기후 온난화가 식품안전에 미치는 영향

Effects of global warming on food safety
-FAO 보고서를 중심으로-

이종경[1], 신호성[2]
Jong-Kyung Lee, Hosung Shin

[1]한양여자대학 식품영양계열, [2]한국보건사회연구원
Hanyang Women's College, Food & Nutrition Korea, Korea Institute for Health and Social Affairs

1. 배경

지구의 기후 온난화는 과학자, 대중, 그리고 정책관련자에게 관심을 불러일으키고 있는 중요한 이슈이며 도시화 산업화가 가속화되면서 문제점이 지적되고 있다. UN은 기후변화를 "어떤 기간 동안 자연적으로 기후가 바뀌거나 직접 혹은 간접적으로 인간의 활동에 의해 대기의 조성이 바뀌어 기후가 변하는 것"으로 정의하고 있다. 2009년 G8 정상회담에서 전체 8개 의제중 기후변화는 4번째 의제로 채택되어 선진국 사이에서도 중요성이 강조된 바 있다. 기후변화로 인한 부작용은 생태계, 사회경제적 시스템, 사람과 동물의 복지에 영향을 미치게 된다. UN의 The Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 보고서(2007)에 의하면 기후변화가 지난 수년간에 더 급속도로 진행되고 있으며, 지표면과 해수온도가 상승하고, 강수량에 변화가 나타나는 것이 대표 징후로 지목되고 있다. 인간과 동물의 건강에 비해서는 현재 식품분야에서 기후 변화는 농장에서 식탁까지 전 과정, 특히 식품생산, 가공, 운송, 무역분야에 대해 상대적으로 관심을 덜 받고 있는 형편이다. 현재 WHO는 안전하고 영양이 충분한 식량확보에 관심을 집중하고 있는데 기후 온난화로 인하여 가장 큰 타격을 받게 될 곳은 아프리카 지역 및 개발도상국가로 지목되고 있다. 현재 FAO에서는 농업생산에서 작물 해충과 가축의 질병에 관해서 GIEWS (Global Information and Early Warning system), EMPRES (Emergency Prevention Systems) 프로젝트를 인공위성을 활용하여 진행하고 있다.

기후변화와 식품안전과 관련된 밀접한 부분은 먼저 크게 동물질병, 곰팡이독소, 패류독소, 식품생산시 오염물질로 나눠볼 수 있다. 한편, 식품을 컨트롤하기 위해서는 식품법과 규제가 동원되는데 이에 대한 정비가 필요하며 기후온난

Corresponding author : Lee, Jong-Kyung
Hanyang Women's University, Department of Food & Nutrition
Tel: 02-2290-2196
Fax: 02-2290-2190
E-mail: jklee@hywoman.ac.kr

화는 재원낭비방지와 사람의 건강 보호측면에서 우선적으로 고려되고 있다.

기후온난화를 식품분야에서 다룰 때 세계식량기구(FAO)는 다음의 세가지 측면에서 고려하여 전략을 수립해야 함을 역설하고 있다. 첫째, 잠재적 위해에 관련된 문제점과 이들이 미칠 파장은 무엇인지 알아야 한다는 점, 둘째, 식품안전 위해를 방지하거나 최소화하기 위해서 컨트롤 포인트로 가장 최적점을 찾는 것, 셋째 식품안전을 위해 요구되는 점을 찾는데 있어서 무분별적인 규제보다는 정부가 산업체의 요구를 통해서 규제할 것과 그렇지 않은 것을 구분하는데 목표를 두고 적절한 규제를 찾는 것이 필요하다는 것을 강조하고 있다.

미래지향적 식품안전관리를 위하여 산업체와 정부의 노력이 필요하며 선진국 특히 유럽은 이미 프로젝트 실시하고 있다. 한편, FAO는 본 프로젝트를 통해 개발도상국의 기술적 어려움을 해결하고 국가간의 공조를 얻기 위해 기후 변화와 식품안전관계에 관한 프로젝트를 수행한 바 있다.

기후변화 관련된 예상으로 현재 2007년 IPCC에서 불확실성에 대해서 언급하면서 20세기중반 인간이 화석연료 사용 등으로 기후온난화를 통해 전세계의 평균온도를 1.8-4℃ 상승된 것으로 계산되고 있으며, 평균온도 외에도 더 강한 폭풍우, 집중강우의 증가, 건기의 기간 증가, 빙하가 녹아 해수면의 상승이 일어나고 있고 결국은 기후온난화가 식품생산, 식품안보, 식품안전에 위협요소가 될 것임을 경고하고 있다.

기후변화와 식품관련분야로 구분할 때 크게 농작물 생산분야, 가축 생산분야, 수산물 생산분야 그리고 식품의 취급, 가공, 수송, 무역 분야로 나눌 수 있다. 첫째, 농작물은 대표적으로 곰팡이, 세균, 바이러스가 위해 요소로 볼 수 있는데 이들 해충이 질병을 일으켜 작물 생산량에 영향을 주거나 독소를 발생시켜 안전에 영향을 미치는 경우로 나눠볼 수 있다. 둘째 축산물 분야에서는 가축 생산 시 기온의 상승은 가축에 열 쇼크를 일으켜 가축의 건강, 성장률, 그리고 번식에 영향을 줄 수 있다. 뿐만 아니라 가축의 먹이로 사용되는 사료, 목초지의 생산량에 영향을 주어 가축생산 비용에도 간접적으로 영향을 미치게 된다. 셋째, 수산물의 생산 분야에서는 해류의 흐름에 기후 온난화가 영향을 미쳐 물고기의 이동, 해수면에 부는 바람이 바뀌게 되면 영양분의 이동에 변화를 미쳐 수산자원의 이동이 일어날 수 있다. 기후 온난화에 따라 배출되는 이산화탄소는 물에 용해되어 해수에 산성화를 일으키고, 강수량의 변화에 따라 해수면의 높이에 변화를 줄 수 있다. 양식장에는 부영양화로 인한 플랑크톤의 증가, 해로운 독소를 생산하는 조류의(algae) 발생, 패류와 같이 자가 섭식하는 생물체는 몸체에 독소를 축적하거나 비브리오 균이 증가하여 병원성 비브리오 발생이 증가하고, 특히 장염비브리오나 비브리오패혈증을 야기할 수 있으며 온도 상승에 따라 수은의 메틸화가 촉진되어 어류의 기름 성분 등에 누적될 수 있다. 마지막으로 식품의 취급, 가공, 수송, 무역 분야에서 일차 생산품은 안전관리를 위해서 설계를 어떻게 해야 할 것인가에 영향을 미칠 것이며 이차 생산과정 이후에서는 위생이 주요한 부분으로 고려되어야 한다.

