식품 안전을 위한 환경검사의 중요성; 글로벌 규제 추세와 주요 활용 사례

Importance of Environmental Monitoring in Food Safety; International Regulatory Trends and Case Studies

문진산*

Jin San Moon

농림축산검역본부

Animal and Plant Quarantine Agency

문 진 산

Correspondence to

Jin San Moon, Avian Disease Division, Animal and Plant Quarantine Agency. Gimcheon 39660, Republic of Korea.
Tel: +82-10-5419-0821,
Fax: +82-54-912-0759,
E-mail: moonjs727@korea.kr

서론

식품 위생 관리의 전통적 접근은 투입되는 원료의 품질과 최종 완제품의 규격 검사를 중심으로 이루어져 왔다. 그러나 미생물 오염은 제품 내에 불균일하게 분포하는 특성이 있어, 표본 추출에 의존하는 완제품 검사만으로는 산발적이고 저농도인 오염원을 완벽히 포착하는 데 통계적 한계가 존재한다. 최근 국제적 식품 안전사고의 역학조사 결과에 따르면, 살균 공정을 거친 제품일지라도 제조 · 가공 환경 내 설비, 배수구, 작업자 동선 등에 의한 2차 오염이 대규모 식중독 사고의 직접적인 원인임이 반복적으로 보고되고 있다. 특히 즉석섭취식품(Ready-to-Eat; RTE)과 냉장 유통 식품은 가열 및 살균 이후 추가적인 사멸 공정 없이 소비자에게 전달되므로, 가공 후 오염은 곧바로 소비자 위해로 직결된다.

*Listeria monocytogenes*와 같은 병원체는 저온 · 고습한 식품 제조 환경에서 생물막(biofilm)을 형성하여 장기간 생존하며 시설 내 상재균으로 정착할 위험이 크다. 이러한 환경 유래 오염원은 완제품 검사라는 단편적인 사후 확진 방식으로는 근본적인 해결이 불가능하다. 이에 따라 미국 FDA는 2017년 가이드라인을 통해 *L. monocytogenes* 저감을 위한 핵심 전략으로 환경 모니터링 프로그램(environmental monitoring program; 이하 환경검사)을 제시하였으며, 2024년 경고 서한 사례를 통해 환경 시료 내 양성 결과가 예방 관리 체계의 실패를 입증하는 강력한 규제 근거임을 명시하였다. 유럽연합 역시 2026년 1월 최신 가이던스(FSAI, 2026)를 통해 환경검사를 유통기한 설정과 규제 대응의 필수 증거로 요구

하며 그 기준을 강화하고 있다.

또한, *Salmonella* spp.는 전 세계적으로 가장 빈번하게 보고되는 식품 매개 병원체 중 하나로, 특히 건조식품, 향신료, 견과류, 초콜릿, 분유 및 가금육 제품과 밀접하게 연관되어 있다. 리스테리아와 달리 저수분 식품에서도 장기간 생존할 수 있으며, 극히 낮은 오염 수준에서도 집단 식중독을 유발할 수 있다. 최근 국제적 집단 발생 사례 분석에 따르면, 다수의 살모넬라 사건이 원료 자체보다는 가공 환경에서의 교차오염과 관련되어 있음이 보고되고 있다. 특히 건조식품 제조 시설에서의 먼지, 설비 내부, 공조 시스템, 원료 보관 구역이 오염의 주요 저장소로 작용할 수 있어 환경 기반 관리의 중요성이 강조되고 있다(Codex 2015, FDA, 2024). 이에 본 연구에서는 국내외 최신 규제와 학술 연구를 바탕으로 식품 제조 및 가공 환경에서의 미생물 오염 관리에 있어서 환경검사의 필요성과 역할, 그리고 미국, 유럽, 일본 및 국내의 분야별 활용 사례에 대하여 고찰하고자 한다.

본론

1. 환경검사의 개념과 실무적 도구

환경검사는 식품 제조 · 가공 시설 내 식품 접촉면(Zone 1)과 비 접촉면(Zone 2~4)을 대상으로 병원성 미생물 또는 위생 지표 미생물을 정기적으로 감시하는 사전 예방적 방어 체계이다. 환경검사의 본질은 단순한 검출을 넘어, 오염의 발생과 확산 경로를 조기에 탐지하여 제품으로의 전이를 차단하는 데 있다. 결과의 재현성과 과학적 신뢰성을 위해 시료 채취는 국제표준인 ISO 18593의 규정을 준수하며, 최근에는 전통적인 배양법의 한계를 보충하기 위해 ATP 위생 모니터링, 미생물 배양법, 면역학적 또는 분자생물학적 검출법을 통합 운영하여 분석의 적시성을 극대화하고 있다.

