J. Fd Hyg. Safety
Vol. 24, No. 1, pp. 63~68 (2009)

Journal of Food Hygiene and Safety
Available online at http://www.foodhygiene.or.kr

미생물 위해평가를 위한 포장돈육 가공환경조건에 대한 확률통계학적 분석

오덕환[1] · S. M. E. Rahman[1] · 김재명[1] · 박경진*
군산대학교 식품영양학과, [1]강원대학교 생명공학부 식품생명공학전공

The Statistics Probability Analysis of Pork-Cutting Processing Conditions for Microbial Risk Assessment

Deog-Hwan Oh[1], S. M. E. Rahman[1], Jae-Myeong Kim[1], and Gyung-Jin Bahk*
Department of Food and Nutrition, Kunsan National University, Gunsan, Jeonbuk, 573-701, Korea
[1]Department of Food Science and Biotechnology and Institute of Bioscience and Biotechnology, Kangwon National University, Chunchon, Kangwon, 200-701, Korea
(Received February 9, 2009/Revised March 5, 2009/Accepted March 15, 2009)

ABSTRACT - The statistics probability approach for microbial risk assessment (MRA) has been recognized as an efficient method because this probability approach, which can be presented the diversity, variability, and uncertainty for the environmental factors of food processing, provide better realistic results than point estimate. This study was conducted to determine of probability statistics for the environmental factors of the pork-cutting processing i.e. the processing time, the pork meat temperature, and processing room temperature etc. As the input parameters for the MRA, triangular distribution and normal distribution were selected as an efficient probability distribution model, these distributions were analyzed by the simulation. The simulation results showed the processing time estimated 53 min as mean (5% - 22 min and 95% - 98 min), pork meat temperature estimated 4.83 °C as mean (5% - 2.25 °C and 95% - 7.12 °C, 48.78% exceed 5 °C), and processing room temperature estimated 17 °C as mean (5% - 10.92 °C and 95% - 22.56 °C, 71.178% exceed 15 °C).

Key words: MRA (microbial risk assessment), probability statistics, food processing, pork

최근 식품의 안전성 확보는 원료의 채취, 가공 및 소비자가 구입하여 섭취할 때까지의 각 단계마다 식품내외에 존재하는 위해요소를 정확히 규명해 내어 이들을 바탕으로 한 위해성(Risk)을 과학적, 체계적으로 평가하여 이들의 안전성을 도모하고자 하는 노력으로 진행되고 있다. 이를 위한 과학적 방법론이 위해평가기법이며, 이중 식품관련 병원성미생물에 대한 위해평가가 미생물 위해평가(microbial risk assessment: MRA)이다. MRA는 1995년 미국의 National advisory committee on microbiological criterion food (NACMCF)는 육류 및 가금류에서의 병원성균 발생 예방을 위한 MRA 기술개발의 중요성을 최초로 제기하였고[1]. 이후 Codex에서도 병원성 미생물 등 식품위해인자와 관련한 식품의 기준에 위해성 분석 체계의 도입을 권고했으며[2], 1998년 Codex는 최초로 MRA에 대한 원칙과 지침을 발표하여[3] MRA에 대한 기준을 만들고 현재 계속적으로 수정 보완되고 있는 연구가 진행 중에 있다.

MRA수행의 결과는 불확실성과 변이성이 포함된 위해성 추정(risk estimates)의 형태로 나타낼 수 있으며, 이 불확실성과 변이성에 대한 고찰로 인해 MRA에서는 확률통계학적 개념이 적용되는 것이며, 특히 노출평가 부분에 많이 해당된다고 볼 수 있다[4]. 과거 식품에서의 식중독 원인균 오염수준 평가는 연구대상 범위내의 제한적인 분석자료를 이용하거나 기존의 모니터링 자료에 의존하는 피상적인 평가였다. 따라서 이들 평가결과는 시기와 장소 그리고 분석자 등에 따라서 많은 다양성 또는 변이성과 불확실성을 갖고 있으며, 과거 시점이나 분석 당시의 단편적인 결과만을 나열할 뿐 미래의 발생가능성에 대한 예측에 있어서는 미흡하였다. 따라서 MRA, 특히 노출평가에서는 주위 환경조건에 따라 미생물이 증식 또는 사멸될 수 있는 다양성 또는 변이성과 불확실성이 존재하므로 하나의 값(point estimate)이 아닌 편차를 가진 확률분포모델로서 제시될 필요가 있는 것이다[1]. MRA에서의 노출평가

