

나노기술응용식품의 정의 및 적용 범주

Nanotechnology-Applied Food: Definition and Application Category

김세훈, 김범식¹, 고상훈*

Saehoon Kim, Bumsik Kim¹, Sanghoon Ko*

세종대학교 식품공학과, ¹경일대학교 식품과학과

Department of Food Science and Technology, Sejong University

¹Department of Food Science, Kyungil University

I. 서론

1. 나노기술의 정의 및 의의

나노기술응용식품에 대한 정의를 위해서는 나노기술응용식품에 주요한 용어들인 나노물질과 나노기술이 무엇인가에 대한 정의를 살펴볼 필요가 있다. 나노기술(nanotechnology)은 10억 분의 1 m인 나노(nano) 단위까지 조작하는 첨단기술로 식품분야의 다양한 기술에도 응용할 수 있어 미래 인간의 건강 및 삶의 질 향상 및 기존의 식품산업의 문제들을 해결할 수 있는 차세대 핵심기술로 각광받고 있다. 우리나라를 비롯한 미국, EU, 일본 등 선진국에서는 다양한 연구 결과의 상용화 및 신산업 창출을 위해 지속적인 투자를 추진하는 한편, 나노물질의 안전성 확보를 위한 연구·개발 및 안전관리 제도 강화에도 앞장서고 있다. 해외 각국 및 주요 국제기구에서는 다음과 같이 나노기술(nanotechnology)의 정의 하고 있다(1).

나노기술개발촉진법 (법률 제8852호)

제2조 1. “나노기술”이라함은 다음 각 목의 기술을 말한다.

- 가. 물질을 나노미터 크기의 범주에서 조작·분석하고 이를 제어함으로써 새롭거나 개선된 물리적·화학적·생물학적 특성을 나타내는 소재·소자 또는 시스템(이하 “소재등”이라 한다)을 만들어 내는 과학기술
- 나. 소재등을 나노미터 크기의 범주에서 미세하게 가공하는 과학기술

국내의 나노기술의 정의는 교육과학기술부 「나노기술개발촉진법」 제2조 제1호의 정의에 따른다.

2. 식품산업에서 나노기술의 가능성 및 활용목적

식품산업에서 나노기술 적용은 주로 입자(particle)나 캡슐(capsule)의 형태로 만들어 지는데, 이는 영양성분 등을 빛, 산소, 수분, 온도 등의 외부요인으로부터 보호하여 손실을 줄이고 유용성 증대, 생리활성 증대,

*Corresponding Author: Sanghoon Ko
Department of Food Science and Technology, Sejong University,
209 Neungdong-ro, Gwangjin-gu, Seoul 143-747, Korea
Tel: +82-2-3408-3319
Fax: +82-2-3408-4319
E-mail: sanghoonko@sejong.ac.kr



Table 1. 국외 '나노기술(nanotechnology)'의 정의 현황

국가	내용	발표기관 및 출처
미국	근본적으로 새로운 분자 조직, 물성 및 기능을 갖는 재료, 소자 및 시스템을 창출할 목적으로 원자, 분자 및 초분자 수준에서 이해, 측정, 조작 및 제어할 수 있도록 해주는 과학과 기술임	21 st Century Nanotechnology Research and Development Act, '03 - 법적 정의
	a) 약1~100nm 크기에서 물질을 제어하고 이해하는 것으로 독특한 현상을 이용해 새로운 응용 가능 b) 약1~100nm 크기로 수행되는 과학, 공학, 기술	National Nanotechnology Initiative
	1~100nm 크기의 물질을 제어하는 것으로, 그 독특한 특성을 이용해 새로운 적용 가능	American National Standards Institute-Nanotechnology Standards Panel
호주	10 ⁹ m 크기에서 물질을 정확히 가공하는 기술로 새로운 기능을 획득할 수 있음	Australian Office of Nanotechnology, Australian Government-Department of Industry, Tourism and Resources, '06
캐나다	적어도 한 면이 100nm이하인 구조나 system을 직접 조작, 연구, 개발할 수 있는 기술	Statistics Canada, '07
덴마크	나노미터 크기의 모양과 크기를 제어할 수 있는 구조, 장치 및 시스템을 디자인, 생산, 적용하는 것	덴마크 과학기술부, '06
프랑스	나노과학은 나노미터의 크기를 가진 구조, 시스템에서 관찰되는 현상을 연구하는 것으로 나노크기에 의해 물리/화학/생물학적 특성이 유래됨	Ministry of Economy, Finance and Labour, '04
일본	나노미터 수준에서 원자와 분자들을 조작/제어하여 나노크기의 특이적 특성들을 사용한 새로운 기능을 개발하는 것임	National Institute of Science and Technology Policy, '06
네덜란드	새로운 분자구조를 가진 복합기능의 물질을 생산하기 위해 1~100nm의 구조체를 다루는 것	Nanotechnology network in the Netherlands
영국	0.1~100nm 수준의 극미의 물질을 조작하는데 이용되는 기술과 공정 - 나노과학을 제품 및 공정개발에 응용하는 것	하원 과학기술위원회
EU	나노기술은 100nm이하의 물질을 조작, 정확한 배치, 측정, 모델링 및 제조하는 것임	EU, '03
	한 면 이상이 100nm 이하인 기능성분을 최소한 한개 이상 포함하며 이로 인해 물리, 화학, 생물학적 영향의 차이를 일으키는 물질을 다루는 것	유럽특허청
국제기구		
OECD	일반적으로 100nm이하의 작은 구조/시스템을 조작/연구/개발하는 일련의 기술. 이로 인해 전혀 다른 특성을 가진 새로운 물질, 기구, 제품 생산 가능	WPN, '07
ISO	나노크기로 물질을 조작하고 제어하여 원자나 분자 혹은 벌크(bulk) 물질과는 뚜렷이 구별되는 크기와 구조에 따른 특성과 현상을 이용하는 과학지식의 응용	ISO/TC 229, '10

