

스마트-해섭(Smart-HACCP) 적용을 위한 식품안전 검시기술 동향

Current status of food safety detection methods for Smart-HACCP system

임민철¹ · 우민아¹ · 최성욱^{1*}

Min-Cheol Lim¹, Min-Ah Woo¹, and Sung-Wook Choi^{1*}

¹한국식품연구원 소비안전연구단

¹Research Group of Consumer Safety, Korea Food Research Institute

Abstract

Food safety accidents have been increasing by 2% over 5,000 cases every year since 2009. Most people know that the best method to prevent food safety accidents is a quick inspection, but there is a lack of inspection technology that can be used at the non-analytic level to food production and distribution sites. Among the recent on-site diagnostic technologies, the methods for testing gene-based food poisoning bacteria were introduced with the STA technology, which can range from sample to detection.

If food safety information can be generated without forgery by directly inspecting food hazard factors by remote, unmanned, not human, pollution sources can be managed by predicting risks more accurately from current big-data and artificial intelligence technology. Since

this information processing can be used on smartphones using the current cloud technology, it is judged that it can be used for food safety to small food businesses or catering services.

Keywords: food safety, rapid detection, automated inspection, HACCP

서론

해섭(HACCP, Hazard Analysis and Critical Control Points)은 현재 식품을 생산하고 유통하는 과정에서 필수적으로 관리해야 할 항목을 정해 어떤 위험을 미리 예측하여 사전에 파악하는 예방적 식품안전관리체계를 말한다. 최근 급격한 정보통신 기술 개발로 4차 산업혁명이라는 새로운 가치의 변곡점에서 4차산업을 주도하는 기술과 식품안전 관련 기술의 융합이 시도되고

* Corresponding Author: Sung-Wook Choi

Research Group of Consumer Safety, Korea Food Research Institute(KFRI), Jeollabuk-do, Wanju 55365, Korea

Tel: +82-63-219-9327

Fax: +82-63-219-9876

Email: swchoi@kfri.re.kr

Received September 10, 2021; revised September 24, 2021; accepted September 25, 2021



있다. 2016년 1월 다보스 포럼에서 4차 산업혁명을 주제로 가까운 미래에 도래할 사회구조 변화를 전망하면서, 디지털 혁명에 기반한 물리적 공간, 디지털적 공간 및 생물학적 공간의 경계가 희석되는 기술융합의 시대로 정의한 바 있다. 우리가 이미 접하고 있는 사물과 사물, 사람과 사물을 공간적 제한 없이 연결하는 4차 산업혁명시대에서 복잡하게 연결되어 있는 생산/유통단계의 물리적 공간을 어떻게 허물어갈지 철저한 준비가 필요해 보인다(KT경제경영연구소, 2017).

4차 산업혁명을 준비하는 일본은 정보통신기술과 데이터의 결합으로 새로운 제품과 서비스 창출에 기대하고 있으며 영국과 미국은 인식기술의 핵심인 센서를 포함시켜 인공지능이나 빅데이터를 통한 새로운 데이터를 생성하여 신산업 창출을 유도하고 있다. 이러한 4차 산업시대의 초물리적 공간 연결을 식품안전 확보에 이용하기 위해서, 즉 멀리 떨어져 원격으로 식품안전을 확인하기 위해서는 방대한 식품안전 데이터의 자율적 생성과 각각의 현장에서 생성되는 정보를 빅데이터와 인공지능을 활용하여 자율적 관리 체계가 구축되어야 한다. 또한 생성된 데이터의 위변조를 방지하기 위한 블록체인 기술과 이력추적 기술의 결합도 식품안전 확보를 위해 필요하다. 최근 정부와 기업에서 많은 투자와 연구를 통해 빅데이터, 인공지능, 및 블록체인 등 정보처리기술은 산업적 활용 수준까지 도달해 있지만 식품안전과 관련된 데이터를 생성하는 기술은 아직 전문가의 연구실을 벗어나지 못하고 있는 실정이다.

최근 스마트-공장, 스마트-팜 등 식품생산 및 유통 시설관리에 대해 스마트화가 진행되고 있지만 정작 식품안전에 대한 스마트화는 pH 센서, 온/습도 수준의 데이터만으로 관리되는 실정이다. 내일의 기상을 예측하기 위해서는 그 지역의 관측 장비로 부터 측정된 기상 데이터를 바탕으로 예측 시뮬레이션을 통해 이루어지지만, 식품안전 예측은 현재의 식품안전과 관련된 직접적인 데이터 없이 온도만으로 판단하고 있다. 이로 직접적 위해인자에 대한 정보가

그러나 식품안전 데이터인 식품위해인자의 정성 및 정량적 데이터를 현재의 기술로는 실시간 생성할 수 없다. 예를 들어 식중독균을 확인하기 위해서는 식품을 처리하고 세균을 배양/분리하여 검사하는 데까지 12시간 이상 소요된다. 고감도 검출방법을 적용하여 최소시

간 배양하는 방법들이 개발되고 있지만 6~8시간 정도 수준이다. 전자기파 및 광학적 방법을 이용한 비파괴 검사도 시도되고 있지만 식품 표면이나 식품 내 오염된 위해인자들을 식품기질과 분리하지 않고서는 검사할 수 없으며 분리를 위해서 시료전처리 과정이 포함되면 기존처럼 식품검사에 소요되는 시간은 유사해진다.

