

햄 및 소시지류에서의 *Clostridium perfringens*에 대한 정량적 미생물 위해평가

고은경¹ · 문진산¹ · 위성환¹ · 박경진*

군산대학교 식품영양학과, ¹농림수산검역검사본부 축산물기준과

Quantitative Microbial Risk Assessment of *Clostridium perfringens* on Ham and Sausage Products in Korea

Eun Kyung Ko¹, Jin-San Moon¹, Sung-Hwan Wee¹, and Gyung-Jin Bahk*

Department of Food and Nutrition, Kunsan National University, Gunsan 573-701, Korea

¹Livestock Products Standard Division, Animal Plant & Fisheries Quarantine & Inspection Agency, Anyang 430-757, Korea

Abstract

This study was conducted for quantitative microbial risk assessment (QMRA) of *Clostridium perfringens* with consumption on ham and sausage products in Korea, according to Codex guidelines. Frame-work model as product-retail-consumption pathway composed with initial contamination level, the time and temperature in distributions, and consumption data sets for ham and sausage products and also used the published predictive growth and dose-response models for *Cl. perfringens*. The simulation model and formulas with Microsoft@Excel spreadsheet program using these data sets was developed and simulated with @RISK. The probability of foodborne disease by *Cl. perfringens* with consumption of the ham and sausage products per person per day was estimated as $3.97 \times 10^{-11} \pm 1.80 \times 10^{-9}$. There were also noted that limitations in this study and suggestion for development of QMRA in the future in Korea.

Key words: quantitative microbial risk assessment, risk estimation, *Clostridium perfringens*, ham and sausage products

서 론

식육을 비롯한 대부분의 축산식품은 가장 우수한 고단백 영양식품인 반면에 다른 식품보다 부패 및 변질이 용이하고, 또한 동물의 분변에 존재하는 살모넬라, 대장균 등에 의하여 직간접적으로 오염되기 쉽다(Lund *et al.*, 2000a). 따라서 축산식품은 우리나라 뿐만 아니라 대부분의 국가에서 가축의 사육단계에서부터 소비자의 최종섭취 단계까지 전 과정에서 발생될 수 있는 위해요소를 일관성 있고 체계적으로 관리하는 종합적인 위생관리 시스템인 HACCP의 구축으로 축산식품의 안전성 확보에 노력하고 있다(Cho *et al.*, 2010).

최근 축산식품에서 미생물학적 위해요인으로부터 식품의 안전성을 확보할 수 있는 방법 중 한가지로서 미생물학적 위해요소에 대한 정량적 위해평가(Quantitative

Microbial Risk Assessment: QMRA)가 있다(Bahk, 2010a). QMRA란 어떤 특정 병원성미생물에 의해 오염된 식품을 섭취하는 경우, 그 병원성균에 의해 식중독이 발생할 가능성, 즉 위해(Risk)수준을 정량적으로 평가하는 과학적 방법이다(Bemrah *et al.*, 1998; Codex, 1998).

QMRA의 주목적은 유해미생물에 대한 식품의 안전기준을 제시하는 것이지만, 현재 우리나라의 경우 식육가공품, 알가공품 및 유가공품에 대해 제품특성을 고려하지 않고 황색포도상구균 등 6가지 식중독균에 대해 일괄적으로 음성기준을 적용하고 있으며(KQIA, 2011a), 이는 과도한 열처리에 의한 품질저하와 공정상의 한계점으로 작용하여 신제품 생산의 걸림돌이 되고 있다. 또한 육류 및 육제품 수출국인 호주, 뉴질랜드, EU, 미국 등의 햄 및 소시지류 등에 대한 멸균처리 및 미생물 기준이 우리나라와 차이가 있어 무역장벽의 요소로 발전할 가능성이 있으며, 국내에서도 생햄, 발효소지 등 유형이 새롭게 신설됨에 따라 이에 맞는 미생물 기준 설정이 시급한 실정이다. 따라서 식중독으로부터 안전하고 국제기준에 부합되는 축산식품의 정량적 미생물 기준 개정안을 제시하기 위해서는 이

*Corresponding author: Gyung-Jin Bahk, Department of Food and Nutrition, Kunsan National University, Gunsan 573-701, Korea. Tel: 82-63-469-4640, Fax: 82-63-466-2085, E-mail: bahk@kunsan.ac.kr

들 품목 및 주요 유해미생물에 대한 QMRA의 연구는 절대적으로 필요하다고 하겠다.

위해평가에 기반한 식품안전정책의 핵심인 QMRA에 관한 국내 축산식품의 연구결과는 거의 없는 실정이다. 우리나라의 경우 QMRA 노출평가에서 중요한 역할을 담당하게 될 일부 식중독 원인균에 대한 성장예측모델에 대한 연구가 고유 식품을 중심으로 연구되고 있다(Park *et al.*, 2007). 또한 일부 즉석섭취식품인 김밥, 샌드위치, 신선채소류에서의 황색포도상구균(Bahk *et al.*, 2006; Bahk *et al.*, 2007)과 리스테리아(Oh *et al.*, 2009) 등에 대한 위해평가를 실시한 QMRA의 연구가 일부 진행되고 있는 정도이며, 축산식품의 경우 최신의 QMRA기법을 적용한 연구 및 관련 축산식품 안전관리정책의 수행 결과는 아직까지 없다고 볼 수 있다.

