

## 다중에멀전법을 통한 슈도모나스를 함유하는 PCL 마이크로캡슐의 제조 및 특성 연구

김기석 · 이승엽\* · 이건웅\*\*,\*\* · 김형곤\* · 박수진†

인하대학교 화학과, \*(주)캠스텍, \*\*형재바이오, \*\*\*전북대학교 생명공학부  
(2011년 7월 10일 접수, 2011년 9월 10일 수정, 2011년 9월 22일 채택)

## Preparation and Characteristics of Poly( $\epsilon$ -caprolactone) Microcapsules Containing *Pseudomonas* by W/O/W Emulsion

Ki-Seok Kim, Seung Yeop Lee\*, Gun Woong Lee\*\*,\*\*, Hyung Gon Kim\*, and Soo-Jin Park†

Department of Chemistry, Inha University, Incheon 402-751, Korea

\*Camstech, 405, JMC, 762, Palbokdong 2Ga, Duckjin-gu, Jeonju 561-844, Korea

\*\*Hyung Jae Bio, Business incubator Center, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea

\*\*\*Division of Biotechnology, Chonbuk National University, Iksan 570-752, Korea

(Received July 10, 2011; Revised September 10, 2011; Accepted September 22, 2011)

**초록:** 슈도모나스를 함유하는 poly( $\epsilon$ -caprolactone)(PCL) 마이크로캡슐은 다중에멀전 시스템에 의하여 제조하였고, 제조조건에 따른 마이크로캡슐의 특성과 방출거동에 대하여 조사하였다. 마이크로캡슐의 형태와 입도분포는 주사전자현미경과 입도분석기를 이용하여 관찰하였고, 방출거동은 액체배양법을 통하여 확인하였다. 다양한 제조조건에 따라 제조된 마이크로캡슐은 10~60  $\mu\text{m}$ 의 입자크기와 표면이 매끈하고 균일한 구형의 마이크로캡슐이 형성됨을 확인하였다. 열분석 결과, 마이크로캡슐은 약 58  $^{\circ}\text{C}$ 에서 용융피크를 나타내었고 벽재물질의 함량 증가에 따라 용융열이 증가함으로써 벽재의 두께는 PCL 함량에 비례함을 확인할 수 있었다. 또한 슈도모나스의 방출속도는 유화제 함량, 교반속도, PCL 함량에 따라 조절이 가능하며 이는 유화제 함량과 교반속도 증가에 따른 입자 크기의 감소에 의한 비표면적 증가와 벽재물질의 두께 증가에 의한 방출속도의 감소에 의한 것으로 판단된다.

**Abstract:** Biodegradable poly( $\epsilon$ -caprolactone)(PCL) microcapsules containing pseudomonas were prepared by W/O/W emulsion system. The characteristics and release behaviors of the microcapsules were investigated as a function of manufacturing conditions. The morphology and particle distribution of the microcapsules were observed by a scanning electron microscope and a particle size analyzer. The release behaviors of the pseudomonas were determined using a cell culture method. It was found that smooth and spherical microcapsules were formed by W/O/W emulsion system and particle size was in the range of 10 to 60  $\mu\text{m}$ . The release behaviors of the pseudomonas were influenced by the manufacturing conditions. It was indicated that the increase of the surfactant content and stirring rate led to an increased release rate, resulting from the high specific surface area of the smaller particle size, and the increase of the PCL content provided the sustained release behaviors by the delay effect of diffusion in the release medium.

**Keywords:** microcapsules, poly( $\epsilon$ -caprolactone), pseudomonas, release behavior.

## 서 론

최근 전세계적으로 환경보호에 대한 관심이 크게 증가하고 있으며, 이에 따라 농업분야에서도 친환경농업에 대한 관심이 집중되면서 기존의 화학농약을 대체하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 화학농약의 대체를 위한

여러가지 방법 중 길항미생물을 이용하는 생물학적 방제에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 생물학적 방제제는 친환경적이고 살균제 내성 발생 등의 문제가 없어 세계적으로 그 사용이 증가하고 있는 추세이다.<sup>1,2</sup>

일반적으로 미생물제제란 식물병원균, 해충 또는 잡초의 제거를 위하여 사용되는 곰팡이, 세균, 바이러스 등으로 만든 제품을 말한다. 또한 미생물제제는 인간과 가축에 대한 독성이 낮고 주변 생태계에 영향이 적은 장점이 있는 반면에 화학제제에 비해 효과 발현이 늦고, 효과가 낮으며, 짧은 유효기간, 그리고 적용범위가 제한적이라는 단

†To whom correspondence should be addressed.  
E-mail: sjpark@inha.ac.kr

점이 있다.

