



BT분야 전문가가 바라본 분야별 동향을 소개합니다.

BioINpro

BioIN + Professional

2018 미래유망기술 (하)

2018. 5

Vol.51



식품 유해성분 동시검출 센서 기술 동향 (Simultaneous detecting sensor)



박세환 Ph.D.

한국산업기술진흥협회 ReSEAT프로그램 전문연구위원

1. 서언

평균수명 연장과 웰빙(well being)에 대한 관심이 증가하고, 식품산업과 유통 시장이 급속히 확대되면서 소비자의 신뢰성을 충족시킬 수 있는 식품안전 모니터링 시스템에 대한 수요니즈가 확산되고 있다. 국내 식품 인체위해 요소 검출 및 추적 기술에 대한 산업화는 시장진입 단계로 아직은 미미한 실정이다. 이에 따라 정부 주도로 식품 속에 포함된 다양한 인체유해 성분을 검출하는 나노 센서(nano sensor¹⁾) 기술개발에 주력하고 있다. 세부적으로는 i)표면증강 라만 분광기술을 이용한 식품위해 미생물·화합물 동시검출기술, ii)양자점을 이용한 안정적이고 효율적인 바이러스 검출기술, iii)다중검출을 통한 측정감도 향상 및 검출시간 단축 기술 등이 활발하게 연구되고 있다²⁾[1][2]. 이를 통해 건강한 사회 구현을 위한 공공복지 기반을 마련하고자 하는 것이다.

이 연구에서는 식품안전을 위한 직접적인 기술(표면증강 라만 분광(SERS) 기술, 양자점 기술)과, 검출효율을 향상시키기 위한 간접기술(측정감도 향상 및 검출시간 단축기술)을 중심으로 나노 센서 기술개발 동향에 대해 설명한다. 아울러 식품의 인체유해 요소를 사전에 검출하여 식품의 안정성을 확보할 수 있는 센서형 식품 안전관리시스템 개발 필요성과, 국내 식품안전시스템 산업 SWOT 분석 및 TRM을 중심으로 식품안전시스템 산업분석결과를 제시한다.

- 1) 식품의 저장, 가공 및 유통 중에 발생할 수 있는 다양한 미량의 인체유해 성분을 분자 수준에서 검출하고 모니터링 하는 센서를 의미함
- 2) i)과 ii)는 인체유해 성분을 검출하는 직접기술이고, iii)은 검출효율을 향상시키기 위한 간접 기술이라고 할 수 있음

2. 식품안전 나노 센서 기술개발 동향

가. 표면증강 라만 분광(SERS) 기술

1) 기술의 특징

표면증강 라만 분광(SERS : Surface Enhanced Raman Spectroscopy) 기술은 나노미터(nm : 10^{-9} m) 크기의 금속 입자(molecule) 고유의 진동에너지 모드에 대한 플라즈몬 공명을 통해 라만 신호를 획기적으로 증강시켜서 미량의 화학적 성분을 분석하는 기술이다. 이는 수분에 의한 영향을 받지 않으며, 마커(marker) 간 간섭 현상을 최소화할 수 있어 단일 입자(single molecule) 신호 검출을 극대화할 수 있고, 검사의 정확성과 아울러 고감도 분석이 가능하다는 장점이 있다. 이에 의료·바이오 분야, 농식품 및 환경 분야에서 차세대 고감도 진단·분석 기술, 식품위해 미생물·화합물 동시검출 기술로 주목받고 있다.

대표적인 SERS 기술로는 나노기술을 이용한 고감도 SERS 종이기관 개발사례를 들 수 있다. SERS 센서의 핵심부품은 금속 나노 구조의 기관이다³⁾. 그간의 SERS 기관 제조기술은 2D 실리콘 또는 유리기관 위에 금(Au)이나 은(Ag) 등의 금속 박막을 미세 패턴 위에 증착하는 것이다. 이 방식은 금속 나노입자의 고밀도 패키징(packaging)에 어려움이 있으며, 표면반응 효율이 낮은 한계점이 있다. 이에 반해 셀룰로오스 섬유(fiber)로 이루어진 3D 다공성 구조를 갖는 종이기관은 저가격/경량/고유연성을 가지고 있어 공정이 용이하며, 특히 신호세기를 극대화할 수 있는 장점이 있다. 아울러 소량의 금속 나노 입자라도 타겟 성분과의 높은 흡착면적을 얻을 수 있어 고감도 SERS기관 개발 소재로 관심이 모아지고 있다[3].

