

마이크로캡슐의 제조와 내부구조제어

김혜인 · 박수민

부산대학교 응용화학공학부 유기소재시스템공학전공

1. 서 론

마이크로캡슐(microcapsule)은 불안정하거나 지속성이 약한 유효성분을 고유의 화학적 성질의 변화없이 직경 수 마이크로미터에서 수백 마이크로미터($1\mu\text{m}=1/1000\text{mm}$)의 미소용기로 싸서 천천히 혹은 어떤 다른 외부자극에 따라 그 목적물질을 외부로 방출시키거나 보호하는 것이다. 이 캡슐의 벽막은 천연 및 합성고분자, 세라믹, 유·무기 복합재료로 둘러싸거나 코팅하는 기술에 의한다.

복합미립자인 마이크로캡슐의 형상과 구조는 사용하는 물질 즉 심물질과 벽재의 물리화학적 성질, 조제방법 등에 따라서 결정되는데 (1)심물질의 분산 상태에 따라 피복형과 내부분산형, (2)캡슐형태에 따라서는 구형단핵형, 구형다핵형, 이형다핵형, 이형단핵형이 있다. 이들 중 어떤 형상과 구조가 좋은 것인가는 용도에 따라 다르다.

마이크로캡슐의 기능은 다음의 4분야로 나눌 수 있다. (1)반응성이 높은 물질과 환경에 악영향을 미치는 물질을 마이크로캡슐화하는 것에 의해 심물질을 장시간 보호, 격리하는 기능, (2)심물질을 필요할 때에 캡슐벽을 파괴하여 순식간에 방출하는 기능, (3)심물질을 몇 개월, 반년, 수년단위로 긴시간에 걸쳐서 방출하는 서방성 기능, (4)기체와 액체를 캡슐

화하는 것에 의해 겔보기상의 고체로 취급가능하게 하는 기능, 이외에도 색 은폐, 자극 응답성의 부여, 비중의 조정, 표면 개질 등 많은 기능이 있다.

이러한 마이크로캡슐의 응용¹⁾은 폴리머로서 생체적 합성 재료를 사용하면 의료치과재료로 사용할 수 있고, 또한 가식성재료를 사용하면 식품분야에 응용이 가능하다. 또한 농약, 의약을 캡슐내에 넣으면 농업, 의약분야에 응용도 가능하게 되고 각종의 화학물질을 캡슐화하는 것으로 다방면의 화학공업에도 사용가능한 캡슐을 만드는 것이 가능하다. 마이크로캡슐을 구성하는 폴리머와 내부에 봉입되는 심물질의 조합에 의해서 다방면의 분야, 예를 들면 기록정보, 토목, 건축, 식품, 농약, 의약품, 의류, 화장품, 도로 등의 분야에서 여러 가지 응용이 가능하므로 광범위한 분야에서의 응용을 염두해 두고 활발한 연구가 진행되고 있다.

이와 같이 마이크로캡슐은 심물질로서 고체, 액체 또는 기체를 함유하고 있는 용기로서 각종의 분산계형태(예를들면, 액/액 분산계, 고/액 분산계, 고/기 분산계)를 이용해서 화학적 방법, 물리화학적 방법, 기계적 방법으로 제조되고 있다. 이들 마이크로캡슐은 부여한 기능에 따라 여러 분야에서 응용되고 있으며 마이크로캡슐이 발현하는 기능은 마이크로캡슐의 구조에 따라, 바꾸어 말하면 마이크로캡슐 내 심물질의 분산상태에 따라 대부분 좌우된다.

마이크로캡슐의 내부구조를 심물질의 분산상태로부터 분류해 보면 다음과 같다.

①단핵형 마이크로캡슐

심물질이 캡슐매트릭스 내부에 있는 형태로 단일의 입자, 액적, 기포로서 분산되어 있는 구조의 캡슐이다. 이 구조는 캡슐화의 초기공정에는 다수의 미소입자, 액적, 기포로서 분산되어 있지만 캡슐화 과정에 응집(flocculation), 합일(coalescence)되어 단일의 입자, 액적, 기포로서 분산되는 결과로 형성되는 것이다.

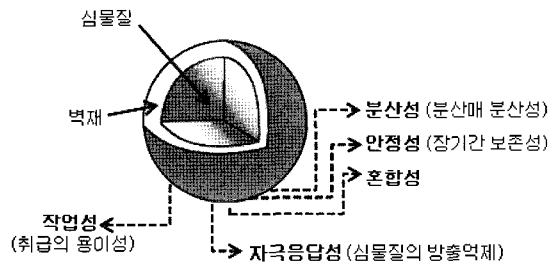


Fig. 1. 마이크로캡슐의 기본구조¹⁾.