또한 미생물제제는 소비되는 순간까지 생명력이 유지되어야만 기능을 발휘하는 제품으로 생산과 보관이 어렵고, 미생물제제의 이용시에는 사용 후에 발생할 수 있는 생태계 변이에 대해서도 적극적인 이해와 대응방안이 필요하다. 위와 같은 특성으로 미생물제제를 활용하기 위해서는 적용방법이 정확하여야 하며, 미생물제제를 농업에 이용할 수 있는 영역은 토양개량, 병해방제, 유기물 분해촉진, 양수분 흡수촉진, 생육촉진 및 병해충 방제 등이 있다.<sup>3,4</sup>

다양한 미생물제제 중 농업용 응용을 위한 길항미생물로는 슈도모나스(*Pseudomonas*) 계열이 대표적이며, 그람 음성 토양 박테리아인 슈도모나스는 생물학적 방제제와 작물비료로 널리 사용되고 있는 균으로 알려져 있다.<sup>5-7</sup> 생물학적 방제제로서 슈도모나스는 빠른 생장으로 대량생산이 가능하고 근권과 종자 표면 그리고 식물내부에 정착과 증식이 용이하며, 주변 환경 스트레스에 대한 적응력이 우수하다. 또한 슈도모나스는 토양과 물속에 분포하는 형광성균으로 작물생육 촉진효과가 있고, 길항세균 바실러스와 마찬가지로 토양세균 중 유기물 분해력과 병원성곰팡이에 대한 억제력이 매우 뛰어나며, 실제로 슈도모나스를 처리한 토양은 병해억제력이 매우 높다.<sup>8,9</sup>

생분해성 고분자를 이용한 색소, 의약품, 그리고 농약 등과 같은 활성 심물질의 마이크로캡슐화는 심물질의 방출 특성 조절을 위해 가장 널리 사용되는 방법 중 하나이다. 마이크로캡슐화에 의한 마이크로구 또는 마이크로캡슐(50 nm~2 μm)은 활성 심물질이 벽재 물질의 내부에 함입되어 있는 매우 작은 용기를 말하며, 일반적으로 고분자 물질로 구성된 벽재는 내부 심물질의 보호와 저장 역할을 할 뿐만 아니라 특정 조건 하에서 내부 심물질의 외부로의 확산에 의한 방출속도를 조절하여 심물질의 활성이 장기간 유지할 수 있도록 조절하는 기능을 한다. 마이크로캡슐의 벽재 물질로는 필름 형성능이 우수하고 물리 화학적으로 안정한 천연 및 합성 고분자를 포함하는 다양한 물질들이 사용되어 진다.<sup>10-12</sup> 또한 심물질의 방출속도는 벽재 물질의 화학적 구조, 두께 그리고 마이크로캡슐의 입자크기 등과 같은 다양한 요소와 함께 조절될 수 있다.<sup>13,14</sup>

따라서 본 연구에서는 다중에멀전 액중건조법을 이용하여 슈도모나스를 함유하는 PCL 마이크로캡슐을 제조하였고, 제조 조건에 따른 마이크로캡슐의 특성을 조사하였다. 또한 셀 배양법을 이용하여 유화제 양, 교반속도, 그리고 PCL 함량에 따른 슈도모나스의 방출거동에 대하여 고찰하였다.

## 실 험

**재료.** 본 연구에서는 벽재 물질로 alginate acid(Junsei, Japan)와 poly( $\epsilon$ -caprolactone) (PCL, m.p.: 60°C, Aldrich Co.)을 사용하였고, 심물질로 사용된 슈도모나스는 Luria-Bertani (LB) 액체배지(NaCl 10 g, tryptone 10 g, yeast extract 5 g)에 접종한 후 30°C, 180 rpm에서 48시간 배양한

후 4°C, 2000 rpm에서 원심분리하고 pellet을 수거하여 사용하였다. 벽재 물질을 위한 용매로는 dichloromethane(Jin Chem. Co.)을 사용하였다. 유화제로 Span80(Showa Chem. Icn.)을 사용하였고, 유화 안정제로서 poly(vinyl alcohol) (PVA, Kanto Chem. Co.)을 사용하였다.

