

저 에너지형 축냉식 저온유통 시스템 개발

권기현 정진웅 김종훈 최창현

Development of Cold Chain System Using Thermal Storage with Low-Energy Type

K. H. Kwon J. W. Jeong J. H. Kim C. H. Choi

Abstract

The purpose of this study is to find the optimal conditions of PCM slurry manufacturing equipment for saving the marketing cost and keeping the original quality of products. In addition, the characteristics of the movable container for shipping or distributing products is analysed. The major results are as follows.

1. PCM thermal storage system is designed with the conditions of temperature (-5~10°C), cold chain time (30 minutes), and one time usage (50 liter). This system includes tank, freezer, circulating pump, cycle type heat exchanger, swelling tank, equipment of supplying PCM supplying unit includes cold tank, cycle type heat exchanger, suction unit and control equipments, etc.
2. After ability test of PCM thermal storage system, it shows that the required freezing time of PCM thermal storage system is less than one of the previous system. The reason is that churn (top and bottom) and compulsion circulation are occurred simultaneously and unit cooler type method is better than chiller type method.
3. By the experiment of transportation latent heat container, it is decided that the best container is K₁ with latent heat temperature (0~5°C) and density (0.15%). However, for K₁ and K₂, it is necessary more studies on latent heat thermal conditions and conditions of making method.

Keywords : Phase change Material, Ice slurry, Freezing system, Cold storage container

1. 서론

국내의 유통산업은 국민생활수준의 향상으로 신선채소 및 과일류, 육류, 냉동 어패류 등 농산물의 저온유통이 증가하고 있다. 또한 식품의 장·단거리 운반수단으로 사용되는 냉동차량 및 냉동·냉장용 저장창고, 쇼-케이스, 소포장용 냉동용기 등 관련된 산업이 지속적인 성장을 하고 있다. 그러나 유통산업의 외형적인 성장과는 달리 농산물의 콜드체인 시스템은 수송 이외에 아직 도입단계에 머물고 있으며, 저온유통 체계가 부분적 또는 상당부분 단락된 상태로 생산지의 저온저장고와 소비자 단계에서 접할 수 있는 쇼-케이스나 업소용 냉

동·냉장고 또는 택배형 아이스 팩 등에 치중되어 있어 선진국형의 콜드체인 시스템과는 격차가 있다. 냉동·냉장창고 및 수·배송용 냉동차 등 설비가 갖추어진 경우에도 운영 유지비 문제로 유통온도를 지키지 않는 경우가 발생되고, 저온 유통에 가장 민감한 농산물의 경우 수확 후 상온에 방치하거나 예냉 및 저장을 하더라도 유통과정중의 온도변동이 심하여 대체적으로 하루가 지나면 초기 품질이 변질되는 것으로 나타나고 있다.

따라서 농산물의 손실을 최소화 하면서 품질유지를 용이하게 하고, 유통과정의 입·출고 작업 최소화 및 장비 효율성 증대를 극대화 할 수 있는 경제적인 시스템을 개발해야 할 필요

This article was submitted for publication in April 2006, reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in June 2006. The authors are Ki Hyun Kwon, Researcher, J. W. Jeong, Principle Researcher, KSAM member, J. H. Kim, Senior Researcher, Korea Food Research Institute, and KSAM member, C. H. Choi, Professor, Dept. of Bio-mechatronic Engineering, Sungkyunkwan University. The corresponding author is K. H. Kwon, Researcher, Korea Food Research Institute, Seongnam, 463-746, Korea; Fax : +82-31-780-9258; E-mail : <kkh@kfri.re.kr>.

성이 대두되고 있다. 축냉식 저온유통시스템을 개발하기 위한 기초 연구로서 이(2003) 등은 잠열재를 축열 매체로 적용하는 경우 물을 열매체로 사용하는 기존의 축열식 냉방설비보다는 우수한 에너지 절약효과를 얻을 수 있다고 보고한 바 있으며, 이(2004) 등은 잠열재를 이용한 열저장 및 수송특성에 관한 연구를 수행하여 축열 및 열 수송을 위해서 제조된 MPCM 잠열재는 평균 입경 2 μm , 상변화 잠열은 195 J/g로 측정되었다.

