농산물 중 식중독세균 스마트 검출법 개발 동향

Trend in smart detection methods of food borne pathogens in fresh produce

김세리[1,2*], 노은정[1,2], 김원일[1,2], 황인준[1,2], 김황용[1,2], 류경열[1,2]

Se-Ri Kim[1,2*], Eunjung Roh[1,2], Won-Il Kim[1,2], Injun Hwang[1,2], Hwangyong Kim[1,2], Kyoungyul Ryu[1,2]

[1]농촌진흥청 국립농업과학원 농산물안전성부 유해생물팀, [2]농산물안전위생연구회

[1]Microbial Safety Team, Agro-Food Safety and Crop Protection Department, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju 55365, Republic of Korea,
[2]The Korean Society of Agricultural Products Safety and Hygiene, Wanju 55365, Republic of Korea

서 론

최근, 국민들의 건강에 대한 관심이 증가하면서 신선농산물 소비도 대폭 증가하고 있다[1]. 생리기능성 물질이 풍부한 신선농산물은 가열처리를 하지 않을 경우 미생물은 쉽게 제어되지 않는 문제가 있다[2]. 이러한 이유로 최근에는 신선 농산물의 섭취로 인한 식중독발생이 국내외적으로 보고되고 있다. 신선 농산물에 의한 식중독사고의 예로는 2011년 미국에서 발생한 *L. monocytogenes*에 오염된 멜론으로 인한 식중독을 들 수 있으며 이 사고로 인하여 33명이 사망하였다[3]. 같은 해 유럽에서는 병원성 *E. coli*에 오염된 새싹채소로 인하여 53명이 사망하는 사고가 발생하기도 하였다[4]. 그 외에도 2018년에는 병원성 *E. coli*에 오염된 로메인상추로 인하여 210명의 환자와 5명의 사망자가 발생한 사고가 있었다[5]. 국내에서도 김치 등 농산물로 인한 식중독사고가 보고되고 있으며[6] 농산물에서 *E. coli*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Salmonella* spp. 등이 검출되고 있어 국내 농산물의 유해미생물 관리가 시급하다[7].

유해미생물에 의한 식중독을 예방하기 위해서는 신속정확하게 세균의 존재 여부를 분석하는 것이 중요하다. 이러한 이유로 생화학적 · 면역학적 · 분자생물학적 원리에 기초한 다양한 진단기술들이 개발되어왔다. 최근 식중독세균 진단법의 개발동향은 신속하고 간편한 진단기술의 개발이 증가하고 있는 반면 생화학기반의 전통적 분석법에 대한 연구는 점차 감소되고 있는 추세이다. 특히 최근에 가장 눈에 띄는 변화는 IoT, 빅데이터 등과 같은 4차 산업기술들을 신속진단 기술들과 연계하여 진단 시간을 줄이고 편리성을 높여가고 있다.

따라서 본고에서는 현재까지 농산물에 오염된 식중독세균을 진단하는데 활용되고 있는 기술들의 연구동향을 살펴보고자 한다.

* Corresponding author: Se-Ri Kim
Microbial Safety Team, Agro-Food Safety & Crop Protection Department, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, 166 Nongsaengmyeong-ro, Iseo-myeon, Wanju-gun, Jeollabuk-do, 55365, Republic of Korea
Tel: 82-63-238-3395 Fax: 82-63-238-3840 E-mail: seri81@korea.kr

