

식품안전관리를 위한 Korea Pathogen Modeling Program (KPMP) 활용

Application of Korea Pathogen Modeling Program(KPMP) for Food Safety Management

윤 기 선

Yoon, Ki Sun

경희대학교 식품영양학과

Department of Food and Nutrition, Kyung Hee University

1. 서 론

식품의 안전성은 사회가 선진화되고 식품산업의 발달 및 식생활 양식 변화와 더불어 소비자의 인식 변화, 관심도 증가로 인해 사회적 문제로 크게 대두되었다. 그 결과 국내·외에서 지속적으로 발생하는 식중독 발생을 사전에 예방하기 위하여 식품으로 이행될 수 있는 식중독 균의 오염분포를 파악하여 오염원을 사전에 차단하고 식중독 유발 가능성이 높은 식품과 식중독 균을 중심으로 제조, 유통, 보관, 소비에 이르는 전 과정에서 안전관리 방안이 필요하다. 최근 국내에서도 식품으로 인한 위해와 발생양상, 원인들이 점차 다양화 추세를 보이고 있으며 특히 미생물에 의한 위해성이 강조되면서 식품 안전관리를 위해 미생물 위해 평가연구의 필요성이 강조되고 있다. 그러나 국내에서는 정량적인 미생물 위해평가를 하기 위한 병원성균의 성장예측 모델이 충분하지 않고 dose-response 모델의 부재로 국내 미생물 위해평가는 식품의 식중독균

분포도, 오염도 조사 등의 위해요소 분석연구 형태로 실시되어져 왔다. 또한 국내에서의 미생물 위해평가는 위해평가를 할 수 있는 전문 인력도 매우 부족하고 산·학·연 전문가 협력체계가 구축되어 있지 않아 연구의 효율성이 매우 떨어지며, 충분하지 못한 데이터를 활용하여 위해평가를 함에 따라 연구 결과의 정확성과 신뢰성을 확신할 수 없는 것이 문제점으로 지적되고 있다. 따라서 국내에서도 선진화된 식품안전 평가 및 관리를 위해서는 국가적 차원에서 관리항목 대상의 중요성 및 시급성을 고려하여 장기적인 안목으로 미생물 위해평가를 하기 위한 인적, 기술적 인프라 구축이 필요하다.

따라서 본고에서는 최근 국내에서 활발히 진행되고 있는 미생물 성장/생존 예측모델 개발연구의 중요성, 연구현황 및 식품산업체 식품안전관리에서 Korean Pathogen Modeling Program (KPMP)의 활용방안을 소개하고자 한다.

Corresponding Author: Ki Sun Yoon
Department of Food and Nutrition,
Kyung Hee University, Hoegi-1dong, Dongdaemun-Ku, Seoul, Korea, 130-701
TEL: 82-2-961-0264
FAX: 82-2-961-0261
E-mail: ksyoon@khu.ac.kr

II. 본론

1. 정량적 미생물 위해평가에서 예측모델의 중요성

정량적 미생물 위해평가에서는 특정 위해요소 에 대한 발생빈도와 오염수준의 데이터 세트가 필요한데 미생물 위해평가의 범위에 따라 위해요소의 발생빈도와 오염수준에 대한 노출평가의 범위는 농장의 원재료에서부터 제조공정, 유통, 보관, 판매, 마지막 소비하는 단계까지로 구성될 수 있다. 그러나 특정 위해요소의 발생빈도와 오염수준에 대한 모니터링 자료수집에는 많은 시간, 재정, 전문 인력 등의 자원이 요구된다. 따라서 각 단계별 모니터링 자료가 부족할수록 발생빈도와 오염수준에 미치는 공정, 유통, 보관환경의 효과를 개발된 성장/생존모델을 이용하여 예측 확인할 수 있다. 위해평가 시 노출평가에서 예측미생물의 활용성은 Fig. 1과 같다.

Fig. 1과 같이 정량적 미생물 위해평가는 화학적 위해평가와는 달리 미생물의 생존, 증식, 사멸 가능성을 고려해 식품에 존재하는 미생물을 정성 확인한 후에 저장, 유통 과정에서 미생물의 변화를 모니터링 하여야 한다. 미생물수의 변화는 특히 미생물이 접하는 온도에 따라 가장 크게 영향을 받으므로 정량적 미생물 위해평가를 위해 식품

