

복숭아의 환경기체 조절포장을 위한 컴퓨터 모델링

김종경, 하영선^{*1}, 이준호^{*1}, 이상덕^{*1}, 김재능^{*2}

용인송담대학 제지패키징시스템과, 대구대학교 식품생명화학공학부^{*1},
연세대학교 패키징학과^{*2}

Computer Modeling of Modified Atmosphere Packaging of Peaches

Jongkyoung Kim, Youngsun Ha^{*1}, Junho Lee^{*1}, Sangduk Lee^{*1}, Jaeneung Kim^{*2}

Dept. of paper & packaging systems, Yong-in Songdam College,
*Dept. of Food, Biological & Chemical Engineering, Daegu University^{*1}*
*Dept. of Packaging, Yeunsei University^{*2}*

Abstract

The aim of this study was to develop a model that could be used in the design of modified atmosphere packaging(MAP) for peaches. Respiratory data at 5, 10, 20℃ for peaches were gathered and altered for create useful respiration model. Packaging materials were conventional low density polyethylene and polypropylene with anti-fog, and anti-fungi treatments, and thickness was 30 μ m and 50 μ m each. Permeability tests were performed to find their oxygen, carbon dioxide, water vapor transmission rate as increases in temperature. Test results were then converted to logarithm format for MAP modeling. The maximum rate of oxygen uptake increased with increasing temperature. Optimum gas composition in the package system for fruits were set according to literature and upper or lower limits of oxygen and dioxide established. To predict gas composition at certain storage time, weight of fruits, film thickness, film type, and other variables, respiration rate was studied at various storage conditions. The results of tests were used to calculate Cameron's model and converted to a cubic estimation equation. The validity of the model was tested experimentally by observing actual atmospheric changes inside packages. This result of study may be useful for designing dynamic gas exchange MAP systems for similar agricultural products.

Key Words : peach, packaging, modified atmosphere packaging

서론

Corresponding author : Soo-Keun Lee, Department of Packaging System, Shinsung College, 49, Duckma-Ri, Jungmi-Myun, Dangjin-Gun, Chungnam, 343-861, Korea

복숭아는 수확 시기가 고온 다습한 하절기이고 과피가 연약하여 수확기나 출하시

상처받기 쉽고, 저장력이 약하여 수확 후 과실이 쉽게 연화되어 상품가치를 상실하기 때문에 유통기한이 매우 짧은 과실이다. 복숭아의 포장형태는 5, 10, 15kg 골판지상자에 받침틀이나 받침판에 종이나 스티로폼망으로 감싸서 포장을 하고 있는 실정이며, 유통과정에서는 생산자 또는 생산자조직의 역할이 미흡하고 산지유통 시설도 미흡하여 출하조절이 불안정한 문제점을 안고 있다.

복숭아의 주요재배지역은 경북, 충남, 충북 그리고 경남지역이 주를 이루는데 이들 지역 중 경북과 충남·북이 전체 재배면적의 70% 이상을 차지하고 있다. 주산지역은 경북의 청도, 경산, 영천, 영덕 등과 충남의 연기, 논산, 아산 그리고 충북의 음성, 옥천, 영동 등이 주산지이다.

복숭아는 중국의 황하가 원산지인데 과거의 복숭아는 과실이 작은 약용 야생 복숭아가 주를 이루었으나 현재와 같은 개량품종은 1996년 외국에서 많은 품종이 도입되고 재배기술이 개발된 후라고 볼 수 있다. 기후가 온화한 지방이 한층 재배가 용이하다.

우리나라의 적지는 중, 남부지방이다. 일조량이 많이 필요한 과실로써 우리나라에 생산되는 주 품종도 백도, 창방조생, 유명 등이 전체의 50% 이상을 차지하고 있다. 이들 복숭아의 지난 10년간 평균생산량은 125천 톤이며 2001년도의 경우 166천 톤의 생산량을 나타냈으며 해마다 10%씩 증가하고 있는 추세이다.

또한 복숭아는 수분이 88%이상이며, 대부분 생식용으로 사용되었으나 최근 들어 가공원료 수요가 점차 증가되어 통조림, 주스, 넥타 등의 가공제품의 수요가 점차 늘어나고 있다.

1인당 연간 소비량은 계속 증가하여 현재 2.2kg 수준이다. 복숭아의 주요성분을 살펴보면 수분함량은 89%정도이고 탄수화물은 9.7%, 비타민 C는 7mg/%, 비타민 A는 1,330IU 정도를 함유하고 있다. 과밀도는 38lb/ft³, 호흡열은 0℃에서 11~19mW/kg,

20℃에서 170~300mW/kg 정도이다. 비열은 3.90kJ/kg℃이다.

또한 융해잠열은 298kJ/kg의 값을 보이고 있다. 복숭아는 수확 시기가 고온 다습한 하절기이고 과피가 연약하여 수확시나 출하시 상처받기 쉽고, 저장력이 약하여 수확 후 과실이 쉽게 연화되어 상품 가치를 상실하기 때문에 유통 기한이 매우 짧은 과실이다.

따라서 출하 유통시 선도를 유지시켜 유통기한을 연장시킨다면 경제적 효과가 큰 과실이다. 대부분의 원예작물은 수확 후에도 계속 살아있는 유기체로서 각종 대사작용을 계속한다. 저장 중 원예작물의 품질 저하는 호흡작용, 증산작용, 미생물작용, 물리적 손상작용의 4대 요인으로 인하여 많은 영양분이 손실되며, 호흡은 식물체의 생리적 반응지표로서 사용되어졌다(Oh *et al.*, 1996).

복숭아는 호흡률 10~20 mgCO₂/kg-hr (5℃)로서 살구, 바나나, 배 등과 함께 중간 등급에 속하는 과실이며, 온도가 높을수록 호흡작용에 의한 과실내 양분의 소모가 많아져서 신선도가 급격히 떨어지거나 쉽게 과육이 물러지므로 호흡을 최대한 억제시키는 것이 중요하다. 특히 복숭아는 고온기에 수확 직후 호흡작용을 억제시켜야 하는데 호흡작용은 온도, 습도 등에 따라 다르나 주로 온도의 영향을 크게 받는다.

과실 및 채소의 수확 후 발생하는 손실의 정도는 작물의 재배여건에 따라서, 또 수확물의 취급관리방식에 따라서 달라진다. 이와 관련하여 조사 정리된 자료를 살펴보면 복숭아는 포도, 바나나, 자두 등과 함께 손상용이도가 높은 것으로 분류되어(20~40%) 있고 평균보존 가능기간도 1~2주로 보고 있다. 실제로 복숭아 재배농가에서도 별도의 저장을 하지 않고 수확 즉시 출하하고 있다(Choi *et al.*, 2001).

대부분 과실과 마찬가지로 전체 중량의 85~90%가 수분으로 구성되어 있는 복숭아

의 경우 수분이 10% 정도 소실되면 상품가치를 잃게 된다.

또한 복숭아는 고온인 여름철에 쉽게 연화되므로 저장성이 아주 낮으며, 동시에 변질과 부패로 인한 경제적 손실을 초래한다. 과실의 연화는 성숙 중에 세포벽분해효소의 작용에 의해서 세포벽의 변화로 인하여 과실의 품질에 중요한 영향을 주는 texture의 변화를 초래함으로써 일어난다(Kim *et al.*, 1994). 이러한 복숭아의 신선도 유지를 위한 연구로는 운반이나 저장중 권장되는 CA 또는 MA 조건이 0~5℃에서 1~2% O₂, 3~5% CO₂이며, 최소 O₂농도는 2%, 최대 CO₂ 농도는 5% 분류군으로 제시되었고, CA 저장에 복숭아의 internal breakdown 저해와 품질유지에 효과적으로 0℃에서 6~9주 이상 저장기간을 연장시키며, 감압저장 역시 복숭아의 부패 지연에 효과적인 방법이지만 경제성이 떨어진다는 보고 등이 있다. 그러나 국내의 경우 연구사례가 그다지 많지 않은 실정이다. Oh 등(1996)에 의하면 공기 투과도가 낮은 PVDC coating film 처리구가 PE나 방담필름(anti-fog film) 처리구에 비해 포장내 이산화탄소의 농도가 높고 산소 농도가 낮으며 에틸렌 가스의 발생 억제 효과가 뚜렷하였다. 또한 PVDC coating film 처리구는 다른 처리에 비하여 과실의 경도가 높고 수분 감모율은 낮아 과실의 선도유지에 효과적이었다고 한다. 수확 후 예냉처리된 복숭아는 저온유통으로 소비자까지 연결되어야 품질이 양호하지만, 상온유통을 할 경우에는 결로가 발생되어 과실의 품질이 떨어지므로 상온유통시 품질저하를 최소화할 수 있는 포장방법이 절실히 요구된다(Park *et al.*, 1999).

복숭아는 일반적으로 건전하고 잘 익은 과실은 품종과 생산 연도에 따라 차이는 있지만 -0.5~0℃에서 2~4주 동안 저장할 수 있다. 저온 저장고에 저장된 복숭아는 고온으로 이동하여도 정상적으로 추숙되지 않고 internal breakdown이라는 장애가 발생하는

경우가 있다. 이러한 장애의 증상은 과실의 육질이 건조되고 약해지거나 물러져 호물호물해지고, 씨 주변에 갈변이 뚜렷하게 나타난다.

이로 인해 과실의 향미와 외관이 나빠진다. Internal breakdown의 발생률을 감소시키기 위해서 저장 전에 21~24℃에서 1~3일 동안 보관 후에 저온저장고에 입고시키거나 0℃에서 저장하면서 주기적으로 48시간 동안 상온에서 보관 후 재입고 하는 방법 등이 효과적이다. 또한 CA저장법도 장애의 발생률을 감소시켜 저장기간을 연장하는데 효과적이다. 과실의 내부 장애는 부적합한 저장조건에서 발생하며 저장 중에는 잠재되어 있다가 저장후 증상이 발현되는 경우가 종종 있다. 복숭아는 저장온도 2~5℃에서 적어도 7~14일 이내에 internal breakdown 등과 같은 장애가 시작되어 저장후 추숙기 동안 나타나게 된다. 0℃에서 1주 또는 2주 저장 후 5℃로 과실을 옮기는 것은 5℃에서 계속 저장한 것과 비슷하게 아주 심한 장애의 발생을 나타내었다고 보고된 바 있다.

한편 10℃에서는 internal breakdown은 발생되지 않지만 육질의 연화가 빠르게 진행된다. 복숭아는 18~29℃에서 적절하게 추숙이 이루어지며 온도가 높을수록 속도가 증가하지만 18℃에서 추숙시키는 것이 보다 높은 온도에서 한 것 보다 적은 부패율을 나타낸다. 과실의 경도가 높은 시기에 수확하여 가공할 경우는 4~6일간 추숙을 요하는 경우가 있다. 저장온도 -0.5~0℃에서 10~14일간 저장하는 동안 rhizopus에 의한 부패를 현격하게 감소시켰지만 갈색 반점의 발생 억제에는 적은 효과만을 나타내었다는 연구결과가 있다. 일반적으로 복숭아는 완전히 익은 과실을 저장하는 것보다 덜 익은 과실을 저장하여 추숙시키는 것이 보다 우수한 품질을 가지고 적은 부패율을 나타낸다. 상온에서 연화된 과실은 저온으로 옮기면 약간 경화된다. 복숭아는 수확 후에 4℃

이하까지 급속히 냉각하는 것이 호흡작용과 추숙 및 부패를 억제하는데 아주 중요하다. 호흡작용을 기준으로 하였을 때 21~27℃에서 1일 저장은 15℃에서는 2일, 10℃에서는 4일, 5℃에서는 8일, 그리고 0℃에서는 16일 저장과 같다고 할 수 있다.