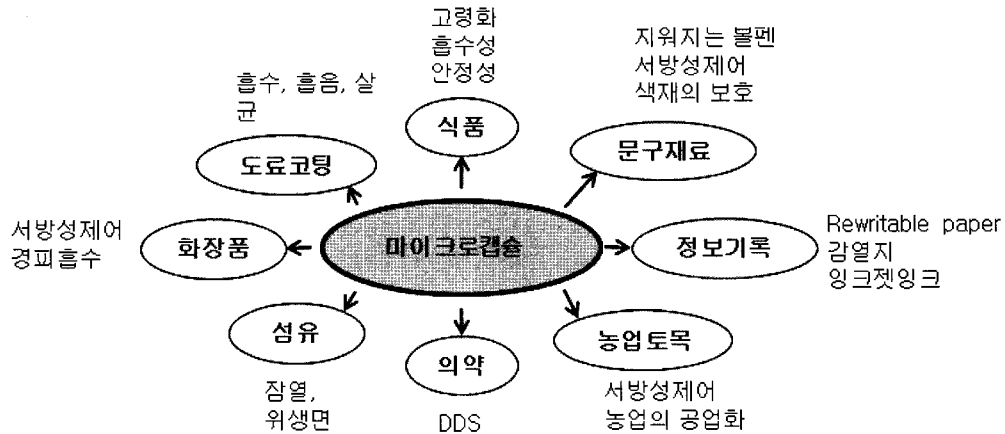


Fig. 2. 마이크로캡슐의 응용분야.

②다핵형 마이크로캡슐

심물질이 캡슐매트릭스내에 다수의 입자, 액적, 기포로서 분산된 구조의 캡슐이다. 이 구조는 캡슐화의 초기공정에서부터 다수의 입자, 액적, 기포의 안정한 분산이 유지되어 만들어진다.

③매트릭스형 마이크로캡슐

심물질이 캡슐매트릭스내에서 분자수준의 크기로 또는 미립자로서 분산되어 있는 구조의 캡슐이다. 이 구조는 캡슐화의 초기공정에서는 균일상의 매트릭스로 존재하여도 캡슐화의 과정에 석출, 응집, 상분리 등이 나타나 형성되는 것이 있다.

심물질로서의 고체, 액체, 기체의 성분을 캡슐제조 과정에 미분말, 미소액적, 미소폼으로서 벽재 용액중에서 안정하게 분산시키는 것이 캡슐효율을 향상시키기 위해서 선행되어야 한다. 이렇게 이들 심물질의 분산안정성이 캡슐내부구조를 좌우하므로 캡슐화공정의 과정에 이들 심물질의 안정성을 어떻게 컨트롤하는가가 가장 중요하다.

2. 마이크로캡슐의 제조법

캡슐은 크기에 따라 센티캡슐(1cm이하), 밀리캡슐(1mm이상 1cm미만), 마이크로캡슐(1μm 이상 1mm 미만) 등이 있다. 사용목적 면에서는 마이크로캡슐의 사이즈가 많이 이용되고 있지만 현재 나노캡슐에 관한 연구가 이뤄지고 있고 장래 각 분야에 응용이 기대되고 있다.

마이크로캡슐의 제조원리²⁻⁵⁾는 심물질을 미립자상으로 해서 적절한 매질 중에 분산시키고 다음에 미립자의 각각에 막을 씌워서 피복한다. 앞의 과정은

분산과정의 일종으로 이들을 효과적으로 이행하기 위해서는 콜로이드과학의 지식과 분산기술의 성과를 충분히 활용하는 것이 필요하다. 후의 과정은 코팅작업의 일종으로 마이크로캡슐화(microencapsulation)라고 하며, 고분자과학, 물질과학, 코팅기술에 관한 정보를 유용하게 이용하는 것이 중요한 성공의 포인트이다. 마이크로캡슐화의 방법은 다수 고안되어 있고 이들의 대부분은 특허화되어 있지만, 대별해보면 화학반응을 이용한 화학적 방법, 물리화학적 변화를 이용하는 물리화학적 방법 및 물리적 내지는 기계적 조작을 이용하는 물리·기계적 방법으로 분류된다. 봉입하고자 하는 물질의 물리화학적, 생화학적 성질 및 사용하는 막의 물성, 마이크로캡슐화의 목적, 즉 마이크로캡슐화에 의해 어떤 기능을 부여할 것인가에 따라서 마이크로캡슐화의 방법은 다르고 지금까지 여러 방법이 고안되고 있다.

