

Quality evaluations of bell pepper in cold system combined with TEM (thermoelectric materials) and PCM (phase change material)

Jung-Min Sung, So-Hee Kim, Byeong-Sam Kim, Jong-Hoon Kim,
Ji-Young Kim, Ki-Hyun Kwon*

Smart Postharvest Technology Research Group, Korean Food Research Institute, Seongnam 13539, Korea

PCM을 장착한 열전소자 냉각시스템의 저장 중 피망의 품질 평가

성정민 · 김소희 · 김병삼 · 김종훈 · 김지영 · 권기현*

한국식품연구원 스마트 유통시스템 연구단

Abstracts

For the distribution of fresh produce, the thermoelectric cooling system combined with thermo electric materials (TEM) and phase change material (PCM) was studied. The PCM used this study was produced by in-situ polymerization technology which referred microencapsulation of hydrocarbon (n-tetradecane and n-hexadecane). In this study, quality characteristics of bell peppers in thermoelectric cooling system combined with TEM and PCM were analyzed and control was placed in an EPS (expanded polystyrene) box. As a result of quality characteristics analysis, weight of bell peppers decreased and moisture content of bell peppers was 90.96~94.43% during storage. Vitamin C content of bell pepper decreased during storage and reduction ratio of control was higher than that of BPT-5 treatment (bell pepper in thermoelectric cooling system with PCM which is kept the temperature at 5°C). The result of color value, on 21 day, ΔE value of BPT-5 treatment was 5.05 while that of control was 41.8. On 21 day, total bacteria count of BPT-5 treated bell pepper shown less than that of control. In conclusion, it suggested that the thermoelectric cooling system combined with PCM improved quality of fresh produce during transportation and storage.

Key words : thermoelectric cooling system, phase change material, bell pepper, quality, vitamin C

서 론

국민생활 수준 향상과 더불어 저온 유통 시스템을 이용한 육류, 어패류, 신선편의 농산물 등의 물류량이 증가하고 있다. 저온 유통 시스템은 농산물의 품질과 신선도 및 안전성을 확보하여 신선도를 장기간 유지하기 위한 유통 시스템이다. 특히 농산물은 수확 후 일어나는 호흡작용, 갈변현상, 증산 작용 등으로 저장성이 낮아 장기간 공급하게 위해 저온저장이 필수적인 저장방법으로 확인되었다(1). 하지만 저온유통 시스템은 생산부터 소비까지 여러 물류단계를

거치는 과정에서 일정한 온도 유지 및 관리가 어렵고 이로 인하여 품질저하 및 입출고를 위한 인건비, 하역 및 상차시간 소요 등 과도한 비용이 발생하고 있다. 특히 농산물은 온도에 민감하여 유통과정 중 온도변동이 심하면 초기 품질을 유지하기가 어려워진다(2). 또한 생산여건 측면에서 다 품종, 소량생산으로 산지에서 즉각 예냉 시설을 가동하기 어려울 뿐 아니라 지역별, 시기별로 성숙기 출하시기가 편중되는 현상으로 예냉 및 저장시설의 연중 가동률이 낮아 비교적 높은 초기 시설비와 유지비용을 감당하는 것이 어려운 실정이다(3). 이와 같이 농산물의 저온유통은 주로 수산물과 일부 축산물에 적용되는 냉동유통에 비해 온도를 정밀하게 유지할 수 있는 기술을 필요로 하고 있다.

잠열재(phase change material, PCM)는 일정한 상변화 온도와 잠열량을 가지고 있어 가열 및 냉각과정에서 상변화 온도에 도달하면 온도의 변화 없이 일정한 양의 열을 흡수 또는 방출하는 성질을 가진다(4). 잠열재는 물, 수용액, 화학

*Corresponding author. E-mail : kkh@kfri.re.kr
Phone : 82-31-780-9258, Fax : 82-31-780-9144
Received 15 March 2016; Revised 22 May 2016; Accepted 27 May 2016.
Copyright © The Korean Society of Food Preservation. All rights reserved.

잠열재로 구분하며 화학 잠열재에는 유기물과 무기물로 나누어지는데, 유기물계는 파라핀을 중심으로 밀도가 낮고 부피 팽창 및 부식성이 작고, 무기물계는 수화물계가 중심이며 밀도가 높고 유기물계에 비해 잠열량이 큰 특징을 가진다(2). 현재 많은 분야에서 활용되고 있는 잠열재 물질로는 망초(Na_2SO_4), 파라핀(paraffin)계 물질 등이 있으며, 의약품 저온 저장을 위해 H_2O -NaOH 혼합형 잠열재의 냉축열 특성에 대한 보고도 있다(5-7).

열전소자(Thermo Electric Materials, TEM)는 열에너지를 전기에너지로, 전기에너지를 열에너지로 직접 변화하는데 사용되는 소자로 프랑스의 Jean Peltier에 의해 발견되었으며, 서로 다른 금속을 접합한 물질에 전류가 흐르면 한쪽면은 흡열, 다른 한쪽 면은 발열을 하는 현상을 Peltier effect라 일컫는다(8,9). 열전소자를 이용한 냉각방식은 전자냉각 방식으로 냉매를 사용하지 않기 때문에 환경오염이 없는 친환경적 냉각 방식이며(9), 기존의 냉매를 이용하는 냉각 시스템에 비하여 단순한 구조로서 소형화가 가능하며, 정밀한 냉각온도의 제어가 용이하여 높은 신뢰성을 가지는 장점이 있다(10). 또한 에너지 절감이라는 시대적 요구에 가장 잘 부응하는 소재로 자동차, 우주, 항공, 반도체 및 가전제품 등 산업 전반에 광범위하게 활용되고 있다(11).

