Bulletin of Food Technology
Vol.23, No 1. pp. 86-94

미생물학적 식품안전 확보를 위한 시스템 분석

A Systems Approach to Microbial Food Safety

김현정 | 안전성연구단
Hyun-Jung Kim | Food Safety Research Group

들어가는 말

지금까지 식품업계, 정부 및 학계에서 광범위한 분야에 걸쳐 많은 노력을 했음에도 불구하고 식중독 부담은 여전히 존재한다. 미생물은 식품 체인 중 여러 단계에서 진입하며 종류가 매우 다양할 뿐 아니라 환경 적응력도 뛰어나서 생존, 증식 및 독소를 분비하여 인체에 위해를 초래한다. 증식이 가능하다는 점은 미생물의 독특한 특성으로 화학물질과는 다른 부분이다. 따라서 미생물 분야의 식품안전의 경우 새로운 전략 및 방법을 고려할 필요가 있는데 이를 위하여 식품안전시스템을 미생물학적 관점에서 분석하고 현재의 자료를 바탕으로 발생 가능한 시나리오를 도출함으로써 식품안전의 미래를 예측할 필요가 있다. 본 원고에서는 미생물의 측면에서 식품안전의 기본 위험체계를 수립하고 세부적인 추진요인에 의해 병원균 원인과 식품시스템 경로에 발생할 수 있는 일들을 짚어보고 수반되는 결과를 제시하여 미생물학적 식품안전의 미래를 살펴보고자 한다.

기본 위험체계 수립

식품안전관리는 일반적으로 HACCP과 GMP에 근거하나 위험분석 체계와 같은 보다 사전 예방적이고 과학에 기반한 접근법이 필요하다. 식품안전의 현재나 미래 상태를 분석하거나 예측하는 것은 매우 어렵다. 미래의 식품안전에 영향을 줄 수 있는 일들은 분자수준부터 세계적인 변화까지 넓은 공간적 단위와 1분 이내부터 수십 년에 이르는 넓은 시간 체계에 걸쳐 일어나므로 시공간적으로 큰 스케일과 작은 스케일을 동시에 고려해야 한다. 예를 들어 기후변화는 세계적인 현상으로 넓은 지역에서 느리게 진행되나 미생물 플라스미드의 적응 또는 돌연변이는 분자수준에서 매우 짧은 시간 동안 일어난다. 미생물의 점진적인 적응은 분자수준에서 비교적 긴 시간 동안 일어나며 인간 또는 상품의 대량 이동으로 인한 병원성 미생물의 전파는 넓은 지역에서 단기간 일어난다. 서로 다른 모든 유기체와 장소에 대해서 진행사항을 정확하게 예측하는 것은 매우 어려우며 이들 인자들이 서로 상호작용을 하

는 경우 예측은 더욱 어려워진다. 감염성질환에 대한 위험체계는 식품안전 분야의 시나리오를 개발할 때 출발점으로 매우 유용한데 미생물분야 식품안전 전반에 대한 시스템 분석은 다음과 같은 감염성 질환의 기본 위험 체계로부터 출발한다. 다음과 같은 정의를 바탕으로 기본 위험 체계를 제시했다.

- 추진요인(drivers)은 질병의 근원이나 경로를 바꾸어 질병의 결과에 영향을 주는 사회적, 경제적 또는 물리적 인자로 정의한다.
- 위험요인(sources/emerging hazard)은 잠재적 신종 질병을 야기하고, 기존 질병의 위험도를 증가시키며, 기존 질병이 새로운 숙주를 감염시키거나, 기존 질병이 새로운 지역으로 전파되도록 하는 현상 또는 생물학적 사건을 말한다.
- 경로(pathway)는 병원체가 숙주로 전파되는 기작 또는 과정으로 정의한다.
- 결과(outcomes)는 개인, 집단 또는 생태계, 농장수준에서 식물/동물 질병 발생, 개인과 사회적 수준에서 인간의 질병 발생으로 정의한다.

