

◆특집◆ 바이오 계측

가변주파수 정현파진동에 의한 에틸렌 발생에 따른 사과의 비파괴품질계측

김기석*, 김만수*, 정현모**, 황용수***, 김기복****

Nondestructive Measurement of Apple Quality Using Ethylene Generated by Sweep Sinusoidal Vibration

Ghi Seok Kim*, Man Soo Kim*, Hyun Mo Jung**, Yong Soo Hwang*** and Ki Bok Kim****

Key Words : Ethylene Production(에틸렌발생), Sweep Sinusoidal Vibration(가변주파수 정현파진동),
Nondestructive Measurement of Apple Quality(사과의 비파괴품질계측)

1. 서론

과실의 수송수단으로는 대부분 트럭을 이용하고 있으며 주로 상온 유통되고 있는데 이러한 수송과정 중 환경조건은 과실의 품질에 중요한 영향을 미치게 된다.

수송 중인 과실이 환경변화를 크게 겪지 않는다 면 이 동안 손상의 주요인은 진동에 의한 충격력일 것이다. 이러한 기계적인 스트레스가 증가할수록 과실에는 멍이 생기거나 표면이 긁히는 물리적 손상이 발생되며, 진동을 받은 과실은 에틸렌을 많이 발생시키고 이는 노화를 촉진하여 결국 과실의 품질을 저하시키게 된다.

과실은 유통과정 중 기계적 손상에 의한 손실은 약 30~40%인 것으로 보고 되어있으며 이러한 손상은 대부분 수송과정 중에 발생하는 기계적인 진동과 충격에 의한 것으로 이로 인한 경제적 손

실은 매우 클 것으로 판단된다.

따라서 과실의 수확 후 수송 중에 발생하는 기계적인 진동으로 인한 손상을 줄이고 외부진동에 대한 과실의 거동을 분석하여 손실을 최소화시킬 수 있는 방안을 모색하는 것은 큰 관심사로 부각되고 있다.

강인규 등(2006)은 사과의 저장 중 발생하는 에틸렌(ethylene)이 세포벽 성분들의 변화에 미치는 영향을 분석하였으며 그 결과 에틸렌 발생량이 증가하면 세포벽 분해효소의 활성도 증가되어 이들 효소가 세포벽 중층을 구성하고 있는 비섬유성 다당류들을 분해하여 세포벽을 붕괴시킴으로써 과실의 연화과정이 진행된다고 하는 사실을 확인할 수 있었다고 보고하였다.

최(2005)는 사과와 복숭아에 에틸렌 억제제인 1-MCP를 처리하고 22℃, 상대습도 90%의 조건에 저장하면서 에틸렌 발생량을 1일 간격으로 측정, 비교하였다. 그 결과 1-MCP 무처리 구에서는 에틸렌 발생량이 저장 후 4일에는 급격히 증가하여 이후 1주일 동안 매일 1.5~4배의 비율로 증가하다가 그 이후에는 발생량의 증가율이 둔화되었으나 꾸준히 증가하였다고 보고하였다.

본 연구에서는 기계적인 스트레스에 대한 사

* 충남대학교 생물자원공학부 생물산업기계전공

Tel. 042-821-7869, Fax. 042-823-6246

Email : kelvins@cnu.ac.kr

** 경북과학대학 패키징매니지먼트과

*** 충남대학교 식물자원학부 원예학전공

**** 한국표준과학연구원 삶의질표준부

과의 품질변화를 분석하기 위하여 가변주파수 정현파 진동을 이용한 모의 유통환경을 진동시험기로 구현한 후 가스크로마토그래피장치를 이용하여 사과에 에틸렌발생량을 측정하고 회귀분석을 이용하여 입력가속도수준과 저장시간에 대한 사과에 에틸렌발생 모델을 개발하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

실험에 사용된 과실은 사과(후지)이었으며, 시료는 모두 2006년 10월 초순경에 일반농가(경상남도 거창)에서 수확된 후 시험에 사용되기 전까지 약 10일 정도 저온저장(3±1℃, 85±5% rh)하였다. 시료들의 기본적인 물성들은 Table 1과 같으며, 시험에 사용되기 전 실험실의 환경조건(15℃, 75% rh)에서 약 5시간 동안 적응을 시킨 후 시험에 사용하였다.

Table 1 Harvesting date and physical characteristics of the fruits used in tests

Cultivar	Date of harvest	Volume (10 ⁻⁴ m ³)	Mass (kg)	True density (kg/m ³)
Apple (Fuji)	2006. 10	3.619	0.30	830.75

2.2 실험장치

본 연구에서는 사과에 가변주파수 정현파 진동을 가하기 위한 진동시험기와 사과에 에틸렌 발생량을 측정하고 분석하기 위한 가스 크로마토그래피 장치를 사용하였다.