Table 1. 마이크로캡슐의 제조법

화학적 방법	계면중합법 In situ 중합법 액중 경화 피복법(orifice법)
물리화학적 방법	상분리법 액중 건조법 용해 분산 냉각법 내포물 교환법 분상(粉床)법
기계적, 물리적인 방법	Pan coating법 기중 현탁법(Wurster법) Spray-drying법 진공 증착 피복법 정전적 합체법

2.1 계면중합법

계면중합법은 혼합되지 않는 2개의 용매 중에 모노머를 용해하여 양액의 계면에서 고분자를 합성하는 계면중합반응을 이용해서 마이크로캡슐을 제조하는 방법⁶⁻⁹⁾이다. 수용성모노머를 함유한 용액(수상)을 혼합되지 않는 용매 중(유상)에 미세한 액적으로 분산시키고 여기에 유용성 모노머를 가해서 교반하면 수상과 유상의 계면에서 중합반응이 일어나서 고분자 막이 생성됨으로서 수상을 함유한 마이크로캡슐이 얻어진다. 반대로 초기에 O/W emulsion을 조제하고 외상에 수용성의 모노머를 가하는 것에 의해서 유상을 함유한 마이크로캡슐을 제조하는 것도 가능하다.

계면중합법에 의한 마이크로캡슐막의 합성과정은 3단계로 나누어 볼 수 있다.

- ① 고분자 중합의 초기과정
- ② 액적의 주변에 초기의 고분자막이 형성되는 과정
- ③ 고분자막이 성장하여 마이크로캡슐막이 되는 과정

이들의 과정은 모노머의 농도, 분배계수, 2상의 체적비, 계면활성제, 완충액, 심물질 등의 첨가물의 종류와 농도, 교반기의 종류와 교반속도, 고분자의 중합속도와 고분자의 분자량, 고분자중합 중의 온도, 고분자화학구조와 결정구조, 양상의 고분자용매 상용성의 정도 등의 원인에 의해서 지배된다.

2.2 In situ 중합법

서로 혼합되지 않는 2상의 어느쪽이 한쪽의 상에 모노머와 촉매를 용매로해서 계면에서 중합반응을 일으켜 심물질의 표면에 균일한 막을 형성하는 것이 in situ 중합법¹⁰⁻¹²⁾이다. 원리는 친수성모노머 또는 소수성모노머의 어느 한쪽이나 이들의 프레폴리머를 이용해서 마이크로캡슐막을 중합하는 것으로 심물질은 액체에 한정되지 않으며 고체나 기체도 가능하다.

라디칼중합성모노머를 캡슐막의 소재로서 이용하는 방법을 in situ 라디칼중합법이라고 하지만 캡슐막의 형성은 심물질의 내측으로부터 폴리머가 침전해서 만들어지는 경우와 심물질의 외측으로부터 침전되어서 만들어지는 경우가 있다.

2.3 액중경화피복법(orifice법)

유기용제 용해성 또는 수용성고분자의 경화반응을 이용한 방법이다. 일반적으로 미리 크기를 조정된 심물질의 표면을 피막물질로 캡슐화해서 마이크

로캡슐을 제조한 뒤, 그 피막을 경화액 중에서 경화하는 방법^{13,14)}이다. 막물질은 초기부터 제조된 고분자를 이용하고 이것을 불용화시키기 위해서 막형성은 상당한 속도로 진행된다. 따라서 캡슐화에 있어서 심물질을 함유한 고분자 용액은 미리 정형해 놓을 필요가 있다. 정형을 위해서 즉, 크기를 조정할 목적으로 orifice가 이용되므로 orifice법이라고도 한다. orifice 기구에 의해서 마이크로캡슐화의 능률이 좌우된다.

2.4 상분리법

고분자용액이 그 환경을 변화시키는 것에 의해서 극히 농후한 분산상과 연속상으로 분리되는 현상을 코아세르베이션(coacervate), 만들어진 농후액적을 코아세르베이트(coacervate)라고 한다^{15,16)}. 이 코아세르베이트를 심물질을 함유하는 막으로 응용한 것이 NCR사의 감압복사지이다. 상분리는 열역학적 평형상태으로 상분리유도제를 첨가하는 것에 의해 단일상의 안정하게 존재하던 것이 불안정하게 되고 회합에 의해서 계의 자유에너지가 저하되어 상분리가 일어난다. 상분리는 1종류의 고분자상분리를 이용하는 심플코아세르베이션법과 2종이상의 고분자를 이용하는 콤플렉스코아세르베이션법이 있다. 범용고분자로서는 전자는 수용액계에서 상분리되는 젤라틴, 유기용매계에서의 에틸셀룰로오스가 있다. 후자는 젤라틴과 아라비아고무와의 정전기적 상호작용을 이용한 것이 있다.