식품안전, 식품 유래 병원균 및 인간 질병 위험에 대한 식품안전의 잠재적 충격에 영향을 줄 추진요인을 선정했다. 감염성 질환의 기본적인 위험체계를 Fig. 1과 같이 수립했을 때 기후 변화와 사회/경제적인 원인이 가장 기본이 되는 추진요인이라고 한다면 인수공통전염병이나 자연적 변이 등은 위험요인이며 토양, 공기, 식품, 물, 매개인자 직접 접촉 또는 폐기물 처리와 같은 다양한 경로를 통해 전파되었을 때 결과적으로 인간, 식품, 동물 및 환경의 미래 질병과 감염 수준을 증가시키는 것으로 분석 틀을 수립하였다.

추진요인을 (i) 과학, 기술, 산업, (ii) 자연 및 환

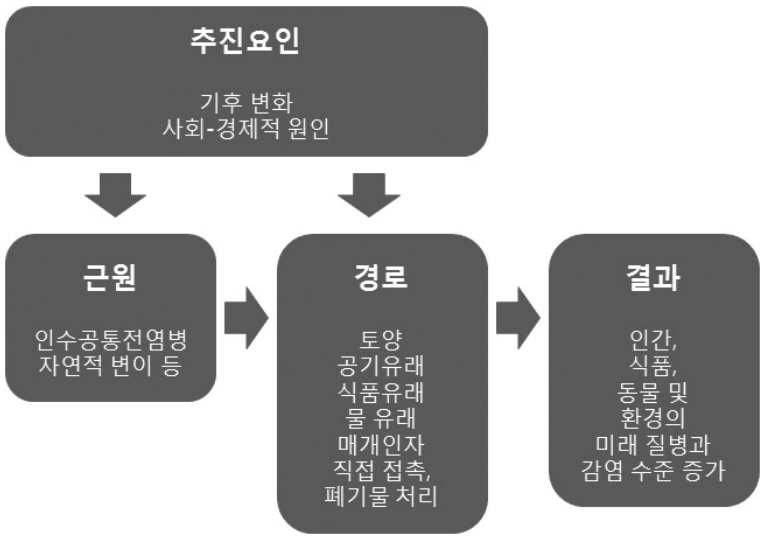

Fig. 1. Basic Risk Framework for Infectious Disease Risks

추진요인	위험요인	경로			결과
	병원균	농장	가공/유통	준비/소비	공중보건
과학, 기술, 산업					
최소 가공	**적응**		미생물 사멸단계 감소		**위험 증가 (불충분 사멸 시)**
혁신		**신품종 가축**	*스마트 패키징, 박테리오파지*	*스마트 레이블*	위험 불분명
실험법	신종변이주 (병원균) 발견, 유전체학 접근				관찰된 위험 증가
자연 및 환경					
기후변화 및 지역적 차이	**생태계 변화**	**가뭄, 홍수, 토지자원 경쟁, 신규지역으로 농장 이전**		**인구 대체, 냉장유통망 유지 어려움 증가**	**위험의 지역 패턴 변화**
물, 폐기물 및 에너지		**관개수 수질, 폐기물 재활용**	물/에너지 절약, 세척, 공정 및 첨가물 수질		**위험 증가**
진화	**신규 독성 인자 출현 및 전파, 항생제 내성**	**신규 저장소**	**생존율 증가**	**감염율 증가**	**위험 증가**
인구 접촉 구조	**가축 유행병으로부터 전파 또는 신규 농업 지역의 부당 이용**	**인수공통전염병 접촉 (MRSA, Q-fever)**			위험 증가
농업					
동물 친화적 및 유기 생산		*항생제 내성균 감소*	**병원균 재출현 (Trichinella, Toxoplasma), 높은 오염율 (*Campylobacter*)** *또는 낮은 오염율 (Salmonella)*		**위험 불분명**
양식			양식어류 증가		위험 불분명
항생제 사용	**내성 발현**	**치료 용도 증가**			**위험 증가**