**슈도모나스 함유 PCL 마이크로캡슐의 제조.** 슈도모나스를 함유한 PCL 마이크로캡슐은 다중에멀전 액중건조법을 이용하여 제조하였으며, 마이크로캡슐의 제조방법은 다음과 같다. W/O 에멀전 형성을 위하여 액상으로 미생물과 알지네이트를 증류수에 용해시키고 오일상으로 1% Span80을 함유한 50 mL의 디클로로메탄에 교반과 함께 첨가하였다. W/O 에멀전의 안정화를 위하여 약 20분간 500 rpm에서 교반후 미리 준비된 500 mL PVA 용액에 교반과 함께 첨가하였다. 벽재물질로 PCL은 디클로로메탄 20 mL에 용해시켜 사용하였고 교반과 함께 미생물을 포함하는 연속상에 분산시켰다. 반응 혼합물은 상온에서 24시간 교반을 통하여 용매를 완전히 제거 후 최종적으로 여과 및 건조에 의하여 미생물을 함유한 마이크로캡슐을 제조하였다. 또한 제조 조건에 따른 마이크로캡슐의 특성을 알아보기 위하여 마이크로캡슐의 제조시 유화제의 농도, 교반속도, 그리고 PCL의 함량에 따른 마이크로캡슐을 제조하였다.

**마이크로캡슐의 형태 및 구조 특성.** 제조 조건의 변화에 따른 마이크로캡슐의 형태 및 입자크기의 변화를 측정하기 위하여 광학현미경(SV-35, Sometech), 주사전자현미경(SEM; JSM-840A, JEOL. Co.)과 입도분석기(Mastersizer2000, Malvern)를 사용하였다.

마이크로캡슐의 열적 특성은 시차주사열량계(DSC200 F3, NETZSCH)를 사용하였으며, 열분석시 질소가스를 20 mL/min의 속도로 공급하며 -30~150°C의 온도범위에서 측정하였다.

**마이크로캡슐의 방출거동.** 마이크로캡슐의 방출거동을 측정하기 위하여 LB 액체배지를 사용하였으며, 액체배지에 0.1 g의 제조된 마이크로캡슐을 넣고 30°C로 조절된 진탕 배양기에서 180 rpm 속도로 배양하여 주었다. 12시간 간격으로 배양액을 침지시킨 후 상등액을 채취하였고, CFU(colony forming unit)를 측정하기 위하여 준비된 LB 고체 배지에 적절하게 희석된 상등액을 도말하고 30°C 배양기에서 24시간 배양한 후 콜로니 수를 측정하였다. 또한 미생물의 특성을 고려하여 12시간 마다 상등액을 채취할 때 캡슐은 다시 70% 에탄올과 멸균수로 3회 반복하여 세척해주고 새로운 배양액을 공급해주어 배양된 미생물의 영향을 받지 않도록 하여 심물질의 방출특성을 조사하였다.

## 결과 및 토론

**슈도모나스/PCL 마이크로캡슐의 형성.** 마이크로캡슐은 비상용성을 띠는 두 액체의 계면 특성을 이용하며, 교반에 의해 형성된 에멀전 시스템에 의하여 제조된다. 또한 마이크로캡슐의 형태는 심물질의 특성에 많은 영향을 받으며, 일반적으로 마이크로캡슐은 연속상에 분산된 심물질의 표

면에 고분자 벽재물질이 코팅되어 형성되므로 심물질이 액체상인 경우에 안정한 구형의 마이크로캡슐이 형성된다고 알려져 있다.<sup>15</sup>

W/O/W 다중에멀전 시스템과 액중건조법에 의하여 제조된 슈도모나스를 함유하는 PCL 마이크로캡슐의 형태를 광학현미경과 SEM을 이용하여 관찰하여 Figure 1에 나타내었다.

PCL 마이크로캡슐은 1차 W/O 에멀전을 위한 유화제와 2차 W/O/W 에멀전 시스템을 위한 유화제로 각각 Span80과 PVA를 사용하였을 때, Figure 1 (a)에서 보는 바와 같이 약 15 μm의 입자크기를 갖는 안정한 구형의 형태를 나타내는 것을 확인하였다. 마이크로캡슐의 형성은 1차 W/O 시스템에서 안정화된 슈도모나스 에멀전은 2차 W/O/W 상에서 안정하게 분산되고 벽재물질로 PCL의 첨가시 고분자는 슈도모나스 표면에 침착되어 마이크로캡슐을 형성하고 용매의 완전한 증발과 함께 안정한 구형의 마이크로캡슐이 형성된다.<sup>16</sup> 추가적으로 SEM을 이용하여 제조된 마이크로캡슐의 표면을 확인한 결과 매끄러운 표면을 갖는 마이크로캡슐의 형성을 확인하였으며, 이는 본 실험에서 사용된 액중건조 시스템은 마이크로캡슐의 형성시 용매의 급격한 휘발 및 기타 부반응에 의한 마이크로캡슐 표면에 미세기공의 형성과 마이크로캡슐간의 응집이 없는 안정한 시스템을 확인할 수 있었다.

