기후변화와 우리나라 축산물 HACCP

Climate Change and HACCP for Livestock and its Products in Korea

이 주 연
Joo-Yeon Lee

축산물위해요소중점관리기준원
Korea Livestock Products HACCP Accreditation Service

I. 기후변화

UN기후변화협약(UNFCCC)에서는 기후변화를 "대기 조성을 변경시키는 인간활동에 직·간접적인 원인이 있고 그에 더해 상당한 기간 동안 관측된 자연적 기후변동에도 원인이 있는 것"으로 정의하고 있다. 지금까지 기후변화에 대

Table 1. Contents of IPCC Assessment Reports

분류	년도	개요	세부사항
1차	1990년	"관측자료에서 온실가스 증가효과를 정확히 탐지하는 것은 빠른 시일 내 쉽지 않을 것 같다"	앞선 100년 동안 지구표면의 대기 평균 온도가 섭씨 0.3~0.6도 상승했고 해수면 높이는 10~25cm 상승했으며, 산업 활동 및 에너지 이용 시스템이 현 상태로 계속될 경우 이산화탄소 배출량이 해마다 1.7배 늘어날 것으로 전망
2차	1995년	"인간이 전 지구 기후변화에 영향을 끼친 증거가 있다"	온실가스가 현재 추세대로 증가할 경우 2100년의 지구 평균 기온은 섭씨 0.8~3.5도 상승하고 해수면도 15~95cm 상승할 것으로 경고
3차	2001년	"인간의 활동이 과거 50년간의 기온상승을 유발했다는 새롭고 확실한 증거가 있다"	기후 변화가 자연적인 요인이 아니라 인간에 의한 공해 물질에서 비롯된 것임을 천명하고, 공해 물질이 현재 추세로 배출되면 21세기 안에 앞서 1만년 동안 겪었던 피해보다 심각한 기후 변화가 올 것이라고 평가
4차	2007년	"온난화의 전망에 있어 최적추정치를 가능하게 하고 불확실성의 범위를 평가할 수 있게 되었다"	금세기 안에 지구 표면 온도가 섭씨 1.8~4.0도 상승할 것으로 예상하고 더욱 심각한 폭우, 가뭄, 폭염, 해수면 상승 등이 이어질 것으로 경고

Corresponding author: Lee, Joo-Yeon
Korea Livestock Products HACCP Accreditation Service 572-5 Gyeongi Venture Aanyang Science College, Anyang 8-dong Manan-gu, Anyang-si, Gyeonggi-do Korea (430-731)
Tel: +82-31-390-5217 Fax: +82-31-465-6698 E-mail: ljy@ihaccp.or.kr / www.ihaccp.or.kr

한 예측은 기후변동에 관한 정부간 패널(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)에서 발표되고 있는 보고서에 근거하고 있다. 기후변화에 관련된 전 지구적 위험을 평가하고 국제적 대책을 마련하기 위해 세계기상기구(WMO)와 유엔환경계획(UNEP)가 공동으로 설립한 유엔 산하 국제 협의체로 각국의 기상학자, 해양학자, 빙하 전문가, 경제학자 등 3천여 명의 전문가로 구성한 정부간 기후변화 협의체이다. IPCC의 주된 활동 중의 하나는 특별보고서를 작성하는 것으로, 1990년 이후 현재까지 4차례에 걸친 특별보고서까지 발표가 된 상태이며, 2014년에 발표될 5차보고서가 준비 중이다. 지금까지 발표된 특별보고서들의 주요 내용은 Table 1과 같으며, 이 중 가장 최근인 2007년에 발표된 특별보고서에 따르면, 기온변화의 최적추정치로 섭씨 1.8~4.0도까지 지구표면온도가 상승할 수 있음을 시사해주고 있다.

기후변화 중에서도 특히 기온상승에 따른 온난화가 심각할 것으로 예측하고 있는데 이는 지난 100여년에 걸쳐 상승되었던 온도를 단지 20-30년만에 돌파함으로써 기온의 상승이 얼마나 빨라지고 있는지를 실감할 수 있기 때문이다(Fig. 1).

