

유통 중 온도 및 습도변화에 따른 복숭아의 품질특성

김기석 김동진 박정길 정현모 박종민 김만수

Quality Characteristics of the Peach According to Temperature and Relative Humidity during Distribution

G. S. Kim D. J. Kim J. G. Park H. M. Jung J. M. Park M. S. Kim

Abstract

Environmental conditions may cause the quality change of fruits during distribution after harvest. In order to prevent the damage or quality change of fruits for distribution, the characteristic of fruits affected by the environmental conditions such as temperature, humidity under various distribution conditions should be known. This research was performed to analyze how the environmental conditions affect the factors such as weight loss rate and ethylene production of the peach under several distribution conditions. Environmental conditions of the actual distributed route were evaluated and the data obtained from the conditions were used for the simulated environmental tests. Regression models of the weight loss rate and the ethylene production of peach were developed and used in predicting peach quality. The weight loss rate of the peach estimated by the ASHRAE data was shown the higher value on the transportation temperature condition than on the low and room temperature conditions. The weight loss rate and the ethylene production of the peach on the simulated distribution conditions were measured and the measured weight loss rate of peach was the smaller than the theoretically estimated one. The regression models of the weight loss rate and the ethylene production were developed respectively.

Keywords : Peach, Weight loss rate, Ethylene production, Distribution condition

1. 서론

복숭아는 수분이 많고 독특한 향기와 감미가 강하여 여름철 생과용으로 알맞을 뿐만 아니라 통조림 가공에도 많이 이용되고 있다. 그러나 과육이 연약하여 고온인 여름철에 쉽게 연화되어 저장성이 낮기 때문에 여름철에 생과로 유통하는데 어려움이 많다. 특히 과육의 연화는 복숭아의 생리적 작용들과 밀접한 연관이 있으며 이런 생리적 현상들은 유통과정 중 가장 중요한 환경조건인 온도 및 습도와 관계가 깊은 것으로 보고되고 있다.

Kim 등(2003a)은 복숭아, 사과, 배, 단감, 감귤에 대해 온습도에 따른 감모율을 연구한 결과, 30℃, 90%의 환경조건에서 2일 동안 저장된 복숭아의 감모율은 창방조생 1.00%, 미백 0.98%, 백도 1.97%, 대구보 3.06%, 유명 1.30%인 것으로 보고하였으며 사과의 경우 중량손실은 쓰가루 49.5 g, 후지 42.0 g으로 복숭아에 비해서는 중량손실이 현저히 적은 것으로 보고하였으며 배의 경우 중량손실은 행수 21.0 g, 신고 36.0 g으로 사과에 비해서 적었고 단감은 12.95 g, 끝은 극조생 16.95 g, 조생 12.90 g으로 복숭아나 사과에 비하여 중량손실이 매우 적은 것으로 보고하였다. Kim 등(2003b)은

This work was supported by the Korea Research Foundation Grant funded by the Korean Government(MOEHRD) KRF-2007-355-D00034. The article was submitted for publication on 2009-02-20, reviewed on 2009-03-31, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2009-04-29. The authors are Ghi Seok Kim, Researcher, KSAM member, Dong Jin Kim, Researcher, KSAM member, Jung Gil Park, Researcher, KSAM member, Hyun Mo Jung, Professor, KSAM member, Dept. of Packaging Management, Kyongbuk College of Science, Waeguan, Korea, Jong Min Park, Professor, KSAM member, Division of Bio-industrial Machinery Engineering, Pusan National University, Miryang, Korea, and Man Soo Kim, Professor, KSAM member, Division of Bioresources Engineering, Chungnam National University, Daejeon, Korea. Corresponding author: M. S. Kim, Professor, Division of Bioresources Engineering, Chungnam National University, Daejeon, 305-764, Korea; Fax: +82-42-823-6246; E-mail: <mskim@cnu.ac.kr>.

미백 복숭아의 신선도를 연장시키기 위해서 수확 후 예냉처리하였으며 복숭아의 호흡속도와 에틸렌발생 속도는 7°C에서보다 20°C에서 4배 빠르게 나타났으며 예냉처리된 복숭아는 7°C와 20°C에 저장될 경우 무예냉처리된 복숭아에 비해 당도, 감모율, 비타민 C, 외관 등에서 30%이상 우수한 상품성을 유지하였다고 보고하였다.

