pISSN 1229-1153 *J. Fd Hyg. Safety*
Vol. 28, No. 1, pp. 36~40 (2013)

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

# 미생물학적 식품안전을 위한 기후변화 영향 식품 및 식중독 세균 우선순위 결정

**박경진* · 하상도[1] · 오덕환[2]**
군산대학교 식품영양학과, [1]중앙대학교 식품공학과, [2]강원대학교 생명공학부 식품생명공학전공

# Ranking Determination of Foods and Foodborne Pathogens for Impact of Climate Change on Microbiological Food Safety

Gyung Jin Bahk*, Sang Do Ha[1], and Deog Hwan Oh[2]
*Department of Food and Nutrition, Kunsan National University, Gunsan, Jeonbuk 573-701, Korea*
*[1]Department of Food Science and Technology, Chung-Ang University, Ansung, Gyungii 456-756, Korea*
*[2]Department of Food Science and Biotechnology, Kangwon National University, Chunchon, Kangwon 200-701, Korea*
(Received August 30, 2011/Revised November 11, 2012/Accepted January 27, 2013)

**ABSTRACT** - This study was performed to determine the ranking foods and related foodborne pathogens for the impact of climate change, e.g., increasing temperature, on microbiological food safety. To do this, we developed an impact-ranking model comprising an Excel spreadsheet by using Risk Ranger. Because of a lack of data, input values in this model were determined on the basis of an expert's opinion. These values also were converted to normal distribution, and the developed model was simulated using @RISK. In conclusion, the 5 superior ranking foods and related foodborne pathogens for climate change impact were as follows: ready-to-eat foods (RTE) (*Staphylococcus aureus*, *Salmonella* spp., and *Escherichia coli* O157:H7); bread and rice cakes (*S. aureus* and *Bacillus cereus*); meat and egg products (*Salmonella* spp., *E. coli* O157:H7, and *S. aureus*); tofu (bean curds) and jellies (*B. cereus*, *E. coli* O157:H7, and *S. aureus*); and fish products (*S. aureus*, *Vibrio* spp., and *E. coli* O157:H7).

**Key words:** climate change, impact, ranking, model, foodborne disease

지구 온난화 등 지역의 기후변화에 따른 식품안전상의 문제는 온도 변화에 가장 민감한 식중독 원인균의 식품 내 발생 및 오염수준 증가로 식중독 발생이 증가할 것으로 보여, 기후변화와 관련 식중독 발생양상이 급격히 변화할 것으로 예상되고 있다[1)]. 따라서, 식품안전과 관련한 기후변화 문제에 대한 관심이 증대되어야 하고, 기후변화와 식중독 사고 발생과의 상관관계를 과학적 근거를 바탕으로 접근하고 해석하고자 하는 노력이 시행되어야 할 것이다.

기후변화에 민감한 미생물학적 위해요소에 대한 최신의 식품안전관리기법으로 MRA (Microbial Risk Assessment: 미생물 위해평가)가 제시되고 있는데[2)], MRA는 어떤 특정 식중독 원인균에 의해 오염된 식품을 섭취하는 경우, 그 원인균에 의한 감염이 일어날 가능성, 즉 위해성(risk)을 과학적, 정량적으로 평가하는 과정으로 볼 수 있다[3)]. 따라서 현재 MRA는 수학적 모델의 접목으로 여러 식품 위해인자에 대한 오염수준을 가장 현실적으로 그리고 가장 과학적으로 평가 및 예측할 수 있는 분야로 대두되고 있어, 기후변화 대비 여러 식품 위해인자에 대한 관리에 있어 절대적으로 필요한 평가기술로 인정되고 있다[2,3)]. 결론적으로 MRA는 식품의 원재료에서 제조, 유통, 보관, 판매, 소비까지의 전 과정에서 여러 식품 위해인자의 변화를 예측하여 분석 및 평가함으로써 이들 여러 식품 위해인자를 효과적으로 제어하고자 하는데 목적이 있는 것으로, 이는 기후변화에 따른 다양한 식품제조 환경의 변화에 MRA가 충분히 활용 가능성이 있음을 나타내는 것이다.