선진국의 경우 농산물 저온유통구조 개선을 위하여 미국에서는 1910년경부터 저온유통체계가 정비되어 1989년 기준으로 자국내 생산물의 96.3%가 농산물산지유통센터를 거쳐 예냉 후 수송, 저온창고, 배송에 이르기까지 전 유통과정에 저온유통 시스템이 운용되고 있으며, 유럽의 선진국들 역시 도매시장의 저온창고를 중심으로 생산자와 소비자를 연결하는 저온유통 시스템을 효과적으로 운영하고 있다. 또한 일본에서는 1975년부터 산지를 중심으로 오랫동안 저온유통시스템 확립에 노력하여 왔으나 도매시장의 저온설비 미비로 전체적인 일관 저온유통체계 구축에 장애가 되고 있으며, 정부는 각종 저온유통설비를 확대하는 추세로 저온유통 전문회사를 적극 육성하고 관련 협의체 주도하에 기술 개발, 표준화 작업 등을 수행하고 있다.

따라서 본 연구에서는 산지에서의 예냉, 저장 및 수송과 소비지에서의 배송 기능까지를 구현할 수 있는 저 에너지형 저온유통 체계를 확립하고자 잠열재 축냉식 슬러리 제조장치 및 이송용기(택배형, 이동형)를 개발하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 시작기 설계

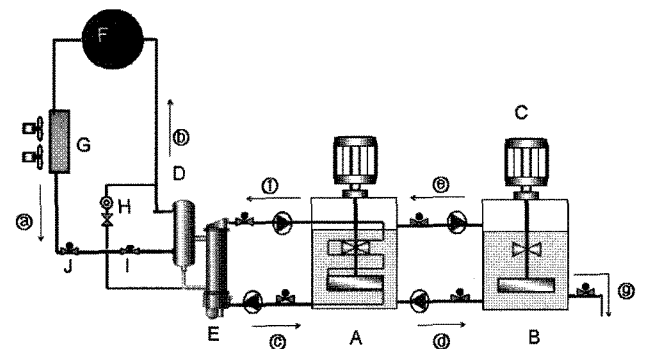
1) 잠열재 축냉제조장치

본 연구에서 개발한 잠열재 축냉제조장치는 축냉장치와 공급 장치로써 그림 1, 2에 나타냈으며, 잠열재의 축냉의 균일화를 위한 교반기, 충전 펌프 및 freezing Sink 모듈에 충전할 수 있도록 설계하였다. 축냉 탱크, 냉동기, 순환펌프, 원형 열교환기, 팽창탱크, 축냉제 공급 장치 등으로 구성하고, 잠열재 축냉시 조핵제 첨가량을 조절하여 본 실험에서 요구되는 상변화 온도대를 얻기 위해 수용액 제빙 공정에서 제빙량 증가에 따라 조핵제 첨가량이 선형적으로 증가 또는 감소할 수 있도록 설계하였다. 잠열재 축냉 제조시험은 알콜 계열로 제조하였으며, 슬러리 상변화시 빙점에 의한 결빙현상을 열선코일로 억제하였다. 슬러리 제조시 보관 및 공급용기 침전현상을 방지하기위해 360°회전에 의한 교반뿐만 아니라 하부에서

상부로 밀어주는 교반방식을 적용함으로써 비중, 비 균일화 등에 의한 침전 현상을 방지할 수 있도록 하였다. 공급장치는 이송 및 분배장치, 축냉제 공급 및 충전장치, suction unit, 제어장치 등으로 구성하였으며, 일정한 빙분율의 잠열재 슬러리를 일정량으로 주입할 수 있고, 주입한 용기로부터 슬러리를 회수하여 일정 빙분율의 슬러리가 용기 내에서 다시 축냉할 수 있는 Feedback 시스템을 적용하였다. 또한 일정 빙분율의 슬러리를 공급할 수 있고, 공급되는 아이스 슬러리 빙분율을 일정하게 유지하도록 슬러리 저장조 내부 빙분율을 제어 가능하도록 하였다.

잠열재 축냉 제조 장치에서 잠열재 온도를 다양하게 축냉할 수 있도록 하였으나, 본 연구 수행에서 필요한 온도 영역대 0~5°C, 5~10°C, 10~15°C의 PCM을 축냉·충진 할 수 있도록 설계·제작하였다.