피망(*Capsicum annuum* L.)은 가지과에 속하는 작물로 비타민 A와 C, 칼륨, 칼슘, 인 등의 무기질을 다량 함유하며 단맛이 있고 매운맛이 강하지 않아 샐러드용이나 볶음요리, 조림 등의 요리에 이용되고 있다(12). 하지만 수확 후 연화 및 수분 감소로 물러지는 현상이 일어나 품질 저하의 요인이 된다(13). 그러므로 저장과 유통에서의 문제점을 보완하기 위해 수분 손실과 같은 품질 열화를 지연시킬 수 있는 효과적인 수확 후 처리방법에 관한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 농산물의 농산물 운송 시스템에 PCM 장착과 동시에 수송 중 저온을 유지하기 위해 개발되어진 열전소자를 적용하여 이동과 수송이 가능한 이동식 저온 컨테이너를 제작하여 연구를 수행하였으며, 저온 컨테이너 내부에 피망을 저장하여 저장 중 품질 평가를 하였다.

재료 및 방법

실험재료

본 연구에서 사용된 피망은 경남 진주에서 재배된 것으로 실험 당일 농협하나로 마트에서 구매하여 외관 선별 후 각 처리구당 5 kg 무게를 측정하여 실험에 사용하였다.

장치 및 저장 조건

본 연구에 사용된 저온이동식 컨테이너는 잠열재를 장착한 열전소자 냉각장치로 본 실험을 위하여 직접 제작되었으며(Fig. 1), 기본 구성 및 system 전력 사양은 Table 1과 같다. 저온 이동식 컨테이너는 열전소자의 성능과 운송 효율성을 최적화하기 위해 내부 용량은 $650 \times 400 \times 270 \text{ mm}^3$ 로 총 부피는 58.3 L로 제작되었으며 온도는 -2°C 에서 10°C 까지 조절이 가능하다. 열전소자는 냉각 및 가열용 열전소자로 각각 2HT-085-S, HT-15-15-S 모델을 이용하였으며, 열전소자 물질로는 상온에서 높은 열전효과를 얻기 위해 BiTe계를 선택하였다. 온도센서가 부착되어 온도를 모니터링이 가능하며 충전이 용이한 리튬폴리머 배터리를 장착하여 24시간 연속적으로 사용 가능하도록 제작되었다. 본 연구에 사용된 잠열재는 n-tetradecane($\text{C}_{14}\text{H}_{30}$), n-hexadecane($\text{C}_{16}\text{H}_{34}$)을 혼합, in-situ 중합법에 의해 미세 캡슐 물질로 제조하였다.

Table 1. Specification of the thermoelectric cooling system

	Items	Specification
Full unit	Structure	TEM (thermoelectric material)/Controller/Battery
	Size	$540 \times 400 \times 270 \text{ mm}^3$
	Model	2HT-085-S (cold), HT-15-15-S (heat)
TEM (cold & heat)	Interface material	n-type: $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{Se}$ p-type: $\text{Bi}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5\text{Se}$
	Voltage (DC)/Current	20V/5.0A, 22V/5.5A, 24V/6.0A
	Type	Lithium-polymer
Battery unit	Size	$300 \times 190 \times 75 \text{ mm}^3$
	Capacity	60Ah



Fig. 1. Transportable thermoelectric cooling system.

배합 비율은 5℃ 유지 잠열재의 경우 water 60%와 n-tetradecane 40%를 혼합하여 제조하였으며, 10℃ 유지 잠열재는 water 60%와 n-tetradecane C₁₄H₃₀ 16%, n-hexadecane C₁₆H₃₄ 24%의 비율로 제조하였다. 제조되어진 PCM은 linear low-density polyethylene(LLDPE)+nylon 포장재에 500±5 g씩 담아 열전소자 냉각장치가 적용된 컨테이너에 9개씩 실험에 사용하였다. 피망 저장 평가에서는 두 개의 개발된 잠열재를 사용하였다. 연구에 사용된 피망은 종이 상자에 각각 5 kg씩 포장하여 4상자씩 저온 이동식 컨테이너에 저장하면서 품질 평가를 하였다. 평가 항목으로는 온도 변화, 중량감소율, 수분함량, 색도, 경도, pH, 총균수 등을 측정하였다. 대조구로는 일반적으로 사용하는 EPS 상자에 시료를 저장하면서 비교하였다.

열적특성 분석

잠열재의 열적특성 분석은 Differential Scanning Calorimeter (UNIX DSC 7, PERKIN ELMER, OH, USA)를 이용하여 측정하였으며, 분석 조건은 1℃/min의 가열속도로 -20℃에서 20℃까지 온도 조건에서 측정하였다.

온도 측정

온도 변화는 외부, PCM, 열전소자 냉각장치 내부 및 시료의 중심부를 측정하였으며, thermo recoder(TR-52, T&D Co., Nagano, Japan)을 이용하여 저장 기간에 따른 온도변화를 기록하였다.

중량감소율 측정

중량감소율은 초기 각 처리구별로 3개의 시료를 칭량한 후 저장 초기의 중량에 대한 감모량을 백분율로 환산하여 % 단위로 나타내었다.