안정성 증대, 표적조절 등의 장점을 지니고 있어 장래의 고부가가치 식품 등에도 다양하게 적용될 수 있다. 나노기술을 적용한 식품소재는 기존의 식품소재에 비하여 크기가 감소되고 표면적이 증가되었

기 때문에, 입자 및 캡슐의 투과성(permeability)과 체류시간(residence time)이 향상되어 생체 내 흡수 및 이용이 증가될 것으로 기대되며, 또한 용해도(solubility) 및 분산성(dispersibility)을 향상시킬 수 있고 생체

내 세포에 이용 시 투과하기 어려운 세포의 지질 이중막(lipid bilayer)을 통과할 잠재력을 가지므로 기능성 물질의 효율적 이용을 기대할 수 있다. 이는 나노기술을 통한 기존 식품소재의 품질개선 또는 기능성이 향상된 형태의 제품 및 이를 생산하기 시작단계에 불과하며, 향후 새로운 나노기술이 접목된 형태의 제품개발이 진전됨에 따라 식품 시장의 규모도 크게 확대될 것으로 예상된다(2).

3. 나노기술응용식품의 제도화 필요성

나노기술 및 나노물질을 식품에 이용하고자 하는 관심이 크게 증가하고 있으나 이러한 기술 및 물질의 적용 시 이를 분석할 수 있는 기술적 수준 및 분석값이 완전히 검증된 상태가 아니기 때문에, 나노기술응용식품의 안전성에 대한 우려가 증가되고 있는 상황이다. 전 세계적으로 비식품용 나노물질에 대한 연구는 꾸준히 진행되어 오고 있으나, 식품용 나노소재에 관한 연구는 현저히 부족한 실정이며 또한 식품용 나노소재의 안전한 관리를 위한 체계적 연구 및 제도가 미흡한 실정이다. 기존의 식품소재(food-grade material)는 일반적으로 무독성, 체내 적합성, 생분해적 특성을 가지므로 기존에 안전(generally recognized as safe, GRAS)하다고 평가되어 왔는데, 나노기술 정의에 의하면 안전한 식품소재로부터 나노물질이 만들어지더라도 이 물질은 안전하지 않을 수도 있다고 가정될 수 있다. 식품소재로서 안전하다고 인정되는 물질을 이용했다하더라도, 나노크기에서는 물질의 특성이 변할 수 있으므로, 원래는 안전한 식품소재로 만들어진 나노물질이라 하더라도 입, 위장, 소장 조건에서 소화, 흡수, 분배, 대사, 배출되는 과정 동안 생체에 대한 안전성 여부가 반드시 고려되어야 한다. 이러한 이유로 인하여 나노기술응용식품에 대한 안전성 규명 과 이에 대한 실질적인 안전관리를 위해서는 과학적인 근거자료 확보가 급선무이다. 비식품용에 대한 근거자료의 확보는 우리나라를 중심으로 시작되었지만, 식품용 나노소재에 대한 근거자료 확보는 매우 미미한 실정이다. 특히, 나노기술응용식품 수용에 관한

찬반양론이 있는 가운데, 나노기술응용식품 안전성에 관한 정확한 정보는 매우 부족한 상황이므로 식품용 나노소재의 안전관리를 위한 근거자료의 확보 및 제도화가 필요한 실정이다.

4. 나노기술응용식품의 정의 필요성

2008년 한국식품위생안전성학회의 식품나노기술 안전성 춘계 국제 학술대회에서 뉴질랜드 메시대학교, 시몬 러브데이 교수는 “나노를 어디까지 인정할 것인가는 학자들 사이에서도 합의가 안 된 부분”이라며 나노기술응용식품 정의의 마련이 그 무엇보다 가장 먼저 선행되어야 할 작업이라 주장한다. 국내에서 나노기술 및 나노소재에 대한 정의는 나노기술개발촉진법에서 정하고 있지만, 아직 나노기술응용식품에 대한 국내 정의는 현재 논의 중이며 정립된 정의는 아직 없다. 무엇보다도 크기에 관한 정성적인 정의는 여전히 불명확하여 그로 인한 나노기술응용식품에 대한 용어는 식품산업 제품을 통해 무분별하게 사용되어 지고 있는 실정이기 때문에 국가 내에서 통일되고 국제적으로 조화를 이루게끔 마련하고 또한 생산자와 관리자가 모두 이해하고 현장에서 적용할 수 있는 수준으로 제시하고자 하는 연구가 진행 중이다. 나노기술응용식품의 정의의 명확한 정립과 함께 국제기구 등과 긴밀한 협력을 통한 국제수준에 상응하는 나노기술응용식품의 정의를 정립함으로써 국내외 나노기술응용식품에 대한 체계적인 안전관리를 도모할 수 있을 것이다.

II. 나노기술응용식품의 대표 사례

1. 나노에멀전/캡슐화 기술을 이용한 식품

① Nestle(스위스)와 Unilever(네덜란드)

지방 감축과 향미를 유지하면서도 지방 함량이 적은 나노 에멀전 기반 아이스크림을 개발하고 있다고 알려져 있으며, 일부 가공 식품에 비타민 및 미네랄 함량 강화 목적으로 이미 사용되고 있다고 밝히고 있다.