의 matrix에 따라 온도 변화 시 미생물 생존, 증식의 가능성을 예측할 수 있는 모델을 개발할 수 있다면 유통과정에서 잠재적 위해식품의 위험성과 품질변화를 예측할 수 있어 품질관리 및 안전한 유통기간을 설정하는데도 중요하게 활용되어 질 수 있다. 또한 식품의 고유특성으로 수분활성도, pH, 영양성분 등의 내적인 요인과 포장 및 저장, 유통온도와 같은 외부적인 요인에 따른 미생물의 변화를 예측하여 미생물을 효과적으로 제어하는 방법 및 관리방안 결정에도 활용되어 질 수 있다. 식품산업체에서는 이미 개발된 수학적 모델을 활용하여 미생물의 성장/생존을 정량적으로 예측하고 평가하기 때문에 기존의 미생물 검사법에 비하여 필요시 매우 신속한 예측이 가능하다. 따라서 시간과 인력, 경비 등이 소요되는 미생물 접종시험, 보존 시험을 대체하는 단순하면서도 효율성이 높은 방법으로, 대상 식품중의 병원 미생물의 정량적 위해성 평가(Quantitative microbial risk assessment)와 HACCP 시스템의 기본 7원칙 중 정확한 한계기준 설정을 위한 저비용의 유효수단으로 활용되어질 수 있다. 지난 10년간 국내에서 수행된 예측모델 개발 연구현황은 다음 Table 1과 같다. 위의 Table 1에서 볼 수 있는 것과 같이 국내에서 개발된 대부분의 모델은 국외에서 개발된 모델이 주로 broth를 활용한 것과는 대조적으로 주로 식품류를 모델 matrix로 하여 1차(primary), 2차(secondary) 모델이 개발되었다. 모델 변수는 대부분의 연구가 온도변화에 따라 미생물의 증식을 예측하였으며 주로 ready-to-eat 즉석섭취식품을 대상으로 S. aureus, L. monocytogenes, B. cereus, V. parahaemolyticus 등의 병원성균의 증식모델이 개발되었다. 국내연구에서는 시간변화에 따라 미생물의 성장을 예측한 1차 모델은 주로 Gompertz 모델식을 이용하였으며 1차모델에서 계산된 변수로 유도기, 성장률이 환경적 변수(온도, pH, Aw 등)에 따라 어떻게 변화하는지를 예측하는 2차 모델은 주로 square root, davey, polynomial, response surface model 등이 이용되었다. 2차 모델식이 개발이 되면 모델의 상수가 결정이 되어 식에 다른 환경변수를 대입하

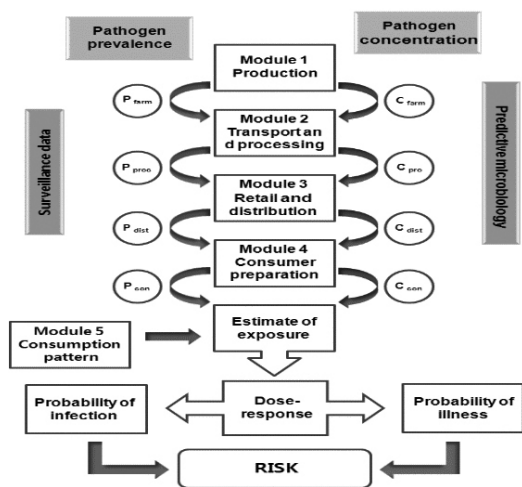


Fig. 1. 노출평가를 위한 "Farm To Table" 모델

게 되면 그 환경 조건에서 예측된 값(predicted data)을 계산할 수 있다. 모델의 검증에 위해서는 모델개발에 사용하지 않은 환경적 변수에서 다시 1차 모델을 통해 유도기, 성장률 또는 생존율에 대한 관찰된 값(observed data)을 구하고 개발된 모델로부터 얻어진 예측된 값(predicted data)과 비교를 통해 개발된 모델의 적합성을 검증하게 된다. 검증이 완료된 2차 모델은 국외의 pathogen modeling program(PMP), combase 등과 같은 3차(tertiary) 모델로 개발이 되어야 연구결과 활용성의 가치를 높일 수 있게 된다.

Table 1. 국내 예측미생물 연구현황

발표 연도	논문 제목	연구내용				
		대상 식품/ broth 대상 식품/ broth	대상 식중독균	환경적 요인	이용모델	
					1차	2차
2004	수학적 정량평가 모델을 이용한 <i>V. parahaemolyticus</i> 성장 예측 모델 개발(1)	Broth	<i>V. parahaemolyticus</i>	온도 (15, 20, 37, 40°C) pH (6, 7, 8)	Gompertz model,	Square root model, Polynomial model
	수학적 정량평가 모델을 이용한 <i>L. monocytogenes</i> 성장 예측 모델 개발(2)	Broth	<i>L. monocytogenes</i>	온도 (15, 20, 25, 37, 40°C) 초기균수 (10 ² , 10 ³ , 10 ⁴) CFU/mL)	Gompertz model,	Square root model, Polynomial model
2005	온도와 시간을 주요 변수로 한 냉장 돈육에서의 Native isolated <i>L. monocytogenes</i> 에 대한 성장 예측 모델(3)	돈육	<i>L. monocytogenes</i>	시간, 온도 (0, 5, 10, 15, 20°C)	Gompertz model,	Response surface model
	수학적 정량평가 모델을 이용한 계맛살 부패균의 성장 예측모델의 개발(4)	계맛살	계맛살 부패균	온도 (15, 20, 5°C) 초기균수 (10 ² , 10 ³ , 10 ⁴ CFU/mL)	Gompertz model	Square root model, Polynomial model
	김밥에 오염된 <i>Bacillus cereus</i> 와 <i>Staphylococcus aureus</i> 의 성장 예측모델개발(5)	김밥	<i>B. cereus</i> , <i>S. aureus</i>	온도 (4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25°C)	Gompertz model	Square root model
	Predictive modeling for the growth of <i>Listeria monocytogenes</i> as a function of temperature, NaCl, and pH(6)	Tryptic soy broth	<i>L. monocytogenes</i>	온도 (4, 10, 25, 37°C), NaCl (0, 2, 4, 5, 10%), pH (5, 6, 7, 8, 9, 10)	Gompertz model	Response surface model