본 론

전처리 기술

농산물은 식품과 달리 중량당 표면적, 표면의 성질, pH 등이 다양하여 미국 FDA 의 Bacteriological Analytical Method (BAM) 메뉴얼이나 식품공전상에서 추천하는 25 g의 시료에 225 ml의 전처리용액을 가하여 균질화하는 방법을 일률적으로 적용하기 어렵다[8,9]. 또한 농산물을 대상으로 식중독균을 분석하기 위한 전처리법은 분석기관, 연구자마다 전처리용액, 전처리기기 (stomacher, pulsifier, sonication, handshaking, rubbing), 전처리시간, 전처리용액과 시료의 비율 등을 다양하게 적용하고 있어 연구결과를 국가간, 실험실간 비교하는데도 어려움이 있다[10]. 이에 김[11] 등은 전처리 방법을 표준화하기 위하여 양상추, 깻잎, 오이, 고추 및 방울토마토를 대상으로 전처리 방법을 비교 평가하였다. 전처리 기기에 따른 식중독세균의 회수율을 비교하였을 때 stomacher와 pulsifier에서 식중독세균의 회수율이 가장 높게 나타났다. 하지만 방울토마토에서는 stomacher를 처리한 구에서 회수율이 가장 낮게 나타났는데, 이는 stomacher법으로 처리하게 되면 방울토마토가 깨지면서 전처리용액의 pH가 낮아지기 때문에 식중독세균이 일부 사멸하기 때문이라고 보고했다. 또한 전처리용액(0.1% 펩톤수, DE/ broth)에 따른 회수율을 평가하였을 때는 D/E broth로 처리하였을 때가 0.1% 펩톤수로 처리하였을 때에 비하여 전반적으로 식중독균의 회수율이 높았다. 특히 방울토마토의 경우, D/E broth로 처리한 구의 *S*. Typhimurium의 수는 0.1% 펩톤수로 처리한 구 보다 1.0 log CFU/cm^2 높았다[12]. 하지만 시료 전처리가 분석에서 중요한 부분을 차지함에도 불구하고 이에 대한 연구는 아직 미흡한 실정이다. 따라서 농산물의 표면특성, 내부 구성 물질, pH 등에 따라 그룹을 나누고 그룹별로 전처리방법을 표준화하는 것이 필요하다고 판단된다.

생화학 기반 식중독세균 검출

생화학적 반응원리에 기초한 식중독세균 검출방법은 지금까지도 식약처는 물론이고 국제표준기구(AOAC, CEN, AFNOR, DIN 등)에서 농축수산물과 식품 중 식중독세균을 검출하기 위한 표준 공정시험법으로 채택하고 있다.

생화학 기반으로 식중독세균을 검출하는 방법은 크게 정량분석과 정성분석으로 나눌 수 있으며 정량분석은 주로 앞서 언급한 전처리를 거쳐 선택배지에 도말하여 식중독세균수를 분석하는 방법이고 정성분석은 증균, 분리, 확인 절차를 거쳐 오염 여부를 조사하는 방법이다.

특히 고 위험군에 해당하는 병원성 *E. coli*, *Salmonella* spp., *L. monocytogenens*, *Campylobacter jejuni* 등은 정성검사를 중심으로 분석하고 있다. 이들을 농산물로부터 검출하기 위해서는 농산물 생산 환경으로부터 받은 스트레스로 인해 손상된 세포를 회복시키고 이후 선택배지에서 분리될 수 있을 만큼의 수를 늘리는 증균과정과 대상 식중독균을 선택배지에서 특이적으로 분리하는 과정이 수반된다[13].

특히 농산물에서 증균과정은 식중독세균의 분석에 있어 이후의 분석과정에 미치는 영향이 매우 크다. 조[14] 등의 연구결과에 따르면 농산물 중 *Campylobacter jejuni*.와 *Campylobacter coli*를 분석하는데 Bolton broth에서 증균하고 mCCDA 배지에서 분리했을 때 mCCDA에서 전형적인 집락이 발견되어 동정한 결과 *Acinetobacter* spp, *Ochrobacterium* spp., *E. coli*였다. 이를 개선하기 위하여 Bolton broth에 rifampicin 12.5 mg/L을 추가하였을 때 mCCDA에서 위양성 집락의 발견이 현저히 줄어드는 것을 발견하였다. 증균 과정은 생화학적인 방법뿐만 아니라 면역학적 방법, PCR을 기반으로 한 분자생물학적 방법에서도 중요한 비중을 차지하고 있지만 이 분야에 대한 연구는 상대적으로 저조한 실정이다. 향후 농산물 중 식중독세균의 분석 효율을 제고할 수 있는 증균법에 대한 기초적인 연구가 보다 필요할 것으로 생각된다.