② Aquaznova(독일)

Aquaznova사는 비타민 C, E, 코엔자임 Q10, isoflavone, flavonoid, carotenoid, phyto-extract(식물 추출물), 정유(essential oil), 방부제, 색소, 기타 생물 활성 성분을 캡슐화 하기 위하여 30nm 미셀(micelle)을 사용하여 나노기술 기반의 캐리어(carrier) 시스템을 개발하고 이중 CoQ₁₀을 제품에 사용하고 있다. 이러한 미셀 형태의 제품은 NovaSol이란 상표로 2006년 이래 판매되고 있으며, 이 나노전달시스템은 생리활성 성분의 효과와 생체이용률을 증가시킨다고 한다.

③ George Weston Foods(호주)

“Tim Top-up”이라는 인기 빵을 판매하고 있는데, 이 빵은 ω -3 지방산이 풍부한 참치 어유의 마이크로캡슐(140-180 μ m, 상품명: Nu-Mega Driphorm)을 함유하고 있다(Nu-Mega 2007). 참치 오일이 마이크로캡슐로 싸여 있기 때문에 소비자는 섭취 시 참치유의 맛을 느끼지 못하지만, 소화 시 몸 안에서 방출되어 흡수된다. 그러나 이미 Aquanova, Zymes와 같은 기업은 Nu-Mega보다 크기가 4,000배나 작은 30-40 nm 나노캡슐의 ω -3 지방산을 제공하고 있고 이와 동일한 기술들이 요구르트와 영유아 식품에서도 적용되고 있다.

④ Salvona Technology(미국)

Salvona Technology는 ‘Multisal’이라는 다성분 전달 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 통상 잘 혼합되지 않는 여러 개의 활성성분(수용성 및 지용성 성분)을 생체 내로 전달하고 몸 안에서 성공적으로 방출하도록 고안되어 있다. 이것은 많은 영양성분과 생리활성 성분의 안정성 및 생체흡수율을 향상시키며, 이들 성분의 방출 특성을 제어하고, 구강에서의 체류시간을 연장하여 입안에서의 미감을 연장한다.

이 회사는 독자적인 분산기술로 직경 약 10-500 nm의 소수성 나노구(nanosphere)를 제조한 후, 나노구는 직경 20-50 마이크론의 마이크로구조체(수분 민감성 또는 pH 민감성)에 캡슐화 되며, 이 캡슐 속에서 균질하게 분산되도록 설계되어 있

다. 마이크로구조체는 수분(침 등)을 만나면 용해되어 나노구와 기타성분들을 입 안 및 몸 안에서 방출한다. 다양한 성분들이 이 소수성 나노 매트릭스나 수분 민감성 마이크로구조체 매트릭스의 어느 한쪽에 또는 양 쪽 모두에 탑재되어 생체에 전달될 수 있다.

⑤ BASF(독일)

2002년 BASF는 식품첨가물로서 리코펜(lycopene)이라 불리는 나노크기의 합성 카로티노이드(carotenoid, 당근이나 토마토 속에 존재하는 붉은 색소로 항산화성을 가짐)를 제조하고 판매에 관한 미국 FDA의 GRAS를 획득하였다. BASF는 캡슐화한 이 합성 나노 카로티노이드를 레모네이드(lemonade), 과일주스, 마가린 등에 사용하기 위해 세계적으로 주요한 식품, 음료회사에 판매하고 있다.

⑥ Biodelivery Science International(미국)

Nanocochleate를 개발하고 특허출원을 했으며, 이것은 콩과 칼슘으로부터 유도된 직경 50 nm의 코일형 나노입자로 의약품과 영양분(비타민, 리코펜, ω -3 지방산 등)을 직접 세포로 실어 나를 수 있다. Nanocochleate를 통해 ω -3 지방산은 제품의 향이나 맛을 변화시키지 않고 케이크, 머핀, 파스타, 수프, 쿠키 등에 혼입 될 수 있다.

2. 식용 나노코팅기술을 응용한 식품

식용 나노코팅제는 육류, 치즈, 과일 야채, 과자, 빵, 패스트푸드 등에 사용되어 습기나 가스 교환에 대한 차단을 제공하며, 색소, 향미제, 항산화제, 효소, 갈변억제제(anti-browning agent)로 작용할 수 있으며, 또한 포장 개봉 후에도 제조 식품의 유통기간을 증대시킬 수 있다.

① Sono-Tek Corp(미국)

2007년 초에 빵 제품에 직접 적용할 수 있는 식용 항균 나노코팅제를 개발하였다.

② Mars, Inc(미국)

무기 코팅제(TiO₂, SiO₂ 등)를 함유하는 식용 제품에 대해 미국 특허를 출원했다. 이 코팅은 산소나 수분이 코팅된 제품에 도달하는 것을 막는 장벽을 만들어 유통기간을 연장시키고 있다. 특허는 최적 코팅 두께가 0.5-20 nm라고 밝히고 있으며, 코팅제는 어떤 무기 물질로부터도 만들 수 있지만 연구자들은 이미 FDA에 승인된(GRAS) SiO₂나 TiO₂와 같은 재료를 사용하는 것이 바람직하다고 말하고 있다.