**유화제의 농도의 영향.** 마이크로캡슐의 제조를 위한 유화제의 농도 및 종류는 마이크로캡슐의 제조에 커다란 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.<sup>17</sup> PCL 마이크로캡슐의 제조시, 유화제의 함량이 미치는 영향을 비교하기 위하여 W/O 에멀전 유화제로 사용된 Span80의 양은 1%로 고정하고, W/O/W 에멀전 유화제로 사용된 PVA의 양을 각각 1, 2, 3, 그리고 4%로 변화시켜 마이크로캡슐을 제조하였다.

그리고 유화제의 함량에 따라 제조된 PCL 마이크로캡슐의 SEM 사진과 평균 입자크기를 Figures 2와 3에 나타내었다.

Figure 2는 유화제의 양에 따라 제조된 마이크로캡슐의 SEM 사진을 나타낸 것으로써, 마이크로캡슐의 제조를 위하여 1%의 상대적으로 적은 양의 유화제를 사용한 경우 입도 분포가 넓고, Figure 3에서 보는바와 같이 입자크기

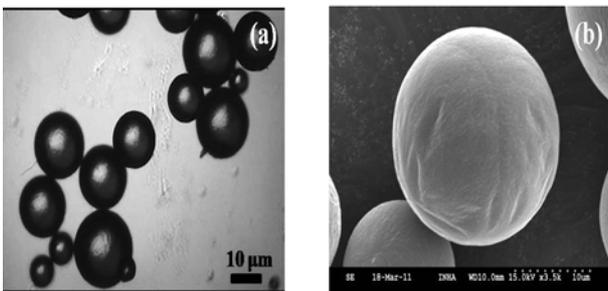


Figure 1. (a) OM images; (b) SEM images of prepared microcapsules containing pseudomonas.

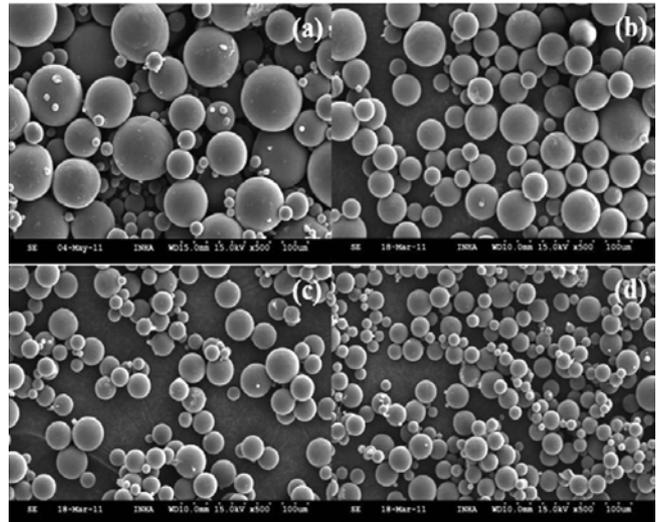


Figure 2. SEM images of the microcapsules prepared with different PVA contents; (a) 1%; (b) 2%; (c) 3%; (d) 4%.

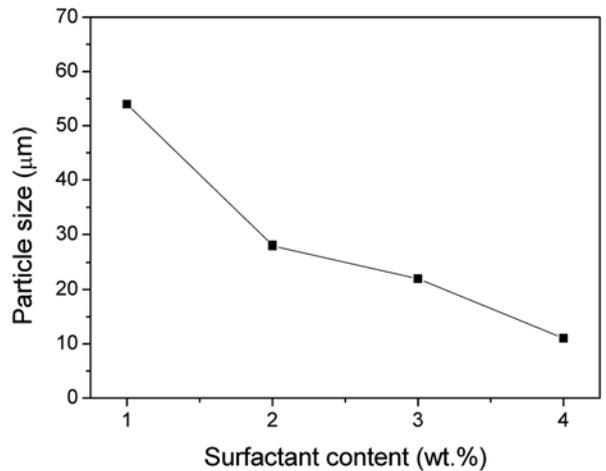


Figure 3. Particle size of the microcapsules prepared with different surfactant contents.