따라서 본 연구는 QMRA기법을 적용하여 식중독으로부터 안전하고 국제기준에 부합되는 식육가공품 등에 대한 정량화 기준 등 관리기준 개정안에 대한 과학적 기초자료를 제공하기 위한 것으로, 우선적으로 햄 및 소시지류에서의 *Clostridium perfringens*에 대한 정량적 미생물 위해평가(QMRA)를 수행하였다. 햄류 및 소시지류는 국내외적으로 우선적인 개정이 요구되는 축산식품군으로 분류하였으며, 제품의 특성을 반영한 예측모델 및 유통환경 등의 자료 부족으로 단일 제품이 아닌 햄 및 소시지류를 한 품목군으로 적용하여 수행하였다.

재료 및 방법

햄류 및 소시지류에서의 *Cl. perfringens*에 대한 정량적 미생물 위해평가(QMRA)의 모든 과정은 Codex의 지침 “Principles and guidelines for the conduct of microbiological risk assessment (Codex Alinorm 99/13A) (Codex, 1998)”에 따라 위험특성 확인(hazard identification), 노출평가(exposure assessment), 위험특성 결정(hazard characterization) 및 위해성 결정(risk characterization)의 4단계 과정으로 수행되었으며(KQIA, 2011b), 각각의 단계에서 필요한 자료는 직접적인 실험이나 국내외 조사 등을 거쳐 작성하여 활용하였다.

Frame-work 모델 작성

햄 및 소시지류에서의 *Cl. perfringens*에 대한 QMRA는 원료에서부터 제조과정 단계에 대한 QMRA를 수행하기에는 자료가 부족하여, 본 연구에서는 제조된 제품에서부터 유통/판매를 거쳐 최종적으로 소비단계까지만 위해평가를 수행하였으며, 기본 구성도(frame-work model)인 “product-retail-consumption pathway”는 Fig. 1과 같다. 이 모델에는 제품생산 후 초기오염수준의 결과를 바탕으로 pH, a_w 등 제품의 특성, 유통 및 소비 단계에서의 제품별

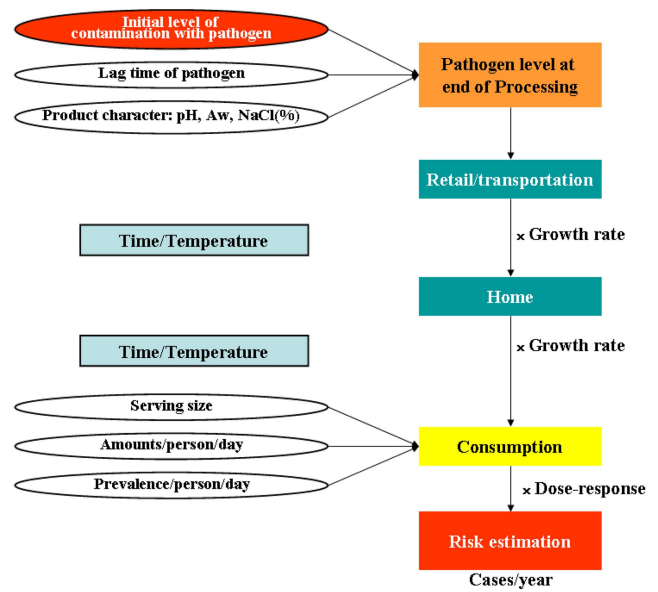


Fig. 1. Frame-work model (product-retail-consumption pathway) for conducting QMRA (quantitative microbial risk assessment) on *Cl. perfringens* with consumption of the ham and sausage products.

시간과 온도와 이를 바탕으로 한 성장예측모델과 섭취량 등을 주요 입력변수로 선정하였다.

Cl. perfringens 오염수준 분석

햄 및 소시지류에서 *Cl. perfringens*에 대한 오염수준을 조사 하기 위해 제조직후의 냉장보관중인 제품을 수거하여 분석하였다. 각 시료는 구입 직후 아이스박스를 이용하여 운반하였으며, 실험분석은 축산물가공기준 및 성분규격(KQIA, 2011a)에 제시된 방법을 사용하였다. 검체 25 g에 225 mL의 saline을 가하여 1분간 Stomaching하고 시액 1 mL를 Cooked meat broth(DIFCO, USA) 9 mL에 첨가하여 37°C에서 18-24시간 혐기배양(MGC AnaeroJar & Pack, Mitsubishi gas chemical Co. Inc., Japan)하였다. 배양 후 TSC(Tryptose sulphite cycloserine) Agar(egg yolk첨가)(DIFCO, USA)에 접종한 후, 37°C에서 24시간 배양하여 혼탁한 환의 흰색 의심집락 형성을 확인하였다.