2. 환경검사의 필요성

1) 완제품 검사 중심 관리의 한계와 사전 예방

완제품 검사는 표본 추출의 한계로 인해 오염이 산발적이거나 저농도로 존재할 경우, 이를 검출하지 못할 확률적 사각지대가 존재한다. 반면, 환경검사는 제품 오염 전 단계에서 취약점을 포착하는 조기 경보 시스템 역할을 한다. 특히 살균 후 추가 사멸 공정이 없는 즉석섭취식품 및 냉장 식품군에서 가공 후 재오염의 원인을 추적하는 데 있어 환경검사는 대체 불가능한 수단이다(FDA, 2017).

2) 상재균과 생물막 관리

Salmonella spp.와 *L. monocytogenes*는 설비의 틈새나 배수구 등에 생물막을 형성하여 장기간 상주할 수 있다. 이때 중요한 관리 지표는 단발성 오염이 아닌 반복적인 양성 패턴이다. 특정 지점의 반복 검출은 시설 내 상재균의 정착을 의미하며, 이는 지속적인 제품 사고의 근본 원인이 된다. 최근 유럽의 대규모 리스테리아 집단발생 사례 분석(2012 – 2024)에서도 장기 오염 통제를 위한 환경 중심 심층 분석의 중요성이 재확인된 바 있다(EFSA & ECDC, 2024).

3) 글로벌 규제 및 감사 대응을 위한 데이터 확보

현대적 식품 안전 규제는 현장에서 작동하는 통제의 객관적 증거를 요구한다. 2024년 FDA 경고 서한(FDA, 2024) 사례에서 환경 양성의 반복은 예방 관리 체계의 중대한 실패로 간주 되어 강력한 행정 조치의 근거가 된다. 또한, 2026년 유럽연합의 최신 가이던스(FSAI, 2026)는 환경검사 데이터를 유통기한 연구의 과학적 근거로 명시하고 있어서 세계 시장 진출을 위한 필수 요건이 되고 있다.

3. 환경 시료 채취의 중요성

식품 자체뿐만 아니라 가공 시설과 생산 환경은 식품 안전에 영향을 미치는 미생물학적 위해의 주요 저장

소로 작용할 수 있다. 특히 환경 모니터링의 부재는 *L. monocytogenes*와 같은 병원성 미생물이 시설 내에 정착하여 반복적인 제품 오염으로 이어질 가능성을 높인다. 이러한 특성 때문에 국제 식품 안전 규제기관들은 환경 모니터링 프로그램을 예방 중심 식품안전관리의 핵심 요소로 강조하고 있다(ISO 18593, FDA 2017).

그러나 환경 샘플링은 단순히 표면을 채취하는 행위가 아니라, 실제 환경 내 미생물의 존재 여부를 신뢰성 있게 탐지하기 위한 기술적 과정이다. 특히 가장 큰 오류 요인은 시료 채취 지점에 잔존하는 살균 · 소독제이다. 표면에 남아 있는 소독제 성분은 채취 이후에도 살균 또는 정균 작용을 지속하는 carry-over effect를 나타내어, 운송 및 증균 과정에서 미생물의 회복과 증식을 억제할 수 있다. 이 경우 실제 병원균이 존재함에도 검출되지 않는 위음성 결과가 발생하며, 이는 환경오염을 과소평가하여 식품안전관리 체계의 중대한 취약점으로 작용할 수 있다(ISO 18593, FDA 2017).

따라서 시료 채취 도구와 배지는 시설 환경과 검사 목적에 따라 적절히 선택되어야 한다. 우선 잔존 소독제를 효과적으로 불활성화하기 위해 D/E neutralizing broth 또는 Letheen broth 등과 같은 중화제가 포함된 채취 배지를 사용해야 하며, 현장에서 사용되는 소독제의 종류(염소계, 4급 암모늄계 등)에 따른 중화 효율을 고려해야 한다(ISO 18593). 필요에 따라 증균 전 단계에서 buffered peptone water를 사용하여 손상된 세균의 회복을 유도할 수 있다(ISO 18593, 2018; 이소영 외, 2025). 또한 시료 채취 도구는 표면에서 미생물을 효과적으로 회수할 수 있도록 재질과 구조가 고려되어야 한다. 다층 부직포 또는 스크럽 구조의 스펀지는 미생물 회수율을 높이는 데 유리하며, 현장 안전과 이물 혼입 방지를 위해 검출 가능한 재질의 스틱형 장비 사용이 권장된다. 더불어 검출 목적과 오염 수준 평가에 따라 채취 면적과 희석비를 표준화해야 한다(ISO 18593, FDA 2017). 환경검사의 신뢰성은 단순히 검사 횟수를 증가시키는 것이 아니라, 시설 특성과 목

