

마이크로컴퓨터 시스템을 이용한 CA 저장 중 사과의 증산속도 측정

강준수·서명교·박재호·정신교*·정현식*·최종욱*

동의공업전문대학 식품공업과, *경북대학교 식품공학과

Measurement of Transpiration Rate of Apple with a Microcomputer-Based Data Acquisition System during CA Storage

Jun-Soo Kang, Myung-Gyo Suh, Jae-Ho Park,
Shin-Kyo Chung*, Hun-Sik Chung* and Jong-Uck Choi*

Department of Food Engineering, Dongeui Technical Junior College

**Department of Food Science and Technology, Kyungpook National University*

Abstract

A microcomputer system consisting of 16-bit microcomputer, PCL-711S interface board, sensors, and converters have been set up in order to automatically measure temperature, humidity and weight loss which are major variables of storage of apple. This system was operated by PC-LabDAS software. It has been possible to measure continuously the weight loss of Fuji apple stored in CA with the weight converter made by a miniature load cell and a strain amplifier. The temperature was checked by a k-type thermocouple and Pt 100 Ω RTD, and humidity by PQ653JA1 humidity sensor. It has been possible to set up a linear equation which shows high correlation between the estimate of temperature, weight, humidity and the output of the converter in that r^2 is more than 0.99. Transpiration rate, a significant factor of quality deterioration for CA storage of apple, can be estimated with these values.

Key words : Controlled Atmosphere, microcomputer, transpiration rate

서 론

사과의 CA 저장에 대한 연구는 다른 과채류에 비하여 비교적 많이 수행되어 왔다. 사과의 CA 저장조건,^{1,2)} CA 저장 중 경도, 산도, 관능적 품질의 변화,^{3,4)} 등에 대한 다양한 연구가 진행되어 왔으나 CA 저장 중 품질열화의 중요한 원인인 증산에 관한 연구는 찾아 보기가 힘들다.

대부분의 과채류는 수확할 때의 중량에 비해서 5% 정도의 감량이 일어 나면 가식중량이 줄어들 뿐만 아니라 시들고 외관이 나빠지며, flavor 및 texture가 저하되는 등 심한 품질의 열화가 일어난다.^{5,6)}

따라서 저장 중 과채류의 증산에 의한 감량을 줄이는 것은 매우 중요하다. 이를 위해서 온도, 습도, 무

게, 저장대기의 특성값 등 관련변수를 적절하게 선택하고 정확한 시간에 측정하여 증산기작을 정확하게 이해하여야 한다. 식품공정에서 변수가 되는 자료를 정확하게 측정하고 이를 바탕으로 공정을 제어하기 위해서 최근 급격한 속도로 보급되고 있는 마이크로컴퓨터를 활용한 연구가 국내외적으로 다양한 분야에서 수행되어 왔다.⁷⁻¹³⁾ 식품저장에 있어서도 CA 저장 중 CO₂ 및 C₂H₄ 함량의 측정,^{14,15)} 과채류의 호흡속도 측정을 위한 센서의 개발¹⁶⁾ 등의 분야에서 마이크로컴퓨터가 활용되었거나 활용될 여지가 충분히 있다. 이때 센서나 변환기의 정확성과 응답속도 및 접속장치 중 A/D converter(ADC)의 분해능은 공정제어나 자료 수집의 정도에 직접 영향을 미친다. 따라서 식품공정 변수를 컴퓨터로 측정함에 있어서 제반 변수를 전기

적 신호로 바꾸어 주는 센서와 변환기의 선택과 ADC를 포함하는 접속장치의 구성은 매우 중요한 역할을 한다.

본 연구에서는 16bit 마이크로컴퓨터, 12bit ADC와 디지털 입출력 port가 내장되어 있는 interface board, 그리고 변환회로 및 센서 등으로 구성하였고 이를 활용하여 저장의 중요한 변수인 온도, 습도 및 무게를 측정하였으며 이를 바탕으로 CA 저장 중 사과의 증산속도를 계속하였다.

