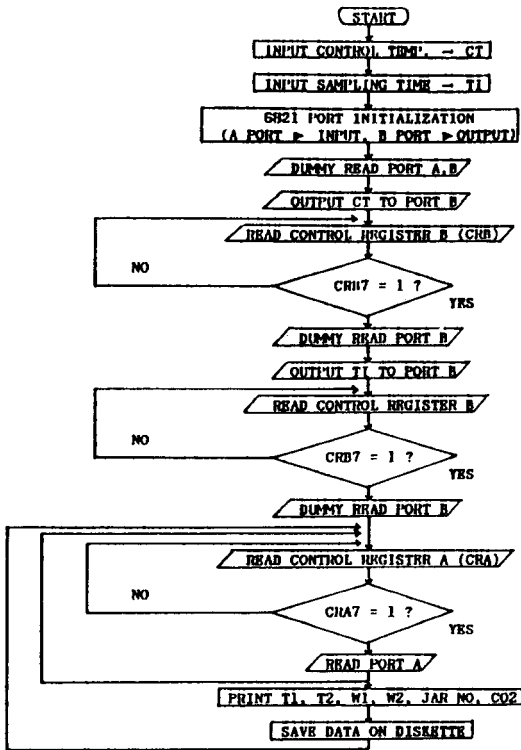


Fig. 3. Flow chart of the personal computer operating program.

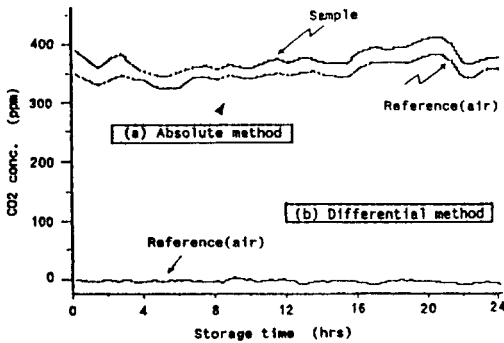


Fig. 4. CO<sub>2</sub> concentration change during the storage.

한편 차등계측 방법은 시료상자에서 발생된 탄산가스의 양이 직접 측정될 수 있는 장점이 있으며 계측감도는 공기(350 ppm CO<sub>2</sub>)를 reference air로 사용하는 경우 ±25 ppm이며 gain 조절에 의해 ±50 ppm 까지 측정 가능하다. 따라서 과일과 같이 호흡량의 변화가 미세한 경우는 차등계측이 더 유리하다고 할 수 있다. 그림 4(b)는 빈 시료상자에서 차등계측 방법에 의해서

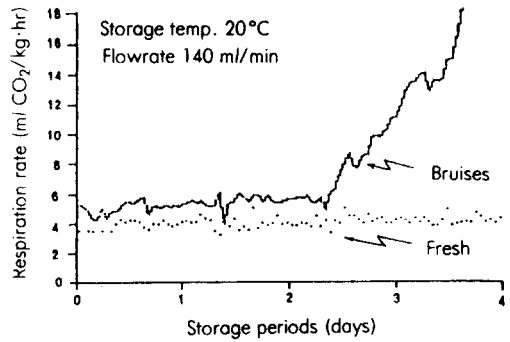


Fig. 5. Respiration rate of fresh and bruising tangerine.

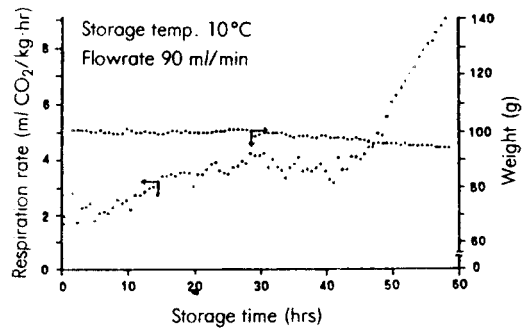


Fig. 6. Respiration rate and weight loss of tangerine.

측정된 탄산가스 농도의 경시적 변화를 보여주고 있다. 시료가 없기 때문에 발생된 탄산가스의 농도는 거의 0 ppm을 유지하였다.

감귤저장시 상처가 호흡에 미치는 영향

과실의 상처나 균의 오염은 호흡을 촉진시키는 것으로 보고되고 있으며<sup>(9)</sup> 수확 후 저장 수송에 이르기까지 제품의 품질에 많은 영향을 미치게 된다. 감귤의 경우 과육조직의 파손, 표피의 손상이 어떻게 호흡에 영향을 주고 있는가를 조사하기 위하여 상처를 낸 시료와 건전한 시료를 20°C에서 동시에 저장하면서 차등계측 방법으로 비교하여 본 결과 그림 5와 같이 약 50시간 이후부터 호흡량의 급격한 차이를 보여줌을 알 수 있었다. 이것은 감귤의 후숙과정에서 호흡량의 증가와 더불어 미생물의 증식이 일어나 호흡이 촉진된 것으로 생각된다.

