

미립캡슐잠열제 제조 및 축열식 냉방기 적용실험

이 효 진[†], 최 준 규^{*}, 이 계 구^{**}

한밭대학교 건축설비공학과, ^{*}충남대학교 공업화학과, ^{**}한국에너지기술연구원 청정에너지연구본부

An Experimental Study for Manufacturing MPCM Slurry and Its Application to a Cooling System

Hyo-Jin Lee, Jun-Kyu Choi^{*}, Jae-Goo Lee^{**}

Department of Buliding Service Engineering, Hanbat National University, Daejeon 305-719, Korea

^{}Department of Industrial Chemistry, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea*

*^{**}Clean Energy Research Department, KIER, Daejeon 305-343, Korea*

(Received January 25, 2003; revision received March 24, 2003)

ABSTRACT: The present study has been conducted for manufacturing MPCM (microencapsulated phase change material) slurry with in-situ polymerization and proving their applicabilities for cooling system. The surface of MPCM is composed of melamine, while tetradecane, paraffin wax, is centered in the MPCM. The produced capsules are observed by the optical microscope and SEM for superficial shapes. Their thermal properties are measured by DSC. Their size distributions are observed by FA particle analyzer. A narrow size distribution from 1 to 10 μm with 5 μm of average diameter was observed. Melting temperature was 6.7 $^{\circ}\text{C}$. The durability of MPCM was tested with various types of pump such as centrifugal, peristaltic, and mono pumps. During 10000 cycles the fraction of broken capsules was smaller than 6% for the centrifugal and peristaltic pumps, while bigger value of 8% for the mono pump. A cooling system, which adopted MPCM slurry as a media for transporting cold thermal energy, was designed to investigate the performance of the MPCM. The discharging times of 10 and 20 wt% MPCM slurry were lasted up to 105 and 285 minutes longer, respectively, than the water cooling system.

Key words: MPCM(미립캡슐잠열제), PCM(상변화물질), Microencapsulation(미립화), Durability (내구성), Cooling system(냉방설비)

기 호 설 명

D_o : 파쇄율(Breakage Fraction)
 L_o : 초기 부유캡슐 두께 [m]
 L_t : 순환 후 부유캡슐 두께 [m]

1. 서 론

캡슐화 기술은 주로 제약 및 식품, 방향(芳香) 산업 등에서 활용되고 있으며, 외부물질에 의하여 보호되고 있던 내부 활성물질들을 일정조건에서 서서히 방출시키도록 하는 서방성 조절기능이나 외압에 의해 벽 물질이 터지도록 하는 감압기능을 부여하는 데 주목적을 가지고 있다. 그러나 축열 및 수송에 활용하기 위한 캡슐화는 잠열물질간의 응집을 방지하는 동시에 미립자 고유의

[†] Corresponding author

Tel.: +82-2-821-1181; fax: +82-2-821-1175

E-mail address: hyojin@hanbat.ac.kr

특성을 활용함으로써 열 저장 및 수송효과를 극대화시킬 수 있는 특징을 갖고 있다. 실제 냉방설비의 열매(熱媒)로 미립잠열재를 이용하기 위해서는 장기적인 온도변화 및 강제 순환시에도 내부물질의 방출이 발생되지 않도록 하는 캡슐 안정성의 유지가 전제되어야 한다.⁽¹⁻²⁾

국내의 에너지 이용형태를 공급 측면에서 살펴보면 국내 전력생산이 원자력 발전설비 및 대형 발전소에 집중되어 있는 부하추종 형태이므로 설비운전 및 생산공급이 어렵다는 문제점이 있으며, 수요 측면에서는 하절기 냉방사용의 급격한 증가로 인해 전력부하가 일정시기에 집중·편재되는 문제점을 가지게 된다. 따라서 전력부하 평준화를 위한 열 저장기술의 필요성이 심각하게 대두되고 있는 한편, 냉방수요의 현격한 증가에 따라 기존 시스템의 변경 없이도 공급열량을 보다 증가시킬 수 있는 신기술의 개발도 함께 요구되는 실정이다. 현재의 냉방시스템에서는 현열에 의한 축열 및 열 수송방식을 채택하고 있으므로 그 효율 면에서는 어느 정도의 한계에 이르렀는데, 이러한 현열 온도차를 이용하는 수축열 방식은 이송배관 내부의 기술적인 문제점은 적은 반면, 냉열밀도가 작아 수송 및 저장량이 증가하게 되면 저장조 대형화 및 배관 크기 증가에 따른 설비비용의 증가가 동반될 수밖에 없다는 문제를 가진다. 미립잠열재 슬러리를 매체로 하는 냉방기술은 열 저장 및 동적인 열 공급 측면에서 현열방식보다 2배 이상의 고효율을 기대하는 것이 가능한 것으로서, 축열시스템에 의한 전력부하 평준화 축진은 물론, 냉방열 운전손실의 최소화를 보장하므로 경제적인 에너지 이용과 동시에 온실가스 저감을 위한 새로운 열 저장 및 이송매체로 기대될 수 있다.⁽³⁻⁴⁾ 흔히 사용되는 캡슐의 크기 분포범위는 $1\mu\text{m}\sim 1\text{mm}$ 정도에 이르며 그 이용 목적에 따라 다양한 소재들이 캡슐화에 이용되고 있는데, 특히 피막형성을 위한 외부물질로는 합성고분자 또는 천연고분자 물질이 주종(主從)을 이루고 있다.

