

식중독 유해인자의 현장 신속 검출로 안전 사회 구현한다

겨울철 노로 바이러스에 의한 식중독이 급격히 증가하고 있어 식품의약 품안전청과 질병관리본부는 음식물 섭취에 각별한 주의를 기울일 것을 당부하고 있다. 노로 바이러스와 같이 인간에게 식중독을 일으키는 유해인자를 음식물로부터 신속하고 정확하게 검출할 수 있다면 매년 반복되는 집단 식중독에 의한 피해를 획기적으로 감소시켜 안전하고 건강한 사회를 구현할 수 있을 것이다.

식중독의 원인 및 발생 현황

식중독이란 세균, 바이러스, 독소와 같은 식중독 유해인자에 오염된 음식물의 섭취로 인해 발생하는 모든 종류의 질병을 의미한다. 보건산업진흥원에 따르면 국내에서 발생하는 식중독에 의한 사회·경제적 손실은 매년 1조3천억 원에 달하며, 국민의 건강을 심각하게 위협하고 있다. 그러므로 식중독 예방은 국가·사회적으로 매우 중요하며 이를 위해 식중독 유해인자의 신속, 정확한 검출 기술의 개발이 반드시 이루어져야 한다.

식중독을 일으키는 유해인자들은 다양한 종류가 있는데, 일반적으로 식중독을

자주 일으키는 주요 유해인자들은 표와 같다. 식품의약품안전청이 발표한 식중독 통계 자료에 의하면 병원성 대장균, 살모넬라, 황색포도상구균, 장염 비브리오균 등과 같은 세균들이 전체 식중독 발생 원인의 절반 이상을 차지하고 있다. 하지만, 최근 들어 노로 바이러스에 의한 식중독 발생 비율이 급격하게 증가하고 있어, 올 겨울에도 여러 학교 급식시설에서 식중독이 집단으로 발생하여 큰 사회적 문제가 되었다. 특히, 노로 바이러스는 낮은 온도에서 더욱 활발하게 성장할 수 있기 때문에 식중독은 여름철에만 주의하면 된다는 일반 상식에 반하므로, 겨울철에 더욱 큰 피해를 일으키게 된다. 이와 같이 식중독은 한 가지 유해인자의 검출만으로는 예방할 수 없으며 다수의 유해인자를 동시에 검출하는 것이 아주 중요하다.

식품의약품안전청의 자료를 좀 더 살펴보면, 우리나라는 2002년 이후 집단 급식과 외식의 생활화로 인해 식중독 발생 건수 및 환자수가 매년 증가하는 추세로 나타났으며, 지하수 오염과 지구 온난화에 의한 기온 상승으로 앞으로 식중독 발생 건수는 지속적으로 증가할 것으로 예상



글 정봉현

한국생명공학연구원
바이오나노연구센터장
chungbh@kribb.re.kr

글쓴이는 서울대학교 화학공학과를 졸업한 후 KAIST에서 석사, 박사학위를 받았다.



글 강태준

한국생명공학연구원
바이오나노연구센터 선임연구원
kangtaejoon@kribb.re.kr

글쓴이는 KAIST 화학과를 졸업한 후 동대학원에서 박사학위를 받았다.



주요 식중독 유해인자	
- E. coli O157:H7	- Listeria monocytogenes
- Salmonella	- Vibrio vulnificus
- Yersina enterocolitica	- Campylobacter
- Shigella	- Clostridium botulinum
- Staphylococcus aureus	- Bacillus cereus
- Norovirus	- Aflatoxin

된다. 식중독이 자주 발생하는 장소를 살펴보면, 음식점 및 단체 급식소가 전체 발생 건수의 75.6 %에 이르므로, 이러한 곳에서의 식중독 유해인자 조기 검출을 통해 집단 식중독 발병을 상당히 낮출 수 있을 것으로 판단된다.

