

나노기술응용식품의 국제 연구 및 산업화 동향

Global Trend in Research and Industry Application of Nanotechnology in Food

유 명 애
Myeong-Ae Yu

한국국제생명과학회
Executive Director, ILSI Korea

1. 서론

나노기술은 IT, BT 기술과 함께 첨단제조기술에 바탕을 둔 지식정보형 신제조업의 개발 및 발전에 중추적인 분야로 지난 2000년대 초반부터 세계 각국에서 많은 연구와 산업화를 위한 노력을 하고 있다. 최근에는 에너지, 환경, 바이오, 식품 등 다양한 분야의 융합을 통해 미래 신성장 동력으로서의 가능성이 주목받고 있으며, 녹색성장, 삶의 질 향상에 핵심적인 역할을 수행할 것으로 기대되고 있다(교육과학기술부 등 2010; 김정옥 2012). 특히 최근 세계가 직면하고 있는 온난화, 자원 고갈 등의 문제를 비롯해 물, 식량 등 지구의 지속성과 관련하여 우리가 당면하고 있는 심각한 문제에 대한 해결방안으로서 나노기술에 대한 세계 각국의 관심이 높아지고 있다(김정옥 2012).

나노기술과 다분야 융복합연구가 활발하게 진행되고 일부 나노기술을 이용한 소비자제품이 시장에 출시됨에 따라 나노제품의 인체 안전성, 환경에 미

치는 영향 등에 대한 우려의 목소리도 커지고 있으며, 이는 나노기술의 산업화에 결정적인 영향을 미치고 있는 실정이다. 이에 초기의 나노정책과 지원이 학술적 연구와 기술개발에 집중되었던 반면 최근 국제적인 연구는 부족한 데이터 창출과 안전성 평가 방법, 그리고 현시점에서 적합한 위해관리 방안 모색이 주요 주제로 부상하고 있다. 또한 나노기술의 이점과 산업화 가능성이 세계적으로 주목받고 있는 반면, 우리나라 나노기술의 농업생산이나 식품산업의 응용은 아직 초기 단계로 보여진다. 따라서 본 고에서는 나노식품 분야의 연구, 산업화 및 국제협력 동향에 대해 살펴보고 우리나라 나노식품의 연구개발과 산업발전 전략에 참고가 되도록 요약 정리하였다.

2. 나노식품의 정의

학술적으로 “나노기술은 물질의 특성을 나노

Corresponding Author: Myeong-Ae Yu
Executive Director, ILSI Korea
Suite 505, 466-7 Jangan-Dong, Dongdaemun-Gu, Seoul, Korea
TEL: +82-70-4118-7655
FAX: +82-2-3394-4550
E-mail: ilsikorea@ilsikorea.org

스케일에서 규명하고 제어하는 기술로서 원자 혹은 분자를 적절하게 결합시켜 새로운 미세한 구조를 만들어 기존 물질을 변형 혹은 개조하거나 새로운 물질과 기능을 창출하는 초미세 극한기술이다”라고 정의할 수 있으나 일반적으로 “나노기술은 일반적으로 물질의 크기가 0.1~100 나노미터 (nm) 크기의 초미세물질의 생산, 가공 및 사용에 대한 기술을 총칭하는 신기술”로 정의되고 있다 (Pathak et al. 2012; Filipic, 2013). 1 나노미터는 10억분의 1 미터로 머리카락 굵기의 약 10만분의 1 크기이며, 나노물질은 그 크기로 인해 마이크로 이상의 물질과는 다른 물리적 강도, 화학적 반응성, 전기전도율, 자기성 및 광학적 특징을 보이게 된다.

유럽연합에서 2011년에 채택한 규제에서 나노물질에 대한 정의는 “나노물질은 물질의 한 면의 크기가 1-100 nm 크기인 입자들의 분포가 50% 이상을 차지하고, 결합상태나 집합체나 군집형태로 존재하며 자연적으로 생성되거나 우연히 혹은(의도적으로) 제조된 물질들을 의미한다”로 정하고 있다(EPA 2011).

나노식품은 나노기술을 활용하여 식품시스템을 구축하고 고안하여 유용물질을 생산하거나 건강증진에 도움이 되는 신소재를 이용한 기능성 식품으로, 유엔 산하의 식량농업기구(FAO)와 세계보건기구(WHO)는 나노식품을 전체 식품공급사슬(Food Supply chain), 즉 생산, 제조가공, 포장 및 유통 과정 중 나노기술을 적용하여 생산한 식품이나 유관 제품으로 정의하고 있다(FAO 2010).

나노기술이 최근에 새로운 연구분야로 부상하고 있으나, 나노크기의 물질들은 기존의 식품에도 자연적으로 존재하고 있으며, 우리는 매일 나노물질들을 섭취해오고 있다(Floros 2010). 일반 식품에 자연적으로 존재하는 나노크기의 물질로는 구상단백질(10-100 nm), 다당류와 유지류(2 nm 미만 굵기), 이멀전(나노막), 젤라틴, 열변성 전분(10 nm) 등이 대표적이다(Filipic, 2013). 그러나 최근 나노기술을 이용해서 상용화를 목적으로 나노물질에 대한 연구개발이 활성화 됨에 따라 위해

관리(예: Pre-market authorization)나 위해평가 측면의 필요에 따라 나노식품의 정의에 차이를 보이고 있다. 이처럼 세계적으로 나노기술에 대한 정의에 대한 논의가 되고 있으나 아직 통일된 상황은 아니며 향후 농업과 식품분야의 나노기술 적용이 활성화되고 산업화된 제품의 시장 진입이 활성화 되면 코덱스 차원에서 국제정의 및 기준화 작업이 시작될 것으로 전망된다(FAO 2013).

3. 나노식품 및 식품관련 분야의 산업화에 대한 이점과 이슈 현황

세계 각국에서 나노기술의 미래 신성장 동력으로서의 가능성과 농식품 분야의 응용에 대한 연구가 커지면서 나노식품의 가능성에 대한 관심이 커지고 있으며 아래와 같은 이점들이 예상되고 있다 (Filipic, 2013).

- 새로운 맛과 풍미, 식감 제공
- 지방, 소금, 당류, 보존제 등 식품첨가물의 섭취량 감소
- 영양소, 건강보조제 등의 전달 시스템(Delivery)과 체내 이용성 증진
- 영양소의 체내 이용 향상
- 식품의 신선도 및 품질 유지 및 관리
- 개선된 ‘스마트 식품포장기술’ 개발로 식품안전관리 향상
- 식품 생산부터 유통 및 소비까지 식품이력추적 및 안전관리 향상 등

세계 선진국과 개발도상국 등 제 외국에서 미래 신성장동력으로서 나노기술이 조명되고 있지만, 식품에 의도적으로 나노기술로 제조된 나노물질 (Engineered nanomaterial, ENM) 추가하는 것에 대한 안전성 이슈가 부상하면서 GM 논란과 같은 전례를 답습할 수도 있다는 우려의 목소리가 나오고 있다(Pathak et al. 2012). 이에 따라 GM 식품의 사례와 같은 전철을 답습하지 않기 위해 세계 각국의 정부, 학계와 산업체에서는 나노식품의 안전

성 연구 지원과 정책마련에 고심하고 있으며, 제품의 시장진입 전에 신중하게 그 이점과 유해가능성 등에 대해 검토를 하고 있다. 특히 나노물질의 기능, 침투성, 특성, 섭취 시 노출/침투경로, 독성, Lifecycle 평가에 대한 데이터뿐만 아니라 나노물질을 추가하는 제품에 대한 데이터, 신제품에 대한 정보 부족이 문제점으로 지적되고 있다.

식품 중 나노물질의 사용으로 인한 안전성 이슈는 나노물질이 유리되어 섭취되거나 나노식품의 섭취 후 소화기관에서 유리되어 세포막 투과성이 커져 인체에 유해한 효과를 유발할 수 있다는 불확실성에 근거를 두고 있다. 불용성 나노물질은

체내 세포막을 쉽게 투과하여 다른 장기로 이동이 가능하며, 따라서 식품을 통해 물질안정성이 큰 불용성 나노물질에 단기, 장기적으로 노출될 경우 건강에 미치는 영향에 대한 평가가 필요하지만 현재 데이터가 부족한 실정이다. 또한 나노물질의 Dose-Response 관계 등 유해 가능성에 대한 데이터 부족, 인체노출평가에 대한 데이터 부족이 문제점으로 부상하고 있으며 많은 지식격차가 존재한다.