2005	Modeling the Level of Contamination of <i>Staphylococcus aureus</i> in Ready-to-Eat Kimbab Korea(7)	김밥	<i>S. aureus</i>	시간, 온도 (8, 10, 12, 14, 18, 20, 22, 25℃)	Gompertz model, Regression model	
2006	곡류로부터 분리한 <i>Bacillus cereus</i> 의 특성과 성장예측모델 및 저감화 기술 개발(8)	현미, 보리, 찹쌀, 울무	<i>B. cereus</i>	온도 (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40℃)	Gompertz model	Square root model
	샌드위치류의 HACCP plan 개발과 정량적 위해평가(9)	샌드위치	<i>S. aureus</i>	온도 (10, 15, 25, 35℃)	Gompertz model	Response surface model
2007	Development of Predictive Mathematical Model for the Growth Kinetics of <i>Staphylococcus aureus</i> by Response surface model(10)	broth	<i>S. aureus</i>	온도 (10, 20, 30, 40℃) NaCl (0, 2, 4, 6, 8, 10%) pH(4, 5, 6, 7, 8, 9, 10)	Gompertz model	Response surface model
	Development of a predictive Mathematical Model for the Growth Kinetics of <i>Listeria monocytogenes</i> in Sesame leaves(11)	깻잎	<i>L. monocytogenes</i>	온도 (4, 10, 25℃)	Gompertz model	Square root model
2008	김밥에 오염된 <i>Staphylococcus aureus</i> 의 성장 및 독소생성 예측 모델 개발(12)	broth, 김밥	<i>S. aureus</i>	온도 (김밥)(7, 10, 12, 14, 16, 20, 25, 30℃)	Gompertz model	Square root model
	A model of the effect of temperature on the growth of pathogenic and nonpathogenic <i>Vibrio parahaemolyticus</i> isolated from oysters in Korea(13)	broth, 굴	<i>V. parahaemolyticus</i>	온도 (10, 15, 20, 25, 30℃)	modified Gompertz model	Davey model, square root model
	수학적 모델을 이용한 황색 포도상구균의 생육예측모델 개발을 위한 연구(14)	조미 오징어채	<i>S. aureus</i>	온도 (12, 20, 28, 35℃), pH (5.5, 6.0, 6.5, 7.4), NaCl (0, 1.5, 2.0, 2.5%)	Gompertz model	Response surface model
2009	빙과류의 미생물학적 위해요소에 대한 예측모델 개발 및 노출정도 평가(15)	빙과류	<i>S. aureus</i>	온도 (4, 10, 15, 20, 25, 30℃)	Gompertz model	Square root model
	샌드위치에 오염된 <i>Staphylococcus aureus</i> 의 위해평가(16)	샌드위치	<i>S. aureus</i>	온도 (10, 15, 20, 25, 30, 35℃), pH(5, 5.5, 6, 6.5, 7, 7.5, 8) AW(9.2, 9.3, 9.4, 9.5, 9.6, 9.7, 9.8, 9.9)	Gompertz model	Square root model

2009	학교급식에서 제공되는 숙주나물의 <i>Staphylococcus aureus</i> 성장예측모델 개발 및 섭취 유효기간 설정(17)	숙주나물	<i>S. aureus</i>	온도 (5, 15, 25, 35°C)	modified Gompertz model	Response surface model
	Development of Predictive Models and Application in Meat Products for Microbiological Safety (18)	떡갈비	<i>B. cereus</i>	온도 (5, 10, 15, 20, 25°C)	Gompertz, Baranyi model	polynomial model
2010	Development of predictive growth model and control of foodborne pathogens with antimicrobial compounds in ready-to-eat pyeonyuk (cooked-pressed pork) (19)	편육	<i>S. aureus</i> , <i>S. Typhimurium</i>	온도 (10, 17, 24, 30°C), 항균제 (potassium lactate and sodium diacetate mixture)	modified Gompertz model	response surface model
	생면에서 <i>Bacillus cereus</i> 의 생육예측모델개발(20)	생면	<i>B. cereus</i>	온도 (5, 10, 20, 30°C), 보존료 (ethanol, 비타민 B ₁)	modified Gompertz model	Quadratic polynomial model
	수육에서의 <i>Staphylococcus aureus</i> 성장예측모델(21)	수육	<i>S. aureus</i>	온도 (5, 15, 25°C)	Baranyi model, Gompertz model	Response surface model
	Development of predictive growth models for <i>S. aureus</i> and <i>B. cereus</i> on various food matrices consisting of ready to eat(RTE) foods(22)	탄수화물식품 동물성, 식물성 단백질 식품	<i>S. aureus</i> <i>B. cereus</i>	온도 (8, 10, 13, 17, 24, 30°C)	modified Gompertz-model	Davey model, Square root model
2011	샐러드용 신선 채소에서의 <i>Listeria monocytogenes</i> 성장예측모델 개발(23)	샐러드용 신선 채소	<i>L. monocytogenes</i>	온도 (4, 10, 20, 30°C)	Baranyi model, Gompertz-model	Polynomial model
	Development and validation of a predictive model for pathogenic <i>E. coli</i> O157:H7 in fresh produce as a function of temperature(24)	broth 시금치, 양상추, 깻잎	<i>E. coli</i> O157:H7 Pathogenic <i>E. coli</i>	온도 (7, 10, 17, 25, 30, 36°C)	modified Gompertz-model	Davey model, Square-root model