식품안전 위험 증가 식품안전 위험 중립 *식품안전 위험 감소*

Table 1. A systems approach to food safety

추진요인	위험요인	경로			결과
	병원균	농장	가공/유통	준비/소비	공중보건
경제					
세계화	**신종 변이주 전파 시 지리적 장벽 감소**	**부적적한 위생시설 : 높은 병원균 오염, 원료의 세계화, 강화된 접촉 구조**	**길고 복잡한 유통망 다양한 위생수준**		**위험 증가**
식품가격/수입 수준		**이윤 감소, 식품안전에 투자 감소**		저렴한 대안 선호 (예, 육류 및 버터 함량 감소, 자체 브랜드)	위험 불분명
문화 및 인구					
인구 증가		환경 오염		**수요 증가**	**위험 증가**
이동				새로운 식습관	
연령 구조				**노년층 증가, 미숙아 증가**	**위험 증가**
소비자 행동					
식품 선택	**내생성 미생물, 병원균 재출현**	이국적 식품, 지역 식품	**무가공 또는 저가공, 낮은 열처리**	**전통적 식품 연중 조달 가능**	**위험 증가**
식품 취급 기술 태도 및 교육			**조사(照射) 불수용**	**저장: 부적절한 시간/온도 조절**	**위험 증가**
정보					
감시	**신종 병원균 등정, 비예측 사건의 검출**		*제어의 효율성*	**소비 패턴의 변화 : 누가, 무엇을, 어디에서, 왜?**	**관찰된 위험 증가**
교육		*전문 교육*		위생 캠페인, 안전한 기술 수용에 대한 태도 변화	*위험 감소*
정부와 정책					
규제		*표준화, 성장촉진용 항생제 금지*	*GHP/HACCP*		*위험 감소*
위험(-수익) 평가		*병원균 감소에 대한 목표*	*위험기반 목표*		*위험 감소*
식품 안보		**농업/바이오 테러리즘**			**위험 증가**

식품안전 위험 증가 식품안전 위험 중립 *식품안전 위험 감소*

Table 2. A systems approach to food safety(continued)

경, (iii) 농업, (iv) 경제, (v) 문화 및 인구, (vi) 소비자 행동, (vii) 정보, 정부와 정책으로 나누고 각각에 대해 공중보건 측면에서 위험을 증가시키는 세부요인을 선정하였다. 상세한 내용은 다음과 같으며 주요 사항은 Table 1과 같다.

과학, 기술, 산업의 측면

과학, 기술, 산업의 경우 최소가공, 기술 혁신, 실험법 개선을 세부 추진요인으로 선정했다. 최소가공기술의 경우 병원균의 사멸 단계가 감소함에 따라 위험이 증가하는 결과를 초래하는 것으로 예측되었다. 최소가공기술을 적용하기 위해서는 기업의 경우 위험을 감소시키기 위하여 적절한 제품과 공정 디자인에 따라 적합한 안전관리 지침을 준수해야 한다. 또한 신기술이 적용됨에 따라 신종 위해 미생물 출현 가능성도 염두에 두어야 한다. 고전적인 예로 냉장기술과 틈새 미생물인 *Yersinia* 및 *Listsria*를 생각해볼 필요가 있다. 또 저온살균 수준의 비가열 살균에 의한 포자 생성균을 들 수 있다.