식품안전과 관련된 데이터는 위해인들이 생성하는 가스와 환경의 온/습도를 바탕으로 간접적 데이터를 생성할 수 있지만, 생산 직후, 유통 중에, 그리고 소비 직전의 위해인자의 정성/정량을 알지 못하기 때문에 오염되었다고 말하기 어렵다. 본문에서의 식품안전 데이터는 식품위해인자의 직접적 데이터인 식중독균과 같은 미생물의 종류 및 농도, 잔류농약과 같은 화학적 인자의 종류 및 농도를 뜻한다. 이러한 직접적인 식품위해인자의 데이터를 생성하기 위해서는 식품공전과 같은 표준시험방법에 따라 식품을 처리하여 위해인자를 분리하고 검출기술을 적용해야 한다. 이를 스마트-해섭에 적용하여 원격으로 안전을 관리하기 위해서는 사람이 아닌 센서의 장치화가 필요하고 식품 시료에서 검사까지 완전 자동화할 수 있는 기술이 요구된다.

본론

최근 의료진단 및 식품안전 분야에서 바이오센서를 이용한 현장진단검사(POCT, Point Of Care Testing) 기술을 개발하고 있다. 우리에게 가장 친숙한 기술로 전기화학방법을 이용하는 혈당센서와 항원-항체 면역방식을 이용하는 임신진단센서등이 잘 알려져 있다. 의료진단 분야의 혈액이나 타액은 식품이라는 광범위한 기질과 비교해서는 단순한 시료의 형태이기 때문에 현장진단검사가 가능한 분야라 생각된다. 그러나 식품은 화학적, 생물학적 그리고 물리적 상태 또한 다양해서 현장진단검사에 많은 어려움이 있는 실정이다. 최근 현장진단검사 기술 중 시료에서 식중독균 검출까지 자동화하는, Sample to Answer (STA) 기술을 바탕으로 이를 이용한 스마트-해섭의 적용 및 원격지 식품안전관리에 대해 소개하고자 한다(Lim 등, 2020).

I. Microfluidic chip

미세유체 칩은 미세유체 제어기술을 이용하여 소량의 유체샘플을 분석하는 칩을 말한다. 미세유체 칩을 이용한 소형 시스템은 일반 실험실에서 수행하는 반복적이고 복잡한 분석 절차를 하나의 단일 장치로 통합할 수 있게 한다. 이것은 칩 위의 작은 실험실(Lab on a chip) 이라고도 불리며, 분석 결과를 얻기까지 필요한 시간과 인력을 줄이고 시약의 소비를 최소화하는 역할을 한다. 또한 휴대가 가능하고 비용적인 면에서 경제적이기 때문에 현장검사를 위한 효과적인 기술로써 주목을 받고 있다. 일반 PCR(Polymerase chain reaction) 장치의 경우 변동이 큰 온도 범위를 수십 cycle 작동하기 위한 가열/냉각 과정에 상당한 시간이 소요된다. 하지만 미세유체 칩에서 수행되는 PCR은 주로 등온에서 유전자를 증폭하고, 소량의 시약을 사용하여 PCR 조건을 정밀 제어하기 때문에 시간을 단축할 수 있다(K. Tsougeni 등, 2019). 그리고 일반적으로 식품 시료에서 식중독균을 검출하기 위해서는 약 12시간 정도 사전 배양을 해야 하지만, 최근에는 배양을 최소화하는 대신 자성입자를 이용하여 세포를 농축하는 방법이 많이 활용한다. 예를 들어, 살모넬라 균에 선택적인 항체가 결합된 자성입자를 이용하여 3시간 동안 최소 배양을 통해 균을 분리 및 농축하고, 이후 미세유체 칩에서

cell lysis, DNA 등은 증폭, 검출을 수행한다. 이와 같은 방법은 총 4시간 이내에 1개의 균을 검출할 수 있는 신속성과 민감도를 보여주었다. 하지만 위와 같은 기술은 세포 농축과 검출을 따로 수행해야 하는 단점이 존재한다. 최근에는 이러한 단점을 보완하는 ‘sample-in-multiplex-digital-answer-out’ 개념의 미세유체 칩이 개발되었다(Yin 등., 2020). 이 칩은 lysis 챔버에 샘플 용액을 주입하면 세포에서 추출된 DNA가 자성입자에 흡착되고, 프로그램화 된 자기장을 따라 elution 챔버로 자동 이동한다. 이후 스크류 밸브가 열려 DNA와 미네랄 오일이 포함된 용액이 미세유체 칩에 주입되어 등온증폭 반응이 일어난다(그림 1). 이러한 방법을 통해 분석 시간이 단축되었고(45분 소요), 3종 식중독균을 동시에 세포 10개까지 검출할 수 있었다.