표 1. 환경검사 대상 식품 유형과 공정 특성에 따른 관리 병원체

식품 유형	공정 특성	병원체	보조 지표균	중점구역	근거 문헌
즉석섭취식품 (RTE)	포장 후 사멸공정 없음	*L. monocytogenes*	Listeria spp., 일반세균수	Zone 2, 3	FDA, 2017; Belias et al., 2024 European Commission, 2025;
육가공 RTE (햄/소시지)	살균 후 처리 존재	*L. monocytogenes*	장내세균, 일반세균수	Zone 2, 3	FDA, 2017; Carpentier & Cerf, 2011
유가공품(치즈/아이스크림)	저온 · 고습 환경	*L. monocytogenes*	장내세균수	Zone 2, 3	EFSA & ECDC, 2024; Belias et al., 2024
수산 RTE (훈제연어)	냉장 저장 장기 유통	*L. monocytogenes*	장내세균수	Zone 2, 3	EFSA & ECDC, 2024; European Commission, 2025
저수분 식품 (초콜릿/견과/향신료)	낮은 수분활성, 건식 공정	*Salmonella spp.*	일반세균수	Zone 3	Codex Alimentarius, 2015; FSANZ, 2018
제과 · 베이커리	건식 또는 저수분	*Salmonella* spp.	일반세균수	Zone 3	Codex Alimentarius, 2015; FSANZ, 2018
분유 · 영아식	건식 공정, 고위험군 소비	*Salmonella spp.*, *Cronobacter sakazakii*	Listeria spp.,	Zone 3, 4	Codex Alimentarius, 2008; FSANZ, 2018
신선편의 농산물	최소 공정 열처리 없음	*Salmonella spp.*, STEC, *L. monocytogenes*	대장균군	Zone 2, 3	FDA, 2017; EFSA, 2024
급식 및 조리 식품	복합공정, 교차오염 가능	*L. monocytogenes*, *Salmonella spp.*, *Staphylococcus aureus*	일반세균수	Zone 1-3	MHLW, 2023; 정 등, 2025

표 병원체에 최적화된 시료 채취 프로토콜을 설계하고 표준화하는 데 달려 있으며, 이는 환경검사 운영의 과학적 타당성을 결정하는 핵심 요소가 된다.

4. 환경검사에서 관리하고자 하는 주요 목표 미생물

환경검사는 단순히 균의 유무를 확인하는 것을 넘어, 공정의 안전성을 평가하는 생물학적 센서 역할을 한다. 환경검사에서 관리하고자 하는 주요 목표 미생물로는 식중독 원인체인 병원성 미생물과 전반적인 위생 상태와 세척 · 소독의 유효성을 간접적으로 평가하는 위생 지표 미생물이다.

1) 병원성 미생물

특정 병원체를 직접 추적하는 방식으로서 검출 시 즉각적인 제품 보류나 공정 중단이 수반되는 고강도 관리 방식이다. 국내외에서 환경검사 대상 병원체는 식품 유형과 공정 특성(수분 활성도, 온도, 가공 단계 등)에 따라 전략적으로 선발된다(**표 1**). 즉석섭취식품 및 냉장 유통 식품에서는 *L. monocytogenes*가 저수분 식품 제조 시설에서는 Salmonella spp가, 분유 제조 시설에서는 *Cronobacter sakazakii* 균이, 신선편의 농산물과 육류 관련 식품에서는 Shiga toxin-producing *E. coli*가 각각 핵심 관리 병원체이다.

① ***Listeria* spp. 및 *L. monocytogenes*;** 저온 · 고습 환경에서 강력한 생존력을 가지며 생물막을 형성한다. 시설 내 상재균 여부를 확인하기 위해 지표가 되는 *Listeria* 속 전체를 모니터링하는 것이 국제적 추세이다. 주요 타깃은 냉장 즉석섭취식품, 유제품, 신선 편의 농산물 등이다. 살균 후 처리(Post-kill) 구역 중심의 환경검사가 운영되고 있다.

② ***Salmonella* spp.**; 건조 환경에서도 장기간 생존이 가능하여 건조 공정 내 누수, 응축수, 작업자 동선에 의한 교차오염 탐지에 중점을 둔다. 분유, 초콜릿, 견과류, 향신료 등 저수분 식품이 핵심 타깃이다.

③ ***Cronobacter sakazakii*;** 영아에게 치명적이므로, 건식 구역 내 미세 수분 유입과 그로 인한 균 증식을 차단하기 위한 엄격한 샘플링이 요구된다. 주로 조제분유 제조 시설의 공조 및 분진 관리를 포함한 환경검사에 중점을 두고 있다.

④ Shiga toxin-producing *E. coli*; 세척 후 비가열의 최소 공정만 있는 신선편의 농산물과 육류 관련 식품에서 STEC이 핵심 관리 병원체이다.

2) 위생 지표 미생물

위생 지표 미생물은 전반적인 위생 상태와 세척 · 소독의 유효성을 간접적으로 평가하는 지표이다. 병원체보다 환경 내 존재 빈도가 높아 공정 통제의 지표로서 활용이 용이하다.

① **장내세균수**(Enterobacteriaceae); 건조 공정에서 장내세균의 검출은 가공 후 재오염 또는 위생 격리(Hygiene zoning) 실패를 의미하는 강력한 지표다.