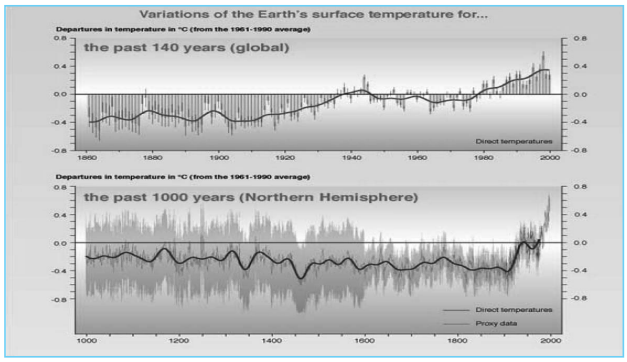

Fig. 1 Variations of the Earth's surface temperature

이러한 기온상승과 관련한 기후변화 유형은 Fig. 2와 같이 예측하고 있다. 첫째로 향후 평균기온의 상승에 따라, 기록적인 높은 온도의 발생이 증가할 것이고, 둘째로, 기온양상의 표준편차 증가로 기록적인 낮은 온도와 높은 온도의 발생률이 증가할 것이라는 것, 그리고 마지막으로 앞의 두가지가 병합하여 평균기온의 상승과 이상기온 중 기록적인 고온 발생률이 높아질 것이라는 것이다.

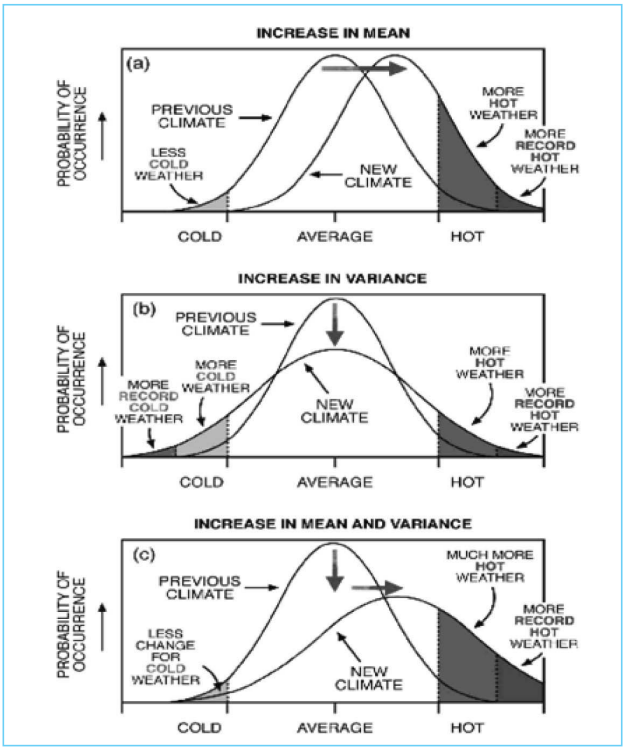

Fig. 2 Mean and Variance Changes in Climate Scenarios, (a) Increase in mean (b) Increase in variance (c) Increase in mean and variance

이와 같은 온도 변화와 함께 기후변화는 강수량 및 습도의 증가를 비롯하여, 홍수, 기근, 태풍, 열파 등과 같은 재난성 기상변화를 포함하게 될 것으로 예측하고 있으며, 이들 변화는 우리나라의 경우도 예외가 아니어서, 지난 방대한 자료를 바탕으로 시뮬레이션을 한 결과 비슷한 양상의 기후변화와 함께 온난화가 심각할 것으로 예측하고 있으며, 이러한 기후변화는 인체의 건강, 농업, 임업, 수산업 및 자연과학과 관련된 여러 분야에 영향을 미칠 것으로 보인다.