수분함량 측정

수분함량은 각 처리구별로 항량이 된 수기에 시료 약 5 g을 취하여 drying oven(HSC-150/300, MS I&C, Seoul, Korea)을 이용하여 건조를 실시하였다. 실험방법은 105℃ 상압 수분 건조법을 이용하여 2시간 단위로 측정하여, 항량이 될 때까지 건조를 반복한 후 평균값과 표준편차를 구하였다.

pH 및 가용성 고형분 함량 측정

pH는 시료 10 g을 취해 증류수 20 mL를 넣은 후 homogenizer(AM-7, Nihonseiki Kaisha Ltd., Tokyo, Japan)를 이용하여 균질하고 여과한 후 사용하였다. 가용성 고형분 함량은 여과액이 약 10±1℃ 되었을 때 디지털 당도계(PR-32, Atago Co., Ltd., Tokyo, Japan)을 이용하여 측정하였다.

총균수 측정

시료 10 g 취하여 멸균팩(B1348WA, Nasco Co., Ltd., IL, USA)에 넣은 다음 멸균된 0.85% saline 용액으로 10배 희석하여 stomacher(Bagmixer R400, Interscience, Saint Nom, France)로 균질화한 후 단계적으로 희석하여 실험을 실시하였다. 총균수 측정 배지(Petri film, 3M Co., Ltd., CA, USA)에 접종하여 37℃에서 48시간 배양한 후 colony수를 측정하여 log CFU/g으로 나타내었다.

Vitamin C 함량 측정

비타민 C 함량 측정은 2,4-DNP(dinitrophenol) 비색법(14)에 준하여 측정하였으며, 일정량의 시료를 5% metaphosphoric acid 용액과 혼합하여 여과 후 여과액을 각각 희석하여 2 mL씩 시험관에 취한 후 indophenol 용액을 첨가하고, DNP 용액을 가해 osaxone을 형성, 용해, 흡광도 측정의 순서로 조작하여 spectrophotometer(V-530, Jasco, Tokyo, Japan)을 이용하여 540 nm에서 흡광도를 측정하였다.

색도 측정

색도는 Chromameter(CR-200, Minolta Co., Japan)를 이용하여 측정하였으며, 명도(L, lightness), 적색도(a, redness), 황색도(b, yellowness)를 Hunter값으로 표시하였다. 이때 색차계의 보정을 위해 L*=96.00, a*=-0.04, b*=-0.02의 값을 가진 백색 표준판을 사용하였으며, 각 시료마다 일정 부위를 지정하여 측정하였다.

경도 측정

경도는 rheometer(CR-200D, SUN Sci Co., Tokyo, Japan)를 사용하여 처리구당 3반복하여 과핵쪽으로 probe를 50 mm/min 속도로, 10 mm 삽입할 때 나타나는 조직의 저항값을 kgf로 나타내었다.

통계 분석

통계분석은 SAS program(version 9.12, SAS Inst., Inc., Gary, NC, USA)를 이용하여 Duncan's multiple range test방법을 사용하여 0.05% 수준에서 유의성을 분석하였다.

결과 및 고찰

잠열재의 특성

개발 잠열재의 SEM 및 DSC 측정 결과는 Fig. 2에 나타내었다. 잠열재의 열적 특성은 엔트로피(entropy) 변화가 일어나는 것으로 대부분의 처리구에서 최대 잠열온도(peak)가 2개씩 나타났으며, 이러한 정점은 내부와 외부물질로 구성된 이중구조의 캡슐형성 및 서로 다른 물질이 존재하는

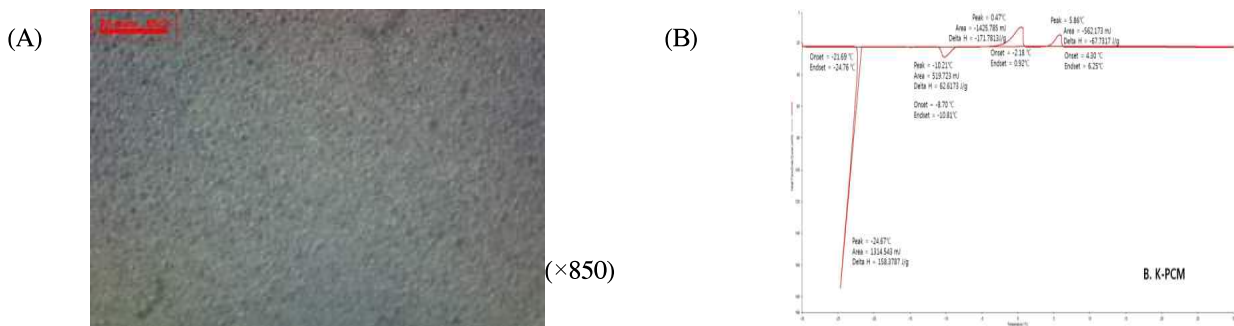


Fig. 2. SEM (A) and DSC (B) thermogram of PCM.

것을 보여주고 있는 결과이다. SEM 측정 결과로도 마이크로캡슐화 및 혼합된 밀도 상태가 양호한 것으로 나타났다.