3. 나노기술응용 식품 포장재

① Honeywell(미국)

세 등급의 나노점토/나일론 6수지(Aegis OX, HFX, CSD)를 공급하고 있다. Aegis OX 수지는 플라스틱 맥주병의 고 산소 차단성 요구에 부응해 산소를 제거하는 나일론 복합재로 나노점토는 수동(passive) 차단재로서 작용하며 나일론은 활성(active) 산소 제거제로 작용한다. Aegis OX는 층간박리(delamination)에 대해 우수한 내성이 있으며, 쉽게 가공될 수 있고, 탁월한 투명도, 재활용가능성, 가격경쟁력을 갖고 있는 것으로 알려지고 있다. Aegis HFX는 hot-filling(고온 충전) 병에 있어 층간박리 저항을 향상시키기 위해 특별히 배합된 것으로, 식품에 보다 많은 산소 저항을 증대하는 소극적-적극적 시스템이다. Aegis CDS는 층간 박리 저항성을 부여하여, 탄산음료용의 단일 층 PET에 비해 고도의 소극적 이산화탄소 차단재를 제공한다.

② Nanocor(미국)

Nanocor는 Mitsubishi Gas chemical Company Inc. 와 제휴를 통하여 동사의 나노점토 첨가제와 Mitsubishi의 MXD6 나일론을 응용 혼합하여, 차단성 PET병과 M9라는 필름을 생산하고 있다. MXD6는 식품 및 음료의 유해성 가스 차단에 탁월한 특징이 있으며, 가공이 용이하고 고 투명 포장이 가능해 다른 차단성 플라스틱에 비해 우수하다. M9는 표준 MXD6의 CO₂ 및 O₂ 차단성을 각각 50%, 75% 향상시키며, 또 MXD6와 동등한 고 투명도와 층간박리 저항을 갖고 있다. 현재 3중층 16은

스비 살균 PET 맥주병의 코어재료로 사용되고 있다.

③ Bayer(독일)

Nanocor의 점토를 사용하여 하이브리드 시스템인 나일론6 나노복합재를 개발하고 있다. 나노복합재는 경도가 2배로 증가되었으며, 광택과 투명성이 고가의 고 투명 폴리아미드 필름과 맞먹는다고 한다. 나노입자를 함유하는 이 새로운 필름은 EVOH와 폴리아미드6장의 장점을 합하고 있어 가스가 필름내로 침투하는 것을 막으며, 습기가 새어나가는 것을 방지한다. Bayer의 Durethan UK 2-2601은 주스 용기(paperboard)의 플라스틱 코팅에 이상적인 후보 재료로, 저렴한 비용으로 산소민감성 포장 내용물(오렌지주스 등)을 보호 할 수 있다.

④ Voridan Co.(미국, Estman Chemical의 자회사)

Nanocor, Inc 와 제휴해 점토 나노입자를 함유하는 나노복합재(상품명, Impem)를 개발했다. 이로부터 만든 병은 유리보다 더 가볍고 견고하며 파손되기 어려운 특성을 지니고 있다. 이 나노복합재 구조는 맥주로부터 이산화탄소의 손실과 병속으로 산소의 진입을 최소화 하고 있으며, 맥주를 보다 신선하게 유지해 최장 6개월의 유통기한을 보장한다. Miller Brewing Co. 등 일부 회사가 이 기술을 채용하고 있다.

⑤ Honeywell Specialty Polymer(미국)

유통기한을 최장 26주로 연장해주는 나노 복합재를 혼입한 플라스틱 맥주병을 성공적으로 제조했다. Aegis 나일론 6가 3중층 구조의 가스 차단층이며, 2003년 후반부터 1.6 리터 Hite Pitcher 맥주 병(한국 Hite Brewery Co.)에 사용되어 오고 있다. 플라스틱에 나노 결정을 혼입함으로써 산소가 빠져나가는 것을 막는 분자 차단 층을 형성한다.

III. 나노기술응용식품의 정의

1. 국제 공통 정의

기존의 나노기술, 나노물질 그리고 나노기술응용



식품의 정의를 살펴보면, “dwarf” (난쟁이)를 의미하는 그리스 말에서 유래된 것으로 수학적 의미인 10억분의 1을 의미한다는 정의에서 시작한다. 나노기술이라 정의를 내리고자 할 때는 “manipulation or self-assembly of individual atoms, molecules, or molecular clusters into structures to create materials and devices with new or vastly different properties” 즉, 새로운 특성이 부여된 물질 및 장치를 만들기 위한 개별 원자, 분자 등으로 정의 내리기도 하였다(4). 100 나노미터의 또는 그 이하의 규모에서 이루어지는 공정으로 100nm라는 구체적인 수치로 제한하여 정의내린 것도 있다(5). 이는 크기만으로 정의를 접근하고 있어 실제로 구조가 작아져 일어날 수 있는 여러 특성의 변화에 대한 부분은 고려하지 않았다.

식품과 나노를 접목한 나노기술응용식품에 관한 정의를 내린 내용을 살펴보면, “재배, 생산, 공정 또는 포장 단계에서 나노기술 혹은 나노 도구가 사용된 식품(6), 나노 도구가 이용된 식품, 혹은 원자수준에서 변형이 이루어진 식품뿐만 아니라 핵산, 단백질 등의 영양소의 구조와 기능 등도 언급할 수 있으며, 영양소의 흡수방출, 생물역학, 열역학의 특성 등과 같이 여러 기능으로도 언급할 수 있으며, 나노기술응용식품을 구성하는 소재 또는 재료를 생산하는 새로운 기술도구와 장치 설비도 언급될 수 있다” 고 정의를 내렸다(7).

이렇듯 여전히 나노기술응용식품에 대한 정의는 계속적으로 기존의 내용에서 새로운 내용이 부과되어 정의 내려져 왔고, 무엇보다도 크기에 관한 정성적인 정의는 여전히 불명확하여 그로 인한 나노기술응용식품에 대한 용어는 식품산업 제품을 통해 무분별하게 사용되어 지고 있는 실정이다.