비가열 기술의 경우 지난 수년간 많은 연구와 상업적 관심이 집중된 분야이다. 예컨대 고압가공기술(high pressure processing, HPP), UV 처리, pulsed electric field처리와 이온 조사기술이 개발되어 신선, 편리, 안전한 식품을 추구하는 소비자의 기호를 만족시켰다. 제시한 기술은 관능, 영양 품질을 변화시키지 않으면서 미생물 오염은 감소시키는 장점이 있다. 비가열 기술은 신선한 향미, 색상, 조직감과 영양적 가치를 가열 전 상태에 가깝게 보존시키면서 미생물 안전성을 증진시킨다. 고압가공기술은 다른 물리적 식품 가공기술 중 가장 진보된 기술인데 주된 장점 중 하나는 압력이 고르고 순간적으로 식품에 전달되어 열처리에서 보이는 내 · 외부간 구배현상을 나타내지 않는다는 것이다. 세계적으로 120개 상업시설이 고압살균을 수행하고 있으며 몇몇 과일, 야채 베이스의 냉동제품은 세계시장에서 판매되고 있다. 또한 미국, 유럽에 판매되는 즉석섭취육제품, 해산물 등에도 적용되고 있다. 슬라이스 육제품에 적용하여 *Listeria monocytogenes*는 사멸하면서 제품의 품질은 유지 가능하다. 미생물에 따라, 고압에 대한 저항성도 매우 달라 세균 포자의 경우는 1,000 MPa 까지 처리해도 생존하므로 낮은 열처리, pH 등을 병행 처리할 필요가 있다. UV 처리기술은 주스 살균, 육류 사후처리, 식품접촉면 처리, 신선제품의 선도 연장 등에 사용하며 고전장 펄스 살균기술(pulsed electric field) 기술은 50 kvolts/cm 까지의 고전압 전기장을 백만분의 1초에서 천분의 1초에 이르는 매우 짧은 시간 동안 순간적으로 처리하는 기술로 세포벽 파괴를 유도하여 미생물은 사멸시킨다. 영향인자로는 처리한 펄스의 수(주로 100 이하)와 펄스의 모양(exponential decay, square, wave, oscillatory pulse 등)이 있다. 식품을 단시간 처리할 수 있고 식품 가열로 인한 에너지 손실은 최소화 할 수 있어서 공정 효율이 높다. 기본적으로 현대의 식품 안전은 복잡하기 때문에 하나의 제어 기술보다는 여러 기술을 조합함으로써 효과적으로 위험을 감소시킬 수 있다.

그러나 신기술 적용으로 미생물이 제어된 식품은 식품 변패 미생물이 제거 또는 억제되었으므로 이들 제품이 재오염될 경우 일반적인 식품변패 현상 없이 병원성 미생물이 증식할 수 있다. 이 경우

병원균 증식 기회 자체보다는 공정 이후 오염의 가능성과 정도, 그 후 생존의 가능성과 정도가 소비자 위해 수준을 결정하게 될 것이다.

실험법의 개선은 관찰된 위험을 증가시키는 것으로 예측되었다. 이는 손상 미생물을 검출할 수 있는 기술이 발전하고 식중독 발병 연구법이 개선되어 병원균에 대한 신종 변이주가 발견될 가능성이 증가되고 유전체학적 접근으로 많은 신규 정보가 확보되어 위험이 증가된 것처럼 분석된 것으로 이는 실제 위험이 증가된 것은 아니다.

감시(surveillance), sub-typing 기술(PFGE 등) 및 정보기술은 식품 또는 인체 유래 분리주가 일치하는지 알려주고 식중독 원인을 구명해 준다. 특히 'omics' 자료 생산, 생물정보학에 의한 데이터 분석, 시스템 생물학은 식품 중 병원성 미생물의 회복력을 이해하는데 도움을 준다. 유전체학 혁명으로 쉽고 빠른 검출 동정법이 개발될 수 있으며 미생물 행동을 생리, 생태학적 측면에서 기작을 이해하도록 도와줄 수 있다. 식중독 병원균의 새로운 검출 시스템은 신종 예측 모델과 함께 미생물과 숙주 수준에서 이해도를 높여준다.