본고에서는 국제기구인 FAO가 미래형 식품안전을 수립하기 위해 기후변화와 관련되어 현재 당면하고 있고 예측 가능한 식품안전 관련한 이슈가 무엇이 있고 이를 통해서 시사점이 무엇인지 본고에 소개하고 우리나라의 경우 사례에 비추어 준비해야 할 점을 논의하고자 한다.

2. 기후 변화와 병원균

가축, 수산물, 농산물 원료 그리고 식품에서 질병을 일으키는 주요 원인을 알아보고 이들의 감염경로를 살펴보아 식품의 안보, 생산, 그리고 안전에 미치는 영향에 대해서 살펴볼 필요가 있다. 병원균은 대부분 미생물로써 기후변화는 질병 발생의 3대 요소(숙주, 병원체, 환경) 모두에 영향을 줄 수 있다. 보건과 위생 관련하여 개발도상국의 시겔라증과 콜레라 발생은 이미 널리 알려진 사실이며 대부분은 보건(상하수도, 위생)과 관련된 설사형 질병이 발생한다. 뿐만 아니라 수인성, 식인성전염병은 계절과 관련, 온도, 날씨와 관련되어 있다.

기후와 식인성 질병의 상관관계에서 세균, 바이러스, 원생동물이 주요 원인균이며 질병이 발생하는 시나리오로 가장

많이 알려진 경로로는 첫째, 사람과 동물의 장관 및 분변에 존재할 수 있는 자연계의 미생물이 사람 및 동물의 장관에 진입하는 경우, 둘째, 피부, 코, 구강에 있는 병원균이 이들 균을 보유하고 있는 감염자와의 신체 접촉에 의해 다른 사람들에게 전달되는 경우, 마지막으로 환경(공기, 물, 식품재료)이 오염되어 이들 원재료와 사람이 접촉하였을 때 발생하는 경우로 나눠볼 수 있다.

지구온난화와 식품안전 관련하여 필요한 자료는 지리분포, 질병과 관련한 계절성에 따른 변화, 극도의 날씨 변화에 따른 질병의 발병의 상관관계, 계절과 온도가 식인성 질병에 미치는 영향과 연구를 통해 단기적인 예측을 할 수 있을 것이다. 그러나 이들 단기적 예측은 장기적인 예측과 같이 하는 것은 아니며 장기적인 예측에 대해서는 오랜 기간에 누적된 자료가 필요할 것이다. 현재까지 알려진 기후 관련한 자료를 살펴보면 첫째, 몇주의 기온상승이 살모넬라와 캄필로박터 질병증가 (kovats et al, 2005)를 일으켰다는 연구결과, 둘째, 살모넬라증에 대해 위도 및 기온에 따른 호주에서 지역적 차이(Hall et al., 2002)가 나타났다는 결과, 셋째, 온도와 습도상승에 따라 로타바이러스 판정된 어린이의 병원행이 증가하는지의 연구 (낮은 온도와 습도에서 바이러스 생존오래감)(FAO, 2008)결과, 넷째, 페루와 방글라데시에서 엘니뇨로 인한 콜레라가 증가(Hall et al, 2002)하는가 등이 가장 대표적인 연구사례라 할 수 있다.

생태학적 인자가 기후변화와 관련되어 바다에 서식하는 *Vibrio cholera* 및 식물성 플랑크톤, 동물성 플랑크톤과 수산물 질병의 관계를 살펴보는 것이 도움이 될 수 있다. 우선 기후변화로 광합성이 식물성플랑크톤을 증식시켜 pH를 상승시키면 *V. cholera*는 알칼리성에서 다른 박테리아보다 우위를 점하게 되고 *V. cholera*의 동물성플랑크톤(검은벼룩)에 접합성을 증가시켜 스트레스로부터 스스로를 보호할 수 있는 성질이 나타난다.

강수량의 영향으로 가뭄과 홍수는 수질과 물의 양을 변화하여 수인성 질병에 영향을 준다. 홍수는 이재민들을 모여있게 하여 질병을 증가시키는데, 가령 스트레스, 영양실조, 의약품 접근성 어려움등이 질병의 감염성을 증가시키며 질병의 심각성을 증가시키는 요인이 될 것이다.

또한 잠재적으로 기후 변화가 미생물 생육에 영향을 미치는 요소로는 미생물의 진화와 스트레스 저항성에 영향을 줄 수 있다. 박테리오파지는 세균에 기생하여 살 수 있는 바이러스 일종으로 스트레스는 이들의 유전자가 세균에 유전자를 이동시켜 박테리오파지의 유전자가 세균의 유전자와 같이 공존하는 상태인 prophage를 유도시켜 미생물의 진화 및 병원성에 영향을 줄 수 있을 가능성이 커진다. 또한 미생물은 스트레스에서 적응한 후 더 악조건이 되는 산성 조건이나 높은 온도에서 내성이 증가할 수 있다.

현재 병원균의 새로이 등장하는 경우를 세가지로 나눌수 있겠는데 첫째, 감염성 있는 병원균은 새로이 등장하거나, 둘째, 소멸된줄 알았지만 소생하였거나, 셋째, 존재하지만 특수 지리학적 특성에서만 증가하는 경우로 나눠볼 수 있겠다.

현재 이들 병원균의 변화는 생태와 농업, 기술과 산업, 세계화, 인간의 행위와 인구, 역학조사, 미생물의 적응성과 관련이 크다. 그리고 이들이 단일효과보다는 이들 요소가 기후 변화와 관련되어 서로 결합되어서 나타나는 경우가 많다.