관련 환경변수(유통, 섭취량 등) 조사 및 정리

위해평가를 위해 입력변수로 들어갈 수 있는 온도와 시간 등의 환경요인으로는 생산업소 냉장창고 온도(KFDA, 2011), 유통매장 온도(Choi *et al.*, 2011), 가정에서의 냉장보관 온도(Bahk, 2010b), 그리고 해당 식품류의 유통시간과 판매 및 가정에서의 보관시간 등으로 하였으며, 관련 문헌 및 직접적인 현장조사를 통해 자료를 확보하였다. 햄 및 소시지류의 섭취수준은 2009년 국민건강영양조사(KMHW, 2009)의 결과를 활용하였고, 햄류와 소시지류를 합친 1일 평균 섭취량은 약 36.4 g으로 나타났으며, 1일

섭취자 비율은 13.486%로 조사되었다. 이들 자료는 @RISK (version 5.5, Palisade, USA)의 Fitting 프로그램을 활용하여 통계적으로 가장 적절한 확률분포모델을 추정하였고,

이들 각각에 대한 확률분포모델은 Table 1에 제시한 전체 위해평가모델에 포함하였다.

Table 1. Simulation model and formulas in Excel spreadsheet programmed to estimate the risk of *Cl. perfringens* in ham and sausage products with @RISK

Input parameters	codes	Model and formulas	References
PRODUCTS			
Pathogen Contamination level			
Prevalence	RDmPrCp	=Beta(0+1, 125-0+1)	Monitoring result
Concentration	RDmPrCc	=LN(1-RDmPrCp)/10	Bahk <i>et al.</i> (2007)
Initial contamination Level	RDmPrCL1	=LOG(RDmPrCc)	
DISTRIBUTION			
Storage time	DDuStm1	=Pert(5,72,168)	Expert opinions
Food temperature during storage	DDuSTp1	=Lognorm(2.7372,2.2622)	KFDA (2011)
pH	DDupH	=Pert(5,6,7)	Expert opinions
NaCl(%)	DDuNC	=Pert(0.5,4.0,8.5)	Expert opinions
a_w	DDua _w	=1-(DDuNC*(5.2471+0.12206*DDuNC)/1000)	
Growth/Survival	DDuSGr1	=RDmPrCL1+DDuC1*EXP(-EXP((2.718*DDuGr1/DDuC1)*(DDuLT1-DDuStm1+1)))	Marc <i>et al.</i> (2008)
Lag time	DDuLT1	=IF(DDuGr1=0,0, (LN(1+(DDuGr1/0.01*DDuGR1)))/DDuGr1)	
Growth rate	DDuGr1	=IF(DDuSTp1>12.2,45*((DDuSTp1-12.2)^2)*(1-EXP(0.095*(DDuSTp1-54.47)))*(DDu a _w -0.9755)*(2-DDu a _w -0.9755)*(DDupH-4.76),0)	
C	DDuC1	=1+0.2*DDuSTp1	
RETAIL			
Storage time	DDuStm2	=Pert(2,24,120)	Expert opinions
Food temperature during storage	DDuSTp2	=Logistic(11.5597,1.3693)	Choi <i>et al.</i> , (2011)
Growth/Survival	DDuSGr2	=DDuSGr1+DDuC2*EXP(-EXP((2.718*DDuGr2/DDuC2)*(DDuLT2-DDuStm2+1)))	Marc <i>et al.</i> , (2008)
Lag time	DDuLT2	=IF(DDuGr2=0, 0, (LN(1+(DDuGr2/0.01*DDuGr2)))/DDuGr2)	
Growth rate	DDuGr2	=IF(DDuSTp2>12.2,7.45*((DDuSTp2-12.2)^2)*(1-EXP(0.095*(DDuSTp2-54.47)))*(DDu a _w -0.9755)*(2-DDu a _w -0.9755)*(DDupH-4.76),0)	
C	DDuC2	=1+0.2*DDuSTp2	
HOME Storage			
Storage time	DDsStm3	=Pert(6,12,72)	Expert opinions
Food temperature during storage	DDsSTp3	=Loglogistic(-10.407,13.616,8.6107)	Bahk (2010b)
Growth/Survival	DDuSGr3	=DDuSGr2+DDuC3*EXP(-EXP((2.718*DDuGr3/DDuC3)*(DDuLT3-DDsStm3+1)))	Marc <i>et al.</i> , (2008)
Lag time	DDuLT3	=IF(DDuGr3=0, 0, (LN(1+(DDuGr3/0.01*DDuGr3)))/DDuGr3)	
Growth rate	DDuGr3	=IF(DDsSTp3>12.2,45*((DDsSTp3-12.2)^2)*(1-EXP(0.095*(DDsSTp3-54.47)))*(DDua _w -0.9755)*(2-DDua _w -0.9755)*(DDupH-4.76),0)	
C	DDuC3	=1+0.2*DDsSTp3	
CONSUMING			
Daily consumption average amount	CAa	=Lognorm(37.471,65.048)	KMHW (2009)
Daily consumption pattern (average frequency)	CDf(%)	=13.486	KMHW (2009)
	CDf	=0	
	CDf(0)	=1-CDf(1)	
	CDf(1)	=13.486/100	
	CDf(2)	=Discrete(CDf:CDtn,CDf(0):CDf(1))	
	CDff	=IF(CDf(2)=0,0,CAa)	
DOSE-RESPONSE			
Pathogen Amount	Dpa	=10^DDuSGr3*CDff	
	Dpr	=1.82x10^-11	Golden <i>et al.</i> , (2009)
RISK			
Probability of illness/person/day	Rps	=1-EXP(-Dpr*Dpa)	Golden <i>et al.</i> , (2009)

