Study Identifies Critical Temperature Threshold During Food Processing to Inactivate Norovirus

출처: Food Safety Magazine March 5, 2026

새로운 in vitro 연구를 통해 노로바이러스를 불활성화하는 결정적인 온도 임계값이 확인되었으며, 이는 'Food Control' 저널에 게재되었다. 해당 연구는 뉴질랜드 공중보건 및 법과학 연구소(New Zealand Institute for Public Health and Forensic Science) 연구진에 의해 수행되었다.

식품 매개 노로바이러스 감염으로 인한 공중보건상의 부담에도 불구하고, 열처리에 따른 노로바이러스의 감염력에 관한 정량적 데이터는 그간 제한적이었다. 이러한 공백을 메우기 위해 연구진은 노로바이러스의 복제를 지원하는 세포 배양 시스템인 인간 장관 엔테로이드(human intestinal enteroids, HIEs)를 사용하여, 50~60°C(122~140°F) 범위의 온도에서 1분, 5분, 10분간의 열 노출 후 노로바이러스의 감염력을 평가했다. 연구진은 일반적인 식품 조리 방식을 반영하여 짧은 노출 시간에 집중하였으며, 목표 온도까지 도달하는 시간을 최소화하기 위해 소량의 샘플을 사용함으로써 식품 가공 시 적용되는 열처리를 보다 현실적으로 평가하고자 했다.

연구 결과, 54°C 이상의 온도는 대조군과 비교했을 때 노로바이러스의 감염력을 유의미하게 감소시키는 것으로 나타났다. 또한 58°C 이상에서는 감염력이 분석법의 검출 한계치 미만으로 떨어져 복제가 확인되지 않았다. 반면, 54°C 미만의 온도에서는 10분간 노출된 후에도 통계적으로 유의미한 감염력 감소가 관찰되지 않았다. 특별히, 59.4°C와 60°C에서는 단 1분의 노출만으로도 검출 가능한 복제가 일어나지 않았으며, 이는 약 3 log 수준의 감염력 감소에 해당한다. 이러한 감소 수치는 60°C에서 1분, 5분, 10분 노출 시 모두 동일하게 관찰되었으며, 노출 시간이 길어져도 감소폭에 유의미한 차이는 없었다. 이는 임계 온도에 도달하면 불활성화가 매우 신속하게 일어남을 시사하는 것이다. 54°C 미만에서는 노로바이러스의 불활성화가 미미하고 54°C 이상에서는 급격한 불활성화가 일어난다는 이번 관찰 결과는, 기존에 보고된 노로바이러스 유사 입자(norovirus virus-like particles, VLP) 및 쥐 노로바이러스(murine norovirus)의 열 불활성화 경향과 유사하다.

연구진은 본 연구는 인산염 완충 식염수 내의 단일 노로바이러스 유전형을 대상으로 테스트되었으므로 지방과 단백질을 포함한 복잡한 식품에서는 바이러스에 대한 열 보호 효과가 나타날 수 있어 더 강도 높은 열처리가 필요할 수 있다고 언급하였다. 그럼에도 불구하고, 이번 연구 결과는 60°C 이상의 가열이 노로바이러스 불활성화에 결정적이라는 정량적 증거를 제공하며 이 데이터가 노로바이러스 전파를 차단하고 식품 매개 질환을 줄이기 위한 열처리 권고안 개선에 기여할 것이라고 결론지었다.

출처:
https://www.food-safety.com/articles/11201-study-identifies-critical-temperature-threshold-during-food-processing-to-inactivate-norovirus

Study Uses AI to Screen Milk Samples for Mycotoxin Contamination

출처: Food Safety Magazine March 4, 2026

최근 'Current Research in Food Science'에 게재된 논문을 통해 일상적으로 수집되는 유제품 측정 데이터를 인공지능(AI)으로 분석하여 곰팡이 독소 오염을 예측하고, 정밀 검사 대상을 선정하는 데 활용할 수 있다는 연구가 보고되었다. 구체적으로 연구진은 원유 내 아플라톡신 M1(AFM1) 농도가 EU 규제 기준치인 0.05 μg/L을 초과하는지 예측하기 위한 머신러닝 사전 선별 접근 방식을 개발했다. AFM1은 발암성 곰팡이 독소로, 젖소가 아플라톡신 B1에 오염된 사료를 섭취할 경우 체내에서 대사되어 우유로 배출된다.