2. Lab-on-a-disc (LOD)

랩온어디스크(LOD)란 컴팩트 디스크 모양의 미세유체 칩으로써, 미세유체 분야에서 약 10년 전부터 혁신적인 기술로 급부상한 기술이다. LOD는 디스크의 회전 속도에 의해 액체의 분주, 수송, 혼합, 계량, 저장 등이 가능하여(Mark 등, 2010), 지금까지 다양한 설

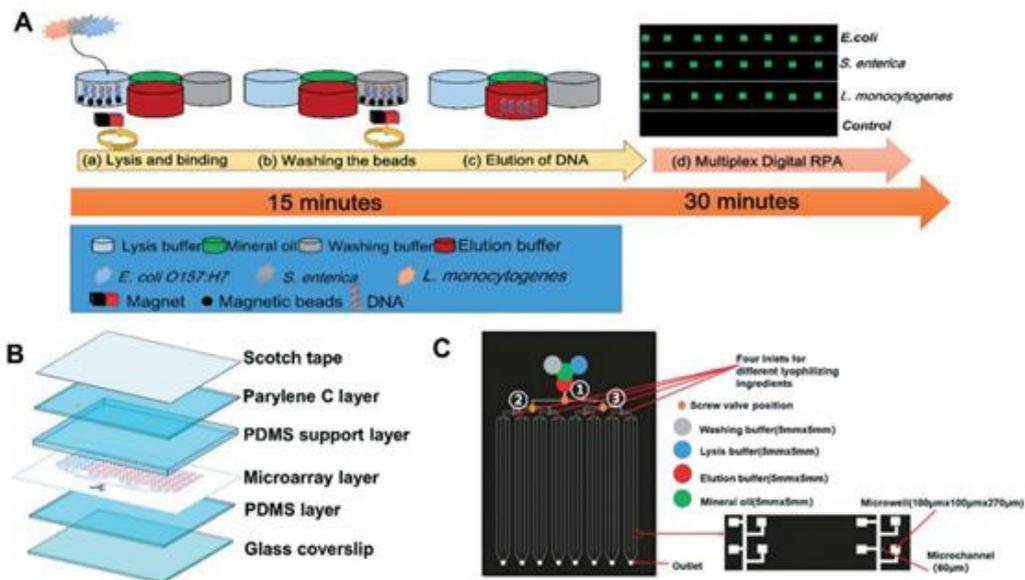


그림 1. Sample-in-multiplex-digital-answer-out 개념의 미세유체 칩 (Yin 등., 2020), (A) 식중독균 유전자 다중검출을 위한 칩 모식도, (B) 다중 구조의 미세유체 칩, (C) 소프트 리소그래피법으로 만든 미세유체 칩의 평면 구조

계와 작동 방식을 통해 면역분석, 혈액분석, 분자진단 등에 응용되어 왔다. 중국기업인 CapitalBio는 2010년대 초 LAMP(Loop-mediated isothermal amplification)용 LOD칩과 칩의 구동 및 결과 측정을 위한 장치를 상용화하였다(CapitalBio RTisochip™). 이 시스템은 단 한번의 pipetting으로 30분 이내에 10가지 세균을 동시에 검출할 수 있는 장점이 있으나, DNA 추출 단계는 상용 키트를 이용하여 사람이 직접 수행해야 하고, 형광 감지를 위한 값비싼 레이저 소스를 사용해야 하는 단점이 있다(Zhou 등, 2014). 반면 식품 시료에 에탄올과 guanidine hydrochloride을 섞어주는 단순한 방법으로 세균을 용해시킨 이후 LOD를 이용하여 DNA 정제부터 검출을 수행하는 방법도 있다(Oh 등, 2016). 이 경우, 칩에 포함되어 있는 실리카 입자가 4종 식중독균(장출혈성 대장균, 살모넬라, 비브리오, 리스테리아)의 DNA를 정제하고, 이후 LAMP 반응 챔버로 용액이 이동하여 표적으로 하는 특정 유전자가 각 챔버 내에서 증폭된다. 그 결과 LAMP 반응의 지표물질의 색이 변화함에 따라 비색 신호를 기반으로 식중독균 농도를 분석할 수 있다. 이와는 다른 형태로써, lateral flow strip이 LOD 내에 장착되어 있어서 색깔 띠를 육안으로 확인할 수 있는 시스템도 있다(Kim 등, 2014)(그림 2A,

