J. Fd Hyg. Safety 16(2), 103–110 (2001)

우유의 HACCP 시스템에서 Predictive Food Microbiology Model 이용

박경진† · 김창남 · 노우섭 · 홍종해* · 천석조 · 심우창 · 오원택 · 노민정
*한국보건산업진흥원 식품산업단, *강원대학교 수의학과*

Application of Predictive Food Microbiology Model in HACCP System of Milk

Gyung-Jin Bahk†, Chang-Nam Kim, Woo-Sup Roh, Chong-Hea Hong*, Seok-Jo Chun, Woo-Chang Sim, Weon-Taek O and Min-Jeong Rho
Department of Food Industry, Korea Health Industry Development Institute, Seoul, 156-050, Korea
**Department of Veterinary Medicine, Kangwon National University, Kangwon-Do, 200-701, Korea*

ABSTRACT – Predictive food microbiology(PFM) is an emerging area of food microbiology since the later 1980's. It does apply mathematical models to predict the responses of microorganism to specified environmental variables. Although, at present, PFM models do not completely developed, models can provide very useful information for microbiological responses in HACCP(Hazard Analysis Critical Control Point) system and Risk Assessment. This study illustrates the possible use of PFM models(PMP: Pathogen Modeling Program win5.1) with milk in several elements in the HACCP system, such as conduction of hazard analysis and determination of CCP(Critical Control Points) and CL(Critical Limits). The factors likely to affect the growth of the pathogens in milk involved storage temperature, pH, Aw and NaCl content. The variable factor was storage temperature at the range of 4~15°C and the fixed factors were pH 6.7, Aw 0.993 and NaCl 1.3%. PMPwin5.1 calculated generation time, lag phase duration, time to level of infective dose for pathogens across a range of storage temperature. The levels of safety associated with milk which were defined based on various storage temperature as affecting microbial growth according to PMPwin5.1 were classified in "safe temperature zone", "caution temperature zone" and "danger temperature zone", respectively. These zone ranges were determined by the lag phase duration and time to level of infective dose based on shelf life of milk, which is required 5 days in domestic legal. These results can be used to conduct a hazard analysis and set the criteria for CCP or CL. Though PFM contains limitation in the use, PFM models can be useful instrument to support of guarantee of food safety.

Key words □ Predictive Food Microbiology(PFM)model, HACCP, milk

최근에 식품과 같은 특정한 환경조건하에서 병원성미생물의 성장과 사멸을 수학적으로 기술하여 병원성미생물의 변동상태(성장 및 사멸)를 예측하려는 연구가 매우 활발히 이루어지고 있으며, 이러한 연구분야를 예측식품미생물학(Predictive Food Microbiology: PFM)이라고 한다.[1,2,3] PFM의 목적은 식품의 원재료에서 제조, 유통, 보관, 판매, 소비까지의 전 과정에서 병원성 및 부패미생물의 변화를 예측함으로써 이들 미생물을 효과적으로 제어하고자 하는데 있다.

PFM에 있어 병원성미생물의 성장과 사멸은 주위 환경에 의해서 지배되는데, 이러한 환경요인에는 pH, Aw(water activity), NaCl 함량과 같은 내부적인 요인(Intrinsic factor)과 온도, 대기상태 등의 외부적인 요인(Extrinsic factor)이 있다[4,5]. 식품에서의 병원성미생물의 성장과 사멸에 영향을 미치는 요인은 실제적으로 앞에서 언급된 몇몇 요인에만 한정하고 있다는 사실을 바탕으로 이들 요인간의 조합에 수학적 모델을 이용한 것이 PFM이다[6]. 이 PFM 모델은 1980년대 이후 이론적으로도 그리고 응용 면에서 급성장 하였고 또한 식품 내 병원성미생물의 성장 및 사멸을 예측하는 수학모델을 도입한 컴퓨터프로그램이 이미 실용화되고 있다.[6,7]

PFM에 관련된 많은 수학적 모델중 대표적인 것을 예를 들어보면 Table 1과 같다. Whiting과 Buchanan[6,8]은 PFM에서 자주 사용되고 있는 모델을 그 발전단계에 따라서 세 가지 모델군으로 분류하였다. 즉, 제1단계 모델(Primary models)은 특정 환경조건하에서 시간적 변화에 따른 균수의 변화를 나타내는 기본적인 성장모델로서, 이 모델을 통해서 generation time, lag phase duration, growth rate, maximum

†Author to whom correspondence should be addressed.