하지만 아직까지는 기후변화와 관련하여 과학적 근거 및 경험적, 실험적 자료를 바탕으로 정량화한 자료나 분석이 많이 이루지지 못한 실정이다. 따라서 우선적으로는 우리나라 기후변화에 대비하여 어떤 식품이 보다 민감하고 이 식품류에서는 어떤 식중독 세균이 중요한 의미를 가지고 있는지를 파악하여야 할 것이다. 하지만 기후변화 전문성과 식품안전관련 지식을 모두 가지고 있는 전문가가 아직

*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

까지는 국내에 부족하고, 이러한 전문가의 양성에는 당분간은 어느정도의 시간이 소요될 것으로 예상된다. 하지만 기후변화는 일상적으로 발생하고 있으며, 이에 대한 식품안전측면에서의 대책은 하루빨리 마련되어야 할 것이다.

따라서 본 연구에서는 기후변화와 관련 기후변화에 민감하여 미생물학적 식품안전상의 영향을 쉽게 받을 수 있을 것으로 추정될 수 있는 식품과 이 식품과 관련한 식중독세균을 결정하는데 활용될 수 있는 MRA 기법을 활용한 모델을 개발하였으며, 이 모델은 전문가 설문을 통해 입력값을 결정하고, 최종적으로 시뮬레이션을 통해 실제 국내 식품중 기후변화에 대한 민감한 상위 5개 식품과 이들 식품과 관련된 주요 식중독 원인균을 결정하였다.

## 연구내용 및 방법

### 모델 구성

기후변화에 영향을 받을 수 있는 식품 및 관련 식중독 세균의 결정에 대한 체계적이고 과학적인 근거를 제공하기 위한 기본모델은 정성적 위해평가 기법(MRA)을 적용한 Ross 등[4]의 Risk Ranger모델을 기초로 본 연구의 목적에 맞게 변형하여 개발하였다(Fig. 1). Fig. 1에서 보는 바와 같이 모델은 기후변화에 따른 원료에서부터 최종소비시점까지 위해요소의 발생가능성 및 심각성(severity)을 바탕으로 상대적 영향수준(comparative impact)을 추정하였고, 이는 해당식품과 관련 식중독 세균별의 영향점수(impact scoring)를 산출할 수 있는 Microsoft Excel spreadsheet상의 Impact Ranking Model이라 할 수 있다. 기후변화 상황에는 연평균기온의 상승, 이상고온 (폭염의 지속), 갑작스러운 기온상승 등 온도의 변화를 기본으로 하였고, 세부 모델은 크게 2개의 핵심변수와 3개의 주변변수로 이루어져 있으며, 핵심 변수에는 식품별 기후변화 민감 수준과 식중독 세균별 기후변화 민감 수준을 입력부분으로 구성되어 있으며, 주변변수에는 후보 식품별 식중독 세균 오염수준 (원료, 제조공정, 완제품, 유통 및 보관, 소비단계에서의 오염 및 증가 또는 감소수준), 후보 식중독 세균에 대한 심각성 수준과 후보 식품에 대한 소비행태 (섭취방법: 가열조리 여부, 보관기간의 정도 등, 현재의 섭취량: serving/1인 등)를 입력부분으로 구성 하였다.

### 전문가 설문조사

설문조사의 대상이 되는 전문가는 미생물학적 식품안전 전문가중 기후변화에 관심이 있는 23명을 선정하였다. 설문지 구성은 Fig. 1 의 모델 구성과 같은 항목으로, 핵심변수로 식품군 및 유형은 “해당 기후변화 상황”에서 가장 많은 영향을 받을 것으로 생각되는 식품군 또는 유형을 순위대로 5종을 선정하도록 하였으며, 대상식품은 원료성 식품을 제외한 소비자가 바로 섭취할 수 있는 식품공전에 수록된 가공식품으로만 한정하였는데, 이는 기후변화에 대한 영향으로 가공식품에 한정한 연구목적에 따른 것이다. 또 다른 핵심변수인 식중독 세균 역시 앞서 선정된 5개 해당식품에서 가장 많이 오염될 수 있거나 오염수준이 증가할 것으로 생각되는 세균을 순위대로 5종을 선정하도록 하였다. 주변변수로 식중독 세균 오염 등의 수준은 핵심변수에서 선정된 5종 식품과 이와 관련된 5종 식중독 세