식중독 유해인자의 신속 검출

앞서 언급한 것처럼 식중독 예방을 위해서는 음식물이 식중독 유해인자에 오염되었는지를 신속하게 확인하는 것이 가장 중요하다. 더군다나, 최근에는 웰빙 음식의 수요가 높아짐에 따라 고온에서 조리 과정 없이 음식물을 섭취하는 경우가 늘어나고 있으므로, 이들 음식물의 섭취 전에 식중독 유해인자의 오염 여부를 확인하는 것이 식중독의 예방을 위해 필수적이다.

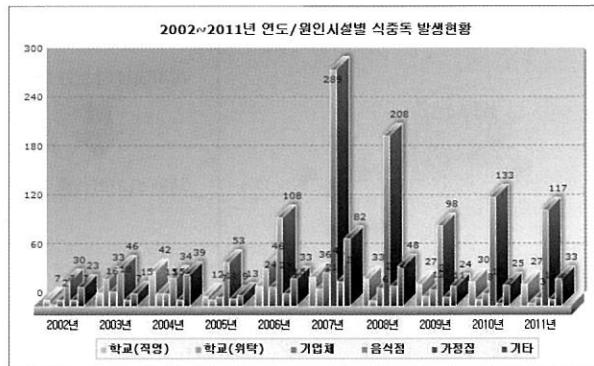
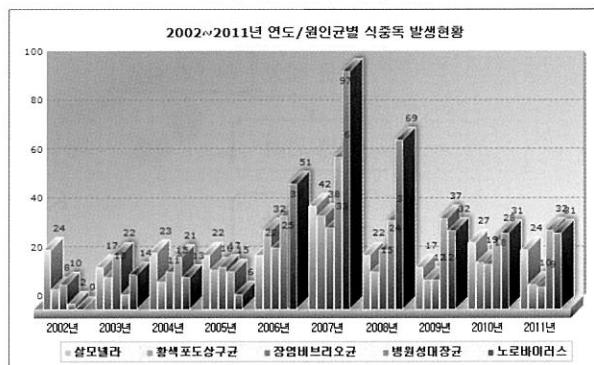
하지만 음식물에 존재하는 식중독 유해인자의 검출을 위한 현행 식품공전 방법을 따르면, 보통 3~5일의 긴 시간이 필요하므로 음식물 섭취 전에 식중독 유해인자의 오염 여부를 확인하는 것이 쉽지 않다. 이처럼, 음식물의 오염 여부를 확인하기 위해 긴 시간이 필요 한 것은 최소 24시간 이상의 중균 배양 과정이 필요하기 때문인데, 만일 이 과정 없이 유해인자를 검출할 수 있다면 검출 시간을 획기적으로 단축시켜 음식점이나 단체 급식소에서 조리 전에 식재료의 오염 여부를 확인하고 안전한 음식물을 제공할 수 있을 것이다.

식중독 유해인자의 신속한 검출을 위해 그동안 많은 연구 개발이 진행되어 왔는데, 그 중에서 가장 대표적인 것은 면역 기법(Immunoassay)을 이용한 방법이다. 면역 기법이란 항원과 항체 사이의 특징적인 결합을 이용한 검출법으로, 식중독 유해인자에 선택적으로 결합하는 항체를 센서에 적용하여 유해인자를 고감도로 신속 검출을 가능하게 한다. 가장 널리 사용되는 면역 기법은 효소 결합 면역 측정법(ELISA; Enzyme Linked ImmunoSorbent Assay)으로 현재 다양한 종류

의 제품이 키트 형태로 출시되어 식중독 유해인자 검출을 위해 사용하고 있다.