증균 후 대상 식중독균의 분리를 위해서는 선택배지의 사용이 필수적이다. 특히 1990년 이후 선택배지의 개발

그림 1. 생화학적 기반 식중독세균 분석 기술

은 주로 fluorogenic 또는 chromogenic 기질을 함유한 배지를 개발하는 연구가 진행되고 있으며, 이 중 많은 배지들이 상용화되고 있으며 국제 표준시험법에서도 식중독세균 분리용 선택배지로 사용이 권고되거나 지정되고 있다[13]. 이들 배지의 활용이 보다 용이한 이유는 기존의 공정시험법 틀 내에서 도입이 용이하고 기존의 선택배지보다 성능이 우수하여 균주를 확정하는데 소요되는 시간과 비용을 줄여주기 때문이다.

또한 균주가 분리되고 나면 이후 확정하는 단계를 거치게 되는데 이 때 활용될 수 있는 생화학적 원리 기반 kit와 장비가 개발되어 판매되고 있다. 가장 대표적인 것이 API kit, VITEK system이며 이들 방법들은 식품공전에서도 인정하고 있는 방법들로 전세계적으로 널리 활용되고 있다.

현재 식중독세균의 연구가 주로 분자생물학적 진단 중심으로 흘러가고 있지만 분자진단법이나 면역학적방법으로 식중독세균을 검사했을 때도 양성 반응이 나타나면 최종 원인균을 분리해야하기 때문에 신속동정법과 함께 생화학적 원리에 기반을 둔 증균 및 선택적 분리에 대한 연구는 지속적으로 이루어져야할 것이다.

면역학적 기반 식중독세균 검출

면역분석법은 항체와 항원의 특이적 결합에 기초하는 방법이다. 면역학적 방법으로 가장 널리 사용되는 방법은 ELISA, ELFA, IMS 및 면역크로마토그래피 방법이 있다. ELISA방법은 면역 분석법 가운데 가장 널리 이용되는 방법으로 일반적으로 sandwich ELISA라고 알려진 two site ELISA가 농산물과 식품 중에 오염된 식중독세균을 분석하는데 적합한 방법으로 알려져 있다[15]. 이 방법으로 분석하는 과정은 먼저 solid-phase에 고정화된 포획용 항체는 항원인 식중독세균과 결합시키고 결합되지 않은 항원은 몇 번의 수세과정으로 제거시킨다. 이후 효소 결합형의 2차 항체를 첨가하고 이 효소에 대한 기질을 가하여 효소 반응이 종료되면 나타나는 색깔의 형성 정도를 육안으로 관찰하거나 흡광도를 이용해 정량화하는 과정으로 진행된다[15]. ELISA 방법으로 농산물 중 식중독세균을 검출한 사례는 Pang[16] 등이 개발한 *E. coli* O157:H7 검출용 paper-based ELISA법이 있으며 이 방법을 채소 중 *E. coli* O157:H7 검출에 적용한 결과, 검출한계는 10^4 CFU/ml이었고, 검출시간은 175분, 검출비용은 0.066달러/시료라고 보고하였다.

ELFA는 ELISA와 유사한 분석법인데 ELISA는 효소반응에 의하여 나타나는 발색의 정도를 측정하는 것이라면 ELFA는 효소반응물의 형광을 측정하는 것이 근본적인 차이점이다.

ELFA의 원리를 기반으로 식중독세균 분석을 자동화시킨 장치가 바로 VIDAS이다[13]. 이 기기는 *Listeria* spp., *Salmonella* spp., *E. coli*, *S. aureus* 등의 enterotoxin의 분석을 수행할 수 있도록 디자인되었으며 시약제조, labeling plates, 세척 및 분리 작업이 필요하지 않기 때문에 시간, 노동력 및 분석비용을 절감하는 장점이 있다[13].