표 1에 식품산업의 나노기술 응용 예시와 이에 따른 이점과 우려 점을 요약하였다.

표 1. 나노기술의 식품이나 유관분야 응용에 따른 이점과 우려 점

식품분야	제품 예시	이점	우려 점
식품가공 : 나노기술을 이용한 식품가공, 나노이밀전, 나노마이셀 구성 등	마가린, 토피, 초콜릿, 치즈, 마요네즈, 나노소금 등	식품의 식감, 향미, 맛 증진 효과, 식품가공 시 사용하는 소금, 유지, 당류 및 기타 식품첨가물의 사용 감소 가능 영양성분의 체내이용성 증진에 따른 건강증진 효과	식품 내 나노물질들이 섭취 후 소화기관에서 소화되거나 용해됨에 따라 상대적으로 안전성에 대한 이슈 정도는 낮은 편임. 나노물질의 안전성평가는 소화성(Digestibility)과 체내 이용성의 주요 변화 등을 고려해서 수행 필요
나노식품첨가물/보조제 : 나노크기의 미네랄 첨가물/보조제 생산	미네랄 보조제(칼슘, 마그네슘, 세슘, 철분 등) 식품첨가물(이산화규소(SiO ₂), 이산화타이타늄(TiO ₂) 등)	영양소/보조제의 향상된 생체이용률 증가와 이에 따른 항균 등 건강증진 효과	나노기술로 제조된 나노물질의 불용성과 물질안정성이 증가하고, 이들 나노물질의 독성학적 특성에 대한 데이터 부족함에 따라 소비자 노출과 위해 가능성
나노캡슐식품제제 : 식품성분소재, 첨가물, 보조제 등의 나노캡슐제제 - 나노규모의 액상구조체 (nano-sized Self-assembled liquid structure (NSSL))	식품첨가물(안식향산, 구연산, 아스코르빈산 등) / 보조제(비타민 A, E; 이소플라빈, 베타 카로틴, 루테인, 오메가-3 지방산, 코엔자임 Q10 등)	가공 중 맛의 유지, 불필요한 맛의 차단 가능 영양소나 보조제의 체내이용률 증진, 건강증진 효과	나노캡슐제품의 체내 흡수 및 대사 과정이 기존의 제품과 상이할 경우의 잠재적 유해성에 대한 데이터 부족, : 나노캡슐제품의 체내이용률의 증가와 과도한 섭취효과 등 유해한 영향
나노식품포장	클레이 나노복합물, 향균포장, 나노센서 등	식품부패 방지 및 관리지표, 식품안전(식중독균 오염 방지 및 지표), 가스투과 저하로 품질 유지 등	나노물질(Engineered Nanoparticles, ENPs) 포장 시 식품이나 음료(알코올, 비알콜류)로 전이될 경우 잠재적 소비자 안전

자료원: Filipič, 2013

아래는 국제적인 나노전문가미팅들에서 도출된 문제점들이다.

- 나노식품의 경구섭취시 체내 ADME(absorption, distribution, metabolism, excretion) 데이터가 제한적
- 나노식품에 인체가 장기 노출될 경우 독성 데이터 부족
- 나노물질이 포함된 식품군에 대한 정보 부족과 표시기준의 부재
- 식품 중 나노물질의 다른 성분들과의 반응성, 분해여부 등에 대한 정보 부족(나노캡슐 제외)
- 나노물질의 분리유출시 체내 유해성에 대한 우려
- 나노식품의 실제 섭취 DB 부재
- 나노물질의 식품과 체내, 특히 소화기관 등에서 축적과 특성연구에 대한 분석법의 필요성이 증가하고 있으나 비싼 분석비용과 고도의 분석기술, 표준화된 분석법의 부재로 나노식품의 검출과 안전성 연구가 어려움

나노식품의 산업화 전에 검토해야 할 주요 이슈 중에는 소비자들이 나노물질의 사용에 대한 수용성 여부와 특히 나노식품이 사회경제와 환경에 미칠 수 있는 잠재적 영향에 대한 전망이다(Floros 2010). 그 외 나노물질의 식품분야 응용과 산업화와 관련해서 검토해야 질문들은 나노기술 연구가 인류의 건강증진과 웰빙을 위한 식품생산 등 산업화에 활용될 수 있을 것인가?; 식품산업이 나노기술을 효과적으로 산업화하기 위해 필요한 추가 규제와 지원은 무엇인가?; 소비자와 일반대중의 이해 증진과 수용을 촉진하기 위해 필요한 것은 무엇인가? 등이다.

나노기술의 농업과 식품분야 적용에 대한 소비자의 입장은 복잡한 것으로 보인다(FAO 2013). 소비자 입장이 긍정적인 방향으로 선회하기 위해서는 소비자들이 잠재적 위해와 명확한 이점들이 무엇인지에 대한 소통과 이해가 핵심이 될 것이다. 소비자단체들은 나노물질의 상용화가 적절하게 규제되지 않았을 경우 발생할 수 있는 위해로부

터 소비자를 보호하기 위한 정부와 산업체의 노력을 촉구하고 있다.

나노식품의 위해관리와 산업화를 위해서는 위해평가가 선행되어야 한다. 이를 위해 식품이나 농업용 제품의 제조, 유통, 사용 등 과정 중 나노물질의 추적과 각 단계에서 나노물질의 위해평가의 투명성을 위한 체계 구축노력이 필요하다. 또한 위해평가를 위한 나노물질의 정의와 범위를 명확하게 정해야 하며, 유용한 사례연구 추진이 필요하다.

4. 식품 중 나노기술 응용 분야 연구 및 산업화 동향

선진국과 개발도상국 등 세계 각국에서 새로운 시장개편과 점유율 확보를 위한 방편으로 나노기술의 연구와 산업화, 안전성평가에 많은 지원을 하고 있다(교육과학기술부 등 2010). 국외 조사기관에 따르면 2015년경 세계 나노시장의 규모는 1조 억불(NSF 예측) ~ 2.6조 억불(Lux Research)로 전망되고 있으며, 나노기술 시장 분야별로는 나노소재 분야가 전체 시장의 80% 정도를 지속적으로 차지할 것으로 전망되었다. 특히 2010년 기준으로 나노바이오 분야(의료건강, 식품과 영양보조제, 식품포장, 동물의약품 등) 시장은 전체 나노시장의 약 10%에 달한다. 다른 나노산업 조사회사인 Helmut Kaiser Consultancy의 2004년 연구에 의하면 나노식품 시장은 2010년에 20억 4천불이 될 것으로 전망한 바 있다(Helmut Kaiser Consultancy, 2004). 또한 산업기술연구와 산업에 대한 마켓조사를 하고 있는 Business Communication Company에 따르면 나노기술은 2003년에 76억불이었으며 2011년에 약 1천억 불에 달할 것으로 전망하였으나 실제로 나노기술의 농업과 식품분야의 적용은 전망치에 달하지는 못하였다. 다른 조사기관인 Wilson Center가 2013년에 한 발표에 의하면 2005년 이후 상용화된 나노기술을 이용한 소비자 제품목록은 약 1,628 품목이며, 이는 2010년 이후 약 24% 증가하였다.



농업과 식품분야의 나노기술/물질 사용에 대한 리뷰가 보고되고 있으며(Chaudry *et al.*, 2011; Frewer *et al.*, 2011), 나노식품 개발을 위해서 보다 많은 연구가 필요하다는 점이 공통된 의견이다. 특히 식품 중 나노이멸전 분야의 연구는 의약품의 딜리버리 분야의 연구와 유사하며 활발한 연구가 진행되고 있다. 그러나 나노이멸전 기술을 이용한 식품의 상용화를 위해서는 선결해야 할 여러 과제가 있다. 첫째로 나노식품이멸전 제조를 위한 적합한 식용 소재 선별이 필요하고, 대량생산을 위한 기술적, 경제성 검토가 선행되어야 한다. 아울러 나노이멸전 식품의 체내 이용률, 안전성 평가가 필요하나 현재 이에 대한 연구는 아직 제한적이다(McClements & Jiajia, 2011).

앞서 언급했듯이 식품산업이 나노식품개발 및 상용화하는데 있어서 가장 우선적으로 검토하고 있는 것은 나노식품의 안전성과 소비자 수용 여부에 대한 것이다. 이런 측면에서 나노기술의 식품 분야 응용은 식품안전과 품질유지 분야(나노센서, 나노항균포장재 등)의 상용화가 나노식품소재나 나노캡슐 등 분야보다 우선적으로 추진될 수 있다. 이는 식품안전 확보나 소비자에게 식품의 품질과 안전성, 유통기간 유지 등 정보를 제공할 수 있는 것이 소비자들에게 큰 이점으로 인식될 가능성이 크기 때문이다.