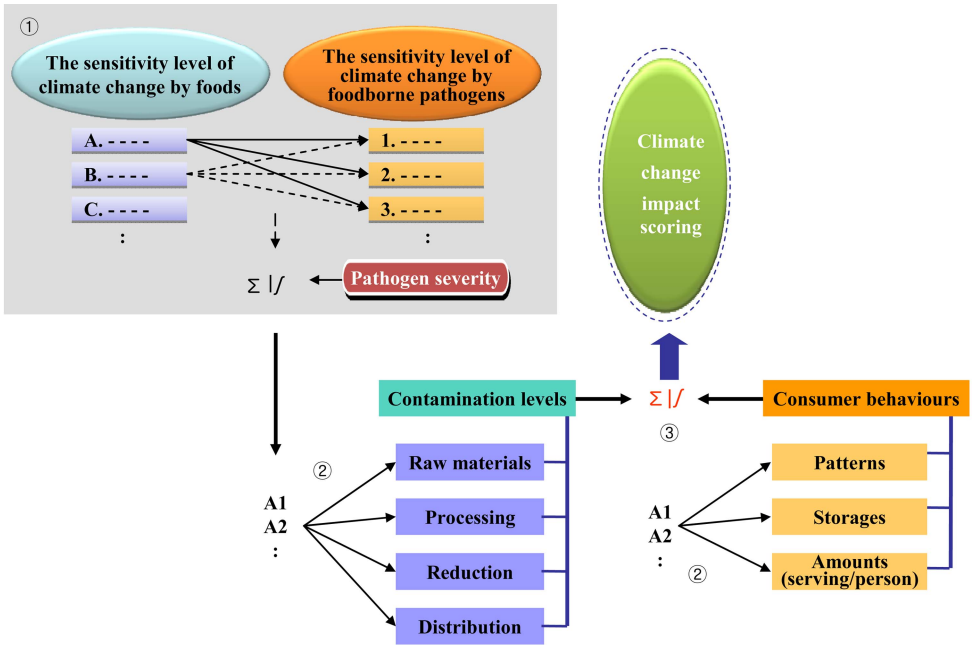


**Fig. 1.** The basic conception model for determining of the impact by climate change (e.g. increasing temperature) on microbiological food safety.

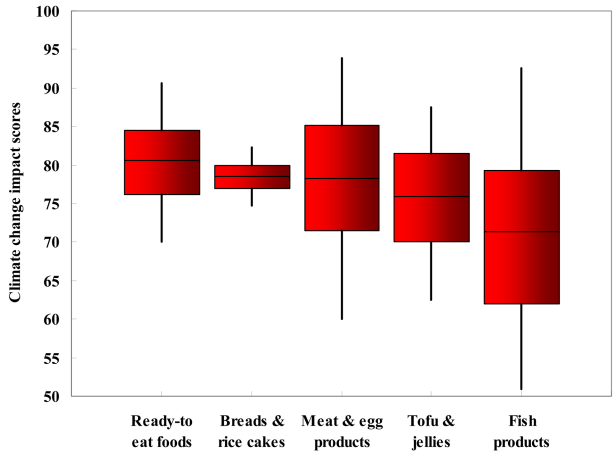


**Fig. 2.** The distribution of scores for foods on climate change impact (e.g. increasing temperature) determined by the developed simulation model (95%, 75%, mean, 25%, and 5%).

균을 바탕으로 7가지의 세부항목(Fig. 2 에서 ②) 각각에 대해서 그 수준을 5점 척도로 표시하게 하였다. 또한 전문가의 설문답변에 도움을 줄 수 있도록 식품공전상의 식품유형과 개별 식품별 국민건강영양조사[5]의 섭취량, 세균별 심각성 등 관련 참고자료를 함께 제공하였다.