Kim (2007)은 기계적인 스트레스에 대한 사과와 품질변화를 분석하기 위하여 가변주파수 정현파 진동을 이용한 모의 유통환경을 진동시험기로 구현한 후 가스크로마토그래피를 이용하여 사과와 에틸렌발생량을 측정하였으며 회귀분석을 이용하여 사과에 가해진 진동의 입력가속도수준과 진동을 가한 후 저장시간에 따른 사과와 에틸렌발생량 모델을 개발하여 사과와 품질변화를 분석한 결과 사과에 가해진 진동의 입력가속도가 작을 경우에는 저장기간에 따라 사과와 에틸렌발생량이 크게 변하지 않았으나 사과에 가해진 진동의 입력가속도가 커짐에 따라 에틸렌 발생량은 급격히 증가하였고 이러한 결과는 실제 운송 중 진동을 받았던 과실에서 측정된 에틸렌발생량과 유사한 경향이었다고 보고하였다.

따라서 본 연구에서는 복숭아의 유통 중 품질변화를 분석하기 위하여 수확지에서부터 소비지에 이르기까지의 유통경로별로 온도와 습도를 측정하였으며, 유통환경에 따른 온도 및 습도 프로파일을 구축한 후, 구축된 유통환경의 온도 및 습도 프로파일을 이용한 모의유통환경실험을 통해 복숭아의 감모율, 에틸렌 발생량을 추정하였다.

2. 재료 및 방법

가. 실험장치 및 재료

유통경로에 따른 온도와 습도를 측정하기 위하여 제작된 온도·습도센서(Gms-120, dadam micro corp., Korea)의 제

원은 표 1과 같다.

실험에 사용된 과실은 2007년 8월에 충청남도 연기군에서 수확된 미백품종의 복숭아 80개였으며 과수원에서 수확된 후 실험에 사용되기 전까지 1일 동안 저온저장(0±1°C, Rh 85±5%)되었다. 시료의 기본적인 물성들은 표 2와 같으며, 각각의 과실은 실험에 사용되기 전에 실험실의 환경조건(15°C, Rh 75%)에서 약 5시간 동안 적응을 시킨 후 실험에 사용하였다.

본 연구에서는 전자식 건습구습도계를 이용하여 PID방식으로 자동 제어되는 항온항습 챔버를 이용하여 복숭아의 유통환경을 구현하였으며 모의로 구현된 환경조건에 노출되는 복숭아는 각각의 환경조건에 따른 중량 변화, 에틸렌(C₂H₄) 발생량을 측정, 분석하였다. 중량계측은 정밀전자저울을 이용하였고, 에틸렌발생량의 측정에는 가스크로마토그래피(GC-14B, Shimadzu, Japan)를 사용하였다. 가스크로마토그래피의 검출기는 TCD를 사용하였고 이동상으로 He를 사용하고 유속은 20 ml/min로 하였다. 분석 칼럼은 porapak Q(Sigma-Aldrich Co., USA)를 사용하였으며 이때, 검출기의 온도는 150°C로 설정하였다.

나. 실험방법

1) 유통경로별 온도습도변화 측정

수확 후 유통과정 중에 과실의 품질에 영향을 미치는 인자인 온도와 습도의 변화를 측정하기 위하여 충청남도 연기군에서 재배되어 수확된 복숭아를 생산지에서 소비지까지의 유통경로를 대상으로 처리시간에 따라 온도와 습도의 변화를 측정하였다. 트럭의 중간에 있는 펠리트의 상, 중, 하층에 온습도 센서 각각 하나씩 설치하였으며 다른 한 개의 센서는 트럭 뒤편 펠리트의 최상층에 설치하여 총 네 부분의 온도 및 습도를 측정하였다.

Table 1 Specifications of the temperature and humidity sensor module

Item	Specifications
Measurement range	Temperature : -20 ~ 70°C, Humidity : 10% ~ 90%(RH)
Resolution	Temperature : 0.1°C, Humidity : 1%
Bandwidth	400/900 MHz
Communication range	300 m
Power	DC 3 V
Dimension	W100 × D25 × H134 mm
Operating range	-20 ~ 70°C, 80%(max.)