재료 및 방법

1. 공시재료

경북 안동군 길안면 소재 청산농원에서 10월 24일 수확한 Fuji사과 중 외관이 건전한 중과를 선별하여 대형 CA 저장고에서 30일간 저장한 후 실험의 공시 재료로 사용하였다.

2. 실험장치 및 방법

1) 실험장치의 구성

본 실험에 사용한 CA 저장 system은 Fig. 1과 같이 gas control system, 마이크로컴퓨터 시스템, 그리고 CA storage chamber로 구성하였다.

(1) Gas control system

CA storage chamber내의 N₂농도를 조절하기 위한 New CA system인 hollow fiber membrane으로 구성되어 있는 nitrogen generator, 저장중의 CO₂농도를 조절하기 위한 99.9%의 CO₂기체가 들어 있는 CO₂ tank, 그리고 chamber내의 기체조성이 소정의 실험조건으로 유지되었는지의 여부를 확인하기 위한 paramagnetic O₂ analyzer(Model 655, Fruit control Co., Italy)와 infrared CO₂ analyzer(Model SS305, Fruit control Co., Italy)로 구성하였다.

(2) CA storage chamber

3mm 두께의 아크릴판으로 CA storage chamber(0.45×0.74×0.38m)를 제작하여 온도조절장치가 부착된 냉동기에 의해서 설정온도±0.5℃의 범위로 온도가 조절되는 walk-in room내에 두었다. CA storage chamber의 기밀성과 습도유지를 위하여 CA storage chamber의 뚜껑과 접촉하는 바닥에 홈을 만들고 물로 채웠다. 제작한 chamber의 기밀성은 H₂O manometer로 확인하였다.

(3) 컴퓨터 시스템

마이크로컴퓨터, interface board, 센서 및 변환기로 마이크로컴퓨터 시스템을 구성하였다.

(3-1) 마이크로컴퓨터 및 interface board

본 연구에 사용된 컴퓨터는 RAM 1 Mbyte, HDD 20 Mbyte를 내장한 IBM-PC/XT 호환기종의 16bit 마이

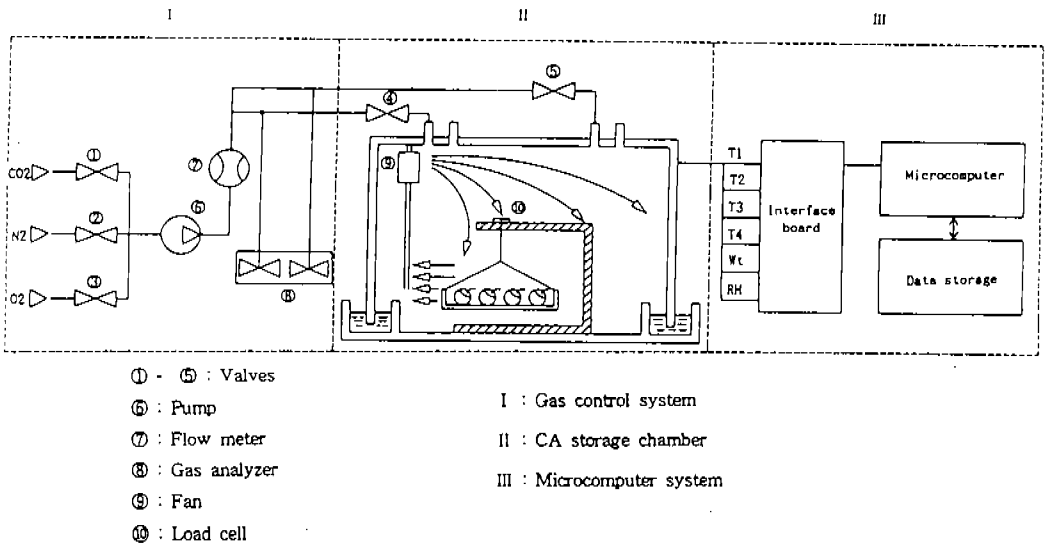


Fig. 1. Diagram of microcomputer-aided CA storage system.

