PCM 기술의 콘크리트 적용 II : 계면중합법에 의한 1-도데카놀 마이크로 캡슐에 있어서 계면활성제로 사용된 SSMA의 표면활성도가 마이크로 캡슐의 특성에 미치는 영향

Application of PCM Technology to Concrete II : Effects of SSMA(Sulfonated Styrene-Maleic Anhydride) on the Properties of the 1-Dodecanol Micro-Capsule

신세순¹ · 정재윤² · 임명관³ · 최동욱³ · 김영호^{1*}

Se-Soon Shin¹ · Jae-Yun Jung² · Myung-Kwan Lim³ · Dong-Uk Choi³ · Young-Ho Kim^{1*}

(Received May 8, 2013 / Revised June 5, 2013 / Accepted June 21, 2013)

Thermal storage technology used for indoor heating and cooling to maintain a constant temperature for a long period of time has an advantage of raising energy use efficiency. This, the phase changing material, which utilizes heat storage properties of the substances, capsulizes substances that melt at a constant temperature. This is applied to construction materials to block or save energy due to heat storage and heat protection during the process in which substances melt or freeze according to the indoor or outdoor temperature. The micro-encapsulation method is used to create thermal storage from phase changing material. This method can be broadly classified in 3 ways: chemical method, physical and chemical method and physical and mechanical method. In the physical and chemical method, a wet process using the micro-encapsulation process utilized. This process emulsifies the core material in a solvent then coats the monomer polymer on the wall of the emulsion to harden it. In this process, a surfactant is utilized to enhance the performance of the emulsion of the core material and the coating of the wall monomer. The performance of the micro-encapsulation, especially the coating thickness of the wall material and the uniformity of the coating, is largely dependent on the characteristics of the surfactant. This research compares the performance of the micro-capsules and heat storage for product according to molecular mass and concentration of the surfactant, SSMA (sulfonated styrene-maleic anhydride), when it comes to micro-encapsulation through interfacial polymerization, in which Dodecan-1 is transformed to melamin resin, a heat storage material using phase changing properties. In addition, the thickness of the micro-encapsulation wall material and residual melamine were reduced by adjusting the concentration of melamin resin microcapsules.

키워드 : 상변위 물질, 마이크로 캡슐, 파라핀 왁스, 계면활성제, 축열성능, 콘크리트

Keywords : phase changing material, micro-capsulation, paraffin wax, surfactant, thermal storage performance, concrete

1. 서 론

1.1 연구배경

에너지 절약은 근래에 이르러 지구온난화 문제를 해결하기 위한 기후협약 등의 영향으로 전 세계적인 이슈가 되고 있다. 현재

우리나라의 경우 국가 총 에너지의 약20% 이상을 건축물에서 사용되고 있으며, 영국 및 일본 등 냉난방이 더욱 발달한 선진국은 현재 약 26~28%를 사용하고 있어, 향후 지구기후변화로 인해 약 38~40%의 에너지가 소비될 것으로 예측되고 있다.

Table 1과 Fig. 1을 보면 냉난방으로 인한 에너지 소비량

* Corresponding author E-mail: kjhmole@kcl.re.kr

¹국립한경대학교 화학공학과 (Dept. of Chemical Engineering, Hankyong National University, Ansong 456-749, Korea)

²서강대학교 화공생명공학과 (Dept. of Chemical and Biomolecular Engineering, Sogang University, Seoul 121-742, Korea)

³국립한경대학교 건축공학과 (Dept. of Architectural Engineering, Hankyong National University, Ansong 456-749, Korea)

Table 1. Heating degree-day & energy expenditure

연도	평균기온 ¹⁾	난방도일 ²⁾	냉방도일	가정상업에너지소비(천toe)
1991	12.3	2,697.0	738.0	21,919
1992	12.5	2,570.0	661.0	23,009
1993	12.2	2,714.0	615.0	25,042
1994	13.5	2,511.0	909.0	25,968
1995	12.2	2,738.9	646.3	29,451
1996	12.2	2,843.9	742.3	31,713
1997	13.2	2,624.8	784.6	33,071
1998	13.8	2,323.9	801.6	27,418
1999	13.2	2,560.8	829.1	31,930
2000	12.7	2,785.5	823.7	32,370
2001	12.8	2,721.0	844.8	32,893
2002	12.9	2,545.9	689.5	34,298
2003	12.8	2,509.4	636.8	34,965
2004	13.3	2,467.4	766.1	34,807
2005	12.1	2,889.5	750.4	36,861
2006	13.0	2,524.1	721.7	35,986
2007	13.3	2,483.2	761.4	36,211
2008	12.9	2,589.0	745.6	36,225
2009	12.9	2,585.4	743.4	35,772
2010	12.1	2,953.4	832.0	37,256