Table 1. Classification of some PFM models used[5)]

Primary models	Secondary models	Tertiary models
· Gompertz function model	· Square-root model	· USDA Pathogen Modeling
· Modified Gompertz model	(Belehradek)	Program (PMPwin5.1)
· Logistic model	· Square-root model	· Food MicroModel
· Baranyi model	(Ratkowsky)	· Pseudomonas Predictor
· First-order mono model	· Arrhenius model	· Expert Systems
· Modified mono model	· Modified Arrhenius model	
· D-values of thermal inactivation model	(Davey or Schoolfield)	
· Growth decline model of Whiting and Cygnarowicz	· Polynomial or response surface models	
· Three-phase linear model	· Williams-Landel Ferry model	

population density 등을 얻을 수 있다. 제2단계 모델(Secondary models)은 pH, 온도, Aw 등 1개 이상의 환경조건에 의해 1단계 모델의 parameter가 어떻게 변화하는지를 나타내는 모델을 말한다. 제3단계 모델(Tertiary models)은 제1, 2단계 모델을 통합하여 사용자가 쉽게 이용 가능하게 한 모델로서, 소프트웨어로 개발된 PMPwin5.1, Food MicroModel 등이 있다.

현재까지 개발된 PFM 모델 중 아직 완전한 것은 없지만 어떤 특정 조건하에서는 신속하고 객관적으로 이용할 수 있다. 그리고 현재 우리 나라에서도 활발히 도입이 추진되고 있는 HACCP시스템에서도 활용할 수 있다[6,7,9]. 나아가서는 병원성미생물의 위해성평가(Risk Assessment)수단으로서 그 중요성이 주목받고 있으며,[10,11] 특히 위해성평가과정 중 노출평가(Exposure assessment)에서의 이용 가능성이 크게 제기 되고 있다[12].

본 연구는 이러한 관점에서, 일부 PFM의 모델을 데이터베이스화하여 프로그램화한 Pathogen Modeling Program (PMPwin5.1)을 우유의 HACCP시스템에 활용하기 위한 방법의 하나로, 우유(시유) 저장시 위해요소 분석과 Critical Control Points(CCP) 및 Critical Limits(CL) 설정에 관한 방법론적인 예를 제시하였다.

재료 및 방법

Predictive Food Microbiology Model-Pathogen Modeling Program(PMPwin5.1)

현재까지 이용 가능한 PFM model에는 영국의 농업식량성에서 제작한 Food MicroModel과 미국 USDA에서 제작한 Pathogen Modeling Program(PMPwin5.1)이 있다[8]. 본 연구에서는 PMPwin 5.1이 이용되었으며, 이 모델은 Polynomial type의 모델을 주로 이용한 PFM모델의 분류 중 제3단계모델에 해당되는 것으로 인터넷상에서 자유롭게 이용할 수 있다[13]. 반면 Food MicroModel의 경우는 상당한 구입비용이 소요되는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 PFM에 대한 이해를 확대시키기 위한 목적도 포함되기 때문에 쉽게 이용 가능하고, 기술적인 측면에서도 쉽게 프로그램을 구동할 수 있으며, Predictive Food Microbiology Model에 대한 최신 이론을 수록하고 있는 PMPwin5.1을 이용하였다.

PMPwin5.1은 *Bacillus cereus, Listeria monocytogenes, E. coli* O157:H7, *Salmonella* spp., *Staphylococcus aureus, Aeromonas hydrophila, Shigella flexineri, Yersinia enterocolitica, Clostridium perfringens*에 대한 growth model과 *Clostridium botulinum*에 대한 Thermal inactivation model, *E. coli* O157:H7, *Salmonella* spp., *S. aureus*에 대한 Non-thermal inactivation/Survival model 등을 포함하고 있다. 병원성미생물 성장모델의 경우, 초기 환경조건으로 온도, pH, Aw, NaCl함량, 초기균수를 입력하게 되어 있고, 그 결과로서 병원성미생물에 대해 lag phase duration 및 generation time과 대상 병원성미생물이 특정 균수에 도달하는 시간을 산출할 수 있다.

또한 PMPwin5.1의 경우, 모델개발에서 이용된 병원성미생물에 대한 생장조건으로 온도, pH, Aw, NaCl 함량 이외에는 특별한 제한을 두지 않았기 때문에 앞의 생장조건에 대해 충분히 알고 있는 식품의 경우는 국제적으로 뿐만 아니라 국내에서 이용 가능성은 충분히 있다고 볼 수 있다.

Hazard identification

우유로 인한 식중독의 주요 원인균에 대한 선정은 많은 역학적 자료와 문헌고찰을 통해서 가능하다. 일반적으로 우유에서 발견되는 병원성미생물에는 *B. cereus, L. monocytogenes, E. coli* O157:H7, *Salmonella* spp., *S. aureus* 등이 있으며[14], 본 연구에서도 이들 병원성미생물을 대상으로 하였다.