표 1은 잠열재 축냉 제조장치의 주요제원이며, 냉동기는 공랭식 밀폐형이고, 용량은 1,300 kcal/h이다. 제빙기는 스크래퍼형식으로 제빙능력은 15 kg/h 이며, 이때 최대 축냉은 -7°C



[A=PCM cold storage, B=PCM supply storage, C=churn, D=heat exchanger, E=ice-machine, F=compressor, G=condenser, H=service valve, I=expansion valve, J=electron valve, (a), (b)=refrigerant in & out, (c), (f)=Ice slurry in & out, (d), (e)=PCM slurry in & out, (g)=PCM slurry out]

Fig. 1 Schematic diagram of PCM slurry thermal storage manufacturing equipment.

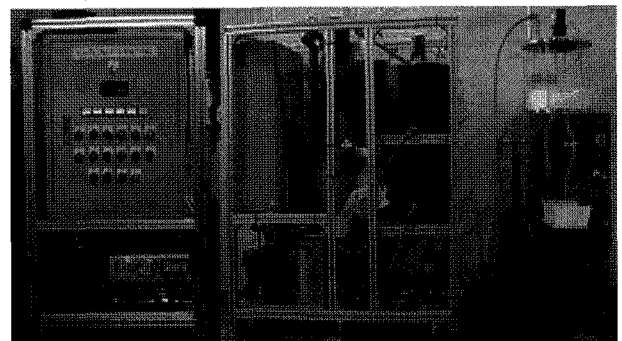


Fig. 2 PCM slurry thermal storage manufacturing equipment.

Table 1 Specifications of PCM slurry thermal storage manufacturing equipment

Item	Specification
냉동기	· 형 식 : 공랭식 밀폐형 · 용 량 : 1,300 Kcal/h(CT:45°C, ET:-7°C) · 냉 매 : R-22
제빙기	· 형 식 : 스크래퍼형 · 제빙능력 : 15 kg/h(ET:-7°C) · 구동모터 : HYPOID · 매체 순환 : 역류형, 가압 방식
저장조	· 형 식 : 원통형 · 크 기 : $\varnothing 400$ mm \times 500 mm(h) · 최대빙분율 : 40% · 빙분율 측정 : 전기 저항식
수용액 농도 유지 장치	· 형 식 : 전자식 측정에 의한 농도 조정 · 보조 tank : $\varnothing 250$ mm \times 500 mm(h) \times 2
펌프	· 형 식 : UPS 순환펌프(GRUNFOS)원통형 · 모 델 : UPS25-62 · 유 량 : 20 LPM, 양정 : 5m
SUCTION UNIT	· 형 식 : SUCTION · 흡 입 량 : 15 l/min · 용 기 : 1 l · 진 공 압 : -80 kPa

이고 수용액 농도 유지 장치는 전자식 측정에 의한 농도를 제어하며, 펌프는 유량은 20 l, 양정거리는 5 m로 순환식이다.

Suction unit는 진공압 -80 kPa로 흡입량을 15 l/min으로 설계·제작하였으며, 성능평가는 Ice Slurry type, Unit cooler type, Chiller type 등의 냉각방식을 이용하여 각각 잠열재별 현열 조건을 동일한 15°C에서 축냉 시간을 측정하여 비교·분석하였다.

2) 수·배송용 보냉고

본 실험에서 사용한 수·배송용 보냉고는 그림 3에 나타나 있고, 제작 조건은 외기온도 35°C에서 12시간 유지하면서 온도 -10~15°C 범위를 저장 유통온도로 설정할 수 있으며, 제어방식은 온도 및 시간을 조합하는 방식으로 하였다. 충전팩은 다양한 잠열재를 활용할 수 있도록 축냉 모듈을 교환방식으로 제조하였으며, 이때 잠열이 최대한 외부로 유출되지 않게 보냉고 내부에서 교체할 수 있도록 제작하였다.

수·배송용 보냉고는 수송 중에도 별도의 전원공급 없이 열이 순환되도록 축전지를 별도로 설치하였고, 수송 농산물의 동해 방지를 위해 축냉 모듈은 본체 하부에 설치하였으며, 다양한 잠열 온도대를 잠열재와 함께 선정할 수 있으며, 장시간 잠열 유통이 가능하고 일정한 고내온도를 유지시키면서, 수송 농산물의 선도유지가 가능하도록 설계·제작하였으며, 제작 사양은 표 2와 같다.