Table 2 Harvesting date and physical characteristics of the peach used in simulated distribution tests

Cultivar	Date of harvest	Volume (10 ⁻⁴ m ³)	Weight (kg)	True density (kN/m ³)
Mibaekdo	2007. 8	4.12(0.425)	0.280(0.033)	8.873(1.025)

Note: () standard deviation

2) 모의 환경조건 설정

모의 유통환경은 복숭아의 실제 유통경로에서 계측된 온도·습도 프로파일을 이용하였다. 여기에서의 온도, 습도의 설정 값들은 유통경로별 처리시간 동안의 평균치이다. 표 3에서 보는 바와 같이 실제의 유통단계와 저온저장 및 실온저장을 비교해 보기 위해 저온저장 조건내에서 모든 유통단계에서 온도 12.8℃와 상대습도 88%로 설정하였으며 실온저장 조건에서는 온도와 상대습도의 평균값을 각각 25.4℃와 88%로 설정하였다.

3) 증산량 추정, 감모율 측정 및 모델개발

복숭아의 증산량을 추정하기 위해서 각각의 모의 유통환경 중에 계측된 대기온도와 상대습도에 따른 수증기분압과 포화 수증기압을 습공기선도계산식으로 계산한 후 식 (1)을 이용하여 증산량을 추정하였다.

$$\dot{m} = k_t(P_{ss} - P_{va}) \quad (1)$$

- where, \dot{m} = transpiration rate per unit mass and time, ng/kg-s
- k_t = transpiration coefficient, ng/kg-s-Pa
- P_{ss} = water vapor saturation pressure at commodity surface temperature, Pa
- P_{va} = water vapor pressure in the surrounding air, Pa

복숭아의 감모율을 분석하기 위해서 모의 환경조건에 대해 96시간동안 복숭아를 저장하면서 24시간 간격으로 복숭아의 중량을 총 4회 계측하여 감모율을 측정하였으며 1회 중량계 측에 9개씩의 복숭아를 사용하였다. 또한 온도, 상대습도 및 저장기간을 변수로 하는 복숭아의 감모율을 추정할 수 있는 모델을 개발하였으며 여기에서 사용된 통계분석용 프로그램은 Datafit(Oakdale Engineering Co., ver. 8.0, USA)이었다.

4) 에틸렌가스 발생량 측정

복숭아의 에틸렌가스 발생량을 측정하기 위해서 모의 유통환경 중에 복숭아를 72시간동안 저장하면서 24시간 간격으로 9개씩의 복숭아를 총 4회 채취하여 하나의 가스 포집용 용기에 3개씩 총 3개의 용기에 복숭아를 담은 후 항온항습 챔버를 이용하여 20℃, 80±5% Rh에서 120분간 보관하였다. 이후 1 mL용량의 주사기를 이용하여 각각의 용기 당 5개씩의 가스를 포집하였으며 포집된 복숭아의 가스는 가스크로마토그래피를 이용하여 저장환경별로 에틸렌가스발생량을 계측하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 유통경로별 온도 및 습도 변화

복숭아의 수확지에서 소비지에 이르는 유통단계별로 온도와 습도를 실측한 결과를 표 4 및 그림 1, 2에 나타내었다. 총 48 시간의 유통시간 중 만 하루인 24시간 동안 저온저장

Table 3 Simulated temperature and humidity test conditions for the peach

Distribution routes	Storage time(h)	Low temp. condition		Room temp. condition		Distribution condition	
		Temp. (℃)	Relative humidity (% , RH)	Temp. (℃)	Relative humidity (% , RH)	Temp. (℃)	Relative humidity (% , RH)
Peach orchard	9	12.8	88	25.7	86	29.9	64
Low temp. warehouse	24	12.8	88	26.1	90	12.6	91
Sorting operation	6	12.8	88	25.5	90	22.8	82
Packaging & loading	3	12.8	88	25.4	90	27.0	79
Transportation	3	12.8	88	25.2	91	33.2	53
Unloading	3	12.8	88	25.5	87	31.3	76
Average	-	12.8	88	25.4	88	25.9	75