그 외에도 면역학적 원리에 기초한 분석법은 면역자기분리법(IMS), 면역확산법(ID) 등이 있으며 현장에서 식중독세균을 쉽게 검출할 목적으로 면역크로마토그래피법(IC)이 개발되어 상용화 되고 있다. 이 방법은 임신진단키트의 원리에 기초하여 개발된 방법으로 이 방법 역시 sandwich ELISA 방법이지만 효소 결합대신 2차 항체를 라텍스입자나 colloidal gold에 결합하여 사용된다[13]. 이

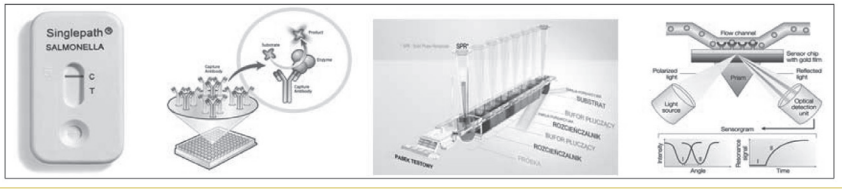

그림 2. 면역학적 원리에 기반한 식중독세균 분석 기술

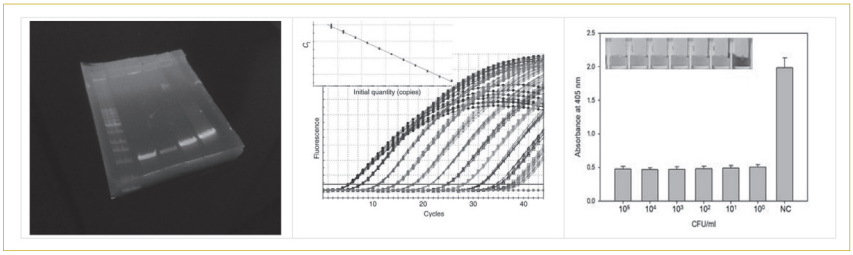

그림 3. PCR 기반 진단기술, (왼쪽) 전통 PCR, (가운데) 정량 PCR, (오른쪽) LAMP PCR

방법은 소량의 증균 배양액만 있으면 검사 결과를 쉽게 얻을 수 있다. 이 방법은 매우 단순하고 복잡하지 않으며 분석시간도 10분 내외로 매우 짧게 소요된다. 이 방법은 농업현장에서도 쉽게 적용할 수 있는 장점이 있다.

하지만 면역학적 방법은 분자생물학적인 방법보다 특이성이 낮고 검출한계가 높은 단점이 있다. 따라서 면역학적 방법은 농산물이나 농업환경 중 식중독세균의 존재 여부를 증균 과정을 거친 후 1차 스크린 하는 용도로 적합하다고 판단된다. 면역학적 방법이 보다 활발하게 현장에서 사용되기 위해서는 특이성을 높이고 검출한계를 낮출 수 있는 방법에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