2) 기술개발 사례

가) 금속 나노 입자 제조기술

금속성 나노 입자는 가시광 영역의 빛과 강하게 공명하여 흡광 및 산란 특성이 매우 강하게 나타난다. 특히 표면 플라즈마의 공명주파수는 금속 나노 입자의 크기나 형태, 분산되어 있는 용매 등에 의해 달라질 수 있어 이들을 적절히 조절

3) 왜냐하면, 기관의 형상 및 구조에 따라 라만 신호의 증폭정도가 크게 달라질 수 있기 때문이다. 따라서 SERS 기반 기술이 산업적으로 이용되기 위해서는 신호감도뿐만 아니라 저 제조비용, 내구성, 신뢰성 등이 고려되어야 한다.

함으로써 보다 정밀한 표면증강 라만 신호를 얻을 수 있다[4]. 그간 금속 나노 입자의 구조 및 모양을 제어하여 표면 플라즈마를 효과적으로 이용함으로써 보다 정밀한 SERS 신호를 얻을 수 있는 금속 나노 입자 제조기술이 개발된바 있다. 국내외 주요 개발사례를 시계열적으로 요약하면 다음과 같다[5][6][7][8].

- 2005년 UC Berkeley대학 연구팀에서는 초승달 모양의 금속 나노 입자를 제작하여 전자의 집합적 공명 진동인 플라즈몬 공명이 나노미터(nm) 영역에서 빛을 집중시키거나 증폭할 수 있는 구조를 보고한바 있다.
- 2009년 한양대학교 연구팀에서는 코발트 나노 입자를 템플릿으로 이용하여 hollow-type의 금(Ag) 나노 라만 프로브를 합성한바 있다.
- 2010년 한국과학기술원 연구팀에서는 DNA hybridization을 이용하여 단 결정 나노선에 작은 나노 입자가 균일하게 붙어 있는 구조를 제작한바 있다.
- 2011년 한국화학연구원 · 서울대학교 공동 연구그룹에서는 특정한 DNA 염기 서열을 이용하여 초미세 나노 간극이 형성된 라만 프로브(Raman probe)를 제작하여 단일분자 검출감도를 재현성 있게 입증한바 있다⁴⁾.

이 외에도 다양한 금속 나노 입자의 크기 및 모양 등을 조절하여 표면 플라즈몬 효과를 극대화 할 수 있는 라만 프로브 개발연구가 국내외의 많은 연구자들에 의해 활발히 수행되고 있다.

나) SERS용 기판 제조기술

SERS 기법을 이용한 식품 인체위해 요소 검출 및 추적 기술이 상용화되기 위해서는 우선적으로 재현성이 확보되어야 한다. 그러나 현재는 개개의 나노 입자를 합성하는 기술력은 충분하나, 대면적의 시료로부터 재현성 있는 라만 증강 신호를 얻는 데에는 한계가 있다[4]. 이를 해결하기 위해 SERS용 기판(SERS-active substrate)을 대면적으로 패터닝 하는 기판 제조기술이 개발된바 있다⁵⁾. SERS용 기판 제조기술 관련 주요 개발사례를 시계열로 요약하면 다음과 같다[9][10][11].

4) 나노선과 나노 입자를 결합시킴으로써 국소 영역에 강한 전자기장이 발생하는 핫 스팟(hot spot)을 만들고, 이로부터 증가된 라만 신호를 얻는 것이다.

5) ① Kuncicky, D. M et al., "Controlled assembly of SERS substrates templated by colloidal crystal films", Journal of Materials Chemistry 16, pp.1207~1211, 2006.

② Yan, B et al., "Engineered SERS Substrates with Multiscale Signal Enhancement: Nanoparticle Cluster Arrays", ACS Nano 3, pp.1190~1202, 2009.