② **대장균군**(coliforms) **및 대장균**(*E. coli*); 분변 오염 가능성이나 전반적인 가공 위생 상태를 나타내며, 용수 관리나 작업자 위생 습관 점검에 유용하다.

③ **일반세균수**(aerobic plate count); 환경 표면의 세척 및 소독이 얼마나 효과적으로 이루어졌는지를 정량적으로 보여주며, 기준치 초과 시 세척 프로토콜 재점검의 근거가 된다.

5. 식품 제조 시설에서의 구역화와 위험 기반 관리

환경검사 설계에서 글로벌 표준으로 가장 널리 활용되는 전략은 구역화 접근법(zoning approach)이다. 이는 식품과의 접촉 거리 및 오염 전파 가능성에 따라 제조 시설을 4개의 위생 구역(hygienic zoning)으로 구분하여 관리 자원을 효율적으로 배분하는 방식이다. Zone 1(식품 접촉 표면; high-risk)은 슬라이서, 컨베이어 벨트 등 제품과 직접 닿는 표면으로, 이곳의 오염은 즉각적인 제품 부적합으로 직결된다. Zone 2(식품 접촉면 인접 설비;

medium-risk)는 식품 가공 구역 내의 비식품 접촉 표면으로, 구역 1과 인접한 곳으로서 기계 프레임이나 조작 패널 등 Zone 1로 오염을 전이시킬 수 있는 인접 지점이다. Zone 3(가공 구역 내 식품 비접촉면; low-risk)은 식품 가공 구역 내의 비식품 접촉 표면으로, 구역 1과는 떨어져 있지만 구역 2와는 인접한 곳으로서 바닥이나 배수구 등 병원체의 주요 서식처이자 확산 경로가 되는 핵심 감시 구역이다. 마지막으로 Zone 4(가공 구역 외부 환경; non-production zone)는 식품 가공 구역 외부의 비식품 접촉 표면 또는 구역으로, 구역 1 및 2에서 멀리 떨어진 곳으로서 탈의실이나 복도 등 외부 오염원의 유입을 차단하는 1차 방어선 역할을 한다.

이러한 위생 구역 설정은 제품 오염 및 비위생적 상태의 위험을 줄이거나 제거하기 위해 구역이나 공정을 분리하는 위험 기반의 개념이다. 육가공 작업장은 **그림** 1과 같이 4개의 구역으로 나눌 수 있다. 주요 병원균 관리 구역(PPCA)은 조리된 완제품(즉석섭취식품) 생산실이 포함된다. 이곳은 노출된 제품이 포장 전 재오염될 가능성이 있고, 이후에 병원균을 제거할 추가적인 살균 공정이 없으므로 고위험 구역에 된다. 기본 GMP 구역은 조리(또는 기타 살균 단계) 이전의 원료 입고, 보관, 혼합 및 준비 구역을 포함한다.

식품 안전 위험 평가에 따라 일반적으로 저위험에서 중위험 구역으로 분류된다. 전환 구역(transition areas)은 탈의실, 창고, 복도 및 시설 입구와 같은 장소이다. 적절하게 관리되지 않는 경우 제품을 오염시킬 잠재적 가능성이 있으나, 일반적으로 저위험에서 매우 낮은 위험 구역으로 간주 된다. 비생산 구역은 가공 구역에서 멀리 떨어진 사무실과 같은 위치를 포함합니다. 이곳은 위험도가 매우 낮거나 무시할 수 있는 구역이다.

위험도에 기반한 위생 구역 구분은 *L. monocytogenes*와 같은 병원성 미생물의 잔존 및 확산을 체계적으로 관리하기 위한 필수 요소이다(FDA, 2017; ISO, 2018). FDA와 ISO에서는 최소한 고위험/고관리 위생 구역에 대해서는 환경 모니터링 계획을 수립할 것을 요구하고 있다. 환경검사는 이러한 위생 구역 구분을 바탕으로 최적의 샘플링 지점을 선정해야 하며, 검사 빈도와 시정 및 예방조치의 강도를 차등 적용함으로써 한정된 자원의 효율성을 극대화한다(**표** 2).