나노식품 개발연구 및 상용화 프로그램의 대외적 공유는 아직 활발하지는 않지만 여러 글로벌 식품회사의 경우 나노식품의 연구를 검토 또는 추진하고 있는 단계이다. 동시에 잠재적 성장동력이 큰 나노식품 및 유관 분야의 시장 선점과 국제 경쟁력제고를 위한 동향정보, 학술적 정보에 대한 국가간, 민-관 협력도 진행되고 있다. 주요 글로벌 식품회사들 - 네슬레, 크래프트, 하인즈, 유니레버 등의 경우 차세대 나노식품 시장의 마켓점유를 위한 프로그램을 운영, 지원하고 있다. 이러한 연구로 개발된 나노식품 관련 제품들은 소비자와 시장의 요구에 따라 출시 여부와 시기가 결정된 전망이다.

식품산업의 나노기술 활용은 전혀 새로운 식품

시스템을 제조하는 것이 아니라 기존의 식품매트릭스의 변화와 개선, 식품의 안전과 품질 확보, 영양과 건강증진 효과가 개선된 식품에 전략적으로 활용될 것으로 전문가들은 전망하고 있다. 특히 식품포장산업은 이미 나노기술을 이용한 제품들을 출시하고 있다.

1) 나노식품포장기술과 식품안전 및 보존

농식품과 가공식품의 유통기한 최적화와 안전 확보는 식품회사들의 주요 관심분야이며, 나노기술을 이용한 스마트 포장기술의 연구개발이 지난 10여 년 동안 활발하게 진행되어 왔다. 스마트 식품포장 기술은 포장재의 물리적 안정성 증진 외에도 온도, 습도/수분 등 외부환경으로부터 식품의 보호(예: 포장재의 발수성, 기체여과 조절성 등), 식품이 오염되거나 부패했을 경우 식품관리자나 소비자의 인식이 가능하게 하는 등 여러 가능성이 큰 기술이며, 이 분야에 나노기술의 적용이 활발하게 추진되고, 시장이 활황이 될 것으로 보인다. 2010년 식품포장시장은 약 37억불 규모이며 빠르게 증가하고 있다. 크래프트 식품회사가 미국 Rutgers University와 공동으로 전자혀(Electronic Tongue) 등 스마트 식품포장시스템 개발을 추진 중인 것으로 알려지고 있다. Bayer Polymers 회사의 경우 기존의 식품포장필름 보다 열저항성이 크고 가벼운 실폐장재를 개발하여 시판하고 있다. 실폐장재는 식품의 건조 방지, 수분이나 산소 등의 차단으로 식품부패 방지용으로 사용되고 있다. 아래는 각 나노식품포장 응용분야와 대표적인 일부 산업체와 제품을 요약하였다.

가. 클레이 나노복합물질(Claynanocomposites)

나노클레이는 나노기술을 이용해 바이오폴리머와 점토의 복합물을 제조한 것으로 전분과 몬모릴로나이트(점토광물의 일종), 폴리락트산점토, 폴리카프로론과 나일론의 조합물이 제품화되고 있으며, 이 물질들은 강화된 물리적 특성, 열저

항성, 가스투과 저하 등 여러 특성을 보이고 있다. 기타 장애(Barrier)효과 개선용 나노물질로 산화실리콘점토, 산화알루미늄점토(40-60 nm 두께 코팅제), 나일론 나노클레이(플라스틱 맥주병의 기체투과 조절용 제제) 등이 개발되었다(Floros 2010). Nanosensore Inc 회사에서 개발한 “지능포장 시스템(Intelligent Packaging)은 식중독균, 부패균 화학오염물질 독소 등의 검출에 사용되고 있다. 이외에 맥주회사들이 사용하는 플라스틱병 등에 주로 사용되며, Voridan과 Nanocor 회사 합작으로 클레이 나노복합물 제품(상품명, Imperm) 출시하였다. Miller Brewing Co., Honeywell Specialty Polymers 등 회사에서도 나노복합물로 만든 플라스틱 맥주병 사용하여 유통기한 연장에 활용하고 있다(최대 26주까지).

나. 식품안전 - 항균포장, 나노센서 등

Kodak 회사는 포장된 식품에서 산소를 흡착하는 항균필름을 개발하여 식품의 부패를 방지하는 기술을 개발하고 있다. 그 외 여러 회사에서 항균필름과 나노센서 등 식품의 부패나 미생물/화학물질 오염을 표시하는 분야의 제품 연구개발에 나서고 있다. AgroMicron 회사는 나노생물발광 검사 스프레이 제품을 개발하였는데, 이 제품은 살모넬라, *E. coli* 같은 식중독균의 표면에 흡착하여 발광작용을 하는 광단백질 스프레이 시스템으로 나노기술을 이용한 제품이다. 유사한 전략으로 EU의 Good Food Project에 참여하고 있는 연구자들은 식품 중 화학오염물질, 식중독균, 독소 등을 검출하는 이동용 나노센서의 개발을 연구한 바 있다 (<http://www.goodfood-project.org/>). 또한 DNA 바이오칩을 이용한 Nanomicroarray 센서의 개발을 위한 연구도 활발하게 추진되고 있으며, 식품의 부패와 안전을 위협하는 미생물의 검사나 식품 중 잔류농약 검출 등에 활용 가능성을 타진하고 있다.

다. 기타

이 외에도 나노기술을 RFID(Radio Frequency

Identification) 기술과 접목하여 식품유통 중 관리에 사용하는 연구가 진행 중이다. 이 시스템은 마이크로 프로세서, 안테나로 구성되어 식품의 물류창고에서 소비자 구매까지 식품의 관리에 사용될 수 있다. 현재 대형 할인점(Wal-Mart, Home Depot, Metro Group, Tesco 등)에서 이 기술을 시험적으로 사용하고 있다.

바스프, 크래프트 등 글로벌 회사에서는 식품의 유통기간을 연장하고 식품부패 시 포장재 색상의 변화를 보이는 새로운 포장재를 개발하고 있다. 또 한국의 주요 냉장고 제조사인 LG 전자, 삼성전자, 대우 등 회사는 냉장고 내 미생물오염으로 인한 냄새제거에 나노실버제를 사용하고 있다 (FAO 2013).

2) 식품가공분야 : 영양소 딜리버리, 나노캡슐, 나노이멀전

식품의 기능이나 품질에 직접적으로 영향을 주는 나노물질의 연구개발도 추진되고 있으나 안전성 이슈, 독성데이터의 부족 등의 제한으로 식품 원료로서의 나노식품소재 개발은 아직은 연구 단계에 있고 상용화까지는 시간이 소요될 것으로 전망되고 있다. 세계 여러 연구그룹에서 활발하게 연구하고 있는 분야는 나노캡슐을 이용한 영양소, 식이보조제 등 생리활성물질의 체내 타깃 장기에 선택적으로 전달하는 기술분야이다. 서호주 지역의 제빵업체는 참치생선오일(오메가 3-지방산 함유)을 나노캡슐 기술을 이용해서 인기 빵제품의 원료로 사용하였다. 이스라엘의 Nutralease 회사는 나노크기의 액상제품(Nano-sized self-assembled liquid structures)을 이용하여 영양소를 세포로 전달하는 기술을 제공하고 있다. 이 기술을 사용하여 연구되는 생리활성 물질로는 라이코펜, 베타카로틴, 루테인, 피토스테롤, 코엔자임 Q10, DHA/EPA 등이 있다. Shemen 회사에서는 이 기술을 응용해서 카놀라 기능성오일을 체내에 전달하는 시스템을 시판하고 있는데 이는 체내 섭취율을 약 14% 증가시키고 콜레스테롤을 저하하는 효과가



있다고 강조하고 있다.