③ Chung, A. J et al., "Large area flexible SERS active substrates using engineered nano structures", Nanoscale 3, pp.2903~2908, 2011.

- Kuncicky, D. M 등은 colloidal lithography를 이용하여 금속을 증착시킨 후 colloids를 제거하여 나노 구조체를 쉽게 제조할 수 있는 연구결과를 보고한바 있다.
- Yan. B 등은 top-down 방식으로 e-beam lithography 방식을 적용하여 나노 입자의 개수를 조절함으로써 금속 나노 입자 어레이(array)를 제조한바 있다.
- Chung, A. J 등은 템프릿에 금속 증착 과정에서 AAO(Anodic Alumina Oxide) 템프릿을 회전시키거나 각도조절을 통해 다양한 나노 구조로 제어함으로써 대면적의 다양한 금속 나노체를 제조한바 있다.

SERS용 기관 제조기술은 top-down 방식과, bottom-up 방식이 있으며, 이들 특징을 요약하면 <표 1>과 같다.

[표 1. SERS용 기관 제조기술별 특징]

구분	특징	구현사례
top-down 방식	- 입자의 크기나 모양을 용이하게 제어할 수 있음 - 고가의 비용 및 대면적 구현의 한계가 있음	- 전자 빔 리소그래피 방식 (e-beam lithography) - 이온 빔 밀링 방식 (Focused ion beam milling)
bottom-up 방식	- 대규모 병렬처리가 가능함 - 저비용으로 대면적의 나노 구조 패터닝 제조 가능	- 템프릿을 이용한 패터닝 방식 (patterning) - colloidal lithography 방식 등

* 자료 : 허윤석(2016) / 재구성

다) 미세 유체소자를 이용한 SERS 기술

미세 유체소자를 이용한 표면증강 라만 분광(SERS-On-a-Chip) 기술은 기존의 형광분석 기술과 달리 미량의 시료만으로도 라만 신호 검출이 가능하다. 아울러 개개의 시료분자마다 고유한 라만 신호를 가지고 있어 동시에 다중검출이 가능한 특징이 있다. 이에 바이오센서 응용연구(바이오 물질(DNA, protein, cell 등) 검출 및 질병진단 소자 구현 등)에 많이 활용되고 있다. 또한 미세유체소자와 라만 분광(RS : Raman Spectroscopy) 기술을 접목하여 연속적으로 재현성 높은 표면증강 라만(SER : Surface Enhanced Raman) 진단소자를 구현할 수 있다. 미세 유체소자를 이용한 SERS 관련 국내외 주요 개발사례를 시계열로 요약하면 다음과 같다 [12][13][14].

- 2009년 미국 UC Berkeley대학 연구팀에서는 효과적인 나노 입자의 뭉침효과를 구현할 수 있는 CD-like 표면증강 라만 소자를 제조한바 있다.
- 한양대학교 연구팀에서는 안정적으로 층류(Laminar flow)를 형성할 수 있는 미세유체소자 내에서 시료의 이동, 반응, 분석을 연속적으로 구현한 연구결과를 발표한바 있다.
- 미국 코넬대학교 연구팀에서는 단일 소자 내에서 마이크로 채널과 나노 채널을 쉽게 구현할 수 있는 roof-collapsing 방법을 구현한바 있다.

미세 유체소자를 이용한 SERS 기술은 기존의 SERS 분석기술의 한계인 재현성을 향상시켰으며, 미세유체 소자가 결합된 바이오 물질을 이용함으로써 신속한 분석 특성을 구현한 것으로 평가받고 있다.