2.5 액중 건조법

벽물질이 될 고분자를 용해시킨 용매 중에 심물질이 될 용액이나 고체를 분산시켜 이들 용액을 혼합되지 않는 용매에 분산시킨다. 그 후에 최초의 용매를 서서히 제거하여 고분자를 심물질의 계면에서 석출시키는 방법으로 개면침전법¹⁷⁾이라고도 한다.

1차 분산액인 에멀전 또는 서스펜전의 안정성이 캡슐의 수율에 큰 영향을 미치며 안정성이 나쁘면 생성율이 저하한다. 또한 일반적으로 단핵의 캡슐은 수율이 낮지만 이 방법은 대부분의 고분자에 이용이 가능하고 제조도 비교적 용이하므로 응용예가 많다.

2.6 용해분산 냉각법

가열하면 용해하고 냉각시키면 고화하는 왁스의 성질을 이용한 방법으로 왁스에 한정하지 않고 소수성이면서 뚜렷한 용점을 가지는 물질은 이용이

가능하다. 왁스와 섞이지 않는 용제 중에 왁스를 분산시키고 왁스의 용점이상으로 가열한다. 이 과정에 잘 교반하여 수 μm 의 왁스에멀전을 만든다. 여기에 심물질을 투입해서 용해한 왁스를 모으고 서서히 냉각시키면 심물질의 주변에 왁스가 침적해서 캡슐이 제조된다. 가열에 의해 캡슐이 붕괴되어 심물질을 방출된다고 하는 점에서 복사기의 토너캡슐¹⁸⁾로 이용되고 있다.

2.7 내포물교환법

내장된 심물질을 캡슐피막의 팽윤성이 있는 단계에 방출시키고 그 대신에 친화성이 있는 심물질을 캡슐내에 넣는 방법^{19,20)}이다. 이 과정은 평행상태로 진행되므로 동시교환이라고도 한다.

2.8 분상(粉床)법

심물질의 표면에 피막물질을 공기 중에서 부착시키는 방법이다. 액적이 미세한 흙먼지 위에 떨어지면 퍼지지 않고 먼지를 부착하여 그대로 있는 일반적인 현상이 분말법의 원리이다.

2.9 Pan-coating법

Pan-coating법은 로 의약품의 마이크로캡슐화에 이용되고 있다. 팬을 회전하는 것에 의해 입자가 혼합되어 내부의 입자가 표면으로 나오고, 회전시키는 상부에서 벽재물질을 분무하면 입자의 주변에 균질하게 벽재물질이 도포되는데 이것을 건조하는 것에 의해 캡슐화 된다.

2.10 기중현탁피복법(Wurster법)

저부로부터 송풍된 공기의 유속은 상부의 넓은 부분에서 급속히 저하한다. 따라서 공기에 의해서 상승된 고체상의 심물질은 다시 저부로 향해서 떨어진다. 이 과정에 순환하고 있는 심물질의 표면에 벽재용액을 분무하면 코팅이 이뤄진다. 어느 정도 코팅되면 무게가 있으므로 송풍에 의해서 상승하는 것 없이 저부에 모인다. 효율성을 위하여 기류의 발생방법, 속도, 분무노즐의 형, 위치 등이 검토되고 있다.

2.11 Spray-drying법

액적을 미세하게 분산시켜 열풍 중에 불어 넣어 주변 눈깜박할 사이에 건조된다. 세분화에 의해 비표면적이 증대함으로써 용매의 증발이 용이하기 때

문이다. 이 기술은 분유와 합성세제 등의 건조에 폭 넓게 이용되고 있고 직접 캡슐화에 이용하는 이외에 상분리법과 계면중합법으로 제조한 캡슐슬러리의 건조에도 많이 이용된다. 상당히 고온의 열풍에 불어넣는 것으로 원칙적으로는 열에 불안정한 물질의 캡슐화에는 적합하지 않지만 접촉시간이 몇 초로 짧고 용매의 증발에 의한 냉각효과 등에 의해 산소 등의 캡슐화도 가능하다²¹⁾고 알려져 있다.

2.12 진공증착피복법

진공금속증착법을 활용하여 진공계중에서 피막물질의 증기화와 심물질에의 균일한 증착이 문제이다. 즉 이 방법은 미국 NCR사가 자체의 금속진공증착기술을 마이크로캡슐화에 이용한 것이다. 심물질은 고체분자이며 피막물질은 금속, 금속의 산화물, 할로겐화물, 왁스, 파라핀 등이 이용된다²²⁻²³⁾.

2.13 정전적합체법

아토마이저에 의해 심물질과 피막물질의 입자에 각각 반대의 전하를 부여하고 공기중에서 정기인력에 의해 합체시켜 캡슐화하는 방법이다.