최근에는 ELISA 외에도 면역 침강법(IP; ImmunoPrecipitation)이나 면역 크로마토그래피법(IC; ImmunoChromatography)과 같은 면역 기법에 기반한 새로운 검출법들이 속속 개발되고 있다. 또한, 테라헤르츠파를 이용한 식중독 유해인자의 검출법이 새롭게 각광받고 있는데, 이 방법은 테라헤르츠(1012 Hz) 수준의 전자기파를 식중독 유해인자에 조사하여, 전자기파가 어떤 식으로 흡수 또는 반사되는지를 측정해 유해인자의 유무를 파악하는 방법이다. 테라헤르츠 검출법은 기존 방법보다 훨씬 간단하게 식중독 유해인자를 검출할 수 있지만, 실용화를 위해서는 아직 많은 발전이 이루어져야 한다. 이들 외에도 다양한 과학적 현상을 이용한 식중독 유해인자 검출법의 개발을 위해 연구자들은 지금도 끊임없이 연구를 진행하고 있다.

바이오·나노 융합 기술, 유해인자 초고속검출 개발 가능
필자의 연구팀인 한국생명공학연구원 바이오나노



▶ 출처 -식품의약품안전청 식중독 통계 시스템
(<http://www.kfda.go.kr/e-stat>)

연구센터에서는 서울대학교, 카이스트, 포스텍, 이화여자대학교, 경희대학교, 가천대학교의 국내 식중독 연구 관련 전문가들과 함께 첨단 바이오·나노 융합 기술을 응용하여 중균 배양 과정 없이 식중독 유해인자를 현장에서 신속, 정확하게 검출하는 기술을 개발하기 위한 연구를 활발하게 수행하고 하고 있다. 식중독 유해인자의 검출을 위한 현행 식품공전 방법이 장시간의 중균 배양 과정을 필요로 하는 이유는 음식물에 포함된 식중독 유해인자의 양이 매우 적을 경우, 배양을 통해 그 양을 늘리지 않으면 검출이 어렵기 때문이다. 즉, 극소량의 유해인자 검출이 가능한 기술을 개발한다면 중균 배양 과정 없이도 음식물의 오염 여부를 확인하는 것이 충분히 가능해진다.

이를 위해, 연구팀은 음식물에 붙어 있는 식중독 유해인자를 놓치지 않고 잡아내기 위한 신개념 식중독 유해인자 탈리 시스템을 개발하고 있다. 일반적으로 음식물에서 식중독 유해인자를 탈리시키기 위해서 식

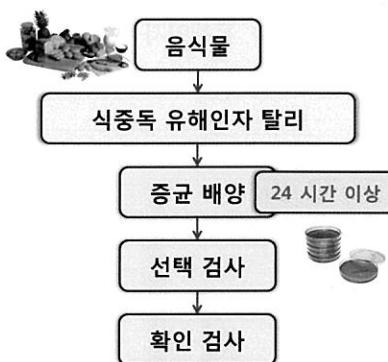
품 분쇄와 원심 분리 과정을 사용한다. 하지만 이 방법은 식품 분쇄로 인한 부산물이 다수 포함되어 유해인자만 분리하는 것이 어렵고, 현장 적용도 쉽지 않다. 연구팀은 회전과 진동 운동을 동시에 적용시킨 새로운 탈리 시스템을 개발하고 있으며, 이 방법을 이용하면 식품의 분쇄 없이도 빠른 시간에 식중독 유해인자만을 분리하는 것이 가능해진다. 또한, 이 탈리 시스템은 휴대가 가능하여 다양한 음식점 및 급식소에서 손쉽게 사용될 수 있을 것이다.

이렇게 음식물로부터 탈리된 식중독 유해인자는 분리 및 농축 과정을 거쳐 실제 검출이 이루어지게 되는데, 단 하나의 유해인자에 의해서도 식중독이 발생할 수 있어 분리, 농축 과정 또한 매우 중요하다. 연구팀은 식중독 유해인자의 분리, 농축을 위해 자성 나노입자 (크기가 수 nm에서 수백 nm의 범주에 속하는 입자)를 사용하고 있다. 자성 나노입자의 표면은 다양한 종류의 항체로 손쉽게 개질시킬 수 있는데, 식중독 유해인자에 선택적으로 결합하는 항체로 개질한 자성 나노입자를 이용하면 우리가 원하는 식중독 유해인자만을 분리, 농축하는 것이 가능하다. 실제로 이 기술을 이용하여 우유 속에 포함된 살모넬라균을 1분 이내에 99%까지 분리, 농축하는데 성공하였다. 이 방법은 수분 이내에 식중독 유해인자의 농축을 가능하게 하므로 전체 검출 시간을 크게 단축시켜 준다.