B). 또는, 칩 구동장치 내에 UV 방출기와 광 다이오드가 포함되어 있어서 육안이나 사진 이미지에 의존하는 것보다 더 정확하고 객관적인 비색 측정이 가능한 LOD 시스템도 개발되었다. 이 경우, 결과값을 휴대폰에 전송할 수 있는 소프트웨어가 장치에 포함되어 있어서 현장용 자동화 기술에 가장 근접하였다고 할 수 있다(Sayad 등, 2018)(그림 2C, D).

3. Paper-based analytical device (PAD)

종이는 여과, 흡수, 보관 등의 다양한 기능을 수행할 수 있고 비교적 제작이 용이하고 저렴하다. 검출 분야에서 종이는 DNA를 추출하거나, 시약을 균일하게 분배 및 저장하여 휴대성을 높이고, 발색을 간편하게 확인하기 위한 도구로써 많이 활용되고 있다. 최근에는 종이의 쉽게 접을 수 있는 성질을 이용하여 식중독균 검출을 위한 다양한 Origami PAD 기술들이 개발되고 있는 추세이다. 예를 들어, 종이의 샘플 영역에 우유 샘플을 주입한 후 고온에서 DNA를 추출하고, 종이를 접어서 추출된 DNA를 LAMP 반응영역으로 옮긴다. 그리고 나서 다시 종이를 접어 증폭된 DNA를 검출영역으로 옮긴 후 발색 결과를 확인할 수 있다(Trinh, T. N.

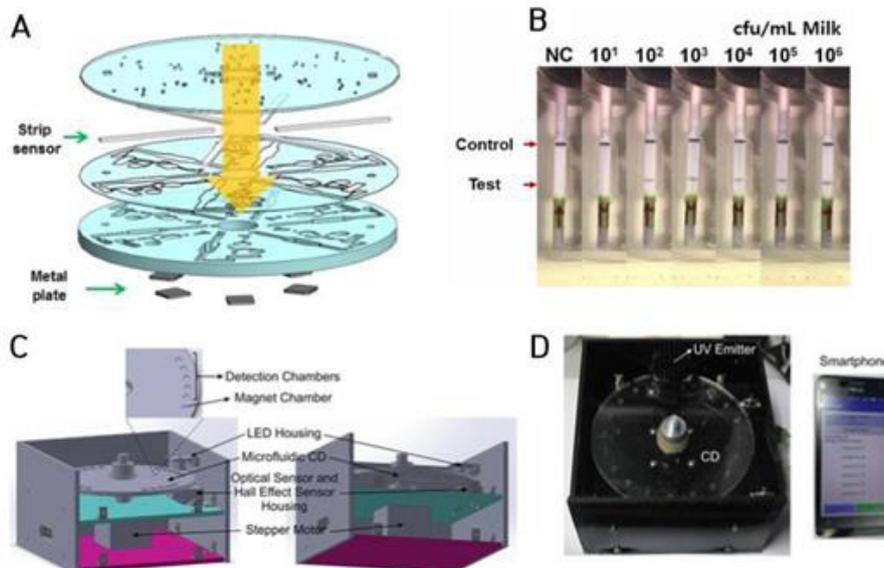


그림 2. (A) Lateral flow strip을 포함하는 LOD의 섹션 평면도(Kim 등, 2014), (B) LOD를 이용하여 우유에 오염된 살모넬라 균을 검출한 결과, (C) 자동 검출 시스템의 3D 모델 이미지, (D) 스마트폰 애플리케이션과 연결되는 검출 시스템 사진(Sayad 등, 2018)

