

식품 나노분체

Food Nanoparticles

박동준* · 김범근

Dong-June Park*, Bum-Keun Kim

한국식품연구원

Korea Food Research Institute

서론

나노기술은 생활과학 전반에 걸쳐 이미 우리 곁에 와 있는 것이 현실이며 앞으로 과학의 진보에 따라 그 영향과 용도 또한 증대될 것으로 예측된다. 그러나 현재까지 일반적으로 알려진 나노기술들은 식품분야에 활용하기에는 제약이 너무 크고 안전성 또한 담보되지 않았다고 보는 것이 정확할 것이다. 그러나 'top down' 방식을 포함한 몇 가지 나노기술들은 식품 관련법규나 안전성 측면에서 그다지 문제가 없어 보인다. 따라서 현실적으로 식품에 적용하기에 유리하다고 판단되는 식품용 나노분체소재의 제조방법에 대하여 살펴보고자 한다.

식품과 나노기술

식품산업에 대한 나노기술 활용의 가능성은 세계 여러 연구자들에 의해서 인지되어 왔다. 2000년도에 Kraft Foods는 식품산업에 있어서의 나노기술에 관해 연구하기 위해 15개의 대학교 및 국가기관과 함께 NanoteK Research Consortium을 설립하였다(1). NanoteK Consortium에 의해 연구되고 있는 것으로는 개인의 선호도 및 영양 요구도에 의해 제조되는 식품, 입도보다는 입자의 형태에 기초하여 제거됨이 가능한 filter 등으로서 독성물질의

제거 또는 향기성분의 포집 및 센서에 의한 포장 등이 가능하도록 함으로써, 다양한 형태의 제품을 소비자에게 제공할 수 있게 될 전망이다(2).

미국에서 개최되는 National Planning Workshop에서도 다양한 분야에서 식품 시스템 및 농업을 개혁하기 위해서 많은 논쟁이 진행되고 있는데, 식품 공급 체계의 안전성을 확보하기 위한 나노센서, 식품 공급 과정의 추적을 위한 나노디바이스 및 smart delivery system 등을 들 수 있다(3).

Moraru 등 (4)은 나노기술을 통해서 식품산업이 얻을 수 있는 주요한 4가지 분야로 새로운 기능성 물질의 개발, 마이크로 및 나노 범위의 공정, 신상품 개발, 식품 안전성을 위한 나노추적자(nano-tracer) 및 나노센서의 디자인 등을 꼽고 있다. 많은 연구자들이 나노기술의 연구를 통해서 단백질, 지질 및 탄수화물과 같은 식품성분과 이들의 자가조립(self-assembly) 과정의 반응을 제어하여 바람직한 구조 및 물성을 구현할 수 있는 식품 제조를 시도하고 있다(5, 6). 이러한 연구를 통해서 식품성분이 어떻게 구조적으로 반응을 하게 되는지를 파악할 수 있게 되면 새로운 식품, 건강한 식품, 맛있고 안전한 식품 등을 제조하는데 큰 도움이 될 것이다.

나노기술을 활용하게 되면 보다 효율적인 가공식품의 제조가 가능하며 효과적으로 영양성분, 단백질, 향

Corresponding author: Dong-June Park, 516 Baekhyun-dong, Bundang-gu, Seongnam-si, Kyonggi-do 463-746, Korea
Tel: 031-780-9132
Fax: 031-709-9876
E-mail: djpark@kfri.re.kr

산화제 등을 체내에 전달할 수 있게 된다. 이러한 용도로 활용되는 고전적인 기술이 마이크로캡슐화이며, 식품성분을 고분자 등으로 포집하여 유효성분을 보호할 수 있게 된다(7). 기능성 식품산업에 있어서 큰 관심대상의 하나는 이러한 캡슐화를 통해 체내의 일정한 부위에서 기능성 성분의 용출이 가능하도록 함으로써 생체적 합성을 증대시키고, 결국 기능성 성분의 효용을 증대하는 것이다(8, 9).

그러나 현재의 식품산업에서는 식품용 재료(단백질, 탄수화물, 지질 및 유화제 등)를 캡슐화를 통해 섭취하는 경우가 매우 제한적인 것이 현실이므로, 식품성분 자체를 핵물질(core materials)로 이용하여 캡슐화함으로써 체내 이용률을 극대화할 필요가 있다.

앞서 소개한 NanoteK Consortium은 현재까지 마이크로 및 나노캡슐화 기술을 이용하여 많은 연구개발을 해왔으며, 그 사례로는 (a) 새로운 캡슐화 기술인 colloidosome의 제조, (b) 동축 전자증폭 유동 분사(coaxial electrified liquid jet)를 이용한 마이크로 및 나노캡슐의 제조 기술 등을 들 수 있다(10).