### 시뮬레이션 및 순위산정

설문조사에 따른 개별 전문가별 답변을 앞서 제시한 Microsoft Excel spreadsheet상의Impact Ranking Model에 입력하였으며, 박[6]의 모델을 활용하여 기후변화 영향에 대상 식품별 원료, 제조, 유통/보관, 소비단계에서의 오염수준은 "= MIN(1,(MAX(원료*제조,제품)*(유통 + 보관)*조리)), range = 0.0~1.0"으로 하였고, 해당식품군에서의 세부 식품별 섭취량과 관련 식중독세균의 심각성 수준을 고려하여 최종적으로 상대적 Impact 점수(Y)는 "ROUND(IF(Y<= 2.75 × 10-18,0, ((100/ 17.56) × (17.56+LOG(Y)))),0), range = 1~100"와 같이 산출하였다. 이들 산출된 개별 전문가에 따른 Y값은 다양성(variability)과 불확실성(uncertainty)를 반영하기 위하여 전체적으로 확률분포모델인 Normal분포로 전환하였다. 최종적으로 이 확률분포모델을 시뮬레이션에 활용하였으며, 시뮬레이션은 @RISK 5.5 (Palisade, USA)을 이용하였고, Iteration은 50,000, Sampling 방법은 Latin Hypercube로 설정하여 수행하였다. 이 시뮬레이션 결과를 바탕으로 기후변화에 따른 주요 식품과 주요 식중독 세균에 대한 상대적 영향 순위(impact ranking)를 결정하였다.

## 결과 및 고찰

전문가들에 대한 조사로부터 최종적으로 제시된 대표적인 기후변화 영향식품은 총 10종류의 식품이 제시되었으며, 이는 식육 또는 알가공품, 어육가공품, 즉석섭취식품류, 장류, 두부 또는 묵류, 빵 또는 떡류, 냉동식품, 특수용도식품, 면류, 음료류였으며, 시뮬레이션 결과 최종적으로 국내에서 기후변화에 따른 영향이 가장 큰 식품으로 제시된 5종 식품은 Fig. 2와 Table 1에 제시한 바와 같다. 하지만 이들 제시한 식품은 식품공전상의 식품유형으로 Table 1에 제시된 개별식품 이외의 경우에는 동일 식품유형이라도 기후변화와 관련 다른 특성을 가질 수도 있다. 즉, 본 연구의 결과는 전문가 설문조사시 제시한 식품유형 및 해당식품에만 한정한 것으로 볼 수 있다. 한편 Fig. 2에는 상위 5종 개별 식품별 기후변화 영향점수를 나타내었으며, 즉석섭취식품류가 81.3 ± 6.5로 가장 높은 점수를 나타났으며, 다음으로는 떡류 및 빵류로 평균점수는 78.3 ± 2.3이였고, 식육 및 알가공품은 77.9 ± 9.7, 두부류 또는 묵류는 75.9 ± 8.1, 마지막으로 70.6 ± 12.8의 어육가공품의 순으로 나타났다. 시뮬레이션으로 추정된 평균 외에 표준편차 및 95% 신뢰구간의 폭이 클수록 전문가간의 의견의 차이가 큰 것으로 볼 수 있는데, 어육가공품이 여기에 해당된다고 볼 수 있으며, 반면에 떡류 및 빵류의 경우는 가장 낮은 분포를 나타내어 의견의 일치 정도가 크다고 볼 수 있다.

선정된5종의 각 식품별 관련된 우선순위 식중독 세균의 경우(Fig. 3)에 있어 즉석섭취식품류에서는 황색포도상구균, 살모넬라, 병원성대장균 O157:H7의 순으로 나타났으며, 빵류 및 떡류에서도 역시 황색포도상구균이 가장 영향 받는 식중독 세균으로 나타났지만 바실러스외에 다른 식중독세균은 제시되지 않았다. 식육 및 알가공품에서는 살모넬라, 병원성대장균 O157:H7, 황색포도상구균, 두부 및 묵류에서는 바실러스 세레우스, 병원성대장균 O157:H7, 황색포도상구균으로 나타났으며, 마지막으로 어육가공품에서는 황색포도상구균, 비브리오, 병원성대장균 O157:H7 순으로 영향 받을 것으로 결정되었다. 제시된 여러 식중

**Table 1.** The 5 superior ranking foods and related foodborne pathogens for climate change impact (e.g. increasing temperature) estimated by Impact Ranking Model in Fig. 1

| Ranking | The estimated foods impacting of climate change | Related foodborne pathogens |
|---|---|---|
| 1 | Ready-to eat foods (kimbop, hamburg, fresh vegetables etc) | *S. aureus*<br>*Salmonella sp.*<br>*E. coli O157:H7* |
| 2 | Breads & rice cakes | *S. aureus*<br>*B. cereus* |
| 3 | Meat & egg products (ham & sausages, dried meats etc) | *Salmonella sp.*<br>*E. coli O157:H7*<br>*S. aureus* |
| 4 | Tofu (bean curds) & jellies | *B. cereus*<br>*E. coli O157:H7*<br>*S. aureus* |
| 5 | Fish products (fish pastes) | *S. aureus*<br>*Vibrio sp.*<br>*E. coli O157:H7* |