*Correspondence to: Gyung-Jin Bahk, Department of Food and Nutrition, Kunsan National University 1170-Daehakro, Gunsan, Jeonbuk, 573-701, Korea
Tel: 82-63-469-4640, Fax: 82-63-466-2085
E-mail: bahk@kunsan.ac.kr

는 식중독 원인균의 오염수준을 평가하는데 있어 가장 중요한 단계이며 이와 같은 이유로 MRA의 노출평가에서는 확률적인 접근방법이 도입되기 시작했다[5]. 확률적 접근방법은 식중독 발생에 관련된 많은 위해 미생물의 다양성과 변이성 그리고 불확실성에 대한 분석을 수행하여 point estimate보다 훨씬 더 현실성이 반영된 결과를 제공하므로 좀 더 효과적인 방법으로 인정되고 있다[6].

따라서 본 연구는 국내에서 보다 발전된 MRA수행을 위해서 적정 확률분포모델을 제시할 수 있는 방법의 예로서 많은 변수가 존재하는 복잡한 식품공정보다는 단순한 공정인 포장돈육 가공공정을 대상으로 이들 생산공정에 대한 환경조건을 조사하였고, 이 자료를 바탕으로 추후 MRA 모델에 입력변수로 작용할 수 있는 적정 확률분포모델을 제시하고자 하였다.

재료 및 방법

포장돈육 작업공정 분석

포장돈육 가공장 공정도는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 도축된 돈육은 냉각과 취급상의 편의를 위하여2분도체의 상태로 바로 입고되거나 원거리의 경우 5 °C이하 냉장차량으로 운반되며, 입고된 후에는 돈육 자체의 신선도 유지를 위하여 -4 ~ 0 °C의 상태로 24시간의 보관(예냉)을 거친 후 작업실로 이동하게 된다. 예냉된 원료도체는 먼저 앞다리, 몸통, 뒤다리의3분도체로 절단되고, 발골(뼈빼기), 정형, 포장 등의 공정을 거쳐 최종적으로는 유통형태에 따라 냉장(5 °C이하) 또는 냉동(-18 °C이하)보관 후 출고된다.

포장돈육 가공공정 및 유통환경요인 분석

포장돈육 가공공정에 대한 환경요인을 파악하기 위하여 4개의 가공장을 각각 5회 (6월:1회, 7월:2회, 8월:1회, 9월:1회) 직접방문(2개는 HACCP지정작업장이며, 강원도 철원군, 경기도 안성시, 나머지 2곳은 충북 음성군에 위치)하여 가공시간, 가공실의 온도 및 돈육의 품온 등 가공조건을 측정하였다. 가공 시간은 예냉이 끝난 도체가 가공실에 반입되어 포장될 때까지의 시간을 측정했고, 가공실의 온도는 작업중 가공실에 비치된 온도계로 측정했으며, 돈육의 품온은 도체에 직접 온도계(data logger, Pace Scientific, Inc., Mooresville, NC, USA)를 삽입하여 예냉완료육, 절단 및 발골 공정, 정형 및 포장 공정의 3단계에서 측정하여 최소, 최대 및 중간 값을 조사하였다. 또한 포장 돈육에 대한 유통 중 환경요인을 파악하기 위하여 서울의 강남, 강북, 강동 지역의 재래시장, 전문매장, 백화점을 2곳씩 선정(총 18곳)하여 유통기간, 보관온도 등을 조사하였다(총 측정 시료수는 186개). 유통기간은 직접 청취를 통하여 최소, 최대 및 중간 값을 조사하였고, 보관온도는 냉장육의 온도를 직접 측정하였다.