기능성 나노입자 제조 기술

새로운 나노물질의 제조는 'top-down' 혹은 'bottom-up' 적 접근법에 의해 이루어진다. Top down 방식은 물리적인 방법에 의하여 유용한 물질을 나노크기로 제조하는 것을 의미하는데, 이 범주의 방법으로는 분쇄(grinding, milling), 에칭(etching) 및 리소그래피(lithography) 등이 현재 산업적으로 이용되고 있다. 향후 나노기술의 발전에 따라, 'bottom-up' 접근 방식 역시 가능하게 될 것으로 예상된다.

Top-down 방식은 외부의 힘을 이용하여 입도를 감소시켜, 나노영역에 이르도록 함으로써 물질의 고유한 성질을 변화시키는 것이다. 이때 단지 입도만을 감소시킬 것인가, 혹은 원래는 존재하지 않던 기능성도 함께 부여할 것인가의 문제는 어떠한 공정조건을 채택하느냐에 따라 결정되며, 일반적으로 평균입도와 입도분포는 식품소재의 기능성과 상당한 연관이 있다. 동일 중량을 가진 물질에서 상대적으로 작은 평균입도를 나타내면 넓은 표면적을 갖고 있음을 의미하며, 이

로 인해 수분의 흡수, 향기물질의 용출, 생체적 합성, 촉매 활성 등을 효과적으로 증가시킬 수 있게 된다. 또한 좁은 입도분포는 기능성 및 제품의 품질을 제어할 수 있음을 의미하기에, 당연히 높은 가격표가 매겨지게 된다.

일반적으로 입도를 줄이는 방법으로는 크게 3가지 형태로 분류할 수 있으며, 압착력(compression), 충격력(impact) 및 전단력(shear) 등을 들 수 있다. 특히 충격력 및 전단력의 경우 식품을 나노크기의 입자로 제조하는데 중요한 역할을 한다.

다음은 현재 적용 가능한 'top-down'을 포함한 몇 가지 나노입자제조 방법이다.

- 분쇄 (Milling)

식품의 입자를 감소시키는데 가장 일반적으로 사용되는 것이 분쇄이며, 마이크로 단위의 입자 제조시 가장 일반적으로 사용되는 것이 볼밀(ball mill), 제트밀(jet mill), 비드밀(bead mill), 임팩트밀(impact mill) 등이다.

볼밀은 밀가루와 미세 녹차분말의 수분결합능력(water binding capacity)을 높게 하여 향산화 활성을 증가시키기 위해 이용되기도 한다(11, 12). 1,000 nm 크기의 녹차분말의 경우, 영양분의 소화 및 흡수에 효과적이어서 유해활성산소의 제거에 높은 활성을 나타내어 효과적인 항산화(SOD) 효과를 가진다. 일반 녹차분말의 산소제거능은 2.5×10^3 /g인 반면 1,000 nm 이하 크기의 미세 녹차분말의 경우 $0.7 \times 10^5 \sim 1.8 \times 10^5$ /g을 나타내어 약 100배 이상의 높은 효과를 나타낸다고 보고되어 있다.

제트밀의 경우 복사기용 토너와 같은 초미세분말의 생산이 가능하여 유동체 에너지 충격 분쇄기술(fluid energy impact-milling technique)로 분류된다. 이는 전분-단백질 분급의 효과를 개선함으로써 낮은 단백질 함량의 전분 제조에 사용되며(13), 5-10 μ m 크기의 입도를 갖는 높은 감미도의 sucralose 감미료 제조에도 이용된다(14). 이 방법에 의해 제조된 소재의 최종 입도는 물질에 따라 달라지며, 1,000 nm 범위까지도 가능하므로 분말녹차 등의 분산성 개선을 위한 전처리 방법으로 활용되기도 한다(15).

불밀과 제트밀 모두 입도 크기를 감소시켜 생리활성 물질의 기능성 및 이용성을 증가시킬 뿐만 아니라, 나노공정을 위한 전구체 제조에도 이용 가능하다. 최근에는 10 μm 수준의 bead가 개발되어, 비드밀을 이용한 습식 분쇄에 의한 나노 미립자 제조 및 분산에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 일부 나노소재 제조 관련기기의 경우 국외판매가 제한되고 있어서, 이 분야에서 치열해진 국가간 경쟁의 단면을 보여주고 있다.

- 고압균질화 및 미세유동화

고압균질기(high-pressure valve homogenization)를 이용함으로써 액상물질은 높은 전단력을 받아 매우 작은 입도를 갖는 에멀전 액적(emulsion droplet)의 제조가 가능하다. 고압 하에서 갑자기 흐름을 제어하게 되면 전단력이 생기게 되는 현상을 응용한 것이다.