크로컴퓨터이었다. 마이크로컴퓨터와 외부 변환기의 접속을 위해서는 PCL-711S Multilab package board (Advantech Co.)를 사용하였다. 이 interface board는 12bit의 ADC와 DAC가 장착되어 있어 8 channel의 아날로그 신호를 입력시키고 1 channel의 12bit 디지털 신호를 아날로그로 출력시킬 수 있다. 또한 16bit의 디지털 입력력이 가능한 다용도 interface board로서 자료수집, 공정제어, 공장자동화 등에 응용할 수 있는 다양한 기능을 갖고 있다.

(3-2) 센서 및 변환기의 선택과 교정

온도

k type 열전기쌍과 열전기쌍용 온도변환기(Model DSTC-IDI-Yu, Delta I/O, Korea), 그리고 RTD(Pt 100 Ω)과 Fig. 2의 회로에 따라 자체적으로 제작한 변환기를 이용하여 측정하였다. 이 회로의 이득은 $1+R/aR$ 로 표시되는데 본 연구에서는 이득을 15.39로 하였다. 온도 변환기를 통하여 $-50\sim 100^{\circ}\text{C}$ 의 온도를 $-5\sim +5\text{V}$ 의 아날로그 출력으로 변환시켜 컴퓨터에 장착된 interface board에 입력시켰다. 온도센서 및 변환기의 표정은 표준온도계로 물의 빙점과 비점 사이에서의 온도를 측정하여 수행하였다.

상대습도

도전성 고분자 감습막이 형성되어 있는 습도센서(PQ653JA1, Shinyoung, Japan)와 자체적으로 제작한

변환회로를 이용하여 저장대의 상대습도를 측정하였다.¹³⁾ 상대습도 표정은 습도센서를 포화염용액에 의해서 일정하게 습도가 유지된 공간내에 두어 수행하였다.¹⁷⁾

무게

4개의 strain gauge가 Wheatstone bridge를 형성하고 있는 diaphragm type의 miniature load cell(LM-A-L, Kyowa, Japan)로 무게변환기를 제작하였다. 무게변환기의 출력값은 strain amplifier(DPM-613B, Kyowa, Japan)에 내장된 low pass filter를 이용하여 주파수 1kHz 이하의 잡음은 제거시키고 ADC 입력전압 범위인 $-5\sim +5\text{V}$ 로 증폭시킨 후 컴퓨터에 입력시켰다. 본 연구에서는 $0\sim 2\text{kg}$ 까지의 무게변화를 측정할 수 있는 무게변환기를 구성하였다. 본 장치는 디지털저울로 실측한 무게로 표정하였다.

(4) 소프트웨어

마이크로컴퓨터 시스템을 작동시키기 위해서 Advantech Co.의 자료수집, 공정제어 및 자료분석용 소프트웨어인 PC-LabDAS를 이용하여 프로그램을 작성하였다. 본 소프트웨어를 이용하면 32 channels의 아날로그 및 디지털 신호를 입력시키고 4 channels의 D/A신호를 출력시킬 수 있다. 본 연구에서 온도, 습도, 증량감소 등의 변수값 계측은 본 소프트웨어의 DC전압측정 port를 이용하여 컴퓨터로 입력시켰다.