물의 이용성과 수질의 변화의 심각성은 대표적으로 해수의 상승, 상수의 부족 가속화와 관련되며 지구상에서 특히 지중해와 북아프리카가 심각한 편이다. 그 외 다른 요소로 기후변화로 인한 경작생산지역 이동, 이를 통한 미생물, 해충 및 곤충, 야생동물(설치류, 양서류, 파충류)변화, 경작방법의 변화가 동물들 사이의 병원균의 감염을 가능케 하여 분변과 도축된 동물에서 오염을 증가시킬 수 있는데 이들로 인한 위해(risk)의 중요성 순위를 매기는 것이 현재로써 쉽지 않은 상황이다. 낮은 농도로 감염을 일으킬 수 있는 미생물(예: 장바이러스, 원생동물, 시겔라, 병원성 대장균등)과 오랫동안 환경에서 생육 지속 가능한 장내 생육 바이러스나 기생 원생동물이 우려대상인데 특히 자연재해 이후에 심각하다. 시겔라나 대장균은 기후변화에 따라 스트레스 저항성이 다른 균보다 높으므로 이를 주의해야 한다.

3. 기후 변화와 동물질병

동물질병은 감염 동물, 가축제품, 가축 오염물질로부터 사람에게 질병이 감염될 수 있다. Table 1에 대표적으로 동물에게 질병을 일으키는 바이러스, 세균, 그리고 원생동물과 기생충 질병이 소개 되어 있다.

기후변화와 동물질병의 관계를 살펴보면 기후변화는 동물들이 질병에 쉽게 걸리도록 한다. 예를 들어, 재해로 인해 유선염이 증가하면 이는 우유의 품질과 밀접한 영향이 있으며 수산물에서는 해수 온도, 염도, 용존 산소변화를 초래하여 지난 15년간 미국의 장염비브리오 식중독이 증가한 사례를 봐도 알 수 있다. 1997년, 2004년 태평양과 알라스카에서 식중독이 발생하였으며 특히 알라스카는 최근 높은 수온을 기록하였고 특히 비브리오 패혈증균도 장염비브리오균과 생육이 유사한 특징이 있으므로 주의가 요망된다.

기후변화는 가축의 생산에 큰 영향을 줄 수 있다. 우선 가축에게 스트레스를 증가시켜 혹서 같은 때는 잘 먹지 못하고 가축이 먹을 풀의 품질도 떨어지게 된다. 그러나 혹서가 증가하는 만큼 혹한에 따른 추위 스트레스를 피할 수 있는 장점으로 상쇄된다는 주장도 있다.

4. 기후 변화와 곰팡이 독소

기후 변화로 인하여 농작물 부분이 가장 영향을 받을 것으로 전망되고 있다. 곰팡이 독소(mycotoxin)는 독소를 생성할 수 있는 곰팡이가 생산하는 매우 독성이 있는 화학물질로

Table 1. Zoonotic agents and the mode of transmission to human

구분	균	숙주	사람에 감염 모드
바이러스	Rift Valley fever virus	가축과 야생동물	○감염동물의 피와 기관(손질시) ○살균되지 않은 우유(감염동물, 모기, 파리)
	Nipah virus	박쥐, 돼지	○감염된 박쥐가 야자나무수액을 오염 ○감염된 돼지가 농부/도축장노동자 감염
	Hendra virus	박쥐, 말	○감염된 말로부터 분비
	Hantavirus	설치류	○설치류로부터 에어로졸감염, 설치류 잡을때 발생
	Rotavirus	인간	○분변-구강 경로 ○오염된 물의 확산과 감염노동자가 손을 잘 씻지 않을때
	Hapatitis E virus	야생동물, 가축	○분변-구강 경로 ○관계수 오염과 연안의 패류오염
세균	살모넬라	가금류, 돼지	○분변-구강
	캄필로박터	가금류	○분변-구강
	E. coli O157	육류	○분변-구강
	혐기성포자형성	조류, 포유류, 가축	○토양, 물, 사료로 포자섭취
	Yersinia	조류, 설치류, 돼지	○돼지의 도축과정
	Listeria monocytogenes	가축	○북반구의 엔실리지관련 계절성 있음
	Leptospirosis	가축	○목장에서 소변이 물과 사료를 오염
원생동물	*Toxoplasma gondii*	고양이, 돼지, 양	○고양이 분변, 감염된 양이나 돼지의 생고기 소비나 처리
	Cyptosporidium, Giardia	소, 양	○분변-구강 감염 ○높은농도의 자낭은 감염력이 있어서 가축분변이 작업자에게 위해
기생충	Tapeworm	소	○분변-구강
	Liver fluke	양, 소	○알이 분변으로 나와서 물냉이와 같은 습지식물을 가축이 섭취할때 관련

Table 2. Important moulds and mycotoxins

Mould species	Mycotoxins
Aspergillus parasiticus	Aflatoxin B1, B2, G1, G2
Aspergillus flavus	Aflatoxin B1, B2
Fusarium sporotrichioides	T-2 toxin
Fusarium graminearum	Deoxynivalenol
	Zearalenone
Fusarium moniliforme	Fumonisin B1
Penicillum verrucosum	Ochratoxin A
Aspergillus ochraceus	Ochratoxin A

써, 흔히 수확 전에 독소가 생성이 되기 시작하고, 곡물 수확 이후에 곰팡이가 번성하면서 독소 생성이 증가하게 된다. 독소에 오염된 곡물을 사람이 섭취하면서 발생, 섭취량에 따라 위해가 증가하며 가축들이 섭취한 사료에서 섭취한 독소의 양이 육류로 사람이 소비할 때 사람에도 영향을 준다. 많은 독소 섭취량은 급성질환과 사망을 초래하지만 적은 섭취량은 증상이 없는 것이 특징이며 몇몇 독소는 발암성, 면역 억제성, 신경독, 성호르몬에 영향을 준다. Table 2에는 대표적인 곰팡이와 이들 곰팡이가 생산하는 곰팡이 독소가 소개되어 있다.