현재 AFM1 검출에는 ELISA나 액체 크로마토그래피 질량분석기(LC-MS/MS)와 같은 정밀 분석법이 사용되고 있다. 그러나 연구진은 비용, 시료 준비 시간, 숙련된 인력 요구 등의 제약으로 인해 대규모 유제품 사업장에서 대량의 샘플을 실시간으로 처리하는 데 한계가 있음을 강조했다. 이러한 한계를 극복하기 위해 연구진은 AI 모델을 활용해 추가 실험실 분석이 필요한 고위험 샘플을 식별하는 효율적인 도구로서의 가능성을 조사하였다.

모델은 한 유제품 가공업체가 20년 동안 수집한 원유 기록 데이터를 바탕으로 학습되었으며 여기에는 성분 구성, 지표 미생물, 취급 조건 등의 특성이 포함되었다. 주요 측정 변수로는 단백질, 지방, 유당, 총 고형분, 무지유고형분, 산도, 빙점, 상대 밀도, 수유 시 우유 온도, 총균수, 저온균, 체세포수, 점도 등이 활용되었다. 또한 사료 오염 위험과 연관된 지역적 차이를 반영하기 위해 국가 및 주(province)와 같은 지리적 식별자도 범주형 변수로 포함되었다.

AFM1 농도는 EU 기준치인 0.05 μg/L를 초과하는지 여부에 따라 라벨링되었다. 데이터세트에 포함된 40,000개 이상의 샘플 중 약 500개가 기준치를 초과했으며, 연구진은 통계적 기법을 사용하여 데이터의 균형을 맞추었다. 데이터세트를 활용해 100회 반복 실험을 수행한 결과, 가장 우수한 모델은 AFM1가 0.05 μg/L를 초과하는 우유 샘플의 83.2%를 정확하게 식별해냈다.

연구진은 기존의 저비용 품질 측정 데이터를 활용하는 머신러닝 모델이 곰팡이 독소 오염 위험이 높은 샘플을 실시간으로 선별하는 데 사용될 수 있다고 판단하고 있다. 이 모델을 조기 경보 도구로 적용할 경우, 가공업체는 확인 검사가 필요한 로트(Lot)의 우선순위를 정하고 고위험군에 실험실 자원을 집중할 수 있으며, 추가 자원 소모 없이 곰팡이 독소 감시 체계를 확대할 수 있을 것이다. 다만, 대규모 산업 현장에 적용하기 위해서는 더 넓은 지역에 대한 검증과 지속적인 모델 업데이트가 선행되어야 할 것이다.

출처:
https://www.food-safety.com/articles/11200-study-uses-ai-to-screen-milk-samples-for-mycotoxin-contamination

Study Shows Nanoplastics Can Increase *Salmonella* Virulence, Biofilm Formation, Drug Resistance

출처: Food Safety Magazine March 2, 2026

일리노이 대학교 어바나-샴페인(University of Illinois Urbana-Champaign) 연구진이 수행하여 'Journal of Hazardous Materials'에 게재된 새로운 연구에 따르면, 미세플라스틱의 존재가 *Salmonella*의 병원성을 증가시키고 생물막(biofilm) 형성을 촉진하는 것으로 나타났다. 연구진은 이전 연구 과정 중 수집된 시중 유통 칠면조 샘플에서 해당 병원균을 빈번하게 검출한 후, 분쇄육 칠면조가 주로 플라스틱으로 포장된다는 점을 고려하여 플라스틱 입자와 *Salmonella* 사이의 상호작용을 조사하게 되었다.