2. 유럽연합

EFSA의 과학위원회는 2011년 1월 14일, “나노과학과 나노기술을 적용한 식품과 사료에서 발생 가능한 잠재위험에 관한 위해평가 지침안”을 발표하고 의견을 수렴 중이다(8). 본 지침안은 식품첨가물, 효

소, 착향료, 식품접촉 물질, 신규식품, 사료 첨가제 및 농약을 포함한 식품, 사료에 적용될 예정이다. 본 지침안에 따르면, 식품/사료 분야에서 ENM (engineered nano material) 을 두 상황으로 구분하고 있다. 하나는 이미 승인된 품목의 나노형태가 동일한 사용용으로 제조되는 경우이고 다른 하나는 위해평가 대상 ENM 이, 그에 상응하는 비나노형태의 품목을 승인 받은 적이 없는 경우로 구분한다. 우선, 이미 승인된 비나노물질과 동일한 사용용도를 가질 경우는, 나노형태로 인해 추가로 발생할 수 있는 위험과 위해에 관한 자료가 필요하다. 비나노 형태로도 승인된 적이 없는 품목을 나노형태로 승인받기 위해서는 관련 비나노형태의 현재 EFSA 지침에서 정한 독성 검사에 덧붙여 나노형태의 화학적 특성에 관한 자료를 추가로 제출하여야 한다고 명시하고 있다.

3. 미국

2000년 1월 미국이 국가 나노 기술발전계획을 발표한 이래 전 세계적으로 이를 벤치마킹한 국가 전략을 수립하고 있다. 미국 FDA의 전략적 행동계획(9) 중 신소재식품 분야의 관리를 위하여 FDA는 범부처에서 참여하는 국가 나노기술 사업에 참여하여 타 부처의 정책과 조화를 추구하고 있다(10). FDA는 2006년 FDA Nanotechnology Task Force를 구성하고, 나노기술을 이용한 혁신적이면서 동시에 안전하고 효과적인 제품이 지속적으로 개발될 수 있는 규제방향을 검토해 오고 있다. 본 작업반은, 나노기술 응용제품으로 인한 건강상 부작용을 평가하는데 필요한 지식 혹은 정책을 도출하고 있다.

4. 대한민국

국내에서는 식품의약품안전처에서 “신소재 식품 분야의 나노연구 동향 파악 및 안전성 관리방안 연구” 보고서에서 나노기술응용식품에 대한 정의에 대해 다음과 같이 제안하였다. “나노 단위 입자크기의 가공·처리로 인하여 물리적·화학적 및 생물학적(소

나노기술응용식품 : 제조, 가공단계에서 나노기술 또는 제조된 나노물질이 이용된 식품을 말한다.

나노기술응용식품의 정의는 관리대상 범위를 명확하게 구분하여 효율적인 관리를 하고자 하는데 그 목적이 있다. 식품위생법의 관리 범위는 식품의 채취, 제조, 가공, 사용, 조리, 저장, 소분, 운반, 진열이며, 제조·가공 단계 외에는 나노기술 또는 나노물질이 이용될 수 있는 개연성이 없다고 판단하여 나노기술응용식품의 범위는 제조·가공 단계로 한정한다.

나노기술응용식품은 1) 나노기술이 제조·가공 단계에서 직접 식품에 사용되는 경우와, 2) 나노기술을 이용하여 제조한 나노물질을 제조·가공 단계에서 식품에 추가하는 경우로 구분할 수 있다. 전자는 나노기술을 식품 제조시 직접 사용하여 나노에멀전의 형태로 만들어진 마요네즈, 아이스크림을 그 예로 들 수 있다. 이와 같은 경우는 제품을 직접 검사하여 나노물질인지 확인하여야 하며 최종제품이 나노물질에 해당되어야 나노기술응용식품으로 간주한다. 후자의 예로는 나노분쇄기술을 이용하여 제조한 칼슘을 우유에 첨가해주는 경우를 들 수 있으며 이때는 최종제품인 우유가 아닌 추가해준 원료인 칼슘이 나노물질인지를 검사하여 확인하여야 하고 최종제품을 통한 검사는 현재 기술로는 쉽지 않다.

나노물질은 발생학적인 측면에서 구분했을 때 자연적으로 발생하는 천연물질과 인위적으로 만드는 제조물질이 있으며, 천연물질은 이미 오랜기간 사람에게 노출되어 왔다고 판단되므로 관리대상에서 제외하고 인위적으로 제조한 나노물질로 한정한다.

화성, 흡수성, 살균성 등) 특성이 변하고, 자연발생적이 아닌 인위적으로 만들어진 식품(식량, 음식물), 그리고 “나노 크기의 관점만이 아닌 물리·화학 및 생물학적인 새로운 특성이 현저히 변하는 경우 나노기술응용식품의 범주에 속함”으로 제시하였다. 또 다른 보고서인 “나노기술응용 식품정의 (Definition of Nanotechnology-Applied Foods)” 보고서에서는 다음과 같이 보고하였다.

IV. 나노기술응용식품의 형태별 분류

나노기술을 응용한 식품소재에는 형태별로 여러 가지 종류가 있는데 크게 입자형, 캡슐형, 과립형 등으로 나눌 수 있다. 각 형태별로 특성이 다르며 식품에 적용되는 예도 다르기 때문에 형태에 따른 나노소재의 분류가 필요하다. 나노소재는 영양성분 등을 빛, 산소, 수분, 온도 등의 외부요인으로부터 보호하는 wall 물질의 용도 또는 유용성 증대, 생리활성 증대 등의 기능성을 지닌 core 물질의 용도에 따라 식품에 적용되었을 때의 특성 변화가 다르다.