곰팡이독소의 최근 발생 사례를 보면 2004년 케냐에서 옥수수에서 오염된 아플라톡신 섭취 후 317명 환자발생중 125명 사망하였고, 2005년 2006년 동일 사건이 재발생한 바 있다. Benin과 Togo에서는 허용치인 20 ppb의 다섯배 아플라톡신 오염치 보였으며 무역분쟁에서 2006년 EU에서는 식품과 사료에 아플라톡신 수치로 인해 가축과 곡물 생산에서 부정적 요소로 작용하기에 이들에 대한 주의를 기울이고 있다. 결과적으로 기후변화는 곰팡이의 곡물오염과 증식에 영향을 주게 되는데 이들의 영향을 살펴보면 곰팡이 독소에 영향인자로 날씨와 토양이 있으며 기후변화는 이들 생산 시스템에 변화를 초래할 수밖에 없다. 곰팡이 독소는 다양한 곰팡이로부터 생산되고 기온, 습도, 강수와 밀접한 관계에 있는데 2003년 이후 이태리에서는 건조하고 높은 날씨가 계속되자 건조의 상태를 좋아하는 *Aspergillus spp.*중 *A. flavus*의 발생이 증가한 바 있다. 한편 미국에서도 *A. flavus*의 outbreak 증가하는데 습기가 높은 조건에서 곰팡이는 더 효율적으로 증식이 이루어지는 특성이 있었으며 일반적으로 가뭄, 해충, 영양분 부족 같은 스트레스 조건에서 곰팡이가 좋아하는 곡물이 더 잘 자라고 곰팡이 독소 생성이 증가하는 경향이 있다고 보고되어 있다. 세가지의 곰팡이(*Aspergillus spp., Fusarium spp., Penicillum spp.*)에 대한 CAST보고서에 의하면 온도와 강수에 대해서 연구가 이루어졌고 온도와 강수보다 낮은 영향인자로 간주되는 해충, 토양, 비료, 미량원소에 대한 영향 고찰이 필요할 것으로 지적하고 있다. 이들의 영향을 일반적인 관점에서 살펴보면 해충과 질병은 독소생성 곰팡이의 작물에 정착하여 곰팡이가 자라면서 축적되는 것을 촉진함에 따라서 곰팡이 독소의 오염을 증가시키고, 기후변화는 토양으로부터 미량의 원소가 식물로 옮겨지는 것에 영향을 줄 수 있다. 영양이 부족하고 독소원소가 많으면 해충에 저항성이 약해지며 곰팡이 번성과 독소생성을 촉진하며 비료는 곰팡이의 발생과 군집성에 영향을 주는데 *Fusarium spp.*의 경우 높은 질소 함량은 밀이 감염될 수 있는 기간을 증가시킨다는 연구보고가 있다. 수확 후 조건으로 세척을 철저히 해야 하고 곡물 처리 기술이 발전해야 곰팡이 독소 섭취를 방지할 수 있겠다.

기후변화를 통해 농업에서 겪게 될 문제들을 예상해보면 인구밀도가 높은 지역의 경우 경작지가 서로 붙어있기에 영향을 한꺼번에 받게 되며, 강수량에 영향을 받기 때문에 일년간 경작할 시간이 줄어든다. 따라서 기후상승과 강수의 변화는 토양에 다양한 미네랄을 공급하는 미생물에 영향을 주어 토양의 질도 떨어지게 할 것으로 예상된다. 대기중의 이산화탄소의 증가는 작물의 질소를 더 받아들이게 되어 비료 사용이 증가된다. 강수량의 변화는 작물의 파종 시기에 해충 피해를 줄 수 있다.

5. 기후 변화와 해로운 조류의 번성 및 수산물의 안전성

십 수년전부터 해로운 조류(Harmful Algae Blooms)가 해양과 연안에서 발생 증가하고 있는데 독소를 생성하는 조류는 사람에 위험하다. 흔히 사람에 질병은 오염된 수산물

Table 3. Harmful algae species

Poisoning	작용특성	Species
설사형	dinoflagellates	*Prorocentrum*
		Dinophysis
		Protoperidinium
마비형	dinoflagellate	*Alexandrium*
신경독	dinoflagellate	*Gymnodinium*
건망증	diatoms	*Pseudo-nitzschia*

특히 패류를 먹고서 발생하는데 이들 패류독은 건망증 패류독, 설사 패류독, 신경독 패류독, 마비 패류독 등으로 분류되어 호흡, 소화, 기억, 발작, 정신장애, 피부문제 수반하여 생선, 새, 포유류, 인간들에 치명적으로 작용하게 된다. 해독제가 없는 경우가 많으며 무색, 무미, 무향, 열과 산의 안정성 때문에 외관을 살펴서만은 예방이 어렵다. 또한 해로운 조류 발생으로 인한 경제손실도 무시할 수 없는 측면이 있다. Table 3에는 해로운 조류의 종류가 소개되어 있다.

기후변화가 조류에 미치는 영향으로는 식물성 플랑크톤과 동물성 플랑크톤에 영향을 줄 수 있다. 식물성 플랑크톤중 해로운 조류로 diatom과 dinoflagellate가 있는데 상승한 해수 온도는 flagellate 일찍 발생킨다. 기후 온난화는 해류, 식물성 플랑크톤의 분포에 영향을 주어 발생 빈도수를 증가시키는 경향이 있다. 기후 온난화로 증가하는 이산화탄소가 해수의 산성화를 증가시킬 가능성이 대두되고 있는데 해수의 산성화는 수산 생물의 칼슘을 감소시키게 된다. 해수면 상승, 강우 증가, 홍수 발생은 해수쪽으로 영양분을 방출하게 되는데, 비료와 분변으로부터 인과 질소를 방출하게 되어 해수의 영양균형을 교란시키고 규소(Si)가 필요한 diatom과 달리 dinoflagellate는 인과 질소만으로 증식하여 수적 우위를 차지할 수 있게 된다. 기후변화는 해수면을 2100년까지 0.6 m 상승시킬 것으로 예측되고 있다. 마지막으로 기후 온난화는 해수면의 온도를 상승시켜 빙하를 녹여 결과적으로 해수면을 상승시킬 수 있는데 이들 상승된 해수면은 농장과 저지대를 침수시켜 영양분이 방출되어 조류를 번성시키고 홍수는 염분의 변화를 초래하여 조류의 조성을 변화시킬 수 있다. 또한 이산화탄소가 물속에 녹으면 해양 생물에서 칼슘화를 방지시켜 패류의 껍질과 골격 형성을 억제할 수 있는 문제점도 있다. 해수에 존재하는 비브리오균은 온도의 상승에 따라서 균수가 늘어나므로 주의가 필요하다. 영국은 2000년부터 수질관리를 철저히 하여 cryptosporidiosis를 낮출 수 있었다.