자료 : 에너지경제연구원 『에너지통계월보』

주 : 1) 평균기온: 서울지역 기준(기상청 2) 난방도일: 일평균기온 18℃를 기준으로 그날의 일평균 기온과의 차이를 일저기간 누적시킨 값으로, 일평균기온이 18℃ 이하가 되면 난방을 시작한다는 개념

Fig. 1. Annual energy consumption

이 꾸준히 증가하고 있다. 이러한 증가하는 에너지 소비량을 줄이기 위해 많은 노력을 하고 있으며 그 중 축열재를 이용한 건축물의 단열 또한 에너지 절약에 기여하여 왔다. 또한 축열재 이용기술은 실내 냉난방을 위하여 사용된 에너지를 장시간 일정온도로 유지할 수 있도록 하여 에너지 사용 효율을 높이는 장점이 있다. 특히 온돌 방식으로 이루어진 난방의 경우 온돌방식이 콘크리트로 대체됨에 따라 건축물의 벽이 축열 기능이 낮은 단점이 있다. 따라서 바닥과 벽간의 심한 온도차로 인한 실내 온도편차로 오는 문제점이 있고 이에 따른 에너지 효율의 저하가 결국 에너지의 낭비를 초래하고

있다. 냉방의 경우도 마찬가지로 주·야간에 따라 외기의 온도는 극심한 변화에 따른 실내온도를 일정하게 유지할 수 있는 축열 성능을 갖는 소재가 갈수록 요구되고 있다.

1.2 연구목적

상변화 물질을 이용한 잠열 축열재는 물질의 잠열성질을 이용하는 것으로서 심물질로서 일정온도에서 녹는점을 갖는 물질을 캡슐화 하여 이를 건축자재에 적용하여 실내 및 외기의 온도에 따라서 심물질이 녹거나 어는 과정에서 축열과 방열로 인한 에너지 절감 및 차단 효과를 갖는다(Ben Yeung 2011). 이러한 상변화 물질은 극심한 과열이나 냉열을 차단하여 열손실을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 실내 환기나 출입문 개폐 등으로 인한 대류에 의한 열손실을 크게 줄이면서 실내온도를 일정하게 유지할 수 있어 냉난방 에너지소비를 감소시킬 수 있다(T. De. Saulles 2007).

마이크로 캡슐화의 방법은 크게 분류하면 화학적 방법, 물리·화학적 방법 및 물리적·기계적 방법의 3가지로 나눌 수 있다. 어떤 방법을 실제로 사용할 것인가 하는 문제는 심물질과 벽물질의 선택이나 마이크로 캡슐의 사용 목적 등을 고려하여 결정한다. 이

기술은 산업분야 및 의료분야를 중심으로 한 각 종 분야에서 그 활용이 급속히 확대되어 왔다(Jan E. Vandegaer 1993).

습식공정에 의한 마이크로 캡슐화 기술은 기본적으로 심물질을 용매에서 에멀전화한 다음 고분자 모노머를 심물질인 에멀전의 벽면에 코팅하여 경화시키는 공정이다. 이 경우에 심물질의 에멀전이나 벽재 모노머의 코팅 성능을 좋게 하기 위해서 계면 에너지의 조절이 반드시 필요하여 이를 위하여 계면활성제가 사용된다. 또한 첨가되는 계면활성제의 특성에 따라서 마이크로 캡슐화의 성능이 좌우되고 특히 벽재물질의 코팅 두께 및 코팅의 균일성에 크게 영향을 미친다(J. C. Berg 1993).

본 연구에서는 상변화를 이용한 축열재로서 1-도데카놀을 멜라민수지로 계면중합법에 의하여 마이크로 캡슐화 하는데 있어서 계면활성제로서는 SSMA(synthesis of sulfonated styrene-maleic anhydride)의 함량에 따른 마이크로 캡슐의 성능과 아울러 제품의 축열 성능을 비교하였다.

또한 전중합용액의 질량농도 변화를 주어 마이크로 캡슐의 성능과 아울러 제품의 축열 및 방열 성능을 비교하였다.