성장예측모델 및 dose-response 모델

햄 및 소시지류에서의 *Cl. perfringens*의 성장을 추정하기 위한 모델로는 육류 제품에서의 *Cl. perfringens* 성장예측 모델로서 가장 최근의 것인 Marc 등(2008)의 Gompertz 모델을 다음 식과 같이 적용하여 활용하였다.

$$Y = N_0 + C * \exp\{-\exp((2.718 * SGR/C) * (LT - X) + 1)\}$$

즉, Y는 시간에 따른 균수의 성장(Log CFU/g), N₀는 초기균수 (Log CFU/g), C는 균수의 증가량(Log CFU/g)으로 MPD (최대 성장량 maximum population density)에서 초기균수를 빼서 산출하였으며, SGR은 최대 성장율(specific growth rate, Log CFU/g/h)로 식 “ $7.45 * ((Temp - 12.2)^2) * (1 - \exp(0.095 * (Temp - 54.47))) * (a_w - 0.9755) * (2 - a_w - 0.9755) * (pH - 4.76)$ ”를 이용하였으며(Marc *et al.*, 2008), LT는 유도기(lag time, h)로 식 “ $\ln(1 + (SGR/0.01 * SGR)) / SGR$ ”을 이용하였고(Marc *et al.*, 2008), 마지막으로 X는 시간(h)을 나타내는 것이다.

이들 성장예측모델에 있어 입력변수로 pH와 a_w 등이 있으며, *Cl. perfringens*에 대한 육제품에서의 성장 역시 pH와 a_w 또는 NaCl 함량이 중요한 요소로 작용하므로 국내에서 햄 및 소시지류에서의 pH와 a_w 에 대한 문헌 및 현장 전문가 의견을 조사하여 Table 1에서와 같이 확률분포 모델로 전환하여 입력변수로 사용하였다. 한편 *Cl. perfringens*에 대한 dose-response model 역시 문헌에 발표된 것 중 가장 최근의 것인 Golden 등(2009)의 Exponential model ($P = 1 - \exp(-r * N)$, $r = 1.82 \times 10^{-11}$)을 선정하여 활용하였다.

위해평가용 모델 및 시뮬레이션(Simulation)

Frame-work 모델 각각의 단계에서 이용된 수식과 입력 변수는 Excel(Microsoft@ Excel 2000, Microsoft Corp., USA) spreadsheet 프로그램에서 작성하여 Table 1과 같이 모델화 하였으며, 이 모델에 대한 Simulation 구동은 @RISK (version 5.5, Palisade, USA)를 이용하였다. Sampling type은 Median Latin Hypercube sampling을, Generator seed는 random방법을 선택하였고, Iteration(반복시행 횟수) 10,000 이상의 결과를 최종적인 시뮬레이션 결과로 이용하였다. 최종적으로 시뮬레이션 결과에 대한 영향요인 분석 역시 @RISK에 있는 민감도 분석(sensitivity analysis) 기능을 이용 상관계수를 산출하여 작성하였다.

결과 및 고찰

위험특성확인(Hazard identification)

*Cl. perfringens*는 일반적으로 혐기성이며, 영양세포 및 포자형태로 존재하나, 포자는 식품자체에서보다 주로 인체 장내에서 형성되며, 포자형성과정 중에 독소를 분비하여 식중독을 발생시키는 것으로 알려져 있으며, 식중독 증

상을 발생시키기 위한 최소 섭취량은 약 $10^6/g$ 정도로 추정되고 있지만 인체반응이나 식품의 종류 등 여러 요인에 따라 그 양은 변화하거나 다양하게 나타날 수도 있다(Lund *et al.*, 2000b). 생리적 조건으로 12°C 이하에서는 성장이 잘 이루어지지 않는 것으로 알려져 있어, 이 부분은 *Cl. perfringens*의 식품오염에 대한 안전관리 측면에서 중요한 CCP로 적용하고 있어, 본 연구에서도 이 부분을 성장예측모델에 포함하여 활용하였다. 또한 *Cl. perfringens*는 pH 5.0이하와 8.3이상에서는 수일 내에 사멸하며, 6-8% NaCl 수준에서도 성장이 억제되는 것으로 알려져 있다(Blackburn and McClure, 2009).

식육가공품 중 햄류 및 소시지류에서 *Cl. perfringens*에 대한 기준은 국내의 경우 “살균 및 멸균 처리된 제품에는 검출이 되어서는 아니 된다.”라고 규정하고 있지만(KQI, 2011b), ICMSF (International Committee on Microbiological Specifications for Foods), 뉴질랜드, 캐나다 등 일부 외국에서는 정량적으로 Sampling plan의 형태인 $n=5, c=1, m=100, M=1,000$ 등으로 통상 10^2-10^3 CFU/g 이하로 규정하거나 권장하고 있다(KHIDI, 2008).