Table 2 Specifications of transportation latent heat container

Item	Specification	
유효내부용적	1,080 l	
고내온도	냉장	0, 5, 10°C \pm 3
	냉동	-18°C 이하
잠열시간	냉장	12 hr
	냉동	11 hr
축냉시간	12 hr	
전원	단상 220 v/60 Hz	
소비전력	냉장	870 w
	냉동	680 w
압축기	횡형 로타리 압축기	
냉매	R22	

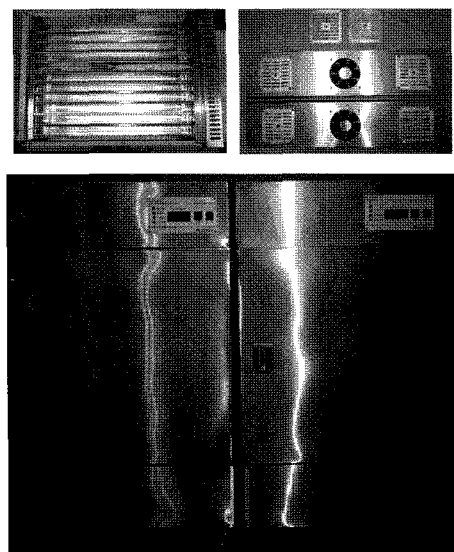


Fig. 3 Transportation latent heat container.

나. 잠열재 선정 및 제조

본 실험에서 활용한 축열재는 주변에서 쉽게 구입할 수 있거나 현재 잠열재로 이용되고 있는 water, sodium polyacrylate, ethanol, paraffin 계열 등이며, 이중 water, sodium polyacrylate, ethanol 등은 단일 물질로 잠열재 개발을 위해 비교구로 사용하였고, 본 연구에서의 잠열재 선정 및 제조는 파라핀 계열의 C₁₄, C₁₈ 등을 사용하였다. 본 실험에서는 0~5°C, 5~10°C, 10~15°C의 잠열 온도특성의 잠열재를 개발하기위해 water, sodium polyacrylate, ethanol, paraffin 등 축열재를 선정하여 축냉, 방열 등의 기초 실험을 통해 1차 선정하였으며, 동결·해빙을 반복해서 실험을 수행하였다.

표 3은 본 연구 수행에서 선정된 water, sodium polyacrylate, ethanol, paraffin 등의 잠열용 잠열재(PCM)의 열적특성을 나타내었다. 특히, 표 4는 본 실험 수행을 위해 1차적으로 잠열

Table 3 Properties of 1st PCM (water, ethanol, sodium polyacrylate, C₁₄, C₁₈)

Item	Water	Ethanol	C ₁₄	C ₁₈	Sodium polyacrylate
물질명(Chemical Formula)	H ₂ O	CH ₃ CH ₂ OH	C ₁₄ H ₃₀	C ₁₈ H ₃₈	CH ₂ CHCOONa
융점Tm(°C)	0		5.9	28.2	-
용해열ΔH(kJ/kg)	339.9	109.1	229.8	243.7	280
밀도ρ(×102 kg/m ³)	Solid	1.000	0.840	0.850	1.45
	Liquid	0.917	0.79	0.763	0.780
비열C(kJ/kg·K)	Solid		1.8	1.8	-
	Liquid	4.21	2.41	2.1	2.3
점도(at 20°C)	1.0cP	1.201	2.5cP	2cP	-
비중	1	0.789	0.88	0.88	-

Table 4 Properties of K₁, K₂, K₃

Treatments	Phase transition temperature (°C)		Latent heat quantity (J/g)		Synthetic
	Freezing point	Melting point	Freezing point	Melting point	
K ₁	-7.98±1.5	-1.6±1.0	174.18	326.51	2 components
K ₂	-2.14±1.5	7.41±1.5	83.90	174.18	2 components
K ₃	0.21±1.0	9.54±1.5	-	89.80	3 components

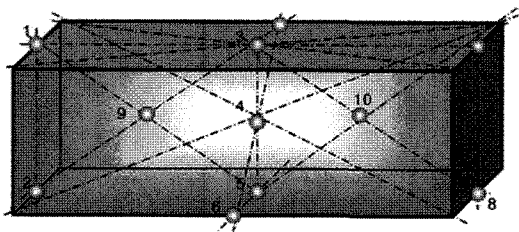


Fig. 4 Temperature measurement position.