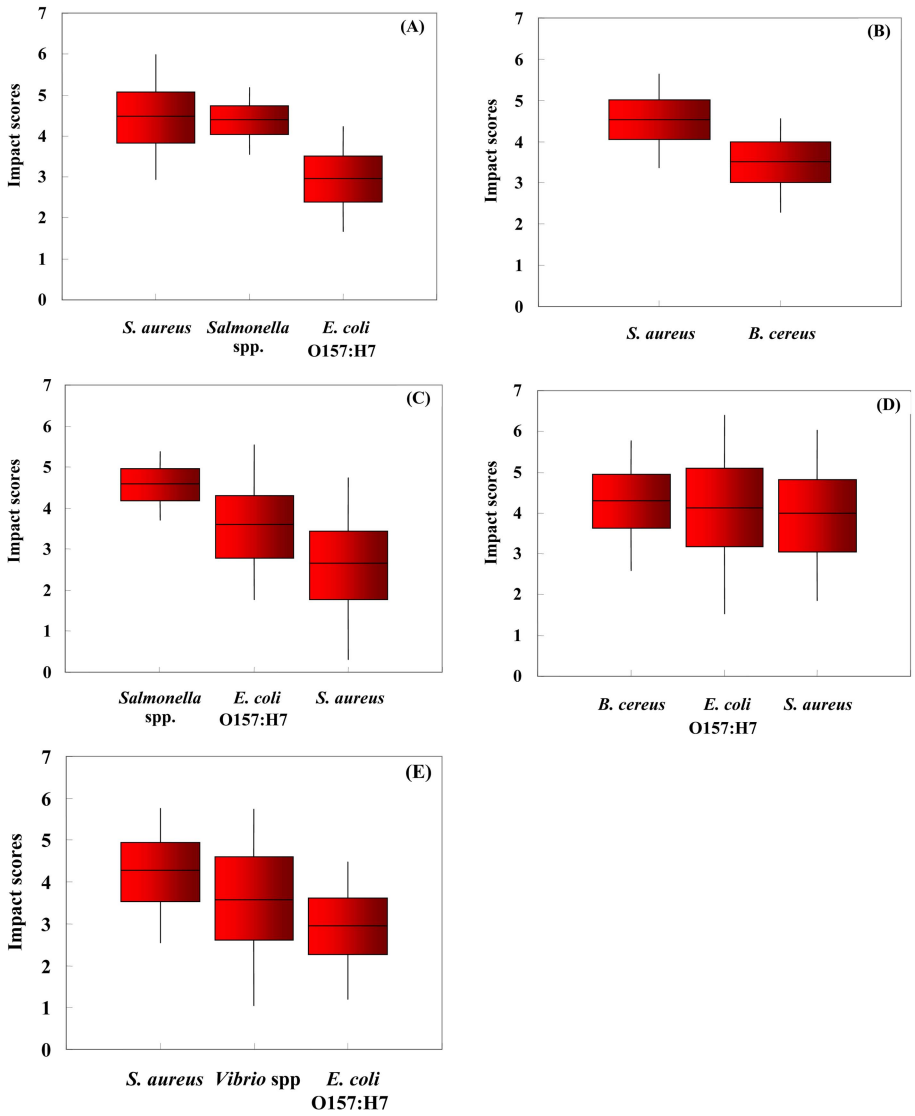


**Fig. 3.** The distribution of scores for foodborne pathogens related by the 5 superior ranking foods for climate change impact (e.g. increasing temperature). (A) ready-to eat foods, (B) breads & rice cakes, (C) meat & egg products, (D) fish products, and (E) tofu (bean curds) & jellies (95%, 75%, mean, 25%, and 5%).