6. 기후변화와 식품

기후변화는 식품에서 환경오염물질과 잔류농약 문제를 일으킬 수 있다. 환경오염지대의 PCB(poly chlorinated biphenyl)와 다이옥신은 기후온난화와도 연관되어 있다. 특히 내륙의 홍수가 발생시킬 수 있는 문제점은 강의 오염된 침식물이 토양오염을 일으킬 수 있다. 또한 상류로부터의 오염된 도시지역의 폐수 및 하수가 유입되게 된다. 2002년 중앙유럽의 홍수는 높은 농도의 polychlorinated dibenzo-p-dioxins과 dibenzofurans (PCDD/Fs)가 토양에서 모니터링 결과 나타났고 지역에서 생산된 우유의 PCDD/Fs 높게 나타난 바 있다. 2006년 미 환경부 연구결과에 의하면 허리케인 카트리나로 인하여 미국에서는 기름이 유출되고 농약과 금속, 해로운 화학물질이 홍수 지역의 물에서 검출되었고 미량원소들이 해수에서 검출된 바 있었다. 대다수는 기준치 이하였으나 수은과 휘발성 유기화합물은 기준치 이상인 지역이 있었다.

물의 오염에 주의가 필요한데 해수 온난화는 수은의 메틸화를 촉진하게 된다고 보고되어 있다. 1°C 해수 상승시 생선과 포유류에서 메틸화된 수은의 검출량이 3-5% 증가시킨다는 보고가 있다. 해수면 증가는 육지의 물의 소금화를 일으켜 식수 부족을 초래하는데 이는 사람, 농업, 해안 생태계에 어려움을 야기하게 된다. 특히 인류의 1/4이 연안에 거주하기 때문에 WHO의 2005년 발표에 따르면 10%의 물 공급이 어려워질 것으로 예상되는데 특히 개발도상국에서 문제가 심각한 것으로 알려져 있다.

토양오염 부분에서는 방글라데시는 관계수에 건조기에는 비소가 토양에 증가하는 경향이 있다. 장마는 비소함량을 낮추는 효과가 있으나 이는 물에 희석되어 결과적으로 물이 비소에 오염됨을 의미한다. 결국 비소 오염된 관계수가 쌀 생

산시 비소함량에 영향을 미치게 된 사례가 있다. 기후온난화로 인한 사막화는 토양, 물의 오염을 초래하여 식량 공급에 영향을 미치기도 한다.

농약사용과 농산물에서 잔류농약 부분에서는 기후온난화는 해충의 영향을 주어 이를 방제하는데 영향을 미친다고 기술된 바 있다. 따라서 2003년 FAO는 Good Agricultural Practices (GAP)에 따라 예측된 해충 구제를 위하여 농약을 살포해야 함을 강조한 바 있다. 새로운 해충 시나리오에 따라 기존의 자연농약과 화학농약사용은 달라지며 건조조건에서 농약은 활성이 떨어지는 것으로 알려져 있다. 그리고 고온에서 농약분해도가 높아져서 많은 양의 농약을 사용할 가능성이 있다. 해충구제와 관련하여 Integrated pest management (IPM) 프로그램 운용이 중요시되고 있다. 결과적으로 기후온난화는 농작물 생산량의 변화를 야기한다.

수의약품과 잔류약품분야에서도 기후변화는 동물질병에 영향을 주므로 수의약품 사용이 증가할 것으로 예상되고 있다. 수산물에서 새로운 질병은 화학물질사용을 증가시킬 것이며 기후는 소의 유선염을 증가시키고 항생제치료가 늘어날 것이다. 이는 식품에서 잔류항생제 문제가 될 수 있음을 내포하며, 항생제 내성균의 출현을 촉진할 가능성이 커진다. 결과적으로 기후변화에 따른 수의약품, 농약, 백신프로그램에 대한 위해성평가와 이를 사용방식이 재평가 되어야 할 것이다.

또한 polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)는 발암성이며 돌연변이 유발특성이 있는데 이들은 공기, 먼지, 토양, 물 그리고 식품에서 존재하며 인간의 건강에 해로운 영향을 줄 수 있어서 공기로 숨을 쉴 때, 식품을 섭취할 때, 물을 마실 때 그리고 오염된 공기와 토양을 사고로 흡입해야 할 때 문제가 되고 있다. 기후변화는 이들 PAHs의 분포에 영향을 줄 수 있다는 점이 지적되고 있다.

7. 기후 변화와 응급 상황

4회 IPCC 보고서는 기후변화가 다음과 같은 세가지의 패턴으로 재앙을 야기시킬 것으로 지적하고 있다. 첫째, 기후변화는 극한의 온도, 집중강우, 열대태풍, 가뭄과 홍수를 초래하며, 둘째, 위험물질에 영향을 받는 지역의 분포를 변화시키고, 셋째, 특정 그룹 가령 해수면 상승, 상태계 스트레스, 빙하의 감소에 영향을 받는 사회적 그룹과 경제적 그룹에 타격을 주게 됨을 경고하고 있다.