복숭아는 개체간의 차이가 많아서 포장구의 뚜렷한 영향을 볼 수는 없었으나 저장기간에 따른 결과에서의 경도의 변화는 저온에서 감소의 폭이 적었으며 포장구보다는 무포장구에서 저장기간이 길어질수록 경도가 감소하는 추세를 보였다.

후숙 과정 중 복숭아의 높은 호흡율로 인한 에틸렌의 급증 현상에 따른 세포벽 성분의 분해를 촉매하는 효소의 활성화로 인한 것으로 야기된다(Hobson *et al.*, 1981). 복숭아는 높은 호흡율로 인해 저장초기 급격한 에틸렌 발생과 산소의 소모, 이산화탄소의 발생, 수분의 손실, 휘발성 화학물질 합성 등의 원인으로 쉽게 물러지는 과실의 특성을 나타낸다.

따라서 부패과의 원인이 된다. 복숭아의 호흡작용과 부패를 억제하는데는 수확 후 4℃이하까지 급속히 냉각하는 것이 아주 중요하다고 알려져 있다(Geeson *et al.*, 1983). 복숭아의 수확 후 품질손실의 기작은 호흡과 관련된 과숙 등의 생리적인 변화와 증산과 관련된 수분손실, 미생물에 의한 부패, 취급과정에서의 물리적 손상에 기인한다(이, 1997).

특히 복숭아의 선별과정이나 포장함에 있어 인위적으로 기계적인 스트레스가 가해진 과채류에서는 호흡의 증가와 함께 에틸렌 생성이 증가하고 효소적인 갈변반응과 함께 부패가 빨리 나타나게 된다. 복숭아의 적절한 포장에 의하여 호흡, 증산, 부패 등의 이러한 품질변화를 억제하는 것에 초점이 모아지고 있다고 보고되고 있다(Schlimme *et al.*, 1994).

복숭아의 저장기간에 따른 품질변화는 후숙의 진행에 따라 수분의 감소나 과실 성숙도의 지표인 과육조직의 연화, pH의 저하, 갈변현상 등으로 인해 상품의 가치는 소멸

되어진다.

일반적으로 필름포장된 과채류 저장중 기체조성은 수확후 호흡으로 인하여 저장 초기에 급격히 변화하며 일정시간이 지나면 평형에 도달하게 된다.

특히 이러한 경향은 대부분의 과채류에서 저장온도가 높을수록 뚜렷하게 나타나며, 저장 초기에 기체조성이 평형에 도달하며, 이후 전체 저장기간동안 O₂와 CO₂의 조성비가 일정하게 나타난다(Park *et al.*, 1999).

실험재료 및 방법

실험재료

복숭아는 경북 영천에서 2001년 8월에 수확한 “유명” 품종으로 1개당 무게는 250.2g이었고, 평균크기는 8.2(장축)×7.5(단축)cm였다. 포장재료는 0.03mm, 0.05mm PE(Polyethylene), PP(Polypropylene) film을 사용하였다.

복숭아는 수확 후 각각 4℃, 10℃와 20℃ 항온·항습기로 옮기고 하룻밤 동안 방치한 다음 선별하여 사용하였다. 과실의 포장은 필름을 25(세로)×25(가로)cm로 절단한 다음 열접착하여 봉투형태로 만들었다. 선별한 복숭아는 필름봉투안에 무게가 각각 300, 500, 800g이 되도록 담은 다음 열접착하여 밀봉하고, 기존 유통기준을 고려하여 4℃, 10℃와 20℃ 항온·항습기에 저장하였으며, 무포장 대조구는 44×30×13cm의 스티로폼(EPS)상자에 담고 저장하였다.

호흡량 측정

호흡량 측정 및 분석은 이산화탄소 발생량(accuracy: ±0.2%)과 산소의 소비량(accuracy: ±0.1%)을 측정하기 위해 온도 5, 10, 20℃에서 저장하면서 정치법으로 필름에 자기접착성 폴리우레탄 septum을 붙인 후 바늘을 꽂은 후 가스흡입을 이용한 CO₂-O₂ analyser(PAK12P, Abiss Co., France)를 이

용하여 각 2회씩 가스조성을 검사하였다. 호흡률의 분석은 다음과 같다(Lee *et al.*, 1996).

$$r_{O_2} = \frac{S P_{O_2} (0.21 - [O_2]/100)}{WL} \quad (1)$$

$$r_{CO_2} = \frac{S P_{CO_2} ([CO_2]/100 - 0.00)}{WL} \quad (2)$$

O_2 : 산소 농도(%)

CO_2 : 이산화탄소 농도(%)

L : 포장필름의 두께(μm)

P : 대기압(atm)

r_{O_2} : O_2 소비의 호흡속도(mL/kg h)

r_{CO_2} : CO_2 발생의 호흡속도(mL/kg h)

P_{O_2} : 필름의 O_2 투과도(mL/ μm / m^2 h atm)

P_{CO_2} : 필름의 CO_2 투과도(mL/ μm / m^2 h atm)

S: 포장의 표면적(m^2)

W: 포장내의 과채류의 무게(kg)

필름 투과도 측정

사용된 필름은 거성산업(대구광역시 소재)에서 제작된 30 μm 와 50 μm 의 LDPE와 PP이다. 각 필름의 투습도, O_2 및 CO_2 투과도는 MOCON사의 Oxtran 20, Permertran 30을 이용하여 5, 10, 15, 20 $\pm$ 0.5 $^{\circ}C$ 에서 각각 측정하였다.

포장된 대기내 농도는 투과율(permeability coefficients)을 계산하기 위해 partial pressures(1% O_2 (v/v) = 1.013kPa at atmospheric pressure)로 변환되었다.

$$P = P_o \exp\left(\frac{-E_p}{RT}\right) \quad (3)$$

P: 가스투과율(mol m/ m^2 · Pa · s)

P_o = 가스트과의 Arrhenius constant
(mol m/ m^2 · Pa · s)

E_p = 활성화 에너지(J/mol)

R = 기체상수(8.3144J / mol · K)

T = 온도(K)

모델링

산소의 경우 산소의 호흡속도 r_{O_2} 와 Π_{O_2} (포장내의 partial pressure)와의 관계는 Michaelis-Menten type model로 설명될 수 있다.

$$r_{O_2} = \frac{V_{max} \cdot \Pi_{O_2}}{K_{1/2} + \Pi_{O_2}} \quad (4)$$

$$V_{max} = r_{O_2} \times \frac{K_{1/2} + \Pi_{O_2}}{\Pi_{O_2}} \quad (5)$$

여기서

V_{max} : O_2 최대 소비속도(cc/kg-h)

$K_{1/2}$: V_{max} 의 절반일 때의 O_2 의 partial pressure

Π : 포장 내부의 partial pressure

호흡계수(respiratory quotient: RQ)는 아래와 같이 계산된다.

$$RQ = \frac{r_{CO_2}}{r_{O_2}} \quad (6)$$

데이터들은 각각의 저장온도에서 Π_{O_2} 에 따른 r_{O_2} 와 RQ의 변화를 플롯할 수 있다.

온도에 따른 V_{max} 와의 영향은 SAS프로그램을 통해 표현될 수 있다. 이때 표현된 식은 Π_{O_2} 가 평형일때 O_2 소비에 미치는 온도의 영향을 계산하여 온도변화에 따른

내용물의 호흡반응성을 알아볼 수 있으며 필름 투과성에 따른 관계도 예측해볼 수 있다.

온도와 포장재 특성에 따른 포장재의 산소농도를 예측하기 위하여 기본적인 모델은 Cameron et al(1994)을 사용하였다. 기본적으로 포장재 내에 침투하는 산소의 흐름은 상기 r_{O_2} 에서 나온 호흡률과 일치하므로 아래와 같은 식을 사용할 수 있다.

$$(P_{O_2}A/mL)[P_{O_{O_2}} - \Pi_{O_2}] = \frac{(V_{\max} \cdot \Pi_{O_2})}{(K_{1/2} + \Pi_{O_2})} \quad (7)$$

그러나 위의 식은 오직 평형상태인 경우 가능하다. 이 관계로 Π_{O_2} 를 계산할 수 있다.

$$\Pi_{O_2} = 1/2 \{ [K_{1/2} + (mL/P_{O_2}A)V_{\max} - P_{O_2}O_2]^2 + 4P_{O_2}O_2K_{1/2} - [K_{1/2} + (mL/P_{O_2}A)] \} \quad (8)$$

통계처리

이상의 결과를 바탕으로 주어진 저장조건에서 저장시간에 따른 포장재내 기체조성의 변화는 회귀분석을 이용하여 예측이 가능하다.

본 연구에서는 SPSS(ver 11.0)를 활용하여 저장시간에 따른 curve estimation을 행하였다. 검토 모델 중 가장 적합한 모델은 Cubic 모델이며 식 (9)와 같다.

$$Y = b_0 + b_1t + b_2t^2 + b_3t^3 \quad (9)$$

여기서

b_0 = a constant

b_n = regression coefficient

t = a time value or the value of an independent variable

결과 및 고찰

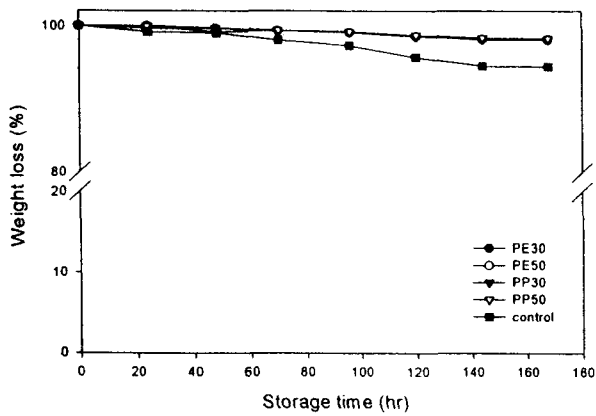
중량변화

복숭아 저장중의 중량손실률은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 포장구에 비해 대조구에서 뚜렷한 감소율을 보였는데, 0℃ 대조구는 저장기간중 중량이 점차 감소하여 저장 8일 이후에는 14.4%의 감소율을 10℃ 대조구는 14.2% 20℃ 대조구는 24.8%의 높은 감소율을 보여 외관상으로도 뚜렷이 상품성이 저하되어 보였다.