독 세균에 있어 황색포도상구균의 경우 상위 5종 모든 식품에서 제시되어, 국내에서는 기후변화에 영향을 받는 대표적인 식중독 세균을 볼 수 있으며, 다음이 병원성대장균 O157:H7로, 4종의 식품에서 제시되었으며, 살모넬라와 바실러스는 각각 2종의 식품에서만 제시되었다. 마찬가지로 추정된 표준편차 및 95% 신뢰구간 폭이 클수록 전문가 간의 의견의 차이가 큰 것으로 볼 수 있는데, 두부 및 묵류에서의 병원성대장균 O157:H7과 어육가공품에서의 비브리오가 이에 해당된다고 볼 수 있다. 최종적으로 기후변화에 따른 영향을 많이 받을 것으로 나타난 식품과 관련 식중독 세균에 대한 종합적인 정리는 Table 1과 같다.

국제적으로 식품안전과 관련하여 risk ranking이나 순위결정에 있어 Huss 등[7]은 수산물에 대해 과거 발생사례, 제조공정에서의 CCP (critical control point)공정의 유무, 유해물질의 잠재성 등을 바탕으로 정성적인 위해분류를 실시하였는데, 원료성 수산물(raw fish), 조개류 등은 high, 냉동수산물(frozen fish)등은 low로, 건조 또는 염장된 수산물은 no risk로 분류하였다. 하지만 본격적으로 정량적인 위해순위 결정은 Summer 등[8]에 의해 이루어졌다고 볼 수 있는데 이들의 방법은 본 연구에서와 같이 자체 개발한 Tool을 이용하여 과거의 위해순위 결정에서 활용되지 않았던, 사용되는 원료의 특성 즉, 병원성세균의 오염정도 및 이물발생수준 등, 제조공정상의 위해발생 분석 즉, 살균공정 유무 여부 등, 유통단계에서의 오염 가능성 즉, 포장특성 및 유통특성 등, 소비단계에서의 소비자에 의한 위해요소 제거 여부 등과 같은 위해요인(risk factors)에 근거하여 입력변수를 확정하였다는 것이 중요한 발전으로 인정될 수 있다. 이후 잔류농약[9], 항생물질[10]등에 대한 위해순위 결

정이 이루어져 왔다. 국내에서도 식품안전측면에서 많은 위해순위 관련 연구 진행되고 있는데, 2009년 박[6]은 Risk Ranger의 모델을 변형 활용하여 국내 관련 전문가에 대한 설문조사 결과를 토대로 식품공전에 포함되어 있는 101개의 식품유형에 대하여 상대적인 위해순위를 결정하였는데, 추정결과로 즉석섭취식품(RTE)이 가장 높은 위해수준을 나타내었고, 다음이 어육가공품, 빵류 등의 순으로 나타났다고 보고 하였다. 최근에는 민 등[11]이 역시 Risk Ranger의 모델을 그대로 활용하여 잠재적 위해식품과 관련 미생물에 대한 위해순위를 결정하기도 하였다. 하지만 민 등[11]의 연구는 주로 국내문헌 조사자료 자체를 Risk Ranger 모델에 입력변수로 이용하였기 때문에 현실적으로 국내에서의 관련 자료 부재로 인해 정확한 risk를 추정하는데 있어 한계가 있었다. 특히, 햄버거 패티에서 병원성대장균 O157:H7의 위해점수가 “0”으로 산정된 것이나 샐러드에서 병원성인지 비병원성인지 확인할 수 없는 대장균이 가장 높은 위해순위로 나타났다고 한 것은 너무 문헌자료에 의존한 결과로 볼 수 있다. Ross 등[4]도 현실적으로 정확한 자료 등이 부족한 경우 해당분야 전문가의 의견을 이용할 수 있다고 하였으며, 이 때 다양한 의견이 제시될 수 있으므로 불확실성을 최소화 하기 위해서는 MRA에서와 같이 확률분포모델이 이용 되어야 한다.

본 연구의 경우 현재의 수준에서 보다는 미래 예측 측면에서 기후변화 특히, 온도의 상승으로 인한 기후 영향을 받을 수 있는 식품을 결정하는 것으로 현실적으로 관련자료의 부족은 당연한 것이라 볼 수 있어 전문가 의견을 이용하였으며, 전문가들이 선정한 값에 불확실성을 최소화 하기 위해서 통계적 확률분포이론과 시뮬레이션의 기법을 적용하여 최종 산출된 영향점수에 대한 신뢰성을 보완하였다는 것이 더 발전된 평가기법이라 할 수 있겠다. 특히, 본 연구는 Ross등[4]의 모델을 기본으로 하여 수행되었지만 기후변화 측면의 첨부는 이들 모델과 구별되는 특징으로 볼 수 있으며, 국내외적으로 기후변화관련 주요 식중독 세균과 식품에 대한 영향분석의 예는 찾을 수 없어, 본 연구가 최초로 시행되었다고 볼 수 있다. 또한 본 연구의 결과는 미생물학적 식품안전에 있어 기후변화에 가장 많은 영향을 미치는 식품과 이들 식품과 관련된 식중독 세균에 대한 사전적 관리 및 예방방법을 설정하는데 있어 크게 활용될 수 있을 것이다.