노출평가(Exposure assessment)

햄 및 소시지류에서의 *Cl. perfringens* 초기오염수준을 결정하기 위하여 직접 분석하였다. 분석결과 총 125개 품목을 수거하여 검사하였으나 최종적으로 모두 음성으로 나타났다. 국내에서 본 연구의 목적에 일치하는 타 연구자의 모니터링 자료를 확보할 수 없어 본 실험결과를 활용하여 초기오염수준을 결정하였다. 양성 결과뿐만 아니라 명확한 정량수준도 제시되지 않아, Bahk(2007)의 방법에서와 같이 본 연구의 분석자료를 바탕으로 확률분포 모델 중 beta분포를 이용하여 오염수준을 추정하였다.

$$QL = -LN(1 - Beta(p + 1, n - p + 1)) / V$$

QL: Quantitative level, LN: Natural logarithms, Beta: Beta distribution, p: the number of positive samples, n: the number of total samples, V: sample volumes

추정결과 햄 및 소시지류에서의 *Cl. perfringens*의 초기 평균오염 수준은 -3.74, 5%에서는 -4.78, 95%에서는 -3.01 Log CFU/g로 추정(Fig. 2)되었다. 초기에 오염된 *Cl. perfringens*가 유통 및 판매단계 등에서 성장할 것으로 가정하였고, 앞에서 제시한 Marc 등(2008)의 성장예측모델을 이용하였다. 성장예측모델에 들어가는 입력변수로는 pH, a_w , (NaCl %), 유통 및 소비단계에서의 온도, 보관 및 판매시간 등이 있다. pH와 NaCl함량은 국내 제품에 대한 조사와 현장전문가의 의견을 들어 pH는 최소 5, 최대 7에 중위수로 6을 설정하여 Pert 분포로 활용하였으며, NaCl 함량 역시 최소 0.5, 최대 8.5에 중위수로 4.0을 설정하여

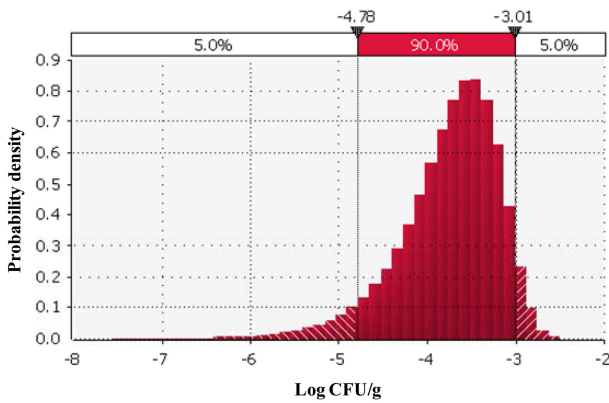


Fig. 2. Probability density for the simulated result of initial contamination level for *Cl. perfringens* in ham and sausage products (mean: -3.74, 5th percentile: -4.78, and 95th percentile: -3.01 Log CFU/g).

역시 Pert 분포로 활용하였다(Table 1). 유통 및 소비단계에서의 온도, 보관 및 판매시간 역시 앞서 제시한 조사자료를 바탕으로 각각에 대해 적절한 확률분포 모델로 전환하여 Table 1에서 보는 바와 같이 적용하여 이용하였다.

앞서 제시한 성장예측모델과 유통 및 소비보관과정중의 온도 및 저장시간을 활용하여 작성된 Table 1의 모델을 이용한 성장가능성에 대한 추정결과는 Fig. 3과 같다. 제조 직후 냉장창고 보관(평균 -3.74 Log CFU/g, 초기오염수준, Fig. 3(A))에서 유통(평균 -3.63 Log CFU/g, Fig. 3(B)) 중에는 약 0.11 Log CFU/g 증가하였고, 판매장(평균 -3.21 Log CFU/g, Fig. 3(C))에서 소비자 섭취전(평균 -3.10 Log CFU/g, Fig. 3(D))까지의 기간에도 약 0.11 Log CFU/g의 차이로 큰 증가는 없었으나, 유통에서부터 판매장까지는 평균적으로 0.42 Log CFU/g 증가하는 것으로 나타났다. 이는 유통매장의 보관온도가 상승하는 것과 판매시간이 증가하여 나타난 현상으로 추정되며, 이러한 오염수준은 가정에서의 보관수준에서는 더 이상의 큰 증가 없이 유사

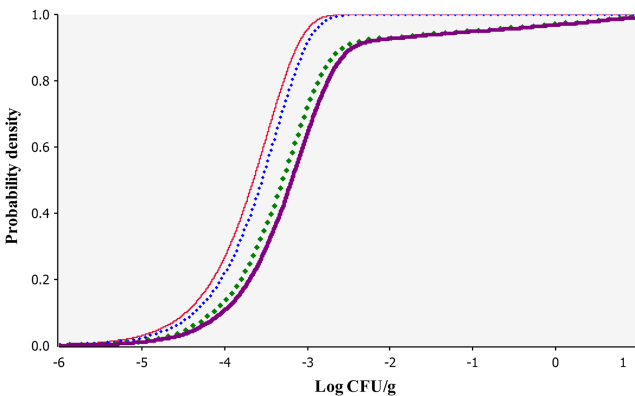


Fig. 3. Cumulative distribution for comparing the increased counts of *Cl. perfringens* in ham and sausage products from initial contamination (thin straight line) to growth at distribution (thin dotted line), retail (thick dotted line), and home (thick straight line).

