바이오센서를 이용한 식품 위해 물질 현장 신속 검출 기술

서론

바이오센서는 어떤 목적하고자하는 물질을 정성 또는 정량 분석하기위한 기술로 지난 10년 동안, 바이오, 전자, 나노기술의 발전에 기인한 전기화학, 형광, 발광, 발색, 표면플라즈몬공명(SPR), Field Effect Transistor (FET), Quartz Crystal Microbalance (QCM), 열센서 등의 신호 변환 기술의 발전, 그리고 극미소량 검출 기술 등의 출현으로 BT+IT+NT의 융합이 바이오센서 기술로 발전하고 있으며, 대부분 의료 및 환경 검사에 상용화 되었다. 최근 바이오센서는 의료, 환경, 산업공정 등 다양한 산업 분야뿐 만 아니라, 환경 및 식품안전 분야에서도 바이오센서에 대한 관심이 크게 증가하여 상용화 되고 있는 추세이다. 기존의 시간 · 인력 · 비용 소모적인 검사법을 대체하여 보다 효율적인 방법으로 식품 위해물질을 검출할 수 있는 대안으로써 바이오센서의 상용화 요구가 높아지고 있다.

Kalorama Information의 2013년 보고서에 따르면 국외 식품안전 관련 진단시장(Food Safety Diagnostics Market)은 2012년을 기준으로 14억 달러를 넘었고, 과거 5년 동안 연간 9.9% (CAGR)의 성장을 해왔으며 2015년에는 20억 달러 이상의 규모를 넘어설 것으로 예측하고 있다.

식품 유래 위해물질 중 미생물, 독소뿐 아니라 중금속, 항생제, 잔류농약과 같은 화학물질도 포함하고 있어 이를 검출할 수 있는 바이오센서를 필요로 한다. 유용한 바이오센서는 특정 물질에만 반응하는 선택성(selectivity), 소량을 감지할 수 있는 민감성, 분석물질을 빠르게 검출할 수 있는 신속성(rapid

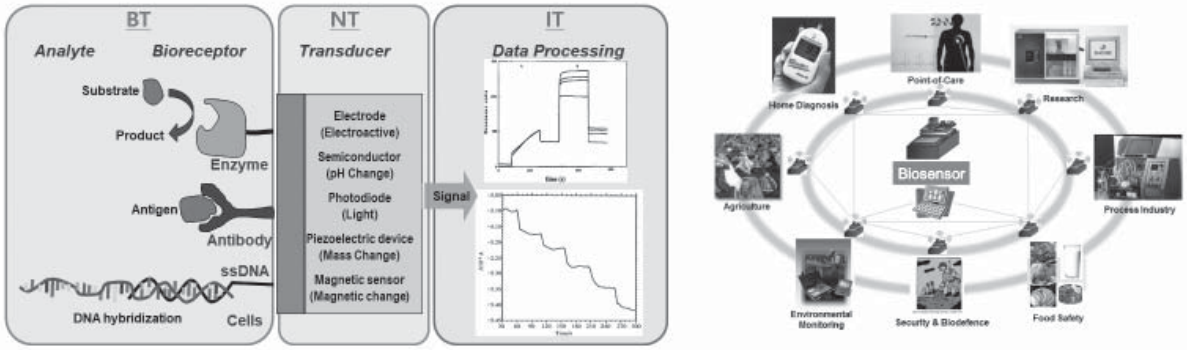

그림 1. 바이오센서의 정의와 바이오센서의 적용 분야

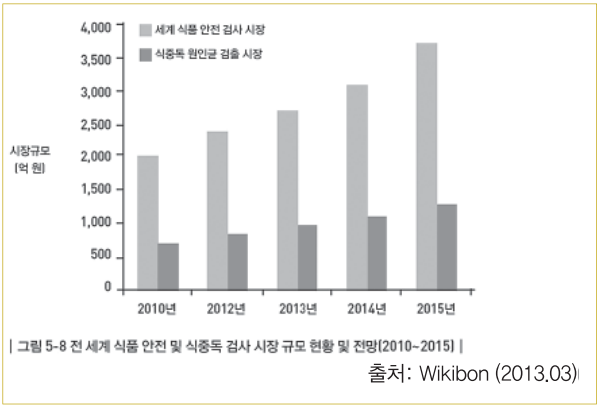

그림 2. 전 세계 식품 안전 및 식중독 검사 시장규모 현황 및 전망 (2010–2015).