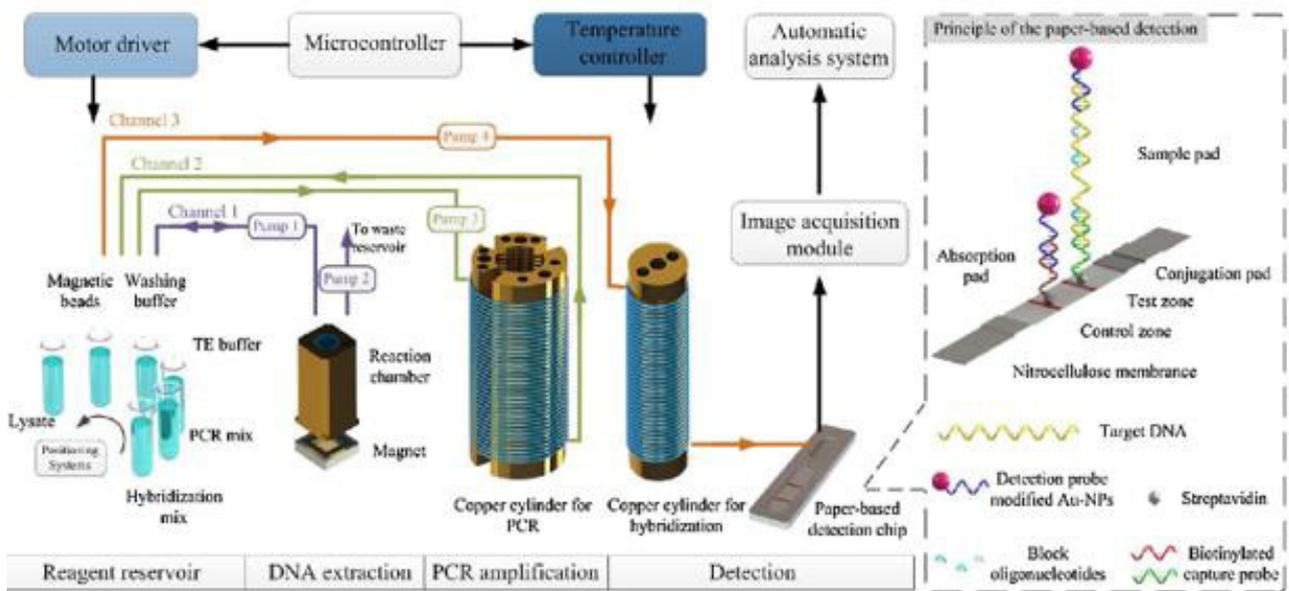


그림 3. 샘플 주입부터 검출까지 자동화된 식중독균 검출 플랫폼 모식도 (Fu 등, 2018)

D. 등, 2019). 또 다른 방식은, lysis buffer가 건조되어 있는 종이에 샘플 용액을 주입하여 세포를 용해시킨 후, 종이를 접어서 RNA-cleaving DNAzymes(RCD)이 결합되어 있는 영역으로 샘플이 옮겨지면 대장균에서 특이적으로 분비되는 단백질에 의해 RCD가 활성화된다. 이후 다시 종이를 접어서 등온증폭이 수행되고 그 결과로 인해 생성된 DNA와 기질과의 상호 작용에 의한 발색 결과를 얻을 수 있다(Sun 등, 2019). 위와 같은 Origami PAD 기술은 휴대하기 쉽고 분석방법이 간단하지만 모든 과정에 사람의 수작업을 필요로 한다. 따라서 최근에는 DNA 분리 및 증폭을 위한 자동화 장치가 종이 기반 칩과 결합되어 샘플 주입부터 검출까지 자동으로 수행되는 기술이 개발되었다(Fu 등, 2018)(그림 3). 또는, 찢어지거나 구겨지기 쉬운 종이의 단점을 보완하기 위해 종이를 보호할 수 있고 내구성이 뛰어난 플라스틱 기판을 활용한 PAD가 개발되기도 하였다(Trinh, T. N. D. 등, 2019).

4. Immunomagnetic separation-based detection method

이상의 STA 기술이 적용된 방법들은 현재 식중독균 검사방법을 사용할 때에는 적합하지 못하다. 일반적인

식중독균 검사를 위해 식품 25g에 균질 및 배양을 위한 용액 225mL를 사용하기 때문에 마이크로 채널을 사용하는 방법들은 식품시료를 처리하기에는 한계가 있다. Microfluidic chip 이나 LOD 및 PDA 방법은 식품에서 세균을 분리한 후 항원-항체 진단이나 유전자 진단에 활용 가능한 방법이다.

최근 한국식품연구원에서는 면역자성분리 기반 식품 시료 전처리 기술을 적용한 검출방법을 소개하였다(Lim 등, 2017)(그림 4). 면역자성분리 기반 시료전처리 기술은 물리적 분리방법인 여과법 및 원심분리법과 달리, 항원인 식중독균과 선택적으로 결합할 수 있는 항체를 자성입자에 고정화하여 항원-항체결합 기반으로 분리가 가능하기 때문에 식품에 오염된 식중독균을 선택적으로 분리할 수 있다. 자성입자 소재 및 제작 방법에 따라 만들어진 입자의 크기가 다양할 수 있으며 제작된 입자가 실제 식품에 오염된 식중독균을 분리 및 회수함에 있어서 얼마나 효과적인지 검증할 필요가 있다. 관련된 연구로 100, 500, 1000 nm의 면역자성입자를 사용하여 살모넬라(*Salmonella*) 및 대장균(*E. coli*)을 분리하였을 때 100 nm가 가장 효과적이거나, 실제 식품 매트릭스(계육 및 난백)에 처리하였을 때 회수 효율이 세 가지 입자에서 모두 낮아지며 자성입자의 저장 안정성이 크기가 작은 입자일수록 낮아지는 결과를 보