캡슐화 공정에 사용되는 단량체(monomer) 및 고분자 물질은 마이크로캡슐화 형태 및 목적, 중합방법 등에 따라 적절히 선정되며, 사용된 원료물질들의 고유한 특성과 캡슐화를 통하여 부여되는 새로운 기능성들이 조합되어 최종 캡슐제품의 물리·화학적 특성을 결정한다. 따라서 두 개 이

상의 상이(相異)한 공정을 통하여 제조된 캡슐들이라 할지라도 출발물질의 종류 및 조성을 적절히 조절함으로써 서로 유사한 특성을 지니도록 하는 것이 가능하며, 이와 반대로 동일한 공정을 통하여 현저히 다른 특성을 가지는 다종(多種)의 캡슐제품들을 생산하는 것도 가능하다.⁽⁵⁾

한편, 캡슐화 공정상의 이러한 특성을 바탕으로 특정 온도범위에서 상변화를 일으키는 잠열물질(Phase Change Material, PCM) 및 견고한 피막의 형성이 용이한 고분자 물질을 내·외부물질로 각각 선정하고, 이들의 물리·화학적 거동에 잘 부합되는 효과적인 캡슐화 방법을 선택하면 열 전달 및 수송 면에서 높은 효율을⁽⁶⁻⁸⁾ 나타내는 미립캡슐잠열재(Microencapsulated PCM, MPCM)를 제조할 수 있는데, 이렇게 제조된 미립캡슐잠열재를 기존 냉방시스템에 이용함으로써 내부물질이 지니는 잠열특성과 캡슐화에 의한 미세 대류효과를 열 저장·수송매체 상에 동시에 부여할 수 있어 기존 에너지 활용패턴 변화나 생활환경 저해 등의 부수적인 문제점을 야기하지 않으면서도 보다 효율적인 에너지 절약효과를 기대할 수 있다.⁽⁹⁻¹⁰⁾

본 연구에서는 5.8°C 에서 상 변화를 일으키는 테트라데칸(tetradecane)을 내부물질로 하고 멜라민-포르말린 수지를 벽 물질로 하는 냉방용 미립잠열재를 대량으로 제조하고 이를 자체설계로 제작된 냉방시스템에 열 매체로 적용, 다양한 조건에서의 운전특성을 고찰·평가함으로써 현열 온도차에 의존하는 기존 냉방시스템의 열 저장 및 수송효율을 향상시키고자 하였다.

2. 미립잠열재 제조 및 냉방시스템 설계

일반적으로 마이크로캡슐의 제조공정은 내부물질을 적절한 매질 상에서 미립자 형태로 분산시킨 후 분산된 각각의 미립자 상에 피막을 형성시키는 두 단계의 조작으로 구성되며, 이로부터 캡슐의 외형을 먼저 제조한 후 그 내부에 내용물을 주입하는 통상적인 캡슐 제조방법과는 구분된다. 언급된 캡슐화 공정의 첫번째 단계는 내부물질의 분산과정에 해당되며, 두번째 단계는 외부물질에 의한 캡슐피막 형성과정에 해당되는데, 분산과정이 주로 물리적인 작용에 의하여 지배되는 반면 캡슐화 과정에서는 물리적, 화학적 혹은 물리·

화학적 반응들이 복합적 또는 경쟁적으로 발생된다. 이러한 관점에서 마이크로캡슐 제조공정을 물리적 방법과 화학적 방법 및 물리화학적 방법 등으로 구분하게 되는데, 이 가운데 가장 대표적인 공정은 계면 축중합과 in-situ 중합 등의 화학적 제조방법이다.