Fig. 2. Synthesis of sulfonated styrene-maleic anhydride copolymers (SSMA)

Fig. 3. Fourier transform infrared spectra SAM, SSAM 1000P

2. 실험

2.1 SSMA(sulfonated styrene-maleic anhydride)의 제조

2.1.1 사용재료

SMA(Styrene-maleic anhydride)는 스티렌:말레인 몰비가 1:1, 2:1, 2.6:1, 3:1, 17:1 인 것을 사용하였다. 황산(Samchun, 95%), 발연황산(UNI, $H_2SO_4 + XSO_3$) 등을 반응물로 사용하였고 중화제로서 수산화칼슘과 수산화나트륨을 사용하였다.

2.1.2 SSMA의 제조 원리

반응기에 SMA 5g 과 황산 50g을 넣고 50℃에서 기계식 교반기를 사용해 2시간 교반하여 용해하였다. 온도를 실온으로 내린 후 7.2 ml의 발연황산을 넣고 다시 가열하여 50℃에서 반응하였다. 다시 온도를 실온으로 내리고 50ml의 증류수로 반응물을 희석시킨 후 수산화칼슘 수용액 50ml를 적하하여 미반응 황산을 염으로 석출시켜 여과지로 흡입 여과하여 제거하였다. 그리고 여과하여 얻은 용액을 0.5N 수산화나트륨 수용액으로 중화하여 PH 8~8.5로 조정하였다.

이와 같은 실험을 SMA의 스티렌:말레인 몰비가 1:1, 2:1, 2.6:1, 3:1, 17:1에 대하여 SSMA를 제조하였다.

2.1.3 제조된 SSMA의 FT-IR분석

SSMA의 합성여부를 확인하기 위해 FT-IR을 이용하여 분석하였다. 다음의 그림들은 SSMA 각 분자량마다 FR-IR을 분석하여 SSMA합성여부를 판단한 것이다. Fig. 3~7과 Fig. 8를 비교한 결과 SMA의 경우 1870 cm^{-1} 와 1770 cm^{-1} 부근의 anhydride C=O의 신축진동에 기인하는 피크, 2900 cm^{-1} ~3000 cm^{-1} 에서 지방족

Fig. 4. Fourier transform infrared spectra SAM, SSAM 2000P

Fig. 5. Fourier transform infrared spectra SAM, SSAM 2625P

Fig. 6. Fourier transform infrared spectra SAM, SSAM 3000P

Fig. 7. Fourier transform infrared spectra SAM, SSAM 17325P

Fig. 8. Surface tension of SSMA aqueous solution

C-H의 신축진동에 기인하는 피크 그리고 $3000\text{cm}^{-1} \sim 3100\text{cm}^{-1}$ 에서 방향족 C-H의 신축진동에 기인하는 피크가 나타난 것을 확인할 수 있다. 또한 합성한 SSMA의 경우 1190cm^{-1} 부근에서 $-\text{SO}_3\text{Na}$ 의 신축진동에 기인하는 피크를 $1400\text{cm}^{-1} \sim 1600\text{cm}^{-1}$ 부근의 $\text{COONa}(\text{C}=\text{O})$ 신축진동에 기인하는 피크, 3400cm^{-1} 부근에서 염으로 미전환된 COOH 에 기인하는 피크가 나타났으므로 SSMA 합성을 확인할 수 있었다.

2.1.4 합성된 SSMA의 표면활성도 측정

합성된 SSMA는 계면활성제로서 마이크로 캡슐 합성에 있어서 에멀션 형성에 관여한다. 따라서 합성된 SSMA를 스티렌 함량별로 농도(wt%)의 대비 표면장력을 측정하였다. 측정방법은 Dunoy Ring 법을 이용하였으며 표면장력측정기(KSV, Sigma-70)를 이용하였다.

2.2 마이크로 캡슐 제조

2.2.1 사용재료

본 연구에서는 심물질로서 1-도데카놀을 이용하였으며 벽재 물질로서 멜라민 수지가 되도록 고분자 시약을 이용하였다. 심물질은 녹는점이 $22^\circ\text{C} \sim 26^\circ\text{C}$ 인 순도가 매우 높은 시약급 1-도데카놀을(SAMCHUN, 98%)을 추가 정제 없이 사용하였다. 또한 안정화제로서 투입된 계면활성제는 합성된 SSMA (synthesis of sulfonated styrene-maleic anhydride)를 사용하였으며 용매인 물은 실험실에서 제조된 증류수를 이용하였다.