1. 미셀(micelle)

양친매성 물질을 극성용매(대표적으로 물)에 녹이면 어느 정도 이상에서 친수기(극성기)를 밖으로 친

유기를 안으로 하여 친유성기(비극성기)의 핵을 만들며 회합된다. 셀 내부는 친유성기고 외부는 친수성기로 소수성 물질을 물에 분산시킬 수 있다. 대표적으로 계면활성제가 미셀을 형성하는데 미셀은 어느 특정 농도에서 돌연 나타난다. 미셀이 나타나는 농도를 임계미셀농도라고 한다. 일반적으로 비극성분자 지질, 향료, 향균물질, 향상화제, 비타민 등 수용성이 없는 성분을 캡슐화 할 수 있다. 제약 업계에서 사용되고 있지만, 최근 식품 업계에서도 크게 각광받고 있다.

2. 나노에멀전(nanoemulsion)

기능성을 갖는 1 μ m 이하 크기의 입자로 이루어진 에멀전을 말한다(대체로 100-200 nm). 이러한 RPS는 입자의 크기와 오일상과 연속상 사이의 굴절률 차이에 의해 투명하거나 반투명하게 보인다. 나노에멀전은 열역학적으로 안정한 마이크로에멀전(microemulsion)과 구별되어야 하며 투명 또는 반투명하고 크기는 5-50nm이다.

O/W 단일 나노에멀전(single nanoemulsion)은 다양한 생리활성 지질성분의 생체전달시스템과 캡슐화에 활용할 수 있는데, 예를 들면 ω -3 지방산의 캡슐화 및 우유, 요구르트, 아이스크림 등에 있어서 유용성분의 포접(incorporating)을 통한 체내 전달시



스템으로 이용될 수 있다. 이러한 나노에멀전을 이용한 전달 시스템은 기름입자 내부의 불포화지방산의 산화방지도 효과적이다(2, 11-13).

다층 나노에멀전(multilayer O/W nanoemulsion)은 유화제나 biopolymer 등으로 이루어진 nano-laminated 경계층에 의해 감싸진 각각의 작은 기름입자들을 물입자속으로 균질화시킴으로서 제조할 수 있다. 다층 나노에멀전은 경계층의 구성 성분과 특성을 조절하여 외부 환경에 대한 물리적인 안정성과 캡슐화된 성분의 화학적인 안정성을 향상시킬 수 있는 장점이 있다(2, 11, 14, 15. 다층 나노에멀전은 단일 나노에멀전에 비하여 특히 냉동 및 해동, 열처리, 고농도의 칼슘 등과 같은 조건에서 보다 큰 안정성을 보인다(2).

3. 리포솜(liposome)

내부에는 친수성의 공간이 있으며 외부로는 단단 이중의 지질막을 가지고 있는 미세 소포체를 말한다. 리포솜 중 10 nm 에서 100 nm 크기의 리포솜을 나노솜(nanosome)이라고 한다. 식품분야보다는 의약분야에서 나노기술과 약물을 결합시킨 나노리포솜 의약이 주로 연구되어 왔다. 하지만 최근에는 식품산업분야에서도 나노리포솜을 응용하기 시작했다. 나노리포솜은 식품분야에서 코팅기술에 많이 활용되고 있는데, 최저의 상태에서 혹은 주변 식품환경으로부터의 방해와 변성을 방지 또는 보호할 수 있는 기능이 있어, 식품 시스템의 특정 부분에 타겟 물질을 전달 할 수 있는 능력에 활용하고 있다. 특히 식품산업분야에서는 치즈의 숙성시간 단축, 지용성 및 수용성 비타민, 항산화제 등의 수용성 및 지용성 물질 코팅 제품, 생리활성 물질이 포함된 리포솜의 우유 내 첨가를 통한 영양 강화유 개발 등에 응용된 바 있다. 또한, 공정 시간의 단축과 영양 품질을 강화시키는데 사용될 뿐만 아니라 제품 소화에도 도움이 된다. 식품 보존제의 캡슐화로 인한 병원성 미생물 및 부패 미생물의 성장을 방지하는 잠재력 또한 가지고 있다. 실질적으로는 화장품 분야에서 많이 응용되고 있으며 나노리포솜의 이화학적 특성 및 제조방법이 정립되면 제도화 관

리 영역이 더욱 넓어질 것으로 사료된다.

4. 고체 지질 나노입자(solid lipid nanoparticle)

Solid lipid nanoparticle이란 상온에서 지질을 약물과 혼합하여 균일한 상을 제조하고 이를 수용액에 분산시켜 약물이 지질 결정사이에 고체 용액상으로 존재하는 구조체이다. 지질의 농도, 유화 안정제의 농도, 결정화 온도 등을 조절하여 코어물질 로딩 및 적절한 크기의 지질 결정을 유도하며 초음파 분산기, 초고압 균질기 장비의 파워, 속도, 처리시간 조절을 통한 지질 나노입자의 크기를 제어한다. 생체 내에 존재하는 물질인 인지질, 지질 그리고 콜레스테롤 등을 사용하기 때문에 생체 이용률 및 친화도가 높으며, 약물의 방출 및 제어가 가능하며 효소 등에 의한 분해에 대해서 높은 안정성을 가지는 입자성 약물전달체로 많이 이용된다. 지용성 물질을 포집하여 분산성을 향상시켜주고 효율적으로 입자 응집을 방지한다. 유기용매 같은 생독성 운반체 없이 지용성과 친수성 약물의 방출 특성을 제어할 수 있고 표적한 곳에서 약물을 방출할 수 있다.