캡슐화 공정에 선행하여 고려해야 할 요인들은 크게 (1) 캡슐 크기와 캡슐 크기 분포, (2) 내부 물질의 특성, (3) 조건에 적합한 내부물질의 비율, (4) 보관환경에 대한 특성(시간/조건), (5) 캡슐의 사용용도 등으로 나누어 언급될 수 있다. 특히, 캡슐화가 진행되는 동안 광학현미경을 통해 반응물들을 자주 관찰하는 것이 좋는데, 이를 통하여 (1) 젖음(wetting)이 있는지 없는지의 여부를 빠르게 알 수 있으며, (2) 캡슐 크기의 결정이 가능하고, (3) 캡슐의 기하구조(geometry)를 유추할 수 있다. 캡슐화 공정 전반에 걸쳐 이러한 작업을 수시로 반복함으로써 적절한 공정상의 조치를 수행할 수 있게 된다.

2.1 시약 및 기구

내부 잠열물질로는 용점이 대략 5.8℃에 이르는 테트라데칸(tetradecane, ACROSS in USA)을 사용하였다. 캡슐피막 형성을 위한 출발물질로는 멜라민과 포르말린이 각각 선정되었는데, 이들로부터 아미노수지의 일종인 포르말린-멜라민 수지를 공중합함으로써 견고한 캡슐 벽의 형성이 가능하였다. 멜라민 단량체는 삼성화학(주)으로부터 제공받았으며 내부물질의 분산을 위해 사용된 계면활성제 및 유화장비는 SMA(Styrene maleic anhydride copolymer, SOLUTIA in USA) 및 Homomixer(ME100LC, ROSS in USA)였다.

2.2 미립잠열제 제조공정

In-situ 중합법을 통하여 테트라데칸을 내부물질로 하고 공중합된 멜라민-포르말린 수지를 벽물질로 하는 마이크로캡슐을 제조하였는데, 전체 캡슐화 공정의 구성은 크게 (1) 유화(乳) 단계, (2) MF-prepolymer 제조 및 (3) 캡슐화의 세 단계로 구분되며, 이에 관한 개략적인 기술은 다음과 같다.

(1) 유화단계 : 일정량의 SMA 분말을 90℃ 이

상의 온도에서 용해시킨 다음 상온에서 냉각시켜 0.1~5 wt%의 수용액을 조제하였다. 이렇게 조제된 SMA 수용액을 적량의 테트라데칸 및 물과 혼합한 후 homomixer를 사용, 상온에서 7~12분 간에 걸쳐 유화시켰는데, 물리적 교반특성이 형성되는 액적(液滴)의 크기와 안정성에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 유화시의 조작조건을 3000 rpm에서 10000 rpm까지 변화시켰다.

(2) MF-prepolymer 제조 : 60℃로 고정된 반응기 내에 멜라민 단량체, 포르말린 및 물을 일정 비율로 혼합하고 교반하면서 10~20분에 걸쳐 반응시키면 반투명한 액상의 MF-prepolymer를 얻게 된다.

(3) 캡슐화 단계 : 유화된 보호콜로이드 혼합용액에 제조된 prepolymer를 첨가하고 60℃의 반응 온도에서 교반속도 600 rpm으로 교반하면서 3시간 이상 중합시키면 일정한 농도의 마이크로캡슐 슬러리를 얻게 된다.

2.3 특성분석 및 내구성 평가실험

광학현미경(Olympus BX50)을 사용하여 제조된 캡슐의 형태 및 응집정도를 살펴보고, 입도 분석기(FA particle analyzer, FRITSCH)를 통하여 캡슐의 크기 및 크기분포를 측정하였다. 내부물질 상 변화에 의한 잠열 미립자의 열적특성 분석을 위해서는 시차주사열량분석기(DSC550, Instrument Specialists, Inc.)가 사용되었다. 한편, 제조된 캡슐 슬러리가 냉방기의 열 저장 및 수송 매체로 사용되기 위해서는 장시간의 운전에도 캡슐의 파괴나 응집이 발생되지 않아야 하는데, 잠열 미립자에 요구되는 이러한 내구성의 실제적인 평가를 위하여 구동형태 및 수송방식이 각기 다

$$\text{Breakage fraction } BF_d = \frac{(L_0 - L_r)}{L_0} \times 100 (\%)$$

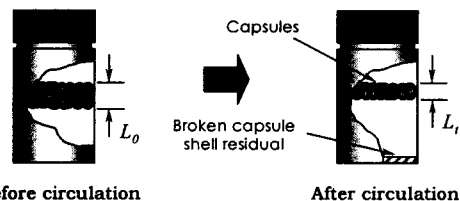


Fig. 1 Durability test for measuring particle breakage fraction.