하게 나타나 가정에서의 성장은 그리 크지 않다고 볼 수 있다. 이러한 관점에서 보았을 때 유통매장에서의 온도와 시간이 중요한 영향인자로 볼 수 있다.

한편 Fig. 4는 초기오염수준과 가정에서의 오염수준 추정치에 대한 Bootstrap 분포도를 나타낸 것이다. 92.6%가 초기오염수준 -3 Log CFU/g(Fig. 4에서의 Y축)와 가정에서 0 Log CFU/g(Fig. 4에서의 X축)에 범위에 분포하고 있지만, 0.2%는 가정에서 0 Log CFU/g 이상수준에서 존재하는 것으로 나타나 초기오염수준에서 낮은 경우(Fig. 4에서의 Y축의 -3 Log CFU/g 이하)는 큰 증가는 없었지만, 초기오염수준에서 높은 경우(Fig. 4에서의 Y축의 -3 Log CFU/g 이상)는 유통상의 조건(온도와 시간)에 따라 큰 증가가 발생하였다. 즉, Fig. 4에서 초기오염수준의 여러 점(하나의 식품)들 중 계속해서 악조건(예를 들면 높은 온도에서의 장시간 보관 등)에 노출된 점(식품)들이 추후 식중독 발생의 주요원인으로 작용할 수 있다고 볼 수 있다.

위험특성결정(Hazard characterization) 및 위해성결정(Risk characterization)

햄 및 소시지류에 오염된 *Cl. perfringens*의 섭취를 통한 건강상의 영향을 결정하는 본 단계에서는 앞의 노출평가에서 결정된 *Cl. perfringens* 오염수준을 바탕으로 햄 및 소시지류의 섭취량과 *Cl. perfringens*의 dose-response model을 이용하였다. 섭취부분은 Table 1에서 보는 바와 같이 섭취량(amount)과 섭취빈도(frequency)를 이용하였으며, 확률분포모델로의 전환을 거쳐 입력값으로 섭취량은 lognormal (37.472, 65.048)과 13.486%의 1일 섭취빈도 자료를 이용하여 Discrete 분포로 $\{0,1\}$ {86.514, 13.386}로 표현하였다(Table 1). 섭취량과 오염수준을 곱한 값을 dose-response model인 Exponential model ($P = 1 - \exp(-r*N)$, $r=1.82 \times 10^{-11}$)의 N값에 대한 입력값으로 하여 위해(risk)수준을 산출하였다. 즉, 국내에서 현재의 유통환경 및 소비

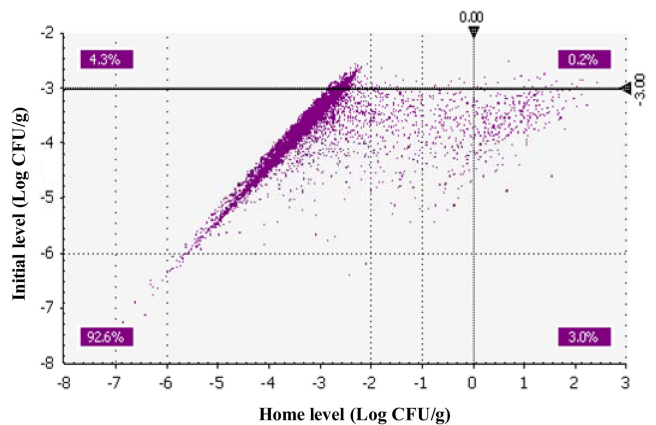


Fig. 4. The bootstrap distribution for the increased counts of *Cl. perfringens* in ham and sausage products from initial contamination level to growth in storage at home.

수준을 바탕으로 햄 및 소시지류를 섭취하였을 때 1일 1인에게서 *Cl. perfringens*에 의한 식중독 발생 확률은 평균 $3.97 \times 10^{-11} \pm 1.80 \times 10^{-9}$ 로 나타났다. Golden 등(2009)은 *Cl. perfringens* 오염수준 1 Log CFU/g 상승에 연간 7,900명 환자가 증가하는 것으로 추정하였고, 2009년 호주에서의 cooked sausages에 있어 Listeriosis에 대한 위해수준 추정 결과 Probability of illness/serving의 평균이 $7.06 \times 10^{-9} \pm 1.11 \times 10^{-9}$ 로 추정하였다(Ross et al., 2009). 물론 연구 목적과 대상식품에 차이가 있어 본 연구의 결과와 직접 비교는 한계가 있을 수 있지만, 본 연구에서 추정된 평균적인 위해수준 10^{-11} 는 낮은 수준으로 볼 수 있다.

한편 국내에서 햄 및 소시지류의 섭취에 따른 *Cl. perfringens*의 위해수준(risk)에 대한 영향요인 분석결과는 Fig. 5와 같다. 가장 큰 영향요인은 섭취빈도이고, 유통온도, 섭취량, a_w 의 순으로 나타났다. 하지만 실제적으로 섭취량과 빈도는 관리대상으로 적용할 수 없는 문제점이 있어, 위해수준을 감소시키기 위한 관리수준으로는 유통온도와 a_w 라 볼 수 있다. 하지만 본 연구에서는 햄 및 소시지류에서의 pH와 a_w 의 경우 국내 제품의 모든 경우의 수를 포함하는 것으로 모델을 설계하였기 때문에 성장에 대한 이들 영향을 모두 포함하고 있고, 특정 pH와 a_w 에 의한 위해수준 추정의 경우는 시나리오 분석으로 충분히 가능하다. 따라서 햄 및 소시지류의 섭취에 따른 *Cl. perfringens*의 위해수준을 감소시키기 위한 우선적인 관리방법은 유통매장에서의 온도관리라고 결론 지을 수 있다.