Fig. 1은 진동시험기의 전체적인 구성을 보여주는 개략도로서 진동을 발생하는 전자식 가진기(shaker)와 가진기의 진동을 제어해주는 제어장치, 제어장치에서 전자식 가진기로 출력되는 제어신호를 증폭시켜주는 증폭기(amplifier)와 시험편의 진동특성을 측정하고 가진기를 제어하기 위한 가속도계로 구성되었으며, 진동시험기의 주요 제원은 Table 2와 같다. 진동시험기를 이용하여 진동을 가해준 과실과 진동을 가하지 않은 과실의 생리적 특성을 비교·분석하기 위해 가스 크로마토그래피 장치를 이용하여 에틸렌(C₂H₄)발생량을 측정 및 분석하였으며, 가스 크로마토그래피 장치와 제원을 Fig. 2와 Table 3에 각각 나타내었다.

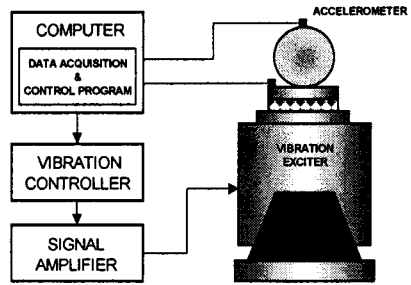


Fig. 1 Schematic diagram of the vibration test apparatus for fruits

Table 2 Specification of the vibration test apparatus for the fruits

items	specifications	
electro-magnetic Shaker	sine force(peak)	150 kg _r
	random force(rms)	150 kg _r
	shock force(peak)	300 kg _r
	useable Frequency	5~4,500 Hz
	max. disp.(p-p)	25 mm
	max. velocity	120 cm/sec
	max. acceleration	60 G
	vertical load support	70 kg _r
blower	power(Full Load)	0.75 kW
	air flow rate	0.11 m ³ /s
	air pressure	0.0045 Mpa
accelerometer	range	±50 G
	sensitivity	100 mv/v
	frequency response	1~10,000 Hz

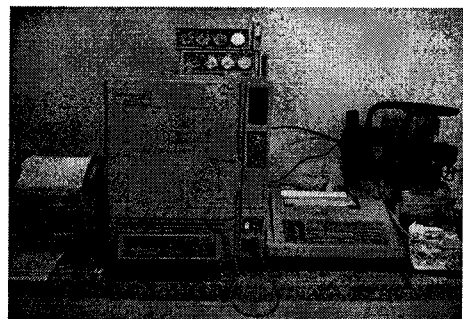


Fig. 2 Gas Chromatography used in the study

Table 3 Specifications of Gas Chromatography used in the study

Item	Specifications
inner volume	W230×D140×H360 mm
temp. control range	10~399 ℃
max. heating rate	13min. for 50~350 ℃
cooling speed	9min. for 300~50 ℃
temperature accuracy	±1% of the set temp.
signal output	-1~+1 volt
power requirements	1700 VA

2.3 실험방법

가변주파수 정현파 진동에 따른 과실의 에틸렌가스발생량을 분석하기 위해서 Fig. 3에서 보는 바와 같이 과실 개체별로 가변주파수 정현파 진동 실험을 하였으며, 이때 실험주파수 범위는 5~250 Hz이었고, 스위프율은 0.5 octave/min, 입력가속도 수준은 0.5 G, 0.75 G, 1.0 G 및 1.25 G로 정하여, 이 입력가속도 한 수준에 대하여 진동을 가한 시간은 30분으로 하였다.

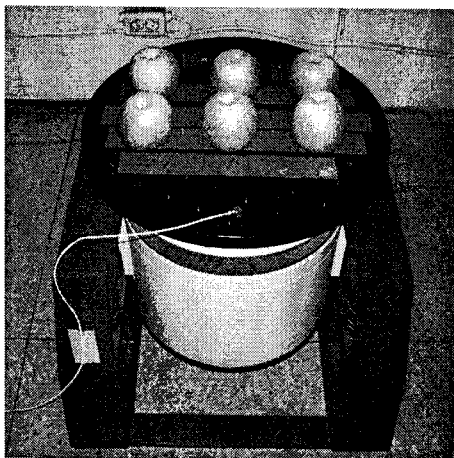


Fig. 3 Sinusoidal sweep vibration test for the fruits

가변주파수 정현파 진동을 가한 과실과 가하지 않은 과실을 입력가속도 별로 분류하여 Fig. 4와 같이 동일한 입력가속도에 대해 두 개씩의 과실을 채취하여 가스 포집용 용기에 담은 후 항온항습 챔버를 이용하여 20℃, 80±5 % rh에서 120분간 보관한 후 1 ml용량의 주사기를 이용하여 각

각의 용기 당 4개씩의 가스를 포집하였으며, 포집된 과실의 가스는 가스 크로마토그래피 장비를 이용하여 시험편별로 에틸렌가스발생량을 계측하였다.