온도변화

저온 컨테이너 내부 및 PCM의 온도변화는 Fig. 3에 나타내었다. 저장 기간동안 온도 변화는 BPT-10 PCM을 탑재한 컨테이너의 경우, 내부 평균온도는 10시간 후 10.9°C에 도

달하였고, 저장 21일 동안 9.40~10.30°C 사이를 유지하였다. 열전소자는 6.93~7.40°C 온도를, PCM은 6.53~7.03°C 온도를 유지하였다. BPT-5 PCM를 탑재한 컨테이너의 경우, 4시간 후 6.5°C에 도달하였으며 저장기간동안 6.3~7.0°C를 유지하였다. PCM 온도는 저장기간 동안 2.0~4.3°C를 유지하였으며 열전소자 온도는 -1.0~3.5°C 수준을 유지하였다. 대조구의 내부 온도는 19.5~29.5°C로 유지되었다. 열전소자

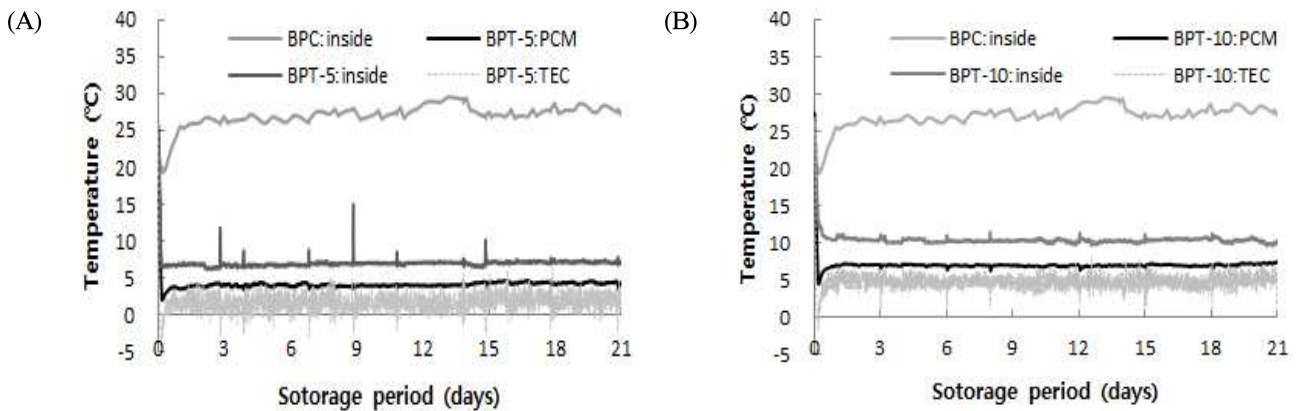


Fig. 3. Changes of temperature in thermoelectric cooling system during storage periods.

BPC, Control; BPT-5 (A), thermoelectric cooling system with developed 5°C PCM; BPC-10 (B), thermoelectric cooling system with developed 5°C PCM.

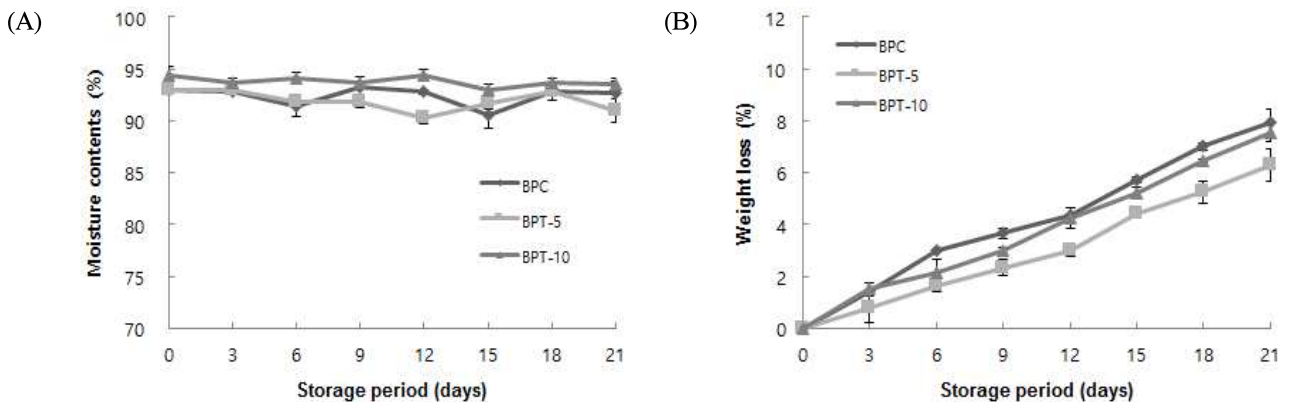


Fig. 4. Changes of moisture contents (A) and weight loss (B) in bell pepper during storage.

BPC, Control; BPT-5, bell pepper in thermoelectric cooling system with developed 5°C PCM; BPC-10, bell pepper in thermoelectric cooling system with developed 5°C PCM.

를 적용한 저온이동식 컨테이너가 저장기간 동안 온도유지에는 효과적인 것으로 판단된다. 하지만 저온 컨테이너의 열전소자 및 PCM의 온도에 비해 내부 온도가 설정온도보다 약 2~3°C 가량 높게 측정되었으며 이는 유동장 해석을 통해 온도편차를 최소화 하는 것이 필요한 것으로 판단된다.

수분함량 및 중량 감소량

피망의 저장 중 수분함량 및 수분감소량 결과는 Fig. 4에 나타내었다. 피망의 품질을 결정하는 가장 중요한 요소는 조직에서 수분이 감소함으로써 발생하는 위조현상인데, 과육 최초 무게에 대하여 5%의 수분 감소가 일어났을 때 위조 현상을 확인할 수 있다고 보고되었다(15). 본 연구 결과 초기 피망의 수분함량은 93~94% 수준으로 저장 기간 동안 90.96~94.43% 수준으로 나타났다. 파프리카의 수분감소로 인한 외관상 품질저하는 6% 이상부터 나는 것으로 보고하였으며(16), 본 실험에서는 저장기간이 지남에 따라 다소 감소하는 경향을 보였으나, 2% 미만으로 나타나 수분감소로 인한 외관상의 품질저하는 크게 나타나지 않은 것으로 여겨진다. 중량 감소량은 저장기간동안 증가하는 경향을 나타내었다. 저장 21일째 BPT-5 처리구의 중량 감소량은 6.28% 수준으로 BPT-10 처리구 및 대조구 7.53 및 7.95% 수준에 비해 낮았다. 수분함량이 높은 과채류들은 주로 표피에서 수분이 증발되며, 이러한 상태가 지속이 될 경우 중량 및 조직감 감소 등과 같은 품질저하를 초래하게 된다(17).