그 동안 국제적으로 QMRA의 수행에 대한 방법론적으로 많은 발전이 있었지만 아직도 국내에서 더 정확한 위해수준 추정을 위해서는 해결하여야 할 과제들이 있다. 우선 국내 축산식품에서의 모니터링 자료의 부족이다. 본 연구에서는 자료부족에 대한 한계를 극복하기 위하여 직접 분석을 수행하였지만 역시 자료의 양이나 질에 있어서는 여전히 부족하다 할 수 있다. 따라서 국내 식품에 대한 모니터링 자료에 대한 체계적인 정리와 데이터베이스화가 필요하며 특히, QMRA 활용을 위해서는 통일된 실험방법과 이를 표준화할 수 있는 매뉴얼이 개발되어야 할 것이다.

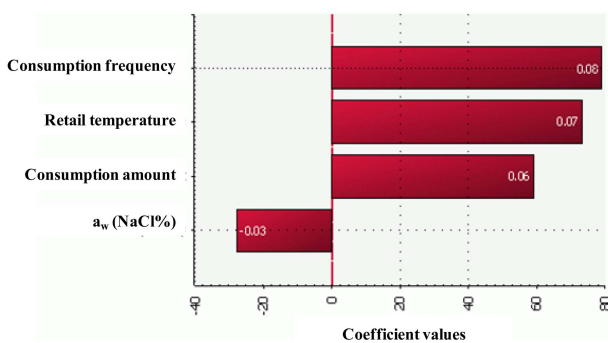


Fig. 5. The correlation coefficient values for sensitivity risk factors affecting the final contamination level of *Cl. perfringens* in ham and sausage products.

본 연구에서 QMRA를 수행하면서 또 한 가지 아쉬운 부분은 국내 축산식품 자체에 대한 성장, 감소 및 생존 등에 대한 예측모델이 없다는 것이다. 다양한 국내 식품의 특성을 반영한 예측모델개발에 대한 지원이 더욱 절실하다. 또한 국내 축산식품 공급체인에 있어 다양한 유통환경과 관련한 자료가 많이 부족한 실정이다. 본 연구는 직접적인 조사와 분석을 수행하였고, 다른 유사 조사자료를 활용하였지만 샘플의 규모 및 크기 측면에 있어서 전국을 대표한다고 할 수는 없다. 따라서 표준화를 통한 자료의 통일성과 전국적 조사자료가 필요한 것으로 보인다. 한편 조리과 관련하여 햄 및 소시지류관련 자료가 전혀 없어 본 연구에서 이 부분을 생략하였으므로 본 연구의 QMRA 결과는 조리가열과정이 생략된 상태에서 모든 햄 및 소시지류 그대로 섭취한다는 가정으로 분석한 것이므로 실제적 식중독 발생가능성은 본 연구에서 추정된 수치보다 더 낮은 위해수준을 나타낼 수도 있을 것이다. 이 부분은 추후 새로운 정보나 자료를 활용해서 보완 수행되어야 할 것이다. 한편으로 소비집단 또는 민감(sensitive)그룹에 따라 위해수준에 대한 결과 또한 다르게 산출될 수 있지만 이 부분에 대해서도 생략하였다. 현재로서는 그룹별 적정 섭취량에 대한 분석은 가능하지만, 이와 관련한 양-반응모델의 부재로 이에 대한 추정은 가까운 미래의 연구에서 지속적으로 추진되어야 할 과제로 판단된다.

요 약

본 연구는 햄 및 소시지류에서의 *Clostridium perfringens*에 대한 정량적 미생물 위해평가(Quantitative microbial risk assessment; QMRA)를 국제기준(Codex)의 원칙과 지침에 따라 수행하였으며, 오염수준에 대한 직접적인 분석결과와 현재의 국내 유통환경, 관련제품의 특성, 섭취량 및 소비행태 등을 반영한 노출평가용 “product-retail-consumption pathway” frame-work 모델을 구성하였고, 이를 바탕으로 엑셀(Excel)기반 노출평가용 시뮬레이션 모델을 개발하여 제시하였다. 개발된 모델을 시뮬레이션 프로그램인 @RISK를 활용하여 위해(risk) 수준을 산출하였으며, 그 결과 국내에서 1일 1인이 햄 및 소시지류의 섭취를 통한 *Cl. perfringens*에 의한 식중독발생 확률은 평균적으로 $3.97 \times 10^{-11} \pm 1.80 \times 10^{-9}$ 로 추정하였다. 또한 본 연구에서 수행한 QMRA결과를 바탕으로 현재수준에서의 한계점과 미래에 더욱 발전된 국내 QMRA 연구 및 활용을 위한 제언을 추가하였다.