크래프트 식품회사는 15개 대학의 연구팀과 컨소시엄을 구축하여 식품 내 나노물질의 이용에 대한 연구를 지원하고 있는데, 이러한 제품이 상용화 될 경우 소비자들의 다양한 향미나 색깔의 제품선택의 범위가 넓어질 것으로 예상하고 있다. 또 식품회사와 화장품 회사에서 공동으로 비타민을 피부에 직접 전달할 수 있는 시스템 연구도 진행하고 있는데, 네슬레의 경우 로레알과 공동으로 비타민 E를 직접 피부에 제공하고 천천히 유출되도록 하여 자외선 보호가 지속되도록 하는 투명 선크림의 연구개발을 추진한 바 있다. 유니레버는 아이스크림에 나노이멸전 기술을 이용해서 제품의 조직감을 향상시킨 저지방을 개발하고 있다. 이 경우 제품의 맛이나 조직감의 손상 없이 유지의 사용을 16%에서 1% 수준으로 줄이는 것이 가능해진다고 보고되고 있다 (<http://www.nanotechproject.org/index.php?id=44&id=44&action=view&dbq=food&p=0>). 표 2에 나노기술의 식품분야 적용 관련 과제 현황을 요약하였다(2010 기준; FAO 2013).

5. 나노식품 이슈 해결을 위한 국제 연구 및 협력 동향

세계 제 외국에서 나노식품과 관련한 안전성이 이슈로 부상함에 따라 2009년에 FAO와 WHO에서 전문가자문미팅을 소집하여 나노기술의 농업과 식품분야 적용과 식품안전 영향에 대한 과학적 고찰을 하고 향후 연구관리 방향에 대한 제언을 하였다(FAO 2010). 전문가들은 나노기술이 혁신적이며 농업, 물처리, 식품 생산부터 포장까지 전분야에서 적용 가능한 기술로 농부, 식품산업과 소비자 모두에게 잠재적 이익을 제공할 수 있는 점에 공감하고 이러한 제품들이 세계적으로 널리 이용될 것으로 전망하였다. 동시에 명확하고 국제적으로 합의된 나노식품 정의의 필요성이 커짐에 따라 코덱스 차원에서 정의와 기준을 다룰 것을 제안하였다. 후속 작업으로 FAO/

WHO에서 농식품 분야에서 사용되는 나노물질의 위해분석, 특히 위해평가와 위해관리에 대한 제 외국과 국제연구단체들의 활동을 리뷰하여 보고하고 있다(FAO 2013).

나노식품의 인체유해성평가와 관련해서 현재 FAO, WHO, 코덱스의 위해평가 가이드라인의 원칙들이 농식품 분야에 사용되는 나노물질의 위해평가에도 적합하다고 보고하였다. 그러나 나노물질의 특성, 특히 표면적이 상당히 증가함에 따라 식품성분이나 인체 세포와의 반응성, 환경에 미치는 영향 등에 대한 추가 검토가 필요하다고 지적하였다. 나노식품의 위해평가를 위해서는 단계별 접근법을 통해 분석 가능한 물질들의 우선순위를 정하여 추진하기를 권고하고 있다(Cockburn *et al.* 2012).

2000년에 미국이 국가나노기술이니셔티브를 발표한 이후 한국(2001), 일본(2001), 유럽연합(2002), 독일(2002), 중국(2002), 대만(2002) 등 세계 주요 국가들은 경쟁적으로 국가나노기술개발전략을 수립하고 정부차원의 연구개발이 본격화되고 있다(교육과학기술부 등 2010; 김정옥 2012). 미국 등 나노분야 선진국의 정책패러다임을 살펴보면, '기술개발'을 강조하던 기존의 전략과는 달리 '나노기술의 안전성 문제'와 '상업화'가 핵심이슈로 부상하였음을 알 수 있다. 나노산업정책을 주도하는 미국의 최근 동향은 유럽, 일본 등 주요 국가에게 영향을 미쳐, 향후 나노물질의 안전성에 대한 주요국의 규제정책의 강화가 예상되고 있다. 선진 제 외국의 최근 정책 방향은 기초연구부터 상업화까지 전주기적인 지원체계가 실질적으로 작동할 수 있도록 정부 부처간 그리고 산·학·연간 연계를 강화하고, 또한 대국민 이해도 및 참여를 촉진하기 위한 국가차원의 정보교류 활동을 촉진하는 것으로 보여진다.

아래에 미국 등 세계 제 외국과 글로벌 연구컨소시엄의 나노분야 정책과 나노기술 동향에 대한 정보를 요약하였다.

표 2. 나노기술의 식품분야 적용 관련 과제 현황(2010 기준)

응용분야	나노기술	기능	잠재적 이익	인체노출경로	시장진입 여부	비고
나노구조의 식품소재 (Nanostructure, nanotextured food ingredients)	식품 내에 나노구조 가공기술	새로운 혹은 향상된 맛, 향미, 식감 제공	저지방 함유, 맛 등이 증진된 식품제품 개발 가능, 보다 안정된 유휴식품 가능 소비자에게 저지방이지만 기존 제품의 식감과 맛을 제공하는 식품에 대한 건강한 식품선택권 보장으로 소비자의 지방섭취 감소 및 건강증진	나노식품/음료섭취	현재 시장에 진출된 상품제품은 없으나, 활발한 연구가 진행 중이며 가까운 시일에 제품 상용화 가능할 전망이다	시장진입 가능성이 큰 제품으로는 저지방 나노이멸건으로 구성된 마요네즈임
나노딜리버리 시스템 - 영양분, 식이보조제 (나노캡슐)	생리활성물질들을 나노마이셀, 나노리포솜, 나노바이오폴리머 형태로 캡슐화 하는 기술로 주요 생리활성물질, 식품첨가물, 식품/음료의 식이보조제 등임	나노캡슐은 생리활성 물질들의 맛을 마스킹하거나, 제조가공/체내 흡수 중 물질분해를 막아주는 역할 가능함. 그 외에도 체내 이용률 증가, 항균 효과, 간편성 등기타효과가 예상됨	체조, 보관 중 식품소재, 첨가물 등의 보존 및 분해저감화, 좋지 않은 맛, 향미의 마스킹, 영양소/첨가물의 유출 조정 및 섭취 증진 가능	나노식품/음료섭취	다양한 딜리버리 시스템이 이용 가능함. 예로는 안식향산, 구연산, 아스코르빈산의 나노캡슐제품, 식이보조제 캡슐제품 (비타민 A, E, 이소플라빈, 베타케로틴, 루테인, 오메가3 지방산, 코엔자임 Q10 등)	영양소, 식이보조제 등의 체내 흡수 및 이용률이 증가함에 따라 이물질들의 체내 조직분포 변화가 잠재적으로 가능함.
식품용 나노첨가물, 건강식품보조제, 나노용 나노용 첨가제 (유기물질)	식품 중 자연적으로 존재하고 있는 유기첨가물을 나노크기로 제조하는 기술	나노물질의 표면적이 증가함에 따라 소량으로도 의도하는 기능이나 맛을 달성할 수 있음	주요 이점으로는 추가 지방이나 계면활성제 없이 불용성 첨가물의 식품 중 분산성 향상 가능; 기존 제품보다 나노물질의 증가된 표면적으로 증가된 맛, 향미 제공 가능; 체내 섭취 및 이용률 증가	나노식품/음료섭취	여러 다양한 제품이 이용 가능함	이 기술은 식품, 기능성식품분야의 적용 가능하며, 색소, 보존제, 착향료, 식이보조제 등도 사용대상임



응용분야	나노기술	기능	잠재적 이익	인체노출경로	시장진입 여부	비고
식품용나노첨가물, 건강식품보조제, 사료첨가물의 나노용 나노첨가제(무기질)	무기질 첨가물, 식이보조제, 사료첨가물의 나노제품제조기술	증가된 표면적으로 보다 적은 양 사용 가능. 기타 기능으로 항균효과 등이 있음	증가된 표면적으로 인한 맛, 향미 증진. 기존 제품보다 나노물질의 증가된 표면적으로 증가된 맛, 향미 제공 가능; 체내 섭취 및 이용률 증가	나노식품/음료섭취, 체내 축적 가능성 있음	여러 무기질 나노첨가물이 식이보조제, 뉴트라슈티컬, 식품, 건강기능식품 분야에 사용됨. 예로는, 철분, 이산화규소, 이산화 타이타늄, 셀레니엄, 칼슘, 마그네슘 등이 있음	
식품포장 및 응용	제조된 나노물질을 플라스틱 필러에 추가 혹은 코팅하는 기술	식품포장재와 식품접촉물질의 물리적, 기능적 특징 개선하는 기술임	식품접촉물질이나 포장재의 굴곡성, 가스투과여부, 온도/습도 안정성 개선효과; 나노크기의 은, 산화아연, 산화 마그네슘이 포함된 식품포장재의 항균효과로 식품안전 및 보존성 증가	식품포장재에서 식품으로 전이되는 경우나 식품 코팅제품의 섭취	상용화된 식품포장 제품으로 나노클레이 포함한 플라스틱 필러의 가스투과 차단용 포장재, 항균 식품포장재 (나노실버, 나노산화아연 등); 나노산화타이타늄 포함 투명플라스틱 포장재의 자외선 차단; 나노질화타이타늄 포함 포장재의 물리적 강도증진; 나노실리카 표면코팅포장재	이 분야의 나노기술 적용이 식품 관련해서 현재 활발한 산업화 전략으로 전망됨
식품접촉물질의 나노코팅	나노크기 물질의 코팅 기술	식품접촉면에 나노물질 코팅으로 가스차단 혹은 항균기능 추가	식품가공소(도살장 등) 에서 사용하는 기기 등의 자체 클리닝, 오염감소등	식품으로 전이될 가능성	다양한 나노코팅 소재가 식품포장재, 식품가공용 기기 및 용기 등에 사용되고 있음	나노실리카, 나노산화타이타늄 코팅된 자체클리닝기기, 항균소재 이용한 위생적 식품제조 환경 관리, 발수성 소재에 나노크기 유기코팅 등이 이용되고 있음