Fig. 9. Structure of melamin-formaldehyde

2.2.2 멜라민 수지의 계면중합에 의한 벽재 형성의 원리

본 연구에서는 마이크로 캡슐 제조에 있어서 벽재에 멜라민 수지가 계면중합에 캡슐화 되도록 하였다. 벽재에 형성되는 멜라민 수지의 계면 중합의 원리는 다음과 같다.

Amino화합물과 Formalin의 반응은 다음의 두 반응으로 나타낼 수 있다. 첫 단계는 멜라민 모노머에 Formalin의 첨가로서 Hydrocymethyl group을 형성하는 것이다. 이 반응은 Methylation 또는 Hydrocymethylation이라고 알려져 있으며 다음과 같다(A. W. Adamson 1990).

두 번째 반응은 축합반응이다.

(Condensation Polymerization) 이 축합반응에서 각각의 Monomer unit들이 결합하여 물을 생성하며 Dimer가 형성된다.

광범위하게 Amino수지는 위의 두 가지 반응으로서 조절할 수 있다. 첫 번째 공정에서는 Amino 화합물에 Formalin의 첨가를 포함하고 있으며 산이나 염기에 의하여 반응이 촉진되어 진다. 즉 전 pH범위에서 가능하다(D. Y. Kwoki and A. W. Neumann 1999).

그러나 두 번째 공정에서는 Methylene이 결합된 Amino unit은 산에 의하여 반응이 촉진된다. 다시 말하면, Methylol Compound는 중성 또는 염기상태에서 안정성을 보이나, 축합반응에서는(2번째 반응) 산성 상태에서 안정성을 보인다. Melamine-Formalin 수지는 Fig. 9에서와 같이 공간망상 중합체(space-network polymer)로서 견고하고 불규칙적인 3차원 구조를 형성하도록 많은 교차결합을 가지고 있으며, 이러한 물질은 거대한 분자이며 열경화성 수지의 벽재를 이룬다.

Fig. 10. Principle of the interfacial polymerization in micro-capsulation

Table 2. Amount of additive by mass concentration of the polymerization reaction solution

Polymerization Solution	Melamine (g)	Formaldehyde (g)	Water (g)
NO.1	0.62	2.11	1.56
NO.2	0.31	1.05	0.78
NO.3	0.15	0.52	0.39
NO.4	0.07	0.26	0.195

2.2.3 전중합용액의 제조

마이크로 캡슐화 제조에 있어서 2.2.2 에 나타난 계면중합을 이루기 위하여 멜라민 모노머를 이용하여 전중합 용액을 제조하였다. 전중합 용액은 멜라민 0.62g, 물 1.56g, 포름알데히드(35~37%) 2.11g을 혼합한 수 55℃ 정도에서 5분간 교반하고 25~40℃로 냉각하여 제조하였다.

또한 잔여 멜라민 수지를 줄이고 벽재의 두께를 조절하기 위해 다음과 같이 전중합용액의 질량농도를 조절하여 실험하였다. 실험 조건은 Table 2에 나타나 있다.

2.2.4 마이크로 캡슐 제조 및 장치

본 연구에서는 1-도데카놀을 수용액에서 에멀전화한 후 벽재물 질인 멜라민 수지를 투입하여 왁스의 계면에서 계면중합이 일어나도록 하여 마이크로 캡슐 반응을 행하였다. 계면중합은 Fig. 10에 나타난 모식도와 같이 심물질인 1-도데카놀과 용매인 물간의 계면에서 고분자 반응이 일어나서 벽재가 형성되는 원리이다.

제조 반응장치는 Fig. 11와 같았다. 반응은 제조장치인 자켓형 특수 반응장치 내부에 정량의 물과 1-도데카놀을 온도 55℃로 유지한 후 SSMA를 CMC(critical micelle concentration)를 기준으로 투입한 후 호모믹서에 의하여 격렬한 교반을 통하여 1-도데카놀 에멀전을 생성하였다. CMC와 물 100g 기준 wt%의 값은 아래의

Fig. 11. Schematic diagram of the reaction apparatus for micro-capsulation

Table 3. CMC & wt% by the molecular weight of the SSMA

Stylene:Malein	CMC (wt%)
1:1	45.43
2:1	57.45
2.6:1	56.23
3:1	56.72
17:1	42.32

Fig. 12. Principle of pendant drop method for the interfacial tension measurement

Table 3에 나타내었다.