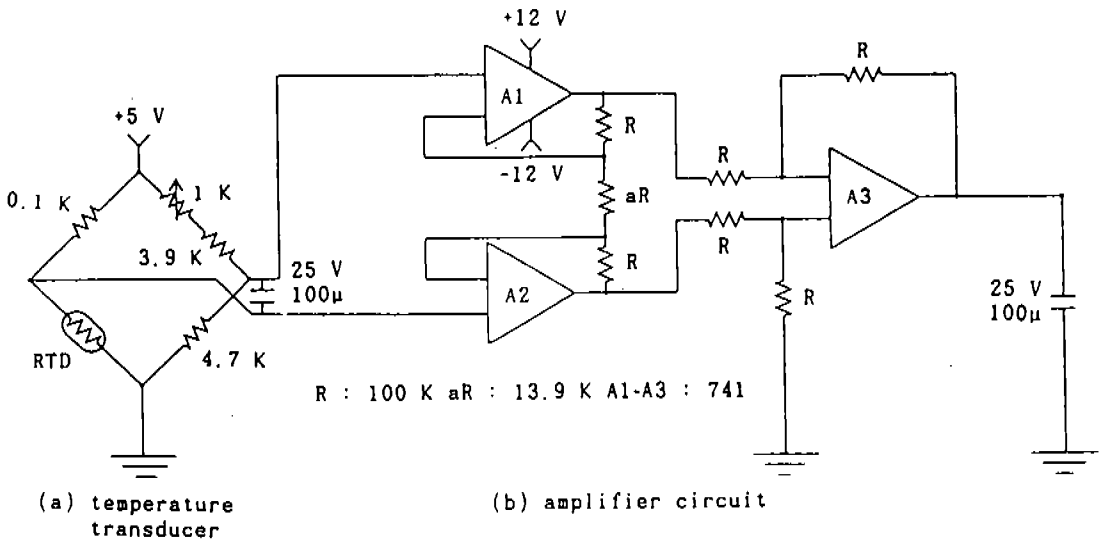


Fig. 2. The circuitry of temperature measurement device.

2) 실험 방법

(1) 실험조건 설정

본 연구에서는 일반적으로 사과 Fuji의 CA저장에서 선택하는 저장조건인 O₂ 농도 1~3%, CO₂농도 1~3%와 온도 0℃, 상대습도 95%, 공기 유속 0.25m/s를 실험조건으로 설정하였다.

(2) 실험조건 확인

저장 초기 chamber내의 대기조성 중 O₂농도는 nitrogen generator에서 발생되는 N₂기체를 저장고내로 송입하여 chamber내의 O₂기체를 N₂기체로 치환시켜 소정의 농도까지 감소시켰다. 또한 CO₂농도는 tank내에 들어 있는 99.9%의 CO₂기체를 저장고내로 송입하여 소정의 농도까지 증가시켜 조절하였다. 저장 중 사과의 호흡에 의하여 chamber내의 CO₂농도가 설정조건 이상으로 증가하였을 때에는 외기를 주입시켜 적정농도로 만들었다. Chamber내의 기체조성이 소정의 실험조건으로 유지되었는지의 여부는 paramagnetic O₂ analyzer와 infrared CO₂ analyzer로 24시간 간격으로 확인하였다. 저장대기의 온 습도는 온 습도센서 및 변환기와 마이크로컴퓨터 시스템을 이용하여 자동으로 측정하였으며, chamber내의 공기유속은 풍력계(Anemometer, Model 24-6111, Nihon Kagaku Kogyo Co., Japan)로 측정하였다.

(3) 사과의 표면적 및 중량감소

사과의 표면적은 사과 껍질을 얇게 깎아서 구했으며, 중량감소는 CA storage chamber내에 설치한 무게 측정용 변환기의 tray위에 6개의 사과를 서로 접촉하지 않도록 얇고 마이크로컴퓨터 시스템을 이용하여 1시간 간격으로 자동 측정하여 4회 평균한 값을 저장 중 사과 Fuji의 중량감소의 자료로 이용하였다.

(4) 증산속도

증산속도는 단위표면적당 수분손실속도로 정의되므로 중량감소량과 표면적으로 부터 구했다.