성장인자(Growth parameter)의 결정

우유(시유)에서 병원성미생물의 성장에 영향을 미칠 수 있는 요인은 온도와 pH, Aw이다. 우유에서 큰 변동이 없는

pH, Aw와 달리 온도는 생산 후 유통과정과 가정에서 저장 중 변화가 가장 크다[15,16]. 따라서 본 연구에서는 변이인자(Variable factor)를 온도로 설정하였으며, 고정인자(Fixed factor)로는 pH, Aw, NaCl 함량으로, pH는 일반 우유의 pH인 6.7로, Aw는 우유의 수분활성도인 0.993으로, NaCl 함량은 1.3%로 하였다(Table 2)[17]. PMPwin5.1을 이용하여 우유에 대한 온도의 변이는 우유의 법적인 저장온도인 10°C를 중심으로 4°C에서 15°C의 범위로 설정하였으며, 각 온도의 변화에 따른 주요 병원성미생물의 generation time, lag phase duration을 산출하였다.

한편 우유에서 병원성미생물의 성장에 영향을 미칠 수 있는 또 다른 요인으로 초기균수를 들 수 있다. 하지만 PFM model에서는 초기균수의 경우 lag phase duration과 generation time에는 아무런 영향을 미치지 못하며[18,19] 특정균수에 도달하는 시간에만 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 초기균수로 *B. cereus*는 임[20]의 결과를 바탕으로 1 logCFU/ml로 하였고, 다른 병원성미생물의 경우, 국내에서의 조사결과를 찾을 수 없어, PMPwin5.1의 초기균수 최소값인 -2 logCFU/ml으로 하여 대상 병원성미생물의 특정 균수에 도달하는데 걸리는 시간을 산출하였다. 특정 균수는 각각의 병원성미생물에 대한 infective dose로 하였고, 이 값은 *B. cereus*[21], *S. aureus*[22]는 10^5, *E. coli* O157:H7[22], *L. monocytogenes*[23], *Salmonella* spp.[22]는 10^2 으로 하였다(Table 2).

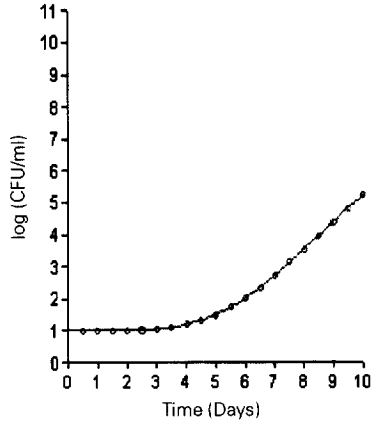
저장 온도별 각각의 병원성미생물에 대한 CCP 및 CL설정을 위해 온도변화에 따른 안전성의 정도는 Panisello 등의 방법[7]을 응용하여 "안전온도범위(Safe temperature zone)", "주의온도범위(Caution temperature zone)", "위험온도범위(Danger temperature zone)"와 같이 3개로 분류하였으며, 이들 분류는 우유의 유통기간인 5일을 기준으로 각 병원성미생물의 lag phase duration, infective dose에 도달하는 시간에 따라 결정하였다. 각각의 분류에 대한 정의는 다음과 같다.

- 안전온도범위(Safe temperature zone): 유통기간(5일)내에 성장이 발생하지 않는 온도 즉, lag phase duration이 유통기간 이상인 온도범위
- 주의온도범위(Caution temperature zone): 안전온도와 위험온도사이의 온도범위
- 위험온도범위(Danger temperature zone): 식중독 질환을 일으킬 수 있는 농도 즉, infective dose에 도달하는 시간이 유통기간을 초과하는 온도범위

결과 및 고찰

PMPwin5.1을 이용한 우유 저장시 주요 병원성미생물의 성장 예측

*B. cereus*는 Fig. 1과 Table 3에서 보는 바와 같이 온도가 8.5°C에서 lag phase duration이 5.04일로 우유(시유)의



Lag phase duration : 5.04 days
Generation time : 0.35 days
Time to level of infective dose : 9.78 days

Fig. 1. Predicted growth of *B. cereus* in milk at 8.5°C, pH 6.7, NaCl 1.3% and Aw 0.993.