환경검사는 표준방법(ISO 18593)에 따른 시료 채취와 분석을 넘어, 반복 검출 여부에 대한 트랜드 분석으로 이어져야 한다. 양성 결과 발생 시 단순히 재세척에 그치지 않고, 원인 분석과 설비 개선을 포함한 시정 및 예방조치로 연계되는 선순환 구조를 구축하는 것이 중요하다(Belias et al., 2024). 특히 환경 시료 내 병원성 미생물 검출 시, 검출 구역의 수준과 반복성에 따라 단계적 의사결정이 이루어져야 한다(**그림** 2). Zone 1의 양성은 즉각적인 제품 보류와 안전성 재평가를 요구하는 비상 단계인

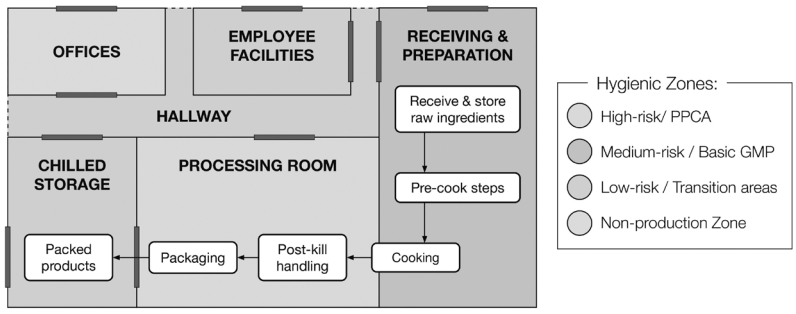

그림 1. 식품 제조 · 가공 시설에서의 위생 구역 설정 개념도; 가공 후 오염 차단을 위해 살균 이후 단계를 고위험 구역(High-risk/PPCA)으로 설정하고, 구역별 위험도에 따라 모니터링 빈도를 차등 설계함(출처; FDA, 2017).

표 2. 환경검사 시 위생 구역별 권장 시료 채취 빈도

위생 구역	대표 지점	주요 목적	정상 운영시 권장 빈도	모니터링 빈도
Zone 1 (식품 접촉면)	컨베이어, 슬라이서 접촉부, 작업대, 충전 노즐 등 식품과 직접 접촉하는 표면	직접 오염 방지 및 세척 · 소독 검증	월 1회~분기 1회 또는 이벤트 기반 실시	로트/교대 단위 검사 후 3회 연속 음성 확인 시까지 지속
Zone 2 (접촉면 인접 구역)	장비 프레임, 가드, 스위치, 손잡이, 식품 인접 외부 표면	식품 인접부 오염의 조기 탐지	주 1회	주 2~5회 또는 일일 검사
Zone 3 (가공 구역 비접촉면)	바닥, 배수구, 벽체, 이동장비 바퀴, 응축수 발생 지점	상재균 및 확산 경로 탐지	주 1회 ~ 격주 1회	집중 모니터링(주 2~5회) (배수구/응축수 발생 지점)
Zone 4 (비가공 구역)	탈의실, 창고, 출입구, 복도 등 가공구역 외부	외부 오염 유입원 차단	월 1회	주 1회 (Zone 2/3 반복 양성, 공사 · 동선 변화 시)

* 환경 양성(특히 Listeria spp./L. monocytogenes), 반복 양성(재양성), 설비 · 공정 변경, 대청소, 재가동, 고객 클레임/리콜, 배수/응축수 이슈, 구역 경계 (위생 구역) 위반 등.
주) RTE · 냉장 · 습식 공정에서는 Zone 2 – 3을 핵심 감시 지점으로 설정하는 것이 일반적이다(FDA, 2017).
배수구 및 응축수 지점은 상재균 감시를 위한 고정 감시 지점으로 활용된다(Belias et al., 2024).
실제 샘플링 빈도는 제품의 위해도 및 공정 특성에 따라 조정될 수 있다(ISO, 2018).

반면, Zone 2~3의 반복 양성은 설비 구조 개선이나 작업 동선 재설계 등 근본 원인 분석에 집중해야 하는 신호이다(FDA, 2017; 2024). 이처럼 검출 지점의 위험도와 빈도에 따라 조치 강도를 차등화하는 접근법은 불필요한 리콜 리스크를 최소화하는 동시에, 현장의 실질적인 위해 요소를 제거하는 합리적인 통제 수단을 제공한다.