응용분야	나노기술	기능	잠재적 이익	인체노출경로	시장진입 여부	비고
나노여과	다공성 실리카, 재생 셀룰로즈 막을 이용한 여과 기술	식품 중 쓴맛 등 원치 않는 성분 제거 (예: 식물추출물 중 쓴맛 제거, 와인이나 맥주의 불순물 제거 등)	식품 중 원치 않는 맛, 향미, 독소 등 성분 제거; 맥주, 와인의 불순물 제거	나노식품/음료 섭취, 나노실리카 코팅된 여과막에서 유래된 실리카가 여과된 식품에 존재할 경우 제한적으로 노출 가능	나노실리카 콜로이드가 맥주와 와인은 불순물 제거에 사용되고 있음	
식품라벨을 위한 나노센서	나노물질을 포함한 지능성 잉크(포장된 식품의 변화에 반응함)로 식품라벨을 제조하여 제품의 안전성과 보관을 표시하도록 하는 기술	식품의 유통과 보관 동안 식품의 상태를 모니터링할 센서 역할	나노크기의 지능성 잉크, 젠서, 바코드 등을 이용한 식품의 안전성, 안보 모니터링 및 관리개선	식품으로 전이될 가능성이	제한된 식품라벨이 상용화되고 있으며, 다수의 제품이 현재 개발 중임. 이 분야의 개발과 상용화가 가속될 것으로 전망됨	식품의 안전과 품질 지표로서의 가능성이 지능성 식품포장소재로 사용됨. 예로 진공 포장된 식품의 상태 모니터링, 냉동제품의 해동여부 (시간, 온도 모니터링), 제품의 미생물오염 확인 등
물의 정화 (Water decontamination)	나노이온이나 기타 광촉매 사용 기술	물처리(정수)기능	유기오염물 분해, 중금속의 산화, 유해균 제거 기능	식수, 폐수 처리	나노이온 제품의 대량 이용	개발도상국의 여러 회사에서 이 기술을 사용하고 있는 것으로 사료됨

(자료원: FAO 2010)



1) 미국

미국은 2000년 국가나노기술이니셔티브(National Nanotechnology Initiative; NNI)를 수립한 이래, 2005년에는 새로운 NNI 체제를 구축하고, 2009년 나노기술 개발법을 개정하는 등 나노기술 연구개발을 전략적으로 추진하고 있다(교육과학기술부 등 2010; 김정옥 2012; FAO 2013). 백악관 과학기술정책실(Office of Science and Technology Policy, OSTP) 및 나노기술조정사무국을 주축으로 나노분야 연구개발의 범 부처적 협력 강화, 나노분야 공동연구사업 기획을 위한 부처간 커뮤니케이션 촉진, 중점연구 분야에 대한 부처간 투자조정 및 인력 교환 등을 추진하고 있다. 또한 2003년에 환경·보건·안전(Energy, Health, and Safety, EHS) 분야 연구지원 및 안전 관리 제도를 강화하기 위해 범부처 차원의 나노기술환경보건영향작업반(NEHI WG)을 설립하여 운영하고 있으며 2008년에 EHS 분야의 국가 대응전략을 마련하였다. 2010년부터 나노기술의 상용화를 촉진하기 위해 범부처 Nanotechnology Signature Initiatives(NSI)* 프로그램을 추진하고 있으며, 2011년 10월에 국가나노기술작업반(National Nanotechnology Initiative)에서 책임 있는 나노기술의 개발과 규제결정지원을 위한 국가전략보고서를 발표하였다(NEST/HEHI 2011). 2011년에 발표된 나노기술 전략보고서는 환경, 건강, 안전 이슈에 대한 연구의 필요성과 지원 전략에 대해 다루고 있다. 동 보고서의 세부 내용은 관련 사이트(<http://www.nano.gov/node/681>)에서 확인할 수 있다.

나노분야의 미국정부 투자는 지속적으로 증가* 하고 있으며 지난 10년간(2001~2010) 총 119억 달러 투자하였고, 2012년 회계연도 예산은 전년 대비 3.6억 달러 증가한 21.3억 달러로, 2001년 이후 누적 투자금액은 165억 달러에 달하며, 기초연구분야의 투자비중이 45%에 달하나 최근 3년간 예산 증가율은 나노제조 등 응용분야와 환경보건안전 부문이 가장 높다.

나노물질의 위해관리와 관련하여 미국 FDA는 2011년에 나노산업을 위한 여러 가이드라인(안)을 발표하여 각계 전문가의견을 수렴하였고(FDA 2011), 2012년에 산업체에서 나노기술을 이용한 식품소재, 식품접촉면 제조 시 예상되는 변화와 영향 및 안전성평가와 규제현황에 대한 안내 지침서를 제공하였다(FDA 2012; FAO 2013).

미국환경보호청(Environmental Protection Agency, EPA)은 2009년에 발표된 나노물질연구전략(Nanomaterial Research Strategy)에 따라 나노물질의 안전성 연구에 주력해왔다(EPA 2009). EPA는 제품에 널리 사용되거나 사용가능성이 큰 물질들을 5가지 유형(탄소튜브, 산화세슘, 산화타이타늄, 나노실버, 나노철분)으로 구분하여 연구하고 있다. EPA는 이들 나노물질들이 환경에 미치는 영향과 생성부터 사용 및 소멸까지의 노출 시 인체와 생태계에 미치는 영향 검토 및 관리방안에 대한 연구를 추진하고 그 결과를 토대로 위해관리 기준을 마련할 예정이다(EPA 2011).

2) EU

유럽연합은 2000년 초부터 나노기술 분야를 프레임워크 프로그램의 전략적인 연구개발 부문으로 선정·지원하고 있다. 유럽집행위원회는 2004년 '나노기술에 대한 유럽전략'을 발표한 이후, 연합연구센터(Joint Research Center, JRC) 등을 통해서 나노기술 연구에 직접적으로 관여하고 있으며, 이를 관련정책과의 연계를 추진하고 있다(FAO 2013). 제7차 프레임워크(2007~2013, 전체 예산 505.2억 유로) 프로그램에서 나노분야에 제6차 프로그램에 비해 2배 이상 증액한 34.67억 유로 투자하였고, 나노기술을 활용한 녹색기술 연구결과의 상용화 촉진을 위해 민간-공공 협력(Public-Private Partnership Initiative)을 강화하고 있다(김정옥 2012). 또한 나노물질의 안전성 확보를 위한 정책을 추진하기 위해 EHS 관련 예산을 나노분야 연구개발 총 예산의 5% 수준으로 확대, 나노과학 및

나노기술 연구를 위한 윤리강령을 채택하는 등 활발한 지원을 하고 있다.

유럽의 회원국에서 나노기술 연구가 활발해지고 나노제품의 시장진입이 진행됨에 따라 2010년에 유럽신규건강위해과학위원회(Europe Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks)에서는 “나노물질 정의에 대한 과학적 근거(Scientific basis for the definition of the term nanomaterial)”를 발표하였고 이를 토대로 유럽연합에서 2011년에 나노물질에 대한 나노 관련 법규(Regulation (EU) No. 1169/2011)를 채택하였으며(EU 2011), 동 법규의 18조는 “가공된 나노물질의 형태인 모든 식품원료는 명확하게 표시해야 한다”라고 명시하고 있다. 나노물질 원료는 원료명 옆 괄호 안에 “나노”라고 표시해야 하며, 이 규제는 2014년 12월 13일로 발효될 예정이다.