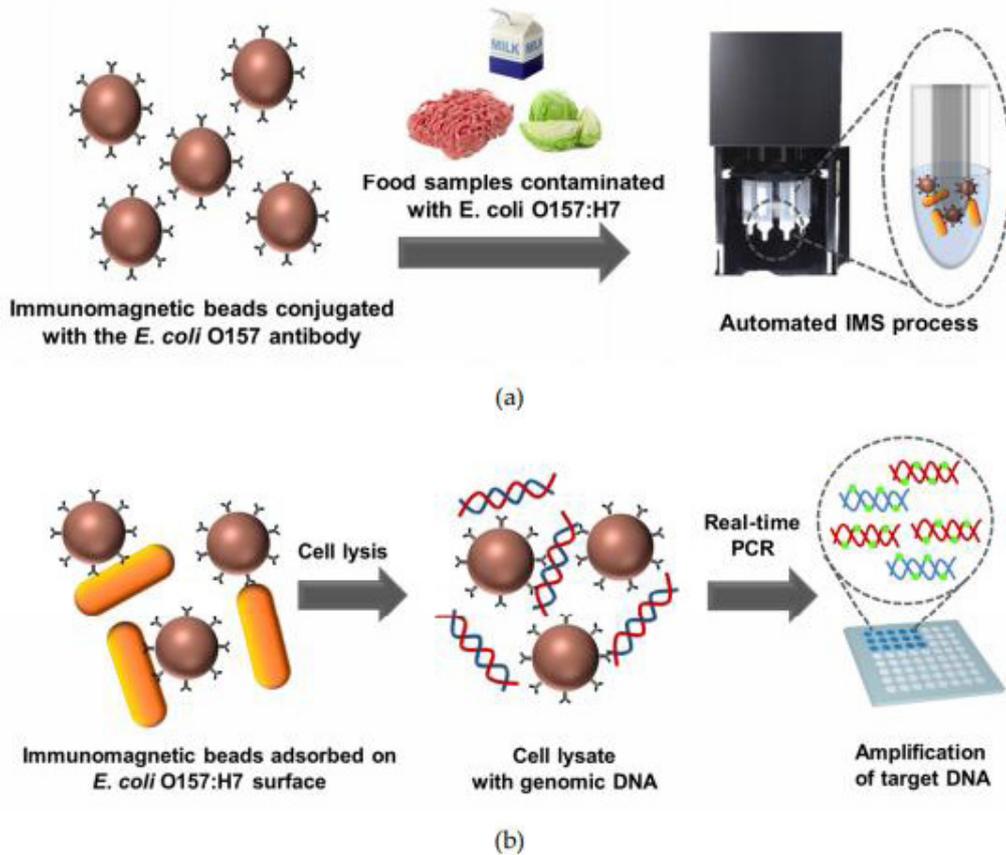


그림 4. 면역자성분리기 기반 시료전처리 방법과 기존 RT-PCR 방법을 이용한 식중독균 검사 모식도(Lim 등, 2017)

였다(Chen 과 Park, 2018). 면역자성분리법 기반 자동화 시스템 개발 연구 사례로는, 식품시료 25g 기준 총 250 mL 용액을 처리할 수 있는 방법으로 연동펌프를 이용한 시료 이송과 자성입자 분리 및 회수 모듈을 통해 표적 식중독균과 결합한 면역자성입자를 최종 회수 용액 2 mL 수준으로 농축이 가능한 기술이 보고된 바 있다(Lim 등, 2017). 소개한 기술을 기반으로 우유, 분쇄육, 양배추에 오염된 대장균 O157:H7을 선택적으로 분리 농축하고 real-time PCR법을 통해 총 소요시간 3 시간 이내에 10^2 CFU/g까지 검출이 가능한 결과가 보고하였다(Park 등, 2020).

5. STA 검사기술의 한계와 식품안전 무인관리기술

앞서 다양한 POCT 기반 STA 기술을 소개하였으나, 현재 실험실 수준에 그치고 있는 실정이다. 또한 식중

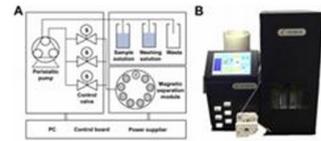
독균 실시간 검사기술로 소개되는 자료들을 보면 식품의 시료처리 후 세균 검출만을 발표하고 있어 실질적인 식품 현장 사용에는 한계가 있다. 아주 우수한 검출 감도를 가지는 바이오센서 등의 검출기술 개발도 중요하지만 다양한 식품에서 신속하고 재현성 있는 세균을 분리할 수 있는 시료전처리 기술개발이 더 중요한 시점이라 생각된다.