Table 1 Pumps used in durability test

	A	B	C
Manufacture	HANIL	MASTERFLex®	CHEON SEI
Model No.	PDB-40	L/S 7553-70	MONAS 3LB-08
Type	Centrifugal	Peristaltic	Mono

큰 세 종류의 펌프를 선정하고 이를 통하여 일정 농도로 조제된 캡슐 슬러리를 10000 cycle 이상 순환시킨 후 각 경우에 대한 캡슐 파쇄율을 Fig. 1에 주어진 캡슐 파쇄율의 정의에 근거하여 비교하였다. 이때, 실험에 활용된 세 가지 펌프의 종류 및 모델명이 Table 1에 나타나 있다.

2.4 냉방기 운전특성 실험

잠열 미립자를 열 매체로 하는 실제 냉방설비의 운전특성을 평가하기 위하여 Fig. 2에 나타난 구조의 냉방장치를 800×800×100 mm³ 크기의 축열 용기 8개를 내부에 장착한 1 m³ 규모의 축열조와 냉동능력 2 RT(1 RT=3320 kcal/h)의 냉동기, Fan coil unit 및 기타 부수 장치 및 장비들로 구성된 5×6×3.5 m³ 규모의 실험용 컨테이너를 본 실험목적으로 개조하였다.

잠열물질의 상 변화에 의한 축열효율을 향상시키기 위하여 8개의 축열용기에 총 400리터의 순수 테트라데칸을 주입하였으며, 물을 열 매체로 하는 기존 시스템과의 비교·평가를 위하여 축열조 내에 각각 물 및 10 wt%, 20 wt%의 미립잠열재 슬러리를 교체하여 넣고 동일한 조건에서의

축·방냉실험을 수회 반복하여 수행하였다. 축냉 실험은 심야전력 활용시간과 동일한 오후 10시부터 다음날 오전 8시까지 총 10시간에 걸쳐 수행되었으며, 축냉실험 종료시점의 온도로부터 열 매체로 사용되는 슬러리 및 물의 온도가 12℃에 이를 때까지 진행되었다.

냉열 축열을 위하여 축열조 내부의 냉매코일과 연결된 별도의 냉각기를 설치하였으며, 방냉실험을 위하여 열 수송매체가 순환할 수 있도록 설계된 웬코일유닛이 단열된 실험공간 내에 설치되었다. 또한 냉매순환을 위해서는 20 L/min의 양수량에 8m의 흡상능력을 지닌 원심펌프를 물 또는 미립잠열재 슬러리를 웬코일유닛으로 수송하기 위해 동일 능력을 지니는 별도의 원심펌프를 각각 부착하였으며, 실내온도를 18℃에 맞추어지도록 원심펌프의 회전수를 이용한 유량조절이 자동으로 유지되도록 하였으며, 이때 공급유량 측정을 위해서 축열조의 출구측에 유량계를 설치하는 한편, 냉동기 온도조절 및 펌프, 웬코일유닛의 원활한 운전조작을 위해서 집약식 콘트롤박스를 설치하였다. 축열조 내의 온도측정을 위하여 축열용기의 각 부분에 T-type의 열전대를 부착하였으며, 냉동기 및 축열조, 웬코일유닛의 입·출구 배

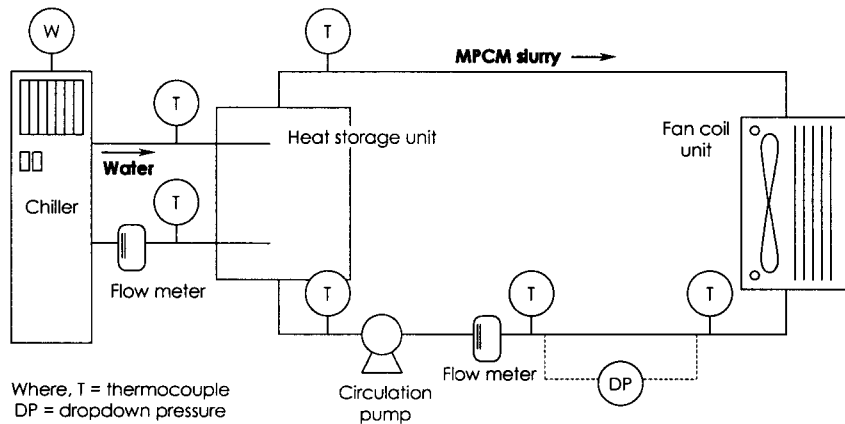


Fig. 2 Schematic diagram of circulating MPCM slurry system as a room cooler.