본 연구에서는 2.5~100 mg/L 범위의 저농도, 중농도, 고농도 노출 수준에서 폴리스티렌 나노플라스틱이 *Salmonella enterica*에 미치는 시간 및 농도 의존적 영향을 조사했다. 연구진은 실제 환경 조건 하에서 나노플라스틱에 처음 노출되었을 때 *Salmonella*의 병원성 유전자가 상향 조절되는 것을 관찰했다. 시간이 지남에 따라 *Salmonella*의 생물막 형성이 증가했으며, 더 높은 농도의 나노플라스틱에 노출되자 *Salmonella*의 병원성이 다시 강해지는 경향성이 나타났다. 또한, 나노플라스틱의 존재가 *Salmonella*의 항생제 내성(antimicrobial resistance, AMR)을 증가시킬 수 있다는 사실도 발견되었다. 나노플라스틱 자체는 항생제가 아니지만, 이에 노출되면 실제 항생제에 대해 교차 내성을 갖는 항생제 내성 유전자의 발현을 유도할 수 있다.

연구진은 이전에 나노플라스틱이 대장균 O157:H7에 미치는 영향을 연구하여, 나노플라스틱이 식중독균의 성장, 생존력, 병원성, 생리적 스트레스 반응 및 생물막 형성에 영향을 미칠 수 있음을 밝힌 바 있다. 보스턴 대학교에서 수행된 유사한 연구에서도 미세플라스틱이 대장균의 항생제 내성 증가와 생물막 형성 능력 강화에 기여할 수 있음이 시사된 바 있다.

출처:
https://www.food-safety.com/articles/11193-study-shows-nanoplastics-can-increase-salmonella-virulence-biofilm-formation-drug-resistance

Study Shows How Allergenic Food Powders Spread During Production, Create Cross-Contamination Risk

출처: Food Safety Magazine February 27, 2026

'Journal of Food Engineering'에 게재된 새로운 연구를 통해, 다양한 가루 형태의 알레르기 유발 식품이 비산하여 발생하는 교차 오염의 위험성이 입증되었다. 연구진은 실험에서 탈지분유, 영유아용 조제분유, 밀가루, 메밀가루, 대두분말을 포함한 50 g의 서로 다른 알레르기 유발 식품 가루를 1.2 m 높이에서 떨어뜨린 후 5분간 가라앉도록 방치했다. 이후 면역크로마토그래피법과 ELISA를 사용하여, 최초 낙하지점으로부터 각 식품 가루의 비산거리를 측정했다.

측정 결과, 가루들은 0.5 m에서 5 m 이상의 범위까지 비산했다. 탈지분유와 메밀가루가 가장 멀리 비산했으며, 영유아용 조제분유, 밀가루, 대두분말이 그 뒤를 이었다. 레이저 조사를 활용한 비산 입자의 시각화와 분말 특성 분석을 통해 탈지분유, 메밀가루, 조제분유, 밀가루가 낙하 후 낙하 시작 지점 부근의 높이까지 다시 솟구쳐 올라 구름 형태를 형성하고, 이후 실험대 위에서 주변 지역으로 측면 확산되는 것을 확인했다. 반면, 대두분말은 재비산하지 않았으며 주변 지역으로의 확산도 확인되지 않았다.

분말의 비산성이 비산 거리와 상관관계가 있다는 점을 고려하여, 연구진은 식품 생산자가 재비산을 통제하기 위해 가능한 한 낮은 위치에서 분말을 투입할 것을 권고했다. 또한 비산성은 식품 가루의 비산 거리와 위생 관리를 시뮬레이션하는 데 유용한 도구가 될 수 있으며, 이를 통해 의도치 않게 비산된 식품 알레르겐의 교차 오염 위험을 줄이는 데 기여할 수 있다고 설명하였다.