PCR기반 식중독세균 검출

식중독세균의 특정 유전자를 증폭시켜 식품 중 식중독세균을 검출하는 기술은 민감성과 특이성이 높아 우수한 방법으로 인정되고 있다. 국제기구에서도 최근 들어서는 생화학적 원리에 기반을 둔 식중독세균 분석뿐만 아니라 PCR기법도 표준분석법으로 채택하고 있다[13]. ISO에서는 2005년에 PCR법을 식중독세균 분석법으로 도입하였다. 하지만 PCR법에서 양성인 시료는 생화학적 방법으로 최종 분리하여 확인하도록 규정하고 있다[13]. PCR법은 여러 가지 방법이 있는데 가장 흔히 사용되는 방법은 특정한 유전자를 증폭한 다음 전기영동을 거쳐 최종 확인을 하는 방법이다. 국내에서는 이 방법을 기초로 하여 신선편이 농산물 중 *E. coli*와 *Bacillus cereus*를 분석하기 위한 방법을 개발하여 매뉴얼화 한 사례가 있다[17]. 앞의 사례가 정성적인 분석을 위한 것이라면 real time PCR은 정량 분석을 목적으로 한 PCR법이다. Real-time PCR에서는 PCR 증폭 산물을 실시간으로 모니터링 하여 지수 함수적 증폭능력에 대해 정확한 정량이 가능하다. 이것이 end-point로 해석하는 전통적 PCR법과는 크게 다른 점이다. PCR에서는 1 cycle 마다 DNA가 2배씩 지수 함수적으로 증가해 일정 이상의 cycle을 반복하면 DNA 양은 plateau에 달한다. 이렇게 증폭하는 DNA의 양을 실시간으로 모니터링 한 그래프가 증폭 곡선이다. 이를 바탕으로 정량이 가능한 것이다. 농산물을 대상으로 RT PCR법을 확립한 사례는 새싹채소에서 장출혈성 *E. coli*을 검출하기 위한 RT-PCR법이 있다[18]. 이 연구에서는 *stx*, *agg*R와 *aai*C 유전자를 타깃으로 하고 있는데 이 방법의 검출한계는 18시간 증균하고 PCR법에 적용했을 때 시료당 1CFU/25g 이하였고, 정확도가 100%였다.

이외에도 PCR법을 기반으로 한 기술은 여러 가지가 있지만 최근에는 등온 조건하에서 민감하고 빠르게 DNA를 증폭할 수 있는 등온증폭법(loop-mediated isothermal amplification, LAMP)이 개발되었다[19]. LAMP 검출법은 표적 유전자를 증폭한다는 점에서는 PCR과 유사하지만, PCR은 세 가지 단계의 온도 변화과정 (변성(denaturation), 접합(annealing), 신장(extension)) 을 주기적으로 반복하여 유전자를 증폭하므로 소요시간이 긴데 반하여, LAMP는 일정한 온도에서 온도변화 없이 특정 유전자의 증폭이 가능함으로써 반응시간을 단축할 수 있다. 또한 PCR 기기 등 고가의 장치가 필요하지 않으며 온

도를 일정하게 유지시킬 수 있는 히팅블록 등 간단한 장치만 있으면 실험이 가능하기 때문에 농산물 생산현장에 쉽게 적용 가능한 기술이다. LAMP기술은 기존의 PCR법 보다 민감도는 상대적으로 낮지만 점차 개선되어가고 있는 실정이다.

바이오센서 기반 식중독세균 검출

바이오센서란 특정 물질과 선택적으로 반응할 수 있는 효소, 항체, 핵산, 세포, hormone-receptor 등의 생체감지물질(bioreceptor)이 전기 또는 광학적 신호변환기(signal transducer)에 고정화되어 생물학적 인식반응을 전기적 또는 광학적 신호로 변환함으로써 분석 하고자 하는 물질을 선택적으로 검출할 수 있는 계측기를 통틀어 지칭한다[20]. 바이오센서는 의료분야에서 가장 활발하게 연구되고 있고 제품으로 상용화된 사례들이 많다. 그 대표적인 예가 혈액을 한 방울만 떨어뜨려도 당 수치를 바로 확인할 수 있는 휴대용 혈당 센서이다. 최근에는 의료분야 뿐만 아니라 식중독세균의 신속검출에도 활용되고 있다. 국내에서 시도한 식중독세균 검출을 위한 연구로는 한국식품연구원에서 살모넬라균 검출을 위하여 개발한 바이오센서가 있다[20]. 항체를 광섬유에 고정 시키고 이 광섬유를 살모넬라균이 있는 용기에 단순히 침지시킴으로서 살모넬라균이 항체와 결합했을 때 두개의 형광 나노입자가 10 nm 내로 가까워져 둘 사이에 에너지전달이 일어나고, 그 결과로 일어나는 빛의 세기 변화를 측정하는 방법으로 살모넬라균을 5분 이내로 실시간 검출할 수 있는 고감도 광학 바이오센서를 개발하였다. 또한 농촌진흥청 농업공학부에서는 임피던스 바이오센서를 이용하여 *Salmonella enteritidis*를 검출하는 기술을 개발하였다[20]. Gold electrode 표면 위에 뉴트라비딘(Neutravidin), 항체, 살모넬라균을 연속적으로 반응시킨 후 나노입자가 결합된 항체를 결합시키는 샌드위치 방법에 의해서 신호를 대폭 증가시켰다. 그 결과 *Salmonella enteritidis*를 3분이란 아주 짧은 시간에 10,000마리/ml 까지 검출할 수 있는 기술을 개발한 사례가 있다. 바이오센서는 현장에서 편리하게 식중독세균을 검사할 수 있는 유망 기술인데 이 기술의 발전을 위해서는 나노기술, 반도체공학, 전기화학, 광학, 폴리머화학, 미생물학, 생화학 등 다양한 분야의 전문지식과 기술의 융합이 필요하다.