관에도 열전대를 부착하여 운전 및 축열조작시의 각 장치 입·출구 온도를 측정하였다. 축열조 및 모든 배관은 열 손실의 최소화를 위하여 단열재로 각각 덧씌워졌다.

3. 실험결과 및 고찰

In-situ 중합법을 통하여 테트라데칸을 내부물질로 하고 멜라민-포르말린 수지를 벽 물질로 하는 고효율의 냉방용 잠열 미립자 슬러리를 제조하였다. 공정 최적화를 위하여 다양한 조건에서의 캡슐화 실험이 반복하여 수행되었으며, 이러한 방법을 통하여 최적화된 합성조건에서 제조된 최종 캡슐의 SEM 사진 및 캡슐 슬러리의 광학현미경 사진을 각각 건조상태의 Fig.3와 슬러리상태의 Fig.4에 나타내었다. 또한 Fig.5은 제조된 미립자의 열분석(DSC) 결과로 2개의 흡열반



Fig. 3 SEM photograph of a MPCM.

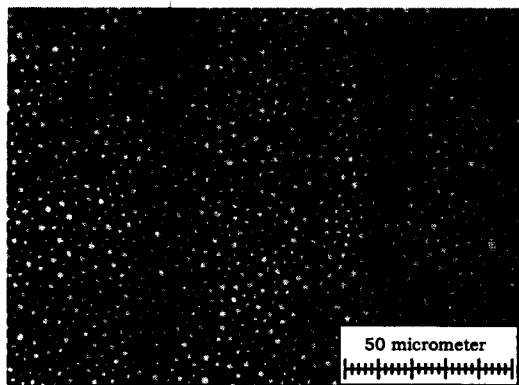


Fig. 4 MPCM slurry prepared by In-situ Polymerization.

응 정점(Peak)를 보여주고 있다. 약 9°C에서 나타난 정점은 테트라데칸이며, 380°C에 나타난 정점은 멜라민으로 두 개의 서로 다른 물질이 분명하게 존재하고 있음을 보여주고 있다.

제조된 캡슐의 입도 분석결과, 캡슐의 평균 직경은 약 5 μm에 이르는 것으로 나타났으며, 그 결과를 Fig.6에 나타내었다.

분사건조장치(spray dryer)를 통하여 완전 건조된 냉방용 미립자열재의 비중을 측정한 결과 대략 0.87~0.91의 범위의 값을 가지는 것으로 확인되었는데, 캡슐화에 사용되어진 각 성분들의 비중 측정값과 비교하여 볼 때 이는 내부물질의 비중(0.76)보다는 크고 벽 물질(1.57) 및 분산매질로 사용되는 물의 비중보다는 작은 값을 알 수 있다. 따라서 일정량의 미립자열재를 물과 혼합하

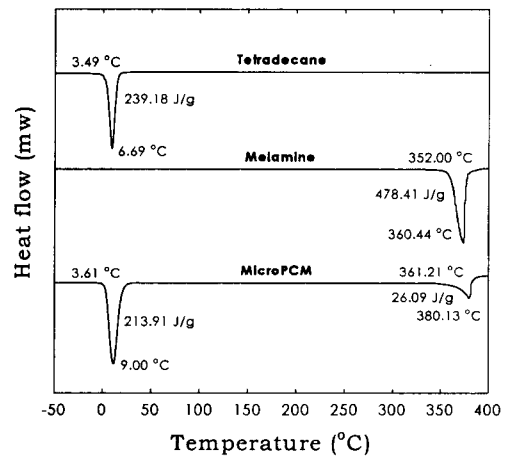


Fig. 5 DSC analysis for MicroPCM powders.

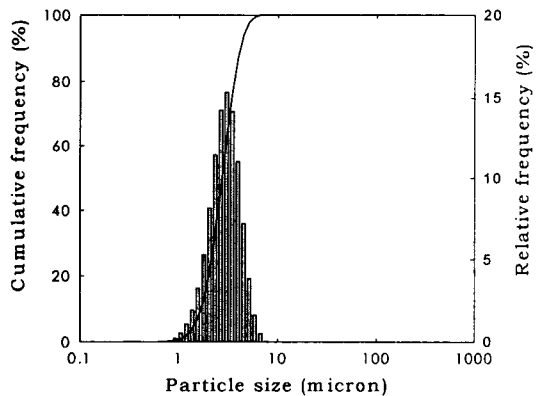


Fig. 6 Particle size distribution for produced MPCM particles.