II. 기후변화와 축산식품 안전

기후변화와 관련된 식품의 상관관계는 크게 안보와 안전으로 나눌 수 있다(Fig. 3). 이 중 식품안전 분야는 태풍, 홍

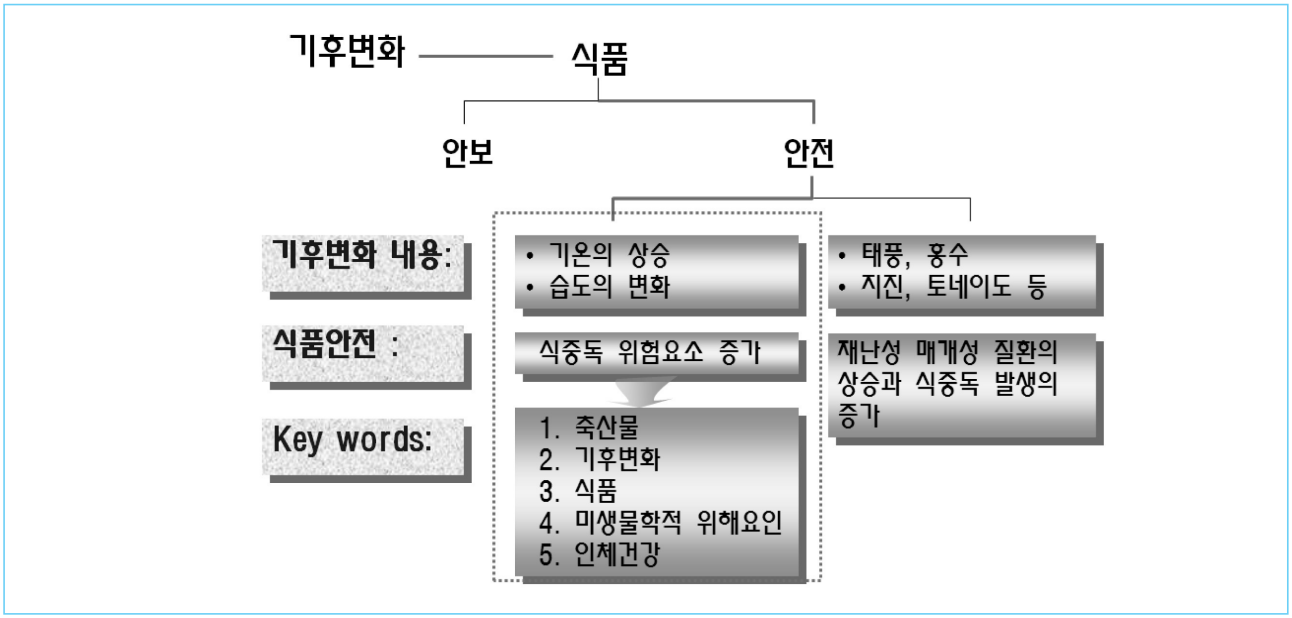

Fig. 3 Climate Change and key words of food safety

수, 지진, 토네이도 등과 같은 재난성 기후변화에 따른 매개성 질환 및 식중독 증가 부분과 기온 및 습도의 변화에 따른 식중독 위험요소 증가 부분으로 나눌 수 있다. 본 고에서는 재난성 매개성 질환 및 식중독 발생의 증가는 제외하고, 지속적인 기온이나 습도의 변화와 같이 식품의 생산으로부터 소비단계까지 전 과정에 영향을 미침으로써, 축산식품안전과 상관관계를 가지는 요소들에 대한 고찰과 안전관리의 대안에 대하여 논하고자 한다.

식중독 발생은 기온 변화와 관련성이 높다는 것이 계속 보고되고 있다. Fig. 4는 우리나라에서의 지난 12년간 온도변화(연평균기온, 월평균기온)와 식중독 발생건수를 보여주고 있다. 본 자료에 의하면 완만하기는 하지만 연평균 기온이 상승함에 따라 식중독의 발생건수가 증가하는 추세를 보여 최근 2년간은 식중독 발생이 극히 상승함을 보였다. 그러나 월평균기온과의 상관관계에서는 기온이 상승함에 따라 식중독 발생건수가 증가하기는 하였으나, 최고 기온 시 식중독 발생건수가 최고에 이르지는 않았으며, 오히려 그 전후에 식중독 발생 건수가 높게 나타나는 M자형 특성을 나타내 주고 있어, 식중독 발생과 계절성과의 상관관계는 없는 것으로 보인다. 이러한 관련성은 Table 2의 자료를 통해서도 시사되고 있다. 2003년부터 2007년까지의 5년간 식중독 발생 자료를 기초로 기후변화의 시간지연효과와 식중독 발생의 계절성 등을 고려한 결과 발생건수는 기온 섭씨 1도 상승 시 5.27%가 증가하였으며, 환자수는 기온 섭씨 1도 상승 시 6.18% 증가하였다. 심지어 극한 이상기후 또는 열섬 등 지역적으로 가장 심한 상황을 고려할 경우 이보다 더 큰 변화를 가져올 수 있을 것이다.