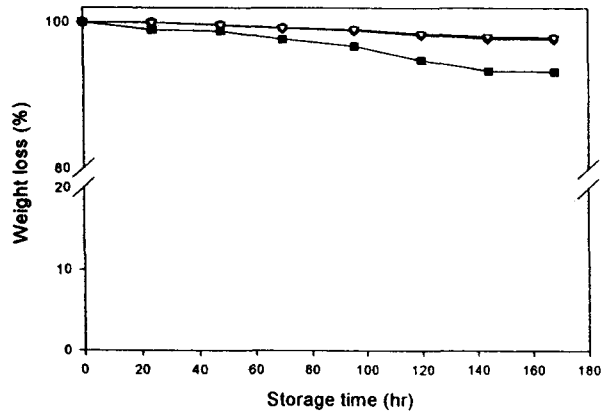
이에 반해 포장구에서는 중량감소에 큰 효과를 보였는데, 저장기간 동안 0℃의 0.05mm PE 3.8%의 감소율을 10℃는 3.4%의 변화를 보였고, 일반 유통조건을 고려한 상온저장 20℃에서는 4.4%의 감소율을 보였다.

저장중 이러한 중량의 감소는 거의 대부분이 증산작용에 기인한다는 보고와 연관지어 볼 때 필름포장에 의해 포장내의 상대습도가 높아져 수분증발을 억제했기 때문으로 생각된다(Moon et al., 1992).

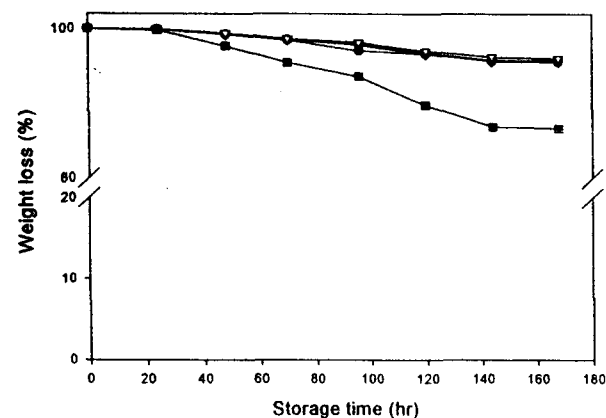
또한 이러한 결과는 필름 종류별 복숭아 '대구보' 품종의 저장 시험에서 무포장처리에서 중량감소가 심하였다는 보고 (Kwon et al., 1992)와 복숭아 '미백'를 PE Film에 저장한 결과 무포장처리구보다 포장구가 중량감소율이 적었다는 보고와 유사한 결과를 얻었다(Park et al., 1999).



(A)



(B)



(C)

Fig.1 Weight loss of peach during storage at different temperature (A: 4°C, B: 10°C, C: 20°C).

산소소비속도

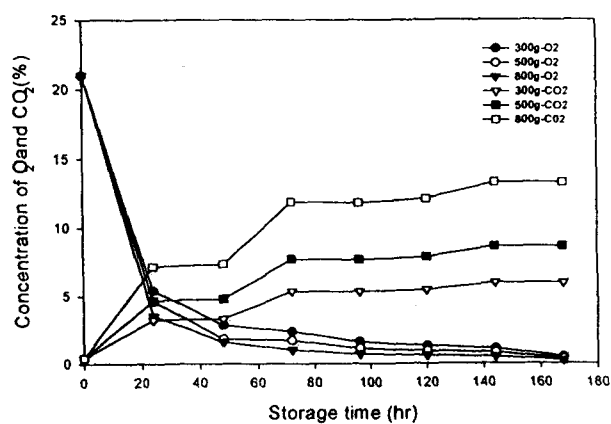
복숭아의 환경기체조절포장은 복숭아가 환경과의 상호작용에 의하여 내부의 가스조성이 평형에 도달되며 이로 인하여 호흡을 억제하고 에틸렌의 발생을 감소시키며, 수분증산을 억제하는 효과를 내게 된다고 알려진 바 본 실험에서는 각 포장필름재질에 따른 복숭아 저장시 산소소비속도를 알아보기 위해 저장온도 및 저장기간과 포장구내의 기체조성비에 따른 산소소비속도 및 이산화탄소 발생속도를 아래 그림에 나타내었다.

산소소비속도는 저장온도가 높을수록 소비속도가 증가하는 경향을 보였으며, PP필름구에 비해 PE 필름구가 대체적으로 높은 경향을 보였다. 기체조성비 역시 PP필름구에 비해 PE 필름구가 대체적으로 높은 경향을 보였으며, 산소농도와 이산화탄소농도가 낮을수록 낮은 소비속도를 보였으며 이산화탄소보다는 산소의 농도에 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났다.

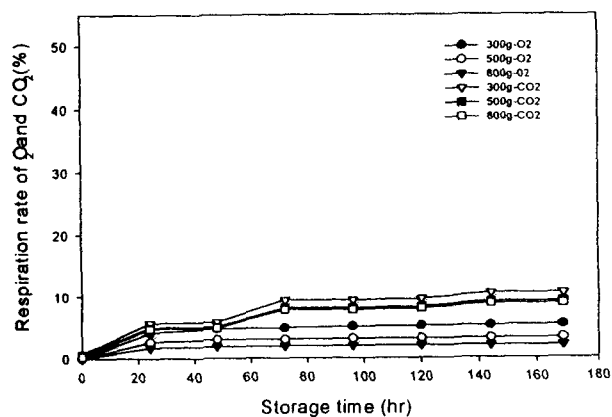
이는 온주밀감의 CA저장조건 예측에서 알려진 바와 같이 유사한 결과를 얻었다. (윤창원, 1991; Kim et al., 1994).

이산화탄소발생속도

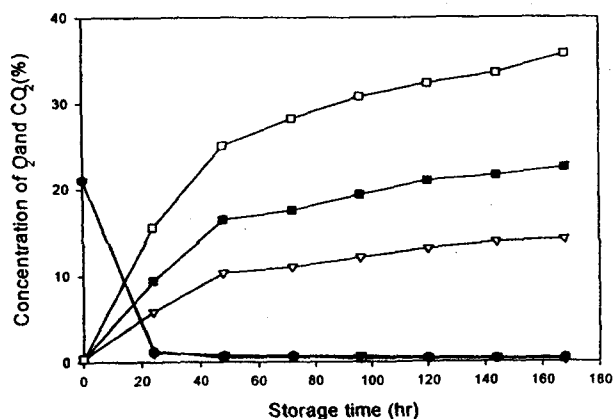
일반적으로 알려진 바와 같이 저장온도와 저장기간에 따른 이산화탄소발생속도는 대체적으로 저장온도가 높을수록 저장기간이 길수록 높은 이산화탄소발생속도를 보였으며 PP필름구에 비해 PE필름구가 낮은 이산화탄소발생속도를 보였는데 이는 복숭아의 호흡에 의해 발생하는 이산화탄소의 양이 필름 밖으로 확산되는 이산화탄소량은 PP필름구에 비해 PE필름포장구가 상대적으로 가스투과도가 높기 때문이라고 생각되어진다.



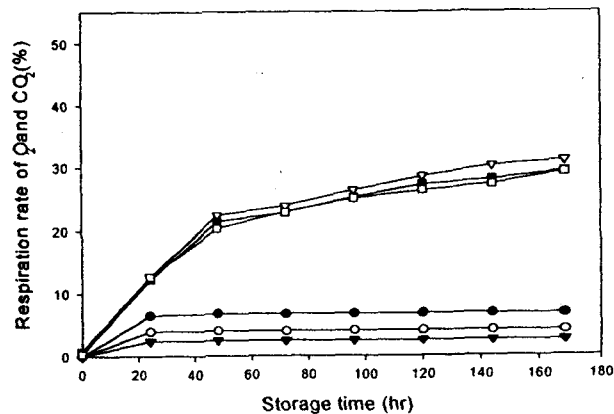
(A)



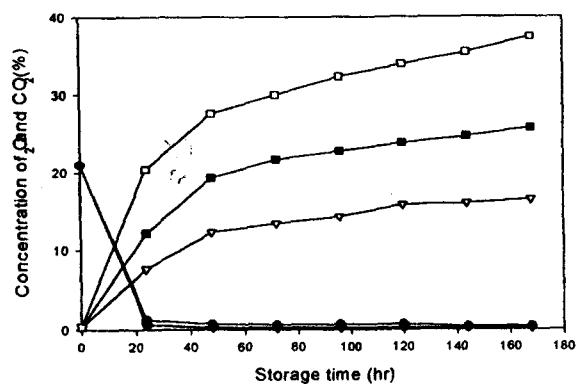
(A)



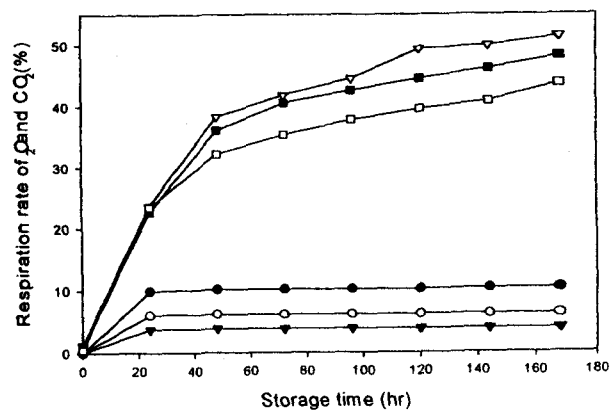
(B)



(B)



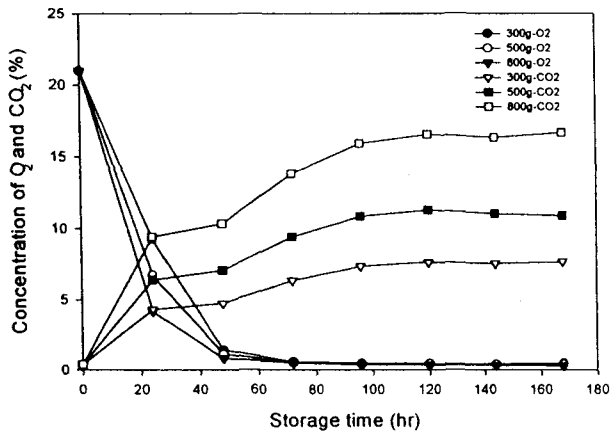
(C)



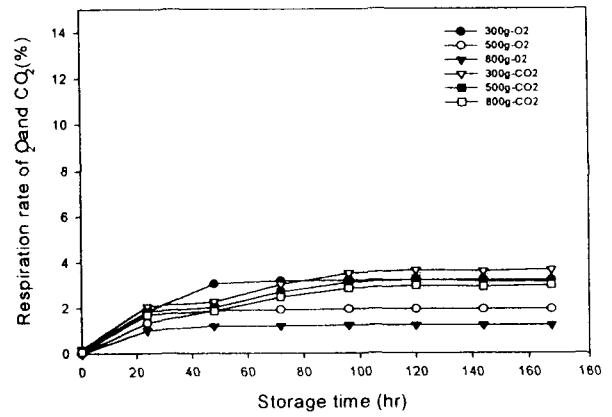
(C)