V. 나노기술응용식품의 적용 범주 및 예

1. 식품/건강 기능 식품에 적용되는 나노기술

나노기술이 적용된 일반 식품은 유제품, 시리얼, 빵, 음료수 등으로써 현재 비타민, 미네랄(철, 마그네슘, 아연 등), 생균제(probiotics), 생물활성 펩타이드, 항산화제, 식물성 스테롤(plant sterol), 콩 등으로 강화되고 있다. 이러한 활성성분의 일부는 현재 나노입자로서 식품에 첨가되고 있으며, 비타민, 지방산을 포함한 나노캡슐화 활성 성분들이 음료, 고기, 치즈 등의 가공과 보존에 사용할 목적으로 현재 상업적 판매가 되고 있다(3).

기능성 식품에서 나노기술은 활용 방안 측면이 매우 다양하다. 나노기술을 이용하면 천연추출물이나 약물 비타민, 항산화 물질, 향료, 색소 등의 기능성 물

질들을 캡슐화하여 빛, 산소, 수분, 온도 등의 외부 요인으로부터 보호를 받을 수 있다. 또한 가공 및 유통 과정에서 손실을 최소화할 수 있을 뿐만 아니라 저장성도 높아질 수 있다. 전달체 시스템을 이용하면 기능성 물질을 섭취한 후 체내에서 이용될 때까지 기능성 성분을 보호할 뿐만 아니라 방출속도를 조절하거나 표적 전달 시스템으로서 활용될 수 있다.

미셀과 리포솜은 향미 증진제, 산화 방지제, 코엔자임 Q10, 비타민, 미네랄, 활성 성분, 단백질, 효소, 항균 성분 등의 전달체 역할을 할 수 있다. 폴리페놀과 같은 활성성분 물질을 캡슐화 하는 것은 산화를 방지할 수 있고 식품에서의 불쾌한 맛을 최소화 시킬 수 있다. 우유나 유청단백질로부터 얻은 나노구조체는 겔화제나 활성성분 혹은 물질 전달체로서 사용될 수 있다.

2. 식품첨가물

나노입자는 영양분의 전달 기능 외에도 식품 가공시 유동성, 색깔, 안정성을 향상 시키거나 유통기간의 연장을 위해서 나노입자들이 가공보조제로 많은 식품에 의도적으로 첨가되고 있다. 예컨대, 알루미늄 실리케이트(alumino-silicate)는 과립 또는 분말 가공 식품에서 고결방지제(anti-caking agent)로서 흔히 사용되고 있으며, 아나타제 이산화티타늄은 통상의 식품 미백제 및 증백제로서 과자, 치즈 및 소스에 사용되고 있다. 현재 식품에서의 사용이 증가하고 있는 활성성분, 영양강화 첨가제를 함유한 나노캡슐은 최근까지 마이크로 캡슐화된 식품에 주로 첨가되어 왔지만, 현재는 효능을 높이기 위해 수천 배나 작은 나노캡슐로 생산되고 있다. 영양강화 첨가제 성분의 유효성은 생체이용률에 따라 다르며, 나노크기 또는 나노캡슐화된 활성 성분은 마이크로 캡슐화된 것에 비해 생체이용률, 용해도, 효능의 향상을 가져온다(3).

나노기술이 적용된 식품 첨가물은 식품 고유의 맛과 향을 증진시킬 뿐만 아니라 특정한 맛을 차단시킬 수 있고 음료와 같은 제품의 투명성 및 저장기간을 향상할 수 있다. 식품 원료를 캡슐화 하는 것은

변질되기 쉬운 물질을 외부 환경으로부터 보호하고 가공 유통 저장 중에 식품소재간의 화학적 생물학적 반응을 최소화하는 물질로서 쓰일 수 있다. 식품소재 중 시간에 따라 지속적인 방출이 필요한 물질이라든지, 일정시간 동안 보호하다 특정 지점에서 방출이 필요한 물질, 그리고 용매 및 외부환경으로부터 보호가 필요한 물질은 나노기술을 통하여 해결할 수 있다. 지금까지 향료와 같은 대부분의 액상소재는 제과 제빵 믹스나 음료 믹스 등 다양한 식품에서의 가공이 어려워 이용에 한계가 있었다. 하지만 나노기술을 이용한 식품소재의 캡슐화를 통하여 액상소재를 분말화 하면 이러한 한계를 극복하고 다양한 식품에 적용할 수 있게 된다.

3. 식품포장에 사용되는 나노기술

나노기술을 이용한 식품포장은 기존의 식품포장의 한계점을 극복할 수 있다. 기존의 나노기술 중 포장분야에 쉽게 응용되고 있는 것이 고분자 나노컴포지트(polymer nanocomposite)이다. 나노컴포지트는 포장재료용 고분자를 판상이나 섬유상 또는 입자상의 구조를 갖는 nm 크기의 입자로 강화시킨 복합물질이다(16, 17). 이와 같이 나노입자가 균일하게 분산되어 형성된 나노컴포지트는 5% 이하의 적은 첨가량에서도 순수한 고분자에 비해 물리적인 강도가 증가하고, 열적 특성과 광학적 특성이 우수하고, 기체투과도가 감소하는 등의 우수한 특성을 나타내어 포장용 소재로서 바람직한 물성을 갖는 것으로 알려져 있다(16, 18).