전 세계적으로 식중독의 주요 원인 식품군을 조사한 결과 약 60% 이상을 동물성 식품이 차지하는 것으로 조사되고 있으며, 이들 중에서도 많은 부분을 축산식품이 차지하고 있다(Table 3). 이와 함께, 미국에서 식중독의 주요 원인들을 분석한 결과, Table 4에서 보는 바와 같이, 미생물에 의한 위해요인이 식중독에 의한 사망자수의 79.5%를 차지하는 것으로 나와 안전관리가 특히 필요한 부분으로 판단된다. 따라서, 축산식품과 생물학적 위해요인에 대한 철저한 안전관리만을 통해서도 식중독 발생에 따른 문제점들을 예방할 수 있는 주안점으로 판단되어 본고에서는 특히 이 부분에 대한 안전관리 방안제시를 하고자 한다.

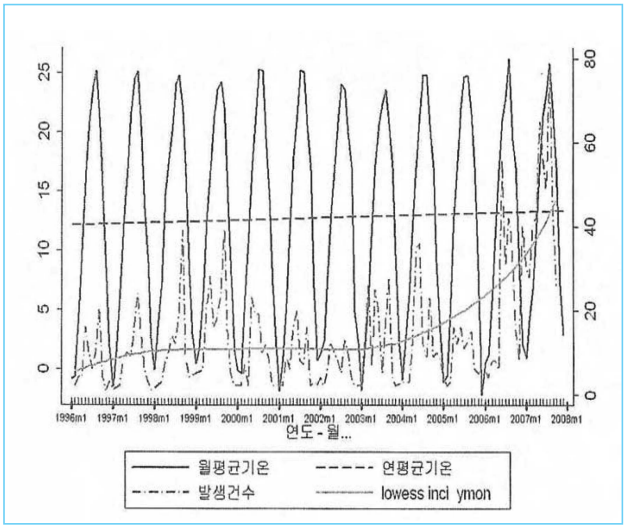

Fig. 4 Relationship of Food-borne Illness and Temperature (Source : 국제 기후변화에 따른 식료안전관리 대책 추진방안)

Table 2. Climate Changes and Food-borne Illness

구분	식중독 환자수			발생건수		
	GAM	Poisson1	Poisson2	GAM	Poisson1	Poisson2
1℃ 상승시	1.074161		1.061844		1.046499	1.0527
2℃ 상승시	1.153822		1.127513		1.095159	1.1083
3℃ 상승시	1.239391		1.197243		1.146083	1.1667
4℃ 상승시	1.331305		1.271285		1.199374	1.2283
독립변수						
기온	O	O	O	O	O	O
습도	O	O	O	O	O	O
계절성	X	X	O	X	X	O

(Source : 국제 기후변화에 따른 식품안전관리 대책 추진방안)

GAM: 일반부가모형(Generalized additive model), Poisson 2: distributed lag model with seasonality

Table 3. Estimated annual impact of indigenous foodborne disease, by food group and type, England and Wales(1996-2000)

Food group/type	Outbreaks (%)	Cases (%)
Poultry	502,634 (29)	191 (28)
Eggs	398,420 (6)	46 (7)
Red meat	287,485 (17)	164 (24)
Seafood	116,603 (7)	30 (4)
Milk	108,043 (6)	37 (5)
Vegetable/fruit	49,642 (3)	14 (2)
Rice	26,981 (2)	5 (1)
Complex foods	453,237 (26)	181 (26)
Infected food handler	67,157 (4)	14 (2)
Total	1,724,315 (100)	687 (100)

Table 4. Number of reported foodborne disease outbreaks, cases, and deaths, by etiology - United States, 1998-2002