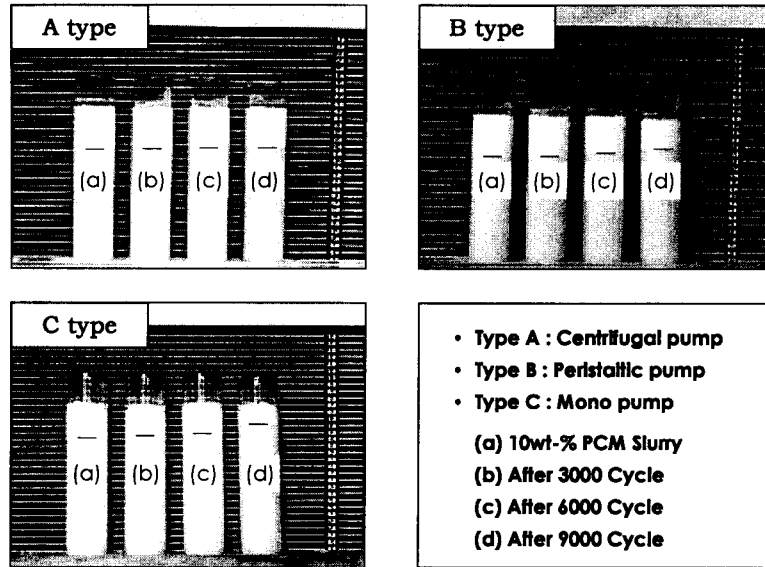


Fig. 7 Breakage fraction of MicroPCM after numbers of circulation with various pumps.

여 슬러리를 제조하고 일정시간 방치하게 되면 미립잠열재 캡슐과 물의 비중 차이에 의하여 슬러리 용액이 두 층으로 분리되는 것을 관찰할 수 있게 된다. 한편, 미립잠열재 캡슐이 외부의 물리적 충격 및 열 충격 등으로 인하여 파괴되는 경우 슬러리 상부에 부유하고 있던 캡슐이 각각의 내·외부 물질로 재분해되면서 슬러리 하부층에 새로운 침전된 층을 형성하게 되는데, 이는 미립잠열재 각 구성성분의 물리적인 특성을 고려할 때 가장 비중이 높은 멜라민-포르말린 공중합체의 파편임을 알 수 있다.

캡슐의 내구성 평가실험을 위하여 미립잠열재 슬러리 농도를 10 wt%로 희석하여 조제하였다. Fig. 7은 제조된 미립잠열재를 10 wt% 농도의 슬러리로 조제한 후 다양한 펌프를 통해 일정시간 동안 순환시킨 후 각 경우의 캡슐 파쇄율을 비교하여 나타낸 그림이다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 모든 경우에 있어서 펌프를 통한 슬러리 순환횟수가 증가할수록 상부에 부유되어 있는 캡슐의 층이 점점 더 얇아지는 것을 볼 수 있는데, 이는 펌프 순환시에 파괴된 캡슐의 벽 물질들이 슬러리 하부 층으로 침전되면서 관찰되는 현상이다.

결과적으로, 순환실험 전·후의 경우에 있어서 상부 미립잠열재층의 두께 변화 정도가 작은 경우일수록 미립잠열재의 파쇄율이 낮게 나타남을

알 수 있게 되는데, 이러한 기준을 바탕으로 Fig. 7에 나열된 각각의 경우를 비교하여 보면 원심펌프(A type)의 경우 캡슐의 파쇄율이 가장 작음을 알 수 있다. 반면, 모노펌프(C type)의 경우 그 파쇄율이 가장 큰 것으로 확인되었는데 이는 나선 모양의 고정자(stator)와 회전자(rotor)가 맞물려 회전하면서 유체를 이동시키도록 설계된 모노펌프의 구조적 특성상 유동시 미립잠열재가 받게 되는 마찰저항이 다른 경우보다 크기 때문으로 생각된다. 그림에서 볼 수 있듯이 원심분리조작이 이루어지기 전에는 모든 경우에 있어서 슬러리 상의 분리된 층이 관찰되지 않는 균일한 상태로 혼합되어 있으나 원심분리가 이루어진 후에는 각각의 캡슐 파괴 정도에 따라 각기 다른 두께의 상부 캡슐층이 형성되는 것을 확인할 수 있다.