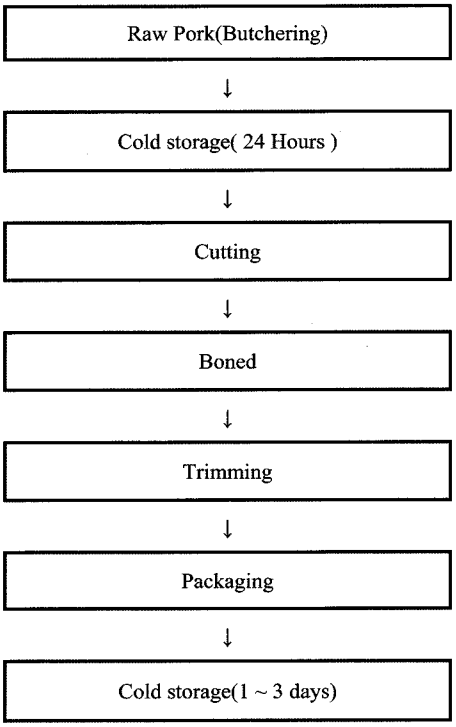

Fig. 1. Flow diagram of the processing procedure for pork meat.

확률분포 모델의 선정

포장돈육 가공장에 대한 조사자료를 바탕으로 본 연구에서 사용된 확률분포 모델은 Vose[7]의 이론을 기본적으로 적용하였으며, 조사결과에 따라 조건별 혹은 특성에 따라 변형하여 다음과 같은 확률분포 모델을 이용하였다.

삼항분포(Triangular distribution)

Triangular 분포는 범위 (a에서 c까지의)와 범위 내의 most likely value(또는 mode,(b))가 추정될 수 있는 경우에 사용되는 분포로 format은 Triang (minimum, most likely, maximum)이다. 본 연구에서는 가공실의 온도, 가공 시간, 유통 기간 등을 추정하기 위하여 이용하였다.

정규분포(Normal distribution)

정규 분포는 평균 (μ)과 표준편차 (σ)를 구할 수 있는 자료의 범위내에서 사용되었으며 format는 Normal (μ,σ)이다. 본 연구에서는 유통중 보관된 돈육의 온도를 추정하기 위하여 이용하였다.

시뮬레이션(Simulation)

확률적 접근방법에 가장 특징적인 것 중에 하나가 시뮬레이션이 포함된다는 것이다. 본 연구에서는 조사된 자료의 특성에 맞추어 선정된 확률분포 모델에 대하여 @RISK (version 4.5, Palisade, Newfield, NY)를 이용하여 시뮬레이션을 실시하였다. Sampling type은 Median Latin

Table 1. Temperature change at pork-cutting processing and environment

	Min.	Mode	Max.
Processing time(min)	15	25	120
Pork meat temperature(°C)	1.0	5.4	8.1
Processing room temperature(°C)	8	18	25

Table 2. Temperature change during distribution of pork meat in markets

	Min.	Mode /Mean	Max.	S.D.
Distribution time (day)	1	3	7	-
Pork meat temperature(°C) of distribution	-	6.26	-	3.24

Hypercube sampling을, Generator seed는 random방법을 선택하였고, Iterations(반복시행 횟수) 10,000 이상의 결과를 최종적인 시뮬레이션 결과로 이용하였다.

결과 및 고찰

포장돈육 가공공정 및 유통환경요인 분석

포장돈육 가공공정의 환경요인에 대한 조사 결과는 Table 1에 나타내었다. 가공시간은 짧은 경우에는 15분, 보통 25분 정도 소요되나 일부 도체의 경우 2시간 까지 소요되는 것(작업실에서 방치)도 있었으며, 도체의 온도는 낮은 경우는 1.0 °C, 중위수준은 5.4 °C 이였으나 8.1 °C에 이른 경우도 있었으며, 작업장 온도의 최저 8 °C, 중위수준은 18 °C 이였으나 최고로 높은 경우는 25 °C까지 도달했다. Fig. 2는 HACCP 적용 작업장과 비적용 작업장간의 가공 중 온도변화를 data logger로 측정한 결과로 적용 작업장의 경우 도체의 온도는 5 °C 이하이며 가공실 온도도 작업이 진행됨에 따라 높아지기는 했지만 HACCP 기준 온도인 15 °C 이하를 유지했으나, 비적용 작업장의 경우는 도체의 표면온도가 5 °C를 초과했으며 가공실 온도도 작업이 진행됨에 따라 높아져 20 °C를 넘어, HACCP 비적용작업장이 적용작업장보다 온도 관리에 문제가 있는 것으로 조사되었다. 유통중의 환경요인 조사결과는 Table 2과 같으며 유통기간은 최소 1일, 보통 3일, 최대 7일이었으며, 유통되고 있는 돈육의 온도는 평균 6.26 °C, 표준편차 3.24 °C로 조사되었다.