출처:
https://www.food-safety.com/articles/11176-study-shows-how-allergenic-food-powders-spread-during-production-create-cross-contamination-risk

Study Highlights Differences in Acrylamide, Furan Formation During Cereal Processing

출처: Food Safety Magazine February 20, 2026

최근 'Food Control'에 게재된 연구를 통해 아침 식사용 시리얼의 산업적 제조 공정이 푸란(Furan), 알킬푸란(Alkylfurans), 아크릴아마이드(Acrylamide) 형성에 미치는 영향이 상세히 밝혀졌다. 이러한 물질들은 가열 조리 과정에서 발생하는 공정 오염물질로, 건강에 부정적인 영향을 줄 가능성이 있는 것으로 알려져 있다. 이번 연구 결과는 압출 성형(extrusion cooking), 팽창(puffing), 토스팅(toasting), 최종 코팅 등 주요 공정 단계별로 오염물질 형성에 유의미한 차이가 있음을 강조하고 있다.

이번 연구를 위해 4개의 시리얼 업체가 생산 공정의 각 단계별 샘플과 건푸핑(Gun-puffed) 곡물 제품을 분석용으로 제공했다. 코팅에 관한 모델 실험에서는 프로젝트 파트너의 현장에서 다양한 코팅 샘플을 생산하여 분석했다.

연구진은 건푸핑 공정을 거친 시리얼에서 가장 높은 농도의 푸란과 아크릴아마이드가 생성된다는 것을 확인하였다. 수치상으로는 푸란이 최대 140 μg/kg, 2-메틸푸란(2-MF)이 82 μg/kg, 2-펜틸푸란(2-PF)이 62 μg/kg, 아크릴아마이드가 302 μg/kg에 달했다. 제품의 팽창을 돕고 부피당 무게를 줄이는 높은 푸핑 온도와 압력은 오염물질 형성 증가와 밀접한 관련이 있었다. 또한, 특정 전구체(precursor)가 명확히 밝혀지지는 않았으나 시리얼 곡물 자체의 종류가 오염물질 형성에 주요한 역할을 한다는 결과가 도출되었다.

토스팅 공정은 극심한 열과 급격한 수분 감소로 인해 높은 오염물질 수치를 나타냈다. 토스팅 직후 평균 오염물질 수치는 푸란 52 μg/kg, 2-MF 24 μg/kg, 2-PF 27 μg/kg, 아크릴아마이드 89 μg/kg이었다. 또한, 연구진은 압출 성형 제품 생산 과정에서 푸란과 아크릴아마이드의 형성 경로에 뚜렷한 차이가 있음을 밝혀냈다. 푸란은 대부분 압출 성형 단계에서 형성된 반면, 아크릴아마이드 수치는 주로 이후의 토스팅 및 건조 단계에서 상승했다. 평균 푸란 수치는 압출 단계 이후 토스팅을 거쳐도 소폭 상승하는 데 그쳤으나, 아크릴아마이드 수치는 거의 두 배로 증가했다. 흥미롭게도 압출 성형 과정에서 푸란이 이미 많이 형성된 경우, 토스팅 단계에서는 푸란이 거의 추가로 생성되지 않았다. 이는 휘발성이나 분해 반응으로 인해 형성량에 한계가 있을 가능성을 시사한다.

이번 연구는 당분 기반의 코팅이 오염원의 원천일 것이라는 추측을 반박했다. 오히려 코팅은 중량을 추가함으로써 완제품 내 오염물질의 농도를 희석하는 효과를 보였다. 산업 샘플과 통제된 코팅 실험 모두에서 코팅이 기여하는 푸란이나 아크릴아마이드의 양은 무시할 수 있는 수준임이 확인되었다.

전반적으로 이번 연구 결과는 시리얼 제조업체들이 제품의 품질을 고려하는 동시에, 각 공정 오염물질별 형성 경로의 차이

를 반영하여 제조 단계를 최적화해야 할 필요성을 강조한다. 예를 들어, 압출 성형 시 수분 함량을 높이면 아크릴아마이드는 줄일 수 있지만 푸란 형성은 줄어들지 않는다. 또한 토스팅 온도를 낮추면 푸란 저감에 도움이 될 수 있으나, 제품의 풍미와 소비자 수용도에 영향을 미칠 수 있다.