Table 2. PMPwin5.1 controlling growth factors used for each pathogen

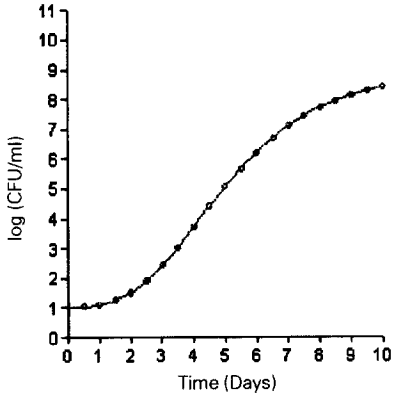
Pathogens	Initial level	Infective dose	Controlling factors				
			Fixed			Variable	
			pH	NaCl (%w/w aq)	Aw	Temperature (°C)	
						Low	High
Bacillus cereus	10^1	10^5	6.7	1.3	0.993	5	15
E. coli O157:H7	10^{-2}	10^2	6.7	1.3	0.993	9*	15
Listeria monocytogenes	10^{-2}	10^2	6.7	1.3	0.993	4*	15
Salmonella spp.	10^{-2}	10^2	6.7	1.3	0.993	10*	15
Staphylococcus aureus	10^{-2}	10^5	6.7	1.3	0.993	10*	15

* The minimum temperature value accepted by PMPwin5.1

Table 3. Predicted population of *B. cereus* in milk at 8.5°C, pH 6.7, NaCl 1.3% and Aw 0.993 by days

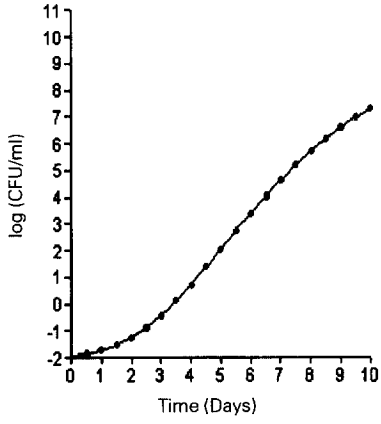
Time (Days)	~4	5	6	7	8	9	10
Population (log CFU/ml)	1.0	1.1	1.9	2.8	3.6	4.5	5.3

유통기간인 5일 이상이 되므로 이 온도 이하를 안전온도로 설정하였고, Fig. 2와 Table 4에서 보는 바와 같이 11.3°C에서 *B. cereus*의 infective dose인 10^5에 도달하는 시간이 4.97일로 5일 이내가 되므로, 이 온도를 위험온도로 결정하였다. 이들 결과를 바탕으로 안전온도와 위험온도의 사이인 8.6~11.3°C를 주의온도범위로 정하였다.



Lag phase duration : 2.02 days
Generation time : 0.22 days
Time to level of infective dose : 4.97 days

Fig. 2. Predicted growth of *B. cereus* in milk at 11.3°C, pH 6.7, NaCl 1.3% and Aw 0.993.

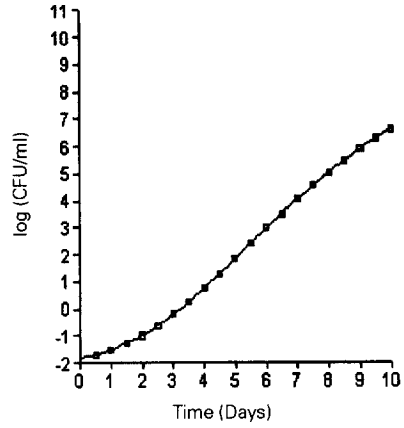


Lag phase duration : 2.02 days
Generation time : 0.22 days
Time to level of infective dose : 4.96 days

Fig. 3. Predicted growth of *E. coli* O157:H7 in milk at 10.9°C, pH 6.7, NaCl 1.3% and Aw 0.993.

E. coli O157:H7은 Fig. 3과 Table 5에서 보는 바와 같이 10.9°C 온도에서 infective dose인 10^2에 도달하는 시간이 4.96일로 5일 이내가 되므로 이 온도 이상을 위험온도로 결정하였다. 하지만 *E. coli* O157:H7의 경우 PMPwin5.1에서는 이용할 수 있는 최소 온도가 9°C이므로(Table 2) 정확한 안전온도는 추정할 수 없었으며, 따라서 10.9°C이하의 온도를 주의온도범위로 설정하였다.

*L. monocytogenes*는 Fig. 4와 Table 6에서 보는 바와 같



Lag phase duration : 1.53 days
Generation time : 0.26 days
Time to level of infective dose : 4.97 days

Fig. 4. Predicted growth of *L. monocytogenes* in milk at 7.4 °C, pH 6.7, NaCl 1.3% and Aw 0.993.