확률분포 모델을 통한 분석

MRA에서 확률적 접근방법을 이용하는 것은 조사된 자료의 불확실성 때문이다. 실제적인 연구대상인 모든 돈육 포장공정에 대한 전수조사를 실시하는 것은 시간 및 경제적으로 커다란 문제라 볼 수 있다. 따라서 확률적 접근 방법을 통해 일부 조사된 자료를 바탕으로 MRA에서는 전체를 추정할 수 있는 방법이 도입되고 있다[6].

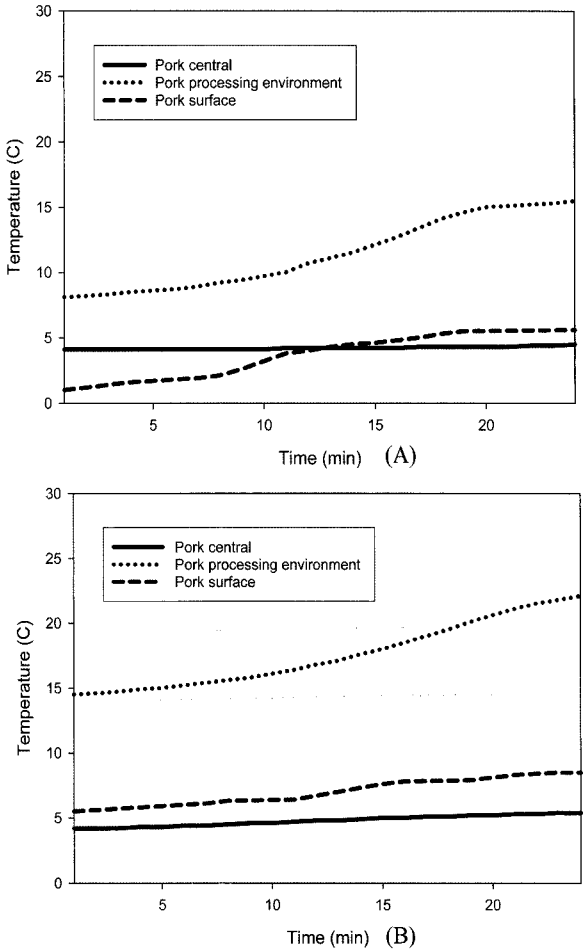

Fig. 2. Change in temperature at HACCP implemented (A) and HACCP non-implemented (B) pork-cutting processing.

조사된 자료를 바탕으로 확률분포 모델을 적용하여 분석한 결과는 Fig. 3과 같다. 작업시간의 경우(Fig. 3(A))는 평균 53분으로 극단적인 값을 제외한 5% percentile에서의 시간은 22분이고, 95% percentile에서는 약 98분 정도로 추정되었다. 비록 작업시간에 대한 위생적 측면에서의 관리기준은 없어 정확한 평가를 내리기는 어려움이 있지만 되도록 유해미생물의 성장을 억제하기 위해서는 빠른 시간 내에 작업이 진행되는 것이 바람 직 하다고 볼 수 있다. 돈육 표면온도의 경우(Fig. 3(B))는 평균 4.83 °C이고, 5% percentile에서는 2.25 °C이고, 95% percentile에서는 7.12 °C 정도로 추정되었으며, 축산물 HACCP관련 규정[8,9]에 따르면 돈육의 온도는 -2 ~ 5 °C로 유지하게 되어있는데, 비록 작업공정에서의 온도이기는 하지만 추정결과를 보면 48.78%가 이 규정을 벗어나고 있다고 볼 수 있다. 작업실 온도의 경우(Fig. 3(C))는 평균 17 °C, 5% percentile