(52 μm)가 매우 큰 형태의 마이크로캡슐이 형성되는 것을 확인하였다. 이는 적은 유화제의 양은 에멀전 시스템의 안정화를 낮추어 액상에 분산된 슈도모나스의 표면에 벽재물질로 사용된 PCL간의 응집에 의한 PCL의 침착 양의 증가에 기인하는 것으로 판단된다. 반면에, 유화제의 함량의 증가와 함께 1%의 유화제를 사용한 경우와 비교하여 입도 분포가 감소하며 입자 크기가 감소된 안정한 구형의 마이크로캡슐이 형성되는 것을 관찰할 수 있었고 Figure 3으로부터 입자 크기는 약 10~30 μm로 작아지는 것을 확인하였다. 이는 유화제의 양이 증가함에 따라 유기상의 분산능력이 증가하고 입자표면에 유화제가 안정한 분자층을 형성하여 이들의 상호 반발력에 의하여 벽재물질의 입자간

유착을 방해하기 때문으로 판단된다. 마이크로캡슐의 제조시, 유화제는 연속상에서 안정한 에멀전 형성을 유도하고 액중건조법에 의해 형성된 마이크로캡슐 입자에 안정성을 부여하기 위하여 사용되며, 이러한 특성으로 인하여 Figure 2와 같이 유화제의 함량이 증가할수록 연속상에 분산된 입자의 분산성의 증가와 입자 상호간의 응집은 저하되어 최종적으로 마이크로캡슐의 평균 입자크기는 감소하는 것을 확인할 수 있었다.<sup>18,19</sup>

**교반속도에 대한 영향.** 다양한 분야에서 마이크로캡슐을 적용하는 경우, 입자 형태 및 크기는 매우 중요한 요소로 알려져 있다. 입자의 형상 및 크기를 제어하는 가장 일반적인 방법에는 교반속도를 제어하는 방법이 있으며, 캡슐화 효율성 역시 마이크로캡슐 제조시 교반속도에 많은 영향을 받는다고 알려져 있다.<sup>20,21</sup>

교반속도에 따른 마이크로캡슐 입자의 형태 및 크기를 비교·분석하기 위하여 유화제의 농도를 1%로 고정하고, 동일시간 동안 교반속도를 300, 500, 1000, 그리고 1500 rpm으로 각각 변화시켜 마이크로캡슐을 제조하였다. 또한 교반속도에 의한 마이크로캡슐의 특성을 관찰하기 위하여 SEM과 입도분석기를 이용하여 형태 및 입도분포를 Figures 4와 5에 각각 나타내었다.

Figure 4에서와 같이 모든 교반속도에서 마이크로캡슐의 형태는 커다란 변화 없이 안정한 구의 형태를 나타내었고 교반속도의 증가에 따라 마이크로캡슐의 입자 크기는 감소하는 것을 확인하였다. 하지만 낮은 교반속도(300 rpm, Figure 4(a))에서 마이크로캡슐의 입도분포는 다분산성을 나타내었으며 큰 평균입자 크기(>50  $\mu\text{m}$ )를 나타내었고, 반면에 교반속도의 증가와 함께 마이크로캡슐의 입도분포는 다분산성에서 단분산성 변화하였으며 입자크기는 감소하였고, 1500 rpm에서 제조된 마이크로캡슐의 평균 입자크기가 약 20  $\mu\text{m}$  이하로 제조되어 교반속도가 증가함에 따라 평균 입자크기가 감소하는 것을 알 수 있었다.

교반속도에 따른 마이크로캡슐의 입도분포는 입도분석기를 이용하여 추가적으로 확인을 하였고, Figure 5에 나타내었다. Figure 5에서 보는 바와 같이 상대적으로 낮은 교반속도(300 rpm, Figure 5(a))에서 얻어진 마이크로캡슐은 다분산성의 입도분포를 보임을 확인할 수 있었다. 그러나 교반속도 증가와 함께 입자크기의 감소와 함께 단분산성의 마이크로캡슐이 형성되는 것을 알 수 있었다 (Figure 5(d)). 일반적으로 최종적으로 생성된 마이크로캡슐의 입자크기는 마이크로캡슐의 제조를 위한 교반공정에서 발생하는 전단력에 의한 에멀전의 크기와 밀접한 관계가 있다고 알려져 있으며, 이로써 마이크로캡슐의 평균 입자크기는 교반속도 증가에 의해 감소된 에멀전의 크기와 분산성의 증가로 마이크로캡슐의 작은 입자크기와 단분산성을 보이는 것으로 판단된다.<sup>22,23</sup>