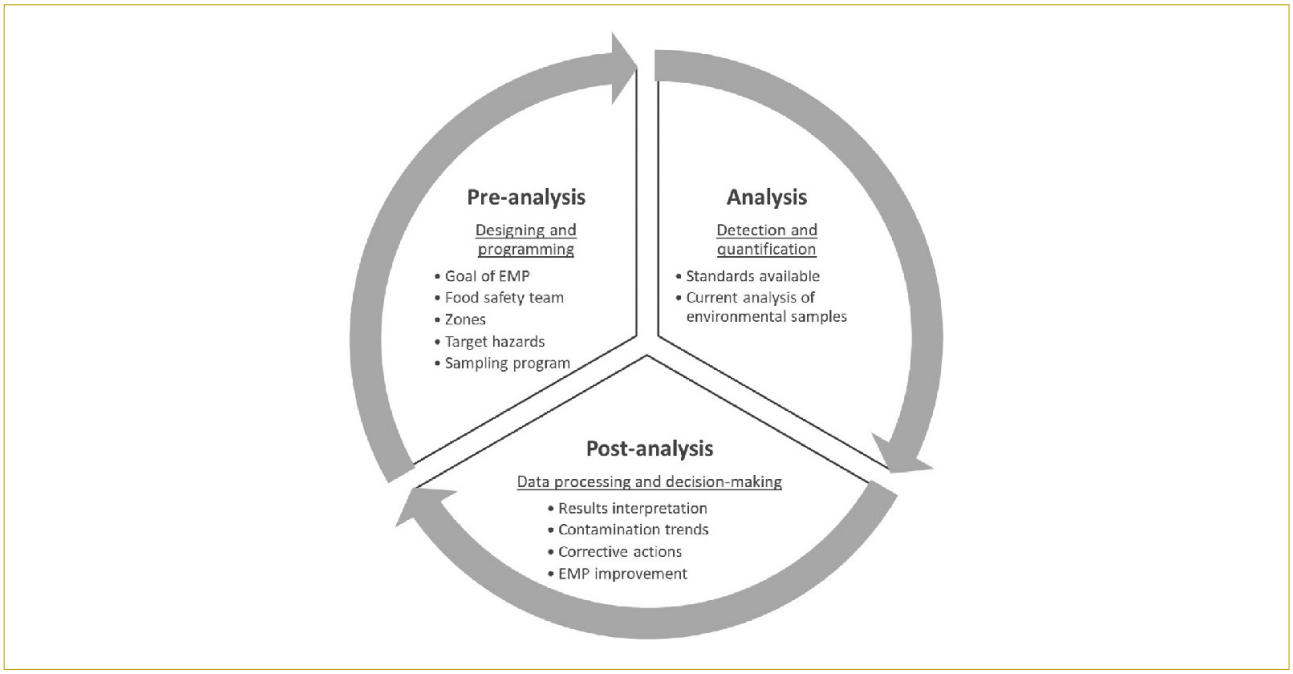

그림 2. 환경검사의 운영 및 의사결정 흐름도
(출처: Belias et al., 2024)

6. 국내외 활용 사례 및 시사점

1) 미국

미국 FDA는 RTE 식품 제조 시설 가이드라인을 통해 환경검사를 예방 관리의 핵심 축으로 규정한다(FDA, 2017). 2024년 발행된 경고서한 사례에 따르면, 완제품 검사 음성에도 불구하고 가공 환경(Zone 3)에서 *L. monocytogenes*가 반복 검출된 것만으로도 예방 관리 체계의 중대한 위반으로 평가되고 있다(FDA, 2024). 이는 환경검사가 제품 오염 전 단계에서 상재균을 찾아내어 대규모 리콜 리스크를 선제적으로 차단하는 강력한 도구임을 시사한다. 또한, 미국에서는 초콜릿, 견과, 분유 등 저수분 식품에서의 *Salmonella* 환경 검사가 엄격히 다루어지고 있다(**표 3**).

2) 유럽연합

유럽연합은 환경검사 데이터를 유통기한 설정 및 위해분석의 핵심 근거로 활용한다. 최근 여러 국가에서 리스테리아 집단 발생 분석(2012–2024)은 가공 환경 내 장기 잔존 균주가 반복적 식품 사고의 근원임을 입증하였다(EFSA & ECDC, 2024). 특히 분유 제조 시설 등에서는 원료와 완제품 구역의 엄격한 구획화, 공조 시스템 점검, 건식 세척 후 검증 샘플링을 통해 *Salmonella*를 철저히 관리하고 있으며, 이는 2026년 최신 가이던스에도 명시되어 있다(FSAI, 2026; EC, 2025).

3) 일본

일본 후생노동성은 작업 전 · 후 환경 표면 검사를 통해 위생 지표 미생물 중심의 관리를 권고한다(MHLW, 2023). 양성 결과 발생 시 단순히 소독을 강화하는 것을 넘어, 작업 절차 표준화 개정 등 작업자 중심의 현장 위생 문화를 정착시키는 교육적 수단으로 환경검사를 활용하는 것이 특징이다.

4) 국내

국내에서는 등온 증폭(LAMP) 검출법 및 실시간 PCR 등 신속 검출 기법을 통한 환경검사 고도화 연구가 활발하다. 온도를 변화할 필요 없이 단 시간내에 대량의 DNA 증폭이 가능한 등온 증폭 기술이 식중독균의 현장형 신속 검출법으로서의 활용도가 높다(장 등, 2013). 오 등(2025)과 이 등(2025)은 즉석섭취식품 및 환경 시료에서의 *Salmonella* spp. 다중 실시간 검출법을 평가하여 현장 대응력을 높이는 기술적 토대를 마련하였다. 또한, 어린이집 급식 시설 등 취급 환경 전반으로 환경검사의 적용 범위가 확대되면서 환경 유래 위해 요소를 효과적으로 저감하는 효과를 거두었다(정 등, 2025).