Table 4. Predicted population of *B. cereus* in milk at 11.3°C, pH 6.7, NaCl 1.3% and Aw 0.993 by days

Time (Days)	~1	2	3	4	5
Population (log CFU/ml)	1.0	1.1	2.4	3.8	5.2

Table 5. Predicted population of *E. coli* O157:H7 in milk at 10.9°C, pH 6.7, NaCl 1.3% and Aw 0.993 by days

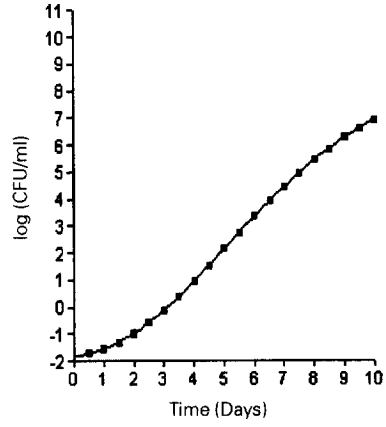
Time (Days)	~2	3	4	5
Population (log CFU/ml)	-2.0	-0.6	0.7	2.1

Table 6. Predicted population of *L. monocytogenes* in milk at 7.4°C, pH 6.7, NaCl 1.3% and Aw 0.993 by days

Time (Days)	~1	2	3	4	5
Population (log CFU/ml)	-2.0	-1.0	-0.2	0.9	2.1

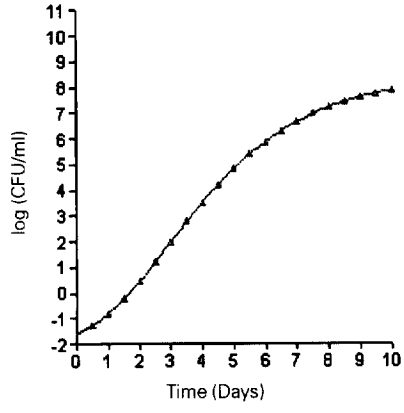
이 7.4°C온도에서 infective dose인 10^2에 도달하는 시간이 4.97일로 5일 이내이므로 이 온도 이상을 위험온도로 결정하였다. 그러나 *E. coli* O157:H7과 마찬가지로 *L. monocytogenes*의 경우도 PMPwin5.1에서는 이용할 수 있는 최소 온도가 4℃이므로(Table 2), 정확한 안전온도는 추정할 수 없었으며, 따라서 7.4°C이하의 온도를 주의온도범위로 설정하였다.

Salmonella spp.는 Fig. 5와 Table 7에서 보는 바와 같이 11.3°C이상의 온도에서 infective dose인 10^2에 도달하는 시간이 4.99일로 5일 이내이므로 이 온도를 위험온도로 결정



Lag phase duration : 1.62 days
Generation time : 0.25 days
Time to level of infective dose : 4.99 days

Fig. 5. Predicted growth of *Salmonella* spp. in milk at 11.3 °C, pH 6.7, NaCl 1.3% and Aw 0.993.



Lag phase duration : 0.45 days
Generation time : 0.20 days
Time to level of infective dose : 4.99 days

Fig. 6. Predicted growth of *S. aureus* in milk at 14.8°C, pH 6.7, NaCl 1.3% and Aw 0.993.

하였다. 하지만 *Salmonella* spp.의 경우도 *E. coli* O157:H7과 *L. monocytogenes*와 마찬가지로 이용할 수 있는 최소 온도가 10°C이다(Table 2). 따라서 정확한 안전온도를 추정할 수 없으며, 11.3°C이하의 온도를 주의온도범위로 설정하였다.

*S. aureus*는 Fig. 6과 Table 7에서 보는 바와 같이 14.8 °C이상의 온도에서 infective dose인 10^5에 도달하는 시간이 4.99일로 5일 이내이므로, 이 온도를 위험온도로 결정하였다. 하지만 *Salmonella* spp.와 마찬가지로 *S. aureus*의 경우도 이용할 수 있는 최소 온도가 10°C이므로(Table 2) 정확한 안전온도는 추정할 수 없었으며, 14.8°C이하의 온도를 주의 온도범위로 설정하였다.

이상의 결과를 종합한 우유에서 주요 병원성미생물의 성장에 대해 예측된 "안전온도", "주의온도", "위험온도" 각각의 범위는 Table 9와 같다.