3. 마이크로캡슐의 내부구조제어

캡슐화 공정에 있어서 심물질의 분산상태에 따른 캡슐내부구조를 Fig. 3²⁴⁾에 나타내었다. 캡슐화 공정에 있어서 심물질미립자의 분산거동은, 벽재용액인 내부연속상에 분산상인 심물질 미립자를 분산시켜 1차 분산계를 제조한다. 이 1차 분산계는 심물질이 고체미분말, 미소액적, 미소품인 경우 각각 고/액 분산계, 액/액 분산계, 기/액 분산계가 된다. 이후 이 1차 분산계를 연속상에 첨가, 교반하는 것에 의해서 2차 분산계를 제조한다. 이때의 분산액적[(고/액)적, (액/액)적, (기/액)적]의 크기가 최종적인 마이크로캡슐의 크기를 좌우한다.

이 2차 분산계 조정 과정에 1차 분산 액적내에서 심물질이 응집하던지 합일되면 분산액적으로부터 탈리가 쉽게 되어 결과로서 캡슐화의 효율이 저하하게 된다. 이 때문에 심물질의 안정성을 유지하기 위하여 계면활성제 첨가, 심물질의 표면개질, 벽재용액의 점성을 증가시키게 된다. 이 같은 방법으로 조절된 심물질의 안정성에 따라 최종적인 마이크로캡슐의 내부구조가 결정된다.

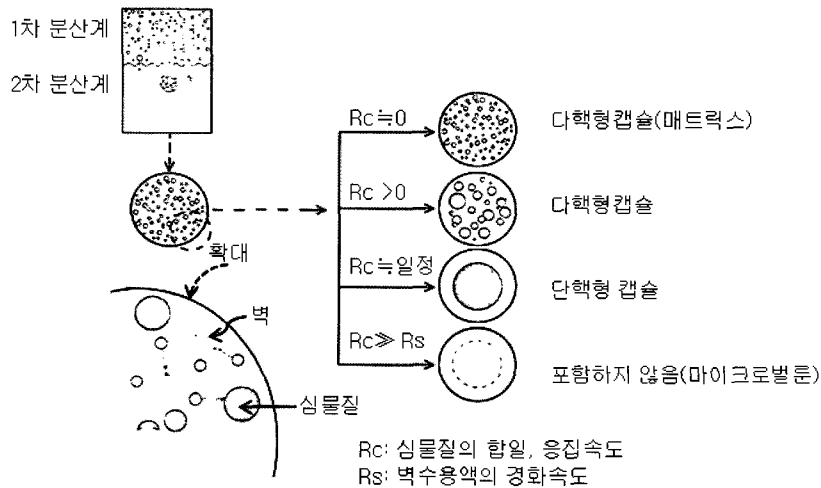


Fig. 3. 마이크로캡슐의 안정성과 내부구조.

- ① 심물질이 캡슐화공정에서 처음부터 끝까지 안정하게 유지되는 경우, 즉 캡슐화의 과정에 합일과 응집이 억제(합일, 억제속도 $R_c=0$)되면 다핵성 또는 매트릭스형 캡슐이 된다.
- ② 심물질이 캡슐화공정에서 어느 정도 합일이나 응집(합일, 억제속도 $R_c>0$)되면 다핵성 마이크로캡슐이 된다.
- ③ 심물질이 캡슐화공정에서 합일, 응집(합일, 억제속도 $R_c=\text{일정한 값}$)하게 되면 단일입자로 성장하여 단핵성 마이크로캡슐이 생성된다.
- ④ 심물질이 캡슐화의 공정에 빠르게 합일, 응집하는 경우, 즉 심물질이 벽재의 경화속도(R_s)보다 빠르게 합일, 응집(R_c, R_s)하여 벽재액적으로부터 탈리가 쉽게 되므로 심물질이 내포되지 않은 빈구조의 마이크로캡슐이 생성된다. 벌룬캡슐을 제조하는 경우에 적절한 조제방법이다.

일반적으로 심물질의 캡슐화효율을 가능한 크게 하려고 하는데, 이것은 결과적으로 심물질 입자의 안정성에 영향을 주게 된다. 따라서 제조 마이크로캡슐에 대해서 기대하는 기능(심물질의 완전분리·보호, 심물질의 서방성, 자극응답성 등)에 따라서 내부구조를 제어할 필요가 있으며 심물질 안정성의 영향도 매우 크다.

심물질의 안정성에 크게 의존하는 마이크로캡슐의 내부구조에 대해서 현탁중합법²⁵⁻²⁷과 액중건조법²⁸⁻³⁰에 의한 캡슐화의 예를 들어 설명해 보려고 한다.