IoT 연계 식중독세균 검출

최근 사물인터넷(IoT, Internet of Things)이라는 용어가 정보통신 분야뿐 아니라 우리 사회 전반에 걸쳐 폭넓게 쓰이고 있으며 식중독세균의 진단에 있어서도 예외는 아니다. 사물인터넷이란 사람, 사물, 공간 등 모든 것이 인터넷으로 연결되어 사람과 사물, 사물과 사물간의 정보를 상호 소통하는 지능형 기술 및 서비스를 일컫는 말이다. 최근에 이 기술이 더 발전할 수 있는 이유는 스마트 폰의 보급이라 할 수 있다. 식중독세균의 검출기술에 있어서도 검출장치와 스마트 폰의 연계는 또 하나의 식중독세균 검출 기술의 트렌드가 되고 있다.

그 대표적인 사례로 농촌진흥청에서 개발한 스마트 대장균 검출기를 들 수 있다[21]. 이 기술은 대장균이 분비하는 효소 프로필에 기초한 검출원리에 바이오센서 기술과 IoT 기술을 융합한 것이다. 대장균은 증식하면서 β-galactosidase와 β-glucuronidase를 생산하는데, 이 효소에 의해 배지 내에 기질로 포함된 O-nitrophenyl-D-galactopyranoside (ONPG)와 4-methylumbelliferyl-β-D-glucuronide (MUG)이 가수

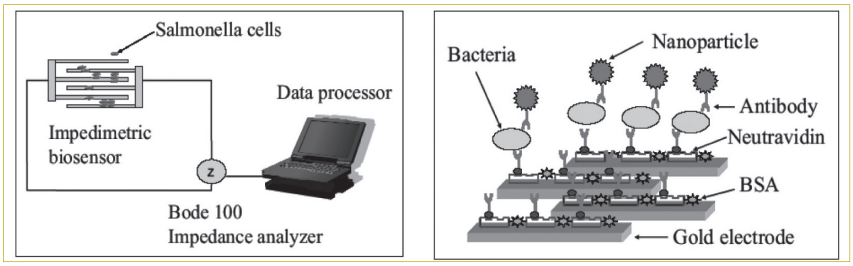

그림 4. 바이오센서 장비 모식도(왼쪽)와 나노입자에 의한 신호증가 및 검출원리(오른쪽)

그림 5. IoT 기술 적용 식중독세균 분석기술

분해되어 배지색이 황색으로 변하여 자외선 (UV) 램프 아래에서 감지 할 수 있는 형광 화합물(4-methyl-umbelliferone)을 형성시킨다. 이러한 색상변화를 실시간으로 검출기 내에 있는 카메라가 촬영하여 기기 내 검사부에서 분석 한 후 그 결과를 Wifi를 통하여 스마트 폰으로 전송하도록 하였다. 따라서 실시간으로 *E. coli*의 오염여부를 스마트 폰으로 확인할 수 있다.