(5) 통계 처리

SAS(Statistical Analysis System)[®]를 사용하여 자료를 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 저장대기의 조성

Fig. 3은 저장고내의 기체 조성을 O₂ 1%, CO₂ 3%

로 설정하고 조절하면서 50일동안의 저장을 수행하는 중 storage chamber내의 기체조성을 측정한 결과이다. Chamber내의 기체조성의 확인과 조절은 하루에 한번씩 실시하였는데, O₂, CO₂기체조성 모두를 설정조건 ±0.5% 범위로 조절, 유지할 수 있었다.

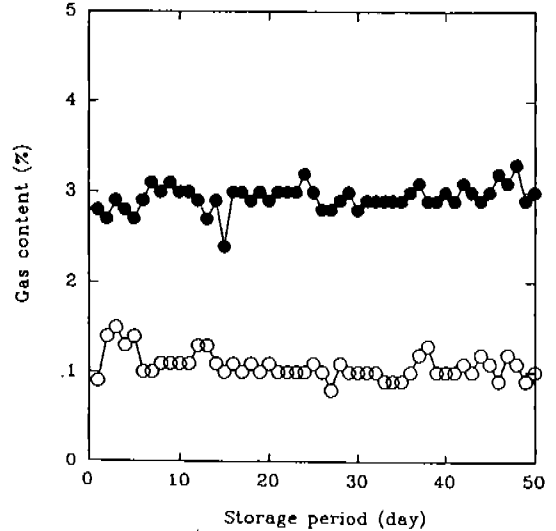


Fig. 3. Variation of atmospheric composition in a CA storage chamber over a 50-day period.

- : CO₂ content
- : O₂ content

2. 저장변수의 마이크로컴퓨터 계속

1) 온도

각 센서에 대해서 온도변화에 따른 ADC입력전압값의 변화의 자료로 회귀분석을 수행하여 식 (1)의 직선식을 얻었다. 각 센서의 a, b값과 상관계수 및 용도는 Table 1에 나타내었는데 모든 센서가 0.99이상의 상관계수를 나타내었다.

$$T = a + bv \tag{1}$$

Table 2. Characteristics of thermometer probes.

Type	Sensor constant		Correlation coefficient	Uses
	a	b		
thermocouple k	-34.8	30.2	0.9999	T _b
thermocouple k	-33.6	29.7	0.9997	T _{wb}
RTD(Pt 100Ω)	7.9	16.2	0.9997	T _b
RTD(Pt 100Ω)	5.2	16.2	0.9994	T _{wb}

Fig. 4는 실험조건을 0°C로 설정했을 때 사과와 CA 저장 중 50일 동안 CA storage chamber내의 온도를 온도변환기와 마이크로컴퓨터 시스템을 이용하여 자동으로 측정된 것이다. 저장대기의 온도 역시 ±0.5°C 범위로 잘 조절되어 안정된 조건하에서 저장을 수행할 수 있었다.

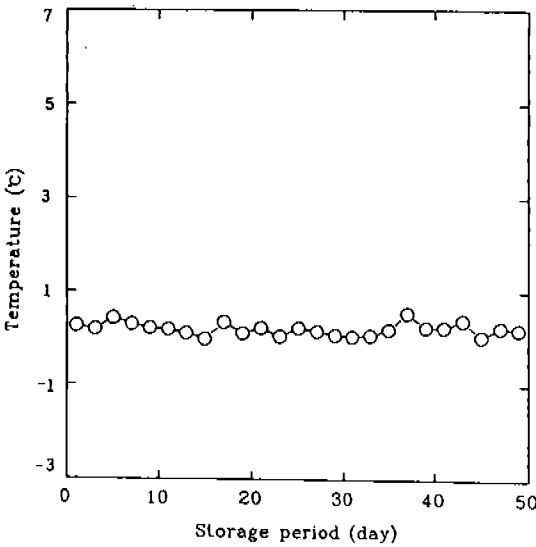


Fig. 4. Change of temperature in CA storage chamber.