벽을 형성할 모노머액체를 만들고자 하는 입경까지 미립화한 분열과정에 있어서 액적의 분열상태는 액체물성, 즉 분산상(n_d)과 연속상(n_c)의 점도비에

따라 Fig. 4와 같은 분열상태를 따른다³¹. 즉, 양상의 점도비가 $(n_d/n_c)>2$ 인 조건에서는 분산상의 분열저항이 점성력에 의존하므로 길게 늘어진 분산액적의 머리부분이 당겨지는 듯한 분열(Capillary break-up)이 지배적으로 일어난다.

또한 양상의 점성비가 $(n_d/n_c) \approx 1$ 인 조건에서는 분산상과 연속상 사이의 계면장력과 점성력에 의한 분열저항으로 분산액적은 같은 크기의 2액적으로 분열(Binary break-up)이 지배적이다. 전자의 분열형태가 지배적인 조건에서 캡슐의 입경을 컨트롤하는 경우, 모노머액체내의 심물질 미립자는 순간적으로 새롭게 나타난 액/액계면에 노출되는 것과 같이 되어서 모노머액체로부터의 이탈이 쉽게 된다. 이와 같은 분열에 수반되는 이탈은 예비과상중합 실험에서 모노머상의 점성을 증가시키면 억제된다.

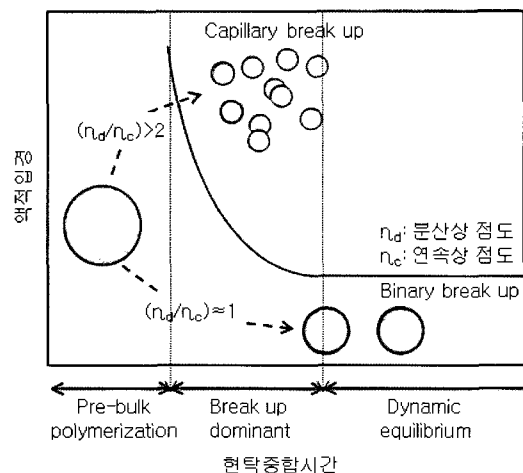


Fig. 4. 액적의 분열상태.

모노머액적내의 심물질미립자의 점성이동저항을 증가시켜서 이탈을 억제하는 방법도 있다.

Fig. 5에 스티렌의 현탁중합에 의한 고체미분말 (밀도 $\rho=3.6\text{g/cm}^3$)의 캡슐화 과정에 예비과상중합시간이 고체미분말의 drop내 이동거리, 양상의 점성비, 캡슐화효율에 미치는 영향을 나타내었다³²⁾. 여기서 고체미분말의 이동거리(L)는 스톡스식에 따라 계산하였다. 모노머액경과 이동거리의 비가 $d_p/L \geq 1$ 인 조건에서는 고체미분말의 이탈이 억제되어 drop내에 유지된다. 또한 $d_p/L < 1$ 의 조건에서는 고체 미분말이 이탈된다.

예비과상중합시간과 함께 점성비는 지수적으로 증가하는데, 마찬가지로 캡슐화의 효율도 현저히 증가한다. 고체미분말의 입경이 2배로 되면 이동거리는 4배로, 또한 모노머상 점도가 2배로 되면 이동거리는 0.5배로 된다. 따라서 고체미분말이 캡슐벽인 모노머상내에서는 응집없이 안정하게 분산되는 것이 캡슐화의 효율 향상에 가장 중요한 것이라고 할 수 있다.

고체미분말의 캡슐화 효율의 향상을 위해서는 고체미분말의 분산매에 대한 친화성을 향상시키는 것이 효과적이다. 이를 위해서 고체미분말의 표면에 흡착하고 또한 분산매에 양호하게 팽윤, 신장하는 계면활성제를 첨가하던지, 적절한 커플링제로 표면을 개질하던지 또는 불포화결합을 지닌 커플링제로 화학결합시켜 표면을 개질하는 등으로 모노머상중에서의 안정성을 향상하기도 한다.

액중건조법은 벽재 용액중에 심물질입자를 첨가, 혼합한 후 그 분산계를 연속상 중에서 미립화시킨 다음 벽재용액의 용매를 증발제거하여 마이크로 캡슐화하는 방법으로 캡슐화 공정중에 나타나는 상

형태는 현탁중합법과 유사하다.

수용액의 마이크로캡슐화를 보면, 수용액의 캡슐화 효율을 증가시키기 위해서는 모노머상과 고분자 용액에 유용성 계면활성제를 첨가하여 가능한 수적의 미소화, 유상의 점성증가 등의 방법이 유효하다. 즉, 캡슐화의 공정에서 수적의 합일을 억제하여 유상중에서 안정분산시킨다. 이 경우 캡슐화 내부 구조는 다핵형이다. 또한 캡슐의 특성으로서 압력, 초음파, 열 등의 순간적 방출을 목적으로하는 경우는 단핵형구조가 적당하다.