또한 면역크로마토 그래피와 바이오센서 그리고 IoT 기술을 융합한 기술이 보고된 바 있다[22]. 이 기술은 시료를 증균배지에서 배양한 다음 면역크로마토그래피가 포함된 EOC 카트리지에 배양액을 접종하고 리더에 장착하면 15분 후에 wifi를 통하여 스마트 폰으로 결과가 전송하도록 되어 있다.

앞에서 언급한 사례들처럼 이제는 단순한 진단기술을 너머 바이오센서, IoT, Big 데이터라고 하는 4차 산업기술들과 연계되고 있는 실정이고 앞으로 이러한 움직임은 확대될 전망이다.

결 론

기후변화, 농산물 교역을 확대 등으로 인하여 농산물로 인한 식중독사고는 갈수록 대형화 될 가능이 높기 때문에 얼마나 빠르게 오염여부를 확인하고 그 정보를 신속하게 전달하는 것이 식중독사고를 예방하는데 가장 중요하다. 이를 위해서는 시료 전처리, 증균, 신속진단, 바이오센서, IoT, 빅데이터 기술들의 융합이 중요하다고 생각된다. 먼저 농산물의 특성이 유사한 품목 간의 그룹핑이 필요하고 각 그룹에 적합한 전처리기술이 표준화 되어야 한다. 그리고 농산물 내 대상 식중독세균을 선택적으로 증식하는 기술과 신속 진단 기술연계가 필요하다. 식중독 세균 검사의 현장화를 위해서는 바이오센서 기술과의 융합도 중요한데 이를 위해서는 나노기술, 반도체공학, 전기화학, 광학, 폴리머화학, 미생물, 생화학 등 다양한 분야의 전문가들과의 협업이 중요하고 나아가 IoT 기술과 같은 4차 산업혁명 기술을 연계한다면 신속한 정보 공유로 식중독사고 확산을 획기적으로 줄여 경제적 손실 감소와 국민 건강 향상에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

1. KIM, G.H. and Bang, H.Y.: A survey on consumption pattern of minimally fruits and vegetables. *Korean J. Food Culture*, 13, 267-274 (1998).

2. Choi, J.W., Park, S.Y., Yeon, J.H., Lee, M.J., Chung, D.H., Lee, K.H., Kim, M.G., Lee, D.H., Kim, K.S. and Ha, S.D.: Microbial contamination levels of fresh vegetables distributed in markets. *Korean J. Fd. Hyg. Safety*, 20, 43-47 (2005).

3. Spadafora, N.D., Paramithiotis S., Drosinos E.H., Cammarisano L., Rogers H.J. and Müller C.T.: Detection of *Listeria monocytogenes* in cut melon fruit using analysis of volatile organic compounds, Food Microbiol., 54, 52-59 (2016)

4. Uphoff H, Hedrich B, Strotmann I, Arvand M, Bettge-Weller G. and Hauri A.: A prolonged investigation of an STEC-O104 cluster in Hesse, Germany, 2011 and implications for outbreak management. J Public Health, 22:41-48 (2014)

5. CDC: Multistate outbreak of *E. coli* O157:H7 infections linked to romain lettuce. www.cdc.gov/ecoli/2018/0157h7-04-18/

6. Lee H.W., Yoon S.R., Kim S.J., Lee H.M., Lee J.Y., Lee J.H., Kim S. and Ha J.H.: Identification of microbial communities, with a focus on foodborne pathogens, during kimchi manufacturing process using culture-independent and-dependent analyses. *LWT Food Sci Technol.*, 81, 153-159 (2017)

7. Kim, S.H., Kim, J.S., Choi, J.P. and Park, J.H.: Prevalence and frequency of food-borne pathogens on unprocessed agaricultural and marine products. *Korean J. Food Sci. Technol.*, 38, 594-598 (2006).