국내외 사례를 종합하면, 환경검사는 현대 식품 안전 관리시스템에서 다음과 같은 세 가지 핵심적 역할을 한다. 첫째, 환경검사는 완제품 검사만으로는 포착하기 어려운 가공 환경 내 잠재적 오염원과 상재균을 조기에 탐지하는 선제적 방어 수단이다. 제품 오염이 발생하기 전 환경 내 위해요소를 미리 포착함으로써 대규모 사고를 원천 차단

표 3. 국가별 환경 검사 활용 사례 비교

구분	주요 적용 대상	환경검사 대상 미생물	환경검사 활용 목적	핵심 시사점
미국	즉석섭취식품(RTE) 및 저수분 식품	*L. monocytogenes* *Salmonella*	규제 대응 및 예방 관리 입증	환경 데이터는 법적 · 행정적 통제의 핵심 근거
EU	즉석섭취식품(RTE) 및 신선식품	*L. monocytogenes* *Salmonella*	유통기한 설정 및 역학 추적, Zone 2–3 집중	과학적 근거 기반의 위험 평가 도구
일본	도시락 및 조리 시설	위생 지표 미생물	위생문화 정착 및 교육	조직 내 위생 표준화와 자율 관리의 척도
한국	제조 공정 및 급식 시설	병원성 미생물 및 위생 지표 미생물	신속 탐지 및 위생 고도화	기술 기반의 현장 밀착형 대응 체계 구축

한다. 둘째, 반복적인 양성 결과는 단발성 위생 불량이 아닌, 설비 구조, 작업 동선, 세척 · 소독 프로토콜의 근본적인 결함을 시사한다. 환경검사는 이러한 구조적 문제를 가시화하여 현장의 실질적인 개선을 이끌어 내는 진단 도구로 기능한다. 셋째, 환경 데이터는 규제 대응 및 위생문화 개선의 과학적 근거가 된다. 미국과 EU의 사례처럼 규제기관의 정책 결정과 법적 대응의 핵심 증거로 활용되는 동시에, 일본과 국내 사례에서 보듯 현장 작업자의 교육과 조직 내 위생문화를 정착시키는 객관적 척도로 기능한다. 이러한 관점에서 환경검사는 식품 안전 관리시스템에서 선택적인 보조 수단이 아닌, 제조 환경의 안전성을 담보하는 핵심 관리 도구로 인식되어야 한다.

7. 환경검사 적용을 위한 실무 지침

환경검사를 식품 제조 현장에 성공적으로 정착시키기 위해서는 리스크 기반 설계, 의사결정의 일관성, 트랜드 기반의 지속적 개선이 뒷받침되어야 한다.

1) 단계적 설계 및 구역화 구축

먼저 제품 및 공정의 위험도(즉석섭취식품, 저수분 식품 등)를 분류한 후, 공정 흐름도에 따른 위생 구역 지도를 작성한다. 초기에는 핵심 관리 지점 30~100개소로 시작하여 데이터가 축적됨에 따라 범위를 조정하는 것이 효율적이다. Zone 2~3은 주 1~4회 주기로 모니터링을 수행하고, Zone 1은 정기 검사보다는 공정 변경, 설비 보수, 또는 인접 구역 양성 발생 시 세척 효과를 검증하는 수단으로 활용한다(FDA, 2017).

2) 통합 모니터링 전략: 신속성과 정확성의 조화

현장에서는 검사 결과 확보 시간을 단축하여 조치의 적시성을 높이는 단계적 통합 모니터링이 효과적이다. 세척 · 소독 직후 ATP 위생 모니터링으로 잔류 유기물을 확인하여 재세척 여부 즉시 결정한다(**1단계; 즉각 판정**). 기준 초과 지점 및 취약 구역을 대상으로 미생물 배양법 등을 활용한 위생 지표 미생물(일반세균수, 장내세균수, 대장균 등)에 대한 정량 검사를 한다(**2단계; 오염 수준 평가**). 반복적 문제 지점이나 고위험 구역은 등온 증폭 검출법, 신속 PCR 또는 면역학적 검출법을 통해 병원성 미생물(*Listeria*, *Salmonella* 등) 존재 여부를 최종적으로 확인한다(**3단계; 위해 확진**).

3) 근본 원인 분석과 성과 지표 관리

환경 시료에서 양성 결과가 발생했을 때 단순히 재세척하는 관행은 근본 해결책이 될 수 없다. 작업 동선, 응축수 발생, 설비 분해 세척의 한계성 등을 포함한 근본 원인 분석을 수행하고, 이를 시정 및 예방조치와 직결시켜야 한다(FDA, 2024). 성과 관리는 단순 양성률보다는 재양성률(동일 지점에서의 반복 검출 빈도; 상재균 관리 척도) 문제 발견 후 시정조치 완료까지 소요되는 시간, 핫스팟(hot spot) 제거율(고위험 지점의 개선 및 정상화 비율) 등 실질적인 리스크 지표를 활용할 것을 권장한다.