벽재 형성을 위한 계면 중합은 2.2.3에서 전술한 미리 제조된 전 중합 용액과 아세트산을 정량 투입하여 100분간 750rpm의 속도로 교반한 후 실온으로 냉각 후 건조하여 최종 제품을 얻었다.

2.2.5 계면장력 측정

마이크로 캡슐의 제조 공정은 심물질의 에멀전 형성 및 고분자 물질의 계면흡착과 계면중합 등에 의한 것으로서 계면물성의 제어 가 매우 중요하다. 따라서 본 연구에서는 이의 물성을 검토하기 위하여 각 상 간의 계면 에너지를 측정하였다. 계면장력 측정은 Fig. 12에서 보인 기구로 Pendant Drop법을 이용하였다. 즉, 본 연구에서는 심물질인 1-도데카놀 에멀전과 수용액 간의 계면에서

Fig. 13. SEM picture of the microcapsules for the various styrene: maleine SSMA

계면중합이 발생하는 경우 시간에 따른 계면에너지의 변화를 관찰하기 위하여 계면장력을 측정하였다. 측정장치는 계면장력측정기(First Ten Angstrom, FTA-200)를 이용하였으며 55℃로 온도를 유지하면서 1-도데카놀에 순수한 SSMA 수용액을 pendent Drop 법을 이용하여 액적을 위치시켜서 액적의 모양을 이미지 해석기를 통하여 수치적으로 계면장력을 계산하였다. 또한 심물질인 1-도데카놀과 벽재물인 전중합용액 + SSMA 수용액 간의 계면장력도 측정하였다. 계면장력의 수치적 계산을 ADSA(Axisymmetric Drop Shape Analysis)법에 의하였다.

2.2.6 마이크로 캡슐 형상 및 축열 성능 측정

또한 제조된 마이크로 캡슐의 형태 및 표면은 Scanning Electron Microscope(Universal TA Instrument, TM-1000)를 이용하여 관찰하였다. 제조된 마이크로 캡슐의 내열성 및 축열 성능은 주사시차열 분석기(DSC)를 이용하여 관찰하였다.

Fig. 14. Results of differential scanning calorimetric analysis for the microcapsuled products at various molecular weight of SSMA

3. 결과 및 고찰

3.1 SSMA 분자량에 따른 마이크로 캡슐 형상 및 축열 성능

Fig. 13의 그림에서 보는 바와 같이 본 연구에서 제조된 마이크로 캡슐은 대체로 구형의 외벽이 형성된 것을 알 수가 있으며 벽체의 두께는 나노 크기의 두께로 추정된다.

벽재인 멜라민 수지는 열경화성 수지로서 열을 가하면 더욱 경화되므로 축열재로 이용 시 내열성에 도움이 될 것으로 보인다. 본 연구에서는 제조된 시료를 용점측정기로 가열하여 온도를 250℃까지 상승시켜도 캡슐이 손상되지 않음을 확인하였다.

Fig. 14에서 볼 수 있듯이 첨가된 SSMA의 종류에 따라 마이크로 캡슐의 형상에 크게 차이가 남을 알 수가 있다. 즉 SSMA에서 스티렌 함량이 작은 경우에는 상대적으로 캡슐형성이 매우 불규칙하고 형성되는 양 또한 적은 것을 알 수 있으며 스티렌 함량이 적은 SSMA 1:1 (Fig. 14a) 및 2:1 (Fig. 14b)의 경우에는 벽재 형성이 잘 이루어지지 못한 것으로 보인다.

한편 스티렌 함량이 상대적으로 큰 SSMA 2.6:1 (Fig. 14C),

3:1(Fig. 15(d)), 17:1(Fig. 14(e))의 경우에는 벽재가 상대적으로 균일한 두께 구형으로 잘 이루어진 것으로 보인다. 또한 형성된 마이크로 캡슐의 크기가 3 마이크로미터 정도로 일정한 크기로 잘 형성된 것으로 보인다.

멜라민 수지로 캡슐된 1-도데카놀은 캡슐 내부에서 외벽 물질을 통하여 전달되는 열에너지를 이용하여 내부에너지가 증가하며 액체로 되었다가 융점 이하에서는 즉시 내부에너지를 잃고 고체로 변하며 외부로 열을 방출하는 특성을 지니게 되며 이러한 성질을 지닌 경우에 축열재로 사용이 가능하게 된다.