**PCL 마이크로캡슐의 열적 특성.** 벽재물질의 농도에 따른 마이크로캡슐의 열적특성을 살펴보기 위하여 교반속도를 1500 rpm 그리고 유화제의 농도를 1%로 고정하였으며,

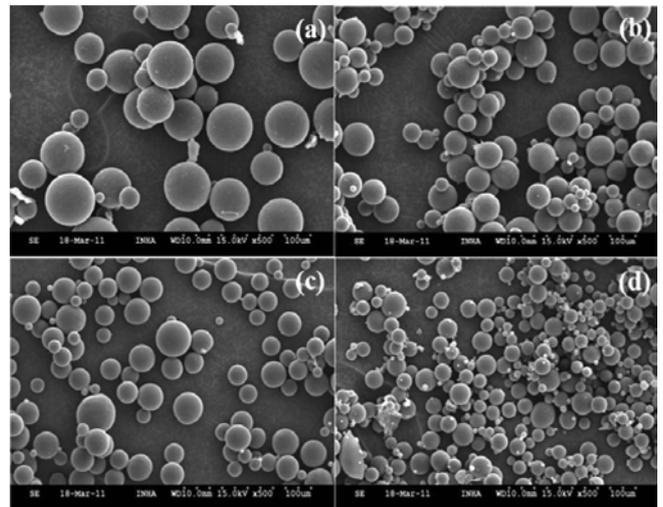


Figure 4. SEM images of the microcapsules prepared with different stirring rates; (a) 300 rpm; (b) 500 rpm; (c) 1000 rpm; (d) 1500 rpm.

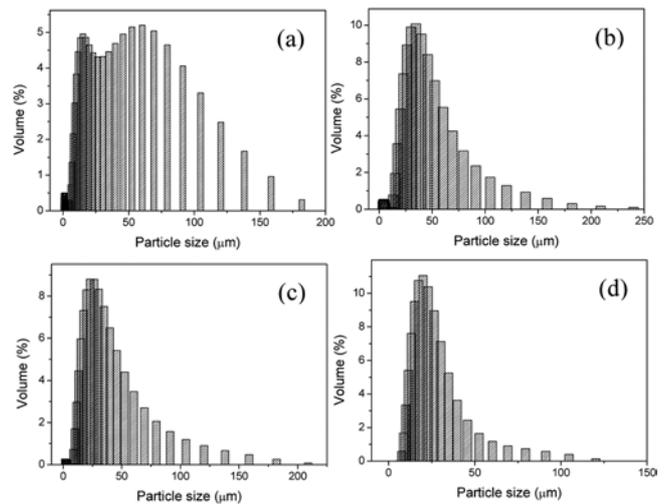


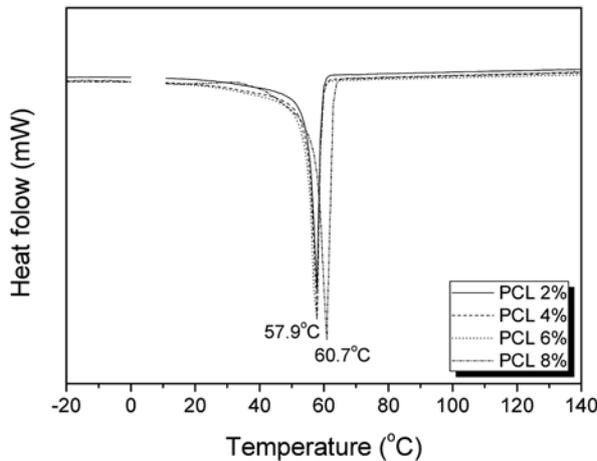
Figure 5. Particle size distribution of the microcapsules prepared with different stirring rates.

PCL의 양을 2, 4, 6, 그리고 8%로 변화시켜 마이크로캡슐을 제조하였다. DSC에 의한 마이크로캡슐의 열분석도를 Figure 6에 나타내었고, 그 값을 Table 1에 나타내었다.

열분석도의 분석 결과, 낮은 용융온도를 갖는 PCL의 특성으로 2~6% PCL이 사용된 마이크로캡슐의 용융온도 ( $T_m$ )는 약 57.9°C로 서로 비슷한 값을 보였고, 8% PCL이 사용된 마이크로캡슐은 상대적으로 높은 용융온도 (60.7°C)를 보이는 것을 확인할 수 있었다. 또한 PCL 마이크로캡슐의 용융열( $\Delta H$ )는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.<sup>24</sup>

$$\Delta H_m = K A \quad (1)$$

여기서,  $m$ 은 샘플의 양,  $K$ 는 보정 계수, 그리고  $A$ 는 피



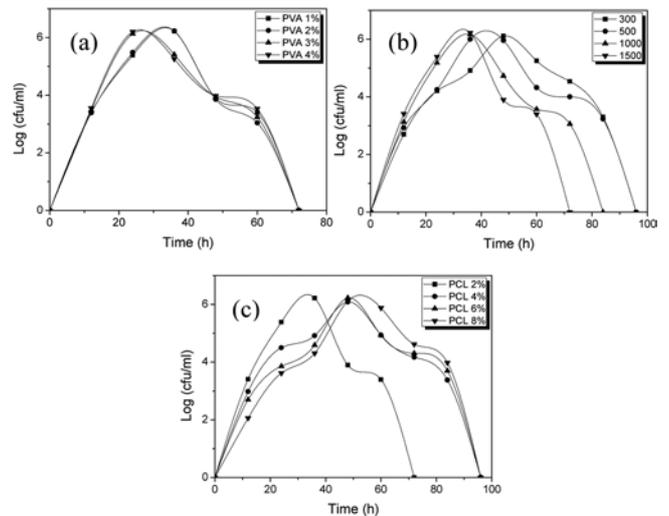
**Figure 6.** DSC thermograms of the microcapsules prepared with different PCL contents (2 to 8%).