Table 4 Temperature and humidity by the various distribution stages of the peach

Distribution routes	Time(h)	Temperature(℃)	Relative humidity(% , RH)
Peach orchard	9	26.0	80
Low temperature warehouse	24	12.8	88
Sorting operation	6	26.3	73
Packaging & loading	3	26.4	78
Transportation	3	32.7	53
Unloading	3	26.0	80

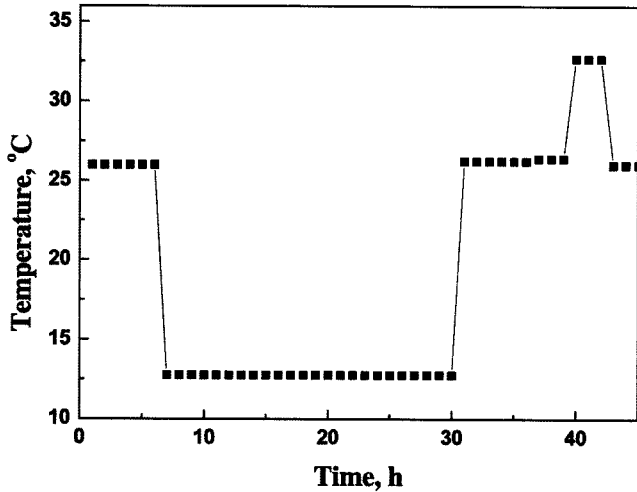


Fig. 1 Measured temperature during the process stage and transportation for peach.

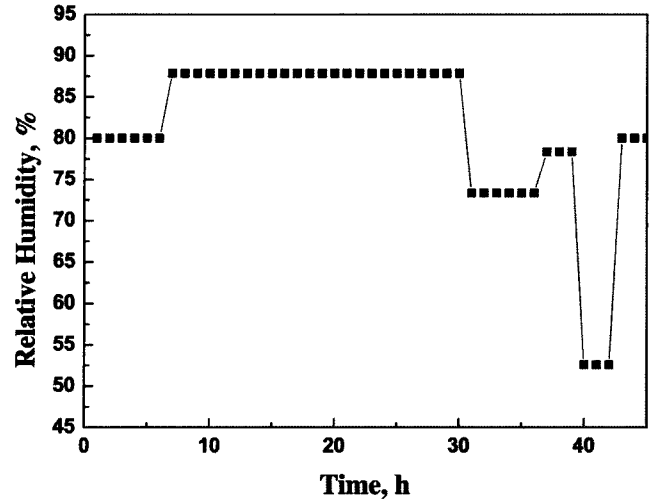


Fig. 2 Measured humidity during the process stage and transportation for peach.

Table 5 Estimated weight loss rate for simulated distribution conditions for the peach

Simulated distribution condition	Process time(h)	Temperature(°C)	Relative humidity(% RH)	Weight loss rate(g/kg-hr)
Low temperature	0~96	12.8	88	0.37
Room temperature	0~24	25.9	89	0.79
	25~48	25.4	87	0.86
	49~72	24.4	78	1.40
	73~96	24.4	78	1.40
	Average			
Simulated transportation temperature	0~9	30.0	64	3.11
	10~33	13.4	89	0.35
	34~39	25.9	80	1.34
	40~42	27.0	78	1.33
	43~45	33.0	54	4.45
	46~48	30.0	63	3.18
	49~96	24.4	78	1.40
	Average			

고에 저장하였으며 이때의 온도는 12.8°C로 가장 낮았고 상대습도는 88%이었다. 선별에 총 6시간, 상하차에 각각 3시간, 수송에 3시간이 소요되었으며 이 기간의 온도는 32.7°C로 가장 높았었고 상대습도는 53%로 가장 낮았었다. 상하차 시간이 각각 3시간으로 장시간이 소용된 것은 상, 하차 시에 포장 및 대기 시간이 포함된 것이고 온도가 높고 상대습도가 낮은 조건인 수송과정 중에 복숭아의 품질변화가 많이 일어날 것으로 판단되었다. 그림 2, 3에서 보는 바와 같이 온도와 습도의 범위는 각각 1°C 및 1~2% 범위 내에서 각각의 유통 단계별로 유지되는 것으로 나타났다.