검출기술에는 한계가 있다. 단일 세균의 존재 유무 판단이 그 한계라 생각한다. 이러한 검출감도를 증가시키기 위해서는 단일 세균을 배양하여 여러 마리의 세균을 만들거나, 단일 세균의 유전자를 PCR 방법으로 증폭시키는, 검출타겟 물질을 증가시키는 방법이 있다. 기존 식중독균 검사방법에서는 세균 배양 방법을 사용하며 12시간에서 24시간 정도에 걸쳐 세균을 배양한다. 앞서 소개한 STA 방법 중 면역자성입자를 이용한 방법은 최소의 세균 배양시간만으로 검출장치의 검출한

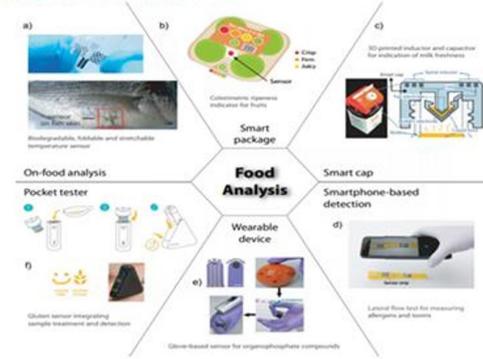
I. 대상식품 확인



II. 식품에서 유해인자 분리



III. 분리된 유해인자 검출



기술융합



식중독균 검출 자동화 장치(2시간 이내 12종 식중독균 동시검출)

그림 5. STA 기술기반 식품위해인자 자동검사장치 개념 (Lim 등, 2017, Can 등, 2019)

계까지 타겟시료의 농도까지 도달하게 한 후 검사하기 때문에 단일세균 수준에서도 5시간 만에 검사할 수 있다(Lim 등, 2017).

STA 검사기술은 현재 100 cfu/mL 수준의 세균 검사에 3시간 정도 소요되고 있는 실정으로 시간과 감도를 줄여갈 수 있다면 단체급식과 같은 배식 전 검사도 가능할 것으로 생각된다. 또한, 사용자 관점에서 활용을 고려해야 한다. 식품 생산-유통 및 소비 현장에서는 분석 전문가보다 비전문가가 대부분이며 이들이 사용할 수 있게 개발하여야 한다. 현재 비전문가가 사용할 수 있는 검사방법으로는 시료 속에 침지시키거나 한 방울을 떨어뜨려 검사하는 strip 타입의 lateral flow sensor가 잘 알려져 있다. 그러나 비전문가에게 식품과 그 센서를 제공하고 검사를 하라고 하면 대부분 사용하지 못하고 불편을 느낀다. 이는 현재 대부분의 센서가 이미 처리된 시료를 사용하기 때문이며 식품을 대

상으로 사용하지 못한다. 식품안전 검사가 자동화로 가야하는 이유가 된다.

해섭(HACCP)에 직접적인 식품위해인자 검사를 적용하기 위해서는 식품 전처리에서 검사까지 완전 자동화된 장치가 적용되어야 하며 검사 즉시 생성 데이터를 암호화하여 블록체인 기술까지 포함된 스마트-해섭이 적용되어야 생산에서 소비까지 전주기적 식품안전이 일차적으로 가능해진다(그림 5). 설치된 개별 검사장치는 정기적으로 검사를 받아 결과에 대한 신뢰를 가지게 된다면 현재 해마다 수행하는 식품안전 모니터링 사업을 대체할 수 있을 것 것이다.

요약

식품안전사고는 2009년 이후 해마다 5천건 이상 매년 2%씩 증가하고 있는 추세이며 환경오염 및 농수산

물 원산지표시 위반 등이 증가하고 있어 먹거리 안전에 대한 국민 불안은 가중되고 있는 실정이다. 식품안전사고를 예방할 수 있는 가장 좋은 방법은 빨리 검사하는 방법이라고 대부분 알고 있지만 식품생산 및 유통 현장에 분석 비전문가 수준에서 활용할 수 있는 검사기술이 부족한 실정이다. 최근 현장진단기술 중 시료에서 검사까지 가능한 STA 기술을 중심으로 유전자 기반 식중독 균을 검사하는 방법에 대해 소개하였다.