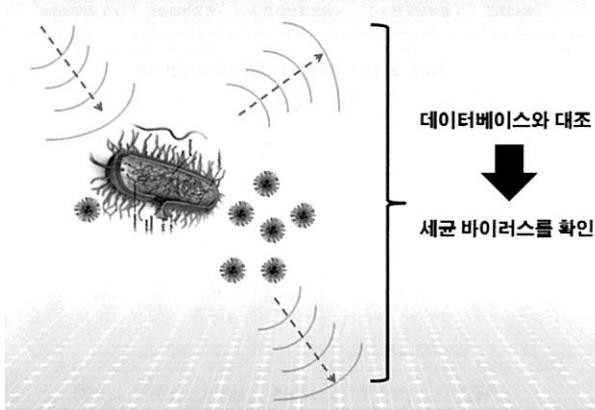
초소형 SPR 제작으로 실용성 확대 기대

자성 나노입자를 이용해 분리, 농축된 식중독 유해인자는 고감도 센서를 이용해 현장에서 신속하게 검출이 이루어져야 한다. 이를 위해 연구팀은 표면 플라즈몬 공명(SPR; Surface Plasmon Resonance) 현상을 이용하고자 한다. SPR은 금과 같은 금속 표면에 특정 파장의 빛을 쪼여줄 경우, 빛 에너지의 대부분이 자유전자로 전이되는 공명 현상을 의미하며 이 현상을 이용해 다양한 생물학적 분자의 검출법이 개발되어 왔다. 하지만, SPR 장비는 고가이고 조작이 어려우며, 크기가 커서 대부분 연구용으로만 사용되고 있다.

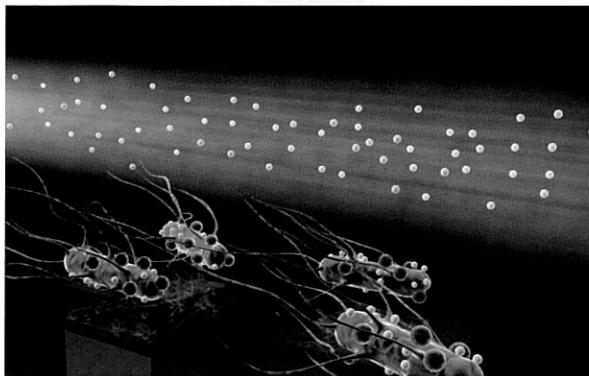
필자의 연구팀은 독자적인 기술 개발로 최근 휴대가 가능한 초소형 SPR 기기를 제작하는데 성공하였고 실제로 어디서든 생물학적 분자의 고감도 검출이 가능함을 확인하였다. 연구팀이 개발한 SPR 센서는 식중독



▶▶ 식중독 유해인자 검출을 위한 현행 식품공정 과정



▶▶ 테라헤르츠파를 이용한 식중독 유해인자 검출
(출처 : J. Food Hyg. Safety, 2010, 25, 376.)



▶▶ 자성 나노입자를 이용한 실모델라균 포집
(출처 : Analyst, 2012, 137, 3609.)