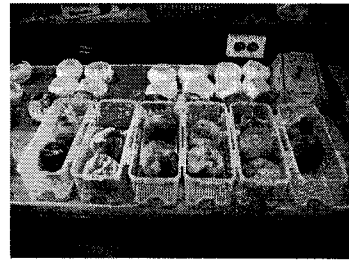


Fig. 4 Ethylene gas collection of fruits

3. 결과 및 고찰

3.1 입력가속도와 저장시간에 따른 사과에 에틸렌 발생량

Fig. 5는 포장하지 않은 사과 개체를 대상으로 가변주파수 정현파 진동을 가한 후 저장시간에 따른 에틸렌 발생량을 계측·분석한 것으로서 사과 개체에 가한 정현파 진동은 수송경로의 가속도 수준을 고려하여 0.5 G, 0.75 G, 1.0 G 및 1.25 G의 네 가지의 입력가속도로 설정하였으며, 과실 개체는 가변주파수 정현파 진동을 가한 후 상온(20℃, 60% RH)에서 2시간 동안 보관한 후 상온(20℃, 60% RH)에서 저장하면서 1일 간격으로 총 4회 에틸렌 발생량을 계측한 결과이다.

Fig. 5와 Table 4에서 보는 바와 같이 진동을 가한 사과 개체와 진동을 가하지 않은 사과 개체 간의 에틸렌 발생량은 저장시간이 길어짐에 따라 급격히 증가하는 경향을 보였으며, 이러한 경향은 더 큰 입력가속도 수준으로 진동 스트레스를 가한 과실에서 더욱 뚜렷하였다.

3.2 사과에 에틸렌 발생 모델

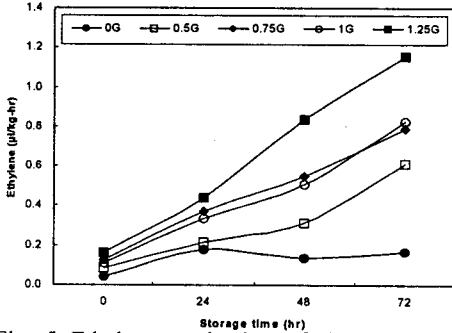


Fig. 5 Ethylene production of the apple after sweep sinusoidal vibration excited

Table 4 Ethylene production of the apple after sweep sinusoidal vibration excited

Storage time \ Sample	0 hr	24 hr	48 hr	72 hr
No Vibration	0.0401	0.1788	0.1363	0.1694
Excited(0.5 G)	0.0854	0.2167	0.3157	0.6126
Excited(0.75 G)	0.1247	0.3693	0.5463	0.7875
Excited(1.0 G)	0.1113	0.3330	0.5089	0.8257
Excited(1.25 G)	0.1616	0.4413	0.8343	1.1534
Average	0.1046	0.3078	0.4683	0.7097
Std	0.04535	0.10860	0.26229	0.35976

과실의 수송 중 진동에 따라 과실에서 발생하는 에틸렌을 추정해보기 위하여 진동의 주요인자인 입력가속도와 과실의 저장기간을 변수로 하여 모델을 개발하였다.

모델개발에는 회귀분석용 패키지인 DataFit(Oakdale Engineering Co., ver. 8.0, USA)을 사용하였으며, 여러 가지 형태의 모델 중 결정계수가 0.9677로 비교적 높았던 Table 5에서와 같은 모델로 결정하였으며 그 반응표면은 Fig. 6에서와 같다. 그림에서 알 수 있듯이 입력가속도가 작을 경우에는 사과의 에틸렌 발생량이 저장기간에 따라 크지 않았으나 입력가속도가 커짐에 따라 에틸렌 발생량은 급격히 증가하였다. 이러한 결과는 수송 중 입력가속도가 큰 진동 즉, 노면의 요철이 심한 경우 수송된 과실은 다른 과실에 비하여 훨씬 빨리 과실의 노화가 진행된다는 것을 의미한다.