펌프의 종류에 따른 캡슐파쇄율 정도를 살펴보면 (a)의 원심펌프 및 (b)의 연동펌프의 경우 비교적 낮은 파쇄율을 나타낸 반면, (c)의 모노펌프의 경우 상대적으로 높은 파쇄율을 나타내는 것으로 관찰되었다. 정의된 캡슐파쇄율을 바탕으로 하여 각 경우에 있어서의 캡슐 파괴 정도를 산출한 후 그 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 그림에서 보여지는 바와 같이 가장 높은 파쇄율을 나타낸 모노펌프의 경우에도 10000회 순환실험 이후에 이르기까지 10% 이하의 파쇄율을 보였으며, 원심펌프

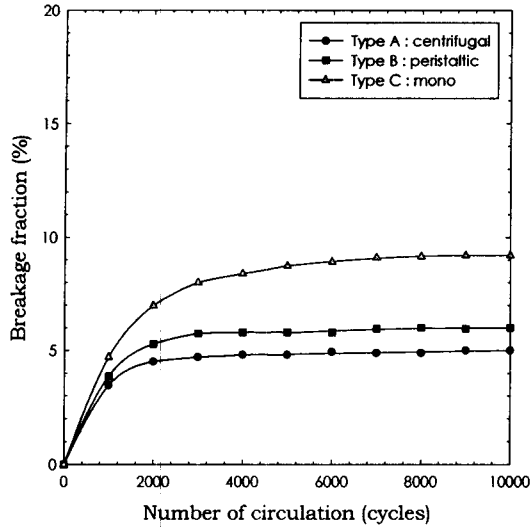


Fig. 8 Breakage fraction of microcapsules after circulation.

프 및 연동펌프의 경우에는 이보다 더욱 낮은 6% 미만의 파쇄율을 나타냄을 알 수 있다.

Fig. 9는 동일한 냉동기를 통하여 일정시간에 걸친 축냉조작을 수행함으로써 축열조에 저장되는 축열량은 각 경우에 걸쳐 모두 일정하다는 전제하에서 축·방냉실험을 실시한 결과를 보여주고 있다. 방냉시 실내의 온도는 18°C로 설정되었으며, 가동 후 20 wt% 슬러리의 경우 60분만에, 물의 경우에는 약 2시간 후 실내 설정온도에 도달하였다. 그림에서 알 수 있듯이 물과 미립잠열재 슬러리를 열 매체로 하여 동일한 조건에서의 방냉실험을 수행한 결과 상 변화에 의하여 냉방시간이 초기 3°C에서 일정온도를 유지하게 되는 시간이 20 wt%의 미립잠열재 슬러리의 경우에서 물보다 약 80분 정도 길게 나타나는 것이 관찰되었는데, 이는 방냉이 시작된 시점에서 일정시간 동안은 축열물질이 나타내는 잠열만으로 방냉이 이루어짐을 의미하며 일정한 열량이 공급된 경우 실제 냉방에 이용될 수 있는 시간이 미립잠열재에서 상대적으로 길게 나타남을 확인시켜 주는 결과이다. 실제로 상용화를 위하여 본 연구진에 의하여 제작된 냉방설비의 운전과정에 있어서 상기 조건으로부터 동일한 열량을 공급받아 축냉이 이루어진 경우에 있어서 방냉조작 시작시점을 오전 10시로 하고, 공급 슬러리의 온도가 12°C에 도달할 때 방냉실험을 종료한 결과, 물은 약 5시

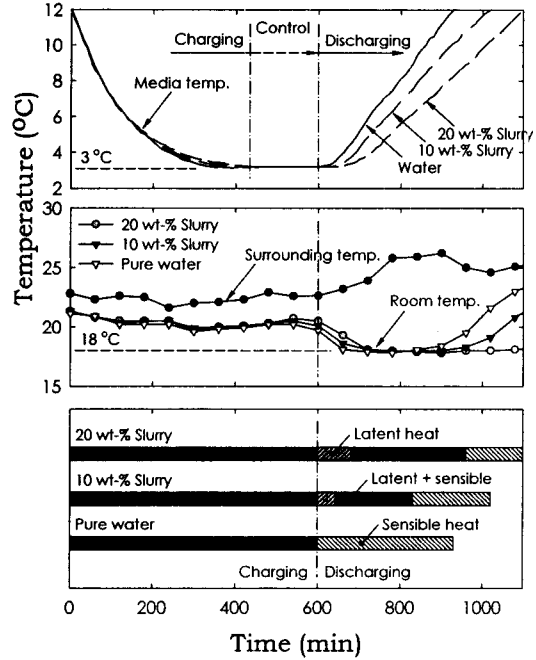


Fig. 9 Comparisons of performance between water and MPCM slurry as a coolant.