Etiology	Outbreaks	Cases	Deaths
	No. (%)	No. (%)	No. (%)
Bacterial	1,184 (17.8)	37,887 (29.5)	70 (79.5)
Salmonella	585 (8.9)	16,821 (13.1)	[Listeria mono.]
Chemical	221 (3.3)	1,140 (0.9)	1 (1.1)
Parasitic	23 (0.3)	630 (0.5)	0 (0.0)
Viral	709 (10.7)	28,274 (22.0)	5 (5.7)
Multiple etiologies	30 (0.5)	1,050 (0.8)	0 (0.0)
Confirmed etiology	2,167 (32.6)	68,981 (53.7)	76 (86.4)
Unknown etiology	4,490 (67.4)	59,389 (46.2)	12 (13.6)
Total	6,647 (100.0)	128,370 (100.0)	88 (100.0)

기후변화와 관련된 병원성 미생물로는 대표적으로 Salmonella를 들 수 있다. 유럽의 10개국을 대상으로 평균 기온이 섭씨 1도 상승할 때마다 살모넬라 발생의 증가추세를 비교한 결과 섭씨 6도 이상 상승하면 살모넬라 발생과 기온의 선형적인 증가가 관찰되었다. 특히, 발병 1주전의 기온과 상관성이 가장 크게 나타났으며, Salmonella Enteritis에 감염된 15-64세 연령대의 성인에게 뚜렷한 상관관계를 보여, 온난화와 같은 온도상승에 따라 안전관리가 필요한 주요 병원성 세균이라 할 수 있다. 기온의 상승은 또한 *Aspergillus flavus*와 같은 곰팡이의 독소 생성을 최적 조건으로 만들어주는 효과가 있어 온난화에 따른 위험에 노출될 가능성이 높아진다. 가축의 사육 시 사용하는 사료의 경우 곰팡이 독소 관리가 중요하고, 기온 상승에 따른 항생제 사용 증가 원인이 될 수 있고, 이로 인한 항생제 내성균의 발생가능성 증가 위험을 방지하기 위해서도 철저한 관리대책이 필요하다. 또한, 악천성 기후변화(stress)의 경우 미생물의 유전적 성향을 변화시켜 열악한 환경에서의 생존률을 높이거나 독소를 생성하는 새로운 유전적 변이를 유도하여 그 관리가 어려워지는 문제가 발생한다. 좋은 예로 *E. coli* O157:H7의 경우 극심한 환경적 요인에 의한 유전적 변이로 인한 스트레스로 pH 2 이하의 강산 조건 하에서도 살아남는 특성을 가지고, *Vibrio cholerae*의 경우 독소를 생성하지 않는 특성을 가졌으나 환경적 스트레스에 의해 박테리오파지를 통해 독소를 생산하는 것으로 유전적 변이가 일어난다는 보고가 있다. 이와 같이 미생물의 경우 기온상승과 같은

기후변화에 따라 증식의 위험이 증가할 뿐 아니라 환경적 스트레스에 의한 유전적 변이로 그 위험이 증가할 수 있어 환경적 요인에 대응하여 특별한 관리가 필요하다.

III. 기후변화와 축산물 안전관리 방안

식품의 안전관리는 생산으로부터 소비까지 전 과정에 대한 관리가 중요하다. 특히, 축산식품의 경우 식품을 통해 전이될 수 있는 위해요인들을 생축단계로부터 예방관리하는 것이 최종 소비단계의 안전확보를 위해 중요하다. 기후변화와 같이 외부적 환경의 변화 및 스트레스 조건인 경우는 특히 생축으로부터 유래될 수 있는 위해들을 효과적으로 차단하기 위해 전 supply chain에 대한 전략적인 안전관리체계 및 효율적인 대응체계 구축이 필요하다. 이에, 본고에서는 미생물학적 위해요인의 사전 예방적 관리의 방안으로 hurdle theory를 적용하기를 추천한다. Hurdle theory는 Fig. 5에서 볼 수 있는 것과 같이 식품의 안전에 영향을 미칠 수 있는 내인적 요인 및 외인적 요인들을 연쇄적으로 적절한 조건으로 주어 미생물학적 위해요인이 소비단계에 이르러서는 hurdle에 걸리도록 하는 방법이다.