Fig.2 Effect of 0.03mm LDPE film packaging on the O_2 and CO_2 concentration of peach during storage at different temperature (A: 5°C, B: 10°C, C: 20°C)

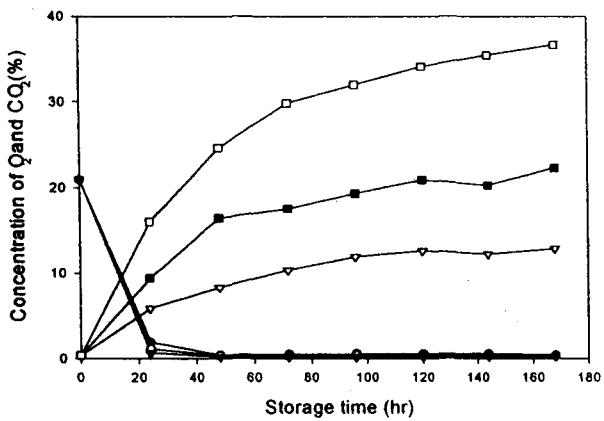
Fig.3 Effect of 0.03mm LDPE film packaging on the oxygen consumption rate and carbon dioxide evolution rate of peach during storage at different temperature (A: 5°C, B: 10°C, C: 20°C)



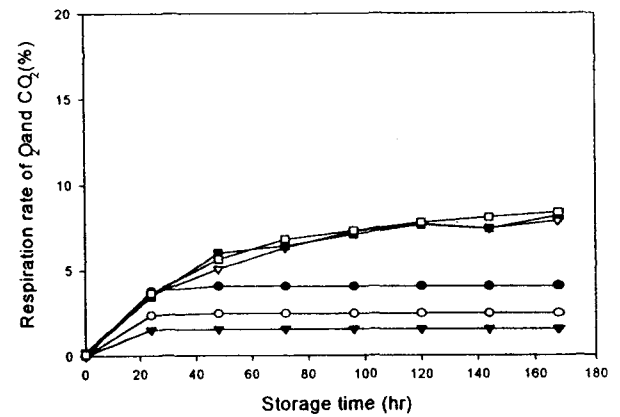
(A)



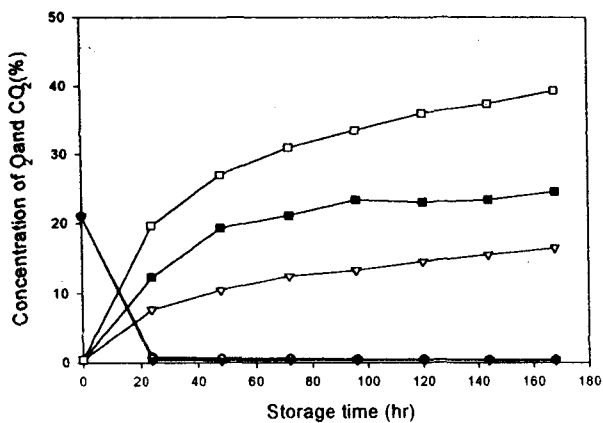
(A)



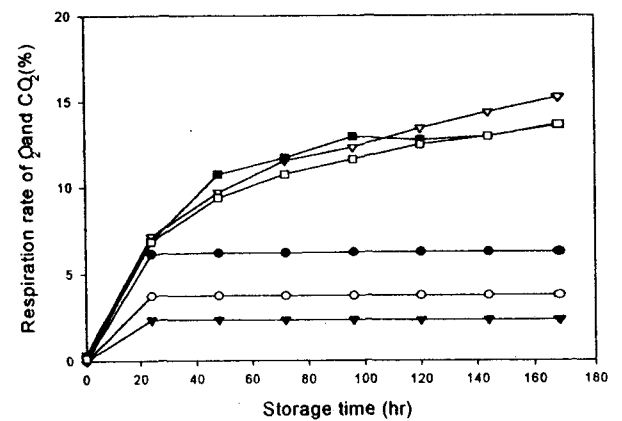
(B)



(B)



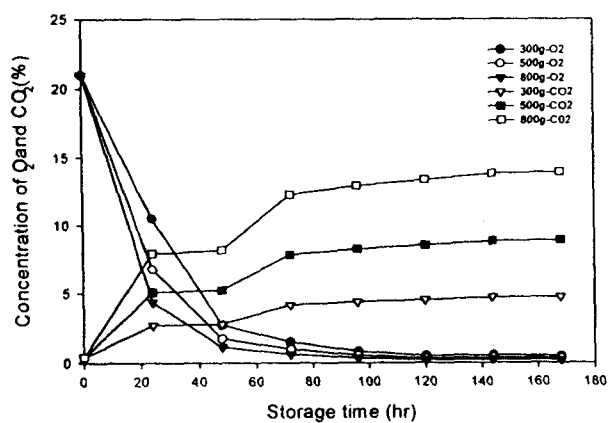
(C)



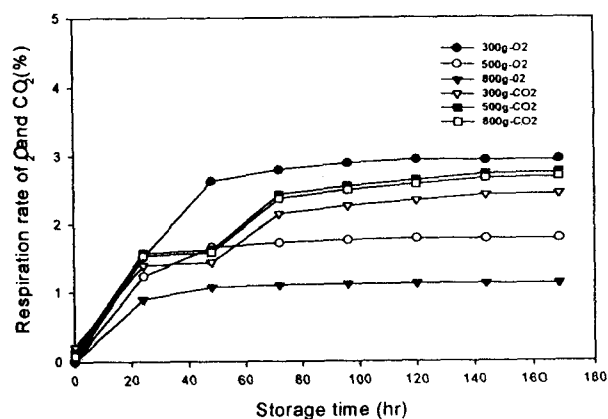
(C)

Fig.4 Effect of 0.05mm LDPE film packaging on the O_2 and CO_2 concentration of peach during storage at different temperature (A: 5°C, B: 10°C, C: 20°C)

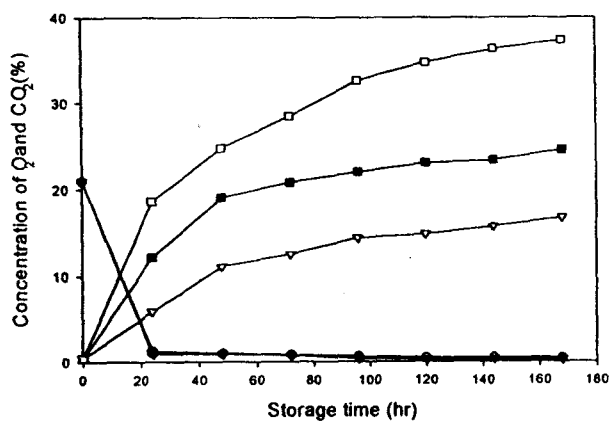
Fig.5 Effect of 0.05mm LDPE film packaging on the oxygen consumption rate and carbon dioxide evolution rate of peach during storage at different temperature (A: 5°C, B: 10°C, C: 20°C)



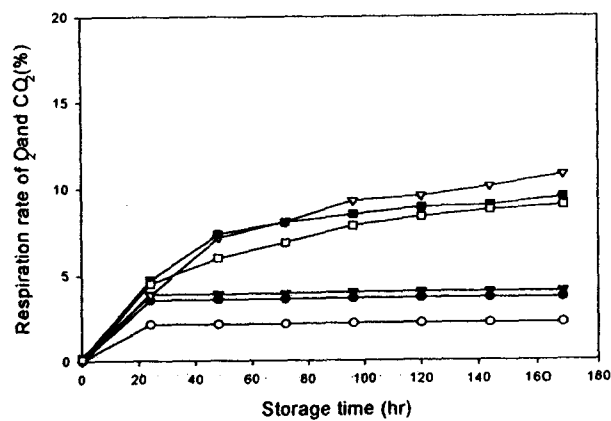
(A)



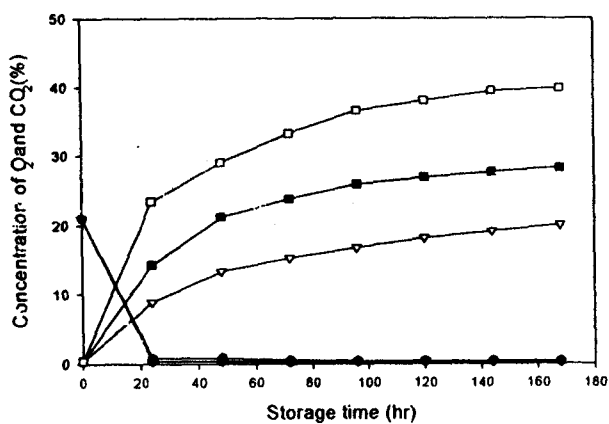
(A)



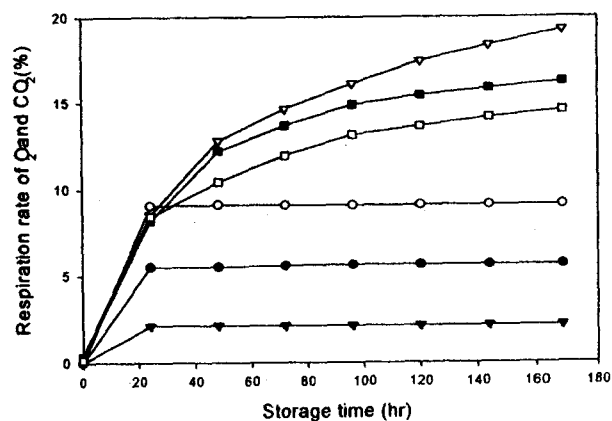
(B)



(B)



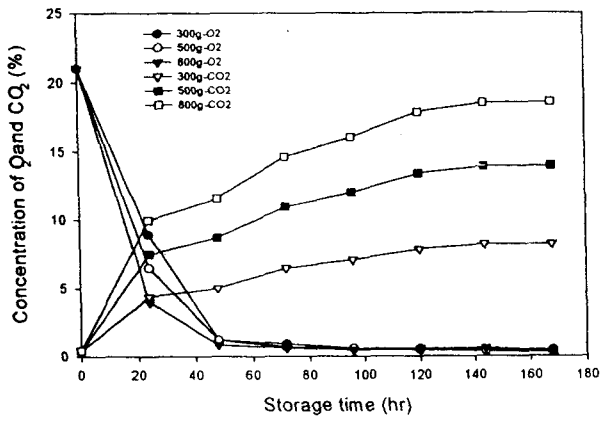
(C)



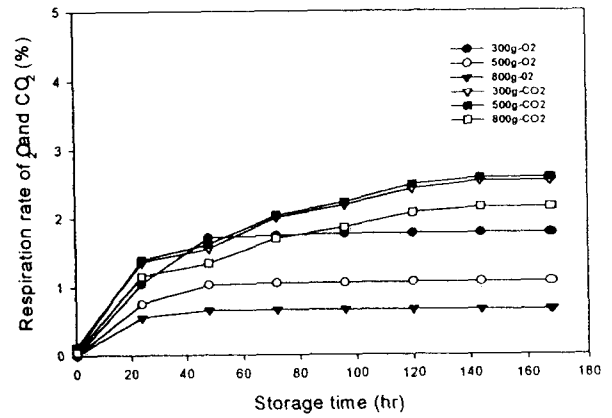
(C)