재를 선정 제조한 것으로 K₁, K₂, K₃의 상변화 온도 및 잠열 시 물리적 특성을 나타내었다.

다. 측정 및 분석

온도측정은 0.3 mmφ copper-constantan 열전대와 다점용 Hydra data acquisition(2625A, Fluke, USA)장치를 사용하였다. 측정지점은 그림 4에 나타냈고, 온도 분포도와 잠열재 온도유지 특성을 하기위한 측정 지점을 택배형은 상, 중, 하와 측면부로 구분하였으며, 이동식은 상부 2지점, 중간 3지점, 하부 1지점을 구분하여 측정할 위치를 선정하였다. 이때 측정 지점에서 측정위치가 임의로 변화되는 것을 최소화 하기위해 안정장치를 설치하였고, 센서는 오차범위를 최소화 하기위해 동일 측정 지점에 동일 센서를 보정작업 후 사용하였다. 잠열재 축냉 제조장치의 성능평가는 Ice slurry type, Unit cooler type, Chiller type 등을 비교하여 잠열재의 상변화 특성을 분석하였다.

Table 5 Analysis of freezing temperature and time for freezing method

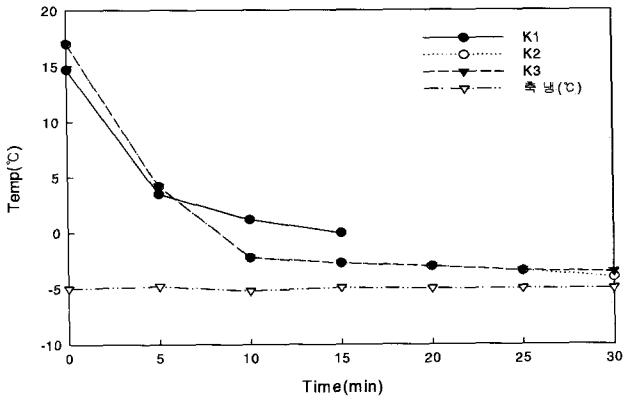
Treatment	freezing type ¹⁾	Room temp. (°C)	freezing temp. (°C)	freezing time (min)
K ₁	I	-5	0.0	15
	U	-7	0.0	180
	C	-7	0.4	190
K ₂	I	-5	-4.0	30
	U	-7	-3.0	240
	C	-7	-3.0	280
K ₃	I	-5	-3.5	30
	U	-7	-2.8	330
	C	-7	-2.8	280

¹⁾ I : Ice slurry type, U : Unit cooler type, C : Chiller type.