2012	전처리 나물류에서 <i>Bacillus cereus</i> 성장 예측 모델 검증 (25)	broth, 고사리, 도라지, 숙주나물, 시금치, 콩나물	<i>B. cereus</i>	온도 broth(13, 17, 24, 30, 35°C) 나물(13, 24, 35°C)	modified Gompertz-model	Davey model, Square-root model
	Effect of temperature on growth of <i>Vibrio parahaemolyticus</i> and <i>Vibrio vulnificus</i> in flounder, salmon sashimi and oyster meat(26)	broth, oyster	<i>V. parahaemolyticus</i>	온도 (11, 13, 18, 24, 30, 36°C)	modified Gompertz-model	Davey model, Square-root model
2013	전처리 나물류 및 구근류에서 병원성 미생물의 성장 예측모델 개발 및 검증(27)	고사리, 취나물, 도라지, 우엉, 연근	<i>B. cereus</i> vegetative cell, spore (설사형), <i>S. aureus</i>	온도 (8, 10, 13, 24, 35°C)	modified Gompertz-model	Davey model, Square-root model

2. 3차(Tertiary) 예측모델

Table 1의 연구 등에서 개발된 모델은 미생물 성장 1차(primary), 또는 2차(secondary) 모델로 개발된 모델의 검증 후 산업체 활용 3차 모델로 개발되어 질수 있다. 3차 모델은 개발에 사용된 1차 모델 공식에 실험을 통해서 얻어진 2차 모델식을 적용하여 Microsoft Excel과 같은 spreadsheet을 이용하여 표현되는 것이다. 국외에서 개발된 3차 모델은 USDA pathogen modeling program(28), Combase(29), Growth predictor(30) 등이 있다. PMP(pathogen modeling program)는 미국 USDA의 Agricultural Research Service에 의하여 제작되었으며 1990년대 초반부터 Online 상으로 배포되기 시작하였다. 이 프로그램은 온도, pH, NaCl, water activity 등에 따라 병원성 미생물의 생육조건을 설정하여 그 조건에서 미생물의 성장 시간과 성장률을 그래프로 나타낸다. 현재 모두 14개 병원성 식중독 균에 대해 cooling, growth, heat activation, survival, transfer 모델 등이 개발되었다(Fig. 2).

Combase는 환경변화에 따른 미생물 반응모델 database로 영국의 IFR(Institute of Food Research), 미국의 USDA Agricultural Research Service가 호주의 the Australian Food Safety Centre of

Excellence(AFSCoE)와 협력하여 제작하였으며, 회원국들 간에 미생물 성장/생존 data를 공유한다. Combase의 주목표는 미생물에 대한 구체적인 정보 수집을 효과적으로 개선하고 다른 연구실에서 얻어진 결과를 좀 더 빠르게 비교하여 불필요하게 같은 연구를 반복하지 않게 하기 위함이다(Fig. 3). Growth predictor는 현재 Combase와 연동되어 사용되어 지고 있다.

이와 같이 Web site에서 볼 수 있는 3차 모델은 모델개발 연구를 통해 개발된 1차, 2차 모델결과의 통합 데이터베이스로서 모델개발에 대한 지식이 없는 일반인들도 쉽게 프로그램을 이용하여 온도, pH, water activity 등에 따라 병원성 미생물의 생육 조건을 설정하여 그 조건에서 미생물의 성장/생존 등의 정보를 그래프를 통해 쉽게 확인할 수 있다. 또한 이를 식품에 적용하여 미생물이 식품에 있을 양을 추정하여 어떠한 조건에서 며칠이나 보관하여야 하는지 등을 예측할 수 있으므로 산업체에서의 가공식품 생산 시, 유통기한 등을 설정할 때 활용 되어질 수 있다. 그러나 국외에서 개발된 Pathogen modeling program을 구성하고 있는 성장/생존모델은 미생물 배지에서 개발된 모델로 주로 이루어져 있어 실제 식품에서의 미생물 성장/생존을 예측하기에는 무리가 있으며 특히 국내에서