나. 모의환경조건에 따른 복숭아의 감모율 추정

복숭아를 표 3에서와 같은 환경조건하에 두었을 때 이론적

인 감모율을 각 환경조건별 추정하였다. 감모율 추정은 식 (1)의 증산량 계산식을 이용하였으며 여기에서 증산계수는 복숭아의 평균치인 572 ng/kg-s-Pa을 적용하였다. 복숭아 경우 감모율은 저온저장, 실온저장, 모의 수송환경 조건에서 각각 0.37, 1.11, 2.17 g/kg-hr으로 추정되었다. 표 5에서 보는 바와 같이 저온저장조건에서 가장 작은 감모율이 추정되었으며 다양한 환경조건으로 설정되어있는 모의 유통환경의 감모율이 2.17 g/kg-hr으로 가장 크게 추정되었다.

다. 모의 환경조건에 의한 복숭아의 감모율 추정 모델 개발

모의 환경조건에서 저장된 복숭아의 증량을 24시간 간격으로 계측하여 복숭아에 대한 감모율을 분석하였으며 그 결과를 표 6에 나타내었다. 감모율의 실측치를 이용하여 저장

Table 6 The measured weight loss rate of the peach during simulated distribution conditions

Simulated distribution condition	Process time(h)	Temperature(°C)	Relative humidity(% , RH)	Weight loss rate(g/kg·hr)
Low temperature	0~96	12.8	88	0.30
Room temperature	0~24	25.9	89	0.58
	25~48	25.4	87	0.71
	49~72	24.4	78	0.54
	73~96	24.4	78	0.54
	Average			
Simulated transportation temperature	0~24	20.7	77	2.34
	25~48	29.0	68	3.39
	49~72	27.0	78	1.56
	73~96	24.4	80	1.24
	Average			

Table 7 Coefficients of multiple regression model for weight loss rate of the peach as a function of temperature and humidity

Variables	WR=a+b/TP+c×RH+d×RH ² +e×RH ³ +f×RH ⁴						R ²
	a	b	c	d	e	f	
	-2953.0770	-9.6714	160.5581	-3.2282	2.8521E-02	-9.35915E-05	0.9995

Note : WR = Weight loss rate(g/kg·hr), TP = Temperature(°C), RH = Relative humidity(% , RH)

Table 8 Comparison of the estimated and the measured weight loss rate the peach for simulated distribution conditions

		Simulated distribution condition		
		Low temp.	Room temp.	Simulated transportation temp.
Estimated value	WR	0.37	1.11	2.17
	Kt	572.00 [†]	572.00 [†]	572.00 [†]
Measured value	WR	0.30	0.59	2.13
	Kt	457.86	393.11	517.68

Note : WR = Weight loss rate(g/kg·hr), Kt = Transpiration coefficient (ng/kg·s·Pa), [†] = ASHRAE data

온도와 상대습도를 변수로 하는 복숭아 감모율 추정 모델을 개발하였으며 그 결과는 표 7에서와 같다.

개발된 복숭아 감모율 모델을 이용하여 감모율의 실측치와 이론치를 비교하였으며 또한 증산계수를 역으로 구하여 보았다. 표 8 및 그림 3에서 보는 바와 같이 저온저장조건, 실온저장조건 및 모의 수송환경조건에서의 실측치는 이론치보다 약간 적게 나타났으며 또, 이들 간에 차이는 크지 않았으나 실온저장조건에서는 이론치가 실측치보다 약 2배 크게 나타났다. 이러한 현상은 표에서 알 수 있는 바와 같이 이론치의 증산계수가 감모율 실측치로부터 구한 증산계수보다 약 1.5 배 더 크기 때문인 것으로 판단되었다.

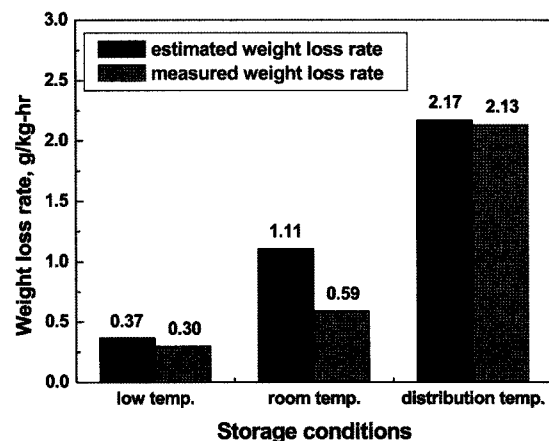


Fig. 3 Comparison of weight loss rate of the peach according to the simulated distribution conditions.