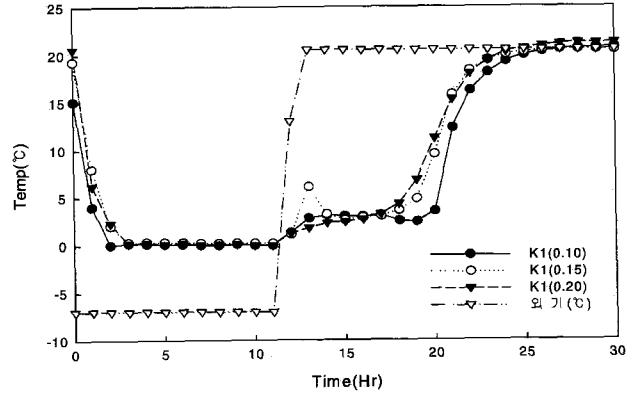
3. 결과 및 고찰

가. 성능평가

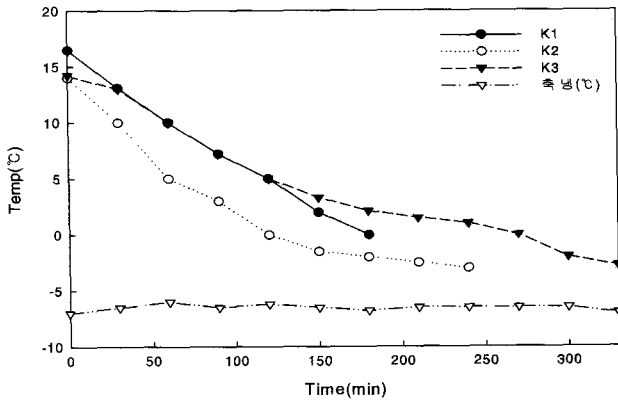
표 5는 개발한 K₁, K₂, K₃ 잠열재의 축냉 시간을 나타낸 것으로 축냉 온도 -5, -7°C 조건에서 K₁, K₂, K₃를 상온 15°C에서 0, -3, -3°C로 축냉 하였을 때 상변화 온도를 측정하였으며, 축냉시간은 Unit cooler type 180, 240, 330분, Chiller type 190, 280, 280분, Ice Slurry type 15, 30, 30분으로 나타났다. 따라서 잠열재의 축냉 방식에 따라 잠열재의 냉각시간이 Ice slurry type, Unit cooler type, Chiller type중 본 연구 수행에서 개발된 아이스슬러리 축냉 제조장치가 다른 방식에



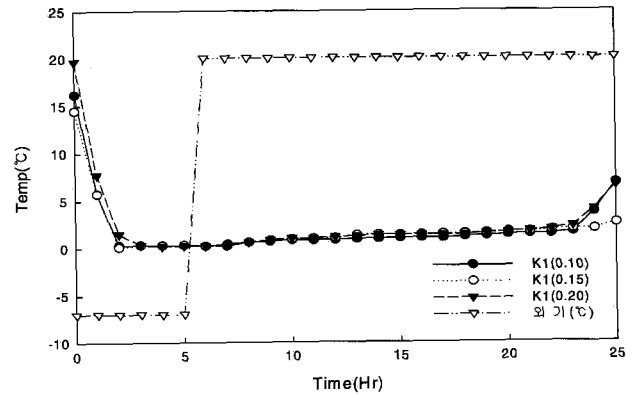
(a) Ice slurry type



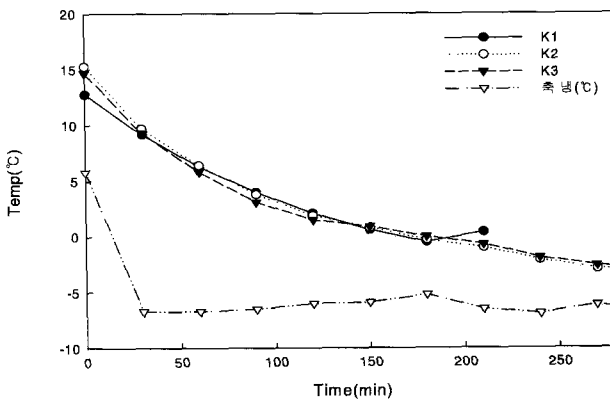
(a) airtight container



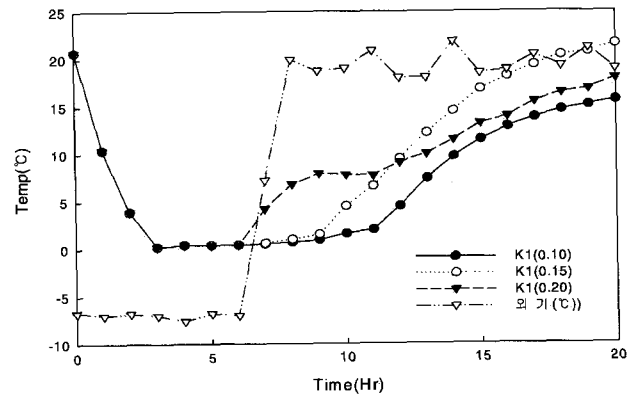
(b) Unit cooler type



(b) styrofoam



(c) Chiller type



(c) ice box

Fig. 5 Curve of freezing temperature and time for freezing method.