가용성 고형분 함량

저장 중 피망의 가용성 고형분 함량 변화는 Fig. 5에 나타내었다. 피망의 가용성 고형분 함량은 저장기간동안 3.9~5.1 °Brix 수준으로 나타났다. Park 등(18)의 연구에서

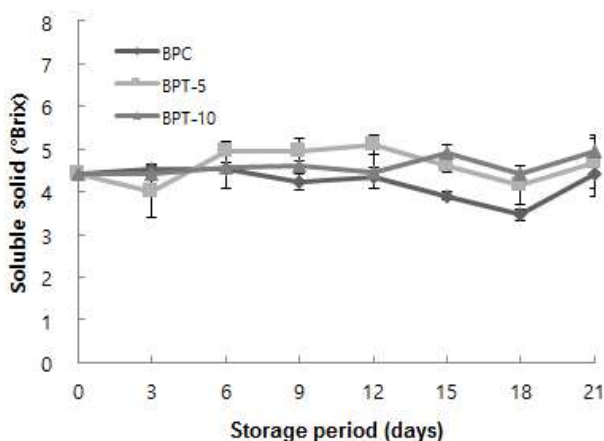


Fig. 5. Changes of soluble solid in bell pepper during storage.

BPC, Control; BPT-5, bell pepper in thermoelectric cooling system with developed 5°C PCM; BPT-10, bell pepper in thermoelectric cooling system with developed 5°C PCM.

도 피망의 초기 가용성 고형분 함량은 4.5 °Brix 수준으로 저장 기간동안 큰 변화가 없다고 보고하였다. 가용성 고형분은 가수분해에 의해 증가되기도 하며 호흡기질로 사용되어 소실되기도 한다고 알려져 있으며, 가용성 고형분의 함량이 높을수록 저장기간이 길어진다고 보고된 바 있다(19, 20).

비타민 C 함량

저장기간 중 피망의 비타민 C의 실험결과는 Fig. 6에 나타내었다. 초기의 비타민 C 함량은 42.63 mg%에서 저장 21일 후 BPC는 39.73 mg%, BPT는 41.18 mg%로 감소하는 경향을 나타내었으며 BPT의 비타민C 감소량이 낮게 나타났다. 저장 21일 후 처리구의 경우 약 3.5%로 초기에 비해 감소하였으나, 대조구의 경우 7% 가량의 비타민 C 함량 감소하여 초기에 비해 유의적인 차이를 나타내었다 ($p < 0.05$). 숙주나물과 시금치 등 채소류도 저장온도가 높을수록 비타민 C의 감소가 높았다고 보고하여 저온 유지가 비타민 C의 감소를 낮춰주는 데 효과적인 방법으로 판단된다(21,22). BPC의 비타민 C 함량의 감소가 높은 것은 비타민 C 산화효소가 저온에서보다는 고온에서 높은 활성을 가졌기 때문으로 고온에서 호흡의 증대와 생체조직의 붕괴가 빨라진 것이 원인으로 사료된다(23).

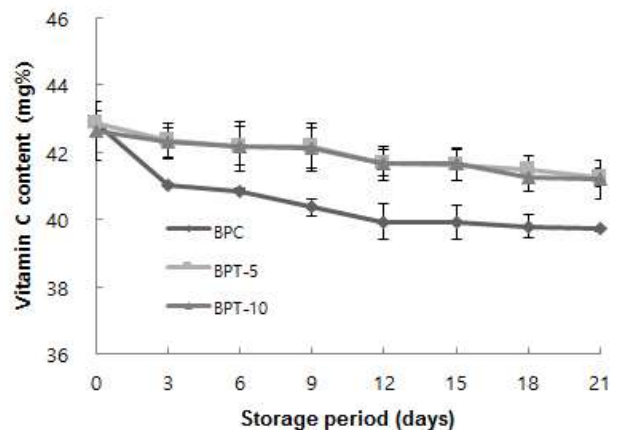


Fig. 6. Changes of vitamin C contents in bell pepper during storage.

BPC, Control; BPT-5, bell pepper in thermoelectric cooling system with developed 5°C PCM; BPT-10, bell pepper in thermoelectric cooling system with developed 5°C PCM.

색도

저장 중 피망의 색도 변화는 Table 2에 나타내었다. 피망의 저장 실험에서 과피의 명도를 나타내는 L값은 BPC와 BPT에서 저장기간 동안 33.95~47.02 수준으로 큰 차이를 보이지 않았으나 a와 b값은 증가하는 경향을 나타냈다. BPC의 a값이 초기 -8.01 ± 1.21 에서 저장 21일째, BPC는 32.73 ± 6.07 수준으로 유의적으로 증가하였으며 BPT-5는 -3.91 ± 1.48 로 초기와 유의적인 차이를 보였으나 대조구에 비해 큰 차이를 보이지 않았다($p < 0.05$). ΔE 값 또한 저장기

간동안 유의적으로 증가하였고 BPT-5 처리구가 가장 낮은 증가율을 나타내었으며 대조구인 BPC는 저장 21일째 41.18 수준까지 유의적인 증가 경향을 나타내었다(p<0.05). 이는 대조구의 내부 온도가 저장 기간 중 20~25°C를 유지하면서 피망의 후숙을 유발하여 대조구에서 a값이 증가하는 색상의 변화가 일어난 것으로 보인다.