미세유동화(microfluidization)는 밸브균질기와는 구분이 되는데, 이는 미세채널구조(microchannel architecture)를 가진 부가적인 챔버(auxiliary chamber)로 인해 발생하는 적절한 공동현상(cavitation), 전단력 및 충격력 등의 결과로 입도의 감소, 분산, 혹은 에멀전이 생성된다.

미세유동체화를 이용할 경우 일반적인 밸브균질기에 비해 균일한 입도분포를 갖는 물질의 제조가 가능하다. 또한, 물질의 조직감이나 식감이 개선될 수 있다. 이 방법은 샐러드 드레싱, 시럽, 초콜릿, 맥이음료, 향기물질 오일 에멀전, 크림, 요구르트, 충전재 및 당의정 등의 제조에 성공적으로 사용되어 왔다(16).

유체공학 연구를 통하여 최근 복합흐름 혼합기술(multiple stream mixer technology)을 선보였는데, 이는 2,700 bar의 압력하에서도 공정이 가능하다. 이는 10 nm 이하의 산화물을 제조하는데 이용되어 왔으며, 식품/의약품 분야에 있어서 이미 검증된 나노캡슐화의 응용에 대한 관심은 계속될 것으로 판단된다.

Kwon 등(17)은 1,000 bar의 조건에서 유동화 기술과 용매증발(solvent evaporation) 기술을 접목하여 coenzyme Q₁₀ 함유 poly(methyl methacrylate) nanoparticle을 제조하였으며 95% 이상의 높은 캡슐화 효율(encapsulation efficiency)을 나타내었고, 활성도 또

한 높게 유지되었다고 한다.

고압균질화기술을 이용하여 HPMC에 의한 나노에멀전이 제조 가능하였다(18, 19). 입력이 900 bar인 경우 99% 이상의 입자들이 150 nm 이하의 입도분포를 나타내었으며, 1,600 bar인 경우 평균입도가 300 nm 정도로 증가하였는데, 이는 1,600 bar에서도 HPMC에 의해 안정성이 유지될 수 있음을 의미한다. 나노입자 제조에 있어서 형성과정(formation)과 안정성 유지(stabilization)가 모두 중요한 인자로 작용하며, HPMC에 의한 에멀전 액적 역시 oil-water 계면에 존재하는 고분자의 함량에 따라 그 특성이 결정된다.

아래의 그림 1은 본 연구팀에서 제조한 polycaprolactone(PCL) 나노입자를 AFM을 이용하여 표면을 관찰한 사진이다(20). 평균 입도는 50-300 nm 수준으로, 앞으로 입자크기를 100 nm 수준으로 감소시켜 유용 영양성분을 포집하는 캡슐로 활용할 계획이다.

- 초음파 에멀전화(Ultrasound emulsification)

초음파는 사람이 귀로 들을 수 있는 범위를 넘어선 영역(> 18 kHz)로 알려져 있는데, 초음파 에멀전화는 유화제의 존재 하에 초음파에너지를 가할 경우 생성이 가능하다. 이때 발생한 내파 진공거품(imploding cavitation bubble)으로 인해 용매 주위에는 큰 충격파가 발생되고, 높은 속도의 추진력으로 인해 에멀전 액적이 만들어지게 된다. 이때 진공거품이 파괴되면서 발생하는 압력은 매우 높아서 1,350 bar에 이른다(21).

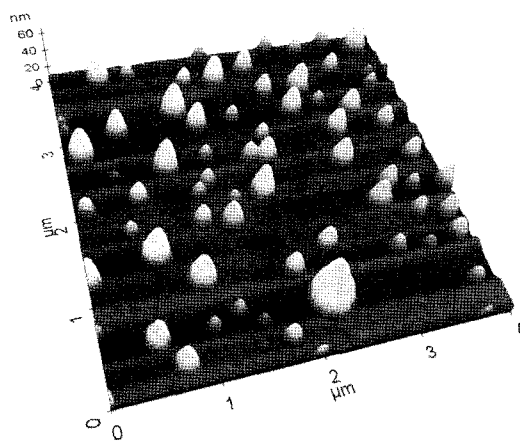


그림 1. PCL 나노입자의 AFM 이미지.

Abismail 등(22)은 초음파 에멀전화(20 kHz, 130 W)를 이용하여 water/kerasene/polyethoxylated sorbitan monostearate(Tween 60) 모델시스템을 개발하였다. 이 때 액적 크기는 에멀전화 시간, 유화제 농도, 초음파 강도 및 오일 함량 등에 의해 영향을 받는데, 오일 함량이 0.06, Tween 60 농도가 10 g/L의 조건에서 30초간 에멀전화하였을 경우 300 nm의 입도를 갖는 액적을 제조할 수 있었다. Behrend 등(23)은 1,000 nm 보다 작은 입도를 갖는 액적 제조를 위해 계면활성제로서 sodium dodecyl sulfate(SDS)를, 안정제로서 글리세린 혹은 폴리에틸렌 글리콜(PEG)을 사용하였으며, 안정제의 사용에 따라 입도는 더욱 감소하였다. 초음파 에멀전화는 적절한 챔버를 이용하여 고압 균질화 및 미세유동화의 대체기술로 이용 가능하며, 비용절감의 효과를 얻을 수 있다고 알려져 있다.