**Table 1. Melting Temperature and Melting Enthalpy of the Microcapsules as a Function of PCL Content**

SA	PCL 2%	PCL 4%	PCL 6%	PCL 8%
$T_m(^{\circ}\text{C})$	57.8	57.8	57.9	60.9
$\Delta H_m(\text{J/g})$	160.2	178.7	204.5	267.4

크의 면적을 나타낸다.  $\Delta H_m$ 의 경우, 사용된 PCL의 양이 증가할수록 용융 엔탈피(179~267 J/g)는 점점 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 마이크로캡슐의 제조를 위한 기본 조건이 동일하고 벽재물질로 사용된 PCL의 사용량이 증가할 경우, 동일한 조건에 의해 분산된 슈도모나스의 표면에 대하여 흡착되는 PCL의 양의 증가에 의하여 마이크로캡슐의 용융을 위한  $\Delta H_m$ 은 증가하는 것으로 판단된다.

**슈도모나스의 방출특성.** 슈도모나스를 이용한 토양 내 유해 유기물의 분해 및 제거를 통한 토양개질 및 병해충의 제거를 위해서는 오랜 시간(수시간 내지 48시간 이상)이 소요된다고 알려져 있다. 따라서 슈도모나스의 효과적인 사용을 위해서는 토양 내에서 균일한 개체수의 유지와 오랜 시간 생존은 매우 중요하다 할 수 있다. 이러한 슈도모나스의 캡슐화를 통한 저장 및 방출 제어는 그들의 효율적인 사용을 위한 방법 중 하나이다. 일반적으로 마이크로캡슐로부터 심물질의 방출특성은 제조된 마이크로캡슐의 크기 및 형태학에 많은 영향을 받는다고 알려져 있다.<sup>25,26</sup> 따라서 본 연구에서는 마이크로캡슐의 제조 조건에 따른 슈도모나스의 방출특성을 확인하기 위하여 유화제 함량, 교반속도, 그리고 벽재물질의 함량을 변화시켜 마이크로캡슐을 제조하였고, 셀 배양법을 이용하여 슈도모나스의 방출거동 변화를 Figure 7에 나타내었다. Figure 7에서 보는 바와 같이, 마이크로캡슐로부터 슈도모나스의 방출속도는 마이크로캡슐의 제조조건에 따라 조절할 수 있었다. 유화제 함



**Figure 7.** Release behaviors of the microcapsules prepared with different (a) surfactant contents; (b) stirring rates; (c) PCL contents.

량과 교반속도의 증가와 함께 슈도모나스의 방출시간은 빨라지는 것을 확인하였으며, 이는 앞서 언급한 바와 같이 유화제 함량과 교반속도 증가에 의해 감소된 마이크로캡슐의 입자크기에 기인하는 것으로 판단된다.

일반적으로 입자의 크기는 물질의 비표면적과 비례하며, 마이크로캡슐의 입자가 감소함에 따라 마이크로캡슐의 비표면적은 증가하고 용출액 내에서 반응하는 비표면적의 증가로 인하여 슈도모나스의 방출시간이 감소되는 것으로 판단된다. 반면에, PCL 함량의 증가와 함께 슈도모나스의 방출시간은 증가하는 것을 관찰할 수 있었으며, 이는 벽재물질로 사용된 PCL 함량의 증가는 벽재의 두께를 증가시키고 이는 마이크로캡슐의 내부로 용출액의 확산을 감소시켜 고분자의 팽윤속도와 고분자의 가수분해 속도의 감소로 인하여 서방특성을 나타내는 것으로 판단된다. 이러한 결과들로부터 슈도모나스의 방출특성은 마이크로캡슐의 제조조건에 매우 밀접한 관계를 가짐을 확인할 수 있었고, 또한 다양한 제조 공정에 따라 슈도모나스의 방출속도의 제어가 가능함을 확인하였다.