그림 3. 바이오센서의 체외진단의료기기로 적용 제품
(좌, 혈당측정 스트립; 우, 면역진단 키트)

그림 4. 바이오센서의 식품 위해 물질 적용 제품
(좌, IDEXX의 항생제 측정 SNAP® test; 우, NEOGEN의 Mycotoxin 및 위해물질 테스트 Reveal (면역 스트립)과 AccuScan® Gold)

detection), 넓은 측정 범위(linear range), 낮은 측정 한계(detection limit), 측정 재현성(reproducibility) 주변 환경 변화에 대한 안정성(Stability), 저 비용성(Cost) 등이 우수해야 한다. 이와 같은 조건들이 바이오센서의 성능을 좌우하고 더 나아가 바이오센서 시장에서 주요 경쟁력으로 작용하고 있다. 그렇기 때문에 위 조건들을 충족시키는 동시에 현존하는 바이오센서의 기능적 한계를 뛰어넘기 위한 도전과 경쟁이 전 세계적으로 치열하다. 최근 기대와 주목을 받고 있는 MEMS (microelectromechanical system)기술, μ-TAS (total analysis system)기술, microfluidics 기술 그리고 나노기술이 접목되면서 측정의 편의성 향상과 소형화에 많은 연구가 이루어지고 있지만, 상용화 된 예는 의료용으로 극히 제한 적이며 높은 제조공정 비용으로 저변화가 어렵다.

그 중에서도 신속성은 현장검사를 가능하게하는 주요 요구사항으로 현재까지 상용화된 현장진단형 바이오센서는 Paper기반의 건식화학(Dry-Chemistry) 효소전기화학 또는 측방 유동 면역크로마토그래피(Lateral Flow Chromatographic Assay, LFIA) 광학 바이오센서가 주를 이루고 있는데, 이는 상대적으로 저렴한 제조공정 비용과, 안정성, 선택성을 확보할 수 있으며, 그

응용 범위가 넓어 의료용에서는 절반 이상의 현장진단형 체외진단의료기기 (Point of care testing, POCT) 시장을 차지하고 있다.

식품안전 분야에서도 해마다 끊이지 않고 발생하는 식중독 사고에 발 빠르게 대처할 수 있는 방안으로 현장현시검출 시스템을 개발하려는 움직임이 활발하다. 식품을 다루는 현장에서 쉽고 빠르게 위생이나 부패 상태를 확인할 수 있는 간편 검출키트 및 장치들이 3M, IDEXX, Neogen, 등 여러 해외 기업을 통해 상용화가 되었다. 국내에서는 식품제조 현장 미생물의 총균수 정도를 현장에서 검출할 수 있는 *ATP/AMP측정 시스템 상용화를 시작으로 현장검시 위해물질검출기 개발 경쟁이 높아 지고 있다.

당사인 ㈜아이엠헬스케어는 장류 식품의 제조과정에서 자연발생하는 유해물질로서 Histamine 등 바이오제닉아민(Biogenic amine)에 의한 증세로서 오심, 호흡곤란, 발열홍조, 발한, 심계항진, 두통, 구강작열통, 설사, 경련, 홍반, 혈압상승 및 강하, 두드러기 등을 유발하기도하는 바이오제닉아민과 바실러스 세레우스(*Bacillus cereus*)에 대한 관심이 고조되면서 식품제조현장관리를 통한 오염 빈도를 줄일 수 있는 저감화 기술의 개발과 지속적인 모니터링을 위한 신속 검출 기술 개발을 특히 저소

그림 5. Luciferin 산화효소반응 광바이오센서를 이용한 ATP/AMP 현장 검사 시스템 (왼쪽부터 Clean-Trace™ Luminometer LM1(3M), ACCU Point®(NEOGEN), Lumitester PD-30(KIKKOMAN), Clean-Q(TELTRON 국산)) 상용화 제품

*ATP/AMP, Adenosine triphosphate/Adenosine monophosphate

사양	성능
측정 샘플	간장 및 된장, 청국장, 낫또 등 장류
측정 항목	Total amine 및 Mono/polyamine 류
측정 시간	<15분
최소 측정 농도	≤50 ppm
정확성/정밀도	%Error, ±15% (95% CI)/ CV, ≤5%

그림 6. Biogenic amine 현장 검시 모니터링 센서 시스템

득 영세 업종 종사자들이 절실하게 필요로 하여, 상기 식품위해요소를 측정할 수 있는 바이오센서 플랫폼 기술을 개발하는데 성공하였고, 양산화를 거쳐 제품 출시를 준비중에 있어 소개하고자 한다.