식품분야의 이용 예로는 에멀전화된 액상 쇼트닝에 기능성 식품소재의 첨가가 가능하며 초음파처리 등을 이용한 혼합물의 유화공정도 가능하다(24). 또한 초음파와 프렌치프레스(French press)를 이용한 6,000 psi의 압력을 동시에 사용하여 100 nm 수준의 균일한 리포솜의 제조가 가능하였다(25).

- 막 에멀전화(Membrane emulsification)

막 에멀전화 기술을 이용할 경우 막을 통해서 분산상과 연속상이 형성되는 것으로 알려져 있으며, 일반적인 난류법(conventional turbulence methods)과 비교했을 때, 비교적 낮은 수준의 에너지를 요구하고 좁은 입도분포를 갖는 에멀전 제조가 가능하다.

Joscelyne과 Tragardh(26)는 막 에멀전화 기술을 이용하여 O/W 에멀전을 제조하였으며, 이때 유화제로는 모노글리세리드를, 분산상 용매로 탈지유를 사용하였다. 막은 100 nm의 공극 크기를 갖는 것을, 유화제 농도로 8%, 135 Pa의 wall shear stress 조건으로 수 마이크로 크기의 입자를 얻을 수 있었다. Shima 등(27)은 단순 막 여과(simple membrane filtration) 기술을 이용하여 W/O/W 에멀전을 제조하였으며, 액적 직경은 약 1,000 nm 정도를 나타내었다.

현재 이 기술에 응용 가능한 가장 작은 공극 크기를 갖는 막은 약 50 nm 정도로 알려져 있으며, 일반적으

로 제조된 에멀전의 액적 크기는 막 공극 크기의 약 2-10배 정도를 나타낸다. 최종 액적 크기는 압력, 계면활성제 농도, 막 표면 특성 등에 의하여 영향을 받는다(28). 그러나 막 공극 크기보다 더 작은 액적 크기를 갖는 에멀전의 제조가 가능하다는 연구결과도 일부 보고된 바 있다(29).

- 동축 전자증폭 유동 분사(Electrified coaxial liquid jets)

이는 Loscertales 등(10)에 의해 고안된 기술로서, 전기-유체역학적 힘(electro-hydrodynamic force)에 의해 합성 분사(compound jet)가 생성되는 원리를 기본으로 하며 나노 내지 마이크로 단위의 물질 제조가 가능하다. 전기장을 이용하여 액적을 형성하고 안정화시키며, 이는 나노에멀전에서의 안정화 기작과 어느 정도 일치한다. Kupia와 Hughes(30)는 전압을 증가 시킴으로서 입자의 크기를 감소시킬 수 있다고 보고한 바 있다.

- 건식피복 및 분체복합화

입자표면의 기능성 등을 변화시키기 위한 방법의 하나로써 활용되는 입자 피복(particle coating)은 많은 산업분야에서 매우 가치있고 중요한 공정이다. 일반적으로 이러한 분체 표면개질(powder surface modification)을 통한 코팅/피복 공정은 pan coating이나 fluidized bed coating 등의 방법을 습식 공정으로 응용하여, 액적 형성(coacervation), 계면 고분자화(interfacial polymerization), 에멀전 공정 등이 많이 사용되어 왔다(31, 32). 그러나 이러한 습식 공정을 채용할 경우 습식 조건으로 인해 코팅 물질의 활성 감소 등의 문제점을 야기할 뿐 아니라 휘발성 유기용매를 사용하기 때문에 바람직하지 않은 잔류물의 존재 등에 의한 안전성의 문제가 항상 제기되어 왔다.

따라서 습식 공정의 문제점을 해결할 수 있는 방법으로 제시된 것이 건식 피복공정(dry particle coating)이며, 용매나 바인더, 혹은 물을 사용하지 않고 guest particle을 host particle에 물리적 방법에 의해 부착시키게 된다(32-34). 이러한 방법을 이용하여 화장품에서의 자외선 차단, 다양한 색깔의 토너입자(toner

particle) 생산, 메탈/세라믹 복합분체, 열적 분무물질 (thermal spray materials), 세라믹 여과기(ceramic filter), 고체 윤활제(solid lubricant), 전기 접촉물질 (electric contact materials) 뿐만 아니라 방출제어 마이크로캡슐(controlled release microcapsule) 등에 많이 사용되어 왔다.