HACCP시스템에서 PFM 모델 이용

우유의 HACCP시스템에 있어, PFM 모델은 HACCP의 7단계 중 여러 단계에서 응용이 가능하다[7]. 첫째로 저장·유통 단계에서 온도의 변화에 따른 주요 병원성미생물의 성장을 예측할 수 있어 위해요소분석(Hazard analysis)에 있어 위해요소을 분류할 수 있고, 이들의 위해성에 대한 우선순위를 부여하는데 보조적인 수단으로 이용될 수 있다. 즉, Table 3에서 볼 수 있듯이 위험온도범위에서 *L. monocyto-genes*가 가장 낮으므로 위해성에 대한 우선순위에서는 상위를 차지

Table 7. Predicted population of *Salmonella* spp. in milk at 11.3°C, pH 6.7, NaCl 1.3% and Aw 0.993 by days

Time (Days)	~1	2	3	4	5
Population (log CFU/ml)	-2.0	-1.0	-0.3	0.9	2.0

Table 8. Predicted population of *S. aureus* in milk at 14.8°C, pH 6.7, NaCl 1.3% and Aw 0.993 by days

Time (Days)	~1	2	3	4	5
Population (log CFU/ml)	-1.0	0.4	1.9	3.5	5.0

Table 9. Calculated temperature zone for milk based on PMPwin5.1 outcomes at 1.3% NaCl(w/w), pH 6.7 and Aw 0.993 for different pathogens

Pathogens	Safe temp. zone	Caution temp. zone	Danger temp. zone
B. cereus	> 8.6°C	8.6~11.3°C	11.3°C <
E. coli O157:H7	-	≥10.9°C	10.9 °C <
L. monocytogenes	-	≥ 7.4°C	7.4 °C <
Salmonella spp.	-	≥ 11.3°C	11.3°C <
S. aureus	-	≥14.8°C	14.8 °C <

하며, *S. aureus*가 가장 높으므로 가장 낮은 위치에 놓이게 된다. 둘째로는 유통·저장단계에서 병원성미생물 성장에 대한 온도수준을 나타내므로 저장온도에 대한 CCP 설정시 이론적 근거로 활용할 수 있고, 선정된 CCP에 대한 CL은 Table 3의 주위온도범위 내로 설정 할 수 있다. 그리고 주위온도범위와 같이 허용수준(Acceptable level)에 도달되는 온도범위를 기술할 수 있으므로 모니터링(Monitoring)이나 검증(Verification)에서도 이용할 수 있다.

한편, 현재 생산된 우유의 제조 후 유통·소비까지의 저장온도는 법적으로 10°C로 규정되어 있다[24]. 하지만 본 연구결과를 통해 보았을 때, 우유에서 대부분의 병원성미생물은 10°C에서 현재의 유통기간 5일 이내에 infective dose에 도달하게 되므로 소비하기까지의 우유 저장온도를 주의온도 최저값인 7°C 이하로 하는 것이 유통기간의 연장뿐만 아니라 식품의 안전성 측면에서도 더 효과적일 것이라고 생각된다. 이러한 결과는 시판되고 있는 살균 및 멸균우유를 법적 기준인 0~10°C로 저장해도 5일만에 세균수가 법적 기준에 근접하거나 초과한다는 최[25]의 결과와도 일치하는 것으로 보인다. 특히 우유와 같이 부패, 변질이 용이한 제품의 특성을 고려할 때 여러 환경요인 중 저장온도가 가장 중요한 Control Point로 인정[26]되어야 하는 것이 다시 한번 입증된 것이다.

예측식품미생물학(PFM)모델의 한계 및 활동

본 연구에서와 같이 우유 저장온도에 따른 위해 정도를 평가하기 위한 "안전온도", "주의온도", "위험온도"의 범위는 CCP와 CL설정에 대한 보조적인 역할을 수행 할 수 있다. 하지만 이들 온도범위는 단순히 주요 병원성미생물의 성장/비성장(growth/no growth)만을 기초로 한 것이기 때문에 위해 정도를 완전히 이해할 수는 없다. Panisello[7]도 병원성미생물의 성장보다도 실제적인 발병정도나 식품에서의 생존가능성, 개인별 감수성 정도 등에 대한 보충적인 자료가 필요하다고 하였다. PFM 모델에 있어 현재 지적될 수 있는 한계로는 모델들간 특정 조건하에서 반복된 결과 값이 통계적으로 편차가 크다는 것이다. 또한 현재의 성장모델이 몇몇 환경요인을 제외한 식품첨가물 등 식품에 존재 가능한 다른 요인에 대한 영향을 포함하지 않고 있으며, 다른 미생물 특히, 부패미생물 등과의 경쟁관계 등이 포함되어 있지 않다는 것이다.