TiO₂, 나노점토, SiO₂, 등을 이용한 나노복합체, 나노입자 식품 포장재는 탈취, 자외선 차단, 투과성 및 내열 특성을 개선시킬 수 있다. 또한 외부물질이나 세균, 곰팡이 등으로부터 식품을 보호할 수 있다. 나노 형태의 TiO₂는 이미 투명성을 이용한 플라스틱 용기나 호일 포장재로서 이미 많은 회사에 판매되고 있다. 나일론 나노복합체는 신선상태 유지 및 악취 방지, 산소 및 이산화탄소 차단력이 높기 때문에 맥주 PET병 등 다양한 알코올 음료용기로



사용된다. 또한, 항곰팡이제나 항균물질을 가지고 있는 나노입자를 식품포장에 활용하여 기존식품의 저장성을 높일 수 있다

최근에 식품용 나노포장재는 소비자들이 식품에 대한 정보를 알기 쉽게 하도록 한 스마트 포장기술이 활발히 개발되고 있다. 그 예로, 식품포장재에 형광 나노입자를 이용하거나 전기화학적 나노센서를 이용하여 화학물질이나 식품의 병원균 및 유해물질을 검출할 수 있다. 또한 식품의 최적온도, 수분, 조리 시간을 모니터링 하는 생분해성 나노센서를 식품 포장재로서 활용할 수도 있다.

VI. 맺음말

나노기술을 적용한 식품은 다양한 분야에서 응용 가능성이 높기 때문에 식품산업에 큰 영향을 줄 것으로 예상된다. 전 세계적으로 식품산업에서 기존식품가공의 한계를 극복하고 식품의 질적 향상을 위해 나노기술의 적용과 응용을 시도하고 있다. 식품에 사용되는 나노소재는 형태별로 다양하게 분류가 가능하며 적용분야 또한 무궁무진 하다. 하지만 전 세계적으로 비식품용 나노물질에 대한 연구는 꾸준히 진행되어 오고 있으나, 식품용 나노소재에 관한 연구는 현격히 부족한 실정이며 또한 식품용 나노소재의 안전한 관리를 위한 체계적 연구 및 제도가 미흡한 상태이다. 따라서, 현재 나노기술응용식품의 안전성 평가법과 같은 제도적 장치를 만들고자 할 때 요구되는 기초 정보 및 기반 기술에 대한 자료 구축이 매우 시급하다고 생각된다. 이러한 과정이 확고히 확립되어야 국내 나노기술응용식품 분야의 산업 발전에 큰 틀을 마련할 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 2013년도 식품의약품안전처의 연구개발비(13162MFDS777)로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 나노기술응용식품 정의(Definition of Nanotechnology-Applied Foods), 식품의약품안전처 신소재식품과 (2012)
2. 김종태, 김철진, 조용진 김양하, 김인환, 최애진. 고기능성 식품나노체 제조기술. 식품과산업 제 41권:33-45 (2008)
3. 소대섭, 이해원. 나노식품의 산업화 동향 및 전망. 한국키텩키토산학회지 14: 6-12 (2009)
4. Nanotechnology in Agriculture and Food. May, p4 (2006)
5. Out of the laboratory and on to our plates. Nanotechnology in Food & Agriculture, March, p4 (2008)
6. Nanotechnology in Agriculture and Food. May, p8 (2006)
7. Nanotechnology Opportunity Report 3ed Ed. June, p702 (2008)
8. Draft scientific opinion. Guidance on risk assessment concerning potential risks arising from applications of nanoscience and nanotechnologies to food and feed. EFSA Scientific Committee. European Food Safety Authority (EFSA) (2011) <http://www.efsa.europa.eu/en/consultations/call/sca110114.pdf>
9. DA Strategic Action Plan. US FDA Fall (2007)
10. National Nanotechnology initiative. strategic plan. National science and technology council committee on technology. subcommittee on nanoscale science, engineering and technology. FDA representatives to the NSET. Carlos Pena, Ritu Nalubola. February (2011)
11. McClements DJ, Decker EA. Lipid oxidation in oil-in water emulsions: Impact of molecular environment on chemical reaction in heterogeneous food systems. J. Food Sci. 65: 1270-1282 (2000)
12. Chee CP, Gallaher JJ, Djordjevic D, Faraji H, McClements DJ, Decker EA, Hollender R, Peterson DG, Roberts RF, Coupland JN. Chemical and sensory analysis of strawberry flavoured yogurt supplement with an algae oil emulsion. J. Dairy Res. 72: 311-316 (2005)
13. Sharma R. Market trends and opportunities for functional dairy beverage. Austr. J. Dairy Technol. 60: 195-198 (2005)
14. Morales D, Gutierrez JM, Garcia-Celma JM, Solans C. A study of the relation between bicontinuous microemulsions and oil/water nano-emulsion formation. Langmuir 19: 7196-7200 (2003)
15. Klindersom U, Sophanodora P, Chinachoti P, McClements DJ, Decker EA. Increasing the oxidative stability of liquid and dried tuna oil-in-water emulsions with electrostatic layer-by-layer deposition technology. J. Agric. Food Chem. 53:4561-4566 (2005)
16. 임종환. 식품포장과 나노기술. 식품과학과 산업 제41권 제1호, 3: 46-58 (2008)
17. Pandey JK, Kumar AP, Misra M, Mohanty AK, Drzal LT, Singh RP. Recent advances in biodegradable nanocomposites. J. Nanosci. Nanotechnol. 5: 497-526 (2005)
18. Alexandre M, Dubois P. Polymer-layered silicate nanocomposites: preparation, properties and use of a new class of materials. Mater. Sci. Eng. 28: 1-63 (2000)