8. Burnett, A.B. and Beuchat, L.R.: Comparison of sample preparation methods for recovering *Salmonella* from raw fruits, vegetables, and herbs. *J. Food Prot.* 64, 1459-1465 (2001).

9. Food and Drug Administration: Analysis and Evaluation of Preventive Control Measures for the Control and Reduction/Elimination of Microbial Hazards on Fresh and Fresh-Cut Produce. Available at: http://www.fda.gov/Food/ScienceResearch/ResearchAreas/SafePracticesforFoodProcesses/ucm090977.html. Accessed 5 June 2009 (2001).

10. Arthur, L., Jones, S., Fabri, M. and Odumeru, J.: Microbial survey of selected Ontario-grown fresh fruits and vegetables. *J. Food Prot.* 70, 2864-2867 (2007).

11. Kim, S.R., Yoon, Y., Kim, W.I., Park, K.H., Yun, H.J., Chung, D.H., Yun, J.C. and Ryu, K.Y.: Comparison of Sample Preparation Methods for the Recovery of Food-borne Pathogens from Fresh Produce. *J. Food Prot.* 75, 1213-1218 (2012).

12. 김세리, 최송이, 서민경, 김원일, 윤요한, 류경열, 윤종철, 김병석: 농산물 중 식중독세균 검출을 위한 전처리법 확립, 한국식품위생안전성학회지, 28, 279-285 (2013)

13. 김현주, 김용수, 정명섭, 오덕환, 전향숙, 하상도: 신기술 이용 식중독균 신속검출법 개발 동향 분석, 한국식품위생안전성학회지, 25, 376-387 (2010)

14. Jo Y, Oh H.M., Yoon, Y., Lee, S. Y., Ha, J. H., Kim, W. I., Kim, H. Y., Han, S. and Kim, S. R.: Enrichment Broth for the Detection of *Campylobacter jejuni* and *Campylobacter coli* in Fresh Produce and Poultry. *J. Food Prot.* 80, 1842-1850 (2017)

15. 김명희, 김왕준, 신원선, 손동화, 차성관: 식중독세균 검출에 있어서 리포좀의 이용가능성, 축산식품과학회지, 23, 278-283 (2003)

16. Panga, B, Zhaoa C., Lia L., Songa X., Xua K., Wanga J., Liua Y., Fua K., Baoa H., Songa D., Menga X., Qua X., Zhangb, Z. and Lia, J.: Development of a low-cost paper-based ELISA method for rapid *Escherichia coli* O157:H7 detection, *Analytical Biochemistry*, 542, 58-62(2018)

17. 노은정, 윤요한, 홍지수, 최유경, 이수정, 류재기, 정규석: 신선편이 농산물의 대장균 및 바실러스 세레우스 신속검출 매뉴얼, 농촌진흥청 국립농업과학원 (2018)

18. Luca, R., Giulia, A., Elisa, C., Enrica, O., Mauro, M. and George, P.: Evaluation of PCR-based methods for the identification of enteroaggregative hemorrhagic *Escherichia coli* in sprouts. Int. J. Food Microbiol. 291, 59-64 (2019)

19. Notomi, T, Okayama H, Masubuchi H, Yonekawa T, Watanabe K, Amino, N. and Hase, T.: Loop-mediated isothermal amplification of DNA, *Nucleic Acids Research*, 28, E63(i -vi). (2000)

20. 고성호: 식중독균 검출용 나노바이오센서, 식품과학과 산업, 41, 59-62, (2008)

21. 김세리: 2018 국가연구개발 우수성과 100선, 과학기술정보통신부, pp.64-65

22. Seo, S.M., Kim S.W., Jeon J.W., Kima J.H., Kim H.S., Cho J.H., Lee, W. H. and Paek, S. H.: Food contamination monitoring via internet of things, exemplified byusing pocket-sized immunosensor as terminal unit, Sensor Actuat B-Chem. 233 148-156 (2016)