기후 온난화로 인한 응급 상황에 대비해야 할 필요성이 있는데 이는 여러 사례에서 나타나고 있다. 먼저 자연재해는 미생물학적, 화학적인 오염을 증가시킬 수 있다는 사실이 허리케인 사태로 증명되었다. 둘째, 콜레라, 이질, 노로바이러스 감염도 증가하며 가뭄은 인간의 이동을 촉진하여 환경파괴로 인하여 2020년까지 유엔에서는 오천만 인구가 탈출할 것으로 예측한 바 있다. 강제 이주 및 대피는 극도의 스트레스, 식량과 물의 부족사태, 영양실조, 설사, 의료품 부족으로 질병 증가가 예상되며, 이는 또다시 인간에게 미생물과 화학물질에 대해서 저항성의 약화를 초래할 수 있다. 식품안전위기는 저장된 식품이 안전하지 않거나 오염된 식품 섭취, 오염된 식품취급, 사람들과의 접촉 등으로 발생하며 응급 상황에서 조리는 용품과 연료의 부족, 위생 확보의 어려움으로 식품이 안전하지 못할 가능성이 증가하게 된다.

8. 응급상황에서 식품안전 확보 방안

WHO는 응급상황에서 다음과 같은 상황에 대한 철저한 준비 필요 강조하였다. 먼저 식품안전 규제방안이 있어야 하며, 둘째, 식품의 감독과 구호철저, 셋째, 안전한 식품과 물을 공급해야 하며, 넷째, 식중독 발생 인식과 대응책을 마련해야 하고, 마지막으로 식품안전교육과 정보교류가 필요하다는 점이다.

카트리나 허리케인 사건 때 최소 세 가지의 노로바이러스가 검출되었는데 하수로부터 기인한 것으로 추정된 바 있다. 많은 사람들, 좁은 공간, 위생시설부족, 화장실 부족, 손 씻기 어려움 등이 야기한 것으로 종합적으로 추정되었는데 이는 위생상태가 열악한 지역은 주의가 요망된다.

응급상황에서 식품안전 대응프로그램은 전체 식품 생산라

인에서 실시되어야 하며 재난이 발생 했을 때 농작물에서 병원균, 화학물질, 자연독에 대해 평가를 즉각 실시해야 기후변화로 인한 위해를 알 수 있고 식품업체, 도축장, 시장, 급식장에서 재난 뒤에 안전성이 확보되었는지 확인하기는 어렵기 때문에 사람이 섭취하기 어려운 물품은 바로 해당 당국의 감시하에 폐기해야 한다. 아울러 물, 식품의 공급 체계를 확인해야 하고 식중독의 확산을 방지하기 위해 대응 체계를 준비하여 당국들과의 공조로 공중보건을 확보해야 한다. 마지막으로 재난 시에 적절한 위해 정보 교류를 실시하여 적절한 시점에서 중요한 정보를 대중에게 공급하여 위해가 확산되는 것을 최소한으로 해야 한다.

9. 우리나라 기후변화

그럼 우리나라의 환경이 어떻게 변하고 있는지 살펴보아 FAO에서 제시한 문제점이 우리나라의 사례에 어떻게 나타날 수 있는지 가능성을 살펴보는데 도움이 될 것이다. 여러 가지 기후변화의 인자들 가운데서 대표적으로 국내의 기온, 강수량, 해수온도, 대기중 이산화탄소 농도 그리고 해수에 용존되어 있는 용존산소의 농도변화를 살펴보도록 하겠다.

가. 기온

우리나라 기후 중 평균기온의 변화는 서울의 경우 1940-50년대 평균이 11℃부근이었던데 반하여 1980-90년대가 되면서 12℃이상이 되었으며 기상청(KMA, 2009)으로부터 발췌한 표 Fig. 1에 나타나 있는 대로 점점 증가추세에 있다. 특히 지난 10년간의 기온상승이 지난 100년간, 30년간의 기온상승보다 크게 일어났으며 우리나라의 경우에 1960-70년대 공업화 영향이 20% 정도가 기후의 상승에 기여한 것으로 추정되고 있다 (Table 4).

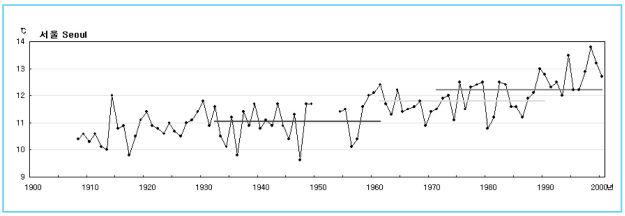

Fig. 1. The change in the average annual atmospheric temperature in Seoul in the 20th century(KMA, 2009).

나. 강수량

강수량에 대해서도 지난 한세기 가량 추이를 기상청 홈페이지에 소개된 결과로 살펴본 결과 증가되는 경향이 있으며 집중강우 횟수가 최근 증가하는 추세로 알려져 있다 (Fig. 2). 전체적으로는 강우량의 차이보다는 집중강우로 인한 강수량이 증가한 것으로 보이며 이는 건기도 증가하였음을 알려주는 지표가 되기도 한다. 태풍의 횟수 증가보다는 태풍의 강도가 세어지는 특징을 보였다 (Table 4).

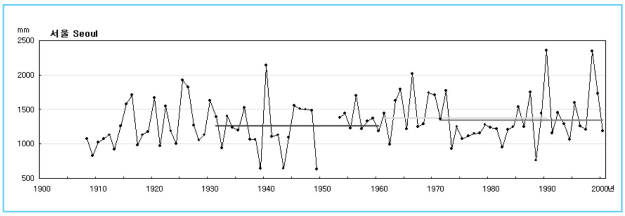

Fig. 2. The change in the average precipitation in Seoul in the 20th century(KMA, 2009).

다. 우리나라 해수 온도

우리나라 해수의 온도가 지속적으로 증가하고 있으며 지역에 따라 동해, 서해, 남해의 양상이 다르게 나타났는데 가장 해수온도변화가 큰 곳은 서해지역으로 지난 33년전에 비해서 0.99°C상승한 것으로 나타나고 있다. 특히 연안에서 해수온도 상승이 두드러져서 심해보다는 사람들이 거주하는 연안을 중심으로 수온상승이 일어나는 특징이 나타났다 (Table 4). 해수온도의 상승은 어자원의 변화를 야기하며 장기적으로는 빙하를 녹여 해수면을 상승시키는 문제점이 발생하게 된다. 해수면의 상승은 육지로부터 분변이나 오염물이 해수에 유입되는 것을 가속화하므로 악순환이 될것으로 우려되고 있다.