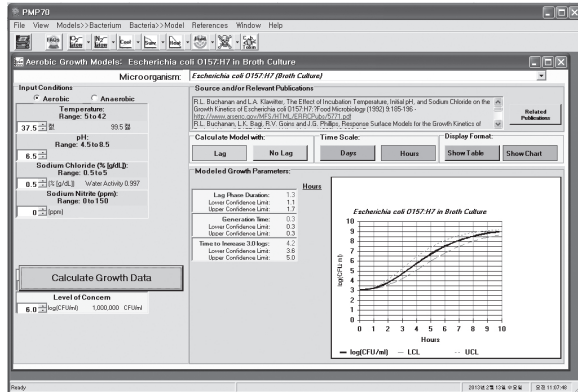


Fig. 2. USDA Pathogen Modeling Program

문제가 되는 식품을 대상으로 수행해야 하는 미생물 위해평가 시 정확한 자료를 제공하지 못하는 문제점이 있다. 그러나 미국, 유럽 등과 비교 시 국내에서는 예측모델 연구가 매우 미흡하여 정확한 모델개발을 위한 연구기술에 따라 연구를 수행할 수 있는 전문연구인력 또한 매우 부족한 실정이다. 또한 예측모델을 개발하기 위한 식품과 미생물 조합의 다양성 및 복잡성을 고려할 때 미생물 위해평가를 위한 모델링 연구를 좀 더 체계적으로 활성화할 수 있는 방안이 필요하다.

3. Korea Pathogen Modeling Program(KPMP) Online

국내에서도 그동안 수집 및 검증된 미생물 성장/생존 예측모델 데이터를 바탕으로 Korea Pathogen modeling program(KPMP) Online이 개발되어 KFDA web site 를 통해 서비스 될 예정이다(31). KPMP Online에는 국내에서 우선 관리해야 하는 잠재적 위해식품-병원성 미생물 조합의 성장 또는 생존 모델을 Online 상에서 조회할 수 있도록 구성되어 있으며 또한 새로운 연구자가 자신의 연구 data를 입력해서 성장 또는 생존모델개발 가능성을 관리자로부터 확인받을 수 있도록 구성되었다. 또한 KPMP와 관련하여 자주하는 질문 및 이용안내에 대한 자세한 설명도 포함되어 있다(Fig. 4). 이와 같은 관리자 기능은 식품산업체의 'Chal-



Fig. 3. Combase

lenge study'의 연구결과 또한 모델개발에 사용될 수 있는 가능성을 시사한다. 식품산업체에서 현재 유통기한 설정 방법으로 사용하고 있는 'Challenge study'를 predictive modeling 연구방법으로 미생물 성장/생존 data를 수집한다면 미생물 성장/생존 1차, 2차 모델개발이 가능하고 제품의 formulation 및 유통조건이 바뀔 때마다 추가적으로 수행해야 하는 challenge study를 생략할 수 있어 산업체에서도 좀 더 효과적으로 제품개발에 필요한 정보를 위한 database를 구축할 수 있다. 모델링을 위한 미생물 data 수집방법은 식품위해 평가부에서 출간한 미생물 위해평가 매뉴얼 II편을 참고하기를 제안한다(32).