## 결론

슈도모나스/poly( $\epsilon$ -caprolactone)(PCL) 마이크로캡슐은 다중에멀전 공정을 이용한 액중건조법에 의하여 제조하였고, 마이크로캡슐로부터 슈도모나스의 방출거동에 대하여 조사하였다. 주사전자현미경과 입도분석기를 통하여 다양한 제조 조건에 따라 제조된 PCL 마이크로캡슐은 10~60  $\mu\text{m}$ 의 입자크기를 나타내었고, 표면이 매끈하고 균일한 구형의 마이크로캡슐이 형성됨을 확인하였다. DSC 결과로부터, PCL 마이크로캡슐은 사용된 PCL 함량의 증가에 따라 용융열이 증가함으로써 벽재의 두께는 투여된 PCL 함량에 비례함을

확인할 수 있었다. 또한 마이크로캡슐로부터 슈도모나스의 방출속도는 유화제 함량, 교반속도, PCL 함량에 따라 조절이 가능하며 이는 유화제양과 교반속도 증가에 따른 입자 크기의 감소에 따른 비표면적 증가와 벽재물질의 두께 증가에 의한 방출속도의 감소에 의한 것을 판단된다.

**감사의 글:** 본 연구는 지식경제부의 초광역권 사업의 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

1. K. Scherwinski, R. Grosch, and G. Berg, *FEMS Microbiol. Ecol.*, **64**, 106 (2008).
2. M. S. Cha, E. G. Lim, K. H. Lee, S. J. Cho, H. J. Son, and S. J. Lee, *J. Environ. Sci.*, **11**, 177 (2002).
3. A. K. Karamalidis, A. C. Evangelou, E. Karabika, A. I. Koukkou, C. Drainas, and E. A. Voudrias, *Bioresource Technol.*, **101**, 6545 (2010).
4. M. I. Van Dyke and J. I. Prosser, *Soil Biology Biochem.*, **32**, 1377 (2000).
5. V. O. Stockwell and J. P. Stack, *Phytopathology*, **97**, 244 (2007).
6. D. M. Weller, *Phytopathology*, **97**, 250 (2007).
7. M. Svercel, J. Hamelin, B. Duffy, Y. Moënne-Loccoz, and G. Défago, *Soil Biology Biochem.*, **42**, 466 (2010).
8. P. M. Johansson and S. A. I. Wright, *Appl. Environ. Microbiol.*, **69**, 6464 (2003).
9. D. E. Mathre, R. J. Cook, and N. W. Callan, *Phytopathology*, **83**, 972 (1999).
10. S. J. Park, K. S. Kim, and S. H. Kim, *Colloids Surf. B*, **43**, 238 (2005).
11. J. M. Park and S. J. Park, *Macromol. Res.*, **18**, 1191 (2010).
12. J. P. Benoit, H. Marchais, H. Rolland, and V. V. Velde, *Microencapsulation Methods and Industrial Applications*, Simon Benita, Marcel Dekker, New York, 1996.
13. B. Erdem, E. D. Sudol, V. L. Dimonie, and M. S. El-Aasser, *J. Polym. Sci. Chem.*, **38**, 4441 (2000).
14. K. Kooiman, M. R. Böhmer, M. Emmer, H. J. Vos, C. Chlon, W. T. Shi, C. S. Hall, S. H. P. M. de Winter, K. Schroën, M. Versluis, N. de Jong, and A. van Wamel, *J. Control. Release*, **133**, 109 (2009).
15. A. Loxley and B. Vincent, *J. Colloid Interface Sci.*, **208**, 49 (1998).
16. K. S. Kim and S. J. Park, *Colloids Surf. B*, **76**, 404 (2010).
17. G. Yilmaz, R. O. J. Jongboom, H. Feil, and W. E. Hennink, *Carbohydr. Polym.*, **45**, 404 (2001).
18. A. Kim, S. J. Park, and J. R. Lee, *J. Colloid Interface Sci.*, **197**, 119 (1998).
19. P. Valot, M. Baba, J. M. Nedelec, and N. Sintes-Zydowicz, *Int. J. Pharm.*, **369**, 53 (2009).
20. F. J. Arriagada and K. O. Asare, *J. Colloid Interface Sci.*, **211**, 210 (1999).
21. M. Kilicarslan and T. Baykara, *Int. J. Pharm.*, **252**, 99 (2003).
22. P. B. O'Donnell and J. W. McGinity, *Adv. Drug Deliver. Rev.*, **28**, 25 (1997).
23. H. Rafati, A. G. A. Coombes, J. Adler, J. Holland, and S. S. Davis, *J. Control. Release*, **43**, 89 (1997).
24. S. J. Park and K. S. Kim, *Colloids Surf. B*, **43**, 138 (2005).
25. A. Bachtisi and C. Kiparissides, *J. Control. Release*, **38**, 49 (1996).
26. J. R. Hunter, *Foundations of Colloid Science*, Clarendon Press, Oxford, 1987.