Table 2. Changes of color value in bell pepper during storage at different conditions

Storage period (days)	Treatment ¹⁾	Color vale			
		L	a	b	ΔE
0	BPC	35.48±1.57 ^{E2)}	-8.01±1.21 ^E	16.46±2.98 ^C	-
	BPT-5	35.48±1.57 ^A	-8.01±1.21 ^D	16.46±2.98 ^{AB}	-
	BPT-10	35.48±1.57 ^{BC}	-8.01±1.21 ^{EF}	16.46±2.98 ^{CD}	-
3	BPC	34.50±1.55 ^E	-4.33±1.54 ^{DE}	15.10±2.22 ^C	4.56±1.90 ^D
	BPT-5	34.32±2.52 ^B	-3.01±0.93 ^{ABC}	14.57±2.38 ^B	6.11±1.78 ^{AB}
	BPT-10	34.51±1.64 ^{BC}	-3.33±2.41 ^{DE}	15.61±4.73 ^D	6.16±3.41 ^{DE}
6	BPC	34.50±1.87 ^{CDa3)}	-3.02±1.97 ^{Da}	15.01±2.65 ^C	5.98±2.01 ^{Fa}
	BPT-5	35.00±1.90 ^{Ba}	-4.80±1.24 ^{Cb}	18.11±4.13 ^A	6.17±1.26 ^{ABa}
	BPT-10	35.27±1.90 ^{Bca}	-8.50±0.62 ^{Fc}	17.71±3.77 ^{CD}	3.37±2.41 ^{Eb}
9	BPC	36.80±1.39 ^{CDa}	-6.30±0.99 ^{DEab}	17.37±2.30 ^{BCb}	3.29±1.17 ^{Db}
	BPT-5	34.89±2.17 ^{ABb}	-4.90±2.55 ^{Ca}	14.44±3.39 ^{Bc}	5.23±2.30 ^{Ba}
	BPT-10	36.58±1.35 ^{BCab}	-7.91±3.57 ^{EFb}	20.17±2.06 ^{BCDa}	5.19±1.87 ^{Ea}
12	BPC	36.06±2.61 ^{CDEab}	4.62±8.26 ^{Ca}	16.97±3.82 ^{Cb}	13.33±7.76 ^{Ca}
	BPT-5	34.83±1.83 ^{ABb}	-2.49±1.14 ^{ABb}	14.30±3.42 ^{Bb}	6.71±2.00 ^{ABb}
	BPT-10	37.68±3.67 ^{BCb}	-1.03±6.70 ^{CDb}	21.26±4.75 ^{BCa}	10.15±6.52 ^{CDab}
15	BPC	42.19±2.65 ^{Aa}	16.93±6.11 ^{Ca}	24.64±3.20 ^{Aa}	27.43±5.33 ^{Ba}
	BPT-5	34.31±1.84 ^{ABb}	-3.77±2.28 ^{BCc}	16.52±3.42 ^{ABb}	5.62±2.20 ^{Bc}
	BPT-10	35.06±4.80 ^{BCb}	2.37±5.34 ^{Cb}	23.70±6.99 ^{Ba}	14.50±5.83 ^{Cb}
18	BPC	40.19±2.25 ^{Bb}	30.73±5.27 ^{Aa}	24.46±4.11 ^{Ab}	40.01±5.37 ^{Aa}
	BPT-5	35.90±1.9 ^{Ac}	-1.40±3.9 ^{Ac}	13.76±4.08 ^{Bc}	8.23±3.73 ^{Ac}
	BPT-10	45.23±3.29 ^{Aa}	13.90±9.11 ^{Bb}	35.08±7.26 ^{Aa}	31.38±7.79 ^{Bb}
21	BPC	37.62±2.8 ^{Cb}	32.73±6.0 ^{Ac}	19.7±4.01 ^{Ba}	41.18±5.75 ^{Aa}
	BPT-5	35.10±1.4 ^{ABc}	-3.91±1.4 ^{Cc}	16.09±3.00 ^{ABb}	5.05±1.56 ^{Bc}
	BPT-10	47.02±2.00 ^{Aa}	17.26±5.13 ^{Ab}	40.62±4.16 ^{Aa}	37.06±4.76 ^{Ab}

¹⁾BPC, Control; BPT-5, bell pepper in thermoelectric cooling system with developed 5°C PCM; BPC-10, bell pepper in thermoelectric cooling system with developed 10°C PCM.

²⁾Values with different capital letters (A-F) among bell pepper of same storage day of different treatments are significantly different at p<0.05 based on Duncan's multiple range test.

³⁾Values with different capital letters (a-c) among bell pepper of same treatments during storage days are significantly different at p<0.05 based on Duncan's multiple range test.

경도

저장 기간동안 피망의 경도 변화는 Fig. 7에 나타내었다.