출처:
https://www.food-safety.com/articles/11151-study-highlights-differences-in-acrylamide-furan-formation-during-cereal-processing

Study: Blue Light Plus Plant Chemicals Reduce *Listeria* on Salmon, Prevent Biofilm

출처: Food Safety Magazine January 28, 2026

최근 'Food Research International'에 게재된 새로운 연구에 따르면, 특정 식물 기반 화합물이 식품 속 *Listeria monocytogenes*에 대한 청색광 처리의 항균 효과를 높이고, 생물막 형성 능력을 저해할 수 있는 것으로 나타났다. 405~470 nm 파장의 청색광을 조사하는 광역학 불활성화(Photodynamic inactivation)는 식중독균 제어를 위한 새로운 전략으로 부상하고 있다. 외인성 광감각제(빛에 반응하여 광화학 반응을 촉진할 수 있는 외부 물질)를 사용하여 청색광의 항균 효과를 강화하려는 연구가 시작되었으나, 아직은 제한적인 상황이다. 많은 식물 유래 화학 물질(phytochemicals)은 청색광에 노출될 때 활성산소(ROS)를 생성하며, 이는 세포를 손상시키고 사멸로 이끈다. 이러한 맥락에서 연구진은 *L. monocytogenes*를 대상으로 네 가지 식물 기반 화학물질인 커큐민, 베르베린, 퀘르세틴, 캡사이신을 고조도(332 MW/cm^2) 청색광(460nm)과 함께 사용했을 때의 항균 활성, 유전자 발현 조절, 생물막 제어 효능 및 실제 현장 적용 가능성을 조사했다.

연구 결과, 전반적으로 고조도 청색광과 천연 광감각제 사이에 항균 시너지 효과가 관찰되었으며, 각 광감각제 최소저해농도(MIC)의 4분의 1만 사용하고 가장 낮은 조사량인 25 J/cm^{2}의 청색광을 조사했을 때도 병원균의 생존력이 감소했다.

또한, 연구 결과는 사용된 광감각제의 종류에 따라 다르게 나타났다. 가장 낮은 조사량에서 베르베린, 커큐민, 퀘르세틴, 캡사이신은 각각 *L. monocytogenes*의 생존력을 3-log, 2.3-log, 2.2-log, 1.8-log 감소시켰다. 특히 베르베린은 가장 우수한 생물막 제어 효과를 보였는데, 25 J/cm^{2}에서 2-log 이상, 50 J/cm^{2}에서 4-log 이상의 감소를 달성했다.

훈제 연어에 적용한 테스트에서는 고조도 청색광 단독 처리 시 50 J/cm^{2}에서 0.5 log CFU/g, 100 J/cm^{2}에서 1.3 log CFU/g의 *L. monocytogenes* 감소를 기록했다. 훈제 연어에서 청색광과 병용했을 때 가장 우수한 성능을 보인 것은 커큐민(MIC의 1/4 농도)이었다. 커큐민은 *L. monocytogenes*의 감소폭을 0.7 log 추가로 높였으며, 식품 자체의 고유 미생물군을 2 log 억제했다. 다만, 물리화학적 변화를 조절하거나 실제 식품 시스템을 더 잘 반영하기 위해 추가적인 최적화 과정이 필요할 수 있다고 연구진은 설명하였다.

또한 이번 연구는 고조도 청색광과 천연 광감각제의 병용이 세포 내 생물막 형성 및 스트레스 경로에 독특한 영향을 미친다는 증거를 제시했다. 베르베린은 세포막에 빠르게 침투하여 스트레스를 유발하고 여러 생물막 관련 유전자의 발현을 증가시키는 방식으로 작용하는 반면, 퀘르세틴은 특정 유전자의 발현을 조절함으로써 생물막의 성장을 억제할 수 있는 것으로 나타났다.

출처:
https://www.food-safety.com/articles/11064-study-blue-light-plus-plant-chemicals-reduce-listeria-on-salmon-prevent-biofilm