그림 6은 호흡량의 증가에 따른 중량감소의 결과를 보여주고 있으며 실제 bruising에 의해 호흡량이 9ml/CO<sub>2</sub>/kg·hr 까지 증가되는 60시간 동안 약 5%의 수분 손실이 발생하였음을 알 수 있다. 이는 감귤류 내부의 표면확산작용에 의한 수분손실과 더불어 미생물의 오염

으로 인한 기질의 소모가 촉진되었기 때문인 것으로 생각된다.

#### 과실류저장 연구시설의 자동화

각 저장상자들은 50-300 ml/min의 공기가 흐르고 있기 때문에 한 상자에서 다음번 상자로 가스의 분석을 순차적으로 옮겨 수행할 때 배관내에는 두 상자의 배출 공기가 섞이게 된다. 따라서 관내 잔류 공기를 다음번 분석시료의 공기로 충분히 씻어내야 한다. 이 과정을 유속과 시간지연 프로그램에 의해 소프트웨어적으로 해결하였다.

이상의 실험결과 마이크로프로세서를 이용한 과실의 자동저장 제어장치를 감귤류 저장연구에 활용할 수 있었고 동 시설의 운영에 필요한 소프트웨어를 개발하는데 성공하였다.

#### 요 약

과채류 자동저장용 마이크로프로세서 제어장치를 활용하여 밀감의 저장시 발생하는 호흡량 및 중량감소를 자동 측정하였다.

중량감소는 스트레인게이지 load cell 장치를, 탄산 가스는 적외선 가스분석기로 측정하고 측정신호를 컴퓨터에 접속하여 on-line 화 하였다. 과일저장 조건과 측정시간 주기의 설정은 Z-80 마이크로프로세서와 컴퓨터간의 handshaking 정보교환 방식으로 수행할 수 있도록 하고 측정자료는 마이크로컴퓨터의 data file로써 자동기록 및 분석가능한 운영프로그램을 개발하였다.

건전한 것파 상처를 낸 감귤을 20°C에서 4일간 저장하면서 호흡량을 비교하여 본 결과 건전한 감귤은 3-5 ml CO<sub>2</sub>/kg·hr를 유지한 반면 상처를 낸 감귤의 경우는 50시간 이후부터 호흡량의 급격한 증가를 보였다. 한편 중량감소는 60시간 동안 건전한 감귤의 경우 거의 변화가 없었으나 상처를 낸 감귤의 경우 호흡량의 증가와 더불어 약 5%의 무게감소를 나타내었다.

#### 감사의 글

본 연구는 1986년도 문교부 자유공모과제 학술연구 조성비에 의하여 이루어 졌습니다.

#### 문 헌

1. Dillery, D.R., D.H. Dewey and R.R. Dedolph: Automated system for determining respiratory gas exchange of plant materials. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **94**, 138(1969)
2. Loughheed, E.C. and E.W. Franklin: Automated system for measuring respiration. *Can. J. Plant Sci.*, **48**, 435(1968)
3. Lee, S.K.: Development of an automated continuous flow system for measuring respiration and ethylene production of horticultural crops. *Agric. Res. Seoul Nat'l Univ.*, **12**(1), 21(1987)
4. 박재균, 전재근, 이승구, 김공환: 마이크로프로세서를 이용한 과채류 자동저장 제어장치의 제작과 온도 자동계측 관리시스템. *한국식품과학회지*, **20**(6), 845(1988)
5. ADC type MK3 plant physiology IR gas analyzer operational manual(1981)
6. 권영안, 전재근: 마이크로컴퓨터 제어 종국배양장치와 브리코오지 제조의 자동화. *한국식품과학회지*, **20**(3), 326(1988)
7. HD 6821 PIA HITACHI manual
8. 전재근, 이승구, 김공환: 마이크로프로세서 시스템을 활용한 원예작물 저장환경의 제어와 저장생리의 자동분석 시스템의 개발. 문교부 자유과제 학술연구보고서. (1987)
9. Gortner, W.A., G.G. Dull and B.H. Krauss: Fruit development, maturation, ripening, and senescence: a biochemical basis for horticultural terminology *Hortscience* **2**, 141(1967)

(1989년 2월 20일 접수)