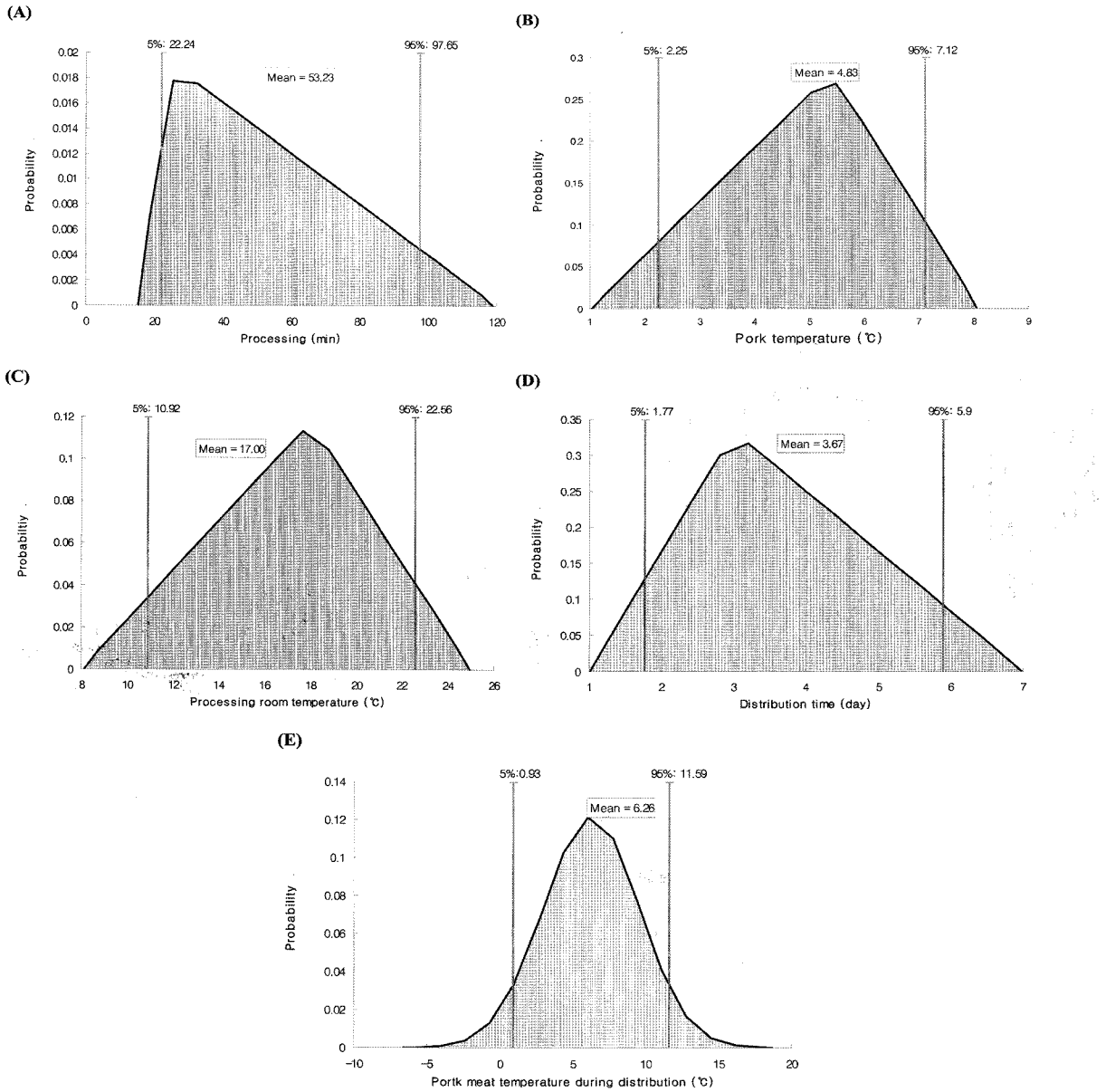

Fig. 3. The estimation of probability distributions for survey data of pork-cutting processing and market conditions: (A) processing time (min), (B) pork meat temperature (°C), (C) processing room temperature (°C), (D) market distribution time (day) and (E) pork meat temperature during distribution.