심물질의 고캡슐화효율의 달성과 단핵형 구조하는 서로 모순된 제조법이 필요하다. 이와 같은 경우는 1차(W/O)분산계와 2차((W/O)/W)분산계에서는 안정하고, 캡슐화의 공정에는 수적이 합일하여 최종적으로 단핵형화 되어야 한다. 즉, 수적의 합일 속도는 drop입경, 계면장력, 액적과 매체의 점도, 분산계의 기계적 에너지 등에 의해서 지배된다.

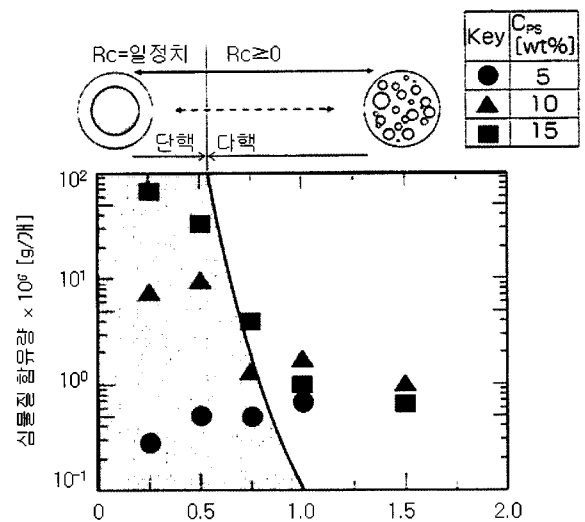


Fig. 6. 액중건조법에서 내포율에의 영향.

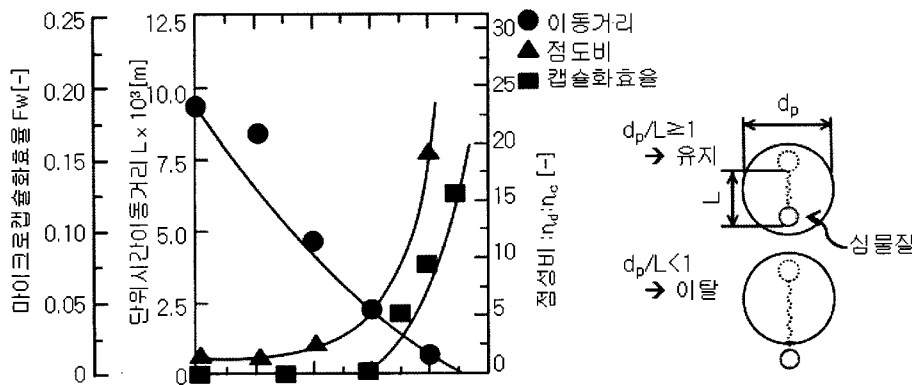


Fig. 5. 마이크로캡슐화 효율의 벽재상점도 의존성.

이 매체의 점도는 벽재상의 점도로 캡슐화의 과정에 벽재용매의 제거와 함께 증가한다. 벽재상의 점도증가가 빠르면 합일속도는 감소하고 동시에 수적내 벽재drop에서 이탈이 억제되므로 고캡슐화되어 다핵형의 캡슐이 된다. 액적의 합일속도는 심물 질내부상과 벽재상의 체적비, 유용성계면활성제의 종류와 농도, W/O분산계 교반속도, W/O분산계의 물성(계면장력, 밀도차, 점도)등에 좌우되고 또한 벽재상의 경화속도는 폴리머농도, 용매제거속도에 의해 각각 의존하여 변화된다.

Fig. 6에 폴리스티렌을 벽재로 사용하여 무기염의 수용액을 캡슐화하는 과정에 캡슐화구조와 캡슐화효율의 제조조건에 따른 변화를 나타내었다. 즉, 폴리스티렌 농도 C_{PS} 와 유용성계면활성제농도 C_{SPAN80} 이 캡슐구조와 심물질의 캡슐효율에 미치는 영향을 나타내었다. 또한 폴리머농도가 증가할수록 낮은 계면활성제 농도에서 미소액적이 안정화되므로 다핵형 구조로 된다. 그리고 캡슐화 효율은 낮은 폴리머농도에서는 계면활성제 농도와 함께 증가하여 높은 폴리머농도만큼 증가한다.

4. 맺음말

일반적으로 캡슐화는 캡슐화효율을 높이는 것을 목적으로 하는데 이를 위해서는 심물질을 가능한 미소화할 필요가 있다. 그러나 마이크로캡슐이 목적으로 하는 기능에 부합하기 위해서는 그에 적합한 캡슐구조가 있으므로 이와 같은 경우에는 심물질의 안정성이 컨트롤되어야 할 것이다.