2011년 유럽식품안전처(European Food Safety Authority, EFSA)는 “식품과 사료의 공급사슬에서 나노과학과 나노기술의 응용에 대한 위험평가가이드(Guidance on the Risk Assessment of the Application of Nanoscience and Nanotechnologies in the Food and Feed Chain)”를 발표하였다(EFSA 2011). 동 가이드는 식품과 사료에 사용된 나노물질들의 잠재적 위해성 여부 평가방법을 제시하고 있다. 또한 EFSA는 나노식품과 나노사료의 위해평가에 대한 과학자 네트워크를 구축하여 운영하고 있으며 현재 전체 유럽회원국이 참여하고 있다. 관련 정보는 아래 웹사이트에서 확인할 수 있다(<http://www.efsa.europa.eu/en/supporting/pub/362e.htm>).

3) 일본

일본은 2000년에 발표된 미국의 국가나노기술 전략(NNI)의 영향을 받아 지난 2001년부터 제2기 과학기술기본계획(2001~2005), 제3기 과학기술기본계획(2006~2010)의 중점 분야의 하나로 나노기술을 선정하고 전략적인 국가차원의 투자를 실시하고 있다(김정욱 2012). 이를 토대로 일본농림수

산성은 2007년에 “식품 나노기술(Food Nanotechnology)” 프로젝트를 연구 지원하였고 나노식품의 분석과 평가에 대한 논문을 출간하였다(FAO 2013; Government of Japan Council for Science and Technology Policy. 2010).

지난 2010년 일본정부는 나노기술 응용 녹색분야 신규투자 3개 과제에 약 40.5억 엔, 계속사업 12개 과제에 130억 엔 등 나노기술·재료 부문에 투자 강화하였고, 산·학·관 연계(기초·응용 단계부터 대학, 연구소, 기업참여 필수) 및 부(府)·성(省) 연계 사업 추진에 중점을 두고 나노기술 상용화를 추진하고 있다(교육과학기술부 등 2010). 특히 범부처 차원의 「나노기술 연구개발 추진과 사회 수용을 위한 기반개발」 사업을 운영하고 있다.

2009년 후생노동성은 나노물질 안전 대책 관련 검토위원회 설치 및 나노재료의 안전대책 수립을 추진하였고, 나노물질의 발암성 여부에 중점을 두고 있는 “나노물질의 잠재적 유해성 연구 프로젝트(2009-2014)를 연구지원하고 있다. 일본경제무역산업성은 2010년에 일본 나노기술 산업체의 자발적 정보공유 결과를 발표한 바 있다.

4) 중국

중국은 지난 10여 년 동안 국가나노과학기술기초시설 및 연구개발 인프라 건설을 추진해오고 있으며, 나노기술 제품화 촉진을 위한 나노기술표준화 사업을 추진하고 있다(교육과학기술부 2010). 2001년 이후 나노전자, 나노기계, 나노바이오 및 측정분야(14억 위안), 연구시설 건설 및 정보네트워크 구축(7억 위안), 기초연구분야(5억 위안), 연구환경조성(3억 위안) 등 5년간 20억 위안이 나노기술에 투입하였다. 제 11차 5개년 계획기간(2006-2010)의 투자액은 50억 위안(약 8,463억원)으로 제 10차 5개년 계획의 15억 위안(2,539억원) 대비 3배 가량 증가하였다(김정욱 2012). 이러한 중국정부의 적극적인 지원에 힘입어, 중국의 나노기술 관련 SCI논문은 1995년 7.5%에서 2004년 18.3%로

증가하며 세계 5위를 기록하였으며, 2009년 이후에는 미국보다 더 많은 논문을 발표하고 있으며, 2009년 특허 출원 건수는 2006년 대비 5.7배나 증가하였다(김정옥 2012; FAO 2013).

지난 2009년 식품안전법(Food Safety Law of China)이 발효됨에 따라 중국농림부, 보건부에서 식품안전성평가를 하고 있으며, 안전기준과 모니터링 및 관리를 강화하고 있으나, 현재 나노물질의 식품사용에 대한 내용은 포함되어 있지 않다. 2013년까지 나노물질이나 나노원료 사용은 허용되지 않고 있지만, 식품분야 나노기술 응용에 대한 안전성평가는 지속적으로 검토 중이다(FAO 2013).

5) 국제생명과학회(ILSI) 연구재단 나노프로젝트

국제생명과학회(International Life Sciences Institute, ILSI)는 영양, 식품안전, 독성학, 위해평가 및 환경 분야의 과학발전을 촉진하여 인류의 건강증진에 기여하는 것을 목적으로 하고 있는 세계적인 비영리 학술단체로 전세계 17개 지부를 통해 글로벌 네트워크를 구축하여 활동하고 있다. ILSI 활동에는 각국의 정부, 학계, 산업계 전문가들이 공동으로 글로벌 이슈들을 해결하기 위한 학술활동에 참여하고 있다. ILSI의 산하조직인 ILSI 연구재단은 사회복지 증진을 위한 연구를 지원하기 위해 1984년 설립되었으며, 현재 5개 우선 분야의 연구활동을 위해 환경위해평가센터(Center for Environmental Risk Assessment, CERA), 지속가능한 농업과 영양안보를 위한 통합모델링 센터(Center for Integrated Modeling of Sustainable Agriculture & Nutrition Security, CIMSANS), 영양과 건강증진센터(Center for Nutrition and Health Promotion, CNHP), 식품과 사료의 안전성평가센터(Center for Safety Assessment of Food and Feed, CSAFF), 위해과학 혁신과 응용센터(Center for Risk Science Innovation and Application, RSIA)를 운영하고 있다(ILSI, 2014a).

나노기술 연구와 산업화에 아직 여러 측면에서 데이터와 지식의 부족함이 지적됨에 따라 ILSI 차원에서 나노연구 과제가 추진되고 있다. ILSI 연구재단 산하의 위해과학 혁신과 응용센터에서는 세계 15개국이 참여하는 나노연구 컨소시엄의 사무국 역할을 하고 있으며, 현재 나노물질 특성과제(NanoCharater), 나노소비자제품 과제(NanoRelease Consumer Products), 나노첨가물유출 과제(NanoRelease Food Additive) 등 3개 컨소시엄 과제를 추진하고 있다(ILSI 2011b). 이 중 나노첨가물유출 연구과제에 대해 요약 정리하였다.

가. 나노첨가물유출(NanoRelease Food Additive) 컨소시엄 과제 추진 배경 및 목적

최근 나노소비자제품의 시장 집입이 가시화되면서 나노기술 응용제품의 인체안전성과 환경영향에 대한 이슈가 부상하고 있다. 이를 반영해 세계 각국의 최근 나노연구 지원과 정책 방향은 나노제품의 유해성 여부에 집중되고 있다. 국제나노기술위원회(International Council on Nanotechnology) 조사에 의하면 2013년 6월 기준으로 나노기술 관련 문헌자료 중 안전성 관련 연구는 2008년 이후 꾸준히 증가하고 있으며, 2012년에는 817건의 논문들이 보고되고 있다(그림 1, Canady, 2014).

나노식품의 안전성 이슈는 나노물질이 식품 내에서 분리되어 섭취될 경우와 섭취한 후 소화기관 내에서 분리될 경우 소화기관을 쉽게 투과하여 인

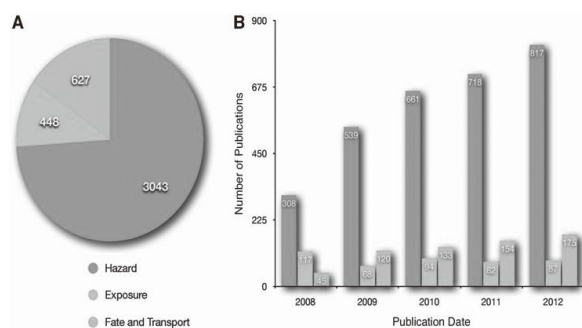


그림 1. 나노기술 관련 연구논문 주제 분석현황 (2008-2012)

체에 유해한 영향을 미칠 수 있을 수 있다는 가설이 핵심이다. ILSI 연구재단의 NanoRelease 프로젝트는 제품에 사용된 나노물질의 유출여부에 대한 분석방법 개발을 지원하여 나노물질 위해판단의 근거 도출과 안전한 나노물질의 사용을 활성화하기 위해 추진되고 있다. NanoRelease 프로젝트의 일환으로 참여국의 기관 및 연구자들이 데이터 공유, 분석법 연구 및 표준화, 현행 기준 정보수집 등에 협력하여 진행하고 있다. 나노첨가물유출 컨소시엄의 목표는 식품섭취 후 소화기관에서 나노물질이 유출되어 흡수 되는 지를 평가/분석하는 방법의 개발이다.