나. 양자점 기술

1) 기술의 특징

대량급식 및 가공농산물의 대규모 유통 등으로 인한 식중독사고 중 살모넬라균⁶⁾으로 인한 피해가 가장 많은 비중을 차지하고 있다. 살모넬라균 검출방법은 증식 배양, 선택배양 및 생화학검사 방법이 있으나 3~5일의 분석시간이 소요된다. 이 때문에 식중독사고 발생 이후 식중독 원인균을 분리·동정할 목적 외에 조기에 세균을 검출하여 식중독을 예방하는 것은 불가능하다. 이에 기존 분석방법의 단점을 보완할 수 있는 신속한 식중독균 검출기술개발 필요성이 대두되었다. 이러한 식중독균 검출을 위한 나노바이오 센서 응용기술로 양자점(Quantum dot)을 이용한 바이러스 검출기술이 안정적이고 효율적인 특성을 나타내면서 관심이 모아지고 있다⁷⁾. 양자점은 크기에 따라 다른 파장의 형광물질을 얻을 수 있다. 이에 따라

6) 식수나 달걀 및 닭고기와 같은 식품을 통해 인체에 질병을 유발시키는 대표적인 병원성 세균으로 전 세계적으로 식중독사고를 가장 많이 일으키는 원인균으로 알려져 있다.

7) 양자점은 외부 에너지(자외선 등)를 받으면 밴드 갭(band gap)을 넘어 전도대(conduction band)로 이동했던 들뜬 상태의 전자가 가전자대(valence band)로 전이하면서 형광물질을 발생한다. 기존 유기 형광염료보다 형광의 세기가 크고, 좁은 형광 파장대역과 넓은 여기광 파장대역을 지니며, 외부광원에 의한 형광 감소가 없는 장점이 있다. (Chalmers, N.I et al., "Use of quantum dot probes to achieve single-cell resolution of human oral bacteria in biofilms", Applied and Environmental Microbiology 73(2):pp.630~636, 2007) 양자점 이외에도 탄소나노튜브(CNT : Carbon Nano Tube), 금속 나노입자, 나노와이어(nano wire) 등을 이용한 식중독균 검출용 나노바이오 센서 응용기술이 있다.

500~760nm의 가시광 파장(380~760nm) 영역의 형광을 얻을 수 있는 양자점들이 살모넬라균의 생체 관찰·분석에 많이 이용되고 있다[15][16][17].

2) 양자점을 이용한 마이크로 비드 제조기술

식중독사고 중 가장 많은 비중을 차지하고 있는 살모넬라균의 DNA나 단백질을 검출하기 위해 기능성 입자인 양자점을 이용한 마이크로 비드 제조기술이 개발되었다. 양자점은 유기형광물질 대비 광 안정성이 우수한 특성이 있으며, 입자(molecule)의 크기에 따라 다양한 색을 구현할 수 있다는 장점이 있다. 이로 인해 위험물 검출을 위한 환경 센서 등 다양한 산업분야에 적용되고 있다. 양자점을 이용한 범용의 마이크로 비드 제조기술에 대한 연구결과가 2003~2007년 동안 국제저널(Science, Biol. Sci. 등)에 보고된바 있다⁸⁾. 이를 기반으로 살모넬라균의 DNA나 단백질을 검출하기 위한 바이오센서 제조기술이 국내에서도 개발된바 있다. 주요 기술개발 사례를 요약하면 다음과 같다[15][16][17][18][19].

- 국립농업과학원 연구팀에서는 서로 다른 농도의 살모넬라균 시료를 이용하여 나노양자점 결합을 개발하고, 이의 결합성능을 분석함으로써 살모넬라균의 검출감도를 높일 수 있는 연구결과를 발표한바 있다.
- 한국세라믹기술원 바이오 IT융합센터와 고려대학교 신소재공학과 공동연구팀에서는 양자점을 고밀도로 집적한 마이크로 비드를 제조하여 특성을 분석함으로써 고감도의 바이오센서 구현을 위한 연구결과를 발표한바 있다.