2) 상대습도

습도 변환기의 출력값(v, volt)과 상대습도(RH, %)의 관계는 식 (2)와 같았다.

$$RH = 75.4 + 9.1v^{1/2} (r^2 = 0.9906) \quad (2)$$

Fig. 5는 사과와 CA저장 중 50일 동안 CA storage chamber내의 습도를 측정된 결과인데 저장대기의 습도는 94.4~94.6%로 거의 일정하게 나타났으며 습도 변환기의 안정성도 우수하게 나타났다.

3) 무게

본 연구에 사용한 load cell은 내부에 4개의 strain gauge가 bridge를 형성하고 있어 외부에서 하중이 가해지면 이에 상응하여 출력전압이 바뀐다. 이때 bridge의 출력전압은 입력전압에 따라서도 약간의 차이는 있으나 대체로 ADC에 입력시키기에는 미세하므로 strain amplifier로 증폭시켰다. 본 연구에서는 0~2kg까지의 무게변화를 측정할 수 있는 무게변환기를 구성하였는데 측정된 실제 무게변화(Wt, g)에 대한 무게변환기의 출력전압(v, volt)의 관계식은 식(3)과 같았다.

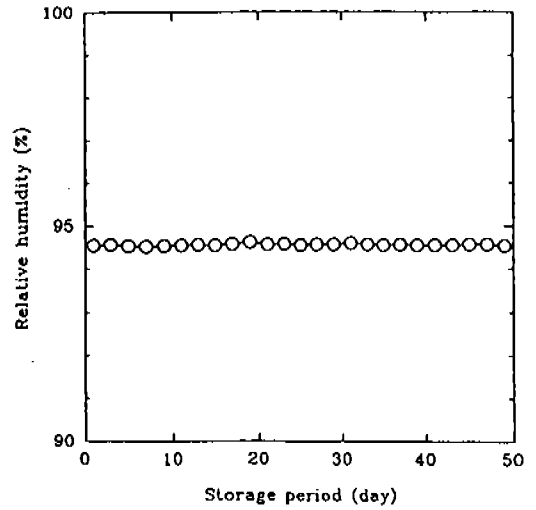


Fig. 5. Change of relative humidity in CA storage chamber.

$$W_t = -114.9 + 483.5v (r^2 = 0.9991) \quad (3)$$

Fig. 6은 무게변환기를 이용하여 CA 저장 중 사과와 증량감소를 50일 동안 측정된 결과이다. 저장기간(day)의 경과에 따른 사과와 증량변화(Wt)를 SAS의 regression procedure로 회귀분석을 수행한 결과 F value 892.469, Prob>F는 0.001, r²가 0.9490의 1차원의 직선식(Wt = 1978.7 - 0.20 × day)으로 나타나, 저장기간 중 사과와 증량이 직선적으로 감소한다고 표현할 수 있었다. 증량변환기의 출력값도 전체의 저장기간에 걸쳐 큰 변동이 없었으므로 훌륭히 실험목적을 달성할 수 있었다.

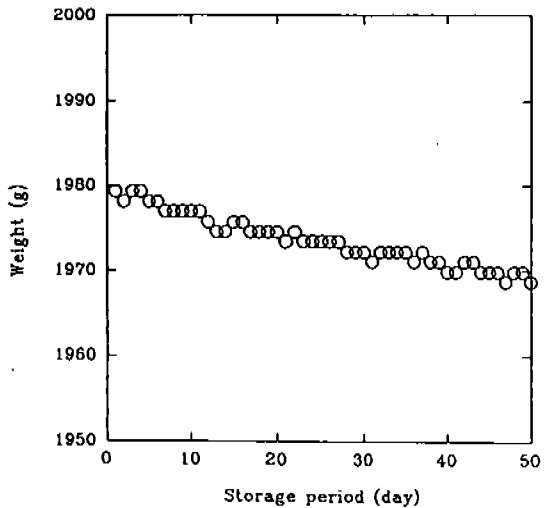


Fig. 6. Weight loss of apple during CA storage.