나. 나노첨가물유출 컨소시엄 연구진 구성

나노첨가물유출 컨소시엄 과제에는 미국, 캐나다, 유럽(EC JRC, 영국, 벨기에, 독일, 아일랜드, 이태리, 네덜란드, 포르투갈, 스페인, 스위스 등), 호주, 일본, 대한민국 등 15개국에서 정부 및 출연기관, 학계, 산업체, NGOs 등 기관의 전문가 약 70여명 이상이 나노물질(첨가물)의 경구 노출평가를 위한 방법 개발을 위해 참여하고 있다(표3). 동 프로젝트는 운영위원회, 5개 TF(나노첨가물의 물질 특성, 소화기관환경 리뷰, 실험용 소화기관 모델링, 분석법, 위해관리 전망) 그리고 분석법의 실험실 검증그룹으로 구성되어 추진되고 있다.

표 3. NanoRelease 프로젝트 참여 기관 및 후원 기관

정부 및 출연기관	Canada- Health Canada, Environment, National Research Council USA - EPA, FDA, USDA, Department of Defense (DoD), National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), National Institute of Standards and Technology (NIST), Consumer Product Safety Commission (CPSC), National Science Foundation (NSF) EU- UK FERA, EC JRC, EFSA, TNO, RIKILT And experts from Australia, Japan, S. Korea
학계	Arizona State Univ Leitat Technological Center / Univ. of Florida / Louisiana State Univ. / Michigan State Univ. Centre For BioNano Interactions / University of Illinois MRC Human Nutrition Research / Univ. of Maryland Ohio State Univ. /Univ of Massachusetts Cornell Food Science / Univ. of Michigan / University of Missouri University of S. Alabama /Purdue Univ. /Univ. of Tennessee Rutgers University / Univ. of California Davis Istituto di Chimica e Tecnologia dei Polimeri Heriot-Watt Univ. Univ. of Guelph / Univ. of Toronto /Saarland University Univ. of Canberra /Univ. of Queensland University of East Anglia /Southwest Research Institute Hoseo University IIT Institute for Food Safety & Health ILSI Europe / ILSI North America
산업체	Arkema / Bayer MS / Cargill / ColorCon, Inc. / Dow / DSM Nutritional Products / Evonik Industries /GE Global Research /Lcokheed / Nanotechnology Industries Assoc. / Northrup Grumman / PepsiCo PerkinElmer Company /Taiyo Kagaku
NGOs	As You Sow / Consumers Union / People for the Ethical Treatment of Animals /Fera UK /Friends of Earth The Pew Charitable Trusts
국제기구/단체	ISO, OECD



다. 나노첨가물유출 컨소시엄 추진 내용 및 현황

지난 2012년에 참여국의 위해관리자 중심으로 운영위원회를 조직하여 프로젝트 구성과 목적, 연구내용 등 계획(안)을 도출하였고, 연구 주제별 전문가초청과 더불어 나노첨가물유출 분석법 관련 학술정보 수집, 검토 및 보고서 작업을 진행하였다. TF1-3의 리뷰 결과를 토대로 분석법 TF에서는 식품과 소화기관내에서 나노물질의 검출과 특성연구에 유용한 분석법 문헌 및 방법검토, 분석법 적용 가능한 나노물질 유형과 조건 확인, 소화기관 흡수의 관점에서 부족한 정보와 개발이 필요한 방법 확인 등의 작업을 마쳤다. 2013년에 보고서 작성을 마무리 하고 관련 논문을 저널에 출간하기 위한 준비 중이다. 2013년 5월까지 주제별 백서 작성과 표준분석법 작업을 진행하였고 이중 나노식품 규제 TF5는 주요 연구내용은 아래와 같다.

- 글로벌시장에서 식품중 나노물질에 대한 규제 현황 검토
- 나노물질의 정의와 비나노물질과의 구분 기준 논의
- 나노물질 안전성 및 위해평가 가이드 리뷰
- 식품접촉물질에서 전이되는 나노물질의 검출에 대한 규제 및 가이드 검토

현재 도출된 분석법에 대해 참여국의 여러 연구실에서 실험법 검증작업이 진행 중에 있다. 실험실 검증그룹의 연구는 현재 실험실 연구과제에 참여할 전문가그룹이 구성되었고, 분석방법의 표준화 연구 및 검증을 목표로 실험용으로 개발된 소화기관모델에서 나노물질 흡수여부 및 과정에 대한 테스트를 추진하고 있다. 이를 토대로 소화기관에서의 나노첨가물 흡수 가능성 평가를 위한 실용적 방법의 표준화 또는 과학적 합의를 촉진할 예정이다.

6) OECD : 산업적으로 제조된 나노물질의 안전성 연구 데이터베이스 구축

OECD 에서 추진하고 있는 이 프로젝트는(산업

적으로)제조한 나노물질의 환경, 인체 건강 및 안전성 이슈 연구과제에 대한 글로벌 정보DB 구축 및 업데이트를 목적으로 추진되고 있다. 데이터베이스는 나노물질 관련 연구현황에 대한 정보 업데이트를 용이하게 하고 추가 연구가 필요한 분야 도출과 협력지원 등에 도움이 되고 있다. 데이터베이스에서는 실험실 연구결과 외에도 특정 물질의 위해평가, 위해 저감화 방안, 나노물질 규제현황, 국제 기준동향, 전문가토론 보고서 등이 검색 가능한 정보 분야이다(OECD 2009).

또한 OECD에서는 “나노물질의 위해평가와 이슈(Important Issues on Risk Assessment of Manufactured Nanomaterials)” 자료를 2012년에 출간하였다. 동 자료에는 산업적으로 제조된 나노물질의 위해평가 현황과 제한점, 그리고 데이터가 제한된 여건에서의 위해평가 전략 등에 대한 내용으로 구성되어 있으며, 추가 연구와 데이터의 필요성을 강조하고 있다(OECD 2013).

7) 국제표준화기구의 나노물질 기준동향

국제표준화기구(International organization of Standardization, ISO)는 지난 2005년에 나노기술위원회를 구성하여 나노기술 분야의 기준에 대한 논의를 추진하였다. 동 위원회는 나노기술의 용어와 정의, 측정과 기기, 표준물질, 분석법, 모델링, 과학적 건강, 안전, 및 환경평가에 대한 검토와 논의를 추진 하였고, 2012년까지 32개 자료가 발표되었다 (isotc.iso.org/livelink/livelink/open/tc229).

6. 우리나라 나노식품 연구 및 산업화 현황

우리나라 정부는 2001년 ‘제1기 나노기술종합발전계획’을 수립하면서 본격적으로 나노기술 정책을 추진하였고, 지난 10여 년간 정부의 지속적인 육성정책으로 나노기술 개발이 본격화되고 있다. 2001년부터 2009년까지 7개 부처, 청에서 총 2조 1,278억원을 투자하였다(교육과학기술부 등

2010, 김정옥 2012). 특히 나노기술, 생명공학, IT 기술 등 분야의 융복합이 미래신성장동력으로 지정되었고, 이에 따라 나노소자, 나노바이오, 나노에너지/환경, 나노소재, 및 나노 공정/측정/장비 등 5대 중점육성분야 30개 미래기술을 선정하여 지원하고 있다. 이중 나노바이오 분야에 나노기반 농수산물, 나노 웰빙 제품, 맞춤형 나노진단, 생체분자 나노분석, 지능형 나노치료제 등이 포함되어 지원되고 있다.