다. 측정감도 향상 및 검출시간 단축기술

사회적으로 시급성이 높은 식중독을 유발하는 바이러스 검출기술을 조기에 개발하여 식품 저장 및 물류시스템에 적용할 수 있는 기술개발에 집중하고 있다. 식품 중 인체유해 성분을 검출하기 위한 첨단기술로 직접기술(SERS 기술을 이용한 미생물/화합물 검출기술, 양자점을 이용한 바이러스 검출기술 등)이 개발·적용되고 있다. 아울러 검출효율을 향상시키기 위한 간접기술로 다중검출을 통한 측정감도

- 8) ① X. Zhao, R. Tapeç-Dytioco, and W. Tan, J. Am. Chem. Soc., 125, 11474 (2003).
 ② X. S. Xie, J. Yu, and W. Y. Yang, Science, 312, 228 (2006).
 ③ J. Yu, J. Xiao, X. Ren, K. Lao, and X. S. Xie, Science, 311, 1600 (2006).
 ④ B. N. G. Giepmans, S. R. Adams, M. H. Ellisman, and R. Y. Tsien, Science, 312, 217 (2006).
 ⑤ B. Ehdäie, Int. J. Biol. Sci., 3, 108 (2007).

향상 및 검출시간 단축기술이 활발하게 연구되고 있다. 2015년만 해도 다중검출 측정감도/시간이 80cfu/ml/60분에 불과하였다. 이 기술개발을 통해 식품위해 세균의 다중검출 측정감도/시간을 2017년에는 90cfu/ml/30분으로 향상되었다. 향후 2020년에는 95cfu/ml/30분으로, 2025년에는 실시간성에 가까운 100cfu/ml/실시간으로 향상시키는 데 주력하고 있다[1][2].

3. 식품안전시스템 산업분석

가. 기술개발 필요성

식품의 유통 중에 발생하는 인체유해 요소를 사전에 검출하여 식품의 안정성을 확보할 수 있는 센서형 식품안전관리 시스템을 구축할 필요가 있다. 식품유해요소의 검출·제거·추적관리시스템 기술을 통해 위해요소로부터 피해를 최소화할 수 있는 대응책이 필요하다. 센서형 식품안전관리 시스템은 위해요소 검출센서 기술, 살균기술, 식품유통이력 추적관리 통합시스템 기술, 사용자확인용 모바일 관리시스템 기술이 포지셔닝 되어 있다. 식품위해 요소를 추적·관리하기 위해서는 식품 내 금속성/비금속성 이물질 탐지 및 검출기술과, 농식품의 비파괴 센싱 기술을 적용한 센서 기반기술이 필수적으로 요구된다. 이러한 센서형 식품안전관리 시스템을 구축하는 데 필수적인 구성요소를 <표 2>에 나타낸다.

[표 2. 센서형 식품안전관리시스템 구성요소]

탐지기술	비금속성 이물질 탐지기술	- 광학적 분광기 - 열 영상 분석장치 - 테라헤르츠(THz)급 카메라 등
	금속성 이물질 탐지기술	- 금속 탐지기 - 초고감도 자기장 감지기 등
검출기술	- 실시간성 PCR기법 - 실시간성 결과판정 기술	
비파괴 센싱 기술		

* 자료 : 중소기업청(2017) / 재구성

실시간성 식품유해요소 제거 및 살균기술은 감지센서를 통해 정보를 실시간 수집하여 유해물질의 양을 예측하고, 선/후속 조치를 통해 식품의 위해세균을 제거하는 것이다. 이는 이물질과 세균으로 인한 2차 피해를 예방할 수 있는 중요한 과정이다. 추적 및 관리시스템 기술은 정확한 분석·진단·확산예측을 위해 유무선

통신이 가능한 지리정보시스템(GIS), 위치기반서비스(LBS), 무선인증(RFID) 등 ICT융합 유비쿼터스 통합시스템 기술이 필수적으로 요구된다. 이를 통해 유해물질의 전파경로를 추적하고, 피해지역 확산방지를 위한 대응이 가능하다. 이로써 식품유통 이력을 추적할 수 있는 관리시스템과, 개별 센서를 이용하여 소비자가 손쉽게 이력이나 품질을 확인할 수 있는 모바일 관리시스템이 구축될 수 있을 것이다.