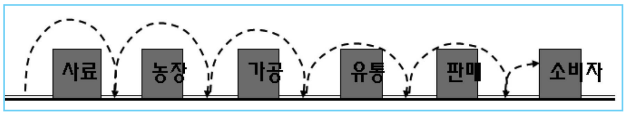

Fig. 5 Theroretical hurdle system for livestock products

이때 hurdle의 높이는 이론상으로 같은 높이인 것으로 인식되나(Fig. 5) 실제적으로는 Fig. 6에서와 같이 각 환경에 따라 그 높이가 달라질 수 있으며, 특히 축산식품의 종류와 그 특성에 따라 달라질 수 있어, 이를 고려하여 결과적으로 마지막 섭취 전까지 미생물학적 위해요인을 적절히 막아주는 것이 필요하다.

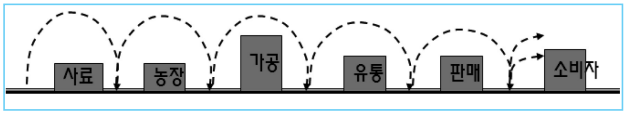

Fig. 6 Real system of hurdle for livestock products

온난화와 같은 기후변화가 축산식품의 supply chain 각 단계별 hurdle의 높이에 어떠한 영향을 미치는지 과학적으로 조사하여 변화된 hurdle의 높이를 보완하는 대응방안을 전략적으로 준비한다면 환경적 스트레스에 의한 미생물학적 위해요인의 발생을 방지할 수 있을 것이다. 이때 환경적 요인에 의한 hurdle 높이의 변화에 따른 심각성을 위해평가를 통해 예측하는 과학적 방법의 적용이 이상적일 것이다. 위해평가는 hazard identification, hazard characterization, exposure assessment, risk characterization으로 구성되어 있는데, 화학적 위해요소와 같이 식품 내에서 일정한 정도을 유지하여, 그 관리수준을 정하기 수월한 반면 미생물학적 위해요인은 주어진 환경별로 그 존재하는 정도를 예측해야 하므로, 예측미생물학이라는 microbial growth model을 적용하여 quantitative microbial risk assessment(QMRA)를 수행하는 과정이 필요하다. 본 과정은 수학적 모델을 활용하는 것으로 일차 생산단계로부터 시작하여 가공, 유통, 판매 등 소비되기 직전까지의 단계별로 영향을 미치는 parameter들을 적용하여 단계별 및 최종 단계의 양적 수준을 파악할 수 있는 기술적 요인이 된다. Fig. 7에서는 Popov 등이 제시하고 있는 QMRA를 나타내 주고 있다.

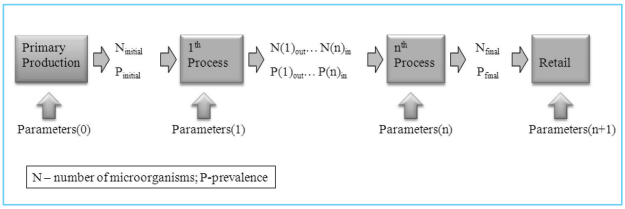

Fig. 7 Quantitative Microbial Risk Assessment using mathematical prdictive model
(Source : Food Research International, Viktor Popov etc.R)

이와 같이 환경적 요인에 의한 hurdle의 높이 및 그 변화를 과학적 수단으로 결정한 후 변화된 hurdle에 대해 보완할 수 있는 예방관리 방법이 HACCP(Hazard Analysis Critical Control Point)이다. HACCP은 식품 중 발생할 수 있는 위해요인들을 사전에 과학적으로 분석하고 이를 방지할 수 있는 중요관리점을 제시하여, 이를 효율적으로 관리