식품에서 미생물 분석은 두 가지 관점에서 고려되어야 하는데, 하나는 생산 공정에서 또는 검사목적이고 다른 하나는 분자수준의 자료에 의한 연구목적이다. 산업적 목적에서 이용되는 신속검출 기술은 쉽고, 경제적이며, 선택적이고 민감한 결과를 재현할 수 있어야 한다. 이들 방법은 표준시험법으로 검증되어야 하며 표준시험법에 의한 정량결과는 위해평가와 식품안전관리에 이용될 수 있다. 현재 널리 사용하고 있는 DNA 검출 시스템은 신속하고 특이적이며 비교적 민감한 방법이나 식품안전의 조절에서 분자기반 기술 적용은 심각한 단점이 있다. 식품에는 많은 간섭물질이 있고 매트릭스 효과를 고려해야 하기 때문이다. 미량의 오염원을 검출하기 위해서는 전 배양 단계를 거쳐야 하는 경우가 있는데 이 경우 정량적이기 보다는 정성적인 결과를 제공하게 된다. 독성유전자 다중검출 기술은 모호한 결과를 제공하는 경우가 많은데 대장균 Shiga like toxin(stx)과 Intimin(eaeA) 유전자의 경우와 같이 두 개의 유전자를 지닌 하나의 균주 또는 유전자를 한 개씩 갖는 두개의 균주의 경우 결과를 구별하기 어렵다. 검사법과는 달리 연구목적에서는 분자기술이 널리 이용되고 있는데, 미생물 동정, 생태 연구 또는 독성 발현/조절 관련 유전자, 환경 스트레스에 대한 반응 등을 연구하는데 이용된다. 특히 유전체 연구에 관심이 집중되고 있는데 이와 같은 분자수준의 데이터를 생물학적 의미로 바꾸는 작업은 미래의 연구 분야에서 중요한 위치를 차지할 것으로 생각된다.

자연, 환경 및 농업의 측면

자연 및 환경 분야에서는 물, 폐기물 및 에너지의 관점에서 관개수 수질, 폐기물 재활용으로 인해 위험이 증가되며, 진화의 측면에서 신규 독성 인자 출현 및 전파, 항생제 내성으로 인하여 병원성 미생물의 가공 유통 중 생존율이 증가하고 결국 감염율이 증가하여 위험이 증가할 것으로 예측된다. 동물복지가 고려되고 유기식품 생산이 증가하는 추세이므로 야생 환경 유래 미생물, 예를 들어 *Trichinella spiralis, Toxoplasma gondii* 등이 유입될 가능성이 증가된다. *Campylobacter spp*와 같은 위해인자의 오염율이 증가하나 반면 *Salmonella spp*의 오염율

은 낮아 질 것으로 예측되므로 위험이 증가할 것이라고 보기는 어렵다. 항생제 사용으로 미생물에서 내성이 발현되므로 농장에서 치료용도로 항생제 사용량이 증가함에 따라 위험이 증가할 것으로 예측된다. 농업과 임상 양쪽에서 항생제 사용은 내성균을 초래한다. 항생제 내성이 농업 분야의 경우 주로 경제적 문제로 고려된다면 인체 건강의 측면에서는 위해의 측면에서 우려되고 있다. 식용가축에서 항생제 사용 수준은 전반적으로 높고 어떤 국가에서는 인체 사용량을 상회한다. 성장촉진제로 항생제 사용을 금지한 몇몇 국가에서는 오히려 치료 목적으로 사용량이 증가하여 내성율에 영향을 주지 않았다. 미생물은 매우 다양하고 유전정보를 쉽게 전달할 수 있으므로 신종 위해를 초래하게 되며 이전에 사용한 제어기술을 무용화하므로 이에 대해 주목할 필요가 있다.

경제, 소비자 측면

경제적인 측면에서 세계화는 신종 변이주 전파시 지리적 장벽이 감소되며 농장에서 부적절한 위생시설과 병원균 오염율이 높고, 원료의 세계화로 인해 보다 밀집된 생산 환경이 예상된다. 장기간에 걸친 복잡한 유통망과 다양한 위생수준으로 인하여 미생물학적 식품안전 위험이 증가될 것으로 예측된다.