나. SWOT 분석 및 기술개발로드맵(TRM)

2013년 기준 국내 외식비용은 1975년 대비 51.7배 증가하였으며, 1990년 대비 외식업체수도 두 배 이상 증가 하였다⁹⁾. 2013년 식중독 발생건수는 235건(환자 수 4,958명)으로 지난 5년간 감소추세이긴 하나, 지속적인 외식의 위생관리 강화가 필요한 상황이다. 이처럼 식품위해 성분으로 인한 식중독 사고가 자주 발생하면서 식품안전관리 영역이 확대됨에 따라 범정부차원의 식품안전관리 기본계획이 보다 더 넓은 관점에서 식품안전 선진화를 위한 국가정책이 추진되고 있다. 이를 위해 식품유해 요소의 검출·제거·추적관리 기술을 개발하여 식품의 안정성을 확보하고, 위해요소로부터 소비자의 피해를 최소화할 수 있는 센서형 식품안전 시스템이 구축되고 있다¹⁰⁾. 여기에는 검출센서 기술, 살균기술, 식품유통이력 추적·관리 통합시스템, 소비자 확인용 모바일 관리시스템 기술 등이 포지셔닝 되어 있다[20].

국내 식품안전관리 산업 관련 SWOT 분석 결과를 <표 3>에 나타낸다. 국내 식품안전관리 기술시장은 기회와 위협, 강점과 약점요인을 모두 가지고 있다. 기회요인으로는 범정부적 식품안전 지원정책 확대와, 이로 인해 시장이 확대되고 있다는 점이다. 아울러 식품 위해물질 검출센서 적용분야가 확대되고 있어 식품오염에 따른 피해감소 파급효과가 큰 이점이 있다. 반면 미래 신성장동력 산업으로 성장하기에는 약점요인도 존재한다. 검출 센서 및 관련 핵심기술이 부족하고, 관련 업체들이 영세하여 시장수요의 불확실성이 존재하는 점이다.

9) 2013년 기준, 만 20~69세의 성인남녀 중 외식회수 10회 이상 경험자 1,500명의 소비자 대상 설문조사 결과를 보면 평균지출비용은 Take-out 14,197원, 음식점방문 39,689원, 주문배달 20,449원으로 전년대비 다소 하락한 것으로 나타났다. (2013년 국내 외식트렌드 조사용역 최종보고서(한국외식산업연구원, 2014.1.17))

10) 정부는 현재 11종의 표시와 27종의 인증을 운용하고 있으며, 부처별 중복인증 및 소비자의 활용도와 활용예정도, 인지도 등이 낮은 식품인증의 통폐합을 진행하고 있다.

[표 3. 국내 식품안전관리산업 SWOT 분석]

강점(Strength)	약점(Weakness)
<ul style="list-style-type: none"> - 식품 위해물질 검출센서 적용분야 확대 - 식품유통 통합모니터링 기술개발 활발 ※ 식품오염에 따른 피해감소 파급효과가 큼 	<ul style="list-style-type: none"> - 식품유해성분 검출 센서 및 관련 기술부족 - 국민의 식품안전에 대한 감성적 판단 팽배 - 관련 업체의 영세성(85% 이상) ※ 기업의 선행기술개발 인식 부족
기회(Opportunity)	위협(Threat)
<ul style="list-style-type: none"> - 정부의 식품유통 및 관련 지원정책 확대 - 전방산업의 성장에 따른 시장 확산 ※ 수입대체효과를 향상시킬 수 있음 	<ul style="list-style-type: none"> - FTA확대 등으로 수입식품 위해물질 유입증가 - HACCP 등 제도적응에 따른 사후관리 미흡 - 소비자 중심의 식품안전정책 추진 미흡 - 외식 증가 등 식문화 환경대응 미비 ※ 예방적 식품안전관리 미흡
시장대응전략	
<p><기업></p> <ul style="list-style-type: none"> - 식품유해성분 검출 관련 핵심기술과 아울러 기업의 선행기술개발 인식전환 필요 - 식품안전 관련 직·간접 핵심기술개발에 주력 <p><정부></p> <ul style="list-style-type: none"> - 식품유통 모니터링시스템 개발을 통한 국내외 시장진출기회 마련 - ICT 기술과의 융합화를 통한 인적·물적 피해개선책 마련 	

* 자료 : 국내 식품안전관리산업 관련 자료종합 / 재구성.