하는 시스템으로 기존의 사후 안전관리방법과는 차별화된 사전예방적 관리시스템이라는 데 큰 의미가 있다. HACCP은 위해요인에 대한 예측가능한 자료들만 충분히 주어진다면 환경의 변화에 따른 대응체계를 신속히 조정하여 적용할 수 있는 좋은 대안이다. 향후 기후변화는 통계자료에 의한 예측 차원으로 확신할 수 없는 환경변화에 대한 식품안전관리가 추구되어야 하며, 특히 축산물의 경우 생축으로부터 식품으로의 전이를 통한 인체로의 안전까지 관리되기 위해서는, 시스템 자체를 조절할 수 있는 관리체계가 가장 효율적이라고 사료된다. 최근 세계적으로 국가가 규제를 통한 관리를 되도록 줄이고 자율적인 안전관리체계를 추구하는 트렌드에 따라 Good Hygiene Practice(GHP), Good Manufacturing Practice(GMP), Good Agricultural Practice(GAP)와 함께 HACCP이 산업체 측에서 본인의 환경에 맞도록 자체적인 안전관리체계구축을 위한 시스템으로써 널리 이용되고 있으므로, 효율적인 안전관리정책으로 활용되는 것을 기대할 수 있다.

우리나라 축산물에 대한 HACCP은 1997년 12월 관련규정이 제정되면서부터 적용되어 오고 있다. 현재 농장, 사료공장, 도축장, 가공장, 식육포장처리업장, 집유장, 보관업, 운반업, 식육판매업 등 총 9단계에 대해 HACCP이 적용되고 있고, 이 중 도축장을 제외하고 모두 자율적용 되고 있는 상황이다(Fig. 8).

Fig. 8 Implementation Status of HACCP for livestock and its products

1993년 Codex에서 HACCP에 대한 7원칙 사용 지침을 제공한 이후 HACCP은 국제적으로 공인된 식품의 안전관리시스템으로 적용되고 있다. 그러나, 현재 HACCP의 7원칙이 완벽하기만 한 것은 아니어서 지속적으로 이에 대한 보완책 의견이 제시되고 있는 상황이다. 예로 위해분석을 통해 중요관리점(CCP) 결정은 Codex에서 제시한 결정도에 의해 이루어지는데 본 과정은 정성적 판단에 근거하고 있다. 즉, 예, 아니오 질문에 따라 단순히 극적인 선택을 해야 하는데 이와 같은 경우 병원성 미생물과 같은 위해요인은 발생가능성이나 그 정도가 정량적으로 예측되어야 할 필요가 있어, 정성적 판단만으로는 부족하다. 따라서, 미생물학적 발생 및 증식의 예측을 수반한 QMRA를 HACCP의 위해분석에 접목하게 되면 기존의 정성적 분석에 의할 때보다 일반적인 위해요인과 더불어 특정 병원성 미생물에 대한 동시 관리가 가능할 것이고, 예측 모델의 활용에 의해 실시간 분석 및 제어 기능까지 자동화할 수 있고, 연속적인 정보의 습득이 가능할 것으로 판단된다. 특히, 급격히 변화하고 예측하기 어려운 상황에 놓인 환경적 요인의 영향에 대한 대응 프로그램으로 정기적 업데이트가 가능할 것이고 지속성을 가지는 신속 대응체계 구축까지 가능할 것으로 판단된다.

마지막으로 정리하면, 지금까지 기술한 기후변화에 따른 대응체계 구축으로서의 Hurdle Theory, HACCP, QMRA 적용을 통해 다음과 같은 기대효과가 있을 것으로 예측한다.

1. 생산으로부터 소비까지 전 과정에 대한 축산물 안전관리의 중요 관리 포인트를 과학적 자료에 근거하여 구축할 수 있다.
2. 각 단계별 hurdle 효과의 강약을 추적하여 HACCP 관리의 체계에도 variation을 주어 사각지대 발생을 사전에 방지한다.
3. 기후변화와 같이 급변하며, 예측에 근거하는 환경변화에 대한 지속적인 정보를 제공하여, 신속 대응체계를 구축할 수 있다.
4. HACCP의 장점을 강화하고, 부족한 점을 보완하여 환경대응형 식품안전관리체계 구축이 가능하다.
5. 각 업체의 자율적 관리체계 구축을 통해 정부차원에서는 효율적인 축산물안전관리 정책을 추진할 수 있다.