에서는 10.92 °C이고, 95% percentile에서는 22.56 °C 정도로 추정되었으며, 이 역시 축산물 HACCP관련 규정[8,9]에 따르면 작업실의 온도는 15 °C이하로 유지하게 되어있지만 추정결과를 보면 71.17%가 이 규정을 벗어나고 있다고 볼 수 있다. 냉장돈육에 대한 유통기간에 대한 추정(Fig. 3(D))에서는 평균 3.67일, 5% percentile에서는 1.77일이고, 95% percentile에서는 5.9일로 추정되었으며, 냉장돈육에 대한 유통기간 중 돈육의 온도에 대한 추정(Fig. 3(E))에서는 평균 6.26 °C, 5% percentile에서는 0.93 °C이고, 95% percentile에서는 11.59 °C 정도로 유통 권장 온도인 5 °C이상일 가능성이 65.13%로 추정되었다. 이와 같은 결과는 작업공정에서의 돈육 온도보다 유통중의 돈육온도가 훨씬 더 위생관리 기준을 벗어나는 것으로 추정할 수 있다.

MRA에서 확률분포 모델 활용

효과적인 식품안전관리 정책을 수립하기 위해서는 과거의 자료로부터 경향 분석을 통하여 미래의 발생가능성을 예측하고 이를 현재의 식품관리정책에 반영하여야 한다[10]. 따라서 미래의 발생경향을 예측하기 위해서는 수학적인 확률방법이 적용되고 있으며, 현재 기존의 자료분석과 이를 통한 예측방법의 하나로 MRA방법이 개발, 적용되고

있는 것이다[11].

식품내 병원성미생물의 오염상태는 그 미생물, 원재료, 제조조건, 보존조건 등 수많은 요인의 영향을 받는다. 또 섭취도 문화, 가격, 연령, 기호, 지역 등에 따라 다르다. 또한 식품내 미생물의 성장도 가공조건, 원재료의 배합율, 공정관리의 수준, 가공, 포장, 유통, 저장방법 그리고 소비시 조리 온도에 따라서도 다를 수 있다. 이와 같은 사실로 미루어 위해평가에 있어서 병원성미생물 및 식품에는 변이성(variability)이 있다는 것을 고려해야 한다. 변이성이란 하나의 집단에 대한 어떤 매개변수가 하나의 값 (평균)으로서가 아니라, 어떤 편차를 가진 분포로서 제시되는 것을 말한다. 이 변이라는 요인을 고려하지 않고 간단히 평균값 혹은 중앙값만으로 위해를 고려한다면, 어떤 제조공정의 안전성을 해석할 경우에 중대한 착오를 범할 가능성이 있다[1]. 예를 들어 두 공정이 같은 평균치를 나타낼 경우, 변이 가 큰 공정쪽이 보다 큰 위해성을 나타낸다. 그것은 그 공정이 병원성미생물의 출현빈도 또는 농도가 높은 제품을 만들 가능성이 보다 높다는 것을 의미한다. 수많은 단계로 구성된 식품제조공정 및 판매시스템에 존재하는 변이성을 취급하는 것은 어렵지만 노출평가 방법을 개발하기 위해서는 대단히 중요하며 이 요소를 해결할 수 있는 독특한 수법이 요구된다.

미생물학적 노출평가에 있어 또 하나 고려하여야 할 사항이 불확실성(uncertainty)이다[10]. 이는 노출평가에 이용되는 자료의 출처가 너무 다양하기 때문에 발생한다. 따라서 구입한 자료에 대한 시료채취 방법, 검사방법의 민감도, 특이도 등을 고려하여야 하고 이러한 제반 사항이 위해평가 결과에 어떻게 영향을 미치는지를 밝혀야 한다[12].

위에서 언급된 변이성과 불확실성에 대한 문제는 최근에는 뛰어난 컴퓨터 소프트웨어가 개발되어 확률적 분석기술을 이용하는 방법으로 해결이 가능하며, 대표적인 것이 몬테카를로(Monte-Carlo) 시뮬레이션이다. 이 시뮬레이션은 상황변화 대한 하나의 모의실험방법으로서, 어떤 현상 (제조공정)에 관련된 변수 (제조시간, 온도, pH, Aw 등) 간의 관계를 이용 가능한 수학적 모델로 표현한 후, 현실을 재현하거나 미래를 예측하는 방법으로서 즉, 산술적 계산이 아닌 확률적 분포에 대한 계산이라 할 수 있다[13].