Fig.6 Effect of 0.03mm Polypropylene film packaging on the O_2 and CO_2 concentration of peach during storage at different temperature (A: 5°C, B: 10°C, C: 20°C)

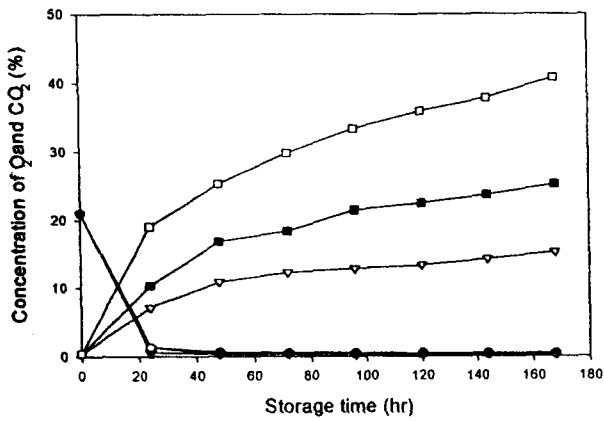
Fig.7 Effect of 0.03mm Polypropylene film packaging on the oxygen consumption rate and carbon dioxide evolution rate of peach during storage at different temperature (A: 5°C, B: 10°C, C: 20°C)



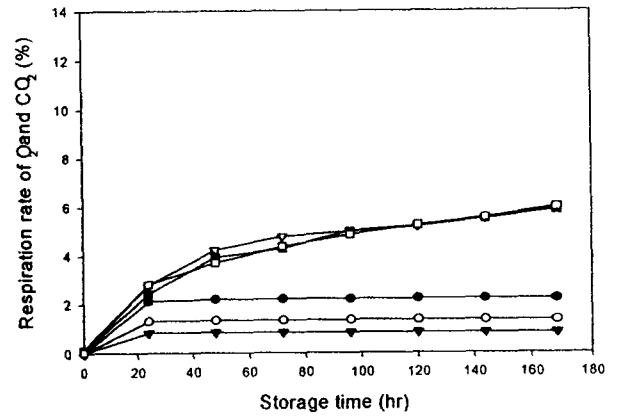
(A)



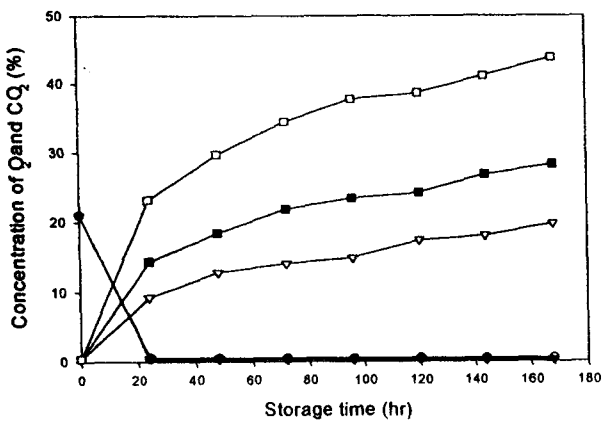
(A)



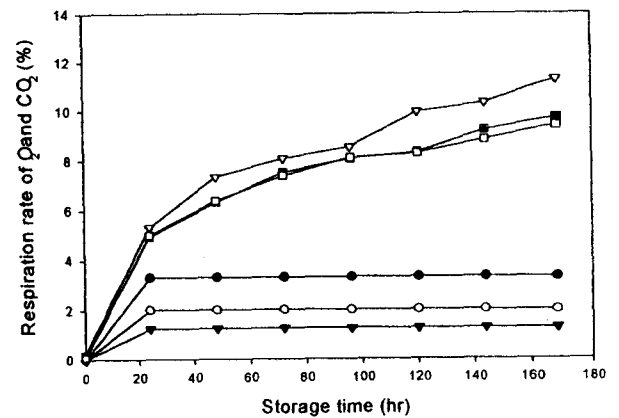
(B)



(B)



(C)



(C)

Fig.8 Effect of 0.05mm Polypropylene film packaging on the O_2 and CO_2 concentration of peach during storage at different temperature (A: 5°C, B: 10°C, C: 20°C)

Fig.9 Effect of 0.05mm Polypropylene film packaging on the oxygen consumption rate and carbon dioxide evolution rate of peach during storage at different temperature (A: 5°C, B: 10°C, C: 20°C)

포장재 가스투과도

실험에 사용된 필름의 LDPE 및 PP 필름의 투과도는 온도에 따라 비례하며 각 온도에 따른 투과도는 Table 3, 4와 같다.

모델링

산소 및 이산화탄소의 호흡속도, 포장재의 투과도를 바탕으로 Cameron식을 이용하여 포장재내 산소 및 이산화탄소 함량을 계산한 결과는 Table 5~8, Fig. 10~13과 같다.

통계처리

이상의 결과를 바탕으로 주어진 저장조건에서 저장시간에 따른 포장재내 기체조성의 변화는 회귀분석을 이용하여 예측이 가능하다. 본 연구에서는 SPSS(ver 11.0)를 활용하여 저장시간에 따른 curve estimation을 행하였다. 검토 모델 중 가장 적합한 모델은 Cubic 모델이며 아래 식과 같다.

$$Y = b_0 + b_1t + b_2t^2 + b_3t^3$$

여기서

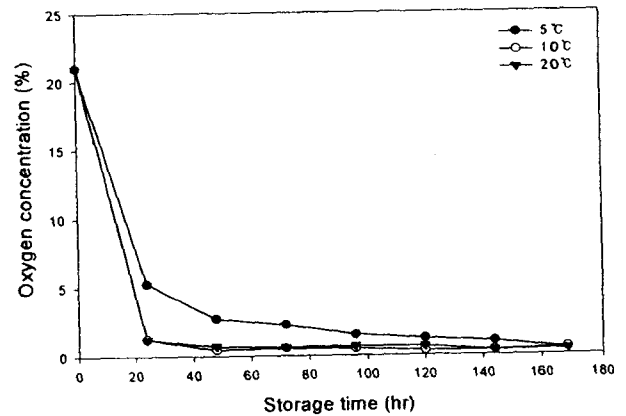
b_0 = a constant

b_n = regression coefficient

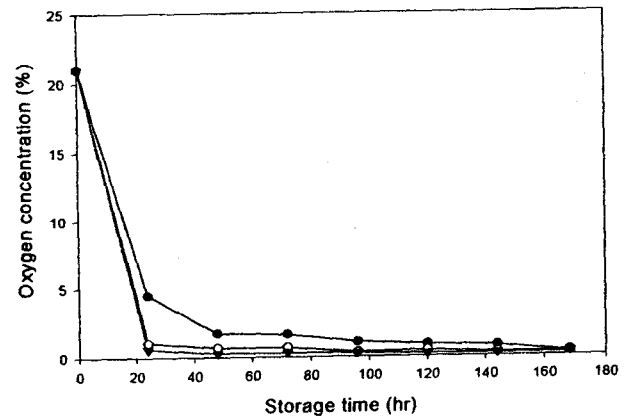
t = a time value or the value of an independent variable

회귀분석 결과는 Table 9에서 12와 같다.

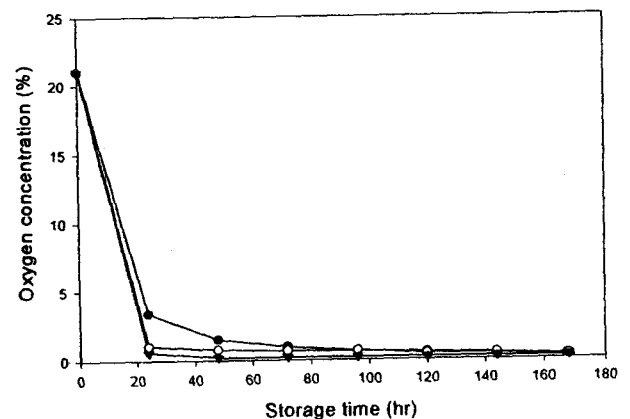
모델에 의한 예측치와 실험치를 각각의 온도에서 중량별로 비교한 결과는 Fig. 14~16이다. 모든 데이터에 있어서 초기 부피는 2825 ml 이며 면적은 0.075m² 이다.



(A)

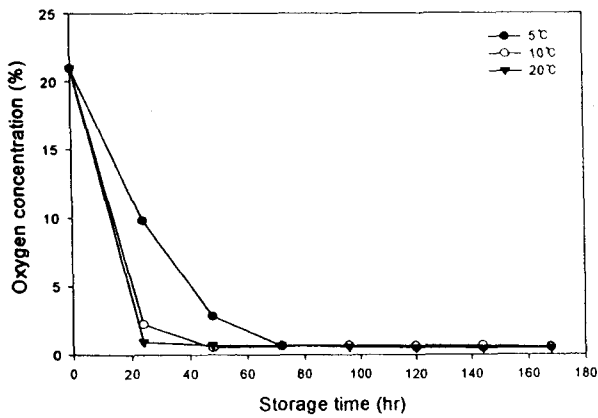


(B)

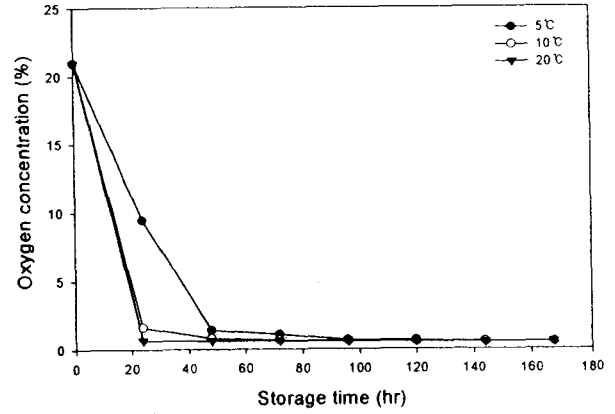


(C)

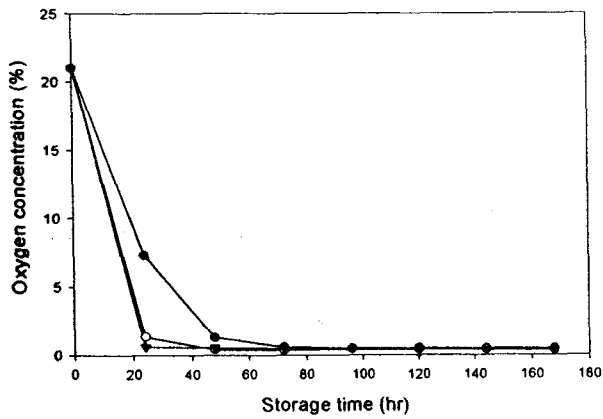
Fig.10 Calculations of package headspace oxygen concentration surrounding peaches with time in 30μm of LDPE package. (A: 300g, B: 500g C: 800g)