사람이 아닌 원격지 무인으로 식품위해인자를 직접적으로 검사하여 식품안전정보를 위변조 없이 생성할 수 있다면 현재의 빅데이터와 인공지능 기술로부터 보다 정확한 위험을 예측할 수 있어 오염원을 관리할 수 있다. 이러한 정보 처리는 현재 클라우드 기술을 이용하여 스마트폰에서도 활용 가능한 수준이기 때문에 영세사업장이나 공공 단체급식 등에 활용 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

- KT경제경영연구소, (2017), 한국형 4차산업혁명의 미래, 한스미디어.
- Min-Cheol Lim, Sung-Wook Choi, Min-Ah Woo(2020), Sample-to-Answer Technology for On-site Automatic Detection of Food Poisoning Bacteria, *Safe food*, 15(3), 40-49.
- K. Tsougeni, A.S. Kastania, G.D. Kaprou, Michael Eck, Gerhard Jobst, P.S. Petrou & A. Tserepi (2019). A modular integrated lab-on-a-chip platform for fast and highly efficient sample preparation for foodborne pathogen screening. *Sensors & Actuators: B. Chemical*, 288, 171-179.
- Yin, J., Zou, Z., Hu, Z., Zhang, S., Zhang, F., Wang, B. & Mu, Y. (2020). A "sample-in-multiplex-digital-answer-out" chip for fast detection of pathogens. *Lab Chip*, 20, 979-986.
- Mark, D., Haeberle, S., Roth, G., Von Stetten, F., & Zengerle, R. (2010). Microfluidic lab-on-a-chip platforms: requirements, characteristics and applications. *Chem. Soc. Rev.*, 39, 1153-1182.
- Zhou, Q. J., Wang, L., Chen, J., Wang, R. N., Shi, Y. H., Li, C. H., ... & Zhang, Y. J. (2014). Development and evaluation of a real-time fluorogenic loop-mediated isothermal amplification assay integrated on a microfluidic disc chip (on-chip LAMP) for rapid and simultaneous detection of ten pathogenic bacteria in aquatic animals. *Journal of Microbiological Methods*, 104, 26-35.
- Oh, S. J., Park, B. H., Choi, G., Seo, J. H., Jung, J. H., Choi, J. S., ... & Seo, T. S. (2016). Fully automated and colorimetric foodborne pathogen detection on an integrated centrifugal microfluidic device. *Lab Chip*, 16, 1917-1926.
- Kim, T. H., Park, J., Kim, C. J., & Cho, Y. K. (2014). Fully Integrated Lab-on-a-Disc for Nucleic Acid Analysis of FoodBorne Pathogens. *Anal. Chem.*, 86, 3841-3848.
- Sayad, A., Ibrahim, F., Mukim Uddin, S., Cho, J., Madou, M., & Thong, K. L. (2018). A microdevice for rapid, multiplex and colorimetric detection of foodborne pathogens using a centrifugal microfluidic platform. *Biosensors and Bioelectronics*, 100, 96-104.
- Trinh, T. N. D. & Lee, N. Y. (2019). A foldable isothermal amplification microdevice for fuchsin-based colorimetric detection of multiple foodborne pathogens. *Lab Chip*, 19, 1397-1405.
- Sun, Y., Chang, Y., Zhang, Q., & Liu, M. (2019). An Origami Paper-Based Device Printed with DNAzyme-Containing DNA Superstructures for Escherichia coli Detection. *Micromachines*, 10(8), 531.
- Fu, Y., Zho, X., & Xing, Da. (2018). Integrated paper-based detection chip with nucleic acid extraction and amplification for automatic and sensitive pathogen detection. *Sensors and Actuators B*, 261, 288-296.
- Trinh, K. T. L., Trinh, T. N. D., & Lee, N. Y. (2019). Fully integrated and slidable paper-embedded plastic microdevice for point-of-care testing of multiple foodborne pathogens. *Biosensors and Bioelectronics*, 135, 120-128.
- Lim, M. C., Park, J. Y., Park, K., Ok, G., Jang, H. J., & Choi, S. W. (2017). An automated system for separation and concentration of foodborne pathogens using immunomagnetic separation. *Food Control*, 73, 1541-1547.
- Chen, J., & Park, B. (2018). Effect of immunomagnetic bead size on recovery of foodborne pathogenic bacteria. *International Journal of Food Microbiology*, 267, 1-8.
- Park, J. Y., Lim, M. C., Park, K., Ok, G., Chang, H. J., Lee, N., & Choi, S. W. (2020). Detection of E. coli O157: H7 in food using automated immunomagnetic separation combined with real-time PCR. *Processes*, 8(8), 908.
- Can D., Richard B., Estefania C-R., Maria Teresa F-A., Arben M., Andreas M., Gerald A. U., & Firat G. (2019). Disposable sensors in diagnostics, food, and environmental monitoring. *Advanced Materials*, 31, 1806739