KPMP에 있는 자료는 PC 등에서 설치가 필요 없이 웹에 접속만 되면 단순 조회기능의 경우 로그

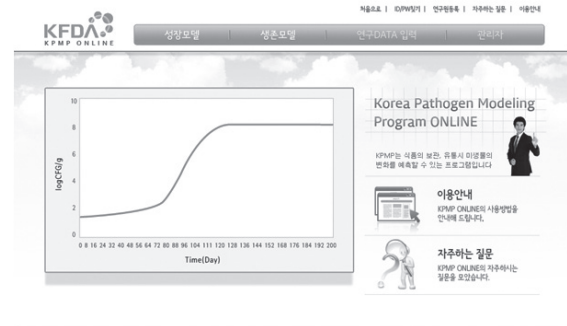


Fig. 4. KPMP-ONLINE 화면

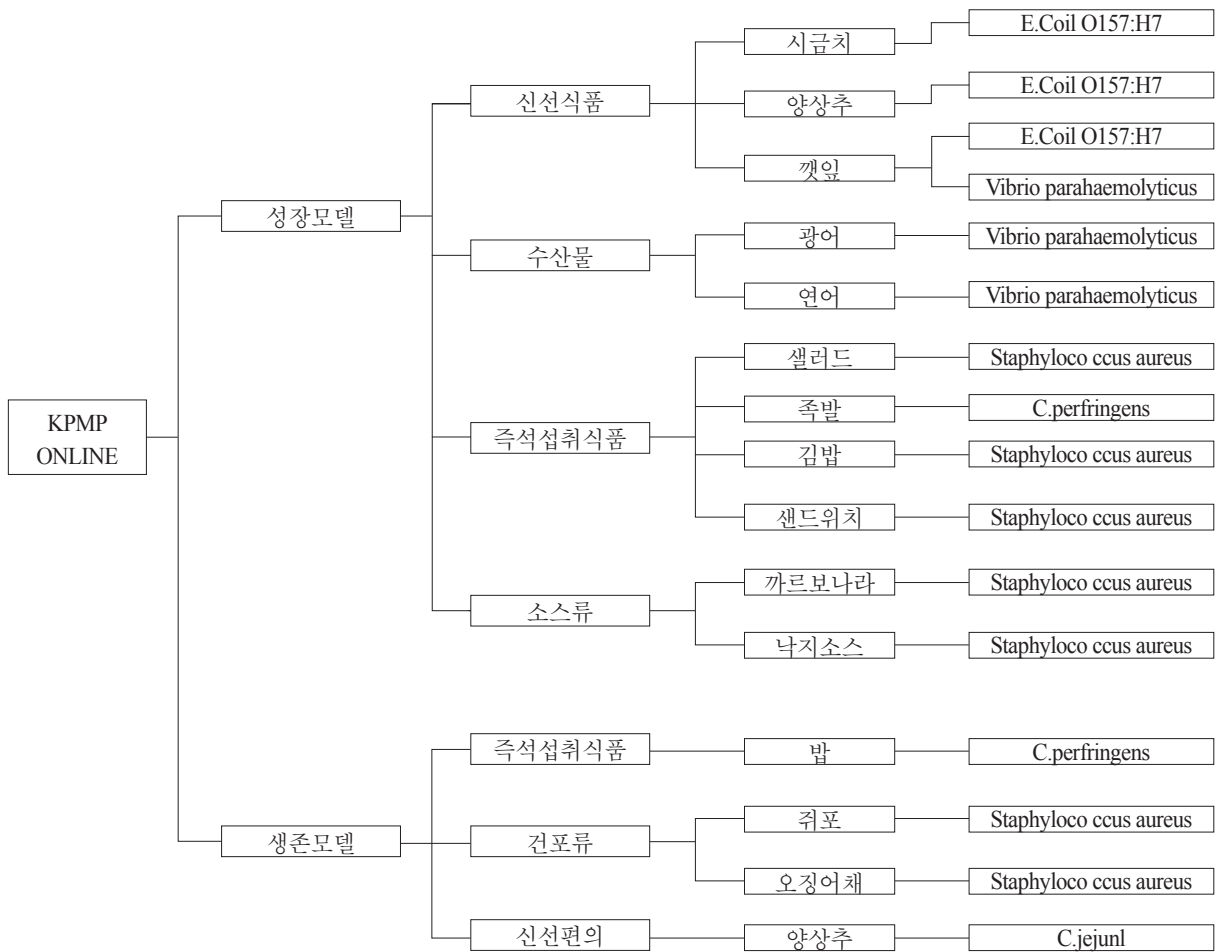


Fig. 5. KPMP-DATABASE

인이 필요 없이 누구나 조회가 가능하다. 또한 업데이트를 위한 별도의 프로그램을 설치 또는 업데이트가 필요 없어 계속적으로 새로운 모델을 추가할 수 있다. 또한 이미 개발된 모델도 다른 식품군 및 병원성 균으로 적용가능성이 검증된 후 개발된 모델의 활용성이 업데이트 될 수 있다. 현재 개발된 식품-병원성균 조합 예측 모델은 Fig. 5와 같다.

Fig. 5에서 제시된 성장 또는 생존 모델 중의 하나를 선택해서 조회 창으로부터 식품-병원성균 조합에 대해 온도와 초기오염농도를 입력하면 선택한 식품에서 병원성균의 성장 또는 생존그래프와 유도기, 성장률(생존율)을 조회할 수 있다

(Fig. 6). KPMP가 외국의 PMP, Combase 등과 같은 3차 모델과의 가장 큰 차이점은 KPMP에는 관리자 기능이 있어 연구자가 입력한 데이터를 가지고 모델개발 가능성 여부에 대한 검증을 관리자가 제공한다는 점이다 (Fig. 7). 또한 연구자는 본인이 입력한 식품-병원성균의 성장/생존 1차모델 데이터가 2차 모델로 개발되어 질 수 있는가에 대한 검증, 승인여부에 대한 조회를 할 수 있으며 본인 데이터의 삭제도 요청할 수 있다 (Fig. 8). 마지막으로 KPMP와 관련하여 자주하는 질문 및 이용안내에 대한 자세한 설명예시는 다음 Fig. 9와 같다.