## 요 약

본 연구는 기후변화와 관련하여 미생물학적 식품안전상 쉽게 영향 받을 수 있는 식품과 관련 식중독세균을 결정하는데 이용할 수 있는 Risk Ranger를 활용한 Excel spreadsheet 상의 모델을 개발하였고, 모델 입력값은 자료의 부족으로 전문가 설문을 통해 결정하였으며, 확률분포모델과 @RISK를 이용한 시뮬레이션을 통해 실제 국내 식품중 기후변화에 대한 민감할 것으로 예상되는 상위 5개 식품군과 이들 식품과 관련된 주요 식중독 원인균을 결정하였다. 추정결과, 상위 5종 식품과 관련 식중독 세균으로는 즉석섭취식품류(RTE) (황색포도상구균, 살모넬라, 병원성대장균 O157:H7)가 가장 큰 영향을 받을 것으로 나타났으며, 다음이 떡류 및 빵류 (황색포도상구균, 바실러스 세레우스), 식육 및 알가공품 (살모넬라, 병원성대장균 O157:H7, 황색포도상구균), 두부류 또는 묵류 (바실러스 세레우스, 병원성대장균 O157:H7, 황색포도상구균)였으며, 마지막으로 어육가공품 (황색포도상구균, 비브리오, 병원성대장균 O157:H7)의 순으로 나타났다.

## 감사의 글

본 연구는 2010년도 식품의약품안전청의 용역연구사업 (10162기후식995)에 의하여 이루어진 연구결과이며, 이에 감사 드립니다.

## 참고문헌

1. FAO: Climate change: Implications for food safety. Available from http://www.fao.org/ag/AGN/agns/files/HLC1_Climate_Change_and_Food_Safety.pdf (2008).
2. Jacxsens, L., Luning, P.A., van der Vorst, J.G.A.J., Devlieghere, F., Leemans, R., Uyttendaele, M.: Simulation modelling and risk assessment as tools to identify the impact of climate change on microbiological food safety - the case study of fresh produce supply chain. *Food Res. Int*., **43**, 1925-1935 (2010).
3. FAO/WHO: Joint FAO/WHO Imitative on Microbial Risk Assessment. IAFP 88th Annual meeting. Aug 7. Minneapolis, Minnesota, USA. (2001).
4. Ross, T., Sumner, J.: A simple, spreadsheet-based, food safety risk assessment tool. *Int. J. Food Microbiol*., **77**, 39-53 (2002).
5. 보건복지부: 2007년 국민건강영양조사 (2010).
6. 박경진: 국내 주요 가공식품에 대한 위해순위 결정. 한국식품위생안전성학 회지, **24**, 200-203 (2009).
7. Huss, H.H., Reilly, A., Ben Embarek, P.K.: Prevention and control of hazards in seafood. *Food Control*, **11**, 149-156 (2000).
8. Sumner, J., Ross, T.: A semi-quantitative seafood safety risk assessment. *Int. J. Food Microbiol*., **77**, 55-59 (2002).
9. Low, F., Lin, H-M, Gerrard, J.A., Cressey, P.J., Shaw, I.C.: Ranking the risk of pesticide dietary intake. *Pest Manag. Sci*., **60**, 842-848 (2004).
10. Presi, P., Stark, K.D.C., Stephan, R., Breidenbach, E., Frey, J., Regula, G.: Risk scoring for setting priorities in a monitoring of antimicrobial resistance in meat and meat products. *Int. J. Food Microbiol*., **130**, 94-100 (2009).
11. 민경진, 황인균, 이순호, 조준일, 윤기선: Risk Ranger를 활용한 잠재적 위해식품과 미생물 조합에 대한 위해순위 결정. 한국식품위생안전학회지, **26**, 91-99 (2011).