식품가격 및 가계 수입의 측면에서는 제품의 이윤이 감소함에 따라 식품안전에 대한 투자가 감소하여 저렴한 대안을 선호하게 된다. 육류 및 버터 함량이 감소하고 자체 브랜드 개발이 활성화될 것으로 생각되나 이로 인한 위험은 분명하지 않다.

문화 및 인구의 측면에서는 인구증가로 환경오염이 야기되고 노년층이 증가하는 인력구조로 위험이 증가할 것으로 예측된다. 인구의 건강 수준이 상향되고 의료기술이 발전함에 따라 노년층 비율도 증가하였는데 노년층은 면역기능 저하, 합병증 가능성 증가 및 위산도 변화 등 식중독에 취약함을 보여 노년층의 증가는 식품안전에서 주요 변수가 된다.

냉장, 편이, 건강지향적인 식품을 추구하는 소비자의 기호변화를 새로운 식품안전 문제와 연관지어 생각할 필요가 있다. 식품 선택 시 냉장식품을 선호함에 따라 내냉성 미생물 및 병원균이 재출현하게 되고 이국적 식품, 지역 식품을 선호하며 무가공 또는 저가공 식품(낮은 열처리 포함)이 증가하게 된다. 아울러 기존의 식품이 연중 조달 가능하게 되며 이와 관련된 위험도 증가할 것으로 예측된다. 신선, 전처리 농·식품은 더 이상 가열처리를 하지 않아 미생물 관점에서 소비자 위해가 증가하므로 이에 대한 적절한 제어 기술을 적용해야 한다. 당 또는 염은 수분활성도를 낮추어 미생물 생육을 억제하는데, 최근 소비자들은 당, 염도가 낮은 제품을 선호함에 따라 이들 제품에 대한 미생물 안전성을 고려해야 한다. 지방성분은 소화 중 위를 통과할 때 미생물을 감싸 미생물 생존율을 높이는 작용을 한다. 저지방 제품의 경우 소화 중 미생물 생존율을 낮추고 수용계에서 용질을 희석하므로 수분활성도를 증가시켜 미생물 관점에서 식품안전위험을 변화시킬 수 있는 것으로 예측된다. 한편 식품취급기술태도 및 교육의 경우 방사선 조사와 같은 신기술에 대해 수용하지 않는 태도를 보이게 되고 식품을 준비 또는 소비할 때 시간/온도를 부적절하게 조절하게 되어 위험이 증가할 것으로 예측된다.

정보, 정부 및 정책의 측면

식중독 감시시스템으로 신종 병원균 동정율이 증가하고 비 예측 사건을 검출하는 빈도가 증가하여 관찰된 위험이 증가할 것으로 예상된다. 정부와 정책의 측면에서는 농업이나 바이오 테러리즘과 관련한 식품 안보의 경우 위험이 증가될 것으로 예상되나 위험-수익평가와 같은 과학에 기반한 정책 수립으로 전반적인 미생물학적 위험은 감소될 것으로 예측된다. 미생물 위험분석은 새로운 식품안전연구 분야로 식품에 존재하는 미생물의 위해요소를 확인하고, 위해미생물이 식품에 노출되고 이를 섭취할 가능성과 섭취로 인해 위해 영향이 일어날 가능성을 정량적으로 평가하는 과학적인 과정이다. 미생물 위험분석 결과는 식품의 안전관리 시스템 및 식품에서 미생물 기준, 규격설정에 활용할 수 있으며 위해관리자가 정책을 결정할 때 판단자료로 활용할 수 있어 과학에 근거한 사전예방적인 안전관리기술이다. 미생물은 외부적 환경요인에 따라 계속적으로 성장하거나 사멸할 수 있으므로 식품 내에 존재하는 미생물의 실질적인 양을 예측하기 위해서는 다양한 조건에서 미생물의 성장, 사멸을 예측할 수 있어야 한다.