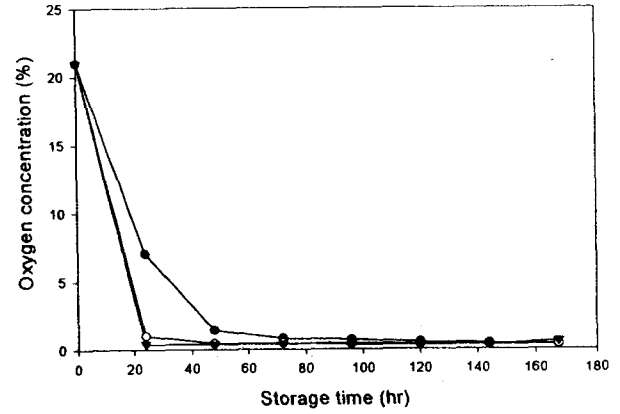
(A)



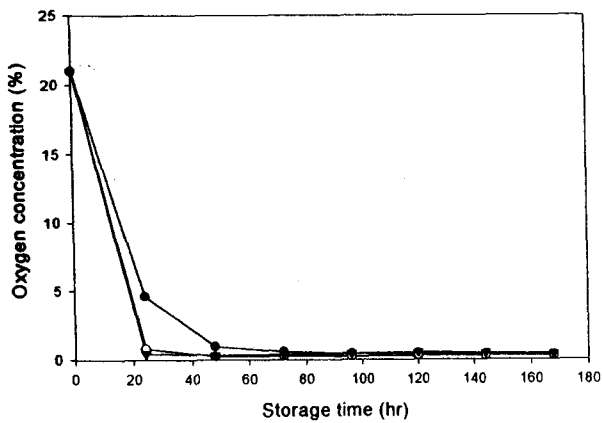
(A)



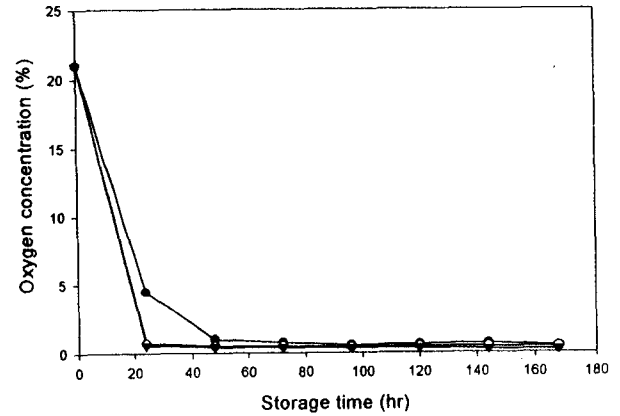
(B)



(B)



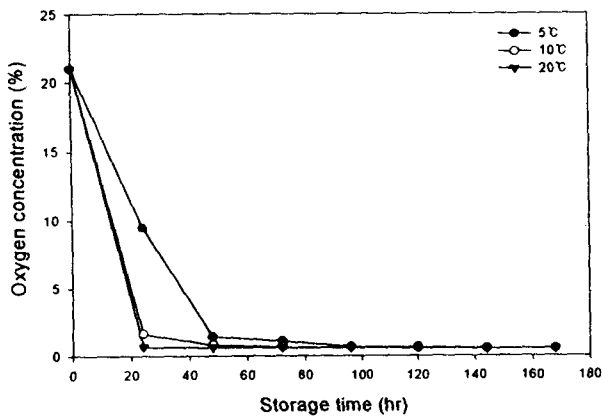
(C)



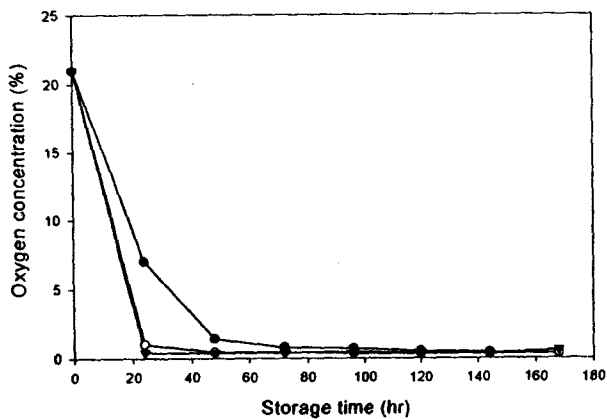
(C)

Fig.11 Calculations of package headspace oxygen concentration surrounding peaches with time in 50 μ m of LDPE package. (A: 300g, B: 500g C: 800g)

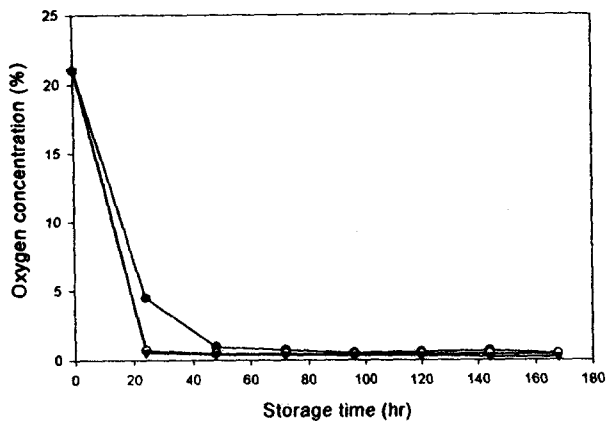
Fig.12 Calculations of package headspace oxygen concentration surrounding peaches with time in 30 μ m of PP package. (A: 300g, B: 500g C: 800g)



(A)

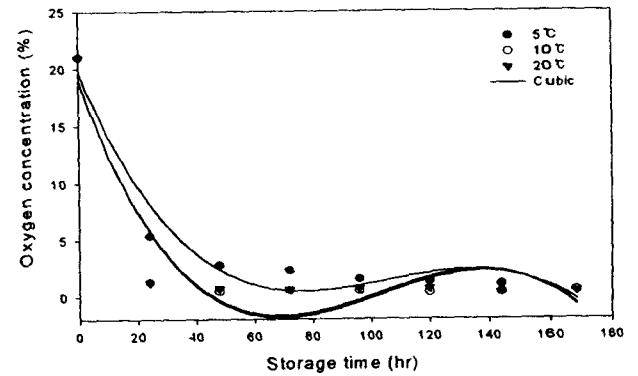


(B)

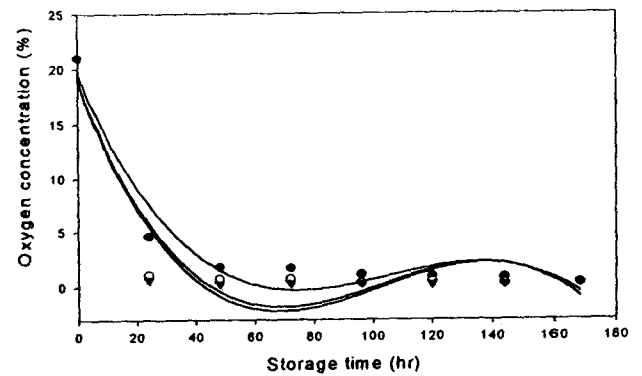


(C)

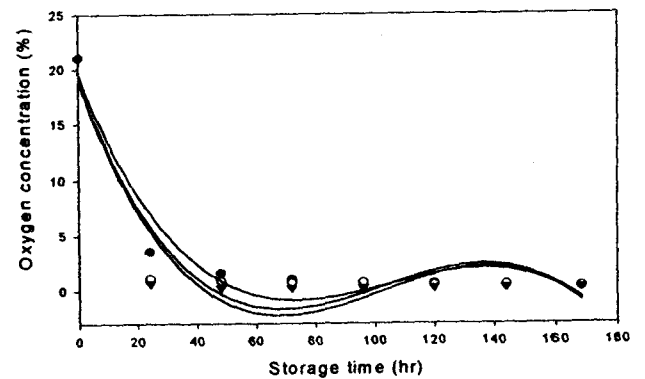
Fig.13 Calculations of package headspace oxygen concentration surrounding peaches with time in 50 μ m of PP package. (A: 300g, B: 500g, C: 800g)



(A)

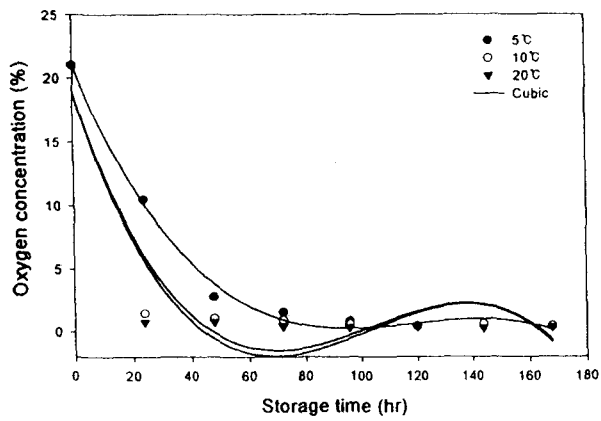


(B)

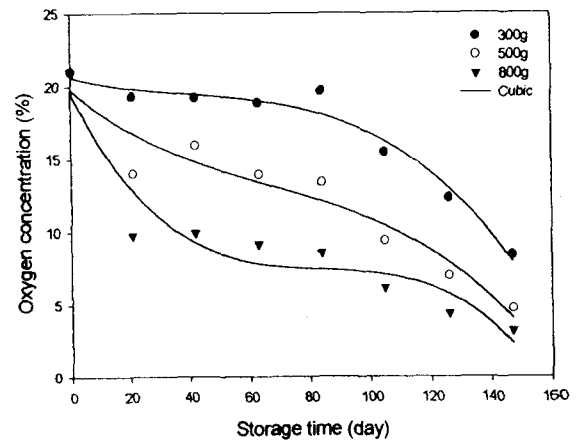


(C)

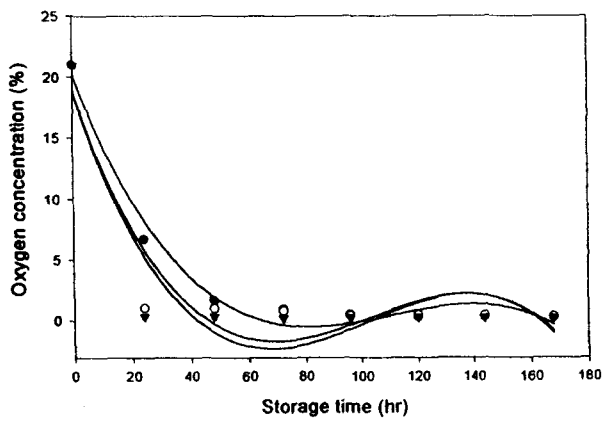
Fig.14 Predicted gas composition versus experimental data for 30 μ m LDPE packages of peaches at 5, 10, 20°C (A: 300g, B: 500g, C: 800g)