간 15분, 20 wt% 슬러리는 약 10시간에 걸쳐 실내 냉방을 할 수 있었다. 결국, 동일한 조건 하에서 같은 전력량을 사용하여 얻어진 냉열을 통하여 축열조작이 이루어진 축열식 냉방설비의 경우 그 매체로써 물을 사용하는 경우보다 미립잠열재 슬러리를 사용하는 경우 한층 우수한 냉방효율을 얻을 수 있으며 보다 높은 경제성의 확보 또한 기대할 수 있다는 결론에 도달하게 된다. 또한 본 연구에서 개발된 냉방설비가 값싼 심야전력을 이용하는 심야전력용 축열식 냉방 설비임을 감안하면 실제 냉·난방 설비로의 상용화시보다 높은 에너지 절약효과를 기대할 수 있을 것으로 생각된다.

4. 결 론

In-situ 캡슐화 방법을 통하여 테트라테칸을 내부물질로 하고 멜라민과 포르말린을 벽 물질로 하는 고효율의 미립잠열재 슬러리를 제조하였다. 제조된 캡슐은 평균 직경 5 μm 및 상 변화온도 약 6°C의 완전구체임이 확인되었으며, 상용화된 대표적인 세 종류의 펌프에 대하여 10000회 이상의 반복 순환에서도 최대 10% 이하의 파쇄율을

나타내는 비교적 양호한 내구성인 캡슐 제품임을 알 수 있었다.

제조된 캡슐 슬러리의 냉방 매체 활용성 평가를 위하여 소규모의 실내 냉방설비를 자체 설계·제작하고, 물 및 10, 20 wt%의 미립잠열재 슬러리를 열 매체로 하여 실제 냉방조건에서의 축·방냉 실험을 수행하였다. 실험결과 본 연구를 통하여 제조된 미립잠열재 슬러리는 10 wt% 및 20 wt% 농도에서 각각 물보다 33% 및 90%의 유효 냉방시간 향상효과가 관찰되었으며, 이는 물의 현열효과에 캡슐화된 잠열 미립자의 잠열효과가 크게 기여하였음을 의미한다.

따라서, 본 연구에서 제조된 미립잠열재를 냉방 매체로 적용하는 경우 물을 열 매체로 사용하는 기존의 축열식 냉방설비보다 한층 우수한 에너지 절약효과를 얻을 수 있음을 알 수 있으며, 실험에 사용된 냉방설비가 심야전력형 축열식 냉방설비를 감안할 때 이를 통한 에너지 절약효과는 한층 더 증대될 것으로 예측되어진다.

후 기

이 연구(논문)은 과학기술부 지원으로 수행하는 21세기 프론티어 사업(이산화탄소 저감 및 처리 기술개발)의 일환으로 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Mulligan, J. C., Colvin, P. D. and Bryant, Y. G., 1994, Use of two component fluids of microencapsulated phase-change materials for heat transfer in spacecraft thermal systems, AIAA 94-2004.
- Mehalick, E. M. and Tweedie, A. T., 1979, Two-component thermal energy storage material, COO-2845-78/2, pp. 85-90.
- Inaba, H., 1997, Current status of research on functionally thermal fluid, *Experimental Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics*, pp. 417-427.
- Yamagishi, Y., Sugeno, T., Ishige, T., Takeuchi, H. and Pyatenko, A., 1996, An evaluation of microencapsulated PCM for use in cold energy transportation medium, IECEC-96, pp. 2077-2082.
- Thies, C., 1994, Microencapsulation, Thies Technology.
- Takeuchi, H., Pyatenko, A., Yamagishi, Y., Sugeno, T. and Ishige, T., 1998, Characteristic of microencapsulated phase change materials slurry as energy transportation refrigerant, *Thermal Science & Engineering*, Vol. 6, No. 1, pp. 163-167.
- Telkes, M., 1962, Development of High Capacity Heat Storage Materials, Phase I, Study of Materials, Massachusetts Institute of Technology Instrumentation Laboratory (M.I.T. Lab Instrumentation Lab, R-380), Cambridge, MA.
- Yamagishi, Y., 1999, Characteristics of microencapsulated PCM slurry as a heat-transfer fluid, *AIChE Journal*, Vol. 45, No. 4, pp. 696-707.
- Goel, M., Roy, S. K. and Sengupta, S., 1994, Laminar forced convection heat transfer in microencapsulated phase change material suspensions, *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 37, No. 4, pp. 593-604.
- Core, K. L., 1987, The Use of Microencapsulated Phase-Change Materials to Enhance Heat Transfer in Liquid-Coupled Heat Exchange Systems, M.S. Thesis, North Carolina State University, Raleigh, North Carolina.