아직 우리나라의 장류식품에 대한 바이오제닉아민류 함량 규제에 대한 가이드라인 및 규제시스템이 확립 되어있지는 않으나, 최근 WHO, JECFA, EU 등 국제기구 및 선진외국 등에서는 식품 중 위해요소에 대한 위해평가를 반드시 수행하도록 의무화되어 있어 바이오제닉 아민의 경우에도 FDA, CODEX 등에서는 기준 · 규격을 설정하고 관리 감독하고 있어 안전한 먹거리의 공급과 한식 세계화에 따른 세계수준의 안전한 식품 및 제조공정에 대한 요구는 더욱 확대될 전망이며, 이러한 관점에서 우리나라 전통발효식품에 대한 유해성분조사를 통한 모니터링 시스템이 절실할 것으로 기대되고 있다.

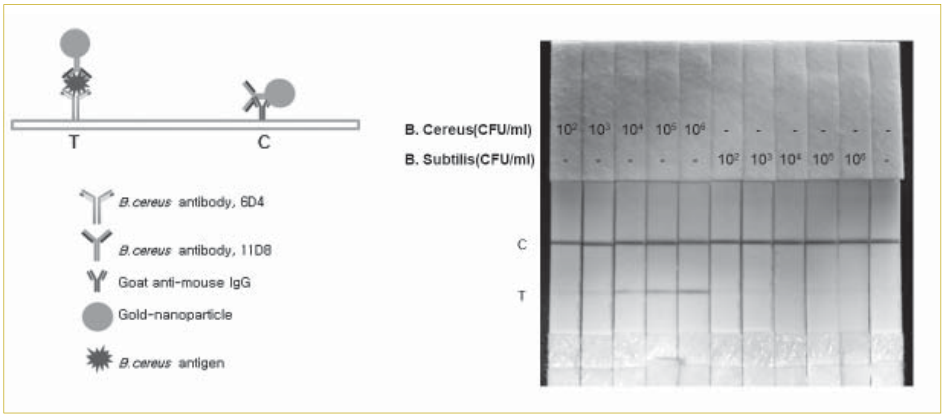

그림 7. *Bacillus cereus* 정성 측방 유동 면역측정스트립 (≤10^4 CFU/mL, 검출 한계)

표 1. 미국 및 유럽의 히스타민 규정

기관	관련식품	불량 판정기준	관련 규정
미국 FDA	가다랑어 및 참치 통조림	500 ppm	The seafood HACCP Regulation (21CFR123)
Codex	어류 및 가공어육 (고등어, 청어, 꽁치, 미새기과 등)	평균: 100 ppm 최고: 200 ppm	CODEX STAN 190-195 외 8개 식품 기준
EU	고등어, 청어, 멸치, 민새기과	평균: 100 ppm 최고: 200 ppm	ECC 91/493
Food Standards Australia New Zealand	어류 및 가공어육 (특정 어종을 정하지 않음)	200 ppm	Australia New Zealand Food Standards Code

결론

기술적인 측면에서 현재 식품 내 유해물질을 검출하는 데에 있어 가장 큰 걸림돌은 식품 전처리 문제와 물질의 특성이다. 식품을 구성하는 성분들의 구조와 특성이 매우 복잡하고 다양하기 때문에 그 안에서 검출하고자 하는 특정 미생물이나 화학물질을 분리 · 농축 · 정제하는 과정도 중요하고 물질의 구조와 크기, 농도에 따라

위해성이 다르기 때문에 검출 감도에 적합한 바이오센서의 선정이 필요하다.

식품안전에 대한 관점이 생산에서 소비의 관점으로부터 소비에서 생산의 관점으로 패러다임이 변화하고 있는 것으로 비춰볼 때, 국가나 기업이 관리하는 식품의 생산 공정 · 유통 등의 현장 뿐 만 아니라 일반 소비자들의 삶의 현장에서 편리하게 식품의 오염이나 위해상태를 모니터링 할 수 있는 시스템의 필요성이 제기되고 있으며, 최근 스마트 ICT 기술의 급속한 발달과 함께 건강 모니터링의 식품 바이오센서의 부가적 기능이 융합된 *IoT 헬스케어로 진화시킴으로써 현장 활용성 및 생활 편의성의 요구가 확대되고 있다.

*IoT, Internet of Things

참고 문헌

1. U. E. Spichiger-Keller, Chemical Sensors and Biosensors for Medical and Biological Applications, Wiley-VCH, 2004.
2. E. Kress-Rogers, Handbook of Biosensors and Electronic Noses: Medicine, Food, and the Environment, CRC Press, New York, 1997.
3. M. Madou, J. Zoval, G. Jia, H. Kido, J. Kim, and N. Kim, Lab on a CD, Annu. Rev. Biomed. Eng. 8, 601-628, 2006.
4. 김민곤, 보건산업기술동향, 2002, 25-33.
5. http://foodsafety.neogen.com/
6. https://www.idexx.com/

이석기
㈜아이엠헬스케어, BioMaterial & Sensor팀
sklee@im-healthcare.com