본 연구에서 같은 분석 결과는 비록 일부 조사자료를 바탕으로 하였지만 전체를 정량적으로 추정할 수 있는 방법론으로 활용가능하며, 특히 특정 규정에서 벗어나는 범위에 대한 추정까지 가능 할 수 있다. 이런 조사된 결과를 바탕으로 한 MRA의 수행에 있어 특히, 노출평가에서 입력변수로 직접 활용할 수 있을 것이며, 국내에서 MRA 발전을 위해서는 본 연구에서와 같은 기초 환경자료에 대한 분석이 필요하며, 조사된 자료를 바탕으로 확률통계적 접근 방법론에 대한 연구가 반드시 수행되어야 할 것이다.

요 약

미생물 위해평가(Microbial risk assessment: MRA)에서 확률통계적 접근방법은 식중독 발생에 관련된 많은 위해미생물의 특성과 생산공정 관련 환경요인에 대한 다양성과 변이성 그리고 불확실성에 대한 분석을 수행하여 point estimate보다 훨씬 더 현실성이 반영된 결과를 제공하므로 좀 더 효과적인 방법으로 인정되고 있다. 본 연구에서는 국내에서 보다 발전된 MRA수행을 위해서 적정 확률분포모델을 제시할 수 있는 방법의 예로서 포장돈육 가공공정을 대상으로 작업시간, 돈육의 온도, 작업실 온도 등을 조사하였다. 조사된 자료를 바탕으로 MRA 모델에서 입력변수로 작용할 수 있는 적정 확률분포모델로 삼항분포와 정규분포모델을 선정하였고, 시뮬레이션을 통해 이들 환경조건에 대한 분포를 추정하였다. 작업시간의 경우는 평균 53분(5%; 22분, 95%; 98분)으로 추정되었다. 돈육 표면온도의 경우는 평균 4.83 ℃(5%; 2.25 ℃, 95%; 7.12 ℃)로, 48.78%가 축산물 HACCP규정인 5 ℃를 초과하는 것으로 추정되었고, 작업실 온도의 경우는 평균 17 ℃(5%; 10.92 ℃, 95%; 22.56 ℃)로, 이 역시 71.17%가 축산물 HACCP관련 규정인 15 ℃를 초과하는 것으로 추정되었다.

참고문헌

1. Buchanan, R.L.: National Advisory Committee on Microbiological Criteria for foods "principles of risk assessment for illnesses caused by foodborne biological agents". *J. Food Prot.*, **60**, 1417-1419 (1997).
2. FAO/WHO: Application of risk analysis to food standards issues. Report of the Joint FAO/WHO Expert Consultation, March 13-17, Geneva. Switzerland (1995).
3. Codex: 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 (1998).
4. FAO/WHO: Risk Assessment of Microbiological Risk Assessment. Report of the Joint FAO/WHO Expert Consultation. March 15-19. Geneva. Switzerland (1999).
5. Sheen, P. J.: Use of probabilistic exposure assessment methods in ecological risk assessment for CERCLA and RCRA sites, Society for Risk Analysis, Annual meeting, http://www.riskworld.com (1994).
6. Lammerding, A.M., McNab, W.B., Irwin. R., Muckle, C.A.: Risk assessment strategies for microbial food safety in Canada, Society for Risk Analysis, Annual meeting, http://www.riskworld.com (1994).
7. Vose, D.: Risk analysis: a quantitative guide. (2nd eds), John Wiley & Sons Ltd., New York, NY, USA. pp. 99-143 (2001).
8. National Veterinary Research & Quarantine Service (NVRQS) : Sanitary control for livestock products - HACCP in Korea. Available from: http://www.nvrqs.go.kr/Main_Index.asp (2009).

9. Korea Livestock Products HACCP Management Institute: HACCP manuals for livestock products in Korea. Available from: http://www.ihaccp.or.kr/renew/user/notice_man/list.asp (2009).
10. Notermans, S., Teunis, P.: Quantitative risk analysis and the production of microbiologically safe food: an introduction. *Int. J. Food Microbiol.*, **30**, 3-7 (1996).
11. Lammerding, A.M.: An overview of microbial food safety risk assessment. *J. Food Prot*, **60**, 1420-1425 (1997).
12. Lammerding, A.M., Fazil, A.: Hazard identification and exposure assessment for microbial food safety risk assessment. *Int. J. Food Microbiol.*, **58**, 147-157 (2000).
13. Vose, D.J.: The application of quantitative risk assessment to microbial food safety. *J. Food Prot.*, **61**, 640-648 (1998).