라. 모의환경조건에 따른 복숭아의 에틸렌 발생량

산지에서 수확된 복숭아를 대상으로 저온저장, 상온저장 및 모의수송환경조건인 3가지 조건으로 총 72시간을 저장하면서 24시간 간격으로 에틸렌 발생량을 측정한 결과를 표 9와 그림 4에 나타내었다.

표 9와 그림 4에서 보는 바와 같이 모의유통환경조건에서 저장된 복숭아 개체에서 발생하는 에틸렌 발생량은 저장시간이 길어짐에 따라 증가하는 경향을 보였으며 실온저장 조건에서 48시간이 경과한 후에는 복숭아가 서서히 부패하기 시작하여 에틸렌 발생량이 줄고 72시간이 경과한 후에는 그 발생량이 현저히 감소되는 것으로 나타났다. 그러나 저온조건이나 유통조건에서는 저장시간이 길어짐에 따라 에틸렌 발생

량도 증가하는 것으로 나타났다(Park, 1999).

유통 중 복숭아에서 발생하는 에틸렌을 추정해보기 위해 온도, 습도, 저장시간을 변수로 하여 회귀 모델을 개발하였으며, 그 결과를 표 10에 표시하였다. 표에서 보는 바와 같이 복숭아에 대한 에틸렌발생량 추정모델의 결정계수는 0.8487로 나타났다. 또한 상대습도 60% 경우의 에틸렌 발생량 추정모델에 대한 반응표면을 그림 5에 도시하였다. 그림 4와 표 10의 모델의 각 계수로부터 알 수 있는 바와 같이 에틸렌 발생량은 저장시간에 가장 큰 영향을 받음을 알 수 있었다. 이러한 현상은 저장시간이 길어짐에 따라 노화가 촉진되어 더 많은 에틸렌이 발생된다는 일반적인 사실과도 일치하는 것이다.

Table 9 Ethylene production of the peach for the simulated distribution conditions

Simulated distribution condition	Storage time (h)	Temp. (°C)	Relative humidity (% RH)	Ethylene production (μl/kg·hr)
Low temperature	2	12.8	88	0.9597
	24	12.8	88	1.3487
	48	12.8	88	2.3933
	72	12.8	88	3.3282
	Average	12.8	88	2.0075
Room temperature	2	25.9	86	1.0579
	24	25.4	87	1.9565
	48	24.4	78	3.2736
	72	24.4	78	2.5269
	Average	25.0	83	2.2037
Simulated transportation temperature	2	30.0	64	1.0444
	24	19.7	80	1.9806
	48	22.8	78	2.3866
	72	24.4	78	3.4902
	Average	24.2	75	2.2255

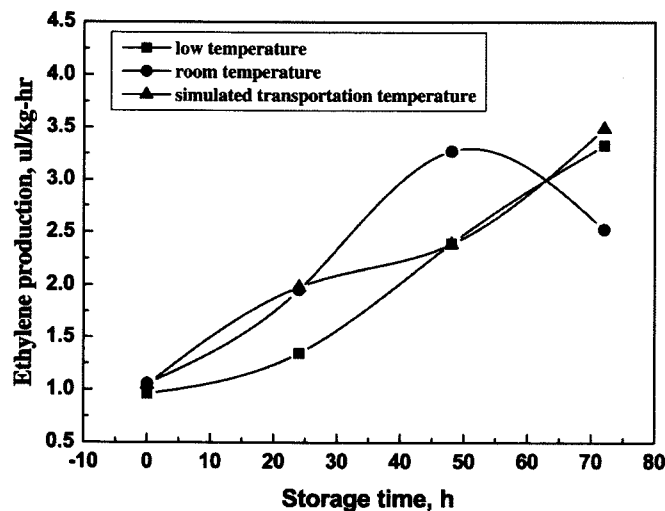


Fig. 4 Ethylene production of the peach according to storage time for the simulated distribution conditions.