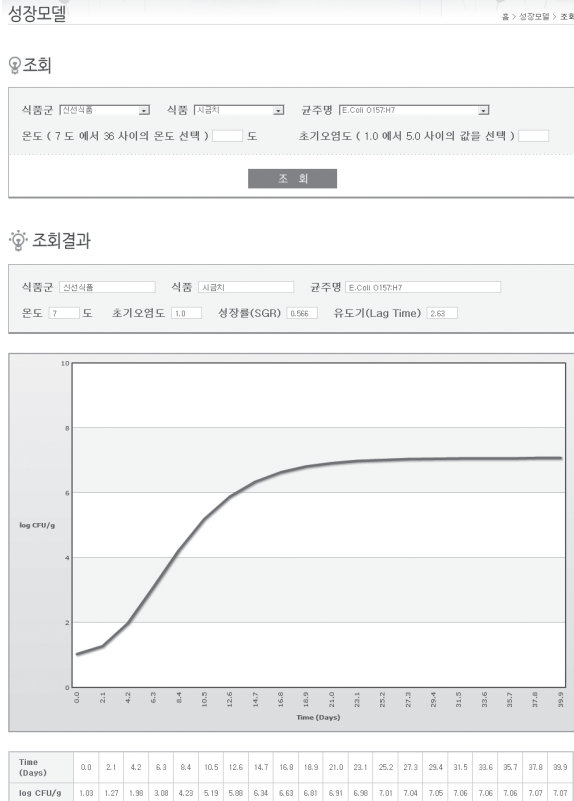


Fig. 6. KPMP 성장 모델 조회 입력 화면

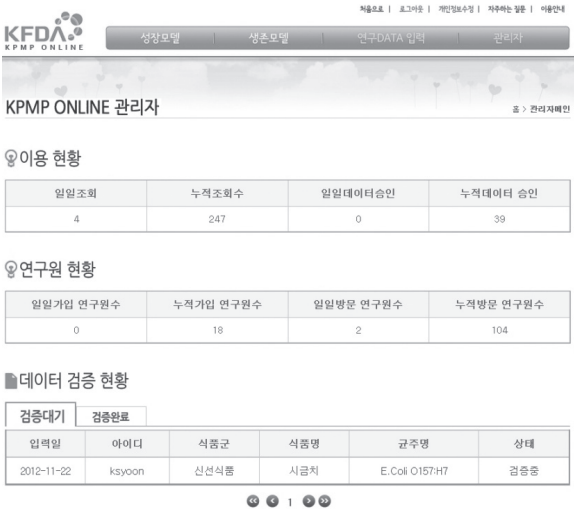


Fig. 7. KPMP ONLINE 관리자



Fig. 8. KPMP 입력데이터 검증, 승인 현황



Fig. 9. KPMP 자주하는 질문

III. 맺음말

Korean Pathogen Modeling Program(KPMP)-ONLINE은 앞으로 산·학·연의 연구자들의 관심과 database 구축의 참여가 이루어질 때 더 많은 식품과 병원성균(또는 부패균) 조합 예측모델 개발이 가능하게 되고 모델 database가 확장되어 국내뿐만 아니라 우리나라와 음식문화가 비슷한 아시아 지역에서도 활용 가능한 글로벌 database로 발전하게 될 것이다. 미생물의 증식/생존에 미치는 다양한 환경변화에 대한 영향연구는 많은 시간과 노력이