본 연구에서는 제조된 마이크로 캡슐의 축열 성능 평가를 시차열 분석기를 이용하여 온도 상승 및 냉각을 반복하여 (최소 3회 이상)캡슐로부터 흡수 및 방출되는 열에너지를 측정하였다.

Fig. 14에서 보면 스티렌 함량에 따라서 열 흡수 및 방출에 차이가 있음을 알 수가 있다. 스티렌 함량이 상대적으로 적은 SSMA 1:1(Fig. 14(a))및 2:1(Fig. 14(b))의 경우에는 본 연구에서 사용된 1-도데카놀의 융점인 22℃~26℃에서 열 흡수 및 방출의 특성이 불규칙하게 나타난 것을 볼 수 있다. 또한 흡수 및 방출을 나타내는 피크가 여러 가지가 생긴 결과를 보면 캡슐화가 되지 않은 물질도 많은 것을 알 수 있다. 그리고 SSMA 2.6:1(Fig. 14(c))의 경우에는 열 흡수 및 방출의 특성이 일정하게 나타나지만 흡수 및 방출을 나타내는 피크가 여러개 생긴 것을 확인할 수 있다.

한편 SSMA 3:1(Fig. 14(d))와 17:1(Fig. 14(e))는 열 흡수 및 방출의 특성이 일정하게 나오고 또한 흡수 및 방출을 나타내는 피크가 일정하게 생기는 것을 알 수 있다.

즉 스티렌 함량이 클수록 축열 및 방열 기능이 좋아지고 있는 것으로 보아 벽재가 잘 형성되는 것으로 보인다. 이는 Fig. 13에 보인 전자현미경 사진과 비교해 보면 스티렌 함량이 적은 SSMA 1:1과 2:1의 경우에는 마이크로 캡슐의 벽재가 잘 형성되지 못하고 형성이 되더라도 많은 양이 형성되지 못한 결과 축열 및 방열 기능을 제대로 못하는 것으로 판단된다.

그러나 SSMA 2.6:1, 3:1, 17:1의 경우에는 1-도데카놀의 융점에서 가열 및 냉각 시에 뚜렷한 열 흡수 및 방출이 있음을 알 수가 있다. 즉, 이는 Fig. 13의 전자현미경 관찰 결과와 비교하여 보면 축열 및 잠열 성질은 마이크로 캡슐 벽재 형성의 결과와 일치하는 것으로 보인다. 즉 SSMA 분자량이 클수록 벽재형성이 잘 이루어지고 따라서 캡슐화 된 심물질의 파라핀 왁스에 의한 축·방열 성능이 좋아지는 것으로 판단된다. 특히 SSMA 17:1의 경우가 마이크로 캡슐이 가장 우수하며 마찬가지로 Fig. 14(e)에 보인 바와 같이 가장 뚜렷한 축 방열 곡선 피크를 보이고 있다. 또한 가열 및 냉각을 여러번 반복하여도 열 흡수 및 방출 곡선이 거의 변화가 없는

경우로 보아 열 충격에 의한 벽재의 손상이 거의 없는 충분한 물성의 축·방열을 위한 마이크로 캡슐이 잘 이루어진 것으로 판단된다.

본 연구에서 마이크로 캡슐은 벽재 멜라민 모노머가 에멀전인 1-도데카놀의 계면에 흡착하여 중합이 이루어짐으로서 생성된다. 이 경우 심물질인 1-도데카놀은 수용액에서 일정크기의 에멀전 형태로 분산되게 되며 수용액에는 첨가된 SSMA에 존재하여 에멀전 형성이 가능하도록 유지된다. 한편 수용액에 첨가되는 멜라민 전중합 용액의 단량체들은 교반 중에 수용액에서 에멀전인 1-도데카놀의 계면에 흡착하여 축합반응에 의해서 단단한 고분자 물질로 변하게 된다. 이러한 반응 기구에 따르면 본 연구의 마이크로 캡슐 공정에서 가장 중요한 공정은 전중합 용액의 멜라민 단량체들이 1-도데카놀 에멀전의 계면에 흡착하는 과정으로 볼 수 있다. 즉, 캡슐 물질인 멜라민 벽재의 균일성과 두께는 단량체의 흡착성과 밀접한 관련이 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 마이크로 캡슐의 심물질로서 1-도데카놀에 멜라민 수지를 벽재화하여 계면중합법에 의하여 건축물 단열재로서 축·방열 기능이 있는 마이크로 캡슐을 제조하였다.