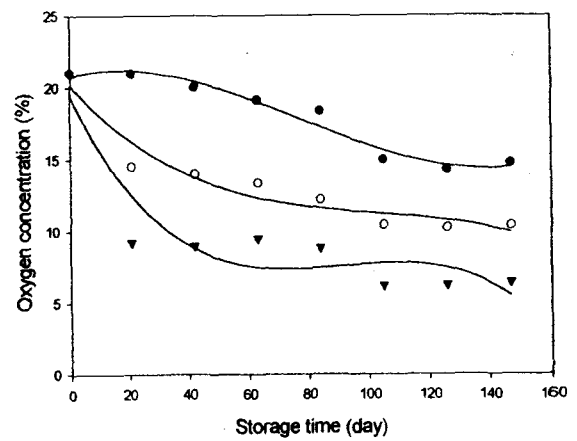
(A)



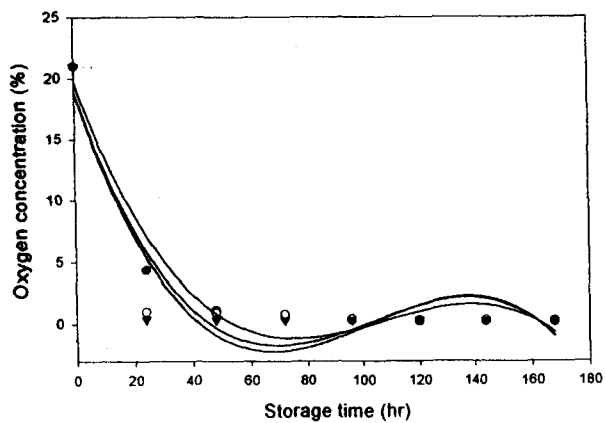
(A)



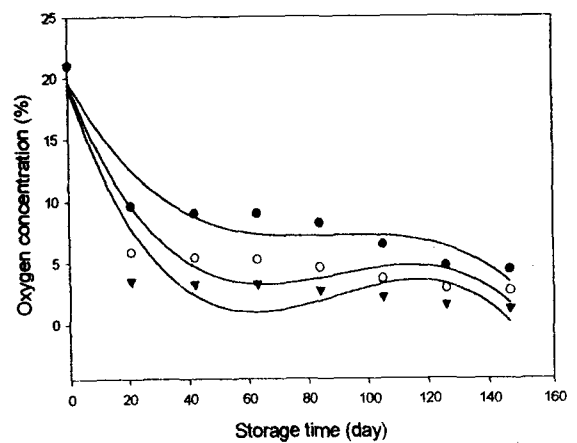
(B)



(B)

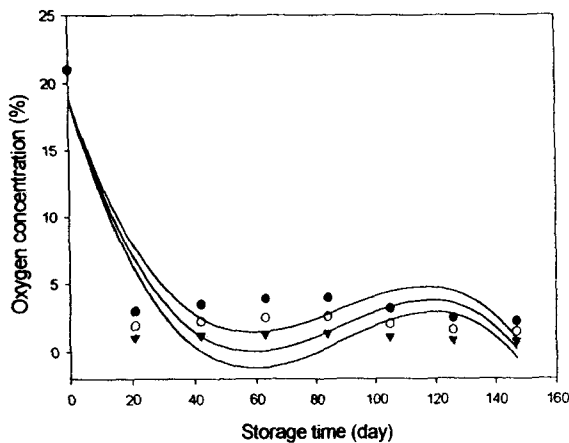


(C)



(C)

Fig.15 Predicted gas composition versus experimental data for 30 μ m PP packages of peaches at 5, 10, 20°C (A: 300g, B: 500g, C: 800g)



(D)

Fig.16 Predicted gas composition versus experimental data for 30 μ m PP packages of peaches at 0°C (A: PE30 μ m, B: PP30 μ m, C: PE50 μ m, D: PP50 μ m) Passively modified atmosphere package of initial free volume of 2825 ml and surface area was 0.075m².

참고문헌

1. Kamolratanakul A.(1990) Development of Fresh Fruit and Vegetable Packaging for Export, Paper presented at Propak Asia 90 and Seafood Tech Thailand 90 held 27-29 Sept. at Bangkok, Thailand, p10.
2. Lakakul, R., Beaudry, R.M., Hernandez, R. J.(1999) Modeling Respiration of Apple Slices in Modified Atmosphere Packaging, J. of Food Sci. 64(1), 105-110
3. Cameron, A. C., Beaudry, R. M., Baqnks, N. H., and Yelanich, M. V.(1994) Modified atmosphere packaging of blueberry fruit: modeling respiration and package oxygen partial pressures as a function of temperature, J. Amer. Soc. Hort. Sci. 119(3), 534-539
4. Katoh K.(1989) Current and Future Designing of Vegetable and Fruit Containers, JPI J. 27(9), 42-50
5. Kolbach W G(1993) Fruit and Vegetable Packaging, Neue Verpack. 46(6), 70, 72, 74
6. MAPrtin E.(1995) Packaging at the Crossroads, Emballage Dig. 396, 54-57
7. FEFCO presents Fruit and Vegetable Packaging, Allg. Pap.-Rundsch.(1998) 109(44), 1236, 1238
8. The Application of Micro-perforated films for Fruit and Vegetable Packaging, Geeson J.(1998) Paper presented by, Schotland Business Research Inc., 'Fourth International Conference on Controlled Modified Atmosphere Vacuum Packaging, CAP 88', held, New York, USA, 127-146
9. Singh R P(1990) Micromodel Optimization of Modified Atmosphere Vegetable/Fruit Packaging, Paper presented at '5th International Conference on controlled, modified atmosphere, vacuum packaging - CAP 90' held 17-19 San Jose, CA, USA, 61-73
10. Scolaro M; Piergiovanni L; Fava P.(1992) Plastic Films with Zeolites added for Preserving Fruit and Vegetables, Rass. dell'imballaggio 13(3), 4-6
11. Wang Y; Eastal A J; Dong Chen X.(1998) Ethylene and Oxygen Permeability through Polyethylene Packaging Films, Packag. Technol. Sci. 11(4), 169-178

Table 1. Effect of type of material, thickness, weight and storage temperature on the respiration rate and headspace gas composition of Peaches packaged in low density polyethylene.

Film thick.	Headspace gas comp.	Wt.(g)	Storage Temperature(°C)		
	Rate of respiration		5	10	20
30 μ m	Headspace O ₂	300	0.50	0.53	0.45
		500	0.34	0.30	0.28
		800	0.23	0.30	0.23
	O ₂ uptake(ml·kg ⁻¹ ·hr ⁻¹)	300	4.64	5.38	7.22
		500	2.80	3.26	4.37
		800	1.76	2.04	2.74
	Headspace CO ₂	300	5.46	13.89	14.47
		500	8.64	18.73	20.62
		800	13.29	28.63	35.39
	CO ₂ uptake(ml·kg ⁻¹ ·hr ⁻¹)	300	7.79	22.00	27.96
		500	7.39	17.80	23.90
		800	7.12	17.00	25.64
50 μ m	Headspace O ₂	300	0.49	0.45	0.42
		500	0.40	0.31	0.31
		800	0.29	0.25	0.35
	O ₂ uptake(ml·kg ⁻¹ ·hr ⁻¹)	300	4.64	5.39	7.22
		500	2.80	3.26	4.35
		800	1.76	2.04	2.72
	Headspace CO ₂	300	7.68	11.90	18.24
		500	11.61	20.35	31.55
		800	15.36	33.67	45.61
	CO ₂ uptake(ml·kg ⁻¹ ·hr ⁻¹)	300	10.95	18.84	35.25
		500	9.94	19.33	36.59
		800	8.22	19.99	33.06

Table 2. Measurement of permeability of polyethylene films.

PE(density = 0.922)	Water vapor	Oxygen	Carbon Dioxide	$\beta = \text{CO}_2/\text{O}_2$
Temperature(°C)				
0	8.00	1,860.73	12,343.78	6.63
5	9.50	2,179.13	13,760.43	6.31
10	11.23	2,537.82	15,280.93	6.02
15	13.18	2,939.96	16,907.82	5.75
20	15.40	3,388.77	18,643.47	5.50
25	17.89	3,887.53	20,490.03	5.27
30	20.68	4,439.54	22,449.43	5.06

Table 3. Effect of type of material, thickness, weight and storage temperature on the respiration rate and headspace gas composition of Peaches packaged in polypropylene film.

Film thick.	Headspace gas comp.	Wt.(g)	Storage Temperature(°C)		
	Rate of respiration		5	10	20
30 μ m	Headspace O ₂	300	0.45	0.48	0.40
		500	0.31	0.37	0.28
		800	0.20	0.28	0.27
	O ₂ uptake(ml·kg ⁻¹ ·hr ⁻¹)	300	2.42	3.40	4.70
		500	1.46	2.05	2.84
		800	0.92	1.29	1.78
	Headspace CO ₂	300	8.65	14.85	18.45
		500	12.58	23.58	25.16
		800	16.73	34.58	40.86
	CO ₂ uptake(ml·kg ⁻¹ ·hr ⁻¹)	300	4.02	7.84	12.43
		500	3.50	7.46	10.17
		800	2.91	6.84	10.33
50 μ m	Headspace O ₂	300	0.45	0.44	0.46
		500	0.39	0.32	0.49
		800	0.40	0.36	0.20
	O ₂ uptake(ml·kg ⁻¹ ·hr ⁻¹)	300	2.89	3.40	4.68
		500	1.75	2.05	2.80
		800	1.09	1.28	1.78
	Headspace CO ₂	300	8.25	15.63	24.89
		500	13.95	22.86	38.78
		800	18.58	38.77	58.81
	CO ₂ uptake(ml·kg ⁻¹ ·hr ⁻¹)	300	3.83	8.24	16.78
		500	3.88	7.23	15.69
		800	3.23	7.67	14.87

Table 4. Measurement of permeability of polypropylene films.

PP(density = 0.90)	Water vapor	Oxygen	Carbon Dioxide	β = CO ₂ /O ₂
Temperature(°C)				
0	2.18	1134.80	3919.30	3.45
5	2.70	1351.01	4478.30	3.31
10	3.32	1598.53	5092.99	3.19
15	4.04	1880.40	5766.26	3.07
20	4.90	2199.75	6500.94	2.96
25	5.90	2559.83	7299.80	2.85
30	7.05	2963.99	8165.55	2.75

※ g* μ m/m' · day = WVTR, STP cc* μ m/m'·day = OTR, CTR

Table 5. Calculations of package headspace O₂ surrounding peaches with time in 30 μ m of LDPE package.

Time, hr	Weight(g)								
	300g			500g			800g		
	5℃	10℃	20℃	5℃	10℃	20℃	5℃	10℃	20℃
0	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00
24	5.30	1.28	1.25	4.49	1.04	0.60	3.44	1.05	0.59
48	2.75	0.46	0.74	1.75	0.70	0.28	1.53	0.80	0.23
72	2.29	0.56	0.65	1.64	0.70	0.32	0.96	0.68	0.21
96	1.55	0.51	0.71	1.07	0.34	0.30	0.68	0.70	0.22
120	1.26	0.36	0.68	0.88	0.46	0.22	0.57	0.45	0.22
144	1.04	0.36	0.36	0.77	0.29	0.21	0.47	0.47	0.22
168	0.48	0.51	0.43	0.32	0.29	0.27	0.22	0.29	0.22

※ Initial free volume of 2825 *ml* was used and surface area was 0.075m².