또한 마이크로캡슐을 이용한 섬유가공에서 최종적인 목표는 적용이 용이한 시스템, 처리 후 섬유 및 제품자체의 성질이 변함없이 가능성이 유지될 것과 일반적인 직물의 lifetime에 마이크로캡슐도 처리 직물과 함께 "self-life"를 갖는 것이다. 현재의 기술상에서는 직물에 처리된 캡슐의 수명이 세탁 25~30회에 불과하고 다림질이나 텀블건조기 등과 같은 열처리과정에 마이크로캡슐의 성능이 급격히 저하되는 것이 실상이다. 따라서 마이크로캡슐화 연구개발의 직물 적용면에서 충분한 가능성을 인식하고 이들 문제의 극복을 위해 끊임없는 연구가 이뤄져야 할 것이다.

참고문헌

1. D Aiken, S M Burkinshaw, J Griffiths, A D Towns, *Rev. Prog. Color*, **26**, 1-8(1996).
2. J R P Bishop, G Nelson, J Lamb, *J. Microencapsulation*, **15**(6), 761-773(1998).
3. L Coderch, A M Manich, M Marti, J L Parra, S Serra, *Text Res. J.*, **69**(10), 789-790(1999a).
4. L Coderch, M Marti, A Maza, A M Manich, J L Parra, S Serra, *Wool Record*, (Dec), 26 (1999b).
5. D P Colvin, G Y Bryant, *Advances in heat and mass transfer in biotechnology (HTD)* New York:ASME, 362, 123-132(1998).
6. R COx, *Chem. Fibers. Int.*, **48**, 475-479(1998).
7. S A Dim, *FP 2 780 073 A1*(1999).
8. K Hong, S Park, *Mat. Chem. Phys.* **58**, 128-131(1999).
9. R F Kover, B Farrel, T Tiano, R Levi, JWH Harpel, *Proceedings of Eighth Annual BCC Conference on Flame Retardancy*, **8**, 88-97(1997).
10. A Maza, L Coderch, A M Manich, M Marti, J L Parra, *Text Res. J.*, **68**(9), 635-642(1998).
11. G Nelson, D S Wales, B S Sagar, *European. Patent EP 0511 258 B1*(1991).
12. G Nelson, *Rev. Prog. Color*, **21**, 72-85(1991).
13. B Pause, *Tech. Text Int.*, **9**(3), 20-21(2000).
14. N A Pannell, *EP 0242 135 B1*(1990).
15. J R Gomes, M C Genovez, R Hrdina, *Text Res. J.*, **67**(7), 537-541(1997).
16. J R Gomes, M C Genovez, R Hrdina, *Text Res. J.*, **67**(7), 537-541(1997).
17. L D Small, G Highberger, *Chromatic technologies* United States Patent, *USP 5 997 849 5*(1999).
18. Y Yokato, *Japanese Patent 98(140)*, 454(1998).
19. K Yamada, Y Yamada, *Japanese Patent JP 96 53 319 A2*. 6(1997).
20. K Yamada, Y Yamada, *Int. Dyer*, (Dec), 10(1990).
21. K Yamada, Y Yamada, *Int. Dyer*, (June), 26(2000).
22. N S Zubkova, *Knit. Int.*, **102**(1216), 50(1995b).
23. N S Zubkova, *Tech. Text. Int.*, **4**(7), 28-29(1995b).
24. 田中眞人, *機能性微粒子・粉體プロセス分科會 合同シンポジウム要旨集*, 4(2003).

25. 田中眞人, 色材, 63, 321-329(1990).
 26. 田中眞人, 色材, 65, 404-411(1993).
 27. 田中眞人, 色材, 67, 624-631(1994).
 28. 田中眞人, 色材, 71, 291-296(1998).
 29. 山田洪辛, 田口佳成, 田中眞人, 化學工學論文集,
 27, 629-635(2001).
 30. M. Tanaka, J. C. Hem, eng. Japan, 36, 1236-1241
 (2003).
 31. 田口佳成, 田中眞人, 色材, 72, 426-431(1999).
 32. 老松あいこ, 新潟大學碩師論文, 2001.

저 자 소 개

박 수 민



1982 부산대학교 섬유공학과(박사)
 1986-현재 부산대학교 응용화학공학부
 교수

Tel.: 051-510-2412; Fax.: 051-512-8175
 E-mail : soominpark@pusan.ac.kr

김 혜 인



2002 부산대학교 섬유공학과(박사)
 2002-현재 부산대학교 응용화학공학부
 강사

Tel.: 051-510-2412 ; Fax.: 051-512-8175
 E-mail : hyeinkim@pusan.ac.kr