1. 적정조건에서 제조된 마이크로 캡슐은 일정두께의 멜라민 수지 벽재가 형성되었으며 시차열분석 결과 반복성을 갖는 우수한 축열 및 방열 특성을 보였다.
2. 본 연구의 조건에서는 1-도데카놀에 멜라민수지를 캡슐화 하는 경우 마이크로 캡슐의 두께 및 축·방열 특성은 계면활성제인 SSMA의 스티렌 함량에 영향을 받으며 스티렌 함량이 클수록 우수한 물성을 나타내었다. 또한 첨가되는 SSMA는 멜라민 단량체와 1-도데카놀 간의 젖음성을 향상시켜서 계면중합에 의한 캡슐효율을 높이는 것으로 판단되었다.

감사의 글

이 연구는 경기도의 경기도지역협력연구센터(GRRC) 사업의 일환으로 수행(GRRC한경2011-B05)되었으며 지원에 감사드립니다. 또한, 이 연구는 이 연구는 2012년도 한국건설교통기술평가원 연구비 지원에 의한 결과의 일부 임. (과제번호 : 11 기술표준화 10-1)

References

- Adamson, A.W. (1990). "Physical Chemistry of Surfaces," John Wiley & Sons, Inc, AP Gast 5th. ed.
- Ben Yeung. (2011). "Energy Saving Performances of Building Materials using Phase Change Materials," PhD. thesis, Taiwan national univ.
- Kwoki, D.Y., and Neumann, A.W. (1999). "Contact Angle Measurement and Contact angle Interpretation," Advances in Colloid and Interface Science, **81**, 167–249.
- Jan E. Vandegaer. (1974). "Microencapsulation Processes and Applications," Plenum Press, 21–37.
- Berg, J.C., ed. Wettability, and Marcel Dekker. (1993). Surfactant Sci Ser, **49**.
- T. De, Saulles. (2007). Utilisation of Thermal Mass in Non-Residential Buildings, The Concrete Centre, **41(2)**, 22–24.

PCM 기술의 콘크리트 적용 II : 계면중합법에 의한 1-도데카놀 마이크로 캡슐에 있어서 계면활성제로 사용된 SSMA의 표면활성도가 마이크로 캡슐의 특성에 미치는 영향

축열재 이용 기술은 실내 냉난방을 위하여 사용된 에너지를 장시간 일정온도로 유지할 수 있도록 하여 에너지 사용 효율을 높이는 장점이 있다. 이 중 상변화 물질을 이용한 잠열 축열재는 물질의 잠열성질을 이용하는 것으로서 심물질로서 일정온도에서 녹는점을 갖는 물질을 캡슐화 하여 이를 건축자재에 적용하여 실내 및 외기의 온도에 따라서 심물질이 녹거나 어는 과정에서 축열과 방열로 인한 에너지 절감 및 차단 효과를 갖는다. 상변화 물질을 이용해 축열재를 만드는 방법은 마이크로 캡슐화의 방법이 있다. 이 방법은 크게 분류하면 화학적 방법, 물리·화학적 방법 및 물리적·기계적 방법의 3가지로 나눌 수 있다. 물리·화학적 방법으로 습식공정에 의한 마이크로 캡슐화 공정을 이용했으며 이 공정은 심물질을 용매에서 에멀전화한 다음 고분자모노머를 심물질인 에멀전의 벽면에 코팅하여 경화 시키는 공정이다. 이 경우에 심물질의 에멀전이나 벽재 모노머의 코팅 성능을 좋게 하기 위하여 계면활성제가 사용된다. 또한 계면활성제의 특성에 따라서 마이크로 캡슐화의 성능이 좌우되고 특히 벽재물질의 코팅 두께 및 코팅의 균일성에 크게 좌우된다. 본 연구에서는 상변화를 이용한 축열재로서 심물질인 1-도데카놀을 멜라민수지로 계면중합법에 의하여 마이크로 캡슐화 하는데 있어서 계면활성제인 SSMA(sulfonated styrene-maleic anhydride)의 화학적 특성에 따른 마이크로 캡슐의 성능과 이에 따른 축열 성능을 비교하였다.