이 때 예측모델(predictive model)을 통해 미생물 성장 및 사멸을 예측할 수 있는 자료는 미생물 노출평가 시 반드시 고려되어져야 할 자료이다. 식품 섭취 시 노출되는 미생물의 실질적인 양을 평가하기 위해서는 식품의 원료수송, 가공, 포장, 운반 등 물리적, 화학적 변화에 따라 미생물의 변화를 고려하여 실질적인 미생물의 양을 산출해야 한다. 예측미생물은 다양한 환경상태에서 미생물의 성장, 사멸 등을 예측할 수 있는 모델을 연구하는 학문으로 수학적 매개변수를 이용하여 결과를 정량적으로 표현할 수 있다. 위험분석 결과를 바탕으로 한 식품 안전관리 또는 위험관리 기술은 식중독 부담을 감소시키는데 중요한 영향을 준다. 특정 미생물 인자의 제어는 식품과 식품 체인을 이해하는 것으로부터 출발하는데 예를 들어 미국의 즉석섭취 육제품 중 *Listeria monocytogenes* 오염을 제어하기 위해서는 다음과 같이 다양한 접근이 가능하다. 즉, 환경 중 오염원을 찾고 제거함으로써 도축 이후 재오염을 방지, 세척을 용이하게 하는 기구 디자인 개선, 제품에 증식저해제 첨가, 증기, 열수, 초고압 등을 이용한 포장제품 살균과 같은 제어 기술을 적용할 수 있다. 식품산업에서 미생물 제어 기술 개발은 공중보건위해 및 결과에 근거하는 경향이 증가하며 미생물을 필요한 수준까지 제어하기 위한 방법은 위해의 결과, 식품의 성상과 제어 수준에 따라 달라진다.

위험요인의 영향 분석

앞에서 살펴본 몇 가지 주요 위험요인이 식중독 발생에 미치는 영향을 도식화하여 다음 Fig. 2에 나타내었다.

식중독 발생에 영향을 줄 수 있는 인자들 중 제어 기술의 개발과 적용, 정부의 규제활동, 식품안전기술의 개발 그리고 검출 및 모니터링 기술 개선은 식중독 발생을 감소시키는 결과를 나타낸다. 이 중 투자 주도로 이루어지는 제어기술 개발 적용과 규제활동은 관련 영향이 높은 편이고 식품안전기술, 검출 및 모니터링 기술 개선은 상대적으로 영향이 낮은 것으로 분석되었다. 한편, 국제교역 증가는 식중

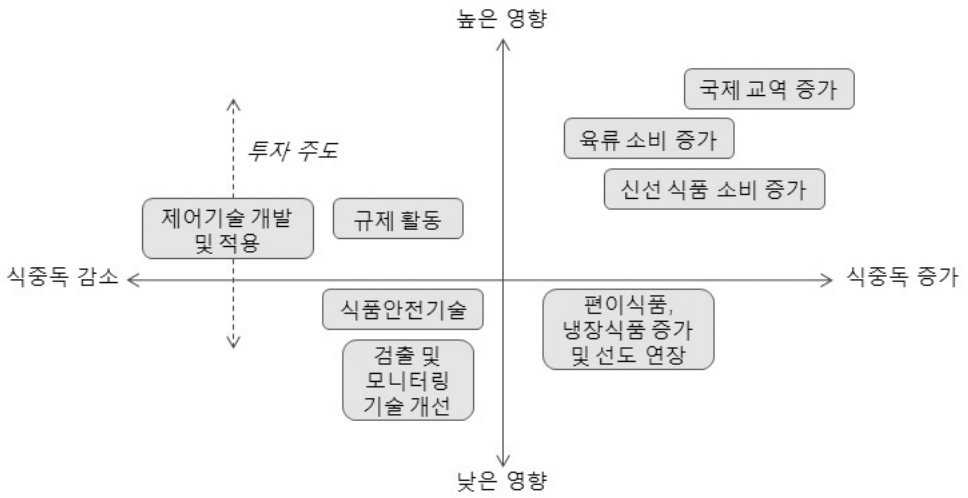

Fig. 2. Visual representation of the key factors likely to impact on foodborne disease. Whether factors are likely to increase or decrease the global burden of foodborne disease is plotted against the certainty of their impact