초기 경도는 0.55±0.09 kgf이며 저장 21일째, BPC 처리구는 0.28±0.02 kgf 수준으로 나타났으며, BPT-5의 경우 0.38±0.07 kgf, BPT-10은 0.36±0.05 kgf로 측정되어 저장기간 동안 모든 처리구에서 경도가 유의적으로 감소하는 경향을 나타내었다(p<0.05). BPT 처리구는 저장 12일째까지 0.52-0.61 kgf 수준을 유지하였으나 BPC는 저장 9일째 0.38 kgf 수준으로 유의적인 감소를 나타내어(p<0.05) PC보다 높은 경도를 유지하여 개발한 저온컨테이너가 경도유지에 효과가 있는 것으로 판단된다. 피망의 경도는 장기 유통과정에 있어 중요한 품질 요소 중의 하나이며, 이러한 저장 중 일어나는 과실 경도 저하의 주원인은 수확 후 계속되는 호흡작용에 의한 세포벽 분해 효소인 polygalactronase의 작용과 β-galactosidase의 분해에 따른 세포벽 구성성분들의 변화 및 세포벽 파괴에 의한 것으로 알려져 있다(24,25).

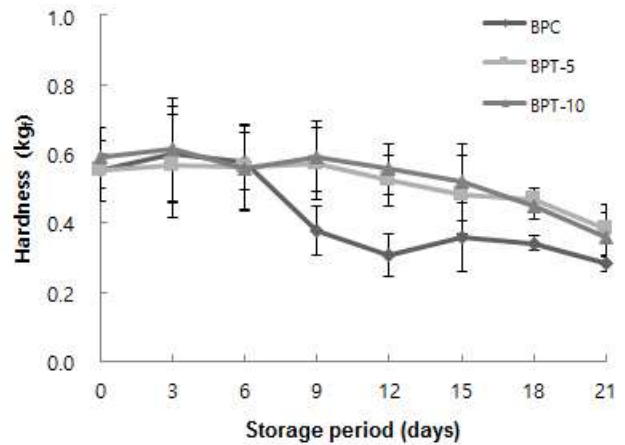


Fig. 7. Changes of hardness in bell pepper during storage.

BPC, Control; BPT-5, bell pepper in thermoelectric cooling system with developed 5°C PCM; BPC-10, bell pepper in thermoelectric cooling system with developed 5°C PCM.

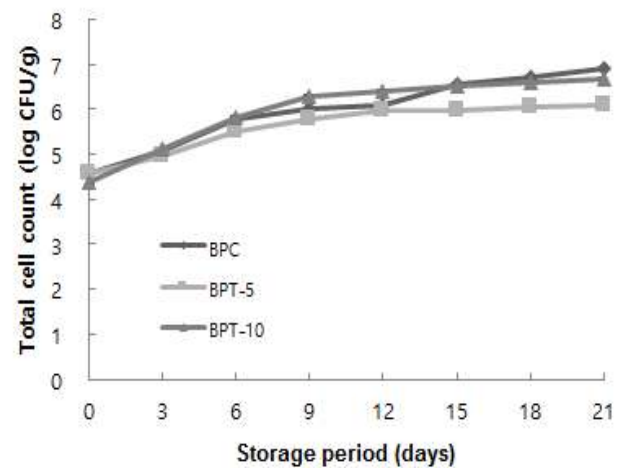


Fig. 8. Changes of viable cell count in bell pepper during storage.

BPC, Control; BPT-5, bell pepper in thermoelectric cooling system with developed 5°C PCM; BPC-10, bell pepper in thermoelectric cooling system with developed 5°C PCM.

총균수

저장기간 중 피망의 총균수 변화는 Fig. 8에 나타내었다. 피망의 초기 미생물수는 4.56 log CFU/g 수준으로 나타났으며 저장기간동안 증가하는 경향을 나타내었다. BPC는 저장 21일째 6.92 log CFU/g 수준까지 증가하였으나 BPT-5 처리구는 6.08 log CFU/g 으로 증가하여 대조구에 비해 약 1 log scale 낮았다. Park 등의 연구(18)에서 피망의 주요 미생물은 효모와 곰팡이라고 보고하였으며 피망의 저장 중 습도 조절인 곰팡이 발생율과 상관성이 높아 피망의 미생물 제어를 위해 습도를 조절하는 것이 중요한 것으로 보고되었다(26,27).

요 약

본 연구에서는 신선식품의 품질유통 시스템 구축을 위하여 Peltier 효과를 기반으로 한 열전소자 배송시스템에 잠열재를 탑재한 이동식 저온 컨테이너를 농산물의 유통에 적용하고자 하였다. 실험 방법은 개발된 열전소자 배송시스템 및 개발잠열재를 이용한 이동식 저온 컨테이너에 저장 중 피망의 품질을 평가하여 대조구인 EPS 박스의 피망과 비교 평가하였다. 피망의 저장 중 품질측정 결과, 중량 감소량은 증가하였으나 수분함량은 저장기간동안 90.96~94.43% 수준을 유지하였다. 비타민 C 함량은 감소하는 경향을 나타내었으며 처리구(BPT-5, 10)의 경우 대조구(BPC)에 비해 감소율이 낮게 나타났다. 색도 측정 결과 ΔE 값은 저장기간동안 증가하였으며 21일 때 BPT-5의 ΔE 값은 5.05인데 반해 BPC의 값은 41.8로 크게 증가함을 알 수 있었다. 총균수 또한 저장 21일째 대조구에 비해 BPT-5 처리구가 약 1 log scale 낮은 수준을 나타내어 연구에서 개발한 수배송 용기가 품질 유지에 효과적인 것으로 판단된다. 전체적인 결과를 종합하였을 때, 본 연구를 위하여 개발된 이동식 저온 컨테이너가 피망의 저장성 증가에 효과가 있는 것으로 판단되었다. 하지만 이동식 저온 컨테이너의 개발은 초기단계이며 잠열재의 무게로 인해 하중부담이 크다는 단점을 보완하기 위해 더 많은 연구가 이루어져야 할 것이다.