아래의 그림 2, 3은 본 연구진이 수행한 결과로서, 이러한 분체복합화 공정의 일종인 Hybridization system을 이용하여 지방흡착 저감용 튀김옷 제조를 위한 복합분체(35) 및 도넛용 복합분체(36) 소재화공정과 이를 토대로 제조된 분말소재의 현미경 관찰 사진이다.

식품 나노분체 연구동향

현재 식품용 포장재로 활용되고 있는 nano silver 및 화장품에 활용되는 리포솜 등을 제외하면, 분체 식품 소재로 개발되어 실용화된 경우는 그리 많지 않은 편이다. 여전히 산업적으로 즉시 적용이 가능한 연속식 분쇄장비는 나노영역으로 들어서지 못하고 있으며, 일부 나노분쇄기의 경우는 업체의 주장과는 달리 재현성, 식품용도에 적합한 안전성을 확보하지 못하고 있는 것으로 판단된다. 그럼에도 불구하고 일부 경제성

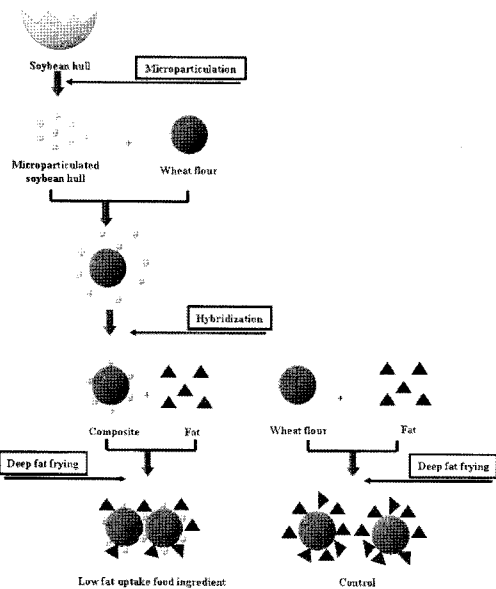


그림 2. 지방흡착 저감용 튀김옷 및 도넛용 복합분체 소재화 공정도

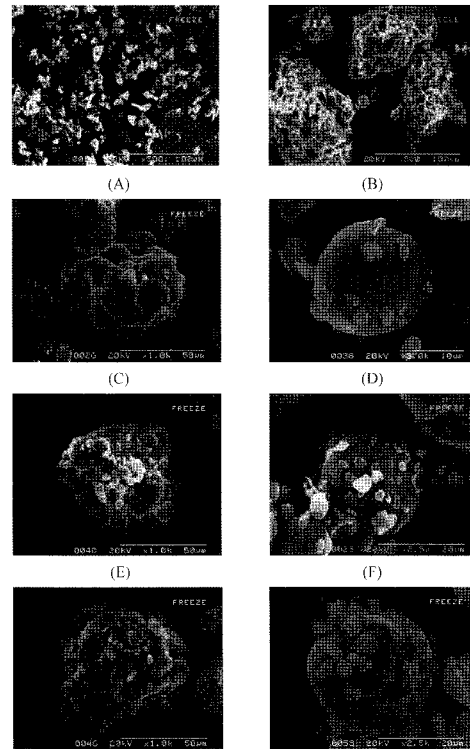


그림 3. 지방 흡착 저감용 대두파-밀가루 복합분체의 표면 사진. A: 대두피, B: 밀가루, C, D: 복합분체(대두피 1%), E, F: 복합분체(대두피 5%), G, H: 복합분체(대두피 10%)

문제를 접어둔다면, 현재로서도 나노소재화에 접근 가능한 방법은 다양하게 존재하고 있으며 기기의 발달에 의하여 짧은 시간 내에 더 많은 부분이 극복될 수 있을 것으로 예측된다.

본 연구팀은 건식/습식 분쇄, 기능성 식품분체, 건식 피복 및 나노복합분체(nano composite), 나노영양성분 전달체계 등에 관한 연구를 수행해오고 있으며, 그 결과 중 일부를 소개한다.