3. CA 저장 중 사과 Fuji의 증산속도

요 약

1) 사과의 표면적

사과의 표면적(S, cm²)과 중량(Wt, g)과의 관계는 $S = 128.501 + 0.415Wt$ ($r^2=0.9926$)으로 나타나, 이 식을 이용하면 측정이 번거로운 사과의 표면적을 중량으로부터 쉽게 환산할 수 있었다.

2) 증산속도

Table 2에 온도 0°C, 상대습도 95%, 공기유속 0.25m/s에서 저장대기의 기체조성에 따른 사과의 증산속도의 측정값과 강²⁰의 연구에서 구한 예측치를 나타내었다. 사과 Fuji의 증산속도 측정값은 CA 저장조건에서는 2.0944×10^{-6} kg/m²s 에서 3.0800×10^{-6} kg/m²s 사이였으며 일반저온저장의 경우는 4.0831×10^{-6} kg/m²s으로 나타나 CA 저장의 경우가 일반저온저장에서 보다 약간 낮았다. 같은 저장조건에서 본 연구에서 채택한 수학적 모델로 예측한 증산속도는 $2.1532 \sim 2.3630 \times 10^{-6}$ kg/m²s 이었다. 사과를 저장할 경우

사과 저장의 중요변수인 온도, 무게, 상대습도를 측정하기 위하여 16bit 마이크로컴퓨터와 PCL-711S 접속 board로 마이크로컴퓨터 시스템을 구성하였다. 구성된 마이크로컴퓨터 시스템은 PC-LabDAS를 활용하여 작동시켰다. 또한 CA 저장고내의 기체조성은 gas control system을 구성하여 원하는 수준으로 조절하였다.

Miniature load cell과 strain amplifier로 제작한 무게 변환기로 CA 저장 중 사과 Fuji의 중량감소를 연속적으로 측정할 수 있었으며 온도는 k-type의 열전기쌍과 Pt100Ω의 RTD를 이용하여, 습도는 PQ653JA1 습도 센서를 이용하여 측정하였다.

온도, 무게 및 습도의 측정값과 변환기의 출력값 사이에서 r^2 가 0.99이상으로 고도의 상관관계를 갖는 선형 방정식을 구할 수 있었다. 이 자료를 바탕으로 사과의 CA저장 중 품질열화의 중요한 원인이 되는 증산속도를 구할 수 있었다.

Table 2. Transpiration rates of Fuji apple at $T_b=0$ °C, $V=0.25$ m/s, $RH=95\%$.

Gas content O ₂ (%)+CO ₂ (%)	Mean transpiration rate(kg/m ² s)	Predicted transpiration rate(kg/m ² s)
1+1	2.4445×10^{-6}	2.1715×10^{-6}
1+2	3.0556×10^{-6}	2.1610×10^{-6}
1+3	2.6043×10^{-6}	2.1532×10^{-6}
2+1	2.7778×10^{-6}	2.1773×10^{-6}
2+2	2.0944×10^{-6}	2.1667×10^{-6}
2+3	2.3410×10^{-6}	2.1609×10^{-6}
3+1	2.4321×10^{-6}	2.1831×10^{-6}
3+2	3.0800×10^{-6}	2.1724×10^{-6}
3+3	2.9510×10^{-6}	2.1666×10^{-6}
Air	4.0831×10^{-6}	2.3630×10^{-6}

Pieniazek²⁰는 저장온도 25°C, RH 63%에서 사과의 품종별 증산속도는 Golden Delicious가 $1.1767 \times 10^{-6} \sim 3.1861 \times 10^{-7}$, Baldwin은 $4.7695 \times 10^{-7} \sim 2.6722 \times 10^{-7}$, McIntosh는 $8.4640 \times 10^{-7} \sim 2.1000 \times 10^{-7}$ 이라고 보고했다. 본 연구에서 측정된 증산속도 값은 이 값보다 다소 낮았으나 저장온도, 습도, 저장대기의 기체조성 등을 고려해 볼때 신뢰성있는 값으로 볼 수 있다.