References

1. Kang YK, Han CS, Keum DH (2007) Drying and low temperature storage system of agricultural products using the air to air heat pump(II) Performance of low temperature storage for apples. J of Biosystems Eng, 32, 102-108
2. Kwon KH, Jeong JW, Kim JH, Choi CH (2006) Development of cold chain system using thermal storage

- with low-energy type. J of Biosystems Eng, 31, 161-167
3. Kwon KH (2010) Application energy conservation phase change material for agricultural produce distribution. Bulletin of food Tech, 23, 48-59
4. Song HK, Ryou YS, Ro JG, Park JK (1997) Thermal storage characteristics of low temperature phase change materials for thermal environmental control of protected cultivation system. J Bio Fac Env, 6, 216-224
5. Lee YS, Kang CD, Hong HK (2004) Effect by additives on latent heat storage materials based on sodium sulfate decahydrate. Proceedings of 2004 winter conference on SAREK, November 24, Seoul, Korea
6. Lee HJ, Choi JK, Lee JG (2003) An experimental study for manufacturing MPCM slurry and Its application to a cooling system. Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, 15, 352-359
7. Song HK, Ro JG, Moon YM (2004) Thermal characteristics of H₂O-NaOH mixtures type PCM for low temperature storage of food and medical products. Journal of the Korean Solar Energy Society, 24, 7-12
8. Chun HW, Jang MG (2014) Market and development trend of thermoelectric materials. Electronics and Telecommunications Trends, 29, 104-112
9. Kim YJ, Seo JG, Kim YK (2012) Novel control scheme for absence of the thermoelectric (TEC) of infrared detector in an uncooled thermal system. J Korea Inst inf Commun Eng, 16, 2335-2340
10. Lim CH, Kim DW, Kim YC, Seo KJ (2013) Study on the cooling performance of single and cascade refrigeration systems using thermoelectric modules. Korean Journal Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, 25, 641-646
11. Lee JE, Park SH, Kim K, Kim D (2007) An experimental study on the effects of the cooling jacket design parameters on the performance of thermoelectric cooling system. The Korean Soc Mechanical engineers, June 28, Changwon, Korea
12. Baek JS (2014) Changes in physicochemical and nutritional characteristics of green pepper frozen and thawed in conditions. MS Thesis, Konkuk University, Korea, p 1
13. Du JH, Fu MR, Li MM, Xia W (2007) Effects of chlorine dioxide gas on postharvest physiology and storage quality of green bell pepper (*Capsicum frutescens* L. var. Longrum). Agric Sci China, 6, 214-219
14. Lee JW, Kim IW, Lee KW, Rhee C (2003) Effect of pasteurization and storage temperatures on the

- physicochemical characteristics of kiwi juice. Korean J Food Sci Technol, 35, 628-634
15. Gonzalez G, Tiznado M (1993) Postharvest Physiology of Bell Peppers Stored in Low Density Polyethylene Bags. Food Science and Technology, 26, 450-455
 16. Choi IL, Lee YB, Kim IS, Kang HM (2012) A comparison of the storability in MA storage and the quality of paprika fruit among cultivars. Protected Horticulture and Plant Factory, 21, 252-260
 17. Kader AA (1986) Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmosphere on fruit and vegetables. Food Technology, 40, 99-104
 18. Park WP, Cho SH, Kim CH (2003) Changes in quality characteristics of bell pepper packaged with different films. Korean J Food Preserv, 10, 131-135
 19. AcKerman J, Ficher M, Amado R (1992) Changes in sugar, amino acids during ripening and storage of apples (cv. Glokenapfel). J Agri Food Chem, 40, 1131-1134
 20. Forney CF, Austin RK (1988) Time of a day at harvest influences carbohydrate concentration in crisphead lettuce and its sensitivity to high CO₂ levels after harvest. J Amer Soc Hort Sci, 113, 581-583
 21. Choi DJ, Lee SH, Yoon JT, Sim YG, Oh SG, Jun HJ (2007) Effect of polypropylene film package and storage temperature on the shelf-life extension of spinach (*Spinacia oleracea* L.). J Bio-Environment control, 16, 247-251
 22. Cho SH, Lee SD, Choi YJ, Kim NG, Kang JH, Cho SH (2005) Effects of packaging and storage temperature on quality during storage of mungbean sprouts. Korean J Food Preserv, 12, 522-528
 23. Mozafar A (1993) Plant vitamins. CRC press, Boca Raton, FL, USA p 104-108
 24. Yang YJ (2004) Changes in elasticity, firmness, vitamin C, and carbohydrate during controlled atmosphere storage of sweet pepper fruit. Kor J Hort Sci Technol, 22, 305-309
 25. Park HW, Kim SH, Cha HS, Kim YH, Kim MR (2004) Effect of MA packaging on quality of 'Fuji' apple. Korean J Food Preserv, 11, 468-471
 26. Lee GH, Jeong CS (2002) Effects of MA storage with NaCl for red chili pepper and red bell pepper fruits. Korean J Food Preserv, 9, 8-13
 27. Rodov S, Ben-Yehoshua S, Fierman T, Fang D (1995) Modified-humidity packaging reduces decay of harvested red bell pepper fruit. HortScience, 30, 299-302