그림 4는 전분의 분쇄/효소처리 공정을 이용한 기능성 나노전분 입자에 기능성 영양성분을 결합시킨 나노 복합분체의 제조와 분체의 표면가공에 의한 나노물질 전달체계 구축을 위한 공정도이다(37). 이러한 분체 하나하나에 각기 다른 기능성을 부가할 수 있다는 것이 매력적이며, 다양한 형태의 식품소재로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

그림 5는 나노전분입자의 입도 및 제타전위를 나타

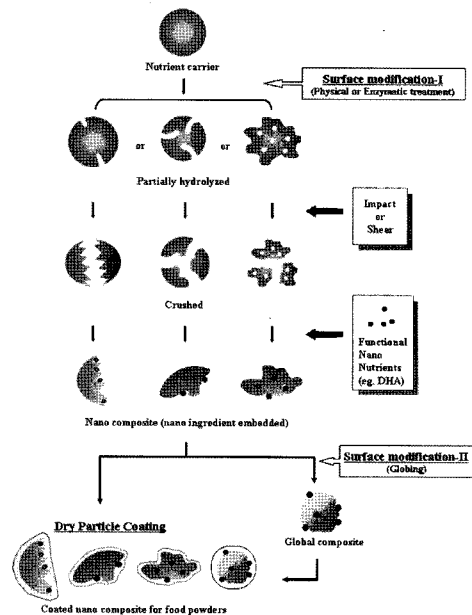


그림 4. 기능성 나노물질 전달체 제조과정 개념도.

낸 것이다(37). 최적화된 안정적 제타전위 수치를 보여주고 있지는 않으나 단순한 습식 분쇄과정을 통해서도 500 nm 수준의 소재화는 가능하며 다단계의 처리를 거치면서 더욱 입도가 감소하면서 기능성을 부여한 식품용 나노소재로 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 이러한 습식분쇄와 효소처리가 가해지면 분체 표면특성의 변화와 다공성의 부여로 인하여 분체간 결합의 유도가 용이해져, nutrient carrier/excipient용 전분소재(그림 6)의 용도가 확대될 것으로 예측된다(37). 건식공정(dry process)에 의하여 분체간 결합을 유

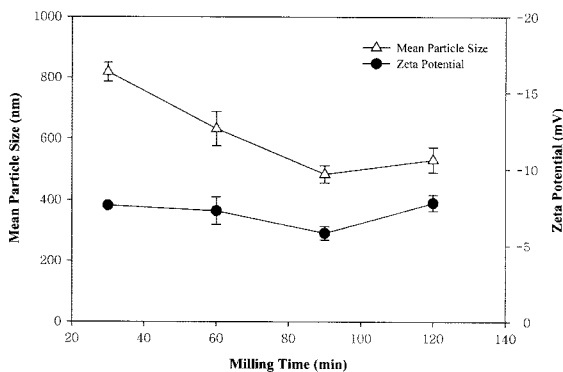


그림 5. 습식분쇄에 의한 나노분분 입도 및 제타전위.

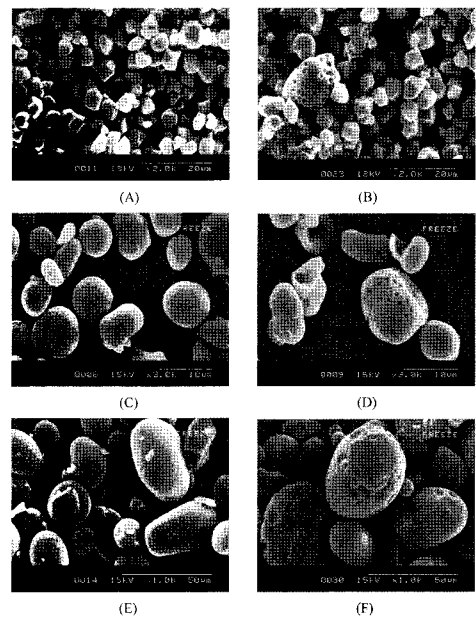


그림 6. 영양성분 전달체/부형제용 다공성 전분.

A, B: 쌀전분, C, D: 옥수수전분, E, F: 감자 전분. B, D, F는 효소처리에 의한 표면특성 변화와 다공성을 나타냄.

도할 경우, 습식공정보다 유리한 점이 많이 있으며 Hybridization system은 이러한 기술의 하나로 널리 활용되고 있다. 특히 Hybridization system은 외부환경에 취약한 유산균의 장용성 피복이나 기능성 부여에도 적용한 바 있다(38, 39). 이러한 분체결합 유도방식에 의하여 저칼로리 도넛용 소재를 제조하였을 경우(그림 7), 도넛제품에서 30% 수준의 잔류지방을 감소시킬 수 있

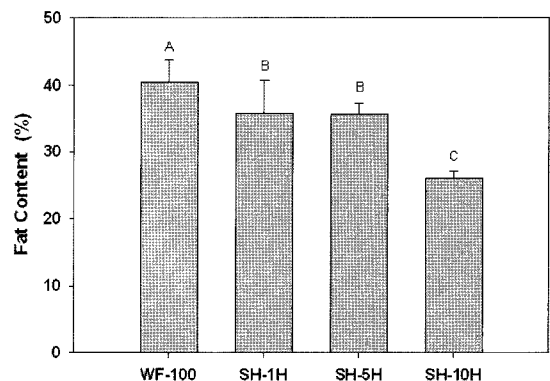


그림 7. 대두과밀가루 복합분체의 제조에 의한 도넛의 지방함량 저감 효과. WF-100: 밀가루, SH-1H: 복합분체(대두피 1%), SH-5H: 복합분체(대두피 5%), SH-10H: 복합분체(대두피 10%)

었다(36). 가공식품 중 잔류지방함량의 감소는 최근의 건강 지향적 식품소비 추세에 부합되므로 용도개발 여부에 따라 다양한 응용이 가능할 것으로 판단된다.