감사의 글

본 연구는 농림수산물검역검사본부 수의과학기술개발 용역 연구사업의 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. Bahk G. J. (2010a) Present status and the strategies of application of microbial risk assessment (MRA) on livestock products in Korea. *Kor. J. Vet. Publ. Hlth.* **34**, 1-8.
2. Bahk G. J. (2010b) Statistical probability analysis of storage temperatures of domestic refrigerator as a risk factor of food-borne illness outbreak. *Kor. J. Food Technol.* **42**, 373-376.
3. Bahk, G. J., Todd, E. C. D. Hong, C. H., Oh, D. H., and Ha, S. D. (2007) Exposure assessment for *Bacillus cereus* in ready-to-eat Kimbab selling at stores. *Food Control* **18**, 682-688.
4. Bahk, G. J., Hong, C. H., Oh, D. H., Ha, S. D., Park, K. H., and Todd, E. C. D. (2006) Modeling the level of contamination of *Staphylococcus aureus* in ready-to-eat food Kimbab in Korea. *J. Food Prot.* **69**, 1340-1346.
5. Bemrah, N., Sana, M., Cassin, M. H., Griffiths, M. W., and Cerf, O. (1998) Quantitative risk assessment of human listeriosis from consumption of soft cheese made from raw milk. *Prev. Vet. Med.* **37**, 129-145.
6. Blackburn, C. W. and McClure, P. J. (2009) Foodborne pathogens – hazards, risk analysis and control. 2nd ed, CRC press, Cambridge, pp. 830-835.
7. Cho, J. J., Baek, S. H., Lim, D. G., Pyo, S. I., Lee, W. C. I., and Nam, I. S. (2010) Effects of HACCP system implementation on medicine use and productivity of swine farms in Korea. *Korean J. Food Sci. An.* **30**, 392-396.
8. Choi, M. S., Choi, J. A., Kim, M., and Bahk, G. J. (2011) The comparison of temperatures between display stand and temperature of food surface for cold and frozen foods in wholesale stores in Korea. *J. Food Hyg. Safety* **26**, 283-288.
9. Codex (1998) Draft principles and guidelines for the conduct of microbiological risk assessment. Codex Committee on Food Hygiene. Report of the thirty-first session, Orlando, United States.
10. Golden, N. J., Crouch, E. A., Latmer, H., Kadrt, A. R., and Kaue, J. (2009) Risk assessment for *Clostridium perfringens* in ready-to-eat and partially cooked meat and poultry products. *J. Food Prot.* **72**, 1370-1384.
11. Korea Food and Drug Administration (KFDA). (2011) The study of store management for food warehouse and transport.
12. Korea Health Industry Development Institute (KHIDI). (2008) The report of international microbial specification and standards.
13. Korea Ministry of Health and Welfare (KMHW). (2009) Korea national health and nutrition survey. Available from: <http://knhanes.cdc.go.kr/>. Accessed Jul. 15. 2011.
14. Korea Animal, Plant and Fisheries Quarantine and Inspection Agency (KQIA). (2011a) Standards for livestock products. Available from: http://www.qia.go.kr/livestock/clean/livestock_livestock_food.jsp. Accessed Aug. 4. 2011.
15. Korea Animal, Plant and Fisheries Quarantine and Inspection Agency (KQIA). (2011b) The method, standard and procedures for risk assessment of animal products. Available from: http://www.qia.go.kr/livestock/clean/livestock_livestock_food.jsp. Accessed Sep. 2. 2011.
16. Lund, B. M., Baird-Parker, T. C., and Gould, G. W. (2000a) The microbiological safety and quality of food. Aspen Publishers, Inc., Maryland, pp. 361-383.
17. Lund, B. M., Baird-Parker, T. C., and Gould, G. W. (2000b) The microbiological safety and quality of food. Aspen Publishers, Inc., Maryland, pp. 1110-1127.
18. Marc, Y. L., Plowman, J., Aldus, C. F., Munoz-cuevas, M., Baranyi, J., and Peck, M. W. (2008) Modeling the growth of *Clostridium perfringens* during the cooling of bulk meat. *Int. J. Food Microbiol.* **128**, 41-50.
19. Oh, D. H., Ding, T., Ha S. D., and Bahk, G. J. (2009). The risk estimation of *Listeria monocytogenes* for ready-to-eats fresh cut-vegetables. *J. Food Hyg. Safety* **24**, 50-55.
20. Park, S. Y., Choi, J. W., Chung, D. H., Kim, M. G., Lee, K. H., Kim, K. S., Bahk, G. J., Bae, D. H., Park, S. K., Kim, K. Y., Kim, C. H., and Ha, S. D. (2007) Development of a predictive mathematical model for the growth kinetics of *Listeria monocytogenes* in sesame leaves. *Food Sci. Biotechnol.* **16**, 238-242.
21. Ross, T., Rasmussen S., Fazil, A., Paoli, G., Sumner, J. (2009) Quantitative risk assessment of *Listeria monocytogenes* in ready-to-eat meats in Australia. *Int. J. Food Microbiol.* **131**, 128-137.

(Received 2011.8.4/Revised 1st 2011.12.2, 2nd 2012.2.14, 3rd 2012.2.16/Accepted 2012.2.22)