이 필요한 연구로 어느 분야보다도 연구자간의 협력이 필요한 분야이다. 만약 현재까지 선행연구에서 개발된 1차, 2차 모델 중 검증이 되지 않는 모델들을 검증 후 KPMP에 모두 통합될 수 있다면 단시간 내 KPMP database를 확대하는데 크게 기여할 수 있을 것으로 생각된다. KPMP-ONLINE 프로그램이 지금은 초기단계라 미흡하나 산·학·연 연구자의 협동 네트워크가 구축되고 정부의 체계적 관리가 이루어진다면 국내뿐만 아니라 글로벌 식품안전에 크게 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- (1) 문성양, 우건조, 신일석. 수학적 정량평가 모델을 이용한 *V. parahaemolyticus* 성장예측 모델 개발, Korean J. Food Sci. Technol., 36(2), 349-354 (2004)
- (2) 문성양, 우건조, 신일석. 수학적 정량평가 모델을 이용한 *Listeria monocytogenes* 성장예측 모델 개발, Korean J. Food Sci. Technol., 37(2), 194-198 (2005 b)
- (3) 홍종해, 심우창, 천석조, 김용수, 오덕환, 하상도, 최원상, 박경진. 온도와 시간을 주요변수로 한 냉장 돈육에서의 Native isolated *Listeria monocytogenes*에 대한 성장 예측 모델, Korean J. Food Sci. Technol., 37(5), 850-855 (2005)
- (4) 문성양, 백장미, 신일석. 수학적 정량평가 모델을 이용한 계맛살 부패균의 성장 예측모델의 개발, Korean J. Food Sci. Technol., 37(6), 1012-1017 (2005 a)
- (5) 진성식. 김밥에 오염된 *Bacillus cereus*와 *Staphylococcus aureus*의 성장 예측 모델개발, 강원대학교 대학원 석사학위논문 (2005)
- (6) Park S.Y., Choi J.W., Yeon J.H., Lee M.J., Chung D.H., Kim M.G., Lee K.H., Kim K.S., Lee D.H., Bahk G.J., Bae D.H., Kim K.Y., Kim C.H. & Ha S.D. Predictive modeling for the growth of *Listeria monocytogenes* as a function of temperature, NaCl, and pH. J. Food Microbiol., 15(6), 1323-1329 (2005)
- (7) Bahk G.J., Hong C.H., Oh D.H., Ha S.D., Park K.H., Ewen C.D. & Todd. Modeling the Level of Contamination of *Staphylococcus aureus* in Ready-to-Eat Kimbab in Korea. J. Food Prot., 69(6), 1340-1346 (2005)
- (8) 박용배. 곡류로부터 분리한 *Bacillus cereus*의 특성과 성장예측 모델 및 저감화 기술 개발. 강원대학교 대학원 박사학위논문 (2006)
- (9) 박해정. 샌드위치류의 HACCP Plan 개발과 정량적 위험평가, 대구대학교 석사학위논문(2006)
- (10) Seo K.Y., Heo S.K., Lee C., Chung D.H., Kim M.G., Lee K.H., Kim K.S., Bahk G.J., Bae D.H., Kim K.Y., Kim C.H. & Ha S.D. Development of predictive mathematical model for the growth kinetics of *Staphylococcus aureus* by response surface model. J. Microbiol. Biotechnol., 17(9), 1437-1444 (2007)
- (11) 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. & Ha S.D. Development of a predictive Mathematical Model for the Growth Kinetics of *Listeria monocytogenes* in Sesame leaves. Food Sci. Biotechnol., 16(2), 238-242 (2007)
- (12) 심영환 : 김밥에 오염된 *Staphylococcus aureus*의 성장 및 독소생성 예측 모델 개발, 강원대학교 대학원 석사학위논문 (2008)
- (13) Yoon K.S., Min K.J., Jung Y.J., Kwon K.Y., Lee J.K. & Oh S.W. A model of the effect of temperature on the growth of pathogenic and nonpathogenic *Vibrio parahaemolyticus* isolated from oysters in Korea, Food Microbiol., 25, 635-641 (2008)
- (14) 유현주. 수학적 모델을 이용한 황색포도상구균의 생육 예측모델개발을 위한 연구, 한양대학교 대학원 석사학위논문 (2008)
- (15) 김태웅. 빙과류의 미생물학적 위해요소에 대한 예측모델 개발 및 노출정도 평가, 강원대학교 대학원 석사학위 논문 (2009)
- (16) 신형수. 샌드위치에 오염된 *Staphylococcus aureus*의 위험평가, 강원대학교 대학원 박사학위논문 (2009)
- (17) 박형수, 김민영, 정현숙, 박기환, 류경. 학교급식에서 제공되는 숙주나물의 *Staphylococcus aureus* 성장예측모델 개발 및 섭취유효기간 설정, 한국식품영양과학회지, 38(11), 1618-1624 (2009)
- (18) 허찬. Development of Predictive Models and Application in Meat Products for Microbiological Safety, 건국대학교 대학원 석사학위논문 (2009)
- (19) Min K.J. & Yoon K.S. Development of predictive growth model and control of foodborne pathogens with antimicrobial compounds in ready-to-eat pyeonyuk (cooked-pressed pork). J. Food prot., 73(9), 1626-1632 (2010)
- (20) 이지영 : 생면에서 *Bacillus cereus*의 생육예측모델개발, 중앙대학교 대학원 석사학위 논문 (2010)
- (21) 박형수, 박경진, 박기환, 박지연, 류경 : 수육에서의 *Staphylococcus aureus* 성장 예측모델, Korean J. Food Sci. Ani. Resour., 30(3), 487-494 (2010)
- (22) Kang K.A., Kim Y. W. & Yoon K.S. Development of predictive growth models for *S. aureus* and *B. cereus* on various food matrices consisting of ready to eat(RTE) foods. Korean J. Food Sci. Ani. Resour., 30(5), 730-738 (2010)
- (23) 조준일, 이순호, 임지수, 광효선, 황인균 : 샐러드용 신선 채소에서의 *Listeria monocytogenes* 성장예측모델 개

- 발, J. Fd Hyg. Safety, 26(1) 25-30 (2011)
- (24) 김주희. Development and validation of a predictive model for pathogenic E. coli O157:H7 in fresh produce as a function of temperature, 경희대학교 대학원 석사학위 논문 (2011)
- (25) 조혜진, 홍수련, 김영교, 신단비, 오명하, 황정희, 엔크자갈 라와사르나이, 윤기선. 전처리 나물류에서 Bacillus cereus 성장 예측 모델 검증, J. East Asian Soc. Dietary Life, 22(4), 558-565 (2012)
- (26) Kim Y.W., Lee S.H., Hwang I.J., Yoon K.S. Effect of Temperature on Growth of Vibrio parahaemolyticus and Vibrio vulnificus in Flounder, Salmon Sashimi and Oyster Meat, Int. J. Environ. Res. Public Health, 9, 4662-4675 (2012)
- (27) 엔크자갈 라와사르나이. 전처리 나물류 및 구근류에서 병원성 미생물의 성장예측모델 개발 및 검증, 경희대학교 대학원 석사학위논문 (2013)
- (28) USDA PMP. <http://www.ars.usda.gov/Services/docs.htm?docid=6796>
- (29) Combase. <http://browser.combase.cc/BrowserHome/SearchOptions/Search.aspx>
- (30) Growth predictor. http://modelling.combase.cc/ComBase_Predictor.aspx
- (31) 윤기선. 병원성대장균 위해평가 및 식중독균 증식예측 모델 개발 연구, 식품의약품안전청 결과보고서 (2012)
- (32) 식품의약품안전평가원. 미생물 위해평가 매뉴얼-Korea Pathogen Modeling Program 사용편- (2012)