유해인자의 현장 검출에 사용될 수 있으며, 빠른 검출이 가능하여 식중독의 예방에 큰 도움이 될 것으로 기대한다. 또한, SPR 센서는 자성 나노입자에 의해 포집된 유해인자를 그대로 검출할 수 있어 검출 과정의 간소화와 더불어 나노입자에 의한 감도 증가 효과까지 기대할 수 있어 그 실용성이 더욱 커질 것으로 기대한다. 더욱이 SPR 센서는 다수의 채널을 가지고 있어 식중독 유해인자의 다중 검출이 가능한데, 식중독을 일으키는 유해인자의 종류가 매우 다양하다는 것을 감안하면 다중 검출의 중요성은 더욱 커진다. 현재 연구팀은 3가지 채널을 이용한 식중독 유해인자 검출을 진행 중이며, 앞으로 10종 이상의 유해인자 동시 검출이 가능한 센서 제작을 목표로 연구에 매진하고 있다.

SPR 센서를 이용한 식중독 유해인자의 다중 검출이 가능해지더라도, 식중독을 발생시키는 유해인자는 매우 다양하기 때문에, 한 가지 검출 방법만을 이용해 모든 종류의 유해인자를 완벽하게 검출하는 것은 어렵다. 그러므로 연구팀은 식중독 유해인자에서 추출한 특정 유전자를 검출하여 음식물의 오염 여부를 확인하는 기술도 동시에 개발하고 있다.

지금까지 다양한 유전자 검출 기술이 개발됐지만, 여전히 1985년 발표된 중합 효소 연쇄 반응(PCR; Polymerase Chain Reaction)이 가장 대표적인 기술이라 할 수 있다. 이 기술은 유전자의 원하는 부분을 복제, 증폭시키는 분자 생물학적 기술로 발표된 이후 많은 발전이 이루어져 현재는 실시간 검출이 가능한 수준에 이르렀다. 연구팀은 이러한 PCR 기술을 더욱 발전시켜, 현장에서 식중독 유해인자의 정량적 검출이 가능한 센서를 개발하기 위한 연구에 박차를 가하고



▶▶ 휴대 가능한 초소형 SPR 센서
(출처 : MiCoBioMed(<http://micobiomed.com>))

있다. SPR 센서와 유전자 검출 센서를 동시에 사용해 음식물이 식중독 유해인자에 오염되었는지를 이중으로 확인함으로써, 검출의 정확성을 더욱 높일 수 있을 것으로 확신한다.

유해인자 검출 센서 통합 모듈시스템, 다중 검출 가능

단체 급식과 외식 시설 이용의 증가로 인해 식중독에 의한 위험은 계속 증가하고 실제로 다양한 식중독 유해인자에 의한 피해가 매년 반복적으로 발생하고 있지만, 이를 극복하기 위한 근본적 대책은 미흡한 것이 사실이다. 최근 들어 식중독을 일으키는 유해인자를 검출하기 위한 새로운 기술이 개발되고 있지만, 여전히 실험실에서의 연구 수준에 머물러 있어 현장 적용과 검출 시간 단축에는 한계점을 보이고 있다. 무엇보다도 식중독 유해인자 검출 기술의 실제적 사용을 위해서는 증균 배양 과정 없이 2시간 안에 검출이 가능해야 한다.

필자의 연구팀은 음식물로부터 식중독 유해인자를 탈리하고 분리·증폭하는 과정과 이를 검출하는 센서가 모두 현장에서 사용될 수 있도록 하나의 통합된 모듈 시스템을 제작하고자 하며, 이 시스템을 이용해 2시간 이내에 식중독 유해인자의 다중 검출이 가능할 것으로 기대한다. 앞으로 개발될 식중독 유해인자 검출 시스템을 단체 급식소 및 음식점에 적용하여 안전한 음식을 섭취할 수 있도록 할 것이며, 현장에서의 신속한 식중독 유해인자 검출 과정을 토대로 국내 식품 위생 관리 시스템의 완성도를 높여 식품의 안전성에 대한 국민의 신뢰를 증가시키고 식중독 위험 없는 안전하고 건강한 사회의 구현이 가능할 것으로 판단한다. **◎**