독 증가에 높은 영향을 주는 것으로 조사되었는데 이와 함께 육류와 신선식품 소비 증가도 식중독 증가에 영향을 주는 인자였다. 한편 편이식품이나 냉장식품의 증가와 선도연장은 식중독을 증가시키는 인자이나 영향은 낮은 것으로 조사되었다.

맺는 말

앞에서 살펴본 많은 추진요인들은 미생물학적 식품안전에서 위험을 증가시켰으며 이 경우 정부의 정책 수립과 식품업계의 참여가 필요한 것으로 분석되었다. 반면 몇몇 인자들은 식품안전 위험을 감소시킬 수 있는 것으로 추정되었다. 식품체인의 오염분석, 인간질병의 감시와 집단발병에 대한 역학 연구는 중요한 정보원이 되며 인간질병감시에서는 집단발병 검출, 원인 규명, 혈청역학 및 질병부담 추정 시 분자 표지자를 이용하는 새로운 접근법이 제안되었다. 현재 개발된 분자연구기법은 문제가 되는 미생물 종의 유전체에 대한 정보를 신속하게 제공 가능케 하며 새로운 추적 기술 개발에 이용되어 환경에 적합한 스트레스 조건하에서 미생물 행동을 연구하는데 이용할 수 있다. 이와 같은 신규 방법과 이해는 미생물 행동에 대한 예측모델 개발과 식품안전 전략 수립에 필요하다. 여기에서 살펴본 주요 위험요인 및 경로는 미생물학적 식품안전의 측면에서 고려할 핵심 사항이며 이 중 위험을 증가시키는 것으로 예측된 요인 및 경로에 대해서는 보다 많은 연구를 수행해야 할 것으로 사료된다. 또한 전 세계적으로 식품 시스템은 점점 더 복잡해지므로 식품안전을 확보하기 위해서는 과학자, 위해평가자, 위해관리자가 각각 자기 분야

의 업무를 충실히 수행함은 물론 이들 집단 및 소비자사이의 개선된 정보전달이 필요할 것이다.

참고문헌

1. Ferrer J, Prats C, L · pez D, Vives-Rego J, Mathematical modelling methodologies in predictive food microbiology: A SWOT analysis, International Journal of Food Microbiology, **134**, 2-8, 2009
2. Havelaar AH, Brul S, de Jong A, de Jonge R, Zwietering MH, ter Kuile BH, Future challenges to microbial food safety, International Journal of Food Microbiology, 2009
3. McMeekin TA, Lellefont LA, Ross T, Predictive microbiology past present and future, Brul S, van Gerwen S, Zwittering M(Eds.), Modelling microorganisms in food, Woodhead, Cambridge, UK, 7-21, 2007
4. Membr · J, Lambert RJW, Application of predictive modeling techniques in industry: Form food design up to risk assessment. International Journal of Food Microbiology, **128**, 10-15, 2008
5. Mevius DJ, Van Pelt W(editors), Monitoring of antimicrobial resistance and antibiotic usage in animals in the Netherlands in 2005, Lelystad, The Netherlands: Central Institute for animal Disease Control, 2006
6. Tait J, Meagher L, Lyall C, Suk J, Foresight Infectious diseases: preparing for the future, Office of Science and Innovation, London, 2006

김 현 정 공학박사

소 속 : 한국식품연구원 안전성연구단
전문분야 : 위해평가(chemical/microbioloical risk assessment)
E-mail : hjkim@kfri.re.kr
T E L : 031-780-9271