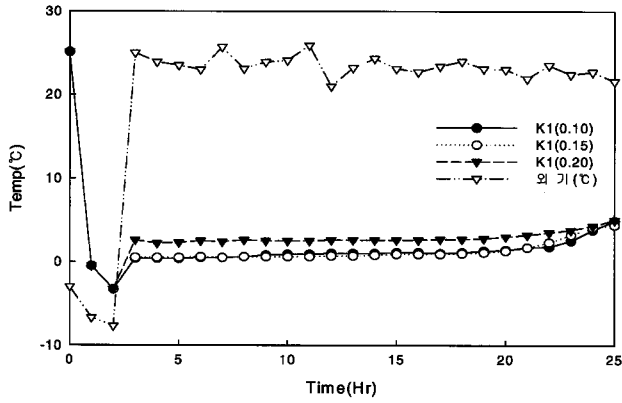
Fig. 6 Changes of melting point for K₁ (20°C).

비해 K₁은 1/10, K₂는 1/8, K₃는 1/10로 감소하는 경향으로 나타났다. 이는 생산비용, 생산량, 생산효율 등을 고려할 때 본 연구 목적인 저에너지형 축냉제조장치로써 효과가 있음을 알 수 있었다. 표 5와 그림 5는 축냉 방식별 축냉 시간 및 온도결과를 나타낸 것이다.

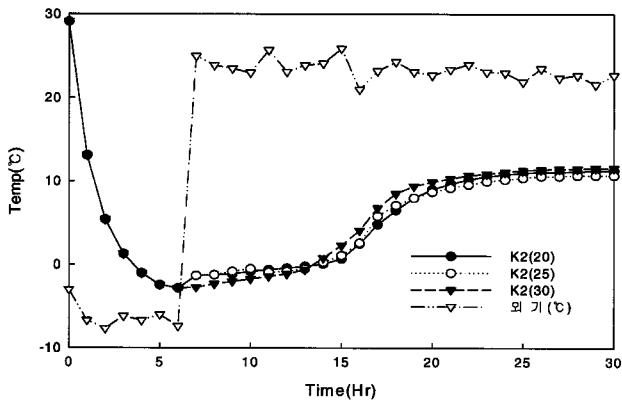
나. 이송용기

1) 택배형 배송용기

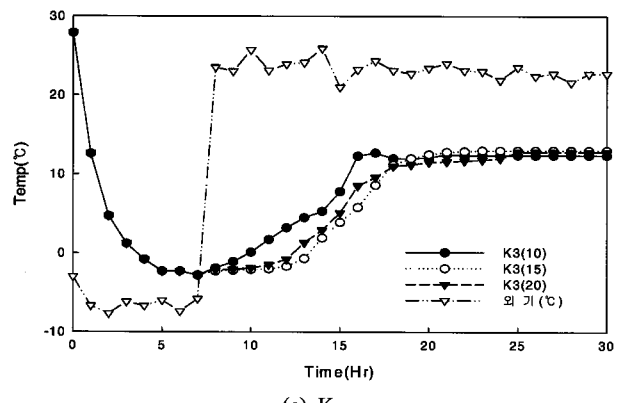
그림 6은 각 용기처리별 방열온도 20°C에서 잠열온도 유지 특성을 나타낸 것으로 락앤락의 경우 축냉온도 -7°C와 방열온도 20°C에서 K₁은 9, 9, 8 시간, K₂는 1, 1, 1 시간, K₃는 1, 1.5, 1.5 시간으로 K₁을 제외하고 잠열 유지시간이 3시간 이내로 나타났으며, 스티로폼의 경우 20°C에서 K₁은 18, 19,



(a) K₁



(b) K₂



(c) K₃

Fig. 7 Phase change for melting temperature 25°C [(a)K₁, (b)K₂, (C)K₃].

17 시간, K₂는 3, 2.5, 3 시간, K₃은 3, 4, 3.5 시간이며, 아이스박스의 경우 20°C에서 K₁은 5, 5, 5 시간, K₂는 3, 3, 3 시간, K₃은 2.5, 2.5, 2.5 시간으로 측정되었다. 잠열재 K₁은 처리구별 상관없이 모든 처리용기에서 방열온도에 따라 잠열온도 유지특성을 나타내고 있다. 따라서 잠열온도 0~5°C의 잠열재는 농도 0.15%인 K₁이 가장 적합한 것으로 나타났다.