여러 가지 한계에도 불구하고, PFM 모델이 HACCP시스템에 있어 가장 우선적으로 수행되는 일인 위해요소분석에 있어 객관적이면서 신속하게 어떤 특정 식품에 대한 위해 정도를 추정할 수 있게 한다는 점에서 그 의미를 부여할 수 있다[5,7,9]. 따라서 PFM 모델은 위해요소에 대한 분류 도구로서 또는 위해요소 중 중요성에 대한 우선순위를 정하는데 있어 크게 도움이 될 수 있다. 결론적으로 수학적 모델을 이용함으로써 HACCP시스템을 좀 더 쉽게 구현할 수 있다는 것이다. 즉 CCP를 결정할 경우, 그 각각에 대한 여러 조건하에서의 특정한 미생물의 움직임을 시뮬레이션함으로써 PFM 모델이 충분히 유효하다고 생각된다. 동시에 CL를 결정할 때에도 중요한 자료를 제공할 수 있고, 식품내의 어떤 병원성미생물에 대한 위해성평가에서도 활용 가능하며, 더 나아가 PFM 모델은 많은 시간과 노력, 비용이 드는 미생물접종시험(challenge test)이나 저장시험(storage test)을 대신하는 것으로서도 유효하다.

현재의 PFM 모델 및 관련 상용소프트웨어는 앞에서도 지적된 바와 같이 여러 가지 한계를 가지고 있어 현재까지는 본 연구에서와 같이 보조적인 도구로서만 활용이 가능하다. 하지만 지금까지 수많은 수학모델이 보고되었던 바와 마찬가지로 장래에도 새롭게 개선된 모델이 계속적으로 발표될 것이며, 따라서 식품안전분야에서의 예측식품미생물학의 발달 및 응용은 점점 더 크게 증대되어 질 것이 확실하다.

감사의 말

이 논문은 1999년도 농림부 농림기술개발연구사업의 지원과제(199064-2)로 이루어진 것이며 이에 깊이 감사드립니다.

국문요약

예측식품미생물학(PFM)은 1980년대 후반 이후 식품미생물학 분야에서 새롭게 발생한 신학문 분야이다. PFM은 특별한 환경적 요인에 따른 미생물 특히, 병원성미생물의 반응(사멸과 생존)을 예측하기 위하여 수학적인 모델을 이용한 것이다. 현재까지 개발된 PFM모델 중 완전한 것은 없지만, 어떤 특정 조건하에서는 신속하고 객관적으로 미생물의 반응을 예측하는데 이용될 수 있다는 장점 때문에, HACCP시스템, Risk Assessment 등에서 응용 가능성이 커지고 있다. 본 연구는 PFM 모델 중 PMPwin5.1을 이용하여, 우유 저장에 대한 HACCP시스템 중 미생물학적 위해요소 분석, CCP 및 CL설정에 대한 방법론적 예를 제시하였다. 모델에 대한 초기조건으로 우유와 동일한 물리화학

적 조건인 pH 6.7, Aw 0.993, NaCl 1.3%을 고정변수로 하고, 저장온도(4~15°C)를 변이변수로 선정하여, 온도에 따른 주요 병원성미생물의 generation time, lag phase duration, infective dose에 도달하는데 걸리는 시간을 산출하였다. 이 결과를 바탕으로 온도의 변화에 따른 각 병원성미생물의 성장을 안전정도에 따라 "안전온도범위(Safe temperature zone)", "주의온도범위(Caution temperature zone)", "위험온도범위(Danger temperature zone)"로 분류하였으며, 이들 분류는 우유의 유통기간인 5일을 기준으로 각 병원성미생물의 lag phase duration, infective dose에 도달하는 시간에 따라 결정하였다. 이러한 결과는 우유의 HACCP시스템에 있어, 위해요인 분석시 위해요소의 분류 및 위해요소간의 위해 정도의 우선순위 부여에 보조적인 수단으로 이용될 수 있다. 또한 유통·저장단계에서 병원성미생물의 성장에 대한 온도수준을 나타내므로, 이 단계를 CCP로 설정할 수 있고, CCP에 대한 CL은 주위온도범위내에서 설정할 수 있다. 그리고 허용수준에 대한 온도의 범위를 제시하므로 모니터링이나 검증에서도 이용할 수 있다. 한편, 우유에서 발생하기 쉬운 대부분의 병원성미생물은 현재의 10°C에서 5일간의 유통기간 내에 infective dose에 쉽게 도달하므로 우유 저장온도를 7°C이하로 낮추는 것이 더 안전하다는 결과를 보여주었다. 이상과 같이 PFM 모델은 HACCP시스템에서 신속하고 객관적으로 그리고 실제 미생물실험을 대신하여 저렴하게 이용 가능할 수 있다. 지금까지 개발된 PFM 모델에는 여러 가지 한계를 내포하고 있어 현재까지는 본 연구에서와 같이 보조적인 도구로만 이용 할 수 있지만, 앞으로 PFM 모델의 발달 및 활용 가능성은 크게 증대될 것이다.