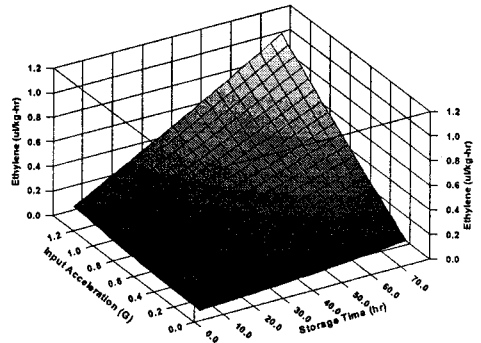


Fig. 6 Response surface of ethylene production of the apple as a function of the storage time and the input acceleration

4. 결론

모의 수송환경에서 사과의 품질변화를 예측하기 위하여 가변주파수 정현파 진동에 따른 사과의 에틸렌발생량을 계측하였으며 회귀분석을 이용하여 사과에 가해진 진동의 입력가속도수준과 진동을 가한 후 저장시간에 따른 사과의 에틸렌발생량 모델을 개발하여 사과의 품질변화를 분석하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 사과에 대한 가변주파수 정현파 진동실험 후 저장기간 중에 발생하는 에틸렌 발생량에 대한 모델(EL)을 입력가속도(IA) 및 저장기간(ST)을 변수로 하여 다음과 같은 회귀식을 개발하였다.

$$EL=a+b \times ST+c \times IA+d \times ST^2+e \times IA^2+f \times ST \times IA$$

2. 사과의 에틸렌발생 회귀모델에 의하면 사과에 가해진 진동의 입력가속도가 작을 경우에는 저장기간에 따라 사과의 에틸렌 발생량이 크게 변하지 않았으나 사과에 가해진 진동의 입력가속도가 커짐에 따라 에틸렌 발생량은 급격히 증가하였고 이러한 결과는 실제 계측된 사과의 에틸렌발생량과 동일하였다.

Table 5 Coefficients of multiple regression model for ethylene production

Variables	EL=a+b×ST+c×IA+d×ST ² +e×IA ² +f×ST×IA				Coefficient of multiple determination (R ²)
	Coefficients	Standard error	t-ratio	Prob.(t)	
a	0.080175	0.053580	1.496354	0.15676	0.9677
b	0.000906	0.002261	0.400949	0.69451	
c	-0.023257	0.120451	-0.193084	0.84967	
d	1.073474E-05	2.690695E-05	0.398958	0.69594	
e	0.048877	0.085844	0.569370	0.57813	
f	0.009628	0.001292	7.454678	0.0	

* Note : EL = Ethylene production($\mu\text{l}/\text{kg} \cdot \text{hr}$), IA = Input acceleration(G), ST = Storage time(hr)

후기

이 논문은 농촌진흥청의 2007년도 현장협력기술개발사업 지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1. ASTM D3580. "Standard Test Methods for Vibration(Vertical Linear Motion) Test of Products."
2. Barchi, G. L., Berardinelli, A., Guarnieri, A., Ragni, L. and Totaro, C., "Damage to loquats by vibration-simulating intra-state transport," Biosystems Engineering, Vol. 82, No. 3, pp. 305-312, 2002.
3. Berardinelli, A., Donati, V., Giunchi, A., Guarnieri, A. and Ragni, L., "Damage to pears caused by simulated transport," Journal of Food Engineering, Vol. 66, No. 2, pp. 219-226, 2005.
4. Chesson, J. H. and O'Brien, M., "Analysis of mechanical vibration of fruit during transportation," Transactions of the ASAE, Vol. 14, No. 2, pp. 222-224, 1971.
5. Harris, C. M., "Shock and Vibration Handbook 4th edition," McGraw-Hill, 1996.
6. Hinsch, R. T., Slaughter, D. C., Craig, W. L. and Thompson, J. F., "Vibration of fresh fruits and vegetables during refrigerated truck transport," Transactions of ASAE, Vol. 36, No. 4, pp. 1039-1042, 1993.
7. Holt, J. E., School, D. and Lucas, C., "Prediction of Bruising in Impacted Multilayered Apple Packs," Transactions of ASAE, Vol. 24, No. 2, pp. 242-247, 1981.
8. Jarimopas, B., Singh, S. P. and Saengnil, W., "Measurement and Analysis of Truck Transport Vibration Levels and Damage to Packaged Tangerines during Transit," Packaging Technology and Science, Vol. 18, No. 4, pp. 179-188, 2005.
9. O'Brien, M., Gentry, J. P. and Gibson, R. C., "Vibrating Characteristics of Fruits as Related to In-Transit Injury," Transactions of the ASAE, Vol. 8, No. 2, pp. 241-243, 1965.
10. Peleg, K. and Hinga, S., "Simulation of Vibration Damage in Produce Transportation," Transactions of the ASAE, Vol. 29, No. 2, pp. 633-641, 1986.
11. Slaughter, D. C., Hinsch, R. T. and Thompson, J. F., "Assessment of vibration injury to Bartlett pears," Transactions of ASAE, Vol. 36, No. 14, pp. 1043-1047, 1993.