Table 6. Calculations of package headspace O₂ surrounding peaches with time in 50 μ m of LDPE package.

Time, hr	Weight(g)								
	300g			500g			800g		
	5℃	10℃	20℃	5℃	10℃	20℃	5℃	10℃	20℃
0	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00
24	9.82	2.26	0.96	7.30	1.38	0.63	4.64	0.82	0.47
48	2.87	0.55	0.74	1.33	0.43	0.57	0.98	0.26	0.34
72	0.71	0.65	0.72	0.62	0.37	0.52	0.60	0.28	0.40
96	7.02	0.72	0.61	0.50	0.46	0.49	0.44	0.24	0.44
120	0.53	0.67	0.53	0.54	0.42	0.44	0.46	0.29	0.53
144	0.51	0.69	0.48	0.49	0.43	0.41	0.41	0.28	0.46
168	0.59	0.55	0.50	0.49	0.37	0.38	0.35	0.30	0.42

※ Initial free volume of 2825 *ml* was used and surface area was 0.075m².

Table 7. Calculations of package headspace O₂ surrounding peaches with time in 30 μ m of PP package.

Time, hr	Weight(g)								
	300g			500g			800g		
	5℃	10℃	20℃	5℃	10℃	20℃	5℃	10℃	20℃
0	11.74	1.46	0.75	8.16	1.03	0.35	5.66	0.98	0.38
24	3.90	1.02	0.74	2.57	1.00	0.34	1.78	0.91	0.35
48	2.41	0.90	0.43	1.57	0.79	0.24	1.01	0.78	0.31
72	1.37	0.58	0.34	0.89	0.41	0.26	0.59	0.40	0.31
96	0.81	0.43	0.40	0.55	0.47	0.30	0.36	0.28	0.29
120	0.87	0.58	0.30	0.62	0.44	0.27	0.41	0.29	0.26
144	0.76	0.46	0.39	0.53	0.35	0.27	0.35	0.27	0.26
168	0.48	0.51	0.43	0.32	0.29	0.27	0.22	0.29	0.22

※ Initial free volume of 2825 *ml* was used and surface area was 0.075m².

Table 8. Calculations of package headspace O₂ surrounding peaches with time in 50 μ m of PP package.

Time, hr	Weight(g)								
	300g			500g			800g		
	5℃	10℃	20℃	5℃	10℃	20℃	5℃	10℃	20℃
0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0
24	9.44	1.62	0.69	7.04	1.02	0.43	4.48	0.72	0.57
48	1.42	0.81	0.63	1.42	0.44	0.39	0.98	0.49	0.43
72	1.08	0.66	0.63	0.81	0.46	0.40	0.75	0.50	0.39
96	0.67	0.63	0.61	0.71	0.38	0.49	0.55	0.42	0.34
120	0.66	0.57	0.60	0.55	0.35	0.38	0.62	0.47	0.35
144	0.55	0.57	0.53	0.45	0.33	0.33	0.69	0.47	0.26
168	0.54	0.53	0.55	0.35	0.38	0.59	0.48	0.44	0.24

※ Initial free volume of 2825 *ml* was used and surface area was 0.075m².

Table 9. Results of Regression analysis for LDPE film of mandarin oranges at 5, 10, 20℃. Passively modified atmosphere package of 300, 500, 800g with initial free volume of 2825 *ml* and surface area was 0.075m².

Film thick.(μ m)	Temp. (℃)	Wt. (g)	Rsq	d.f.	F	Sigf	b0	b1	b2	b3
30	5	300	.991	4	145.25	.000	24.2757	-4.0450	.6261	-.0373
		500	.984	4	80.26	.000	25.6764	-5.8834	.9982	-.0601
		800	.991	4	152.05	.000	27.8086	-8.4868	1.4874	-.0888
	10	300	.981	4	70.17	.001	26.2850	-6.7364	1.2326	-.0774
		500	.955	4	28.43	.004	27.7929	-8.9602	1.7347	-.1098
		800	.956	4	29.20	.004	30.2057	-12.077	2.1362	-.1258
	20	300	.981	4	69.10	.001	28.2257	-9.2239	1.6221	-.0986
		500	.974	4	49.50	.001	29.6600	-11.193	2.0541	-.1262
		800	.960	4	31.76	.003	34.1900	-17.202	3.3002	-.2040
	5	300	.956	4	29.00	.004	23.6764	-3.0526	.2547	-.0143
		500	.990	4	134.48	.000	27.5457	-8.1375	1.1770	-.0669
		800	.952	4	26.38	.004	33.9671	-17.224	3.2226	-.1958
50	10	300	.991	4	139.65	.000	25.9357	-6.0222	.7019	-.0333
		500	.976	4	54.94	.001	29.9029	-11.448	1.7973	-.1025
		800	.911	4	13.64	.014	36.8357	-21.451	4.1736	-.2580
	20	300	.975	4	52.41	.001	27.5664	-8.4401	1.2311	-.0662
		500	.962	4	34.06	.003	31.8600	-14.239	2.4219	-.1420
		800	.891	4	10.93	.021	40.7586	-26.902	5.4791	-.3452

Table 10. Results of Regression analysis for PP film of mandarin oranges at 5, 10, 20℃.
 Passively modified atmosphere package of 300, 500, 800g with initial free volume of 2825 ml and surface area was 0.075m².

Film thick.(μm)	Temp.(℃)	Wt.(g)	Rsqr d.f.	F	Sigf	b0	b1	b2	b3
30	5	300	.991 4	150.84	.000	24.7286	-4.5537	.6715	-.0361
		500	.977 4	55.69	.001	29.3386	-10.697	1.9419	-.1170
		800	.957 4	29.34	.003	32.3357	-14.893	2.8601	-.1778
	10	300	.995 4	265.47	.000	24.5614	-4.2449	.5700	-.0327
		500	.979 4	62.55	.001	29.9793	-11.471	2.0570	-.1259
		800	.943 4	22.09	.006	33.2357	-16.231	3.1158	-.1926
	20	300	.990 4	134.57	.000	27.1171	-7.4043	1.2099	-.0708
		500	.984 4	80.19	.000	31.2457	-12.837	2.2556	-.1340
		800	.957 4	29.93	.003	34.4743	-17.604	3.3388	-.2035
50	5	300	.997 4	467.74	.000	25.2714	-4.8911	.4222	-.0132
		500	.998 4	722.38	.000	28.9614	-9.2647	1.1967	-.0577
		800	.956 4	28.68	.004	32.1529	-13.587	2.1667	-.1191
	10	300	.992 4	156.55	.000	25.0071	-4.7141	.3562	-.0062
		500	.977 4	57.81	.001	28.9479	-10.099	1.4390	-.0741
		800	.931 4	18.11	.009	35.0586	-18.829	3.5212	-.2132
	20	300	.991 4	144.08	.000	25.5786	-5.4102	.4219	-.0080
		500	.978 4	59.04	.001	29.4550	-10.718	1.4788	-.0741
		800	.888 4	10.57	.023	40.3514	-26.427	5.3927	-.3413

Table 11. Results of Regression analysis for LDPE film of peaches at 5, 10, 20℃.
 Passively modified atmosphere package of 300, 500, 800g with initial free volume of 2825 ml and surface area was 0.075m².

Film thick.(μm)	Temp. (℃)	Wt. (g)	Rsqr d.f.	F	Sigf	b0	b1	b2	b3
30	5	300	.950 4	25.13	.005	38.4893	-23.013	4.4864	-.2770
		500	.895 4	11.40	.020	41.2274	-27.457	5.5662	-.3486
		800	.892 4	11.01	.021	41.1487	-27.417	5.5859	-.3518
	10	300	.946 4	23.14	.005	39.5821	-24.498	4.8252	-.2987
		500	.888 4	10.62	.022	41.0823	-27.376	5.5625	-.3496
		800	.885 4	10.29	.024	41.5826	-28.085	5.7287	-.3604
	20	300	.934 4	18.90	.008	40.0610	-25.334	5.0144	-.3106
		500	.887 4	10.50	.023	41.1163	-27.444	5.5977	-.3530
		800	.888 4	10.59	.023	41.7293	-28.242	5.7635	-.3626
50	5	300	.899 4	11.81	.019	37.9860	-21.163	4.0433	-.2499
		500	.918 4	14.94	.012	41.3017	-27.216	5.5050	-.3446
		800	.884 4	10.21	.024	41.0946	-27.441	5.5906	-.3517
	10	300	.987 4	99.04	.000	39.7643	-23.500	4.4086	-.2617
		500	.903 4	12.38	.017	41.5012	-27.721	5.6303	-.3532
		800	.881 4	9.92	.025	41.3910	-27.882	5.6996	-.3593
	20	300	.960 4	31.96	.003	40.4350	-25.273	4.9293	-.3012
		500	.892 4	11.03	.021	41.6504	-28.075	5.7182	-.3592
		800	.882 4	9.94	.025	41.7432	-28.348	5.8177	-.3674

Table 12. Results of Regression analysis for PP film of peaches at 5, 10, 20℃. Passively modified atmosphere package of 300, 500, 800g with initial free volume of 2825 ml and surface area was 0.075m².

Film thick. (μm)	Temp. (℃)	Wt. (g)	Rsqr	d.f.	F	Sigf	b0	b1	b2	b3
30	5	300	.994	4	219.11	.000	36.0076	-17.657	2.9175	-.1580
		500	.893	4	11.08	.021	40.6896	-26.787	5.4162	-.3392
		800	.884	4	10.15	.024	41.1784	-27.559	5.6024	-.3517
	10	300	.988	4	110.36	.000	38.0264	-21.248	3.8690	-.2258
		500	.885	4	10.24	.024	40.8330	-27.091	5.4985	-.3453
		800	.881	4	9.85	.026	41.6937	-28.297	5.7894	-.3649
	20	300	.968	4	40.49	.002	39.2777	-23.571	4.4898	-.2704
		500	.883	4	10.07	.025	40.7723	-27.038	5.4787	-.3438
		800	.880	4	9.79	.026	41.6300	-28.223	5.7744	-.3641
50	5	300	.989	4	122.44	.000	39.1602	-22.069	4.0119	-.2329
		500	.901	4	12.17	.018	41.0358	-27.123	5.4930	-.3442
		800	.880	4	9.79	.026	41.3257	-27.807	5.6895	-.3588
	10	300	.983	4	79.25	.001	39.6501	-23.508	4.4393	-.2656
		500	.892	4	11.04	.021	41.3819	-27.714	5.6338	-.3536
		800	.877	4	9.49	.027	41.4574	-28.020	5.7236	-.3600
	20	300	.957	4	29.84	.003	40.5513	-25.494	5.0045	-.3071
		500	.885	4	10.26	.024	41.4769	-27.944	5.7084	-.3594
		800	.883	4	10.10	.024	41.5292	-28.045	5.7307	-.3612

※ Independent: time