참 고 문 헌

- D. H. Dewey(1983) Development in food preservation-2. Applied science publishers, Pp. 1~24.
- A. A. Kader(1981) Modified atmospheres and low pressure systems during transit and storage. U. C. Davis Plant science 196 Syllabus, 10-1-10-10.
- Lau O. L. and N. E. Looney(1982) Improvement of fruit firmness and acidity in controlled-atmosphere stored 'Golden Delicious' apples by a rapid O₂ reduction procedure. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 107(4), 531~534.
- Lidster P. D., K. B. McRae and K. A. Sanford(1981) Responses of "McIntosh" apples to low oxygen storage. J. Am. Soc. Hort. Sci., 106(2), 159~162.
- Sastry S. K. and D. E. Buffington (1982) Transpiration rate of stored perishable commodities. ASHRAE Transactions, 88, 159.
- Sastry S. K., C. D. Baird and D. E. Buffington(1978) Transpiration rates of certain fruits and vegetables. ASHRAE Transactions, 84(2), 237~255.
- 최부돌, 전재근(1987) 마이크로 컴퓨터를 이용한

- 식품가공 공정중의 온도 및 무게 측정용 Analog-digital 변환 및 접속 시스템의 제작. 한국식품과학회지, 19, 129.
8. 권영안, 전재근(1988) 마이크로 컴퓨터 제어 중국 배양장치와 브리코요지 제조의 자동화. 한국식품과학회지, 20, 326.
 9. 전재근, 강준수(1987) 마이크로 컴퓨터 감압 건조시스템의 제작운동과 풋고추의 감압건조특성. 한국농화학회지, 30, 65.
 10. 박제균, 전재근, 이승구, 김공환(1989) 과채류 저장시 호흡량과 중량감소의 자동계측. 한국식품과학회지, 21, 387.
 11. Parsons J. E., J. L. Dunlap, J. M. McKinion, C. J. Phene and D. N. Baker(1980) Microprocessor-based data acquisition and control software for plant growth chambers.(Spar system) Transactions of the ASAE, 589~595.
 12. Phene C. J., D. N. Baker, J. R. Lambert, J. E. Parsons and J. M. McKinion(1978) SPAR- A soil-plant-atmosphere research system. Transactions of the ASAE, 924~930.
 13. 강준수, 서명교, 정신교, 최종욱(1992) 마이크로컴퓨터를 이용한 식품공정의 변수계측. 한국식품과학회지, 24, 524.
 14. Loughheed E. C. and E. W. Franklin(1968) Automated system for measuring respiration. Can. J. Plant Sci., 48, 435~438.
 15. Alley E. W. and R. M. Davis(1981) A compact automatic system for measuring CO₂ and C₂H₄ evolution by harvested horticultural crops. Hort. Science. 16(1), 39~41.
 16. Forcier F., G. S. V. Raghavan and Y. Garipey(1987) Electronic sensor for the determination of fruit and vegetable respiration. Int. J. Refrig. 10, 353~356.
 17. Louis, B. R.(1960) Saturated salt solutions for static control of relative humidity between 5° and 40°C. Analytical chemistry, 32, 1375.
 18. SAS Institute Inc.(1985) SAS STAT guide, 6th ed., SAS Institute Inc., Cary, NC.
 19. 강준수(1993) CA 저장 중 마이크로컴퓨터 시스템을 이용한 사과 Fuji의 증산속도 예측. 경북대학교 박사학위 논문.
 20. Pieniazek S. A.(1943) Maturity of apple fruits in relation to the rate of transpiration. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 42, 231~237.