국내 식품안전관리 산업 관련 SWOT 분석 결과를 토대로 기회와 강점요인은 부각시키고, 위협과 약점요인을 해소하는 데 초점을 맞춘 국내 단기(2017~2019) 식품안전관리산업 기술개발로드맵을 [그림 1]에 나타낸다.

예상목표	2017	2018	2019	최종목표
연도별 목표	감지센서 고감도 및 선택성 향상	센서 신뢰성 향상 및 위 해요소 제거	유해물질 유통 시스템지 능화	지능형 식품안전 추적 및 관리 시스템 개발
센서형 식품안전 관리시스템	검출 기술	식품 이물질(금속/비금속) 고감도 감지센서 기술 유해균 검출센서 기술		고기능성 감지센서 제조
	제거 기술	초고압, 대기압 상에서의 비가열을 통한 식품 살균 기술		신뢰성 식품 살균 기법
	추적·관리 기술	효율화 향상을 위한 유무선 센서 네트워크 기술	지리정보시스템과 통합된 경보 알림 기술 유해물질 발생 상황 따른 개인 모바일 서비스 기술	지능형 유해방지 및 제어 시스템 기술 개발
시장특성	고감도, 선택성 향상을 통한 감지센서 의 고기능화, 선택성 요구 증대	진단 및 예측 시스템의 지능화를 통한 피해 최소화	ICT 기술과의 융복합화	

[그림 1. 국내 식품안전관리산업 기술개발로드맵]

* 자료 : 중소기업청(2017) / 재구성

2019년까지 식품안전을 위한 핵심기술(위해요소 검출기술·제거/살균기술·식품 유통이력 추적·관리 기술)을 개발 완료할 계획이다. 이 로드맵과 같이 지능형 식품안전 추적 및 관리시스템이 구축되면 ICT와의 융복합을 통해 시장 확산과 아울러 글로벌 시장진입을 위한 기반이 마련될 수 있을 것으로 기대된다.

4. 결론

식생활 패턴의 변화, 대량급식 및 외식의 증가, 가공농산물의 대규모 유통 등으로 인한 식중독사고 방지와 오염농산물의 회수 등에 막대한 사회적 비용이 들어가고 있다. 이를 줄이기 위해서는 식품의 위해요소 검출 및 추적 기술에 대한 산업화에 주력할 필요가 있다. 식품속에 포함된 미량의 위해성분을 효과적으로 검출하기 위해 표면증강 라만 분광(SERS) 기술 및 양자점 기술과 같은 직접적인 기술과 측정감도 향상 및 검출시간 단축기술과 같은 간접적인 기술이 개발되어 적용되고 있다. 특히 많이 이용되고 있는 SERS 기술의 경우 보다 더 고감도 재현성 신호를 검출하기 위해서는 라만 신호(Raman signal)를 획기적으로 증폭시킬 수 있는 기관 소재를 개발할 필요가 있다.

아울러 3D 다공성 종이기관 소재 및 제조기술을 기반으로 다양한 금속 나노입자의 증착, 코팅, 패턴 공정기술이 필요하다. 이러한 직·간접 기술개발을 통해 식품위해 미생물 및 화합물에 대한 신속성, 현장성, 고감도성 및 다중성을 갖춘 모니터링 시스템을 구축할 수 있을 것이다. 국내 외식비용과 외식업체수가 증가하면서 식중독 발생도 자주발생하고 있다. (2013년 235건, 환자 수 4,958명) 지속적인 감소추세이긴 하나, 식품의 위생관리 강화가 필요한 상황이다. 이에 대응하기 위해 범정부차원의 식품안전관리 기본계획이 추진되고 있다. 이를 효과적으로 이행하기 위해서는 특히 수입식품 증가에 따른 식품위해 사전인지 및 신속한 수입차단 정책과, 전 세계적인 식품안전사고 증가에 따른 대응책이 필요하다. 아울러 1인가구의 증가에 따른 식품유통에 의한 악영향을 최소화할 수 있는 정책이 필요하다.