결론

미국 FDA는 즉석섭취식품 내 *L. monocytogenes* 오염 저감을 위한 핵심 전략으로 환경 모니터링을 명시하고 있으며, 실제 경고 서한 사례를 통해 환경 양성 결과가 예방관리시스템의 유효성을 판단하는 결정적 척도임을 입증하였다. EU 역시 환경 모니터링 데이터를 유통기한 연구의 과학적 근거로 활용하도록 가이던스를 운영하고 있으며, 장기적인 다국가 식중독 사건 분석을 통해 공정 및 환경 중심 통제의 당위성을 강조하고 있다. 또한, 저수분 식품 제조 및 가공 시설에서 *Salmonella* 환경검사는 핵심적인 사전 예방 관리 수단이다. 특히 분진 관리, 건식 세척 전략, Zone 기반 샘플링 설계, 반복 양성 지점에 대한 구조 개선은 살모넬라 관리의 핵심 요소이다.

*Listeria*와 *Salmonella* 환경검사는 완제품 검사만으로는 포착하기 어려운 가공 환경 내 잠재적 오염원을 조기에

탐지하고, 반복 오염의 근본 원인을 규명하는 데 중추적인 역할을 한다. 특히 미국과 EU에서는 규제 및 정책 결정의 과학적 근거로, 일본과 국내에서는 현장 위생 관리 수준 향상과 조직의 위생문화 개선 도구로서 그 가치가 확인되었다. 이러한 점에서 환경검사는 식품 안전 관리시스템에서 선택적 혹은 보조적 수단이 아닌, 사전 예방적 식품 안전 관리의 핵심 관리 도구로 인식되어야 한다. 향후 국내 식품산업 현장에서는 국제표준과의 정합성을 갖춘 환경검사 시스템을 정착시키는 한편, 신속 검출 기술 및 데이터 기반 분석(빅데이터/인공지능)을 연계함으로써 식품 안전 관리의 정밀도와 신뢰성을 한층 강화해야 할 것으로 생각된다.

참고 문헌

1. Belias AM, Sullivan G, Wiedmann M, Ivanek R. Challenges and opportunities for risk- and systems-based control of *Listeria monocytogenes* transmission through food. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2024;23:1-22.
2. Carpentier B, Cerf O. Persistence of *Listeria monocytogenes* in food industry equipment and premises. *International Journal of Food Microbiology*. 2011;145:1-8.
3. Codex Alimentarius Commission. Code of Hygienic Practice for Low-Moisture Foods. CAC/RCP 75-2015. FAO/WHO; 2015.
4. Codex Alimentarius Commission. Discussion paper on control of *Listeria monocytogenes* in ready-to-eat foods. CX/FH 25/54/6; 2025.
5. Den Bakker HC, et al. Comparative genomics of *Listeria monocytogenes* isolates from food, food processing environments, and human cases. *Applied and Environmental Microbiology*. 2014;80:6973-6983.
6. EC (European Commission). Guidance document on *Listeria monocytogenes* monitoring and shelf-life studies for ready-to-eat foods. 2025.
7. EFSA (European Food Safety Authority). Prolonged multi-country outbreak of *Listeria monocytogenes* ST173 linked to consumption of fish products. 2024.
8. FDA (U.S. Food and Drug Administration). Discover Fresh Foods, LLC - Warning Letter (677021), 2024-06-26. 2024.
9. FDA (U.S. Food and Drug Administration). Draft Guidance for Industry: Control of *Listeria monocytogenes* in Ready-To-Eat Foods. 2017.
10. Food Standards Australia New Zealand (FSANZ). Compendium of Microbiological Criteria for Food. Canberra: FSANZ; 2018.
11. FSAI (Food Safety Authority of Ireland). New European Commission guidance issued to support. 2026-01-08. 2026.
12. ISO. ISO 18593: Microbiology of the food chain—Horizontal methods for surface sampling. 2018.
13. Ministry of Health, Labour and Welfare (MHLW), Japan. Guidelines for sanitation control in food manufacturing facilities. Tokyo: MHLW; 2023.
14. 오채령, 한상하, 정수진, 하상도. 즉석섭취식품 중 *Salmonella* spp. 검출을 위해 FS Finder SL을 사용한 Direct Multiplex Real-Time PCR의 성능평가 연구. *한국식품위생안전성학회지*. 2025;40(2):96-102.
15. 이소영, 백소영, 김동현, 오세욱. 식품 및 환경 시료에서의 식중독균 검출을 위한 현장형 다중 실시간 PCR 검출법 개발. *한국식품위생안전성학회지*. 2025;40(3):209-218.
16. 장혜진, 채창훈, 오세욱. 식중독 세균 신속검출 기술 동향. *Safe Food*. 2013;8(4):28-32.
17. 정현정, 조승현, 박성진, 이영주, 김수연, 김중범. 어린이집 급식실 설비 손잡이의 미생물 오염도 및 저감화. *한국식품위생안전성학회지*. 2025;40(5):382-388.