2) 수·배송용 보냉고

그림 7은 수·배송용 보냉고의 잠열유지특성을 평가한 결과를 나타낸 것으로써 방열 온도 25°C에서 K₁은 잠열온도 0~5°C 범위를 20시간 이상 유지하였으며, K₂는 잠열온도 5~10°C 범위를 10시간, K₃은 잠열 온도 10~15°C 범위를 10시간 이상 유지하였다. 실험수행결과 K₁의 경우 잠열 특성이 매우 우수하게 나타났으며, K₂, K₃의 경우는 잠열 특성온도 유지시간을 증가할 수 있도록 잠열재 열적조건 및 다양한 제조조건별 연구가 요구되었다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 농산물의 손실을 최소화 하면서 품질유지하면서 유통과정의 입·출고 작업 최소화 및 장비의 효율성 증대를 위하여 수확 후 저장 및 수송 과 소비지에서의 배송 기능까지를 구현할 수 있는 저에너지형 저온유통 체계를 확립하고자 잠열재 축냉식 슬러리 제조 장치를 개발하였으며, 수·배송을 하기위한 이동용기 특성을 알 수 있었다.

주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 잠열재 축냉제조 장치는 온도 -5~10°C, 1회 용량 50 l, 시간 30분 조건에서 잠열재의 균일화를 위한 교반기, 충전팩 및 freezing Sink 모듈에 충전할 수 있도록 개발하였다. 본 장치는 축냉 탱크와 냉동기, 순환펌프, 원형 열교환기, 팽창탱크, 축냉제 공급장치 등으로 구성되어 있으며, PCM 공급 장치는 PCM 상변화 장치, 축냉탱크, 원형 열교환기, 이송 및 분배 장치, 축냉제 공급장치, 충전장치, 회수 및 제어장치 등으로 설계·제작하였다.
- (2) 잠열재 축냉제조장치의 성능실험결과 K₁, K₂, K₃의 축냉 시간이 15, 30, 30분으로 기존의 축냉방식 180, 240, 330분, 190, 280, 280분에 비해 1/10로 단축되어 저에너지형 시스템으로써의 효과가 있는 것을 알 수 있었으며, 이는 상하 교반과 동시에 강제 순환으로 축냉이 이루어지면서 잠열재에 간접으로 냉각하는 유니트 방식 및 첼러 방식보다는 직접 냉각하는 아이스 슬러리 방식이 우수하기 때문인 것으로 사료된다.
- (3) 이동용기 실험수행결과 택배형 용기는 잠열 온도 0~5°C의 잠열재는 농도 0.15%인 K₁이 가장 적합 것으로 나타났다. 수·배송용 보냉고는 K₁의 경우 잠열 특성이 매우 우수하게 나타났으며, K₂, K₃의 경우는 잠열 특성온도 유지시간을 증가할 수 있도록 잠열재 열적조건 및 다양한 제조조건별 연구가 필요한 것으로 판단되었다.

참고 문헌

1. Inaba, H., 1997. Current status of research on functionally fluid, *Experimental Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics*, 417-427.
2. Lee, H. J., J. K. Choi. and J. G. Lee. 2003. An Experimental Study for Manufacturing MPCM Slurry and Its Application to a freezing System. *J. of SAREK*. 15(5):352-359.(In Korean).
3. Mulligan, J. C., P. D. Colvin. and Y. G. Bryant. 1994. Use of two component fluids of microencapsulated phase-change materials for heat transfer in spacecraft thermal systems, *AIAA* 94-2004.
4. 박상민. 1994. 고흡수성 수지의 특성과 연구개발 동향. *한국목재 공학회지*. 22(1):91-112.
5. 이성룡, 강동오, 이내우, 설수덕. 2002. 유화중합에 의한 Methyl methacrylate/Styrene계 Core-shell 라텍스 입자제조에 관한연구. 37(1):21-39.
6. 이성범. 1999. 빙축열시스템에서의 열저장 성능향상에 관한 연구. 석사학위논문. 인하대학교.
7. 이재구, 최영찬, 이시훈, 김용구, 이원목. 2004. 잠열미립자 슬러리를 이용한 열저장 및 수송특성. *대한설비공학회 학술대회논문집*. 382-387.
8. 이효진, 홍재창. 2001. 미립잠열재를 활용한 축열조로 부터 방열 특성연구. *한밭대학교 산업기술 연구보고서*. 223-234.