참고문헌

1. “나노기술 산업화 전략”, 관계부처 합동, 2015. 4. 29.
2. “식품의약품 R&D 관련 나노기술 산업화 전략”, 제5호, 식품의약품안전평가원, 2015. 5. 12.
3. 유정목, “표면증강 라만 분광기술을 이용한 농식품 위해성분 고감도 검출”, e-생물산업, 제30권 제3호, 한국미생물·생명공학회웹진, 2017.5.
4. 허윤석, “표면증강 라만분석법의 의료 바이오 응용”, (사)한국바이오칩학회, 2016.
5. Liu, G. L et al., “Magnetic Nanocrescents as Controllable Surface-Enhanced Raman Scattering Nanoprobes for Biomolecular Imaging”, *Advanced Materials* 17, pp.2683~2688, 2005.
6. Lee, S et al., “Surface-enhanced Raman scattering imaging of HER2 cancer markers over expressed in single MCF7 cells using antibody conjugated hollow gold nanospheres”, *Biosensors and Bioelectronics* 24, pp.2260~2263, 2009.
7. Kang, T et al., “Patterned Multiplex Pathogen DNA Detection by Au Particle-on-Wire SERS Sensor”, *Nano Letters* 10, pp.1189~1193, 2010.
8. Lim, D-K et al., “Highly uniform and reproducible surface-enhanced Raman scattering from DNA-tailorable nano particles with 1-nm interior gap”, *Nature Nanotechnology* 6, pp.452~460, 2011.
9. Kuncicky, D. M et al., “Controlled assembly of SERS substrates templated by colloidal crystal films”, *Journal of Materials Chemistry* 16, pp.1207~1211, 2006.
10. Yan, B et al., “Engineered SERS Substrates with Multiscale Signal Enhancement: Nanoparticle Cluster Arrays”, *ACS Nano* 3, pp.1190~1202, 2009.
11. Chung, A. J et al., “Large area flexible SERS active substrates using engineered nano structures”, *Nanoscale* 3, pp.2903~2908, 2011.
12. Choi, D et al., “Additional amplifications of SERS via an optofluidic CD-based platform”, *Lab on a Chip* 9, pp.239~243, 2009.
13. Chon, H et al., “On-Chip Immunoassay Using Surface-Enhanced Raman Scattering of Hollow Gold Nanospheres”, *Analytical Chemistry* 82, pp.5290~5295, 2010.
14. Choi, I et al., “Ultra-sensitive, label-free probing of the conformational characteristics of amyloid beta aggregates with a SERS active nano fluidic device”, *Microfluid Nanofluidic* 12, pp.663~669, 2012.

15. 김기영 외, “나노 양자점 결합을 이용한 살모넬라 식중독균 검출”, 바이오 시스템공학(J. of Biosystems Eng.) Vol.35, No.6, pp.458~463, 2010. 12.
16. <https://www.e-sciencecentral.org/upload/jbe/pdf/ksam-35-458.pdf>
17. 김기영 외, “나노바이오 융합기술을 이용한 식중독균 신속 검출 시스템 개발”, 농촌진흥청 최종연구보고서, 국립농업과학원, 2012. 2.
18. 이지혜 외, “양자점이 고밀도화된 마이크로 비드의 제조 및 특성”, 전기전자재료학회논문지, 제5권 제8호, pp.657~663, 2012. 8.
19. http://img.kisti.re.kr/soc_img/society/kieeme/JJRCC/2012/v25n8/JJRCC_2012_v25n8_657.pdf
20. 중소기업기술로드맵(2017~2019)센서형식품안전관리시스템, pp.81~115, 중소기업청, 2017.

2018년
BioINpro

- 발 행 호 : Vol.51
- 발 행 처 : 한국생명공학연구원 생명공학정책연구센터
- 온라인 서비스 : <http://www.bioin.or.kr>

- ◇ BioINpro는 생명공학 주요 기술별 관련 전문가의 시각에서 작성된 보고서이며, 생명공학 정책연구센터의 공식 견해는 아닙니다.
- ◇ 본 자료는 생명공학정책연구센터 홈페이지(<http://www.bioin.or.kr>)에서 다운로드가 가능하며, 자료의 내용을 인용할 경우 출처를 명시하여 주시기 바랍니다.

34141 대전광역시 유성구 과학로 125(어은동) | Tel. 042-879-8376