Table 10 Coefficients of the multiple regression model for ethylene production of the peach as a function of temperature, relative humidity and storage time

Variables	EL=a+b×TP+c×RH+d×ST				R ²
	a	b	c	d	
	0.3001	0.0164	0.0045	0.0312	0.8487

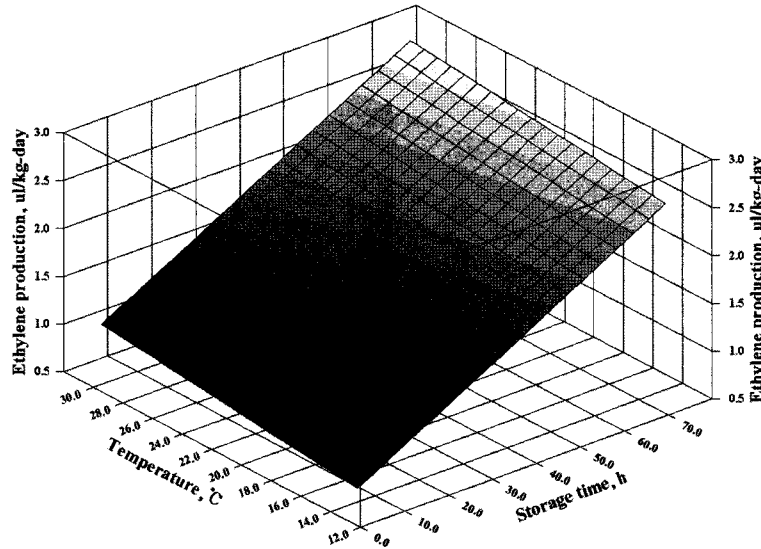


Fig. 5 Response surface of ethylene production of the peach as a function of the temperature and the storage time at the relative humidity of 60 %.

4. 결론

모의환경조건에 따른 복숭아의 품질변화를 분석하기 위하여 복숭아의 실제 유통경로 중 예측된 온도·습도환경을 실험실에서 구현하여 복숭아를 저장한 후 일정시간 간격으로 감모율, 에틸렌발생량을 측정하여 복숭아의 품질변화를 분석하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 복숭아를 대상으로 문헌에서 제시한 복숭아의 증산계수를 이용하여 각 유통환경조건에 따른 복숭아의 감모율을 추정한 결과 저온저장, 실온저장조건에서보다 모의수송환경조건에서의 복숭아 감모율이 훨씬 높게 나타났다.
- (2) 모의 유통환경조건에서 복숭아를 저장하면서 저장기간에 따라 복숭아의 감모율을 실측하였으며 실측된 자료를 이용하여 복숭아에 대한 감모율을 추정할 수 있는 모델을 각각 개발하였다.
- (3) 개발된 복숭아 감모율 추정 모델을 이용하여 감모율 실측치와 이론적으로 추정한 추정치를 비교하였던 결과 이론치의 감모율이 실측치보다 높게 나타났으며 또한 증산계수도 이론치가 실측치보다 높은 것으로 분석되었다.
- (4) 모의 유통환경조건에서 저장기간에 따른 복숭아의 에

틸렌 발생량을 측정하였으며 이들 자료를 가지고 에틸렌 발생 추정 모델을 개발하였다.

참고 문헌

1. Kim, B. S., H. J. Lee, H. W. Park and H. S. Cha. 2003a. Effect of Respiration Rates on the Weight Loss of Various Fruits(Peach, Apple, Pear, Persimon, Mandarin). Korean Journal of Food Preservation 10(2):142-146.
2. Kim, B. S., M. J. Kim and J. H. Choi. 2003b. Effects of Precooling Treatments on the Quality of Peaches (Mibaek). Korean Journal of Food Science and Technology 35(6): 1233-1236.
3. Kim, G. S. 2007. Vibration Behavior of the Fruits and the Packaged Freight and their Quality Changes at Simulated Transportation Environment. Doctor Dissertation. Chungnam National University, Daejeon, Korea.
4. Park, Y. S. 1999. Effects of storage temperatures and CA conditions on firmness, fruit composition, oxygen consumption and ethylene production of asian pears during storage. Journal of Korean Society for Horticultural Science 40(5):559-562.