결론

식품산업에 있어서 나노기술은 아직까지도 새로운 학문분야이며 나노식품소재의 장점과 한계 역시 쉽게 파악되고 있지 않은 가운데, 의약/화장품 분야에서는 비약적인 산업화가 이루어지고 있다. 그러나 식품과 건강 사이의 상관관계가 점점 명확해지고 식품 자체에 대한 건강지향적 요구수준이 상승함에 따라 질병 예방, 치료 및 건강증진을 목표로 한 생리활성 식품소재의 체내 전달체계 구축을 위한 식품나노기술의 도입이 절실해지고 있다.

또한 나노기술을 활용한 식품소재 및 상품의 산업화 단계에서 규범적 표준이 개발됨으로써 소비자들이 위해요소 노출되지 않도록, 높은 품질의 생산기준이 지속적으로 유지되어야 하며(40), 나노기술이 적용된 식품 및 식품 소재에 대한 일부의 우려를 감안하여 생체 내 안전성을 검증할 수 있는 세계적인 기준을 확보하는 것이 바람직하다.

참고문헌

- Watkins C. Nanotechnology and the fats and oils industry. *Inform* 14: 168-169 (2003)
- Gardner E. Brainy food: academia, industry sink their teeth into edible nano. *Small Time Correspondent*. Available from: <http://www.smalltimes.com> (2005)
- Rutzke CJ. Nanoscale science and engineering for agriculture and food systems. Report submitted to the cooperative state research, education and extension service, The United States Department of Agriculture, National Planning Workshop, 18-19th November, Washington, DC. (2003)
- Moraru CI, Panchapakesan CP, Huang Q, Takhistov P, Liu S, Kokini JL. Nanotechnology: a new frontier in food science. *Food Technol.* 57(12): 24-29 (2003)
- Dickinson E. Food colloids. Drifting into the age of nanoscience. *Curr. Opin. Colloid Interface Sci.* 8: 346-348 (2003)
- Dickinson E. Food colloids: The practical application of protein nanoscience in extreme environments. *Curr. Opin. Colloid Interface Sci.* 9: 295-297 (2004)
- Augustin MA, Sanguansri L, Margetts C, Young B. Microencapsulation of food ingredients. *Food Australia* 53: 220-223 (2001)
- Augustin MA. The role of encapsulation in the development of functional dairy foods. *Austr. J. Dairy Sci. Technol.* 58: 156-160 (2003).
- Shelke K. Hidden ingredients take cover in a capsule. Available from: <http://www.foodprocessing.com/articles/2005/421.html> (2005)
- Loscertales IG, Barrero A, Guerrero I, Cortijo R, Marquez M, Ganan-Calvo AM. Micro/nano encapsulation via electrified coaxial liquid jets. *Science* 295: 1695-1698 (2002)
- Degant O, Schwechten D. Wheat flour with increased water binding capacity and process and equipment for its manufacture. *German Patent DE10107885A1* (2002)
- Shibata T. Method for producing green tea in microfine powder. *United States Patent US6416803B1* (2002)
- Letang C, Samson MF, Lasserre TM, Chaurand M, Abecassis J. Production of starch with very low protein content from soft and hard wheat flours by jet milling and air classification. *Cereal Chem.* 79: 535-543 (2002)
- Jackson G, Jenner MR, Graham H. Sweetener. *European Patent EP0255260A1* (1988)
- Park DJ, Imm JY, Ku KH. Improved dispersibility of green tea powder by microparticulation and formulation. *J. Food Sci.* 66: 793-798 (2001)
- Swientek RJ. 'Microfluidizing' technology enhances emulsion stability. *Food Process.* 152-153 (1990)
- Kwon SS, Nam YS, Lee JS, Ku BS, Han SH, Lee JY. Preparation and characterization of coenzyme Q₁₀-loaded PMMA nanoparticles by a new emulsification process based on microfluidisation. *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects* 210: 95-104 (2002)
- Schulz MB, Daniels R. Hydroxypropylmethyl cellulose (HPMC) as emulsifier for submicron emulsions: influence of molecular weight and substitution type on the droplet size after high-pressure homogenisation. *Eur. J. Pharm. Biopharm.* 49: 231-236 (2000)
- Daniels R. Galenic principles of modern skin care products. *Skin care forum Issue* 25. Available from: <http://www.scf-online.com> (2005)
- 김범근, 이준수, 박동준. Trans-stilbene loaded biodegradable PCL nanoparticles prepared by emulsion solvent evaporation method. *한국식품과학회 74차 학술대회*, P-14-013 (2007)
- Maa YF, Hsu CC. Performance of sonication and microfluidisation for liquid/liquid emulsification. *Pharm. Develop. Technol.* 4: 233-240 (1998)
- Abismail B, Canselier JP, Wilhelm AM, Delmas H, Gourdon