2011년에는 ‘제3기 나노기술종합발전계획(11~20)’을 수립하여 ‘2020년 세계일류 나노강국 건설’이라는 비전과 4대 목표, 5대 전략을 제시하고 이를 위해 2020년까지 5조 4천억원 규모의 투자계획을 발표하였으며, 2020년까지 나노기술의 환경·보건·안전(EHS)에 대한 투자 비중을 7%까지 확대하기로 하는 등 나노기술 연구개발의 사회적 윤리적 책무성을 강화하고 있어 정부와 학계에서의 글로벌 추세에 대응은 활발하게 추진된다고 보여진다. 나노산업 측면에서 국내 나노기업은 중소기업을 중심으로 꾸준히 증가하여 관련 기업의 수는 2005년 약 154개에서 2009년 약 184개로 보고되었다. 2009년 기준으로 이중 나노소재 분야가 35.1%로 가장 많았고, 이어서 나노공정(18.2%), 나노측정*11.7%), 나노소자(8.7%), 나노바이오(12.0%), 기타(13.7%)의 순으로 보고되었다.

그러나 우리나라 식품산업의 나노식품분야 연구와 지원은 상대적으로 미미한 실정이며 이는 우리나라 사회의 식품분야 신기술의 안전성에 대한 요구가 높은 반면 소비자 인식과 이해가 낮은 상황에서 GM 사례와 같은 경로를 답습할 것에 대한 우려에 기인한 것으로 보인다. 그러나 나노기술은 물질의 크기를 제어하는 기술적인 혁신성 뿐만 아니라 새로운 경제환경 변화에 맞추어 새로운 성장엔진을 발굴하고 산업구조를 재편하는데 있어 핵심적인 역할을 할 것으로 기대되며 우리나라 식품산업의 미래성장과 국제경쟁력 제고를 위한 측면에서 활발한 연구와 개발이 중요하다고 생각된다. 이를 위해서는 국내외 나노식품과 관련 분야

의 연구 및 산업동향 정보를 지속적으로 업데이트하고 국내외 정부, 학계, 산업계 및 소비자단체 전문가들의 협력과 투명하고 지속적인 소통 노력이 필요하다.

참고문헌

1. 교육과학기술부 등 7개 정부기관. 2012. 제3기 나노기술종합발전계획(11-12)(안).
2. 김정옥 2012. 미국의 나노기술 전략 및 정책. 한국산업기술정책원 산업정책브리프.
3. Business Communication Company and Nanotechnology. <http://www.bccresearch.com/market-research/nanotechnology>
4. Canady, R. 2014. ILSI Research Foundation. Personal Communication.
5. Chaudhry, Q. & Castle, L. 2011. Food applications of nanotechnologies – An overview of opportunities and challenges for developing countries. *Trends in Food Science and Technology* 22: 595–603.
6. Cockburn, Andrew, Roberta Bradford, Neil Buck, Anne Constable, Gareth Edwards, Bernd Haber, Paul Hepburn *et al.* 2012. Approaches to the safety assessment of engineered nanomaterials (ENM) in food.” *Food and Chemical Toxicology* 50: 2224-2242.
7. EPA(United States Environmental Protection Agency). 2009. Nanomaterial research strategy. Washington, DC: EPA Office of Research and Development (EPA 620/K-09/011). (http://www.epa.gov/nanoscience/files/nanotech_research_strategy_final.pdf).
8. EPA. 2011a. Types of nanomaterials under investigation by the EPA. Washington, DC: EPA. (<http://www.epa.gov/nanoscience/quickfinder/nanomaterials.htm>).
9. EPA. 2011b. Notice of final 2010 Effluent Guidelines Program Plan. Federal Register 76: 66286–66304. Washington, DC: EPA. (<http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/FR-2011-10-26/html/2011-27742.htm>).
10. European Commission. 2011. Commission Recommendation of 18 October 2011 on the definition of nanomaterial. Official Journal of the European Union, L 275: 38–40 (<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:275:0038:0040:EN:PDF>).
11. European Food Safety Authority. 2011. Guidance on the risk assessment of the application of nanoscience and nanotechnologies in the food and feed chain. <http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/2140.htm>
12. EU (European Union). 2011. Regulation (EU) No 1169/2011 of the European Parliament and of the Council of 25 October 2011 on the provision of food information to consumers. Official Journal of the European Union, L 304: 18–63(<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:304:0018:0063:EN:PDF>).
13. EFSA Scientific Committee. 2011. Scientific Opinion on Guidance



- on the risk assessment of the application of nanoscience and nanotechnologies in the food and feed chain. *EFSA Journal* 9: 2140 (<http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/doc/2140.pdf>).
14. FAO/WHO. 2010. FAO/WHO expert meeting on the application of nanotechnologies in the food and agriculture sectors. Potential food safety implications. Meeting report. Rome: FAO and WHO (http://whqlibdoc.who.int/publications/2010/9789241563932_eng.pdf, accessed 3 March 2014).
 15. FAO and WHO. 2013. State of the art on the initiatives and activities relevant to risk assessment and risk management of nanotechnologies in the food and agriculture sectors. FAO/WHO technical paper
 16. FDA. 2011. Draft guidance for industry: Dietary supplements: New dietary ingredient notifications and related issues. Silver Spring, MD, USA: FDA, Centre for Food Safety and Applied Nutrition. (<http://www.fda.gov/Food/GuidanceComplianceRegulatoryInformation/GuidanceDocuments/DietarySupplements/ucm257563.htm>).
 17. FDA. 2012. Guidance for industry. Assessing the effects of significant manufacturing process changes, including emerging technologies, on the safety and regulatory status of food ingredients and food contact substances, including food ingredients that are color additives. Draft guidance for industry. (<http://www.fda.gov/downloads/Cosmetics/GuidanceComplianceRegulatoryInformation/GuidanceDocuments/UCM300927.pdf>).
 18. Filipic, M. 2013. Benefits and risks of the use of nanotechnologies in food industry. Presented at the ECo MaTech Conference (September 19-21, 2013; Bled, Slovenia).
 19. Floros, J. 2010. New and Emerging Applications of Nanotechnology in Our Food Supply. Presented at the IFT International Food Nanoscience Conference, July 17, 2010
 20. Frewer, L., Norde, N., Fischer, A. & Kampers, F. (editors) 2011. Nanotechnology in the Agri-Food Sector: Implications for the Future. Wiley-VCH Verlag.
 21. International Council on Nanotechnology (<http://icon.rice.edu/report.cfm>).
 22. Government of Japan Council for Science and Technology Policy. 2010. Japan's science and technology basic policy report. Tokyo: Government of Japan, Council for Science and Technology Policy. (<http://www8.cao.go.jp/cstp/english/basic/4th-BasicPolicy.pdf>).
 23. Helmut Kaiser Consultancy, Nanotechnology in Food and Food Processing Industry Worldwide, 2004 (<http://www.hkc22.com/nanofood.html>)
 24. ILSI (International Life Sciences Institute). 2014a. <http://www.ilsi.org>
 25. ILSI (International Life Sciences Institute). 2014b. Developing methods to measure release of nanomaterials from solid matrices. Washington, DC: International Life Sciences Institute Research Foundation (<http://www.ilsi.org/ResearchFoundation/Pages/NanoRelease1.aspx>).
 26. Lauterwasser C. Small sizes that matter: Opportunities and risks of Nanotechnologies Report in co-operation with the OECD International Futures Programme.
 27. McClements, D.J. & Jiajia, R. 2011. Food-grade nano-emulsions: formulation, fabrication, properties, performance, biological fate, and potential toxicity. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 51: 285–330.
 28. NSET/NEHI. 2011. NNI 2011 environmental, health, and safety (EHS) research strategy. United States National Nanotechnology Initiative, Nanotechnology Environmental and Health Implications Working Group of the Nanoscale Science, Engineering, and Technology Subcommitt (<http://www.nano.gov/node/681>).
 29. OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development). 2009. OECD database on research into the safety of manufactured nanomaterials. Paris: OECD (<http://webnet.oecd.org/NanoMaterials/Pagelet/Front/Default.aspx>).
 30. OECD. 2013. Co-operation on Risk Assessment: Prioritisation of Important issues on risk assessment of manufactured nanomaterials-Final Report. Series on the Safety of Manufactured Nanomaterials. No. 38. Paris: OECD. ([http://search.oecd.org/officialdocuments/displaydocumentpdf/?cote=en/v/jm/mono\(2013\)18&doclanguage=en](http://search.oecd.org/officialdocuments/displaydocumentpdf/?cote=en/v/jm/mono(2013)18&doclanguage=en))
 31. Pathak, K.S. and Mauskar, P. S. and Bhalekar, P. 2012. Nanotechnology in Agriculture and Food Processing. *International J. Scientific. Engineer. Res.* 3:1-8.
 32. Wilson Center and Nanotechnology. <http://www.wilsoncenter.org/issue/nanotechnology>