참고문헌

1. Zwietering, M.H., Jongenburger, I., Rombouts, F.M. and Van'T Reit, K.: Modelling of bacterial growth as a function of temperature, Appl. Environ. Microbiol., **56**, 1875-1881, (1990).
2. Zwietering, M.H., Rombouts, F.M. and Van'T Reit, K. : Some aspects of modeling microbial quality of food, Food Control., **4**, 89-96, (1993).
3. Whiting, R.C., Buchanan, R.L.: Microbial Modelling, Food Technol. **48**, 113-120, (1994).
4. Gibson, A. M., Bratchell, N. and Roberts, T. A.: The effect of sodium chloride and temperature on the rate of extent of growth of *Clostridium botulinum* type A in pasteurized pork slurry, J. Appl. Bacteriol. **62**, 479-490, (1987).
5. Karl, M., Da-Wen, S.: Predictive food microbiology for the meat industry; a review, Int. J. Food Microbiol. **52**, 1-27, (1999).
6. Whiting, R.C.: Microbial Modelling, CRC Critical Rev. in Food Sci. and Nutr., **35**, 467-494, (1995).
7. Panisello, P.J., Quantick, P.C.: Application of Food Micro-Model predictive software in the development of Hazard Analysis Critical Control Point(HACCP) systems, Food Microbiol., **15**, 425-439, (1998).
8. Whiting, R.C., Buchanan, R.L.: A classification of models for predictive microbiology, Food Microbiol., **10**, 175-177, (1993).
9. Philip, H.E.: Predictive Microbiology and HACCP, J. Food. Prot. Suppl. 48-53, (1996).
10. Peggy, M.F.: Driving predictive modelling on a risk assessment path for enhanced food safety, Int. J. Food Microbiol. **36**, 87-95, (1997).
11. Isabel, W., Virginia, N.S.: Use of predictive microbiology in microbial food safety risk assessment, Int. J. Food Microbiol., **36**, 97-102, (1997).
12. Coleman, M.E., Matks, H.M. : Qualitative and quantitative risk assessment, Food Control, **10**, 289-297, (1999).
13. USDA/ARS : Pathogen Modeling Program, www.arserrc.gov/mfs or from USDA/ARS, National staff, BARC-West, Building 5, Beltsville, MD 20705.
14. Hui, Y. H.: Dairy Science and Technology Handbook 2, VCH Publishers, Inc., p 342-349, (1992).
15. Van Impe, J.F., B.M. Nicolai, M. Schellekans, T. Martens and J.D. Baerdemaeker: Predictive microbiology in a dynamic environment; a system theory approach, Int. J. Food Microbiol., **25**, 227-249, (1995).
16. Te Giffel, M.C., Beumer, R.R., Granum, P.E. and Rombouts, F.M.: Isolation and characterization of *Bacillus cereus* from pasteurized milk in household refrigerators in Netherlands, Int. J. Food Microbol. **34**, 307-318, (1997).
17. Pieter, W., Robert, J.: Dairy chemistry and physics, p8, John Wiley & Sons, (1984).
18. Brouillaud-Delattre, A., Maire, M., Collette, C., Mattei, C., Lahellec, C. : Predictive microbiology of dairy products; influence of biological factors affecting growth *Listeria monocytogenes*, J. AOAC Int., **80**, 913-919, (1997).
19. Bhaduri, S.,Turner-Jones, C.O., Buchanan, R.L. and Phillips, J.G.: Response surface model of the effect of pH, sodium chloride and sodium nitrite on growth of *Yersinia enterocolitica* at low temperatures, Int. J. Food Microbol., **23**, 333-343 (1994).
20. 임정현: 원유 및 유제품에 *Bacillus cereus*의 분포 및 특성에 관한 연구, 서울대석사학위논문, (1999).
21. Granum, P.E.: *Bacillus cereus* and it's toxins, J. Appl. Bacteriol. Sym. Suppl. 76, 61s-66s, (1994).
22. Michael, P.D., Larry, R.B. and Thomas, J.M.: Food Microbiology - Findamentals and Frontiers, p 129-158, p 171-191,

p 353-375, ASM press, (1997).
23. Farber, J.M., P.J. Peterkin : *Listeria monocytogenes*, a food borne pathogen, Microbiol. Rev., **55**, 476-511, (1991).
24. 한국식품공업협회: 식품공전, (2000).
25. 최석호: 시유의 저장 가능기간과 2차 오염의 결정방법, 한국유가공기술과학회 추계 학술심포지엄, (1999).
26. Notermans, S., Dufrenne, J., Teunis, P., Beuner, R., teGiffel, M. and Peeters Ween, P. : A risk assessment study of *Bacillus cereus* present in pasteurized milk, Food Microbiol., **14**, 143-151, (1997).