- C. Emulsification by ultrasound: drop size distribution and stability. *Ultrasonics Sonochem.* 6: 75-83 (1999)
23. Behrend O, Ax K, Schubert H. Influence of continuous phase viscosity on emulsification of ultrasound. *Ultrasonics Sonochem.* 7: 77-85 (2000)
 24. Shukla TP, Halpern GJ. Emulsified liquid shortening compositions comprising dietary fiber gel, water and lipid. United States Patent US2005/0064068 A1 (2005)
 25. 이정민, 조용진, 박동준, 고성호, 이승철. 초음파와 압력을 이용한 나노 리포솜의 제조. *한국식품과학회지* 40: 115-117 (2008)
 26. Joscelyne SM, Tragardh G. Food emulsions using membrane emulsification: conditions for producing small droplets. *J. Food Eng.* 39: 59-64 (1999)
 27. Shima M, Kobayashi Y, Fujii T, Tanaka M, Kimura Y, Adachi S. Preparation of the W/O/W emulsion through membrane filtration of coarse W/O/W emulsion and disappearance of the inclusion of outer phase solution. *Food Hydrocolloids* 18: 61-70 (2004)
 28. Joscelyne SM, Tragardh G. Membrane emulsification - a literature review. *J. Membrane Sci.* 169: 107-117 (2000)
 29. Vladislavljec GT, Tesch S, Schubert H. Preparation of water-in-oil emulsions using microporous polypropylene hollow fibres: influence of some operating parameters on droplet size distribution. *Chem. Eng. Proc.* 41: 231-238 (2002)
 30. Kuipa PK, Hughes MA. Behaviour of interfacial tension at an oil/water interface in the presence of an applied electrical field. In International solvent extraction conference 2002 e fundamentals: Coalescence and interfacial phenomena. Abstract K8 (Available from: <http://www.isec2002.org.za>), Capetown, South Africa (2002)
 31. Ramlakhan M, Wu CY, Watano S, Dave RN, Pfeffer R. Dry particle coating using magnetically assisted impaction coating: modification of surface properties and optimization of system and operating parameters. *Powder Technol.* 112: 137-148 (2000)
 32. Pfeffer R, Dave RN, Wei D, Ramlakhan M. Synthesis of engineered particulates with tailored properties using dry particle coating. *Powder Technol.* 117: 40-67 (2001)
 33. Yang J, Sliva A, Banerjee A, Dave RN, Pfeffer R. Dry particle coating for improving the flowability of cohesive powders. *Powder Technol.* 158: 21-33 (2005)
 34. Watano S, Imada Y, Miyanami K, Wu CY, Dave RN, Pfeffer R, Yoshida T. Surface modification of food fiber by dry particle coating. *J. Chem. Eng. Japan* 33(6): 848-854 (2000)
 35. Kim BK, Lee JS, Lee CH, Park DJ. Preparation of low-fat uptake frying batter composite by dry particle coating of microparticulated soybean hull. *Lebensm. Wiss. Technol.* 41: 34-41 (2008)
 36. Lee JS, Kim BK, Kim KH, Park DJ. Preparation of low-fat uptake doughnut by dry particle coating technique. *J Food Sci.* 73: in press (2008)
 37. 박동준 등. 식품 기능성 물질의 나노소재화 기술 개발. *한국식품연구원 보고서*, E071001 (2007)
 38. 박동준, 안은영, 김재승, 임지영, 김세현, 오세종. Hybridization system을 이용한 유산균의 장용성 건식피복. *한국식품과학회지* 34: 856-861 (2002)
 39. Ann EY, Kim JS, Imm JY, Han KS, Kim SH, Oh SJ, Park DJ. Microencapsulation of *Lactobacillus acidophilus* ATCC 43121 with prebiotic substrate using a hybridization system. *Int. J. Food Sci. Technol.* 34: 856-861 (2002)
 40. Rashba E, Gamota D. Anticipatory standards and the commercialisation of nanotechnology. *J. Nanoparticle Res.* 5: 401-407 (2003)