라. 우리나라의 이산화탄소 농도

우리나라의 이산화탄소의 농도는 산업화 및 도시화가 촉진

되면서 증가되어 1991년 357.8ppm에서 2000년 373.6ppm로 10년간 이산화탄소의 대기농도가 15.8 ppm 증가하였는데 앞서 소개된 바대로 이산화탄소 농도의 증가는 해수에 용해되어 해수의 산성화를 가속화하게 될 것이다.

마. 우리나라 해수의 용존 산소량

우리나라 해수의 용존 산소량은 이산화탄소의 농도가 증가함과 온도가 상승함에 따라 감소하고 있다. 지난 33년간 국립수산과학원에서 모니터링한 연구결과에 의하면 해마다 0.013㎖/ℓ 씩 감소하여 지난 33전년에 비하여 0.42mL/L의 용존 산소가 감소한 것으로 나타났다 (Table 4). 해수의 용존 산소 농도의 감소는 난류성플랑크톤의 증가를 수반하여 해양생태계 변화로 인하여 양식장의 북상과 같이 양식지역 조정을 야기하게 된다. 최근 기후온난화로 인한 영향을 다음의 Table 4와 같이 요약정리 할 수 있겠다.

10. 결론

지금까지 FAO에서 지적한대로 기후변화가 야기할 수 있는 식품안전과 관련된 분야를 살펴보았다. 주로 가축, 농작물, 수산물 그리고 식품 생산단계에서 기후온난화가 초래할 수 있는 부작용에 대해서 정성적으로 살펴보았고 향후에 대응할 수 있는 시스템이나 과학기술 분야에서의 기술개발 필요성이 강조되고 있다.

식품 안전관리는 farm-to-table의 원칙에 따라 농장의 생산단계부터 소비자의 최종 소비 시점까지 전체적으로 안전하게 관리하는 것이 식품안전을 확보하는 우선적인 방법이다. 현재까지 예상되기로는 위에 기술된 대로 농장단계에

Table 4. The change of the climate of Korea

기후인자	지역	기간	비교치	상승수준	비고	출처
기온	국내15개 지역평균기온	지난10년	지난30년	0.6°C		기상청 (매일환경뉴스)
	우리나라평균온도	20세기	20세기이전	1.5°C		기상청 (한국수산경제신문)
	평균기온상승	1960-70년대			공업화 영향 20%	기상청 (한겨레신문)
강수량	국내전역			9.1%	여름집중호우심화, 강수량불규칙, 건기증가	기상청 (매일환경뉴스)
태풍					강도심화	(매일환경뉴스)
해수 온도	동해	최근	지난33년전	0.72°C		국립수산과학원 (한겨레신문)
	남해	최근	지난33년전	0.53°C		국립수산과학원 (상동)
	서해	최근	지난33년전	0.99°C		국립수산과학원 (상동)
	연안	1995년 이후	지난33년전	0.5-1.5°C		국립수산과학원 (상동)
	여수연안	최근	지난44년전	1.3°C		남해수산연구소 (해양과조선)
이산화탄소 대기농도	국내	2000년	1991년	15.8 ppm		기상연구소 (한겨레신문)
해수용존산소	국내	최근	지난33년전	-0.42 mL/L		국립수산과학원 (한겨레신문)

서 식품안전과 관련되어 가장 많은 오염이 있을 것으로 예상이 되는데 현재로써는 정량적인 평가보다는 문제점 인식 단계인 초기현황파악단계라 볼 수 있겠다. 농장 생산 이후 유통, 가공, 조리 단계는 인간이 개입하여 컨트롤 할 수 있는 단계가 될 것이며 따라서 인간이 개입하는 이후 단계에서는 위생부분이 중요한 부분으로 고려되어야 할 것이다.

FAO에서는 기후변화에 대응하기 위해서는 다음과 같은 부분에 주력해야 한다고 강조하고 있다.

첫째, 가축질병을 줄이기 위해서는 먼저 예측모델이 개발되어야 하며 식인성질병의 감시 및 동물질병 감시가 이루어져야 하고 식중독에 대해서는 모니터링과 감독을 철저히 해야 한다. 마지막으로 공중보건, 수의, 환경보건, 식품안전서비스의 공조를 통해 보건을 확보하는 노력이 필요하다.

둘째, 곰팡이 독소에 대해서는 먼저 사전에 곰팡이 독소가 오염되는 것을 사전에 방지하는 것이 중요하며 곰팡이 독소에 대한 모니터링과 예측 모델 활용이 필요하고 때로는 저장식품을 활용하거나 농업정책과 연계되어 정보에 관해서 대중에게 공유되어야 한다.

셋째, 해로운 조류의 번성과 수산물 안전성에 대하여 기후온난화가 시사하는 점은 먼저 다른 분야와 마찬가지로 예측모델 확보가 필요하고 해류를 통하여 인접 바다에 면한 다른 국가들과의 데이터 공조가 필요하겠다. 마지막으로 과학적으로는 신속 검출 기술을 확보하여 빨리 변화를 측정할 수 있어야 한다.

넷째, 환경 오염 물질과 화학 잔류 물질에 대해서는 예측모델을 위한 데이터 확보가 필수적으로 필요하며 모니터링 프로그램을 통해 어떤 시간을 통한 데이터 변화의 흐름을 확보할 필요가 있다. 또한 농업, 축산업, 수산업, 수의분야에서 농업분야의 GAP처럼 생산에서 good practice를 실시하고 마지막으로 여러 지역간의 데이터 교환을 통해 필요한 정보를 분석할 필요가 있다. 기후 온난화로 인해 발생하는 응급상황에 대해서는 미리미리 대비시스템을 준비할 필요가 있고 잔류오염물질의 신속검출하고 신속하게 제거 할 수 있는 도구들이 개발되어야 한다.

다섯째, 지구온난화로 인해 발생 가능한 분야는 상당히 광범위하며 이들 분야는 상호간에 연계되어 있다. 따라서 학제간의 공조가 필요하며 생산라인 전체에 대해서 good practice를 활용하여 컨트롤 할 수 있는 부분에서 생산 관리를 철저히 하여 사전에 예방할 필요가 있다. 식품과 환경에 대해서는 모니터링을 실시하고, 생산 과정에 대한 감독이 필요하며 인간과 가축에 대해서는 미리 질병이 일어났는지 여부를 사전에 감시하고 대응 프로그램을 준비해서 대비해야 한다. 여러 분야 모두 해당되지만 기후 온난화로 인해서 발생될 수 있는 부분과 피해에 대해 예측 모델링 개발을 통해 온난화가 초래할 변화에 대해 대비하는 것이 효과적이다. 또한 재난이 발생하고 나면 위해성 평가를 바로 실시하여 기후 변화가 야기할 부분에 대한 평가를 통해 향후의 일을 대비해야 한다. 현재까지 위해성 평가는 곰팡이 독소에 대해서 가장 광범위하게 이루어져 있고 국제기구는 개발도상국의 전문가들이 체계를 이해하여 적용할 수 있도록 하는데 중점을 두고 각국의 데이터에 맞는 위해성 평가를 실시할 수 있도록 하는 것을 목표로 하여 각 국가별로 최종 결정할 수 있도록 하는 것이 중요하다고 강조하고 있다. 또한 조기 경보 및 응급대응 시스템을 가동하고 대중과의 대화를 강화하며 신기술과 기술역량에 투자하여 사전에 대비할 수 있는 체계를 갖추고 정확하게 평가를 실시 할 수 있도록 해야 한다. 마지막으로 기후변화는 특정 국가와 관련된 부분이 아니라 전 세계적으로 일어나는 현상이므로 국제적인 협력이 무엇보다도 필요하다.

우리나라에서는 발생하는 식중독의 패턴을 파악하여 조기대응 할 수 있도록 하는 것이 중요할 것이다. 위험물질을 식품으로부터 섭취하여 위해가 발생하여 건강에 위해가 발생하지 않도록 식품안전을 확보하기 위해서는 단순히 농어민, 생산자, 그리고 업계의 조리 종사자뿐만 아니라 소비자, 그리고 정부와 학계가 함께 정보를 공유하고 투명하게 정보를 공개하여 위해를 줄여나가는 노력을 실시해야 하겠다.

향후 식품 제조 현장에서는 GMP와 HACCP를 통하여 식품 위생 및 안전을 확보하는 노력이 중요하며 소비자가 정확한 정보를 통하여 위해가 발생할 가능성이 있는 식품이 무엇인지 알아야 하겠다. 식품이 외식, 급식 과정에서 조리되는 과정에서 위생에 힘쓰고 조리 과정시 준수사항을 지켜야 한

다. 소비자가 조리된 식품을 취급하고 보관하는 방법에서도 식품의 위해가 증가할 수 있으므로 위해정보 커뮤니케이션을 통하여 어떤 식품에서 문제가 발생할 수 있으며 그 원인 물질의 특성을 소비자가 잘 인식하고 적절하게 대응할 수 있어야 하겠다.

마지막으로 앞에서도 소개된 바대로 각 국가에 맞는 위해성 평가를 실시하고 독자적으로 판단할 수 있도록 예측 모델 개발 및 위해성 평가 기술을 개발해야 하며 인재로 인한 식품 안전 사고가 아닌 기후변화로 인한 천재지변으로 인한 식품안전문제가 발생 하였을 때는 인재와 천재를 잘 구분하여 생산자, 소비자가 합리적으로 위해 정보 교류를 할 수 있도록 하는 것이 중요할 것이다.

향후 기후온난화는 식품분야에서 식량확보와 식품안전 문제와 밀접히 연관이 되므로 국가차원에서 대비하고 위해 요소에 대한 예측시스템 및 신속검출기술 개발 그리고 위해성 평가 기술 확보는 서둘러서 지나치지 않을 것이다.

참고 문헌

1. CAST (2003) Mycotoxins: Risks in plant, animal and human systems, Task Force Report, ISSN 0194; N. 139.
2. FAO. Climate change: implications for food safety http://www.fao.org/ag/agn/agns/files/HLC1_Climate_Change_and_Food_Safety.pdf
3. Hall GV, D' Souza RM, Kirk MD (2002) Foodborne disease in the new millennium: out of the frying pan and into the fire. Med. J. Aust. 177:614-618.
4. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2007) Summary for Policymakers. In climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability
5. Jo MY et al. (2004) Prevalence and characteristics of Escherichia coli O157 from major food animals in Korea. International Journal of Food Microbiology 95: 41-49.
6. Kang Y, Yoon S, Jwa S, Lee D, Woo GJ, Park Y, Kim C. (2002) Prevalence of Staphylococcus aureus in Kimbab. Journal of Food Hygiene and Safety 17(1): 31-35.
7. KFDA. http://www.kfda.go.kr
8. Kim MG, Oh MH, Lee JY, Hwang IG, Kwak HS, Kang YS, Koh YH, Jun HK, Kwon KS (2008) Analysis of major foodborne pathogens in various foods in Korea. Food Science and Biotechnology 17(3): 483-488.
9. Korea Meteorological Administration(KMA). http://www.kma.go.kr
10. Kovats RS, Edwards SJ, Charron D, Cowden J. D' Souza RM, Ebi KL, Gauci C, Gerner Smitds P, Hajit S, Hales S, Hernandez Pezzi G, Kriz B, Kutsar K, Mckeown P, Mellou K, Meene B, O' brien S, van Pelt W, Schimid H. (2005) Climate variability and campylobacter infection: an international study. Int. J. Biometeorol. 49: 207-214.
11. Miragilia M et al. (2009) Climate change and food safety: An emerging issue with special focus on Europe. Food and Chemical Toxicology 47: 1009-1021.
12. "한반도에 '뜨거운 미래'가 온다" 한겨레신문 2004.04.01
13. "우리나라 기후변화 심각한 수준 도달" 매일환경뉴스 2009. 06. 17.
14. "연근해 아열대성어종 증가추세" 한국수산경제신문 2003. 12. 26.
15. "40년 동안 남해연안 수온 1도 이상 상승" 해양과조선 2009.04.01.